

REPORTS
OF THE
INDUSTRIAL RESEARCH INSTITUTE
OF SHIZUOKA PREFECTURE
No.8 MARCH 2016

静岡県工業技術研究所研究報告

第 8 号
平成28年 3 月

静岡県工業技術研究所
静岡市葵区牧ヶ谷2078番地

目次

静岡県工業技術研究所（静岡）

Ⅰ 報 告

- 1 シンクロトン光のXAFS測定によるFe-Mo合金めっき電解条件の最適化
.....綿野哲寛、望月紀寿、古本修一、篠原恵吾 1
- 2 食品廃棄物のメタン発酵 ―油前処理の有効性評価―
.....中島大介、室伏敬太、太田良和弘、松村英功、望月光明 7
- 3 低温度域水熱処理を利用した余剰汚泥減容化装置の開発
.....岡本哲志、原田達也、須和部益通、鈴木正史 12

Ⅱ 研究ノート

- 1 EPDMゴム原料の特性の可視化
.....稲葉彩乃、渥美博安、田村克浩 18
- 2 成形時の形状誤差を見込んだ樹脂成形金型の作製（第1報）
.....船井 孝 20
- 3 透明樹脂の複屈折位相差測定による熱影響の評価
.....志智 亘、鈴木敬明 22
- 4 無線・自立型センサモジュールの開発 ―風力発電機監視システムへの応用―
.....竹居 翼、長谷川和宏、長澤 正 24
- 5 インパルス応答による残響時間計測システムの開発
.....上野貴康、木野直樹 26
- 6 食品廃棄物のメタン発酵 ―油前処理効率化のための油分解菌の探索―
.....室伏敬太、中島大介、太田良和弘、松村英功、望月光明 28
- 7 県内企業等の3Dプリンタの利活用に関する意識について
.....大川勝正、志田英士、齊藤和明、矢嶋 雅 30

Ⅲ 抄 録

- 1 表裏に反応率勾配を持つアセチル化処理を行ったキトサンフィルムの自己ローリング能力
.....斎藤幸恵、ヴァレリー・ルシュニコフ、稲葉彩乃、田村克浩 32
- 2 等色照明光の分光特性とその強度がまぶしさ感に与える影響
.....豊田敏裕、鈴木敬明、志智 亘、船井 孝、真野 毅 33

沼津工業技術支援センター

I 研究ノート

- 1 微生物由来の脱水素酵素遺伝子のクローニングと発現
.....太田俊也、高木啓詞、飯塚千佳世 35
- 2 手術支援ロボットの要素技術の研究開発(第2報)
ー水素吸蔵合金を用いたソフトアクチュエータの試作ー
.....鬼久保郁雄、本多正計、細野美奈子、竹居 翼、井野秀一、榊 浩司 37
- 3 リン酸塩処理槽内加熱ヒータへのスケール付着抑制に関する研究(第1報)
.....橘川義明、小泉雄輔、鬼久保郁雄 39

II 抄 録

- 1 振動刺激条件の相違が運動錯覚の誘発と知覚量に及ぼす影響
.....本多正計、唐川裕之、赤堀晃一、宮岡 徹、大岡昌博 41
- 2 卓上型運動錯覚誘発・評価装置の開発
.....本多正計、唐川裕之、赤堀晃一、宮岡 徹、大岡昌博 42

富士工業技術支援センター

Ⅰ 報 告

- 1 ドライトナー印刷物の古紙原料への混入の影響評価
.....深沢博之、山口智久、鈴木悠介 43
- 2 トイレットペーパーのクレープ形状がやわらかさに与える影響
.....鈴木悠介、深沢博之、木野浩成 48

Ⅱ 研究ノート

- 1 ガラス繊維のシート化について
.....深沢博之、河部千香 53
- 2 地域包括ケアシステムを支える見守りシステムの開発（第1報）
.....中山 洋、岡田慶雄、白井 圭、三浦 清、小林信明、一言貴則、福島利博、水口隼也 55

浜松工業技術支援センター

I 報 告

- 1 シャックハルトマン波面センサを用いた透明体の均質性評価
.....中野雅晴、太田幸宏 57
- 2 半溶融成形法を適用した高放熱性鋳造合金の開発
.....岩澤 秀、大澤洋文、針幸達也、宮原鐘一、長津義之 63
上久保佳則、高橋正詞、山本健介、杉浦泰夫
- 3 チタン合金のエンドミル加工における形状精度に関する研究(第3報)
.....大澤洋文、是永宗祐、植松俊明、伊藤芳典、長津義之 67

II 研究ノート

- 1 透明プラスチックの光吸収率の測定
.....山下清光 73
- 2 プラスチック眼鏡レンズのレーザー染色技術の開発
.....植田浩安、柳原 亘、山下清光、鷺坂芳弘、長津義之、犬塚 稔、阿部功児 75
- 3 レーザー式三次元測定における測定精度と被測定物の表面状態との関係について
.....柳原 亘、太田幸宏 77
- 4 電波識別技術の実用化開発(第2報) —電波識別のための評価用信号の生成—
.....杉森正康、山田浩文、松田 稔、田内正治、犬塚 博 79
- 5 めっき皮膜の蛍光X線膜厚測定における傾斜および曲率補正手法の検討
.....田中宏樹、田光伸也、伊藤芳典 81
- 6 チタンの陽極酸化処理における各工程の色調への影響
.....田光伸也 83
- 7 炭素鋼のエンドミル加工面の残留応力に及ぼす切削条件の影響
.....植松俊明、是永宗祐、伊藤芳典、長津義之、大澤洋文 85
- 8 チタン合金の切削性に及ぼす工具ねじれ角の影響
.....是永宗祐、植松俊明、長津義之、伊藤芳典、大澤洋文 87
- 9 ウルトラハイテンのハット曲げ解析における材料モデルの検証
.....長津義之、是永宗祐、植松俊明、伊藤芳典、大澤洋文、堤 真人 89
- 10 製織技術を生かした振動特性に優れるハイブリッド繊維複合素材の開発(第2報)
.....鈴木重好、山崎利樹、木下道広、平山章子、鈴木一之 91

Ⅲ 抄 録

- 1 レーザー切断と超短パルスレーザーピーンフォーミングを用いた微細部品加工
.....鷺坂芳弘、山下清光、柳原 亘、植田浩安 93
- 2 レーザー誘起衝撃波の塑性加工への応用
.....鷺坂芳弘 94
- 3 アルミニウム合金冷間鍛造用環境対応型潤滑剤の潤滑性における変形抵抗の影響
.....鷺坂芳弘、早川邦夫、中村 保、石橋 格、中倉敏成 95

分野別目次

バイオ分野

I 研究ノート

1 微生物由来の脱水素酵素遺伝子のクローニングと発現	35
.....太田俊也、高木啓詞、飯塚千佳世	

環境分野

I 報告

1 食品廃棄物のメタン発酵 —油前処理の有効性評価—	7
.....中島大介、室伏敬太、太田良和弘、松村英功、望月光明	
2 低温度域水熱処理を利用した余剰汚泥減容化装置の開発	12
.....岡本哲志、原田達也、須和部益通、鈴木正史	

II 研究ノート

1 食品廃棄物のメタン発酵 —油前処理効率化のための油分解菌の探索—	28
.....室伏敬太、中島大介、太田良和弘、松村英功、望月光明	

光分野

I 報告

1 シャックハルトマン波面センサを用いた透明体の均質性評価	57
.....中野雅晴、太田幸宏	

II 研究ノート

1 透明プラスチックの光吸収率の測定	73
.....山下清光	
2 プラスチック眼鏡レンズのレーザー染色技術の開発	75
.....植田浩安、柳原 亘、山下清光、鷺坂芳弘、長津義之、犬塚 稔、阿部功児	
3 レーザー式三次元測定における測定精度と被測定物の表面状態との関係について	77
.....柳原 亘、太田幸宏	

III 抄 録

1 レーザー切断と超短パルスレーザーピーンフォーミングを用いた微細部品加工	93
.....鷺坂芳弘、山下清光、柳原 亘、植田浩安	
2 レーザー誘起衝撃波の塑性加工への応用	94
.....鷺坂芳弘	

3	アルミニウム合金冷間鍛造用環境対応型潤滑剤の潤滑性における変形抵抗の影響	鷺坂芳弘、早川邦夫、中村 保、石橋 格、中倉敏成	95
---	---	--------------------------	----

材料分野

I 報 告

1	シンクロtron光のXAFS測定によるFe-Mo合金めっき電解条件の最適化	綿野哲寛、望月紀寿、古本修一、篠原恵吾	1
2	半熔融成形法を適用した高放熱性鋳造合金の開発	岩澤 秀、大澤洋文、針幸達也、宮原鐘一、長津義之 上久保佳則、高橋正詞、山本健介、杉浦泰夫	63

II 研究ノート

1	EPDMゴム原料の特性の可視化	稲葉彩乃、渥美博安、田村克浩	18
2	めっき皮膜の蛍光X線膜厚測定における傾斜および曲率補正手法の検討	田中宏樹、田光伸也、伊藤芳典	81
3	チタンの陽極酸化処理における各工程の色調への影響	田光伸也	83
4	炭素鋼のエンドミル加工面の残留応力に及ぼす切削条件の影響	植松俊明、是永宗祐、伊藤芳典、長津義之、大澤洋文	85
5	チタン合金の切削性に及ぼす工具ねじれ角の影響	是永宗祐、植松俊明、長津義之、伊藤芳典、大澤洋文	87
6	ウルトラハイテンのハット曲げ解析における材料モデルの検証	長津義之、是永宗祐、植松俊明、伊藤芳典、大澤洋文、堤 真人	89

III 抄 録

1	表裏に反応率勾配を持つアセチル化処理を行ったキトサンフィルムの自己ローリング能力	斎藤幸恵、ヴァレリー・ルシュニコフ、稲葉彩乃、田村克浩	32
---	---	-----------------------------	----

機械電子分野

I 報 告

1	チタン合金のエンドミル加工における形状精度に関する研究（第3報）	大澤洋文、是永宗祐、植松俊明、伊藤芳典、長津義之	67
---	---	--------------------------	----

Ⅱ 研究ノート

1	成形時の形状誤差を見込んだ樹脂成形金型の作製(第1報)	船井 孝	20
2	透明樹脂の複屈折位相差測定による熱影響の評価	志智 亘、鈴木敬明	22
3	無線・自立型センサモジュールの開発 —風力発電機監視システムへの応用—	竹居 翼 長谷川和宏、長澤 正	24
4	インパルス応答による残響時間計測システムの開発	上野貴康、木野直樹	26
5	県内企業等の3Dプリンタの利活用に関する意識について	大川勝正、志田英士、齊藤和明、矢嶋 雅	30
6	手術支援ロボットの要素技術の研究開発(第2報) —水素吸蔵合金を用いたソフトアクチュエータの試作—	鬼久保郁雄、本多正計、細野美奈子、竹居 翼、井野秀一、榊 浩司	37
7	リン酸塩処理槽内加熱ヒータへのスケール付着抑制に関する研究(第1報)	橘川義明、小泉雄輔、鬼久保郁雄	39
8	地域包括ケアシステムを支える見守りシステムの開発(第1報)	中山 洋、岡田慶雄、白井 圭、三浦 清、小林信明、一言貴則、福島利博、水口隼也	55
9	電波識別技術の実用化開発(第2報) —電波識別のための評価用信号の生成—	杉森正康、山田浩文、松田 稔、田内正治、犬塚 博	79

Ⅲ 抄 録

1	等色照明光の分光特性とその強度がまぶしさ感に与える影響	豊田敏裕、鈴木敬明、志智 亘、船井 孝、真野 毅	33
2	振動刺激条件の相違が運動錯覚の誘発と知覚量に及ぼす影響	本多正計、唐川裕之、赤堀晃一、宮岡 徹、大岡昌博	41
3	卓上型運動錯覚誘発・評価装置の開発	本多正計、唐川裕之、赤堀晃一、宮岡 徹、大岡昌博	42

製紙分野

I 報 告

1 ドライトナー印刷物の古紙原料への混入の影響評価
.....深沢博之、山口智久、鈴木悠介 43

2 トイレットペーパーのクレープ形状がやわらかさに与える影響
.....鈴木悠介、深沢博之、木野浩成 48

II 研究ノート

1 ガラス繊維のシート化について
.....深沢博之、河部千香 53

繊維高分子材料分野

I 研究ノート

1 製織技術を生かした振動特性に優れるハイブリッド繊維複合素材の開発（第2報）
.....鈴木重好、山崎利樹、木下道広、平山章子、鈴木一之 91

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

シンクロtron光のXAFS測定によるFe-Mo合金めっき電解条件の最適化

金属材料科 綿野哲寛 望月紀寿*
丸長鍍金株式会社 古本修一 篠原恵吾

Optimization of electrolytic condition for iron-molybdenum alloy plating by XAFS measurement using a synchrotron photon

Tetsuhiro WATANO, Kazutoshi MOCHIZUKI, Shuichi KOMOTO and Keigo SHINOHARA

With a price rising of rare earth metals such as Nickel, Chrome and world environmental regulation, it is extremely essential to development some of surface treatment techniques in the plating industry. Our research group has been working on the study of the Fe-Mo plating, with the aim of the development for the wear resistance plating easy for the environment using an economical and harmless iron. Research tasks can mention a longer life of plating liquid, electric current efficiency improvement and corrosion resistance improvement. Previously we have been obtained the knowledge concerning the stable film-forming conditions and improved corrosion resistance of the Fe-Mo alloy plating. In this study, we investigated the chemical states and local structures which greatly affect the life of the plating liquid by hard X-ray XAFS measurement using a synchrotron photon, furthermore work on longer life of the plating liquid. As a result, it was found that the chemical states and local structures greatly depend on the sort and concentration of complexing agent and pH variations of the plating liquid. Moreover, a longer life of plating liquid was achieved by the addition of more than 3 equivalents of trisodium citrate dehydrate to the ferrous sulfur heptahydrate. Also, the result of the film-forming test revealed that the conditions and film-forming of the plating depend on the chemical states and the local structures of iron.

Keywords : Fe-Mo alloy plating, synchrotron photon, complexing agent, hard X-ray XAFS measurement.

キーワード : Fe-Mo合金めっき、シンクロtron光、錯化剤、硬X線XAFS測定。

1 はじめに

県内のめっき事業所では、自動車部品、オートバイ部品、電子機器部品など幅広い製品に対応するため様々な表面処理に取り組んでいる。しかし、ニッケル・クロム等レアメタルの価格高騰や世界的な環境規制の影響を強く受け、近年、厳しい経営環境に立たされている。

鉄めっきは資源が豊富で環境に優しい表面処理技術として期待されているが、めっき液の寿命が他のめっき液に比べ非常に短く、生産性が悪いという課題がある。そのため、鉄めっきの利用は、電鍍、肉盛り等の利用に限定されている。

当所では耐摩耗性めっきへの実用化を目指して、Fe-Mo（鉄-モリブデン）合金めっきの研究に取り組んでいる。課題として、めっき液の長寿命化、めっきの

電流効率向上、耐食性向上などが挙げられる。これまでの研究¹⁻³⁾から、めっきの安定な成膜条件、耐摩耗性向上については知見が得られた。そこで、本研究ではシンクロtron光による硬X線領域のX線吸収微細構造（以下、硬X線XAFS）測定を利用して、めっき液に使用される錯化剤がめっき液の長寿命化に与える影響について検討した。

2 方法

2.1 めっき液の作製

硫酸鉄(II)七水和物、モリブデン(VI)酸二ナトリウム二水和物に3種類の錯化剤を加えてめっき液①～⑫を作製した。錯化剤はクエン酸三ナトリウム二水和物（以下、クエン酸と略す。）、アスコルビン酸およびリンゴ酸を検討した。また、めっき液のpHは10に調整した。

*) 現 電子科

表1 めっき液の組成 (種類)

	(mol/l)			
めっき液の組成	①	②	③	④
硫酸鉄(Ⅱ)七水和物	0.236	0.236	0.236	0.236
モリブデン(VI)酸二ナトリウム二水和物	0.024	0.024	0.024	0.024
クエン酸	0.260	0.520	0.780	1.040
めっき液の組成	⑤	⑥	⑦	⑧
硫酸鉄(Ⅱ)七水和物	0.236	0.236	0.236	0.236
モリブデン(VI)酸二ナトリウム二水和物	0.024	0.024	0.024	0.024
アスコルビン酸	0.260	0.520	0.780	1.040
めっき液の組成	⑨	⑩	⑪	⑫
硫酸鉄(Ⅱ)七水和物	0.236	0.236	0.236	0.236
モリブデン(VI)酸二ナトリウム二水和物	0.024	0.024	0.024	0.024
リンゴ酸	0.260	0.520	0.780	1.040

表1にめっき液の組成を示す。

2.2 めっき液の評価

愛知県瀬戸市にあるあいちシンクロtron光センター(写真1)に設置しているビームラインBL5S1で、めっき液を計測セル(写真2)に入れ、透過法による硬X線XAFS測定(写真3)を行った。

シンクロtron光の光源は蓄積電子エネルギー1.2GeV、蓄積電流300mA、周長72mの電子蓄積リングで、8台の常伝導偏向電磁石(1.4T)の他、5Tの超伝導偏向電磁石4台を設置している。

2.3 めっきの作製

0.1dm²小型円形陰極板(銅)(株山本鍍金試験器製)上にめっきを行った。電解条件は温度35℃、電流密度10A/dm²とした。直流電源はハルセル/筆めっき用直流電源3A2型(株山本鍍金試験器製)を使用した。陽極板はチタン・白金電極(株山本鍍金試験器製)を使用した。

2.4 めっきの評価

めっきの外観は目視により評価した。めっきの密着性は、めっき面の中央部にカッタを用いて一辺が2mmの正方形ができるように素地まで達する条こんを刻んだ後、JIS H8504:1999の引きはがし試験方法にあるテープ試験を実施した。めっきの耐食性はJIS Z2371:2000に準じて、塩水噴霧試験機ST-ISO-3型HJ796053(スガ試験機(株)製)により評価した。



写真1 あいちシンクロtron光センター(愛知県瀬戸市) 公益財団法人科学技術交流財団が運営管理を行っている。



写真2 めっき液の計測セル



写真3 硬X線XAFS測定(透過法)

3 結果

3.1 クエン酸を錯化剤としためっき液（めっき前）の硬X線XAFS測定

図1の点線で囲ったK吸収端の吸収係数ジャンプがめっき液の組成に関わらずほとんど同じ大きさであり、また目視観察からも沈殿物の発生は確認されなかった。

図2のX線吸収端近傍構造（以下、XANES）スペクトルおよび図3～6の広域X線吸収微細構造（以下、EXAFS）スペクトルから、クエン酸を0.26mol/l、0.52mol/l添加した①、②のめっき液は、 Fe^{3+} の周辺にクエン酸と水の配位が確認された。一方、0.78mol/l、1.04mol/l添加した③、④のめっき液では Fe^{2+} の周辺にクエン酸のみの配位を確認した。

3.2 アスコルビン酸を錯化剤としためっき液（めっき前）の硬X線XAFS測定

図7の点線で囲ったK吸収端の吸収係数ジャンプがアスコルビン酸を0.52mol/l、0.78mol/l添加した⑥、⑦のめっき液では小さく、目視観察からも沈殿物の発生が確認された。

図8のXANESスペクトルおよび図9のEXAFSスペクトルからアスコルビン酸を0.26mol/l、1.04mol/l添加した⑤、⑧のめっき液は Fe^{2+} の周辺にアスコルビン酸のみの配位を確認した。また、0.26mol/l添加した⑤のめっき液では Fe^{2+} の近接配位圏に別の鉄イオン（化学状態は不明）が存在していることが分かった。

3.3 リンゴ酸を錯化剤としためっき液（めっき前）の硬X線XAFS測定

図10の点線で囲ったK吸収端の吸収係数ジャンプがリンゴ酸を0.26mol/l、0.52mol/l添加した⑨、⑩のめっき液では小さく、目視観察からも沈殿物の発生が確認された。

図11のXANESスペクトルおよび図12のEXAFSスペクトルからリンゴ酸を0.78mol/l、1.04mol/l添加した⑪、⑫のめっき液は Fe^{3+} の周辺にリンゴ酸の弱い配位を確認した。

3.4 クエン酸を錯化剤としためっき液（めっき後）の硬X線XAFS測定

錯化剤としてクエン酸を1.04mol/l添加した④のめっき液を用いてめっきを行い、めっき前後の鉄の化学状態と局所構造を評価した。

図13のXANESスペクトルおよび図14のEXAFSスペクトルから、めっき前に Fe^{2+} に配位していたクエン酸がめっき後には一部解離して、新たに水の配位を確認した。また、めっき前と比べて、めっき後は Fe^{3+} の割合が増え

た。

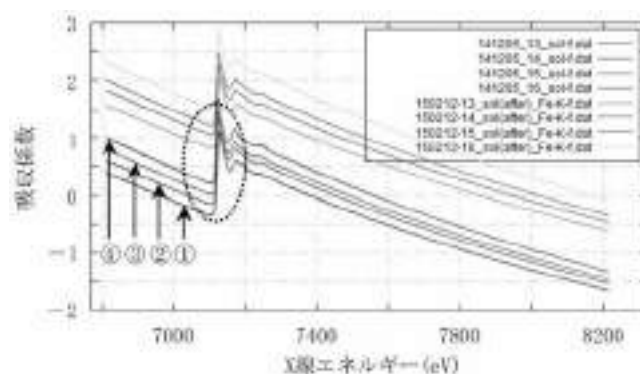


図1 硬X線XAFS測定（生データ）
①～④でクエン酸（錯化剤）の濃度を変えた。
クエン酸の濃度は表1のとおり。

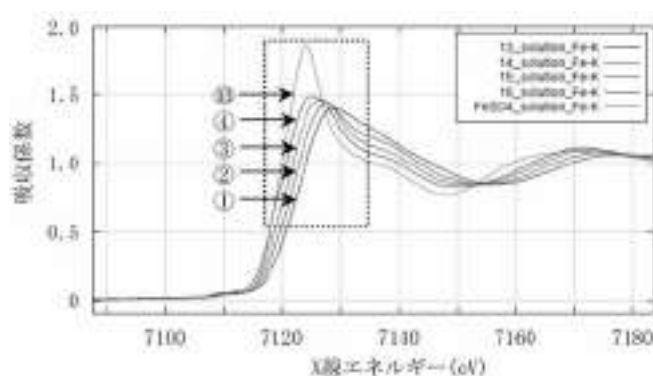


図2 硬X線XAFS測定（XANESスペクトル）
点線で囲ったK吸収端の吸収係数ジャンプが右側（高エネルギー側）にシフトするほど鉄イオンは酸化されている。①～④でクエン酸（錯化剤）の濃度を変えた。クエン酸の濃度は表1のとおり。なお、⑬は Fe^{2+} 標準溶液のXANESスペクトル。

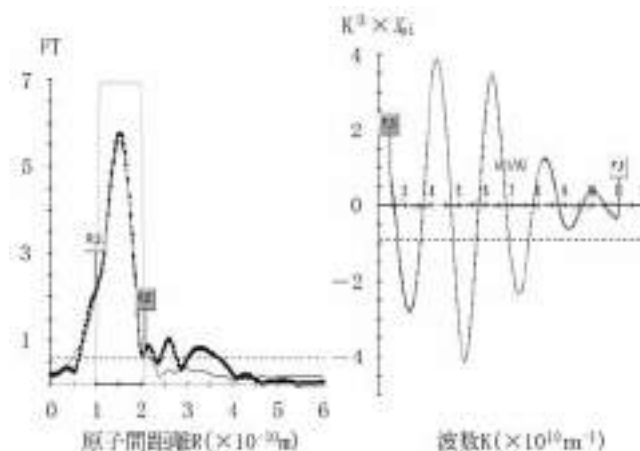


図3 めっき液①の硬X線XAFS測定（EXAFSスペクトル）
左図の枠で囲った箇所の動径分布関数を逆フーリエ変換することで右図の特定シェルのEXAFS振動を抽出することができる。

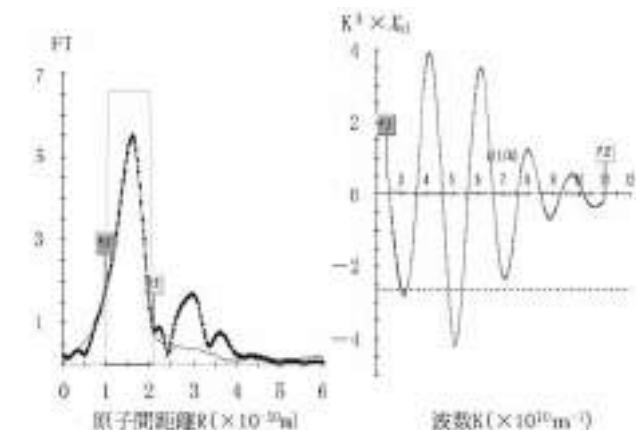


図4 めっき液②の硬X線XAFS測定 (EXAFSスペクトル)
左図の枠で囲った箇所の動径分布関数を逆フーリエ変換することで右図の特定シェルのEXAFS振動を抽出することができる。

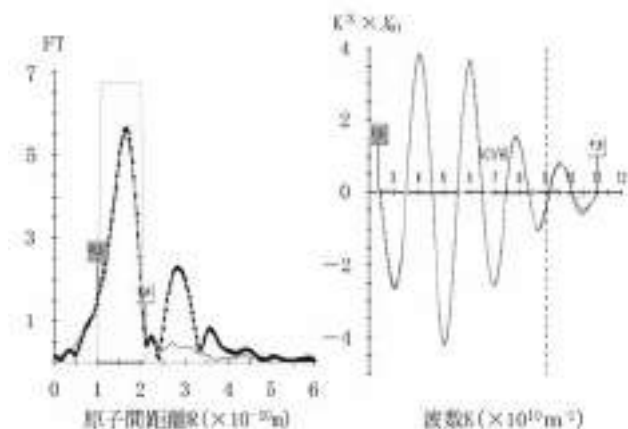


図5 めっき液③の硬X線XAFS測定 (EXAFSスペクトル)
左図の枠で囲った箇所の動径分布関数を逆フーリエ変換することで右図の特定シェルのEXAFS振動を抽出することができる。

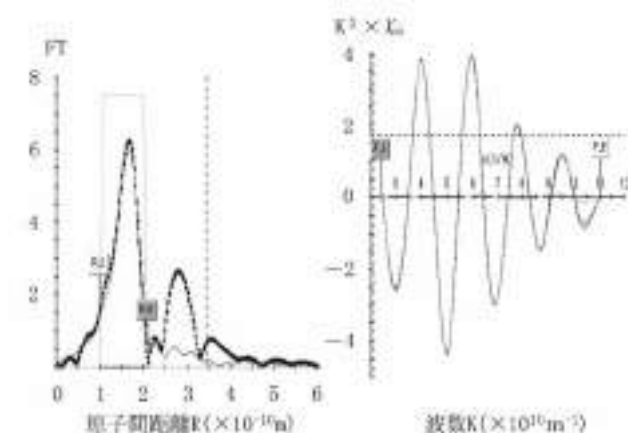


図6 めっき液④の硬X線XAFS測定 (EXAFSスペクトル)
左図の枠で囲った箇所の動径分布関数を逆フーリエ変換することで右図の特定シェルのEXAFS振動を抽出することができる。

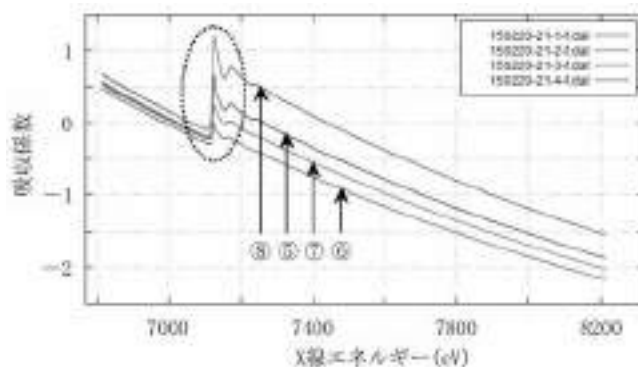


図7 硬X線XAFS測定 (生データ)
⑤～⑧でアスコルビン酸 (錯化剤) の濃度を変えた。
アスコルビン酸の濃度は表1のとおり。

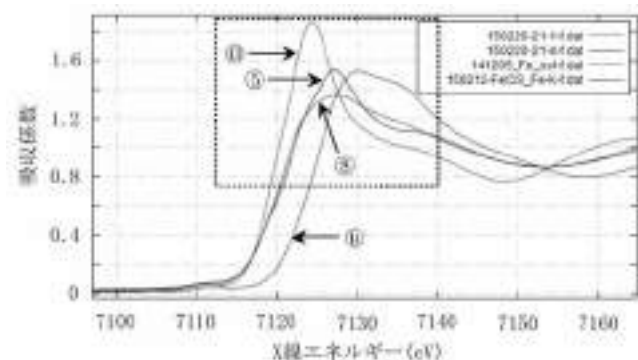


図8 硬X線XAFS測定 (XANESスペクトル)
点線で囲ったK吸収端の吸収係数ジャンプが右側 (高エネルギー側) にシフトするほど鉄イオンは酸化されている。⑤～⑧でアスコルビン酸 (錯化剤) の濃度を変えた。アスコルビン酸の濃度は表1のとおり。なお、⑥、⑦のめっき液は沈殿物の発生が確認されたため、硬X線XAFS測定を実施しなかった。⑬はFe²⁺標準溶液のXANESスペクトル。⑭はFe³⁺標準溶液のXANESスペクトル。

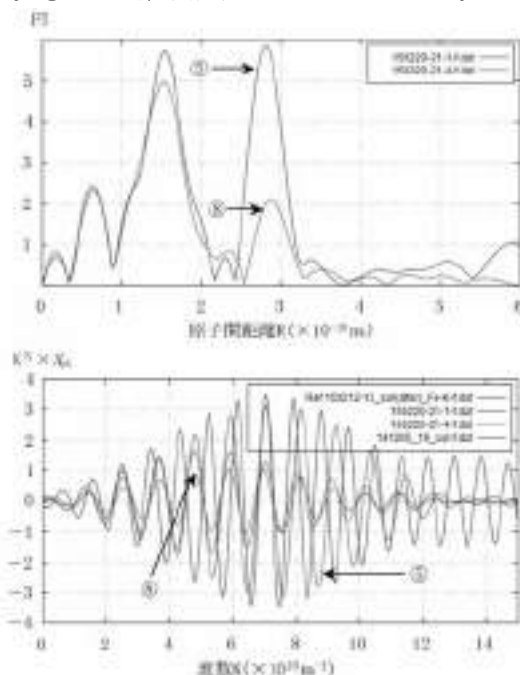


図9 硬X線XAFS測定 (EXAFSスペクトル)
上図の動径分布関数を逆フーリエ変換することで下図の特定シェルのEXAFS振動を抽出することができる。

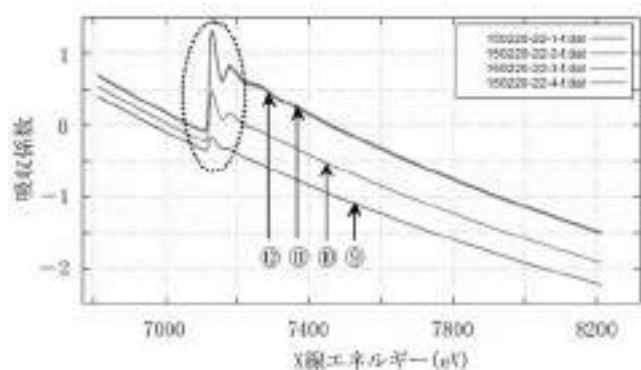


図10 硬X線XAFS測定（生データ）

⑨～⑫でリンゴ酸（錯化剤）の濃度を変えた。リンゴ酸の濃度は表1のとおり。

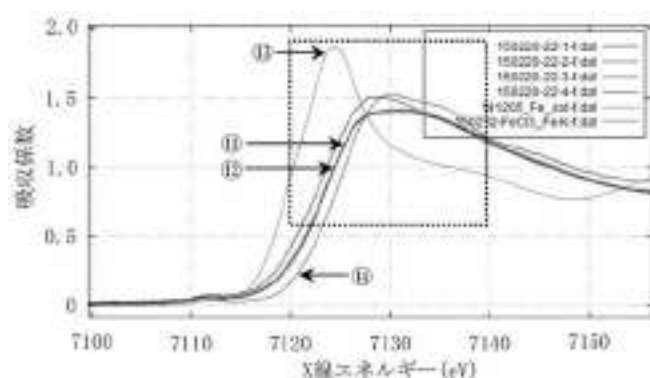


図11 硬X線XAFS測定（XANESスペクトル）

点線で囲ったK吸収端の吸収係数ジャンプが右側（高エネルギー側）にシフトするほど鉄イオンは酸化されている。⑨～⑫でリンゴ酸（錯化剤）の濃度を変えた。リンゴ酸の濃度は表1のとおり。なお、⑨、⑩のめっき液は沈殿物の発生が確認されたため、硬X線XAFS測定を実施しなかった。⑬は Fe^{2+} 標準溶液のXANESスペクトル。⑭は Fe^{3+} 標準溶液のXANESスペクトル。

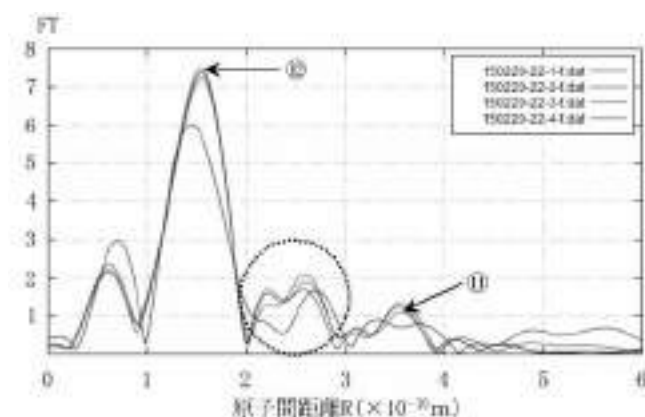


図12 硬X線XAFS測定（EXAFSスペクトル）

点線で囲った箇所より、⑪、⑫のめっき液からは Fe^{3+} の周辺にリンゴ酸の弱い配位を確認することができた。

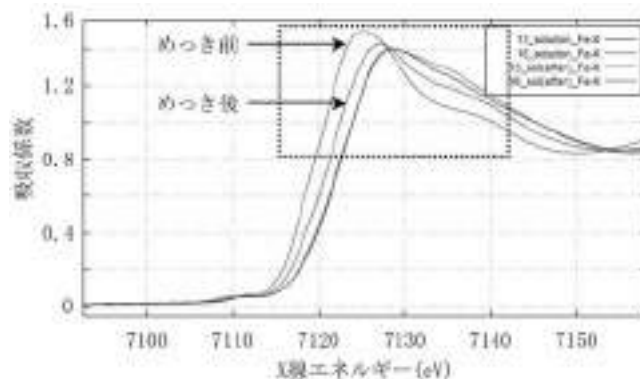


図13 めっき液④の硬X線XAFS測定（XANESスペクトル）

点線で囲ったK吸収端の吸収係数ジャンプが右側（高エネルギー側）にシフトするほど鉄イオンは酸化されている。

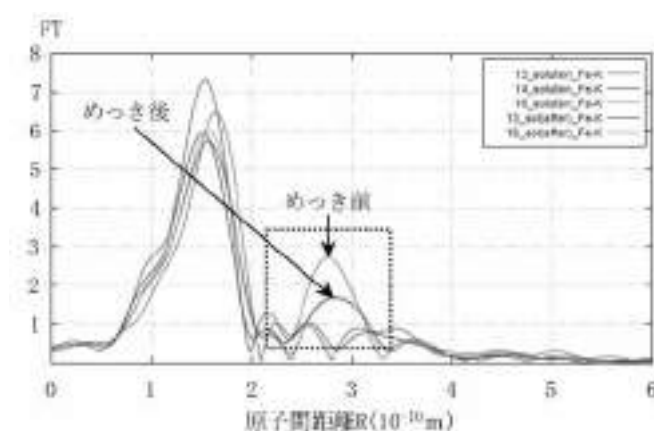


図14 めっき液④の硬X線XAFS測定（EXAFSスペクトル）

点線で囲った箇所より、めっき後のめっき液からは Fe^{3+} の周辺にクエン酸と水の配位を確認することができた。

3.5 クエン酸を錯化剤としためっき液で作製しためっきの物性試験

写真4にめっきの外観、密着性および耐食性試験の結果を示す。クエン酸を0.26mol/l添加した①のめっき液で作製しためっきは、縞模様の外観が確認された。0.52mol/l添加した②のめっき液で作製しためっきからは、外周部に剥がれが見られた。0.78mol/l、1.04mol/l添加した③、④のめっき液で作製しためっきの外観は良好であった。めっきの密着性は、全ての試料でテープ試験による剥離は確認されなかった。また、耐食性試験は3時間で全ての試料で変色を確認された。

【報告】

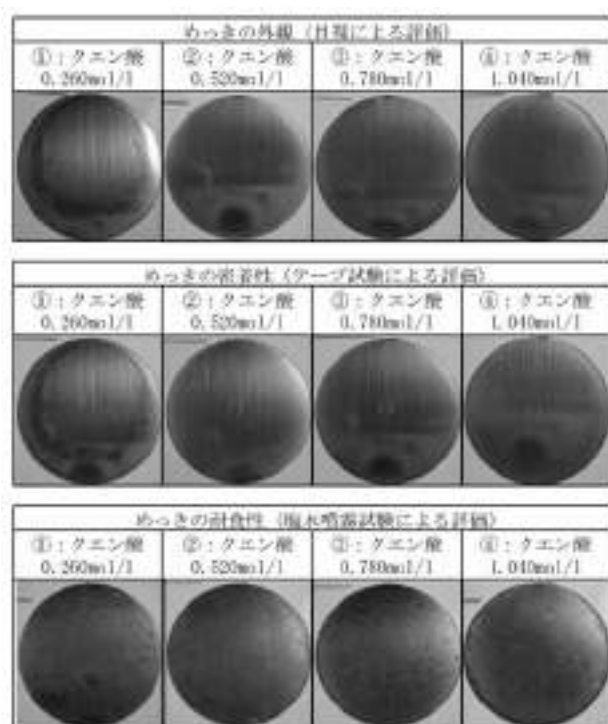


写真4 めっきの外観、めっきの密着性および耐食性試験の結果

4 考察

4.1 クエン酸を錯化剤としためっき液の評価

検討した3種類の錯化剤の中では、クエン酸が Fe^{2+} の安定化に最も効果があることが分かった。

クエン酸は炭素鎖が長く、複数の置換基を持つため、鉄イオンに配位したクエン酸の分子間において水素結合や分子間力が生まれ、鉄-クエン酸錯体が安定化したと考えられる。しかし、めっきに伴い、めっき液が僅かに酸性側にシフトしたことで、安定に存在していた鉄-クエン酸錯体からクエン酸の解離が進み、鉄イオンが酸化した。めっき液の長寿命化を目指すためには鉄-クエン酸錯体の安定化が必須となるため、めっき液にpH緩衝剤の添加が必要になると考えられる。

4.2 アスコルビン酸を錯化剤としためっき液の評価

鉄-アスコルビン酸錯体は鉄-クエン酸錯体に比べて、鉄イオンに配位するアスコルビン酸（錯化剤）の数は少ないと考えられる。つまり、アスコルビン酸はクエン酸に比べて複数の部位（官能基）で鉄イオンと配位していると考えられる。そのため、鉄-アスコルビン錯体の集合体（セル）は小さく、錯体間の凝集沈殿が発生しやすくなると考えられる。

4.3 リンゴ酸を錯化剤としためっき液の評価

リンゴ酸は直鎖状の分子骨格のため、鉄-リンゴ酸錯体を形成するリンゴ酸の分子間において水素結合や分子間力による作用が少ないことが鉄イオンへの配位

の弱さに影響していると考えられる。そのため、鉄イオンは酸化されやすくなる。

4.4 クエン酸を錯化剤としためっき液で作製しためっきの評価

Fe^{2+} が安定に存在する③、④のめっき液からは、外観と密着性の良好なめっきが得られることが分かった。また、 Fe^{3+} が多く存在する①、②のめっき液からは、めっきの外観に縞模様が発生したり、剥がれなどの不具合が生じることが分かった。以上の結果から、 Fe^{3+} の周辺にクエン酸と水が配位した錯体から、鉄が析出する際に一部配位子である水の取り込みが外観不良（酸化による変色）や剥がれなどの不良につながったと考えられる。

5 まとめ

5.1 めっき液の長寿命化

錯化剤としてクエン酸を0.78mol/l、1.04mol/l添加した③、④のめっき液は Fe^{2+} の周辺にクエン酸のみが配位する鉄-クエン酸錯体を生成するため、めっき液の安定化に効果があることが分かった。また、pH変動の影響により鉄-クエン酸錯体からクエン酸が解離することで Fe^{3+} の割合が増加するため、めっき液の長寿命化にはクエン酸の他にpH緩衝剤の添加も必要になる。

5.2 めっきの評価

③、④のめっき液からは、 Fe^{2+} が安定に存在するため、外観と密着性の良好なめっきが得られることが分かった。

謝辞

あいちシンクロトン光センターを活用させて頂きました。硬X線XAFS測定についてご協力いただいた国立研究開発法人産業技術総合研究所中部センターの多井豊氏、国立大学法人豊橋技術科学大学の伊崎昌伸教授、あいち産業科学技術総合センターならびに名古屋市工業研究所の関係各位に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 梶野正樹 他：アルミニウム合金への高速・耐磨耗Feめっき。豊田中央研究所R&Dレビュー，Vol.33，No.4，51-58(1998)。
- 2) 綿野哲寛 他：環境調和型めっき技術の開発（第1報）。静岡県工業技術研究所研究報告，第6号，6-9（2013）。
- 3) 綿野哲寛 他：環境調和型めっき技術の開発（第2報）。静岡県工業技術研究所研究報告，第7号，15-18（2015）。

食品廃棄物のメタン発酵

— 油前処理の有効性評価 —

環境科 中島大介 室伏敬太 太田良和弘
山梨罐詰株式会社 松村英功 望月光明

Methane fermentation of food waste

— Evaluation of the effect of the biological pretreatment method of oil for methane fermentation —

Daisuke NAKASHIMA, Keita MUROFUSHI, Kazuhiro OHTARA, Hidenori MATSUMURA
and Mitsuaki MOCHIZUKI

In this research, the effect of the pretreatment method of food waste oil using activated sludge on methane fermentation performance was studied. Waste oil was mixed with activated sludge and was solubilized by microbial degradation. The mixture was added into a methane fermentation reactor in which waste syrup had been loaded. Methane fermentation performance was evaluated by analyzing the amount of biogas productions and the total organic carbon of digested liquid. When waste syrup was the only carbon source in the reactor, the amount of the gas which was obtained by methane fermentation was 550mL/g-TS on average. When the pretreated oil was added into the reactor until the mixing ratio of the oil was 30%, the amount of the gas increased to 820mL/g-TS on average. However, when the mixing ratio of the oil increased to 52%, the amount of the gas was slightly decreased to 430mL/g-TS, and when the ratio increased to more than 80%, methane was no longer fermented properly. On the other hand, when untreated oil was added into another reactor in which waste syrup had been loaded (mixing ratio: 20%), the amount of the gas decreased considerably. Consequently, the pretreatment method is confirmed to be effective for methane fermentation of food waste oil.

Keywords : Methane fermentation, food waste, oil.

