ISSN 1883-2350 CODEN : SKGKBP

REPORTS

OF THE INDUSTRIAL RESEARCH INSTITUTE OF SHIZUOKA PREFECTURE No.13 NOVEMBER 2020

静岡県工業技術研究所研究報告

第 13 号 ^{令和2年11月}

静岡県工業技術研究所

静岡市葵区牧ヶ谷2078番地

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

9

目 次

静 岡 県 工 業 技 術 研 究 所 (静 岡)

告

- I 報

Ⅱ 研究ノート

Ⅲ 抄 録

沼津工業技術支援センター

- I 報 告

Ⅱ 研究ノート

- 2 海洋由来乳酸菌を用いた豆乳ヨーグルトの開発
 3 様々な酒類醸造用酵母株のビール醸造特性の評価

------望月玲於、勝山 聡 55

- 5 鍛造シミュレーションに必要な材料特性データの数式化 一進化的計算手法と機械学習の活用 —

······松下五樹、是永宗祐、竹井 翼、本多正計 60

富士工業技術支援センター

告

I 報

Ⅱ 研究ノート

浜松工業技術支援センター

告

I 報

Ⅱ 研究ノート

- 4 鉄鋼材料の残留応力に及ぼす焼入性の影響
 小粥基晴、植松俊明 110

分野別目次

バイオ分野

I 研究ノート

食品分野

I 研究ノート

Ⅱ 抄 録

環境分野

I 報 告

1 食品廃棄物のメタン発酵

光分野

I 報 告

Ⅱ 研究ノート

材料分野

I 報

告

Ⅱ 研究ノート

- 6 材料評価・解析のスキルアップに向けたサンプリングメソッドの開発(第1報)

一 分析が困難な試料の安全で効率的な保持ジグの提案他 ―

| 7 | 鉄鋼材料の残留応力に及ぼす焼入性の影響 | | |
|---|---------------------|------|-----|
| | | 植松俊明 | 110 |

機械電子分野

I 報 告

1 表面の光学特性に影響する粗さパラメータの解明 4 光源データの配光測定方式の違いがヘッドアップディスプレイの表示シミュレーションに与える影響 2 - ファーフィールド配光データとニアフィールド配光データの比較 --9 スマートフォンを活用した酸素ボンベ残量モニタの開発 3 ------竹居 翼、松下五樹 47 異種材料接合のための新型プラズマ照射装置の開発(第6報) 4 67 異種材料接合のための新型プラズマ照射装置の開発(第7報) 5 - プラズマ照射による接着性向上 -71EMC 試験機器の日常点検法の確立による信頼性向上 6 一静電気試験及び車載機器の伝導エミッション一電流プローブ法の日常点検法 — 91 7 熱シミュレーションを用いたインホイールモーターハウジングの設計と試作 95 非接触三次元測定装置を用いたアルミニウム合金の引張特性の評価 8 100

Ⅱ 研究ノート

- 静岡県 IoT 推進ラボの開設

 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・赤堀 篤、望月紀寿、望月建治、橘川義明、岩崎清斗、 26
 山口智之、鈴木敬明

 2 中小企業への IoT 導入支援の実例 I

Ⅲ 抄 録

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

赤外分光イメージングを用いた PP/CNF コンポジット中の CNF 分散性の評価

- 試料間の数値的な比較 --

| 化学材料科 | 菅野尚子 | 志田英士* | 木野浩成 |
|-------|-------|-------|------|
| 金属材料科 | 田中宏樹 | | |
| あなりす | 岡田きよみ | | |

Evaluation of CNF-dispersibility in PP/CNF composites using infrared microscopic imaging analysis

- Numerical comparison between various samples -

KANNO Naoko, SHIDA Eiji, KINO Hironari, TANAKA Hiroki and OKADA Kiyomi

The dispersibility of the polypropylene (PP)/cellulose nano-fiber (CNF) composites was measured by means of infrared microscopic imaging analysis, and the results of the numeric data were examined in terms of the dispersibility of CNF. We evaluated the dispersibility from the window size dependence on coefficients of variance (CV). Averaging filters with various window sizes were intentionally applied to image data, and CV were calculated from the values in the filters. We applied the above process to the PP/CNF composites made from a commercially available CNF master batch and PP, and verified the kneading conditions.

Keywords: infrared microscopic imaging, dispersibility, polypropylene (PP), cellulose nano-fiber (CNF) キーワード:赤外分光イメージング、分散性、ポリプロピレン (PP)、セルロースナノファイバー (CNF)

1 はじめに

既報¹⁾では、赤外分光イメージング技術を利用する ことにより、PP/CNF コンポジット中においてセルロース ナノファイバー (CNF) が凝集しているか否かの区別 や、CNFと相溶化剤との化学結合の分布を確認する ことができた。しかし、実際の製品設計では、物性の 向上に必要とされる CNF 分散性の水準や、現在の試 作の立ち位置を的確に把握することが重要であり、そ のためには試料間で相互に分散性の良し悪しを比較 できることが求められる。そこで、PP/CNF コンポジット 中の CNF 分散性を数値的に評価する手法を試作コン ポジットに適用し、混練条件の検証を試みたので報告 する。

2 方法

2.1 試料

ポリプロピレン (PP、㈱プライムポリマー製;プライム ポリプロ J707G) と PP/CNF コンポジット用マスターバッ チ (CNF-MB、A 社製; CNF 濃度 40%) を、CNF 濃 度が1%、5%及び 10%となるようにそれぞれ混合し、 二軸混練押出機 (㈱テクノベル製; KZW20TW) によ り、温度 180℃及び軸回転数 200rpm で混練を行い、1 回混練試料とした。これらの試料を再度同条件で混練 し、2回混練試料とした。

2.2 試験方法

(1) 赤外分光イメージング測定

2.1 の試料を用いて、180℃のヒートプレス装置(テ スター産業㈱製; SA-302)により厚さ2mmの平板を作 製し、ミクロトーム(ライカマイクロシステムズ㈱製; HistoCore MULTICUT)で厚さ50µmの断面試料を調 整した。得られた試料断面のスキン層を含まない試料 中央付近について、ATR イメージング測定装置

(PerkinElmer 社製; Frontier–Spotlight 400) により、 スペクトルの分解能 8cm^{-1} 、積算回数4回、ピクセルサ イズ $1.56 \mu \text{m}$ 、測定領域 $200 \mu \text{m} \times 200 \mu \text{m}$ の条件で測 定を行った。

(2) 赤外分光イメージングの解析

岡田らの手法²⁾を参考に、PP/CNFコンポジットの赤 外吸収スペクトル(図1)において、セルロース由来の 1050cm⁻¹(COC 伸縮振動)のピーク面積を PP 由来の 1380cm⁻¹(CH3 変角振動)のピーク面積で除した値を 各ピクセルで計算し、測定領域の 16,384 点の値を用い て PP/CNFコンポジット中の CNF 分散性を評価した。 すなわち、測定領域の位置情報を持った各ピクセルで の 1050cm⁻¹/1380cm⁻¹ピーク面積比データに対し、窓 枠サイズの異なる平均化フィルタを適用して CV 値(変 動係数)を計算し、窓枠サイズと CV 値の関係をグラフ で表した。





3 結果および考察

CNF 濃度が1%、5%及び 10%の1回混練試料に ついて、窓枠サイズとCV 値の関係を図2に示した。 図では CV 値が高く、曲線の傾きが急なほど CNF 分 散性が悪いことを示している。曲線の傾きが最も急な のは CNF 濃度1%であり、次いで5%、10%の順に傾 きが緩やかとなり、CNF 濃度が低くなるほど分散性は 悪くなった。CNF 濃度が 10%の試料は、CV 値が1以 下を維持しており、分散性が非常に良いと判断された。

参考までに、各試料の MFR 値(表1)を比較する と、CNF 濃度1%の試料は原料の PP と同等の流動性 であるが、5%及び 10%では MFR 値が 15%及び 25% 程度減少し、原料 PP より流動性が低下した。

次に、1回混練試料と2回混練試料の窓枠サイズ -CV値の曲線の変化を比較した。CNF 濃度1%の場 合(図3)では、混練を2回行っても分散性の改善は



図2 市販CNF-MBを用いてコンポジット化を行っ たPP/CNFコンポジットの窓枠サイズとCV 値の関係(1回混練試料)

| 表1 | 各 試料の MFR 値 | (230℃、 | 2.16kg) |) |
|----|--------------------|--------|---------|---|
|----|--------------------|--------|---------|---|

| 試料 | MFR (g/10min) |
|--------|------------------|
| CNF1% | 30.9 |
| CNF5% | 26.2 |
| CNF10% | 22.9 |
| CNF-MB | 1.4 |
| PP | 31.1 |



図3 混練回数の違いによる窓枠サイズとCV値の関係(CNF1%の場合)



図4 混練回数の違いによる窓枠サイズとCV値の関係(CNF5%の場合)

見られなかったが、CNF 5%(図4)では2回の混練で CNF10%の曲線変化に近づき、分散性が改善した。ま た、CNF10%(図5)では1回混練、2回混練で曲線 がほぼ一致し、1回の混練で良好な分散性が得られた ことを示した。このことは各濃度において混練が樹脂に 与えた剪断力が影響したものと考えられるが、希釈倍 率や混練回数により、分散性に変化が現れることを数 値化して表すことができた。また、複数回の混練により CNF 分散性が向上した試料があることから、混練時に 適切な剪断力をかけることが分散性の向上につながる 要因であることが示唆された。

4 まとめ

PP/CNFコンポジット中のCNF分散性を数値的に評価する手法を試作コンポジットに適用したところ、以下のことがわかった。

(1) 市販 CNF-MB を用いた異なる濃度のコンポジット化において、CNF 分散性を数値化して表すこ



図5 混練回数の違いによる窓枠サイズとCV値の関係(CNF10%の場合)

とができた。

(2)希釈倍率や混練回数により、分散性に変化が 現れることを数値化して表すことができた。その 結果、混練時に適切な剪断力をかけることが分 散性の向上につながる要因であることが示唆さ れた。

今後は、CNF 分散性と物性値との関係において試 作の評価・検証を行い、次の試作に活かす取り組みを 進めていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 菅野尚子 他:赤外分光イメージング技術を活用した PP/CNF コンポジットの CNF 分散性評価.静岡県工業技術研究所報告,第12号,14-17 (2019).
- 2) 岡田きよみ 他: FT-IR イメージングを用いたポリ マーコンポジット中の添加剤の分散評価法. 高分子 論文集, 75 (2), 212-220 (2018).

表面の光学特性に影響する粗さパラメータの解明

照明音響科 栁原 亘 豊田敏裕

Elucidation of roughness parameters related to optical properties of surfaces

YANAGIHARA Wataru and TOYOTA Toshihiro

Roughness parameters are standardized as indexes indicating the surface properties of materials. The purpose of using the roughness parameter is to evaluate the surface appearance geometrically. However, the relationship between roughness parameters and optical properties has not yet been clarified. In this study, the relationships between roughness parameters (RSm, R Δ q etc.) and optical properties (light scattering intensity, glossiness etc.) were investigated. As a result, RSm (the average interval of unevenness) showed the highest correlation with light scattering intensity, and R Δ q (the average inclination angle of unevenness) with glossiness. These mean that RSm and R Δ q are much more important for the optical properties than Ra and Rz (the size of unevenness in the height direction). In conclusion, RSm should be evaluated to control the scattering intensity of an optical component surface, and R Δ q should be evaluated to control the appearance of a component itself.

> Keywords: roughness parameter, light scattering intensity, glossiness キーワード: 粗さパラメータ、光散乱度、光沢度

1 はじめに

部材の表面性状を表す指標として、粗さパラメータ が規格化されている(JIS B 0601:2013、JIS B 0681-2:2018)。粗さパラメータは、表面の出来栄えを幾何学 的観点で評価することが目的である。部材表面の光学 特性を評価するためにも粗さパラメータが使われること が多いが、一般的に使われる凹凸の高さを表す Ra や Rz が同程度でも、光学特性が異なることがあり、これ らのパラメータだけで部材の光学的な品質を評価する ことは難しい。これまで粗さパラメータと光学特性の関 係について研究されているが^{1,2)}、その明確な関係性 を見い出すには至っていない。

本所が立地している静岡県は車載光学機器関連 の企業が集積しており、県内企業から光学部品表面 と光学特性の関係に関する相談が多数寄せられてい る。光学部品の表面性状は、それを製作するための 金型加工や射出成型などの過程で生じるものであり、 粗さパラメータと光学特性との関係が明らかになれ ば、企業は粗さパラメータから部品の光学特性を予測 できるようになり、より高精度な光学設計の一助になる と考える。

本研究では、粗さパラメータと光学特性の関係について検証したので、報告する。

2 方法

2.1 測定試料

樹脂成型用金型に使われる鉄鋼材料(STAVAX: Cr合金SUS工具鋼)に、5条件の走査ピッチ(表) で仕上げ加工した試料(縦70mm×横70mm×高さ5 mmの平板)を測定対象とした(写真1)。図1のように 走査ピッチを変えることで凹凸の高さの異なる試料を 製作した。

| 試料No | 使用工具 | 走査ピッチ (mm) | 工具回転数 (rpm) | 走査速度 (mm/min) | 切削時間 |
|------|------------------------|---------------|----------------|------------------|--------|
| | | (11111) | (трш) | (шш/штп/ | |
| 1 | R1ボール エンドミル 2 枚刃 | 0.02 | 58000 | 400 | 14h17m |
| 2 | R1ボール エンドミル 2枚刃 | 0.025 | 58000 | 400 | 11h25m |
| 3 | R1ボール エンドミル 2枚刃 | 0.03 | 58000 | 400 | 9h31m |
| 4 | R1ボール エンドミル 2枚刃 | 0.065 | 58000 | 400 | 4h24m |
| 5 | R1ボール エンドミル 2枚刃 | 0.09 | 58000 | 400 | 3h10m |

表 測定試料の加工条件



写真1 測定試料



走査ピッチで表面粗さの違いを制御 図1 走査ピッチによる表面粗さの違い

2.2 測定方法

2.2.1 粗さパラメータの測定

粗さパラメータは、干渉式の非接触表面性状測定機 タリサーフ CCI HD XL(アメテック㈱製)(写真2)を 用いて測定した。使用した対物レンズは 50 倍(水平 方向の分解能 0.165µm、垂直方向の分解能 0.01nm、 測定範囲 0.33mm × 0.33mm)である。測定試料の中 央部分8箇所を1ショットずつ測定した。測定で得た三 次元表面性状データにおいて、加工工具の走査に よってできた筋目に対し、平行と直交する方向で断面



写真2 非接触表面性状测定機

を抜き出し、得た断面データから JIS B 0601:2013 に 規定する種々の粗さパラメータを算出した。算出には カットオフ値 λc=0.08mm を使用した。算出した各粗さ パラメータにおいて、8箇所の平均値を評価値とした。

2.2.2 光散乱度の測定

光散乱度の測定には変角分光測色システム GCMS-4(㈱村上色彩技術研究所製)を用いた(写 真3)。測定入射角度は15°及び60°、入射方向は試 料表面の筋目に対し平行と直交を選択した(図2)。 正反射角度から±80°の範囲を受光角度とし、正反射 角度から±10°の範囲は0.1°ピッチ、それ以外は1° ピッチで測定した。測定したY値(明度)は観察角度 による反射光強度分布を表している。そこで、分布の 幅が散乱度合いに相当すると考え、データを正規化し 計算した半値全幅を光散乱度の評価値とした(図3)。



写真3 変角分光測色システム





筋目に平行
 筋目に直交
 (b) 光を入射する方向
 図2 光散乱度の測定条件



2.2.3 光沢度の測定

光沢度の測定には光沢度計 GM-26D (㈱村上色彩 技術研究所製)を用いた。光沢度は規定した光源及 び受光器の角度(θとθ')にて鏡面方向に対象物か ら反射する光束と、屈折率 1.567 のガラスから鏡面方 向に反射する光束の比で表される (JIS Z 8741:1997) (図4)。測定入射角度は 20°及び 60°、入射方向は試 料表面の筋目に対し平行と直交を選択した。



3 結果および考察

3.1 粗さパラメータと光散乱度について

各粗さパラメータにおいて、光散乱度との相関係数 算出結果を図5に示す。縦軸は光入射角度 60°の場合 の相関係数、横軸は光入射角度 15°の場合の相関係 数を表している。全体として最も大きな相関係数の値を 示したのは RSm となった。RSm は図6に示すように粗さ 曲線における凹凸間隔の平均値を表している。

例として図7に光の入射角度 60°における各試料の 光散乱度の測定結果を示す。筋目に平行な方向では ほぼ変わらないが、筋目に直交する方向はピッチ 0.065mm と0.09mm の試料が比較的大きな値を示して



図5 粗さパラメータと光散乱度の相関係数結果



図7 光の入射角度60°における光散乱度の測定結果 ■:筋目に平行 □:筋目に直交

いる。各試料の RSm の測定結果を図8に、各試料の 測定断面曲線例を図9に示す。筋目に平行な断面曲 線では、回転工具の回転数と送り速度はどの試料も同 じであり、凹凸の間隔はほぼ同じである。その結果、 RSm と光散乱度の結果もほぼ変わらない。対して、筋 目に直交する方向の断面曲線では、ピッチ 0.02mm、 0.025mm、0.03mmの試料における凹凸の間隔がほぼ

-6-



変わらない。これは、本来走査ピッチの違いによる凹凸 間隔の断面曲線が表れるはずであるが、筋目に平行な 方向の凹凸(つまり工具の回転によってできた凹凸)が 支配的になり、結果として筋目に直交する凹凸の間隔 (RSm)がほぼ同じになったと考える。ピッチ 0.065mm と 0.09mm の試料については、凹凸の高さが大きく、本 来の走査ピッチの違いによる凹凸間隔が支配的になっ ている。しかし、ピッチ 0.065mm の試料に比べてピッチ 0.09mm の試料の方が RSm の値が小さい。2つの試料 の PSD(パワースペクトル密度:横方向の周波数分布 を示す)の結果を図 10 に示す。ピッチ 0.09mm の方が 大きな波長域にピークがある。しかし、ピッチ 0.09mm の断面曲線は凸形状が尖っており、幅としては狭い。 対して、ピッチ 0.065mm の断面曲線は凸形状はなだら



図10 測定断面曲線のPSD (パワースペクトル密度)
 ーピッチ 0.065mm (筋目に直交)
 …・ピッチ 0.09mm (筋目に直交)

かで幅が広い。RSm は凹凸間隔の平均値であるため、 より幅の広い凹凸が多い方が数値として大きくなると考 える。今回製作した測定試料は走査ピッチだけ変えて おり、凹凸形状に上記のような違いが出る原因につい ては今後検証する。

今回の検証で光散乱度と最も相関の高い粗さパラ メータは RSm であることが明らかになった。

3.2 粗さパラメータと光沢度について

各粗さパラメータにおいて、光沢度との相関係数算 出結果を図 11 に示す。縦軸は光入射角度 60°の場 合の相関係数、横軸は光入射角度 20°の場合の相関 係数を表している。全体として最も大きな相関係数の



図11 粗さパラメータと光沢度の相関係数結果

値を示したのは R Δ q となった。 R Δ q は図 12 に示す ように粗さ曲線における局部傾斜角度の平均値を表し ている。

例として図13に光の入射角度60°における各試料の



図12 R∆qの定義

光沢度の測定結果を示す。筋目に平行な方向と直交 する方向で傾向は変わらず、ピッチ 0.025mm の測定試 料の光沢度が最も高く、ピッチ 0.03mm の測定試料の 光沢度が最も小さい。図9よりピッチ 0.025mm の断面曲 線は全体的に凹凸形状がなだらかで平坦部が多いた め、RΔq は小さくなると考える。対して、ピッチ 0.03mm の断面曲線は凹凸形状が尖っており平坦部が少ない ため、RΔq は大きなると考える。基本的に他の加工条 件は同じとして走査ピッチだけを変えれば、より凸の高 さが増えて傾斜面も増えるため、RΔq は大きくなると考









える。3.1と同様に加工条件と凹凸形状の関係については今後検証する。

今回の検証で光沢度と最も相関の高い粗さパラメー タは RΔq であることが明らかになった。

なお、光沢度と相関の高い粗さパラメータとして Rku も優位となった。 Rku は凹凸の鋭さを表しており、3よ り小さいとなだらかで、3より大きいと鋭い形状を示す。 今回の測定試料の Rku はどれも3より大きかった。そし て、Rku の値が3より大きくさらに数値が増えると、凹凸 がさらに尖り、平坦部が増えてくる(図 14)。平坦部 が増えることで、鏡面反射光も強くなり光沢度も高くな ると考える。

4 まとめ

加工走査ピッチを変えることで異なる表面性状を施 した測定試料を対象とし、表面粗さパラメータと光散乱 度及び光沢度との相関関係を評価した。その結果、以 下のことが分かった。

- (1) 光散乱度と最も相関の高い粗さパラメータは RSm(粗さ曲線における凹凸間隔の平均値)で あることが明らかになった。よって、光の散乱状 態を制御したい場合は、RSmの値に注目し最適 な加工条件を探索できることが分かった。
- (2) 光沢度と最も相関の高い粗さパラメータはRAq (粗さ曲線における局部傾斜角度の平均値)で あることが明らかになった。よって、光の鏡面反 射を制御したい場合は、RAqの値に注目し最適 な加工条件を探索できることが分かった。
- (3) 凹凸形状の尖りや幅の大きさなど、走査ピッチに よる凹凸形状の傾向が明らかになってない部分 もあった。加工条件と凹凸形状の関係について は今後検証する。

本研究により、粗さパラメータと光学特性との関係が 明らかになった。本研究で得た知見を今後の研究や技 術指導に活かしていく。

参考文献

- 米原牧子:自動車内装部品におけるシボ加工面の 表面性状が光沢度と色に及ぼす影響,近畿大学次 世代基盤技術研究所報告, Vol.3, 73-77 (2012).
- 2)米原牧子:5052アルミニウム合金の光沢度および 表面色に及ぼす凹凸形状の影響,軽金属学会誌55 (1),15-19 (2005).

光源データの配光測定方式の違いがヘッドアップディスプレイの 表示シミュレーションに与える影響

- ファーフィールド配光データとニアフィールド配光データの比較 -

照明音響科 豊田敏裕

Influence of nature of light source data originated from method of Goniophotometry on lighting simulation of HUD

- A comparison of far-field light distribution data and near-field light distribution data -

TOYOTA Toshihiro

Characteristics of the light source such as intensity distribution and total flux are one of the crucial factors for estimating lighting performance by lighting simulation in optical design and prediction of in-vehicle lighting products performed by CAE (Computer Aided Engineering). In this report, the influence of measurement method of light source on luminance distribution of virtual image formed by Head-Up display (HUD) is investigated.

Both data on far-field lighting distribution and data on near-field lighting distribution have been generated according to a series of 2-dimensional luminance images measured from light source modules built in commercialized HUD products.

The results of lighting simulation for HUD models including such data of lighting distribution showed that luminance range on virtual images formed by HUD model depends on the total flux of the light source rather than the nature of the intensity distribution of the light source. However, the uniformity of luminance on virtual images was influenced by property of intensity distribution. This tendency suggests that variations of the origin of rays, which can be represented by a near-field lighting distribution, are important for evaluating luminance variance on virtual images.

Keywords: Near-field goniophotomeric Measurement, Lighting Simulation, Head-Up Display, HUD キーワード:ニアフィールド配光測定、照明シミュレーション、ヘッドアップディスプレイ

1 はじめに

車載光学機器にも普及が進む LED 光源は、小型で 光線に熱線を含まない利点を生かし、製品の小型化、 部品の樹脂化が進んでいる。しかしながら、微小光源 からの光を正確に制御することが求められる。そのた め、迷光などの予期しない光の発生など、設計段階で は予測が難しい性能上の課題が生じている。

CAE (Computer Aided Engineering) は、設計段階 で性能や不具合を予測する有効な手段であるが、実際 の性能を理論的に予測するには、光源の配光や全光 束などの物理特性を正確に把握する必要がある。

光源の配光特性を測定するためによく用いられているファーフィールド配光測定では、測定対象を点光源とみなせる距離で、ある方向からの明るさをスポット測定

する。そのため、ファーフィールド配光特性には発光の 不均一性の情報は含まれないが、光の広がりを客観的 にとらえる上では有効な技術である。

一方、ニアフィールド配光測定では、光源の発光状 態をイメージング測定し、発光の不均一性を捉えること ができる。映像光学系のような、光源における発光の 不均一性が最終性能に伝搬しやすい機器を扱うため には必要不可欠な技術である。

配光測定方法の違いは、照明シミュレーションで利 用できる情報量に反映される。ファーフィールド配光測 定では、測定した情報を配光特性として記録する。 ファーフィールド配光データは、光の広がりの傾向を客 観的に記述しており、光の出発点は共通で、その発光 方向(極角及び方位角)と強度(光度)が記録され ている。一方、ニアフィールド配光測定から直接得られ る情報は、光源をさまざまな角度から捉えた輝度画像 の集合に過ぎない。そのため、輝度画像群から光の広 がりを予測し、有限の本数の光線をニアフィールド配光 データとして直接記述する。生成された光線データに は、光線の原点、発光方向、強度が光線ごとに記録さ れている。

本報告では、異なる配光測定方法を模擬して生成し た配光データを用いた照明シミュレーションを行い、予 測される照明性能にどのような差異が表れるのか調査 した。特に、輝度むら等の発光状態の不均一性の解消 を重要視する映像光学系では、光源の正確な再現が 照明シミュレーションでは重要となる。本報告では、安 全な運転を支援するための新しい情報提供装置として 国内でも急速に普及が進んでいる HUD をシミュレー ション対象とした。

2 方法

照明シミュレーションで使用した光源データは、ニア フィールド配光データとファーフィールド配光データの 2種類とした。まず、ニアフィールド配光データは、ニ アフィールド配光測定装置で光源を実測したデータに 基づき、専用ソフトウエアを用いて生成した(2.1節及 び2.2節)。測定装置の違いや光源の取り付けの再現 性の影響を排除するため、本報告では、ファーフィー ルド配光データには、ニアフィールド配光データを光 源として用いてファーフィールド配光測定を模擬した 照明シミュレーションにより予測したファーフィールド配 光特性を用いた(2.3節)。そして、生成した2種類の 光源データを用いた光源モデルを後述するHUDの光 学モデルに組み込んだ。作成したモデルを用いた照 明シミュレーションにより、虚像の輝度分布を比較した (2.4節)。

2.1 光源モジュールのニアフィールド配光測定

測定対象は市販車の HUD の映像ユニットとした。 映像ユニットから、開口部部品とLCD(Liquid Crystal Display)を取り外し、LED、拡散板、レンズから構成 される光源モジュールを測定に用いた。光源モジュー ルに直流電圧 13.5V を印加して点灯させ、その発光 状態を2次元の輝度画像として測定した。測定距離は 1,000mm とし、測定範囲は $\theta \phi 座標系^{1)}$ における鉛直 角 θ が 0.0deg ~ 85.0deg を 5.0deg 間隔、水平角 ϕ が 0.0deg ~ 360.0deg の範囲を 22.5deg 間隔とした。 測定にはニアフィールド配光測定装置(米国・Radiant Vision Systems 社 PM-NFMS®400+ProMetric I16-XBND 3)を使用した。なお、本測定では、輝度や測 定視野によるクリッピングは行わず、測定視野内のす べての輝度データを記録した。

2.2 ニアフィールド配光データの生成

ニアフィールド配光測定で得られた輝度データ群を 用いて、ニアフィールド配光データを生成した。意図 しない光線を排除するため、全ての光線の原点が光軸 (Z軸)を法線とする平面(XY平面、Z=0)上となる ように本来の光線の原点をXY平面上に投影した。光 線本数は1,000,000,000本とし、国際照明委員会 (CIE)が定めた方法で色を数値化した CIE 三刺激値 (X,Y,Z)うち、輝度(Y)のみを対象とした。光線の 生成には、ニアフィールド配光測定装置に付属する専 用のソフトウエア(米国・Radiant Vision System 社 ProSource® Version.10.2.9)を使用した。

2.3 照明シミュレーションによるファーフィールド配光 データの生成

ファーフィールド配光データは、ニアフィールド配光 データを光源データとし、ファーフィールド配光測定を 模擬した照明シミュレーションにより予測したファー フィールド配光特性に基づき生成した。ニアフィールド 光源モデルは、図1(ア)に示す通り、ニアフィール ド配光データと、HUD の映像ユニットに取り付けられて いるものと同等の開口形状モデルで構成した。開口形 状モデルは、横 60.0mm、縦 35mm の長方形の中心 に横 40.0mm、縦 15.0mm の開口を設けた平面形状と し、その反射特性は裏面ともに黒色の吸収体(反射 率と透過率ともに0%)とした。また、ファーフィールド 配光測定を模擬するモデルを設置し、θφ座標系¹⁾に おける鉛直角 θ が0.0deg ~ 180.0deg を1.0deg 間隔、 水平角 o が 0.0deg ~ 360.0deg の範囲を 1.0deg 間隔 での配光特性(光度)を2次元画像として取得した。 照明シミュレーションには、視認性評価 CG システム (日本・Integra 社 Lumicept Version.10.73 x64)を使 用した。照明シミュレーションの方法は順光線追跡 (Ray Tracing) とし、その収束条件は、精度 0.5%以 下とした。なお、照明シミュレーションは未知の真値を 予測することが目的であり、それ自身は真値に対する 精度を評価できない。そこで、視認性評価 CG システ ムは、照明シミュレーションの収束を判定する指標とし ての精度を独自に定義している。具体的には、照明シ ミュレーションに使用した光線に通し番号を付し、奇数 番号と偶数番号に分けた光線グループでの照明シ ミュレーション結果の差異を評価している。

また、配光特性を取得した2次元画像を視認性評価 CGシステムに付属の処理ソフトウエア(日本・Integra 社 LumiVue Version.4.73 x64)を用いて、IES 形式²⁾ で記述されたファーフィールド配光データに変換した。





図1 照明シミュレーションで使用した光源モデル 図の単位はmm。開口の反射率は表裏ともに0%(完 全吸収体)とした。

2.4 HUD の虚像の照明シミュレーション

(1) 照明シミュレーションモデルの構成

図2示す通り、照明シミュレーションモデルは、光学 設計支援システム(米国・Zemax 社 OpticStudio® Ver.19.8)を用いて設計した、虚像距離が2,200mm、 虚像の拡大倍率が約3倍のHUD光学モデルと、2.1節 ~2.3節で生成した配光データを組み込んだ光源モデ ルで構成した。HUD光学モデルは、映像ユニット、平 面鏡、凹面鏡、ウインドウシールドで構成されている。 平面鏡及び凹面鏡の反射面は拡散反射のない鏡面 反射(反射率100%)、裏面は黒色の吸収体(拡散反 射率、鏡面反射率ともに0%)とした。ウインドウシー ルドに吸収特性はなく、反射特性および透過特性はフ レネルの公式に従うものとし、屈折率は1.510とした。 照明シミュレーションモデル内の HUD 光学モデル の映像ユニットは、後述の光源モデルに置き換えた。



図2 HUDの照明シミュレーションモデル

(2) 光源モデルの構成

ニアフィールド光源モデルは、2.3節で作成した照 明シミュレーションモデル(図1(ア))とした。

ファーフィールド光源モデルは、発光部に面積のな いファーフィールド配光データを用いるため、光源を直 視するような構成となる HUD 光学モデルでは可視化 できない。そこで、図1(イ)に示すような、ニアフィー ルド光源モデルに含まれる開口と同じ大きさの横 40.0mm、縦15.0mmの自発光面で代替した。自発光 面は、その面内が均一に発光するように構成されてお り、面内の任意の位置を原点とする配光特性はすべて 一致する。自発光面の配光特性と全光束は2.4節で 生成したファーフィールド配光データに一致させた。

(3) 虚像の照明シミュレーション

光源モデルの異なる2種類の照明シミュレーション モデルに対し、HUD光学モデルが形成する虚像を照 明シミュレーションの対象とした。

照明シミュレーションには視認性評価CGシステムを 用いた。照明シミュレーションの方法は逆光線追跡 (Path Tracing)とし、収束条件は精度 0.1%とした。

照明シミュレーション結果は、輝度画像として取得した。HUDが形成する虚像は観察距離に依存するため、輝度画像を取得する仮想カメラ(イメージング輝度計)には、歪曲収差などの光学劣化のない理想的なレンズ(焦点距離35mm、F1.8)を与えた。仮想カメラのレンズの主点をHUD光学モデルが定めたアイボックスの中心に一致させ、観察方向はHUDモデルの光軸に一致させて配置した。仮想カメラで取得した輝度画像は、HUD光学モデルの光軸を中心とし、視野角で水平方向±2.5deg、垂直方向±2.5degの範

囲の輝度画像として取得した。輝度画像の画素数は 水平方向 1,001px、垂直方向 1,001px とした。これは、 虚像距離 2,200mm では、水平方向は約±96.0mm、 垂直方向は約±96.0mm の範囲に相当する。

3 結果

3.1 光源モジュールのニアフィールド配光測定結果

測定範囲とした鉛直角 θ と水平角 ϕ の組み合わせに ついて合計 72 枚の輝度画像を測定した。図3にその一 部の輝度画像を示す。また、表1にそれぞれの輝度画 像における発光部の輝度の解析結果を示す。光源モ ジュールの光軸に一致する方向(図3の θ = 0.0deg、 ϕ = 0.0deg)では輝度が高い(平均輝度:29,640.4cd/m²) が、輝度分布が不均一(標準偏差:6351cd/m²)であ る傾向が見られた。一方、光源モジュールの光軸から 鉛直角 θ が 15.0deg 離れた方向(図3の θ = 15.0deg、 ϕ = 0.0deg ~ 315.0deg)では、光軸方向と比較して輝 度が低い(平均輝度で1/4程度)が、輝度の不均一



図3 ニアフィールド配光測定結果(抜粋) 測定された輝度の疑似カラー表示。図中の数値は測定 角をθφ座標系¹⁾で表している。

表1 HUD用光源モジュールの輝度解析結果

| 測定角 | (deg) | | 統計量(| cd/m²) | |
|------|-------|---------|---------|---------|--------|
| 鉛直角θ | 水平角φ | 最小 | 最大 | 平均 | 標準偏差 |
| 0.0 | 0.0 | 11285.7 | 44362.8 | 29640.4 | 6351.2 |
| 15.0 | 0.0 | 292.7 | 17351.2 | 9889.7 | 3345.1 |
| 15.0 | 45.0 | 2159.1 | 18553.2 | 7085.1 | 3587.6 |
| 15.0 | 90.0 | 1835.1 | 14024.7 | 5384.5 | 2810.7 |
| 15.0 | 135.0 | 1788.5 | 17283.3 | 6899.5 | 3471.2 |
| 15.0 | 180.0 | 629.9 | 14678.9 | 9803.3 | 2177.9 |
| 15.0 | 225.0 | 1892.6 | 13910.0 | 7246.8 | 3122.7 |
| 15.0 | 270.0 | 1282.4 | 14493.4 | 6821.2 | 3846.8 |
| 15.0 | 315.0 | 1391.3 | 14538.7 | 7531.4 | 3342.1 |

性は小さくなる(標準偏差が1/2程度)傾向がみられた。このことは、光源モジュールは指向性を持たせた設計であることを示している。なお、測定データに基づき計算された全光束は6.58lmとなった。

3.2 照明シミュレーションによるファーフィールド配光 データの生成

予測したファーフィールド配光特性のうち、光源の水 平方向(水平角 φ = 0deg 及び 180deg の断面)と垂 直方向(水平角 φ = 90deg 及び 270deg の断面)で の配光特性をそれぞれ図4(ア)及び図4(イ)に示 す。図4に示す通り、光源の水平方向と垂直方向で は、光の広がり方(開き)が異なっていることが分かっ た。この傾向は、3.1節で示した輝度分布の解析結果 を客観的にとらえていることがわかる。なお、この照明 シミュレーションで予測された全光束は 3.54lmとなっ た。3.1節で述べ通り、実測の全光束(6.58lm)と比 較すると、HUDの虚像の生成に寄与する光束(光源 モジュールの効率)は50%程度であることが分かった。



