



道総研

KO-SHI FORUM 2026

# 工業試験場成果発表会 プログラム・発表要旨

2026年6月2日 火 12:00 - 17:00

ホテル札幌ガーデンパレス 2階

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・ものづくり支援センター



## 分野別発表プログラム

### 産業システム部：白鳥の間 13:15～15:15

番号	時間	発表課題	発表者	ページ
メイン	13:15～13:45	森林資源量推定のためのUAV搭載型計測機器の開発【展示】	堀 武司	6-7
1	13:45～14:00	電磁波を用いた生体情報センシング技術の開発【展示】	宮崎 俊之	8
2	14:00～14:15	不定形材料からの効率的な製品抽出手法の開発	吉田 道拓	9
3	14:15～14:30	地面への做い制御による引き抜き除草装置の高速化【展示】	浦池 隆文	10
4	14:30～14:45	農産物の配置姿勢を考慮した把持箇所認識技術の開発	井川 久	11
5	15:00～15:15	自動収穫ロボット開発のためのシミュレータの構築【展示】	伊藤 壮生	12

### ヒューマンテクノロジー部：白鳥の間 15:15～15:45

番号	時間	発表課題	発表者	ページ
1	15:15～15:30	安全な作業のための個人差に応じた許容作業強度の推定【展示】	川崎 佑太	13
2	15:30～15:45	生成AIとXRを用いたパッケージデザイン開発【展示】	安田 星季	14

### 新技術創生研究推進室：孔雀の間 13:15～13:45

番号	時間	発表課題	発表者	ページ
メイン	13:15～13:45	高温高圧水による糖由来プラスチック原料の製造法開発【展示】	小川 雄太	15-16

### 材料技術部：孔雀の間 13:45～15:45

番号	時間	発表課題	発表者	ページ
1	13:45～14:00	各種センサを用いたレーザー溶接割れ検知技術の開発	鈴木 逸人	17
2	14:00～14:15	ステンレス/アルミナ複合材料AM造形技術の開発【展示】	菅 結実花	18
3	14:15～14:30	複雑構造体に適用可能な循環型電気めっき処理方法の開発【展示】	川上 諒大	19
4	14:30～14:45	プラスチックの紫外線劣化による長期変形予測	細川 真明	20
5	15:00～15:15	バイオマスを利用した複合材料の開発【展示】	瀬野 修一郎	21
メイン	15:15～15:45	過熱水を利用したグルタミン酸由来の有用物質の合成	近藤 永樹	22-23

# ポスターセッションプログラム

丹頂の間

## 産業システム部

番号	発表課題	発表者	ページ
1	効率的なAI学習用データ作成手法の開発【展示】	全 慶樹	26
2	ブロックリー選別加工システムの開発【展示】	岡崎 伸哉	27
3	ホタテガイ資源量調査におけるAI画像解析技術の開発	藤澤 怜央	28
4	高い段差乗り越え性能を有する球体車輪の開発【展示】	佐野 峻輔	29

## ヒューマンテクノロジー部

番号	発表課題	発表者	ページ
1	持ち上げ作業の適正なアシスト力のための動作分析	於本 裕之介	30
2	乳牛の低Ca血症予測システムの開発	泉 巖	31
3	アップサイクルを推進するための製品開発ガイドライン	大久保 京子	32
4	滑りにくい冬靴ソール形状の試作開発支援	印南 小冬	33

## 新技術創生研究推進室

番号	発表課題	発表者	ページ
1	グリーン技術を用いた新規バイオリファイナリー【展示】	小川 雄太	34
2	農作物の鮮度保持のための新規エチレン分解触媒の開発【展示】	森 武士	35

## 材料技術部

番号	発表課題	発表者	ページ
1	お米からつくったプラスチックの複合化検討	土田 晋士	36
2	プロセスインフォマティクスによる化学プロセスの設計	吉田 誠一郎	37
3	金属製品の強度試験に関する研修の実施報告	中嶋 快雄	38
4	レーザ熱処理による銅合金積層造形品の時効処理【展示】	櫻庭 洋平	39