キーワード：メタン発酵、食品廃棄物、油。

1 はじめに

2001年に食品リサイクル法が施行され、食品関連事業者に対して発生する食品廃棄物の抑制と有効活用が義務付けられている。事業者は廃棄物処理業者に飼肥料化等へのリサイクルを委託しているが、その委託費が事業者の経営を圧迫している。また、2011年3月に発生した東日本大震災がもたらしたエネルギー危機以降、新エネルギーの導入促進やエネルギー源の分散化が一層強く求められている。このような状況の中で、食品廃棄物を処理し、さらにエネルギー源として有効活用する手段として期待されているのがメタン発酵である。

メタン発酵は嫌気性微生物の働きにより有機物からメタンガスを生成する微生物反応である。しかし、その反応は原料である有機物の質に左右され、特に難分解性である油は反応効率が悪い。食品廃棄物中に含

まれる油をメタン発酵に応用するためには、油を効率的にメタン発酵するための前処理技術の開発が必要である。

油がメタン発酵の原料として不適であるとされる要因として①油分の難水溶性のために、発酵液中の微生物との接触効率が悪いこと②油分解の過程で発生する高級脂肪酸がメタン生成菌の細胞に付着し、その働きを阻害してしまうこと¹⁾が挙げられる。Beccariら²⁾は乳化剤を添加する前処理方法によって油の分散性を向上する工夫をした。また、片岡ら³⁾はリパーゼ前処理によって中性脂肪が96%分解され、メタンガス転換率80%が得られたことを報告しているが、過剰量の前処理物添加は不飽和脂肪酸による発酵阻害を引き起こすことも明らかにした。したがって、効率的な油のメタン発酵のためには、油を可溶化するだけでなく、分解中間体である高級脂肪酸の低分子化も重要な課題となる。

【報告】

一般的な生ごみに含まれる油はトリアシルグリセロールであり、その微生物分解過程はリパーゼによりグリセリン1分子と高級脂肪酸3分子に加水分解され、グリセリンはリン酸化、高級脂肪酸は β 酸化により分解される。 β 酸化は脂肪酸の主な分解経路で、脂肪酸が β 位(C3位)で酸化を受け酢酸単位で開裂し、最終的に二酸化炭素と水に分解される⁴⁾。ただし、生成された酢酸等の低級脂肪酸が直ちに二酸化炭素へと分解されるわけではない。Sasakiら⁵⁾は、好気的な有機物分解過程である高温コンポスト化において大豆油が分解され、分解中間体である低級脂肪酸の蓄積によりpHが2付近まで低下したことを報告している。もし、好気性微生物による油分解過程で、通気量を制御し、二酸化炭素の発生を抑制することで、低級脂肪酸ができるだけ蓄積するように工夫できれば、有用な油の前処理方法となるだろう。

これまでの検討により、油と排水汚泥を混合して好気的な微生物分解処理をすることにより、約50%の油が分解されその一部が低級脂肪酸などの可溶性固形物として蓄積していることを確認している⁶⁾。しかしながら、この前処理物に対するメタン発酵の原料としての評価はされていない。本研究では、好気処理を施して前処理した油を実際にラボスケールのメタン発酵槽に投入し、バイオガス発生効率にどのような影響を及ぼすか評価した。

2 方法

2.1 油の前処理

油として、ツナ缶製造過程で発生する廃食用油（主成分は大豆油などの植物油）を用いた。前処理は、

写真1に示す油前処理装置（容量500L）でおこなった。廃食用油50Lに対し排水汚泥450Lを混合し、pH 7.0 ± 0.1 、温度30～37℃に調整しながら、3日間、曝気攪拌した。廃食用油および排水汚泥の蒸発残留物（以下、TS）は、それぞれ約80%および1.7%である。廃食用油のTSは、発生時に水が混入するため通常の油に比べて低い。これらのことを勘案し、油前処理0日目の有機物負荷全体に占める廃食用油の有機物負荷を計算すると82%となり、油前処理物の大部分が廃食用油由来のものとみなせる（表1）。



写真1 油前処理装置

表1 油前処理物中の有機物負荷の割合

	排水汚泥	油	合計
①TS(%)	1.7	80	-
②配合量(L)	450	50	500
③配合量(kg)	450	45	495
②×密度 [※]			
有機物負荷量	7.7	36	④43.7
①×③×0.01			
有機物負荷に占める割合(%)	18	82	-
③/④×100			

※排水汚泥の密度を1 kg/L,油を0.9 kg/Lとした

2.2 前処理後の油のメタン発酵

2.1の方法で前処理した廃食用油（以下、油前処理物）を容量1 Lのメタン発酵槽（図1）に投入してメタン発酵をおこなった。発酵槽内には、山梨罐詰㈱でシロップ廃液処理用に稼働しているメタン発酵プラントから取り出したグラニュール（メタン発酵用の種菌）1 Lを充填した。発酵槽内部の温度は恒温水槽により37.5～38.5℃に維持されており、約50rpmで撹拌した。

この発酵槽に供給するメタン発酵の主原料は、山梨罐詰㈱で発生したシロップ廃液と油前処理物であり、その混合原料のTSを10g-TS/Lとなるように調製した。副資材として、尿素（窒素源）およびリン酸二水素カリウム（リン源）を用いて、C/N比およびC/P比を、それぞれ25および100に調整し、微量金属として、塩化ニッケル（10mg/L）、塩化コバルト（10mg/L）をそれぞれ配合した。pHは水酸化ナトリウムにより10～11に調整した。このように調整した混合原料100mlを発酵槽下部に供給すると同時に、発酵槽上部の消化液100mlを排出する操作を1日に1度おこなった。原料供給と消化液排出は、発酵槽内を撹拌しながらおこなうとグラニュールが流出することから、撹拌を30分間止め、グラニュールを発酵槽下部に沈降させてからおこなった。本実験における、滞留日数は10日間であり、有機物負荷は1 g-TS/L/d（1日当たり、発酵槽1 Lあたりの有機物投入量g-TS）となった。なお、メタン発酵原料中の油分前処理物の配合比率は、以下の式により算出した。

$$X = (A \times B) / (C \times D)$$

X：有機物負荷あたりの油前処理物の配合比率（％）

A：配合した油前処理物の量（mL）

B：油前処理物の有機物負荷（g-TS/L）

C：調整したメタン発酵原料全量（mL）

D：メタン発酵原料の有機物負荷（g-TS/L）

実験期間中、この配合比率を0％から100％まで徐々に増加させた。

発生したバイオガスと消化液を適時回収した。回収した消化液の全有機体炭素（TOC）を全有機体炭素計 TOC-L CPH（㈱島津製作所製）により測定した。バイオガス中のメタン濃度を熱伝導度検出器付きガスクロマトグラフGC-15A（㈱島津製作所製）を用いて分析し、発生量を乾式ガスメーターDC-1（㈱シナガワ製）を用いて測定した。バイオガス発生量は、一定期間内

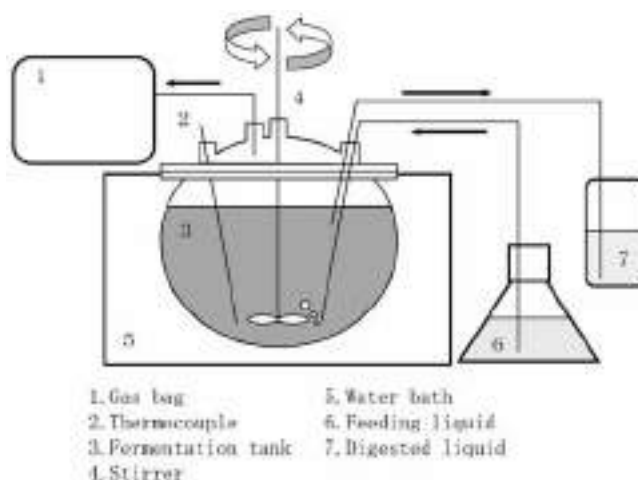


図1 メタン発酵装置の概要図

で発生したバイオガス量とその期間内の有機物投入量から、1日当たり単位投入有機物量当たりのガス発生量（mL/g-TS/d）で整理した。

油前処理物の配合比率とバイオガス発生量を比較し、油前処理物がメタン発酵に与える影響を評価した。

また、予備試験として前処理をしていない廃食用油とシロップ廃液を原料として、その他は同様の条件で試験をおこなった。廃食用油そのものはシロップ廃液と配合することができないため、シロップ廃液とは別のラインでメタン発酵槽に投入した。この予備試験においては、油の配合比率は0％から20％へと増加させた。

3 結果

3.1 油分の前処理

前処理を施した廃食用油を写真2に示す。前処理を施した後の廃食用油は処理開始から3日後には乳化し、処理開始時に見られた排水汚泥と廃食用油の境界が消えて、両者が分散していることが確認された。

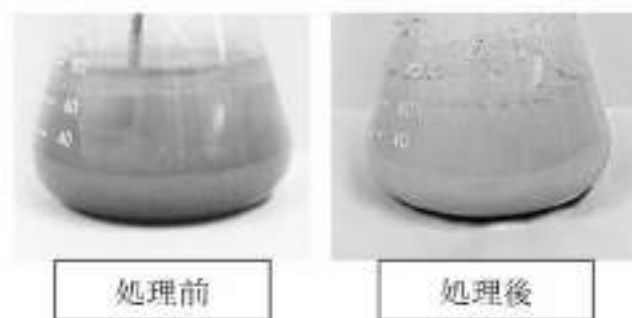


写真2 油の前処理前と前処理後の様子

3.2 前処理後の油分のメタン発酵

バイオガスの発生量と油前処理物投入量の経時変化を図2、予備試験で行った廃食用油のメタン発酵でのバイオガス発生量を図3にそれぞれ示す。ここには詳細は示さないが、実験期間中、バイオガスのメタン濃度は概ねメタン60～90%となった。

予備試験の結果、廃食用油を20%投入した段階で、メタン発酵槽の中で廃食用油が発酵液と分離し、油膜となって漂っていた。バイオガス発生量も、シロップ廃液のみを原料として稼働していた期間と比べて、油分を投入してから低下した(図3)。これに対して、油前処理物を原料として行ったメタン発酵では、試験期間中に油膜の発生はなかった。さらに、シロップ廃液のみを原料として稼働していた期間のバイオガス発生量は平均して550mL/g-TS/d (510～670mL/g-TS/d) だったが、油前処理物を約20～30%配合してメタン発酵をした場合、バイオガスの発生量は平均して820mL/g-TS/d (450～1,300 mL/g-TS/d) まで増加した(図2)。その後、油前処理物の配合比率を52%まで徐々に増加させていくと、バイオガスの発生量は平均430mL/g-TS/d (220～730mL/g-TS/d) で安定したが、さらに配合比率が80%を超えた後は低下し続けた。この期間の消化液のTOCを図4に示す。図4を見ると、それまで260～960ppmで推移していたものが、配合比率が80%を超えたところから約6,300ppmまで著しく上昇していた。

4 考察

4.1 油分の前処理

我々のこれまでの研究⁶⁾から、好気処理を利用した前処理では未分解の油分が50%以上残ることが確認されている。今回行った前処理では、未分解の油分が乳化できていた。以上のことから、目的であった廃食用油の一部が分解され、さらに乳化することで難水溶性の解消が達成できたと言える。このことから、好気処理を利用した前処理は油分をメタン発酵に導入するための手段として有効である可能性がある。

4.2 前処理後の油分のメタン発酵

廃食用油そのものをシロップ廃液と共にメタン発酵槽に導入した予備試験では、有機物負荷あたり20%の廃食用油を投入した段階で油膜が発生し、バイオガスの発生量が低下した。これは、発酵槽内で油分と発酵液が二相に分離し、微生物が油を分解する油膜と発酵液の界面が減少してしまったためメタン発酵効率が悪化し、

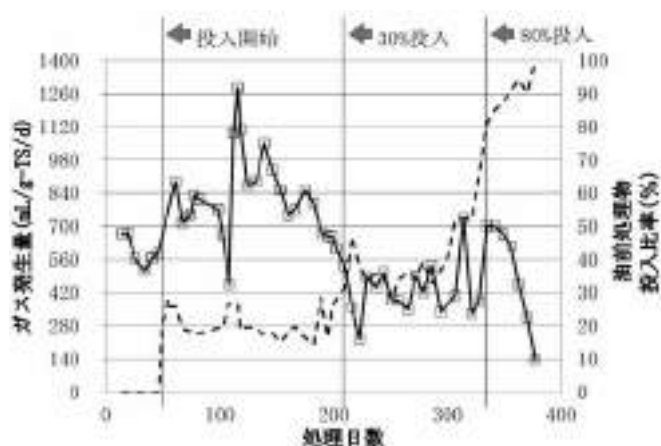


図2 シロップ廃液と油前処理物を原料にした場合のバイオガス発生量と油前処理物投入比率の経時変化
----- 油前処理物投入比率 (TS基準) ——— ガス発生量

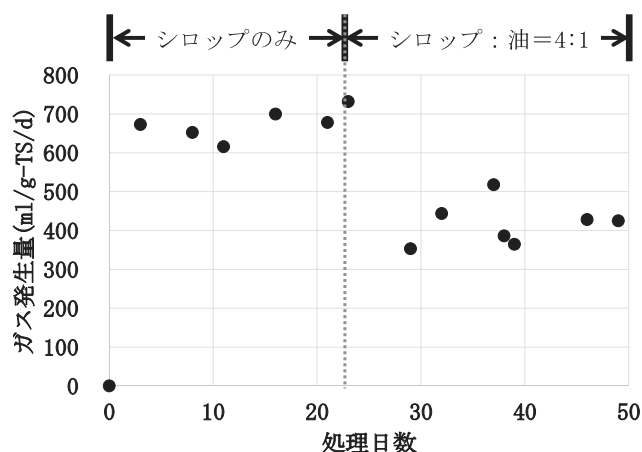


図3 シロップ廃液と未処理油を原料にした場合のバイオガス発生量の経時変化

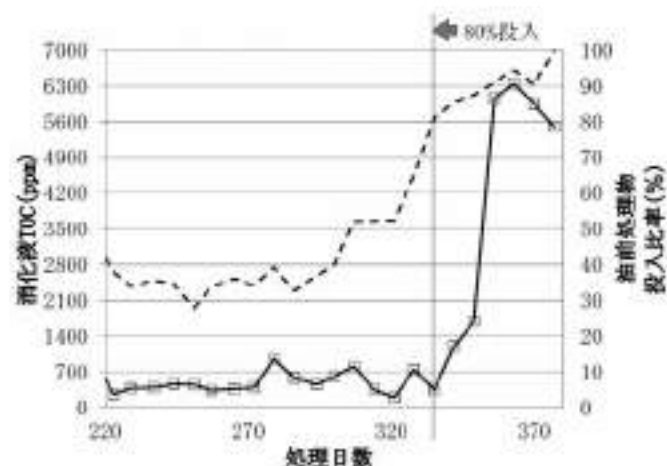


図4 シロップ廃液と油前処理物を原料にした場合の消化液のTOCと油前処理物投入比率の経時変化
----- 油前処理物投入比率 (TS基準) ——— ガス発生量

【報告】

バイオガスの発生量が低下したと考えられる。一方、油前処理物とシロップ廃液を配合してメタン発酵を行った実験では、試験期間中に油膜の発生は見られなかった。さらに、有機物負荷あたり20～30%の油前処理物を配合してもバイオガス発生量は低下せず、むしろ増加していた。有機物負荷あたり52%の油前処理物を配合した場合も、バイオガス発生量は0%に比べて若干落ちるものの安定していた。これらの結果から、本前処理をおこなうことによって、廃食用油を効率的にメタン発酵できることが確認された。しかし、油前処理物の配合割合が80%を超えると、バイオガスの発生量は徐々に低下していった。また、配合比率が80%を超えてから消化液のTOCが著しく上昇した。油前処理物は全ての油が分解しておらず、また分解中間体である高級脂肪酸も含まれていると考えられる。特に高級脂肪酸は一般的にメタン発酵に対する阻害物質であると言われており¹⁾、少量であれば分解可能だが、濃度が高まるとメタン発酵の効率を損ねてしまう。配合割合が80%を超えることで、油前処理物中に含まれていた未分解の廃食用油や高級脂肪酸の量が増えたためガス発生量が低下したと考えられる。

5 まとめ

食品廃棄物中に含まれる油をメタン発酵に適用するための適切な前処理方法について検討した。メタン発酵の原料として有効な低級脂肪酸をできるだけ処理物の中に蓄積させるため、通気量を制御した排水汚泥による好気処理を検討した。この前処理後、油分を含む処理液は乳白色の懸濁液となり、メタン発酵を行う上で

課題となる油分の難水溶性は解消された。

廃食用油から作成した油前処理物をラボスケールのメタン発酵槽に投入すると、有機物負荷に対して配合割合52%では廃食用油そのものよりも効率よくメタン発酵できることが確認された。しかし、80%以上の配合割合では消化液のTOCが上昇し、メタン発酵が正常におこなわれなくなった。

参考文献

- 1) 野池達也 他：「メタン発酵」，初版(技報堂出版(株))，佐藤和明 他 編集，pp.40-41
- 2) Beccari M. et al. : Enhancement of anaerobic treatability of olive oil mill effluents by addition of Ca(OH)₂ and bentonite without intermediate solid/liquid separation, Water Science & Technology, Vol. 43, No. 11, 275-282(2001)
- 3) 片岡直明 他：油脂含有食品加工排水のメタン発酵促進技術の研究，エバラ時報，No.212、3-9(2006-7)
- 4) Voet D. et al. : 「基礎生化学」，第1版(東京化学同人(株))，pp378-391(2001)
- 5) Sasaki N. et al. : Effects of C/N ratio and pH of raw materials on oil degradation efficiency in a compost fermentation process, Journal of Bioscience and Bioengineering, Vol. 96, No. 1, 47-52(2003)
- 6) 酒井奨 他：中温メタン発酵のための廃食用油の前処理法の検討.第24回廃棄物資源循環学会研究発表会 講演論文集，p.401-402，北海道(2013).

低温度域水熱処理を利用した余剰汚泥減容化装置の開発

環境科

岡本哲志

三鈴工業株式会社

原田達也

須和部益通

鈴木正史

Development of excess sludge volume reduction equipment using hydrothermal treatment of low temperature region

Tetsuji OKAMOTO, Tatsuya HARADA, Masumichi SUWABE and Masashi SUZUKI

For the business establishments with waste water treatment facilities in Shizuoka Prefecture, the processing expense of the excess sludge serves as an economic burden. The current excess sludge volume reduction technologies have technical subjects of operation cost increasing by use of medicine etc., or persistent substances newly generating in the process. So, this research developed the excess sludge volume reduction equipment using hydrothermal treatment of low temperature region in order to solve these technical subjects, and the following results were obtained.

- 1) We made the excess sludge volume reduction equipment as an experiment. The equipment had the throughput (5 tons/day (before drying)) of a practical use level, and improved biodegradability for the excess sludge, persistent organic matter, by hydrothermal treatment (160~180°C, 0.9MPa or less).
- 2) The hydrothermal treatment by trial production equipment for the excess sludge generated from the business establishments in the prefecture revealed that the liquefaction efficiency of 58% was acquired for food factory sludge, and 76% was obtained for papermill sludge.
- 3) From the operation situation and the performance evaluation test result of the trial production equipment, we made the trial calculation of the economical efficiency for this research, and found that the reduced part of operation cost was able to refund in 5.1 years when the initial cost of the equipment was 40 million yen.

Keywords : Excess sludge, volume reduction, waste water treatment, hydrothermal treatment, persistent organic matter.

キーワード：余剰汚泥、減容化、排水処理、水熱処理、難分解性有機物。

1 はじめに

一般的な排水処理（活性汚泥処理）は、空気を送り込んだ処理槽（曝気槽）の中で、排水中の有機物を微生物群集（活性汚泥）に消化させて浄化する（図1）。余剰汚泥は、主に排水浄化の過程で増え過ぎた微生物群であり、ほかに、難分解性有機物（油脂・繊維等）、灰分を含む。

県内の製造業から発生する産業廃棄物としての余剰汚泥（有機性汚泥）は年間420万トンに上っており*、排水処理設備を持つ県内事業所では、余剰汚泥の処理費用が経済的負担となっている。「県内事業所における余剰汚泥処理の現状」に関する調査結果¹⁾によれ

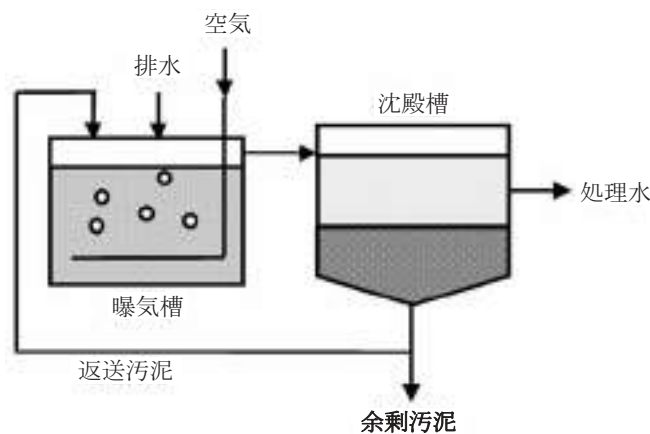


図1 活性汚泥処理

*）静岡県：平成25年度産業廃棄物実態調査報告書。 [https://www2.pref.shizuoka.jp/all/file_download103500.nsf/332C1C045B5B35444925773E0022C957/\\$FILE/25houkokusyo.pdf](https://www2.pref.shizuoka.jp/all/file_download103500.nsf/332C1C045B5B35444925773E0022C957/$FILE/25houkokusyo.pdf) (2015. 3. 24アクセス)



図2 余剰汚泥減容化の仕組み

ば、1事業所当たりの余剰汚泥排出量は、年間101トン～500トン（脱水後）が40%と最も多く、処分費用は、平均すると1トン（脱水後）当たり2.5万円となった。また、回答した44事業所の内、38（86%）の事業所が余剰汚泥の処理に苦慮しているとの回答であった。

微生物は外側が難分解性の細胞壁で覆われている（図2）。その一方で、内部の細胞質は含水率が高く、生分解性の高い有機物を含む。従って、余剰汚泥の減容化は、難分解性有機物を分解し、生分解性を高める「液化処理（前処理）」と、液化汚泥を曝気槽に返送し、微生物そのものに食べさせる「活性汚泥処理（後処理）」の二段処理からなる。

液化処理には、熱アルカリ処理、オゾン処理等が知られている（表1）。しかし、薬剤等の使用に伴い運転コストがかさんだり（熱アルカリ処理）、処理の過程で新たな難分解性物質が生成したりする（オゾン処理）等の課題がある。そこで、本研究では、薬剤等を使用せず、余剰汚泥を生分解性の高い有機物に変換可能な低温度域水熱処理技術を利用した余剰汚泥減容化装置の開発を行った。

表1 余剰汚泥液化（前処理）技術の比較

液化技術	低温度域水熱処理	水熱処理	熱アルカリ処理	オゾン処理
液化効率	○	◎	△	△
難分解性物質の生成抑制	◎	○	△	×
処理コスト	○	△	△	×

◎（最適）、○（適切）、△（普通）、×（不適）

2 方法

2.1 水熱処理装置による減容化予備試験

余剰汚泥は県内3ヶ所の事業所（化学系・食品系・製紙系）から譲渡を受けた。これらを共同研究企業が以前開発した、処理容量3Lの水熱処理装置（写真1）を用いて水熱処理（処理温度（圧力）：160℃（0.7MPa）～180℃（0.8MPa）、滞留時間：15分）を行った。余剰汚泥の液化効率は、固形分の減少率

（＝（固形分（処理前汚泥）－固形分（処理後汚泥））／固形分（処理前汚泥）×100（%））で評価した。固形分は、遠心分離の条件を15,000rpm、25℃、15分とした以外は、文献²⁾に従って測定した。

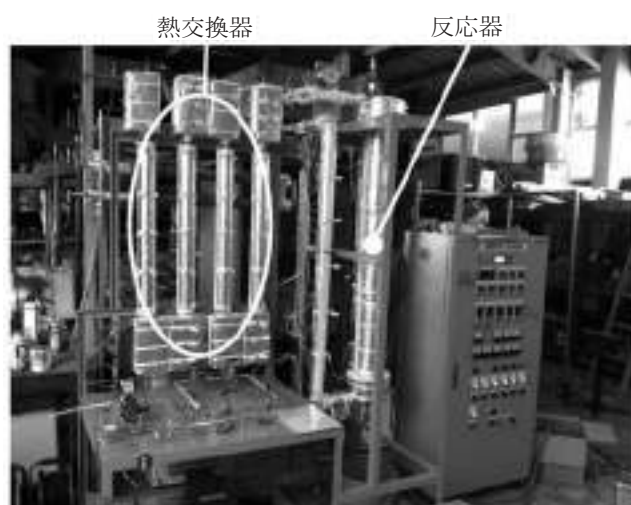


写真1 水熱処理装置（処理容量：3L）

2.2 余剰汚泥減容化装置の試作

排水処理設備を有する県内事業所に導入が可能な余剰汚泥減容化装置とした。

装置の処理スキームを図3に示す。処理能力は日量5トン（脱水前）とし、難分解性有機物である余剰汚泥を低温度域の水熱処理（160～180℃、0.9MPa以下）を行うことで生分解性を高め、既存の排水処理設備で処理することで減容化する。水熱処理では、熱媒ボイラーにより所定の温度・圧力に設定された反応タンクに、余剰汚泥を連続的に投入することで汚泥を液化する（液化効率の目標値は予備試験の結果から設定した）。一方、熱交換器により、液化汚泥の熱で余剰汚泥を加温することでエネルギーの有効利用を図った。さらに、新たな設備の増設に伴う初期コストを、運転コストの削減により5年以内で回収できる装置の開発を目指した。

2.3 余剰汚泥減容化装置の性能評価

県内事業所2ヶ所（A：食品工場及びB：製紙工場）から提供を受けた1,000Lの余剰汚泥を各々試作

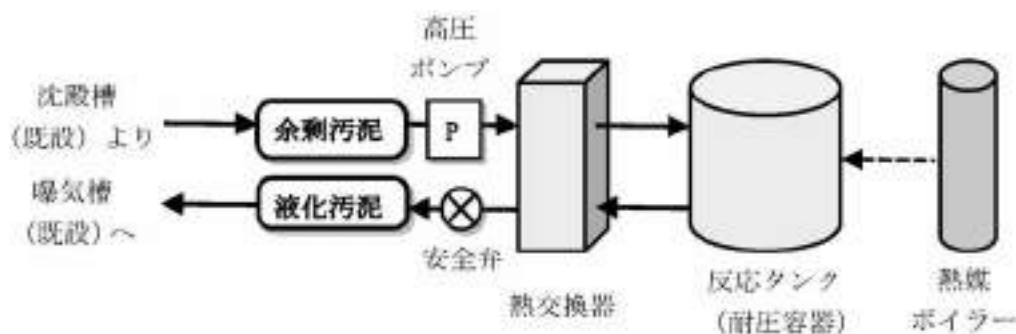


図3 余剰汚泥減容化装置による処理スキーム

装置に投入（毎分10L）し、余剰汚泥全てを投入し終わるまで100L単位で処理汚泥を装置出口から回収した。なお、水熱処理条件は180℃、0.9MPaとした。

回収した処理汚泥について、後段の活性汚泥処理に適した水熱処理の2つの必要条件、「1）汚泥の固形分の液化が必要十分に進行すること」、「2）液化汚泥（固形分除去後の処理汚泥の液体部分）の有機物濃度が増加すること」を評価するため、試作装置の処理過程における、余剰汚泥の性状変化の評価指標として固形分の液化効率、及び液化汚泥の有機物濃度としてCOD_{Mn}をそれぞれ設定し、測定した。

液化効率は次式により求めた、 $(SS_{前} \times V - \sum SS_{後} \times V') / (SS_{前} \times V) \times 100 (\%) \cdots (式)$ 。

ここで、SS_前は水熱処理前の余剰汚泥の固形分（mg/L）、SS_後は各回収時の処理汚泥の固形分（mg/L）、Vは「余剰汚泥全量－装置容量（250L）」とし、V'は各回収時の汚泥回収量とした。

COD_{Mn}はJIS K0102:2013（工場排水試験方法）の17（100℃における過マンガン酸カリウムによる酸素消費量）に従って測定した。

さらに、運転の安定性の評価指標として、処理汚泥の回収時に、運転パラメーター（温度・圧力・汚泥流量）の変化を調べた。

2.4 試作機の経済性の試算

試作機を導入した場合の運転コストを、汚泥処分費を1トン当たり2.5万円として、年間余剰汚泥発生量、装置の維持管理費、熱媒ボイラー燃料費、電気代を考慮し試算した。

3 結果および考察

3.1 水熱処理装置による減容化予備試験

処理容量3Lの水熱処理装置による試験結果（表2）から、余剰汚泥の液化効率が最も高かったのは、化学系の余剰汚泥を160℃で処理した時で、95%であった。遠心分離により沈降した余剰汚泥の固形分（濃茶

色）が、処理後に減少していることがわかった（写真2）。次いで、液化効率が高かったのは製紙系汚泥であった。同汚泥では2つの処理温度において、温度が高い方の液化効率が高かった。食品系の汚泥は、製紙系汚泥と同様に処理温度が高い方の液化効率が高かったが、他の汚泥に比べると効率は低かった。水熱処理の主な作用は有機物の加水分解であるため、食品系の汚泥中の有機物が44%と低く（化学系は84%、製紙系は88%）、無機物が多い同汚泥の液化効率は低いと考えられた。以上の結果から、余剰汚泥の液化における水熱処理の効果を確認でき、今後の液化効率の目標を80%とした。しかし、実用化には処理容量をさらに高める必要があった。

表2 余剰汚泥の水熱処理試験結果

No.	汚泥の種類	処理温度	固形分 (mg/L)	液化効率 (%)
1	化学系	(原水)	15,200	—
2		160℃	780	95
3	食品系	(原水)	16,600	—
4		160℃	12,200	27
5		180℃	7,470	55
6	製紙系	(原水)	11,800	—
7		160℃	2,950	75
8		180℃	2,500	79

【報告】



写真2 水熱処理装置による余剰汚泥（化学系）の液化
（左：処理前・右：処理後）

3.2 余剰汚泥減容化装置の試作

余剰汚泥減容化装置（写真3）の試作は、共同研究企業が、排水処理プラントの設計・施工技術の専門企業としての経験・ノウハウを活かして行った。水熱処理に必要な不可欠な反応タンク（耐圧容器）、熱媒ボイラー、熱交換器の製作は、法律による規制や運転の安全性確保を考慮し、豊富な技術・ノウハウを持つ協力企業に委託した。

本装置の特徴は以下のとおりであった。まず、性能面では、圧力容器の容量を229Lとすることで、実用レベルの処理能力（日量5トン）が得られた。また、ボイラーの熱源は、熱媒ボイラーを採用することで、装置

内を高温状態で安定的に維持することが出来た。次に、安全対策として、装置に圧力計、安全弁を備え、運転中は圧力を常時監視し、1.2MPaを超えた場合は、安全弁により圧力を下げる安全装置が作動する。また、震度3以上で運転を自動停止する安全装置も装備した。

3.3 余剰汚泥減容化装置の性能評価

性能評価の結果を図4および図5に示す。事業所A（食品工場）において、回収された処理汚泥の固形分は、いずれの試料採取回においても初発濃度（9,080mg/L）を下回り、汚泥の液化効率は58%となった（図4）。液化汚泥の有機物濃度は、初発濃度（200mg/L）に対し2,000mg/L前後まで増加した。目標とする液化効率（80%）に比べて低かったのは、処理過程で温度が低下したためと考えられた。

事業所B（製紙工場）においても、回収された処理汚泥の固形分は、いずれも初発濃度（8,990mg/L）を下回り、汚泥の液化効率は76%となった（図5）。また、液化汚泥の有機物濃度も、初発濃度（50mg/L）に対し2,000 mg/L～3,000mg/Lの範囲まで増加した。一方、処理過程で汚泥流量の変動が観測されたが、その後の安全弁の改良により、流量が安定化することを確認した。

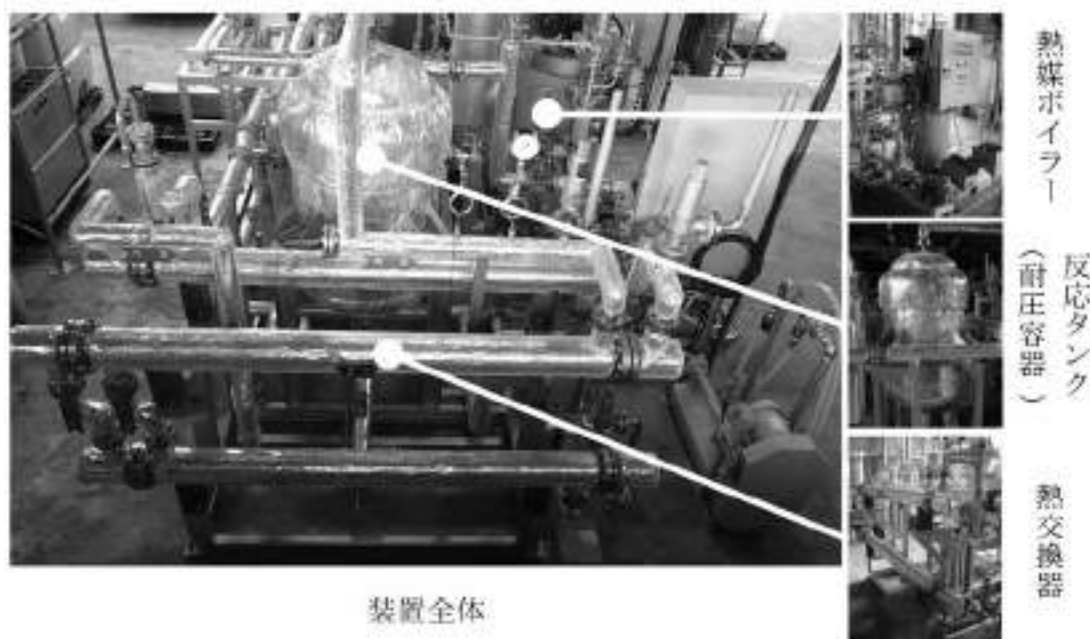
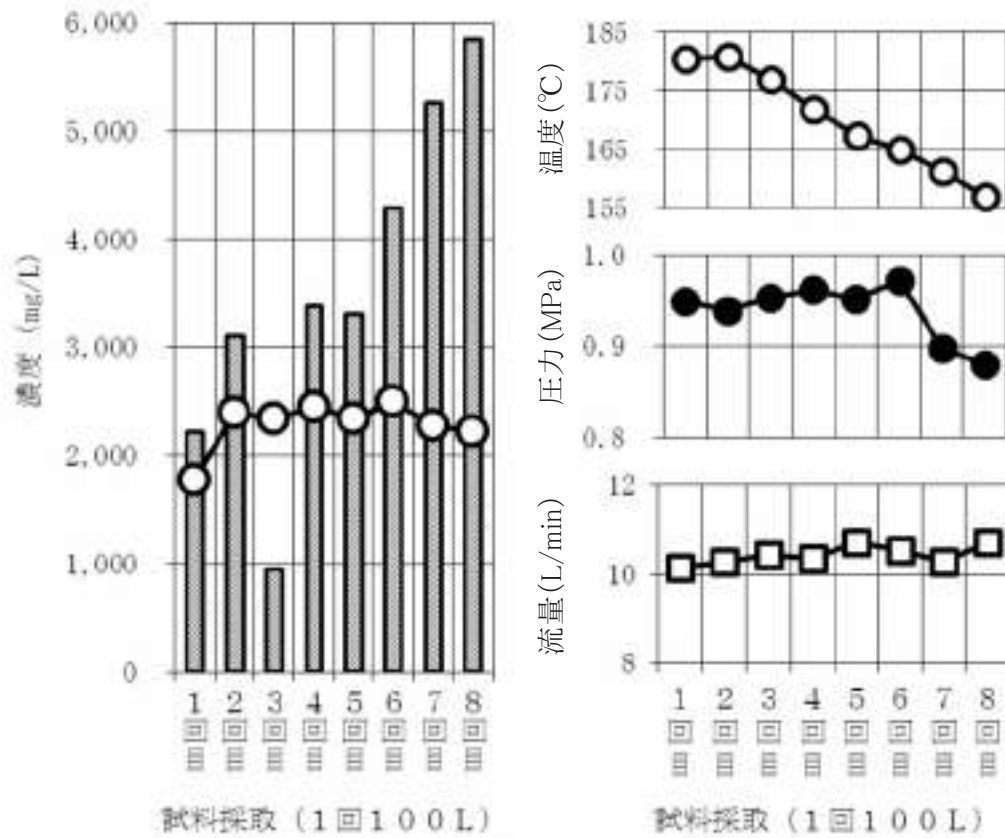


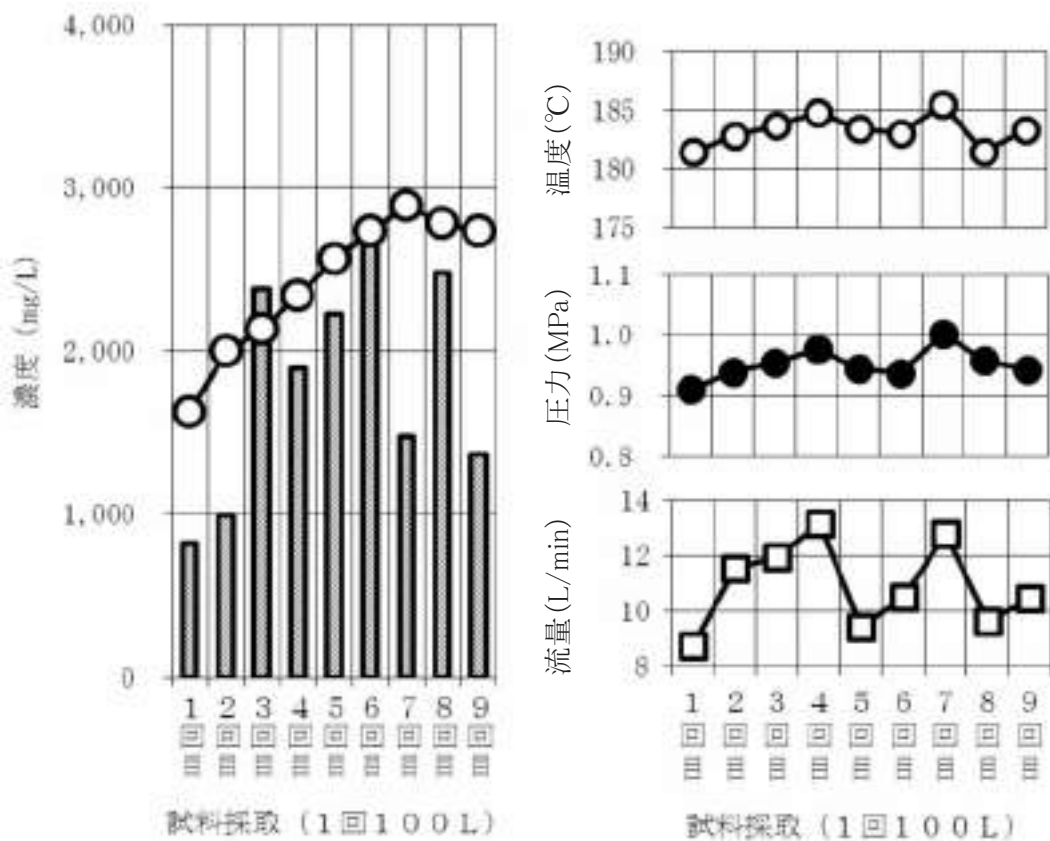
写真3 余剰汚泥減容化装置（試作装置）



(1) 処理汚泥の性状変化 (2) 運転の安定性

図4 試作装置の性能評価 (食品工場)

■ 固形分, ○ 液化汚泥の有機物



(1) 処理汚泥の性状変化 (2) 運転の安定性

図5 試作装置の性能評価 (製紙工場)

■ 固形分, ○ 液化汚泥の有機物

【報告】

3.4 経済性の試算

余剰汚泥（脱水後）が月20トン（年間240トン）発生している事業所を例に試算した。水熱処理による液化効率は80%とした。その結果、初期コスト4,000万円の装置であれば、新技術導入による運転コストの削減分（年間782.4万円）により、5.1年で償却が可能であることがわかった（表3）。

4 まとめ

本研究では、排水処理設備を持つ県内事業所を対象に、余剰汚泥の処理に伴う経済的負担を軽減することを目的として、低温度域（160℃～180℃）の水熱処理を利用した余剰汚泥減容化装置を開発し、以下のことがわかった。

- 1) 実用レベルの処理能力（日量5トン（脱水前））を有し、難分解性有機物である余剰汚泥に対し、低温度域の水熱処理（160℃～180℃、0.9MPa以下）を行うことで生分解性を高め、既存の排水処理設備で処理することで減容化する余剰汚泥減容化装置を試作した。
- 2) 県内事業所から発生する余剰汚泥に対し、試作装置による性能評価を行った結果、目標（80%）に迫る液化効率の処理汚泥が得られた。
- 3) これまでの試作装置の運転状況・性能評価試験

結果から、本研究の経済性を試算した結果、初期コスト4,000万円の装置であれば、運転コストの削減分により5.1年で償却が可能であった。

本研究の成果普及により、排水処理設備を持つ事業所の経済的負担の軽減だけでなく、産業廃棄物である余剰汚泥の排出削減という行政課題の解決にも寄与すると考えられた。

謝辞

本研究は、公益財団法人 静岡県産業振興財団の新成長産業研究開発助成金を受けて実施した。ここに謝意を表するものである。

参考文献

- 1) 特定非営利活動法人 エコクリエイト研究会 他：平成20年度 地域課題を解決する産学共同研究委託事業「新規な余剰汚泥減容化システムの開発と事業性調査」報告書，(2009)．
- 2) 亀山健一：第2節 一般理化学試験，第4章 一般汚泥試験，第6節 活性汚泥浮遊物質，1．遠心分離法，「下水試験方法」，1997年版（公益社団法人 日本下水道協会，東京），pp.269-270（1997）．

表3 経済性（運転コスト）の試算
（余剰汚泥（脱水後）が20トン/月（年間240トン）発生している事業所の例）

方法	項目	費用
<現状> 脱水後搬出処理	汚泥処分費（2.5万円/トン）	50.0万円/月
	維持管理費 （凝集剤/人件費/電気代等）	40.0万円/月
(1)	合 計	90.0万円/月
<新技術導入後> 低温度域 水熱処理	汚泥処分費（液化効率80%）	10.0万円/月
	維持管理費 （凝集剤/人件費/電気代等）	8.0万円/月
	熱媒ボイラー燃料費	6.2万円/月
	電気代（水熱処理装置等）	0.6万円/月
(2)	合 計	24.8万円/月
月間のコストメリット：(1) - (2)		65.2万円/月
年間のコストメリット：((1) - (2)) × 12		782.4万円/年

EPDMゴム原料の特性の可視化

化学材料科 稲葉彩乃* 渥美博安 田村克浩

The physical characteristic visualization of EPDM

Ayano INABA, Hiroyasu ATSUMI and Katsuhiro TAMURA

Keywords : EPDM, Self-Organizing Maps.

キーワード : EPDM、自己組織化マップ。

1 はじめに

エチレンプロピレンゴム（以下、EPDM）は合成ゴムの一つであり、耐熱性や電気絶縁性に優れており工業用ゴム製品に幅広く使用されている。EPDMゴム製品は、加硫前のEPDM（以下、EPDM原料）に補強剤や加硫剤等の配合剤を加えて混練した後、押出成形や金型成形により加熱・加硫して製造される。現在、国内外のメーカーから様々なEPDM原料が販売されているが、選択の指標となる情報はモノマー成分比、粘度等を示した物性表のみであり、EPDM原料の持つ特性を直感的に把握することが難しい。

本研究所では、多次元の情報を2次元に縮約して分かりやすく表示する自己組織化マップ（以下、SOM）技術を応用して、市販されている多数の樹脂グレードを2次元にマッピングして特性を可視化する手法の開発に取り組んできた¹⁾。本報では、EPDM原料の特性をSOMにより分かりやすく可視化した結果を報告する。

2 方法

国内で入手可能な樹脂メーカー8社85種類のEPDM原料について4つの物性値（エチレン含有量、ムーニー粘度、オイル含有量、第三成分量）をカタログ等から収集してSOMを作成した。計算には、代表的なケモメトリックスソフトウェアであるChemish Standard版Ver. 5.09（東京大学船津研究室）を使用した。計算条件は、マップサイズ15、学習回数200回、オートスケールリングとし、マップはトーラスマッピング形式で表示した。

SOMの格子点上に配置したEPDM原料データは、隣り合う格子点の類似度の強さを背景色で表現したU-Matrix表示上で、手動により境界線を引いてグループ分けを行った。また、計算に使用した物性値を背景に投影して得られる4つの物性表示マップから、分類し

たグループごとの特性の解析を行った。

3 結果

図1に、各EPDM原料を15×15の格子点上に配置したU-Matrix表示のSOMを示す。類似性の高いデータが集まるSOMの背景色の薄い領域は、aからeまでの5つのグループに分類することができた。SOMは上下左右に繋がっているため、dのグループは、図の下部に領域も含んでいる。また、eのグループも左右で繋がっている。

図2に、EPDM原料の各物性値を背景に投影した4つのSOMを示す。各マップを比較することにより、グループごとの特性の傾向が把握できた（表参照）。例えば、グループaのEPDM原料は、エチレン含有量が高く、ムーニー粘度やオイル含有量が低い特徴を、グループbのEPDM原料は、オイル含有量が低く、第3成分量が高い特性を持つことがわかる。

4 まとめ

SOM技術を応用して、市販されているEPDM原料の特性の可視化を行ったところ、おおよそ5つのグループに分類できることが分かった。また、グループごとの物性の傾向も把握することができた。今後は、実際にEPDM原料から加硫ゴムの試作を行い、その物性値の評価試験を行う。また、加硫ゴムの特性をSOMにより可視化することにより、目標とする特性をもつ加硫ゴムの製造レシピの決定を支援するシステムの開発を行う。

参考文献

- 1) 稲葉彩乃 他：自己組織化マップを用いた樹脂特性可視化技術の開発，日本コンピュータ化学会2013秋季大会講演予稿集，p.81-82，福岡（2013）。

*) 現 経済産業部商工業局新産業集積課

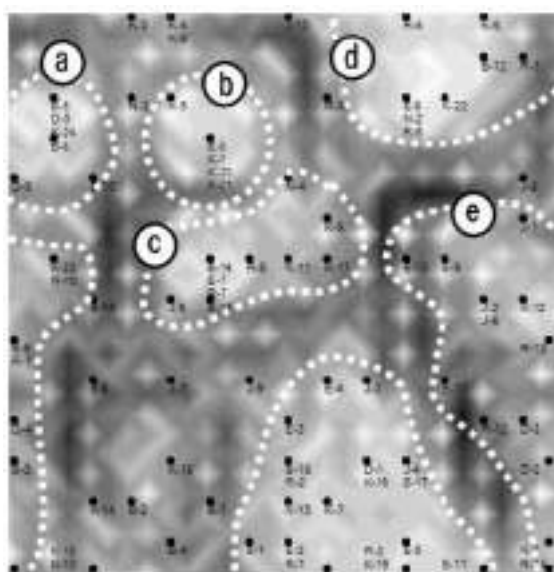


図1 EPDM原料を分類したSOM (U-Matrix表示)

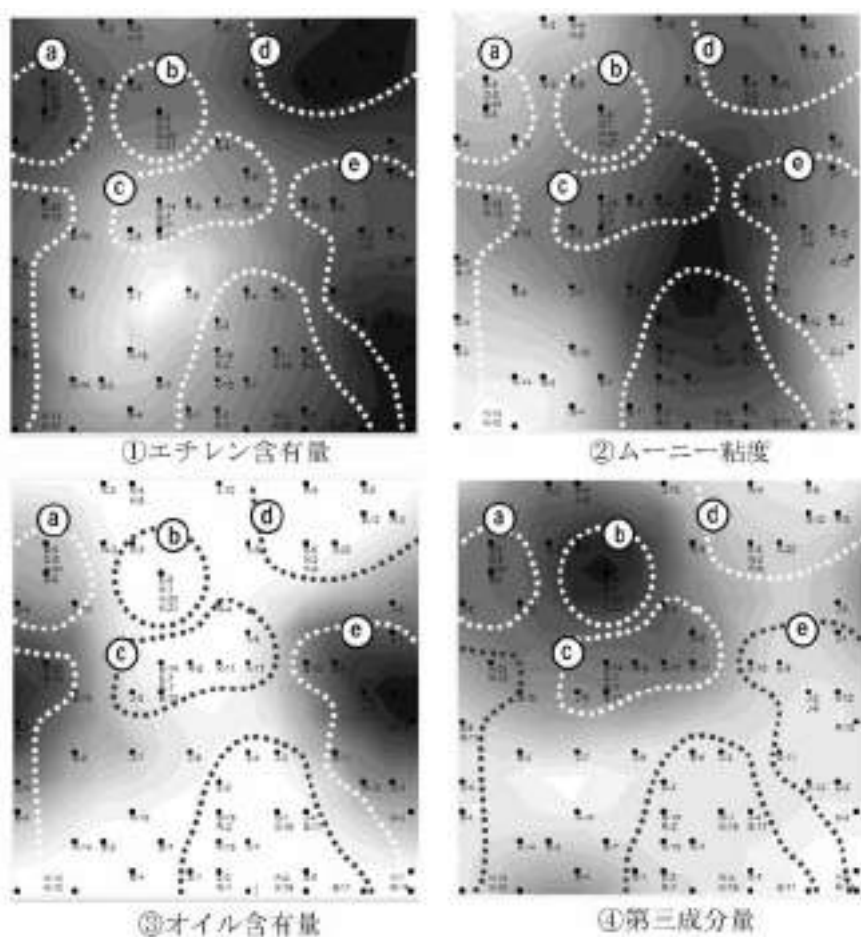


図2 EPDM原料を分類したSOM (物性表示)

表 各分類グループの特徴

	エチレン含有量	ムーニー粘度	オイル含有量	第三成分量
a	高	低	低	中
b	中	中	低	高
c	低	中	低	中
d	高	中	低	低
e	中	中	高	低

成形時の形状誤差を見込んだ樹脂成形金型の作製 (第1報)

機械科 船井 孝

Design of resin-molding die compensating for shape error at the molding (1st Report)

Takashi FUNAI

Keywords : Die, resin mold, shape error, reverse engineering, CAD.

