ISSN 0286-813X

山形県工業技術センター報告

REPORTS OF YAMAGATA RESEARCH INSTITUTE OF TECHNOLOGY

No. 52（2020）

山形県工業技術センター

YAMAGATA RESEARCH INSTITUTE OF TECHNOLOGY

目　次

論　文

合成石英材におけるレーザを援用した微細穴加工・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1
半田賢祐　松田丈　五十嵐渉

形彫放電加工による底面部のコーナーR 最小化の検討・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 5
五十嵐渉　金田亮　小林庸幸　村岡潤一　高橋俊広

振動型触覚デバイスの開発・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 8
近　尚之

センサーネットワークによる情報収集システム開発・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 11
高野秀昭　髙橋義行　海老名孝裕　阿部泰　中村信介

共振型マルチモーダルセンサの開発・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 16
村山裕紀　矢作徹　加藤睦人　渡部善幸

中小企業に適したロボット導入の手引きの開発・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 22
阿部泰

人工知能を応用した認識・予測手法の確立・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 26
叶内剛広　髙橋義行　今野俊介

TSV 構造配線の MEMS ロゴスキーコイル型電流センサ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 30
渡部善幸　加藤睦人　矢作徹　村山裕紀
吉田賢一　草苅智　指田和之　池田克弥　池田康亮　竹森俊之　山崎武志　佐藤真

木材の耐候性向上技術の開発　― AQ 性能の実現 ―　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 36
江部憲一

鉄鋼材料の浸窒焼入れ組織に及ぼす熱処理条件の影響・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・４１
荘司彰人

山形オリジナル乳酸菌の分離選抜と新規発酵食品の開発・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・４６
城祥子　長俊広

燻製技術を応用した新規ドライフード開発・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・５１
対馬里美　菅原哲也　後藤猛仁

精米歩合及び白米水分の酒米消化性に対する影響について・・・・・・・・・・・・・・・・・・５４
長谷川悠太　工藤晋平　高橋圭　奥田将生

防縮性および抗ピリング性をあわせもつウールによる縫い目のないインナー製品の開発・・・５７
平田充弘　千葉一生　数馬杏子　城祥子　藤野知樹　佐竹康史　飛塚幸喜　中野哲
佐藤正樹　古城信一　水口和洋　浅沼隆吾　村岡昇　角川映司

山形県産のきびそと青苧を素材とする紡績糸の開発・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・６１
平田充弘　千葉一生

抄　録・・・６５

CONTENTS

Papers

Laser aided micro-hole machining of synthetic quartz ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1
Ken-yu Handa　Takeshi Matsuda　Wataru Igarashi

Examination of Minimizing Corner R on Bottom Surface by EDM ・・・・・・・・・・・・・・・・・ 5
Wataru IGARASHI　Ryo KANEDA　Tsuneyuki KOBAYASHI
Jun-ichi MURAOKA　Toshihiro TAKAHASHI

Development of vibration-type haptic device ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 8
Naoyuki KON

Development of information collection system using sensor network ・・・・・・・・・・・・・・・ 11
Hideaki TAKANO　Yoshiyuki TAKAHASHI　Takahiro EBINA
Yutaka Abe　Shinsuke NAKAMURA

Development of multi-modal resonant sensor ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 16
Hiroki MURAYAMA　Toru YAHAGI　Mutsuto KATO　Yoshiyuki WATANABE

Development of Guidelines for Adopting Robot Systems to Small and Medium-sized Enterprises ・・・・ 22
Yutaka ABE

Establishment of recognition / prediction method applying artificial intelligence ・・・・・・・・・・ 26
Takehiro KANOUCHI　Yoshiyuki TAKAHASHI　Shunsuke KONNO

MEMS Rogowski Coil Current Sensor with TSV Structural Wiring ・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 30
Yoshiyuki Watanabe　Mutsuto Kato　Toru Yahagi　Hiroki Murayama
Kenichi Yoshida　Satoshi Kusakari　Kazuyuki Sashida　Katsuya Ikeda
Kosuke Ikeda　Toshiyuki Takemori　Takeshi Yamazaki　Makoto Satoh

Development of method to improve the weatherability of wood　— Realization of Approved Quality (AQ) on Japan Housing and Wood Technology Center —　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 36
Kenichi EBE

Effect of Heat Treatment Condition on Nitriding Quenching Microstructure of Steel ・・・・・・・・ 41
Akihito SHOJI

Screening and identification of the Yamagata original lactic bacteria,
and development of the novel fermented foods ・・・・・・ 46
Sachiko SHIRO　Toshihiro CHO

Development of new dry food applying smoked technique ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 51
Satomi TSUSHIMA　Tetsuya SUGAWARA　Takehito GOTO

The effect of the rice polishing rate and rice moisture on sake rice digestibility ・・・・・・・・・・ 54
Yuta HASEGAWA　Shimpei KUDO　Kei TAKAHASHI　Masaki OKUDA

Development of Seamless Undergarment Composed by Washable and Untipilling Wool ・・・・・・・ 57
Mitsuhiro HIRATA　Kazuki CHIBA　Kyoko KAZUMA　Sachiko SHIRO
Tomoki FUJINO　Yasufumi SATAKE　Koki TOBITSUKA　Satoshi NAKANO
Masaki SATOH　Shinnichi KOGI　Kazuhiro MINAGUCHI
Ryugo ASANUMA　Noboru MURAOKA　Eiji TSUNOKAWA

Development of Knitting Span Yarn Composed by Local Silk and Ramie ・・・・・・・・・・・・・ 61
Mitsuhiro HIRATA　Kazuki CHIBA

Abstracts ・・ 65

合成石英材におけるレーザを援用した微細穴加工

半田賢祐*　松田丈　五十嵐渉

Laser aided micro-hole machining of synthetic quartz

Ken-yu HANDA*　Takeshi MATSUDA　Wataru IGARASHI

1　緒　言

半導体や生化学分野などのセンサーでは、石英加工の微細化や高精細化が求められている。しかし，0.1mm 以上の穴は CO_2 レーザで安価に加工できるが，0.1mm 以下または高精度な穴加工は困難である。

現在，0.1mm 以下の穴はエキシマレーザや短波パルスレーザで加工できるが，高コストであり形状に制限がある。また電着工具は高精度・微細加工が可能であるが，工具が磨耗・破損し易く，また高速回転のマシニングセンターが必要であるため，高コストな加工になる。

そこで本研究では，合成石英を対象に 0.1mm 以下の穴を低コストで加工することを目的として，YAG レーザで下穴加工，電着ダイヤモンド工具で仕上げ加工を行う穴加工の検討を行った。

2　実験方法

合成石英（東ソー・クォーツ(株)製）を対象に，レーザおよび軸付き電着ダイヤモンド工具を用いて穴加工および評価を行った。

2.1　YAG レーザによる下穴加工

本研究で使用したレーザ加工機（NEC 製 SL115L-Y）を図 1 に示す。本機はレーザの焦点スポット径を 10μm 以下にすることができる。

使用波長：　532nm
最大発振出力：　5.0w 以上　（5kHz）
Q スイッチ周波数　最大 99kHz

図 1 レーザ加工機

2.1.1 加工穴の形状の形状評価方法

図 2 にレーザ加工を行った穴の形状評価箇所を示す。加工によって出来た穴表面部断面径をⒶ表面最大径，Ⓐを除いた穴断面の最大の亀裂幅をⒷ最大亀裂幅，穴の表面から加工された深さをⒸ加工長さとし，評価した。これらをコンフォーカル顕微鏡（Carl Zeiss 製 LSM5 PASCAL）にて観察し測定した。

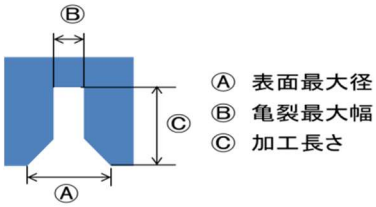


図 2　下穴の測定箇所

2.1.2 加工方向による穴形状への影響

図 3 に加工方向の概略図を示す。523nm 波長の YAG レーザは石英に対して 90%以上の透過率を持っているため，照射反対側から加工する引き上げ型と照射側から加工する従来型において穴の形状が異なるか実験を行った。

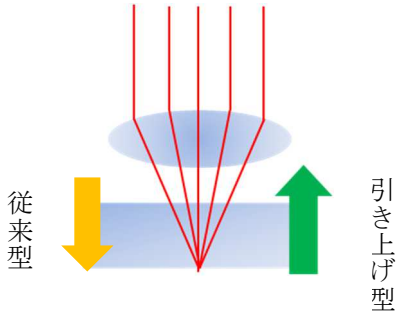


図 3　加工方向図

【平成３０～令和元年度　試験研究費 技術開発・改善事業】

＊山形県産業労働部工業戦略技術振興課

2.1.3 加工条件による穴形状への影響

次に，加工条件の影響を調査した。レーザの出力に関係する LD 電流値，同じ箇所を繰り返し加工する繰り返し数，レーザのオンオフを繰り返す Q スイッチ周波数，加工速度となるレーザ走査速度を**表 1** のように変化させ穴の形状を比較した。

表 1　加工条件

LD 電流値(A)	31.0，31.5，32.0，32.5，33.0
繰り返し数(回)	1，2，5，7，10
Q スイッチ周波数（kHz）	4，5，6，7，8
レーザ走査速度（mm/s）	0.125，0.25，0.375，0.5，0.625

2.2　電着工具での加工

レーザで下穴を開けた合成石英に対し電着工具を使用し加工を行った。使用した加工機（マシニングセンター）は**図 4** に示す東芝機械(株)製　F-MACH442 である。レーザで下穴を開けた箇所は画像測定機（(株)ミツトヨ製 SQV303-PRO）で座標を測定し位置合わせを行った。加工条件は回転数（rpm）を 40,000、50,000、 58,000 の 3 水準, 加工速度(mm/min)は 1，2，4，10 の 4 水準とした。電着工具（ジャスト(株)製）は直径 0.1mm，ダイヤモンド砥粒径 8～12μm を使用した。

また，比較のために下穴が開いていない石英にも穴加工を行った。

最大回転数　120,000rpm

図 4　マシニングセンター

3　実験結果および考察

3.1　YAG レーザによる下穴加工

3.1.1 加工方向による穴形状への影響

図 5 に加工方向が異なるレーザ加工を行った石英の断面図を示す。加工条件は LD 電流値 32A，繰り返し数 5 回，Q スイッチ周波数 5kHz，レーザ走査速度 0.25mm/s である。照射反対側から加工を行うことで光路が加工されず集光による加工点が高精度で加工できる可能性があると考えたが，穴形状に大きな差は無く，加工は照射反対側から穴が伸びた状態になっている。これがどのような現象から起きているか今後調査を行っていく。

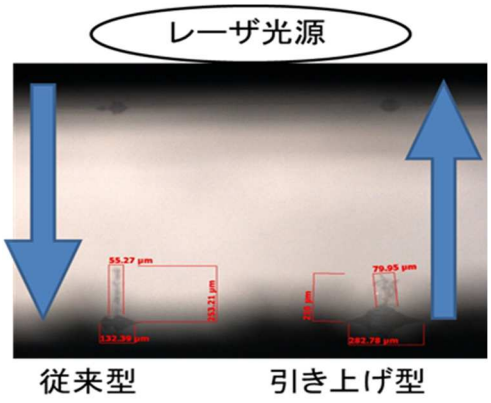


図 5　レーザ加工後の石英断面

3.1.2 加工条件による穴形状への影響

加工条件を変化させたときの穴の形状についての結果を示す。**図 6** は LD 電流値，**図 7** は繰り返し数，**図 8** は Q スイッチ周波数，**図 9** はレーザ走査速度をそれぞれ変化させた。また，固定した加工条件は LD 電流値 32A，繰り返し数 1 回，Q スイッチ周波数 5kHz，レーザ走査速度 0.25mm/s である。各条件で 2 回加工を行っておりそれぞれの条件につき 2 つの結果を掲載している。

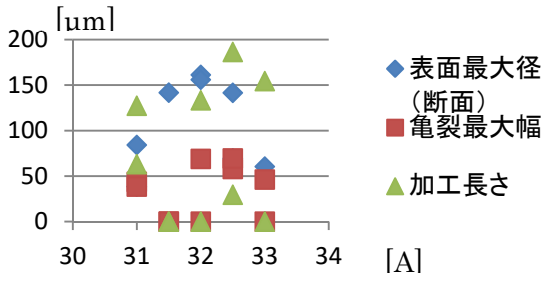


図 6　LD 電流値と穴形状

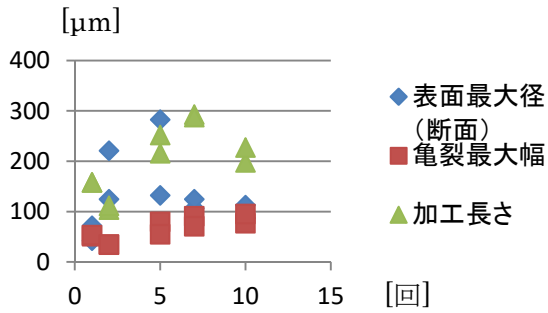


図 7　繰り返し数と穴形状

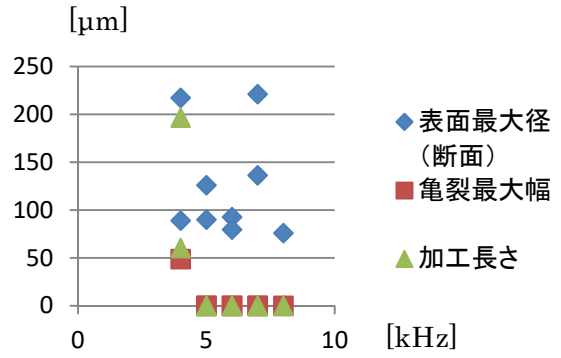


図 8　Q スイッチ周波数と穴形状

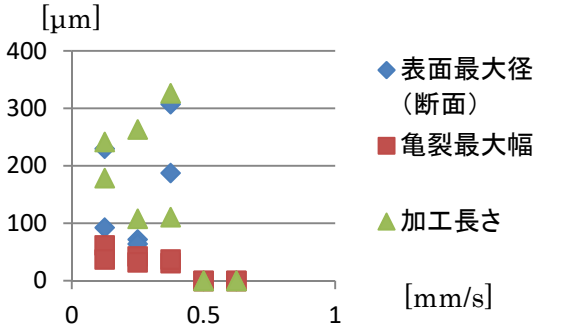


図 9　レーザ走査速度と穴形状

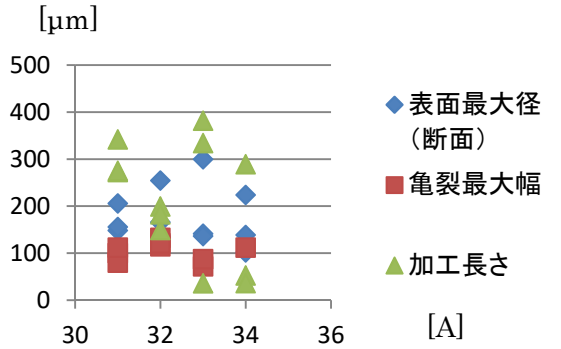


図 10　LD 電流値と穴形状
繰り返し 10 回

穴の加工長さがほぼ 0 に近い加工条件があり，安定した結果が得られなかった。そのため，安定した結果が出やすい繰り返し数を 10 回に増やし，LD 電流値，Q スイッチ周波数，レーザ走査速度を変化させ穴形状を観察・測定した。

繰り返し数を 10 回にしてその他の条件は上記と同じとし，**図 10** は LD 電流値，**図 11** は Q スイッチ周波数，**図 12** はレーザ走査速度を変化させた時のそれぞれの結果である。

今回使用したレーザ加工機はレーザ出力値の相対比較が可能な機器を備えているが，出力値が安定していないため加工途中での出力低下がみられる。そのため LD 電流値やその他でも加工状態の比較が難しかった。

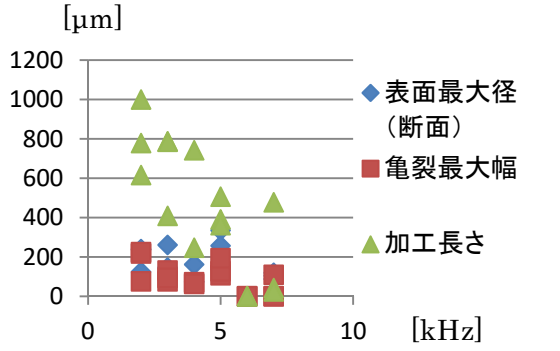


図 11　Q スイッチ周波数と穴形状
繰り返し 10 回

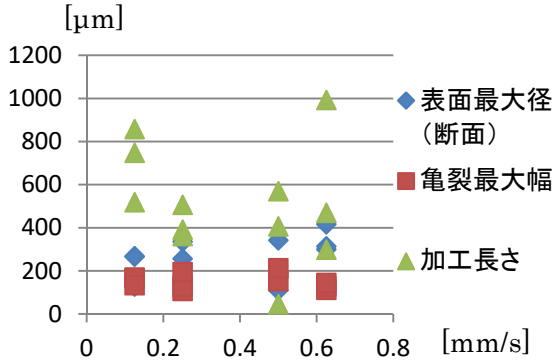


図 12　レーザ走査速度と穴形状
繰り返し 10 回

3.2 電着工具での穴加工

表 2 は回転数，送り速度を変化させて下穴を加工した際の加工出来た穴数である。**表 3** は上記と同条件にて下穴無しで加工出来た穴数である。**図 13** はレーザ加工した下穴の断面図，**図 14** はその下穴を電着工具で加工した断面図である。**図 15** は下穴を 9 穴加工した後の光学顕微鏡像であり，**図 16** は電子顕微鏡像である。

表 2　電着工具による穴加工結果（下穴有り）

	回転数 rpm	回転数 rpm	回転数 rpm
送り速度 mm/min	40, 000	50, 000	58, 000
1	2	1	—
2	1	0	—
4	0	0	15
10	0	0	0

回転数はこれまでの研究[1]80,000rpm の 3/4 程度にでき 15 穴の加工ができた。この加工条件での下穴無しでは加工できなかったが，送り速度

を遅くした場合では 1/4 の速度で 3 穴の加工が可能であり，下穴を用いることで高寿命化・高能率化可能である。

表 3　電着工具による穴加工結果（下穴無し）

	回転数 rpm	回転数 rpm	回転数 rpm
送り速度 mm/min	40,000	50,000	58,000
1	1	2	3
2	—	—	—
4	—	—	0
10	0	—	—

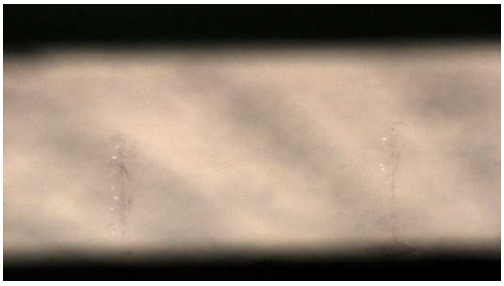


図 13　レーザ加工穴断面

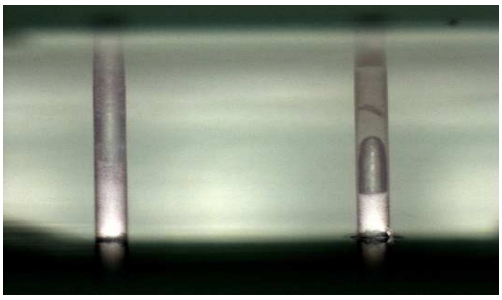


図 14　電着工具加工下穴断面

図 13 と図 14 を比較するとレーザ加工による亀裂箇所が電着砥石による加工で確認できなくなっていることからレーザによる亀裂部も電着砥石により加工出来たと考えられ，レーザの亀裂幅も目標径内に抑えられていたと思われる。

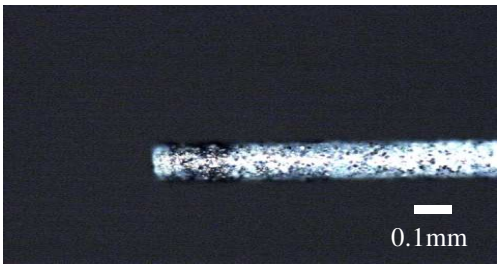


図 15　加工後の電着工具
（光学顕微鏡 10 倍）

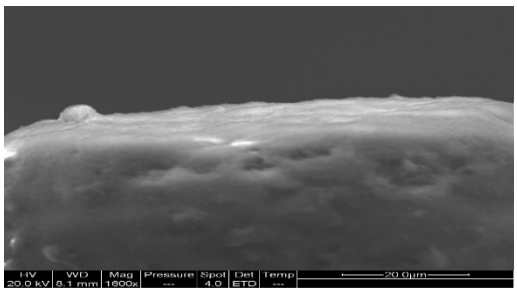


図 16　加工後の電着工具
（電子顕微鏡）

図 15，**図 16** を確認すると両方ともに研削くずが詰まっている様子が確認出来る。そのため加工中の工具破損は目詰まりによるものである。

4　結　　言

本研究を行った結果,以下の知見が得られた。

1) レーザの単位時間当たりエネルギー投入量が大きければ亀裂幅が大きくなる傾向にある。
2) 穴の長さは加工回数を繰り返すほど長くなりやすい。
3) 表面の穴径については，各加工条件との関係を明確に把握することができなかった。
4) レーザ加工機の出力量の振れ幅が大きく，同一品位の下穴加工状態を再現することが困難であったため，電着工具の加工条件と連動させることができなかった。
5) レーザの単位時間当たりの投入量を小さくすることで亀裂幅が 0.1mm 以下の下穴を開けることができ，その後の電着工具による加工で 58,000rpm，送り速度 4mm/min の条件で 15 穴を開けることができた。
6) 回転数については，より多くの県内企業が所有する装置の回転域でも加工可能となった。下穴加工を行うことで電着工具での加工で高能率・長寿命化を図れることがわかった。

文　　献

1) 芦野邦夫，鈴木庸久，今野高志，岡崎祐一：山形県工業技術センター報告，No.34（2005）p14-17

形彫放電加工による底面部のコーナーR 最小化の検討

五十嵐渉　金田亮　小林庸幸　村岡潤一　高橋俊広*

Examination of Minimizing Corner R on Bottom Surface by EDM

Wataru IGARASHI　Ryo KANEDA　Tsuneyuki KOBAYASHI　Jun-ichi MURAOKA
Toshihiro TAKAHASHI*

1　緒　　言

形彫放電加工は銅などから作られる電極の形を転写でき，被加工物の硬さによる影響を受けないため，様々な分野の金型製作などに用いられている。

高精度な形彫放電加工をするためには，電極の消耗を抑えることが重要であるが，除去体積が大きくなると，電極消耗が著しくなる。特に電極の角部は消耗しやすいため，被加工物のエッジにコーナーR ができてしまう。はめあいが関係する勘合部品などでは，コーナーR が干渉してしまう恐れがあるため，シャープエッジを要求される場合がある。

本研究では，形彫放電加工機によるダイス鋼への底付加工を対象に，底面部のコーナーR がより小さくなるような加工条件，加工工程を検討した。

2　実験方法

実験装置概要を**図 1** に示す。本実験で使用した形彫放電加工機は三菱電機㈱製 EX8+FP35 である。被加工物は，大同特殊鋼㈱製の汎用冷間ダイス鋼 DC53（SKD11 系，HRC62 程度）とし，10×10×5mm の四角形状の底付加工を行った。電極には，無酸素銅と低消耗銅 DT35（銅 35%タングステン 65%，イースタン技研㈱，以下低消耗銅）を使用した。

被加工物は治具に当てつけマグネットチャックにて固定した。スラッジを除去するために 2 本のノズルから加工液を噴射した。

実験工程の概要を**図 2** に示す。底面部の評価

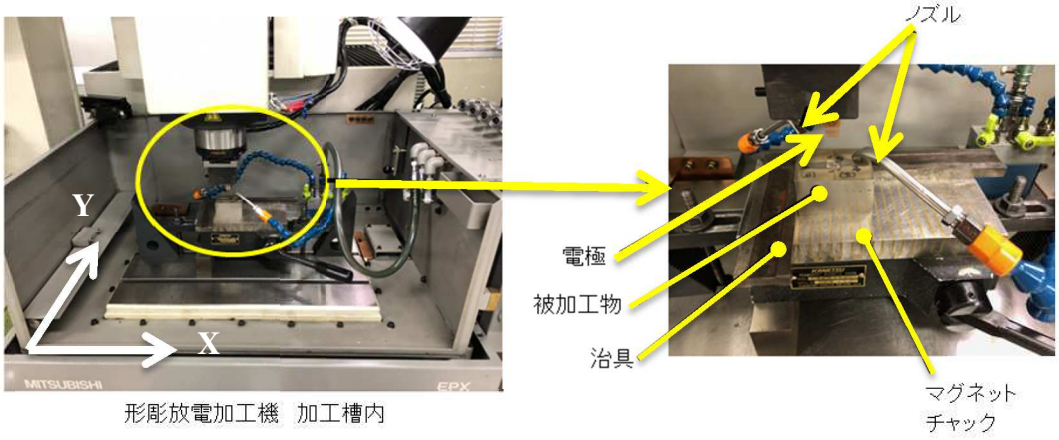


図 1　実験装置概要

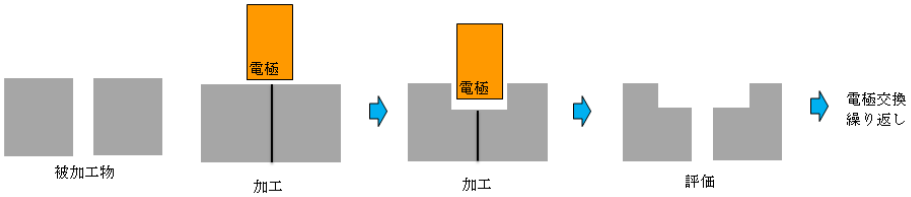


図 2　実験工程概要

【平成 30～令和元年度　金型・精密加工技術研究会　放電加工専門委員会】

＊山形県産業労働部工業戦略技術振興課

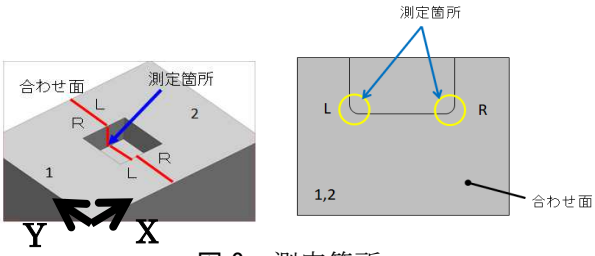


図 3　測定箇所

を工程ごとに行うため，2 つの被加工物を密着固定した状態で実験を行った。被加工物の評価は，図 3 に示す合わせ面のコーナーR を 1-L，1-R，2-L，2-R の 4 ヶ所それぞれについて実施した。観察はコンフォーカル顕微鏡（Carl Zeiss LSM5 PASCAL）にて行い，コーナーR 測定は画像測定機（㈱ミツトヨ，SQV-303-PRO）で行った。また，電極の消耗は輪郭形状測定機（㈱ミツトヨ，SV-C4000H4）を用いて，コーナーR を測定した。評価後，新しい電極に交換し，再度加工する。これらの工程を繰り返し行った。

コーナーR が最小となる最適な加工条件・電極材質・加工工程の選定を目的に予備実験を実施した。その結果を元に本実験の条件を設定した。実験条件に用いられるパラメータの概要を図 4 に示す。縮小代は放電ギャップ量と揺動量を足した値である。電極サイズ 9mm に縮小代の 2 倍を足すと，仕上がり寸法となる。

設定した実験条件を表 1 に示す。本実験では，縮小代を一定とし，深さ方向のみ追い込んでいった。また，加工 1 では荒加工，加工 2 では中仕上げ，加工 3～4 で仕上げ加工となるように加工条件を決めた。電極は加工 1～2 では無酸素銅，加工 3～4 では低消耗銅を使用した。

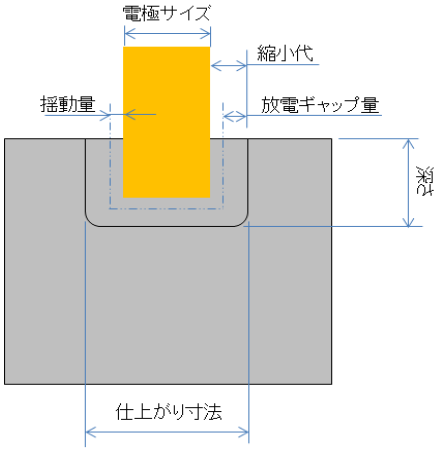


図 4　実験条件に用いられるパラメータ

表 1　実験条件

	加工 1	加工 2	加工 3	加工 4
電極材質	無酸素銅	無酸素銅	低消耗銅	低消耗銅
電極サイズ	□9.00	□9.00	□9.00	□9.00
電極消耗	低消耗	超低消耗	超低消耗	超低消耗
仕上面粗さ設定値	2	1	1	1
重視	速度と消耗重視	消耗重視	消耗重視	消耗重視
縮小代（片側）	0.5mm	0.5mm	0.5mm	0.5mm
仕上がり寸法(幅方向)	10mm	10mm	10mm	10mm
深さ	4.980mm	4.990mm	4.995mm	5.0mm
電気条件	E3025～E3033	E2873	E2873	E2873

目標のコーナーR は，金型・精密加工技術研究会放電専門委員会の検討会での聞き取りから，0.050mm 以下と設定した。

3　実験結果および考察

図 5 に被加工物のコーナーR の顕微鏡画像を示す。コーナーの形状が 90°より大きくなっているが，加工 1 の際，速度と消耗重視（表 1）としたため，消耗が大きく，その後の加工 2～4 に影響したと考えられる。コーナーR 部に関しては，顕微鏡画像からわかるように，角部まで加工されていることがわかる。

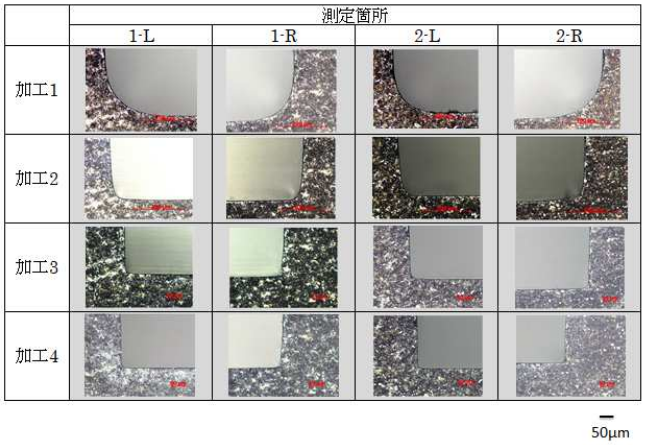


図 5　被加工物コーナーR（10 倍）

図 6 に被加工物のコーナーR，図 7 に電極のコーナーR の結果を示す。被加工物のコーナーR は測定箇所 4 ヶ所の平均値を取ったグラフである。図 6 から加工工程 4 では，すべての箇所で，目標値以下の 0.041mm が得られた。図 7 から加工前電極のコーナーR は 0.003～0.006mm であったが，加工後はすべての工程で大きくなり，電極が消耗していることがわかる。ただし，工程が進むにつれ，消耗は小さくなっていることがわかる。一般的に電極消耗を抑制するため

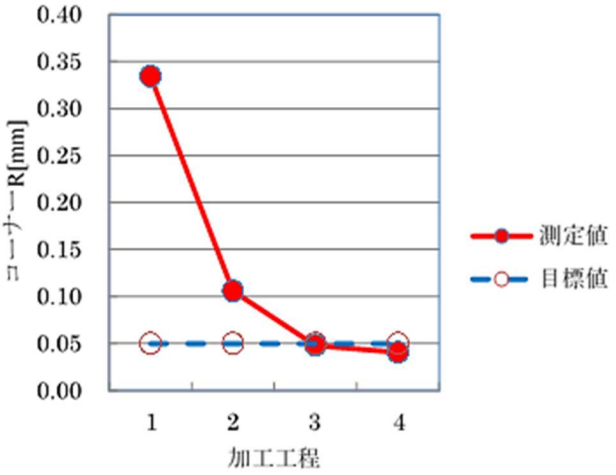


図 6　被加工物コーナーR

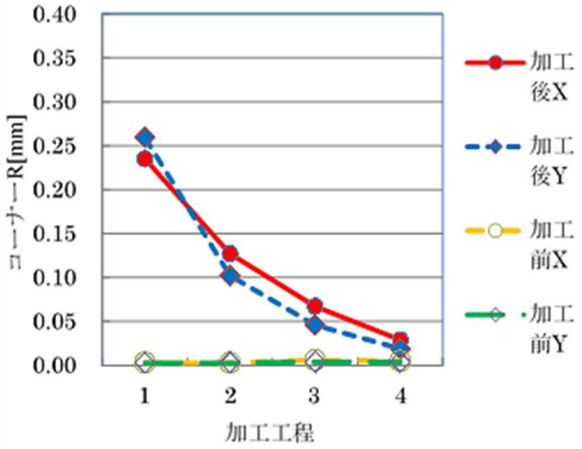


図 7　電極コーナーR

には，高熱伝導率と高融点が必要であり，それらの特性を持つ電極材の一つとして銅タングステンが広く使われている。本実験においても，仕上げ用の電極として低消耗銅を使用し，仕上げの最終工程 4 では，加工後の電極コーナーR を X 方向 0.029mm，Y 方向 0.019mm まで消耗を抑制することができた。

また，被加工物の底面部のコーナーR と加工後の電極コーナーR では同じような傾向が見られるため，底面部のコーナーR を小さくするには，電極の消耗を抑制することが重要であることがわかる。