# パネル・展示一覧

丹頂の間

展示時間 12:00～17:00

研究部	パネル・展示テーマ
産業システム部	<p>単木計測AI技術とCLAS-LiDAR計測技術による森林資源量推定システムの実用化【発表】                      電磁波センサを活用した生体の動的情報センシング技術の研究【発表】                      安価な陸上競技用電子ペーサーの開発について                      脈拍と連動するフラワーアート作品のための電子制御機構の開発                      防災の可能性を飛躍的に広げる衛星通信対応データロガー装置の試作開発                      令和7年度導入設備使用機器「GPUサーバー」                      地面への倣い制御による引き抜き除草装置の高速化【発表】                      農業ロボット開発の効率化に向けたシミュレーション環境の構築【発表】                      稚貝分散作業の省人化のための作業補助器具の開発                      汎用画像認識モデルを使用したAI学習用データ作成の効率化に関する研究【ポスター】                      ブロコリー選別加工システムの開発【ポスター】                      回転整流機構により高い段差乗り越え性能を有する球体車輪の開発【ポスター】</p>
ヒューマンテクノロジー部	<p>人への効果を定量化・可視化し、製品デザインに生かす技術                      安全な作業のための個人差に応じた許容作業強度の推定【発表】                      CT検査時の姿勢保持をサポートする腕置台の開発                      XR技術×パッケージデザイン・林業【発表】                      知覚を拡張するユーザインタフェースの研究支援                      光造形試作品                      豆用検査装置のUIデザイン開発</p>
新技術創生研究推進室	<p>取り組み① バイオリファイナリー【ポスター】                      取り組み② 環境触媒：農産物の鮮度保持技術【ポスター】                      保有技術① 高温高圧水マイクロ化学プロセス：コンドロイチン硫酸オリゴ糖【発表】                      保有技術② プロセス設計：ワイン製造残渣の有効利用技術</p>
材料技術部	<p>様々なバイオマス複合材料の開発【発表】                      ホタテガイ貝殻粉末を活用したプラスチック複合材料                      次世代の環境調和型溶媒「深共晶溶媒」を用いた化学プロセスの開発                      天然資源の循環利用を目指した珪質頁岩触媒の開発                      AM技術を用いた高機能化技術の基礎研究【発表】                      レーザ熱処理による銅合金積層造形品の時効処理【ポスター】                      複雑構造体に適用可能な循環型電気めっき処理方法の開発【発表】                      摩擦スポット接合法による鋳鉄部材の複合化                      ハンドヘルド型蛍光X線分析装置                      材料技術勉強会</p>



# ● 分野別発表要旨

研究職員所属は令和 8 年 4 月 1 日現在

# 森林資源量推定のための UAV 搭載型計測機器の開発

単木計測 AI 技術と CLAS-LiDAR 計測技術による森林資源量推定システムの実用化  
(令和 5 ~ 7 年度)

開発推進部 ○堀 武司、奥田 篤  
北海道大学、(株)コア、林業試験場

## 1. はじめに

近年、人口減少や高齢化の影響により林業従事者の数は減少しており、林業における作業効率化が求められている。

森林管理者は、伐採や育林の作業計画を立てるため、森林から得られる木材量の把握を目的とした資源量調査を実施している。従来の資源量調査では樹種、樹高、および胸高直径（人の胸の高さで測った立木直径）などを人手で直接計測していたが、大変な労力を要するため、航空機搭載型の高精度 LiDAR（レーザによる測距センサ）等を用いた省力化技術の導入が進んでいる。しかし、これらの省力化技術はコストが高く、高頻度な資源量調査には不向きである。このことから、森林管理者が独自に実施できる、高精度、低コストかつ簡便な資源量調査技術が望まれている。

平成 30~令和 2 年度に道総研工業試験場および林業試験場で行った研究では、低コストの UAV 写真測量で得られた空撮画像を用い、各立木の樹冠領域を AI 画像解析によって個別に検出することで（図 1）、高価な航空機 LiDAR 計測に匹敵する単木単位での資源量推定を安価に実施可能とする技術を開発した。しかし、本技術を道内の森林資源量調査に広く普及させるためには、

- 1) 樹高を求めるために必要な地表面の数値標高モデル（DEM）が、道内森林の多くで未整備状態である。
- 2) 通信インフラの制約により高精度な RTK-GPS 測位を利用できない地域が道内森林には多く存在する。そのため UAV 運用や空撮データの位置照合を

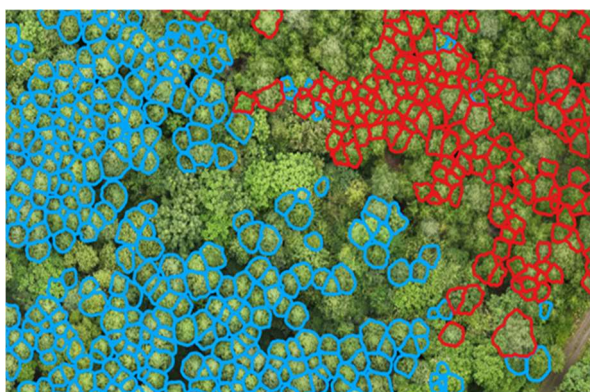


図 1 AI による樹冠領域の検出処理



図 2 UAV 搭載型 DEM 計測機器の外観

行うためには、測量時に対空標識などを設置する必要があるなど、作業が煩雑となる。

- 3) これまでに道総研で開発した樹冠検出 AI で対応可能な樹種が少ない。  
などの課題が残されていた。

そこで本研究では、これらの課題を解決し技術の実用化を進めるため、森林における安価で高精度な DEM 計測技術の開発に取り組んだ。

## 2. UAV 搭載型 DEM 計測機器の開発

森林管理者が自ら UAV を運用し DEM を取得できることを目標として、低コスト LiDAR センサ、カメラ、および、センチメートル精度の測位が可能な CLAS 受信機を備えた、UAV 搭載型 DEM 計測機器（図 2）を開発した。

LiDAR 及び IMU（慣性計測ユニット）センサとして Livox 社 Avia を使用した。同機器は、一般的な UAV 空撮の飛行条件（対地高度約 100 m、対地速度 5 m/s）のもとで、上空から樹間を透過して地表面を計測可能な性能を有している。