キーワード：金型、樹脂成形、形状誤差、リバースエンジニアリング、CAD。

1 はじめに

樹脂製大型非球面レンズの成形では、樹脂の収縮により、金型形状通りの製品を成形するのが困難である。本研究では、図1のような $\phi 70\text{mm}$ 、高さ 24mm 程度の軸対称の自由曲面レンズを対象とし、「収縮量」の定量的な測定結果に基づいた金型の設計を行った。本研究の最終目標としては、設計した金型を活用することで、設計値に対して形状誤差 $\pm 20\mu\text{m}$ 以下のレンズ成形を目指している。



図1 レンズ的设计形状

 $\phi 70\text{mm}$ 、高さ 24mm 程度の軸対称の自由曲面レンズ。

2 方法

2.1 成形時における収縮量の定量的な測定

一般的な樹脂成形金型は、成形時に一様な収縮が生じると仮定し、製品形状を一様に拡大した形状に加工される。そのため、成形品と設計形状を比較して得られる差を収縮量として取り扱うことができない。本研究では、収縮量を見込まない金型による成形品について、タッチングナルプローブおよび $\phi 1\text{mm}$ の測定子を取付けたCMMで約1,800点の形状測定を行い、得られた点群データ(図2)と設計形状を比較することで、成形時の収縮量を定量的に取得した。

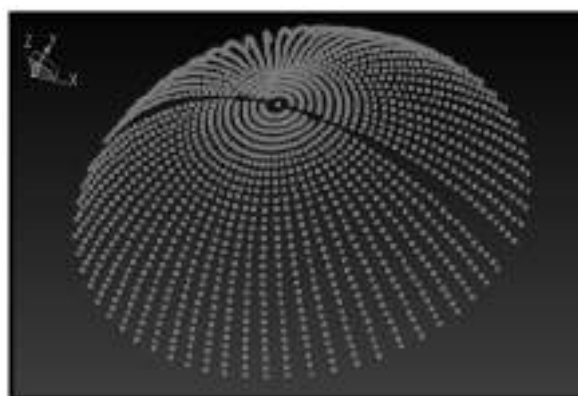


図2 三次元測定機で取得したレンズ面形状を表す点群データ

2.2 収縮量を見込んだ金型の三次元CADデータ作成

2.1節で取得した収縮量を活用し、「見込み形状」の点群データを取得した(図3)。また、このデータを活用して「収縮量を見込んだ金型の三次元CADデータ」を作成した。成形品に求める形状精度が $\pm 20\mu\text{m}$ 以下であるため、作成する三次元CADデータは、「見込み形状の点群データ」に対して少なくとも $\pm 10\mu\text{m}$ 以下(製品に要求される精度の1/2以下)となるように配慮した。

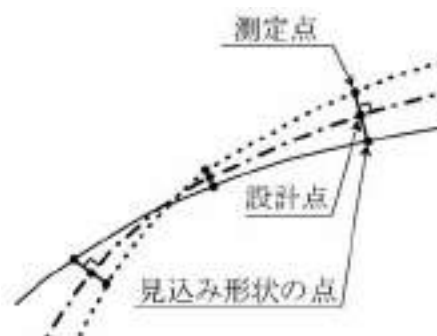


図3 見込み形状の点群データ作成

成形したレンズの測定点を、設計CADデータ(設計点)を基準にレンズ面の反対方向へ移動し、見込み形状の点を作成する。

——: 設計CADデータ : 実際のワーク —: 金型形状。

3 結果および考察

3.1 成形時における収縮量分布の定量的な取得

収縮量を見込まない金型を作製し（図4）、その形状評価を行った。その結果、作製した金型は、設計形状に対して $\pm 8 \mu\text{m}$ 程度の誤差でできていることを確認した。本研究で対象としているレンズの場合、 $156 \mu\text{m}$ 程度（厚さ $24\text{mm} \times$ 収縮率 0.65% ）の収縮量を見込むため、本研究で作製した金型は収縮量を見込んでいないとみなすことができる。次に、作製した金型で成形したレンズの形状測定を行い、得られた測定値と設計形状の差を収縮量とした（図5）。

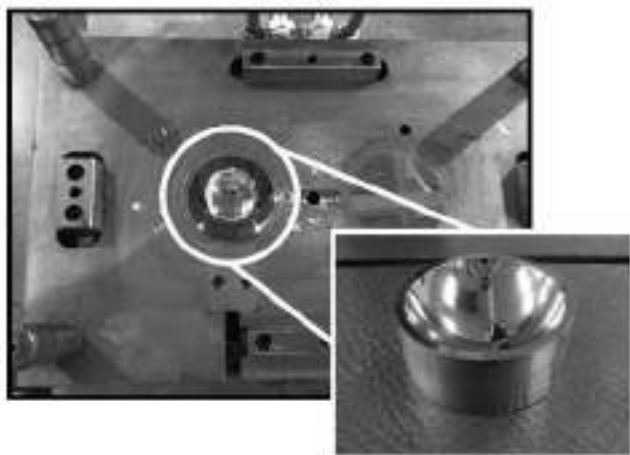


図4 作製した金型（上型側）

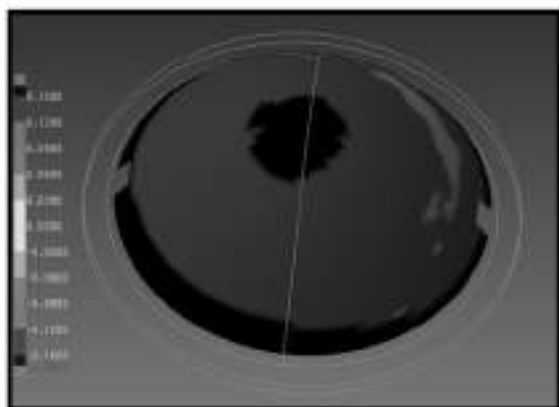


図5 取得した収縮量

最小収縮量： $-108 \mu\text{m}$ 、最大収縮量： $-185 \mu\text{m}$ 。

3.2 収縮量を見込んだ金型の三次元CADデータ作成

3.1節で取得した収縮量に基づき「見込み形状の点群データ」を作成した。また、このデータに基づき、

「収縮量を見込んだ金型の三次元CADデータ」を作成した（図6）。作成した三次元CADデータが「見込み形状の点群データ」をどの程度反映しているかを評価するため、両者の形状比較を行った。その結果誤差 $\pm 7 \mu\text{m}$ 程度であり、目標を満たす精度で三次元CADデータが作成できたことが確認された（図7）。

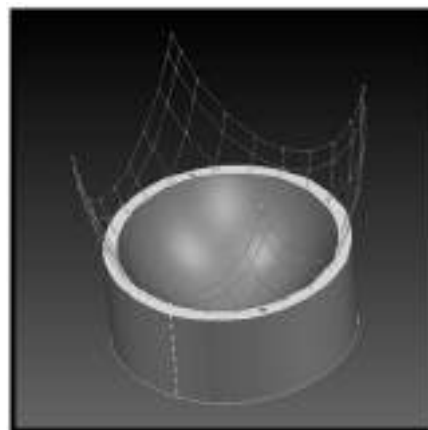


図6 「見込み形状の点群データ」に基づいた三次元CADデータ作成

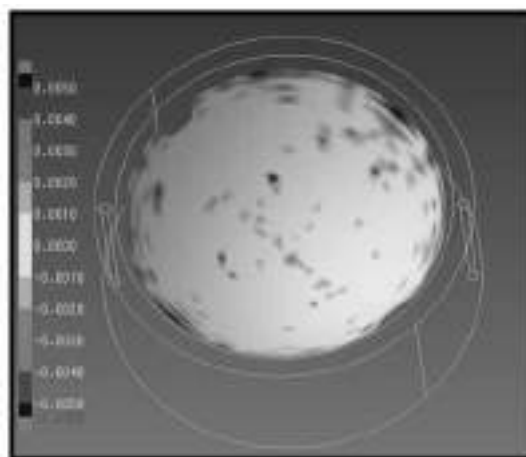


図7 作成した三次元CADデータの形状評価
最大誤差： $+6.02 \mu\text{m}$ 、最小誤差： $-7.00 \mu\text{m}$ 。

4 まとめ

今回は、レンズの成形時に生じる収縮量を見込んだ金型の三次元CADデータを作成した。今後は、作成したCADデータに基づいた金型によるレンズ成形を行い、その形状を評価することで本手法の有効性を確認する。

透明樹脂の複屈折位相差測定による熱影響の評価

機械科 志智 亘 鈴木敬明

Evaluation of thermal effect in transparent plastics using a birefringence measurement

Wataru SHICHI and Taka-aki SUZUKI

Keywords : Transparent plastics, thermal effect, birefringence.

キーワード：透明樹脂、熱影響、複屈折位相差。

1 はじめに

近年、LED光源を利用した照明モジュールの光学部品にガラスより軽量で設計自由度の高い透明樹脂が利用され始めている。しかしながら透明樹脂はガラスに比べ薬品や熱への耐性が低いものが多く、成形や加工による樹脂内部ひずみが存在すると、き裂の発生や変形が生じる可能性がある。したがって樹脂製品の設計や品質管理において透明樹脂内部の残留応力や分子配向などのひずみ情報を把握することは重要な製品の評価項目の一つである。我々は、光技術の研究・応用の一環として、透明樹脂内部のひずみ情報を可視化する光学的手法の一つである複屈折位相差（以後単に複屈折とよぶ）測定に着目している。平成25年度にはレーザー切断加工されたメタクリル樹脂板に対して、内部ひずみと溶剤によって発生するき裂（ソルベントクラック）を複屈折測定により評価した¹⁾。今回は、樹脂の熱による影響を複屈折測定により可視化を試みたので、これについて報告する。

2 方法

複屈折は透明樹脂を透過した光の偏光状態を解析することにより求めることができる²⁾。以下の2つの例について熱影響の可視化および評価を行った。

測定器はWPA-100PRO（㈱フォトニックス）を使用した。

- ① 厚さ1mmの透明なポリスチレン（PS）樹脂板に対して、熱処理（おおよそ130℃、3時間程度）前後の複屈折を測定した。
- ② 2枚の塩化ビニル樹脂板と溶接棒を加熱溶融し接合した部品（以下塩ビ溶接板）の複屈折を測定した。

3 結果および考察

図1は透明PS樹脂板の外観写真と複屈折分布である。図の濃淡は複屈折分布の大きさ、矢印は複屈折の進相軸を示す。図において、熱処理前の複屈折分布はその大きさがゲート付近で相対的に小さく、主軸はゲート付近から放射状に向いていることがわかる。次いで熱処理を行うとサンプルは大きく変形し複屈折は大きく減少した。この時、熱処理前に複屈折が大きい領域ほど軸方向に大きく収縮していることから、複屈折分布と変形には相関があることが伺える。図2に塩ビ溶接板の複屈折分布を示す。断面の接合部付近に特に高い複屈折分布が観察された。この情報は溶接の影響を反映していると考えられる。複屈折分布が溶接強度の評価指標となりえるかについては今後さらに検討していく予定である。

4 まとめ

透明PS樹脂の熱変形と複屈折分布の評価を行った結果、複屈折分布は熱変形を予想するための有用な情報になり得ると考えられる。また、塩ビ板同士の溶接における複屈折分布の評価を行った。この結果、複屈折分布は溶接の影響を反映していることが分かった。

参考文献

- 1) 志智 亘 他：透明樹脂内部ひずみの複屈折位相差測定による評価、静岡県工業技術研究所報告、第7号、29-30 (2015)。
- 2) 多田邦夫 他：第1章 電磁波論、「ヤリーヴ 光エレクトロニクス 基礎編」、原書第5版（丸善㈱、東京）pp.17-30, (2002)。

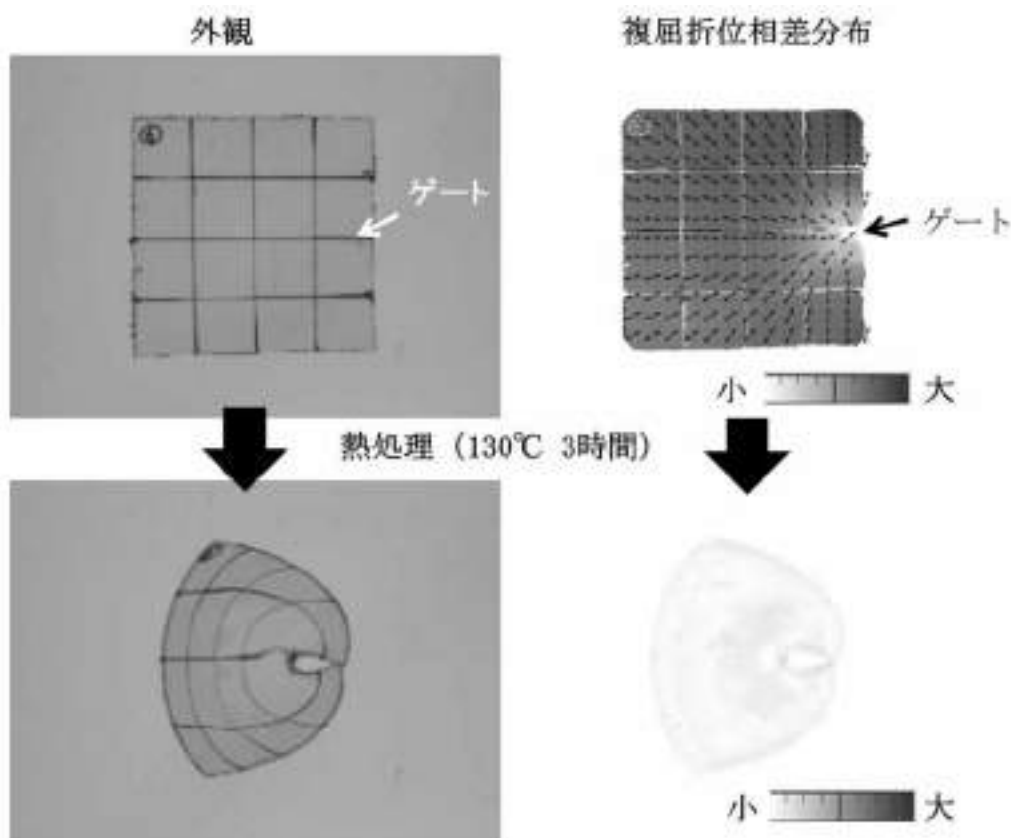


図1 透明ポリスチレン樹脂板の熱処理前後の外観と複屈折分布
複屈折分布における濃淡は複屈折の大きさ、矢印は複屈折の進相軸を示している。

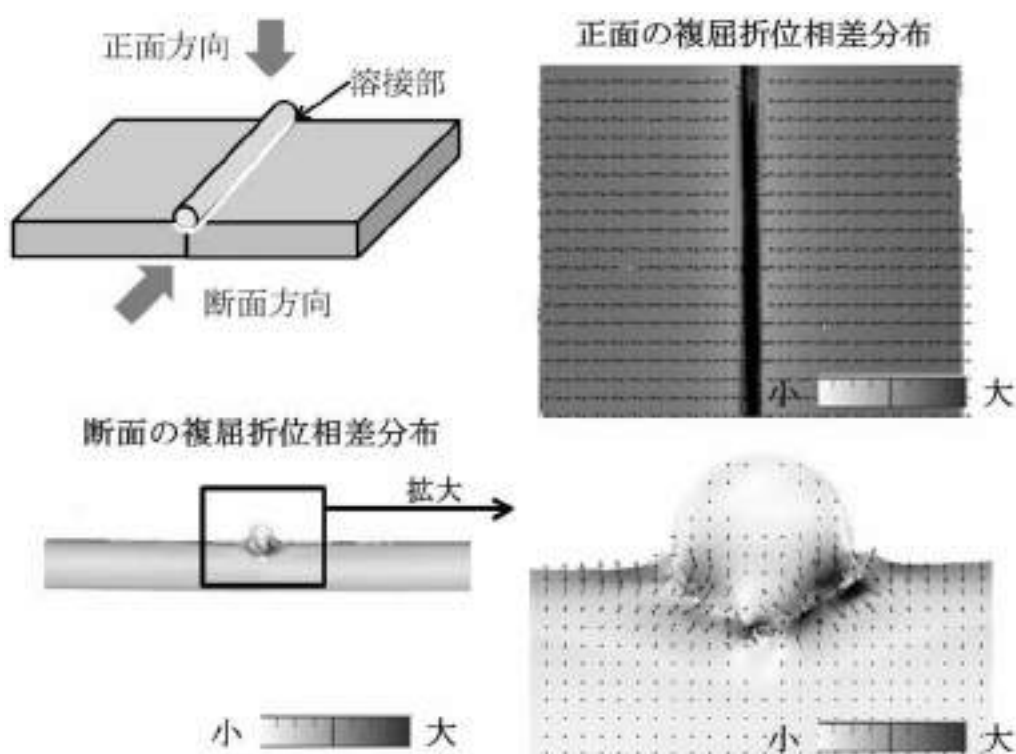


図2 塩化ビニル板同士の樹脂棒を使った溶接部品の概念図（左上図）と複屈折分布
右上図は正面方向から測定した複屈折分布で下図は断面方向から測定した複屈折分布。

無線・自立型センサモジュールの開発

— 風力発電機監視システムへの応用 —

電子科 竹居 翼 長谷川和宏 長澤 正*

Development of Sensor Module with Wireless Communication and Independent Power Source

— Application to Wind Generator Monitoring System —

Tasuku TAKEI, Kazuhiro HASEGAWA and Tadashi NAGASAWA

Keywords : Wireless communication, network, energy harvesting.

キーワード：無線通信、ネットワーク、環境発電。

1 はじめに

県内企業より、出力0.5kW程度の小型風力発電機の実稼働状況等の監視システムを開発したいとの要望を頂いた。しかし、風力発電機は可動部が多く、既存の有線式センサではデータ通信や電源供給が難しく、通信の無線化や独立した電源が必要となるなどの課題がある（写真1）。この課題解決のため、狭い空間でも自由に設置でき、メンテナンスフリーなデータ収集用センサモジュールの開発を目指した。

今回、小型軽量化や無線化により設置の自由度の向上を図ると共に、環境発電等を活用した独自電源による自立動作について検討し、試作を行った。



写真1 小型風力発電機

2 方法

今回、無線通信部品は小型かつ低消費電力であって、IEEE802.15.4規格に準拠して技術基準適合証明等取得済みの製品を選択した。太陽電池により昼間発電した電気をキャパシタに蓄え、夜間動作も可能とするため、市販の小型無線通信部品やセンサ部品と共に、駆動用電源として数cm程度の小型太陽電池や小型キャパシタを備えた温度センサモジュールを試作した。主な構成を表に示す。

このモジュールの無線通信の性能評価のため、無線送信時の消費電流、および送信機 - 受信機間の距離を変えた電波受信感度を測定した。

表 試作したセンサモジュールの主な部品構成

種別	メーカー・品名
小型太陽電池	Panasonic 製, AM8816CAR
キャパシタ	KAM 製, 電気二重層コンデンサ 5.5[V] 1.5[F]
環境発電制御部品	東京コスモス電機製, TWE-EH-S-IC
無線通信部品	東京コスモス電機製, TWE-001L-DIC-UFL
温度センサ	National Semiconductor 製, LM61CIZ

3 結果および考察

試作したモジュール（写真2）は小型太陽電池で昼間発電した電気をキャパシタに蓄え、夜間でも動作が可能である。データ送信時の動作電流を実測したところ最大18mA程度であり、動作時間は5ms程度であった（図1）。これより、キャパシタが満充電で、データ送信頻度が1回/分であれば、天候不良等でまったく充電できなくても、計算上は約10日間動作可能である。

*) 現 浜松工業技術支援センター 機械科

しかし、1回だけの送信では通信データ未着時に対処できないなど、データ通信の信頼性が低いという課題を抱えている。これは送信機 - 受信機間の相互受信確認処理などで解決できる。ただし、送信回数の増加により総消費電流も増大するトレードオフであり、センサモジュール全体の消費電流や監視対象に合わせて送信頻度を設定するなど、監視システムとしての評価結果を踏まえた調整で対応する。

距離による電波受信感度の評価では、直線見通し距離で100m程度までの変化を調べた(図2)。その結果、距離10mまでに0.001%程度へ急激に低下することがわかったが、通信可能であることを確認した。さらに、距離70m以上では0.0001%以下まで低下するが、こちらも通信可能であることを確認した。見通しが悪く、障害物が多い場所などでは通信可能距離は短くなるが、これは新たに中継機を設置するなどで対応する。

4 まとめ

小型で無線通信を行い、環境発電による無給電動作可能なセンサノードを試作した。性能評価として、無線通信距離を確認し、見通し100m程度までであればデータ通信できることを確認した。

今後は実使用環境での実証試験を通して評価改良を進め、これら問題の解決を図っていく。

謝辞

本研究を進めるにあたり御協力頂いた、株式会社マキセンササービス、およびMK技研株式会社に深く感謝いたします。

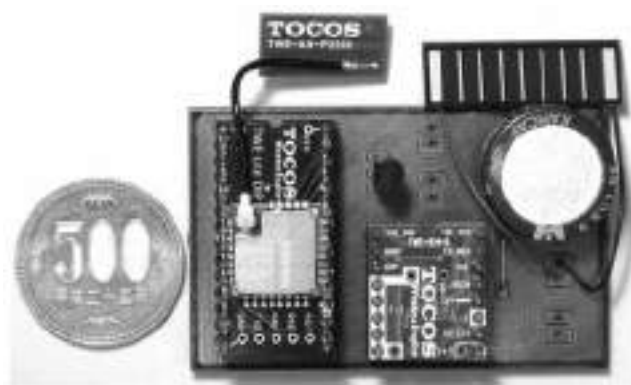


写真2 試作した温度センサモジュール

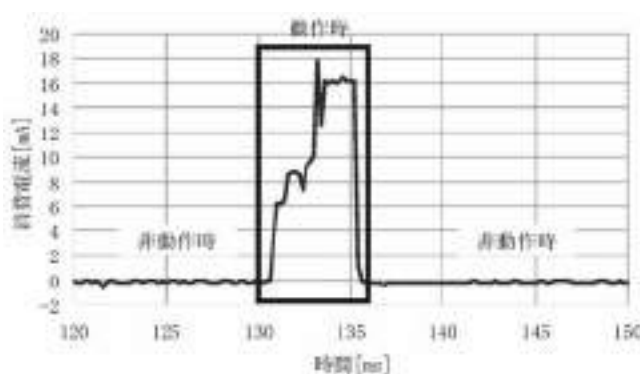


図1 データ送信時の消費電流

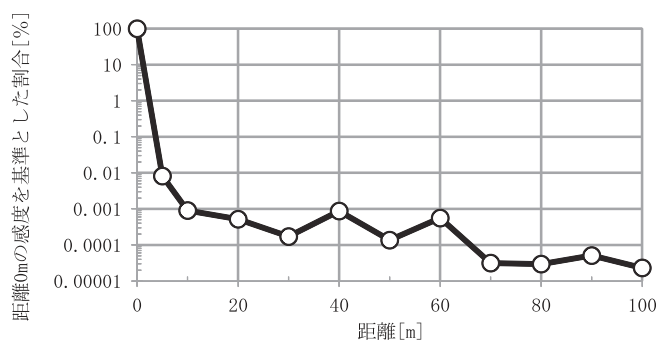


図2 距離による電波受信感度の変化

インパルス応答による残響時間計測システムの開発

電子科 上野貴康* 木野直樹

Development of reverberation time measurement system using impulse response.

Takayasu UENO and Naoki KINO

Keywords : Room acoustics, impulse response, reverberation time, TSP.

キーワード : 室内音響、インパルス応答、残響時間、TSP。

1 はじめに

最近の住宅建築は、洋風化や建築技術の進歩等により、気密性や遮音性が優れている。室内でより快適に過ごしたい、というニーズが高まっており、室内環境の中で改善したい点の一つとして「室内音」がある。この室内音の良し悪しを判断する物理量で最もよく使用されるのが残響時間である。今回、ISO 3382-1¹⁾に規定されているインパルス応答 2 乗積分法を用いて残響時間の計測を試み、その計測結果について検証したので報告する。

2 方法

Swept-sine法によりインパルス応答の計測を行った²⁾。その際、図 1 に示すようなインパルス信号を時間軸上で引き伸ばした信号 (TSP信号) を使った。計測場所は、当研究所の視聴覚室 (294m³) を利用した。視聴覚室にある舞台上に市販のオーディオスピーカーを設置し、

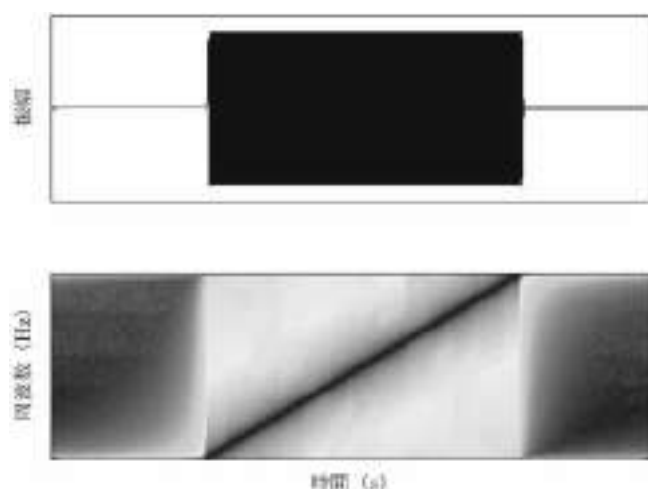


図 1 TSP信号の波形例

上図 : 信号の時間波形、下図 : 信号の時間周波数特性。
時間が増加すると周波数も増加する信号。

TSP信号を発生させて室内の中央位置にて収録した結果からインパルス応答を求めた。このインパルス応答を 500Hzから4,000Hzの周波数帯域 (オクターブバンド) ごとに 2 乗積分して得られた残響減衰曲線から残響時間を求めた。得られた残響時間の妥当性を判断するため、市販機器による計測結果と比較した。

3 結果および考察

図 2 は、視聴覚室の計測結果から得られたインパルス応答の波形例である。また、図 3 は、インパルス応答から求めた残響時間と、市販機器で計測した結果の比較である。インパルス応答から求めた残響時間は、ばらつきが少なく、市販計測機器のばらつきの範囲内であることが確認できたので、今回の計測結果は有効であると判断した。

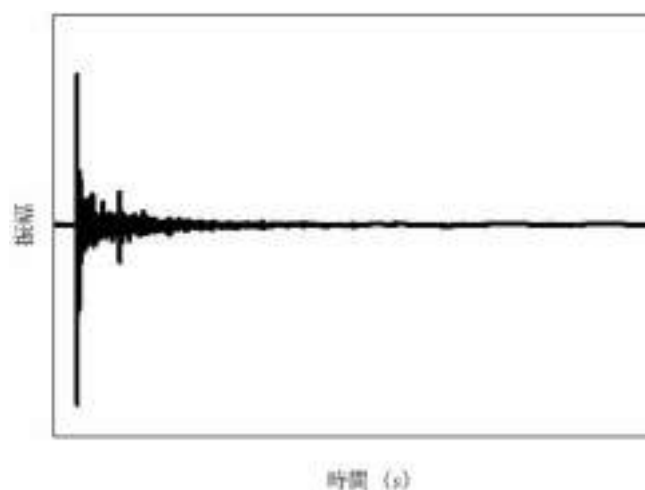


図 2 インパルス応答結果の波形例

*) 現 浜松工業技術支援センター 光科

【ノート】

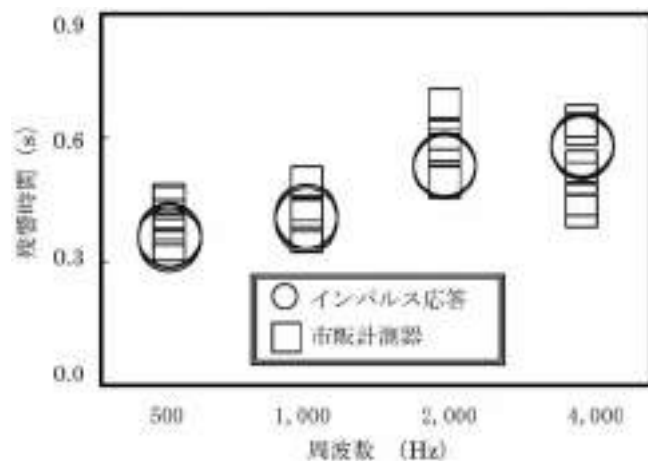


図3 残響時間計測結果の比較

4 まとめ

インパルス応答 2 乗積分法を用いた残響時間の計測を試みた結果、算出した残響時間は市販の残響時間計測機器の結果と同等の値を示し、ばらつきが少な

い良好な計測結果が得られた。インパルス応答は、室内の響き方を再現する可聴化シミュレーションに利用可能であり、今後様々な室内音の計測や響き方の再現への活用が期待できる。

謝辞

本研究を進めるにあたり御助言・御協力頂いた株式会社リデックの宇都精吾代表取締役役に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) ISO 3382-1:2009(E), Acoustics – Measurement of room acoustic parameters – Part 1: Performance spaces (2009).
- 2) 佐藤史明：室内音響インパルス応答の測定技術，日本音響学会誌，58（10），669-676（2002）.

食品廃棄物のメタン発酵

— 油前処理効率化のための油分解菌の探索 —

環境科 室伏敬太 中島大介 太田良和弘
山梨罐詰株式会社 松村英功 望月光明

Methane fermentation of food waste

— Isolation of oil degrading microorganisms for pretreatment of food waste —

Keita MUROFUSHI, Daisuke NAKASHIMA, Kazuhiro OHTARA, Hidenori MATSUMURA
and Mitsuaki MOCHIZUKI

Keywords : Methane fermentation, wastewater sludge, oil degrading microorganisms.

キーワード：メタン発酵、排水汚泥、油分解微生物。

1 はじめに

油は直接メタン発酵で処理することが難しいため、当研究所では油を予め排水汚泥と混合して微生物反応により可溶化させて、メタン発酵処理を行っている¹⁾。しかし、排水汚泥中に存在する微生物の中で油の分解に直接関与するものは一部である、排水汚泥の性状は採取した時期によって変遷する、などの問題があった。そこで、本研究では排水汚泥から油分解能力に優れた微生物を分離し、油分解微生物の培養液を用いた高速かつ安定的な油前処理手法の構築を試みた。

2 方法

2.1 油分解微生物の集積培養および油分解微生物の分離

100mL三角フラスコに、食品工場の排水汚泥45mLとダイズ油 5 mLを混合して、エアポンプで通気を行いながら、30℃で7日間振とうして集積培養を行った。培養液を適宜希釈し、LB培地にトリブチリンを添加したスクリーニング用寒天培地²⁾に塗布して30℃で4日間静置培養を行った。培地中のトリブチリンが分解され、ハローが観察されたコロニーを油分解微生物として分離した。

2.2 油分解微生物を用いた油前処理

分離した油分解微生物をLB培地で培養して、前培養液として調製した。試験管にダイズ油0.2mL、LB培地0.8mL、1Mリン酸緩衝液 (pH7.0) 0.2mL前培養液0.04mL、滅菌水2.76mLを加えて30℃で振とうさせた。反応液を定期的に採取して、残存する油をヘキサンで

抽出して重量を測定することで油分解率を算出した。

3 結果および考察

3.1 油分解微生物の分離

集積培養液をスクリーニング用寒天培地に塗布したところ、ハローを形成するコロニーが複数確認された(写真1)。コロニーを分離し、油分解微生物を16種類得た (No.1～No.16と命名)。

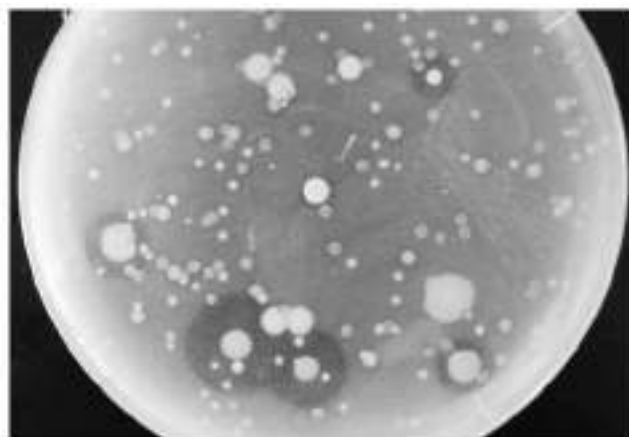


写真1 スクリーニング用寒天培地上に形成したコロニー

3.2 油分解微生物を用いた油前処理

分離した16種の油分解微生物を用いたダイズ油分解試験の中で代表的なものを図1に示す。油の分解が確認されなかった微生物 (No.8) も存在したが、7日間の処理で油分解率が70%を超える微生物 (No.3) を得ることができた。前処理開始時はダイズ油が上部に分離していたが、処理開始から4日目以降ではNo.

3の微生物培養液を添加した系では油層は消失して白濁した懸濁液の状態となった（写真2）。排水汚泥を用いた従来の手法では7日間で油の分解率は約30％であることから¹⁾、本研究で分離した油分解微生物は油前処理に有望であることが示唆された。今後は、微生物の同定試験および動物性油脂の油分解試験を行い、油前処理に適した微生物を選抜する。

4 まとめ

食品工場の排水汚泥より、油分解能力を有する微生物を16種分離した。これらの油分解微生物は、排水汚泥を用いる従来の手法よりも効率的な油前処理が可能であることを確認した。

参考文献

- 1) 酒井奨 他：中温メタン発酵のための廃食用油の前処理法の開発．第24回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集，p.401-402，北海道（2013）．
- 2) 松村英功 他：コンポスト化過程における油分の分解と油分解菌*Geobacillus pallidus* L33-1株の単離．廃棄物資源循環学会論文誌，22(2)，pp.141-148（2011）．

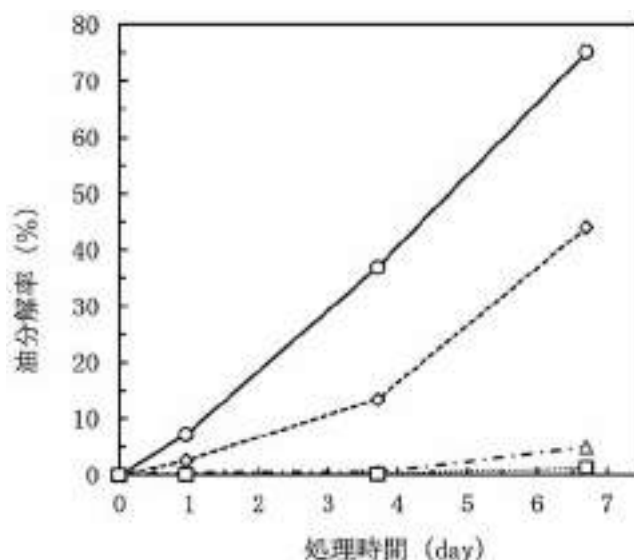


図1 分離した微生物を用いたダイズ油分解試験

○：No.3添加、△：No.8添加、◇：No.15添加、□：添加なし。

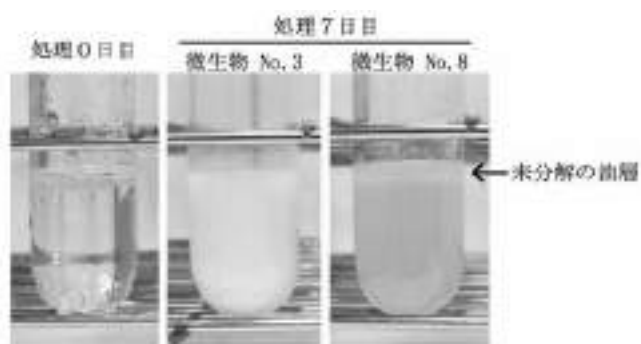


写真2 油分解微生物処理によるダイズ油の変化

県内企業等の3Dプリンタの利活用に関する意識について

企画調整部企画調整班 大川勝正 志田英士 齊藤和明* 矢嶋 雅

The corporation's consciousness research on the application of 3D printer within shizuoka prefecture

Katsumasa OHKAWA, Eiji SHIDA, Kazuaki SAITO and Masashi YAJIMA

Keywords : 3D printer, shizuoka prefecture.

キーワード：3Dプリンタ、静岡県。

1 はじめに

国際分業体制が構築されるなか、2013年度版ものづくり白書では、3Dプリンタなどの登場によりデジタルものづくりが進み、製造業の競争激化を予想している。一方、静岡県のものづくりは、製造品出荷額で全国平均を大きく上回る減少率を示し、基盤技術系の企業の衰退が深刻であり、新成長分野への新事業展開が期待される。これらの背景を踏まえ、3Dプリンタを始めとした工業技術研究所のデジタルものづくりへの支援方策を検討するため、県内企業等の状況を調査することとした。

2 方法

県内企業等が3Dプリンタを利活用する上で必要な情報として表1に示す内容を調査することとした。

平成25年11月から平成26年3月にかけて開催した3Dプリンタの利活用に係るセミナー等で参加者にアンケート調査した。なお、調査に際して、アンケートの統計情報、コメントについては企業・個人が特定されない範囲で一般に開示することがあることを予め通知して

ある。

3 結果および考察

3.1 回答者の基本情報と所有、計画、意向および工業技術研究所での活用希望

回答者の基本情報は、図に示す。

回答者の3Dプリンタについて所有、計画、意向および工業技術研究所での活用希望の有無等については、表2に示す。回答者の2割程度は3Dプリンタを所有しており、1割以上が導入を計画していた一方、導入したいという意向は4割を超えていた。このような状況から工業技術研究所での利活用の希望が多かったものと推察される。

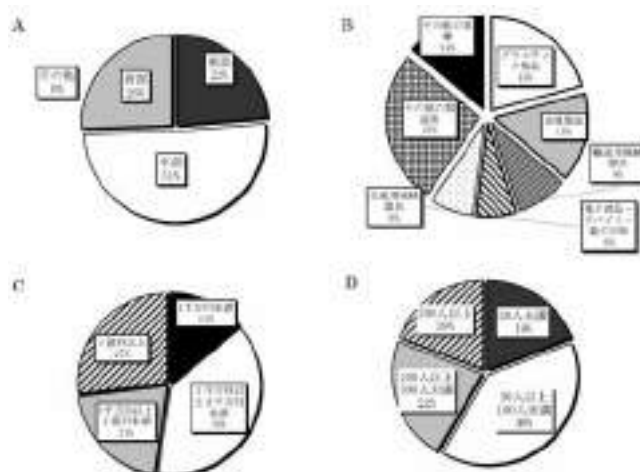


図 回答者の基本情報

A：主な事業所所在地、B：業種、C：資本金、D：従業員数。A及びBは複数回答有り。

3.2 利活用のメリット、目的、分野および技術的課題

3Dプリンタ利活用におけるメリット、目的および分野については表3、技術的課題については表4にそれ

表1 3Dプリンタ調査内容

項 目	内 容
回答者	事業所所在地、業種、資本金、従業員数
所有、計画、意向及び工業技術研究所での活用希望	樹脂・電子・機械(金属材料)、インクジェット、光造形、樹脂積層造形、その他
利活用の目的	外観確認、プレゼン用モデル、機能モデル、試作・アセンブリ確認、型及び試作型、鋳造型、製品、ダイキャスト品、生産、教育・研究、その他
利活用の分野	自動車、航空宇宙、産業用機械、コンシューマ・電気機器製品、医療・歯科、教育、行政・軍事、建設、その他
メリットの有無及びこの内容	工程短縮、工費削減、試作・開発期間の短縮、コスト削減、小ロット対応、カスタムオーダー対応、CADデータ等従来設備の廃止、製品形状の複雑抽出、設計の最適化
技術的課題の有無及びこの内容	設計(CADデータの)、ソフトウェア、材料、造形、評価、人材、その他
研究会参加の意向	—

*) 現 富士工業技術支援センター 製紙科

表2 3Dプリンタの所有、計画、意向および工業技術研究所での活用希望

調査項目	あり	種 型				なし	合計
		レーザー/電子ビーム (金属材料)	インクジェット	光 造 形	溶融積層造形		
所有	(数又は保有台数)	37	13機	8機	27機	136	173
	(%)	(21.4)	—	—	—	(78.6)	(100.0)
計画	(数)	22	8	5	15	151	173
	(%)	(12.7)	(4.6)	(2.9)	(8.7)	(87)	(100.0)
意向	(数)	72	27	23	17	35	173
	(%)	(41.6)	(15.6)	(13.3)	(9.8)	(20.2)	(100.0)
工業技術研究所での活用希望	(数)	115	65	38	37	44	169
	(%)	(68.0)	(38.5)	(22.5)	(21.9)	(26.0)	(100.0)

* 所有の種類については、所有台数を示す。計画、意向及び工業技術研究所での活用希望は、複数回答可。また、合計数は、未回答者があるため回答者の総数と一致しない。

表3 3Dプリンタの利活用のメリット、目的および分野

A メリット										
あり	メリットの内容									なし
	工程短縮	工費短縮	試作・開発期間の短縮	コスト削減	小ロット対応	おののけ対応	3Dデータ等煩雑なデータの取り扱	製品形状の複雑化	設計の最適化	
150	35	26	108	23	39	29	0	50	42	18
(89.3)	(20.8)	(15.5)	(64.3)	(13.2)	(23.2)	(17.3)	(0.0)	(29.8)	(25.0)	(10.7)
B 目的										
外観確認	プレゼン用モデル	機能モデル	組立・アセンブリ確認	量産の試作型	開発型	型取型	3Dデータ取り出し	教育・研究	その他	なし
	(n=168)									
61	54	40	40	49	7	18	17	21	6	
(36.1)	(32.0)	(23.7)	(23.7)	(29.0)	(4.1)	(10.7)	(10.1)	(12.4)	(3.6)	
C 分野										
自動車	航空宇宙	産業機械	セラミックス・電子機器部品	医療・歯科	教育	行政・福祉	建築	その他	なし	合計
59	7	38	42	36	13	3	7	17		
(34.9)	(4.1)	(22.5)	(24.9)	(21.3)	(7.7)	(1.8)	(4.1)	(10.1)		

* A、B、Cは、全て複数回答可。また、()内は、%を示す。

表4 3Dプリンタの技術的課題

あり	技術的課題の内容								なし	合計
	設計	ソフトウェア	材料	設備	人材	その他	その他	その他		
80	30	22	43	18	19	23	9	88		168
(47.6)	(17.9)	(13.1)	(25.6)	(10.7)	(11.3)	(13.7)	(5.4)	(52.4)		(100.0)

* 複数回答可。また、()内は、%を示す。

それぞれ示す。回答者のおよそ9割は3Dプリンタ利活用にメリットがあると考えており、特に試作・開発期間の短縮に期待している結果となった。また、利用目的としては外観確認などRapid Prototyping 法に関するものが多かったが、今後はダイレクト部品生産などRapid Manufacturing 法に関するものも増加すると考えられる。さらに、半数近くの回答者が「技術的課題がある」と考えていた。具体的には、材料や設計に関する技術的課題が多かった。

4 まとめ

県内企業等の3Dプリンタの利活用に関する意識について調べたところ、調査回答者のおよそ9割が3Dプリンタにメリットがあると考えており、特に試作・開発期間の短縮が多かった。利用目的としては、外観確認などが多かったが、今後はダイレクト部品生産等へも期待がかかる。技術的課題としては、材料、設計などがあげられた。

謝辞

アンケート回答者、セミナー講師、調査にご協力頂いた県内支援機関等の皆様方に深く感謝いたします。

Self-scrolling ability of differentially acetylated chitosan film

Yukie SAITO, Valeriy Luchnikov, Ayano INABA and Katsuhito TAMURA

表裏に反応率勾配を持つアセチル化処理を行ったキトサンフィルムの自己ローリング能力

東京大学大学院農学研究科

フランス国立科学研究センター・ミュールーズ物質科学研究所

化学材料科

斎藤幸恵

ヴァレリー・ルシュニコフ

稲葉彩乃* 田村克浩

Carbohydrate Polymers 109 (2014) 44-48

Keywords : Chitosan, Acetylation, self-scrolling, FT-IR, ATR-IR

キーワード : キトサン、アセチル化、自己ローリング、FT-IR、ATR-IR

ガラススライド上にキャストしたキトサンフィルムは、無水酢酸蒸気にさらすことにより、空気側表面が優先的にアセチル化されることから、フィルム内部でアセチル化反応率の勾配が生成する。両表面のアセチル化率の違いは、はがしたフィルムの全反射吸収赤外スペクトルによって確認した。このフィルムを水につけることにより、アセチル化が高い表面は水を吸収しないため、(表裏で)異なる膨張が起こり、結果として内部に曲げ

モーメントを生じ、自己ローリングを引き起こした。

薄いフッ化水素酸水を用いると、マイクロメートル程度の厚さのフィルムが剥がれながら同時にローリングし、きつく巻かれたキトサン・マイクロチューブが生成した。この単純な自己ローリングのメカニズムは、いろいろな天然ポリマーを利用したマイクロスケールデザインに適用できる可能性を秘めている。

*) 現 経済産業部商工業局新産業集積課

Effect of Spectral Characteristics of Metameric Illuminant on Glare Perception

Toshihiro TOYOTA, Taka-aki SUZUKI, Wataru SHICHI, Takashi FUNAI and Tsuyoshi MANO

等色照明光の分光特性とその強度がまぶしさ感に与える影響

機械科 豊田敏裕 鈴木敬明 志智 亘 船井 孝 真野 毅

Proceeding of the 14th International Symposium on the Science and Technology of Lighting, 513-516 (2014)

Keywords : Discomfort glare, Spectral characteristics, LED

キーワード : 不快グレア、分光特性、LED

近年、LEDや有機ELに代表される固体照明光源の急速な普及に伴い、そうした光源に対するまぶしさが問題となっている。その原因は様々考えられるが、本研究では、固体照明光源の分光特性が従来光源とは大きく異なることに着目し、見た目には同じ白色に見えるが、分光特性が異なる等色照明光下において、感じられるまぶしさが変化しうるかを主観評価実験により検討した。

等色照明光は昼光色（色温度6,500K相当）とし、複数の単色光に重みをつけ、それらを足し合わせることで設計した。まぶしさ評価を実施した照明は、2つの単色光の組み合わせについて2種類、3つの単色光の組み合わせについて3種類、可視光の波長域（430nm～620nm）の成分を均等に含む分光特性1種類の計6種類とした。

まぶしさ評価実験は暗室で行い、6種類の照明光を、任意の分光特性の出力可能な光刺激装置を用いてランダムに提示し、その光を直視させて、まぶしさを9段階評価させた。なお、被験者は色覚正常な成人男性3名とした。

実験の結果、提示した6種類の照明光は、見た目には同じ明るさの昼光色であるにもかかわらず、まぶしさの感じ方に違いがみられた。

また、まぶしさ感は照明の物理的な明るさ（輝度）にも依存するため、照明の輝度を変化させて分光特性の影響を調査した。その結果、照明の明るさによらず、まぶしさの分光特性に対する依存性が確認された。

こうした結果は、照明のまぶしさ評価においては、分光特性も考慮する必要があることを示している。

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

微生物由来の脱水素酵素遺伝子のクローニングと発現

バイオ科 太田俊也 高木啓詞 飯塚千佳世

Cloning and expression of the gene encoding for the dehydrogenase gene from microbe in *E.coli*

Toshiya OHTA, Hiroshi TAKAGI and Chikayo IIZUKA

Keywords : Dehydrogenase, enzyme cycling method, cloning.

