

ISSN 1884-1813

令和 3 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. 超臨界技術を用いた繊維製品の抗菌加工に関する研究（第1報）…………… 1
2. 各種繊維へのセリシン加工の可能性検証…………… 4
3. 東北部工業技術センターにおける簡易的抗菌性評価技術の確立…………… 6
4. 県内産出プラスチック材料の利活用と高付加価値化のための機能制御技術開発
—ブリード制御による高付加価値化—…………… 1 1

機械システム係

5. バルブ性能試験機の設計と技術ハンドブック作成に係る研究（第3報）
—バルブ性能試験機の設計—…………… 1 5
6. バルブ性能試験機の設計と技術ハンドブック作成に係る研究（第3報）
—concrete5®によるバルブ性能試験機ハンドブックサイトの制作—…………… 2 2
7. ICTを用いた製造自動化技術の開発…………… 2 6

金属材料係

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
(取鍋センサの開発)…………… 3 0

なお、繊維・デザイン系のテーマについては秘密保持のためすべて非公開となっており掲載がありません。ご了承ください。

超臨界技術を用いた繊維製品の抗菌加工に関する研究 (第1報)

有機環境係 上田中 隆志

Study on an antibacterial treatment for textile using supercritical fluids(1)

KAMITANAKA Takashi

細菌、ウィルスが引き起こす感染症を防ぐために生活用品等への抗菌加工が注目されている。今後、アフターコロナにおいても実生活での抗菌加工に対する需要は増加すると考えられる。なかでも、繊維製品は衣服、産業資材等生活における様々な場所に利用されており、抗菌化への要望も益々増加することが推測される。本研究では、抗菌剤の使用量を極力抑制し抗菌加工を施す方法について検討を行った。

1. はじめに

清潔志向および安全志向の高まりから、抗菌加工製品の市場は拡大しており、現在の抗菌加工製品の国内市場は1兆円を超えていると言われて¹⁾。細菌を原因とする感染症ではないものの新型コロナウイルス感染症の世界的大流行により、安全志向はさらに高まり、日用品等生活に身近なものへの抗菌素材への転換に対する需要の高まりは顕著で、特に繊維製品については、マスク、衣類など、生活には欠かすことができず、抗菌加工が求められるケースが増えている。繊維製品の抗菌加工には、合成繊維の場合には、原料樹脂の段階で抗菌剤を混練した後、紡糸する方法、および、布形状や製品形状になった時点で、表面に塗布する方法が取られる。前者の手法だと、天然繊維には用いることができない。また、合成繊維においては、混練紡糸段階において高温がかかることから、耐熱性に乏しい抗菌剤は利用できない。後者の場合繰り返し使用、洗濯によって抗菌材が脱落するため、耐久性に問題がある。より長持ちさせるためには、繊維表面に強固に接合させたり、繊維表面に含浸させたりする方法が考えられる。

繊維表面に含浸する方法としては、超臨界二酸化炭素(以下、scCO₂という。)を用いる方法が考えられる²⁾。scCO₂は、繊維、樹脂に浸透する。scCO₂に抗菌剤が溶解していれば、繊維、樹脂への二酸化炭素の浸透に合わせて、抗菌剤が繊維に浸透してくれる可能性がある。本研究では、scCO₂を用いて、繊維に抗菌剤を含浸することについて検討を行った。

また、抗菌剤としては、様々なものが提案されており、その一例を表1に示す³⁾。繊維製品の場合には、肌身に触れることから天然由来のものが好まれる。このため、まずは有機天然由来の抗菌剤であるカテキンを選択し、研究を行った。

表1 抗菌剤の一覧(一例)

有機系	合成	第四級アンモニウム塩
		フェノール(アルキレンビスフェノールナトリウム塩 等)
		ビグアナイド
		ポリマー(アクリロニトリル硫化銅複合体)
		エステル(グリセリン脂肪酸エステル 等)
		アミノ酸(N-アルキルイレーグルタミン酸銀銅 等)
	天然由来	糖質(キチン、キトサン)
		トロポン(ヒノキチオール 等)
		ポリフェノール(カテキン 等)
		抗生物質(アミノグリコシッド)
		テルペン(1,8-シネオール)
無機系		金属系(銀/ゼオライト、金属銅、銀担持リン酸ジルコニウム、アナターゼ型二酸化チタン)

2. 実験

2. 1 材料および装置

カテキンは緑茶抽出物（粉末）、エタノールは、富士フィルム和光純薬（株）製の市販品を精製することなく用いた。含浸処理は、超臨界反応装置（二酸化炭素）（日本分光（株）製）を用い、容器には SUS-316 製、内容積 50 mL のものを用いた。

2. 2 超臨界二酸化炭素による抗菌剤の含浸処理

不織布片およびカテキン粉末を金属容器内に入れ、蓋をした後、二酸化炭素配管、熱電対および圧力計配管を容器蓋の所定の位置に取り付けた。容器をオープンにて昇温し、所定温度に到達した時点で二酸化炭素の送液を開始した。容器内が所定圧力に到達したところで二酸化炭素の送液を停止し、温度および圧力を保持した。所定時間経過後、容器を冷却し、容器が十分に冷却できたら、背圧側から二酸化炭素を排出し圧力を開放した。容器内の試料を取り出し、十分な水洗の後、評価試料とした。本研究においては、特に記載が無い限り、温度 120℃、圧力 20 MPa の条件で実施した。

2. 3 赤外分光光度法による付着量の評価

繊維表面への付着の評価には、赤外分光光度計 FT/IR 6600（日本分光（株）製）を用い、1 回反射 ATR 法（ゲルマニウム結晶）により測定した。

3. 結果および考察

3. 1 不織布へのカテキンの含浸

ポリプロピレン不織布およびポリエステル不織布を材料として、カテキンの含浸加工を検討した。不織布試料（サイズ 20×20 mm）およびカテキン粉末を金属容器に入れ、二酸化炭素で加圧し超臨界状態とした。その結果について、取り出した不織布片を水洗、乾燥した後、簡易的にカテキンによる着色の有無で判断した。未処理のおよび処

理後の不織布片を比較したところ変化がなかった。これは、カテキンが scCO₂ にほとんど溶解しないためと考えられる。

3. 2 補助溶媒の添加効果

繊維およびカテキン粉末を scCO₂ で処理するだけではカテキンの繊維への含浸はできなかった。カテキンを含浸させるために、補助溶媒の添加について検討を行った。カテキンが溶解する溶媒である、エタノールを選択し検討を行った。同様に scCO₂ による処理を行ったところ、ポリエステル布が茶変したことから（図 1）、カテキンが含浸されたことが示唆される。一方、ポリプロピレン布は色の変化は無かったことから、含浸できなかったと判断できる。ポリプロピレンの含浸については今後の課題である。

3. 3 カテキン含浸量の評価

カテキン等抗菌剤を繊維表面に含浸した場合に、どの程度の抗菌剤が含浸されているのか評価する手法を確立するために、まずは、赤外分光光度法による測定を試みた。なお、繊維表層に存在するカテキンを測定対象とすることから、表面分析に適している全反射法（ATR 法）による測定を行った。

カテキン含浸量が多いと考えられるポリエステル繊維について測定したものの、ポリエステル由来の吸収が大きかった。このため、含浸していないポリエステル繊維の赤外スペクトルを別途

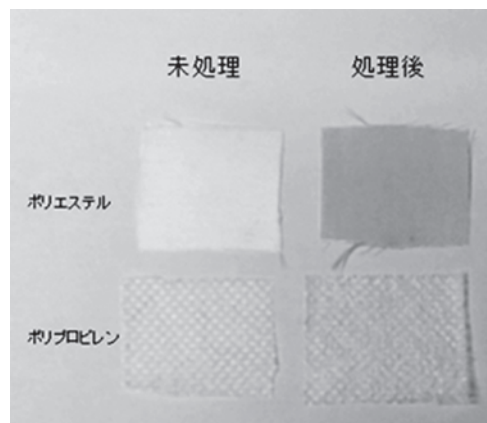


図 1 scCO₂ によるカテキンの含浸（エタノール添加）

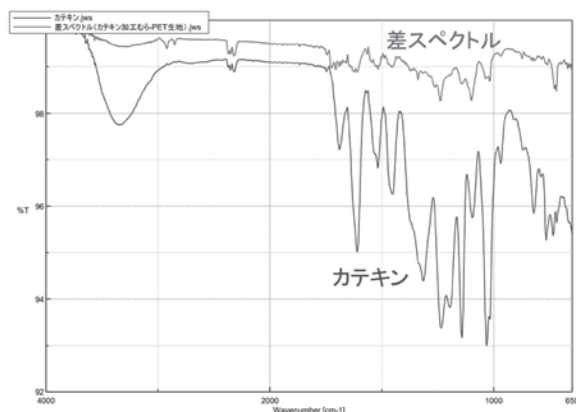


図2 赤外分光光度法による測定結果の比較

カテキン：カテキン粉末

差スペクトル：カテキン含浸させた生地のスベクトルからポリエステル生地のスベクトルを減算

測定し、それらの差スペクトルを得た。その結果を図2に示す。差スペクトルおよびカテキンのスベクトルを比較したところ、複数箇所で共通するピークが確認できた。この結果は、繊維表面にカテキンが高濃度に含浸された試料に関しては、赤外分光光度法（ATR法）による評価が可能なことを示唆する。

4. まとめおよび今後の展開

scCO₂によるポリプロピレンおよびポリエステル

繊維へのカテキンの含浸について検討を行った。補助溶媒としてエタノールを添加した場合に、ポリエステル繊維に対してはカテキンの含浸ができた。一方、ポリプロピレン繊維には含浸ができなかった。カテキン以外の抗菌剤の含浸については、今後検討を行う。また、ポリプロピレン繊維にはカテキンの含浸ができなかったことから、含浸条件の検討ならびに今回検討しなかった繊維についても、含浸を検討したいと考えている。カテキンの含浸について赤外分光光度法（ATR法）により評価を行ったところ、高濃度に含浸された試料については、カテキンに帰属できるピークが確認できた。このことから、含浸の程度について、赤外分光法による手法を用いることができる可能性があり、今後検討を行う。

文献

- 1) 特許庁ニーズ即応型技術動向調査「抗菌・抗ウィルス素材」（令和3年2月）
- 2) W. Saus, D. Knittel, E. Schollmeyer, *Textile Res. J.*, 63, 1993, p.135-142
- 3) 中島照夫, 日本家政学会誌, 61, 2010, p.113-118

各種繊維へのセリシン加工の可能性検証

有機環境係 脇坂 博之

Verification of the possibility of sericin processing on various fabric.

WAKIZAKA Hiroyuki

繊維表面にタンパク質のひとつであるセリシンを修飾加工する手法についての検討を行った。加工する生地として綿、およびポリエステルについて、2種類の加工方法について検討を進めたところ、それぞれの手法においてセリシンを加工可能な知見を得ることができた。

1. はじめに

繊維をはじめとする高分子材料の物性は、基本的にその繊維の化学構造に起因する。さらにその材料表面に異なる化学構造を有する物質を修飾加工、あるいは付与することができれば、主材である高分子材料の特性を維持しつつ、濡れ性や吸放湿性、染色性といった表面特性を自由に付与することが可能となる。

ところで、当センターが位置する長浜では絹織物が地場産業としてあり、その製造工程（精練）時に絹由来のタンパク質（セリシン）が排出されている。セリシンは保湿性等の各種機能性を有していることから、セリシンを繊維表面に修飾加工できれば付加価値の高い繊維製品としての用途展開ができる。

本研究では、各種繊維にセリシンをはじめとするタンパク質を修飾加工する技術シーズを確立し、未利用資源であるセリシンの有効利用による環境負荷低減とともに、高付加価値製品としての利用可能性を追究する。

2. 実験

2. 1 試料

セリシンを修飾加工する生地として、天然繊維は綿、合繊繊維としてポリエステル（いずれも JIS L0803 準拠）を用いた。

2. 2 セリシン加工

本実験ではセリシン加工について、2つの加工方法の検討を行った。詳細は特許出願の可能性があるので詳細は差し控える。

加工後のセリシンの付着量は、処理前後の生地の絶乾重量の差を付着量として算出した。また、ポリエステルへのセリシン定着については、酸性染料による染色性を、また綿への定着については、繊維鑑別用試薬ボーケンステインⅡ（一般財団法人ボーケン品質評価機構）を用いた呈色試験にて簡易的に確認を行った。

3. 結果および考察

表1にポリエステルに対し方法1でセリシンを加工した結果の一部を示す。各種条件を検討したところ、ポリエステルの生地重量当たり1%以上の増加がみられた。

また、図1には未加工ポリエステル生地をブランクとして、条件②でセリシン加工を施した生地の酸性染料による呈色試験結果を示す。その結果、セリシン加工により、酸性染料に対する染色性の向上がみられることから、本方法により、ポリエステルに対し、セリシンを加工可能な知見を得た。

表 1 加工方法 1 によるポリエステル生地へのセリシン付着量

	セリシン付着量 (%)
条件①	0.3
条件②	1.6

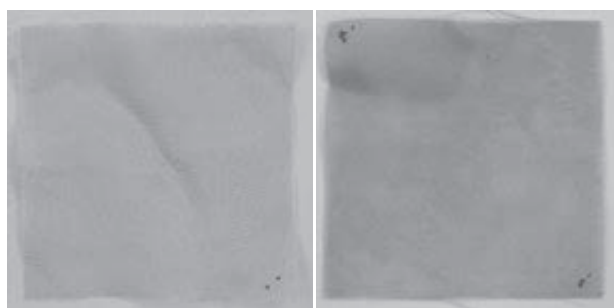


図 1 加工方法 1 によるセリシン加工後の酸性染料への呈色比較
(左：ブランク 右：条件②による加工後)

表 2 には綿に対し、方法 2 でセリシンを加工した結果の一部を示す。こちらの方法では、綿の生地重量当たり 2%程度の増加がみられている。ボーケンスティンの染色試験においても、通常綿は、青色を呈するのに対し、加工後の綿生地は褐色から緑色に呈色しており、方法 2 において、綿にセリシン加工の可能性を示唆する知見を得ることができた。

表 2 加工方法 2 による綿生地へのセリシン付着量

	セリシン付着量 (%)
条件①	1.7
条件②	2.2

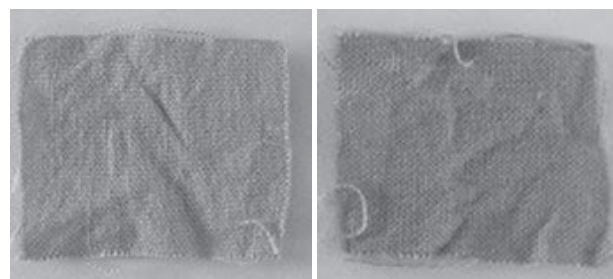


図 2 加工方法 2 によるセリシン加工後のボーケンスティンⅡへの呈色比較
(左：条件① 右：条件②)

4. まとめ

各種繊維にセリシンをはじめとするタンパク質を修飾加工し、未利用資源であるセリシンの有効利用と繊維製品の高付加価値化を実現する技術シーズの確立に取り組んだ。2 つの加工方法を検討し、綿、およびポリエステルへのセリシン加工を検討した。その結果、それぞれの方法において、生地にセリシンを加工定着しうる知見を得た。

文献

- 1) 塚田益裕. シルクへのいざない (117) セリシンが備えるいろいろな機能. 加工技術, Vol54, No.10, 470-471(2019).