UAV の自己位置測位用機器には、CLAS 受信機（セプテントリオ社 Mosaic-CLAS）を搭載した。CLAS 測位では、内閣府が運用する準天頂衛星「みちびき」から送信される測位補強情報を用いることで、外部基準局との通信を用いる RTK-GPS に準じる高精度な測位（二乗平均平方根誤差（以下、RMSE）で水平 6.94cm、垂直 12.25cm）が可能となる。従来、RTK-GPS の利用が困難な地域での UAV 空撮では、空撮データと測地座

標系の精密な位置照合を行うために対空標識の設置等の煩雑な作業が必要であったが、CLAS を用いることでそれらの作業は不要となる。

開発した DEM 計測機器は、UAV の機体システムから完全に独立して動作する構造となっており、搭載する機器重量の要件さえ満たせば、任意のメーカーおよび機種種の UAV に搭載して運用することが可能である。また、DEM 計測機器を構成する主要部材の価格は合計で 50 万円以下であり、類似の競合製品（販売価格 120～300 万円程度）と比較しても同等以下の価格で製品化できると考えられる。

### 3. DEM 作成ソフトウェア

DEM 計測機器は搭載コンピュータの処理能力や電力に制約があるため、飛行中は搭載センサで取得するデータの記録のみを行い、DEM を生成するデータ処理は PC 上に実装した DEM 作成ソフトウェアを用いて飛行後に行う。

LiDAR による点群データの取得については UAV が逐次移動しながら行っているため、各時刻での UAV の位置・姿勢情報を用いて点群地図として再構成しなければならない。そのため、移動ロボットの環境認識技術などで用いられる SLAM (自己位置認識・地図作成) 処理により、UAV の位置・姿勢、および点群地図の初期解を計算する。SLAM による UAV 位置・姿勢推定は LiDAR および IMU のデータのみで行われるため、その後段に追加した処理により CLAS 測位で取得した UAV 位置情報を考慮した最適化を行い、測地座標系に対する位置照合が行われた点群地図を得る (図 3 上)。

さらに、この点群地図から樹木等を除去し、地表面のみの DEM (図 3 下) を生成する。LiDAR 点群の一部は樹間を透過してその下の地表面まで到達しているため、モルフォロジフィルタ等の手法を用いて最も低い

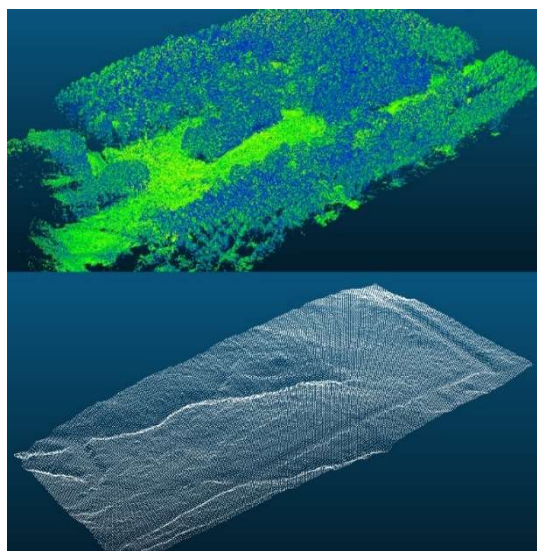


図 3 LiDAR 点群地図(上)と  
樹木を除去した地表面 DEM(下)

位置に分布する点群を抽出することで、地表面 DEM を生成する。

### 4. 点群地図・DEM の精度評価

DEM 計測機器を用いて林業試験場実験林 (美唄市) で空撮試験を実施し、DEM 作成ソフトウェアで生成した点群地図および DEM の精度評価を行った (表 1)。

最初に、LiDAR 点群地図の測地座標系に対する位置精度を評価した。予め測量済みである対空標識 5 点を基準点として測地座標系に対する位置ずれを評価したところ、水平、垂直方向でそれぞれ RMSE 0.2～0.3 m 程度の誤差となった。これは CLAS 測位単体よりもやや低い精度であり、SLAM 処理等の過程での誤差が加わった結果と考えられる。

次に、樹木等を除去して得られた地表面 DEM の検証を行った。比較対象として 2006 年度に実施された航空機 LiDAR 計測データから作成された DEM (国土地理院 DEM と同水準の精度) を使用し、DEM の 5 m メッシュ各点での標高値を比較したところ、誤差は RMSE 0.86 m となった。資源量推定で要求される樹高の精度は概ね 1m 程度であるため、本システムで得られる DEM を森林資源量推定の用途で利用できることが確認できた。

表 1 DEM の精度評価

比較対象	計測方向	誤差 (m)
測量済み地点	水平方向	0.306-0.338
	垂直方向	0.202-0.235
航空機 LiDAR-DEM	垂直方向	0.861

### 5. まとめ

UAV を用いて DEM および空撮画像を低コストかつ簡便に取得可能な計測機器システムを開発した。これによって、公共 DEM 未整備地域、RTK-GPS 利用が困難な地域を含む道内森林全域において、道総研の森林資源量推定技術を適用することが可能となった。

また、今回の開発を実施した令和 5～7 年度の重点研究において、本開発と並行して林産試験場で樹冠検出 AI および資源量推定システムの改良の取り組みも実施した。改良された樹冠検出 AI を用いた資源量推定システムの性能評価では、毎木調査との比較で材積推定精度 92 % の結果が得られ、森林管理者からも実用水準の性能であるとの評価が得られた。

