

ISSN 1884-1813

令和 2 年度

研究報告書



**Mother
Lake**

滋賀県東北部工業技術センター

目 次

有機環境係

- 1. 脂肪酸分析前処理法の効率化に関する研究（第2報） 1

繊維・デザイン係

- 2. 単一素材で作製可能な導電助剤フリーEDLC電極の開発 4
- 3. 地域繊維技術を活かした高付加価値繊維製品の開発（高伸縮素材の開発） ・ 8
- 4. 新「滋賀小紋」柄の作成と効果的なプレゼンテーションの検証
—「滋賀小紋」柄と「滋賀の色」を活用した売れる製品開発—（第2報） 1 5
- 5. 高島ちぢみを使用した夏用ユニフォームの開発 1 8

機械システム係

- 6. 小型バルブ性能試験機の開発と技術ハンドブック作成に係る研究 2 1
- 7. 超スモールスタートIoTのためのプラットフォーム確立と
応用に関する研究 2 7
- 8. ICT技術を用いた鋳造技術の高度化・高効率化技術の開発
—鋳造品質に関わるパラメータ計測に関する研究—（第2報） 3 0
- 9. 流体解析を用いたバルブ性能評価手法の高精度化に関する研究（第3報） 3 4
- 10. 低キャビテーション高性能流体制御バタフライ弁の実用化研究
—キャビテーション性能の評価法に関する研究—（平成30年度実施） ... 3 8

金属材料係

- 11. マイクロ波加熱による銀ナノ粒子の合成および高分散担持法に関する研究 4 4
- 12. ICT技術を用いた鋳造技術の高度化・高効率化技術の開発 5 2

脂肪酸分析前処理法の効率化に関する研究（第2報）

有機環境係 上田中 隆志

Development of pretreatment for GC analysis of organic acids (2)

KAMITANAKA Takashi

脂肪酸および脂肪酸誘導体は、多くの食品、工業材料に含有しており、品質管理、新製品開発の観点から、組成の分析は必須である。この分析には前処理が必要で、一般に酸触媒を用いるメチルエステル化が用いられる。しかし、操作が煩雑で長時間を要する。本研究では、超臨界アルコールを用いるエステル化により、触媒を用いることなく脂肪酸および脂肪酸誘導体の前処理を行う方法の確立することを目標に検討を行った。

1. はじめに

脂肪酸は食品、工業材料など幅広い材料に含まれている。食品は原料とする動植物に豊富に含まれており、一部の脂肪酸は近年になってその有用性が一般に知られるようになった。脂肪酸は構造によって生体に与える機能性が異なるため、構造の特定および含有量の測定は必須となっている。また、工業材料における脂肪酸は、機能性を付与する添加剤として利用されている。樹脂の滑剤や安定剤、ゴムの離型剤、グリースの増ちょう剤などが主な例である。滑剤のこれらの働きは含有濃度に依存するため品質管理の観点から、含有量の測定はなくてはならない技術である。これらの測定には、ガスクロマトグラフ（GC）を用いる。しかし、脂肪酸および脂肪酸誘導体は極性が高かったり、難揮発性であったりするため、通常前処理として揮発性の化合物に変換してから GC 分析される。食品中の脂肪酸の分析には、基準油脂分析試験法¹⁾、AOCS²⁾法、AOAC³⁾法による方法があり、それらの方法で前処理（エステル化）を行っている。

代表的な前処理法としてメチルエステル化がある。一般的なメチルエステル化は、脂肪酸を含

む脂質をケン化してケン化されない物質を取り除き、遊離脂肪酸としたのち酸触媒存在下エステル化する。この手法は、各工程における抽出効率次第でロスが生じる。また、酸触媒を用いるため反応後の中和作業が必要となり煩雑で、実際に GC 分析を行うまでに相当な時間を要する。このため、分析現場において試薬量を減らし、短時間で前処理ができることが望まれる。

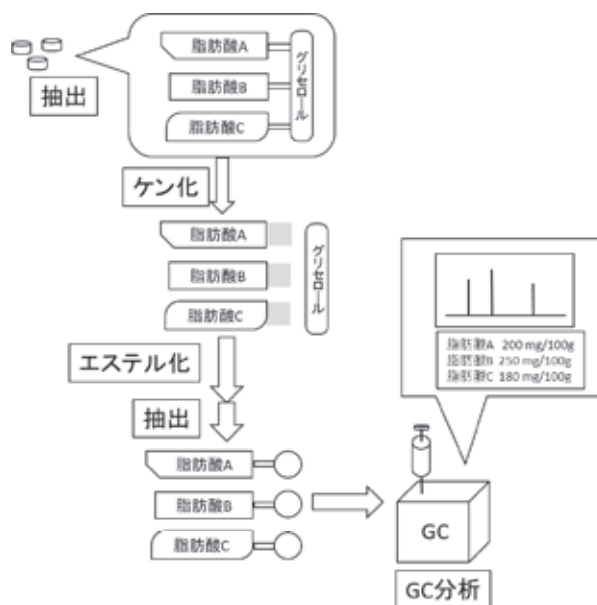


図1 一般的な脂肪酸前処理手順

脂肪酸のエステル化において酸触媒を用いない方法として、超臨界アルコールを用いる方法が知られている。たとえば、脂質（脂肪酸グリセリド）を超臨界メタノール中で処理すると、無触媒でメチルエステル化できる。この方法では、脂肪酸グリセリドなどカルボン酸誘導体をアルコールに混合または溶解し、耐熱耐圧密閉容器内で昇温するだけで処理が終了する。また、酸触媒などを用いないため、その後の中和処理が不要で簡便である。

本研究では、この超臨界アルコールによる無触媒エステル化法をカルボン酸誘導体分析の前処理に利用することを目指し検討を行った。今回は、基礎的知見を得るために、カルボン酸およびカルボン酸塩の反応について、最適な条件の検討を行ったので報告する。

2. 実験

2. 1 材料および装置

メタノールおよびエタノールは、富士フィルム和光純薬（株）製、ステアリン酸、ステアリン酸カルシウム、ヘプタデカン酸メチルおよび、ヘプタデカン酸エチルは東京化成（株）製の市販の試薬を精製することなく用いた。

反応容器には、高温高压容器は、オーエムラボテック（株）製高压マイクロリアクター（MMS-50）を用いた。ガスクロマトグラフ分析およびガスクロマトグラフ質量分析には、（株）島津製作所 GC-2010 および（株）島津製作所 GCMS-2010Ultra をそれぞれ用いた。

2. 2 高温高压メタノールによるカルボン酸誘導体の反応

カルボン酸誘導体およびアルコール所定量をそれぞれ反応容器に入れ封をした後、容器内の空気を窒素で置換した。装置付属のヒーターにて所定温度まで昇温し、所定温度に達した時点を反応開始時間とした。所定時間到達後、ファンを用いて空冷し、容器内温度が室温付近まで降下した

後、容器内の溶液を取り出した。

2. 3 分析

定性および定量分析にはガスクロマトグラフおよびガスクロマトグラフ質量分析を用いた。カラムはキャピラリーカラム J&W DB-17ms（内径 0.25mm, 膜厚 0.25 μ m, 長さ 30m）を用いた。なお、定量分析時の内部標準物質にはヘプタデカン酸メチルを用いた。

2. 4 樹脂混練試料の作製

0.5 重量%のステアリン酸カルシウム含有ポリエチレン（LDPE）の作製には、（株）東洋精機製作所製ラボプラストミル（10S100）を用いた。

3. 結果および考察

3. 1 脂肪酸トリグリセリドの反応

これまでの検討で、超臨界メタノール中 240℃以上で反応を行った場合に、2 時間で反応が完結することが分かっている⁴⁾。このため、ここではそれを超える温度 260℃で検討を行った。

トリステアリン（トリステアリン酸グリセリル）を超臨界メタノールにより反応を行ったところ、ステアリン酸メチルが得られることが分かった。この結果から、食品、生体試料等に含有される存在形態でもエステル化処理が可能であることが分かった。

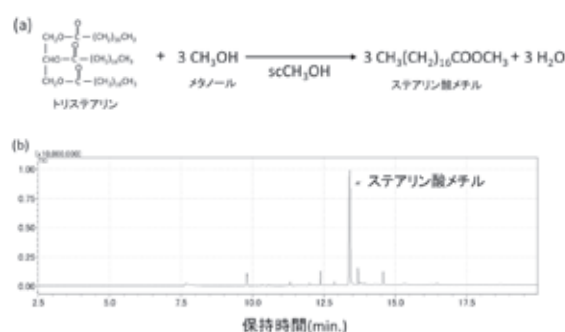


図2 トリステアリンのエステル化反応
(a) 反応式, (b) 反応後溶液 GC 分析結果

3. 2 樹脂中の脂肪酸塩量の定量

これまでの検討で、脂肪酸誘導体（カルボン酸、カルボン酸塩、カルボン酸グリセリド）そのものを超臨界アルコール中で反応させたと、対応するエステルが得られることが分かった。しかし、実際には、食品や樹脂等に含有される脂肪酸誘導体を分析することになる。このため、樹脂の滑剤として用いられるステアリン酸カルシウムをポリエチレンに混練し、0.5Wt%ステアリン酸カルシウム含有ポリエチレン樹脂を調製した。

この樹脂をそのまま、超臨界メタノール中で処理し、反応後のメタノール溶液を GC/MS 分析したところ、ステアリン酸メチルおよびパルミチン酸メチルが得られた。ステアリン酸メチルだけでなくパルミチン酸メチルが得られたのは、市販されているステアリン酸カルシウムは植物由来であり、一定割合でパルミチン酸が含まれるためである。

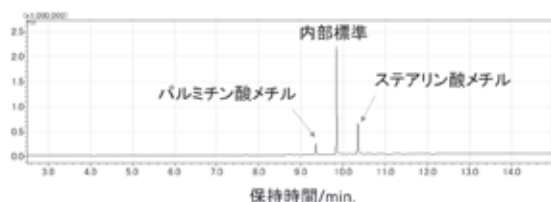


図3 超臨界メタノールによる 0.5wt%ステアリン酸カルシウム含有ポリエチレンの処理（樹脂 0.50g, メタノール 20mL(常温での容量)、反応温度 260℃、反応時間 90 分）

内部標準法により定量を行ったところ、パルミチン酸メチルおよびステアリン酸メチルの合算した 0.39mmol/L であり、PE に含まれる St-Ca, Pal-Ca がすべてエステル化された場合の濃度 0.41mmol/L から計算すると 95%の回収率で得られた。このことから、特に事前の抽出作業を行うことなく、超臨界メタノールによってポリエチレン中のステアリン酸カルシウムの抽出、メチルエステル化を一斉に行うことができることが分かった。

4. まとめ

高温高压メタノールおよびエタノールにより脂肪酸、脂肪酸塩および脂肪酸グリセリドの無触媒エステル化が、短時間で進行することが分かった。また、樹脂内に含まれる脂肪酸カルシウムについても、本法を用いることで抽出、エステル化を一度に行うことができた。

脂肪酸類の分析は、通常であれば、抽出、反応などいくつかの処理を行う必要がある。超臨界アルコールを用いると、抽出、エステル化を一度に行うことができ、その反応も2時間と非常に短時間で行うことができる。ただし、超臨界アルコール中、炭素-炭素不飽和結合は水素化、異性化することが報告されていることから⁵⁾、本法を不飽和脂肪酸に用いる場合には、あらかじめ炭素-炭素不飽和結合が変換しない条件を検討する等、確認を要する。

文献

- 1) (公社) 日本油化学会, 基準油脂分析試験法
- 2) American Oil Chemists' Society
- 3) Association of Official Analytical Chemists
- 4) 上田中隆志, 令和元年度滋賀県東北部工業技術センター研究報告書, pp.1-4
- 5) T. Nakagawa *et al.*, *J. Supercritical Fluids*, 27, 255-261(2003)

単一素材で作製可能な導電助剤フリーEDLC 電極の開発

繊維・デザイン係 脇坂 博之

Development of EDLC Consisting of Cellulose Nanofiber

WAKIZAKA Hiroyuki

本研究では、蓄電池として注目されている電気二重層キャパシタ (EDLC) の電極について、従来の石油系に代わるバイオマスからの開発を目的にシーズ技術の確立を行った。つまり、電極材料について、次世代材料として注目を集めるセルロースナノファイバー (CNF) を用い、活性炭化することによる電極材料としての利用可能性を追究した。CNF から調製した活性炭の比表面積は最大 $2200 \text{ m}^2/\text{g}$ を示し、この CNF 活性炭を電極として調製した EDLC の静電容量は 25 F/g を示した。また、適切な電極作製法を選択することにより、電極密度の低下を抑制し、体積当たりの静電容量の低減を抑制可能な知見を得た。

1. はじめに

電気二重層キャパシタ (Electric Double-Layer Capacitor: EDLC) は、蓄電池の一つである。化学反応で蓄電するリチウムイオン電池に対し、静電気で蓄電する EDLC は、瞬間的な充放電を特徴としており、電圧の平準化やパワーアシスト、エネルギーの回生システムなどの分野で利用が進んでいる。EDLC の基本構成を図 1 に示す。キャパシタは、2 枚の電極板の間にイオン性の電解液を入れ電気をイオン化して蓄えるための蓄電池である。セパレーターを介した 2 枚の電極と電解液に電圧を印加し、正・負に分極させると電解液中のイオンが電荷補償のため電極表面へ引き寄せられ、電気二重層が形成され充電される。放電はこの逆のプロセスが起こり、エネルギーの貯蔵、放出が行われる。この機構は基本的に物理的な吸脱着であることから、EDLC に蓄積される容量を上げるには一般的に電子伝導性の向上があり、表面積が大きい活性炭が用いられ、電極重量あたり $100\sim 140 \text{ F/g}$ 程度の容量密度が達成されている^{1~3)}。

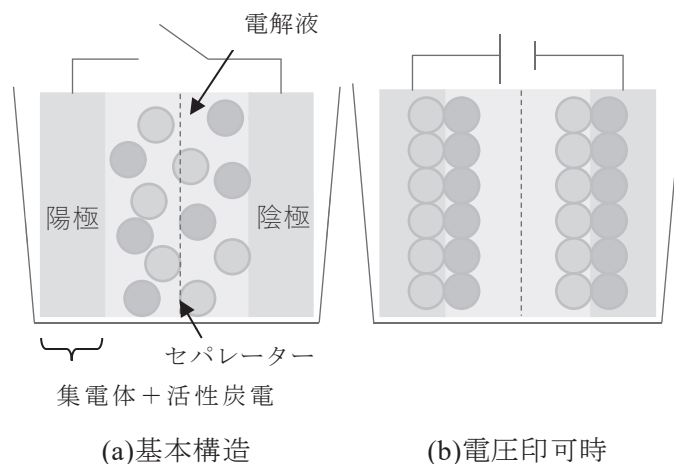


図 1 EDLC の基本構造と蓄電原理

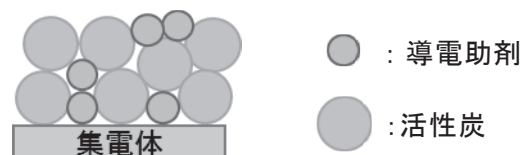


図 2 EDLC 電極の構造

図 2 に一般的な EDLC 電極の構造を示す。アルミ箔、または銅箔といった集電体の上にスラリー塗工、またはシート貼り付けにより電極を

形成する。電極は、主剤である活物質のほか、粒子間の隙間を埋め、導電性を担保するための導電助剤が用いられている。活物質には主に活性炭が用いられており、その原料はバイオマス、樹脂由来である。また、導電助剤には、石油系原料を出発物質としたアセチレンブラックやケッチェンブラックが一般的には用いられている。その一方、持続的な循環型社会の形成に向けては、バイオマスの利活用が求められており、活物質や導電助剤についてもバイオマスからの製造技術シーズを確立することは、社会的背景上必要不可欠な事項であるといえる。そこで、本研究ではセルロースナノファイバー（CNF）から活性炭を作製し、電極材料としての利用可能性を追究するための技術シーズの確立に取り組んだ。CNF は木質組織を化学的、機械的に処理し、ナノサイズまで細かく解きほぐした極細繊維状物質である。昨年度までの研究において、CNF を炭化・活性炭化することにより、導電助剤としての利用可能性を検討したところ、従来の導電助剤に対し、EDLC の高容量化、低抵抗をもたらす高性能導電助剤の可能性知見を得た（図 3）。そのため、本系をさらに追究することで、活物質としての利用可能性を見出すことができるのではないかと考えた。つまり、CNF 活性炭が活物質、導電助剤両方の機能を具備することにより、単一素材から電極を形成できるのではないかと考えた（図 4）。

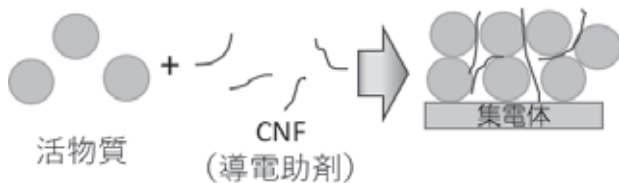


図 3 CNF 導電助剤の開発イメージ



図 4 CNF 活性炭単体による電極材料開発

前述のとおり、一般的な電極の構成は活物質と導電助剤からなる。そのため、CNF 活性炭を活物質、および導電助剤の両方に用い、電極構成を単一化できれば、CNF 活性炭による電極の性能向上のみならず、電極作製工程の簡略化による低コスト化も期待できる。そこで、本研究では CNF を炭化、活性炭化することにより、EDLC の電極材料としての利用可能性を追究する。本年は、EDLC の電極作製法の違いによる電極密度への影響について考察し、静電容量向上に向けた知見を得ることについて検討した。

2. 実験

2. 1 炭素化处理

CNF は凍結乾燥により乾燥後、電気管状炉（(株)アサヒ理化製作所製）、またはロータリーキルン（アドバンテック東洋(株)製）にて炭素化を行った。炭素化条件の一例は次のとおりである。

窒素流量：0.5 L/min

炭素化温度：R.T.-(10℃/min)-800℃ (20min)

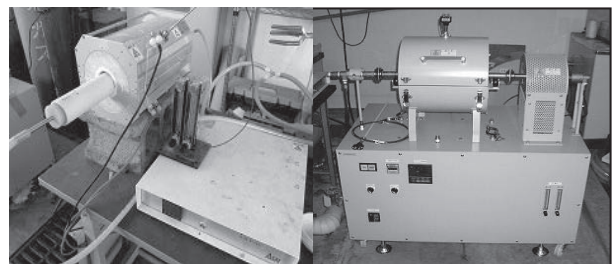


図 5 管状炉、およびロータリーキルン

2. 2 賦活処理

CNF の活性炭化は、薬品賦活法にて実施した。炭素化処理によって得られた CNF 炭化物約 0.1 g、および水酸化カリウム 0.5g を磁製皿に入れ窒素雰囲気下にて賦活温度に到達後、賦活処理を行った。賦活の条件の一例を下記に示す。

窒素流量：0.5 L/min

賦活温度：800℃

2. 3 活性炭の物性評価

液体窒素温度における窒素ガスの吸着等温線は、自動比表面積測定装置（(株)島津製作所製、Tristar3000）を用いて測定した。比表面積は、直線性が成立する 0.01～0.1 の相対圧範囲における BET プロットから求めた。全細孔容積は相対圧 0.98 における窒素吸着量から算出した。平均細孔直径 D (nm) は細孔構造が円筒型であると仮定して、比表面積 S (m^2/g) と全細孔容積 V (mL/g) から次式により算出した。

$$D = 4000V/S$$

2. 4 電極作製および EDLC 評価

電極の作製は、以下の 2 種の方法により調製した。ひとつめは湿式混合方式による調製、つまり CNF 活性炭と所定のバインダーを溶媒に展開、スラリー状としたのち、集電体の上に塗工する方法（スラリー法）である。ふたつめは固相混合による調製、つまり CNF 活性炭とバインダーを混練し、固形物をローラーで圧延、シート状にした後、集電体に貼り付ける方法（シート成形法）によるものである。両法による電極を調製し、得られた電極の重量、および厚みから体積当たりの重量 (g/cm^3) を電極密度として算出した。作製した電極、および電解液（テトラエチルアンモニウムテトラフルオロボレート）を用いてコインセルを作製、0～2.5 V の範囲において充放電測定を行い、重量当たり、

および体積当たりの静電容量 (F/g 、 F/cc) を得た。

3. 結果および考察

3. 1 CNF 活性炭物性について

ガス賦活法により調製した CNF 活性炭をスラリー法により作製した電極による諸物性を表 1 に示す。単位重量当たりの静電容量は 10 F/g 以上を示し、CNF 活性炭は良好な EDLC 性能を有することが示唆された。一方、体積当たりの静電容量は約 3 F/cc と低い値を示している。これは、CNF 活性炭から調製した電極の密度は 0.26 g/cm^3 であり、一般的な活性炭から調製した電極の密度が 0.5～0.8 g/cm^3 であるのに対してかなり低いことが、体積当たりの静電容量を低下させているものと考えられた。

表 1 CNF 活性炭（ガス賦活法）の諸物性（スラリー法）

比表面積 m^2/g	静電容量		電極密度 g/cm^3
	F/g	F/cc	
1258	12.2	3.2	0.26

また、表 2 には薬品賦活法により調製した CNF 活性炭をスラリー法により作製した電極の諸物性を示す。薬品賦活法により調製した CNF 活性炭の比表面積は、ガス賦活法よりも増大し、重量当たりの静電容量は約 2 倍の 24.5 F/g を示した。一方、体積当たりの静電容量はガス賦活法同様、低い値を示しており、電極密度の低さが影響しているものと推測された。

表 2 CNF 活性炭（薬品賦活法）の諸物性（スラリー法）

比表面積 m^2/g	静電容量		電極密度 g/cm^3
	F/g	F/cc	
2173	24.5	2.8	0.11

そこで、電極密度の向上を図るため、固相攪拌によるシート成形法による電極作製を試み、その電極密度を測定したところ（表 3）、シート成形法による電極密度は、概ね $0.5 \sim 0.8 \text{ g/cm}^3$ を示し、スラリー法による電極の 2 倍程度密度を向上させることが可能であることが分かった。

表 3 塗工方法による電極密度の違い

電極密度 (g/cm^3)	
スラリー法	0.2~0.4
シート成形法	0.5~0.8

CNF 活性炭は繊維状で、粒状である一般的な活性炭に対しアスペクト比が高い、その結果、スラリー法による電極作成過程において、溶媒分散状態において繊維交絡による均一的な分散が阻害され、塗工時の密度低下を引き起こしていると考えられた。一方、シート成形法では、固相混合により繊維交絡による密度低下の影響は最小限とすることが可能となったと推測される。

CNF 活性炭の電極調製には、交絡による密度低下の影響を低減させるため、シート成形法による電極調製が適していることが分かり、シート成形による電極密度の向上により、本系における単位体積当たりの静電容量は 10 F/cc を超えることが示唆された。

4. まとめ

本研究では、電気二重層キャパシタの電極材料として、持続的な循環型社会の実現に際し、石油系に代わるバイオマス由来の電極材料の開発可能性について、そのシーズ技術の確立を目的に取り組んだ。電極の材料として、次世代バイオマスとして注目を集めている CNF を炭化、活性炭化することにより用いることを試みた。従来電極材料は、活物質と導電助剤の 2 つの材料から構成されているが、今回 CNF 活性炭

を用いることにより、その両方を当該 CNF 活性炭での実現可能性を検討した。つまり、CNF 活性炭の単一素材による EDLC 電極の作製可能性知見を得ることを目的に取り組んだ。その結果、CNF 活性炭の比表面積は、最大で $2200 \text{ m}^2/\text{g}$ を示した。また、CNF 活性炭は繊維状であるため、電極の作製方法によっては繊維交絡による電極密度の低下、ひいては単位体積当たりの静電容量を低下させることが示唆された。しかし、シート成形法等の適切な電極作製法を選択することにより、電極密度の低下は抑制することが可能であり、CNF 活性炭単体より良好な静電容量を発現する EDLC 電極を作製することが可能である知見を得た。

今後、高比表面積化を達成した CNF 活性炭を用いて電極作製を行い、静電容量測定のほか、内部抵抗等 EDLC 物性評価を進めていく。

謝辞

本研究の実施に際し、コインセルの作製、および充放電測定評価に際し、滋賀県工業技術総合センター田中喜樹氏にご助力を賜りました。この場を借りまして御礼申し上げます。

文献

- 1) K. Naoi et al., *Interface*, 2008, 18(1).
- 2) 直井, 西野, 森本監訳. 電気化学キャパシタ基礎・材料・応用. エヌ・ティー・エス, 2001.
- 3) 田村監修. 大容量電気二重層キャパシタの最前線. エヌ・ティー・エス, 2002.
- 4) キャパシタ便覧編集委員会編. キャパシタ便覧. 丸善, 2009.