4　結　　言

形彫放電加工によるコーナーR 最小化の実験を行い，以下の結論を得た。

1）　形彫放電加工機にて底付加工を行い，被加工物の底面部コーナーR を平均 0.041mm にすることができた。

2）　本実験では，仕上げ加工に低消耗銅（銅タングステン）を用いることで，電極の角部の消耗を抑制することができた。

3）　仕上げ加工では，電極消耗を重視した条件に設定し，電極のコーナーR の消耗を抑制しながら，加工を行うことが重要であることがわかった。

振動型触覚デバイスの開発

近　尚之

Development of vibration-type haptic device

Naoyuki KON

1　緒　　言

IoT の普及により，機器から得られる情報は膨大になっており，いかにして人間にフィードバックするかが課題となっている。フィードバックするための情報伝達手段の一つとして触覚がある。しかし，触覚を利用したデバイスは少なく，簡便な機構・製造プロセスで利用できるものも少ない。

本研究では，二次元配置の電磁駆動式振動型触覚デバイスを開発した。電気信号を利用し、文字情報や触感を再現して指や手への情報伝達するための基礎データを蓄積した。

2　実験方法

2.1　動作原理

振動型触覚デバイスの構造を**図 1** に示す。下側に永久磁石やコイルを配置し，上側のフレキシブル基板にコイルを配線する。上側のコイルに交流電圧を印加することで，周波数に応じた磁界が双方向に交互に発生する。その双方向の磁界と、下側の磁界との間に、引力・斥力が交互に生じることで、固定されていない上側のコイルに振動が発生する。

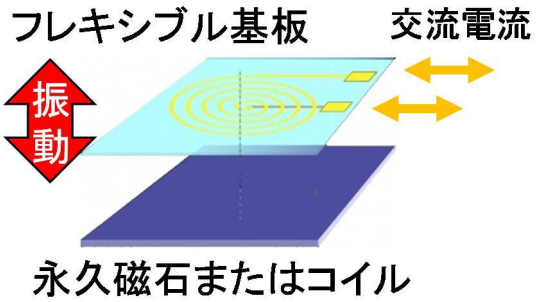


図 1　動作原理

2.2　振動デバイスの構造

線径 0.16, 0.29mm の 2 種類の銅線を用いて，巻き数 5～20 巻とした実験用コイルを製作した（**図 2**）。また，**図 3** に示す点字の配置を再現するため，MEMS 型デバイス（**図 4**），インダクタ型デバイス（**図 5**）を作製し，振動の振幅を測定した。MEMS 型デバイスは，φ1.6mm の内部に 4, 5, 7, 14, 24 巻きのコイルを形成した。100μm 厚のポリイミドシートに金 300nm, クロム 50nm のメタル配線で作製した。インダクタ型デバイスは，10，15μH のインダクタを用いて 2 種類作製した。

図 2　実験用コイル（15 巻）

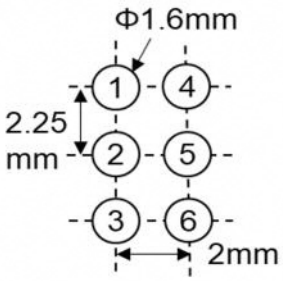


図 3　点字の配置

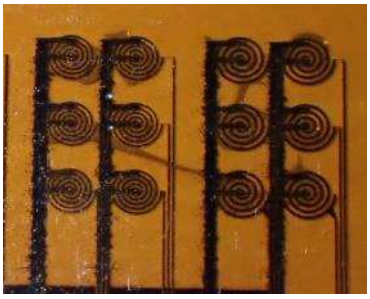


図 4　MEMS 型デバイス

【平成 30 年度～令和元年度　自動車キーテクノロジー支援研究開発事業】

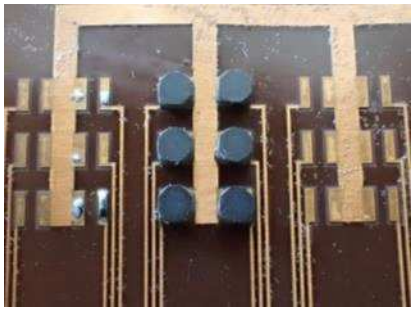


図 5　インダクタ型デバイス

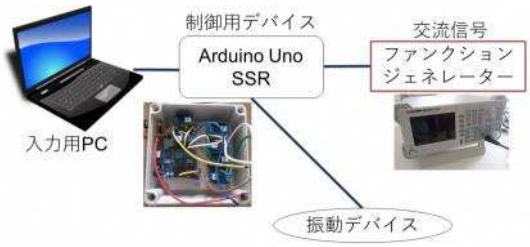


図 7　開発した制御システム

2.3　振幅の測定

上下両側にコイルを配置した場合、振動振幅が小さかったため，下側にネオジム永久磁石，上側にコイルを配置した構成として振幅を測定した。振幅はレーザードップラー振動計（(株)小野測器製 LV-1610）（図 6）を用いて非接触で測定した。

図 6　レーザードップラー振動計

2.4　制御システムの開発

点字として機能させるためには，点字状に配置された複数のコイルを独立して制御する必要があり，制御用マイコンボードとして Arduino を使用した。PC のキーボードで 10 種類の数字（0～9）を入力し、入力に応じたデジタル信号を Arduino が出力する。デジタル信号によって、ファンクションジェネレーターから出力される別系統の交流電源をリレー制御（on/off）することで、振動デバイスのコイルに流れる交流電源を制御した（図 7，8）。

3　実験結果および考察

3.1　実験用コイルの周波数応答

最初に実験用コイルの磁束密度を測定したと

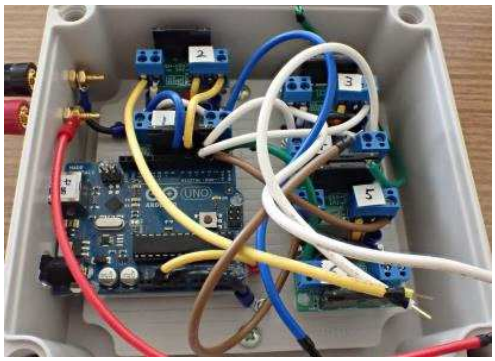


図 8　開発した制御システムの内部

ころ，コイルの巻き数にほぼ比例して増加する結果が得られた（図 9）。はじめに，永久磁石を下に置いた場合の振幅を測定した。いずれの線径のコイルの場合も巻き数の多いほうが，磁束密度が高くなるため駆動力は大きくなる。しかし，デバイスの形状や剛性によって振幅は異なるため，今回の実験では一概に巻き数が多いほうが振幅が大きいわけではなかった。振動振幅は，線径によらず 170Hz 前後の交流電流を流した場合に最大となり（図 10(a)，(b)），指で触っても振動の有無を識別することができた。

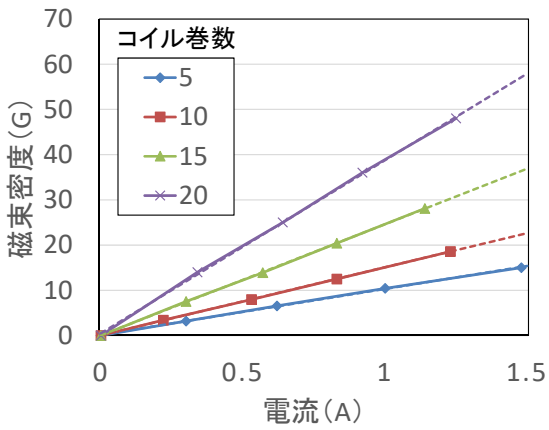
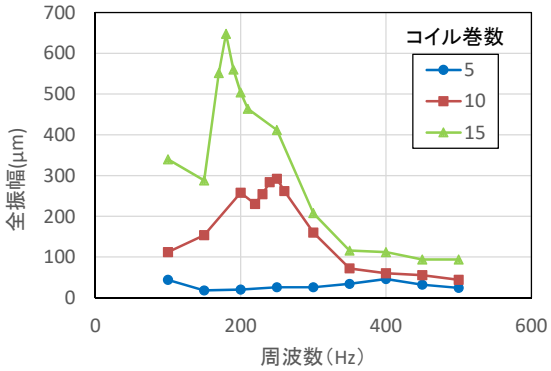
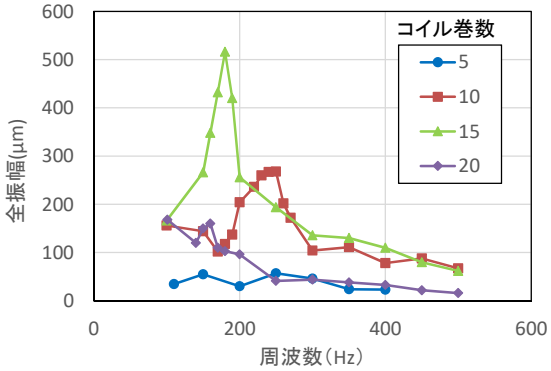


図 9　電流と磁束密度

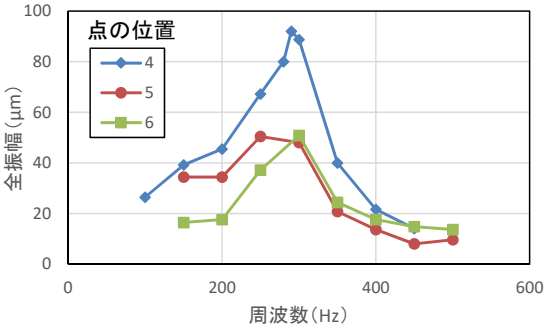


(a) 線径 0.16mm

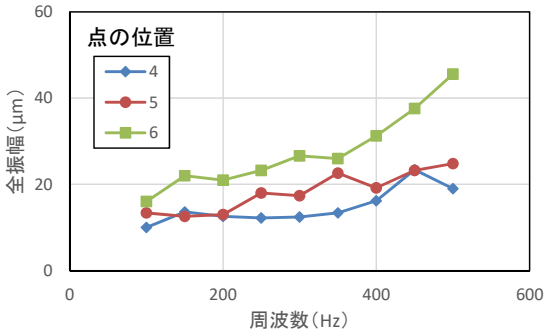


(b) 線径 0.29mm

図 10 実験用コイルの周波数と全振幅



(a) 10μ H



(b) 15μ H

図 11 インダクタ型デバイスの周波数と全振幅

3.2 MEMS 型デバイス，インダクタ型デバイスの周波数応答

MEMS 型デバイスの場合，振幅がほとんど得られなかった。電圧 10V のとき 100mA 以下であり十分な電磁力を得ることができなかったためと推察される。MEMS 型デバイスを実現するためには，より大電流を流して高い磁束密度を得られるように，コイルのメタルの厚膜化や積層構造の検討が必要と考えられる。

インダクタ型デバイスについて，インダクタンス 10，15μH の 2 種類のデバイスで実験を行った（図 11(a)，(b)）。インダクタ型デバイスの場合も実験用コイルに比べ振幅が小さく，点字の文字を認識できるほど大きな振動を得ることができなかった。原因としては，使用したインダクタンス内部に入っていた鉄心の重量の影響や，磁石との相互作用により，振動の挙動が変化した可能性が考えられる。今後振動を認識するためには，出力電圧の改善やコイルデバイスの形状等の再検討が必要である。

4 結　　言

本研究で得られた知見は，以下の通り。

1) 実験用コイルでは振動を認識することができた。交流電流の周波数を 170Hz 程にした場合に最も触覚で認識しやすいことが分かった。
2) 点字用デバイスでは配置やサイズに制約があるため，今回の実験ではどの点が振動しているか認識できるほどの振幅を得ることができないことが分かった。今後は制御する交流電源の大出力化，流れる電流の増加に伴うコイルデバイスの改良が必要と思われる。

センサーネットワークによる情報収集システム開発

高野秀昭　髙橋義行　海老名孝裕　阿部泰　中村信介

Development of information collection system using sensor network

Hideaki TAKANO　Yoshiyuki TAKAHASHI　Takahiro EBINA　Yutaka ABE　Shinsuke NAKAMURA

1　緒　　言

さまざまなモノをネットワークにつなぎ，そこで得られたデータを活用することにより，課題の解決や新たな価値の創出を実現する IoT (Internet of Things)に昨今大きな期待が寄せられている。その IoT 技術として，各種センサーを利用して大量のデータを収集して解析するセンサーネットワーク技術に注目が集まっている。この技術をビジネス展開するにはデバイスをネットワークに接続する技術や秀逸なセンサーデバイス開発が重要な鍵となる。また，AI 技術の進展により，収集したデータの AI 解析による活用が望まれている。

しかし，関連技術が急速に変動する中で，センサーネットワークシステムとしての最適な構成や，AI の有効性については十分に検討する必要がある。また，当センターにて，市販センサーの 1/10 のコストで作成できる画期的な MEMS 複合センサー[1]を開発したが，長期安定性に関しての評価は不十分であり，実用化に向けた課題や行程が明確になっていない。

そこで，本研究では県内における様々なセンサーネットワークに対するニーズへの対応や MEMS 複合センサーの実用化に向けた課題抽出を目的に，センサーネットワークシステムの構築と実証試験を行った。

2　開発システムの構成

2.1　汎用センサーネットワークシステム

2.1.1 センサーノード開発

様々なセンサーの接続を想定し，小型の無線デバイスと各種センサーとのインターフェースを用意したセンサーノード基板を作成した。インターフェースには，I^2C(Inter-Integrated Circuit)，SPI(Serial Peripheral Interface)，アナログ入力，PWM(Pulse Wide Modulation)といったセンサーで使われることが多い入出力を用意し，汎用性を確保した。センサーノード基板の概観を**図 1** に示す。無線方式には，短距離通信向けに IEEE802.15.4 (Zigbee)及び長距離通信向けに LoRa[2] を選定した。通信方式及びセンサーは用途に応じて選択してシステムを構成することとした。また，長時間稼働するための低消費電力化として，マイコンスリープ機能の利用，不要電源の停止機能への対応も行った。

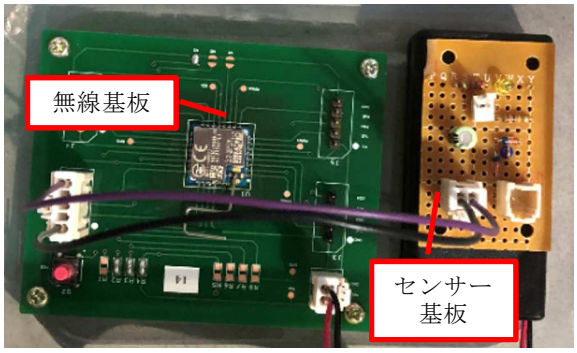


図 1 センサーノード基板例

2.1.2 ゲートウェイ開発

複数のセンサーノードからの無線通信を受信し，インターネットや，ローカルネットワーク上のサーバーへ接続するためのゲートウェイを作成した。ゲートウェイには汎用のマイコンボードを利用し，マイコンボード上にて専用アプリケーションを実行することで，サーバーへデータを転送する。マイコンボードとしては，RaspberryPi と Arduino の 2 種類を利用した。これらは安価であり，フリーライセンスのライブラリも多く提供されているため，低コストで導入可能で，初心者でも扱いやすいという特徴がある。また，無線通信方式の選択はセンサーノード側の無線通信方式に合わせてゲートウェイ

の通信方式も変更して利用する形とした。ゲートウェイとサーバー間の通信には，MQTT プロトコル [3]を利用した。MQTT は一般的な HTTP などのネットワーク通信プロトコルと比較して，軽量であり，双方向通信やブロードキャスト通信が可能であるといった特徴がある。そのため，大量のセンサー等を扱う IoT システムに適した通信規格である。

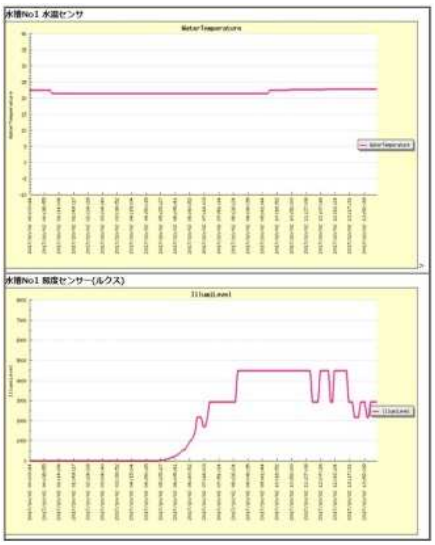
2.1.3 サーバーアプリケーションの開発

サーバー上で，データの保存，デバイス管理，情報表示を行うためのアプリケーションの開発を行った。このアプリケーションは，ゲートウェイからのアクセス時は，MQTT を通してデータを受信し，データベースへの保存及びデバイスの管理を行う。ブラウザからのアクセス時にはグラフ表示など必要な情報の可視化を行う。**図 2**(a)はリアルタイムのデータ表の表示例で，**図 2**(b)は一定期間の推移グラフの表示例である。

現在の情報

ID(水槽No)	水温(℃)	照度(lux)	電池電圧(v)	電波状況	更新時間
1	22.77	2921	3	Bad	2017/10/02 14:27:46
2	22.95	1206.3	3.1	Bad	2017/10/02 14:30:07
3	22.2	3214.5	3.3	Bad	2017/10/02 14:25:53
4	22.95	1737.6	3.1	Bad	2017/10/02 14:29:02
5	22.89	231.4	3	VerryBad	2017/10/02 14:29:00

(a)



(b)

図 2 Web アプリケーションによる表示例

2.1.4 システム構成

センサーノードはノード同士の通信が可能なメッシュ構造とした。これにより近隣ノードを経由して電波中継が可能となり，電波有効範囲の拡大や通信の信頼性確保を図った。センサーデータはゲートウェイを介してクラウドサーバー上にアップロードし，クラウド上のウェブアプリケーションによりデータの解析や可視化を実現する。**図 3** にシステム構成を示す。センサーノードは，ウェブアプリケーションから指示されたタイミングで通信を行う。通信タイミングをウェブアプリケーションが一元管理することで，データ通信同士の衝突のない効率的な通信が可能となる。このため，衝突によるエラーリトライを回避することができ，信頼性の向上と消費電力の低減を図っている。

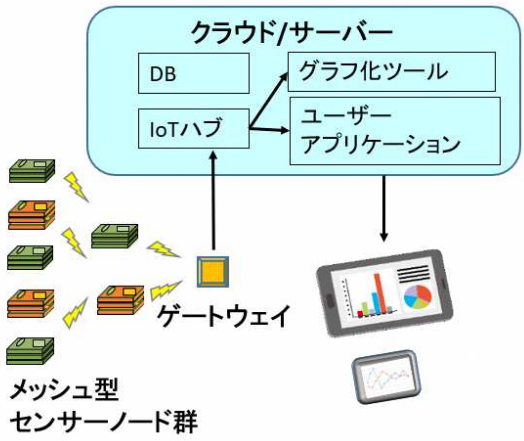


図 3 システム構成

2.2 AI を利用した画像判定システム

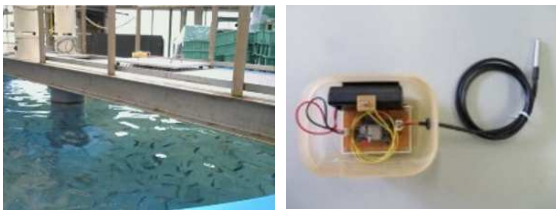
汎用のセンサーネットワークシステムとは別に AI の精度検証用に汎用の USB カメラとパソコンを利用した AI 画像判定システムを構築した。システム概要を**図 4** に示す。テスト用警告灯の点灯状態をカメラで撮影し，AI で判定を行う。AI の学習はフリーの AI ツール NNC（Neural Network Console）[4]を利用した。NNC で事前学習したデータを利用して撮影画像の判定を行い，撮影環境の変化に対して柔軟に警告灯の点灯状態を認識する。

図 4 AI 画像判定システム概要

3　実証試験結果および考察

3.1　センサーネットワークの実証試験結果

構築した汎用センサーネットワークシステムに市販の温度センサーと照度センサーを接続し，**図 5**(a)に示す山形県水産試験場の養殖用大型水槽を対象に，長期運用の実証試験を実施した。センサーノードは**図 5**(b)に示すように防水センサーの利用と防水加工を施した。試験条件を**表 1** に示す。このシステムでは，1 年間以上に渡って安定してデータの取得を実現しており，データの欠損も見られなかった。また，実証試験期間での電源の電圧低下は 0.1V 程度であり，動作限界の 1.0V 低下に対して十分余裕のある結果となった。電源であるアルカリ乾電池の 1 年間の電源電圧の推移を**図 6** に示す。



(a)設置場所　(b)センサーノード

図 5 設置の様子

表 1　センサーネットワーク実証試験の条件

実施場所	山形県水産試験場 養殖用大型水槽
測定対象	水温，水面照度
実施期間	1 年
使用センサー	温度センサー，照度センサー
検出周期	10 分
無線通信規格	Zigbee
電源	アルカリ単三電池 2 本

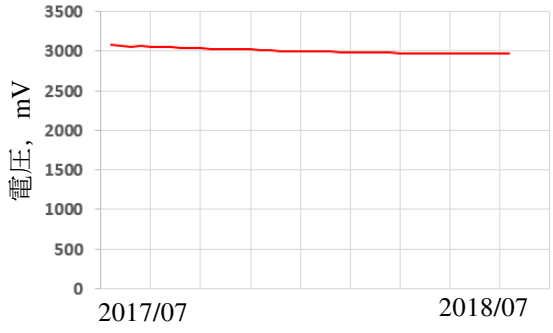
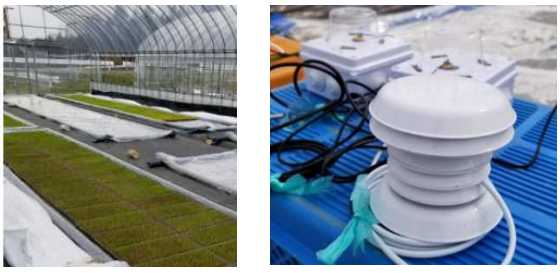


図 6 センサーノード電圧値の推移

3.2　MEMS 複合センサーの実証試験結果

同システムに MEMS 複合センサーを接続し，**図 7**(a)に示す山形県農業総合研究センターの育苗用ハウス内にて実証試験を実施した。MEMS 複合センサーは温度，湿度，二酸化炭素の 3 種類のセンサーを 4mm 角にパッケージングした小型センサーである。センサー概観を**図 8** に示す。比較用として，市販の温度，湿度，二酸化炭素のセンサーも同時に設置した。これらを**図 7**(b)に示すように防雨型の容器に格納し，試験を実施した。試験条件を**表 2** に示す。試験開始時の MEMS センサー，市販センサーデータを図 9(a)，(b)に，3 ヵ月後の MEMS センサー，市販センサーデータを**図 9**(c)，(d)にそれぞれ示す。MEMS センサーの 3 ヵ月経過後のデータは，市販センサーと比較して，大きな差が見られる。約 2 ヵ月経過時前後からこの状態が見られた。この結果から，現状の MEMS 複合センサーの性能維持される期間としては 1 ヶ月程度を考えられ，長期安定動作に向けては課題が残っている。消費電力は，電源低下が 0.9V となり 3 ヵ月間の稼働が確認できた。電圧の推移を**図 10** に示す。今回は加速試験的に 10 秒間隔の比較的短い周期で計測したが，周期を長くすることで更に長期間稼働できる可能性がある。



(a)設置場所　(b)センサーノード

図 7　センサー設置の様子

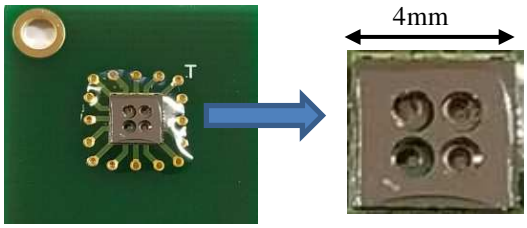
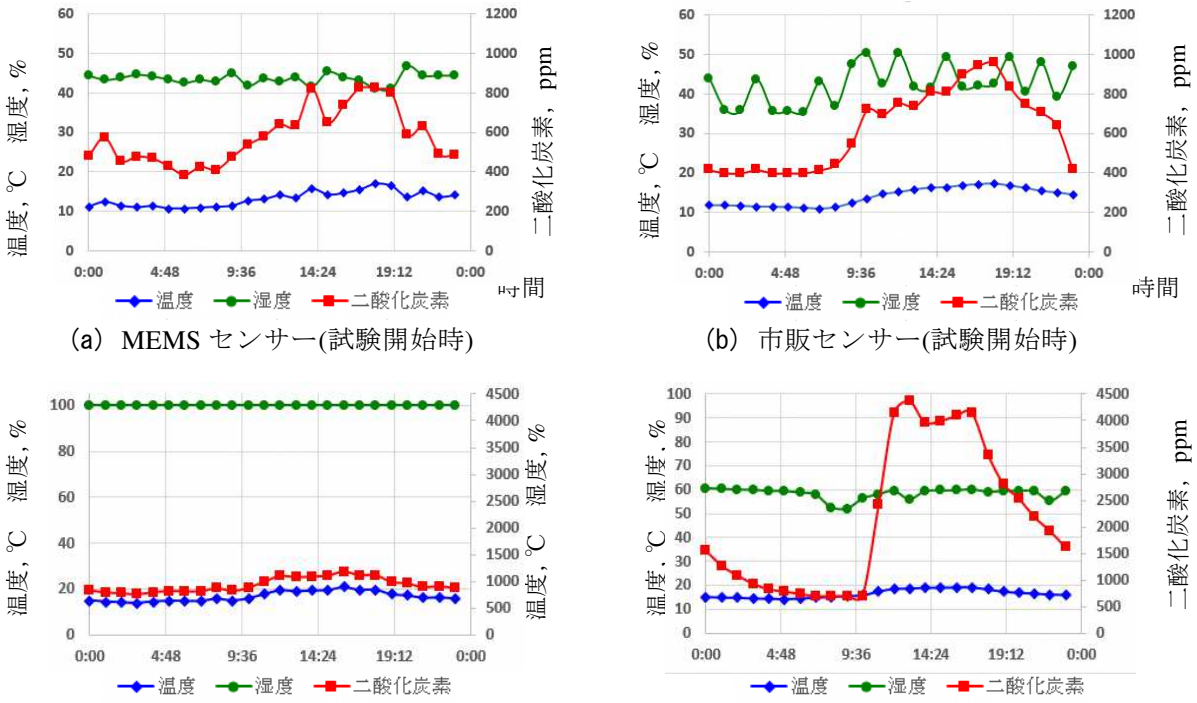


図 8　MEMS センサー概観



（a） MEMS センサー(試験開始時)　（b） 市販センサー(試験開始時)

（c） MEMS センサー(3 ヵ月経過後)　（d） 市販センサー(3 ヵ月経過後)

図 9 センサー検出値

表 2　MEMS 複合センサー実証試験の条件

実施場所	山形県農業総合研究センター 育苗用ハウス
測定対象	温度，湿度，二酸化炭素
実施期間	3 ヵ月
使用センサー	MEMS 複合センサー 市販温湿度センサー 市販二酸化炭素センサー
検出周期	10 秒
無線通信規格	Zigbee
電源	アルカリ単三電池 2 本

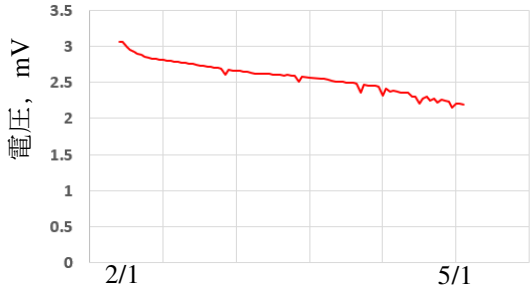


図 10 MEMS センサーの電圧値の推移

3.3　カメラ画像と AI を利用した警告灯判定精度の検証結果

テスト用警告灯の点灯状態をカメラで撮影し AI による判定をする試験を実施して，判定精度の検証を行った。警告灯は 5 秒間隔で，赤→黄→緑→消灯の順に切り替えを行い，切り替え時に，点灯状態の判定を行う。撮影画像は，128×128 ピクセルのサイズとした。外乱を想定して，太陽光が入る位置に警告灯を設置した。精度の比較対象として，市販の照度センサーを利用し，警告灯の各色に照度センサーを取り付け，点灯状態をモニタした。設置状況を**図 11** に示す。判定方法及び結果を**表 3** に示す。**図 12** の (a)，(b)，(c) 例に示すように同じ色の撮影であっても外部環境により撮影画像には大きく差が出ている。しかし，AI と照度センサー共に期待値と一致した判定となり，誤判定は無く，精度の高い判定が可能であった。

4　結　　言

1)　センサーネットワークシステムを構築し，無線通信方式毎の特徴や実力，メッシュ構造の構築方法，MQTT の利用方法等に関する知見が得られた。

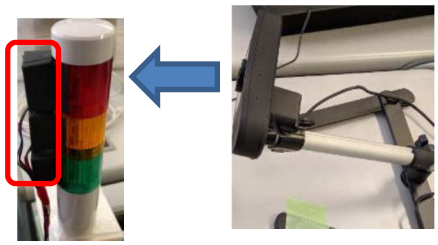


図 11 画像判定システム設置の様子

(a)　(b)　(c)

図 12 撮影画像例(赤点灯)

表 3　センサーによる警告灯表示状態判定の方法及び結果

判定対象	使用センサー	判定方法	判定回数	結果
警告灯の点灯状態	USB カメラ	カメラ画像の AI 処理による点灯色の判定	109811 回	誤判定無し
	照度センサー	各色の照度による点灯判定	122335 回	誤判定無し

2)　実証試験を通じて，構築したシステムの安定性や電池駆動での消費電力の実力を把握することができた。

3)　カメラと AI を利用したシステムで, 照度センサー利用と同等の警告灯検出精度であることが確認できた。センサー取り付けが困難なケースに遠方からの監視など活用が期待できる。

4)　本研究の成果をもとに県内企業 5 社へ技術移転し，各社で生産性，品質向上，新製品開発へと繋がった。

文　献

1)　阿部泰 他：空気監視用 MEMS 型複合センサノードの開発,山形県工業技術センター報告, No.48(2016)

2)　LoRa Alliance：LoRaWAN Specificationv1.1

3)　International Business Machines Corporation Eurotech：MQTT V3.1 プロトコル仕様

4)　ソニーネットワークコミュニケーションズ株式会社：Neural Network Console Web HP https://dl.sony.com/ja/

共振型マルチモーダルセンサの開発

村山裕紀　　矢作徹　　加藤睦人　　渡部善幸

Development of multi-modal resonant sensor

Hiroki MURAYAMA　Toru YAHAGI　Mutsuto KATO　Yoshiyuki WATANABE

1　緒　　言

近年，生産年齢人口の減少を背景として，人間と同じ環境下で作業するサービスロボットの普及が望まれている[1)2)]。サービスロボット普及のキー技術は「人工知能」,「センシング」,「制御」,「駆動」の 4 要素と言われている[3)]。中でもセンシングはロボットが次の行動を判断するために必要不可欠な要素であり，人間の五感と同等以上の性能が求められる。しかし，人間の嗅覚に相当するにおいセンサは，センシング対象の物理量が確立されておらず，視覚・触覚などの物理量が確立されているセンサと比較すると開発が遅れている[4)]。

そこで，本研究ではサービスロボットの普及を目的として，生活環境中のにおいセンシングが可能なマルチモーダルセンサの開発を目指す。マルチモーダルセンサは，単一のセンシングプラットフォームを用いて複数のにおい分子を検出するセンサである。先行研究[5)6)]において多様なセンサ構成が検討されているが，工業技術センターの MEMS 技術を活かして小型化が実現可能で，かつ高速・高感度なセンシングが期待できる共振型センサを採用した。共振型センサは，共振子表面に形成した感応膜ににおい分子が吸着することで起こる膜重量の変化を，共振周波数の変化によって検出する。吸着するにおい分子の種類が異なる数パターンの感応膜を用意することで，においや濃度を特定することができる（**図 1**）。

本研究では，生活環境中で発生する悪臭から，アンモニア，トリメチルアミン，メタンチオール，硫化水素を検知対象ガスと定めた。それらの気体に対して応答が大きく，においを判別することが可能な共振型マルチモーダルセンサの開発を行った。

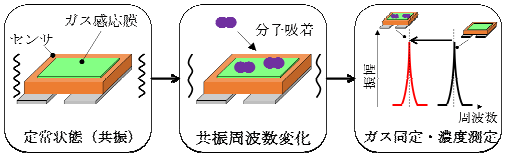


図 1 におい検出イメージ

2　実験方法

本研究では，におい分子を吸着する感応膜および膜重量の変化を検出する共振子を開発した後，それらを組み合わせたにおいセンサの特性評価及び実環境を想定したにおい検出試験を実施した。

2.1　感応膜の材料選定

一般的にガスを検出するセンサはガス選択性の高い感応部を使用する。しかし，においは関与する分子の種類が膨大なため，ワイドな選択性を持つ材料が適している。参考文献[5)6)]およびそれらの引用文献から，**表 1** に示す高分子材料，もしくは環状構造を持つ材料を 10 種類選定した。環状構造とは，**図 2** に示すようなフェニル基，またはそれに準ずる構造を指す。

表 1　感応膜候補材料

セルロースナノファイバー（CNF）	p-トルエンスルホン酸ナトリウム（p-TSN）
D-フェニルアラニン（D-Phe）	PEDOT:PSS
カーボンナノチューブ（CNT）	ポリビニルアルコール（PVA）
アデニン	L-ヒスチジン
エチレンイミン	グルコース

多摩デバイス(株)製の QCM センサ上に各材料を薄膜化し，**図 3** に示す構成の実験系を用いて，各検知対象ガスに対する応答性を評価して，検知対象ガスを検出・識別可能な材料を 4 種類