これらの研究成果は、令和 8 年度以降、森林管理を行う行政機関等への技術移転を行い、活用を進める予定である。

(連絡先 : hori-takeshi@hro.or.jp)

# 電磁波を用いた生体情報センシング技術の開発

電磁波センサを活用した生体の動的情報センシング技術の研究（令和6～7年度）

産業システム部 ○宮崎 俊之、新井 浩成  
ヒューマンテクノロジー部 泉 巖

## 1. はじめに

高齢者の見守りではプライバシーの観点からカメラを使わないワイヤレスヘルスマonitoringの実現が求められている。電磁波センサを用いた非接触センシングは、プライバシー保護と利便性の両立が可能であるが、既存の手法では対象の位置情報とバイタルサイン（呼吸など）の同時取得が困難であり、特に室内環境での不要反射（マルチパス）による精度低下が課題であった。

本研究では、浴室等の反射物が多い環境下でも、人体の位置とバイタルサインを同時に高精度で計測可能な信号処理技術の開発に取り組んだので報告する。

## 2. 信号処理手法の開発

本研究では人が存在する環境下で得られるミリ波レーダ（図1）の反射波信号から、生体由来の微細な変動成分を分離・抽出するための解析技術を構築した。特定の空間領域からの反射波信号を検出するため、デジタルビームフォーミング技術を応用した高精度なレーダ波制御主砲を開発し、これにより複雑なマルチパスが含まれる環境下でも、目的とする生体の存在方向を正確に捕捉することが可能となった。捕捉したレーダ反射信号に対しては、反射波のスペクトル特性に基づいて不要反射と生体を識別するアルゴリズムを適用し、静止物体と生体由来の信号を分離する技術を開発した。

抽出された動的情報の解析においては、環境ノイズや不規則な体動成分による影響を排除するため、適応的なフィルタリング処理と局所的な回帰分析を組み合わせた補正処理を実装した。特に、微弱な心拍信号の抽出に際しては、心拍の周期的な繰り返し波形の特徴を用いて補正する手法を開発し、計測の安定化と精度向上を実現した。



エスタカヤ製  
T14RE-3D  
方式：FMCW  
TDM-MIMO  
周波数  
77～81GHz

図1 使用したミリ波レーダ

## 3. 評価試験

開発した手法の有効性を検証するため、ミリ波レーダの特性評価、ならびに実環境での評価を行った。

**基礎評価試験:** 呼吸を模した一定の振動（振幅 30mm）を発生させる振とう機を用いた試験では、距離 5m において振動数を決定係数  $R^2=0.99$  以上の高い精度で検出可能であることを確認した（図2）。

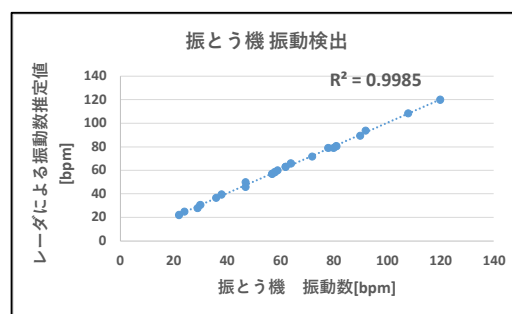


図2 振とう機による振動検出試験

**室内環境実証:** マルチパス波の影響が顕著な浴室やトイレにおいて計測を実施した結果、呼吸数は決定係数  $R^2=0.97$ （誤差±3%以内）の精度で、位置情報との同時取得に成功した（図3）。またポリスチレン製扉等の遮蔽物越しの状態での検知も確認でき、実用的な透過性能を有していることが示された。

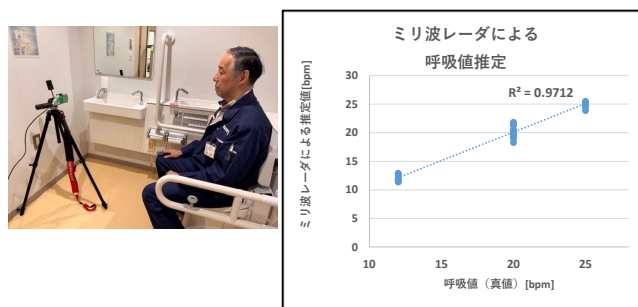


図3 呼吸検出試験結果

（メトロノームによる呼吸可変）

## 4. おわりに

本研究では、ミリ波レーダと高度な信号処理アルゴリズムを組み合わせることで、不要反射の多い室内環境において生体の位置、呼吸、心拍等を非接触かつ同時に計測できる技術を確認した。今後は実用化に向け、水分が付着した環境下での性能検証や、転倒等の異常状態を検出する判定アルゴリズムの開発を進める予定である。

（連絡先：miyazaki-toshiyuki@hro.or.jp）

# 不定形材料からの効率的な製品抽出手法の開発

シミュレーション技術を活用した不定形材料からの効率的な製品抽出アルゴリズム開発  
(令和6～7年度)

産業システム部 ○吉田 道拓、井川 久、宮島 沙織  
松原産業(株)