地域繊維技術を活かした高付加価値繊維製品の開発 (高伸縮素材の開発) (第1報)

繊維・デザイン係 谷村 泰宏、脇坂 博之、小谷 麻理、
山田 恵、岡田 倫子

Development of high value-added textile products utilizing regional textile technology (1) (Development of highly stretching fabric)

TANIMURA Yasuhiro, WAKIZAKA Hiroyuki, KOTANI Mari, YAMADA Megumi, OKADA Michiko

県内繊維産地は撚糸の技術をもっている織物産地である。織物から編物への用途展開を図ることを目的に、産地で用いられている糸や試作糸を用いてテストピースを編成し、引張強伸度等の物性評価を行った。

1. はじめに

滋賀県には、「長浜の絹織物（浜ちりめん）」、「湖東の麻織物（近江の麻、近江ちぢみ）」、「高島の綿織物（高島ちぢみ）」の3つの天然繊維を用いた織物産地がある。羊毛以外の天然繊維の産地がそろっているのは全国的にも本県のみであり、このことから滋賀県は多様な天然繊維の技術が集積していると考えられる。また、3つの産地の共通点は強撚糸を用いている点であり、県内繊維産地は高い撚糸技術を持っているといえる。

そこで本研究では、県内3産地の撚糸技術を活かし、新たな製品となりうる生地を試作開発に取り組むこととした。具体的には、産地技術である強撚糸を用いた糸を用いて、編物（ニット）への展開を図ることにより、従来織物が中心であった産地に新たな製品提案を行うことを目指した。

今年度は、産地で使われている糸を用いて編成条件を検討し、編成したニットの物性評価を行ったので報告する。

2. 内容

2. 1 テストピースの編成

2. 1. 1 設計概要

編成条件を検討するために、綿6種類、麻6種類、絹4種類、および比較用としての羊毛1種類を用いてループの長さが5.6mm、5.8mm、6.0mm、6.2mm、6.4mmになる筒状のニット（以後テストピースと称す）を編成した。以下に詳細を記す。

試料 表1

密度 15 ゲージ

組織 平編

編立 シマトロニック ホールガーメント
コンピュータ横編機

MACH2XS15L 【(株)島精機製作所製】

仕上 綿・麻：洗濯機による洗い

【2～4】：（煮沸10分＋もみ洗い）×
2回→洗濯機による洗い

【10】：熱湯による水溶性ビニロンの溶解後、洗濯機による洗い

絹：アルカリ精練によるセリシンの溶解除去

2. 1. 2 糸の強伸度測定方法

糸の強伸度測定は、表1の試料番号【1】～【11】、および【15】の14種類について、(株)インストロン・ジャパン・カンパニー・リミテッド社製の

表 1 試料一覧

素材	試料番号	糸詳細	糸構成	トータル番手 〔毛番手〕	備考
綿	1	NeC20/2	1本	17	ニット用
	2	NeC40/1（1700T/m・Z）	//Z4本	17	高島ちぢみ 強撹糸
	3-1(Z4)	NeC40/1(1200T/m・S,Z)	//Z4本	17	
	3-2(SZ2)		//S2本Z2本		
	3-3(SZ1)		//S1本Z1本	34	
	4	NeC20/1(905T/m・S,Z)	//S1本Z1本	17	
麻	5	NM2/24（リネン）	1本	12	ニット用
	5-加湿				
	6	NM2/36（リネン）	1本	18	
	6-加湿				
	7	NM1/48（リネン）	//2本	24	
	7-加湿				
	8	NM1/42 マニラ麻ペーパーヤーン	//2本	21	織物用
	8-加湿				
	9	NeL100/1（ラミー） 糊付け糸	//3本	20	
	9-加湿				
	10	NeL100/1（ラミー糊付け糸）//2本 + 250dtex水ビ撹糸（500T/m・S）	1本	17 （水ビ溶解後30）	試作糸
	10-加湿				
絹	11	27d×5本八丁撹糸 + （27d×3本 + 27d×11本）壁糸 変り（細）	//S2本	18	浜ちりめん試作糸
	12	27d×5本八丁撹糸 + 27d×4平糸 八丁平糸	//S2本	18	
	13	42d×6本 氷晶	//S2本	18	
	14	42d×6本 東雲	//S2本	18	
羊毛	15	NM2/30	1本	15	織物用

引張試験機 5966 型を用いて JIS L 1095:2010 9.5.1 により行った。つかみ間隔 250mm、速度 250mm/min、測定本数 編成時に 1 本の場合は 20 本、複数本の場合は 2～4 本をそれぞれ引き揃えて 10 本測定した。加湿の場合は、編成時と同条件になるよう加湿器の蒸気を一晩糸に与える方法で行い、その他は標準状態の糸を用いた。

2. 2 テストピースの物性評価

編成したテストピースは、ループ長が 6.0mm のものについて、目付、厚さ、および引張特性の評価を行った。

目付は JIS L 1096:2010 8.3.2、厚さは JIS L 1096:2010 8.4 を参考に、一定圧力 5.9kPa で測定した。引張特性については、カトーテック株式会社製の KES-FB1 を用いて、ニット標準条件をもとに行い、チャック幅 2.5cm、速度 0.1mm/sec.、上限荷重 250gf/cm とし、測定は筒型

のテストピースの形状でニットが 2 枚重なった状態で行った。

測定した項目である LT、WT、RT、EMT の 4 項目は、LT (引張りかたさ) : 小さいほど初期特性が柔らかい、WT (引張りエネルギー) : 大きいほどよく伸びる、RT (引張り回復性) : 大きいほど回復性が高い、EMT (ひずみ) : 大きいほど伸びやすいことを表している。

3. 結果および考察

3. 1 テストピースの編成結果

3. 1. 1 綿

綿糸の編成条件と編成結果を表 2 に、テストピースを図 1 に示す。【2】～【4】は高島ちぢみに用いられる強撚糸であり、通常その撚り方向は Z 方向である。【2】および【3-1】の Z 撚りの糸 4 本の引き揃えのサンプルでは、約 60cm のテストピースで生地が 1 回転するほど斜行が大きい様子

が見られたが、【3-2】【3-3】【4】のようにZ撚りとS撚りの撚り方向の異なる糸を引きそろえることで斜行は改善した。

高島ちぢみで通常行われるしぼ出し加工は、沸騰水中でしぼを出していることから、この工程を簡易的に再現するため、煮沸後にもみ洗いをした後に洗濯機で洗い、仕上げを行った。

加工条件による表面の変化を図2に示す。洗濯機の洗いのみでは編み縮み【3-3】たて12%よこ25%程度であったが、煮沸ともみ洗いを行うことでさらにたて方向の編み縮みが大きくなり（【3-3】たて35%よこ18%）、糸の表面状態が複雑な新しいニット素材を作ることができた。

番手については、本編機の適正番手は毛番手12～15とされているが、細い糸への編成可能範囲は広く、【3-3】のように毛番手34でも可能であることが分かった。

3. 1. 2 麻

麻糸の編成条件と編成結果を表2に、テストピースを図3に示す。麻は伸度が低く、切れやすいことからニットには向かない素材として知られている。標準的な編成条件では穴あきが多発したが、編成速度を0.8m/sから0.3m/sに落とし、糸や部屋の加湿をすることで編成が可能になった。番手については編機としての適正番手内の【5-加湿】

表2 テストピースの編成条件と結果

素材	試料番号	編成速度 (主速度)	編成結果					斜行	
			ループ長						
			5.6	5.8	6.0	6.2	6.4		
綿	1	0.8m/s	○					なし	
	2		○					強	
	3-1(Z4)		○					強	
	3-2(SZ2)		○					なし	
	3-3(SZ1)		○					なし	
	4		○					なし	
麻	5	0.3m/s	×					-	
	5-加湿		○	○	△	△	△	なし	
	6		×					-	
	6-加湿		○					なし	
	7		未実施					-	
	7-加湿		○					弱	
	8		△	○	○	△	△	なし	
	8-加湿		未実施					-	
	9		×					-	
	9-加湿		×					-	
	10		※部屋 加湿	○	○	△	○	△	なし
	10-加湿			未実施					-
絹	11	0.8m/s	○					弱	
	12		○					弱	
	13		○					弱	
	14		○					弱	
羊毛	15	0.8m/s	○					弱	

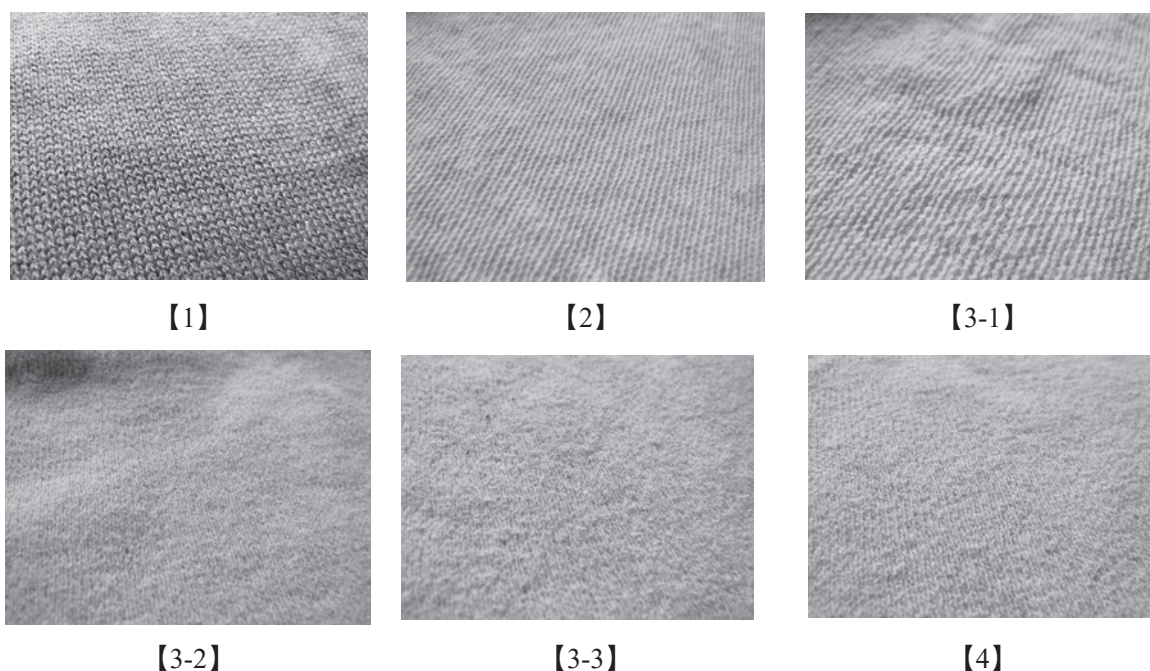


図1 綿のテストピース写真（ループ長 6mm）

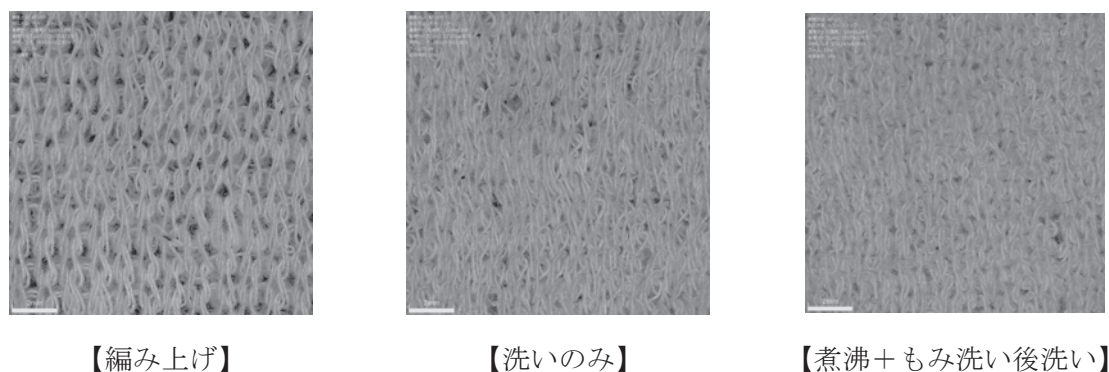


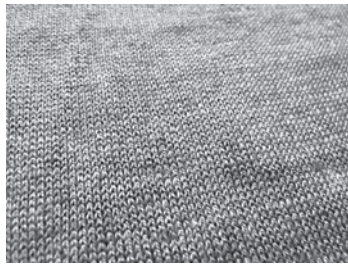
図2 加工条件による生地表面比較【3-3】

NM2/24 の糸でも穴あきが多く、節部分で糸が切れていたが、【6-加湿】NM2/36、【7-加湿】NM1/48 2 本引き揃えでは、穴あきなく編成できたことから、麻の場合の適正番手は、編機の適正番手よりも細い毛番手 18 程度であることが分かった。また、【9】【9-加湿】NeL100/1 は 3 本ひきそろえて使用したものの、1 本の強度が弱く、単糸での糸切れや引き下げ時の糸切れが起こって編むことができなかった。この糸を水溶性ビニロンと撚糸することにより編成を可能にすることができた【10】。これは、細い糸でも編成可能になることと同時に、生産性を上げるうえでも効果的な方法と考えられる。

3. 1. 3 絹

絹糸の編成条件と編成結果を表 2 に示す。事前研究として昨年度に一般的な本一越ちりめん、古代ちりめん、変り一越ちりめん、および東雲ちりめんに用いられている絹糸を用いて編成を行ったところ、形状は適度に凹凸があり、太さは適正番手よりも細い 18 程度（250d 2 本引き揃え）がニッティングしやすいという知見が得られた。そこで今年度は【11】変り糸、【12】八丁×平糸、【13】氷晶、および【14】東雲の 4 種類の糸を作成し編成したところ、最も編成しやすい糸である羊毛と同条件で編成することができた。

編成したテストピースを図 4 に示す。【11】は



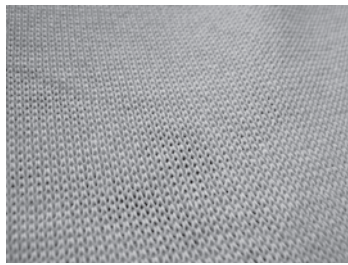
【5-加湿】



【6-加湿】



【7-加湿】



【8】



【10】



【10 編み上げ】

図3 麻のテストピース写真（ループ長 6mm）

柔らかいながらも壁糸由来のシャリ感のある生地となった。昨年度より糸が細くなった分シボ立ちはおとなしめな様子が見られた。【12】は平糸を用いることで柔らかい生地となり、光沢性のある生地となった。【13】は【11】や【12】のように糸自体に凹凸があるわけではないので、薄めの生地となったが、糸に発生したハゼによって意匠

性が若干生じた。【14】は【13】よりもハゼによる意匠性が高い生地となった。このハゼの部分は染色性が変わることから、染めるとより意匠性が高まると思われる結果となった。

3. 2 糸の強伸度測定結果

編成した糸の強伸度測定の結果を図5に示す。

糸の種類によって、強伸度に分布があることが分かる。

【5】【6】は加湿なしでは編めなかったが、糸を加湿することにより強度（29～37%増加）・伸度（20～29%増加）ともに向上し、編成が可能になったことから、加湿が編成のしやすさに効果を与えることが数値としても確認できた。【7-加湿】は、加湿をしていない状態である【5】【6】よりも強度が低い編成可能であったのは、単糸が細く屈曲しやすいためと考えられる。

【9】および【9-加湿】は編成できなかった糸である。【9】より強度の低い【7-加湿】は編めていた。その違いとして、【7-加湿】の構成



【11】



【12】



【13】



【14】

図4 絹のテストピース写真（ループ長 6mm）

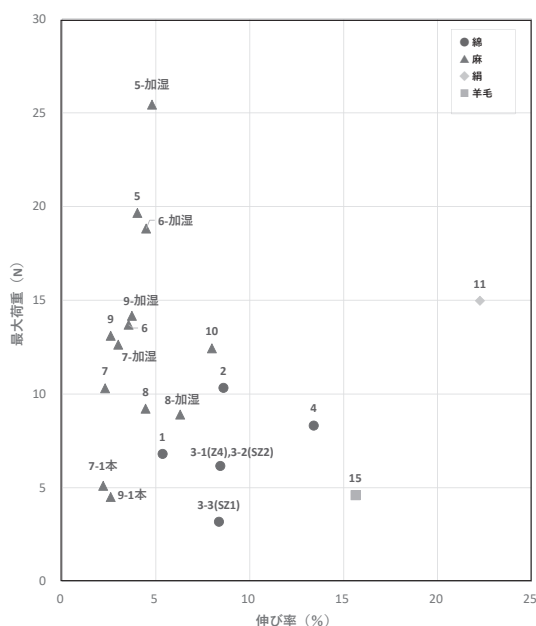


図5 糸の強度と伸び率の関係

本数は2本であり、毛番手 1/48 であるのに対し、【9】は構成本数 3 本、毛番手 1/60 であることから、前述したように、【9】は構成している糸 1 本が細く、強度が低いため糸切れして編めなかったといえる。これは、3 本の糸を合撚することで改善できる可能性が考えられる。

【8】は、加湿なしでも編成可能であった。【8】はペーパーヤーンで、他の糸より強度は低いが伸度が高いため編成できたと思われる。【8-加湿】は未実施であるが、伸度が増加しているため編みやすさが増し、速度を上げて編める可能性がある。また、この糸も構成本数 2 本であり、【7-加湿】と同じように強度は低いが屈曲しやすい糸であるといえる。

また、【9】の 1 本の強度は 4.5N であり、1 本の強さは【15】の羊毛 4.6N とほぼ同じ程度である。綿糸である【3-3】は【9】1 本の強度よりもさらに低い 3.2N だが編成できている。一方、【9】の伸び率は【15】の 1/6、【3-3】の 1/3 である。ほぼ同じ 5N 以下の強度でも伸度の違いにより編めるものと編めないものがあることから、編成可能な糸条件として、糸の強度よりも伸度の影響が大きいことが分かった。

これらのことから、編成は糸の伸度（概ね 4.5% 以上）と適度な細さ（屈曲しやすい柔らかい糸）が重要な要因であることが分かった。

3. 3 テストピースの物性評価結果

編成したテストピースのループ長 6.0mm の目付と厚さを表 3 に示す。強撚糸の場合、縮みが大きい分、目付と厚みが大きい生地となった。また、強伸度の結果を図 6-1~4 に示す。斜行が大きい生地は、斜め方向の引張特性（せん断特性）を表しており、伸びやすさにも影響していると思われる。

ニット素材として一般的な羊毛は、RT が大きく、回復性がよい生地である特徴があった。

綿は、通常のニット用綿糸を用いた生地よりも強撚糸を用いることで編み縮みが大きくなり、引張りかたいが伸びやすい生地ができた。特に、糸を細くした【3-3】での WT、EMT はニット用糸の羊毛や綿生地に比べて約 3 倍大きく、糸を細くすると強撚糸の伸びやすさをより高める効果が得られた。

麻は他の素材と比べて WT が小さく、伸びにく

表 3 編成結果（目付・厚さ）

		目付 (g/m ²)	厚さ (mm)
綿	1	209.1	0.75
	2	532.4	1.38
	3-1(Z4)	458.3	1.29
	3-2(SZ2)	408.6	1.08
	3-3(SZ1)	253.2	0.87
	4	395.7	1.16
麻	5-加湿	304.3	0.84
	6-加湿	201.4	0.66
	7-加湿	148.9	0.59
	8	210.5	0.82
	9	-	-
	10	114.0	0.57
絹	11	218.5	0.89
	12	216.7	0.85
	13	207.5	0.76
	14	192.9	0.79
羊毛	15	227.0	0.91

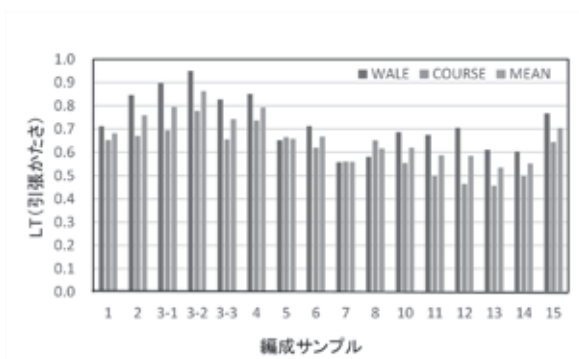


図 6-1 LT (引張かたさ)

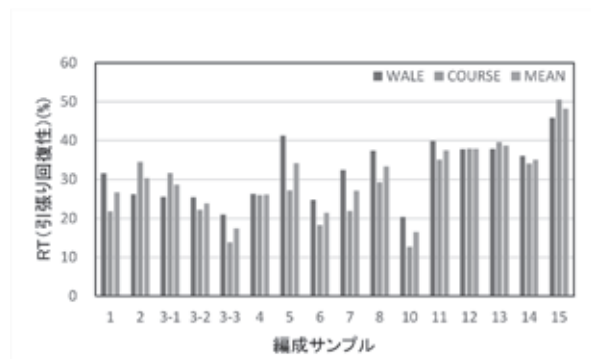


図 6-2 RT (引張り回復性)

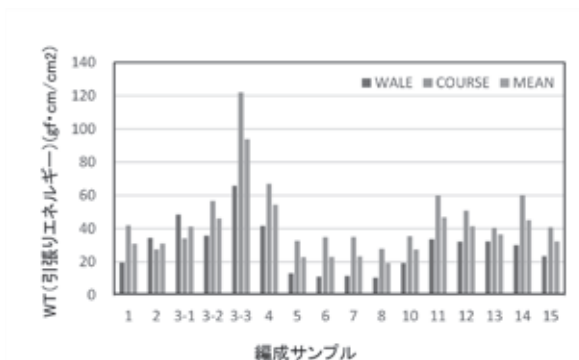


図 6-3 WT (引張エネルギー)

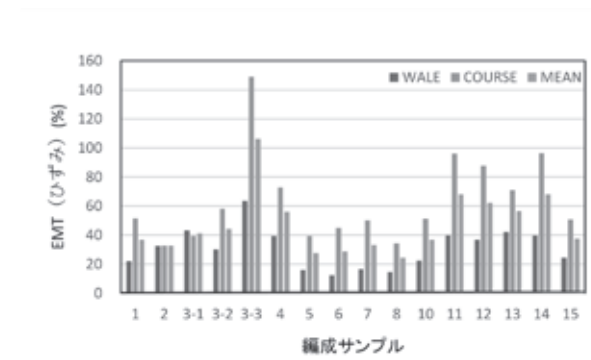


図 6-4 EMT (ひずみ)

い生地であることが分かる。しかし、水溶性ビニロンを芯糸とした撚糸を用いると強度と伸度を補強することができ、細い麻糸で編まれた、伸びやすく柔らかい風合いを持つ素材ができた【10】。

絹は柔らかく、用いた糸の硬さに応じた風合いになり、八丁撚糸のニットは羊毛に比べて回復性は劣るものの、柔らかく伸びやすい生地であるということが分かった。

4. まとめ

綿、麻、絹のテストピースを編成し、編成条件について検討した結果、新たなニット生地の可能性を見出すことができた。今後、製品案の試作などを行い、製品化の支援につなげていきたい。

新「滋賀小紋」柄の作成と効果的なプレゼンテーションの検証 —「滋賀小紋」柄と「滋賀の色」を活用した売れる製品開発— (第2報)

繊維・デザイン係 小谷 麻理

Creation of new "Shiga Komon" pattern and verification of effective presentation (Product development using Shiga Komon pattern and Shiga color) (2)

KOTANI Mari

県内の地域産業では、差別化を目的とした様々なモノづくりへの挑戦がおこなわれている。そのような地域産業の製品開発を支援するために作成を開始した「滋賀小紋」柄は1作目のデザイン作成から約10年が経過した。現在も繊維産地で活用され、柄にはその時々話題やネタを取り入れながら熟達し、ユーザーの興味・関心に応え続ける製品となっている。今年度は滋賀県の繊維3産地向けの「滋賀小紋」柄、「滋賀の色」のテキスタイルデザインを作成し、提案した。

1. はじめに

県内の繊維産地では素材の開発や新技術への挑戦だけではなく、素材を形（製品）にしてユーザーに提案するモノづくりに挑戦している。

昨今では、産地直営ショップの運営や定期的な催事への出展、観光施設で常設販売など、固定客が付き一定の成果（利益）を上げている。

当初、製品開発や販売は素材や生産地の宣伝が目的で実施されていたが、現在はユーザーの立場で物ごとを想像し、好まれる製品（または好まれない製品）を理解する情報ツールとしての役割を果たし、次の素材開発や製品開発に役立てられている。

今研究では、ユーザーが興味を持ち、購買行動につながるように地域ならではの特徴を活かしたテキスタイルデザインの作成と提案をおこなった。

2. 内容

2. 1 綿・麻・絹織物産地それぞれのテキスタイルデザイン

滋賀県は県内に綿・麻・絹素材を得意とする織物産地がある。その織物3産地の特徴を活かせるテキスタイルデザインを作成した。

・「高島小紋」柄

高島市を中心とした地域で生産されている綿織物「高島ちぢみ」はステテコやパジャマ、ホームウェアなどの素材として愛用されている。

高島市で目にする風土をテーマに、生地の中（約120cm／加工前）に併せたリピート（送り付け）のあるテキスタイルデザインを作成した。

・「高島小紋」柄の作成メソッド

1) 高島ちぢみが生産されている高島」をキーワードにしたモノ・コト情報を約50種程度、書き出し、画像イメージで収集。

2) ユーザーの興味に繋げるために、説明が必要なマニアックモチーフ、誰にでもわかるモチーフの二分類を作成。（モチーフ例（抜粋）：扇

骨（扇子）、和ろうそく、雲平筆、帆布カバン、日本酒、ステテコ、風車、アドベリー、あやめ、白髭神社の鳥居、かばたの魚、座禅草、藤、虹、糸用コーン、メタセコイア、黒松、ロープウェイ、糸切りバサミ、沖すくい網の漁船など約30柄)

3) 滋賀県、高島市、綿織物産地をヒントにした隠し柄の作成。

4) テキスタイルデザイン作成。生地収縮を考慮したタテヨコ比率の変更とリピート（送り付け）の作成。

5) テキスタイルデザインシステムを使用した配色検討。

6) 万能インクジェットプリンターでのサンプル作成。

「高島小紋」柄を使用するための課題として、実際に高島ちぢみのプリント加工場で使用されている金属製のロール捺染型に適した線の太さ、染料だまりの原因となる柄の密部分の修正など細かなデザイン変更をおこなう必要がある。



図1 「高島小紋」柄とプリントテストサンプル

・「信楽たぬき」柄

近江の麻・近江ちぢみを生産している湖東産地では、湖東繊維工業（協）が数種類の「滋賀小紋」柄を使用したオリジナル製品を販売している。「高島小紋」柄と同じ手順で柄を作成しているが、湖東繊維工業（協）では柄や配色（「滋賀の色」を使用）にその時々話題を取り入れ、期間限定製品やノベルティーとしても販売されている。

今回は昨年度作成した信楽焼の「ひいろ」をイメージした製品の継続柄として「信楽たぬき」

柄を作成した。

現在主力製品として生産されているハンカチの縫製仕上げ後に全ての柄が納まるように、45 cm角リピートのテキスタイルデザインを作成している。

隠し柄には滋賀県に関連したモチーフの他に、滋賀県で開催が予定されているイベントのマスコットキャラクターを使用するなどして、お土産、記念品としての企画提案をし、春以降に販売を開始する予定である。



図2 「信楽たぬき」柄（拡大）

・「長浜繭玉」柄

長浜市では和装用素材の「浜ちりめん」が生産されている。生地の表面のシボと呼ばれる細かさと、シルク 100%ならではの感触が特徴である。

シボ感を際立たせるために、ベタ塗り部分を多くし、繭玉をモチーフにした小巾（38 cm）のテキスタイルデザインを作成した。

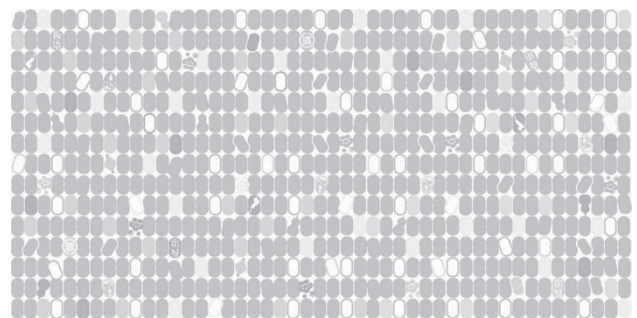


図3 「長浜繭玉」柄

進呈用に受手の名前を隠し柄として追加し、万能インクジェットプリンターで作成した浜ちりめんであずま袋を作成。ラッピングとして使用した他、浜ちりめん産地企業の浜ちりめん製品のパッケージ、販促用ツールに使用された。



図4 あずま袋と製品パネル

2. 2 「滋賀の色」先染め織物用テキスタイルデザインの作成

滋賀の風景画像をヒントにした色系を作成し、テキスタイルデザインシステムにて先染め織物のシミュレーションを作成した。

・「滋賀の色」の作成メソッド

- 1) 作成イメージ、目的、テーマを決める。
- 2) テーマ毎に画像 10～20 枚を集める。
- 3) 測色計、Adobe Photoshop スポイトツールの他、目視で 30 色程度の色を選ぶ。
- 4) 先染め織物のデザインを作成するために 3～5 色程度に集約。
- 5) テキスタイルデザインシステムにて県内で一般的に使用されている綿、麻番手の色系を作成。
- 6) 織物シミュレーションを作成。



図5 びわ湖カラーの色系作成

さらに今年度はタテヨコ共通の色系を使用し、織物組織変更による見え方の違いを検討した。

綿、麻織物産地で使用されている基本的な織物組織を使用し、タテ糸、ヨコ糸にそれぞれ「滋賀の色」で作成した糸を補色や同系色の他、チェックやストライプの縞割と組み合わせなどの織物シミュレーションを作成した。

限られた色系でバリエーションを増やすことは、コストダウンだけではなく、ユーザーの嗜

好性をカバーし、産地ブランドの価値向上につながる効果的なプレゼンテーションに役立つ。

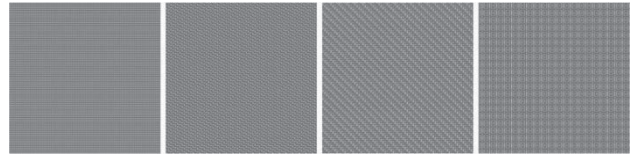


図6 組織変更による見え方の違い

(左から平 2×2、梨地 8×8、1_2 綾 3×3、蜂巢 8×8)

2. 3 「滋賀の色」の手法を活用したプリント柄の作成

「滋賀の色」は先染め織物だけでなく、プリント柄の配色検討にも活用できる。

既存のプリント用捺染柄を多数保管している高島晒協業組合（高島市）との共同研究にて「滋賀の色」の手法で配色検討した素材を作成した。この素材は県内観光施設の夏用ユニフォームとして使用される。

