

ISSN 1883-2350 (Print)

REPORTS
OF THE
INDUSTRIAL RESEARCH INSTITUTE
OF SHIZUOKA PREFECTURE
No.4 SEPTEMBER 2011

静岡県工業技術研究所研究報告

第 4 号
平成23年9月

静岡県工業技術研究所
静岡市葵区牧ヶ谷2078番地

INDUSTRIAL RESEARCH INSTITUTE OF SHIZUOKA PREFECTURE
2078 Makigaya, Aoi-ku, Shizuoka city, Shizuoka, 421-1298 Japan

目次

静岡県工業技術研究所（静岡）

I 報 告

1	Al-15～21%Si合金の半熔融特性.....岩澤 秀、菅野尚子、上久保佳則、高橋正詞、杉浦泰夫	1
2	水ぜい化を抑えた高強度ダクタイル鋳鉄の開発.....岩澤 秀、松野正幸、名波 豊、佐藤央哉	5
3	アルミ合金鋳物の染色加工に関する研究（第1報） —陽極酸化処理後の染色性を向上させる条件検討— .....綿野哲寛、疋田訓大、宮原鐘一	10
4	悪臭除去効果を有する消臭インジケータ色素の開発.....伊藤 彰	15
5	光学特性に基づく天窗の室内照明シミュレーション.....鈴木敬明、加藤俊文、小野巳吉、外山 勸	18
6	多孔質材料の吸音率予測モデルの研究 —圧縮したメラミンフォームの音響特性と物性パラメーター— .....木野直樹	24
7	多孔質材料の吸音率予測モデルの研究 —圧縮したメラミンフォームの物性パラメータの予測— .....木野直樹	28
8	オゾンを利用した小規模酪農用排水処理装置の開発（第1報） —酪農排水に含まれる抗生物質のオゾン分解— .....岡本哲志、坂田訓章	32
9	入浴用リフトの姿勢保持具について.....小松 剛、易 強、多々良哲也、亀井 力、前嶋宏明、前嶋文明、秋山定則	37
10	開封しやすい豆腐パックの試作および人間工学評価.....易 強、多々良哲也、鈴木敏治	41
11	木製品に適した非破壊検査法の開発 —打音検査法の応用— .....赤堀 篤、佐野禎彦、櫻川智史	47
12	木製品の設計・性能評価技術の高度化 —スツール設計における構造解析技術の応用の検討— .....佐野禎彦、赤堀 篤	51
13	姿勢保持を目的とした介護用ポジショニングクッションの開発.....櫻川智史、赤堀 篤、佐野禎彦 井木英之、木林身江子、天野ゆかり、秋山みゆき	56

Ⅱ 研究ノート

- 1 アルミ合金鋳物の染色加工に関する研究(第2報)
 ―染色を施した陽極酸化皮膜の色彩評価― 疋田訓大、綿野哲寛、宮原鐘一 60
- 2 赤外分光分析及び熱分析を用いたEVA成形品の評価
 菅野尚子、田村克浩 62
- 3 金属加工部品の不具合事例について
 菅野尚子、疋田訓大、綿野哲寛 65
- 4 工場用天窗のアジア新興国への普及検討
 ―ベトナムを例として― 加藤俊文、鈴木敬明、外山 勸、小野巳吉 67
- 5 工作機械の熱変位予測について
 ―グリススピンドルの伝熱解析―
 長津義之、鷺坂芳弘、船井 孝、鈴木敬明、加藤俊文、片山哲也、川津和司 71
- 6 アルミ冷間鍛造における環境対応型潤滑剤の性能評価(第1報)
 鷺坂芳弘、石橋 格、中村 保、笹岡英嗣、早川邦夫 73
- 7 軟質ポリウレタンフォームの力学的シミュレーションに関する研究
 船井 孝、鈴木敬明、中村佐紀子、横田秀夫、袴田恭正、前嶋文明 75
- 8 ネットワーク機能未搭載機器の遠隔監視に関する研究
 ―ZigBee無線モジュールを利用した遠隔監視システムの開発―
 長谷川和宏、神谷文吾、小柳雅弘、森口慎也 77
- 9 機械装置音の音質及び時間的变化に関する評価
 上野貴康 79
- 10 新規製造法による発酵茶粉末の試作開発
 志田英士、望月一男、渡瀬隆也、三宅健司、橘川義明 81
 川口真弘、宮原利幸、古澤光訓、竹元万壽美
- 11 シロップ液からのエネルギー回収システムの開発
 酒井 奨、増田直己、望月光明、杉本圭昭 83
- 12 シリコンゴム製「自立補助具・リハビリ用具」の開発(第2報)
 多々良哲也、小松 剛、鴨下賢一、鈴木利明、植山みどり 86
- 13 屋外利用を目的とした木材の耐久性向上技術の開発
 ―立木注入法を利用した木材への薬液注入の検討―
 鈴木光彰、赤堀 篤、櫻川智史、渡井 純、池田潔彦 88

Ⅲ 抄 録

1	各種食品成分が口腔細菌種及び誤嚥性肺炎起因菌種の増殖に及ぼす影響.....大川勝正、結城 茜、長澤 正、杉山直人	91
2	水熱処理によるバイオマス＋プラスチック混合廃棄物の燃料化装置.....清水達祥、木村 巖、佐古 猛、岡島いづみ、後藤敏晴、田村克浩、菅野尚子	92
3	フェムト秒レーザーを用いたレーザーピーンフォーミングによる薄板の曲げ加工.....鷺坂芳弘、神谷真好、松田 稔、太田幸宏	93
4	フェムト秒レーザーを用いたレーザーピーンフォーミングによる薄板の曲げ加工.....鷺坂芳弘	94
5	フェムト秒レーザによるダイレス曲げ加工 ーレーザピーンフォーミングによる薄板曲げの曲げ精度向上ー .....鷺坂芳弘	95
6	緑茶の品質管理へのアロマセンサの応用.....油上 保、田中 進、三浦 清、岡田慶雄、望月一男、渡瀬隆也、橘川義明	96
7	茶葉萎凋工程中の揮発性成分の分析（ヘッドスペースガスのTDU-GC-MS分析） .....渡瀬隆也、鈴木敏博、望月一男、志田英士、三宅健司、橘川義明 油上 保、三浦 清、岡田慶雄、勝野 剛、楊 子銀、渡邊修治	97
8	多量の水中で茶生葉を破碎した際のテアフラビン生成反応の最適化.....志田英士、望月一男、橘川義明、三宅健司、渡瀬隆也、鈴木敏博 浅沼俊倫、竹元万壽美	98
9	微生物酵素を用いた新規黒茶様飲料の開発.....三宅健司、橘川義明、志田英士、渡瀬隆也、望月一男、鈴木敏博 浅沼俊倫、原 征彦	99
10	緑茶飲料の保存温度における香味の影響.....橘川義明、望月一男、渡瀬隆也、志田英志、三宅健司、鈴木敏博 浅沼俊倫、土肥慎吾、松田徳子	100
11	木炭の分子ふるい挙動を活用した空気質の改善.....山下里恵、櫻川智史、松浦弘直、横山公哉	101
12	缶詰工場から排出されるシロップ廃液を利用したエネルギー回収システム.....酒井 奨	102

沼津工業技術支援センター

I 報 告

- 1 ブナシメジ抽出成分によるホルモン依存性乳癌細胞株の増殖阻害
—増殖阻害成分の分離精製—
.....岩原健二、天野祥吾、勝山 聡 103
- 2 単発・短周期騒音発生機器の信号解析とその低減に関する研究
.....竹居 翼、本多正計、飯塚千佳世 107

II 研究ノート

- 1 微生物を用いた一本鎖型抗体の生産技術の開発(第1報)
—インフルエンザウイルスA型核タンパクの遺伝子解析—
.....太田俊也、松野正幸、室伏敬太 113
- 2 微生物を用いた一本鎖型抗体の生産技術の開発(第2報)
—インフルエンザウイルスA型核タンパク質の大腸菌発現系の構築—
.....松野正幸、室伏敬太、太田俊也 115
- 3 微生物を用いた一本鎖型抗体の生産技術の開発(第3報)
—モデル抗体のフラスコスケールでの生産—
.....室伏敬太、松野正幸、太田俊也 117
- 4 シメジ由来のホルモン依存性乳癌細胞の増殖阻害物質に関する研究
—菌糸体培養による物質生産の検討—
.....勝山 聡、天野祥吾、岩原健二 119
- 5 共鳴空洞応用マイクロ波照射装置を用いたバイオ素材の抽出について
.....天野祥吾、辻むつみ、岩原健二 121
- 6 フィジカル・コンピューティング・プラットフォームを実務で利用する際に
留意すべき事項 —廉価な省力化支援簡易ロボット・システムの開発—
.....望月建治、竹居 翼、本多正計、飯塚千佳世 123

富士工業技術支援センター

I 報 告

- 1 ダイカスト金型に応用する高耐久コーティング技術の開発（第2報）
.....田中翔悟、高木 誠、真野 毅 125
- 2 水熱処理によるPSリサイクルから発生する無機物を用いた紙の開発
.....深沢博之、村松重緒、堤 真一 129
- 3 製本用ホットメルト接着剤の紙リサイクル適性の向上
ーリサイクル適性評価試験における試験結果へ与える試験条件の影響ー
.....齊藤将人、深沢博之 134
- 4 再生紙の新たな品質評価手法の検討（第2報）
ーリサイクルに伴うパルプ繊維の変化ー
.....河部千香、齊藤将人、深沢博之 140
- 5 見守りセンサシートシステムの開発
ー試作開発と介護施設での試験利用ー
.....中山 洋、鈴木悠介 147
- 6 見守りセンサシートシステムの開発
ーシート構造の検討ー
.....鈴木悠介、中山 洋 152

II 研究ノート

- 1 破裂試験におけるゴム隔膜について
.....堤 真一、深沢博之、村松重緒、齊藤将人、河部千香 157

III 抄 録

- 1 静岡県におけるコーティング技術開発の取り組み
.....真野 毅、高木 誠、田中翔悟 159
- 2 ダイカスト金型を長寿命化するハードコーティング技術の開発
.....田中翔悟、高木 誠、真野 毅 160

浜松工業技術支援センター

I 報 告

- 1 レーザーマーキング繊維と微細マーキング技術の開発
.....植田浩安、渥美博安、辻本 裕、徳村啓雨、實野孝久 161
- 2 レーザーによる金属と樹脂の接合
.....山下清光、渥美博安、平井勤二、菅谷卓生 165
- 3 三次元測定機による幾何形状測定の精度評価
.....北川剛弘、大澤洋文、柳原 亘 170
- 4 三次元測定機におけるSN比を用いた不確かさ評価について
.....柳原 亘、北川剛弘、大澤洋文 176
- 5 T法を用いた工作機械の熱変位補正(第1報)
.....大澤洋文、針幸達也、北川剛弘 181
- 6 USITを用いた電界紡糸装置の問題解決
.....針幸達也、大澤洋文、北川剛弘 185
- 7 アルミニウム合金ダイカスト上の陽極酸化皮膜形成技術の工業化に関する研究
.....田光伸也、吉岡正行 191
- 8 β 型チタン合金圧延材の機械的性質の異方性
.....菊池圭祐、伊藤芳典、植松俊明、片野 元 195

II 研究ノート

- 1 炭酸ガスレーザーによる樹脂表面への加熱処理の高度化(第1報)
.....渥美博安、植田浩安 200
- 2 不透明なプラスチックにおける残留応力の可視化
.....志智 亘、太田幸宏 202
- 3 シカ捕獲囲い込みワナのための自動閉鎖ゲートの製作(第2報)
.....長谷川 茂 204
- 4 電波暗室の改修による特性の違いについて
.....山田浩文、長谷川 茂 206
- 5 金属材料・樹脂材料における不具合シミュレーションとデータ解析に関する研究(第1報) —皮膜性状に対するめっき前処理の効果—
.....吉岡正行、植松俊明、菊池圭祐 208

6	金属材料・樹脂材料における不具合シミュレーションとデータ解析に関する研究（第2報） —鉄鋼材料の破断面に及ぼす切欠き形状の影響— .....植松俊明、菊池圭祐、吉岡正行、田光伸也	210
7	金属材料・樹脂材料における不具合シミュレーションとデータ解析に関する研究（第3報） —樹脂材料の紫外線劣化に関する解析・評価— .....吉岡正行、植松俊明、菊池圭祐	212
8	一方向繊維強化熱可塑性複合材料の高速成形技術の開発.....鈴木重好	214
9	無製版プリントシステム（IJPS）による試作.....田端孝光、鈴木一之、木下道廣	216

Ⅲ 抄 録

1	Ti-6Al-4V合金射出成形材の機械的特性に及ぼす密度および酸素量の影響.....三浦秀士、伊藤芳典、植松俊明、佐藤憲治	218
2	Ti-6Al-4V合金の高強度化へ向けて —粉末冶金からのアプローチ— .....伊藤芳典	219

分野別目次

バイオ分野

沼津工業支援センター

I 報 告

- 1 ブナシメジ抽出成分によるホルモン依存性乳癌細胞株の増殖阻害
—増殖阻害成分の分離精製—
.....岩原健二、天野祥吾、勝山 聡 103

II 研究ノート

- 1 微生物を用いた一本鎖型抗体の生産技術の開発(第1報)
—インフルエンザウイルスA型核タンパクの遺伝子解析—
.....太田俊也、松野正幸、室伏敬太 113
- 2 微生物を用いた一本鎖型抗体の生産技術の開発(第2報)
—インフルエンザウイルスA型核タンパク質の大腸菌発現系の構築—
.....松野正幸、室伏敬太、太田俊也 115
- 3 微生物を用いた一本鎖型抗体の生産技術の開発(第3報)
—モデル抗体のフラスコスケールでの生産—
.....室伏敬太、松野正幸、太田俊也 117
- 4 シメジ由来のホルモン依存性乳癌細胞の増殖阻害物質に関する研究
—菌糸体培養による物質生産の検討—
.....勝山 聡、天野祥吾、岩原健二 119
- 5 共鳴空洞応用マイクロ波照射装置を用いたバイオ素材の抽出について
.....天野祥吾、辻むつみ、岩原健二 121

食品分野

I 研究ノート

- 1 新規製造法による発酵茶粉末の試作開発
.....志田英士、望月一男、渡瀬隆也、三宅健司、橘川義明 81
川口真弘、宮原利幸、古澤光訓、竹元万壽美

II 抄 録

- 1 緑茶の品質管理へのアロマセンサの応用
.....油上 保、田中 進、三浦 清、岡田慶雄、望月一男、渡瀬隆也、橘川義明 96

2	茶葉萎凋工程中の揮発性成分の分析（ヘッドスペースガスのTDU-GC-MS分析） .....渡瀬隆也、鈴木敏博、望月一男、志田英士、三宅健司、橘川義明 油上 保、三浦 清、岡田慶雄、勝野 剛、楊 子銀、渡邊修治	97
3	多量の水中で茶生葉を破碎した際のテアフラビン生成反応の最適化.....志田英士、望月一男、橘川義明、三宅健司、渡瀬隆也、鈴木敏博 浅沼俊倫、竹元万壽美	98
4	微生物酵素を用いた新規黒茶様飲料の開発.....三宅健司、橘川義明、志田英士、渡瀬隆也、望月一男、鈴木敏博 浅沼俊倫、原 征彦	99
5	緑茶飲料の保存温度における香味の影響.....橘川義明、望月一男、渡瀬隆也、志田英志、三宅健司、鈴木敏博 浅沼俊倫、土肥慎吾、松田徳子	100

環境分野

I 報 告

1	オゾンを利用した小規模酪農用排水処理装置の開発（第1報） 一酪農排水に含まれる抗生物質のオゾン分解— .....岡本哲志、坂田訓章	32
---	--	----

II 研究ノート

1	シロップ液からのエネルギー回収システムの開発.....酒井 奨、増田直己、望月光明、杉本圭昭	83
---	--	----

III 抄 録

1	缶詰工場から排出されるシロップ廃液を利用したエネルギー回収システム.....酒井 奨	102
---	--	-----

光分野

I 報 告

1	レーザーマーキング繊維と微細マーキング技術の開発.....植田浩安、渥美博安、辻本 裕、徳村啓雨、實野孝久	161
2	レーザーによる金属と樹脂の接合.....山下清光、渥美博安、平井勤二、菅谷卓生	165

II 研究ノート

1	炭酸ガスレーザーによる樹脂表面への加熱処理の高度化（第1報） .....渥美博安、植田浩安	200
2	不透明なプラスチックにおける残留応力の可視化.....志智 亘、太田幸宏	202

Ⅲ 抄 録

1	フェムト秒レーザーを用いたレーザーピーンフォーミングによる薄板の曲げ加工	鷺坂芳弘、神谷真好、松田 稔、太田幸宏	93
2	フェムト秒レーザーを用いたレーザーピーンフォーミングによる薄板の曲げ加工	鷺坂芳弘	94
3	フェムト秒レーザによるダイレス曲げ加工 ーレーザーピーンフォーミングによる薄板曲げの曲げ精度向上ー	鷺坂芳弘	95

材料分野

Ⅰ 報 告

1	Al-15～21%Si合金の半熔融特性	岩澤 秀、菅野尚子、上久保佳則、高橋正詞、杉浦泰夫	1
2	水ぜい化を抑えた高強度ダクタイル鋳鉄の開発	岩澤 秀、松野正幸、名波 豊、佐藤央哉	5
3	アルミ合金鋳物の染色加工に関する研究(第1報) ー陽極酸化処理後の染色性を向上させる条件検討ー	綿野哲寛、疋田訓大、宮原鐘一	10
4	悪臭除去効果を有する消臭インジケータ色素の開発	伊藤 彰	15
5	アルミニウム合金ダイカスト上の陽極酸化皮膜形成技術の工業化に関する研究	田光伸也、吉岡正行	191
6	β 型チタン合金圧延材の機械的性質の異方性	菊池圭祐、伊藤芳典、植松俊明、片野 元	195

Ⅱ 研究ノート

1	アルミ合金鋳物の染色加工に関する研究(第2報) ー染色を施した陽極酸化皮膜の色彩評価ー	疋田訓大、綿野哲寛、宮原鐘一	60
2	赤外分光分析及び熱分析を用いたEVA成形品の評価	菅野尚子、田村克浩	62
3	金属加工部品の不具合事例について	菅野尚子、疋田訓大、綿野哲寛	65

4	金属材料・樹脂材料における不具合シミュレーションとデータ解析に関する研究（第1報） —皮膜性状に対するめっき前処理の効果—	吉岡正行、植松俊明、菊池圭祐	208
5	金属材料・樹脂材料における不具合シミュレーションとデータ解析に関する研究（第2報） —鉄鋼材料の破断面に及ぼす切欠き形状の影響—	植松俊明、菊池圭祐、吉岡正行、田光伸也	210
6	金属材料・樹脂材料における不具合シミュレーションとデータ解析に関する研究（第3報） —樹脂材料の紫外線劣化に関する解析・評価—	吉岡正行、植松俊明、菊池圭祐	212

Ⅲ 抄 録

1	水熱処理によるバイオマス＋プラスチック混合廃棄物の燃料化装置	清水達祥、木村 巖、佐古 猛、岡島いづみ、後藤敏晴、田村克浩、菅野尚子	92
2	Ti-6Al-4V合金射出成形材の機械的特性に及ぼす密度および酸素量の影響	三浦秀士、伊藤芳典、植松俊明、佐藤憲治	218
3	Ti-6Al-4V合金の高強度化へ向けて —粉末冶金からのアプローチ—	伊藤芳典	219

機械電子分野

I 報 告

1	光学特性に基づく天窓の室内照明シミュレーション	鈴木敬明、加藤俊文、小野巳吉、外山 勸	18
2	多孔質材料の吸音率予測モデルの研究 —圧縮したメラミンフォームの音響特性と物性パラメーター—	木野直樹	24
3	多孔質材料の吸音率予測モデルの研究 —圧縮したメラミンフォームの物性パラメータの予測—	木野直樹	28
4	単発・短周期騒音発生機器の信号解析とその低減に関する研究	竹居 翼、本多正計、飯塚千佳世	107
5	見守りセンサシートシステムの開発 —試作開発と介護施設での試験利用—	中山 洋、鈴木悠介	147

6	見守りセンサシートシステムの開発 —シート構造の検討— .....鈴木悠介、中山 洋	152
7	三次元測定機による幾何形状測定の精度評価.....北川剛弘、大澤洋文、柳原 亘	170
8	三次元測定機におけるSN比を用いた不確かさ評価について.....柳原 亘、北川剛弘、大澤洋文	176
9	T法を用いた工作機械の熱変位補正(第1報) .....大澤洋文、針幸達也、北川剛弘	181

II 研究ノート

1	工場用天窗のアジア新興国への普及検討 —ベトナムを例として— .....加藤俊文、鈴木敬明、外山 勸、小野巳吉	67
2	工作機械の熱変位予測について —グリススピンドルの伝熱解析— .....長津義之、鷺坂芳弘、船井 孝、鈴木敬明、加藤俊文、片山哲也、川津和司	71
3	アルミ冷間鍛造における環境対応型潤滑剤の性能評価(第1報) .....鷺坂芳弘、石橋 格、中村 保、笹岡英嗣、早川邦夫	73
4	軟質ポリウレタンフォームの力学的シミュレーションに関する研究.....船井 孝、鈴木敬明、中村佐紀子、横田秀夫、袴田恭正、前嶋文明	75
5	ネットワーク機能未搭載機器の遠隔監視に関する研究 —ZigBee無線モジュールを利用した遠隔監視システムの開発— .....長谷川和宏、神谷文吾、小柳雅弘、森口慎也	77
6	機械装置音の音質及び時間的变化に関する評価.....上野貴康	79
7	フィジカル・コンピューティング・プラットフォームを実務で利用する際に 留意すべき事項 —廉価な省力化支援簡易ロボット・システムの開発— .....望月建治、竹居 翼、本多正計、飯塚千佳世	123
8	シカ捕獲囲い込みワナのための自動閉鎖ゲートの製作(第2報) .....長谷川 茂	204
9	電波暗室の改修による特性の違いについて.....山田浩文、長谷川 茂	206

製紙分野

I 報 告

- 1 水熱処理によるPSリサイクルから発生する無機物を用いた紙の開発
.....深沢博之、村松重緒、堤 真一 129
- 2 製本用ホットメルト接着剤の紙リサイクル適性の向上
ーリサイクル適性評価試験における試験結果へ与える試験条件の影響ー
.....齊藤将人、深沢博之 134
- 3 再生紙の新たな品質評価手法の検討（第2報）
ーリサイクルに伴うパルプ繊維の変化ー
.....河部千香、齊藤将人、深沢博之 140

II 研究ノート

- 1 破裂試験におけるゴム隔膜について
.....堤 真一、深沢博之、村松重緒、齊藤将人、河部千香 157

繊維高分子材料分野

I 報 告

- 1 USITを用いた電界紡糸装置の問題解決
.....針幸達也、大澤洋文、北川剛弘 185

II 研究ノート

- 1 一方向繊維強化熱可塑性複合材料の高速成形技術の開発
.....鈴木重好 214
- 2 無製版プリントシステム（IJPS）による試作
.....田端孝光、鈴木一之、木下道廣 216

ユニバーサルデザイン・工芸分野

I 報 告

- 1 入浴用リフトの姿勢保持具について
.....小松 剛、易 強、多々良哲也、亀井 力、前嶋宏明、前嶋文明、秋山定則 37
- 2 開封しやすい豆腐パックの試作および人間工学評価
.....易 強、多々良哲也、鈴木敏治 41
- 3 木製品に適した非破壊検査法の開発
ー打音検査法の応用ー赤堀 篤、佐野禎彦、櫻川智史 47

- 4 木製品の設計・性能評価技術の高度化
ーツール設計における構造解析技術の応用の検討ー佐野禎彦、赤堀 篤 51
- 5 姿勢保持を目的とした介護用ポジショニングクッションの開発
.....櫻川智史、赤堀 篤、佐野禎彦 56
井木英之、木林身江子、天野ゆかり、秋山みゆき

II 研究ノート

- 1 シリコンゴム製「自立補助具・リハビリ用具」の開発(第2報)
.....多々良哲也、小松 剛、鴨下賢一、鈴木利明、植山みどり 86
- 2 屋外利用を目的とした木材の耐久性向上技術の開発
ー立木注入法を利用した木材への薬液注入の検討ー
.....鈴木光彰、赤堀 篤、櫻川智史、渡井 純、池田潔彦 88

III 抄 録

- 1 木炭の分子ふるい挙動を活用した空気質の改善
.....山下里恵、櫻川智史、松浦弘直、横山公哉 101

プロジェクト研究

1. 高齢者の自立を促進する医食工連携による誤嚥性肺炎の総合的予防(H20~H22)

I 抄 録

- 1 各種食品成分が口腔細菌種及び誤嚥性肺炎起因菌種の増殖に及ぼす影響
.....大川勝正、結城 茜、長澤 正、杉山直人 91

2. 高耐久性金型のための高度コーティング技術の開発(H21~H23)

I 報 告

- 1 ダイカスト金型に応用する高耐久コーティング技術の開発(第2報)
.....田中翔悟、高木 誠、真野 毅 125

II 抄 録

- 1 静岡県におけるコーティング技術開発の取組み
.....真野 毅、高木 誠、田中翔悟 159
- 2 ダイカスト金型を長寿命化するハードコーティング技術の開発
.....田中翔悟、高木 誠、真野 毅 160

REPORTS
OF THE
INDUSTRIAL RESEARCH INSTITUTE
OF SHIZUOKA PREFECTURE

静岡県工業技術研究所研究報告

静岡県工業技術研究所
静岡市葵区牧ヶ谷2078番地

INDUSTRIAL RESEARCH INSTITUTE OF SHIZUOKA PREFECTURE
2078 Makigaya, Aoi-ku, Shizuoka city, Shizuoka, 421-1298 Japan

Al-15～21%Si合金の半溶融特性

金属材料科 岩澤 秀 菅野尚子
株式会社浅沼技研 上久保佳則 高橋正詞 杉浦泰夫

Semi-solid properties of Al-15~21wt%Si alloys

Shigeru Iwasawa, Naoko Kanno, Yoshinori Kamikubo, Masashi Takahashi and Yasuo Sugiura

Semi-solid forming process offers excellent features with high quality and light weight of aluminum casting parts. In this work, we produced Al-15%Si, 18%Si and 21%Si casting alloys by semi-solid forming process. The macro-and micro structures, hardness and wear properties of each castings were investigated. Each alloys consists of primary Si particles and eutectic Al-Si phases. The volume fraction of primary Si particles increase with Si contents. The hardness of T6-treated alloys showed higher increase with Si contents. Wear test results indicate less wear loss of each hypereutectic Al-Si alloys specimens than those of hypoeutectic alloy specimens.

1. はじめに

硬いSi相が初晶として存在する過共晶Al-Si系合金は、耐摩耗性に優れ、低熱膨張率からエンジン部品、コンプレッサー部品をはじめとする各種機械部品に応用されている。過共晶合金では、初晶Si相の性状がその特性を大きく支配するものの、所望のSi粒径を得ること、特に高含有のSi合金では、溶解・鋳造温度が高く、溶湯の酸化、ピンホールが発生しやすいなど、安定した品質の鋳物を得ることが難しい。

ところで、高品質部材の製造方法として半溶融法が数年来研究・開発されており、一部実用化にまで至った。半溶融法に関しては、共晶化合物の微細化に起因する機械的性質の向上が達成される亜共晶組成合金において多くの報告があるものの過共晶組成のアルミニウム合金についての研究例は少ない。さらに、亜共晶組成では α -Al相を球状化するために、ビレットは電磁攪拌などの特別な処理を施されるが、初晶にSi相が晶出する過共晶合金では、そのような処理は不要と思われ、すなわち、円筒形状の容器に鋳造した状態のままビレットとして適用出来るものと考えられる。そこで本研究では、3種類にSi量を変化させた過共晶合金のビレットを作製し、それらを半溶融成形した鋳物の組織と特性を調べて、過共晶合金への半溶融成形法の適用の可能性を検討した。

2. 実験方法

試験に供した過共晶アルミニウム合金のSi量は、それぞれ15%Si、18%Siおよび21%Si合金の3種類とし、マトリックス相の強度増加を図るためにMgおよびCuをそれぞれ0.5%ならびに2%となるように成分調整した。溶解は、インゴット溶け落ち後、720℃で純MgおよびAl-50%Cu合金、750℃でSiを添加、さらに790℃でP含有量が100ppmとなるようにCu-10%Pを添加した。注湯温度は、15%Si合金で750℃、18%Siおよび21%Si合金では805℃として、室温の金型に鋳造して半溶融成形法に使用する直径100mmのビレットを得た。得られたビレットを高周波誘導加熱装置を用いて、半溶融温度まで加熱し、150℃の段付金型に成形速度260mm/s、成形圧力30MPaで加圧成形した。

半溶融成形のまま材および熱処理後の組織をそれぞれ光学顕微鏡観察し、初晶Si相の性状を調べた。硬さの測定は、マイクロビッカース硬度計およびブリネル硬度計を用いた。T6処理は505℃、6h溶体化後処理後、180℃、6hで人工時効を行った。摩耗試験は、半溶融成形のまま材およびT6処理材について幅20mm、長さ40mm、厚さ10mmの板状試験片を表面を耐水ペーパー#1000まで研磨し、大越式摩耗試験機を用いて、相手材SUP材（硬度Hv240）、摩耗速度1.98m/s、摩耗距離200mの条件で、負荷

【報告】

荷重を変えて同一試料にて3回試験し、減耗した摩擦耗量により評価した。また、熱膨張率測定器(ULVAC TFC-1000)を用いて室温から250℃までの熱膨張率を測定した。

3. 実験結果

3. 1 半溶融成形

表1に成形体の化学組成を示す。

表1 化学組成 (重量%)

合金	Si	Cu	Mg	Fe	Al
15%Si	14.5	4.1	0.8	0.7	Bal.
18%Si	16.9	4.4	0.8	0.7	Bal.
21%Si	21.7	3.7	0.7	0.7	Bal.

図1にビレットのマイクロ組織を示す。いずれも初晶Si粒子と共晶組織とから構成されており、Si含有量の高い程、板状に観察される初晶Si粒子量は増加する。これらのビレットを半溶融成形するためには、適切な半溶融温度を決める必要があるため、それぞれの合金について加熱曲線を採用した。この結果を図2に示す。いずれの合金も560℃直上付近で共晶の一部溶解に対する温度上昇の停滞が認められるが、その後、急激に温度が上昇する。この温度上昇は、固体から液体に相変態が終了したことによる。すなわち、液相線温度に対応する。液相線温度は、Si量の少ない15%合金では、約570℃、18%Siおよび21%Si合金では、約565℃と低Si合金の方が若干高い。図3には21%Si合金の温度による組織変化を示した。温度の上昇に伴い、共晶溶解により液相部分が増加する。初晶Si粒子は、566℃で溶解し始めることで、

大きさは小さくなる。液相が増えるとビレットが自立出来ず、成形時のハンドリングが困難となるため、組織と成形工程のし易さから、半溶融成形温度は、15%Si合金では562℃、18%Siおよび21%Si合金では560℃とした。

半溶融成形したままのマイクロ組織を図4に示す。いずれの合金も板状の初晶Si粒子と微細な共晶組織が観察された。Si量の多ほど、初晶Si粒子量が多く、また、Si粒子の大きさは、15%Si、18%Siおよび21%Si合金でそれぞれ31μm、36μmならびに49μmであった。

図5および図6には、半溶融成形したまま材(as-cast)の試料ならびにT6材のEPMA分析結果を示す。半溶融成形したままでは、強度向上させる目的で添加したCuおよびMgの濃縮が認められ、これら溶質元素を含んだ金属間化合物相が晶出している。一方、T6処理材では、溶体化処理によりCuおよびMgの一部は、母相内に拡散固溶するために、濃縮は少なくなる。すなわち、T6材では、CuおよびMgに起因する時効析出により、強度向上がする。

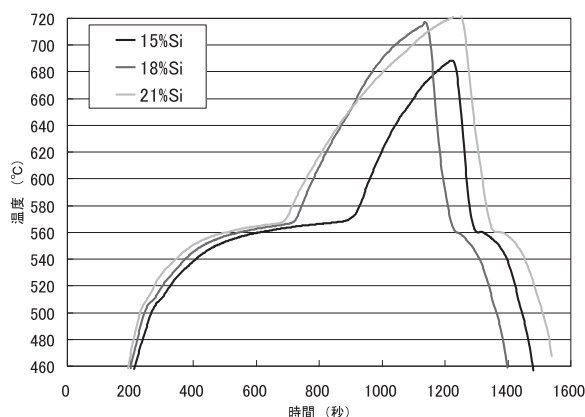


図2 加熱曲線

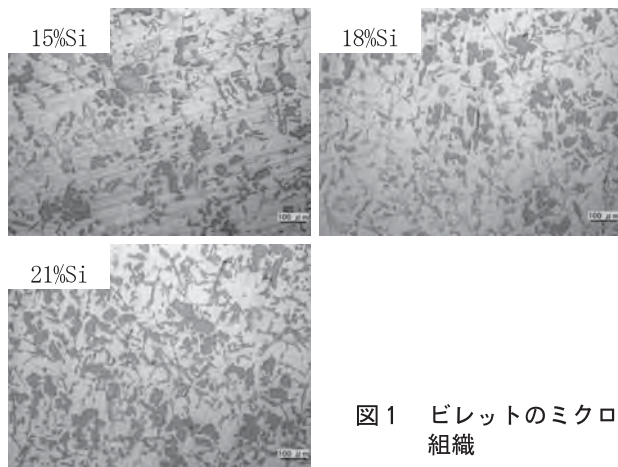


図1 ビレットのマイクロ組織

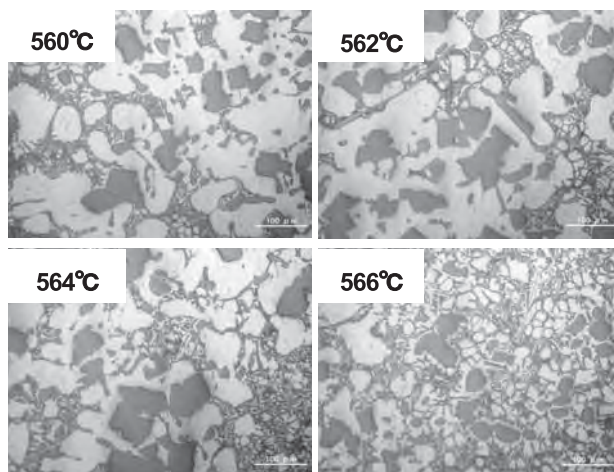


図3 21%Si合金の温度と組織の関係

【報告】

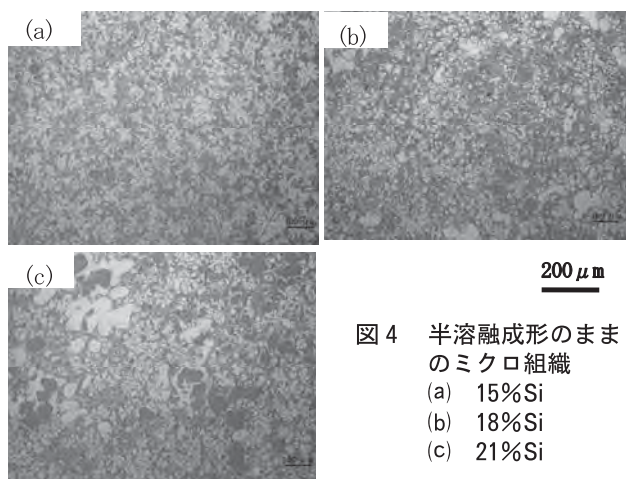


図4 半溶融成形のままのミクロ組織
(a) 15%Si
(b) 18%Si
(c) 21%Si

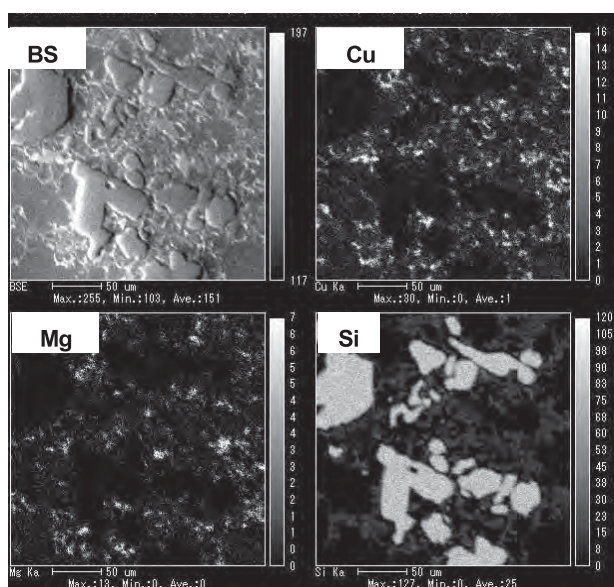


図5 半溶融成形したままのEPMA分析結果

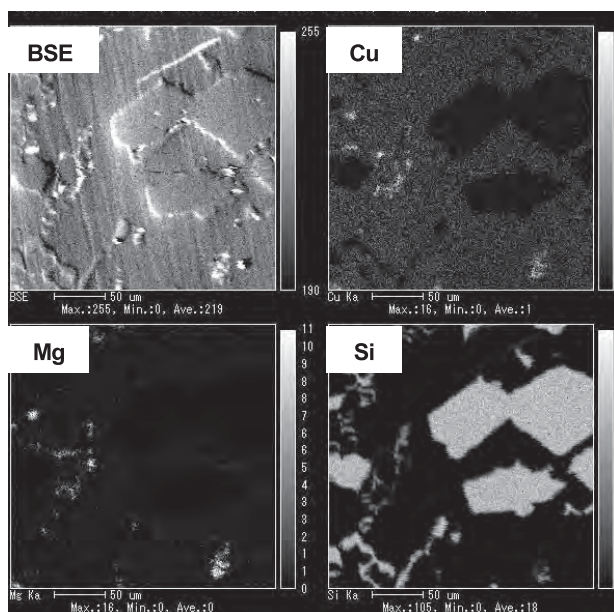


図6 T6材のEPMA分析結果

3. 2 硬さ、摩耗特性および熱的特性

図7に半溶融成形したまま材の硬さおよび摩耗試験結果を亜共晶合金357 (Al- 7 %Si-0.6%Mg) およびAC2B (Al- 6 %Si- 3 %Cu-0.5%Mg) と比較した。ブリネル硬さでは、亜共晶合金に比べて初晶にSi粒子が晶出する過共晶合金の方が、硬い。しかし、15%Si~21%Si合金では、硬さはほとんど変わらない。母相の硬さを測定したマイクロビッカース硬さにおいても、同様の傾向を示した。このことは、母相の硬さも亜共晶合金に比べて過共晶合金の方が、硬いことを示している。摩耗試験結果では、いずれの合金も負荷荷重が大きくなると、摩耗減量は増加する。亜共晶合金に比べて、過共晶合金は、いずれの条件でも摩耗減量は少なく、良好な摩耗特性を示した。これは、硬い初晶Si粒子が、晶出しているためである。また、初晶Si粒子の体積が多いほど、摩耗減量が少なく、21%Si合金が最も耐摩耗性が良かった。T6材では、時効析出により母相が硬化し、硬さ値は向上する。過共晶合金では、母相の硬さはほとんど変わらないが、ブリネル硬さは、幾分硬さの増加が認められた。マイクロビッカースにより測定した母相の硬さは、時効析出によるものであり、初晶Si粒子量に依存しないためである。ブリネル硬さは、初晶Si粒子を含めた硬さを示しているため、初晶Si粒子の多い21%Si合金で、最も高いブリネル硬さ値を示した。摩耗特性も半溶融成形のまま材と同様にSi量が多くなるにつれて、摩耗減量は少ない。初晶Si粒子量の多い21%Si合金で、最も良好な摩耗特性を示した。

図9および図10に半溶融成形した母材とT6材の摩耗面の横断面のミクロ組織を示す。半溶融成形の母材では、いずれの合金とも摩耗面近傍は、塑性流動により変形した痕跡が認められる。一方、T6材では、母相の変形はあまり認められないが、初晶Si粒子自体の割れが観察される。これは、時効析出により母相が強化され、そのためSi粒子と母相界面の応力集中による変形荷重が強まったためと考えられる。いずれも過共晶合金では、初晶Si粒子が摩耗面の表面に存在しており、これらの硬い初晶Si粒子が、相手材との摩耗を防いでおり、特に初晶Si粒子の多

い21%Si合金の摩耗特性が多いのは、これら初晶Si粒子の数が多いからと考えられる。

図11に熱膨張率測定結果を示す。半溶融成形のまま材およびT 6 材ともにSi量の増加に伴い、熱膨張率は小さくなる。特にT 6 処理した21%Si合金の熱膨張率は、 $19.5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ となり、亜共晶合金AC4CH (Al- 7 %Si-0.4%Mg) に比べて約14%小さくなった。

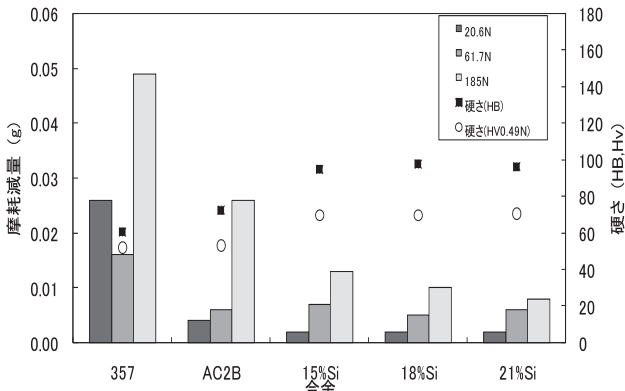


図7 半溶融成形したまま材の硬さおよび摩耗試験結果

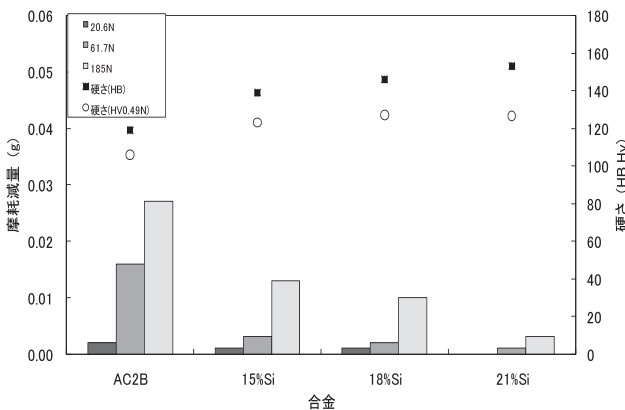


図8 T 6 材の硬さおよび摩耗試験結果

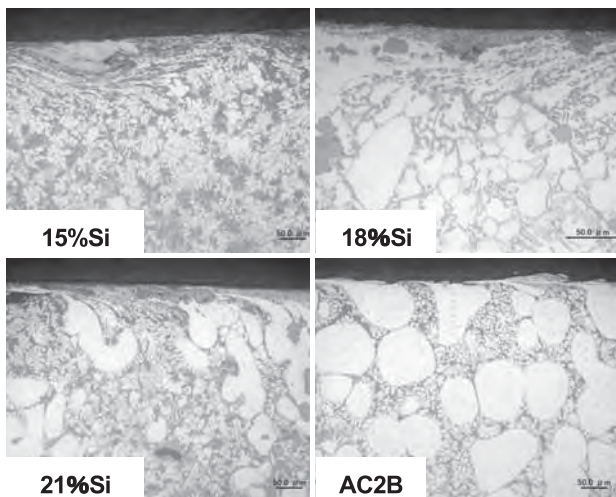


図9 半溶融成形のまま材の摩耗組織

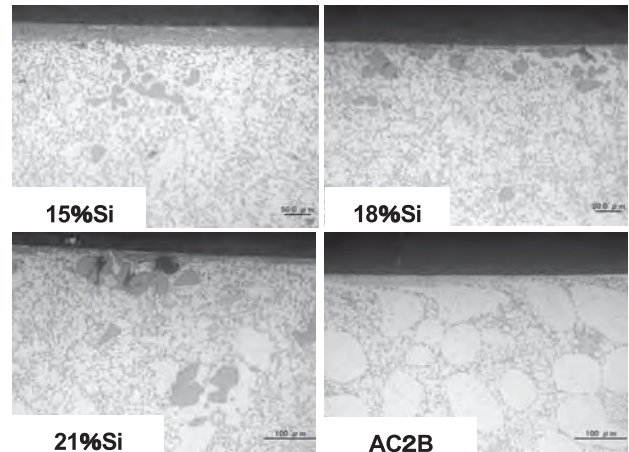


図10 T 6 材の摩耗組織

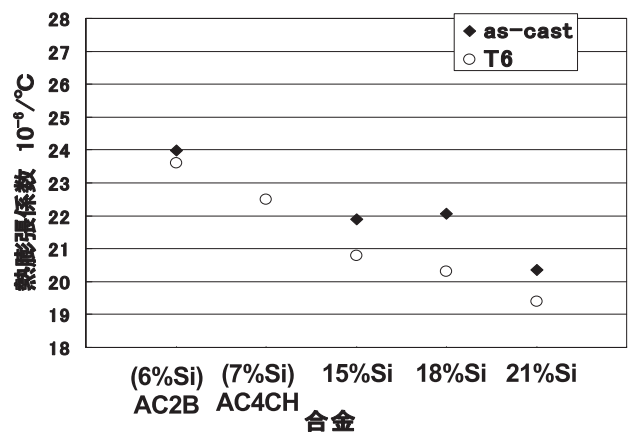


図11 熱膨張率測定結果

4. まとめ

本研究では、耐摩耗性の優れた過共晶合金の半溶融成形プロセスの可能性について調べた。結果を要約する。

- (1) 初晶Si粒子の大きさを $50 \mu\text{m}$ 程度に制御したビレットを作製し、半溶融成形出来ることがわかった。
- (2) Si量の増加とともに硬さおよび摩耗特性は向上した。
- (3) Si量の増加とともに熱膨張率は小さくなった。

以上のことから、半溶融成形法を用いて過共晶Al-Si合金における初晶Si粒子径を制御することが可能であり、硬度および耐摩耗性を向上させた合金材を提供できる可能性があることを確認した。

水ぜい化を抑えた高強度ダクタイル鋳鉄の開発

金属材料科

岩澤 秀 松野正幸*

株式会社今泉鋳造鉄工所

名波 豊 佐藤央哉

Development of high strength ductile cast iron saving water embrittlement

Shigeru Iwasawa, Masayuki Matsuno, Yutaka Nanami and Hisaya Satoh

Austempered ductile cast iron possesses superior strength with good ductility, and is used for many applications in automotive and general machine industry. However, ADI has been found to suffer from so-called water embrittlement effect, which cause in decrease in tensile strength and elongation in tensile load in contact with water. In this study, effects of raw materials and solidification structure in water embrittlement behavior of ADI were investigated. As a results, under the condition of wetting with water compared with the values under the dry condition, the ultimate tensile strength and elongation is decreased to about 10-20% and 20-30% respectively. A white spot region regarded as starting point of the fracture was formed on the fracture surface which shows brittle fracture tested in contact with water.

1. はじめに

ダクタイル鋳鉄は鋼に近い機械的性質（強度と伸び）を持ちながら少ない機械加工で素材の最終形状を得られる利点があるので、自動車部品や機械部材に多く用いられている。しかし最近、高強度ダクタイル鋳鉄では微量の水分付着によって強度と伸びが20～30%低下して脆くなる性質（水ぜい性）の存在が明らかになった。油やペンキ等の表面塗布で水気を遮断して防止することは可能であるが、あくまでもこれら塗膜が損傷していないことが前提である。そのために、水ぜい性の心配をしなくてよいダクタイル鋳鉄を、安定して製造できる技術開発が必要である。本研究では、まず水ぜい性の基本的な症状を理解し、水ぜい性を抑制出来る様な現場的な解決方法の足掛かりとする。

2. 実験方法

2. 1 溶解

表1に各鋳物の分析結果を示す。高周波誘導加熱装置にて、各鋳物の鋳造を行った。高純度鋳鉄には、新日本製鐵製DUCS-2Y、スクラップ及び戻り材は、今泉鋳造鉄工所製のものを使用した。目標組成とな

るように溶解材料を黒鉛るつぽに入れ、高周波加熱した。所定の温度に達した後、Fe-Si（ニューアロイ社製）、Fe-Mn（大鉄製）を添加した。球状化材（ニューアロイ社製）及びシリベスト（ニューアロイ社製）並びに銅を取鍋にセットし、溶解炉から溶湯を取鍋に移した。なお、H2-1、2には、黒鉛微細化材を添加した。溶解材料の予熱の効果を検討するために、それぞれ予熱有と無しの材料を用いた。予熱温度は、約250℃とし、約1時間放置した。所定の温度で、Yブロック形状の各鋳型に注湯した。鋳型は室温とした。

2. 2 組織観察、機械試験

得られた各鋳物についてマイクロ組織観察を行った。Yブロックから切り出した試料を樹脂埋めし、耐水ペーパー#1000まで粗研磨を行った後、ダイヤモンド砥粒を吹き付けながらバフ研磨して鏡面とした。腐食液は、3%ナイトール（3%硝酸と97%エタノールの混合液）を用いた。硬さ試験は、ブリネル硬度計および基地組織の硬さ測定には、マイクロビッカース硬度計を使用した。水ぜい性を確認するために引張試験を行った。各鋳物は、オーステンパー処理することで基地組織をベイナイト組織とした。引張試

*) 現 沼津工業技術支援センター

験は、油圧式万能材料試験機（JTトーシ㈱製AY－500S）を用いた。

3. 実験結果

3. 1 組織観察結果

図1に鑄放し材のミクロ組織写真を示す。いずれも黒鉛形状は、球状化しており、マトリックスは、フェライト及びパーライト基地となっている。H1－1、2及びH3－1、2では、ブルズアイ組織を呈していた。黒鉛形状を小さくしたH2－1、2では、他のものに比べて黒鉛が小さく晶出していた。特に冷却速度の速いH2－2では、基地は、ほとんどフェライト組織であり、黒鉛は小さく晶出した。予熱の有無によるミクロ組織の差異は、ほとんど認められなかった。また、高純度材とスクラップおよび戻り材の混合においてもミクロ組織の違いは明確ではない。

3. 2 硬さ測定

表2には、鑄放し材の硬さ測定結果を示す。ブリネル硬さでは、H2－2、H3－1以外で、HB150以上であった。基地の硬さを測定したビッカース硬さでは、ブリネル硬さと同様な傾向を示した。図1のミクロ組織と対比させると、基地組織にパーライトが多く分布している方が、硬くなる傾向にあった。特に軟らかいフェライト組織の面積が多いH2－1およびH2－2は、低いビッカース硬さを示す。

表2 硬さ測定結果

合金	ブリネル硬さ HB10/3000	ビッカース硬さ HV0.1
H1－1	156	205
H1－2	152	209
H2－1	155	166
H2－2	144	181
H3－1	137	188
H3－2	177	216

3. 3 引張試験

水ぜい性を確認するために引張試験を行った。各鑄物は、オーステンパー処理することで基地組織をベイナイト組織とした。引張試験は、油圧式万能材料試験機（JTトーシ㈱製AY－500S）を用いた。水ぜい化を起こさせるために、紙タオルを試験片平行部に巻きつけ、それに水を滲み込ませ、紙タオルが剥がれ落ちないようにテープで止めた。水を付着

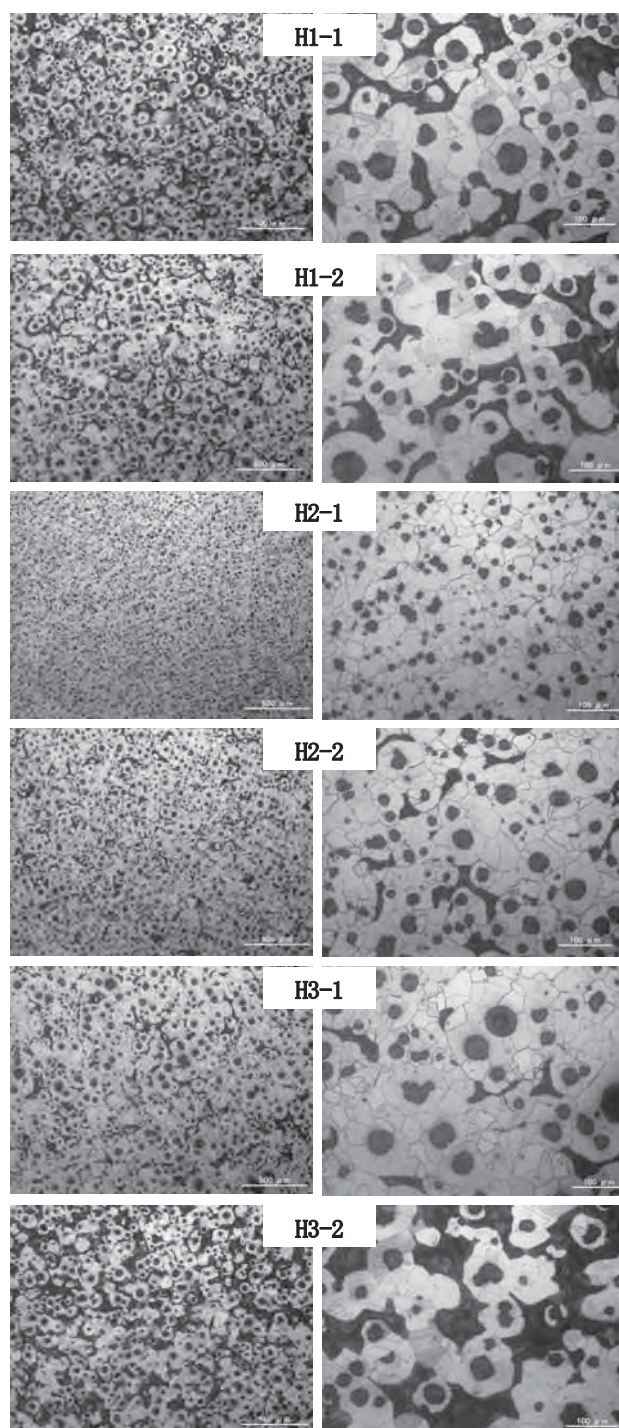


図1 鑄放し材のミクロ組織

【報告】

させてから試験開始まで、およそ5分とした。図2に水を付着させた試験片外観及び引張試験の概要を示す。

水付着無し及び付着有りの引張試験結果を図3並びに図4にそれぞれ示す。図3の水付着無しの引張試験結果では、いずれの鋳物も引張強さは、 $1100\text{N}/\text{mm}^2$ 以上であり、伸びは、高純度銑鉄を使用したものは、12%以上となった。金型に鋳込んだH2-1では、欠陥が認められた。黒鉛を小さくしたH2-2では、引張強さは若干低いものの、伸びは最も大きい。スクラップ及び戻り材を使用した鋳物の伸びは、8%~10%と幾分低い値となった。

図4に示すように水を付着させた鋳物では、欠陥のあったH2-1以外で、顕著なぜい化が認められた。すなわち、水ぜい化が生じたと言える。特に伸びの低下が著しい。スクラップ及び戻り材の使用に比べて、高純度銑鉄材は、幾分伸びは高く、高純度銑鉄を用いることで若干ではあるが、水ぜい化が抑えられるものと思われる。金型に鋳込み、黒鉛を微細晶出させたH2-1では、伸びは、6%となり、黒鉛の微細化は水ぜい化の抑制に有効な手段であると考えられる。

図5に水付着有無の引張破断後の破面写真をそれぞれ示す。水を付着させ、水ぜい化が生じた全ての試験片の破面では、試験片外周の一部に白い部分が認められた。図中水付着の写真内に○で囲ってある部分。マクロ観察では、平坦となっており、ここから破壊の起点となっているものと考えられる。すなわち水ぜい化は、水と接触している試験片外周部から亀裂が発生、内部への伝播していくものと考えられる。白い部分は、スクラップ及び戻り材を用いた伸びの小さいH3-1、2が大きくなっていた。黒鉛が小さいH2-1においては、黒鉛と基地組織界面における応力集中が最も小さく、進展する亀裂の伝播の抵抗になるために、水ぜい化が最も鈍感であったものと思われる。図6には、引張破面のSEM写真を示す。写真は、図5において水付着無しでは試験片端部、水付着では白く観察された部分である。いずれも水付着無しでは、破面にはディンプルが観察されており、延性破壊の様相を呈している。一方、

水付着では、いずれもディンプルが観察されず、へき開面が観察され、ぜい性破壊が生じたことを示している。このことから、図5において白く観察された部分は、ぜい性破面であり、水付着により何らかの要因により、延性破壊からぜい性破壊に移向したものと考えられた。

4. まとめ

様々な溶製条件で作製したYブロック鋳物の水ぜい性に及ぼす諸因子の影響を調べた。

- 1) 得られた鋳物の鋳放し材の組織は、球状の黒鉛と基地組織から構成されており、金型に鋳込んだ冷却速度の速い鋳物組織は、微細な球状黒鉛とフェライト組織となっていた。砂型に鋳込んだ鋳物では、基地組織はブルズアイ組織を呈していた。
- 2) 硬さ測定結果では、基地組織にパーライトの占有率が多いほど、高い硬さ値を示した。
- 3) 引張試験結果では、高純度銑鉄を使用した鋳物の方が、スクラップと戻り材を使用したものより引張特性が優れた。
- 4) いずれの合金も水ぜい化を示した。水ぜい化による伸びの低下は、高純度銑鉄を使用した鋳物の方が、スクラップと戻り材を使用したものより小さかった。また黒鉛粒の小さい鋳物の方が、伸びの低下は小さい。
- 5) 水ぜい化が生じた試験片の表面近傍には、白い部分が観察された。その部分は、ぜい性破壊の様相を呈した。

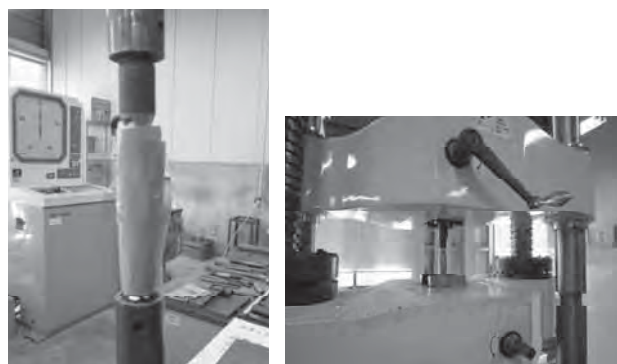


図2 試験片外観及び引張試験の概要

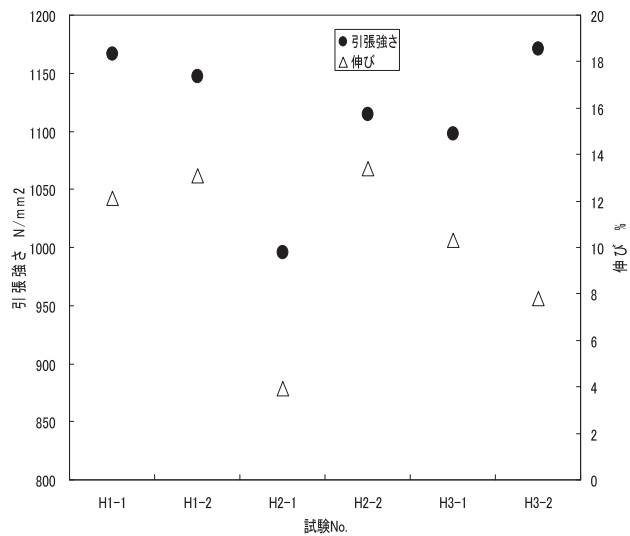


図3 引張試験結果（水付着無し）

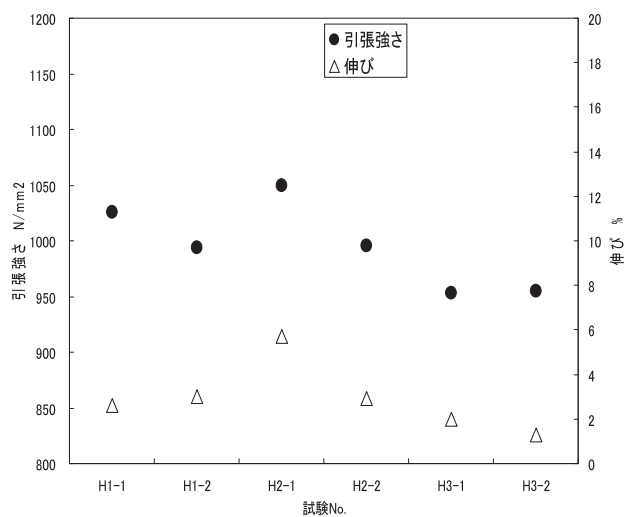


図4 引張試験結果（水付着）

表1 鋳物の化学分析結果（重量%）

	H1-1	H1-2	H2-1	H2-2	H3-1	H3-2
鋳型	砂型	砂型	金型	砂型	砂型	砂型
原料	高純度 銑鉄	高純度 銑鉄	高純度 銑鉄	高純度 銑鉄	スクラ ップ+戻 り材	スクラ ップ+戻 り材
予熱	無	有	有	無	有	無
C	3.33	3.32	2.81	2.81	2.49	2.37
Si	2.44	2.45	2.65	2.65	3.06	2.94
Mn	0.39	0.41	0.41	0.41	0.23	0.48
Cu	0.20	0.19	0.20	0.20	0.24	0.24
Mg	0.03	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05
Fe	残	残	残	残	残	残

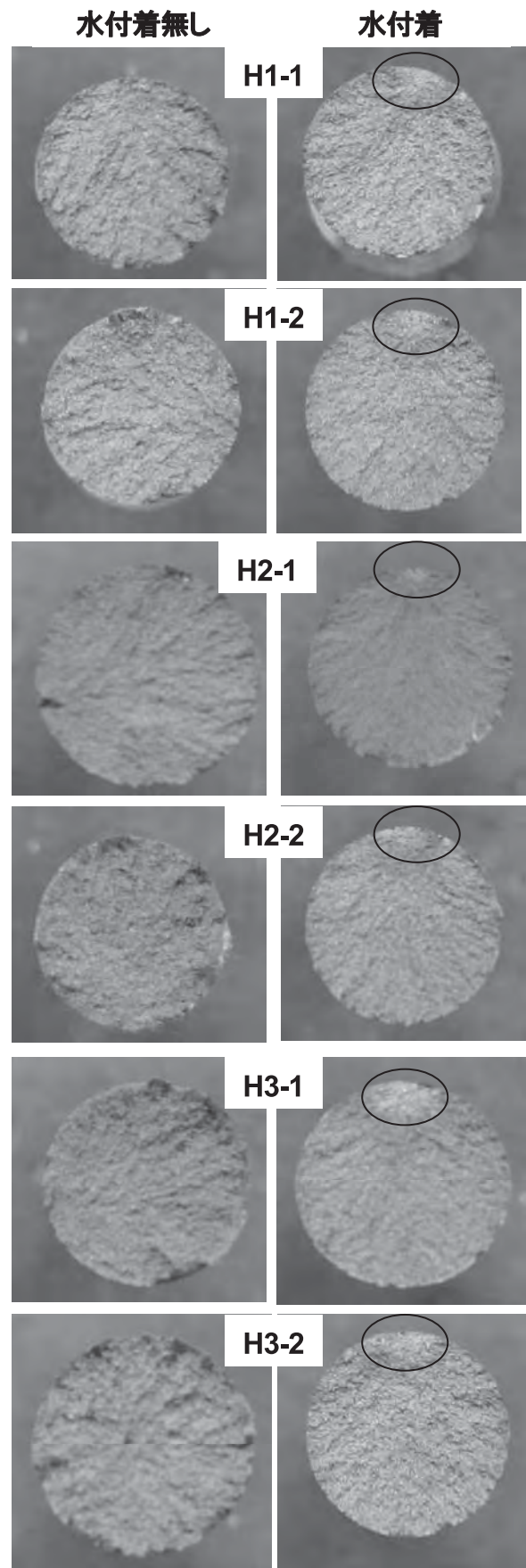


図5 引張試験後の破面

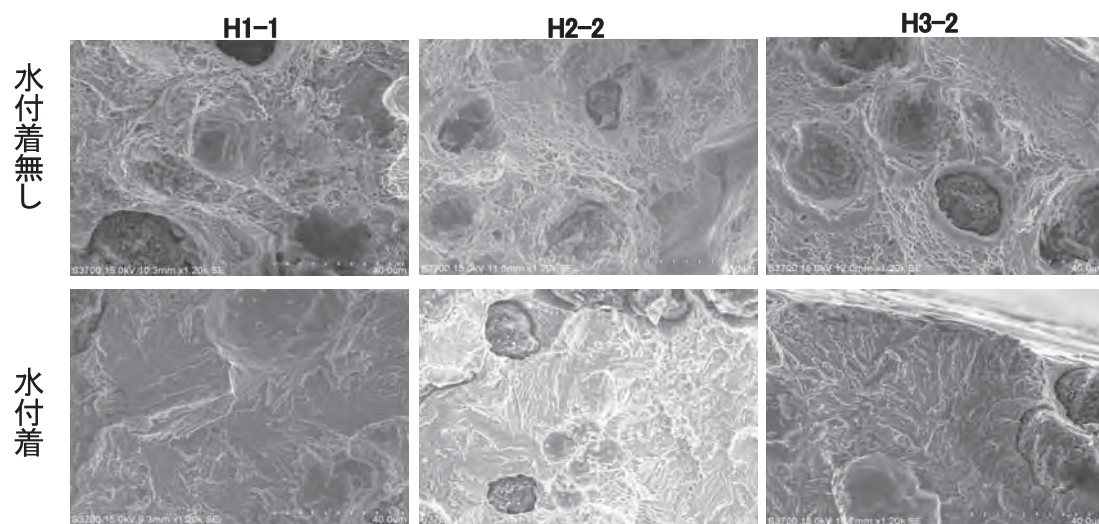


図 6 引張破面のSEM写真

アルミ合金鋳物の染色加工に関する研究 (第1報)

— 陽極酸化処理後の染色性を向上させる条件検討 —

金属材料科 綿野哲寛 疋田訓大 宮原鐘一*

Study on Anodic Oxidation Treatment of Aluminium Alloy Casting With Dyeing (1st report)

— The research to improve the external appearance of anodic oxidation coatings —

Tetsuhiro Watano, Tokihiro Hikida and Shoichi Miyahara

Almost all of the aluminium alloy parts for automobile and motorcycle are fabricated by Aluminium alloy casting of AC4CH. AC4CH shows excellent properties of lightweight, recycling and productivity. Some of them are treated with anodic oxidation to improve the properties of corrosion resistance, hardness and toughness. But it is difficult for AC4CH to make the film of anodic oxidation treatment more beautiful because there are a lot of Si particles and Cu on the surface of AC4CH. If it is given the ways to improve the external appearance of the film, the market of the anodic oxidation treatment is expanded largely. This research is investigated the ways to improve the problems and it will be found that pretreatment, heat treatment of AC4CH and electrolysis condition of anodic oxidation treatment suitable for the anodic oxidation treatment of AC4CH. As a result, the film of anodic oxidation treatment will be more beautiful.

1. 緒言

自動車の低燃費化の要求が高まっている中、鋳造業界ではアルミ合金鋳物の高品質化、軽量化、ネットシェイプ化および低コスト化を実現する製造法の開発が求められている。

県内中小企業等においても、上述の要求に即した商品開発が盛んであり、アルミ合金系の構造部材の開発が進められている。

従来の鋳造技術で成形されたアルミ合金については、一般に陽極酸化処理後の染色性が悪く外観部品としては利用されていない。

そこで、陽極酸化処理後の染色方法を最適化することができれば、機械的強度及び意匠性の高い外観部品として更なる用途拡大及び商品展開が実現できる可能性がある。

本研究では、アルミ合金系構造部材の外観を改善する陽極酸化処理後の染色性を向上させる前処理、陽極酸化処理条件について検討した。

また、本実験で作成した染色加工品の色彩評価についてはアルミ合金鋳物の染色加工に関する研究(第2報)で報告する。

2. 実験方法

2. 1 試料

アルミ合金鋳物の材質については、汎用性の高いAC4CH (Si:6.5~7.5%,Cu:0.1以下,Mg:0.25~0.45)を選定した。

AC4CHを縦30mm×横20mm×厚さ5mmに切断機を用いて切り出し、サンドペーパーで表面研磨したものを試料として用いた。

2. 2 陽極酸化処理の前処理条件

下記のような前処理を行った。

①研究協力めっき事業者で行っている前処理

②ベーマイト処理 (0.2%NH₃aq, 90℃) → ベーマイト皮膜剥離 (0.9mol/lNaOHaq, 70℃, 4 min) → 水洗 → 研究協力めっき事業者で行っている前処理

③ダブルアルマイト処理 (15%H₂SO₄aq, 印加電圧10V, rt) → 陽極酸化皮膜剥離 (0.9mol/lNaOHaq, 70℃, 4 min) → 水洗 → 研究協力めっき事業者で行っている前処理

④200℃熱処理 → 自然空冷 → 研究協力めっき事業者で行っている前処理

*) 現 浜松工業技術支援センター 光科

【報告】

2. 3 陽極酸化及び後処理条件

陽極酸化処理、染色については、研究協力めっき事業者の連続式ラインで処理を行った。

陽極酸化処理条件は表1のとおりである。

表1の処理条件Ⅰは3. 2 ベーマイト処理、3. 3 ダブルアルマイト処理、3. 4 熱処理で、処理条件Ⅱは3. 5 陽極酸化処理の電解条件である。

染色については奥野製薬工業株式会社の黒色有機染料で染色後、酢酸ニッケル系封孔処理剤を使用して封孔処理を行った。

表1 陽極酸化条件

電解条件	処理条件Ⅰ	処理条件Ⅱ
電解浴	硫酸15wt%	硫酸15wt%
電解法	定電圧電解（直流）15V	定電圧電解（直流）70V
陰極材	鉛	鉛
極間距離	40mm	40mm
電解時間	60min	30min

2. 4 皮膜の評価

陽極酸化皮膜の評価は、試料を樹脂包埋後、鏡面研磨し、金属顕微鏡による顕微鏡断面測定法でそれぞれ任意に10箇所ずつ計測し、平均膜厚、膜厚のばらつき（標準偏差）を算出した。

また、皮膜の耐食性を評価するため中性塩水噴霧試験を行った。

3. 結果

3. 1 2. 2 前処理①の現状

研究協力めっき事業者で行っている前処理①の陽極酸化皮膜膜厚、膜厚のばらつき（標準偏差）について表2に示す。

表2 陽極酸化皮膜の膜厚及びばらつき

前処理①	膜厚（ μm ）	ばらつき（標準偏差）
測定結果	12.32	4.46

アルミ合金鋳物AC4CHの陽極酸化処理後の染色性を向上させるためには陽極酸化皮膜の膜厚が厚く、ばらつき（標準偏差）が少なくなるような処理条件

を検討する必要がある。しかし、アルミ合金鋳物AC4CHには陽極酸化処理性を低下させるSiやCuなどの添加元素が多く含有している。また、アルミ合金鋳物の表層には、鋳造時に内部箇所比べて急速に冷却凝固するため不純物などが偏析しやすい。

そのため、陽極酸化処理を行う前に不純物を多く含む偏析層を十分に除去する必要がある。

そこで、2. 2の前処理①と比較して3. 2 ベーマイト処理、3. 3 ダブルアルマイト処理、3. 4 熱処理、3. 5 陽極酸化電解条件の各処理による効果について検証した。

3. 2 ベーマイト処理による効果

2. 1で調整した試料を90℃の0.2% NH_3 水溶液中で15min、30min、60min、90min、120min煮沸させた。

各処理後の陽極酸化皮膜の膜厚及びばらつき（標準偏差）について図1に示す。

表2と比較すると90℃の0.2% NH_3 水溶液中で15min煮沸するベーマイト処理が陽極酸化皮膜の成膜効率向上に効果があることが分かった。

また、酸化皮膜のばらつき（標準偏差）については、ベーマイト処理の効果が見られなかった。

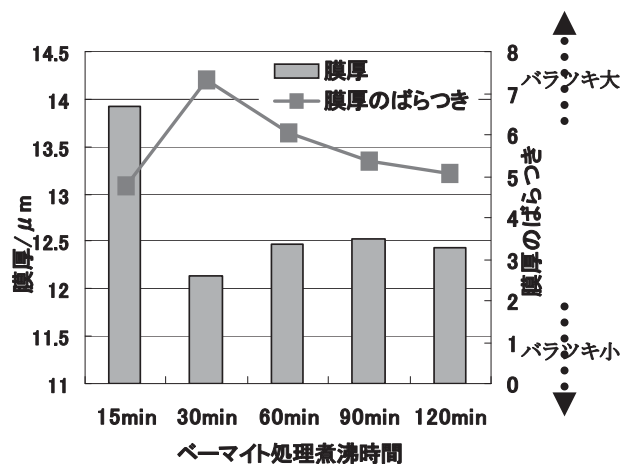


図1 陽極酸化皮膜の膜厚及びばらつきについて

3. 3 ダブルアルマイト処理による効果

15%硫酸浴、室温、印加電圧10V、印加時間（10s、30s、60s、180s、300s）でダブルアルマイト処理を施した。各処理後の陽極酸化皮膜の膜厚及びばらつき（標準偏差）について図2に示す。

表2と比較すると15%硫酸浴、室温、印加電圧

【報告】

10V、印加時間180sでのダブルアルマイト処理が陽極酸化皮膜の成膜効率向上に効果があった。

また、酸化皮膜のばらつき（標準偏差）については、大きな変化は見られなかった。

ダブルアルマイト処理時間が長ければ長いほど、アルミ合金鋳物表層の偏析層除去に効果的に作用し、陽極酸化皮膜の成膜効率が向上すると考えていたが図2からはそのような結果が得られなかった。

今後は印加電圧と印加時間について更に検討する。

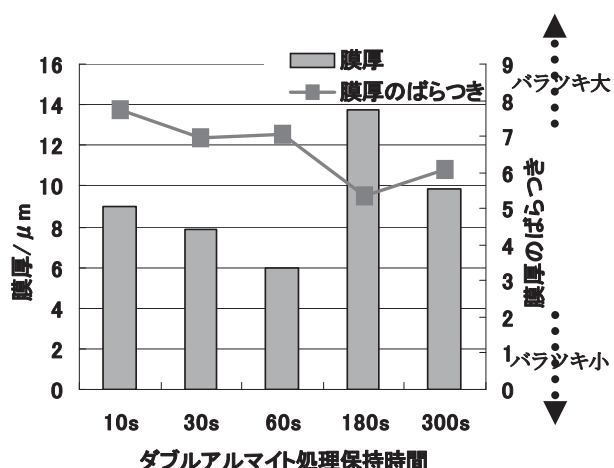


図2 陽極酸化皮膜の膜厚及びばらつきについて

3. 4 熱処理による効果

前報「アルミニウムダイカスト合金上の陽極酸化皮膜形成技術の開発」では、アルミダイカスト合金ADC12を450℃、180minで溶体化処理をすると不導部分のSi粒子が微細に再析出するため効率的に電荷供給が行われ陽極酸化皮膜の成膜効率が向上すると報告した。

本報告では、アルミニウムの溶体化処理温度よりも低い200℃で試料を30min、120min、240min、300min、480min熱処理した後、電気炉から取り出し自然空冷させた。各処理後の陽極酸化皮膜の膜厚及びばらつき（標準偏差）について図3に示す。

表2と比較すると陽極酸化皮膜の成膜効率及びばらつき（標準偏差）の向上は特に見られなかった。

また、金属組織においても熱処理前後の変化は観察されなかった。

熱処理による陽極酸化皮膜の硬さについて図4に示す。ADC12の溶体化処理（450℃、180min 水焼入れ）では陽極酸化皮膜の硬さが飛躍的に向上した

が、200℃による熱処理では、陽極酸化皮膜の硬さが、30minから120minにかけて軟化し、それ以降は時間の経過と共に熱処理無しの硬さに徐々に戻る結果となった。

成形時に出来たアルミ合金鋳物のひずみが、200℃熱処理を行うことで緩和され、AC4CH素材が軟化した影響で陽極酸化皮膜の硬さも低下していると考えられる。

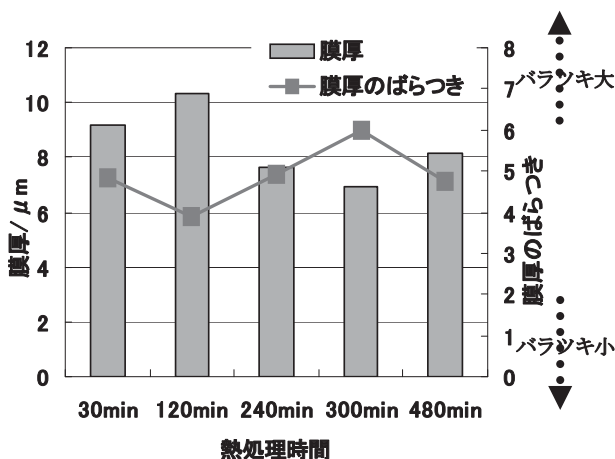


図3 陽極酸化皮膜の膜厚及びばらつきについて

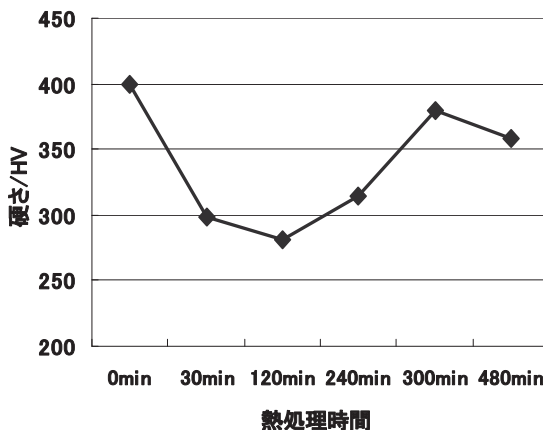


図4 陽極酸化皮膜の膜厚及びばらつきについて

3. 5 陽極酸化条件の検討

表1の処理条件Ⅱを検討した。陽極酸化処理の前処理条件は、2. 2の前処理①で行った。

試料のばらつきを把握するために同じ処理条件で5試料作成した。図5に金属顕微鏡による断面写真を示す。図6に陽極酸化皮膜の膜厚及びばらつき（標準偏差）について示す。図7に陽極酸化皮膜の硬さについて示す。

図5より陽極酸化皮膜に多くの亀裂が観察される。

印加電圧が高く、処理時間もかなり長かったため、生成した陽極酸化皮膜が溶解したと考えられる。

また、皮膜の硬さについては、試料によりかなりのばらつきが生じた。

酸化皮膜の亀裂が発生しないような陽極酸化電解条件を検討することで酸化皮膜膜厚、ばらつき（標準偏差）、硬さに今後良い結果が得られる可能性があるため、印加電圧、印加時間について検討する。

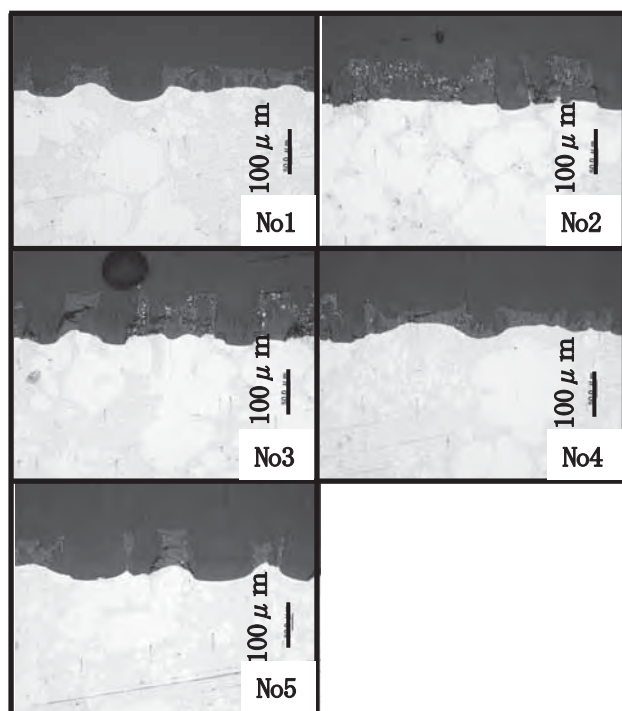


図5 印加電圧70Vの陽極酸化皮膜断面写真

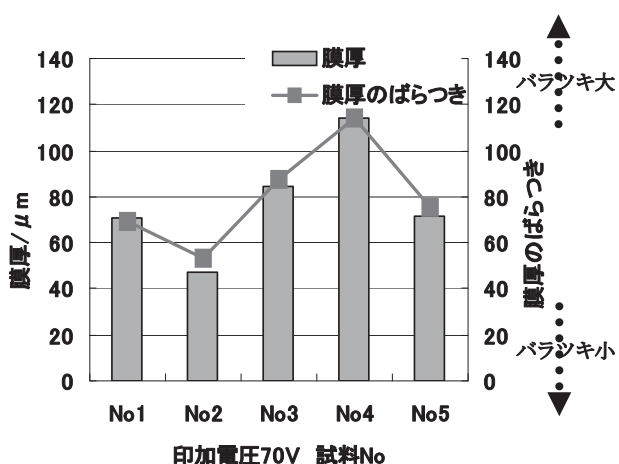


図6 陽極酸化皮膜の膜厚及びばらつきについて

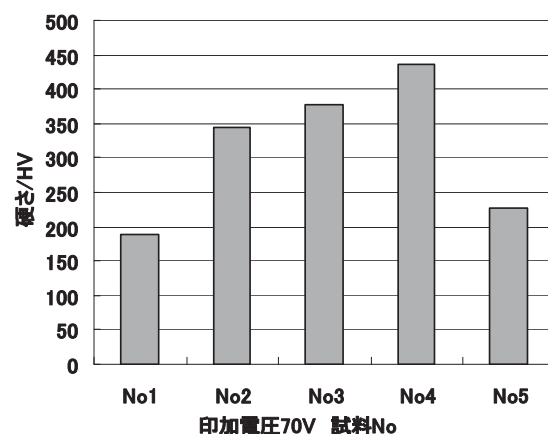
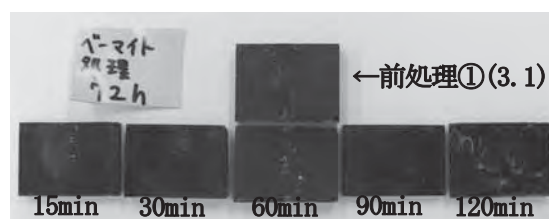


図7 陽極酸化皮膜の硬さについて

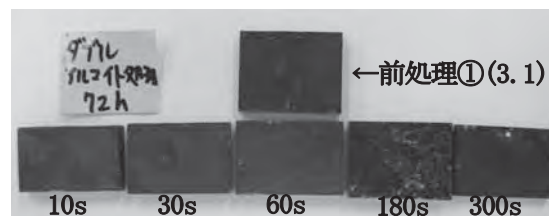
3. 6 耐食性評価

3. 1～3. 5で作製した試料をJIS Z 2371に準拠し塩水噴霧試験を行った。

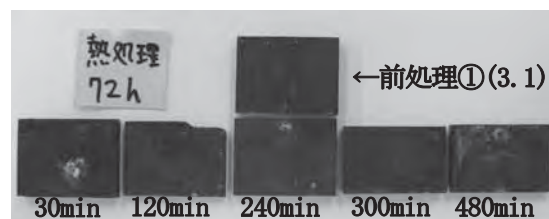
72時間噴霧後の外観写真を図8に示す。



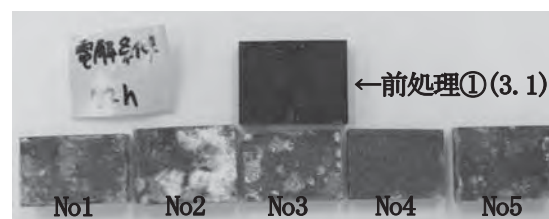
ベーマイト処理(煮沸時間)による耐食性(3.2)



ダブルアルマイト処理(印加時間)による耐食性(3.3)



熱処理(保持時間)による耐食性(3.4)



陽極酸化条件(印加電圧70V)による耐食性(3.5)

図8 塩水噴霧試験72時間噴霧後の外観写真

【報告】

陽極酸化処理皮膜の耐食性試験を実施すると未封孔の箇所や酸化皮膜の欠陥箇所から優先的に腐食が進行する。

3. 5で作成した試料は、図5から分かるように酸化皮膜に多くの欠陥があるために特に腐食が激しい。

また、3. 4で作成した試料は、3. 1、3. 2、3. 3に比べて陽極酸化皮膜の膜厚が薄いため、多少腐食が進行していた。

4. 結言

本研究ではアルミ合金鋳物AC4CHの陽極酸化処理後の染色性を向上させることを目的として、ベーマイト処理、ダブルアルマイト処理、熱処理、陽極酸化電解条件の検討を行い、以下のことを得た。

(1) ベーマイト処理

90℃の0.2%NH₃水溶液中で15min煮沸させることで陽極酸化皮膜の成膜効率が向上することが分かった。

(2) ダブルアルマイト処理

15%硫酸浴、室温、印加電圧10V、印加時間

(10 s、30 s、60 s、180 s、300 s) の条件では、最適な条件が見当たらなかった。

今後は、印加電圧と印加時間について検討する。

(3) 熱処理

アルミニウムの溶体化処理温度よりも低い200℃では金属組織の変化も観察されず、陽極酸化処理性及び酸化皮膜の硬さについても大きな変化が見られなかった。

(4) 陽極酸化処理

印加電圧を70Vに変えたことで陽極酸化皮膜の膜厚、硬さに大きな変化が現われた。今後は、陽極酸化処理後の染色性を向上させる最適な印加電圧、印加時間について更に多く検討していく。

参考文献

- 1) 齊藤宏他 : アルミニウム合金鋳物AC2Aへの陽極酸化処理 研究報告, p7-11, 2004
- 2) 佐藤敏彦 : アルマイト理論 (軽金属出版)
- 3) 綿野哲寛他: 静岡県浜松工業技術支援センター 研究報告, 17, 54-55 (2009)

悪臭除去効果を有する消臭インジケータ色素の開発

化学材料科 伊藤 彰

Developments of indicator pigment have effect of offensive odor removal

Akira Ito

In previous report, we examine deodorization function and accompanying color changes of natural pigments and we found anthocyanidin compounds showed remarkable effects against amine gases, in these natural pigments. We tried to improve the indicator function with deodorization of the anthocyanidin compounds by introducing various substituents. We found that unsubstituted compound and introducing electron donor group such as amino group into the anthocyanidin resulted in enhanced indicator function.

1. はじめに

近年、居住環境の安全・快適性に関する意識が高まり、トイレ、台所等において発生する悪臭を抑制する効果が住関連製品に求められている。しかし、市販されている消臭剤では、消臭の効果や持続性がわかりづらいという問題を抱える。昨年度までの研究で天然色素を用いてアンモニア等の窒素系悪臭に対する消臭能、消臭時の変色を検討したところ、高い消臭能力を有する色素は数種類発見できたが、色の変化を目視で明確に判別することが困難であった。そこで、本研究では、インジケータ機能の向上のため、昨年度までの研究¹⁾で効果が見られたアントシアニン骨格を有する色素に注目し、その化合物にアミノ基、ニトロ基等の電子を供与、吸引する置換基を導入したものでインジケータ機能がどう変化するのかを検討した。

2. 実験方法

2. 1 FT-IRによる色素の構造解析

アンモニア反応前後で色素の構造がどのように変化するか検討するため、置換基をもたないアントシアニン（2-フェニルベンゾピリリウム）をアンモニア添加前後でFT-IRを測定し、チャート比較した。

2. 2 Gaussianを用いた色素の分子軌道計算

アントシアニンでは、比較的簡便に誘導体の合成ができ、置換基の導入によってアントシアニン骨格の電子状態が大きく変化することが知られてい

る²⁾。よって、電子供与基、電子吸引基を導入することでどのような発色を示すか、また、FT-IRで推定したアンモニア添加後の構造をGaussianにより分子軌道計算し、添加前後でどのような色の変化を示すかを検討した。

2. 3 色素の合成

Gaussianで計算した色素について、吸収波長に変化のあった化合物の合成を行った。

合成は置換サリチルアルデヒドと置換アセトフェノンをギ酸に溶解した後、酸性条件下で縮合し、合成した³⁾。

2. 4 色素の消臭、変色機能の評価

色素25mgを少量のアセトンに溶かし、それをグラスフィルター（面積6 cm×6 cm）に染み込ませ、乾燥させた。そのグラスフィルターとパーミエータ（GASTEC製、PD-1 B-2）で調製したアンモニアガス（初期濃度：約50ppm）をテドラーバッグに封入し、封入直後及び1時間後のバッグ内の悪臭ガス濃度を測定した。なお、試料はシャーレの上に置き、試験開始までは蓋をして悪臭ガスと触れさせない様にし、蓋を開けた時点を試験開始とした。また、ブランクとしてグラスフィルターとシャーレをテドラーバッグ内に入れたものを対象とした。

悪臭ガス濃度の測定は、対象ガス用の検知管（GASTEC製）を用いて測定した。

アンモニア試験の消臭率は以下の式より算出した。

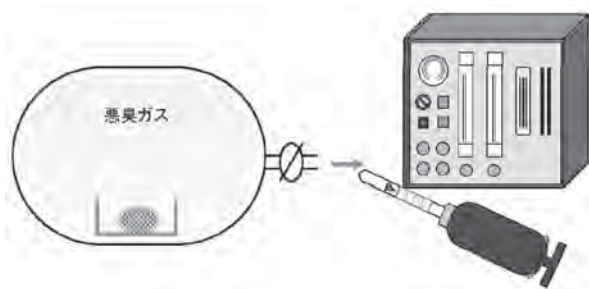


図1 アンモニア消臭試験

$$\text{消臭率 (\%)} = (C_0 - C_1) / C_0 \times 100$$

C_0 : 初期濃度

C_1 : 1時間後の濃度

変色については、色素をアセトンに溶解し、そこに28%アンモニア水を加え、アンモニア添加前後で吸収波長、吸光度を比較した。

3. 結果と考察

置換基をもたないアントシアニンについてアンモニア添加前後での構造変化をFT-IRを用いて検討した。アンモニア添加後のチャートでは、添加前には見られなかった 1540cm^{-1} と 3200cm^{-1} にそれぞれC=N結合、N-H結合と思われるピークが見られることから、アントシアニンのピリリウム環にアンモニアが求核反応し、ピリリウム環が開いたカルコンのような構造に変化していることが考えられる。

次に化学計算ソフトウェアGaussianを用いてアントシアニン化合物の構造最適化を行い、分子軌道計算により、アンモニア反応前後の構造について吸収波長を求めた。構造最適化したアントシアニンでは、ベンゾピリリウム環とベンゼン環の二面角が平行になっており、アントシアニン骨格全体に共役系が広がっていることがわかった。アンモニア反応前後の構造における吸収極大波長は以下のようになった(表1)。反応後の構造としては、カルコン型のカルボニルがイミンになっていても、吸収波長がほとんど変化しないと考えられるので、代表的なカルコンの構造で計算を行った。

この結果より、無置換とアミノ基等の電子供与基のみが導入されているものが、アンモニア反応前後で大きく色の変化が見られると考えられる。これを参考にして、アントシアニン色素の合成を行い、



図2 構造最適化したアントシアニンの構造

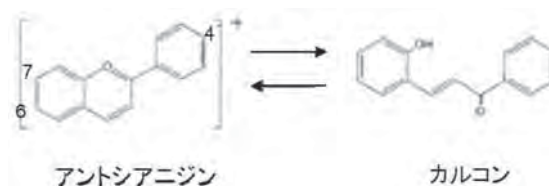


図3 アントシアニンの構造変化

表1 Gaussian分子軌道計算結果

置換基	アントシアニン型吸収波長(nm)	カルコン型吸収波長(nm)
無置換	415	300
7-N(Et) ₂ , 4'-NH ₂	500	300
6-NO ₂ , 4'-NO ₂	410	—(計算不可)
7-N(Et) ₂ , 4'-NO ₂	470	430
6-NO ₂ , 4'-NH ₂	460	430

その消臭能力と変色機能について検討した。

表1の5種のアントシアニン誘導体を合成し、その消臭試験を行った。ほとんどの色素は高い消臭能力を有しており、50ppmのアンモニアガスを1時間ではほぼ匂わない程度まで消臭することができた。

変色については、Gaussianでの計算結果に示された通りに無置換、電子供与基のみが導入されたアントシアニンでは色の変化が大きかった。アンモニア添加後では、吸収波長の変化だけでなく、吸光度の減少したため、色相の変化だけでなく、色の濃さの変化も見られた。無置換では橙から無色、4'-アミノ-7-ジエチルアミノ体では、紫から黄色に変化し、目視でも明確に変色の様子が確認できた。一方、電子供与基であるニトロ基を導入した化合物では、アンモニア反応前後で吸収波長の変化が乏しく、色の変化は見られなかった。

置換基の違いによる発色に関しては、置換基の種類により、大きく異なり、無置換では橙、電子供与基のみが導入されたものでは紫、電子吸引基のみが

表2 アンモニア消臭試験（初期濃度50ppm）

置換基	消臭試験1時間後の アンモニア消臭率(%)
ブランク	26
無置換	100
7-N(Et) ₂ 、4'-NH ₂	90
6-NO ₂ 、4'-NO ₂	86
7-N(Et) ₂ 、4'-NO ₂	96
6-NO ₂ 、4'-NH ₂	90

導入されたものでは、黄色となった。主骨格への電子の供受の強さや置換基を導入する部位によって、吸収波長を容易に変えることが可能であるため、様々な色の発色ができると考えられる。

4. まとめ

今回、合成した色素について、無置換体と4'-アミノ-7-ジエチルアミノ体では、アンモニアに対しての消臭能力が高く、反応前後での色変化も大きいことから、実用化の可能性を見出すことができた。

参考文献

- 1) 伊藤彰他：静岡県工業技術研究所研究報告、No.3 pp16～18 (2010)
- 2) 伊藤冬樹他：信州大学教育学部研究論集、No.2 pp99～108 (2010)
- 3) C.Michaelis and R. Wizinger, Helv. Chim. Acta, 34, 1761 (1951)

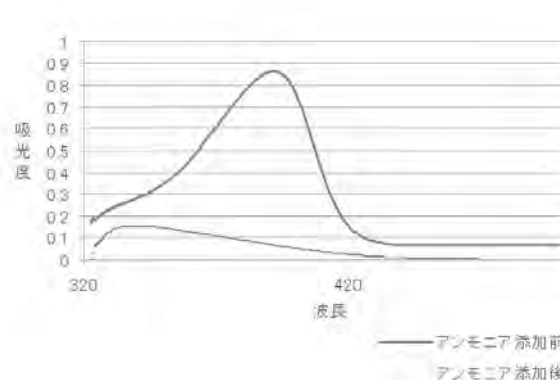


図4 アンモニア添加前後での無置換体のUV-visスペクトル

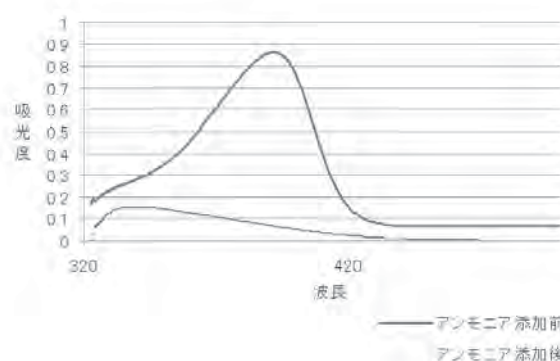


図5 アンモニア添加前後での7-ジエチルアミノ-4'-アミノ体のUV-visスペクトル

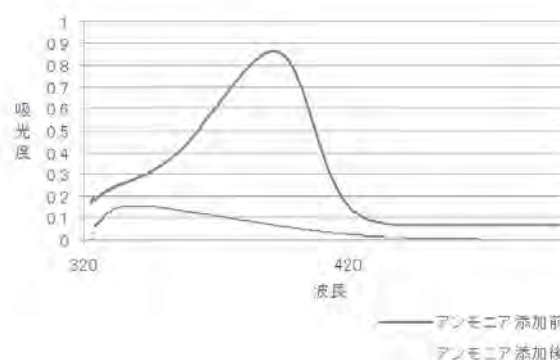


図6 アンモニア添加前後での6-ニトロ-4'-ニトロ体のUV-visスペクトル

光学特性に基づく天窗の室内照明シミュレーション

機械科

鈴木敬明 加藤俊文

株式会社スカイプランニング

小野巳吉 外山 勸

Lighting Simulation of skylights based on their optical properties

Taka-aki Suzuki, Toshifumi Kato, Miyoshi Ono and Susumu Toyama

We studied the simulation of the luminous intensity distribution of a skylight under the CIE standard clear sky. To calculate the luminous intensity distribution, we established the bidirectional transmittance distribution function (BTDF) and the bidirectional reflectance distribution function (BRDF) of optical elements of the skylight based on their measured gonio spectral transmittance and gonio spectral reflectance, and did bidirectional ray-trace simulation using BTDF and BRDF. The obtained luminous intensity distribution data make estimation of illumination distribution under the skylights easy as in the case of artificial lighting.