キーワード：脱水素酵素、酵素サイクリング反応、クローニング。

1 はじめに

伊藤らは新規な酵素基質を用いた酵素サイクリング反応を開発している^{1,2)}。我々研究グループではこの方法を基とした開発を進めてきた。しかしながら、実用化には様々な課題が有り、その一つが当該酵素基質を触媒する脱水素酵素（以下「酵素」とする）の高度精製品をローコストで生産することである。そこで、その一環として本酵素遺伝子をクローニングしたので技術紹介として報告する。

2 方法

2.1 遺伝子

微生物由来の当該酵素をコードする約1000bp（DNA配列情報は示さない。）を基に、民間企業に人工遺伝子合成を委託し、元の配列で大腸菌が扱いにくいコド

ンは、扱いやすいコドンに変換したDNAとして作製した。

2.2 クローニング

合成したDNAを鋳型に当該酵素の全長を、制限酵素サイトを付与するためのプライマーで増幅した。ベクターpUC118に増幅物をライゲーションし、大腸菌JM109へ導入して形質転換発現ベクターpET20bにサブクローニングした（図1）。

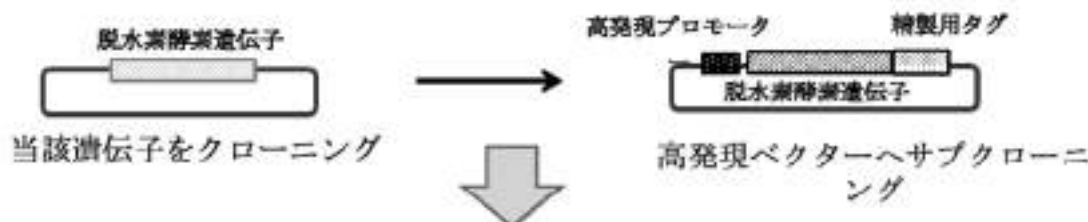
2.3 発現確認

発現は常法³⁾により、LBa培地を用いて37℃で振とう培養し、600nmの濁度が0.6程度になったところで、イソプロピル-β-チオガラクトピラノシド（IPTG）を終濃度が0.5mMとなるように加え、一昼夜培養することを基本とし、培養条件を検討した。

2.4 精製

精製は、C末端側付加したHis×6配列を利用し、

① 当該遺伝子のクローニング



② 大腸菌への遺伝子導入、発現・精製

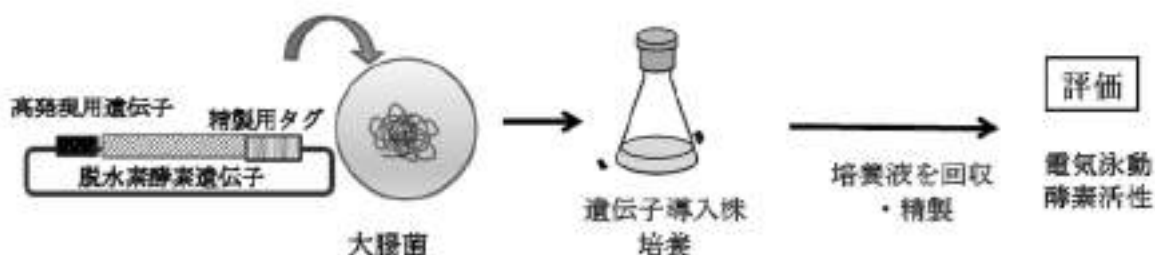


図1 遺伝子クローニングの概要

ニッケル磁性ビーズ (Mag Extractor : 東洋紡) を用いた。精製品の純度等の確認は、SDS-PAGE電気泳動で行った。

2.5 酵素活性

酵素基質にNAD及び精製酵素液を加えることで生成するNADHの340nmの吸光度測定により確認した。

3 結果および考察

培養温度と培養時間を検討したところ、37℃、5時間では、ほとんどが不溶性のタンパク質となっていた。そこで、20℃、20時間としたところSDS-PAGE電気泳動での目的のバンドである30kDa付近に可溶性タンパク質が確認された。次に、ニッケル磁性ビーズを用いてイミダゾールを含む溶出溶液の組成濃度を変えて溶出したところ、50-100mM程度の濃度条件でほぼ単一のバンドとして得られた (図2)。また、酵素活性は精製後も維持されていた。ただし、回収量等に改善の余地はあるので今後の課題としたい。

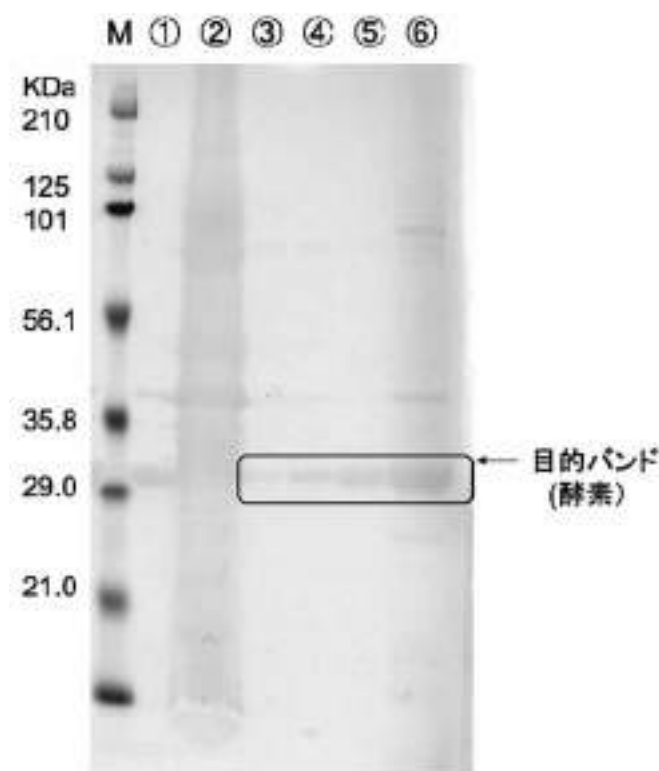


図2 SDS-PAGE電気泳動

M : 分子量マーカー

①不溶性

②未精製

(③-⑥精製物)

③約25mM溶出

④約50mM溶出

⑤約100mM溶出

⑥約500mM溶出

4 まとめ

微生物由来の脱水素酵素を大腸菌コドンに変換し、人工遺伝子合成を活用することで、クローニングした。発現条件は、培養温度20℃が良く、His×6を用いた精製ではSDS-PAGE電気泳動でほぼ単一のバンドとして確認された。また、精製後も酵素活性が維持されていた。

謝辞

本研究は、科学技術振興機構／先端計測「超高感度簡易迅速感染症診断システムの開発」(研究代表徳島文理大学伊藤悦朗教授の元に民間企業2社と平成25年度末まで実施した研究)を補完し、コスト面も含めて実用化を実現することを目的として実施しました。協力頂いた関係者に感謝いたします。

参考文献

- 1)伊藤悦朗：タンパク質および核酸の超高感度測定法. 特許第5500985号、WO2008117816 A1、(優先日 2007.3.28)
- 2)伊藤悦朗：タンパク質および核酸の超高感度測定法およびキット、並びに新規な酵素基質. 特許第5265816号、WO2012128338 A1、(優先日2011.3.23)
- 3)Novagen : pET system Manual, (メルク社発行), pp.33-50, (2005)

手術支援ロボットの要素技術の研究開発（第2報）

— 水素吸蔵合金を用いたソフトアクチュエータの試作 —

機械電子科

工業技術研究所 電子科

独立行政法人産業技術総合研究所*

鬼久保郁雄 本多正計 細野美奈子

竹居 翼

井野秀一 榎 浩司

Development of base technology for medical robotic device (2nd Report)

— Prototype of a soft actuator applying hydrogen absorption alloy —

Ikuo ONIKUBO, Masakazu HONDA, Minako HOSONO, Tasuku TAKEI, Shuichi INO and Kouji SAKAKI

Keywords : Soft actuator, hydrogen absorption alloy, medical robotic device.

キーワード：ソフトアクチュエータ、水素吸蔵合金、医療・介護用機器。

1 はじめに

ファルマバレープロジェクトを推進するため、医療現場のニーズを踏まえて、手術室・病室のロボット化に応用できる要素技術について研究開発を行っている。

平成26年度は、前年度に得られた医療現場のロボット化に対するニーズを踏まえ、手術室で発生する医療関連機器圧迫創傷の予防システムの要素技術として、水素吸蔵合金（以下、MH合金）を利用した無騒音・無振動で柔らかい出力が可能なソフトアクチュエータの研究開発を行った。

2 方法

2.1 ソフトアクチュエータの動力源部分及び駆動部の設計製作

MH合金は、冷却・加熱により水素を可逆的に吸蔵・放出できる特性を持つ¹⁾。水素の吸蔵・放出は化学反応であることから、MH合金は無騒音かつ無振動で駆動可能なポンプのような役割を果たすことが可能である。本研究では、ソフトアクチュエータの動力源としてMH合金を封入する容器をアルミ合金で製作した（写真1）。

ソフトアクチュエータの駆動部は、緩衝性のある柔らかい出力を実現するため、アルミラミネートフィルム製のベローズ（直径50mm）とした（写真2）。

2.2 ソフトアクチュエータの駆動実験

製作した動力源及び駆動部を組み合わせるとソフトア

クチュエータを構成し、その動作特性を評価した（図1）。実験では、MH合金（ $\text{Ti}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{Mn}_{0.8}\text{V}_{0.2}\text{Ni}_{0.9}\text{Al}_{0.1}$ ）1gを容器に封入し、恒温槽を用いて容器の冷却・加熱を行った。このとき水素ガスの吸蔵・放出によって収縮・伸長するベローズの出力からソフトアクチュエータを評価した。実験ではMH合金の封入容器とベローズを配管で接続し、MH合金の温度変化及び配管内の圧力変化、ベローズの出力を、それぞれ熱電対及び圧力センサ、フォースゲージによって計測した。

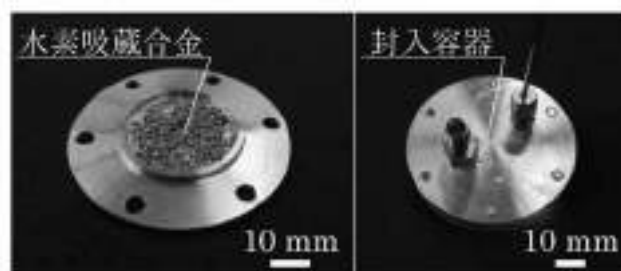


写真1 水素吸蔵合金および封入容器

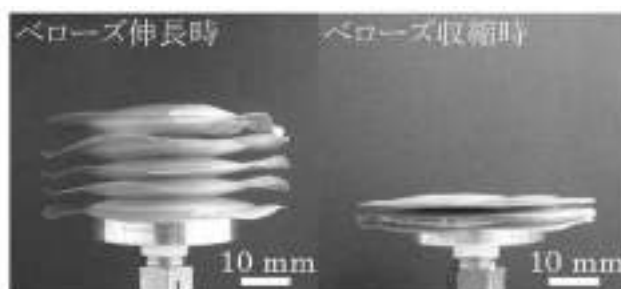


写真2 製作したソフトベローズ

*) 現 国立研究開発法人産業技術総合研究所

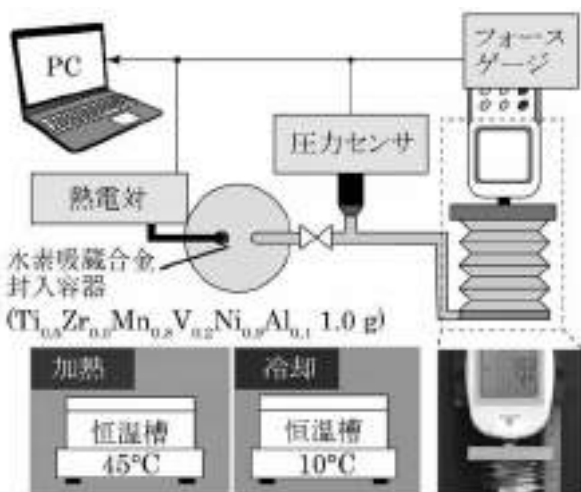


図1 アクチュエータの動作特性評価用セットアップ

3 結果および考察

MH合金の温度変化及びその時の配管内の内圧変化、ペローズの出力をグラフに示す（図2）。恒温槽によりMH合金1gの温度を約10℃から40℃付近まで冷却・加熱した結果、MH合金に吸蔵された水素が放出され、配管内の圧力が上昇して最大約20Nのペローズ出力が得られた。また、この動作は繰り返しが可能であることが確認できた。さらに、市販の圧力分散マットレス等の分散周期が10分程度であることから、開発したソフトアクチュエータは医療関連機器圧迫創傷の予防システムに利用する上で必要とする速度を実現可能であることが分かった。

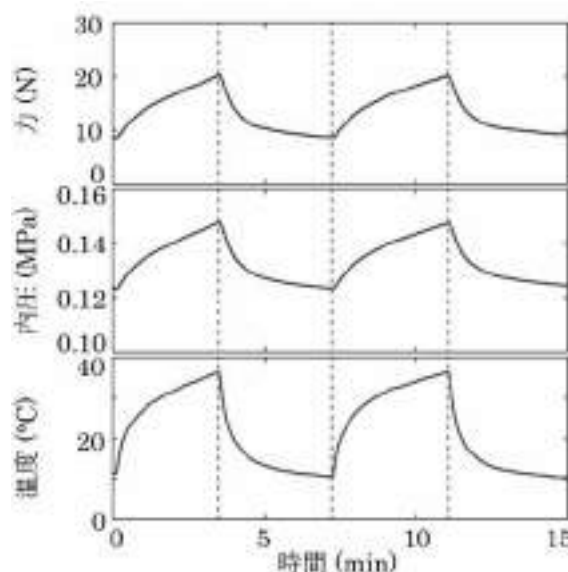


図2 アクチュエータ駆動時の温度および内圧、ペローズ出力の変化

4 まとめ

MH合金を利用した無騒音・無振動で柔らかな出力が可能なソフトアクチュエータを試作し、その動作特性を計測した。その結果、MH合金1gを用いたソフトアクチュエータによって、10℃から40℃程度の温度変化範囲で約20 Nの出力が可能であることを確認し、医療関連機器圧迫創傷への応用可能性を示した。

参考文献

- 1) 大角泰章：水素吸蔵合金 - その物性と応用 - ，新版（(株) 東京技術協会），pp. 14-19 (2008)。

リン酸塩処理槽内加熱ヒータへのスケール付着抑制に関する研究（第1報）

機械電子科 橘川義明 小泉雄輔 鬼久保郁雄

Study on composition analysis and inhibition method of scale growth on surface of heater in phosphate treatment (1st Report)

Yoshiaki KITSUKAWA, Yusuke KOIZUMI and Ikuo ONIKUBO

Keywords : Phosphate coating, chemical conversion coating, scale.

キーワード：リン酸塩処理、化成処理、スケール。

1 はじめに

リン酸塩処理は表面処理の一種で防錆や塗装の下地処理を目的として使用されている。ヒータにより処理槽を加温しているが、ヒータ表面にスケールが付着することでヒータの熱効率低下やスケール除去作業の労働負担等が課題となっている。そこでスケール組成の分析とスケール付着を抑制するヒータの開発について研究した。本誌ではスケールの元素分析と組成分布状態の測定結果を報告する。

2 方法

2.1 リン酸処理槽の反応物

組成物の推定のため、リン酸塩処理において生成する反応物について文献調査¹⁾した。(図1)

2.2 元素分析

ヒータに付着したスケールをメノウ乳鉢でよくすりつぶし、すりつぶした粉体を内径15mm、厚さ4mmの加圧成形用リングに入れ、555MPaを1分間かけることで粉体を固めた。このサンプルを蛍光X線分析装置3270(株リガク製)で分析を行った。

2.3 元素分布状態の測定

ヒータに付着したスケールを樹脂に埋め込み研磨を行った。研磨したスケールをEDS付き走査型電子顕微鏡JSM-6010LA(日本電子(株)製)で、組成像による観察を行った。

3 結果および考察

蛍光X線による分析の結果を表、EDS付き走査型電子顕微鏡による分析の結果を図2に示す。これらの結果から4種類の化合物の相と組成元素を確認できた。図1に示した反応式と結果を見比べると $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ や $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ や $\text{Zn}_2\text{Ca}(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ が推察された。今後、X線回折分析装置等を使用し定性を行っていく

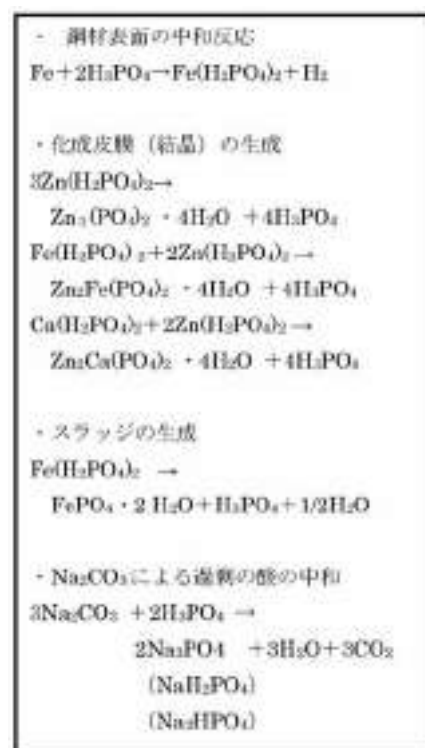


図1 リン酸亜鉛カルシウム処理

表 スケールの組成分析

元素	Na	Al	Si	P	S	Ca	Mn	Fe	Zn
mass%	5.0	0.1	1.0	26.0	0.1	5.0	1.0	10.0	26.0
	～	未満	未満	～	未満	～	未満	～	～
	8.0			28.0		15.0		35.0	38.0

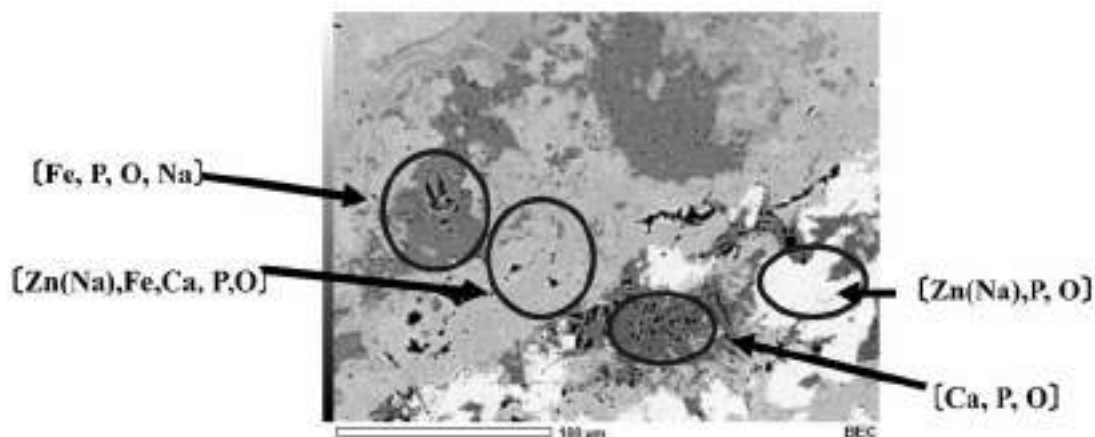


図2 スケール断面の元素分布

予定である。

4 まとめ

リン酸塩処理槽を加温しているヒータ表面にスケールが付着することでヒータの熱効率低下やスケール除去作業の労働負担等の課題がある。そこで、スケール付着を抑制できるヒータの開発を行うため、今年度はヒータに付着したスケールを蛍光X線分析装置EDS付き走

査型電子顕微鏡を用いて分析した。その結果、スケールには少なくとも4種のリン化合物が含まれていることが推察された。

参考文献

- 1) 湯浅真：高機能表面処理皮膜の成膜機構：各種化成処理の成膜機構とその特性．表面科学, 22(2), 122-127 (2001).

振動刺激条件の相違が運動錯覚の誘発と知覚量に及ぼす影響

機械電子科	本多正計
名古屋大学大学院	唐川裕之
名古屋大学大学院	赤堀晃一
静岡理工科大学	宮岡 徹
名古屋大学大学院	大岡昌博

Effects of Different Vibration Stimulus Conditions on Inducing Kinesthetic Illusion and Perceived Intensity

Masakazu HONDA, Hiroyuki KARAKAWA, Koichi AKAHORI, Tetsu MIYAOKA and Masahiro OHKA

日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 第19巻, 第4号, 457-466 (2014)

Keywords : Kinesthetic illusion, haptic interface, stimulus threshold, magnitude estimation

キーワード：運動錯覚、ハプティックインタフェース、刺激閾値、マグニチュード推定法

運動錯覚現象の工学的な応用を加速させるためには、錯覚現象の自在な誘発と制御を可能とする振動刺激条件の確立と体系化が必要である。本研究では、そのための第一段階として、複数の振動刺激条件項目の中から周波数と振幅および接触子の押し込み力の三つの項目に着目し、これら条件項目における設定値の相違が、運動錯覚現象の二つの重要な知覚特性に及ぼす影響について、心理物理実験を通して明らかにした。

一つ目の知覚特性である錯覚を誘発させる刺激閾値については、接触子の押し込み力が1.5N以下であれ

ば押し込み力の影響を受けにくく、刺激の振幅を加速度次元で評価した場合、50Hzから90Hzの振動刺激範囲内では 40m/s^2 から 50m/s^2 付近に、変位次元で評価した場合、70Hzから90Hzの振動刺激範囲内では0.15mmから0.2mm付近に存在することが明らかとなった。

二つ目の知覚特性である静的錯覚量については、押し込み力0.3N時の50Hzと70Hzの振動刺激が運動錯覚を鮮明に誘発させられることができ、その振動刺激条件では、加速度を増加させることで静的錯覚量を増加させられることが明らかとなった。

卓上型運動錯覚誘発・評価装置の開発

機械電子科	本多正計
名古屋大学大学院	唐川裕之
名古屋大学大学院	赤堀晃一
静岡理工科大学	宮岡 徹
名古屋大学大学院	大岡昌博

Development of a desktop inducing and evaluation system of kinesthetic illusion

Masakazu HONDA, Hiroyuki KARAKAWA, Koichi AKAHORI, Tetsu MIYAOKA and Masahiro OHKA

日本機械学会論文集, 第80巻, 第820号, 1-12 (2014)

Keywords : Kinesthetic illusion, neuro - rehabilitation, system design, stimulation threshold, hemiplegic stroke

キーワード : 運動錯覚、ニューロリハビリテーション、システムデザイン、刺激閾値、脳卒中片麻痺

運動錯覚現象を応用することで、小型振動提示デバイスを麻痺肢腱上の皮膚に貼り付けるだけで運動機能訓練が行える、シンプルかつ安価なリハビリテーションシステムの実現が可能となる。しかしそのためには、同現象の知覚特性を詳細に調べ上げ、運動錯覚現象の自在な誘発と制御を可能にする振動刺激条件の確立と体系化が必要不可欠である。

本研究では、運動錯覚現象の各種知覚特性を調べるために必要な、振動刺激量の制御とモニタリングを可能とする卓上型運動錯覚誘発・評価装置を開発した。また、開発装置を使い、右手橈側手根屈筋 (FCR) 腱を単独刺激した時の手関節伸展方向の運動錯覚誘発実験を5名の実験参加者 (健常者) に対し

て実施し、開発装置の有効性の確認と錯覚を誘発・制御させるための振動刺激条件の蓄積を図った。

その結果、開発装置では腱への押し込み力が1.5N以下であれば、50Hzから300Hzまでの周波数範囲で最大 100m/s^2 の振動刺激を腱に提示でき、この周波数範囲内であれば、腱にかかる実加速度を振動提示デバイス内部の加速度センサでモニタリング可能であることが判明した。また、加速度 40m/s^2 以上の50Hzから90Hzの振動刺激で、全ての実験参加者に運動錯覚の誘発が確認され、本開発装置の知覚特性評価装置としての有効性とFCR腱を単独刺激した時の錯覚誘発刺激閾値が明らかとなった。

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

ドライトナー印刷物の古紙原料への混入の影響評価

製紙科 深沢博之、山口智久、鈴木悠介*

The properties of recycled paper by mixing dry toner printings into recovered paper

Hiroyuki FUKASAWA, Tomohisa YAMAGUCHI and Yusuke SUZUKI

The ratio of digital printings, which include toner and inkjet printings, in commercial printing market has increased rapidly in recent years. So, the increase of digital printings in recovered paper will be inevitable in the near future, and there are fears that this may cause the trouble on recycling process in paper mills, e.g. growth of effluent, dirt spot increase and brightness decline of recycled paper.

In this report, we worked out the influence on the properties of recycled paper by mixing dry toner printings into recovered paper. Moreover, we proposed the effective manufacturing process to avoid the deterioration of recycled paper.

Keywords : Digital printing, dry toner, recycled paper, recovered paper.

キーワード：デジタル印刷、ドライトナー、再生紙、古紙。

1 はじめに

循環型社会形成に向けて各種取り組みが進む中、日本製紙連合会は2015年度の古紙利用率の努力目標を64%とし、さらなる古紙利用拡大を目指している¹⁾。しかし、雑誌古紙や印刷工場から発生する損紙などの古紙は、粘着物や特殊インキなど古紙利用時の阻害となるものが含まれることがあり、製品品質に対する要求の高い印刷・情報用紙へのリサイクルが十分に進んでいるとは言い難い²⁾。古紙利用率向上のためには印刷資材のリサイクル性向上が必要であり、(公財)古紙再生促進センターと(一社)日本印刷産業連合会は、平成11年度から様々な印刷資材の紙へのリサイクル適性向上を目指して検討を行っている。この取り組みでは、当センターの他に製紙、印刷、インキ製造、出版など各社が参画し、業界全体でリサイクル性向上のための仕組み作りを行なっている。これまでに、接着剤や特殊インキなどについて、リサイクル性を評価するための標準試験法の開発や紙へのリサイクル可否を判断するための評価基準を定めて、リサイクル性の高い製品作りに寄与するなど成果があがっている³⁾。

従来、商用印刷分野においては、オフセット印刷が多数を占めていた。しかし近年では、小ロット印刷やオンデマンド印刷のニーズが高まり、トナー印刷やインクジェット印刷といったデジタル印刷が増えている。古

紙回収率、古紙利用率共に高水準な日本では、今後、必然的に再生紙原料である古紙の中にデジタル印刷物が占める割合の増加が予想される。製紙工場の古紙処理工程は、主にオフセット印刷物の処理を考慮して設備されており、デジタル印刷物の混入は排水負荷の増加や夾雑物の増加、白色度の低下など再生紙の品質低下などを引き起こす可能性がある。

そこで我々は、(公財)古紙再生促進センター、(一社)日本印刷産業連合会と協力して、リサイクル性の高い(印刷物が古紙に混入したときの再生紙特性への影響が小さい)デジタル印刷システムの開発を促進するために、ドライトナー印刷物のリサイクル適性評価標準試験法と、リサイクル適性の有無を判断する評価基準を作成した⁴⁻⁶⁾。本報告では、デジタル印刷物のうち、ドライトナー印刷物が従来のオフセット印刷物中心の古紙に混入した際の再生紙品質に及ぼす影響を調査した結果と、家庭紙工場を中心とした県内製紙工場において検討した結果を報告する。

2 方法

2.1 印刷試料

印刷の図柄は、トナーの色によってリサイクル性が異なる可能性があることを考慮してカラー印刷とし、(一社)

*) 現 浜松工業技術支援センター 繊維高分子材料科

【報告】

日本印刷産業機械工業会「枚葉印刷用ジャパンカラー2007」の「JCS2007チャート」より、ISO12642チャートの部分を100%の大きさにA4サイズの紙に印刷したものをを用いた。印刷用紙はコート紙（日本製紙(株)製オーロラコート、坪量104.7g/m²）とし、国内ドライトナー印刷機メーカーのドライトナー印刷機及び一般的なオフセット印刷機で印刷した。ドライトナー印刷及びオフセット印刷した試料を、23℃、50%r.h.で24時間以上調湿したものを実験に供した。

2.2 印刷物の脱墨試験

印刷物の古紙処理工程は、①離解、②洗浄・脱水、③希釈、④フローテーション、⑤希釈・pH調整、⑥抄紙というドライトナー印刷物のリサイクル適性評価標準試験法^{5, 6)}（以下、標準試験法）と同じ手順で行った。離解は標準パルプ離解機（熊谷理機工業(株)製）で、フローテーションはFS-25（極東振興(株)製）で行った。さらに、デジタル印刷物の古紙処理を考察するために、高濃度離解、ニーダー処理も行った。高濃度離解は、5L高濃度離解機（熊谷理機工業(株)製）を用い、印刷物試料240g、離解試料濃度12%で30分を行った。ニーダー処理は、KNEADER SUS-T型（岡山本百馬製作所製）で、高濃度離解後の試料を全量1回または2回処理した。

2.3 手すき紙の評価

2.2の手順で作製した手すき紙について、夾雑物、白色度を測定した。夾雑物は、ダートカウンターSpec Scan2000（Apogee Systems, Inc製）を用いて測定した。夾雑物の測定は1枚の手すき紙に対して3回測定した平均値を測定値とし、5枚の手すき紙について測定した。白色度は、Color Touch PC（technidyne社製）を用いてJIS P8148の方法でISO白色度を測定した。

3 結果および考察

3.1 ドライトナー印刷物の混入の影響

現在、流通している古紙の多くはオフセット印刷がされていると考えられるので、標準的な古紙としてオフセット印刷物を用い、それにドライトナー印刷物を混合することで、ドライトナー印刷物の混入の影響を評価した。これまでの検討から、ドライトナー印刷物では上質紙に印刷したものよりもコート紙に印刷したものの方が、夾雑物が多く古紙処理適性が低いことが明らかとなっているので、印刷はコート紙にすることとした。

オフセット印刷物にドライトナー印刷物を混合し、標準試験法で古紙処理したときの再生紙の一例を写真1

に示した。写真1より、オフセット印刷物から作製した手すき紙より、ドライトナー印刷物から作製した手すき紙の方が大きな夾雑物が目立つことがわかる。

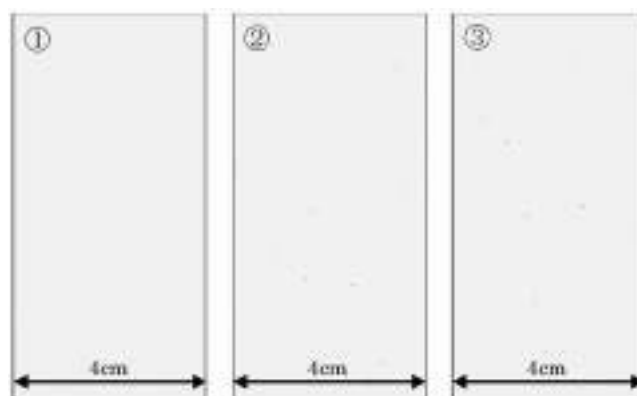


写真1 オフセット印刷物にドライトナー印刷物を混合したときの再生紙の例
ドライトナーの混合率は、①0%、②50%、③100%。

手すき紙中の夾雑物面積を図1に、白色度を図2に示した。夾雑物面積は標準試験法と同じ0.04mm²以上の大きさのものを測定した。図1から明らかなように、ドライトナー印刷物の混合割合が増えると、夾雑物面積は増加した。図2から、このときの白色度の変化を見ると、ドライトナー印刷物の増加によって、わずかに

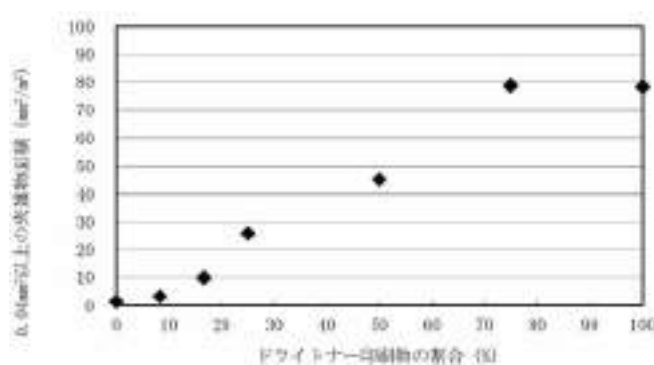


図1 オフセット印刷物にドライトナー印刷物を混合したときの0.04mm²以上の夾雑物面積

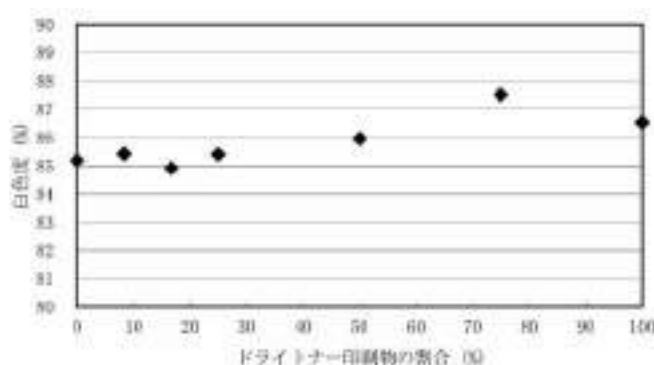


図2 オフセット印刷物にドライトナー印刷物を混合したときの白色度

【報告】

高くなっていることがわかる。これらのことから、オフセット印刷物に比べてドライトナー印刷物は夾雑物面積が大きく白色度は高くなる傾向があると言える。一般的には夾雑物面積が大きいことは、古紙処理時の脱墨性が悪いことを示しており、白色度も同時に低下することが予想される。すなわち、微細なインキ片が脱墨されずに再生紙中に残存することで、紙全体の光反射率が低下し白色度が低くなる。しかし、ドライトナー印刷物では、古紙処理時のトナー片の大きさがオフセット印刷物のインキ片に比べて大きい⁵⁾ため、再生紙の夾雑物面積としては大きくなるが、微細なトナー片は少ないため、従来のオフセット印刷物に比べて白色度の低下は小さくなったと考えられる。

我々の経験から、一般的なオフセット印刷物における夾雑物面積は、今回の標準試験法と同様に評価した場合には、 $0 \sim 20\text{mm}^2/\text{m}^2$ 程度と考えられる。図1、2より、現状、オフセット印刷物がほとんどを占める再生紙原料に、ドライトナー印刷物が20%程度混入しても、再生紙の夾雑物面積に大きな変化は無く、白色度も問題にならないと予想できる。

図3には、標準試験法で古紙処理した時のフロス量を示した。フロスはフローテーション時に系外に排出される泡沫のことで、トナー片や微細繊維などが含まれている。ドライトナー印刷物の混合割合が増えると、フロスの量は多くなることがわかる。図3において四角で囲まれた数値は、試験に供した印刷物に対するフロスの割合である。通常、フロスは再生紙への利用は不可能なものとして系外に排出されることを考えると、原料に対する製品の歩留まりに大きく影響する。図3より、ドライトナー印刷物が0%から100%になると、フロス量は概ね2倍になることがわかり、実験上の歩留まりは92.3%から83.6%まで低下することになる。古紙を原料

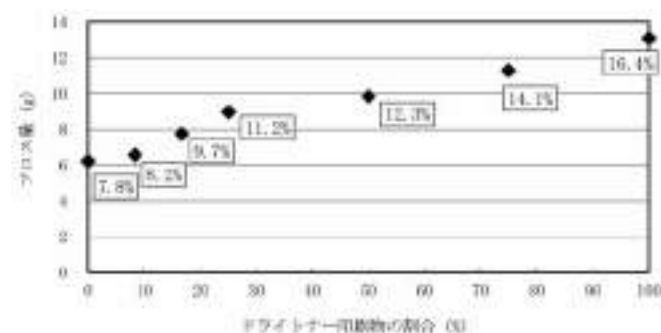


図3 オフセット印刷物にドライトナー印刷物を混合したときのフロス量

図中四角で囲まれた数値は試験に供した印刷物に対するフロスの割合。

としたトイレットペーパー工場の歩留まりが70～75%程度であるので、ドライトナー印刷物の混入による歩留まりへの影響は大きいと言える。

フロス量は、フローテーション時の脱墨剤の添加量や処理する紙の種類などによって変化することは知られているが、今回の結果のように同じ紙を用いて同じ条件で古紙処理した時、印刷方式の差でフロス量が変化するのは非常に興味深い。オフセット印刷とドライトナー印刷の差を考えると、ドライトナー印刷ではトナーの定着のために100℃以上の熱を受けるため、印刷用紙であるコート紙に使われている接着剤とトナーに使われる樹脂分との相互作用などによって、紙中の繊維分がトナー片と共に系外に排出されやすくなるなどの原因が考えられるが、詳細についてはわからない。今後、リサイクル性の高いドライトナー開発のためには、メカニズムの解明が重要と考えられる。

3.2 ドライトナー印刷物に有効な古紙処理工程

ドライトナー印刷物が再生紙原料に混入すると、夾雑物面積が大きくなることがわかった。そこで、夾雑物面積を小さくするために有効な古紙処理工程を検討した。製紙工場で新たな設備投資を行わないことを念頭に、高濃度パルパーの適用とニーディング、フローテーション、洗浄の各工程の強化について検討した。

図4に低濃度パルパー（濃度5.3%）と高濃度パルパー（濃度12%）で離解した後、脱墨処理した手すき紙の夾雑物面積を示した。オフセット印刷物では、低濃度パルパーと高濃度パルパーで大きな差は見られなかったが、ドライトナー印刷物では、高濃度パルパーの方が夾雑物面積は小さくなっている。

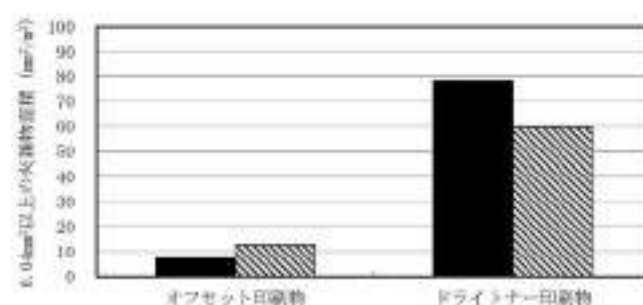


図4 オフセット印刷物およびドライトナー印刷物のパルパー濃度の違いによる夾雑物面積

パルパー濃度は低濃度パルパーが5.3%、高濃度パルパーが2%

■ 低濃度パルパー、▨ 高濃度パルパー。

図5にニーダーで0～2回処理を行い、脱墨処理した手すき紙の夾雑物面積を示した。夾雑物面積はニー

【報告】

ダー処理なしの時 $59.6\text{mm}^2/\text{m}^2$ に対して、2回処理の時 $31.9\text{mm}^2/\text{m}^2$ と、ニーダーでの処理回数が増えると夾雑物面積は小さくなっている。図5には、ニーダー処理した時の白色度の変化も同時に示した。一般的な古紙をニーダー処理した場合、微細化されたインキ片が再生紙に抄き込まれることで白色度が低下することが多い。ドライトナー印刷物においても、ニーダー処理をすると白色度がわずかに低下する傾向が見られたが、夾雑物面積が50%程度減少するのに対し、白色度は1～2ポイント程度の低下であった。ドライトナー印刷物の場合、標準試験法による評価ではオフセット印刷物よりも、再生紙の白色度はやや高いことから、ニーディングを強化して低下する白色度は大きな問題とならないと考えられ、ドライトナー印刷物の古紙処理にはニーディングの強化は有効と思われる。

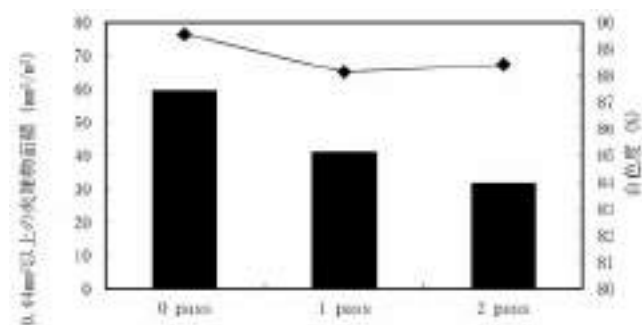


図5 ニーダーの通過回数と夾雑物面積、白色度の関係
■ 夾雑物面積、◆ 白色度。

図6に、標準試験法の手順で、脱墨剤の量だけを変化させたときの手すき紙の夾雑物面積とフロス量の関係を示した。図6より脱墨剤量の増加は、夾雑物面積の低下に非常に有効であることがわかる。しかし、フロス量も大きく増加することから、夾雑物面積は減少するものの同時に歩留まりが低下することが予想される。

結果は示さないが、低濃度パルパーによる離解時間の増加、洗浄回数の増加、フローテーション時間の増加の効果を調べたところ、いずれの場合も夾雑物面積に大きな変化は無く、ドライトナー印刷物の古紙処理には有効な手段ではないと判断した。

以上のことから、ドライトナー印刷物に対して有効な古紙処理工程として、ニーディングの強化が考えられる。ドライトナー印刷物が増加すると、白色度は高くなる傾向があるので、ニーディングによる白色度の低下を補いながら夾雑物面積の低下が可能と思われる。高濃度パルパーは設備していない工場も多いが、設備されている工場であれば活用することが望ましい。脱墨剤

による夾雑物面積の低下は顕著な効果が見込めるが、歩留まりの低下が同時に起こるので、工場では、歩留まりの良い原料と混合して使うなどの工夫が必要となると考えられる。ニーディングや高濃度離解は、大きなトナー片を微細化することで効果が現れたと考えられることから、ドライトナー印刷物の古紙処理は、紙からインキを剥がすことやトナー片を洗浄によって洗い流すことよりも、いかにトナー片を小さくするかが重要であると言える。

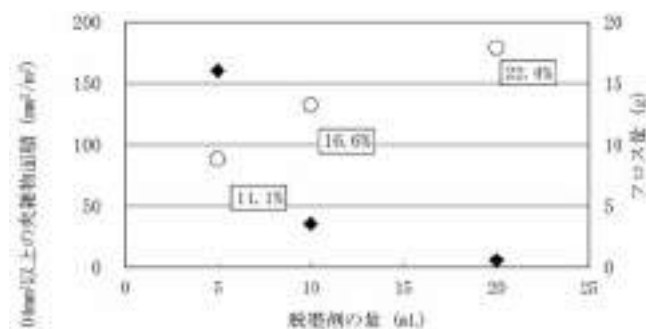


図6 脱墨剤の量と夾雑物面積、フロス量の関係

図中四角で囲まれた数値は試験に供した印刷物に対するフロスの割合、◆ 夾雑物面積、○ フロス量。

4 まとめ

ドライトナー印刷物が再生紙原料に混入した時の影響を評価するために、オフセット印刷物にドライトナー印刷物を混合させた試料を用いて、洗浄、脱墨などの古紙処理を行い、再生紙を作製した。ドライトナー印刷物の混合率が増えると、夾雑物面積は増加し、白色度はわずかに高くなる傾向を示した。また、脱墨工程でのフロス量が増加することから、製品の歩留まりが低くなることが予想された。

再生紙原料にドライトナー印刷物が混入したときにみられる夾雑物面積の増加に効果的な古紙処理工程として、ニーディングの強化及び高濃度離解があげられる。ドライトナー印刷物の混入は白色度が高くなる傾向があるので、ニーディングによる白色度の低下を補いながら夾雑物面積を低下させることが可能である。また、高濃度離解も有効な手段であり、トナー片を微細化することが重要であることがわかった。今後、より微細化しやすいトナーの開発や古紙処理装置の改良などが進むことでドライトナー印刷物のリサイクル適性が高まることが期待される。

謝辞

本研究は、公益財団法人古紙再生促進センターと

【報告】

一般社団法人日本印刷産業連合会の協力により行ったものであり、関係者の皆様に感謝いたします。また、試料を提供頂いたデジタル印刷機メーカーに感謝いたします。

参考文献

- 1) 日本製紙連合会：環境行動計画．(2012.4.1公表)
- 2) (公財)古紙再生促進センター：古紙の品質を守るために．(2012.4公表)
- 3) (公財)古紙再生促進センター：古紙ハンドブック 2012．(2013.3公表)
- 4) 鈴木悠介 他：デジタル印刷物のリサイクル適性評価法の開発と古紙原料への混入の影響評価．静岡県工業技術研究所報告，第 6 号，77-80 (2014)．
- 5) 深沢博之 他：ドライトナー印刷物のリサイクル適性評価．静岡県工業技術研究所報告，第 7 号，72-78 (2015)．
- 6) (一社)日本印刷産業連合会・(公財)古紙再生促進センター：デジタル印刷物のリサイクル適性に関する調査報告書．(2014.3公表)

トイレットペーパーのクレープ形状がやわらかさに与える影響

製紙科 鈴木悠介* 深沢博之 木野浩成

The figure of crape affects the softness of the toilet paper

Yusuke SUZUKI, Hiroyuki FUKASAWA and Hironari KINO

In Shizuoka Prefecture, there are many toilet paper mills that make toilet paper from recovered paper. Recently, the quality of recovered paper is decreasing and import volume of the toilet paper is increasing. Because of that, the competition in toilet paper market will become fierce. Under such circumstances, the toilet paper mills in Shizuoka Prefecture need to improve product quality. The softness is the most important quality of toilet paper. It is generally said that the softness of toilet paper is very influenced by figure of crape. But there is no method for assessment of figure of crape. Therefore, in this study, we aimed to establish the method for assessment of figure of crape, and then we revealed the influence of figure of crape on softness of toilet paper. As a result, we found the following.

