



道総研

技術移転フォーラム2023

地方独立行政法人 北海道立総合研究機構 産業技術環境研究本部

# — 工業試験場成果発表会 —

## プログラム・発表要旨

- **と き** 令和5年6月1日(木) 12:00～17:00
- **と ころ** ホテル札幌ガーデンパレス
- **主 催** (地独)北海道立総合研究機構 産業技術環境研究本部  
工業試験場・ものづくり支援センター



# 技術移転フォーラム2023－工業試験場成果発表会－

と き 令和5年6月1日（木）

ところ ホテル札幌ガーデンパレス

## 全体プログラム

丹頂の間(左側)	白鳥の間(中央)	孔雀の間(右側)
12:00 展示開始 (17:00まで常設)	13:15～13:30 オープニング・開会挨拶	※白鳥の間の音声をお聞きいただけます。
13:45～14:45 ホスターセッション コアタイム① ・バイオマス・地域資源技術 ・生活関連技術	13:30～15:00 分野別発表①	13:30～14:45 分野別発表①
	<情報・機械システム技術>	<材料関連技術>
	15:00～15:15 休憩	14:45～15:00 休憩
	15:15～16:15 ホスターセッション コアタイム② ・材料関連技術 ・情報・機械システム技術	15:15～16:00 分野別発表②
	<生活関連技術>	<バイオマス・地域資源技術>
17:00 展示終了	16:00 閉会	

## 分野別発表プログラム

### 情報・機械システム技術

白鳥の間

番号	時間	発表課題	発表者	ページ
メイン	13:30~14:00	イチゴハウス栽培管理作業向け遠隔操作ロボットの開発	浦池 隆文	6~7
1	14:00~14:15	AIを用いたセマンティック検索システムに関する研究	全 慶樹	8
2	14:15~14:30	ソフトウェア無線による無線データ伝送システムの研究	宮崎 俊之	9
3	14:30~14:45	食品製造業のDXに向けた自動計測技術の開発	飯島 俊匡	10
4	14:45~15:00	SAR衛星で観測可能な海上浮力体の研究開発	宮崎 俊之	11

### 材料関連技術

孔雀の間

番号	時間	発表課題	発表者	ページ
メイン	13:30~14:00	二流体噴流に着目した環境に優しい洗浄装置の開発	坂村 喬史	12~13
1	14:00~14:15	超解像処理によるプレス加工金型の微小ひずみ測定技術	鶴谷 知洋	14
2	14:15~14:30	組織制御とプレス圧縮による鋳鉄薄板製法の開発	植竹 亮太	15
3	14:30~14:45	溶射を利用したバルブ補修技術の開発	中嶋 快雄	16

### 生活関連技術

白鳥の間

番号	時間	発表課題	発表者	ページ
1	15:15~15:30	見守りのための映像脈波計測技術の開発	泉 巖	17
2	15:30~15:45	生体情報を活用したものづくり支援	前田 大輔	18
3	15:45~16:00	生体情報に基づく好意推定手法の開発	大久保京子	19

### バイオマス・地域資源技術

孔雀の間

番号	時間	発表課題	発表者	ページ
1	15:00~15:15	粘土と粉砕処理を組み合わせた木質バイオマスの糖化法	森 武士	20
2	15:15~15:30	環境調和型溶媒を用いたワイン製造残渣の有効利用技術	吉田誠一郎	21
3	15:30~15:45	道内資源を利用した環境循環型繊維複合材料の開発	瀬野修一郎	22
4	15:45~16:00	バイオマスファイバーを用いたフィルムのガスバリア性評価	細川 真明	23

# ポスターセッションプログラム

丹頂の間

コアタイム① 13:45~14:45

## 生活関連技術

番号	発表課題	発表者	ページ
1	室内設置センサによる高齢者の見守りと健康情報の取得	森野 晃希	26
2	道内における非接触操作の未来	高木 友史	27
3	XR関連技術の普及	安田 星季	28

## バイオマス・地域資源技術

番号	発表課題	発表者	ページ
1	青果物の鮮度保持に利用できる触媒材料の開発	森 武士	29
2	液相吸着技術による色素の脱色機構に関する研究	吉田誠一郎	30
3	繊維複合化無機ポリマーに関する研究	吉田 昌充	31
4	汎用フィルムによるメロンの長期鮮度保持への挑戦	細川 真明	32

コアタイム② 15:15~16:15

## 情報・機械システム技術

番号	発表課題	発表者	ページ
1	てん菜受渡工程省力化のための検査技術の開発	近藤 正一	33
2	コンブ漁場調査のための空撮画像解析技術に関する研究	浦池 隆文	34
3	自動搾乳システム開発に向けた乳牛の乳頭位置の検出	宮島 沙織	35
4	3Dプリンターを活用した樹脂製蹄鉄の開発	川島 圭太	36
5	内装材原板の形状計測手法の開発	井川 久	37

## 材料関連技術

番号	発表課題	発表者	ページ
1	レーザー加工によるセラミックスの表面改質	中嶋 快雄	38
2	ブラシめっき用低温めっき液の開発	斎藤 隆之	39
3	X線CTを活用した非破壊評価技術の支援事例	櫻庭 洋平	40
4	曲げ加工可能な溶融亜鉛めっき技術の開発	飯野 潔	41

# パネル・展示一覧

丹頂の間

展示時間 12:00~17:00

技術分野	パネル・展示名
情報・機械 システム技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>★AI による自律化を目指したハウス栽培管理作業向けフィールドロボットの開発</li> <li>★選択式株間除草機構の開発</li> <li>★不整地運搬補助のため人間協調四脚ロボットシステムの研究</li> <li>★てん菜受渡工程の検査技術の開発</li> <li>★AI を用いたセマンティック検索システムに関する研究</li> <li>★ソフトウェア無線による移動体向け無線データ伝送システムに関する研究</li> <li>★再帰反射構造を有しSAR衛星で観測可能な海上浮力体の研究開発</li> <li>★3Dプリンター(強化樹脂特化型)</li> <li>★ロボットシミュレーションソフト</li> </ul>
材料関連技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>★レーザー加工によるセラミックスの表面改質に関する基礎試験</li> <li>★密着性に優れるZn めっき/鋼板界面の組織制御法</li> <li>★組織制御とプレス圧縮による鋳鉄薄板製法の開発</li> <li>★溶射を利用したバルブ補修技術の開発</li> <li>★高速度カメラと超解像処理によるプレス加工金型の微小ひずみ測定技術に関する研究</li> <li>★二流体洗浄装置</li> <li>★超微粒バインダレス超硬合金の品質評価支援</li> <li>★レーザー熱処理によるダイカスト金型の長寿命化</li> </ul>
生活関連技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>★災害復興作業の負担軽減に資する作業用具の提案</li> <li>★生体情報に基づく好意推定手法</li> <li>★奉酒箸のフォトグラメトリ測定と3Dプリント</li> <li>★森林活用ゲーム「Moring」</li> <li>★生活空間におけるバイタルサイン計測システムの開発</li> </ul>
バイオマス・ 地域資源技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>★プラチナ触媒を用いた青果物の鮮度保持技術の開発</li> <li>★ワイン製造残渣に含有される機能性物質の高度利用</li> <li>★深共晶溶媒を用いたワイン製造残渣からのポリフェノール抽出</li> <li>★強度と耐水性を高めた非焼成調湿タイルの開発</li> <li>★非焼成硬化技術による崩壊性材料の開発</li> <li>★微生物ナノセルロースを用いた高強度環境循環型高分子材料の開発</li> <li>★繊維複合化無機ポリマーに関する研究</li> <li>★機能性プラスチックフィルムの設計・成形加工技術の開発</li> <li>★ホタテ貝殻複合プラスチック材料</li> </ul>

# ● 分野別発表要旨

研究職員所属は令和5年4月1日現在

(退職者は令和5年3月31日現在)

# イチゴハウス栽培管理作業向け遠隔操作ロボットの開発

AIによる自律化を目指したハウス栽培管理作業向けフィールドロボットの開発  
(令和2~4年度)

産業システム部 ○浦池隆文、伊藤壮生、全 慶樹 本部研究事業部 堤 大祐、技術支援部 今岡広一  
加茂川啓明電機(株)、かもけいアグリ(株)

## 1. はじめに

イチゴのハウス栽培における日常的な管理作業（不要な葉やランナーの除去など）は、その全てが手作業により行われているが、高温多湿な環境での単調作業のため機械化・自動化が求められている。

そこで本研究では、管理作業の将来的な完全自動化に先立ち、人と同様な作業を可能とする遠隔操作型フィールドロボットの開発に取り組んだ。管理作業自体は人にとっては単純な作業であるものの、自動化に向けては、手作業に準じた複雑な動作が可能な機構の開発、さらにAI等を活用した、作物の生育状態に応じた的確な作業判断の実現が必要となる。以下本研究で開発したロボットの詳細について報告する。

## 2. 遠隔操作ロボットシステムの概要

ロボット本体は、四輪駆動・四輪独立操舵方式の移動台車に6自由度のロボットアームを2機搭載する構成とした。作業者は、ロボットに搭載したステレオカメラの映像を三次元ディスプレイで立体的に視認しながらロボットアームと台車の操作を行うことが可能となっている。図1に開発したロボットと遠隔操作システムの概観を示す。ロボットと遠隔操作システムの通信は、無線LANの最新規格であるWi-Fi 6Eの6GHz帯で行うことで安定性の向上を図っている。

## 3. ロボットアームの開発

イチゴの管理作業では、軸部直径1~5mmの不要な葉やランナーを確実に把持し、株元から引抜く必要がある。このため、図2に示す2指タイプのロボットハンドを開発し、ロボットアーム先端に設置した。本ロボットハンドの指先部は、シリコン相当の柔軟な素材を使用し、表面に波型の凹凸を有することと、ひし形の空隙を有することを特徴としている。これにより、

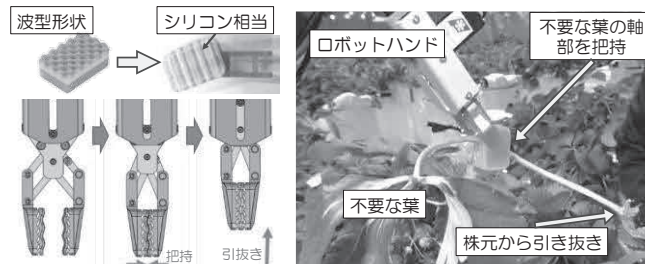


図2 開発したロボットハンド

対象物を柔軟に把持しながら、確実に不要な葉やランナーを引き抜くことを可能とした。また、独自に考案したリンク機構を内蔵することにより、把持と引抜きの2段階の動作を1個のモーターで行うことが可能である。

## 4. 移動台車の開発

高設栽培と呼ばれる方法でイチゴ栽培がおこなわれているハウス内（図3）を既設の構造物に接触することなく円滑に走行するため、四輪独立操舵方式の移動台車を開発した（図4）。前後の車輪を、図示のように操舵することで、限られたスペースのハウス内通路を自在に移動することが可能となっている。走行制御は、路盤に敷設した走行経路ラインをカメラで認識しながら自動で追従走行する方式（ライントレース）と

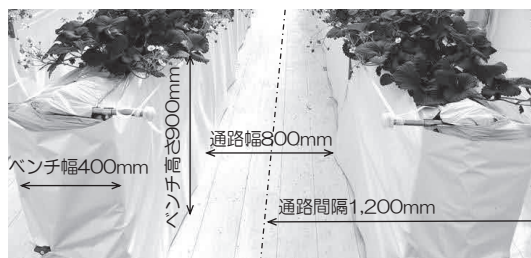


図3 ハウス内代表寸法

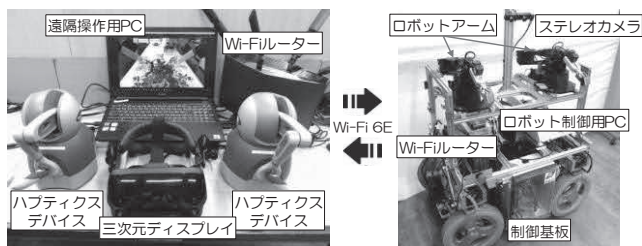


図1 遠隔操作ロボットシステムの概観

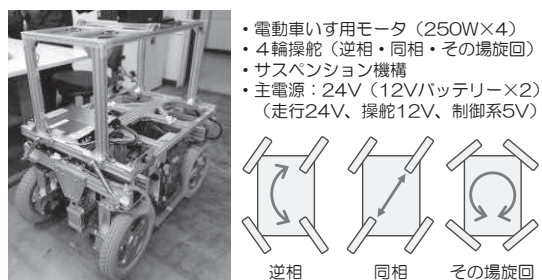


図4 開発した移動台車

- 電動車いす用モータ (250W×4)
- 4輪操舵 (逆相・同相・その場旋回)
- サスペンション機構
- 主電源: 24V (12Vバッテリー×2)  
(走行24V、操舵12V、制御系5V)



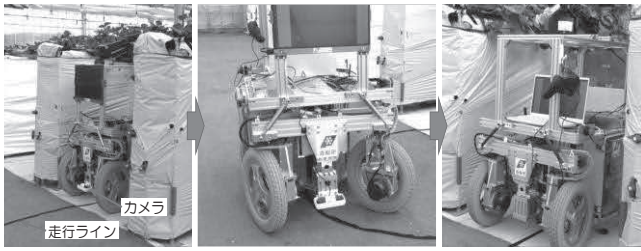


図5 ハウス内走行の様子

した。ハウス内走行の様子を図5に示す。また、カメラ画像から通路分岐点の形状（T字、十字など）を認識のうえ作業者へ提示し、作業者が指示した方向へ自動で旋回する機能を組み込んだ。以上の走行操作（前後進・旋回）は作業者の足元に設置したフットスイッチで行うようにするなど、簡便な操作で自動的に走行することを可能とした。

## 5. 遠隔操作システムの開発

遠隔操作システムの構成を図6に示す。作業者は、作業対象となる作物列の周辺を、三次元ディスプレイで立体的に視認しながらロボットの操作を行う。

三次元ディスプレイは、ヘッドマウントディスプレイ、もしくは裸眼立体視ディスプレイを選択的に使用可能とした。両者には視認性や没入感に異なる特徴があることから、作業者が選択できるようにしている。

ロボットアームの操作は、ハプティクスデバイスと呼ばれる入力装置を用いて行う（図7）。ハプティクスデバイスは、デバイスの先端に取り付けられたペンの空間的な位置と姿勢を取得可能であり、これを遠隔操作対象となるロボットアーム先端の位置と姿勢の指令値として出力する（リーダー・フォロワー制御）。

また、ロボットアームに作用する外力を推定し、作業者が操作するデバイスへ反力として伝達する機能（力覚フィードバック）を組み込むことで操作性の向上を図った。

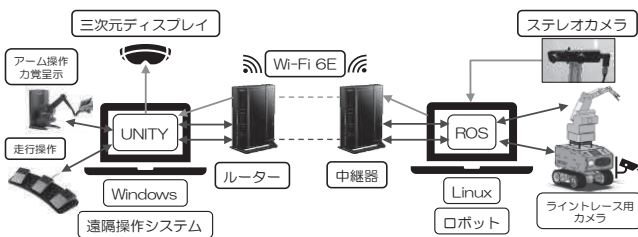


図6 遠隔操作システムの構成



図7 ロボットアームの操作



図8 実作業試験の様子

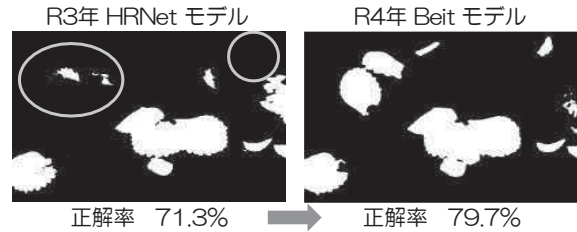


図9 AIによる不要な葉の認識の例

遠隔操作システムとロボット間の通信は、新たに利用可能となった Wi-Fi 6E の 6GHz 帯で行うこととした。既存の 2.4GHz・5GHz 帯で問題となる、他機器との干渉などによる通信速度の低下・切断が発生することなく、安定かつ高速なデータ通信が可能となった。

## 6. 実作業試験

以上のように構成した遠隔操作ロボットシステムにより、イチゴハウス内において実作業試験を行った。試験の様子を図8に示す。ハプティクスデバイスの操作や、三次元ディスプレイへの適応性に個人差はあるものの、未経験者でも比較的短時間の試行で一連の操作が可能となることを確認した。

## 7. AIの構築

将来的な完全自動化へ向けた AI 構築の一例として、AI の一手法であるセマンティックセグメンテーションによる不要部（不要な葉とランナー）の認識を試みた。「手でアノテーション（教示）した不要部」に対する「AI が抽出した不用部」の割合（正解率）は 64～80% となった。一例として不要な葉の認識結果を図9に示す。R3 年モデルでは正解率 71.3% であったのに対し、R4 年モデルでは正解率 79.7% に向上した。以上より、不用部認識 AI の構築が可能であること、また、適切なモデルを選択して学習を行うことで認識精度が向上することを確認した。

## 8. おわりに

本研究で開発したロボットをベースとして、今後も実地での試験運用を継続しながら実用化へ向けた課題の抽出と改良を行う。また、実現の可能性を見極めながら、他の作業や栽培品目への応用展開を進める。

(連絡先：uraike-takafumi@hro.or.jp)

# AI を用いたセマンティック検索システムに関する研究

AI を用いた自然言語処理による文書データからの情報抽出技術の研究（令和 3～4 年度）

産業システム部 ○全 慶樹、近藤正一 開発推進部 堀 武司

## 1. はじめに

近年、テキストデータを対象とした新しい AI 技術が提案され、書類やメールなどのテキストデータを扱う業務の効率化が期待されている。例えば、問い合わせ対応を行うヘルプデスク業務の自動化には、AI を用いたセマンティック検索と呼ばれる検索技術が活用できると考えられている。この技術は、検索キーワード「スマホ」に対して「携帯電話」や「smartphone」といった類義語や同義語の検索や、キーワードではなく文章の意味による検索を可能とする。しかし、日本語を対象とした研究事例はまだ少なく、道内における活用は進んでいない状況にある。

そこで本研究では、企業や自治体の業務効率化支援に向けて日本語を対象とした AI によるセマンティック検索が可能な文書検索システムの開発を行った。

## 2. セマンティック検索 AI の開発

単語や文章の意味に基づく検索を可能とするアルゴリズムを用いて、日本語を対象としたセマンティック検索 AI を開発した。概要を図 1 に示す。このアルゴリズムでは、汎用言語モデルに追加の学習を行うことで、文章の意味的な類似性を比較できる埋め込み特化モデルを作成する。今回、日本語モデルを学習するためのデータセットとして公開されている JSNLI、JSICK、JGLUE (JNLI) の 3 つを選定し、学習を行った。

開発した AI と他機関から公開されている同様の日本語対応 AI との性能比較を図 2 に示す。評価用データには北海道庁で使用されている FAQ データセットを、検索性能には FAQ を検索した際の順位の高さに基づく指標(MRR)を用い、開発した AI が高い性能を示すことを確認した。



図 1 日本語を対象としたセマンティック検索 AI の開発

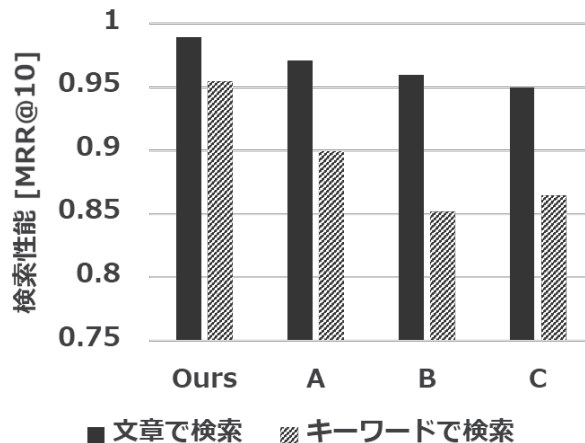


図 2 開発した AI と他機関の AI の性能比較 (A, B, C: Sentence Transformers 公式モデル)

## 3. AI を用いた文書検索システムの開発

ウェブブラウザによるセマンティック検索の利用を可能とするため、AI を用いた文書検索システムを開発した。システムの概要を図 3 に示す。サーバーへ前述の FAQ データセットを検索対象としたシステムを実装し、標準的な CPU で毎秒約 7 回の問い合わせに回答できることを確認した。

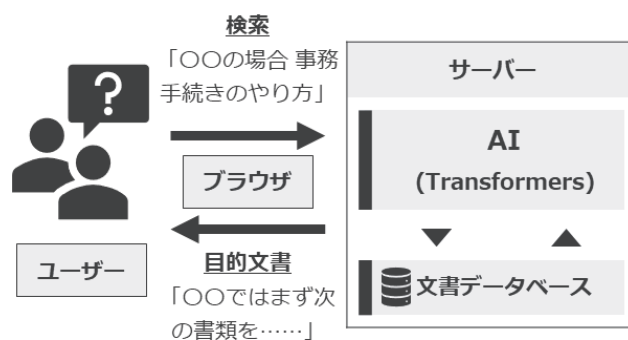


図 3 AI を用いた文書検索システム

## 4. おわりに

本研究では、日本語を対象とした高性能なセマンティック検索 AI を開発し、ユーザーの実利用を想定した事例開発として文書検索システムの開発に取り組んだ。今後、AI の検索性能や検索システムの操作性の改善に取り組むとともに道内企業等への技術移転を進める。