1. はじめに

近年、改正省エネ法の施行などによって、企業にエネルギー管理が求められており、CO₂削減や代替エネルギーへの転換が早急の課題となっている。天窗は日光を効率良く室内に導入できるため、昼間の人工照明の消費電力を削減でき、省エネ、CO₂削減に有効な昼光照明設備である。また、直射日光は非常に明るい平行光という性質を持っているため、そのまま室内に入射すると均斉度（照度の均一性）が低下し、作業用照明に適さないことから、様々な光拡散素材（拡散板）を使った天窗が提案されている。

しかし、天窗を昼光照明設備として設計、開発するうえで、以下のような問題を抱えていた。工場などの照明は、JIS Z9125:2007「屋内作業場の照明基準」において、照度、グレア制限値、均斉度などの照明設計基準が規定されている。天窗を照明設備として設置するには、この基準を満足させる必要があるが、拡散板を取り付けた天窗では拡散板の光学性質により天窗下の昼光照度分布が変化するため、現状、天窗設置後の照度等を予測する方法がなかった。天窗を設置した時の室内照度を昼光率を用いて予測する方法も存在するが、昼光率は直射日光を除いた日光の指標であるため、室内照明環境に大きな影響を与える直射日光の影響は考慮できていない。一方で、人工照明（電灯等）では、製品設置後の照

度等の予測が可能である。これは、照明メーカーが、各製品に対する配光データを提供しているからである。天窗においても、人工照明と同様に天窗の配光を数値化することで、天窗設置後の照度等の予測が可能となる（図1）。

そこで、我々は、天窗を透過した日光の配光データを構築する方法を検討した。拡散板の光学特性と、天窗の設置場所や季節、時間による太陽の位置に基づき、光学シミュレーションを用いて配光データ（すなわち、その時間、場所における天窗を通して得られる日光の光度とその分布データ）を構築した（図2）。今回、その検討内容と応用について紹介する。

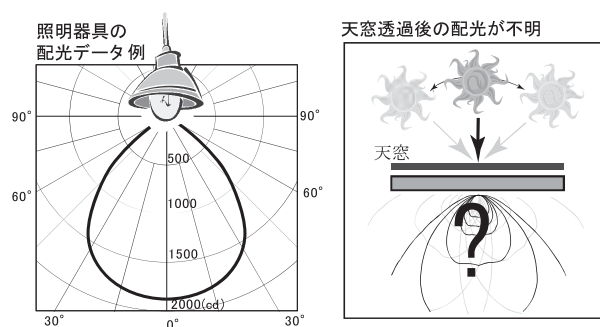


図1 技術的課題

人工照明では配光が明らかなため設置後の照度分布が計算できる（左図）。天窗設置時の照度分布を計算するには太陽光入射時の配光を明らかにする必要がある（右図）。

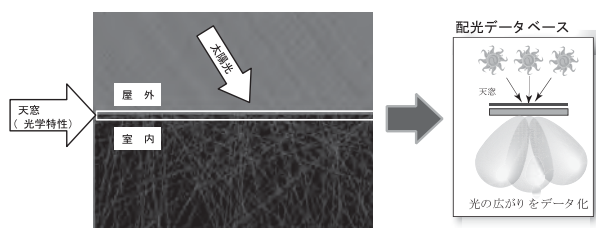


図2 紹介する光学シミュレーションの概要

天窓部材の光学特性（透過率、拡散度等）に基づき、太陽光が天窓を通過・拡散した室内の光強度を光学シミュレーション（光線追跡法）で計算することで（左図）、太陽光の高度、位置に応じた天窓の配光をデータベース化した。

2. 天窓部材の光学特性

光学シミュレーションで使用する双方向透過率分布関数、双方向反射率分布関数を決定するために、天窓部材の光学特性として変角分光透過率（拡散透過、正透過）と変角分光反射率（拡散反射、正反射）を測定した。測定角度条件を図3、表1に示す。拡散板は、ストロー状の中空層を持つものがあるため、光学特性は面内異方性を示す可能性が考えられる。そこで、試料平面の軸方向は、入射角が変化する平面と水平（面内回転角 0° ）と垂直（面内回転角 90° ）の2方向とした。分光波長は390～730nmの範囲で10nm間隔であった。測定には変角分光測色計GCMS-4（村上色彩技術研究所製）を用いた。

測定結果の一例を図4に示す。分光測定を行っているが、光学特性が分かりやすいよう図4では測定結果から視感透過率を算出し図示した。天窓に用いられるガラス材料として、網入り型ガラス、網入り研磨ガラス、網入り熱反射ガラスの例を(a)～(c)に示す。網入り型ガラス（図4(a)）では、ガラス表面の凹凸により他の二つ（図4(b)、(c)）に比べて光が拡散することが分かる。天窓に用いられる拡散板として、中空層を持つポリカーボネート材の、(d)シボつきクリア、(e)白色半透明、(f)白色の測定結果を示す。シボつきクリアではその拡散特性は網入り型ガラスと同程度であるが透過率が高いこと、白色試料では透過率が非常に小さいことが数値として確認できた。

測定したデータは、次章で述べる光学シミュレーションにおいて、双方向透過率・反射率分布関数を定義する際に使用した。

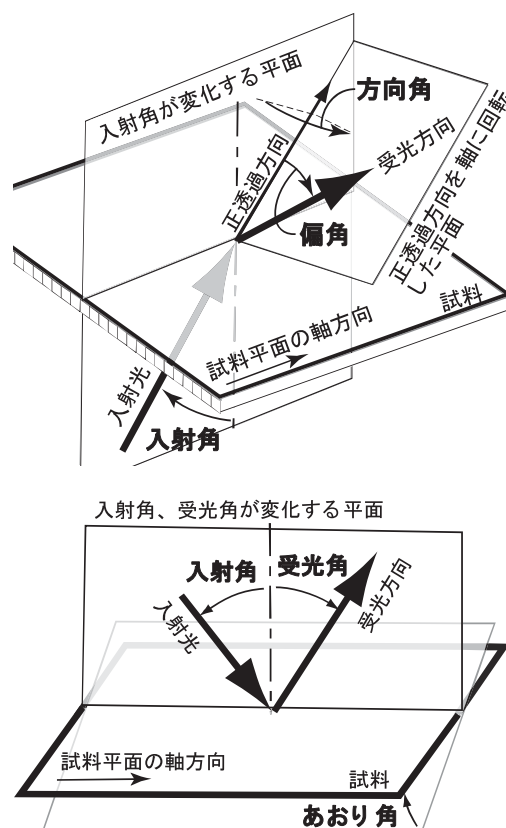


図3 変角分光透過率（上）、変角分光反射率（下）の測定角度条件

表1 測定角度条件

透過率 (拡散透過)	入射角： $0 \sim 90$ 度（15条件） 方向角： $0 \sim 180$ 度（3条件） 偏角： $0 \sim 180$ 度（43条件） 面内回転角： 0 度、 90 度 上記の組合せで1315条件
透過率 (正透過)	入射角 $0 \sim 70$ 度（15条件）
反射率 (拡散反射)	入射角： $-30 \sim 60$ 度 受光角： $-25 \sim 85$ 度 あおり角： $0 \sim 55.7$ 度 上記の組合せで412条件
反射率 (正反射)	入射角： $10 \sim 70$ 度（13条件）

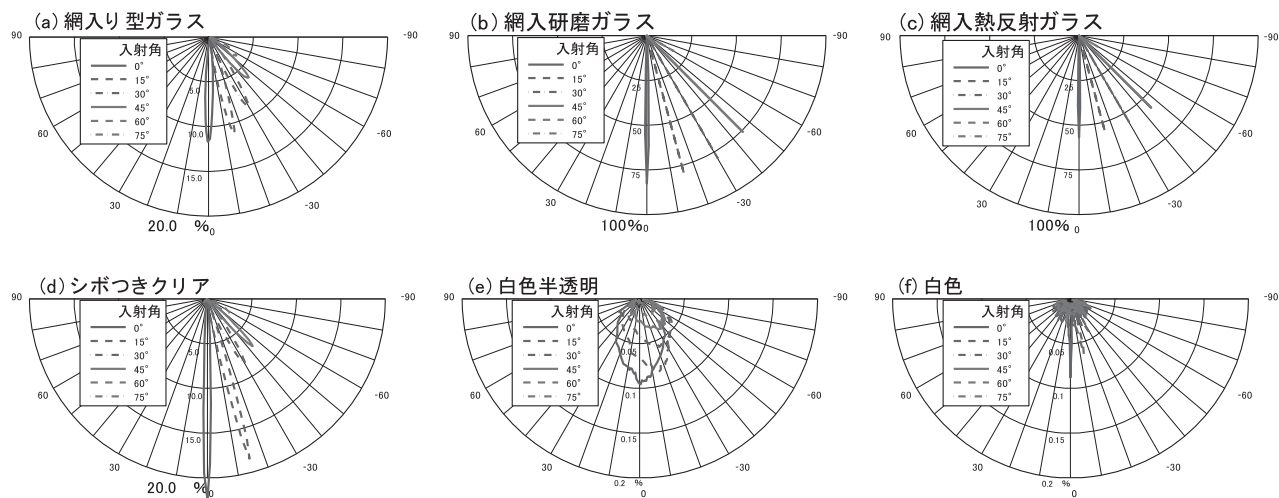


図4 天窓光学部材の光学特性の一例

変角分光透過率の測定データから視感透過率を計算し、入射角に対する拡散透過率を図示した。天窓に使われるガラス材料の代表例として(a)~(c)を、拡散板の例として中空層を持つポリカーボネート材の、(d)シボつきクリア、(e)白色半透明、(f)白色の測定結果を示す。

3. 光学シミュレーションによる天窓の配光データの計算

3. 1 シミュレーションする天窓の構造

今回の光学シミュレーションでは、3次元空間内を伝わる光の伝播経路を追跡することで実際の光の挙動をシミュレートする光線追跡法という計算手法を用いた。そのため、天窓の構造は、3次元の幾何学的形状をコンピュータ上に入力できれば、どのような形状の天窓であっても天窓から出る光の光度と方向（すなわち配光）が計算可能である。今回は、天窓部材の構造が型板ガラスと拡散板（中空層を持つポリカーボネート）の単純な2層の組み合わせの検討結果について述べる（図5）。

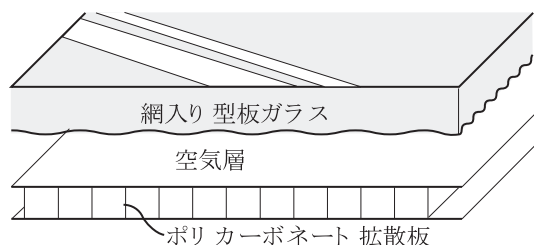


図5 検討した天窓部材の構造

3. 2 光学シミュレーションの設定条件

測定した光学特性データに基づき、双方向透過率・反射率分布関数を作成し、天空の輝度分布については国際的に定められたCIE標準晴天空を仮定し、その天空下における天窓部材を透過した昼光の配光に

ついて光学シミュレーション計算を行った。計算には、3次元光学シミュレーション用ソフトウェアSPECTER（（株）インテグラ社製）を用いた。このソフトウェアでは、双方向モンテカルロ光線追跡法によって、天窓部材を透過する昼光の光度と方向を計算する。シミュレーションの条件を図6に示す。1m四方の2層の平面を設定し、上層に型ガラス、下層に拡散板の双方向透過率・反射率分布関数を設定した。試料面の軸方向は、真北を向く場合と真北から90°回転した場合の2条件について別々に計算した。直射日光の輝度は、大気外法線照度と大気消散係数、地球の楕円軌道補正などから算出した直射日光の法線照度に一致するよう値を設定した。天空輝度分布にはCIE標準晴天空を用いた。天空を等立体角になるよう670要素に分割した光源とし、太陽高度から推定する全天空照度が実現されるよう輝度の絶対値を求めて光学シミュレーションを行った。CIE標準曇天空、中間天空の場合でも同様の手法で計算が可能である。配光の水平角 ϕ は、平面中心の法線軸を中心に真西方向を0°、真南方向を90°とした。配光は、 $\phi=0\sim360^\circ$ の範囲を5°間隔、垂直角 $\theta=0\sim90^\circ$ の範囲を5°間隔で計算した。

3. 3 計算の結果得られた配光データ

計算した配光の一例として、北緯36°、東経140°の場所（房総半島先端付近）における秋分日（午前9時、正午、午後3時）の天窓部材各試料（試料面

【報告】

の軸方向は真北)の配光を図7に示す。「試料1：シボ付きクリア」の拡散板では拡散度が小さく、非常に鋭い配光を示すことが分かる(図7(a))。「試料2：白色半透明、試料3：白色」の拡散板を用いた場合(図7(b)、(c))では、よく似た拡散性能を示すが、白色試料では光度値が白色半透明の1/4程度に低下することが把握できた。本手法で得られる配光データを用いることで、その場所と時刻の条件下での天窓による室内昼光照度分布の計算が可能となった。得られる配光データは、配光データの標準フォーマットであるIESデータ形式(IESNA：LM-63-1995)に変換することで、汎用の照明環境設計ソフトウェアで使用することが可能である。

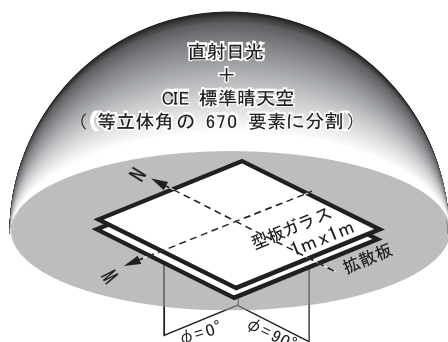


図6 光学シミュレーションの設定

4. 得られた配光データを用いた照明計算

得られた配光データを、IES配光データ形式(IESNA：LM-63-1995)に変換し、照明環境設計ソフトウェアDIALux(DIAL GmbH製)を用いて屋内昼光照度を計算した。図8に、白色半透明拡散板を付けた天窓(1m×12m)を3列に施工した場合(建物：幅30m、奥行16m、天井高8m、作業面高0.85m)の作業面の昼光照度分布を示す。シボ付きクリアの拡散板の場合(図7(a))は、室内照度は高いものの、その均斉度は低いことが分かる。透明白色板の場合(図7(b))は、シボ付きクリアの場合より照度は低下するが、工場などでの主な作業に必要な500ルクス以上の範囲は広く、かつ、均斉度も高

いことが分かる。白色板の場合(図7(c))は、均斉度は高いが、得られる照度は低いことが分かる。

このように、天窓の配光データさえ分かれば簡単に室内照度が計算できるため、要求される室内照度を満足するための拡散板の選定や、天窓の面積、設置場所、設置間隔が設計時に事前検討が可能となる。

5. 照明計算の応用

今回の方法で得られた配光データを用いて天窓を設計するケースを考えてみる。例えば、図9上段のように室内に作業エリアと保管エリアが混在する場合には、同じ建屋内であっても、空間によって要求される室内の照度が異なる。配光データがあれば室内の照度分布が計算できるため、例えば、必要照度に応じて場所によって天窓の大きさを変えて室内用度分布を計算することが可能である(図8下)。このような検討により、設計者は要求される室内照度を満足する適切な天窓の設計が可能になるとともに、その効果を事前に数値で施主等に提示できるようになる。加えて、あまり高い照度の必要のない部分では天窓の面積を減らすといった施工コストを低減させる工夫も可能となる。今回の報告では、一部の拡散板、天窓構造についての事例を示したが、同様の手法で他の拡散板や異なった天窓構造に対する配光データも計算が可能である。

謝辞

今回紹介した内容は、(独)科学技術振興機構の重点地域研究開発推進プログラム(地域ニーズ即応型)委託研究として、(株)スカイプランニングと共同研究を実施した研究成果である。本研究の遂行にあたりご助言頂いた九州大学大学院古賀靖子准教授に感謝いたします。

※本報告は、「金属屋根 施工と管理」2010年10月号に掲載された内容を再編集したものである。

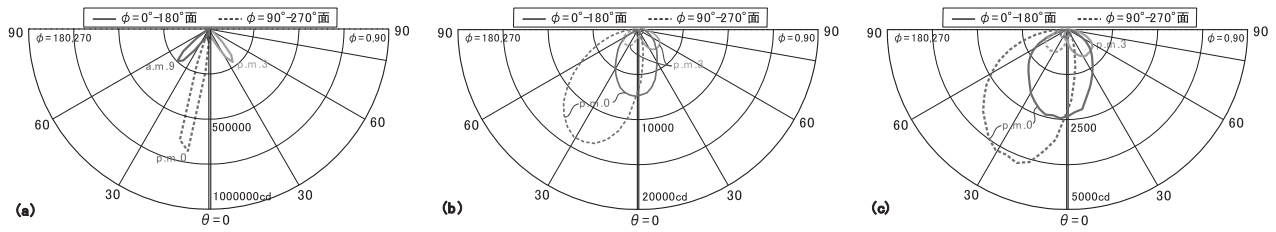


図7 北緯36°、東経140°の晴天の秋分日（午前9時、正午、午後3時）における天窓部材の配光

型板ガラスと各拡散板（(a)シボ付きクリア、(b)白色半透明、(c)白色）の組み合わせ。φ=0が西、φ=90が南、φ=180が東、φ=270が北である。

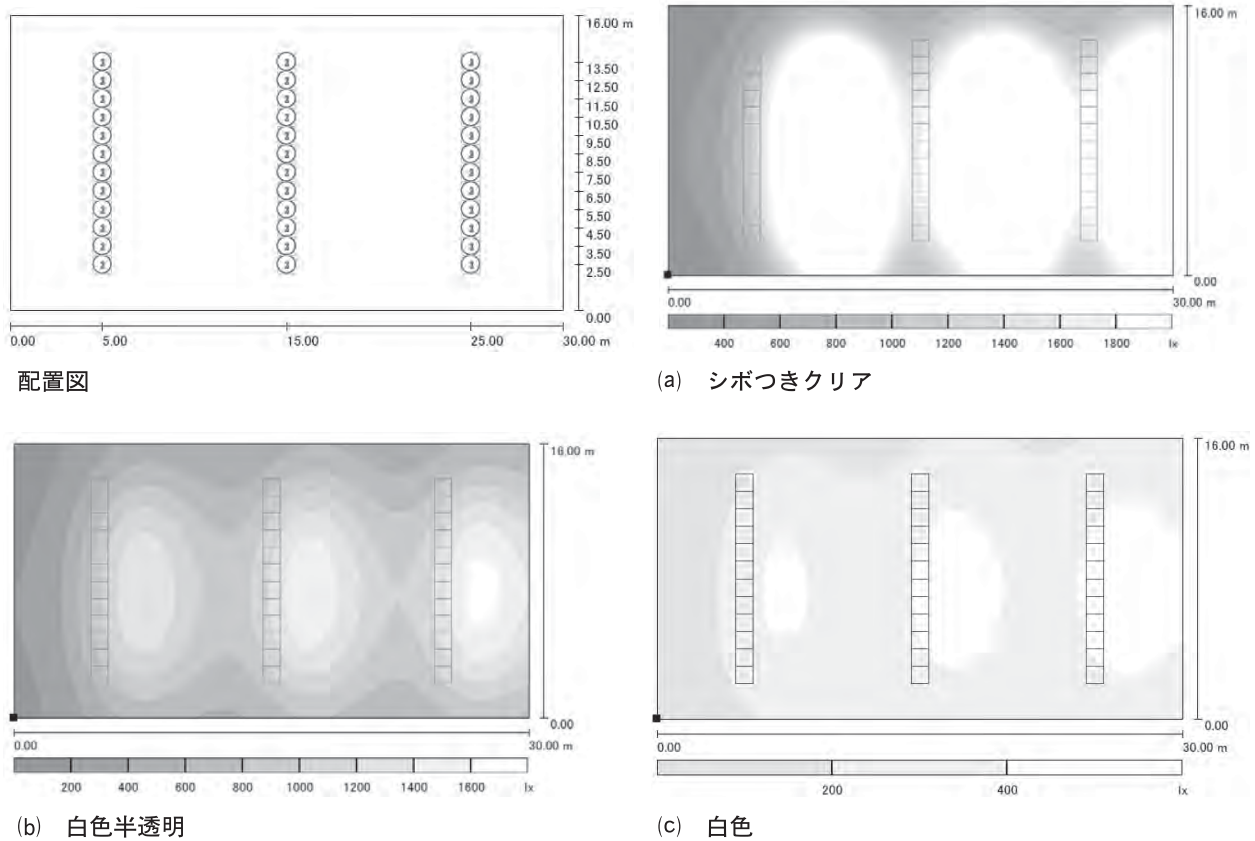


図8 各拡散板を用いた天窓での秋分日午後0時の配光から求めた作業面昼光照度分布

（床の反射率20%、壁の反射率70%、天井の反射率70%として計算）

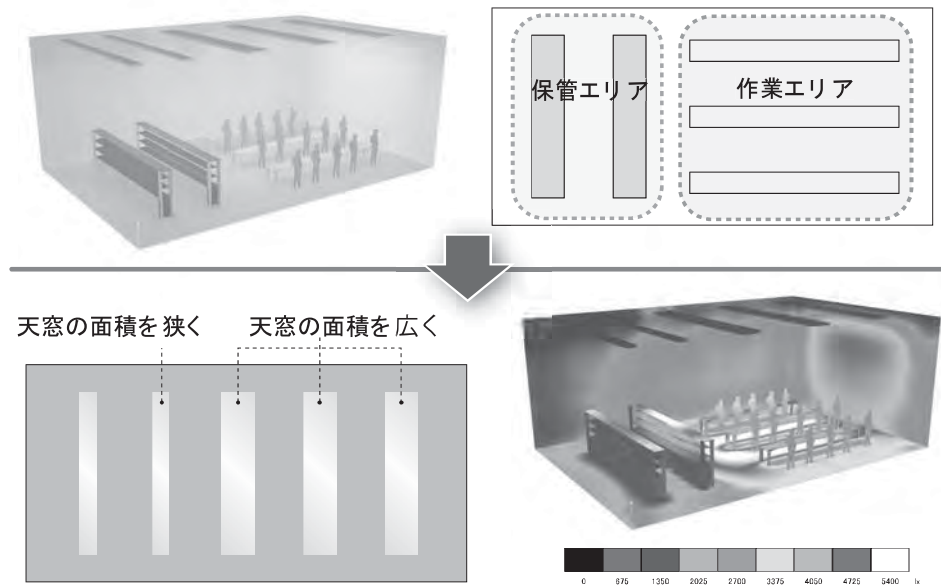


図9 室内の状況に応じた天窓の設計事例

同じ室内でも場所による空間の使い方の違いで要求される照度が異なる場合（上段）、本手法を用いれば天窓の構成を変えた場合の照度計算が容易にできるため（下段）、必要照度に応じた適切な天窓の設計を行うことが可能となる。

多孔質材料の吸音率予測モデルの研究

— 圧縮したメラミンフォームの音響特性と物性パラメータ —

電子科 木野直樹

Study on prediction models for absorption coefficient of porous media

— Acoustical properties and physical parameters of compressed melamine foams —

Naoki Kino

A series of careful non-acoustical parameters measurements using melamine foam samples have been made. Flow resistivity, tortuosity, porosity, viscous characteristic length and thermal characteristic length of compressed melamine foam materials have been investigated. Normal incidence absorption coefficient and normal incidence transmission loss have been predicted based on the single parameter model and the Johnson-Allard model. It has been found that a relationship between the acoustical properties and compression rate.

1. はじめに

多孔質吸音材の音響特性の代表的なものは、吸音性能を表す吸音率と遮音性能を表す音響透過損失である。材料に求められる吸音性能と遮音性能は、材料を適用する場の音環境によって様々である。音環境に応じて、様々な種類の材料を選択することも出来るが、同じ材料を圧縮して異なる音響特性を作り出したものを利用することも可能である。

メラミンフォーム¹⁾は、自動車の騒音対策に使われている発泡材料である。圧縮して異なる音響特性を作り出したものが利用されている場合もある。

多孔質吸音材は、圧縮することでかさ密度を制御することが可能である。それによって、非音響の物性パラメータと音響特性を様々に変化させることが可能である。本報告では、圧縮によって変化するメラミンフォームの物性パラメータを用いて予測した音響特性等を紹介する。

2. 実験方法

熱プレス加工を施して圧縮したメラミンフォームの音響特性は、ISO10534-2規格に基づき、音響管²⁾で計測を行った。Flow resistivity²⁾は、ISO9053規格に基づき、直流の空気を流して試料前後の微差圧の計測を行った。Tortuosity とCharacteristic lengthsは、試料を透過する超音波の音速を計測す

ることで導出した^{3、4)}。Johnson-Allard modelの改良モデル⁵⁾とFlow resistivity によるSingle parameter models⁶⁻⁸⁾を使用して、圧縮することによって様々に変化するメラミンフォームの音響特性の予測を行った。

3. 結果

3. 1 音響特性の計測

音響管を用いた伝達関数法による垂直入射吸音率の計測は、ISO10534-2規格に定められている。そこには、2つのマイクロフォンの間隔と管の直径と周波数範囲に関する条件等の測定原理が記載されている。しかし、重要な試料の寸法と音響管の内径の関係は記載されていない。規格にある記述から、試料が過度に圧縮されないように注意することは読み取れるが、どのような試料の時にどれくらいの寸法の試料を準備すべきなのかが不明である。また、試料の寸法の違いによって、吸音率の計測値にどの程度の影響が出るのかも不明である。2007年に新たにJIS規格にも制定されたが、その解説の中で数値を用いた明確な表現はされていない。

依頼試験で送付されてくる試料の多くが、音響管の内径よりも2～3mm大きかったり、小さかったりした。そこで、試料寸法の効果を明確にするために実験を行った。グラスウールとフェルトに関する

【報告】

調査結果は、論文⁹⁾で示した。

本報では、メラミンフォームの試料寸法と骨格共振効果について説明する。写真1に示すように、試料の直径は、音響管の内径寸法40mmと同じもの (Sample 5) と0.75mm小さい39.25mm (Sample 6) である。直径39.25mmの試料 (Sample 6) にガムテープを1周巻いて直径約40mmとしたもの (Sample 6') も計測した。

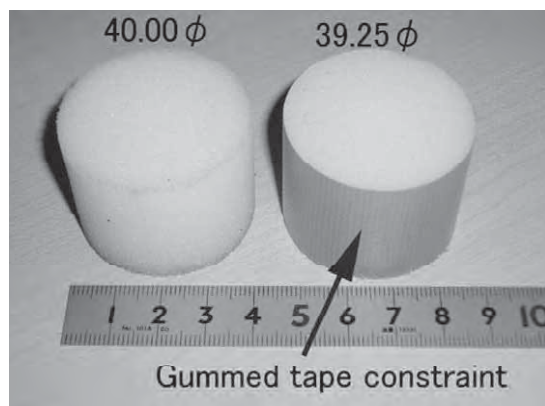


写真1 直径の異なるメラミンフォーム

図1に示すように、音響管内径と同じ直径40mmの試料について、垂直入射吸音率の骨格共振効果ははっきりと確認出来る。音響管内径と同じ直径の試料は、1.8kHzで吸音率が0.18急降下している。直径39.25mmの試料にガムテープを巻いた試料の吸音率が直径40.00mmの試料の吸音率と重なった。実験に使用したメラミンフォームの非音響の物性パラメータの計測値¹⁰⁾を表1に示す。表1に示すように、2つの試料の嵩密度と流れ抵抗値は、ほぼ同じであるからである。

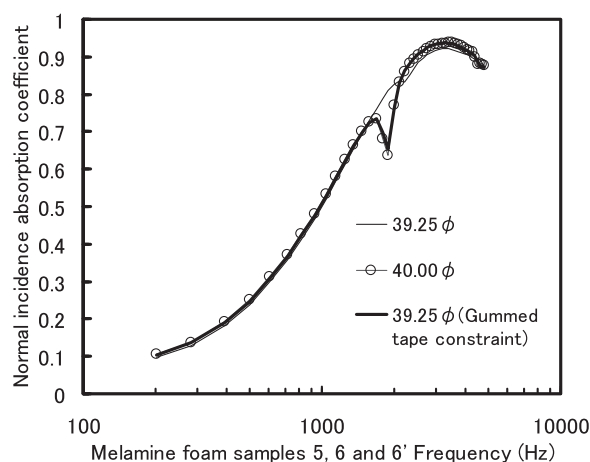


図1 垂直入射吸音率におけるメラミンフォームの骨格共振効果

図2に示す音速の計測結果にも骨格共振効果を確認出来る。音響管内径と同じ直径の試料は、1.8kHzで音速が 60ms^{-1} 急上昇している。また、音響管内径との隙間が1.0mmよりも大きくなるようにした試料では、空気漏えい効果を減衰定数の低下で確認した。音響管を使ったメラミンフォームの計測を行うためには、音響管内径よりも0.5から1.0mm小さな直径の試料を準備することが必要である。

表1 Sample 5 と 6 の物性の計測値

Sample number	Sample 5	Sample 6
Bulk density (kg m^{-3})	8.93	8.70
Diameter (mm)	40.00	39.25
Thickness (mm)	31.50	31.50
Flow resistivity (Pa s m^{-2})	10,340	10,290

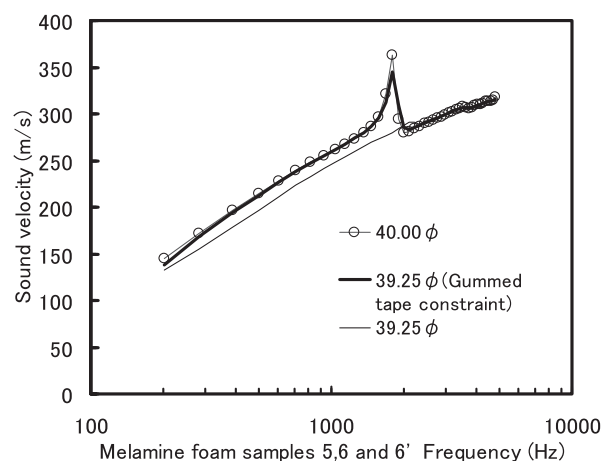


図2 音速におけるメラミンフォームの骨格共振効果

3. 2 音響特性の予測

3種類の予測モデルを使用して垂直入射吸音率を予測した結果を計測結果と共に図3に示す。使用した予測モデルは、Single parameter model (the Delany and Bazley model)、Johnson-Allard modelとJohnson-Allardの改良モデルである。ここで採り上げる試料は、実験した複数の中のSample 53で、圧縮率 $n=1.9669$ のメラミンフォームである。Sample 53の計測した物性パラメータを表2に示す。波長定数の減衰定数の予測値と計測値を図4に示す。空気特性インピーダンスで基準化した試料の特性インピーダンスの虚数部を図5に示す。図3～5に示すように、吸音率予測をした結果、Johnson-Allardの改良モデル⁵⁾が最も計測結果に近く有効であった。

表2 メラミンフォームSample 53の物性の計測値

Parameters	Measurements
Bulk density (kg m^{-3})	20.99
Thickness	11.48
Flow resistivity (Pa s m^{-2})	28,582
Porosity (mm)	0.9866
Tortuosity	1.0146
Viscous characteristic length (μm)	120
Thermal characteristic length (μm)	266

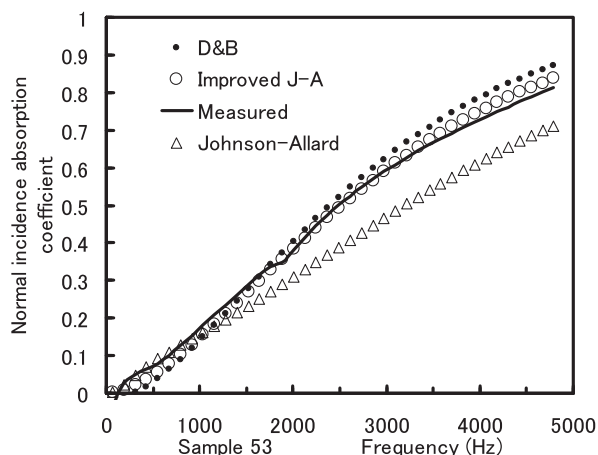


図3 垂直入射吸音率の予測値と計測値の比較

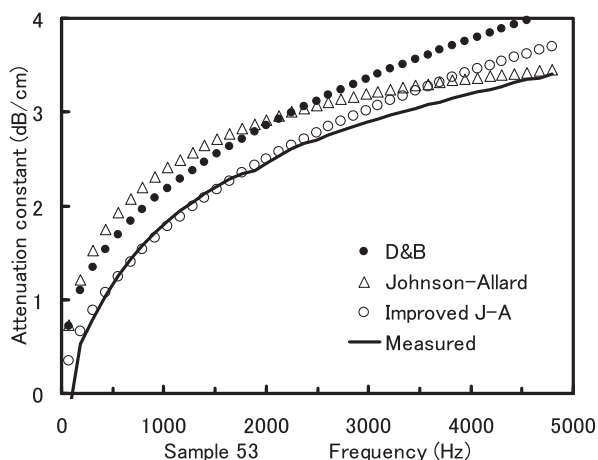


図4 減衰定数の予測値と計測値の比較

The Delany and Bazley modelを使った減衰定数と特性インピーダンスは、計測値との食い違いを生じた。しかし、吸音率の計測との食い違いが小さかった。Flow resistivity によるSingle parameter modelsは簡便に使うことが出来る。そこで、計測したFlow resistivityを使って、Miki model⁷⁾で予測した厚さ22.58mmのメラミンフォームの垂直入射音響透過損失と垂直入射吸音率を図6と7に示す。図中のnは、圧縮率を表す。圧縮率nは、圧縮前の

【報告】

試料の厚さ $b_{(1)}$ と圧縮後の試料 $b_{(n)}$ の厚さによって式1で表す。

$$n = b_{(1)} / b_{(n)} \quad (1)$$

垂直入射音響透過損失は、圧縮率の増加に従い増加する。垂直入射吸音率は、圧縮率が2付近までは増加するが、大きな圧縮率になると低下することが解った。吸音性能と遮音性能のどちらを重視した仕

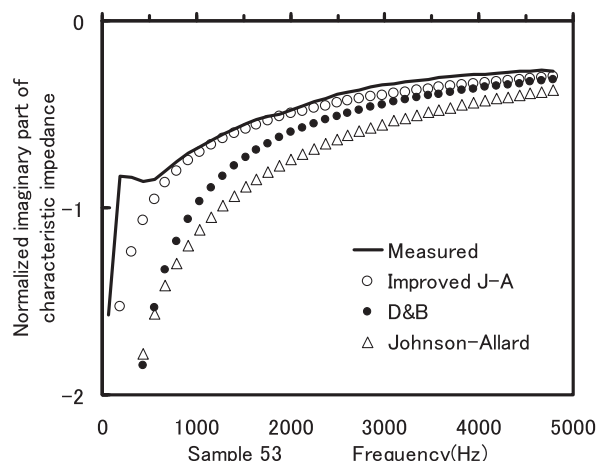


図5 特性インピーダンスの虚数部の予測値と計測値の比較

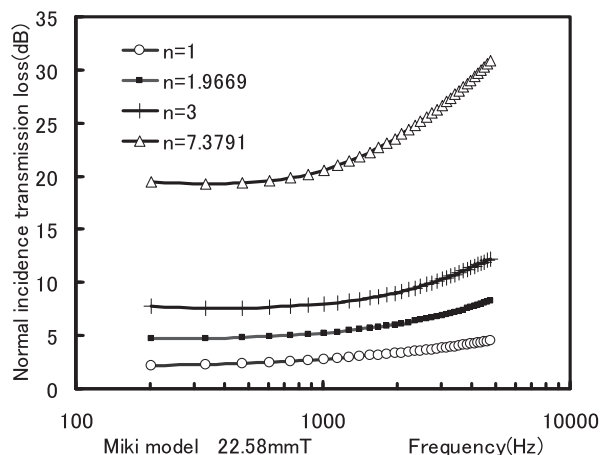


図6 垂直入射音響透過損失の予測値の比較

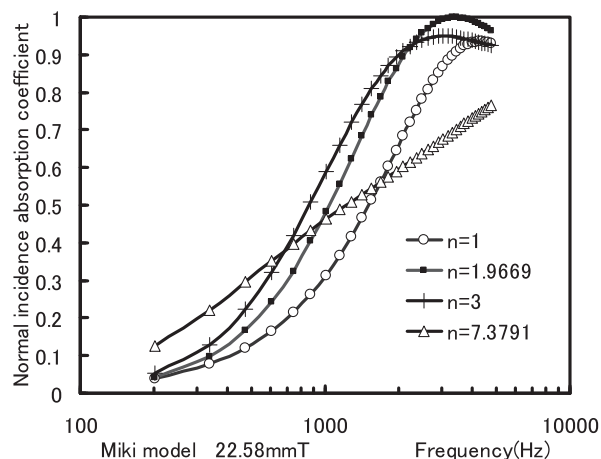


図7 垂直入射吸音率の予測値の比較

様にしたいのかを考えるとときに考慮したいメラミンフォームの圧縮率と音響特性の関係があることが解った。

4. おわりに

音響管を用いて材料の音響特性の計測を行う場合に、試料の直径の寸法に配慮した慎重な準備が必要であることを示した。また、圧縮したメラミンフォームの圧縮率と垂直入射吸音率の関係は、圧縮率と垂直入射音響透過損失の関係と異なることを示した。垂直入射音響透過損失は、圧縮率が大きくなるにつれて増加したが、垂直入射吸音率は、圧縮率が大きくなると高周波数帯で減少に転じる境界（周波数）が存在することがわかった。本報で示したケースでは、その周波数は2,200Hz付近だった。

次は、Biot-Allard modelを用いて研究している弾性が大きく関わるウレタンフォームを紹介したい。偉大なるBiotの論文^{11, 12)}は、1956年に出版された。今から54年前のことである。1980年に、Biesの論文¹³⁾が出版された。今は、彼らの時代と違って高速なコンピュータや高精度なセンサの科学技術の恩恵を容易に受けることが可能な時代である。そこで、吸音率予測モデルを研究する我々の使命は、丁寧な測定を重ねた精度の良い計測データを用いることによって、彼らの偉業に応えて進展させることではないかと考えている。

謝辞

本研究のために、材料を提供していただいた㈱イノアックコーポレーションの鈴木靖宏氏に感謝致します。

参考文献

- 1) Kino N, Ueno T. Comparisons between characteristic lengths and fibre equivalent diameters in glass fibre and melamine foam materials of similar flow resistivity. Appl Acoust 2008.
- 2) Kino N, Ueno T. Experimental determination of the micro- and macrostructural

- parameters influencing the acoustical performance of fibrous media. Appl Acoust 2007.
- 3) Kino N. Ultrasonic measurements of the two characteristic lengths in fibrous materials. Appl Acoust 2007.
- 4) 木野直樹, 多孔質材料の吸音率予測モデルの研究－非音響パラメータと音響管の計測精度を重視した取り組み－, 日本音響学会建築音響研究会, 2011.
- 5) Kino N, Ueno T. Improvements to the Johnson-Allard model for rigid-framed fibrous materials. Appl Acoust 2007.
- 6) Delany ME, Bazley EN. Acoustical properties of fibrous absorbent materials. Appl Acoust 1970.
- 7) Miki Y. Acoustical properties of porous materials -Modifications of Delany-Bazley models-. J Acoust Soc Jpn 1990.
- 8) Komatsu T. Improvement of the Delany-Bazley and Miki models for fibrous sound-absorbing materials. Acoust.Sci. & Tech. 2008.
- 9) Kino N, Ueno T. Investigation sample size effects in impedance tube measurements. Appl Acoust 2007.
- 10) Kino N, Ueno T, Suzuki Y and Makino H. Investigation of non-acoustical parameters of compressed melamine foam materials. Appl Acoust 2009.
- 11) Biot MA. Theory of propagation of elastic waves in a fluid-saturated porous solid. I. low-frequency range. J Acoust Soc Am 1956.
- 12) Biot MA. Theory of propagation of elastic waves in a fluid-saturated porous solid. II. higher frequency range. J Acoust Soc Am 1956.
- 13) Bies D A., Hansen C H. Flow resistance information for acoustical design. Appl Acoust 1980.

多孔質材料の吸音率予測モデルの研究

— 圧縮したメラミンフォームの物性パラメータの予測 —

電子科 木野直樹

Study on prediction models for absorption coefficient of porous media

— Prediction of physical parameters of compressed melamine foams —

Naoki Kino

A series of careful non-acoustical parameters measurements using melamine foam samples have been made. Flow resistivity, tortuosity, porosity, viscous characteristic length and thermal characteristic length of compressed melamine foam materials have been investigated. It has been found that it is possible to predict the flow resistivity and two characteristic lengths of compressed melamine foam materials using the Kino-Allard model. This paper also discusses the non-acoustical parameters using the Castagnède model and the Foam-X

1. はじめに

多孔質材料の吸音率を予測する音響モデルには、Flow resistivity による Single parameter models¹⁻³⁾やFlow resistivityに加えてPorosity、Tortuosity とCharacteristic lengths を用いるJohnson-Allard model^{4、5)}がある。また、それらの物性パラメータに加えてせん断弾性率とポアソン比を用いるBiot-Johnson-Champoux-Allard model⁶⁻⁸⁾がある。

本報告では、圧縮によって変化するメラミンフォームのFlow resistivityとCharacteristic lengthsを予測するために開発したモデル^{9、10)}による予測値を計測値と比較しながら紹介する。また、フランスのメーヌ大学のモデル¹¹⁾とFoam-X¹²⁾を用いて計算した値との比較も紹介する。

2. 実験方法

熱プレス加工を施して圧縮したメラミンフォームのFlow resistivityは、ISO9053規格に基づき、直流の空気を流して試料前後の微差圧の計測を行った¹³⁾。Tortuosity とCharacteristic lengthsは、試料を透過する超音波の音速を計測することで導出した^{14、15)}。フランスのメーヌ大学のモデルによる予測値は、論文に従い、材料の圧縮率と圧縮のない材料の計測した物性パラメータを用いて計算した。また、

Foam-Xによる計算値は、ユーザズガイドに従い、音響管で計測した複素インピーダンス、複素反射率と吸音率の狭帯域周波数依存データをCSVファイルにして計算した。

3. 結果

3. 1 メーヌ大学のモデルとの比較

フランスのメーヌ大学は、Uniaxial compression (1 D model) 或いはSurface-like compression (2 D model) の予測式を発表している¹¹⁾。圧縮率 n は、圧縮前の試料の厚さ $b_{(1)}$ と圧縮後の試料 $b_{(n)}$ の厚さによって式(1)で表す。圧縮後のFlow resistivity $\sigma_{(n)}$ は、圧縮前のFlow resistivity $\sigma_{(1)}$ を使った計算式が示されている。これらの式を使って予測した値と計測したFlow resistivityの値の比較を図1と2に示す。

$$n = b_{(1)} / b_{(n)} \quad (1)$$

どちらのモデルも2を超える圧縮率の場合には適用出来ないことが解った。彼らの論文では、圧縮率が2より小さい繊維材料について、計測値と予測値の比較が行われているが、圧縮率が2を超えるものについては提示されていない。

圧縮後のViscous characteristic length $\Lambda_{(n)}$ は、圧縮前のViscous characteristic length $\Lambda_{(1)}$ を使って示されている。この式を使って予測した値と計測

したViscous characteristic lengthの値の比較を図3に示す。2D modelによる予測値は有効であったが、この報告で行った圧縮は、1D modelに相当する厚さを低減したものだった。

メラミンフォームの繊維等価半径 $6.5\mu\text{m}$ を使い式(2)に示すKino model^{9, 10)}で予測したFlow resistivity σ_{Kino} を図4に示す。

$$\sigma_{\text{Kino}} d_{\text{Kino}}^2 \rho_1^{-1.53} = 11.5 \times 10^{-9} \quad (2)$$

d_{Kino} は、メラミンの等価繊維直径を示す。また、 ρ_1 は、メラミンフォームの高密度を示す。

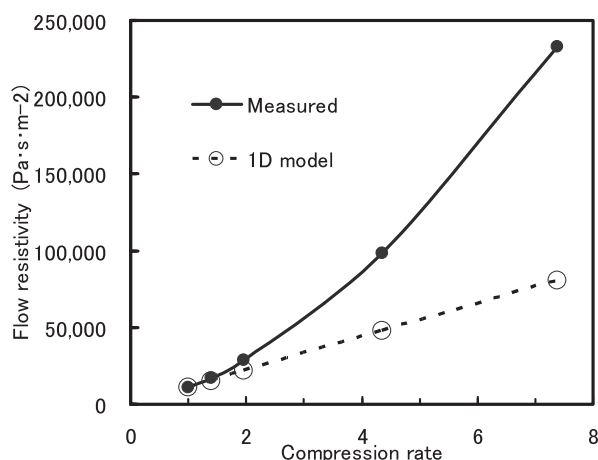


図1 Flow resistivityの計測値と予測値(1D model)の比較

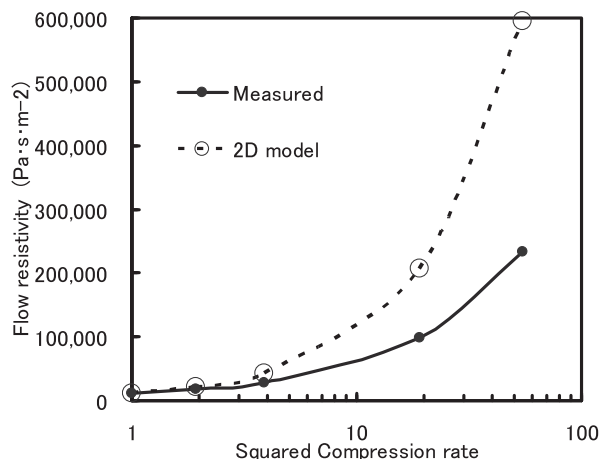


図2 Flow resistivityの計測値と予測値(2D model)の比較

Kino-Allard model^{9, 10)}で予測したViscous characteristic lengthを図5に示す。計測値との食い違いは小さいことから、これらの予測式は、実用可能と考える。メーヌ大学の予測式は、圧縮の無いViscous characteristic lengthの計測値 $\Lambda_{(1)}$ を使うが、Kino-Allard modelは、Viscous

characteristic lengthの計測値を使用しない。

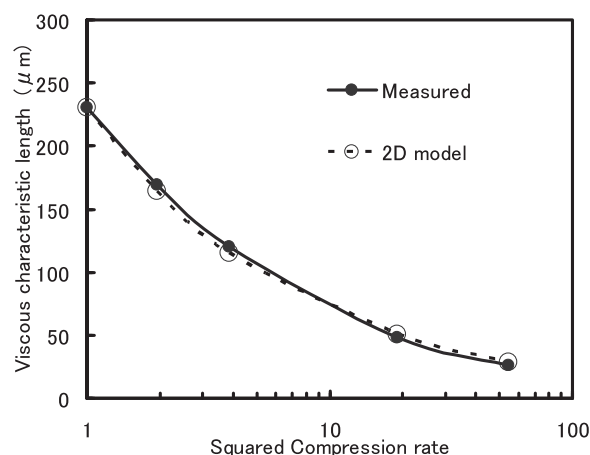


図3 Viscous characteristic lengthの計測値と予測値(2D model)の比較

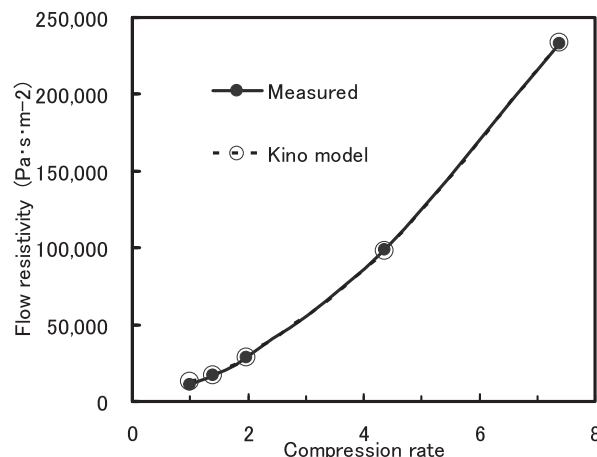


図4 Flow resistivityの計測値と予測値(Kino model)の比較

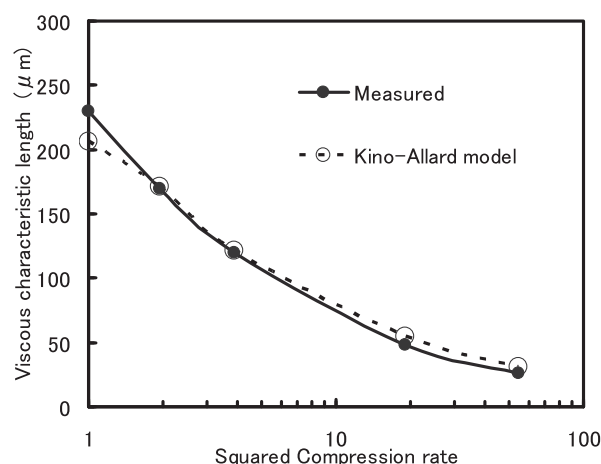


図5 Viscous characteristic lengthの計測値と予測値(Kino-Allard model)の比較

Viscous characteristic lengthとThermal characteristic lengthの計測^{14, 15)}は、一般的な実験室では難しいが、Kino-Allard modelを使うことに

【報告】

よって、2つの Characteristic lengthsと Flow resistivityの計算による導出が可能である。

Tortuosityについては、メーヌ大学の予測式と計測結果が合わなかった。そこで、試料の圧縮率と伝搬経路の圧縮率が異なる条件を用いた実験式¹⁰⁾を提案した。

3. 2 Foam-Xによる計算値との比較

文献^{12, 16)}には、音響管で計測するインピーダンスのデータから非音響パラメータを推定するInverse methodや音響管で計測する複素密度と複素体積弾性率から非音響パラメータを推定するIndirect methodが発表されている。彼らの論文では、2つの Characteristic lengthsの計算値と計測値の比較検証が無く、Inverse methodとIndirect methodの計算値同士の比較と最終的な解である吸音率の比較が行われている。これで検証になるのか疑問に思うのである。これでは、計算された物性パラメータ並びに、Johnson-Allard とLimp modelsの有効性が見えないのではないだろうか。このカナダの大学のInverse methodを利用した多孔質吸音材料の物性パラメータを計算するソフトウェアFoam-XがESIグループから販売されている。実際にどのような結果が得られるのか計算を行ったので紹介する。図6に、ソフトのGUIを示す。ここで採り上げる試料は、実験した複数の中でのSample 53で、圧縮率 $n=$

1.9669のメラミンフォームである。Sample 53の計測した物性パラメータを表1と2に示す。表1には、5つの物性パラメータすべてをFoam-Xで計算させた結果も示す。表2には、Flow resistivityとPorosityの計測値を入力して3つの物性パラメータのみをFoam-Xで計算させた結果を示す。表1のFlow resistivityの計算値は、計測値の1.8~4.4倍であった。表2のTortuosityの計算値は、計測値の1.3~1.4倍であった。

ここで示した計測値の検証結果の詳細は、論文^{9, 10)}に発表しているので、ここでは省略する。

素材開発の現場では、もの作りのノウハウと材料の実態をとらえた物性パラメータの情報が伴ってこそ有益である。

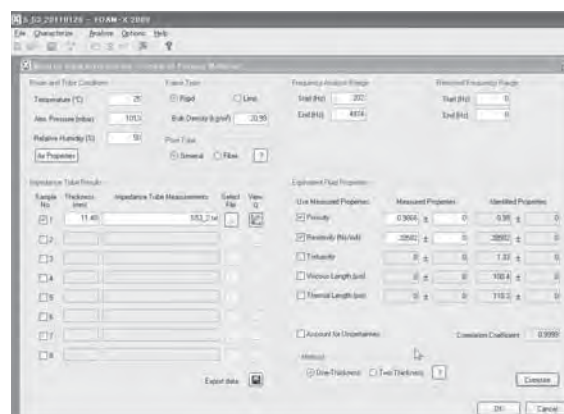


図6 Foam-Xの実行画面

表1 メラミンフォーム試料Sample 53の物性の計測値とFoam-Xを使った計算値の比較その1

	Measured	Foam-X Rigid-General	Foam-X Limp-General
Flow resistivity (Pa s m ⁻²)	28,582	124,366	52,561
Porosity	0.9866	0.75	1
Tortuosity	1.0146	1	1
Viscous characteristic length (μm)	120	270	250
Thermal characteristic length (μm)	266	279	253

表2 メラミンフォーム試料Sample 53の物性の計測値とFoam-Xを使った計算値の比較その2

	Measured	Foam-X Rigid-General	Foam-X Limp-General
Flow resistivity (Pa s m ⁻²)	28,582	28,582	28,582
Porosity	0.9866	0.9866	0.9866
Tortuosity	1.0146	1.33	1.45
Viscous characteristic length (μm)	120	100	110
Thermal characteristic length (μm)	266	110	112

4. おわりに

グラスウールとポリエステル繊維材料について、非音響パラメータである Flow resistivity と Characteristic lengths は、計測しなくても予測できることを論文¹³⁾で示している。今回、圧縮したメラミンフォームの Flow resistivity と Characteristic lengths も予測できることを示した。

非音響パラメータの Characteristic lengths の計測は、とても難しい。そこで、実験に基づいた予測式を作ることに努めた。次は、ウレタンフォームの Characteristic lengths を解明していきたい。また、Foam-X の計算結果について、さらに考察した結果を示す予定である。

謝辞

本研究のために、材料と Foam-X による計算結果を提供していただいた(株)イノアックコーポレーションの鈴木靖宏氏と中野吾郎氏に感謝致します。

参考文献

- 1) Delany ME, Bazley EN. Acoustical properties of fibrous absorbent materials. Appl Acoust 1970.
- 2) Miki Y. Acoustical properties of porous materials -Modifications of Delany-Bazley models-. J Acoust Soc Jpn 1990.
- 3) Komatsu T. Improvement of the Delany-Bazley and Miki models for fibrous sound-absorbing materials. Acoust. Sci. & Tech. 2008.
- 4) Allard JF, Champoux Y. New empirical equations for sound propagation in rigid frame fibrous materials. J Acoust Soc Am 1992.
- 5) Kino N, Ueno T. Improvements to the Johnson-Allard model for rigid-framed fibrous materials. Appl Acoust 2007.
- 6) Biot MA. Theory of propagation of elastic waves in a fluid-saturated porous solid. I. low-frequency range. J Acoust Soc Am 1956.
- 7) Biot MA. Theory of propagation of elastic waves in a fluid-saturated porous solid. II. higher frequency range. J Acoust Soc Am 1956.
- 8) Allard JF. Propagation of sound in porous media: Modelling sound absorbing materials. Elsevier Applied Science 1993.
- 9) Kino N, Ueno T. Comparisons between characteristic lengths and fibre equivalent diameters in glass fibre and melamine foam materials of similar flow resistivity. Appl Acoust 2008.
- 10) Kino N, Ueno T, Suzuki Y and Makino H. Investigation of non-acoustical parameters of compressed melamine foam materials. Appl Acoust 2009.
- 11) Castagnède B, Aknine A, Brouard B, Tarnow V. Effects of compression on the sound absorption of fibrous materials. Appl Acoust 2000.
- 12) Atalla Y, Panneton R. inverse acoustical characterization of open cell porous media using impedance tube measurements. Canadian Acoustics. 2005.
- 13) Kino N, Ueno T. Experimental determination of the micro- and macrostructural parameters influencing the acoustical performance of fibrous media. Appl Acoust 2007.
- 14) Kino N. Ultrasonic measurements of the two characteristic lengths in fibrous materials. Appl Acoust 2007.
- 15) 木野直樹, 多孔質材料の吸音率予測モデルの研究－非音響パラメータと音響管の計測精度を重視した取り組み－, 日本音響学会建築音響研究会, 2011.
- 16) Doutres O, Salissou Y, Atalla N, Panneton R. Evaluation of the acoustic and non-acoustic properties of sound absorbing materials using a three-microphone impedance tube. Appl Acoust 2010.

オゾンを利用した小規模酪農用排水処理装置の開発 (第1報)

— 酪農排水に含まれる抗生物質のオゾン分解 —

環境科 岡本哲志
株式会社ハマネツ 坂田訓章

Development of Wastewater Treatment Equipment for Small-scale Dairies Using Ozone (1st report)

— Ozonolysis of Two Antibiotics Contained in Dairy Wastewater —

Tetsuji Okamoto and Kuniaki Sakata

This study investigated the degradation characteristics of two antibiotics for treatment with a possibility of mixing in a dairy wastewater by ‘alkaline ozone process’ (ozonization under alkaline condition). To begin with, through preliminary test (treatment scale: 0.1L), we searched for the conditions which could degrade the antibiotics completely. As a result, organic carbon was not detected, and sulfur atom contained in the antibiotics was oxidized not less than 90% to sulfate ion, which suggested that the antibiotics were mineralized. Subsequently, based on the result of the preliminary test, the scale up (treatment scale: 17L) using a prototype was performed. About the non detection of the antibiotics and the nearly quantitative generation of sulfate ion, the same results as the preliminary test were obtained, and the scale up was possible.

1. はじめに

平均排水量が50m³/日未満の小規模事業場は、水質汚濁防止法に基づく排水規制の対象となっており、十分な排水処理対策が行われていないため、小規模事業場を対象にした新たな規制の動きも自治体レベルで出始めている¹⁾。小規模事業場の中で、同法に基づく特定事業場の届出数で2番目に多い業種が畜産農業である。特に酪農場では、経営合理化のため、1戸当たりの飼養頭数の増加と共に排水量が増加する一方で、飼料高騰等の不安定な経済情勢のため、新たな投資意欲が減退している。

そこで、本研究では、県内の小規模酪農家を対象とした、小型で安価な排水処理装置を開発することを目的とした。酪農排水には、畜舎や搾乳施設の洗浄水のほか廃棄乳が含まれ、通常の活性汚泥法では処理が困難な成分が含まれている。例えば、廃棄乳には、治療用抗生物質を含有するものもあり、国内の河川においても微量ながら検出例が多数報告されている²⁾。本研究では、酪農排水中の難分解性成分の分解に、強い酸化力を持つオゾン（化学式：O₃）

を利用した。特に、排水をアルカリ性としたオゾン処理（以下、アルカリ・オゾン処理）を行うことで、分解が促進されることを他の難分解性有機物に対し

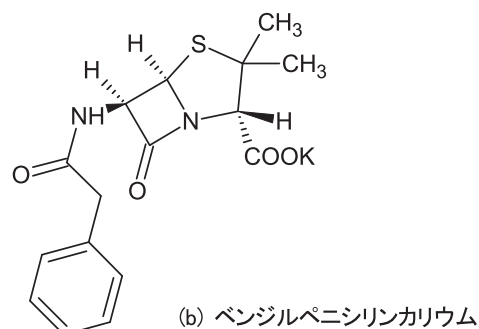
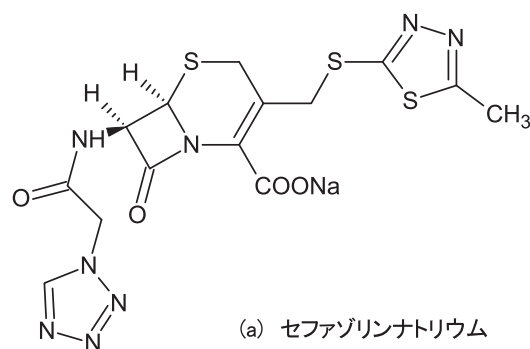


図1：選抜した抗生物質の化学構造

【報告】

見出した³⁾。本報では、上記抗生物質としてセファゾリンナトリウム（CS）及びベンジルペニシリンカリウム（BPP）（図1）を選抜し、これらを完全分解（炭酸ガス化）することを目的として、アルカリ・オゾン処理による分解特性を調べたので、以下に報告する。

2. 実験方法

2. 1 実験室レベルでの基礎試験

最初に、少量の排水（0.1L）を用いて実験室レベルでの基礎試験を行い、抗生物質を完全分解できる条件を探索した。

試験排水は、各抗生物質（初発濃度：50mg/L）及び水酸化ナトリウム（最終濃度：0.1M）を含む水溶液として個別に調製した。この試験排水100mLをガラス管（直径：30mm、長さ：275mm）に添加し、オゾンガス（0.1L/分）を吹き込んだ（図2）。この条件で蒸留水100mLに吹き込んだ時の水中のオゾン濃度は3 mg/Lではば一定であった（図3）。

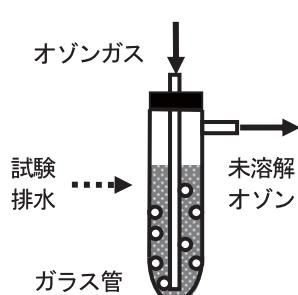


図2：基礎試験装置

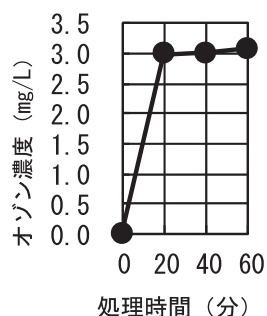


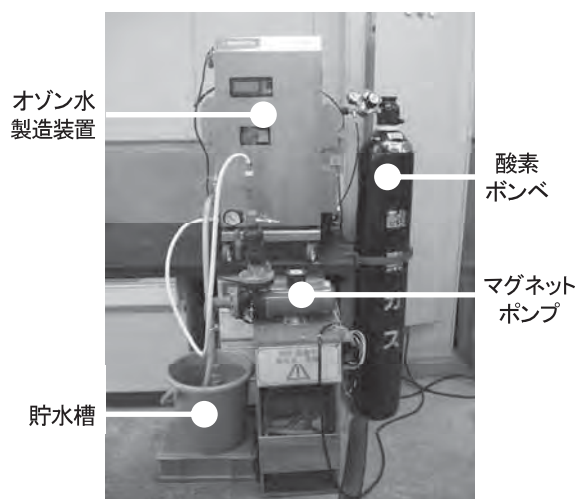
図3：水中のオゾン濃度の経時変化

抗生物質の分解特性を評価するために、排水中の抗生物質及び全有機体炭素（TOC）、並びに、生成物である硫酸イオンの各濃度の経時変化を調べた。排水中の抗生物質の濃度は、公定法⁴⁾を参考に高速液体クロマトグラフ（東ソー、CCP&8010）により定量した。また、TOC濃度はTOC分析計（島津製作所、TOC-500）、硫酸イオン濃度はイオンクロマトグラフ（日本ダイオネクス、DX-320）を用いて各々定量した。

2. 2 試作機によるスケールアップ

次に、2. 1で得られた条件を基に、処理規模を17Lに拡大した。使用した試験装置（写真）は、共

同研究企業である株式会社ハマネツが開発した、オゾン水製造装置（HOW-1）を基に試作され、他にマグネットポンプ、貯水槽、酸素ボンベから構成されている。処理の流れとしては、1）貯水槽内の排水をマグネットポンプで汲み上げ、オゾン水製造装置に供給する。2）装置に供給された排水には、オゾンが溶解され、再び貯水槽に返送される、という操作が繰り返される。この過程で、溶解したオゾンが排水中の有機物を酸化分解する。また、図4のオゾン水生成簡易フローに示すように、未溶解オゾンガスは気液分離タンクにて分離され、新たに追加した酸素と共に、再びオゾン発生器を通過して再オゾン化され循環する。このようにオゾンを効率良く排水に溶解させることで、未溶解のオゾン捨ててしまう従来型の基礎試験の方式に比べ、処理コストの低減を実現している。



写真：排水処理装置（（株）ハマネツ試作）

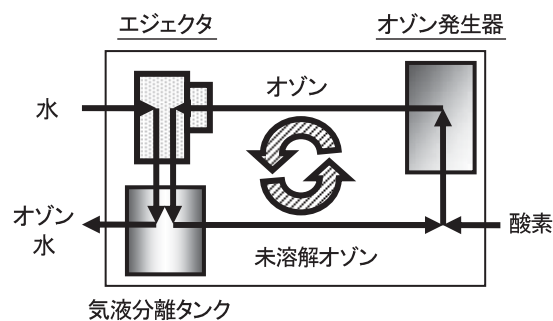


図4：オゾン水生成簡易フロー

試験条件を下表にまとめた。抗生物質の初発濃度や、水酸化ナトリウムの添加濃度は2. 1と同一とした。また、抗生物質の分解特性を評価するための

【報告】

分析項目も2. 1と同一とした。

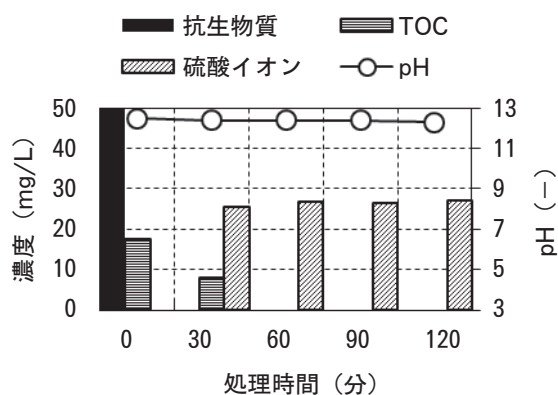
表：試作機による処理条件

排水量 (L)	17
循環速度 (L/min)	15.0±0.2
オゾン発生器出力 (オゾン水濃度)	100%ボリューム (5.0mg/L) ⁹⁾

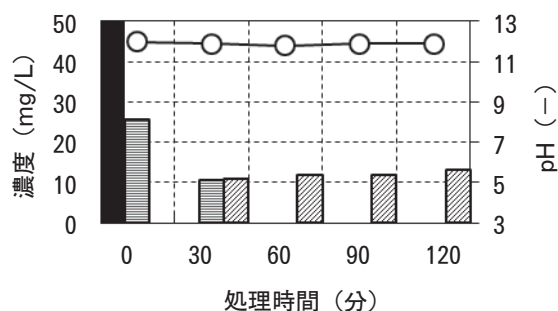
3. 結果及び考察

3. 1 実験室レベルでの基礎試験

供試した2種類の抗生物質に対する処理結果を図5に示す。アルカリ・オゾン処理により、両物質とも処理開始30分後には検出されなかった。また、TOCも60分後には検出されなかったことから、完全分解（炭酸ガス化）しているものと判断した。さらに、両物質に含まれる硫黄も、酸化分解により硫酸イオンとして90%以上生成した（硫黄から100%変換された時の硫酸イオン濃度 (mg/L) : 30.2 (CS), 12.9 (BPP))。



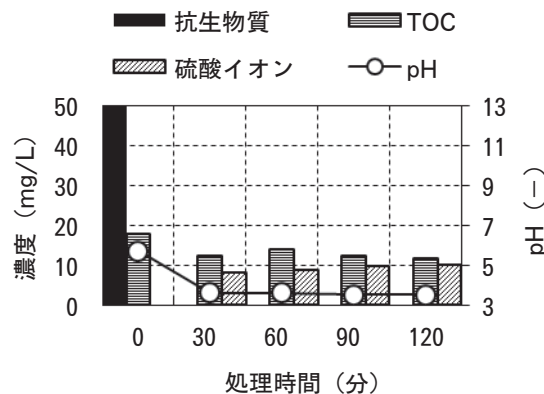
(a) セファゾリンナトリウム



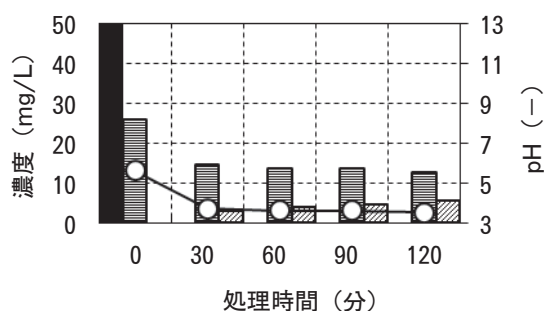
(b) ベンジルペニシリンカリウム

図5：抗生物質排水のアルカリ・オゾン処理（基礎試験）

一方、アルカリを添加しない場合（図6）には、抗生物質自体は分解したが、処理の過程でTOC濃度の減少速度が急速に低下したため、中間生成物が残留しているものと考えられた。



(a) セファゾリンナトリウム



(b) ベンジルペニシリンカリウム

図6：抗生物質排水のオゾン処理（アルカリ添加無し）

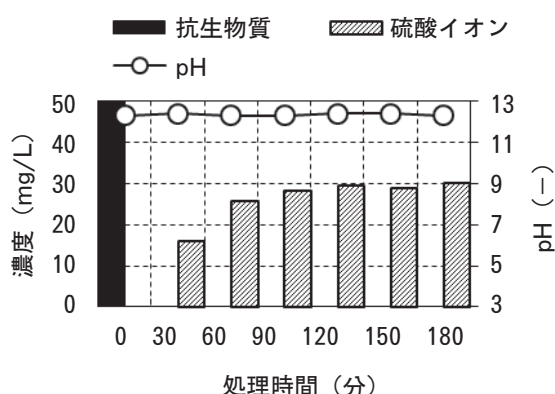
アルカリ・オゾン処理では、オゾンの半減期がpH 8以上で急減する性質⁶⁾を利用し、アルカリ性条件下でオゾンの一部を分解させ、オゾンに比べ基質特異性が低く反応性が高い活性酸素種を生成させることで、抗生物質の分解を促進していると考えられた。また、今回設定した処理条件では、抗生物質に比べ水酸化ナトリウムの添加濃度が高かった。しかし、上記の理由でオゾン分解が促進されているのであれば、水酸化ナトリウムの添加量は処理過程における排水の液性をアルカリ性に保持できる程度まで減らすことができ、これにより、処理後のpH調整の負担や、処理水に残留する塩濃度を低減できると考えられた。抗生物質排水のオゾン分解をアルカリ剤以外で促進させた研究例（過酸化水素を使用）⁷⁾では、排水の初期pHがアルカリ性であっても、処理の過程で中性から酸性と遷移する実験系で

【報告】

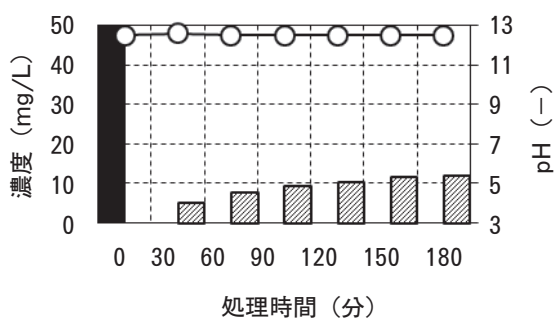
は、抗生物質由来の有機物（COD濃度で評価）が残留することが報告されている。

3. 2 試作機によるスケールアップ

3. 1の結果を基に、試作機を利用したスケールアップした処理系においても適用できるか検討した。供試した2種類の抗生物質に対する処理結果（図7）を示す。両物質とも、処理開始30分後には、3. 1の結果と同様に検出されなかった。また、硫酸イオンも3. 1と同等以上の回収率が得られ、完全分解が示唆された。一方で、3. 1で可能だったTOC濃度の定量が困難であったため、完全分解の確証は得られなかった。これは、本研究と平行して酪農排水本体の処理条件の検討を行っており、試験後の十分な洗浄でも酪農排水由来の有機物を除去できなかったためと考えられた。但し、硫酸イオンの全てが、分解された抗生物質由来であることは、抗生物質を含まない試験排水を使用した対照試験で、硫酸イオンが検出されなかったことから確認された。



(a) セファゾリンナトリウム



(b) ベンジルペニシリンカリウム

図7：抗生物質排水のアルカリ・オゾン処理（試作機使用）

以上の結果から、抗生物質排水のオゾン処理水の安全性を、完全分解を指標に試作機レベルで追跡することには限界があった。今後は、オゾン処理した抗生物質排水に対し、微生物を用いた安全性試験を行いたいと考えている。

今回試作された処理装置のベースとなっている、オゾン水製造装置自体は、医療や食品の分野で普及が始まっている。この試作機を酪農排水処理分野でも普及させていくためには、ベースとなる同装置に加える改良を最小限に留め、運転方法で最適化していく方が、全体のスケールメリットによる製造コストの削減につながると考えている。

4. まとめ

本研究では、酪農排水に混入する恐れのある2種類の治療用抗生物質を完全分解することを目的として、アルカリ・オゾン処理による分解特性を調べ、以下のことがわかった。

- 1) 最初に、少量の排水（0.1L）を用いて基礎試験を行い、抗生物質を完全分解できる条件を探索した。排水の液性をアルカリ性に保持しながらオゾン処理を行うことで、TOCが検出されず、抗生物質に含有する硫黄も硫酸イオンとして90%以上生成したことから、完全分解しているものと判断された。
- 2) 基礎試験の結果を踏まえ、試作機を用いたスケールアップ（処理規模：17L）を行った。TOC濃度を精確に定量できなかったが、抗生物質の非検出や硫酸イオンの定量的な回収については基礎試験と同様の結果が得られ、スケールアップは可能だった。

謝辞

本研究は、農林水産省の「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業」（課題名：中小規模酪農用オゾン高度排水処理装置の開発と処理水の安全性確保、共同研究機関：静岡県畜産技術研究所、（株）ハマネツ、静岡大学創造科学技術大学院）として実施した。また、本研究の遂行に当たり、国立大学法人 静岡大学工学部 物質工学科の前澤昭禮准

【報告】

教授には、外部研究員として懇切丁寧なご指導をいただきました。ここに深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 香川県生活環境の保全に関する条例 (H24.4.1 から適用) など.
- 2) 村田綾子他: 「日本の河川の抗生物質汚染の実態解明」, 第15回環境化学討論会講演要旨集, pp.190-191 (2006).
- 3) 岡本哲志、松本豊、山本須美夫: 「オゾンを利用したVOC汚染土壌の原位置浄化技術ーアルカリ・オゾン処理による有機塩素系排水の無害化ー」, 環境浄化技術, 第7巻, 第4号, pp.49-53 (2008).
- 4) 厚生労働省: 第十六改正日本薬局方, pp.777-778 (2011).
- 5) 株式会社ハマネツ: オゾン水製造装置 (HOW-1) 技術資料.
- 6) 杉光英俊: 「オゾンの基礎と応用」, 光琳, pp.248 (2004).
- 7) Iskender, G. et al.: Water. Sci. Technol., Vol.55, pp.217-225 (2007).

入浴用リフトの姿勢保持具について

ユニバーサルデザイン科
ソフトプレシ工業株式会社
株式会社アマノ

小松 剛 易 強 多々良哲也
亀井 力 前嶋宏明 前嶋文明
秋山定則

Development of the sitting position retainer for the Bath Lift

Takeshi Komatsu, Tsuyoshi Yi Yoto, Tetsuya Tatara,

Tsutomu Kamei, Hiroaki Maejima, Fumiaki Maejima and Sadanori Akiyama

The care-givers bear a heavy burden to give the care-receiver a bath. The Bath Lift exists to ease this burden from care-givers. However, some care-receivers feel the lift unpleasant because the size of the chair doesn't fit their body. Because many care-receivers are diminutive thin body, or are with a disability. To solve this problem, we are developing the sitting position retainer for the Bath Lift. In this paper I would like to examine the shape and material of the sitting position retainer.

1 はじめに

介護者の身体的負担の大きい作業の一つが「入浴介護」であり、入浴介護の負担を軽減するために、写真1のような「入浴用リフト」が数社から発売されている。しかし、利用者の中にはリフトを機械的な介護だ感じて嫌がる人もいる。この問題を解決するため、介護者と利用者の両者に優しい入浴用リフトを目指して、リフトの改良を進めている。¹⁾



写真1 入浴用リフトの例

今まで、主にリフト自体の操作性を改良する研究をしてきたが、介護現場での評価試験をしていくと、利用者の乗り心地を良くするためには、姿勢保持具が必要であることが明確になった。入浴介護を受けている利用者の多くは、小柄でやせ型であり、身体に障害がある場合もあり、入浴機器が体型にフィットしていないという現状があった。このような利用者

達の姿勢を保持具によって安定させることができれば、リフトに対する恐怖心が減り、より快適な入浴ができるようになる。

車いすで使う姿勢保持具は今までかなり詳しく研究されてきている²⁾³⁾。車いす用やベッド用の姿勢保持具の製品は多く発売されているが、それらは水中で使うことを想定したものではないため、入浴時に使えるものではない。今回、入浴用に特化した姿勢保持具として、以下の要求項目を満たすものを開発する。

- ①利用者の姿勢を安定させる。
- ②ずれ落ちない。
- ③浴槽内で浮き上がらない。
- ④水切れが良く、乾きやすい。
- ⑤肌触りが良く、痛くない。
- ⑥清潔である。
- ⑦冷たくない。
- ⑧取り付け・取り外しが簡単。
- ⑨安価である。

2 方法

2.1 形状の評価

リフトタイプだけでなく、介護個浴タイプや、一般的な個別浴槽にも応用できるように、できるだけシンプルな形状を目指した。

【報告】

介護現場の方の意見をもとに、形状のアイデアを作り3次元CADで図面化した。このイメージ図を元に試作品を製作し、施設現場で実際に使っていただきながら、形状の修正やサイズの調整を繰り返した。また、効果が確認できた座面シートについて、体圧分布測定装置（FSA）を使って、座部の圧力測定を行った。

2. 2 素材の評価

開発品では、冷めにくさと柔らかさを両立するためにゲル材を利用した。表面材については、5種類のサンプル（100mm×100mm×10mm）で製作し、従来品2種類（サンペルカ、熱圧成型品）と比較して、冷めにくさと柔らかさを測定した。5種類の表面材のサンプルについて、柔らかさ、肌触り、お湯に浸けた後の冷たさ、水切れの良さ、乾きやすさ等から総合的に判断し、1種類の素材を選んだ。本報では、この素材についての冷め方、結果のみを示すことにする。

冷めにくさは、42℃のお湯に10分間浸けた後の表面温度をサーミスタで測定した。柔らかさは、当初、F型硬度計（ウレタン用）で測定したが、体感する硬さと一致しなかったため、クリープメータRe-3305S（山電製）で、圧縮率と荷重の関係から評価を行った。この測定器では、直径1.27cmの球体のプランジャーを押しつけることで、指先で押す感覚に近い硬さが分かる。

3 結果と考察

3. 1 形状の評価

介護現場でのヒアリング結果から、次のようなことが分かった。

介護度が進んだ利用者は、体幹を保った座位保持が自力ではできず、背中を背もたれに掛けて座ることがない。そのような利用者は、左右どちらかへ傾いてしまい、身体を保持しようとし、傾いた方向の肘置きに前腕部を使って前傾姿勢を支持する。加えて、円背の方の座位は前傾姿勢となり、その姿勢を前腕部で支持して、これ以上前傾にならないようにする。これらの要因から、利用者が傾いた上体を片側の前腕部のみで保持すると、その部分を強く圧迫

し傷みを生じてしまう。円背が強い利用者は、肘置きを使えない場合もある。

これらの意見を反映して、リフト用の保持具の種類として、図1に示す3点（①バックサポート、②サイドサポート、③アームレストカバー）を製作することに決定した。また、3つの座位保持具の試作品をリフトの座部に設置した様子を写真2に示す。



図1 座位保持具3点セット



写真2 座位保持具のセットの様子

円背の利用者は、腰の後ろにバックサポートがあることで、体重を後ろに預けることができるようになり、骨盤が安定し上体を起こすことができる（図2参照）。その後、左右の傾きや、圧迫が集中する部分を他のクッションで補うという方法をとった。アームレストのクッション性を高めることは、前腕部の傷みを直接和らげる効果がある。また、体の傾きを抑えるため体幹の横から支持するサイドサポー

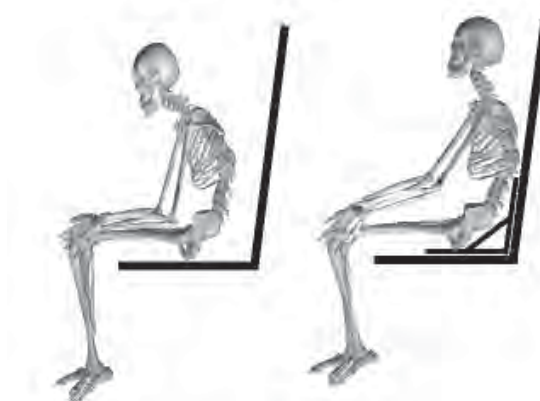


図2 バックサポートの効果（左は無し、右は有り）

【報告】

トは、身体の傾きを抑えるために有効であり、上体を本来の座位姿勢にもっていくことで、前腕部の圧迫を軽減させることもできる。

座面の体圧分布について測定した例を図3に示す。図の下側が利用者の前方になる。坐骨部分の2点に強く接触するが、バックサポートがあると、腸骨の2点が追加され4点で骨盤を保持することができる。このことで、坐骨部分が前方に滑ることを防いでいる。また、褥瘡になりやすい仙骨を刺激せずに、広い面積で座面と接することから、荷重の分散にもなり、利用者の痛みを低減する効果もある。



図3 バックサポートによる体圧分布の違い
(左は無し、右は有り)

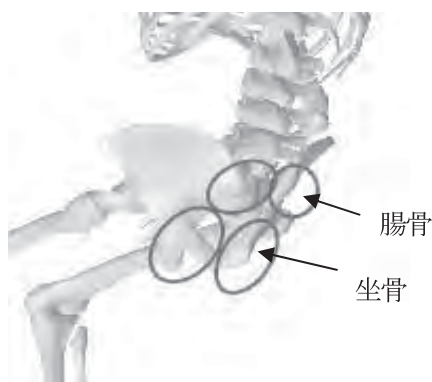


図4 バックサポートが触れる骨盤の位置

3. 2 素材の評価

図5は、42度のお湯から出した後の表面温度の測定結果である。従来品のサンプルカや熱圧成形のものは、約1分で室温以下にまで下がってしまったが、ゲルを使った開発品は熱を保持できるため、10分以上、室温以上の温度を保っていた。

温度の保持時間は、温めた時間が長いほど長くなり、湯温や気温によっても冷め方は大きく変わることを確認している。

実際に測定した温度と人が感じる冷たさには違いがあるが、他のサンプルと比較して、この開発品は

測定値以上に温かく感じた。従来品は熱を保持する機能がないため一度濡れると座部が冷たくなりやすいという欠点をもっていたが、開発品は温かいクッションとして介護現場で好評だった。

図6は、クリープメータで柔らかさを測定した結果である。圧縮に必要な荷重が小さいほど、柔らかいことを示している。開発品は、熱圧成形やサンペルカよりもかなり柔らかく、利用者から「痛くなくなった。」と評価していただいた。

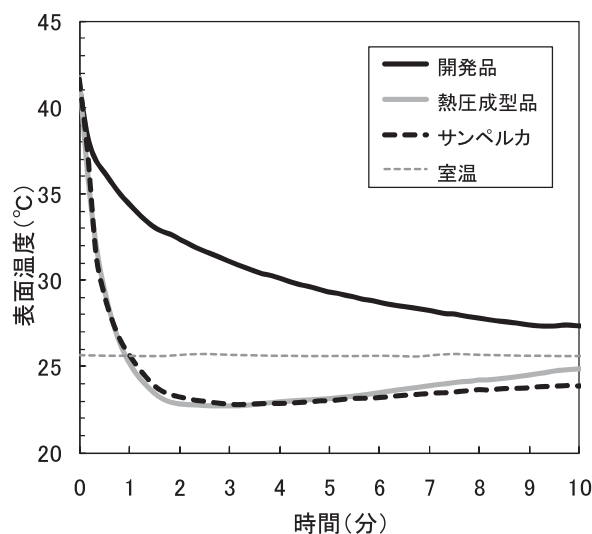


図5 サンプルによる冷め方の違い

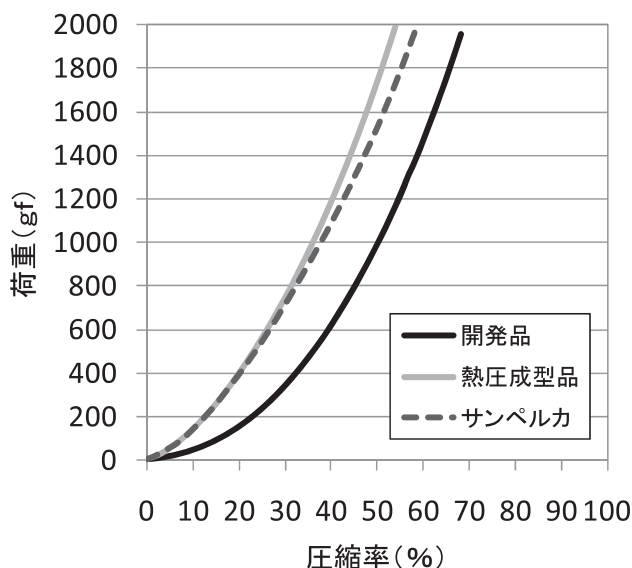


図6 サンプルによる柔らかさの違い

開発品の表面素材をさらに薄いフィルムを使うことで、より柔らかいサンプルも製作できたが、薄くすると耐久性が悪くなるため、この方法は採用しない。また、同じ表面材で製作したサンプルでも、充填するゲルの量を詰めすぎると硬くなる傾向がある。

【報告】

ゲルを厚くしただけ柔らかく感じるわけではなく、ある程度の厚さで感触はほとんど変わらなくなる。下地の硬さによっても、感触は大きく変わってしまい、柔らかければ柔らかいほど良いというわけではない。実際にどのくらいの柔らかさが最適なのかは現物で判断するしかない。

4 まとめ

本開発品は、入浴機器の椅子やリフト用の姿勢保持具である。介護度が高くなることで座部を硬く感じるようになった利用者のために、柔らかくて肌触りの良い素材を開発し、3点の姿勢保持具（バックサポート、サイドサポート、アームレストカバー）を試作した。それぞれ、目標としてきた要求項目をほぼ満たしているが、今後、耐久性向上のため、接着方法等を改良していくことが必須である。今後も、介護現場の意見をとり入れながら、商品化を目指して開発を続けていく予定である。

介護施設では、できるだけ1人用の浴槽で1人ずつ入浴する個浴を継続していきたいという考えがある。その大きな理由としては、利用者の自尊心を高め、入居生活のQOLの向上と維持ができるためで

ある。そのために、リフトは有効な入浴装置である。今回の座位姿勢の保持具は、リフトを快適なものにするという目的の他、リフト浴の対象となる身体レベルの範囲を広げる側面も持っており、リフト自体の商品価値を高めることにも繋がると期待している。

謝辞

この研究は、(財)しずおか産業創造機構の平成22年度地域活性化事業（静岡新産業集積クラスター研究開発助成事業）に採択され実施したものである。協力していただいた介護施設の皆様に感謝とお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 小松他：介護者と利用者の両者に優しい入浴用リフト，計測自動制御学会SI2010，1930-1933（2010）
- 2) 田中，伊藤：車いす・シーティングーその理解と実践ー，編集 日本車いすシーティング協会，はる書房
- 3) Rory A. Cooper：車いすのヒューマンデザイン，医学書院

開封しやすい豆腐パックの試作および人間工学評価

ユニバーサルデザイン工芸科 易 強 多々良哲也
 須田産業株式会社 鈴木敏治

The Prototyping and Ergonomic Evaluation of an Easy to Open Tofu Pack

Tsuyoshi Yi Yoto, Tetsuya Tatara and Toshiji Suzuki

There are only a few tofu packs on shelves that can be opened easily by hand. At present many people have to cut the upper film of tofu packs by knife. Consequently, tofu packs are hard to handle for children, the elderly and physically challenged people. In order to open tofu packs easily, the idea of adding a ring to the top film was proposed by a junior high school student. This proposal was awarded the 9th universal design grand prize of Shizuoka prefecture for junior high school students. We made a prototype of the tofu pack, named Surutto, based on the design competition idea, to examine the practicality of the pack in its usability and muscle load requirements.

Method: The subjects were 4 sufferers of rheumatism, 6 elderly people and 7 young people. A questionnaire was completed by the subjects after they opened the tofu packs and the times taken were measured. The muscular load was evaluated by surface electromyogram (EMG) of muscles flexor digitorum superficialis, extensor digitorum, flexor carpi ulnaris and adductor pollicis on the elderly and young people.

Result: The subjects couldn't open the off the shelf tofu packs even though they made all possible effort for 39 seconds on average. Conversely, the Surutto pack could be opened by all the subjects in 13 seconds. The mean time of the subject groups was 21 seconds for sufferers of rheumatism, 10 seconds for the elderly people and 17 seconds for young people. The results of the EMG showed that the muscular load required to open the Surutto pack was about 1/4 to 1/5 that required for the packs off the shelf.

Conclusion: After we adjusted the adhesive strength between the base and the top film of the prototype tofu pack and added a ring to the top film, people could open the tofu pack easily by pulling on the ring with one finger. As well as healthy young people, the elderly and the physically challenged could open the tofu pack with weaker force and in less time than the existing pack designs.

1. 序論

豆腐は消化吸収がよく、タンパク質の栄養的価値は質・量ともに高く、健康食品として日本に限らず、世界中で食用されている。日本では1世帯平均年間75丁購入され、食卓に馴染み深い食品である¹⁾。

日本の65歳以上の高齢者人口は、過去最高の2,822万人となり、総人口に占める割合（高齢化率）も22.1%となった。「75歳以上人口」（後期高齢者）は1,322万人（男性499万人、女性823万人）で、総

人口に占める割合は10.4%となり、初めて10%を超えた。まさに5人に1人が高齢者、10人に1人が75歳以上の「本格的な超高齢社会」となっている²⁾。また、上肢機能障害者が約45万人いると言われ³⁾、「手足の関節が痛む」と訴える人数は、日本全国で560万人、人口の4.5%を占めている。慢性関節リウマチのみでも患者数は日本全国で70万人であり、一年に1万5,000人が新しく発病している⁴⁾。



Figure 1. New idea for open tofu pack proposed by a junior high school student Momoko Inamori

市販されている豆腐パックのシールは手で簡単に開けられるものが少なく、包丁で切らざるを得ないのが現状である。このため、子ども、高齢者、手に障害のある人にとって扱いにくい商品となっている。この問題を少しでも解消するために、まだ種類が少ないが、容器とシールの接着力を小さくするイージーオープンタイプのパックや発想転換して裏から開けられるように工夫した“開楽パック”などが見られるようになった⁵⁾。しかし、指のピンチ力が弱い子どもや高齢者、指に障害のある方にとっては、豆腐パックを開けるのは依然困難である。

この問題に着目して、藤枝市の中学生⁶⁾が手で簡単に開封するため、丸い“わっか”の付いたトップシールを1本の指で剥がせるようにするアイデア「するっとパック」を提案し、第9回しずおかユニバーサルデザイン大賞中学生の部を受賞した (Figure 1)。

このアイデアを基に、我々が実用化に向けた試作品を製作し、ユーザビリティ評価や筋負担評価を行い、その有効性を検証した。

2. 方法

2. 1 パックの試作

試作した「するっとパック」の容器の素材はポリプロピレン (PP: Polypropylene) である。「するっとパック」のシールはイージーピールフィルム (ポ

リエチレンテレフタレート (PET: polyethylene terephthalate) とポリプロピレンの共押出多層フィルム) のE3310E (DIC製) である。シールの厚さは $63\mu\text{m}$ である。シールの表面は市販豆腐と同じように商品情報を印刷した。容器の上の縁とシールは 170°C で熱接着した。実験のために、中身は本物の豆腐ではなく、メラミンスポンジと水にした。トップシールの四角の内の1角に“わっか”状のシールを連結している (Figure 2)。

一方、試作品の有効性を検証するため、市販の豆腐パック相当のパックも製作した。市販のものと同じ材料を使い、試作品と同じ大きさと重さのメラミンスポンジを水と一緒に容器に密封した。容器の材料は試作品と同じだが、シールの素材は二軸延伸ポリプロピレン (OPP: Biaxially Oriented Polypropylene) である。シールの厚さは $45\mu\text{m}$ である。容器の上の縁とシールは 210°C で熱接着した。

2. 2 被験者

被験者は全部で17人、以下の三つのグループに属する。リウマチ患者グループ (RG) は4人 (70.4 ± 2.4)、若年者グループ (YG) は7人 (20.4 ± 0.3)、高齢者グループ (EG) は6人 (69.8 ± 1.6) であった。リウマチ患者1人が男性であるのを除いて、他の16人は女性であった。実験の前に、被験者全員に実験の目的、内容など口頭及び書面の両方でインフォームド・コンセントを実施した。

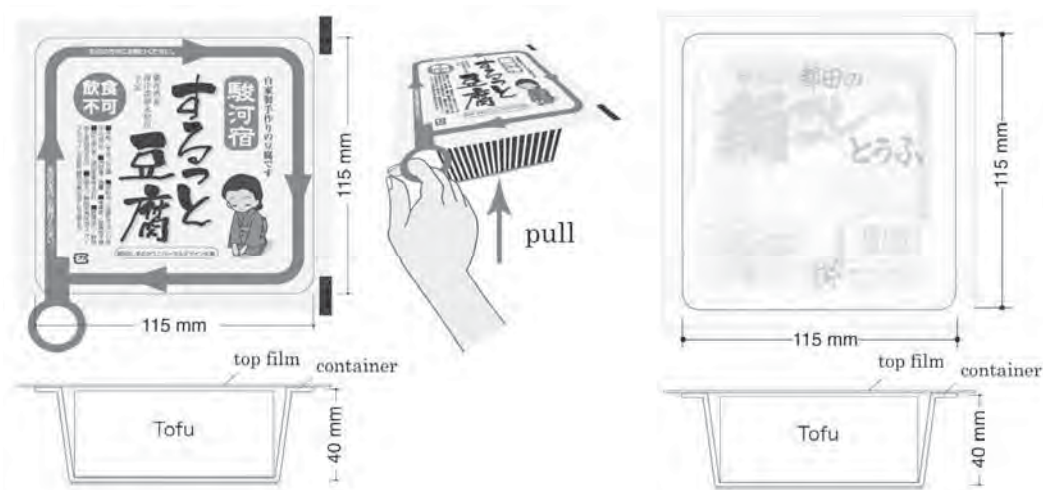


Figure 2. Prototype of the tofu pack named "Surutto" and traditional tofu pack

2. 3 タスク

立位で高さ700mmのテーブルの上に置かれた豆腐パックの前に立ち、手のみで豆腐のシールを取るように依頼した (Figure 3)。「するっとパック」が先か既製品パックが先か被験者のよってランダムとした。但し、普段リウマチ患者グループは既製品を手で開けることはしないので、既存品タスクは実施しなかった。豆腐パックに手を触れてから、シールが取れるまでの時間をビデオの映像から測定した。最大努力しても開けられなくて、お手上げと申告するまでの時間も作業時間とした。

2. 4 主観評価

各タスクの後にパックの開けやすさについて、被験者にアンケート調査を行った。

VAS法で、長さ100mmの直線上に印を付けてもらうように依頼した。左端は最も開けにくいとし、右端は最も開けやすいとした。左端から付けた印までの距離をそのタスクに対する主観評価値とした。リウマチ患者グループは、既製品のパックを開けな

かったが、パックを手にとって、主観評価を実施した。

2. 5 筋電図

豆腐パックの開封動作の間の左右の浅指屈筋、総指伸筋、尺側手根屈筋、母指内転筋計8カ所から皮膚表面筋電図を測定した。若年者グループと高齢者グループのみ筋電図測定を実施した。筋電図測定に使用したのはテレメトリー筋電計MQ8 (キッセイコムテック製) であった。30Hzのハイパスフィルターで1000Hzのサンプリング周波数でパソコンにデジタル収録した。ビデオカメラ経由で動作の映像も同じPCに筋電図と同期して収録した (Figure 4)。

2. 6 データ処理

各グループの主観評価値、作業時間の平均値を求め、分散分析で平均値の統計検定を実施した。高齢者と若年者の筋負担の平均値の統計検定はt-検定で実施した。



YG with traduional pack



EG with Surutto



RG with Surutto

Figure 3. Experimental snap

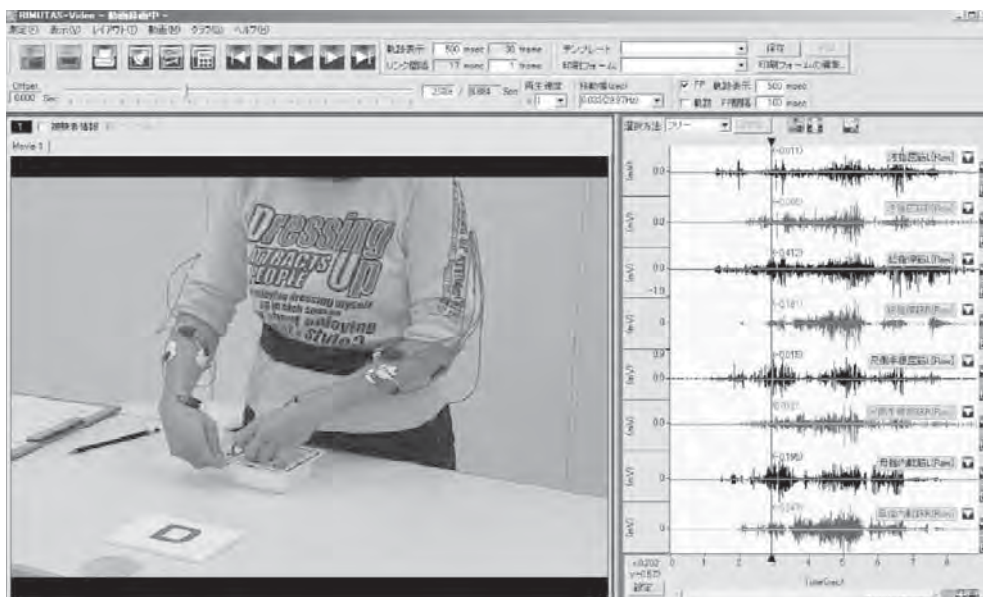


Figure 4. A sample image of EMG synchronously recorded with video

3. 結果

3. 1 開封時間

市販の豆腐パックを39秒努力しても全員が開けられないのに対して、「するっとパック」は平均で約1/3の時間の13秒で全員開封できた。ユーザグループ別で見ると、リウマチ患者は平均で21秒、高齢者は10秒、若年者は17秒であった。市販の豆腐パックに比べ、高齢者と若年者はともに、「するっとパック」の開封時間が有意に短かった（高齢 $t_5 = 3.315$, $p < 0.05$, 若年 $t_6 = 2.237$, $p < 0.05$ ）（Figure 5）。

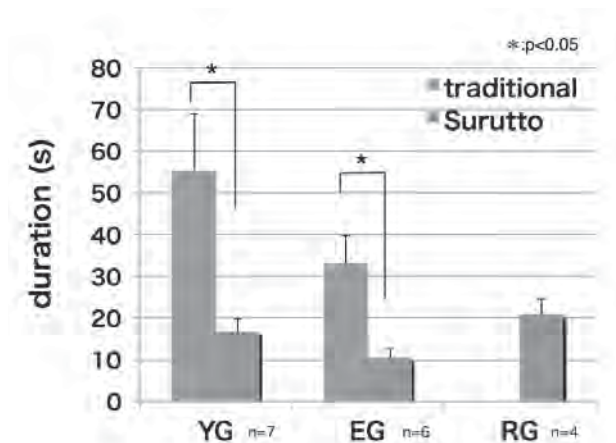


Figure 5. The comparison of the duration of 2 tasks of each group

YG: young people, EG: elderly people, RG: group of rheumatism

3. 2 主観評価

手で頑張っても開けられなかった既製品に対して、限りなく0点に近い値で非常に開けにくいという評価になった。一方、「するっとパック」は、3グループの評価が共に50点を超え、既製品に比べて、有意に高かった（リウマチ $t_3 = -11.152$, $p < 0.05$, 高齢 $t_5 = -7.73$, $p < 0.05$, 若年 $t_6 = -4.96$, $p < 0.05$ ）（Figure 6）。

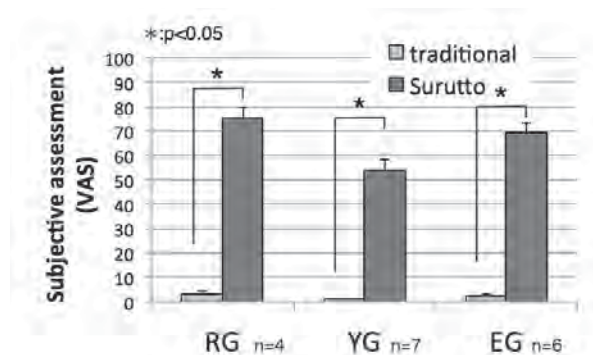


Figure 6. The comparison of the subjective assessment values

YG: young people, EG: elderly people, RG: group of rheumatism

3. 3 筋負担評価

既製品を開けようとする筋負担を100%とした場合、高齢者と若年者グループの筋電図の結果をFigure 7に示す。既製品に比べ、「するっとパック」のほうの筋負担が有意に低減あるいは低減傾向を示し、既製品のおよそ1/4から1/5であった。

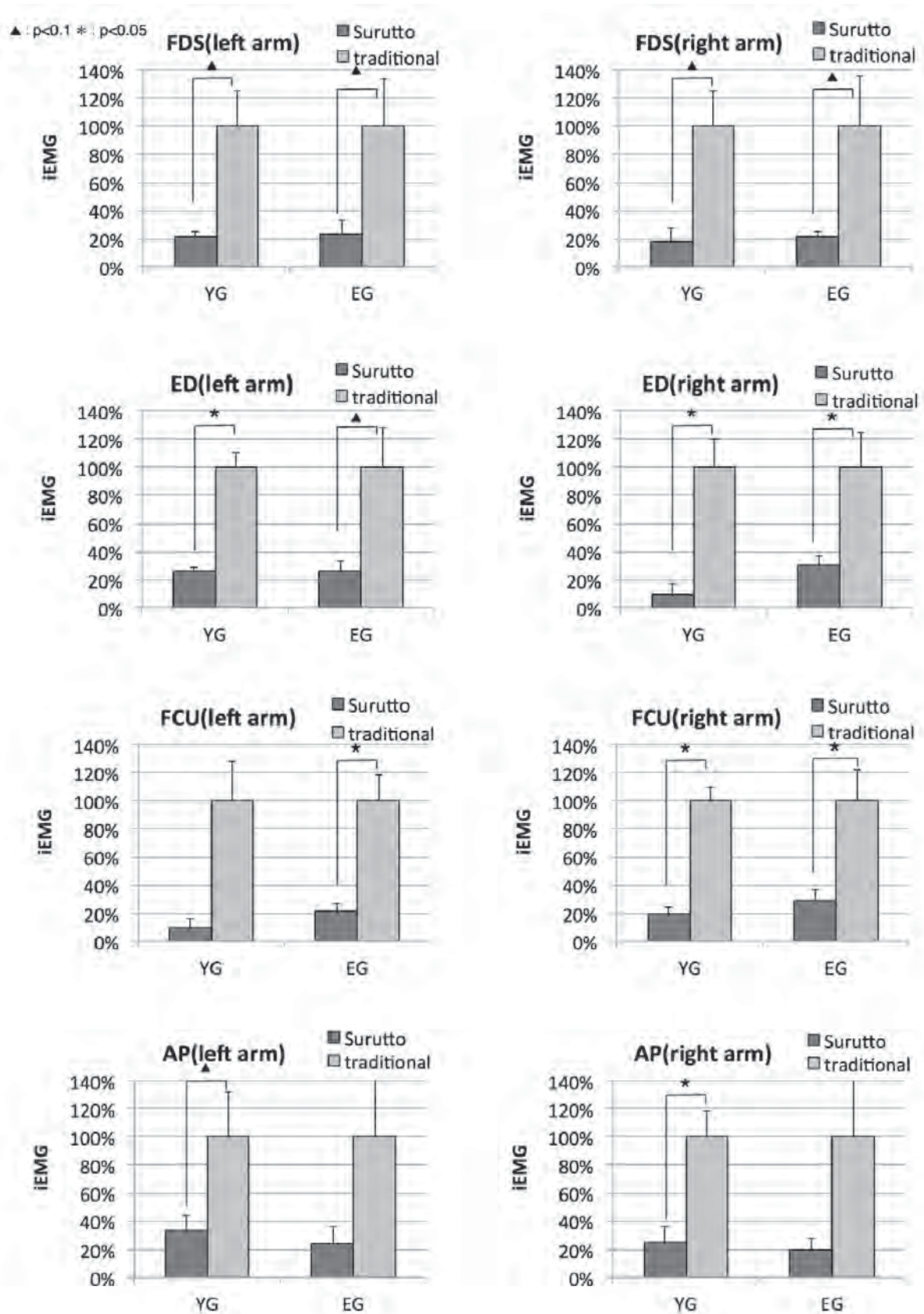


Figure 7. The comparison of the muscular load

YG: young people n=7, EG: elderly people n=6

FDS: flexor digitorum superficialis, ED: extensor digitorum, FCU: flexor carpi ulnaris, AP: adductor pollicis

【報告】

4. 討論

既製品の豆腐パックは、輸送や店頭陳列の際に重なって置いても破れないために、容器とシールの間の接着力を強くして対処してきた。しかし、そうすることで、ユーザーが豆腐パックを開封する時、手だけでは開けられなく、包丁の使用を余儀なくされた。包丁の使用が困難な障害者や子どもは諦めざるを得ないので、ユニバーサルデザインの観点から見ると問題のある製品である。

容器とシールの間の接着力を弱く設定できるイージーオープンタイプのものがある。指のピンチ力があれば、シールの端を持って引っ張ることで、手だけでパックを開封することができる。しかし、指のピンチ力が弱い高齢者はシールの端をつかむのに苦労するのが予想される。今回試作した「するっとパック」は、イージーオープンタイプのシールの端に“わっか”状シールを加えたことによって、指1本でも引っかけられるので、シールの端を引っ張り上げるのが容易になった。今回の実験で、関節の固まったリウマチ患者でも実際に開けられた。この方式のパックなら、より多くの人が自分の手で豆腐パックを開けられるようになるだろう。

今回の試作品に開ける方向を赤いガイドラインに沿って、1周して開けること想定していたが、実際に実験に参加したユーザーの多数、特に高齢者では、シールを対角線の方角に開けていたのが観察された。この方法では、開ける距離が最も短く、短時間に開けられるというメリットがあると考えられる。今回の実験では、開封時間において、若年者に比べ、高

齢者のほうが若干早かったのはこれが原因の1つと考えられる。

今回の実験で、シールの端に“わっか”状シールを加えることの有効性について確認できた。しかし、実際に生産ラインにおいて如何にこの工程を組み入れるのかが課題として残っている。今後、生産技術、コストなどの角度で総合評価し、最適な製造方法の開発に取り組む予定である。

謝辞

この研究は、静岡県くらし・環境部県民生活課ユニバーサルデザイン班、社団法人静岡市シルバー人材センター、学校法人静岡理科大学静岡デザイン専門学校、社団法人日本リウマチ友の会静岡支部のご支援、ご協力を得て実施することができた。関係者に深く感謝する。

参考文献

- 1) 総務省統計局. 2007. 「家計調査」
- 2) 内閣府. 2009a. 「高齢社会白書」
- 3) 内閣府. 2009b. 「障害者白書」
- 4) 厚生労働省. 1992. 「国民生活基礎調査」
- 5) 足立 左千子. 2005. 藤村工業: 各種フィルムと強・弱ヒートシールが作る開封容易な密封豆腐パック. コンバーテック 33(7), 9-11
- 6) 静岡県. 2010. 第9回しずおかユニバーサルデザイン大賞発表, <http://www.pref.shizuoka.jp/ud/9thudtaisyouyousakuhin.html>

木製品に適した非破壊検査法の開発

— 打音検査法の応用 —

工芸科 赤堀 篤 佐野禎彦 櫻川智史*

Development of the nondestructive inspection system for wooden goods

— Acoustic grading method —

Atsushi Akahori, Yoshihiko Sano, Satoshi Sakuragawa

It is known that the Young's modulus can be measured by the Acoustic Grading Method. We tried using the transverse vibration method for T model made by the beech with dowel bonding. The tap tones were analyzed by a FFT (Fast Fourier Transformation) Spectrum Analyzer to identify the resonance frequency. As a result, the bonding was tightness, three clear peaks appeared, but the bonding was loosely, the number of the peak decreased and peak width became wide.