選定した。応答性は，チャンバを窒素雰囲気から 1%の検知対象ガス雰囲気に変化させた際の感応膜重量の変化量で評価した。

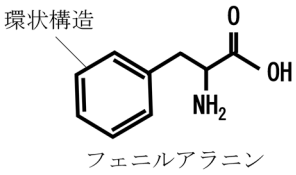


図 2 環状構造を持つ材料例

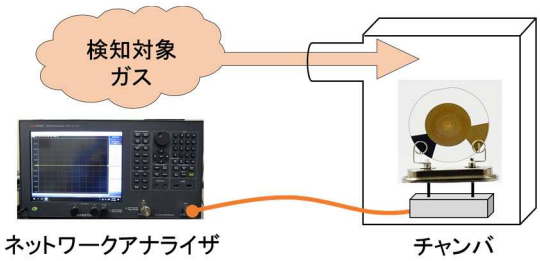


図 3 ガス応答性評価用の実験系

2.2 共振子の開発

サービスロボットへの搭載を目標としたセンサのため，共振子は小型化が容易な MEMS プロセスで作製可能な構造が求められる。電磁共振型振動子と水晶発振型振動子の 2 種類を試作・評価を実施したが，本論文では最終的にセンサ共振部として選定した水晶発振型振動子について報告する。振動子の共振周波数評価には，ネットワークアナライザ（Keysight Technology 製 E5061B）を用いた。

2.3 組み合わせ評価

選定した感応膜と開発した共振子を組み合わせ，異なる感応膜を持つ 4 種類の共振型センサを作製した。これらのセンサを図 3 に示す装置を用いて検知対象ガスに対する応答性を評価した。

2.4 におい判別試験

生活環境を想定し，検知対象ガスを含む臭気を放つ製品を判別可能か，試験を実施した。検出対象物は，アンモニア・トリメチルアミンの含有が期待される魚の干物，硫化水素の含有が期待されるゆで卵，検知対象ガスは含まない対象物として除光液（アセトン）を選定した。

3 実験結果および考察

3.1 感応膜の材料選定

多摩デバイス(株)製の QCM センサ（共振周波数 9MHz，重量感度：1.07ng/Hz）上に各材料をキャスト法（図 4）により成膜した。選定した高分子材料はほとんどが水溶性であったため，撥水性が高い QCM センサの金電極へ成膜を行うと，塗布した溶液が凝集してしまい電極上に均一な薄膜形成が困難であった。そこで，プラズマエッチング装置を用いて 100W-10 秒の酸素プラズマ処理を施すことで電極へ親水性を付与している。また，CNF 以外の材料は，真空乾燥時に析出箇所が偏ってしまう課題があった。そこで，CNF を少量混合し，CNF に感応膜材料を担持させることで電極上への均一な成膜を実現した（図 5）。CNF の配合割合は，電極上への均一な成膜が可能な最小重量比である，感応膜材料の 25%の重量と決定した。

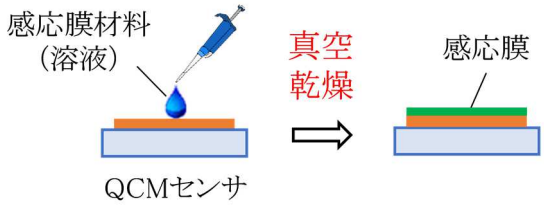


図 4 キャスト法のよる感応膜作製

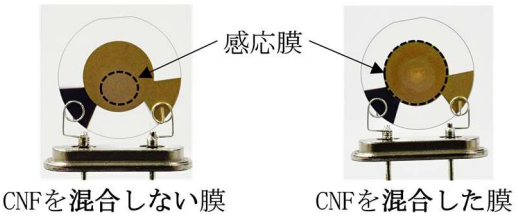
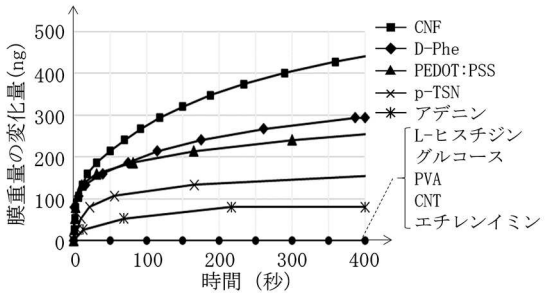


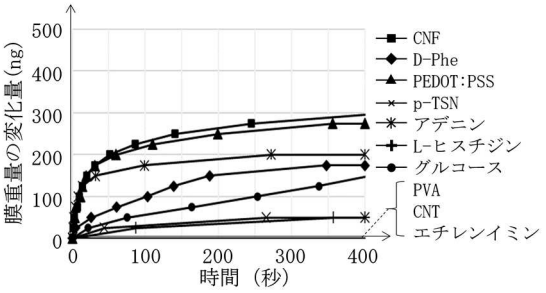
図 5 CNF 担持による感応膜成膜

各材料を成膜した QCM センサを図 3 の実験系に入れ，検知対象ガスごとの膜重量の変化量を測定した。膜重量変化量を図 6(a)～(d)に示す。図 6 から，CNF 以外の感応膜溶液にも CNF を混合して成膜しているが，各材料の特性の影響により感応膜の特性に差が生じていることがわかる。図 6 から，感応膜材料として CNF, D-Phe, PEDOT:PSS，アデニンの 4 種類を選定した。p-TSN とアデニンは，他の 3 種類の材料と比較す

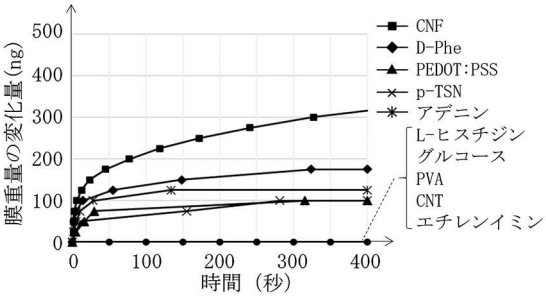
るとガスへの応答が鈍く，応答の様子も概ね同等であったが，アデニンの方がアンモニアへの応答性が大きいという特徴があったため本研究ではアデニンを選定した。



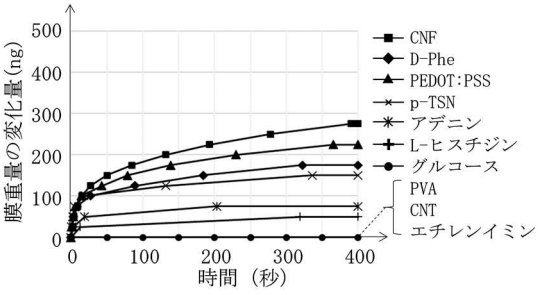
(a) トリメチルアミンへの応答特性



(b) アンモニアへの応答特性



(c) メタンチオールへの応答特性



(d) 硫化水素への応答特性

図 6　各検知対象ガスへの応答特性

3.2　水晶発振型共振子の開発

MEMS プロセスにて水晶基板を加工し，水晶発振型振動子を作製した。水晶は，AT カットの基板を使用した。AT カットの水晶は，基板の上下面に形成した電極に電圧を印加すると，振動する厚み滑り振動を発生する[8]（**図 7**）。厚み滑り振動は電極重量により周波数が変化するため，微小な重量測定に用いられる。

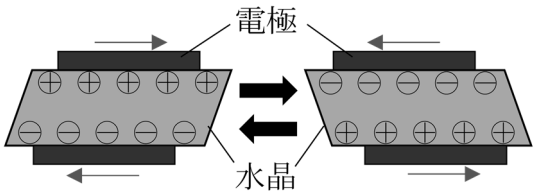
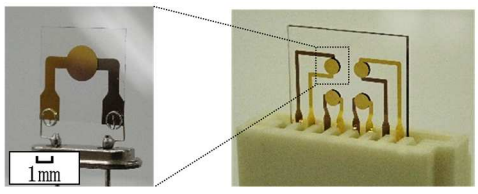


図 7 厚み滑り振動イメージ

将来的に 10mm×10mm の領域内に 4 種類以上のセンサを集積化することを想定し，1 センサ当たりのサイズはφ2.5mm で作製した。ここで，3.1 で使用した QCM センサは電極がφ5mm のため，作製した水晶発振型振動子は面積 QCM センサの 1/4 となる。センサに付着するにおい分子の重量は，感応膜が形成される電極面積に比例すると考えられるため，電極面積の低下はセンサ感度の低下を引き起こす。そこで，3.1 で使用した QCM センサの 4 倍以上の重量感度を持つ振動子を作製した。水晶振動子の厚み滑り振動周波数は，基板の厚さが薄くなるほど高周波化し，重量感度も高くなる。Saubrey の式[9]より，3.1 で使用した QCM センサより 4 倍以上感度の高いセンサの基板厚さを計算すると約 90μm 以下にする必要があることが分かる。そこで 80μm 厚さの水晶基板を選定した。80μm の水晶基板の基本周波数が約 20MHz であり重量感度は約 0.22ng/Hz である。**図 8** に作製した水晶発振型振動子と将来的な集積イメージを示す。



水晶発振型振動子　　集積化イメージ

図 8 水晶発振型振動子

ネットワークアナライザにて測定した水晶発振型振動子の振動特性を**図 9** に示す。**図 9** より，約 20MHz にて共振していることが確認できた。

3.3 感応膜と振動子の組み合わせ評価

水晶発振型振動子の電極表面にキャスト法に

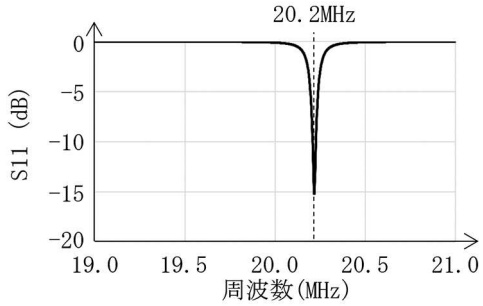


図 9 水晶発振型振動子の共振特性（S11）

て感応膜を成膜したセンサを，感応膜の種類ごとに 1 種類ずつ，計 4 種類作製した。各素子について，**図 3** に示す実験系を用いて濃度 1%の検知対象ガスに対する応答パターンを評価した。一例として，CNF を感応膜に持つセンサのアンモニアに対する応答の時系列データを**図 10** に示す。本研究にて作製したセンサは，チャンバ内にガスを導入してからすべてのセンサが 90%応答を示すまでに 300 秒必要であった。そこで，チャンバへのガス導入から 300 秒後の感応膜重量の増加量を用いて，4 種類のセンサの応答パターンを作成した。応答パターンを**図 11** に示す。**図 11** から判断できる，それぞれの検知対象ガスに関する応答パターンの特徴の一部を**表 2** に示す。**表 2** から，感応膜ごとに検知対象ガスに対する応答が異なることがわかる。ここから，本研究で用いた 4 種類の感応膜を用いることで検知対象ガス 4 種類を識別可能であることが分かった。**表 2** は，応答パターンが示す特徴の一部であり，さらに特徴を抽出することによって更なる識別精度の向上や，今回検出対象になっていないガス分子の識別も可能になると考えられる。

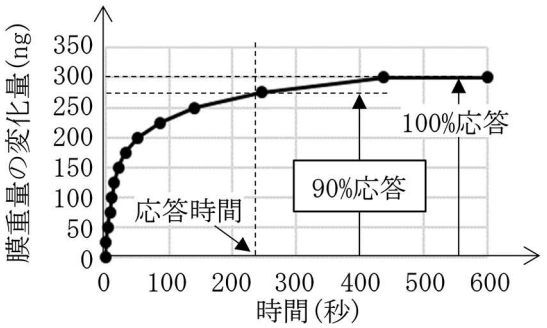


図 10 アンモニアに対する CNF センサの応答

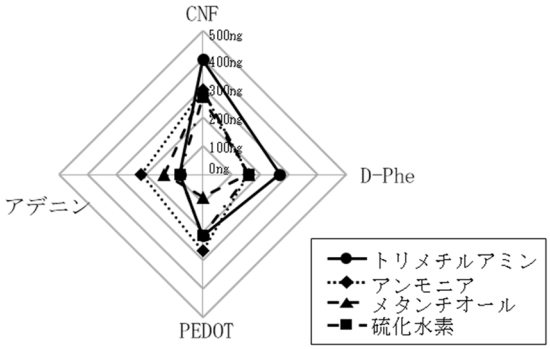


図 11 検知対象ガスに対する応答パターン

表 2 ガスごとの応答パターンの特徴

トリメチルアミン	応答量が CNF → D-Phe → PEDOT→アデニンの順となり，アデニンの応答量は CNF の 1/4 程度。
アンモニア	応答量が CNF→PEDOT→アデニン→D-Phe の順となる。CNF と PEDOT の応答量，アデニンと D-Phe の応答量がほぼ同じ。
メタンチオール	CNF 以外の応答量が小さく，特に PEDOT の応答がほとんどない。
硫化水素	応答量が CNF→PEDOT→D-Phe→アデニンの順となり，アデニンの応答がほとんどない。

3.4 におい判別試験

においの識別には，**図 11** のような，比較対象となる膨大なにおい検出のサンプルデータが必要である。しかし，本研究ではにおいのサンプルデータを用意することができなかったため，いくつかの物体のにおいをそれぞれ別なものとして判別可能か，確認試験を実施した。判別対象物と，含有が期待される成分を**表 3** に示す。ここで，除光液は今回の検出対象ガスを含まないが，応答を確認するために意図的に選定した。対象物をそれぞれ密閉容器に入れ，におい成分を含む気体を準備した。におい成分以外は窒素ガスであり，窒素ガスへは応答しないことを確認している。それぞれの物質への応答パターンを**図 12** に示す。**図 12** から判断できる，それぞれの検知対象ガスに関する応答パターンの特徴の一部を**表 4** に示す。**表 4** から，以下のことが推測される。

表 4 におい判別試験の応答パターンの特徴

ゆで卵	応答量が CNF→PEDOT→D-Phe→アデニンの順となった。
魚の干物	応答量が PEDOT→D-Phe→CNF→アデニンの順となった。
除光液	応答量が PEDOT→D-Phe→CNF→アデニンの順となった。アデニンの応答がほぼ 0 となった。

- **表 2** の硫化水素に対する応答と特徴が同じであることから，ゆで卵から発せられる気体は硫化水素を含んでいる可能性がある。
- 魚の干物はにおい成分が複数含まれている，もしくは最も影響の大きい成分が今回検知対象としたガス以外である可能性がある。
- 除光液（アセトン）は本研究で作製したセンサへの応答が小さく，検知対象ガスが含まれていない可能性が高いことが分かる。

魚の干物から発せられる生臭さの主成分はトリメチルアミンやアンモニアと言われている [10]。本センサを用いたガス種の特定は現段階では不可能であるが，少なくとも検知対象ガスを含む

表 3 判別対象物およびにおい成分

魚の干物	トリメチルアミン アンモニア
ゆで卵	硫化水素
除光液	アセトン

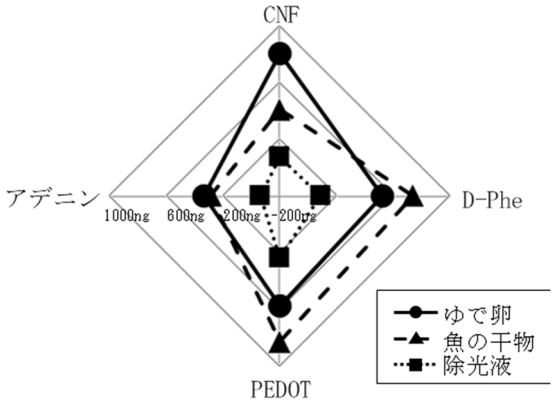


図 12 におい判別試験

魚のにおいに対して大きい応答を示すことを確認することができた。今後，サンプルデータの蓄積と AI による判定を組み合わせることで検知対象ガスを含むにおいを放つモノの識別が可能となる可能性が高い。本研究の検知対象ガスの場合，台所の異臭や老人ホームでの排泄検出等に応用ができると考えられる。また，検知対象ガス以外の気体にも応答を示すことが示唆されたため，やはりサンプルデータを拡充することで適用可能なシーンも増えていくと考えられる。

4 結　　言

サービスロボットへの適用を目標とした，生活環境中の悪臭（トリメチルアミン，アンモニア，メタンチオール，硫化水素）を検出可能なセンサを開発し，以下の結果を得た。

1) 検知対象ガスへの応答を示す感応膜を検討し，本研究では CNF，PEDOT:PSS，D-フェニルアラニン，アデニンの 4 種類が適切である結果を得た。また，CNF へ他の材料を担持させることで均一な成膜が可能であることを見出した。
2) 感応膜の重量変化を測定する振動子を検討

し, MEMS 技術を用いた小型化が容易な水晶発振型振動子を開発した。

3) 感応膜と共振子を組み合わせたにおいセンサを開発し, 検知対象ガスへの応答パターンを作成した。
4) 実環境試験にて, 検知対象ガスを含む気体への良好な応答を得たため, データを蓄積すればにおいの識別が可能となる見込みを得た。

文　献

1) NEDO ロボット白書 2014
2) 長谷佳明 :「サービスロボット」の最新動向, 第 233 回 NRI メディアフォーラム(2016)
3) NEDO 技術戦略研究センターレポート TSC Foresight vol.7(2015)
4) 南戸秀仁 : 匂いセンサシステムの開発と応用, 第 7 回学術大会（金沢）
5) 南皓輔, 芝弘太, Thien Huynh Ngo, 今村岳, 吉川元起 : ナノメカニカルセンサ (MSS/AMA)によるにおい/質量分析, J.Mass Spectrom. Soc. Jpn Vol. 66, No1, 2018
6) 杉本岩雄, 中村雅之, 桑野博喜, 島田礼子 : プラズマ有機薄膜による環境ガスセンシング, T.IEE Japan Vol.118, No2, 1998
7) 喜多純一 : 日本調理科学会誌, Vol 48, No. 5, 367~373, 2015
8) 瀬尾眞浩 : 水晶振動微量天秤用(QCM), 表面技術学会誌, Vol. 45, No. 10, 1994
9) 中村賢一, 中本高道, 森泉豊栄 : 水晶振動子ガスセンサ用発振回路の動作解析, T.IEE Japan Vol. 117, No. 5, 1997
10) 内山均, 江平重男, 小林宏, 清水亘 : 揮発性塩基, トリメチルアミン, ATP 関連化合物の魚類鮮度判定法としての測定意義, Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, Vol. 36, No. 2, 1970

中小企業に適したロボット導入の手引の開発

阿部　泰*

Development of Guidelines for Adopting Robot Systems to Small and Medium-sized Enterprises

Yutaka ABE

1　緒　　言

中小企業のロボットの導入が進まない要因の一つに，要求仕様を検討することができていないことが挙げられる[1)]。要求仕様とは，ユーザー(買い手)が「何をしたいのか」をはっきりさせたものであり，要求仕様をベンダー(売り手)に伝える文書にしたものが提案依頼書(RFP=Request for proposal)である。RFP には，導入の目的，必要な機能，導入に当たっての制約条件などが記載される。

このような問題認識が広まるにつれ，近年，製造工場における産業用ロボット導入のための RFP 事例が公開されるようになってきた[2-3)]。また，要求仕様を検討する手法を要約した導入ガイドラインや入門書が刊行されている[4-6)]。一方で，従来の手法は，ロボット導入が進んでいる大企業の手法を基礎に成り立っているため，人的資源と財務資源が不足しがちな中小企業にとっては適用が難しい場面も多い。そこで本研究では，成長率が際立って高いわけではない，受託加工中心で自社製品を持たないような地元の中小の製造業が，要求仕様検討の手法を体系的にまとめることを目的とする。

2　研究方法

2.1　ロボット導入ガイドラインの概要

中部経済産業局が取りまとめたロボット導入ガイドライン（以下ガイドライン）に示された手順を**図 1** に示す。このガイドラインは，産業用ロボット活用のノウハウを身につけたい意欲的な企業を対象にしているものである。このガイドラインの執筆者は，導入レイアウト図の作成の部など，ロボット導入の未経験者には難しい検討作業を要求していると自認しており，ベンダーに相談しながらロボット導入検討を進めることを推奨している。

しかし，近年の自動化需要の高まりにより，ベンダーは多忙となり漠然としたユーザーの相談にのることは少なくなっている[7)]。そのため，ユーザー自身が自力で一定程度構想を整理したうえでベンダーと相談していくことが求められる状況にある。

2.2　研究の方法

本研究は，企業と共同でガイドラインに沿ってロボット導入を検討し、検討が難しかったり，結果が不適切だったりする場面に遭遇した場合，それを改善する方法を考案して再検討し，容易かつ適切に検討できるか検証する方法で進めた。

ロボット導入の検討は，関心を示した山形県内企業 11 社と共同で行った。内訳は，RFP 作成支援公募に対する応募のあった企業が 3 社，ロボット導入検討の手法を体験する研修に応募のあった企業が 3 社，その他，現場を視察して導入可能性に関するレポートを提供した企業が 5 社である。業種別内訳は，素材型産業が 6 社，加工組立型産業が 3 社，生活関連産業型が 2 社である。このうち，多関節ロボットが全く導入されたことが

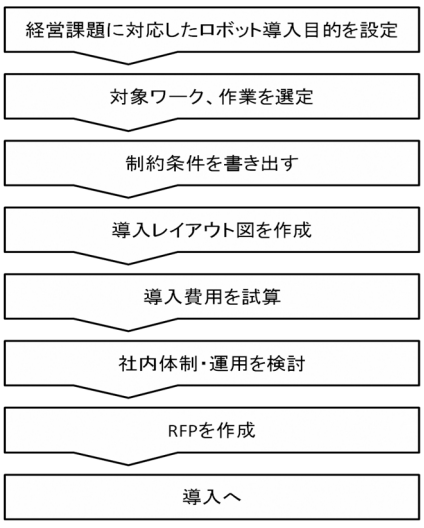


図 1 ロボット導入ガイドライン

【平成 29 年度～令和元年度 ロボット応用システム開発事業】

*産業労働部 工業戦略技術振興課

ないのは，素材型産業の 2 社と生活関連産業型の 1 社の合計 3 社のみである。一方で，ロボット導入経験のある企業でも，今とは異なる用途にロボットを適用できる可能性，新築工場ではなく既設工場にロボットを適用できる可能性を知りたいという要望があり，このような要望をきっかけに共同でロボット導入検討を行った。

本研究では，これらの企業と共同で検討する過程で特定された共通の課題を対象に，通常の検討手法(大企業向けの検討手法)ではうまく進まないところを見つけ，中小企業向けの手法に改良することを試みた。

3　事例分析

3.1　対象ワークの選定に関して

ガイドラインでは，対象ワーク，生産数量，タクトタイム，品種替えの頻度などを書き出して整理することとなっている。一般的には，自動化の対象とする製品を生産数量の多い方から選び，その製品の専用製造ラインを作って，各工程に自動化ロボットを導入できるところがあれば導入するという手法がとられる。このような手法をとる場合は，需要に合わせて対象ワークと生産数量（生産能力）が決定されると，品種替えによるダウンタイムを控除してタクトタイムを設定することができる。

ところが，多品種少量生産であり，専用製造ラインを作るほどのまとまった受注がない企業の場合は投資対効果が小さくなってしまうため，ガイドラインどおりに検討をすすめることは難しいことがわかった。また，多品種少量生産でありながらも，製品の数の多い順に専用装置を製作して自動化を進めている企業では，専用装置の数が増えるにつれて物流の経路が複雑化し，生産ラインのどこを改善したらよいか見通せなくなっている状況が見受けられた。

そこで，同じ物流経路をたどる材料でグループを作り，工程をなるべく連結する手法を使って要求仕様検討を進めた。A 社の検討過程では，複数の材料が出入りする工程を分割し，材料ごとに自動化された生産ラインを構築する案をシミュレーションした。その結果，工程間の運搬や仕分けを行っていた工数を削減できたことによりライン全体で導入効果が得られた。また，B 社の検討過程では，製品の載せ替えをロボット化したいという要望があった。物流経路が分岐しない工程間は連結するという原則に沿って再検討し，レイアウト変更で改善する案をシミュレーションしたところ，ロボット化よりも小さい投資で問題なく生産ができることを確認できた。

3.2　対象作業の選定に関して

ガイドラインでは対象作業の選定について述べてはいない。一般的にはライン生産の一連の作業を単位作業に分解し，自動化しない場合の工数を自動化した場合の金額で割った値が大きい順に，予算が許す限りロボットの活用も含めて自動化を図る手法がとられる。中小企業の場合も，この手法に則って進めることが望ましい。

ところが，設計技術者がいない中小企業の場合は，自動化した場合の金額を想定できないことに留意する必要がある。自動化した場合の金額に大きく影響する要素として，作業にカン・コツが求められることが挙げられる。特に，主作業（仕事の直接的な目的である材料，部品の変形，変質など，対象の変化そのものに直接的に寄与している作業）が手作業の場合には，慎重に要求仕様検討を進める必要がある。誰でも同じように加工できる製造技術が確立していない場合，製造技術開発を含めた自動化が必要となるためリスクが大きく，自動化した場合の金額も大きくなる。このような理由により，従来の一般的な検討手法が実際は適用できない問題があることが明らかとなった。

そこで，作業のカン・コツを明らかにするような作業分析を行い，自動化に必要な金額を左右するリスクを洗い出す手法を使って要求仕様検討を進めた。作業のカン・コツを明らかにするために，聞き取りシートを活用して作業において統一されていない物事（標準化されていない物事）を列挙し，列挙された物事を分類して対策する手法を使って要求仕様検討を進めた。聞き取りシートには，作業台に置いてある物を起点に，治工具や設備の使い分け，作業順序の変更などの典型的な不統一を聞き出すための質問を例示している。書き出された不統一な物事は，顧客要求に答えるために統一せずに幅広く対応すべきものと，社内の都合で統一していないだけなので統一できないか検討すべきものに分け，運用の工夫や情報技術の活用に

より統一する手立てを考える。

C 社の検討過程では，工具の種類が多すぎてすべてを自動化することが難しいために工具を減らすような加工技術を開発する取り組みを始めた。また，作業者ごとに治工具を何回転させるのかなどの作業の詳細が異なっているにもかかわらず製品の品質に影響がなかったことから，治工具を回転させる作業をロボット化するにあたって要求仕様を減らすことにつながった。

3.3 導入レイアウト図の作成に関して

ガイドラインでは，ロボットを配置し，前後の設備を配置し直し，その上で必要な機器の選定を行いレイアウトをより具体的に肉付けして導入レイアウト図を作成することを推奨している。一般的には，導入レイアウト図の作成は，過去の類似の案件を流用して作成される。例えば，加工装置のワークの交換作業であれば，導入事例が多いために標準的な設計案が確立しており，この設計案をもとに案件に応じて変更を加えていき，CAD や模造紙上でロボットや周辺装置を配置する。

ところが，設計技術者のいない中小企業にとってこの検討作業を自力で進めることは難しく，ガイドラインにおいてもロボットメーカーのショールームなどで相談することを推奨している。そこで，中小企業の要求仕様検討では，詳細検討はベンダーに依頼することとし，自社は多関節ロボットらしい立体的な動きのイメージをより具体的に持つことに重点をおくこととして検討作業を進めた。具体的には，3D アニメーションを作成して，ロボットの動作スピード，腕が届く範囲について検証しながら導入レイアウトの具体的なイメージを作成した。

具体的にイメージを持たなければならないものの 1 つ目は無人運転時間である。夜間無人運転により生産数量を増やすことを目的とする場合は，ストッカーや消耗する工具の交換頻度の検討が必要になる。無人運転中に他の作業を並行することで労働生産性を高めることを目的とする場合は，他の作業のサイクルタイムの設定，他の作業を行う場所も含めたレイアウト検討が必要になる。

具体的イメージを持たなければならないものの 2 つ目は，設置スペース、特にストッカーのサイズである。周辺機器やストッカー，治工具などを配置したときに，ロボットの腕がそれらに届くようなレイアウトを作る必要がある。ロボットは立体的な屋台を組むことで省スペース化が可能なことが大きな特徴であるため，平面図ではなくコンピュータを使った立体的な検討が特に有効である。

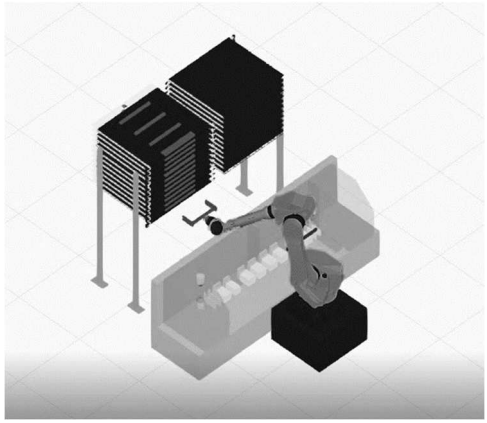


図 2 ストッカーのサイズを検討したアニメーションの例

E 社の事例においては，夜間無人運転をする場合にストッカーのサイズがどれくらいになるかを計算して，ロボットの腕がストッカーに届くかどうかをアニメーションにした(**図 2**)。アニメーションを活用したことで、現場の作業者から治工具の保全のサイクルに対する提言を引き出すことができたり、その後のベンダーとの打ち合わせが円滑になったりするメリットが得られた。

3.4 導入費用の試算に関して

ガイドラインでは，導入レイアウト図をもとにロボットや周辺機器の価格調査と，システムインテグレーション費用(設計，組立，設置，調整など)の積算をすることを推奨している。一般的には，複数のベンダーを競争させて発注先を決める前に，社内でも価格を積算して比較できるようにしておく手法がとられる。

しかし，設計技術者のいない中小企業においては費用の見積もりは難しく，ベンダーの提示する価格が適正なのか判断することができない。事例企業のうち，設計技術者が主担当を務めなかった 8 社のほとんどで，ベンダーとのコミュニケーションに困難を感じる状況が生じているのを確認している。

このような状況に対しては，ベンダーがよく質問する項目を一覧にした打ち合わせシートを準備し，打ち合わせに臨む手法を取り入れた(**表 1**)。この手法は，導入費用の試算を円滑にするだけで

表 1 打ち合わせシートの記載項目

概要	案件名、目的、導入スケジュール、想定予算、設置場所
対象ワーク	ワークの種類、形状、特性
作業	前後の工程、搬入搬出時の状態、作業手順、作業のうち自動化したいもの、サイクルタイム、無人運転時間、稼働時間
特記	設置環境、製造品質、カン・コツ

なく，ベンダーから上手に情報を引き出して導入レイアウト図を洗練することにも活用できる。

G 社の事例では，当初、何も準備せずにベンダーを招いて作業を見せて半日の打ち合わせをして自動化案の提案を求めたものの、その後ベンダーからはロボットアームの定価ベースの見積もりのみが提示され，実際の導入費用とはかけ離れた金額が提示されるという状況が発生していた。打ち合わせシートを用意して別のベンダーを招いて打ち合わせをしたところ、1 時間の打ち合わせで概要を伝えることができ、ベンダーからコストダウンのための提案を引き出すことができた。

H 社の事例では，打ち合わせシートの副次的な効果が得られた。従来は、生産技術がラインリーダーからこのワークのこの加工を自動化したいという漠然とした要望を受けて，イメージ図を提案するものの、ラインリーダーからはイメージが違うと言われることもあった。この状況で打ち合わせシートを活用したところ、ラインリーダーが様式に記入しながら必要なことを考えてから生産技術に相談するために，円滑なコミュニケーションが実現できた。

4 結　　言

中小企業の事情を反映したロボット導入の手引きを作成した。装置の設計製作ができる技術者を内部に抱えることが難しい中小企業は，以下に留意することでロボット導入に成功する可能性が高まる。

1) 対象ワークを選定するときには，製造数の多い特定製品を選ぶのではなく，物流の経路が同じであるグループにまとめた上で製造数の多いグループに着目する。その上で，前後工程との運搬やパレットへの並べ替えの無駄を削減する案を含め自動化の可能性を議論することが望ましい。

2) 対象作業を選定するときには，主作業が手作業であるか，手作業の作業時間に変動があるか，作業に使用する治工具の数が多いか，作業を進めるにあたって周囲状況の確認と作業の完成の確認を具体的に何で行っているか，に着目して分析することが望ましい。

3) 導入レイアウトを検討するときには，3D アニメーションを活用して無人運転時間とストッカーのサイズのトレードオフについて議論することが望ましい。

4) 導入費用を試算するときには，導入目的・導入時期・予算上限・ワークの種類と形状・作業を始める前後のワークの状態・作業の手順・作業のうち自動化したい部分・サイクルタイムと無人運転時間・作業の注意点を整理したうえで，ベンダーを現場に招いて議論することが望ましい。

文　　献

1) 近畿経済産業局『産業用ロボットの新分野展開における導入阻害要因調査』(2016)
2) Mike Wilson“Implementation of Robot Systems”(2014)
3) 特定 NPO 日本システム監査人協会東北支部『ロボットシステム導入に向けたシステム監査のためのＲＦＰ見本』(2020)
4) 中部経済産業局『ロボット導入ガイドライン』(2017)
5) 近畿経済産業局『中小企業のためのロボット導入促進ガイドブック』(2017)
6) 宮川孝文『工場自動化のすすめ』(2017)
7) 関東経済産業局『ロボット SIer 業界の人材確保に関する調査』(2018)

人工知能を応用した認識・予測手法の確立

叶内剛広*　　髙橋義行*　　今野俊介**

Establishment of recognition / prediction method applying artificial intelligence

Takehiro KANOUCHI　　Yoshiyuki TAKAHASHI　　Shunsuke KONNO

1　緒　　言

近年，人工知能（AI : Artificial Intelligence）の発展は目覚ましく，従来不可能であった認識や予測への応用が進められている。しかし，AI の導入や運用方法には不確定要素が多く，生産現場への導入の課題となっている。本研究では，次に示すような具体的な課題について AI を適用して導入可能性を評価した。