東北部工業技術センターにおける簡易的抗菌性評価技術の確立

有機環境係 松本 正

Establishment of Simple Antibacterial Evaluation Technology in Northeastern Industrial Research Center of Shiga Prefecture

MATSUMOTO Tadashi

近年、特に新型コロナウイルス感染症の流行以降、抗菌性に対する認識が高まり、種々の製品において抗菌性を付与した製品の開発が進んでいる。抗菌性を付与した製品の開発には抗菌性の評価試験が必要であり、開発段階では安価で迅速かつ簡便に抗菌性能を評価できる技術の開発が切望されている。そこで、当センターに既設の機器類を駆使しつつ、費用をかけずに簡便に抗菌性を評価する技術の確立を目指した。試料に黄色ブドウ球菌を接種し、当該菌に存在する ATP（アデノシン三リン酸）に由来するルシフェリンの発光（蛍光）強度から評価する方法を検討し、繊維試料、プラスチック試料、金属試料ともに簡便かつ迅速に評価する手法を確立した。

1. はじめに

コロナウイルス感染症の蔓延等に伴い、最近、各種製品の抗菌性が重要視されるようになり、プラスチック製品や繊維製品等に各種の抗菌剤を塗布したり練り込んだりした製品が多数開発されている。製品の抗菌性能は抗細菌試験や抗カビ試験等の抗菌試験により確認されるが、抗菌試験ができる機関は少なく専門機関に依頼する必要がある、多大な費用と時間がかかるのが現状である。そこで関連企業からは開発途上にある試作品の比較検討において、候補品のスクリーニングを簡易的に行えるような抗菌性評価技術の開発ニーズがある。また、当センター内部においても、各種抗菌技術や抗菌製品の開発研究において、一次スクリーニングのためのすぐに結果がわかる簡易的な評価技術の確立が要望されている。

しかしながら、当センターには微生物にかかる部門はなく、微生物試験に必要な装置、機材はほとんど無く、当センターでは抗菌性能の評

価が出来ないのが現状である。そこで、当センターが行う「With コロナ時代においてプラスチックや繊維への抗菌性能の付与開発や研究」を支援し、また関連企業の抗菌製品開発を支援する目的で、経費をかけずに簡易的に、また日数をかけずに抗菌性能を評価できる手法の確立を行った。すなわち、研究の一次スクリーニングにおいては、専門機関に依頼しなくても当センターにおいて簡易的に抗菌性能を評価出来るような手法の開発を行うこととし、以下の方針により研究開発を進めた。

- 1) できる限り当センターの保有する器材を使用し、また当センターでも扱える安全な細菌や菌類を使用し、プラスチックや繊維等工業材料の抗菌性能を簡易的に一次スクリーニングレベルで評価できる手法を確立する。
- 2) 細菌類を培養する手法においては培養等に 3 日～5 日間を要し、何段階かの希釈測定が必要で、手間と時間がかかるため、1 測定に 1 週間～10 日間程度を要する。そこで、細菌

類の細胞に存在する ATP の量より菌数を推定する手法を取り入れ、短時間に簡易的に測定できる手法を確立する。

2. 実験

2. 1 微生物菌株

「JIS L 1902(2015) 繊維製品の抗菌性試験方法及び抗菌効果」および「JIS Z 2801(2012) 抗菌加工製品—抗菌性試験方法」において共通して試験菌株として規定されている黄色ブドウ球菌 *Staphylococcus aureus* NBRC 12732 を用いた。菌株は独立行政法人製品評価技術基盤機構 バイオテクノロジー研究センターより購入した。培養は基本的に 37℃で行い、保存は寒天培地で 5℃で行った。また、2 週間から 1 ヶ月に 1 回の頻度で植継ぎを行った。

2. 2 培地

液体培地は蒸留水に、ポリペプトン（日本製薬（株）製）1%、酵母エキス末（シグマアルドリッチ社製）0.2%、硫酸マグネシウム七水和物（富士フィルム和光純薬（株）製）0.1%を溶解して作成した。寒天培地は、液体培地に寒天（富士フィルム和光純薬（株）製）1.5%を加えて加熱溶解後に固化させて作成した。

2. 3 機器類

インキュベータ（孵卵器）はヤマト科学（株）製 INC820、クリーンベンチはパナソニック（株）製 MCV-710ATS、高圧滅菌器はヤマト科学（株）製 SP500 を使用した。ルミノメーターは Hygiena 社製 System SURE Plus を使用した。ATP 検査キットは Hygiena 社製水中用 ATP 検査試薬 AQUASAP TOTAL AQ-100X を使用した。

2. 4 実験方法

1) 試験菌株の液体培養

スラント保存菌株より試験菌を一白金耳取り、液体培地に接種し、37℃で 24～72 時間培養した。（通常は 24 時間とした。）

2) 試験菌液の作成

液体培養菌液を液体培地で 100 倍～10000 倍に希釈し、試験片に接種する試験菌液とした。実験の途中からは、液体培地を 1/20 に希釈した培地を用いて、試験菌液を作成した。

3) 試験菌液の接種

試験片あるいは試験液に試験菌液を 0.1ml～0.5ml 添加した。試料の形状等により試験菌液の量を調整した。菌液がなるべく多く試料に触れるように工夫した。

4) 培養

接種した試料は、インキュベータを用い 37℃で 18 時間～30 時間程度培養した。

5) 増殖した細菌の洗い出し

所定時間培養後、生理食塩水 0.9ml～49.5ml 添加し良く攪拌して、細菌を均一に洗い出した。

6) 発光および測定

洗い出した（希釈されている）菌液を ATP 検査試薬キットに取り、試薬と混合して発光させ、ルミノメーターで発光値（単位:RLU: Relative Light Unit）を測定した。なお、発光値と細菌濃度および ATP 濃度の関係は概ね表 1 に示すとおりである。

7) 抗菌性の評価

試料の発光値を接種菌液のみの培養 0 時間の値および試料と同時に培養したブランク値と比較して、抗菌性能の有無を判断した。

すなわち、培養 0 時間の値と同等以下の場合は抗菌性能あり、ブランク値と同等以上の場合は抗菌効果無しとし、中間の値は増殖抑制効果がありと判断した。

表 1 発光値と細菌濃度との関係

発光値 RLU	細菌濃度 cfu/ml	ATP 濃度 mol/l
1	100	1.0E-13
10	1,000	1.0E-12
100	10,000	1.0E-11
1,000	100,000	1.0E-10
10,000	1,000,000	1.0E-09
100,000	10,000,000	1.0E-08
1,000,000	100,000,000	1.0E-07

3. 結果と考察

3. 1 接種菌液の培地濃度の検討

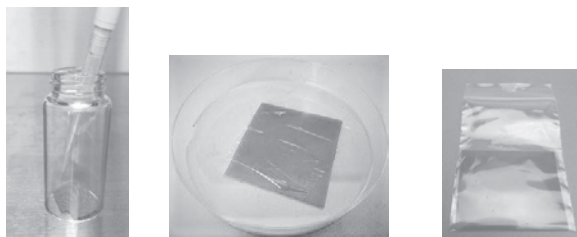
一般的に抗菌効果が無いと考えられる試料 2 種（ポリエステル、絹）と抗菌繊維として市販されている（効果が確認されている）繊維試料（綿製）2 種を用いて、まずは接種菌液に用いる培地の濃度について検討した。なお、試験を行う容器は 6ml 容のバイアル瓶を用い、底面に試験試料約 50mg を敷き詰め、接種菌液 0.1ml を接種・吸収させ培養した。その結果、表 1 のとおり、接種菌液として通常濃度の培地を用いた場合はいずれの試料とも発光値は大きく（生菌数が多く）抗菌性能が見いだされなかった。これに対して、接種菌液を 1/20 に希釈して試験を行ったところ、発光値は全般に低下するが、抗菌繊維 2 種の発光値は培養 0 時間とほぼ同程度で接種菌の増殖は認められず、明確に抗菌性能が表れた。ポリエステルと絹繊維は発光値が高く、この濃度でも抗菌性能が無いことが確認出来た。培地濃度 1 倍の実験では栄養素の濃度が高すぎ、抗菌性があってもそれ以上に細菌が増殖したため、評価が出来なかったものと思われる。逆に言うと、抗菌繊維と言えども、余り濃い汚れが付着した場合は抗菌性が期待できないとも言える。

表 2 接種菌液の培地濃度の影響

試料名	接種菌液倍率	発光値 (RLU)
培養 0 時間	1	24
ブランク	1	6,625
ポリエステル生地	1	5,462
絹生地	1	6,813
抗菌繊維 A	1	5,355
抗菌繊維 B	1	6,263
培養 0 時間	1/20	6
ブランク	1/20	903
ポリエステル生地	1/20	523
絹生地	1/20	1,301
繊維 A	1/20	9
抗菌繊維 B	1/20	6

3. 2 接種試験を行う容器の検討

菌液を接種して培養を行う容器として、まずは、6ml 容バイアル瓶（写真-1 左）を用いて検討を行った。蓋をすることで密閉され水分の蒸発が押さえられるため、繊維試料のように柔らかくて接種菌液を吸収するような素材には適した容器であった。一方、プラスチック試料や金属試料のような柔軟性の乏しい素材は、瓶への挿入が困難で、また接種菌液をはじくために液滴となり上手く測定が出来なかった。試料上をポリエチレンフィルムで覆うことも検討したが底が深いために上手くいかなかった。次に、プラスチックシャーレ（写真-1 中）の検討を行った。繊維試料の場合はポリエチレン（PE）フィルムで覆っても乾燥するため上手くいかなかった。プラスチック試料や金属試料は、菌液をポリエチレンフィルムで覆うことで上手く測定出来た。



バイアル瓶 プラスチックシャーレ PE 袋
写真 1 検討した容器類

また、フィルムで覆っている過程において、ポリエチレン (PE) 製のチャック式袋 (写真-1 右) を容器として使えば合理的ではないかと思いつき検討に加えた。

3. 3 繊維試料に対する評価手法の確立

繊維試料に対しては、先に表 2 に示したとおり、接種菌液培地の濃度を 1/20 にすれば適切に評価できることが示唆された。容器として、シャーレでは上手く測定出来ないが、表 3 のとおりバイアル瓶やポリエチレン袋を用いる手法が良いことがわかった。ポリエチレン袋を用いる方が簡便に測定出来るため、以下の条件を当センターにおける繊維試料の抗菌性能測定手法として確立した。

- ・接種菌培養液濃度：1/20
- ・容器：チャック付ポリエチレン袋 (A サイズ)
- ・接種菌液：0.1ml
- ・培養時間：概ね 24 時間
- ・培養温度：37℃

表 3 繊維試料の検討結果 (単位：RLU)

試料名	培養容器	
	バイアル瓶	PE 袋
培養 0 時間	2	27
ブランク	3,523	1,025
抗菌繊維 A	18	22
抗菌繊維 B	20	23
絹	4,794	2,031

- ・洗い出し添加液：生理食塩水 4.9ml
- ・その他条件は実験手法に記載のとおり

3. 4 プラスチック試料に対する評価手法の確立

プラスチック試料に対しては、繊維試料に準じて検討した結果、表 4 に示すとおりとなった。容器として、バイアル瓶では上手く測定出来ないが、表 4 のとおりシャーレやポリエチレン袋を用いる手法が良いことがわかった。ポリエチレン袋を用いる方が簡便に測定出来るため、繊維試料と同条件を当センターにおけるプラスチック試料の抗菌性能測定手法として確立した。

表 4 プラスチック試料の検討結果

(単位：RLU)

試料名	培養容器	
	シャーレ	PE 袋
培養 0 時間	13	17
ブランク	592	648
プラスチック A	11	8
プラスチック B	669	654
プラスチック C	590	611
プラスチック D	650	605
プラスチック E	559	597

3. 5 金属試料に対する評価手法の確立

金属試料に対しても、繊維試料に準じて検討した結果、表 4 に示すとおりとなった。容器として、バイアル瓶では上手く測定出来ないが、表 4 のとおりシャーレやポリエチレン袋を用いる手法が良いことがわかった。ポリエチレン袋を用いる方が簡便かつ妥当に測定出来るため、繊維試料と同条件を当センターにおける金属試料の抗菌性能測定手法として確立した。

表 5 金属試料の検討結果 (単位:RLU)

試料名	培養容器	
	シャーレ	PE 袋
培養 0 時間	4	7
ブランク	140	648
紙片	39	472
銅合金 1	1	7
銅合金 1 + 紙片	1	5
銅合金 2	34	2
銅合金 2 + 紙片	30	6
アルミ合金	3	0
アルミ合金 + 紙片	3	7

4 おわりに

コロナ禍で抗菌性評価へのニーズが高まっている状況下、微生物試験に必要な装置、器材やノウハウに乏しい当センターにおいて、簡便かつ迅速に抗菌性能のスクリーニングが出来る手法の開発を行ったところ、繊維、プラスチック、金属各試料において、簡便に一次スクリーニング程度の性能評価が可能な手法の開発に成功した。また、試験容器としてバイアル瓶やシャーレの代わりに、ポリエチレン製の袋を使用する方法を思いつき、合理的な手法として検討したところ、繊維、プラスチック、金属いずれの試

料も簡便に測定出来ることがわかった。本法を、滋賀県東北部工業技術センター法として、今後も抗菌性評価で使用していきたいと考えている。なお、本試験方法により、当センターの実施する抗菌性プラスチック素材の開発研究において、一次スクリーニングの実施を早速行っており、役立てているところである。

文献

- 1) JIS L 1902 繊維製品の抗菌性試験方法及び抗菌効果, (財) 日本規格協会(2015)
- 2) JIS Z 2801 抗菌加工製品－抗菌性試験方法 (財) 日本規格協会(2012)
- 3) 深谷香奈, 抗菌素材の基礎知識、日本義肢装具学会誌, 27(4)207-210(2011).
- 4) 佐藤嘉洋, 金属材料の抗菌性, 高温学会誌, 35(3), 121-125(2009).
- 5) Tadashi Ohkawa, Masao Hirayama, and Tadashi Matsumoto: The role of alkali-resistant *Bacillus* spp in the spoilage of grinding fluids, J. Antibact. Antifung. Agents, 16, 567-572 (1988).
- 6) 太田雅春、久保次雄、松本 正: カビ抵抗性試験および土壌埋没試験によるプラスチック材料の劣化, 防菌防黴誌, 17, 465-471 (1989).
- 7) Tadashi Ohkawa, Masao Hirayama, and Tadashi Matsumoto, The first stage of the spoilage of metal cutting emulsions, J. Antibact. Antifung. Agents, 18, 9-14 (1990).