- (1) We assess the softness of the toilet paper by sensory evaluation.
- (2) We can measure the width of crape by high-resolution scanner. And we can also measure the height of crape by stylus type surface roughness testing machine.
- (3) As a result, the toilet paper is softer with higher crape.

Keywords : Toilet paper, softness, crape.

キーワード : トイレットペーパー、クレープ、やわらかさ。

1 はじめに

富士地域における製紙産業の特徴は、古紙を原料とした家庭紙メーカーが集積していることである。近年、環境意識の高まりから、従来、原料として利用されていなかった品質が悪い古紙が原料に使用されている¹⁾。同時に、中国をはじめとした輸入品も増加しており、2014年度のトイレットペーパーの輸入量は、円安状況にも関わらず過去最高となる47,682トンであった²⁾。この様な状況下で、古紙を原料としたトイレットペーパーは、価格面だけでなく、品質面においても優位性を確保する必要がある。トイレットペーパーの品質で最も重要とされているのは、やわらかさである。やわらかさには、原料、厚さ、重ね枚数、加工法など多くの要因が影響している。繊維長が長い良質な原料を使うことや重ね枚数を増やすことでやわらかさを向上させることができる³⁾。その中でも、クレープ加工がやわらかさに与える影響が大きいと言われている。

クレープとは、抄紙機のドライヤーの出口でクレーピングドクターという刃を当てることにより加工されるトイレッ

トペーパー表面の細かなシワのことである。現在、製造現場においてクレープ形状は、担当者の手触りによる主観的な評価がされているだけである。そのため、クレープ形状が、トイレットペーパーのやわらかさへ与える影響について客観的な評価がされていない。

そこで、本研究では、初めにクレープ形状の評価法としてクレープの幅や高さについて評価する方法を確立し、次に、クレープ形状（クレープの幅や高さ）とトイレットペーパーのやわらかさの関係を明らかにすることを目標とした。

2 方法

2.1 やわらかさ調査

静岡県紙パルプ技術協会では、中小企業技術者研修においてトイレットペーパーのやわらかさ調査を行った。その方法を以下に示す。

トイレットペーパーのやわらかさは、表面の滑らかさと紙としての硬さが影響すると考えられている。そこで、(1)自由にトイレットペーパーを触った場合、(2)トイレッ

*) 現 浜松工業技術支援センター

【報告】

トイレットペーパーの表面を指先で擦った場合、(3)トイレットペーパーを握り潰した場合に分けて調査した。サンプルは、重ね枚数による差が生じない様にシングルトイレットペーパーを対象とした。調査に用いたトイレットペーパーを表1に示す。10～60代の男女30人に対し調査した。23℃、50%RHの試験室内に500mmの長さに裁断したトイレットペーパーを一枚ずつテーブルの上に並べ、トイレットペーパーを一枚ずつ上述の指定された触り方で触り、やわらかいと感じる順番に並べた後、一番やわらかいと感じたトイレットペーパーを23点とし、1点刻みで点数を付けていき、一番かたいと感じたトイレットペーパーを1点とした。それぞれの触り方について各トイレットペーパーの平均点を算出し、やわらかさの点数とした。

研修で得られた結果を今後、やわらかさを検討する上で参考にさせて頂いた。

表1 やわらかさ調査に用いられたトイレットペーパーサンプル

サンプル番号	原料	エンボス加工	坪量(g/m ²)	10枚重ね厚さ(mm)
1	古紙	無	20.6	1.25
2			19.6	1.22
3			20.0	1.32
4			18.1	1.09
5			18.7	1.63
6			21.5	1.48
7			18.7	1.19
8			17.6	1.22
9			20.8	1.52
10			17.1	1.21
11			18.9	1.17
12			20.2	1.29
13	パルプ	有	18.2	2.14
14			18.5	2.06
15			19.2	1.90
16			17.4	2.15
17			17.1	2.30
18			18.8	2.04
19			17.9	1.71
20		無	17.4	0.82
21		有	21.8	1.93
22			20.9	2.34
23			19.7	1.47

2.2 クレープの幅の測定

やわらかさ調査に用いられたトイレットペーパーのうち、古紙を原料としたものでエンボス加工がされていないシングルトイレットペーパー10種類(サンプル番号3～12)について測定した。各トイレットペーパーを5×5cmに裁断し、白色の板紙に貼り付けサンプルとした。作製したサンプルを高解像度スキャナーES-2200(EPSON(株)製)を用いて解像度1,600dpi、サイズ3×3cmの設定でトイレットペーパー表面の画像を取り込んだ。取り込んだ画像の濃度値を画像処理ソフトImage-J(アメリカ国立衛生研究所開発によるオープンソースソフト)に

より、伸長化処理を行い、凹凸がはっきりとわかる様にコントラストを改善した。その後、任意の位置について紙の縦方向の輝度曲線を検出し、輝度曲線から谷の間隔を求めた。測定は1,000個の谷の間隔を測定し、その平均値をクレープの幅とした。測定した画像の例を図1に示す。

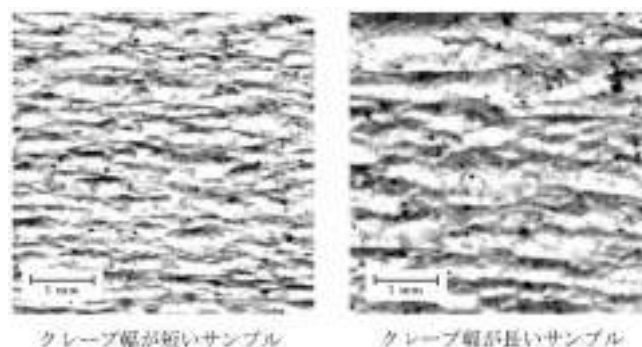


図1 幅を測定したトイレットペーパー表面(画像処理後)

2.3 クレープの高さの測定

2.2で測定したシングルトイレットペーパー10種類(A～J)について測定した。各トイレットペーパーを紙の縦方向に長さ100mmに切りだしたものをガラス板に貼り付けて固定し、触針式表面粗さ試験機フォームタリサーフS4C(テラーホブソン(株)製)により、断面曲線を測定した。測定条件は、触針半径2μm、触針荷重約70mgf、測定距離50mm、測定点数5,000point、測定速度1.0mm/minとした。断面曲線から、算術平均高さPRaを求め、各トイレットペーパーについて5回の測定の平均値をクレープの高さとした。

3 結果および考察

3.1 やわらかさ調査

人がトイレットペーパーを自由に触った場合のやわらかさ調査の結果を図2に示す。パルプ製トイレットペーパー(サンプル番号20～23)は点数が高く、やわらかい傾向がみられた。エンボス加工がされている古紙原料のトイレットペーパー(サンプル番号13～19)は、製品間に点数の差が小さく、一定以上の点数となっていた。エンボス加工がされていない古紙原料のトイレットペーパー(サンプル番号1～12)は、製品間の点数の差が大きかった。1番、2番のトイレットペーパーは、他の古紙原料のトイレットペーパーよりも良質な古紙を原料にしていることが特徴のトイレットペーパーであり、点数が高くなっていると考えられる。その他の3～12番のトイレットペーパーは、原料の条件が近いと考えられるが

点数に大きな差が生じている。この点数の差がクレープ形状による影響によるものだと考え、これらの10種類のトイレットペーパーの水中伸び率、クレープ形状を測定し、やわらかさとの関係を調べた。

また、トイレットペーパーの触り方により点数にバラつきが生じることが分かった。トイレットペーパーを自由に触った場合のやわらかさ調査の点数を基準にトイレットペーパーの表面を指先で擦った場合のやわらかさ調査の点数とトイレットペーパーを握った場合のやわらかさ調査の点数の和について最適化処理を行うと、指先で擦った場合のやわらかさ調査の点数と握った場合のやわらかさ調査の点数を3.9 : 6.1の割合で足し合わせると自由に触った場合のやわらかさ調査の点数に非常によく近くなることが分かった。トイレットペーパーを自由に触った場合のやわらかさ調査の点数と3.9 : 6.1の割合で指先で擦った場合のやわらかさ調査の点数と握った場合のやわらかさ調査の点数を足し合わせた合計点数との関係を図3に示す。このことから、人はトイレットペーパーのやわらかさとして指で擦った表面の滑らかさより握った時のやわらかさを重視する傾向があった。

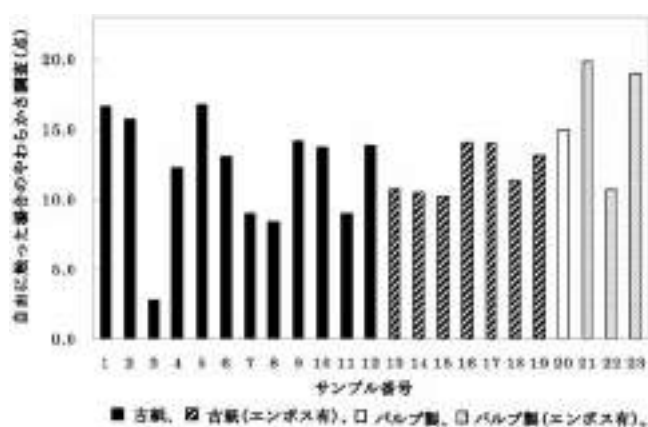


図2 やわらかさ調査の結果 (自由に触った場合)

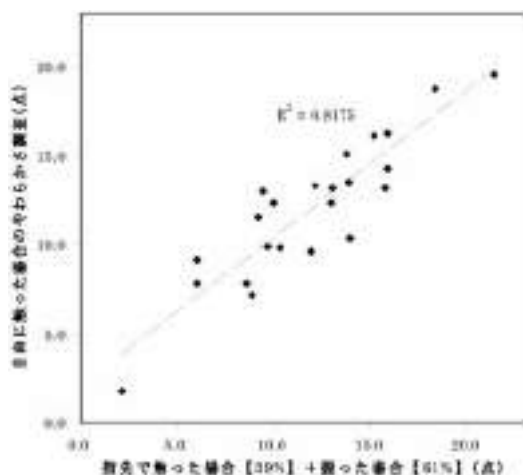


図3 触り方とやわらかさの関係

3.2 クレープ形状(クレープの幅、クレープの高さ)の測定結果

2.2の方法で測定したクレープの幅、2.3の方法で測定したクレープの高さの結果を表2に示す。測定結果は、トイレットペーパーによって値が異なり、この方法でクレープ形状としてクレープの幅や高さを相対的に比較することができる。クレープの幅は、最も幅が短いトイレットペーパーで134 μm 、最も幅が長いトイレットペーパーで184 μm であった。クレープの高さは、最も高さが高いトイレットペーパーで21.1 μm 、最も高さが低いトイレットペーパーで12.4 μm であった。昨年度、3種類のトイレットペーパーについてロールの状態から断面方向からデジタルマイクロスコプVHX-100 (キーエンス(株)製)を用いてクレープ形状を観察し、クレープの幅と高さを計測した結果、クレープの幅は40~130 μm 、クレープの高さは12~34 μm に多く分布していることが分かった⁴⁾。スキャナーや触針式表面粗さ試験機で測定した値は、断面観察から求めた計測値に比べて幅方向に若干伸びており、高さ方向に若干小さくなっていた。これは、ロールからほどく際にクレープが少し伸びることやスキャナーのカバーや触針プローブにより荷重が加えられたためである。スキャナーによるクレープの幅の測定や触針式表面粗さ試験機によるクレープの高さの測定は、昨年度行った断面観察からのクレープの幅や高さの計測よりも非常に短時間で測定を行うことができ、トイレットペーパーをロールからほどいた状態のクレープ形状を測定することができた。

表2 クレープの幅と高さの測定結果 (古紙原料、エンボスなしサンプル)

サンプル番号	クレープ幅 (μm)	クレープ高さ (μm)
3	167	18.1
4	184	14.6
5	154	21.1
6	197	19.5
7	168	15.4
8	136	12.4
9	150	20.8
10	155	16.8
11	139	14.8
12	148	16.4

3.3 クレープ形状とやわらかさの関係

やわらかさ調査に用いられたトイレットペーパーのうち、古紙原料、エンボス加工無しの条件で絞った10種類の

トイレットペーパーについて水中伸び率、クレープの幅、クレープの高さを測定した。水中伸び率は、トイレットペーパーを幅15mm、長さ152.4mmに切りだした後に水中に1分間浸漬させた後の伸びを計測し、伸び率を求めた⁴⁾。クレープの幅、クレープの高さは、それぞれ先述の2.2及び2.3の方法で測定した。

自由にトイレットペーパーに触れた場合のやわらかさ調査の点数と水中伸び率の関係を図4に示す。自由にトイレットペーパーに触れた場合のやわらかさ調査の点数とクレープの幅の関係を図5に示す。自由にトイレットペーパーに触れた場合のやわらかさ調査の点数とクレープの高さの関係を図6に示す。図4より、水中伸び率が高くなるほどやわらかくなる傾向がみられた。水中伸び率は、クレープ率を表しており⁴⁾、クレープ率を高くすることでやわらかくなることを表している。しかし、水中伸び率が10%付近では同程度の水中伸び率でもやわらかさにバラつきがあり、これらのやわらかさの差は、クレープ形状の差による可能性が高い。図5より、今回測定したトイレットペーパーでは、クレープの幅とやわらかさとのはっきりとした関係がみられなかった。図6より、クレープの高さが高くなるほどやわらかくなる傾向がみられた。3.1に述べたように人はトイレットペーパーのやわらかさを評価する上で握った時の感覚を重視する傾向がみられた。このことから、クレープの高さを高くし、嵩を出すことでトイレットペーパーをふんわりさせることはやわらかさを向上させるために有効である。しかし、一方でクレープの高さを高くすることは従来よりも巻取り長さが長くなるため、生産コストとのバランスを検討する必要がある。

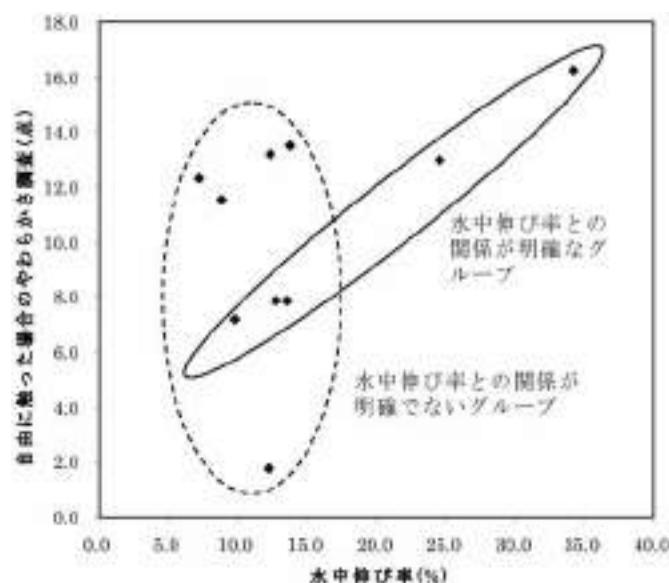


図4 水中伸び率とやわらかさ

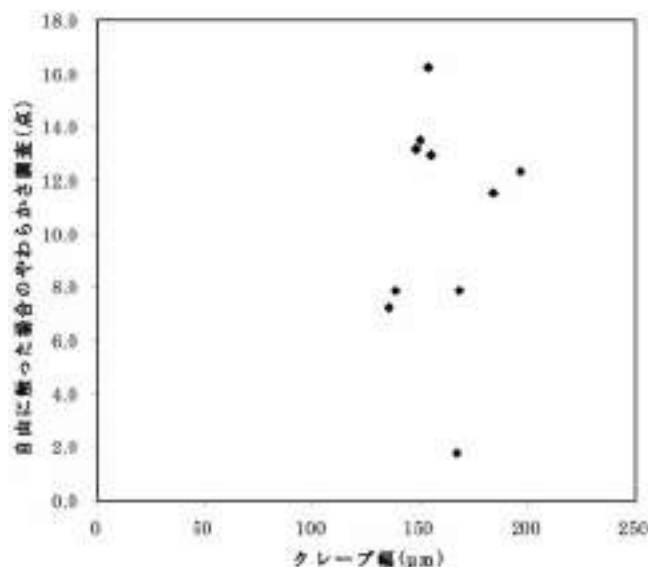


図5 クレープ幅とやわらかさ

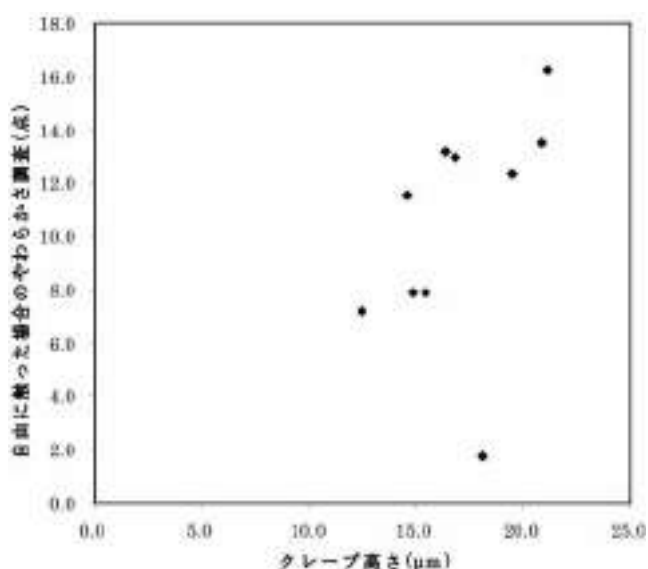


図6 クレープ高さやわらかさ

4 まとめ

- (1) トイレットペーパーのクレープ形状の評価法としてクレープの幅を高解像度スキャナーによる画像の読み込み、クレープの高さを触針式表面粗さ試験機による断面曲線の測定から求めることができた。
- (2) やわらかさ調査の結果から、人は握った時にふんわりしたトイレットペーパーをやわらかいと感じることが分かった。
- (3) トイレットペーパーのクレープ形状では、クレープの高さがやわらかさに与える影響が大きいことが分かった。

謝辞

本研究を行うにあたりトイレットペーパー製品の御提

供及び調査に御協力いただいた静岡県紙パ技術研究フォーラムの会員企業、県内家庭紙企業、静岡県紙パルプ技術協会の皆様に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) (公財)古紙再生促進センター：古紙の品質を守るために異物混入の現状と対策．(2013. 5 公表)
- 2) 財務省：貿易統計平成26年度12月統計表．(2015.

1 公表)

- 3) 齊藤将人 他：トイレットペーパーの柔らかさ評価法の検討．静岡県工業技術研究所報告，第1号，67-72 (2008)．
- 4) 鈴木悠介 他：トイレットペーパーのクレープ形状の評価法の確立．静岡県工業技術研究所報告，第7号，59-64 (2015)．

ガラス繊維のシート化について

製紙科 深沢博之 河部千香*

Study of web forming by glass fiber

Hiroyuki FUKASAWA and Chika KAWABE

Keywords : Paper making, inorganic fiber, glass fiber.

キーワード：抄紙技術、無機繊維、ガラス繊維。

1 はじめに

輸送機器関連やエレクトロニクス関連などの製品に用いる材料は、高機能化と低コストが強く求められている。近年、機能性素材を複合化すると同時にコストを低下させる手法として、抄紙技術に注目が集まっている。しかし、これらの材料は、合成繊維や無機繊維を使用しているものが多く、抄紙適性に優れているとは言えない。従って、抄紙法によるシート化のためには、合成繊維や無機繊維の特性を良く把握し、シート物性を制御するための技術確立することが重要である。本報告ではフィルターなどに用いられている極細ガラス繊維を抄紙法によってシート化する手法について検討した結果を報告する。

2 方法

2.1 ガラス繊維の分散

ガラス繊維は平均繊維径が $0.6\sim 3.5\mu\text{m}$ のもの4水準を用いた。水への分散は繊維濃度1%で行い、無機繊維用分散剤を0.5～2.5%程度使用した。分散には30

L大型パルプ離解機（熊谷理機工業(株)製）を用いた。

2.2 手すきシート作製

2.1の方法で分散した試料に、必要な製紙用薬品を添加した後に、角型シートマシン（熊谷理機工業(株)製）で絶乾坪量 240g/m^2 となるように手すきシートを作製した。乾燥は回転ドライヤー（熊谷理機工業(株)製）を用いて 120°C で4分間行った。

3 結果および考察

3.1 シート強度について

極細ガラス繊維は単独でシート化しても、従来のガラス繊維に比べて高い強度となることがわかったが、一般的な機能紙に比べて強度が低かった。そこで、バインダーとしてポリオレフィン系エマルジョンとエマルジョンのシート中への歩留まり向上を狙った無機凝集剤の併用を検討した。以下に、平均繊維径が $1\mu\text{m}$ のガラス繊維径を用いた時の結果を報告する。図に各エマルジョン添加量における、無機凝集剤添加量と引張強さの関係を示した。無機凝集剤の添加量を増加させると

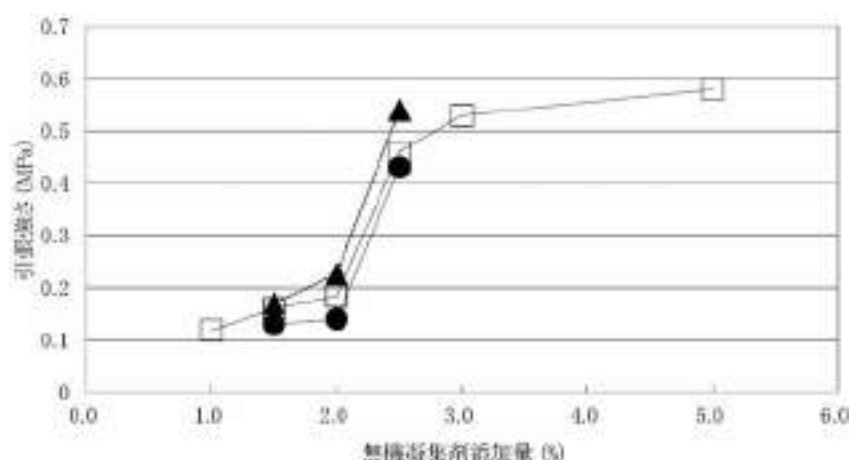


図 各エマルジョン添加量における無機凝集剤添加量と引張強さの関係

●—エマルジョン 3%、□—エマルジョン 5%、▲—エマルジョン 7%

*) 現 経済産業部商工業局地域産業課

引張強さは高くなる。無機凝集剤は、添加量2.5%付近で急激に効果が高くなることが明らかとなり、使用するガラス繊維の種類や併用する薬品などを考慮して、最適な添加量を慎重に決定する必要があることがわかった。

3.2 シート構造について

フィルターなどに用いる機能性無機繊維シートは、空隙構造が機能に大きく影響する。写真に無機凝集剤添加量2.5%でエマルジョン添加量を変化させたときの電子顕微鏡像を示した。エマルジョンが増えるとシート構造が密になっていることがわかる。結果は示さないが、簡便な方法として、シートの吸水性を評価したところ、エマルジョンが多い方が吸水性は低いことも確認できた。

4 まとめ

極細ガラス繊維を抄紙法によりシート化する手法を検討した。シート強度は、バインダーと無機凝集剤を併用することで制御できることがわかった。このとき、同時にシート構造も変化するので、求められる物性を満たすよう、バインダーと無機凝集剤の添加量を最適化することが必要である。

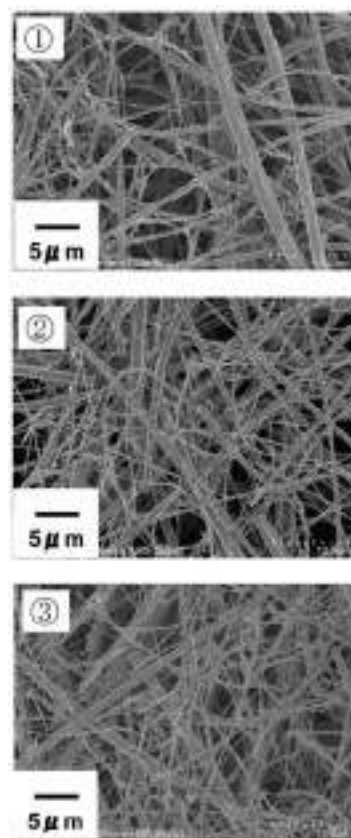


写真 ガラス繊維を用いた手すきシートの電子顕微鏡像
いずれも無機凝集剤の添加量は2.5%で、エマルジョンの添加量を変化（①3%、②5%、③7%）させた。

地域包括ケアシステムを支える見守りシステムの開発（第1報）

機械電子科 中山 洋 岡田慶雄 白井 圭 三浦 清
 株式会社メディカルプロジェクト 小林信明 一言貴則
 株式会社富士セラミックス 福島利博 水口隼也

Development of a New Monitoring System for Community Based Integrated Care System (1st Report)

Hiroshi NAKAYAMA, Yoshio OKADA, Kei SHIRAI, Kiyoshi MIURA,
 Nobuaki KOBAYASHI, Takanori HITOKOTO, Toshihiro FUKUSHIMA and Junya MIZUGUCHI

Keywords : Monitoring system, elderly people in need of care, respiration, pulse, community based integrated care system.

キーワード：見守りシステム、要介護者、呼吸、脈拍、地域包括ケアシステム。

1 はじめに

日本は世界一の超高齢社会であり、静岡県の高齢化率は25.9%（平成26年4月現在）、要介護・要支援認定者は約14.8万人（平成25年3月現在）である。今後もさらに総人口に占める高齢者や重度の要介護者の割合が増加し、介護現場では人手不足がさらに深刻化し、要介護者の安心・安全性に係わる懸念、介護者の精神的・肉体的負担が増大する。このような状況の中、国は介護保険法を改正して、重度な要介護状態になっても住み慣れた地域で自分らしい暮らしを人生の最後まで続けられるよう、住まい・医療・介護・生活支援が一体的に受けられる地域包括ケアシステムを提唱した。この中で見守りの必要性も叫ばれているが、要介護者のケア体制ができていないのが現状である。そこで本研究では、在宅介護現場ニーズを基にして、無拘束かつ意識させることなく、ベッド上での要介護者の状態（呼吸や脈拍の動き、離床／在床等）が検知できる新規センサの試作開発を行ったので報告する。

2 方法

2.1 見守りセンサシステムの一次試作

センサシートとノートパソコンから成る呼吸や脈拍を計測できる見守りセンサシステムを試作した。

2.2 離床センサの試作

マットレスの下に設置しても検知できる離床センサについて検討し、試作した。

3 結果および考察

訪問看護・介護事業者や在宅介護家族等の介護関係者から、「要介護者の呼吸や心拍等の異変や状態を

知りたい」、「要介護者の離床／在床状態を知りたい」等のニーズが得られたため、これらに基づき、試作を行った。

3.1 見守りセンサシステムの一次試作

焦電型空圧センサとエアースル構造を有するセンサシートとノートパソコンから成る見守りセンサシステムを試作した。マットレス上のヒトの呼吸や脈拍等の微小な動きを、マットレス下に設置したセンサシートで検出し、得られた信号を周波数分離・波形処理等により、呼吸数（回／分）や脈拍数（回／分）を計測することが可能となった（図1）。これらの計測値は生体信号（呼吸、脈拍）と一致することを確認した。

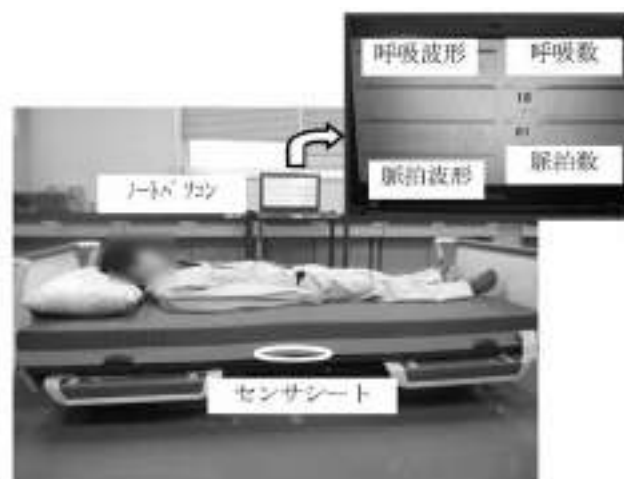


図1 見守りセンサシステム（一次試作）

3.2 離床センサの試作

要介護者に気付かれにくい離床センサの要望があるため、マットレス下でも検知できる離床センサの構造について検討した結果、テープ型電極センサと支持材を用いた構造とすることで、マットレスの下に設置しても検

知できることが分かった。試作した離床センサを図2に示す。試作した離床センサは、マットレス下に設置しても、寝具や体位によらずに離床検知が可能であることが分かった。

4 まとめ

訪問看護・介護事業者や在宅介護家族等の介護関係者からの現場ニーズを基に、無拘束かつ意識することなく、呼吸や脈拍を計測できる見守りセンサシステム及び離床センサを試作した。

今後、試作した見守りセンサシステムや離床センサについて、介護福祉施設において実証試験を行う予定である。



図2 離床センサの試作

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

シャックハルトマン波面センサを用いた透明体の均質性評価

光科 中野雅晴 太田幸宏*

Evaluation of homogeneity in a transparent object using a Shack-Hartmann wavefront sensor

Masaharu NAKANO and Yukihiro OHTA

We have developed a homogeneous evaluation system for a transparent object using the wavefront measurement of transmitted light through an object with a Shack-Hartmann wavefront sensor. The sensor has advantages in terms of tolerance for vibration and temperature shift, high dynamic range in phase measurement, and compact system. To measure with high spatial resolution, we divided measurement area into multiple wavefront of equal size with the sensor. The refractive index distribution of a plastic Fresnel lens was evaluated. To visualize small wavefront shift caused by the refractive index distribution, large wavefront shift due to lens shape was suppressed using matching liquid with the same refractive index as the lens. The developed system was also used to evaluate flow visualization of gas, homogeneity such as density and thickness distribution for transparent objects. Air flow sprayed from a nozzle, the transmitted wavefront of a glass plate and an optical disk case, were measured. Furthermore, the refractive index of a laser-processed plastic plate was estimated using by the measurement of wavefront and surface profile.

Keywords : Wavefront measurement, homogeneity, refractive index distribution, transparent object, transparent plastics.

キーワード : 波面計測、均質性、屈折率分布、透明体、透明プラスチック。

1 はじめに

ガラスやプラスチックをはじめとする透明体の品質検査では、目視では確認が困難な、欠陥、厚さムラおよび屈折率分布といった均質性を非破壊で定量的に評価できる方法が求められている。例えば、樹脂製の光学素子では、成形加工時に発生する内部ひずみにより屈折率分布が乱れることが課題となっている。これにより、収差や配光といった光学性能が悪化する可能性があるため、屈折率分布の測定が試みられてきた。これまでに、干渉計を用いて光学ガラスや小型樹脂レンズの微小な屈折率分布を測定した例が報告されている^{1, 2)}。近年、自動車用ヘッドランプや太陽光発電用の集光レンズに大型の樹脂レンズが用いられており、屈折率に大きな差が生じる測定対象を大面積で測定できる装置が必要となっている。

本研究では、シャックハルトマン（以下、SH）波面センサと、測定領域を分割測定して後からつなぎ合わせるスティッチング法を用いて、透明体の均質性を評価するシステムを開発した。開発したシステムでは、測

定対象を透過した光の波面変化量を測定する。波面とは、電磁波である光の位相が揃った面である。測定対象を透過した光の波面は、形状と屈折率分布により変化する。SH波面センサは、大きな波面変化量を測定することが可能であり、単純な装置構成のため小型でもある。本報告では、システムの概要、精度検証、応用例について報告する。

2 方法

図1に、波面計測システムの光学系を示す。レーザー光を平行光で測定対象に照射して、透過光波面をSH波面センサ PWS-1000（パルステック工業(株)製）で測定した。レーザーは波長444nmのシングルモードファイバ出力型半導体レーザー LDS1003（プレサイスゲージ(株)製）を用いた。測定対象を透過した光の波面は、光伝搬に伴い変化してしまう。そこで、透過直後の波面をリレーレンズでSH波面センサの瞳面に結像した。図2に、SH波面センサの波面測定原理を示す。SH波面センサに入射した光は、マイクロレンズアレイで

*) 現 経済産業部振興局研究調整課

領域分割され、CCDセンサに集光される。マイクロレンズに傾いた波面が入射すると、波面の傾き量に応じてCCDセンサ上で集光点の位置が移動する。SH波面センサでは、集光点の位置変化量を検出して入射光波面の傾き情報を得る³⁾。傾き情報から入射光の波面を再構築するためにSouthwellの演算法を用いた⁴⁾。SH波面センサの受光部面積より大きな測定対象に対しては、分割計測して後から複数の波面をつなぎ合わせるステッチング法を用いた。分割計測では、測定対象をステップモータ駆動のステージに固定し、xy方向に走査した。

システムの性能と有用性を確認するために、以下の事項について測定を行った。

- ①ステッチングの精度検証
- ②樹脂レンズ屈折率分布
- ③空気の密度分布評価
- ④ガラスおよび樹脂平板の均質性評価
- ⑤レーザー加工した樹脂の屈折率分布推定

3 結果および考察

3.1 ステッチングの精度検証

ステッチング測定の精度評価のために、ステッチング法で測定した波面を、領域分割しないで一括計測した波面と比較した。測定する透過光波面の面積は、SH波面センサで平行光を一度に計測できる9.9mm角（マイクロレンズの数 縦66×横66）とした。図3に、9分割した透過光波面の各領域をSH波面センサの中央部分（マイクロレンズの数 縦22×横22）で計測してステッチングした結果と、一括計測した結果を示す。測定対象として、炭酸ガスレーザーで円形模様を表面に加工した厚さ3mmの亚克力平板を用いた。2つの波面の差分は標準偏差で6nmであった。これは、厚さが3mm以上の測定対象に対して 10^{-4} の屈折率差を評価できることに相当する。ステッチング法が、対象とする大型樹脂レンズ内部の屈折率分布測定に必要な精度を満足することを確認した。

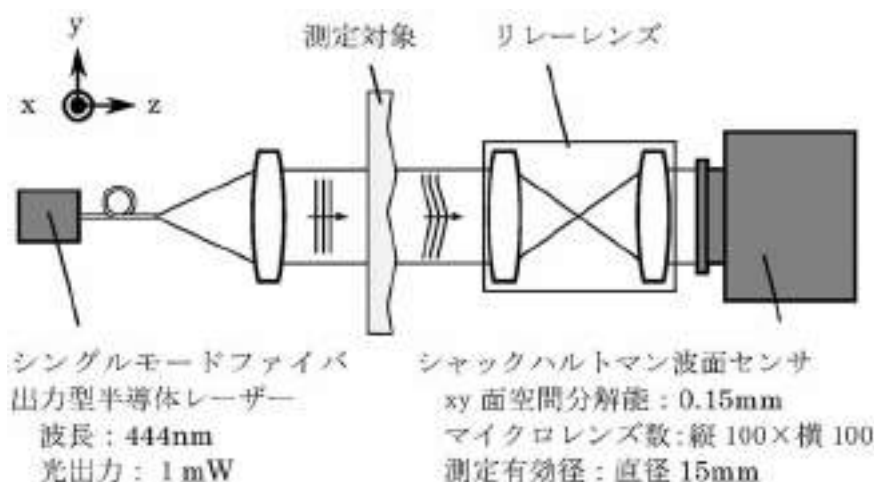


図1 波面計測システムの光学系

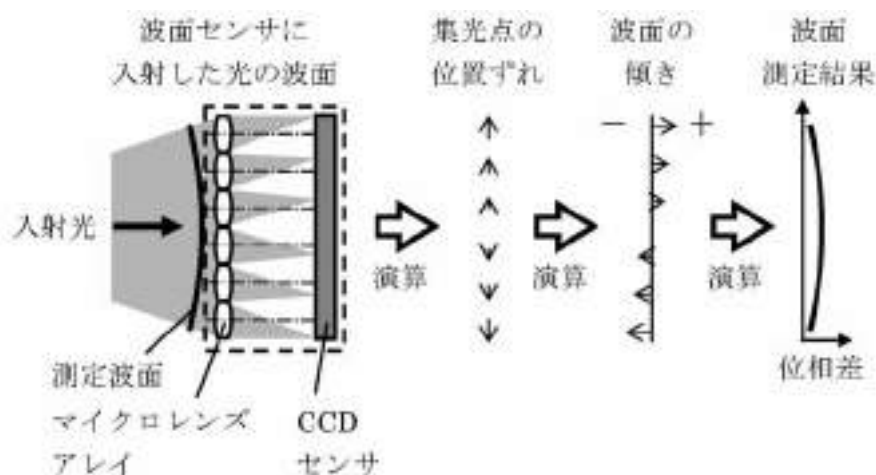


図2 シャックハルトマン波面センサの測定原理

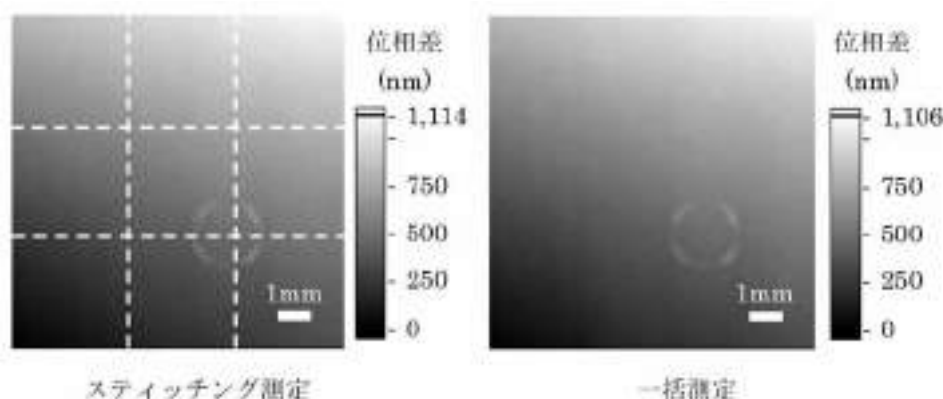


図3 透過光波面のスティッチング測定と一括測定との比較

3.2 樹脂レンズ屈折率分布

アクリル製フレネルレンズにおける屈折率分布の乱れを可視化した。レンズを透過した光は、レンズ形状と内部の屈折率に応じて屈折する。レンズ内部の屈折率の乱れによる微小な波面変化を可視化するためには、レンズ形状による屈折を抑制する必要がある。そこで、マッチング液を満たした光学セルにレンズを浸して透過光波面を測定した。マッチング液 Cargille Acrylic Matching Liquid Code 5032 (Cargille Laboratories社製) は25℃でレンズと同じ屈折率を有しており、レンズ周辺をマッチング液で満たすことで、レンズとの境界面での屈折を抑制した。図4 (a) に測定したアクリルレンズの外観を、図4 (b) にマッチング液を満たした光学セルにレンズを浸したときの様子を示す。図4 (b) の写真

左下方向からレーザー光を照射して、写真右上方向に透過した光の波面を測定した。図4 (c) に、フレネルレンズの透過光波面を測定した結果を示す。光学セルとマッチング液による波面変化量を除くために、レンズがない状態での透過光波面を測定し、レンズの透過光波面から減算した。点線で囲まれた部分に現れているように、レンズ有効径内には非対称に波面が乱れた部分が点在する。この微小な波面の乱れはレンズ内部の屈折率分布の乱れに起因すると考える。同心円状に広がる黒い線はフレネルレンズの溝部である。このように、測定した透過光波面には形状変化が大きい部分が残存している。レンズ形状による波面変化をさらに減少させるためには、マッチング液とレンズの温度を25℃に保つ精密な温度制御が必要となる。