カメラ画像データを対象とする例としては，生産工程の自動化における目視検査の機械化についてである。ロボットなどで組立工程を自動化できても検査工程を人手で行ってしまうと投資効果が減少してしまう。例えば，電子基板の組立工程におけるはんだ外観の検査は人の感性によるところが大きく，これまでのルールベースの画像処理では安定した検査の実現が困難であった。また，音響データを対象とした例として，従来，検査員が行っていた異音検査の自動化を評価した。音響データは一般に定量化が困難なため，慣例的に人の感応検査に依存している。しかし，検査レベルのバラツキや検査員育成の困難さなどから自動化が求められていた。こうした背景を受けて，音響データの定量化と AI による良否判定の評価を行い，検査の自動化を検討した。

また，生産現場での図面管理の場合，作成される製品図面は，受注情報，見積り，部材の発注情報，生産情報など，非常に多くの生産管理情報と関連している。具体的な事例としては，同じ内容の受注に対して過去の見積りを踏まえた見積りを出せることは企業として非常に重要なことで社会的な信頼にもつながる。しかし，作成された図面はそもそも図形情報であることから取り扱いが困難であり，これまでこうした関連情報との連携は非常に困難であった。例えば似た図面をグループ化することでも通常は非常に困難である。このため，本研究では，図面を何等かの手段を使って分類して数値化し，機械学習を用いて類似図面検索の可能性を評価する。

こうした具体的な評価を踏まえて，AI を活用するために必要な準備や運用方法を確立する。

2　実験方法

2.1　画像データによる良否判定モデル

従来，目視検査で実施していたショートパターンのはんだ外観検査について，AI により検査を実現できるか評価するため、AI による良否判定システムを構築し、はんだ部分の撮影画像の目視検査結果を教師データとした。良品画像と 6 種類の不良パターンの画像をそれぞれ 20 枚程度用意し，これを学習データとした。

予め GPU（Graphic Processor Unit）を搭載した PC を用いてはんだの良否サンプルの画像を用いてディープニューラルネットワークの生成を行った。生成した学習モデルを用いた判定処理系を RaspberryPi マイコン上の Python 環境に実装し，安価なシステムとして構築した。尚，モデル生成には物体検出ライブラリ YoLo[1)]を用いて，転移学習を行った。

2.2 音響データによる異常検知モデル

従来，熟練の検査員が行っていた装置稼働音の異音検査について，検査員の違い，環境音などの変化による判定結果のばらつきや検査員の確保・教育の困難さが課題となっていた。そこで，これらの課題を解消するためにマイコンを利用した異音判定システムを構築した。システム概観を**図 1** に示す。

当システムは工場内での使用が想定され，音源サンプリング時には様々な環境ノイズの混入

＊庄内試験場 機電技術部　＊＊連携支援部 生産性向上科

が予想される。その環境ノイズは大きさ，周波数も様々なものが考えられることから，定型的処理では除去が困難である。そのため，製品稼働音を周波数領域に変換した後，独立成分分析（ICA：Independent Component Analysis）[3]や非負値行列因子分解（NMF：Non-negative Matrix Factorization）[4]を用いた。これにより，製品稼動時の各瞬間において，製品稼動音は 10 種類の音の重ねあわせとして分析する。製品稼動音以外の音については，この表現にほとんど寄与しないことから，環境ノイズを軽減・除去する効果が期待される。こうして得られる 10 個の数値（10 次元ベクトル）を製品の特徴量とした 。特徴ベクトルの可視化ソフトウェアを**図 2** に示す。特徴量空間において良品は，**図 3** の緑色の分布に見られるように比較的局所的に分布することから，統計的手法である MT 法[5]で判定処理を行うこととした。これにより正常・異常の判定を行い，その判定精度の評価を行った。

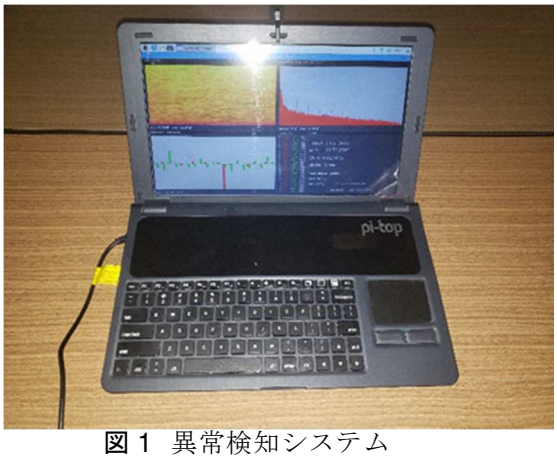


図 1 異常検知システム

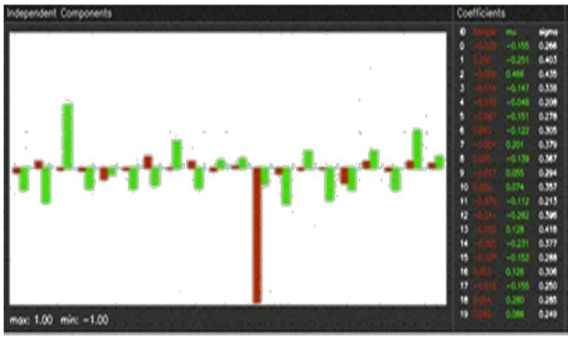


図 2 特徴量ベクトルの例

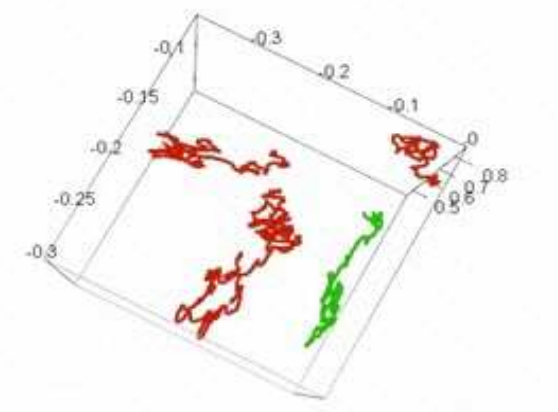


図 3 特徴ベクトル空間

2.3 図形データによる検索モデル

図面検索手法として，図面における図形データを検索する実験方法として，個別図形を抽出してそれを要素として解析することを想定した。これにより，図面全体や画像処理によって抽出した部分図形（要素図形）を利用して最終的に類似図面を探索する。個別図形の分類方法としては k-means 法によるクラスタリングを正解モデルとすることとして，機械学習のモデルである LeNet[2]による類似度分類を評価した。

また，類似図面検索の評価として，この要素図形を入力として図面を探索することを想定して，元の図面を k-means 法で分類したものを正解モデルとして，要素図形を構成要素として図面の分類予測を行い，その精度を評価した。実験では web で入手した 100 枚のライセンスフリーの図面を対象に類似図面検索モデルを構築し，判定精度の評価を行った。

3 検証および考察

3.1 画像データによる良否判定モデル

マイコンベースではんだ画像判定システムを構築した。画像判定ソフトウェアを**図 4** に示す。この判定システムを用いて，はんだ外観検査工程における判定評価を実施した。はんだ外観は

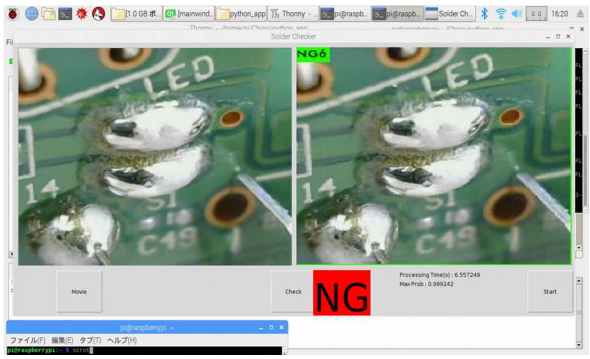


図 4 画像判定ソフトウェア

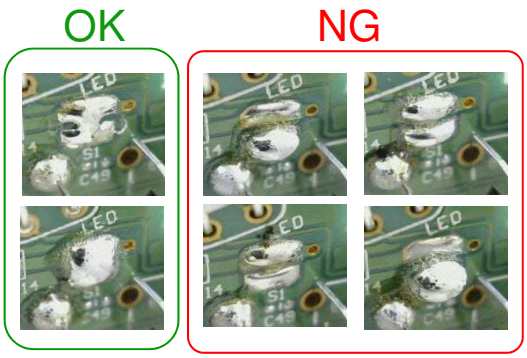


図 5　良否判定システムによる判定例

様々な視点での評価が必要なことから，カメラ 3 台を利用し，それぞれの視点での良品画像と不良品画像を採取して学習モデルを構築し，これを画像判定システムに実装して良否判定の評価を行った。この結果，約 100 枚の評価用基板を用いて判定精度を確認したところ，3 方向のカメラ画像を用いることでほぼ間違いなく安定して検査できる性能が得られた。判定結果の例を**図 5** に示す。引き続き，ロボットによる組立工程の設計と平行して，生産現場に導入できるか性能検証を行っている。

3.2 音響データによる異常検知モデル

あらかじめ良否が判明している 5 製品×10 台の計 50 種の音源データを用いて判定精度の評価を実施した。音源データは，システムの使用を想定する工程で実作業中にサンプリングされたデータであり，周辺の機械の動作音などの環境ノイズを含むものである。

このデータを用いて，以下に示す手順で判定を実施した。

① 国内工場において 44.1kHz でサンプリングした良品･不良品の音源データ計 3,919 サンプルそれぞれを離散 Fourier 変換（DFT：Discrete Fourier Transform）する
② 各サンプル各時刻の Fourier 係数を 1 単位として，ICA または NMF を行い，基底と係数を得る
③ 良品の係数のみを用いて相関行列の一般化逆行列を計算する
④ 海外工場の音源データも，DFT，ICA または NMF を実施し係数を得る
⑤ 音源データごとにマハラノビス汎距離を算出する
⑥ 閾値に応じて，良否の判定を行う

判定結果は，正常群 25 個のデータでは異常判定はされず正解率 100%となった。一方，異常群 25 個のデータでは，24 台を異常と判定し，正解率は 96%であった。

特徴空間上で正常群と異常群が線形分離可能であったことを反映して，良好な結果となった。なお，誤判定となった 1 個についても，正常群との隔たりを表す指標であるマハラノビス汎距離が，設定した閾値 6.12 を僅かに超えただけであり，実際の音源データの分布に合わせた調整を行えば，正しく判定できると考えられる。また，環境ノイズの有無でマハラノビス汎距離が大きく変化するといった挙動もみられなかったことから，意図したとおり，ICA または NMF が環境ノイズを除去・軽減する効果をもたらしたと考えられる。

3.3 図形データによる検索モデル

実際の処理は，入手した図面に対して，要素分解の処理を行った。これは，図面画像に対して，次の手順で画像処理を行った。

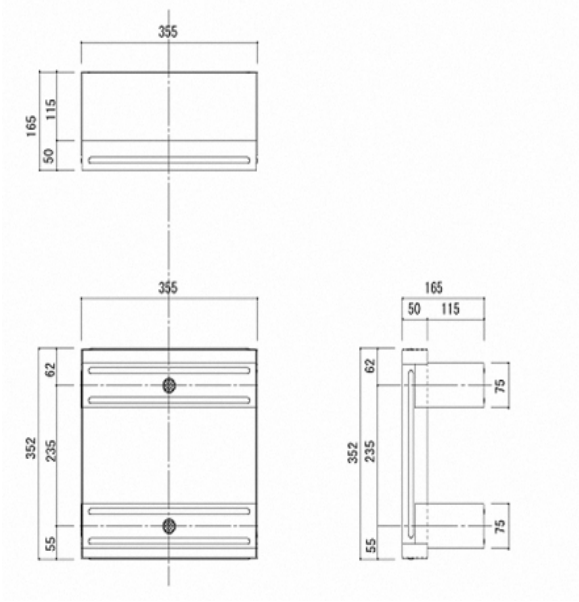
① 枠線除去のための切り出し処理
② 第一ラベリングによる背景除去
③ 線膨張による線分マスク作成
④ 図形のマスク処理による線分除去
⑤ 第二ラベリングによる要素図形種抽出
⑥ 膨張処理による図形復元
⑦ 復元した図形をラベリング毎に個別画像化
⑧ 個別画像を 128×128pixel にリサイズして保存

要素図形抽出例を**図 6** に示す。元画像としての図面（**図 6(a)**）と⑥段階の処理結果画像（図 6(b)）である。

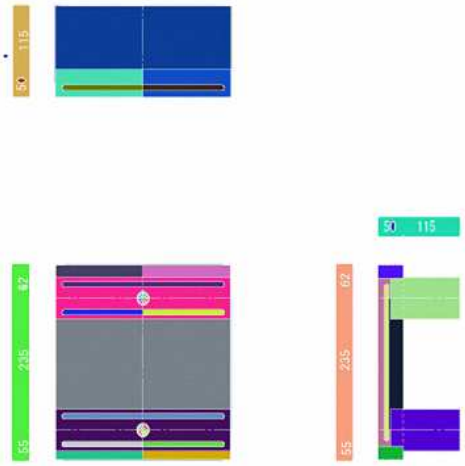
100 枚の図面から画像処理によって要素図形抽出処理を実施したところ，1371 枚の要素図形が抽出された。平均すると図面 1 枚当たり約 14 個前後の要素図形を抽出したこととなる。

実験では，仮に k-means 法による分類を正解モデルとして LeNet[2]で機械学習を行い，分類精度の評価を実施した。この結果，100 回の学習で約 95%の分類精度が得られた。要素図形の分類結果を**図 7** に示す。更に学習回数を増やすと今回のネットワークでは過学習傾向となり分類精度が低下することが確認された。

こうして要素図形は 20 種類の形状に分類され，それぞれの分類番号が各要素図形のインデ



(a)



(b)

図 6　要素図形抽出例

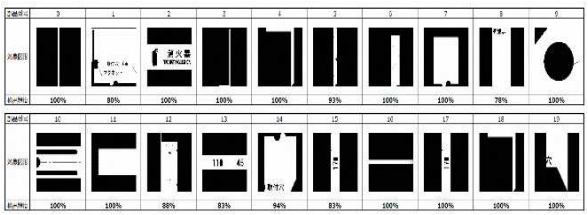


図 7　要素図形分類結果

ックスとなり，元の図面で考えると 20 の要素図形インデックスの要素数（構成数）が図面の構成要素と言える。

このことから，更に，元の図面を縮小して k-means 法で 20 分類し，これを仮に正解モデルとして，要素図形による構成要素数 LeNet による機械学習で分類を行い，この 20 分類への推定精度を評価した。この結果，部品図同様に 100 回の学習で約 88%の分類精度が得られた。こちらも学習回数を増やすと過学習傾向が認められた。

4　結　　言

生産現場におけるデータへの AI 技術活用について研究を行った結果，以下の知見が得られた。

1) 目視による外観検査への適用が可能であることを確認した。
2) 動作音による製品の良否判定検査への適用が可能であることを確認した。
3) 図面から類似図面を検索しうることを確認した。
4) データの前処理手法が機械学習に及ぼす影響について確認を行った。

文　　献

1) Joseph Chet Redmon, "YOLO: Real-Time Object Detection", https://pjreddie.com/darknet/yolo/
2) Yangqing Jia, "Deep learning framework", http://caffe.berkeleyvision.org/
3) Aapo Hyvärinen, "The FastICA package for MATLAB", http://research.ics.aalto.fi/ica/fastica/
4) D.D. Lee and H.S. Seung,“Learning the parts of objects withnonnegative matrix factorization,”Nature, vol. 401, pp. 788-791, 1999.
5) 立林和夫,「入門タグチメソッド」,日科技連,2004

TSV 構造配線の MEMS ロゴスキーコイル型電流センサ

渡部善幸　加藤睦人　矢作徹　村山裕紀
吉田賢一*　草苅智*　指田和之*　池田克弥*　池田康亮*　竹森俊之*　山崎武志*　佐藤真*

MEMS Rogowski Coil Current Sensor with TSV Structural Wiring

Yoshiyuki WATANABE　Mutsuto KATO　Toru YAHAGI　Hiroki MURAYAMA
Kenichi YOSHIDA*　Satoshi KUSAKARI*　Kazuyuki SASHIDA*　Katsuya IKEDA*
Kosuke IKEDA*　Toshiyuki TAKEMORI*　Takeshi YAMAZAKI*　Makoto SATO*

1　緒　　言

パワーコンディショナのインバータ等に使われているパワーSi-MOSFET，Si-IGBT などのパワーデバイスは，世界中の高温，多湿，塩害雰囲気などの過酷な環境で使われている。さらに数十年の長期にわたり安定動作が求められるが，デバイスおよび周辺部品の劣化などによる過電流により火災や漏電，感電等の事故，エネルギーロスが想定される。そこでわれわれは，IGBT など縦方向の電御制御を行うパワーデバイスにおいて，過電流をいち早く検知する TSV 構造の MEMS ロゴスキーコイルの開発に取り組んでいる[1~3]。

電流検出法としては，すでに実用化されている CT 型（カレントトランス）やホールセンサ型，ホール CT 型（ホールセンサ＋CT），フラックスゲート型，シャント抵抗型などがあるが[4~6]，本研究ではパワーデバイスの過大電流検出が必要であること，温度特性が小さく線形的に検出できること，および将来的な半導体デバイスとの集積化を考慮しロゴスキーコイル型とした。ロゴスキーコイル型電流センサは，ハンディ型電流センサなどが実用化されている他，東京スカイツリーの落雷研究などにも使われている。その特性は詳細に報告されており[7]~[11]，小型化が進めば半導体デバイスの多数箇所，極小部での検出が期待できる。

筆者らのこれまでの検討の結果，シリコン基板に TSV で形成したロゴスキーコイル部と，通電部を物理的に分離したデバイスでは安定した電流検知特性が得られることを実証してきた。一方で，基板のシリコン自体を導体として通電する場合，シリコン酸化膜で絶縁されたロゴスキーコイルであっても，容量性カップリングの影響で検出信号が不安定になり電流検出できない課題があった。

そこで，本研究ではシリコン基板の比抵抗が 0.001，10，100，1,000 Ω cm，および＞10,000 Ω cm とし，シリコンに形成した多数の TSV を電流端子として通電したときの MEMS ロゴスキーコイルによる電流検知特性を調べた。

2　ロゴスキーコイルの構造と動作原理

デバイスの構造および動作原理を Fig. 1 に示す。デバイス中央部に多数の TSV を形成した通電部（TSV 電流端子）を形成し，上面から下面

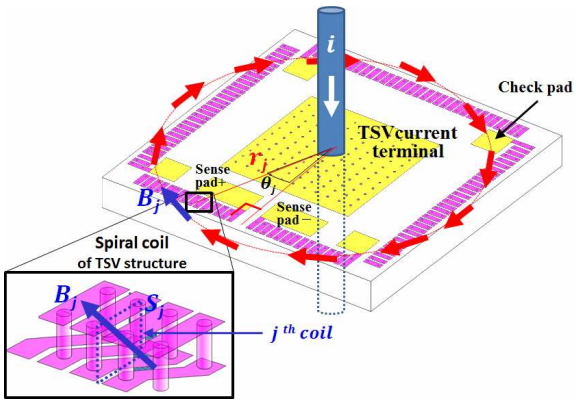


Fig. 1.　MEMS Rogowski coil.structure and principle of current detection

【平成 30 年度～令和元年度　山形県ものづくり企業技術開発支援共同研究事業】
＊新電元工業株式会社

に通電できる構造としてある。パワーデバイスの過電流検知では，TSV 電流端子上にパワーデバイスを固定する方法，および別箇所に配置したパワーデバイスの端子と TSV 電流端子を接続する方法を想定している。

この TSV 電流端子を取り囲むようにデバイスエッジに沿って上面配線－TSV 内配線－下面配線と旋回する構造のロゴスキーコイルにより TSV 電流端子上下に流れる電流が検知可能である。

デバイス中央部に電流 i が流れたとき，中心から距離 r_j にある j 番目のコイル（j：1～137）を貫く磁束密度がコイル内で一定であると仮定すると，コイル中心から接線方向に発生する磁束密度 B_j と j 番目のコイルに発生する誘導起電力 V_j は，ビオ・サバールの法則，およびファラデーの法則で決定される [12~14]。

したがって，ロゴスキーコイル全体に発生する起電力は，すべてのコイル起電力の総和として以下になる [1),12~14)]。

$$V=\sum_j V_j=\frac{d}{dt}\left[\sum_j B_j S_j \cos\theta_j\right]=\frac{di}{dt}\left[\mu_{Si}\left(\sum_j \frac{S_j\cos\theta_j}{2\pi r_j}\right)\right] \quad \cdots\cdots (1)$$

ただし，

V_j：j 番目のコイルに生じる起電力

B_j：コイル中心から接線方向に発生する磁束密度

S_j：j 番目のコイルが囲む面積

θ_j：j 番目のコイル面と，電流からコイル面の中心を結んだ直線（r_j）とがなす角度

i：デバイス中央部の導線を流れる電流

μ_{Si}：シリコンの透磁率

r_j：導線から j 番目のコイルまでの距離

3　デバイスの作製

作製プロセスを Fig. 2 に示す。

1.　TSV 形成用の DRIE エッチングマスク（Al, 0.1μm 厚）を形成。

2.　Al マスクを用いた DRIE により厚さ 300μm の Si を貫通エッチング。

（上面にΦ100μm の Al 開口を形成し DRIE。DRIE 貫通後に下面全面形成した Al でエッチストップ）

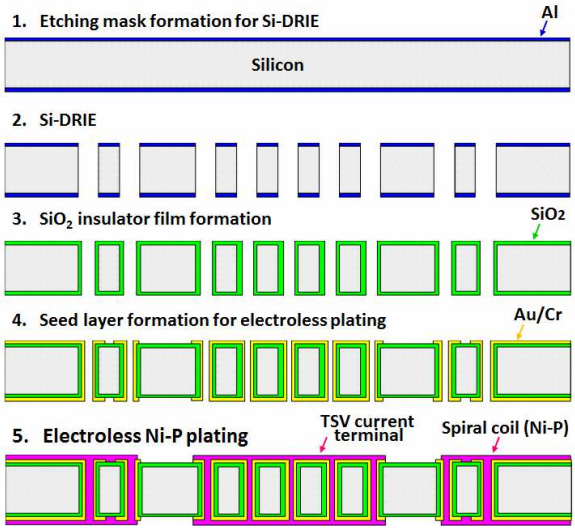


Fig. 2.　Fabrication procedure of the device.

3.　熱酸化により表面および貫通 via 側壁表面にシリコン酸化膜 1μm 厚を形成。

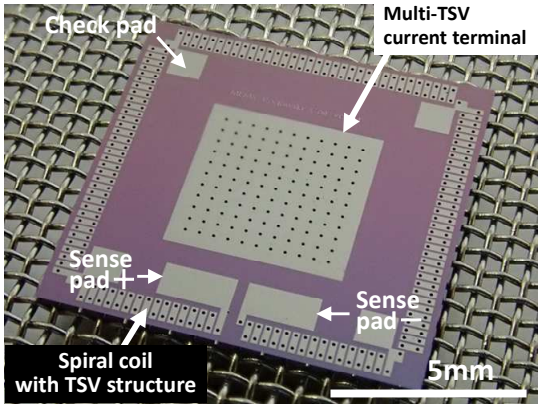
4.　無電解 Ni-P めっき用の下地層（Au/Cr）をスパッタ形成し，コイル形状にエッチング。

（ウェハ裏面に仮止めシートを固定し，レジストスピンコート，Au，Cr エッチングによりコイルを形成）

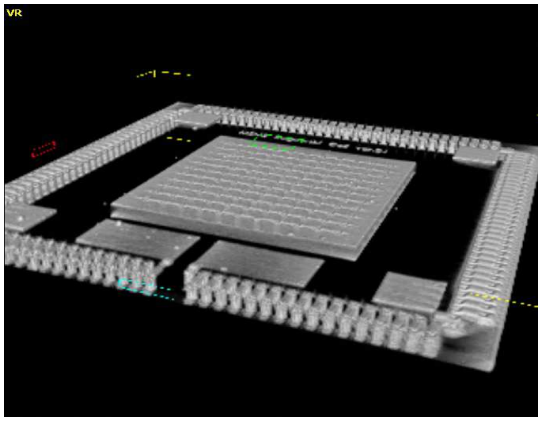
5.　塩化パラジウム，塩酸の混合液に浸漬しコイルパタンの下地層表面に触媒付与を行う。塩化ニッケルベースの無電解 Ni-P めっき液を用いコイルパタン上に選択的に無電解 Ni-P めっきを形成。

Φ2 インチの Si ウェハに 12 チップ配置し，ブレードダイシングによりチップ分割した。作製した MEMS ロゴスキーコイルを Fig. 3 (a) に示す。デバイス外形は 10×10×0.3mm^3 で，Φ100μm×深さ 300μm の TSV で形成された 137 ターンの旋回コイル，および中央部に形成されたマルチ TSV 構造の電流端子によりロゴスキーコイルが構成されている。無電解 Ni-P めっきは 5μm の厚さで，P（りん）は 4.6wt.%だった。Φ100μm の via 側壁におよそ 5μm 形成されており，via は埋まっていない。

デバイス全体の X 線 CT 像を Fig. 3 (b) に示す。TSV 電流端子，および TSV 構造旋回コイルは，Φ100μm，深さ 300μm の via で構成されており，via 側壁に沿って Ni-P めっきが断線することなく均一に形成されてあることを確認した。



(a) Optical photo



(b) Cross section (X-ray CT)

Fig. 3. Fabricated MEMS Rogowski coil.

4 特性評価

ロゴスキーコイルの等価回路を Fig. 4 に示す。ただし，

L_{RC}：旋回コイルのインダクタンス

R_{RC}：旋回コイルの配線抵抗

R_{TSV}：TSV 電流端子の表面から裏面までの抵抗

$R_{Si\text{-}sub}$：シリコン基板の抵抗

C_{SiO2}：シリコン酸化膜を誘電体とした配線とシリコン基板間の静電容量

電流検出のための旋回コイルは，L_{RC} と R_{RC} が直列接続され，C_{SiO2} を介してシリコン基板抵抗 $R_{Si\text{-}sub}$ と容量結合している。電流を通電するための TSV 電流端子は，低抵抗な R_{TSV} がほとんどで，旋回コイルと同様，C_{SiO2} を介してシリコン基板抵抗 $R_{Si\text{-}sub}$ と容量結合している構成と考えられる。

作製した MEMS ロゴスキーコイル（基板比抵抗＞10,000 Ω cm）のインピーダンス特性を

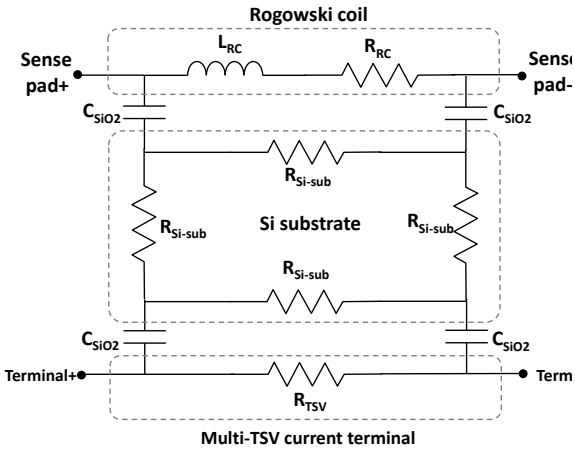


Fig. 4. Equivalent circuit of MEMS Rogowski coil.

Fig. 5 に示す。周波数 1kHz から 10MHz の帯域で，デバイス温度を室温（25℃），100℃，200℃の 3 条件で，インピーダンスおよび位相を調べた。これらは，ロゴスキーコイルが LR 直列回路とし，コイル抵抗 R が 82 Ω，インダクタンス L が 1.3μH としたときの計算値である。インピーダンスは，1kHz から 10MHz 程度までほぼフラットな特性で，温度の増加によりわずかな増加が見られる。位相は，1MHz 以上で変化が増加し，温度の増加に伴いわずかな減少が見られた。実測値と計算値がよく一致していることから，この帯域ではほぼ LR 直列回路と見なすことができることがわかった。

次に，基板比抵抗＞10,000 Ω cm と 10 Ω cm のデバイスについて，中央の TSV 電流端子と検出電極間のインピーダンスを測定した。結果を Fig.6 に示す。10kHz 付近では緩やかに右下がりの容量によるインピーダンス低下で，以降は基

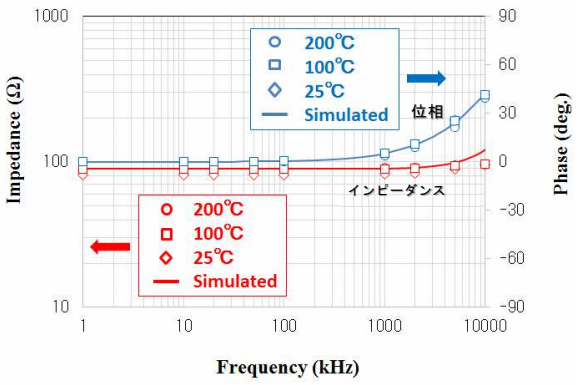


Fig. 5. Impedance characteristics of fabricated MEMS Rogowski coil.

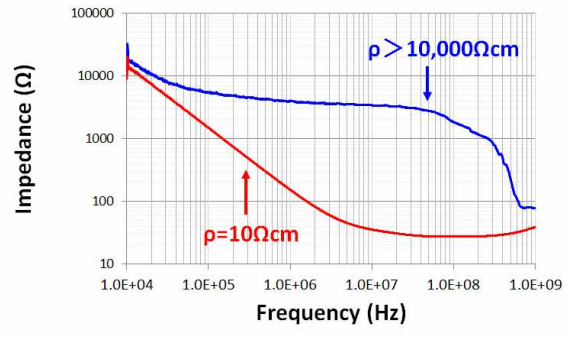


Fig. 6. Impedance characteristics between TSV current terminal and sense pad.

板比抵抗由来のフラットな特性が見られる。この結果から，TSV 電流端子と検出電極は低周波領域では高いインピーダンスで絶縁され，1MHz 以降は基板比抵抗により異なることがわかる。

次に電流検出特性を調べた。測定系を Fig. 7 に示す。検出回路基板に固定したロゴスキーコイル中央部の TSV 電流端子に，立ち上がり電流変化率 *di/dt*=20A/μs のパルス電流を印加し，市販の電流センサで電流をモニタしながら，ロゴスキーコイル電極間に生じる検出波形を調べた。このとき，シリコン基板はフローティングとした。MEMS ロゴスキーコイルに発生する誘導起電力は，リセット信号により積分コンデンサで放電させ，0V を基準としたパルス電流と同期した検出信号とした。リセット信号により上部主回路が閉じてロゴスキーコイルに電流を流し，同時に下部の検出回路のスイッチが開放となり増幅，積分を開始する。

比抵抗 10Ω cm の Si 基板を用いたデバイスについて，リセット信号 ON としたときの電流検知波形を Fig. 8 (a) に示す。青のロゴスキーコイルの検出信号は，参照電流センサとは無関係にふらつき不安定で，電流検出にはいたらなかった。また，比抵抗 10，100，1,000Ω cm の Si 基板を用いた場合も同様に，ロゴスキーコイルの検出信号が不安定で電流検出にいたらなかった。比抵抗＞10,000Ω cm の Si 基板を用いたデバイスの電流検知波形を Fig. 8 (b) に示す。リセット信号 ON の領域で，ロゴスキーコイルの波形は参照電流センサのフラットな特性と同様であり安定した電流検出ができることがわかった。

立ち上がりレート *di/dt*=10A/μs 一定の電流を，ピーク電流値 50A まで 5A 間隔の 10 条件の電流を印加したときの MEMS ロゴスキーコイルによる電流検出特性を調べた。Fig. 7 に示す検出回路の出力は，MEMS ロゴスキーコイルに発生する誘導起電力の時間積分 V_{int} であり，検出対象電流のピーク値 I_{peak} との関係は式 (2)

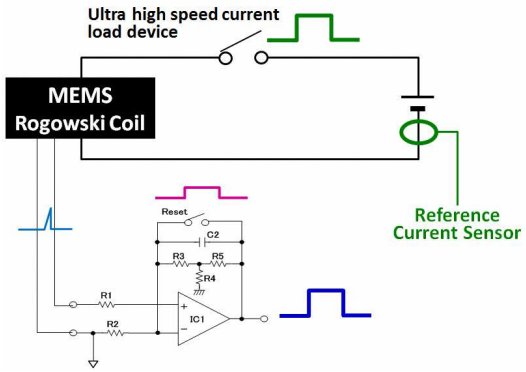
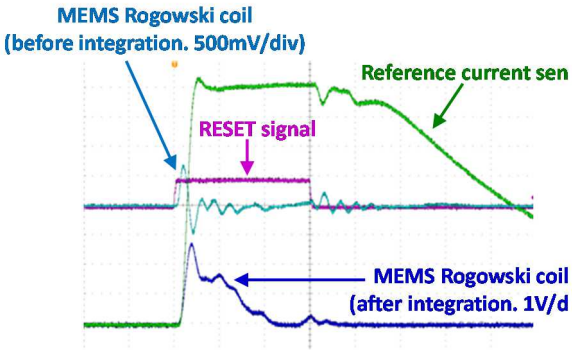
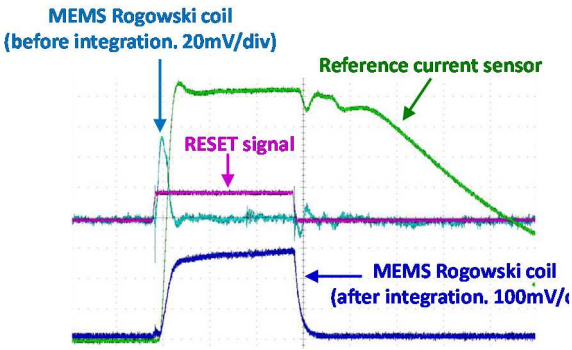


Fig. 7. Evaluation system of current detection.