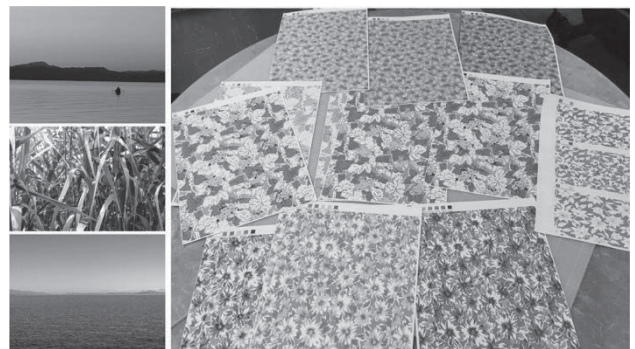


図7 滋賀の風景画像と配色案

3. 今後の予定とまとめ

地域産業の研究、製品開発はマーケットやユーザーに認められて成功となる。様々な状況下で数多くの課題はあるが、製造力だけではなく、独自性、創造性そして伝える力（プレゼンテーション）が大切である。認められることが、売れる製品開発へとつながる。

「滋賀小紋」柄、「滋賀の色」は、目的に合わせ応用活用することができるので、企業や産地、素材に関わらず、滋賀県ならではの製品開発、提案のツールの一つとして活用することができる。

高島ちぢみを使用した夏用ユニフォームの開発

繊維・デザイン係 小谷 麻理

Development of summer uniform using Takashima Chijimi

KOTANI Mari

高島晒協業組合が保有するインナーやパジャマ用のプリント柄をシャツ用にアップサイクルし活用させるため、「滋賀の色」の手法を用いたテキスタイルデザインの作成を高島晒協同組合との共同研究にて実施した。

さらに、従来製品より着心地が良く取り扱いが容易な素材の検討を行い、県内の観光施設向けの夏用ユニフォームを作成した。

1. はじめに

高島晒協業組合（高島市）では、高島ちぢみの加工仕上げ、プリントを行っている。高島ちぢみは、ステテコやパジャマ、ホームウェアなど、性別、年齢を問わず広く愛用されている。

高島の綿織物の歴史は古く江戸時代から始まったとされているが、同組合は 1954 年（昭和 29 年）高島織物工業協同組合事業部の晒加工部として発足した。1984 年（昭和 59 年）に捺染工場が新設された。

組合には約 2000 本の捺染用のプリント型が保存されているが、柄の殆どがステテコやパジャマ、ホームウェア、寝具用であり、プリントテストした生地見本の状態で保管されている。一昨年から、その捺染用のプリント型の再活用に取り組み、シャツやワンピースに使用できるよう配色変更を行ってきた。

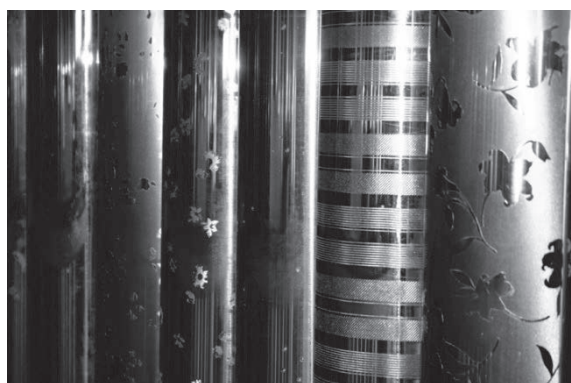


図1 捺染用のプリント型（ロール型）

2. 内容

2. 1 「滋賀の色」テキスタイルデザインの作成

びわ湖花街道（株式会社 国華荘／大津市）から「高島ちぢみ」を使用した、スタッフ向け夏用ユニフォームの作成依頼があり、センターと高島晒協業組合との共同研究にて製品開発に取り組んだ。

すでに生地見本をテキスタイルデザインシステムでデータ化し、配色検討する方法は昨年度までの共同研究、技術指導で可能になっており、今年度はより製品価値を上げるために、ストーリー（理由）のある配色作成を行った。

・夏用ユニフォーム用「滋賀の色」配色検討メソッド

1) 滋賀をイメージする風景画像を収集

（びわ湖花街道との協議で夏向け3配色作成する事に決定済み）

2) ユニフォーム用柄のピックアップ

約 2000 柄の中からプリントミスが出づらく、顔料プリントの効果で素材にハリ感を与え、白場（プリントしない部分）が少ないことで透け感を防げる柄を選別。

3) テキスタイルデザインシステムでの配色検討。



図2 配色検討の一例

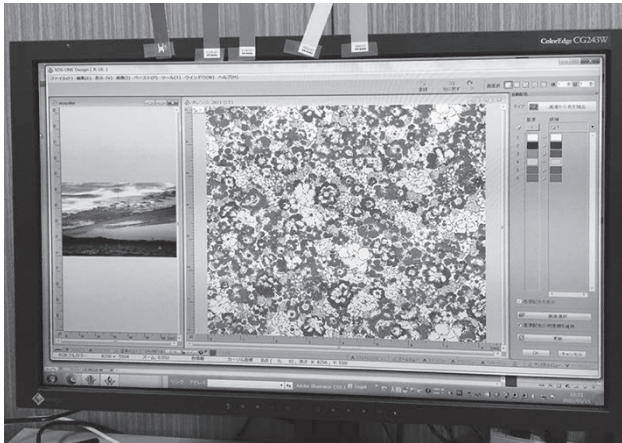


図3 万能インクジェットプリンターでのプリントテスト

4) 万能インクジェットプリンターを使用し、実際に高島ちぢみ素材を使用したプリントテスト、配色見本作成。

5) 柄、配色検討

びわ湖花街道では黄色味ウォームカラーの照明が使用されており、染め場や太陽光の下とは色の見え方が大きく異なることがわかり、素材

にプリントした配色見本を施設に持ちこみ検討を行った。

また、びわ湖花街道のイメージに添わせながらも、縫製時の柄合わせによる素材ロスが出ない柄の検討も繰り返し行った。

6) シャツデザイン（フォルム・サイズ・ポケット・社章刺繍）の検討

7) プリント

・プリント現場での立会い（色チェック）



図4 実際に着用する施設の照明下での色検討



図5 高島晒協業組合でのプリント作業

2. 2 素材検討

今回のユニフォームは着用者の自己洗濯で着用いただく。そこで、洗濯後の取り扱いができるだけ楽のように、着心地、洗濯後の素材の収縮や高島ちぢみならではの凹凸を活かし、ノンアイロンで着用できるように素材の改良を行った。

センターから提案した織物設計と産地企業が検討した織物設計で見本素材を作成した。

センターではそれらの簡易収縮テスト等を行い素材評価を行った。



図6 収縮（洗濯）試験と風合い検討

さらに、産地では生産性（コスト検討）や加工工程の検討、確認を行った。

サンプルモデルの襟、丈の調整の他、品質表示の検討、びわ湖花街道マークの刺繍テスト等を行い210枚のシャツの生産を行った。

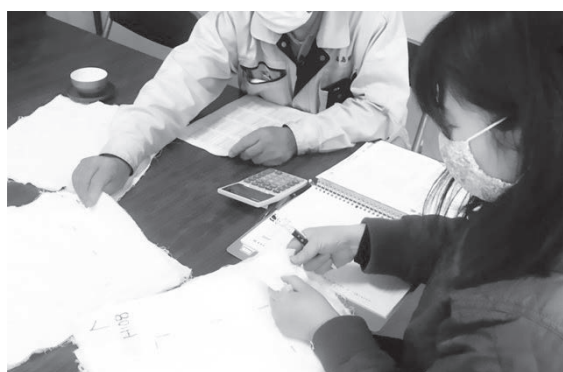


図7 産地での素材検討

2. 3 隠し柄「ハッピーバードを探せ」

びわ湖花街道の訪問者に「滋賀の色」のユニフォームを見ただけで楽しんでいただくだけではない。「滋賀小紋」柄の隠し柄の手法を用い、210枚のシャツの中の12枚だけに、同施設の壁面装飾に登場する「鳥=ハッピーバード」のワンポイント刺繍を隠した。

いつ、どこで出会えるかわからない「ハッピーバード」を身につけた花街道スタッフと記念撮影もしくはSNS投稿で、今回のユニフォーム素材で作成した記念粗品（数量限定）をプレゼントする。訪問者と共に「高島ちぢみ」の夏用ユニフォームを楽しみ、その価値を高める。



図8 どこかに隠れているハッピーバード刺繍

3. 今後の予定とまとめ

夏用ユニフォームは5月から着用が開始される。実際に着用が開始された時点で、着用感、繰り返し洗濯による形状変化、強度変化の他、花街道の訪問者の反応等を調査する必要がある。

また、今回の夏用ユニフォーム作成の経験を参考に高島晒協業組合とびわ湖花街道では新たな製品の開発を開始している。

この夏用ユニフォームの作成は「近江の地場産品購入によるおもてなし向上事業費補助金」を使用した。

小型バルブ性能試験機の開発と技術ハンドブック作成に係る研究

— 小型バルブ性能試験機の開発 —

金属材料係 酒井 一昭

機械システム係 井上 栄一

Research of small valve performance tester and research on preparation of technical handbook — Development of small valve performance tester —

SAKAI Kazuaki, INOUE Eiichi

当センターのバルブ性能試験装置を使って小口径バルブの性能試験を行う場合、元配管から急縮小した配管接続になるため損失が大きく、また設定条件が装置能力に対して小さいため計測誤差が問題となる。また、必要に応じてバイパス配管や計測センサなどを設けて対処するが労力は大きい。そこで、弁口径に応じた条件で試験が可能となる小型バルブ性能試験機の開発を行ったので報告する。

1. はじめに

当センターのバルブ性能試験装置では試験の適合口径を 50～200A としている。従って、小口径の試験を行う時には元配管を急縮小するため配管接続による損失が大きく、これに起因した計測精度の問題が懸念される。これまでに小口径弁の試験ニーズはあったが、これに関する技術知見が乏しいため助言・指導に苦慮していた。小口径用の試験機があれば実験効率が格段に向上するばかりか、流れ現象の把握も容易になり設定条件に応じた計測ができる。既に、昨年度から試験機は試作中であつたが、通水時の呼び水の維持方法と配管漏れが課題であつた。

そこで、本研究では試験機の改良を行い、供試品による容量係数、損失係数、キャビテーション係数が既設装置と同様な計測が可能であつたことを確認したので報告する。

2. 小型バルブ性能試験機の試作

2. 1 基本設計

図 1 に試験機の設計の流れを示した。先ず設計方針として、試験機の規模と配管内の流速を決定する。設計規模は、試験のし易さ、持ち運びのし易さ、組立の容易さなどを勘案して既設装置の 1/10 モデルを設定し、図 2 に示す 1 ライン配管用の小型バルブ性能試験機を想定した。既設配管の最大口径が 200A であることから、ポンプの吸込、吐出の両配管および試験ラインの主配管口径を全て 20A とした。また給水の標準流速は 1.5m/s とし、配管口径と流速から適正管内流量は 28 L/min となる。

2. 2 配管損失

試作機の配管損失を積算するため、図 2 から試験機に必要な配管構成要素を把握し、直管長さ、管継手やバルブ類の抵抗係数をカタログや文献等から調査した。これら直管長さとコンポーネント

の種類と数および各配管要素の抵抗係数を表 1 および 2 にそれぞれ整理した。特に、試験に必須の主要配管部（試験区間）は、図 3 の JIS 規定に準じて配置した。直管部の全長はポンプの吸込管と吐出管を含めて合計 2400mm であり、管継手やバルブなど全抵抗係数は 3.78 と積算した。

2. 3 損失水頭

前項の配管損失と配管径、流速などから、損失水頭は次式(1)で求められる。数値を当てはめて、損失水頭は $h_L=1.5[\text{m}]$ である。

$$h_L = \left(f \frac{L}{D} + \sum K \right) \left(\frac{V^2}{2g} \right) \quad (1)$$

ここで、 h_L :損失水頭[m]、 f :管摩擦係数、 L :直管部の長さ[m]、 D :管内径[m]、 K :管継手、バルブ類の抵抗係数

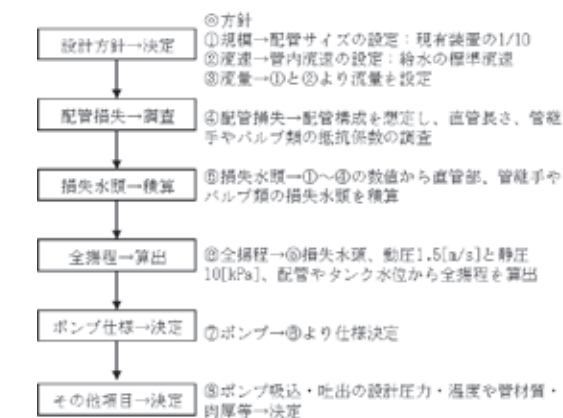


図 1 設計の流れ

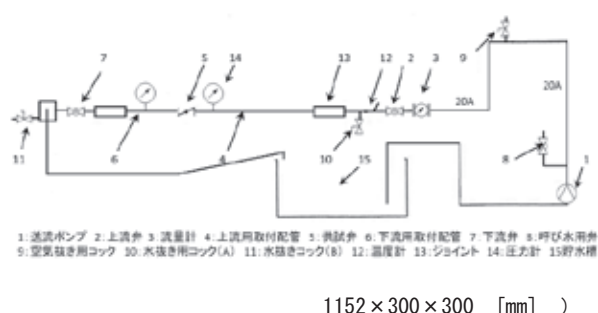


図 2 小型バルブ性能試験機の概要

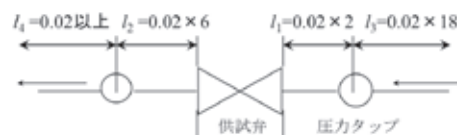


図 3 JIS 規定の試験区間

表 1 直管長さとコンポーネントの種類と数

ポンプ吸込管		ポンプ吐出管	
品 目	数量×面間[mm]	品 目	数量×面間[mm]
20A直管	500-135=425	20A直管	2012-637=1975
エルボ	3×45	エルボ	3×45
		ボール弁2・流量計1	100×84×88
		供試弁	1×40
		ジョイント	90×55
		ビット部	1×67

表 2 抵抗係数

抵抗係数	
品 目	抵抗係数
20A塩ビ直管	0.08(管摩擦係数)
エルボ	0.5
ボール弁、流量計	0.05
供試弁	0.3
ジョイント	0.05
ビット部	0.5

2. 4 全揚程

試験機は、配管構成要素の損失以外に配管内を流れる流体の動圧と静圧が作用する。動圧は流速1.5[m/s]から $H_v=0.1[\text{m}]$ である。静圧については、動圧の変動分を余裕として 10[kPa]を見込んで $H_p=1.0[\text{m}]$ とした。また、図 4 のポンプ、タンクや主配管の設置高さから、ポンプセンターの水頭は大気圧 P_a にタンクの水位分 H_s が加わり、この水頭からポンプ入口管の損失水頭 h_s を差し引いたものとなる。一方、吐出側はポンプと試験配管迄の高さの差 $H_{d1}-H_{d2}$ にポンプ出口管の損失水頭が加わるため実揚程は(2)式より $H_a=0.05[\text{m}]$ になる。タンクの高さは調整すれば水頭 H_s が変化して吐出能力を補完できる。以上から、全揚程は、(3)式により損失水頭、動圧、静圧および実揚程から $H=2.65[\text{m}]$ と合算できる。

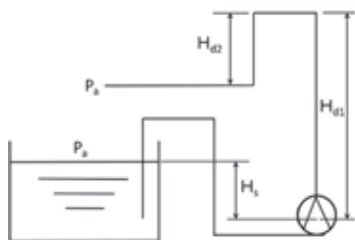


図4 配管高さとタンクの水位

$$H_a = H_s - (H_{d1} - H_{d2}) \quad (2)$$

$$H = H_L + H_v + H_p + H_a \quad (3)$$

ここで、 H_a :実揚程[m]、 H_s :吸込水頭[m]、 H_{d1} :吐出水頭[m]、 H_{d2} :吐出水頭[m]、 P_a :大気圧[kPa]、 H :全揚程[m]、 H_L :実揚程[m]、 H_v :動圧[m]、 H_p :静圧[m]

2. 5 主要機器

前項から選定したポンプ、圧力センサ、流量センサの仕様を表3～5に示した。表3の揚程2.6[m]はタンクの水位を補完して使用できる。流量は28L/min以上あり設計条件を満たしている。表4の圧力センサは圧力100[kPa]のレンジ設定が可能である。また表5の流量センサは、流量以外に水温も同時計測できる機能がある。

2. 6 試験機

試験機の主要配管ラインを写真1に示した。当機は小型のため既設装置に比べて作業効率が格段に良い。流体の流れを可視化できるように透明プラスチックを多用したため、流れの状態を確認しながら実験できる。

表3 ポンプ

項目	内容
メーカー	コトブキ工業株式会社
品名	コアパワー
型式	330
流量 [l/min]	28(50Hz) , 33(60Hz)
揚程 [cm]	190(50Hz) , 280(60Hz)
定格電圧 [V]	AC100 50Hz/60Hz

表4 圧力センサ

項目	内容
メーカー	長野計器株式会社
品名	小型デジタル圧力計
型式	GC31
圧力レンジ [kPa]	±100
最高許容圧力	圧力レンジの2倍
表示精度 (at23℃)	± (1.0%F.S.+ldigit)
出力 [V]	1～5
電源 [V]	12～24

表5 流量センサ

項目	内容
メーカー	株式会社デジテン
品名	流量水センサ
型式	G3/4"
流量範囲 [L/min]	1～60
負荷容量 [mA]	≤10 (DC5V)
出力パルス [Hz]	1～400
電源 [V]	5～24

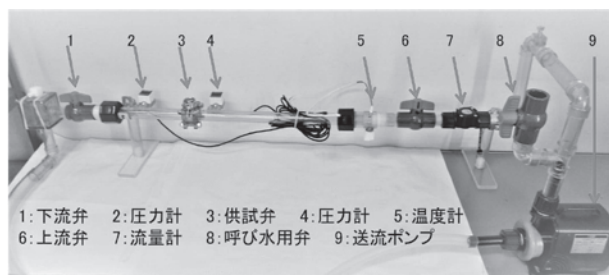


写真1 小型バルブ性能試験機
(主要配管ライン)

3. 供試弁体の性能試験

3. 1 実験方法と内容

まず、写真1の呼び水用弁に注水し、ポンプを作動させて呼び水をする。次に配管内を満水後、温度計、圧力センサや流量センサの動作状況を確認する。実験は、図5の各供試品を15°毎に開度を変化させて送水し、各センサの指示値を読む。これを10反復行った取得データから、容量係数、損失係数、キャビテーション係数を求めて2弁体の有意性を検証した。また3次元プリンターで作成した弁体（以下、3D製弁体）は、小型試験機との比較のため既設装置でも試験した。



図 5 供試弁体 (2 種類)

3. 2 容量係数、損失係数、キャビテーション係数

・容量係数 C_v

$$C_v = 0.6934Q \sqrt{\frac{1}{\Delta p}} \quad (4)$$

ここで、 Q :体積流量[L/min]、 G :水の比重 (1)、 Δp :差圧[kPa]

・損失係数 ζ

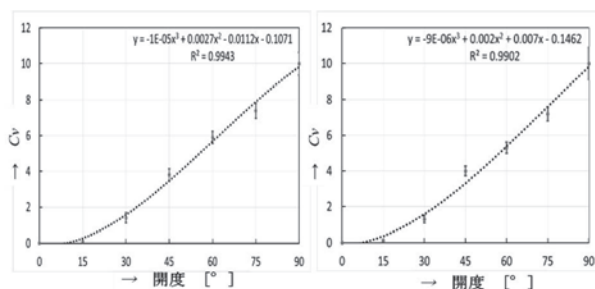
$$\zeta = \frac{2\Delta p \cdot 1000}{\rho v^2} \quad (5)$$

ここで、 Δp :差圧[kPa]、 ρ :密度[kg/m³]、 v :平均流速[m/s]

・キャビテーション係数 σ_1

$$\sigma_1 = \frac{(E + H_2 - S)}{\Delta H} \quad (6)$$

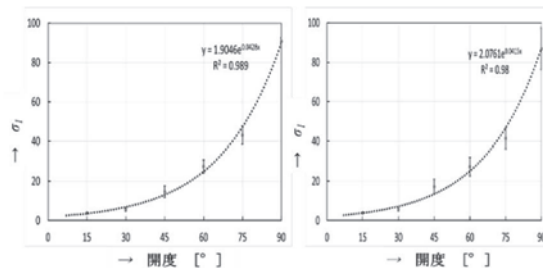
ここで、 ΔH :差圧[kPa]、 H_2 :下流圧力[kPa]、 E :大気圧[kPa]、 S :飽和蒸気圧[kPa]



パタフライ弁体 (3D 製)

パタフライ弁体 (市販品)

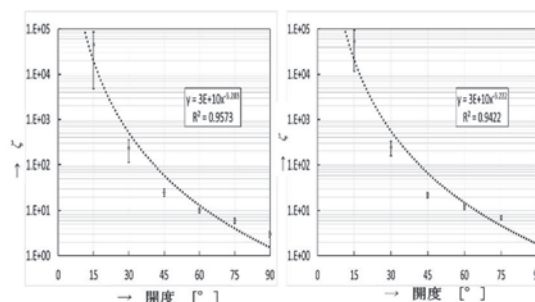
図 6 容量係数(C_v)



パタフライ弁体 (3D 製)

パタフライ弁体 (市販品)

図 7 損失係数(ζ)



パタフライ弁体 (3D 製)

パタフライ弁体 (市販品)

図 8 キャビテーション係数(σ_1)

容量係数(C_v 値)、損失係数(ζ)、キャビテーション係数(σ_1)は、それぞれ (4)～(6) 式により求めた。これらの結果を図 6～8 に示した。図 6 の容量係数は、データのばらつきが約±0.03～0.6 であり、2 弁体の曲線は同様の傾向である。また図 7、図 8 も同様であった。

3. 3 各係数の有意性

各係数の弁体の違いによる有意差を調べるため、弁体の違いと開度の 10 反復データを使って 2 元配置の分散分析を行った。その結果は以下の通りである。

(1) 容量係数(C_v 値)

表 6 は、容量係数の分散分析結果である。表から、弁体の違いは分散比が F 値に比べて小さく有意性が認められない。また弁開度の分散比は F 値に比べて極めて大きく有意性が高いため C_v 値は弁開度で変化することが確認できる。なお、弁体の違いと開度の交互作用は、分散比が F 値に比べて小さく有意性は認められない。

表 6 Cv 値の分散分析表(弁体の種類)

変動要因	変動	自由度	分散	分散比	P-値	F 境界値
弁体の種類	0.92	1	0.92	2.73	0.10	3.93
弁開度	1427.76	5	285.55	850.80	5.44E-85	2.30
弁体の種類と開度の交互作用	1.88	5	0.38	1.12	0.36	2.30
繰り返し誤差	36.25	108	0.34			
合計	1466.80	119				

(2) 損失係数 (ζ)

損失係数も前項(1)の容量係数と同様な結果であった。すなわち、弁体の違いに有意性は認められず、弁開度の有意性が高い。また、弁体の違いと開度に交互作用は認められなかった。

(3) キャビテーション係数(σ)

キャビテーション係数についても容量係数や損失係数の場合と同様な結果であった。

以上、(1)～(3)より弁体の違いに有意性がないことから、3D 製の弁体を用いても実製品と同様な性能評価が可能であることを確認した。

4. 試作機と既設装置の相違

4. 1 容量係数のばらつき

小型試験機 (10 反復) と既設装置 (3 反復) は実験の反復数が異なるため、小型試験機のデータは大中小のデータを代表値に用いて 3D 製弁体の容量係数について試験機の違いを比較した。表 7 から、試験機の違いに有意性はないが、試験機の違いと開度に交互作用がある。また図 9 から、Cv 値のばらつきは開度によって異なるが、既設装置では約 $\pm 0.3 \sim 1.4$ であることから両試験機は同様な特性領域の範疇にある。

表 7 Cv 値の分散分析表(試験機の違い)

変動要因	変動	自由度	分散	分散比	P-値	F 境界値
試験機の違い	0.48	1	0.48	1.82	0.19	4.26
弁開度	371.14	5	74.23	283.75	1.59E-20	2.62
試験機の違いと開度の交互作用	15.66	5	3.13	11.97	6.92E-06	2.62
反復誤差	6.28	24	0.16			
合計	393.56	35				

4. 2 弁軸のズレ補正

弁軸操作で開度の初期設定に違いが生じたため、既設装置の開度 5°分のズレ補正を施して図 9 へ細線で描いた結果、開度 70°位まで小型試験機 (破線) との一致性が高い曲線が得られたことから試験機が異なっても同様な実験データが得られていたと考えられる。

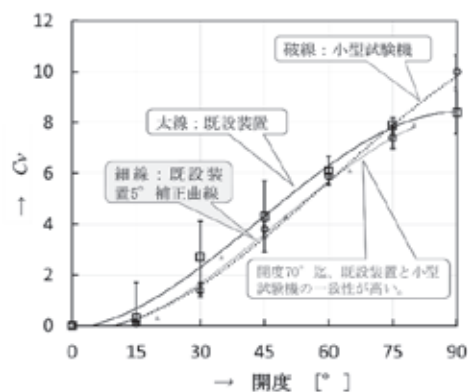


図 9 容量係数 Cv (3D 製)

5. まとめ

既設装置の 1/10 モデルを想定した小型バルブ性能試験機を設計し、供試弁体によるバルブ性能試験を行った結果は次のとおりであった。

(1) 開発した小型試験機を使用すれば、小口径に適した試験条件が容易に設定でき、かつ既設装置と同様なバルブ性能試験が可能であった。

(2) 市販品と 3D 製の 2 弁体による容量係数、損失係数とキャビテーション係数を調べた結果、各係数は弁体の違いによる有意差は無く、3D 製を性能評価に用いる有効性が確認できた。

(3) 既設装置と小型試験機について 3D 製弁体の Cv 値を比較した結果、試験機の違いと開度に交互作用があり、既設装置の開度のズレ補正を行って試作機と一致性の高い性能曲線が得た。

(4) 小口径実験では、流れの安定化を確保し、正確な配管接続と高精度な開度調整が必要である。

今後、小型試験機の配管固定を強化し、開度設定を電子化など改良を行えば、より高性能な試験機になると期待できる。

謝辞

本研究の実施に際して、滋賀県立大学工学部機械システム工学科の学外実習生、勝間航平氏に実験のご助力を賜りました。この場を借りまして御礼申し上げます。

付記

本研究のバルブ性能試験には、公益財団法人 JKA 補助（競輪 14-121）バルブ性能試験データ処理システムと公益財団法人 JKA 補助（競輪 19-85）バルブ性能試験装置用差圧・流量計測システムを活用した。

文献

- 1) 日本規格協会，「バルブの容量係数の試験方法」．JIS B2005:1987．（最新改正 1995、廃止 2004 年）
- 2) 日本規格協会，「工業プロセス用調節弁-第 2 部：流れの容量-第 3 節：試験手順」． JIS B 2005-2-3：.D

超スモールスタート IoT のためのプラットフォーム確立と 応用に関する研究

機械システム係 藤井 利徳

A Research of Platform-Establishments and applications for a super small-start-IoT

FUJII Toshinori

安価で導入可能な IoT 環境の実現を目指し、近年、性能向上がめざましい無線通信機能を有する小型マイコンを用いたデータ収集システム構築について検討した。Raspberry Pi 等の小型マイコンを使用することで、2 万円以内で IoT 環境を構築することができた。