1. はじめに

家具製造分野では、製品の強度・耐久性は、試作品や抽出品を用いた強度試験により確認しているが、出荷前の検査は、目視による外観検査に頼っている。一方、大量生産の分野では、非破壊・全品検査が導入され、X線透過装置などの高額な機器を導入しても十分に利益を上げている。今回は、非破壊検査法の一つ、打音検査に着目し、安価で、短時間で可能な、木製品向けの非破壊全品検査技術の開発を目的に、椅子脚部をモデル化したT型試料を用いて実験した。

2. 実験方法

2. 1 試料の作成

ブナ材を用い、 $300 \times 50 \times 20$ mmを横、 $250 \times 50 \times 20$ mmを縦に、 $\phi 10 \times 50$ mmのナラダボにより接合してT型試験片を作成した。ダボ穴径を9.8、9.9、10.0、10.1、10.2mmとして5種類の勘合度、また、酢酸ビニル樹脂エマルジョン接着剤（CH-18、コニシ株）の有無で2種類、各5点、合計50点用意した。

2. 2 インパルスハンマによる打音解析

図1に示したように、T型試験片の3つの先端20mmを両面テープ（VHB Y-4931, 3 MTM）で50

$\times 50 \times 40$ mmの鋼製ブロックに担示し、T字付け根の直下にマイクを置き、インパルスハンマ（GK-300, 小野測器株）による打撃音を収録した。収録は無響室で行い、打撃は場所を変えながら10回のデータを、FFTアナライザ（DS-2100, 小野測器株）により解析した。また、一部は、USBオーディオプロセッサ（SE-U55X (S), オンキヨー株）を介してノートPCに録音し、フリーソフトWave Spectra Ver1.40を用いて周波数解析を行い、FFTアナライザの解析結果と比較した。



図1 インパルスハンマによる打音検査

3. 結果と考察

図2～11にWave Spectraによる周波数解析結果

*) 現 バイオマス循環プロジェクトスタッフ

の例を示した。上部が生波形（横軸は時間）、下部がFFT矩形解析（横軸は周波数0～5 kHz）結果である。

また、図12、13にFFTアナライザの解析結果の例を示した。

最も剛性が高い、ダボ穴径9.8mm接着剤ありの試料では、850Hz付近を頂点とし、3本のピークが観察される事例が多かった。また、同じ9.8mm径でも接着剤が無い場合、3本のピークが幅広になった。9.9mmでは、頂点が800Hz付近となり、接着剤があってもピークが2本になる例が見受けられ、接着剤なしでは全てピークが2本となった。ダボ径が10.0mmになると、接着剤があってもピークが2本となり、接着剤なしではピークが1本となるものも観察された。

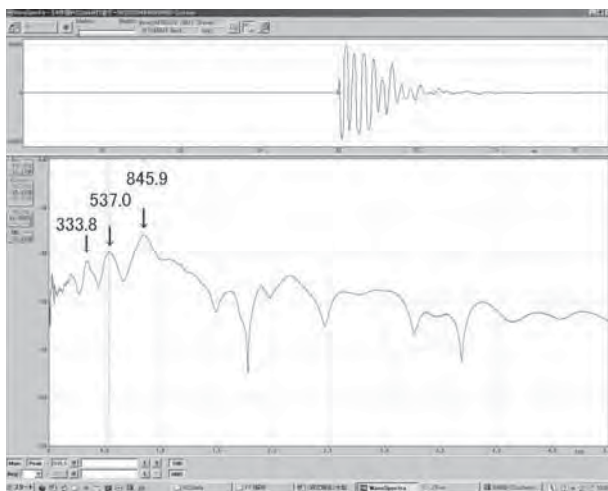


図2 インパルスハンマ打音例
ダボ穴径9.8mmボンドあり

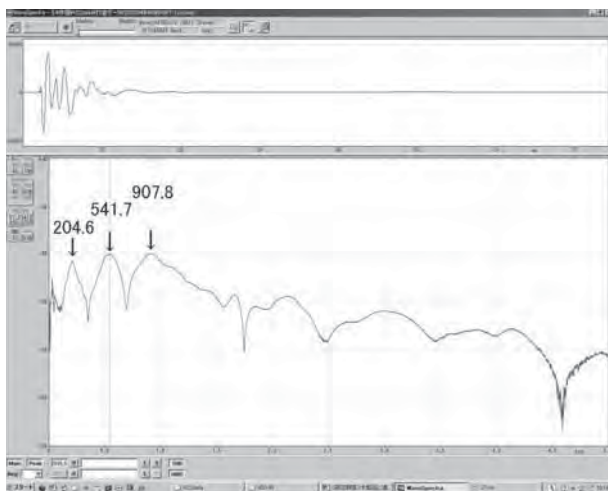


図3 インパルスハンマ打音例
ダボ穴径9.8mmボンドなし

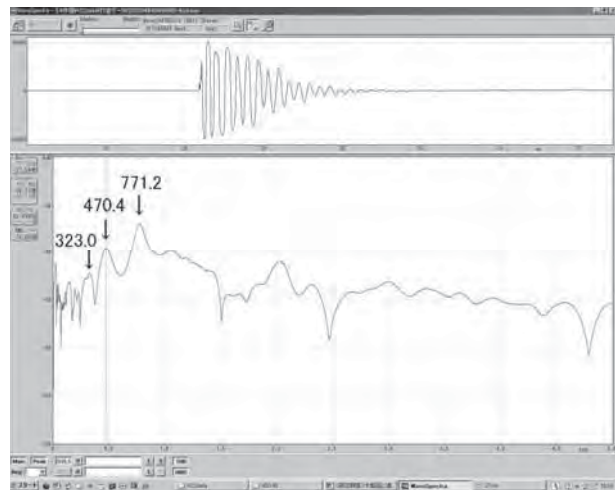


図4 インパルスハンマ打音例
ダボ穴径9.9mmボンドあり

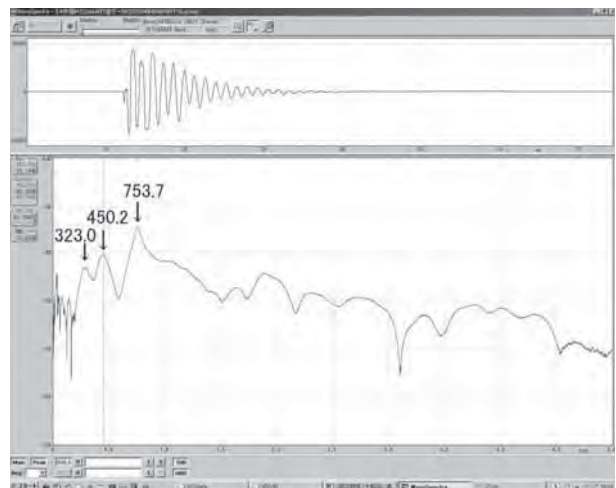


図5 インパルスハンマ打音例
ダボ穴径9.9mmボンドなし

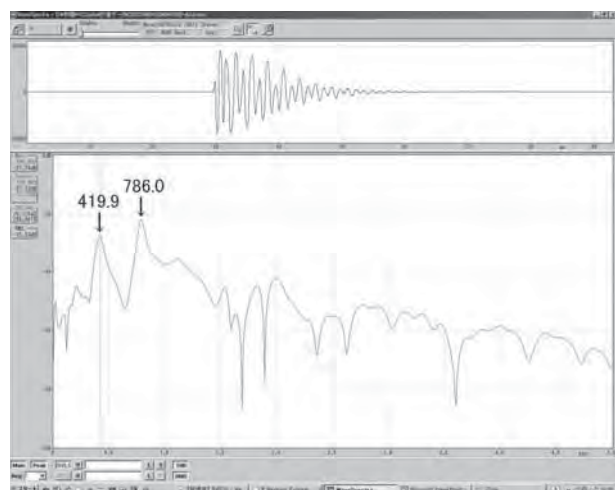


図6 インパルスハンマ打音例
ダボ穴径10.0mmボンドあり

【報告】

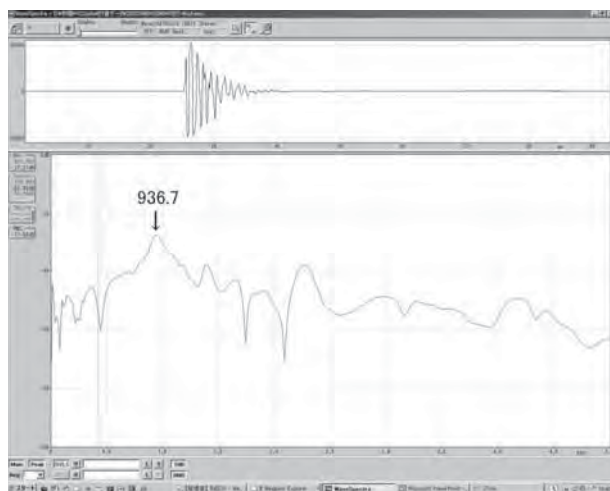


図7 インパルスハンマ打音例
ダボ穴径10.0mmボンドなし

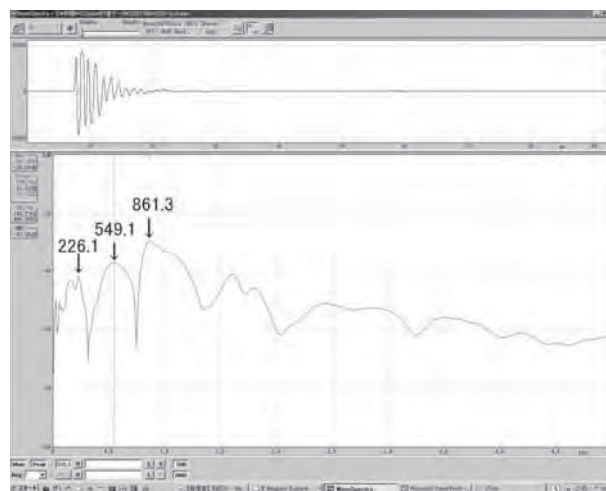


図10 インパルスハンマ打音例
ダボ穴径10.2mmボンドあり

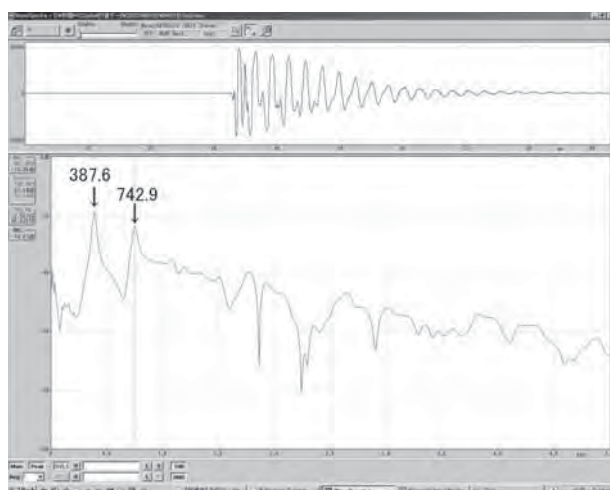


図8 インパルスハンマ打音例
ダボ穴径10.1mmボンドあり

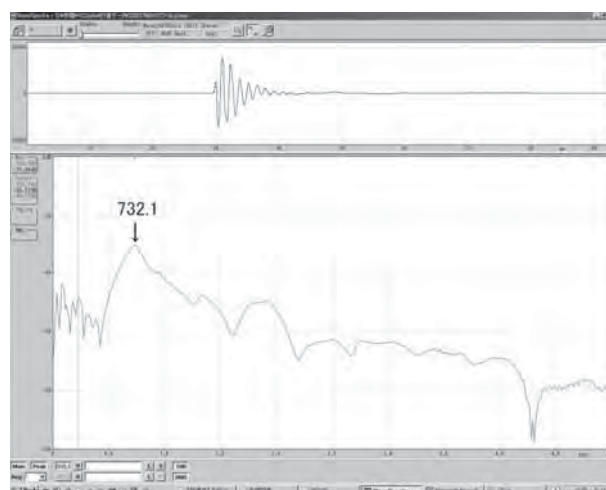


図11 インパルスハンマ打音例
ダボ穴径10.2mmボンドなし

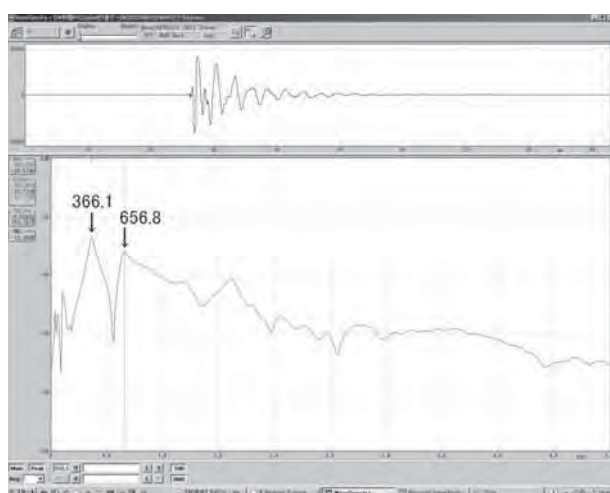


図9 インパルスハンマ打音例
ダボ穴径10.1mmボンドなし

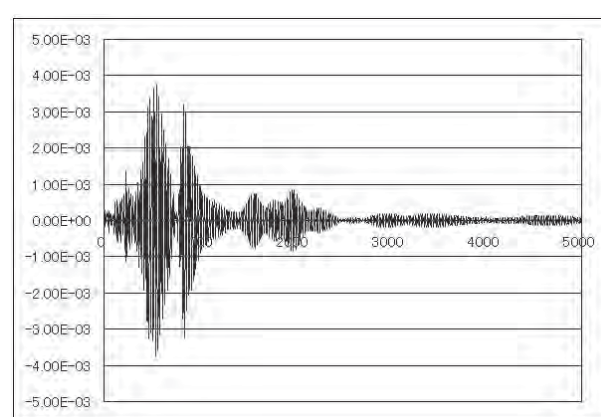


図12 FFTアナライザ解析例
ダボ穴径10.2mmボンドあり

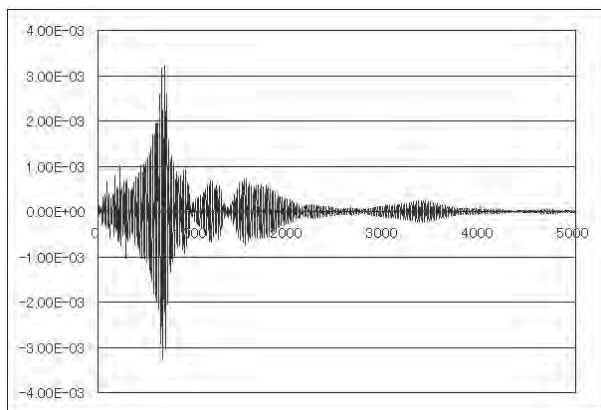


図13 FFTアナライザ解析例
ダボ穴径10.2mmボンドなし

ダボ穴径が10.1mm以上では、さらにピークが不明瞭になる傾向があった。FFTアナライザ解析も同様の結果となった。以上の結果から、試料の剛性が十分にある場合、試料全体の固有振動数、その倍音、3倍音としてピークが明瞭に観察される。一方、ゆるみが生じると、試料に様々な方向の振動が生じるため、ピークが不明瞭となることが予想された。

4. まとめ

インパルスハンマを用いた打撃音法は様々な分野で欠陥探索に用いられており、木材の分野では、非破壊でFFT スペクトルアナライザによる固有（共振）振動数と質量から、材のヤング係数を求めるために応用されている^{1)~5)}。今回の結果でも、接合部のゆるみ状態が、周波数ピークの本数を数えるだけでも推測できることがわかった。今後、耐久性試験前後で打撃音の変化を見ることで、接合部の疲労との相関が見いだせれば、使用中の製品寿命を予測できる。引き続き、精度を高めつつ、できる限り安価な手法を検討していく予定である。

謝辞

本研究を進めるに当たり、御指導、御助言をいただいた国立大学法人 静岡大学農学部環境森林科学科 祖父江信夫 教授に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 祖父江信夫：木材の非破壊検査，木材学会誌. 39(9), p. 973-979. 1993-09

【報告】

- 2) Sobue, Nobuo: Instantaneous Measurement of Elastic Constants by Analysis of the Tap Tone of Wood : Application to flexural vibration of beams, 木材学会誌. 32(4), p. 274-279, 1986-04
- 3) Sobue, Nobuo : Measurement of Young's Modulus by the Transient Longitudinal Vibration of Wooden Beams Using a Fast Fourier Transformation Spectrum Analyzer, 木材学会誌. 32(9), p. 744-747, 1986-09
- 4) Sobue, Nobuo; Kitazumi, Masayoshi : Identification of Power Spectrum Peaks of Vibrating Completely-Free Wood Plates and Moduli of Elasticity Measurements, 木材学会誌. 37(1), p. 9-15, 1991-01
- 5) 岩井哲；大林眞：木材弾性係数の非破壊計測のための工学実験教育における打撃音法の利用，広島工業大学紀要教育編，第6巻（2007）pp. 15-18

木製品の設計・性能評価技術の高度化

— スツール設計における構造解析技術の応用の検討 —

工芸科 佐野禎彦 赤堀 篤

Research on High precision of the evaluation for design
and construction of wooden goods

Study of CAE applications for stool design

Yoshihiko Sano and Atsushi Akahori

It found that the application of the constructive analysis by CAE (Computer Aided Engineering) was effective in the non-destructive test of wooden stool structure. It can be estimated the max strength of the structure by the strain energy as index, particularly in tenon joint rather than dowel joint. And it needs further consideration, inspecting the coordination of the destruction point and the area of concentrated stress by CAE.

1. はじめに

近年、様々な産業分野で製造拠点の海外移転が進行する一方で、高い製造技術を必要とする木製脚物については、国内製造が主流となっている。しかし、技術の継承、開発力の強化及び安定した品質の確保が課題となっており、設計時の安全性評価技術及び製造後の簡易検査技術の確立が期待されている¹⁾。また、当研究所においては、これまで木製脚物の接合部の強度特性評価や使用者の快適性評価に対応するため、3次元モデルによる構造解析²⁾やコンピュータマネキンによる関節負担評価³⁾に取り組んできた。一方で、木製脚物に関する設計支援のための構造解

析技術は普及していないものの、中小企業全体における取り組みは徐々に増えている⁴⁾。

こうした背景から、本研究では最も構造がシンプルなスツール脚部をモデルに、樹種、接合方法及び構造による強度特性の違いについて、実物試験結果を元に構造解析の有用性を検討したので報告する。

2. 方法

2. 1 試験体

標準的なスツールの設計値⁵⁾や市販品を参考に、以下の設計比較条件を設定した。

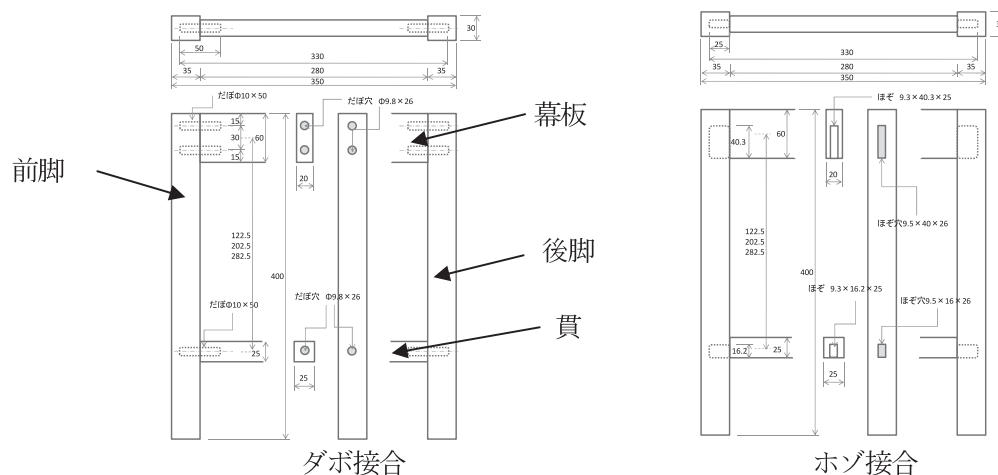


図1 試験体の構造

【報告】

サイズ：W350×D30×H400mm

①樹種：ヒノキ、ブナ（無垢材）

②接合：ダボ（ナラ材：Φ10×50mm）、三方胴付止ホゾ

③構造：貫（補強材）位置：なし、上位、中位、下位（各80mm間隔）

上記の構造を図1に示す。接着には水性高分子イソシアネート系を使用した。上記の3条件の組み合わせ全16通りにつき各6体、計96体の試験体を作成し、試料は20℃－65％R.H.の恒温恒湿状態で3日間以上放置した後、実験に供した。

2. 2 強度試験

上記の各試験体を、家具－いす及びスツール強度と耐久性の試験方法（JIS-S-1203 レベル5：鉛直荷重2000N、側方荷重760N）に準じて新家具強度試験機（株式会社島津製作所製SERVOPULSER 4880：5kN）で強度試験を行い（図1、写真1）、以下の値の算出や統計解析を行った。

- (1) 剛性率（応力－歪曲線から得られる弾性係数）
- (2) 最大荷重（鉛直荷重2000N固定で、毎秒0.5mmの側方荷重をかけ、試験体が破壊した荷重）
- (3) 破壊箇所
- (4) 樹種間、接合間、構造間の有意差検定

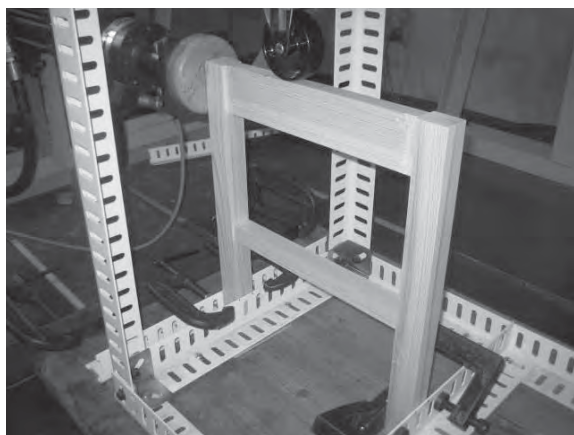


写真1 強度試験

2. 3 構造解析

前述の試験体と同じ解析用モデルを3次元CAD（Pro/Engineer）で作成し、構造解析はCAEツール（Pro/Mechanica）でp法有限要素法による非線形（接触）構造解析を行った。材料特性は各種文献

の実験値⁶⁾⁷⁾を使用し、試験体の前後両脚部背面の下端50mmの高さまでを拘束面、ダボ・ホゾ勘合部は固着、胴付面は接触領域とし、ダボ穴・ホゾ穴の奥は1mmの空間を設定した。また荷重は、鉛直2000N、側方760Nとした（図2）。解析結果から、以下の指標を算出し、強度試験で得られた各値との関連性を調べた。

- (1) 総歪エネルギー（モデル内各要素の応力に変位の二乗を乗じて積分した値）
- (2) 貫位置を変数とした感度解析
- (3) 応力集中箇所

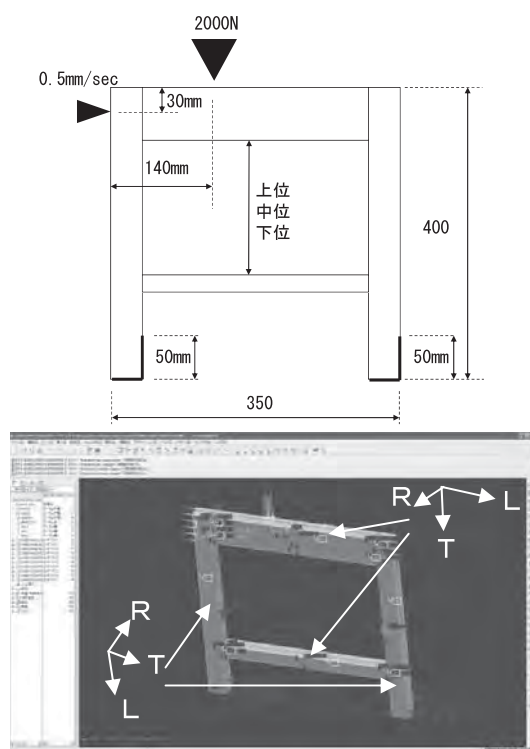


図2 構造解析モデル

3. 結果

3. 1 強度試験結果

強度試験で得られた剛性率と最大荷重について、6個ずつの平均値を表1に示す。

なお、破壊箇所についてはダボ接合では、後脚のダボ穴最上部奥から上部に向かって亀裂が発生したもの（写真2）が全体の58%、ホゾ接合では、幕板の後脚側のホゾ先端部に亀裂が発生したもの（写真3）が全体の83%で、ともに年輪の接線方向（T方向）であった。

また、剛性率と最大荷重はホゾ接合において相関

【報告】

が高く、弾性域の荷重試験で構造間の最大荷重の相対比較を行うことの妥当性が確認された。

さらに、以下の単位で統計処理を行い、最大荷重の有意差検定 ($p < 0.05$) を行い、以下の知見を得た。

(1) 同一接合・構造単位の樹種比較 (t 検定)

ダボ構造、ホゾ構造ともブナ材の方がヒノキ材より貫の有無や位置に関わらず有意に強い。

(2) 同一樹種・構造単位の接合比較 (t 検定)

ヒノキ材、ブナ材ともホゾ接合の方がダボ接合より有意に強いが、貫が無ければ変わらない。

(3) 同一樹種・接合単位の構造 (貫位置) 比較 (分散分析)

ヒノキ材、ブナ材ともダボ接合では貫の有無で有意差なし、ホゾ接合では貫があれば有意に強く、さらにヒノキ材のみ上中位は下位より有意に強い。

表 1 強度試験及び構造解析結果 (試料は各 6 体)

	樹 種		ヒ ノ キ		ブ ナ	
	接 合		ダ ボ	ホ ゾ	ダ ボ	ホ ゾ
剛性率 (N/mm)	貫位置	なし	160±28.1	114±12.1	142±18.5	156±12.7
		上位	157±13.9	163±15.9	189±25.0	193±26.6
		中位	154±11.2	180±16.1	199±16.6	198±33.8
		下位	164±20.2	157± 9.4	191±20.0	202± 7.7
最大荷重 (N)	貫位置	なし	1530±180.4	1604±112.6	2067±120.1	2231±209.3
		上位	1619±232.9	2122±107.9	2394±314.2	2888±189.1
		中位	1513±178.7	2178±135.9	2408±124.6	2751±196.6
		下位	1589± 79.1	1845±145.2	2211±300.6	2649±226.5
総歪エネルギー (N・mm)	貫位置	なし	734	739	626	621
		上位	693	669	599	561
		中位	692	689	593	578
		下位	736	733	637	613

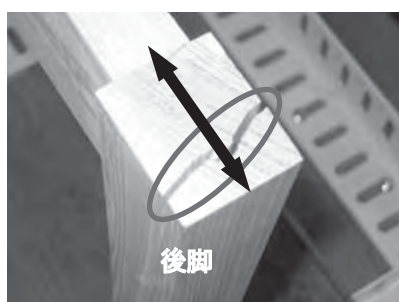


写真 2 ダボ接合の破壊箇所

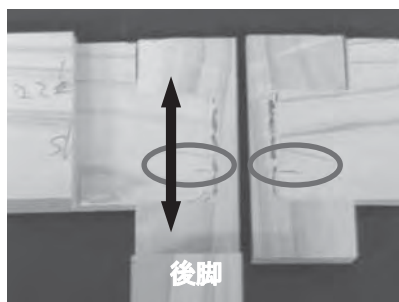


写真 3 ホゾ接合の破壊箇所

3. 2 構造解析結果

構造解析の結果、得られた総歪エネルギーと最大荷重との関係を図 3 に示す。この結果から、総歪エネルギーと最大荷重の間に高い相関がみられた。

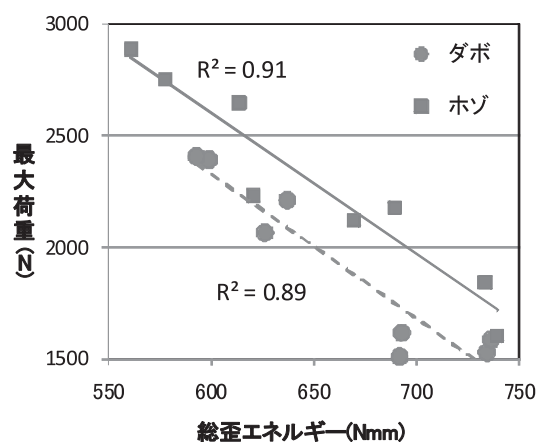


図 3 最大荷重と解析総歪エネルギー

また、最適な貫位置を求めるため、貫位置を変数として行った感度解析の結果を図4に示す。

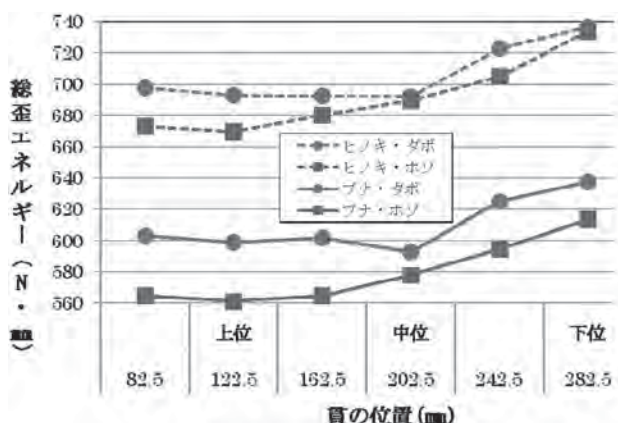


図4 貫位置の感度解析結果

この結果から、ダボ接合では中位付近で、ホゾ接合では上位で総歪エネルギーが最小となるピークがあり、ブナ材のダボ接合と両材のホゾ接合では、強度試験の検定結果とほぼ一致する。

これらの結果から、特にホゾ接合では、総歪エネルギーが最大荷重を比較するうえでの有効な指標であり、解析結果を最大荷重の相対比較の参考値とすることへの妥当性が認められた。

さらに、構造解析により、応力の集中が見られた箇所を図5、6に示す。これらの箇所は、実物による強度試験で亀裂が発生した箇所と近似しており、構造解析で応力集中が問題となる箇所を事前に把握することが可能となる。



図5 ダボ接合部の応力集中箇所



図6 ホゾ接合部の応力集中箇所

4. まとめ

本研究では、複数の樹種、接合法、構造条件を組み合わせ、スツール設計時に想定される多様な比較条件でケーススタディを行う事ができた。条件毎の試料数が6体と十分な数量ではなかったが、統計処理により有意に差がある条件と無い条件を切り分け、構造解析で確認する事ができた。木製脚物の強度試験はこれまで1体で評価を行うケースもあったが、今回の事例を通して、より多くの試験結果を分析する必要性が示された。

今回の実験により、以下の考察を行った。

- (1) ヒノキ材・ダボ接合では、貫の有無による最大荷重の差がみられず、ダボ穴局部への応力集中が一因と推察される。
- (2) 特にホゾ接合において、構造解析による総歪エネルギーで樹種、構造による強度特性の違いを比較する事が可能である。
- (3) 構造解析による評価指標として、総歪エネルギーの他、局部応力による比較の必要性を検証することが必要である。
- (4) 今後、スツール脚部の構造だけでなく、背もたれや肘掛けを含めた椅子類全般の安全性評価に応用できるよう、強度試験結果をもとに有効な構造解析指標の探索を行う。

謝辞

本研究を進めるにあたり、御助言いただきました名古屋大学大学院生命農学研究科 安藤幸世助教に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 独立行政法人製品評価技術基盤機構：平成21年度事故情報収集結果（平成21年第4四半期）、p104-106
- 2) 佐野、櫻川他：静岡県静岡工業技術センター研究報告（2000）vol.45, p85-91
- 3) 佐野、宮本他：日本生理人類学会第47回大会要旨集（2002），p44-45.
- 4) 経済産業省：2006年版ものづくり白書, p97
- 5) 日本建築学会：建築設計資料集成2 物品（1978）、p29
- 6) 農林省林業試験場：木材工業ハンドブック（1982），p130-132
- 7) 中戸莞二：木材工学（1985），p142

姿勢保持を目的とした介護用ポジショニングクッションの開発

工芸科

株式会社丸井商事

静岡県立大学短期大学部

櫻川智史* 赤堀 篤 佐野禎彦

井木英之

木林身江子 天野ゆかり 秋山みゆき

Development of positioning care cushions for postural maintenance

Satoshi Sakuragawa, Atsushi Akahori, Yoshihiko Sano, Hideyuki Igi,

Mieko Kibayashi, Yukari Amano and Miyuki Akiyama

A new positioning care cushion for the postural maintenance of elderly people has been developed. The following research was carried out with regard to the development: 1) An investigation into the situation in nursing homes; 2) A study into which cushion materials are appropriate for use in positioning; and 3) An examination into the effectiveness of the cushion developed.

The results were as follows:

- 1) The situation is complicated due to there being many different kinds of conventional positioning cushions, and as such it was hard to identify how elderly people's bodies should be supported. In addition, it was shown clearly that conventional care cushions matched neither the shape of Japanese people nor the size of wheelchairs used in Japan, etc.
- 2) Because it is required that the material used in cushions adapts to the shape of the body and retains its shape, the elasticity of the cloth or fabrics used and the compression characteristics of the cushion filling are important.
- 3) In a case study using the cushion developed, the posture of wheelchair users, who are prone to sit with a hunched back, was improved.

1. はじめに

ポジショニングとは、人間が生活するために必要な正しい姿勢保持を行い、姿勢変化によって生じる不具合のある生理的变化を回避する看護介入技術である¹⁾。正しい姿勢とは、脊柱が自然の生理的湾曲を保ち、筋肉や内臓器官に不必要な負担が掛からない状態を示す²⁾。高齢者においては、加齢による老人性円背³⁾や、寝たきりによる廃用性萎縮⁴⁾が生じることから、姿勢異常が起こりやすく、様々な障害の要因となっている。

筋萎縮予防に関しては、筋の伸張が重要な要因であり、筋を伸張位に固定すれば肥大し、短縮位にすれば萎縮することが報告されている⁵⁾。しかし、筋萎縮防止を目的に筋を伸張位に固定すると、拮抗筋の萎縮が憂慮されることから、臨床的に推奨できない。したがって、拮抗筋のバランスを保ち、同時収

縮時間を延長させることが効果的であると考えられる。ポジショニングによる正しい姿勢保持は、拮抗筋のバランスを保ち、筋萎縮予防にも役立つ。

本研究では、これら高齢者の老人性円背、廃用性萎縮を背景に、姿勢保持を目的とした介護用ポジショニングクッションの開発を行った。本報においては、車椅子乗車時の座位姿勢における円背姿勢を対象に開発したポジショニングクッションに関し、①特別養護老人ホームにおける状況調査、②ポジショニングクッションに適した生地および中材の検討、③開発したポジショニングクッションの効果の検証、の3項目について報告する。

2. 実験方法

2. 1 特別養護老人ホームにおける状況調査

特別養護老人ホーム竜爪園（社会福祉法人天心会：

*) 現 バイオマス循環プロジェクトスタッフ

【報告】

静岡市葵区)、小鹿苑(社会福祉法人済生会：静岡市駿河区)に入居されている利用者と、その介護担当者を対象にポジショニング介護の現状に関して、聞き取り調査を行った。

2. 2 ポジショニングクッションに適した生地を検討

介護用クッションには、柔軟性ととも、へたらない(形状を保持する)物性が必要となる⁶⁾。これら要求される物性を実現するには、クッション中材の圧縮特性だけでなく、中材を外装する生地の物性も重要となる。そこで、適度な伸縮性が得られる生地構成について検討した。

2. 3 ポジショニングクッション中材の物性試験

ポジショニングに適したクッションの中材を選定するため、従来から枕やクッションの充填材として用いられている素材から6種(①PEパイプ、②ウレタンチップ、③シンセビーズ、④ミラクルビーズ、⑤スチレンビーズ、⑥エステル綿)を選定し、外皮は同一の綿布地を用いて、圧縮特性を評価した(図1)。まず、圧縮試験として、強度試験機(㈱東洋ボールドウィン製 RTM-100)を用いて、荷重速度20mm/分で圧縮し、応力-ひずみ曲線を作成した。次に、応力緩和試験として、負荷応力20kgfを加圧した状態で静止し、変位一定での除圧過程について、応力-ひずみ曲線を作成した。

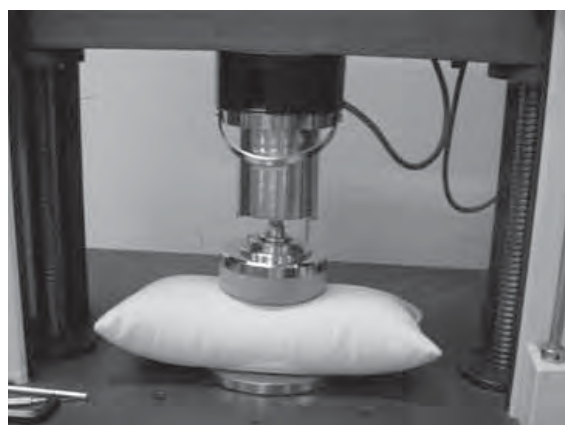


図1 クッション中材(充填材)の圧縮特性試験

2. 4 開発クッションのポジショニング効果の検証

特別養護老人ホーム竜爪園および小鹿苑に入居者で、車椅子でのポジショニングが必要とされている利用者2名を選定し、開発クッションのポジショニ

ング効果について検討した。デジタルカメラを用いて、前方および側方から撮影し、使用前後の姿勢について評価した。

3. 結果および考察

3. 1 介護施設における状況調査

調査の結果、ポジショニングに用いるクッションは、種類が多く煩雑で、何処で支えたら良いのか理解し難いこと、日本人の体型や車椅子の寸法に合っていないこと等が明らかになった。これにより、車椅子(座位)での円背姿勢改善にターゲットを絞り、日本人人体寸法データベース(㈱人間生活工学研究センター 2004-2006)の日本人女性75-79歳の平均値を参考に寸法決定を行った。

また、ポジショニングクッションにおいて、クッションをセットする時は流動性や追従性が必要であり、セットした後は姿勢を維持するために形状を保持する安定性が必要であり、これらの条件を満足する物性を得るには、クッション生地の伸縮性と、中材(充填材)の圧縮特性が重要な要素であることが分かった。

3. 2 ポジショニングに適したクッション生地の検討

クッション生地の伸縮性は、クッションの圧縮特性を大きく左右する。伸縮性が小さければ追従(フィット)性が乏しく、大きいと形状が変化し安定しない。そこで、身体への追従性と形状保持の両立を考慮し、伸縮率・伸縮方向が部分的に異なるクッション生地(図2)を考案し、特許申請した⁷⁾。

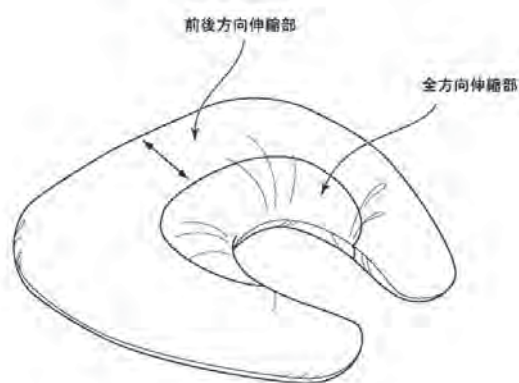


図2 開発クッション生地の構成

3. 3 クッション中材の物性試験

図3に、クッション中材に用いる各種充填材の圧縮試験の結果を示す。荷重変位曲線が緩やかであるほど、少ない荷重で大きく変形することを示し、形状追従性に優れ、フィット感が良いことを示していると考えられる。本試験の条件において、形状追従性は、ウレタンチップ>エステル綿>シンセビーズ>スチレンビーズ>PEパイプ>ミラクルビーズの順で優れていると評価された。

図4に、各種充填材の応力緩和試験の結果を示す。時間依存性変形は(粘塑性変形)は、高分子材料に特徴的に見られる現象であり、応力-ひずみ曲線によりその特性が評価できる⁸⁾。いずれも、時間の経過とともに荷重は減少するが、減少が小さいほど緩和停止応力が大きいことを示し、形状安定性が良いことを示していると考えられる。本試験の条件において、形状安定性は、エステル綿>ウレタンチップ>ミラクルビーズ>シンセビーズ>PEパイプ>スチレンビーズの順で優れていると評価された。圧縮/応力緩和試験の結果、フィット性に富み、型崩れ

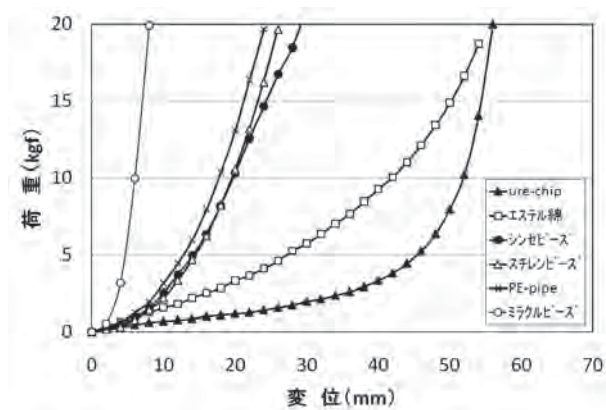


図3 圧縮試験における応力-ひずみ曲線

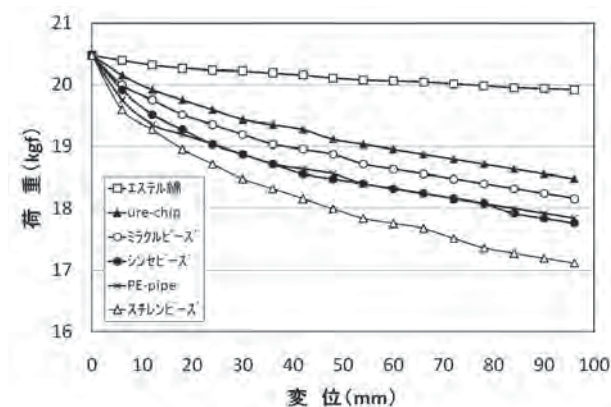


図4 応力緩和試験における応力-ひずみ曲線

しないエステル綿を選定した。

3. 4 開発クッションのポジショニング効果の検証

高齢者のリハビリテーションにおいては高齢者の状態に応じた適切なアプローチが必要であるとし、①脳卒中、②廃用症候群、③痴呆高齢者の3つのモデルが提唱されている⁹⁾。中でも廃用症候群の対策は重要とされ、ポジショニングによる姿勢ケアに関しても、その効果の検証が始められている¹⁰⁻¹¹⁾。本研究では、これらの検討事例を踏まえた上で、理学療法士等の指導を仰ぎ、適切な被験者を選定し、ケーススタディとして検討した。開発クッションを用いて車椅子座位における被験者2名(A, B)の写真撮影を行い、草荊ら¹²⁾の円背姿勢の計測方法を参考に評価した結果、いずれも使用前後において円背姿勢の改善が認められた。被験者Aのクッション使用前後の様子を図5および6、被験者Bの様子を図7および8に示す。



図5 被験者Aにおけるクッション使用前の円背姿勢



図6 被験者Aにおけるクッション使用後の円背姿勢



図7 被験者Bにおけるクッション使用前の円背姿勢



図8 被験者Bにおけるクッション使用後の円背姿勢

4. まとめ

高齢者の姿勢保持を目的とし、看護用ポジショニングクッションの開発を行った。①特別養護老人ホームにおける状況調査、②ポジショニングクッションに適した生地および中材の検討、③開発したポジショニングクッションの効果、について検討した結果を以下に示す。

- 1) ポジショニングに用いるクッションは、種類が多く煩雑で、何処で支えたら良いのか理解し難いこと、日本人の体型や車椅子の寸法に合っていないこと等が明らかになった。
- 2) ポジショニングクッションには、身体への追従性と形状保持の双方を併せ持つ物性が必要であり、生地の伸縮性と充填材の圧縮特性が重要な要素となる。
- 3) 開発したクッションを用いたケーススタディでは、車椅子座位姿勢での円背姿勢が改善された。

謝辞

本研究を実施するにあたり、ご協力頂いた特別養護老人ホーム竜爪園・小鹿苑に入居されている利用者様、介護職員の皆様、ご指導頂いた理学療法士の伊藤亮子氏に、深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 渡邊順子：身体でエビデンスを学ぶポジショニング技術教育，看護展望，29(10)，94（2004）
- 2) 小玉香津子ら：看護必携シリーズ1 看護の基礎技術I，学研（1995）
- 3) 丸山仁司：老人の評価，理学療法科学，12(3)，141-147（1997）
- 4) 上田 敏：廃用症候群へのアプローチ 廃用症候群とリハビリテーション医学，総合リハ，19，773-774（1991）
- 5) Summers TB et.al：Effect of immobilization in various positions upon the weight and strength of skeletal muscle., Arch Phys Med Rehabil., 32(3), 142-145（1951）
- 6) 長岡健太郎他：座位姿勢保持と褥瘡予防に適應する5角クッションの開発と利用，バイオフィリア リハビリテーション研究(4)，5-10（2007）
- 7) 特願2010-855「体軀接触具」
- 8) 廣江哲幸他：高密度ポリエチレンの粘塑性変形，日本機械学会論文集(A)，61(584)，743-749（1995）
- 9) 草野修輔：高齢者のリハビリテーション，理学療法，19(3)，175-181（2004）
- 10) 藤本美栄他：ポジショニングと関節可動域訓練を併用したケアの関節拘縮改善の効果，熊本大学医学部保健学科紀要，5，39-51（2009）
- 11) 木林身江子他：ポジショニングによる動きの支援の効果，静岡県立短期大学部研究紀要，23，11-21（2009）
- 12) 草苺佳子他：円背姿勢が呼吸循環ならびに運動耐容能に及ぼす影響，理学療法科学，18(4)，187-191（2003）

アルミ合金鋳物の染色加工に関する研究 (第2報)

— 染色を施した陽極酸化皮膜の色彩評価 —

金属材料科 疋田訓大 綿野哲寛 宮原鐘一*

Study on Anodic Oxidation Treatment of Aluminium Alloy Casting with Dyeing
(2nd report)

— Color Assessment of Anodic Oxidation Coatings with Dyeing —

Tokihiko Hikida, Tetsuhiro Watano and Shouichi Miyahara

1. 諸言

陽極酸化処理法は、耐食性や耐摩耗性の向上に加えて、染色による装飾性付与も可能となることから、アルミなどの金属製品に対する表面処理の一つとして広く普及している技術である。しかし、従来の鋳造技術で成型されたアルミ合金鋳物は、ケイ素や銅などの添加元素が多く含まれていること、また、表層に不純物を含んだ偏析層が存在することなどにより、陽極酸化処理後の染色性が悪い。

そこで本研究は、アルミ合金鋳物AC4CHの陽極酸化処理後の染色性改善を目的として行った。

本報では、アルミ合金鋳物の染色加工に関する研究 (第1報) で作成した染色加工品について、色彩評価を行った結果を報告する。

2. 実験方法

2. 1 染色加工品

アルミ合金鋳物の染色加工に関する研究 (第1報) で行った各前処理条件の中で、陽極酸化皮膜の膜厚が厚く、ばらつきの少なくなるような以下の条件を選定して、アルミ合金鋳物AC4CHに陽極酸化処理、染色処理を施した。

処理工程：前処理→陽極酸化→黒染色→封孔

No. 1 : 研究協力めっき事業者で行っている前処理
No. 2 : EtOH脱脂→0.5mol/λ NaOHaq, 70℃, 1 min→水洗→5 %HNO₃ : 5 %HF : 99.5% CH₃COOH=2 : 1 : 2 (体積比)¹⁾

No. 3 : EtOH脱脂→0.5mol/λ NaOHaq, 70℃, 1 min→水洗→5 %HNO₃ : 5 %HF : 5 %Na₂

(C₃H₅O (COO)₃)=2 : 1 : 1 (体積比)

No. 4 : 0.2%NH₃aq煮沸, 90℃, 15min→水洗→0.9 mol/λ NaOHaq, 70℃, 4 min→水洗→No. 1

No. 5 : 15%H₂SO₄aq, 印加電圧10V, 印加時間180 sec, rt→水洗→0.9mol/λ NaOHaq, 70℃, 4 min→水洗→No. 1

No. 6 : 熱処理 (200℃, 120min)→自然空冷→No. 1

2. 2 色評価

色の評価は、ミノルタ分光測色計CM-1000 (コニカミノルタ製) を用いて、L*a*b*表色系にて評価した。また、色差の比較対象として、高純度アルミ99.85%ハルセル陰極板 (山本鍍金試験器製) に陽極酸化処理で黒染色したものをを用いて、以下の式より各試料との色差ΔE*abを求めた。

$$\Delta E^*ab = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

ここで、L*は明度を、a*およびb*は色相と彩度を示す色度 (クロマティックネス指数) を表す。

2. 3 鏡面光沢度

鏡面光沢度は、ハンディ光沢計グロスチェッカ IG-331 (堀場製作所製) の60度鏡面光沢測定方法により測定した。

3. 結果

図1に陽極酸化皮膜の膜厚を示す。膜厚が最も厚かったのはベーマイト処理を施したもので、次がダブルアルマイト処理を施したものであった。また、最も薄かったのは熱処理を施したものであった。皮膜の厚さは、黒色有機染料の吸着量に影響を与える。淡色の場合には影響は少ないが、薄い皮膜では濃色

*) 現 浜松工業技術支援センター

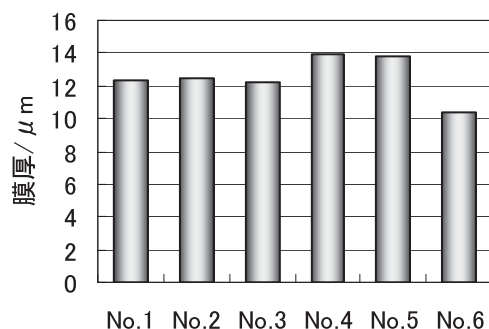


図1 陽極酸化皮膜膜厚

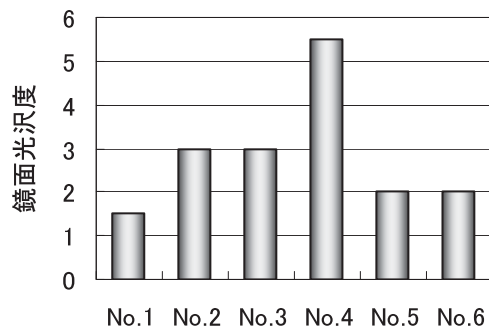


図3 陽極酸化による黒染色後の鏡面光沢度

が得にくい²⁾。そのため、鮮やかな黒色を出す場合には、膜厚が厚かったベーマイト処理及びダブルアルマイト処理が適しているものと考えられる。

続いて、各試料の色を $L^*a^*b^*$ 表色系にて評価したところ、色相及び彩度の指標である a^* 方向、 b^* 方向についてはいずれの試料においても大きな差は見られなかった。一方で、図2に示すように、明度 L^* に関しては、ベーマイト処理及びダブルアルマイト処理を施したものは他の処理のものよりも低い結果となったが、これには図1で示したように皮膜の厚さが影響していると思われる。

図3には陽極酸化処理後の鏡面光沢度を示す。鏡面光沢度は、ベーマイト処理を施したものが他の処理に比べて顕著に高かった。また、ダブルアルマイト処理はベーマイト処理の半分以下の値であった。

金属光沢を残したまま着色できる点が陽極酸化皮膜の利点であることから、鏡面光沢度は失われないことが望ましい。そのため、ベーマイト処理が最も適した前処理だと考えられる。

次に、黒染色した高純度アルミハルセル陰極板と各試料との色差 ΔE^*ab を図4に示す。全試料において、色差は20前後と、色調に大きな差が見られた。その中で、ベーマイト処理及びダブルアルマイト処理したものは、18とわずかに小さかった。 a^* 、 b^* は

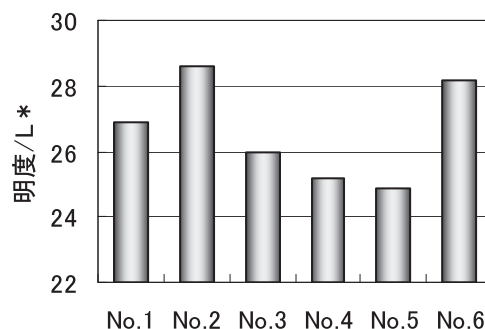


図2 陽極酸化による黒染色後の明度

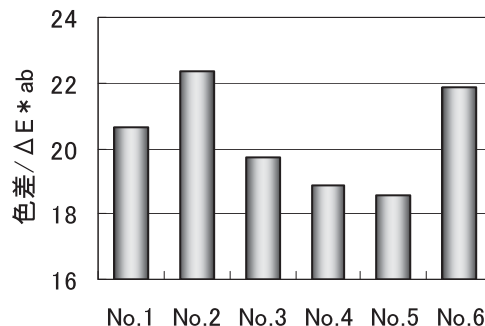


図4 高純度アルミと各試料との色差

試料、ハルセル板ともにほとんど0であったことから、色差は明度を反映している。そのため、明度の低かったベーマイト処理及びダブルアルマイト処理で色差が小さくなったと考えられる。

4. 結言

これまで検討した6種の前処理条件の中では、皮膜の膜厚が厚く、明度が低く、光沢のある、ベーマイト処理を行ったものが、最も外観部材としての利用価値が高いと考えられる。しかし、AC4CHと高純度アルミとでは色差が大きかったことから、今後はこの差を小さくするための検討が必要である。

また、本研究では陽極酸化皮膜を黒で染色したため、明度の比較はできたが、クロマティックネス指数(a^* 、 b^*)や鏡面光沢度の比較が困難であった。そのため、これら指標の比較をするために、今後は他の色(例えば赤など)についても検討し、アルミ合金鋳物の染色評価を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 齋藤宏 他：アルミニウム合金鋳物AC2Aへの陽極酸化処理，研究報告，P7-11，(2004)。
- 2) 佐藤敏彦：アルマイト理論，P84，軽金属出版，(1980)。

赤外分光分析及び熱分析を用いたEVA成形品の評価

金属材料科 菅野尚子
化学材料科 田村克浩

Evaluation of Ethylene/Vinyl Acetate Copolymer Molded Products by using Infrared Absorption Spectroscopy and Thermal Analysis

Naoko Kanno and Katsuhiro Tamura

1. 緒言

エチレン-酢酸ビニル共重合体 (EVA) は、酢酸ビニル (VA) を 3 ～ 40% 程度含む熱可塑性樹脂で、肥料袋やラップフィルム、ボトル、履物などさまざまな用途に使用されている。また、VA 含量が少ないものは低密度ポリエチレンに近い性質を示しつつ、より強靱性を有するが、VA 含量が多くなるに従い柔軟性を増し、ゴムに近い性質を示すようになる。本報告では、県内企業からの相談をもとに、EVA 成形品における VA 含有率と熱挙動等を評価した事例について述べる。



図1 試料Bの樹脂表面

2. 試験方法

2. 1 試験の目的

製造元の異なる 2 つの EVA 成形品 (試料 A、B)

について、試料 B (図 1) は試料 A に比べ「かたい、柔軟性が良くない、肉厚が不均一 (ヒケ)」といった見た目の特性が思わしくなかった。そこで、試料 A、B の特性の違いが生じた原因と、試料 B の不良を改善するための対策を明らかにすることを目的とした。

2. 2 試料

先に挙げた EVA 成形品である試料 A、B ならびに対照試料として VA 含有率が既知 (25%) である EVA 成形品 (試料 R) の計 3 つとした。

2. 3 試験項目

(1) 赤外分光分析

各試料の主成分の確認と VA 含有率を把握するため測定を行った。試料を 150℃ 熱プレスによるフィルム化後、PerkinElmer 製 Spectrum 2000 システム (積算回数 4 回、測定分解能 4 cm^{-1} 、検出器 TGS)

により ATR (媒質 Ge) 測定を行った。なお VA 含有率算出のための検量線作成にあたり、Perkin Elmer データベース (PK J Library) に収められている VA 含有率 25%、28% 及び 33% の EVA のスペクトルを参考にした。

(2) 示差走査熱量分析 (DSC)

製造工程等で試料が受けた熱履歴や融解温度等を調査した。PerkinElmer 製 DSC8000 を用い、窒素雰囲気下 20 ～ 120℃ の温度範囲で、昇温速度 $10^\circ\text{C}/\text{分}$ にて 1st Run 及び 2nd Run の測定を行った。

(3) 蛍光 X 線元素分析

試料の添加物の存在を確認するため、X 線分析顕微鏡 (㈱堀場製作所製 XGT-5000) により元素分析を行った。

3. 結果

3. 1 赤外分光分析

各試料の IR 吸収スペクトル (図 2) は、EVA 以

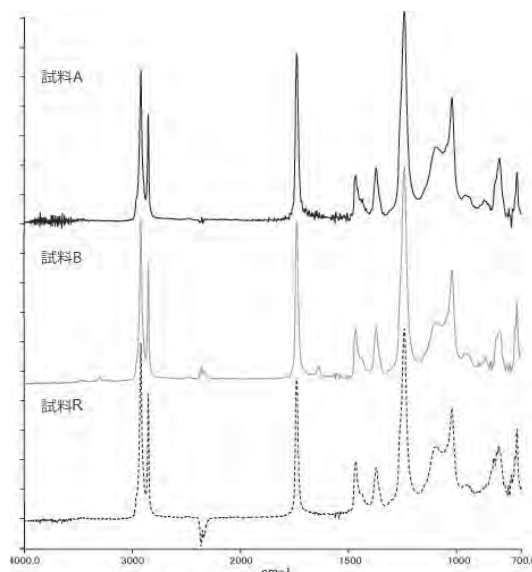


図2 試料のIR (ATR) 吸収スペクトル

【ノート】

外の吸収は見られなかったが、C=O伸縮振動 1736 cm^{-1} 付近のピーク強度が異なっていた。そこで、EVAの分子構造(図3)のうち、VAユニットのC=O由来である $\nu\text{C=O}$ の 1736 cm^{-1} ピークとエチレンユニットの指標となる CH_2 由来のうち $\nu_{\text{as}}\text{CH}_2$ の 2916 cm^{-1} のピーク強度の比から検量線を作成しEVA中のVA含有率を求めたところ、試料Aは34%、試料Bは28%、試料Rは23%という結果となった。

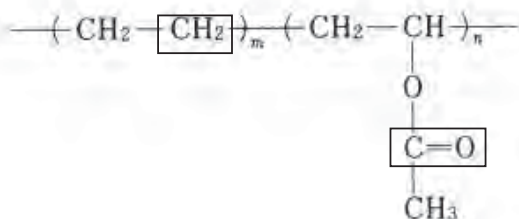


図3 EVAの構造式

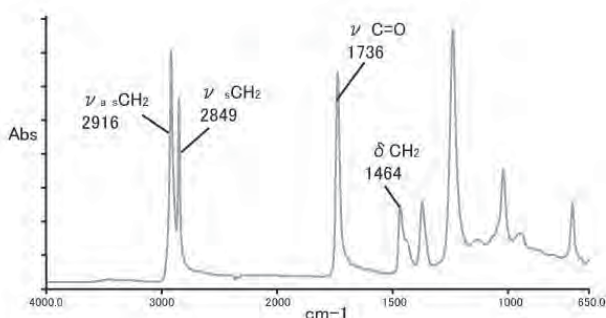


図4 EVAのIR (ATR) スペクトル

3. 2 示差走査熱量分析 (DSC)

(1) 試料A、R

試料A、Rの1st Run (図5) では、EVAの融解が 70°C 付近で起こっているが、それよりも低温領域において吸熱ピークが、またこの低温領域よりも高い温度領域でノイズ様の発熱ピークが存在した。2nd Run (図6) では、融解温度が1st Runとほぼ一致したが、1st Runで見られた低温吸熱ピークやノイズ様発熱ピークが消失した。このことから試料A、Rは、成形によってEVA自体の結晶状態が変化することはなかったものの、架橋剤のような加熱で変化する添加物が配合されている可能性が高いと考えられた。

(2) 試料B

試料の肉厚が不均一であり、位置により異なった熱履歴を受けていることが考えられたため、試料の

中央部と端部を採取し、測定試料とした(以下、中央部及び端部とする)。

1st Run (図7) では、同一試料から採取したにもかかわらず、中央部と端部では融解温度が 2°C 異なり、両方で結晶状態や熱履歴が異なっていることが考えられた。また、試料A、Rと同様に生じた低温領域の吸熱ピークは、両方で位置や形状が異なり、添加物が均一に分散していない可能性も考えられた。

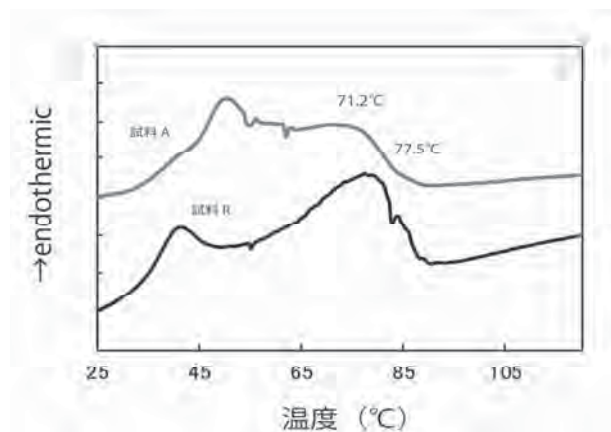


図5 試料A、Rの熱的挙動 (1st Run)

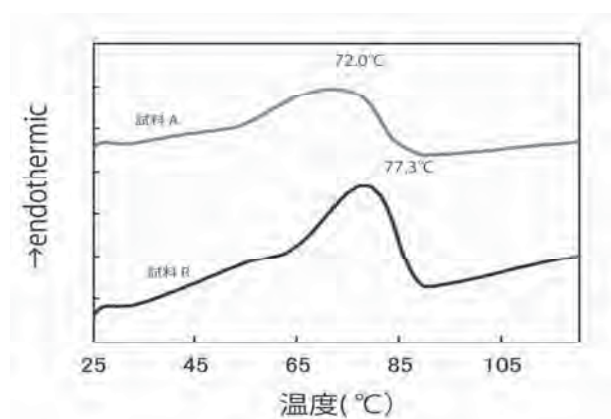


図6 試料A、Rの熱的挙動 (2nd Run)

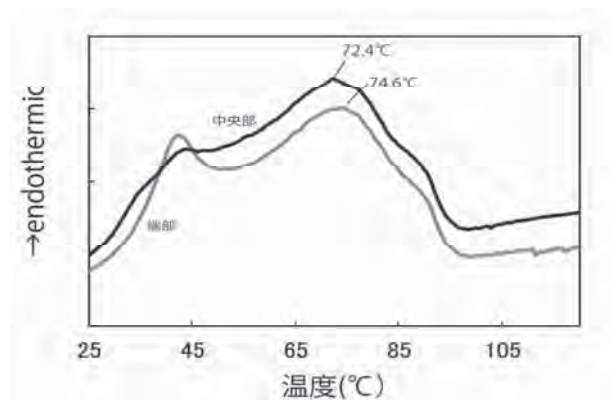


図7 中央部及び端部の熱的挙動 (1st Run)

2nd Run (図8) では、両者の融解温度及びDSC曲線の形状はほぼ一致し、1st Runとの比較から金型内で成形温度や冷却温度の不均一が生じていたことが推察された。

(3) VA含有率と融解温度との関係 (図9)

(1)赤外分光分析で求めたVA含有率と(2)DSCにおける2nd Runの融解温度とは、良好な直線性を示し、融解温度からみても試料Aと試料BのVA含有率は異なることが裏付けられた。

3. 3 蛍光X線元素分析

元素分析の結果、試料AにはTi及びSi、試料BにはTi、Zn及びSi、試料RにはTiが含まれていた。一般に、顔料にはTi及びSiが、充填剤にはSiが含まれているため、試料A、Bとも顔料や充填剤が配合されている可能性が考えられた。

4. まとめ

以上の結果から、次のことが明らかとなった。

- (1) 試料A、BはEVA中のEVA含有率が異なり、このことが見た目の特性に影響を与えていると思われた。
- (2) 試料Bは混練や成形温度、冷却温度の不均一が課題として挙げられた。
- (3) IRで求めたVA含有率とDSC融解温度は良好な直線性を示した。
- (4) EVA以外の添加物としては、架橋剤、顔料、充填剤等が考えられた。

これらを踏まえ、試料Bの不良を改善するための対策として考えられることを以下に挙げた。

- (1) 金型のゲートを広げ体積収縮に見合う樹脂量を充填するようにする。
- (2) 製造時の成形及び冷却温度ムラが考えられるので、金型温度の制御を見直し、均一に保てるようにする。
- (3) 添加物を均一に分散するため、樹脂の混練を十分に行う。
- (4) 添加物が過剰に配合されると成形に支障をきたす恐れがあるため、配合量が適正であるか確認する。

5. 謝辞

熱分析に関してご指導いただきました静岡大学教育学部 澤渡千枝教授に、深く感謝の意を表します。

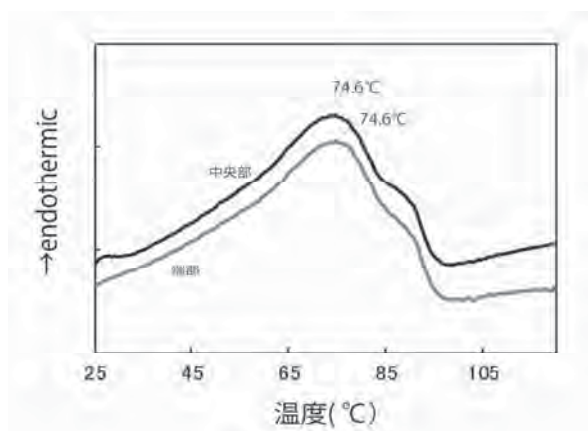


図8 中央部及び端部の熱的挙動 (2nd Run)

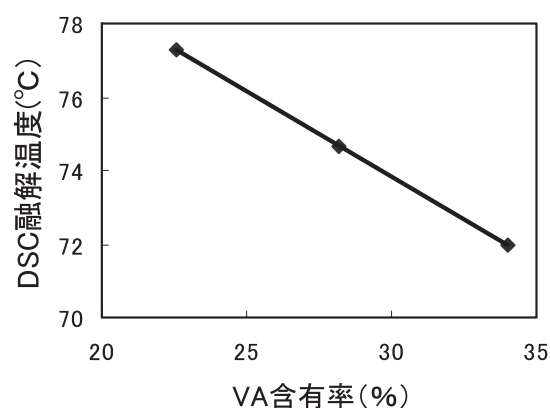


図9 VA含有率と融解温度との関係

金属加工部品の不具合事例について

金属材料科 菅野尚子 疋田訓大 綿野哲寛

Case Studies of Flawed Metal Works

Naoko Kanno, Tokihiro Hikida and Tetsuhiro Watano

1. 緒言

金属材料科では依頼試験や設備使用等を通じて県内企業からの技術相談を受けることが多く、これら課題を解決に導くことも重要な業務の1つである。本報告では、平成22年度に相談を受け解決に至った事例の中で2件を紹介する。

2. 相談内容

2. 1 事例1 ノズル内壁に点在する微小異物

外径5mmのノズル内壁に目視でやっ確認できる程度のキラリと光る異物が点在している。この異物の正体とその発生由来について究明したい。該ノズルは自動車関連の燃料を通すためのものであり、異物の許容範囲は10ミクロン以下となっている。ノズルはステンレス製で縁部分のみクロムめっきを施している。

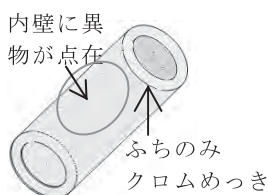


図1 ノズルの状況

2. 2 事例2 燃料ガス圧縮機のピストン表面に付着した黒色粉状異物

装置の運転中シリンダ内に油が混入し、油分によってガスの機密性を保つピストンリングが割れるトラブルがあった。約半年後、シリンダ内



図2 ピストンとシャフト

部を確認すると、内壁とピストン本体に油混じりの黒色粉状異物が付着していた。シリンダには、ピストン本体にエポキシ樹脂のピストンリングが、シャフトにエポキシ樹脂とテフロン製の2種類の軸封が使用されている。この異物は何か確認したい。

3. 試験経過と考察

3. 1 事例1 ノズル内壁に点在する微小異物

綿棒でノズル内壁の異物を擦り取りAuコーティング後、SEM(株式会社日立ハイテクノロジーズ製S-3700N)及びEDX(株式会社堀場製作所製EX-250)により観察・分析を行った。擦り取った異物は図3に示すように、大きいもので30μm程度であり品質管理の許容範囲(10μm以下)を超えていた。また表1に示すように、元素組成はノズル内壁表面の分析値(表2)に近いと思われた。さらに、ノズル内壁表面を傾斜させてSEM観察を行ったところ、綿棒付着異物と同

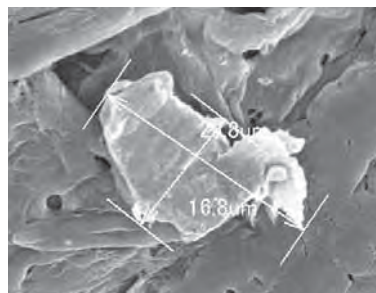


図3 綿棒に付着した異物 (SEM)

表1 異物の組成

元素	質量濃度[%]*
Si	1
Cl	1
Cr	14
Fe	84

※目安値

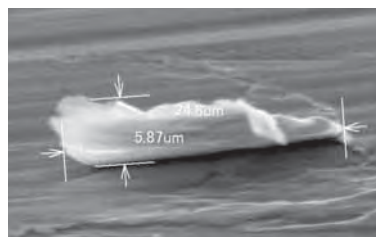


図4 ノズル内壁表面のバリ (60° 傾斜にてSEM観察)

表2 ノズル内壁表面の組成

元素	質量濃度[%]*
Si	1
Cr	14
Fe	80

※目安値

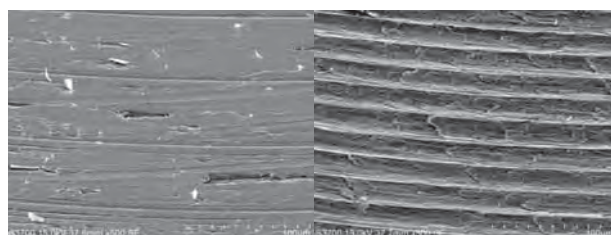


図5 不具合品(左)及び他社品(右)の内壁面 (60° 傾斜にてSEM観察)

等の大きさのバリが多数見つかり、このバリが「キラリと光る微小異物」と認識されたと考えられた。

ところで、このような金属のバリが何故多数見つかったのか原因を探るため、不良と見なされなかった他社品との比較を行った。図5に、不具合品及び他社品ノズルの内壁面のSEM写真を示した。それによると、他社品のノズル内壁表面は規則正しい凹凸があるが、不具合品はこの凹凸をなくし平らにした跡が見られた。他社品では、素材表面の荒れが凹凸によりはがれにくくなっていると思われるが、不具合品では研磨することによりかえって表面荒れの剥離を促進し、バリの除去も不十分だったために、キラキラ光る異物と認識されることがわかった。対策としては、バリの除去を徹底するか、性能上問題がなければ研磨工程を省略することが考えられた。

3. 2 事例2 燃料ガス圧縮機のピストン表面に付着した黒色粉状異物

2年前にも同様の異物について試験依頼があり、粉状異物、エポキシ樹脂及びテフロンパッキン計3試料の電子線マイクロアナライザ（EPMA）分析を行った。今回も異物の外観は同じであったため、まずはEPMA分析を行い比較し結果を表3に示した。本件異物は、元素組成としては炭素が大部分を

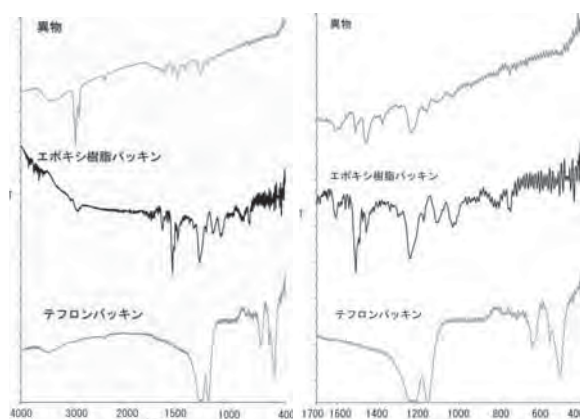


図6 異物等の赤外吸収スペクトル

占め主成分は有機物と考えられ、エポキシ樹脂パッキンの組成に近いが、シリンジの金属成分（Fe、Cr、Ni）も含まれており前回異物との類似点も見られた。

そこで、本件異物及びエポキシ樹脂及びテフロンパッキンについて赤外分光分析（透過KBr法）により有機成分の比較を行った。図6に示すように、異物の 3000cm^{-1} 付近の強い吸収は油由来と考えられるが、試料が黒色のためそれ以外のスペクトルの吸収は小さかった。 $1700\sim 400\text{cm}^{-1}$ の範囲を拡大し比較すると、本件異物はエポキシ樹脂パッキンとスペクトルの形状が似ており、 1500cm^{-1} と 1600cm^{-1} 付近に芳香族環の環振動が、 825cm^{-1} 付近にベンゼン環の面外変角振動が、 1230cm^{-1} 付近と $1075\sim 1000\text{cm}^{-1}$ にエーテルの逆対称伸縮振動及び対称伸縮振動が認められた。このことからエポキシ樹脂が主成分の1つとして含まれている可能性が考えられた。

以上から、粉状異物はエポキシ樹脂を主成分として含むと思われる。本結果はピストン本体のエポキシ樹脂製リングが8,000時間運転で1mm程度の減りが見られたという事実と一致しており、リングの減りが油に混じりピストン表面に付着したものと考えられた。このことから、本件の異物はこのシリンジ内で限定的に生じたものであると思われ、同装置の他系統に悪影響を与える可能性は低いと判断された。

4. まとめ

ここで挙げた2件以外にも、弊所所有の機器を利用し、問題解決に導くことができた事例が数多くある。相談を受ける場合、測定結果だけでなく技術的背景を含め依頼者からの聞き取り調査が重要であり、時間を要するケースも少なくないが、今後もこのような相談事例に積極的に取り組む予定である。

表3 異物及び比較試料のEPMA分析結果

組成 (wt%)	C	Fe	O	F	Ni	Cr	Si	Cl	S	他の検出元素
本件異物	89.4	4.9	3.0	0.7	0.6	0.3	0.3	0.2	0.1	
前回の異物	20.6	17.4	16.1	—	3.5	1.4	19.2	0.4	0.6	Ca, Cu, Al, Mg
エポキシ樹脂パッキン	93.4	1.2	3.8	—	—	—	0.8	0.2	0.1	
テフロンパッキン	44.3	—	—	51.4	—	—	1.0	—	0.2	

工場用天窓のアジア新興国への普及検討

— ベトナムを例として —

機械科

株式会社スカイプランニング

加藤俊文* 鈴木敬明

外山 勸 小野巳吉

Feasibility study on the spread of emerging Asia industrial skylights

— Vietnam as an example —

Toshifumi Kato, Takaaki Suzuki, Susumu Toyama and Miyoshi Ono

1 はじめに

静岡県工業技術研究所では、(独) 科学技術振興機構より委託を受けて、天窓の研究を行っている。これは、従来からある天窓を新しい技術により改善して、省エネルギー効果の大きな設備として普及しようとするものである。具体的には、ガラス層、断熱空気層、拡散板層の3層を設け、従来の天窓の暑い、まぶしいという問題点を改良した構造の天窓である。また、それぞれガラス層および拡散層材料の透過率を計測し、それらの天窓を設置したときの、室内の照度をシミュレーションできるようにした。これらの、技術成果は、平成22年度(第43回)照明学会全国大会で「光学特性に基づく天窓用透過材の配光計算」として発表した。また、工場等へ天窓を設置した時の経済効果比較を「照明エネルギーからみた、トップライト(天窓)と太陽光発電の比較」として、静岡県工業技術研究所報告第3号に報告した。

エネルギー問題は全世界的な問題であるが、特に今後工業化が進む新興国にとって、必要エネルギー増大は大きな問題である。天窓の省エネルギー効果は、広い面積を明るくするために一日中照明を点灯する工場において大きい。これらの工場の建設は、新興国において多い。このため工場への天窓設置の可能性と課題を、新興国において検討する。特に今回は、新興国として注目されているベトナムを例として検討した。

2 ベトナム経済概要

ベトナムは、1986年にドイモイ政策に転換してから、高い経済成長を維持している。初期には経済成長率が8～9%台を、1997年の通貨危機後も5%台を維持している。特に通貨危機後は、それまでの国有企業・重工業中心から、民間企業や外資の導入に力をいれ、海外からの投資を呼び込み成長を維持している。また、2007年にはWTOにも加盟し、より投資環境も整ってきたのに加え、中国プラスワンとして注目をあつめ、日本からの投資も増えている。一方では、新興国共通の課題として、インフラ等の整備が成長に追いついていないという現状もある。このため、成長を続けるアジア諸国への工場立地の典型としてベトナムを考えた。

3 ベトナムのエネルギー事情

ベトナムでは、産業の発展とそれに伴う国民生活の向上により、エネルギー消費量が拡大している。そのエネルギー消費全体における産業用のエネルギーの使用量は、40%を超えており、中国(54%)同様大きいのが特徴である。これは、29%の日本、18%の米国などの先進国と比較して、新興国の特徴となっている。これらの国では、産業用エネルギーの増加を抑制することが、省エネルギーのために重要である。

*) 現 退職

表1 全消費エネルギーに対する用途別消費量
(石油換算百万トン)

	全消費 エネルギー	産業用	交通	民生・農業
米国	1572.0	281.00	649.00	482.00
日本	352.0	102.00	91.10	120.00
中国	978.0	526.00	126.00	225.00
ベトナム	22.7	9.63	6.93	5.92

出典：エネルギー・経済統計要覧（EDMC編）2006年のデータを編集

ベトナムでは全体のエネルギー使用量が増加する中で、電力使用量も増えている。ベトナムの国家エネルギー開発計画によると2020年までに、国内の電力需要は毎年15～20%増加する予想である。図1は電力発電量である。2009年の電力供給量は850億kWhで、前年比14%増となった。しかしそれでも、需要には対応できていない。このため、計画停電がおきており、工場の操業にも多くの影響が出ているのが現状である。今回調査したホーチミン市のタンロン工業団地は、電力を優先的に供給してもらっている。しかし、それでも停電が起きている。中には、電力供給総量を規制されている工業団地もあるようである。これらの電力不足のため、ラオスや中国等の近隣諸国からの電力の購入とともに、原子力発電所を初めとしての更なるインフラ整備が計画されている。同国にとっても、省エネルギーは大きな課題となっている。

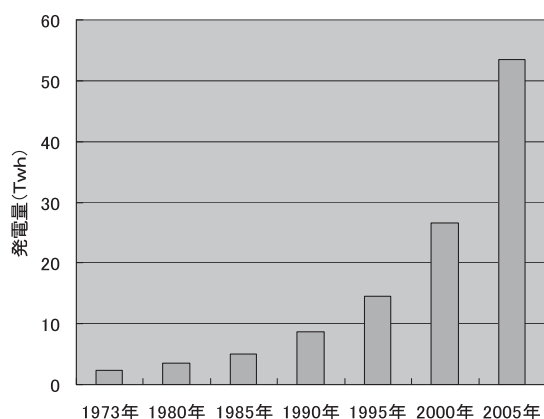


図1 発電量の推移

出典：エネルギー・経済統計要覧（EDMC編）を編集

4 ベトナムの電力価格

ベトナムでは、電力はすべてベトナム電力公社（EVN）が供給している。表2は、工場用電力価格である。2010年3月1日より6.3%の値上げになった。これは、2009年度の8.9%の値上げに引き続いての値上げである。

表2 ベトナム工場用電力価格（2010年）
(ベトナムドン/kWh)

	～2月28日		年3月1日～	
送電電圧	22KV未満	22KV以上	22KV未満	22KV以上
通常時	955	870	1023	935
ピーク時	1900	1755	1938	1825
22:00-04:00	540	475	589	518

* ピーク時 9:30-11:30、17:00-20:00

ベトナムドンの日本円の為替は2011年1月1日で、0.004163円/ドンであるため、産業用6KV～22KVの通常電力料金が3.8円/kWhとなる。これは、先進国に対して、安い価格となっている。ただし、収入・物価の安いベトナムの人たちは、相対的に高いと感じているようだ。

表3 各国の電力料金
(USセント/kWh)

	日本	米国	英国	フランス	ドイツ	イタリア
産業用	11.7	6.2	11.7	5.1	9.4	21
家庭用	17.8	10.4	18.6	14.4	22.2	22.6

5 ベトナムの日照時間

ベトナムは日本より南方に位置するが南北に長く、首都ハノイの緯度は約北緯21度、ホーチミンは北緯11度で、北部は温帯性気候、南部は熱帯性気候となっている。特徴的なのは、地域によって日照時間の差が大きな事である。これは日本より、かなり大きい。また、南の国だからといって日照時間が長いわけではない。ハノイは、日本の県庁所在地で一番日照時間が短い秋田市よりも、短くなっている。特に、雪の日が多く太陽の出る日があり無いといわれる2月の秋田より、日照時間が短いのは特筆される。

表4 ベトナムと日本の都市の日照時間（2008年）

	ブンタウ	ハノイ	静岡市	秋田市
1月	209	63	168	30
2月	211	26	230	43
3月	286	68	227	133
4月	249	73	184	189
5月	203	143	177	204
6月	223	116	90	182
7月	240	144	159	124
8月	196	124	201	166
9月	152	123	146	212
10月	208	92	154	153
11月	164	148	168	100
12月	168	114	205	58
計	2509	1234	2108	1594

出典：General statistics office of VIETNAM

日本気象庁

ブンタウはホーチミン近郊の海岸部都市

日照時間とは、直達日照量が $120\text{W}/\text{m}^2$ 以上の時間を言う。これは、直射日光により影が認められる程度の日照である。このため、日照時間外が暗いというわけではないが、天窓による明るさには影響する。静岡市では梅雨時期に、日照時間が短くなるが、ハノイ市などは、乾季の1月～4月に短くなっている。在ハノイ日本大使館によれば、「この時期は、連日曇り空で晴れの日は殆どない」との事であった。

天窓の設置には、現地での気象の調査が欠かせない。ベトナムの日照時間の短さは実際の設置には、検討が必要であろう。直達日射量が $120\text{W}/\text{m}^2$ 以下でも天窓により明るさを確保することは十分に可能であるが、やはり天窓面積等に考慮が必要となる。加えて、日射時は南に行くほど光が強くなる。ベトナムでは、ハノイおよびホーチミンが北回帰線より南にある。このため、真上から太陽が照る時期があり、天窓のガラスへの入射角が小さな強い太陽光が進入する時間が長くなる。これらの太陽高度が高いときの特性確認も必要となる。

6 工場建設の現状

6-1 日系企業の工場の構造

ベトナムへ多くの日系企業が進出している。建物は、その国の風土や建築基準などに左右されその国独自のものになるが、日系企業工場の構造は、おおむね日本と同様の構造にすることが多い。



写真1 建設中の工場

日本の工場とまったく同じ構成、同じ配置にしている企業もあった。また、現地の建築施工方法を取り入れ安くしたが、不具合が生じて、日本方式にしたという声もあった。写真1は、建設中の工場、壁を現地のようにレンガで作り、屋根は日本と同じような金属屋根かスレートにすると思われる。この様な構造の工場にする場合が多いとの話である。いずれにしても、日本のゼネコンが契約と設計などを行い、現地の建設会社が資材の調達から施工を行う分担となる。ベトナムなど新興国では、進出する企業が属する国の建設会社が請け負っている場合が多く、最近は韓国や中国の建設会社が目に付くとの事であった。このため、天窓のアジア新興国への普及といっても、まず日系企業の工場への設置を目標にしたい。それも、施主である日本企業か設計する日系ゼネコンへの販売となるであろう。

6-2 ローカル企業の工場の現状

現地の小企業の工場の概念は、なるべくお金をかけなく、雨や日の光をさえぎることだけを目的としたものになっている場合が多い。現地で新築工場といっても、材料が新品とは限らず、トタン屋根が穴だらけという場合もあるようだ。中古のトタンを利用するために以前止めた穴がのこっており、当然雨漏りがする。見かけた小工場は、明かりとりのために、透明樹脂を乗せた従来の天窓は使用していた。ただ、ローカル企業の工場は、そのレベルから、今回検討中の天窓設置の対象からとりあえずはずす事になるであろう。

6-3 施工の現状

ベトナムは現在建設ラッシュであるが、その工事は、かなり危険を伴うような状態であった。写真2

【ノート】

は、ハノイ中心部のニッコーホテル前の工事現場のもので、ビルの出っ張りで足場も無く作業をしていた。施工現場は日本とかなり異なっている。

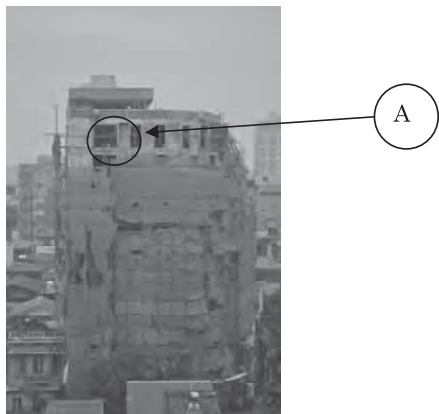


写真2 建築現場写真



写真3 A部拡大

7 天窓の設置状態

今回、ハノイのノイバン国際空港に近い、日系の工業団地であるタンロン工業団地を訪問した。タンロン工業団地は住友商事子会社（58%所有）と、国営企業（42%）の合弁の工業団地で、入居企業87社のうち日系企業が79社を占めている。これら日系企業においても、夏に空調が入らず扇風機だけの工場も多い。精密部品加工工場やアセンブリ工場には空調が入っているが、機械加工工場や大型機械組み立て工業では、ファンのみのようである。このため、工場内で火などを使う加工工場では、40℃以上になるとの話であった。工業団地内の工場の一部を外部から見ただけではあるが、空調が入っていると思われる（空調の室外機がある）工場は密閉式であり、入っていない（ドアや窓が開けてある）工場は、従来型の天窓が付いているものが見受けられた。現地の駐在員の話では、感覚的に30%程度の企業に空調が入っているではとの事であった。いずれにしても、

日本の後を追う形になるが、工場での空調の普及と省エネルギーへの関心は、今後増大して行くものと判断する。

8 輸出に関して

海外の工場での、天窓の設置には、どの様に資材を供給するかも大きな課題となる。長尺物の部材を使用することがある折板屋根の工場建設では、その物流が重要である。日本国内でも、短い場合はトラックで、トラックで運ぶのが難しい長尺物は、現場で天窓資材の成形が行われている。この場合、成形機を現場に持ち込むことになる。これは、継ぎ目のない長尺物の方が、雨漏りなどに有利になるためである。

海外の場合は、成形機の持ち込みと持ち出しが輸出入を伴うという事で難しくなる。海外輸出用のコンテナは40フィートコンテナ（内寸2.3×2.3×11.9 m）と、20フィートコンテナ（内寸2.3×2.3×5.8m）である。このため、輸出用には、10mか5 mにユニット化した天窓の開発が必要になると考える。

9 まとめ

省エネルギーのための設備として、天窓が有効である事は間違いない。特に、インフラが十分でなく電力が足りない新興国において、今後の更なる産業発展のために有効である。そして、東南アジア等南の国は日射が強いので、今回研究を行った拡散板付き天窓の効果がより高いと思われる。

ただし、天候はその国によって違っており、基本の天窓構造は同じとしても、現地の気象条件を考慮した設計も必要となる。また、日本からの輸出には、国内と違う物流を考慮したユニット化の検討も必要になると考える。

参考文献

1. EDMCエネルギー・経済統計要覧（財）日本エネルギー経済研究所計量分析ユニット編
2. <http://www.gso.gov.vn> (General statistics office of VIETNAM)

工作機械の熱変位予測について

— グリススピンドルの伝熱解析 —

機械科

長津義之 鷺坂芳弘 船井 孝

鈴木敬明 加藤俊文*

碌々産業株式会社

片山哲也 川津和司

Estimation of Thermal Displacement of Machine Tools

— Analyses of Heat Transfer of spindles —

Yoshiyuki Nagatsu, Yoshihiro sagisaka, Takashi Funai, Taka-aki Suzuki,

Toshifumi Kato, Tetsuya Katayama and Kazushi Kawatsu

1. はじめに

現在、工作機械に用いられる工具は、微細形状加工の需要が増大しているため、小径化がさらに進んでいる。加えて、加工時間の短縮も要求されており、主軸スピンドルや送り軸が高速化している。その結果、装置からの発熱量が増大し、加工に影響を与える熱変形の補正の重要性が高まっている。

補正手法の中でも、装置の各点温度を測定し、その値より熱変形を予想し補償する手法は、設置環境温度の特殊な制御を必要としない、装置への後付け可能で低コスト、という利点がある。その熱変形予測には計算機を用いた伝熱・熱変位シミュレーションが多く用いられる。しかし、シミュレーションには、装置の主軸スピンドルや送り軸から発生する熱量に加え、壁面や冷却機器からの放熱に関連する熱伝達係数等、直接測定困難な複数のパラメータを必要とする。

ここでは、工作機械で最も発熱量が高いとされる主軸スピンドルを対象として取り上げ、上述のパラメータ推定法に取り組んだ結果について報告する。

2. 方法

2. 1 スピンドル温度測定

碌々産業(株)製マシニングセンタに採用されたビルトインモータスピンドルユニット（最大出力6kW、モータ発熱量1300W、32000rpm、転がり軸受、グリス潤滑方式）を検査用台に取付け（図1 a）、各

位置にT熱電対（-200～+350℃）を貼付した。実験はスピンドルを停止状態から一定の回転数（32000rpm）で熱平衡状態に達するまで回転させた後、回転を停止した。

以上の工程において、各点温度を30秒間隔で測定及び記録した。

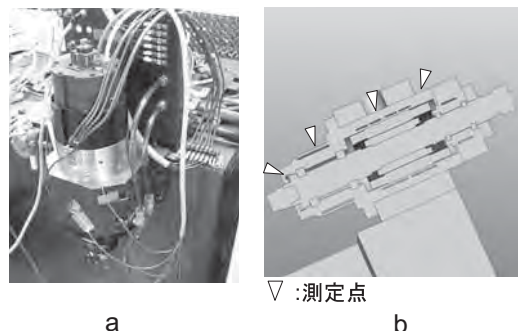


図1 温度測定及びシミュレーションモデル

2. 2 パラメータ計算及び伝熱シミュレーション

シミュレーションモデルを図1 bに示す。スピンドルの発熱源は、転がり軸受け並びにロータ及びステータのコイル部とした。オイルクーラーの最大冷却能力は2900Wであり、計算簡略化のため、冷却オイル溝壁の熱伝達係数及び冷却油温度は一定とした。

壁面の放熱は自然対流熱伝達とし、熱伝達係数は、設置雰囲気に開放されている面及び検査台の内側面でそれぞれ別の一定の値とする。

解析ソフトウェアは、PTC社のPro/MECHANICAを用いた。シミュレーションに必要なパラメー

*) 現 退職

タ計算方法は以下1)～4)に示す。

- 1) 発熱量及び放熱に関する各面の熱伝達係数を製品仕様や実験式などから仮決める。
- 2) 1)で仮決めした値で定常伝熱解析を行い、熱平衡状態になった際の温度分布を算出する。その計算値と実測値の自乗和を最小化するような発熱量を2分探索法を用いて、繰り返し計算にて求める。
- 3) 2)で求めた熱平衡状態からモータ停止後の温度降下について非定常解析を行う。熱平衡状態で温度が最も高い点を対象とし、温度降下時の計算と実測の差が最小になる冷却オイル溝面及び壁面の熱伝達係数を、2)と同様の方法で算出する。
- 4) 3)で求めた熱伝達係数を用いて、再度定常伝熱解析を行い、転がり軸受け並びにロータ及びステータのコイル部の発熱量を計算する。

3. 結果

熱平衡状態で最も温度が高い下蓋部について、スピンドル回転停止後の温度降下の実測値より熱伝達係数を算出し、得られたパラメータでシミュレーションを行った結果を図2に示す。また、スピンドルを一定速度で回転させた際の下蓋部の昇温のシミュレーション結果と実測との比較を図3に示す。フィッティングにおける実測とシミュレーションの平均二乗偏差は、回転停止から1800秒後の範囲で0.16Kとなった。また、昇温時については、回転開始から同じく1800秒後の範囲で0.4Kであった。

4. まとめ

マシニングセンターの主軸スピンドルを対象として、実験値を基に、伝熱シミュレーションに必要な熱伝達係数や発熱量の算出を行った。

今回のような、発熱量と放熱に関する熱伝達係数を別個に算出する方法は、計算量が少ない利点もあり、伝熱シミュレーションのパラメータ算出に有用と推測される。今後は、

- 1) スピンドルの測定点位置及び設置数の最適化による、温度及び熱変位予測精度向上
- 2) ボールねじやリニアモータなど送り軸の熱変位

シミュレーション

- 3) マシニングセンターを対象とした工具先端位置・姿勢の熱変位補正

以上について取り組む予定である。

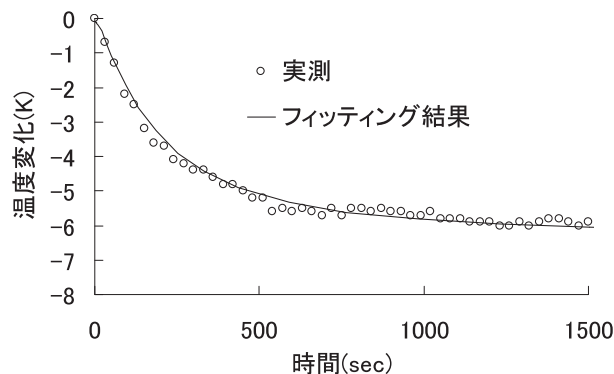


図2 温度降下におけるフィッティング結果

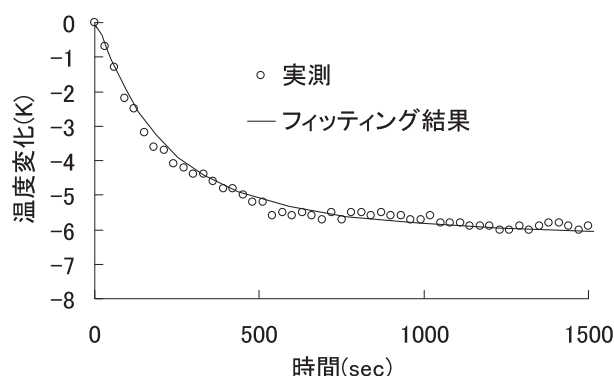


図3 昇温実験及びシミュレーション比較

参考文献

- 1) 李鐘斗他：工作機械壁面熱伝達率の推定（第2報，複数面の熱伝達率の推定），日本機械学会論文集（C編），Vol.64, No.626, 4091-4097（1998）
- 2) 平澤義光他：工作機械主軸スピンドルの熱解析，NTN TECHNICAL REVIEW, No.76, 74-79（2008）
- 3) 田辺郁男他：セルフ強制冷却を用いた工作機械熱変形の抑制，日本機械学会論文集（C編），Vol.66, No.649, 3150-3155（2000）

機械科 鷺坂芳弘
住鋇潤滑剂株式会社 石橋 格
静岡大学 中村 保 笹岡英嗣 早川邦夫

Yoshihiro Sagisaka, Itaru Ishibashi, Tamotsu Nakamura, Eiji Sasaoka and Kunio Hayakawa

アルミ鍛造での潤滑性は、その加工度を再現できるように、表面積拡大の大きい摩擦試験で評価する必要がある。本報では、スプラインなどの前方押出しを模擬した摩擦試験法を採用した。また、成膜処理前の表面性状は潤滑性能に大きく影響する。そこで複数の前処理を行って摩擦試験を実施し、潤滑性能に有効な表面特性について検討した。

評価した環境対応型潤滑剤は住鋁潤滑剤製の2液2層型乾燥皮膜潤滑剤¹⁾である。これは薬剤への浸漬と乾燥を2回繰返して、素材への密着性の高い下地膜の上に潤滑性に優れた上塗り膜を成膜する潤滑システムである。下地膜が耐焼付き性、上塗り膜が摩擦低減を受け持ち、化成皮膜と似た構造の潤滑膜

潤滑性能は突起付きダイスを用いた前方軸-後方缶押し成形摩擦試験²⁾にて評価した。摩擦試験の概略を図1に示す。断面減少率 $ReU=50\%$ のパンチで円柱試験片を加圧し、前方に軸、後方に缶が押し出される。ダイス摩擦の大小によって製品形状は図2のように変化する。あらかじめ複数の摩擦せん断係数に対してFEM解析を行い、製品形状を解析の結果と比較することでダイスの摩擦せん断係数を特定することができる。ダイスのテーパ面には異形の

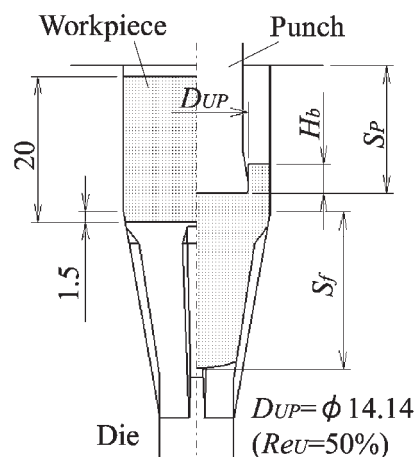


図2 試験後の摩擦試験片の例（左：低摩擦、右：高摩擦）

前方押し出しを模擬した6ヶの突起を設けた。突起が試験片に局所的な表面積拡大を与えることでアルミ鍛造の高い加工度を再現できる。表面積拡大は、突起高さの異なる2種類のダイスを用いることで変更した。解析により、表面積拡大比の最大値 X_{max} は大きい突起で26倍、小さい突起で14倍と推定された。

試験片は皮膜の性能差が出易いよう、析出硬化したアルミ合金A6061-T6を $\phi 20 \times 20$ に旋削して使用した。表面性状の影響を見るため、潤滑処理の前にウェットブラスト (WB)、ショットブラスト (SB)、アルカリエッチング (AE) の前処理を行い、切削のみの場合 (AM) と比較した。WBでは0.2mmのSUSグリット、SBには $\phi 0.2$ の鋼球を用いた。

3. 実験結果

2液2層型潤滑剤とフッ化アルミ皮膜をWBとAMについて比較した。ダイスの突起高さが大きいほうが潤滑性能差は明確に現れた。突起大でのパンチストローク S_p に対する摩擦せん断係数 m_d の変化を図3に示す。 S_p が小さいときはフッ化アルミと2液2層型は同等の性能だが、 S_p が大きいと2液2層型の方が低摩擦であった。また、いずれもウェットブラストによって摩擦が大幅に低減しており、前処理の影響は潤滑剤以上に大きいことが分かる。

2液2層型潤滑剤について各前処理での潤滑性を図4に比較した。WBが最も摩擦が低く、AEとAMは同等、SBが高摩擦となった。この原因を探るため、前処理後の試験片の表面粗さを平均粗さ R_a と局部山頂の平均間隔 RS で比較した。図5に結果を示す。SBは粗さは大きいとその間隔も大きいのに対して、WBは粗さが大きい上に RS が小さく緻密な凹凸を持つことが分かる。この違いは主に使用したメディアによるものである。粗さと共に緻密な凹凸を持つことが潤滑性能の向上に有効であることが判明した。

4. まとめ

2液2層型乾燥皮膜潤滑剤はフッ化アルミ皮膜と同等以上の性能を持ち、潤滑剤の切り替えは比較的容易であることが示された。また前処理にて表面に

大きいながらも緻密な凹凸をつけることが潤滑性能の向上に有効であることが示された。

参考文献

- 1) 中村保他：環境対応型鍛造用潤滑剤の性能評価，第58回塑性加工連合講演会講演論文集，579-580 (2007)。
- 2) 鷺坂芳弘他：突起付きテーパダイスを用いた前方軸後方缶押し形摩擦試験法の提案，第56回塑性加工連合講演会講演論文集，295-296 (2005)。

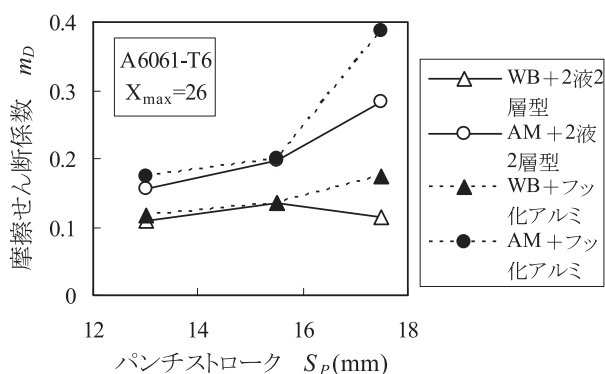


図3 潤滑剤による摩擦せん断係数の比較

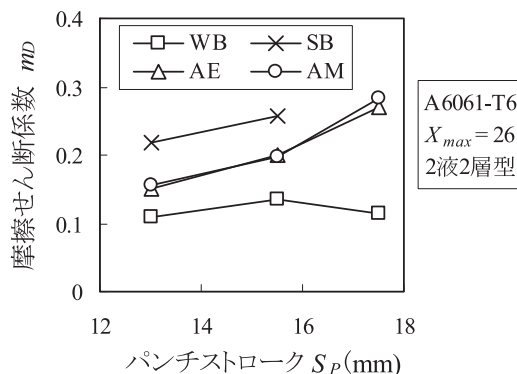


図4 前処理による摩擦せん断係数の比較

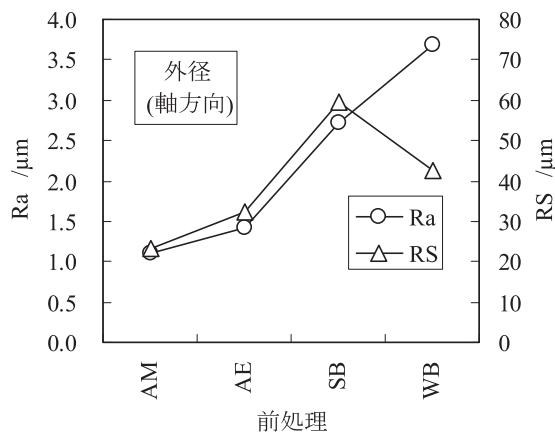


図5 表面性状の比較

軟質ポリウレタンフォームの力学的シミュレーションに関する研究

機械科

独立行政法人理化学研究所

ソフトプレ工業株式会社

船井 孝 鈴木敬明

中村佐紀子 横田秀夫

袴田恭正 前嶋文明

The kinetic property of flexible polyurethane foam for mechanical simulation.