## 1. はじめに

製造現場では、不定形な原料から複数の規格寸法製品を切り出す加工工程が多数存在する。これらの工程において製品を歩留まりよく切り出すためには、原料の物性や加工上の制約を考慮して切断位置を判断する熟練の技能が必要である。本研究で対象とする木材加工分野においては、フローリング材の製造工程で近年、熟練者が減少しており対応が急務である。

フローリング材の製造工程では、熟練者が母材に生じた三次元的な反りやねじれを見極めて、真っ直ぐな板材を得るための分割位置を決定する。製品は長尺なものほど高値が付く一方で、見極めに失敗すれば単価の低い端材となるため、製品の歩留まりには作業者の熟練度が大きく影響する。

そこで本研究では、経験の浅い作業者であっても熟練者と同等以上の歩留まりを維持することを目指して、母材の三次元形状データを元に構築したデジタルツインに対して加工シミュレーションを行うことにより、分割位置を自動で決定するシステムを開発した。

## 2. 方法

本研究では、母材分割位置自動決定システムの開発のために、以下の三点に取り組んだ。

- ・母材の三次元形状計測とデジタルツイン構築
- ・仮想空間上での加工シミュレーション
- ・シミュレーションに基づく分割位置の最適化

三次元形状計測には光切断法を用いたプロファイルセンサを使用し、母材をコンベヤで搬送しながら計測することで、母材全体の点群データを得た(図1)。

取得した点群データからデジタルツインを構築し(図2)、母材の分割、不要部のカット、研磨を実際の現場と同様の順序でシミュレーションした。これによ

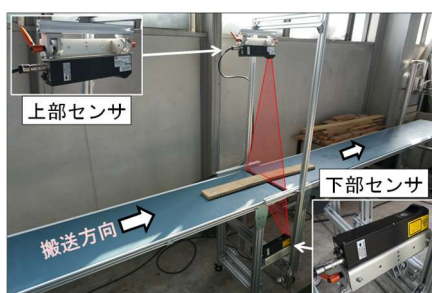


図1 母材の三次元形状計測

り、実際の母材を加工する前に、切り出し可能な製品の寸法および数量を予測することが可能となった。

次に、分割位置を自動的に決定するために、製品の歩留まり率を最大化する目的関数を設定し、端面からの母材分割位置を決定変数とする数理最適化を行った。

## 3. 結果

図3に、母材の分割工程で本手法を適用する場合としない場合とを比較した一例を示す。この図では、最初に母材を分割する位置によって、最終的に得られる製品の長さや歩留まりが異なることを表している。母材を分割する際、長さのみを優先すると、母材の反りにより候補解1のように製品の幅が不足し、規格から外れたり端材が発生したりする場合がある。一方で、歩留まりのみを考慮した場合、候補解2のように短い製品が多数製造され、低い価格で販売せざるを得なくなる。本手法を適用することで、製品の歩留まりを最大化しながら、より長尺な板材を得るために最適な加工位置を探索することが可能となった。

## 4. おわりに

本研究により効率的な製品抽出が可能となった一方で、結果の寸法精度や処理速度等に課題が残された。今後は現場での活用に向けてこれらの検証を行う。

(連絡先: yoshida-michihito@hro.or.jp)

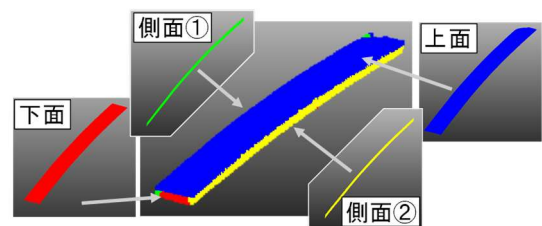


図2 仮想空間上に構築した母材デジタルツイン

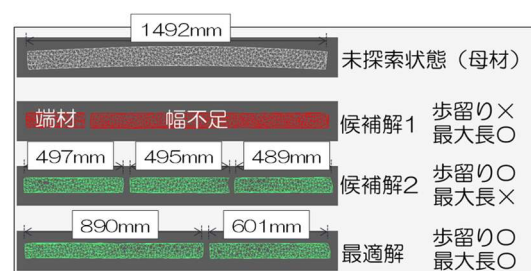


図3 本手法による母材分割位置最適化の例

# 地面への倣い制御による引き抜き除草装置の高速化

(令和6～7年度)

産業システム部 ○浦池 隆文、佐野 峻輔

## 1. はじめに

農業分野においては省力化を目的とした除草作業の機械化が進んでいるが、株間の除草については汎用的な機械は実現されておらず、除草剤の併用が一般的となっている。ただし、薬草栽培や有機農法では除草剤の使用が制限されることから、依然として手作業による除草が行われており、省力化が進んでいない。これを自動化するため、当场では、AI画像処理を用いた引き抜き式株間除草ロボットの開発を進めている。これまでのロボットでは、雑草を認識するとその場に停止し、ロボットアームに搭載した除草機構を雑草の位置まで移動させ引き抜きを行っていた。この一連の動作に時間を要しており、作業効率の改善が課題となっていた。