1. はじめに

IoT (Internet of Things) は、「モノのインターネット」と呼ばれ、あらゆるところに設置したセンサからモノの状態を把握するため情報を得る技術として、製造業をはじめあらゆる分野で広がりつつある。これまで収集してこなかったことで認識できなかった情報を「見える化」できることがメリットとされている。また、政府が掲げる「Society5.0⁽¹⁾」においても中核をなす技術である。さらに、運用が開始された「5G」は大容量、多ノード、リアルタイムでのデータ転送が特徴の次世代無線通信規格であるが、IoT との親和性がよく、これまでにない膨大な量のデータ収集が可能になる。とくに、「ローカル 5G」はある地域・区域のみで利用可能な規格で、IoT 活用を強力に推進するインフラになりうる。一方で、IoT の導入の際は目的や対象物を絞って機器・環境を整備する「スモールスタート」から始めることが推奨されているが、センサや無線機器、データ収集・解析のすべてを準備すると高額な出費となることもある。

そこで、より低コストでの IoT 導入を目的とし

て、市販のセンサやマイコン、フリーソフト等を活用したセンサ情報収集プラットフォームを構築し、安価で運用開始できる IoT スタートアップ環境の提供を目指す。

2. システムを構成する機器

2. 1 全体構成

図 1 に、本研究で構築する無線データ収集システムの構成を示す。データの送信側は ESP32 を、データを保存する受信側は Raspberry Pi をそれぞれ使用し、データベースとして MySQL (Raspberry Pi OS では mariadb が推奨) を用いた。以降の項

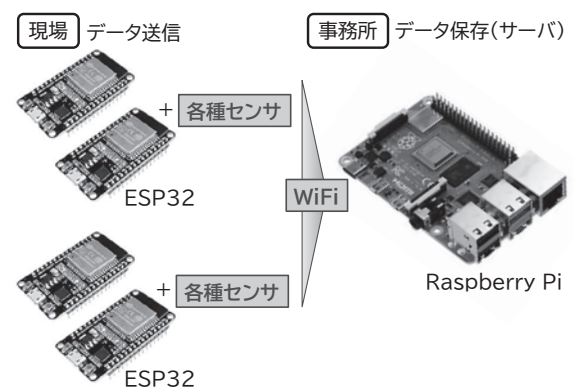


図 1 構成

で、使用したそれぞれの機器の詳細を示す。

2. 2 データ収集サーバ

Raspberry Pi (ラズベリー パイ) は、ARM プロセッサを搭載したシングルボードコンピュータであり、イギリスのラズベリーパイ財団によって開発されている。もともとは、教育で利用されることを想定して製作されたが、IoT 開発が盛んになった 2010 年代後半以降は、安価に入手できる高性能マイコンとして試作品の開発等にも用いられるようになった。主な特徴は以下のとおりである。

- ・安価（ボードのみで 1 万円以下）
- ・高性能 CPU、HDMI 出力 2 つ、大容量 RAM など高機能
- ・ microSD カードに種々の OS（基本は Linux）をインストールして利用
- ・ファイルサーバ、web サーバなど各種サーバとして利用可能
- ・ IO (input、output) インターフェースを備えているため、データ収集や外部装置の制御も可能
- ・有線 LAN、無線 LAN、Bluetooth Low Energy (BLE) による通信が可能

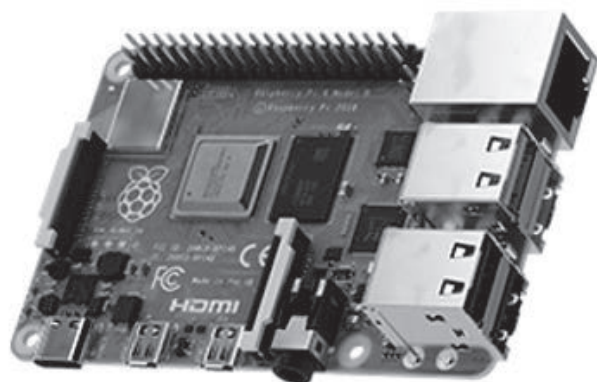


図 2 Raspberry Pi

2. 3 データ転送

ESP32 は無線での通信機能を有する小型マイコンである。USB からの給電のほか、5V 直流電源（電池等）でも作動し、低消費電力を謳っている。

主な特徴は以下のとおりである。

- ・安価（2 千円以下）
- ・低消費電力（スリープモード設定可、電池駆動可）
- ・ Arduino IDE でプログラミング可能
- ・ Micro Python でもプログラミング可能
- ・ I2C 規格、SPA 規格のデジタルセンサもそのまま接続可能
- ・アナログセンサも接続可能
- ・無線 LAN、BLE 搭載
- ・「M5Stack」というセンサやディスプレイ等をパッケージにした派生製品もある



図 3 ESP32

今回の試作で使用したセンサは、デジタル温湿度気圧センサ BME280 である。近年のセンサは、MEMS 技術によって製造されており、多機能でありながら小型で、容易に基板への配置・結線ができる。

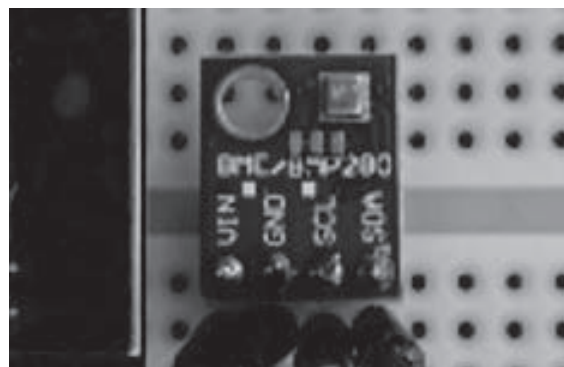


図 4 温湿度気圧センサ BMP280

3. 各種プログラム

3. 1 センサデータの取得および送信

ESP32 によりセンサデータの取得および送信は、Arduino 用開発環境である Arduino IDE を用いてプログラミングした。

3. 2 データ受信および保存

ESP32 から送信されてきたデータを保存するために、web サーバに apache、データベースには mariadb (MySQL と互換性あり) を使い、ESP32 から送られてきたデータをデータベースに保存するためのプログラムは web やデータベースソフトと親和性の高い PHP で作成した。mariadb でのデータベースやテーブルの作成等の設定には、ブラウザからの操作が可能な Adminer を用いた。

図 5 に、データベースに保存されたサンプルデータを示す。時間ごとの気温、湿度、気圧が保存されている。

選択: sensordata

データ	構造	テーブルの変更	項目の作成
選択	検索	ソート	制約 50 文字列の長さ 100 動作

SELECT * FROM "sensordata" LIMIT 50 (0.005 秒) 編集

☐ 修正	id	sensor_id	location	temp	hum	pressure	time
☐ 編集	346	BME280_01	Office	19.56	46.28	1032.18	2020-11-05 18:09:08
☐ 編集	347	BME280_01	Office	19.57	46.27	1032.14	2020-11-05 18:09:22
☐ 編集	348	BME280_01	Office	19.59	46.25	1032.19	2020-11-05 18:10:22
☐ 編集	349	BME280_01	Office	19.57	46.29	1032.19	2020-11-05 18:10:42
☐ 編集	350	BME280_01	Office	19.58	46.22	1032.18	2020-11-05 18:11:17
☐ 編集	351	BME280_01	Office	19.61	46.21	1032.21	2020-11-05 18:12:17
☐ 編集	352	BME280_01	Office	19.63	46.19	1032.22	2020-11-05 18:13:17
☐ 編集	353	BME280_01	Office	19.62	46.19	1032.24	2020-11-05 18:14:18
☐ 編集	354	BME280_01	Office	19.64	46.20	1032.25	2020-11-05 18:15:18
☐ 編集	355	BME280_01	Office	19.68	46.09	1032.23	2020-11-05 18:16:18
☐ 編集	356	BME280_01	Office	19.64	46.27	1032.24	2020-11-05 18:17:18
☐ 編集	357	BME280_01	Office	19.65	46.17	1032.25	2020-11-05 18:18:18
☐ 編集	358	BME280_01	Office	19.64	46.25	1032.24	2020-11-05 18:19:18

図 5 サンプルデータ

4. 講習会

試作したプラットフォームの技術移転を目的に、実習をまじえた講習会を企画した。公益財団法人滋賀県産業支援プラザが主催する「ものづくり IoT 研究会 製造現場の見える化分科会」の参加企業あてに案内したところ、9 社の申込みがあり、10 月 20 日、11 月 17 日の 2 回の実習を開催した。Raspberry Pi の操作が未経験の参加者もいる

なか、2 日間の内容としては多くの設定や操作があったため、データの送信、受信および保存までできた企業が 2 社にとどまったことが反省点である。来年度は、講習内容の精査や資料修正を行ったうえで、再度講習会を開催する予定である。

5. まとめ

Raspberry Pi と ESP32 を利用し、センサデータの無線送信・保存環境を試作することができた。来年度以降は、収集したデータの可視化や、センサの多数配置による機器等の状態把握を行う予定である。さらには、講習会を開催し、中小企業への技術移転を進める。

参考文献

(1) 内閣府ホームページ「Society 5.0」

https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/index.html

. ICT 技術を用いた鑄造技術の高度化・高効率化技術の開発 —鑄造品質に関わるパラメータ計測に関する研究— (第 2 報)

機械システム係 間瀬 慧

Advancement and high efficiency technology for casting by ICT technology -Study on a measurement of parameters affecting casting quality- (2) MASE Satoshi

本研究では安価な色彩センサを用いた非接触式温度計測デバイス開発における基礎検討として溶湯温度と溶湯発光色強度の相関関係の推定方法について検討を行っている。本報告では 1100℃～1200℃に色彩センサで測定した溶湯発光色強度と溶湯温度の同時測定実験を行い、その結果について回帰分析による相関関係の推定を行った。その結果、前報の結果と合わせて 850℃～1200℃での温度範囲で一次線形モデルにより溶湯発光強度と溶湯温度の相関が表せることが分かった。

1. はじめに

近年、製造業における人手不足が深刻化しており、人材確保に何らかの課題のある企業は 94.8% となっている¹⁾。特に大企業に比べ中小企業における人材確保の課題は深刻となっている。国内製造業のうち、人材確保の課題がビジネスにも影響が出ている中小企業は 36.2%にも上っている²⁾。このような現状に対し有効な方法の一つは ICT 技術を活用することで製造プロセスを高効率化することである。

製造プロセスには鍛造、機械加工等多種多様なものが存在し、それぞれに管理項目がある。今回、その中でも鑄造プロセスにおける溶湯温度管理に着目し、ICT 技術を用いた計測デバイスの開発を行う。

鑄造とは砂、耐火物或いは金属などにより人為的に形成された所定の空間またはそれと同等の空隙に、溶融した金属を流し込み、凝固させることで形をえる加工法を言う³⁾。複雑な形状の品物を一体で成形できる、大型の製品を造形可能といった特徴から鑄造はものづくりに欠かせない技

術となっている。滋賀県の地場産業であるバルブの製造においても弁箱や弁体といった主要部品は素材を鑄造によって作られているものが多い。

鑄造プロセスにおける溶湯温度は品質に大きく影響する。溶湯温度が高すぎるとガス吸収によるピンホールの発生や割れ、型の損傷に繋がる。逆に低すぎると引け巣や湯回り不良に繋がる⁴⁾。

溶湯温度の管理は一般的に接触式では熱電対、非接触式では放射温度計が利用されることが多い。放射温度計には測定物への影響が無い、消耗品が無い、高速で計測可能といったメリットがあるが、計測器自体が高価、蒸気などの環境の影響を受けやすいといった課題も存在する。

これらの課題に対し導入コストの低減、複数台設置やデバイスの溶湯の近傍への設置による高精度化を目指し、使い捨ても視野に入れた安価な色彩センサを用いた計測デバイスの開発を行っている。本報告では基礎的な検討として CAC411 における 1100℃～1200℃での溶湯発光色強度と溶湯温度の同時測定実験を行い、その結果から溶湯発光色強度と溶湯温度の相関関係について検

討した結果について報告する。

2. 溶湯発光色と溶湯温度の同時測定実験

2. 1 実験方法

実験装置の外観写真を図1に示す。測定位置に置いた黒鉛るつぼの直上 200mm の位置に集光用レンズ (φ50 の球面両凸形状、焦点距離 62.7mm) を、その焦点距離の位置に受光部が来るよう色彩センサ(PM-KJ001-IR、(株)チェッカーズ)を設置している。この色彩センサは RGB と近赤外範囲に感度を持ち、それらの強度の検出結果を 0 から 100 の数値で出力するものとなっている。

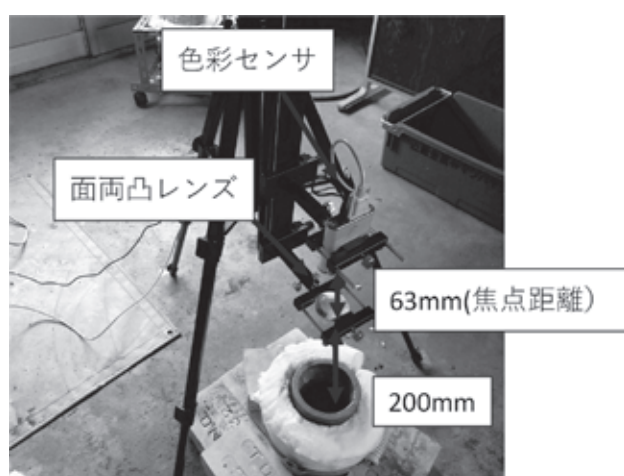


図1 実験装置

これを用いて以下の手順で測定を行った。

1. CAC411 を高周波炉で 1350℃まで加熱
2. 色彩センサと B 型熱電対の収録開始
3. 溶湯をるつぼに出し測定位置に設置
4. B 型熱電対をるつぼに挿入
5. B 型熱電対で計測している溶湯温度が 1100 となるまで測定

色彩センサと B 型熱電対のサンプリングは 500ms 毎に行っている。B 型熱電対の起電力計測には GL840-SDWV (GRAPHTEC(株)) を使用した。

本実験では前報に対し温度測定に金属保護管付 B 型熱電対に変更している。理由としては前報で使用していたセラミックシース付 K 型熱電対では 1200℃では不正確になりやすい⁵⁾、浮力で溶湯に挿入した熱電対が浮いてきてしまうといっ

た問題があったためである。この変更に伴い溶湯が凝固し始めるより前に熱電対を溶湯から取り出す必要が出てきた。そのため 1100℃で測定を止めている。

2. 2 実験結果

測定データに対して横軸に温度[℃]、縦軸に各色の発光強度をとってグラフ化したものを図2に示す。このグラフより温度の変化に対して各色の発光強度も変化することがわかる。このことから 1100℃～1200℃の温度レンジで溶湯の各色発光強度と温度との間には相関があることが確認できる。

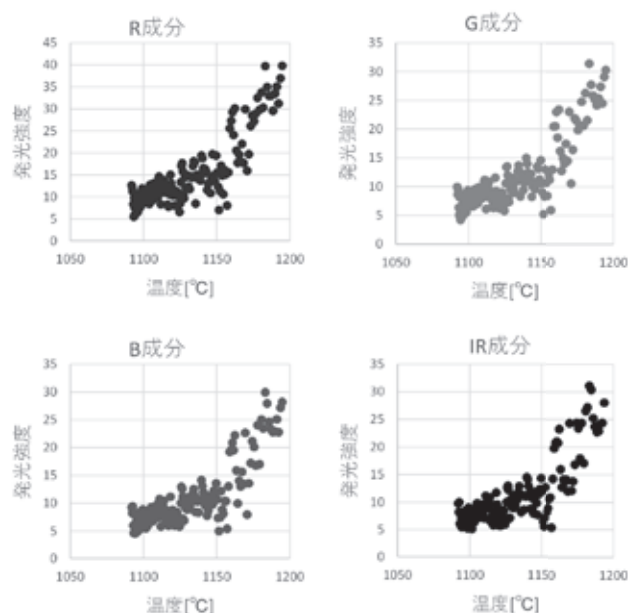


図2 各色発光強度と温度の関係

3. 相関関係分析

3. 1 分析環境

実験で得られたデータに対し各色発光強度と温度の相関関係について分析を行う。データ分析環境を表1に示す。

表1 分析環境

言語	Python3.7.4
パッケージ	numpy1.16.5
	pandas0.25.1
	scipy1.3.1
	matplotlib3.1.1
	seaborn0.9.0
	statsmodels0.10.1

3. 2 発光強度と温度の相関関係推定

3. 2. 1 重回帰分析

今回、温度と相関のあるパラメータが RGB、IR と 4 つある。そのため初めに重回帰分析により相関関係の分析を行う。重回帰分析とは式(1)のように一つの応答変数 y と複数の説明変数 $x_n(n=1,2,\dots)$ を持つモデルに対し、回帰係数 $\beta_n(n=0,1,2,\dots)$ をデータに当てはまるよう推定する手法である。

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 \dots \quad (1)$$

まず各説明変数間に相関が無いかを調べる。説明変数間（発光強度 RGB,IR）に相関がある場合、多重共線性により回帰係数を正しく推定出来なくなるためである。それぞれの説明変数間の相関係数をまとめたものを表 2 に示す。相関係数とは 2 つの変数間の線形関係の強弱と符号を表す値で -1~1 の値を取り -1 に近いほど強い負の相関（両変数に強い線形関係があり、一方の変数の値が増えるともう一方の変数の値が減る）を表し、1 に近いほど強い正の相関（両変数に強い線形関係があり、一方の変数の値が増えるともう一方の変数の値が増える）を表す。

表 2 説明変数間の相関係数

	温度[℃]	発光強度(R)	発光強度(G)	発光強度(B)	発光強度(IR)
温度[℃]	1.000	0.840	0.836	0.814	0.806
発光強度(R)	0.850	1.000	0.994	0.981	0.969
発光強度(G)	0.836	0.994	1.000	0.990	0.974
発光強度(B)	0.814	0.982	0.991	1.000	0.990
発光強度(IR)	0.806	0.969	0.974	0.99	1.000

説明変数間の相関係数を見ると 0.969 以上となっている。そのため重回帰分析による相関関係の推定は難しいことが分かった。

3. 2. 2 単回帰分析

説明変数間に強い相関があることが分かったため各説明変数それぞれに対して単回帰分析を行う。単回帰分析とは式(2)のように一つの応答変数 y と一つの説明変数 x を持つ一次線形モデルに対し、回帰係数 $\beta_n(n=0,1)$ をデータに当てはまるよう推定する手法である。

$$y = \beta_1 + \beta_2 x \quad (2)$$

図 2 を見ると発光強度と温度の関係は明らかに線形ではない。そのため発光強度に対して自然対数を取ったところ図 3 のようなグラフになった。グラフより各色において直線近似可能な領域が多い。これらに対して単回帰分析を行った。推定した回帰係数と決定係数を表にまとめたものを表 3 に示す。決定係数 R^2 とは相関係数を 2 乗したもので推定した回帰モデルがデータにどの程度当てはまっているかを表す値である。0~1 の値を取り、1 に近いほどデータにモデルが当てはまっていることを表す。

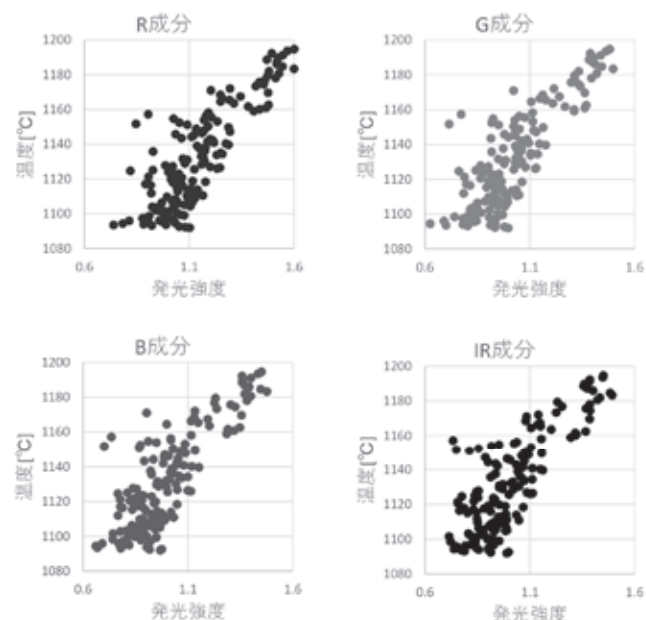


図 3 各色発光強度と温度の関係

表 3 単回帰分析結果
(1100℃~1200℃)

	β_1	β_2	R^2
R	987.7319	54.8819	0.704
G	1001.7508	55.129	0.702
B	1007.2499	54.2808	0.669
IR	1008.2403	53.1684	0.655

表 3 の結果より推定した回帰モデルは決定係数 R^2 が最も大きい赤成分で 0.704 となっている。

4. 結果と考察

表3の結果より今回推定した回帰モデルは赤成分で7割程度データを説明できていることが分かる。これによりこれらの回帰係数 $\beta_n(n=1,2)$ を用いた一次線形モデルによりある程度、発光強度と温度の相関関係を表せることが分かった。前報に比べて決定係数が低い原因としては図3のグラフの様にデータの乱れが大きいためである。図4に実験で得られた溶湯温度と赤成分の発光強度の時間変化のグラフを示す。

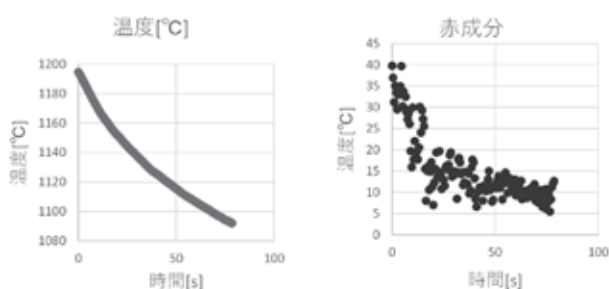


図4 温度と各色発光強度の時間変化

温度の計測結果は安定しているが、発光強度は大きく乱れている。この傾向は他の色でも同様であった。つまり図3のグラフの乱れは各色の発光強度の測定データに起因していることがわかった。原因としてはこの温度域では溶湯は液体であり対流による表面温度分布が変化していることが考えられる。

前報で850℃～1050℃での溶湯発光色強度と溶湯温度の同時測定実験の結果に対し単回帰分析結果により回帰係数を求めた。その結果を表4に示す。

表4 単回帰分析結果
(850℃～1050℃)

	β_1	β_2	R^2
R	907.014	54.3628	0.988
G	918.3859	53.9405	0.988
B	905.5676	60.9632	0.984
IR	891.5211	66.3171	0.978

これと表3を比較するとともに値の近いRにおいて、ずれは β_1 は8%程度、 β_2 は1%程度となつて

おり、ほぼ一致している。つまり溶湯温度と赤成分の発光強度の相関関係は同じ一次線形モデルにより表せる可能性が高い。

4. まとめ

安価な色彩センサを用いた計測デバイスの開発を目的とし、1100℃～1200℃での溶湯発光色強度と溶湯温度の同時測定実験を行い、その結果から溶湯発光色強度と溶湯温度の相関関係について回帰分析を用いて検討した。結果、以下のことが分かった。

- ① 1100℃～1200℃において溶湯温度と各色発光強度には相関があり発光色強度の自然対数を取ったものは一次線形モデルで相関を表すことができる
- ② 850℃～1050℃と1100℃～1200℃で求めた一次線形モデルを比較、溶湯温度と赤成分の発光強度の相関関係は850℃～1200℃では一つの線形モデルで表せる可能性が高い

今後、高精度に相関関係を推定するため1100℃～1200℃での各色発光強度の乱れの原因調査、溶湯発光色強度と溶湯温度の同時測定実験の改善を行っていく。

謝辞

本研究は滋賀県立大学のICT実践学座e-PICTの実習を活用し実施しました。担当教官である工学部 酒井道教授に謝意を申し上げます。

文献

- 1) “第1部 第2章 第1節 我が国製造業の足元の状況”. ものづくり白書, 2019年版. 経済産業省. 2019, p. 38-39.
- 2) “第1部 第2章 第3節 世界で勝ち切るための戦略-Connected Industriesの実現に向けて-”. ものづくり白書, 2019年版. 経済産業省. 2019, p. 186-187.
- 3) 中江英雄. 新版 鋳造工学. 産業図書. 1995, p. 1-2.
- 4) 財団法人素形材センター. 銅合金鋳物の生産技術. 財団法人素形材センター. 1997, p. 218-219.
- 5) 財団法人素形材センター. 銅合金鋳物の生産技術. 財団法人素形材センター. 1997, p. 118.