県内産出プラスチック材料の利活用と高付加価値化のための 機能制御技術開発

—ブリード制御による高付加価値化—

〔関連研究：未利用樹脂または再利用樹脂を活用した機能性プラスチックの開発〕
PVB 中間膜シート材料リサイクルの生産技術開発

東北部工業技術センター 有機環境係 神澤 岳史、上田中 隆志、脇坂 博之、松本 正
金属材料係 平尾 浩一

株式会社ガラステクノシナジー 代表取締役社長 國領 一人

マスダ商事株式会社 代表取締役社長 増田 幸次

近江化学工業株式会社 代表取締役社長 竹下 元

Development of functional control technology for adding value to plastic materials

〔Related research: Development of functional plastics utilizing recycled resin〕
Development of production technology for recycling of PVB interlayer sheets

KANZAWA Takeshi, KAMITANAKA Takashi, WAKIZAKA Hiroyuki, MATSUMOTO Tadashi, HIRAO Koichi,
KOKURYO Kazuto, TOKUMITSU Katsuhisa, MASUDA Koji, TAKESHITA Hajime

本研究は、県内で大量に生産・排出される合わせガラス中間膜用材料（ポリビニルブチラル樹脂：PVB）の有効活用に資する技術を確立し、新たなマテリアルフローを構築することを目的とし、県内複数企業との共同で実施している。本年度は、これまでに見出した知見に基づき、（1）PVB 樹脂リサイクルの生産技術開発と製品化支援を行うとともに、新たに、（2）機能性、中でも抗菌性を、PVB を含む複数のプラスチックに付与するための技術開発に着手したところ、それぞれ以下の成果を得た。

- （1）共同研究企業により実機試作を行った結果、大きな問題なく混練・ペレット化に成功。
- （2）市販抗菌性可塑剤、および自然由来の抗菌剤（カテキン）を、いずれも PVB をはじめとする複数のプラスチックに微分散させることに成功。

1. はじめに

製造工程の端材、使用後の車や建築廃材に含まれる合わせガラスで使用されているポリビニルブチラル（PVB）製中間膜（以下、中間膜）の量は、国内で年間数千トン以上と言われている。過去、その処理方法の一つとして、合わせガラスの構成部品であるガラスと中間膜をきれいに剥離（分離）し、ガラスと中間膜をそれぞれマテリアルリサイクルする技術が提案された^{1,2)}。にもかか

わらず、現在、それらの多くはマテリアルリサイクルではなく、燃焼や埋め立て、あるいは海外輸出により処理されている状況であると言われている。

その理由の一つに、近年の合わせガラス高付加価値化の流れを受けて中間膜自体が多機能化（多層化・多成分化）したため、再利用時に膜の透明性を維持できなくなってきたことが挙げられる。すなわち、中間膜以外への有効な利活用方法が見

出されていないことから、コストを掛けて剥離し、リサイクルするだけのメリットがないとされているという状況である。廃プラスチック・CO₂排出量の削減の必要性が謳われる現在、使用済中間膜の“中間膜以外への”利活用技術、すなわち機能性付与技術を開発することが中間膜の利用価値を高め、マテリアルリサイクルの促進、ひいてはプラスチックの一種である中間膜の廃棄量削減に繋がると考えられる。

そこで、我々は、PVBの利活用技術開発に2014年（H26）より着手、アクリロニトリル-スチレン（AS）樹脂³⁾やポリオレフィン樹脂^{4), 5), 6)}とのブレンドを行ったところ、機械特性^{3), 4), 5), 6)}や表面濡れ性^{4), 5), 6)}を改善できることをそれぞれ見出した。

さらに、中間膜は一般にエステル系可塑剤が数10wt%程度含まれている⁷⁾ため、可塑剤が含有された系での検討を進めたところ、ブレンド表面からの可塑剤のブリード（滲み出し）は、特定の極性樹脂を添加することで制御可能⁷⁾であることを見出した。

本研究では、これまでに見出した知見に基づき、

(1) PVB樹脂リサイクルの生産技術開発と製品化支援を行うとともに、新たに、(2) 機能性、中でも抗菌性を、PVBを含む複数のプラスチックに付与するための技術開発を行った。(1)については、共同研究企業により実機試作を行った結果、大きな問題なく混練・ペレット化に成功したことから、本報告では、(2)について、中でも自然由来の抗菌剤とされるカテキンとエステル系可塑剤との溶解性調査結果を報告する。

2. 実験

2. 1 試薬・樹脂

エステル系可塑剤は、大八化学工業株式会社製アジピン酸ビス(2-(2-ブトキシエトキシ)エチル)（BXA-N）、東京化成工業株式会社製フタル酸ビス(2-メトキシエチル)（DMEP）、東京化成工業株式会社製アジピン酸ビス(2-メトキシエチル)（DMEA）、東京化成工業株式会社製アジピン酸

ビス(2-ブトキシエチル)（DBEA）、積水化学工業株式会社製トリエチレングリコールジ-2-エチルヘキサノエート（G260）、大八化学工業株式会社製アジピン酸ベンジルメチルジグリコール（DF101）、大八化学工業株式会社製アジピン酸ジブチル（DBA）、東京化成工業株式会社製アジピン酸ビス(2-エチルヘキシル)（DOA）をそれぞれ用いた。なお、これらの中で、BXA-Nは抗菌性を、DF101は生分解性をそれぞれ併せ持つ⁸⁾とされている。

自然由来の抗菌剤とされるカテキンは、長良サイエンス株式会社製（－）エピカテキン（EC）、富士フイルム和光純薬株式会社製（－）エピガロカテキン（EGC）、富士フイルム和光純薬株式会社製（－）エピガロカテキンガレート（EGCG）、および合同会社グローバルフォート製 Qualselect 茶カテキン粉末をそれぞれ用いた。

ポリエチレン（PE）は、日本ポリエチレン株式会社製低密度ポリエチレンノバテック® LC525を用いた。ポリ乳酸（PLA）は、Zhejiang Hisun Biomaterials 社製 ROVODE101を用いた。

2. 2 装置・手順

2. 2. 1 溶解性試験

所定量のカテキンとエステル系可塑剤とをサンプル瓶内で混合し、金属スパチュラで軽くかき混ぜた。その後、一昼夜室温で放置し、目視で次の基準で溶解性を判断した。

◎：混合後数時間以内に溶解

○：一昼夜放置後溶解

△：未溶物が一部残っているがほぼ溶解

×：明らかに未溶物が残存

2. 2. 2 樹脂への混練

樹脂の混練およびシートへの成形は、株式会社東洋精機製作所製ラボプラストミル 100S100 およびテクノサプライ株式会社製卓上プレス機（小型プレス G-12 型）を用いて 140～200℃の所定の温度で行った。

2. 2. 3 顕微鏡観察

2.2.2 で得られたシート状試験片を、倍率 50 倍に設定した株式会社島津理化製実体顕微鏡（HDMI デジタルマイクロスコープ実体顕微鏡：STZ-171-TLED-1080）により透過観察した。

3. 結果および考察

3. 1 各種可塑剤に対するカテキン溶解性

当センターで既に見出したブリード制御技術は、ブリード制御する添加剤が以下の特徴を有することが必要となる。

- ① 樹脂に機能成分が均一に分散していること
- ② 機能成分が液体的に作用すること

ここで、一般に、カテキンは水溶性であることが知られている。一方で、樹脂は疎水性を示すことが多い材料である。そのため、カテキンを抗菌剤として樹脂に添加することを想定した場合、カテキンが樹脂内にきれいに分散せず、ブリード制御が適応できないのみならず外観不良や機械特性の低下が生じる可能性がある。

これらに対し、カテキンを液体的に作用させること、すなわち、カテキンを樹脂用可塑剤等の液体に溶解させ、カテキン溶液として用いることが有効になり得ると考え、一般的な可塑剤に対するカテキンの溶解性を調査することにした。

各種可塑剤 0.1g に対し各カテキンを 1mg 混合した結果を表 1 に示す。

表 1 各種可塑剤に対するカテキン溶解性

可塑剤	カテキン溶解結果			
	EC	EGC	EGCG	茶カテキン粉末
BXA-N	◎	◎	◎	◎
DMEP	—	—	—	△
DMEA	—	—	—	○
DBEA	—	—	—	△
G260	—	—	—	△
DF101	—	—	—	◎
DBA	×	×	×	×
DOA	—	—	—	×

同じエステル系可塑剤であっても、構造によりカテキンの溶解性に明確な違いが認められた。具体的には、エステル系可塑剤を構成するアルコール成分が、グリコール、メタノール、エタノール、プロパノールおよびグリコールエーテルであるとカテキンを溶解することができ、酸成分はアジピン酸等の脂肪族酸がより好ましいことがわかった。特に、分子鎖にエーテル結合を含むアルコール成分を有するアジピン酸エステル系可塑剤（BXA-N、DF101）が特に有効であることがわかった。実際の溶解性試験結果例を図 1 に示す。

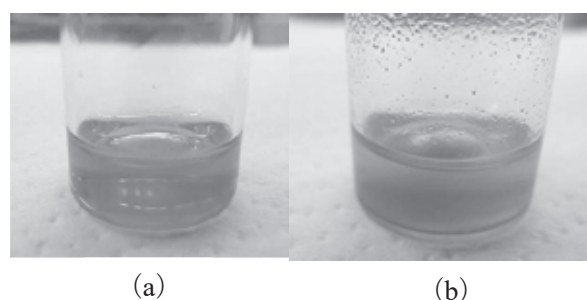


図 1 実際の溶解性試験結果例
(a) BXA-N / カテキン = 100 / 1
(b) DBA / カテキン = 100 / 1

3. 2 カテキン溶液の樹脂への添加

カテキンの樹脂への分散性を確認するため、PE へのカテキンの混合実験を行った。粉末状態のカテキンをそのまま溶融混練したものと、3.1 で見出したカテキン溶解可塑剤（カテキン溶液）を溶融混練したもののシート化サンプルの顕微鏡観察結果を図 2 に示す。

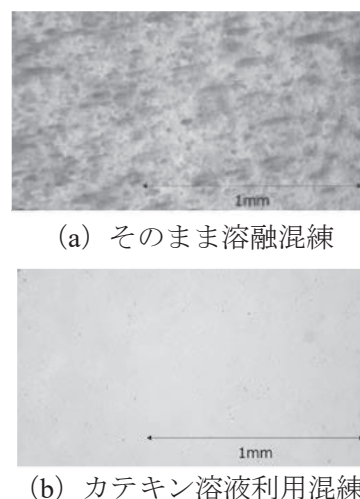


図 2 カテキン混練 PE の顕微鏡観察結果
(PE / カテキン = 100 / 3)

PE に対するカテキンの割合は同じであるにも関わらず、そのまま溶融混練したサンプル (a) はカテキンの存在が明確に識別できたのに対し、カテキン溶液を利用して溶融混練したサンプル (b) はカテキンの存在は明確には識別できなかった。これは、見出したカテキン溶液を用いると、可塑剤を介して PE にカテキンを微分散あるいは均一分散させ得ることを示す結果であり、当センターで既に見出したブリード制御技術がカテキンにも適応可能であることを示唆するものである。

本系を PE 以外の樹脂への適応を検討したところ、PVB 中間膜、エチレン-酢酸ビニル共重合体 (EVA) および PLA のいずれの樹脂にも同様に分散させ得ることが確認できた。例として、PLA への添加結果を図 3 に示す。



図 3 カテキン混練 PLA シート
(PLA／カテキン＝100／0.5)

使用カテキンの色がシート全体に広がっているものの、シートの透明性は極めて高く、カテキンが PLA 樹脂全体に均一に広がっていることが確認された。

今後は、見出した方法により作製したカテキン

含有樹脂の抗菌性やブリード制御について検討を行う予定である。

4. まとめ

当センターで見出した可塑剤ブリード制御技術のカテキンへの適応を目指し、各種可塑剤との溶解性を調査した結果、特定の構造を有する可塑剤に対し特異的にカテキンが溶解可能であることがわかった。これは、同可塑剤が混和し得るプラスチックであれば可塑剤を介してカテキンが微分散し得ることを示唆するものであり、実際、カテキン溶解可塑剤の PE あるいは PLA 等への添加を試験的に行ったところ、明確に分散性・透明性が向上していることが確認された。

文献

- 1) http://www.mstc.or.jp/business/docs/report/h18_itagarasu-s.pdf
- 2) <http://www.3r-suishinkyogikai.jp/data/event/H23S2.pdf>
- 3) 特許第6031648号
- 4) WO-A-2019/098187
- 5) 平尾 浩一, 平成29年度滋賀県東北部工業技術センター研究報告, 2018, p10
- 6) 神澤 岳史, 平成30年度滋賀県工業技術総合センター業務報告, 2019, p91
- 7) PCT/JP2021/005046
- 8) 大八工業株式会社技術資料