(連絡先: zen-keiki@hro.or.jp)

# ソフトウェア無線による無線データ伝送システムの研究

ソフトウェア無線による移動体向け無線データ伝送システムに関する研究（令和3～4年度）

産業システム部 ○宮崎俊之、日下 聖、新井浩成 本部研究事業部 堤 大祐

## 1. はじめに

スマート農業や老朽化インフラの監視などに、ドローンなど移動体を用いたセンシング技術の活用が期待されている。既存の無線伝送システムは、システム設計時に用途に応じたセンサ類と無線伝送方式が選択されるため、実装後の仕様変更や、使用環境変化時の通信状況変動に対応できない課題がある。

そこで本研究ではソフトウェア無線を活用し、多様な目的・環境における安定した無線データ伝送を実現する移動体向け通信システムを開発した。

## 2. ソフトウェア無線開発環境と使用ハードウェア

ソフトウェア無線を使用するためには、FPGAなどを搭載し、内部構成を変更可能な高周波ハードウェアと、内部アルゴリズムをデザインするための開発環境が必要となる。本研究ではオープン開発環境である GNU Radio と、安価なハードウェアである Hack RF One を使用した（図1）。Hack RF One 上には、FM、AM などのアナログ変調方式を実装するとともに、デジタルデータ伝送に対応するための ASK、FSK、PSK などのデジタル変調方式も実装した。

## 3. 多様なセンサを接続、伝送するための技術開発

移動体を用いたセンシングでは、多種多様なセンサ情報の伝送が必要となる。これらセンサを接続するためには、まったく異なるデータ形式をソフトウェア無線用ハードウェアに入力する必要があり、このためにデータ形状を揃えるカプセル化技術が必要となる。本研究では JIS X5002-1975 に準拠したカプセル化アルゴリズムを GNU Radio 上で実装した。また複数センサデータを一度に同時伝送（多重伝送）するために、カプセル化されたデータを一つの伝送路を用いて時分割で伝送する方式を実装した。限られたハードウェア能力で高速伝送を行うために、地上デジタル放送などでも採用されている直交分割多重変調（OFDM）を実装し（図2）、10kbps の伝送速度が得られた。これにより、9 軸慣性計測装置（IMU）のセンサデータ（2.88Kbps：3 軸×4byte×3 センサ、100ms サンプルング）をエラーなく伝送できることを確認するなど、複数センサのデータ伝送を多重伝送できる技術を実現した。

## 4. 安定したデータ伝送を行うための技術開発

北海道などの積雪寒冷地で無線伝送を行う場合、無線伝搬路の降雪減衰や着雪によるアンテナ能力の低下、ノイズによる妨害などが発生する。これらの環境変動時でもデータ伝送を継続的に行うため、通信信号の強度やノイズの有無を常時監視することで通信速度の低下を検知し、他の周波数や変調方式に切替えることでデータ通信を継続できる技術を開発した（図3）。

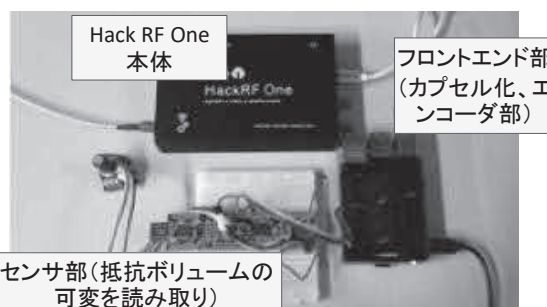


図1 Hack RF One を用いたセンサデータ伝送システム

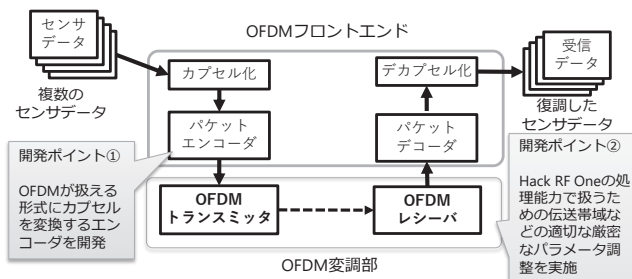


図2 実装した直交分割多重変調の構成

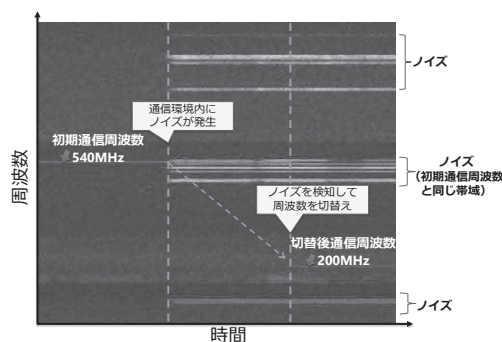


図3 ノイズ発生時の周波数自動切替え

## 5. おわりに

本研究では、北海道で使用する移動体などで活用できるソフトウェア無線技術を開発した。今後は多様な用途で使用するための技術開発を進め、屋外向けセンサネットワーク開発を行う道内 IoT 向け組み込み機器製造企業などへ技術移転を行う。

(連絡先：miyazaki-toshiyuki@hro.or.jp)

# 食品製造業のDXに向けた自動計測技術の開発

食品製造業のスマートファクトリー化に向けた自動計測技術の開発（令和3～4年度）

産業システム部 ○飯島俊匡、藤澤怜央、本間稔規、近藤正一

## 1. はじめに

食品製造業では、製造工程における人手作業への依存度が高いため生産性が低いという課題がある。そこで、画像情報や分光情報を用いて原材料の計数や品質評価を行う自動計測技術を開発し、食品加工工場のスマートファクトリー化や検査・管理業務のDX（デジタルトランスフォーメーション）を推進するための基盤技術を獲得したので報告する。

## 2. 農作物等の外観検査・教示装置の開発

食品製造業における検査工程の自動化は、導入の容易さの観点から現状の設備への変更を最小限とすることが望ましい。そこで搬送路の上に設置した複数のカメラから対象物を撮影し、計数や品質を評価して外観検査する手法を開発した。現状の目視検査工程と同程度の作業範囲で外観検査しプロジェクションマッピングにより良否を教示する装置（図1）を開発した。



図1 外観検査・教示装置

馬鈴しょの受入検査工程を対象として装置を評価した結果、計数の精度は98%であった。また、多視点画像を用いて対象物の色とテクスチャから良否判定を行うため、従来の単眼の外観検査装置と比べて欠陥部位の検査漏れを低減した計測が可能であることを確認した（図2）。

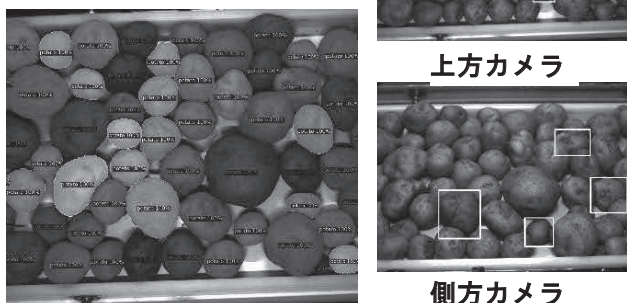


図2 馬鈴しょの計数（左）と欠陥検出（右）

## 3. 鮭フレークに混入した小骨検出技術の開発

魚を原料とした加工食品工場では、異物である骨の検出およびその除去作業に多くの人手を要しており、その自動化が求められている。そこで鮭フレークを対

象として、光計測による小骨検出技術の開発を行った。具体的には、発光波長がそれぞれ365nm、375nm、385nmのLEDと、透過中心波長がそれぞれ365nm、450nmのバンドパスフィルタの組み合わせで取得した分光画像に対し、機械学習を適用することにより鮭フレークから異物となる小骨を検出する手法を開発した（図3）。



LED光源 : 365nm    LED光源 : 375nm    LED光源 : 365nm    LED光源 : 385nm  
フィルタ : 365nm    フィルタ : 365nm    フィルタ : 450nm    フィルタ : 450nm  
4組のUV LED光源とバンドパスフィルタから取得した分光画像

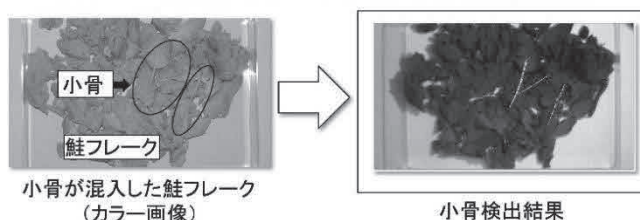


図3 鮭フレークに混入した異物の検出

## 4. 検査・管理業務の自動化技術の開発

食品加工工場にヒアリングした結果、HACCP対応の既存センサの活用を検討しているものの、既存設備の更新や管理工程の変更が必要なことから、コスト面に課題があり導入が進んでいないことが分かった。そこで、既存の設備と管理工程のままモニタリング記録を自動化するため、スマートフォンのカメラを用いてQRコードを添付したメーター等の数値を読み取るサービス（図4）を利用した自動記録手法を開発した。



図4 既存設備のメーター読取

## 5. おわりに

本研究では、食品加工工場のスマートファクトリー化やDXを推進するための計測技術の開発を行った。

馬鈴しょとブロッコリーの検査工程の自動化については生産者団体からの要望が特に強く、実用化の優先度が高いことから、現在実施している重点研究課題で引き続き取り組みを進める。

（連絡先：ijijima-toshimasa@hro.or.jp）

# SAR衛星で観測可能な海上浮力体の研究開発

再帰反射構造を有し SAR 衛星で観測可能な海上浮力体の研究開発（令和元～4 年度）

産業システム部 ○宮崎俊之、日下 聖  
(株)グリーン&ライフ・イノベーション、日東製網(株)、北海道大学

## 1. はじめに

近年、日本の漁業は遠洋・沖合漁業の漁獲量が減少しており、定置漁業、養殖漁業などの沿岸漁業の重要性が増している。持続可能な漁業を実現するためには、漁具の設置状況や漁業権の行使状況などをモニタリングすることが重要となる。また台風などの災害により漁具流出が多発し大きな問題になっており、広域で漁具の位置を捜索する技術が必要である。合成開口レーダを搭載した SAR 衛星が多数打ち上げられており、リモートセンシング画像を安価かつ手軽に入手できるようになっている。本研究では SAR 衛星からのレーダ波を到来方向へ反射する構造（再帰反射構造）を浮力体に内蔵することで（図 1）、SAR 衛星から観測可能とするための研究開発を行った。

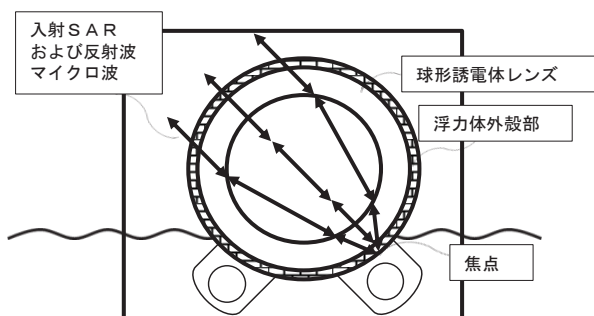


図 1 再帰反射構造を内蔵した浮力体

## 2. ルネベルグレンズの製作と評価

再帰反射構造の一つにルネベルグレンズがある。ルネベルグレンズは外殻から中心に向かって比誘電率が連続的に変化する球体で、入射した電磁波を球体の反対側で集光し到来方向へと再帰反射させることができる（図 2）。

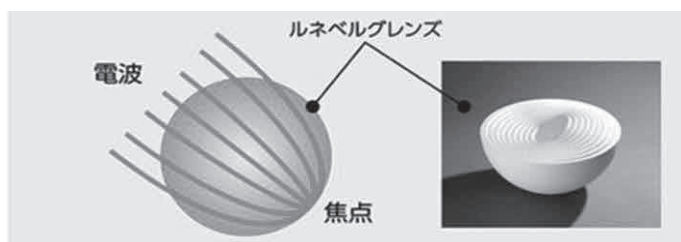


図 2 ルネベルグレンズの構造

ルネベルグレンズを漁業用フロートに内蔵させることで、SAR 衛星に漁具の位置を「映す」ことが可能となる。本研究では安価かつ簡易にルネベルグレ

レンズを成型するため、3Dプリンタを用いた製作法を開発した（図 3）。製作したルネベルグレンズは電波暗室やコンパクトレンジなどの電波試験設備で再帰反射性能を確認するとともに、洋上試験において SAR 衛星で捕捉できることを確認した（図 4）。

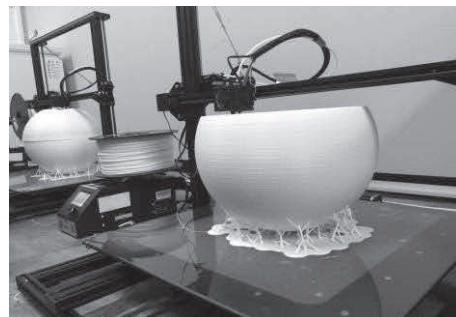


図 3 3Dプリンタを用いたルネベルグレンズの製作

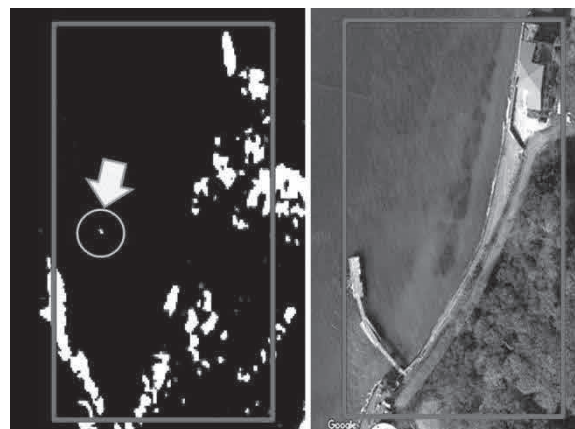


図 4 SAR衛星による捕捉試験（ASNARO-2）

## 3. おわりに

本研究では、漁業で使用するフロートを SAR 衛星で観測するために、ルネベルグレンズによる再帰反射構造体を製作した。今後は、再帰反射構造を有した漁業フロートを試作し、これを活用した沿岸漁業向けモニタリングシステムを実用化し、持続可能な漁業への貢献を目指す。

## 謝 辞

本研究開発は、総務省戦略的情報通信研究開発推進事業（SCOPE）ICT 基礎・育成型研究開発「再帰反射構造を有し SAR 衛星で観測可能な海上浮力体の研究開発」（受付番号 MIC/SCOPE #192101001）の委託を受けて行いました。

（連絡先：miyazaki-toshiyuki@hro.or.jp）

# 二流体噴流に着目した環境に優しい洗浄装置の開発

大型産業機械部品のメンテナンスに向けた環境調和型洗浄技術の開発（H30～R1年度）

短期実用化研究（H31～R3年度）

環境規制対策と高品質を両立する樹脂めっき技術の開発（R4年度）

企画調整部 ○坂村喬史

材料技術部 宮腰康樹、飯野 潔、中嶋快雄、可児 浩、瀬野修一郎、細川真明  
北海道大学、HUG パワー(株)、北海道立工業技術センター、(有)コムテック

## 1. はじめに

道民の暮らしや仕事を支える電力の発電機、船舶などの輸送機械で使用される電動機及び内燃機関など、大型産業機器のメンテナンス関連企業は道内で170社以上ある。これらの、メンテナンス現場では大量の薬剤が使用されているが、共通する重要な課題は洗浄工程の省力化と環境負荷の軽減である。また、近年、道内では植物工場の設立に伴う、農業資材の洗浄も課題としてあげられている。

本研究では、いくつかの環境調和型の洗浄技術の中から半導体用精密洗浄技術である蒸気+水二流体洗浄（以下、蒸気二流体洗浄）に着目して実施した、洗浄能力のハイパワー化や専用グローブボックス型の装置開発について報告する。また、農業資材の発泡スチロールなど樹脂機材に対するマイルドな洗浄方法として、空気+水二流体洗浄（以下、空気二流体洗浄）を用いた専用装置の開発についても併せて報告する。

## 2. 蒸気二流体洗浄のメカニズム

蒸気二流体洗浄は半導体洗浄用として、デバイスの微細化や環境問題につながる薬液などの使用量を減らし、かつ効果的な洗浄技術が必要とされていることからHUGパワーで開発された。本手法はボイラーにて蒸気を発生させ、図1の専用の二流体ノズルを用いて少量の水をノズル上部で混合させ、蒸気の噴出する勢いに乗せることで、水滴をマイクロメートルサイズに微細化し高速で噴出させるものである。従来あるスチーム洗浄とは異なり、この高速に噴出された水滴が、対象物と衝突する際に発生するラメラと呼ばれる衝撃波やキャビテーションにより、高い洗浄力を発揮すると考えられている<sup>1)</sup>。この蒸気二流体を金属表面に噴射させると、キャビテーションによる金属の壊食（エロージョン）が確認されている<sup>2)</sup>。図2(a)に樹脂めっきをした純アルミニウム板に対して120 s 蒸気二流体を噴射した試料の

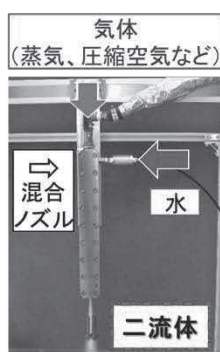


図1 二流体ノズルの外観写真

外観写真を示す。Al板上の蒸気二流体が噴射された箇所には、ノズル出口形状である楕円形の圧痕（図2(a) 中矢印）が確認できる。この箇所をSEMにて拡大観察した結果を図2(b)に示す。マイクロメートルサイズの凹凸が連続している壊食が確認でき、すなわちキャビテーションの発生が示唆された。

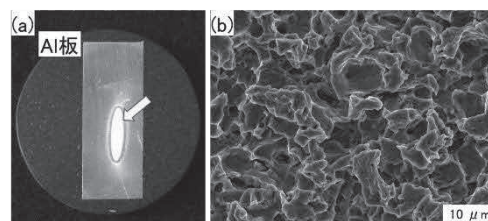


図2 (a) 蒸気二流体洗浄を噴射後のAl板の外観写真、(b) (a)中矢印点のSEMによる拡大像

## 3. ハイパワー・グローブボックス型洗浄装置の開発

当初は半導体洗浄用の蒸気二流体洗浄装置を用い、産業用機械汚れの洗浄実験を行っていたが、適用にあたって以下の4つの課題が上がった。

- ① 半導体洗浄では、ほこりなどの微粒子の除去が中心だが、産業用機械の汚れは油が酸化し、硬く、強固に密着した汚れである。
- ② 産業用機械はピストンヘッド、バルブやターボチャージャーなどの多品種、多形状を洗浄しなければならない。
- ③ 産業用機械は铸铁製品が多く、洗浄中に錆が発生する。
- ④ 洗浄中、従事者を蒸気や汚れの飛沫から守る、安全性の確保が必要。

これらの課題を、以下のそれぞれの手法で解決した。①蒸気の圧力を0.2 MPaから0.5～1.0 MPaに高圧化させてハイパワー化を図った。②二流体ノズルをグリップに組み込んだハンドガンを考案し、対象が複雑形状であっても手洗浄できるように開発した。③ pH12以上のアルカリ性の洗浄水を用いることで铸铁の赤錆びの発生を抑制した。④グローブボックス型の洗浄装置を開発した。図3(a)に②の3Dプリンターを用いて試作したグリップとノズルを合わせたハンドガンの外観写真を示す。樹脂だけでは蒸気圧や熱に対

して強度不足が懸念されたため、圧力のかかる箇所には金属部品を、樹脂との接合には耐熱性パテを使用した。グリップには、蒸気二流体を噴出させるための電磁バルブの開閉スイッチを取り付けた。図3 (b) にグローブボックス型の洗浄装置の外観写真を示す。装置上部に蒸気二流体噴出用の電磁バルブを設置し、グローブボックス内に上からハンドガンが吊るされている構造である。また、グローブボックスの窓には曇り防止のため親水フィルムを貼り、背面には排気ファンを取り付け、蒸気を逃がすことで作業中の視覚を良好にした。

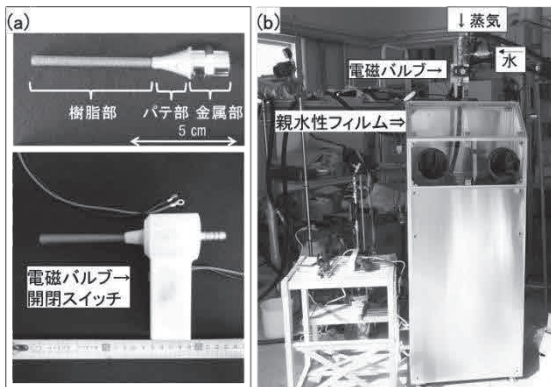


図3 (a) 3D プリンターにて試作したハンドガン  
(b) グローブボックスの外観写真

#### 4. 空気二流体による樹脂機材の洗浄

植物工場で行われている、水耕栽培で使用する発泡スチロールには、アオコ、ぬめり（バイオフィーム）汚れの洗浄のニーズがある。この汚れに対して、蒸気二流体洗浄を試みたが、発泡スチロールが融解してしまい、不適となる結果となった。蒸気二流体は蒸気の噴出であるためノズル出口温度を測定すると約100℃を示し、発泡スチロールの融点：約90℃より高いためである。高圧洗浄も検討したが、発泡スチロールの損傷が確認されたため、マイルドな洗浄方法が新たに必要になった。そこで図4の空気二流体洗浄の適用を考え、北海道立工業技術センター及びコムテック社と共同で空気二流体洗浄装置の研究開発を行った。

この装置は、コンプレッサーから圧縮空気を導入し、ポンプを利用して水道水より高い水圧を生成し、ノズルで合わせる機構となっている。発泡スチロールに対する洗浄実験を行った結果、水圧を高めても発泡スチロールを損傷させず洗浄できることを確認した。

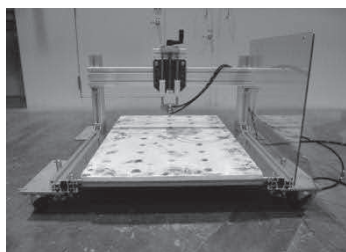


図4 試作した空気二流体洗浄装置 (2019年 ver.)