流体解析を用いたバルブ性能評価手法の高精度化に関する研究 (第3報)

機械システム係 水谷 直弘

Investigation of Improving the Accuracy of the Valve Performance Evaluation Method (3)

MIZUTANI Naohiro

前回までの実験・解析結果を用いて、より簡便かつ実用的な評価方法について検討した。その結果、実験では、騒音計のオクターブバンド解析 8000Hz 帯の複数点平均値を用いると、騒音・振動の 3000-5000Hz 周波数積分値と同等の評価が可能であることがわかった。また、流体解析で得られた圧力波形の 3000-5000Hz 周波数積分平均値ではキャビテーションの予測ができないこと、および、定常解析でも非定常解析と同等の精度で流量特性評価が可能であることがわかった。

1. はじめに

当センターは、全国の公設試で唯一バルブ性能評価設備を有しており、設備使用や共同研究などを通じて地場産業であるバルブ産業を支援してきた。最近では、低キャビテーションバルブなどの高性能流体機器の開発において高精度な性能評価が不可欠であり、性能評価面でセンターが果たすべき役割はこれまで以上に重要になっている。

バルブ性能の中でも重要なキャビテーション性能の評価手法については様々なものが提案されている¹⁾²⁾³⁾。当センターでは配管の振動を測定する手法⁴⁾⁵⁾により評価してきたが、従来の振動測定方法では測定精度が不足している場合があるなど課題も多い。そこで本研究では、これまでの実験の簡便さを損なうことなく、より高精度にキャビテーション性能が評価できる手法を検討する。

今回は、騒音・振動測定によるキャビテーション評価と流体解析による評価(バルブサイズ 50A)について、より簡便で実用的な方法を検討する。

2. キャビテーション評価

2. 1 騒音・振動波形の周波数解析

前回、騒音・振動波形は周波数解析を行い、3000-5000Hz 積分平均値で評価するとよいことがわかった(図 1)。

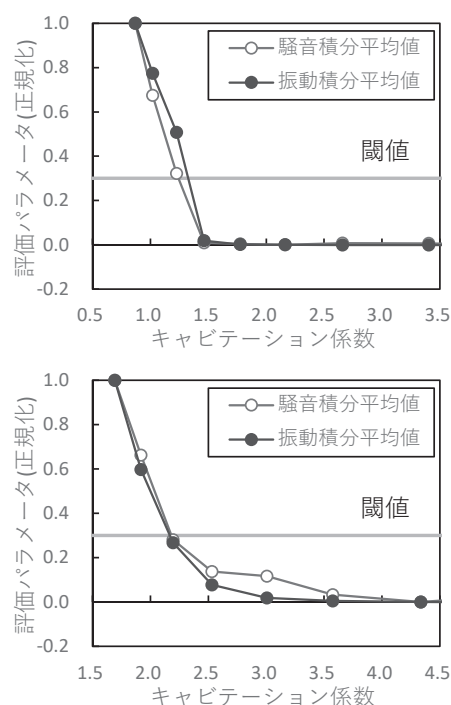


図1 騒音・振動の周波数積分平均値
(上:30deg 下:45deg)

しかし、この方法では、騒音・振動波形の測定、周波数解析、積分平均値の計算、などデータ処理に手間がかかるという欠点がある。そこで、騒音計のオクターブバンド解析機能を利用し、データ処理を簡素化できないか検討した(振動は、アンプに周波数解析機能がないため簡素化できない)。

2. 2 騒音のオクターブバンド解析

騒音計(RION NL-52)のオクターブバンド解析の表示を図2に示す。周波数重み付けはZ特性(補正無し)であり、更新周期は1secである。

従来の評価には騒音計の最上部の表示値(大きな文字の値)を用いていたが、低周波数帯にはノイズが多く含まれると予想されることから、2000-16000Hz 帯の値を用いて評価できないか検討する。

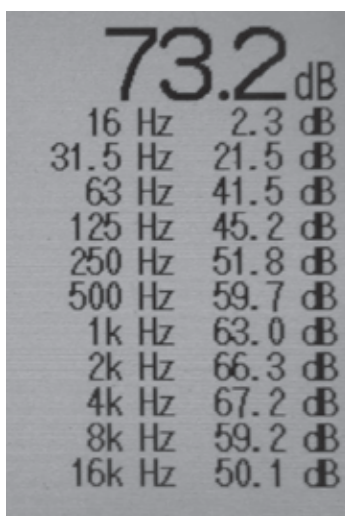


図2 騒音計オクターブバンド解析 表示値(例)

図3にキャビテーション係数と騒音のオクターブバンド解析表示値の関係を示す。なお、オクターブバンド解析の値として20点平均値を用いた。これより、特にバルブ開度45degの2000Hz帯および4000Hz帯においてノイズが大きく、8000Hz帯または16000Hz帯で評価するのがよいことがわかった。ただし、16000Hz帯は標準偏差が大きく、バラツキを考慮すると8000Hz帯を用いて評価するのがよいと考えられる(図4)。

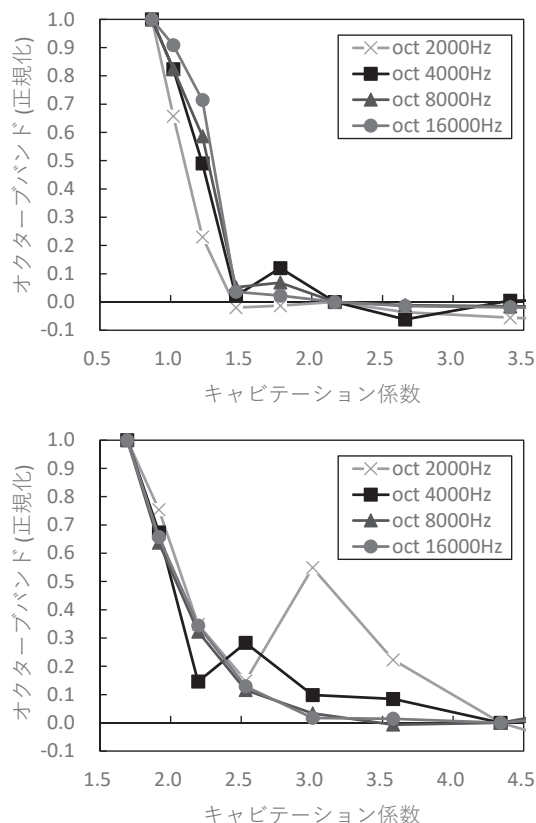


図3 キャビテーション係数とオクターブバンド解析表示値の関係(上:30deg 下:45deg)

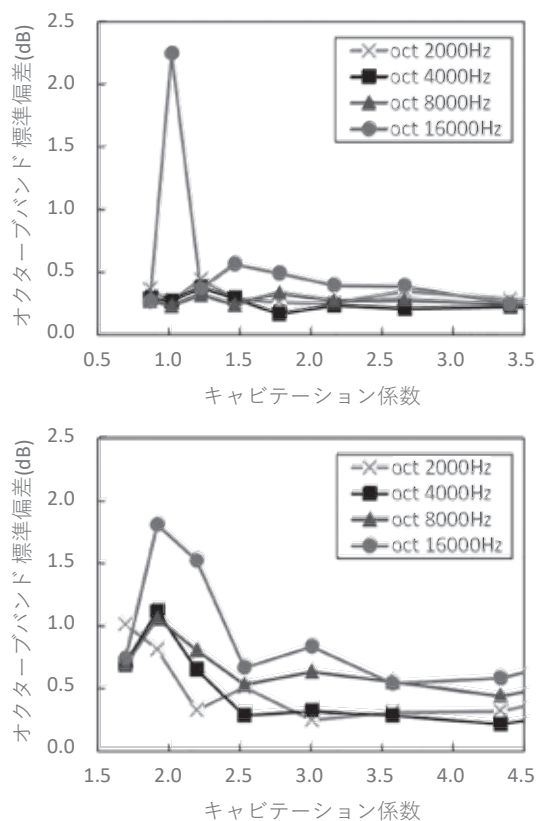


図4 オクターブバンド解析表示値の標準偏差 (上:30deg 下:45deg)

また、前回評価に用いた騒音・振動 3000-5000Hz 積分平均値と、オクターブバンド解析 8000Hz 帯の結果を比較すると、ほぼ同等の結果が得られることがわかった(図 5)。つまり、従来の表示値ではなくオクターブバンド解析 8000Hz 帯の複数点平均値を用いると、簡便さを損なわずにノイズを除去した評価が可能になるといえる。

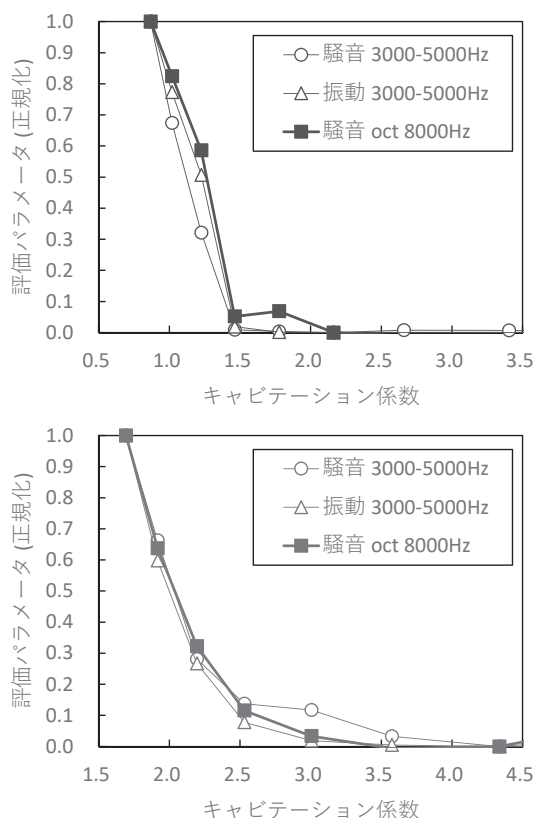


図 5 周波数積分値とオクターブバンド解析値の比較(上:30deg 下: 45deg)

3. 流体解析

3. 1 評価パラメータ

騒音・振動波形による評価と同様に、前回流体解析(非定常・非圧縮)により得られた圧力波形(2DTop 位置)も 3000-5000Hz 積分平均値を算出した(図 6)。これより、圧力波形にはキャビテーションの特徴量が含まれておらず、キャビテーション評価には使えないことがわかる。水を非圧縮性流体として計算したこれまでの解析では、キャビテーションの特徴は現れないといえる。そのため、解析によりキャビテーションの発生を予測する

には、キャビテーション現象(気泡生成)を考慮した解析が必要になると考えられるが、一般的なワークステーション等では計算負荷が高く現実的ではない⁹⁾。したがって、流体解析はキャビテーション発生予測ではなく、流量特性(差圧と流量の関係)の評価のみに用いるものとする。

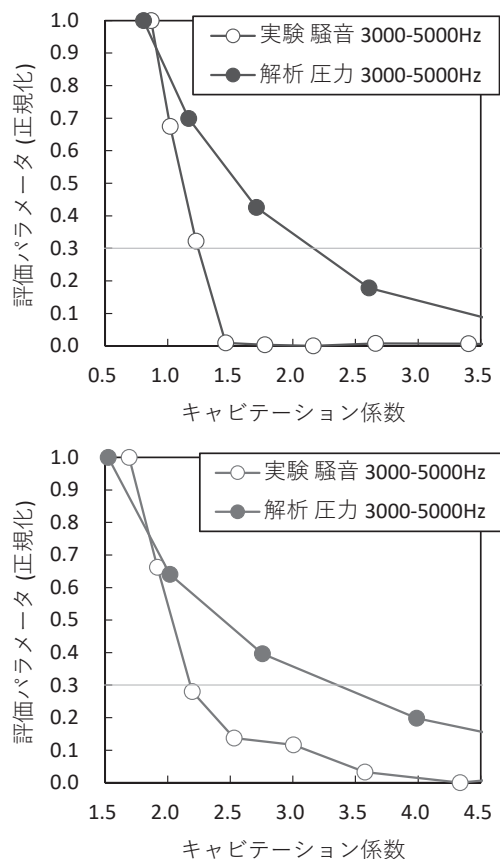


図 6 流体解析により得られた圧力波形の周波数積分値(上:30deg 下: 45deg)

3. 2 流量特性評価

解析は、定常・非定常それぞれの条件で行い、得られた流量を実験結果と比較した(図 7)。これより、定常解析と非定常解析の流量には差がなく、流量特性のみが知りたい場合には解析時間が短い定常解析でも非定常解析と同等精度の解が得られることがわかる。また、実験結果との誤差は、バルブ開度によらず±10%以下となっており、流体解析は定性的に流量特性を予測するための実用的なツールになり得ることが確認できた(図 8)。

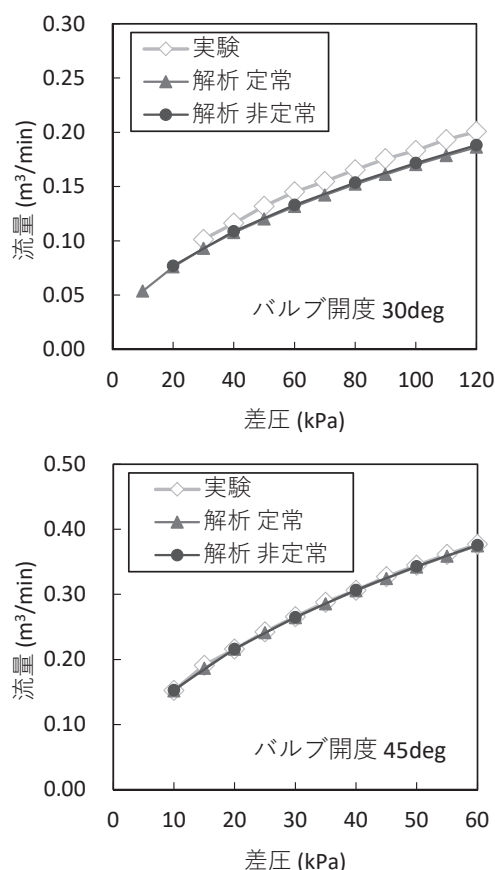


図7 流量特性解析結果
(上:30deg 下:45deg)

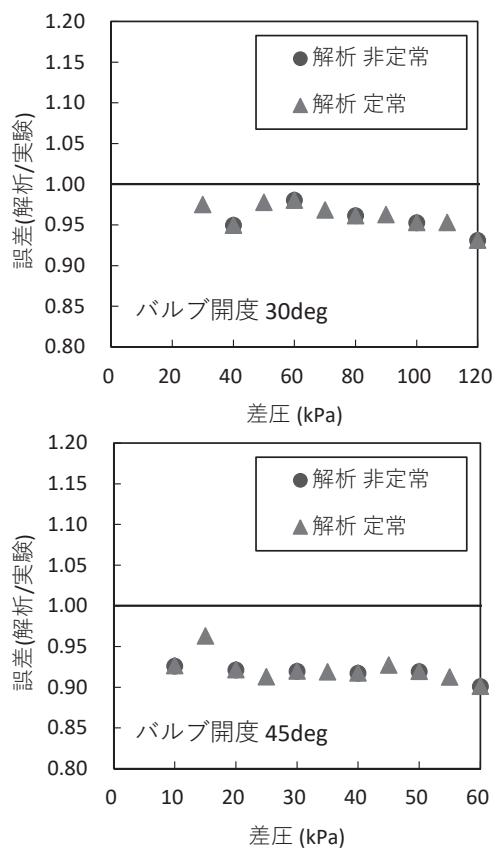


図8 流量特性解析の誤差
(上:30deg 下:45deg)

4. まとめ

これまでの知見をもとに、より簡便で実用的な評価方法について検討した結果、以下のことがわかった。

- (1) 騒音測定によりキャビテーションを評価する場合、騒音計のオクターブバンド解析 8000Hz帯の複数点平均値で評価するとよい
- (2) 流体解析(非圧縮性)による流量特性評価は、定常解析で十分な精度(誤差±10%以下)の解が得られる

今回は、前回までに得られたバルブサイズ 50Aの実験・解析結果を用いて検討したが、他のバルブサイズでも同様の評価が可能か検証していく必要がある。

文献

- 1) 水山成郎, 村瀬道雄. “配管外部に取り付けた加速度センサーによるキャビテーション評価法の検討”. INSS JOURNAL Vol.10. 2003, p. 116-124.
- 2) 水山成郎, 村瀬道雄, 八木良憲. “配管外部に取り付けた加速度センサーおよび AE センサーによるキャビテーション検知手法の検討”. INSS JOURNAL Vol.11. 2004, p. 129-136.
- 3) 水山成郎, 村瀬道雄, 藤井有蔵, 八木良憲. “配管外部に取り付けた加速度センサによるキャビテーション検知”. 日本機械学会論文集(C 編)74 巻 743 号(2008-7). 2008, p. 1681-1687.
- 4) 酒井一昭. “キャビテーション現象の簡易的測定法の研究開発”. 平成 21 年度 滋賀県東北部工業技術センター 研究報告書. 滋賀県東北部工業技術センター, 2010, p. 42-43.
- 5) 酒井一昭. “キャビテーション現象の簡易的測定法の研究開発(第 2 報)”. 平成 22 年度 滋賀県東北部工業技術センター 研究報告書. 滋賀県東北部工業技術センター, 2011, p. 44-45.
- 6) アズビル株式会社. “調節弁のキャビテーション解析”. FOCUS スパコン利用事例. 2019, p. 34-35.

低キャビテーション高性能流体制御バタフライ弁の実用化研究 — キャビテーション性能の評価法に関する研究 — (平成 30 年度実施)

機械システム係 井上 栄一、水谷 直弘、間瀬 慧

金属材料係 酒井 一昭

工業技術総合センター 深尾 典久、山下 誠児

株式会社清水合金製作所 橋岡 由男、川崎 幸一、小谷 久人、掛川 光彦、千野 一広

大阪産業大学 小川和彦

Research and development of fluid control butterfly valve for anti-cavitation

— Cavitation performance evaluation method —

INOUE Eiichi, , MIZUTANI Naohiro, MASE Satoshi

SAKAI Kazuaki

FUKAO Norihisa, YAMASHITA Seiji

HASHIOKA Yoshio, KAWASAKI Kouichi, KOTANI Hisahito, KAKEGAWA Mitsuhiro, CHINO Kazuhiro

OGAWA Kazuhiko

本研究の目的は、バルブの弁体形状によりキャビテーション低減特性、滑らかな開度-流量特性、全開時の損失低減を同時に実現するバタフライ弁を短期間、低コストに実現することにある。その開発の要素研究としてキャビテーション現象の簡易的測定法として初生キャビテーションの推定に振動計を利用する方法に取り組んできた。

本報では、バルブのキャビテーション性能評価法の検討の一環として、振動計による計測で得られた信号から初生キャビテーションを検出する方法についてパターン認識技術を適用しその効果について検討したので報告する。

1. はじめに

キャビテーションの検知方法については、多くの優れた報告¹⁾²⁾³⁾がなされている。当所でも現場でのキャビテーション評価の目的でバルブ近傍の振動加速度により、初生キャビテーションの推定を行う方法について報告⁴⁾⁵⁾し、その結果を用いたキャビテーション性能評価方法を提案⁶⁾、バルブ開発に適用している。初生キャビテーションの検出についてはFFT解析などの特徴量だけでは難しいとされるが³⁾、信号波形解析にパターン認識

技術を適用すると解決することが多い。

そこで、本報では標準的なバタフライ弁体を用いて、透明 PVC 配管での目視と音響を確認しながら初生キャビテーション前後での振動計による計測を行い、RT 法によるパターン認識での検討を試みたので報告する。

2. 供試品

2. 1 金属弁体部品

供試弁は、標準的なバタフライ弁体を用いた。

3. 実験

3. 1 バルブ性能試験

実験は、図 1 に示す当所のバルブ性能試験機によって行った。

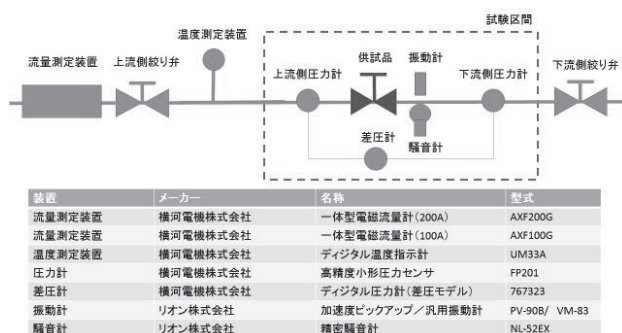


図 1 バルブ性能試験機

振動は、写真 1 示すように供試品を配管して供試品下流側配管の距離約 2D 上部に加速度ピックアップを取付けた。

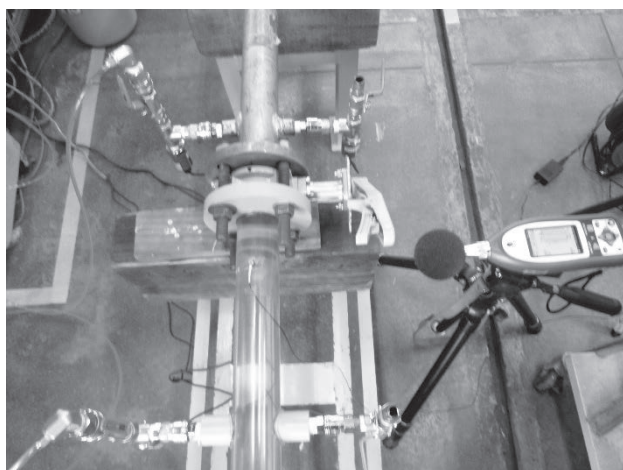


写真 1 試験区間

3. 2 初生点の測定

本報では、キャビテーションの初生点を、図 2 に示すように振動加速度が急激に変化し始める点とした⁴⁾。測定手順を図 3 に示す⁷⁾⁸⁾。実験では、流量 Q [m³/h]、差圧 [kPa]、下流圧 [kPa]、振動加速度 [m/s²] を測定し、キャビテーション係数はそれらから算出した。

3. 3 キャビテーション係数

キャビテーション係数（以下 σ と記す）は式 (1) を用いて計算した。

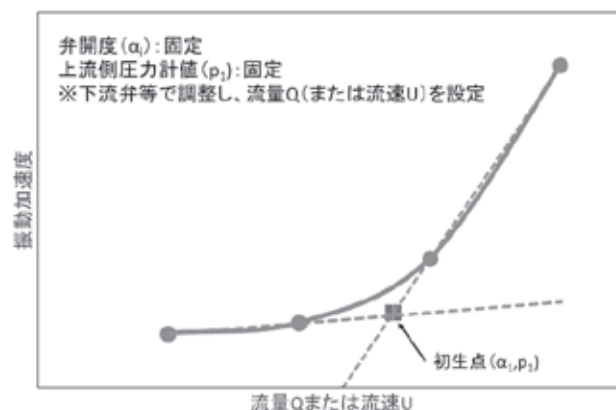


図 2 初生キャビテーションの検出法

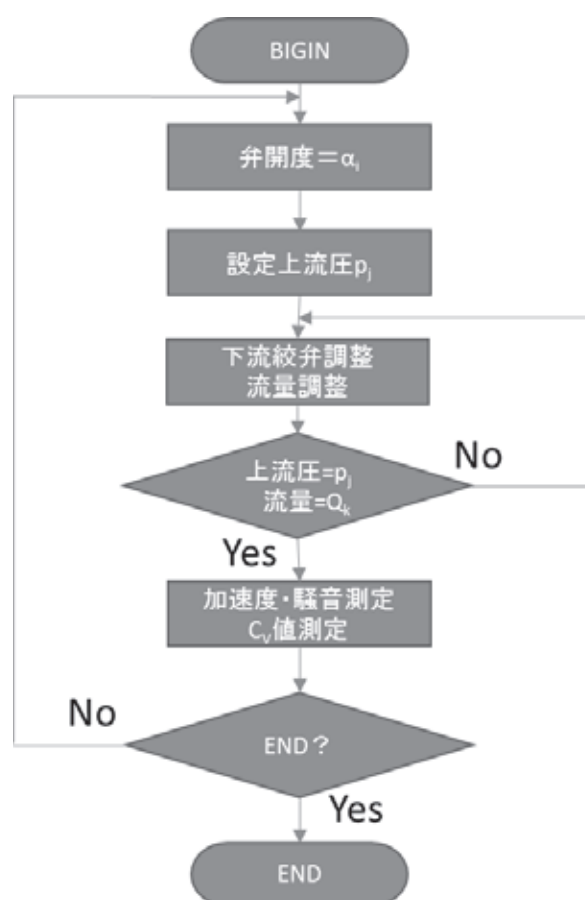


図 3 計測手順

$$\sigma = \frac{P_2 + 98.0665}{\Delta P} \quad \text{— 式 (1)}$$

但し、 P_2 : 供試品下流側の圧力 (kPa)

ΔP : 差圧 (kPa)

3. 4 バルブ性能試験条件

今回の研究で使用した条件を表 1 に示す。

表 1 実験条件

No.	開度	差圧	バypass弁	流れ
1	45°	40kPa	全閉	逆送
2	45°	50kPa	全閉	逆送
3	45°	60kPa	全閉	逆送
4	45°	70kPa	全閉	逆送
5	45°	80kPa	全閉	逆送
6	45°	90kPa	全閉	逆送
7	45°	100kPa	全閉	逆送

3. 5 パターン認識

今回は、MT システム手法の内、RT 法を利用した。パターン認識には、非常に多くの手法があるが、RT 法は、一般的に判別に特化した手法として知られており、特にデータ処理が速いことから将来の波形計測中の検出への応用を考慮して利用することとした。具体的な理論等の説明は紙面の都合で参考文献⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾によることとした。

4. 実験結果および考察

4. 1 流量およびキャビテーション係数

実験結果を図 4 に示す。

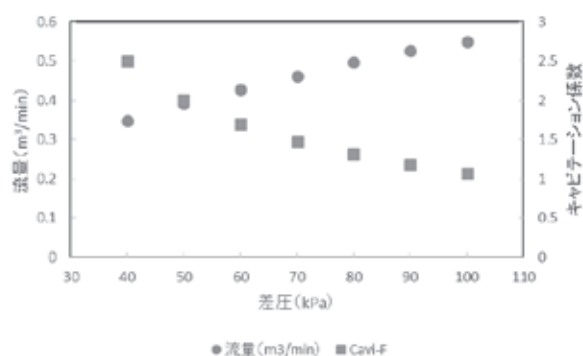


図 4 差圧と流量およびキャビテーション係数の関係

差圧 40kPa ($\sigma=2.5$) では目視での気泡はほとんど確認できなかったが、50kPa ($\sigma=2.0$) で、目視で気泡の観察が僅かながら観察された。また、60kPa ($\sigma=1.7$) 以降は気泡の増加が確認された。

4. 2 差圧と流量および加速度

結果を図 5 に示す。

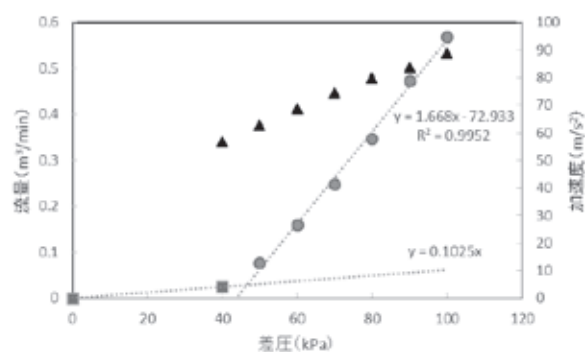


図 5 差圧と流量および加速度の関係

図 5 の結果から、酒井らの方法⁴⁾⁵⁾で初生点を検討するとほぼ差圧 46.6kPa、加速度が 4.8m/s^2 の交点になると考えられることから、初生点前の差圧 40kPa、初生直後の差圧 50kPa、初生後の差圧 60kPa の時の振動測定で得た波形について検討をすることにする。

4. 3 振動波形の時間振幅

差圧 40kPa ($\sigma=2.5$)、50kPa ($\sigma=2.0$) および 60kPa ($\sigma=1.7$) の時間振幅曲線を図 6 に示す。

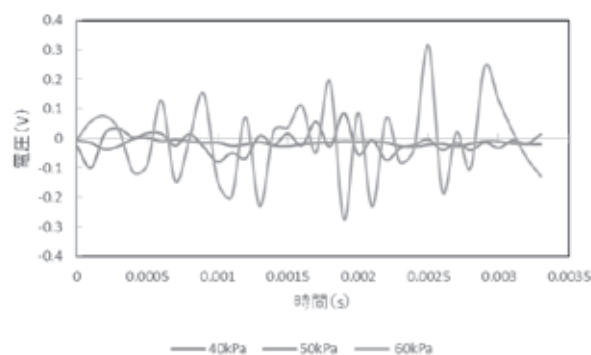


図 6 差圧の異なる時間振幅曲線

差圧が大きくなるにつれて振動振幅が大きくなっていることがわかる。

4. 4 RT 法による判別その 1

ここで初生点前の信号波形には気泡等の発生が比較的少なく正常な状態であると仮定し、40kPa の振動波形の一定時間内の振動データを単位空間として考え、50kPa と 60kPa の波形とで、判別が可能かを検討することにした。RT 法などのパターン認識の手順では、最初にパターンを抽出する特徴項目を決めるが、今回は一般的な特徴抽出法で

ある FFT を用いた。代表的な FFT の結果を図 7 に示す。

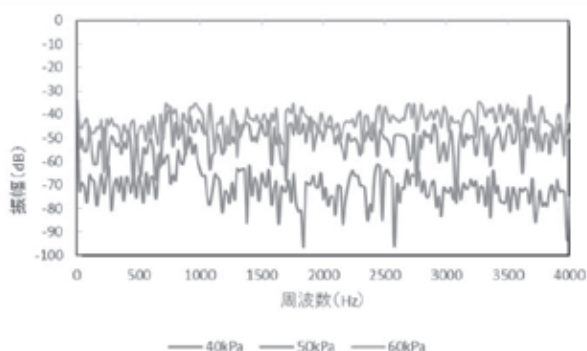


図 7 差圧の異なる振動波形の FFT

FFT 結果だけは、波形の差異が分かりにくい。そこで RT 法による判別を試みる。そのため、まずは単位空間を構成するサンプルとして、40kPa 振動波形の同じ時間長さを有する任意の区間を 5 点集め、FFT した結果、20Hz 間隔で 0Hz~4000Hz までの 201 点の振幅値を用いて、単位空間を定義し、単位空間サンプルの平均距離 MD を求めた。その結果を表 2 に示す。

表 2 単位空間サンプルの距離

有効点数	データNo.	MD(2点)	線形式	比例項の変動	距離変動	距離分散	感度	標準SN比	Y1	Y2
870924.3142	1	0.333333	870475.421	870026.76	1599.69565	7.998478	0.999485	0.125024	0.999485	2.828158
	2	0.333333	870475.421	870026.76	1599.69565	7.998478	0.999485	0.125024	0.999485	2.828158
	3	0.333333	870475.421	870026.76	1599.69565	7.998478	0.999485	0.125024	0.999485	2.828158
	4	2.80211173	738736.096	7314.0296	36.570148	0.920989	0.027345	0.920989	6.047326	
	5	2.941083576	1016894.67	8009.20562	40.046028	1.080557	0.024971	1.080557	6.328183	
	平均値	0.9999998							1.0000002	4.1719986