バルブ性能試験機の設計と技術ハンドブック作成に係る研究 (第3報)

—バルブ性能試験機の設計—

金属材料係 酒井 一昭

機械システム係 井上 栄一

Design for valve performance testing machine and research on preparation of technical handbook

SAKAI Kazuaki, INOUE Eiichi

当所のバルブ性能試験装置は、仕切弁、バタフライ弁、ボール弁、玉形弁等の実流による性能試験を行うものであり、試験の制御及び計測には専用パソコンにより、予めプログラムされた手順に従って自動的に試験及びデータの集録が可能である。しかし、設置以来 35 数年を経過しており全体的な老朽化が進行しているため更新計画はあるが、公設の試験研究機関として全国的に珍しい装置であることから設計仕様を検討することが難しい。その理由は、設計が土木、配管、ポンプ、計測制御など多方面の技術が必要となるためである。そこで、新規試験機を想定した主要部の検討と管路図の解析によって設計に役立つ技術資料を構築したので報告する。

1. はじめに

当所に既設のバルブ性能試験装置は、JIS B 2005-2-3 工業プロセス用調節弁第2部：流れの容量—第3節：試験手順に基づいた容量係数、損失係数などバルブ特性値が計測でき、配管部には絞り弁、ポンプ、流量計、温度計、圧力計など必要計器類を備えて、供試弁の性能試験におけるデータ収集が可能である^{1),2)}。この場合、試験に適合する配管部の標準口径を 50~200A としている。従って、新規試験機（以下、新機と言う。）の設計においても既設装置と同口径を標準とした。ただし、小口径や大口径の需要があるため標準外の試験をある程度許容できるよう考慮した。幸いにして、過去の実験データや既設装置の仕様が参考になる³⁾。また、昨年度に 1 ライン配管用の小型バルブ性能試験機を開発し、その基本的な設計方法を把握した⁴⁾。

そこで、本研究は過去の知見を活用して新機主要部の検討と管路図の解析によって設計に役立つ技術資料を構築したので報告する。

2. 設計の流れ

2. 1 配管モデル

先ず、配管モデルを想定して新機の規模や配管流速を決定する。次に配管径、流速、配管要素や抵抗係数などから損失水頭を求めて、動圧、静圧および実揚程などから全揚程を積算する。配管モデルは、図 1 の既設バルブ性能試験装置（以下、既装置と言う。）とした。配管口径を最大 200A とし、主送流ポンプの吸込、吐出の両配管と試験ラインの主配管口径は全て 200A に設定した。

図 2 のように、配管長は正面側を上流配管区間 L_u 、試験配管区間 L_t および移動台車区間 L_d に 3 区分し、各 $L_u=4.2[m]$ 、 $L_t=6[m]$ 、 $L_d=2.1[m]$ と決め

た。Lt は、供試弁面間長の大きな弁種を選んで、これに JIS 規定の配管長さを含めた。

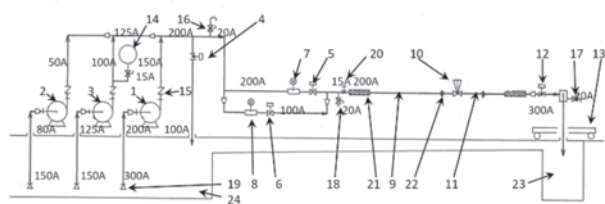


図 1 既設バルブ性能試験装置の概要

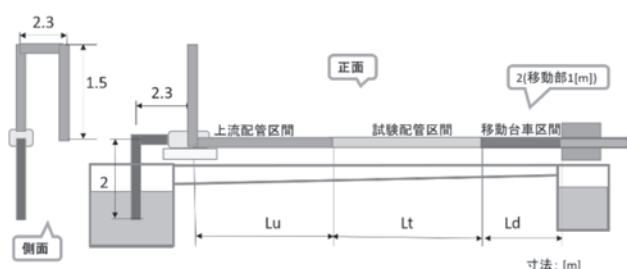


図 2 配管長

従って、正面側の配管長は $L = L_u + L_t + L_d = 12.3[\text{m}]$ になる。また側面側は、主送流ポンプの配管前後を吸込側全管長 L_s と吐出側全管長 L_o とに分け、 $L_s = 4.3[\text{m}]$ 、 $L_o = 17.6[\text{m}]$ （配管長 L を含む。）となったが、吐出側全管長に余裕 $3[\text{m}]$ を見込んで $L_o = 20.6[\text{m}]$ と設定した。

2. 2 設定流量

流速は、配管用途や運転経験等から定められている標準流速を参考に $3[\text{m/s}]$ を設定した。体積流量は口径より $5.7[\text{m}^3/\text{min}]$ となるが、約 2 倍強を見込んで最大流量 $13[\text{m}^3/\text{min}]$ とした。配管内水量 Q は、全直管長さ $L_a = L_s + L_o \approx 25[\text{m}]$ より管内断面積 $S \times$ 全直管長さの 2 倍分として $Q \approx 1.57[\text{m}^3]$ となるが、約 2 倍強の $Q \approx 3.5[\text{m}^3]$ を見込んだ。

また、流体が水槽から出て再び水槽へ戻る所要時間（水槽～>配管内・ピット・帰還水路～>水槽）は、流速 $v = 0.2 \sim 3[\text{m/s}]$ では $50/0.2 \sim 50/3 \approx 17 \sim 250[\text{s}]$ （約 4.2min）である。管路は閉じた系であり、流体は連続であることから一旦管路が満水となれ

ばその後は流速の大小に無関係に送水が継続する。従って、初期水量（＝配管内水量＋ピット水量）が最小限必要になる。ここで、連続した送水には、フート弁が常に水槽の水中内に浸かっていることが必要条件である。

2. 3 構成要素

直管部、管継手やバルブ類の損失水頭を積算するため、図 1 で必要な配管の構成要素を調査し、文献⁵⁾を参考に各要素の抵抗係数を決めた。直管長さ、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は表 1 および 2 に整理した。以上から、直管部の全長は、ポンプの吸込管と吐出管および余裕分 $3[\text{m}]$ を含め合計 $14.3[\text{m}]$ とし、管継手やバルブ類の全抵抗係数は 3.9 と見積った。

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[m]	品 目	数量×面間[m]
200A直管	4.3-1.5=2.8	200A直管	17.8-8.1=11.5
エルボ	1×0.8	逆止弁	1×0.4
フート弁	1×0.8	エルボ	3×0.9
		流量計	1×0.5
		仕切弁	1×0.4
		供試弁	1×0.9
		フレキ2	2×0.5
		バタ弁	1×0.2

表 2 抵抗係数

品 目	抵抗係数	品 目	抵抗係数
鋼管	0.03	玉形弁	1.5
エルボ	0.5	流量計	0
仕切弁	0.2	供試弁	0.3
バタフライ弁	0.3	ジョイント	0.05

2. 4 全揚程

前項の管摩擦係数、直管部の長さ、配管径、抵抗係数、流速から、(1)式により損失水頭を $h_L = 2.77[\text{m}]$ と求めた⁵⁾。

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

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である。

上記の各損失以外に、流体の動圧と静圧が作用するため、流速 3[m/s]から動圧 $H_v=0.46$ [m]と静圧 $H_p=20.4$ [m]を設定した。また図 3 のポンプ、タンクや主配管の高さから、ポンプ中心部の水頭は、 P_a (大気圧) + H_s (タンク水位分) - h_s (ポンプ入口側損失水頭) 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を加えて実揚程は(2)式から $H_a=1.07$ [m]となり、(3)式より全揚程 $H=24.7$ [m]を求めた。

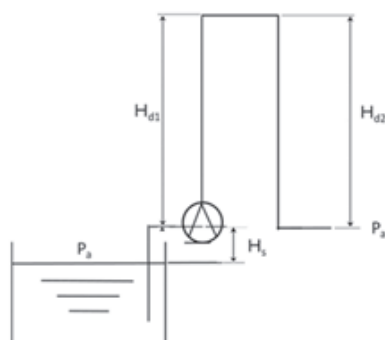


図 3 配管高さとタンクの水位

表 3 送流ポンプ選定例

項 目	主送流ポンプ	補助送流ポンプ
メーカー	株式会社荏原製作所	株式会社荏原製作所
品 名	片吸込渦巻ポンプ	片吸込渦巻ポンプ
型 式	200×150FS4J637E フート弁、チャッキ弁込	125×100FS4J615E フート弁、チャッキ弁込
流量 [m³/min]	8(60Hz)	2.3(60Hz)
全揚程 [m]	20.2(60Hz)	24(60Hz)
出力 [kW]	37	15

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

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

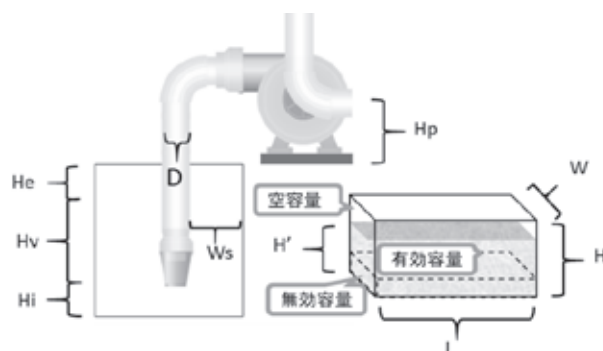
ここで、 H_a :実揚程[m]、 H_s :吸入水頭[m]、 H_{d1} :吐出水頭[m]、 H_{d2} :吐出水頭[m]、 P_a :大気圧[kPa]、 H :全揚程[m]、 H_L :実揚程[m]、 H_v :動圧[m]、 H_p :静圧[m]である。

補助送流ポンプも同様にして、表 3 の通り各ポンプを選定した。

3. 主要部の検討

3. 1 貯水槽

貯水槽を簡易的な図 4 で示した。水槽へのポンプ吸込み側の設置条件⁶⁾として、配管口径 $D=0.2$ [m]よりフート弁サイズは $\Phi=0.3$ [m] (高さ 0.605 [m]) となり、配管から水槽側壁迄 W_s は $1 \sim 1.5D$ 以上、有効容量部の高さはフート弁高さ + $2D$ 以上となり、無効容量部の高さ H_i は水底から $1 \sim 1.5D$ 以上が必要であった。



W: 水槽の横 2.5[m]、L: 水槽の長さ 11[m]、H: 水槽の深さ 2.5[m]、H': 水深 1.7[m]、Hp: 床からポンプ中心迄の高さ 0.7[m]、D: 吸込み無配管径 0.3[m]、Ws: 配管から水槽側壁迄の距離 1~1.5D以上、He: 水槽空容量部の高さ 0.8[m]、Hv: 水槽有効容量部の高さ (1.2[m]) フート弁高さ+2D以上、Hi: 無効容量部の高さ (0.5[m]) 1~1.5D以上、フート弁高さ 0.605[m]

図 4 貯水槽

貯水槽は、配管内、ピット内および帰還水路内の水量を考慮して実験能力（最大流量）に応じた規模を決定する。そこで、水槽の容量を(4)式のように $V1 \sim V3$ に分けて検討した。

$$V = V1 + V2 + V3 \quad (4)$$

ここで、 V :全容量[m³]、 $V1$:空容量[m³] (空部分)、 $V2$:有効容量[m³] (ポンプ吸上げに利用する部分)、 $V3$:無効容量[m³] (フート弁下方にあって吸上げできない部分) である。

既装置の大容量実験において、ピットが満水して溢れることや帰還水路に水が溜まることによって水槽へ水が戻り難くなる現象を考慮して、水槽の上面は新機の床面と同一高さとし、 $V1 \div 22$ [m³]、 $V2 \div 40$ [m³]および $V3 \div 15$ [m³]とし、全容量 77 [m³] (内、 55 [m³]が通常貯水量) と積算した。

3. 2 ピット

ピット出口部を図5に示した。流量は式(4)を適用して⁷⁾。既装置の大流量時(11m³/min)に、ピットと帰還水路に溜まった水位は $h \approx 0.3$ [m]であった。新機は、より大きい流量 13[m³/min]で水位 $h \approx 0.2$ [m]を設定した。

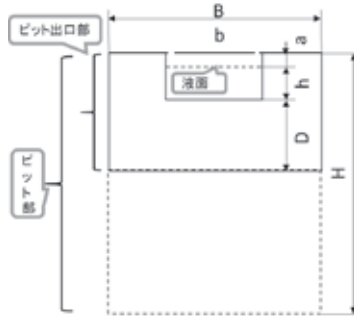


図5 四角せき

$$Q = KBh^{3/2} \quad (4)$$

$$K = 107.1 + 0.177/h + 14.2h/D - 25.7\sqrt{(B-b)h/(DB)} + 2.04\sqrt{B/D}$$

ここで、Q:流量[m³/min]、h: せきの水頭[m]、b: 切欠き幅[m]、K: 流量係数(水)、B: 水路幅[m]、D:水路底面から切欠き下縁迄の高さ[m]、a:せきの余裕水頭[m]、H:ピットの深さ[m]である。

(4)式に、B=1.3[m]、D=0.3[m]、Q=13[m³/min]を当てはめ、切欠き幅 b を逐次変化させてせきの水頭 $h \approx 0.2$ [m]となる条件を調べた結果、 b は水路幅 B と同じ $b=1.3$ [m]とした方が良く分かった。

以上から、ピット内法を $1.3 \times 1.3 \times 1.5$ [m³]と設定した。

3. 3 帰還水路

図6の水路勾配は、開水路の等流計算でよく用いられる Manning の式(4)を適用した⁸⁾。既装置の勾配 0.0067 に対して、新機では流量 $Q=13$ [m³/min]、水路底幅 $B=0.5$ [m]、水深 $h=0.3$ [m]として勾配 0.0089 となる。勾配は大きい程速く流体が水槽へ戻るため 1%に設定した。なお、粗度係数 n は文献⁹⁾より 0.017 とした。