#### 5. 加熱空気+温水による二流体のバリエーション

加熱空気と温水を用いた二流体のバリエーション<sup>2)</sup>装置を開発した。空気加熱用ヒーターをノズル直前に取り付けて、最高300℃の加熱空気を送入できるようにし、添加する水も90℃の温水を使用した。次に、本装置を用いて各二流体の組み合わせによる洗浄実験を行った。模擬汚れとして、ポリエチレン樹脂板（以下、PE）に油性ペンを塗り、自動送り機構で1 mm/sの速度で1パス走査させる洗浄実験を行った。その結果を図5に示す。洗浄後の汚れ除去の面積率を画像解析し併せて載せた。図5(a)の空気+水二流体は除去率が14%と低かったが、図5(c)、(d)の加熱空気を用いると除去率が上がり、図5(d)の170℃加熱空気+90℃温水の組み合わせでは除去率100%が得られた。この条件で除去率が最も高くなった理由は、2つの流体がノズル内で混合される際に加熱空気の熱で水蒸気が発生し、蒸気二流体に変化し、洗浄力があがったと考えられる。前述のHUGパワーの蒸気二流体と異なる部分として、ノズル出口の温度があげられる。蒸気二流体は約100℃であるが、170℃加熱空気+90℃温水の二流体は2つの流体の温度より低い約60℃であった。この理由として、液体と気体とで熱伝導率が大きく異なり、熱伝導の高い液体側の温度を選択的に計測してしまうこと、そして、水蒸気が発生する際に液体側は気化熱を奪われ、60℃まで冷却されたと考えられる。

また、出口温度が低いことから樹脂基材にも対応できることを確認した。

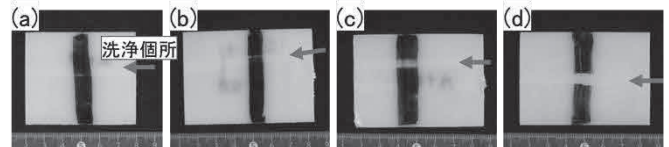


図5 洗浄後のPE、(a)室温の空気+水（除去率：14%）、  
(b)空気+90℃温水（12%）、(c)170℃加熱空気+水  
(83.8%)、(d)170℃加熱空気+90℃温水（100%）

#### 6. おわりに

産業用機械の汚れに対応可能な、ハイパワー・グローブボックス型の蒸気二流体洗浄装置を開発した。蒸気圧1 MPaまで上げ、複雑形状にも対応可能な新型ノズルとハンドガンを試作した。

また、樹脂基材に対してマイルドな洗浄方法として、空気二流体洗浄装置を開発した。空気を加熱することで洗浄力をパワーアップすることができ、樹脂基材を融解させることなく洗浄できることを確認した。

#### 引用文献

- 1) Y. Sakurai, K. Kobayashi, T. Fujikawa, T. Sanada and M. Watanabe, Jpn. J. Multiphase Flow, Vol. 26(2), 164-171 (2012).
- 2) T. Sanada, M. Watanabe, M. Shirota, M. Yamase and T. Saito, Fluid Dynamics Research, vol.40, 627-636 (2007).

(連絡先：sakamura-takasi@hro.or.jp)

# 超解像処理によるプレス加工金型の微小ひずみ測定技術

高速度カメラと超解像処理によるプレス加工金型の微小ひずみ測定技術に関する研究  
(令和2~4年度)

材料技術部 ○鶴谷知洋  
北海道科学大学

## 1. はじめに

プレス加工では、加工品質向上のため金型の応力状態などを把握する技術が求められている。そのためには金型のひずみ測定が有効であるが、センサの設置には金型に追加工を施す必要があり、コスト増加などが課題となる。画像解析技術を用いることで非接触のひずみ測定が可能だが、撮影速度を上げると解像度が低下するため、短時間で材料挙動が変化するプレス加工中の微小ひずみ測定が困難となる。そこで、低解像度の画像から高解像度の画像を得る超解像技術を活用し、画像解析を用いた微小時間の測定が可能な微小ひずみ測定技術を検討した。

## 2. ひずみ測定手法の比較検証

引張試験を対象に、ひずみゲージを用いたひずみ測定と画像解析によるひずみ測定の比較実験を行った。測定は引張方向と同じ鉛直方向とした。実験は引張試験片の表側にラッカープレーでランダムパターンを塗布し、裏側にひずみゲージを貼り付け、引張試験中のランダムパターンの撮影とひずみゲージによるひずみ測定を同時に行った。その結果、ひずみゲージによる測定と画像解析による測定とも時間の経過により値が増加し傾向が一致した。また、ひずみゲージの値(2199[ $\mu$ ST])と画像による解析領域の平均ひずみ値(2320[ $\mu$ ST])も概ね一致し、画像解析によるひずみ測定はひずみゲージによる測定と同等であることが確認できた。

## 3. 超解像手法の検討

機械学習による汎用的な超解像手法を基に、事前撮影したランダムパターンの高解像度画像を用いて調整し、より精細な画像を得る手法を検討した。2.の画像に適用し汎用手法と比較したところ、ランダムパターンの輪郭が明確となり良好な結果が得られた(図1)。

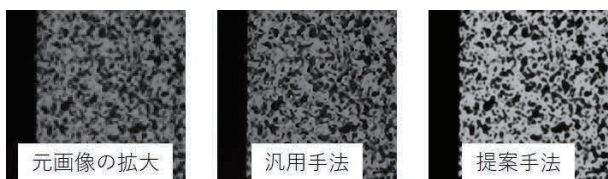


図1 超解像手法の比較

## 4. プレス加工金型への超解像手法の適用

初めに、ひずみゲージを貼りつけた上にランダムパターンを塗布した金型により、プレス加工時のひずみゲージによるひずみ測定と画像解析によるひずみ測定の比較実験を行った。測定は水平方向とした。ひずみゲージによる測定では、加工中の0.5[sec]で-6.4[ $\mu$ ST]となり圧縮であった。画像解析による測定では、解析領域内に圧縮と引張が混在し、解析領域内の平均ひずみ値は8.4[ $\mu$ ST]となり引張であった。よって、ひずみゲージと画像解析では圧縮と引張が逆となり、同等の測定結果は得られなかった(図2)。

次に、提案手法により超解像処理を行った金型の画像を用いて画像解析によるひずみ測定を行った。しかしランダムパターンの認識ができず、ひずみ測定が困難であった。画像ごとにランダムパターンの再現性が異なり、ひずみ測定を行うためのパターンマッチングに影響が出たと考えられる。

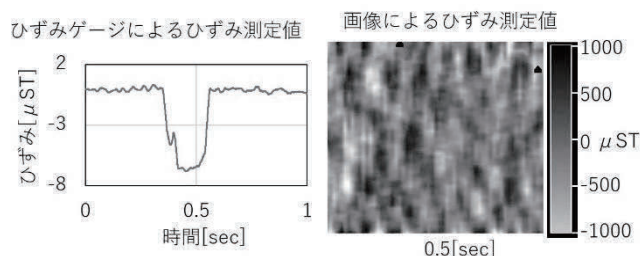


図2 プレス加工中のひずみ測定結果

## 5. おわりに

引張試験を対象にひずみゲージによるひずみ測定と画像解析によるひずみ測定を比較した結果、経時変化の傾向が一致し、値も概ね一致することからひずみゲージと画像解析は同等の測定手法であることを確認した。

機械学習による汎用的な超解像手法を基に、事前撮影したランダムパターンの高解像度画像を用いて調整する超解像処理手法を検討した結果、良好な結果が得られた。適用した画像を用いたひずみ測定では十分な精度が得られなかったが、パターンマッチングの精度向上の課題が明らかとなった。

(連絡先: tsuruya-tomohiro@hro.or.jp)



# 組織制御とプレス圧縮による鋳鉄薄板製法の開発

(令和4年度)

材料技術部 ○植竹 亮太、鶴谷 知洋

## 1. はじめに

自動車業界で求められている車体の軽量化には使用部材の薄肉化が有効だが、自動車部品として多用されている鋳鉄品の casting は肉厚が薄くなると急冷組織（チル）が形成され脆くなる。そのため脆くならない板厚の限界は2~3mm程度とされ、それを超える薄肉化は追加加工が必要である。鋳鉄品の追加加工において、機械加工では加工時間やコスト、プレス加工では加工時間は短いが高延性が低いため割れてしまうことが課題である。そこで、プレス加工による鋳鉄品の薄肉化を目的に、プレス加工が可能な鋳鉄の製造技術と鋳鉄板材のプレス加工技術の基礎を構築した。

## 2. 鋳鉄の材質制御技術

プレス加工性に優れた鋳鉄品製造技術の検討のため、球状化処理を施した板厚2.4mmの鋳鉄品を製作し、熱処理を施した。熱処理品は、図1に示すような温度履歴を与え、基地組織のフェライト化を試みた。

図2に鋳鉄品と熱処理品の断面組織を示す。鋳鉄品の組織は、パーライト(濃灰色)の基地組織に球状の黒鉛(黒色)、不定形のセメントライト(白色)が散在し、黒鉛の周りにフェライト(白色)が存在している。これに対し熱処理品は、セメントライトは分解され、フェライト主体の基地組織となり、黒鉛と炭化物と思われる異相(薄灰色)が点在している。また、各組織のビッカ

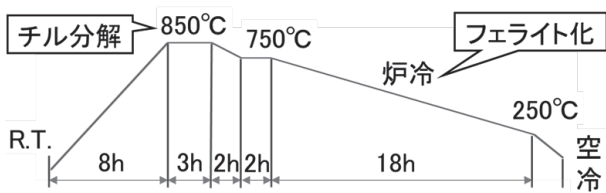


図1 球状黒鉛鋳鉄基地組織のフェライト化熱処理パターン

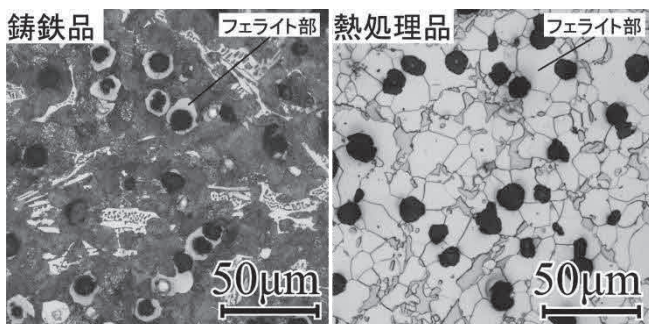


図2 鋳鉄品の断面組織

ース硬度を測定したところ、鋳鉄品のパーライト部が281HV、セメントライト部が911HV、熱処理品のフェライト部が171HV、炭化物と思われる異相が425HVであった。

このことより図1のパターンの熱処理を行うことで、プレス加工性の向上に寄与するフェライト組織を大幅に増加させることが可能であることがわかった。

## 3. 鋳鉄のプレス圧縮技術

板厚2.4mmの鋳鉄品と熱処理品に対して金型間の下死点時の隙間を0.4mm、加工速度を10spmとし、プレス圧縮試験を行った。試験の結果、加工前の板厚に対して鋳鉄品は38.7%、熱処理品は50.0%の圧縮率が得られ、熱処理品の加工後板厚は1.1mmであった(図3)。このことにより、フェライト面積率の増加に伴いプレス加工性が向上することが確認された。また、熱処理品のプレス加工前後の基地組織部のビッカース硬度を測定したところ、加工前171HVから、加工後283HVと硬度が上昇しており、プレス加工により機械的性質向上の効果も得られる可能性が示唆された。

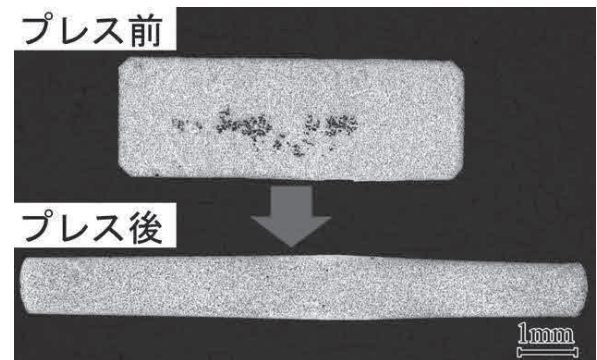


図3 プレス前後の熱処理品のマクロ断面

## 4. おわりに

本研究では、鋳鉄品の薄肉化を目的に、プレス加工が可能な鋳鉄の製造技術と鋳鉄板材のプレス加工技術の基礎を構築した。

今後、フェライト面積率の更なる向上を目指した溶湯の化学組成や、プレス圧縮量の更なる向上が期待できる段階的な圧縮動作などの検討を行い、鋳鉄品の延性・圧縮率の向上に取り組む予定である。

(連絡先: uetake-ryouta@hro.or.jp)

# 溶射を利用したバルブ補修技術の開発

(令和4年度)

材料技術部 ○中嶋快雄、飯野潔、宮腰康樹、櫻庭洋平  
ワコオ工業(株)、田中工業(株)

## 1. はじめに

化学工場などのプラントで使用されるバルブ(弁)の部品「弁箱」は、腐食や摩耗により損傷・浸食した場合(図1(a))、多くは新品と交換される。この損傷部を補修できれば、修理コストの低減やプラント停止期間の短縮などのメリットが見込まれる。弁箱内面は形状が複雑であり、肉盛り溶接法では十分な補修が行えないことがあり、他の補修方法が要望されている。

この解決策の1つとして、自溶合金溶射皮膜補修用トーチ(図1(b))の適用が考えられる。このトーチは、先端が鉤(かぎ)形に曲っており、弁箱内面(損傷部)への施工が期待できる。

本研究では、自溶合金溶射皮膜の特性と鉤形トーチを活用しての弁箱内面の補修について、施工部の冶金学的性質の評価を行い、同技術の適用性を検証した。



(a) 損傷した弁箱 (b) 溶射皮膜補修用トーチ

図1 弁箱および溶射トーチ

## 2. 実験方法

実験では、溶射前にスチールグリット(710 $\mu\text{m}$ ~1180 $\mu\text{m}$ )によるブラスト処理を行い、溶射材料として「ユータロイ10009」(Ni基自溶合金4種相当、粒径:細かめ(63-90 $\mu\text{m}$ 34%、38 $\mu\text{m}$ 以下34%))を用いた。なお、予熱条件は適宜変更した。

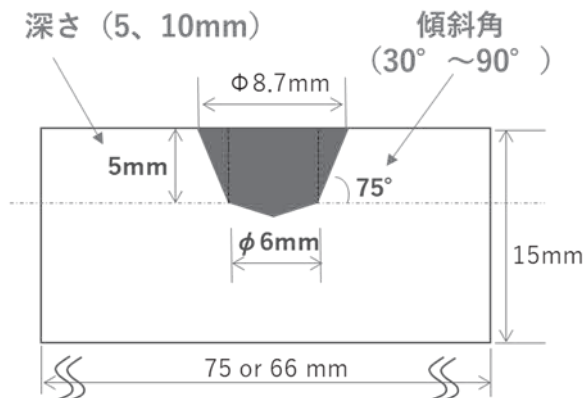


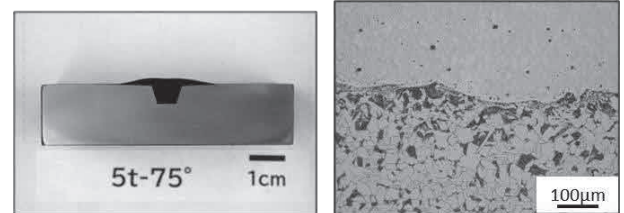
図2 試験片の概要

(1) 補修可能な損傷部の形状を見きわめるため、バルブ弁箱損傷部を模擬し、軟鋼板に穴の壁面(円すい状の傾斜面)が本体表面となす傾斜角度(以下単に「角度」)の異なる穴を彫込んだ試料(深さ5mm、10mm、角度30°~90°)を機械加工により作製し(図2)、自溶合金溶射皮膜による充てんの可能性を検討した。

(2) 弁箱の材料(以下「母材」)と自溶合金との密着性を検証するため、母材が軟鋼、鋳鉄およびステンレス鋼の場合の皮膜との接合界面について断面組織観察を行った。

## 3. 結果及び考察

(1) 試験の結果、深さ5mmでは角度75°(図3(a))、深さ10mmでは角度60°まで、隙間なく皮膜が形成されることがわかり、深さによって補修可能な角度が存在することがわかった。また、隙間なく皮膜が形成された試料は、穴底および穴の壁面ともに母材と溶射皮膜との界面に酸化膜や空隙などの欠陥は観察されず、冶金的に結合していることが認められた(図3(b))。



(a) マクロ組織 (b) 底部のミクロ組織

図3 溶射補修部の断面観察

(2) 母材が軟鋼、鋳鉄およびステンレス鋼いずれに対しても形成した皮膜は冶金的に結合したことから、溶射による補修が可能であるとわかった。なお、ステンレス鋼については、鋭敏化による耐食性への影響が懸念され、実用までに解決するべき課題を見出した。

## 4. おわりに

本研究の結果、補修可能な角度に限界は存在するが、皮膜と母材は冶金的に結合していたことから、溶射技術を補修に適用できることがわかった。今後、適用できるバルブの形状・寸法など実機との対比を進め、実用化技術を確立する予定である。

(連絡先: nakajima-yoshio@hro.or.jp)

# 見守りのための映像脈波計測技術の開発

生活空間におけるバイタルサイン計測システムの開発（令和3～4年度）

産業システム部 〇泉 巖、川崎佑太、前田大輔、中島康博、栗野晃希  
開発推進部 神生直敏

## 1. はじめに

ICTの発展に伴い、バイタルサインを活用した見守りのニーズが増えている。カメラ機器による映像脈波計測は、脈拍数を非接触でモニタリングするための技術として期待されているが、体動の影響により計測精度が低下することが課題である。

本研究では、体動時の安定・高精度な映像脈波計測を目的とした技術開発に取り組んだ。

## 2. 映像脈波について

映像脈波は、血液に含まれるヘモグロビンの吸光特性を利用し、皮膚の反射光を画像解析することで血流の増加・減少を計測したものである。可視光領域では550nm付近の緑色光を用いることが多く、カメラ機器で撮影したRGB画像のG（緑色）成分の輝度変化を解析して映像脈波を計測する。映像脈波の負のピークを解析することで脈拍数が得られ、健康状態や安否確認のための見守り情報として活用することができる。

## 3. 映像脈波の課題とその対策

映像脈波計測における課題の一つが、体動の影響を受けやすいことである。計測中に体動が発生すると輝度が大きく変動し、脈波成分の消失やピークの誤検出といった問題が発生する。

そこで、脈波成分が比較的現れにくく、体動により同様に輝度が変動するR（赤色）およびB（青色）成分の光に着目した。各成分の輝度変化波形で整合を取り差分処理を行うことで、脈波成分を残しながら体動に伴う輝度変動をキャンセルするアルゴリズムを開発した（図1）。