図4 ファーフィールド配光特性

±10degの範囲に光が集中しており、指向性が強いこ とがわかる。また、長方形の発光面に対し、長軸方向 (図(ア))に比べて、単軸方向(図(イ))では、光 の広がり方がやや狭いことがわかる。

3.3 虚像の照明シミュレーション結果

図5(ア)にニアフィールド光源モデルを用いた照明 シミュレーションモデルに対する照明シミュレーション結 果、図5(イ)にファーフィールド光源モデルを用いた 照明シミュレーションに結果を示す。いずれの光源モデ ルを使用した照明シミュレーションモデルにおいても、 その光源モデルが形成する矩形状の虚像及びウインド ウシールドによる多重反射の様子を再現した。

図5の輝度画像では、所望の虚像である表面反射の 輝度分布のみを解析することが困難なため、表面反射



(ア) ニアフィールド光源モデル使用 (イ) ファーフィールド光源モデル使用

図5 照明シミュレーション結果(多重反射あり) ウインドウシールドでの表面と裏面での多重反射による 虚像の重なりを再現した。

の光線のみを独立に輝度画像として取得する照明シ ミュレーションを新たに行った。図6(ア)及び図6(イ) に表面反射で形成された虚像の輝度画像を示す。い ずれの結果も見た目の輝度は低くなったが、虚像が形 成する輝度エッジが形成する境界は1つとなった。

表面反射で形成された虚像(図6(ア)及び図6 (イ))の輝度分布解析結果を図7および表2に示す。



(ア) ニアフィールド光源モデル使用 (イ)ファーフィールド光源モデル使用

図6 照明シミュレーション結果(表面反射のみ) 照明シミュレーション結果では約60%の光線がウインド ウシールドを透過した。画像の輝度スケールは一致さ せている。

図7は、輝度分布を等輝度線図として示したもので、 使用した光源モデルによって分布が大きく異なってい ることがわかる。ニアフィールド光源モデルを使用した 場合(図7(ア))、虚像の輝度分布が不均一になる のに対し、ファーフィールド光源を使用した場合は輝 度の不均一性がほとんど見られなかった(図7(イ))。 また、虚像の輝度分布の解析結果(表2)から、虚像 の最大輝度はほぼ同程度であったが、ニアフィールド 光源モデルが形成した虚像に対して、ファーフィール ド光源モデルが形成した虚像の不均一性(標準偏差) は1/2程度となることがわかった。



図7 ウインドウシールドを表面反射した光線によ り形成された虚像の輝度分布

予測された輝度分布を等輝度線図として示している。ニ アフィールド光源を使うことで光源由来の輝度ムラが再 現された。

表2 虚像の輝度の解析結果

| | 統計量 (cd/m²) | | | |
|------------|-------------|-----------|-----------|---------|
| 光源の種類 | 最小 | 最大 | 平均 | 標準偏差 |
| ニアフィールド光源 | 0.347 | 1,596.612 | 987.609 | 255.783 |
| ファーフィールド光源 | 0.874 | 1,684.803 | 1,363.723 | 112.281 |

4 考察

光源データ(配光測定方式)の違いが傾向の異な る照明シミュレーション結果をもたらしたことは、それぞ れの光源が持つ情報量の違い、具体的には、配光 データに光源の大きさの情報が含まれているか否かと いうことに由来すると考えられる。また、本報告では、 本来は点光源であるファーフィールド配光データを並 置した自発光面をファーフィールド光源モデルとして いる。このことは、虚像の観察位置(方向)に依存す る輝度の変化は再現できるが、虚像の局所的な輝度 むらを正確に再現することは困難である。しかしなが ら、前述の通り、ファーフィールド配光データは、物理 的には有限の面積を持つ光源を点光源として表現し ていることから、それ自身に面積を持たないため、可 視化することができない。代替の手段として、たとえば、 HUD 光源の開口の中央に微小面積の自発光面を設 置したとしても、光源の中央部から偏心した位置を原 点とする光は再現できないため、自発光面の使用は妥 当な方法と考える。

しかしながら、ニアフィールド配光データの利用には データ容量や光線本数などのデメリットがある。今回使 用したニアフィールド配光データの容量は約70GBで あった。このデータは光線1本につき、光線の原点と 光線ベクトル、輝度情報の7次元で構成されているが、 色情報を再現するためにはさらに2次元の情報が必要

になり、輝度のみの輝度データと比較して約1.4倍の データ容量となる。ニアフィールド配光データは光線の 情報を1本ずつ直接記述する。したがって、発光面の 見かけの光線密度はニアフィールド配光データに含ま れる光線本数に依存する。HUD の虚像を例に取れ ば、面積 Sの光源をn 倍に拡大すると、虚像上の光 線密度は S/n²となり、拡大率の2乗に反比例する。言 い換えれば、空間解像度の高い輝度画像を照明シミュ レーションで予測するためには適切な光線本数を決め る必要があるが、参考となる指針等がない。また、ファー フィールド配光データはその特性が関数として記述さ れるため、無限通りの光線を生成できるのに対し、N 本の光線が記述されたニアフィールド配光データから はN通りの光線しか生成できない。そのため、ニア フィールド配光データは事前に光線本数を十分多く用 意するか、複数のデータセットを用いて、複数回の照 明シミュレーションを行い、それらの結果を比較するこ とが望ましいと考えられる。また、生成される光線は測 定データに基づく予測であることから、その予測方法 にも課題があるとの指摘もある3)。

5 まとめ

本報告では、HUD が形成する虚像を対象に、光源 の配光データの測定方式の違いが、HUD が形成する 虚像の輝度分布に与える影響を調査した。まず、HUD 用光源モジュールの実測データに基づき、ニアフィール ド配光データとファーフィールド配光データをシミュレー ションにより生成した。そして、各配光データを用いた照 明シミュレーションで HUD の虚像の輝度分布を予測し た結果、予測された虚像が取りうる輝度範囲は光源 データの測定方法によらない傾向がみられたが、虚像 内の輝度の不均一性が大きく異なることが分かった。

ファーフィールド配光データとニアフィールド配光 データの使い分けは、上述の通り、メリットとデメリット を踏まえたうえで使い分ける必要がある。例えば、指 向性のある光源や発光輝度の不均一性のある光源を 用いて、意図した、あるいは、意図しない局所的な明 るさや色の変化を考慮すべき照明シミュレーションに おいては、ニアフィールド配光データの利用は必要不 可欠であると考えられる。

今後は、照明シミュレーションで利用する配光デー タを得るための配光測定方式の使い分けや、照明シ ミュレーションにおける光線本数が照明シミュレーショ ン結果に与える影響などの検討を進める。

参考文献

- 1) JIS C 8105-5:2014 照明器具-第5部:配光測定 方法.
- ANSI/IES LM-63-19 Approved Method: IES Standard File Format for the Electronic Transfer of Photometric Data and Related Information.
- 3) 蔀洋司:固体照明の測光・放射測定における課題.光学,42(3),114-120 (2013).

食品廃棄物のメタン発酵

一 食品工場における小型メタン発酵プラントの導入効果の検討 一

環境エネルギー科 太田良和弘 室伏敬太 鈴木光彰 宮原鐘一 山梨罐詰株式会社 松村英功 望月光明

Methane fermentation of food waste

 Economic and environmental evaluation of a small-scale methane fermentation system for food factories —

OHTARA Kazuhiro, MUROFUSHI Keita, SUZUKI Mitsuaki, MIYAHARA Shouichi, MATSUMURA Hidenori and MOCHIZUKI Mitsuaki

We have developed a pretreatment technology that enables the highly efficient methane fermentation of food waste containing large amounts of oil and solids.

We conducted tests at six food factories using a methane fermentation pilot system employing this pretreatment technology. We examined the effectiveness of a small-scale methane fermentation system.

For small-scale plants, it was revealed that boiler heat utilization was more economical than gas engine cogeneration to make effective use of the biogas.

When using the subsidy with 1/3 of the subsidy rate for a depreciation period of 15 years, it was confirmed that the processing scale would be effective in all six industries.

Keywords: Methane fermentation, Food waste, Economic and environmental evaluation. キーワード: メタン発酵、食品廃棄物、事業性評価

1 はじめに

環境調和に優れた食品廃棄物の処理方法としてメタ ン発酵が注目されているが、油分を多く含む難分解性 原料の処理¹⁾と装置の小型化が課題である。平成26~ 28年度に、我々はメタン発酵に不向きな食品廃棄物を メタン発酵しやすい原材料に変換する前処理技術を 新規開発^{2)~7)}し、この技術を応用したメタン発酵パイロッ トプラントを試作⁸⁾した。この技術は実験室規模の標準 的な原材料による試験は完了しているものの、スケール アップした規模で実際の廃棄物による有効性の確認は 実施されておらず、実証化が完了していない。この技 術が実証化されれば、メタン発酵工程が高効率化する ことによりプラントが従来より約1/2に小型化可能となり、 製作コストの低減化が図れる。

本研究では、平成29年度から3年間に6業種(レトルト、水産加工品⁹⁾、豆腐、調味料、健康食品、肉加工品)の食品製造工場で、それぞれの食品廃棄物を メタン発酵処理する実証化試験を行い、業種ごとにプ ラント導入の効果を検証する事業性評価を行った。

2 方法

2.1 メタン発酵プラント試験

メタン発酵パイロットプラント(写真1)を6業種の食 品製造工場敷地内に設置し、モデルケースIの既設メ タン発酵プラントの消化汚泥を種汚泥としてメタン発酵 槽に加え馴養した。プラント試験のフローを図1に示 す。それぞれの食品製造工程で実際に発生する食品 廃棄物を原料とし、原料中の油脂重量濃度が8%未満 の場合は、原料をディスポーザーにより粉砕希釈し、有 機体炭素濃度(TOC)約0.5~2%のメタン発酵原料 液110Lを調整した。一方、原料中の油脂重量濃度が 8%以上の場合は、同様に原料を希釈粉砕し、工場排 水汚泥でTOC約1~3%に調整した後、前処理装置 に投入し2~4日間の前処理工程を行った。その後、処 理液を適宜希釈してTOC約0.5~2%のメタン発酵原 料液110Lに調整した。これらのメタン発酵原料液



写真1 メタン発酵パイロットプラント



図1 メタン発酵プラント試験フロー

110Lを工場稼働日の毎日、1100Lのメタン発酵槽に連続投入し、消化液を毎日110L排出することで滞留日数10日の中温メタン発酵処理を行った。

これらを評価するために、発生するバイオガス量とエ ネルギー消費量のモニタリングを行うとともに、原料液と 消化液の炭素および窒素濃度、バイオガスの成分を定 期的に分析することで、バイオガス発生効率やエネル ギー効率等の事業性評価を行うための指標データを 収集した。

各食品製造工場での試験期間は4~6ヶ月間であった。

- 2.2 事業性評価
- (1) エネルギー収支

食品工場から発生するメタン発酵の原料となる食品 廃棄物量、プラント試験で得られたバイオガス発生効 率等から、バイオガス発生量や発生エネルギー量を推 計¹⁰⁾した。一方、プラント試験のエネルギー消費量か らスケールアップした場合のエネルギー消費量を推計 し、全体のエネルギー収支を試算した。

(2) 炭素収支

二酸化炭素排出量の削減効果を単純焼却処理と比較して評価した。原料由来の二酸化炭素はカーボン ニュートラルと考えられるため、バイオガスシステムでの 創出エネルギーと消費エネルギーを対象として、二酸 化炭素の収支を算定した。なお、二酸化炭素排出原 単位については、電気:0.452kg-CO2/kWh^{*1)}、熱: 0.0189kg-C/MJ¹¹⁾を用いた。

(3) 支出算定

ア 設備投資及び維持管理費

プラント試験結果から、廃棄物量に対応するプラント 規模(容量)の概算設計と設備投資費及び維持管理 費(光熱費、薬剤費等)の試算を行った。バイオガス 利用設備については、ガスエンジン(コジェネシステ ム)とボイラー(熱利用)の2ケースについて発生する バイオガス量に対応する機種を選定し、これらのメー カーから設備投資費及び維持管理費を調査した。

今回のモデルケースでは設備投資費に対して、補助率1/3の設備導入補助金^{*2)}が得られるものと想定した。収支算定にあたっては、補助金の全額を圧縮記帳したうえで、法定耐用年数15年、定額減価償却を行った場合の減価償却費を計上した

イ 消化液処理

プラントから排出する消化液については、原則、既 存の排水処理施設で処理することとし、既存の排水処 理施設の排水処理単価を算出し、消化液の排出量か ら排水処理費を試算した。消化液の有効利用が具体 的に見込める事例については別途、収入で算定した。

ウ 保険

投資設備に対して火災保険に加入するものとし、年間保険料の料率を設備投資費の0.4% として算出した。 エ 固定資産税

メタン発酵プラントの法定耐用年数を15年として、投 資設備に対する固定資産税を算出した。

- *1) 中部電力:「地球温暖化対策の推進に関する法律」に基づく2018年度のCO2排出実績の報告について
- https://www.chuden.co.jp/publicity/topics/3271523-21498.html (2020.3.12アクセス)

*2) 静岡県:ふじのくにエネルギー地産地消推進事業費補助金公募要領

https://www.pref.shizuoka.jp/sangyou/sa-150/enetisantisho/hozyokin2020.html (2020.3.25アクセス)

(4) 収入算定

ア 消費燃料削減

ガスエンジンにおいては、発電による余剰電力と余熱 利用が見込める。電力単価については自家消費を原則 として購入電気代と同様とした。バイオガス発生量が多 く売電利用が見込める事例については、別途、固定価 格買取制度(以下、「FIT」という。)利用の平成 30 年 時点での売電単価39円/kWhにより収入算定を行った。

余熱利用については、A 重油を燃料として供給され ている熱を代替するものと想定し、A 重油の単価 76.7 円 (小型ローリー 2017 ~ 2019 年平均値)^{*3)}と熱量¹²⁾よ り熱単価を算出した。

イ 廃棄物処理費削減

メタン発酵に用いる原料はいずれも廃棄物であるため、それぞれの廃棄物処理費の単価に利用量を乗じる ことで、廃棄物処理費削減効果として算出した。

ウ 消化液の有効利用

消化液を液肥として具体的に利用可能な事例につ

いては、想定される液肥単価と消化液量から利益を算 出した。この場合、消化液を排水処理しないため、上 述の支出から消化液排水処理費を除外した。

(5) 経済性収支算定

ガスエンジンとボイラーの2ケースについて、年間収 益を算出した。投資回収年数は、設備投資費より補助 金額を差し引いた実質的な投資額を、利益に減価償却 費を足し戻した平均キャッシュフローで除した値とした。

(6) プラント導入経済効果

モデルケース結果から廃棄物日量 0.5 以上~5トン 未満(年間廃棄物量 150 以上~1,500トン未満)を小 型メタン発酵プラントと定義し、プラント規模が変動した 場合の収支との関係性を評価し、プラント導入の経済 効果を推計した。推計方法は、上述の収支推計項目 の内、初期投資額は廃棄物処理量の2/3乗に比例す る¹³⁾ものとし、保険料及び固定資産税は、初期投資額 に比例するものとした。その他の項目は廃棄物処理量 に比例するものとした。

| 記号 | I | Π | Ш | IV | V | VI |
|--|---|---|---|--|---|-----------------|
| 業種 | レトルト | 水産加工 | 豆腐 | 調味料 | 健康食品 | 肉加工品 |
| 主廃棄物 | シチュー | 魚血水 | 豆腐 | マヨネーズ | ゼラチン | ラード |
| 副廃棄物 | 油、汚泥 | - | 厚揚げ | 汚泥 | 汚泥 | 野菜、汚泥 |
| 主廃棄物量(t/年) | 298 | 780 | 910 | 468 | 360 | 30 |
| 副廃棄物量 (t /年) | 66 | - | 130 | 468 | 360 | 325 |
| 合計廃棄物量 (t /年) | 364 | 780 | 1,040 | 936 | 720 | 355 |
| 希釈率 | 3 | 1 | 8 | 12 | 10 | 3 |
| 前処理槽容積(t) ※1 | 9 | - | - | 173 | - | 13 |
| メタン発酵槽容積(t) ※2 | 33 | 33 | 360 | 432 | 330 | 40 |
| メタン発酵効率(L/kg-TOC) ※3 | 1,600 | 1,154 | 1,600 | 1,440 | 907 | 1,770 |
| バイオガス発生効率(L/kg-TOC) ※4 | 740 | 1,154 | 1,600 | 623 | 907 | 816 |
| バイオガス発生量(Nm ³ /年) | 19, 254 | 8,147 | 140, 130 | 134, 784 | 97, 956 | 8,225 |
| メタン濃度(%) | 71 | 70 | 62 | 68 | 60 | 62 |
| 発生エネルギー量(MWh/年) ※5 | 135 | 56 | 861 | 911 | 588 | 51 |
| | ▲ 4 | ▲ 12 | 394 | 307 | 426 | ▲ 40 |
| 二酸化炭素削減効果(kg/年) | ▲ 521 | ▲ 6,954 | 89, 515 | 64, 184 | 98, 364 | ▲ 17,376 |
| ガスエンジン : 設備投資額(千円) | 64, 537 | 43,637 | 174, 200 | 250, 200 | 173, 200 | 66,300 |
| ガスエンジン:年間利益 (千円)※7 | 10,400 | ▲ 450 | 10,252 | 1,427 | 2,047 | ▲ 949 |
| FIT利用 :年間利益 (千円) | - | - | 10, 743 | 2,336 | 1,227 | - |
| ボイラー :設備投資額(千円) | 54,070 | 33, 170 | 156, 230 | 232, 230 | 162, 160 | 55, 260 |
| ボイラー :年間利益 (千円)※7 | 10, 764 | 113 | 9,618 | 2, 377 | 2, 805 | 249 |
| 投資回収年 | 2.8 | 14 | 6.3 | 12 | 11 | 16 |
| 投資回収規模(t/年) ※8 | 150未満 | 730 | 150未満 | 590 | 200 | 430 |
| ※1 前処理槽容積 ※2 メタン発酵槽容積 ※3 メタン発酵効率 ※4 バイオガス発生効率 ※5 発生エネルギー量 ※6 回収エネルギー量 ※7 年間利益 ※8 投資回収規模 | 一日当たり 一日七日 ゴインズ発生 ボズクンオズ 二 二<td>の原料投入 の原料投入 発生量(L/c 効率×メタン 中のメタン ルギー度等(相 15年間で」</td><td>量と処理日 量と処理日 きと処理理日 3) / メタン ン 発酵原料 ダ ク 一 (プ ラン 「 本 朝 、 メ タ ン 、 米 県 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、</td><td>数から設計 数及び安全率1 発酵原料液T 変TOC/廃棄熱 をなの消費: を活用した場 とする最低廃</td><td>10%から設 DC (kg-T0C)原料液T0C 量から算出 エネルギー 合 棄物排出規</td><td>計 /d) 量]</td> | の原料投入 の原料投入 発生量(L/c 効率×メタン 中のメタン ルギー度等(相 15年間で」 | 量と処理日 量と処理日 きと処理理日 3) / メタン ン 発酵原料 ダ ク 一 (プ ラン 「 本 朝 、 メ タ ン 、 米 県 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 | 数から設計 数及び安全率1 発酵原料液T 変TOC/廃棄熱 をなの消費: を活用した場 とする最低廃 | 10%から設 DC (kg-T0C)原料液T0C 量から算出 エネルギー 合 棄物排出規 | 計 /d) 量] |

表1 実証化試験とりまとめ結果

*3) 資源エネルギー庁:「石油製品価格調査」

https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/petroleum_and_lpgag/pl007/results.html (2020.3.12アクセス)

3 結果および考察

実証化試験のとりまとめ結果を表1に示す。

エネルギー収支算定結果の事例を図2、経済性収支 算定結果の事例を図3に示す。









6業種の内、廃棄物原料に油脂含有量が多いI: レトルト、IV:調味料及びVI:肉加工品製造工場では 前処理工程を採用した。なお、V:健康食品製造工 場では原料の廃棄ゼラチン中に油脂含有量は少ない が、栄養素の調整のため副資材として排水汚泥を投 入した。

Ⅲ:豆腐、Ⅳ及びVは原料中の TOC が高く、希釈 率を8~12 倍と大きく設定したため、廃棄物が日量5ト ン未満であってもプラント規模としては 300 トン超の中 規模のプラントとなった。

前処理工程を採用した3業種は、前処理液のメタン 発酵効率は 1,440 ~ 1,770L/kg-TOC と比較的高く前 処理工程により高効率の原料液が生成されることがわ かる。しかし、前処理工程により原料中炭素の4~6割 が好気性微生物処理により消費されるため、全工程の バイオガス発生効率としては623~816 L/kg-TOCとな り、結果的に前処理工程のないメタン発酵工程より効率 は低くなる。油脂含有濃度が高い原料は、そのままで はメタン発酵阻害が生じるため、原料の含有成分を考 慮して前処理工程の採用を判断する必要がある。

プラント規模の大きい事例(図2)では、回収エネル ギー及び二酸化炭素削減効果がプラスになり有用性 が確認できたが、一方、小規模プラント(I、II:水 産加工、VI)では、有用性が確認できなかった。これ は、熱損失や機械設備の電力消費などスケールメリット が得られなくなるためであり、より大型施設であればこれ らの指標は改善される。経済的収益や環境面の有用性 を十分考慮したプラント規模により設計する必要がある ことがわかった。

経済性評価では、図3で示した結果と同様に、全事 例で収益のほとんどが廃棄物処理費削減効果で、エネ ルギー回収による経済的効果は影響が少ないことがわ かった。IIの事例では設備投資費が最も少ないにもか かわらず、対象とする廃棄物の魚血水を処理費用の安 価な排水処理工程で自家処理しているため、廃棄物処 理費削減効果が低く結果的に経済性が低くなった。エ ネルギー回収で得られる経済性の大きさは、小規模プ ラントではほぼ維持管理費程度であるため、プラント導 入の経済性は設備投資費と廃棄物処理削減費で簡易 評価可能であることがわかった。

ガス利用設備の選定を経済性の面で評価すると、今回のような小規模プラント事例では、ガスネンジンに比べてボイラーによる熱利用の有益性が高かった。これはガスネンジンの設備投資額がボイラーより10,000千円以上高く、バイオガス発生量が大きくないと経済的に不利だからである。メタン発酵槽の規模(投資額)とバイオガス発生量により推計したところ、メタン発酵槽容積が小規模(300トン未満)でバイオガス発生量が10万Nm²/年未満であればボイラー利用の経済性が優位となると考えられた。なお、中規模プラントの場合、規模(投資額)とバイオガス発生量により超済性の優劣が異なる結果となった。ボイラーよりガスエンジンが優位な場合、Ⅲのように補助金制度を活用せずFITによる売電事業の経済性が優位となる可能性もあり、プラント導入を検討する工場のエネルギー需要と有資格者等の管

理体制の確保など、より詳細な設計検討が必要となる。

今回の6事例は、静岡県内の事業所数や廃棄物処 理量の多い業種を優先的に選定したが、排出規模は 必ずしも業種を代表するものではない。VIの事例は主 廃棄物量が30トン/年(0.1トン/日)と少なく、投資 回収に16年を要する。6事例をモデルケースとして規 模が大きくなるほど経済性に優位となることをふまえ、 業種ごとの投資回収規模(投資回収年数15年と定義) を試算した結果を表1に示す。この結果から、業種ごと のプラント導入における経済性を廃棄物発生量から推 定することが可能となる。VIの事例について、廃棄物 排出規模と経済性収支の関係性を図4に示す。モデル ケースでは、排出規模が小さく投資回収が困難な結果 が得られたが、排出量が2割程度大きくなれば投資回 収可能となることがわかる。



図4 プラント規模と経済性収支の関係性事例 (肉加工品:ボイラー利用)

4 まとめ

油や固形分を多く含む食品廃棄物を高効率にメタン 発酵が可能な前処理技術を採用したメタン発酵パイ ロットプラントを用いて6業種の食品工場で実証化試験 を実施し、日量5トン未満処理規模の小型メタン発酵プ ラントの導入効果を検証した。小規模プラントの場合、 メタン発酵により発生するバイオガスは、ガスエンジンコ ジェネレーションよりもボイラー熱利用の経済性が高い ことがわかった。減価償却期間15年基準で補助率1/ 3の補助金を利用した場合、全6業種で導入効果が得 られる処理規模が確認できた。今後は、今回得られた 知見をもとにメタン発酵技術を活用した再生可能エネ ルギー利用とバイオマス利活用の普及啓発に努める。

謝辞

実証化試験の実施に協力いただいた6工場の担当 者の皆様に感謝いたします。

また、この研究は、静岡県地産エネルギー創出支援 事業及び資源エネルギー庁エネルギー構造高度化・ 転換理解促進事業の助成により、静岡県小型メタン発 酵プラント事業化推進協議会と協同で実施しました。協 議会参画企業及び各行政機関の関係の皆様に感謝 いたします。

参考文献

- 野地達也 他:「メタン発酵」,初版(技報堂出版
 (株),佐藤和明 他 編集,pp. 40-41 (2009).
- 2)中島大介他:食品廃棄物のメタン発酵 油前処 理の有効性評価-.静岡県工業技術研究所研究報 告,第8号,7-11 (2016).
- 3) 室伏敬太 他: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-.静岡県工業 技術研究所研究報告,第8号,28-29 (2016).
- 4) 室伏敬太 他:食品廃棄物のメタン発酵 一油前処 理効率化のための油分解菌の探索(第2報) -.
 静岡県工業技術研究所研究報告,第9号,7-9 (2017).
- 5) 中島大介 他:食品廃棄物のメタン発酵 メタン発酵のための固形有機物前処理方法の開発-.静岡県工業技術研究所研究報告,第9号,36-37 (2017).
- 6) 室伏敬太 他:食品廃棄物のメタン発酵 一油脂分 解微生物を利用したメタン発酵の評価-.静岡県工 業技術研究所研究報告,第10号,25-26 (2017).
- 7) 中島大介他:食品廃棄物のメタン発酵ー湿式メタン発酵のための固形物前処理の最適化ー.静岡県工業技術研究所研究報告,第10号,27-28 (2017).
- 8)太田良和弘他:食品廃棄物のメタン発酵ー前処 理装置用簡易脱臭機構の検討ー.静岡県工業技術 研究所研究報告,第10号,23-24(2017).
- 9) 室伏敬太他:水産加工工場排水のメタン発酵ー ラボスケール試験によるメタン発酵適正評価ー.静岡 県工業技術研究所研究報告,第11号,66-67(2018).
- 10) 環境省:「廃棄物系バイオマス利活用導入マニュ アル(2017年3月)」p.45 (2017).
- 11)経済産業省:「特定排出者の事業活動に伴う温室 効果ガスの排出量の算定に関する省令」別表第2, (2006)

- 12) 経済産業省:「特定排出者の事業活動に伴う温室 13) 狩野三郎:大型化に伴う機器の製作コストについ 効果ガスの排出量の算定に関する省令」別表第1, て. 化学工学, 31 (10), 940-945 (1967). (2006)

-21-

欠陥レスで高密着な樹脂めっきの作製

- 環境に配慮したポリカーボネート樹脂に対するエッチング技術の検討-

金属材料科 綿野哲寬* 鈴木洋光 長谷川和宏

Preparation of defect-free and high adhesion resin plating required

- Examination of environmentally-friendly etching technology for polycarbonate resin -

WATANO Tetsuhiro, SUZUKI Hiromitsu and HASEGAWA Kazuhiro

Keywords: resin plating, etching, chromic acid, ozone, polycarbonate キーワード:樹脂めっき、エッチング、クロム酸、オゾン、ポリカーボネート

1 はじめに

EV シフトによる車体軽量化のため、金属から樹脂へ 置き換える動きが加速している。樹脂材料に高品質な めっきを施すことが出来れば耐久性、意匠性や電磁 シールド性を付与でき、樹脂材料の用途拡大が期待で きる。しかし、現行技術はクロム酸を用いた前処理(エッ チング)の環境負荷が大きいことや、ABS 樹脂以外の 樹脂へのめっきが難しいこと、めっき欠陥(ピットやピン ホール)による機能性低下が普及の課題となっている。

本研究はポリカーボネート(以下、PCと略す。)樹 脂を対象に、環境負荷の少ないエッチング法の探索を 行った。

2 方法

PC 樹脂に対して、現行法と開発法によるエッチング を行った(図1)。開発法は現行法のクロム酸エッチン グをオゾン酸化、プラズマ照射、紫外線照射に置き換 え、その他工程は現行法と同様のプロセスでエッチン グを行った。エッチングの評価は、Pd-Sn 触媒吸着に 影響を与える濡れ性を接触角計(Attension 製 Theta) で、めっきの密着力を生み出す表面粗さを白色光干渉 計(アメテック㈱製 Talysurf CCI HD)により行った。

3 結果および考察

3.1 濡れ性

オゾン酸化は、暴露1時間でクロム酸エッチングより も濡れ性が向上し、暴露時間をさらに長くすると、高い



図1 実験方法

濡れ性を示すことが分かった(図2)。オゾンは強い酸 化力を持つため、PC 樹脂の加水分解を時間と共に促 したと考えられる。プラズマ照射はオゾン酸化に比べて 短時間で高い濡れ性を示した(図3)。酸素イオン、電 子、ラジカル等が PC 樹脂表面に接触することにより、 効率良く化学結合を切断し、親水性の官能基が形成さ れた可能性が考えられる。紫外線照射は2種類の紫外 線波長(254nm、365nm)、照射時間、照射距離等の 検討を行ったが、クロム酸エッチングよりも濡れ性は向 上しなかった(図4)。

* 現 環境衛生科学研究所





図3 プラズマ照射による濡れ性



図4 紫外線照射による濡れ性

3.2 表面粗さ

白色光干渉計の分析結果を図5に示す。オゾン酸化 は8時間連続で暴露すると表面の凹凸形成以外にオ ゾンクラックを生成し(図5(2))、クロム酸エッチングよ りも高い表面粗さを示した。オゾンが時間と共に樹脂内 部まで浸透し、加水分解を促したと考えられる。プラズ マ照射(図5(3))はクロム酸エッチングと同等の表面 粗さを示した。また、紫外線照射(図5(4))は照射前 の表面粗さとほとんど変わらなかった。紫外線照射につ いては、図1のプリエッチング(有機溶媒による膨潤) を含めた最適な処理条件の検討を行う必要があると考 えられる。



図5 表面粗さの三次元鳥瞰図

(この測定結果から、Sa 算術平均高さ、Sdr 界面の展開 面積比を算出した。)

- (1) クロム酸(Sa 3.8nm、Sdr 0.0038%)
- (2) オゾン酸化 8h (Sa 8.5nm、Sdr 0.0336%)
- (3) プラズマ照射 15min (Sa 3.5nm、Sdr 0.0063%)
- (4) 紫外線照射 254nm、8h (Sa 1.8nm、Sdr 0.0017%)

4 まとめ

オゾン酸化は濡れ性、表面粗さ共にクロム酸エッチン グよりも優れた結果を示した。但し、オゾンクラック抑制 のため暴露時間を短縮させる方法を考える必要があ る。プラズマ照射はクロム酸エッチングと同等の表面粗 さを達成し、濡れ性は大きく向上した。紫外線照射は クロム酸エッチングよりどちらも劣る結果となった。

成形機部材金属と樹脂の剥離荷重に関する研究

化学材料科 小泉雄輔 志田英士* 菅野尚子 木野浩成

Research for separating load of melted resin and metal material in a molding machine

KOIZUMI Yusuke, SHIDA Eiji, KANNO Naoko and KINO Hironari

Keywords: separating load, metal, resin キーワード:剥離荷重、金属表面、樹脂、界面

1 はじめに

自動車部品向けの射出成形では、照明の LED 化 に伴い、導光レンズやアウターレンズ用の透明樹脂部 品の需要が増加している。これらは輝度の高い光源付 近で使用されるため、欠陥が微小でも目立ちやすく、 高い良品基準が要求される。射出成形では、成形機 内部で炭化した樹脂が成形品に混入する「黒点」と 呼ばれる不良があり、これは成形機内に樹脂が長期間 滞留し、加熱され続けることで生じると考えられてい る。そのため、樹脂の張り付きにくさ、すなわち成形 機内の金属部材に対する樹脂の剥離性を調べる必要 があるが、両者の相関に関する評価方法が確立されて おらず、剥離性に関するデータがない¹⁾。そこで、金 属部材と樹脂の剥離性向上を目指した材料や表面処 理法の探索を目的として、金属部材と樹脂の剥離性を 評価する方法を確立し、実製品部材に対する樹脂の 剥離性を評価したので報告する。

2 方法

2.1 試験機の改良

剥離性評価試験機(写真1、図1、表1)を用いる ことで、樹脂の剥離荷重を測定できる(図2a、図2b) が、当初の構成では押付時間を制御できなかったた め、押付時間を制御できる制御計測用ソフトウェアを開 発した。また、剥離性評価試験機による剥離荷重の測 定精度を確認するため、本装置と精密万能試験機(㈱ A&D 製 RTC-2410)で、ばねの引張試験を行い(写 真2)、得られたばね定数を比較した。

2.2 剥離荷重測定

2.1 で改良した試験機を用いて、樹脂片と金属板の 間に生じた剥離荷重を測定した。条件は表2のとおりと



写真1 剥離性評価試験機



し、加熱した金属板を樹脂片に押しつけ、剥離させた 時の剥離荷重を測定した。

* 現 商工振興課

表1 剥離性評価試験機の仕様

| 制御計測用 PC | OS : Windows XP |
|--------------|-------------------|
| ロードセル | ㈱エー・アンド・デイ製 LCB03 |
| アクチュエータおよび | ㈱ダイアディックシステムズ製 |
| アクチュエータ動作設定用 | SCN6-050 |
| コントローラ | |
| 温度調節用ユニット | ㈱オムロン製 E5CN |
| ヒータ | ㈱高木製作所製 銅製ヒータプレ |
| | ← ト HU-200C |



図2 剥離性評価試験機の動作 (a: 押付動作、b: 剥離動作)



写真2 ばね荷重測定の様子

表2 剥離荷重測定条件

| 樹脂片 | アクリル樹脂 PMMA (接触面 20×3mm) | | |
|----------|---------------------------------|--|--|
| 金属板 | SCM440 | | |
| | ハードクロムめっき処理済み SCM440 | | |
| | ダブルクロムめっき処理済み SCM440 | | |
| 押付速度 | 1.5mm/s | | |
| 押付(保持)時間 | 30s | | |
| 剥離速度 | 1.5mm/s | | |
| 金属板設定温度 | 110°C、115°C、120°C、125°C、130°C、 | | |
| | 140°C、150°C、160°C、170°C | | |

3 結果

3.1 試験機の改良

制御計測用ソフトウェアを開発(図3)し、再現性の ある測定が可能となった。また、本試験機で得られた ばね定数を比較した結果、精密万能試験機との差は 2%程度であり、本試験機は評価に十分な測定精度を 有することを確認した(表3)。

| A SCN5-PIO interface | | |
|-------------------------|----------------|--|
| FT_Open ● ボートポーリング | FT_Close | 接続情報 Number of devices=2 - Device Description FT245B LISB FIFO |
| マニュアル実行 (チェックで Hi) | | Serial Number A104BERJ |
| 🗖 🛑 Lo 0-PC1(OUT) 🗖 🛑 | Lo 4-CSTR(OUT) | |
| 🗖 🛑 Lo 1-PC2(OUT) 🔽 🙆 | Hi 5-ILK(OUT) | |
| 🗖 🍈 Ні 2-РС4(ОИТ) 🌔 | Lo 6-PFIN(IN) | |
| 🗖 🔴 Ні 3-РСВ(ОЦТ) 🌔 | Lo 7-ZFIN(IN) | |
| 自動実行(STOPで途中終了) | | |
| STEP1 No. INTERVAL(SEC) | STEP2 No. | |
| B 💌 ISU | C I | |
| START | | |
| | | Exit |
| | | |

図3 開発した制御計測用ソフトウェア

図3 中の左下

(自動実行 STOPで途中終了)の箇所で、押付動 作、押付時間、剥離動作を設定することが可能。 STEP 1 No.: 押付動作を設定(画像内の B) INTERVAL (SEC): 押付時間の設定(画像内の 30) STEP 2 No.: 剥離動作を設定(画像内の C)

表3 得られたばね定数

| 試験機および測定回 | ばね定数(N/mm) |
|---------------|------------|
| 剥離性評価試験機(1回目) | 0.423 |
| 剥離性評価試験機(2回目) | 0.427 |
| 剥離性評価試験機(3回目) | 0.427 |
| 剥離性評価試験機(平均) | 0.426 |
| 精密万能試験機 | 0.433 |

3.2 剥離荷重測定

PMMAとSCM440およびクロムめっき処理した SCM440の剥離荷重を測定した結果、クロムめっき処 理により、高温時の剥離荷重が低下する傾向が確認さ れた(図4)。



- ♦ : SCM440 (N=10)
- ■:ハードクロムめっき処理済み SCM440 (N=3)
- ▲:ダブルクロムめっき処理済み SCM440 (N=3)
- SCM440の測定結果のみエラーバー(標準偏差)を示した。

4 考察

クロムめっき処理の有無によって剥離荷重に差が生 じたのは、表面粗さや化学種などが異なり、表面性状 に差があったためと考えられる。金属板の表面粗さに ついては今後の検討課題とする。

5 まとめ

制御計測用ソフトウェアの開発により、押付時間を制 御した測定が可能となった。また、金属表面にクロム めっき処理を施すことで剥離荷重が低下する傾向を 確認した。

謝辞

本研究を進めるにあたり、樹脂片と金属板を提供く ださいました県内成形加工機メーカ様に、御礼申し上 げます。

参考文献

 竹堂公貴他:溶融樹脂の塗布を用いた熱可塑性 樹脂と金属との粘着力測定方法の開発.(一社)プ ラスチック成形加工学会要旨集,235-236 (2018).