ここで、Q:流量[m³/min]、h: せきの水頭[m]、b: 切欠き幅[m]、K: 流量係数(水)、B: 水路幅

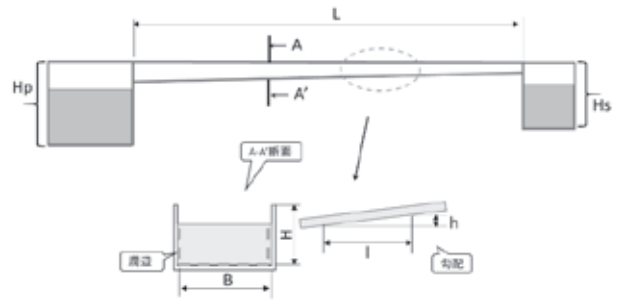


図6 水路勾配

$$Q = Av = \frac{1}{n} AR^{3/2} I^{1/2} \quad (4)$$

$$\left(A=BH, \quad S=B+2H, \quad R = \frac{BH}{B+2H}, \quad v = \frac{1}{n} \left(\frac{A}{S} \right)^{2/3} I^{1/2} \right)$$

[m]、D:水路底面から切欠き下縁までの高さ[m]、H:せきの余裕水頭[m]、V:平均流速、n:粗度係数、S:潤辺(水が周囲の壁や底と接する長さ。)、A:水路における流水の断面積、R:径深(水理学的平均水深、流積を潤辺で割ったもの)、I:動水勾配 h/L (h:エネルギー損失 L:水路延長) である。

4. 管路計算

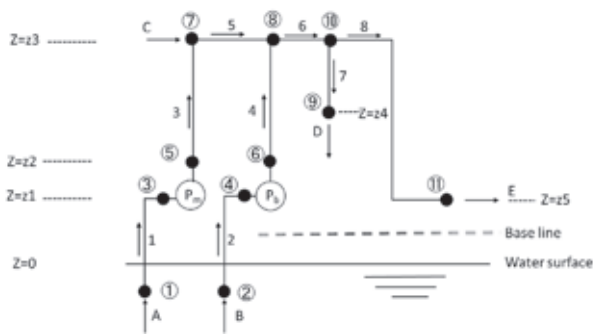
4. 1 管路図

新機の送水状態をシミュレーションするため図7の管路図を作成した。図中に、補助送流ポンプ P_m 、主送流ポンプ P_b 、支流 1~8、節点①~⑪、節点高さ $Z_1 \sim Z_5$ や自然または固定の流入出 $A \sim E$ などを示した。

4. 2 計算方法

計算方法は Excel による流れ解析の文献に準じた¹⁰⁾。図7に基づき、先ずワークシート上の行と列に管路要素・諸元(位置高さ、節点圧力水頭、全水頭、管径、管長)、流出入諸元、部分汎関数や支流の初期値を入力した。次に、直管等諸元、流出入条件、ポンプ特性近似式や各節点の連続の式を設定して、ソルバによる汎関数最小条件探索

計算を行った。図 8 および 9 は、これら入力例と流れの条件式である。ここで、主送流ポンプ単独運転時は補助送流ポンプの吸込量はゼロ (A:J1=J14=0)、を、また補助送流ポンプ単独時も同様 (B:J2=J15=0) に設定した。両ポンプの並列運転時にはこれら条件は不要である。バイパス弁を併用する場合は具体的な流量値 (節点⑨側 D:J17) をソルバにて任意設定した。この他、管摩擦係数は各管路全て $\lambda=0.025$ とし、(5)～(6) 式の損失水頭係数 $K[s^2/m^5]$ と汎関数 $\Phi[m^4/s]$ 、およびポンプ性能は 3 次近似曲線を当てはめた。



Z1～Z5: 高さ[m]
 Z1:1.15, Z2:2.25, Z3: 3.85, Z4:2.35, Z5: 1.15
 1～8: 支流φ[mm] L[m] →, 1, 1 (ワークシート上J1～J8)
 1:φ150 L=4.3, 2:φ300 L=4.3, 3:φ100 L=2.18, 4:φ150 L=2.08,
 5:φ125 L=1.8, 6:φ200 L=0.8, 7:φ100 L=1.2, 8:φ200 L=4.1
 ①～⑩: 節点●
 A～E: 自然(固定)流入出 →, 1, 1 (ワークシート上J14～J18)
 A:自然流入, B:自然流入, C:固定流入, D:固定流出, E:自然流出
 Pn, Pb: 補助ポンプ, 主送流ポンプ(ワークシート上 J12, J13)

図 7 管路図

図 8 Excel ワークシート (入力例)

$$K_i = \frac{8\lambda_i L_i}{g\pi^2 d_i^5} \quad (5)$$

$$\Phi = \sum \frac{1}{3} K_i |q_i|^3 - \left(a_0 q_p + \frac{1}{2} a_1 q_p^2 + \frac{1}{3} a_2 q_p^3 + \frac{1}{4} a_3 q_p^4 \right) \quad (6)$$

ここで、 i :各支流、 λ_i :管摩擦係数、 L_i :管長[m]、 d_i :管径[m]、 g :重力加速度[m/s²]、 q_p :ポンプの流量[m³/s]、 $a_0 \sim a_3$:ポンプ性能 3 次近似曲線の係数である。

流れの条件式	
ポンプ前後流れ J1=J3 ←ポンプ(補)中 J2=J4 ← " (主)大	自然流・固定流 J7=J17 ←バイパスD J8=J18 ←自然流E
ポンプの吐出量 J3=J13 ←ポンプ中 J4=J12 ← " 大	ポンプの吸込量 J12=J2 ←フット弁② J13=J1 ← " ①
合流点前後流れ J5=J3+J18←節点⑦ J6=J4+J5 ← " ⑧ J6=J7+J8 ← " ⑩	ポンプ吸込側自然流 J14=J1 ←自然流A J15=J2 ← " B ※1 J14=0 ←自然流A J16=0 ←固定流C ※2 J17=0 ← " D

特記: 1～8の支流流量はExcelワークシート上J1～J8、A～Eの自然(固定)流入出量J14～J18とした。 ※1:主送流ポンプ単独運転時「J14=0←自然流A」、補助送流ポンプ単独運転時「J15=0←自然流B」 ※2:バイパス使用時の流量値

図 9 流れの条件

4. 3 シミュレーション

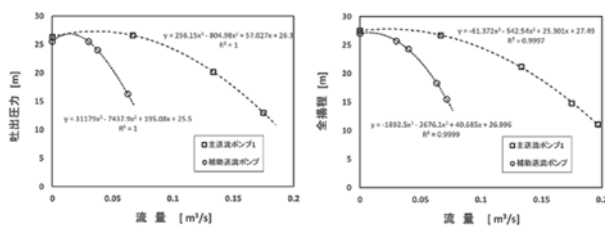
(1) 主送流ポンプ

新機ポンプのインバータ値を順次変化させて節点⑩の出力流量を解析する。ここで、実際の配管に即した計算をするには節点⑩の節点圧力水頭値を設定する必要があるが、新機では実験値がないためこの節点圧力水頭は不明である。そこで、この値を以下の手順によって調べた。

- ① 先ず、既設ポンプの性能近似曲線 (図 10(a)) をワークシート上に当てはめる。
- ② 次に、節点圧力水頭を変化させて出力流量を解析し、既装置の実験データと一致する流量と節点圧力水頭の関係調べる。
- ③ そして、ポンプ性能近似曲線を既装置から新機 (図 10(b)) に置き換えて前項②と同一の節点圧力水頭時の出力流量を解析する。なお、図 10(a)はグラフの縦軸を実験データに合わせて吐出圧力と

し、新機ポンプではメーカ資料を参考とした関係で全揚程の表記とした。

図 11 は、インバータ値 $R=1$ （周波数 60[Hz]）の節点圧力水頭と流量の関係を新旧主送流ポンプについて比較した結果である。図から、節点圧力水頭 8~25[m] に対して、流量は 0.85~11[m³/min] である。新旧ポンプは同様な傾向であるが、節点圧力水頭が小さくなる程、流量差を生じている。しかし、このことは図 10 のポンプ性能の違いに起因した傾向と判断できる。



(a) 既設ポンプ
(実験データ)

(b) 新機ポンプ

図 10 主および補助送流ポンプの性能

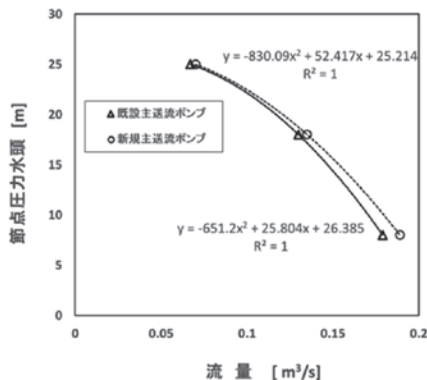
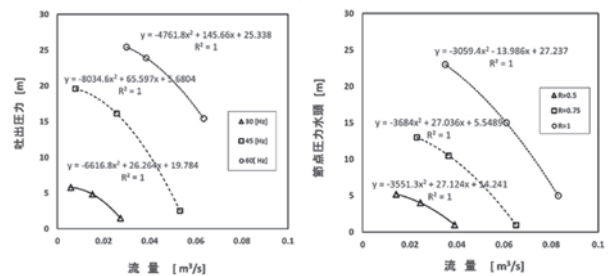


図 11 節点圧力水頭と流量の関係

(2) 補助送流ポンプ

バルブ性能試験では、インバータの周波数と下流弁（背圧調整）にて流量を設定している。しかし、この調節は、実験者の経験と勘によるため初心者には難しい。効率的な実験をするには周波数と背圧の関係を予め調べておく方が良い。そこで、ポンプの周波数を変化させて節点圧力水頭と流量の関係を前項(1)と同手順で調べる。まず、最も使

用頻度の高い既設補助送流ポンプの実験データを管路計算に当てはめて節点圧力水頭と出力流量の関係を調べ、次に新機補助送流ポンプについて事前に調べた節点圧力水頭毎にインバータ値 R （周波数）を変化させて出力流量を解析した。



(a) 既設ポンプ
(実験データ)

(b) 新機ポンプ

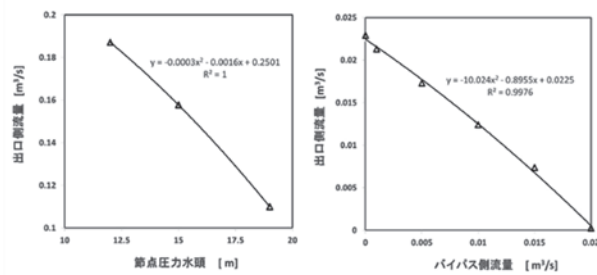
図 12 補助送流ポンプの性能

図 12 (a) は、周波数 30~60[Hz]の実験データによる結果である。同図 (b) は、各周波数に対応するインバータ値を $R=0.5\sim 1$ として解析した結果であり、新機補助送流ポンプの出力流量 0.85~5[m³/min] に対して節点圧力水頭は 1~23[m] であった。しかし、補助送流ポンプの新旧比較では曲線の傾向にズレがあるため、実際のインバータ値（周波数）や節点圧力水頭（下流弁）の調節はズレの度合いを考慮した操作が必要である。

(3) 並列運転（大流量）

図 13 (a) は、新機の主送流ポンプと補助送流ポンプの両吐出圧を同程度となるようにインバータ値 R を調整して並列運転させた結果である。 $R=$ 約 0.9 の時、節点圧力水頭を 12~19[m] に変化させると、出口側流量は 0.11 ~ 0.187m³/s（6.6 ~ 11.2[m³/min]）であった。さらに R 値を上げ、節点圧力水頭 12[m] 時、主送流ポンプの $R=0.97$ かつ補助送流ポンプ $R=0.93$ では最大出口側流量 0.217m³/s（13[m³/min]）となった。

(4) バイパス弁の併用（小流量）



(a) 主および補助ポンプ (b) 補助ポンプとバイパス弁 (並列運転)

図 13 各ポンプ運転による出口側流量

図 13 (b) は、新機補助送流ポンプのインバータ値を $R=0.75$ (中程度: 45[Hz]) としてバイパス側の流量を変化させた結果である。バイパス側流量 $0 \sim 0.02 \text{ m}^3/\text{s}$ に対して、出口流量は $0.000239 \sim 0.0229 \text{ m}^3/\text{s}$ (最小 $0.014 [\text{m}^3/\text{min}]$) であった。 $R=0.5$ では、節点圧力水頭 $4.6 [\text{m}]$ 、出口側流量 $0.000142 \text{ m}^3/\text{s}$ (最小 $0.00852 [\text{m}^3/\text{min}]$) であった。

以上から、小流量試験ではバイパス弁の併用が有効であると確認できた。

5. まとめ

配管モデルを想定した主要部の検討と管路図の解析により、新機設計に際する技術資料を以下のとおり構築できた。

- (1) 配管モデルの流速を $3 [\text{m/s}]$ とし、構成要素の種類や抵抗係数等を調べ、配管の損失水頭を積算してポンプの全揚程を $24.7 [\text{m}]$ と見積った。
- (2) 貯水槽は、配管ラインとポンプの設置条件等から全貯水量 $77 [\text{m}^3]$ (内、 $55 [\text{m}^3]$ が通常貯水) となり、有効容量 $40 [\text{m}^3]$ と設定できた。
- (3) ピット部の切欠き幅を $b=1.3 [\text{m}]$ と求め、帰還水路の勾配は約 1% と定まった。またピットの内法を $1.3 \times 1.3 \times 1.5 [\text{m}^3]$ と設定した。
- (4) 標準口径 $50 \sim 200 \text{ A}$ 外を許容する大口径 (最大流量 $13 [\text{m}^3/\text{min}]$) と小口径 (最小流量 $0.00852 [\text{m}^3/\text{min}]$) の設計が検討できた。
- (5) 新機の主送流ポンプと補助送流ポンプについて、各単独運転、両ポンプの並列運転、および

補助送流ポンプとバイパス弁の併用運転の解析により、既装置と同程度の能力でバルブ性能試験が可能であると分かった。

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
- 3) 酒井一昭, 井上 栄一, “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”, 令和元年度 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, 2020, p. 27-30.
- 4) 酒井一昭, 井上 栄一, “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 —”, 令和 2 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, 2021, p. 21-26.
- 5) 配管設計実用ノート, 日刊工業新聞社, 2019, p. 208-215.
- 6) エバラ片吸込渦巻ポンプ F S 型取扱説明書, 株式会社荏原製作所, 2015, p. 12-14.
- 7) ke!san 生活や実務に役立つ計算サイト「四角堰の流量計算」 <https://keisan.casio.jp/exec/user/1225810645>
- 8) 「長方形 (矩形) 断面の等流計算」 <http://www.asahi-net.or.jp/~YM7K-INUE/RECTAN-2.htm>
- 9) 内田晃一, 石田征男, 小川彰一, “コンクリート開水路の表面形状測定による粗度係数の評価”, <http://soil.en.a.u-tokyo.ac.jp/jsidre/search/PDFs/08/08004-17.pdf>
- 10) Excel で学ぶ配管技術者のための流れ解析, オーム社, 2017, p. 79-157