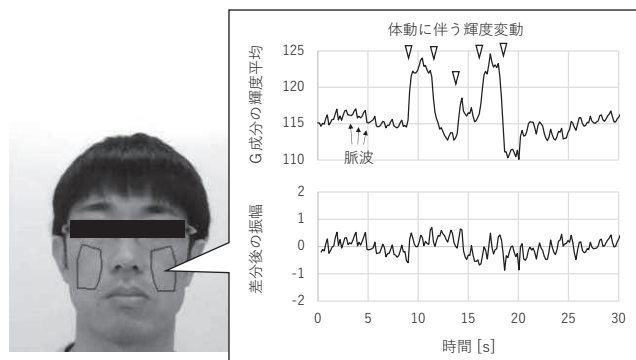


図1 体動に伴う輝度変動のキャンセル  
（上：処理前の波形、下：処理後の波形）

## 4. 事例適用

医療機関での新生児見守りを想定した実験を行い、開発したアルゴリズムで仰向け姿勢における安静時と体動時の脈拍数を計測した（図2）。指に装着した脈波センサで計測した正解データと比較し、体動時の計測結果が概ね一致していることを確認した（図3）。正解データに対する一致精度を相関係数（R）で評価した結果、相関係数は安静時：0.999、体動時：0.990であった。



図2 新生児見守りを想定した実験

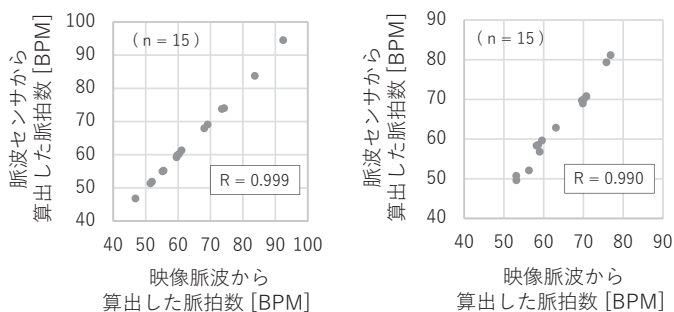


図3 実験結果（左：安静時、右：体動時）

## 5. おわりに

本研究では、カメラ機器で計測したRGB各成分の輝度変化波形を差分処理することで、体動の影響を受けにくい映像脈波計測技術を開発した。

今後は実際の現場で実験や検証を進め、協力機関への技術移転や実用化を支援していきたい。

（連絡先：iwao-izumi@hro.or.jp、011-747-2975）

※ BPM (Beats Per Minute)：一分あたりの拍動数

# 生体情報を活用したものづくり支援

人手による復興作業の負担軽減に資する作業用具の提案（平成30～令和元年度）他

産業システム部 ○前田大輔、泉 巖、栗野晃希、川崎佑太、中島康博  
開発推進部 神生直敏  
室蘭工業大学、浅香工業(株)

## 1. はじめに

超高齢社会、ダイバーシティが進展するなか、誰もが使い易い製品・サービスの必要性が高まっている。また、他方では多様化・細分化するニーズへの対応も求められている。いずれの視点においても、製品・サービスを設計する上で、人を計測して得られる生体情報の活用は有効な手段の一つである。

本発表では、会場における生体情報活用の取組について紹介するとともに、ものづくり支援事例として、室蘭工業大学および浅香工業(株)と共同で開発した、土砂除去作業用ショベルについて紹介する。

## 2. 工業試験場における生体情報活用の取組

会場では、間接的なセンシングデータから有用な生体情報を抽出するための計測解析技術と、生体情報に基づく製品・サービスの評価技術について技術蓄積を進めている。

見守りサービス等、生体情報を検出・利用する製品・サービスを開発する場合、専門的な生体情報計測装置を製品・サービスに組み込むことは、コストの面で困難な場合が多い。このため、低コストで簡便に取得可能なセンシングデータから、有用な生体情報を抽出するための計測解析技術が必要となる。会場ではこれまで、作業者に装着した単一の慣性センサのデータを基に、作業姿勢を判別する解析技術や、浴槽下に取り付けたエアバッグの空気圧データから、入浴者の呼吸・心拍情報を抽出する解析技術等を開発している。

また、作業用具等、人が直接利用する製品・サービスを開発する場合、設計に必要な人間工学的要求事項を明らかにする評価技術が必要となる。開発済みの製品・サービスに対しても、利用者にも与える影響を評価することで、改良・改善の指針を得ることができる。

会場ではこれまで、生体情報計測により農作業等における身体負担を定量化することで、負担軽減に必要な製品機能を明らかにし、アシストスーツ等の補助用具を開発している。ほかにも、照明が自律神経活動に与える影響の評価や、視線情報による作業熟練度評価等の取組も行っている。

## 3. 事例紹介：土砂除去作業用ショベルの開発

近年、短時間豪雨や大雨の日数は増加傾向にあり、河川の氾濫による浸水被害等が繰り返し発生している。災害からの復旧においては、住宅街等に流れ込ん

だ大量の土砂を人海戦術で除去しなければならず、多大な労力を必要とする。こうした災害復旧作業の負担軽減に向け、土砂除去作業用ショベルの開発を行った。会場は製品仕様へ人間工学的要求事項を反映することを目的に、生体情報計測による試作品評価を担当した。

土砂の除去作業では、土砂をすくい上げる際の前屈み姿勢が身体負担の要因となる。このため、深く屈まなくても土砂をすくいとることができるように、柄をZ形状としたショベルを開発した(図1)。試作品の負担軽減効果を検証するため、土砂のすくい上げ動作を模擬した呼吸代謝計測試験を行った。その結果、試作品は従来品と比較し、総合的な運動強度の指標となる酸素摂取量が約13%軽減することを確認した(図2)。



図1 Z形状柄による作業姿勢改善

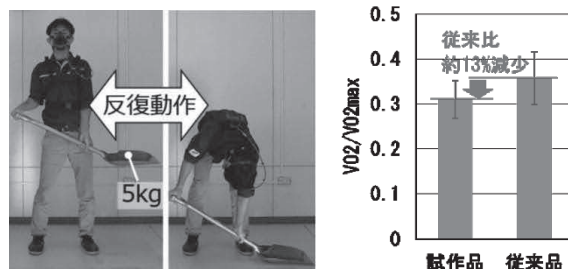


図2 呼吸代謝計測による酸素摂取量比較

さらに、実用化に向けた柄形状の改良を進め、最終仕様を決定するため、柄の長さが異なる複数の試作品を対象に、再度、呼吸代謝計測試験を行った。何れの試作品も酸素摂取量は従来品より減少したが、柄の長さの違いにより差が見られた。この結果をもとに浅香工業(株)において仕様が決定され、「Z型ショベル パンチャー角」として製品化された(図3)。



図3 最終製品

## 4. おわりに

ユーザーニーズへの対応や、使い易い製品・サービスの開発に向けて、生体情報を活用するための技術が今後も必要とされると考えられる。会場では、引き続き関連技術の開発に取り組むとともに、生体情報を活用したものづくり支援の取組を進めていく。

(連絡先: maeda-daisuke@hro.or.jp)

# 生体情報に基づく好意推定手法の開発

(令和3~4年度)

開発推進部 ○大久保京子、安田星季、神生直敏  
技術支援部 今岡広一

## 1. はじめに

商品パッケージには、内容物の保護、使いやすさなどの取り扱い利便性のほかに、販促媒体としての役割がある。パッケージは商品のイメージに直結するため、機能を訴求するだけでなく、好意的に見られるデザインにするなどの感性価値も重要である。

パッケージなどの視覚媒体のデザイン評価には、現在ではアンケートやインタビューなどの主観評価が行われている。しかし、消費者が自身の感情を正しく表現できるとは限らないため、言葉で表せない心理や感情はわからないという課題がある。

そこで、本研究では、生体情報に着目し、視覚刺激に対する消費者の好意感情を生体情報から客観的に評価する手法の開発を目指した。本発表では、心拍情報のみで簡便に好意を推定する好意推定手法の開発について報告する。

## 2. 好意推定手法の開発

感情価と覚醒度の二軸で感情を表したラッセルの円環モデルを基に分類された画像集 OASIS を刺激に用いて、画像提示時の被験者（20名）の各種生体情報（脳波、心拍、発汗、視線）の計測と、主観評価（好ましい、快い、驚いた、興奮した、落ち着いた）を実施した。その結果、画像を適正に評価出来た被験者群（13名）において、画像に付与されている感情価と主観評価の「好ましさ」の間に高い相関が得られた。そこで、感情価と「好ましさ」の関係を表す感情モデルを作成した。

脳波、発汗、視線と種々の主観評価に明瞭な相関はみられなかったが、被験者群のうち5名において、画像の感情価と自律神経指標である心拍 LF/HF に高い負の相関が確認された。そこで、この被験者群のデータを基に、個別に正規化した LF/HF 値と画像の感情価を用いて計測モデルを作成し、感情モデルと組み合わせ好意推定モデルを作成した（図1）。

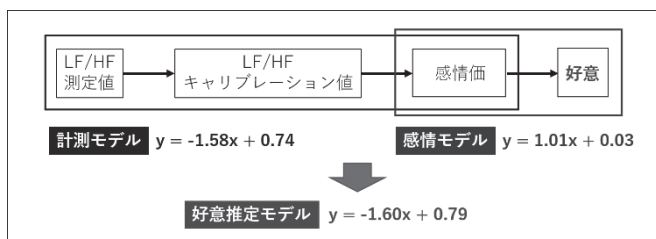


図1 好意推定モデル

## 3. 好意推定手法の検証

感情価と LF/HF に相関のあった被験者群で、1名のデータをテストデータとし、残りのデータを学習データとしてモデルを作成し、交差検証を実施して個々のモデルの汎化性能を確認したところ、相関係数は 0.78~0.95 と高い精度であることが確認できた。

また、商品パッケージのデザイン評価（図2）に適用し、計測した LF/HF を用いて作成したモデルで推定した結果、推定値の 72.7% が主観評価と一致しており、モデルの有効性が示された（図3）。



図2 評価に使用したパッケージ画像

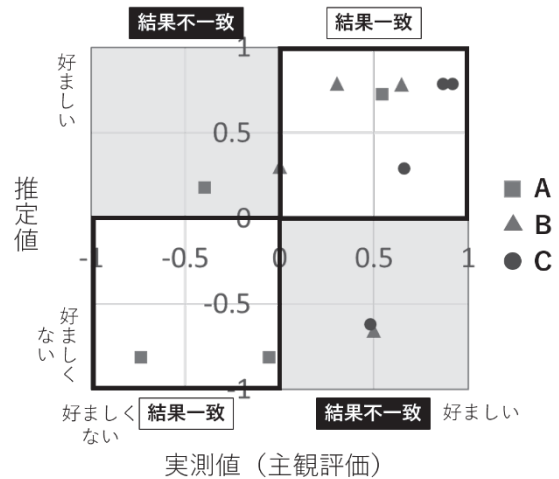


図3 検証結果

## 4. おわりに

本研究では、心拍情報のみを用いた簡便な好意推定手法を開発した。今後はさらに推定技術の向上を図り、視覚刺激に対する客観的かつリアルタイムな評価手法として発展させることで、商品パッケージなどのデザイン評価手法としての活用を目指す。

(連絡先: ookubo-kyouko@hro.or.jp)

# 粘土と粉碎処理を組み合わせた木質バイオマスの糖化法

粘土粉碎法による低分子化セルロースの製造方法の開発（令和4年度）

材料技術部 ○森武士、小川雄太、近藤永樹、松嶋景一郎

## 1. はじめに

現代社会において、燃料やプラスチック・繊維といった生活必需品は、石油から製造する技術「オイルリファイナリー」によってつくられている。しかし、大量の二酸化炭素を排出するため、代替技術の開発が求められている。近年、この代替技術として「バイオリファイナリー」が注目されている。セルロースなどの再生可能資源から生活必需品を製造する技術である。セルロースは、すべての植物の主成分であり、植物が空気中の二酸化炭素から光合成で作る天然高分子である。これを原料として生活必需品を製造できれば、製造過程における二酸化炭素の排出量を見かけ上ゼロにできる可能性がある（カーボンニュートラル）。セルロースが含まれる有機未利用資源の一つに、間伐材などの木質バイオマスが挙げられる。セルロースを原料としたバイオリファイナリーの第一工程は糖化と呼ばれ、セルロースを水に可溶性オリゴ糖に分解する（図1）。既存の手法では、硫酸を用いた化学的処理や、酵素を用いた生物学的処理が行われるが、環境負荷や製造コストの面で課題があり、事業化は容易ではない。

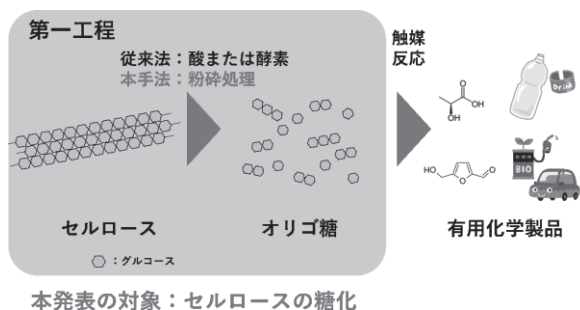


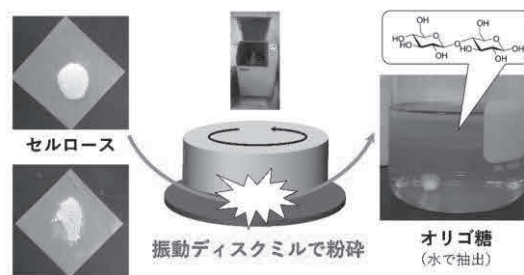
図1 セルロースを有用化学製品に変換する製造プロセスのイメージ（第一工程が本手法による糖化工程）

## 2. 粘土と粉碎処理を組み合わせた糖化法

本発表では、従来の化学反応や生物反応では無く、セルロースに機械的エネルギーを加えて、オリゴ糖を製造する手法（メカノケミカル処理）を報告する。具体的には、セルロースに粘土を加えて粉碎処理を行う。粘土には、セルロースを分解する酸触媒の機能があるが、この機能を機械的エネルギーにより促進する。従来の手法と異なり、硫酸を含む廃液が発生しないため、環境負荷が小さい。酵素などの高価な試薬を用いる必要もないので、安価に製造できる。

## 3. 新手法によるオリゴ糖の製造

セルロースと粘土の混合粉末を粉碎し、この粉碎物を水中に入れて攪拌すると、セルロースが分解してで



きたオリゴ糖が水に溶け出す。ろ過等により粘土を除去すると、製品であるオリゴ糖の水溶液が得られる。得られたオリゴ糖の量を測定したところ、原料のセルロースのうち、約96%がオリゴ糖に変換できていることがわかった。粉碎処理をせず、粘土だけでセルロースを分解しようとする、200℃程度まで加熱する必要がある（*Applied Clay Science* 188 (2020) 105512）。一方、今回のケースでは、粉碎時に発生する機械的応力が反応を促進したため、加熱無しでもセルロースの分解が進んだと考えられる。本手法は、振動ディスクミルと呼ばれる粉碎装置を用いていることも特徴の一つである。従来のボールミル等の粉碎装置は衝撃力で粉碎を進めるのに対し、本装置は強力なせん断応力により粉碎を進める（図3）。このせん断応力により粘土が微細化し、セルロースとの接触面積が増えることで、セルロースの分解が効率よく進んだと考えられる。

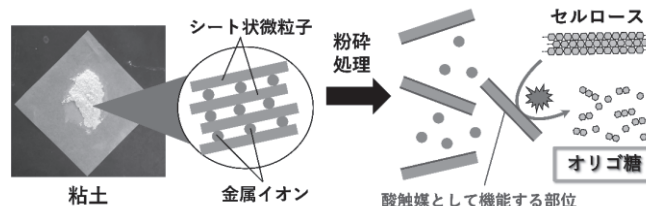


図3 せん断応力による粘土の微細化

## 4. おわりに

粉碎処理を用いて、セルロースからオリゴ糖を製造する手法を開発した。今後は、後段の触媒反応プロセスと組み合わせることで、セルロースから一貫して有用化学製品を製造できるプロセスの構築を図る予定である。北海道には、有用な天然高分子を含む有機未利用資源（カニ・エビ殻、ビート圧搾残渣等）が大量に発生し廃棄されている。すでに、セルロース以外の天然高分子（キチン、タンパク質）を低分子化することも確認できており、様々な有機未利用資源を高付加価値化するための要素技術として活用する予定である。

（連絡先：mori-takeshi@hro.or.jp）

# 環境調和型溶媒を用いたワイン製造残渣の有効利用技術

ワイン製造残渣に含有される機能性物質の高度利用（令和3年度）  
深共晶溶媒を用いたワイン製造残渣からのポリフェノール抽出（令和4年度）

材料技術部 ○吉田誠一郎、小川雄太、近藤永樹、松嶋景一郎  
北海道ワイン(株)、北海道大学大学院農学研究院

## 1. はじめに

近年、北海道ではワイン製造業の数が急増していることから、ワインの製造過程で大量に生じるブドウの搾りかす（ワイン製造残渣）の有効利用法の確立が求められている。中でも、この残渣には、生理活性を示すポリフェノールが豊富に含まれていることから、溶媒抽出などによりポリフェノールを分離する技術を開発する必要がある。一般に、ポリフェノールの抽出には、エタノールやアセトンといった有機溶媒が利用される。しかし、これらの有機溶媒は揮発性が高く、処理コストや環境負荷も大きい。そのため、近年では、有機溶媒を環境調和型溶媒に転換することが求められている。

そこで我々は、深共晶溶媒(Deep Eutectic Solvent, DES)と呼ばれる、新規の環境調和型溶媒に着目した(図1)。DESは、天然由来物質の糖、アミノ酸、有機酸などを原料として利用できることに加え、これらを加熱混合するだけで簡単に調製可能な溶媒である。さらに、原料の組成を設計することで、物理化学的特性を積極的にデザイン可能である。本研究では、DESを用いたワイン製造残渣からのポリフェノール抽出を実施し、DESの組成や抽出条件の影響を調査する。

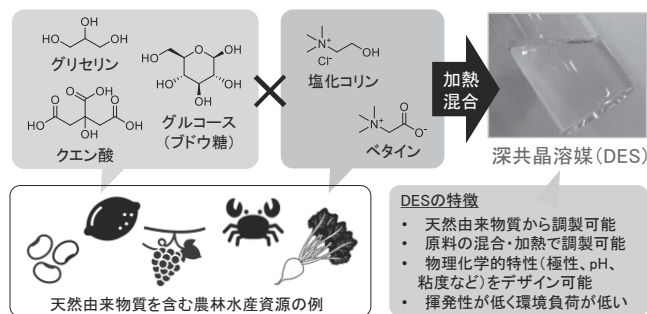


図1 DESの概要

## 2. 実験方法

食品や化粧品などへの応用を考慮して、図1に示すような天然由来物質からなるDESを調製した。残渣からのポリフェノール抽出では、所定量のDESと残渣(果皮または種子の粉碎物)を混合し、80℃で1hの抽出を実施した。残渣を遠心分離とろ過で除き、ろ液中のポリフェノールを高速液体クロマトグラフィー(HPLC)や比色法によって分析した。抽出量は、乾燥残渣重量あたりのポリフェノール重量として評価した。

## 3. 結果と考察

例として、糖およびクエン酸由来のDESを用いた、残渣の抽出結果を図2に示す。糖を構成成分に含むDESは、種子に多く含まれるポリフェノールであるフラバン-3-オールを、一般的な有機溶媒であるエタノールに比べて約2倍の効率で抽出することができた。また、酸性の有機酸であるクエン酸を含むDESは、果皮に多く含まれるポリフェノールであるフラバン-3-オールを、エタノールに比べて約3倍の効率で、抽出することができた。クエン酸を含むDESで抽出効率が向上した原因は、酸による加水分解などにより、フラボノールが抽出されやすい形態に変換されたためと考えられる。

以上より、目的とするポリフェノールの種類に応じて適切なDESを用いることで、エタノールと同等以上の効率で、ポリフェノールを抽出できることがわかった。

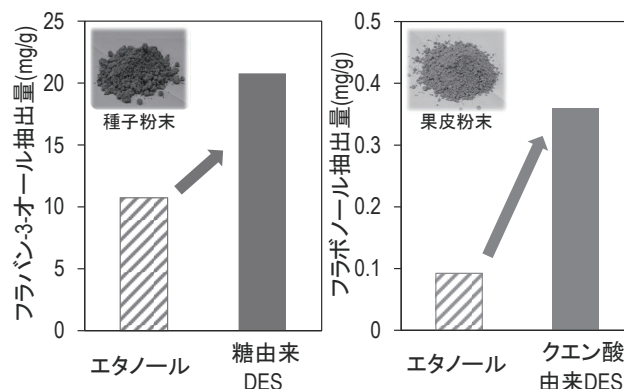


図2 DESによるポリフェノール抽出の例

## 4. おわりに

新規の環境調和型溶媒であるDESを用いた、ワイン製造残渣からのポリフェノール抽出を検討した。その結果、DESの組成を適切にデザインすることで、既存の有機溶媒と同等以上の効率で、残渣からポリフェノールを抽出できることを見いだした。今後は、DESを用いた抽出プロセスの実用化や、他の物質の抽出への応用を検討する。

(連絡先: yoshida-seiichiro@hro.or.jp)