概ね平均 1 内に空間距離が収まっていることがわかる。一般的にこの距離が 4 を超えると単位空間とは異なるものであるとされる。そこで、認識したい対象として、50kPa、60kPa から同様のサンプルを FFT してそれぞれ No.2、No.4、また 40kPa についても異なる箇所を 2 点サンプルを用意した。No.1、No.3 として距離を求めた。その結果を表 3 に示す。

表 3 認識対象サンプルの距離

データNo.	MD(2点)	線形式	比例項の変動	距離変動	距離分散	感度	標準SN比	Y1	Y2
1	2	941083.5759	1016894.674	8009.20562	40.046028	1.080557	0.024971	1.080557	6.328193
2	11.356037	674037.3938	521660.035	8078.70068	40.398503	0.773933	0.024753	0.773933	6.355982
3	2.581038	938149.319	1010563.295	10068.645	50.443225	1.077188	0.019824	1.077188	7.102339
4	24.719395	589057.7215	371819.5623	8550.88011	34.754401	0.653395	0.028773	0.653395	5.895286
	平均値	10.1641175						0.89626825	6.42045

この結果から、40kPa のサンプル No.1 と No.3 はいずれも 4 未満であったが、No.2 の 50kPa、No.4 の 60kPa のサンプルはいずれも 4 よりも大きな値

となり、RT 法によって 40kPa の振動波形を正常とした場合、50kPa と 60kPa の波形は判別できた。

4. 5 RT 法による判別その 2

本実験での長期スパンの振動波形を図 8 に示す。平坦に見えた 40kPa の波形軸を拡大して観察すると図 9 に示すように、平坦な振動ラインに散発的にピーク波形があることが分かった。

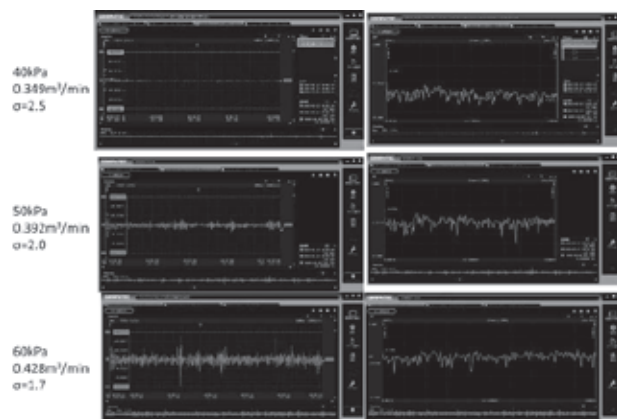


図 8 長期スパンの振動波形と FFT

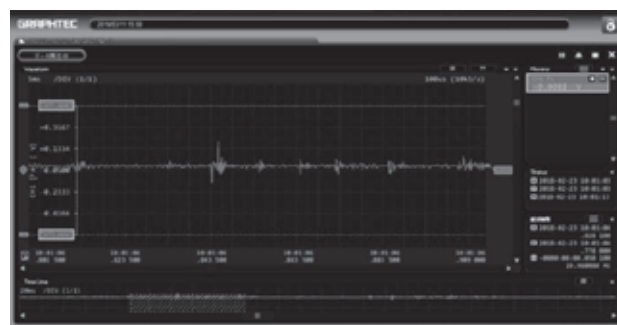
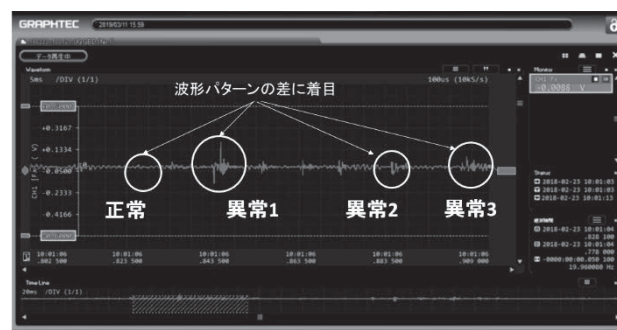


図 9 40kPa 拡大波形

このピーク波形が、目視や音感では確認できないものの初生キャビテーションの起点と仮定し、ピーク波形部の判別が可能かどうかを RT 法で確認することにした。そこで、図 10 に示すように、平坦部を正常、ピーク波形を異常と考え、平坦部



異常音=初生点時発生と仮定して検討

図 10 波形パターンの考え

の正常な部分を含む一定時間領域でサンプルを 9 つ選び、4.4 と同様に FFT によって特徴抽出をかけ

単位空間サンプルの距離を求めた。その結果を表 4 に示す。また認識対象も同様に特徴抽出をかけ、異常ピークを含む同時間領域で異常 1 を対象 1、異常 2 を対象 3、異常 3 を対象 5 とし、他の正常な部分を対象 2、4 として距離を求めた結果を表 5 に示す。また、単位区間サンプルの FFT 結果を図 11、認識対象サンプルの FFT 結果を図 12 に示す。

表 4 単位空間サンプルの距離

有効除数	データNo.	MD(2値)	線形式	比例項の変異	誤差変動	誤差分散	感度	標準SN比	Y1	Y2
990673.6789	1	1.21868	1037469.18	1086475.12	7075.39179	35.376959	1.047238	0.028267	1.047238	5.947853
	2	0.935911	936684.562	885637.71	5451.33206	27.25666	0.945503	0.036688	0.945503	5.220781
	3	0.455247	1006427.1	1022431.03	5182.51196	25.812559	1.015902	0.037411	1.015902	5.080666
	4	0.320446	1013844.67	1037557.62	5446.51417	27.232571	1.023389	0.036721	1.023389	5.218484
	5	0.951291	950600.021	912147.379	4966.64076	24.833204	0.959549	0.040269	0.959549	4.983292
	6	1.355344	1042528.33	1097097.21	7075.829	35.379145	1.052343	0.028265	1.052343	5.948037
	7	0.177862	986140.12	981627.307	6475.50496	32.377525	0.965424	0.036688	0.965424	5.680125
	8	2.394114	924625.841	962961.398	7253.64437	36.268222	0.83333	0.027572	0.83333	6.02231
	9	1.167803	1017743.28	1045552.54	4738.42432	23.692122	1.027324	0.042208	1.027324	4.867455
	平均値		1						1	5.44210599

表 5 認識対象サンプルの距離

データNo.	MD(2値)	線形式	比例項の変異	誤差変動	誤差分散	感度	標準SN比	Y1	Y2
1	23.887035	806888.272	657197.922	11379.3228	56.896614	0.814484	0.017576	0.814484	7.542984
2	0.412668	964993.118	939978.256	6503.98592	32.51993	0.974078	0.03075	0.974078	5.702625
3	5.580331	853340.983	735046.11	5412.68314	27.063416	0.861374	0.03695	0.861374	5.202251
4	0.430774	953504.592	917730.053	5643.62363	28.218118	0.962481	0.035438	0.962481	5.312073
5	16.977798	780673.997	615189.342	8355.01889	41.775094	0.788023	0.023938	0.788023	6.463366
平均値	9.4577212							0.880088	6.0446598

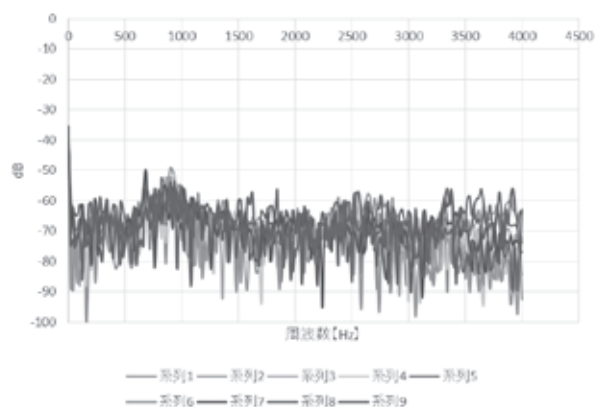


図 11 単位空間サンプル FFT 線図

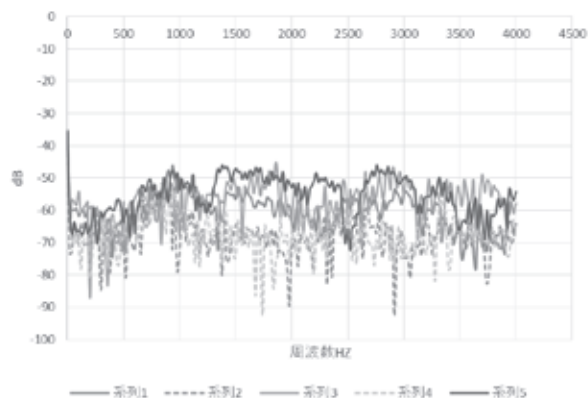


図 12 認識対象サンプル FFT 線図

この結果から、対象 1、対象 3 および対象 5 はいずれも距離が 4 より大きな値となり、対象 2 と対象 4 は平坦部と同じ値になっており、平坦部とピーク部の判別が可能であることがわかる。

5. 結言

標準的なバタフライ弁体を用いて、振動計による計測を行い、RT 法によるパターン認識を試みたところ以下のことが明らかとなった。

(1) 初生点前の 40kPa の振動波形を FFT によって特徴抽出し、RT 法による判別を試みたところ、50kPa と 60kPa の距離が 4 を超え、初生点前である 40kPa 振動と 50kPa 以降は異なる振動になっていることが判別できた。

(2) 初生点前の 40kPa 振動波形には、初生キャビテーションの起点と考えられるピークが確認できた。このピークを初生キャビテーションの起点と仮定すると、ピークの無い平坦部の波形を単位空間とした場合、ピーク波形と平坦部波形の判別ができた。

判別には機械学習や統計的な手法の他、ピーク波形の大きさでの判別も可能であることから、今後は、各手法の検出精度についての、比較検討を行いたいと考える。

付記

本研究のバルブ性能試験には、公益財団法人 JKA 補助（競輪 14-121）バルブ性能試験データ処理システムと公益財団法人 JKA 補助（競輪 19-85）バルブ性能試験装置用差圧・流量計測システムを活用した。

文献

- 1) 長屋行則 他 2, センサーを用いた配管外部からのキャビテーション検知手法の開発-10 年間にわたる取り組みのまとめ-, INSS J, Vol15, pp.361-370, 2008 Oct.
- 2) 長屋行則, プラント配管絞り部でのキャビテーション音響の検知手法に関する研究, 福井大学博士論文, 2012

- 3) 水山成郎 他 3, 配管外部に取り付けた加速度センサーによるキャビテーション検知, 日本機械学会論文集 (C 編), Vol. 74, 743, pp. 1681-1687, 2008-7
- 4) 酒井一昭 他 2, キャビテーション現象の簡易的測定法の研究開発, 平成 21 年度研究報告書, 滋賀県東北部工業技術センター, pp. 42-43, 2010 July
- 5) 酒井一昭 他 2, キャビテーション現象の簡易的測定法の研究開発 (第 2 報), 平成 22 年度研究報告書, 滋賀県東北部工業技術センター, pp. 44-45, 2011 July
- 6) 深尾典久 他 6, 流体解析によるバルブキャビテーション低減性能の評価, オープン CAE シンポジウム 2015@富山, GP4, 2015-11-28
- 7) 日本規格協会, 「工業用プロセス用調節弁-第 8 部: 騒音-第 2 節: 調節弁の液体流動騒音の実験室における測定」, JIS B2005-8-2:2008
- 8) 日本規格協会, 「工業用プロセス用調節弁-第 8 部: 騒音-第 4 節: 調節弁の液体流動騒音の予測方法」, JIS B2005-8-4:2008
- 9) 田村希志臣, 「よくわかる MT システム」, 日本規格協会, pp. 121-143
- 10) 立林和夫 (編) 手島昌一 長谷川良子, 「入門 MT システム」, 日科技連出版社, pp. 153-174
- 11) 鈴木真人, 「MT システム解析法入門」, 日刊工業新聞社, pp. p 118-127

マイクロ波加熱による銀ナノ粒子の合成および

高分散担持法に関する研究

金属材料係 三浦 拓巳

Investigation of the Synthesis of Silver Nanoparticles by Microwave Heating and Nanoparticle - Supporting Method.

MIURA Takumi

クエン酸ナトリウムを還元剤としたマイクロ波加熱による銀ナノ粒子の合成に関して、クエン酸ナトリウム濃度の影響および添加剤の効果について検討した。その結果、クエン酸ナトリウムを用いて銀イオンをマイクロ波加熱によって還元すると、10nm 前後の粒子のほかに直径 40nm 前後のナノワイヤ状に成長していることがわかった。タンニン酸を添加することによってナノワイヤの生成が抑制され、クエン酸ナトリウムとタンニン酸の濃度を調整することによって、粒子径を制御できることがわかった。

1. はじめに

金や銀などは 100nm 以下にナノ粒子化することによってバルクとは異なる特性を示し、低温での焼結性向上による導電性ペースト¹⁾、可視光吸収による耐候性に優れた色材²⁾などの工業材料への応用が進められている。

近年、貴金属系ナノ粒子の合成方法として、液相でのマイクロ波加熱を用いた合成に関する研究が進んでいる³⁾⁴⁾。図 1 に加熱方式の違いによるナノ粒子合成の比較を示す。従来のヒーター等を用いた外部加熱による加熱方法では、加熱時に

温度ムラが生じやすく、不均一な核生成および成長が進行するため、粒子径分布がブロードとなりやすい。一方、マイクロ波加熱は試料溶液を選択的かつ迅速的に加熱できるため、粒子径の制御をしやすいことが期待される。

上記の合成方法では、加熱によって金属イオンに還元作用を及ぼすアルコール⁵⁾やポリオール⁶⁾といった還元剤が用いられるが、これらは長時間の加熱還流や 100℃以上の高温での加熱を必要とし、可燃性のある有機溶剤であるため取扱いにも注意する必要がある。一方、クエン酸塩は水を溶媒とした還元剤として、加熱によって銀ナノ粒子を合成することができる⁷⁾。

そこで、本研究では還元剤としてクエン酸ナトリウムを含む硝酸銀水溶液にマイクロ波を照射することによって加熱し、銀ナノ粒子の合成条件について検討した。また、硝酸銀-クエン酸ナトリウム水溶液に添加剤を加え、その効果について検討した。

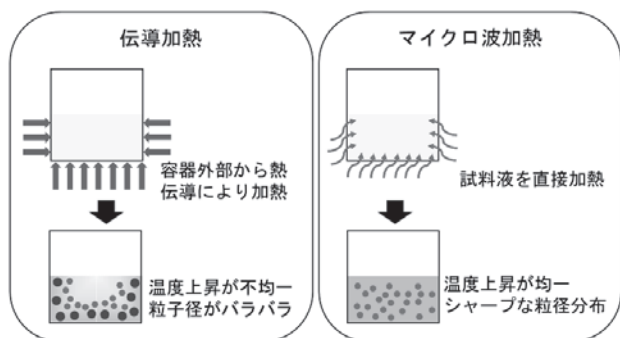


図 1 加熱方式によるナノ粒子合成の比較

2. 実験

2. 1 銀ナノ粒子の合成

硝酸銀-クエン酸ナトリウム水溶液は硝酸銀 (AgNO_3) およびクエン酸ナトリウム(SC) を蒸留水に室温で混合・攪拌し、作製された。添加剤を加える場合は、硝酸銀-クエン酸ナトリウム水溶液中にあらかじめ添加剤を溶解した。添加剤は還元剤であるアスコルビン酸ナトリウム (SA)、タンニン酸 (TA)、有機高分子であるポリビニルピロリドン (PVP)、ポリビニルアルコール (PVA)、界面活性剤であるドデシル硫酸ナトリウム (SDS) を用いた。攪拌終了後、試料溶液 20mL を分取しテフロン製容器中に密閉し、マイクロ波を照射し加熱した。マイクロ波照射後、室温まで冷却した。

2. 2 評価

試料溶液の吸収スペクトルは分光光度計 (榊島津製作所、UV-1850) を用いて波長 300nm から 800nm の範囲で行われた。

銀ナノ粒子の粒子径測定は動的光散乱式粒子径分布測定装置 DLS (マイクロトラック・ベル株、Nano Trac Wave 2) を用いて行われた。

粒子の形態観察は電解放出型走査電子顕微鏡 FE-SEM (株)日立ハイテク、Regulus8220) および透過型電子顕微鏡 TEM (サーモフィッシャーサイエンティフィック株、Talos F200X) を用いて行われた。

3. 結果および考察

3. 1 クエン酸ナトリウムによる銀イオンの還元

図1にクエン酸ナトリウム濃度の異なる 0.1mM 硝酸銀-クエン酸ナトリウム水溶液にマイクロ波 100W を照射した時の照射時間による吸収スペクトルの変化を示す。クエン酸ナトリウムを含まない水溶液はマイクロ波を照射しても銀イオンは還元されず、銀ナノ粒子に由来する吸収ピークは確認されなかった。また、加熱前後における水溶液の色は無色透明で変化しなかった。一方、クエ

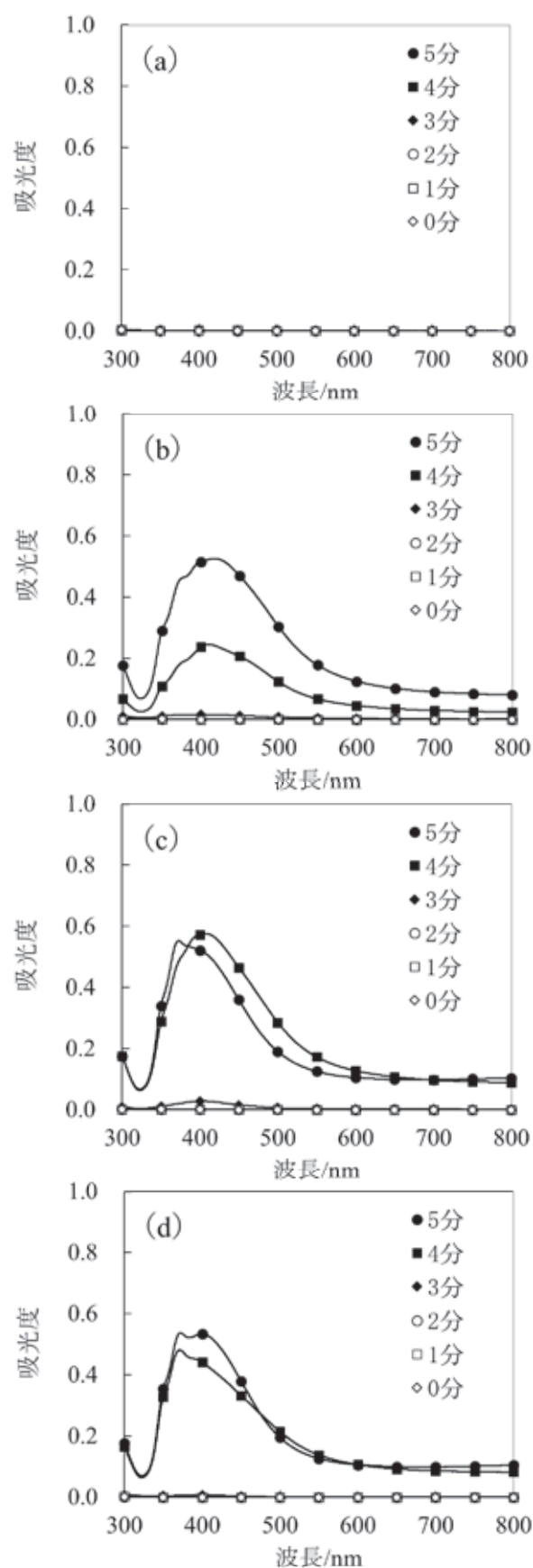


図2 マイクロ波 100W照射時間の違いによる UV-Vis スペクトルの変化
SC 濃度 (a) 0mM (b) 0.1mM
(c) 0.2mM (d) 0.5mM

ン酸ナトリウムを含む水溶液はマイクロ波の照射によってクエン酸ナトリウムが還元剤となり、式 (1) のとおり銀イオンの還元が進み、銀ナノ粒子に由来する 400nm 付近の吸収ピークが確認された。しかし、長波長側の吸光度の増大も確認された。加熱によって水溶液の色は無色透明から薄黄色で不透明に変化したことから、長波長側の吸光度の増大はナノ粒子のほかに粗大な粒子の生成による光の散乱が生じたためと考えられる。

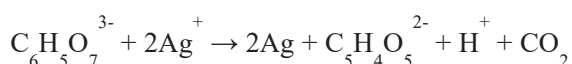


図3にクエン酸ナトリウム濃度の異なる0.1mM硝酸銀-クエン酸ナトリウム水溶液にマイクロ波100Wを5分間照射後の試料のDLSによる積算分布曲線を示す。クエン酸ナトリウム濃度が高いほど、積算分布曲線は粒子径が小さいほうにシフトすることがわかった。これはクエン酸イオンが還元剤としてだけでなく保護剤としても働くため、クエン酸ナトリウムが高いほど粒子径が小さくなったと考えられる。

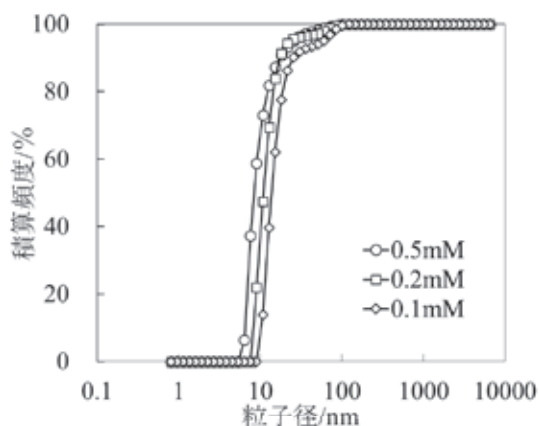


図3 DLSによる積算分布曲線

図4にクエン酸ナトリウム濃度の異なる0.1mM硝酸銀-クエン酸ナトリウム水溶液にマイクロ波100Wを5分間照射後の試料のFE-SEMによる二次電子像を示す。FE-SEMからも10nmのナノ粒子が確認された。しかし、多くは直径40nm前後のワイヤ状に成長していた。クエン酸イオンを用いた銀イオンの還元については、オープンによる長時間(3時間)の加熱によって直径50nm前後でアスペクト比100を超える銀ナノワイヤが合成

されることが報告されている⁸⁾。本研究はマイクロ波を用いて急激な昇温と短時間の加熱のため、銀がナノ粒子やアスペクト比の小さなナノワイヤが混在する状態になったと考えられる。

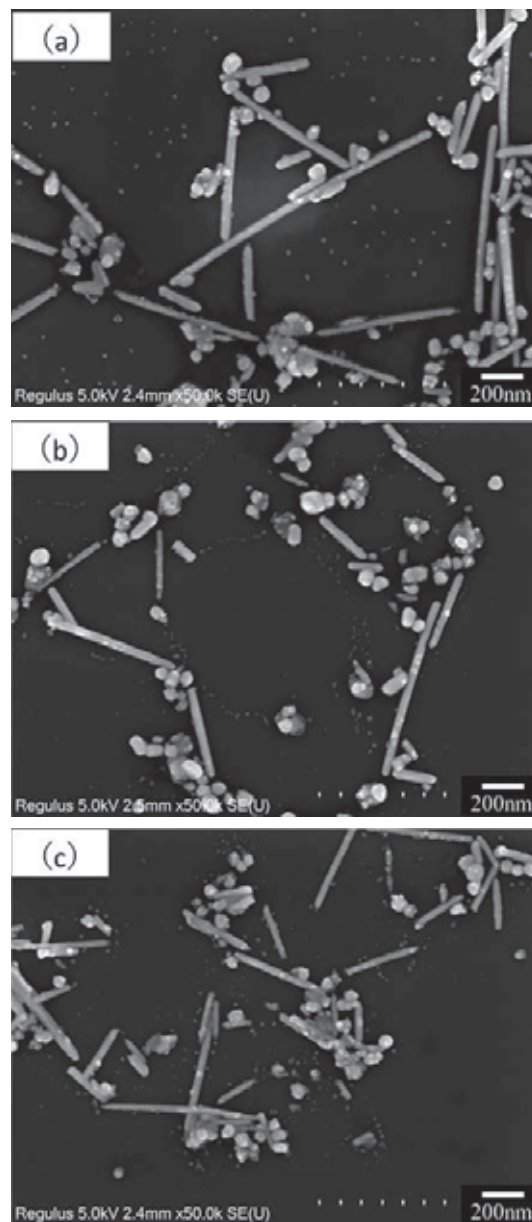


図4 FE-SEMによる二次電子像
SC濃度 (a)0.1mM (b)0.2mM (c)0.5mM

3. 2 添加剤によるナノワイヤ生成の抑制

クエン酸ナトリウムを還元剤としたマイクロ波加熱による銀イオンを還元した結果、その多くはワイヤ状となったため、硝酸銀-クエン酸ナトリウム水溶液に添加剤を加えて、ナノワイヤ生成に対する抑制効果について検討した。

図5に各添加剤が0.01mMになるように加えられた0.1mM硝酸銀-0.2mMクエン酸ナトリウム水溶液にマイクロ波100Wを5分間照射後の試料の吸収スペクトルを示す。UV-Vis スペクトルから、 $TA > PVP > PVA > SA > SDS$ の順に吸収ピークは鋭くなり、この順にナノワイヤ生成に対する抑制効果が高いと考えられる。特に、タンニン酸の添加によって長波長側の吸光度の増大が確認されなかったことから、ナノワイヤの生成が抑制されたと考えられる。また目視からも、タンニン酸を添加した溶液はマイクロ波照射後も透明で黄色に呈していることから、その効果を確認することができた。一方、その他の添加剤ではマイクロ波照射後、溶液は不透明に変化したことから、ナノワイヤもしくは粗大な粒子が生成したと考えられる。

図6に0.1mM硝酸銀-0.2mMクエン酸ナトリウム-0.01mMタンニン酸水溶液にマイクロ波100Wを照射した時の照射時間による吸収スペクトル

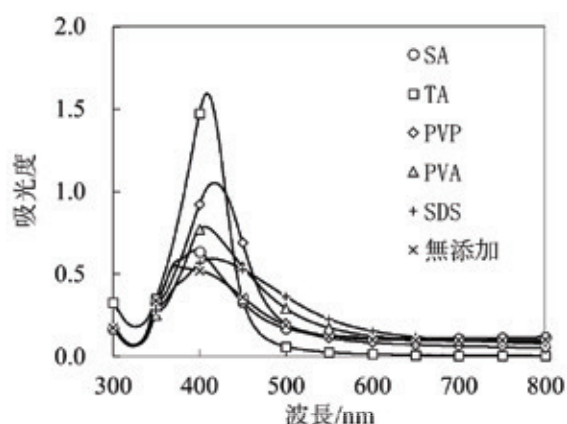


図5 添加剤の違いによるUV-Vis スペクトルの変化

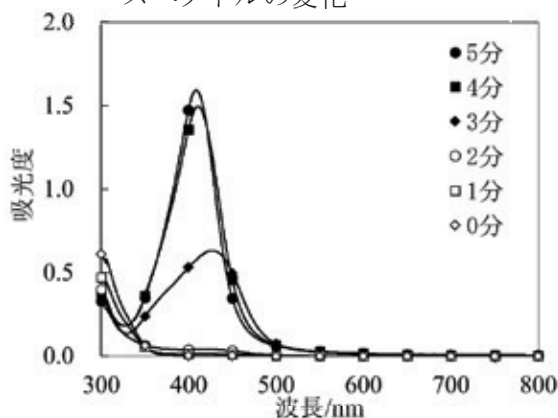


図6 マイクロ波100W照射時間の違いによるUV-Vis スペクトルの変化

の変化を示す。マイクロ波100Wを3分間照射後の溶液の色は無色透明から黄色透明に変化した。吸収スペクトルから4分間の照射で還元の終了が確認されたことから、タンニン酸の添加は銀イオンの還元を促進することがわかった。