静岡県 IoT 推進ラボの開設

機械電子科 赤堀 篤 望月紀寿 望月建治 橘川義明* 岩﨑清斗 山口智之 研究調整官 鈴木敬明**

Establishment of an IoT competence center in Shizuoka Prefecture

AKAHORI Atsushi, MOCHIDUKI Kazutoshi, MOCHIDUKI Kenji, KITSUKAWA Yoshiaki, IWASAKI Kiyoto, YAMAGUCHI Tomoyuki and SUZUKI Taka-aki

Keywords: IoT (Internet of Things), Dissemination, Competence Center, Exhibition キーワード: IoT (Internet of Things)、普及、推進ラボ、展示

1 はじめに

IoT (Internet of Things) とは、あらゆるものがイン ターネットに接続されることを意味し、製造分野では、生 産設備や製造工程の「見える化」や生産工程の省力 化に役立つと期待されている。しかしながら、県内中小 企業の多くは、IoTの導入に関心を寄せているものの、 費用対効果が見えない、自社のどこに導入すれば良い かわからない、対応できる人材がいないなど課題を抱 えているのが現状である。

そこで、静岡県では、最新の工作機械や IoT 接続 機器に「見て」「触れて」「試せる」場を提供し、IoT 技術を身近に感じてもらい、実習やセミナーを通じて中 小企業への IoT 導入を推進するため、令和元年 11 月 29日に「静岡県 IoT 推進ラボ」(図1)を開設した。

2 方法

施設整備に当たり、研究所実験棟の一部を改修し、 最新技術を展示・体験する「展示体験室」と、実習 やセミナー等を行う「IoT 研修室」の2室を設置した。

「展示体験室」は、常に最新の状態を保つため、定 期的に更新できるよう、公募により協力を得た民間の 技術を展示することとした。公募に先立ち、21 社を訪 問、整備目的や規模、展示することによるメリットなど を説明した。公募期間は令和元年7月 19 日から同年 8月 19 日とし、8月 29 日に表1の項目に従って審査を 行った。



図1 静岡県IoT推進ラボの概要

* 現 企業局 西部事務所

** 現 企画調整部
表1 審査項目と内容

| - | | |
|---|------------|--|
| | 審査項目 | 審査内容 |
| 7 | 事業目的との適合性 | 中小企業がIoT活用のメリットを理解し、IoT導入に向け て自社に役立つ仕組みをイメージできる展示内容か。 |
| イ | 県内産業への波及性 | 静岡県の産業にとって社会的・経済的・技術的ニーズが 高い展示内容か。 |
| ウ | 講習会・商談会の企画 | 講習会・商談会の内容が効果的なものとなっているか。 |
| л | 研究所との協力体制 | 研究所の分担内容は適切か。 |
| 才 | 業務実施体制 | 事業を円滑かつ適正に執行できる体制が整っているか。 |
| 力 | 事業スケジュール | 事業スケジュールは妥当であるか。 |

「IoT 研修室」は、30 人規模の座学と20 人規模の 実習が可能な環境を整備した。

3 結果

「展示体験室」は、応募した8社いずれも目的、展示内容とも県内中小企業への普及効果が高いと判断され、全て採択された。展示物は、図1に示したように、 IoT に対応した工作機械類3社と後付 IoT 接続機器類 5社の技術である。研究所の開所時間に合わせ、平日 午前9時から午後5時まで見学が可能であり、研究所の 研究員が説明を担当している。

「IoT 研修室」は、簡単な IoT 教材を用いた初心者 向け実習や、現場の生産設備への接続を想定した中 級者向け実習など、企業の習熟度に応じて様々な実習 を開催している。

4 まとめ

開所から3月末までの4か月で企業、各種団体、金融機関等265人の見学者が訪れたほか、3回の実習では、25社35人の企業技術者が参加した(写真1、2)。

今後、出展企業や静岡県 IoT 研究会と協力してセミ ナーや実習を開催する計画であり、参加者の募集は、 工業技術研究所ホームページで告知する。

なお、展示物の更新は令和2年11月を予定している。

当所では、この施設を有効に活用し、県内中小企業 への IoT 技術の導入を推進していきたい。



写真1 展示体験室



写真2 実習の様子

謝辞

展示体験室への出展に協力いただいている、(㈱アイ エイアイ、協立電機(㈱、(㈱静岡鐵工所、(㈱新冷熱技 研、静甲㈱、(㈱特電、(剤ライプニッツ、碌々産業(㈱に この場を借りて感謝の意を表する。 中小企業への IoT 導入支援の実例 I ープレス加工現場への IoT 導入支援の実例 — 機械電子科 岩崎清斗 山口智之 宮川工業株式会社 宮川昌久 山下敏弘

Support for utilizing IoT technology for small and medium-sized enterprises

— Data collection and analysis for production performance of a metal stamping factory —

IWASAKI Kiyoto, YAMAGUCHI Tomoyuki, MIYAKAWA Yoshihisa and YAMASHITA Toshihiro

Keywords: IoT(Internet of Things), visualization of production performance, Metal Stamping キーワード: IoT (Internet of Things)、生産実績の見える化、生産工程のサイクルタイム、金属プレス

1 はじめに

当所では、県内企業の現場の困りごとに対し、IoTを 導入し課題解決を促す IoT 導入支援を行ってきた¹⁾。 共同研究先では、金属プレス加工による部品製造を 行っており、困りごとに生産計画に実績が伴わないこと が挙げられていた。本稿では、IoT 導入により、困りご との要因を特定し、解決策となるシステムを提案した事 例について報告する。

2 方法

2.1 加工履歴データの収集

実績の詳細を把握するため、加工機から出力される 接点信号を加工履歴データとして検出し、1個当たりの 加工にかかる時間 CT (Cycle Time) と1時間当たりの 生産能力 SPH (Shots Per Hour)を求めた。加工履歴 データの時間情報を T= $\{T_1, T_2, \dots, T_n\}$ 秒とすると、k 番 目の加工における直前の CT は、CTk=Tk – Tk-1秒と なる。このときの SPH は、SPHk=3600/CTk より求まる。

2.2 CTの分析

箱ひげ図²⁾ により日別の CT をプロットし、CT の増加 傾向が見られた時期を特定し、それらの要因について 作業員から聞き取りを行った。

2.3 情報掲示板(ダッシュボード)の構築

2.1 の要因に対し、有益な情報を現場に与えることが できれば、生産計画に生産実績が追い付かない問題 の改善が期待できる。本稿では、加工履歴データ収集 と共に、選定した情報をリアルタイムで表示するシステ ムの構築を行った(図1)。



図1 生産状況リアルタイム表示システムの概要

3 結果と考察

図2に箱ひげ図のプロット結果を示す。12月2~3日 にかけて CT は増加傾向で、標準 CT (Tact Time: TT)の12秒に対し、12月9日以降の中央値は TT を 上回る日が多く見られた。この要因は、聞き取り調査よ り熟練作業員から新人作業員に作業の引継ぎが行わ れたことに起因することが分かった。通常、作業員は加 工機に設置されたカウンタの出来高を頼りに、加工の ペース配分を行っているが、新人作業員の場合は、経 験不足から最適なペース配分の維持が困難であること が考えられる。そこで情報掲示板(図3)には、k 番目 に加工した時点の出来高 xk や CTk、SPHk と共に、こ のペース配分を維持すれば、あと何分で生産目標 X に 達するか、を示すのこり時間 tk=(X - xk)/(SPHk × 60)分の表示を行った(写真)。

工業技術研究所

【ノート】



ひげの長さが日別CT最大・最小、箱の長さが四分位数の25%・75%点、 箱内の太線は中央値を示す。



図3 ダッシュボードの表示例



写真 ダッシュボード設置の様子 カウンタの隣に最適なペース配分で加工を行うための情 報を表示した。

4 まとめ

箱ひげ図による CT 分析結果から、増加傾向にあっ た日を特定し、その要因から新人作業員が最適なペー ス配分を維持できていないことが懸念された。現在の生 産状況と未来の予測情報のダッシュボード表示によ り、生産計画に伴った生産の実現が期待できる。

参考文献

- 岩崎清斗他:プログラミング教材活用による中小 企業のIoT導入支援事例,静岡県工業技術研究所 研究報告,12,41-42 (2019).
- 2) 岩崎清斗他:ビッグデータ分析技術に関する研究,静岡県工業技術研究所研究報告,11,26-29 (2018).

中小企業への IoT 導入支援の実例Ⅱ

一めっき加工工場でのデータ収集とLPWAを用いたメール通報 一

機械電子科 山口智之 岩﨑清斗

Support for utilizing IoT technology for small and medium-sized enterprises (Case study II)

- Data Collection in plating factory and e-mail notification using LPWA -

YAMAGUCHI Tomoyuki and IWASAKI Kiyoto

Keywords : IoT(Internet of Things), LPWA(Low Power Wide Area), Raspberry Pi, Visualization of Production Process, Plating

キーワード: IoT(Internet of Things)、LPWA(Low Power Wide Area)、Raspberry Pi、見える化、めっき

1 はじめに

当所で行っている県内企業への IoT 導入支援とし て、めっき工場の事例を紹介する。丸長鍍金株式会社 では、複数のめっき槽を持ち、処理中の約三日間は人 による作業は不要になっている。しかしながら、品質管 理のため、めっき槽の状態(液温、水位)を定期的に 確認する必要があり、休日を通して運転する時には作 業者は確認のためだけに休日出勤する必要がある。そ こで、めっき槽の常時監視システムと省電力広域ネット ワーク(LPWA:Low Power Wide Area)を利用した異常 通知システムを構築した。実際に処理中の管理工数を 削減した事例について報告する。

2 方法

各めっき槽に水位と液温を確認するセンサを取り付け、Wi-FiモジュールのWio Nodeを経由しサーバー機能を担うシングルボードコンピュータのRaspberry Pi にデータを集約した(図1)。サーバーは各槽毎の水位と液温をリアルタイムでグラフ化するサービスを提供しており、サーバーにアクセスした端末からも遠隔でモニタリングできる。また、工場内にインターネット環境がなかったことから、低消費電力で長距離の通信が可能なLPWAモジュールのSigfoxを用いてシステムを構築した(図2)。これにより、異常時に社外にいる場合でも、社員が槽番号・異常内容を示した異常通知メールを受信できるようになった。



図1 設置状態



図2 システム概要

【ノート】

3 結果および考察

本システムによりめっき槽の水位や液温の時系列 データの遠隔監視が可能となった。図3は正常時の データを示しており、5番槽では水位が3cm、液温が 2℃程度の範囲で昇降を繰り返している。一方、給水 装置や温度調節装置等の異常時に各槽ごとに設定し てある範囲外の水位や液温が計測された場合には、作 業者の携帯端末に異常通知メール(図4)が届くように なった。これにより作業者は定期的な巡回の必要がな くなった。この技術は、さらに拡張することによって品質 管理のためにめっき槽に印加している電流電圧のデー タを収集することや、閾値による異常判定ではなく機械 学習を利用し収集したデータからより正確に異常判定 することなどに応用することができる。



図3 測定した時系列データ

(左:超音波距離センサで測定した水位、右:水温センサで測定した液温)

(実線:5番槽、破線:6番槽)

| SIGFOX <backend-noreply@sigfox.com> To 自分 ▼</backend-noreply@sigfox.com> |
|--|
| Device 4 で異常発生 |
| 水位:HI 液温:OK |
| (OK:正常、HI:上限異常、LO:下限異常) |

図4 異常通知メール内容

4 まとめ

インターネット環境がない場合でもデータを LPWA 通信やローカルネットワークの Wi-Fiを用いることで安 価にデータの見える化やメール通知を出すシステムを 構築した。

一方、今回使用した Sigfox には送れるデータサイズ が 12byte までという制限がある。今回は監視対象が少 なかったため byte 単位でメッセージを作成したが、今 後監視対象が増えるような場合には送信するメッセー ジを bit 単位で検討し情報量を詰め込めるようにする対 策を講じる必要がある。

謝辞

本研究は丸長鍍金株式会社からの受託研究として実施した。

LPWA を用いた遠隔地監視システムの開発

| 機械電子科 | 岩﨑清斗 |
|--------|-------|
| 神奈川大学 | 斉藤和巳 |
| 静岡県立大学 | 大久保誠也 |
| 東京工科大学 | 伏見卓恭 |

Development of remote monitoring system using LPWA

IWASAKI Kiyoto, SAITO Kazumi, OKUBO Seiya and FUSHIMI Takayasu

Keywords : IoT(Internet of Things), LPWA(Low Power Wide Area), Visualization, Agriculture キーワード: IoT (Internet of Things)、LPWA (Low Power Wide Area)、見える化、農業

1 はじめに

農業分野では、農業者の高齢化と担い手不足の深 刻化により、IoTを活用した合理化・省力化が求められ ており、その実現のためには長距離伝送、低価格、低 消費電力な通信網が必要不可欠である。省電力型広 域無線網(LPWA: Low Power Wide Area)はこれら の特長を持つ反面、制約条件が多く用途が限定的であ る。本研究では、LPWAの一種である Sigfox*の制約 条件を、独自のデータ形式を定義することで解決した IoT システムを提案・開発し、静岡市内のバラ農園(写 真1)での実証実験を通してその実用性を検証したの で報告する。



写真1 静岡市内のバラ農園

2 方法

2.1 Sigfoxを用いた環境情報監視システム

Sigfox は、920MHz 帯域を使用した LPWA ネットワー クで、LoRaWAN を利用した先行研究¹⁾に対し、基地局 やクラウド、開発用デバイス等の利用環境が充実してい る。一方、最大 12Byte のデータを一日 140 回までしか 送信することができないため、本研究では独自のデー タ形式を定義し、図1のシステム構成による IoT システ ムを開発した。



図1 システム概要

2.2 バラ農園での実証実験

県内では、バラのビニールハウス栽培が年間を通じ て行われており、温度、湿度、照度、二酸化炭素濃 度等を栽培管理に利用している。これら環境情報の遠 隔監視を目的に、静岡市内のバラ農園4園にシステム を設置し、約2カ月間の実証実験を行った。

* 京セラコミュニケーションシステム株式会社: Sigfoxとは、https://www.kccs-iot.jp/service/ (2020.3.9アクセス)

3 結果および考察

定義したデータ形式を表1、開発した IoT システムの 構成要素と外観を表2、写真2に示す。バラ農園での 実証実験の結果、遠隔地の端末から4種類の環境情報 を監視することができた(図2)。また、2種類の電圧情 報は、装置自体のメンテナスに利用することができた。

表1 Sigfox デバイスの送信データ形式

| Byte | (|) |] | l | : | 2 | 3 | | 4 | ŧ | { | 5 | (| 3 | 7 8 | | 3 9 | | 1 | 0 | | | | |
|------|----------------------|----------|----------|-------|-----------------|------------------------|----|----------------|----|--------------------|----------------|----|-------------------------|----|-----------------|--------------|-----|---------------|----|----|----------------|--|--|---|
| hex | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 15 16 17 | | 18 | 19 | 20 | 21 | | | | |
| 項目 | バッテリー ADC1 | | 温度 | | 湿度 | | 照度 | | | CO ₂ 濃度 | | | | | | | | | | | | | | |
| 範囲 | $0\sim3,000$ $0\sim$ | | | - 2,4 | 00 | $\cdot 32.76 \sim 125$ | | | 25 | $0\sim 100$ | | | $0\sim 65,536$ | | 6 | $0\sim5,000$ | | | | | | | | |
| 単位 | | m | Z | 1 | тV | | | | 3 | | % | | % lx | | | ppm | | | | | | | | |
| 說明 | セド | ンサ 電源 | ノー 電圧 | t i | <u>追加</u> ンサ | 用 | 測) | 測定値を100倍 値を | | | 測定値を100倍 値を | | 測定値を100倍し整数変換した 値を格納 | | きし整数変換した と格納 | | | 照度センサの 測定値 | | σ | CO2センサの 測定値 | | | Φ |



写真2 サーバ(右)とセンサノード(右) センサは日射による温度上昇を防ぐため、筒状の断熱 材で覆い循環扇に取り付けた。

表2 開発したシステムの部品構成

| 項目 | 部品名 | 型番 | 説明 |
|--------------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------------------|
| | RED PAL | MW·R·PAL·P | 無線モジュール |
| センサノード TWELITE PAL | 環境センサーバル | MW-PAL-AMB-0 | 温湿度センサ(SHTC3)、 照度センサ(LTR-308ALS) |
| | コイン電池 | CR2032 | バッテリー |
| | Raspberry Pi | Raspberry Pi 3 model B | データ収集、処理用シングル ボードコンピュータ |
| サーバ | CO2センサモジュール | ELT-S-300L-3V | サーバ筐体内部に設置 |
| | Sigfox Breakout board | BRKWS01 | Sigfoxデバイス |
| | MONOSTICK | MONOSTICK-R | TWELITE PAL親機 |



図2 遠隔監視システムの表示例

センサ増設等のシステム拡張要求があった場合、 サーバや Sigfox 端末を増設するよりも、Sigfox 端末単 体で多量のデータを送信できる方がコスト面において 優位であるといえる。

4 まとめ

Sigfoxを用いた IoT システムを開発し、バラ農園での 遠隔監視実証実験を通してシステムの実用性を示し た。今後は、時系列データの変化点検出²¹等のデータ 圧縮手法を取り入れたシステムの改良を検討する。

謝辞

本研究において、実証実験にご協力いただいた静 岡バラ振興会の会員の皆様に感謝いたします。

参考文献

- 1) 股村祐希他:LPWAによる複数圃場環境の計測 制御システムの開発,情報処理学会第81回全国大 会要旨集4M-06, pp.133-134,福岡(2019)
- 2) 山岸祐己 他:多群出現順位統計量に基づく時系 列データの変換,情報処理学会論文誌数理モデル 化と応用, Vol.11, No. 1, pp.45-52 (2018).

静岡県産アカモクの機能性成分及び微生物評価

| 食品科 | 淺沼俊倫 | 袴田雅俊 |
|----------------|------|------|
| 株式会社 GOLD BLUE | 森 大樹 | 川崎 匠 |

Functional ingredients and microbial evaluation of Akamoku from Shizuoka Prefecture

ASANUMA Toshimichi, HAKAMATA Masatoshi, MORI Taiki and KAWASAKI Takumi

Keywords : Akamoku, fucoxanthin キーワード:アカモク、フコキサンチン

1 はじめに

アカモクはワカメ等と同じ褐藻の一種である。沿岸部 に広く分布し、食用になるが、これまであまり積極的な 利用はされていない。しかし近年、資源量が多く機能 性成分を含む等の理由から各地でアカモクの産業化 は活発である。

今回、(株) GOLD BLUE から委託を受け、同社で取扱う静岡県産を含む5産地のアカモクの機能性成分フ コキサンチンの含有率、含水率及び微生物量を調査したので報告する。

2. 方法

アカモク試料は、県内産の用宗及び由比、他産地 産の徳島、常滑、韓国の計5種を(株) GOLD BLUEよ り冷凍状態で提供を受けた。

フコキサンチン含有率は、凍結乾燥試料からアセトニ



写真 用宗産のアカモク (解凍時)

トリルにて抽出し、UHPLC (Waters 社製 Acquity UPLC) にて定量し求めた。含水率は、試料の乾燥前後の重 量差から水分を測定し求めた。

微生物量は一般生菌数、大腸菌群、耐熱性菌数を 定法にて測定した。耐熱性菌数はアカモクを10分間 煮沸後、一般生菌数と同様に行った。

3. 結果

含水率測定の結果、全ての試料で80%程度となり、 産地間の差はほとんどなかった(図1)。それに対し、 フコキサンチン含有率は国内4産地間では差が小さ かったものの、韓国産は低い値となった(図2)。



図2 各産地のフコキサンチン含有量

微生物量に関しては、一般生菌数について、徳島 <用宗<常滑<韓国<由比、の順番で多くなり、最小 の徳島産と最大の由比産で2桁の差が見られた。大腸 菌群は全て陰性、耐熱性菌は一部で検出されたもの の、わずかであった(表)。

| 安地 | 一般生菌 | 大腸菌群 | 耐熱性菌 |
|----|-----------------------|------------|---------|
| | (cfu/g) | (0.3g あたり) | (cfu/g) |
| 用宗 | 1.5 × 10² | 陰性 | 0 |
| 由比 | 5.6 × 10 ³ | 陰性 | 3.3 |
| 常滑 | 2.2 × 10 ² | 陰性 | 0 |
| 徳島 | 8.3 × 10 ¹ | 陰性 | 10 |
| 韓国 | 3.1 × 10 ³ | 陰性 | 0 |
| | | | |

表 各産地の微生物量

4 考察

今回使用した各試料の含水率はいずれも80%程度 であり(図1)、他の報告¹⁾で見られる90%程度より10% ほど少ない。これは、今回の試料の収穫後の処理や凍 結処理の違いであろう。

静岡県産フコキサンチンの含有率は24 mg/100 g程 度で他の国内産と同程度であったが、韓国産は8 mg/100gと低かった(図2)。他の報告²⁾では湿重量あたり約10~19 mg/100gと幅があることから収穫季節や生育環境、品種の違いによると推察した。

微生物量は、いずれの試料も一般的な食品におけ る海藻の基準値に比べて十分に低く(表1)、アカモク は湯通しでの利用が基本であるため食品原料として問 題にならないレベルである。しかし、微生物量は、生 育環境や収穫後処理の違いにより大きく変動するた め、産業利用においては十分な微生物量の監視・管 理が必要となる。

5 まとめ

アカモクのフコキサンチン含有率、含水率及び微生物量を測定した。静岡県内産アカモクは他産地産と比較して遜色なく、十分に産業利用できる可能性があると思われた。

参考文献

- 村上香他:福岡県筑前海産褐藻アカモク Sargassum honeriの栄養成分の季節変動.水産増 殖,57(4),549-556 (2009).
- 2) 鳥海滋他:北海道立工業技術センター研究成果 発表会要旨集(2002).

皮膚老化を防ぐ静岡県産農産物の探索

― スキンケア商品の開発を見据えて ―

食品科 袴田雅俊 石橋佳奈 三宅健司 山下里恵

Screening of agricultural products cultivated in Shizuoka Prefecture for prevention of aging of the skin

— For development of skin-care products —

HAKAMATA Masatoshi, ISHIBASHI Kana, MIYAKE Kenji and YAMASHITA Rie

Keywords: skin aging, skin care, agricultural products of Shizuoka prefecture, enzyme inhibitory activity キーワード:皮膚老化、スキンケア、静岡県産農産物、酵素阻害活性

1 はじめに

皮膚老化は、紫外線、酸化、糖化などが原因となっ て、肌にしわ、しみ、たるみなどが生じる現象¹⁾であり、 外見だけでなく、前向きな気持ちで健康長寿を過ごす ためにも皮膚老化に対するスキンケアは重要な課題と 考えられる。

静岡県は1,143 品目の農林水産物が生産される食 材の宝庫であることから、県産素材を活かした静岡発の スキンケア商品を開発するべく、皮膚のハリ、弾力に寄 与するコラーゲン、エラスチンを分解するコラゲナーゼ、 エラスターゼ、潤いに寄与するヒアルロン酸を分解する ヒアルロニダーゼ、着色に寄与するチロシナーゼの各 酵素を阻害する県産素材を探索した。

2 方法

試料の調製

試験には表1に示す13種類の県産品を用いた。凍 結乾燥後粉砕した試料1gを50%エタノール30mLで 抽出(25℃で48時間振とう)後、フィルターでろ過し た。抽出液は10倍に希釈して評価に用いた。

酵素阻害活性評価

コラゲナーゼ、エラスターゼの阻害活性評価は渡辺らの方法²を、ヒアルロニダーゼの阻害活性評価は渡辺ら及び Enkhtuyaら^{2,3)}の方法を参考にした。チロシナーゼ酵素阻害活性は花ヶ崎ら⁴⁾の方法で評価した。

表1 皮膚老化関連酵素阻害活性探索に用いた 県産素材

| | 素材 |
|---|-----------|
| А | わさび 茎 |
| В | わさび 根茎 |
| С | ハマナス 花弁 |
| D | ローズヒップ 未熟 |
| E | ローズヒップ 成熟 |
| F | アカモク |
| G | わかめ |
| Н | 葉ショウガ 茎 |
| Ι | 葉ショウガ 根茎 |
| J | 白びわ 葉 |
| К | イチゴ 葉 |
| L | イチゴ 可食部 |
| М | 蓼 |

3 結果および考察

結果を図1に示す。50%以上の阻害率を示した素材 は、コラゲナーゼではハマナス花弁と蓼、エラスターゼ では白びわの葉と蓼、ヒアルロニダーゼではハマナス花 弁、葉ショウガ茎、葉ショウガ根茎、イチゴ葉、及び 蓼、チロシナーゼではハマナス花弁、成熟したローズ ヒップ、及び蓼であった。

阻害活性を評価した皮膚関連酵素は、これまでにも 複数の植物抽出エキスで阻害が報告され、抗酸化活 性やポリフェノール含量との関係が指摘されていること から⁵⁻⁷⁾、今回の試験で阻害活性を示した試料でも、試 料中のポリフェノールが活性に関与していることが想定 された。今後は活性成分を特定し、酵素阻害機構の解

工業技術研究所

【ノート】

明や、細胞での評価を進め、スキンケア商品の開発に つなげたい。



図1 皮膚老化関連酵素の阻害活性評価

(a) コラゲナーゼ阻害活性、(b) ヒアルロニダーゼ阻害活性、(c) エラスターゼ阻害活性、(d) チロシナーゼ阻害活性

4 まとめ

13 種類の静岡県産素材から、皮膚に関連する4酵素を阻害する素材を見出した。

参考文献

1) 市橋正光 他:皮膚のアンチエイジング. オレオサ

イエンス, 18 (3), 121-129, (2018).

- 2) 渡辺克美他:京野菜を中心とした野菜類の機能性:ヒアルロニダーゼ、エラスターゼ、コラゲナーゼ阻害活性.近畿大学農学部紀要,50,41-45,(2016).
- Enkhtuya E.et al, Screening study of enzyme inhibitory activity of some Mongolian plant leaves. Journal of Food and Nutrition Research, 6(2), 69– 73, (2018).
- 4) 花ヶ崎敬資他:ひじき(Sargassum fusiforme) 煮 汁中のチロシナーゼ阻害活性成分.沖縄県工業技 術センター研究報告, 13, 13-16, (2010).
- 5) Sirinya P. et al. : Antioxidant, anti-collagenase and anti-elastase activities of *Phyllanthus emblica*, *Manilkara zapota* and silymarin:an *in vitro* comparative study for anti-aging applications. Pharmaceutical Biology, 54(9), 1865-1872, (2016).
- 6) Samejima H. et al. : Inhibition activity of guava(*Psidium guajava* L.) leaf extract against collagenase, elastase, hyaluronidase, and carbohydrate digestion enzymes. Tropical Agriculture and Development, 63(1), 12-17, 2019
- 7) Masuda T. et al. : Screening for tyrosinase inhibitors among extracts of seashore plants and identification of potent inhibitors from *Garcinia subelliptica*. Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry, 69(1), 197-201, (2005).

セルロースナノファイバーを添加したモルタルのひび割れと収縮

工芸科 村松重緒 長澤 正

Behavior of cracking and shrinkage in mortar with added cellulose nanofiber

MURAMATSU Shigeo and NAGASAWA Tadashi

Keywords: cellulose nanofiber, CNF, mortar, crack, shrinkage キーワード: セルロースナノファイバー、CNF、モルタル、ひび割れ、収縮

1 はじめに

セルロースナノファイバー(以下、CNFと略記)は、 製紙・機械・化学の各メーカーから、処理方法・樹 種・解繊度・繊維長・官能基等の違いを有するもの が、種々供給されている。バイオマス由来・軽量・高 強度・ガスバリア性・保湿性・分散性・レオロジー特 性等を有し、社会実装化を目指した研究が進められて いる。コンクリートは設置後長期間使用されるため、劣 化の一要因であるひび割れ・収縮は好ましくない。そ こで本研究では、CNFの保水性に着目し、CNF 添加 により、モルタルのひび割れと収縮を抑制または軽減 可能かを確認したので、その結果について報告する。

2 方法

資材は、CNF 8種(表1)、普通ポルトランドセメント、 川砂、イオン交換水を用いた。水セメント比は60%、CNF はセメント+砂に対し固形分0.1部相当を添加した。

モルタルスラリーは、JIS R5201:2015 セメントの物理試 験方法に準拠して調製し、続いて、試験片①(φ90mm × H10mm)、試験片②(40mm × 40mm × 160mm)を 調製した。養生は、試験片①は20℃/65%(恒温恒 湿室)、40℃(乾燥器)、60℃(乾燥器)、試験片② は24時間後に脱型して水中養生し、7日後から20℃/65%(恒温恒湿室)にて行った。

| | 表1 | 試験に用いた | С | Ν | F |
|--|----|--------|---|---|---|
|--|----|--------|---|---|---|

| | 試料名 | 製造会社 | 解繊方法 | 繊維長 | 解繊度 | 樹種 | 濃度 |
|---|------|----------|-------|-----|-----|----------|-------|
| Ĵ | CF1 | 化学メーカー | 化学的解繊 | 標準 | - | 針葉樹 | 2% |
| Ĵ | CF2 | 製紙メーカー | 化学的解繊 | 短繊維 | - | 針葉樹 | 4.96% |
| | MF1 | 機械メーカー | 機械的解繊 | 極長 | - | 針葉樹 | 2% |
| | MF2 | | 機械的解繊 | 標準 | - | 針葉樹 | 2% |
| | MF3 | 「割紙メーカー」 | 機械的解繊 | - | 低解繊 | 針葉樹 | 1.11% |
| | MF4 | | 機械的解繊 | - | 高解繊 | 針葉樹 | 1.10% |
| Î | RMF5 | 製紙メーカー | 機械的解繊 | - | - | 針葉樹(TMP) | 2% |
| Î | RMF6 | 機械メーカー | 機械的解繊 | - | - | 針葉樹(ヒノキ) | 5.12% |

評価は、重量変化の経時変化(試験片①)、90日 経過試料の外観・拡大画像観察(試験片①)、長さ変 化率測定(試験片②)にて行った。

3 結果および考察

CNF 添加モルタルの重量変化を図1~図3に示 す。20℃/65%養生では10日、40℃養生では5日、 60℃養生では2日で重量が概ね一定に落ち着き、添加 により重量変化が遅れる CNF が確認された。CNF の 保水性がモルタルスラリー中の水分蒸発遅延と水和反 応の緩和・延長に寄与し、水分減少率・重量差が生 じたと考えられる。



200/00/06日





90 日経過後の代表的な CNF 添加モルタルの表面 外観を図4、拡大画像を図5に示す。図4より、CNF 添 加モルタルの表面外観は、CNF 無添加モルタルよりも 良好であった。CNF の保水性により、ブリーディングが 抑制されたと考えられる。図5より、化学的解繊 CNF 添 加モルタル (CF 1) は凹凸とクラック、リグニン含有機 械的解繊 CNF 添加モルタル (RMF 5) はクラックが発



図4 CNF添加モルタルの表面外観 (90日経過試料・20℃/65%養生)



図5 CNF添加モルタルの拡大画像 (90日経過試料・20℃/65%養生)





生した。一部の機械的解繊 CNF 添加モルタル (MF 1) はクラックが発生せず、繊維長の長い CNF の添加 がひび割れ抑制に有利である可能性が示唆された。

CNF 添加モルタルの長さ変化率推移を図6に示 す。CNF 無添加モルタルと比べ、化学的解繊 CNF (CF1・CF2)・リグニン含有機械的解繊 CNF (RMF 5)の添加により、収縮抑制に効果があると認められた。 4 まとめ

CNF 添加により、モルタルのひび割れと収縮を抑制 または軽減可能か確認した。その結果、CNF 添加で モルタルスラリーの水分蒸発遅延と水和反応の緩和・ 延長に影響すること、表面外観が向上すること、添加 する CNF によりひび割れ・収縮が抑制されることが確 認された。

差分累積値に基づく農業環境データの可視化分析法

| 静岡県工業技術研究所 | 岩﨑清斗 |
|------------|-------|
| 東京工科大学 | 伏見卓恭 |
| 静岡県立大学 | 大久保誠也 |
| 神奈川大学 | 斉藤和巳 |

Visual Analysis Method of Agricultural Environment Data based on Cumulative Difference Values

IWASAKI kiyoto, FUSHIMI Takayasu, OKUBO Seiya and SAITO Kazumi

情報処理学会論文誌数理モデル化と応用 (TOM), 第12巻, 第2号, 12-19 (2019)

Keywords: Periodic environment data, Agricultural environment, Visualization キーワード:時系列データ分析、差分累積値法、変化点検出、農業環境データ

本研究の目的は、熟練農業者の活動が環境に与え る影響の分析及び可視化である。特に本研究では、環 境情報の時系列データがどのように変化するかに注目 した。そこで、差分累積値に基づく農業環境データの可 視化分析法を提案する。提案手法は、差分の累積値 によるモデルに基づいており、周期的なデータに対して も、値が全体的に高い傾向にあるのか低い傾向にある のかを明らかにすることが可能である。また、中長期的 な環境データから、大きな変化が発生した点を検出で きる。評価実験では、まず静岡県内の4つのバラ農家 に、データ収集用小型デバイスを設置し、各種環境デー タを収集した。そして、飽差データに対して提案手法を 適用することにより、変化点の抽出を行った。実験結果 から、提案手法は環境変化の特徴的な時点を抽出可 能なことが明らかとなった。 積分球の内部構造物が全光束測定に与える影響の評価

静岡県工業技術研究所 志智 亘 豊田敏裕 鈴木敬明 大塚電子株式会社 大久保和明

Evaluation of the influence of an integrating sphere internal structure on total luminous fluxmeasurement

SHICHI Wataru, TOYOTA Toshihiro, SUZUKI Taka-aki and OHKUBO Kazuaki

Proceedings of the 29th Session of the CIE, 1238-1242 (2019)

Keywords: Total luminous flux measurement, Integrating sphere, SRDF, LED light source キーワード:全光束測定、積分球、SRDF(空間応答分布関数)、LED 照明光源

照明光源の全光束は、その照明の放射量による客観 的な量として使用され、その発光効率が評価できる。光 源の全光束測定には積分球を用いる手法が広く利用さ れている。この測定において試験光源の配光分布と参 照とする標準光源の配光分布に違いがある場合、積分 球の空間応答度分布関数 (SRDF) の不均一が測定誤 差を生じさせることが知られている。近年、照明光源の 配光分布は様々なものが存在する一方で標準光源の 配光分布は4πおよび2π光源のように非常に限られて いる。このような照明光源の全光束を測定する際、SRDF の不均一性が測定結果の信頼性に影響を与える可能 性がある。本研究では積分球内部の構造が SRDF に 与える影響を評価し、試験光源と標準光源の配光分布 が異なる場合の全光束測定の誤差をSRDFから見積も るために、SRDFを求めるための実験と数値シミュレー ションを行った。

積分球の SRDF 測定実験では、その結果からバッフ

ルおよび積分球を開閉するための半球の縁による特徴 的な不均一性が観測された。これらの不均一性は数値 シミュレーション結果でも見られた。全光束測定におけ る配光分布の影響を見積もるために、円錐配光分布を 持つ円錐光源の全光束を測定および数値シミュレー ションの SRDF の結果を用いて計算した結果、円錐角 が10°から300°円錐光源の全光束の違いは1%以下で あることが分かった。シミュレーション結果から計算した 円錐光源の全光束はコーティングの不均一性や受光器 感度の角度依存性などといったいくつかのパラメータが 考慮されていないにもかかわらず、測定結果の基本的 な傾向を再現した。これらの結果は積分球の内部構造 がその他の要因に比べて SRDF に非常に大きな影響を 与えていることを示している。また、測定不確かさ低減 に向けた積分球内部構造の検討に数値シミュレーショ ンが利用できることが示された。

照明シミュレーションによる車載光学機器の視覚的品質の定量評価手法

静岡県工業技術研究所 豊田敏裕 志智亘 鈴木敬明

A quantitative visual evaluation method for in-vehicle optical devices by lighting simulation

TOYOTA Toshihiro, SHICHI Wataru and SUZUKI Taka-aki

Proceedings of the 29th Session of the CIE, 1044-1046 (2019)

Keywords: Light Simulation, High Dynamic Range Image, Image Based Lighting キーワード:照明シミュレーション、広ダイナミックレンジ画像、イメージベースドライティング

コンピューターを活用したモデルベース開発が加速し ていくなかで、任意の時間や空間における光環境を繰り 返し再現できる照明シミュレーションは有用な技術であ る。本研究では、照明シミュレーションの精度向上を目 的とし、製品の使用が想定される屋外の光環境を正確 にデータ化する技術を開発している。ライト・プローブと 呼ばれる、全方位の明るさ・色情報を格納したハイダイ ナミックレンジ画像を取得するため、全方位を一度に撮 影できる全天球カメラを用いて、撮影できる明るさの範 囲を変えながら同じ風景を撮影した画像群を合成する ことで、輝度ダイナミックレンジを拡張した。

適度な加熱条件下での減圧濃縮による豆乳の粘度変化

| 静岡県立大学 | 下山田真 石 | 山 明 | 増田勇人 |
|------------|--------|-----|------|
| マルサンアイ(株) | 江草信太郎 | | |
| 静岡県工業技術研究所 | 松野正幸 | | |

Viscosity changes of soymilk due to vacuum evaporation with moderate heating

SHIMOYAMADA Makoto, ISHIYAMA Akari, MASUDA Hayato, EGUSA Shintaro and MATSUNO Masayuki

LWT – Food Science and Technology, Vol.112, ArticleID 108255(2019)

Keywords: Soybean protein, Concentration, Particle size distribution, Aggregation, Oil droplet キーワード:大豆タンパク質、濃度、粒度分布、凝集、油滴

市販豆乳を様々な温度(55、65、75℃)の水浴中 にて減圧濃縮し、その粘度を音叉振動式粘度計で測 定した。固形分含量に対して粘度の対数をプロットする と2本の回帰式が得られ、粘度は2段階で指数関数 的な上昇を示すことがわかった。2本の回帰線は温度 と品種(日本産大豆あるいはカナダ産大豆)に依存し た交点(固形分含量として155~199g/kg)を与えた。 高固形分含量領域、すなわち交点より上の領域におけ る粘度変化は温度に依存して大きな上昇を示したが、 低固形分含量領域における粘度はより緩やかで温度 に対する依存性が小さかった。さらに、低固形分含量の 濃縮豆乳はニュートン流動に近い性質を示したが、高固 形分含量では非ニュートン流動を示した。脂質粒子の 平均直径 (0.25 μ m (88 g/kg) ~ 0.30 μ m (280 g/kg)) と超遠心分離による浮遊画分の割合 (0.28 (92 g/kg) ~ 0.68 (270 g/kg)) は高固形分含量領域で増加し、こ のときタンパク質粒子と脂質粒子を含んだ凝集体が形 成されたものとわかった。脂質粒子とタンパク質粒子の間 の相互作用が濃縮豆乳試料の粘度の大きな上昇の原 因であると考えられた。

セルロースナノファイバーによる香りの放散挙動

| 静岡県工業技術研究所 | 石橋佳奈 | 山下里恵 |
|--------------|------|------|
| 富士工業技術支援センター | 前田研司 | |

Sustained release of fragrance by addition of cellulose nanofibers.