# 道内資源を利用した環境循環型繊維複合材料の開発

バイオマスファイバーの解繊および特性評価に関する研究（平成30年～令和2年度）  
微生物ナノセルロースを用いた高強度環境循環型高分子材料の開発（令和3年～令和6年度）

材料技術部 ○瀬野修一郎、細川真明、可児浩、山岸暢、吉田昌充  
北海道大学、苫小牧工業高等専門学校、東京農工大学

## 1. はじめに

セルロースナノファイバー（CNF）は循環型資源かつ優れた機械的特性、熱的特性を有することから、近年、新たなプラスチック用補強繊維として注目されており、現在、様々なCNFが開発品も含め、製造・販売されている。本発表ではてん菜由来の糖を原料として、酢酸菌が合成するCNFやでん粉粕、てん菜粕といった食品加工残渣由来のCNFなど道内資源から製造される各種CNFを利用したプラスチック複合材料の開発事例について紹介する。

## 2. 微生物由来CNF（NFBC）複合材料の作製および機械的特性評価

NFBCにはヒドロキシプロピルセルロース（HPC）を分散剤として作製される両親媒性のHP-NFBC（草野作工(株)）を用いた。また、乾燥による凝集抑制、樹脂への分散性および樹脂との界面強度の向上を期待して、ポリカプロラクトン（PCL）のグラフト化（Grafting from 法）によるNFBCの表面改質を行った（HP-NFBC-g-PCL）。

粉末状のHP-NFBC-g-PCLと市販のPCLホモポリマー（Capa6800、ingevity社）をドライブレンドし、バッチ式の混練機（プラストグラフ ECplus、brabender社）を用いてHP-NFBCの繊維量が0.1、1、2wt%となるように熔融混練による複合化を行った。作製した複合材料の3点曲げ試験を行い、機械的特性の評価を行った。図1に作製したHP-NFBC-g-PCL複合化PCLの応力変位曲線を示す。添加量が増加するにつれて、強さ・弾

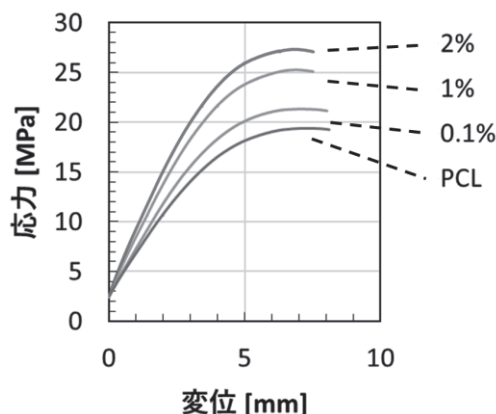


図1 HP-NFBC-g-PCL 複合化 PCL の応力変位曲線

性率はともに向上し、2wt%添加で強さが1.4倍向上することがわかった。

## 3. 食品加工残渣由来CNF複合材料の作製および機械的特性評価

食品加工残渣（でん粉粕、てん菜粕）由来CNF複合材料は疎水変性したセルロース系原料を樹脂中で二軸混練機を使って解繊し、CNF複合材を作製する、いわゆるパルプ直接混練法を用いて実施した。でん粉粕、てん菜粕からセルロース以外の成分を除去した原料を疎水変性し、二軸混練機（TEM-26SS、東芝機械(株)）を用いて、ナイロン6（PA6）中で解繊処理を行い、各種原料由来の10%CNF複合化PA6を作製し、3点曲げ試験による機械的特性評価を行った。その結果、いずれの原料においても最大強さが向上し、補強繊維として有効であることがわかった（図2）。

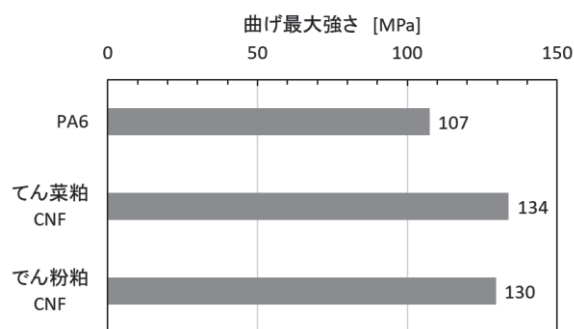


図2 食品加工残渣由来CNF複合材料の曲げ最大強さ

## 4. おわりに

循環型資源である道内資源由来の様々なCNFを利用した繊維複合材料の開発事例について報告した。道内資源の有効利用と循環型社会への貢献を目指し、本複合材料のさらなる改良・普及に引き続き注力したい。

### 謝辞

本研究の一部は、科研費基盤(B) (No. 19H02549)、JST 未来社会創造事業(JPMJMI21EE)、および一部北海道大学ロバスト農林水産工学研究プログラムの支援を受けて行いました。

(連絡先: senno-shuuichirou@hro.or.jp)



# バイオマスファイバーを用いたフィルムのガスバリア性評価

青果物鮮度保持のためのバイオマス系コーティング剤の評価（令和4年度）

材料技術部 ○細川真明、瀬野修一郎、可児浩、吉田昌充、山岸暢

## 1. はじめに

バイオマスファイバーは植物や微生物から得られる極細の天然繊維である。植物や糖類などを原料として作られ、石油由来のプラスチックに対してガスバリア性や透湿性に優れていることが知られている。一方でバイオマスファイバーは原料や作製方法が様々であり、それらに応じて繊維の太さや長さが大きく変わるため、発現する物性も大きく変化する。繊維構造とガスバリア性および透湿性の関係性を調査した文献は極めて少なく、これらバイオマスファイバー特有の性質を最適化させるためには繊維構造の詳細な評価が必要不可欠である。そこで本研究では、原料および作製方法が異なるバイオマスファイバーの顕微鏡画像から繊維構造を統計的に比較し、実際にガスバリア性と透湿性の評価を行うことで、より高い性能を得られるバイオマスファイバーの種類と構造を解析した。

## 2. 実験方法

### (1) バイオマスファイバーの構造解析

バイオマスファイバーは繊維径が数 nm～数十 nm とされており、構造を観察するためには高倍率での拡大観察が必須である。本手法では対象を三次元で拡大観察できる走査プローブ顕微鏡 (SPM) を採用し、4 種のバイオマスファイバーの観察を行った (図 1)。

### (2) ガスバリア性評価

各種バイオマスファイバーの 0.4% 水分散液を用いて溶媒キャスト法により作製した。比較用の試験体として汎用プラスチックフィルムであるポリプロピレンフィルムを使用した。得られたフィルムを使い、窒素、酸素、二酸化炭素、エチレンガスそれぞれにおけるガス透過係数を JIS K7126-1 の差圧法により測定した。

## 3. 実験結果

4 種のバイオマスファイバーは原料や作製方法が異なり、いずれも大きく異なる繊維構造を持っていることが判明した。化学解繊セルロースが平均繊維長約 0.53 $\mu\text{m}$ 、平均繊維径約 3.9nm と極めて細かい繊維であるのに対して、発酵ナノセルロースでは、平均繊維長約 16.3 $\mu\text{m}$ 、平均繊維径約 9.7nm と非常に細長い繊維であることが明らかとなった。

ガスバリア性評価に使用したバイオマスフィルムはいずれも 50 $\mu\text{m}$  程度の膜厚であり、通常の差圧法によるガス透過係数の測定が可能であった (図 2)。ポリプロピレンフィルムと比較すると、バイオマスファイバーのフィルムはガス透過係数が大幅に低く、特に

繊維の細かい化学解繊セルロースの酸素透過係数はポリプロピレンフィルムと比較して 0.26 倍であった。

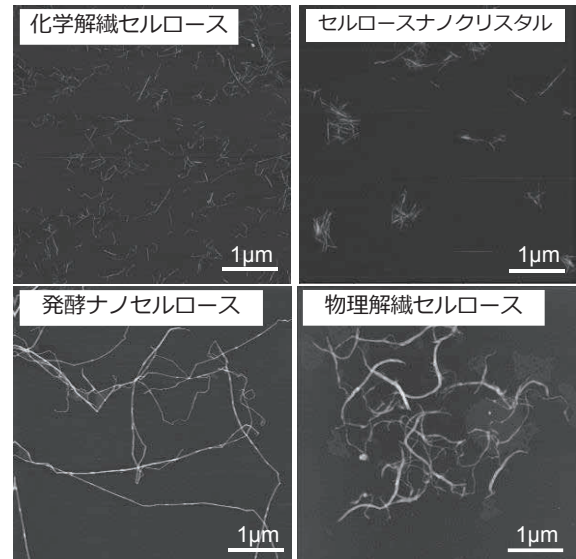


図 1 バイオマスファイバーの顕微鏡画像

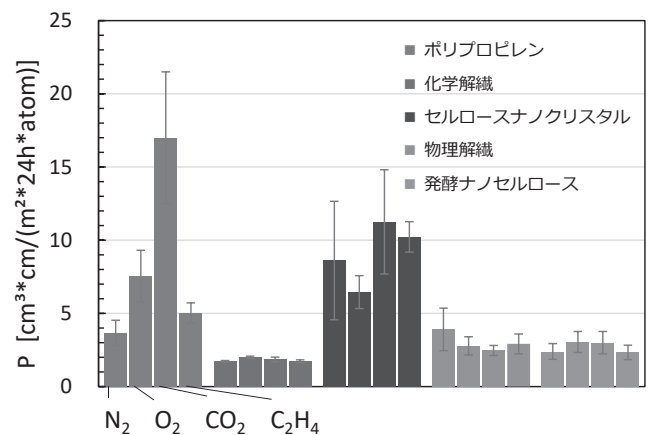


図 2 バイオマスフィルムのガス透過係数

## 4. おわりに

現在研究されているバイオマスファイバーの用途としては、樹脂との複合化や液体への添加による補強効果や増粘効果を目的にしたものが多い。本研究結果は、バイオマスファイバーのガスバリア素材としての用途探索に有用であるだけでなく、様々な繊維構造をとるバイオマスファイバーの構造とガスバリア性を同一手法で比較した初めての例である。本研究は、バイオマスファイバーによるサステイナブルなコーティング剤やフィルムの開発に役立つものと考えられる。

(連絡先: hosokawa-masaaki@hro.or.jp)



# ● ポスターセッション発表要旨

研究職員所属は令和5年4月1日現在

(退職者は令和5年3月31日現在)

# 室内設置センサによる高齢者の見守りと健康情報の取得

「高齢者見守り・健康支援システム」の実用化に向けたシステム開発と検証  
(令和2～6年度)

産業システム部 ○栗野晃希、鈴木慎一、前田大輔、  
泉 巖、川崎佑太、中島康博  
北海道科学大学

## 1. はじめに

北海道では、人口減少や高齢化の進行に伴い、地域経済の衰退、地域社会の機能低下などの問題を抱えている。特に過疎地域を抱える自治体は、高齢者への医療・介護などのサービスの維持に苦慮している。また、市街地から遠い集落の高齢者の通院や、隣家が離れた集落での緊急時の対応なども課題である。

当場では、このような地域に暮らす高齢者の健康と、自治体等の高齢者福祉施策の効率化を支援するため、ICTを活用した見守り・健康支援システムの開発に取り組んでいる(図1)。一人暮らしの高齢者宅に人感センサ、温・湿度センサ、開閉センサなどを設置し、長期的なデータを解析することで、生活パターンの把握や体調変化の予兆報知および熱中症の注意喚起に利用可能なことを確認している。

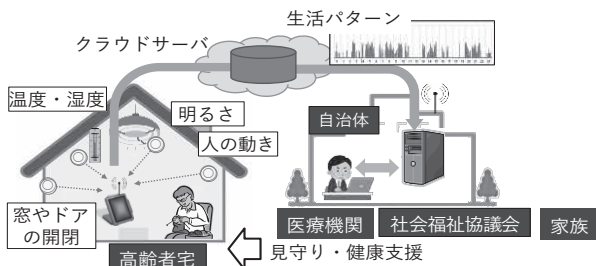


図1 ICTを活用した見守り・健康支援システム

## 2. フレイルと評価基準

加齢に伴って様々な身体機能が低下する。特に、心身のストレスへの耐性が大きく低下した虚弱な状態は「フレイル」と呼ばれ、健康状態から要介護状態へ向かう中間の段階と位置付けられている。高齢者の健康を支援する上で、フレイルの発見や予防は重要と考えられる。そのため、フレイルを自動的に検知する機能の開発に取り組んだ。

フレイルの判定には改訂日本語版フレイル基準(J-CHS基準)が広く認められている(図2)。3項目以上が該当する場合をフレイル、1または2項目が該当する場合をプレフレイルと判定する。評価項目には、体重減少や筋力低下など数値で示された基準があり、それぞれ市販の体重計や握力計で計測可能である。しかし、歩行速度については、室内環境で簡易に計測で

評価項目	評価基準	
体重減少	6か月間で2kg以上の(意図しない)体重減少	
倦怠感	(ここ2週間)わけもなく疲れたような感じがする	
活動量	①軽い運動・体操 ②定期的な運動・スポーツ	①②のいずれも週に1回もしていない
筋力低下	握力: 男性<28kg 女性<18kg	
歩行速度	通常歩行速度 < 1.0m/秒	

図2 身体的フレイルの評価基準

Satake S and Arai H. Geriatr Gerontol Int. 2020; 20(10): 992-993

きる方法は見当たらない。そこで、室内に設置したセンサで歩行速度を計測する技術を開発した。

## 3. 歩行速度の計測技術

歩行速度の計測には、光を使った距離センサ(以下、LiDAR)を利用した。天井に設置した人感センサが人を検知すると、一定時間間隔で人との距離を測定(図3)し、その間の距離差から歩行速度を計算する。図中の点は0.05秒間隔で計測した結果である。計測値には身体動揺や距離測定誤差などがノイズとして加わるため実際の歩行速度と異なる。そこで、0.2秒間の移動平均処理を行うことで、ノイズを除去することができた(図中の折れ線)。これによりJ-CHS基準における、歩行速度の評価が可能になった。

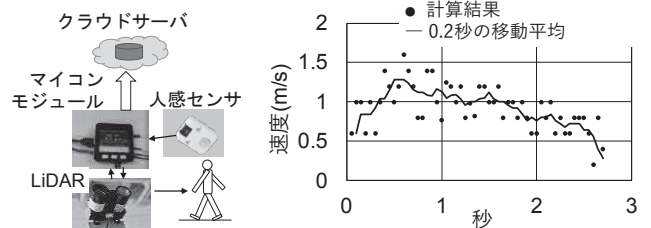


図3 LiDARによる歩行速度計測

## 4. まとめ

室内に設置したセンサにより、高齢者の安否や生活パターンの把握に加え、身体的フレイルの評価に取り組んだ。今回、距離センサを利用した歩行速度の計測技術を開発した。今後は他の評価項目について、センサ情報を利用した評価の可能性を、検討する予定である。

(連絡先: kuwano-kouki@hro.or.jp)

# 道内における非接触操作の未来

空中結像表示のユーザーインターフェースデザインに関する研究（令和4年度）

開発推進部 ○高木友史

## 1. はじめに

新型コロナウイルス対策をきっかけに共用機器のタッチパネル操作の非接触化ニーズが高まっており、コロナ終息後もニーズは継続すると考えられる。

本研究では、物理的に触れる心配がない空中結像表示と光学的物体検出を組み合わせた非接触操作に着目し、道内飲食業をケーススタディに非接触 UI(ユーザーインターフェース)プロトタイプを制作し、操作性検証と要求仕様の抽出により、UIデザインの観点から非接触操作の有用性を検討した。

## 2. 道内飲食業をケーススタディとした空中結像表示のUIプロトタイプ

回転寿司店のテーブル席にあるタッチパネル型注文端末の置き換えを想定し、ディスプレイ表示と空中結像表示での非接触操作を比較できる UI プロトタイプ(図1~図3)を制作した。試作したUIプロトタイプは、展示会に出展し、来場者に操作を体験してもらいながらヒアリングを実施した(図4)。全体的に好意的な意見をいただき、「非接触ニーズへの共感」「新たな操作体験の興味と驚き」「一次産業・製造業・現場など北海道ならではのユースシーンでの利用」など期待する声が多かった。一方で、空中結像表示の表示品質や反応速度・フィードバックに対する意見もいただいた。

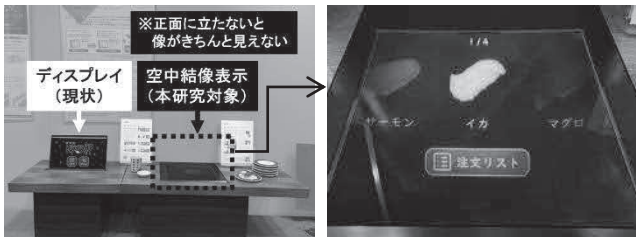


図1 非接触UIプロトタイプ 図2 空中結像表示UI画面

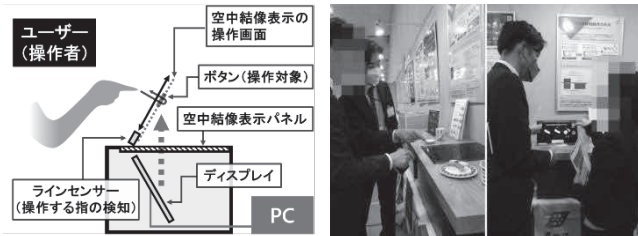


図3 UIプロトタイプ構成 図4 ヒアリングの様子

## 3. 空中結像表示の操作性検証と要求仕様(デザイン指標)の抽出

被験者12名に対する官能評価とヒアリングにより、空中に表示された画面を操作するときの傾向やわかりやすさ、使いやすさを検証した(図5~図6)。

検証項目は、タッチパネルUIの構成要素から5項目を選定した。検証結果から要求仕様を抽出した(表1)。



図5 官能評価試験環境

図6 官能評価の様子

検証項目	検証結果・要求仕様
① 背景のデザイン	画面表現の違いで好みや操作性の優位差はなかったが、ディスプレイ表示よりも輝度が低く表示されるため、色のコントラストを十分に確保することが望ましい。
② 画面のトランジション	画面の切り替え方法の違いで好みや操作性の優位差はなかったが、ディゾルブや左右のスライドといった普段から見慣れた動きを好む意見が多かった。
③ ボタンのサイズ	ボタン押下時に指が上下にブレて小サイズのボタンを押せない被験者が多かった。そのため、タッチパネル時よりもボタンサイズを大きくする(高さ20mm以上推奨)ことが望ましい。
④ ボタンのフィードバック	空中結像表示は指に触れる感触がないため、視覚的な表現として色や形状を変化させるフィードバックを入れることが望ましい。
⑤ ボタン以外の操作	問題なく操作できることを確認。微細な操作は難しいためソフトウェア制御でアシストすることが望ましい。

表1 検証項目と検証結果、要求仕様

今回の操作性検証では、全タスクにおけるボタン押下成功率が66%に留まっており、タッチパネルの置き換えを想定すると100%に近づける必要がある。タスク後半で成功率が上がった被験者もいたため、「慣れ」の学習効果が見込まれる。また、UIデザインでの対応策としては、要求仕様を基にした画面構成・デザイン対応に加え、操作方法をヘルプ画面でガイドする等の対応をとることで、ボタン操作の確実性は向上すると考えられる。

## 4. おわりに

得られた知見を基に、座位・立位など様々なユースシーンで検証可能なプロトタイプを制作し、学会・展示会での発表や展示を通じて普及活動に努めていく。

(連絡先: takagi-tomohito@hro.or.jp)

# XR 関連技術の普及

XR デバイスを用いた現場作業支援コンテンツ開発技術の普及（令和 4 年度）  
地域活性化雇用創造プロジェクト事業（令和 4 年度）

開発推進部 ○安田星季

北見工業技術センター、釧路工業技術センター、苫小牧テクノセンター、  
北海道立工業技術センター

## 1. はじめに

拡張現実（AR）や仮想現実（VR）技術などの総称である XR 技術は、製造業の組立点検作業や一次産業の作物管理など、デジタル化が遅れている現場作業の効率化等に寄与することが期待されている。道内では、一部の大手企業や教育機関等が代表的な XR デバイスの一つである Microsoft 社製 HoloLens2 を導入し、設備の保守点検業務の効率化や社員教育等に利用している。一方、道内の地方都市では札幌圏に比べて XR 技術の利点や課題、活用事例などの情報を得たり、XR デバイスやコンテンツを体験したりする機会が少なく、同技術への理解が進みにくいと考えられる。

そこで当场では、道内の多くの企業や個人等が XR 技術に対する理解を深め、同技術の導入、活用検討の参考にできるよう、道内の札幌以外の 4 都市で XR 技術に関する講演会および XR デバイス・コンテンツ体験会を行い、オンラインで XR コンテンツ開発ソフトの講習会を行った。

## 2. XR 技術普及のための講演会・体験会

XR 技術に関する講演会および XR デバイス・コンテンツ体験会を北見、釧路、苫小牧、函館の 4 都市で行った。講演会および体験会の様子を図 1 に示す。



図1 左：XR技術に関する講演会（函館）右：XRデバイス・コンテンツ体験会（北見）

講演会では、①XR 技術概要、産業利用事例②道総研における関連研究③XR コンテンツの開発方法概要などについて紹介した。体験会では、当场が事前に用意した①HoloLens2 の基本的な UI を体験できるコンテンツ②道総研が開発した学習コンテンツ（図 2）な