3.3 クエン酸ナトリウムとタンニン酸による銀イオンの還元におけるタンニン酸濃度の影響

銀イオンの還元に対する添加剤としてタンニン酸の効果を確認するために、硝酸銀およびクエン酸ナトリウム濃度を一定にして、タンニン酸濃度のみを変化させて合成を行なった。

図7にタンニン酸濃度の異なる0.1mM硝酸銀-0.2mMクエン酸ナトリウム-タンニン酸水溶液にマイクロ波100Wを4分間照射後の試料の吸収スペクトルを示す。吸収スペクトルよりタンニン酸濃度が高いほど、吸収極大波長は長波長側にシフトすることが確認された。銀はナノ粒子化すると、紫外可視光領域の光の吸収によるプラズモン共鳴を示し、粒子径が小さいほど吸収極大波長が短波長側にシフトすることから⁹⁾、タンニン酸濃度が高いほど、粒子径が大きくなることを示している。

図8にタンニン酸濃度の異なる0.1mM硝酸銀-0.2mMクエン酸ナトリウム-タンニン酸水溶液にマイクロ波100Wを4分間照射後の試料についてタンニン酸濃度に対するDLSによる粒子径の変化を示す。DLSからもタンニン酸濃度が高いほど、粒子径が大きくなることが確認された。

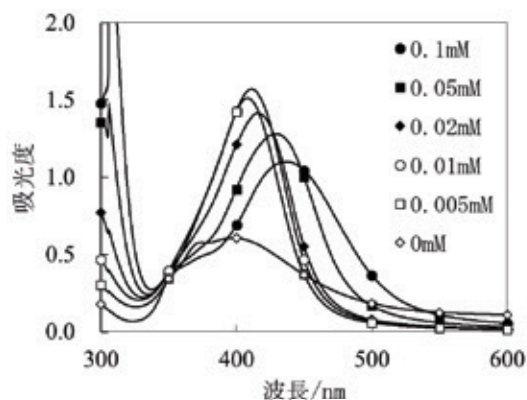


図7 タンニン酸濃度の違いによるUV-Vis スペクトルの変化

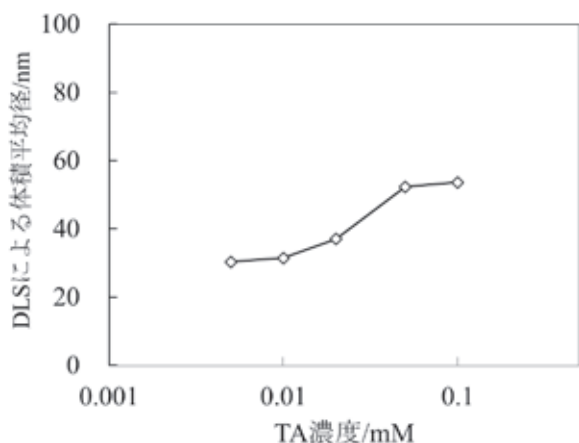


図8 タンニン酸濃度と粒子径の関係

図9にタンニン酸濃度の異なる 0.1mM 硝酸銀-0.2mM クエン酸ナトリウム-タンニン酸水溶液にマイクロ波 100W を 4 分間照射後の試料の FE-SEM による二次電子像を示す。FE-SEM からタンニン酸濃度が高いほど、粒子径が大きくなることを確認することができた。また、タンニン酸濃度によらず全ての試料においてナノワイヤが確認されず、タンニン酸の添加によるナノワイヤ生成に対する抑制効果が確認された。

図10にタンニン酸濃度の異なる 0.1mM 硝酸銀-0.2mM クエン酸ナトリウム-タンニン酸水溶液にマイクロ波 100W を 4 分間照射後の試料の TEM による観察像を示す。TEM 画像からもタンニン酸濃度が高いほど、銀ナノ粒子の粒子径が大きくなることを確認された。

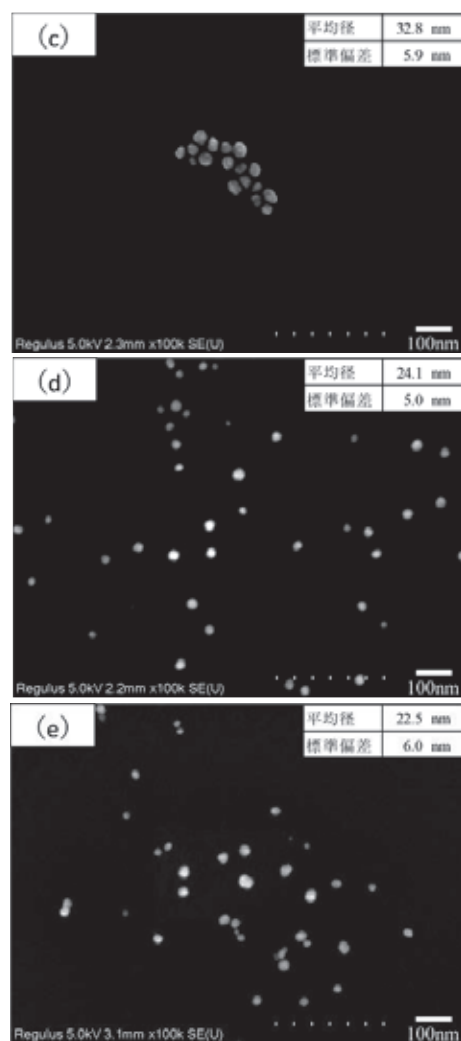


図9 FE-SEM による二次電子像
TA 濃度 (a)0.1mM (b)0.05mM
(c)0.02mM

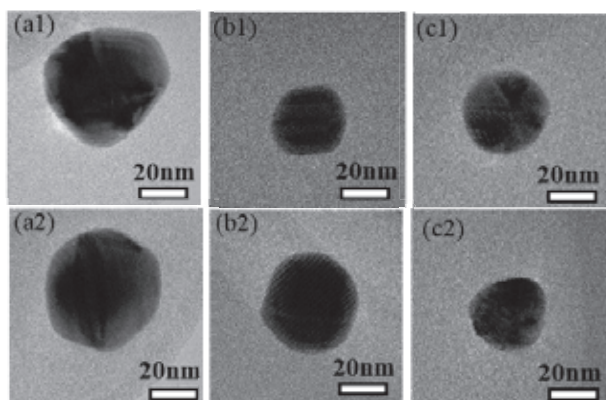
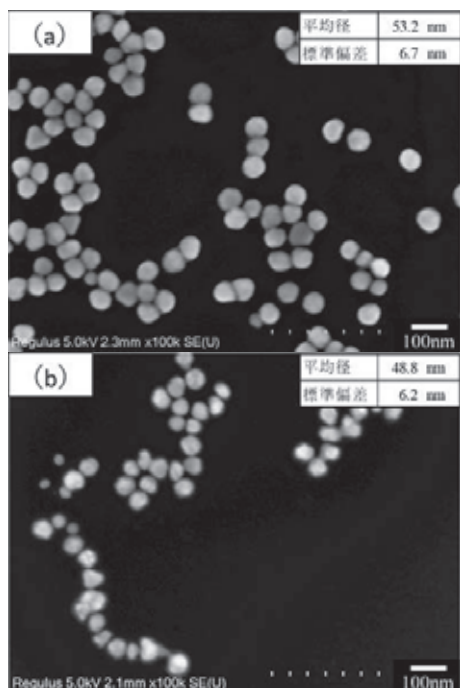


図10 TEM による観察像
TA 濃度 (a1)、(a2)0.05mM (b1)、(b2)0.02mM
(c1)、(c2)0.01mM

3. 4 クエン酸ナトリウムとタンニン酸による銀イオンの還元におけるクエン酸ナトリウム濃度の影響

クエン酸ナトリウムとタンニン酸を用いた銀ナノ粒子の合成についてクエン酸ナトリウム濃度の影響を調べるために、硝酸銀およびタンニン酸濃度を一定にして、クエン酸ナトリウム濃度のみを変化させて合成を行った。

図 1 1 にクエン酸ナトリウム濃度の異なる 0.1mM 硝酸銀-クエン酸ナトリウム-0.01mM タンニン酸水溶液にマイクロ波 100W を 4 分間照射後の試料の吸収スペクトルを示す。吸収スペクトルよりクエン酸ナトリウム濃度が高いほど、吸収極大波長は短波長側にシフトすることが確認された。これはクエン酸ナトリウム濃度が高いほど、粒子径が小さくなることを示している。しかし、クエン酸ナトリウム濃度が 5mM を超えると、吸収極大波長における吸光度が低下し、長波長側の吸光度の増大が確認された。これは、過剰なクエン酸ナトリウムによって静電的な反発が弱まり、コロイド粒子が一部凝集したと考えられる。

図 1 2 にクエン酸ナトリウム濃度の異なる 0.1mM 硝酸銀-クエン酸ナトリウム-0.01mM タンニン酸水溶液にマイクロ波 100W を 4 分間照射後の試料についてクエン酸ナトリウム濃度に対する DLS による粒子径の変化を示す。DLS からクエン酸ナトリウム濃度が高いほど粒子径は小さくなるが、5mM を超えると粒子径が大きくなることが確認された。この傾向は吸収スペクトルによる結果と一致した。

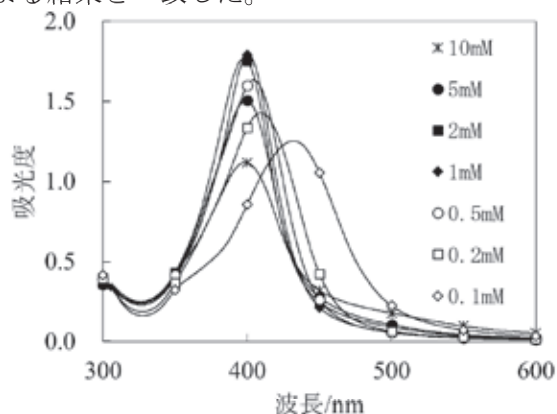


図 1 1 クエン酸ナトリウム濃度の違いによる UV-Vis スペクトルの変化

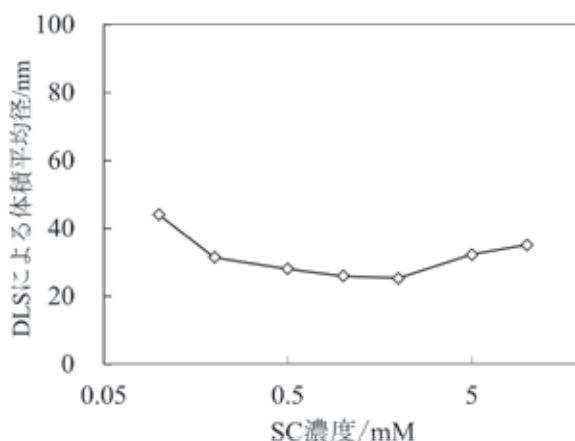


図 1 2 クエン酸ナトリウム濃度と粒子径の関係

3. 5 加熱条件による比較

銀ナノ粒子の粒子径に及ぼす加熱条件の影響を調べるために、外部加熱とマイクロ波加熱による比較を行った。

図 1 3 に 0.1mM 硝酸銀-0.2mM クエン酸ナトリウム-0.01mM タンニン酸水溶液に出力の異なるマイクロ波の照射時間もしくは外部加熱による加熱時間による UV-Vis スペクトルの変化を示す(マイクロ波 100W の条件については、図 6 を参照)。なお、外部加熱は温度制御可能な乾燥器で室温から 100℃まで 5℃/分の昇温し、100℃で保持することにより行われた。加熱時間は 100℃での保持時間を示す。マイクロ波の出力が 100W では銀イオンの還元が終了するまで 4 分を要したが、出力を上げることによって 200W で 3 分間、600W で 1 分間照射することによって還元が終了し、高出力することによってより短時間で銀ナノ粒子の合成が可能であることがわかった。一方、外部加熱による方法では試料溶液が加熱されるのに時間を要することが UV-Vis スペクトルの変化からもわかった。また、外部加熱による試料の UV-Vis スペクトルの吸収極大波長はマイクロ波加熱と比較して長波長側に位置していることから、外部加熱による銀ナノ粒子の粒子径はマイクロ波加熱より大きいと推察される。

図 1 4 に 0.1mM 硝酸銀-0.2mM クエン酸ナトリウム-0.01mM タンニン酸水溶液を各加熱条件下で加熱された試料の DLS による積算分布曲線を示

す。マイクロ波の出力を変えても、積算分布曲線はほとんど変化しないことから、マイクロ波の出力は粒子径に及ぼす影響は少ないことを示している。一方、外部加熱によって加熱された試料の積算分布曲線からマイクロ波加熱に比べて、粒子径が大きいことを示している。

以上の結果から、マイクロ波加熱は乾燥器を用いた外部加熱と比較して、短時間で銀イオンを還元し、かつ粒子径を小さくすることがわかった。

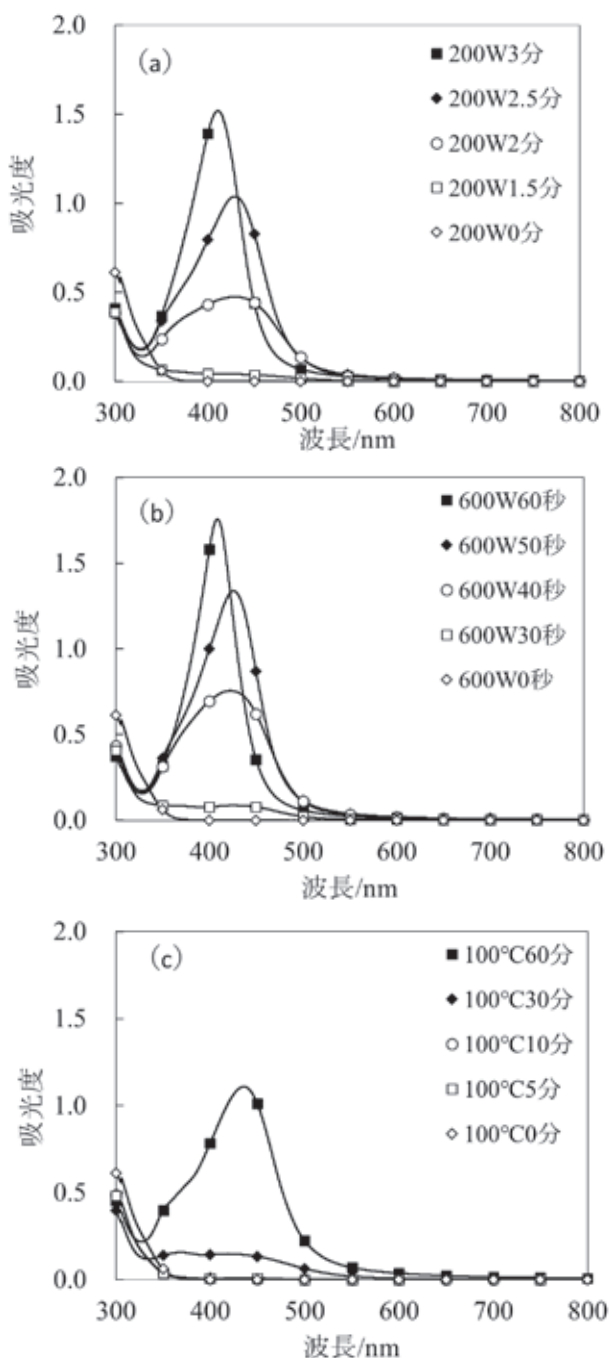


図 1 3 加熱条件の違いによる UV-Vis スペクトルの変化

(a)、(b)マイクロ波加熱 (c)外部加熱

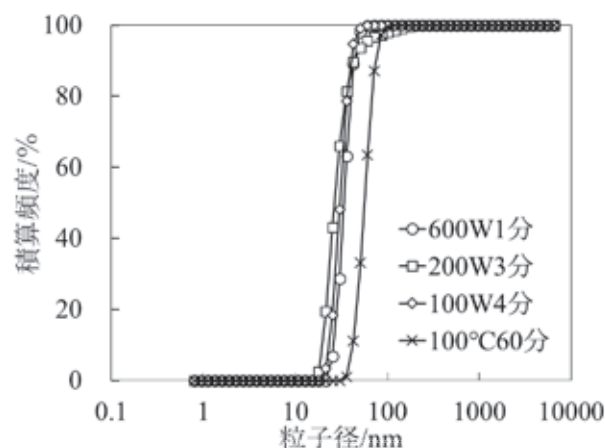


図 1 4 DLS による積算分布曲線

4. まとめ

マイクロ波加熱による銀ナノ粒子の合成に関して、還元剤としてクエン酸ナトリウムを検討した結果、以下のことがわかった。

①クエン酸ナトリウムによる銀イオンの還元

- ・クエン酸ナトリウム無添加では、マイクロ波を照射しても銀イオンは還元されなかった。

- ・クエン酸ナトリウムを添加することで、銀イオンはマイクロ波照射による加熱によって還元されたが、多くはワイヤ状に成長した。

②添加剤によるナノワイヤ生成の抑制

- ・添加剤として還元剤 (SA、TA)、有機高分子 (PVP、PVA) および界面活性剤 (SDS) を検討した結果、UV-Vis スペクトルから $TA > PVP > PVA > SA > SDS$ の順にナノワイヤ生成に対する抑制効果が高いことがわかった。

- ・クエン酸ナトリウム単独に比べて、タンニン酸を加えることによって加熱による銀イオンが短時間で還元されることがわかった。

③クエン酸ナトリウムとタンニン酸による銀イオンの還元におけるタンニン酸濃度の影響

- ・タンニン酸濃度が高いほど、粒子径は大きくなることがわかった。

- ・電子顕微鏡観察からタンニン酸の添加によってナノワイヤ生成に対する抑制効果を確認することができた。

④クエン酸ナトリウムとタンニン酸による銀イオンの還元におけるクエン酸ナトリウム濃度の影響

- ・クエン酸ナトリウム濃度が高いほど、銀ナノ粒子の粒子径は小さくなることがわかった。
- ・過剰にクエン酸ナトリウムを加えると、銀ナノ粒子は凝集し、粒子径は大きくなることがわかった。

⑤加熱条件による比較

- ・マイクロ波の出力を高くすることによって、粒子径を維持したままより短時間で銀イオンを還元できることがわかった。
- ・乾燥器を用いた外部加熱と比較してマイクロ波加熱は粒子径を小さくできることがわかった。

謝辞

本研究の TEM 観察の評価にあたり、滋賀県立大学金属材料研究室のバラチャンドラン・ジャヤデワン教授、石島政直氏にご協力いただきました。ここに深く感謝いたします。

付記

本研究で用いた FE-SEM による電子顕微鏡観察は、公益財団法人 JKA2020 年度補助物件である多機能走査型電子顕微鏡システム(競輪 2020M-076)を利用した。

文献

- 1) 中川昌美. 日本接着学会誌, Vol.44, No.11, 2008, p. 432-437
- 2) 小林敏勝. 表面化学, Vol.26, No.2, 2005, p. 107-111
- 3) K. Kunii, Y. Wada, *The Chemical Times*, 2013, Vol.230, No.4, p. 7-11
- 4) K. J. Sreeram, M. Nidhin, B. U. Nair, *Angew. Bull. Mater. Sci.*, 2008, Vol.31, No.7, p. 937-942
- 5) S. Ayyappan, R. S. Gopalan, C. N. Subbanna, C. N. R. Rao, *J. Materials Research*, 1997, Vol.12, No.2, p. 398-401
- 6) D. Kim, S. Jeong, J. Moon K. J. Sreeram, *Nanotechnology*, 2006, Vol.17, p. 4019-4024
- 7) K. Madhi, G. S. A. Akbar, A. M. Ali, *Iran. J. Chem. Chem. Eng*, 2012, Vol.31, No.4, p. 21-28
- 8) Z. Yang, H. Qian, H. Chen, J. N. Anker, *J. Colloid Interface Sci*, 2010, Vol.352, p. 285-291
- 9) D. Paramelle, A. Sadovoy, S. Gorelik, P. Free, J. Hobley, D. G. Fernig, *Analyst*, 2014, Vol.139, p. 4855-4861

ICT 技術を用いた鑄造技術の高度化・高効率化技術の開発

金属材料係 安田 吉伸 三浦 拓巳 酒井 一昭 深尾 典久
機械システム係 間瀬 慧 水谷 直弘 藤井 利徳 井上 栄一

Advancement and high efficiency technology for casting by ICT technology

YASUDA Yoshinobu, MASE Satoshi, MIURA Takumi, MIZUTANI Naohiro, SAKAI Kazuaki,
FUJII Toshinori, FUKAO Norihisa, INOUE Eiichi

鑄造技術は古くから活用されているものづくりの基礎的な加工法である。しかしながら、鑄造の多くの工程において未だに職人の経験と勘、いわゆる「暗黙知」の部分が多い。本研究ではセンシング技術などの ICT 技術や、コンピュータシミュレーション技術を用いて職人の技能の見える化を行い、鑄造技術の高度化・高効率化技術を確立することを目的とし、取鍋用センサの開発並びに銅合金鑄物 CAC411 のシミュレーション解析を行った。

1. はじめに

鑄造技術はものづくりの基本的な工程である。一方で鑄造技術は、多くの工程において職人の経験と勘、いわゆる「暗黙知」の部分が多い技術である。本研究ではセンシング技術やデータベース等の ICT 技術を用いて「暗黙知」をデータ化・解析することで「形式知」とし、職人の技能の見える化を図ることを目的とした。

本年度は、鑄込み作業を計測することを目的とし、取鍋の傾きを測定するセンサの開発を行った。また鑄造実験に用いるために 2 種類の釣り銭トレーを設計・試作するとともに鑄造シミュレーションを用いて湯流れ、凝固解析を行った。

2. 実験方法

2. 1 鑄造模型の作成

鑄造実験に使用するため、角型と丸型の 2 種類の釣り銭トレーを 3D-CAD (KeyCreator、クボテック) を用いて設計した。図 1 に釣り銭トレーのモデル図を示す。釣り銭トレーの表面には角型では滋賀県の県鳥であるカイツブリを、また丸型では琵琶湖をイメージした模様を組み込んだ。肉厚は最も薄い

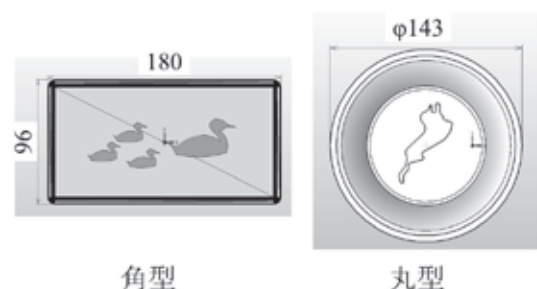


図1 試作した釣り銭トレーのモデル図

ところで約 3 mm である。図 2 に丸型の釣り銭トレーの方案を示す。釣り銭トレーの底面に湯口を配置した落とし込み方案とした。3D プリンタ(F170、ストラタシス)を用いて ABS 樹脂で釣り銭トレー及び湯口を出力した。砂型はフラン系自硬性樹脂を混練した鑄物砂で作製した。

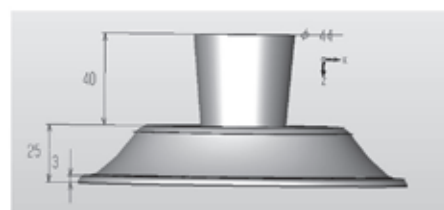


図2 丸型釣り銭トレーの鑄造方案

2. 2 取鍋用センサの製作

取鍋用センサには、取鍋内の溶湯温度、傾斜角や重力加速度等の取鍋位置及び作業時間を、データロガーとの結線を行わずに計測できる機能を付与することを目標とした。

センサでの計測を制御するためマイクロコンピュータ (M5Stack Gray、M5Stack) を用いた。M5Stack Gray は比較的安価なシングルボードコンピュータであり、小型のカラーディスプレイ、9 軸 IMU(加速度、角速度、磁気)、Wi-Fi 通信機能、マイクロ SD カードスロットを備えている¹⁾。図 3 に取鍋用センサの測定フローチャートを示す。測定プログラムを起動させると、まずインターネットに接続し日本標準時を取得するようにした¹⁾。日本標準時を用いることで他のセンサとの同期を正確に行うことができる。温度測定には、昨年

度作製した Mo-ZrO₂系サーメットであるサーモアロイ製の保護管を使用した B 型の熱電対を用いた²⁾。熱電対用のアンプには MCP9600 (株式会社ストロベリー・リナックス) を用いた。図 4 に作動中のモニター画面を示す。

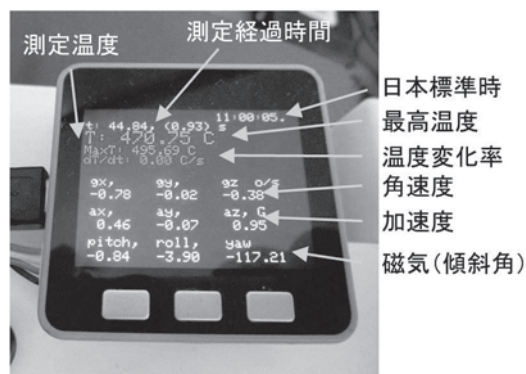


図4 取鍋用センサーの測定画面

温度表示部分には現在の測定温度、最高温度及び温度変化率を表示した。最高温度は溶湯センサの電源を入れた後に測定された温度の中での最高温度であり、温度センサの温度が溶湯温度に達するまでの間は、測定温度と最高温度は同じになる。室温の温度センサを使って、溶解した銅合金の温度 (約 1200℃) を測定するためには約 30 s 必要であることが昨年度の結果から明らかになっている²⁾。そのため、測定温度が溶湯温度に達しているかどうかを見極める必要がある。そこで測定温度を時間で微分して算出した温度変化率に着目した。温度変化率が -2 から 3 °C/s であれば溶湯温度と一定になったと判断し、温度変化率を緑色で表示させた。一方、温度変化率が 3 °C/s 以上であれば赤字、温度変化率が -2°C/s 以下であれば青字で表示させ、測定した温度の状態が色から判断できるようにした。図 5 に取鍋用センサを取鍋に接続した様子を示す。持ち手の後部に 3D プリンタで作製した固定治具を使って M5Stack および熱電対アンプを固定した。この時の 9 軸 IMU の軸方向および回転角度を図 6 に示す。Z 軸はモニターに対し垂直な方向である。本研究では y 軸方向の加速度、角速度及び Roll に着目した。