ISHIBASHI Kana, YAMASHITA Rie and MAEDA Kenji

FRAGRANCE JOURNAL, 47 卷, 第11月号, 27-32,(2019)

Keywords: Cellulose nanofiber, Fragrance, sustained release キーワード:セルロースナノファイバー、香り、徐放性

香りは、賦香やマスキング効果以外にも、ストレスの 緩和や肌機能の向上など様々な心理・生理効果を有す ると言われている。そのため、化粧品に香りを付与する 利点は多く、こうした香りの効果をより有効に活用する為 にも、心地よい香りを長続きさせる"香りの徐放性"が 求められる。このことについて、我々は、セルロースナノ ファイバー(以下、「CNF」)によって、香りが徐放するこ とを発見したので、香り成分を油相とするO/Wエマルショ ンへの CNF による香り成分の徐放性及び、乳化安定 性、CNF の増粘性について紹介する。

また本研究で使用した CNF の種類は、TEMPO 酸 化 CNF(以下、「TOCN」)である。

(1) 香りの徐放性について、TOCNの添加効果により、
 4 種の香気成分(d-Limonene、Linalool、2-phenylethyl acetate、Caryophyllene)の放散が抑制された。また
 TOCN 濃度を上げることで、更に香りの放散を抑制する
 傾向があった。このことから、TOCNを添加する事で香りが徐放することが示唆された。

(2)水溶媒に油相となる香り成分 d-Limoneneと TOCN を添加し、調製された O/W エマルションは、TOCN によって乳化が安定することが分かった。

(3)TOCN は濃度を上げることで、高い増粘効果を示した。

香りの放散は、乳化が安定な状態ほど放散しに ると言われている。TOCNによる香りの徐放性、及び乳 化安定性について、Stokesの式を用いて検証した。 Stokesの式は、粒子や液滴の浮上及び沈降速度を示 したものである。Stokesの式から、液滴の浮上速度は、 分散媒の粘度に反比例するというものである。TOCN は、濃度が上がるにつれ、乳化安定性、粘性が高くな ることが分かった。つまりTOCNを添加することで、増 粘による液滴の浮上速度の低下やネットワーク形成によ る香り成分の溶媒内の拡散移動抑制によって、乳化が 安定する。この乳化安定性により、香りの放散が抑制し たと考えられる。

ダイダイ (Citrus aurantium L. var. daidai Makino) エッセンシャルオイル由来のテルペン類のヒト TRPA1 活性

| 静岡県立大学 | 寺田祐子 | 井原 望 | 伊藤(山崎 |)豊実 |
|------------|------|-------|-------|------|
| | 高橋由真 | 増田春子 | 伊藤圭祐 | 渡辺達夫 |
| 静岡県工業技術研究所 | 山下里恵 | 櫻川智史* | | |

Human TRPA1 activation by terpenes derived from the essential oil of daidai, *Citrus aurantium* L. var. *daidai* Makino

TERADA Yuko, YAMASHITA Rie, IHARA Nozomi, YAMAZAKI-ITO Toyomi, TAKAHASHI Yuma, MASUDA Haruko, SAKURAGAWA Satoshi, ITO Shohei, ITO Keisuke and WATANABE Tatsuo

Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry, Vol.83, Issue 9, 1721-1728 (2019)

Keywords: Transient receptor potential channel, bitter orange, essential oil, terpene, utilization of food by-product キーワード: TRP チャネル、ビターオレンジ、エッセンシャルオイル、テルペン、食品製造副産物の利用

橙(ダイダイ; Citrus aurantium)は、そのフレッシュ な柑橘系の香りが特徴で、日本料理では、その果汁が 重要な素材である。ダイダイ果汁の製造工程において、 何トンもの産業廃棄物が発生する。この廃棄物の活用 の社会的意義は大きい。本研究では、ダイダイ果汁の 処理工程で得られる廃棄物からエッセンシャルオイル を採取し、このオイルがヒト TRPA1 (hTRPA1)を活性化 することを示した。このオイルには10種類のテルペンが 含まれ、それら全てが、EC50値6~167 µMのhTRPA1 活性を示した。我々の知る限りでは、この研究は、5種 のテルペン(酢酸リナリル、酢酸ゲラニル、オストール、 プロピオン酸ゲラニル、および酢酸ネリル)による hTRPA1活性化を示す最初の研究である。エネルギー 代謝の強化や皮膚バリアの回復促進など、TRPA1アゴ ニストの生理学的利点が報告されていることから、このオ イルは、抗肥満食品や化粧品の有望な素材として期待 できる。

REPORTS

OF THE INDUSTRIAL RESEARCH INSTITUTE OF SHIZUOKA PREFECTURE NUMAZU TECHNICAL SUPPORT CENTER

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 TECHNICAL SUPPORT CENTER 3981-1 Ooka, Numazu city, Shizuoka, 410-0022 Japan

スマートフォンを活用した酸素ボンベ残量モニタの開発

機械電子科 竹居 翼* 松下五樹

Development of a remaining gas monitor for oxygen cylinders employing a smartphone

TAKEI Tasuku and MATSUSHITA Itsuki

Nowadays, the development of safety devices to prevent accidents, which arise from mismanagement of medical oxygen cylinders, is desired at medical sites. Recently, we have developed a manual-input style portable timer to check the amount of remaining gas in cooperation with local companies. This device calculates the remaining available time based on values such as pressure and flow rate that were read with a flow controller and inputted by a user, and gives a warning when the amount of remaining oxygen decreases to a specified amount. The portable timer was commercialized by a company in Shizuoka Prefecture and has been highly evaluated by users in the medical field; however, there are requests for improvements such as measures against incorrect operations and higher usability.

In this paper, we implemented a method using AI and a method using rule-based image processing as automatic reading functions for the analog meter of a flow controller. Comparison of the reading performance of both methods confirmed the superiority of the method using AI. Then, we examined the reading performance of the three types of deep learning recognition models, and evaluated them from a viewpoint of incorporation into smartphones, which have significant limitations on hardware resources. As a result, we chose MobileNet as the recognition model to build into smartphones. In conclusion, we have solved the problems with current products by means of developing a remaining oxygen monitor that runs on smartphones.

Keywords: artificial intelligence, deep learning, analog meter, smartphone キーワード: AI、深層学習、アナログメータ、スマートフォン

1 はじめに

医療現場では、医療用酸素ボンベの残量未確認に 起因する事故を防止する安全装置の開発が望まれて いる。そこで我々は県内企業と協力し、手入力方式の ポータブルガス残量タイマーを開発¹¹した。これは、使 用者が読み取った酸素流量調整器(図1:以下、アナ ログメータ)の圧力値や流量を直接入力することで使用 可能な残り時間を計算し、酸素残量が規定量まで減少 した際に報知する機器である。県内企業により製品化 され、医療現場から好評を得られた一方で、使用者に よる誤操作対策やユーザビリティ向上等の改善要望が 挙げられている。これら新たな要望を解決するために は、入力インターフェースにアナログメータの自動読み 取り機能や、携帯性に優れたスマートフォン向けのアプ リケーション(以下、アプリ)化が必要である。 アナログメータの自動読み取り手法には、ルール ベースの画像処理による方法(以下、ルールベース手 法)と、AI(人工知能)で使われている深層学習を用 いた方法(以下、AI読み取り手法)がある。

これまでは、藤田ら²⁰のようにルールベース手法が用いられており、メータ形状や使用環境に応じた特徴量



図1 医療用酸素流量調整器

^{*} 現 工業技術研究所 機械電子科

抽出等の判断プロセスのルール設計を必要とする。そ のため、ルール設計者の知識や経験等が大きく影響 し、汎用性や頑健性を確保したルールの設計が難しい という問題があった。これに対し、AI 読み取り手法は データから判断プロセスのルールを自動的に求めるた め、設計者の知識や経験等に関わらずコンピュータが 最適なルールを自動的に設計できる。その反面、設 計されたルールを人が理解できる形で表現することが 難しいブラックボックス化等の問題があり、判断根拠の 説明を求められる用途での活用は慎重に議論されて いる³⁾。その一方で、医用画像解析への適用等、信 頼性が求められる医療分野において、診断支援手段 の1つとして AI の活用が期待されている。そこで、AI 読み取り手法による読み取りの優位性を確認するた め、AI 読み取り手法とルールベース手法を比較し、そ の性能を評価した。

また、AI 読み取り手法では、読み取りに使う認識モ デルの構造によって性能に差が生じる。この差は、ハー ドウェアリソースに制約の少ないコンピュータでは僅か な差であるが、スマートフォンのようにハードウェアリソー スの制約が大きい機器では、大きな差となる。そこで、 3種類の認識モデル構造の読み取り性能を調べ、ス マートフォンに組み込む認識モデルを選抜した。

この選抜した認識モデルを用いて、AI 読み取り手法 による自動読み取り機能を実現したスマートフォンアプ リを開発し、現行品の課題解決を図った。

2 方法

2.1 データセットの構築

自動読み取り手法に必要なデータセットを、アナログ メータの撮影画像を使って構築した。画像の撮影は屋 内の蛍光灯照明環境で行い、アナログメータを正面か ら撮影した。撮影画像よりアナログメータの全体像が写 る範囲を切り出し、224 × 224 ピクセルの RGB カラー 画像を作成した。作成した画像全てに対し、目視読み 取りしたメータ指示値を正解ラベルとして付与した。正 解ラベルは、0 から 15MPa までを 1MPa 毎に分割した 全 16 種とした。

2.2 読み取り手法の比較

(1) AI 読み取り手法

AIを用いた画像分類によるアナログメータ画像の読み取りを行った。今回は、構築したデータセットの8割(9,600枚)を学習用データ、2割(2,400枚)を評価

用データとして使用した。分類項目は正解ラベルと同じ 全16種類のメータ指示値とした。画像を分類した結果 が正解ラベル±1MPaの範囲で判定された評価データ を集計し、その割合を正解率として読み取り結果を評 価した。

画像の分類に使う認識モデルは、50層の ResNet モ デル構造を用いた。認識モデルの学習には、大きさや 向き等をランダムに変化させた学習用データを使い、 延べ 500回学習を行った。

(2) ルールベース手法

AI 読み取り手法による読み取り性能と比較するため、同一データセットを用いて、ルールベース手法による読み取りを行った。

アナログメータ画像の特徴量として、目視の際に注目 していると考えられる①赤目盛、②指示針および③メー タ中心の3つの座標値を選択した。これらの座標値 は、輝度や色差、Hough 変換等の画像処理を用いて 算出した。得られた3つの座標値を使い、赤目盛と指 示針の間の角度θ°を求めた。(図2)

ここでは、この角度 θ°を全ての学習用データの画像 で求め、正解ラベルと合わせて指示値を読み取るため の数式化を行った。





2.3 スマートフォンアプリの開発

スマートフォンは携帯型端末であり、パソコンよりハー ドウェアリソースの制約が大きい。そこで、①読み取り性 能比較で使用した ResNet、②モバイル向けに設計され た MobileNet、③基本的なモデル構造の VGG の3種 類の認識モデルについて、スマートフォン上での動作 性能を調べた。この結果を参考にアプリ開発に利用す る認識モデルを選抜し、アナログメータの自動読み取り 機能を備えたスマートフォンアプリを開発した。

【報告】

3 結果と考察

3.1 データセットの構築

アナログメータの撮影画像を12,000枚作成し、それ ら全てに対して、メータの指示値を読み取った正解ラベ ルを付与し、データセットを構築した。

3.2 読み取り手法の比較

(1) AI 読み取り手法

図3はAIを用いて指示値を読み取った結果であ る。この図より、全ての正解ラベルの正解率が高く、平 均で約99%であった。よって、最適な画像特徴量の選 択等のルールを人が定めることなく、高い正解率を得ら れることが分かった。



図3 深層学習による指示値の読み取り結果 0~15 までの各正解ラベルの正解率とそれらの平均値







学習用データに対して、赤目盛と指示針、メータ中 心の3つの座標値を算出し、正解ラベル毎に角度の平 均を求めた結果を図4に示す。この図より、画像処理 して得られた指示針の角度 θ °を変数として、1~2次 関数で近似できると考えられる。ここでは、角度 θ °を 変数とした2次関数として、次の式で近似した。

計器指示値 = $0.0024 \times \theta^2 + 0.125 \times \theta - 3.0$

この式より、全ての評価データの指示値を求めた結 果を図5に示す。読み取りの正解率は平均で75%で あった。特に、赤目盛と指示針が重複する4MPa以下 は正解率が低く、今回選択した画像処理のルールは不 十分だったと考えられる。正解率を向上させるために は、より最適なルールの設計が必要であると考えられる。

3.3 スマートフォンアプリの開発

3種類の認識モデルのスマートフォン上における性 能の違いを図6に示す。この図より、全てのモデルで 95%以上の正解率を実現でき、VGG や ResNet では 100%近い正解率を得られることが分かった。しかし、 VGG や ResNet は、読み取り時間が数秒から10 秒程 度掛かり、認識モデルのファイルサイズも大きいことが わかった。このため、ハードウェアリソースに制約のある



図5 ルールベース画像処理による指示値の読み取 り結果





図6 3種類の認識モデルのスマートフォン上における性能の違い

スマートフォン等での利用には向いていないと考えられる。一方、MobileNetは1秒未満で読み取りでき、認識 モデルファイルも数 MB と小さいため、スマートフォンで の利用に適していると考えられる。よって、スマートフォ ンアプリの開発には、MobileNetの認識モデルを選抜 した。

開発したアプリの利用イメージとその画面を図7に示 す。試作段階のため、必要機能を1画面にまとめた画 面構成とした。入力インターフェースの自動化による操 作性向上や、事故防止のための報知機能を備えたア プリを開発した。



開発したスマートフォンアプリ 叉7

このアプリは、次の①から④の順に動作する。①ス マートフォンに搭載されたカメラを使って画像を取得す る。②認識モデルを使って取得した画像から指示値を 読み取り、酸素残量を推定する。③酸素の推定残量と 流量設定値より、残量切れまでの残り時間を計算す る。④報知条件に基づき、残量警告を発する。 このアプリについて、医療関係者に意見を聞いたところ、目視確認の負担軽減が期待できるので助かる等の 好評を得ることができた。

4 まとめ

今回、アナログメータの指示値を自動読み取りする機 能を実現するために、AI 読み取り手法とルールベース 手法を比較した。その結果、AI 読み取り手法がルール ベース手法より平均で約30%高い正解率で読み取れ ることを確認した。この機能をスマートフォンに組み込む ため、3種類の認識モデルからスマートフォンでの利用 に適した認識モデルを選抜した。選抜したモデルを用 いて、現行品に対する要望を解決したアプリを開発し た。

謝辞

本研究の実施にあたり、ご協力いただいたファルマ バレーセンター関係者および医療関係者の方々に感 謝いたします。

参考文献

- 本多:医療用酸素ボンベの警報機能付き残量モニタの開発.静岡県工業技術研究所研究報告,第5号,91-95 (2012).
- 2) 藤田 他: 画像処理によるアナログメータ自動読み 取り. 電気学会論文誌, C.129(5), 901-908(2009).
- 3) 中井: AI を活用した医療機器のレギュレーション. レギュラトリーサイエンス学会誌, 9(1), 17-24(2019).

県オリジナル酒造好適米「誉富士」新系統の醸造適性評価

| バイオ科 | 鈴木雅博 | 勝山 | 聡 |
|------------|------|----|---|
| 静岡県農林技術研究所 | 外山祐介 | | |
| 静岡県酒造組合 | 望月正隆 | | |

Evaluation of sake-brewing aptitude with two new varieties of "Shizuoka original sake rice, Homarefuji"

SUZUKI Masahiro, KATSUYAMA Satoshi, TOYAMA Yusuke and MOCHIZUKI Masataka

Keywords: sake rice, brewing test, brewing aptitude of sake キーワード:酒造好適米、試験醸造、醸造適性

1 はじめに

本県オリジナル酒造好適米である誉富士は、これで 醸す清酒の品質は大きく評価されているものの、単位 面積当たりの収量が少ない、穂発芽しやすいという面も 持ち合わせている。そこで、県農林技術研究所では誉 富士と比較して、多収で、穂発芽しにくい新系統の育 種・選抜を実施し、候補系統として静系酒96号及び 静系酒97号を選抜した。本稿では、誉富士を対照に、 今回新たに選抜した2品種を用い、総米6kgのプラント 規模で行った清酒醸造試験について報告する。

2 方法

2.1 供試酒造好適米

麹米及び掛米として、県農林技術研究所で栽培した、令和元年度産の静系酒96号、静系酒97号及び 誉富士を使用した。いずれの米も精米歩合は60%と した。

2.2 総米6kgのプラント規模での試験醸造

仕込み配合を表1に示す。仕込みは3段仕込みで 行った。酵母には、静岡酵母 New-5 を使用した。

醪は経時的にアルコール度数を簡易アルコール分

析器アルコメイト(理研計器㈱製)で測定し、発酵進度の指標とした。留後20日目に、遠心分離にて上槽し、 製成酒を取得した。

製成酒についてアルコール度数、日本酒度、酸度及 びアミノ酸度を国税庁所定分析法¹¹に従い分析した。ま た、清酒の主要な香気成分、有機酸組成及びグルコー ス濃度を表2、表3及び表4に示す条件で分析した。

3 結果及び考察

各米の仕込み中のアルコール度数の経過を図1、製 成酒の一般成分を表5に示す。発酵経過は静系酒96 号と静系酒97号が誉富士に比べてやや速く、製成酒 の日本酒度も、誉富士に比べてやや辛口であることが わかった。

香気成分、有機酸組成及びグルコース濃度を表6に 示す。静系酒96号及び静系酒97号は誉富士と比較し て、香気成分は酢酸イソアミルや酢酸エチルがやや多 かった。その他の香気成分には大きな差は無かった。 有機酸は、静系酒96号が他の2品種に比べてやや高 いものの、他の有機酸には大きな差は無かった。グル コース濃度は、大きな差は無かった。

| | 酒母 | 初添 | 仲添 | 留添 | |
|-----------|------|------|------|------|------|
| 総米 (kg) | 0.12 | 0.96 | 1.92 | 3.00 | 6.00 |
| 麹米* (kg) | 0.12 | 0.18 | 0.36 | 0.54 | 1.20 |
| 掛米* (kg) | | 0.78 | 1.56 | 2.46 | 4.80 |
| 汲水(L) | 0.48 | 0.90 | 2.28 | 4.44 | 8.10 |
| 乳酸 (mL) | 1.44 | 0.90 | | | 2.34 |
| 酵母** (mL) | 24.0 | | | | 24.0 |

表1 仕込み配合

*) 麹米、掛米ともに、精米歩合60%の「静系酒96号」、「静系酒97号」、「誉富士」をそれぞれ使用。

**) YPD液体培地35 mLにて30℃、2 日間培養したものを集菌後、汲水に懸濁して添加。

住込み品温は、初添13℃、仲添11℃、留添8℃とした。最高品温は12℃とし、留後14日目以降は1日当たり0.5~1℃ずつ低下させた。

表2 香気成分分析条件

| an an an an da dal | | |
|--------------------|-----|--|
| GC·MS条件 | | |
| 装置 | : | ヘッドスペースサンプラー(アジレント・テクノロジー㈱製、7697A) |
| | | ガスクロマトグラフ(アジレント・テクノロジー㈱製、7820A) |
| | | 質量分析計(アジレント・テクノロジー㈱製、5977B) |
| カラム | | DB-WAX(内径0.32 mm×長さ30 m×膜厚0.25 um、アジレントテクノロジー㈱製) |
| カラム温度 | | 85°C |
| キャリアガス | | He 2.2 ml/min |
| 注入量 | - 1 | 11ul |
| 注入モード | - 1 | x = 1 x = 1 |
| 注入口温度 | | 200°C |
| イオン化モード | | EI (電子エネルギー:70 eV) |
| イオン源温度 | | 230°C |
| 四重極温度 | : | 150°C |
| 測定モード | | スキャン |
| ゲイン係数 | : | 1 |
| 質量範囲 | : | m/z 40-300 |
| ヘッドスペース条件 | | |
| バイアル加熱温度 | : | 60°C |
| バイアル加熱時間 | : | 5 min |
| 注入圧力 | : | 15 psi |
| ループ温度 | : | 100°C |
| トランスファライン温度 | : | 150°C |
| 注入時間 | : | 1.0 min |

表3 ポストカラム法による有機酸分析条件

| 装置 | : | 液体クロマトグラフ (アジレント・テクノロジー㈱製、1100シリーズ) |
|-------|---|--|
| カラム | : | RSpack KC·811 (昭和電工㈱製、8 mm I.D.×300 mm) |
| カラム温度 | : | 40°C |
| 溶出液 | : | 4.8 mM HClO ₄ (流速 1 ml/min) |
| 反応液 | : | 0.1 mM B.T.B、30 mM Na ₂ HPO ₄ • 12H ₂ O |
| 検出波長 | : | 440 nm |
| 注入量 | : | 20 µl |

表4 グルコース濃度分析条件

| 3 | 专置 | : | 液体クロマトグラフ (アジレント・テクノロジー㈱製、1100シリーズ) |
|-------|----|---|---|
| カラ | ラム | : | YMC-Pack Polyamine II (㈱ワイエムシィ製、4.6 mm I.D.×250 mm) |
| カラム温 | 温度 | : | 25°C |
| 溶出 | 日液 | : | 75% アセトニトリル (流速1ml/min) |
| RID検出 | 出器 | : | G1362A (220 nm) |
| 注7 | 量ノ | : | 5 µl |
| | | | |



□:誉富士



○:静系酒 97号

表5 製成酒の一般成分

| 酒米 | アルコール度数(%) | 日本酒度 | 酸度 | アミノ酸度 |
|--------|------------|---------|-----|-------|
| 静系酒96号 | 16.50 | ± 0 | 2.1 | 0.9 |
| 静系酒97号 | 16.90 | +3 | 2.2 | 0.9 |
| 誉富士 | 16.00 | -3 | 2.3 | 1.0 |

表6 製成酒の香気成分、有機酸及びグルコース濃度

| | | 香気成分 | (mg/L) | | | 有核 | 腹酸(mg/L) | | | |
|--------|-------------|--------------|----------------|-------|------|------|----------|-----|----|-----------|
| 酒米 | 酢酸 イソアミル | カプロン酸 エチル | イソアミル アルコール | 酢酸エチル | クエン酸 | リンゴ酸 | コハク酸 | 乳酸 | 酢酸 | グルコース (%) |
| 静系酒96号 | 4.45 | 1.76 | 157 | 80 | 71 | 178 | 549 | 266 | 45 | 0.42 |
| 静系酒97号 | 4.54 | 1.65 | 162 | 81 | 59 | 191 | 393 | 285 | 40 | 0.40 |
| 誉富士 | 3.39 | 1.98 | 146 | 64 | 74 | 161 | 347 | 251 | 31 | 0.46 |

4 まとめ

静系酒 96 号及び静系酒 97号を用いて、総米6kgの 清酒醸造試験を行った。その結果、どちらも清酒醸造 に十分利用が可能であり、誉富士とやや差がある成分 もあるものの、概ね誉富士と同等の酒質の清酒になるこ とがわかった。しかし、今回試験に供した米は、令和 元年度産のみであり、酒米の品質は、天候に大きく左 右されることから、今後も数年は継続して、醸造適性の 調査をする必要があると考えられる。

参考文献

 (財)日本醸造協会:酒母,合成清酒,「第四回 改正国税庁所定分析法注解」,第四回改正版((財) 日本醸造協会,東京),注解編集委員会編集,pp.7 - 33 (1993).

海洋由来乳酸菌を用いた豆乳ヨーグルトの開発

バイオ科 黒瀬智英子

Development of soymilk yogurt using marine-derived lactic acid bacteria

KUROSE Chieko

Keywords : Soy milk yogurt, lactic acid bacteria, marine bio キーワード:豆乳ヨーグルト、乳酸菌、マリンバイオ

1 はじめに

静岡県で保有する海洋由来乳酸菌の2株は、魚肉 発酵において旨味成分を多く生成し、臭み成分を減 少させ、アレルギーの原因となるヒスタミンを生成しな い等の優れた熟成効果を有する。乳酸菌の活用方法 の一つとして、近年豆乳ヨーグルトが注目されている。 乳アレルギーやベジタリアン等の理由で乳製品を摂取 できない人、あるいは牛乳ヨーグルトより低脂肪のもの を好む消費者をターゲットとし、上記乳酸菌を用いた 豆乳ヨーグルトを試作した。

2 方法

2.1 供試菌株

静岡県水産・海洋技術研究所にて分離された SUG-0215 (Lactobacillus fermentum) 及びM139 (Lactococcus lactis)を用いた。

2.2 豆乳ヨーグルトの試作

市販の豆乳に同量の蒸留水を加え、オートクレーブ 滅菌(121℃、20分)を行った。

供試菌株を MRS 培地(日本ベクトン・ディッキンソン(㈱製)を用い37℃2日間培養した。この培養液の菌体を滅菌水で洗浄及び同濃度に再懸濁し、上記の豆乳 200 mL に対し、4 mL 植菌した。37℃3日間培養して豆乳ヨーグルトを試作した。

2.3 豆乳ヨーグルトの分析

培養前後の pH を LAQUAtwin-pH-22B (㈱堀場製 作所製)で測定し(表1)、生菌数は MRS 培地を用 い混釈培養法で測定した(表2)。

表1 高速液体クロマトグラフによる糖類分析条件

| 装置 | : | Agilent 1100シリーズ(アジレント・テクノロジー㈱製) |
|---------|---|---|
| カラム | : | YMC-Pack Polyamine II (㈱ワイエムシィ製、4.6 mm I.D.×250 mm) |
| カラムオーブン | : | 25°C |
| 溶離液 | : | 75% アセトニトリル(流速1 ml/min) |
| 検出 | : | 示唆屈折 (220 nm) |
| 試料注入量 | : | 5 μl |

表2 ポストカラム高速液体クロマトグラフによる 有機酸分析条件

| 装置 | : | Agilent 1100シリーズ(アジレント・テクノロジー㈱製) |
|---------|---|---|
| カラム | : | Rspack KC-811(昭和電工㈱製、8 mm I.D.×300 mm) |
| ガードカラム | : | Rspack KC-G(昭和電工㈱製、6 mm I.D.×56 mm) |
| カラムオーブン | : | 40°C |
| 溶出液 | : | 4.8 mM HClO ₄ (流速1 ml/min) |
| 反応液 | : | 0.1 mM B.T.B, 30 mM Na ₂ HPO ₄ • 12H ₂ O |
| 検出 | : | 440 nm |
| 試料注入量 | : | 20 µl |
| | | |

表3 メタボローム解析条件*

| 陽イオン性代謝物質(カラ | トオンモード) |
|------------------------|---|
| 装置 | Agilent CE-TOFMS system(Agilent Technologies 社) 3号機 |
| Capillary : | Fused silica capillary i.d. 50 $\mu\mathrm{m}$ \times 80 cm |
| 測定条件 | |
| Run buffer : | Cation Buffer Solution (p/n : H3301-1001) |
| Rinse buffer : | Cation Buffer Solution (p/n : H3301-1001) |
| Sample injection : | Pressure injection 50 mbar, 10 sec |
| CE voltage : | Positive, 30 kV |
| MS ionization : | ESI Positive |
| MS capillary voltage : | 4,000 V |
| MS scan range : | m/z 50-1,000 |
| Sheath liquid : | HMT Sheath Liquid (p/n : H3301-1020) |
| 陰イオン性代謝物質(アニ | ニオンモード) |
| 装置 | Agilent CE-TOFMS system (Agilent Technologies 社) 5号機 |
| Capillary : | Fused silica capillary i.d. 50 μ m $	imes$ 80 cm |
| 測定条件 | |
| Run buffer : | Anion Buffer Solution (p/n : I3302-1023) |
| Rinse buffer : | Anion Buffer Solution (p/n : I3302-1023) |
| Sample injection : | Pressure injection 50 mbar, 22 sec |
| CE voltage : | Positive, 30 kV |
| MS ionization : | ESI Negative |
| MS capillary voltage : | 3,500 V |
| MS scan range : | m/z 50-1,000 |
| Sheath liquid : | HMT Sheath Liquid (p/n : H3301-1020) |

※メタボローム解析はヒューマン・メタボローム・テクノロジーズ㈱にて行った。

豆乳ヨーグルトの上清を 0.2 µm フィルターでろ過し、糖類及び有機酸分析とメタボローム解析を行った(表3)。

3 結果と考察

3.1 pH 及び生菌数

培養前後の pH 及び生菌数を測定した(表4)。いずれの菌もよく増殖し、それに伴い pH が減少した。

試作した豆乳ヨーグルトは、豆乳中のタンパク質が いずれも凝集した(写真1)。

表4 培養前後のpHと生菌数

| | 生菌数((| CFU/mL) | pН | | |
|----------|------------------|---------------------|------|------|--|
| - | 培養前 | 培養後 | 培養前 | 培養後 | |
| SUG-0215 | $1.5 	imes 10^5$ | $3.0 	imes 10^9$ | 6.93 | 5.01 | |
| M139 | $1.7 	imes 10^7$ | $1.0 	imes 10^{10}$ | 6.93 | 4.56 | |



写真1 試作した豆乳ヨーグルト

3.2 メタボローム解析

メタボローム解析の結果(表5)、以下のことが分かった。

| | | | (μM) |
|-----|--------------|----------|--------------|
| | 培養前 | SUG-0215 | M139 |
| Ala | 95 | 128 | 305 |
| Arg | 264 | 3.1 | 0.9 |
| Asn | 54 | 33 | 139 |
| Asp | 174 | 13 | 238 |
| Cys | N.D. | N.D. | 0.2 |
| Gln | 0.9 | 14 | N.D. |
| Glu | 311 | 93 | 434 |
| Gly | 47 | 21 | 45 |
| His | 31 | 7.8 | 65 |
| Ile | 24 | 0.12 | 62 |
| Leu | 25 | 0.12 | 209 |
| Lys | 37 | 32 | 1.2 |
| Met | 11 | N.D. | 38 |
| Phe | 52 | 0.8 | 300 |
| Pro | 45 | 50 | 116 |
| Ser | 21 | 0.6 | 25 |
| Thr | 11 | 3.4 | 54 |
| Trp | 68 | 26 | 65 |
| Tyr | 27 | 0.2 | N.D. |
| Val | 32 | N.D. | 165 |
| | : 無味 : 甘味 | | : 苦味 : 酸味 |

表5 培養前後のアミノ酸組成*

※アミノ酸の呈味で色分けをした1)

- SUG-0215で培養するとアミノ酸の総量が減少し、
 特に苦味アミノ酸が減少した。M139で培養するとア ルギニンは顕著に減少したが、その他のアミノ酸が全
 体的に増加し、結果としてアミノ酸総量も増加した。
- 2)疲労回復や筋肉増強等に効果があるとされるオル ニチンは、培養前は 2.8 µM だったのに対し、SUG-0215 で 141 µM、M139 で 277 µM に増加した。
- 3) アレルギー物質であるヒスタミンは増加しない。
- 4) 抗酸化作用があるとされる GABA は発酵によって 損なわれない。

3.3 糖類及び有機酸分析

培養前の豆乳はグルコースやフルクトースを含まず スクロースのみであり、乳酸菌の発酵によって減少した(表6)。減少量は SUG-0215 の方が多かった。

また、2株間で有機酸組成に差があるため、豆乳 ヨーグルトとしての味わいが異なると考えられる。

表6 培養前後の糖類と有機酸濃度**

| | 糖 (%) | | 有機酸(mg/L) | | | | | | |
|----------|-------|--------|-----------|------|------|-----|------|------|-------|
| | グルコース | フルクトース | スクロース | クエン酸 | 乳酸 | 酢酸 | リンゴ酸 | コハク酸 | ビルビン酸 |
| 培養前 | 0 | 0 | 0.7 | 863 | 996 | 47 | 27 | 14 | 0 |
| SUG-0215 | 0 | 0 | 0.2 | 844 | 2423 | 394 | 7 | 26 | 0 |
| M139 | 0 | 0 | 0.4 | 0 | 2727 | 891 | 0 | 20 | 2 |

※有機酸はメタボローム解析の結果から濃度単位を変更した。酢酸のみ表2 の条件で分析した。

4 まとめ

海洋由来乳酸菌2株を用いて豆乳ヨーグルトを試作 した。どちらの菌を用いた場合においても機能性成分 であるオルニチンを豆乳をそのまま飲用するよりも多 量に摂取でき、異なる味わいを有する豆乳ヨーグルト を開発できる可能性を確認した。

5 謝辞

本研究は平成 31 年度内閣府地方創生推進交付金から助成を受け実施した。

参考文献

 味の素㈱:アミノ酸の呈味,「アミノ酸ハンドブック」, 初版,(㈱工業調査会,東京), pp.44-51 (2003).