バルブ性能試験機の設計と技術ハンドブック作成に係る研究 (第3報)

—concrete5®によるバルブ性能試験機ハンドブックサイトの制作—

機械システム係 井上 栄一

金属材料係 酒井 一昭

Design for valve performance testing machine and research on preparation of technical handbook

—Creation of valve performance tester handbook site with concrete5®—

INOUE Eiichi, SAKAI Kazuaki

本研究は、当所が長年蓄積したバルブ性能試験関連の技術体系の技術承継を円滑に図ることを目的として、平成元年度に作成したエクセル版の電子ハンドブック¹⁾を基に「concrete5®」によって Web サイト化し、その内容の充実を図ったものである。

1. はじめに

バルブ性能試験機は、昭和 62 年（1987 年）12 月、滋賀県立機械金属工業指導所の時代に財団法人日本自転車振興会（現公益財団法人 J K A）の補助金を利用して設置された。その後、平成 9 年 4 月に東北部工業技術センターとして統合され、設備機器利用制度が適用されて以降、国内公設試験唯一の試験機として、近年では日本各地から年間 100 日程度の利用をいただく主力設備のひとつになった。しかし、その間、機器の部分更新やベテラン技術者の退職等もあり、設置以降に蓄積されてきた当時の仕様書や機器更新資料の他、技術相談資料が未整備のまま保管されていたため、今後の技術相談対応や職員教育に向けたそれら整備が課題となっていた。

2. Web サイト

近年、多くの公設試では情報を Web サイトで公開するようになり、当所も技術情報を提供しているが、情報によっては公開できないものもあり、

まずはクローズドでの使用を念頭に試作を行った。

2. 1 使用した CMS²⁾³⁾

本研究ではグローバル CMS の一つである「concrete5®」を使った。当所 HP でも使用される「concrete5®」は、直感的な操作が可能で、カスタマイズの自由度も高く、柔軟性の高い管理制限等



を有することから公開、非公開設定などが容易と考えられたためである。

図 1 電子ハンドブックトップメニュー

2. 2 サイト構造

電子ハンドブックのトップメニューを図 1 に、

またサイトの構造等を以下に示す。



図2 試験機・配置寸法メニュー

① マニュアルトップメニュー

1.1 試験機・配置寸法

1.1.1 概要図

1.1.2 アイソメ図

1.1.3 図面

1.2 試験機・構成要素

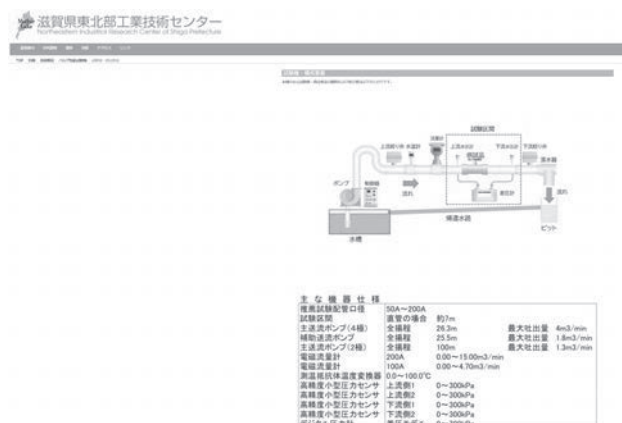


図3 試験機・構成要素メニュー（上部）

図 校正要素概略

表 主な機器仕様

試験機・構成要素詳細メニュー



図4 試験機・構成要素メニュー（下部）

【試験機・構成要素詳細メニュー】

1.2.1 ポンプ

表 ポンプ概要

図 ポンプ性能曲線（種別）

図 補助ポンプ性能曲線

カタログ：FS/IFW 型ポンプ

マニュアル：FS/IFW 型ポンプ

1.2.2 弁

1.2.2.1 フート弁

図 フート弁の原理

資料 フート弁

1.2.2.2 逆止め弁

表 逆止め弁仕様

資料 チェッキ弁

1.2.2.3 空気弁

表 空気弁仕様

資料 空気弁

1.2.2.4 バイパス弁

表 バイパス弁仕様

1.2.2.5 仕切弁

表 仕切弁仕様

1.2.2.6 背圧調整弁

表 背圧調整弁仕様

1.2.2.7 コック

1.2.3 流量計

表 流量計仕様

資料 200G/100G 一般仕様書、マニュアル等

1.2.4 温度計

資料 温度計装の基礎

資料 測温抵抗体温度変換器

資料 デジタル指示調節計

1.2.5 圧力センサ

表 圧力センサ仕様

資料 圧力センサ

写真 コネクタ

コネクタ交換差表手順書

端子図・端子配列表

資料 圧力センサ

1.2.6 差圧計

表 差圧計仕様

資料 圧力センサ、マニュアル、カタログ

バルブの種類と特長他
動力制御分電盤の寿命
試験基準及び判定基準
表 等価管長試験

1.5.2.2 地理

場所の緯度・経度・高度
彦根庁舎の高度
重力値推定計算
彦根地方気象台

1.5.2.3 マニュアル簡易版

バルブ性能試験機簡易手順書
・供試体搬入搬出の注意事項

1.5.2.4 庁舎見学資料

【交流サロン】【バルブ性能試験機】
見学口述例

② バルブ性能試験機のあらまし

表 本装置を利用した開発事例

表 機器更新履歴

3. 考察

本サイトでは、これまでの研究でデジタル化してあったデータを用いて、クローズ向け Web サイトを試作した。今後はデジタル化できていないデータ類を整理、デジタル化し、公開・非公開部分に分けた上で広く公開可能な情報を当所 Web 上で提供していきたいと考える。

4. まとめ

本研究では、「concrete5[®]」を用いてバルブ性能試験に関するエクセル版の電子ハンドブックを web サイト化した。その結果、既にデジタル化していた仕様書、資料等の確認がしやすくなった。

付記

本研究のバルブ性能試験は公益財団法人 JKA 補助（競輪 14-121）バルブ性能試験データ処理システムと同（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ものです。

Concrete CMS は MIT ライセンスで配布されているオープンソース CMS です。“concrete5”のロゴならびに名称は、PortlandLabs, Inc.と株式会社マカルーデジタルの登録商標です。

文献等

1) 井上栄一、酒井一昭. “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”. 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, p.27-30.

2) 庄司早香, 菱川拓郎. 「世界一わかりやすい concrete5 導入とサイト制作の教科書」. 技術評論社, 2018

3) concrete5@japan. <https://concrete5-japan.org/>

ICT を用いた製造自動化技術の開発

機械システム係 間瀬 慧

Development of the manufacturing automation technology using ICT

MASE Satoshi

本研究では少量多品種生産への対応可能なロボットとして、複数種類のワークを自動的に画像認識してピック&プレースを行うロボットの開発を行う。本報告では基礎的な検討としてロボット手首部に取り付けられた単眼カメラで撮影した画像を使って、ロボットでの掴み位置、掴み方向の画像認識を行わせるプログラムについて検討を行った。結果、彩度画像の二値化による形状抽出、抽出した領域の重心、及び領域と同じ二次モーメントを持つ楕円長軸の角度を計算することで掴み位置、掴み方向が出力できることを確認した。

1. はじめに

日本において2020年1月15日に最初の感染者が確認された新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の感染拡大により製造業においてもソーシャルディスタンスの確保やテレワークへの対応が必要となっている。

また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であり国内製造業のうち、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⁾。

これらの課題に対し有効な対応の一つはICTや自動化技術を活用したDX（デジタルトランスフォーメーション）の推進である。

製造業におけるDXを進める代表的な方法の一つがロボットを活用した製造プロセスの自動化である。汎用ロボットは専用機械に比べ、汎用性が高いが基本的に事前にプログラムされた動作のみを行う。小ロット・多品種生産化が進んでいる中小企業では、生産品種や生産状況の変更の度にロボットのプログラムを行う必要があり十分なメリットを得ることが難しくなっている。

そこで本研究では少量多品種生産への対応可能なロボットとして、複数種類のワークを画像認識してピック&プレースを自動的に行うロボットの開発を目指す。

本報告では基礎的な検討としてロボット手首部に取り付けられた単眼カメラで撮影した画像を用いてワークに対する掴み位置・掴み方向の画像認識を行うプログラムについての検討結果について報告する。

2. システム構成

まず本研究に使用する産業用ロボット（UR5e、Universal Robots 製）の外観について図1に示す。

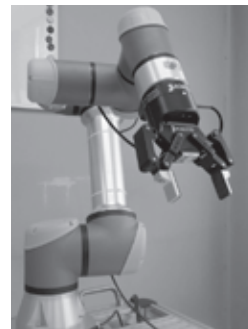


図1 産業用ロボット（UR5e）

またUR5eの主な仕様を表1に示す。

表 1 産業用ロボット仕様

型式	UR5e
メーカー	Universal Robots
可搬重量	5kg
リーチ	850mm
自由度	6軸（ジョイント）
位置繰返し精度	±0.03mm（荷重負荷状態で測定、ISO9283に準拠）
標準TCP速度	1メートル/秒
電源	100-240VAC,47-440Hz

当センターで導入した UR5e にはカメラ（Wrist Camera、Robotiq 製）と 2 指ハンド（2F-85 Adaptive Gripper、Robotiq 製）が取り付けられており、こちらの主な仕様を表 2、表 3 に示す。

表 2 カメラ仕様

型式	Wrist Camera
メーカー	Robotiq
センサーおよび光学仕様	5MPカラーセンサー 電子的に焦点調整（70mm～∞）
ライト内蔵	2ユニット（拡散白色LED）
重量	160g

表 3 ハンド仕様

型式	2F-85 Adaptive Gripper
メーカー	Robotiq
ストローク	85mm（調整可能）
把持力	20～235N（調整可能）
形状適合把持重量	5kg
摩擦把持重量	5kg
グリップ重量	0.9kg
位置分解能（フィンガーチップ）	0.4mm
開閉速度	20～150mm/s（プログラム可能）

UR5e は基本的にティーチングペンダントを使ってプログラムを行うように出来ており、外部から複雑な制御をすることは出来ない。そこで ROS（Robot Operating System）を利用した。ROS はミドルウェアと呼ばれるオペレーティングシステム（OS）とアプリケーションの中間の働きをするもので、共通して利用される機能を種々のソフトウェアに提供するものである⁴⁾。ROS はオープンソースソフトウェアであり、Ubuntu 上で機能する。そしてパッケージと呼ばれるアプリケーションが数多く公開されており、その中に Universal Robots 製協働ロボット用のドライバパッケージが含まれている。そこで UR5e と PC を有線 LAN で接続して、PC に Ubuntu18.04LTS と ROS melodic をインストール、ドライバを構築することで UR5e を外部から制御可能にした。

また今回の研究ではカメラで撮影した画像に

対して画像処理や画像認識を行う必要があり、可能な限りこれらの処理時間を短くするため、ワークステーションを利用し、画像処理・画像認識を行わせることにした。ワークステーションの主な仕様を表 4 に示す。

表 4 ワークステーション仕様

モデル型式	HPC-X11SWS-3323
メーカー	HPCシステムズ（株）
CPU	種類：Intel Xeon Silver 4215(2.5GHz,8コア/16スレッド) 搭載数：2
チップセット	インテル C621
メモリ	32GB（8GB DDR4-2933 4枚）
ストレージ	SSD 480GB DC S4510 Series intel(TLC)
GPU	種類：GeForce RTX 2080Ti 搭載数：4
OS	Ubuntu 18.04LTS
電源	2200W

本ワークステーションには MATLAB がインストールされている。MATLAB は数値解析用ソフトウェアであり、Toolbox と呼ばれるアドインをインストールすることで機能を拡張することが出来る。表 5 に今回使用した MATLAB のバージョンや利用した Toolbox を示す。

表 5 MATLAB 構成

バージョン	2021a
使用Toolbox	Image Processing Toolbox Computer Vision Toolbox ROS Toolbox Robotics System Toolbox

またワークステーションと ROS をインストールした PC は有線 LAN で接続、uvc_camera パッケージを ROS にインストールすることで手首に取り付けられたカメラで撮影した画像を MATLAB で受信可能となっている。

最後にシステム構成についてまとめたものを図 2 に示す。

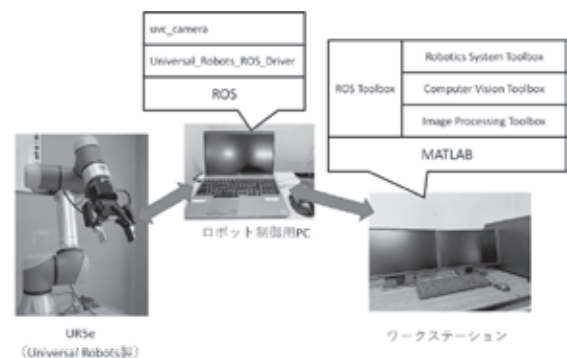


図 2 システム構成

3. 画像認識アルゴリズム

本研究では単眼カメラを使用するため、基本的に撮影した画像から奥行き方向の情報を得ることは難しい。そのため今回、行わせるピック&プレイス動作はワークを掴ませる高さは一定、ワーク直上からアプローチを行うこととする。そのため画像認識用に取得する画像はワークの配置面直上から撮影したものをを用いる。

上記条件のもと、ロボットでワークを掴ませるために必要な情報としては図3のように掴み位置と掴み方向の2つが考えられる。

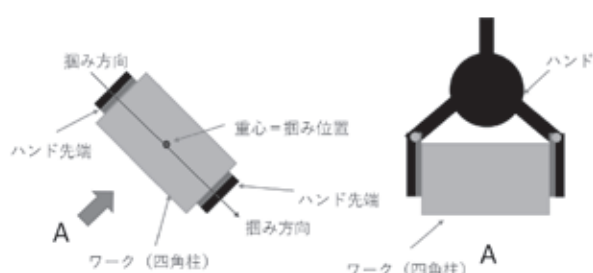


図3 掴み位置・掴み方向イメージ

今回、掴み位置はワークが最も安定する重心、掴み方向は持ち上げたときにワークが回転しにくい長手方向として、これらを画像認識で計算するプログラムをMATLABで作成した。