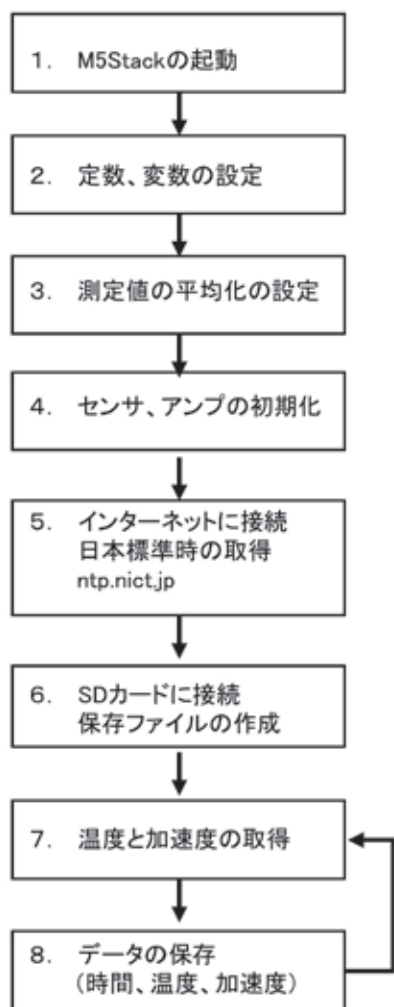


図3 取鍋用センサのデータ取得用プログラムのフローチャート

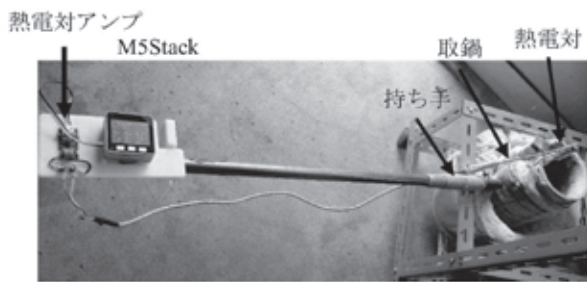


図5 取鍋用センサを取鍋に取り付けた様子

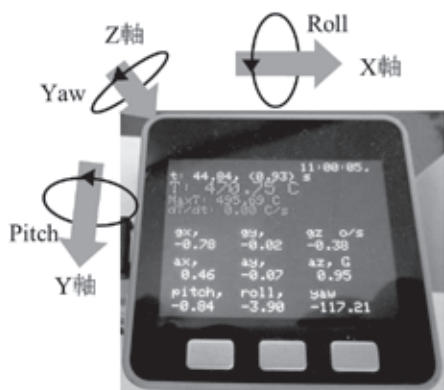


図6 9軸IMUの軸方向及び回転方向

2. 3 鋳造試作

鋳造材料には CAC411^{3)~6)}(Cu-4%Sn-2%Zn-0.5%S)のインゴットあるいは端材を用いた。インゴット及び端材の溶解には高周波溶解炉 (IMC-ASH203、アイメックス) を使用した。るつぼには黒鉛るつぼを用いた。溶解時に蒸発した亜鉛を補給するため、溶湯温度が 1100℃以上に達すると板状あるいは粒上の亜鉛を溶湯に加えた。加えた亜鉛の重量は鋳造材料の重量の 0.5%とした。脱酸には 15%P-Cu を用い、溶湯温度が 1200℃以上に達すると溶湯に加えた。加えたリンの濃度は鋳造材料の重量の 0.1%とした。溶湯の被覆には木炭を使用した。鋳造した試料は砂型から取り出し、サンドブラストで表面に残った砂等を除去した。その後、湯口を切断し金属ブラシによる研磨を行い仕上げた。

仕上げた試料は外観の目視検査を行った。化学成分はエネルギー分散型蛍光 X 線 (VANTA、オリンパス) で分析した。

2. 4 CAC411 に対するシミュレーション技術の開発

鋳造シミュレーションソフトには JSCAST (クオリカ) を用いた。CAC411 の熱物性値を模擬するため、材料物性値計算ソフトウェア・データベース JMatPro (Sente Software)⁷⁾を用いて Cu-4%Sn-2.5%Zn-0.06%P の組成を持った銅合金の熱物性値を計算して用いた。この時、凝固終了温度を模擬するため、Cut off 値を 0.3 とした²⁾。また、凝固解析では凝固指数を 0.5 および欠陥予想固相率を 0.9 とした²⁾。

2. 5 データベースの構築

2. 2 項で開発した取鍋用センサでは、取得したデータを SD カードに保存して、パソコンに読み込む方式である。そのため、取得したデータを解析するためには取鍋用センサの M5Stack から SD カードで取出し、パソコンに読み込ませる作業が必要である。そこで M5Stack の通信機能を活用し、データを無線通信でデータサーバに送信するシステムの構築を検討した。また品質改善につながるパラメータを抽出することを目的として鋳造における項目や製品の評価結果を保存する鋳造データベースの構築を行った。

2. 5. 1 無線でのデータ送信環境の構築

データベースサーバーにはオペレーションシステムとして Ubuntu18.04 LTS⁸⁾がインストールされたデスクトップパソコンを用いて構築した。データベースサーバーには MariaDB⁹⁾を利用した。Ubuntu、MariaDB は共に無料で利用可能である。この構築したデータベースサーバーに対して M5Stack Gray から Wi-Fi でデータを受信し、MariaDB に保存できるプログラムを作成し、M5Stack Gray とデータベースサーバー間のデータ送信速度を検証した。

2. 5. 2 鋳造データベースの構築

ICT 技術に不慣れな企業・人材での導入・活用しやすさという観点から、データの入力や抽出を行うためのデータベースソフトウェアとして、導

入コストが低く、マウス等での操作が可能である Microsoft Office Access を採用した。OS には Windows10 Pro(64bit)を用いた。前項で構築したデータベースサーバーと連携させて鑄造データベースとして構築した。

3. 結果および考察

3. 1 試作鑄造品

図 7 に角型の釣銭トレーを示す。試作品の一部に、釣銭トレーの角の部分に気泡(ブローホール)と推定される欠陥が見られた。

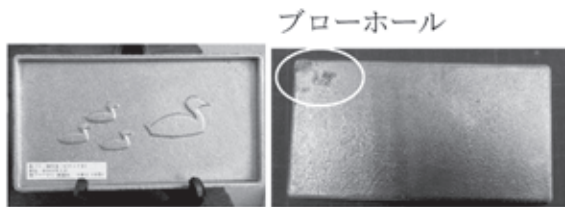


図7 角型釣銭トレー試作品の外観

図 8 に試作した丸型の釣銭トレーの外観を示す。丸型の釣銭トレーでは湯口直下で下側と接触した面(図中(i))が、それ以外の部分に比べて黄色く変色していた。表 1 に蛍光 X 線分析装置で分析した結果を示す。黄色く変色した部分は他の部分に比べ Sn 濃度が高く Zn 濃度が低かった。このことから黄色く変色したのは Sn の偏析であると考えられる。

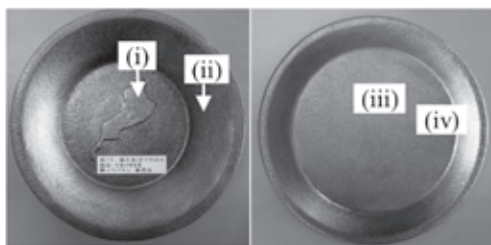


図8 丸型釣銭トレー試作品の外観

表1 丸型釣銭トレーの化学成分

	Cu	Sn	Zn	S	その他
(i)	82.9	13.1	0.5	1.9	1.6
(ii)	92.0	4.2	1.5	1.5	0.8
(iii)	92.1	3.4	1.7	0.8	2.0
(iv)	92.2	3.5	1.6	0.7	2.0

3. 2 取鍋用センサでのデータ取得

図 9 に取鍋用センサで取得した鑄造作業時の角速度、加速度、Roll の測定値を示す。本実験では取鍋用センサに接続した後、高周波溶解炉で溶解した溶湯を取鍋で受けた。その後、溶湯温度を測定し、砂型を 2 つ(図中①及び②)、分析試料用金型(図中③)を 1 つに対し注湯し、残った溶湯を黒鉛るつぼ(図中④)に流し込んだ。

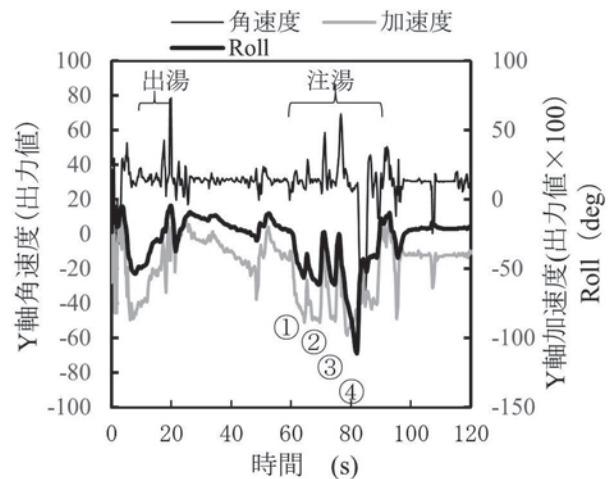


図9 取鍋用センサでの加速度情報取得結果

角速度に着目するとピークが多数発生しており、ノイズと出湯や注湯時との信号を分離させることが困難であった。Y 軸加速度と Roll に着目するとピーク発生の仕方は類似していた。以上のことから、今後は Roll に着目することとした。

図 10 に Roll と温度の測定の結果を示す。出湯後から最高温度を測定するために約 30s 必要であった。

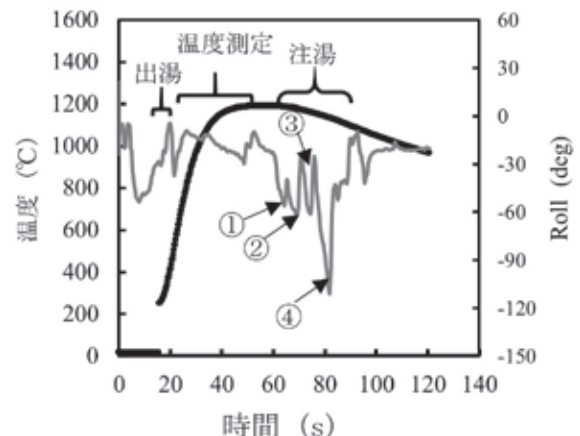


図10 温度センサでの温度情報取得結果

注湯作業においては Roll が低下すると取鍋の傾斜角が増加し溶湯が取鍋から流れ出ると推定される。一方 Roll の極小値を示す時間を超えると取鍋の傾斜を戻して注湯を止める工程となったと推定される。そのため、Roll の減少開始点を注湯開始時間、Roll の極小値を注湯終了時間とし、その間を注湯時間と定義した。Roll の減少開始点および極小値の抽出のため、以下のデータ処理を行った。Roll 測定値に対し 5 点の移動平均を行いノイズの平準化を行った。平準化した Roll 値を時間で 2 階微分を行い、その 2 階微分曲線の極小値を示す時間を Roll 値の増加開始点の時間とした。

図 10 のデータに対し、上記データ処理を行い、注湯開始及び終了時間(a)及びその時間での測定温度(b)を抽出した結果を図 11 に示す。グラフ中に示した数値はそれぞれ鑄造開始時間(太字)および終了時間での時間あるいは温度を示す。①～④の注湯作業に対し、注湯開始時間と終了時間との

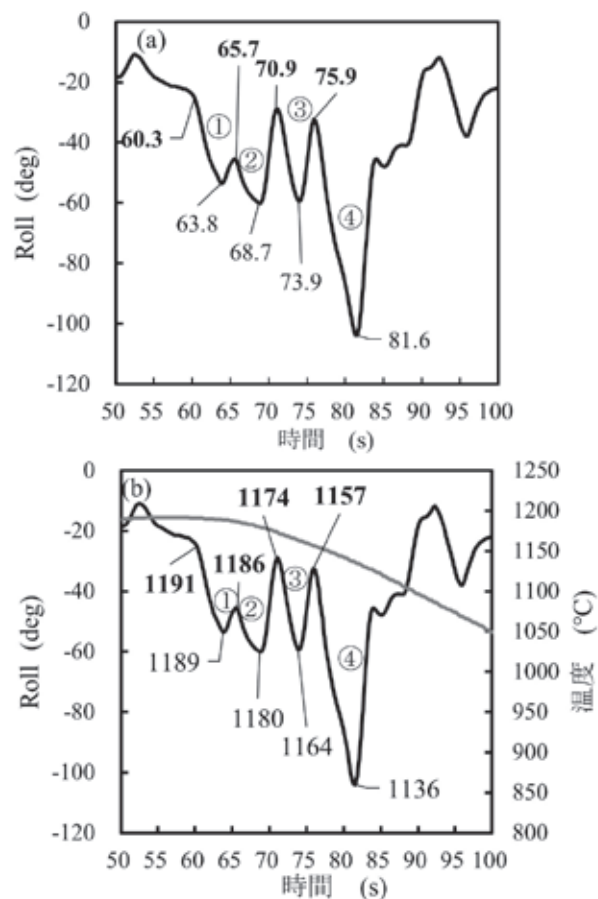


図11 データ処理により抽出した時間(a)および温度(b)

差から求めた注湯時間はそれぞれ 3.5、3.0、3.0 及び 5.7 s であった。また注湯開始温度と終了温度の間での温度低下はそれぞれ、2、6、10 及び 21℃であった。注湯作業が進むにつれて溶湯温度の低下が大きくなった原因は取鍋内の溶湯が少なくなったため熱容量が小さくなったこと、傾斜により湯面が増加し熱が逃げやすくなったこと等が考えられる。

3. 3 鑄造シミュレーションによる湯流れ及び凝固解析

図 7 で示した、角型の釣銭トレーで発生した結果を模擬するため、湯流れ解析を行った。その結果を図 12 に示す。鑄込み時間を約 3 s として解析を行った。図中の矢印は溶湯の流れの方向を示している。注湯途中の 1.5 s から溶湯が型に満たされた 3.0 s までの間、角付近に渦が発生していることが解った。この位置は図 7 で見られた欠陥発生位置と類似している。注湯時に巻き込まれた空気が気泡となって渦の中心付近に集まり、砂型から抜けきらずに凝固したことがブローホールの原因と考えられる。このような欠陥を解決するためには鑄込み温度を若干高くすることが有効とされている¹⁰⁾。そのため、ブローホールが発生した鑄物では鑄込み温度が低かったと推定される。次年度以降、鑄造用センサを使って鑄物の欠陥と鑄込み温度の関係を調査する予定である。

図 8 で示した丸型の釣銭トレーにおいて Sn の偏析が発生した原因を調査するため、凝固解析を行った。図 13 に鑄物中央断面における凝固時間および凝固時の温度勾配の等高線を示す。凝固時間では 0～60 s までの範囲を 30 分割して示している。また温度勾配では 0～30℃/s の範囲を 30 分割して表示している。

湯口と釣銭トレーの境目付近(図中(i))で等高線間隔が狭い。したがってこの部分では凝固速度が遅く、固液が共存した時間が長かったことが推定される。温度勾配に着目すると図中(ii)で示す領域で温度勾配の小さい領域が確認された。湯口部分

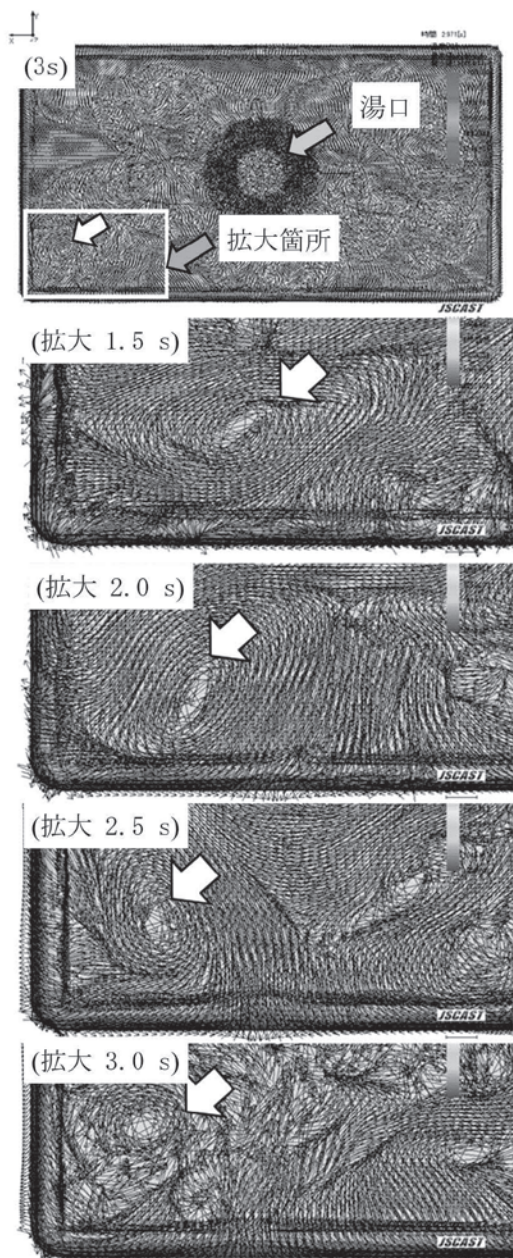


図12 角型釣銭トレーの湯流れ方向
時間は铸造開始からの時間

の熱容量が大き過ぎたことが、温度勾配が小さくなった原因であると考えられる。かゆ状凝固をする銅合金铸件では溶湯中に吸蔵した水素が凝固時にガス化し、その圧力で Sn が濃化した溶湯が鑄壁側に押しやられ、Sn が鑄壁に偏析する逆偏析という現象がある¹¹⁾。一方、CAC411 は表皮形成型凝固に近い凝固形態であり、Sn の逆偏析は起こりにくいと考えられている。注湯中では Sn が偏析した部分の鑄壁は常に熱い溶湯が当たるため、鑄壁の温度が上昇しホットスポットとなったと推定される。そのため、本铸造方案では、Sn が変

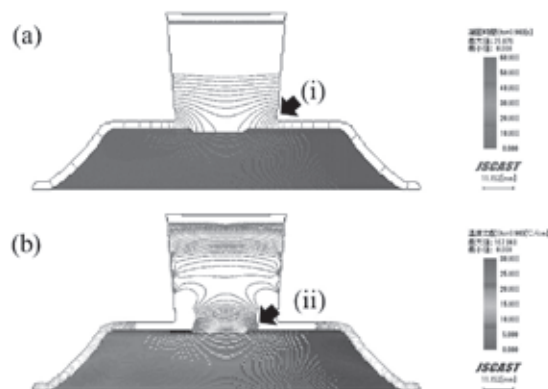


図13 丸型釣銭トレー中央断面における
凝固時間(a)及び温度勾配(b)の等高線

色した部分の凝固速度が小さくなり、固液共存時間が長くなったために Sn が正偏析したと推定される。

Sn の偏析を改善するためには湯口と釣銭トレーの境目付近の凝固速度を上げ、固液共存時間を短くすることが必要である。そのためには、湯口部分の熱容量を低減させれば良いと考えられる。そこで、湯口部分の形状をロート型に変更し湯口と釣銭トレーの熱容量を低減させる方案を検討した。湯口をロート型にすることで湯口の体積は当初の方案に対して 40%に削減した。このことは鑄造製品の歩留まり向上にもつながる。

図 14 に改善した铸造方案での凝固解析の結果を示す。当初の方案に比べ湯口と釣銭トレーの境目付近(図中(i))で等時線間隔が広く、温度勾配の小さな領域 (図中(ii))で示す領域も小さくなった。

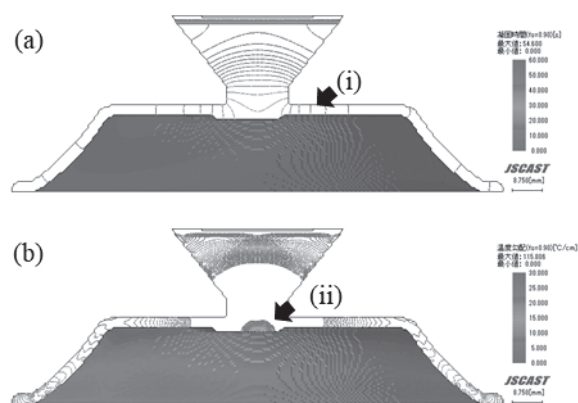


図14 改善した丸型釣銭トレーの铸造方案の
中央断面における凝固時間(a)及び
温度勾配(b)の等高線

図 15 に実際に改善した方案で鋳造した試作品を示す。濃い変色はほとんど見られず、鋳造方案の改善効果を確認できた。



図15 改善した丸型釣銭トレーの試作品

3. 4 データベース

3. 4. 1 Access と MariaDB の連携

Access は操作性が良いがデータを受けとるためのサーバーとしての機能が無いため、M5Stack Gray からのデータを受信し保存することができない。それに対して MariaDB はサーバー機能を有するが、基本的にコマンドライン操作となっており、プログラマー向けのソフトとなっている。データベースからのデータ抽出は目的に応じて方法が変化するため、コマンドライン操作で操作は ICT 技術に不慣れな作業では難しい。そこで以下の様に役割分担させてデータベースサーバーを構築した。

MariaDB : M5Stack からデータを受信・保存

Access : データの入力・データ抽出

この際、Access に ODBC Driver を導入し、Access から MariaDB にアクセスをできるようにした。今回構築したシステムの概略を図 16 に示す。このように組み合わせることで高い操作性とサーバー機能を有するシステムとすることができた。

3. 4. 2 鋳造データベース画面の作成

鋳造実験で記録している以下のパラメータをデータベースに入力できるようにした。

記録パラメータ

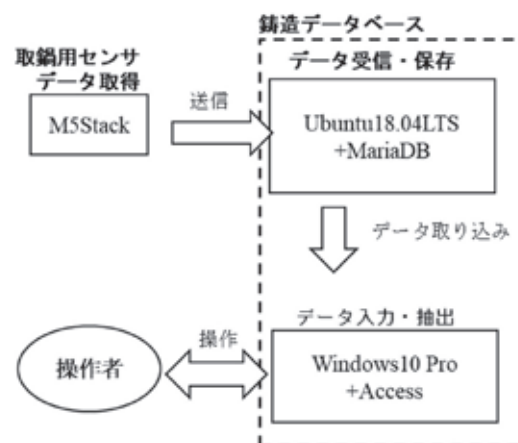


図16 データ送信及び鋳造データベースシステムの構成

実験日、気温、湿度、材質、溶解量、リン銅等添加量、出湯温度、注湯温度、注湯時間、材料強度評価結果、成分分析評価結果

データベースではテーブル（表）にデータを保存する。そしてテーブルには主キーと呼ばれるデータが一意に決まる項目が必要となる。そのため上記のパラメータに加えて「実験 No.」という項目を加えてテーブルを作成した。それをベースに Microsoft Access のフォーム作成機能を用いてデータ入力画面を作成した。作成したテーブルと入力画面を図 17 に示す。

3. 4. 3 無線でのデータ送信

本研究で最もサンプリング速度が必要となるのは鋳込み時の取鍋姿勢である。図 11 に示したように鋳込みにかかる時間は約 3 s 程度である。取鍋用センサでのデータ取得周期は約 0.25 s であり、その速度でデータを送信・保存する必要がある。そこで M5Stack Gray の 9 軸 IMU のデータの通信速度を検証した。検証プログラムでは、①Wi-Fi への接続、②9 軸 IMU データの取得、③データサーバへのデータ転送、④delay(待機 0.2 s)を繰り返すプログラムとした。その結果を以下の表 2 に示す。

タイムスタンプ(time の列)を確認すると毎秒 4 回程度(0.25 s)データを受信出来ていることが確認できた。したがって取鍋用センサからのデータ

データ入力テーブル

データ入力画面

図17 鋳造データベースのデータ入力
テーブル及びデータ入力画面

表2 データ送信結果

gyrox	gyroy	gyroz	accx	accy	accz	pitch	roll	yaw	time
5.74	-5.07	0	0.01	0.02	1.06	-4.88	5.89	78.91	15:10:31
6.47	-5.49	0	0.01	-0.01	1.07	-4.86	5.86	78.74	15:10:31
4.33	-4.46	0	0.01	0	1.07	-4.89	5.9	78.52	15:10:31
6.1	-3.66	0	0.02	0	1.06	-4.86	5.89	78.35	15:10:31
4.82	-4.21	0	0.01	0	1.07	-4.83	5.86	78.15	15:10:32
5.62	-5.68	0	0.01	0.01	1.07	-4.87	5.88	77.92	15:10:32
4.82	-4.27	0	0.01	0.01	1.05	-4.87	5.86	77.73	15:10:32
6.16	-4.88	0	0.02	-0.01	1.05	-4.9	5.89	77.51	15:10:32
4.52	-4.88	0	0	0	1.07	-4.88	5.87	77.32	15:10:33
4.64	-4.82	0	0.01	0	1.08	-4.9	5.83	77.15	15:10:33
4.64	-4.09	0	0.01	0	1.07	-4.89	5.81	76.97	15:10:33
5.62	-4.7	0	0	0	1.08	-4.91	5.82	76.76	15:10:33
6.23	-5.31	0	0.03	-0.01	1.06	-4.91	5.85	76.53	15:10:34
4.39	-4.27	0	0	0	1.08	-4.89	5.85	76.36	15:10:34
4.82	-4.58	0	0	0.01	1.08	-4.89	5.86	76.14	15:10:34
6.1	-5.31	0	0.01	0	1.08	-4.87	5.84	75.95	15:10:34
5.74	-4.21	0	0.01	-0.01	1.07	-4.84	5.81	75.75	15:10:35
4.09	-4.09	0	0.02	0	1.06	-4.8	5.74	75.59	15:10:35

を十分な速度でデータサーバに転送できると判断した。次年度以降、データ転送プログラムを取鍋用センサに組み込む予定である。

4. まとめ

本年度は、鋳造時の作業をデータ化するため、取鍋の温度、時間、傾斜角度を測定する取鍋用センサを開発した。開発したセンサのデータから、注湯時間及び注湯温度の抽出を行った。

CAC411 の試作品に対し鋳造シミュレーションを行い、鋳造欠陥とシミュレーション結果とを比較し改善方法を検討した。

取得したデータを保存蓄積するためにデータ

ベースを構築し、M5Stack Gray からデータベースサーバーへの転送速度を検証した。

付記

本研究に用いた、鋳造シミュレーションシステム、簡易鋳造システム、固体発光分析装置は経済産業省平成 29 年度地域新成長産業創出促進事業費補助金により導入した装置です。

謝辞

鋳造試作には株式会社マツバヤシ 松林正樹様にご協力いただきました。鋳造模型や鋳造品の仕上げ加工には当センター 竹中博一会計年度任用職員に、鋳造品の化学分析には松岡幸雄会計年度任用職員にご協力いただきました。感謝申し上げます。

文献

- 1) 下島 健彦: みんなの M5Stack 入門, リックテレコム, 2019, 248p.
- 2) 安田吉伸, 間瀬慧, 三浦拓巳, 水谷直弘, 酒井一昭, 藤井利徳, 井上栄一, 深尾典久: 滋賀県東北部工業技術センター 令和元年度 研究報告書, 滋賀県東北部工業技術センター, 2020, p54-61.
- 3) 小林武, 明石巖, 丸山徹, 阿部弘幸, 杉山崇, 若井寛明: 鋳造工学 81, 2009, p650-660.
- 4) 阿部弘幸, 丸山徹, 野洲拓也, 松林良蔵, 小林武: 鋳造工学 81, 2009, p661-666.
- 5) 丸山徹, 阿部弘幸, 松林正樹, 丸直樹, 明石隆史, 橘徹行, 小林武: 鋳造工学 81, 2009, p667-673.
- 6) 日本産業規格 JIS H5120.
- 7) 木島秀弥: 鋳造工学 86, 2014, p951-956.
- 8) <https://www.ubuntulinux.jp/home>
- 9) <https://mariadb.com/kb/ja/mariadb/>
- 10) 銅合金鋳物の生産技術改訂版編集委員会: 鋳造技術シリーズ 5 銅合金鋳物の生産技術 改訂版 1 刷, 一般社団法人素形材センター, 2014, p262-263.
- 11) 岡根利光: 鋳造工学 85, 2013, p605-612.

令和２年度 研究報告書

発 行 日：令和３年（２０２１年）１２月
編集兼発行：滋賀県東北部工業技術センター
印 刷：株式会社ヒコハン

■管理係

■有機環境係

■繊維・デザイン係

〒526-0024 長浜市三ツ矢元町27-39

TEL 0749-62-1492, FAX 0749-62-1450

■機械システム係

■金属材料係

〒522-0037 彦根市岡町52

TEL 0749-22-2325, FAX 0749-26-1779

この印刷物はグリーン購入法適合用紙を使用しています