【ノート】

様々な酒類醸造用酵母株のビール醸造特性の評価

バイオ科 望月玲於* 勝山 聡

Evaluation of beer brewing characteristics of yeast strains used for brewing various alcohol beverages

MOCHIZUKI Reo and KATSUYAMA Satoshi

Keywords: beer brewing characteristics, sake, wine, beer キーワード: ビール醸造特性、清酒、ワイン、ビール

1 はじめに

ビール醸造用以外の酵母株をビール醸造に用いる ことで、ビール醸造用の酵母株の使用時とは異なる香 味が付与されることが期待される。これは、静岡県にお けるビール醸造の多様性の拡大に繋がると考えられ る。本研究では、清酒、ワイン及びビールの醸造に用 いられている酵母株をビールの醸造用麦汁に用いて 発酵試験を行い、その醸造特性を評価した。

2 方法

供試菌株:表1に示した各酒類の醸造用酵母株を 用いた。

発酵試験:ペールエール用のホップ含有麦汁(苦味価 35、糖度 12.5、pH 5.1)を 150 ml ずつ 200 ml 容三角フラスコへ入れ、各酵母株を菌体濃度が約 10⁸ cells/ml になるまで前培養後、15 ml をとり、同麦汁 135 ml を含む 200 ml 容三角フラスコへ加え、20℃、静置にて発酵させた。

発酵液の分析:簡易アルコール分析器(アルコメ イトAL-3、理研計器㈱製)によりアルコール濃度を 経時的に測定した。又、発酵後の麦汁を用いて、 HPLCにより主要な有機酸及び主要な糖を、GC-MS

| 衣1 友打を用いた光聨訊駛の供訊困 |
|-------------------|
|-------------------|

| 菌株名 | メーカー等 | 適用釀造酒類 |
|----------------|-------------------|--------|
| London Ale III | wyeast社 | ビール |
| きょうかい9号 | 日本醸造協会 | 清酒 |
| HD-1 | 沼工技セ [※] | 清酒 |
| NMZ-0685 | 沼工技セ | 清酒 |
| NMZ-0687 | 沼工技セ | 清酒 |
| NMZ-0716 | 沼工技セ | 清酒 |
| R2 | LALVIN社 | ワイン |
| QA23 | LALVIN社 | ワイン |

*現 工業技術研究所 金属材料科

により主要な香気成分を分析した。分析条件を表2~ 表4に示す。

表2 HPLCによる有機酸分析の条件

| 装置 | :アジレント1100シリーズ(アジレント・テクノロジー(株)製) |
|------------|---|
| 分析カラム | :Shodex RSPack KC-811 8 mm I.D.×300 mm (昭和電工(株)製) |
| ガードカラム | :RSPack KC-G (昭和電工(株)製) |
| 溶離液: | : 4.8 mM HClO ₄ (1 ml/min) |
| ポストカラム反応試薬 | :0.1 mM B.T.Bと30 mM Na ₂ HPO ₄ の混合水溶液(1 ml/min) |
| カラム温度 | : 40°C |
| 試料注入量 | : 20 µ l |
| 検出 | : 440 nm |

表3 HPLCによる糖分析の条件

| 装置 | :アジレント1100シリーズ (アジレント・テクノロジー(株)製) | - |
|-------|---|---|
| 溶離液 | :アセトニトリル75%水溶液(1 ml/min) | |
| 分析カラム | _YMC-Pack Plolyamine Ⅱ(Size 250 mm×4.6 mm1. D.) ・ ((株)ワイエムシィ製) | |
| カラム温度 | : 25°C | |
| 試料注入量 | :5 μl | |
| | <u>:</u> 示差屈折率 | _ |

表4 HS 導入 GC-MS による香気成分分析の条件

| <u>_ <ヘッドスペース</u> 第 | 2件> |
|------------------------|---|
| バイアル加熱温度 | : 60°C |
| バイアル加熱時間 | : 5 min |
| <u>注入圧力、注入時間</u> | : 15 psi、1.0 min |
| <gc条件></gc条件> | |
| 装置 | . Head Space Sampler 7697A, GC System 7820A ⁻ 及びMSD 5977B(アジレント・テクノロジー(株)製) |
| カラム | _ DB-WAX(30 m×320 μm×0.25 μm) · (アジレント・テクノロジー(株)製) |
| カラム温度 | : 85°C |
| キャリアガス | :He (流速2.2 ml/min) |
| 注入量 | : 1.1 μl |
| _ <ms条件></ms条件> | |
| イオン化モード | : EI (電子エネルギー : 70 eV) |
| 測定モード | : スキャン |
| 質量範囲 | : m/z 40-300 |

3 結果及び考察

発酵後の麦汁の糖、有機酸及び香気成分の分析用 のサンプリング時の発酵日数は、麦汁のアルコール濃 度が約5%となる日数を目安としてアルコール生成経過 等を総合的に判断し(図1)、表5に示す日数とした。

表5 成分分析用の試料採取時の発酵日数





アルコール濃度の経時変化

発酵中のアルコール生成は、発酵初期において各酵 母株間で差が認められたが、最終的には一般的なビー ルにおけるアルコール濃度(5%程度)まで生成され ることから、ビール醸造に応用可能であることが示唆さ れた。なお、既報¹⁾における指摘と同様、清酒用酵母 株のアルコール生成速度はビール用及びワイン用酵 母株より遅い傾向が見られた。麦汁発酵に関与してい ると考えられる主要な糖類を分析した結果、きょうかい9 号とQA23におけるマルトトリオース以外はほとんど消 費されていた(図2)。これら2株におけるマルトトリオー



図2 各種の醸造用酵母で発酵させた麦汁中の 主要な糖の分析

スの資化性能の低さが、アルコール生成が4%に留 まっている一因と考えられる。

発酵後の麦汁の、酵母により生成され酸味を付与す る主要な有機酸の分析結果を図3に示す。いずれの酵 母株を用いた場合においても、有機酸(コハク酸、乳 酸、酢酸及びリンゴ酸)が増加していた。クエン酸に ついては大きな変化はなかった。これら有機酸の構成 比は用いた酵母株により少し異なっていた。



図3 各種の醸造用酵母で発酵させた麦汁中の 主要な有機酸の分析

発酵後の麦汁の酵母により生成される主要な香気 成分の分析結果を表6に示す。香気成分生成能は用 いた酵母株により差が見られた。特に、HD-1を用いた 場合では酢酸イソアミル(バナナ様の香気成分)の生 成能が多いという特徴が見られた。

有機酸及び香気成分の分析結果より、ビール以外の 酒類の醸造用酵母株を用いることで、独自の香味が付 与される可能性が示唆された。

| 表6 | 各種の醸造用酵母で発酵させた麦汁中の |
|----|--------------------|
| | 主要な香気成分の濃度 |

| | 香気成分(mg/l) | | | | |
|--------------|---------------------|--------------|------------------|----------------|--|
| 供試菌株 | 酢酸 イソアミル | カプロン酸 エチル | 酢酸 エチル | イソアミル アルコール | |
| 発酵なし | N. D. ^{**} | N. D. | N. D. | N. D. | |
| London Ale I | I 2.0 | 0.3 | 28 | 95 | |
| きょうかい9号 | 1.4 | N. D. | 18 | 105 | |
| HD-1 | 3.8 | N. D. | 34 | 108 | |
| NMZ-0685 | 1.9 | 0.3 | 28 | 108 | |
| NMZ-0687 | 0.4 | N. D. | 9 | 101 | |
| NMZ-0716 | 0.9 | N. D. | 13 | 102 | |
| R2 | 1.9 | N. D. | 28 | 105 | |
| QA23 | 1.1 | N. D. | 28 | 88 | |

※N. D.:不検出

ノート

4 まとめ

清酒、ワイン、及びビールの醸造用酵母株を用いて 麦汁の発酵試験を行ったところ、いずれの酵母株にお いても通常のビールのアルコール濃度(5%程度)が 得られた。アルコール生成速度及び糖資化性は酵母 株により異なった。有機酸生成能及び香気成分生成能 が酵母株により異なることから、ビールに独自の香味が 付与される可能性が示唆された。

参考文献

 向井 伸彦 他:ビール酵母とその他の醸造用酵母のビール醸造特性. 醸造協会誌, 93 (12), 967-975 (1998). チタン合金の材料特性データの活用による鍛造シミュレーションの高精度化

機械電子科 是永宗祐 本多正計

Improvement of forging simulation accuracy by utilizing stress-strain curves of Ti-6Al-4V ELI alloy

KORENAGA Sosuke and HONDA Masakazu

Keywords: Ti-6Al-4V, numerical simulation, forging, stress-strain curve. キーワード: Ti-6Al-4V、シミュレーション、鍛造、材料特性データ

1 はじめに

日本は超高齢社会を迎え、整形外科用インプラント の使用量は年々増加しており、新たな市場として着目 されている。これら製品の多くは切削加工により製造さ れるが、材料歩留まりの向上によるコスト削減の要求か ら熱間鍛造等への製造方法の転換が求められている。

しかし、熱間鍛造を採用する際には、金型形状や鍛 造条件の最適化のために多くの試作や実験が必要と なり、初期の開発コストが高くなることが問題となる。そ こで、筆者らはシミュレーション技術を用いることにより、 開発コストの低減を目指している。

金型に作用する負荷や鍛造後の製品形状等を正確に予測するためには、基礎データとして正確な材料特性データが必要となる。材料特性データは、材料に加えた応力、温度、ひずみ(変形量)、ひずみ速度(変形速度)の関係を表したものであり、各種材料のデータを正確に取得するための研究が数多く行われている¹⁾。鉄鋼材料を対象とした研究が多い中、筆者らはこれまでに生体適合性材料であるチタン合金の材料特性データを取得してきた²⁾。本研究では、取得した材料特性データを用いてシミュレーションを行うことで、予測精度が向上することを報告する。

2 方法

鍛造シミュレーションソフト DEFORM[™]-2D Ver.11.3 (Scientific Forming Technologies Corporation)を用い て、医療用チタン合金(Ti-6Al-4V ELI:ASTM F136) の高温圧縮試験を再現した。材料特性データには既往 の研究²⁾で取得したデータ(以下、取得データ)と、導 入時にソフトに内蔵されていた Ti-6Al-4V 合金のデー タ(以下、既存データ)の2種類を用いた。図1に示す ような円柱形状試料を800℃に加熱した後、ひずみ速度10⁻³、10⁻²、10⁻¹、1s⁻¹の4条件で圧縮する高温圧縮試験をシミュレートし、真応力 - 真ひずみ曲線を求めた。また、実際に高温圧縮試験を実施し、実測値を求め、シミュレーションによる計算値と比較した。



3 結果および考察

真応力 - 真ひずみ曲線の実測値及び計算値を図2 に示す。図2中の灰色実線が実測値、黒色破線が既 存データによる計算値、黒色実線が取得データによる 計算値である。既存データによる計算値は実測値との 誤差が最大で50%以上となったが、取得データによる 計算値では誤差が5%以下となった。

【ノート】

4 まとめ

独自に取得した正確な材料特性データを用いること で、シミュレーション精度を大幅に向上できた。

参考文献

- 1) YANAGIDA A. et al. : ISIJ International, 45, 6, 858– 866 (2005).
- 2) 是永宗祐他:生体適合性材料(チタン合金)の 高温圧縮試験による材料特性データの取得.静岡県 工業技術研究所研究報告,第12号,66-67 (2019).



図2 真応力-真ひずみ曲線

- a): ひずみ速度 1s⁻¹
 b): ひずみ速度 10⁻¹s⁻¹
 c): ひずみ速度 10⁻²s⁻¹
 d): ひずみ速度 10⁻³s⁻¹
 -: 実測値
 ---: 既存データによる計算値
- --: 取得データによる計算値

鍛造シミュレーションに必要な材料特性データの数式化

- 進化的計算手法と機械学習の活用 --

沼津工業技術支援センター

機械電子科 松下五樹 是永宗祐 竹居 翼* 本多正計

Formulation of material property data for forging simulation

- Applying evolutionary computation and machine learning -

MATSUSHITA Itsuki, KORENAGA Sosuke, TAKEI Tasuku and HONDA Masakazu

Keywords : forging simulation, evolutional computation, genetic programming, bayesian optimization, machine learning

キーワード: 鍛造シミュレーション、進化的計算、遺伝的プログラミング、ベイズ最適化、機械学習

1 はじめに

シミュレーションを活用した効率的な製品の設計・開 発手法が注目されている。シミュレーションで使用する データを実験等により取得した場合、データは離散的 であるため、近似式等によりデータ間を補間して使用す る必要がある。

近似式を求める際、3変数以上の場合は結果をグラフにして人間が数式を推定するのは困難である。そこで、生物の進化過程を模した「進化的計算手法」の1つである遺伝的プログラミング(Genetic Programming、以下 GP)¹⁾によって、データを数式に近似する方法を検討した。GP は処理対象を木構造で表現することで、数式や画像処理等の最適化が可能な手法である。数式はノードと呼ばれる要素の組み合わせで表現される



*現 工業技術研究所 機械電子科

(図1)。木構造に対して、交叉や突然変異といった構造操作を行うことで(図2)、目的に合った構造を探索する。



図2 遺伝的プログラミングにおける構造操作(a) 交叉および(b)突然変異

GPでは式構造の探索は出来るが、式中の定数の値 は調整出来ない。そこで定数の最適化手法として、ベ イズ最適化(Bayesian Optimization、以下 BO)に着 目した。BOは関数の最大値あるいは最小値を効率的 に求めるアルゴリズムである。今回は GP による数式の 構造最適化と BO による定数最適化を併用することで、 多次元データの近似式生成を試みた。

2 方法

鍛造工程のシミュレーション用に取得したひずみ、ひ ずみ速度および温度と材料特性データを学習データと して GP + BO により近似式を生成した(図3)。評価 式としては学習データとの平均二乗誤差(Mean Square Error、以下 MSE)を用いた。ノード数増加を抑制する ため、ノード数が10以上の場合、ノード数1につき MSE が10%加算されるように設定した。



図3 近似式生成フロー

3 結果および考察

図4に、GP+BO により数式最適化を行った際の、最小 MSE の推移を示す。適応処理(世代交代)を繰り 返すごとに MSE が減少し、学習データに適応した式が 生成されていることが分かる。世代交代を 10,000 回 行った結果、最も MSE が小さくなったのは下記のような 数式となった。



 $\mathbf{y} = \mathbf{x}_2 + \sin(\sin(\mathbf{x}_1) - \mathbf{a}_0 \cdot \mathbf{x}_2) + \mathbf{a}_1 \cdot \mathbf{x}_0$

x₀,x₁,x₂は入力変数をそれぞれ0~1の値に正規化したものである。a₀, a₁は定数項であり、BOにより最適化した結果 a₀=1.45, a₁=-0.064となった。生成式と学習データの比較を図5に示す。生成式は概ね学習データを近似出来ていることが分かる。



4 まとめ

遺伝的プログラミングおよびベイズ最適化を用いて 近似式生成を行った結果、学習データによく一致した 数式を得ることが出来た。

参考文献

 John Koza : Non-Linear Genetic Algorithms for Solving Problems, United States Patent US4935877 (1990.6.19).
-62-

REPORTS

OF THE INDUSTRIAL RESEARCH INSTITUTE OF SHIZUOKA PREFECTURE FUJI TECHNICAL SUPPORT CENTER

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

> > 富士市大渕2590番地1

INDUSTRIAL RESEARCH INSTITUTE OF SHIZUOKA PREFECTURE FUJI TECHNICAL SUPPORT CENTER 2590-1 Obuchi, Fuji city, Shizuoka, 417-8550 Japan

茶葉 CNF 塗工布の消臭性と耐洗濯性に関する研究

 CNF 科
 河部千香

 東京家政大学大学院
 佐々木香織
 濱田仁美

Investigation into the deodorizing performance and the washing durability of the green tea derived cellulose nanofiber coating on fabrics

KAWABE Chika, SASAKI Kaori and HAMADA Hitomi

To investigate the effect of green tea derived cellulose nanofiber (CNF) coating on fabrics, we studied the characteristics of the green tea derived CNF coating on cotton fabrics.

Previous studies have shown that the green tea derived CNF coating fabrics showed good performance for deodorizing ammonia.

In this study we investigated the factors behind deodorizing performance and it seems to be caused by polyphenols in green tea.

Further we investigated the washing durability of green tea derived CNF coating on fabrics and the coated CNF seems not to be greatly removed from cotton fabrics after a gentle washing.

Keywords: Deodorizing, Fabric, Green tea derived CNF, Wash durability キーワード: セルロースナノファイバー、緑茶、塗工布、消臭性、耐洗濯性

1 はじめに

セルロースナノファイバー(以下、CNF という。)は 木材や綿花、柑橘等の非木材などから作製され、様々 な報告がなされている^{1,2)}が、綿布に CNF を塗工する ことにより、ガスバリア性や保温性などの機能性が向上 することも報告されている³⁾。一方で、静岡県の特産品 である緑茶は抗菌防臭性や抗酸化性など、多機能で あることが知られている⁴⁾ことから、緑茶の葉から作製し た CNF を綿布の加工に適用することで高付加価値な 製品の開発が期待できる。

これまでの研究⁵⁾ で、緑茶の葉から作製した CNF を 綿布に塗工することで、アンモニアに対する消臭性を 発現することが分かっている。そこで本研究ではアンモ ニアに対する消臭性を発現する要因について追求す るとともに耐洗濯性について確認したので、その結果に ついて報告する。

2 方法

2.1 CNF の作製

前報⁵⁾の方法によりウォータージェット法 LBKP CNF (以下、LBKP CNF という。)、茶葉 CNF、ウォーター ジェット法抽出茶葉 CNF(以下、抽出茶葉 CNF とい う。)を作製した。

2.2 CNF の塗工

前報⁵の方法により、綿布(平織、目付 100 g/m²、 厚さ 0.75 mm、㈱色染社製)に作製した CNF スラリー を塗工しヒートプレス機により乾燥した。

2.3 消臭性試験

前報⁵⁰の方法によりアンモニアに対する消臭性を測 定した。

2.4 クロロフィルの定量

乾燥した茶葉及び抽出茶葉を23±1℃、50±2% r.h.の環境下に24時間以上放置した。エッペンドルフ チューブにジメチルホルムアミド3mL及び一定量の試 料を入れ、冷蔵庫内で一晩放置した。クロロフィルが抽 出されたジメチルホルムアミド溶液の吸光度を紫外可視 近赤外分光光度計 V-770(日本分光㈱製)により400 nmから800 nmの範囲で測定し、以下の計算式(A) によりクロロフィル a 量を求め、クロロフィル量とした⁶⁾。

Chla= (11.43 \times A₆₆₄ – 0.64 \times A₆₂₄) $\times 3 \cdots$ (A)

Chla: クロロフィル a 量 (µg/mL·100mg)

A664:664 nm の吸光度

A624:624 nm の吸光度

2.5 フェノールのメチルエーテル化⁷⁾

トリメチルシリルジアゾメタン(以下、TMSDという。) をN, N-ジメチルアセトアミドで4倍希釈した。その後、 希釈した TMSD 18 mL、メタノール6mL、ジイソプロピ ルエチルアミン1mL、試験布1gを三角フラスコに入れ、 室温で1時間、穏やかに撹拌処理を行った。処理後、 メタノールで洗浄し、エタノールですすぎ、風乾した。

2.6 繰り返し消臭性試験

2.3 の方法により消臭性試験を行った後、20 ±1℃、 65 ±2% r. h. の環境下に24 時間放置し、再び2.3 と同様の方法により消臭性試験を行った。さらに24 時 間放置後、再度消臭性試験を繰り返し、計3回の消臭 性試験を行った。

2.7 含水率の異なる試料の消臭性試験

100 ±5℃(絶乾状態。以下、100℃・0%という。)、 20 ±1℃・65 ±2% r. h. (以下、20℃・65%という。)、 40 ±2℃・80 ±3% r. h. (以下、40℃・80%という。) の異なる温湿度環境下に24 時間以上放置した試料を 用いて、2.3と同様の方法により消臭性試験を行った。

2.8 耐洗濯性評価

塗工布を15 cm 角に裁断した。40 ±2℃の温水1,000 mL 中に試験布を2 枚投入し、10 分間撹拌洗浄した。 洗浄後、紙ウエス(キムタオル(日本製紙クレシア㈱ 製)で挟んで軽く脱水し、40℃の熱風乾燥機で乾燥さ せた。これを24 回まで繰り返し、0 回(未洗濯)、1回、 2 回、4 回、8 回、16 回、24 回洗浄後に、20 ±1℃、 65 ±2% r. h. の環境下に一晩以上放置した後、それ ぞれについて重量を測定した。

また、洗濯0回、24回後の試験布について、120秒間金蒸着し、走査型電子顕微鏡 SEM S-3400N(㈱日 立ハイテクノロジーズ製)を用いて加速電圧 10 kV で 表面観察を行った。

3 結果および考察

3.1 消臭性発現要因の追求

消臭性を発現するメカニズムとして、物理吸着と化学 吸着の2つが考えられる。物理吸着はアンモニア等の 悪臭原因物質が吸着材に対してファンデルワールス力 等の相互作用により捕集される。CNFの中でも茶葉か ら作製した CNF は繊維幅が3~4nmと非常に狭い⁵⁾た め、比表面積が広くなり、消臭性に対して CNF が有利 に働くものと考えられた。しかしながら、前報⁵⁾で報告し た通り、繊維幅が同程度である市販の CNF を塗工して も消臭性は示さず、物理吸着ではない可能性が高い。 一方で、化学吸着は悪臭原因物質が吸着材に対して 化学的な相互作用により捕集される。茶葉にはセル ロース以外にも多くの成分が含有されており、本研究で は化学吸着という観点から消臭性発現要因の追求を 行った。

茶葉に含まれている消臭性発現要因として、カテキン類(ポリフェノール)、キシラン、クロロフィルなどが挙 げられる。前報⁵⁾で報告した通り、高速液体クロマトグ ラフィー法による分析から、低分子カテキンではないこ とが分かっている。また、ヘミセルロースの一つである キシランは、一部ウロン酸基となっており、カルボキシ 基を有することから、アンモニアと結合しやすいものと考 えられる。しかしながら、前報⁵⁾で報告した通り、市販の 2,2,6,6-テトラメチルピペリジン - 1-オキシルラジカル (以下、TEMPO という。)酸化 CNF(レオクリスタ[®](第 一工業製薬㈱製))塗工布は未塗工布と同等の消臭性 を示す。TEMPO 酸化 CNF は、セルロースの6位にカ ルボキシ基を持つため、キシランの可能性も低いと言え る。そこで今回、クロロフィルとポリフェノールについて 調べた。

(1) クロロフィルによる消臭性発現の可能性の評価

CNF に解繊する前の茶葉と抽出茶葉のクロロフィル 量の測定結果を図1に示す。抽出茶葉にも微量のクロ ロフィルが残存しているが、茶葉に含まれる量の3%程 度となり、抽出により極端に減少していることが分かり、 クロロフィルの可能性は低いと言える。



図1 茶葉と抽出茶葉のクロロフィル量

(2) ポリフェノールによる消臭性発現の可能性の評価

茶葉中のポリフェノールとして、カテキンのほか、リグ ナン、アントラキノン、フラボノイドなどが存在している。 TMSD はフェノール及びエノールを選択的にメチル エーテル化することで知られており⁷⁾、茶葉中のポリフェ

富士工業技術支援センター

【報告】

ノールのフェノールをメチルエーテル化することで水素 結合が阻害され、アンモニアとの結合を形成しないの ではないかと考えた。

消臭性測定結果を図2に示す。メチルエーテル化すると茶葉 CNF 塗工布と抽出茶葉 CNF 塗工布のどちらもアンモニアの消臭性が大きく低下した。特に、メチル エーテル化抽出茶葉 CNF 塗工布は、未塗工布の消臭 性と同程度を示すほどに低下した。



図2 茶葉及び抽出茶葉CNF塗工布の消臭性に対 するメチルエーテル化の影響

- ━━ 未塗工布
- ★ 抽出茶葉CNF塗工布
- -▲-メチルエーテル化抽出茶葉CNF塗工布
- ━━ 茶葉CNF塗工布
- - メチルエーテル化茶葉CNF塗工布

以上のことから、消臭性発現要因はポリフェノールで ある可能性が高いことが分かった。

また、メチルエーテル化した茶葉 CNF 塗工布の消 臭性がメチルエーテル化した抽出茶葉 CNF 塗工布の 消臭性よりも高いことは、抽出茶葉 CNF は抽出により 一部のポリフェノールが除去され、系内に存在している ポリフェノールの量が抽出茶葉に比べて茶葉の方が多 く、メチルエーテル化茶葉 CNF 塗工布は十分にメチル エーテル化されなかったためと考えられる。

次に、繰り返し消臭性試験を行い、塗工布に含まれ るポリフェノールのフェノール性水酸基とアンモニアの 相互作用の強さについて調べた。その結果を図3に示 すが、一度消臭性試験に供した塗工布は24時間後消 臭性が回復することが分かった。このことから、塗工布 に含まれるポリフェノールのフェノール性水酸基とアン モニアの結合は水素結合のような弱い結合であると言 える。



図3 繰り返し消臭性試験結果

| →→ 未塗工布(1回目) | -●- 未塗工布(2回目) | |
|-----------------|----------------------|-------|
| …●… 未塗工布 (3回目) | → 抽出茶葉CNF塗工布 | (1回目) |
| -▲-抽出茶葉塗工布(2回目) | …▲… 抽出茶葉CNF塗工布 | (3回目) |

塗工布の含水率の違いによるアンモニアの消臭性 への影響を調べるために、100℃・0%、20℃・65%、 40℃・80%の異なる温湿度環境下で調湿した試料を 用いて、アンモニアの消臭性を比較した。その結果を 図4に示す。20℃・65%や40℃・80%といった高湿 度下で調湿した含水率の高い塗工布と比べて、 100℃・0%の含水率の低い塗工布の消臭性は低く、 塗工布に含まれるポリフェノールのフェノール性水酸 基とアンモニアの結合は水分子を介したものである可 能性が高いことが分かった。





- 100°C · 0% - - 20°C · 65% - 40°C · 80%

3.2 耐洗濯性の確認

CNF は官能基修飾等の化学処理を行わないと一般 的に親水性であるため、塗工布の実用化について検討 する際、耐洗濯性の確認は重要である。そこで耐洗濯 性の確認を行った。 その結果を図5に示す。LBKP CNF 塗工布と抽出茶 葉 CNF 塗工布のどちらも重量減少は少なく、手洗いを 想定した穏やかな洗濯条件では、耐洗濯性があること が分かった。



図5 各サンプルの洗濯回数に対する重量変化 → 未塗工布 - ▲ - LBKP CNF塗工布 … → 抽出茶葉CNF塗工布

洗濯前後の電子顕微鏡による表面観察結果を図6 に示す。LBKP CNF 塗工布と抽出茶葉 CNF 塗工布の 両方において、洗濯後も繊維表面と繊維間を覆うように CNF が定着している様子が観察された。今回、手洗い を想定した穏やかな洗濯に対して耐洗濯性があること が示された。



図6 各サンプルの洗濯前後の電子顕微鏡観察画像

4 まとめ

抽出茶葉CNF塗工布がアンモニアに対する消臭性 を示す要因と塗工布の耐洗濯性について、次のことが 分かった。

- (1) 抽出茶葉 CNF 塗工布の消臭性発現要因は茶 葉に含まれるポリフェノールである可能性が高 いことが分かった。
- (2) ポリフェノールと悪臭原因物質であるアンモニア は水を介した水素結合により弱く結合するものと 考えられる。
- (3) 抽出茶葉 CNF 塗工布は手洗いを想定した穏や かな洗濯であれば 24 回の洗濯を行っても繊維 表面及び繊維間に CNF が残存し、耐洗濯性を 示すことが分かった。

参考文献

- 1) 北川和男:セルロースナノファイバー (CNF) の基礎と応用技術. 情報機構セミナーテキスト, p. 1-200, 東京 (2018).
- 福田直大:柑橘由来セルロースナノファイバーについて.産総研中国センターなのセルロース工房開設 記念講演会資料, p. 60-74,広島 (2018).
- Hamada H. et al. : Effect of cellulose nanofibers as a coating agent for woven and nonwoven fabrics. Nordic Pulp & Paper Research Journal, 31(2), 255– 260 (2016).
- 4) 坂井千恵他:茶抽出物非カテキン成分の繊維への応用.浜松工業技術センター研究報告,10,56-60
 (2000).
- 5)河部千香他:茶葉 CNFの調製法と塗工布の特性 評価.静岡県工業技術研究所研究報告,12,76-82 (2019).
- 山本慧史他: クロロフィルa量を用いた吸光度法 による微細藻類 Rhodomonas sp. 細胞密度の推定. 水産増殖, 63(3), 353-355 (2015)
- 7) 塩入孝之他:トリメチルシリルジアゾメタン.有機合成化学,44(2),149-159 (1986).

異種材料接合のための新型プラズマ照射装置の開発(第6報)

機械電子科 高木 誠 稲葉彩乃* 井出達樹 真野 毅

Development of new-style plasma irradiation equipment for bonding dissimilar materials (6th Report)

TAKAGI Makoto, INABA Ayano, IDE Tatsuki and MANO Tsuyoshi

The performance of the new-style plasma irradiation equipment developed last year was verified, and it was verified that uniform plasma irradiation is possible even for large and complicated samples. This year, we irradiated stainless steel, aluminum alloy, polypropylene, and polyacetal with plasma and analyzed the surface composition change with photoelectron spectroscopy (XPS). As a result, it was confirmed that the surface contamination of the metal was removed and oxidation proceeded, and that functional groups such as hydroxyl groups, carboxyl groups and amino groups were introduced onto the surface of the plastics. It is considered that the difference in the surface composition change of the irradiated object explains the difference in the improvement in adhesion.