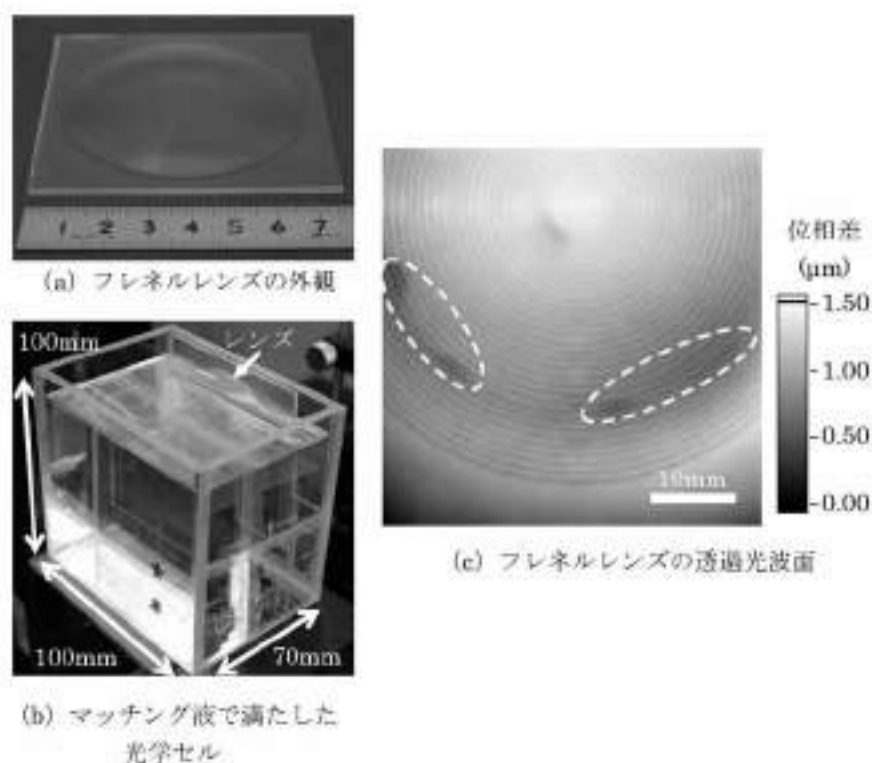


図4 樹脂レンズにおける屈折率分布の可視化

3.3 空気の密度分布評価

SH波面センサは、波面の傾き量に相当する集光点の位置ずれ量をCCDセンサ上で検出するため、高速な波面測定が可能である。図5に、スプレーで噴射した空気の流れを測定した結果を示す。スプレーに接続した直径6mmのノズル噴出口における流れを可視化した。ノズルからは周囲温度に比べて冷たい空気を噴射した。このため、ノズル噴出口付近では空気の密度分布に乱れが発生して透過光波面に変化が生じた。目

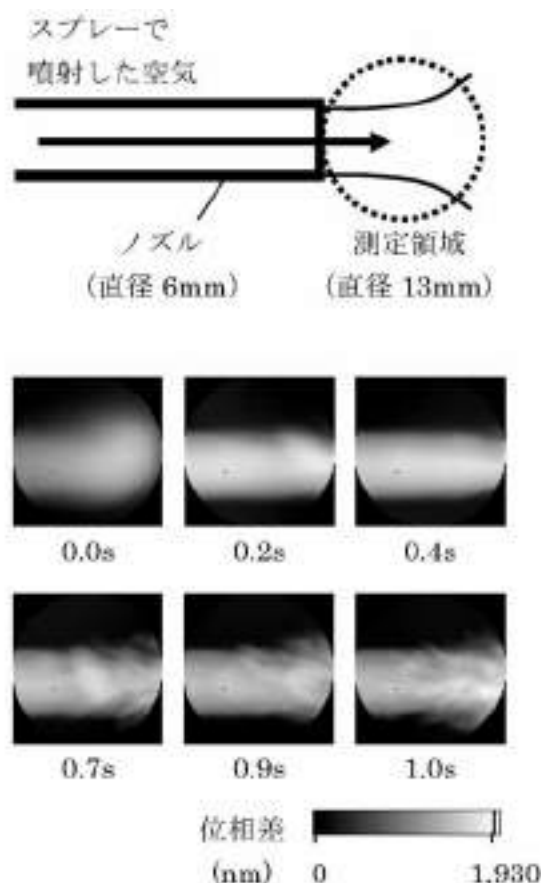


図5 スプレーから噴射した空気の密度分布評価

視では確認できない空気の密度分布が変化していく様子を可視化することができた。

3.4 ガラスおよび樹脂平板の均質性評価

平面試料の透過光波面を測定して均質性を評価した。試料を透過した光の波面は、試料の形状と内部の屈折率分布で変化する。厚さ3.3mmのフロートガラスの均質性を評価した。図6に、ガラスを透過した光の波面をスティッチング測定した結果を示す。フロートガラスの作製時に形成されたと推察する斜め方向の筋状模様を確認した。凹凸の位相差は最大でも $0.51\mu\text{m}$ であり、本システムにより微小な波面変化を可視化できることを確認した。

成形加工で作られた透明な樹脂製光ディスクケースの平面部における均質性を評価した。図7(a)にケースの外観図を、図7(b)に樹脂の注入が行われたゲート付近の透過光波面を示す。ゲートを中心にして放射状に波面が変化している。これは、成形加工時に発生した内部ひずみにより、密度むらが発生したことに起因している。

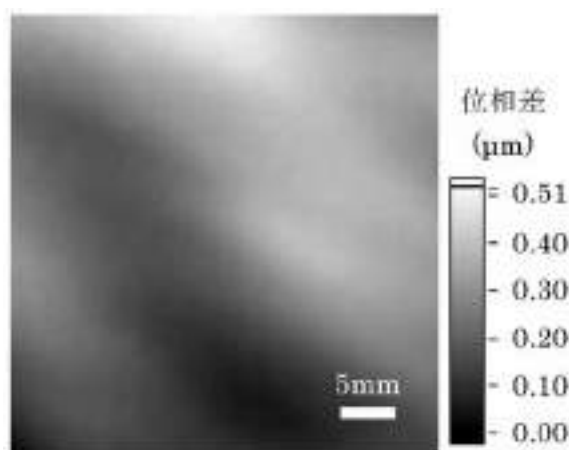
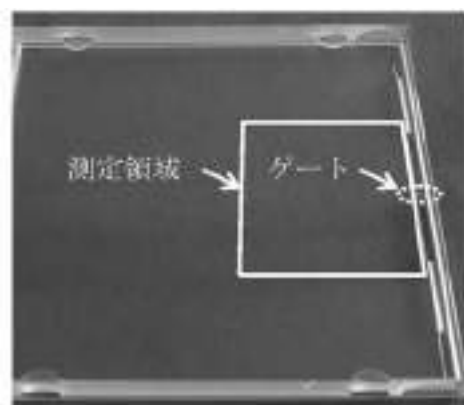
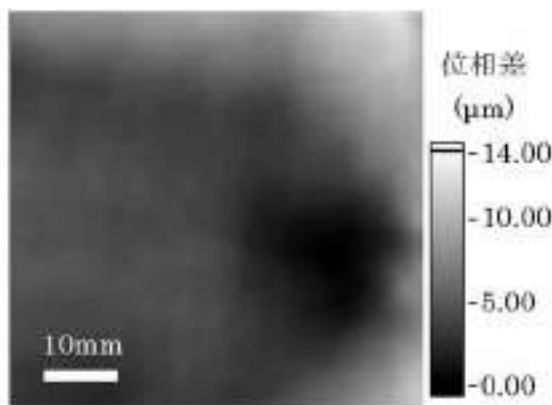


図6 フロートガラスの透過光波面



(a) 光ディスクケースの外観



(b) 測定領域の透過光波面

図7 光ディスクケースの透過光波面

【報告】

3.5 レーザー加工した樹脂の屈折率分布推定

測定対象の透過光波面は、形状と内部の屈折率分布で変化する。形状による波面変化量がわかれば、測定した透過光波面から減算することで内部の屈折率の乱れによる波面変化量を算出することができる。波面計測と形状計測を用いてアクリル平板（厚さ3mm）の表面に炭酸ガスレーザーで円形模様を加工した試料の屈折率を推定した。図8に、レーザー加工した平板の、透過光波面計測、形状計測、および屈折率分布を推定した結果を示す。表面形状の測定では、触針式の表面粗さ測定機を用いて、試料を2次元に走査した。アクリル平板の屈折率は1.5017とした。図8(b)の形状計測結果が示すように、位置2.0、4.0付近ではレーザー加工により表面が膨らんでいる。この部分の屈折

率は平面部と比べて小さくなっていることを、図8(c)から確認できる。これは、膨らんだ部分で密度が低下したためであると考ええる。一方、周辺部の凹んだ部分では、圧縮方向に力が加わり密度が増加したため、屈折率が増加している。

4 まとめ

SH波面センサとスティッチング法を用いて透明な試料の均質性を評価するシステムを開発した。

- (1) 光がレンズを透過するとき生じる波面変化のうち、形状による波面変化をマッチング液で抑制することで、内部の屈折率の乱れによる微小な波面変化を可視化した。
- (2) 本システムを用いた計測例として、空気の密度変

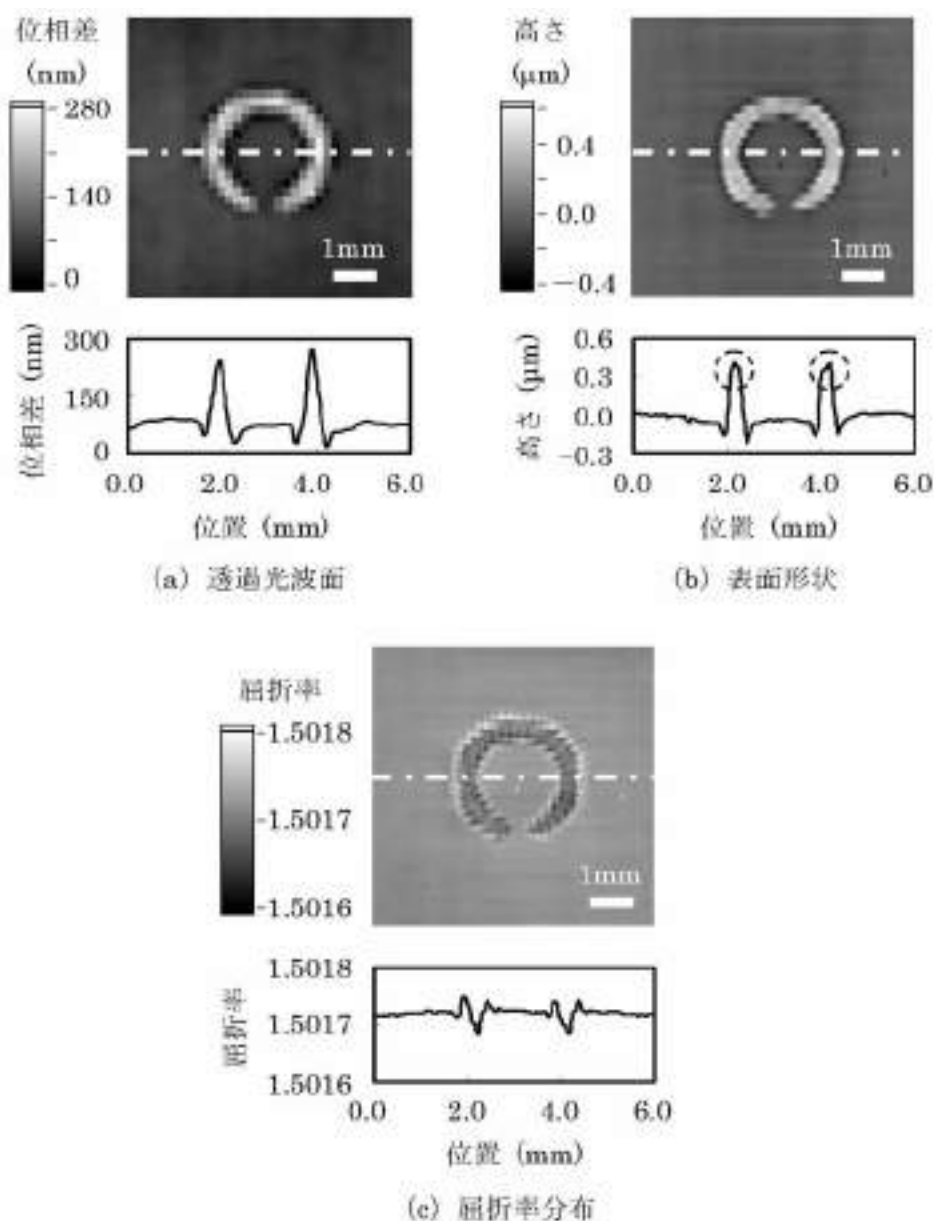


図8 レーザー加工部の屈折率分布推定

化や、平板試料の密度や厚さに起因する均質性の乱れを評価した。

(3) 波面計測と形状計測を組み合わせることで、レーザー加工した樹脂平板の屈折率を推定した。

測定したレンズの透過光波面から屈折率分布を定量評価するには、残存する形状による波面変化量を求める必要がある。レーザー加工部の屈折率分布を推定したように、レンズ形状を測定して形状による波面変化量を推定すれば、レンズ内部の屈折率だけを求めることができる。

参考文献

- 1) 清野昭一 他：光学ガラスの屈折率の光波干渉測定. 光学, 19(4), 249-251 (1990).
- 2) 須原浩之：CT解析を用いた光学素子の屈折率分布計測. 精密工学会誌, 70(5), 606-609 (2004).
- 3) Neal D. R. et al.: Shack-Hartmann wavefront sensor precision and accuracy. Proceedings of SPIE, 4779, 148-160 (2002).
- 4) Southwell W. H.: Wave-front estimation from wave-front slope measurements. Journal of the Optical Society of America, 70(8), 998-1006 (1980).

半溶融成形法を適用した高放熱性鋳造合金の開発

機械科 岩澤 秀 大澤洋文 針幸達也 宮原鐘一*
 材料科 長津義之
 株式会社浅沼技研 上久保佳則 高橋正詞 山本健介 杉浦泰夫

Development of high thermal conductivity casting alloy produced by semi-solid forming process

Shigeru IWASAWA, Hirofumi OOSAWA, Tatsuya HARIKOH, Shoichi MIYAHARA,
 Yoshiyuki NAGATSU, Yoshinori KAMIKUBO, Masashi TAKAHASHI, Kensuke YAMAMOTO
 and Yasuo SUGIURA

Nowadays semi-solid process has been noticed as the casting method that offers a light weight, high quality, performance and reliability aluminum casting parts. In this study, in order to obtain high thermal conductivity aluminum casting alloy, the effects of Si and Mg content, furthermore some heat treatments on thermal conductivity of several Al-Si-Mg system casting alloys with varying Si and Mg contents prepared by semi-solid process were investigated. An increase in the Mg content, from 0.25% to 0.75% produced a negative effect on thermal conductivity of the as-cast alloys. The thermal conductivity decreased with an increase in Si content in the as-cast condition, however, became to almost constant above 6% of Si content. It was found that both T5 and T6 heat treatments improved the thermal conductivity of alloys. For Al-2-7%Si-0.5%Mg alloys, aged at 250°C for 2hours of T5heat treatment resulted in greater 10% or more thermal conductivity as compared to the as-cast alloys. Furthermore, with higher ageing temperature and prolonged ageing time, namely ageing at 350°C for 9hours, thermal conductivity values of T5 and T6 treated Al-4%Si-0.5%Mg alloys reached to 200 and 196W・m⁻¹・K⁻¹ respectively. These values are 70% higher than those of die-cast alloy and comparable to Al-Si-Mg wrought alloy. It is reveals that semi-solid process offers high thermal conductivity aluminum casting alloy parts.

Keywords : Semi-solid forming, aluminum alloys, heat treatment, thermal conductivity.

キーワード：半溶融成形、アルミニウム合金、熱処理、熱伝導率。

1 はじめに

最近では、輸送機器分野においてハイブリッド自動車や電気自動車の普及、電気機器分野においても高性能LEDの発展など電気パワーデバイスの普及が著しい。とくにパワーデバイスの高性能化・高密度化・小型化などによる発熱密度の増加に伴う熱対策が急務な課題の一つとなっている。ヒートシンクは、蓄熱した熱を放散させる手段として広く使われており、性能向上、軽量化、複雑形状及び大型化への対応などその要求レベルも高まっている。

ヒートシンクには、アルミニウム合金が多く使われ、とくに複雑形状、大型のヒートシンクは、主にコストパフォー

マンスの良いダイカストにより製造されている。しかしながら、ダイカストでは、合金材質の制限、鋳造欠陥、熱処理できないなどにより鋳物の熱伝導率を向上させることに限界があるのが実情である。複雑形状の高放熱性ヒートシンクを製造するためには、熱伝導率の高い鋳物合金が必要となっている。

半溶融成形法は、完全な溶湯を鋳型に流し込んで固化させる従来の鋳造法とは異なり固相と液相が共存した半溶融温度領域の金属材料を金型に挿入して、加圧成形するプロセスである¹⁾。この方法は、ダイカストに比べて鋳物品質、機械的特性などの向上が期待できる。また、合金材質の選択が比較的容易、熱処

*) 現 環境衛生科学研究所

理可能であることから、要求される製品ニーズに柔軟に対応することが可能であると考えられる。そこで、放熱性の高いヒートシンクの開発を目指して、まず半溶融成形法を適用して高い熱伝導率をもつ鋳物合金の開発を目的とした。

本研究では、半溶融成形法で最も多く使用されるAl-Si-Mg系のAC4CH (Al-7mass%Si-0.4mass%Mg) 合金をベースに熱伝導率に及ぼすSi (けい素) 量及びMg (マグネシウム) 量、熱処理の影響について調べた。

2 方法

2.1 鋳物作製及び熱処理

半溶融成形鋳物の製造は、半溶融成形用に作製した直径100mm、高さ120mmの円柱状丸棒を用いて高周波誘導加熱装置にて半溶融温度まで加熱した後、120トン油圧プレスに取り付けた段付金型に挿入・加圧した。得られた段付鋳物を図1に示す。鋳物は、Al-2、4、6及び7 mass%Si-0.5mass%Mg合金（以降mass%は%）、Al-7 %Si-0.25、0.35、0.45、0.55、0.65及び0.75%Mg合金の10種類とした。

成形後の鋳物（以降as-cast材と称す）について①T4 (540℃×2h保持後水冷(W.Q.)又は空冷(A.Q.))、②T5 (250℃×2-4h又は350℃×9h)、③T6 (540℃×4hの溶体化処理後、室温で16h+160℃×6hの垂時効処理したT6 (U.A.) 材または250℃×4hの過時効処理したT6 (O.A.) 材及び④T7 (540℃×4hの溶体化処理後、室温で16h+160℃+350℃×9h) の各熱処理を施した。熱処理工程を図2に示す。

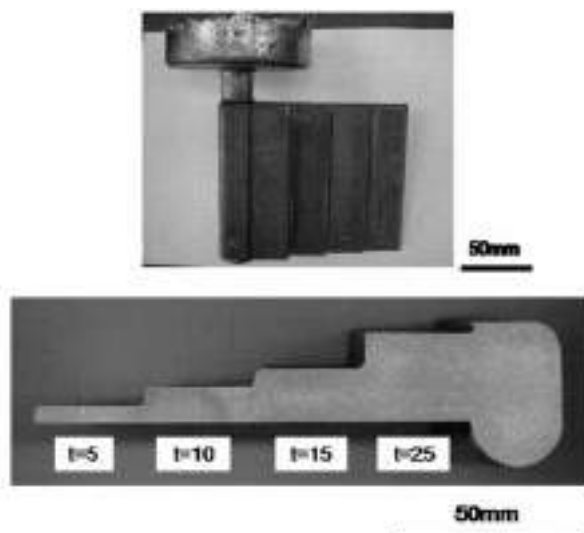


図1 半溶融成形した段付鋳物

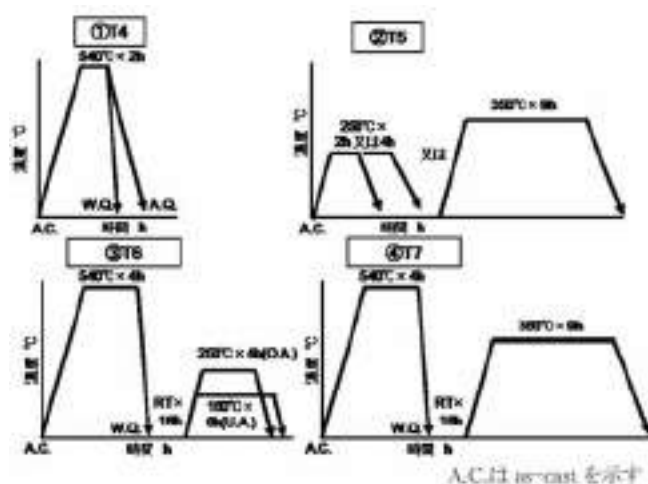


図2 熱処理工程

2.2 熱伝導率測定

熱伝導率測定試料は、肉厚15mm部分から直径10mmの丸棒を切出し、そこから直径約9mm、高さ約3mmの円柱状に機械加工した。試料の表面を#1000耐水ペーパーまで湿式研磨した後、エタノール液中で超音波洗浄を行った。各試料の直径及び厚さをノギスにて測定した後、電子天秤で重量を測定し、密度を求めた。熱伝導率は、図3に示すレーザーフラッシュTC7000 (㈱アルバック) を用いて熱拡散率及び比熱を測定して以下の式により算出した。

$$\lambda = C_p \times \alpha \times \rho$$

ここで、 λ : 熱伝導率 ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

C_p : 比熱 ($\text{J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

α : 熱拡散率 ($\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)

ρ : 密度 ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)



図3 レーザフラッシュ (TC-7000 ㈱アルバック)

3 結果および考察

合金の熱伝導率は、マトリックス中に固溶する溶質元素及びその量に大きく影響されると考えられる。そこ

【報告】

で熱伝導率に及ぼすMg量、Si量及び熱処理の影響についてそれぞれ調べた。

3.1 Mg量の影響

Mgは、熱処理により過飽和固溶体から析出するMg₂Si相の析出過程においてマトリックスを強化し、機械的性質を向上させる。しかしながら過剰添加は、じん性を低下させるため、通常、本研究で用いたAl-Si-Mg系合金では、JIS規格で0.25-0.45%程度の範囲となっている。過去の研究²⁾において、半溶融成形では、JIS規格以上にMgを過剰添加しても伸び、じん性を維持しつつ強度を大きく向上させることが示されている。ヒートシンクとしての利用を考慮した場合、ある程度の硬さや強度特性が必要となるため、強度と熱伝導率のバランスのとれたMg量を求める必要があると考えられる。図4にT6 (U.A.) 処理したAl-7%Si-0.25、0.35、0.45、0.55、0.65及び0.75%Mg合金の熱伝導率測定結果を示す。Mg量が0.35%以下の合金に比べて0.45%以上のMg量では、熱伝導率は若干低いものの、約155W・m⁻¹・K⁻¹を維持した。山本³⁾は、半溶融成形したAl-4%Si系合金において、Mg量を0%から0.80%に増加させたas-cast材の熱伝導率は、180 W・m⁻¹・K⁻¹から166 W・m⁻¹・K⁻¹に連続的に低下すること、T6材では、0.4%Mgを境にそれ以上のMg量で低下傾向にあることを報告しており、また、as-cast材とT6熱処理した合金は、熱伝導率に対するMg量の影響は鈍感であることが示されている。一般に熱伝導率は、溶質元素の固溶量の増加とともに低下することが示されている。as-cast材では、半溶融成形直後にマトリックスに過飽和固溶されたMgは、添加量とともに増大するものの、T6処理において析出硬化相の構成成分として時効析出するため、相対的に固溶Mg量が低下する。過飽和に固溶されたMgが析出することで、T6処理した各Mg添加合金

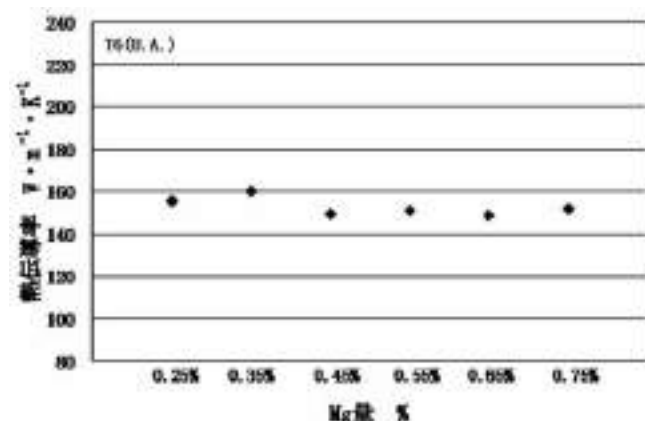


図4 熱伝導率測定結果 (Mg量の影響)

における固溶Mg量の差がas-cast材に比べて比較的小さくなったと思われる。このことが、T6材の熱伝導率に及ぼすMgの影響が比較的小さかった理由と推測される。

3.2 Si量の影響

Siは、湯流れ特性、引け特性など、铸造性に大きく影響する主要な元素であり、半溶融成形に最も多く使われるAC4CH合金では、7%程度含有している。しかしながらMgと同様にSiは、熱伝導率を低下させる。そのために铸造性と熱伝導率のバランスを考慮し、適切なSi量を検討する必要がある。図5には、Si量を変化させた合金のas-cast材の熱伝導率を示す。as-cast材では、2%Si合金の熱伝導率175W・m⁻¹・K⁻¹を最高値としてSi量の増加に伴いは低下し、6%Si以上で150 W・m⁻¹・K⁻¹となった。比較材として用いたADC12合金ダイカスト材と比較した場合、4%Si合金の熱伝導率は、38%高値であった。2%から7%Siを含むAl-Si-Mg系合金を用いて実製品形状鋳物を半溶融成形したところ、いずれも内部欠陥の無い健全な鋳物が得られた、また流動性試験では、4%以上のSiでは、ほぼ同等の流動長が得られたことを確認している⁴⁾。このことから熱伝導率と铸造性を考慮すると4%Siが妥当な添加量と判断した。

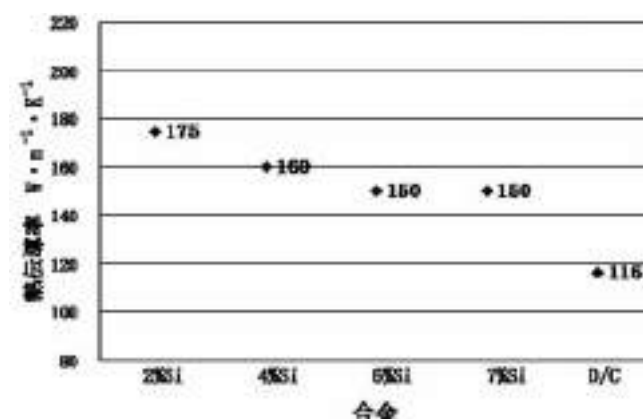


図5 熱伝導率測定結果 (as-cast材)

3.3 熱処理の影響

一般的に熱伝導率は、合金中に固溶する溶質量に大きく影響し、熱処理による固溶元素の析出等は、熱伝導率を向上させる。本研究においても種々の熱処理を行い、熱伝導率に及ぼす熱処理の影響を調べた。

Al-4及び7%Si-0.5%Mg合金を540℃で2h保持したあと水中に焼入れしたものと(W.Q.)、空气中に放冷した(A.Q.) T4材の熱伝導率測定結果を表に示す。水中焼入れしたT4材(W.Q.)は、as-cast材と

ほとんど同値であるが、空気放冷したT4材 (A.Q.) のそれは、as-cast材に比べて10%程度上回った。A.Q.材とW.Q.材の熱伝導率の違いは、溶体化処理温度540℃から室温まで冷却される冷却速度がW.Q.材の方が速いために過飽和に固溶される溶質元素量が多くなるためである。

表 熱伝導率測定結果 (T4材)

合金	鋳造のまま (as-cast)	T4(W.Q.)	T4(A.Q.)
Al-4%Si-0.5%Mg	160	156	173
Al-7%Si-0.5%Mg	150	149	167

図6にT5処理した半溶融成形材の熱伝導率測定結果を示す。T5処理を施すことで、いずれの合金ともにas-cast材に比べて10%以上熱伝導率が向上した。T5処理することで半溶融成形時に過飽和に固溶された溶質元素が析出し、相対的に固溶度が減少したためと考えられる。4%Si合金においてT5処理時間を2から4hに延長しても熱伝導率は、ほとんど変わらなかった。

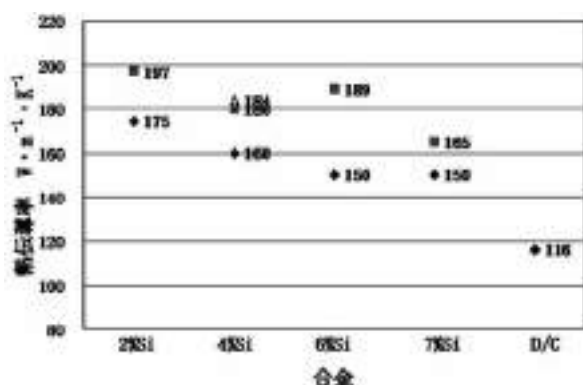


図6 熱伝導率測定結果 (as-cast材およびT5材)

◆as-cast、■T5 (250℃×2h)、△T5 (250℃×4h)。

図7には、T6材、T7材及び350℃×9hの長時間時効したT5材の熱伝導率測定結果を示す。T6処理することでas-cast材に比べて熱伝導率は向上し、とくに時効析出を促進させ、過時効軟化したO.A.材では、U.A.材に比べて高値を示した。350℃×9hと、さらに時効析出させたT5材及びT7材の熱伝導率は、約200W・m⁻¹・K⁻¹レベルに達した。この値は、ダイカストの1.7倍以上であり、また、Al-Si-Mg系の展伸合金に匹敵する。

以上のように合金成分及び熱処理を変化させることで、熱伝導率の高い半溶融成形鋳物が得られることがわかった。

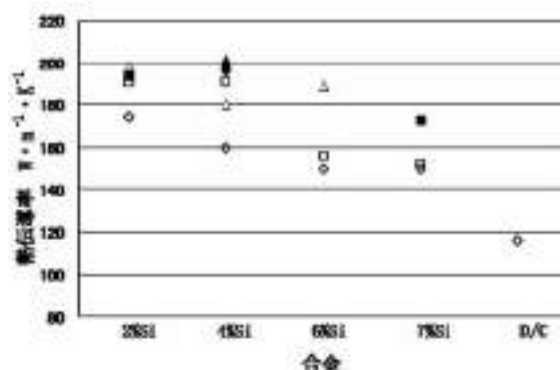


図7 熱伝導率測定結果 (T5, T6およびT7材)

◇as-cast、△T5 (250℃×2h)、□T6 (U.A.)、■T6 (O.A.)、▲T5 (350℃×9h)、◆T7 (350℃×9h)。

4 まとめ

高放熱性のヒートシンクを得ることを最終的な目的として、熱伝導率に及ぼす合金成分及び熱処理の影響について調べた。

- (1) Si及びMg量を調整することで、熱伝導率を高めることができた。強度、熱伝導率及び鋳造性のバランスがとれた半溶融成形材料としてAl-4%Si-0.5%Mg合金が有効であると考えられる。
- (2) 熱処理は、熱伝導率に大きな影響を及ぼすことがわかった。とくに過時効処理したT5及びT7材の熱伝導率は、約200W・m⁻¹・K⁻¹であり、ダイカスト材の1.7倍に達した。

本研究は、平成26年度静岡県地域活性化産学官連携研究開発助成事業の委託として(株)浅沼技研、東京工業大学、豊田工業大学との共同研究により行われた。

参考文献

- 1) 鎌土重晴：軽合金の半凝固・半溶融加工. 軽金属、50、pp.682-688 (2000).
- 2) 岩澤秀 他：半溶融成形したAl-7%Si系合金鋳物の引張特性に及ぼすMg量の影響. 第149回日本鋳造工学会全国講演大会概要集, p105, 広島 (2006)
- 3) 山本健介 他：溶融成形したAl-Si-Mg合金の熱伝導率に及ぼすMg量の影響. 第165回日本鋳造工学会全国講演大会概要集, 35, 北九州 (2014)
- 4) 岩澤秀 他：半溶融成形した鋳造用Al-Si-Mg系合金の機械的性質に及ぼすSi量の影響. 第152回日本鋳造工学会全国講演大会概要集, p70, 名古屋 (2008)

チタン合金のエンドミル加工における形状精度に関する研究（第3報）

機械科 大澤洋文

材料科 是永宗祐 植松俊明 伊藤芳典 長津義之

The effect of cutting force on accuracy of shape for titanium alloy (3rd Report)

Hirofumi OOSAWA, Sosuke KORENAGA, Toshiaki UEMATSU, Yoshinori ITOH
and Yoshiyuki NAGATSU

Titanium and its alloys are very useful industrial materials because of their superior properties of light-weight, high strength and corrosion resistance, etc. However, the other mechanical and chemical properties, such as low elastic modulus, high chemical activity and low thermal conductivity, bring difficulty in precision machining.

In this study, in the end mill cutting of Ti-6Al-4V alloy for rib with three kinds of machining center, the effect of the difference in the used machine on the accuracy of shape profile was investigated.

The main points of results are as follows:

In the case of machining with cutting machine rich in rigidity, degree of inclination of cutting side and the deviation from tolerance of straightness was decreased, because of decreasing deflection of cutting tool.

Keywords : Ti-6Al-4V alloy, end milling, rib, accuracy of shape, cutting force.

キーワード : Ti-6Al-4V合金、エンドミル加工、リブ形状、形状精度、加工機の剛性。

1 はじめに

チタンおよびチタン合金は、軽量、高強度、高耐食性、高生体適合性などの優れた特長を有することから輸送機器、航空宇宙、医療など幅広い分野で利用されている¹⁾。

一方、これらの材料は鉄鋼材料と比較して弾性率が低い、化学的活性が高い、熱伝導率が低いなどの切削加工で支障となる特性も有することから、高精度な加工が難しく、さらに使用する工具の寿命が短くなるという難点がある。加工精度や工具寿命は、被削材に加わる負荷（切削抵抗）や、使用する加工機の剛性、クーラントの種類や量などに大きく影響されるとされ、チタンの切削加工には、一般的に大量のクーラントを供給でき、剛性が高い加工機を使用することが推奨されている²⁾。しかし近年、自然環境への配慮、作業環境の改善や加工コストの低減などの要求から、クーラントを使用しないドライ加工や微量のクーラントを使用した極微量潤滑（MQL）加工のニーズが高まっている。

現状では、クーラントの有無によらず、被削材に作用する切削抵抗が加工面品位や寸法、形状精度に及ぼす影響について詳細な報告はほとんどない。そこで前報³⁾では、代表的なチタン合金であるTi-6Al-4V合

金（以下、Ti-6Al-4V）製の厚さの異なるリブから形成された被削材をエンドミルで切削加工し、切削抵抗と寸法精度や形状精度との関係を調査した。また別報でTi-6Al-4Vのエンドミル加工を異なる加工機、同じ切削条件で実施した場合、切削抵抗が大きくなる条件下では、加工機によって使用する工具の摩耗量や切削抵抗に差が出ることを示した⁴⁾。本研究では、Ti-6Al-4Vに対して3種類の加工機を用いてリブ加工を行い、加工機の違いが寸法精度や形状精度に及ぼす影響について検討した。

2 方法

2.1 被削材

被削材は、Ti-6Al-4Vを用いた。68×40×35mmの直方体形状から、図1に示す高さが20mmで厚さが2mm、5mm、14mmのリブからなる形状に対して仕上げ代1mmまで荒加工をしたものを用意した。

2.2 切削条件

仕上げ代1mmに対して、表1に示す条件で加工した。加工方向は一般的に工具摩耗が軽減するとされるダウンカットを採用し⁵⁾、切削油剤を用いないドライカットで、径方向の加工と軸方向の加工を交互に繰り返し

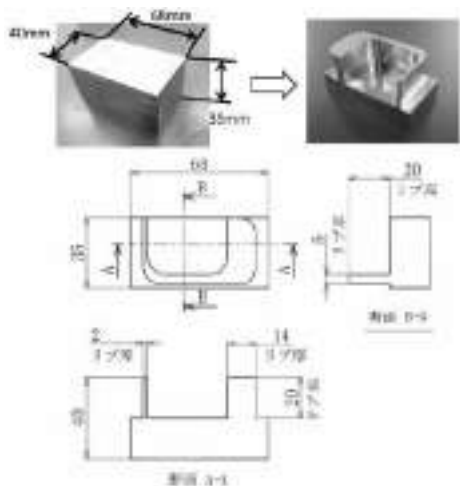


図1 被削材

表1 切削条件

切削速度	56.5m/min
一刃送り	0.04mm/tooth
径切込み	0.5mm、1.0mm
軸切込み	10mm
工具突出し量	45mm
切削方向	ダウンカット
切削油剤	なし
使用加工機	立形マシニングセンタ 加工機A、加工機B、加工機C

ながら目標の形状まで加工した。

加工機には、図2に示すように工具シャンクの形式などの仕様が異なる3種類のマシニングセンタ（以下、加工機A、B、C）を用いた。加工機Aの工具シャンク形式は、もっとも多く採用されているBT40で、シャンクのテーパ部で加工機主軸に拘束される。加工機BはHSKシャンクであり、シャンクのテーパ部と主軸端面の二面で拘束されることから、結束力が高い⁴⁾。加工機Cの工具シャンクはBT50で、加工機AおよびBと比較して工具シャンクが大きく、高剛性である⁴⁾。

工具には、超合金製で表面にTiAlN系コーティングを施したソリッドタイプで径12mmのエンドミルを用いた。

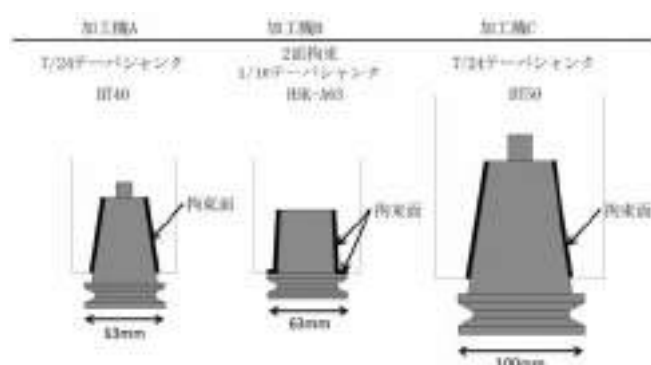


図2 加工機の工具シャンク形式

2.3 評価

加工後の被削材（以下、工作物）に対して、リブの厚さ、リブの輪郭形状、リブ壁面の真直度、リブ壁面の倒れ角、リブ壁面の表面粗さを評価した。

リブの厚さおよび輪郭形状は、表2に示す三次元測定機UPMC850CARAT（Carl Zeiss製）を用いて測定した。厚さの測定は、図3のようにそれぞれの平行部の両端と中心の3か所において、工作物の上面から1mmの位置で実施した。輪郭形状は、工作物の上面から1mmの高さにおいてプローブによるならい測定を行い、輪郭形状プロファイルを取得した。

リブ壁面の倒れ角および真直度は、図4のように被削材を輪郭測定機CV-4100/H8（株ミツトヨ製）の載物台上斜めに設置し、測定スタイラスで加工面上をなぞり、得られた座標から算出した。測定は、2mm、5mm、14mmのリブの中央部分に対して表面および裏面から実施し、それぞれ平均値を求めた。

リブ壁面の表面粗さは、表3に示す触針式表面粗さ

表2 三次元測定機の仕様

機器名	Carl Zeiss製	UPMC850CARAT
20℃における 測定精度	1軸 (U1) 空間 (U3)	0.5+L/900µm 0.8+L/900µm
使用したスタイラス	長さ チップ球径	33.5mm 3mm
(L: 測定長さmm)		

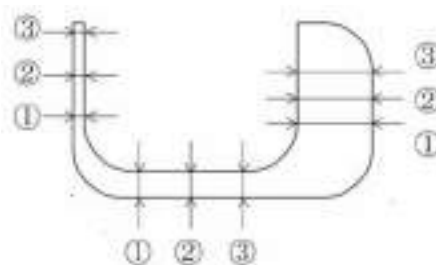


図3 リブ厚さ測定位置



図4 形状測定

表3 触針式表面粗さ測定機の仕様

機器名	Taylor Hobson製	フォームタリサーフS4C
分解能		32nm
使用した 触針の形状	先端半径 円すいアール角度	公称2µm 90°

測定機フォームタリサーフS4C（Taylor Hobson製）を用いて測定した。測定は、JIS B 0601-1994⁶⁾ に準じ、図5に示すリブ先端付近および根元付近でそれぞれ3か所行い、最大粗さ高さ R_y （ μm ）は3点の平均値とした。

使用後の工具の摩耗量は、デジタルマイクロスコープVHX-1000（株式会社キーエンス製）を用いて、最大逃げ面摩耗幅を計測した。



図5 粗さ測定位置

2.4 切削抵抗

今回の仕上げ加工では、1回の加工中に切削送りの方向がX、Y、曲線と変化するため、各軸方向にかかる切削抵抗を把握することが困難である。そこで予備試験として同一材質を被削材として表1の切削条件において、単純直線加工を実施し、切削中に被削材の切込み方向にかかる切削抵抗、送り方向にかかる切削抵抗、工具軸方向にかかる切削抵抗を多成分動力計type9129AA（日本キスラー(株)製）で測定した。切削抵抗の評価には、予備試験の値を用いた。

3 結果および考察

工作物のリブ壁面の倒れ角を測定した結果を図6に示す。切込みが0.5mmでリブ厚さが2mmにおける壁面の倒れ角は加工機Aで 0.10° 、加工機Bで 0.08° 、加工機Cで 0.07° であった。いずれの加工機も切込みが増加することで壁面の倒れ角は大きくなる傾向を示し、切込みが1.0mmでリブ厚さが14mmのときに加工機Aで 0.18° 、加工機Bでは 0.12° 、加工機Cでは 0.13° で各加工機における最大値を示したが、リブ厚さの増加による変化は少なかった。

次に、工作物のリブ壁面の真直度を測定した結果を図7に示す。加工機Aでは、2mmのリブの壁面の真直度は切込みを0.5mmから1mmに増加することで $28\mu\text{m}$ から $35\mu\text{m}$ に悪化した。また、加工機Bではそれぞれ $13\mu\text{m}$ 、 $22\mu\text{m}$ 、加工機Cではそれぞれ $13\mu\text{m}$ 、 $20\mu\text{m}$ を示し、加工機Aと同様に切込みを大きくすること

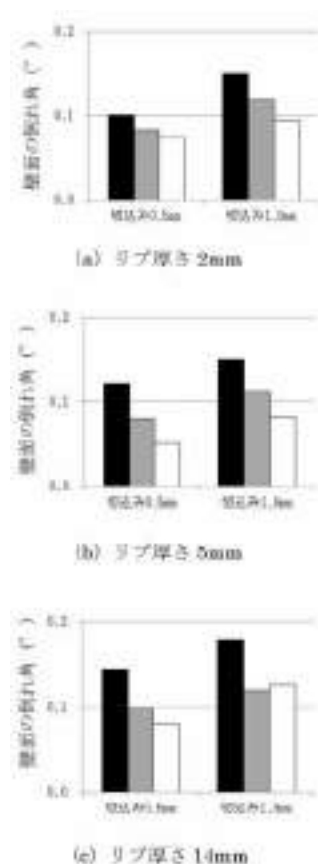


図6 リブ壁面の倒れ角

■：加工機A、■：加工機B、□：加工機C。

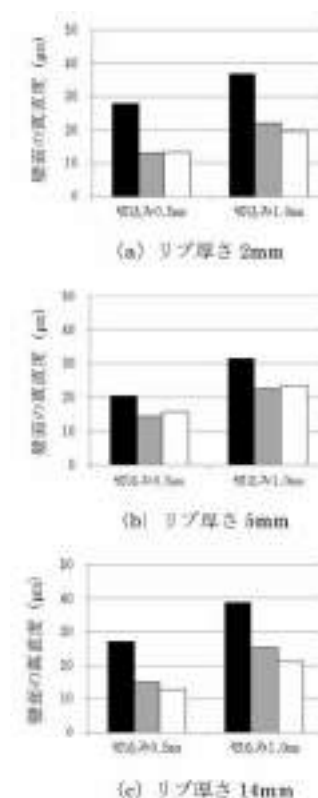


図7 リブ壁面の真直度

■：加工機A、■：加工機B、□：加工機C。

【報告】

で真直度は悪化した。リブ厚さ 5 mm、14mmでも切込みを大きくすることで真直度は悪化する傾向であるが、リブ厚さの増加による真直度の変化は少なかった。加工機間で比較すると、壁面の真直度は倒れ角と同様に、加工機Bおよび加工機Cより加工機Aが悪かった。壁面の真直度の悪化する要因として工具の摩耗による切れ刃の鈍化が挙げられる⁷⁾。条件ごとの工具逃げ面摩耗幅を図8に示す。いずれの加工機でも切込みが0.5mmから1.0mmに増加しても35 μ m程度であり、今回の加工条件では工具摩耗が壁面の真直度に及ぼす影響は少ないと考えられる。

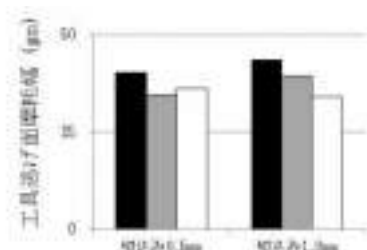


図8 工具摩耗量

■ : 加工機A, ■ : 加工機B, □ : 加工機C。

ここで、それぞれの加工機における14mmのリブ壁面の断面形状プロファイルを図9に示す。リブ壁面は加工機によらず、うねりを伴う傾斜した形状であり、切込みを大きくすることでうねり形状は大きくなった。うねり形状の形成は、壁面の真直度の悪化を招く。前報³⁾で述べたとおり、エンドミル加工では、工具が被削材から受ける抵抗とその作用する位置が時間の経過とともに変化することで、工具の曲げ変形量が増減するために、うねり形状が形成されると考えられる。壁面方向にかかる切削抵抗を図10に示す。切削抵抗は加工機による差はなく、切込み0.5mmでは180N程度、切込み1mmでは290N程度であった。ただし切れ刃が侵入し、約5°回転したときの壁面方向にかかる切削抵抗と工具軸方向にかかる切削抵抗のなす角 θ を求めると加工機Aでは20°、加工機Bでは7°、加工機Cでは11°で差異があった。加工機間で壁面方向にかかる切削抵抗に差がないことから、加工機Aで切削抵抗のなす角 θ が大きくなったのは、工具が被削材に接触した直後に工具軸方向にかかる切削抵抗が加工機Bおよび加工機Cに比べ大きかったためだと思われる。また、図11に示すように加工機BのHSKシャンクは拘束面がテーパ部と主軸端面部の2面であるため、切削抵抗によりシャンクを下に引き抜く力が働くとテーパ部に隙間が生じる