(a) Current detection waveform of the device (Resistivity of Si-sub. : 10Ωcm)



(b) Current detection waveform of the device (Resistivity of Si-sub. : ＞10,000Ωcm)

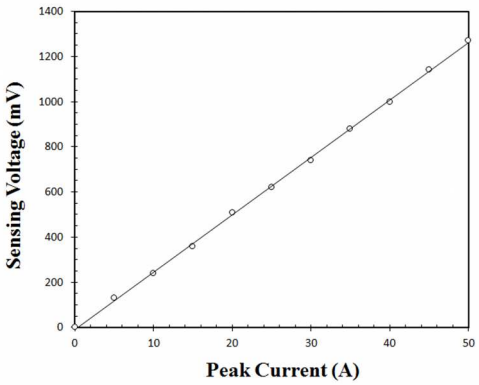
Fig. 8. Waveform of current detection signal.

$$V_{int} = \int V dt = I_{peak}\left[\mu_{Si}\left(\sum_j \frac{S_j cos\theta_j}{2\pi r_j}\right)\right] \quad \cdots\cdots (2)$$

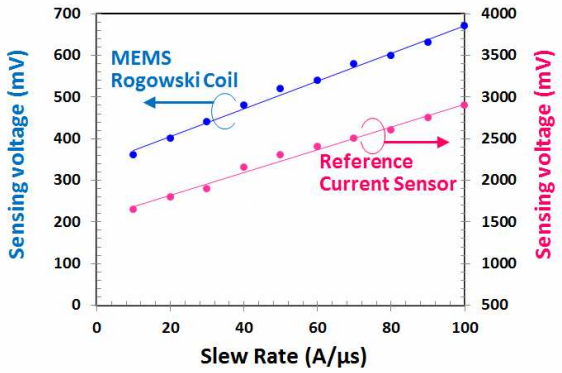
の比例関係となる。結果は Fig. 9(a)に示すとおり，良好な比例関係を示した。なお縦軸は V･s の次元を持つべきであるが，Fig. 7 の電流検出系式(2)に示すとおり，MEMS ロゴスキーコイル出力の時間積分は電圧出力であることから，縦軸の単位を電圧として表記した。

次に，電流の立ち上がりレート *di/dt* を 10A/μs から 100A/μs まで 10A/μs きざみで変化させた場合について，誘導起電力の時間積分の線形性を確認した。結果は Fig. 9 (b)に示す。ロゴスキーコイルの積分後検出信号は，参照電流センサの出力と同様の変化を示しており，電流の立ち上がりレート 100A/μs までの領域で良好な比例関係であることを確認した。

以上の電流検出特性の結果から，TSV 電流端子を用いたロゴスキーコイルを用いることにより，パワーデバイスの過電流検知が可能であることを示すことができた。



(a) Evaluated results of constant slew rate
(di/dt: 10A/μs constant, Peak current: max 50A, 5A step)



(b) Evaluated results of variable slew rate
(di/dt: max 100A/μs, 10A/μs step)

Fig. 9. Current detection characteristics.

5 結　　言

パワーデバイスにおける過大電流検出を目的とした TSV 電流端子を有する MEMS ロゴスキーコイル（電流センサ）を作製した（10×10×0.3mm^3）。

中央の TSV 電流端子に電流変化率（*di/dt*）10A/μs 一定とし，最大電流 50A まで 5A ごとに電流検知特性を評価したところ，線形的に検知できることを確認した。

また，電流変化率（*di/dt*）が最大 100A/μs まで 10A/μs ごとの電流を中央貫通部に印加したところ，*di/dt* に対して良好な比例関係で電流検出できることを確認した。

本研究では電流検出特性に注目し，外部磁界を補償する戻りコイルは形成していない。このため，実用的には磁界影響を抑制するため，デバイス上または実装において戻りコイルの形成を検討する必要がある。

本デバイスは縦方向に流れる電流を検出する構造であるため IGBT などを本デバイス上に直接マウントすれば電流検知可能である。しかしながら，MOSFET など横方向に電流制御するデバイスでは直上にマウントしただけでは適用できないが，電流経路を本デバイスの TSV 電流端子に引き込むなどのマウント方法や実装方法を工夫すれば，横方向電流制御素子にも適用が可能であると考えられる。

今後，電流検出能向上のためのコイルの高密度化，低インピーダンス化，戻りコイル形成による外部磁界補償を検討する予定である。

文　　献

1) 渡部善幸，矢作徹，阿部泰，村山裕紀，九里伸治，吉田賢一，指田和之，新井大輔，池田克弥：「パワーデバイスにおける過電流検知用 TSV 構造 MEMS ロゴスキーコイル」，電気学会論文誌 E，Vol.139，No.8，pp.238-243 (2019).

2) 渡部善幸，矢作徹，阿部泰，村山裕紀，九里伸治，吉田賢一，指田和之，新井大輔，池田克弥，「過電流検知用 TSV 構造 MEMS ロゴスキーコイル」，2018 年第 79 回応用物理学会秋季学術講演会，18a-233-5，p.12-005，2018.9.18.
3) 渡部善幸　他，「パワーデバイスにおける過電流検知用 TSV 構造 MEMS ロゴスキーコイル」，第 35 回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム，30am3-PS-33，2018.10.30.
4) 柴﨑一郎：「ホールセンサとその応用」，電気学会論文誌 E，Vol.134，No.7，pp.186-192 (2014).
5) 山岸君彦，池田健太，中沢宏紀：「磁気センサによる非接触高精度電流検出技術」，電気学会論文誌 E，Vol.137，No.8，pp.223-238 (2017).
6) 柴﨑一郎：「薄膜ホール素子の開発とセンサ応用」，電気学会論文誌 E，Vol.119，No.8/9，pp.405-410 (1999).
7) 下村直行，長田正義，秋山秀典：「自己積分型ロゴスキーコイルの共振特性」，電気学会論文誌 B，Vol.114, No.1, pp.33-37 (1994).
8) Yadong Liu, Xiaolei Xie, Yue Hu, Yong Qian, Gehao Sheng and Xiuchen Jiang, “A Novel Transient Fault Current Sensor Based on the PCB Rogowski Coil for Overhead Transmission Lines”, Sensors 2016, 16, 742.
9) 大村一郎，古賀仁大，附田正則：「IGBT モジュール用超小型電流センサの開発：高精度センサ構造の提案と専用設計環境の構築」，電気学会研究会資料（EDD-15-095），pp.47-52，2015.10.30.
10) E. S. Leland, P. K. Wright and R. M. White, “A MEMS AC current sensor for residential and commercial electricity end-use monitoring”, Journal of Micromechanics and Microengineering, Vol. 19, No. 9, 094018, 2009.
11) Hao Bian, Chao Shan, Keyin Liu, Feng Chen, Qing Yang, Jiale Yong and Xun Hou, “A miniaturized Rogowski current transducer with wide bandwidth and fast response”, Journal of Micromechanics and Microengineering, Vol.26, No. 11, 115015, 2016.
12) 渡部善幸，阿部泰，岩松新之輔，小林誠也，高橋義行，佐藤敏幸：「電磁駆動型２軸光走査 MEMS ミラー動作の磁界依存性」，電気学会論文誌 E，Vol.130, No.4, pp.107-112 (2010).
13) Y. Watanabe, Y. Takahashi, Y. Abe, S. Iwamatsu, T. Yahagi, S. Kobayashi, S. Konno and T. Sato, “Electromagnetically Dual-axis Driven MEMS Grating, and its Application to 3D profiling with Near Infrared Low Coherence Interferometry”, IEEJ Trans. SM, Vol.132, No.2, pp.31-36 (2012).
14) Y. Watanabe, S. Kobayashi, S. Iwamatsu, T. Yahagi, M. Sato, N. Oizumi, “ Motion Monitoring of MEMS Actuators with Electromagnetic Induction ”, IEEJ Trans. SM, Vol.133, No.1, pp.26-30 (2013).

木材の耐候性向上技術の開発
—AQ 性能の実現—

江部憲一

Development of method to improve the weatherability of wood
— Realization of Approved Quality (AQ) on Japan Housing and Wood Technology Center —

Kenichi EBE

1　緒　　言

木材の有効活用を図るには,屋内用途に加え,屋外用途も有望である。しかし屋外では，木材保護塗料で塗装しても数年で表面が劣化する傾向がある。この状況を受けて（公財）日本住宅・木材技術センターは 2014 年,自らの優良木質建材等認証（AQ）に「耐候性塗装木質建材」[1~2]を設定し，塗装木材の長期耐候性に関する評価基準を定めた。塗装前の木材表面のラフソーン仕上げ[3]や，木材表面のレーザー加工[4]で塗料の浸透量を増大させることによって，AQ 耐候形 1 種相当の耐候性能を実現できることが報告されている。しかし，これらの方法は，塗装後の木材の風合いや生産性に関して問題がある。一方，ラフソーンよりも粗面化の程度を抑えたサンドペーパーによる塗装前研磨処理[5]や，CUAZ（銅・アゾール化合物系木材保存剤）の塗装前加圧注入処理[6]により，耐候性が向上することも報告されている。しかし，これらの処理により AQ 耐候形 1 種相当の耐候性能が実現できるかは，明らかにされていない。

そこで本研究では，研磨処理や CUAZ 水希釈剤の塗布，塗装回数等を検討し，AQ 耐候形 1 種相当の耐候性能実現を目指した。

2　実験方法

2.1.　高耐候性木材保護塗料の選抜

スギ心材柾目試験片に，含浸形木材保護塗料 10 種，半造膜形もしくは造膜形木材保護塗料 8 種を塗装した。塗布量および塗装回数は，各塗料メーカー推奨の条件とした。これら塗装試験片について，AQ「耐候性塗装木質建材」に即して促進耐候性試験[1]を行い，撥水度[1, 7]，測色[1]，目視評価[1]の結果から，高耐候性塗料を選抜した。

2.1.1　促進耐候性試験

JIS K 5600-7-7 の促進耐候性試験条件にしたがい，キセノンランプ方式の促進耐候性試験機（Atlas Material Testing Technology，Ci3000+）による促進耐候性試験を行った。放射照度 60±2W/m^2（300～400nm），ブラックパネル温度 63±3℃，槽内温度 38±3℃、相対湿度 50±10%の条件でキセノンランプを 102 分間連続照射し，その後,放射照度を 60±2W/m^2 に保ったまま 18 分間脱イオン水を噴霧する工程を 1 サイクル（120 分）とした。このサイクルを繰り返し，試験前の試験片および,試験開始から 250 時間，500 時間，1000 時間，1500 時間経過した時点の試験片を，各種測定に供した。

2.1.2　測色

分光測色計（コニカミノルタジャパン，CM-2600d）を用い，JIS K 5600-4-6 に基づき，CIELAB 空間における L^*，a^*，b^*を測定した。そして，式（1）～（4）により色差（ΔE^*ab）を算出した。測色条件は，光源を D65，視野角を 10°，測色部の直径を 8mm とし，試験片表面の定位置 2 か所における測定値を平均した。

$$\Delta L^* = L^*_n - L^*_0 \quad (1)$$

$$\Delta a^* = a^*_n - a^*_0 \quad (2)$$

$$\Delta b^* = b^*_n - b^*_0 \quad (3)$$

$$\Delta E^*ab = \{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2\}^{1/2} \quad (4)$$

【平成 29～令和元年度　環境・エネルギー関連技術研究開発事業　研究課題】

ここで,

L^*_0, a^*_0, b^*_0：

促進耐候性試験前の L^*, a^*, b^*値

L^*_n, a^*_n, b^*_n：

促進耐候性試験 n 時間後の L^*, a^*, b^*値

2.1.3 撥水度

撥水度は,試験片の表面に約 1g の蒸留水を滴下し 1 分後に拭き取り，試験片に浸透しなかった水質量の百分率を，式（5）に示す方法により求めた [7]。試験体に水が浸透しなければ撥水度は 100%であり，すべての水が浸透したら撥水度は 0%である。

撥水度（%）

$$= (1 - (W_2 - W) / (W_1 - W)) \times 100 \quad (5)$$

W ：水滴下前の試験片質量

W_1：水滴下直後の約 1g の水を含む試験片質量

W_2：水滴下 1 分後に水を拭き取った直後の試験片質量

2.1.4 外観評価

JIS K 5600-8-4 の割れの等級にしたがって,塗膜の割れおよび基材の割れを目視にて評価した。また,JIS K 5600-8-5 のはがれの等級にしたがって，塗膜のはがれを目視にて評価した。なお，塗膜を形成しない塗装の場合は基材割れのみを評価した。

顔料の剥離や木材表面のクラックを評価するため，カラースキャナー（エプソン，GT-X980）で画像データを取得するとともに，デジタルマイクロスコープ（ハイロックス，KH-8700）を用いて，試験片表面を 150 倍で観察した。

2.2 塗装前処理と塗装を組み合わせた試験片の促進耐候性試験

実験 2.1 の結果から塗装仕上がりの美観面も考慮し，水性含浸形塗料 1 種，油性半造膜形塗料 1 種を選抜した。試験片の塗装前処理および塗料塗装回数については，**表 1** に示すとおり，処理①（塗装前処理なし，塗料 2 回塗装），処理②（塗装前処理なし，塗料 3 回塗装），処理③（P100 ペーパーによる粗面化処理，塗料 2 回塗装），処理④（P100 ペーパーによる粗面化処理，塗料 3 回塗装），処理⑤（CUAZ 水希釈剤 1 回塗布，塗料 3 回塗装）の 5 水準とした。なお，処理⑤に関しては，CUAZ 水希釈剤の塗布後 24 時間風乾の後，塗装を行った。これら試験片について，**実験 2.1.1** と同様の条件で，促進耐候性試験を 2500 時間まで実施した。さらに，**実験 2.1.2** と同様の測色，**実験 2.1.3** と同様の撥水度測定，**実験 2.1.4** と同様の目視評価を行った。その結果から，以下に示す AQ 耐候形 1 種相当の耐候性能を達成できるか否かを検証した。なお AQ には，色差について明確な基準値が設定されていない。そこで本研究においては，色差の性能基準を，促進耐候性試験 2500 時間で 6 以下を満たすことと定めた [3]。

色差（ΔE^*ab）：6 以下
撥水度：95%以上
塗膜割れ：密度 1 以下
基材割れ：密度 1 以下
塗膜剥がれ：量 1 以下

3 実験結果および考察

3.1. 水性含浸形塗料塗装木材

実験 2.1 の結果から選抜した水性含浸形塗料 1 種および油性半造膜形塗料 1 種を，各種前処

表 1 塗料の種類，前処理方法及び塗装条件

	塗料 水性/油性	塗料 塗膜タイプ	ペーパーによる 粗面化処理	CUAZ水希釈剤 塗布処理	CUAZ水希釈剤 塗布量 g/m²	塗料 塗り回数	塗料 塗布量 g/m²
処理①	水性	含浸形	—	—	—	2	73
	油性	半造膜形			—		126
処理②	水性	含浸形	—	—	—	3	117
	油性	半造膜形			—		256
処理③	水性	含浸形	あり	—	—	2	168
	油性	半造膜形			—		267
処理④	水性	含浸形	あり	—	—	3	230
	油性	半造膜形			—		419
処理⑤	水性	含浸形	—	あり	69	3	129
	油性	半造膜形			64		336

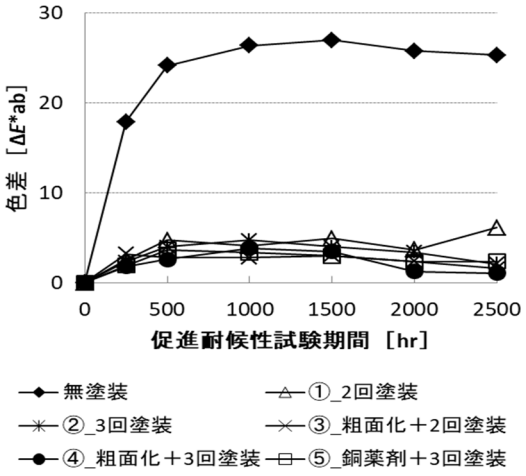


図 1 水性含浸形塗料塗装木材の色差変化

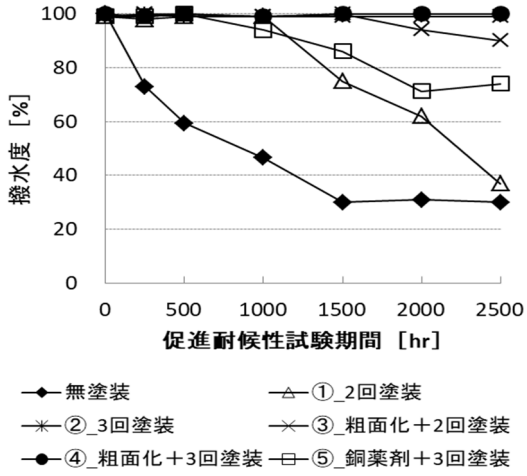


図 2 水性含浸形塗料塗装木材の撥水度変化

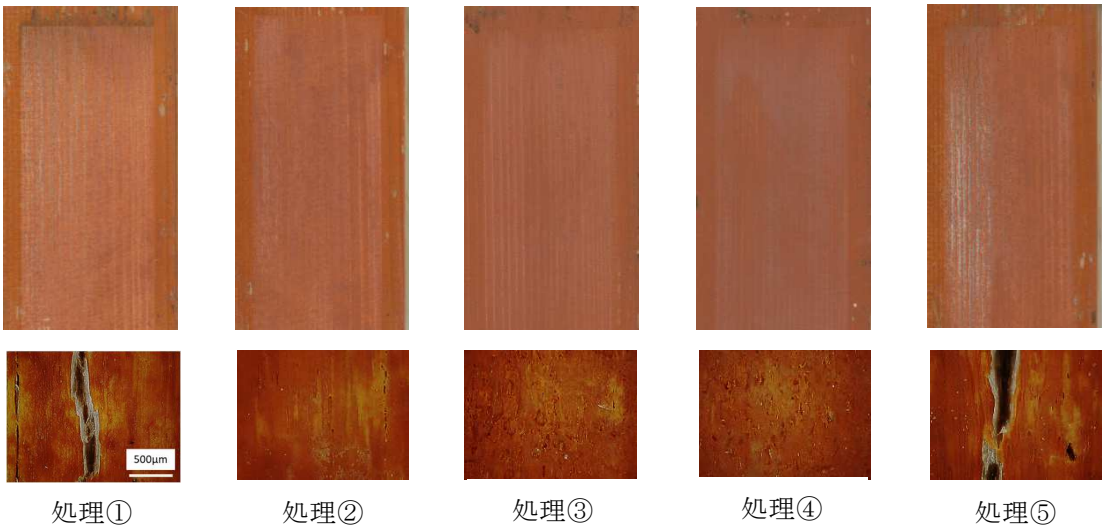


図 3 水性含浸形塗料塗装木材の促進耐候性試験 2500 時間後の表面劣化
上段：スキャナー画像，下段：デジタルマイクロスコープによる拡大画像

理を行った後に塗装し，無塗装材とともに促進耐候性試験に供した。図 1 および図 2 に，水性含浸形塗料の場合の色差, 撥水度の結果を示す。色差は，いずれの試験片も $\Delta E^*ab=6$ 以下の性能を満たしていた。一方撥水度の場合は，処理により差が顕著に生じ, 95%以上を満たすのは，処理②および処理④のみであった。さらに，図 3 に示す基材割れの外観評価の結果も考慮すると，処理④のみが AQ 耐候形 1 種相当の性能を満たす結果となった。表 1 に示すとおり，ペーパーによる粗面化効果のため，処理④の塗料塗布量が 230g/m^2 と，全条件の中で最も大きな値となっている。したがって，処理④のみが AQ 耐候形 1 種相当の性能を満たしたのは，木材への水性含浸形塗料の浸透量が最も大きかったためと考えられる [3~5]。一方で，CUAZ 水希釈剤を塗布した場合は，逆に耐候性能が低下した。これは既報 [6] とは異なる結果であった。今回塗布した CUAZ 水希釈剤はあくまで加圧注入用である。そのため，水性含浸形塗料と組合せて使用するのに適切な濃度ではなかったとも考えられ，今後の検証が必要である。なお，図 3 の結果から，処理①，②，③，⑤については，顔料の剥離や木材にまで達するクラックが観察され，これが撥水度の低下に影響していると考えられた。

3.2. 油性半造膜形塗料塗装木材

図 4 および図 5 に，油性半造膜形塗料塗装試験片の色差，撥水度の結果を示す。色差については，処理④および⑤が AQ 耐候形 1 種相当の

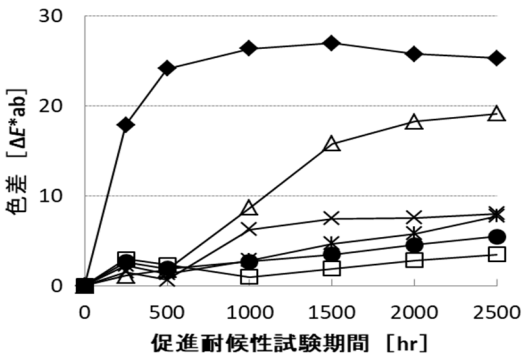


図 4 油性半造膜形塗料塗装木材の色差変化
シンボルは**図 1** と同様

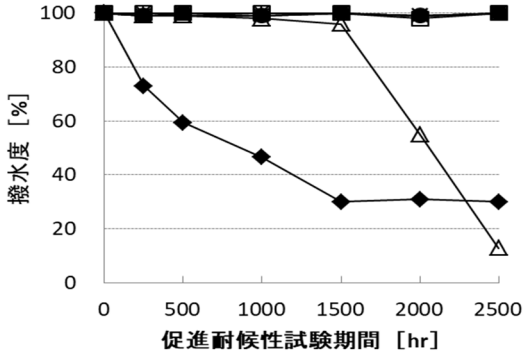


図 5 油性半造膜形塗料塗装木材の撥水度変化
シンボルは**図 2** と同様

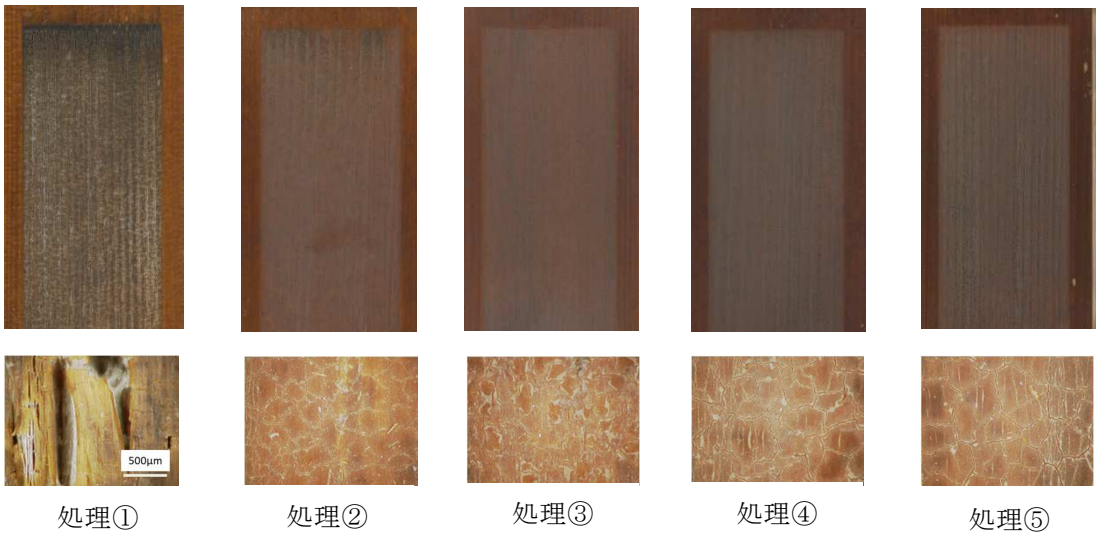


図 6 油性半造膜形塗料塗装木材の促進耐候性試験 2500 時間後の表面劣化
上段：スキャナー画像，下段：デジタルマイクロスコープによる拡大画像

性能を満たした。一方撥水度の場合は，処理①を除く全ての処理が AQ 耐候形 1 種相当の性能を満たした。さらに，**図 6** に示す外観評価の結果も考慮すると，処理④および処理⑤が AQ 耐候形 1 種相当の性能を満たす結果となった。**表 1** に示すとおり，ペーパーによる粗面化効果のため，処理④の塗料塗布量が 419g/m^2 と，大きい値を示した。したがって，処理④が AQ 耐候形 1 種相当の性能を満たしたのは，水性含浸形塗料の場合と同様に，木材への油性半造膜形塗料の浸透量が大きかったためと考えられる [3-5]。一方で，CUAZ 水希釈剤を塗布した処理⑤の場合は，水性含浸形塗料を塗装した場合とは異なり，撥水度が低下することはなく，さらに色差の値が常に処理④よりも小さな値を維持した。このことから，CUAZ 水希釈剤塗布後に油性半造膜形塗料を塗装すると，変色が抑制される可能性が考えられる [6]。これが，塗料の水性と油性の違い等といった塗料成分の差異に起因するのか否かについては，今後の検証が必要である。なお，**図 6** の結果から，水性含浸形塗料の場合とは異なり，塗膜表面に微小クラックが多数発生はするものの，クラックが木材にまで到達することはないことが明らかとなった。これは，水性含浸形塗料の場合とは異なり，木材表面に形成された塗膜の保護効果が働いたためと考えられ，結果として撥水度の維持につながったものと思われる。

4　結　　言

本研究で得られた知見は，以下のとおりである。

1) 粗面化処理と木材保護塗料 3 回塗装により，AQ 耐候形 1 種相当の耐候性能を実現できた。
2) CUAZ 水希釈剤塗布後に油性半造膜形塗料を塗装すると，変色が抑制される可能性が示された。

文　献

1) (財)日本住宅・木材技術センター：優良木質建材等の品質性能評価基準，(2016)153.
2) 木口実：木材保存, 40(6)(2014)256.
3) 片岡厚，石川敦子，松永正弘，小林正彦，木口実，吉田慎治，小谷忠明，片谷昌寛，相井健一郎，津崎誠，北橋信一，岩本収宇：日本木材保存協会第 31 回年次大会研究発表論文集, (2015)2.
4) 福田健一，小谷忠明，井上英明，福田聡史，野村昌樹：第 69 回日本木材学会大会研究発表要旨集, N14-03-1545(2019).
5) 伊佐治信一：第 64 回日本木材学会大会研究発表要旨集, N13-P-13(2014).
6) 片岡厚，石川敦子，小林正彦，松永正弘，松永浩史，木口実：木材保存, 41(2)(2015)62.
7) 木口実，片岡厚，土居修一，森満範，長谷川益夫，森田慎一，金城勝，嘉手刈幸男，今村祐嗣：木材保存, 22(3)(1996)150.

鉄鋼材料の浸窒焼入れ組織に及ぼす熱処理条件の影響

荘司彰人

Effect of Heat Treatment Condition on Nitriding Quenching Microstructure of Steel

Akihito SHOJI

1　緒　　言

自動車部品などの機械部品には鉄鋼材料が多く用いられている。しかし，素材のままでは機械的性質が不十分であり，耐摩耗性や耐疲労性を向上させるため，表面硬化熱処理が広く利用されている。既存の熱処理方法としては浸炭焼入れや窒化が知られている。浸炭焼入れは炭素マルテンサイトにより高硬度を実現できるが，高温処理（約 850℃）のためひずみが大きいという課題がある。一方，窒化は低温処理（約 580℃）のためひずみは小さいが，窒化物形成に寄与する合金成分を含まない鋼種では硬度が低いという課題がある。そのため，従来法では高硬度と低ひずみの両立が課題となっている。

浸窒焼入れは，鉄鋼材料の表面硬化熱処理の一種である。鋼表面に窒素を浸透拡散させ急冷することにより，硬質な窒素マルテンサイトから成る焼入れ層が形成される。また，鉄−窒素系は鉄−炭素系と比較して，変態温度が約 140℃低いため，低温処理が可能である。このように，浸窒焼入れは，低ひずみで高硬度が得られる熱処理方法として報告されており [1]，次世代の熱処理技術として注目されている。しかし，関連する技術情報は少ない状況にある。

本研究では，鉄鋼材料の浸窒焼入れにおける組織制御指標の顕在化を目的とし，種々の熱処理条件による組織や硬さ等を評価し，熱処理条件が浸窒焼入れ組織に及ぼす影響を調査した。

2　実験方法

2.1　試料

浸窒焼入れ処理に供する試料は，**表 1** に示す化学組成（ミルシート値）の鋼材を用い，寸法は 15 mm×8 mm×3 mm とした。試料表面は SiC 研磨紙（#80～#1500）とダイヤモンド研磨剤（粒径 3 μm，1 μm）を用いて研磨し，アセトン中で超音波洗浄を行った。

2.2　浸窒焼入れ処理

浸窒焼入れ処理は，熱処理炉（東北大学金属材料研究所所有）を用い，**表 2** に示す 7 条件で浸窒した後，水冷した。NH_3 割合は，炉内への導入ガス（NH_3，H_2）におけるアンモニアの割合であり，鋼表面への窒素の供給源となる。

ガスプロセスによる浸窒焼入れは，加熱された鋼表面において，次式に示されるアンモニア分解により生じた窒素が鋼中へ浸透拡散するものである。

$$NH_3 \Leftrightarrow [N] + \frac{3}{2}H_2$$

表 2　浸窒焼入れ処理条件

温度，時間 / NH_3 割合	650℃	750℃			850℃
	4h	1h	4h	9h	4h
2%	−	−	②	−	−
5%	①	③	④	⑤	⑦
10%	−	−	⑥	−	−

表 1　試料の化学組成（mass%）

試料	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
SPCC	0.05	-	0.22	0.013	0.012	-	-
S45C	0.45	0.21	0.74	0.019	0.014	0.15	-
SCM415	0.17	0.24	0.79	0.018	0.018	1.14	0.17

【令和元年度　若手チャレンジ研究事業　研究課題】

2.3 金属組織評価

浸窒焼入れ層の金属組織を評価するため，浸窒焼入れ層断面の金属組織観察を行った。金属顕微鏡（オリンパス㈱製 GX-51F）を用い，エッチング液は 5%ナイタルとした。

2.4 結晶構造解析，元素分布評価

浸窒焼入れ層の結晶構造を解析するため，浸窒焼入れ層表面の X 線回折を行った。X 線回折装置（㈱リガク製 RINT2000）を用い，X 線源は Cu 管球，測定条件は管電流 40 mA，管電圧 40 kV，回折角度範囲 30～90deg とした。また，浸窒焼入れ層の元素分布を評価するため，浸窒焼入れ層断面の元素分析を行った。電子プローブマイクロアナライザ（㈱島津製作所製 EPMA-1610）を用い，分析条件は加速電圧 15 kV，照射電流 100 nA とした。

2.5 硬さ評価

浸窒焼入れ層の硬さを評価するため，浸窒焼入れ層の表面硬さ試験，断面硬さ分布試験を行った。マイクロビッカース硬度計（㈱ミツトヨ製 HM-221）を用い，試験条件は試験荷重 100 gf として，3 点測定し平均値を求めた。

3 実験結果および考察

3.1 金属組織評価

金属組織評価の結果，3 鋼種全てで，処理時間および NH_3 割合の増加に伴い，浸窒焼入れ層は厚くなる傾向を示した。また，焼入れ層表面では，ボイドや軟質組織であるフェライトといった異常組織の生成量が多くなる傾向を示した。一方，処理温度の上昇に伴い，浸窒焼入れ層は厚くなる傾向を示したが，異常組織の生成量については増加傾向が見られなかった。焼入れ層の形成が確認された処理条件②～⑦における浸窒焼入れ層の金属組織を**図 1～図 3** に示す。