Takashi Funai, Taka-aki Suzuki, Sakiko Nakamura

Hideo Yokota, Yasumasa Hakamata and Fumiaki Maejima

1. はじめに

生体力学シミュレーション技術は、これからの超高齢社会における製品開発で、身体にかかる負担を予測できる有効な手法であり、これまで知ることができなかった身体内部の応力状態も考慮したマットレス開発への応用が期待されている。シミュレーションを用いてマットレス開発を行うためには、マットレスの素材の変形挙動を精度よく予測するため、材料の力学的特性をシミュレーションシステムに入力できる材料モデルに近似する必要がある。本研究では、マットレスの素材となる軟質ポリウレタンフォームの圧縮試験を実施し、その結果を超弾性体モデルに近似した。また、近似した超弾性体モデルを使ったシミュレーションを実施し、実験結果と比較した。

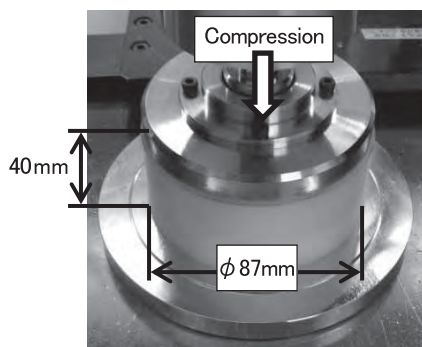


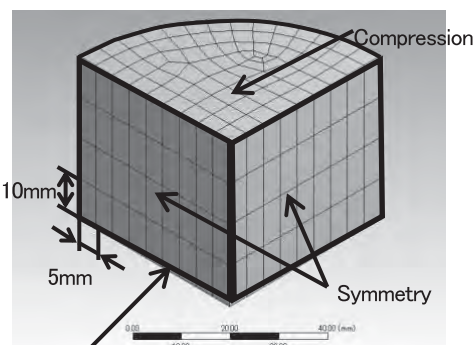
Fig.1 Compression test

2. 実験方法

2. 1 圧縮試験および超弾性体モデルへの近似

材料特性パラメータを得るために、直径87mm、厚さ40mmの円柱型試験片を作成し、軟質ポリウレタンフォームの圧縮試験を行い（Fig. 1）、その結果を超弾性体モデルに近似した。試験は5 mm/min.の速度で30mm圧縮することとし、変位0～20mm

m間は1 mm、20～30mm間は2 mm圧縮することに停止させ、3分後の荷重を読み取った。圧縮試験の結果を理化学研究所のPCクラスタシステム（RICC）で利用できるANSYS12.1のカーブフィッティング機能を使い、超弾性モデルのOgden-foamに近似し、材料特性パラメータを算出した。



Lower surface: Top and bottom direction restriction

Fig.2 Compression test model

2. 2 圧縮試験の再現シミュレーション

2. 1節で算出した材料特性パラメータが軟質ポリウレタンフォームの圧縮挙動を再現できることを確認するため、圧縮試験を再現するシミュレーションを実施した。シミュレーションモデルは圧縮試験に使用した試験片と同じ形状とし、計算時間の短縮と境界条件の設定を容易にするため、1/4モデルとした。作成したシミュレーションモデルおよび、境界条件をFig. 2に示す。

シミュレーションはANSYS12.1で実施した。シミュレーション条件は、初期のサブステップ数を10、最少サブステップ数を10、最大サブステップ数を100とし、幾何学的非線形を考慮して圧縮部の反力を算出した。材料試験と同様に、変位0～20mm間

は1mmごと、20～30mm間は2mmごとの反力を求めた。

2. 3 近似結果の検証

実験結果から算出した材料特性パラメータの妥当性を検証するため、1辺400mm、厚さ40mmの直方体の試験片を作成し、その中心部を直径100mmの円盤状圧子で圧縮する実験を行った (Fig. 3)。実験条件は2. 1節の圧縮試験と同一とした。また、検証実験を再現するシミュレーションを実施した。シミュレーションモデルおよび境界条件をFig. 4に示す。シミュレーション条件は2. 2節の圧縮試験のシミュレーションと同一とした。

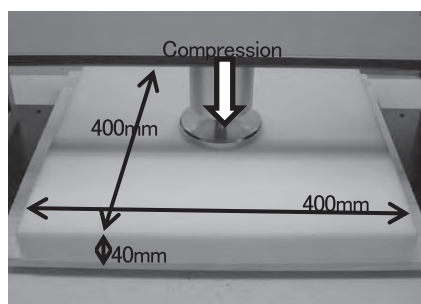


Fig.3 Validation test

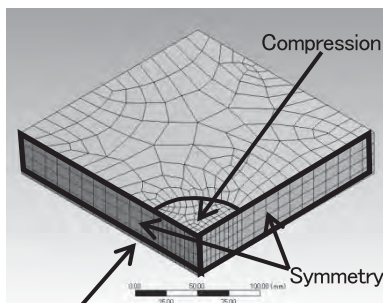


Fig.4 Validation test model

3. 結果と考察

圧縮試験および、その再現シミュレーションから得られた変位と荷重の関係をFig. 5に示す。材料試験結果とシミュレーション結果の差の二乗平均平方根を算出すると、0.249 (N) であり、試験結果とシミュレーション結果がよく一致していることがわかる。これらのことから本研究で算出した物性値で、軟質ポリウレタンフォームの圧縮挙動を精度よく予測できることがわかる。

検証実験およびそのシミュレーションから得られた変位と荷重の関係をFig. 6に示す。この図より、

【ノート】

実験結果とシミュレーションは二乗平均平方根で6.40 (N) の違いが生じた。直方体の中心を圧縮する実験では、円盤状圧子の周辺に引張りが生じるが、本研究では圧縮試験のみから物性値を算出しているため、引張り挙動は精度よく再現できていないことが原因と考えられる。検証実験の結果をシミュレーションで精度よく予測するためには、引張り試験を実施し、引張り挙動も考慮にいたれた材料特性パラメータの算出を行う必要があると考える。

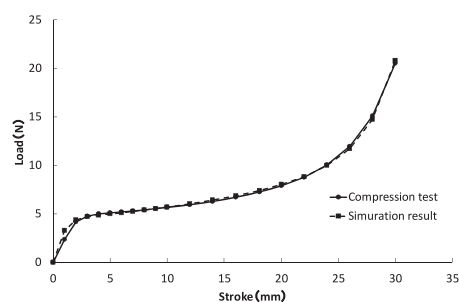


Fig.5 Comparison of a compression test and the simulation

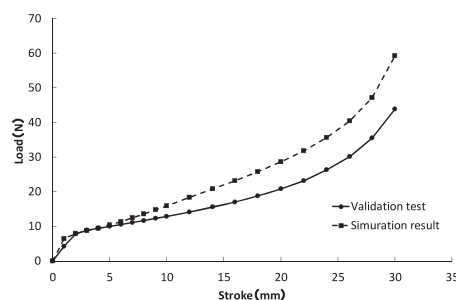


Fig.6 Comparison of a validation test and the simulation

4. まとめ

本研究では、圧縮試験の結果をOgden-foamに近似することで軟質ポリウレタンフォームの圧縮挙動を精度よく再現できることを示した。しかし、圧縮と引張りが混在する検証実験では異なる結果となった。このことから、引張りと圧縮が混在する変形を再現するには圧縮試験だけでは不十分であり、引張り試験の必要性が示唆された。今後は引張り試験を実施し、圧縮と引張りを考慮した材料特性パラメータの算出を行っていく予定である。

謝辞

本研究は、(独) 科学技術振興機構A-STEPシーズ顕在化事業の成果である。また、計測に協力頂いた化学材料科の田村上席研究員に感謝します。

ネットワーク機能未搭載機器の遠隔監視に関する研究

— ZigBee無線モジュールを利用した遠隔監視システムの開発 —

電子科

長谷川和宏

神谷理研株式会社

神谷文吾

小柳雅弘

森口慎也

Studies on the Remote Monitoring System for Equipments
without network features

— Development of remote monitoring system with ZigBee wireless module —

Kazuhiro Hasegawa, Bungo Kamiya, Masahiro Koyanagi and Shinya Moriguti

1. はじめに

企業では経営・生産合理化のため、業務の効率化や生産性の向上が求められている。平成21年度より、企業の人的負担の軽減や生産性の向上を目指し、ネットワーク機能未搭載の既存機器や古い工場設備のネットワーク化に関する研究を開始した。平成21年度は、所内の長期性能試験機器等を対象にネットワーク化技術を蓄積した。

平成22年度は前年度までの研究成果を基に神谷理研株式会社と共同で、排水処理設備の異常やメッキ生産工程で使用する給水量を遠隔監視するシステム開発に取り組んだので報告する。

2. 開発方法

2. 1 システムの検討

排水処理設備の異常や工場内で使用する給水量の情報を捉えるため、ZigBee無線モジュールを利用して小規模ネットワーク（PAN）を構築し、遠隔監視システムを実現する。

ZigBee無線モジュールには、Digi International社のXBeeを採用した。情報収集・発信用デバイスにXBee Series2モジュールを、情報受信・制御用デバイスにXStick ZBを、通信距離や建物構造等による通信状況が不安定な場合には中継用デバイス（ルータ）にXBee Wall Routerを利用することとした。

2. 2 情報収集・発信用デバイスの設計・製作

排水処理設備の異常は、制御盤のリレー接点をXBeeのDIポートに入力し、最大16点（XBeeモジュール

を2個使用）まで遠隔監視可能なリレー接点状態監視デバイスの設計・製作を行った。リレー接点の状態変化が起きると、XBeeがDIの状態を自動送信するイベントモードとなるようファームウェアのパラメータ設定を行った。

給水量については、流量計のパルスをPICマイコンのDIポートで4CH計測し、UART経由で1時間毎にXBeeから給水量の積算値を送信するパルス計測デバイスの設計・製作及び制御プログラムの開発を行った。

2. 3 PANの構築

情報収集・発信用デバイスをエンド・デバイス（ATモード）に、情報受信・制御用デバイスをコーディネータ（APIモード）として、PANを構築した。本社工場のPANを図1に示す。

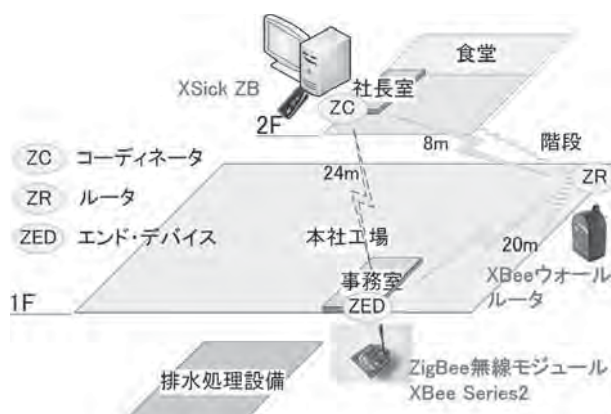


図1 本社工場のPAN

2. 4 アプリケーションの開発

VB.NETを利用して、受信した情報から『異常情報の見える化』、『異常ログの作成』、『メールによ

【ノート】

る異常の自動報知』や『時間単位・日単位の給水量監視』等のアプリケーションを開発した。

3. 結果と考察

本社工場には平成22年11月より、西テクノ工場には平成23年1月よりリレー接点状態監視デバイスを設置し、排水処理設備の異常監視・異常報知システムの稼働を開始した。異常時は図2に示したように異常個所を表示すると共に、予め登録されたユーザーにメールで報せる仕様としたため、毎日の巡回監視に割く時間を削減できた。また、異常内容、異常日

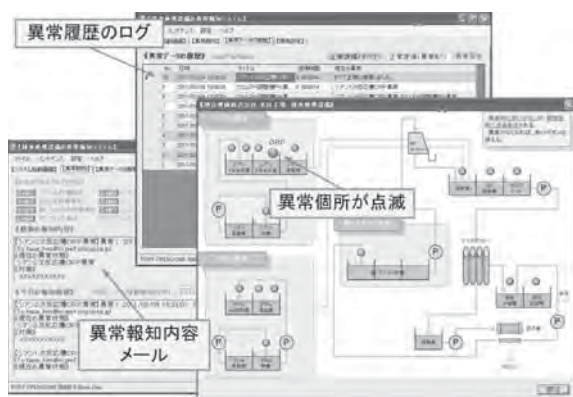


図2 異常監視・異常報知アプリケーション

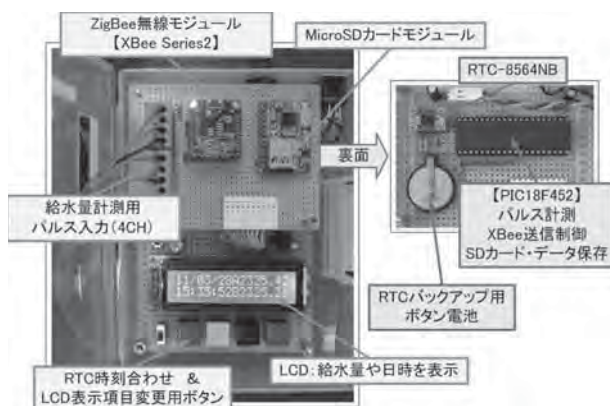


写真1 パルス計測デバイス



図3 給水量監視アプリケーション

時、異常毎の復帰時間や現在の異常状態等の情報が、CSVファイルに自動生成されるため、履歴管理やトラブル時の迅速な対応が可能となった。

情報収集・発信用デバイスの1つであるパルス計測デバイスを写真1に示す。給水量の積算値は毎時エンド・デバイスからコディネータに送信されるが、MicroSDカードへデータを蓄積することで無線データ送受信等の障害発生時にもデータが失われることはない。このデバイスを平成23年3月より西テクノ工場に設置し、給水量監視システムの稼働を開始した。これまで、給水量は工場単位でのトータル使用量のみでの管理であったが、システム稼働により図3に示すように各生産ライン単位で、時間毎、日毎、月毎の使用量を管理できるため、巡回監視の削減にとどまらず、排水処理異常との連携により異常発生要因の特定や節水等への展開が期待できる。

4. まとめ

異常監視・異常報知システム及び水量監視システムを開発し、工場での稼働を開始した。異常監視・異常報知システムは稼働後数か月を経たが、正常稼働を続けている。水量監視システムについては、無線データ送受信の際にデータ欠落等の事象が発生するため、安定した無線データ送受信手順や仕組みを検討し、改良していく必要がある。

本システムは汎用的な技術であるため、様々な業界・分野へのネットワーク化の展開が期待できる。今後、成果普及を行いながら実用化や製品化実施先企業を探っていく予定である。

謝辞

ZigBee無線モジュールのVB.NETによるアプリケーション開発にご尽力いただいた有限会社エー・ダブル電子開発部長の渡辺明禎氏に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) Digi International Inc.: Xbee®/Xbee-PRO® ZB RF Modules, 62-120, Digi International Inc. (2009).

機械装置音の音質及び時間的変化に関する評価

電子科 上野貴康

Evaluation of sound quality and temporal variation of machine sound

Takayasu Ueno

1. はじめに

往復運動・回転運動を伴う機械装置の製品音について、音質評価を実施し、機械的仕様と物理量及び不快感との関連を調べた。また、加工音を作成し、不快感の変化を調べた。

2. 音質評価

対象の製品は、機械的仕様の異なるレシプロ式空気圧縮機4機種である。各機種の仕様を表1に示す。

表1 各機種の機械的仕様

製品名	A	B	C	D
吐出圧力 (MPa)	3	3	20	30
吐出風量 (m ³ /h)	20	12.5	13	35
馬力	8	5	8	20
圧縮段数	2	2	3	4
回転数 (min ⁻¹)	880	1150	800	1000
モーター (kW)	5.5	3.7	5.5	15

動作中の各製品音を各々録音した。録音した各製品音（各音源）の心理音響物理量解析結果（B&K社製Type7698利用）を表2に示す。この結果と製品仕様の相関を調べた結果を表3に示す。感覚的な音の大きさ（Loudness）は、吐出圧力、馬力及び圧縮段数と強い相関があり、粗さ（Roughness）は回転数と強い相関がある、ということが分かった。

表2 各機種の心理音響物理量解析結果

製品名	A	B	C	D
Loudness (sone)	41.2	41.2	62.8	71.2
Sharpness (acum)	1.88	1.55	1.77	1.5
Roughness (asper)	1.6	1.21	1.77	1.54
Fluctuation Strength	1.58	1.33	1.28	1.31

※Sharpness：鋭さ

Fluctuation Strength：変動感（単位…vacil）

表3 心理音響物理量と機械的仕様の相関係数

心理音響物理量	L	S	R	F
吐出圧力	0.99	-0.43	0.46	-0.61
吐出風量	0.61	-0.42	0.12	0.01
馬力	0.80	-0.48	0.23	-0.23
圧縮段数	0.98	-0.49	0.39	-0.57
回転数	-0.30	-0.76	-0.97	-0.20
モーター	0.79	-0.52	0.19	-0.25

次に、各音源の音圧及びLoudnessの時間的変化を調べた。どの音源も同様の傾向を示しており、例として製品Aの結果について図1に示す（0.5秒間）。

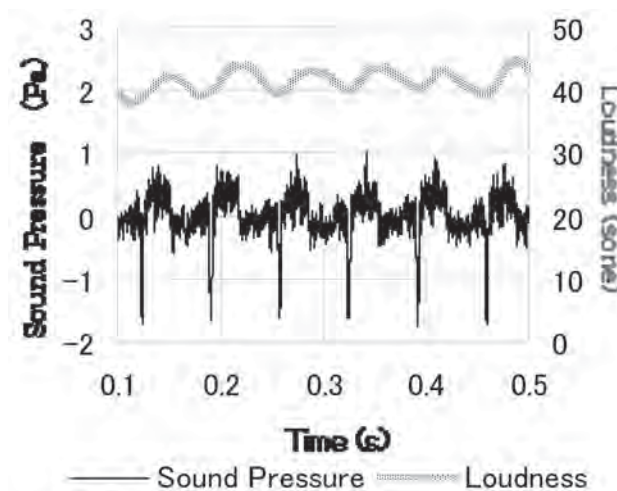


図1 製品音の音圧及びLoudnessの時間的変化

Loudnessは時間マスキングが考慮されているため、音圧よりも滑らかに変化している。製品Aは、音圧及びLoudnessとも0.5秒間に約6回の周期的な変化が確認でき、これは回転数の周期とほぼ一致していた。他の音源も回転数と同等の周期が確認できたが、変化する値の大きさが製品毎に異なっていた。そこで、音源毎のLoudnessについて、1周期の谷と山の時間差及びLoudness差から時間的変化量を算出した。結果を表4に示す。

表4 Loudnessの時間的変化量

製品名	A	B	C	D
時間的変化量 (sone/s)	131	132	171	89.2

4つの音源の不快感合いを調べるため、試聴実験を実施した。被験者(30代~70代の健康な男性5名、女性1名)へ、各音源を1種類ずつ提示し、各音源について「不快でない」(0)から「不快である」(-4)までを5段階で評価させた。その平均結果を図2に示す。この結果と上記心理音響物理量との相関を調べた結果を表5に示す。不快感合いと強い相関があったのは、Loudnessの時間的変化量(T)であった。

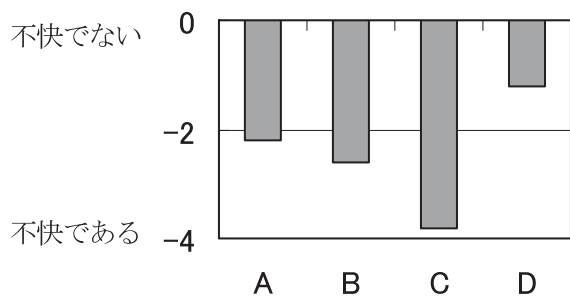


図2 不快感合い

表5 心理音響物理量と不快感合いの相関係数

物理量	L	S	R	F	T
不快感合い	-0.12	0.47	0.36	-0.26	0.98

3. 加工音の作成

不快感合いと時間的変化量が強い相関にあることが分かり、時間的変化量がさらに小さくなれば不快感合いも小さくなることが予想できる。そこで、デジタル音源加工ツールを用いて、各音源の時間的変化量を小さくする加工を行った。加工後の音源の音圧及びLoudnessの時間的変化を図3に示す(例として製品音A)。また、加工後の各音源におけるLoudnessの時間的変化量を表6に示す。各音源とも、加工後の音源は、時間的変化量の減少が確認できた。

【ノート】

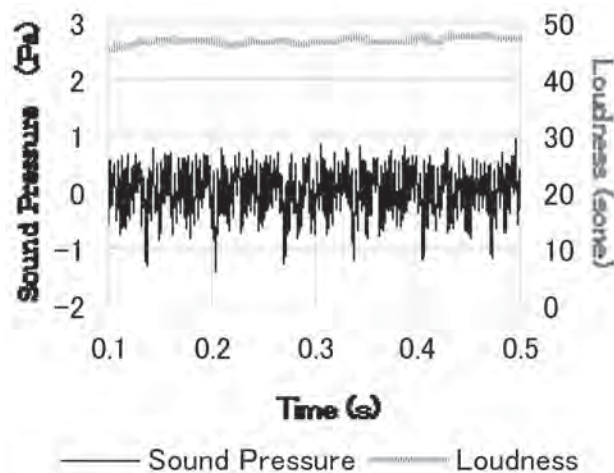


図3 加工音の音圧及びLoudnessの時間的変化

表6 Loudnessの時間的変化量(加工後)

製品名	A	B	C	D
時間的変化量 (sone/s)	41	63	154	77

加工後の音源の不快感合いを調べるため、上述した試聴実験を実施した。被験者へ、各音源について加工前と加工後の音源を交互に提示し、「加工前の方が不快」(-2)から「加工後の方が不快」(2)までを5段階で評価させた。その平均結果を図4に示す。全ての音源において、不快感合いは加工後の方が低減できていた。

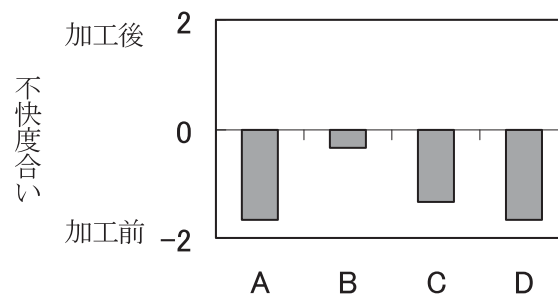


図4 加工前後の不快感合い

4. おわりに

今回対象とした製品4機種の製品音について、機械的仕様、心理音響物理量及び不快感について調べた。Loudnessの時間的変化量を小さくすることが不快感低減に有効であることが確認できた。

新規製造法による発酵茶粉末の試作開発

食品科

志田英士 望月一男 渡瀬隆也

三宅健司* 橘川義明

株式会社さんわ

川口真弘 宮原利幸 古澤光訓

静岡県立大学

竹元万壽美**

Development of process for manufacturing new fermented tea powder

Eiji Shida, Kazuo Mochizuki, Takaya Watase,

Kenji Miyake, Yoshiaki Kitsukawa, Masahiro Kawaguchi,

Toshiyuki Miyahara, Mitsunori Furusawa and Masumi Takemoto

1. はじめに

静岡県立大学の竹元は、茶葉由来酵素により苦渋味成分であるカテキン類を紅茶色素テアフラビン(TF)へ変換する技術を開発した。^{1)、2)} 新規発酵茶飲料にはTFが紅茶飲料よりも豊富に存在しており、生活習慣病予防効果など各種機能性が期待されている。本研究では竹元の技術を基に、TFを豊富に含む新規発酵茶粉末を開発し、粉末飲料や食品素材としての展開を目指す。TFは熱に弱いため、濃縮、殺菌、乾燥などの加熱工程での影響や、発酵茶粉末の味などの品質について評価した。

2. 実験方法

2. 1 試料の調製

想定される発酵茶粉末製造フローを図1に示した。

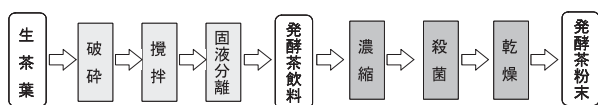


図1 発酵茶粉末製造フロー

生茶葉（やぶきた二番茶）1 kgに水を加えてブレンダーで破砕し、ステンレス製タンクに移した。仕上茶（四番茶）300g（生茶葉1 kg相当）と水を加え、全体の加水量が50Lとなるように調製し、攪拌機により800rpmで攪拌した。TF濃度がピークに達したところでシャープレス連続遠心分離機により回転数18,000rpmで固形分を除去し、pHを5.5に調整した。

2. 2 濃縮

乾燥工程でスプレードライ法の適用を想定し、試料液のBrixは20%以上を目標とした。乾燥前に茶固形分と等量の賦形剤を混合するため、発酵茶飲料はBrix10%まで濃縮した。濃縮には、エバポール（遠心式薄膜真空蒸発装置、(株)大川原製作所製）を用いた。本装置は、真空下で液体を薄膜状にして加熱し、効率的に濃縮を行う装置である。上記発酵茶飲料を蒸発温度50℃で濃縮した。

2. 3 殺菌

発酵茶濃縮液のBrixより計算で求めた固形分と等量になるように賦形剤としてデキストリン（松谷化学工業(株)製パインデックス#2）195gを加えた。賦形剤の種類および添加割合については、市販の緑茶粉末製品に準ずるものとした。加温溶解後、80℃で5分間保持して殺菌を行った。これは、大腸菌群が死滅する条件（80℃、1分）を満たすものである。

2. 4 乾燥

殺菌した濃縮液をミニスプレードライヤー（ヤマト科学(株)製GA32型）へ供した。装置内に供給されている200℃の乾燥空気中に試料液を0.25MPaで噴出し、乾燥・粉末化した。

2. 5 発酵茶粉末の評価

濃縮液、粉末中の成分は超高速液体クロマトグラフィー（Waters製）にて測定した。発酵茶粉末の苦味、渋味、旨味について味評価試験装置（(株)インテリジェントセンサーテクノロジー製TS-5000Z）

*) 現 環境衛生科学研究所 ***) 現 奥羽大学

を用いて測定を行い、市販の緑茶粉末と比較した。

3. 実験結果

発酵茶飲料を90分間濃縮したところ、Brix11%の濃縮液が1.7kg得られた。濃縮中のTF濃度および、TFと固形分の濃度比を図2に示した。TFの濃縮による損失は数%程度と軽微であることが分かった。

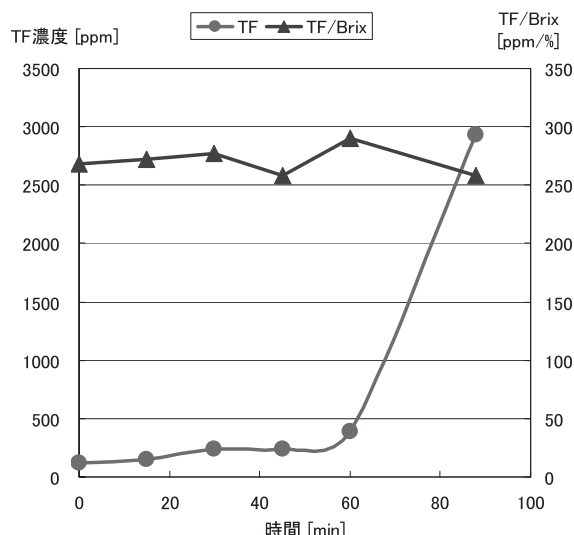


図2 濃縮の影響

殺菌前後のTF濃度を表1に示した。殺菌によりTFの30%が失われた。

表1 殺菌前後のTF濃度 [ppm]

殺菌前	殺菌後
2930	1990

殺菌した濃縮液をミニスプレードライヤーで乾燥ところ、出口温度（製品温度に相当する）は70℃で、245gの乾燥粉末が得られた。粉末の回収率は、Brixの測定結果から推算した茶葉固形分量と添加したデキストリン量の合計値に対する割合として算出したところ63%だった。粉末成分の分析結果を表2に示した。TFについては、粉末中の茶由来固形分とデキストリンの正確な比率が不明確なので、熱に安定とされるCaffeineとの比率で乾燥の影響を評価し、その結果を表3に示した。TF/Caffeine比は乾燥の前後で一定で、本実験では乾燥によるTFの損失は見られなかった。

表2 粉末発酵茶の成分

成分	濃度[mg/g]
Gallic Acid	9.9
Gallocatechin	0.2
Caffeine	27.7
Epigallocatechin	1.1
Catechin	0.3
Epicatechin	0.0
Epigallocatechin gallate	0.8
Gallocatechin gallate	0.0
Epicatechin gallate	0.0
Catechin gallate	0.9
Theaflavin	10.7
Theaflavin-3-gallate	3.1
Theaflavin-3'-gallate	1.1
Theaflavin-3,3'-digallate	0.9

表3 乾燥前後のTF/Caffeine濃度比

乾燥前	乾燥後
0.39	0.39

発酵茶粉末および市販緑茶粉末の旨味、苦味および渋味について、味評価試験装置で測定した結果を図3に示す。基準として市販ペットボトル茶飲料を用い、その分析値を0とした。発酵茶粉末は緑茶粉末と比較して渋味の値が低く、旨味の値は同程度であった。苦味の値については、発酵茶粉末の方が高い結果となったが、1.0未満の数値の違いは人が認知できないとされているため、緑茶粉末との間に差は無いものと考えられた。

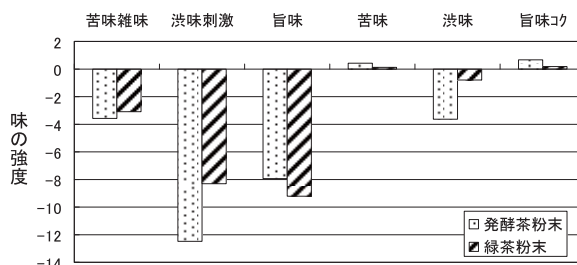


図3 味評価試験装置による測定結果

本研究は（財）静岡県産業創造機構の農林水産業研究開発事業の助成により実施した。

1) 特願2008-087491, PCT/JP2009/001391

2) 特願2008-087504, PCT/JP2009/001394

シロップ液からのエネルギー回収システムの開発

環境科 酒井 奨
 渡辺建設株式会社 増田直己
 山梨罐詰株式会社 望月光明 杉本圭昭

Biogas Plant Using Syrup Waste from a Canning Factory

Susumu Sakai, Naoki Masuda, Mitsuaki Mochizuki and Kazuaki Sugimoto

1. はじめに

果実缶詰の国内生産量は、10年前の半分以下の約5.5万トン程度に留まる一方、輸入量は30万トンを越え、特に中国からのみかん、桃などの果実缶詰の輸入量は約18万トンにものぼっている。輸入された果実缶詰は、シロップ液と果実とに分離され、果実は国内の消費者向けに調整された新たなシロップ液に充填されて販売されている。一方で海外からのシロップ液は排水処理に回されるか、下水道放流による希釈処理が施されている。この排水処理に伴う電気料金、余剰污泥処理費、薬品費、下水道料金などは、企業の経営を大きく圧迫している。

このような背景から、山梨罐詰株式会社（静岡市清水区興津中町）では、廃棄されるシロップ液を利用したエネルギー回収事業を計画し、平成21年12月に工場内にバイオガスプラントを完成させて、翌1月から試運転を開始した^{1, 2)}。本報では、平成22年度の試運転の実績と実運転に向けた技術的な課題、そして今後の展望などについて報告する。

2. バイオガスプラントの概要^{1, 2)}

Fig. 1 にシロップ液からのエネルギー回収を目的としたバイオガスプラントのシステムフローを示す。山梨罐詰(株)から排出されるシロップ液約2,500L/日を原料調整槽でpHや温度、成分などを調整する。その後、シロップ液をメタン発酵槽に投入し、5～10日の滞留日数を経て、約188m³/日のバイオガスを得る。シロップ液の主成分はショ糖であり、SS成分（浮遊懸濁物濃度）も少ないため、本システムではグラニューロ状菌体を用いたUASB（上向流嫌気性污泥床）型中温メタン発酵法³⁾を採用した。バ

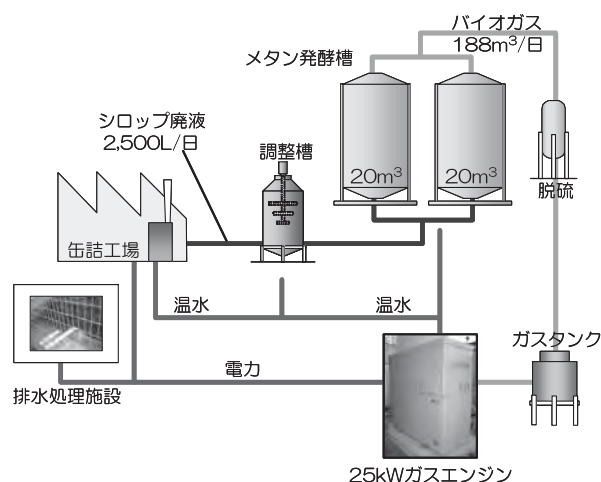


Fig.1 シロップ廃液を利用したエネルギー回収プラントのシステムフロー図

イオガスは脱硫などで不純物を取り除いた後、国産の25kW級ガスエンジンに供給し、電力と熱（温水）を回収する。このエネルギーはバイオガスプラントもしくは工場内で自己消費する。Fig. 1 で示したシステムが本格稼動することによる排水処理への負担軽減効果や、二酸化炭素排出量の削減効果などを検証する。

3. 進捗状況および課題点

Fig. 2 に平成22年度の運転実績を示す。

試運転開始から63日間はシロップ液の成分調整をせずに運転した。64日目以降にシロップ液に窒素源をC/N=15になるように加えて投入したところ、その後130日目までの間、原料の供給量（有機物負荷量）を約1.5倍増量したのに対し（Fig. 2 (a)、(b)）、ガス発生量が約6倍になった（Fig. 2 (d)）。文献⁴⁾や橋川らの報告⁵⁾によると、シロップ液などの基質をメタン発酵させるには栄養分調整が不可欠であるとしているが、本プラントでもそれが確認できた。

試運転から135日目を超えた頃から急激にバイオガスの発生量が減少した (Fig. 2 (d))。同時に、原料調整槽で原料 (シロップ液) のpHを調整していたにもかかわらず、発酵槽内のpHが減少した (Fig. 2 (c))。その後、300日目までシロップ液投入量 (有機物負荷量) を減量するなどして、発酵の回復に努めたが (Fig. 2 (a),(b))、思う様にバイオガスを得ることができず (Fig. 2 (d))、その間、十分な発電もできなかった (Fig. 2 (e))。酒井ら^{1, 2)}はシロップ液でメタン発酵をする場合、発酵槽への有機物負荷量は $10\text{kg-TS}/\text{m}^3/\text{日}$ 以下で運転すべきであると報告しているが、Fig. 2 (b)で示したように、最大 $15\text{kg-TS}/\text{m}^3/\text{日}$ まで原料負荷をかけたことで、原料過負荷状態に陥ったことがバイオガス発生量の低下の原因であったと見られる。メタン発酵は、有機物の加水分解や酸発酵のプロセスを経て嫌気性のメタン発酵プロセスに至るが、原料の過負荷は前者の反応で生成する中間生成物 (例えば揮発性脂肪酸 (VFA)) などの蓄積を促し、後者のメタン発酵を阻害する。今回もこの状態に陥った事が推測できるが、脱するのに約半年の時間を要した。今後はメタン菌の活性制御 (発酵制御) 法に対する対策を講じる必要がある。

4. まとめと今後の予定

缶詰工場から排出されるシロップ液を利用したエネルギー回収プラントを建設し、試運転を実施した。シロップ液の発酵とガスエンジンによる発電を確認し、さらに栄養剤による原料の調整の重要性も再確認することができたが、原料の過負荷によるメタン発酵の活性低下を招いた。

平成23年度はFig. 1 に示した事業目標値に則した本格運転を実施することが目標であるが、メタン菌の活性制御法の確立も必要であることが分かった。これに対し、本システムではメタン発酵槽を2槽用意しており、その運転法については現在、東京工業大学と静岡県工業技術研究所で検討している。今後は、この2槽式メタン発酵法 (デュアルメタン発酵法) の運転条件の確立と本格運転の実施を目標にし、その上でバイオガスプラントの経済性や環境性を評

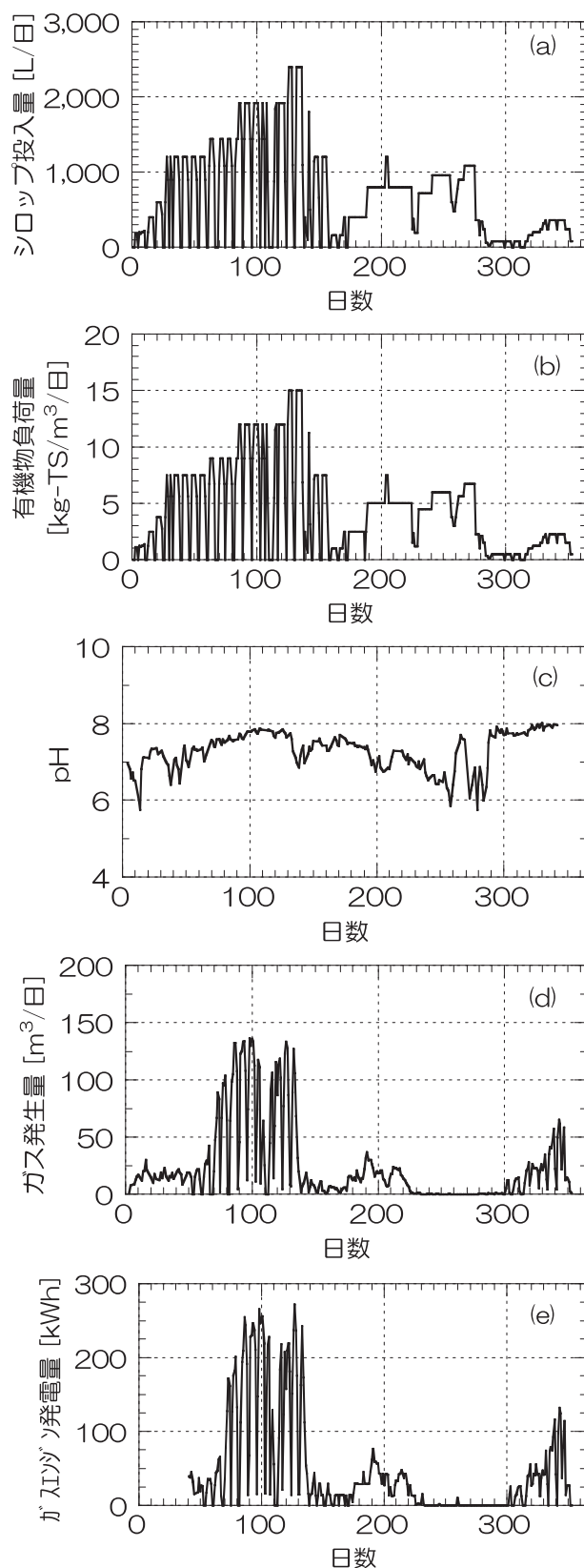


Fig.2 平成22年度の試運転実績；(a)シロップ液投入量、(b)有機物負荷量、(c)発酵槽内のpH、(d)バイオガス発生量、(e)ガスエンジン発電量

価する予定である。

謝辞

本研究は環境省「地球温暖化対策技術開発事業」(H21－H23)の助成により実施している。また静岡ガス(株)、東邦化工建設(株)にご協力頂くとともに、東京工業大学の中崎清彦教授に懇切なるご助言とご指導を頂いた。

参考文献

- 1) 酒井奨ら：静岡県工業技術研究所研究報告第2号, pp.47-53 (2009).
- 2) 酒井奨：食品と開発, Vol.46, No.1, pp.7-10 (2011).
- 3) 塚原建一郎、澤山茂樹：バイオマスからの気体燃料製造とそのエネルギー利用, エヌ・ティー・エス, pp.169-177 (2007).
- 4) 岩井重久ら：下・廃水汚泥処理, コロナ社, pp.48-57 (1981).
- 5) 橘川義明ら：静岡県工業技術研究所報告第3号, pp.44-45 (2010).

シリコンゴム製「自立補助具・リハビリ用具」の開発 (第2報)

ユニバーサルデザイン科 多々良哲也 小松 剛
静岡県立こども病院 鴨下賢一
株式会社ゴムQ 鈴木利明 植山みどり

Development of “Independence assistance tool and rehabilitation tools” made of silicon rubber (2nd report)

Tetsuya Tatara, Takeshi Komatsu, Kenichi Kamoshita, Toshiaki Suzuki,
and Midori Ueyama

Silicon rubber is suitable for the use in the early childhood from the material that is elastic and doesn't slip easily. When developing, commercialization was achieved picking up tools that is appropriate for the guidance of the child hospital functional restoration etc., and repeating making for trial purposes and the evaluation.

1. はじめに

静岡県立こども病院（以下、こども病院）では、日常生活動作を行うために必要な感覚運動能力や認知・言語能力、社会適応能力の向上やソーシャルスキル能力の発達を促す治療を行っている。最近では、自閉症や注意欠陥多動障害（ADHD）、学習障害（LD）、発達性協調運動障害（不器用な子ども）が増加傾向にある。このような症例向け機能回復の用具は少なく、新しい用具開発が期待されている。そこで、デザイン開発・試験を担当する当所と、シリコンゴム〔食品衛生法（シリコンゴム製品）に適合〕の素材開発・技術を持っている㈱ゴムQ、評価・改良提案を担当するこども病院との3者で共同開発を行った。本研究では、素材特性を生かした機能・デザイン、簡単な構造でユーザーが使いやすく、動作補助・機能回復が可能となる自立補助具を開発した。

2. 開発事例

主なターゲットは、学習用具等をうまく使用することができない幼児・児童である。シリコンゴムは、弾力性もあり滑りにくい素材であることから、幼児期の使用にも適している。開発にあたっては、こども病院の機能回復等の指導に適した用具を数点ピックアップし、試作品の製作を行った。

2. 1 Qキャップ（感覚の欲求充足補助具）



写真1 欲求充足補助具 Qキャップ

爪を噛む癖のある人、発達障がい等の人で、口腔からの触覚や固有感覚の感覚欲求がある人向けに感覚の欲求充足補助具として商品化した。Qキャップは、歯や顎の保護に最適な硬さで設計されており、文房具として携帯ができるため、授業中も使用でき、学習への集中力を高めることが可能である（写真1）。

2. 2 Qフレーム（書き取り補助具）

書き取り時、指定の大きさの枠よりも、はみ出て書いてしまう子どもが多く見受けられる。Qフレームは、このような学習障がい等の練習が必要な幼児・児童向けに開発した。市販の国語8マスノートに対

【ノート】

応し正方形のフチ部分は、見やすく鉛筆で書きやすい独自の形状になっている。また、右利きの人、左利きの人どちらにも使用でき、習熟度に応じた書き取りの練習ができる。(写真2、3)



写真2 書き取り補助具 Qフレーム

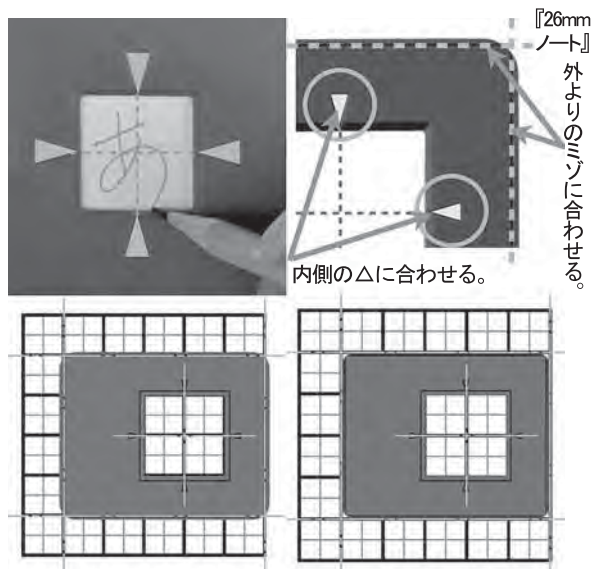


写真3 Qフレームの位置合わせ方法(△に合わせる)
左下/26mmノート時: 溝に合わせる
右下/25mmノート時: 外枠に合わせる

2. 3 Qカット (ハサミ動作補助具)



写真4 ハサミ動作補助具 Qカット

上肢の片側にまひ等の障がいがある場合は、紙を上手く切ることが困難である。Qカットは、上フタと下台が強力な磁力で引きあうため、台の位置が合わせやすくなっており、片手で容易に紙をはさむことができる。結果、紙を固定するツールとして、片手で紙を切る作業を可能にした。また、文鎮としても利用することができる。(写真4)。

3. まとめ

新しいゴム試作品製造と生産部門への展開の取り組みと連携し、自立補助具の開発を行った(写真5)。

シリコンゴムが持っている“柔らかさ”や“滑りにくさ”などの特徴を踏まえ、障害を持った子供の学習や訓練を行っている臨床現場の声を反映した。

試作品の評価は、こども病院に通院している児童に協力していただき、試作・改良を繰り返すことで、最終的に良い製品に仕上げることができた。また、障害のある幼児・児童だけでなく、用具使用初期段階で広く使用のできるよう工夫している。

今後、福祉用具や健康関連産業の展示会等に積極的に出展し、ユーザーの声を聞きながら、更に改良を加えていく。

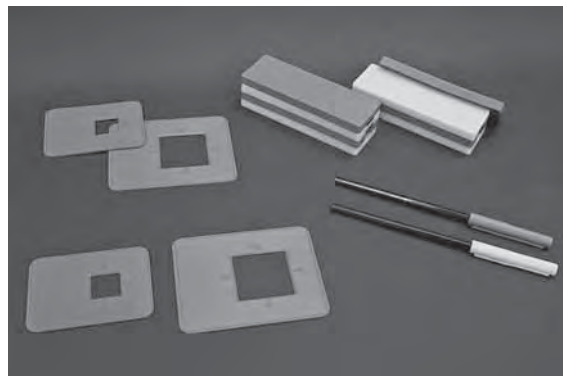


写真5 左: Qフレーム、右上: Qカット、右下: Qキャップ

謝 辞

本研究において、開発に御協力いただいた静岡文化芸術大学デザイン学部生産造形学科・インターンシップ研修生に深く感謝する。

屋外利用を目的とした木材の耐久性向上技術の開発

— 立木注入法を利用した木材への薬液注入の検討 —

工芸科

鈴木光彰 赤堀 篤 櫻川智史*

農林技術研究所 森林・林業研究センター

渡井 純 池田潔彦

Development of Wood with Dimensional Stabilization and Biological Resistance for Using in Outdoors

— Impregnation of Liquid into Wood Using Sap Flow of Living Trees —

Mistuaki Suzuki, Atsushi Akahori, Satoshi Sakuragawa, Jun Watai and Kiyohiko Ikeda

1. はじめに

平成21年12月に農林水産省は「森林・林業再生プラン」を公表し、さらに平成22年10月に公共建築物等木材利用促進法が施行され、今後、公共建築物を中心に木材の利用拡大が期待されている。そのためには、木材の短所である、くるう、腐るなどを解決していかなければならない。これらを解決するには、寸法安定剤や木材保存剤を木材に注入する必要がある。また、木材への薬液注入方法として、生立木や伐採直後の材に対して、樹液の流動、葉の蒸散作用を利用する立木注入法がある¹⁾。これは、従来の減圧・加圧注入法に比べ、低コストで簡便な薬剤注入法として知られている。そのため、過去にも立木注入法は、木材の染色²⁾、寸法安定性の向上³⁾、防腐処理⁴⁾に使用することが試みられている。本研究では、寸法安定剤や木材保存剤の薬液を立木注入法で注入して、耐久性の優れた木材を開発し、県産木材の屋外長期利用を可能にすることを目的とする。

2. 実験方法

2. 1 寸法安定剤と木材保存剤の薬液作成

寸法安定剤としてポリエチレングリコール4000（和光一級、平均分子量3000、以下PEG4000と略す）、木材保存剤としてジデシルジメチルアンモニウムクロライド（分子量362、三洋化成工業㈱、カチオンDDC-50、以下DDACと略す）を使用した。さらに、染色剤として、パテントブルー（分子量566.66、和光純薬工業㈱）を使用した。薬液は3種類作製した。

薬液1は、パテントブルー0.05%液。薬液2は、パテントブルー0.05%と10%のPEG4000との混合液。さらに薬液3として、パテントブルー0.05%と10%のPEG4000と5%のDDACの混合液を作製した。

2. 2 立木注入法による木材への薬液注入

キャピラリーピペットを使い、直径約2cmのスギの木（3年生）の幹に、薬液1と薬液2をそれぞれ立木注入法で注入した（写真1）。さらに、キャピラリーピペットを4方向から刺し、直径約2cmのスギの木の幹に、薬液2と薬液3を立木注入した（写真2）。次に直径10cm前後のスギの木（7年生）を使用して、薬液1と薬液3の立木注入を行った。地際から50cmのところから直径3cmの穴を、螺旋階段状に8箇所空けた（写真3）。500mlのペットボトルの空ボトルに薬液を入れて、その穴に差し込んだ（写真4）。なお、実験は、静岡県農林技術研究所森林・林業研究センターで行った。



写真1 ピペットを使用した立木注入

*) 現 バイオマス循環プロジェクト



写真2 4方向からの立木注入



写真3 スギの木に直径3cmの穴



写真4 ペットボトルをスギの木に差し込む

3. 実験結果と考察

薬液の注入状態を調べるため、直径2cmのスギの木は1cm間隔で輪切りにし、直径10cmのスギの木は10cm間隔で輪切りにして、幹の内部を観察した。その結果、注入箇所1箇所で行った立木注入法の場合、薬液1のとき、注入時間2時間12分で1.8ml注入されて、注入口から22cmの高さまで染色された。薬液2のとき注入時間3時間で0.9ml注入され、注入口13.5cmの高さまで染色された。また、注入箇所4箇所の場合、薬液2のとき、注入時間2時間30分で、8.3ml注入され、注入口から25cmの高さまで染色された。薬液3のとき、注入時間2時間40分で6.3ml注入され、注入口から17cmの高さまで染色された。これらの結果から、薬液1と薬液2では注入速度は薬液1のほうが薬液2より3倍近く速かった。これは、薬液2には分子量が大きいPEGが入っているためだと考えられる。さらに、薬液2と薬液3では、注入時間がほぼ同じだと、注入される薬液量は薬液2のほうが多く、さらに染色される高さも高い。これらのことから、注入しやすさは、薬液1 > 薬液2 > 薬液3となる。

さらに、ペットボトルを使った立木注入では、薬液1の場合、注入時間22時間で約3.6ℓ、樹木の頂上（4m40cm）まで染色されていた（写真5）。薬液3の場合、注入時間21時間で約2.6ℓで、染色された高さは2mであった（写真6）。このことから、注入時間がほぼ同じなら、分子量の大きいPEG4000が入った薬液だと注入量も少なくなり、染色される樹木の高さも低くなることがわかる。

なお、今後は伐採直後の生丸太に、薬剤を注入する方法を検討していく。

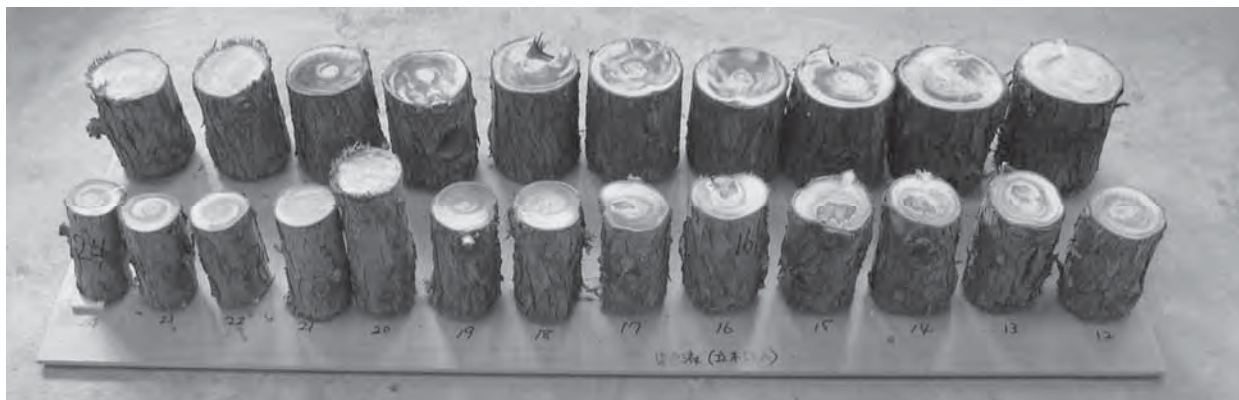


写真5 薬液1のスギの木への注入状態

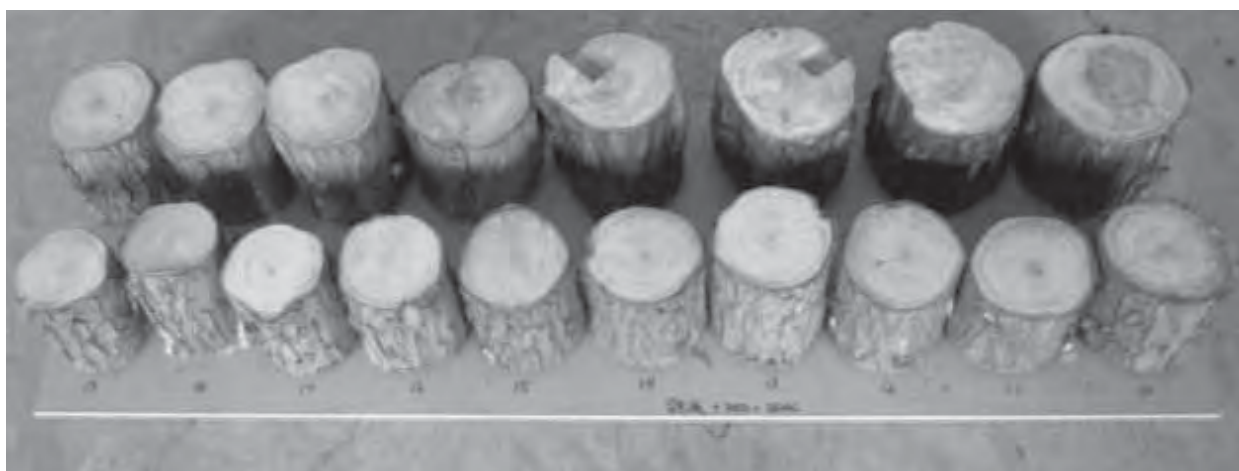


写真6 薬液3のスギの木への注入状態

謝辞

本研究を行うにあたり、様々なご助言をいただいた(独)森林総合研究所松永浩史先生と横浜国立大学名誉教授矢田茂樹先生に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 木材科学講座12 保存・耐久性 海青社
p.135 (1997)
- 2) 金子真一、飯田生穂：京都府立大学学術報告、
農学47、24-31 (1995)
- 3) 飯田生穂、野村隆哉、森岡茂勝：京都府立大学
学術報告、農学41、64-70 (1989)
- 4) 日本木材加工技術協会木材保存部会編：木材保
存ハンドブック、昭晃堂、p.164 (1961)

各種食品成分が口腔細菌種及び誤嚥性肺炎起因菌種の増殖に及ぼす影響

静岡県工業技術研究所 大川勝正 結城 茜 長澤 正 杉山直人

Effect of Food Components on the Multiplication of Oral Bacteria and Pathogenic Bacteria of Aspiration Pneumonia

Katunasa Ookawa, Akane Yuki, Tadashi Nagasawa and Naoto Sugiyama

日本食品科学工学会誌 58(3), 113-120, 2011

近年、高齢者における誤嚥性肺炎の発症者数が増加している。誤嚥性肺炎の予防には、口腔細菌叢の改善が重要と考えられている。例えば、選択圧により口腔の細菌の割合を増加させたりする。そこで、*in vitro*で種々の食品成分が口腔細菌や誤嚥性肺炎の起因菌などの増殖に及ぼす影響を調べた。15 μ g/mlの(-)-Epigallocatechin Gallate (EGCg) 液は、口腔に常在の細菌 (*S. mitis*, *S. oralis*, *S. salivarius*) の増殖率をおよそ50%抑制した。しか

し、そのEGCg液は*S. pneumoniae*, *S. sanguinis*, *S. mutans*, *E. faecium*, *P. aeruginosa*及び *E. coli*などの増殖は抑制できなかった。10mg/mlのXylitol液は、レンサ球菌の増殖率を50%前後抑制した。しかし、グラム陰性菌種の増殖率は、抑制できなかった。5 mg/mlのCaffeine液は、口腔に常在の細菌の増殖率をおよそ50%抑制した。この時、誤嚥性肺炎の起因菌の増殖率は、口腔に常在の細菌よりもより強く抑制された。

水熱処理によるバイオマス＋プラスチック混合廃棄物の燃料化装置

藤村通商株式会社

静岡大学大学院創造科学技術研究部

静岡大学工学部物質工学科

静岡県工業技術研究所

清水達祥 木村 巖

佐古 猛

岡島いづみ 後藤敏晴

田村克浩 菅野尚子

第15回資源循環型ものづくりシンポジウムIMS2010講演集 (2010)

最近、地球温暖化防止や石油依存型社会の脱却のために、バイオマスをエネルギー資源として活用する技術が注目されている。しかしながら、バイオマス燃料は含水率が高く単位重量当たりの発熱量が少ないこと、組成の変動が大きいこと、短期間で腐敗するために長期の保存が困難なものが多いこと等の問題点を持っている。バイオマス燃料が持つこれらの問題点を解決し、環境への悪影響がない亜臨界水を用いてバイオマス（食残等食品廃棄物や農産物の食用部）と廃プラスチック混合物を水熱処理し、石炭並みの高発熱量を持ち、イオウ分が少なくクリーンで、長期間の保存が可能な複合粉末あるいは複合ペレット燃料を製造する亜臨界水熱処理装置を開発し、実用性について検証を行った。

なお、開発した燃料化装置の概要は以下である。

亜臨界水熱処理装置は最高使用温度210℃、最高使用圧力1.96MPa（210℃での飽和水蒸気圧）内容積約0.28m³の第一種圧力容器とし缶体内部に攪拌用の羽根を設けた密閉構造とし、処理はバッチ方式を採用した。装置にはバイオマス（食残等食品廃棄

物や農産物の食用部）を投入するホッパーを設けた。ホッパーと缶体の間にはボールバールを設け装置は完全な密閉構造とした。また、熱源には蒸気ボイラー（最高使用圧力1.96Mpa・蒸気発生量0.5t/h）を使用。処理後装置内部を減圧するときの脱気蒸気は冷却復水し回収する方法を採用した。

前記燃料化装置を用いて以下の6項目の検証を行い、実用化が可能であることを確認した。

- ・水熱粉末燃料化方法の開発
- ・水熱粉末燃料化装置の開発
- ・亜臨界水熱処理装置
- ・水熱粉末燃料化プロセスの工程とエネルギー収支
- ・粉末燃料の乾燥技術の開発
- ・小型燃焼器および発電用ボイラーでの燃焼実験

本講演は、表記シンポジウムにて、資源循環型ものづくり会奨励賞を受賞した。

Thin-sheet-metal bending by laser peen forming with femtosecond laser

Yoshihiro Sagisaka, Masayoshi Kamiya, Minoru Matsuda and Yukihiro Ohta

フェムト秒レーザーを用いたレーザーピーンフォーミングによる薄板の曲げ加工

静岡県工業技術研究所

鷺坂芳弘

浜松工業技術支援センター

神谷真好*

松田 稔**

太田幸宏

Journal of Materials Processing Technology, Vol.210, Issue 15, 2304-2309 (2010)

本論分は“塑性と加工”2009年9月号(Vol.50, No.584)に掲載された邦文論文の英文再録である。

フェムト秒レーザーは超短パルスレーザーの一種である。フェムト秒レーザーを物質に集光照射すると被照射物の表面に高圧のプラズマと衝撃波が誘起される。ある照射条件においては、衝撃波は被照射物を塑性変形させるのに十分なものとなる。レーザーピーンフォーミングはこの衝撃波による塑性変形を利用し、板材を湾曲させる板材成形法である。著者はフェムト秒レーザーを用いたレーザーピーンフォーミングを金属薄板の曲げ加工に適用した。

通常、空気中で誘起されたレーザー誘起衝撃波は水中でのそれよりも非常に小さく、塑性変形には適さないとされていた。しかし、フェムト秒レーザーによって誘起された衝撃波は空気中であっても金属

薄板を曲げるのに十分であった。

加工中に板材に弾性的な予備曲げを負荷することで曲げ角が大きくなり、曲げ効率を向上できることが確認された。曲げ効率へのレーザーの照射条件の影響を調査し、スポット径を大きくしフルエンス(単位面積あたりのパルスエネルギー)を高くすることで曲げ効率が向上することが分かった。

また、照射経路の影響を調査し、本法での曲げ角は概ね照射パルス数によって変化しており、照射経路はほとんど曲げ効率に影響しないことが確認された。

本論文の邦文はJ-STAGEの以下のアドレスにて公開されている。

http://www.jstage.jst.go.jp/article/sosei/50/584/868/_pdf/-char/ja/

*) 現 富士工業技術支援センター **) 現 しずおか産業創造機構

Thin-Sheet-Metal Bending by Laser Peen Forming with Femtosecond Laser

Yoshihiro Sagisaka

フェムト秒レーザーを用いたレーザーピーンフォーミングによる薄板の曲げ加工

静岡県工業技術研究所 鷺坂芳弘

steel research international, Vol. 81, No. 9, Special Edition 2010,
Proceedings of the 13th International Conference on Metal Forming, 966-969 (2010)

フェムト秒レーザーは超短パルスレーザーの一種である。フェムト秒レーザーを集光照射することで被照射物の表面に衝撃波を誘起することができる。このレーザー誘起衝撃波は、ある照射条件下にて、金属の被照射物を塑性変形させるのに十分なものとなる。レーザーピーンフォーミングはこの衝撃波による塑性変形を利用した板材成形法である。著者はこの加工法を薄板の曲げ加工に応用した。

リン青銅とオーステナイト系ステンレス鋼SUS 304の薄板を様々な形状に曲げることを試みた。これらの材料はスプリングバックが大きいため、既存のプレス加工などでは成形できる形状に制限がある。しかし、本法はほとんどスプリングバックの影響を受けないので、それらの制限を受けることなく複雑な形状を成形できた。さらに簡単な照射パラメータ

の変更のみで複数の異なる形状を成形できたため、本法が多品種少量生産に有効であることを示すことができた。

また、純アルミについて、フルエンス（パルスエネルギーの密度）、雰囲気、拘束条件による成形特性の変化を調査した。板材に弾性的な予備曲げを負荷することで曲げ効率を向上できることが確認された。空気中ではフルエンス（単位面積あたりのパルスエネルギー）を高くすることで曲げ効率が向上するが、水中では過度に集光すると逆に曲げ効率が低下することが分かった。一般にレーザー誘起衝撃波は水中で発生させた方が有利とされるが、フェムト秒レーザーの場合はレーザー光が水と反応してエネルギーを消費してしまうため、水中では衝撃波が弱くなってしまうことが分かった。

フェムト秒レーザーによるダイレス曲げ加工 レーザーピーンフォーミングによる薄板曲げの曲げ精度向上

静岡県工業技術研究所 鷺坂芳弘

Dieless Sheet-Metal Bending with Femtosecond Laser

Improvement of Bending Accuracy of Thin-Sheet-Metal Bending by Laser Peen Forming

Yoshihiro Sagisaka

光アライアンス, Vol.21, No.12, 24-27 (2010)

フェムト秒レーザーを用いたレーザーピーンフォーミングによる薄板曲げを小型の板バネや電子部品に応用することを目的として、その変形特性を調査してきた。しかし、本法の変形特性はレーザー光特性のわずかな変化に対しても敏感で、長期的な再現性に課題があることが判明した。そこで簡易な形状管理装置を採用して、試験片が所望の変形をした時点で照射を終了するように加工方法を改良し、本法の曲げ精度の向上を試みた。

試験片の自由端側に接触端子を備えた通電式の位置管理装置を採用し、試験片が所定の角度まで曲がって端子に接触通電した時点で照射を停止するようにした。しかし、照射領域内でパルスの照射密度分布に偏りがあると照射部の曲率分布が不均一になって、通電が得られても所望の曲げ角が得られないことが

分かった。そこで照射領域の中央を挟んで対称なパルス照射密度分布が得られるように照射経路を改良した。この結果、曲率が不均一であっても曲げ角は一定となり、異なる照射条件で加工を行っても同じ曲げ角が得られるようになった。位置管理装置と照射経路の工夫によって、レーザー光特性のゆらぎの影響を抑制することができたといえる。

改良した照射方法をもって、純アルミ、リン青銅、SUS304について多数個試験を行い、曲げ角の再現性と精度を検証した。8 σ で交差幅を設定すると、各材料についておおむね $\pm 0.5^\circ$ の曲げ角公差を保証することができた。しかし、薄板の高精度曲げではさらに高い精度が要求されることが多いため、更なる高精度化を図る必要がある。

Application of aroma sensor for monitoring the quality of green tea

Tamotsu Yugami, Susumu Tanaka, Kiyoshi Miura, Yoshio Okada,
Kazuo Mochizuki, Takaya Watase and Yoshiaki Kitsukawa

緑茶の品質管理へのアロマセンサの応用

静岡県工業技術研究所 油上 保 田中 進 三浦 清 岡田慶雄
望月一男 渡瀬隆也 橘川義明

Proceedings of The 4th International Conference on O-CHA (Tea) Culture and Science (ICOS 2010) (CD-ROM)

香り豊かな緑茶を安定した品質で製造するためには、作業者の経験や勘に頼らずに緑茶の芳香を管理・制御することが必要である。本研究では、緑茶の香気変化や質をQCM（水晶微小天秤）センサを用いて計測・解析できるかを検証した。

QCMセンサは、ATカット、20MHzの水晶板の金＋クロム電極上に感応膜を成膜した。感応膜は主にガスクロマトグラフのカラム材料を使用し、これまでに、15種類の異なる材料のQCMセンサを作製した。8種類の異なるセンサで構成したセンサアレイにより緑茶香気を計測するために、パーミエーターを用いて代表的な緑茶の香気成分である青葉アルコールやリナロール等に対するセンサの応答評価を行い、DS-10（dodecylbenzene sulfonic acid）を始めと

した8種類のセンサを選抜した。

これらのセンサアレイを用い、茶製品：緑茶荒茶（静岡県農林技術研究所茶業研究センターで栽培された“やぶきた”、“するがわせ”、“さやまかおり”）、烏龍茶（市販の“東方美人”）、紅茶（市販の“セイロン”）の香気計測を行った。この計測データを主成分分析した結果、一般的な緑茶の香りと紅茶や烏龍茶に代表される発酵茶の香りが分類できた。緑茶の香りを表す軸上には蒸し具合や品種、発酵茶の香りを表す軸上には品種や発酵度合いに従ったプロットが得られた。

以上のことは、茶の香りによる茶製品の分類や品質判定が、センサアレイを応用することにより可能なことを示している。

Determination of volatiles emitted from tea (*Camellia sinensis*) leaves during withering process by dynamic headspace sampling and TDU-GC-MS

Takaya Watase, Toshihiro Suzuki, Kazuo Mochizuki, Eiji Shida, Kenji Miyake,
Yoshiaki Kitsukawa, Tamotsu Yugami, Kiyoshi Miura, Yoshio Okada, Tsuyoshi Katsuno,
Zi-yin Yang and Naoharu Watanabe

茶葉萎凋工程中の揮発性成分の分析（ヘッドスペースガスのTDU-GC-MS分析）

静岡県工業技術研究所 渡瀬隆也 鈴木敏博* 望月一男 志田英士 三宅健司**
橘川義明 油上保 三浦清 岡田慶雄
静岡県農林技術研究所 茶業研究センター 勝野剛
静岡大学農学部 楊子銀 渡邊修治

Proceedings of The 4th International Conference on O-CHA (Tea) Culture and Science (ICOS 2010) (CD-ROM)

萎凋工程は紅茶や烏龍茶、包種茶の製造において重要な工程である。萎凋させることで生葉の水分含量が減少し香気が発揚する。日本で最も消費されている飲料の緑茶は、原料の製造において萎凋工程は含まれてない。近年消費者の嗜好の多様化に伴い、軽く萎凋させた緑茶と烏龍茶の中間的な香味のお茶が国内でも製造され始めた。萎凋時間はこの新たなお茶の香味を決める重要な鍵となっている。しかしながら現在行われている人の官能検査による萎凋の最適状態の評価は、個人差を含め担当者のその日の体調、天気、気温、湿度など外部の要素で影響を受けやすく、感度や量的な情報の点において不正確である。お茶の葉から揮発する成分の捕集を一定時間ごとに繰り返し、TDU-GC-MS（加熱脱着装置付きガスクロマトグラフ質量分析装置）で萎凋工程中の香気の変化を分析した。また同時に行った茶葉の香気の官能検査と比較した。

cis-3-hexen-1-olや3-hexenyl acetateなどの揮発

性脂肪酸や誘導体が萎凋葉に含まれる揮発性物質として報告されている。生葉から発散される揮発性成分を捕集した場合の成分を調べたところ、日干萎凋の有無では日干萎凋することにより揮発性成分が増加した。さらに日干萎凋後の生葉を室内萎凋させると揮発性成分は増加を続け、官能検査でも同様の傾向を示した。

また生物的なストレスである虫害や非生物的なストレスである光や乾燥などにより、揮発性成分が発散されることが多くの植物で報告されている。茶生葉の日干萎凋でも、乾燥や熱、そしてUV照射などいくつかの非生物的なストレスにさらされている。我々はUV照射が茶の揮発性成分の発散に与える影響についても調査した。人工萎凋機で1時間-UV照射した後、実験開始150分後に総揮発性成分のピークを示しその後減少に転じた。UV照射が茶の香気発揚へ影響を与えていることは興味深い。

*) 現 沼津工業技術支援センター **) 現 環境衛生科学研究所

Optimization of theaflavin formation from shredded fresh tea leaves in due amount of water

Eiji Shida, Kazuo Mochizuki, Yoshiaki Kitsukawa, Kenji Miyake, Takaya Watase, Toshihiro Suzuki

多量の水中で茶生葉を破碎した際のテアフラビン生成反応の最適化

静岡県工業技術研究所

志田英士 望月一男 橘川義明

三宅健司* 渡瀬隆也 鈴木敏博**

財団法人しずおか産業創造機構

浅沼俊倫

静岡県立大学

竹元万寿美***

Proceedings of The 4th International Conference on O-CHA (Tea) Cluture and Science (ICOS 2010) (CD-ROM)

緑茶飲料はその苦渋味が欧米では敬遠される傾向にある。静岡県立大学の竹元は、茶葉の苦渋味の原因とされるガロイル基含有カテキンを、テアフラビンへ変換する技術を確立した。

生茶葉を水中で破碎した後、攪拌することにより、生茶葉由来酵素が作用してガロイル基含有カテキンであるEpigallocatechin gallate (EGCg) およびEpicatechin gallate (ECg) のガロイル基が取れて没食子酸になり、Epigallocatechin (EGC) とEpicatechin (EC) が生成する。更に、茶葉中の他の酵素が作用し、EGCとECから遊離型Theaflavine (TF) が生成される。

本研究では、竹元の手法に基づきテアフラビン高含有飲料を大量製造するため、テアフラビン生成速度の向上を目指した。

水に対する茶葉の比率を変えて、反応を進めたところ、茶葉の比率が多いほど、反応速度は遅くなった。茶葉の比率が多いほど、TFの最大値は大きくなるが、ピークに達するのに要する時間は長くなった。

200~800rpmまで種々の速度で攪拌したところ、攪拌速度が増加するのに伴って、テアフラビンの生成速度は向上し、800rpmでは2時間で最大値に達した。

*) 現 環境衛生科学研究所 ***) 現 沼津工業技術支援センター ***) 現 奥羽大学

Development of new Dark tea-like beverage using microorganism enzyme

Kenji Miyake, Yoshiaki Kitsukawa, Eiji Shida, Takaya Watase, Kazuo Mochizuki, Toshihiro Suzuki,
Toshimichi Asanuma and Yukihiro Hara

微生物酵素を用いた新規黒茶様飲料の開発

静岡県工業技術研究所

三宅健司* 橘川義明 志田英士

渡瀬隆也 望月一男 鈴木敏博**

財団法人しずおか産業創造機構

浅沼俊倫 原 征彦

Proceedings of The 4th International Conference on O-CHA (Tea) Culture and Science (ICOS 2010) (CD-ROM)

中国黒茶は微生物による発酵を行った後発酵茶の一つであり、日本ではプーアル茶がよく知られている。これらの茶は主に中国の肉食中心の遊牧民族によって消費されている。この茶の水色は赤みを帯びた褐色をしており、味は一般的な緑茶や紅茶に比べてマイルドである。今回、緑茶抽出物を原料としてすぐに飲むことのできる缶やペットボトル入りの黒茶様飲料の製造を試みた。緑茶抽出物の溶液に中国

茶に特有な微生物を接種させたところ、本来の黒茶と類似した、味、水色の溶液が得られた。またこれらの処理液のガレート型カテキンの減少はHPLCを用いて分析した。さらに、苦味や渋味の評価については味認識装置を用いて行った。その結果、微生物処理により、苦渋味原因物質のひとつであるガレート型カテキンの減少が認められ、味認識装置による分析においても苦渋味の低減が認められた。

*)現 環境衛生科学研究所 **)現 沼津工業技術支援センター

Influences of storage temperatures on flavor and taste of green tea beverages

Yoshiaki Kitsukawa, Kazuo Mochizuki, Takaya Watase, Eiji Shida, Kenji Miyake,
Toshimichi Asanuma, Shingo Dohi, Noriko Matsuda and Toshihiro Suzuki

緑茶飲料の保存温度における香味の影響

静岡県工業技術研究所

橘川義明 望月一男 渡瀬隆也

志田英志 三宅健司* 鈴木敏博**

財団法人しずおか産業創造機構

浅沼俊倫 土肥慎吾 松田徳子

Proceedings of The 4th International Conference on O-CHA (Tea) Culture and Science (ICOS 2010) (CD-ROM)

茶飲料において香味は重要なファクターである。しかし、茶飲料の保存に関する香味変化についての報告例は少ない。本研究では、試作した茶飲料を4℃（冷蔵庫に保管した場合の温度）、25℃（室温）、37℃（夏頃の室温）、60℃（自動販売機のホット飲料の温度）で保管したときの香味変化を味覚センサー、超高速液体クロマトグラフ、スターバー抽出法（SBSE）を利用したガスクロマトグラフ質量分析計で分析した。

ガスクロマトグラフ質量分析計による分析の結果、リナロールをはじめとしたアルコール類の香気の増

加が確認された。特に60℃で保管した茶飲料については顕著に増加している結果が得られた。加熱殺菌を行うことによりそれぞれのアルコールに対応する配糖体の加水分解が起こり、アルコール類が増加することが報告されており、高温の保管でも同様の反応が起こっていると思われる。また、インドールの香気の減少が確認された。

味覚センサーによる分析の結果、高温で保管した茶飲料程、渋みの減少が確認された。高温に保管するほど渋みの原因となるEGCgなどのカテキンが減少したためと思われる。

*)現 環境衛生科学研究所 ***)現 沼津工業技術支援センター

木炭の分子ふるい挙動を活用した空気質の改善

静岡県工業技術研究所
株式会社アスカム山下里恵 櫻川智史
松浦弘直 横山公哉

Amelioration of air quality utilizing molecular sieving behavior of wood charcoal

Rie Yamashita, Satoshi Sakuragawa, Hirotada Matsuura and Kimiya Yokoyama

におい・かおり環境学会誌 Vol.42, No.1, 17-26 (2011)

ヒノキ材を様々な温度で処理した木炭について、トルエン/ α -ピネン混合ガスの吸着特性を調べた。700℃で処理した木炭は、分子ふるい炭素のような作用を持つスリット状の狭い細孔構造を持つことで、空気中から有害な揮発性有機化合物（VOC）であるトルエンのみを吸着除去し、 α -ピネンの好ましい香りを残すことが分かった。

ロータリーキルンにて、同様の特性を持つよう調製したヒノキ間伐材を原料とするセラミック炭について、トルエンの他、溶剤として多用されてきたVOC成分であるエチルベンゼン、*o*-、*p*-キシレン、スチレン、および代替溶剤として使用されている酢酸ブチル、また、木材の芳香成分として良く知られている α -ピネン（ヒノキ材）、1,8-シネオール（ユーカリ葉、クロモジ樹皮）、およびD-リモネン（柑橘果皮）について吸着試験を行った。その結果、セラミック炭のVOC成分に対する吸着性能は活性炭と

同等であった。一方、活性炭が芳香成分を吸着するのに対して、セラミック炭では、双環型モノテルペンであり嵩高い分子形状を持つ α -ピネンおよび1,8-シネオールを殆ど吸着しなかった。これらの結果は、前述した分子ふるい挙動のメカニズムによって説明することができる。この他、木造施設で実際に使用されているスギおよびヒノキ材から放散される混合テルペン類についても吸着試験を行ったところ、活性炭に比較して木材の香りが有意に残存することが分かった。

この分子ふるい機能を活用し、「空気浄化と芳香」機能をうたった、空気質改善インテリアを開発した。

室内を想定した6 m³チャンバーで開発製品の性能試験を行ったところ、汚染したチャンバー内に製品を設置することで、安全なレベルまでトルエンを吸着除去し、且つ、製品に添加した精油による穏やかな芳香を持続することが確認された。

缶詰工場から排出されるシロップ廃液を利用したエネルギー回収システム

静岡県工業技術研究所 酒井 奨

Energy recycling system Using syrup waste from a canning factory

Susumu Sakai

食品と開発, Vol.46, No.1, pp.7-10 (2011).

現在、みかん、桃、パイナップルなどの果実缶詰の国内における生産量は、10年前の半分以上の約5.5万トンに留まっている。これは缶詰以外の加工食品の台頭もさることながら、中国をはじめとするアジア圏からの逆輸入量が増加しているためである。桃缶、パイナップル缶、柑橘類缶（みかん）の主要3缶詰に対する年間総輸入量は、約18万トンにも上り、静岡県内の缶詰工場の生産体制をも変化させている。県内の缶詰工場では、輸入された果実缶詰を、シロップ液と果実とに分離し、国内の消費者向けに新たに調整されたシロップ液を工場内で製造し、果実と合わせて出荷している。従って、工場内では新たに海外からのシロップ液が廃液として生じ、排水

処理に回されるか、下水道放流による希釈処理が施されている。この排水処理に伴う電気料金、余剰汚泥処理費、薬品費、下水道料金などは、工場経営を大きく圧迫している。

そこで本研究では、排水処理への負担を軽減することを目的に、メタン発酵技術とガスエンジン技術を組み合わせたシロップ廃液からのエネルギー回収システムを提案した。本報では、シロップ廃液の現状調査とメタン発酵の実験結果に基づきながら、工場内に設置できるコジェネレーション（熱電併給）システムの可能性とその将来性について述べるとともに、平成22年1月から工場内で試運転を開始した同システムを紹介する。

REPORTS
OF THE
INDUSTRIAL RESEARCH INSTITUTE
OF SHIZUOKA PREFECTURE, NUMAZU

静岡県工業技術研究所
沼津工業技術支援センター研究報告

静岡県工業技術研究所
沼津工業技術支援センター
沼津市大岡3981番地1

INDUSTRIAL RESEARCH INSTITUTE OF SHIZUOKA PREFECTURE, NUMAZU
3981-1 Ooka, Numazu city, Shizuoka, 410-0022 Japan

ブナシメジ抽出成分によるホルモン依存性乳癌細胞株の増殖阻害

— 増殖阻害成分の分離精製 —

バイオ科 岩原健二 天野祥吾 勝山 聡

Inhibition of proliferation of hormone-dependent breast cancer cell line
by the extract from edible mushroom, *Hypsizygus marmoreus*

— Purification of cell growth inhibitors —

Kenji Iwahara, Shogo Amano and Satoshi Katsuyama

It has been well known that many kinds of ingredients in the mushrooms have inhibitory effects on proliferation of cancer cell line. In our recent research, it was found that the ethanol or water extracts from freeze-dried fruit body of *Hypsizygus marmoreus* (Buna-shimeji) had an inhibitory effect on cell proliferation for estrogen-dependent human breast cancer cell line, T47D. The proliferation inhibitors were separated by stepwise extraction with hexane, ethyl-acetate, ethanol, water, and hot water. Most effective inhibitors were in the ethyl-acetate extracts. The inhibitors in ethyl-acetate were separated into two major peaks by reversed phase chromatography on high performance liquid chromatography (HPLC). These inhibitors inhibited cell proliferation of T47D from 0.1 mg / ℓ to 15 mg / ℓ in a dose dependent manner. It appeared that the inhibitors irreversibly inhibited T47D cell growth by apoptosis or other systems at 15 mg / ℓ but, below the concentration (1.5 mg / ℓ), inhibited reversibly cell growth by stopping cell cycle.

1. 緒言

毎年がんにより数十万人（2008年342,849人：男性206,287人・女性136,562人）が死亡しており、日本人の死亡原因の第一位となっている。女性では乳癌が明らかに増加してきている。乳癌の罹患は、働き盛りの40～60歳で多くなっている。乳癌の多くは（約7割）、ホルモン依存性である。女性ホルモンであるエストロゲンは細胞内のエストロゲンレセプター（ER）に結合してDNAに作用して乳癌が増殖する。このエストロゲン生成に関与するいくつかの酵素やERへの結合を阻害する物質がホルモン依存性乳癌の治療薬として開発されている¹⁾。治療に非常に有効な反面、骨密度の低下、耐性の獲得、他器官での癌誘発などの副作用も懸念されている。それゆえ、効果的な治療薬の開発は常に求められている。

これまでに、食用きのこであるブナシメジ（学名：*Hypsizygus marmoreus*）の子実体のエタノール抽出区分中にホルモン依存性乳癌細胞の増殖を低濃度で阻害する成分が認められることを見出した^{2、3)}。これら成分についての作用機構、構造等の詳細は、

まだ不明である。きのこ類は2次代謝においてアルカロイド、テルペノイド、フェノール類等を生産し、抗腫瘍効果があるものも見出されているが、いまだ未同定な物質も多く存在していると考えられる。

そこで、ブナシメジ中に含まれるホルモン依存性乳癌細胞の増殖を阻害する新規性の高い成分の分離精製、構造について知見を得るための検討を行った。

2. 実験方法

2. 1 ブナシメジ子実体凍結乾燥粉末の各種溶媒による抽出

市販の生のブナシメジ子実体を凍結乾燥し粉末状にした。これにヘキサンを加え攪拌しながら、遮光下にて24時間抽出した。抽出後、濾過して上澄みを回収し、さらに沈殿を同溶媒で洗浄し、上澄みと合わせてヘキサン抽出液とした。ついで、この残渣を酢酸エチル、エタノール、水、熱水により極性の低いほうから同様の操作を行い、それぞれの抽出液を得た。

【報告】

2. 2 ブナシメジ子実体抽出成分による乳癌細胞の増殖阻害試験

ヒト乳癌細胞は凍結保存してあるホルモン依存性乳癌細胞株、T47Dおよびホルモン非依存性細胞株、MDA-MB-231を用いた。培地は、非働化したFBSを10%含むDulbecco's modified Eagle's medium、DMEM (+) および増殖因子である性ステロイドやステロイド様作用物質をチャコール・デキストラ処理して取り除いたDMEM (-) を用いた。

継代5日目のT47DあるいはMDA-MB-231を回収し、遠心分離しDMEM (+) を捨ててDMEM (-) に懸濁させ、96ウェルプレートに 1×10^4 cell/cm² になるように播種し、37℃、5%CO₂インキュベーターに入れた。

細胞接着後、培地を吸い取り、各種抽出液のDM SO1.0 μ l を生育因子であるE1Sを100nMあるいはE2を1 nM 含むDMEM (-) 培地1,000 μ l に添加した。これらを96ウェルプレートに各抽出物につき5ウェルに100 μ l 加えた。5日後、Cell Counting Kit-8 (株式会社同仁化学研究所、水溶性テトラゾリウム塩WST-8が生細胞数に比例する細胞内脱水素酵素活性により還元され生じた極大吸収を460nm付近に持つ桃色生成物であるホルマゼンを450nmにて測定し生細胞数を測定) にて評価した。細胞増殖の阻害は、次のようにして評価した。増殖阻害(%) = $100 - (\text{Abs } 450\text{nm、きのこ抽出液成分有培地} / \text{Abs } 450\text{nm、きのこ中抽出液成分無培地}) \times 100$ 。

2. 3 高速液体クロマトグラフィー (HPLC) によるきのこ抽出成分の分離

ブナシメジ抽出液成分の分離は、逆相カラムクロマトグラフィー (C8カラム、ZORBAX XDB C-8、250mm×9.4 mmID、Agilent社製) により分離を行った。溶出は、水-アセトニトリル濃度勾配にて行った。検出は、220nm、254nm、および272nmにて行った。

3. 結果と考察

市販の生のブナシメジ900 gを凍結乾燥後、粉末状物を78.6 g得た。これにヘキサンから順番に抽出

した各溶媒における抽出物の量 (g) と収率 (%) 性状を表1に示した。性状からヘキサンでは、脂肪分、酢酸エチル、エタノールにおいては、低分子芳香族、ステロイド、カロテノイド、あるいはそれらの配糖体、水、熱水においては、糖類、多糖類 (キチン、キトサン、グルカンなど)、ペプチド、タンパク質、糖タンパク質が抽出されたものと考えられた⁴⁾。

表1 各抽出溶媒における抽出量、収率、および性状

抽出溶媒	抽出量	収率	性状
ヘキサン	1.3 g	(1.7%)	白色ワックス状
酢酸エチル	1.5 g	(1.5%)	橙色半固形
エタノール	4.2 g	(5.4%)	黄色油状
水	42.6 g	(54.2%)	白色固形物
熱水	5.4 g	(6.9%)	白色繊維状

次に、得られた抽出液の阻害効果について検討を行った。各抽出物を細胞培地中にて50 μ g / ℓ になるように添加して阻害効果を見た。いずれの画分においてもT47D、およびMDA-MB-231において阻害効果が認められた。酢酸エチル抽出液においてもっとも高い阻害効果が認められた (図1)。

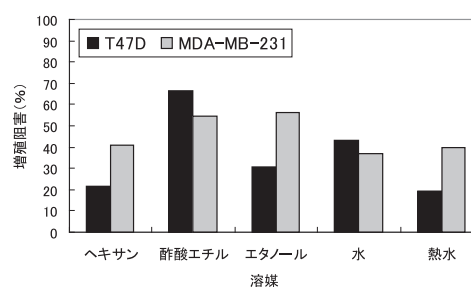


図1 各抽出段階におけるT47DおよびMDA-MB-231の増殖阻害

また、5日培養後の細胞の状態を観察したところ、酢酸エチルにおいてのみ細胞が萎縮した形態のものが観察された。他の区分においては、阻害物質を加えていないものと形態的には同じであった。萎縮しているものは、細胞が死んでいると考えられた。また、萎縮していないものは、細胞の増殖が停止しているだけであることも考えられた。これより、以後の実験においては、酢酸エチルの抽出液中の成分の

分析を行った。

まず、酢酸エチル区分を逆相クロマトグラフィーにより分離を行い5分毎に分画した(F1～F9)。各区分のT47Dの増殖阻害効果を見た結果、アセトニトリルが90%以上で溶出されており、かなり極性の低いと考えられる区分(F5～7)に強い阻害が認められた(図2)。F5、6はT47D、MDA-MB-231ともに阻害効果が認められたが、F7はT47Dに対しては阻害効果があったが、MDA-MB-231に対しては逆に生育を促進する効果が認められた。そこで、もっとも高い阻害効果のあったF6についてさらに検討を行うこととした。F6を分取し、さらに分離をし(F6-1～F6-5に分画)阻害効果を検討した。その結果、F6-1とF6-5に強い阻害効果が認められた(図3)。これら2つのフラクションの中で阻害活性の強い成分をさらに精製を行い、F6-1P、及びF6-5Pを得た。いずれの成分も濃度依存的にT47D、およびMDA-MB-231の増殖を阻害した。F6-1Pは、T47Dでは、0.25mg/ℓ(F6-1P)、0.7mg/ℓ(F6-5P)、MDA-MB-231では、9mg/ℓ(F6-1P)、4.5mg/ℓ(F6-5P)において約50%の阻害を示した(図4、5)。いずれも低濃度では、T47Dに強い増殖阻害効果が認められたが、MDA-MB-231では認められなかった。MDA-MB231はER(-)であるので、阻害剤はT47DのERに競合的に結合してE2の結合を阻害することにより増殖が阻害されていることが考えられた。また濃度が高くなると(15mg/ℓ)ではいずれの細胞株においても形態的に細胞が死んでいる様子が観察されたことから、高濃度では、細胞が何らかの作用により細胞死が誘導されていると考えられた。

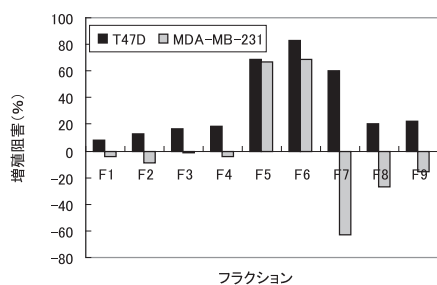


図2 F1～F9による T47DおよびMDA-MB-231の増殖阻害

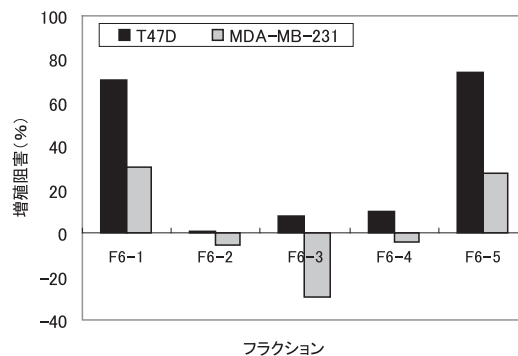


図3 F6-1～F6-5によるT47DおよびMDA-MB-231の増殖阻害

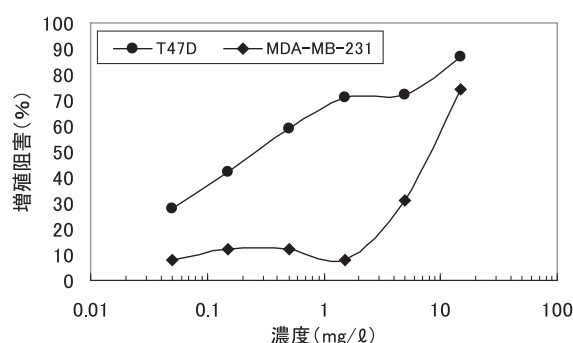


図4 F6-1PによるT47DおよびMDA-MB-231の増殖阻害

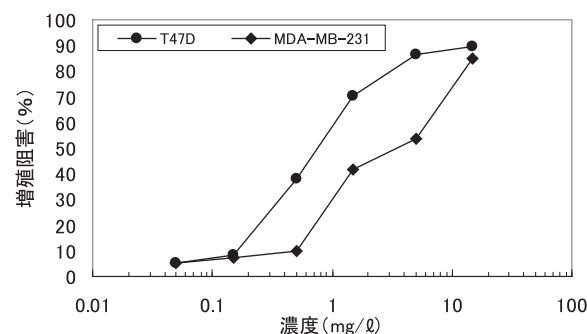


図5 F6-5Pによる T47DおよびMDA-MB-231の増殖阻害

そこで、培養2日後の細胞に阻害剤(1.5mg/ℓ、および15mg/ℓ)を含むあるいは含まない培地に交換し、5日後の細胞の増殖を確認した。その結果、1.5mg/ℓでは、増殖が阻害剤を含まない場合の約半分が認められた。しかし、15mg/ℓでは細胞数が減少しており、細胞が増殖することなく死滅していると考えられた。これら作用機構については更なる検討が必要である。

4. まとめ

ブナシメジ子実体の酢酸エチル抽出区分にホルモン依存性乳癌細胞を強く阻害する主要な2成分を分離した。いずれのピークも低濃度においてはホルモン依存性乳癌の増殖のみを阻害したが、濃度が上がるにつれてホルモン非依存性乳癌細胞の増殖も阻害した。また、低濃度においては、増殖を停止している作用であるが、濃度が高くなると細胞を殺す作用となっていることが推察された。

謝辞

本研究を進めるにあたり、実験方法などご指導いただきました静岡県立大学環境科学研究所 大学院生活健康科学研究科 生体機能学研究室 下位香代子教授、静岡大学創造科学技術大学院（兼）静岡大学農学部応用生物化学科 河岸洋和教授に感謝いたします。

参考文献

- 1) M. J. Reed, A. Purohit, L.W.L. Woo, S.P. Newman and B.V.L. Potter (2005) Steroid Sulfatase: Molecular Biology, Regulation and Inhibition, Endocrine Reviews. 26(2):171-2
- 2) 岩原 健二、室伏敬太、食品中のステロイドスルファターゼ阻害物質による乳癌抑制に関する研究（第2報）：静岡県沼津工業技術研究所研究報告, 第2号, p 101-102 (2009)
- 3) 岩原 健二、勝山 聡、きのこ子実体抽出成分によるホルモン依存性乳癌細胞株の増殖阻害（第1報）：静岡県沼津工業技術研究所研究報告, 第3号, p65-66 (2010)
- 4) 衣川堅二郎、小川眞、きのこハンドブック（朝倉書店、2000）

単発・短周期騒音発生機器の信号解析とその低減に関する研究

機械電子科 竹居 翼* 本多正計 飯塚千佳世

A Study on Noise Reduction and Analysis of Transient Sound from Industrial Equipments

Tasuku Takei, Masakazu Honda and Chikayo Iizuka

The FFT analysis is a general method for the frequency analysis. But it cannot analyze the non-stationary and transient signal. So we examined the feature about three different types of analysis that were able to analyze the non-stationary and transient signal, and the analyzer was developed. We analyzed the non-stationary noise that emitted from the axial piston pump with this software. As a result, the change in the non-stationary noise by the improvement of the axial piston pump was clearly caught.