Keywords: Plasma irradiation, Surface treatment, XPS, Hydrophilic group, Adhesion. キーワード:プラズマ照射、表面処理、XPS、親水基、接着

1 はじめに

昨年度の第3報¹⁾に引き続き、新型プラズマ照射装置の開発を行なったので、その結果について報告する。

当研究では、プラズマ照射装置の製品化と、それを 利用した前処理事業の展開を見据え、実用的プラズマ 処理能力を得るための実証装置開発と、試験データを 企業へ提供するライブラリ構築を目的としてきた。

平成29年度に我々は全固体型高周波発振器を利 用した広範囲の真空領域で作動可能な新型プラズマ 照射装置を製作した(第1報)²⁾。平成30年度には実 証装置の安定稼働の確認と性能検証を行なった(第3 報)。実証装置は、真空チャンバー内のバイアス電極 板(420×600mm)上で高い均質性を持つプラズマ照 射が可能であり、孔やスリット等の複雑形状を持つ被照 射物に対しても充分なプラズマ照射効果を与えること を確認した。さらに、実証装置によってプラズマ照射を 行なうことで、各種材料の接着性が向上することを確認 した(第4報)³⁾。

今年度は、このプラズマ照射の効果がどのように発 現しているかの検証を行なった。

2 方法

各種材料に対してプラズマ照射を行い、材料表面で どのような物性変化が起きているかについては、既に多 くの研究結果が知られている⁴⁾。本研究で開発した実 証装置のプラズマ照射によって材料表面が既知のよう に改質しているのか、について検証する必要がある。 また、改質状態を考察することによって、各種材料や 接着剤の組合せによる接着性向上効果の予測が可能 になると想定される。

プラズマ照射による材料表面の変化を分析するため には、一般的に X 線光電子分光法(XPS)が用いられ る。XPS は材料表面に X 線を照射し、励起によって放 出される電子(光電子)のスペクトルを分析する。光電 子スペクトルは、最表面原子組成や化学結合状態を反 映するため、表面分析手段として広く利用されている。

当研究所では XPS を保有していないため、外部機関へ分析委託した。

XPS 分析を行なった試料は、ステンレス鋼 (SUS304)、アルミニウム合金(A5052)、ポリプロピレ ン (PP)、ポリアセタール (POM) である。

SUS304は、鉄系材料の例として選択した。ステンレス鋼は耐食性が高く、表面性状も変化しにくい。表面

組成に変化があれば、プラズマ照射の効果を確認しや すいと考えた。

A5052 はアルミニウム合金の代表として選択した。ア ルミニウム合金は、自動車車体軽量化の目的で利用拡 大が見込まれるが、溶接性が悪いため接着利用が進 むと考えられている。よって、A5052 の組成変化は接 着性向上手段の重要な手掛かりとなり得る。

PP は難接着性樹脂の代表格であり、自動車への利用が多い。接着性向上は PP 利用拡大の鍵である。

POM はエンジニアリングプラスチックの一つであり、 強度・潤滑性を要求される部分への適用が進んでい る。一方で難接着性であるため接着性向上手段が望ま れている。このような観点から分析用試料を選択した。

プラズマ照射条件は、高周波発振器入力電圧が 60V、直流印加電圧が-600V、照射時間は180秒で ある。用いたプラズマガス種は空気と窒素(N₂)で、 空気は真空度40Paでプラズマを発生させた。N₂プラ ズマ照射では、N₂純度を上げるため、チャンバー内真 空度を一度10Pa以下まで排気したのち、N₂を50SCCM 供給して40Paまで圧力上昇するのを待ってN₂プラズ マを発生させた。

プラズマ照射後の試料は、外部環境の影響を極力 避けて速やかに XPS 装置内へ導入した。

XPS 分析は、旭化成株式会社基盤技術研究所に委託し、装置はアルバック・ファイ株式会社 VersaProbe Ⅱを用いた。

3 結果

各試料の XPS 分析結果は図1~7のグラフ及び、表 1~4である。



☆:N₂雰囲気処理 ↔:air 雰囲気処理 線のみ:処理無し

表1 SUS304表面元素組成のXPS分析結果

| SUS | С | 0 | Ν | Fe | Cr | Ni |
|----------|----|----|-----|-----|-----|-----|
| N2プラズマ照射 | 41 | 41 | 4.3 | 9.8 | 3.5 | 0.3 |
| 空気プラズマ照射 | 34 | 44 | 5.1 | 12 | 3.6 | 0.4 |
| 未照射 | 37 | 39 | 3.3 | 15 | 5.1 | 0.6 |

(注:元素量パーセント比較 微少量元素を除いているので合計は100%にならない)

ズマ未照射と比較して、炭素(C)が大幅に減少、酸素(O)が増加、窒素(N)が増加している。N2プラズマの場合はC、O、Nのいずれも増加しているが、空気プラズマほどの変化ではない。表面上のCは炭化水素形態であるが、プラズマ照射(空気、N2ともに)によって減少し、エステルや炭酸塩、ヒドロキシル基の存在が目立つようになる。Oも酸化物形態から水酸化物、有機物(エステル等)への変化が起きている。このほかNの増加はアミン(-NH2)、アミド(-NH-)化合物の増加を示している。

A5052の表面組成は、空気プラズマ照射ではプラズ マ未照射と比較して、Cが大幅に減少、Oが増加、N は減少している。N²プラズマの場合はC、O、Nのい ずれもほとんど変化がない。表面上のCは炭化水素形



SUS304の表面組成は、空気プラズマ照射ではプラ



△:N2雰囲気処理 ⊖:air 雰囲気処理 線のみ:処理無し

態であるが、プラズマ照射(空気、N₂ともに)によって 減少し、エステルや炭酸塩、ビドロキシル基の存在が目 立つようになる。Oの量は変化するが、水酸化物、有 機物(エステル等)の形態から大きな変化はない。N の量も形態も変化がほぼない。



図4 A5052のAPSによるNISとAl2pの スペクトルデータ

△:N2雰囲気処理 ⊖:air 雰囲気処理 線のみ:処理無し

表2 A5052表面元素組成のXPS分析結果

| N2プラズマ照射 45 39 3.2 8.4 0.9 0.5 1.5 空気プラズマ照射 32 49 2.7 11 1.6 0.5 1.9 | A5052 | С | 0 | Ν | Al | Mg | Na | Si |
|--|----------|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 空気プラズマ照射 32 49 2.7 11 1.6 0.5 1.9 | N2プラズマ照射 | 45 | 39 | 3.2 | 8.4 | 0.9 | 0.5 | 1.5 |
| 十四社 40 20 24 10 22 11 | 空気プラズマ照射 | 32 | 49 | 2.7 | 11 | 1.6 | 0.5 | 1.9 |
| 木照射 44 40 3.0 9.4 1.9 0.3 1.1 | 未照射 | 44 | 40 | 3.0 | 9.4 | 1.9 | 0.3 | 1.1 |

(注:表1に同じ)

PPの表面組成は、空気プラズマ照射ではプラズマ 未照射と比較して、Cが大幅に減少、Oが増加、Nが 増加している。N²プラズマの場合も同様であるが、空 気プラズマほどの変化ではない。表面上のCは炭化水 素形態であるが、これはポリプロピレン自体と重なって おり識別はできない。しかし、プラズマ照射(空気、N² ともに)によって、エステルや炭酸塩、ヒドロキシル基 の存在が目立つようになる。Oはポリプロピレンには本 来存在しないが、化合物形態のOが見えることから、 これらはカルボン酸やエステル類等であると考えられ





表3 PP表面元素組成のXPS分析結果

| PP | С | 0 | Ν |
|------------|----|-----|------|
| N2プラズマ照射 | 88 | 11 | 0.6 |
| 空気プラズマ照射 | 89 | 10 | 0.7 |
| 未照射 | 99 | 1.3 | N.D. |
| (注・主・)と曰い) | | | |

(注:表1に同じ)

る。このほか未照射では存在しないNの発現はアミン、 アミド化合物の増加である。

POM の表面組成は、空気プラズマ、N₂ プラズマの いずれもプラズマ未照射と比較して明確な組成変化は 起きていない。スペクトル変化も小さく、影響はほぼ見 当たらない。



図7 POMのXPSによるClsとOlsの スペクトルデータ

☆: N2 雰囲気処理
 ⇔: air 雰囲気処理 線のみ:処理無し

表4 POM表面元素組成のXPS分析結果

| POM | С | 0 | Ν | Si |
|-----------|----|----|-----|-----|
| N2プラズマ照射 | 53 | 47 | 0.2 | 0.1 |
| 空気プラズマ照射 | 51 | 48 | 0.4 | 0.4 |
| 未照射 | 53 | 46 | 0.3 | 0.3 |
| (注:表1に同じ) | | | | |

4 考察

SUS304の XPS 分析結果からは、SUS 表面の有機物、つまり汚れが分解・除去されていることが伺える。特に、水酸基やアミン、アミド化合物は親水性であり、 プラズマ照射によって表面が清浄化されるだけでなく、生成する親水基が表面の親水性向上に影響している、という各種文献の示唆⁵⁾が確認された。

A5052の結果からは、A5052表面の有機物、つまり 汚れは空気プラズマによって分解・除去されている が、№ プラズマでは、空気プラズマほどの分解・除去 能力はない。目立っているのは、空気プラズマ照射に より、炭化水素汚れが除去されて金属表面の正常部が 増加している点である。この部分が接着性向上に効果 的である。

PPの結果からは、表面に生成される水酸基やアミン、アミド化合物は、ポリプロピレンのオレフィン鎖が酸化、または窒化することで生成しており、これらの化合物が親水性であることから、表面の親水性と接着性向上に影響している、という各種文献の示唆が実証された。

POMの主成分がCとOであることから影響が見えに くいことは予測されたが、主成分以外のエステルやカル ボン酸等の影響もほとんど確認できない。POMに対し てはプラズマ照射による接着性向上は効果が少ないこ とが予想されるが、この仮説は別の実験によって補強さ れている。

5 まとめ

空気とN2のプラズマ種の差であるが、空気の方が効 果が大きく、N2 特有の効果を見出すには至らなかっ た。これは、N2 プラズマより大気中に含まれる O2 のプ ラズマの方が被照射物に対する影響が大きいため、と 考えられる。空気プラズマでも PP 表面に N を導入出 来ることから、プラズマ発生時には N と O の相互作用 による反応も存在している。O2 だけでは、プラズマ励 起条件が厳しくなることから、空気は実用的なプラズマ 種である。

プラズマ照射による表面変化に関し、金属類は、主 として表面汚れの分解と酸化の影響が伺える。接着性 向上は、汚れの影響が除かれたことと、酸化による極 性基との親和性向上が効いているものと予測される。樹 脂類は、樹脂組成の変化による極性基との親和性向上 の影響が大きい。これらの結果から予測される接着性 向上のメカニズムについては(第7報)で論じている。

謝辞

X線光電子分光法による結果の考察にアドバイスを 頂きました旭化成株式会社基盤技術研究所の仲野靖 浩様に感謝いたします。

参考文献

- 高木誠 他:「異種材料接合のための新型プラズマ 照射装置の開発(第3報)」.静岡県工業技術研究所 研究報告,第12号,83-86 (2019).
- 高木誠他:「異種材料接合のための新型プラズマ 照射装置の開発(第1報)」.静岡県工業技術研究所 研究報告,第11号,106-107 (2018).
- 3) 稲葉彩乃他:「異種材料接合のための新型プラズ マ照射装置の開発(第4報)」.静岡県工業技術研 究所研究報告,第12号,87-90 (2019).
- 4)小駒益弘,田中邦翁:第1編 表面・界面をつくる には 第1章 各種形成技術の進歩 第7節 大気圧 プラズマを用いた表面処理技術の進歩,「表面・界 面技術ハンドブック」初版(株式会社エヌ・ティー・ エス),pp.48-55 (2016).他
- 5) 原賀康介,佐藤千明:第5章 信頼性の高い接着 接合を行うためのポイント 3. 施工上のポイント 3. 1表面改質による接着信頼性の向上(1)表面改質の 採用,「自動車軽量化のための接着接合入門」,初版
 - (日刊工業新聞社,), pp.162-163 (2015). 他

異種材料接合のための新型プラズマ照射装置の開発(第7報)

ープラズマ照射による接着性向上 ー

機械電子科 稲葉彩乃* 髙木 誠 井出達樹 真野 毅

Development of new-style plasma irradiation equipment for bonding dissimilar materials (7th Report)

— Improving adhesive strength with plasma irradiation —

INABA Ayano, TAKAGI Makoto, IDE Tatsuki and MANO Tsuyoshi

Technology to adhere and bond dissimilar materials with adhesive glue is required to reduce electric vehicle body weight. However, as an efficient pretreatment method to improve the adhesive strength is required, we have been working on the development of new-style plasma irradiation equipment, focusing on surface modification by plasma irradiation with a low environmental load. So far, we have studied the optimum irradiation conditions and irradiation effect trends for some materials. In this study, we investigated the effects of irradiation time on some metals and resins, and also examined the persistence of the effect after plasma irradiation was required for use in a manufacturing scene. As a result, 120 seconds' irradiation for metal gives the highest adhesive strength, and after about 60 seconds' irradiation for resin was performed a high effect was obtained for resin. In addition, it was found that the persistence of the plasma irradiation effect depends on the material, and the effect on resin can be maintained longer than the effect on metal.

Keywords: Electric vehicle, Plasma irradiation, Dissimilar materials, Surface process, Adhesive キーワード: 電気自動車、プラズマ照射、異種材料、表面処理、接着

1 はじめに

接着剤による異種材料の接着・接合技術が自動車 部品の複合材料化等様々な分野での利用が進むに つれ、接着強度を向上させるため接着前処理技術の 需要も高まっている。中でもプラズマ照射による表面 改質は環境負荷の少ない廃棄物を出さない接着前 処理方法として注目されている。これまでに少量多品 種を扱う中小企業等の生産現場でも扱いやすい新 型プラズマ照射装置の開発に取り組んできたが¹⁾、実 際の生産現場でプラズマ照射装置を生産工程に導 入する際には、照射時間や照射後の経過時間による 影響に関する知見が必要とされる。今回、各種の金 属及び樹脂材料を用い、接着強度に対する影響に ついて検討を行った。また、自動車部材への利用が 増え、接着技術の需要が高い炭素繊維強化プラス チック²⁾と金属の異種材料接着に対する効果も併せ て検討した。

2 方法

2.1 プラズマ照射時間が接着強度に与える影響に関 する検討

樹脂及び金属の板(100mm × 25mm × 2mmt)に プラズマ照射装置を用いて表1(I)の条件でプラズ

表1 プラズマ照射条件

| 照射条件 | Ι | II |
|---------------|--------------|-----------------|
| ガス種 | 空気 | 空気 |
| チャンバー内圧力 (Pa) | 40 | 40 |
| 発振器電圧 (V) | 70 | 70 |
| バイアス (V) | - 600 | - 600 |
| 照射時間(秒) | 60, 120, 180 | 60(樹脂), 120(金属) |

マを照射した。プラズマ照射装置は当センターにて開 発した真空プラズマ照射装置1)を用いた。プラズマ照射 時間は以下の各材料に対し60秒、120秒、180秒とし た。照射後1分以内に接着剤で2枚の同種の板同士を それぞれ接着して試験片とした。接着面積は(12.5mm × 25mm)とした。これまでに試験に適した接着剤につ いて検討しており3)、工業用に広く用いられているエポ キシ系と、強度と接着対象の広さから構造用接着剤とし て近年注目されてきている²⁾第二世代アクリル (SGA) 系を使用した。樹脂はポリプロピレン (PP)、ポリエチレ ン (PE)、ポリ塩化ビニル (PVC)、アクリロニトリル-ブ タジエン-スチレン共重合合成樹脂 (ABS)、ポリカー ボネート(PC)、ポリアミド(PA)、ポリアセタール(POM)、 アクリル樹脂 (PMMA) を用い、金属はアルミニウム合 金(A5052)および、ステンレス鋼(SUS304)を用い た。また、比較のため未照射の板を接着した試験片も 準備した。SUS304 はプラズマ照射前、もしくは未照射 の場合は接着前に表面をイソプロピルアルコールによ り洗浄した。作製した試験片は材料強度試験機(㈱島 津製作所製: UH-500kNA) を用いて JIS K 6850 に準 拠し剛性被着材の引張せん断接着強さ試験を行っ た。それぞれの試験片数は N= 3とした。

2.2 プラズマ照射時間が異種材料の接着強度に与え る影響に関する検討

熱可塑性炭素繊維強化プラスチック(CFRTP)と SUS304 または A5052 との異種材料接着試験片を 2.1 と同様の方法で作製し、引張りせん断接着強度試験を 行った。CFRTP のみプラズマを照射し、金属板は表 面をイソプロピルアルコールにより洗浄した。接着には SGA 系接着剤を用いた。

2.3 接着強度に対するプラズマ照射効果持続性に関 する検討

表1(II)の条件でプラズマを照射した材料板を室 温条件下、密閉しない環境で一定時間(1h、3h、6h、 24h、72h、168h、366h)保管した後、同種の板同士 を接着して試験片を作製した。室温条件下で硬化させ てから2.1と同様に引張せん断接着強さを測定した。 照射時間は以前の検討の結果¹⁾を受け、金属材料に 対し120秒、樹脂材料に対し60秒とした。材料板は 金属材料(SUS304、A5052)及び樹脂材料(PP、 ABS)を用い、接着にはエポキシ系とSGA系の2種類 の接着剤を使用した。 3 結果及び考察

口未照射

3.1 樹脂材料へのプラズマ照射による接着強度向上 の効果

接着試験片の引張せん断接着強さの試験について、図1にエポキシ系接着剤を用いた場合、図2にSGA系接着剤を用いた場合の結果をそれぞれ示す。



図1 照射時間ごとの接着サンプルの引張せん断接着 強さ(エポキシ系)

■120 秒

■180秒

■60秒



SUS304、A5052 共に、いずれの接着剤を用いた場合 でも120 秒照射した時に最も高い強度が得られた。樹 脂ではエポキシ系接着剤とSGA 系接着剤を用いた場 合で異なる傾向が見られた。

エポキシ系接着剤を用いた場合、照射によりすべて の樹脂種の接着強度が増した。PPのみ180秒照射し たときに未照射の場合と同等の強度となり、60秒の照 射で最も高い効果が得られた。PC、POM、PMMAは 180秒照射した時に最も高い強度が得られた。最適な 照射時間を超えた過剰な処理により表面の分子鎖が 一部分解されるなどダメージを受け、接着強度が低下 した可能性があると推測される。 SGA 系接着剤を用いた場合、PVC 以外の樹脂で 未照射の場合と比較し接着強度は上昇した。PVC 及 び ABS、PMMA は 60 秒以上の照射で全てのサンプ ルが材料破壊したことから、接着強度が材料の強度を 上回ったと推測される。PA や PC は 60 秒以上の照射 で明確な差は確認できず、また 180 秒以上の照射で は強度低下もしくは大きな変化が見られない樹脂種 が半数以上であることから、今回検討した樹脂材料は 60 ~ 120 秒の照射で十分な効果が得られると考察さ れる。

ただし、難接着性である POM の接着強度は、最大 3.12MPa (120 秒照射、エポキシ系接着剤使用時) で 材料と接着剤の界面で剥離する界面破壊となった。接 着剤の層が破壊される凝集破壊、または材料が破壊さ れる材料破壊の状態となる強度を得るためには今後さ らに最適な条件や接着剤を探索する必要がある。

3.2 異種材料接着強度に対するプラズマ照射時間の 影響に関する検討

CFRTPとSUS304またはA5052との異種材料接着 試験片の引張せん断接着強度を図3に示す。プラズマ を60秒間照射後、CFRTP同士とSGA系接着剤で作 製した試験片の接着強度を、図中に破線で示した。 SUS304、A5052いずれも未照射の場合と比較し接着 強度の上昇が認められた。しかし、A5052では同種同 士の接着時と同様120秒の時最も高い値が得られた が、SUS304では60秒の時最も高い接着強度を示し 120秒以上照射すると未照射の試験片と同等の強度と なった。今回の結果からは異種材料の接着と、同種同 士の接着との関連は認められず、今後検討を行ってい く中で傾向を探っていく必要があると考えている。







3.3 接着強度に対するプラズマ照射効果持続性に関 する検討

プラズマ照射直後に接着し作製した試験片と、照射 後一定時間室温条件下で材料板を保管した後に接 着して作製した試験片の引張せん断接着強さを図4 および図5に示す。



図4 照射後経過時間による引張せん断接着強さの 変化(エポキシ系)



破線(短):未照射時の強度(黒色 SUS304、灰色 A5052)







破線(短):未照射時の強度(黒色 SUS304、灰色 A5052)

樹脂材料の場合、接着剤の種類に関わらず、長時間保管した後も照射直後と同等の接着強度が得られた。

SGA 系接着剤で接着した金属材料の試験片は、照 射後数十時間は高い引張せん断接着強さを維持する ものの、72時間後以降、時間経過に伴い低下してい く結果となった。接着強度を発現する要因は複数あり、 特に分子間力が大きく寄与している場合、酸化物や水 酸化物等表面と接着剤間の介在物により強度が低下 する。そのためプラズマ照射により金属材料表面の汚 れや酸化被膜が除去されて高い接着強度を示すが、 その後表面の酸化が進むと接着剤と材料板表面との 密着性が低下することが考えられる。一方、エポキシ 系接着剤を用い接着した金属材料の試験片の場合、 照射後72時間で一時的に強度が低下した後、照射 後経過時間の増加に伴い回復した。接着強度を発現 する要因と接着を阻害する要因は複合的であるため、 表面のプラズマ照射による表面状態の変化や接着強 度への影響を追求するためには今後検討を重ねる必 要があると考えている。

接着強度に寄与する要因の一つである水酸基に関 しては、XPS 分析を用いて本プラズマ照射装置による 処理前後の変化を確認しており、プラズマ照射後、金 属表面上の水酸化物の増加が確認できたことを第6報 にて報告している⁴⁾。接着強度を発現する要因として、 水素結合が大きく寄与している場合、エポキシ系接着 剤では照射による水酸基の増加に伴い接着強度が増 し、酸化による表面改質もまた接着強度向上に寄与す るため、照射後も未照射の場合より高い強度を維持で きたと考えられる。

4 まとめ

樹脂材料、金属材料に対する最適なプラズマ照射時間について検討を行った。開発したプラズマ照射装置では、金属材料は120秒、樹脂材料は60~120秒照射した時に、高い接着強度向上効果が得られ

た。異種材料を接着する場合は同種同士の接着と異 なる傾向がみられる場合があるので、組み合わせによ り最適な照射時間を探る必要がある。

また接着強度向上に対するプラズマ照射効果の持続性について検討を行った。樹脂材料は、長時間経過した後も照射直後と同等の接着強度を得ることができた。金属材料の場合、接着剤により持続傾向が異なる結果となった。XPS分析の結果から、プラズマ照射により金属表面に生じた水酸基や時間経過に伴い増加する酸化物が接着強度に影響していると推測している。

今後、さらに多くの材料や接着剤を用い様々な組み 合わせでの接着強度向上に関するデータを充実さ せ、より実用的なライブラリとして技術相談等にも活用 できるようにしていく予定である。

参考文献

- 1) 稲葉彩乃他: 異種材料接合のための新型プラズ マ照射装置の開発(第4報), 静岡県工業技術研究 所研究報告, 第12号, 87-90(2019).
- 原賀康介,佐藤千明:「自動車軽量化のための接 着接合入門」,初版(日刊工業新聞社),pp.109-118 (2015).
- 3) 稲葉彩乃他: 異種材料接合のための新型プラズ マ照射装置の開発(第2報), 静岡県工業技術研究 所研究報告, 第11号, 108-109(2018).
- 4) 高木誠他:異種材料接合のための新型プラズマ 照射装置の開発(第6報),静岡県工業技術研究所 研究報告,第13号,(2020).

【ノート】

次世代自動車軽量化のための CNF 複合材の開発

- マスターバッチ用 CNF の開発 -

CNF科 大竹正寿 田中翔悟 河部千香 前田研司

Development of a PP/CNF composite for weight saving for next-generation cars

- Development of cellulose nanofiber for a polypropylene master batch -

OTAKE Masatoshi, TANAKA Shogo, KAWABE Chika and MAEDA Kenji

Keywords: CNF, Cellulose nanofiber, CNF Composite, Master batch, Polypropylene キーワード: CNF、セルロースナノファイバー、CNF 複合材、マスターバッチ、ポリプロピレン

1 はじめに

次世代自動車などの自動車部材として、セルロース ナノファイバー(CNF)と樹脂の複合材を活用すること が、軽量化や、環境保全などの観点から世界的に期 待されている。この複合材を射出成形するのには「マ スターバッチ」という原料が必要であるが強度などの特 性が十分でない。本研究では、マスターバッチの特性 を向上させることを目的として、マスターバッチに適した CNF 解繊条件及びCNFの形状を検討した。

2 方法

2.1 CNF 解繊条件の検討

本研究では、パルプを細かくする前処理を行った後、 ウォータージェットでさらに微細化して CNF を作製して いるが、前処理でパルプがダメージを受けている恐れ があった。そこで、パルプに表1に示す前処理を行い、 パルプの特性に及ぼす影響を調べた。前処理したスラ リーをフィルム化(写真1)した後、パルプのダメージの 指標となる結晶化度を X 線回折法(結晶領域と非結晶 領域の面積比の計算)により測定した。

2.2 CNF の繊維長が複合材強度に及ぼす影響

繊維長の異なる市販の CNF (㈱スギノマシン製 極 短・標準・極長) とポリプロピレン (PP) 粉体 (㈱プ ライムポリマー製 J-107G) 及び分散剤 (MAPP) をボー ルミルで混合した後減圧乾燥し、CNFを 10wt%含む 混合粉体を得た。この粉体と PP を小型混練機で混練 して CNF 濃度を1~10%に調整した後、小型射出成 形機でダンベル状に成形し (写真2)、引張試験(引 張速度: 2mm/min) を行った。

表1 パルプ前処理条件

| | 原料 📫 | 離解 (パルパー) | ⇒ ^{こう解} (ビーター) | ➡ 粉砕 (ボールミル) |
|---|------------------|---------------------|----------------------------|-------------------------|
| 1 | パルプシート (NBKP) | 10min 処理 →3%スラリー | 5h 処理 | 100rpm 50~1000min 処理 |
| 2 | 同上 | 同上 | なし | 同上 |



写真1 パルプ前処理後にシート化したサンプル



写真2 PP/CNF 複合材の試験片 (CNF 繊維長:標準)

-75-

3 結果および考察

3.1 CNF 解繊条件の検討

ボールミルの処理時間の増加に伴い結晶化度が 低下し、ダメージを受けていることが明らかとなった(図 1)。ただし、ボールミル処理の前にビーターによる「こ う解処理」を行うと結晶化度の低下が抑制された。こ う解によりパルプが十分に膨潤したため、ボールミル 処理の際、より選択的に分子間水素結合から切断さ れ、パルプ本体へのダメージが少なかったものと考え られる。





複合材の強度を上げるためには、繊維自体の強度を 高める必要があり、パルプへのダメージを出来る限り少 なくする前処理条件の検討が必要であると考えられた。

3.2 CNF の繊維長が複合材強度に及ぼす影響

CNFと樹脂を複合化して強度を調べたところ、繊維 長が長い CNF 複合材の引張強さが高くなる傾向が見 られた(図2)。また、引張弾性率は CNF の添加量に 伴って高くなった(図3)。



図2 CNF繊維長の違いによるPP/CNF複合材の 引張強度(CNF:10%)



複合材の弾性率(CNF 繊維長:極長)

4 まとめ

PP/CNF 複合材の特性を向上させることを目的として、マスターバッチに適した CNF 解繊条件及び CNF の形状を検討した。その結果、複合材の強度を上げるためには、マスターバッチ作製において、パルプへのダメージをできる限り少なくする前処理条件の検討と長い CNF の作製が必要であると考えられた。

謝辞

本研究を行うにあたり、実験用装置を借用させてい ただいたトクラス株式会社様に感謝致します。

【ノート】

マイクロ X線 CT による CNF 複合材の CNF 分散性評価

CNF 科 田中翔悟

Evaluation of CNF dispersibility of CNF composite by X-ray CT

TANAKA Shogo

Keywords : CNF, Cellulose nanofiber, CNF Composite, polypropylene, X-ray CT キーワード : CNF、セルロースナノファイバー、CNF 複合材、ポリプロピレン、X線 CT

1 はじめに

セルロースナノファイバー(CNF)は木材等の植物 繊維を微細化した素材であり、樹脂と複合すると高強 度、軽量、低環境負荷など多くの付加価値を付与で きることが期待されている。当センターでは令和元年度 から県の新成長戦略研究「次世代自動車軽量化のた めの CNF 複合材の開発」に取り組み、従来の素材を 代替して軽量化することができるポリプロピレン (PP) / CNF 複合材の開発を行っている。

CNFを樹脂に複合する際、効果を発揮するために はCNFの繊維が樹脂中に良好に分散している必要が ある。CNFはPPとの混練過程において容易に凝集す るため、PP/CNF複合材の開発には樹脂中のCNFの 分散状態を把握することが重要となる。

樹脂中の繊維の分散状態を確認する手法として、 可視光観察、赤外分光イメージング、電子顕微鏡、X 線 CT 等がある。X線 CT は樹脂中に分散した繊維の 形状を非破壊で3次元的に観察できるため、複合材の 評価に適した手法と考えられる。

今回は、平成30年度当センターに導入したマイク ロX線CTを使用して開発中のPP/CNF複合材を測 定し、セルロース繊維の分散状態を確認した事例を報 告する。

2 方法

評価対象として、マレイン酸変性ポリプロピレン (MAPP)を分散剤とし、PP中に機械解繊 CNFを3 wt%含有させた PP/CNF 複合材の押出しペレットを使 用した。直径2mm、長さ3mm 程度の形状のペレットを、 1mm×1mm×3mm 程度の角柱状に切断し、測定用 試料とした。

測定に使用したマイクロX線CT(高分解能3DX線顕微鏡 nano 3DX(リガク))の外観を図1に示す。



図1 マイクロ X線 CT 外観

X線源には有機物の材料の違いを見分けるのに適 したCuターゲットを使用した。その他の測定条件を以 下に示す。

レンズ:測定視野 0.906mm × 0.680mm 画素サイズ: 0.81 μm/voxel 撮影枚数: 600 枚 照射時間: 12sec/ 枚 1試料の測定時間 2時間 14 分

3 結果および考察

試料の CT 画像を図2に示す。CT 画像上ではX線 透過率が低い部位ほど輝度が高く(明るく)表示され る。密度が高いものほどX線透過率が低くなる傾向が あるため、比較的低密度な PP 基材が暗く、高密度な セルロース繊維が明るく観察されることとなる。画素サ イズ以下の大きさの繊維の分布は評価できないが、画 像上で確認できる範囲のセルロース繊維は PP 樹脂中 で凝集を生じずに良好に分散していることが確認でき た。また、観察された繊維は、ペレットの押出し方向 に配向していることがわかった。



図2 作製した PP/CNF 複合材の CT 像

4 まとめ

本研究で作製したPP/CNF 複合材のペレットをX線 CT 測定により観察した結果、セルロースの繊維が PP 樹脂中で凝集を生じずに良好に分散していることが確 認できた。また、観察された繊維は、ペレットの押出 し方向に配向していることがわかった。

今後は、観察したセルロース繊維を定量し、微細化 の程度を評価する手法の検討等を行い、PP/CNF 複 合材の開発に活用していく予定である。

【ノート】

計測・センシング技術の動物繁殖現場への応用展開(第1報)

| 機械電子科 | 井出達樹 | 齊藤将人 | 真野 毅 |
|-----------------|-------|------|------|
| 静岡県畜産技術研究所 | 小熊亜津子 | 瀬戸隆弘 | 齋藤美英 |
| 株式会社メディカルプロジェクト | 小林信明 | 一言貴則 | |

Application development of measurement-sensing technology for animal breeding site (1st Report)

IDE Tatsuki, SAITO Masato, MANO Tsuyoshi, OGUMA Atsuko, SETO Takahiro, SAITO Yoshihide, KOBAYASHI Nobuaki and HITOKOTO Takanori

キーワード:牛、分娩、無拘束、検知、深層学習

1 はじめに

我々がこれまでに開発・製品化した非侵襲・無拘束 の介護用見守りシステム¹⁻³⁾は、人ばかりでなく、動物 への適用が可能である。家畜、競走馬、ペット、動物 園等の動物を扱う繁殖現場では、昼夜の継続勤務とな り労働負担が大きく、出産は高いリスクを伴い、失敗す ると経済的損失も大きい。上記の問題を解決するため、 牛の分娩検知技術の開発に取り組んできた中で^{2,3}、 様々な繁殖環境に適応できる陣痛報知システムの構 築が必要であることがわかった。そこで、これまでの実 証試験環境(分娩房)とは異なる繁殖環境にも対応で きるシステムができるか検討した。また、導入・普及を 容易とするため、リーズナブルなシステムとなるよう、セ ンサマットを開発した。

2 方法

2.1 つなぎ飼いでの実証試験環境の整備

一般的に、分娩房を所有する酪農家は少なく、つな ぎ飼い(ストール)環境で分娩させることが多い。この ため、ストール環境でのシステム構築は汎用性の視点 から重要である。そこで、ストール用のセンサシートの 開発を行った(図1)。牛分娩房で使用していたセンサ マットと比較すると、設置が容易で、低コスト化(30万 円→2~3万円)が期待できる。開発したセンサシート を用いて、ストールでの実証試験環境の整備を行った (図2)。



図1 分娩房のセンサマット(左)とストール用に 改良したセンサシート(右)の構造



図2 試作した牛分娩検知システムの実証試験環境

2.2 深層学習を用いた牛分娩検知方法の検討

今年度までに取得した分娩房での牛分娩データ31 頭分(40秒×約30,000)についてラベリングを行い、 「いきみ」とそれ以外の動作に分類した。分類したデー タから使用するデータを選別した後、データの80%を作 成した CNN モデルに入れて学習を行った(図3)。そ の後、残りの20%のデータを用いてモデルの評価を 行った。



3 結果および考察

2.2 で作成したモデルについて評価を行った結果、 98%以上の正解率が得られ、誤検知(FP:空振り)、 失検知(FN:見逃し)も少なかった(表1)。昨年度 まで検討していたクロス点判定の場合、適合率、再現 率、F値が80%以下であったことと比較しても、CNNは 良好な結果を示していることが分かる。

表1 学習した CNN モデルにテストデータを適用 した結果

| | _ | CNN モデルの予測結果 | | | |
|--------------------------------|-----------------------------|---------------|------------------------|--|--|
| | | 「いきみ」と判定 | 「いきみでない」と判定 | | |
| 宇厳の八編仕用 | 実際に「いきみ」 | 807(TP:正解) | 8(FN:見逃し) | | |
| 美际の万規結果 | 実際に「いきみでない」 | 12(FP:空振り) | 812(TN:正解) | | |
| , 王柳志 (今王報 | ア (今 二 · カ) = (TTD + TT) | | NI) - 0.000 | | |
| ・ 止 解 平 (主 止 脾 | ∉/ 主アータ) = (IP+II | N/(TP+FP+TN+F | N = 0.988 | | |
| 適合率(「いき) | み」と判定し正解/「レ | いきみ」と判定) | = (TP)/(TP+FP) = 0.985 | | |
| ・再現率(「いき」) | み」と判定し正解/実際 | ミに「いきみ」) = | (TP)/(TP+FN) = 0.990 | | |

・F値(適合率と再現率の調和平均) = (2*TP)/(2*TP+FN+FP) = 0.988

CNN は汎化性能が高く、実証データを増やすことで モデルの性能のさらなる向上が見込める。今後のストー ルでの実証試験において、今回学習したモデルに対し て転移学習を行うことで、システムの最適化にかかる時間の短縮や性能の向上が期待できる。

4 まとめ

つなぎ飼い環境への適用によりシステムの汎用性が 向上し、低コスト化も実現できる。今後、つなぎ飼い環 境で実証データの収集を行い、システムの評価を行う 予定である。CNNによるパターン認識は汎用性が高く、 牛以外の動物や医療分野等へ応用できる。

参考文献

- 中山洋他:無拘束見守りセンサシステムの開発 (第3報),静岡県工業技術研究所研究報告,第9号, 71-74 (2017).
- 2)中山洋他:牛の分娩検知システムの開発(第1 報),静岡県工業技術研究所研究報告,第11号,95-98 (2018).
- 3)中山洋他:牛の分娩検知システムの開発(第2 報),静岡県工業技術研究所研究報告,第12号,91-93 (2019).

REPORTS

OF THE INDUSTRIAL RESEARCH INSTITUTE OF SHIZUOKA PREFECTURE HAMAMATSU TECHNICAL SUPPORT CENTER

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 TECHNICAL SUPPORT CENTER

1-3-3 Shinmiyakoda, Kita-ku, Hamamatsu city, Shizuoka, 431-2103 Japan

共焦点顕微鏡と触針式測定機で測定した表面粗さの等価性評価

光科 中野雅晴

Equivalence evaluation of surface roughness measured with a confocal microscope and a stylus instrument

NAKANO Masaharu

Surface roughness parameters (Ra, Rz, Rdq, and RSm) measured with a confocal microscope were compared with those measured with a contact stylus instrument. Non-directional and non-periodic surface roughness samples were measured. Height parameters (Ra, Rz) and a horizontal parameter (RSm) were equivalent without depending on the instruments. Rdq, which denoted a surface gradient, was measured with both instruments and corresponded only when below 19 degrees. The accuracy of confocal measurement with a 20x objective lens (NA0.75), which enabled the measurement of a large area at once, was also evaluated, and we confirmed that Ra parameter was equal to that measured using a 50x objective lens with high NA of 0.95.