本研究では、ロボットによる除草作業の高速化を図ることを目的として、走行中に停止することなく、連続的な除草作業を可能とする引き抜き除草装置の開発に取り組んだ。

## 2. 起伏のある地面への倣い制御機構

ロボットで連続的に除草を行うには、平坦ではない地面に倣って除草機構を上下動させる必要がある。そこで、図1に示す倣い制御機構を考案した。機構の先端部には除草機構が取り付けられており、平行リンクにより地面の起伏に倣って受動的に上下方向に自由に可動

する構造とした。これに加え、作物を検出した際にはサーボモーターにより除草機構を上方へ強制的に移動させ、除草機構と作物の接触を回避する構造とした。

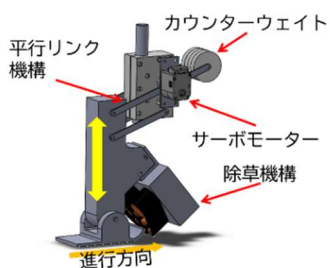


図1 倣い制御機構

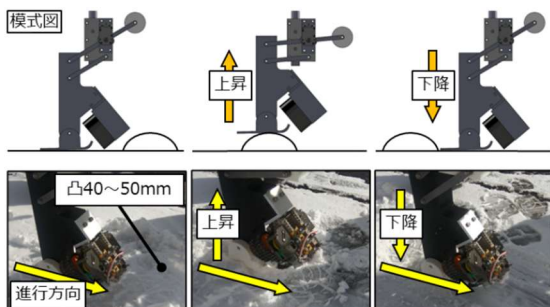


図2 走行試験の様子

試作した倣い制御機構を、令和5年度までに開発した小型除草ロボットに取り付けて動作確認試験を行った。時速1km程度で走行させた結果、40～50mm程度の起伏に対して倣い制御機構が正常に動作し、除草装置が地面と一定の距離を保つことを確認した(図2)。

## 3. 小型引き抜き除草機構

令和5年度までに開発した「コンベア式除草機構」(以下、旧機構)をベースに、実用上の課題であった①把持力、②車速に応じた動作速度制御の組み込み、③草丈の高い雑草へ対応するための駆動部の配置変更、④小型化、の各項目について改良を図った、新たな除草機構を開発した。(図3)。旧機構では固定であった把持幅を任意に変更可能な構造とし、さらにコンベア部に弾性体を組み込むことで、雑草の茎の太さに応じて受動的に変形し、安定して確実に把持することを可能とした。車体を走行させながら連続的に雑草を引き抜くため、コンベアの送り速度を車速と連動させ、雑草に対して鉛直上向きの引き抜き力のみを加える構造とした。また、コンベア駆動部のレイアウトを見直し、引き抜いた雑草と駆動部との干渉を回避し、旧機構と比較して適用可能な草丈の拡大を図った。さらに機構全体の小型化を図ることで、作物近傍への進入性を向上させるとともに作業範囲を拡大し、より精密な除草作業を可能とした。

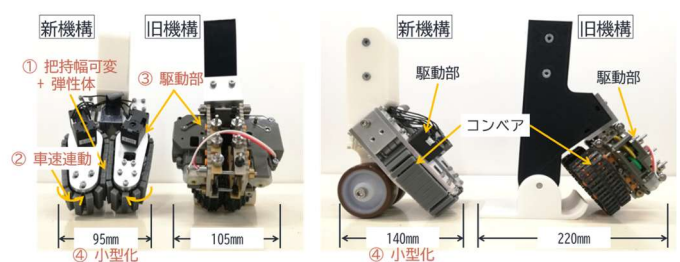


図3 除草機構の比較

## 4. おわりに

本研究では、倣い制御機構と小型引き抜き除草機構を組み合わせ、ロボットによる株間除草作業の高速化に向けた要素技術を開発した。今後は各要素技術を組み込んだロボットでの実圃場における検証を進め、性能の向上を図るとともに、別に研究を進めているクラウド連携による農業情報プラットフォームとの統合を図り、実用化に向けた開発を推進する。

(連絡先: uraike-takafumi@hro.or.jp)

# 農産物の配置姿勢を考慮した把持箇所認識技術の開発

農産物の配置姿勢を考慮した把持箇所認識技術の開発

(令和6～7年度)

産業システム部 ○井川 久、宮島 沙織

## 1. はじめに

北海道では生産年齢人口が20年間で約33%減少し、農業分野の労働力不足が深刻化している。スマート農業の推進で屋外作業の自動化は進む一方、収穫後の選果・流通過程における作業は依然として人手に依存している。たとえば玉ねぎの皮むき・天頂切り工程は、加工装置内において玉ねぎの向きが揃っていることが前提となっている。そのため、玉ねぎの姿勢を揃える作業を人手で行う必要がある。このような手作業の自動化が強く求められているが、農産物は形状が不定形であることから従来の画像処理技術では姿勢の自動認識は困難である。そこで本研究では、バラ積み状態の玉ねぎを対象として配置姿勢を考慮した把持箇所認識技術を開発し、その技術を組み込んだ協働ロボットによる自動ハンドリングシステムを構築した。

## 2. 方法

玉ねぎを対象とした把持箇所認識技術の開発において、実施した項目は次のとおりである。

- ・姿勢の定義と評価指標の設定
- ・部位検出による把持対象の選定および把持箇所検出アルゴリズムの構築
- ・協働ロボットによるハンドリングシステムの構築

まず、天頂切り工程への供給を想定し、天頂部または底部が上向きとなる状態を目標姿勢として定義した。また、玉ねぎ本体の中心と天頂部または底部の位置関係から玉ねぎの傾き(=姿勢角)を算出し、目標姿勢からのずれを評価指標として設定した。