1. はじめに

現在までに、産業機器から発生する騒音を低減させるための様々な研究がされており、一般的な防音カバーや吸音材貼付のほか、動的制御など多くの低騒音化対策¹⁾が考案されている。しかし、最適な騒音対策としての確立には至っていない。この原因の一つとして、現在一般的に用いられている騒音計等による定常的な騒音評価では表現が困難な、単発音や短周期音等の非定常的な音の存在が考えられる。そこで本研究では、これら非定常的な音を解析・評価する手法について検討を行い、これらの解析が可能なソフトウェアを開発した。そして、開発したソフトウェアを使用して騒音対策の効果を確認することを試みた。

本報告では、まず非定常信号解析手法の検討として、短時間フーリエ変換（以下、STFT: Short-Time Fourier Transform）による解析、ウェーブレット変換による解析、デジタルフィルタバンク²⁾を用いた解析（以下、フィルタバンク解析）のそれぞれについて、既知の信号を対象に特徴を調べた。この解析に関わる数値計算、および解析結果のグラフ化は数値計算ソフトウェアのScilab³⁾を利用し、解析ソフトウェアの開発はScilab上での実装とした。そして、開発したソフトウェアを用いてプランジャーポンプの騒音解析を行い、対策への活用を試みて、その効果を確認した。

2. 非定常信号解析手法の検討とソフトウェア開発

2.1 STFTによる解析

周波数解析で一般的なフーリエ変換は、解析信号内の周波数情報を得る代わりに時間情報が失われてしまう。そのため、時間と共に信号の周波数成分が変化する非定常音を対象にすると、信号に含まれる周波数成分の時間変化を捉えることができない。これを補うため、解析対象の信号を一定時間単位で分割し、それぞれをフーリエ変換することによって、時間情報を取り出すことのできる短時間フーリエ変換が考案された。しかし、単純に信号を切り出しただけでは、多くの場合に区間の始端と終端が不連続となり、フーリエ変換結果の誤差が大きくなる。そのため、切り出した信号に窓関数を掛け、区間の始端と終端の不連続を抑える対策を併用することが一般的である。だが、そもそも信号を切り出すことが誤差の一因のため、この誤差が少なくなるような最適な解析条件を見つけることが難しい。

2.2 連続ウェーブレット変換による解析

フーリエ変換を用いた解析では、解析条件に応じて周波数分解能および時間分解能は一意に定まる。しかしウェーブレット変換では、ウェーブレットと呼ばれる関数を時間軸上で伸縮させることにより周波数分解能を変化させることができる。また、同様にウェーブレットを時間軸上で平行移動させることにより、時間分解能を変化させることができる。こ

*) 現 沼津技術専門校

のため、低周波数領域ではウェーブレットの時間幅が伸長して時間分解能が低くなり、高周波数領域ではウェーブレットの時間幅が収縮して時間分解能が高くなる傾向がある。

2. 3 フィルタバンク解析

前述2種類の解析手法は、信号を時間領域から周波数領域に変換して時間情報を付加するのに対し、この解析手法は時間領域から直接、信号の周波数情報を取り出すことを行う。

この解析手法は、予め周波数幅を定めたバンドパスフィルタを複数用いて解析を行う。まず狭帯域のバンドパスフィルタの群（フィルタバンク）を構成し、このフィルタバンクに解析信号を掛ける。そして、得られたフィルタ毎の時間波形のそれぞれから包絡線を求める。この結果、解析信号の時間的な性質と周波数的な性質が同時に得られる。このため、時間領域で処理を行うために時間分解能が高く、狭帯域のバンドパスフィルタの特性に応じて周波数分解能が決まる特徴がある。また、処理の仕組み上、解析信号のデータ数とフィルタバンクを構成するフィルタ数に応じて計算量が大きく増減する。

2. 4 非定常音解析ソフトウェアの開発

前述3種類の解析が行えるソフトウェアを開発するにあたり、数値計算ソフトウェアのScilab³⁾を利用した。使用したバージョンは5.3.1（64ビットWindows版）である。また、sndfile Toolbox 0.1-1、Scilab Wavelet Toolbox 0.1.11-1 (swt)、およびScilabの信号解析関数を使用した。

STFT解析は、切り出される分析区間と掛ける窓関数の幅、および分析区間を切り出す間隔を任意に指定できるよう開発した。解析処理に使用するフーリエ変換、および窓関数の生成は、Scilab上のfft関数とwindow関数を使用し、窓関数の種類はハニング窓を選択した。

ウェーブレット解析は、連続ウェーブレット変換を使い、解析処理にはswtツールボックス中の関数を利用した。そのため、現状で使用可能なウェーブレットはツールボックスで対応しているものに限定される。今回は複素Morletを選択した。

フィルタバンク解析では、バンドパスフィルタの

【報告】

生成にiir関数を使用し、包絡線を求めるためにhilbert関数を使用した。フィルタは1次バターワース型のバンドパスフィルタを選択した。このフィルタのバンド幅は、振幅が $1/\sqrt{2}$ 倍となる周波数の上限と下限（カットオフ周波数）の差とし、フィルタによって生じる位相のずれの調整も行った。

2. 5 それぞれの周波数解析法による解析結果

開発したソフトウェアを用いて、既知の信号に対する時間一周波数解析を行った。用意した信号は、時間の経過と共に周波数が単調に増加するチャープ信号、および断続的な単発音として作成したDTMF (Dual Tone Multi Frequency) 信号である。

(1) チャープ信号での解析結果

周波数が短時間で急峻に変化する信号の例として、周波数掃引速度40[kHz/s]のチャープ信号を0.1[s]用意した。時間波形を図1に、それぞれの解析結果を図2～4に示す。この信号は時間の経過とともに周波数が単調に増加する信号である。よって、解析結果としては1本の細い直線が正解であり、これに近いほど解析の精度が良いことを示す。図2より、STFT解析では信号の傾向は読み取れるが周波数と時間が曖昧であり、太い直線となって解析の誤差が大きいことがわかる。図2より、ウェーブレット解析では低周波数領域においては周波数と時間の変化がはっきりと確認できるが、高周波数領域になるほど不明瞭となることがわかる。図4より、フィルタバンク解析では時間の経過と共に周波数が単調に増加する傾向が鮮明に確認でき、短時間に急峻に周波数が変化する信号を解析する際に有効であることがわかる。

(2) DTMF信号での解析結果

短時間に単発音が連続して発生する例として、0.025[s]のDTMF信号を0.025[s]の無音と交互に10回発生させた信号を用意した。これらの信号の時間波形を図5に、各解析を行った結果を図6～8に示す。この信号は2種類の周波数の組み合わせで構成されている。よって、発音時にのみ2つの周波数が現れる解析結果が正解となる。

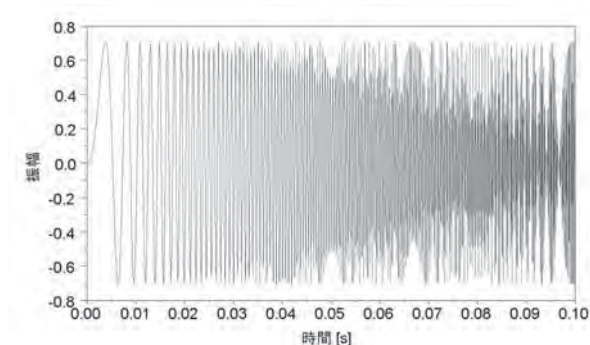


図1 時間波形（チャープ信号）

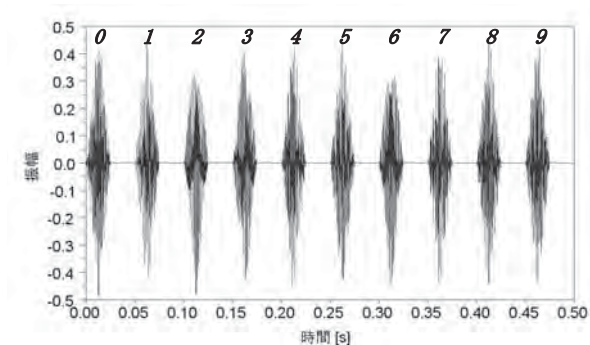


図5 時間波形（DTMF信号）

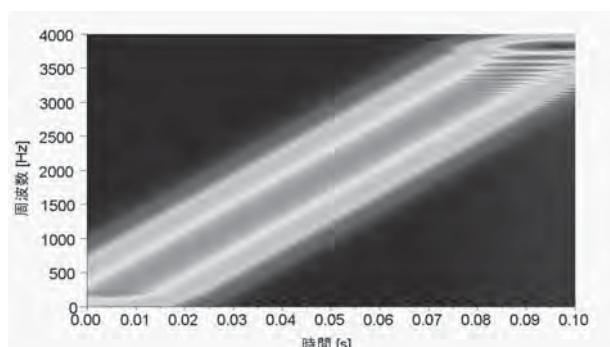


図2 STFT解析結果（チャープ信号）

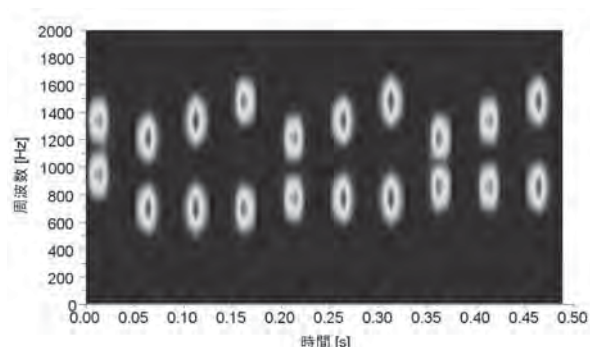


図6 STFT解析結果（DTMF信号）

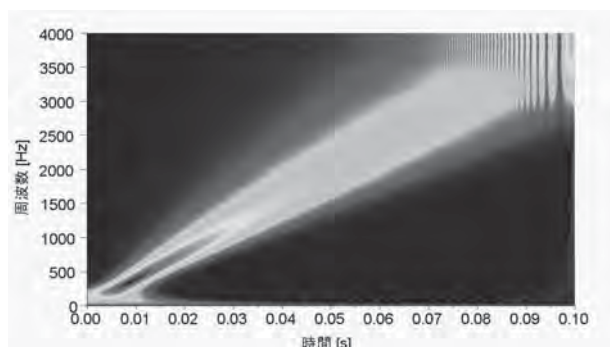


図3 ウェーブレット解析結果（チャープ信号）

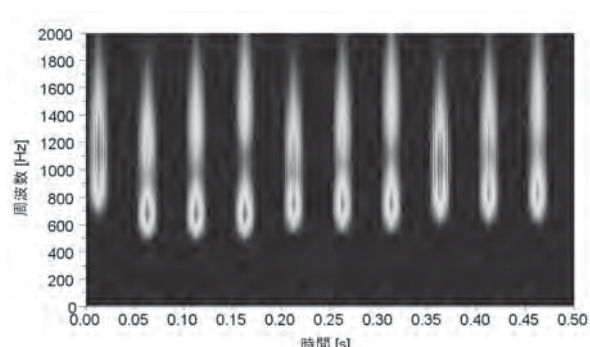


図7 ウェーブレット解析結果（DTMF信号）

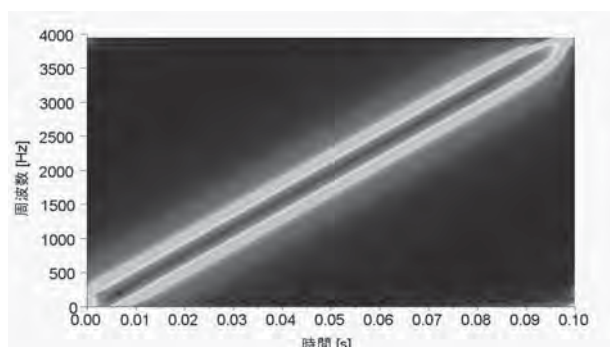


図4 フィルタバンク解析結果（チャープ信号）

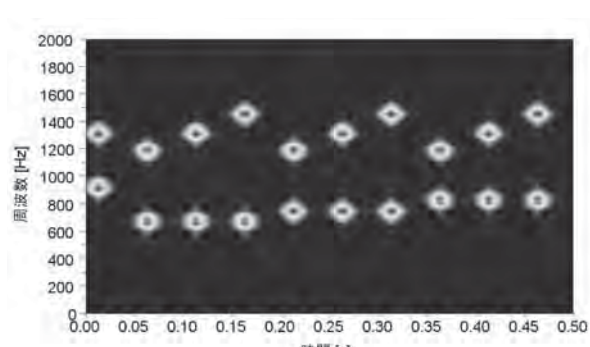


図8 フィルタバンク解析結果（DTMF信号）

図6のSTFT解析では、発音時間の傾向は確認できたが、その周波数の幅が広く、曖昧にしか読み取れない結果となった。図7のウェーブレット解析は、発音時間は正確に読み取れるものの、2種類の周波数を分離できず、不明瞭な結果であることが確認できた。これに対して図8のフィルタバンク解析では、発音時間とその周波数が明確であり、短時間に連続する単発音を正確に解析できることが確認できた。

2. 6 考察

STFT解析では、周波数の時間変動のおおよその傾向は掴むことができるが、近い周波数の変動を捉え切れない可能性がある。また、ウェーブレット解析では、周波数帯に応じて周波数分解能が異なってしまうため、解析で知りたい周波数によっては確認できない可能性がある。フィルタバンク解析では、短時間における周波数の時間変化と、音の発生時間を正確に捉えることができるため、非定常的な信号の解析に有用であることが確認できた。

3. 開発ソフトウェアを用いたポンプの騒音解析

3. 1 解析条件

キソー株式会社製のプランジャーポンプを対象として、動作時に発生する騒音について解析を行った⁴⁾。図9にポンプの外観、図10に騒音測定時のマイクロホンの位置を示す。また、表1にポンプの概要、表2に測定に使用した機器を示す。

表1 ポンプ概要

種別	アキシアルプランジャーポンプ
吐出圧力	3.5 [MPa] (定格値)
吐出流量	25.5 [l/min] (定格値)
駆動方法	三相誘導電動機をVベルトで接続
ポンプ回転数	1349 [rpm] (ノズル使用時定格値)
電動機回転数	1436 [rpm] (50[Hz]電源定格値)

表2 測定に使用した機器

データ収録機器	小野測器 データステーション DS-2100 小野測器 4ch入力ユニット DS-0264
マイクロホン	B&K コンデンサマイクロホン Type 4188
プリアンプ	B&K プリアンプType 2671

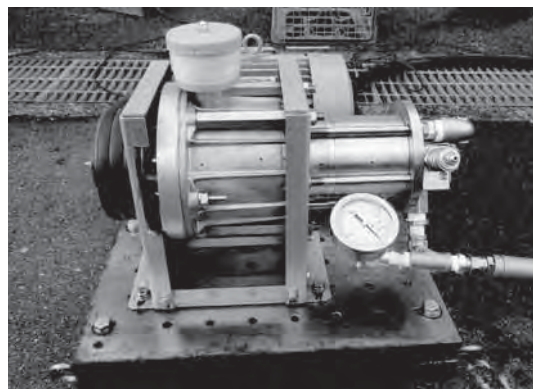


図9 ポンプ外観

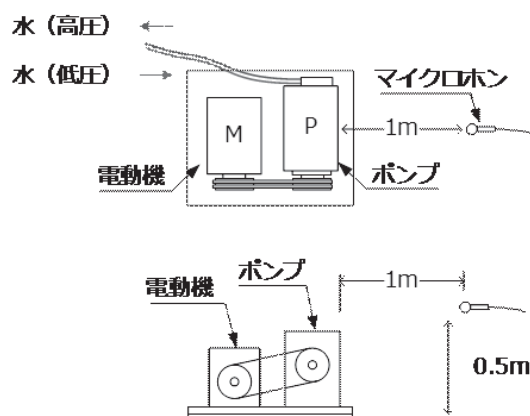


図10 騒音測定時のマイクロホン位置

3. 2 解析結果

対策前後の騒音の時間波形を図11、12に示す。また図13、14のFFT解析の結果から、今回の騒音は、2000[Hz]程度までの周波数成分が多く、300[Hz]前後と1000[Hz]程度にピークが顕著であることがわかる。今回の対策では、ポンプ内の弁や水の流路の変更を行ったが、これらからその効果を確認することはできなかった。よって、開発したソフトウェアで2000[Hz]以下の周波数領域について解析を行った。この結果を図15～20に示す。

3. 3 考察

対策前後の時間波形（図11、12）では、殆ど違いがわからないことが確認できた。STFT解析結果（図15、16）から、対策前後の差が不明瞭であり、周波数の時間変化を明瞭に捉えられないことが確認できた。また、ウェーブレット解析結果（図17、18）から、高周波数領域の音の発生時間は確認できたが、周波数は不明瞭であった。そしてフィルタバンク解析結果（図19、20）から、周波数と発生時間

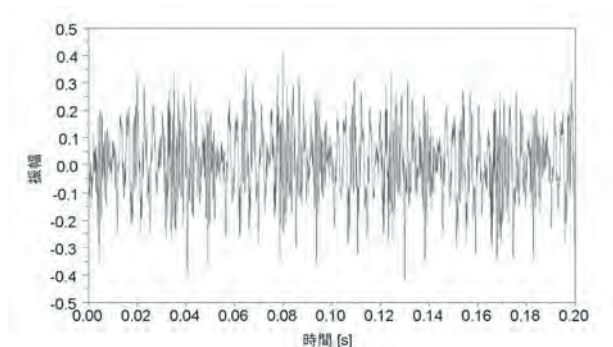


図11 時間波形（対策前）

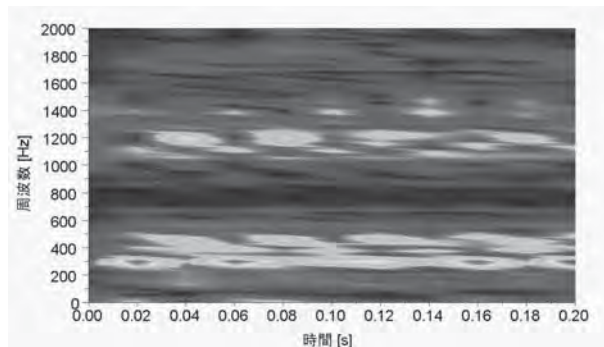


図15 STFT解析結果（対策前）

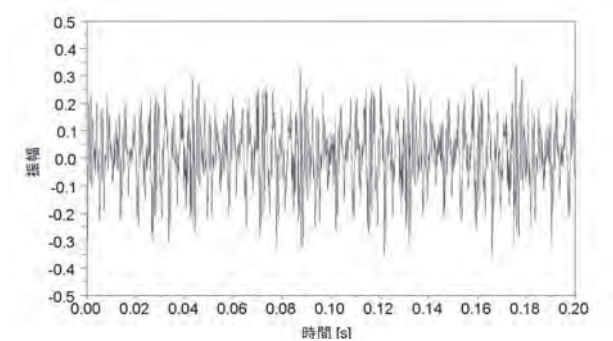


図12 時間波形（対策後）

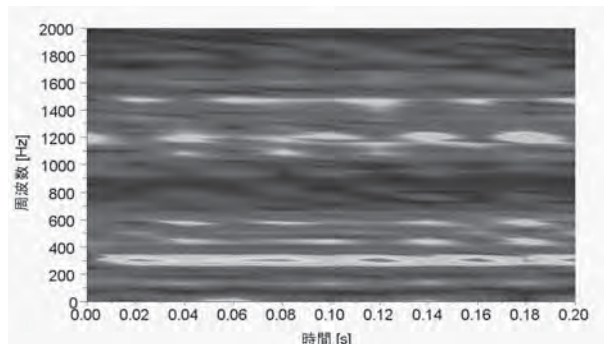


図16 STFT解析結果（対策後）

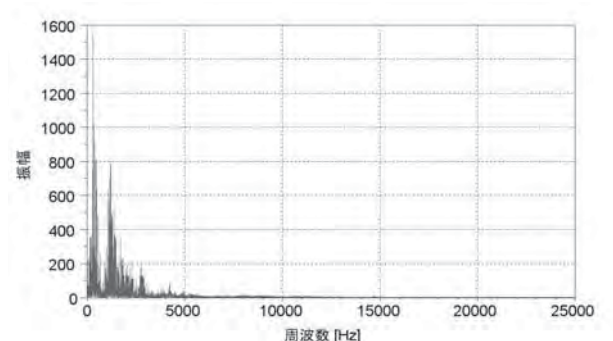


図13 FFT解析結果（対策前）

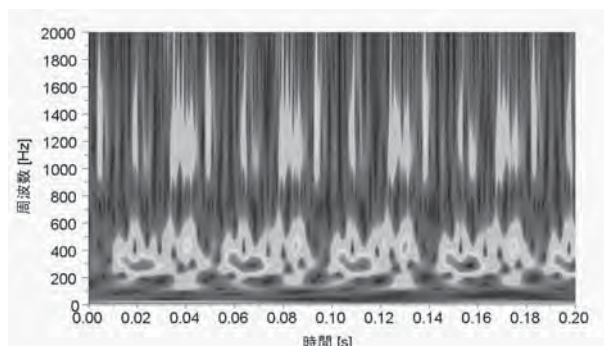


図17 ウェーブレット解析結果（対策前）

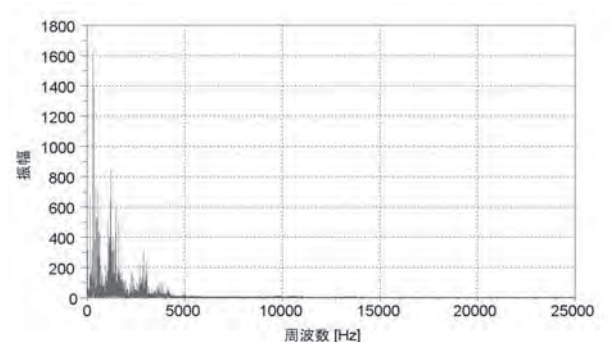


図14 FFT解析結果（対策後）

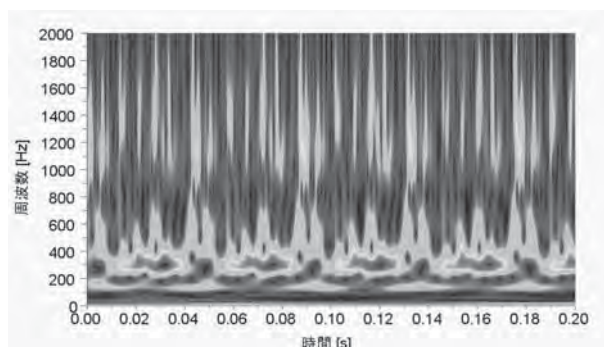


図18 ウェーブレット解析結果（対策後）

【報告】

しい単発音等の非定常的な音は、フィルタバンク解析やウェーブレット解析を用いることで捉えることが可能であることを確認した。また、これら解析を取り入れて開発した本ソフトウェアを用いることで、騒音対策を施した効果の確認が可能となった。

謝辞

本研究に協力して頂いた、キソー株式会社の佐野氏、林氏、ならびに有限会社エヌブイソリューションズの菅原氏に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 増田, 大内, 長田: 可変容量形偶数ピストンポンプのアクティブ騒音制御に関する研究, 日本フルードパワーシステム学会論文集, 第34巻, 第4号, p79-84, 2003年7月.
- 2) 菅原, 山崎: 過渡応答のデジタルフィルタを用いた周波数解析手法, 日本機械学会2008年度年次大会講演論文集(5), p.141-142, 2008.
- 3) Scilab: <http://www.scilab.org>
- 4) 竹居, 本多, 望月, 飯塚: 単発・短周期騒音発生機器の信号解析とその低減に関する研究, 静岡県工業技術研究所研究報告, 第3号, p69-70, 2010.

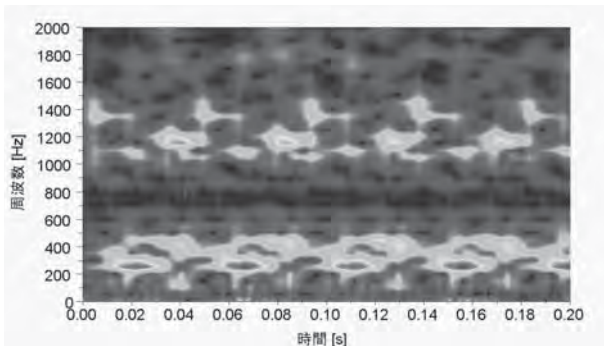


図19 フィルタバンク解析結果 (対策前)

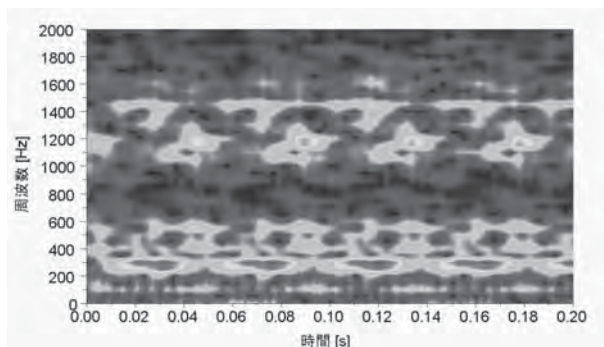


図20 フィルタバンク解析結果 (対策後)

の両方を捉えることができ、対策前後の差を確認できた。よって、今回開発したソフトウェアを用いることで、対策による騒音の変化を詳細に確認できた。

4. まとめ

一般的に用いられているFFT解析では判別が難

微生物を用いた一本鎖型抗体の生産技術の開発（第1報）

— インフルエンザウイルスA型核タンパクの遺伝子解析 —

微生物抗体開発プロジェクトスタッフ 太田俊也 松野正幸 室伏敬太

Efficient Single-chain antibody production using Microorganisms (1st report)

— Gene Analysis of influenza virus A type nucleoprotein —

Toshiya Ohta, Masayuki Matsuno and Keita Murofushi

1. 諸言

我々は、迅速な抗体作製方法であるファージディスプレイ法¹⁾を用いたscFv型抗体（scFv：single chain Fv、一本鎖可変部抗体、以下「抗体」とする）の開発に取り組んでいる^{2) 3)}。今回は、インフルエンザウイルスA型（FluA）に対する抗体作製を実施する。抗体の利用の目的は、体外診断薬に用いる測定用の抗体である。具体的な抗原部位としては、FluAの中でも変異が少なく一般に抗原とされている核タンパク（ヌクレオプロテイン；NP）を標的とした⁴⁾。FluA-NP抗原の作製は、ウイルスを培養細胞や鶏卵に感染させ培養し、そこからNPを精製する方法が一般的である。しかしながら、感染を防ぐ特殊な設備を必要とするなど容易な方法ではなく、時間もかかる。そこで、大腸菌などを宿主として迅速な作製が期待できる遺伝子組換え技術を用いることで、免疫や測定に必要な抗原の作製を行うこととした⁵⁾。その第一のステップとして、このFluA-NPの遺伝子を単離、クローニングし、遺伝子配列を決定したので、概要を報告する。

2. 実験方法

3種類のFluAのRNAを静岡県環境衛生科学研究所より分与頂き、遺伝子源として用いた。cDNA合成にはSuperscript III First Strand Synthesis kit (Invitrogen) を、クローニング用キット試薬は、Zero Blunt PCR Cloning Kit (Invitrogen) を、DNA配列解析用キット試薬は、Big Dye Terminator v3.1 Cycle Sequencing Kit (ライフテクノロジーズジャパン) を用い、方法はそれぞれ

のキット付属のプロトコールに準じて実施した。

実験方法の概要を以下に示す。

- (1) 3種類のRNAからcDNAを合成し、FluAのNP遺伝子全長をPCR (polymerase chain reaction) によってそれぞれ増幅した。
- (2) 3種類のNP遺伝子をプラスミドベクターpCR-Bluntにそれぞれ組込んだ。
- (3) 組込みの完了したプラスミドDNAを大腸菌XL1-Blueにケミカルコンピテントセル法で、それぞれ形質転換を行った。
- (4) 3種類の単一のコロニーを得て、これをそれぞれカナマイシン入りのLB培地（1% ポリペプトン、0.5% 酵母エキス、0.5% NaCl）で培養しプラスミドDNAを抽出した。
- (5) DNA配列解析では、プラスミドDNA上の配列で設計されたプライマーを用いて、配列解析用キット試薬でサーマルシーケンス反応を施し、これをシーケンサーABI PRISM 310（アプライドバイオシステム）を用いて配列分析を実施した。

3. 結果及び考察

FluAのRNAより、poly- (dt) 及びランダムヘキサマーを用いてcDNAを合成した。作製したcDNAライブラリーは、脱塩処理とプライマー除去 (Micro Spin S-300 HR Columns、GE Healthcare) を行った。次に、cDNAを鋳型にFluAのNP遺伝子をPCRによってそれぞれ増幅した。増幅領域は、NP全長とし、プライマーはDNAデータベースに登録されている様々なFluA-NPの配列情報より、定法により作製し用いた (Data示さず)。

【ノート】

増幅には特異性及び反応効率の観点からKOD plus ver.2 (TOYOBO) を用いて、一般的なPCRの方法で行った。サーマルサイクルの条件は、1回目：94℃、2分 → 98℃、10秒；62℃、30秒；68℃、120秒（30サイクル）である。結果、目的のPCR産物と推定される約1.5 kbのバンドが確認された（図1）。アガロースゲル電気泳動でサイズ分離した後、目的サイズのゲルを切り出し、そこから、DNA分子を抽出した。アガロースゲルをFreeze'N Squeeze スピнкаラム（Bio-rad）で精製し、DNAを回収した。次に、作製したNP遺伝子をベクターに組み込んだ。ベクターにはKitに付属するpCR-Bluntを用いた。ベクターとPCRを等モル混合し、T4リガーゼによりライゲーションした。遺伝子組換えを行ったプラスミドDNAを大腸菌XL1-Blueに形質転換を行ない、単一のコロニーを得た。続いて得られたコロニーをLB培地で培養、集菌し、プラスミドDNAをそれぞれおよそ2 mgを得た。

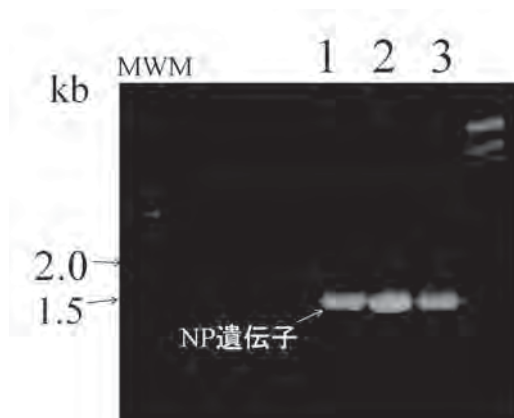


図1 NP遺伝子のアガロースゲル電気泳写真
MWM:分子量マーカー
1,2,3: PCR産物

このプラスミドDNAを鋳型にプラスミドベクター上にある配列から設計されたプライマーとDNA配列解析用試薬でシーケンス反応を実施し、NP全長のDNA配列を決定した。DNA配列は、国際的なDNAのデータベース（DDBJなど）を用いてBLASTによる相同性検索を実施した。その結果、1株は2009-10年に流行した新型株であること、1株はソ連系統株、もう1株は香港系統株と相同性が極めて高いことがわかった（配列情報は示さず）。以上より、3種類のFluA-NP遺伝子のクローニングに成功し、そのDNA配列を明らかにできた。次は、NPを実際に大腸菌で発現させ、NP抗原を作製することである。

4. まとめ

FluA 3株のNP遺伝子のクローニングを実施し、その構造遺伝子領域全長のDNA配列を決定した。

参考文献

- 1) A.R. Pope et al, Construction and use of antibody gene repertoires, Antibody engineering A Practical Approach, IRL Press 1 - 40, (1996).
- 2) T. Ohta et al, Porphirins, 18, (1), 1 - 6 (2009)
- 3) S.Yamada et al, Biosc. Biotechol. Biochem., 73, (11), 2399 - 2407 (2009)
- 4) A.Paul et al, J General Virology, 71, 1545 - 1554 (1990)
- 5) J Meilin et al, Avian Diseases, 48, 870 - 878 (2004)

微生物を用いた一本鎖型抗体の生産技術の開発（第2報）

— インフルエンザウイルスA型核タンパク質の大腸菌発現系の構築 —

微生物抗体開発プロジェクトスタッフ 松野正幸 室伏敬太 太田俊也

Efficient Single-chain Antibody Production Using Microorganisms (2nd report)

— Cloning and expression in *Escherichia coli* of influenza A virus nucleoprotein gene —

Masayuki Matsuno, Keita Murofushi and Toshiya Ohta

1. 緒言

我々は、ファージディスプレイ法を利用した一本鎖可変部抗体（scFv抗体）創製技術^{1) 2)}及び微生物を宿主とする組換えタンパク質生産技術を組み合わせ、インフルエンザウイルスA型（FluA）に親和性を有するscFv抗体の作製に取り組んでいる。

抗体を作製するためにはまず抗原が必要となる。ウイルス抗原の調製には一般的に細胞培養法や鶏卵培養法が用いられるが、精製抗原を得るには長期を要する。また、高病原性株ではこれもできない場合がある。一方、遺伝子組み換え技術による作製も基本的には可能である。特にインフルエンザウイルスは変異株が頻繁に現れるので、抗原を迅速に作製する技術開発が重要となる。

そこで、本研究では大腸菌を宿主とするインフルエンザウイルス抗原タンパク質発現系の構築を試みたので、実験手法及び結果について報告する。

2. 実験方法

2. 1 発現させる抗原タンパク質の検討

本研究では発現させる抗原としてインフルエンザウイルスA型核タンパク質（FluA-NP: influenza A virus nucleoprotein）を選択した。インフルエンザウイルスは外殻タンパク質に変異が入りやすいが、核タンパク質は比較的変異が少ないことが知られている。FluA-NPを抗原として作製された抗体は、インフルエンザウイルスA型に分類されるウイルス株を幅広く認識できると期待した。

2. 2 FluA-NP発現大腸菌の作製

(1) FluA-NP遺伝子を、高発現プラスミドベクター

（pET101/D-TOPO[®], Invitrogen製）に導入して、発現用プラスミドベクターpET101-ANPを作製した。

- (2) ヒートショック法により、pET101-ANPを大腸菌BL21（DE3）に導入した。
- (3) 抗生物質アンピシリンを含む寒天培地で培養することで、形質転換された大腸菌をFluA-NP発現大腸菌として単離した。
- (4) FluA-NP発現大腸菌を培養して、対数増殖期となった段階でIPTG添加による発現誘導を行い、FluA-NPを発現させた。
- (5) 遠心分離によって回収した菌体を超音波破碎装置（SONIFIER450, BRANSON製）で破碎して、FluA-NPを含む破碎液を回収した。
- (6) 磁気ビーズを用いた簡易精製キット（Mag-Extractor[®] -His-tag-, 東洋紡績製）によりFluA-NPを精製し、SDS-PAGEによりFluA-NP（約55 kDa）の存在を確認した。

2. 3 FluA-NPの大量培養および精製

- (1) 2. 1 で作製した大腸菌株を2ℓスケールで培養してFluA-NPの発現を行った。
- (2) 2. 1 (4)(5)と同様の操作を行った。
- (3) (2)で回収した破碎液を、分取型液体クロマトグラフィー装置（AKTA FPLC, GEヘルスケア製）により精製した³⁾。カラムは、His-tag精製のHisTrap FF crude（GEヘルスケア製）を使用した。まず、破碎液をカラムに通して担体に結合させた後、溶液中のイミダゾール濃度を上昇させることで抗原タンパク質を溶出させ、フラクションを回収した。

【ノート】

(4) Flu抗原性の有無を確認するイムノクロマトグラフィ(IC)キット (イムノエース、ビーエル製) により、精製液のFlu抗原性を確認した。また、タンパク質定量キット (Micro BCA Protein Assay Reagent Kit) を使用して、精製液に含まれるタンパク質を定量した。

3. 結果および考察

分取型クロマトグラフィーによる精製結果を図1に示す。サンプル流量が0～47mℓの範囲では、波長280nmの吸光度が最大値付近となっていることから、ほとんどのタンパク質がカラムを素通りしているとわかる。サンプル流量55mℓから、溶離バッファの比率を徐々に上げることで、イミダゾール濃度を高くすると、サンプル流量65mℓ付近でタンパク質の溶出による吸光度のピークが確認できた。よって、この付近 (サンプル流量61～67mℓ) のフラクションを6本 (各1mℓ) 回収した。

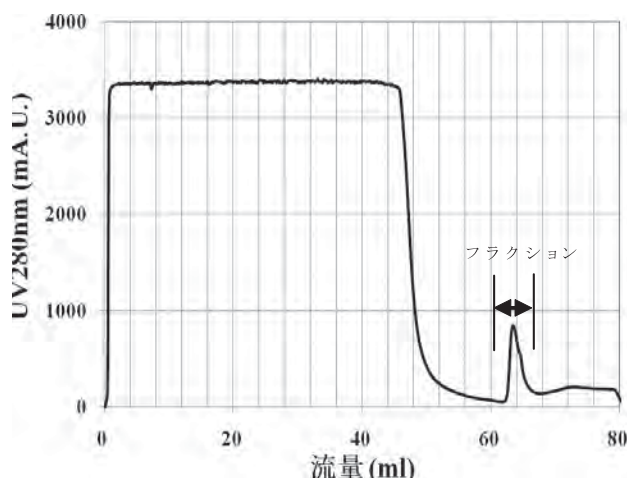


図1 アフィニティークラムを用いたFluA-NPの精製

フラクションは、回収した順に①～⑥の番号をつけ、これらについて実施したSDS-PAGEの結果を図2に示す。pET101-FluA-NP抗原タンパク質と推定される約55kDa付近に主要なバンドが確認できた。一方、それ以外のバンドも確認されたが、これは主に目的タンパク質の分解物であることが推察される。今回はマウス免疫用の抗原作製を目的としているため、分解物が存在していても問題ないと判断した。

続いて、ICキットによりこれらのフラクションの抗原性を調べたところ、FluA抗原性が認められた。また、フラクションを混合し、前述のキットを用いてタンパク質定量を行った。その結果、精製液には約8mgのFluA-NPを主成分とするタンパク質が含まれることが確認された。

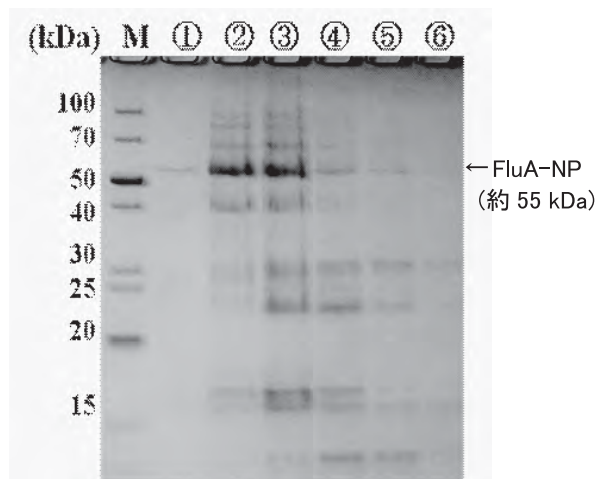


図2 回収したフラクションのSDS-PAGE

4. まとめ

FluA-NPをpETベクターに導入し、大腸菌を宿主として発現誘導させた。その後、抗原タンパク質を精製した結果、マウス免疫に必要な量のFluA-NPを得ることができた。

参考文献

- 1) A.R. Pope他: Construction and use of antibody gene repertoires, 1-40, Antibody engineering-A Practical Approach, IRL Press (1996).
- 2) I. Benhar他: Phage Display of Single-Chain Antibody Constructs, Current Protocols in Immunology, 10.19B.1-10.19B.31, John Wiley & Sons, Inc (2002).
- 3) 室伏、中野、渡邊、太田: 静岡県工業技術研究所研究報告、第3号, 63-64 (2010)

微生物を用いた一本鎖型抗体の生産技術の開発（第3報）

— モデル抗体のフラスコスケールでの生産 —

微生物抗体開発プロジェクトスタッフ 室伏敬太 松野正幸 太田俊也

Efficient Single-chain antibody production using microorganisms (3rd report)

— Evaluation of antibody productivity in the methylotrophic yeast *Pichia pastoris* —

Keita Murofushi, Masayuki Matsuno and Toshiya Ohta

1. 緒言

抗体タンパク質を産業利用に供することを考慮すると、大量の抗体タンパク質を迅速かつ低コストで調製することが重要となる。当センターではこれまで大腸菌を宿主微生物として様々な抗体タンパク質の生産研究を行ってきたが、生産性が低いこと、精製工程が煩雑であることが問題であった^{1) 2)}。

そこで、本研究ではメタノール資化性酵母 *Pichia Pastoris* を宿主微生物とする抗体タンパク質分泌生産システムを構築して抗体タンパク質の生産性を評価したので、その実験手法および結果について報告する。なお、本研究では、当センターで保有する抗C反応性タンパク質抗体（抗CRP抗体）をモデル抗体タンパク質として用いた。

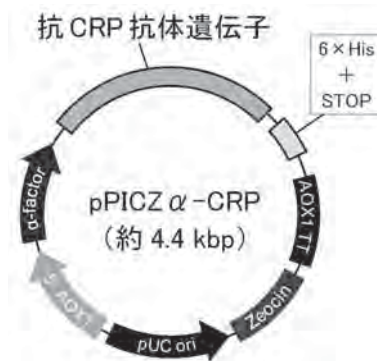
2. 実験方法

2. 1 抗体発現酵母の作製および高発現株の選抜

宿主酵母として *Pichia pastoris* GS115株（以下GS115株とする）、抗体遺伝子導入用のプラスミドとして pPICZ α を用いた（Invitrogen社の Easy Select™ *Pichia* Expression Kitを使用）。抗体発現酵母の作製手順の概要を以下に示す。

- (1) 抗CRP抗体遺伝子（約800bp）を pPICZ α へ挿入して、抗体遺伝子導入用プラスミド pPICZ α -CRP（図1）を作製した。
- (2) エレクトロポレーション法で pPICZ α -CRP を GS115株へ導入した。
- (3) 抗生物質ゼオシンを含む寒天培地で培養することで、抗体遺伝子を取り込まれたGS115株を単離した（以下GS115-CRPとする）。

- (4) 単離したGS115-CRPを高濃度のゼオシン（1000 μ g/ml）を含む寒天培地へ植菌して、生育の良いものを抗体高発現株として選抜した。

図1 抗体遺伝子導入用プラスミド pPICZ α -CRP

2. 2 フラスコ培養による抗体発現評価

選抜したGS115-CRPの抗体タンパク質生産性を評価するために、100mlの培養スケールで発現試験を行い、培養上清より抗体タンパク質を精製した。実験手順の概要を以下に示す。

- (1) グリセロールを炭素源とする液体培地でGS115-CRPを定常期に達するまで培養した。
- (2) 遠心分離によって回収した菌体を、メタノールを炭素源とする液体培地に懸濁して再び培養を行い、抗体タンパク質を分泌生産させた。
- (3) 遠心分離によって回収した培養上清に硫酸アンモニウムを穏やかに溶解させて、培養上清中のタンパク質を析出させた（硫酸分画）。
- (4) 析出したタンパク質を遠心分離によって回収して、バッファー（20mM Phosphate, 500mM NaCl, 20mM Imidasole, pH7.4）に溶解させた。

(5) 分取型液体クロマトグラフを用いてアフィニティークラムHisTrap HP (GEヘルスケア社)に通し、抗体タンパク質を精製した。

3. 実験結果および考察

3. 1 抗体発現酵母の作製および高発現株の選抜

抗体遺伝子導入用プラスミドpPICZ α -CRPをGS115株へ導入したところ、抗体遺伝子を取り込んだ無数の酵母が分離された。分離した酵母をそれぞれ高濃度のゼオシンを含む寒天培地に植菌して30℃で4日間培養した結果を図2に示す。

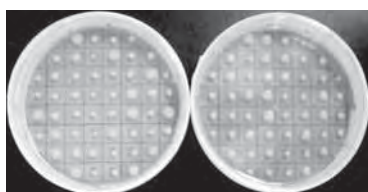


図2 高濃度ゼオシン含有寒天培地で培養したGS115-CRP

コロニーの大きさが異なる酵母をそれぞれ選び、試験管を用いた小規模培養を行い抗体タンパク質の発現量を調べた(データ省略)。その結果、コロニーが大きい酵母に高い抗体タンパク質生産性が確認されたので、抗体高発現株として選抜した。今回作製したプラスミドpPICZ α -CRPは抗体遺伝子とゼオシン耐性遺伝子が同時に酵母へと組み込まれるように設計されている(図1)。ゼオシン含有寒天培地上で大きなコロニーを形成した酵母は、ゼオシン耐性遺伝子と共に抗体遺伝子も効率良く発現しているため、抗体タンパク質の生産性が高いと考えられる。

3. 2 フラスコ培養による抗体発現評価

分取型液体クロマトグラフィーによる精製結果を図3に示す。サンプルをカラムに通じた直後に夾雑物質がカラムを素通りしているが、カラム中のイミダゾール濃度を高くすると、抗体タンパク質と予想されるタンパク質の溶出が確認された(図3矢印)。

回収した溶液を電気泳動で確認したところ、抗体タンパク質が非常に高い純度で精製されていることが確認された(図4)。また、タンパク質定量試験を行ったところ、今回の酵母培養では培養液1リットル当たり約44mgの抗体タンパク質が生産されたことが示され、大腸菌を用いた場合よりも生産性が

大幅に向上したことを確認した。

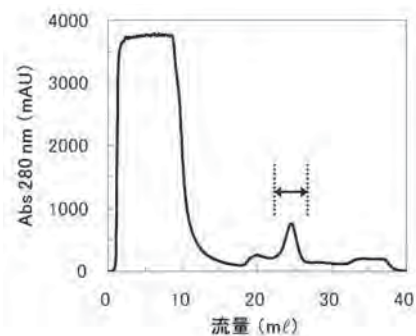


図3 アフィニティークラムを用いた抗体タンパク質の精製

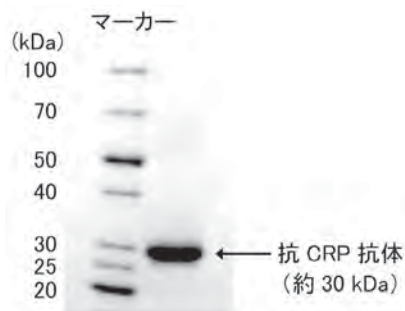


図4 回収した抗体タンパク質溶液の電気泳動写真

酵母を用いたことで、抗体タンパク質の精製工程も改善した。大腸菌と異なり酵母は抗体タンパク質を分泌生産することができる。培養後の集菌および菌体処理操作が必要ないこと、回収した培養上清中には菌体由来の夾雑物質が少ないことが精製工程の簡略化に大きく貢献した。

以上の結果から、酵母は抗体タンパク質を生産させる宿主微生物として優れた性質を有しており、今後は様々な抗体タンパク質の大量生産に応用する計画である。

4. まとめ

酵母を宿主微生物として抗CRP抗体タンパク質を生産させたところ、大腸菌と比べて生産性は飛躍的に向上し、精製が簡便になることを確認した。

参考文献

- 1) 太田、飯塚、山田: 静岡県沼津工業技術センター 研究報告、第15号、p.21-22 (2007)
- 2) 室伏、中野、渡邊、太田: 静岡県工業技術研究所研究報告、第3号、p.63-64 (2010)

シメジ由来のホルモン依存性乳癌細胞の増殖阻害物質に関する研究

— 菌糸体培養による物質生産の検討 —

バイオ科 勝山 聡 天野祥吾 岩原健二

Study on inhibitors of hormone-dependent breast cancer cell growth
by *Hypsizygus marmoreus*.

— Production of inhibitors by the cultivation of mycelium. —

Satoshi Katsuyama, Shogo Amano and Kenji Iwahara

1. 緒論

癌は日本人の死亡原因のトップであり、特に近年、女性において乳癌の罹患率および死亡率が増加している。そのため、効果的な治療薬の開発が求められている。我々はこれまでの研究により、日常摂取する食品のエタノール（以下、EtOH）抽出画分に乳癌細胞の増殖を阻害する成分が広く認められることを見出してきた^{1,2)}。また、その中でも特にブナシメジ子実体からのEtOH抽出画分中に非常に強い阻害成分が認められた³⁾。しかし、きのこ子実体は形成に長期間を要することや栽培菌床成分などの外部環境から影響を受けやすく均一な素材を得にくいこと等から、阻害物質の安定的な生産には向かない。そこで本研究では、子実体よりも培養が容易で均一な素材を大量に得られる菌糸体を用い、阻害物質の生産について検討を行った。

2. 実験方法

2. 1 ブナシメジ菌糸体培養およびEtOH抽出

ATCC (American Type Culture Collection) より分譲されたブナシメジ *Hypsizygus marmoreus* (Peck) Bigelow を供試菌株とし、これをPDA培地 (Difco) にて25℃、7日間前培養した。培養後、これの密生成長部を内径7.0mmのコルクボーラーで打ち抜き、接種源とした。本培養には、この接種源2片をGP液体培地 (2.0% グルコース、0.2% 酵母エキス、0.5% ペプトン、0.1% KH₂PO₄、0.05% Mg₂SO₄、pH 5.0) 5 ml にて懸濁液とし、GP液体培地200mlに接種し25℃にて振とう培養した。培養後、吸引ろ過により得たろ液を菌

糸体培養液、超純水にて洗浄した残渣を菌糸体として回収した。また、それぞれについて凍結乾燥処理し、重量を測定した。

EtOH抽出は以下に行った。菌糸体については、凍結乾燥し粉末化したものを0.03g/mlの割合でEtOHにて約24時間暗所抽出した。培養液については、得た培養液のうち50mlを凍結乾燥させ、これにEtOH10mlを加え約24時間暗所抽出した。その後、菌糸体および培養液ともにデカンテーションにより上清と残渣に分け、さらに上清を0.45 μmフィルターろ過しEtOH抽出液とした。

2. 2 乳癌細胞の増殖阻害試験

ヒト乳癌細胞は、ECACC (European Collection of Cell Cultures) より購入したホルモン依存性ヒト乳癌細胞T47-D株およびホルモン非依存性ヒト乳癌細胞MDA-MB-231株を用いた。培地は非働化した牛胎児血清 (FBS) を10%含むDulbecco's modified Eagle's medium: DMEM(+)および増殖因子である性ステロイド様作用をする物質をチャコール・デキストラン処理して取り除いたDMEM(-)を用いた。

継代5日目のT47-DおよびMDA-MB-231を回収し、DMEM(-)に懸濁させ、96ウェルプレートに 1×10^4 cell/cm² になるように播種し、37℃、5% CO₂ にて細胞接着させた。

増殖阻害試験には、各種EtOH抽出液100 μl を凍結乾燥させ、DMSO20 μl にて溶解させたものを阻害溶液として用いた。試験培地には、T47-Dは増殖因子のエストロン3硫酸 (E1S) を100nM含むDMEM(-)を、MDA-MB-231は増殖因子を含まな

いDMEM(－)を用い、これに阻害溶液をDMSO最終濃度が0.1%になるように添加したものを用いた。増殖阻害効果は細胞接着後、試験培地へ転換し、37℃、5 %CO₂にて5日間培養後の生細胞数をCell Counting Kit-8 (株同仁化学研究所、生細胞数に比例して生成されるホルマジン色素を波長450nmにて吸光度測定)にて解析し、次式により評価した。阻害効果(%) = 100 - 試験区平均吸光度 / 対照区平均吸光度 × 100。

2. 3 高速液体クロマトグラフィーによる抽出成分の分画

高速液体クロマトグラフ (HPLC, Agilent 1100) を用い、逆相カラムクロマトグラフィーにより分画を行った。分析カラムはZORBAX Eclipse XDB-C8 semi-preparative 9.4 × 250mm 5-micron (Agilent) を用い、カラム温度25.0℃で、溶離液は濃度勾配H₂O/CH₃CN、流速2.0ml/min、試料アプライ量25.0 μl で、紫外吸収検出器 (UV:220nm、254nm、272nm) により分析を実施した。

3. 結果と考察

培養の結果、菌糸体は培養13日目で重量最大となった (図1)。きのこ類において多くの機能性が見出されている二次代謝産物は主に定常期にて生産される。よって、乳癌細胞の増殖阻害物質も培養13日以降の抽出液中に含まれると考えられた。そのため、次に、種々の培養日数における菌糸体および培養液のEtOH抽出液による乳癌細胞の増殖阻害効果を調べた。その結果、培養20日目の菌糸体EtOH抽出液においてMDA-MB-231に対して他の抽出液よりも高い阻害効果が認められた (図2)。さらに、この培養20日目の菌糸体EtOH抽出液についてHPLCにて分画を行ったところ、脂溶性の高い区分 (保持時間25分、溶離液2 % H₂O/98 % CH₃CN) に顕著なピークが確認された (図は不掲載)。これは子実体からのEtOH抽出液においては確認されなかったピークであり、また培養6日目および13日目の菌糸体EtOH抽出液においても確認されなかったため、菌糸体特異的に生成される二次代謝産物であると考えられる。

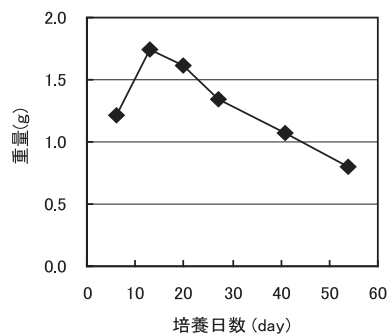


図1 菌糸体の重量変化

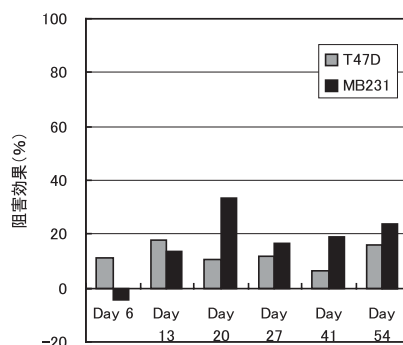


図2 菌糸体EtOH抽出物による乳癌細胞増殖阻害効果

4. まとめ

ブナシメジ菌糸体培養20日目に得た菌糸体によるEtOH抽出液においてホルモン非依存性乳癌細胞MDA-MB-231に対する増殖阻害効果が認められた。またHPLC分析により、この阻害成分は菌糸体特異的な物質であることが示唆された。

謝辞

本研究を行うにあたり、実験方法などご指導いただきました静岡大学創造科学技術大学院 バイオサイエンス専攻 河岸洋和教授に感謝いたします。

参考文献

- 1) 岩原、室伏：静岡県工業技術研究所研究報告，第1号、55-56 (2008)。
- 2) 岩原、室伏：静岡県工業技術研究所研究報告，第2号、101-102 (2009)。
- 3) 岩原、勝山：静岡県工業技術研究所研究報告，第3号、65-66 (2010)

共鳴空洞応用マイクロ波照射装置を用いたバイオ素材の抽出について

バイオ科 天野祥吾 辻むつみ 岩原健二

Extraction of bio-material used by resonance cave applied microwave irradiation apparatus.

Shogo Amano, Mutsumi Tsuji and Kenji Iwahara

1. 緒言

近年、マイクロ波照射による、化学合成反応における反応温度の低温化、反応時間の短縮、無触媒化、および選択的反応性の向上が報告されている。また、バイオケミストリー分野における応用も検討されており、低温下において選択性の高い反応を短時間で行うことが求められるバイオ系実験に、マイクロ波が広く利用できるのではないかと考えられる。

そこで本研究では、マイクロ波照射がバイオ系素材抽出に応用可能かどうかを検討するため、マイクロ波照射によるきのこ成分の抽出を行った。

2. 実験方法

2. 1 マイクロ波照射条件

マイクロ波照射には、サイダ・UMS製の共振空洞応用マイクロ波照射装置を使用し、8穴の親水性マイクロプレートに添加したサンプルに対して周波数2.45GHzのマイクロ波を照射した。なおマイクロ波照射は、サンプルが一定の温度になるように照射量が調節される温調制御モードにて行い、サンプル温度を35℃に設定した。また、温度上昇による照射量の低下を防止するため、マイクロ波照射中はプレートに巻きつけたシリコンチューブ内に、恒温槽から冷媒（23℃）を循環させてウェルを冷却した。装置の概略を図1に示した。

2. 2 ブナシメジ成分の水抽出に対するマイクロ波の影響

ブナシメジを凍結乾燥させ粉末状とし、マイクロプレートのウェル中にて3 w/v%の割合で精製水に懸濁させ、上記の照射条件にてマイクロ波を10分間照射した。なお、比較対照として、35℃の恒温槽中で10分間抽出を行った。抽出後、遠心分離（15,000 rpm、25℃、20分）し、上清を採取し0.2 μmの

フィルターを用いてろ過し、以下の条件でHPLCによる成分分析を行った。

(分析条件)

装置	: HP1100 series
カラム	: ZORBAX Eclipse XDB-C8 4.6mm I.D.×150mm, 5 μm
移動相 A	: Water
移動相 B	: Ethanol
グラジエント	: B 30% (0min)－90% (15min)－ 90% (20min)－30% (20.01min)－ 30% (30min)
流量	: 1.0ml/min
注入量	: 10 μl
カラム温度	: 25℃
検出	: 272nm

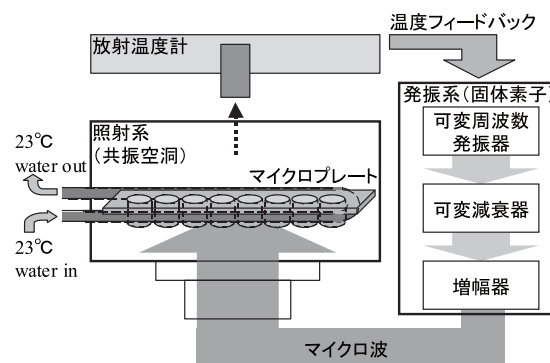


図1 マイクロ波照射装置の概略図

3. 結果と考察

抽出により得られたブナシメジ-水抽出成分を逆相カラムによりHPLCにて分析した結果を図2に示す。水で抽出を行っていることから、保持時間1～2分付近の高親水性領域では非常に強いピークが認

められ、これらのピークにはマイクロ波照射の有無による大きな差異は認められなかった。一方で、保持時間が10分以降の高いエタノール濃度において溶出される、疎水性が高いと思われる成分のピークは低く極少量であった。しかしながら、保持時間13分～18分付近のピークの強度が、マイクロ波を照射することで2～4倍強くなっており、水では抽出されにくいと考えられる成分が、マイクロ波照射によって抽出されていることが観察された。なお、20分以降のピークは分析溶媒などによるゴーストピークである。

水に抽出されやすい区分については、マイクロ波の照射により抽出される成分量の増加、抽出成分の種類に大きな変化は認められなかった。しかし、水抽出において抽出されにくい疎水性成分が、マイクロ波の照射により抽出量が増加していた。これは、通常の抽出状態では水和しないような成分がマイクロ波の分子振動の作用により成分同士の結合が緩やかになり、水中に遊離されてきたと考えられる。

したがって、抽出時のマイクロ波照射が抽出時間の短縮や抽出サンプルの少量化といった抽出の効率化をもたらし、更には、従来法では抽出され得なかった成分が新たに見出される可能性もあると推察される。

4. まとめ

バイオ系素材であるきのこ成分の抽出条件の検討において、マイクロ波の照射により、通常の抽出法では得られない成分を温和な条件で効率的に抽出す

ることが可能であり、本装置のバイオ関連研究に向けての有効な応用例が示された。

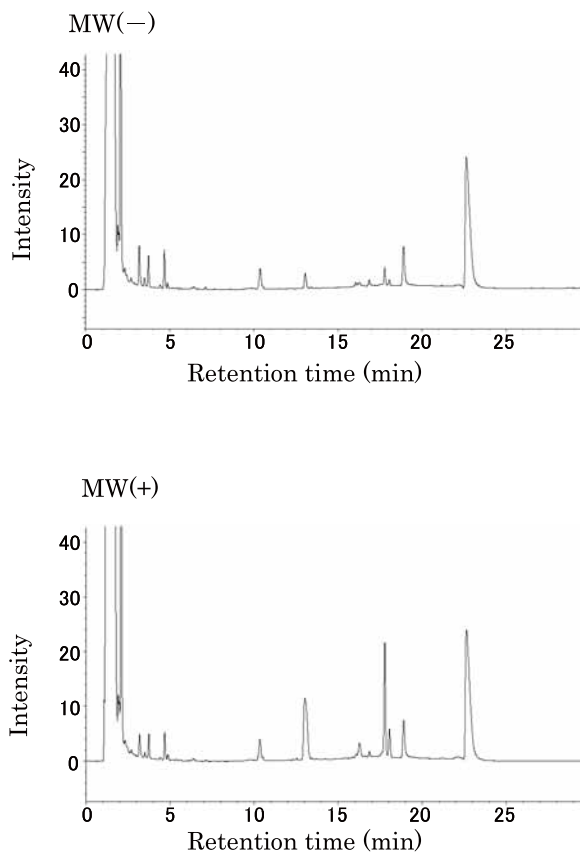


図2 マイクロ波照射の有無におけるブナシメジ水抽出物の逆相カラムを用いたHPLCによる分析 (MW(+): 照射有、MW(-): 照射無)

謝辞

本研究は、株式会社サイダ・UMSからの依頼を受けた受託研究として行われた。

フィジカル・コンピューティング・プラットフォームを 実務で利用する際に留意すべき事項

— 廉価な省力化支援簡易ロボット・システムの開発 —

機械電子科 望月建治 竹居 翼* 本多正計
飯塚千佳世

Matter That Should Be Noted When the Physical Computing Platforms Are Used in Business

- System Development of the Low Cost Automation Robot -

Kenji Mochizuki, Tasuku Takei, Masakazu Honda and Chikayo Iizuka

1. はじめに

近年、フィジカル・コンピューティング Physical Computing を指向した複数のプラットフォームが、メディア・アート分野や工学教育の現場で広く普及し始めている。フィジカル・コンピューティングとは、2次元表示ディスプレイやマウス、キーボード等ではない、新しい方式のヒューマン・インタフェースを作って試用することで、人間とコンピュータのインタラクションの在り様を探る営みである。よって、フィジカル・コンピューティングには、様々なセンサやアクチュエータをコンピュータに接続してシステム化する作業が、常につきまとう。これらの作業を効率化するために、良く利用されるセンサやアクチュエータ、信号処理回路等を、プログラム可能で規格化されたマイクロコントローラ・ボードを介してコンピュータに接続するというアイデアが発生したのは当然と言える。

以下の章では、既存のフィジカル・コンピューティング・プラットフォームの概要情報をまとめた後、実用コンポーネントとしての評価を行う。

2. フィジカル・コンピューティング・プラットフォーム概要

2. 1 一般的な構成

フィジカル・コンピューティング・プラットフォームの多くは、多数の入出力端子を備えたマイクロコントローラ・ボードを中心的なハードウェアとし、

そのマイクロコントローラで実行するプログラムを開発するためのソフトウェア・ツールと共に提供されている。通常、ハードウェア・デバイス（マイクロコントローラ・ボード）は、パーソナル・コンピュータに接続するための通信ポートを備え、パーソナル・コンピュータからのプログラムの転送やプログラム実行時のデータ送受信が可能である。

2. 2 代表的なプラットフォーム

国内においてはArduino¹⁾とGainer²⁾が、国外においてはArduino、Writing、Phigetsが有力なプラットフォームとなっている。その他、ここ1年ほどでmbed³⁾が、国内外で急速に普及してきている。mbedは、開発環境がWebアプリケーションとして提供されており、開発環境の導入作業での問題が発生しにくい等、優れた特徴を持つ。

現在の普及の様子と開発環境の充実度、利用可能な入出力端子数やRAM・ROMの搭載量、CPUの処理能力等から推測すると、一般的用途にはArduinoが、計算処理能力が求められる用途や開発期間がごく短い場合にはmbedが選択されるケースが増えてゆくように思われる。また、パーソナル・コンピュータの使用が大前提となっている場合には、Gainerが選択されるケースも多いだろう。

以下、本稿では主流3プラットフォーム、Arduino、Gainer、mbedを中心に記述する。

2. 3 オープンソース・ハードウェア

Arduino、Gainerは、ハードウェア設計情報が

*) 現 沼津技術専門校

【ノート】

オープンソースとして公開されているため、多数の互換製品が市場に存在する。特にArduinoプラットフォームのハードウェアは、非常に入手が容易で廉価である。一方で、互換を謳いながら独自に仕様を変更してある製品も少なく無く、予期しない問題を生じる場合もあり、完全互換か否かについては十分な注意が必要である。

3. 実用コンポーネントとしてのフィジカル・コンピューティング・プラットフォーム

3. 1 ハードウェアの評価

現在主流であるArduino、Gainer、mbedの全てについて言えるのは、これらは電子部品の実装された基板剥き出しの状態が基本なので、湿気や物理的衝撃等に弱いということである。また、ほとんど全ての入出力端子がマイクロコントローラ・チップに直結されていることから、ESD保護等にも留意する必要がある。

つまり、これらプラットフォームのハードウェア・デバイスを実用コンポーネントとして実際の業務で使用するには、少なくとも物理的に安全な状態に保つためのケースや固定具、ノイズの廻り込みと容量に十分配慮した電源ユニットが欠かせない。更に、入出力端子に接続するものによっては、アイソレーションが必要になる可能性がある。

3. 2 プログラム開発環境の評価

プログラミングに関しては、Arduino、mbedの2プラットフォームとGainerでは、大きく異なるアプローチを取っている。

Arduino、mbedのプログラムは、最終的にはハードウェア・デバイスへ転送され、そこで実行可能なファームウェアとして作成するのが基本である。

一方Gainerは、接続されたパーソナル・コンピュータ上のプログラムにより制御される形が基本となっている。

単純なデジタル入出力制御のプログラム作成程度

であれば、それぞれ十分に成熟したプログラミング・ツールが提供されているので、必要とされる労力に大差は無く、十分素早いプログラム作成が可能である。

ところが、デバッグ作業においては、状況が一変する。環境間に優劣があるわけではなく、全ての環境において等しく原始的な手法でのデバッグを強いられる。これは、通常の組込プログラミングで障害となることの多い、手間のかかる開発環境の構築等の作業が必要ない箱庭的なプログラミング・ツール故の欠点といえる。

上記の事実は、複数のハードウェア・デバイスを相互接続したマルチ・プロセッサ・システムを開発しようとした場合、大きな問題となる。

4. まとめ

フィジカル・コンピューティング・プラットフォームの中で現在主流となっているArduino、Gainer、mbedの3つについて、特徴をまとめた。また、これらプラットフォームのハードウェア・デバイスを、実際の業務において、実用コンポーネントとして使用する際の留意点を整理した。

今後はこれらの知見を元に、廉価な省力化支援簡易ロボット・システムを、Arduino等のハードウェア・デバイスを用いて効果的に実装する手法を探っていく。

参考文献

- 1) Arduino - HomePage. (オンライン), 入手先 <<http://www.arduino.cc/>>, (参照2011-03-23).
- 2) GAINER.cc | Main / ホーム. (オンライン), 入手先 <<http://gainer.cc/>>, (参照2011-03-23).
- 3) Rapid Prototyping for Microcontrollers | mbed. (オンライン), 入手先 <<http://mbed.org/>>, (参照2011-03-23)

REPORTS
OF THE
INDUSTRIAL RESEARCH INSTITUTE
OF SHIZUOKA PREFECTURE, FUJI

静岡県工業技術研究所
富士工業技術支援センター研究報告

静岡県工業技術研究所
富士工業技術支援センター
静岡県富士市大淵2590番地1

INDUSTRIAL RESEARCH INSTITUTE OF SHIZUOKA PREFECTURE, FUJI
2590-1 Obuchi, Fuji city, Shizuoka, 417-8550 Japan

ダイカスト金型に応用する高耐久コーティング技術の開発（第2報）

高度コーティングプロジェクトスタッフ 田中翔悟 高木 誠 真野 毅

Development of Highly-Durable Hard Coating Techniques applied to Casting Die (2nd report)

Shogo Tanaka, Makoto Takagi and Tsuyoshi Mano

During aluminum die casting process, degrading of casting die cause sticking of aluminum alloy to mold surface and dies need to be repaired or replaced according to the progress of degrading. In this study, the multilayer coating techniques for inhibit the erosion of the die component material were developed. The practical performance of the developed coating was also evaluated

The results shows that CrN or TiAlN multilayer coating formed by Physical Vapor Deposition (PVD) process can improve the resistant to erosion of die component (core pins).

1. はじめに

ダイカスト法は溶融した金属を金型に圧入して、精巧な鋳物を大量生産する手法である。ダイカストに使われる金型部材は、溶融金属との接触や、急激な加熱・冷却の繰り返しのため、早期に劣化してしまう。金型の劣化によって頻繁なメンテナンスが必要になり、損傷が進行すれば金型の補修、交換が必要となる。金型の材料費、加工費はダイカスト製造コストの中で高い比率を占めており、金型の長寿命化は生産コスト低減の観点から重要な課題である。富士工業技術支援センターでは静岡県プロジェクト研究としてダイカスト金型に適用するコーティング技術の開発に取り組んでおり、H21年度の取り組みではPVDコーティングによって溶損に対する部材の耐久性を向上できることがわかった¹⁾。しかし、コーティングに存在する欠陥から損傷が発生し、試験時間が増すに従って急激に損傷範囲が拡大することが示されていた。

本研究では、コーティングの欠陥の発生および進行を抑制し、ダイカスト金型部材の耐久性を向上させることを目的として、膜の多層化によるコーティング層の強化を試みた。また、実用上の性能を評価するため、開発した多層コーティングを金型部材に施し、アルミダイカストマシンによる実機試験を行った。

2. 実験

2. 1 溶損試験

前報の溶損試験装置¹⁾を用いて、PVDコーティングした部材の溶損に対する耐久性を評価した。PVDコーティングとしては、単層の窒化チタン (TiN)、窒化クロム (CrN)、窒化チタンアルミ (TiAlN) および、CrN、TiAlNを構成要素として組成の異なる層を積層させた多層膜について検討した。溶融したアルミ合金 (ADC12材) 中にコーティングを施したSKD61材、直径10mmの丸棒形状のテストピース (以下TPと表記) を50mm浸漬し、TPを取り付けた治具を30rpmで回転させ、所定時間経過後に取り出した。表面に付着したアルミ合金を除去した後に重量測定を行い、溶損量を算出した。試験温度は680℃とした。溶損試験後のTPについて、デジタルマイクロスコープ (キーエンス製: VHX-100) により観察した。

2. 2 アルミダイカスト実機試験

実用上の性能を評価するため、SKD61材の鋳抜きピンに多層PVDコーティングを施し、アルミダイカストマシン実機による試験を行った。鋳造した部品は400mm×300mm×60mmの自動車部品であり、使用するアルミ合金は市販のADC12材である。多層コーティングを施した鋳抜きピン5本を金型キャビティ部に取り付け、通常の操業条件のもとで鋳造を繰り返した。ピン表面の焼き付き除去が必要となった頻度と、使用後のピンの損傷程度を、塩浴拡散処

【報告】

理を施した既存の鋳抜きピン6本と比較した。

3. 結果・考察

3. 1 溶損試験

3. 1. 1 単層コーティング

図1に単層のTiN、CrN、TiAlNについて溶損試験を行った結果を示す（TiN、CrNについては前報¹⁾により報告済みだが、比較のため再掲する）。TiAlNコーティングを施したTPの溶損量は、浸漬時間2hの時点で0.226gであり、TiNの2.148gに比べて1/10程度となった。構成元素としてアルミを添加することによってコーティングの耐熱性が向上し、溶損量が減少したものと考えられる。一方、TiAlNとCrNの溶損量を比較すると、浸漬時間4hにおいてTiAlNが1.208g、CrNが0.151gであり、TiAlNの耐溶損性はCrNには及ばなかった。

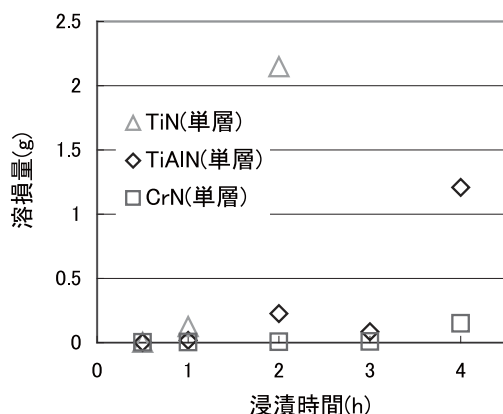


図1 単層コーティングの溶損量

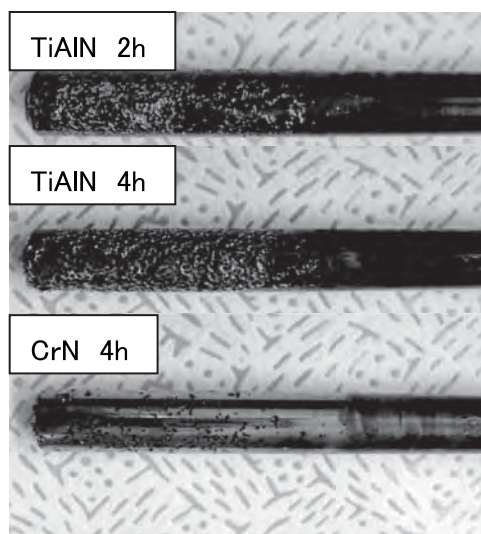


図2 単層TiAlN、CrN TP

試験後のTiAlN、CrN TPの観察写真を図2に示す。溶損量を比較すると、2h試験後のTiAlNコーティングでは0.226g、4時間試験後のCrNコーティングでは0.151gと同程度だが、表面の欠陥の数はTiAlNの方が多い。試験時間2hと4hでTiAlNコーティングを比較すると、溶損量は10倍程度に増大し、表面の損傷も拡大している。素材に貫通した欠陥が存在する場合、溶損量は浸漬時間に応じて加速度的に増大すると考えられるため、耐溶損性の向上のためにはコーティングの欠陥を低減することが重要である。

3. 1. 2 多層コーティング

図3にCrN、TiAlNそれぞれの多層コーティングの溶損試験結果を示す。どちらのコーティングも、浸漬時間4hでは全く溶損は見られなかった。浸漬時間8hの時点でわずかに溶損が見られ、12hの時点での溶損量はTiAlN系多層コーティングが0.130g、CrN系多層コーティングが0.061gとなった。多層コーティング12h浸漬の結果を単層コーティング4h浸漬の結果と比較すると、試験時間が3倍となっているにも関わらず多層コーティングの溶損量の方が少なく、多層化によって耐溶損性は大幅に向上したと言える。組成の異なる層を積み重ねることによって基材に貫通するコーティングの欠陥が低減し、溶損が抑制されたものと考えられる。

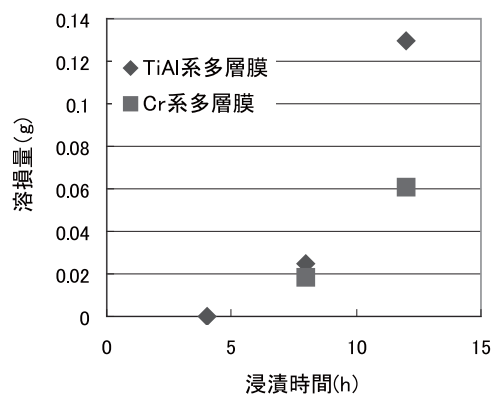


図3 多層コーティングの溶損量

8時間浸漬後にはわずかな溶損量の増加が見られた。表面を観察すると、CrN系多層コーティングの場合には細かな欠陥が点在しており、TiAlN系多層コーティングの場合には1mm程度の比較的

【報告】

大きな欠陥が複数見られた。CrN系多層コーティングの表面をさらに拡大観察したところ、直径100 μ m程度の「ふくれ」が見られた。「ふくれ」と同程度の直径で、コーティングが破れて欠陥となっている部位も見られており、CrN系多層コーティングでは溶損発生の初期形態としてコーティングのふくれが生成することが推測される。

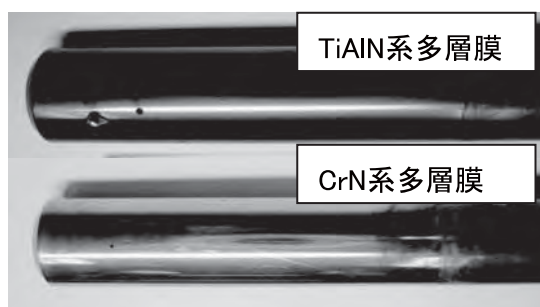


図4 TiAlN系、CrN系多層コーティング

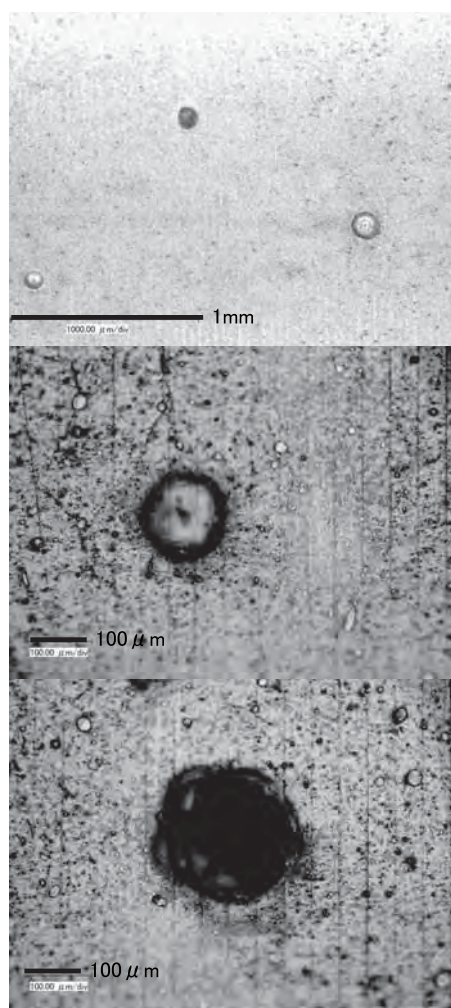


図5 CrN系多層コーティング拡大観察

コーティングのふくれは、CrNを含む単層コーティングやTiAlN系多層コーティングにおいては見られなかった。

3. 2 アルミダイカスト実機試験

ダイカストのキャビティ部材の中でも、鋳抜きピンは特に損耗の激しい部材であり、損耗の主な原因は溶損である。表面が損傷すると、アルミ合金溶湯の成分がピン表面に凝着する「焼付き」が生じやすくなり、焼付き除去のための作業が頻繁に必要となる。耐溶損性の高いTiAlN系、CrN系の多層コーティングによって、焼付きの発生を抑制することが可能かを評価するため、アルミダイカストマシンで使用する鋳抜きピンにコーティングを施し、実機による鋳造の繰り返し試験を行った。多層コーティングを施した鋳抜きピンの外観と、鋳造品中の使用位置の概略図を図6に、実機試験の結果を表1に示す。

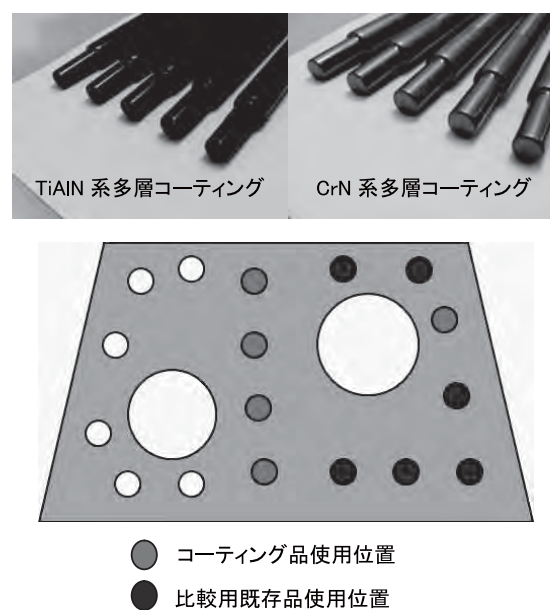


図6 コーティングした鋳抜きピンと使用位置

表1 実機試験結果

	鋳造回数	ピン本数	焼付き除去回数
TiAlN系多層膜	3426	5	0
既存品		6	20
CrN系多層膜	2177	5	2
既存品		6	14

【報告】

TiAlN系多層コーティングは、3426回の試験中に焼き付き除去の必要は生じなかった。CrN系多層コーティングは、2177回の試験中に2回の焼き付き除去が必要であった。多層コーティングした鋳抜きピンは、いずれも既存品に比べて焼き付き除去の回数が大幅に少なかった。以上のことから、多層コーティングは既存品に比べて焼き付きを生じにくく、実機における使用時にメンテナンス回数を削減できる可能性があることがわかった。

4. まとめ

TiAlN、CrNコーティングの多層化によって、溶

融アルミ合金に対する部材の耐溶損性は大幅に向上した。開発した多層コーティングは、既存処理に比べて鋳抜きピンの焼付きを防ぐ効果が高いことがわかった。

本研究は静岡県プロジェクト研究「高耐久性金型のための高度コーティング技術の開発」の一部として、ビヨonz(株)、東洋電産(株)との共同研究により実施した。

参考文献

- 1) 田中翔悟、高木誠、真野毅：静岡県工業技術研究所研究報告、第3号、p73-77 (2010)

水熱処理によるPSリサイクルから発生する無機物を用いた紙の開発

製紙科 深沢博之 村松重緒* 堤 真一

Development of paper using inorganic materials obtained after decomposition of paper sludge by sub-critical water oxidation.

Hiroyuki Fukasawa, Shigeo Muramatsu, and Shinichi Tsutsumi

Properties of paper made with inorganic materials obtained after decomposition of paper sludge by sub-critical water oxidation (scPSA) were investigated. It was confirmed that the paper using scPSA as a filler showed lower sizing, however, it was found that higher sizing for paper using scPSA was achieved to take the two internal sizing agents at the same time. In the case of coated paper using scPSA as a pigment, it was shown good printability such as a high printed gloss and a faster ink setting rate.

1. はじめに

我々は、主に古紙を原料とした製紙工場から排出されるペーパースラッジ（PS）から、焼成により無機物を取り出し再び製紙原料として利用する技術を検討し、製品化に成功した¹⁻³⁾。しかし、PSを焼成する方法では、PS中の有機物については熱回収するしかなかった。

近年、循環利用できるエネルギー源として木質バイオマスの利用が注目されており、植物セルロースを糖化・発酵させてアルコールとして利用する検討が行われている。静岡大学を中心として平成20年度より、独立行政法人科学技術振興機構（JST）の研究成果最適展開支援事業で「ペーパースラッジを原料とする高速・高収率バイオエタノール生産技術の開発」という研究プロジェクトを開始した。これは、PS中に含まれるセルロースを原料としてエタノールを生産する技術確立を目指したもので、さらにエタノール生産後の残渣である無機物をも製紙原料として利用する計画である。我々はこの研究プロジェクトの一部である、無機物を製紙原料として利用する技術開発を担当し、PSの性状分析などを行ってきた⁴⁾。本報告では亜臨界水処理後のPS灰を製紙原料として利用するための検討結果について報告する。

2. 実験

2. 1 亜臨界水処理ペーパースラッジ灰

PSは(株)巴川製紙所および富士製紙協同組合から排出されたものを用いた。亜臨界水処理は静岡大学の実験プラントを用いた。(株)巴川製紙所のPSは10 MPa、400℃、酸素比2.5で処理して無機物残渣（以後scPSA400と表記する）を得た。富士製紙協同組合のPSは10 MPa、380℃、酸素比2.5で処理して無機物残渣（以後scPSA380と表記する）を得た。

2. 2 内添紙の試作

パルプは市販のLBKPを試験用ビーターでろ水度400mlCSF前後となるように叩解した。填料としてscPSA400を30wt%で水中に分散後、74 μ mのふるいを通して粗大粒子を取り除いたものを用いた。サイズ剤として荒川化学工業(株)製サイズパインK903を、紙力増強剤として荒川化学工業(株)製ポリストロン1280を用いて、熊谷理機工業(株)製角形シートマシンにて25cm角手抄きシートを作製した。手抄きシートは、絶乾パルプが64g/m²となるように作製した。乾燥は回転ドライヤーで100℃、2分とした。

2. 3 塗工紙の試作

顔料としてscPSA380を50wt%で分散し、三井鉱山(株)製SCミルで0.8mmジルコニアビーズを用いて粒子径が2.2、1.3、0.7 μ mまで湿式粉碎した。粉碎したscPSA380に対してSBラテックスを12部、耐水

*) 現 静岡県工業技術研究所

化剤を0.3部添加して固形分47wt%のコーティングカラーを調製し、ロッドバー#18で塗工量が $20 \pm 1 \text{ g/m}^2$ となるように手塗り塗工した。原紙は 96.4 g/m^2 の塗工原紙を用いた。塗工紙は、スーパーカレンダーで 10 m/min 、 49.1 kN/m 、 55°C で2回通紙した。

手塗り塗工紙は、熊谷理機工業(株)製万能印刷適性試験機または明製作所製RI印刷適性試験機にて、市販のオフセットインキを用いて試験印刷を行なった。

3. 結果と考察

3. 1 亜臨界水処理ペーパースラッジ灰の性状

表1にscPSA400及びscPSA380の白色度と、それぞれをさらに 700°C で3時間焼成した後の白色度を示した。

表1より、scPSA400では焼成を行っても白色度が高くないが、scPSA380では白色度が10ポイント程度高くなっている。白色度が高くなる原因としては、亜臨界水処理後のPS灰には、未燃カーボンのような低白色度成分が残留しており、それらが焼成によって完全燃焼することが考えられる。scPSA400では白色度は高くなっていないことから亜臨界水処理後の未燃カーボンなどの残留は少ないと思われるが、白色度としては60程度と低い値となっている。これは、原料であるPS中にカオリンなどの低白色度成分が多いことが原因と考えられる。

昨年度までの実験より、亜臨界水処理したPS灰の場合、焼成処理したPS灰を製紙原料として利用する際に問題となる酸化カルシウムの生成が抑制されることが確認されている。さらに、今回の結果より、 20°C の温度の差で低白色度成分の量が大きく変化していることが示唆され、PSを亜臨界水処理した後のPS灰を製紙用原料として使う場合には、条件を最適化して低白色度成分が残留しないことに留意する必要があることがわかった。

表1 亜臨界水処理後及び焼成後PS灰の白色度

	亜臨界水処理後白色度 / %	700°C 焼成後白色度 / %
scPSA400	62.8	58.7
scPSA380	60.9	70.8

表2 手抄き紙の処方と紙料pH
(添加量はパルプに対するwt%)

水準	scPSA400	硫酸アルミニウム	サイズ剤	紙力増強剤	scPSA400	pH
1	0	0.2	0.0	0.2	-	6.7
2	0	0.2	0.2	0.2	-	6.7
3	0	0.2	0.5	0.2	-	6.6
4	0	0.2	1.0	0.2	-	6.9
5	10	0.2	0.0	0.2	-	6.7
6	10	0.2	0.2	0.2	-	6.9
7	10	0.2	0.5	0.2	-	6.8
8	10	0.2	1.0	0.2	-	6.6
9	20	0.2	0.0	0.2	-	7.0
10	20	0.2	0.2	0.2	-	7.0
11	20	0.2	0.5	0.2	-	6.8
12	20	0.2	1.0	0.2	-	6.6
13	-	0.2	0.0	0.2	10	7.0
14	-	0.2	0.2	0.2	10	6.7
15	-	0.2	0.5	0.2	10	6.5
16	-	0.2	1.0	0.2	10	6.4
17	-	0.2	0.0	0.2	20	6.5
18	-	0.2	0.2	0.2	20	6.3
19	-	0.2	0.5	0.2	20	6.3
20	-	0.2	1.0	0.2	20	6.4

3. 2 内添紙

焼成PS灰を製紙原料として利用した場合、内添紙ではサイズ効果が発現しにくいという問題が明らかとなっている。そこで、PS灰の添加量とサイズ剤の添加量を変化させた手抄き紙を試作して、ステキヒトサイズ度を測定した。手抄き紙の処方と紙料pHを表2に示した。薬品の添加順は表2の左から右への順で、scPSA400を一番最初に入れる添加順と一番最後に入れる添加順について試作した。サイズ剤の添加量は $0.0 \sim 1.0\%$ とした。手抄き紙の灰分を測定したところ、scPSA400を先に添加した場合も後に添加した場合も大きな差は見られず、添加量が 10% のとき $7.9 \sim 8.4 \text{ wt}\%$ 、添加量が 20% のとき $14.2 \sim 14.8 \text{ wt}\%$ であった。

scPSA400添加量が 10% のときのサイズ剤添加量とステキヒトサイズ度の関係を図1に、scPSA400添加量が 20% のときのサイズ剤添加量とステキヒトサイズ度の関係を図2に示した。図1、2より、scPSA400を添加するとステキヒトサイズ度が低下することがわかる。また、scPSA400を添加する順序は、先に添加するよりも後に添加した方がステキヒトサイズ度は高くなることがわかった。PPC用紙など一般的に用いられる紙のステキヒトサイズ度である20秒前後を達成するためには、scPSA400を 10% 添加した系ではサイズ剤が $0.3 \sim 0.4\%$ 程度、scPSA400を 20% 添加した系ではサイズ剤が $0.7 \sim 0.8\%$ 程度必要となる。サイズ剤のコストや実機操業における作業性などを考えると、scPSA400の添

【報告】

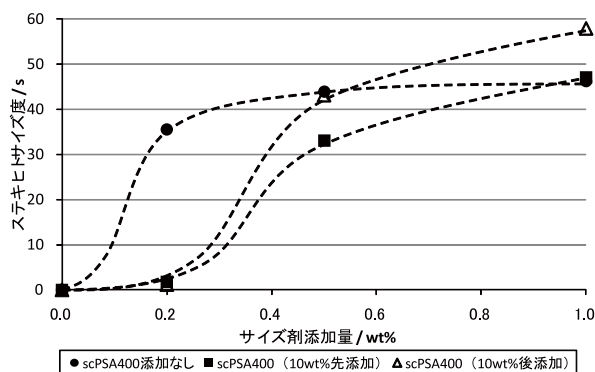


図1 サイズ剤添加量とステキヒトサイズ度の関係
(scPSA400添加量は10%)

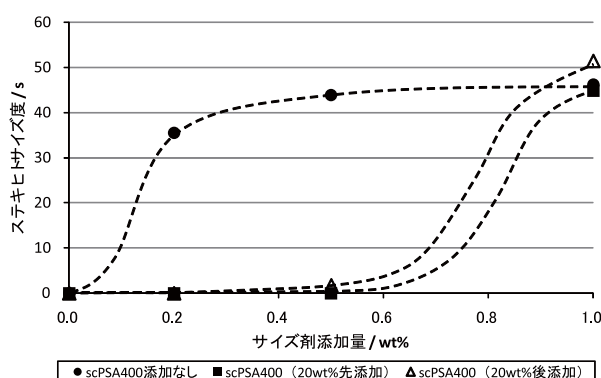


図2 サイズ剤添加量とステキヒトサイズ度の関係
(scPSA400添加量は20%)

加量は10%程度までが妥当と思われる。

さらに、scPSA400の添加量を10%としたとき、AKDサイズ剤であるサイズバインK903に高分子系サイズ剤（荒川化学工業(株)製N-PPS）を併用して、AKDサイズ剤の添加量を減量する試みを行なった。結果を図3に示す。図3は、AKDサイズ剤の添加量を0.2%、高分子系サイズ剤の添加量を0.5%と固定したときのステキヒトサイズ度の変化を示した。填料なしのパルプにAKDサイズ剤を0.2%添加するとステキヒトサイズ度は36秒であるのに対し、同様に高分子系サイズ剤を0.5%添加した場合にはステキヒトサイズ度は10秒であった。AKDサイズ剤は0.2%添加してもscPSA400が10%添加されるとステキヒトサイズ度は3秒まで低下するが、同時に高分子系サイズ剤を0.5%併用するとステキヒトサイズ度は39秒まで増加した。以上の結果より、高分子系サイズ剤は単独で使

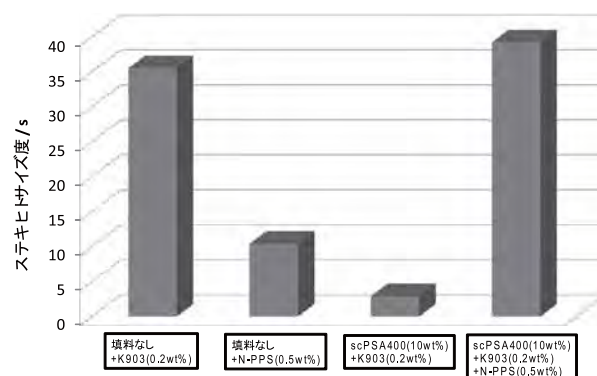


図3 高分子系サイズ剤を併用したときのステキヒトサイズ度

よりもサイズ発現効果が劣っていたが、scPSA400を添加した場合、AKDサイズ剤と高分子系サイズ剤を併用することで高いサイズ効果が発現することがわかった。今回の実験結果では2種類のサイズ剤併用でステキヒトサイズ度は39秒となっており、例えばステキヒトサイズ度20秒程度の紙を製造する場合には適宜、サイズ剤使用量を減量することで対応可能と考えられる。

scPSA400を添加した系でステキヒトサイズ度が発現しにくい原因を考察するために、ガスクロマトグラフィーによるAKDサイズ剤の定量を行なった。その結果、scPSA400を添加した系では、手すき紙中に定着しているAKDサイズ剤の量が少ないことがわかった。scPSA400を内添するとAKDサイズ剤の定着量が少ない原因として、紙料中でAKDサイズ剤がscPSA400に優先的に吸着した後、紙中に留まらなかったscPSA400が白水側に移行すると同時にAKDサイズ剤も白水側に移行することが考えられた。もし、scPSA400が優先的にAKDサイズ剤を吸着しているのであれば、紙中に歩留っているscPSA400にもパルプに比べて優先的にAKDサイズ剤が吸着しているはずである。そこで、手すき紙中のサイズ剤の分布観察をSEM/EDSを用いて行なったが、scPSA400に優先的に吸着している様子は観察できなかった。現在のところ、AKDサイズ剤の定着阻害の原因についてはわからない。

同様に、高分子系サイズ剤を併用した場合についても手すき紙中のAKDサイズ剤の定量を行ったところ、高分子系サイズ剤の有無でAKDサイズ剤の

定着量は変化していなかった。従って、高分子系サイ
ズ剤がAKDサイズ剤の定着量を変化させている
のではなく、何らかのサイズ性発現効果を向上させ
る働きがあることがわかった。

3. 3 塗工紙

表3に手塗り塗工紙の白色度を示した。scPSA
380の粒子径が小さくなるほど白色度は低下してい
る。これは3.1にあるような低白色度成分がscPSA
380粒子の内部に多く存在し、それが粉碎を行うこ
とで露出した影響と考えられる。PS灰を塗工用顔
料として利用するには粉碎は必要不可欠であり、実
用化にあたっては亜臨界水処理条件を詳細に検討す
る必要があることがわかった。また、塗工用カラー
を調製する際に、水への分散、粉碎の実験を行なっ
たが、焼成PS灰に見られるようなスラリー粘度の
上昇は見られなかった。今回用いたPS灰とは異な
る試料で亜臨界水処理後PS灰に含まれる酸化カル
シウムを分析したところ、ほとんど存在していない
ことが明らかとなっており、今回の粘度上昇が抑制
された原因も、焼成PS灰とは異なり亜臨界水処理P
S灰では酸化カルシウムの存在量が非常に小さいこ
とが考えられる。

図4に万能印刷適性試験機にて試験印刷を行い、
紙上インキ量が1.5g/m²のときの印刷光沢度を測定
した結果を示した。図4には以前、我々が行なった

表3 scPSA380の粒子径と塗工紙の白色度

scPSA380の粒子径 / μm	塗工紙の白色度 / %
2.2	50.9
1.3	49.9
0.7	48.5

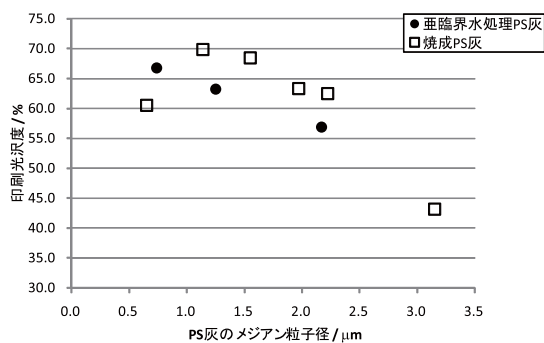


図4 PS灰の粒子径と印刷光沢度の関係

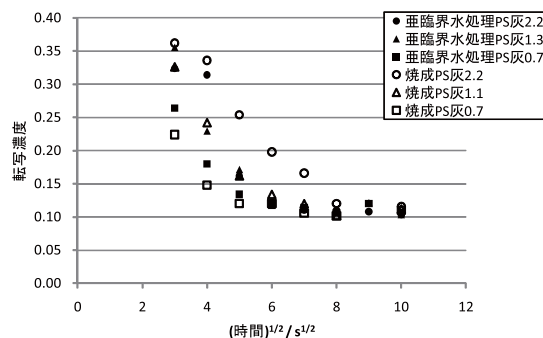


図5 各塗工紙のインキセッ性

焼成PS灰を用いた塗工紙での実験結果も示した。
亜臨界水処理PS灰において、焼成PS灰で見られた
のと同様に、粒子径が小さくなると印刷光沢度が増
加する傾向が見られた。また、焼成PS灰では粒子
径が1 μm より小さくなると印刷光沢度が低下する
現象があったが、scPSA380では印刷光沢度の低下
は見られなかった。

図5にRI印刷適性試験機にて試験印刷を行い、
インキセッ性を評価した結果を示した。図5には
以前、我々が行なった焼成PS灰を用いた塗工紙で
の実験結果も示した。図5の縦軸は転写濃度を示し
ており、値が小さいほどインキセッが進んでいる
ことを示している。亜臨界水処理PS灰では、焼成P
S灰と同等以上のインキセッ速度を持っているこ
とがわかった。

4. まとめ

ペーパースラッジを亜臨界水処理して得られたP
S灰を用いて、内添紙および塗工紙を試作して性能
を評価した。

10MPa、380℃、酸素比2.5の条件で亜臨界水処
理したPSでは、未燃カーボンと思われる低白色度
成分が粒子の内部に多く存在することがわかった。
10MPa、380℃、酸素比2.5の条件では低白色度成
分の存在は認められず、実用化にあたっては、亜臨
界水処理時の温度設定や、反応容器内の温度均一性
などに留意する必要があることがわかった。

内添紙では、焼成PS灰の場合と同様に、ステキ
ヒトサイズ度の発現が阻害されることがわかった。
ステキヒトサイズ度が発現しにくい理由としては、

【報告】

PS灰を内添するとAKDサイズ剤の定着量が減少することが明らかとなったが、そのメカニズムについては不明である。AKDサイズ剤は一般的な紙の場合、添加量は0.1～0.2%程度であり、添加量が多くなると実機操業では配管汚れや泡立ちなどのトラブルが懸念される。今回の実験では、AKDサイズ剤を一般的な紙と同量程度の添加量にしても、高分子系サイズ剤を併用することで、十分なサイズ性を得られることが明らかとなった。

塗工紙では、亜臨界水処理PS灰を用いた場合、白色度が低かった。これは、今回用いた亜臨界水処理PS灰そのものの白色度が低い上に、粒子内部に低白色度成分が残存しており、粉碎によってそれが露出したことが原因と考えられる。印刷適性については、印刷光沢、インキセット性ともに焼成PS灰の場合と同様の結果となった。亜臨界水処理PS灰には、焼成PS灰を再利用する際に問題となる酸化カルシウムによるスラリー粘度の上昇が見られないことが優位点としてあげられる。焼成PS灰を用いた塗工紙が製品化された実績から、亜臨界水処理PS灰では白色度の向上が達成できれば実用化の可能性は高いと考えられる。

亜臨界水処理PS灰は、内添紙ではサイズ性発現が阻害されるということが確認されたが、これは焼成PS灰においても確認されている性質である。また、酸化カルシウムが非常に少ないことで、填料としては紙料pH上昇が抑制されたり、顔料としてはスラリー粘度の上昇が抑制されるなどの優位性が見られた。製紙原料として見た場合、我々が過去に検討した焼成PS灰に比べて問題となるのは白色度だ

けであった。白色度は亜臨界水処理時の反応容器内の温度の均一性や、試料の攪拌の程度などに大きく影響されることが予想され、今後、実用化に向けたスケールアップ時には白色度に留意することが重要であることがわかった。

謝辞

本研究を行うにあたり、ペーパースラッジを提供していただいた富士製紙協同組合に感謝いたします。また、薬品の提供や分析に対する助言などを頂いた荒川化学工業㈱に感謝いたします。

本研究は独立行政法人科学技術振興機構（JST）の平成20年度育成研究「ペーパースラッジを原料とする高速・高収率バイオエタノール生産技術の開発」の一部として実施し、ご支援・ご指導を頂いた。ここに記して、関係各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) 深沢博之他：PSAの製紙用填・顔料としての利用に関する研究，静岡県富士工業技術センター報告、15、1（2005）。
- 2) 齊藤将人他：PSAの製紙用填・顔料としての利用に関する研究，静岡県富士工業技術センター報告、15、7（2005）。
- 3) 深沢博之他：PS灰の製紙用填・顔料への利用，紙パルプ技術タイムス、49(4)，13（2006）。
- 4) 村松重緒他：ペーパースラッジサンプリング調査について、静岡県工業技術研究所報告、3、96（2010）。

製本用ホットメルト接着剤の紙リサイクル適性の向上

— リサイクル適性評価試験における試験結果へ与える試験条件の影響 —

製紙科 齊藤将人 深沢博之

Improvement of Aptitude to Paper Recycling of Hot-melt Adhesive for binding

— Refining on the evaluation method of paper recyclability for hot-melt adhesive —

Masato Saito and Hiroyuki Fukasawa

We examined the influence brought the test results by the testing machine condition and the testing temperature, aiming to make the accuracy of the evaluation method of paper recyclability for hot-melt adhesive higher.

As a result, the machine difference by pulper existed in this examination, and the influence of the examination environmental temperature was large. It seemed that we could do the examination with higher accuracy if the temperature of samples and the examination environmental temperature could be managed appropriately with the use of same pulper always.