Keywords: Surface roughness, non-contact, confocal microscope, stylus instrument キーワード:表面粗さ、非接触、共焦点顕微鏡、触針式表面粗さ測定機

1 はじめに

表面粗さ測定は、微細な表面凹凸の幾何学的な特 徴を定量的に測定することができ、表面の機能性評価 に用いられている。例えば、接触させずに単独で使 用する表面の機能性には、光沢や質感などの外観 や、光学特性、ぬれ性などがある。また、表面が接 触する用途での機能性には、密着性や摩擦特性など がある。

これまで、表面粗さ測定では、触針式の測定機が 使われてきた。触針式測定機は、触針で測定対象の 表面をなぞることで形状を測定する。評価方法は、 ISO/JIS 規格で定められており、信頼性が高い測定機 として、製造現場で広く使われている¹⁾。しかし、触針 式測定機は、触針を測定対象に接触させて測定する ため、軟質材や粘着材、または表面に傷をつけたく ない試料の測定には不向きであった。また、三次元 に面全体の表面凹凸を評価する場合、面内方向に対 しても触針を走査する必要があるため、測定時間がか かる。このため、短時間に三次元の表面粗さを測定 できる非接触式の測定機も活用されている²⁾。浜松工 業技術支援センターでは、非接触で三次元表面粗さ を測定できる共焦点顕微鏡を導入し、令和元年度に 地域の企業等に対して機器の供用を開始した。

本報告では、共焦点顕微鏡と触針式測定機で測定

した表面粗さの等価性を評価した結果について報告 する。

2 方法

2.1 共焦点顕微鏡による形状測定

図1に、共焦点顕微鏡による形状測定の概念図を示 す。光学系の特徴は、検出器前に配置したピンホール にある。点光源から発した光は、対物レンズを介して試 料に集光される。焦点にある物体からの反射光(実線) は、ピンホールを通過して光強度が検出される。一方、 焦点から光軸方向に外れた位置からの反射光(点線) は、ピンホールで遮断される。よって、集光点を走査 して、光を検出した位置の座標を繋ぎ合せれば、試料



図1 共焦点顕微鏡による形状測定の概念図

の三次元形状を測定できる³。面で測定できることから、 狙った場所の表面粗さを測定する場合にも有用であ る。また、観察面において、焦点の位置以外から反射 して戻ってきた迷光が、ピンホールによって遮断される ため、高いコントラストの観察像が得られることも特長で ある。

測定に用いる対物レンズは、開口数(NA)が高い ほど集光点が小さくなるため、面内および高さ方向の空 間分解能が高くなる。また、NA が高い対物レンズの方 が、広角で反射光を収集することができるため、粗面 などの急な斜面を有する試料の形状測定にも優位で ある。共焦点顕微鏡は、高 NA の対物レンズを使える ことも特長である。

共焦点顕微鏡 OPTELICS HYBRID L7 (レーザー テック(㈱製) で、表面の凹凸形状を測定し、断面プロ ファイルから表面粗さを解析した。対物レンズは、高分 解能で測定できる 50 倍レンズ (NA0.95) を用いた。 50 倍レンズは、本共焦点顕微鏡の中で最も高い NA を 有しており、広角で反射光を検出できる。しかし、レン ズで収集できない方向に反射するような、凹凸に大きな 角度成分を有する試料では、検出できる光量が減少す るため、正確な形状測定が困難になる。そこで、測定 限界を知るために、凹凸が大きい試料に対する表面粗 さ測定の比較も行った。

また、一度に広い領域を測定できる 20 倍レンズ (NA0.75) でも測定し、精度を比較した。

2.2 試料

3種類の加工法(ショットブラスト、グリットブラスト、放 電加工)で作製された、表面粗さが異なる複数の比較 見本板(Rubert 社、日本金属電鋳社製)を試料とし て用いた。これらの試料は、一般的な測定対象と同様 に、表面凹凸が様々な角度成分を持ち、方向性のな い非周期的なテクスチャを有する。共焦点顕微鏡で測 定した試料表面の輝度画像と点線部における断面形 状を、図2に示す。ショットブラストとグリットブラストの試 料は、それぞれ、球形の粒、鋭角の粒が衝突して作ら れた形状をしている。放電加工の試料は、溶かされて 形成された表面形状をしている。



図2 試料表面の光学像(左)と断面プロファイル(右) 試料表面の加工法は、(a)ショットブラスト、(b) グリットブラスト、(c)放電加工である。

2.3 評価条件

表面粗さ測定において、基準長さや、フィルタのカットオフ値といった評価条件は、JIS B 0633:2001とJIS B 0651:2001の規格を参考にして決定した¹⁾。共焦点顕微鏡での測定では、1視野で基準長さを測定できないため、複数の視野をつなぎ合せるスティッチング処理により表面形状を取得した(最大で横方向に30 画像を連結)。測定値とばらつきは、基準長さの測定を9箇所で行い、平均値を測定値とし、標準偏差を測定ばらつきとした。測定ばらつきの要因には、機器の測定精度と、表面形状の均一性が含まれている。触針式での測定では、基準長さの5倍を評価長さとした測定を5箇所で行い、測定値の平均値と標準偏差を評価した。

3 結果および考察

3.1 共焦点顕微鏡と触針式測定機の測定値比較

共焦点顕微鏡(50倍対物レンズ)と触針式測定機 フォームタリサーフ i-Series 2 (AMETEK 社製)で測定 した粗さパラメータ (JIS B 0601:2013)⁴⁾を比較した。図 3に、凹凸の高さ方向成分を表すパラメータである、算 術平均粗さRaと最大高さ粗さRzについて測定した結 果を示す。RaとRzは、両機器で測定した値が等しい ことを表す直線(点線)に測定値が集まっている。こ れは、測定原理が異なる機器で表面粗さを測定した場 合、基準長さやフィルタのカットオフ値などの評価条件 を統一すれば、等価な測定値が得られる旨を示した報 告と同様な結果である^{5,6}。また、表面加工法による測 定精度の違いは、ほとんど見られない。測定ばらつき は、触針式測定機の方が小さく、信頼性が高い。触針 式測定機でも測定値が大きくなると測定ばらつきが増 加しているのは、表面形状の均一性に依存するところ が大きい。 次に、凹凸の傾斜角(水平が0度)を表す粗さ曲線 の二乗平均平方根傾斜 Rdqを比較した。図4に示すよ うに、Rdqが19度以下では両機器の測定値はよく一致 している。しかし、19度以上では顕著な差が見られ、 共焦点顕微鏡の方が大きな測定値となり、測定ばらつ きが多かった。そこで、傾斜角の平均値だけでなく、粗 さ曲線の傾斜分布についても解析した。図5(a)に示す ように、Rdq=8.6度の試料では、粗さ曲線の傾斜分布 が両機器でよく一致している。しかし、Rdq=23.8度の 試料では、傾斜が大きい領域で傾斜分布に違いが生 じている。共焦点顕微鏡の方が、傾斜分布の裾野が広 がっており、Rdqが大きい値を示す結果になった。傾 斜分布の違いは、両機器における測定原理の違いに 起因していると推察する。



(b)

図3 高さ方向の粗さパラメータ

粗さパラメータは、(a) 算術平均粗さRa、(b)最大高さ粗 さRzである。△:ショットブラスト、○:グリットブラスト、 □:放電加工。



図4 粗さ曲線の二乗平均平方根傾斜 Rdq △:ショットブラスト、○:グリットブラスト、□:放電加工。



図5 粗さ曲線の傾斜分布

傾斜tan θは、測定点間距離に対する高さ変化量の比率 (JIS B 0601:2013で定義されている局部傾斜とは計算方法が異なる)を表す。黒色は共焦点顕微鏡、灰色は触針式測定機での測定結果である。触針式測定機で測定したRdqは、(a) 8.6度、(b) 23.8度である。グリットブラストで作製した試料で比較した。

図6に、凹凸の横方向成分を表すパラメータである粗 さ曲線要素の平均長さRSmの測定結果を示す。両機 器のRSm測定値は、大部分の試料において、よく一 致した。しかし、RSmが200µm以上において、明らか に共焦点顕微鏡の方が小さい測定値となった試料が2 つ確認された。これらの試料のRaは20µm程度であっ た。他の試料と比べて凹凸が大きいため、形状測定の 正確さに問題があると考えた。しかし、粗さ曲線からは、 要因となるような顕著なノイズ成分を確認することがで きなかった。



触針式測定機 [µm]



3.2 広視野対物レンズでの共焦点式粗さ計測

共焦点顕微鏡では、NA が高い対物レンズの方が高 精度に形状を測定できる。しかし、一般的に NA が高 くなると視野が狭くなるため、広い領域を測定しようとす ると、形状データを連結させるスティッチング計測が必 要になり測定時間が増加する。よって、表面粗さ測定 において、測定精度に支障がなければ、可能な限り低 倍率の対物レンズを使った方が実用的である。そこで、 NA0.95 の 50 倍対物レンズ(視野 0.3mm 角)と、NA0.75 の 20 倍対物レンズ(視野 0.75mm 角)を用いて、表 面粗さ測定における精度を比較した。

図7に、2つの対物レンズで表面形状を測定した結 果を示す。断面プロファイルを比べると、20 倍対物レ ンズの方が、ノイズが多く正確さで劣っている。しかし、 表面粗さ測定では、この断面プロファイルに波長帯域 を制限する周波数フィルタを適用して、粗さパラメータ を算出するため、ノイズの影響は軽減する¹⁾。

図8に、各粗さパラメータを比較した結果を示す。



図7 各対物レンズにおける共焦点形状測定 (a) 50倍対物レンズ-NA0.95、(b) 20倍対物レンズ-NA0.75。



図8 各対物レンズにおける粗さパラメータの測定値 各対物レンズ(○:50倍、●:20倍)を用いた共焦点 式計測の測定値を触針式の結果と比較した。粗さパラ メータは、(a) Ra、(b) Rz、(c) Rdq、(d) RSm である。グ リットブラストで作製した試料を用いた。

Ra は、20 倍対物レンズでも高精度な測定が可能であることが分かった。Rz と Rdq、および RSm は、20 倍対物レンズで測定すると、触針式測定機との差が広がる傾向にあった。特に Rdq については、50 倍対物レンズとの差が顕著であり、20 倍対物レンズでは低い角度でも測定ばらつきが大きかった。これは、レンズの NA に起因しており、低 NA のレンズでは、三次元的な空間分解能が低下することと、レンズで収集できる光量が

減少することにより、正確な形状測定ができないためだ と推察する。

4 まとめ

測定原理の異なる共焦点顕微鏡と触針式測定機で 表面粗さを測定し、測定値の等価性を評価した。

- (1) 高さ方向のパラメータである Ra (=0.3 ~ 20 µm) とRz (= 3~ 113 µm)は、両機器での測定値が よく一致した。共焦点顕微鏡では、横方向に最 大 30 枚の測定結果をスティッチングしたが、顕著 な精度低下は見られなかった。
- (2) 傾斜を表すパラメータである Rdq は、3~19度 で両機器の測定における等価性は高かった。し かし、19度以上では、共焦点顕微鏡の方が大き い測定値を示した。
- (3) 横方向のパラメータである RSm (=34 ~ 319µm)
 は、Ra が大きい2つの試料 (Ra=20µm 程度)を
 除いた大部分で、高い等価性が見られた。
- (4) 共焦点顕微鏡において、一度に広い面積を測定 できる 20 倍対物レンズは、Ra の測定で有用であ る。しかし、Rz、Rdq、および RSm の評価では、 触針式測定機での測定結果と顕著な差が見られ た。これらの測定では、より NA が高い 50 倍対 物レンズを用いたほうがよい。

本報告では、JIS 規格に沿って触針式測定機に適し た波長帯域制限フィルタを、共焦点顕微鏡での測定に も適用して表面粗さを解析した。共焦点顕微鏡の集光 点半径はサブµmであり、触針先端半径2µmより小さ い。このため、フィルタ値を最適化すれば、共焦点顕 微鏡は触針式で測定できない短い波長成分の粗さ解 析も可能である。一方で、集光点と同程度な波長の凹 凸形状を測定した場合、実際の振幅よりも大きな異常 値が出現することが報告されている^{5,6)}。異常値の大きさ は、共焦点顕微鏡の機種ごとに違うことが想定されるた め、各機種で最適なフィルタ値を探索する必要がある。

非接触での三次元表面粗さ測定は、最初に例を述 べた表面の機能性を向上させる技術開発において、今 後いっそう必要とされるであろう。その評価ツールとし て、当センターに整備した共焦点顕微鏡が活用される ことを期待する。

参考文献

- 吉田一朗:表面粗さ―その測定法と規格に関して
 しての精密加工.精密工学会誌,78(4),301-304 (2012).
- 2) 佐藤敦:非接触による三次元表面性状の測定の現 状-三次元規格の意義とものづくりへの活用-はじ めての精密加工.精密工学会誌,81(10),922-925 (2015).
- 3) 阿部勝行:特集 裾野が広がる共焦点顕微鏡 総
 論:共焦点顕微鏡の概要. O plus E, 31(6), pp.636-639 (2009).
- 4) JIS B 0601:2013 製品の幾何特性仕様 (GPS) -表面性状:輪郭曲線方式—用語,定義及び表面 性状パラメータ.財団法人 日本規格協会.
- 5) 藤井章弘 他:特集 裾野が広がる共焦点顕微鏡 3D 測定レーザー顕微鏡 OLS4000 による3D 表面性 状計測. O plus E, 31(6), pp.640-644 (2009).
- 6) 小松利安他:表面粗さの測定方法による比較評価(第2報). 山梨県工業技術センター研究報告書, 第31号, 51-55 (2017).

透明プラスチック COP のレーザー溶着

 光科
 小松 剛* 驚坂芳弘 植田浩安

 鈴木電機工業株式会社
 柳沢 靖 松浦康典

Laser welding of transparent plastic COP

KOMATSU Takeshi, SAGISAKA Yoshihiro, UETA Hiroyasu, YANAGISAWA Yasushi and MATSUURA Yasunori

Laser welding is one of the methods for joining materials, and near-infrared (NIR) lasers with a wavelength of around 1 µm are widely used for plastics. However, transparent plastics hardly absorb rays with a wavelength of around 1 µm, so that some preprocess to enhance absorption, e.g. NIR absorbing coatings or surface roughening, are required. Recently, a Tm fiber laser with a wavelength of around 2 µm, which many kinds of transparent plastics moderately absorb, has been put to practical use for material processing. We applied the Tm fiber laser to an operation welding together two plates of Cyclo Olefin Polymer (COP), which is classified into a super-engineering-plastic and is hard to glue together, and confirmed the successful joining. In contrast, the welding between a COP plate and other transparent plastic plates (polymethyl methacrylate, polyvinyl chloride and polycarbonate) did not succeed. An analysis of the experimental results showed that faster laser scanning speed could reduce the required heat input per unit area, whereas higher laser power was required. In the case of joining together 3 mm thick COPs, more than 2 J/mm² of heat input is required, so that 5 mm/s of scanning speed and 30 W of laser power are to be standard conditions for stable welding.

Keywords: Transparent plastic, COP, Laser welding, 2µm キーワード:透明プラスチック、COP、レーザー溶着、2µm

1 はじめに

自動車部品、光学部品、医療用器具等の材料で使われてきたガラスが、透明プラスチックに切り替わってきている。透明プラスチックの透明性・耐熱性・耐薬品性が向上してきたことで、コスト・使いやすさ・軽量性・成形加工性・耐衝撃性のメリットを活かすことができるようになったことが背景にある。

プラスチックの接合方法のひとつにレーザー溶着が あり、特に自動車部品の分野において、コストダウンや 車両軽量化に役立っている¹⁾。また、化学反応の危険 がある接着剤を使用しないこと、プラスチックの表面を 傷つけずバリや粉塵の発生が少ないこと等の利点によ り、医療分野でも広範な普及が期待されている。

しかし、高出力レーザーとして一般的な YAG レー ザーや半導体レーザー等の近赤外光 (波長1µm 前後) は、透明プラスチックを透過してしまうため溶着は簡単で はない。溶着させるためには、接合面に光吸収剤を塗 布したり、接合面を機械的に粗したりする等の前処理が 必要となっていた²⁰。

近年、実用化された波長2μm帯のツリウム(Tm) レーザーの光は、透明プラスチックでも適度な吸収があ るため、前処理なしでも透明プラスチック同士の溶着が 可能である³⁾。

シクロオレフィンポリマー (COP) は、透明プラスチッ クの中でも特に、高透明性、低光学歪み、低吸湿変 形、耐熱性、成形加工性に優れた材料で、光学部品 や医療部品に広く利用されているが、接着剤での接合 が難しい材料でもある⁴⁾。

本報では、付加価値の高いスーパーエンジニアリン グプラスチックに分類される COP のレーザー溶着の接 合条件について報告する。

*現 工業技術研究所 ユニバーサルデザイン科

2 方法

2.1 透明プラスチックの吸収率測定

COP の光吸収率を調べるために、自記分光光度計 (UV-3150 島津製作所)を使用して、波長 0.4 ~ 2.2 µmの光学特性(透過率と反射率)を測定した。比較 用の透明プラスチックとして、同じ非結晶性の熱可塑性 プラスチックに分類されるアクリル(PMMA)、塩化ビ ニール(PVC)、ポリカーボネート(PC)の測定も行っ た。それぞれ厚さ3mmの板材を使用した。

2.2 溶着(接合適合性)

波長 1.94 µm、最大出力 120W の Tm ファイバーレー ザー装置(Lavertex SV-120F:鈴木電機工業製)(写 真 1)を使用して、透明プラスチック同士の重ね溶着を 試みた。レーザー溶着の実験系を写真2に示す。レー



写真1 Tmファイバーレーザー装置



写真2 レーザー溶着の実験系

ザーヘッドを固定して、重ねた試料の板面垂直方向から、平行光のレーザーを照射して、試料を電動ステージで走査することで、直線状に溶着した試験片を作製した。

2枚の試料は、間に隙間ができないように、エアシリ ンダーにより 0.4MPa で加圧して密着させた。スリット(2 mm × 22 mm) に通してレーザー照射することで、照射 エリアが一定になるようにした。

走査速度は2~5mm/s、レーザーパワーは10~ 15Wの範囲で実験を行い、PMMA、PVC、PC、COPの材料で、2種類の組み合わせによるそれぞれの溶着 適合性を調査した。

2.3 レーザー照射条件と溶着強度

COP 同士の溶着について、1~10mm/sの走査速 度において、溶着可能なレーザーパワーを調査した。 幅2mmのスリットを透過後のレーザーパワーは、通過 前と比較して約44%に減衰したので、実際に入射され るパワーの範囲を2~52Wで1Wずつ可変しながら実 験をした。

また、重ね合わせ溶着した試験片を用いて、せん断 試験を行い溶着強度を評価した。

3 結果および考察

3.1 透明プラスチックの吸収率測定

各プラスチック(板厚3mm)について、測定した透 過率と反射率から算出した吸収率を図1に示す。 PMMAとPCの吸収率は、ほぼ同じ特性であり、PVC とCOPはそれらとは違う特性を持っていた。



波長 1.94 µm の光吸収率を表1に示す。半導体レー ザーや YAG レーザーの波長1µm 帯の光吸収率は、表 のすべてのプラスチックで 5%以下であるのに対し、Tm レーザーの波長2µm 帯の光吸収率は、PMMA 54.3%、 PC 50.1%、PVC 33.0%、COP 55.3% であり、透明プラス チック内部でも光エネルギーが吸収されて発熱できるこ とを確認できた。

表1 レーザー光(1µm帯と2µm帯)の光吸収率

| | | 光吸収 | 率(%) | |
|-------------------|------|------|------|------|
| レーザーの種類 (波長) | PMMA | PVC | PC | COP |
| 半導体レーザー (0.808µm) | 0.0 | 4.7 | 0.0 | 3.7 |
| 半導体レーザー (0.940µm) | 0.4 | 4.8 | 0.0 | 4.8 |
| YAGレーザー (1.064µm) | 0.5 | 4.0 | 0.0 | 3.7 |
| Tmレーザー (1.94µm) | 54.3 | 33.0 | 50.1 | 55.3 |

3.2 溶着(接合適合性)

試験片の形状を写真3に示す。プラスチック内部で の発熱が適切となる条件でレーザーを照射すると、溶 着部はきれいな状態で強固に接合できた。2種類の透 明プラスチック同士の組み合わせによる溶着適合性を 調査した結果を表2に示す。同種材料同士の場合は、 接合界面付近で溶融させることができるので比較的溶 着しやすいが、異種材料の場合は、溶融しやすさが違



写真3 試験片の形状

| 表2 透明フラスチック同士の浴着適台 |
|--------------------|
|--------------------|

| | PMMA | PVC | PC | СОР |
|------|------|-------|------|------|
| PMMA | Ø | | | |
| PVC | 0 | Ø | | |
| PC | 0 | 0 | Ø | |
| СОР | × | × | × | Ø |
| | (| 〕:最適, | 〇:適, | X:不可 |

うため、溶着する組み合わせと、しない組み合わせが あった。PMMA、PVC、PCは、お互いに溶着が可能 だが、COPは同一素材同士でないと溶着が難しいこと が分かった。

COP の2 μ m 帯の光吸収率は 55%以上あり、他の透 明プラスチックと比較しても十分な大きさである。溶融温 度は、COP が 100 ~ 163°Cであるのに対して、PMMA は 90 ~ 105°C、PVC は 75 ~ 105°C、PC は 150°Cで ある^{4,5)}。COP の溶融温度は、PMMA と PVC と比較す ると高めだが、同程度の PC が、PMMA と PVC と溶着 したことから、結晶化度や化学反応のしやすさの違い が、溶着の可否に関係していると考えられる。

3.3 レーザー照射条件と溶着強度

溶着条件として、走査速度とレーザーパワーの関係 で、溶着可能な領域を図2に示す。簡単に剥がれず、 気泡が発生していない条件の範囲を溶着可能領域と した。例えば走査速度2mm/sの場合、レーザーパワー が10Wから溶着でき、24Wでは溶着部分に気泡が発 生し始めた(写真4)。レーザーパワーが少ないと試料 同士の界面まで加熱することができないため接合せ ず、多すぎると溶融部に光学歪や気泡が発生して外観 を損ねる。また気泡が大量に発生してしまうと、接合強 度も低下していく⁶⁾。

同じ走査速度の場合、溶着可領域でも、レーザーパ ワーは大きい条件のほうが強度は得やすい。ただし レーザーパワーが大きく気泡が発生する直前の条件で は、光学歪が発生するため、実際には中間付近のパ ワーが適していると考えられる。



レーザーパワーを、溶着速度とスポット径で割ること で、単位面積あたりの入熱量を求めることができる。縦



写真4 溶着部の様子(走査速度:2mm/s) (レーザーパワー:10Wと24W)

軸を、入熱量に変換したグラフを図3に示す。図2と図 3から、溶着条件として、走査速度を速くするほど、大 きなレーザーパワーが必要になるが、単位面積あたりの 入熱量は少なくてよいことが確認できる。板厚3mm 同 士の溶着に必要な入熱量は、最低2J/mm²程度であっ た。走査速度が遅くなるに従い、溶着以外で消費され ているエネルギーが多くなるため、それ以上の入熱量 が必要になっている。



重ね合わせ溶着した試料について、材料強度試験 機 AUTOGRAPH AG-XPlus 50kN(島津製作所製)(写 真5)を使用して引張試験を行った。破断した試験力 と、破断面の光学顕微鏡像から推定した溶着面積か ら、せん断強度を算出した。

例として、表3の溶着条件①、②、③(N=5)で作 製した試料のせん断強度を評価する。この3条件は、 走査速度が3、5、8 mm/s における溶着可能領域で、



写真5 材料強度試験の様子

表3 せん断強度試験用試料の溶着条件 (N=5)

| 条件 | 1 | 2 | 3 |
|--------------------------|-----|-----|-----|
| 走査速度 (mm/s) | 3 | 5 | 8 |
| 出力 (W) | 20 | 30 | 40 |
| 入熱量 (J/mm ²) | 3.3 | 3.0 | 2.5 |

レーザーパワーの中間付近になる 20、30、40W を選 んだ。それぞれ、入熱量としては 3.3、3.0、2.5 J/ mm²となる。外観的にはすべて同等に綺麗に溶着で きていた。

せん断強さの試験結果を図4に示す。強度試験の平 均値はそれぞれ48、47、66MPaだった。素材強度の 測定値62MPaと比較して、すべて75%以上であり十 分な接合強度だと言える。条件③の試料は、条件①、 ②よりも入熱量は少ないにも関わらず接合強度は強く、 素材以上の強度になる溶着もあった。



試料によるばらつきを見ると、条件①、③は大きい が、条件②は小さかった。安定した溶着には、適切な 速度があることが分かった。

4 まとめ

透明プラスチックの COP は、高透明性、低光学 み、低吸湿変形、耐熱性、成形加工性において、特 に優れた材料であり、光学部品や医療部品に広く利用 されている。接着剤で接合しにくい材料であるため、 レーザー溶着に期待が大きい。

波長2µm 帯の光吸収率が適度に高いため、この波 長の Tm レーザーを使用すれば、COP 同士を比較的 簡単に強固な溶着することが可能である。ただし、溶 融温度が高めであり、化学的に安定した材料であること から、異種の透明プラスチックと溶着することは難しい。

溶着条件として、走査速度を速くするほど、大きな レーザーパワーが必要になるが、単位面積あたりの入 熱量は少なくてよく、板厚3mm同士の溶着に最低必要 な入熱量は2J/mm²程度であった。安定した溶着を行 うためには、適切な走査速度とレーザーパワーの組み 合わせが必要であり、走査速度5mm/s、レーザーパ ワー 30Wの条件がひとつの目安になる。

参考文献

- 山下達人:樹脂と樹脂のレーザー接合技術.精密 工学会誌 84(5),423-426(2018).
- 2) 早川伸哉:金属と樹脂のレーザ接合における表面処理と接合強度.表面技術67(12), pp.649-653(2016).
- 山下清光: 2μm レーザーによる透明プラスチックの 溶着事例. 静岡県工業技術研究所研究報告 11, 111-116(2017).
- 4)桑嶋健一:光学用透明プラスチックの製品開発プロセスとマネジメントー日本ゼノン「ゼオネックス」一.
 赤門マネジメント・レビュー 4,9,459-478(2005).
- 5) 山口章三郎:新版プラスチック材料選択のポイント 第2版, pp.437-441(2003).
- 6)中野雅晴他:屈折率分布による透明樹脂製品の 品質評価.静岡県工業技術研究所研究報告10,69-70(2018).

EMC 試験機器の日常点検法の確立による信頼性向上

一静電気試験及び車載機器の伝導エミッション一電流プローブ法の日常点検法 --

機械電子科 山田浩文 上野貴康

Establishment of daily check methods for electromagnetic compatibility test equipment for reliability improvement

Electrostatic discharge test and conducted emission test for automobile modules
 Daily check methods for current probe method —

YAMADA Hirofumi and UENO Takayasu

Daily check methods of electromagnetic compatibility test equipment have been developed to improve reliability. This report describes the daily check methods for electrostatic discharge test and conducted emission test for automobile modules using the current probe method. Through the daily checks, defects in systems, such as attenuator burnout or poor connector contact, have been found.

Keywords : electromagnetic compatibility, EMC, electrostatic discharge and Current probe method キーワード: 電磁環境両立性、EMC、静電気試験、電流プローブ法

1 はじめに

当センターでは、既存の民生機器用電波暗室の他 に、新たに車載機器 EMC テストサイトを整備し、EMC 試験機器を導入・運用している。これらは、定期的に 点検・校正を行っているが、校正後、次の校正までの 期間は機器の性能管理が十分ではないのが現状で あった。我々は、民生・車載電子機器用 EMC 試験機 器の日常点検の方法を確立して、機器の測定値の信 頼性の向上を図り、利用者へのサービスの向上を実現 に努めている。ここでは静電気試験と電流プローブ法 による車載機器の伝導エミッション試験の日常点検法 について報告する。

2 方法

2.1 静電気試験

静電気試験は民生機器については国際規格 IEC61000-4-2:2008¹¹で、車載機器については国際規 格 ISO10605:2014²¹や JASO D001-94³¹の他、自動車 メーカ各社の社内規格などで規定されている。写真1に ISO10605:2014 に従った静電気試験の配置例につい て示す。民生機器で卓上にて使用されるものや車載部 品などは、厚さや材質などが規格で規定されている絶



写真1 静電気試験の配置例 a: 放電ガン、b: リターンケーブル、c: 試験する製品や 部品、d: 水平結合板、e 静電気試験機

縁シートを介して水平結合版と呼ばれる金属張りの机 の上に置く。この試験は、製品に対して放電ガンを介 して静電気放電を模擬した高電圧を与えたとき、製品 が誤動作したり破壊したりしないかを確かめる試験であ る。放電ガンのリターンケーブルを取り付ける位置は、 規格によって水平結合版に取り付ける場合と、床のグラ ンド面に取り付ける場合があるので注意が必要であ る。また、水平結合板は、規格により、床のグランド面 に直接アースする場合と2つの470kΩ抵抗を介して アースする場合があるので注意が必要である。また、静 電気試験の放電波形は、規格により放電時の電流波 形で規定されている。

我々は、これらのことを踏まえて、日常点検項目とし て放電電流波形を確認することと、水平結合板と床 アース間の抵抗値を測定することなどを定めている。抵 抗値も測定するのは、放電ガンのリターンケーブルと静 電気試験機の保護接地や、試験品の電源回路のアー ス接地などを介して水平結合板を意図せずに直接接 地してしまう場合があるからである。試験品の配置後、 試験前に水平結合板と床アース間の抵抗値を測定し ておけば、このようなミスを防ぐことができる。

写真2に、静電気試験機の放電電流波形の確認の 方法を示す。放電ガンは1,200mm×1,200mmの基準 グランド板の中央に取り付けられた電流ターゲットに写 真のように取り付けられる。また、リターンケーブルも写 真のように基準グランド板に取り付けられる。電流ター



写真2 静電気試験の放電電流波形の確認 a: 放電ガン、b: リターンケーブル、c: 電流ターゲット、d: 基準グランド板(1,200mm×1,200mm)、e: 同軸ケーブル、 f: オシロスコープ

ゲットの中心に接触放電させると、放電電流はターゲット 内蔵の2Ωの抵抗を介して基準グランド板に流れ、そのときの抵抗端の電圧変化を26dBのアッテネータを介 した同軸ケーブルを通してオシロスコープにて観測す る(電流への変換係数は10A/V)。

図1に、放電電流波形の一例を示す。波形の確認 は、規格^{1,2)}などに基づき、規定のエネルギー蓄積コン デンサ、放電抵抗、試験電圧にて接触放電させたとき の、ピーク電流、ピークにいたる電流が10%から90% に立ち上がるのに要する時間(立ち上がり時間)、立ち 上がり始めから規定の時間後の放電電流が規定の値 に入っているかで判断する。例えば、エネルギー蓄積 コンデンサ150pF、放電抵抗330Ω、試験電圧15kV にて接触放電させた場合、放電電流のピークが56.25A ±10%、立ち上がり時間が0.7ns~1.0ns、立ち上がり 始めから30ns後の放電電流が30A ± 30%、60ns後の 放電電流が15A ± 30% であることを確認している。



図1 静電気試験機の放電波形の例

エネルギー蓄積コンデンサ150pF、放電抵抗330Ω、 試験電圧15kVにて接触放電 波形より、ピーク電流61.2A、電流立ち上がり時間 862.5ps、30ns後の電流34A、60ns後の電流16.4A

なお、電流ターゲット、アッテネータ及びケーブルから構成される測定系の挿入損失とDC 伝達抵抗は、 ネットワークアナライザやデジタルマルチメータと直流 電源などを用いて年に1回、その値を確認することとし ている。

2.2 電流プローブ法による車載機器の伝導エミッション 試験

電流プローブ法による車載機器の伝導エミッション 試験は国際規格 CISPR25:2016⁴の他、自動車メーカ 各社の社内規格などで規定されている。写真3に CISPR25:2016 に従った、電流プローブ法による伝導エ ミッション試験の配置例を示す。電流プローブ法は、試 験する装置につながるハーネスの規格で規定する位 置に電流プローブを取り付け、ハーネスを流れる高周 波電流を測定するものである。我々は日常点検用に図 2に示す電流プローブ用測定ジグを作製した。この測 定ジグを写真4のように、電流プローブに取り付け、 20dBのアッテネータを介して日常点検用発振器(コム ジェネレータ)に接続し、そのときの決められた周波数 の信号の強度を測定用受信器にて確認することにより、 日常点検を行っている。なお、自動車メーカで要求さ れる電圧プローブ法の日常点検では、電流プローブを 取り付ける代わりに、このジグの抵抗51Ωの両端を電 圧プローブでプロービングすることにより日常点検を 行っている。また、疑似回路網を用いた電圧法の場合 には、電流プローブ測定ジグの代わりに、疑似回路網 の校正ジグ(自作)を取り付けることにより日常点検を 行っている。



写真3 車載機器の伝導エミッションー電流プローブ 法の配置例

a: 試験する装置、b: 電流プローブ、c: ハーネス、d: 疑似回路網



図2 電流プローブ用測定ジグ



写真4 車載機器の伝導エミッション-電流法の 日常点検法

a: 電流プローブ、b: 電流プローブ用測定ジグ、c: アッ テネータ、d: 日常点検用発振器 (コムジェネレータ)

図3に日常点検用発振器の信号強度のスペクトルの 一例を示す。日常点検用発振器は図のようにある決 まった周波数の整数倍の周波数成分を持つ。日常点 検手順として、これらの周波数のうち、ある特定の周波 数(例えば、周波数帯域が30~300MHzのバイコニ カルアンテナでは、図4に示す40MHzの他、97.5MHz、 297.5MHz)を定めて信号強度を測定しており、その値 がある一定の値の範囲(標準偏差の2倍の値を基準 に日常点検手順で決めた範囲で、図4の場合では 69.75±1.0 dBµV)に入るかを確認している。







3 結果

これらの日常点検を行うことにより、静電気試験では、 水平結合板のグランド線の断線や放電抵抗の取り付け 不備、電源ライン回路による短絡などの不良を発見す ることができた。また、放射・伝導エミッションの日常点 検では、アッテネータの焼損、コネクタの接触不良、電 源アダプタの接触不良などの不良を発見することがで きた。

4 まとめ

民生・車載電子機器用 EMC 試験機器の日常点検 の方法を確立して、機器の測定値の信頼性の向上を図 り、利用者へのサービスの向上を実現に努めている。 日常点検の実施により、試験機器や試験設定の不良を 早急に見つけることができるようになった。

参考文献

- IEC61000-4-2:2008 Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-2: Testing and measurement techniques - Electrostatic discharge immunity test
- 2) ISO 10605: 2014 Road vehicles Test methods for electrical disturbances from electrostatic discharge
- 3) JASO D 001-94 自動車規格 自動車用電子機器の 環境試験方法通則
- 4) CISPR25: 2016 Vehicles, boats and internal combustion engines Radio disturbance characteristics -Limits and methods of measurement for the protection of on-board receivers

機械電子科 針幸達也 長津義之 岩澤 秀 渥美博安

Design of in-wheel motor housing and trial production using thermal simulation

HARIKO Tatsuya, NAGATSU Yoshiyuki, IWASAWA Shigeru and ATSUMI Hiroyasu

In recent years, automakers have been adopting lighter materials to address increasing weights due to tighter fuel economy regulations and the use of large capacity batteries in electric vehicles. In order to use a new material for an automobile part, it is necessary to measure its behavior during the processing and use of the material or to predict it by computer simulation. In this report, an in-wheel motor housing was designed giving consideration to actual usage environments by using computer simulation. Design parameters of the computer simulation were optimized by means of the parameter design method in quality engineering. Heat dissipation of a trial in-wheel motor product was shown to have the same tendencies as the one in the simulation. It was found that the parameter design method was effective for designing in-wheel motors.