ど複数のコンテンツの中から適宜選択し体験してもらった。



図2 開発した伐木作業学習コンテンツ

## 3. XR コンテンツ開発ソフトのオンライン講習会

XR コンテンツは一般的にゲームエンジンと呼ばれるソフトで開発される。そこで、当场では当該ソフトの Unity および Unreal Engine の初心者向けオンライン講習会を行った。講習会の一画面を図 3 に示す。

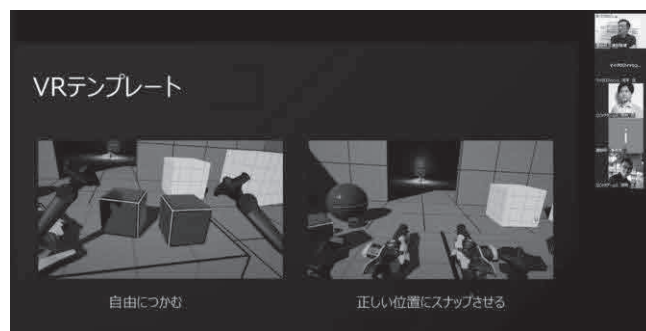


図3 XRコンテンツ開発ソフトのオンライン講習会

## 4. おわりに

XR 技術に関する講演会、XR デバイス・コンテンツ体験会は延べ約 75 名。XR コンテンツ開発ソフトのオンライン講習会は延べ約 70 名が参加し、参加者からは「今後の業務にたいへん参考になった」「XR 初体験でたいへん興味深かった」等の好評を得た。

今後も本取組に類する講習会等を実施し、同技術の普及、活用促進を図っていく予定である。

（連絡先：yasuda-seiki@hro.or.jp）

# 青果物の鮮度保持に利用できる触媒材料の開発

プラチナ触媒による青果物鮮度保持の貯蔵庫での検証（令和2年）

細孔構造を自在に制御できる階層構造材料を用いた常温酸化触媒の高活性化（令和3年）

材料技術部 ○森武士、小川雄太、執行達弘、松嶋景一郎、野村隆文

(株)セコマ、北海道大学触媒科学研究所、フードロス削減コンソーシアム

## 1. はじめに

食品ロスとは、本来食べることができるにもかかわらず捨てられてしまう食品であり、その削減は社会的・経済的課題である。青果物に由来する食品ロスが発生する要因の一つに、エチレンの発生が挙げられる。青果物から放出され、自身を熟成・腐敗させる作用があるので、貯蔵空間から除去する必要がある。このエチレンを除去できる素材の一つに、プラチナ触媒がある。プラチナ触媒は氷点～常温であってもエチレンを分解する。従来の触媒では、高温でなければエチレンを分解することができないため熱源が必要であったが、プラチナ触媒の場合は熱源が不要であり、貯蔵空間に静置するだけでエチレンを除去できる（図1）。

さらに、従来の吸着剤とは異なり、使用中にエチレン除去効果が失われることも無いので、定期的な交換が不要であり、維持管理も容易である。我々はこの触媒を開発した北海道大学と共同で、本素材の基礎・応用研究を行ってきた。

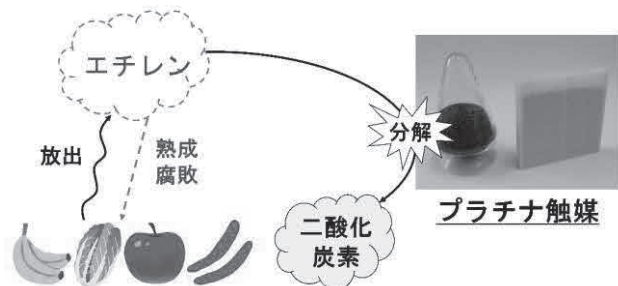


図1 プラチナ触媒による青果物の鮮度保持

## 2. 基礎研究：触媒性能向上のための材料開発

プラチナ触媒は、エチレンを分解する性質をもつ白金微粒子と、白金を微粒子のまま保持するための担体からなる（図2左）。担体には、内部に微細な穴（細孔）があり、そのサイズが触媒のエチレン除去性能を左右する。しかし、従来の触媒では細孔のサイズを自在に変えることが難しく、性能を向上させるために担体の細孔のサイズを最適化することは困難であった。一方、当场では、細孔のサイズと分布を自在に制御できる「階層構造材料」という素材の製造方法を確立している。これを担体としてプラチナ触媒を調製・評価し、細孔のサイズとエチレン除去性能の関係を調べた。その結果、細孔のサイズを大きくするとエチレン除去性能も上がる傾向が見られた。また、細孔のサイ

ズを最適化すると、エチレン除去率を約3倍まで向上できた（図2右、20℃でのエチレン除去率が34%から94%に向上）。本成果をもとに適切な担体を選定することで、より高性能な触媒の製造が可能となる。

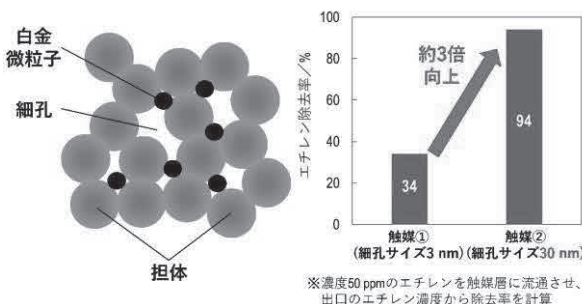


図2 プラチナ触媒の微構造（左）と階層構造材料を用いた触媒のエチレン除去性能（右）

## 3. 応用研究：青果物鮮度保持への適用

前項の研究と並行して、青果物に対する鮮度保持効果の検証も行った。ラボスケールでの貯蔵試験では、触媒を同梱することにより青果物（未熟果バナナ）の熟成・腐敗を遅らせられることが分かった（図3）。実証試験でも鮮度保持効果を確認できており、現在その普及に向けた活動を行っている。



図3 プラチナ触媒による未熟果バナナの貯蔵試験

## 4. おわりに

プラチナ触媒の基礎から応用に関する研究を行い、本素材の実装・普及に向けた知見が得られた。これまでは貯蔵時の食品ロス削減が目的であったが、最近ではサプライチェーンの様々な場面（物流の円滑化、貯蔵時の冷房代の削減など）でのニーズが寄せられていることから、これらに対応した研究開発にも展開したい。

## 謝辞

本研究は、北海道科学技術総合振興センターの助成を受けて行いました。

(連絡先：mori-takeshi@hro.or.jp)

# 液相吸着技術による色素の脱色機構に関する研究

カーボングルをモデル吸着剤とした液相吸着のメカニズム解明(令和1-2年度)  
制御された細孔特性を持つ多孔質炭素材料による高分子着色物質の除去(令和4年度)

材料技術部 ○吉田誠一郎、小川雄太、近藤永樹、松嶋景一郎

## 1. はじめに

食品製造や水処理プロセスにおいて、液相の着色は商品価値の低下や環境負荷など、様々な点で問題となる。着色の原因である色素の除去には、活性炭などの多孔質材料による吸着操作が多く用いられる。実際に吸着のプロセスを設計する上では、脱色に適した吸着材のスクリーニングが必要である(図1、左)。しかしながら、液相における吸着の機構は複雑であり、吸着材の能力を予測することは容易ではない。そこで本研究では、多孔質の炭素材料による脱色挙動をモデルとして、液相吸着の機構解明を試みた。特に、吸着材の細孔構造と色素の分子量の関係に着目し、色素の吸着に有効な細孔を明らかにする(図1、右)。

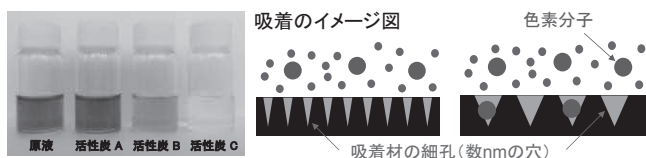


図1 吸着材を用いた色素の脱色例と吸着のイメージ

## 2. 実験方法

吸着材として、細孔構造の制御が可能な多孔質の炭素材料であるカーボングル(CG)を用いた。合成時のモノマー触媒比 R/C を変えることで、細孔径の異なるCGを合成した(R/C50~1000)。CGに対して、高分子色素であるメラノイジンの液相吸着実験を実施した。

## 3. 結果と考察

結果の一例として、異なる細孔径分布と表面積を有するCGに対する、メラノイジン(分子量37,000)の吸着等温線を図2に示した。等温線より、6.5 nm以上の細孔の積算表面積  $S_w$  が大きいCG(R/C1000)ほど、メラノイジンの最大吸着量が増加していることがわかる。一方、そういった細孔をほとんど有さないR/C50のCGには、メラノイジンはほとんど吸着していない。この結果をより定量的に解析するために、上述の積算表面積に対して、メラノイジンの最大吸着量をプロットしたところ、それらのパラメータには比例関係が成立した(図3)。よって、6.5 nm以上の細孔が、分子量37,000のメラノイジンの吸着に寄与していることが強く示唆される。図には記載していないが、他の低分子色素についても同様の比例関係が成立し、色素の分

子量によって、吸着に寄与する細孔が異なることもわかった。

上記のモデルを実際の吸着材と比較するために、市販活性炭に対するメラノイジンの吸着実験を実施し、CGによって得られた結果と比較した(図2中、×印)。その結果、活性炭の6.5 nm以上の細孔表面積とメラノイジンの最大吸着量は、CGで得られた比例関係のグラフとほぼ一致した(図3中、×印)。よって、本実験で得られたモデルを元に、他の吸着材の吸着挙動を予測できる可能性を見出した。

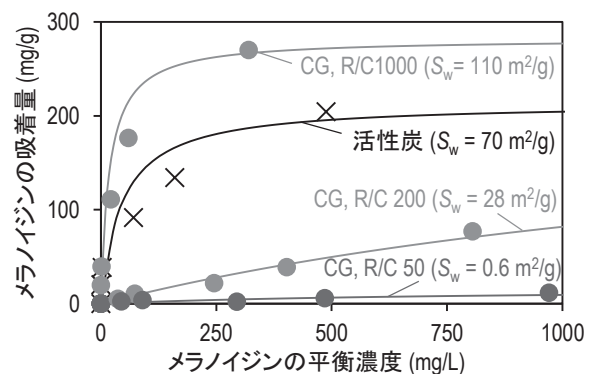


図2 CGに対するメラノイジンの吸着等温線

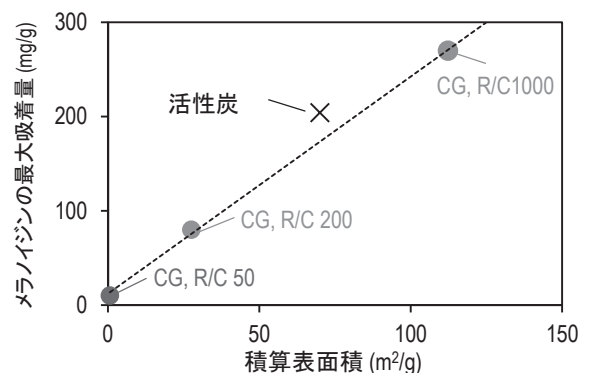


図3 CGの積算表面積と最大吸着量の関係

## 4. おわりに

多孔質の炭素材料による脱色挙動をモデルとした実験の結果、吸着に寄与する細孔が色素の分子量によって決まることを実証した。色素の分子量と吸着材の細孔特性に着目することで、吸着による脱色挙動を予測できることが明らかとなった。

(連絡先: yoshida-seiichiro@hro.or.jp)



# 繊維複合化無機ポリマーに関する研究

(令和3~4年度)

材料技術部 ○吉田昌充、瀬野修一郎、細川真明  
本部研究事業部 大市貴志

## 1. はじめに

建築材料分野では、火災安全性の面から樹脂系建築材料の不燃化が求められている。近年セメントの代替材料として、非晶質アルミノシリケート材料とアルカリシリカ溶液からなる無機ポリマー(ジオポリマー)が注目されている。この材料は不燃性を有し、硬化前は液体状で重縮合反応により硬化することから、無機ポリマーを熱硬化性樹脂材料の代替材として利用することで、新たな不燃建築材料への利用が可能と考える。無機ポリマーは、原料配合や養生条件によって硬化体の特性が異なることから、成形加工条件を確立すると共に、原料配合を変えた時の硬化体の物性に関する検討を行った結果について紹介する。

## 2. 無機ポリマー硬化体の製作方法の検討

無機ポリマー硬化体は、①原料として珪酸ソーダと水酸化ナトリウム水溶液を調合・静置保管、②非晶質アルミノシリケート材料としてメタカオリンをこれに混合、③上記液状混合物をゴム型枠内に充填、④60~80℃の恒温槽で24~48hr養生することで、製作可能であることがわかった(図1)。

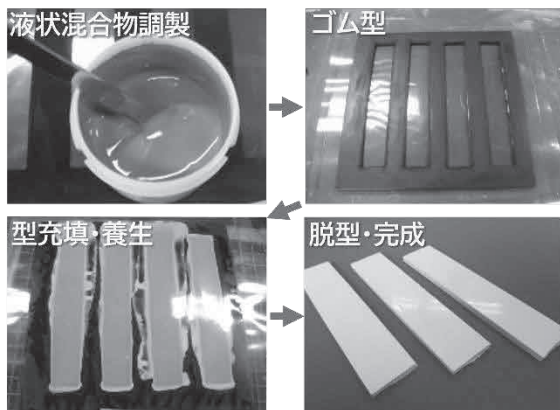


図1 無機ポリマー硬化体の製作概略工程

## 3. 無機ポリマー硬化体の機械的特性の検討

無機ポリマーは、その原料中のアルミニウム(Al)やケイ素(Si)・ナトリウム(Na)のモル比が、硬化体の物性に大きく影響することから、この比率の異なる硬化体を製作し、3点曲げ試験で常温曲げ強さを調べた(図2)。その結果、Si/Al比は大きく、Na/Al比が小さくなるほど、曲げ強さが高くなる傾向を示した。この硬化体の中には水中浸漬すると崩壊するものがあり、

Na/Al=1.0、Si/Al=4.0のとき水中崩壊することなく曲げ強さが最も高い硬化体になることがわかった。

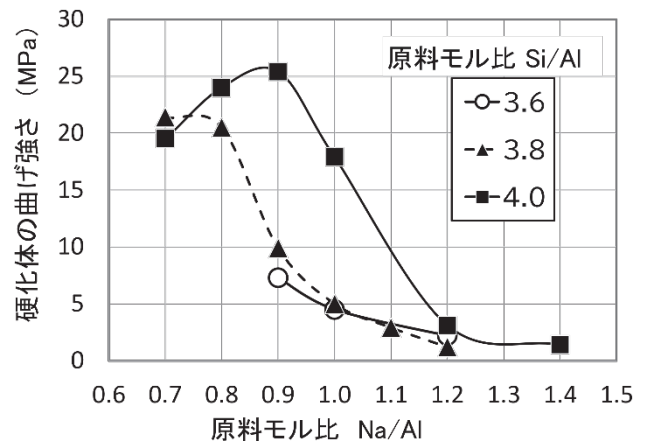


図2 無機ポリマー硬化体の曲げ強さ

## 4. 繊維複合化無機ポリマー硬化体の検討

上記の無機ポリマーをバインダーとして、ナイロン繊維やガラス系軽量骨材を複合化した硬化体の製作技術について検討を行い、多孔質の硬化体(厚さ10mm、500×500mm)を製作することが可能となった。

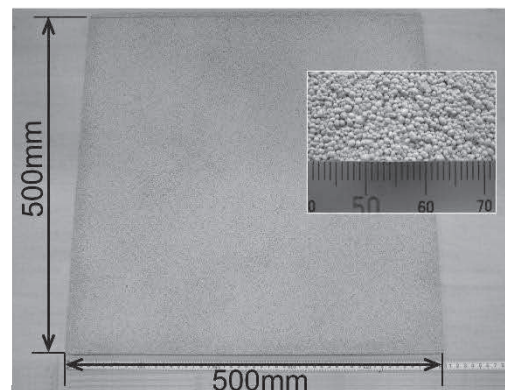


図3 繊維・フィラー複合化無機ポリマー硬化体 (図中右上: 拡大写真)

## 5. おわりに

無機ポリマー硬化体の制作方法や物性を明らかにし繊維やフィラーと複合化した硬化体を製作することが可能となった。今後は、引き続き普及展開を見据えた硬化体の長期的な性能評価等を進める予定である。

(連絡先: yoshida-masamitsu@hro.or.jp)

# 汎用フィルムによるメロンの長期鮮度保持への挑戦

機能性プラスチックフィルムの設計・成形加工技術の開発（令和元年度～令和2年度）

材料技術部 ○細川真明、瀬野修一郎、可児浩、吉田昌充、山岸暢

## 1. はじめに

メロンは北海道各所で栽培されており、全国的に有名な道産青果物の1つである。道産メロンは年中問わず高い人気があるものの、主に夏期に多く収穫され、秋にかけて急激に生産量は低下するため、冬期に道産メロンが出回ることはほとんどない。これまで当場を含めて多くの研究機関で、メロンを長期間にわたり鮮度保持することで出荷時期を調整する試みが繰り返されている。一方で、鮮度保持のためにはメロン果実の前洗浄や高価な包材などが必要となり、汎用的な鮮度保持体系の確立には依然大きなハードルが伴っている。そこで本研究では、特殊な工程を使用せず、汎用フィルムと冷蔵設備のみで道産メロンを長期保存するための取り組みを紹介する。

## 2. 汎用フィルムによるメロンの保存方法

これまで当場では、気温2℃以下においてメロンを個包装することでメロン自体の呼吸を抑制し、腐敗現象を避けられることを見出している。また、今日までの取り組み結果から、メロンが包装後も活発に呼吸するため、包装内部が極端な低酸素、高二酸化炭素雰囲気になることが明らかとなった。これにより、メロンの品質低下の主要因であるカビや雑菌の発生が抑制されるため、従来必要とされてきた保存前の果実の洗浄といった前工程が不要になることが示唆された。これらの予備実験を踏まえて、本研究では包材として二軸延伸ポリプロピレン（OPP）製フィルム（約2円/枚）で収穫直後のメロンを密封し、気温2℃で9週間（2か月）以上の鮮度保持を試みた。

## 3. 鮮度保持試験結果

鮮度保持試験前後のメロンの外観写真を図1に示す。包材に針孔を空け、半密封状態で包装した試験区（針孔あり）は試験開始後1か月ほどでわずかな黒カビを生じ、2か月後に表皮の大部分で黒カビと赤カビが発生していた。一方で完全密封した試験区（針孔なし）は果実から蒸散して発生した水滴により表皮が濡れていたものの、カビは発生せず、果肉の腐敗も見られなかった。そこで、鮮度保持試験後のメロン包装内部のガス雰囲気を計測したところ、針孔ありの試験区は酸素濃度が17.7%であるのに対して、針孔なしの試験区は2.4%と極めて低い値を示した（図2）。これはメロン果実の活発な呼吸により包装内の酸素が消費さ

れたためである。このような低酸素、高二酸化炭素の雰囲気、高湿度下においてもカビの繁殖を抑制し、2か月の長い期間でも鮮度を保持する要因になったと考えられる。2か月保存後における果実の食味に関しても、若干硬度が高く追熟不足であると感じられたが、十分な糖度があり高い品質を保持していることが確かめられた。

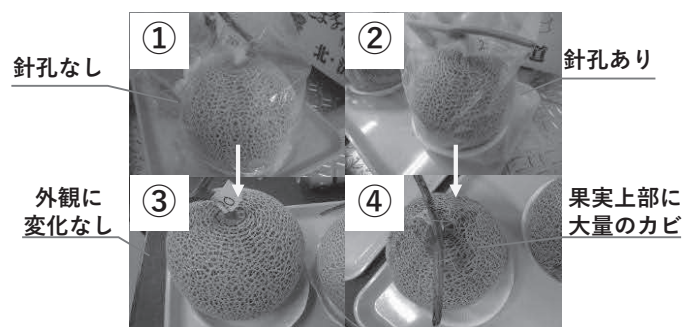


図1 メロン鮮度保持試験中の様子（①、②）と9週間後のメロンの様子（③、④）

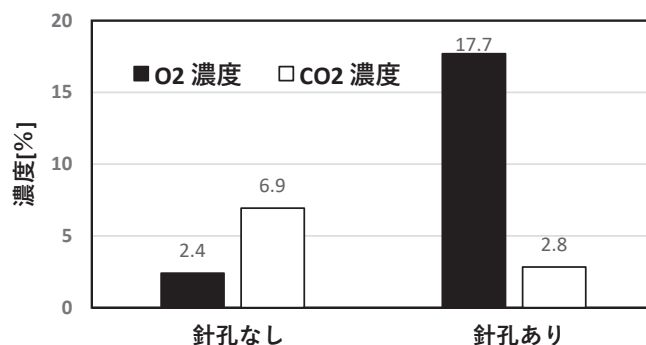


図2 針孔なしと針孔ありの試験区における酸素と二酸化炭素濃度

## 4. おわりに

本試験では、メロンを完全密封して2℃で保存することで、専用の鮮度保持包材を使わずに2か月間の鮮度保持に耐える包装体系を見出すことに成功した。2か月の鮮度保持はちょうど秋に収穫されるメロンを冬の時期に出荷させることが可能になる指標であり、道産メロンの新規需要開拓に大きく貢献できる。また、カビの発生を予防するためのメロンの洗浄なども必要としないため、実用化のハードルが低いことも利点の1つである。以上の知見をもとに、道産メロンの冬期販売に向けて実用化を図っていきたい。