1. はじめに

日本の古紙利用率は平成21年度の統計では63%を超え¹⁾、製紙業界、古紙業界を中心にさらなる古紙利用率の向上に努めている。特に、日本製紙連合会では、2015年度までに古紙利用率64%を目指す²⁾取り組みを行っている。

用紙、インキ、製本や表面加工、シールなど印刷資材の中には、製紙工程でトラブルの原因になるものや紙、板紙の品質に影響を及ぼすものがあり、製本用ホットメルト接着剤（以下、HMAと表記）もその一つである。そこで、当センターを含めた関係業界が協力して、平成13年に評価方法（リサイクル適性標準試験法）を確立³⁾し、リサイクル阻害性を克服した、古紙処理工程で細裂化しにくく、除塵装置で除去しやすい、紙のリサイクル適性の高い接着剤（難細裂化EVA系HMA）の開発、普及を進めてきた。この取り組みは、難細裂化EVA系HMAが製本用背糊接着剤の55%以上を占める⁴⁾に至るなど一定の成果を上げてきた。しかし、運用していく中で、リサイクル適性試験結果が製品設計にフィードバック出来ていないという問題が浮き彫りになってきた。この理由としては、接着剤物性とリサイクル適性の関係が明らかになっていないことが挙げられる。そして、日本接着剤工業会からこの問題を解決したい、

という研究協力の要請があり、平成13年から15年に行われたプロジェクト研究^{5) 6)}で培った当センターの技術とノウハウを活用し、製品設計に活かすための検討を開始した。これらの検討を行っていくことによって、古紙品質の向上、製紙工程でのトラブルの減少に繋がり、その結果、製紙業界の支援になると思われる。

本研究では、製本用HMAの物性と紙のリサイクル適性の関連性を見出し、紙のリサイクルに適したHMAの開発促進と普及を目指すことを目的とし、今年度は、評価法をより精度の高いものに変えていくために試験機器や温度因子などが試験結果に与える影響についての検討を行った。

2. 実験方法

2. 1 試料

試料として、4種のHMAを用いた（以下、サンプルA、B、C、Dと表記）。それぞれの性状は表1のとおりである。

2. 2 リサイクル適性標準試験法

リサイクル適性標準試験法として、(財)古紙再生促進センターによるHMAのリサイクル適性の一次試験評価法³⁾の方法に準じて行った。

具体的には、次のア)～オ)のような方法である。

表 1 試料の物性

	標準試験結果(個)	硬さ(度)	引張強さ 降伏点 (MPa)	引張強さ 破断点 (MPa)	引張伸び (%)	低温可 撓性 (°C)
		20°C	20°C	20°C	20°C	
サンプルA	15	84	2.86	6.27	1650	-6
サンプルB	38	91	4.04	5.98	1200	0
サンプルC	4	84	2.56	5.32	1218	-8
サンプルD	36	91	3.67	7.16	1042	4

ア) 温度30°C±3°Cの水2ℓとNaOH10ml(50g/ℓ)を入れた2ℓ JIS標準パルパーに、新聞古紙50gと評価対象のHMA(30mm×30mm×0.8mm)3枚を加え、30分間離解を行う。

イ) 5ℓに希釈し、水量10ℓ/分で水を流しながら、10カット(目開き250μm)フラットスクリーンにて、5分間スクリーン処理を行う。このとき、通過分を目開き80μmの篩で回収する。

ウ) 再び、5ℓに希釈し、水量10ℓ/分で水を流しながら、6カット(目開き150μm)フラットスクリーンにて、6分間スクリーン処理を行い、スクリーン上に残った残渣を回収する。

エ) 回収した残渣をろ紙上に均一に分散するように吸引ろ過し、80°Cで30秒程度の予備乾燥を経て、ろ紙を無サイズの紙に重ねて回転ドライヤーにて120°Cで2分間処理を行う。これにより、ろ紙の乾燥と、熔融による紙へのHMAの転写が行われる。

オ) HMAの転写された紙に水性染料を刷毛で塗り、目視でHMAの個数をカウントする。

この残渣個数がリサイクル性の度合いを示し、個数が少ないほど、そのHMAは細かくなりにくく(難細裂性が高く)、紙のリサイクルに適したHMAである。

なお、評価値は3回繰り返した平均値で示した。

2. 3 パルパーによる機差の確認

(1) パルパーの機差

JIS P 8120に基づく、2ℓのJIS標準パルパーを3台用い、パルパーによる結果の差異を確認するため、それぞれの条件で同じHMAサンプルのリサイクル適性評価を行った。

(2) パルパーの機差要因の推定

パルパー2台についてパルパーの離解槽と羽根のいずれか、および両方を付け替えて、同じHMAサンプルのリサイクル適性評価を行った。

(3) パルパーの羽根の形状評価

静岡県工業技術研究所のテラーホブソン社製三次元測定機を用い、パルパーの羽根の輪郭度、ゼロ度線の形状測定を行った。

(4) パルパーの羽根の材質の影響の評価

パルパーの羽根だけを変更し、同じパルパーを用い、同条件で同じHMA試料を評価することにより、パルパーの羽根の材質が真鍮製である場合と、ステンレス製である場合の比較を行った。

2. 4 試験温度による試験結果への影響

(1) サンプル温度の影響

試料の温度による標準試験法の評価結果への影響を調べるため、恒温槽で5、23、35°Cの各温度に調温したHMA試料を用い、離解時の環境温度を23°C一定として、リサイクル適性評価を行った。

(2) 環境温度の影響

離解時の環境温度による標準試験法の試験結果への影響を調べるため、離解時の環境温度を5、15、23、30、35°Cとして、各温度に調温したHMA試料を用い、リサイクル適性評価を行った。

(3) 水温の変化

サンプル温度や環境温度を変えた時の、パルパー内の水温変化をパルパー内部に温度センサーを貼り付けて測定した。

3. 試験結果

3. 1 パルパーによる機差の確認

(1) パルパーによる機差

3台のパルパーそれぞれ(以下、パルパーa、パルパーb、パルパーcと表記)、もしくは2台のパルパー(パルパーa、パルパーb)で、4種のHMA試料の評価を行った。その結果を図1に示す。

図1からわかるように、パルパーaの結果に比べ、パルパーbやパルパーcでは残渣個数が2倍以上になっており、3回繰り返した結果も同様であることから、3台による機差はあると考えられた。パルパー

【報告】

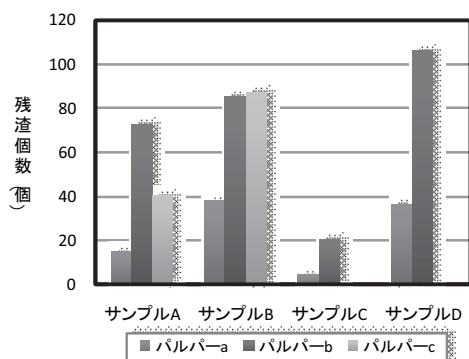


図1 パルパーによる残渣個数の違い

aとパルパーbの差が最も大きいと思われたため、以後、パルパーaとパルパーbの2台の比較を行った。

(2) パルパーの機差要因の推定

今回用いたパルパーの回転数を実測したところ機差は認められなかった。また、パルパーは全て同メーカー製の同タイプであることから、パルパーの機差の要因は、離解槽の形状と回転羽根の形状の2点が影響していると考えられた。

そこで、パルパーa、パルパーbの2台について、パルパーの離解槽と羽根のいずれか、および両方を付け替えて、HMAのリサイクル適性評価を行った。サンプルDについて評価した結果を図2に示す。

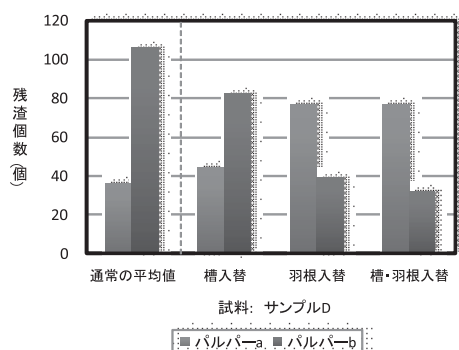


図2 パルパーによる機差の要因の検討

図2からわかるように、離解槽を入れ替えても通常の試験結果と比べて残渣個数は傾向としては大きくは変わらなかった。これに対し、羽根を付け替えると残渣個数の大小が入れ替わった。さらに、槽と羽根の両方を入れ替えると、羽根のみを付け替えた場合と同様の結果となり、パルパーaとbの機差と

同等の結果となった。

これらのことから、羽根の形状の影響がそのまま機差となって現れているということがわかった。

(3) パルパーの羽根の形状評価

パルパーの羽根の形状や表面性を注意深く観察すると、違いがあるように思われた。そこで、手元にある羽根の形状測定を行ったところ、変形しているものが存在した。結果を図3に示す。

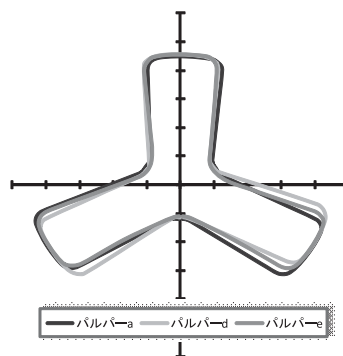


図3 パルパーの羽根の形状測定

当センターのパルパーは職員だけでなく、設備の貸出を行っているため、外部の方も使用しており、パルプ以外のサンプルにも使われることがある。そのため、どのような履歴を受けてきたかわからない。そのため、特に、羽根の角や縁の形状の変化、表面性の変化が起きてきたのではないかと考えた。

(4) パルパーの羽根の材質の影響の評価

現在、購入可能なパルパーの羽根の材質はステンレスのものである。当センター所有の2ℓ標準パルパーの羽根は全て真鍮製であるため、パルパーaを用い、羽根のみを変えて同じHMA試料を評価すること、ステンレスである場合の比較を行った。

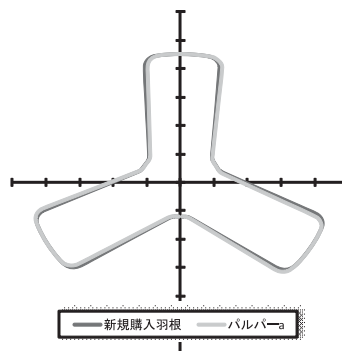


図4 材質の異なるパルパーの羽根の形状測定

【報告】

まず、ステンレス製の新規購入羽根と真鍮製のバルパー a の羽根の形状測定を行ったが、それぞれ JIS P 8220 の規格を満足しており、図 4 のように、形状の差はほとんどみられなかった。

4 種の HMA 試料についてリサイクル適性評価を行った結果を図 5 に示す。

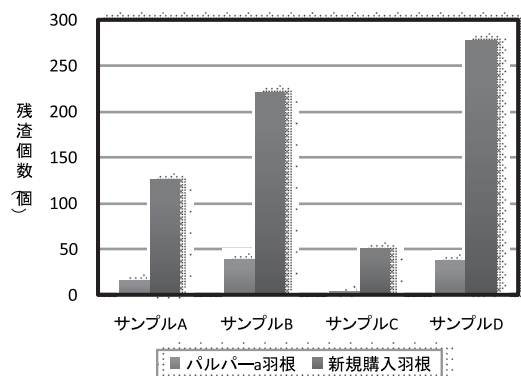


図 5 バルパーの羽根の材質による影響

バルパーの羽根の材質が変わっても、大きな差はないと予想していたが、実際には、10倍近く残渣個数が異なる結果が出た。このことから、このリサイクル適性評価試験においてはバルパーの羽根の素材が変わることは問題であると考えられた。

以後の試験は、全てバルパー本体と羽根ともaを用いて試験を行った結果である。

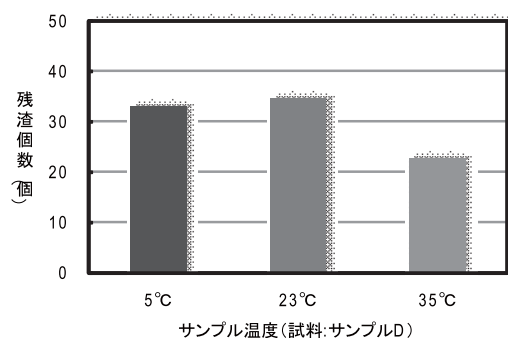


図 6 サンプル温度の影響

3. 2 試験温度の試験結果への影響

(1) サンプル温度の影響

恒温槽で 5、23、35°C の各温度に調温した HMA 試料 (サンプル D) を用い、離解時の環境温度を 23°C として、リサイクル適性評価を行った結果を図 6 に示す。

図 6 より、5°C と 23°C では残渣個数にあまり差は

なく、35°C については低い残渣個数となっていた。

このことは、サンプル温度が 5°C と低温であっても、30°C の温水中に投入されると、すぐに周りに馴化して 30°C に近づくが、サンプル温度が室温や水温に比べて高い場合には、サンプル温度がそれほど下がらず、比較的軟らかい状態を保っているためではないかと考えた。ただし、温度の影響は HMA のそれぞれの特性にも依存するため、影響のある温度は HMA によって異なると思われる。

(2) 環境温度の影響

次に、離解時の環境温度による標準試験法の試験結果への影響を調べるため、離解時の環境温度を 5、23、35°C として、4 種の HMA のリサイクル適性評価を行った。このとき、試料もそれぞれの温度に調温した。その結果を図 7 に示す。

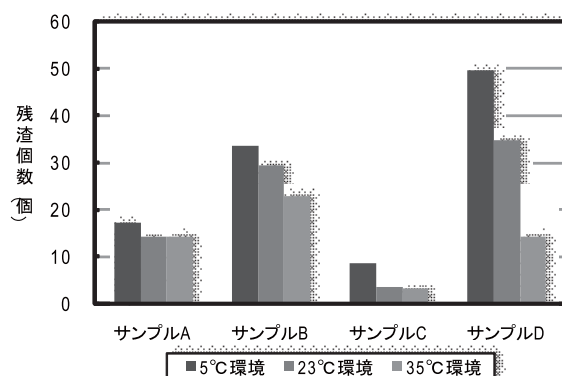


図 7 環境温度 (5、23、35°C) の影響

さらに、同様の実験で、離解時の環境温度をより細かく設定し、5、15、23、30、35°C として、サンプル D のリサイクル適性評価を行った。その結果を図 8 に示す。

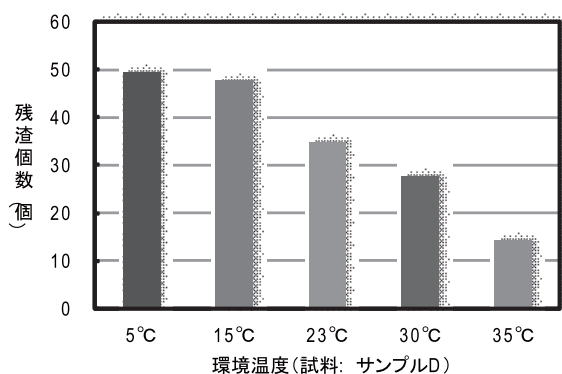


図 8 環境温度 (5、15、18、23、30、35°C) の影響

図7、8より、環境温度が23℃より低くなると残渣個数は上昇し、高くなると残渣個数は低下していた。環境温度が変わると、パルパー内の水温も変わると考えられる。その影響により、HMAの硬さが変わり、試験結果に影響されるのではないかと考えた。

(3) 水温の変化

試験条件が水温に及ぼす影響を調べるために、サンプル温度や環境温度を変えた時のパルパー内の水温変化をパルパー内部に温度センサーを貼り付けて測定した。その結果を図9に示す。

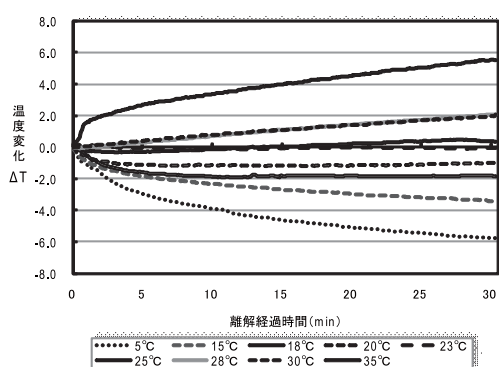


図9 パルパー内の水温の変化

図9からわかるように、23℃や25℃では、投入時の水温と離解30分後の水温がほとんど変わらなかった。したがって、通常の室温であれば、環境温度の影響は小さいと考えられた。しかし、5℃や15℃の環境では、急激に水温は低下し、35℃環境では急激に水温が上昇していた。パルパーにはHMAと新聞紙と30℃の温水と苛性ソーダが入っており、羽根が3000rpmと高速で回転しているため、30分間離解を進める間に徐々に熱を持つと考えられる。そのため、室温が23℃前後では水温がほぼ一定になり、室温が30℃となるとこの熱の影響で水温が元の温度の30℃より上昇傾向にあると考えた。

結果的に、18℃から30℃の環境下では水温の変化は2℃以内に留まっていた。また、リサイクル適性試験結果のばらつきが2割程度の範囲（残渣個数50個以下であれば10個以下のばらつき）で収まるという点も勘案すると、20℃から30℃の環境下で試験を行うことが望ましいと思われた。

4. まとめ

4. 1 パルパーによる機差の確認

リサイクル適性標準試験法においては、パルパーによる試験結果の機差はないと言われてきたが、実際に3台のパルパーを用いて、試験を行ったところ、明らかな差があった。この原因としては、離解槽と羽根の影響があると考えられるが、特に、羽根の影響が大きいことがわかった。

これは、試験用パルパーはパルプ以外にも古紙や場合によっては耐水紙など加工紙にも使われることがあることから、様々な履歴を受けてきており、その結果、特に、羽根の角や縁の形状の変化、表面の変化が起きてきたためではないかと考えた。その影響で、羽根の変形や、羽根表面のざらつきやバリが生じ、結果的に、残渣個数に影響が出たと考えた。さらに、形状がほぼ同じ羽根であっても、羽根の材質が真鍮からステンレスに変わると、試験結果が大きく変わることが確認できた（JIS P 8220ではパルパーの槽や羽根の形状は規定しているが、材質は規定していない）。これについては材質の硬さの影響が大きいと考えられるが、詳細には検討できていない。

なお、当センターでは、リサイクル適性標準試験は常に同じパルパー（離解槽、羽根）、同じフローテーターを用いて評価を行って来たので、機器要因での試験結果のばらつきは少ないと考えられる。また、パルプを離解する上では、パルパー本体や羽根が変わっても問題はない。しかし、ホットメルト接着剤のリサイクル適性試験を今後継続していくことを鑑みると、現在使用中のパルパーの羽根の使用に関して今まで以上に適切な管理していくことや、真鍮製の羽根の入手を検討することなどが必要になってくると思われる。

4. 2 試験温度の試験結果への影響

ホットメルト接着剤のリサイクル適性試験を行う環境については、サンプル温度は5℃のような室温に比べ低い温度では残渣個数が大きくなり、35℃のような室温に比べ高い温度では残渣個数が小さくなるというような影響が見受けられた。室温で保管してあればそれほど影響はないと思われるが、ばらつ

【報告】

きの要因を減らすためにも一定の温度で保管した方が好ましい。当センターでは紙の保管の標準状態である温度23℃、湿度50%r.h.で保管することとしている。

試験環境温度については、パルパー内の水温変化への影響が2℃以内と少なく、試験結果への影響も小さい、20℃から30℃の環境下で試験を行うのが好ましいと考えられた。今回の検討においては、実験的に、温湿度の制御が可能な環境試験室にパルパーを持ち込んで試験を行ったが、実際に評価を行う試験室では温度制御は不可能であるため、現実的な対応としては、試験室の温度がおおよそ20℃から30℃の間で試験を始めるという対応をするだけでも温度要因による試験結果の大きなばらつきは減少すると思われる。

4. 3 今後

リサイクル適性標準試験法の試験結果のばらつきを減少させるため、試料片の作製方法の統一が図られた⁷⁾。加えて、試験条件の重要な要素である温度条件についても条件設定が行われれば、試験結果のばらつきは減少していくものと思われる。この内容について、試験法を定めた古紙処理再生促進センター及び日本印刷産業連合会と、暫定基準を定めている日本接着剤工業会へ提言することも検討する。

本研究では、製本用ホットメルト接着剤の物性と紙のリサイクル適性の関連性を見出し、紙のリサイクルに適したホットメルト接着剤の開発と普及を促進することを目的としている。今後、今回の結果を基に、製本用ホットメルト接着剤の物性と紙のリサイクル適性の関連性を見出す検討を続けていくこと

で、古紙処理の現場でのホットメルト接着剤によるトラブルの減少を目指していきたい。

謝辞

日本接着剤工業会会員企業である新田ゼラチン株式会社、旭化学合成株式会社には試料のご提供および研究進捗における討論などにご協力いただきました。深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 財団法人古紙再生促進センター：2009年古紙需給統計、3（2010）。
- 2) 日本製紙連合会：平成23年1月20日記者発表。
- 3) 財団法人古紙再生促進センター：リサイクルに適した雑誌製本のあり方に関する調査報告書、（2001）。
- 4) 財団法人古紙再生促進センター・社団法人日本印刷産業連合会：リサイクル対応型紙製商品のご紹介、（2004）。
- 5) 齊藤将人他：紙のリサイクルに適した製本用ホットメルト接着剤の開発－EVAのグレードおよび原料配合比のリサイクル性への影響－，紙パルプの技術、53（3・4）、40-46（2003）。
- 6) 齊藤将人他：紙のリサイクルに適した製本用ホットメルト接着剤の開発－製本後のホットメルト接着剤のリサイクル適性評価－，静岡県富士工業技術センター報告、14、18-23（2004）。
- 7) 財団法人古紙再生促進センター：リサイクル対応型印刷物の製作及び普及に関する調査報告書、（2010）。

再生紙の新たな品質評価手法の検討 (第2報)

— リサイクルに伴うパルプ繊維の変化 —

製紙科 河部千香 齊藤将人 深沢博之

Discussion of New Evaluation Method on Recovered Paper's Quality (2nd report)

— Changes in Pulp Fibers by Recycling Treatment —

Chika Kawabe, Masato Saito and Hiroyuki Fukasawa

From the viewpoint of effective paper-recycling, mixture balance between wood and recovered fiber is of great importance. But we think the evaluation of deterioration degree of paper quality via recycling is more important than the balance. To evaluate the deterioration degree, the mechanism of the deterioration should be understood. In this report, changes in crystallinity, degree of polymerization, amount of some functional group and fiber-to-fiber bonded area of pulp fibers through the recycling treatment were investigated. Interestingly, the result of cluster analysis for near-infrared spectra showed the linear relationship between recycled times and score as well as between tensile strength and score. In addition, we have found the possibility that the bonded area can be estimated by a simple method using black oil-based ink. Further investigation on above two methods will be done.

1. はじめに

紙を水で膨潤させると水が浸入して繊維—水—繊維の関係となり、繊維間結合が切断する。ここで再び熱を加えて乾燥すると水が除去され、繊維—繊維の関係になり、繊維間結合が生成する。この機構により紙はリサイクルできる。しかし、何度もリサイクルを繰り返すと紙が膨潤しにくくなり、強度の弱い紙となる。このために、再生紙には品質の良いものと悪いものが存在する。

この原因は、一般にパルプ繊維の角質化であるといわれているが、その概念は曖昧であり実際に繊維内でどのような変化が起こっているのか、はっきりとはわかっていない。

本研究では、紙がリサイクルにより強度低下する原因について追究することとした。最終的にはこれをもとに再生紙の品質を評価する手法の確立をめざす。

2. 実験方法

2. 1 原料

すべての試験には、市販のLBKPおよびアドバンテック東洋(株)製No. 1定性ろ紙を用いた。LBKPは未叩解時のろ水度が670 ml CSFで平均繊維長が0.92

mmのものを使用した。

2. 2 手すき紙の作製

前報¹⁾と同様の方法により物性評価用手すき紙をリサイクル0回目、1回目、3回目、5回目について作製した。

2. 3 評価方法

セルロース分子内の変化を評価するために、セルロースの結晶化度測定、重合度測定、還元性末端基のアルデヒド基量およびカルボキシル基量の定量、赤外分光光度計 (以下FT-IR)、X線光電子分光光度計 (以下ESCA)、近赤外分析計 (以下NIR) の機器を用いた測定を行った。また、繊維間結合を評価するために、繊維間結合面積の測定を試みた。物性試験については、JIS法に準じて行った。

(1) 結晶化度測定

シート状の試料について(株)リガク製SmartLabを用い、X線回折パターンを観測した。得られたデータについて、 $2\theta = 8^\circ \sim 30^\circ$ をGauss-Lorentz混合関数により4つに波形分離した。それぞれのピークについて原子散乱因子、温度因子、Lorentz偏光因子を考慮した積分値を算出し、最もブロードなピークを非晶領域、その他3つのピークを結晶領域として結晶化度(%)を算出した。

【報告】

(2) 重合度測定²⁾

作製したシートを解繊し、約0.04 gを精秤した。蒸留水10 mlを加え、パルプに浸透させ、続いて1 M銅エチレンジアミン溶液10 mlに溶解した。No. 2 オストワルド型粘度計に調製した溶液10 mlを入れ、25 °Cの恒温水槽中に浸し数分放置したのち、粘度計内の溶液の液面が上部標線から下部標線まで流下した時間 (t(s)) を測定した。重合度は次式により算出した。

$$\begin{aligned}\eta_r &= \eta / \eta_0 = t / t_0 \\ \eta_{sp} &= \eta_r - 1 \\ [\eta] &= \eta_{sp} / (100 \times c (1 + 0.28 \eta_{sp})) \\ DP &= 175 \times [\eta]\end{aligned}$$

ただし、 t_0 = ブランク溶液 (0.5 M銅エチレンジアミン溶液10 ml) の流下時間 (s)、 c = セルロース濃度 (g/ml) η_r = 相対粘度、 η_{sp} = 比粘度、 $[\eta]$ = 固有粘度、 DP = セルロース重合度

(3) カルボキシル基の定量³⁾

解繊したパルプ試料約 1 gを精秤し、0.1 M塩酸に 2 時間浸漬した後ろ過し、十分に洗浄した。0.1 M酢酸カルシウム溶液50 mlを加え、一晩放置した。ろ過後、0.1 M酢酸カルシウム溶液25 mlで 3 回洗浄した。その後パルプと洗液を合わせて0.05 Mの水酸化ナトリウム水溶液でpH=8.3になるまで滴定した (水酸化ナトリウム溶液必要量をa mlとする)。カルボキシル基量は次式により算出した。

$$\begin{aligned}(\text{カルボキシル基量}(\text{当量}/100 \text{ gセルロース})) \\ = 100 \times (a - b) / (20 \times m)\end{aligned}$$

ただし、 b = ブランク溶液 (0.1 M酢酸カルシウム溶液125 ml) による0.05 M水酸化ナトリウム溶液必要量 (ml)、 m = パルプ試料重量(g)

(4) アルデヒド基の定量³⁾

9 g/l の次亜塩素酸ナトリウムを含む0.5 M酢酸溶液に精秤した約 1 gのパルプ試料を浸漬し、一晩放置した。蒸留水で十分洗浄したのち、0.1 M塩酸溶液で 2 時間処理し、再び蒸留水で洗浄した。その後、(3)の方法によりカルボキシル基量を測定し、(3)で得られた値との差をアルデヒド基量とした。

(5) FT-IRによる測定

シート状試料について日本分光㈱製FT/IR-6100

を用いてIRスペクトルを観測した。

(6) ESCAによる測定

シート状試料について㈱島津製作所製複合表面分析装置を用いてArイオンビームにより30秒間エッチングした後のスペクトルを観測した。得られた C_{1s} のスペクトルは各官能基に相当するピークの結合エネルギーの値と半値幅により行い、6本のピークに波形分離した。

(7) NIRによる測定

23±1 °C、(50±2) %r.h.の環境下で24時間以上調湿したシート状試料について日本ビュッヒ㈱製の近赤外分析計NIRFlex N-500 (Solid) を用いてスペクトルを観測した。

(8) 繊維間結合面積測定を試み

過去に報告された方法⁴⁾を参考に紙セロハンすき合わせシートを作製した。すなわち、8 cm角に裁断したセロハンを水でぬらし、金属板上に重ねた。様々な水度に調製したパルプ試料についてJIS P 8222の方法に準じて湿紙を作製 (目標坪量60 g/m²) し、それにろ紙を重ねクーチロールで水を吸い取った。先に作製したセロハンを貼った金属板を重ねた後プレスし、試料と金属板の両方をリングにはめ、室温で一晩風乾した。乾燥した試料を紙の側から黒色の油性ペンで、裏に浸透するまで塗りつぶした。㈱キーエンス製デジタルマイクロスコープVHX-100を用いてセロハンの側からのセロハンと紙の境界の写真を撮影した。得られた画像をアメリカ国立衛生研究所にて開発されたImage Jを使用して二値化し、その黒色面積を測定した。このとき測定回数は20回とし、自動で黒色面積を測定した後、平均値を算出し、平均値にもっとも近い5つについて、さらに手動で画像処理し黒色面積を測定した。この5つの測定データの平均値を測定値とした。

3. 実験結果および考察

3.1 結晶化度測定

前報¹⁾においてリサイクルにより結晶化度が上昇するという興味深い結果が得られた。そこで本年度も結晶化度について再検討することとした。一般に純粋な α -セルロースを多く含むとされるろ紙につ

いて測定し、結果について比較検討した。

その結果を図1に示す。LBKPでは結晶化度は前年度と同様若干上昇しているが、ろ紙は予想と反してほぼ変化がないのがわかる。これはLBKPの結晶化度がもともと70%と低いのに対して、ろ紙は91%と高い値を示しているため、再配列して結晶化する非晶領域の分子が少ないためと考えられる。また、この結果だけであればリサイクル処理に伴い、LBKPに含まれるセルロース以外の非晶な不純物が減少した可能性も捨てきれない。

よって、より選別した原料によりリサイクル試験を行い、結晶化度の算出を行う必要があると考えられる。

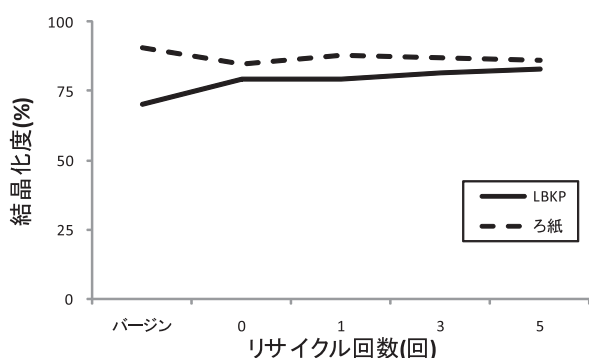


図1 リサイクルを繰り返した時の結晶化度の変化

3. 2 重合度測定

結晶化度が上昇した原因がセルロースの低分子化にあるとすれば、重合度にも変化が出るものと考えられる。そこでLBKPについて重合度を測定した。その結果を図2に示す。この結果、バージンパルプとリサイクルパルプを比較すると重合度が大きく変化していると言えるが、その後は傾向を持った変化がなくなる。リサイクルを繰り返すたびに微細繊維が減少してしまうため正確な値が得られているとは考えにくく、全ての繊維を捕集して測定する必要があるが、現実的な対処が難しいため、これに関してはこれ以上追究しないこととした。

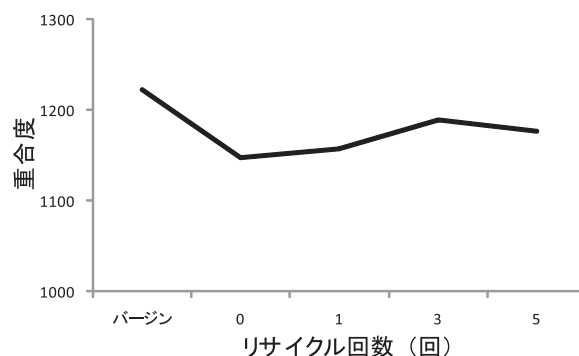


図2 リサイクルを繰り返した時のLBKPの重合度の変化

3. 3 官能基の定量

(1) 滴定による測定

リサイクルによりセルロースの構造が変化し、水素結合能力を下げている可能性がある。そこで、リサイクルに伴うカルボキシル基およびアルデヒド基の定量を行った。

ろ紙における変化について図3にカルボキシル基とアルデヒド基の割合の変化を示す。カルボキシル基とアルデヒド基の合計量は傾向を持った変化をしなかったため、図3からカルボキシル基とアルデヒド基の量はほぼ変化しないことが明らかとなった。LBKPについても同様に傾向を持った変化は見られなかった。リサイクルによりセルロースの構造が変化する可能性はあるが、その変化はごくわずかであり、この方法では変化が見られなかったものと考えられる。

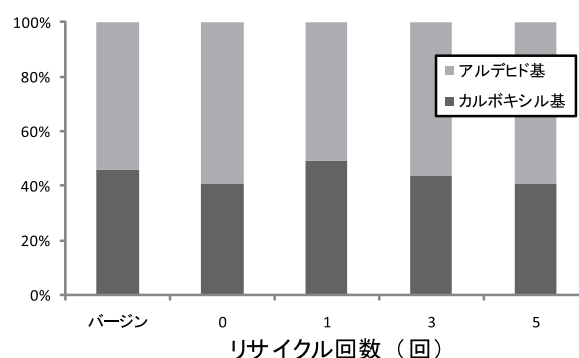


図3 リサイクルを繰り返した時のろ紙のアルデヒド基とカルボキシル基量の割合の変化

(2) FT-IRによる測定

そこで、リサイクルによる官能基への影響を調べ

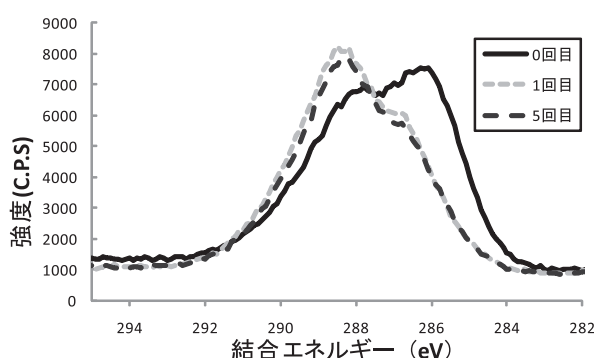
【報告】

るため、いくつかの分析機器を使用することとした。まず、FT-IRによる測定を行った。その結果、どれもほぼ等しいスペクトルになり変化は見られなかった。また、TEMPO酸化により選択的にC 6 位の水酸基をカルボキシル基に置換した化合物と比較したが、そこで観測された特徴的なピーク（1605 nm）に相当するピークも観測されなかった。このため、FT-IRによる測定では水酸基がカルボキシル基に変化している可能性は低いことがわかる。

しかし、変化している可能性のあるセルロースはごく表面にのみ存在していると考えられるのに対し、FT-IRにより測定できる検出深さが数 μm であり、ごく表面のセルロースだけではなく変化していない繊維内部の多量のセルロースまで観測され、顕著な差として測定できないと考えられる。このため、ごく表面だけを観測する機器を使用することとした。

(3) ESCAによる測定

ESCAの検出深さは固体表面から10 nm程度であり、セルロースのごく表面のわずかな変化を観測するには適している。そこで、ESCAによりLBKPおよびろ紙の測定を行い、LBKPの C_{1s} を測定した結果について図4に示し、 O_{1s} と C_{1s} の強度比の変化について表1に示す。

図4 リサイクルに伴うLBKPの C_{1s} スペクトル変化表1 LBKPのリサイクルに対する O_{1s} と C_{1s} の強度比

リサイクル回数(回)	$\text{O}_{1s}/\text{C}_{1s}$
0	1.34
1	1.74
3	1.56
5	1.79

その結果、ろ紙においては C_{1s} スペクトルおよび $\text{O}_{1s}/\text{C}_{1s}$ の強度比にほとんど変化が見られなかった。一方、LBKPでは図4からリサイクル0回目と1回目について、286 eV付近のピークに大きな差があることが観測された。また、表1からリサイクル0回目と1回目のピーク強度比（ $\text{O}_{1s}/\text{C}_{1s}$ ）の差は0.40と大きく増加している。大野ら⁵⁾によると C_{1s} のスペクトルで観測された286 eV付近のピークはアセトンなどの有機溶媒による抽出処理を行った際の抽出成分であるとしている。リサイクル処理によりパルプ表面に存在する抽出成分が洗われ、セルロースやヘミセルロースなどの炭化水素が露出してくると、この286 eVのピークが減少し、炭素（ C_{1s} ）強度が減少する。一方、表面のセルロース成分の増加に伴いセルロース中の水酸基由来の酸素（ O_{1s} ）強度が増加するため、 O_{1s} と C_{1s} の強度比が変化したとして理論的に説明ができる。

しかし、この方法では0回目と1回目には大きな差があるものの、それ以降の変化は殆ど見られないため、その他の評価方法が必要であると思われる。

(4) NIRによる測定

(2)の測定において、シート状試料の中赤外領域（4,000～400 cm^{-1} ）の吸収には大きな変化が見られなかった。しかし、近赤外領域（12,500～4,000 cm^{-1} ）でそれらのピークの倍音などを観測することにより、中赤外領域では分離できなかった複数のピークが明確に区別できる可能性がある。そこで、NIRによる測定を行い、規格化、1次微分の前処理を行い、クラスター分析を行った。その結果、リサイクル回数により明確な変化を示すピークが観測さ

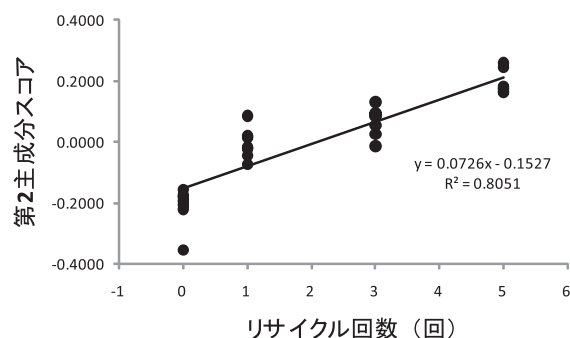


図5 LBKPのリサイクルに対するNIRスコア変化

れた⁶⁾。ただし、セルロースは湿度により大きく影響を受けるため、 $23 \pm 1^\circ\text{C}$ 、 $(50 \pm 2)\% \text{r.h.}$ の環境下に24時間以上調湿した試料について、同環境下で試験を行った。

クラスター分析により得られたスペクトルを分離した際、スペクトルへの寄与率が最も多い第1主成分は原料による差である。次に寄与率の多い第2主成分は、得られた波形から遊離した水であると考えられる⁷⁾。この第2主成分においてリサイクルを繰り返すに従って明確な差が観測された(図5)。このような遊離した水は、セルロース間で強固な結合を形成している結晶領域中には存在できないと考えられるので、非晶領域に存在するはずである。リサイクルを繰り返すことで、非晶領域においてこのような水が増加するため、第2主成分のスコアは増加すると考えられる。

第2主成分のスコアと前報の物性試験測定値¹⁾を比較した。この結果、LBKPでは四紙力のうち引裂強さ以外の強度はすべて直線的に変化した。比引張強さについて、LBKPを図6、ろ紙を図7に示す。このことから第2主成分で示される遊離した水の量が増加すると繊維内の柔軟性が減少し、強度低下の原因になると考えられる。従来から言われていた角質化は、このようにして繊維内の非晶領域に存在する水が原因である可能性がある。引裂強さについては、繊維の引き抜きエネルギーが強く影響を与える⁸⁾ため、他の紙力と異なる傾向を示したと考えられる。

一方、ろ紙の結果では同様に直線関係を示してい

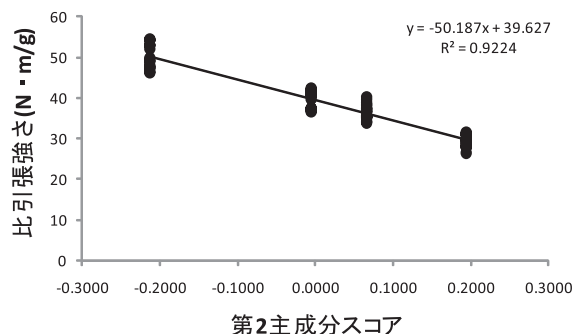


図6 LBKPのNIRスコアと比引張強さの関係

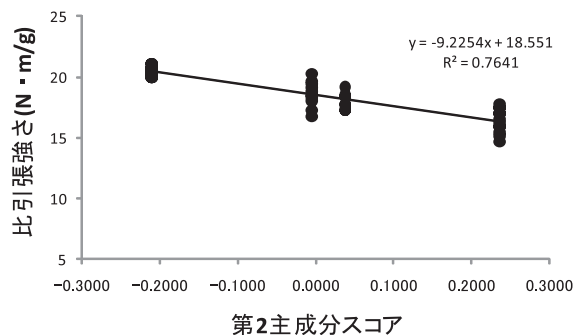


図7 ろ紙のNIRスコアと比引張強さの関係

るものの、LBKPと比較すると相関が悪い。これはろ紙の結晶化度が高く、遊離した水がもとよりごく少量であることが主な原因であると考えられる。実際にろ紙のリサイクルに伴う強度変化がLBKPと比較して、小さいことから裏付けられた。

この手法について、別の原料にも適用できるか検討する必要がある。

3. 4 繊維間結合評価の試み

1969年、Pageら⁹⁾はシートの裂断長は単繊維強度と繊維間結合から算出できるという経験則を導いた。

$$1/T = 9/(8Z) + 12Apg/(bPL(R.B.A.))$$

ただし、 T =裂断長、 Z =ゼロスパン引張強さ、 A =繊維の平均断面積、 p =繊維の密度、 g =重力加速度、 b =単位面積当たりの結合力、 P =繊維断面積の周囲長、 L =繊維長、 $R.B.A$ =相対結合面積

このことから、紙の強度低下を測定するためには繊維間結合を評価することが重要であると考えられる。一般に繊維間結合面積を測定するために比散乱係数が用いられることが多い。シート内の繊維間結合面積が増加すると、光を散乱させる空気と繊維との境界が減少することから比散乱係数は減少する。このことを基に繊維間結合面積が算出される。この方法は、ルーメンの寄与を考慮していない点などから問題点も指摘されているが簡便ではある。

(1) 比散乱係数の測定

上記のPageの式から、引張強さは比散乱係数に比例するはずである。それを確認すべく、比散乱係数の算出を行った。

LBKPの引張強さに対する比散乱係数の測定結果を図8に示す。LBKPについては直線に近い関係になったと言えるが、それぞれの比引張強さに対する測定値にばらつきが大きく有意な差があるようにはみえない。これらは前述した問題点によるものであるように思われ、さらに適した評価の検討が必要ではないかと考えた。

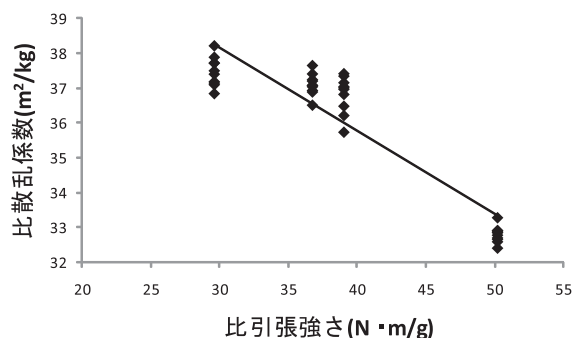


図8 LBKPの比引張強さと光散乱係数の関係

(2) 繊維間結合面積の測定の試み

そこで、冷田ら⁵⁾による報告を参考にして直接的に繊維間結合面積の測定を行うこととした。ここではその前段階として、ろ水度を変化させた際の繊維間結合面積を調べたので報告する。

図9にろ水度を変化させた際に得られた画像を示す。また、得られた黒色面積率と保水度の関係を図10に示す。今回は測定回数が少ないが、この図から保水度と黒色面積率は比例関係になっていることがわかる。測定箇所により大きなばらつきがあるため、精度を上げるためにもより多くの測定が必要とされるが、この図から、繊維間結合面積を示すのに適した方法である可能性が示唆される。

さらに、測定回数を増やすとともに、リサイクル回数や引張強さとの関係について追究していきたい。

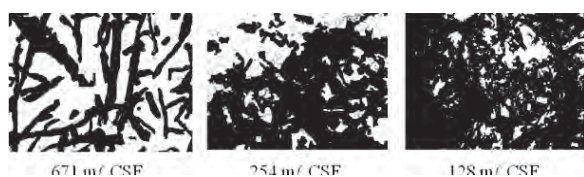


図9 ろ水度に対する黒色面積の比較

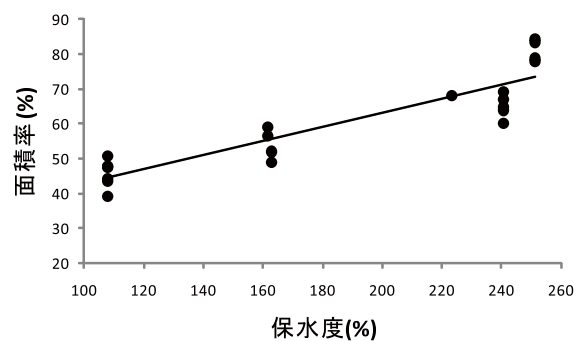


図10 保水度と黒色面積率の関係

4. まとめ

今回リサイクルにともなう繊維内のセルロースの分子の構造変化として結晶化度の再検討、重合度変化、官能基の変化について様々な評価法を用いて検討した。その結果、NIRにおいて得られた値とシートの強度間に直線関係があり、再生紙の品質を評価するための手掛かりとなる可能性が示された。

また、繊維内だけでなく、繊維間の結合面積が引張強度に関係しているという経験則から直接繊維間結合面積を測定する手法について検討した。その結果、ここで採用した方法により算出した繊維間結合面積と保水度が直線関係になり、直接的に繊維間結合面積が評価できる可能性があることがわかった。今後、この両方の測定方法について、他の原料においても同様な結果を示すのかなどをさらに追究し最終的には実用化できるような手法を提案したい。

謝辞

本研究を行うにあたり、近赤外分析計による測定および適切な助言等をしてくださった合同会社近赤外応用技術研究所代表小林洋子博士に深く御礼申し上げます。X線回折装置による結晶化度算出にあたり適切な助言と様々なご協力をしてくださった東京農工大学野口恵一准教授に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 河部千香他：再生紙の新たな品質評価手法の検討（第1報）ーリサイクルによりシートおよびパルプ繊維が受ける影響ー、静岡県工業技術研究所

【報告】

- 研究報告、3、89-93 (2010)
- 2) 日本木材学会：木質科学実験マニュアル、文栄堂出版、101-103 (2000)
- 3) 日本木材学会：木材科学実験書、中外産業調査会、173-174 (1985)
- 4) 冷田薫他：パルプの紙層形成能力(第1報)繊維間結合の定量的評価法、紙パ技協誌、46 (11), 1429-1437 (1992)
- 5) 大野直孝他：ESCAによるパルプ繊維中の抽出成分分布の研究、紙パ技協誌、46 (10)、1295-1312 (1992)
- 6) 小林洋子他：再生紙のための近赤外分析法を利用した新しい取り組み、第78回紙パルプ研究発表会 (2011)
- 7) Jerry Workman et al.: Practical Guide to Interpretive Near-Infrared Spectroscopy, 63-70 (2008)
- 8) 上野桂助：紙の強度、丸善(株)、212-252 (1972)
- 9) D. H. Page: A Theory for the Tensile Strength of Paper, 52 (4), 674-681 (1969)

見守りセンサシートシステムの開発

— 試作開発と介護施設での試験利用 —

機械電子科 中山 洋 鈴木悠介

Development of Sensor-Sheet Device for Detecting a Slight Movement of Human Body on Bed

— Making of Prototype Sensor-Sheet Device and its Trial Application in Intensive Care Home —

Hiroshi Nakayama and Yusuke Suzuki

Sensor-sheets that would be able to detect a slight movement of a human body were investigated. The results are summarized as follows;

- 1) We developed the air sheet with air pressure sensor which is possible to detect a slight movement of the body. The sensor-sheet placed under the air mat was able to detect breathing and heart beat without physical restraint.
- 2) A prototype sensor-sheet device equipped with the above sheet and a nurse call system was fabricated.
- 3) The sensor-sheet device was tested in an intensive care home. The device was able to detect breathing and heart beat of a person, who required long-term care, without physical restraint.

1. はじめに

日本は世界一の少子高齢化社会であり、介護福祉関連施設では人の助けとなるセンサ機器が益々必要となる。その中で介護福祉施設などでは、ベッド上での高齢者の状態を知りたいというニーズがあった。そこで、無拘束状態で、ベッド上での体動や呼吸や心拍などの体の動きを検知できるセンサシートの可能性を検討した。その結果、エアシート構造とすることでベッド上の体の動きを高感度に検出できることがわかった。しかしながら、厚いためにベッド上に寝ている人に違和感を与えてしまう課題があった¹⁾。

そこで、本研究では、その結果を踏まえて、センサシート構造の検討と見守りセンサシートシステムの試作及び特別養護老人施設における試験利用を行ったので報告する。

2. 方法

2. 1 センサシートの試作と評価

厚さを抑えたエアシートを試作した。さらに空圧センサを用いて小型化した見守りセンサ用モジュール

を試作した。これらを用いて見守りセンサモジュールを組み込んだエアシートの試作を行った。試作したセンサシートを、エアーマット（褥瘡防止用マットレス）の下に設置して、エアーマット上での人のさまざまな動きに起因するセンサ出力をFFTアナライザ（㈱小野測器製CF-360）を用いて測定した。

2. 2 見守りセンサシステムの試作と評価

2. 1で得られた試作センサシートを用いて、体の動きを検知できる見守りセンサシートシステムを試作した。試作したセンサシステムについてエアーマットを用いて、センサ出力等を測定・評価した。

2. 3 試作センサシステムの試験利用

2. 2で試作した見守りセンサシートシステムについて、特別養護老人施設「みぎわ園」（ユニットケア型、定員80名）において、試験利用を行った。

3. 結果と考察

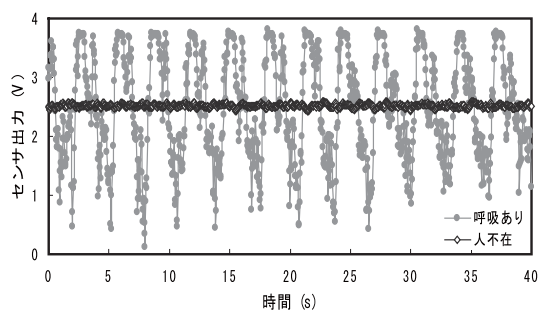
3. 1 センサシートの試作と評価

エアシート構造を検討した結果、①密封性・耐久性に優れた多層フィルム、②逆止弁付き空気注入口、③寸法：750mm×600mm×5mmなどの特徴

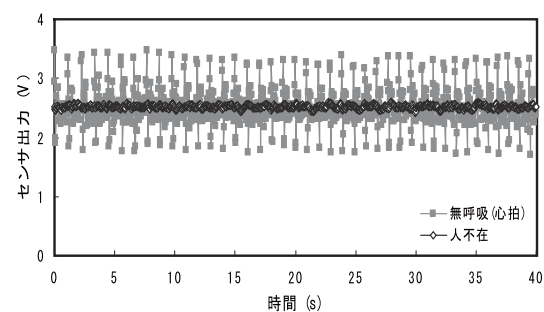
を有するセンサシートを試作した。厚さを薄くできたことにより、エアーマットの下に設置しても違和感なく使用でき、またサイズを大きくしたことにより広い範囲で検出が可能となった（図1）。



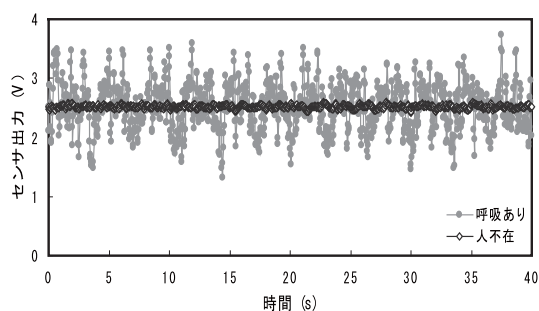
図1 試作センサシートの設置



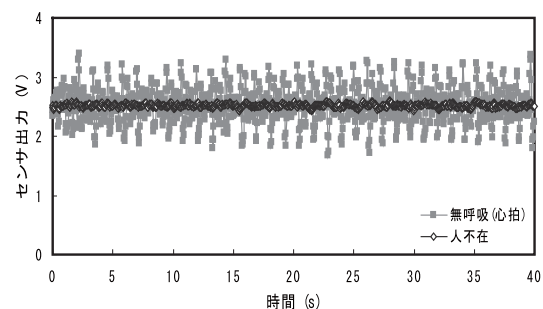
(a) 仰向け状態：呼吸あり



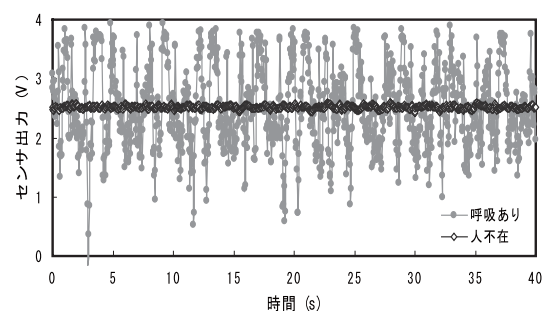
(b) 仰向け状態：無呼吸（心拍のみ）



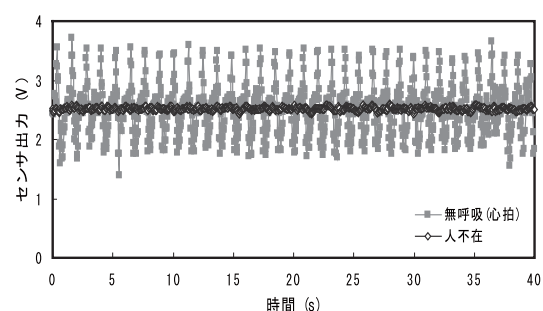
(c) 横向き状態：呼吸あり



(d) 横向き状態：無呼吸（心拍のみ）



(e) うつ伏せ状態：呼吸あり



(f) うつ伏せ状態：無呼吸（心拍のみ）

図2 試作センサシートから得られたセンサ出力

試作したセンサシートから得られた主な体位におけるセンサ出力を図2に示す。人が不在状態では、センサ出力電圧は $\pm 0.2\text{V}$ 以下であった。一方、仰向けで寝ている状態で呼吸している時には、約4Vの呼吸に起因した大きな電圧変位が見られた（図2(a)）。また呼吸を止めた状態、いわゆる無呼吸状態では心拍の動きに起因した電圧変位が見られ、約1.5Vの出力変位が得られた（図2(b)）。横向きの状態では、呼吸している時には仰向け状態よりも電圧変位が小さかったが、呼吸に起因した大きな電圧変位が見られた（図2(c)）。無呼吸時でも心拍の動きに起因した電圧変位が得られた（図2(d)）。うつ伏せ状態では、呼吸している時には約3Vの呼吸に起因した電圧

【報告】

変位が、無呼吸時では、約2Vの心拍の動きに起因した大きな電圧変位が得られた（図2(e)、(f)）。

これらのことから、試作したセンサシートは、エアーマットの下に設置してもベッド上の人に違和感を与えないで、呼吸や心拍などの体の動きを高感度に検知できることがわかった。

3. 2 見守りセンサシートシステムの試作と評価

得られたセンサシートを用いて、見守りセンサシステムを試作した（図3）。試作したセンサシートシステムは、センサシート（カバー付き）部で人のわずかな体の動きを検出し、動きを15秒間検出できなかった場合にナースコールで介護士に知らせることができる見守りシステムである。実際に介護用ベッドに設置した時の様子を図4に示す。エアーマットの下に設置しても全く違和感なく広い範囲で使用できることを確認した。試作したコントロールボックスを図5に示す。コントロールボックスは、①センサ出力レベルインジケータ（LED：4段階）、②センサ感度調整ボリューム、③報知ランプ、④センサ出力端子を有している。センサ出力レベルインジケータを有するため、センサ出力のレベルを視覚的に捕らえることができ、介護士はセンサ出力状態を確認することができる。またセンサ感度調整ボリュームにより感度を調整できるため、エアーマットだけでなく、さまざまなマットレスにも対応が可能となる。またセンサ出力端子を有するため、実際のセンサ出力を得ることもできる。試作センサシートシステムから得られた主な体位におけるセンサ出力を図6に示す。人が不在状態では、出力電圧は $\pm 0.2V$ 以下であった。一方、仰向けで寝ている状態で呼吸している時には、呼吸に起因した大きな電圧変位が、無呼吸時では心拍の動きに起因した大きな電圧変位が得られることを確認した（図6(a)）。また、横向きの状態でも、うつ伏せ状態でも、さらに背上げ（仰向け）した状態でも、呼吸している時には呼吸に起因した電圧変位が、無呼吸時では心拍の動きに起因した電圧変位が得られることを確認した（図6(b)、(c)、(d)）。

仰向けでも、横向きでも、うつ伏せでも、背上げた状態でも、呼吸や心拍などのわずかな体の動き

に起因した大きなセンサ出力が得られることがわかった。そして心拍は止めることができないため、離床することで15秒後に報知することを確認した。

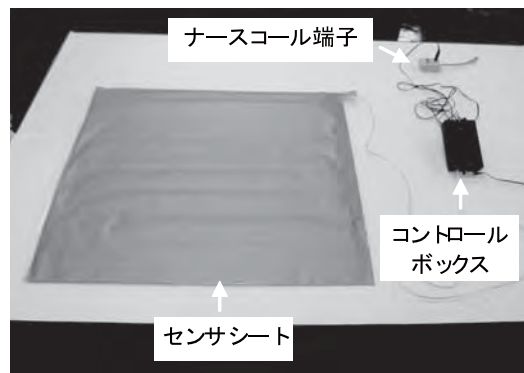


図3 見守りセンサシートシステムの試作

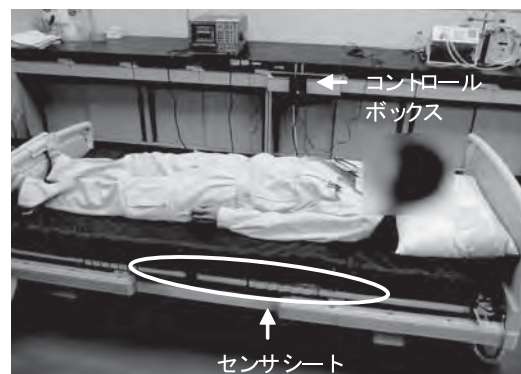


図4 見守りセンサシートシステムの設置

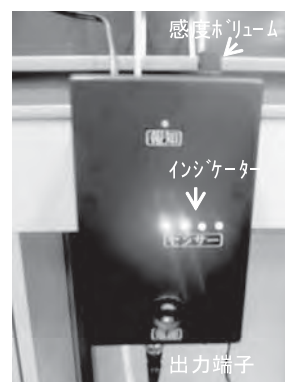
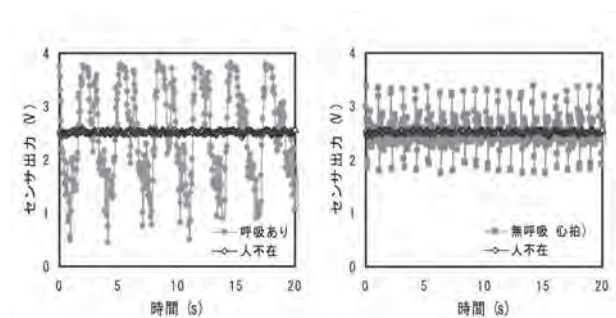
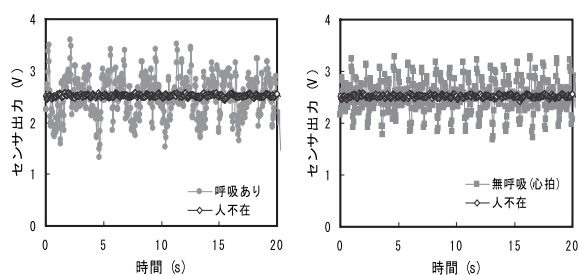


図5 コントロールボックス

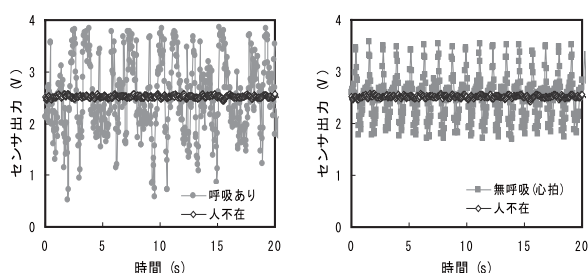
【報告】



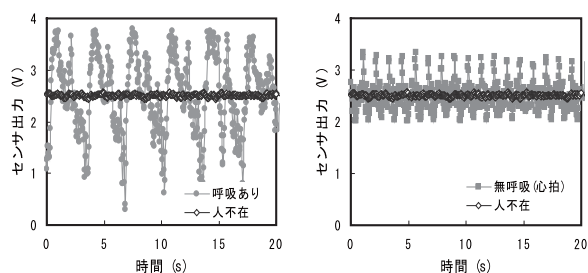
(a) 仰向け状態



(b) 横向き状態



(c) うつ伏せ状態



(d) 背上げ状態（仰向け）

図6 見守りセンサシートシステムから得られたセンサ出力

3. 3 試作センサシステムの試験利用

特別養護老人施設「みぎわ園」において、試作した見守りセンサシートシステムの試験利用を開始した。ターミナルケア（終末介護）に近い要介護度5

の入所者のベッドに設置した（図7）。エアーマットの下にセンサシートを設置するため、使用していることを全く意識させることなく、違和感なく利用することができた。基礎的データを取得するために、センサシートから得られるセンサ出力を、データロガーを用いて収集した。その結果、図8に示すとおり、要介護者の呼吸や心拍などのわずかな体の動きを検知できることがわかった。また無呼吸状態（心拍のみ）が頻繁に起こっていることも判明した。



図7 介護福祉施設における見守りセンサシートシステムの設置状況

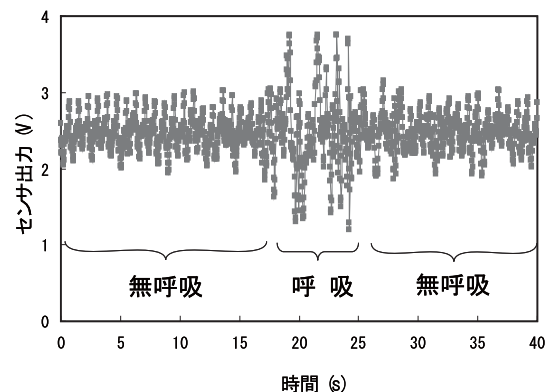


図8 要介護者の体の動きから得られたセンサ出力

4. まとめ

- (1) 褥瘡防止に広く用いられるエアーマットの下に設置しても、ベッド上の人呼吸、心拍などの微小な体の動きを検知できるセンサシートを開発した。得られたセンサシートからは呼吸や心拍などの微小な動きに起因した大きなセンサ出力が得られた。
- (2) 開発したセンサシートを用いて微小な体の動きを検知でき、できなかった場合にナースコールを

【報告】

通じて介護士に知らせてくれる見守りセンサシートシステムを試作開発した。

- (3) 県内の特別養護老人施設において見守りセンサシートシステムの試験利用を開始した。エアーマットの下に設置するため、使用していることを全く意識させることはなく、違和感なく利用することができた。そして要介護者の呼吸や心拍などの微小な体の動きを十分検知できることがわかった。また無呼吸状態が頻繁に起こっていることも判明した。
- (4) 今後、特別養護老人施設での試験利用を継続していくとともに、見守りセンサシートシステムを改良・評価し、ブラッシュアップして実用化を図っていく予定である。

謝辞

本研究の遂行にあたり、ご支援、ご協力頂きました(株)富士セラミックス、(株)メディカルプロジェクトの皆様、また試験利用にご協力頂きました特別養護老人施設「みぎわ園」の皆様に深く感謝いたします。本研究は、(財)しずおか産業創造機構の「富士山麓先端健康産業集積プロジェクト事業」の助成を受けて行ったものであり、関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 鈴木悠介他,静岡県工業技術研究所研究報告、
4, 152-156 (2011)

見守りセンサシートシステムの開発

— シート構造の検討 —

機械電子科 鈴木悠介 中山 洋

Development of Sensor-Sheet Device for Detecting a Slight Movement of Human Body on Bed

— Examination of Sensor - Sheet's structure —

Yusuke Suzuki and Hiroshi Nakayama

Aged people have rapidly increased in Japan. Requirements of terminal care for the elderly in quality and quantity have also increased, and then, the burden and anxiety of care-workers have grown up. For the purpose of lowering their burden and anxiety, we thought out “sensor-sheet” that would be able to detect a slight movement of a human body lying on a bed. In this report, as the first step of this research, structure of the sensor sheet was examined. We fabricated some sample sheets with air pressure sensors, set them under the mattress of a bed, and measured the sensor outputs by FFT analyzer when a person lay on the bed. As a result, among the three types of sheet materials (gel sheet, PVA sheet and air sheet), the air sheet was found to be the most sensitive. However, one problem of which the person lying on the bed feels stress because of sheet thickness, has remained.

1. はじめに

平均寿命の延伸による65歳以上の高齢者の増加に伴い、日本の高齢化は急速に進んでいる。日本の総人口に占める高齢者（65歳以上）人口の割合は2007年に21%を超え、世界一の超高齢社会を迎えた。高齢化率は現在も上昇し続けている。

このような超高齢社会に伴い、高齢者介護施設では、ターミナルケアや要介護度が高い入所者が増加し、介護士の負担や不安が大きくなっている。そのような施設では、ベッド上での高齢者の安否や状態を知りたいというニーズがある。そこで、無拘束状態でベッド上での人の体動や呼吸、心拍などによる体の微小な動きを検知し、ベッド上での高齢者の動きを確認できる低コストの見守りセンサシートの開発を本研究の目的とした。昨年度は簡易試作を作製し、体動、呼吸、心拍による動きを検知することがわかった。1) 本年度は、それらの微小な動きを高感度で検知できるシート構造の開発を目標に検討を行ったので報告する。

2. シートの試作と評価

2. 1 空圧センサ

見守りセンサシートには、空気の微小圧力の変化を検知できる空圧センサ（㈱富士セラミックス製）を用いた。この空圧センサは空気の圧力変化に伴う温度変化を検知し、電気信号を出力するものであり、音や振動といったノイズを拾わない特徴がある。空圧センサを図1に示す。

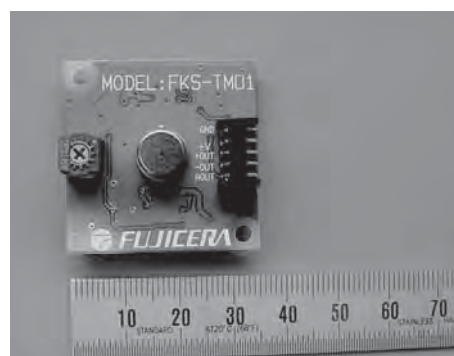


図1 空圧センサ

2. 2 シートの試作

試作シート I : H21年度の試験で試作した体圧分散性に優れたジェルをポリエチレン (PE) フィル

【報告】

ムで密閉したシート（図2）。

試作シートⅡ：弾力性のあるポリビニルアルコール（PVA）樹脂を正方形に加工し、一定間隔で配置し、ポリプロピレン（PP）板で挟みこみ、密閉したシート（図3）。

試作シートⅢ：多層フィルム構造で空気の漏れが限りなく少ないエアーマット。（図4）

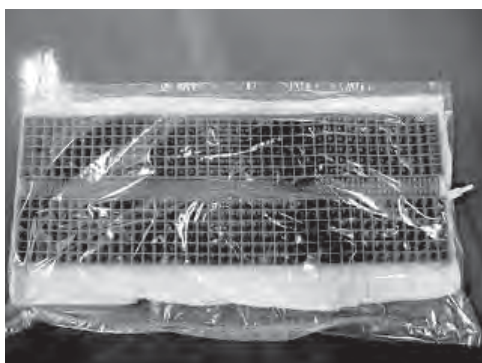


図2 試作シートⅠ（600×200×20mm）



図3 試作シートⅡ（800×300×13mm）

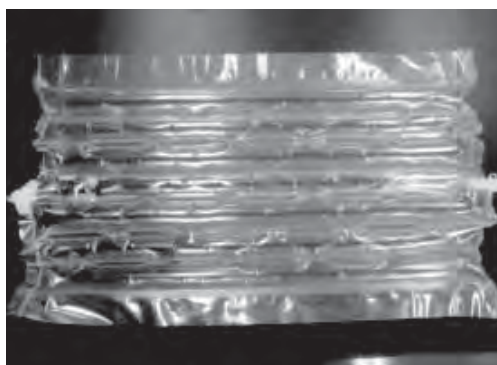


図4 試作シートⅢ（600×350×30mm）

2. 3 試作シートのセンサ出力測定

試作シートをベッドのマットレスの下に敷き、マットレス上に人が寝た時の空圧センサからの出力を

FFTアナライザー（小野測器製CF-360）を用いて測定する。測定は仰向けで呼吸をしている状態と仰向けで呼吸を止めた状態について行い、波形を比較した。測定系を図5に示す。

2. 4 シート位置によるセンサ出力

試作シートⅡと試作シートⅢにおいてシート位置によるセンサ出力の差を測定した。測定はシート位置を頭部から10cmずつ足方向へ動かした時のシートの各位置によるセンサ出力を測定した。測定系を図6に示す。

2. 5 介護用エアーマットを用いたセンサ出力測定

実際の介護施設の現場では褥瘡を防止するため、マットレスは主にエアーマットが用いられる。エアーマットは体圧分散性に非常に優れるため、マットレスの下にセンサシートを設置した場合、人の動きがセンサシートに伝わりにくいことが懸念される。そのため、エアーマットを用いて試作シートⅢによるセンサ出力を測定した。使用したエアーマットを図7に示す。

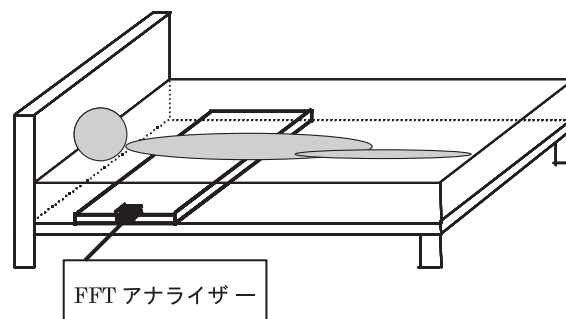


図5 出力測定の測定系

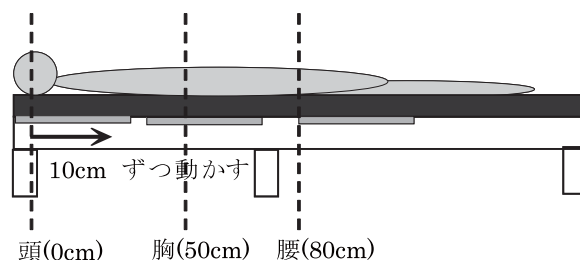


図6 測定位置によるセンサ出力測定



図7 エアーマット（㈱ケープ製トライセル）

3. 結果と考察

3. 1 試作シートのセンサ出力測定

試作シートⅠ、試作シートⅡ、試作シートⅢのセンサ出力をそれぞれ図8、図9、図10に示す。各シートにおいて呼吸がある場合と呼吸を止めた場合を比較すると、呼吸がある場合においては大きなセンサ出力が得られ、呼吸を止めた場合には一定間隔でセンサ出力が得られることがわかった。このことから、呼吸と脈拍を検知できていると考えられる。

各シートによるセンサ出力を比較すると、試作シートⅠと試作シートⅡでは呼吸時のセンサ出力の幅が2 V程度、呼吸を止めた時のセンサ出力の幅が1 V程度である。一方、試作シートⅢでは呼吸時のセンサ出力の幅が3 V、呼吸を止めた時のセンサ出力の幅が2.5 V程度と非常に大きいことがわかった。試作シートⅢは弾性に優れ、人のわずかな動きでもシート内の圧力に大きな変化が生じるため、検出感度が高いと考えられる。以上の結果より、試作シートⅢの構造が最も検出感度が良いことがわかった。

3. 2 シート位置によるセンサ出力測定

シート位置によるセンサ出力の差を図11に示す。横軸にシート位置、縦軸には得られたセンサ出力の値を出力の幅（最大値－最小値）で表している。

試作シートⅡでは肩から胸の下あたりの位置において大きな出力が得られているが、それ以外の位置においては出力が非常に小さくなっている。一方、試作シートⅢでは全ての位置において3 V程度の大きな出力を得ることができた。このことから、試作シートⅢではシート位置のズレなどを気にすることなく、体の一部に当たっていれば人の動きを検知で

きることがわかった。

3. 3 介護用エアーマットを用いたセンサ出力測定

エアーマットを用いた場合の試作シートⅢのセンサ出力を図12に示す。出力波形より、3. 1項と同様の波形が得られており、通常のマットレスを用いた時と同様にエアーマットを用いた場合でも呼吸と心拍などの体の動きを検知できることがわかった。

しかし、試作シートⅢの大きさは600×350×30 mmと厚いため、試作シートⅢをマットレスの下に設置した場合にマットレスが盛り上がり、在床者に不快感を与える可能性がある。試作シートⅢを設置した時の様子を図13に示す。また、シートが小さいため、体がシートから外れる可能性も考えられる。今後の課題として、シートの大きさや厚さについて検討する必要があることがわかった。

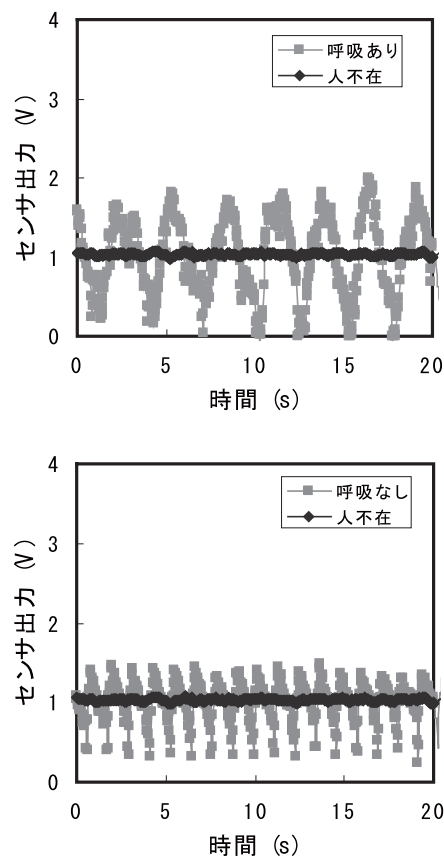


図8 試作シートⅠのセンサ出力

【報告】

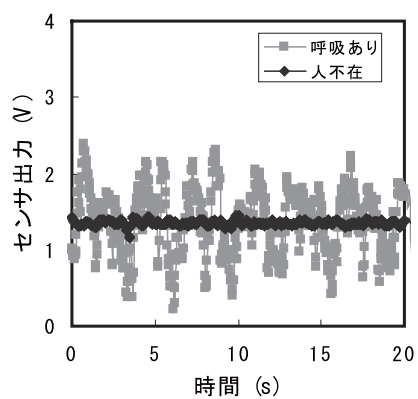


図9 試作シートIIのセンサ出力

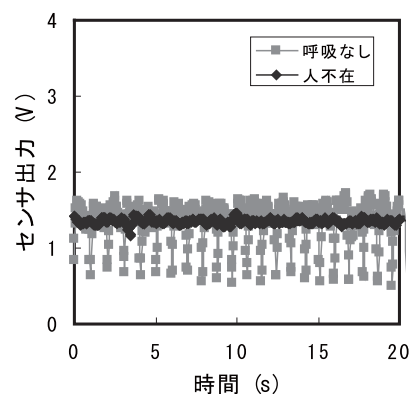


図10 試作シートIIIのセンサ出力

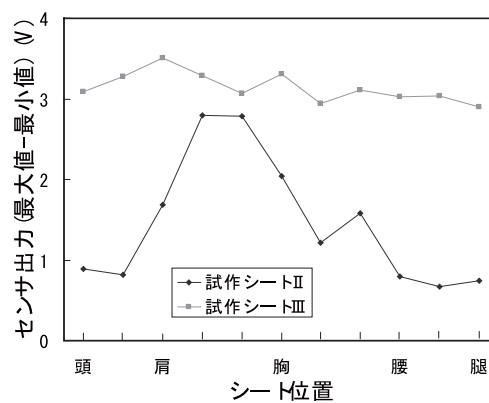
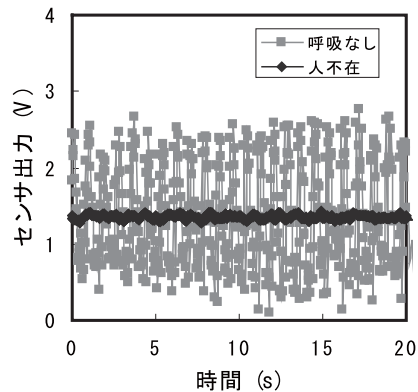
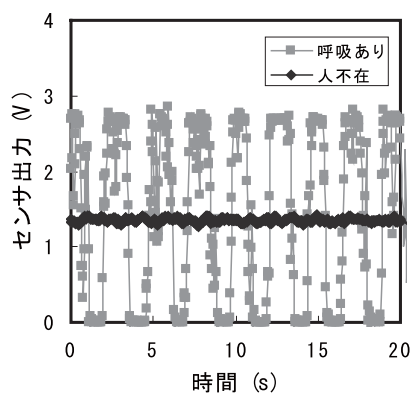


図11 シート位置によるセンサ出力

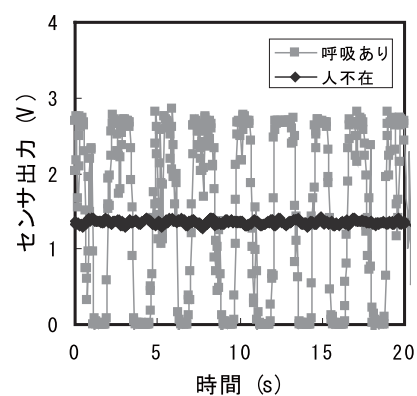


図12 エアーマットを用いた場合のセンサ出力

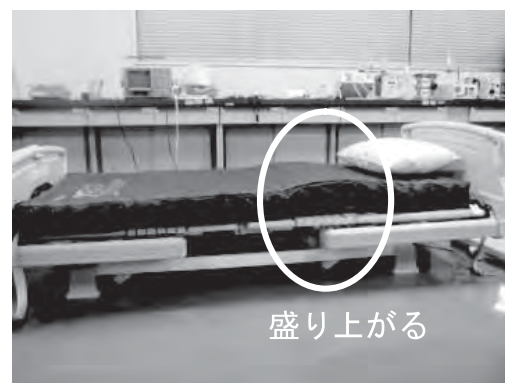


図13 試作シートIIIの設置

【報告】

4. まとめ

密閉性が高いエアシート構造とすることでベッド上の在床者の微小な動きを高感度で検知することができた。また、要介護者に用いられるエアーマットの下に設置した場合でも同様に検知できることがわかった。

一方、試作シートの状態ではシートが小さく、検知できる範囲が狭いこと、非常に厚いため、マットレスが盛り上がり、在床者にシートの存在を意識させてしまうことが課題である。

今後、シートの大きさや厚さの検討とともにセンサ出力の解析、評価する制御部を開発することで、無拘束状態で人の呼吸や心拍などの微小な動きを検知し、要介護者の安否を確認できる見守りセンサシー

トシステムを実用化していく予定である。

謝辞

本研究はしずおか産業創造機構の「富士山麓先端健康産業集積プロジェクト事業」の助成を受けて実施した。見守りセンサシートの試作及び試験を進めるにあたり、ご協力頂きました(株)富士セラミックス、(株)メディカルプロジェクトに深く感謝致します。

参考文献

- 1) 鈴木悠介他：医療福祉分野におけるセンサシステムの開発－見守りセンサシートの開発－、静岡県工業技術研究所研究報告、第3号、P101-103

破裂試験におけるゴム隔膜について

製紙科 堤 真一 深沢博之 村松重緒*
齊藤将人 河部千香

Rubber in instrument to measure of pressure bursting strength

Shinichi Tsutsumi, Hiroyuki Fukasawa, Shigeo Muramatsu, Masato Saito, and Chika Kawabe

1. はじめに

JIS P 8131に規定された破裂試験のゴム隔膜は、形状・寸法と材質及び締付け面からの高さ10mmでの圧力規定（170kPa～220kPa）がある。また、「ゴム隔膜は定期的に検査し、膨張させたときの圧力が規定に満たない場合は交換する」とあり交換が必要となるものであるが、交換時に必要となる操作方法について具体的に記述された文献等は見受けられない。そこで今回は、現在市販されている3社のゴム隔膜を用いて、交換時に必要となる操作方法について圧力規定を基に検討を行った。

ルを10回破裂させる操作とした。ウォーミングアップは、ゴム隔膜交換直後の圧力測定を行った後に、時間を空けずに実施した。



図1 ギュム膨張高さ10mm

2. 実験方法

締付装置の上側締付板を外した状態で、JIS P 8131に規定された下側締付板（試料を締付面）からゴム隔膜を高さ10mm±0.2mm膨張させたときの圧力を測定した（図1）。

圧力の測定は、ゴム隔膜交換直後と、ウォーミングアップを行った後の2回行った。圧力測定の回数はそれぞれ20回とし、専用の高さゲージを用いて膨張高さの管理を行った。

試験に供したゴム隔膜は、試験機器製造メーカ3社で取り扱っているものを任意に1～2ずつ選び、5つのゴム隔膜（A、B、C、D、E）を対象とした。試験機は、ミューレン高圧形試験機（熊谷理機工業（株）製）を用いた。また、締付装置はJIS P 8131付属書JA規定のものとした。

2. 1 ギュム隔膜のウォーミングアップ

ゴム隔膜のウォーミングアップは、膨張高さを約18mmにする操作を10回連続で繰り返し、上側締付板を装着して平均破裂強さ1,942kPaのA段両面段ボー

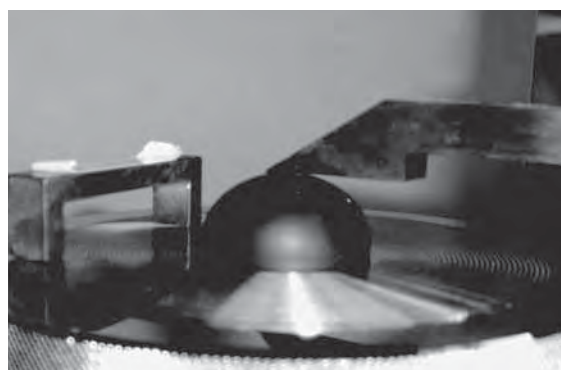


図2 ギュム膨張高さ約18mm

3. 結果と考察

ゴム隔膜交換直後の圧力を図3に、また、ウォーミングアップ後の圧力を図4に示す。

ゴム隔膜交換直後の圧力は、AからEまでの5つのゴム隔膜全てにおいて、圧力規定の上限である220kPaを上回る結果となった。

次にウォーミングアップ後の圧力は、5つのゴム隔膜が170kPa～220kPaの圧力規定範囲に入る結果

*) 現 静岡県工業技術研究所

【ノート】

となった。

ゴム隔膜を高さ10mm±0.2mm膨張させたときの圧力測定は、流体（グリセリン）加圧レバーを加圧側へ傾け、専用の高さゲージに接触した瞬間に加圧レバーを圧力開放側へ傾ける操作を行う。このため、各ゴム隔膜における圧力のバラツキは測定者（著者）の誤差（膨張程度の判断）が主たる要因である。図4においては、上記理由により圧力のバラツキ具合を説明できるが、図3では、上記以外の要因も考えられる。測定結果の横軸（測定回数）は、交換直後とウォーミングアップとともに測定の順番である。つまり測定回数の若い順から圧力測定を行っているため、交換直後の圧力測定では、試験回数が増加するほど圧力が低下している様に見える。この理由としては、交換直後のゴム隔膜が“堅い”と推測されるためである。“堅さ”を開放する方法としては、圧力規定に入るまで膨張高さを10mmとする方法（繰り返し行う）が考えられるが、現実的な操作であるとは思われない。やはり今回行ったウォーミングアップなど、ゴム隔膜への強制的な操作が現実的な方法と考えられる。

今後について

今回提示した知見は、試験器製造メーカーなどでは、常識的な内容であり、取扱い上の注意事項的なものであると思われる。

破裂試験の精度については、変動係数（変動係数： $C.V. = \sqrt{\sigma^2} / \bar{X}$ 、ただし標準偏差： $\sqrt{\sigma^2}$ 、平均値： \bar{X} ）で表した試験所間の再現性がクラフトライナで6.7%（圧力換算で約100kPa弱）あるとされている¹⁾。変動係数は単位の無い相対的なバラツキを表すものであり、例示した6.7%という値からも判る様に試験所間で得られた結果がばらつく試験と言える。

このバラツキに大きく寄与する要因が交換時におけるゴム隔膜の取扱いにあるとは、今回の結果で述べることは出来ない。ゴム隔膜交換時に必要となる操作方法は今回詳細に明示していないが、ゴム隔膜の装着方法、ゴム隔膜と下側締付板との固定方法などが挙げられる。これらの操作方法は、試験機器固

有の操作が必要で統一規格の策定が難しいと思われるが、測定結果のバラツキを検討する上で、操作指針が必要になると考える。少なくとも交換時におけるゴム隔膜の取扱いについて、メーカーからの丁寧な説明が必要になると考える。

参考文献

- 1) 財団法人規格協会、JIS P 8131：2009板紙－破裂強さ試験方法：JIS ハンドブック 32紙・パルプ、331-340P、2011年1月。

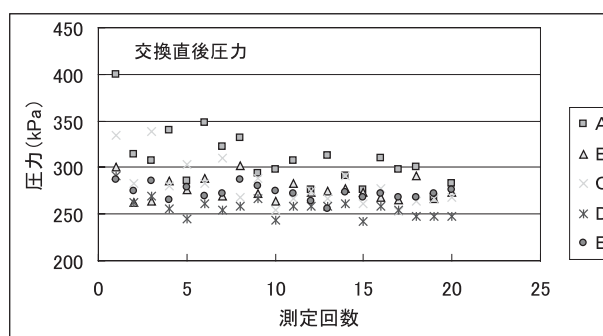


図3 ゴム隔膜交換直後の圧力

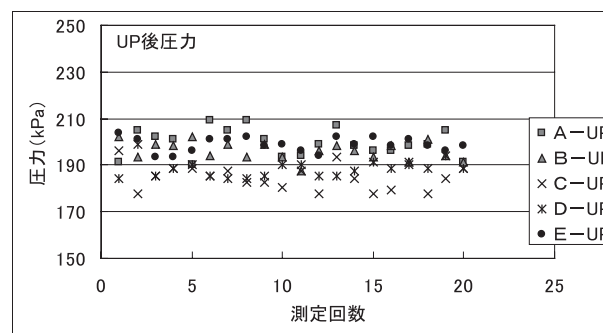


図4 ウォーミングアップ後の圧力

静岡県におけるコーティング技術開発の取組み

富士工業技術支援センター 真野 毅 高木 誠 田中翔悟

Approach of Coating Techniques in Shizuoka Prefecture

Tsuyoshi Mano, Makoto Takagi and Shogo Tanaka,

型技術協会 型寿命向上研究委員会平成22年度第1回研究会資料, 1-7 (2010)

静岡県は全国有数のものづくり県として知られている。このものづくりに欠かせないのが「金型」である。静岡県では、試験研究機関が取り組むプロジェクト研究として、金型へのコーティング技術の開発に取り組んでいる。金型は、プレス、ダイカスト、プラスチック用途など加工法を問わず高速化・高品質化への対応により使用環境が過酷になっている。例えば、静岡県が全国2位の生産額を有するダイカスト金型は、生産工程の高速化の影響で寿命が3割も減少している。金型は高価であるだけでなく、素材価格の影響を受けやすいため、寿命向上は基盤産業において緊急の課題となっている。

本研究は、基盤産業の競争力強化と生産性向上への直接的な支援を行うことを目的として、生産用金

型の長寿命化・高機能化を実現する高度コーティング技術の開発を進めている。特に、静岡県で製造が盛んなアルミダイカスト部品やプラスチック部品等の金型を対象として、長寿命化を実現するコーティング技術の確立を目指している。ものづくりを支える金型の長寿命化・高機能化を達成する本研究の成果は、県内産業の生産性の向上に寄与するものである。

またプロジェクト研究では、基礎的研究としてコーティングの密着性を改善し、耐久性を向上させる取組みも継続して行っている。本資料では、このコーティングの耐久性向上技術を医療分野に応用した事例として、患者負担を軽減できる整形外科用の手術器具を開発した成果についても報告した。

ダイカスト金型を長寿命化するハードコーティング技術の開発

静岡県工業技術研究所 田中翔悟 高木 誠 真野 毅

Development of Hard Coating techniques for Highly-Durable Casting Die

Shogo Tanaka , Makoto Takagi and Tsuyoshi Mano

表面技術協会誌, 7, 2010

ダイカスト法は、溶融金属を金型に高速、高圧注入し、複雑形状の製品を大量生産する鋳造法であり、その金型は溶融金属との低反応性や耐熱衝撃性などの一層の向上が望まれている。研究では、PVD法（物理気相蒸着法）によるコーティングによって金型の劣化要因の一つである「溶損」（溶融金属との合金化による金型部材の損耗）がどの程度抑制できるかを評価し、溶損が起きるメカニズムを解析した。溶損を簡易的に評価する装置を用いて、溶融したアルミ合金（ADC12）（約670℃）中にコーティングを施したテストピース（TP）を浸漬し、回転させる試験を行った。試験後のTPについて、付着したアルミ合金を除去した後に重量減少（溶損量）を算

出し、表面・断面の観察および組成分析を行った。

PVDコーティングを施したTPの溶損量は、未処理、窒化処理のみの場合に比べて大幅に減少した。コーティングを施したTPでは、損耗部は孔状に分布していた。孔の断面をSEM観察し、EDXにより分析した結果、変色した領域では母材の成分（Fe、C他）に加えてアルミ合金に由来する成分（Al、Si）が検出されたため、母材と溶湯の合金化により溶損が進行することが推測された。

PVDコーティングには溶損を抑制する効果があることがわかった。また、溶損は母材と溶湯の合金化により進行することが推測された。今後は、溶損孔の起点の解明を進めていく。

REPORTS
OF THE
INDUSTRIAL RESEARCH INSTITUTE
OF SHIZUOKA PREFECTURE, HAMAMATSU

静岡県工業技術研究所
浜松工業技術支援センター研究報告

静岡県工業技術研究所
浜松工業技術支援センター
浜松市北区新都田1丁目3番3号

INDUSTRIAL RESEARCH INSTITUTE OF SHIZUOKA PREFECTURE, HAMAMATSU
1-3-3 Shinmiyakoda, Kita-ku, Hamamatsu city, Shizuoka, 431-2103 Japan

レーザーマーキング繊維と微細マーキング技術の開発

光科

シキボウ株式会社開発技術部

大阪大学レーザーエネルギー学研究センター

植田浩安 渥美博安

辻本 裕

徳村啓雨 實野孝久

Development of Laser Marking Fiber and Micro-Marking

Hiroyasu Ueta, Hiroyasu Atsumi, Yutaka Tsujimoto, Keiu Tokumura, and Takahisa Jitsuno

In the textile industry, new technology and high value-added product using laser are expected. We have developed laser marking fiber and micro-marking on this fiber using YAG laser. But YAG laser is too expensive, so the laser device with a higher cost performance is demanded. An excellent light source, laser diode (LD) presents several advantages such as small size, light weight, high efficiency, and low cost. We have developed a violet laser diode (VLD wave length:405nm) for direct processing. Because wavelength of VLD is short, VLD is expected to produce a small beam spot. A precisely focused VLD beam has been used for microscopic color marking of dye to PET material as well as color marking on fibers. The laser light of a single-mode VLD is collimated, and the wavefront aberration of this beam is measured and corrected so that the light can be precisely focused. This corrected light is precisely focused and the dye and pigment applied to plastic surfaces is irradiated. As the result, we were able to achieve color-micro-marking without using any absorbents on the irradiated portion. The scheme has enabled 100 micron and 200 micron microscopic character marking, and microscopic marking to polyester fibers has been achieved.

1. はじめに

低迷する繊維業界において、最先端技術のひとつであるレーザーを応用した新しい技術開発や高付加価値製品の開発が期待されており、エキシマレーザーを利用した漂白¹⁾や炭酸ガスレーザーを利用したレーザー延伸²⁾などの研究開発の報告がみられる。

一方、繊維製品などの模倣や偽造品が知的財産権の侵害で摘発される件数は、毎年400件以上に達している。しかし、摘発されるのは氷山の一角であり、ブランドメーカーでは、この対策に頭を痛めている。ブランドデザインは付加価値を高める上で重要な要素であり、こうしたブランドデザインが正しく評価されるとともに、消費者が安心して購入できる流通方策の確保は急務となっている。そこで、シキボウ(株)と共同で、レーザーマーキング用繊維とこの繊維に肉眼では判読できない微細な文字をマーキングする技術を開発した。さらに、この繊維を偽物防止用新素材として、ブランド品の真贋判別に利用する手法についても研究した³⁾。

当初、YAGレーザーを利用して研究を進めてき

たが、装置の小型化・低価格化や色の情報を付加させたマーキングに対応したいという技術的な課題が顕在化してきた。そこで、比較的価格が安く小型で高効率な半導体レーザーを光源として利用し、プラスチック表面へのカラー微細マーキングを可能にしたので併せて紹介する。

2. YAGレーザーによる繊維への微細マーキング技術

自動車部品や電化製品の部品のプラスチック材に熱発色する材料を混練して表示マーキングすることが一部で利用されている。この技術を応用して、ポ

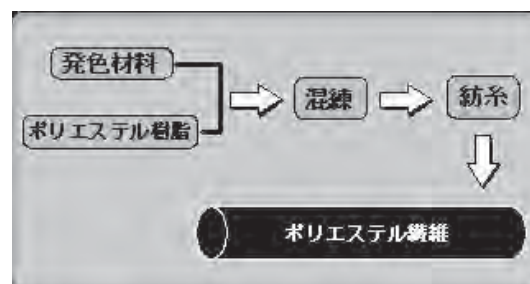


図1 レーザーマーキング繊維



図2 ポリエステル繊維 (0.1mm) への微細マーキング (0.06mm)

ポリエステル繊維に熱発色材料を練り込んで紡糸し、これにレーザーで微細なマーキングが可能な「レーザーマーキング用繊維」を開発した⁴⁾。この工程を図1に示す。レーザーマーキングはスキャン方式のYAGレーザーマーキング装置を使用した。糸の素材は広く利用されているポリエステルとし、0.1mmφのモノフィラメントへの0.06mmの文字をマーキングすることを目標とし、エネルギー密度などのレーザーの照射条件を最適化することにより、目標のサイズの文字を明瞭にマーキングできることを確認した。この大きさの文字は肉眼では判読できない。目標であった0.1mmφのフィラメント上に0.06mmの文字をマーキングすることが可能となったが、このマーキング繊維を販売するためには、連続したフィラメントへしかも明瞭に印字することが必要となる。そこで、フィラメントのガイドをXYZステージ上に固定し、CCDカメラ、ステージを利用してレー



図3 レーザーマーキング繊維の応用例
シキボウ子供服「BABAR」のサンプル製品

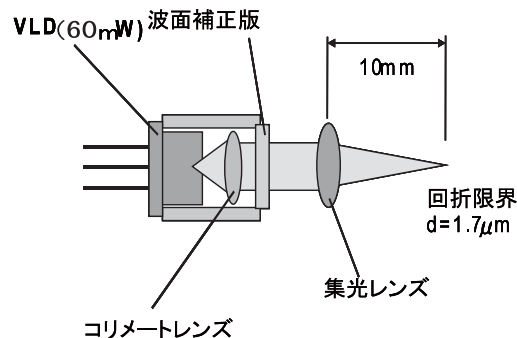


図4 VLDユニットの構成

ザーの照射位置を補正しながら、正確に位置合わせをする機構を造り上げた。この機構とレーザーマーキング装置を組合せることにより、連続したフィラメントに明瞭に文字をマーキングすることが可能となった。図2に連続印字したマーキング繊維の写真を示す。フィラメント上へマーキングする場合、フィラメントの断面は円形であり、フィラメントの中心から離れるほど曲率が大きくなる。フィラメント径に近いサイズの文字を描くと中心より離れた部分では、焦点ずれや位置ずれに起因した不明瞭なマーキングとなりやすい。明瞭な文字を印字するためには、小さな文字をフィラメントの中心線に沿って印字することが理想的であることから、レーザーの照射系や照射条件の最適化などの工夫を行った。また、図2に示す0.1mmφのフィラメント上へ0.06mmの文字の印字は、明瞭でバランスよくマーキングされている。この微細な文字を書き込んだフィラメントをブランド品のある部分に縫い込んだ試作サンプルを図3に示す。これは、シキボウ(株)における子供服ブランド「BABAR」のサンプル製品である。0.06mmの「BABAR」の文字を連続して印字した太さ0.1mmのフィラメントが、織りネームの一部に隠しマーキングとして織り込まれている。肉眼では文字の印字されたフィラメントの存在すら確認できない。利用するブランドメーカー以外は、書き込んだ情報もさることながら、フィラメントのある場所も探し出すことは困難である。ブランドメーカーだけが知る場所に書き込んである情報から、本物と偽造品を区別することができる。

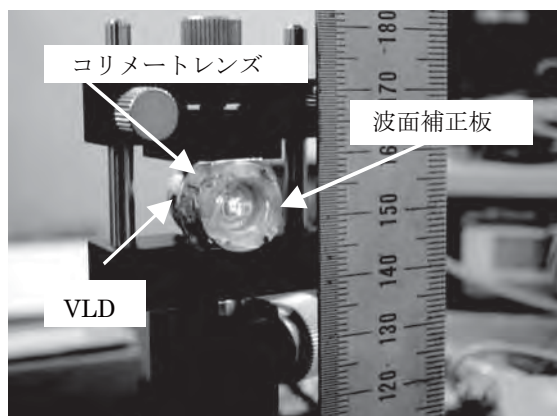
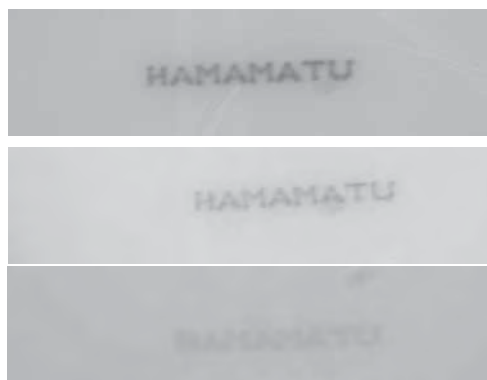


図5 試作したVLD光源ユニット

図7 青・赤・黄の微細マーキング (100 μ m)

3. 密集光した紫色半導体レーザーによる微細マーキング

3. 1 プラスチック材料へのカラーマーキング

開発したマーキング方法と装置では、繊維への文字の書き込みと微細化による当初の目的は達成できたが、レーザー光源がYAGレーザーであるため、装置が高価であり、サイズも大きいものである。また、開発したマーキング繊維は黒色に白色文字のマーキングのみであり、用途に限界があるため、装置の低価格化やカラーマーキング化の課題解決に取り組んだ。光源のサイズの課題に対して、小型・軽量で、かつ光電変換効率が高く、さらに短波長光であり、集光径が小さくできる紫色半導体レーザー (VLD) を使ったマーキング装置の開発に取り組んだ。

まず、光源ユニットの開発に取り組んだ。光源ユニットはVLD、コリメートレンズ、波面補正板で構成し、その位置関係を図4に示す。VLDから出てくるレーザー光を波面補正技術⁵⁾で収差を低減した後、微小に集光して加工に必要なエネルギー密度

を得ることができる小型の光源ユニット (図5：親指大) を創り上げた。このVLD光源ユニットは一度、補正すると以後の調整は不要であり、半導体レーザーの特徴である長寿命、堅牢性の高さなどのメリットも発揮できる。VLD光源ユニットとXYステージを組み合わせ、マーキング装置を試作した。

次に、このマーキング装置を利用して、プラスチック材料 (PET) のカラー微細マーキングの実験を行った。色材は分散染料と顔料を用い、捺染用の糊材に対し、分散染料は10%、顔料は20%の割合で混ぜ、良く攪拌して均一に分散させた。図6に示すようにPET板の上に薄く塗り乾燥させた後、レーザーを照射した。レーザー照射後、アルコールで未固着の染・顔料を拭き取った。その結果、分散染料及び顔料による青、赤、黄の三原色のマーキングをPET板上へ固着させることができた。

さらに、PET板のマーキング文字の微細化を試みたところ、PET板の上に0.1mmの文字を青、赤、黄の三原色で明瞭にマーキングすることができた (図7)。

3. 2 モノフィラメントへのカラーマーキング

今回試作したVLDユニットを利用して、白色PET板へ明瞭な微細マーキングが可能になったことから、PET糸へカラー微細マーキングを試みた。肉眼では判読できないレベルの200 μ mの文字を十分に書き込める300 μ mモノフィラメントを作製し、このフィラメントへの書き込み試験を行った。まず、マーキングの耐光性などの堅牢度に優れる顔料を微細マーキング用の色剤として用いることとした。

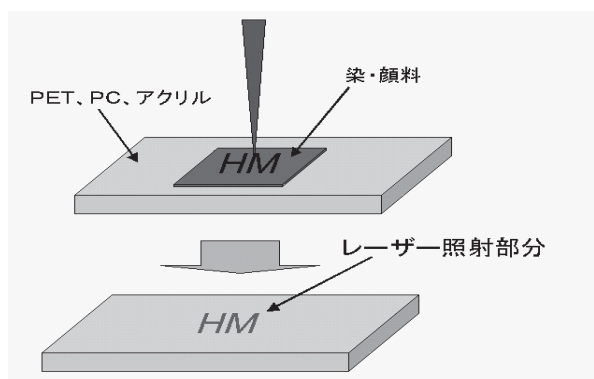


図6 カラーマーキング工程

【報告】

300 μm のモノフィラメントへ200 μm の文字のマーキングを試みた。マーキングは判読可能であったが、PET繊維を溶融して固着している様子が確認され、これ以上の微細化は難しいと考えられた。そこで、色剤として分散染料を用いて、PET板材料に100 μm の文字をマーキングした場合と同じレーザーの照射条件により300 μm ϕ のフィラメント上へ100 μm のマーキングを試みた。試作した実験システムでは焦点深度が浅く、フィラメントへのマーキングでは焦点ずれによるマーキングの明瞭さが確保できないことが予測されたが、通常利用されている断面が円形の糸へのマーキングを試みた。その結果を図8に示す。焦点深度が浅いことから生じる不明瞭さはなく、明瞭なマーキングが確認できた。これにより、300 μm と少し太めであるがモノフィラメントへの微細なカラーマーキングを実現することができた。今回実現した100 μm の大きさの文字であれば、150 μm ϕ 以下のフィラメントへマーキングをすることも可能と考えられる。

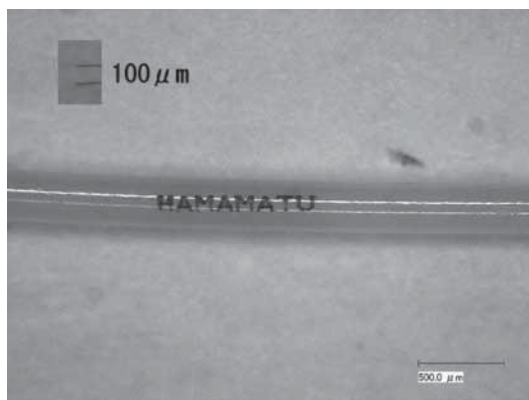


図8 分散染料を利用したPETフィラメントへのカラーマーキング

4. まとめ

発色材料を練り込んだポリエステルモノフィラメント上の微細領域へレーザーマーキングする方法

について検討した結果、レーザー照射系や照射条件を最適化することにより、0.1mm ϕ 糸上に0.06mmの文字を明瞭に印字することができた。肉眼では判読できないこうした文字を書き込んだ糸をブランド品の一部に縫い込むことによって、「レーザーマーキング繊維」が偽物防止用新素材として、真贋の判別に効果が期待できる。

VLDとコリメーターレンズをアルミ治具に組み込んで位置調整した後に、VLD光の波面収差をレーザーアブレーション整形で修正する方法で親指大の小型のユニットを試作した。ユニットは最初に波補正を行っておくと、その後は無調整で利用できるため、簡便・堅牢で利用し易いユニットとなった。また、この光源ユニットとXYステージを組み合わせ、微細マーキング装置を構築した。この装置を利用することによって、プラスチック表面に100 μm の微細なカラーマーキングを明瞭にすることが可能となった。レーザー照射のパルス化や塗布する染料層の厚さを薄くするなどマーキング時の条件を最適化し、繊維表面への熱的なダメージを抑えることによって、分散染料を用いてPET繊維の表面に100 μm の微細なカラーマーキングを実現することができた。

現在のように企業活動がグローバル化し、海外においても製品が競合する企業にとって、トレーサビリティの手法や偽造防止の手段として、このようなマーキング技術が利用できるものと考えられる。

参考文献

- 1) 特開平11-43861
- 2) 伊香賀他：繊維学会誌58, 8 (2002)
- 3) 植田他：繊維学会誌63, 39 (2007)
- 4) 辻本：レーザ加工学会誌10, 239 (2003)
- 5) 實野他：高温学会誌30, 81 (2004)
- 6) 植田他：レーザー研究 35, 100 (2007)

レーザーによる金属と樹脂の接合

光科

株式会社新技術研究所

山下清光 渥美博安

平井勤二 菅谷卓生

Laser Joining of Metal and Plastic

Kiyomitsu Yamashita, Hiroyasu Atsumi, Kinji Hirai and Takutaka Sugaya

The joining of a metal and a plastic that Advance Technologies Inc. developed is technologies that unite molecules by heating. This technology was difficult for the joint of the complicated geometries in earlier heating methods.

Then, a metal and a plastic were welded with the laser that was able to be heated local, and welding strength for practical use was obtained.