Keywords: Thermal deformation simulation, Quality engineering Parameter Design, In-wheel motor キーワード: 熱変形シミュレーション、品質工学、パラメータ設計、インホイールモーター

1 はじめに

近年、燃費規制の強化や次世代自動車における大 容量バッテリー搭載による重量増加に対応するため、 自動車メーカーは、軽量化素材の採用を進めている。 自動車部品に、新しい素材を使うためには、加工や使 用の際の挙動を、実測またはシミュレーションによって 予測することが必要である。

新製品の開発では、初めに設計したものが要求性能 を満たすか試作して評価を行う。評価が要求性能を満 たすものであれば生産し市場に出すこととなるが、1度 の試作で要求を満たすものができることはまれで、実際 には試作し評価した後、設計を手直しし再び試作、評 価を行う。このサイクルを要求性能を満たすまで繰り返 す。しかし試作には時間とコストがかかる。開発初期段 階でシミュレーションを用い、試作回数を減らすことが 開発の効率化に役立つと考えられる。

我々は、製品の使用時に発生する熱によるトラブル を防ぐことを目的とし、熱シミュレーションを用いた設計 法や熱変形によるひずみを精密に測定するシステムを 開発し、効率のよい開発プロセスの構築に取り組ん だ。本報告ではインホイールモーターのハウジングを対 象に実際の使用環境を考慮し、放熱性が高く、熱変形 しにくいハウジングの設計をシミュレーションを用いて 効率よく行った事例について報告する。

インホイールモーターは電気自動車に搭載される モーターの1種である。現在主流のオンボードタイプの モーターとは異なり、各タイヤのホイールの中にモー ターが格納されている。オンボードタイプのモーターに 比ベモーターが小型であること、それぞれのタイヤを独 立に駆動するため操舵性が良いなどのメリットがある。 インホイールモーターは地面に近い場所にモーターが あるため、砂塵や水などによりモーターが故障する可能 性がある。そのためインホイールモーターのハウジング には密閉性が必要である。さらに密閉性の高いハウジ ングの中に発熱するモーターが収納されているため、 ハウジング内部の空気温は上昇する。モーターに使用 される磁石はおよそ 373K から磁力が弱まり始め、423K を超えるとモーターとして機能しなくなる。またインホ イールモーターのハウジングには自動車の軽量化のた め、軽いアルミ合金が用いられるがアルミ合金は熱膨 張率が大きく熱変形しやすく、モーターが発する熱でハ ウジングが変形し、すき間が生じる可能性がある。その ためインホイールモーターのハウジングには密閉性と 放熱性が重要な要求項目となる。そこで本研究では放 熱性が高く、変形しにくいインホイールモーターのハウ ジングの形状をシミュレーションを用いて設計した。設 計パラメータの最適化には品質工学のパラメータ設計 の手法を用い設計の効率化を図った。さらに設計した
インホイールモーターハウジングモデルを試作し、シ ミュレーションの妥当性を検証した。

2 方法

2.1 インホイールモーターハウジングの設計

インホイールモーターハウジングの設計は以下の2 段階で行った。

① 放熱性の高いモデル作成のための熱流体シミュ レーションによるパラメータ設計

②熱変形の少ないモデル作成のための伝熱シミュレー ションによるパラメータ設計

モデルの作成、熱流体及び伝熱シミュレーションに は Solidworks を用いた。

次に①、②で求められた放熱性が高く熱変形の少ない モデルを実際に試作し、シミュレーションの結果の妥当 性を検証した。

①放熱性の高いモデルの作成

検討するインホイールモーターハウジングのモデル を図1に示す。アルミ合金製でモーターを収納する ケース部分と蓋部分で構成されている。内部にはモー ターを模した250Wで発熱するブロック状の発熱体を 配した。また蓋上部から風を吹き付けた。パラメータ設 計の実験計画¹⁾に基づきハウジング内部の空気の温度 を熱流体シミュレーションによって求めた。パラメータ設 計のための制御因子を図2、その水準を表1に示す。



図1 検討したインホイールモータハウジングモデル

放射率の水準は実際にアルミ合金を測定した値を用 いた。放射率 0.1 は塗装無し、0.3 は表面を白く塗装、 1.0 は黒く塗装したものである。パラメータ設計では評 価項目がばらつくように誤差因子を与えて実験を行い 誤差因子に対するロバスト性(誤差因子下でもばらつ きが少ない)を評価する。今回はハウジング内部の温



図2 最適化した制御因子

表1 熱流体シミュレーション用制御因子

| | | 1 | 2 | 3 |
|---|--------|-----|-----|-----|
| А | フィン/ピン | フィン | ピン | |
| В | | | | |
| С | フィン高さ | 5 | 15 | 30 |
| D | フィン幅 | 3 | 6 | 9 |
| Е | ベース厚さ | 5 | 7.5 | 10 |
| F | 壁の厚さ | 5 | 10 | 15 |
| G | 外側放射率 | 0.1 | 0.3 | 1.0 |
| Н | 内側放射率 | 0.1 | 0.3 | 1.0 |

単位 は mm

空欄にはパラメータを割り付けていない。直交表のB列は空き列とした。

度が低くなる条件(N1条件)と高くなる条件(N2条件)を誤差因子とした。N1条件は外気温が283K、風速が22.6m/s、N2条件は外気温が313K、風速が6.8m/sとした。風速は燃費計測に一般的に用いられるJC08モードで走行した場合の最高速度と平均速度である。

この制御因子と誤差因子をL18 直交表に割付けて シミュレーションによる実験を行い評価した。 ②熱変形の少ないモデルの作成

②素愛形の少ない モノルのTFD

 で求められたモデルを基に熱変形の少ない蓋部 分のモデルを伝熱シミュレーションによるパラメータ設 計によって求めた。評価項目は熱を加えた時の全体の 最大変位、ケース部との接合部の変位、中心部の穴の 内径の変位とした。パラメータ設計のための制御因子と その水準を表2に示す。誤差因子は①の実験と同様と した。パラメータ設計による実験には品質工学の考えを 取り入れた最適設計ソフト JIANT²⁾を用いた。 JIANT は 宇宙航空研究開発機構 (JAXA) で開発されたソフトで シミュレーションを行う CAE ソフトと連携して使用し、シ ミュレーションによるパラメータ設計のための実験計画 の作成、シミュレーションによる実験の自動実行、自動 解析を行うことができる。①の実験では熱流体シミュ レーションが JIANT との接続のための API (Application Programming Interface) に対応していなかったため IIANTを使用できなかったが、②の実験では伝熱シミュ レーションが API 対応であったので JAINT による自動 実験、自動解析を行った。最適条件の決定には従来 のパラメータ設計で用いられている要因効果図を用い た方法ではなく、JIANT のランキング機能を用いた。

2.2 シミュレーションの検証

シミュレーションによるパラメータ設計から得られた放 熱性が高く、熱変形が少ないモデルを実際に試作し、 検証した。得られた最適モデルを3Dプリンタによって 樹脂モデルに成型した(写真1)。次にこの樹脂モデル から砂型を作製し、AC4Cアルミ合金で鋳造した(写 真 2)。また同じ表面積のピンタイプのハウジング(写 真 3)も試作した。

検証のための実験装置を写真4に示す。鋳造したイ



写真1 成型した樹脂モデル



ンホイールモーターハウジングの中にモーターを模し たヒーターブロックを入れ内部から加熱できるようにし た。インホイールモーターハウジングは外部の影響を受 けないようにアクリル製のケースに入れた。ケース内部 にはハウジングに風を当てられるようにファンが設置し てある。ヒーターブロックを加熱したときのハウジング内 部の空気の温度を計測し、シミュレーションの妥当性を 検討した。

3 結果

3.1 インホイールモーターハウジングの設計
 ①放熱性の高いモデルの作成
 熱流体シミュレーションによるパラメータ設計は望小



写真3 試作品 (ピンタイプ)



写真2 試作品(フィンタイプ)



写真4 実験装置

特性の SN 比で評価した。SN 比は平均値と分散の比 で、望小特性の場合、評価項目の値が小さく、誤差因 子によるばらつきが小さいほど大きな値となり、SN 比が 大きいほど放熱性が高いと判断できる。熱流体シミュ レーションによるパラメータ設計から得られた要因効果 図を図3に示す。要因効果図では水準を変えた時、SN 比の変化が大きいパラメータが評価項目に対する寄与 が大きいと判断する。フィンの高さは水準を変えると SN 比が大きく変わり放熱性に対する寄与が大きいことが 分かった。



また放射率の寄与も大きく、黒く塗装すると放熱性が よくなることが分かった。それ以外のパラメータの寄与は 大きくなかった。パラメータ設計では各パラメータの効 果を独立して求められるので要因効果図の SN 比が大 きい水準を選択したものが最適モデルとなる。今回の実 験ではフィン形状、フィン高さ30mm、フィンの幅4.5mm、 ベース厚さ10mm、壁の厚さ7.5mm、黒く塗装が最適 条件であった。最適条件のモデルをシミュレーションし た結果、放熱対策しないモデルが395K だったのに対 し、最適モデルは356K で、内部空気の温度が39K 低 い値を示した。

②熱変形の少ないモデルの作成

伝熱シミュレーションによるパラメータ設計も望小特 性の SN 比で評価した。最適条件は JIANT のランキン グ機能から、フィンの根元のフィレット φ 3mm、フィンの 高さ 25mm、フィンの幅 4.5mm、ベース厚さ 10.2mm、

壁厚さ7.3mm、接合部厚さ15mmとなった。フィンの 幅とベース厚さは熱変形に対する寄与が小さかったの で軽くなる水準にチューニングしてフィンの幅4.3mm、 ベース厚さ9.8mmを最適条件とした。これにより放熱性 が良く、熱変形が少ない軽いモデルを設計することが できた。

最適条件のモデルをシミュレーションした結果、接合 面の変位は放熱対策無しのモデルが0.13mmだったの に対し、最適化モデルは 0.08mm となり約 40% 小さくなった。

3.2 シミュレーションの検証

ヒーターブロックを加熱し内部空気の温度が安定した2時間30分後の温度を計測した。内部空気の温度を図4に示す。フィンタイプもピンタイプも放熱性に大きな違いは見られなかった。またフィンタイプを黒く塗装したハウジングは温度低下が見られた。



4 考察

コンピュータシミュレーションを用いたパラメータ設計 からインホイールモーターのハウジング形状について 放熱性に対しては表面積の寄与が大きく、ほぼ表面積 のみで放熱性が決まってしまうことが分かった。そのた め他の設計パラメータは重さやコストなどを考慮しなが ら自由に決めてよいと考えられる。

試作品による検証の結果から表面積が同じであれ ばフィンの形状による違いが無いこと、黒く塗装すること で放熱性がよくなることが確認できた。これはシミュレー ションによるパラメータ設計から得られた要因効果図の 結果と一致している。シミュレーションによるパラメータ 設計の結果が妥当であることが確認できた。

5 まとめ

シミュレーションによるパラメータ設計からインホイー ルモーターのハウジングの設計を行い、試作し検証し た。ただシミュレーションをして設計するのではなくシ ミュレーションとパラメータ設計を組み合わせることで少 ないシミュレーション回数で効率よく設計することができ た。またパラメータ設計によって得られる要因効果図に は今後の設計の指針となる情報が含まれ、設計ノウハ ウの見える化が可能になると考えられる。設計において シミュレーションによるパラメータ設計が有効であることがわかった。

謝辞

JIANTを提供していただいた JAXA の角有司氏に 感謝いたします。また、解析結果の検討をしていただ いた浜松品質工学研究会会員の皆様に感謝いたし ます。

参考文献

- 1) 田口玄一:品質工学講座1,「開発設計段階の品 質工学」,(日本規格協会,東京),吉澤正孝 編集 pp.73-90 (1988)
- 2)角有司他:製品情報と運用情報の組み合わせ探索による概念設計手法の研究(第3報:発散・収束プロセスによる最適設計システムの提案).日本機械学会,第27回設計工学・システム部門講演会,2017.9.

非接触三次元測定装置を用いたアルミニウム合金の引張特性の評価 機械電子科 岩澤 秀 長津義之 針幸達也 渥美博安

Evaluating tensile properties of aluminum alloys using a 3D scanner

IWASAWA Shigeru, NAGATSU Yoshiyuki, HARIKOH Tatsuya and ATSUMI Hiroyasu

These days, the DIC method has proven very useful for evaluating the strain and deformation behavior of various materials and structural components under thermal and mechanical loading conditions. We investigated the effect of the parallel length (L) on the tensile properties for A6061-T6 and AC4C-F alloys. We also discussed the relationship between the results obtained and the dimensions of the tensile specimen described in JIS. The parallel length of specimens had little effect on the strength properties, but the elongation decreased as the parallel length increased. This is due to an increase in the ratio of local elongation to total elongation, and the elongation reached a nearly constant value at a certain parallel length. In the relationship between the elongation and the JIS's proportional specimen shape factor, $L_0/\sqrt{S_0}$ (L₀: gage length, S₀: cross sectional area), decreasing $L_0/\sqrt{S_0}$ led to an increase in elongation; however, the change became smaller when $L_0/\sqrt{S_0}>6$ was approximately 6 or more indicating that the results obtained by the DIC were in good agreement with those in JIS. It was also confirmed that the parallel length should be longer than $L_0+1.5\sqrt{S_0}$ to avoid constraining the elongation at the shoulder of the specimen. In order to obtain accurate and stable tensile property values, it is necessary to make a specimen according to JIS.

キーワード:非接触三次元形状測定、デジタル画像相関法 (DIC)、引張試験片寸法、アルミニウム合金

1 はじめに

金属材料等の強度特性評価、構造部材の熱的・機 械的負荷時における歪・変形挙動を評価する手法とし てデジタル画像相関法 (Digital image correlation:DIC) がパワフルツールとして用いられてきている¹⁾。DIC は、 CCD カメラなどで撮影したデジタル画像を数値解析す ることにより、微小領域から比較的広範囲までの歪・変 形挙動を高精度に測定することができる。当支援セン ターでは、DIC による歪・変形測定が可能な非接触三 次元形状測定装置(3D スキャナ)を導入し,研究活動 及び企業への支援を実施している。

従来、金属材料の引張試験において、特に伸びの 測定には、歪ゲージ、光学的・電気的変位計、破断 した試験片の突き合せなどが主に用いられてきた。DIC は、簡便、測定範囲の自由度の高さ、情報量の多さ等 の特徴を有しており、引張試験における歪・変形測定 にとても有効な手法であると考えている²⁰。

ところで、引張試験において得られる引張強さ、耐 力及び伸びを正確に求めるためには、用いる試験片形 状の影響をできるだけ小さくする必要がある。しかしな がら、実体部品からの切出した試験片を用いる場合な ど、JIS に準拠できない試験片の使用を余儀なくされる こともある。その場合、試験片形状が引張特性にどの ように影響するか、不明なことも多い³⁾。

本研究では、様々な平行部長さを有する板形状の アルミニウム合金を用いて引張試験を行い、引張特性 に及ぼす平行部長さの影響を調べるとともに JIS Z 2241 に記載されている比例試験片形状と対比、検討 を加えた。

2 試験方法

2.1 供試材及び引張試験

引張試験には 6061-T6 及び AC4C-F アルミニウム 合金を用いた。引張試験片は、JISZ2241 14B 号比例 試験片をもとに種々の平行部長さLを有する厚さ t4mm、幅 W10mm、肩部 R10mm の板状引張試験片を 用意した(写真 1)。引張試験は、オートグラフ(㈱島 津製作所製 AG-250kNplus)を用いて、引張速度 0.017mm/s、室温で行った。伸びの測定には、3D ス キャナ(GOM 社製 ATOS-Core185)を用いた。

【報告】



写真1 引張試験片の外観写真

2.2 3D スキャナによる伸びの測定

伸びは、3Dスキャナを用いて引張試験片表面につ けたマーキングを引張変形中撮影し、デジタル画像相 関法(DIC)を用いて測定した。マーキングは、試験 片表面に水性白スプレーを塗布して乾燥後、水性黒ス プレーをランダムドット状に吹付けた(写真2)。DICで は、ファセットサイズとポイント距離を任意に設定し、変 形前後の画像の相関関係から3D座標を算出した(写 真3)。DICには、付属ソフトウェアARAMIS Professional を使用した。このソフトウェアは、引張試験中の試験片 の変形に対して、試験片上に任意の長さ、位置に伸 び計を設定することができる。この伸び計を使うことで、 引張試験時の試験片の歪・変形を測定し、伸びを求 めた。



写真2 ランダムドットパターン



写真3 変形前後の試験片表面

3 結果と考察

図1に両合金の引張特性を示す。伸びは、それぞ れの試験片において、破断位置を中心にして、標点距 離Loを平行部長さLの80%として伸び計を設定し、引 張変形前と破断直前の標点距離の差とした。両合金と もに引張強さ及び 0.2% 耐力は、平行部長さの影響は ほとんど受けないが、伸びは平行部長さが短いほど大 きくなる。JISZ2241 では、比例試験片の形状を決める 際、標点距離Loと平行部長さLは、試験片断面積So とすると、Loは 5.65x √So 以上、L は Lo+1.5 √So 以上 となっている。本試験で用いた試験片にあてはめると、 Lo及びLはそれぞれ約36mm及び約45mmとなる。 つまり、本試験で用いた試験片形状において 38mm 以 下の平行部長さは不適切であり、それは、図1で見ら れるように平行部長さLが約40mmを境に平行部長さ に対する伸びの変化率が大きくなる部位と一致してい る。このように、引張試験における伸びは、試験片の 平行部長さに影響をうけるため、試験片形状に注意を 払う必要がある。



図2には、平行部長さL=112mmの6061-T6材を用 いて引張試験した破断直前の試験片の伸びの分布を 示すコンター図(a)と標点距離Loを25mm、50mm及び



図2 破断直前の伸び分布 (a) 及び応力 - 伸び曲線 (b) ● Lo=25mm、△ Lo=50mm、■ Lo=75mm

75mmとして測定した応力と伸びの関係(b)を示してい る。破断直前の伸びの分布では、破断部近傍(この 場合、試験片中央)で色合いが偏っており、この付近 の伸びが高いことを示している。いずれの応力 - 伸び 曲線は、最大応力付近までほとんど同じであるのに対 して、最大応力に達した以降では、標点距離の短い試 験片ほど、大きな伸びを示している。図3に両合金の 平行部長さL=62mm 試験片の破断直前の試験片中央



図3 破断直前の伸び分布(a)6061-T6、(b)AC4C-F

部の伸び分布を示す。いずれの合金においても、一定 の伸びを示す領域と破断部近傍では急激に高い伸び を示す領域が確認できる。一般に金属材料の伸びは、 最大応力近傍までは、試験片全体が均一に伸びる一 様伸びとそれ以降において局部的な絞りを示す局部 伸びを示し、それらの合算が破断伸びとして表わされ る。破断直前の伸びは、試験片全体に一様では無く、 破断部近傍で大きな伸びをしている。短い標点距離の 方が大きな伸び(この場合破断伸び)を示したのは、 破断伸びに対する局部伸びの割合が大きかったことに よる。

図4には、異なる平行部長さLの試験片について、 それぞれ標点距離Loを変えて伸びを測定した結果を 示す。いずれの平行部長さの時も標点距離が短いほど 高い伸びを示しており、Lo/Lが大きくなるにつれて一定 の伸びを示すようになる。伸びの変動は、平行部長さ が短いほど顕著である。AC4C-Fに比べて6061-T6の 方が、標点距離に対する伸びの変化が大きく現れるの は、図3にも示すように破断伸び、とくに局部伸びが大 きいためである。



● 6061-T6、□ AC4C-F

図5は、全試験片について、比例試験片として表わ されるLo=k $\sqrt{S_0}$ (k:定数、S₀:平行部の断面積)の 式を用いて作成したLo/ $\sqrt{S_0}$ (=k)と伸びの関係を表して いる⁴⁾。伸びは、Lo/ $\sqrt{S_0}$ が小さい場合、大きく出現し、 Lo/ $\sqrt{S_0}$ の増加に伴い漸近する。Lo/ $\sqrt{S_0}$ を大きく取る 方が、試験片の形状寸法が伸びの変動に与える影響 は小さくなることがわかる。JISZ2241では、Lo/ $\sqrt{S_0}$ を 5.65以上(上述の定数k)と記述してある。図5から k=5.65は、ほぼ一定のLo/ $\sqrt{S_0}$ を示す曲線部分に位 置している。このことは、今回の試験において試験片 平行部の長さが変わっても、Lo/ $\sqrt{S_0}$ を一定にすること で同じような伸びが得られることを示している。



試験片のR部は、平行部末端付近の自由な変形が 拘束される。図6に6061-T6を用いた引張試験におい て、異なる平行部長さにおける破断直前のR部付根付 近の伸びの分布を調べた結果を示す。R部は試験片 両端部のうち片方のみを示す。平行部長さが25mm以 下の試験片では、R部付根から急激に伸びが上昇し、 試験片平行部において一定の伸びを示す領域がほと んど無い。これに対して平行部長さが長くなるほど、一 定伸びを示す平行部領域が長くなる。このことは、安 定した伸び値を得るためには、ある程度以上の平行部 長さにする必要がある。



JIS14B 号試験片では、平行部長さLを Lo+1.5 $\sqrt{So^3}$ 以上と記述されており、これらの式から平行部長さLを 算出すると、本試験において試験片平行部は、標点 距離よりも 9.5mm 長くする必要がある。図 5 に示したように一定の伸びが得られる Lo/ $\sqrt{S_0}$ (k=5.65 以上)から標点距離を算出し、上記式を用いると、安定した伸び値を得るためには、本試験で用いた試験片(試験片厚さ t:4mm、試験片幅 W:10mm)の平行部長さは約45mm 以上必要となる。

今回、DICを用いて引張試験中の変形挙動を調べることで、引張特性、特に伸びの変動が試験片平行部及び標点距離の長さによって大きく影響されることがわかった。

4. まとめ

- (1)3D スキャナ及び DIC により、引張変形中における材 料変形量を容易に調べることができた。
- (2) 試験片の平行部長さは、引張強度特性にはあまり 影響しないが、伸びに大きな変動をもたらすことが明 らかとなった。
- (3) 試験片形状によらず、安定した引張特性を得るため には、JIS に準拠することが重要であることを再認識 した。

参考文献

- 米山聡他:DIC(デジタル画像相関法)の基礎と応用.一般社団法人日本機械学会講習会テキスト (No.19-49), 1-27(2019).
- 小野勇一他:デジタル画像相関法を用いた A6061
 アルミニウム合金 FSW 継手接合部の引張特性の評価. 軽金属溶接, 55(11), 435-442(2017).
- 3) 佐藤四郎: 引張試験片の寸法と形状について. 軽 金属,24 (11),508-521(1974).

マイクロチップレーザーによるレーザーピーンフォーミングの変形特性

| 光科 | 鷺坂芳弘 |
|----------------|---------------|
| 理化学研究所 | 川崎泰介 |
| 分子科学研究 | Vincent Yahia |
| 理化学研究所・分子科学研究所 | 平等拓範 |
| 分子科学研究所・大阪大学 | 佐野雄二 |

Forming properties of laser peen forming using microchip laser

SAGISAKA Yoshihiro, KAWASAKI Taisuke, TAIRA Takunori, Vincent YAHIA and SANO Yuji

Keywords : bending, microchip laser, laser peen forming, laser induced shock wave キーワード: 板曲げ、マイクロチップレーザー、レーザーピーンフォーミング、レーザー誘起衝撃波

1 はじめに

内閣府 ImPACT「ユビキタス・パワーレーザーによる 安全・安心・長寿社会の実現」にて、サブナノ秒オー ダーのパルス幅を持つ超小型マイクロチップレーザー発 振器が開発された¹⁾。当センターにはその試用プラット フォームが開設され、本レーザーの用途開発が行われ ている。著者らは用途の一つとしてレーザー誘起衝撃 波を利用したレーザーピーンフォーミング(以下LPF) による板曲げ加工を提案した²⁾。しかし、サブナノ秒レー ザーのLPF はこれまで前例がなく、その変形特性を把 握する必要がある。そこで本報では試験片の光軸方向 の位置(デフォーカス量)による変形特性について報 告する。

2 方法

実験には試用プラットフォーム²⁰を用いた。レーザー の仕様を表1に、実験装置の外観を写真1に示す。試 験片は板厚1mmの純アルミニウム板(A1100)を10 mm×50mmにせん断したものである。図1のように試 験片を片持ち固定して水を入れた水槽中に設置し、焦 点距離100mmのレンズで集光した光を、水面を通し て板表面に照射した。板表面はデフォーカス量zだけ 集光点から光源側にずらした。水面の位置は集光点 から35mm上方とした。ステージの走査速度1mm/s

| | | | / |
|---------|--------|-------|---------|
| 波長 | パルス幅 | 繰返し発 | パルスエ |
| | | 振周波数 | ネルギー |
| 1064 nm | 700 ps | 10 Hz | <100 mJ |

表1 マイクロチップレーザーの仕様)



写真1 実験装置(レーザー照射部)外観



図1 実験方法概略

にて、自由端側から 0.1 mm ずつずらしながら試験片 幅方向への線走査を 41 回行った。LPF の成形原理 は既報³にゆずるが、走査が進むと、衝撃波による塑 性変形が蓄積され、板は照射面を凸とする方向に曲 がっていく(写真2)。変形量として走査後の曲げ角 θ を測定した。



写真2 曲げ加工の例(板厚1 mm)

3 結果および考察

図2にデフォーカス量*z*とパルスエネルギー*E*に対 する曲げ角θの変化を示す。*z*が小さいほど、レーザー 光が絞られて面積あたりの*E*が増大するため、θは大 きくなると予想された。しかしθの増大は緩やかであり、 集光点付近では逆に急激に減少した。総じて*z*=6 mm で成形性が最も高い。



図2 パルスエネルギーとデフォーカス量による 曲げ角の変化

 $\bigcirc: E=10 \text{ mJ} \quad \triangle: E=20 \text{ mJ} \quad \bigcirc: E=30 \text{ mJ} \quad \square: E=50 \text{ mJ}$

 θ の急減は、レーザー光が水に吸収される波長であ るため、集光点に近づくと急激に水に吸収されてエネ ルギーを失うためである。集光点付近の領域では θ は zに対して敏感なため成形には不適と考えられる。逆 にzが6mm以上では θ の変化は比較的緩やかで、 E=50 mJでは θ がほとんど変化しないzの領域が 20 mmほど存在する。ここではzがばらついても一定の変 形が得られるので、最初から湾曲した板に加工をする 際などには有用と考えられる。

4 まとめ

マイクロチップレーザーでの LPF では集光点付近で は変形量が急減するが、それより光源側では変形がデ フォーカスに対して鈍感であることが確認できた。

謝辞

本研究は総合科学技術・イノベーション会議が主導 する革新的研究開発推進プログラム(ImPACT)の一 環として実施したものです。

参考文献

- 1) 平等拓範: 100MW に迫る手のひらサイズのマイ クロチップレーザーの開発. 0PTRONICS, 436, 156-161 (2018).
- 2) 鷺坂芳弘他:マイクロチップレーザー試用プ ラットフォームの構築.静岡県工業技術研究所研 究報告,第12号,107-110,(2019).
- 3) 驚坂芳弘: 超短パルスレーザーピーンフォーミングによる薄板のダイレス曲げ.ぷらすとす,1
 (3),180-184 (2018).

恒温槽内の非接触三次元形状及びひずみ測定

機械電子科 長津義之 岩澤 秀 針幸達也 渥美博安

3D scanning and strain distribution measurement of objects in a thermostatic chamber through a glass window

NAGATSU Yoshiyuki, IWASAWA Shigeru, HARIKO Tatsuya and ATSUMI Hiroyasu

Keywords: 3D scanner, DIC, thermostatic chamber, thermal displacement キーワード:非接触三次元測定、デジタル画像相関法、恒温槽、熱変形

1 はじめに

自動車や家電等の部品の使用環境及びその製造 工程における熱影響の調査では、恒温槽や加熱炉が 多く用いられる。短時間で広範囲の形状やひずみ測 定が可能なカメラ等による非接触光学式測定は、測定 対象物が槽内にある場合、ガラス窓越しの測定となる ことが多く、測定精度低下が問題となる。そこで、非 接触三次元形状測定装置(3Dスキャナ)を用いて、 ガラス窓越し測定の影響及びその校正法の検証を 行った。

2 方法

3D スキャナは ATOS Core185 (GOM 社製)を用 いた。カメラを恒温槽 FL431N (-40 ~ 120℃、エタッ クエンジニアリング㈱製)の大型窓付き扉にパイプフ レームで固定し、一回の校正の後は、扉の開閉毎の 校正を不要とした (図1)。窓越し校正には、カメラ付 属の校正プレートを用いた。

測定精度検証として、まず、室温で呼び寸法 100mm セラミックスブロックゲージ(1級、(㈱ミツトヨ製)の寸 法測定を行った。窓なし測定と、恒温槽窓と同じ構成 の三枚板ガラス(厚さ5mm ガラス間6mm)越し及び 恒温槽窓越しの測定を行った。ゲージ長さは、一方の 測定面に最小自乗平面を作成し、その対面上の5点 とのそれぞれの距離の平均値とした(図2(a))。

次に、一辺 100mm の正方形状、厚さ2mm のアル ミニウム (AL) 板の、槽内温度 -30 ~ 120℃における 面内熱ひずみを、同じ3DスキャナとDIC (Digital Image Correlation、デジタル画像相関法)を用いて測定し た。AL 板測定面に、DIC のため、つや消し白のラッ カースプレーの下地に黒色のスプレーでランダムドット を作成した。そこに、6個の距離ゲージを構築し、その長さ変化で熱ひずみを算定した(図2(b))。形状 測定、DICによるひずみ算定及び寸法算定のソフト ウェアは、それぞれGOM Scan、ARMAMIS Professional 及びGOM Inspect(すべてGOM 社製)を用いた。 また、比較のため同じAL 板をペルチェ素子温調シス テムUT70U120WM(-40~125℃、㈱アンペール製) により1面を加熱・冷却し、ガラス窓なしで同様に寸法 及びひずみ計測を行った。



図1 恒温槽内対象の形状及びひずみ測定系



(a) ブロックゲージ寸法測定法



図2 寸法及び熱ひずみ測定法 ある点群における最小自乗平面とは、各点との距離の 自乗和が最小となるように設定された平面である。

3 結果及び考察

図3に、室温におけるブロックゲージの寸法測定結 果を示す。ガラス窓越しの校正により、ゲージ呼び寸 法からの値の偏りが 30 µm 以下に減少した。また、槽 内の AL 板の DIC による熱ひずみ測定結果は図4のと おり、線膨張係数からの推測値から±0.02% 以下の差 異となった。これらの差異は、ガラス越し校正の偏差 及び着霜等が原因と推測される。



図3 恒温槽内のブロックゲージの寸法測定結果 (室温)





●ゲージ1(槽内)、▲ゲージ2(槽内)、■ゲージ3(槽内)、
 ◆ゲージ4(槽内)、+ゲージ5(槽内)、-ゲージ6(槽内)、
 ○ゲージ1(ガラスなし)、△ゲージ2(ガラスなし)、
 □ゲージ3(ガラスなし)、◇ゲージ4(ガラスなし)、
 +ゲージ5(ガラスなし)、 -ゲージ6(ガラスなし)、
 実線はアルミの線膨張係数より推測した値、基準温度23℃

4 まとめ

恒温槽内の対象物の形状及びひずみ測定系を構築し、測定精度の検証を行った。窓越し校正により、 ガラス窓なしに近い寸法及びひずみ測定精度が得ら れた。今後、試作・製品試験やシミュレーション用の 熱物性パラメータ取得等に応用していく。

材料評価・解析のスキルアップに向けたサンプリングメソッドの開発(第1報)

一分析が困難な試料の安全で効率的な保持ジグの提案他 ―

材料科 吉岡正行 田光伸也 植松俊明 望月智文* 小粥基晴 伊藤芳典

Development of sampling methods to improve skills for material evaluation and analysis (1st Report)

 Suggestion of a method to safety and effectively extract a sample from test materials and an analytical jig for which analysis is difficult —

YOSHIOKA Masayuki , TAKO Shinya, UEMATSU Toshiaki, MOCHIZUKI Tomofumi, OGAI Motoharu and ITOH Yoshinori

keywords: malfunction, foreign-matter, analysis, sampling, method キーワード: 不具合、異物、解析、サンプリング、メソッド

1 はじめに

近年、不良・不具合が発生した製品や、それに関 与したと考えられる異物等の試料において、微小化や 状態・状況の複雑化の傾向を有する「難サンプリング 材」が増えている。「難サンプリング材」は、そのまま では試験機や分析機器に設置できず、評価・解析も できない。

そこで、持ち込まれる「難サンプリング材」を安全・ 効率的にサンプリングするためのメソッドを開発すること とした。これにより、企業の要望に答えつつ、研究員の 材料の評価・解析業務のスキルアップが期待できる。

2 方法

開発するメソッドは多種多様な「難サンプリング材」に 対応し、材料科研究員が共有して使用することが想定 される。そこで、図1のフローに従い、①記入様式を作 成(xls 形式)、②収集した事例をデータシートに入力、 ③図、写真を加えて説明シート(xls 形式)に入力、④ OJT 用説明資料として共有(必要に応じ印刷)した。

3 結果

電子顕微鏡やFT-IRなどの各種機器分析や金属材料試験に有用なメソッドの提案、試作の事例を30項目以上収集した。

その後、図、写真を加えて作成した説明シートの例 を図2、3に示す。



図1 難サンプリング材向けサンプリングメソッドの 作成フロー



図2 作成・整理した Excel ファイルの各 Sheet (Sheet 2以降) のイメージ①

* 現 工業技術研究所 企画調整部



図3 作成・整理したExcelファイルの各Sheet (Sheet 2以降) のイメージ②

中には、1つのメソッドが複数の案件で有用・有効と なるケースもあることから、実際にはさらに多くの業務に 役立つと考えている。

収集したメソッドをより有効に活用するために作成した説明資料の例を図4に示す。

図4は、鉄鋼材などの磁性材料を「セミインレンズ型 FE-SEM」で分析するために作製したジグの事例であ る。このFE-SEMの場合、電磁レンズが作る磁場が観 察試料に極めて近い位置に生じる。そのため、鉄鋼材 などの磁性材料は固定が不十分な場合、対物レンズに 張り付くリスクがある。両面テープによる固定では、量 が多いと真空度に影響を及ぼす。また、不定形状のサ ンプルではホルダへの固定自体が困難であった。そこ で、専用の保持ジグを作製し、側面からネジ止めする メソッドにより強固な固定が可能となった。



図4 開発したサンプリングメソッドの例 (図2の詳細)

4 まとめ

既に一部のメソッドは実際の依頼試験・分析、相談 業務に活用している。中にはこれまで実施自体が不可 能・困難だった事案に対しても対応できるようになった 他、所要時間の大幅な短縮ができた。このことにより、 これまで以上に多くの企業からの多種多様な依頼分 析・技術相談への対応も可能となる。

次年度は、それぞれの発案・試作品を、スタッフ内 で相互に試行し、使い勝手の検証やブラッシュアップ、 そしてメソッドとしてのレシピ化を図る。

鉄鋼材料の残留応力に及ぼす焼入性の影響

材料科 小粥基晴 植松俊明

Influence of hardenability on residual stress for carbon steel and alloy steel

OGAI Motoharu and UEMATSU Toshiaki

Keywords: Carbon Steel and Alloy Steel, Heat Treatment, Residual Stress, Microstructure, Hardenability キーワード:鉄鋼材料、熱処理、残留応力、金属組織、焼入性

1 はじめに

鉄鋼材料は、熱処理を行うことで高強度、高靭性、 耐摩耗性などの特性を付与することができる。しかし、 熱処理後の材料には応力が残留し(以下、残留応力)、 形状変化や部品の寿命低下が問題となることがある。 残留応力の発生は、材料の膨張や収縮、結晶構造の 変化が原因とされており、急激な温度変化が生じる焼 入れでは大きな応力が生じることが予想されるが、焼入 性の異なる鉄鋼材料の残留応力について体系的にま とめた報告は少ない。そこで、本研究では、焼入性の 異なる3種類の鉄鋼材料に熱処理(焼入れ)を行い、 材料表面に生じる残留応力について調査した。

2 方法

試料は S15C、SCM415、SK105を用いた。化学成 分を表1に示す。試料形状は切削により図1に示す直 方体に加工し、加工後に 650°C×120minの応力除去 焼鈍を行った。焼入れは表2に示す条件で行い、焼 入れ後の試料について金属組織試験による金属組織 及びビッカース硬さ試験による硬さ分布を確認した。残 留応力は、図1中の黒点で示す9箇所について、試料 表面を電解研磨により 10 μ m 除去した後、ポータブル 型 X 線残留応力測定装置 μ -X360s(パルステック工 業㈱製)を用いて測定し、それらの平均値とした。ま た、応力値は、正の値が引張応力、負の値が圧縮応 力を示す。

表1 化学成分

| 鋼種 | C[%] | Si[%] | Mn[%] | P[%] | S[%] | Cu[%] | Ni[%] | Cr[%] | Mo[%] |
|--------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| S15C | 0.14 | 0.21 | 0.53 | 0.018 | 0.015 | 0.01 | 0.02 | 0.04 | - |
| SCM415 | 0.17 | 0.24 | 0.71 | 0.017 | 0.008 | 0.02 | 0.02 | 1.07 | 0.20 |
| SK105 | 1.04 | 0.33 | 0.98 | 0.016 | 0.019 | 0.18 | 0.06 | 0.44 | - |



図1 試料形状及び残留応力の測定位置

表2 熱処理条件

| | 焼入れ | | | | |
|--------------------------|---------|-----------|------|--|--|
| | 保持温度[℃] | 保持時間[min] | 冷却方法 | | |
| $\mathbf{S}15\mathbf{C}$ | 880 | 60 | | | |
| SCM415 | 880 | 60 | 油冷 | | |
| SK105 | 830 | 80 | | | |

3 結果および考察

焼入れ後の試料表面及び内部の金属組織を図2 に、硬さ分布曲線を図3に示す。S15Cの金属組織は 表面、内部ともにフェライト及びパーライトから構成され ており、硬さは表面の180HV程度と内部の150HV程 度で僅かな差であった。一方、SCM415は表面に針状 の組織が出現し、内部の組織とは大きな違いが見られ た。硬さは表面から0.5mm程度の範囲で480HV程度 から350HV程度へと急激に減少した。これは、SCM415 に含まれるCr、Moによって焼入性が向上したことで、 表面、内部ともに硬さは上昇したものの材料内部まで金 属組織を均一に変化させることはできなかったためと考 えられる。

SK105 は、内部までマルテンサイト組織に変態し、硬 さは表面の 800HV 程度から内部の 700HV 程度まで緩 やかに減少した。

次に各試料の残留応力を図4に示す。S15Cは -300MPa程度、SCM415は-460MPa程度で、いずれ





図2 焼入れ後の金属組織



も圧縮応力を示すが、SCM415 は S15C と比較して大き な残留応力が生じた。SK105 は 160MPa 程度の引張応 力であった。

以上のことから、熱処理によってマルテンサイト変態 しない場合には圧縮応力を生じ、表面付近のみがマル テンサイト変態することで表面と内部の金属組織に差 異が生じる場合には圧縮応力が増加する。一方、材料 内部までマルテンサイト変態する場合には引張応力が 生じることが分かった。

200 100 0 -100 -200 -200 -300 -400 -500 S15C SCM415 SK105

図4 焼入れ後の残留応力

4 まとめ

鉄鋼材料の表面に生じる残留応力は、熱処理後の 金属組織の種類や均一性によって変化したことから、 材料の化学成分や焼入れ時の冷却速度に大きく影響 を受けることが示唆された。

謝辞

本研究にご協力いただきました株式会社アイゼンの 皆様に深く感謝申し上げます。

-112-

静岡県工業技術研究所研究報告 第13号

令和2年11月20日(2020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