（連絡先：hosokawa-masaaki@hro.or.jp）

# てん菜受渡工程省力化のための検査技術の開発

てん菜受渡査定・立会業務の自動化技術性能向上に関する研究（令和4年度）  
赤外分光法によるてん菜糖分計測装置の開発（令和4年度）

産業システム部 ○近藤正一、本間稔規、藤澤怜央、井川 久、全 慶樹  
（一社）北海道農産協会、道総研十勝農業試験場

## 1. はじめに

製糖工場では、てん菜受渡工程において、目視による買入対象重量測定や糖分測定などの査定業務が行われているが、近年の人手不足から、これらの業務の自動化・省力化が望まれている。本研究では、てん菜を撮影した画像から査定に必要な各種重量の推定を行うAI技術、および迅速分析が可能な近赤外糖分計測技術を開発した。

## 2. 買入対象重量推定のための技術開発

製糖工場におけるてん菜受渡では、除土装置上を通過するてん菜に対して、目視検査を行い、石や腐敗根などの夾雑物の重量、てん菜表面に付着した土砂の量、糖分の少ない茎葉冠部の重量等から買入対象重量を決定する。本研究では、除土装置を通過するてん菜の画像からこれらの量を推定する手法を開発した。

夾雑物については、物体領域検出手法のMask R-CNNを用いててん菜および夾雑物の検出を行った結果、57.5%の石を検出できた（図1）。

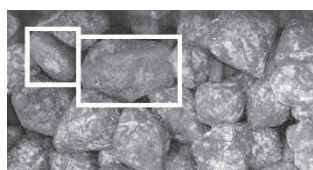


図1 石の検出例

付着した土砂については、受入直後のてん菜のくぼみや茎葉冠部に土砂が付着している場合に重量が大きくなることから（図2）、画像分類手法



図2 付着土砂の多いてん菜

のEfficientNetにより、くぼみへの土砂の詰まりの有無を判別したところ、81%の正解率で判別できた。

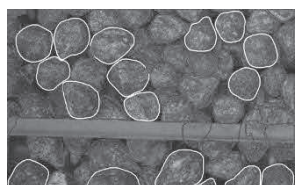


図3 抽出されたてん菜

茎葉冠部については、輪郭形状情報を主成分分析で分類し、抽出したてん菜（図3）から茎葉冠部の重量を推定することで、誤差±1ポイント以内に収まることを確認した。

## 3. 近赤外糖分計測装置の開発

道内各製糖工場に導入されている旋光光度計を用いた糖分測定システムは、てん菜の搾汁液を測定するため、前処理工程に多くの人手が必要である。このことから、より簡便で省人化が可能な近赤外分光法による計測装置の実用化が期待されている。これまでてん菜を対象とした近赤外糖分計測装置の開発が行われてきたが、非破壊での検査を対象としており、十分な精度が得られていなかった。

そこで本研究では、平滑なてん菜切断面のスペクトルデータを計測することで、現状の旋光光度計と同等の性能を得ることを目標に計測装置の開発を行った。S/Nの良いスペクトルデータを取得する計測方式を検討するために、てん菜スライスの透過および反射スペクトルデータを連続して取得する試作機を開発した（図4）。この試作機で取得した、61株（271スライス）のてん菜スライスのスペクトルデータを用いて糖分推定検量線の作成を行った。現行の測定要領（原料20トンから20kgを抽出し1



図4 試作した計測装置

サンプルとする。てん菜20株に相当）でサンプリングした20株平均の実測値と、近赤外分光計測装置により得られた予測値を比較したところ、SEP（予測標準誤差）で0.07%となり、現行の糖分分析システムの測定誤差0.1%と同等の性能が得られることがわかった。

## 4. おわりに

本研究では、てん菜受渡工程における査定業務の自動化・省力化を目的として、画像解析による夾雑物等の重量推定技術および近赤外糖分計測技術を開発した。引き続き、（一社）北海道農産協会と共同研究等を実施し、開発した技術の早期実用化に向け、現場での使用における具体的な課題抽出を行い、改良を進めていく。

（連絡先：kondou-shouichi@hro.or.jp）

# コンブ漁場調査のための空撮画像解析技術に関する研究

(令和2～4年度)

産業システム部 ○浦池隆文、飯島俊匡、伊藤壮生  
北海道、室蘭工業大学

## 1. はじめに

本道のコンブ漁業は近年減産傾向が顕著となっている。要因として未利用漁場の増加が指摘されているが、漁業者への聞き取りによるもので、客観的な評価はなされていない。本研究では、効率的な漁場利用や適正な漁場管理を実現することでコンブ生産の維持・増大を図るため、ドローン空撮と画像解析技術を活用して定量的にコンブ漁場の現況を把握する、新たな調査手法の開発に取り組んだ。



図2 フィールド調査の例

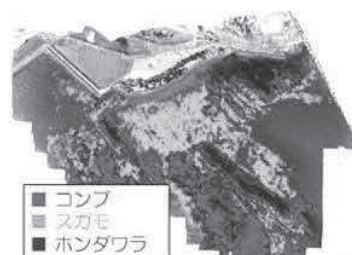


図3 海藻類分布推定の例

## 2. ドローン空撮による沿岸画像の取得

主要産地である道内5地域（日高、釧路、根室、渡島、宗谷）を調査対象地域として、事前に海岸線から沖合約300～500mの範囲に飛行経路を設定のうえ、ドローンの自動飛行機能により空撮を行った。使用機材はDJI社製Phantom 4 Pro V2.0であり、飛行高度を150mとして、その他の飛行設定はドローン空撮での一般的な設定に準じた。海上での空撮は、日射や海況の影響を受けやすい。撮影の時間帯を適切に設定（日の出後1～3時間程度、日の入り前3～1時間程度）するなど最適な撮影条件の設定に配慮する、また、得られた画像にカラーチャートを併用して色補正を行うことで、図1のような画像を取得した。



図4 調査の手引き

## 3. 漁場のフィールド調査（水産技術普及指導所）

漁船に搭載したGPSロガーによる航跡調査、漁業者への聞き取り、傭船による船上からの目視観察などにより、コンブの他海藻類の繁茂状況と底質の調査（フィールド調査）を行った。調査結果を空撮で取得した画像にマッピングし、画像解析のもととなるデータを作成した（図2）。

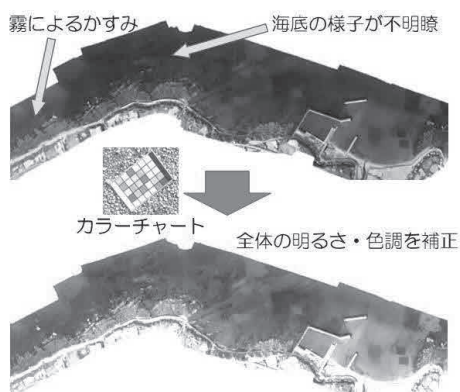


図1 空撮により取得した画像の例

## 4. 画像解析手法の開発（室蘭工業大学）

フィールド調査の結果をもとに、ドローン空撮画像のRGB値など色情報を基準とした特徴量解析を行うことで、コンブの他、ホンダワラ、スガモの分布推定を可能とする画像解析アルゴリズムの開発を行った（図3）。現在も推定精度向上に向けたアルゴリズムの改良を進めており、継続したデータ収集と解析により、コンブ繁茂状況の経年変化を捉えることが可能となった。

## 4. おわりに

ドローン空撮、フィールド調査、画像解析技術の開発により、コンブ漁場の客観的な現況把握が可能となった。本研究の成果を、漁業者自らが活用・実施できるよう「手引き」（図4）として取りまとめるとともに、実施体制の構築に向けた取り組みを進める。

（連絡先：uraike-takafumi@hro.or.jp）

# 自動搾乳システム開発に向けた乳牛の乳頭位置の検出

搾乳ユニット自動装着装置の開発（令和4年度）

産業システム部 ○宮島沙織、井川久  
(株)リープス、avocet

## 1. はじめに

酪農業において、搾乳作業は乳牛の健康管理と収益のために不可欠な作業だが、朝夕の決まった時間帯に長時間の拘束を強いられるため、負担の大きい作業でもある。搾乳作業の負担軽減のため、海外製の大型搾乳ロボットの導入も進んでいるが、ロボットの大きさに合わせて牛舎の建て替えが必要であるなど多大な導入費と維持費がかかるため、導入のハードルは高い。そこで、既存の搾乳施設（ミルクパーラー）に追加設置が可能な、人協働ロボットを活用した自動搾乳システムの開発に着手した。本発表では、搾乳ユニットの自動取り付けに必要な乳牛の乳頭位置の検出について、色画像と距離画像を取得できる RGBD カメラと、YOLO という深層学習による物体検出アルゴリズムを活用した手法を検討したので報告する。

## 2. 搾乳施設における乳頭撮影方法の検討

今回対象としたミルクパーラー（図1）では、人の作業区域が牛の後方に配置されている。そこで、RGBD カメラ（RealSense D435）を使用し後方から乳牛の下腹部の撮影を行い、4本の乳頭が全て画像に写るようなカメラ位置の検討と、深層学習に使用する学習データの取得を行った。

検討の結果、カメラ位置の候補は図2に示す2つの位置A・Bに絞られた。乳房の真下である位置Aの場合、4本の乳頭を確実に撮影できるが、牛の行動範囲内にカメラを設置するため、糞尿による汚れや、牛に蹴られることによる破損の恐れがある。位置Bは乳房の後方下側であり、牛の行動範囲外であるため、カメラの汚れや破損の可能性は低い。一方で、牛の位置や尾の長さによって、設備や尾で乳頭が隠れて写らない場合があった。

以上の結果より、汚れや破損、遮蔽に対する対策の必要性が明らかになった。

## 3. 深層学習モデルを使用した乳頭位置の検出

RGBD カメラを使用すると、色画像と距離画像の2種類の画像を取得できる。距離画像にはx軸・y軸・z軸の3軸方向の距離が含まれるため、画像の奥行方向にあたるz軸方向の距離成分のみを抽出したグレースケール画像（以下z軸画像）を作成した。

次に、乳頭位置の検出に有用な情報を明らかにするため、z軸画像65枚を使用して構築した深層学習モ



図1 ミルキングパーラー

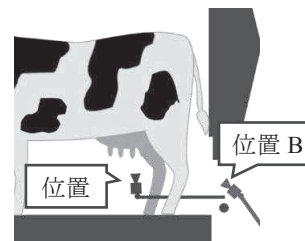


図2 カメラ位置の候補

表1: 画像6枚から検出した乳頭の数 [個]

	正解	検出成功	未検出	誤検出
色画像	23	20	3	0
z軸画像		21	2	4

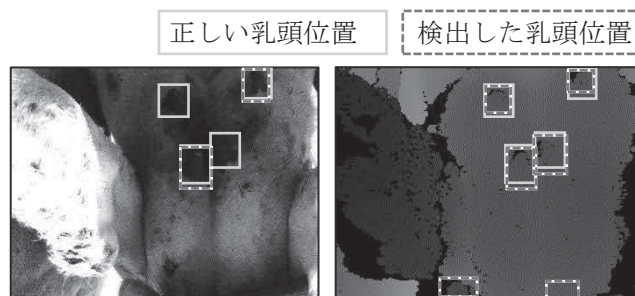


図3 乳頭検出結果（左：色画像、右：z軸画像）

デルと、同数の色画像を使用して構築した深層学習モデルをそれぞれ作成し、学習に使用していないテスト画像6枚を用いて検出結果の比較を行った（表1）。どちらのモデルも8割程度の検出精度が得られたが、色画像と比べてz軸画像は、乳頭があるにも関わらず検出できない「未検出」の数は少なく、誤検出が多い結果となった。

検出結果の例を図3に示す。色画像で未検出だった暗い色の乳頭は、距離画像では検出に成功していた。また、z軸画像における誤検出箇所は、背景や脚など乳頭から離れた箇所に発生していた。

以上の結果より、色画像とz軸画像の検出結果の統合や、検出した乳頭間の距離、画像上の位置関係を利用することで、検出精度の向上が期待できる。

## 4. おわりに

自動搾乳システム開発に向け、乳牛の乳頭を検出する手法を提案した。深層学習モデルによる乳頭検出の結果、8割程度の検出精度が得られたが、色画像と距離画像両方を使用することで、検出精度のさらなる向上が期待できる。

（連絡先：miyajima-saori@hro.or.jp）

# 3Dプリンターを活用した樹脂製蹄鉄の開発

サラブレッドの樹脂製蹄鉄の製作（令和3年度）

馬蹄保護具の3D製造技術の習得（令和4年度）

産業システム部 ○川島圭太

開発推進部 印南小冬、安田星季

材料技術部 吉田昌充

(公財)日本軽種馬協会

## 1. はじめに

サラブレッドの仔馬（以下、仔馬）の脚の姿勢（以下、肢勢）に異常がある場合、樹脂蹄鉄を使用して正しい肢勢へ矯正する。しかし、仔馬の蹄の形状には個体差があるため、既製の樹脂蹄鉄（図1）を装着させることができずに正しい肢勢へ矯正が困難な場合がある。

そこで、3Dプリンターを活用し、各仔馬の蹄形状に合った樹脂蹄鉄の開発に着手した。本年度は、造形する樹脂蹄鉄の強度が実用に耐えうるかを確認するために、仔馬よりも重量がある成馬用の樹脂蹄鉄を試作して強度検証を行った。

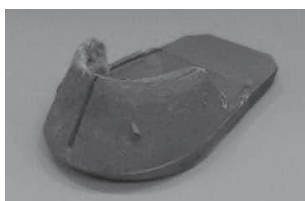


図1 既製の樹脂蹄鉄

## 2. 樹脂蹄鉄の3Dモデル作成

3Dプリンターで造形するためには樹脂蹄鉄の3Dモデルが必要となる。3Dモデルは次の手順で作成した。

①カメラであらゆる角度から蹄を撮影し、撮影した複数枚の画像から蹄の3Dデータを生成

②3DCADソフトを用いて、蹄の3Dデータにフィットする樹脂蹄鉄の3Dモデルを作成

当场では、3DCADソフトRhinocerosの機能拡張用プログラムGrasshopperを用いた樹脂蹄鉄モデリング支援アルゴリズム（図2）を開発し、樹脂蹄鉄の3Dモデルの作成を支援した。

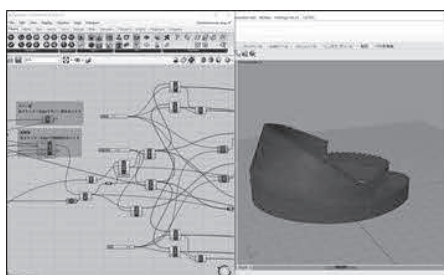


図2 モデリング支援アルゴリズム

## 3. 3Dプリンターによる樹脂蹄鉄の試作

作成した樹脂蹄鉄の3Dモデルを使って、当场の大型3Dプリンターで樹脂蹄鉄を試作した（図3）。図3左が生分解性のPLA樹脂、右が難分解性のABS樹脂で造形したものである。樹脂による強度の違いを確認するために2種類の樹脂で造形した。また、樹脂の充填率は50%、積層ピッチは0.25mmとした。

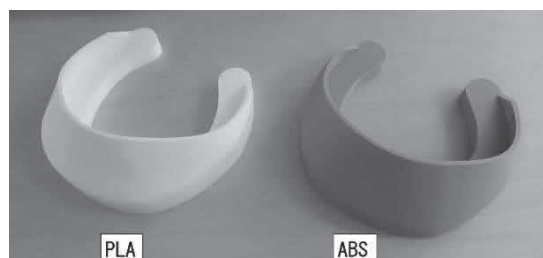


図3 3Dプリンターで造形した樹脂蹄鉄

## 4. おわりに

3Dプリンターで試作した樹脂蹄鉄を成馬に装着し、歩行テストを実施した（図4左：ABS、右：PLA）。

その結果、放牧や軽運動を行っても双方の樹脂蹄鉄に破損等は観察されず、強度的に問題ないことを確認した。今後は引き続き、仔馬向けの樹脂蹄鉄の実用化に向けて開発を進める。

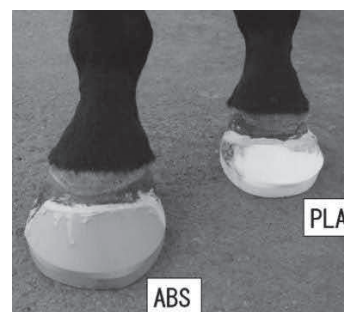


図4 成馬に樹脂蹄鉄を装着した様子

## 謝辞

本開発は、「NAR 競走馬生産振興事業」の補助を受け、「軽種馬経営高度化指導研修事業」の一環で日本軽種馬協会が実施しました。

(連絡先：kawashima-keita@hro.or.jp)

# 内装材原板の形状計測手法の開発

原板分割位置決定のための原板歪み計測手法の開発（令和4年度）

産業システム部 ○井川 久、宮島沙織  
松原産業(株)

## 1. はじめに

広葉樹内装材の生産工程では、木材の選別や加工などにおいて高度な熟練技能が求められるが、昨今の人手不足の影響により、熟練作業者の減少が課題となっている。フローリング材などの内装材は、長い材料（以下：原板）を分割することで複数枚の製品が加工・取得される。原板には曲りや歪みがあるため、原板から平面状の製品を歩留まりよく複数枚取得するためには、製品寸法を考慮しながら原板の分割位置を決定する必要がある（図1、2）。しかし、分割位置の決定には熟練が必要であり、習熟者を育成するためには時間を必要とする。

そこで、これらの課題を解決するために画像処理技術を活用し、自動的に原板の分割位置を決定する検査システムの開発に着手した。



図1 原板の分割



図2 原板の歪み検査

## 2. 原板の形状計測手法の開発

原板の分割位置を決定するためには、原板全体の形状を把握した上で、曲り具合や歪み方に応じて切断長さを判断する必要がある。そこで、ベルトコンベア上部に立体形状の取得を可能とするラインスキャンカメラ（キーエンス製 LJ-X8000A）を設置し、搬送される原板をスキャンすることで長尺の原板全体の形状を計測する3次元形状計測環境を構築した（図3）。

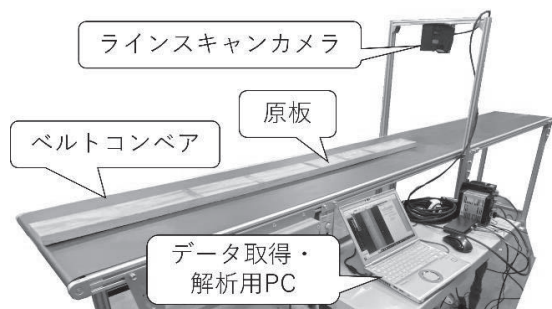


図3 3次元形状計測環境

## 3. 原板の分割位置を推定するための評価手法の検討

得られた形状データを使って原板の分割位置を推定するには、加工装置の動作を考慮した形状データの評価手法を開発する必要がある。製品の寸法を決定する加工工程として、リップソー工程と一面かんな工程がある。リップソーは原板上方から見た原板の曲りを切除する加工であり、一面かんなは捻れや反りなどの歪みを切除する加工である（図4）。これらの加工方法を基に、①形状データを上方から見た図からリップソー加工後の幅を算出する方法（図5）、②形状データの表面を近似する平面の算出方法、さらに、③形状データと近似平面との差分から歪み度合いを評価する方法（図6）について検討した。