1. はじめに

レーザーによる金属と樹脂の接合は、樹脂の金属へのアンカー効果によるものと言われている¹⁾。

株式会社新技術研究所が開発した金属と樹脂の新しい接合技術（CB処理）は、図1に示すように熱を加えることで分子レベルで結合反応をさせる新しい技術である²⁾。そのため、熱エネルギーの供給が必須である。

家電・情報機器、自動車用電子部品分野において、金属部品上に樹脂成形部品を接合させる構造の製品が多い。しかし、これらの製品は、製品全体に熱を加えることができないものや構造が複雑なものが多く、従来の熱板や超音波溶着法などで接合させることができない。このことがCB処理技術の実用化の妨げとなっている。

本研究では、CB処理技術の実用化に向けた金属と樹脂の新たな接合技術を開発するため、熱エネルギーを局所的に供給することが可能なレーザーを使用し、レーザー照射による金属と樹脂を溶着させる基本条件を明らかにすることを目的とする。

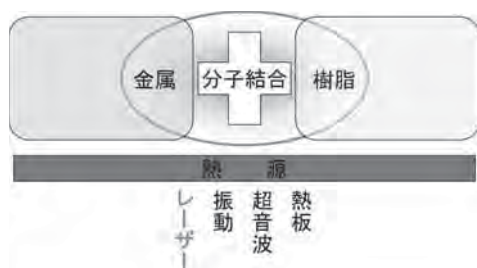


図1 レーザーマーキング繊維

2. 方法

大きく分けて下記の3項目の測定および実験を行った。

・樹脂の分光特性の測定

試料樹脂のレーザー波長に対する透過率を測定し、レーザー照射面を樹脂か金属かのどちらにするかを決定した。

・レーザー照射による金属表面の温度測定

樹脂の熔融温度のレーザー照射条件を見出すために行った。

・レーザー照射による金属と樹脂の溶着実験

温度測定より得た結果から、金属と樹脂の溶着を行い、引張試験により溶着の評価を行った。

2. 1 樹脂の分光特性の測定

樹脂素材のレーザー光の吸収透過性の測定方法 自記分光光度計UV3150（株式会社島津製作所製）を用いて、透過、反射特性の測定を行った。

測定は、積分球（150nm）で行った。波長は400nm～1200nmの可視領域から近赤外領域まで測定し、透過と反射から吸収率の算出を行った。

測定対象は、PA66、ABS、PC-ABS、PPS、PBT3300、PBT3316、PBT930HLである。

2. 2 レーザーによる実験

レーザー光源は、アルミニウムにも吸収のある波長808nmの半導体レーザーを選んだ。半導体レーザー素子は、JENOPTIK社製210Wファイバ出力型半導体レーザー（JOLD-210-CAXF-6A808）を使用し

【報告】

た(図2)。半導体レーザー素子の駆動には、(株)ユニタック製大出力LD電源(NELD1660)を、半導体レーザー素子の冷却には、リオン熱学(株)製レーザー用純水冷却装置(RC-250A-KE3B)を使用した。光ファイバを図3の集光レンズに接続し、固定治具に試験片を固定させ、レーザー溶着に使用した。



図2 半導体レーザー素子



図3 集光レンズと固定治具

2. 3 レーザー照射による金属表面の温度測定

CB処理により、金属と樹脂を溶着するためには、金属表面を樹脂の熔融温度以上に昇温し、金属表面に処理したCB処理の分子接合化合物と樹脂とを化学結合させる必要がある。

化学結合反応に最適な条件にするには、金属表面の温度を制御する必要があるので、レーザー照射において、照射時間に対する金属表面の温度変化を把握する必要がある。

(1) 試料

今回、溶着実験に用いた試料(金属、樹脂)を表1に記す。ただし、温度測定を行ったのは金属のみである。

表1 試料サイズ

試料		幅 (mm)	長さ (mm)	厚さ (mm)
金属	SUS304	20	80	1.5
	SPCC (冷間圧延鋼板)	20	80	1.2
	A5052 (アルミ圧延板)	20	80	1.5
樹脂	PA66(ガラス繊維添加)	20	80	3

(2) レーザー実験配置

光ファイバ先端を集光レンズに接続し、集光レンズと金属板の間にシリンドリカルレンズを設置した(図4)。金属表面におけるレーザーのビーム断面形状を図5のように楕円状にし、その長軸が金属端面から5mmの位置に配置した。

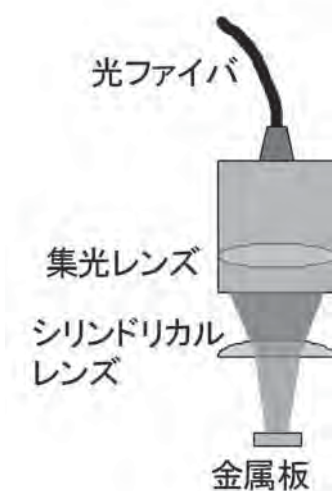


図4 実験配置

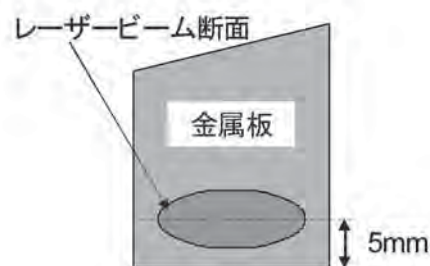


図5 レーザービーム断面

【報告】

(3) 温度測定

金属の温度は、図6のようにレーザーを照射する側の金属表面とは反対側の表面に3つの熱電対を配置し、断熱材で押し付けて固定し、測定した。

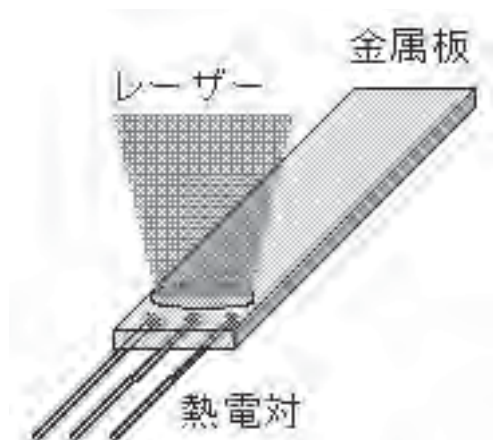


図6 温度測定

2. 4 レーザー照射による金属と樹脂の溶着実験

(1) 試料

溶着実験に用いる金属は表1の中で昇温し易いSUS304と昇温し難いA5052を選び、樹脂には溶着強度が見込まれるPA66（ガラス繊維添加）を選んだ。

SUS304、A5052ともCB処理されたものを使用した。なお、A5052には光吸収剤を塗布して溶着実験を行った。

(2) 実験配置

図7のように金属片と樹脂片を重ね合わせ図3の固定治具で固定し、ビーム断面を楕円状にしたレーザー（90W）を金属側から照射時間を変えて照射し、樹脂片と溶着させた。

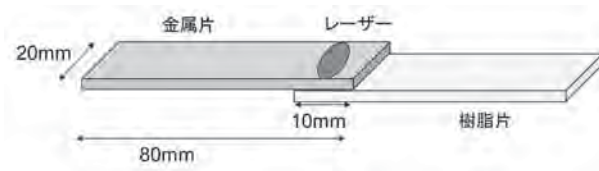


図7 金属と樹脂のセッティング

3. 結果

3. 1 試験樹脂のレーザー光の吸収透過性

試験樹脂のレーザー光に対する透過率を表2に示す。

ABSとPC-ABSは、今回使用するレーザー光の波長（808nm）に対して透過性が見られるが、その他の樹脂は透過性がなく、樹脂側からのレーザー照射で金属と接合させるのは不可能と考えられる。この結果から、本研究では、金属側からレーザー照射する方法をとった。

表2 レーザー光の透過率の測定結果

樹脂	色	波長808nmの透過率 (%)	波長808nmの吸収率 (%)
PA66	黒色	0	96
ABS	黄白色	33	33
PC-ABS	白色	25	24
PPS	肌色	1	28
PBT3300	黒色	0	95
PBT3316	黒色	0	94
PBT930HL	白濁色	3	20

3. 2 レーザー照射による金属表面の温度測定

現在、溶着目的で使用されている主要な樹脂の溶融温度が250℃近辺のものが多いことから、本研究では樹脂の溶融温度に250℃を代表値として実験を行った。

SUS304、SPCC、A5052の金属片にレーザーを照射し、250℃に昇温に要するレーザーの照射時間を図8に示す。ここで光吸収剤（オリエント化学工業（株））を塗布したものを「B」、塗布していないもの

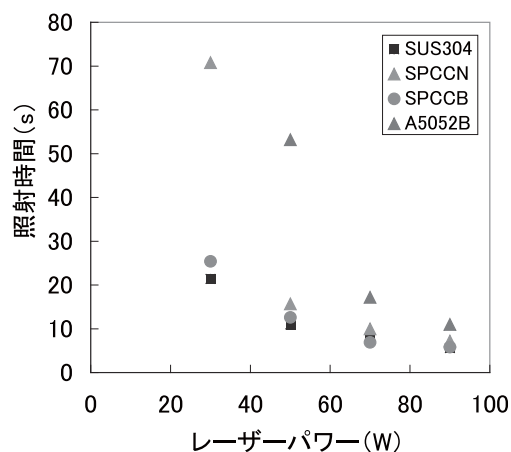


図8 金属表面を250℃に昇温するレーザーパワーと照射時間の関係

【報告】

のを「N」と記載した。A5052Nはレーザーパワー90W、100秒照射で250℃に昇温しなかったため、図8には記載していない。また、光吸収剤を塗布したA5052Bの20Wについても同じ理由から図に記載していない。

これより、照射するレーザーパワーが高いほど照射時間が短い時間で昇温できることを確認した。図9はレーザー（90W）照射による金属の温度の時間変化を示した。それぞれの金属試料において、表面温度が250℃を超えたらレーザーの照射を止めて測定したものである。

A5052N（光吸収剤塗布なし）は、レーザー（90W）を100秒間照射しても250℃を超えなかった。SUS304とSPCCに比べ、808nmの波長の吸収率の低いA5052は、光吸収剤を塗布することでSUS304やSPCCに近い照射時間で250℃に昇温することができた。アルミニウム材は光吸収剤を塗布しないと加熱が困難であることがわかったとともに、光吸収剤の効果が大きく現れ、その有効性がわかった。また、SPCCは素材自体が808nmの吸収率が高いため、光吸収剤の効果がA5052ほど現れなかった。

これより、光吸収剤の効果の度合いは金属の素材に依存することがわかった。

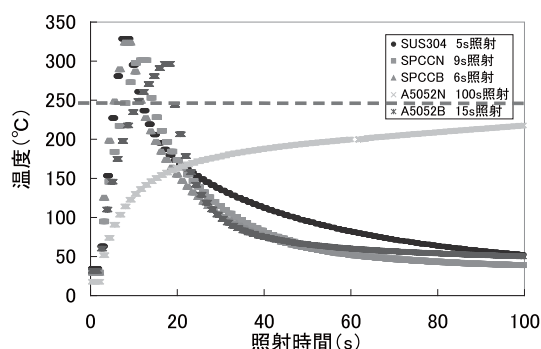


図9 レーザー90W照射の金属表面温度変化

3. 3 レーザー照射による金属と樹脂の溶着実験

図10にSUS304とPA66（ガラス繊維添加）のレーザー照射時間とせん断引張り強さの結果を、図11にはA5052（光吸収剤塗布）とPA66（ガラス繊維添加）の結果を示した。引張り強さの測定は、島津製作所製オートグラフAG-10TDを使用し、引張速度5 mm/minで行った。各試験片の溶着面積は、せ

ん断引張り試験後、溶着界面を剥離し、樹脂の溶融部の面積を測定した。

その結果、SUS304はレーザー（90W）を4秒以上の照射で溶着できた。また、A5052（光吸収剤塗布）はレーザー（90W）を130秒以上の照射で溶着できた。

SUS304とA5052（光吸収剤塗布）の溶着し始める照射時間はそれぞれ、4秒と130秒とで、照射したエネルギーとしては32倍以上異なる大きな差となった。

しかし、図9の温度昇温の結果から250℃に昇温するために必要なエネルギーはA5052B（Bは光吸収剤塗布を意味）はSUS304の3倍程度であり、図10、図11の溶着実験の結果と一致しない。

これは、A5052は、熱伝導率が高く熱が逃げやすいため、溶着に長い照射時間が必要になったと考えられる。そのため、アルミニウムのように高い熱伝導率の材料の場合、熱が逃げないように対策をする必要がある。

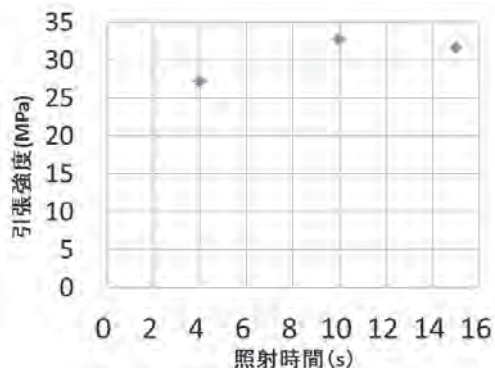


図10 レーザーの照射時間と溶着強度
(SUS304とPA66（ガラス繊維添加）)

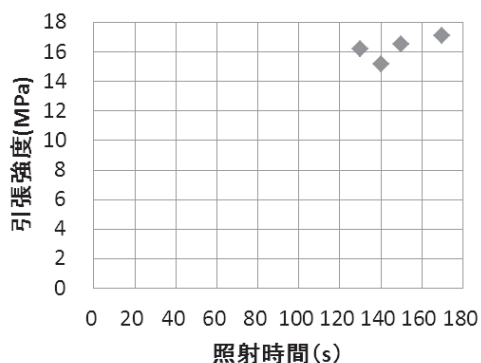


図11 レーザーの照射時間と引張強度
(A5052とPA66（ガラス繊維添加）)

【報告】

4. まとめ

CB処理技術の実用化を目的に局所的な熱エネルギーの供給が可能なレーザーを使用してCB処理された金属と樹脂を接合させる実験を行った。得られた結果は次のとおりである。

- SUS304、SPCC（冷間圧延鋼板）、A5052（アルミ圧延板）に対するレーザーパワー、照射時間の最適条件を見出した。
- SUS304とA5052（アルミ圧延板）とPA66（ガラス繊維添加）の溶着で、目標とするせん断引張り強さ6MPaに対して、SUS304で25MPa以上、A5052（アルミ圧延板）で16MPa以上と、十分高いせん断引張り強さを達成した。

今後は、実際の機器への応用を行い、実用化を目指す。

謝辞

本研究は、財団法人しずおか産業創造機構の静岡新産業クラスター研究開発助成を受けて実施したものである。

関係者各位に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 川人洋介他：金属と光透過プラスチックとのレーザー直接接合、第67回レーザー加工学会講演論文集、35-39.
- 2) 特開2011-052292「アルミニウム合金物品、アルミニウム合金部材およびその製造方法」

三次元測定機による幾何形状測定の精度評価

機械科 北川剛弘* 大澤洋文 柳原 亘

Evaluation of the Geometry Shape Measurement Accuracy by CMM

Takahiro Kitagawa, Hirohumi Oosawa and Wataru Yanagihara

It was performed to evaluate uncertainty of the geometry shape measurement by CMM (Coordinate Measuring Machine). The results are as follows.

(1) In the case of the single stylus method, it is possible to measure roundness, cylindricity and squareness within $\pm 1 \sim 2.5 \mu\text{m}$ uncertainty. (2) In the case of the multi stylus method, the value of uncertainty increase $1 \sim 1.5 \mu\text{m}$ compare with the single stylus method. (3) It was cleared that the main factor of uncertainty is bias of measurement value. And there is no effect on the measurement accuracy by the workpiece attitude, measuring position, measuring speed and stylus diameter.

1. はじめに

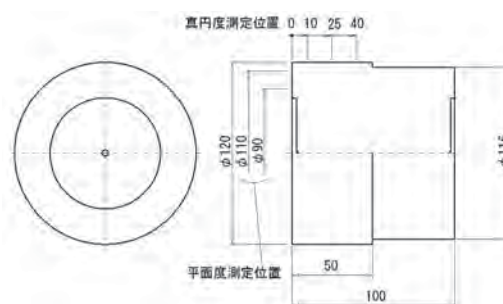
三次元測定機は、幾何形状要素の寸法や位置、形状偏差等を測定することにより、複雑形状部品を比較的簡単に評価することができることから、現在では広く生産現場に普及している。

一方、測定結果に対して不確かさを表示することが近年求められており、当センターでも、これまでに産総研によるボールプレートの持ち回り試験に参加するなど、所有する三次元測定機の不確かさの把握に努めてきた¹⁾²⁾。しかし、真円度や円筒度、平面度、直角度といった幾何形状偏差に関しては不確かさの評価を行った経験がなく、これらの依頼測定に対してはこれまで精度保証ができない状況にあった。

そこで今回、当センターが所有する三次元測定機を使い、幾何形状測定における不確かさの評価を行ったので報告する。

2000点のデータを取得したのち、2 RCフィルタにより50山以下の成分を抽出して最小二乗法により求めた。ただし、平面度は $\phi 110$ と $\phi 90$ の円周上をそれぞれ測定し、1つの平面として評価した。また、円筒度は3断面の円測定データから、真円度と同様のフィルタ処理を行い、最小二乗法により求めた。

なお、当センター所有の真円度測定機（タリロンド300、テーラーホブソン社製）を用いて各測定量を測定し、これを校正値とした（表1）。適用したフィルタ等は3次元測定時と同じである。



材質：SCM415（浸炭・サブゼロ処理）

図1 円筒型ゲージ

2. 実験方法

2. 1 測定対象物及び測定量

測定対象とした円筒型ゲージを図1に示す。測定量は、円筒部3断面の各真円度及び円筒度、上面の平面度、円筒軸と上平面の直角度の合計6項目とした。

真円度と平面度は、スキヤニング測定により1周

表1 真円度測定機による測定結果（単位： μm ）

真円度1（上面から10mm位置を測定）	0.30
真円度2（ “ 25mm “ ）	0.30
真円度3（ “ 40mm “ ）	0.35
円筒度（上記1～3の円測定データから計算）	0.50
平面度（上面 $\phi 90$ 、 $\phi 110$ の円周上を測定）	2.30
直角度（上記の円筒と平面のデータから計算）	0.40

*) 現 静岡県工業技術研究所

【報告】

2. 2 使用測定機と測定環境

測定に使用した三次元測定機の仕様を表2に、外観を図2に示す。装置は室温 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ の恒温室に設置されており、この環境で測定を行った。

表2 三次元測定機の仕様

機器名	Zeiss 社製 UPMC 850 CARAT	
20℃における 測定精度	1 軸	$0.5+L/900(\mu\text{m})$
	空間	$0.8+L/600(\mu\text{m})$
プローブヘッド	HSSスキャニングプローブヘッド	
ソフトウェア	Calypso Ver4.8	

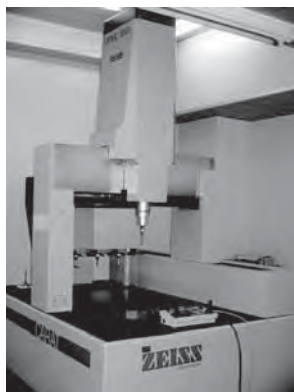


図2 三次元測定機

2. 3 測定方法

(1) 測定条件

誤差要因として表3に示す6要因を選択し、それぞれ2水準の組み合わせで、合計64回の多元配置実験を行った。ただし、測定の段取り変えを効率的に行うため、図3に示す順序の分割実験とした³⁾。図4～5に測定姿勢と測定位置を示す。

なお、 $\phi 8\text{ mm}$ のスタイラスは標準測定圧の0.2Nで、 $\phi 3\text{ mm}$ は剛性を考慮して0.1Nで校正を行った。剛性はそれぞれ70～130N/mmと10N/mmであった。

また、スキャニング測定の場合、測定物と同じサイズのマスターゲージを用意して動的校正を行えば高精度な測定が行えるが、日常の測定においては、必ずしもマスターゲージを用意できるとは限らないため、本研究ではあえて動的校正を行っていない。

(2) シングルスタイラス法とマルチスタイラス法

長尺円筒形状の中央部真円度や、円筒外周溝部の端面平面度などを三次元測定する場合、シングルスタイラスでは測定できず、複数本のスタイラスを切

り替えて測定するマルチスタイラス測定が必要な場合が多々ある。

表3 測定条件

要因	記号	水準	
反復	R	1 回目	2 回目
測定姿勢	S	垂直	傾斜
測定位置	P	左奥（原点側）	右手前（反原点側）
スタイラス径	D	8 mm（長さ63.5）	3mm（長さ58）
測定速度	V	3 mm/sec	6 mm/sec
繰返し	n	1 回目	2 回目

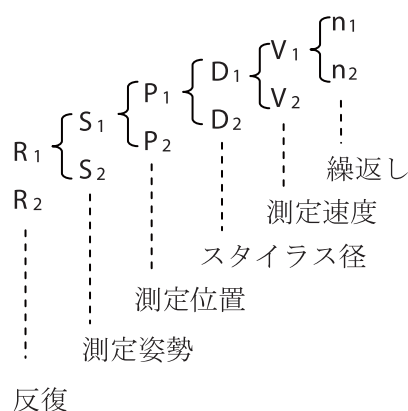
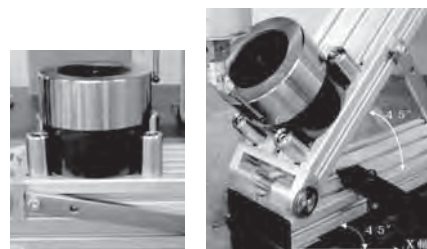


図3 測定順序



(a)垂直

(b)傾斜

図4 測定姿勢

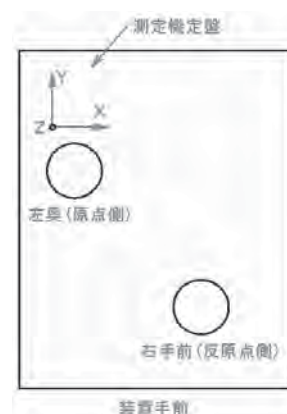


図5 測定位置

【報告】

そこで、両測定方法について2.3(1)に述べた条件でそれぞれ測定を行い、不確かさを求めた。図6に垂直姿勢を例に測定の様子を示す。

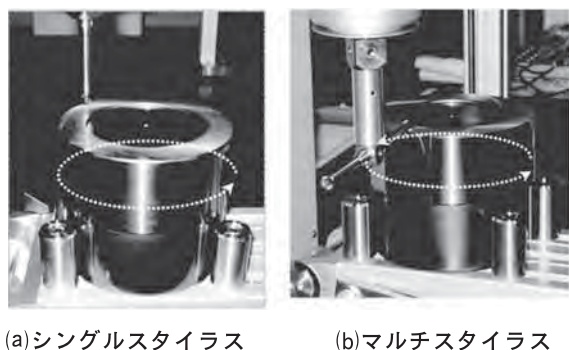


図6 測定の様子（垂直姿勢）

(3) 測定速度について

測定速度を決めるため、予備実験を行い測定速度と真円度の関係を調査した。その結果を図7に示す。

スキニング測定時の測定速度は、測定物の径をDmmとすると、メーカー推奨値はD/20～D/10mm/secであり、今回の場合6～12mm/secとなるが、当センターの装置では、4mm/secからビビリや遠心力による脈動が発生し始め、測定速度の増加に伴っ

て真円度が徐々に悪化した。そこで本研究では、脈動の発生しない3mm/secと推奨速度6mm/secの2水準を測定速度として設定した。

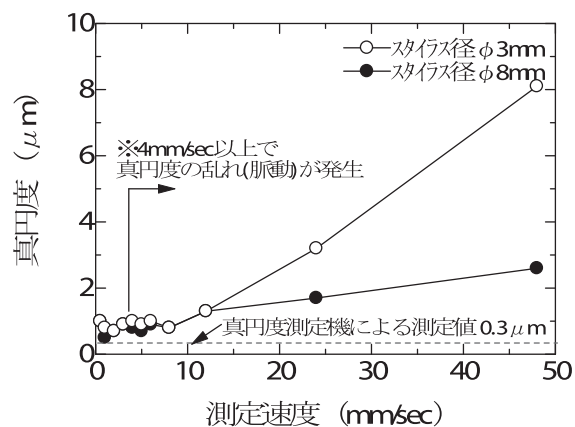


図7 測定速度と真円度測定結果の関係

3. 結果と考察

3.1 分散の推定と不確かさの算出

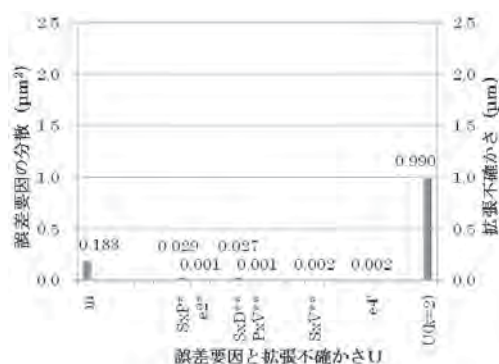
各誤差要因に起因する変動を推定し、不確かさを算出するために分散分析を行った³⁾。分析には各測定値から校正值（表1）をそれぞれ引いた偏差データを用いた。

表4 分散分析表の一例（真円度1をシングルスタイラス測定した場合） **：危険率1%で有意 *：危険率5%で有意

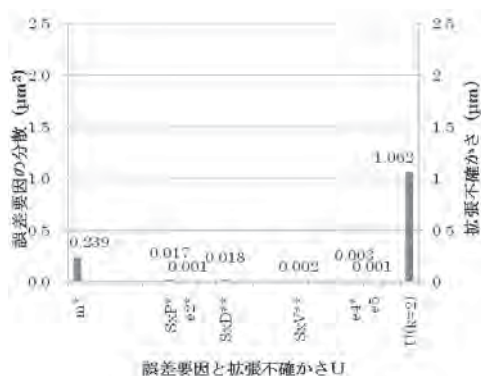
誤差要因	二乗和S	自由度φ	不偏分散V	不偏分散の期待値
一般平均 m	12.6914	1	12.6914	$\sigma_{e5}^2 + 2\sigma_{e4}^2 + 4\sigma_{e3}^2 + 8\sigma_{e2}^2 + 16\sigma_{e1}^2 + 16\sigma_{PxV}^2 + 16\sigma_{RxD}^2 + 16\sigma_{S \times P}^2 + 16\sigma_{SxV}^2 + 16\sigma_{SxD}^2 + 16\sigma_{DxV}^2 + 32\sigma_R^2 + 32\sigma_S^2 + 32\sigma_P^2 + 32\sigma_D^2 + 32\sigma_V^2 + 64\sigma_m^2$
測定の反復 R	0.0039	1	0.0039	$\sigma_{e5}^2 + 2\sigma_{e4}^2 + 4\sigma_{e3}^2 + 8\sigma_{e2}^2 + 16\sigma_{e1}^2 + 32\sigma_R^2$
測定姿勢 S	0.6602	1	0.6602	$\sigma_{e5}^2 + 2\sigma_{e4}^2 + 4\sigma_{e3}^2 + 8\sigma_{e2}^2 + 16\sigma_{e1}^2 + 16\sigma_{SxV}^2 + 16\sigma_{SxD}^2 + 16\sigma_{SxP}^2 + 32\sigma_S^2$
1次誤差 e1	0.0352	1	0.0352	$\sigma_{e5}^2 + 2\sigma_{e4}^2 + 4\sigma_{e3}^2 + 8\sigma_{e2}^2 + 16\sigma_{e1}^2$
測定位置 P	0.0189	1	0.0189	$\sigma_{e5}^2 + 2\sigma_{e4}^2 + 4\sigma_{e3}^2 + 8\sigma_{e2}^2 + 16\sigma_{PxV}^2 + 16\sigma_{RxD}^2 + 16\sigma_{SxP}^2 + 32\sigma_P^2$
交互作用 S×P	0.4727	1	0.4727	* $\sigma_{e5}^2 + 2\sigma_{e4}^2 + 4\sigma_{e3}^2 + 8\sigma_{e2}^2 + 16\sigma_{SxP}^2$
2次誤差 e2	0.0191	2	0.0095	* $\sigma_{e5}^2 + 2\sigma_{e4}^2 + 4\sigma_{e3}^2 + 8\sigma_{e2}^2$
スタイラス径 D	0.1914	1	0.1914	$\sigma_{e5}^2 + 2\sigma_{e4}^2 + 4\sigma_{e3}^2 + 16\sigma_{DxV}^2 + 16\sigma_{PxD}^2 + 16\sigma_{SxD}^2 + 32\sigma_D^2$
交互作用 S×D	0.4389	1	0.4389	** $\sigma_{e5}^2 + 2\sigma_{e4}^2 + 4\sigma_{e3}^2 + 16\sigma_{SxD}^2$
交互作用 P×D	0.0189	1	0.0189	** $\sigma_{e5}^2 + 2\sigma_{e4}^2 + 4\sigma_{e3}^2 + 16\sigma_{PxD}^2$
3次誤差 e3	0.0220	5	0.0044	$\sigma_{e5}^2 + 2\sigma_{e4}^2 + 4\sigma_{e3}^2$
測定速度 V	0.0189	1	0.0189	$\sigma_{e5}^2 + 2\sigma_{e4}^2 + 16\sigma_{DxV}^2 + 16\sigma_{PxV}^2 + 16\sigma_{SxV}^2 + 32\sigma_V^2$
交互作用 S×V	0.0264	1	0.0264	** $\sigma_{e5}^2 + 2\sigma_{e4}^2 + 16\sigma_{SxV}^2$
交互作用 P×V	0.0002	1	0.0002	$\sigma_{e5}^2 + 2\sigma_{e4}^2 + 16\sigma_{PxV}^2$
交互作用 D×V	0.0014	1	0.0014	$\sigma_{e5}^2 + 2\sigma_{e4}^2 + 16\sigma_{DxV}^2$
4次誤差 e4	0.0256	12	0.0021	$\sigma_{e5}^2 + 2\sigma_{e4}^2$
繰返し誤差 e5	0.0650	32	0.0020	σ_{e5}^2

【報告】

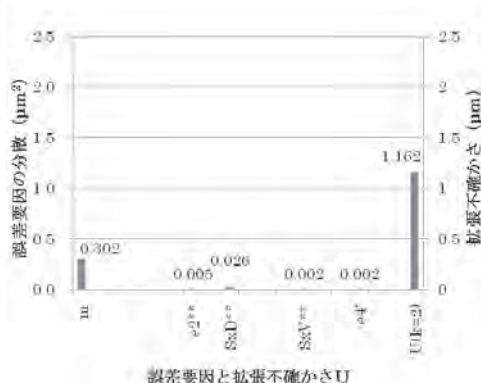
分散分析結果の一例（真円度1 シングルスタイラス測定の場合）を表4に示す。その他の測定量に対しても同様の分散分析を行った後、不偏分散の期待値の構造式を基に、有意な要因について分散成分を推定した。結果を図8(a)～(f)に示す。図中には、分散成分の合計の平方根をとり、包含係数として2を掛けた拡張不確かさUも併せて示す。なお、不確かさを求めるに当たり、一般平均mは他の要因に比べて今回影響が大きかったことから、有意でない場合も不確かさの計算に入れることにした。これは、今回の実験は水準数が少なく自由度が小さいため、検定精度が低いことを考慮したためである。



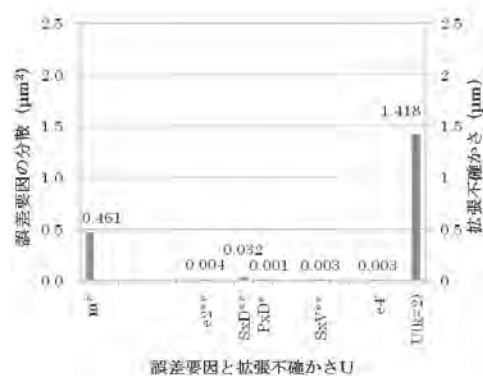
(a)真円度1（シングルスタイラス）



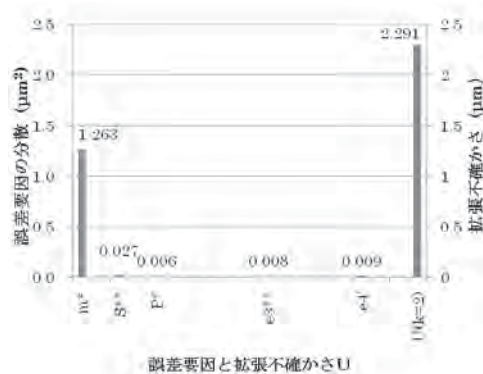
(b)真円度2（シングルスタイラス）



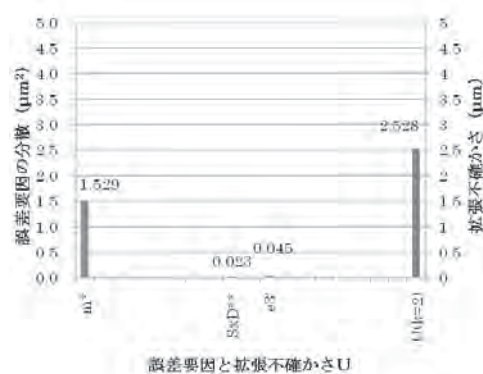
(c)真円度3（シングルスタイラス）



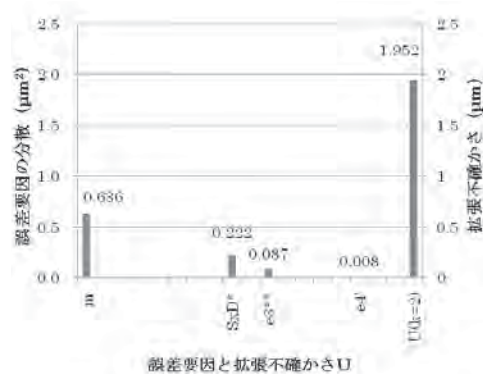
(d)円筒度（シングルスタイラス）



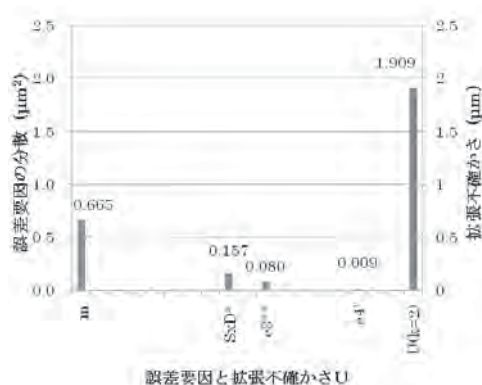
(e)平面度（シングルスタイラス）



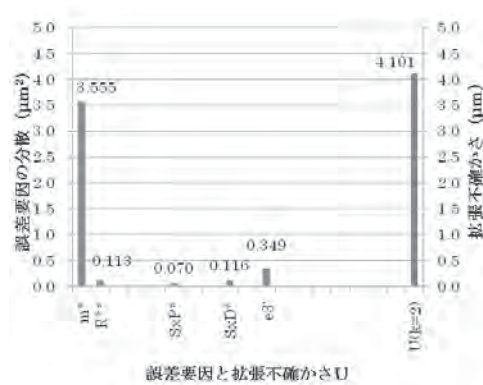
(f)直角度（シングルスタイラス）



(g)真円度1（マルチスタイラス）

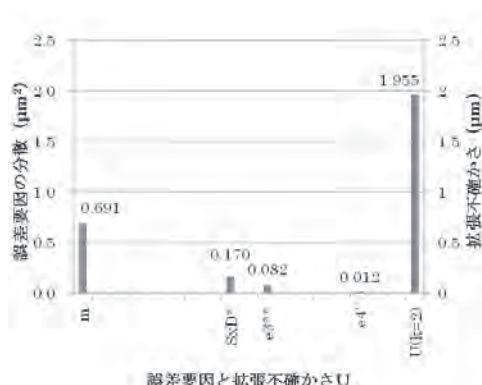


(h)真円度 2 (マルチスタイル)

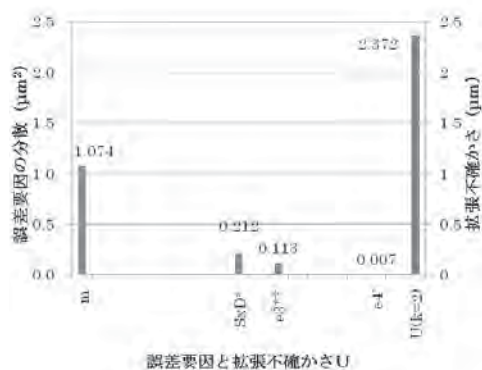


(i)直角度 (マルチスタイル)

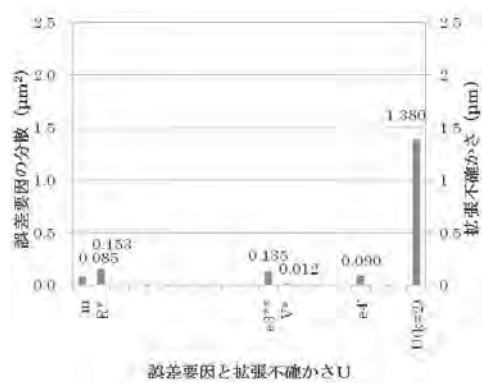
図8 誤差要因の分散の推定値と拡張不確かさ



(j)真円度 3 (マルチスタイル)



(k)円筒度 (マルチスタイル)



(l)平面度 (マルチスタイル)

3.2 考察

今回使用した円筒型ゲージは、平面度の測定対象面上に研削痕（クリス・クロス、斜子目）が予想以上に深く残ってしまっていた（図9）。このため、平面度の測定結果と校正值はスタイル径の影響を受けて、正しく測定機の性能を評価することができなかった。今後、ラップ加工を施して、研削痕を無くした上で再度評価を行う必要がある。

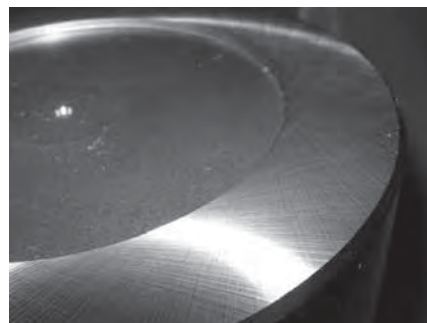


図9 円筒型ゲージ端面の研削痕

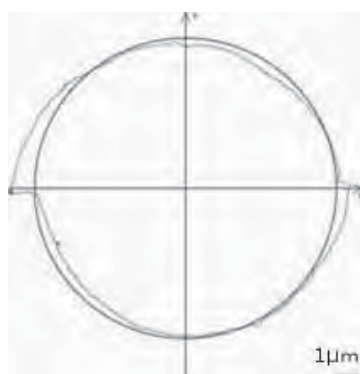
その他の測定量については、マルチスタイルによる直角度の測定を除き、反復Rの効果は認められず、実験の再現性は概ね良好と言える。また、シングルスタイルとマルチスタイルの両測定方法とも、測定姿勢S、測定位置P、スタイル径D、測定速度Vの効果は認められず、いずれの条件で測定しても有意なばらつきは生じていない。すなわち、今回の測定条件の範囲では当センターの三次元測定機はこれらの要因の影響を受けにくいと言える。

各誤差要因及びそれらの交互作用の中では、かたよりmの効果は支配的である。これは、三次元測定

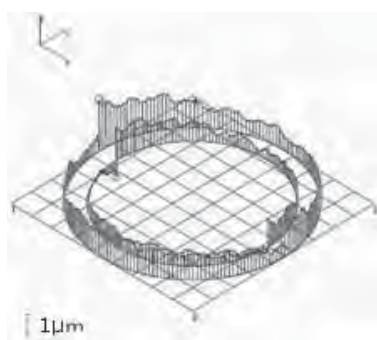
【報告】

機の構造がアッペの原理を満たしておらず、真円度測定機と比較して、誤差が大きく出やすいためと考えられる。

拡張不確かさは、マルチスタイラスの場合、シングルスタイラスと比べて約 $1 \sim 1.5 \mu\text{m}$ 増しとなった。これは、スタイラスを校正する際に、マルチスタイラスを構成する各スタイラス球の中心座標が数 μm のばらつきを持つため、測定中のスタイラス切り替え箇所で図10のような食い違いを生じた結果と考えられる。従って、当センターの三次元測定機の場合、マイクロメートルオーダーの精度が求められる測定にはマルチスタイラス測定は適さないと言える。



(a)真円度の例



(b)平面度の例

図10 マルチスタイラス測定の結果

4. まとめ

当センターが所有する三次元測定機を用いて幾何形状測定における不確かさ評価を行い、次の結果を得た。

- (1) シングルスタイラス測定の場合、真円度は $\pm 1 \mu\text{m}$ 、円筒度は $\pm 1.5 \mu\text{m}$ 、直角度は $\pm 2.5 \mu\text{m}$ 程度の測定が可能である。
- (2) マルチスタイラス測定の場合、校正時のばらつきが原因で、不確かさは $1 \sim 1.5 \mu\text{m}$ 程度大きくなる。
- (3) 今回の測定条件の範囲では、測定姿勢、測定位置、スタイラス径、測定速度の効果は認められず、測定値のかたよりが不確かさの主要因であった。

本研究で得られた知見を今後の技術相談や設備使用に活用し、地域中小企業の技術支援に生かして行きたい。

謝辞

本研究において貴重な助言を頂いた、長野県CDT研究所中村哲夫氏に感謝します。

参考文献

- 1) 大澤洋文他：「三次元測定機を用いたボールプレート測定における不確かさ算出について」静岡県工業技術研究所研究報告第2号、(2009)
- 2) 柳原亘他：「簡易検査ゲージを用いた三次元測定における不確かさ算出について(第1報)」静岡県工業技術研究所研究報告第3号、(2010)
- 3) 永田 靖：「入門実験計画法」日科技連、(2000)

三次元測定機におけるSN比を用いた不確かさ評価について

機械科 柳原 亘 北川剛弘* 大澤洋文

Measurement uncertainty evaluation by signal-to-noise ratio method using CMM

Wataru Yanagihara, Takahiro Kitagawa and Hirohumi Oosawa

It was tried to evaluate measurement uncertainty by signal-to-noise ratio using CMM (Coordinate Measuring Machine). As a result, it has been cleared that measurement uncertainty is evaluable in manufacturing stage without the calibration value, because is evaluable even when there is no calibration value. This method is easier than the conventional method, and it is possible to evaluate uncertainty from the accumulated routine data by this method. Moreover, the main factor of uncertainty is cleared by evaluating signal-to-noise ratio of each error factor.

1. はじめに

近年、測定値の信頼性を表す用語として「不確かさ」という尺度が使われ始めている。不確かさとは、「真の値」が測定値に対してどの程度のばらつきの範囲内にあるのかを規則に従って算出したものである。

従来は、不確かさを算出するために、何通りもの測定を行い、解析にも手間が掛っていたため、製造現場では不確かさの評価が普及しておらず、簡便な不確かさ算出手法が求められていた。

今回、当センターの三次元測定機を用いて、「SN比」というばらつきの評価尺度を使い、より簡便な不確かさの算出を試みたので報告する。

2. SN比について

2. 1 測定機の校正

寸法の異なる標準の真値を M_1 、 M_2 、 \dots 、 M_n として、これを測定したときの測定機の指示値を y_1 、 y_2 、 \dots 、 y_n とすると、三次元測定機の示す指示値 y は次のように一次式

$$y = \alpha + \beta M + e$$

で表すことができる(図1)。本式を変換すると、

$$M = \{(y - \alpha) / \beta\} - (e / \beta)$$

となる。ここで、右辺の第一項は測定機を校正した後の測定値、第二項は測定機を校正した後の誤差を表している。一般的に、測定機の校正とは、標準の

真値 M を測定したときの測定機の指示値 y の誤差変動が最小になるように一次式校正が行われたと仮定して回帰係数 β を求め、測定機の指示値 y から $(y - \alpha) / \beta$ の計算によって真値 M の推定値 \hat{M} を求めることである。したがって、測定の良否の判断に必要なのは指示値 y の誤差 e ではなく、推定値 \hat{M} の誤差 e / β である。なお、第二項の逆数を取り、二乗をした値 β^2 / e^2 が後述の2. 2節で述べるSN比を表している。つまり、SN比を求めるということは、測定機に校正を施した後に得られる測定値の誤差を評価するということである。

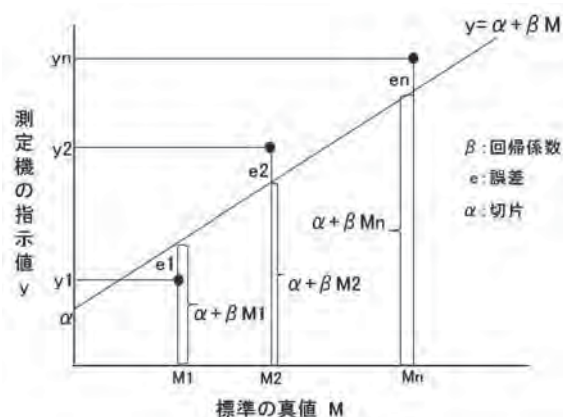


図1 標準の真値と測定機の指示値との関係

2. 2 SN比の意義

SN比(η)は、感度(β^2)とばらつき(σ^2)の比で

*) 現 静岡県工業技術研究所

表すことができる。そのため、感度 (β^2) が大きく、ばらつき (σ^2) が小さければSN比は大きくなり、その測定は信頼性が高いことになる。図2に示すSN比と測定機の特性を事例にして考えてみる。①の場合は、 β^2 が大きく、 σ^2 が小さいために、SN比は大きくなる。②の場合は、 β^2 が大きく、 σ^2 も大きいので、外乱の影響を受け易いことを表している。③の場合は、 σ^2 は小さいが、 β^2 も小さいため、現象の微妙な変化を見逃し易いことを表している。最後の④の場合は、 β^2 が小さく、 σ^2 が大きいので、SN比は小さくなる。従って、SN比を用いれば、測定機の特性、測定法、測定環境等を含めた測定の良し悪しを総合的に判断することができる。

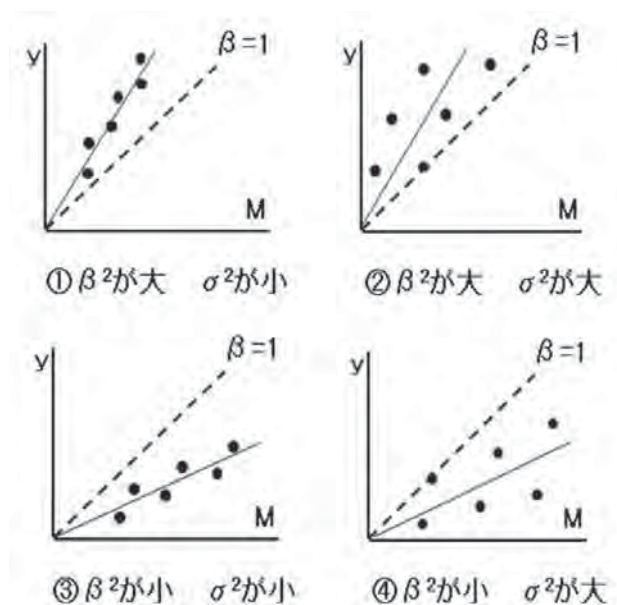


図2 SN比と測定機の特性

3. 実験

3. 1 測定対象物及び測定量

測定対象とした簡易検査ゲージを図3に、仕様を表1に示す。図3においてボール1を原点、ボール2をX軸上（正方向）、ボール8をXY平面上にあるとした右手座標系に対して、各ボールの中心座標値を測定した。そして、原点（ボール1）から各ボールまでの距離を算出し、測定量とした。

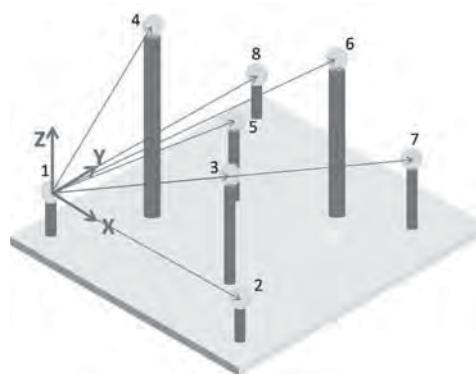


図3 簡易検査ゲージ

表1 簡易検査ゲージの仕様

産総研製簡易検査ゲージ※(シリアル番号:08AA7603)				
ベースサイズ	400×400mm			
XY基準面から各ボール中心までの呼び高さ(mm)	1: 0	2: 0	3: 150	4: 250
	5: 100	6: 200	7: 50	8: 0
各ボールの呼び球径	20mm			
20℃における熱膨張係数	$(0.00 \pm 0.02) \times 10^{-6}/K$			

※産業技術総合研究所により、各ボールの中心座標には基準値が与えられている

3. 2 測定環境

測定は 20 ± 1 ℃の恒温室で行った。

3. 3 使用機器

測定に使用した三次元測定機の外観を図4に、仕様を表2に示す。



図4 三次元測定機

表2 三次元測定機の仕様

機器名	Zeiss 社製 UPMC 850 CARAT	
20℃における測定精度	1軸	$0.5 + L/900 (\mu m)$
	空間	$0.8 + L/600 (\mu m)$
測定範囲	X: 850mm	Y: 1200mm Z: 600mm

3. 4 測定方法

SN比を用いた不確かさの評価には、従来のような多元配置実験は本来必要ないが、今回は測定値のばらつきに対して影響の大きな因子をSN比による手法により特定することが可能か調べるため、誤差因子を5種類、信号因子を1種類として、多元配置実験を行った。

誤差因子は、反復R、スタイラス径D、測定位置P、測定姿勢T、繰返しnとし、信号因子は測定距離Mとした。

反復Rは、日をおいた実験の繰返しであり、R1、R2、R3の3水準とした。

スタイラス径Dは、 $\phi 8\text{ mm}$ (D1) と $\phi 3\text{ mm}$ (D2) の2水準とした。なお、 $\phi 8\text{ mm}$ のスタイラスは測定圧を標準の0.2Nとし、 $\phi 3\text{ mm}$ のスタイラスは剛性を考慮して測定圧を0.1Nとした。

測定位置Pは、図5のようにY軸スケール近く(P1)とY軸スケール遠く(P2)の2水準とした。

測定姿勢Tは、図6のようにボール1、2を手前に置いた姿勢(T1)と、そこから反時計回りに45°回転させた姿勢(T2)の2水準とした。

繰返しnは、連続した測定の繰返しであり、n1、n2の2水準とした。

測定距離Mは、原点(ボール1)と各ボール中心との空間的な距離であり、M₁からM₇の7水準となる。なお、M₁からM₇は、それぞれボール1-2、1-3、1-4、1-5、1-6、1-7、1-8間の距離を示す。

測定順序を図7に示す。なお、測定順序による系統誤差を少なくするため、スタイラス径D、測定位置P、測定姿勢Tについては、測定順序を無作為化した。

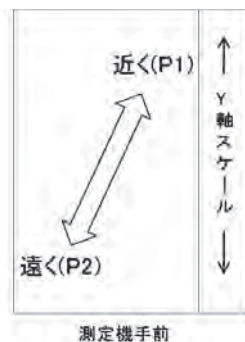


図5 測定位置P

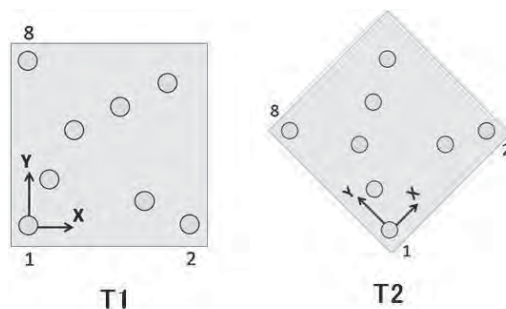


図6 測定姿勢T



図7 測定順序

4. 結果と考察

4. 1 SN比の算出

測定で得られたデータを図8の形式でまとめる。列に信号因子である測定距離Mをとりデータを記入する。

		信号因子				
		M ₁	M ₂	...	...	M _k
実験番号	1	y ₁₁	y ₂₁	...	...	y _{k1}
	2	y ₁₂	y ₂₂	...	...	y _{k2}

	r	y _{1r}	y _{2r}	...	...	y _{kr}
	合計	Y ₁	Y ₂	...	...	Y _k

図8 測定データのまとめ方

SN比の算出法¹⁾は、測定対象の基準値がある場合と基準値が無い場合とで異なる。今回使用した簡易検査ゲージは基準値が与えられており、どちらの算出法も使用できるため、それぞれの手法を用いてSN比を算出する。

【報告】

基準値がある場合のSN比の算出結果を表3に、
基準値が無い場合のSN比の算出結果を表4に示す。

表3 SN比算出結果（基準値がある場合）

数式	算出結果
有効除数: $R=r \sum (M_i - \bar{M})^2$	1155430
全変動: $S_T = \sum y_{ij}^2$	38022792
回帰変動: $S_B = -[\sum Y_i \cdot (M_i - \bar{M})]^2$	1155422
一般平均: $S_m = -(\sum Y_i)^2$	36867370
誤差変動: $S_e = S_T - S_B - S_m$	0.000107644
誤差分散: $V_e = S_e / (kr - 2)$	3.22288E-07
SN比: $\eta = [(S_B - V_e) / R] / V_e$	3102795

※1 \bar{M} : 信号因子の基準値の平均値※2 $Y_i = \sum_{j=1}^r y_{ij}$

表4 SN比算出結果（基準値が無い場合）

数式	算出結果
有効除数: $R=r \sum M_i^2 - (\sum M_i)^2$	1155430
全変動: $S_T = \sum y_{ij}^2 - (\sum Y_i)^2$	1155422
水準間の変動: $S_M = -\sum Y_i^2 - (\sum Y_i)^2$	1155422
誤差変動: $S_e = S_T - S_M$	3.39597E-05
誤差分散: $V_e = S_e / (k(r-1))$	1.03221E-07
SN比: $\eta = [(S_M - (k-1)V_e) / R] / V_e$	9687872

※Mは、信号因子の基準値の代わりに設計値や測定データの平均値とする

4. 2 不確かさの算出

4. 1節で求めたSN比 η から不確かさを算出する。不確かさは標準偏差で表されており、SN比 η から標準偏差を求める簡易式は $3/\sqrt{(\eta)}$ となる。この簡易式で求めた不確かさは包含係数 $K=3$ （信頼水準99%）における拡張不確かさに相当する。

基準値がある場合における不確かさ U_A は、

$$U_A = 3/\sqrt{3102795} = 0.0017 \text{ mm} \\ = \pm 1.70 \mu\text{m} \quad (K=3)$$

となった。

つぎに、基準値が無い場合における不確かさ U_B は、

$$U_B = 3/\sqrt{9687872} = 0.00096 \text{ mm} \\ = \pm 0.96 \mu\text{m} \quad (K=3)$$

となった。

4. 3 各誤差因子におけるSN比の算出

4. 1節で求めたSN比は全測定データから算出したものである。SN比は各誤差因子ごとに算出することもでき、一つの誤差因子の水準を固定して他の因子を変えることにより結果がどの程度ばらつくかを把握することができる。各誤差因子の水準ごとにSN比を算出した結果を図9、図10に示す。なお、図中のSN比は10を底とする対数を取り、10倍した値であり、単位はdBで表している。

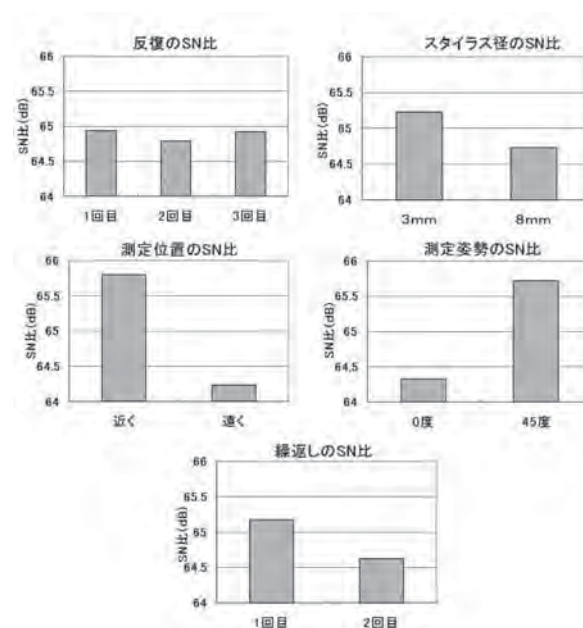


図9 各誤差因子におけるSN比（基準値がある場合）

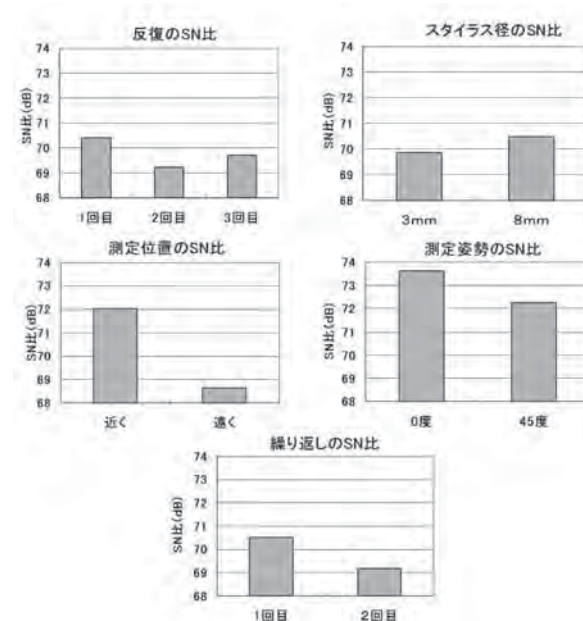


図10 各誤差因子におけるSN比（基準値が無い場合）

4. 4 考察

不確かさについては、基準値がある場合における不確かさが、基準値が無い場合における不確かさよりも大きく算出された。これは、基準値測定後のゲージ運搬中にボールの位置がずれた可能性があること、及び、基準値測定時のゲージの支持方法が今回の実験における支持方法と異なることが判明しており、このためゲージが変形してボール位置がずれたことなどが原因として考えられる。

図9と図10より、水準間のSN比の差が大きい誤差因子が存在する。これは、その誤差因子が不確かさに影響する有意な因子であることを表していると推測される。これを検証するため実験データの分散分析²⁾を行った。2. 1節で述べたとおり、SN比は校正後の測定値のばらつきを評価していることから、実験で得られたデータから回帰係数 β を求め、校正後の測定値を算出する。そして、校正後の測定値から基準値を差し引いた偏差を分散分析した。結果を表5に示す。なお、基準値が無い場合は、信号因子が無く回帰係数を求めることができないため、校正後の測定値を算出することができない。図9と表5より、有意な要因が測定位置P、測定姿勢T、スタイラス径Dで一致している。よって、各誤差因子のSN比を算出することで、有意な誤差因子を把握することができると考えられる。

5. まとめ

本研究で得られた結果を以下に示す。

(1) SN比を用いた手法により、不確かさを算出し

た。

(2) 測定対象物の基準値が無い場合でも不確かさを算出することができ、基準値が不明な場合が多い製造現場でも不確かさを求めることができる。

(3) 測定値をばらつかせる誤差因子を設定し多元配置実験を行えば、各誤差因子のSN比を算出することができ、有意な誤差因子を把握することができる。

SN比は数種類の信号水準があれば算出できるため、今回のように多元配置実験を行わなくても、日々蓄積されたデータからもSN比を求め不確かさを算出でき、日常的に不確かさを管理することができると考えられる。

今回の成果は、これまであまり普及しなかった製造現場における不確かさの管理の一助になると考えられるため、今後の成果の普及に努めていきたい。

謝辞

本研究における「SN比を用いた不確かさ評価」は長野県CDT研究所中村哲夫氏にご教示いただいたものです。実験から評価に至るまで貴重な助言をいただいた同氏に深く感謝します。

参考文献

- 1) 矢野宏：『計測管理の実際』工業調査会、(1986)
- 2) 田口玄一他：『経営工学シリーズ18 実験計画法』日本規格協会、(1979)

表5 分散分析表（基準値がある場合）

因子	二乗和	自由度	不偏分散	有意性	不偏分散の期待値
一般平均 m	0.00000000	1	0.00000000		$\sigma_e^2 + 112 \sigma_R^2 + 168 \sigma_P^2 + 168 \sigma_T^2 + 168 \sigma_D^2 + 168 \sigma_n^2 + 48 \sigma_M^2 + 336 \sigma_m^2$
反復 R	0.37165287	2	0.18582644		$\sigma_e^2 + 112 \sigma_R^2$
測定位置 P	1.75136194	1	1.75136194	**	$\sigma_e^2 + 168 \sigma_P^2$
測定姿勢 T	1.26844710	1	1.26844710	**	$\sigma_e^2 + 168 \sigma_T^2$
スタイラス径 D	0.56896886	1	0.56896886	*	$\sigma_e^2 + 168 \sigma_D^2$
繰返し n	0.05580599	1	0.05580599		$\sigma_e^2 + 168 \sigma_n^2$
測定距離 M	73.68718685	6	12.28119781	**	$\sigma_e^2 + 48 \sigma_M^2$
誤差 e	29.95078510	323	0.09272689		σ_e^2

T法を用いた工作機械の熱変位補正（第1報）

機械科 大澤洋文 針幸達也 北川剛弘*

Correction Method to Thermal Deformation of Machine Tool by “T-method” (1st report)

Hirofumi Ohsawa, Tatsuya Harikou and Takahiro Kitagawa

The machine tool is transformed because of the ambient surrounding and generation of heat of the machine. And, it depraves the processing accuracy. The distance of the spindle was forecast from the temperature in monitored each part of a machine by using T method this time. And, the correction simulation was done from the predictive value.

1. はじめに

工作機械は加工中、駆動に伴い機械自身が発生する熱や機械設置環境の温度変化によってわずかに変形する。その結果、加工物と工具の相対的な位置関係に狂いが生じ、製品である加工物の精度や品質が悪化することになる。

各種機械メーカーや加工作業者は、発熱部を冷却したり、機械を変形しにくい構造に設計したりと、独自の対策を行っているが、複雑な構造体の変形をなくすことは出来ないため、変形による加工精度の影響という課題を常にかかえているのが現状である。

そこで、熱変形による工具先端の変位を、装置の各箇所の温度から推定し、NCにより補正をかけるという手法で対策を試みた。

一方T法は、予測、判断、診断などに使われるパターン認識の方法で、基準データである単位空間から未知の値を推測することができる。

今回、T法を用いて最適な温度測定位置の決定と補正シミュレーションを実施したので報告する。

温度測定は、サーミスタ温度センサを装置の各部に粘土で固定し、5秒間隔で取り込んだ。変位測定結果を図2、温度変動結果を図3に示す。

表1 主軸回転サイクル

開始時間 (分)	連続時間 (分)	主軸回転数 (rpm)
0	120	0
120	240	40,000
360	240	0
600	240	40,000
840	240	0
1080	240	40,000
1320	1410	0

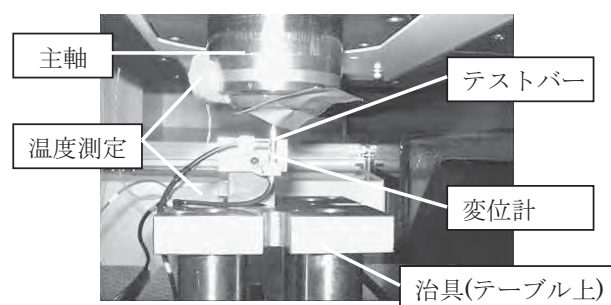


図1 変位測定

2. 測定

立形マシニングセンタの主軸にφ4mmのテストバーを取付け、表1に示すサイクルで主軸の回転と停止を繰り返した。その際、図1のようにテーブル上に取り付けた渦電流形非接触変位測定器で、Z軸方向の相対的な変位を5秒間隔で測定した。また同時に、装置各部の10箇所の温度（T1～T10）を測定した。

*) 現 静岡県工業技術研究所

【報告】

次に86860秒以降の単位空間以外の8194データを表3のように信号データとした。

表3 単位空間データ

メンバー	T1(°C)	T2(°C)	...	T10(°C)	Z変位(μm)
1	$x'_{1-1}=23.29$	$x'_{1-2}=23.63$	...	$x'_{1-10}=23.29$	$y'_1=2.016$
2	$x'_{2-1}=23.30$	$x'_{2-2}=23.64$	...	$x'_{2-10}=23.28$	$y'_2=1.904$
...
8194	$x'_{8194-1}=23.09$	$x'_{8194-2}=23.48$	...	$x'_{8194-10}=23.12$	$y'_{8194}=2.352$

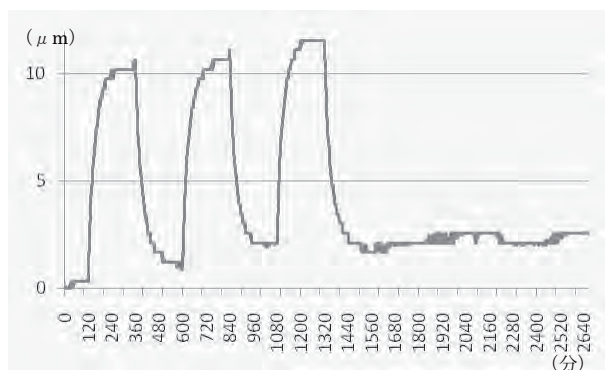


図2 変位測定結果

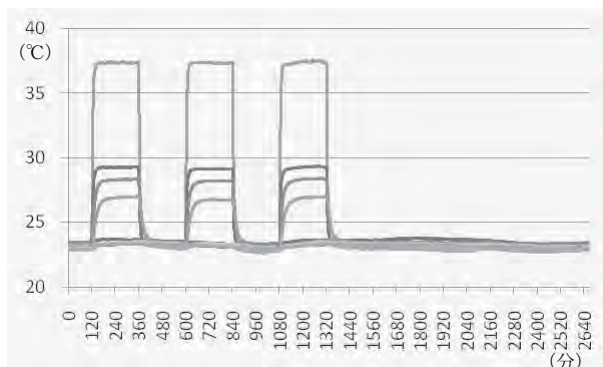


図3 温度測定結果

3. 解析

3.1 予測式

得られたデータに対してT法¹⁾を用いて温度からZ変位の予測式を作成した。取込開始後86860秒(約1448分)以降の定常状態のうち、頻出回数の多いZ変位2.138(μm)の7201データを抜き取り単位空間とした。また、計測したデータは表2のように整理し、各列ごとに式(1)(2)で平均値を計算した。

$$\bar{x}_j = \frac{1}{n}(x_{1-j} + x_{2-j} + \dots + x_{7201-j}) \quad (j = 1, 2, \dots, 10) \quad (1)$$

$$\bar{y} = M_0 = \frac{1}{n}(y_1 + y_2 + \dots + y_{7201}) \quad (2)$$

表2 単位空間データ

メンバー	T1(°C)	T2(°C)	...	T10(°C)	Z変位(μm)
1	$x_{1-1}=23.30$	$x_{1-2}=23.61$	...	$x_{1-10}=23.30$	$y_1=2.128$
2	$x_{2-1}=23.30$	$x_{2-2}=23.61$	...	$x_{2-10}=23.30$	$y_2=2.128$
...
7201	$x_{7201-1}=23.10$	$x_{7201-2}=23.48$	...	$x_{7201-10}=23.12$	$y_{7201}=2.128$
平均値	$\bar{x}_1=23.20$	$\bar{x}_2=23.56$	...	$\bar{x}_{10}=23.18$	$\bar{y}=2.128$

信号データに対し、式(3)(4)で単位空間の各項目の平均値を減算し表4のように規準化を行った。

$$x_{i-j} = x'_{i-j} - \bar{x}_j \quad (i = 1, 2, \dots, 8194) \quad (j = 1, 2, \dots, 10) \quad (3)$$

$$M_i = y' - M_0 \quad (i = 1, 2, \dots, 8194) \quad (4)$$

表4 規準化した信号データ

メンバー	T1(°C)	T2(°C)	...	T10(°C)	Z変位(μm)
1	$x_{1-1}=0.09$	$x_{1-2}=0.07$	...	$x_{1-10}=0.11$	$M_1=-0.11$
2	$x_{2-1}=0.10$	$x_{2-2}=0.08$	...	$x_{2-10}=0.10$	$M_2=-0.22$
...
8194	$x_{8194-1}=-0.11$	$x_{8194-2}=-0.08$	...	$x_{8194-10}=-0.06$	$M_{8194}=0.22$

規準化した信号データに対して、項目ごとに式(5)(6)より計算した比例定数 β とS/N比 η を使い、総合推定値 \hat{M} を式(7)で求めた。

$$\beta_1 = \frac{M_1 X_{1-1} + M_2 X_{2-1} + \dots + M_{8194} X_{8194-1}}{r} \quad (5)$$

$$\eta_1 = \begin{cases} \frac{1}{r}(S_{\beta 1} - V_{el}) & (S_{\beta 1} > V_{el} \text{の場合}) \\ 0 & (S_{\beta 1} \leq V_{el} \text{の場合}) \end{cases} \quad (6)$$

$$\hat{M}_i = \frac{\eta_1 \times \frac{X_{i-1}}{\beta_1} + \eta_2 \times \frac{X_{i-2}}{\beta_2} + \dots + \eta_{8194} \times \frac{X_{i-8194}}{\beta_{8194}}}{\eta_1 + \eta_2 + \dots + \eta_{8194}} \quad (7)$$

ただし

$$\text{有効除数} \quad r = M_1^2 + M_2^2 + \dots + M_{8194}^2$$

$$\text{全変動} \quad S_{T1} = X_{1-1}^2 + X_{2-1}^2 + \dots + X_{8194-1}^2$$

$$\text{比例項の変動} \quad S_{\beta 1} = \frac{(M_1 X_{1-1} + M_2 X_{2-1} + \dots + M_{8194} X_{8194-1})^2}{r}$$

$$\text{誤差変動} \quad S_{el} = S_{T1} - S_{\beta 1}$$

$$\text{誤差分散} \quad V_{el} = \frac{S_{el}}{1-1} \quad (1 = 8194)$$

【報告】

未知のZ変位予測値 \hat{y} は、温度測定結果から式(8)で表すことが出来る。ここで、 \hat{M}_i は、信号データと同様に式(3)より単位空間から規準化した温度測定結果を式(7)に入力して求め、 M_0 は式(2)で単位空間から求める。

$$\hat{y}_i = \hat{M}_i + \hat{M}_0 \quad (8)$$

解析にはT法解析ソフト（オーケン社製）を使用した。

3. 2 温度測定位置の決定

次に、推定に対する各部温度の寄与率を求め、最適な温度測定位置を決定した。

各部の温度を表5のように「推定に使用する（水準1）」と「推定に使用しない（水準2）」の2水準の要因とし、表6に示すL12直交表に割付け12通りの解析を3. 1に従って行った。それぞれについて、総合推定のS/N比 η を式(9)で求め、図4に示す要因効果図を得た。図より水準1が水準2より大きいT6、T8、T9、T10の温度測定結果は、推定に使用した方が推定精度が上がると期待できるが、それ以外は逆に使用することで測定精度が下がることが分かった。

温度測定位置をT6、T8、T9、T10の4箇所に絞り、改めて3. 1の解析を実施して予測式を得た。

表5 要因と水準

	水準1	水準2
T1	使用する	使用しない
T2	使用する	使用しない
T3	使用する	使用しない
T4	使用する	使用しない
T5	使用する	使用しない
T6	使用する	使用しない
T7	使用する	使用しない
T8	使用する	使用しない
T9	使用する	使用しない
T10	使用する	使用しない

表6 L12直交表

No	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
3	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2
4	1	2	1	2	2	1	2	2	1	2
5	1	2	2	1	2	2	1	2	1	1
6	1	2	2	2	1	2	2	1	2	1
7	2	1	2	2	1	1	2	2	1	1
8	2	1	2	1	2	2	2	1	1	2
9	2	1	1	2	2	2	1	2	2	1
10	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2
11	2	2	1	2	1	2	1	1	1	2
12	2	2	1	1	2	1	2	1	2	1

$$\eta = 10 \log \left(\frac{\frac{1}{r}(S_\beta - V_e)}{V_e} \right) \quad (9)$$

ただし

$$L = M_1 \hat{M}_1 + M_2 \hat{M}_2 + \dots + M_{8194} \hat{M}_{8194}$$

$$\text{有効除数} \quad r = M_1^2 + M_2^2 + \dots + M_{8194}^2$$

$$\text{全変動} \quad S_T = \hat{X}_1^2 + \hat{X}_2^2 + \dots + \hat{X}_{8194}^2$$

$$\text{比例項の変動} \quad S_\beta = \frac{L^2}{r}$$

$$\text{誤差変動} \quad S_e = S_T - S_\beta$$

$$\text{誤差分散} \quad V_e = \frac{S_e}{1-1} \quad (1 = 8194)$$

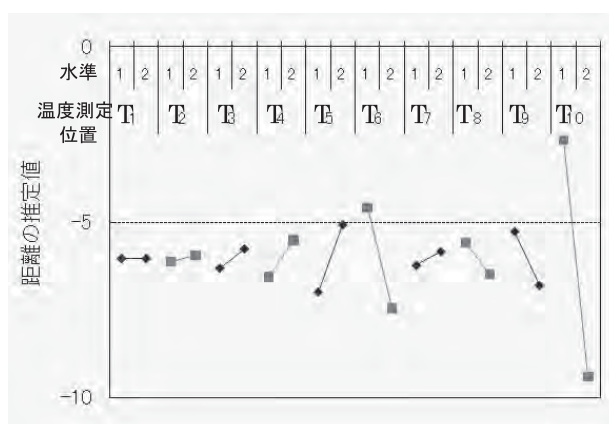


図4 要因効果図

4. シミュレーション結果

3. 2で得た予測式に従い、取込開始後5秒から32210秒（約537分）までの区間1（6443データ）に対して、実測値と予測値の比較を行った。実測値と、実測値から予測値を減算した補正後の値をグラフにしたものを図5に示す。

最大10.64 μm の変位が、補正によって $\pm 2\mu\text{m}$ 以下になった。

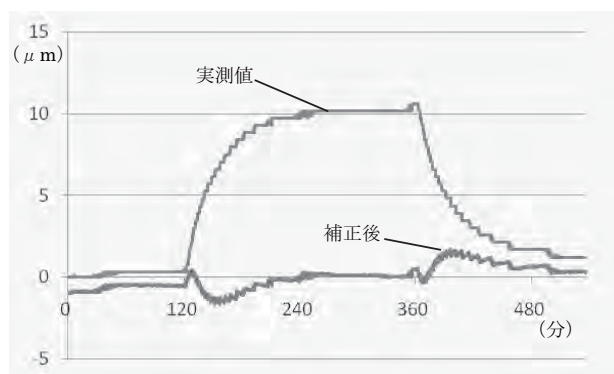


図5 区間1 シミュレーション結果

【報告】

同様に32215秒（約537分）から62205秒（約1037分）までの区間2（5999データ）の実測値と、実測値から予測値を減算した補正後の値をグラフにしたものを図6に示す。

最大11.09 μm の変位が、補正によって $\pm 2 \mu\text{m}$ 以下になった。

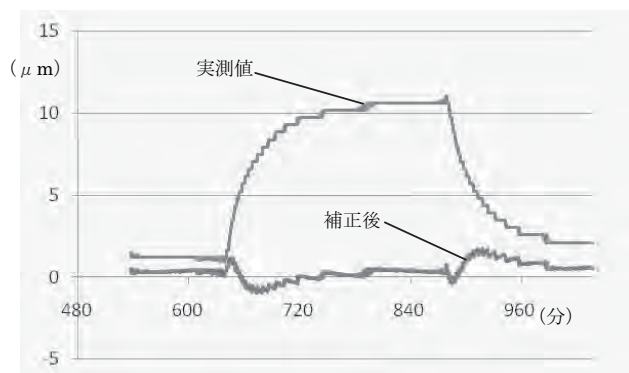


図6 区間2 シミュレーション結果

5. まとめ

- ① 立形マシニングセンタの主軸回転時の装置各部温度と主軸先端変位を測定した。

- ② T法を用いて、温度結果から主軸先端変位の予測を行い、予測に最適な温度測定位置を絞り込んだ。
- ③ 定常状態のデータで作成した予測式で各部温度から主軸先端変位予測をシミュレーションした結果、10 μm 以上の変位を $\pm 2 \mu\text{m}$ 以内に抑えることができた。また、立ち上がり時と停止時を改善することで補正精度の向上が期待できる。
- ④ 今後、予測値によるオンタイムNC補正の確認試験を実施予定である。

謝辞

今回研究を進めるにあたり、貴重なご助言をいただいた浜松品質工学研究会の皆様に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 手島昌一/長谷川良子：入門MTシステム，日科技連出版社（2008）

USITを用いた電界紡糸装置の問題解決

機械科 針幸達也 大澤洋文 北川剛弘*

Improvement of Electrospinning Device by Unified Structured Inventive Thinking Method

Tatsuya Harikou, Hirohumi Oosawa, Takahiro Kitagawa

Recently, an electrospinning technique attracts researchers' attention in nanomaterial science, which is one of the best ways to make nanofiber. But the technique has many problems for mass production, that is, deposition of polymer material at the point of needle, decrease of spinning efficiency through unwilling corona discharge, and so on.

The problems of electrospinning were analyzed and solved by using Unified Structured Inventive Thinking (USIT) in this paper.

1. はじめに

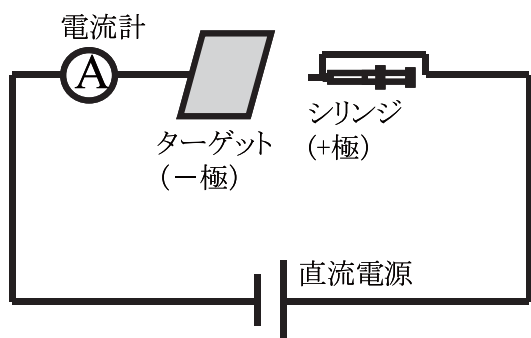


図1 電界紡糸システム概略図

電界紡糸はポリマー溶液の入ったシリンジと板状のターゲット間に電圧をかけ、ポリマーを噴射することで繊維化する方法である。システムの概略を図1に示す。

シリンジの針先に送られたポリマー溶液は針先で液滴になるが、電圧を上げ電気的な反発力が表面張力を上回ると液滴を維持できずに分裂し、ターゲットに向かいポリマー溶液の噴射が始まる。ターゲットにたどり着くまでポリマー溶液は分裂を繰り返し、引き延ばされ繊維化されながら、ターゲットにナノファイバーとして積層される。この間、表面積の莫大な増加に伴い溶媒は蒸発し、ターゲット上に乾燥したナノファイバー不織布が得られる。⁽¹⁾

電界紡糸は、ナノテクノロジーが注目されている近年、脚光を浴び始めている。電界紡糸によって得られた不織布は繊維径がナノメートルオーダーであ

るため表面積の大きな集合体となり高機能な材料となる。そのため用途は電池のセパレータ、電磁波シールド材から人工血管、人工皮膚、人工透析と多岐にわたっている⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾。現在電界紡糸装置は実験室スケールの装置しかなく大量に広範囲に紡糸することができない。その大きな原因としては電界紡糸装置に使われている注射針にあると考えられる。注射針を使うと局所的に電荷が集中するためにポリマー溶液に対し電荷を与えやすいが、先端部が細くなっているためコロナ放電が生じ、帯電したポリマー溶液に逆の電荷を与え紡糸効率を落としてしまう。さらに注射器の先端に生じるポリマー溶液の液滴は時間経過によって溶媒が蒸発し、針先にポリマーが析出し針が詰まる。また、細い注射針の先端に生じた液滴からの紡糸では紡糸量が少なく広範囲に紡糸することは不可能である。これらの事から紡糸効率の高い量産向けの装置を作るには注射針を持たない紡糸装置が必要である。そこで今回われわれは新しい電界紡糸装置の開発のために統合的構造化発明思考法（以後USIT）を用いて注射針を用いない電界紡糸装置のアイディアの創出を行った。

2. USITとは

USITはEd. Sickafus氏によってTRIZ（発明的問題解決の理論）を改良した方法で、ソフトウェアを用いずグループワークで行うことを特徴としている。

*) 現 静岡県工業技術研究所

【報告】

USITは高度に体系化されておりフローチャートに従いながらステップバイステップでアイデアの創出を行う。そのフローを図2示す。

以後このフローに従って針を用いない電界紡糸装置のアイデア創出について説明する。

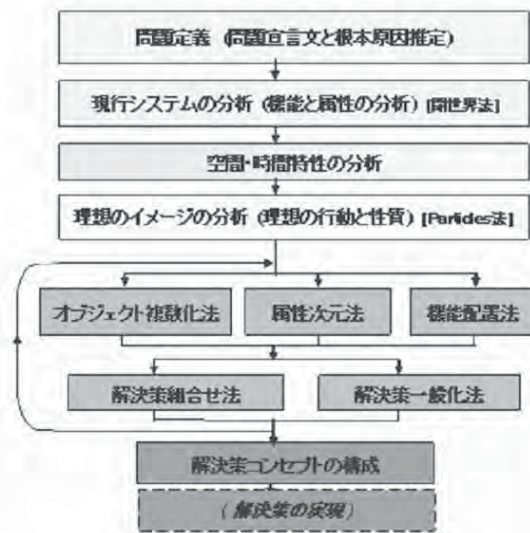


図2 USITのステップ

3. アディアの創出

3. 1 問題定義

問題定義段階では困っている状況を明確にし、適切に定義された問題にすることが目的である。トラブルや困った状態に陥ったとき根本的な問題を明らかにしないと適切な問題解決はできない。USITでは

- (ア) 望ましくない効果
- (イ) 問題宣言文
- (ウ) 問題状況のスケッチ
- (エ) 根本原因(根本矛盾)
- (オ) 関連する最小のオブジェクト群

を記述することで問題を明確にする。

電界紡糸では一度に紡糸できる面積が少ないこと、紡糸中に注射針が詰まること、コロナ放電により電荷が中和されることが現状の困っていることである。そこで(ア)望ましくない効果は『電界紡糸では注射針を用いるが、紡糸面積が小さい。さらに、紡糸中に樹脂が詰まるという問題がある。またコロナ放電により帯電した液滴が中和されてしまう。生産性を考

えると量産向きではない。』と記述した。

上記の問題は注射針を使うことに起因すると考えられる。そこで(イ)問題宣言文は

『電界紡糸において、注射針を用いずにナノファイバーが紡糸できる方法を開発する』

これが今回の研究の目的となる。

次に(ウ)問題状況のスケッチでは電界紡糸中に針先の液滴で起きていることを図示した(図3)。

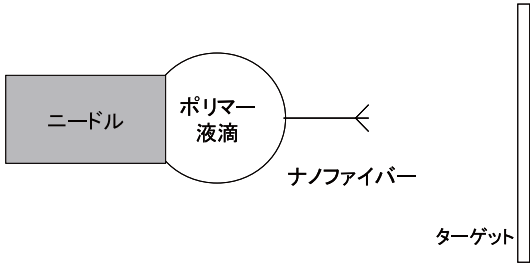


図3 問題状況のスケッチ

次に(エ)根本原因(根本矛盾)は困った状況を引き起こす根本的な原因、矛盾を記述する。この記述は『液滴を作るために、あるいは電界強度を簡単に高めるためには、注射針を使いたいが、生産性が低く、紡糸トラブルを引き起こす注射針は使いたくない』となる。現在の電界紡糸装置には注射針を使いたいが、使いたくないという根本的な矛盾が存在する。

USITのオブジェクトとはそのシステムを構成する構成要素のことである。USITの場合、環境も含めてオブジェクトとする。現在の電界紡糸装置を構成するオブジェクト群を表1に示す。

以上で問題定義段階は終了である。これによって解決すべき問題が明らかになった。

表1 電界紡糸を構成するオブジェクト群

オブジェクト
シリンジ
ピストン
ニードル
ターゲット
直流電源
ポリマー溶液
電極間に存在する気体
シリンジポンプ

【報告】

つづいて問題分析のステップに入る。

3. 2 問題分析

3. 2. 1 機能と属性の分析

USITにおける属性とはオブジェクトがもつ性質を表し、重さ、形、材質、粘性などである。

具体的な数字など（10kgや赤色）は特性の値であって、属性としない。USITでは、特性値にとらわれて、発想できなくなることを避けるため、特性値を取り扱わない。問題解決の場面で、属性を変化させることで解決を図ることがある。どんな属性が役に立つかわからないため、できるだけ数多くの属性を列記することが重要である。機能はオブジェクト間に働く作用をあらわす。はじめにオブジェクトの属性を表2に示す。表2に列挙したオブジェクトと属性を機能によって結びつけ機能ダイヤグラムを作成する（図4）。矢印が集中しているオブジェクト、もしくは矢印が多く出ているオブジェクトは改良の余地があると考えられる。電界紡糸の場合ニードル

表2 オブジェクトとその属性

オブジェクト	属性
シリンジ	大きさ、形状
ピストン	大きさ、形状
ニードル	大きさ、形状、導電性
ターゲット	大きさ、形状、導電性
直流電源	電流、電圧
ポリマー溶液	粘性、電気的反発力、表面張力
電極間に存在する気体	温湿度、密度、体積
シリンジポンプ	圧力

に矢印が集中し、出ている。このことからニードルを改良しなければいけないことが分かる。

続いて定性変化グラフを作成する。定性変化グラフは属性の値が増大すると問題となる効果が増大するものと減少するものをオブジェクトごとに検討する。グラフは正確に記述する必要は無く、増加傾向か減少傾向かがわかればよい。問題解決のためには悪い効果を生じさせる属性をなくす、もしくは悪い効果を生じさせる属性を益に転じることを考える必要がある。定性変化グラフは悪い効果が減少する方向に解決策を考えるための助けになる。電界紡糸は液滴表面に生じる表面張力と電気的反発力のバランスが崩れることで紡糸が始まる。そのため今回は液滴で生じる表面張力と電気的な反発力に注目した。この二つの定性変化グラフを図5に示す。

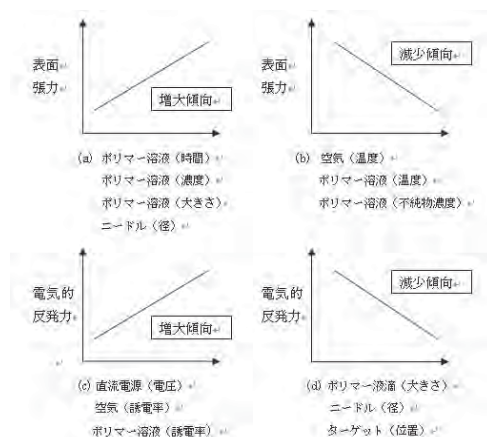


図5 定性変化グラフ

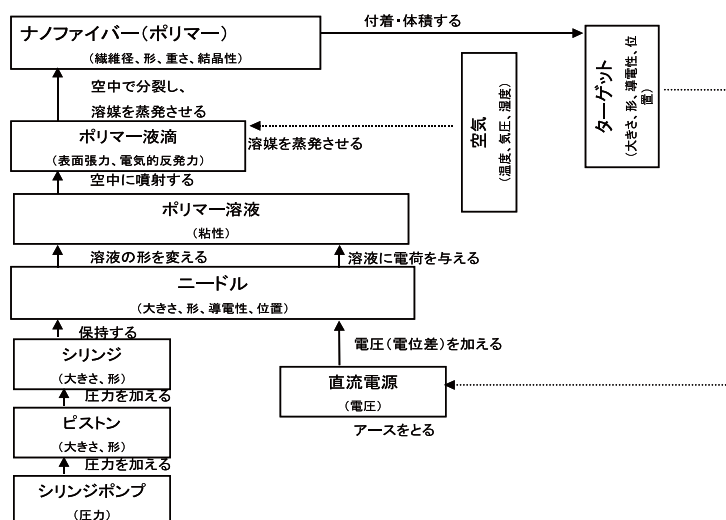


図4 電界紡糸の機能ダイヤグラム

3. 2. 2 時間・空間特性の分析

次に時間と空間に関するシステムの特徴をとらえる。グラフは縦軸を問題となる悪い効果、横軸をシステムの特徴を表す空間および時間に関する座標とする。これは物理的矛盾（正、逆の対立する要求が同時に存在する状態）を解決するためには時間で分離するか、空間で分離するしか方法が無い場合、その分離するタイミング、場所を見つけ出すヒントになる。

電界紡糸の時間空間分析のグラフを図6に示す。このグラフから表面張力は時間経過とともに大きくなるため、なるべく早い時点で紡糸をするのが有利だということが分かる。また空間的に見た場合、表面張力が小さいニードルの近くで多く分裂させる事が紡糸効率を高くするために重要であることが示唆される。

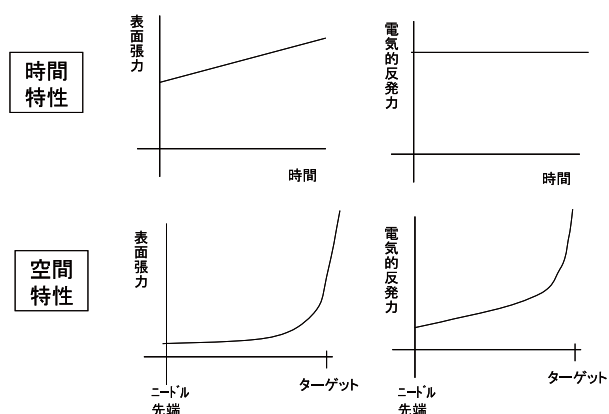


図6 時間空間特性のグラフ

3. 2. 3 Particles法

USITのParticles法は究極の理想状態をイメージし、現状との違いから問題解決の糸口を見つける演繹的問題解決の方法である。これはなるべく斬新で根本的な解決法を導き出すためである。究極の理想状態はコストがゼロで害が無く、ひとりでの効用を実現する状態である。そこで理想状態、現状のスケッチを行う。その際手段やメカニズムは書いてはいけない。次に理想状態と現状とで違いが有るところに×印を記入し「Particles」と考える。Particlesとは何でもできる魔法の粉で、その粉に何をしてもらいたいかを考えることが重要である。電界紡糸におけるParticles法のスケッチを図7に示す。

現状では針先にできる1個の液滴の先端部1箇所から紡糸が起こっているが、理想としては液滴のあらゆる部分から紡糸が起これば紡糸効率は高くなる。また針ではなく大きい容器のようなものから紡糸が起こればさらに紡糸効率は向上する。

次にParticlesに託すべき行動をAND/ORツリーにまとめる（図8）。この際できるだけ簡単な言葉で記述することが大切である。これは技術用語に伴う固定観念を避けるためである。

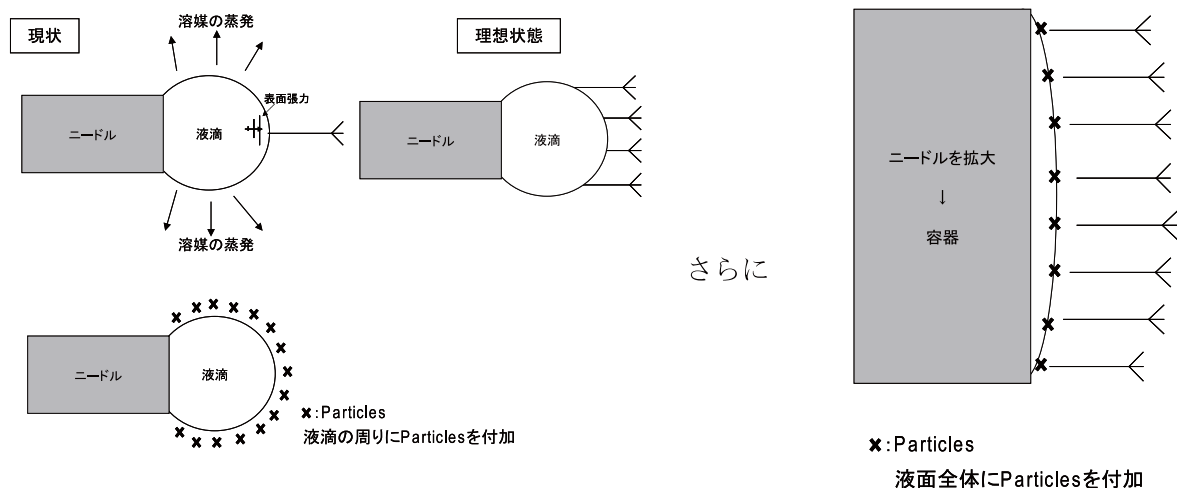


図7 Particles法のスケッチ

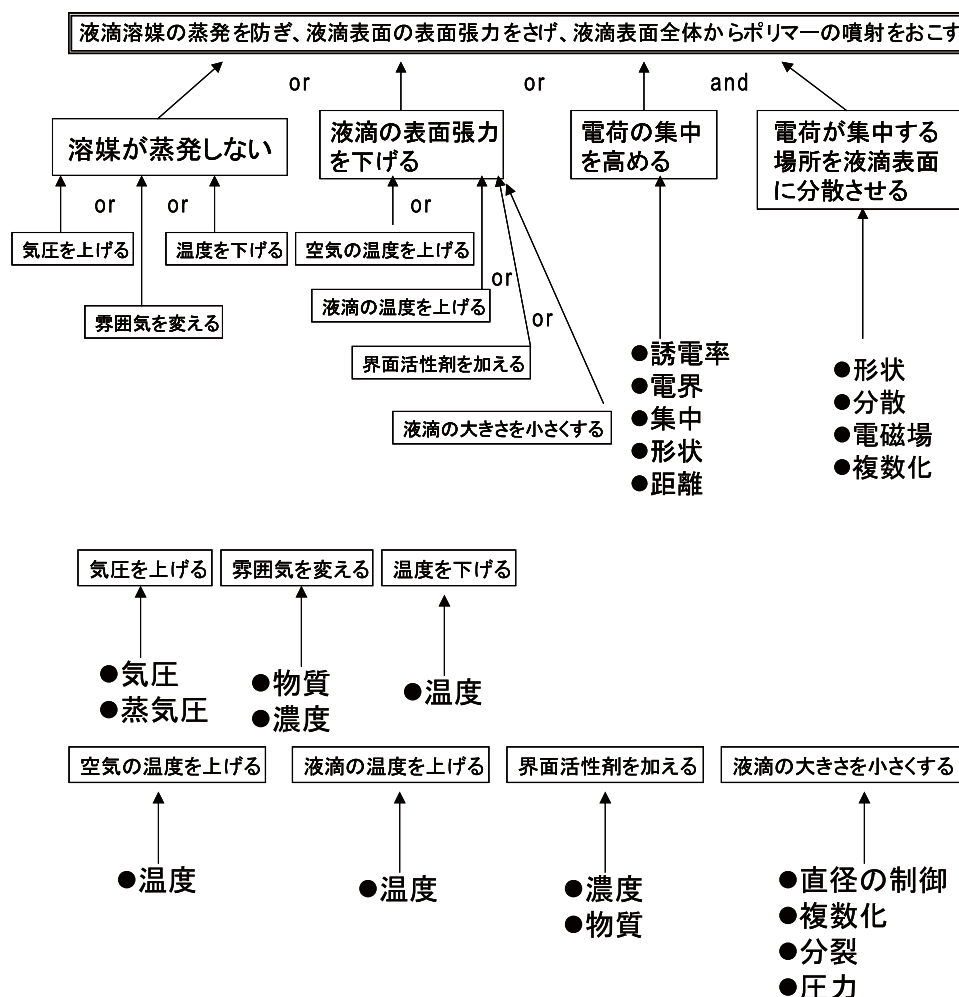


図8 AND/ORツリー

3. 3 解決策の生成

これまでに行ってきた問題定義、問題分析を基に解決策の生成を行う。問題分析の過程で多くの問題解決のためのアイデアの断片が思いつくが、この段階まで伏せておく。なぜなら途中で出されたアイデアに思考が影響を受けないようにするためである。

まずアイデアの断片をブレインストーミング（ブレインライティング）で書き出していく。その際スペック、コスト、納期などは考えず自由に発想する。できるだけ多くの解決策を生成するのがUSITの方針である。ブレインストーミングを行う際に重要な点は

- (1) 批判厳禁
- (2) 自由奔放
- (3) 質より量
- (4) 付けたし、修正歓迎

である。数多く出されたアイデアの断片の中には荒唐無稽のものも含まれるが、ブレインストーミングの過程で良いアイデアに変わる可能性もある。多くの策の中から削除することは簡単にできるが、新たにアイデアをしぼり出すことは非常に難しい。そのため数多くのアイデアを出すことが重要である。さらにUSITではアイデアの創出を促す「USITオペレータ」がある。これは特許2000万件を調査して作り出されたTRIZの40の発明原理、76の発明標準解、35の進化のトレンドを再構成したもので、解決策を出すためのヒントとなる。このように導き出されたアイデアの断片から問題の解決策を生成し、実現可能かどうかを技術的、コスト的に評価し、最終的な解決策を見出す。

今回、解決策生成は6人で行った。なるべく広いアイデアを導き出すため、化学の専門3人（筆者含む）、機械の専門2人、電子の専門2人で行った。

【報告】

問題定義、問題分析は筆者1人で行い、解決策生成会議で他のメンバーに説明しアイデアを出してもらった。他のメンバーは電界紡糸についての知識はまったく無く。今回初めて聞く者もいた。生成された電界紡糸の問題解決策についていくつか紹介する。

糸を作り出す部分として稼動方式や噴射源の複数化などがあげられ、それぞれに複数の案が生成された(図7)。また糸を作り出す部分以外ではターゲットの形状の変更、電圧の印加方法の変更、電極間に温度勾配を設ける、ポリマー溶液の表面張力の低下などがあげられた。

これらを組み合わせると200以上の解決策がわずか2時間の会議で生成できた。

4 まとめ

USITは用意されたフローをステップバイステップで実行することで解決策を見出す方法である。今回、電界紡糸の問題解決に用いた。アイデア創出会議に参加したメンバーは専門外で電界紡糸に関する知識が無い者もいたにもかかわらず、わずか2時

間程度の会議中に有効と考えられる解決策が200以上も創出された。USITによる方法は、しっかりと問題分析を行うため、初めて聞く専門外の人でも現状や問題点を容易に理解できる。また、常識などの先入観を排除することで思考を問題解決へと導く巧妙な方法になっている。USITは様々な問題に適応可能と考えられる。

現在、見出された電界紡糸の問題解決策の1つについて実機を作成し検討中である。

謝辞

USITについてご指導いただいた都立産業技術大学院大学 越水重臣准教授に感謝いたします。

参考文献

- 1) P. K. Baumgarten: J. of Colloid and Interface Sci., 36, 71-79 (1971)
- 2) 山下義裕：加工技術, 40, (3), 167-171 (2005)
- 3) 山下義裕：加工技術, 40, (4), 273-275 (2005)
- 4) 山下義裕：加工技術, 41, (9), 541-545 (2006)

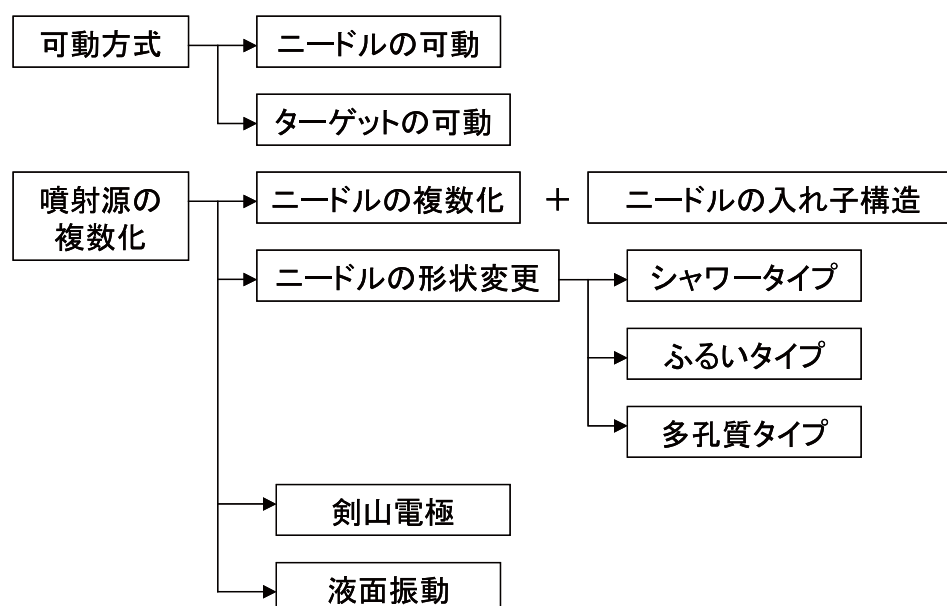


図9 解決策のアイデアの一部

アルミニウム合金ダイキャスト上の陽極酸化皮膜形成技術の工業化に関する研究

材料科 田光伸也 吉岡正行

Anodic Oxidation Treatment of Aluminium Alloys Die-casting for Industrial Production

Tako Shinya and Yoshioka Masayuki

Almost all of the aluminium alloy parts for automobiles and motorcycles are fabricated by Aluminium die-casting of ADC12. ADC12 shows excellent properties of lightweight, recycling and productivity. Some of them are treated with anodic oxidation to improve the properties of corrosion resistance, hardness and toughness. But it is difficult to thicken and even the film of anodic oxidation treatment for ADC12 with rich Si and Cu on the surface. We have already found the better conditions of anodic oxidation process for thickness and evenness in laboratory. And then we try to apply the conditions to production at the actual plant. As a result, we could make the film of anodic oxidation treatment is thick and even at the test pieces.