が、主軸端面部が拘束されているためシャンクは倒れにくい。一方、加工機A、加工機CのBTシャンクでは、拘束面がテーパ部のみであるため、シャンクは倒れる方向に対して不安定になる。特に加工機Aの工具シャンクであるBT40は、加工機Bの工具シャンクBT50に比べシャンク径が小さく剛性が低いため、シャンクを引き抜く力による影響を受けやすい。このことから、壁面の倒れ角と真直度が劣る加工機Aでは、壁面方向の切削抵抗の最大値が同等であっても、工具が被削材に接触した直後からシャンクを下に引き抜く成分が大きく働くことで工具が倒れやすくなったため、被削材を斜めに切削したと推察する。

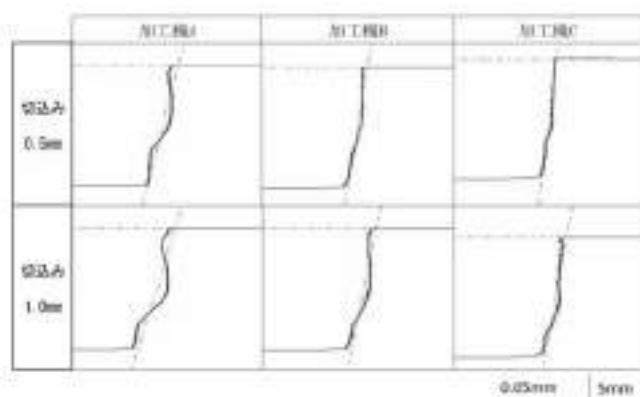


図9 リブ壁面の断面形状プロファイル

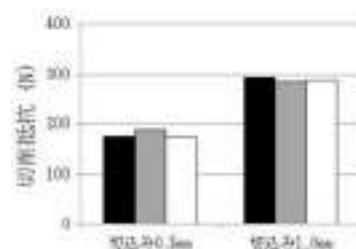


図10 予備試験における壁面方向の切削抵抗

■ : 加工機A, ■ : 加工機B, □ : 加工機C。

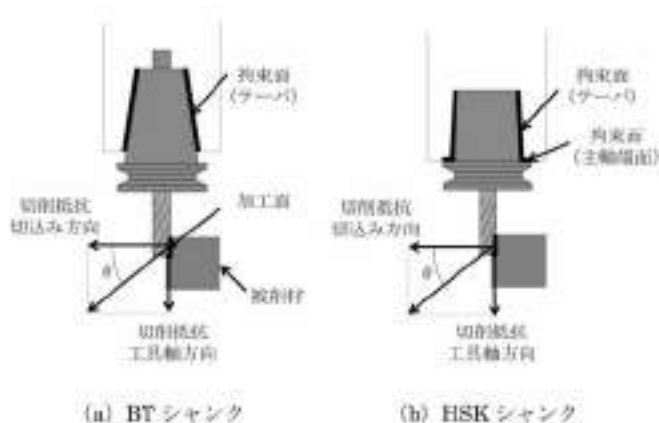


図11 切削抵抗の方向 (モデル図)

【報告】

図12に工作物の上面から1mmの高さにおける、径方向の切込みを0.5mmで加工したときの工作物の輪郭形状プロファイルを示す。目標値からの誤差を拡大して表し、加工開始位置をaとし、経路をb～hで表記した。いずれの加工機で加工した工作物においても、リブ厚さ2mmを目標とする加工面bcにおいて、加工がbからcへと進行するとともに厚さが増加した。図13に加工機ごと2mm、5mm、14mmのリブにおける厚さの最大変化量を示す。厚いため断面2次モーメントが大きい14mm

のリブと、2mmおよび14mmのリブに挟まれ剛性が高い5mmのリブは、いずれの加工機においても最大変化量が5 μ m以下と小さかった。リブ底と加工位置bでしか拘束されていない2mmのリブでは、いずれの加工機においても、切削抵抗により被削材が工具の径方向にたわみ、切残しが発生することで、リブ厚さの変化が大きくなった。リブ厚さの最大変化量は、加工機Aで13 μ m、加工機Bで21 μ m、加工機Cで17 μ mで、加工機Aで加工した2mmのリブに比べ、加工機BおよびCでは変化量が大きかった。これは、シャンクの剛性が高い加工機BおよびCでは、工具が倒れにくいため被削材のたわみが大きくなり、切残し量も多くなったためだと考えられる。

工作物のリブ先端付近および根元付近の最大粗さ高さの測定結果を図14および図15に示す。いずれの加工機においても、最大粗さ高さが2 μ m以下と加工面粗さは良好だった。またどのリブ厚さでも、切込みを0.5mmから1.0mmに増加し、切削抵抗が大きくなっても加工面粗さに大きな変化はなかった。

本研究で使用した加工機は、工具を主軸に保持するシャンク形式が異なり、シャンクの主軸への締結力や剛性に差がある。また、一般に、工具を保持するチャッ



図12 工作物の輪郭プロファイル
測定位置：上面から1mm

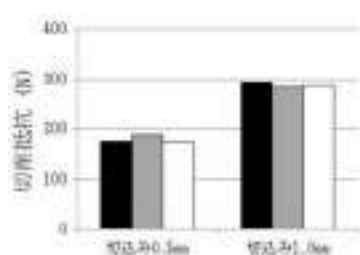


図13 リブ厚さの変化量

■：加工機A、■：加工機B、□：加工機C。

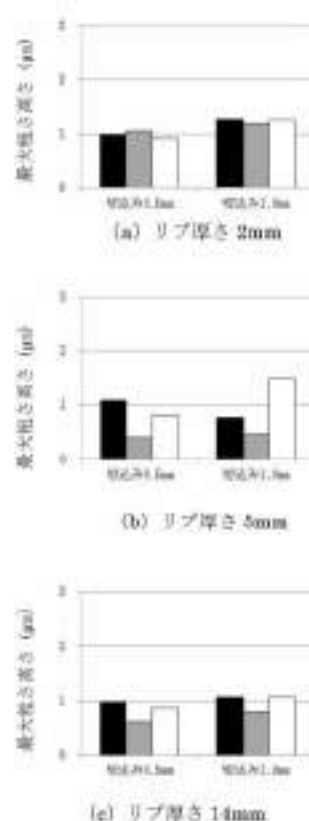


図14 リブ壁面の最大粗さ高さ（先端付近）

■：加工機A、■：加工機B、□：加工機C。

【報告】

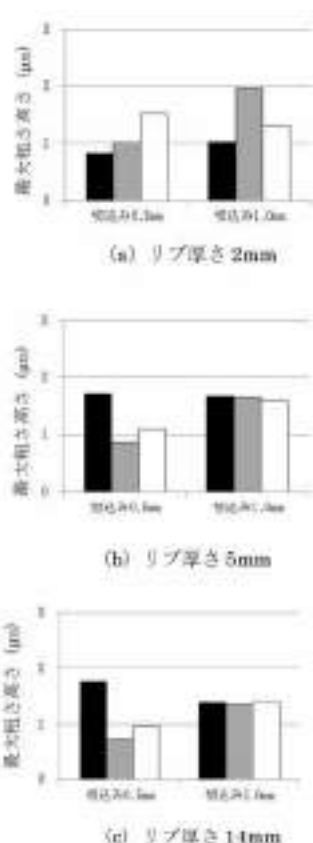


図15 リブ壁面の最大粗さ高さ（根元付近）

■：加工機A、■：加工機B、□：加工機C。

ク本体のねじれ剛性や曲げ剛性、工具の把持力、工具の保持精度が加工精度に影響を与え、保持剛性は同一仕様でも製品によってかなりのばらつきがあるといわれている⁸⁾。そのため加工機ごと、同程度の切削抵抗で工具のたわみが同等であっても、シャンクやチャックの倒れ量や偏心量に差が発生することで、工作物の加工精度に優劣ができたと考えられる。またシャンク形式やチャックの剛性だけでなく、主軸本体や主軸を保持しているコラム、被削材を固定しているテーブルや送り機構、加工機を支えるベッドや基礎などすべての要素の剛性が加工精度に影響を与えると推測できる。Ti-6Al-4Vを加工する際には、切削抵抗等の切削現象を解析し、加工機の特性を把握した上で最適切削条件を選定することが望ましいと考える。

4 まとめ

被削材としてTi-6Al-4Vを用い、厚さの異なるリブから形成される試験片に、3種類の加工機を用いてエンドミルで仕上げ加工を行い、加工面の寸法精度および形状精度を評価して、以下の結果を得た。

- (1) 使用する加工機により、同じ切削条件で加工しても工作物の形状精度に差があった。剛性が低い加

工機では、剛性が高い加工機に比べリブ高さ方向の傾きや真直度が悪化した。また、切削抵抗が大きい切削条件ほど形状精度の悪化は大きくなるため、使用する加工機やシャンク、チャック等の特性を把握した上で、切削条件を選定する必要がある。

- (2) Ti-6Al-4Vはヤング率が低いいため、切削抵抗により被削材にたわみが発生し、寸法精度が悪化した。剛性の高い機械では加工機が変形しにくいいため、被削材のたわみが大きくなりやすい。特に高さに対して薄いリブでは、その影響が顕著になるので注意が必要である。Ti-6Al-4Vを薄いリブ形状に加工する際は、リブ剛性を高い状態にすることが重要となる。
- (3) 加工機の剛性に関わらず、切削抵抗が大きい条件では、リブ壁面の倒れ角や真直度が悪化した。工作物の形状精度を向上させるためには、仕上げ加工で切削抵抗が小さい条件を選択する必要がある。

参考文献

- 1) 新家光雄 他：応用，「チタンの基礎・加工と最新応用技術」，第1版 ((株)シーエムシー出版，東京)，新家光雄 監修，pp.144-341 (2009)。
- 2) 狩野勝吉：チタンとチタン合金，「難削材・新素材の切削加工ハンドブック」，第1版 (森出版(株)，東京)，pp.287-322 (2011)。
- 3) 大澤洋文 他：チタン合金のエンドミル加工における形状精度に関する研究 (第2報)．静岡県工業技術研究所研究報告，第7号，90-94 (2015)。
- 4) 是永宗祐 他：チタン合金の切削性に及ぼす加工機の影響．静岡県工業技術研究所研究報告，第7号，101-105 (2015)。
- 5) 小坂弘道：ソリッドエンドミル、その他，「切削加工の基本知識」，初版 (日本工業新聞社，東京)，pp.145-160 (2007)。
- 6) 奈良治郎 他：最大高さ (Ry) の定義及び表示，「表面粗さ一定義及び表示JIS B0601-1994」，第3版 ((財)日本規格協会，東京)，福原元一 編集，pp.5-7 (1995)。
- 7) 大澤洋文 他：チタン合金のエンドミル加工における形状精度に関する研究．静岡県工業技術研究所研究報告，第6号，98-102 (2014)。
- 8) 中村健三 他：チャック，「フライス加工ハンドブック」，第1版 (切削油技術研究会)，pp.141-143 (1998)。

透明プラスチックの光吸収率の測定

光科 山下清光

Measurement of optical absorptance in clear plastics

Kiyomitsu YAMASHITA

Keywords : Plastics, $2\mu\text{m}$, optical absorptance.キーワード：プラスチック、 $2\mu\text{m}$ 、光吸収率。

1 はじめに

医療用部品には透明プラスチックが広く利用されている。こうした透明材料の接合には接着、振動溶着等による方法が用いられているが接着剤の残留、製造工程で粉塵の洗浄が必要等の課題がある。そこで、我々は医療用透明プラスチック部品の加工への応用を目指してレーザーによるクリーンな溶着法の開発を行っている。従来のレーザーで溶着を行うためには光吸収剤等をプラスチックに皮膜する必要があった。光吸収剤なしのクリーンな溶着を実現するためにはプラスチックの光吸収特性を把握することが重要である。そこで溶着に適した光吸収があると思われる波長 $2\mu\text{m}$ 帯におけるプラスチックの光吸収特性を測定した。

2 方法

光透過率の測定には図1の自記分光光度計 UV-3150（梶島津製作所製）を使用した。さらに、同装置にて光反射率を測定し、下記の式より、光吸収率を求めた。

$$A = 100 - T - R$$

ここでAは光吸収率、Tは光透過率、Rは光反射率、単位は％である。試料は、透明プラスチックとして代表



図1 自記分光光度計 UV-3150（梶島津製作所製）

的なPMMA（メタクリル樹脂）、PET（ポリエチレンテレフタレート）、PC（ポリカーボネート）（全て板厚3mm、無着色）を選んだ。また、半透明の材料としてPP（板厚3mm、白濁色）、有色の材料として市販の青、黄、桃、橙、赤色のPMMA（板厚2mm）を選んだ。さらに、光吸収率の板厚の影響を調べるためPET（無着色）について、異なる板厚（0.2mm、0.5mm、1mm、2mm、3mm）の測定を行った。

3 結果

3.1 プラスチックの光吸収率

図2に透明プラスチック（PMMA、PET、PC）と半透明PPの波長に対する光吸収率を示す。波長 $1.1\mu\text{m}$ 以下ではPPを除きプラスチックの光吸収率が2%以下であることがわかった。プラスチックの波長 $1.94\mu\text{m}$ に対する光吸収率はPMMAで57%、PETで50%、PCで23%、PPで55%であることがわかった。

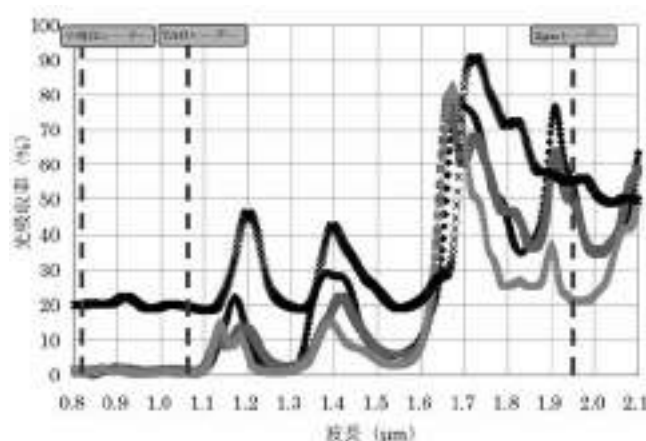


図2 プラスチックの波長に対する光吸収率

◆：PMMA、■：PET、▲：PC、×PP。

3.2 着色PMMAの光吸収率

図3に着色PMMAの波長に対する光吸収率を示す。波長 $0.8\mu\text{m}$ 以上では、着色と無着色の光吸収率は

ほぼ同じであった。また、可視域では各着色に応じた波長の吸収の結果を得た。

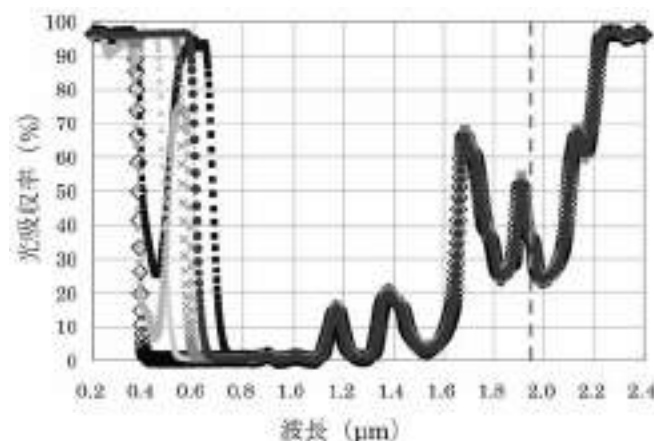


図3 着色PMMAの波長に対する光吸収率
◇：透明、■：青、▲：黄、◆：桃、×：橙、●：赤。

3.3 異板厚PETの光吸収率

図4に異なる板厚のPETの波長に対する光吸収率を示す。異なる板厚でも光吸収率が極大となる波長の位置は変わらないことがわかった。PMMA、PCについても同様の結果を得た。図5に波長1.94 μm における板厚に対する光吸収率を示す。光吸収率は板厚に対して比例関係にあることがわかった。

4 まとめ

- ・板厚3mmの各種プラスチックの光吸収率の結果から2 μm レーザーで、透明プラスチック同士を溶着できる可能性があることがわかった。
- ・着色プラスチックの光吸収率は波長1.1 μm 以上では無着色のものと同様であることがわかった。そのため、2 μm レーザーの溶着実験では着色プラスチックは無着色のものと同様に扱うことができることがわかった。

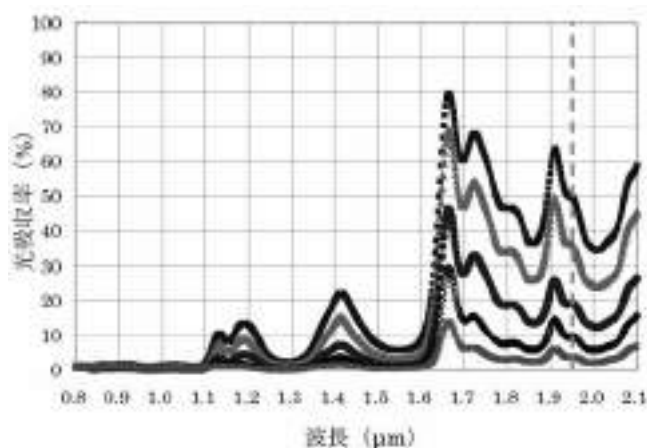


図4 板厚の異なるPETの波長に対する光吸収率
■：3mm、▲：2mm、●：1mm、◇：0.5mm、×：0.2mm。

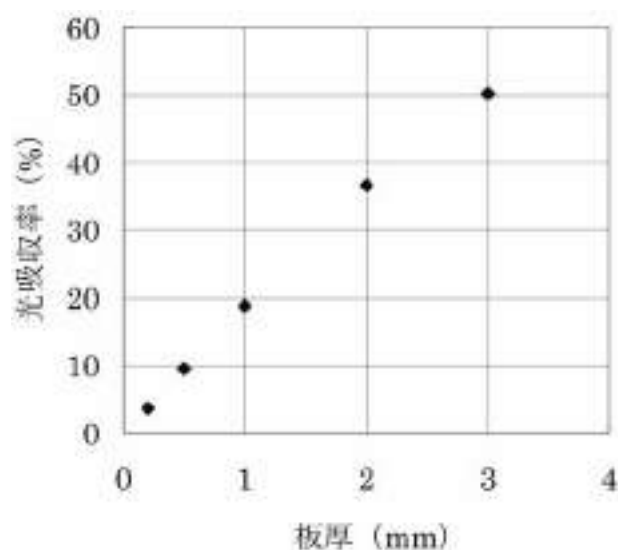


図5 PETの板厚に対する光吸収率（波長1.94 μm ）

プラスチック眼鏡レンズのレーザー染色技術の開発

光科

材料科

株式会社ニデックコート事業部研究開発部

植田浩安 柳原 亘* 山下清光 鷺坂芳弘

長津義之

犬塚 稔 阿部功児

Development of laser dyeing technology to a plastic glass lens

Hiroyasu UETA, Wataru YANAGIHARA, Yoshiyuki NAGATSU, Kiyomitsu YAMASHITA,
Yoshihiro SAGISAKA, Minoru INUZUKA and kouji ABE

Keywords : Laser, dyeing, glass lens, temperature of heating point.

キーワード：レーザー、染色、眼鏡レンズ、加工点温度。

1 はじめに

プラスチックレンズ等の透明樹脂を染色する方法として、レンズを染色液の中に浸漬して染色する方法（浸染）がよく知られている。この方法は従来から良く用いられているが、染色に長時間を要すること、色合わせに熟練を要することなどの問題点があった。こうした課題を解決するために、レーザーをレンズの表面に照射する方法で、照射した部分だけを局所的に加熱し染色する手法（レーザー染色法）を開発した。本項では、レーザー染色システムの概要とこのシステムを用いた各種レンズ基材のレーザー染色について報告する。

2 方法

2.1 ラボ用レーザー染色システムの構築

実験で構築したラボ用レーザー染色システムの概要を図1に示す。炭酸ガスレーザー（C-30A：コヒーレント製）、XYステージ（オリジナルマインド製）を用い、ステージでレーザー光をレンズ基材に対して相対的に走査した。図1の破線の部分で基材表面の温度を測定し、その温度に応じてレーザーのパワーを制御できるようにした。温度測定には放射温度計（TMHX-CH0500：ジャパンセンサー製）を用い、基材に照射したレーザー光のほぼ中心の温度を測定した。染色するレンズ基材の表面温度が任意に設定した温度となるようにレーザー光のパワーをコントロールした。なお、染色するレンズ基材は、気相転写法を用いて事前に表面に染料を薄く塗布した。

2.2 PC、中屈折率レンズ及び高屈折率レンズの染色

ポリカーボネート（PC）製レンズ、中屈折率レンズ

及び高屈折率レンズのレーザー染色を行い、染色状況を評価した。塗布した染料濃度は4倍（サングラスカラーを染色するための染料量）とした。

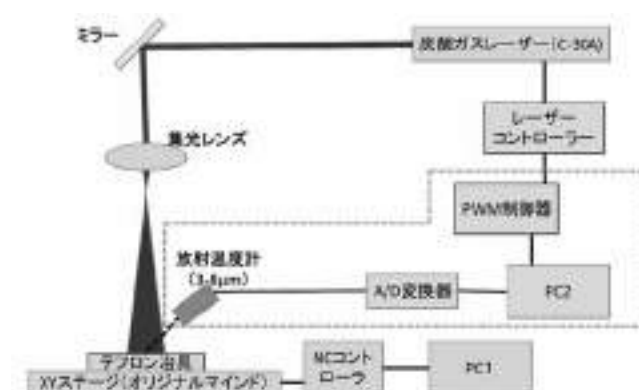


図1 ラボ用レーザー染色システムの概要

3 結果および考察

3.1 パワー制御の有効性

レンズ基材の表面を目標の温度にするため、レーザーのパワーを制御した。この時の測定温度と制御量の関係を図2に示す。目標温度は140℃とした。計測開始から約1.5秒後レーザーがONし、表面の温度が上昇している。測定開始から約3秒後に目標の温度になり、パワーは制御量が70%から徐々に減少し20%程度で制御しながら表面温度を140℃に保っている様子が確認できた。次にこのシステムを用いてPC製平板、PCレンズ、中屈折率・高屈折率レンズを染色した。3.2示すように、各種レンズ基材の染色において、パワー制御を利用することにより、染色の再現性や均一性を向上させることができた。

*) 現 工業技術研究所 機械科

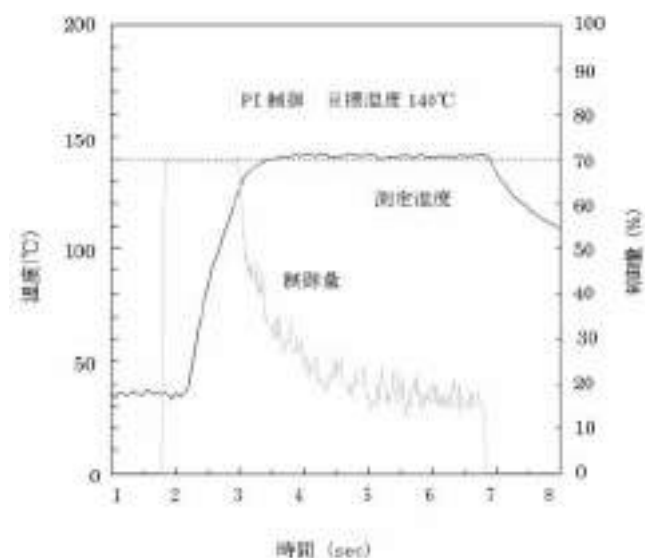


図2 パワー制御（設定温度と制御量）

3.2 各種レンズの染色

2.1のシステムを利用して、PC平板及びPC製レンズを染色した。その結果を図3及び図4にそれぞれ示す。パワー制御を利用したレーザー染色法により、浸染法では染色ができないPC製レンズの染色を可能することができた。青・赤・黄の染料を塗布した中屈折率レンズ及び高屈折率レンズを染色した結果を図5及び図6に示す。PCレンズ同様に、均一な染色が実現できた。構築したレーザー染色システムにより、これまで染色が難しかった高屈折率レンズの染色が可能となった。

本研究は平成25年度A-STEP FSステージ シーズ顕在化タイプ（JST）で行った研究成果の一部を含む。



図3 PC平板の染色（左から青、黄、赤）



図4 PCレンズの染色（左から青、黄、赤）



図5 中屈折率レンズの染色（左から青、黄、赤）



図6 高屈折率レンズ染色（左から青、黄、赤）

レーザー式三次元測定における測定精度と被測定物の表面状態との関係について

光科 柳原 亘* 太田幸宏**

Evaluation for the measurement accuracy of three-dimensional measuring mashine with laser probing system to the condition of surface of objects to be measured

Wataru YANAGIHARA and Yukihiro OHTA

Keywords : three-dimensional measuring mashine with laser probing system,
condition of surface of objects to be measured, measurement accuracy.

キーワード：レーザー式三次元測定、表面状態、測定精度。

1 はじめに

レーザー式三次元測定機（写真1）は非接触で被測定物の形状を短時間に測定することができ、三次元CADデータの作成も容易であるため、近年利用が増えている。一方で、本測定機は光学的手法を用いることから、被測定物の表面状態（粗さ、反射率等）によって測定精度が変化するといわれている。測定の信頼性を高めるためには、被測定物の表面状態と測定精度との関係を把握する必要がある。本研究では、様々な表面状態に対して測定精度の評価を試みたので報告する。

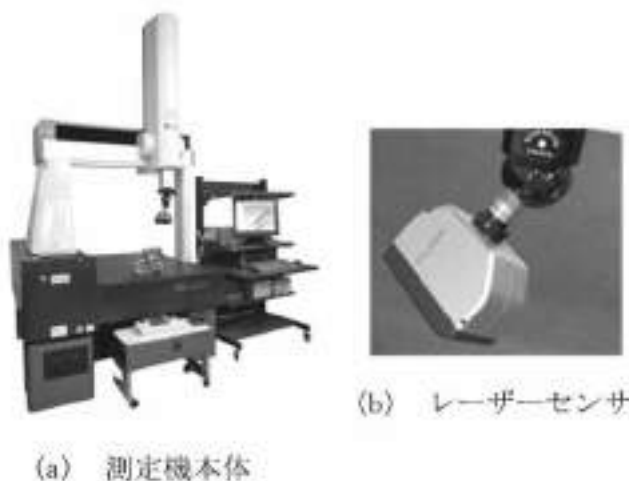


写真1 レーザー式三次元測定機

2 方法

門型の三次元測定機上に被測定物を固定し、レーザーセンサ「非接触プローブ TDS-1622H（パルステック工業㈱）」で測定を行った。本センサは被測定

物にレーザーを照射し、その散乱光を集光してセンサ内のCCDに結像させ、結像位置によって被測定物までの距離を測る構造となっている（図1）。被測定物は表面塗装（白、黒、各々つやあり/なしを用意）4種、金属母材（SUS、アルミ）2種、加工方法（フライス、梨地処理）を変えた平板サンプル2種とした。被測定物上をライン測定し、測定した点データから最小二乗法で直線を計算した。その直線に対する各点の標準偏差を 3σ で算出し、これを測定精度として評価した（図2）。

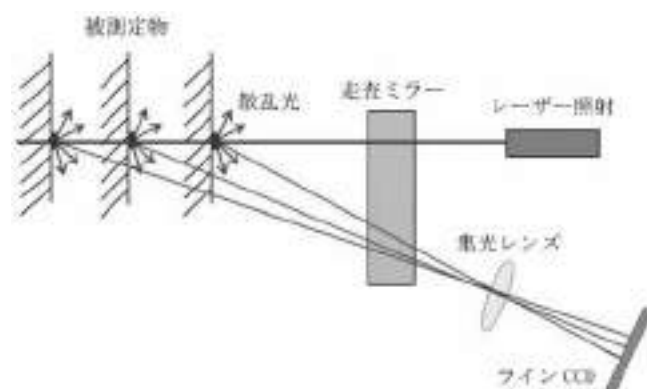


図1 レーザーセンサの構造



図2 測定精度の算出方法

*）現 工業技術研究所 機械科

**）現 経済産業部振興局研究調整課

3 結果および考察

表面塗装した平板サンプルの測定結果を図3に示す。白はつやあり/なしで標準偏差にほとんど差は生じないが、黒はつやあり/なしで $30\mu\text{m}$ ほどの差が生じた。黒のつやなしはつやありに比べてセンサに入る光量が多いためと考える。これは図4のように、つやなしは粗さが大きいため散乱光が多く得られセンサに入る光量も多いが、つやありは正反射光が多い分、散乱光の量が減るためセンサに入る光量も少なく標準偏差が大きくなったということである。白は反射光量が多いため、つやあり/なしで差は生じなかった。

金属母材と加工方法についての結果を図5に示す。アルミとフライス加工面はレーザー走査方向によって標準偏差に $30\mu\text{m}$ ほどの差が生じた。アルミとフライス加工の表面は一方方向に痕があり、レーザー走査方向によってセンサに入る光量に違いが生じたためと考える（写真2）。SUSと梨地処理の表面はランダムな凹凸であるため、レーザー走査方向によって大きな差は生じなかった。

4 まとめ

表面状態の異なる被測定物をレーザー測定した結果、表面の粗さ、反射率、一定方向の痕が測定精度に影響することが確認できた。データ数を増やしていけばさらに傾向が明らかになると考えるため、今後もデータの蓄積に努めていきたい。

本研究で得た知見は、当センターをはじめレーザー式三次元測定機を所有する企業に役立つと考える。

謝辞

本研究にあたり、機器の提供や実験の助言等、様々なご支援をいただいたパルステック工業株式会社の皆様に深く感謝します。

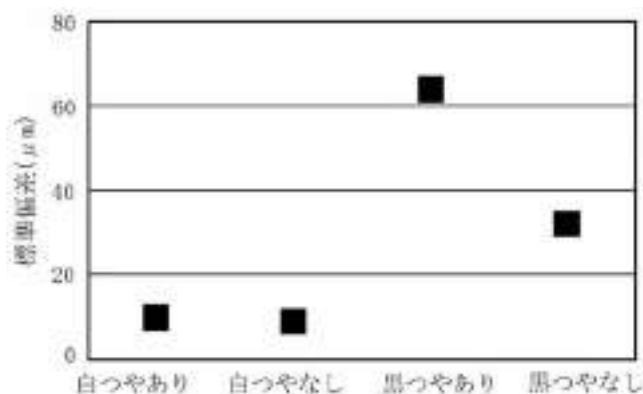


図3 塗装したサンプルの測定精度

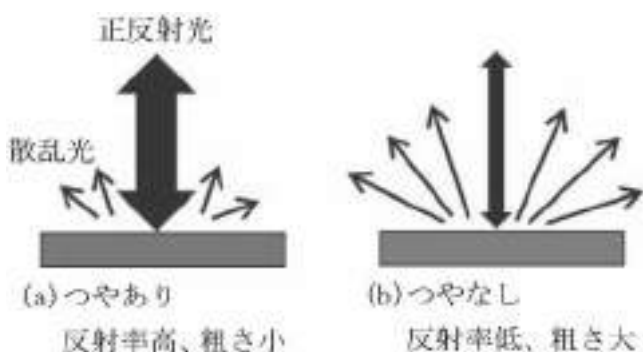


図4 反射光の違い

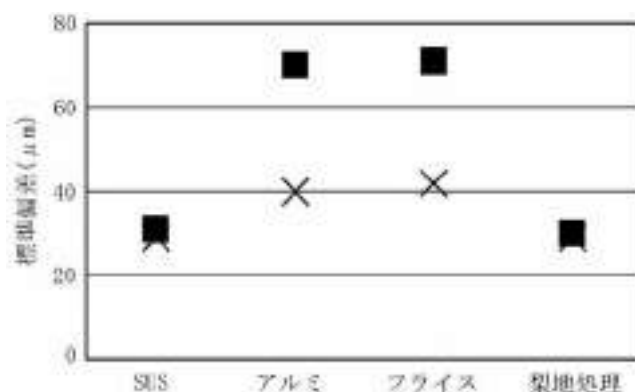


図5 金属母材と加工方法についての測定精度

×：走査方向1、■：走査方向2。

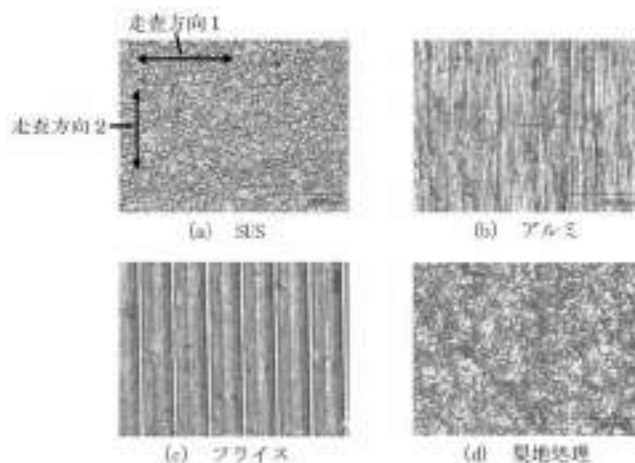


写真2 被測定物表面の拡大写真

電波識別技術の実用化開発（第2報）

— 電波識別のための評価用信号の生成 —

電子科

アールエフネットワーク株式会社

静岡大学大学院工学研究科

杉森正康 山田浩文 松田 稔

田内正治

犬塚 博

Development of Radio Wave Identification Technology for Practical Use (2nd Report)

— Generation of Evaluation Signals for Radio Wave Identification —

Masayasu SUGIMORI, Hirofumi YAMADA, Minoru MATSUDA, Masaharu TANAI
and Hiroshi INUZUKA

Keywords : Radio wave identification, distinction performance, evaluation signal, list calculation software, signal generator.

キーワード：電波識別、識別性能、評価用信号、表計算ソフト、信号発生器。

1 はじめに

我々は、空間を飛び交う様々な電波の種類を簡便な方法で識別する「電波識別装置」（写真1）を開発している¹⁾。装置に電波信号を入力すると、搭載された識別アルゴリズムに従って入力信号を解析・演算することで、電波の種類を識別する。実用化に向けて、その識別性能を評価するためには、各種通信方式に準拠した正常信号や、意図的に誤りを挿入した異常信号等の評価用信号を用いて、識別動作を確認する必要があるが、そのような評価に適した特性を持つ信号を得るのは容易ではなかった。そこで、表計算ソフトや信号発生器等の汎用ツールを組み合わせることで、様々な評価用信号を簡単に生成することができる「評価用信号生成システム」を構築した。

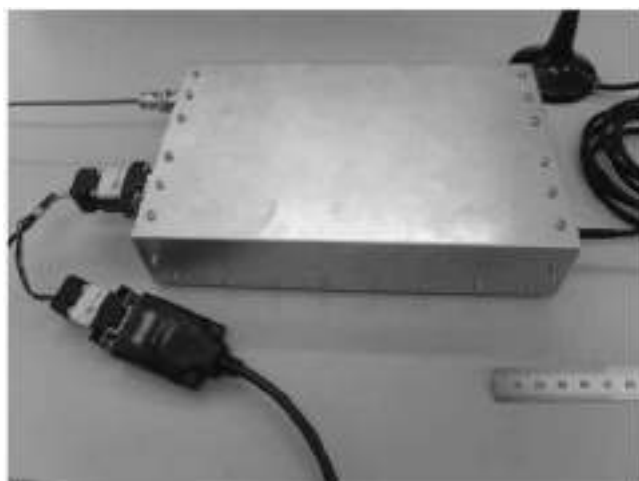


写真1 開発中の電波識別装置（試作機）の外観

2 方法

2.1 表計算ソフトを利用した各種信号の生成

デジタル信号処理の分野では、信号を離散的なデータ列として表し、このデータ列に各種演算を施すことで、様々な特性を持った信号を生成する。今回は、汎用の表計算ソフト上に、各種通信方式に応じた機能ブロック相当の数式を配置し、内部関数を利用して演算することにより、評価用信号のデータ列を生成するシミュレーション系を構築した。今回シミュレートしたW-CDMA（Wideband Code Division Multiple Access）携帯電話信号（ドコモ、ソフトバンク系）のブロック図を図1示す。

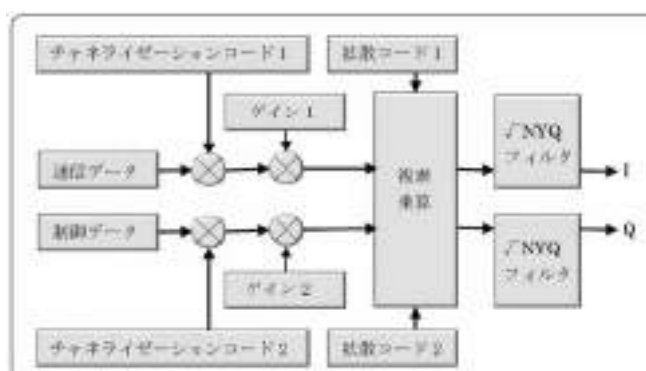


図1 W-CDMA携帯電話信号生成シミュレーションのブロック図

表計算ソフト上で、各ブロックの機能に相当する演算を実行することにより、W-CDMA携帯電話信号生成のシミュレーションを行う。

I：直交変調における同相信号成分（In Phase）

Q：直交変調における90°位相信号成分（Quadrature Phase）

表計算ソフトを利用することで、①複雑なプログラムを組むことなく簡単に様々な信号を生成可能、②パラメータの変更や異常信号等への変更が容易等の利点がある。

2.2 信号発生器による実信号の出力

シミュレーションで生成したデータ列を信号発生器の内部形式に変換し、これを信号発生器（アンリツMG3700）に転送することで、表計算ソフトで生成した評価用信号を実際の電波信号として出力するシステムを構築した（図2）。信号発生器を使うことで、良好な位相雑音特性を持つ高品位な評価用信号を得ることができる。



図2 信号発生器を利用した評価用信号生成システムの構成

3 結果および考察

本システムを使った評価実験の様子を写真2に、本システムで生成したW-CDMA携帯電話信号の波形の例を図3～5に示す。各種電気的特性が、W-CDMA携帯電話信号の特徴に類似しており、電波識別装置の評価用信号として利用可能と考えられる。

4 まとめ

表計算ソフトと信号発生器という汎用ツールを組み合わせることで、様々な通信方式に対応した評価用信号を高品位な実信号として出力できる「評価用信号生成システム」を構築した。これにより、開発中の電波識別装置の性能評価の効率が著しく向上した。また、本技術は、無線通信の擬似信号を利用した各種アプリケーションにも応用可能である。

参考文献

- 1) 杉森正康 他：電波識別技術の実用化開発（第1報）、静岡県工業技術研究所研究報告、第7号、114-115（2015）。



写真2 評価用信号生成システムを使った電波識別装置の評価の様子

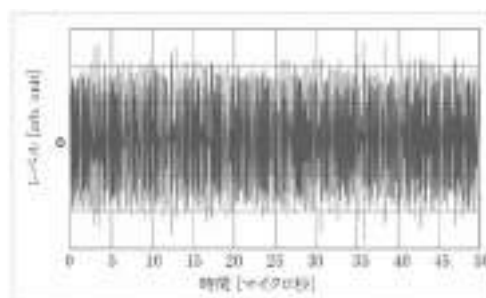


図3 生成したW-CDMA携帯電話信号の時系列波形
信号の包絡線が、実際のW-CDMA携帯電話信号のチップレート = 3.84Mcps、変調方式 = HPSK変調の特徴と類似している。

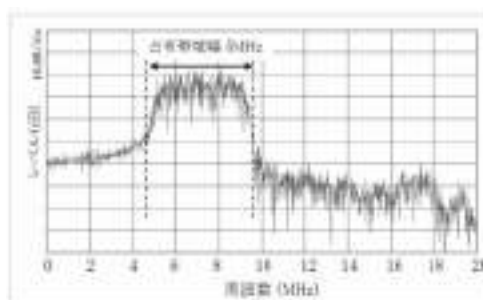


図4 生成したW-CDMA携帯電話信号の周波数スペクトル波形
周波数スペクトルの形状が、実際のW-CDMA携帯電話信号のHPSK変調方式のものと類似するとともに、占有帯域幅が約5MHzで一致している。

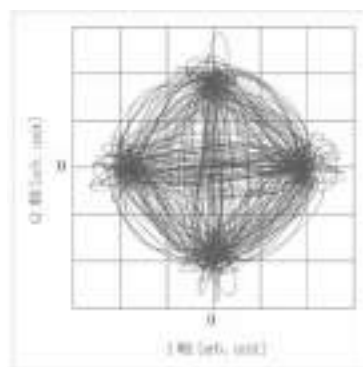


図5 生成したW-CDMA携帯電話信号のベースバンド信号位相軌跡波形

位相軌跡の形状が、W-CDMA携帯電話信号のHPSK変調方式に規定の帯域制限フィルタを通した波形とよく類似している。

めっき皮膜の蛍光X線膜厚測定における傾斜および曲率補正手法の検討

材料科 田中宏樹 田光伸也 伊藤芳典

X-ray fluorescence spectroscopy study on thickness of plated products with slant or curved surface.

Hiroki TANAKA, Shinya TAKO and Yoshinori ITOH

Keywords : X-ray, slant, curved.

キーワード：蛍光X線分析、膜厚測定、傾斜、曲率。

1 はじめに

さまざまな形状をした金属素材やプラスチック素材などの表面にめっきをする主な目的は、耐食性、耐摩耗性等の部品設計品質に適合した要求性能を、各種素材表面に持たせることにある¹⁾。

めっき皮膜の性能は膜厚により大きく異なるため、めっき製品に要求される性能を持たせるには、膜厚を管理する必要がある。一般に膜厚測定には、蛍光X線が用いられる。このとき、測定部分は水平であることが望ましいが、試料によっては測定部分の水平が確保できない場合があり、傾斜や曲率の影響による誤差が生ずる。このため、正確なめっき膜厚を知るためには、試料切断等の加工により測定部分の水平を確保したり、蛍光X線を用いずに断面より直接測定したりするなど試料を破壊する必要がある。

本研究では、こうした傾斜や曲率をもつ個所を水平部分と同等の精度で、蛍光X線による膜厚測定を可能とするために、誤差の補正式を導いてその有効性を検証した。

2 方法

2.1 測定モデル

傾斜を持つ場合（モデル1）、曲率を持つ場合（モデル2）の2通りについて検証した。モデル1、2の概略をそれぞれ図1、2に示す。

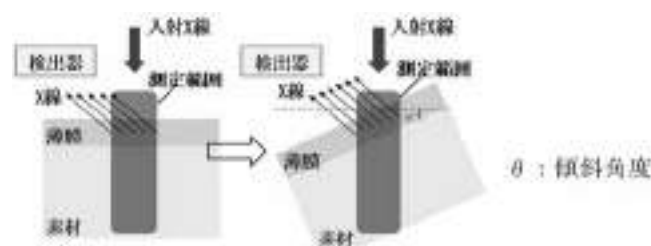


図1 傾斜を持つモデル

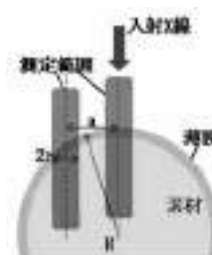


図2 曲率を持つモデル

R：試料の曲率半径、r：X線照射半径、a：頂点からの移動距離

2.2 補正式

測定値はX線により励起されるめっき皮膜の体積に比例すると仮定し、モデル1では式①を、モデル2では式②を適用した。

$$t = t_1 \cos \theta \quad \dots \text{式①}$$

(t：補正值、 t_1 ：測定値、 θ ：傾斜角度)

$$t = \frac{\pi r^2 t_1}{\int_{-r}^r \frac{R \sqrt{r^2 - x^2}}{\sqrt{R^2 - (x + a)^2}} dx} \quad \dots \text{式②}$$

(t：補正值、 t_1 ：測定値、R：試料の曲率半径、r：X線照射半径、a：頂点からの移動距離)

2.3 測定条件

測定装置として蛍光X線分析装置（SEA5120Aエスアイアイナテクノロジー株）を用い、測定モードはFP（ファンダメンタルパラメータ）法を選択した。X線のコリメータ径は1.0mm（実際のX線照射半径：0.6mm）とした。試料として、モデル1では亜鉛めっき鋼板、モデル2では曲率半径2.5mmのクロムめっき鋼棒を用いた。

3 結果および考察

モデル1における θ と測定値、補正值の関係を図3に、モデル2におけるaと測定値、補正值の関係を図4

に示す。モデル1においては試料を徐々に傾け、 θ を変化させた。モデル2においては試料を移動させ a を変化させた。各条件で3回繰り返し測定を行い、それらの平均をその点における膜厚とした。また、 $\theta = 0$ または $a = 0$ の時の測定値をそれぞれのモデルにおける基準値とした。

θ または a が増加すると基準値とのずれも増大するが、補正式を適用することで基準値に近い値を得ることができた。

4 まとめ

蛍光X線によるめっき膜厚測定において、傾斜および曲率による影響を補正する補正式を導いた。傾斜や曲率のある試料の測定値に補正式を適用することで、水平部分と同様にめっき膜厚を測定できることを確認した。

参考文献

- 1) 星野芳明：品質保証，製品安全の要求，「めっき加工のトラブル対策」，日刊工業新聞社pp.6 (2006)．

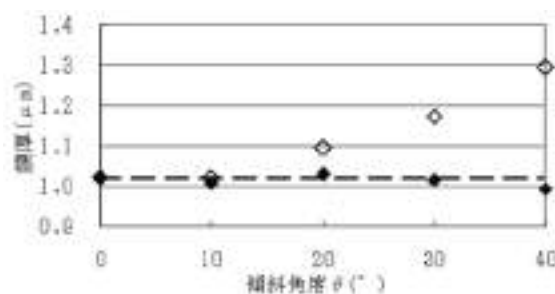


図3 傾斜角度に対する測定値と補正值

◇：測定値、◆：補正值。

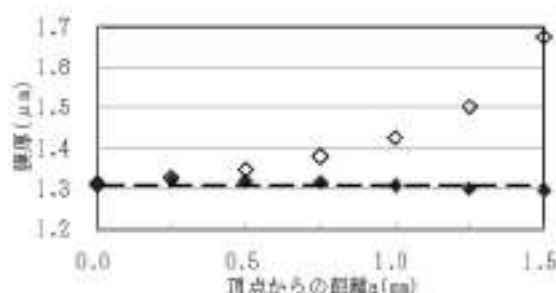


図4 頂点からの距離に対する測定値と補正值

◇：測定値、◆：補正值。

チタンの陽極酸化処理における各工程の色調への影響

材料科 田光伸也

Effect of each process on color tone in anode oxidation treatment of titanium

Shinya TAKO

Keywords : titanium, anodizing.