次に、RGB-Dカメラで取得した画像に深層学習を適用し、玉ねぎの「本体」「天頂部」「底部」の三種の部位

を検出可能とした。天頂部または底部が検出された個体について姿勢角を算出し、目標姿勢からのずれが小さく、かつ把持しやすい個体を優先的に選定した上で、本体の中心位置を把持箇所として検出するアルゴリズムを構築した(図1)。ただし、バラ積み状態のままでは隣接する複数個体の天頂部、底部の位置が近くなり誤認識しやすいため、把持した個体を一度中間台へ仮置きし、再計測することで、二段階で正確な姿勢を認識する手法を採用した(図2)。この二段階手法により高精度な玉ねぎの把持、姿勢制御が可能となった。

## 3. 結果

ソフトグリッパとRGB-Dカメラを搭載したハンドリングシステムを構築し、動作試験を行った。バラ積み状態の玉ねぎから把持個体の選定・把持箇所の検出を行い、中間台での姿勢変換を経て、天頂部または底部が真上を向いた状態で目標位置へ配置する一連の動作が可能であることを確認した。

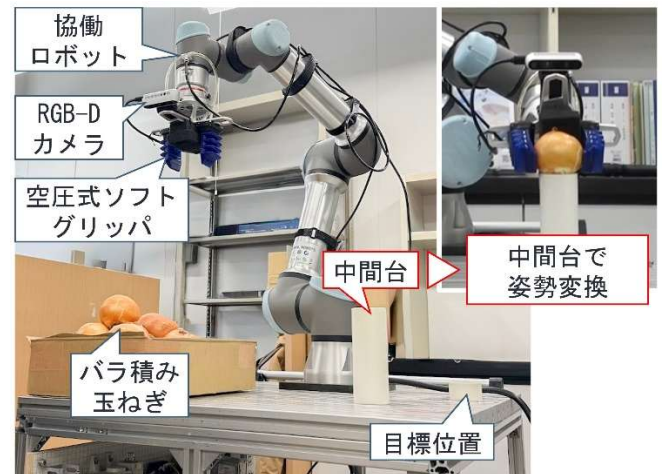


図2 ハンドリングシステム外観と玉ねぎ配置実験

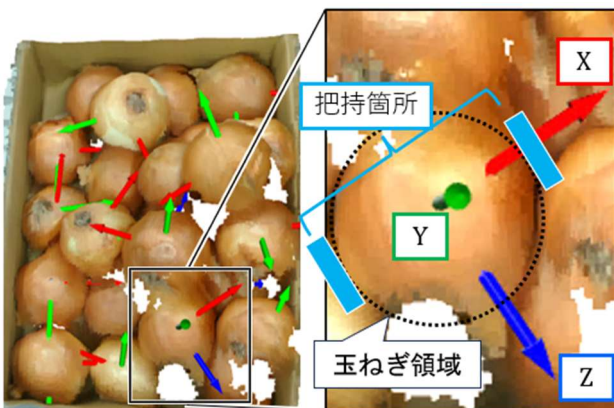


図1 玉ねぎの把持姿勢検出

## 4. おわりに

RGB-Dカメラと深層学習を組み合わせることで、バラ積み状態の玉ねぎを対象とした姿勢認識・把持箇所認識技術、およびロボットハンドリングシステムを開発した。一方で、中間台への仮置きには処理時間を要するため、今後は把持した状態での姿勢再認識の実装も視野に入れながら、実用化に向けた取り組みを進める。

(連絡先: igawa-hisashi@hro.or.jp)

# 自動収穫ロボット開発のためのシミュレータの構築

農業ロボット開発の効率化に向けたシミュレーション環境の構築（令和7年度）

産業システム部 ○伊藤 壮生  
ヒューマンテクノロジー部 印南 小冬

## 1. はじめに

農業用ロボットや農業機械の開発では、作物の生育状況等により、開発中の装置の現場検証の時期や場所が限定される。そのため、計算機上に構築した仮想空間で開発中の装置の動作検証ができれば、作物の生育状況等に左右されることなく、効率的に開発を進めることが可能となる。

本研究では、植物の挙動の物理シミュレーションや刃物による茎の切断を再現する機能の開発とハウス栽培環境を模擬した仮想環境の構築を行い、自動収穫ロボット開発のためのシミュレータ構築に取り組んだので報告する。

## 2. 植物のシミュレーション

本研究の植物シミュレーションモデルは、可視化のための3Dモデルと、複数の要素からなる物理演算用の物理モデルで構成した（図1）。本シミュレーションでは、物理モデルで植物の挙動を計算し、物理モデルの動きに連動するように3Dモデルを変形させて可視化した。物理モデルの構成に関しては要素の大きさや形状等を検討した結果、茎を把持した際の挙動が安定することから、質点の集合により構成するモデルを採用した。また、シミュレーション手法は処理速度や安定性に優れるXPBDを採用した。