またテスト用画像としては図4に示す背景上（背景は黄色の布を使用）に金属製ブロックを配置し、適当な高さからロボットのカメラで撮影した画像を用いた。



図4 テスト用画像

3. 1 ワーク形状の抽出

重心等を計算するには画像において背景とワークを切り分ける必要がある。今回は基本的な方法の一つである二値化処理を用いる。二値化処理

はグレースケール画像に対して、しきい値を決めて、それよりも画素値が高い場合を白、低い場合を黒に変換する処理である。しきい値の決め方として代表的なものにp-タイル法、モード法、判別分析法がある⁵⁾。p-タイル法は未知の画像には適しておらず、モード法は応用ごとにノイズによる影響を軽減する経験に基づいた処理が必要となる。そのため今回は判別分析法を用いた。

次に実際にどのように二値化を行うかについて検討を行った。今回は画像をHSV画像（色相・彩度・明度）に変換し、それぞれに対して判別分析法を用いて二値化処理を行ったところ図5のような結果となった。

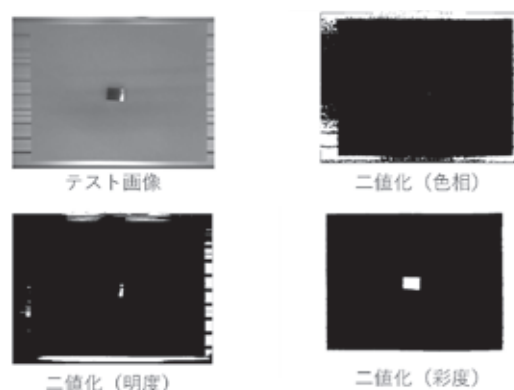


図5 二値化処理結果

色相、明度に関してはほとんど背景と分離が出来ていないが彩度に関しては比較的きれいに分離が出来ている。そこでワークの抽出には彩度画像に対する二値化処理を用いることとする。

3. 2 プログラムの作成

3.1での検討内容から以下のようなプログラムを作成した。

1. 画像をRGBからHSVに変換
2. 画像から彩度を抽出
3. 判別分析法を用いて二値化処理
4. 画像の外側の不要な領域を削除
5. 画像内の小さな領域を削除
6. 抽出した形状に対して重心と領域と同じ二次モーメントを持つ楕円長軸の角度を計算

4 や 5 の処理はテスト画像での黄色の背景の外側や二値化時に発生した小さいノイズ的な微小領域等による誤検出を防止するために行っている。また 6 の領域と同じ二次モーメントを持つ楕円長軸の角度は領域の形状特徴パラメータの一つであり、長手方向を表すものの一つである。

作成したプログラムをテスト画像に対して実行し、計算結果をテスト画像と重ね合わせたものを図 6 に示す。

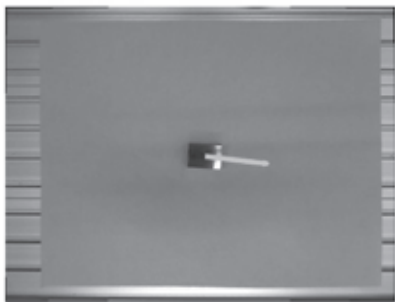


図 6 プログラム実行結果

結果の画像では矢印の始点が重心、矢印の方向が領域と同じ二次モーメントを持つ楕円長軸の角度となっている。プログラムによりこれらの計算が出来ていることが確認できた。

4. 考察

図 6 のプログラム実行結果について、掴み方向の計算結果がブロックの長手方向と若干のずれが見られる。原因として考えられるのは図 5 より二値化の時点でブロックの形状が一部欠けていることが挙げられる。

5. まとめ

複数種類のワークを自動的に画像認識してピック&プレースを行うロボットの開発を目的として、単眼カメラによる画像認識でワークの掴み位置・掴み方向を行わせるプログラムについて基

礎的な検討を行った。結果、彩度画像による二値化による形状抽出と抽出した領域に対して重心と領域と同じ二次モーメントを持つ楕円長軸の角度を計算することで掴み位置、掴み方向を出力するプログラムを作成出来た。

今後、掴み位置・掴み方向計算の高精度化やロボットの制御プログラムの作成を行う。

謝辞

本研究においてご助言頂いた滋賀県立大学 工学部 宮城茂幸准教授、山野光裕准教授に謝意を申し上げます。

文献

- 1) 経済産業省. “ものづくり白書 2019 年版 第 1 部 第 2 章 第 1 節 我が国製造業の足元の状況”. 2019. p. 38-39. URL : https://www.meti.go.jp/report/whitepaper/mono/2019/honbun_pdf/pdf/honbun_01_02_01.pdf (参照日 : 2022 年 3 月 14 日)
- 2) 経済産業省. “ものづくり白書, 2019 年版 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-”. 2019. p. 186-187. URL : https://www.meti.go.jp/report/whitepaper/mono/2019/honbun_pdf/pdf/honbun_01_02_03.pdf (参照日 : 2022 年 3 月 14 日)
- 3) 滋賀県. “滋賀県景況調査 令和 3 年度第 2 四半期 (7 ~9 月期)”. 2021. p. 25. URL:<https://www.pref.shiga.lg.jp/file/attachment/5278306.pdf> (参照日 : 2022 年 3 月 14 日)
- 4) 西田健, 森田賢, 岡田浩之, 原祥堯, 山崎公俊, 田向権, 垣内洋平, 大川一也, 齋藤功, 田中良道, 有田裕太, 石田裕太郎. 実用ロボット開発のための ROS プログラミング. 森北出版株式会社. 2018. p. 1.
- 5) 公益財団法人 画像情報教育振興協会. デジタル画像処理[改訂新版]. 公益財団法人 画像情報教育振興協会. 2015, p. 181-182.

ICT 技術を用いた鑄造技術の高度化・高効率化技術の開発 (取鍋センサの開発)

金属材料係 安田 吉伸 酒井 一昭 平尾 浩一 今道 高志
機械システム係 間瀬 慧 水谷 直弘 岡田 太郎 井上 栄一

Development of the high efficiency casting technology using ICT technology (Development of the ladle sensor)

YASUDA Yoshinobu, MASE Satoshi, MIZUTANI Naohiro, SAKAI Kazuaki,
OKADA Taro, HIRAO Koich, INOUE Eiichi, IMAMICHI Takashi

鑄造技術の高度化・高効率化のためには暗黙知を可視化する必要がある。そこで、本研究では職人の技能を可視化するため、センシング技術などの ICT 技術を用い溶湯温度や作業時間等の注湯作業に関わるデータを取得する取鍋センサの開発を行った。今年度は特に注湯開始時間のセンシングに、加速度センサに加え光センサを用いることの有効性を見出したので報告する。

1. はじめに

鑄造技術はものづくりの基礎的な工程である。しかしながら鑄造技術は、現在でも多くの工程で職人の経験と勘、いわゆる「暗黙知」で管理されている部分が多い。暗黙知のままでは、問題点を把握しにくく、生産性の改善や、技術伝承が困難である。したがって、経験と勘を可視化し、形式知化する必要がある。そこで、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、昨年度製作した取鍋センサ¹⁾を改良し、取鍋センサから無線で計測データをデータベースに転送し、ブラウザ上でリアルタイムに計測データを確認できるようにした。また、取得した取鍋センサからの信号と鑄造工程との比較を、動画を用いて比較した。

2. 実験方法

2. 1 鑄造模型の作成

鑄造実験には昨年度と同様に、図 1 に示すデスクトレイを用いた²⁾。肉厚は最も薄いところで約 3 mm である。木型には 3D プリンタ(F170、ストラタシス)で作製した。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。

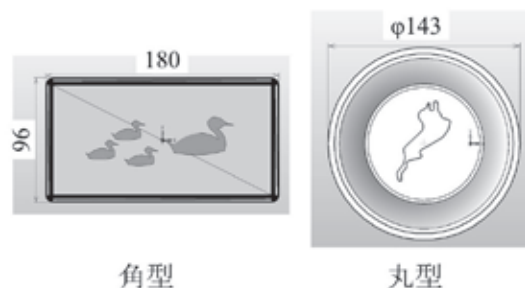


図1 試作した釣銭トレイのモデル図

2. 2 取鍋用センサの改良

昨年度作製した取鍋用センサには、取鍋内の溶湯温度、傾斜角の計測およびインターネットを通

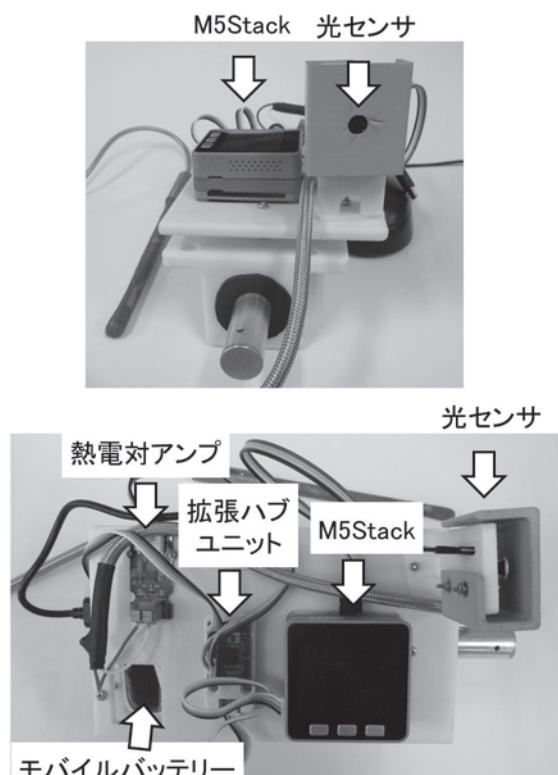


図2 取鍋センサの外観図

表1 取鍋センサに用いた電子部品

装置名	型番 品名
マイコン	M5Stack Gray
熱電対アンプ	GROVE - I2C 熱電対アンプ (MCP9600)
拡張ハブユニット	M5Stack用Port A
光センサ	APDS9960搭載 ジェスチャーセンサ
モバイルバッテリー	AHB110D

じて日本標準時を取得できる機能を盛り込んだ¹⁾。今年度はさらに溶湯から発する光を測定できるように光センサを組み込んだ。図2に新たに作製した取鍋センサの外観を示す。光センサは取鍋の湯口の方向を向くように設置した。用いた電子部品の一覧を表1に示す。

図3に取鍋センサのフローチャートを示す。計測されたデータはSDカードに保存するとともにWi-Fiを通してデータベースに転送するように改良した。また、Node-RED²⁾を用いて、ブラウザで測定データの表示を行えるようにした。Node-REDはブラウザベースでの開発環境であり、ノー

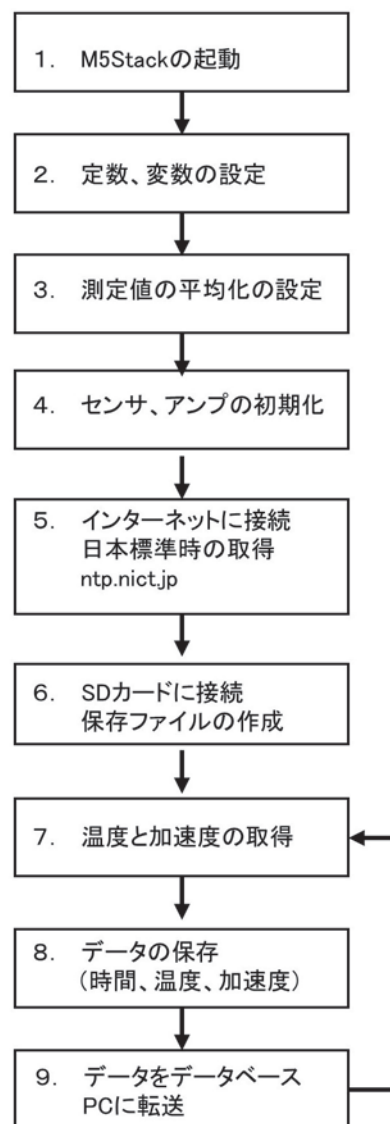
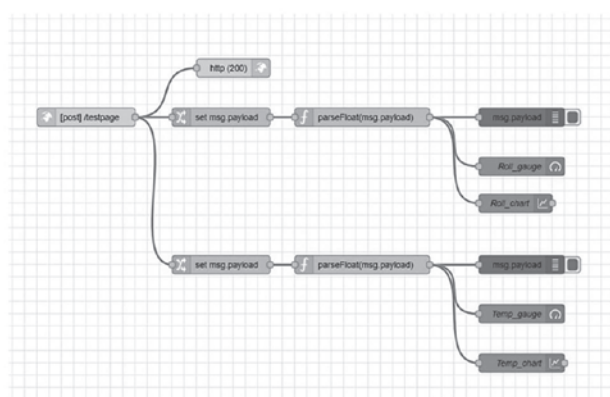


図3 取鍋用センサのデータ取得用プログラムのフローチャート

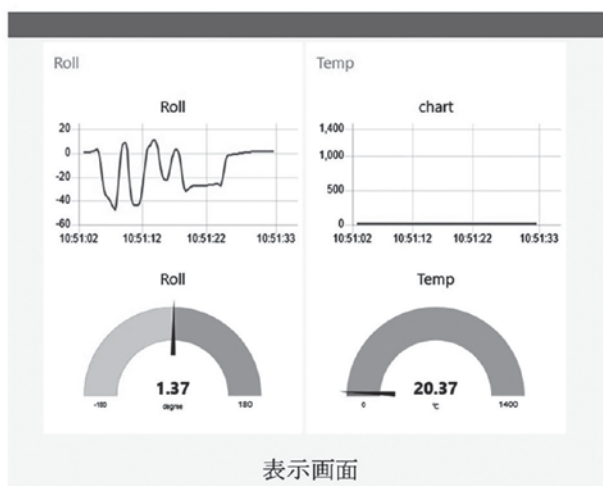
ドと呼ばれるブロックを配線してプログラムを作成するため、比較的簡単にプログラムを作成することができる。図4にデータ表示のプログラミング画面と測定値をブラウザ上で表示した画面を示す。ほぼリアルタイムに測定値が表示できることを確認した。