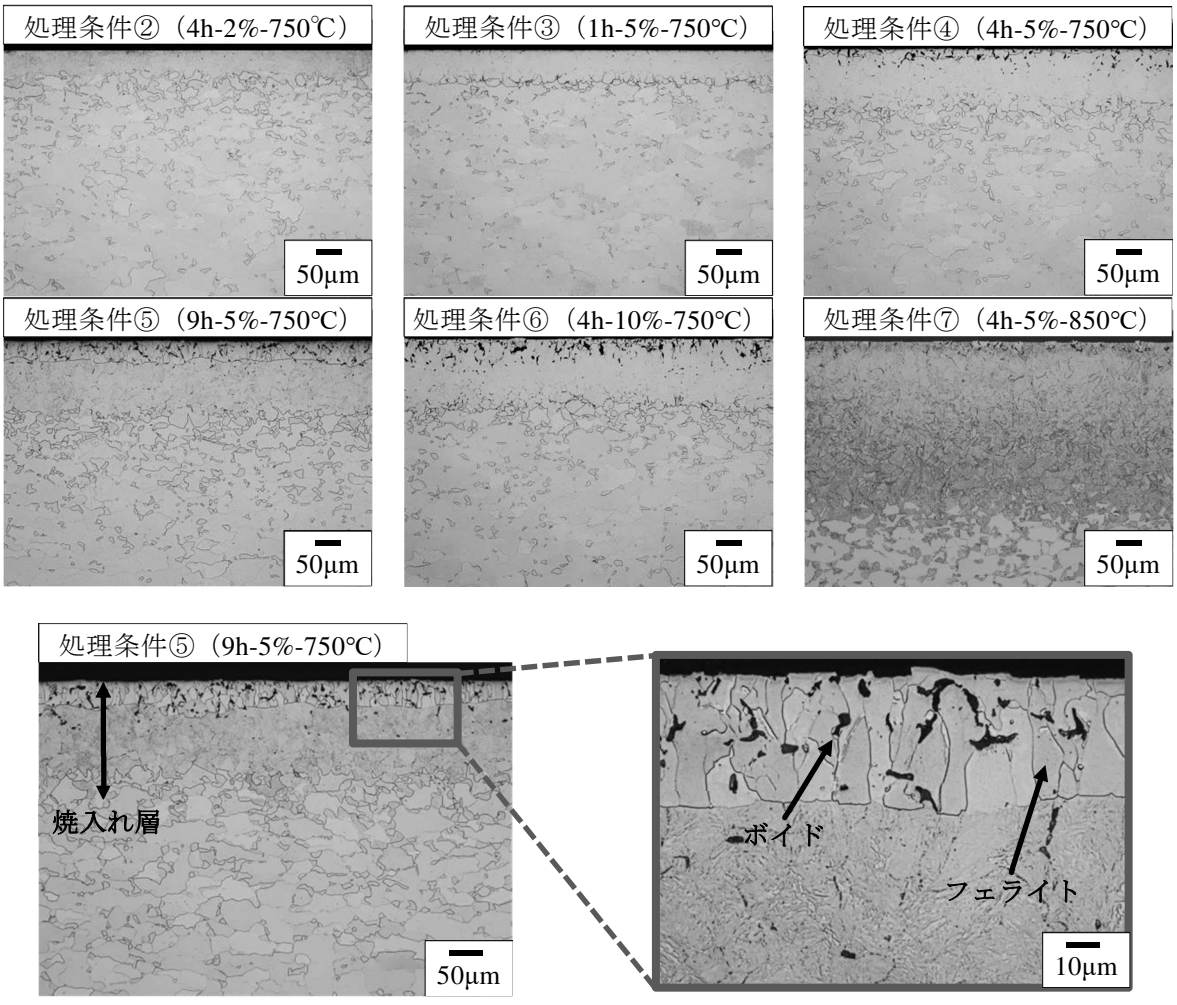


図 1 浸窒焼入れ層の金属組織（SPCC 材）

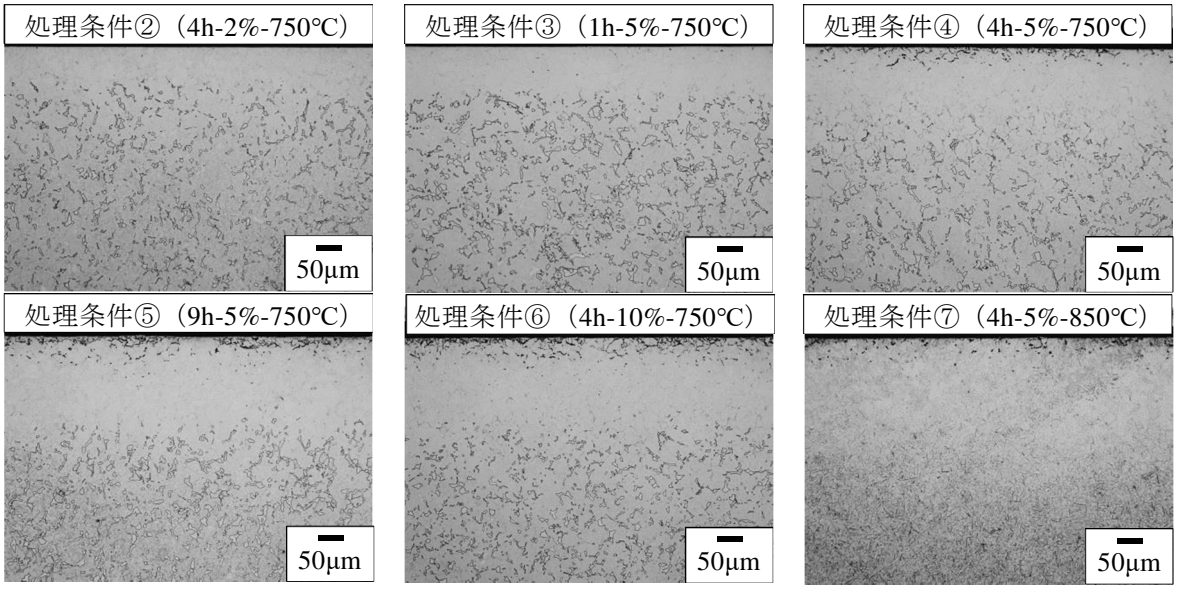


図 2　浸窒焼入れ層の金属組織（S45C 材）

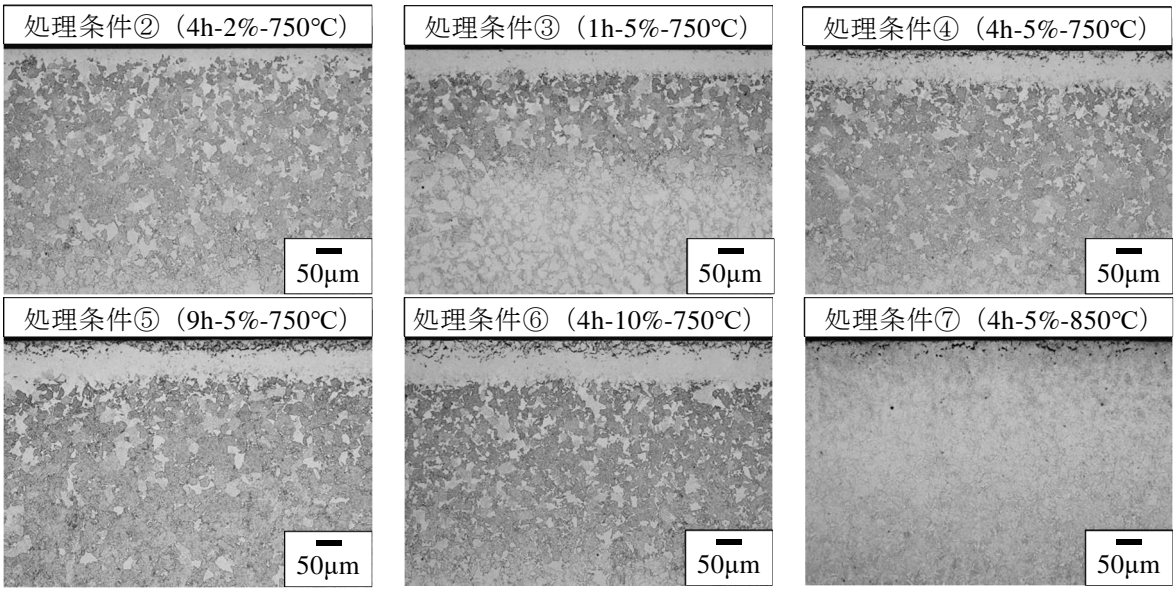


図 3　浸窒焼入れ層の金属組織（SCM415 材）

3.2　結晶構造解析，元素分布評価

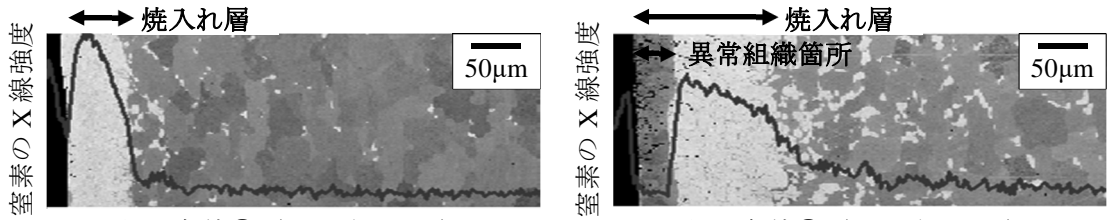
結晶構造解析の結果，3 鋼種全てで，浸窒焼入れ層表面ではマルテンサイト相・フェライト相（α），オーステナイト相（γ）のいずれかが検出された。また，一般的に窒化処理で生成する化合物（γ’，ε）は検出されなかった。全ての処理条件における浸窒焼入れ層表面の結晶構造を**表 3** に示す。次に，異常組織の生成量が少ない処理条件③，異常組織の生成量が多い処理条件⑤の SPCC 材について，浸窒焼入れ層の元素分布評価を行った。その結果，異常組織の箇所では窒素濃度が低く，窒素濃度が浸窒焼入れ層の形態に影響したことが考えられる。当該試料の浸窒焼入れ層の窒素濃度分布を**図 4** に示す。

3.3　硬さ評価

硬さ評価の結果，3 鋼種全てで，処理条件②，③では表面硬さが 700HV 以上となり，一般的な表面硬化法である浸炭焼入れと同等であった。一方，その他の処理条件では表面硬さが 700HV 未満となり，特に，異常組織の生成が顕著であった処理条件⑤では 200HV 程度と低くなった。全ての処理条件における浸窒焼入れ層の断面硬さ分布を**図 5～図 7** に示す。ここで，最表面の硬さは表面硬さとした。

表 3　浸窒焼入れ層表面の結晶構造

処理 / 試料	未処理	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
SPCC	α	α，γ	α	α，γ	α	α	α	α
S45C	α	α，γ	α	α，γ	α	α	α	α
SCM415	α	α	α，γ	α，γ	α	α	α	α



処理条件③（1h-5%-750℃）　　処理条件⑤（9h-5%-750℃）

図 4　浸窒焼入れ層の窒素濃度分布（SPCC 材）

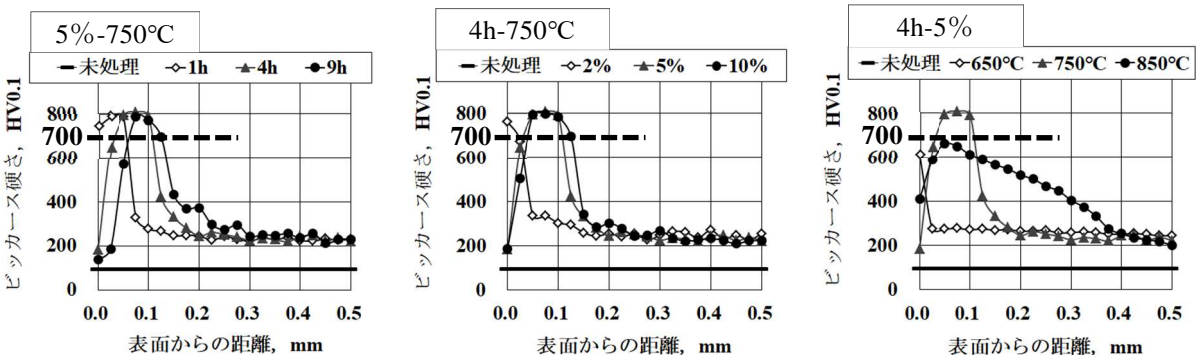


図 5　浸窒焼入れ層の硬さ分布（SPCC 材）

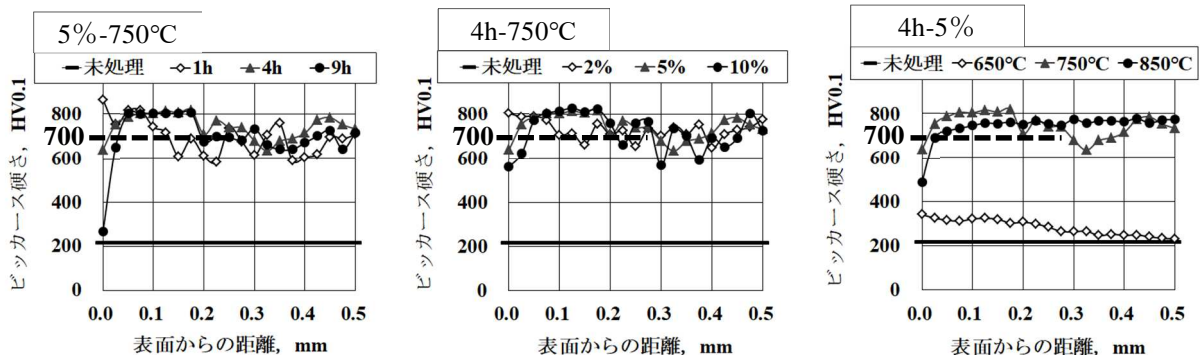


図 6　浸窒焼入れ層の硬さ分布（S45C 材）

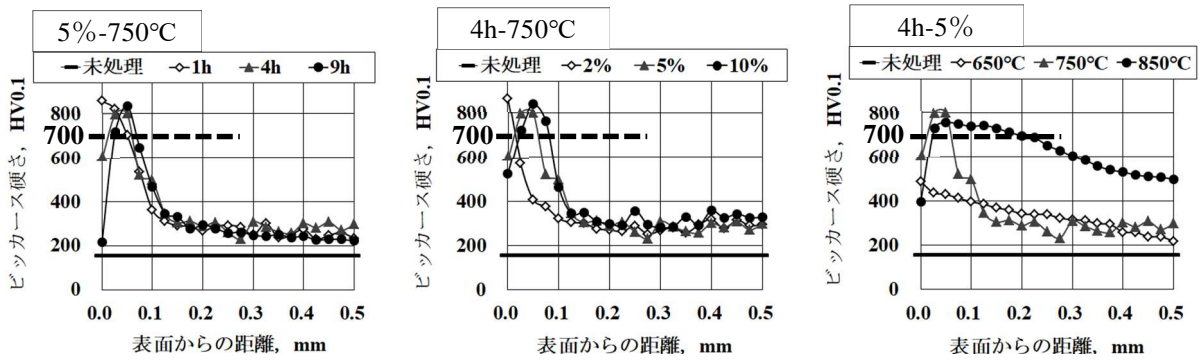


図 7　浸窒焼入れ層の硬さ分布（SCM415 材）

4 結　　言

鉄鋼材料の浸窒焼入れ組織に及ぼす熱処理条件の影響を調査し，以下の知見を得た。

1) 熱処理条件（処理時間，NH_3 割合，処理温度）に応じて，浸窒焼入れ層には窒素マルテンサイトの他，表面に異常組織（ボイド，フェライト）が生成することを確認した。
2) 処理時間および NH_3 割合の増加，処理温度の上昇に伴い，浸窒焼入れ層は厚くなる傾向を示した。
3) 処理時間および NH_3 割合の増加に伴い，異常組織の生成量は多くなる傾向を示した。
4) 異常組織箇所は窒素濃度が低く，窒素濃度が浸窒焼入れ層の形態に影響する可能性を確認した。
5) 鋼表面に浸炭焼入れと同等（700HV）の硬質な浸窒焼入れ層が生成することを確認した。
6) 異常組織の生成が顕著な箇所では，硬さは 200HV 程度と低くなることを確認した。
7) 浸窒焼入れにおいては，窒素マルテンサイトの機械的性質，硬化層厚さや異常組織の有無といった焼入れ層の形態は窒素量に依存することから，鋼表面に浸透拡散する窒素量の制御が重要であると考えられる。また，この窒素量の制御には，被処理材の合金成分を考慮した熱処理条件を用いることが必要であると考えられる。
8) 本研究では，処理時間，NH_3 割合，処理温度が浸窒焼入れ組織に及ぼす影響についてその傾向を確認したが，最適条件を一般化するためには，より詳細な調査と検討が必要であり，今後の課題であると考えられる。

謝　　辞

浸窒焼入れ処理に関してご協力いただきました東北大学金属材料研究所古原研究室の皆様に深謝いたします。

文　　献

1) 渡辺　輝興：浸炭と浸窒の新たな概念と実際，アグネ技術センター，2013，140 頁

山形オリジナル乳酸菌の分離選抜と新規発酵食品の開発

城　祥子　　長　俊広

Screening and identification of the Yamagata original lactic bacteria, and development of the novel fermented foods

Sachiko SHIRO　　Toshihiro CHO

1　緒　　言

発酵食品がブームとなって以来，麹菌や乳酸菌を利用した発酵食品は市場で安定した人気を誇っている。特に乳酸菌は近年乳製品以外の製品へ取り入れられるようになり，生菌だけでなく，死菌の健康効果も広く認知されるようになった。このことにより，乳酸菌市場はこれまで微生物産業と関わりのなかった企業も高い関心を寄せる分野となった。市場では機能性や地域特性を謳った「乳酸菌〇〇株」と名付けられたオリジナル微生物も数多く開発され，食品の付加価値向上に寄与している。本県においても，地域オリジナル微生物の開発や発酵技術による付加価値向上に多くの期待が寄せられている。これまでは酒類，漬物等に使用されていたが，本研究では，さらに利用範囲を広げるため，「やまがた」を連想しやすい資源から数多くの乳酸菌を分離し，新たな発酵食品を開発することを目的とした。

2　実験方法

2.1　分離源

分離源を**表 1** に示す。「やまがた」をイメージしやすい県産資源 (果実・野菜・花弁) より，分離源の収穫時期または満開期にサンプリングし乳酸菌の分離源とした。

2.2　分離・選抜・同定

分離選抜方法は文献 [1]を参考に実施した。分離サンプルをリン酸緩衝生理食塩水にて適宜希釈した後，あらかじめ滅菌し 1mg/L アジ化ナトリウム，1 mg/L シクロヘキシミドを添加した BCP 加プレートカウント培地 (日水製薬) に混釈法にて播種した。同様に薬剤を添加した MRS 白亜培地 (MRS broth (BD 社), 1.0% (w/v) $CaCO_3$, 1.2% agar)，GYP 白亜培地 (1.0% (w/v) glucose, 1.0% yeast extract, 0.5% Bactopeptone, 0.2% Na-acetate· $3H_2O$, 20 ppm $MgSO_4$· $7H_2O$, 1 ppm $MnSO_4$ · $4H_2O$, 1 ppm $FeSO_4$· $7H_2O$, 1 ppm NaCl, 2.5 ppm polysorbate, pH 6.5, 1.0% $CaCO_3$, 1.2% agar) による継代培養を経て単離し，グラム染色によるグラム陽性株を分離株とした。さらにカタラーゼ陰性であることを確認の上，4 または 5 世代の継代培養を経ても旺盛な生育を示した菌株を選抜株とした。得られた株の一部について，GYP 培地の炭素源のみを変えた選択培地 (glucose, fructose, sucrose, maltose, xylose, galactose, glycerol, raffinose, lactose) にて炭素源資化性を試験し，同時にガス生産性についても確認した。最終同定はアピ 50CH およびアピ 50CHL Medium (Biomerieux Japan) にて簡易同定，また

表 1　分離源と分離菌，選抜菌数

分離源	分離菌数	選抜菌数
1. キュウリ (外内島胡瓜)	37	24
2. カブ (温海かぶ)	61	16
3. カボチャ (蔵王かぼちゃ)	19	9
4. コメヌカ (糠床)	170	28
5. コメ (つや姫, 雪若丸)	120	93
6. ホオヅキ	48	20
7. オウトウ (佐藤錦, 紅秀峰, 南陽, 月山錦, ナポレオン)	444	161
8. ハクトウ (あかつき, さくら白桃)	148	85
9. ブドウ (スチューベン, セミヨン, シャルドネ, ピオーネ, シャインマスカット)	233	108
10. セイヨウナシ (ラ・フランス)	96	85
11. カキ (早秋, 紅柿)	82	70
12. ヤマブドウ (Y0)	60	23
13. ラズベリー (ヒンボートップ)	60	4
14. バラ (花弁複数種)	175	49
15. キク (花弁)	115	13
16. ベニバナ (最上紅花)	53	25
17 タケノコ (月山筍)	69	18
18. エダマメ (馬のかみしめ)	30	14
19. ダイズ (紅大豆)	30	19
計	2050	864

【平成 29～31 年度　やまがたフードセンシング活用事業　研究課題】

は 16S rRNA 領域のシーケンス解析によりゲノム配列を取得した。

2.3 乳酸菌の諸性質分析

選抜乳酸菌のうち約 300 株について，GYP 培地で 35˚C，48 時間前培養した培養液を，菌数をそろえて植え継ぎ，20˚C，30˚C および 40˚C での濁度（SHIMADZU Multispec-1500 による 660 nm の吸光光度）を測定し増殖温度帯を調べた。また，本研究で得られた分離乳酸菌は食品への利用を想定し，発酵試験では天然培地の麹汁培地（麹:水=1:2，ボーメ度 6.5）を使用した。

2.4 発酵試験

分離乳酸菌を使用した発酵試験を実施した。本研究では，発酵対象として果実 (果汁，果肉) および酒粕を用いた。リンゴ果汁とワナシ果汁は濃縮還元果汁を，カキ果汁は脱渋済の庄内柿ジュースを，リンゴ果肉はフジのリンゴピューレそのままあるいは希少糖 (松谷化学工業) を添加したものを，メロン果肉はアンデスメロン果肉を，酒粕は吟醸酒粕を 100˚C，45 分間蒸煮して脱アルコール処理したものを使用した。乳酸菌は麹汁培地にて 35˚C，48 時間前培養し，4˚C，1,000×g にて 10 分間遠心分離後，培地成分を除去した。滅菌水に再懸濁した後，原料 100 g に対し菌体量が 1.0E+07 CFU/g となるようそれぞれ接種し，35˚C，48 時間静置にて発酵させ，85˚C，30 分の殺菌を行った。発酵物は pH (HORIBA pH METER D-51)，Brix (ATAGO Palette PR-101) および乳酸菌数を測定した。遊離アミノ酸量も同様に発酵物溶液を適宜希釈しアミノ酸分析キット (SHIMADZU EZ:faast) にて前処理および誘導化し，LCMS (SHIMADZU LCMS-2020) にて測定した。においの強度や類似度は，におい識別装置 (SHIMADZU FF2A-FAS1) にて測定した。におい識別装置での基準ガスは硫黄系 (二硫化メチル)，アミン系 (トリメチルアミン)，有機酸系 (プロピオン酸)，アルデヒド系 (ブチルアルデヒド)，エステル系 (酢酸ブチル)，芳香族系 (トルエン)，炭化水素系 (ヘプタン)，硫化水素，アンモニアを使用して測定し、専用ソフト (Asmell2) にて算出された数値から検量線を得た。検量線の数値をもとに測定結果から求める値を得た。コントロールは乳酸菌非添加で 48 時間保持し殺菌処理したものを用いた。

酒粕は脱アルコール処理後，100 g に対し添加水分 12% (w/v) となるよう調製した 8 株の前培養菌体溶液を 1.0E+07 CFU/g となるようそれぞれ接種し，撹拌後 35˚C，48 時間発酵させた。発酵物は 85 ˚C，30 分の殺菌の後，40˚C にて送風乾燥処理を行った。

3 実験結果および考察

3.1 分離乳酸菌

本研究では，各種培地でシングルコロニーとして得られた菌株をグラム染色に供し，グラム陽性と判定された株を 2,050 株得た。続く試験にて選抜株 864 株を得，うち常に安定した生育を示した 100 株について微生物の属種を推定し，これらを「やまがたオリジナル乳酸菌」とした (**表 2**)。得られた菌株には属種の偏りが多くみら

表 2 取得したやまがたオリジナル乳酸菌

(推定も含む)

属	種	数
Lactobacillus	*acidophilus*	2
	pentosus	6
	curvatus ssp. *curvatus*	6
	salivarius	4
	plantarum	4
	delbrueckii ssp. *delbrueckii*	4
	brevis	22
Lactococcus	*lactis* ssp. *lactis*	7
Pediococcus	*pentosaceus*	3
Leuconostoc	*mesenteroides* ssp. *mesenteroides*	21
	pseudomesenteroides	15
Enterococcus	*faecalis*	5
Weissella	*cibaria*	1

表 3 発酵試験に供した菌株

株名	分離源	属種
L21	カキ (紅柿)	*Leuconostoc pseudomesenteroides*
C439	オウトウ (ナポレオン)	*Leuconostoc mesenteroides*
S116	オウトウ (紅秀峰)	*Lactococcus lactis*
C412	オウトウ (ナポレオン)	*Leuconostoc mesenteroides*
e24	ヤマブドウ (Y0)	*Enterococcus faecalis*
D216	ハクトウ (あかつき)	*Leuconostoc pseudomesenteroides*
D217	ハクトウ (あかつき)	*Leuconostoc pseudomesenteroides*
P254	糠床	*Lactobacillus curvatus*
A216	キュウリ (外内島胡瓜)	*Leuconostoc mesenteroides*

れたが，これは自然界からの分離を試み，植物性乳酸菌を対象とし，継代培養に耐えられる菌株を選抜したためと考えられる。

最終的に選抜した 100 株のうち，以後の発酵試験には外部機関 (テクノスルガ・ラボ) により同定された菌株を使用した (**表 3**)。

3.2　乳酸菌の諸性質

3 つの温度帯での培養開始後 24 時間後の濁度を**図 1** に示した。6 月から 8 月の収穫適期の分離源より得られた乳酸菌は 30˚C や 40˚C で旺盛な生育を示し，10 月以降の収穫適期の分離源より得られた乳酸菌は 20˚C で旺盛な生育を示した。興味深いことに，夏の分離源からの乳酸菌と秋の分離源からの乳酸菌には，学名上重複する属種の菌株が多く含まれていたことから，これは分離源の違いによる特徴と思われる。増殖温度帯の異なる菌株が得られたことにより，加工条件に対応した菌株を選択することができ，利用の幅が広がると考えている。

乳酸菌の培養に使用する培地を検討した結果，本研究で得られた菌株の多くは，一般的に多用される MRS 培地よりも GYP 培地でより旺盛な生育を示し，使用する培地により生育速度が大きく左右されることが示された。本研究のように新規微生物を選抜しようとする際には，複数の培地を併用して検討する必要性が示唆された。

本研究ではさらに食品への利用を想定し，培地からの風味が対象原料に悪影響を示さないと考えられた麹汁培地での増殖も検討した。GYP 培地に対し濁度で 80%以上の増殖を示す菌株を選択した。

3.3　発酵試験

果実，酒粕に対し発酵試験を行ったところ，原料と菌株の組み合わせにより接種した菌数からの増殖の程度に異なる傾向が見られ，発酵対象と菌株の組み合わせによる相性があることが示唆された(**図 2**)。例えば，S116 株はリンゴ果汁・果肉では旺盛な生育を示したものの，メロン果肉では初発添加乳酸菌数からほぼ変動しなかった。また，リンゴ果肉では全体的に発酵が鈍く乳酸菌の旺盛な増殖が見られなかった一方，希少糖を添加すると旺盛な増殖を示した。なお，発酵物の pH は乳酸菌の増殖におおむね対応して低下していた (**図 3**)。

発酵物の遊離アミノ酸量も，原料と菌株の組み合わせにより異なる傾向が認められた。**表 4** にカキ果汁，酒粕の結果を示す。カキ果汁に対しては S116 株で発酵させると遊離アミノ酸量に大きな変化が見られ，供試菌株中遊離γ- アミノ酪酸（GABA）量が最も増加し，コントロールに比べ 2 倍程度増加した。一方， D217 株で発酵させるとアラニン，グルタミン等甘味に寄

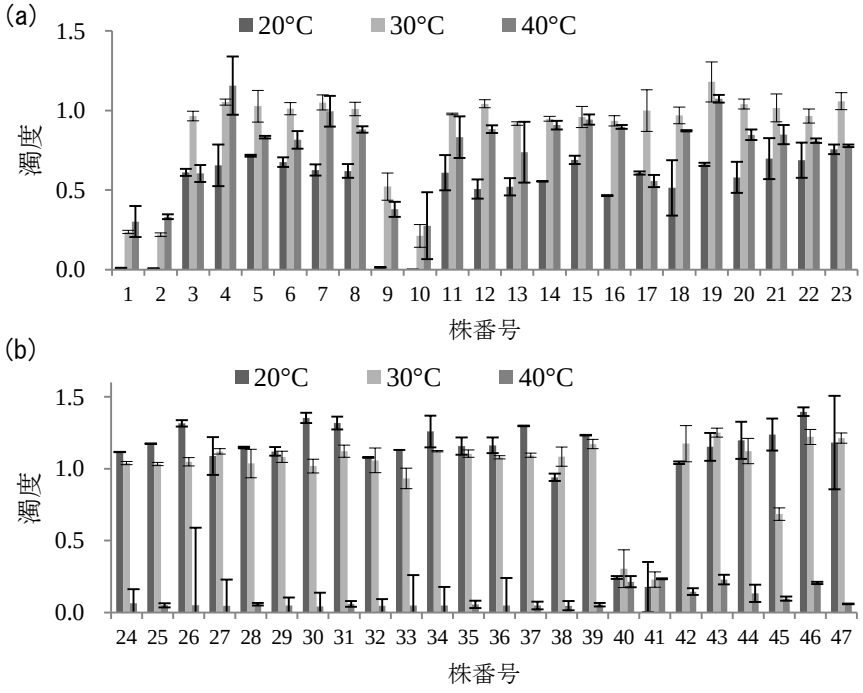
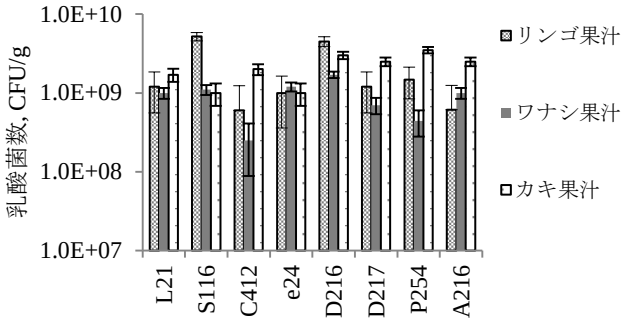


図 1　培養 24 時間後の濁度
(a) 6 月～8 月収穫適期の分離源からの乳酸菌, (b) 10 月以降収穫適期の分離源からの乳酸菌。測定値は 3 回の反復試験の平均値±標準偏差。



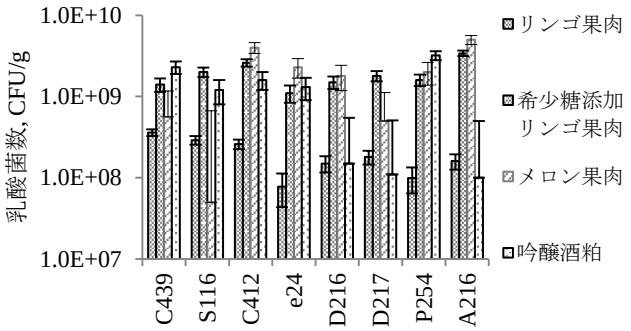
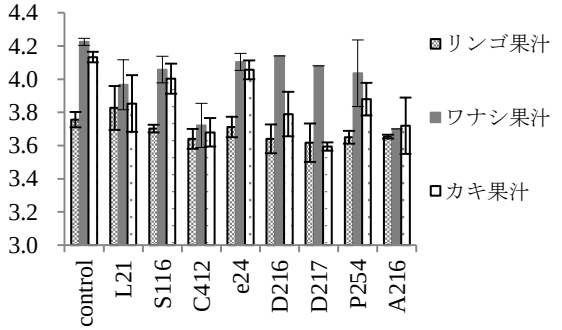


図 2　発酵物の乳酸菌数
縦軸の菌数は常用対数で表示。
測定値は 3 回の反復試験の平均値±標準偏差。



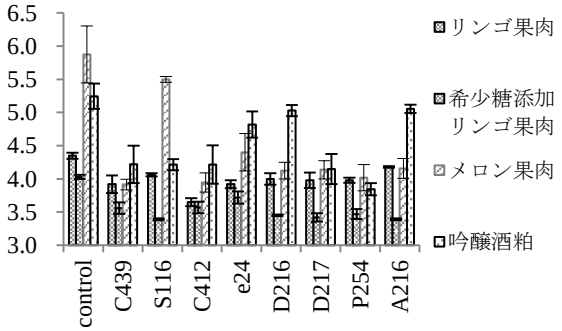


図 3　発酵物の pH
測定値は 3 回の反復試験の平均値±標準偏差。

表 4　発酵物の遊離アミノ酸量
(a) カキ果汁発酵物，(b) 酒粕発酵物。各測定値は 3 回の反復試験の平均値。
(nmol/100ml)

(a)

柿果汁	control	S116	C412	P254	D217
Arg	9.3	46.2	8.5	10.3	7.8
Orn	1.1	2.1	1.0	0.1	1.0
Tyr	3.1	8.9	0.8	2.4	1.4
Asn	5.0	2.2	0.6	0.4	0.6
Ala	23.5	6.4	36.0	37.0	46.4
Asp	15.7	15.4	4.5	13.8	0.3
Gln	0.1	0.0	0.2	0.1	0.2
Ser	20.7	10.8	18.6	20.1	24.1
Gly	16.6	1.1	14.6	21.5	18.6
Thr	18.5	4.4	13.6	18.3	23.5
GABA	56.6	90.9	60.0	58.7	60.1
Met	1.7	2.4	0.6	1.3	0.5
Pro	5.7	9.0	5.8	8.4	6.4
Lys	6.6	8.9	2.7	5.2	1.7
His	2.7	10.5	2.4	2.9	2.1
Val	9.8	30.0	5.2	8.7	8.4
Glu	3.5	3.9	0.7	2.6	0.2
Trp	2.9	10.2	2.7	2.9	2.6
Phe	5.8	25.1	2.7	4.7	1.8
Leu	10.2	28.2	4.8	8.3	3.0
Ile	7.6	28.1	3.2	6.0	3.1

(b)