キーワード：チタン、陽極酸化、色調。

1 はじめに

チタンは意匠性の付与や部品の選別のため、陽極酸化処理によって着色させている。陽極酸化処理の前にはチタンの自然酸化皮膜を除去する必要があるが、この皮膜は非常に強固であり除去が難しい。この皮膜を上手く除去しないと陽極酸化処理において安定した発色を得ることができない。

本研究では、チタンの陽極酸化処理において安定的な発色を得るため、各工程が発色に与える影響を調査した。

2 方法

2.1 コンジョイント分析

コンジョイント分析を用いて各因子が発色に及ぼす影響を、SN比という規格化された尺度を用いて比較した。制御因子とその水準を表1に示す。

表1 制御因子と水準の目安

制御因子	水準1	水準2	水準3
脱脂時間	なし	標準	長時間
酸洗浄時間	なし	標準	長時間
陽極酸化処理液濃度	低濃度	標準	高濃度
熱処理温度	なし	低温	高温

2.2 陽極酸化処理

陽極酸化処理工程を図1に示す。陽極および陰極には純チタン板を用いた。各工程における任意の水準を組み合わせた陽極酸化処理条件#1～#9を表2に示す。直流電源 PCR-1000LA（菊水電子工業㈱製）を電圧制御で用い、電圧を10、20、30、40、50Vと変化させて各処理条件で陽極酸化処理を行い、試料を作製した。熱処理はマッフル炉 FP31（ヤマト㈱製）を用いた。

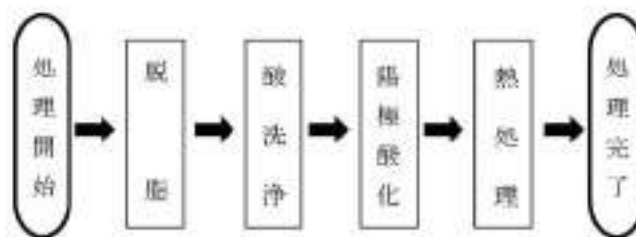


図1 陽極酸化処理工程

表2 陽極酸化処理条件

処理条件	脱脂時間	酸洗浄時間	陽極酸化処理液濃度	熱処理
#1	なし	なし	低濃度	なし
#2	標準	標準	標準	なし
#3	長時間	長時間	高濃度	なし
#4	なし	標準	高濃度	標準
#5	標準	長時間	低濃度	標準
#6	長時間	なし	標準	標準
#7	なし	長時間	標準	高温
#8	標準	なし	高濃度	高温
#9	長時間	標準	低濃度	高温

2.3 評価

分光測色計 CM-3700d（ミノルタ㈱製）により $L^*a^*b^*$ 表色系による評価を行った。電圧だけが異なる同じ処理条件で a^* 、 b^* の値を直線でつないだ5角形の面積は、発色が鮮やかなほど大きくなる傾向があるため¹⁾、面積の大きさに応じて処理条件#1～#9に5点満点で得点を与えた。

3 結果および考察

製作した試料の測色結果について、#1～#9の各処理条件ごとに10Vから50Vまで順に測定値をつなぎ図2を得た。図2で示した5角形の面積から、図3に示す得点を与えた。この得点について回帰分析を行い、各制御因子の発色に対する影響を求めた結果を図4に示す。

図4において、SN比の差が大きい因子ほど発色に対

する影響度が高いことを示しており、酸洗浄時間の影響度が特に高いことが分かる。これは言い換えれば酸洗浄工程そのものの影響度が高いことを示しており、色調の安定化には酸洗浄工程の制御が効果的であることが分かった。一方、陽極酸化処理液の濃度は発色にはほとんど影響がなく、液管理のしやすさ、液寿命など、他の基準で濃度を決定できる。また、図4より各制御因子について適切な水準を選択でき、陽極酸化処理条件の最適化を図ることができた。

4 まとめ

チタンの陽極酸化処理において安定的な発色を得るため、各工程が発色に与える影響をコンジョイント分析を利用して調査した。この結果、酸洗浄工程の影響度が他の工程に比べ特に高いことが分かった。

参考文献

田光伸也：チタンの陽極酸化処理における色調の評価方法について．静岡県工業技術研究所研究報告，第1号，122-123(2015)．

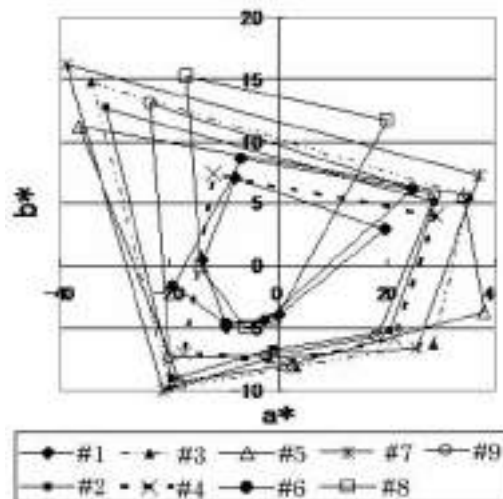


図2 各処理条件における測色結果

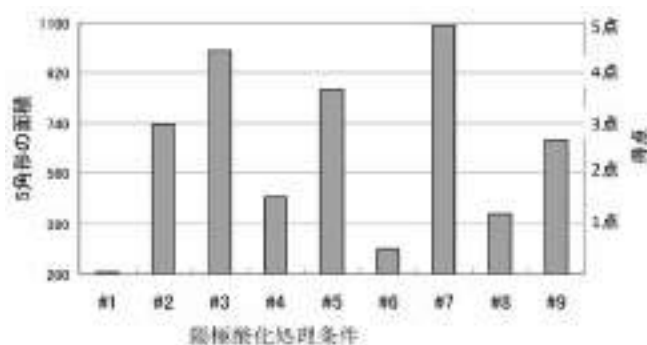


図3 測色結果により得られる5角形の面積と得点

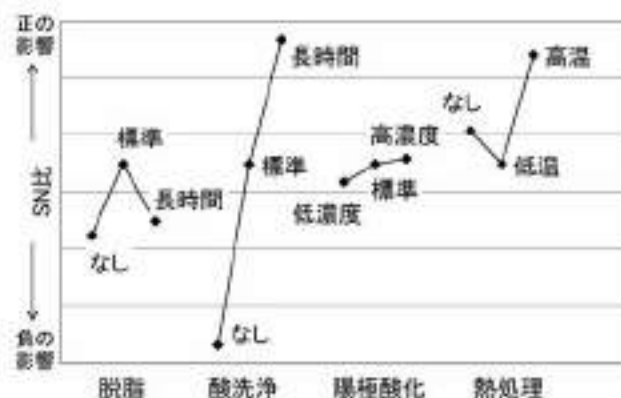


図4 影響度グラフ

炭素鋼のエンドミル加工面の残留応力に及ぼす切削条件の影響

材料科 植松俊明 是永宗祐 伊藤芳典 長津義之
機械科 大澤洋文

Effect of cutting conditions on residual stress of carbon steel in end milling

Toshiaki UEMATSU, Sosuke KORENAGA, Yoshinori ITOH, Yoshiyuki NAGATSU
and Hirofumi OOSAWA

Keywords : End milling, MQL, residual stress.

キーワード：エンドミル加工、MQL切削、残留応力。

1 はじめに

近年、切削加工では作業環境の向上とコスト削減の観点から微量な切削油をミスト状にして加工部に供給するMQL (Minimal Quantity Lubrication) 切削などの加工技術が検討されている。また、疲労による破損が懸念されるような部品の切削加工では表面粗さなどの幾何学的品位だけでなく、加工面の硬さや残留応力などの制御による耐久性の向上なども求められる。そこで、本研究では機械構造用炭素鋼をMQL切削でエンドミルによる端面加工を行い、切削条件が加工面の残留応力に及ぼす影響について検討を行った。

2 方法

実験装置の概略図を図1に示す。被削材は機械構造用炭素鋼 (S50C) で硬さが93HRBの材料を用いた。エンドミル加工はCNCフライス盤 2V-NC (大隈豊和機械㈱) にて、表1に示す切削条件で端面加工を行った。MQL切削のミストは供給用ノズルを加工機の主軸近傍に2本取り付け、被削材の送り方向に対して直角方向と平行方向から工具刃先に供給した。切削抵抗と残留応力の評価には切削動力計 type9129AA (日本キスラー㈱) とポータブル型X線残留応力測定装置 μ -X360 (パルステック工業㈱) を用いた。切削抵抗はX方向とY方向の合力として求めた。

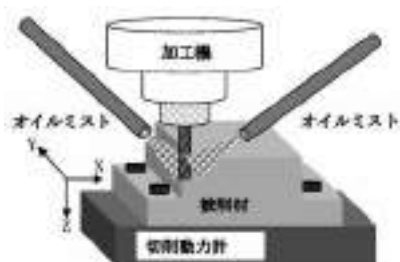


図1 実験装置の概略図

表1 切削条件

被削材	機械構造用炭素鋼 S50C
切削冷却剤	MQL (供給量 $q=5\text{ml/h}$, 供給圧 $p=0.5\text{MPa}$)
切削速度	$V_c: 20\sim75\text{m/min}$
送り	$f_n: 0.01\sim0.05\text{mm/rev}$
軸方向切り込み	$a_p: 10\text{mm}$
径方向切り込み	$a_e: 0.01\sim5\text{mm}$
切削方向	ダウンカット
工具径	12mm
工具刃数	2枚刃
工具コーティング	TiAlN系

3 結果および考察

切削速度、送り、切込みをそれぞれ1因子ずつ変化させたときの切削抵抗の変化を図2から図4に、残留応力の変化を図5から図7に示す。切削抵抗はいずれの切削条件でも加工能率 (単位時間当たりの切りくず排出量) が高くなる条件ほど大きくなる傾向を示した。残留応力は切り込みが0.01mmのとき、ほぼ0MPaであるが1mm、5mmと大きくなることで引張応力が増加した。切削速度と送りでは、加工能率が低いときに圧縮の残留応力を示すが、加工能率が高くなることで残留応力は圧縮から引張りに移行した。ここで図8に単位長さあたりの切削抵抗と残留応力の関係を示す。単位長さあたりの切削抵抗は切削抵抗の合力を工具切れ刃が被削材と接する最大長さで除したものである。図8から被削材が受ける切削抵抗が増加するほど引張りの残留応力が発生しやすいことがわかった。加工品の耐久性を向上させるには、加工面に圧縮の残留応力を付与することが好ましく、切削条件は切削抵抗が小さくなるものを選定することが望ましいと考えられる。ただし、切削抵抗の変化が小さかった切削速度の影響においても残留応力は大きく変化したため、今後、他の要因について詳細な検討が必要である。

4 まとめ

機械構造用炭素鋼をMQL切削でエンドミルによる端面加工を行い、加工面の残留応力について検討した結果、以下のことがわかった。

- (1) 加工面の残留応力の発生には被削材に作用する切削抵抗が大きく影響を及ぼす。
- (2) 単位長さ当たりの切削抵抗が大きいものほど引張りの残留応力が発生しやすい。

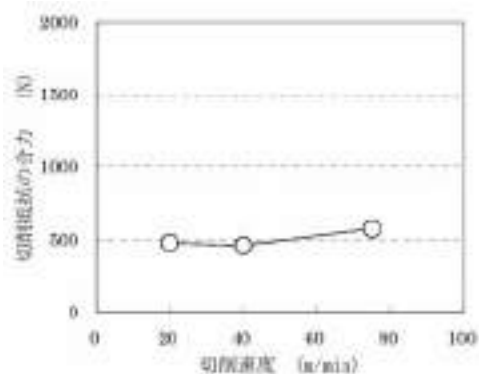


図2 切削抵抗に及ぼす切削速度の影響

軸方向切り込み $a_p=10\text{mm}$ 、径方向切り込み $a_e=1\text{mm}$ 、
1刃当たりの送り $f_z=0.08\text{mm/tooth}$ 。

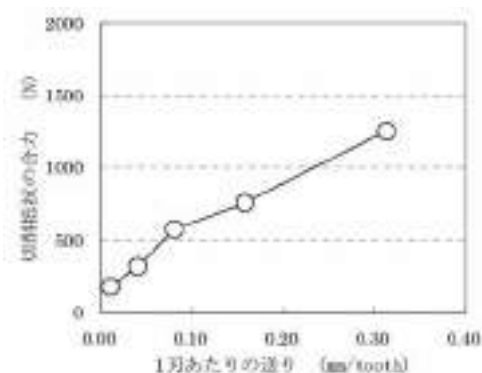


図3 切削抵抗に及ぼす送りの影響

切削速度 $V_c=75\text{m/min}$ 、軸方向切り込み $a_p=10\text{mm}$ 、
径方向切り込み $a_e=1\text{mm}$ 。

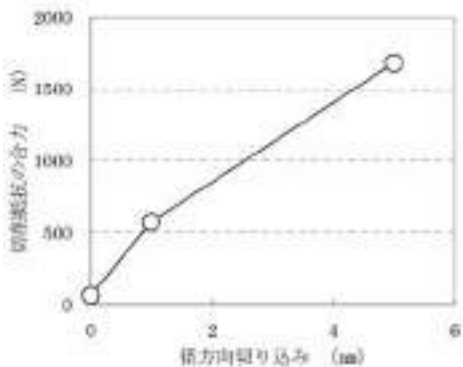


図4 切削抵抗に及ぼす切り込みの影響

切削速度 $V_c=75\text{m/min}$ 、軸方向切り込み $a_p=10\text{mm}$ 、
1刃当たりの送り $f_z=0.08\text{mm/tooth}$ 。

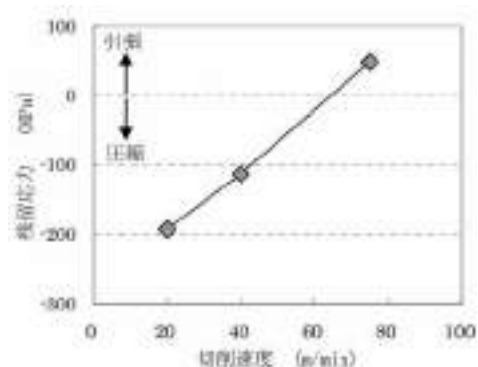


図5 残留応力に及ぼす切削速度の影響

軸方向切り込み $a_p=10\text{mm}$ 、径方向切り込み $a_e=1\text{mm}$ 、
1刃当たりの送り $f_z=0.08\text{mm/tooth}$ 。

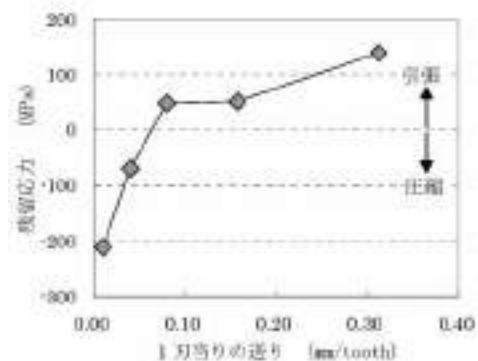


図6 残留応力に及ぼす送りの影響

切削速度 $V_c=75\text{m/min}$ 、軸方向切り込み $a_p=10\text{mm}$ 、
径方向切り込み $a_e=1\text{mm}$ 。

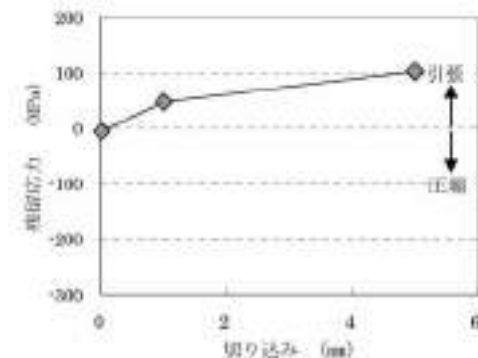


図7 残留応力に及ぼす切り込みの影響

切削速度 $V_c=75\text{m/min}$ 、軸方向切り込み $a_p=10\text{mm}$ 、
1刃当たりの送り $f_z=0.08\text{mm/tooth}$ 。

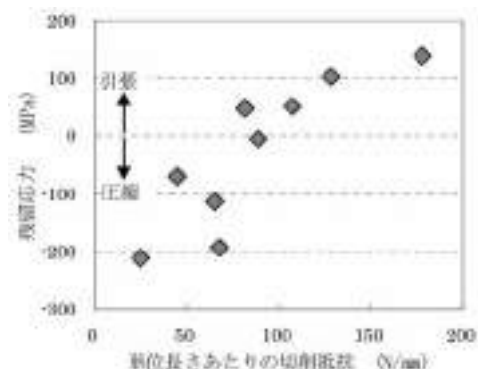


図8 切削抵抗と切削抵抗の関係

チタン合金の切削性に及ぼす工具ねじれ角の影響

材料科 是永宗祐 植松俊明 長津義之 伊藤芳典
機械科 大澤洋文

Effect of helix angle on the machinability of Ti-6Al-4V alloy in end milling

Sosuke KORENAGA, Hirofumi OOSAWA, Toshiaki UEMATSU, Yoshiyuki NAGATSU
and Yoshinori ITOH

Keywords : Ti-6Al-4V alloy, end milling, helix angle.

キーワード：チタン合金、エンドミル加工、ねじれ角。

1 はじめに

チタン合金は、高比強度、高生体適合性などの優れた特性から、航空産業や医療、福祉などの成長分野で利用拡大が期待されている。一方、チタン合金は難加工材として知られており、切削加工においては、切りくずの工具への溶着や被削材の変形、振動などによって工具寿命が短くなることが問題となっている。

これを防ぐためには、切りくず排出性を向上させ、加工中に被削材に作用する力（切削抵抗）を低減しなければならず、切削条件の選定時には切削速度や切込みなどの条件だけでなく、工具形状や工具材質についても詳細に検討する必要がある。そこで本研究では、工具のねじれ角がチタン合金をエンドミル加工したときの切削性に及ぼす影響について検討した。

2 方法

実験装置の概略を図1に示す。工作機械は縦型マシニングセンタ（MB-46VA オークマ㈱）を用いた。

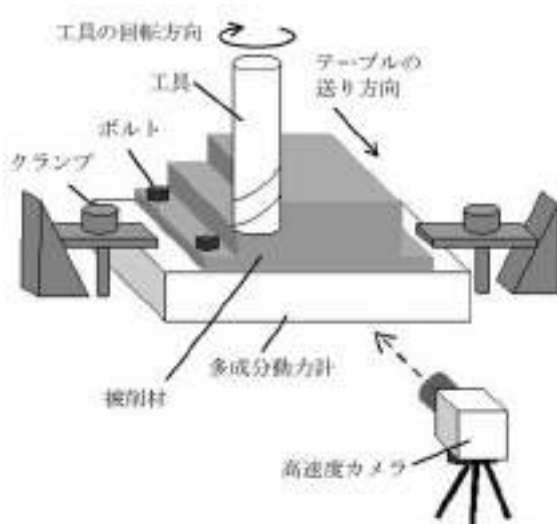


図1 実験装置概略

工具は、超硬にTiAlN系コーティングを施したソリッドエンドミルで、径12mm、2枚刃、ねじれ角が30° および45° の異なる2種類を用いた。表の条件でTi-6Al-4V合金（以下、チタン合金）を端面加工したときの切りくずの生成及び排出状況を高速カメラ（FASTCAM-SA4 ㈱フォトロン）で観察した。また、被削材に作用する切削抵抗は多成分動力計（type9129AA 日本キスラー㈱）で測定し、3成分の合力で評価した。

表 加工条件

切削速度	113 m/min
切込み	工具径方向 1.2 mm 工具軸方向 6 mm
送り	0.08 mm/tooth
切削方向	ダウンカット
切削雰囲気	乾式
切削距離	90 mm

3 結果および考察

各工具での切りくずの生成および排出状況を図2に、切削抵抗の変化を図3に示す。図中のa～eの加工位置は図2と3で対応している。加工位置aで工具刃先が被削材に侵入した後、工具が回転することで切れ刃が被削材と接する長さ及び切削抵抗は増加し、加工位置bのとき、ねじれ角30° でそれぞれ約6.9mm、470N、ねじれ角45° で約5.5mm、360Nでいずれも最大となった。各工具の加工効率は約3,500mm³/minで同じだったものの、45° では切れ刃が被削材と接する長さが減少したことで、切削抵抗が低減されたと思われる。

その後、刃先が被削材から抜け始めることで切削抵抗が減少し、切れ刃が被削材から抜け出した加工位置

dで切削抵抗はゼロとなった。切りくずはいずれの工具でもカールし、切りくず排出性が良好な形状で排出された。ただし、 30° では切削終了後の加工位置eで水平方向に排出されたのに対し、 45° では 30° よりも切れ刃が斜めに傾いているため、加工位置cおよびdで切りくずが上方に押し上げられ、切りくずが工具と被削材の間に噛み込みにくくなる工具軸方向に排出された。

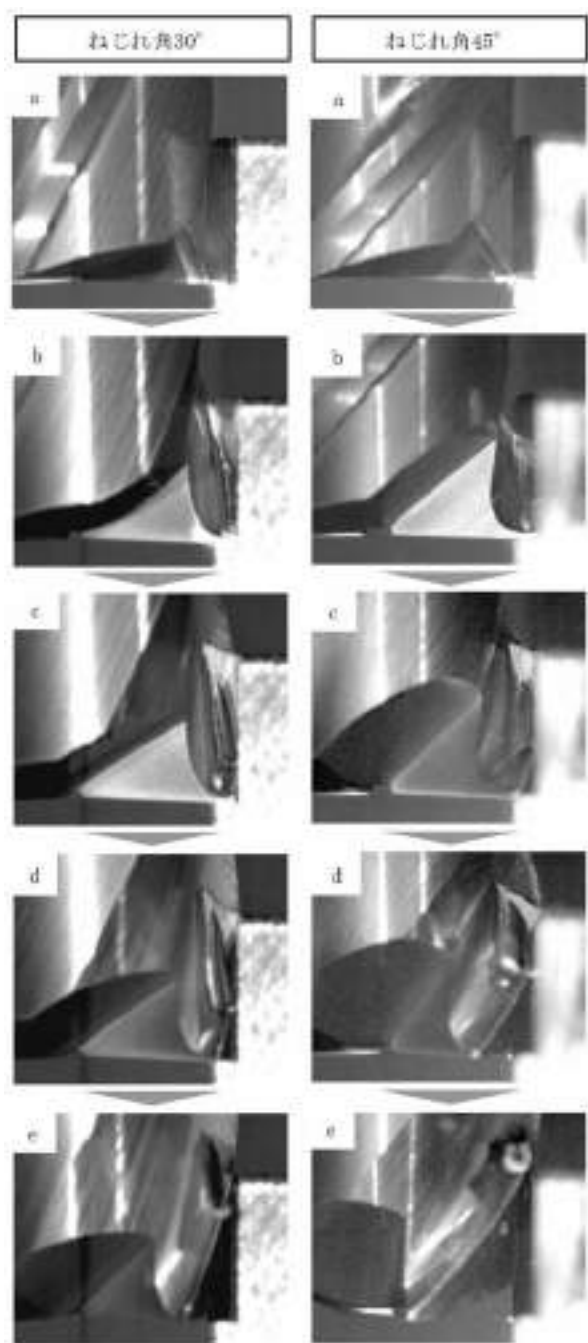


図2 切りくずの生成および排出状況

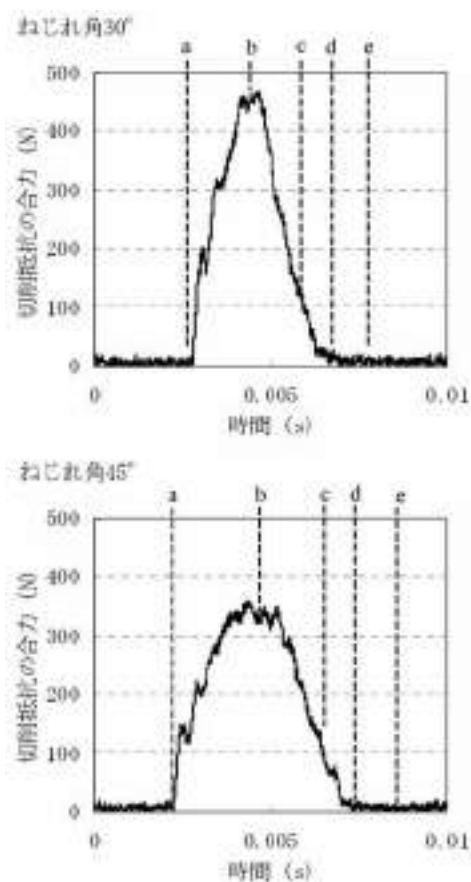


図3 切削抵抗

4 まとめ

本研究では、チタン合金の切削性に及ぼす工具ねじれ角の影響について検討した。ねじれ角が大きいエンドミルを用いることで、加工効率と同じであっても切削抵抗は低減され、切りくず排出性を向上することができた。

ウルトラハイテンのハット曲げ解析における材料モデルの検証

材料科

機械科

株式会社先端力学シミュレーション研究所

長津義之 是永宗祐 植松俊明 伊藤芳典

大澤洋文

堤 真人

Validation of material models applied to hat-shaped bending for ultra-high tensile strength steel sheets with FEM simulation

Yoshiyuki NAGATSU, Sosuke KORENAGA, Toshiaki UEMATSU, Yoshinori ITOH, Hirofumi OOSAWA
and Masato TSUTSUMI

Keywords : High tensile strength steel sheet, Sheet metal bending, Sheet forming simulation.

キーワード：ハイテン材、板曲げ加工、成形シミュレーション。

1 はじめに

自動車部品に用いられる高張力鋼板（ハイテン）の高強度化が進み、引張強さが1,000MPaを超えるウルトラハイテンと呼ばれる高強度材も導入が進んできている。加工後の弾性回復（スプリングバック）が大きい、加工中に破断しやすい等の特性を持つハイテンの成形では、数値解析による成形予測に基づいた金型の開発及び修正が多く用いられているが、ウルトラハイテンクラスの強度になると解析精度が不十分なケースも多い。ここでは、ウルトラハイテンの曲げ加工の中でも、曲げ-曲げ戻しを有するため、スプリングバック予測が難しいとされるハット曲げを対象とし、2種類の材料モデルについて検討した結果を報告する

2 方法

2.1 材料単軸引張試験

対象材料を引張強さが1,180MPa、厚さ1.4mmのハイテンとした。材料をJIS 5号引張試験片に切削加工後、精密万能材料試験機AG-IS 50kN（株式会社島津製作所）で引張試験を行い、応力-歪み特性を求めた。

2.2 ハット曲げ加工

精密万能材料試験機AG-25TD（株式会社島津製作所）に図1に示す金型を取り付け、パンチを準静的に降下させ、成形荷重を計測しながらパンチとダイの間に設置した材料を曲げた。材料サイズは200×30mmである。成形品の形状は非接触三次元測定機COMET5-11M（Steinbichler社）で測定した。

2.3 材料モデル

解析ツールとして株式会社先端力学シミュレーション研究所のASU/P-form（ver8.0.3）を用いた。解析に使う材料

の応力-歪みモデルはswift及び吉田-上森（Y-U）モデルとした。swiftモデルのパラメータは、材料単軸引張試験で得た真応力-真歪みの実測値とモデル値の差の自乗和が最小となるものとした。

また、Y-Uパラメータは株式会社先端力学シミュレーション研究所から当該材料のパラメータの提供を受け、実験に用いた。

2.4 成形解析

成形解析の材料モデルは、板面方向1辺1mmで厚さ方向に8層のソリッド要素とした。また、今回の曲げ加工では、材料異方性の影響は少ないものとし、計算量削減のため、1/4モデルとした。

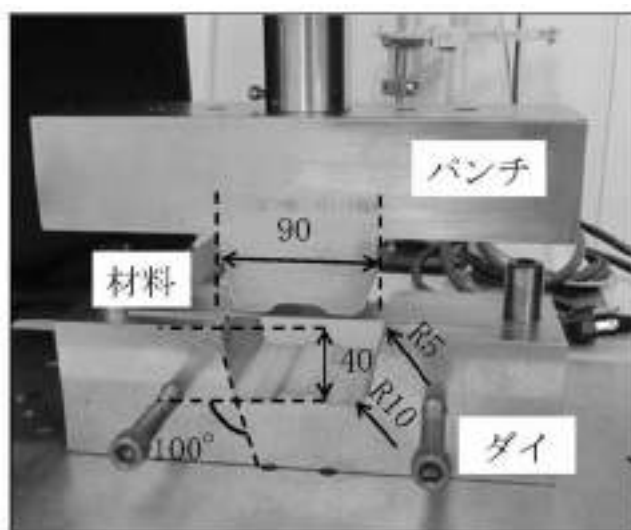


図1 ハット曲げ金型

3 結果および考察

図2、図3にそれぞれハット曲げた成形品と、解析結果の断面形状及び成形荷重を示す。Y-Uモデルがよ

り実加工に近い結果となった。

その理由として、今回採用したY-Uモデルは、材料の曲げ-曲げ戻しをより正確に再現できることが挙げられる。また、図4で示されるように、応力-歪みモデル曲線自体も、swiftモデルでは実際の特性と大きく離れてしまうことに対し、Y-Uモデルではその差異が抑えられていることも要因と考えられる。

4 まとめ

ウルトラハイテンのハット曲げにおいて、解析で用いる材料モデルの検証を行った。Y-Uモデルを用いた場合、swiftモデルと比較して、形状、成形荷重ともにより実加工に近い計算結果となった。

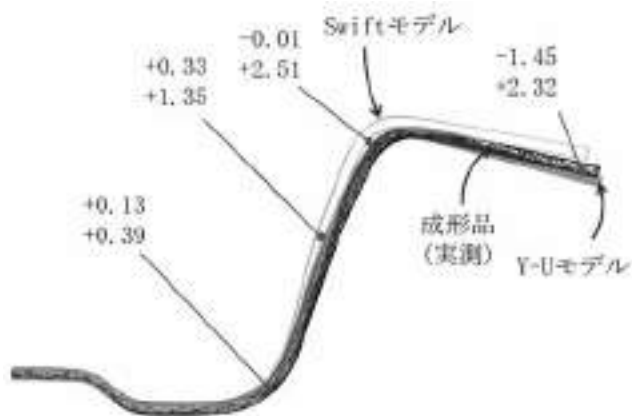


図2 ハット曲げ形状
数値は各箇所での実測との差 (mm)
上段：Y-Uモデル、下段：swiftモデル。

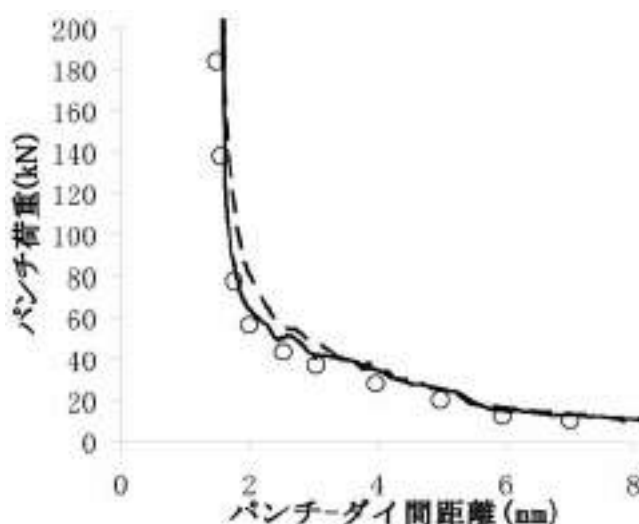


図3 ハット曲げ成形荷重
○：実測、-----：swiftモデル、——：Y-Uモデル。

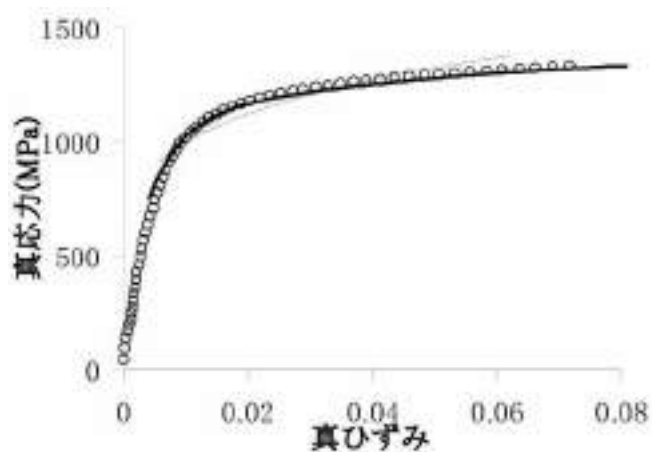


図4 1,180MPa級ハイテン応力-歪み線図
○：実測、-----：swiftモデル、——：Y-Uモデル。

製織技術を生かした振動特性に優れるハイブリッド繊維複合素材の開発（第2報）

繊維高分子材料科 鈴木重好* 山崎利樹 木下道広 平山章子 鈴木一之

Development of Hybrid Woven Composites Controlled Vibration Property (2nd Report)

Shigeyoshi SUZUKI, Toshiki YAMAZAKI, Michihiro KISHITA, Shoko HIRAYAMA
and Kazuyuki SUZUKI

Keywords : FRP.

キーワード：繊維、製織、振動、複合材料。

1 はじめに

本研究開発では、県西部地域が得意とする製織技術を活用することで2種類以上の高強度繊維の特性と織物独特の異方性を利用した振動特性を有する繊維強化複合材料（FRP）を開発し、地域の音響機器関連部材等への展開を図ることを目的としている。

前報¹⁾では、炭素繊維（CF）やアラミド繊維（AF）などの高弾性率で製織が難しい繊維材料を、自由な組み合わせで織物とすることができるようし、それに樹脂を含浸したFRPについて、繊維の配置や比率を変えることで、振動特性を制御できることを報告した。

本年度はここで得た基礎データをもとに、製品化への試みを行った。製品としてスピーカーコーンを目指し、製品形状に合わせた立体織物の作製技術と、繊維配列が振動特性に与える影響について検討した。

2 実験方法

スピーカー形状を有する立体織物は、放射状のたて糸と円周方向のよこ糸からなる織物とした。写真1の通りスピーカー形状の木型を作製し、型形状に合わせてまず放射状のたて糸を配置した。次にたて糸を上下させながら、糸間によこ糸をらせん状に挿入した。本研究では、CF、AF、およびビニロン繊維（VF）を様々な組み合わせで配置した織物を作製した。放射状のたて糸は、スピーカーの中心からの距離に応じて糸間隔が大きくなる。織物密度を一定に保つために、所定の位置から新たなたて糸を追加し、たて糸、よこ糸ともに約4本/cmとなるように織り密度を調整した。また、糸の周回や追加により、織り組織に様々な乱れが生じ、組織崩れが外観に大きな影響を与えるため、立体織物に適した意匠性の優れた織り組織を開発した。

次に作製した立体織物を樹脂で固めてユニット化しスピーカーとしての評価を行った。試験はレーザードップラー振動測定機（LDV）を用いた。本研究で開発した立体織物と、一般的な平面織物をスピーカーコーン形状に変形させて成形したものについて振動の可視化を行い、織り方の違いがコーンの振動にどのような影響を及ぼすか検討した。

3 結果

織り組織を平織りとした場合、よこ糸を1本で周回させると1周後に同組織となってしまう、平織り構造が崩れてしまうため、平織り組織のリピート本数である2本を周回させることとした（図1）。どんな織物組織に対しても、よこ糸の挿入数を1リピート本数の約数とすることで組織崩れを防ぐことができる。



写真1 立体織物の製織

また、平織りの場合たて糸の総本数が奇数となると、1周後の組織が崩れるので、織密度を維持するためのたて糸の挿入は2本ずつ行わなければならない。さらに、挿入時にはよこ糸かたて糸の浮きが連続する部分が避けられないので、組織崩れが目立たない挿入タイミングについて数種の挿入方法を検討した結果、図2に示す織り組織によりたて糸を挿入することが意匠的に最も優れて

*) 現 経済産業部商工業局新産業集積課

【ノート】

いることがわかった。

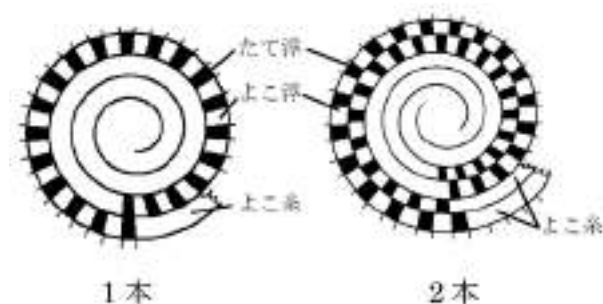


図1 挿入するよこ糸本数と織り組織の関係（平織）

写真2に作製したスピーカーの外観を示す。AFとVFで作製したスピーカーコーンのLDV試験を行い、固有振動数の違いを検討した結果、AF100%よりも弾性率の低いVF100%試料の固有振動数が低周波となり、以前の報告¹⁾を支持する結果となった。一方、たて糸/よこ糸にAF/VF、またはVF/AFを用いた試料の固有振動数を比較すると、よこ糸にVFを用いた方が低周波となり、周波数特性の制御においては、よこ糸の寄与の方が大きいことが示された。



図2 たて糸挿入時の組織図（平織）

矢印部から糸を挿入する。行列4-3と5-3は連続したたて浮きとなり、組織崩れとなる

図3は織り方の違いによるLDV試験結果である。たて糸/よこ糸は、AF/AFである。平面織物を加工したスピーカーコーンはたて糸とよこ糸が直交しているので、45°方向と0°、90°方向では振動の伝達に違いが生じ位相が逆転しているのに対し、開発品の立体織物スピーカーは現行品で利用されている等方性材料と同様にすべての角度で同位相をとった同一円心の振動伝達が行われることが分かった。



写真2 試作したスピーカー(左)とコーンの拡大写真(右)

4 まとめ

前報で得た振動特性に関する基礎的データを基に、実際の製品としてスピーカーコーンを目標として、製品形状にあった立体織物の作製を行い、さらにスピーカーを作製して音響特性の評価を行った結果、繊維種や織り方によって、音響特性を様々に制御したスピーカーを作製することができた。

謝辞

本研究を進めるにあたりご協力いただいた、ヤマハ株式会社に深謝致します。

参考文献

- 1) 鈴木重好 他：製織技術を生かした振動特性に優れたハイブリッド繊維複合素材の開発，静岡県工業技術研究所研究報告，第7号，(2015)。

Micro parts processing using laser cutting and ultra-short-pulse laser peen forming

Yoshihiro Sagisaka, Kiyomitsu Yamashita, Wataru Yanagihara and Hiroyasu Ueta

レーザー切断と超短パルスレーザーピーンフォーミングを用いた微細部品加工

浜松工業技術支援センター 鷺坂芳弘 山下清光 柳原 亘* 植田浩安

Procedia Engineering, Vol. 81, 2367-2372 (2014)

Keywords : Bending, Laser peen forming, Laser cutting, Micro parts, Ultra-short-pulse laser

キーワード : 曲げ, レーザーピーンフォーミング, レーザー切断, 微細部品, 超短パルスレーザー

本論文は塑性加工国際会議 (ICTP2014) にて発表した講演原稿が論文としてProcedia Engineering誌に掲載されたものである。

レーザーピーンフォーミングはレーザー誘起衝撃波を利用した板材成形法である。超短パルスレーザーによるレーザーピーンフォーミングは非熱的なダイレス成形法であり、微細部品の成形に適している。本稿ではピコ秒レーザーと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純チタン薄板の曲げ加工に適用した。

照射雰囲気とパルス幅による曲げ特性を比較したところ、フェムト秒レーザーを空气中で照射するのが最も曲げ効率が高く、微細部品加工に適していることが判明し

た。

一方、フェムト秒レーザーはレーザー切断にも使用することができる。そこでフェムト秒レーザーを用いて、薄板を複雑な形状に切断した後、曲げ加工を行うという複合加工を試みた。この切断と曲げの複合加工による試作の結果、様々な複雑形状を持つ微細部品が成形できることを示した。

なお、本論文は以下のURLにて無料で公開されている。

<http://www.sciencedirect.com/science/journal/18777058>

*) 現 工業技術研究所 機械科

レーザー誘起衝撃波の塑性加工への応用

浜松工業技術支援センター 鷺坂芳弘

Application of Laser Induced Shock Wave to Metal Forming

Yoshihiro Sagisaka

塑性と加工, Vol. 56, No. 648, 3-7(2015)

Keywords : Laser induced shock wave, Laser peening, Laser peen forming, Micro forming

キーワード : レーザー誘起衝撃波、レーザーピーニング、レーザーピーンフォーミング、マイクロフォーミング

レーザー発振器の進歩によってパルスレーザーが普及し、レーザーは単なる熱源とは異なる用途にも応用されるようになってきた。パルス幅の短いパルスレーザーは、レーザー誘起衝撃波と呼ばれる力学的な作用を起こせることが知られている。これは「光」で「力」を発生させる現象であり、この「力」は塑性加工の成形力として利用することが可能である。

近年、海外ではレーザー誘起衝撃波を塑性加工に利用した研究報告が増えている。しかし、国内ではレーザー誘起衝撃波は成形力としてはほとんど注目されてお

らず、その報告例もわずかである。

そこで本稿ではレーザー誘起衝撃波について解説するとともに、その塑性加工への応用について紹介した。紹介した塑性加工法は、レーザーピーニング、レーザーピーンフォーミング、および近年提案された各種微細塑性加工法である。微細塑性加工などはまだ黎明期といえる段階であるが、その特異な加工特性はこれらが将来何らかの課題の解決策になりうることを期待させる。

なお、本稿はJ-Stageにて公開されている。

Influence of flow stress on lubricating ability of environmentally-friendly lubricant for aluminum alloy cold forging

Yoshihiro SAGISAKA, Kunio HAYAKAWA, Tamotsu NAKAMURA, Itaru ISHIBASHI
and Toshinari NAKAKURA

アルミニウム合金冷間鍛造用環境対応型潤滑剤の潤滑性における変形抵抗の影響

浜松工業技術支援センター 鷺坂芳弘
静岡大学 早川邦夫 中村 保
住鋁潤滑剤株式会社 石橋 格* 中倉敏成

Advanced Materials Research, Vols. 966-967, 301-310 (2014)

Keywords : Aluminum cold forging, Friction test, Environmentally-friendly lubricant, Lubricating ability

キーワード : アルミニウム冷間鍛造, 摩擦試験, 環境対応型潤滑剤, 潤滑性

本論文は国際会議ICTMP2014にて発表した講演原稿が論文としてAdvanced Materials Research誌に掲載されたものである。

軽量化のためアルミニウム合金の冷間鍛造品の需要が高まっている。アルミの冷間鍛造では従来からフッ化アルミ皮膜という化成皮膜が用いられていたが、処理中に生じる廃棄物に関する処分コストや環境負荷が問題視され、環境対応型潤滑剤への代替が要望されていた。そこで2液2層型の環境対応型潤滑剤をアルミ合金に適用し、スプライン押出し型の摩擦試験法を用いて、その潤滑性の評価を行った。

年間を通して季節による潤滑性の変化を調べたところ、梅雨時の潤滑性が優れており、冬季は潤滑性が低下することが判明した。本潤滑剤は、廃棄物の処理施設の

整備が遅れている海外での使用が要望されているが、気候によって性能が変わる恐れがあるため、現地の気候を十分考慮して採用する必要がある。

素材の変形抵抗の影響を調べるため、変形抵抗の異なる3種類のアルミニウム合金について潤滑性を比較した。梅雨時は3材質での潤滑性の差はほとんどなかったが、冬季は硬い材料ほど潤滑性が低下した。素材の表面粗さの影響をみるため旋削した素材とウェットブラスト処理した素材について潤滑性を比較した。ウェットブラスト処理の摩擦低減効果は、硬い材料では顕著であるが、軟らかい材料ではほとんど確認できなかった。加工対象の材質によって表面処理の必要性が異なることが判明した。

*) 現 アイルブ株式会社

静岡県工業技術研究所研究報告 第8号

平成28年3月（2016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