2. 3 時系列データからの抽出

開発した取鍋センサでは、注湯作業のため取鍋を傾斜させると取鍋センサのロール角は低下し、注湯作業を終了して取鍋センサを戻すとロール角は上昇する。このロール角の動きから注湯開始



プログラミング画面



表示画面

図4 Node-REDを使った取鍋センサの測定値の表示

および終了時間を抽出するため、以下のデータ処理を行った。ロール角測定値に対し5点の移動平均を行いノイズの平準化を行った。平準化した時間-ロール角曲線から極小値を抽出した。次に、ロール角曲線を時間で二階微分を行った。二階微分で得られた曲線を、二階微分曲線と称する。二階微分曲線の極小値を示す時間を傾斜開始時間または注湯開始時間、時間-ロール角曲線の極小値を傾斜戻し開始時間、二階微分曲線の極大値を注湯終了時間と推定した。二階微分の極小値および極大値を抽出する際には閾値を設け、微小なピークを削除した。

2. 4 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。溶解時に蒸発する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。脱酸には 15%P-Cu を使い、溶湯温度が 1200℃以上に達すると溶湯に加えた。15%P-Cu の添加量は加えたリンの濃度が鋳造材料の重量の 0.1%になる重量とした。溶湯の被覆には木炭を使用した。

出湯前に取鍋に用いるるつぼをガスバーナで

赤熱するまで予熱した。高周波溶解炉内の溶湯温度が約 1230℃以上に達した時点で、取鍋用のるつぼの予熱を終了し、るつぼに取鍋の持ち手および取鍋センサ接続して取鍋を組み立てた。その後、取鍋センサを起動して計測を開始し、高周波溶解炉から取鍋に出湯した。出湯後の溶湯を消耗型熱電対で測温した。取鍋センサの温度センサの温度が溶湯温度とほぼ平衡になったことを確認した後に砂型に注湯した。

注湯後の試料は外観観察を行うとともに成分分析を固体発光分析装置および ICP 発光分析装置を用いて行った。

3. 結果および考察

3. 1 取鍋用センサでのデータ取得

図 5 に取鍋用センサで取得した注湯作業時のロール角の経時変化(a)および二階微分曲線(b)を示す。この測定では、図中の(i), (ii)の矢印で示すように 2 つの砂型に連続して注湯を行った。ロール角および温度の測定は約 0.26 s ごとに実施された。図 5 (a) 中の数字は、ロール角の極小値、ロール角の二階微分曲線の極大および極小値を示した時間であり、(b)は、ロール角の二階微分曲線の極大および極小値を示した時間である。

作業は動画でも記録した。動画の記録開始時間を 0.0 s とし、1 つ目の鋳型への注湯中に取鍋の傾

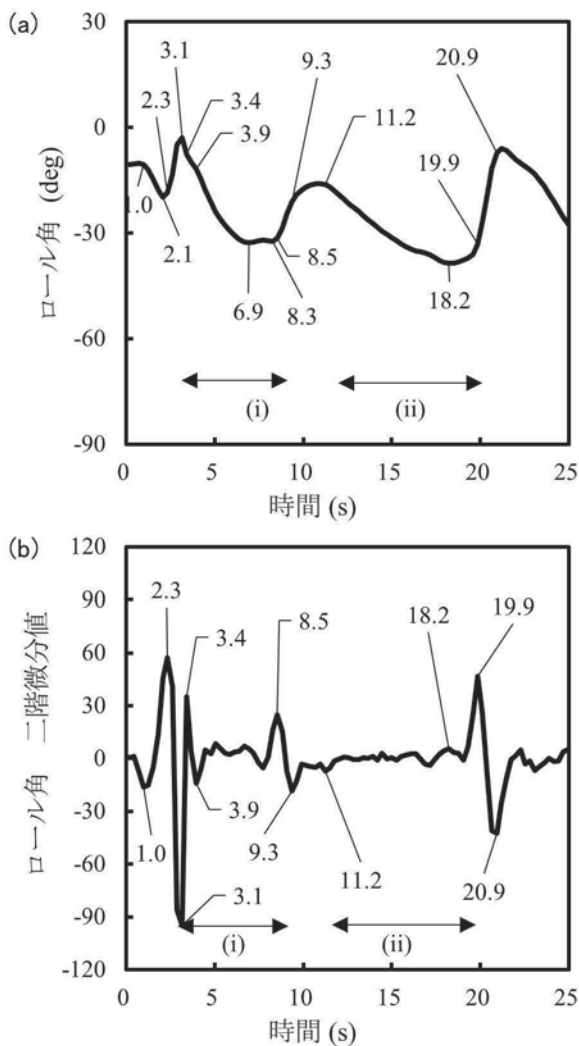


図5 取鍋用センサで取得した注湯作業時のロール角の経時変化(a)および二階微分曲線(b)
(i) casting 1st time, (ii) casting 2nd time

斜を戻し始めた時間(8.3 s)を求めた。この時間を傾斜戻し時間とする。図5では、1回目の注湯作業中のロール角の極小値を示した時間が傾斜戻し時間(8.3 s)になるように時間を補正した。

図6に動画から抽出した注湯作業の写真を示す。図5と図6を比較しながら考察する。傾斜開始直後の3.2 sでは溶湯はまだるつぽから出ていない。4.6 sではるつぽから溶湯が流出し始め、注湯が開始された。図5において抽出された時間に4.6 sに近いものは見当たらなかったため、直前の二階微分曲線の極小値を示した3.9 sを取鍋センサにおける注湯開始時間と仮定した。8.0 sでは、注湯途中であり、8.4 sでは注湯は終了した。その

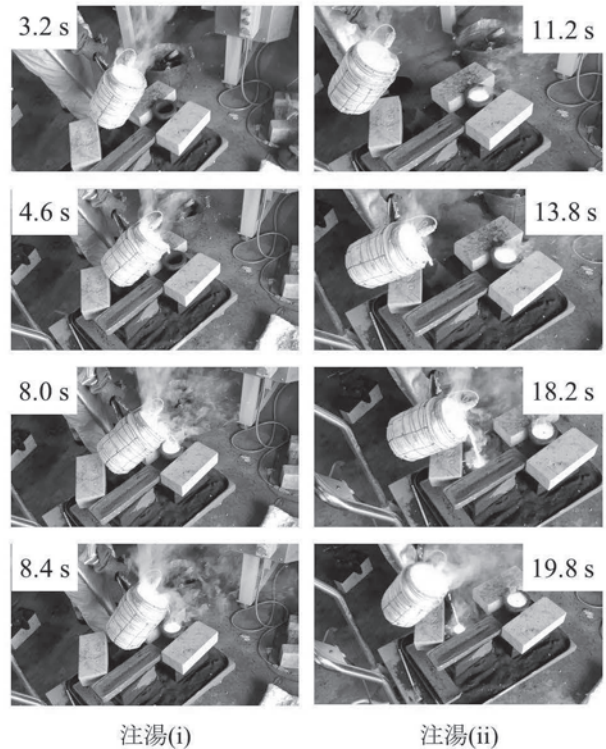


図6 動画から抽出した作業時間

表2 動画および取鍋センサで計測した注湯時間

		時間				
		傾斜 開始	注湯 開始	傾斜戻 し時間	注湯 停止	注湯 時間
注湯(i)	動画	3.2	4.6	8.3	8.4	3.9
	センサ	3.1	3.9	8.3	8.5	4.6
注湯(ii)	動画	11.9	13.8	19.5	19.8	6.0
	センサ	11.2	11.2	18.2	19.9	8.7

※注湯時間は注湯停止時間から注湯開始時間を引いて算出した。

ため、図5のロール角の極小値(8.3 s)を取鍋センサにおける傾斜戻し時間、二階微分曲線の極大値(8.5 s)を取鍋センサにおける注湯停止時間とした。2つ目の鋳型に着目すると、11.2 sでは傾斜が始まっているが溶湯はまだるつぽから出ておらず、注湯が開始された13.8 sは図5において抽出された時間に近いものは見当たらなかった。そのため、取鍋センサにおける注湯開始時間を傾斜開始時間と同じ11.2 sと仮定した。18.2 sでは、注湯途中であり、19.8 sでは注湯は終了している。そのため、図5のロール角の極小値(18.2 s)を取鍋センサにおける傾斜戻し時間、二階微分曲線の極大値(19.9 s)を取鍋センサにおける注湯停止時間

と推定した。これらの結果を表2にまとめた。

注湯に要した注湯時間は動画に比べて取鍋センサの方が長くなった。これは取鍋センサでは注湯開始時間を精度よく抽出できなかったためである。特にるつぼ内の溶湯が少ない注湯(ii)では取鍋センサと動画での注湯開始時間は大きく乖離した。注湯時は溶湯が流れ始めるロール角がわからない。そのため、ゆっくり取鍋を傾斜させ、傾斜開始から溶湯が流れ始めるまでに時間差が発生する。溶湯の少ない場合では、ロール角を大きくしなければ溶湯は流れ出ない。そのため、溶湯が少ないほど、傾斜開始時間と注湯開始時間との差は大きくなると予想される。また、なるべく溶湯の流れが乱れないようにするために、注湯が始まって傾斜速度を急激に変化させることはできない。そのため、傾斜速度の加速度を示す二階微分曲線に変化がほとんど現れず、注湯開始時間を抽出できなかったと考えられる。傾斜を戻すのは、注湯速度を落とす場合と注湯を停止する場合が考えられる。注湯速度を落とす場合は、溶湯の流れが乱れないように取鍋の操作を緩やかに行うと推定される。一方出湯を停止する場合は、急激に角度を戻すため、傾斜速度の加速度は大きくなり、二階微分曲線に極大値が現れたと考えられる。そのため、二階微分曲線の極大値から注湯停止時間を推定できると考えられる。

以上のことから注湯開始時間を正確に測るためには、ロール角だけでは不十分であると判断した。次に溶湯からは強い光が発生していることから、2.2 で記述したように取鍋センサに光センサを組み込むことを検討した。

図7に光センサを使った注湯作業の測定結果を示す。注湯作業は2回行った。この測定では動画による作業確認は行っていない。ロール角および光強度の測定は約0.22 sごとに実施された。測定した光強度は微小だったので図7では光強度の3倍の値で図示した。また、時間-光強度曲線を時間で二階微分を行い、その極小値と極大値を算出し、グラフ中に記載した。

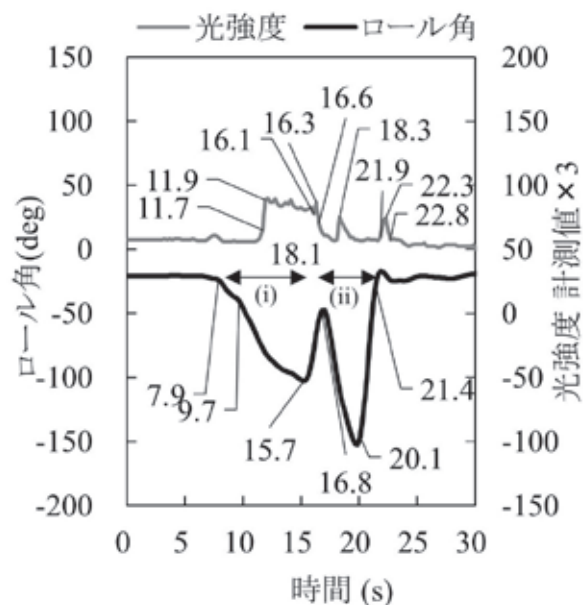


図7 取鍋センサで取得したロール値および光強度の経時変化
(i) 鑄造1回目, (ii) 鑄造2回目

1回目の注湯作業に着目すると、傾斜を開始した7.9 sに遅れて11.7 sから光強度が上昇し始めた。注湯中の光強度には揺らぎが見られた。注湯終了時には、傾斜を戻し始めた15.7 sに遅れて、16.3, 16.6 sに光強度の減少にともなう変化点が抽出された。光強度の上昇を溶湯からの発光を検出したと仮定すると、光強度が上昇した11.7 sが注湯開始時間、光強度が低下した16.3 sあるいは16.6 sは注湯停止時間と推定される。2回目の注湯では光強度のピークは小さかった。これは溶湯量が少なかったためと推定される。21.9~20.8 sに3つ目の光強度ピークが見られた。これは、注湯後の湯口の光を検出したか、あるいは屋外からの太陽光を検出したと推定される。

測定では、注湯開始時間を光センサで検出できる可能性が見出された。一方で、今回用いた光センサは環境光を検出するための電子部品であるため、集光部が無く広範囲の光を計測してしまう。また、測定物との距離が長いほど、検出した光以外を検出する可能性が高まる。そのため、屋外あるいは注湯後の湯口など注湯以外の光を検出してしまふ恐れがある。光強度と注湯作業の整合性については今後動画撮影を行い検証する必要がある。

4. まとめ

鑄造時の作業をデータ化するため注湯作業に注目し、取鍋内の温度、時間、傾斜角度（ロール角）および環境光を測定する取鍋センサを開発した。その結果、注湯開始時間は光センサが、注湯終了時間はロール角で計測できることがわかった。光センサについては、屋外からの光等、溶湯以外の光を検出してしまう可能性があるため、動画による検証が必要と考えられた。

付記

本研究に用いた、鑄造シミュレーションシステム、簡易鑄造システム、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

鑄造実験には株式会社マツバヤシ 松林正樹様

にご協力頂きました。鑄造模型や鑄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、鑄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頂きました。感謝申し上げます。

文献

- 1) 安田吉伸, 間瀬慧, 三浦拓巳, 水谷直弘, 岡田太郎, 酒井一昭, 井上栄一, 今道高志: 滋賀県東北部工業技術センター 令和 2 年度 研究報告書, 滋賀県東北部工業技術センター, 2021, p52-59.
- 2) Node-RED: Low-code programming for event-driven applications, <https://nodered.jp/>
- 3) 小林武, 明石巖, 丸山徹, 阿部弘幸, 杉山崇, 若井寛明: 鑄造工学 81, 2009, p650-660.
- 4) 阿部弘幸, 丸山徹, 野洲拓也, 松林良蔵, 小林武: 鑄造工学 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: 鑄造工学 81, 2009, p667-673.
- 6) 日本産業規格 JIS H5120.

令和 3 年度 研究報告書

発 行 日：令和 5 年（2 0 2 3 年）1 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

■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