酒粕	control	S116	C412	P254	D217
Arg	26.1	1.5	39.4	35.9	42.0
Orn	60.9	117.1	103.8	0.4	146.4
Tyr	10.1	13.6	12.5	16.3	18.6
Asn	106.5	104.7	223.9	469.6	269.2
Ala	783.5	750.8	1694.0	2971.6	1342.9
Asp	12.2	18.1	20.5	23.7	42.6
Gln	42.1	33.1	46.7	64.4	57.5
Ser	37.4	36.3	72.0	195.0	102.6
Gly	208.1	179.6	425.2	1322.8	326.0
Thr	28.2	30.2	54.0	271.7	61.3
GABA	6.8	12.2	10.5	12.8	16.4
Met	2.4	2.8	2.6	0.3	4.0
Pro	29.5	36.8	36.9	46.0	57.6
Lys	13.2	20.0	23.3	22.8	36.0
His	24.8	30.7	25.9	30.7	49.0
Val	14.6	21.8	19.6	26.9	28.8
Glu	67.2	88.9	136.2	151.0	233.6
Trp	2.2	3.9	2.6	4.3	4.7
Phe	9.2	11.9	11.6	15.0	15.9
Leu	16.3	21.5	22.7	26.8	29.6
Ile	8.9	12.8	11.8	17.3	16.9

与する遊離アミノ酸量の増加傾向が認められた以外は，コントロールに比べ大きな変動が見られなかった。酒粕ではどの菌株でも発酵により

アラニン，スレオニン，グルタミン酸等の甘味やうまみに寄与する遊離アミノ酸量が増加傾向を示した。また，発酵物の香りの違いについて

におい識別装置にて調べた結果，香りの強度や基準ガスに対する類似度で株の違いによる差が見られた。カキ果汁発酵物では**図 4** に示したように，芳香族系，アルデヒド系および有機酸系ガスに対する類似度に差が見られた。

得られた結果と発酵物の食味を検討した結果，カキ果汁は C412，S116，D217 株を使用した発酵ジュースの企業試作に至り，酒粕発酵物も企業にて製品化を検討していくこととなった。

4　まとめ

1) 山形県産資源より「やまがたオリジナル乳酸菌」を分離選抜した。
2) 果実発酵試験により風味の良好な原料と菌株の組み合わせが見出され，うちカキ果汁発酵物は企業試作に至った。
3) 酒粕を乳酸菌発酵させると株により旺盛な生育を示し，特に P254 株発酵物では新たな香味の付与が期待された。

謝　辞

本研究にあたり，分離源および発酵原料を提供いただいた山形県農業総合研究センター，同園芸農業研究所，坂元ローズガーデン様，櫛引農村工業農業協同組合連合会様，丸菱食品株式会社様，有限会社おたまや様に謝意を申し上げます。

文　献

1) 小崎道雄監修 (1992). 乳酸菌実験マニュアル －分離から同定までー，朝倉書店，東京

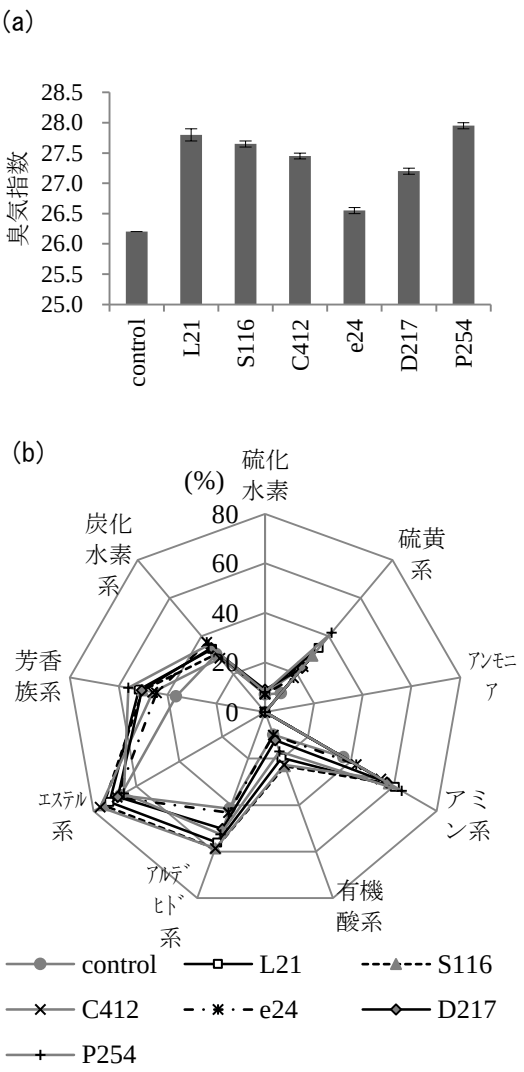


図 4　(a) 発酵物の臭気指数*。測定値は 3 回の反復試験の平均値±標準偏差。 (b) 基準ガスに対する類似度 (%)。測定値は 3 回の反復試験の平均値。
臭気指数*=10×log(臭気濃度**)
**臭気濃度：その匂いが無臭となるまでに必要な希釈倍率

燻製技術を応用した新規ドライフード開発

対馬里美　　菅原哲也　　後藤猛仁

Development of new dry food applying smoked technique

Satomi TSUSHIMA　　Tetsuya SUGAWARA　　Takehito GOTO

1　緒　　言

燻煙により独特な風味を付与し，保存性を向上させる手法が，新商品開発や付加価値を高める技術として注目されている。燻製食品は，燻煙温度と時間，燻製材の樹種，対象食品原料の水分等の違いにより風味や保存性が大きく変化する。しかし，これらの科学的知見は少なく，経験則によるものが大きい。

本研究では，食品素材の水分活性を調製し，燻製処理と組み合わせることで，風味や保存性を向上させた新規な燻製製品開発を目的とした。さらに，薫香に影響を及ぼす食品成分や燻製処理条件を検討し，企業と連携して新規な燻製製品の試作開発を行った。

2　実験方法

2.1　燻製処理時間による薫香変化

2.1.1 分析試料

燻製時間による薫香の影響を検討するため，蒸留水 250ml に寒天(粉末)4.0g を加熱混合溶解させ，固化後，同じ大きさ(8.3cm×5.3cm×1.5cm)に切り出した寒天片を使用した。作成した寒天片は，燻製器(W400×D325×H820mm)にて，市販のさくらチップ 80g を用い，各時間(0.5，1，3，5 時間)燻製処理を行った。

2.1.2 におい識別装置

燻製試料をにおい識別装置(島津製作所 FF-2A)で測定した。各試料 10g をサンプルバッグ(島津製作所 2KF)に入れ，窒素ガスを充填し，2 時間ほど静置した後，測定を行った。

2.2 食品成分による薫香の影響

2.2.1 分析試料

水分活性及び食品成分による影響を検討するため，各濃度に調製した食塩水(0，5，10，15，20%w/v)および砂糖水(0，26，50%w/v)250ml に寒天(粉末)4.0g を加熱混合溶解させ，φ35×10mm シャーレに分注した。さらに，濃度を 10%w/v に調製した食塩水，砂糖水，ゼラチン溶液をシャーレに分注し，これらを市販のさくらチップで 3 時間燻製処理を行った。各試料の水分活性についてはコンフェイユニット法 [1]にて測定した。

2.2.2 ガスクロマトグラフィー

ガスクロマトグラフィー(GC-FID，Agilent Technologies 7820A)にて，燻製の揮発成分を測定した。燻製した寒天片を 5 倍量の蒸留水と混合，粉砕し，0.45μm メンブレンフィルターでろ過したものを試料とした。アセトンを内部標準とし，カラムは DB-WAX(長さ 60m×内径 0.32μm×膜厚 0.25μm)を用いた。

2.3 燻製製品試作開発

漬物（たくあん）を 50℃および 70℃で乾燥処理(プチマレンジ TTM-4355, 4 時間)を行った後，未乾燥の漬物と同条件(さくらチップ 40g，3 時間燻製)で燻製した。試作品はガスクロマトグラフィーで揮発成分を分析した。

また，水産加工企業と，保存性向上および新規製品開発を目的に試作を行った。燻製対象は既存製品(乾燥エビ，ハタハタなど)を用い，企業にて燻製処理を行った。保存試験は常温で行い，一般細菌数を指標とした。

3　実験結果および考察

3.1　燻製処理時間による薫香変化

燻製時間と臭気指数を**図 1** に示す。臭気指数とは，臭気濃度を対数表記したもので，においの強さを人の感覚量に近い尺度にしたものである。燻製処理時間を長くするほど臭気指数が増加する傾向を示したが，処理 1 時間程度でほぼ一定となった。

【平成 30～令和元年度　フードセンシング活用事業　研究課題】

次に，燻製時間による基準臭（硫化水素，硫黄系，アンモニア，アミン系，有機酸系，アルデヒド系，エステル系，芳香族系，炭化水素系）の臭気寄与変化を**図 2** に示す。臭気寄与とは，基準臭に対するにおいの強さを指数表記にした値である。燻製により炭化水素系，芳香族系，エステル系，アミン系が増加した。

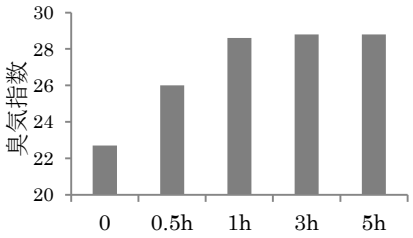


図 1　燻製時間と臭気指数

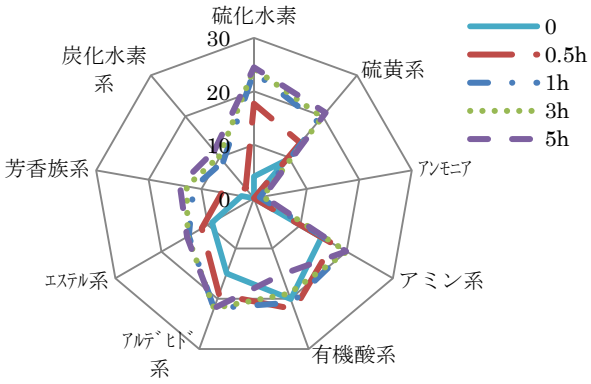


図 2　燻製時間による薫香の変化

3.2　食品成分による薫香の影響

食塩と砂糖を添加した寒天片の GC 分析においては，クロマトグラムで面積値が大きい酢酸とフルフラールを燻製成分増減の指標とした。各寒天片の水分活性と酢酸，フルフラール濃度を**表 1**，**2** に示す。

食塩添加で水分活性を調製した試料では，水分活性が低い（食塩濃度が高い）ほど，酢酸等の燻製成分の濃度が減少した。また，砂糖を添加した試料では，水分活性が低い（砂糖濃度が高い）ほど，燻製成分の濃度が増加した。食塩と砂糖で真逆の結果となったため，食塩水，砂糖水，およびゼラチン溶液を 10%w/v に調製，燻製した試料を測定した（**表 3**）。ゼラチン溶液，砂糖水は水と同程度の水分活性であった。燻製成分濃度はゼラチン溶液が水と同程度を示したが，砂糖水では高い値を示した。食塩水は水より水分活性が低くなり，燻製成分濃度も低い値であった。これらのことから，水分活性が低いと燻煙の付着が抑えられ，燻製成分濃度が低くなるものと推察される。しかしながら，糖分が含まれる場合はその濃度に応じて酢酸，フルフラール濃度は高くなると推察された。

表 1　食塩による水分活性調製と燻製成分

塩分(%)	水分活性	酢酸 (g/100g)	フルフラール (mg/100g)
0	0.99	0.09	3.22
5	0.97	0.08	2.19
10	0.93	0.07	1.24
15	0.89	0.06	1.26
20	0.83	0.04	-

表 2　砂糖による水分活性調製と燻製成分

糖分(%)	水分活性	酢酸 (g/100g)	フルフラール (mg/100g)
0	0.99	0.08	2.74
26	0.97	0.52	22.37
50	0.91	0.77	164.09

表 3　水分活性調製物による燻製成分の違い

	水分活性	酢酸 (g/100g)	フルフラール (mg/100g)
コントロール(水)	0.99	0.05	4.82
10%食塩水	0.94	0.04	2.06
10%砂糖水	0.99	0.45	60.12
10%ゼラチン水	0.99	0.07	3.86

3.3　燻製製品試作開発

漬物の燻製品を販売している企業から，燻製臭を抑え，漬物感を残したいとの要望があった。そこで，漬物を乾燥し，水分活性の低下による燻製臭の抑制を検討した。市販のたくあんを乾燥，燻製した後（**図 3**，**表 4**），ガスクロマトグラフィーで燻製成分を測定した。酢酸は全て同程度であったが，フルフラールでは，乾燥後に燻製処理をした 2 種は未乾燥より低い値となった。これらを試食したところ，乾燥した方が適度な燻製感と漬物感の両方があって良いとの意見であった。

水産物の試作開発では，燻製により，一般細菌数の減少が確認された（**表 5**）。また，長期保存においても菌数の増加が無く，保存性の維持が認められた。

4　結　　言

本研究を行った結果,以下の知見が得られた。

1) 燻製時間と薫香強度は正の相関を示すが,長時間では飽和状態になる。
2) 水分活性及び糖分量により,燻製成分濃度が変化する。

文　　献

1) 日本食品衛生協会:食品衛生検査指針　理化学編 2005
2) 笠原賀代子,西堀幸吉 : Bulletin of Japanese Society of Scientific Fisheries.
3) 佐合徹,栗田修 : 三重県工業研究所研究報告,No.37(2013)

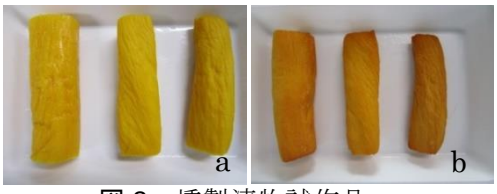


図 3　燻製漬物試作品

a.燻製前(左:乾燥なし，中央:50℃乾燥，右:70℃乾燥)
b.燻製後(左:乾燥なし，中央:50℃乾燥，右:70℃乾燥)

表 4　燻製漬物の燻製成分

	水分 (%)	酢酸 (g/100g)	フルフラール (mg/100g)
乾燥なし	84	1.22	4.02
50℃乾燥	77	1.19	2.63
70℃乾燥	72	1.08	2.43

表 5　燻製試作品の保存試験

		エビ		ハタハタ	
		乾燥	燻製	乾燥	燻製
一般細菌	保存前	7.6×10^2	＜300	3.2×10^2	＜300
数（個/g）	保存後	3.0×10^2	＜300	8.7×10^2	＜300

保存期間は，エビは 100 日間，ハタハタは 50 日間

精米歩合及び白米水分の酒米消化性に対する影響について

長谷川悠太　　工藤晋平　　高橋圭*　　奥田将生*

The effect of the rice polishing rate and rice moisture on sake rice digestibility

Yuta HASEGAWA　　Shimpei KUDO　　Kei TAKAHASHI*　　Masaki OKUDA*

1　緒　　言

日本酒の製造工程において，アルコール発酵に必要なグルコースは蒸米の酵素消化によって生成するため，原料米の消化性は酒質を左右する重要な指標になっている。一般に，酒米消化性は酒造用原料米全国統一分析法によって測定されるが,分析工程に時間と労力がかかるため,使用する全ての原料米を測定するのは困難である。消化性の迅速な判定が可能になれば，その年の原料米の特性を早期に判断し発酵管理に役立てることができるため，簡便な判定法の開発が求められていた。

米の主成分であるデンプンの糊化開始温度及び糊化ピーク温度は，原料米の消化性と密接に関連するデンプン分子構造の推定に利用できることが報告されている [1)]。また，アルカリ崩壊試験は簡易な消化性の分析法として知られている。本研修では，酒米の消化性の指標の一つである DSC(Differential Scanning Calorimeter)の糊化ピーク温度，およびアルカリ崩壊試験において，原料米の精米歩合及び白米水分がどのように影響するかを検証した。

2　実験方法

2.1　実験試料

精米歩合別 DSC の試料として，平成 30 年度広島県産山田錦，五百万石，日本晴をそれぞれ 70%，60%，50%，40%に精米後，粉末化したものを用意した。また，白米水分別 DSC の試料として，精米歩合 70%の平成 30 年度山形県産雪女神(金山町)，出羽燦々(大江町)，出羽の里(大江町)，美山錦(水田農試)，出羽燦々(水田農試)を白米水分 13.5%，12.0%，10.0%，9.0%に調整した後粉砕し，袋に二重に密閉して保存したものを使用した。さらに，水分別アルカリ崩壊試験には，精米歩合 70%の平成 30 年度山形県産雪女神(金山町)，出羽燦々(大江町)，出羽の里(大江町)を白米水分 13.5%，12.0%，10.0%に調整したものを使用した。

2.2　DSC によるデンプン糊化特性の解析

糊化ピーク温度は DSC(日立 DSC7000X)により測定した。リファレンスには酸化アルミナを用いた。サンプルパンに白米粉体を 35 mg 秤量し，蒸留水を 12 µl 加えて混合後，密封して測定試料とした。温度プログラムは 30℃から 10℃まで 20℃/min で降温，5 分間保持，10℃から 120℃まで 5℃/min で昇温，120℃から 20℃まで 100℃/min で降温に設定し測定を行った(図 1)。糊化ピーク温度は，熱分析ソフトウェアにより算出した。

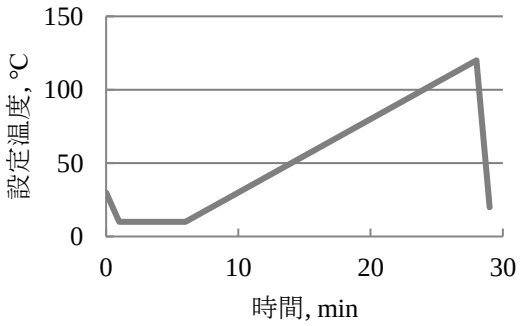


図 1　DSC 温度プログラム

2.3　アルカリ崩壊試験

篩(50mm×20mm, 16 メッシュ)に精米歩合 70%の白米を取り，砕米を除いて 50 粒とする。2% KOH 50ml を分注したビーカー(55mm×70mm)に篩ごと浸漬し 25℃で静置, 7 時間 45 分後に篩を取り出し 5 分間液滴をビーカーに回収した。溶解したアルカリ液をスターラー(350 rpm)で 10 分間撹拌後，100µl を試験管に分注し，10mM リン酸緩衝液 1.9 ml と塩酸 50µl,

【令和元年度高度技術者育成事業】

＊独立行政法人酒類総合研究所

0.01M ヨウ素液 100μl を加えて中和，染色した。染色した溶液の吸光度を波長 680nm で分光光度計(UV1900，島津製作所)にて測定した。

3　実験結果および考察

3.1　精米歩合別の糊化温度

平成 30 年度産山田錦，五百万石，日本晴をそれぞれ精米歩合 70%，60%，50%，40%に調整した試料を用いて DSC による測定を行った(**表 1**)。なお，精米歩合 40%の五百万石では砕米率が高く，整粒がほとんど得られなかったため実験には不適とした。

3 品種の中でも山田錦は比較的吸水しやすく，もろみ中で溶解しやすいという特徴を持っている。山田錦の糊化ピーク温度は他の 2 種と比べて明らかに低く，経験的に知られている溶解性の高さと合致する結果となった。各品種ともにピーク温度の差は 0.2~0.5℃と小さく，精米歩合が糊化ピーク温度に与える影響は少ないと考えられた。同一品種の比較では山田錦の 70%と 40%で 0.5℃の差があるが，60%と 40%では 0.1℃しか変化しておらず，高精白になるほど糊化ピーク温度に対する影響は小さくなる結果となった。酒造好適米は精米歩合 70%付近からデンプン，タンパク質などの構成比があまり変わらない。そのため糊化ピーク温度もあまり変化しないと推測され，今後さらに検証が必要である。

表 1　精米歩合別糊化ピーク温度

	糊化ピーク温度，℃			
品種	70%	60%	50%	40%
山田錦	63.5	63.1	63.0	63.0
日本晴	68.5	68.3	68.0	68.2
五百万石	68.3	68.4	68.2	-

DSC の他に，原料米の消化性を評価する方法として酵素消化法やアルカリ崩壊試験があるが，これらの方法は米をアルカリ液に浸漬して溶解させる必要があり，精米による表面積の変化に大きく影響を受ける[2)]。それに対し DSC での測定は，精米による影響を比較的受けにくいと考えられた。

今回は，粉体を作成後そのまま試料としたが，原料米の硬さや破砕機の性能により粒径に差が生じる可能性がある。今後の試験では破砕後の粉体を同一径の篩にかけて均一化し，試料の粒径を統一することとした。

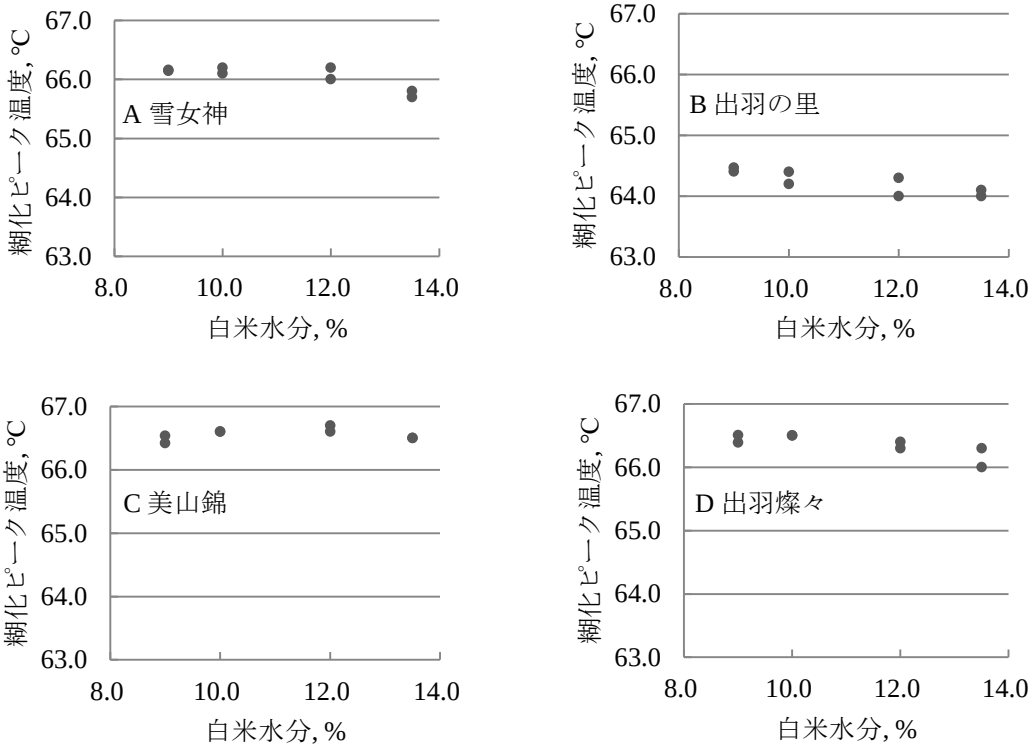


図 2　各品種における白米水分別糊化ピーク温度

3.2　白米水分別の糊化温度

白米水分別 DSC の結果を**図 2** に示す。

一般に玄米の水分は約 14~15%である。白米では精米を行うことで生じる摩擦熱により水分が減少することを踏まえ，白米試料の水分を 13.5%，12.0%，10.0%，9.0%の 4 段階に調整した。DSC 測定は 2 系列で行った。

各試料のピーク温度の差は 0.5℃以内に収まっており，精米歩合と同様に実際に現場で使用される範囲内ではほとんど測定値に影響しないと判断できた。

出羽の里は山形県で開発された酒米であり，溶解性が高いという特徴を持っている。出羽の里は他の品種よりも 1.5℃ほど低いピーク温度を示しており，この結果は実際に使用した際の溶け易さとも合致する。精米歩合別の試験結果と同様に，溶解性の高い品種と低い品種の間のピーク温度差は明確であるが，性質の近い品種間ではほとんど差がなく，判別が難しい。同一品種の収穫年度や産地差について判別するためには，昇温速度を遅くし，より計測精度を高める必要があると思われた。

3.3　アルカリ崩壊試験

消化性の異なる 3 種の原料米を用いて白米水分 10.0~13.5%の間で吸光度がどの程度変化するのか検討した(**図 3**)。吸光度が高いほどヨウ素染色を伴うデンプンの溶解が進んでいることを示す。各品種とも白米水分の変化による吸光度変化に一定の傾向はみられず，吸光度の変化は測定誤差によるものが大きいと考えられ，白米水分がアルカリ崩壊試験に与える影響は小さいと思われた。アルカリ崩壊試験では，原料米の表面積の影響を大きく受けるため，測定にあたっては精米歩合のみならず千粒重や粒径の差も考慮する必要がある。

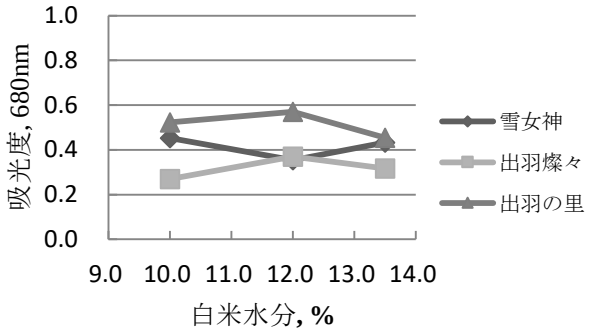


図 3　各品種における吸光度(680nm)

4　結　　言

本研究で得られた知見は以下のとおり。

1) DSC による糊化ピーク温度測定は，精米や水分による影響を受けにくく，原料米試料の精米歩合の統一や水分調整を必要としない可能性が示された。
2) 白米水分 10.0~13.5%の間ではアルカリ崩壊試験への影響は小さい。

謝　　辞

本研究は，研修生として受け入れていただいた独立行政法人酒類総合研究所にて行われたものである。ここに記し関係各位に謝意を表する。

文　　献

1) M.Okuda, K.Hashizume, I.Aramaki, M.Numata, M.Joyo, N.Goto-Yamamoto and S.Mikami : J.Appl.Glycosci,No.56(2009)185-192
2) 奥田将生，上用みどり，福田央 ：日本醸造協会誌, No.113(2018)315~330 頁.

防縮性および抗ピリング性をあわせもつウールによる縫い目のないインナー製品の開発

平田充弘　千葉一生　数馬杏子　城祥子　藤野知樹　佐竹康史　飛塚幸喜　中野哲
佐藤正樹*　古城信一*　水口和洋*　浅沼隆吾*　村岡昇**　角川映司**

Development of Seamless Undergarment Composed by Washable and Untipilling Wool

Mitsuhiro HIRATA　Kazuki CHIBA　Kyoko KAZUMA　Sachiko SHIRO　Tomoki FUJINO
Yasufumi SATAKE　Koki TOBITSUKA　Satoshi NAKANO
Masaki SATOH*　Shinichi KOGI*　Kazuhiro MINAGUCHI*　Ryugo ASANUMA*
Noboru MURAOKA**　Eiji TSUNOKAWA**

1　緒　　言

ウールは，スケールが毛根側から先端方向に向かって重なり合うように並んでおり，毛根側から先端に向かう方向と逆の方向では摩擦係数が異なる [1)]。フェルト化収縮は，湿潤下で摩擦係数異方性（DFE）が増加することで生じるとされる。一方，生地表面の毛羽が引き出され，周りの繊維が絡んで生じた玉状の塊をピリングと称するが，これは繊維相互の摩擦特性と曲げ剛性が影響し，フェルト化収縮と機構が異なる。

フェルト化収縮を防ぐ防縮加工としては，水に溶解した塩素ラジカルで酸化後，ポリアミド樹脂で被覆する方法によって，高い防縮性が発現される [2)]。この塩素ラジカルは，次亜塩素酸ナトリウムに酸を加えて酸性浴に調整するか，塩素ガスを水に溶解させることで得られる。しなしながら，近年，副反応として生成した吸着性有機塩素化合物（AOX）が，食物連鎖中に蓄積するおそれが危惧されている。このため，環境保全や持続可能な開発目標（SDGs）の観点から，代替方法が求められている。

これまで，筆者らは酸化還元処理に着目し，ウールの防縮加工に取り組んできた [3,4)]。ペルオキソ一硫酸カリウムを用いることで，クチクル層の蛋白質が選択酸化され，還元処理と組み合わせることで，スケールを保持しつつ防縮性と抗ピリング性を併せもつことが可能となる。本報告では，高性能，高品質，リーズナブルな製品を提供できる技術開発に取り組んだ結果を述べる。

2　実験方法

2.1　紡績方法

平均繊維直径 19.7 μm の酸化還元ウール 27.2 kg を前紡 6 工程，ダブリング数 8,046 回にて 0.33 g/m の粗糸を製造後，リング精紡機にて Z 500/m にて 1/48 糸 26 kg を作製した（歩留 95.6%）。

2.2　染色方法

1/48 糸を 3 子糸に撚糸加工後，反応染料を用い，チーズ染色機でノンプレス染色加工を行った。

2.3　編成方法

染色糸は，株式会社島精機製作所製シマトロニックホールガーメント横編機 M153XS15S にて，スワッチを作製して可編成を確認し，洗濯耐久性などの試験を行った。

2.4　評価方法

単糸の強伸度は，つかみ間隔 500 mm，引張速度 300 mm/min にて 30 回の平均から求めた。ピリング試験は ISO12945–1，洗濯耐久試験は，ISO6330 にて行った。密度は JIS L 1015 密度こうばい管法にて求めた。システイン酸含有量は，大塚電子株式会社製 Agilent7100 にて泳動液に α-AFQ118，JIS 1018 に準拠して前処理した試料を用いて測定することで求めた。羊毛の等電点は，平板セルを用い，大塚電子株式会社製ゼータ電位･粒径測定システム ELS-Z2 で測定した。抗菌試験は JIS L 1902 にて 3 検体の平均から，ハロー幅を求めた。臭気減少率は，エタノール溶液に 2 時間浸漬後の吸着量をガクロマトグラフィー分析で求めて算出した。

【平成 29～令和元年度　経済産業省　戦略的基盤技術高度化支援事業】

＊佐藤繊維株式会社　＊＊山形整染株式会社

3　実験結果および考察

3.1　コーマ処理による紡績糸の高品質化

コーマとは紡績原料であるスライバーをくしけずる繊維機械であり，短い繊維を除去したり，長く引き伸ばしたりすることができる。酸化還元ウールのスライバーにコーマ処理を行った場合も，平均繊維長は 80.2 mm から 84.8 mm に伸長し，Hauter 法による 30 mm 以下の繊維含有率は 8.3%から 5.1%に減少した（**表 1**）。この含有率には，繊維長 1 mm 以下の毛屑（**図 1**）は含まれておらず，これを含めた含有率はより大きくなると推測される。メートル番手 1/48 にリング精紡後，単糸の不良数は，コーマ処理によって 849 から 69 に低減した。一方，破断強度は 84.9 cN から 63.7 cN に，破断伸度も 4.4%から 2.4%に低下し，糸切れが生じやすい状態となった。

表 1　コーマ処理による精紡糸の特性変化

	コーマなし	コーマあり
平均繊維長 [a]	80.2 mm	84.8 mm
短繊維含有率 [a]	8.3%	5.1%
不良数 [b]	849	69
破断強度 [c]	84.9 cN	63.7 cN
破断伸度 [c]	4.4%	2.4%

[a] JIS L 1081 A 法(アルメータ), Hauteur 法.
[b] USTER 社製機器.
[c] つかみ間隔 500 mm，引張速度 300 mm/min，試験数 30 回.

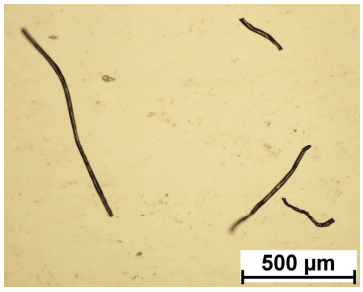


図 1 前紡工程で発生した毛屑の一例

3.2 編成及び染色に対応した撚糸条件の確立

1/48 糸に温度や時間を変えて糸蒸し加工を行い，固定度合を撚り戻り試験器を用いてクリンゲルファクトメーター（Kr）値を測定した（**図 2**）．加工温度が高く，加工時間が長くなるにつれ，Kr 値が低下する傾向にあり，70 °C，40 分でチーズ糸の内側と外側の Kr 値がおおよそ一定となったことから，これを適正値とした。

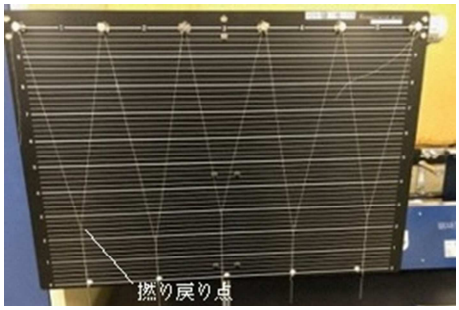


図 2 撚り戻り試験器による Kr 値測定

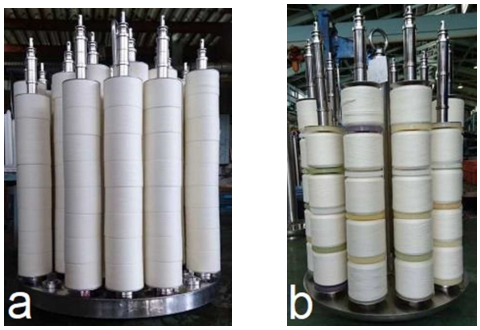


図 3 チーズ染色機の染色糸設置外観
: (a)プレス加工糸, (b)ノンプレス加工糸

図 4 ノンプレス染色加工糸の巻層毎に筒編機で編成した生地 ： 外;外層,中;中層,内;内層

3.3 チーズ染色機によるノンプレス染色加工

通常，チーズ染色機では，チーズ糸をプレスして染色を行うが，酸化還元処理されたウールは，通常のウールに対し染着性が高くなっているため，ノンプレス加工により染色性が向上しないか検討を行った（**図 3**）。チーズ染色機で加工したチーズ糸の内層，中層，外側を筒編機でサンプル生地を編成し（**図 4**），内側と外側の色差ΔE_{ab}を測色した結果，プレス加工が 1.14，ノンプレス加工が 0.37 であった。また，摩擦に対する染色堅ろう度は，プレス加工生地の乾摩擦が 3 級，湿摩擦が 3–4 級だったのに対し，ノンプレス加工生地の乾摩擦が 4–5 級，湿摩擦が 3–4 級であった。ノンプレス加工により，染料がチーズ糸の内層まで均一に染色されたことにより，糸内部への染料拡散性も上昇したため，

染色堅ろう度が向上したのではないかと考えられる。

3.4 防縮性と風合いを両立させる整理加工

3/48 染色糸をホールガーメント横編機 M153XS15S により，編幅 60 cm で平編生地を編し，8 枚以上，無傷で連続してスワッチを作製できた。得られたスワッチは，ワッシャー機で仕上加工を行うことで，防縮性の向上が認められた。また，染色工程で還元処理を行うことで，ピリング 4.5 級，フェルト寸法変化率面積 0.8% 迄，防縮・抗ピル性を向上することができた（**表 2**）。

表 2 還元処理による防縮・抗ピル性の評価

還元処理		あり		なし
ピリング [a]		4.5 級 ピルの脱落あり		2.5 級 ピルの脱落あり
緩和寸法変化率 [b]	たて	–9.3%	たて	–4.1%
	よこ	0.9%	よこ	–2.5%
フェルト寸法変化率 [c]	たて	–2.8%	たて	–3.9%
	よこ	2.1%	よこ	–2.5%
	面積	–0.8%	面積	–1.5%
合計寸法変化率 [d]	たて	–11.8%	たて	–7.8%
	よこ	3.0%	よこ	–0.1%

[a] ISO19945-1.
[b] ISO6330 4G + タンブル乾燥 80°C, 30min.
[c] (ISO6330 4N +タンブル乾燥 80°C, 30min) ×5 回.
[d] ISO6330 4G +タンブル乾燥 80°C, 30min)
+ (ISO6330 4N +タンブル乾燥 80°C, 30min)×5 回.