1. 緒言

原油、原材料の高騰により材料、加工コストの削減に各社が対応に追われている中、切削加工が省け、切り屑を出さない鋳造技術が改めて見直されている。中でも、アルミニウムダイキャスト製品は軽量で鉄鋼などに比べてリサイクルも容易であることから自動車部品を初めとする各種機器部品として広く利用されている。しかし、アルミニウム合金ダイキャストの中で最も多く利用されているADC12は、多量のSi (9.6%~12.0%) と銅 (1.5%~3.5%) を合金元素として含むため、陽極酸化皮膜を均一に形成することが難しい点が問題となっている。

そこで、本研究では、アルミニウム合金ダイキャストに均一で、高硬度かつ耐磨耗性に優れた陽極酸化皮膜を形成する技術を、実際の生産ラインで適用するための研究を行う。

2. 実験方法

2. 1 試験項目

生産条件を確立するため、ビーカー規模のシミュレーションおよび実際の生産ラインにおいて各種試

験を行った。試験内容の詳細を表1に示す。

2. 2 溶存アルミニウム濃度

陽極酸化処理液中の溶存アルミニウム濃度と皮膜性能の関係を検証した。処理液中の溶存アルミニウム量は0、1、5、10、15、20g/Lとなるよう調製した。アルミニウムイオン源として硫酸アルミニウム13水和物（和光純薬工業製 特級）を用いた。

膜厚は試料を樹脂包埋後、鏡面研磨し、金属顕微鏡による顕微鏡断面測定法で評価した。

2. 3 有機酸濃度の検証

有機酸濃度が陽極酸化皮膜の外観に及ぼす影響を検証した。有機酸濃度は0、50、100、150、200、250、300、350、400、450、500ppmとし、それぞれの試料外観の差を目視により観察した。

多様な電流密度域について検証するため、陽極酸化処理はハルセル試験により行った。陽極に高純度アルミニウム板（㈱山本鍍金試験器 アルミニウム純度99.85%）、陰極にPtメッシュ電極を用い、10分間電解した。その他の試験条件は標準条件に準じた。ハルセル試験槽の外観を図1に示す。

表1 試験内容一覧

項目	規模	試料	条件	評価
溶存アルミニウム濃度	ビーカー	ADC12板 (170×50×2.7mm)	共通条件	膜厚
有機酸濃度	ハルセル試験	A1085板 (ハルセル試験用)	電解時間 10分	外観 (目視)
均一電着性	生産ライン	ADC12板 (50×18×2.7mm)	共通条件	膜厚
排水処理性	ビーカー	生産用設備で使用済み陽極酸化処理液 (有機酸添加あり/無し)	室温	COD凝集沈殿性



図1 ハルセル試験槽外観

2. 4 均一電着性

実際に工場の生産ラインで陽極酸化処理を行い、同一ロット間の皮膜厚さのばらつきを調査した。1回の処理量はADC12板24枚とし、これを1ロットとした。処理量は50Lとし、その他の試験条件は標準条件に準じた。

評価は試料外観と膜厚について行った。外観は、焼け・焦げ・色むらなどの有無を目視により観察した。膜厚は試料の中心付近を電磁式膜厚計 (KETT (株)製) で7点測定し、最大値と最小値を除外した5点の平均をその試料の膜厚とし、各試料間でのばらつきを調査した。

2. 5 排水処理性

生産用設備で使用した陽極酸化処理液について、有機酸を添加したものと添加していないものの中和処理した後の凝集沈殿の容易さ (凝集沈殿性) と処理水中の化学的酸素消費量 (COD) を比較した。それぞれの処理液を950ml採取し、凝集剤としてPAC (ポリ塩化アルミニウム) を添加した後、水酸化ナトリウムにより中和した。中和後1000mlのメスシリンダーに移し静置した。1時間後に上澄みを

採取し、CODパックテスト (株)共立理化学研究所製) によりCODを検査した。凝集沈殿性は中和処理3時間後のフロックの沈降量を比較した。

2. 6 供試体

高純度アルミニウム板およびADC12板は市販品を利用した。アルミダイカスト製品は共同研究者より自動車用試作部品の提供を受けた。いずれの供試体にも表面処理およびバフ研磨等の表面調整は施されていない。詳細を表2に示す。

表2 使用した供試体の詳細

名称	詳細
高純度アルミニウム板	(株)山本鍍金試験器 ハルセル試験用 アルミニウム純度99.85% (50×70×0.2mm)
アルミダイカスト製品	自動車用ADC12試作部品 (重さ300g/個)
ADC12板	リョービ(株) ADC12板 (40×15×2.7mm)

2. 7 陽極酸化前処理

陽極酸化処理について、表3に示す番号1～8のプロセスで前処理を行った。溶体化処理は電気炉 (ヤマト科学(株)製FP31) を使用し、450℃で180分加熱後、直ちに水で急冷した。

表3 前処理プロセス

番号	項目	内容
1	溶体化処理	450℃ 180分
2	乾燥	50℃ 60分
3	脱脂	10%硫酸 50℃ 10分
4	水洗	水道水
5	エッチング	10%水酸化ナトリウム水溶液 50℃ 1分
6	水洗	水道水
7	活性化	10%硝酸 室温 5秒
8	水洗	水道水

【報告】

2. 8 陽極酸化処理

本研究で用いた陽極酸化処理条件を陽極酸化処理共通条件として表4に示す。硫酸および有機酸は和光純薬工業(株)製の特級試薬を、水はイオン交換水を用いた。

電源は直流電源を使用し、電圧、処理時間、処理温度などの基本条件は試験項目によらず一定とした。

表 4 陽極酸化処理共通条件

項目	内容
処理液	硫酸 15wt% 有機酸 250ppm イオン交換水
液温度	20℃
電圧	15V (定電圧)
攪拌	エアー攪拌
処理時間	30分
陰極	Ptメッシュ (処理液寿命) Pb板 (均一電着性)

3. 結果

3. 1 溶存アルミニウム濃度

陽極酸化処理液中の溶存アルミニウム濃度0、1、5、10、13g/Lにおける陽極酸化皮膜の膜厚を図2に示す。

アルミニウム濃度が0 g/Lでは他条件に比べ膜厚は非常に薄くなった。5 g/Lで極大となり、10g/Lを超えると徐々に薄くなっていった。アルミニウム濃度13g/Lでもある程度の膜厚になるが、生産品を一定水準に保つため、アルミニウム濃度は10g/L以内に保つことが望ましいことがわかった。

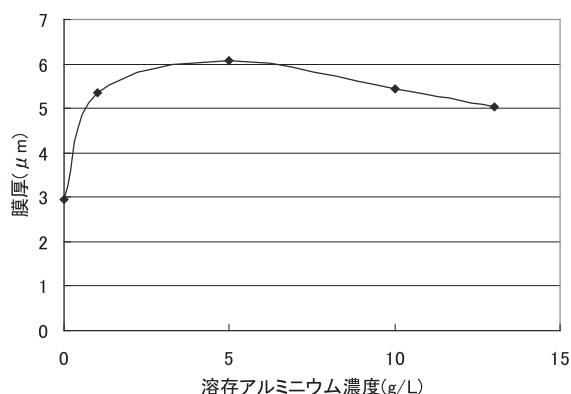


図2 溶存アルミニウム濃度と膜厚の関係

3. 2 有機酸濃度の検討

実際の生産では色調を重視する製品も存在するため、外観の変化について処理液中の有機酸濃度との関係を調査した。外観写真を図3に示す。

外観の差の判別を容易にするため、供試体に光沢のある純アルミニウム板を用い、後処理として青色染料によって着色を行ったが、0～500ppmにおいて差は認められなかった。試料には0～20A/dm²の電流が流れており、外観に対する有機酸添加の影響は生産ラインにおける処理条件では問題は無いと考えられる。

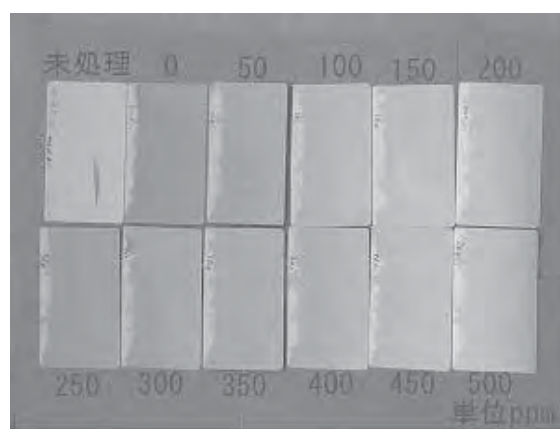


図3 有機酸添加量と外観の関係

3. 3 均一電着性

生産ラインの様子を図4に、膜厚測定結果を図5に示す。膜厚は6～8 μmの範囲内であり、十分実用的な値であった。最低膜厚の管理は治具下端付近で処理した製品で行うこととした。

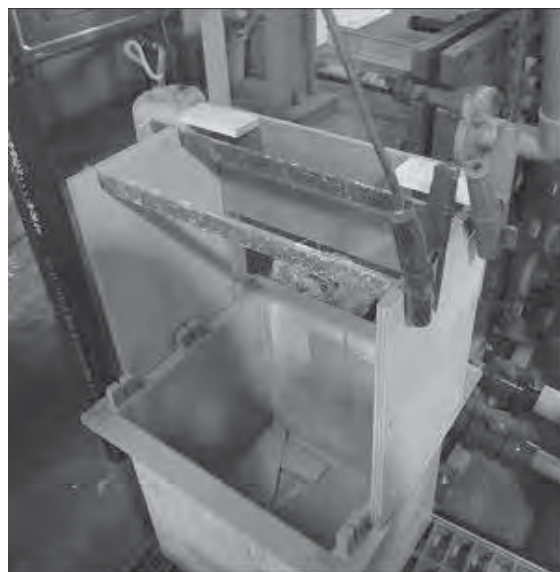


図4 生産ラインの様子

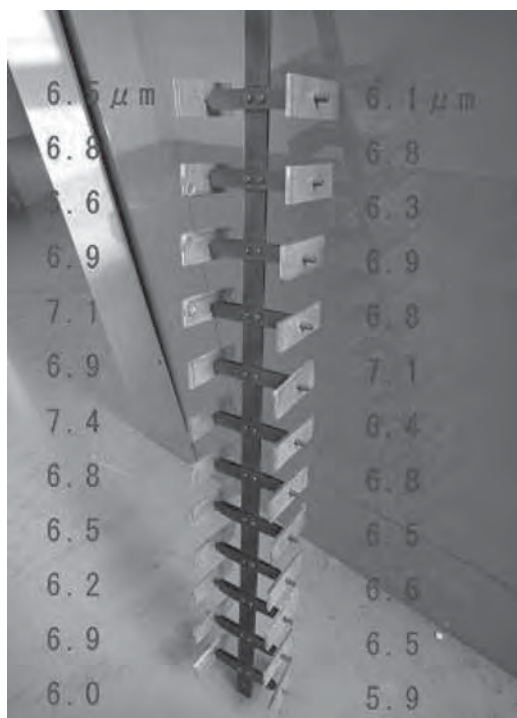


図5 膜厚測定結果

3. 4 排水処理性

CODパックテストの結果を図6に、凝集沈殿性の検証について図7に示す。有機酸を添加した処理液において、水酸化ナトリウムによる中和処理によりフロックが形成され、処理後のろ過も問題無く行うことができた。有機酸添加の有無によるCODの変化も認められず、従来通りの排水処理で対応が可能であった。

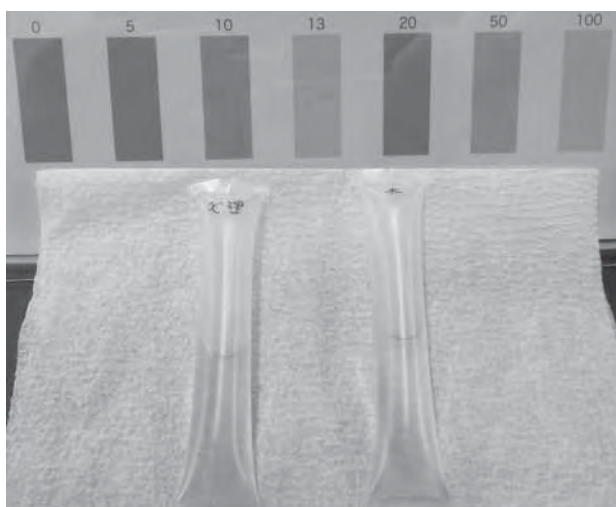


図6 CODパックテスト結果

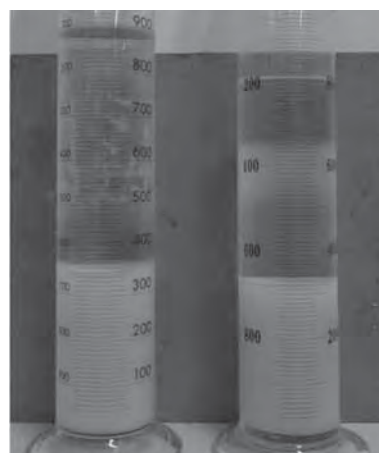


図7 凝集沈殿性の検証

4. 結言

本研究では、直流電源を使用したアルミニウム合金ダイカストに、均一な厚さ、高い硬度、優れた耐磨耗性を持つ陽極酸化皮膜を形成させる条件を、実際の生産ラインで運用することを目的として、通常は使われない有機酸の液管理条件を中心に検討を行った。以下に要点を述べる。

(1) 溶存アルミニウムおよび有機酸濃度

十分な膜厚を確保するため、陽極酸化処理液は溶存アルミニウム濃度1～10g/L程度で使用するのが好ましい。また、通常の陽極酸化処理条件では有機酸はほとんど消費されず、処理品への影響も認められないため、有機酸濃度を管理項目に加える必要は低い。

(2) 均一電着性

50L手付けラインで検討を行い、有機酸不添加時と同等の均一電着性を有することが分かった。製品の治具付けは従来通り行うことができ、特別な制約を設ける必要はないと考えられる。

(3) 排水処理性

通常の条件で排水処理を行ったところ、フロックの形成・ろ過とも問題無く行うことができた。CODの上昇も認められず、従来通りの排水処理で対応が可能である。

参考文献

- 1) 綿野哲寛他：アルミニウムダイカスト合金上の陽極酸化皮膜形成技術の開発 研究報告, p7-11, 2009

β 型チタン合金圧延材の機械的性質の異方性

材料科 菊池圭祐* 伊藤芳典 植松俊明 片野 元

Anisotropy of Mechanical Properties in Cold Rolled Ti-20V-3.5Al-1Sn Alloy Sheet

Keisuke Kikuchi, Yoshinori Itoh, Toshiaki Uematsu and Gen Katano

Titanium and Titanium alloy are applied to various industrial products, such as aircrafts, chemical plants, medical equipments etc. because of their high strength, superior corrosion resistance, heat resistance and biocompatibility. Among the titanium alloy, beta-titanium alloy (β -Ti) sheets with a crystallographic structure of body-centered cubic lattice (bcc) are widely used for cold forming such as pressing and rolling. However, it is known that the mechanical properties of β -Ti is different depending on the sampling direction of the specimen relative to the rolling direction.

In this study, we examined mechanical properties of β -Ti alloy (Ti-20V-3.5Al-1Sn) for the sampling direction of the specimen (parallel or perpendicular to the rolling), and for the condition of age-hardening heat treatment.

After age-hardening heat treatment, the tensile strength, 0.2% proof stress and n value were significantly improved, although elongation was drastically reduced. Moreover, anisotropy of the tensile strength, 0.2% proof strength and elongation had a tendency toward stronger, and that of Young's modulus and flexural modulus were weaker after age-hardening heat treatment.

1. 緒言

チタンおよびチタン合金は、軽量かつ高強度、高耐食性、高耐熱性という優れた特性を有するため、従来から航空機の機体構造やエンジン部品、化学プラントとして利用されてきた。近年では、民生品への利用も始まり、眼鏡フレーム、腕時計のケースやバンドなどの小物部品から海洋構造物や建築物の屋根などの大型製品にまで用途は広がっている。また、生体適合性に優れるため医療部品としても応用が期待されている。

実用化されているチタン合金は、稠密六方構造の α 型チタン合金、体心立方構造の β 型チタン合金、両方が混在した $\alpha+\beta$ 型チタン合金に分類することができる。

α 型チタン合金の稠密六方構造はすべり面が少ないことや最小すべり成分（最小すべり線の長さ/格子定数）が大きいことから、 β 型チタン合金の体心立方構造に比べ変形が困難とされている。

よって、冷間加工を行う場合には、変形が容易な β 型チタン合金が用いられる。 β 型チタン合金は、

チタンにMo、Vなどの β 相安定化元素を添加することで、常温において準安定な β 相を維持しているため、時効硬化処理により、微細な α 相を析出し、高強度化することができる。このように、 β 型チタン合金は、冷間加工時には成形性が良く、加工後に熱処理を施すことによって、強度を付与することが可能なため、プレス加工や冷間鍛造には非常に有用な材料である。

しかし、チタンは素材製造時の圧延の影響が強く、機械的性質の異方性が強い材料とされており、塑性加工時の材料の採取方向が、成形性へ強く影響する。

そこで本研究では、成形パラメータを把握することを目的に、 β 型チタン合金板材の異方性および時効硬化処理後の機械的性質と異方性の変化を評価した。

2. 方法

2. 1 供試材

試験には、Ti-20V-3.5Al-1Sn板材（住友金属工業^(株)製、溶体化処理材、 $t=1.76\text{mm}$ ）を用いた。

*) 現 静岡県工業技術研究所

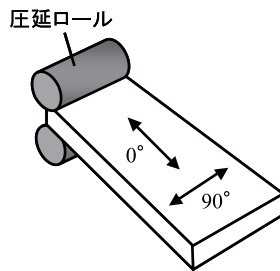


図1 試験片採取方向

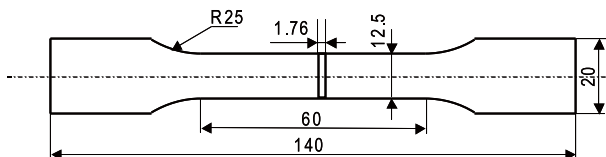


図2 引張試験片 (JIS Z 2201 13B号) 単位:mm

試験片は、図1に示すように圧延方向に対して0°および90°の方向から採取した。

引張試験片の形状は図2に示すJIS Z 2201 13B号試験片とした。時効硬化処理は、500℃×5h、450℃×10h、400℃×18hの3条件で行った。時効硬化処理前後の状態の確認は、ロックウェル硬さ計（㈱明石製作所：ARK-B）による硬さ試験と、金属顕微鏡（オリンパス㈱：GX-71）による組織試験を行った。

曲げ試験片の形状は、時効硬化処理用の治具に入るように、図3に示す形状とした。ただし、図3に示した形状はJIS規格外となるため、時効硬化処理前の材料を用いて、図4に示すJIS 2204 3号試験片も作製した。

2. 2 引張試験

試験には、精密万能材料試験機（㈱島津製作所：AG-IS 50KN）を用い、試験速度は2 mm/minとした。破断点伸びは、非接触式伸び計（㈱島津製作所：ビデオ式非接触 DVE-201）を用いて求めた。また、試験片には、ポアソン比を算出するために2軸のひずみゲージを貼り付け、動ひずみ測定器（㈱共和電業：PCD-330B-F）を用いて荷重方向とその直角方向のひずみ量を測定した。ひずみゲージは、試験片表面を＃600のSiC研磨紙で研磨した後、アセトンで汚れを除去し、瞬間接着剤で貼り付けた。試験は、接着剤を完全に硬化させるため、24時間以

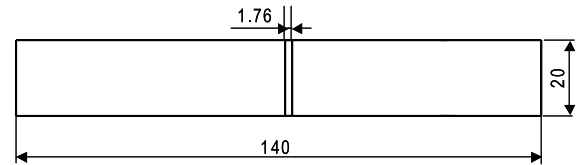


図3 曲げ試験片 JIS規格外 単位:mm

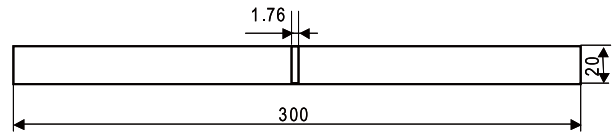


図4 曲げ試験片 JIS 2204 3号試験片 単位:mm

上経過後行った。n値（加工硬化指数）は、応力－ひずみ曲線の耐力点から最大応力点までを抽出し、真応力－真ひずみ曲線に換算した後、その累乗近似式を求めることで算出した。r値（ランクフォード値）は、JIS Z 2254では、応力－ひずみ曲線で最大応力点手前のひずみ10%～20%時における板幅を測定すると決まっているが、今回の試験では、最大応力点までのひずみが10%に満たなかったため、最大応力点前で板幅をポイントマイクロメータ、ひずみ負荷時の標点間距離を非接触式伸び計で測定し、式(1)から算出した。

$$r \text{ 値} = \ln(W_0/W) / \ln(LW/L_0W_0) \\ = \ln(W_0/W) / \ln(1.1W/W_0) \cdots (1)$$

W_0 : 試験前の板幅、 W : ひずみ負荷時の板幅
 L_0 : 試験前の標点間距離
 L : ひずみ負荷時の標点間距離

2. 3 曲げ試験

試験には精密万能材料試験機（㈱島津製作所：AG-IS 50KN）を用い、図3の試験片については支点間距離100mm、図4の試験片については支点間距離200mmの3点曲げを行った。試験速度は5 mm/minとした。曲げ弾性率は、曲げ荷重－ストローク曲線の曲げ荷重50Nおよび150Nの2点間の傾きから求めた。

3. 結果

3. 1 引張試験

時効硬化処理前後のロックウェル硬さおよび金属

【報告】

組織を、図5に示す。硬さは、すべての時効硬化処理条件で処理前より著しく上昇し、 $400^{\circ}\text{C} \times 18\text{h}$ では48.9HRCと最も高い値を示した。時効硬化処理前の金属組織は、素材製造時の圧延加工によって伸長された結晶粒が確認でき、それは時効硬化処理後においても残存していた。また、処理後では微細な α 相が析出していた。いずれの試験においても、時効硬化処理の効果が確認できた。

引張試験結果を図6から図12に示す。図中の％表示は、 0° の値を基準にしたときの 90° の変化率である。

引張強さは、すべての時効硬化処理条件において、1200MPa以上となり、 $450^{\circ}\text{C} \times 10\text{h}$ の 90° では1500MPaを超える高強度となった。

0.2%耐力も、引張強さと同様に、すべての時効硬化処理条件において、1100MPa以上となり、 $450^{\circ}\text{C} \times 10\text{h}$ の 90° では1400MPaを超える高耐力となった。

破断点伸びは、 $500^{\circ}\text{C} \times 5\text{h}$ 、 $450^{\circ}\text{C} \times 10\text{h}$ 、 $400^{\circ}\text{C} \times 18\text{h}$ の順で低下し、時効硬化処理前よりも低い値を示した。

ヤング率は、すべての時効硬化処理条件において、時効硬化処理前よりも高弾性を示した。

ポアソン比は、時効硬化処理によって低下する傾向が見られたが、 $450^{\circ}\text{C} \times 10\text{h}$ の 90° のみ時効硬化処理前より高い値を示した。

n値は、すべての時効硬化処理条件において、時効硬化処理前よりも高い値を示した。 $400^{\circ}\text{C} \times 18\text{h}$

の 90° は弾性域で破断に至ったため、n値を測定することができなかった。

r値は、いずれの時効硬化処理条件においても、最大応力点までの伸びが非常に小さく測定することができなかった。時効硬化処理前においては、 0° は標点間距離のひずみが1.3%の時、 90° は1.1%の時に測定した結果である。

試験片の採取方向の違いにおける変化率は、引張強さでは、時効硬化処理前、 $500^{\circ}\text{C} \times 5\text{h}$ 、 $450^{\circ}\text{C} \times 10\text{h}$ 、 $400^{\circ}\text{C} \times 18\text{h}$ で、それぞれ4.5%、9.8%、9.4%、1.4%であり、時効硬化処理によって異方性は強くなる傾向が見られたが、 $400^{\circ}\text{C} \times 18\text{h}$ のみ異方性が弱くなった。

0.2%耐力は、時効硬化処理前、 $500^{\circ}\text{C} \times 5\text{h}$ 、 $450^{\circ}\text{C} \times 10\text{h}$ で、それぞれ4.8%、14.3%、14.2%であり、時効硬化処理によって異方性は強くなる傾向が見られ、その傾向は引張強さよりも顕著であった。 $400^{\circ}\text{C} \times 18\text{h}$ の 90° は弾性域で破断に至ったため、0.2%

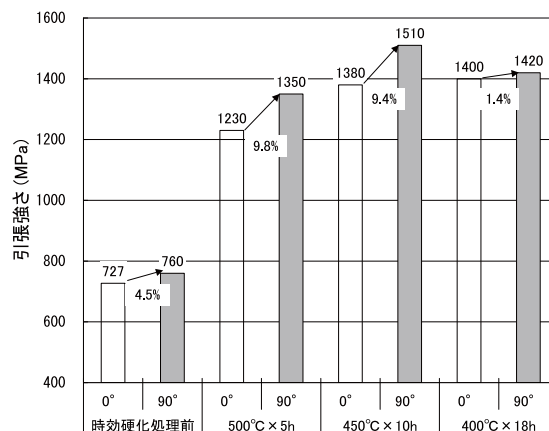


図6 引張強さ

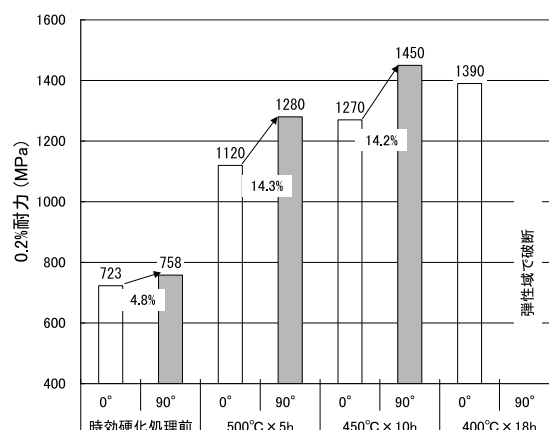


図7 0.2%耐力

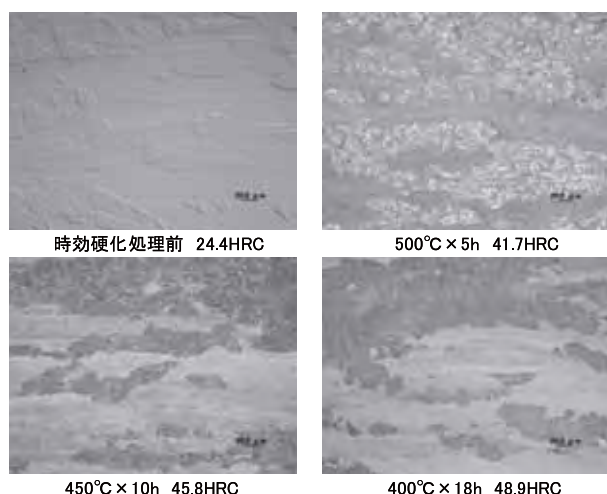


図1 試験片採取方向

【報告】

耐力を測定できなかった。

破断点伸びは、時効硬化処理前、 $500^{\circ}\text{C} \times 5\text{h}$ 、 $450^{\circ}\text{C} \times 10\text{h}$ で、それぞれ -32.4% 、 -42.7% 、 -50% であり、時効硬化処理によって異方性は強くなる傾向が見られた。 $400^{\circ}\text{C} \times 18\text{h}$ のみ、 0° と 90° の変化率が -16.7% と時効硬化処理前より弱い異方性を示すが、伸びの数値としては 2% に満たず、延性に乏しかった。

ヤング率は、時効硬化処理前、 $500^{\circ}\text{C} \times 5\text{h}$ 、 $450^{\circ}\text{C} \times 10\text{h}$ 、 $400^{\circ}\text{C} \times 18\text{h}$ で、それぞれ 19.1% 、 8.4% 、 3.3% 、 9.1% であり、時効硬化処理によって異方性は弱くなる傾向が見られた。

ポアソン比は、時効硬化処理前、 $500^{\circ}\text{C} \times 5\text{h}$ 、 $400^{\circ}\text{C} \times 18\text{h}$ で、それぞれ 9% 、 4.3% 、 36.7% 、 6.1% であり、時効硬化処理によって異方性は弱くなる傾向が見られたが、 $450^{\circ}\text{C} \times 10\text{h}$ のみ異方性が非常に強くなった。

n値は、時効硬化処理前、 $500^{\circ}\text{C} \times 5\text{h}$ 、 $450^{\circ}\text{C} \times$

10h で、それぞれ -16.7% 、 -11.1% 、 25% であり、 $500^{\circ}\text{C} \times 5\text{h}$ では異方性が弱くなったが、 $450^{\circ}\text{C} \times 10\text{h}$ では異方性が強くなった。また、 $450^{\circ}\text{C} \times 10\text{h}$ は 0° よりも 90° の方が高い値を示した。

r値は、時効硬化処理前で 111% と非常に強い異方性を示した。

3. 2 曲げ試験

時効硬化処理前の試験片形状の違いによる曲げ弾性率の結果を表1に示す。JIS規格外およびJIS 2204 3号試験片の曲げ弾性率は、それぞれ 0° で 82GPa 、 81GPa 、 90° で 92GPa 、 90GPa とほぼ等しい値を示し、相関がとれているためJIS規格外の試験片形状を用いても問題ないと判断し、以降にはJIS規格外の試験片を用いた結果を示す。

曲げ試験結果を図13に示す。図中の％表示は、 0° の値を基準にしたときの 90° の変化率である。

曲げ弾性率は、時効硬化処理前が $82 \sim 92\text{GPa}$ 程度、時効硬化処理後が $106 \sim 114\text{GPa}$ 程度となり、いずれ

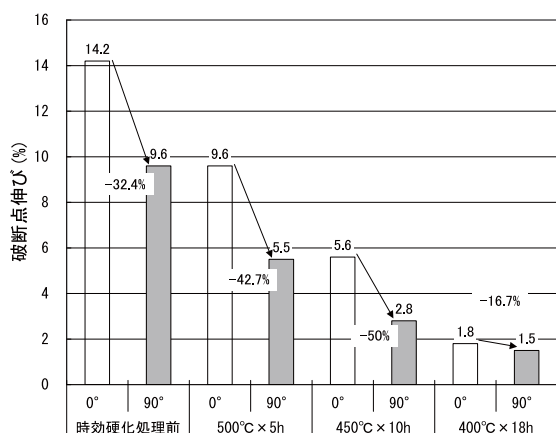


図8 破断点伸び

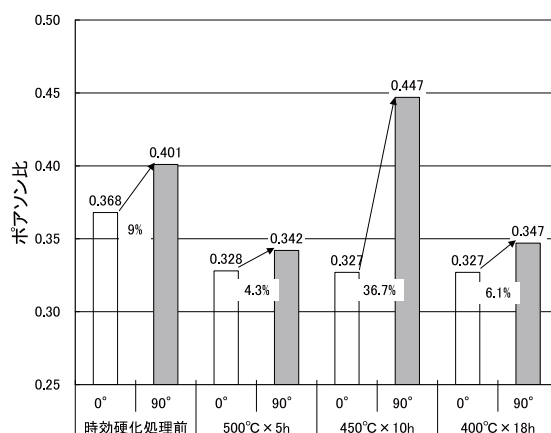


図10 ポアソン比

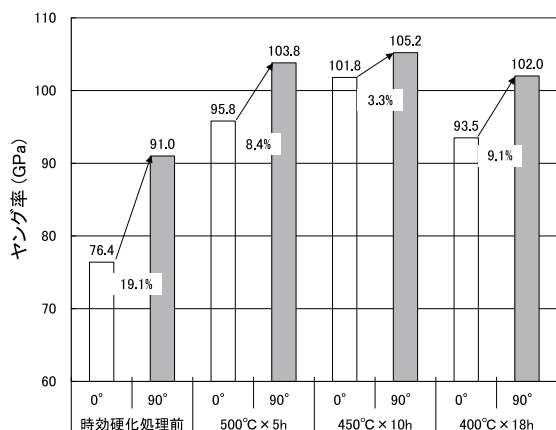


図9 ヤング率

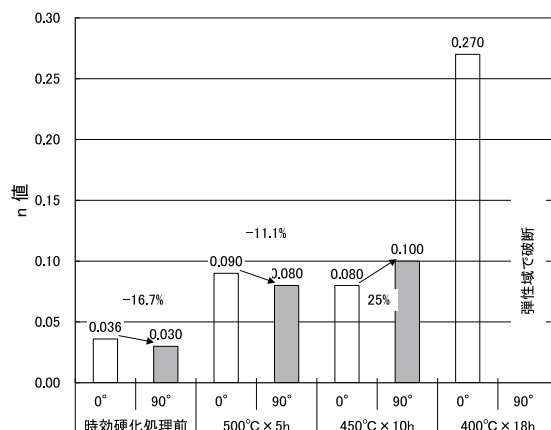


図11 n値

【報告】

の時効硬化処理条件においても、時効硬化処理前よりも高弾性となった。変化率は、時効硬化処理前、 $500^{\circ}\text{C} \times 5\text{h}$ 、 $450^{\circ}\text{C} \times 10\text{h}$ 、 $400^{\circ}\text{C} \times 18\text{h}$ で、それぞれ12.1%、7.3%、5.7%、5.3%であり、時効硬化処理によって異方性は弱くなる傾向が見られた。

4. まとめ

β 型チタン合金Ti-20V-3.5Al-1Sn板材（住友金属工業㈱製、溶体化処理材、 $t = 1.76\text{mm}$ ）について、試験片の採取方向を変え、さらに時効硬化処理前後の機械的性質変化を調べた結果、以下の知見が得られた。

- (1) 時効硬化処理前において、破断点伸び、ヤング率および曲げ弾性率の変化率は、 $\pm 10\%$ 以上と強い異方性を示し、 r 値においては111%と非常に強い異方性を示す。
- (2) 時効硬化処理により、引張強さ、0.2%耐力、ヤング率、 n 値および曲げ弾性率は上昇し、破断点伸びは低下する。
- (3) 時効硬化処理により、引張強さ、0.2%耐力および破断点伸びの異方性は強くなる傾向である。
- (4) 時効硬化処理により、ヤング率および曲げ弾性率の異方性は弱くなる。

n 値については、0.2%耐力点から最大応力点までのひずみ領域が小さく、 r 値についても、板幅測定時のひずみが小さかったため、ばらつきが大きいと思われる。今後、低ひずみでの板幅測定は、板幅の変化率が非常に小さくなるので、より精度良く測定する方法を検討する必要がある。

本研究は、浜松地域チタン事業化研究会の協力のもと遂行しました。

参考文献（スタイル設定「参考・謝辞見出し」）

- 1) 日本塑性加工学会編：チタンの基礎と加工，コロナ社

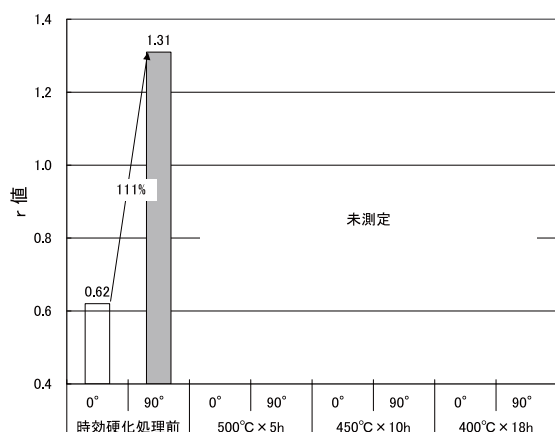


図12 r 値

表 1 試験片形状の違い

	曲げ弾性率 (GPa)	
	0°	90°
JIS規格外	82	92
JIS Z 2204 3号試験片	81	90

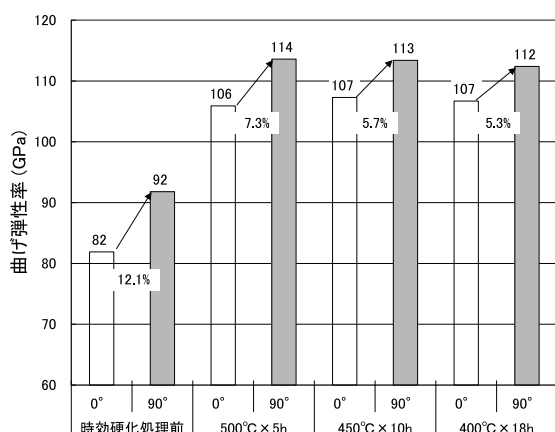


図13 曲げ弾性率

炭酸ガスレーザーによる樹脂表面への加熱処理の高度化（第1報）

光科 渥美博安 植田浩安

Development of Heating Process to Surface of Resin with CO₂ Laser (1st report)

Hiroyasu Atsumi and Hiroyasu Ueta

1. はじめに

樹脂の表面に着色、導電性、撥水性等を付与するため、様々な機能性材料が使用されている。機能性材料を樹脂表面に固定化する際、電気炉による加熱工程を経る場合が多い。電気炉の稼働には、大量のエネルギーを消費するため、それに替る高速かつ省エネルギーな加熱技術が求められている。

浜松工業技術支援センターでは、レーザーで局所的に加熱することにより、樹脂の表面を染色する研究を進めてきた。レーザーの加熱で均一に染色するためには、加工中の温度を適切に制御することが必要である。本研究では、放射温度計で計測した値を、レーザー加熱工程を制御するための指標として応用することを検討した。

2. 方法

2. 1 実験装置

図1に、今回実験で使用した、炭酸ガスレーザーによる加熱システムを示す。レーザー光は集光レンズにより試料上で直径約6mmに集光される。XYステージで試料を2次元的に駆動することにより、レーザー光を試料表面全体に照射する。

レーザー照射中の試料の表面温度を放射温度計により計測した。炭酸ガスレーザーの波長は10.6 μm であり、測定波長が、約8 μm ～14 μm である通常の放射温度計は使用できない。そこで、表に示す放射温度計2台を使用した。放射温度計1は、10.6 μm の波長にも感度があるサーモパイル型のセンサーを使用しているが、レンズがフッ化カルシウム製であるため、10 μm 以上の波長の入射が抑えられてい

る。放射温度計2は、波長2 μm 付近に感度をもつ半導体式センサーを使用した機器である。放射温度計で正確に温度を測定するためには、各放射温度計の測定波長範囲における試料の放射率を指定する必要があるが、今回は、両者とも放射率0.95とした。

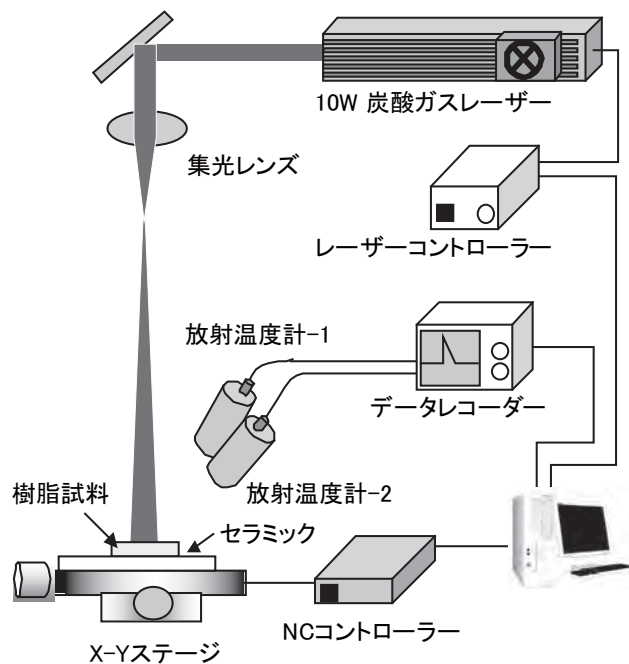


図1 レーザー加熱システム

表 使用した放射温度計

	放射温度計 1	放射温度計 2
メーカー・型名	ジャパンセンサー FTK-9	ジャパンセンサー TMH52
センサー	サーモパイル	半導体式(InGaAs)
検出波長	6.5～10 μm	1.95～2.5 μm
検出温度	0～500度	100～2000度

【ノート】

2. 2 実験方法

測定試料として厚さ 2 mm の透明ポリカーボネイト樹脂板 (50mm×50mm) を使用した。図 2 に示すように、白色のセラミック板上に置かれた試料に対して、最初に左上から右方向に幅 70mm だけレーザーを走査する。次に、下側に 4 mm の間隔をおいて、左方向に 70mm だけ走査する。これを 6 回繰り返すことにより、試料全体にレーザーを照射した。

試料表面の入熱状態と計測した温度データを比較するため、赤色の分散染料を均一にコーティングした試料へレーザーを照射して染色を行い、色の濃さを観察する。

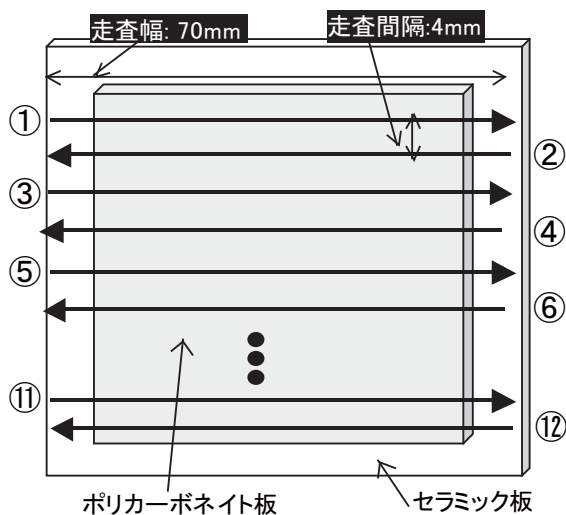


図2 樹脂板加熱試験

2. 3 実験結果

図3に、レーザー染色加工中の温度の測定結果を示す。また、写真には、染色された樹脂の様子を示す。写真では、濃淡を目立たせるために、コントラスト強調処理を施した後、色が濃い部分を破線で囲った。

放射温度計1、放射温度計2とも、同じ様な波形が得られたが、放射温度計1の方が放射温度計2より30度から50度程高い温度を示している。放射温度計1は、炭酸ガスレーザーの波長の光を完全に遮断できないため、ノイズ成分が多く含まれていた。そこで、温度の指標として放射温度計2の波形に注目した。

走査線①では、レーザー光全体が試料に当たって

いないため、走査線②から温度と色の濃さを比較する。走査線②では、最初の温度が高くその後、急激に下がっている。写真でも、色の濃い部分が最初にあり、後半では、薄くなっている。走査線③では、温度が高い位置で安定しており、写真でも均一に色が濃く染まっている。それ以降の走査線でも、温度が高い部分が濃く染まっている様子が伺える。

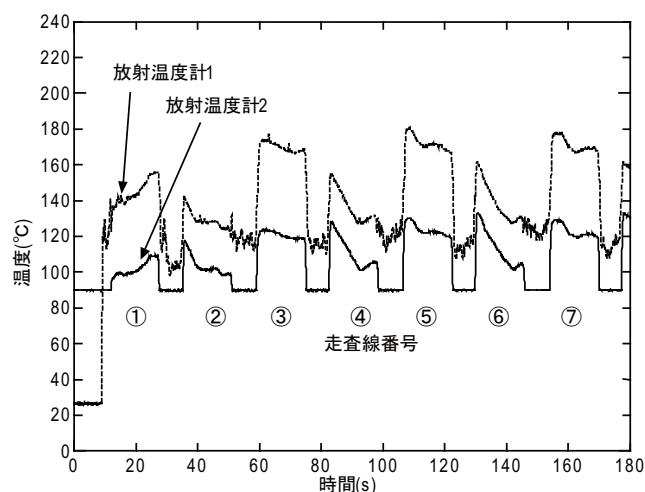


図3 温度測定結果

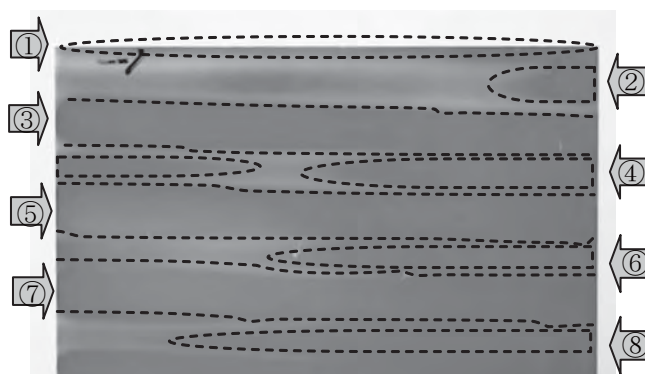


写真 染色結果

3. まとめ

近赤外用の放射温度計で、炭酸ガスレーザーを照射中の樹脂表面の温度を計測した結果、温度の絶対値を計測することは難しいが、レーザー染色等の熱加工を制御するための指標として使用できる可能性を確認した。今後は、温度データを元に、加熱状態を制御する手法を検討したい。

参考文献

- 1) 植田他：繊維学会誌，Vol.65，No.10（2009），PP282-289.

不透明なプラスチックにおける残留応力の可視化

光科 志智 亘 太田幸宏

Visualization of residual stress in opaque plastics

Wataru Shichi and Yukihiro Ohta

1. はじめに

近年、プラスチックは多機能化し、その製品が我々の身の回りのいたるところで活躍している。また、金属やガラスの代替品として使用される場合もある。プラスチックは金属やガラスに比べて加工がしやすい特徴がある反面、その加工によって製品の多くに残留応力が生じてしまう。残留応力はその製品における破壊や変形の原因となりうるため、製品の信頼性に大きく影響をあたえる。したがって、プラスチック製品における残留応力の有無およびどの部分にそれが集中しているかを知ることは品質管理上重要である。

プラスチック製品においてどの部分に残留応力が集中しているかを知る方法の一つとして、光弾性実験によるものがあげられる¹⁾。光弾性実験は、プラスチックが応力により複屈折性を示すことを利用している。この実験方法は被測定物を非破壊で比較的簡単な光学系を用いて行うことができ、また応力の分布をある程度正確に視覚的に知ることができる特徴があるため、製品に対する全数検査への応用が期待できる。これまでのプラスチックに対する光弾性実験は我々が知る限りでは、主に可視光を用いて透明なものを評価することが多かった。そこで、今回我々は可視光のみならずさらに長波長側の領域である近赤外線を用いることにより、可視光領域では不透明であっても近赤外領域では透過するプラスチックにおける残留応力分布の可視化を目的とし、可視光領域および近赤外線領域における光弾性実験系を構築し、種々のプラスチック材料を用いてその評価をおこなった。

2. 実験方法

光弾性実験はプラスチック材料の応力場により、そこを通過する光の偏光状態が変化する性質を利用

し、この変化量を偏光子を用いて観察する方法である。たとえば、ある偏光状態の光を試験片に入射させると、試験片中の応力場の強さにより光の偏光状態が様々に変化するため、その透過光のある方向の偏光成分のみを観察すると、場所により光強度に強弱が現れる。ここで、この光強度は主応力差および主応力方向を反映したものとなっているため、強度分布を観測することにより主応力差や主応力方向の分布を推測することができる。

図1に今回構築した光弾性実験系の模式図を示す。光源は可視光領域から近赤外領域までの波長成分を含むハロゲンランプを用いた。光源から放射した光は拡散板により光強度の空間分布が均一化され、バンドパスフィルターにより波長選別された後、ピンホールおよびレンズ1によりコリメートされる。その後、偏光子により特定の方向に偏光された光が試験片に入射する。試験片からの透過光は試験片後方の偏光子により試験片前方の偏光子と直行した方向の偏光成分のみが取り出され、CCDカメラで観測される。このような実験系を測定波長域が可視光領域(450nm~750nm)および近赤外領域(750nm~1000nm)の二系統構築した。ここで、CCDカメラの撮影範囲は可視光領域の実験系で直径50mm、近赤外領域の実験系で直径25mm程度の円内である。

図2Aに本実験で用いたプラスチックの試験片の写真を示す。試験片は①赤色に着色されたアクリル(縦×横×厚さ~25mm×25mm×3mm)、②半透

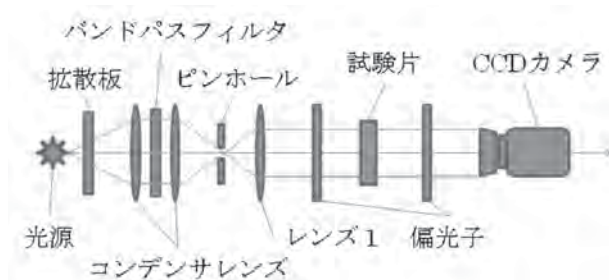


図1 光弾性実験系

【ノート】

明のポリプロピレン（縦×横×厚さ～25mm×50mm×3mm）および③特殊な着色料で黒色に着色されたポリカーボネート（縦×横×厚さ～20mm×70mm×3mm）を用意した。図を見るとわかるとおり、試験片は可視光領域で不透明もしくは半透明である。また、試験片には光弾性効果が表れやすいように一部を変形させている。

3. 実験結果と考察

今回行った3つの試験片の可視光領域における光弾性実験では透過光を観測することができなかった。

図2B（図中右側）は近赤外領域における光弾性実験の結果である。試験片の前後にある偏光子の方向がお互いに直行しているため、試験片における複屈折によって偏光状態が変化しない限り光源からの光線はCCDカメラに到達しない。したがって、その領域は暗くなっている。一方、試験片においてはその透過光を観測することができた。ただし、意図的に変形させた部分では、光の進行方向が変化し、CCDカメラに到達しないため暗く映っている。以上のことから、これらの材料は近赤外領域の光弾性実験系を用いて応力分布を調べることができるということがわかった。

ここで、近赤外領域における観測結果に対して簡単な考察を行う。赤色に着色されたアクリル片およびポリプロピレン片はそれらを透過光軸周りに回転させると全体の光強度分布が均一に変化した。これは、それぞれの試験片の分子が成型などにより全体的にある方向に配向しているためと考えられる。ここで、どちらの試験片も傷や添加物による光強度の明暗はあるが、光弾性効果による光強度の明暗（縞模様）は確認できなかった。一方、特殊な着色料で黒色に着色されたポリカーボネートに関しては光強度の明暗を確認することができた。これはポリカーボネートの光弾性係数がアクリルおよびポリプロピレンのそれに比べて大きいことに起因していると考えられる。ここで、光弾性係数は主応力差と光強度の明暗を結びつける物性量であり、この係数が大きいほど主応力差の変化に対して明暗の変化が大きくなる。したがって、今後これらの材料において本実験系ではどの程度の応力により光弾性効果が観測できるのかについて調べる必要があることがわかった。

A：試験片の可視画像

B：近赤外領域光弾性実験画像



図2 A：光弾性実験に用いた試験片（図左側）とB：その試験片における近赤外領域での光弾性実験による測定結果（図右側）。

また平行して今回測定した試験片以外にも近赤外線を利用した光弾性実験により残留応力分布の測定が可能な材料の検討を行っていきたい。

4. まとめ

可視光領域において不透明なプラスチック材料における残留応力の可視化を目的に、近赤外領域の光弾性実験系を構築し、種々の不透明な材料に対して測定を行った。実験の結果、今回用意した不透明な材料に対して近赤外領域で測定が可能であることがわかった。一方、光弾性係数が小さい材料では主応力差の空間分布を確認することができなかった。したがって、光弾性係数が小さい材料における観察方法を考えていく必要があることがわかった。また、今後はさらに近赤外領域で光弾性効果が観測可能な材料を探していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 山崎良一、三浦基弘：「光弾性実験構造解析」、日刊工業新聞社（1997）

シカ捕獲囲い込みワナのための自動閉鎖ゲートの製作 (第2報)

電子科 長谷川茂

Construction of Automatic Closing Gate for Corral Trap to Capture Cervus Nippon (2nd report)

Shigeru Hasegawa

1. はじめに

静岡県内、特に伊豆、富土地域でシカの生息数が急増しており、森林や農作物等への被害が深刻化している。県農林技術研究所森林・林業研究センターでは、県プロジェクト研究でシカの生息実態について調査し、高密度になりすぎたシカを減らす対策を研究している。その中で、これまでの猟銃による捕獲以外の新しい手法の一つとして、牧場等に出没するシカを囲い込みワナによる捕獲を試みている。当センターではこのワナの出入口ゲートを電氣的に自動閉鎖する仕組みについて協力している。¹⁾

今回は、イノシシ等の捕獲で用いられている箱ワナと同様に一匹を捕獲する囲いワナとその自動閉鎖ゲートを製作したのでその概要について述べる。

2. 方法

製作した一匹捕獲用囲いワナを図1に示す。富士宮市の雑木林に設置したときのものである。

構造資材にはホームセンター等で市販されているイレクターパイプ (矢崎化工^株) およびそのジョイント部品を用いた。横1m×縦2mのパイプ枠を作り、そこに金属ワイヤ入りのネットを取り付けている。これを基本枠として、図1にあるように側面に2個、入口の反対側に1個を繋げて囲いを作っている。なお、ワナ内部にある緑葉はニホンジカを誘引するために置いたアオキ葉である。

2. 1 ゲート構造

図1の前側が入口ゲートで、ガイド用パイプに沿って上下する横棒を設け、そこにネットを施した。こうすることにより、ゲートを開いている際にネットを巻きつけているだけで、上方に突き出る部分が無くシカへの威圧感が薄れ、さらに軽量化できた。ゲー



図1 一匹捕獲用囲いワナ

ト横棒は、パイプからワイヤを伸ばし、リング状の先端フックをソレノイド (信明電機^株SS-120-401B DC24V) 部分に設けた「かんぬき (ラッチ)」に挿入することで固定する。そして、かんぬきの移動金具をソレノイドのプランジャで引っばることにより、フックを外し横棒を落下させる。

2. 2 センサ回路

自動的にゲートを閉鎖するためのトリガ回路は前回と同様である。¹⁾ オムロン^株製電子カウンタ/タイマH8GNを用いて、タイマ機能では手動スイッチまたはセンサ検知をスタート信号として、設定時間後に出力パルスを出し、それを受けてソレノイドが起動する。また、カウンタ機能ではセンサの検知信号を入力し、それが設定カウント数に達すると出力パルスが出るようになっている。主に今回は、センサ検出によるカウンタ機能を用いた。

シカがワナの中に入ったことを検知するセンサは以下のように方式が違う4つ製作した。

(1) 人感センサ

焦電型の人感センサであるパルニックス・ジャパ

【ノート】

ン(株)製MS-100を使用した。図2に示すようにゲート上部に内側向きに設置した。焦電型センサは住宅防犯用に多く用いられているが、熱変化を検知するため空気の温度変化等でも動作し、昼間に使用するのに難点がある。

(2) 電波センサ

図3は、電波の反射を検出するドップラー式動体検出センサである。距離の変化に反応するため、シカが入れば距離が短くなり検知する。雰囲気温度に鈍感であるので、焦電型センサより昼間での誤動作が少ないと考えられる。なお、検知エリアをワナ内の狭い範囲に固定するため図3に示すように左右に金属板を設けた。

(3) 通過センサ

図4の左側が赤外線発光LEDの発光回路で、右側が受光回路である。これをワナのゲート付近に左右離して向かい合わせて設置する。シカが通過すると光が遮られ検知する。人感センサや電波センサ等のように漠然とした範囲での動体を検出するのではなく、設定したラインを越えると反応する。

(4) ビデオセンサ

ビデオ映像の画面中に設定した矩形範囲内を監視し、映像の変化(差分)を検出するものである。図5の左が赤外線カメラで自由に設置場所を選べるよう映像を無線送信するものを使用した。右側の平たい装置が検出器で、その上にあるのが受信器である。

3. 結果

学術研究捕獲実験を10月から数回に亘って実施した。残念ながら、現在のところ製作した囲いワナでシカを捕獲できていない。1日1回の見回りでワナの様子を観察してきたが、ゲートの落下が認められない場合や中に何もいないのに落下している場合などがあった。シカが寄り付いてこないことやセンサの誤動作などが考えられるが、原因についてはビデオ記録撮影等で調査する必要がある。

4. まとめ

ホームセンター等で入手可能な構造材を用いて、シカ捕獲のための一匹捕獲用囲いワナを製作した。

自動閉鎖ゲートにはトリガ動作にタイマ／カウンタ装置、ソレノイドを用い、シカ検出に各種のセンサ回路を試みた。今後、さらに改良などを進めていく予定である。

参考文献

- 1) 長谷川：「シカ捕獲囲い込みワナのための自動閉鎖ゲートの製作」, 静岡工業技術研究所研究報告, 3, 154(2010)



図2 人感センサ

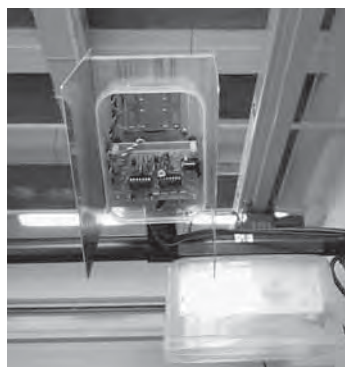


図3 電波センサ

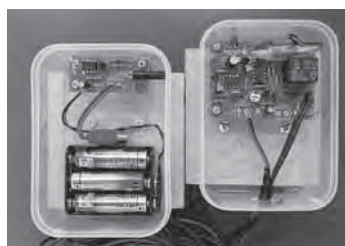


図4 通過センサ



図5 ビデオセンサ

電波暗室の改修による特性の違いについて

電子科 山田浩文 長谷川茂

Effects of Repair work on Characteristics of an Anechoic Chamber

Hirofumi Yamada and Shigeru Hasegawa

1. はじめに

電子機器を搭載した多くの製品は、機器から発生する電磁波の強度を測定する妨害波測定¹⁾をはじめとする各種のEMC（電磁環境適合性）試験を実施し、これらの試験に合格しなければならない。これらの測定を行う電波暗室などには規定があり、電波暗室の特性（正規化サイトアッテネーション特性）を測定し、規格の条件を満たしている必要がある。

また、近年の半導体技術の進歩に伴う電子機器はますます高速で動作化ようになっており、情報処理装置の規格では、妨害波の測定周波数範囲も、従来の30MHz～1GHzだけではなく、平成22年10月からは、最高6GHzまでに改正された。さらに、将来的には、最高18GHzまでに拡大される流れである。

当センターの電波暗室は、電波吸収体の劣化などの原因により、電波暗室の特性が規格の条件を満たさなくなった。このため、今後の規格の情勢も考慮に入れ、最高18GHzまで対応できるように電波暗

室の改修工事を行った。具体的にはフェライト吸収体及びピラミッド型の吸収体の張替とグラウンドプレーンの張替を行った。

本報では、従来の測定範囲30MHz～1GHzについて、この改修の前後における測定結果の違いを報告する。

2. 方法

図1は、電波暗室におけるコムジェネレータ測定の写真である。コムジェネレータとは、図2に示すように、一定の周波数間隔（今回は10MHzごと）で安定した信号のピークを示す発振器である。今回は、試験対象物の代わりにコムジェネレータ（Schaffner-Teseq社のRSG1000+DPA4000）をターンテーブル上1mの高さに配置し、通常の妨害波測定と同様の手順により測定した。すなわち、受信アンテナをコムジェネレータのアンテナから3mの位置に配置し、高さを1～4mに変えるとともに、ターンテーブルを360°回転させ、そのときの最大値を

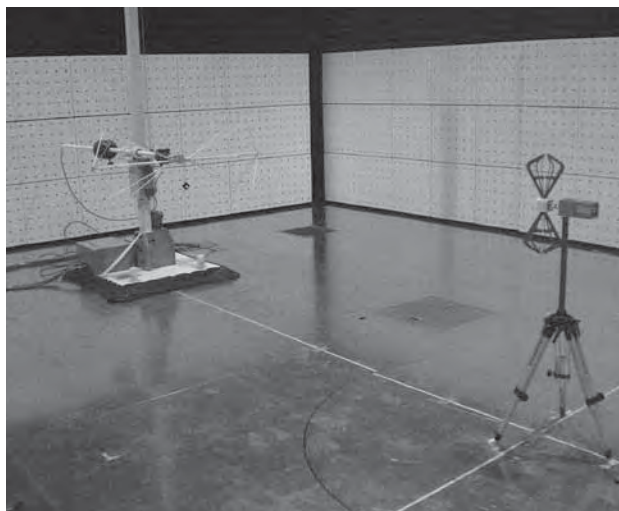


図1 改修工事後の電波暗室でのコムジェネレータ測定

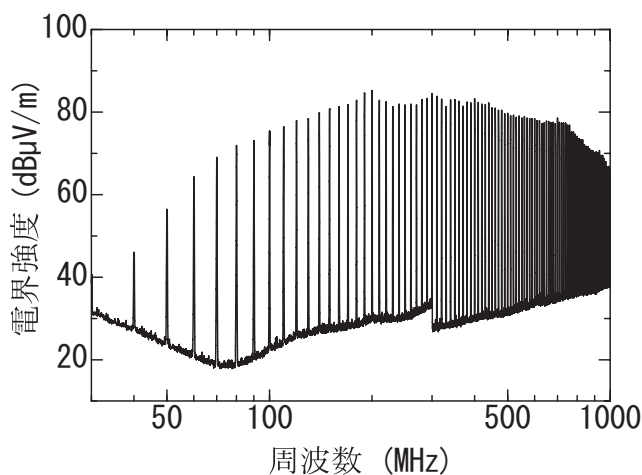


図2 コムジェネレータの信号波形（水平偏波）

スペクトラムアナライザで測定した。また、コムジェネレータのアンテナと測定用アンテナの両方ともに垂直偏波と水平偏波に代えて測定した。測定用アンテナは、30MHz～300MHzではバイコンカルアンテナ（Schwarzbeck社VHA9103B+BBA9106）、300MHz～1,000MHzでは、ログペリオディックアンテナ（Schwarzbeck社USLP9143B）を用いた。

測定は、改修前の2009年4月と、改修後の2010年3月に行った。

3. 結果

図3は、改修の前後に、改修を請け負った株式会社リケン環境システムが行った正規化サイトアッテネーション(NSA)の測定データである。NSAは、電波暗室の性能を表しており、測定規格では、理論値の ± 4 dB以内に入ることが求められている。図3(a)より、水平偏波では、改修前後で特性の違いが小さいことがわかる。また、図3(b)より、改修前には、垂直偏波のとき、70MHz前後で ± 4 dBを超え、規格を満たしていなかったことがわかる。さらに、垂直偏波で300MHzより下の周波数で、改修後、特性が大きく改善されていることがわかる。

図4は、コムジェネレータ測定で得られた結果について、改修の前後で信号のピークの電界強度を比較したものである。図4(a)の水平偏波では、改修前後での電界強度の違いは ± 3 dB以内であった。一方、図4(b)の垂直偏波では、300MHzより上では、 ± 3 dB以内であったが、300MHz以下では、 ± 5 dB程度と改修前後で大きくばらついた。

4. まとめ

電波暗室の改修によって、垂直偏波の300MHz以下の周波数領域での電波暗室の特性が大きく改善した。この領域では、改修の前後で信号が ± 5 dB程度変わる可能性がある。

参考文献

- 1) 山田, 池上, 佐野: EMC入門講座, (株)電波新聞社, (2008). 等

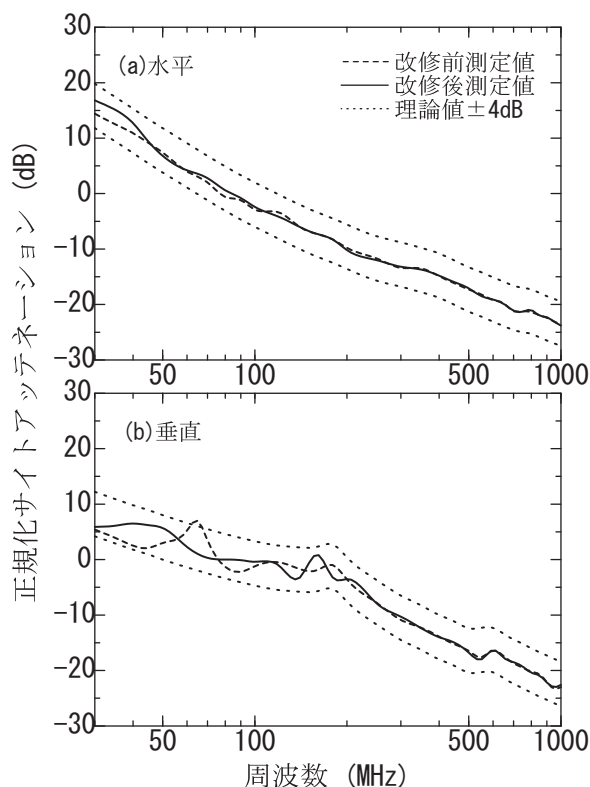


図3 正規化サイトアッテネーション測定結果

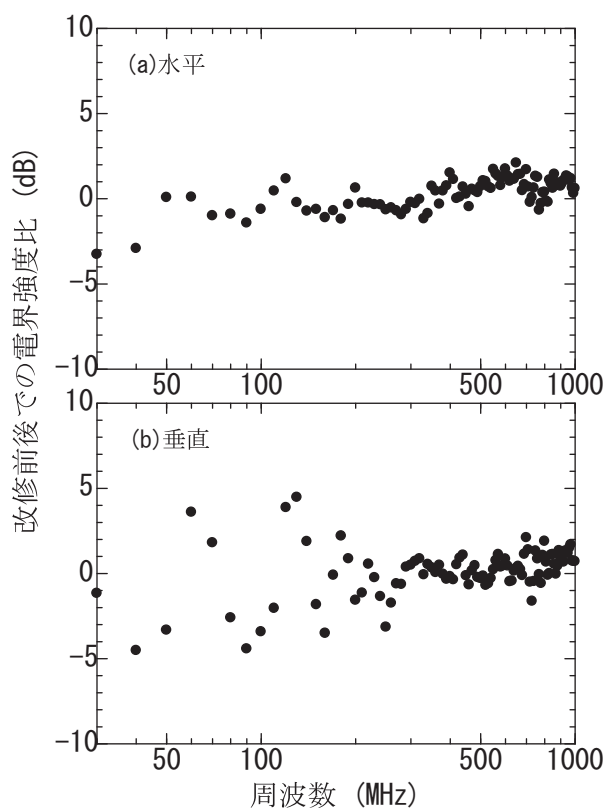


図4 コムジェネレータの信号の改修前後での比較

金属材料・樹脂材料における不具合シミュレーションとデータ解析に関する研究（第1報）

－皮膜性状に対するめっき前処理の効果－

材料科 吉岡正行 植松俊明 菊池圭祐*

Simulation and Data Analysis of the Failure of Metals and Plastics (1st report)

－Effect of Pretreatment on the Properties of the Plating－

Masayuki Yoshioka, Toshiaki Uematsu and Keisuke Kikuchi

1. はじめに

19～21年度に、当スタッフがこれまで蓄積してきたデータや知見の整理とそれらの有効活用を目指し、有機・無機化合物を問わない赤外分光分析データベースの充実と異物同定・解析技術の向上及び金属材料における破損・破壊のシミュレーションとデータベース化について実施・検討した結果、依頼試験・指導業務のレベルアップを達成することができた。

本年度からはさらなる解析技術の向上と、より広い業種への対応力強化を目指し、以下に示す不具合シミュレーションとデータ取得を計画・実施した。

- (1) めっき等表面処理において行われている前処理・後処理の効果の検証及び不具合との関連性
- (2) 金属材料表面の腐食・キズと破壊との関係
- (3) プラスチック構造材料における破壊・破損原因の調査とシミュレーション

本報では(1)のめっきに関するいくつかの事例について検討した結果を紹介する。

2. 方法

2. 1 テーマの選定

例年、講習会・勉強会・工場見学会等を通じて交流のある、浜松鍍金工業協同組合に対し、本研究の主旨を説明し有志を募ったところ、10社よりテーマ提供をいただいた。その中から初年度のテーマである「前処理」がキーワードとなることが示唆されるテーマを選び、実施を計画した(表1)。

表1 選定した実験テーマ（実施順）

①	鍛造部品上の点状不良発生原因の調査(A社)
②	遠心乾燥機内に発生した褐色物の同定(B社)
③	機械加工平面の白色物発生原因と対策(C社)
④	スプリング部品に生じた白色物の正体(D社)
⑤	穴内壁の微小褐色物発生原因の究明(E社)

本取り組みのメリットとして、各社固有のケースとニーズにマッチした、言わばピンポイントの有益情報が得られることだけでなく、結果、他社とも共有できる知見・一般論が得られる可能性もあり、組合・業界に対しても意義のある試みといえる。

今回はこの中から、顕著に有益な知見が得られたテーマ③及び④について紹介する。

2. 2 装置

分析・解析装置として、

- ・倒立型金属(光学)顕微鏡 GX71 (オリンパス光学工業㈱)
- ・フーリエ変換赤外分光分析装置 FT/IR-4200、IRT-3000 (日本分光㈱)
- ・蛍光X線(EDX)微小部分分析装置 SEA5120A (エスアイアイ・ナノテクノロジー㈱)

等を用いた。

3. 結果と考察

3. 1 機械加工平面の白色物発生原因と対策 (③)

表面が平滑な厚板材へ黒色(3価)Znクロメート皮膜処理を施した製品において、出荷前の時点で

*) 現 静岡県工業技術研究所

【ノート】

斑点状の白色物が発生するという案件であった。元素分析・IR分析から、白色物はZnの腐食生成物と判明した。また金属(光学)顕微鏡による白色物発生箇所の断面観察から、目視・触感ではわからなかった無数の微細で入り組んだ状態の“くぼみ”や“隙間”等の欠陥が有り、そこに健全なZnめっき皮膜とそれに続く健全なクロメート処理がしっかりと施されなかったため、Znの腐食が発生したものと考えた(図1参照)。



図1 白色生成物発生箇所断面の金属顕微鏡画像

続いて前処理の各工程から抜き取ったサンプルと、対策方法の検討のため1工程ずつ条件を変更して最終処理まで施したサンプルについて、表面の白色生成物発生の様子を観察と断面観察を実施した。

結果、前述の欠陥は素材が元々有しており、それらは酸化スケールのように通常の酸工程で除去はできず、そのままめっき工程へ持ち込まれ、皮膜がつきまわらずに今回の事象が発生したことが判明した。

また、いくつかの工程の条件を変更することで、白色物の発生を抑制できることもわかった。

3. 2 スプリング部品に生じた白色物の正体 (④)

スプリング部品のめっき後、線部分が重なる隙間部分に微量の白色物の存在が認められた。

処理槽に入り込んだ異物か、前事例のように健全なめっきがつきにくい箇所に発生した腐食生成物かといった推測があったが、まず始めに分析した際には、元素分析ではZnやClが検出されたが、IR分析で化合物の特定ができなかった。

そこで各処理工程ごとに抜き取ったサンプルから

再現したものを分析した結果、白色物は塩基性“塩化”亜鉛(一水和物)であることがわかった。

19～21年度の研究から、大抵のZnの腐食生成物は(たとえ塩水噴霧試験で生成したのも)塩基性“炭酸”亜鉛が主成分であることがわかっており(図2)、塩基性“塩化”亜鉛は、塩水噴霧試験でも、条件が揃った場合やHCl(塩酸)や電気的エネルギーが関与する腐食でないと発生しない。

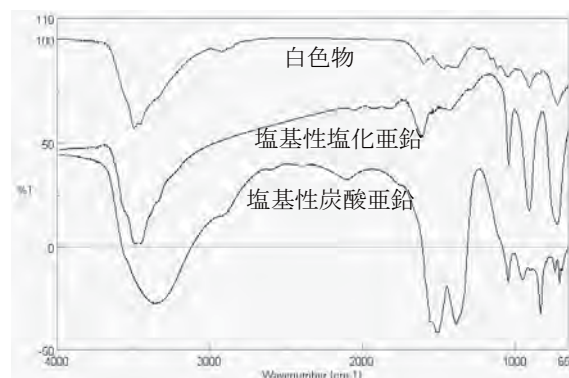


図2 白色物と腐食系Zn化合物の赤外吸収スペクトル

調査の結果、このめっきの浴種は塩化亜鉛浴であり、他の品物では問題の起こらない十分なスプレー水洗を施してはいるが、この部品は形状の特徴からどうしても隙間部へのめっき液の滞りが避けられず、それが蒸発乾固したものであると結論付けた。

4. まとめ

当所に持ち込まれるめっきに関する不具合の相談は、実は部品加工業者からの持込が圧倒的に多いため、めっきに関する情報が不十分のまま取り組むケースが多く、結果曖昧な点の残る対応が多かった。

今回、研究というかたちでめっき企業と直接のやりとりができたことで、再現試験や条件変更の検討、詳細な施工事情の提供などが可能であったため、解決・対策に結びつく知見が得られたことは、めっき部品を取り扱う関連業界全体に対しても意義のある取り組みであったと考えている。

謝辞

本研究の実施にあたり、数多くのテーマ及びサンプルのご提供をいただいた浜松鍍金工業協同組合の企業の皆様に心より御礼申し上げます。

金属材料・樹脂材料における不具合シミュレーションとデータ解析に関する研究 (第2報)

－鉄鋼材料の破断面に及ぼす切欠き形状の影響－

材料科 植松俊明 菊池圭祐* 吉岡正行 田光伸也

Simulation and Data Analysis of the Failure of Metals and Plastics (2nd report)

－Effect of Notch Shape on Fracture Surface of Steel Specimens－

Toshiaki Uematsu, Keisuke Kikuchi, Masayuki Yoshioka and Shinya Tako

1. 緒言

機械部品や構造物には鉄鋼材料、非鉄金属材料、セラミックスや樹脂材料など様々な材質が使用され、強度や靱性が必要な構造用材料としては鉄鋼材料が多く使用されている。また、組み合わせられて使用される構造部品などには段付形状や溝加工などの加工が施されるが、このような形状では局部的に応力が大きくなることで部品が破損してしまう場合がある。

一方、部品が破損したときの原因調査に用いられる破断面解析では、代表的な破断面データは容易に入手することができるが、種々の条件によって破断したもののデータは十分とは言えない。

そこで、鉄鋼材料の破断面の基礎データを収集することを目的として引張試験を行い、切欠き形状による破断面への影響を調査した。

2. 実験方法

試験には、SPCC、S45C、SUS304の3種類を用いた。試験片は板状試験片とし、試験片中央には図1に示すような切欠き半径2mm、1mmとV形（底部の半径は0.1mm以下）の3種類の切欠きを作製した。以後、2r、1r、V形と示す。試験片の厚さは3mmで切欠き深さは1mmとした。

引張試験には精密万能材料試験機を用いた。筆者らはこれまでに金属材料の破断面に及ぼす破断速度の影響を調査した¹⁾が、試験速度は1～1000mm/minであればディンプル径は変化するものの、すべて延性破壊し破断形態は変化しないので今回は試験速

度を1000mm/minとした。

評価は引張強さ、破断伸び、走査電子顕微鏡による破断面観察で行った。破断伸びは非接触式伸び計を用いて求めた。また、標点間距離は切欠き部の局部的な収縮を考慮し、切欠き部を含む10mmとしたため、破断伸びは参考値である。

3. 結果

引張試験後の試験片はSPCCおよびSUS304で切欠き部に局部的な収縮が観察されたが、S45Cでは切欠きなしで僅かにくびれが観察されるものの、切欠き部では明瞭なくびれを観察できなかった。

引張強さ、破断伸びの結果を図2、3に示す。引張強さへの影響は材質によって異なり、SPCCでは切欠き半径が小さくなるとともに上昇傾向、S45C

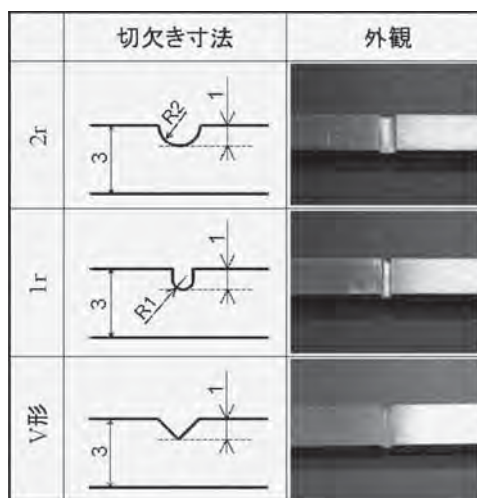


図1 切欠き形状

*) 現 静岡県工業技術研究所

【ノート】

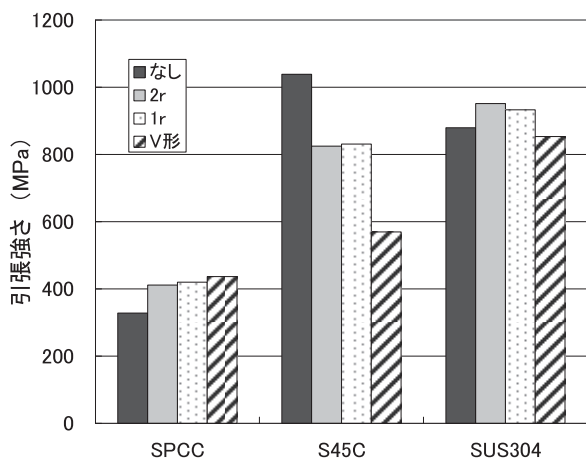


図2 引張強さに及ぼす切欠き形状の影響

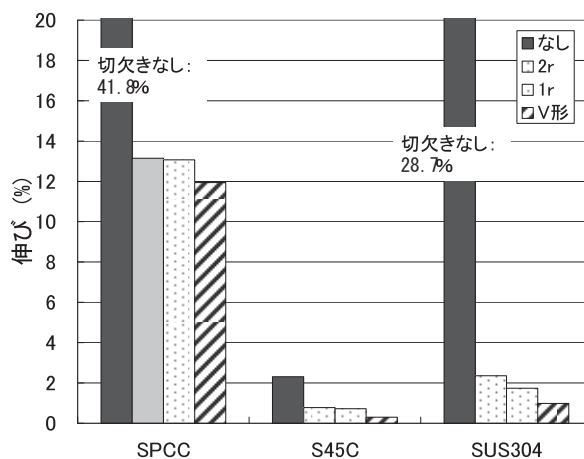


図3 破断伸びに及ぼす切欠き形状の影響

では低下、SUS304では同程度であった。一方、破断伸びは材質によらず切欠きが付与されることで著しく低下し、SPCCでは42%から12%程度、S45Cでは2.5%から1%以下、SUS304では29%から2%程度となった。さらに切欠き形状による破断伸びはいずれの材質でも切欠き半径が小さくなるとともに減少した。S45Cは切欠きなしであっても破断伸びが2%程度と低い値を示したが、これは圧延加工によって加工硬化したことによるものと考えられる。

ここで、切欠きによる機械的特性への影響が見られたので、走査電子顕微鏡による破断面のマイクロ観察を行った。結果を図4に示す。観察位置はそれぞれ切欠き表面（切欠きなしは表面）に近い箇所とした。切欠きなしではすべての材質で伸長されたディンプルが観察された。SPCCおよびSUS304では切欠きを付与しても切欠き半径によらずディンプルが観察され、2r、1rで観察されたディンプルの大きさは切欠きなしと同程度、V形では大きくなっていた。それに対し、S45Cでは2r、1rではディンプルが観察されるが、V形では平滑な破断面が多くなり、明瞭なディンプルは観察できない。ここで得られた破断面は切欠きによって破断形態が延性破壊から脆性破壊へと近づいたためであると考えられるが、へき開割れや粒界割れのような代表的な脆性割れではない。

以上のことから、静荷重による破壊では切欠き形状の破断面への影響は材質の機械的特性や加工履歴によって影響度が変わるようであるが、いずれにしても切欠き半径が小さくなることで破断面には影響

が現れることがわかった。

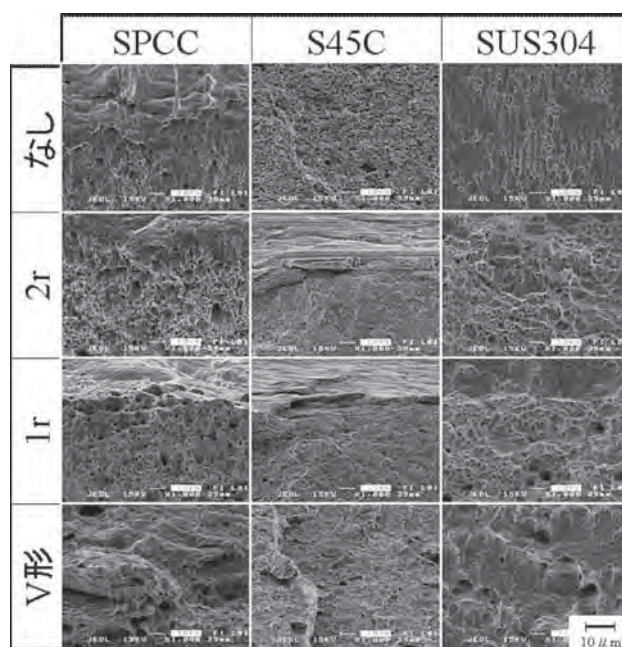


図4 破断面に及ぼす切欠き形状の影響

4. 結言

鉄鋼材料の切欠き形状による破断面および機械的特性への影響を調べた結果、以下のことが得られた。

- (1) 引張強さへの影響は材質によって異なり、破断伸びは切欠き半径が小さいほど低下する。
- (2) ミクロ破面への影響は材質の機械的特性や加工履歴によって変化するようであるが、切欠き半径が小さくなることで影響は現れる。

参考文献

- 1) 植松俊明他：静岡県工業技術研究所研究報告，3，158-159

金属材料・樹脂材料における不具合シミュレーションと データ解析に関する研究 (第3報)

－樹脂材料の紫外線劣化に関する解析・評価－

材料科 吉岡正行 植松俊明 菊池圭祐*

Simulation and Data Analysis of the Failure of Metals and Plastics (3rd report)

－Analysis and Evaluation of UV degradation of Plastic Materials－

Masayuki Yoshioka, Toshiaki Uematsu and Keisuke Kikuchi

1. はじめに

本報告では、樹脂材料について、特に想定寿命・期待寿命よりも顕著に早く破壊・破損した不具合の原因として考えられる各種要因の中で、特に重要と思われる以下の項目についてピックアップし、実施・検討を計画している。

- (1) 紫外線劣化 …22年度
- (2) 熱劣化 …23年度
- (3) 成型時不良 …24年度

樹脂構造材料の破壊・破損トラブルが生じた際、現状最も疑われることの多いこれらの要因は、単独要因となるケースばかりではなく、複合的に関与する可能性があることは想像し易い。

それら不具合原因の特定・究明にあたり、その裏付けにより高い信憑性や説得力をもたせるためには、結局のところ地道な促進劣化試験・想定試験の実施とそのデータ取得が最も重要であると考えている。

本報では、紫外線劣化とそれによる分子結合・構造、熱的性質との関係について得られた知見について一部を報告する。

2. 方法

2. 1 試料

PE (ポリエチレン)、PP (ポリプロピレン)、PC (ポリカーボネート)、ABS (アクリロニトリル・ブタジエン・スチレン)、PA6 (ポリアミド6)、PA (ポリアミド6-6)の6種について実施した。

2. 2 装置

試験装置及び分析・解析装置には以下を用いた。

- ・耐光性試験機 FAL-5 HB (スガ試験機㈱)

- ・フーリエ変換赤外分光分析装置 FT/IR-4200、IRT-3000 (日本分光㈱)
- ・熱分析装置 DSC-50 (島津製作所㈱)

3. 結果と考察

屋外で使用・設置されていた樹脂材料について、「脆化」を示唆する白化・褐色化・脱色等が認められるほど顕著な状態にあるものについては、目視の段階で「紫外線による劣化が原因」と結論付けるケースは多いであろう。もちろんその場合でも補足・裏付けとして機器分析データを取得しておくことは極めて重要なことではある。

しかし、現実的に最も望まれていて、意義のあることは、破壊・破損の原因が「見た目からはわからない」というケースへの対応である。

樹脂材料の劣化解析の資料・文献は多く紹介されているが、促進劣化・想定シミュレーションを実施している事例の多くは“各種分析で明確な差異のあるデータが得られるように”、充分すぎるほどの負荷・ダメージを与えてしまっているケースが多い。

分析装置が有する“感度”という優れた特長の有効利用という観点からすれば、見た目ではわからないが、分析したら劣化・ダメージを受けているということを示唆するデータが取得できるか否かを検討することが、現実には持ち込まれることが多い“微妙な”状態のサンプルの不具合原因の解明に繋がる。

そのため今回はまず、劣化促進試験としては明らかに短いことが予想される100時間というUV照射時間のサンプルについて、データ取得を試みた。

*) 現 静岡県工業技術研究所

【ノート】

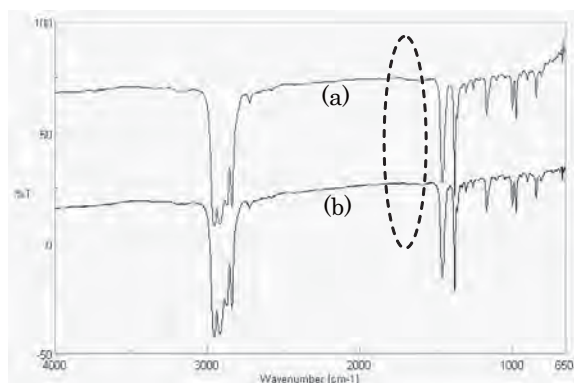


図1 PP樹脂(UV照射後-前)の赤外吸収スペクトル

図1 (a)はUV照射100時間後のPP、(b)はUV未照射のPPの赤外吸収スペクトルである。(a)には劣化の際に有機結合がいったん切れた後、生ずるであろう「酸化」を示唆するC=O結合(1700cm⁻¹付近。点線で囲った箇所)由来の吸収ピークは認められない。これは照射時間が短いという理由だけでなく、紫外線吸収剤(劣化防止剤)の効果によるものではないかと考えられる。その他、PE、PC、PA6、PA6-6においても有意な差は認められなかった。

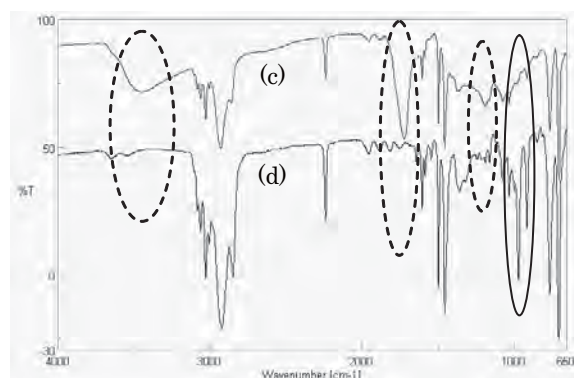


図2 ABS樹脂(UV照射後-前)の赤外吸収スペクトル

図2は6種の樹脂の中で唯一有意な差異が認められたABS樹脂の赤外吸収スペクトルである。

UV照射100時間後の(c)には、C=Oだけでなく、C-O(1000~1200cm⁻¹)、-OH(3400cm⁻¹)といった官能基の存在に由来する吸収も出現している。また、未照射(d)には存在している、実線で囲んだブタジエン成分由来の966、911cm⁻¹の吸収の消失も顕著である。

樹脂によっては100時間という短いUV照射時間でもIRデータに差異が認められることがわかった。続いて図3には、IRでは差が認められなかったP

A6-6のDSC(示差走査熱量測定)データを示す。

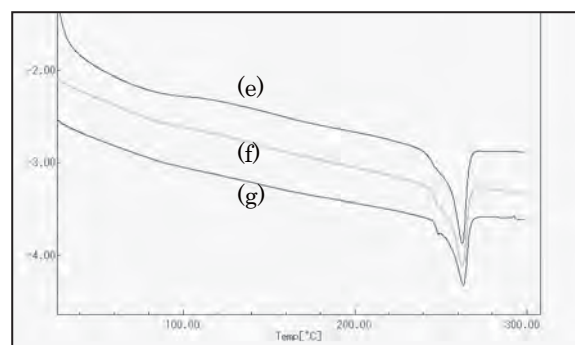


図3 PA6-6樹脂(UV照射後-前)のDSC曲線

(e)はUV照射100時間後、(f)は照射面の裏面、(g)は未照射のものである。

約260°CのT_m(融点)から20°Cほど低い温度付近における融解吸熱挙動に、わずかではあるが差が認められた。また(e)には40°C辺りから(吸収されていた水分の揮発・蒸発によると思われる)100°C以上まで続くブロードな吸熱ピークの存在も認められた。

ポリアミド系樹脂材料の水分吸収(脱離)挙動については広く知られていることではあるが、同じ湿度雰囲気内にもかかわらずUV照射面のみに症状が現れたことは興味深い知見であると思われる。

IR分析で見ているところの分子構造(一次結合)に差異が無くても、その集合体としての熱的性質(高次構造)にダメージの痕跡が現れることは、きめ細かい条件設定での負荷シミュレーションと地道なデータ取得は“微妙な”サンプルの破壊・破損不具合原因の究明に役立つことを示していると思われる。

4. まとめ

市場に流通する樹脂材料の種類は多岐に渡り、さらに同種類の中でもメーカー・用途・グレード等の違いも含めればその数は極めて多い。それら全てに対し劣化促進試験とデータ取得を行なうことは現実的ではなく、「こういうデータが得られた時は、原因はこうである」という一般論を示すことには限界があるが、今後も可能な限りのサンプルの入手・収集と、そのデータ取得を通じ、“傾向”や“特徴”までは掴められるよう引き続き検討を行なう予定である。

一方向繊維強化熱可塑性複合材料の高速成形技術の開発

繊維高分子材料科 鈴木重好

Rapid Molding of Unidirectional Fiber Reinforced Thermoplastics

Shigeyoshi Suzuki

1. はじめに

熱可塑性樹脂を用いた繊維強化複合材料は、軽量でリサイクル性や生産性（短時間成形）が高いことからその機能が自動車業界を始めとする産業界から注目され、研究開発が行われている。また、炭素やガラスなどの高強度繊維と樹脂繊維を均一に分散集合したコミングルドヤーンは、加熱・加圧することで、熔融粘度の高い熱可塑性樹脂でも容易に高強度繊維内に含浸が可能であることから、熱可塑性複合材料用の素材として注目されている。

当センターでは以前、ガラス繊維とポリプロピレン（PP）繊維のコミングルドヤーンを用いて、比較的簡便な手法でケーブル状の成形体を作製できることを報告した¹⁾。一般的な引き抜き成形法は、成形速度が数メートル/分程度であることから、当センターで開発した手法を用いることで、より高速に成形できることが期待できる。今回、本手法を用いて、成形条件と含浸性の関係を確認し、高速成形の可能性を検討した。

2. 実験方法

試験に用いたコミングルドヤーンは、ガラス繊維とPP繊維から成るVetrotex社製のTwinTexである。番手は1870TEXで、ガラス繊維の分率は60重量%のものをを用いた。

成形には、図1のような装置を用いた。まず、コミングルドヤーンは、撚りがかからないように送り

出し装置で送り出され、長さ3mの乾熱炉へ入る。乾熱炉の中には成形ロールがあり、コミングルドヤーンはロールに刻んだ溝を通過する。この時、ガラス繊維束中のPP繊維は溶融しているため、ヤーンは溝の形状に成形される。今回、幅3mmの四角い溝を切り、扁平断面形状のケーブルを作製した。ここで、送り出し速度より引き取り速度を数%高くすることにより、ヤーンに張力を加え、ロール中心方向への押し付け圧力を発生させた。

3. 結果と考察

3. 1 成形速度

成形温度190℃において、成形速度を9.7から25.8 m/minまで変化させた。図2は、9.7及び15.5m/minにおける成形体の断面写真である。それぞれの写真中、黒く見られる部分がガラス繊維の断面である。9.7m/minではPP樹脂中にガラス繊維が点在する様子が確認できるが、15.5m/minではPP繊維の表面のみが溶融して繋がっている状態で、ガラス繊維間への含浸はほとんどしていない。さらに成形速度が高速になると、その傾向はより顕著に表れた。

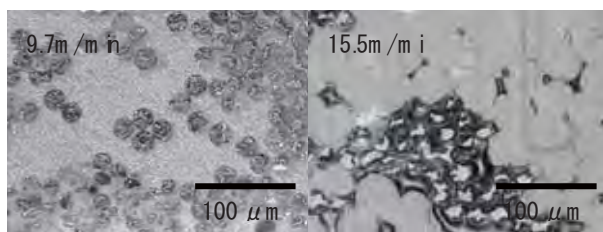


図2 コミングルドヤーン成形体断面

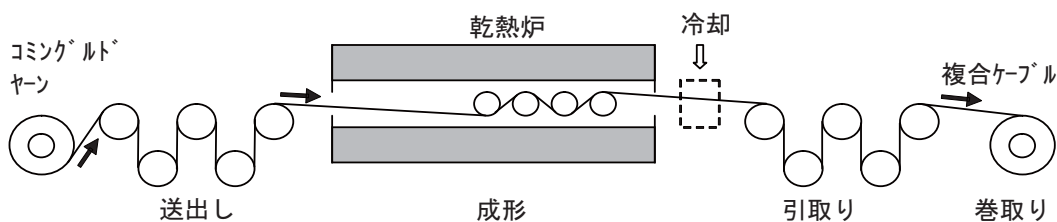


図1 成形方法模式図

成形速度が速くなるとコミングルドヤーンが乾熱炉内を通過する時間が短くなり、ヤーンの温度上昇が不十分であったと思われる。したがって、本研究で用いた長さ 3 m の乾熱炉では 10 m/min 程度の成形速度が適していた。

3. 2 張力

本成形方法は、ロール通過時に、ヤーンに強い張力をかけ、ロールの中心方向への圧力により、熔融樹脂を含浸する方法であるので、張力が大きいほど、よい含浸性が得られた。しかし、図 3 に示すように、25 kgf 以上の張力では、成形ロールから樹脂がはみ出し、バリの多い成形体となった。10～20 kgf では、PTFE 製のロールに熔融樹脂が付着することもなく、連続的に安定して成形することができた。

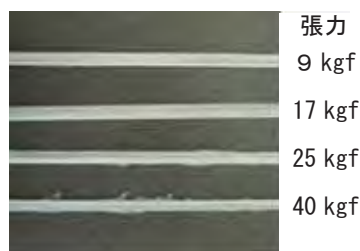


図 3 各張力における成形体の外観

3. 3 物性

含浸性の違いによる強度の比較をするために表 1 のような条件で作製した成形物について引張り試験を行った（図 4）。張力を 1 kgf とした低含浸の試料 B では、最大引張応力は約 700 MPa 程度であったのに対し、最適条件で作製された試料 A では最大引張応力が約 1 GPa、破断ひずみは約 5 % であった。走査型電子顕微鏡を用いた破断面観察の結果を図 5 に示す。試料 A のガラス繊維には樹脂がよく密着しているが、試料 B のガラス繊維表面は滑らかで、樹脂が接着されていないことから、ガラス繊維の多くが複合材全体の強度に寄与していないことがわかる。

また、試料 A の断面形状を観察した結果を図 6 に示す。端部は、やや丸みを帯びているが、表面は、かなり平滑である。また、若干のボイドとガラス繊維の偏りが見られた。

表 1 成形条件の比較

試料名	速度(m/min)	張力(kgf)	温度(°C)
A	10	12	230
B	10	1	200

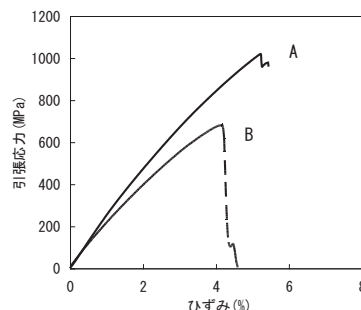


図 4 成形条件の違いによる応力－ひずみ曲線

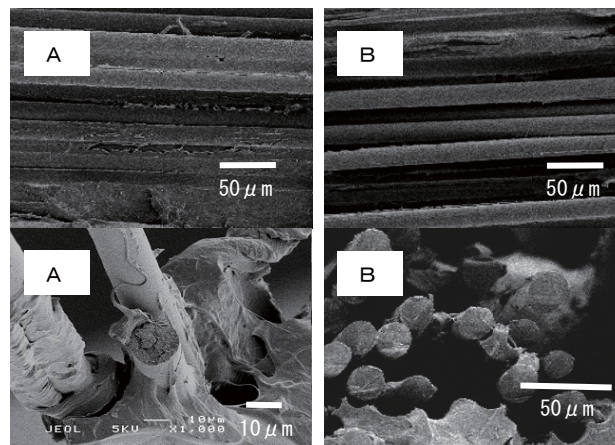


図 5 破断面の電子顕微鏡写真



図 6 試料 A の断面写真

4. まとめ

本研究では、適当な成形速度と張力により成形を行えば、連続的に安定してケーブル状の成形体を作製できることがわかった。成形速度は、ヤーンの加熱時間により制限されるため、加熱時間を十分とることができるような、より長い乾熱炉を用いれば、成形速度も比較的簡単に上げることができると考えられる。

参考文献

- 1) 鈴木重好, 飯尾康: 静岡県浜松工業技術センター 研究報告第 9 号, 69-71, 1999

無製版プリントシステム(IJPS)による試作

繊維高分子材料科 田端孝光* 鈴木一之 木下道廣*

Test Making of Ink Jet Print System

Takamitsu Tabata, Kazuyuki Suzuki and Mitihiko Kisita

1. はじめに

平成17年にアパレルデザインシステムと無製版プリントシステムを導入して県内の繊維関連業界への技術支援を行ってきたが、支援機能を強化するため同システムを更新した。従来は、反応染料によるプリントだけでしたが、顔料プリントと抜染機能が追加されたことから追加機能について性能確認の試験を行った。県内では、ゆかた、別珍、コードュロイ生地が生産されていることから、それらをプリント対象として、プリント条件や顔料と反応染料の仕上がり状態、顔料・反応染料プリントの染色堅ろう度、抜染対象の染料などについて確認した結果を報告する。

2. 試験方法

2. 1 試験素材

県内特産のプリント試料に供した生地6種類を表1に示す。

表1 試験素材

試料	番手(s) 経×緯	密度(本/cm) 経×緯	重さ g/m ²	厚さ mm
Yu	40/1×30/1	31.5×25.6	107	0.25
Ve	60/2×40/1	29.5×66.9	220	0.64
Co	30/2×16/1	21.7×110	360	1.05
Br	50/1×50/1	55.1×31.5	125	0.21
Ox	20/1×20/1	47.2×31.5	253	0.45
C2	16/1×8/1	23.6×59.1	570	1.05

[Yu]: ゆかた生地、[Ve]: ベッチン、[Co]: コードュロイ、
[Br]: ブロード、[Ox]: オックスフォード、[C2]: コードュロイ

2. 2 プリント条件

顔料でのプリントは、プリント → 150℃ベーキングで行うが、抜染と着色・抜染の場合はベーキング後にソーピングが必要となる。

反応染料は、前処理(アルカリ噴霧) → 乾燥 → スチーム → ソーピング → 乾燥 の工程で行った。

2. 3 堅ろう度試験方法とプリント色

堅ろう度試験は、耐光 JISL0842、洗濯 JISL0844 A-1、汗(酸・アルカリ) JISL0848、

摩擦(乾・湿) JISL0849、ドライ(石油) JISL0860、塩素処理 JISL0884 A法で評価した。

生地 Yu、Ve、Co は顔料でと生地 Br、Ox、C2 は反応染料でプリントを行った。プリントした色相の RGB を表2に示す。

表2 堅ろう度用のプリント色相

顔料	R	G	B	反応染料	R	G	B
マゼンタ	255	0	255	赤系	255	0	0
シアン	0	255	255	緑系	0	255	0
黄	255	255	0	青系	0	0	255
黒	0	0	0	黒	0	0	0

3. 結果

3. 1 顔料と反応染料プリントの相違

風景写真を Yu、Ve、Co の生地に顔料と反応染料でプリントした仕上がり状態を図1に示す。インクの違いによりプリントされた染料の固着差と反応染料の場合はソーピング処理で固着しない余分な染料を落とすことから、顔料のほうが濃色になる。また、対象繊維も厚手の生地の方が濃くプリントされる。顔料と反応染料でプリントしたものの官能試験により外観判定した結果を表3に示す。薄い生地への黒色プリントは、反応染料より顔料ほうが染みやすかった。

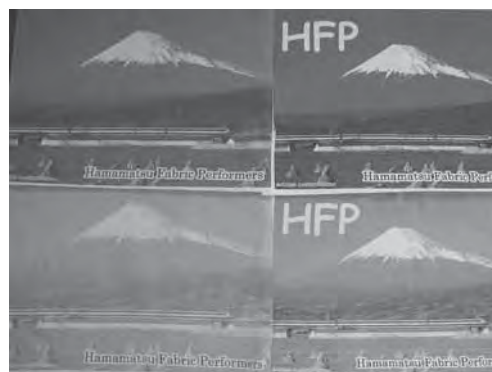


図1 顔料と反応染料のプリント状態
上: 顔料 左: ゆかた生地 右: 別珍
下: 反応染料 左: ゆかた生地 右: 別珍

*) 現 浜松工業技術支援センター 専門員

表 3 顔料・反応染料のプリント評価

生地	顔料	反応
	濃度評価	濃度評価
Y u	中色	淡色
V e	濃色	淡色
C o	濃色	淡色

また、顔料でのプリントには条件設定で【Hue】と【Ink】を選択する機能があるが、【Hue】を選択すると赤系が、【Ink】を選択すると青系が強くプリントされたので、試しプリントを行う必要がある。

3. 2 IJPSの染色堅ろう度試験結果

染色堅ろう度を確認した結果、顔料は乾摩擦・湿摩擦堅ろう度が基準値以下でそれ以外の堅ろう度は良好であった。反応染料は乾摩擦の青と黒、塩素処理の緑と青が基準値以下でそれ以外は良好な堅ろう度を示した。試験結果を表 4 および表 5 に示す。

表 4 顔料プリント堅ろう度試験結果

試験項目	試験方法	ゆかた						別珍						コーデロイ				基準
		マゼンタ	シアン	黄	黒	マゼンタ	シアン	黄	黒	マゼンタ	シアン	黄	黒	マゼンタ	シアン	黄	黒	
耐光	JISL0842		6<	6<	6<	6<	6<	6<	6<	6<	6<	6<	6<	6<	6<	6<	6<	4
洗濯	JISL0844	変退色	4-5	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4-5	4-5	4	4	4-5	3-4	4	4	4	4
汗	A-1	汚染	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	3-4
汗		変退色	4-5	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
酸	JISL0848	汚染	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	3-4
汗		変退色	4-5	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
アルカリ	JISL0848	汚染	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	3-4
乾摩擦	JISL0849	たて	3-4	3-4	3-4	3-4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4
乾摩擦	JISL0849	よこ	3-4	3-4	3-4	3-4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4
湿摩擦	JISL0849	たて	2-3	2-3	2-3	2-3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2-3
湿摩擦	JISL0849	よこ	2-3	2-3	2-3	2-3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2-3
ドライ	JISL0880	変退色	4-5	4-5	4-5	3	4-5	4-5	4-5	3	4-5	4-5	3-4	3	3	3	3	3
ドライ	石油	汚染	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	3-4	4-5	4	4	4	4
塩素	JISL0894	変退色	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	3-4
処理水	A法	汚染	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	3-4

汚染対象素材は綿と絹ですべて 4 - 5 級

表 5 反応染料プリント堅ろう度試験結果

試験項目	試験方法	ブロード				オックスフォード				コーデロイ				基準
		赤系	緑系	青系	黒	赤系	緑系	青系	黒	赤系	緑系	青系	黒	
耐光	JISL0842		4	4	4	4	4	4	4	4-5	4-5	4-5	4-5	4
洗濯	JISL0844	変退色	4-5	3-4	3-4	4-5	4-5	4	4	4	4	4-5	4-5	4
汗	A-1	汚染	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	3-4
汗		変退色	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4	4	4	4	4
酸	JISL0848	汚染	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	3-4
汗		変退色	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4	4	4	4	4
アルカリ	JISL0848	汚染	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	3-4
乾摩擦	JISL0849	たて	4-5	4-5	4	4	4-5	4	3-4	4	4	4	3-4	4
乾摩擦	JISL0849	よこ	4	4	3-4	3-4	4	4	4-5	3-4	4	4-5	4	4-5
湿摩擦	JISL0849	たて	4	3-4	3-4	3-4	3-4	3-4	3-4	2-3	3	2-3	3	2-3
湿摩擦	JISL0849	よこ	4-5	4	3-4	3-4	3-4	3-4	3-4	2-3	3	2-3	3	2-3
ドライ	JISL0880	変退色	4-5	4	4	4-5	4-5	4	4	4	4-5	4-5	4-5	4
ドライ	石油	汚染	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	3-4
塩素	JISL0894	変退色	4-5	3-4	4	4-5	4-5	3	2-3	4-5	4-5	2-3	2-3	3-4
処理水	A法	汚染	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	3-4

汚染対象素材は綿と毛ですべて 4 - 5 級

3. 3 IJPSによる着抜・抜染方法

脱色しやすい
反応染料で浸染
した布地を用い
てIJPSによる
抜染や着抜につ
いて検討した。

染色に使用した

染料を表 6 に示す。試験の結果、B-19だけ黄色に脱色された。IJPSで抜染と同時に顔料プリントする着抜の場合、完全に脱色した方が着色した色相の変化が少なかった。(図 2)

表 6 抜染されやすい染料

反応染料	濃度	判定
Y-15	2%	○
O-16	2%	○
R-21	2%	○
B-19	2%	△
Black-5	2%	○

△：黄色

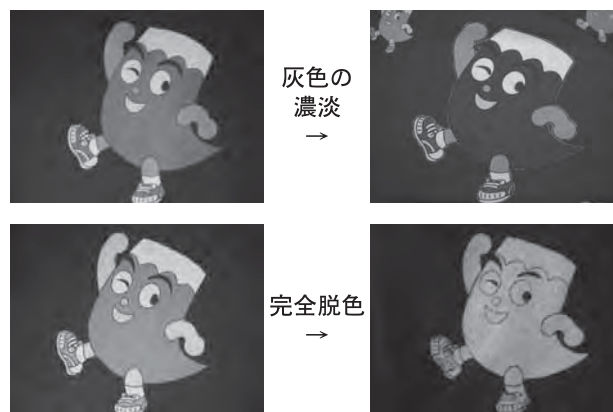


図 2 着抜の抜染の方法

3. 4 試作プリント製品

ベッチンとコーデロイ生地を用いたプリントインテリア緞帳(図 1)や写真をもとにジャガード織機で織った生地へ顔料で色付けしたインテリア



図 3 織とIJPSのコラボ

ア敷物(図 3)を試作した。また、5 重織りガーゼへのキャラクタープリント試作や大学の卒論作品の製作、Tシャツプリントなどの協力も行った。

4. おわりに

現在は技術相談、設備使用などで地域企業が取り組む商品試作や開発、展示品試作に協力している。

今後は地域企業の織物企画や試作開発、展示会などでの展示試作品などの製作協力をとおして新製品の開発提案を行う。

The Influence of Density and Oxygen Content on the Mechanical Properties of Injection Molded Ti-6Al-4V Alloys

Hideshi Miura, Yoshinori Itoh, Toshiaki Uematsu and Kenji Sato

Ti-6Al-4V合金射出成形材の機械的特性に及ぼす密度および酸素量の影響

九州大学大学院工学研究院 三浦秀士
浜松工業技術支援センター 伊藤芳典 植松俊明 佐藤憲治

Advances in Powder Metallurgy & Particulate Materials - 2010 Volume 1: Part 4 (CD-ROM)

本研究では、種々のプロセス条件化で混合粉末あるいは合金粉末を用いて作製されたTi-6Al-4V合金射出成形材の特性において、プロセス条件よりもむしろ焼結体の相対密度および酸素量が引張特性に強く影響を及ぼしていることを見出した。

引張強度は、酸素量が0.5mass%までは焼結体の相対密度および酸素量の増加とともに顕著に向上す

るものの、伸びは酸素量が0.35mass%を超えると著しく減少した。これらのことから、Ti-6Al-4V合金射出成形材の引張強度 (σ) は、以下に示す経験式に表されるように、酸素量 (O) と相対密度 (ρ) に強い相関関係を示すことが結論付けられた。

$$\sigma \text{ (MPa)} = 700O \text{ (mass\%)} + 10\rho \text{ (\%)} - 315$$

Ti-6Al-4V合金の高強度化へ向けて

ー粉末冶金からのアプローチー

浜松工業技術支援センター 伊藤芳典

Strengthening of Ti-6Al-4V by Metal Injection Molding

Yoshinori Itoh

まてりあ, 49 (2010), 482-483

チタンおよびチタン合金は比強度が大きく、高い耐食性や生体適合性など優れた特性を示すが、機械加工性や塑性加工性に劣ることから、加工コストが高いという欠点がある。したがって3次元複雑形状の金属部品をニアネットシェイプで作製でき、後加工をほとんど必要としない金属粉末射出成形法(MIM)は、チタンおよびチタン合金の有効な加工法として期待されている。粉末冶金法の特徴のひと

つとして、原料粉末に種々の金属あるいは合金粉末を添加することで、容易に合金組成を制御できることが挙げられる。

本研究では、Ti-6Al-4V合金に、針状の組織のラス幅を減少させる効果が認められたMo、資源として豊富に存在するFe、VやMoよりも安価なCrに着目し、混合粉末法を用いて作製したTi-6Al-4V合金の高強度化を試みたので、その結果を紹介する。

静岡県工業技術研究所研究報告 第4号

平成23年9月（2011年）

編集・発行 静岡県工業技術研究所
企画調整部・編集委員会

〒421-1298 静岡市葵区牧ヶ谷2078番地

電話（054）278-3028

FAX（054）278-3066