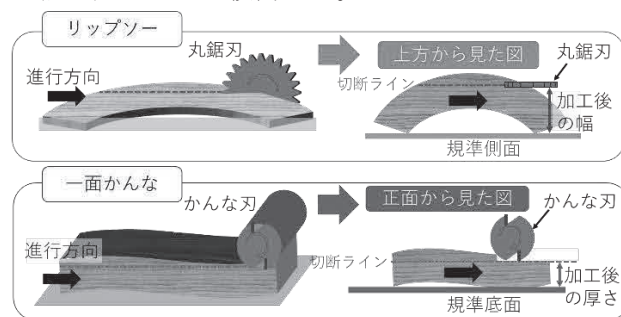


図4 リップソーと一面かんなによる加工

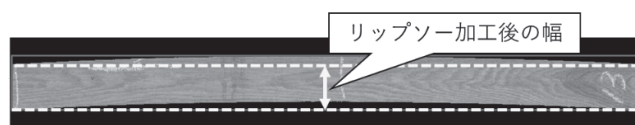


図5 リップソー加工後の幅の算出

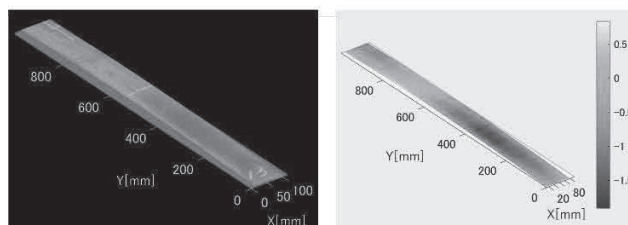


図6 形状データと近似平面および近似平面との差分

## 4. おわりに

画像処理技術により自動的に原板の分割位置を決定する検査システムの開発に向けて、原板の立体形状の計測手法と、得られた形状データの評価手法について検討した。今後は、各要素技術について開発を進める。（連絡先：igawa-hisashi@hro.or.jp）

# レーザー加工によるセラミックスの表面改質

レーザー加工によるセラミックスの表面改質に関する基礎試験（令和3～4年度）

材料技術部 ○中嶋快雄、飯野潔、鈴木逸人、櫻庭洋平

## 1. はじめに

当場では、セラミックスの1つであるジルコニアの表面に窒素雰囲気中でレーザーを照射すると導電性を示す皮膜を生成する現象を発見した。この現象から、セラミックス上に導電性回路を有する複合材創製の可能性が示唆される。そこで、この現象に関する皮膜の導電性発現メカニズムや基礎的な物性の把握を行うこととした。

## 2. 実験方法

### (1) 表面改質層および生成機構の解明

ジルコニアに、窒素雰囲気中でレーザーを照射し単線を描き（図1）、加工条件（入熱密度  $2.0 \text{ J/mm}^2 \sim 8.4 \text{ J/mm}^2$ ）と生成された皮膜の表面抵抗率測定、組織観察、成分分析の結果とを対比し、これをもとに導電性発現メカニズムを推定した。



図1 描画した試料

### (2) 耐環境性試験

生成した皮膜について耐熱性および耐食性を調べるために、 $240 \sim 600^\circ\text{C}$ の大気雰囲気中に6～30h曝露する耐熱性試験と、室温において1%硫酸、1%塩酸および3.5%食塩水に浸漬する耐食性試験を行い、表面抵抗率の変化を比較した。

## 3. 結果および考察

(1) 窒素雰囲気中でレーザー照射した場合、 $3.6 \text{ J/mm}^2$ 以上の入熱で光沢を有する改質部が形成され、改質部は表面抵抗率  $0.97 \sim 2.1 \times 10^2 \Omega/\square$ の導電性を有することが分かった。また、改質部の断面組織はレーザーの照射部を中心に半だ円状に黒色化する現象が観察されたが光沢は見られなかった（図2）。

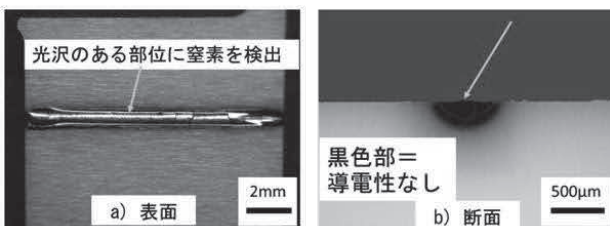


図2 試料の観察

改質部の生成物を調べるためXRD解析を行った結果、表面からは窒化ジルコニウム（ZrN）が検出され（図3）、導電性の発現は窒化物の生成に起因すると考えられた。

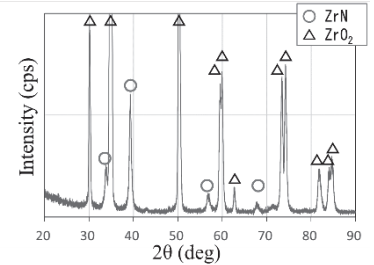


図3 XRD解析結果

EPMA分析では表面からわずかな窒素が検出されたが、断面からは検出されず、窒化物が改質部のごく表面に薄い皮膜として形成されたと推定された。

(2) 耐熱性試験の結果、 $240^\circ\text{C}$ 以上で表面抵抗率は絶縁体と同等まで増大してしまい、耐熱性は期待できないことが分かった。耐食性試験においては塩酸および硫酸では浸漬時間の経過とともに表面抵抗率が増大した。一方、食塩水では21週間浸漬後も表面抵抗率が増大せず、耐食性が期待できる結果となった（図4）。

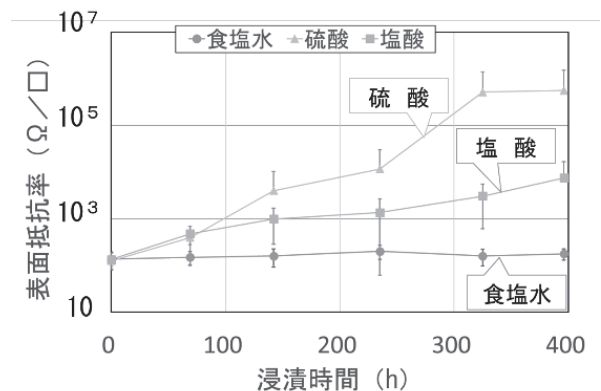


図4 耐食性試験結果

## 4. おわりに

当場で発見した「レーザーをジルコニアに照射すると照射部位に導電性皮膜が生成される現象」について、導電性発現メカニズムの解明や基礎的な物性の把握を行った。その結果、導電性皮膜の生成はジルコニアの窒化物が生成したことによると推定され、この改質部は食塩水に対する耐食性が期待できることがわかった。今後は、海水中で使用する電極材料など、具体的な活用に向け検討していく。

（連絡先：nakajima-yoshio@hro.or.jp）



# ブラシめっき用低温めっき液の開発

現場補修めっき技術の高度化に関する研究（令和 2～3 年度）

開発推進部 ○齋藤隆之

企画調整部 坂村喬史、材料技術部 櫻庭洋平

## 1. はじめに

ブラシめっきは、一般的な湿式めっきに必要なめっき槽を用いず、ブラシと呼ばれる器具で施工する電気めっき法である。道内では、ニッケル (Ni) のブラシめっきで製造機械の現場補修 (図 1) を行う企業があるが、めっき液を析出速度の観点から必要とされる約 50°C に加温・保持することが課題となっていた。



図 1 現場でのブラシめっき

そこで、冬期に 10°C 以下となる現場でも、加温なしで現行の加温めっきと同等の析出速度が得られる Ni めっき液の開発を試みた。

## 2. 槽めっきでの実験と結果および組成の改良

めっきの析出速度に及ぼす要因を単純化し、成膜の再現性を高めるため、槽めっき実験でめっき液組成の探索を行った。最初の段階でめっき液は、表 1 の標準的なスルファミン酸 Ni 浴を用いた。Ni 金属濃度としては 112g/L に相当する。電解には、ハルセル(Hull cell)と呼ばれるめっき実験専用槽を用いた。陽極板を Ni、めっきを形成する陰極板を黄銅として、液温 50°C および室温条件で電解を実施した。

液温 50°C では電流密度にかかわらずめっき膜が形成されたが、室温では電流密度 13A/dm<sup>2</sup> を超えると金属ではなく水酸化 Ni が析出した。表 1 の組成では、①室温の金属析出条件では析出速度が遅すぎることで、②電解時間とともにめっき液の pH が低下することから、室温で利用するために組成の改良を検討した。

既存の知見から、pH 低下を緩和するため陽極を硫黄含有 Ni としさらにめっき液に酢酸 Ni を少量添加し、析出速度を向上させる目的で Ni 濃度を 136g/L に高めた。酢酸 Ni には、水酸化 Ni が析出し始める電流密度を向上させる効果も認められた。さらに、コバルト(Co) を Ni に対し質量比で 1/10 程度添加することで析出速度が大幅に増大することが分かった。

表 1 スルファミン酸 Ni 浴の組成例 (g/L)

スルファミン酸 Ni	塩化 Ni	ほう酸
600*	15	30

\*スルファミン酸ニッケル 4 水塩 (Ni(NH<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> · 4H<sub>2</sub>O) としての溶解濃度

## 3. ブラシめっきでの実験と結果および皮膜評価

改良しためっき液で、図 2 の装置構成でブラシめっきを行った。めっき基材は黄銅 (67×100mm) で、露出部が 50×100mm となるようマスキングした。ブラシは、硫黄含有ニッケルの陽極を先端にはめたペン型形状とした。また、低温状態を模擬するため基材はアルミブロックを介して氷水で冷却した。

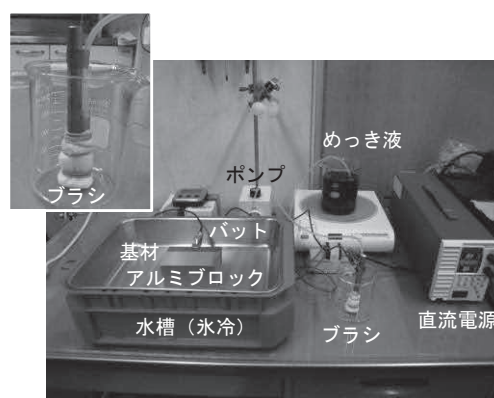


図 2 ブラシめっきの装置構成とブラシ

加温なしで電流密度を 32A/dm<sup>2</sup> としたときのめっき析出速度\*は、加温する通常の現場めっきとほぼ同等となった。この条件で 10 分間ブラシめっき操作を行うと、約 3.7 μm のめっき膜が析出した。皮膜の組成は Ni が 41wt%、Co が 59wt% となっていた。

耐食性を 21 サイクルの複合サイクル試験で評価した結果、めっきなしは激しく腐食したが、めっき試験体はわずかに変色したのみでさびは基材へ進展せず十分保護されていた。ビッカース硬度計でめっき膜硬さを測定した結果 440 HV0.01 となり、補修に十分な硬さであると判断した。

\*厳密には(施工面積/ブラシ陽極面積)×めっき析出速度(μm/min)

## 4. おわりに

組成の改良により、加温不要で現場補修に利用できる可能性のある Ni めっき液組成を見いだした。今後、実用化のため高温耐食性や施工上の課題をさらに検証していきたい。

(連絡先: saitou-takayuki@hro.or.jp)

# X線CTを活用した非破壊評価技術の支援事例

X線CT測定用試料載荷装置の開発支援（令和4年度）  
摩擦攪拌接合した析出強化型アルミニウム合金の継手評価（令和4年度）

材料技術部 ○櫻庭洋平  
開発推進部 板橋孝至  
北海道大学大学院、室蘭工業大学大学院

## 1. はじめに

X線CT装置を用いた非破壊測定では、製品内部をX線で透過観察し、割れや欠陥、構造を3Dモデル化することができる。当场では、製品の品質検査、各種試験片の内部欠陥測定など、道内企業や大学・高専から寄せられた様々な依頼の技術支援を行っている。本発表では、近年実施した主な支援事例を紹介する。

## 2. 支援事例

### 2-1 CT装置内試料載荷装置の開発支援

圧迫骨折による海綿骨の破壊挙動を解明するため、CT装置内で海綿骨を圧縮しながら微視構造の変化を観察する試験片圧縮装置を、共同開発機関とともに設計・製作した。本支援では、CT装置の回転テーブル上に設置可能な装置形状や重量を求め、かつ撮影した画像に干渉しない機構を検討した（図1）。この装置で海綿骨に荷重を段階的に加え、破壊や変形、応力とひずみの関係など力学挙動を計測した結果、圧縮応力は骨梁に亀裂が生じた時点で低下し、さらに圧縮すると骨梁同士が接触し圧縮応力が増加に転じるメカニズムを明らかにした。（図2）

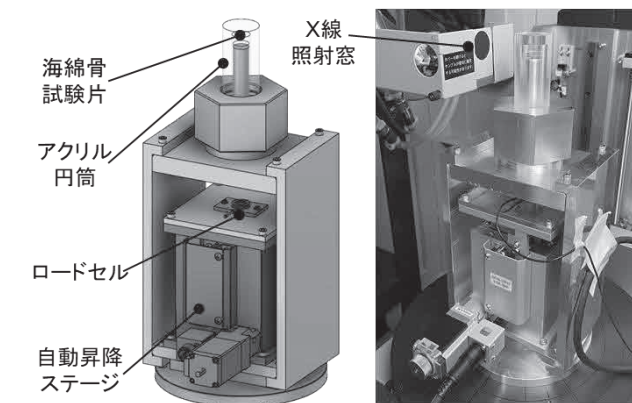


図1 X線CT装置内試験片圧縮装置

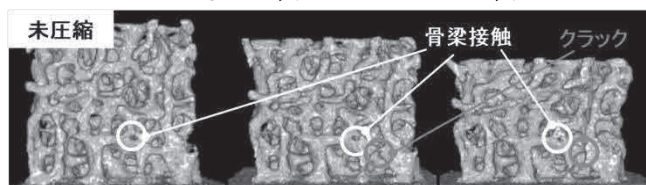


図2 圧縮した海綿骨の変形・破損状況

### 2-2 析出強化型Al合金の摩擦攪拌継手の評価

ジュラルミンなどの析出強化型アルミニウム合金を摩擦攪拌接合した場合、接合中の温度履歴や塑性流動によって析出物の有無や大きさが変化し、また含有する低融点化合物によって内部欠陥が生じることから、接合時の温度管理や制御が必要である。本支援では、接合条件の異なる継手をCT測定し、内部欠陥や未接合部など接合不良の有無や大きさ、バリや肉厚などを測定し（図3）、継手品質を比較した。今後は、共同開発機関と連携して接合時の温度履歴測定や析出物の分析を行い、溶体化や過時効による強度低下が生じず、かつ接合不良のない良好な接合条件を探る。

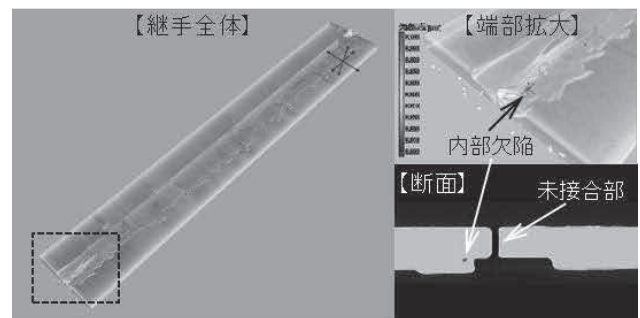


図3 摩擦攪拌継手の内部欠陥および未接合部

### 2-3 樹脂管接合用発熱体の位置検査

発熱体を封入した樹脂管継手を検査するため、本支援では発熱体の配置をCT測定し、設計許容寸法内に配置されているかの抜取検査に活用した。（図4）

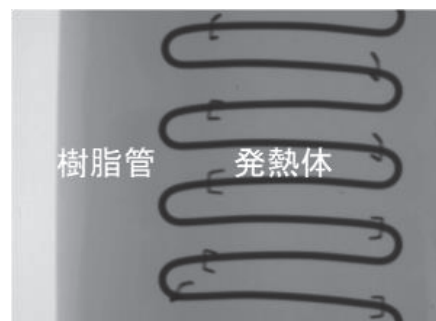


図4 発熱体のCT画像

## 3. おわりに

X線CTを用いた研究開発事例や製品検査事例を紹介した。今後も、道内企業や大学等から寄せられる非破壊評価の依頼に対して技術支援を進めていく。

(連絡先：sakuraba-yohei@hro.or.jp)

# 曲げ加工可能な溶融亜鉛めっき技術の開発

密着性に優れた Zn めっき／鋼板界面の組織制御法（令和 3～4 年度）

材料技術部 ○飯野 潔、宮腰康樹、中嶋快雄、櫻庭洋平 企画調整部 坂村喬史  
北海道大学

## 1. はじめに

溶融亜鉛めっきは耐食性が要求される部材に広く用いられているが、残留応力を有する部材にめっきした場合、水素脆化の心配がある。本研究では、めっき後に曲げ加工可能な溶融亜鉛めっき技術を開発した。本技術により、めっき時の残留応力に由来する水素脆化のリスクが少ない耐食性部品の提供が可能となる。このめっき作製技術について報告する。

## 2. 試料の作製と曲げ加工

微量な Al を含む亜鉛インゴットを融解し、460 °C に保持し、軟鋼(SS400)を 5 分～30 分浸漬し、亜鉛めっき試料を作製した（以下 Al 添加めっきと称す）。一方、比較品として、一般的などぶ付け溶融亜鉛めっきの試料については、市販されているもの入手した（以下通常めっきと称す）。次に、上記の亜鉛めっき試料を、曲げ半径が試料板厚の 2 倍となるように調整して U 字型 180° 曲げ加工した（図 1）。

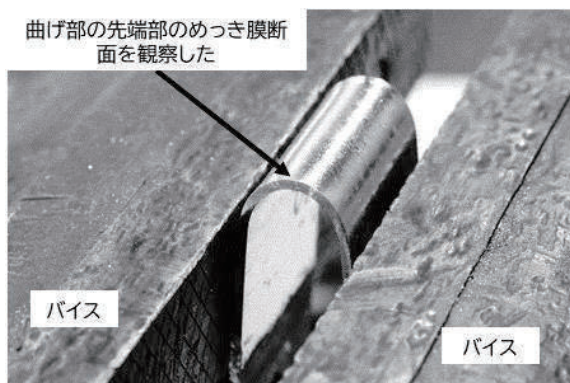


図 1 180° 曲げ加工

試料の加工していない直線部と、曲げ加工を行った試料の曲げ部の外側と内側の断面組織を光学顕微鏡および走査型電子顕微鏡により観察し、めっき膜の割れおよび母材からの剥離の様子について観察した。

## 3. 結果

Al 添加めっき試料および通常めっき試料の曲げ部先端の外側の光学顕微鏡写真を図 2、図 3 に示す。通常めっきではめっき膜に割れが入り、母材から剥離している。一方、Al 添加めっきではめっき膜は剥離していない。詳細に観察すると、Al 添加めっきでは、

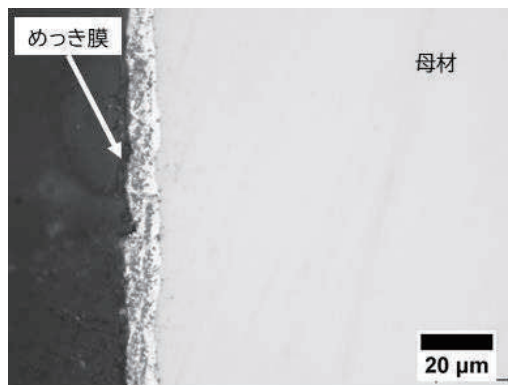


図 2 Al 添加めっき曲げ部先端付近断面

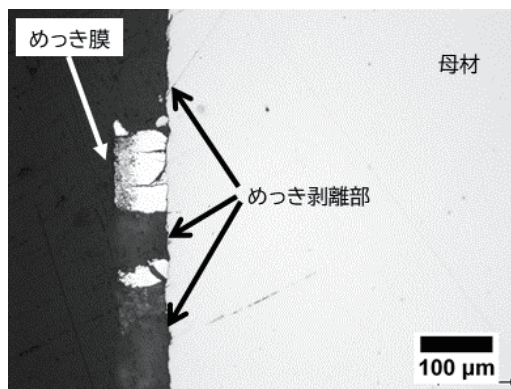


図 3 通常めっき曲げ部先端付近断面

めっき膜は母材の変形に追従して変形していたため、剥離しなかったと推察される。

走査型電子顕微鏡で観察すると、通常めっきではめっき膜中に Zn-Fe 合金層を確認した。Al 添加めっきではめっき膜／母材界面に 1 μm 程度の薄い Al-Si-Fe-Zn 合金バリア層が形成され、めっき膜の大部分は純亜鉛層であった。このバリア層の形成が Fe と Zn の相互拡散を抑制し、硬く脆い Zn-Fe 合金層の形成を阻害するため、Al 添加めっきでは軟らかい純亜鉛層のみとなり、母材の変形に追従するため密着性に優れることが分かった。なお、これらのメカニズムは軟鋼、マンガ含有鋼、ケイ素鋼板でもほぼ同様であった。

## 4. おわりに

めっき後に曲げ加工が可能な溶融亜鉛めっきはめっき脆性（水素脆化）のリスクが少なく、耐食性を有する金属部品の提供に寄与することが期待される。

(連絡先：iino-kiyoshi@hro.or.jp)

**技術移転フォーラム2023 ー工業試験場成果発表会ー**  
**プログラム・発表要旨**

---

地方独立行政法人 北海道立総合研究機構 産業技術環境研究本部  
ものづくり支援センター 技術支援部 工業技術支援グループ

〒 060-0819 札幌市北区北19条西11丁目

TEL 011-747-2346（直通ダイヤルイン）

FAX 011-726-4057（代表）

工業試験場ホームページ

<https://www.hro.or.jp/list/industrial/research/iri/index.html>