3.5 酸化還元処理ウールの構造解析と特性評価

酸化還元処理ウールの特徴を調べるため，塩素処理ウール，未処理ウールと特性を比較した（**表 3**）。防縮加工した酸化還元処理ウール，塩素処理ウールの密度が，未改質ウールよりやや大きいのは，キャピラリー電気泳動測定で求めた酸化還元処理ウール，塩素処理ウールのシステイン酸含有量が，未処理ウールに対し，それぞれ約 10，約 5 倍を示したことから，シスチンがシステイン酸に変性し，単位ユニット当たりの分子量が，見掛け上，増加した可能性がある。また，防縮ウールの等電点が未処理ウールに比べて上昇していることも，システイン酸含有量の増加によって，繊維の表面状態が変化したと考えられる。さらに，酸化還元処理ウール繊維の強度が低下したことは，シスチンがシステイン酸に変性したことで，タンパク質間の橋掛け数が減少したと考察した。

菌株に黄色ブドウ球菌を用い，ハロー法で 24 時間，抗菌試験を行った結果，酸化還元処理ウールが 1.0 mm，未処理ウールが 0.2 mm で，塩素処理ウールは確認できなかった。また，シャーレ内の試料周囲の培地状態は，酸化還元処理ウールに乱れがあったのに対し，塩素処理ウールと未処理ウールには乱れがなかった。このことから，酸化還元処理ウールには，黄色ブドウ球菌の増殖を阻害する作用がある可能性が示唆される（**図 5**）。

表 3 各種改質ウールの特性

改質方法	酸化還元	塩素処理	未処理
密度 [a]	1.316 g/cm^3	1.311 g/cm^3	1.308 g/cm^3
システイン酸含有量 [b]	0.890 mg/L	0.435 mg/L	0.081 mg/L
等電点 [c]	4.17	4.89	3.65
強度 [d]	4.85 cN	5.76 cN	5.49 cN
伸度 [d]	34.5%	38.9%	38.2%
臭気減少率 [e]	47%	37%	71%

[a] JIS L 1015 密度こうばい管法.
[b] キャピラリー電気泳動： α-AFQ118, 350 nm, -20 kV.
[c] ゼータ電位：平板セル, 10 mM NaClaq. モニター粒子 粒径 500 nm ポリスチレン.
[d] JIS L 1015 つかみ間隔 20 mm, 引張速度 20 mm/min.
[e] GC :注入 1 μL スプリットレス, He 1.0 mL/min, 40–190 °C,
10 °C/min 昇温, FID 検出.

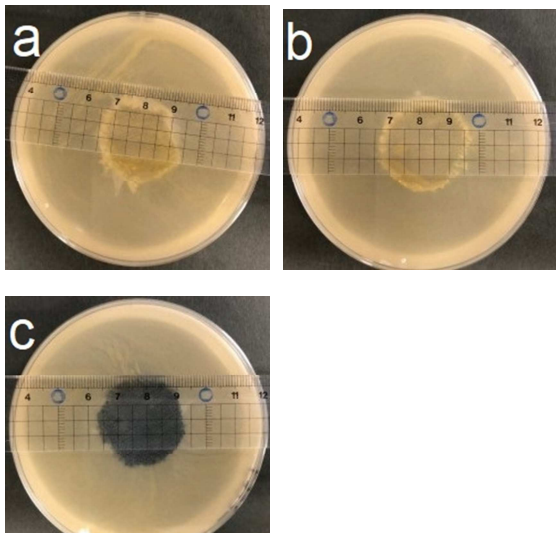


図 5 ハロー試験後の各種試験体の外観写真：(a)酸化還元処理ウール，(b)塩素処理ウール, (c)未処理ウール

一方，ガスクロマトグラフィー機器にてインドールに対する吸着量から求めた臭気減少率は，未処理ウールが 71%と最も高く，酸化処理ウールが 47%，塩素処理ウールが 37%と防縮加工によって低減する結果となった。このことは，防臭性と抗菌性が一致しない場合があることを示しているが，発現機構の解明には更なる調査が必要である。

図 6 無縫製インナー試作品

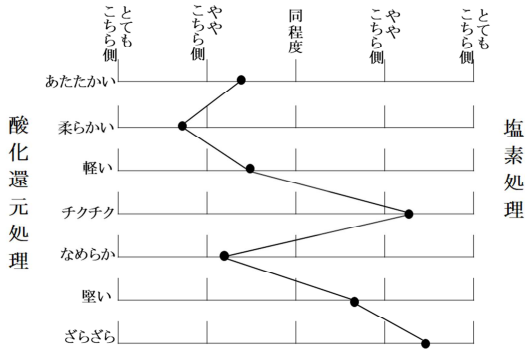


図 7 一対比較法による官能評価試験結果

3.6 無縫製インナー製品の企画

無縫製インナー製品の企画は，佐藤繊維株式会社が紳士用ブランド 991®で RaYS（Raw Yarn with Scale）にて手掛けている半袖を元に，度目の調整，身頃の脇部への透かし柄の導入などシルエットパターンを検討し，ホールガーメント横編機にて完全一体成型品を作製した（図 6）。さらに，酸化還元処理ウールおよび塩素処理ウールを素材とした無縫製インナー製品を作製し，試験者 7 名で一対比較法にて，7 項目，5 段階による官能評価試験を行った。酸化還元処理ウールの方が塩素処理ウールに比べ，「柔らかい」に優れ，「あたたかい」，「軽い」，「なめらか」にやや優れる結果となった（図 7）。

4 結　　言

高性能，高品質，リーズナブルな製品を提供できる技術開発に取り組んだ結果，以下の知見が得られた。

1) 酸化還元処理ウールのスライバーにコーマ処理を行うことで，短繊維含有率や不良数の低減が可能である。
2) チーズ染色機で酸化還元処理ウール糸のノンプレス染色加工を行うことで，染色糸の内外層の色差を低減することができる。
3) 酸化還元処理ウール糸の染色工程で還元処理を行うことで，防縮性と抗ピル性をあわせもつ編地を得ることができる。
4) 酸化還元処理ウールは，未処理ウールに対しシステイン酸を約 10 倍多く含有し，黄色ブドウ球菌の増殖を阻害する可能性がある。
5) 酸化還元処理ウールで作製した無縫製インナー製品の特徴は，「柔らかい」，「なめらか」である。

謝　　辞

本研究は，経済産業省からの助成で行われたものである。ここに記し関係各位に謝意を表する。

文　　献

1) 日本羊毛産業協会 ： 羊毛の構造と物性，繊維社，2015，46 頁.
2) 安部田貞治，小林重信訳 ： Textile Finishing 「テキスタイル加工」，IS 株式会社，2009，頁.
3) 平田充弘，小関隆博，尾形広行，日比野伸，佐藤功一 ： 山形県工業技術センター報告，No.43（2011）47.
4) 平田充弘，佐藤正樹 ： 繊維機械学会誌，71（7）（2018）429.

山形県産のきびそと青苧を素材とする紡績糸の開発

平田充弘　　千葉一生

Development of Knitting Span Yarn Composed by Local Silk and Ramie

Mitsuhiro HIRATA　　Kazuki CHIBA

1　緒　　言

通常，シルクは長繊維が利用されるが，膨らみや伸縮性を必要とするニット製品では短繊維の絹紡糸が多く用いられ，屑繭，副蚕糸が原料とされる。このうち，操糸で生じる屑糸を集めて洗浄,乾燥させたものがきびそであり,特に,繭の表層から熨斗（ろと）糸を取る時に生じるものは,不純物が少ない平きびそと称される[1)]。また，繭繊維または生糸には，セリシンという膠状の蛋白質が被覆されており，精練によって除去することで，半透明な美しい光沢，柔らかい触感を有するフィブロイン繊維として多くが用いられている。一方，セリシンに化学処理を行い，不溶化することで精練絹とは異なった外観,手触り,性能を与える方法も知られている。このセリシン定着には，アルデヒド類，重金属類，タンニン，メラミンなどの合成樹脂，塩素化イソシアヌル酸塩などが，効果があるとされている[2)]。

これまで，著者らは苧麻や亜麻スライバーに脱ガム処理やマーセル化処理を行い，捲縮性の発現に取り組んできた[3-5)]。濃厚苛性ソーダ溶液に無緊張状態で浸漬させることで，I型からII型に構造が変態し，非晶部の増大によって，伸度の向上や濃染化が可能となる。本研究では，山形県大江町で栽培された青苧（苧麻）と山形県産のきびそを原料とした紡績糸の開発に取り組んだ。マーセル化処理した青苧と塩素化イソシアヌル酸塩にてセリシン固着処理したきびそを組み合わせることで,繊度など構造が麻に近く,伸縮性などの物性が絹に近い，新たな特性を持った紡績糸を作製できる可能性がある。これにより，これまでシルクでの利用が少なかったカジュアル分野への展開に期待がもたれる。

2　実験方法

2.1　きびそ及び青苧の精練・改質方法

きびそは,株式会社鶴岡シルクより購入した。セリシン固着処理は，羽前絹練株式会社にて塩素化イソシアヌル酸ナトリウムを用いて行った。青苧は,大江町の青苧復活夢見隊より購入した。マーセル化処理は，東北整練株式会社にて苛性ソーダを用いて行った。スライバーの作製は，株式会社東北イノアックで精練処理したきびそ及び青苧を 130 mm に破断後，所定の重量比で混合し，ローラーカード機に投入して形成したウェブをトランペッタで収束させて行った。

2.2　紡績・染色・編成方法

単糸は，月山紡績株式会社にて，混合スライバーを前紡 4 工程で加工後，リング精紡で作製し，真空セットで撚り固定を行った。双糸は，佐藤繊維株式会社にて，イタリー式撚糸機で加工後，真空セットを行った。染色は，石川染工株式会社で反応染料または酸性染料で，噴射式綛染色機で行った。編成加工は，有限会社奥山メリヤスにて 10 ゲージ横編機を使用して取り組んだ。

2.3　特性評価方法

きびその繊度，ネップ数は一般財団法人ケケン試験認証センターに試験を依頼した。引張試験は，単繊維は Textechno H. Stein 社製 FAVIGRAPH,紡績糸は東洋ボールドウィン株式会社製テンシロン UTM-4-100 を用いて行った。接触冷温感の測定は，カトーテック株式会社製精密迅速熱物性測定装置 KES F-7 サーモラボII型を用いて行った。洗い方 JIS L 1930 C4N における寸法変化試験は，パナソニック株式会社製全自動洗濯機 NA-FS710 を用いて行った。斜行は，スワッチをワッシャー機で洗浄後，ウェール方向の布目曲がりから求めた。

【平成 30～令和元年度　貞明皇后研究助成事業】

3　実験結果および考察

3.1　きびその精練・改質処理

きびその塩素化イソシアヌル酸ナトリウム塩による処理において，pH 及び浴比を変えて検討した結果を**表 1** に示す。マルセル石鹸による練減率は，pH4.5 で 13.8%，pH9.0 で 20.5%となり，酸性で小さくなった。加工液の pH を 4.5 一定にし，浴比を変えて処理したところ，マルセル石鹸による練減率は，1：100 で 13.8%，1：20 で 7.88%となり，浴比が小さい方が低減した。塩素剤およびマルセル石鹸処理後，ローラーカード機で開繊して得られたウェブは，練減率が小さいと平均繊維直径が大きく，ネップ数が少ない傾向にあった。そこで，マルセル石鹸処理した通常の絹繊維と塩素処理後，マルセル石鹸処理したきびそ繊維を引張試験にて比較した。きびそ繊維の伸度は，絹繊維と同等だったのに対し，強力は約 3.5 倍大きい結果となった（**図 1**）。このことから，繊維が丸く絡まった状態であるネップは，平均繊維直径が小さいと，剛性が低くなるため絡まり易くなるのではないかと考えられる。

生糸のセリシン固着処理では，ジクロロトリアジン系反応染料を用いると，マルセル石鹸による練減率が 0.5%となることが知られている[6]。そこで，きびそに浴比 1：20，7.5%owf でジクロロトリアジン系反応染料を加え，30 °C で 30 分保持後，炭酸ソーダを添加し 95 °C で 45 分処理してみたが，マルセル石鹸による練減率は 19.7%だった。染料の反応基や分子量など分子構造が異なることが考えられるが，同一染料の入手が困難であったため，検証できなかった。

3.2　きびそと青苧のカード及び紡績加工

塩素処理後，マルセル石鹸処理したきびそとマーセル化処理した青苧を 2 水準（70/30, 30/70）でトウカット後，混合し，ローラーカード機でスライバーを作製した。得られたスライバーは，前紡 4 工程を経て，リング精紡機にて設計メートル番手 32 で単糸を作製後，イタリー式撚糸機で双糸とした。紡績糸の特性結果を**表 2** に示す。実測番手は混合比によらず，一定であった。きびそ/青苧（70/30）の混紡糸は，下より数 Z412.9/m，上より数 S231.9/m で，編地の斜行（布目曲がり）が 12.9%だった。そこで，きびそ/青苧（30/70）の混紡糸は，下より数 Z384.7/m に対し，上より数を S196.5/m に調整したところ，斜行を 1.69%まで低減できた。きびそ/青苧（70/30）の混紡糸は，破断伸度が 11.3%，破断強度が 1294 cN だったのに対し，きびそ/青苧

表 1　精練条件によるきびその特性変化

塩素剤濃度	7.0%owf	7.0%owf	7.5%owf
溶液の pH	9.0	4.5	4.5
浴比	1:100	1:100	1:20
練減率 [a]	20.5%	13.8%	7.88%
繊度 [b]	12.1 μm	11.4 μm	12.7 μm
ネップ数 [c]	12.4 個/g	18.4 個/g	11.5 個/g

[a] JIS L1096 95 °C, 40 分.　[b] JIS L 1081 D 法(OFDA).
[c] JIS L 1081.

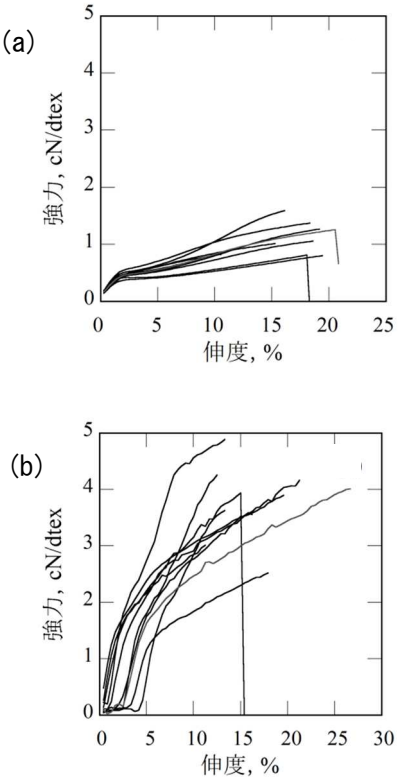


図 1 マルセル石鹸処理した絹繊維(a)と塩素剤及びマルセル石鹸処理したきびそ(b)の強伸度曲線

表 2　きびそ/青苧の混合カードによる単糸・双糸の特性

ｶｰﾄﾞ加工の混合比		きびそ 70% 青苧　30%	きびそ 30% 青苧　70%
ﾒｰﾄﾙ番手 [a]	単糸	32.2	32.5
	双糸	2/32.3	2/33.7
より数 [b]	単糸	Z 412.9/m	Z 384.7/m
	双糸	S 231.9/m	S 196.5/m
破断伸度 [c]	単糸	8.6%	4.1%
	双糸	11.3%	7.3%
破断強度 [c]	単糸	656 cN	456 cN
	双糸	1294 cN	711 cN

[a] JIS L 1095　[b] JIS L 1095 B 法.
[c] JIS L 1095 つかみ間隔 200mm，引張速度 200mm/min.

（30/70）の混紡糸は，破断伸度が 4.1%，破断強度が 456 cN だった。きびそ/青苧（70/30）の破断強度が大きくなったのは，セリシン固着したきびそ繊維の強度が（**図 1**），通常の絹繊維より大きいためではないかと考えられる。

3.3 染色及び編成加工

染色は，淡緑色の反応染料を噴射式絞染色機で加工を行った。染色糸は，10G 横編機で平編組織のサンプル生地を編成し，ワッシャー機で洗浄後，編地の目面状態を観察した。絞染後の仕上処理では，軽量感に課題があったが，編成後にワッシャー機で仕上処理を行うことで改善できた。淡緑色の反応染料で染色した編地の染色堅ろう度は，概ね 4 級以上で良好だった。一方，カーキ色の酸性染料で染色した編地の染色堅ろう度は，耐光，湿摩擦が 2–3 級となったほか，洗濯の変退色，酸性及びアルカリ性の汗に対する汚染が反応染料に対し半級低くなった（**表 3**）。

10 ゲージ横編機で 1 本取り平編組織で編成した生地の目付，度目，カバーファクターは，混紡糸の混合比によらず,おおよそ一定であった。破裂強さは，きびそ/青苧（70/30）の編地が 456 kPa，きび/青苧（30/70）の編地が 228 kPa だった（**表 4**）。きびその割合が多い方が編地の破裂強さが大きくなったのは，きびその割合が多い方が紡績糸の破断強度が大きくなった結果と一致しており，セリシン固着処理による効果と考えられる。一方，編地のピリングは混合比によらず 1 級となり，きびそのカード加工時に生成したネップがピルの起点となっていると考えられる。洗い方 JIS L 1930 C4N による洗濯に対する寸法変化は，ウェール方向に収縮，コース方向に伸長し，洗濯機に対する形態安定性が乏しいことがわかった。

きびそ/青苧（70/30）及びきびそ/青苧（30/70）の混紡糸で編成された生地の熱流量ピーク値（q max）は，それぞれ 0.054 及び 0.055 W/cm^2，熱移動量（q int）は 0.199 及び 0.095 W/cm^2，熱伝導率は 5.45 及び 5.71 mW/m・K だった（**図 2**）。q max 値がおおよそ等しいのに対し，q int 値に差が生じたことは，混合比によって冷たさは変わらないが，きびその割合が多いと，冷たさが持続するといえる。これに対し，熱伝導率は，青苧の割合が多い方が高くなった。これについて，q max 値は瞬間的な熱移動量であるのに対し，熱伝導率は定常的な熱移動量であるため，両者に相関がないことが報告されており [7]，今回も同様になったと考えられる。

表 3 2/32 混紡糸（きびそ/青苧，30/70）の反応または酸性染料による絞染色加工に対する各種堅ろう度

染料の種類（色）		反応染料 (淡緑色)	酸性染料 (カーキ色)
耐光 [a]	変退色	3–4 級	2–3 級
洗濯 [b]	変退色	4 級	4 級
	汚染	4–5 級	4–5 級
汗(酸性)[c]	変退色	4–5 級	4–5 級
	汚染	4–5 級	4 級
汗(ｱﾙｶﾘ)[c]	変退色	4–5 級	4–5 級
	汚染	4 級	3–4 級
摩擦(乾)[d]	汚染	4–5 級	4–5 級
摩擦(湿)[d]	汚染	4–5 級	2–3 級

[a] JIS L 0842 第 5 露光法. [b] JIS L 0844 A-2 号.
[c] JIS L 0848. [d] JIS L 0849 試験機Ⅱ型.

表 4 2/32 混紡糸の 10 ゲージ 1 本取り平編生地の特性

ｶｰﾄﾞ加工の混合比	きびそ 70% 青苧 30%	きびそ 30% 青苧 70%
目付 [a]	127.7 g/m^2	128.0 g/m^2
度目 [a]	13.2	13.1
ｶﾊﾞｰﾌｧｸﾀｰ [a]	1.93 mmtex	1.90 mmtex
斜行 [a]	12.9%	1.69%
破裂強さ [a]	456 kPa	228 kPa
ﾋﾟﾘﾝｸﾞ [b]	1 級	1 級
寸法変化 [c]	ｳｪｰﾙ −12.3% ｺｰｽ 32.8%	ｳｪｰﾙ −9.5% ｺｰｽ 27.3%
q max[d]	0.054W/cm^2	0.055W/cm^2
q int[d]	0.199W•s/cm^2	0.095W•s/cm^2
熱伝導率 [d]	5.45mW/m•K	5.71mW/m•K

[a] JIS L 1096. [b]JIS L 1076 A 法. [c] JIS L 1930 C4N.
[d] JIS L 1927.

ニット製品を試作するにあたり，2/32 混紡糸（きびそ/青苧，70/30）を淡緑色の反応染料で染色後，カーディガンを作製したが，モニタリング調査では，ネップが毛玉の印象を受けるとの結果を受けた。そこで，酸性染料によりきびその片染めを行い,ネップ部を杢糸風に強調し，編密度が低い組織への変更を検討した。編組織

には，手編みで用いられている畝編み，すかし編みを参考に [8]，編成パターンを作製後，横編機で生地を編成し，縫製を経てワンピース，カーディガンを試作した（図 3）。

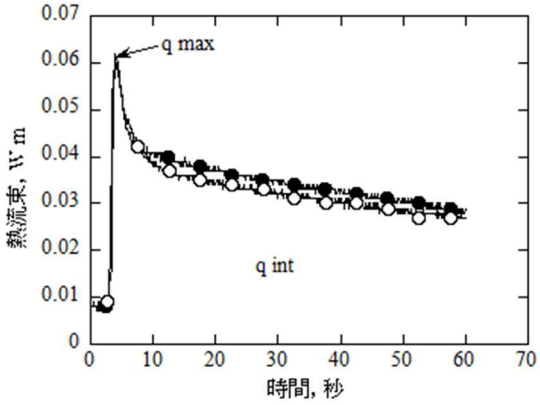


図 2 2/32 混紡糸の 10 ゲージ 1 本取り平編生地の接触冷温感測定結果 ： きびそ/青苧麻 ； ● 70/30, ○ 30/70

4 結　　言

山形県大江町で栽培された青苧と山形県産のきびそを原料とした紡績糸の開発に取り組んだ結果，以下の知見が得られた。

1) 塩素化イソシアヌル酸塩によるきびその精練は，酸性，低浴比で行うことでセリシン固着の効果があり，ネップ数が低減できる。
2) セリシン固着処理したきびそ繊維は，紡績糸の破断強度，編地の破裂強さを向上できる。
3) 混紡糸で作製した編地は，青苧の割合が多いと熱伝導率が大きくなるが，きびその割合が多いと冷たさの持続性が長くなる。

謝　　辞

本研究は，一般財団法人大日本蚕糸会からの助成で行われたものである。ここに記し関係各位に謝意を表する。

図 3　2/32 混紡糸（きびそ/青苧，30/70）で試作したニット製品 ： (a) ワンピース, (b) カーディガン

文　　献

1) 水出通男 ： シルクの科学，朝倉書店，1994, 37 頁.
2) 加藤弘 ： 絹繊維の加工技術とその応用，繊維研究社, 1987, 241 頁.
3) 平田充弘 ： 繊維機械学会誌，69 (10) (2016) 635.
4) 平田充弘，小関隆博，渡邊健 ： 山形県工業技術センター報告, No.47 (2015) 50.
5) 平田充弘 ： 山形県工業技術センター報告, No.50 (2018) 64.
6) 大内進 ： 公開特許公報，昭 59-125969(1984).
7) 杉山儀，池上大輔，藤田浩文 ： あいち産業科学技術総合センター研究報告，No.3(2014)100.
8) 朝日新聞出版 ： フラックスで編む春夏の編み物，朝日新聞出版, 2019, 24 頁.

抄　録　／　論 文 発 表

Fabrication of MEMS mold with inclined micro-multi-fin structure and shape transfer to resin by thermal imprint process

T. Yahagi, H. Murayama, Y. Watanabe, and T. Mineta*

Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 59, No. SI, SIIJ02 (2020)

In this paper, we describe the fabrication of horizontal and inclined micro-multi-fin structures and discuss the experimental results of the shape transfer to resin material. The shape transfer to the resin material was examined using a thermal imprinting process. In both mold types, the resin was injected into the narrow gaps of the multi-fin structures of the mold. It was difficult to release the resin in the horizontal multi-fin from the mold. Conversely, with the inclined type, the multi-fin shape was successfully transferred to the resin and released without fracture (2 μm pitch ridge structure with a 0.2 μm pitch inclined multi-fin structure). The optical reflection of the inclined molded COP resin was evaluated, exhibiting a light blue reflection.

*Yamagata University

Sensory properties and metabolomic profiles of dry-cured ham during the ripening process

Masahiro Sugimoto*, Tetsuya Sugawara, Shinichi Obiya**, Ayame Enomoto*, Miku Kaneko*, Sana Ota*, Tomoyoshi Soga*, Masaru Tomita*

Food Research International, Vol. 129, March, 108850 (2020)

Dry-cured ham with a long ripening period is a valuable product worldwide. Ripening time is a key determinant of the endogenous metabolites that characterize the flavor and taste of ham products. While various studies have analyzed the relationship between ripening duration and sensory characteristics, no studies have evaluated ham products produced in Japan. Here, we conducted time-course metabolomic profiling, taste sensor-based analyses, and sensory evaluations by non-trained consumers during ripening.

*Institute for Advanced Biosciences, Keio University, **Tohoku Ham

山形県庄内産メロンのメタボローム解析と果芯エキス開発

菅原哲也，若山正隆*，服部愛衣*

日本食品科学工学会誌，Vol. 65(1), pp. 24-34 (2020)

メロン（*Cucumis melo* L.）はウリ科キュウリ属の一年草であり，果実を食用とし，果肉の色から赤肉種，青肉種に大別され，多様な品種が全国で栽培されている．山形県庄内地域において温室栽培，露地栽培されたメロン果実の各栽培品種（3 種）について，部位（果肉，果芯，果皮）ごとにメタボローム解析を行い，栽培方法による各品種，部位の代謝物変動を解析した．

メロン果芯部位は，いずれの栽培品種，栽培条件においても，アミノ酸等の代謝物濃度が他部位よりも顕著に高い値を示した．本部位は果汁製造工程において，大量に排出されている．メロン果汁の搾汁残渣を活用し，GABA 等の生理活性成分を多量に含有するメロン果芯エキスを開発した．

*慶應大先端研, **果香

抄　録　/　口　頭　発　表

マルチ TSV 構造電流端子を有する MEMS ロゴスキーコイル

渡部善幸　加藤睦人　矢作徹　村山裕紀　九里伸治*　吉田賢一*　指田和之*　新井大輔*　池田克弥*　池田康亮*　竹森俊之*（*新電元工業株式会社）

第 36 回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム（2019.11.19-21）

エレクトロニクス実装学会第３４回春期講演大会（2020.3.3-3.5）

パワーデバイスにおける過大電流検出を目的とした TSV 構造電流端子を有する MEMS ロゴスキーコイル型電流センサを開発した。コイルインピーダンスの周波数特性を評価し、MHz まで安定して電流検出可能であることを確認した。また、マルチ TSV 構造電流端子に 10 から 100A/μs までのパルス電流を印加したところ、ロゴスキーコイルによりほぼ比例的に誘導起電力を検出可能であることを確認した。

MEMS ロゴスキーコイル型電流センサの電流経路依存性

渡部善幸　加藤睦人　矢作徹　村山裕紀　吉田賢一*　指田和之*　池田克弥*　池田康亮*　竹森俊之*（*新電元工業株式会社）

2020 年第 81 回応用物理学会秋季学術講演会（2020.9.8-11）

TSV（貫通配線）の数および配置の異なる 3 種類の電流端子を有する MEMS ロゴスキーコイルを試作し、通電電流の経路依存性を調べた。その結果、いずれの電流端子でも通電電流に対して比例的に電流検出可能であるが、TSV の数が最もが多いタイプの感度が他のタイプよりも低かった。電流端子と基板間の容量結合や、磁気結合による影響と考えられることを示唆した。

MEMS プロセスを用いた微細多段フィン構造の形成と樹脂への構造転写

矢作徹　村山裕紀　渡部善幸　峯田貴*

MNC2019（2019.10.30）

2019 年度精密工学会東北支部「学術講演会」（2019.11.9）

第 36 回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム（2019.11.21）

（一社）表面技術協会第 141 回講演大会（2020.3.3）

本研究では、スパッタリング、ドライエッチング、ウエットエッチング等の MEMS プロセスを用いて Si 基板上に数 μm ピッチのリッジ（筋）構造、及び数百 nm ピッチの微細多段フィン構造を作製した。作製した基板を型に用いて、樹脂の流し込み及び、熱インプリントによる樹脂への形状転写について検討した。その結果、斜め微細多段フィン構造を用いた熱インプリントにより、数百 nm ピッチの極細構造が樹脂に転写されることを確認した。さらに光学特性評価を行ったところ、400～600nm の波長領域で強い反射特性を示し、モルフォ蝶の鱗粉構造に類似した特徴を示すことを確認した。

*山形大学

各種カルシウム剤のラ・フランス果肉への影響

長俊広　野内義之　城祥子　菅原哲也

公益財団法人日本食品科学工学会第 66 回大会（2019.8.30）

セイヨウナシ（ラ・フランス）の果肉軟化抑制に適したカルシウム剤の選定を目的に、果肉へ各種カルシウム剤を浸透後、加熱処理し、果肉硬度測定および食味評価を行った。果肉硬度測定の結果、酢酸カルシウム、プロピオン酸カルシウム試験区が他の試験区と比べて破断荷重値が高い結果であった。味覚センサー分析および官能試験による食味評価では、乳酸カルシウム、グルコン酸カルシウム試験区の評価が高い結果となった。

やまがたオリジナル微生物を利用した新規発酵食品の開発

城祥子　長俊広　飛塚幸喜

日本食品科学工学会東北支部令和元年大会および日本栄養・食糧学会東北支部第 53 回大会合同

支部大会（2019.11.16）

山形を連想しやすい県産資源より植物性乳酸菌の分離選抜を実施し,「やまがたオリジナル乳酸菌」としてライブラリー化した。分離乳酸菌は生育に適する培地や最適生育温度が異なる傾向が見られた。分離乳酸菌から数株を使用しリンゴ，ワナシ，カキおよびリンゴとカキのミックス果汁の発酵試験を行った結果，原料と菌株の組み合わせにより香味の異なる発酵物が得られた。

ラ･フランス果肉へのカルシウム浸透方法と加工効果

野内義之　長俊広　城祥子

日本食品科学工学会東北支部令和元年大会および日本栄養･食糧学会東北支部第 53 回大会合同支部大会（2019.11.16）

セイヨウナシ（ラ・フランス）果肉にカルシウム溶液を浸透させ、加熱加工に対する軟化抑制効果を検討した。乳酸カルシウム溶液へ果肉を浸漬処理した試料は、カルシウム無処理区に比べて加熱加工後も高い果肉硬度値を示した。また、乳酸カルシウム溶液を減圧浸透した試料も浸漬加工と同様に高い果肉硬度値を示した。浸透方法が異なっても、果肉にカルシウム剤が十分浸透することで同程度の軟化抑制効果が得られると考える。

山形県庄内産原料を使用した熟成生ハム開発と商品化

菅原哲也 杉本昌弘* 帯谷伸一**

令和元年度全国食品技術研究会（2019.10.31）

熟成生ハムは，骨付きのモモ肉を塩漬し，乾燥，熟成工程を経て製造される．近年，日本でも熟成生ハムが製造されるようになっているが，熟成生ハム各部位や熟成期間中の呈味性や呈味成分変化について，詳細な検討は行われていない．本研究では，代謝物分析や呈味性解析により，最適な熟成期間について考察するとともに，その嗜好性について，官能評価により検討し，国産原料を使用した熟成生ハムを商品化した．

*慶應先端研, **東北ハム

研究成果広報委員

松　田　義　弘　　江　端　　潔

鈴　木　　剛　　加　藤　睦　人

藤　野　知　樹　　菅　原　哲　也

三　井　俊　明　　髙　橋　義　行

山形県工業技術センター報告　No.52(2020)
2021年（令和3年）3月

発　行　　山形県工業技術センター
〒990-2473
山形市松栄二丁目2番1号
Tel.(023)644-3222

印　刷　　株式会社大風印刷