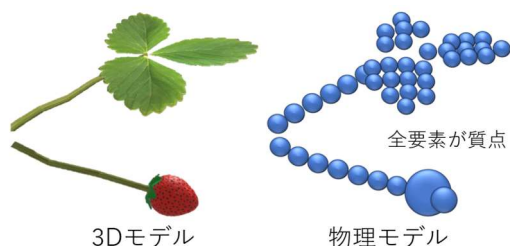


図1 植物シミュレーションモデルの構成

シミュレーションにおいて、刃物による茎の切断を再現する機能の概要を図2に示す。可視化のための3Dモデルは刃物の位置で分割することにより切断を表現した。物理モデルは把持の安定性などを維持するため要素自体の分割は行わず、切断面に位置する要素と、それより根元側に位置する要素の接続を解除してモデルを分割することにより、切断を表現した。

## 3. 収穫作業の検証

収穫作業の検証を行うため、イチゴのハウス栽培を

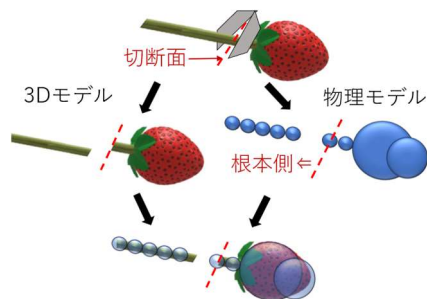


図2 切断機能のイメージ

模擬した仮想環境を構築した（図3）。ハウス内には24株のイチゴモデルと収穫作業を行うロボットを配置した。シミュレーションの負荷を軽減するため、ロボットの正面にあるイチゴのみをシミュレーションの対象とし、その他のイチゴは静的なオブジェクトとして扱った。

オープンソースの3DCGソフトであるBlenderに、植物やロボットのシミュレーション機能と刃物による茎の切断機能を実装することで、イチゴの収穫作業の動作検証を行った（図4）。検証の結果、茎の把持や切断など一連の動作を再現するシミュレーションが可能であることを確認した。

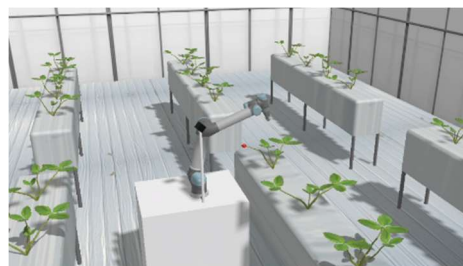


図3 イチゴハウスを模擬した仮想環境

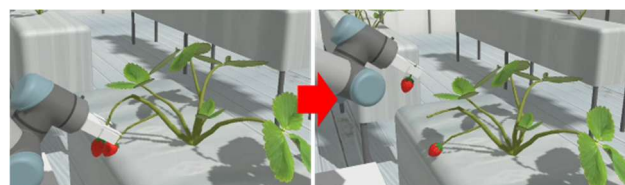


図4 茎を切断してイチゴの収穫を行う様子

## 4. おわりに

本研究では植物とロボットを対象としたシミュレータの構築や刃物を使った茎の切断機能の開発を行い、イチゴの収穫作業を仮想環境で再現できることを確認した。今後はロボット開発への応用を目指し、処理速度等の改善に取り組む。

（連絡先：itou-souki@hro.or.jp）

# 安全な作業のための個人差に応じた許容作業強度の推定

個人の能力差に応じた許容作業強度の推定に関する研究（令和6～7年度）

ヒューマンテクノロジー部 ○川崎 佑太、泉 巖、於本 裕之介

## 1. はじめに

近年、少子・高齢化や人手不足の深刻化に伴い就労者の高齢化が進行している。高齢者の場合、若年者に比べ労働災害のリスクが大きく、身体能力の個人差の幅も大きいことから、安全な作業のためには個人の能力差に応じて作業強度を管理することが必要である。許容可能な作業強度の有力な基準として、AT\*（無酸素性作業閾値）が考えられる。しかし、ATの把握には高強度運動を伴う計測が必要で身体的リスクが高く、測定に大きな手間がかかることが課題である。また、年齢と安静時の心拍数からAT時の心拍数を簡易的に算出する従来の手法では、個人差に十分対応できず、精度にも課題がある。

そこで本研究では、高強度運動を伴う計測を実施することなく、簡便に計測可能な生体情報から各個人の許容作業強度（AT）を精度よく推定し、作業中に検知する手法を開発したので報告する。

\* 運動が有酸素運動から無酸素運動に切り替わり、長時間継続することが難しくなる境界点。

## 2. 許容作業強度推定手法の開発

エルゴメータを用いた漸増負荷試験を実施し（図1左）、呼吸代謝計測とウェアラブルセンサによる心拍数の計測を行った。呼吸代謝計測の結果からAT時の酸素摂取量（運動強度の指標）と心拍数を記録した。また、個人差を考慮するための情報として、試験前に安静時と、本研究で着目する低強度運動（踏み台昇降運動）時の心拍数を取得し、分析を行った。その結果、①低強度運動時と安静時の心拍数の差と、②AT時と低強度運動時の心拍数の差に相関関係を見出した（図1右）。この関係を利用し、安静時と低強度運動時の心拍数から、個人差に対応したAT時の心拍数を推定する式を構築した。

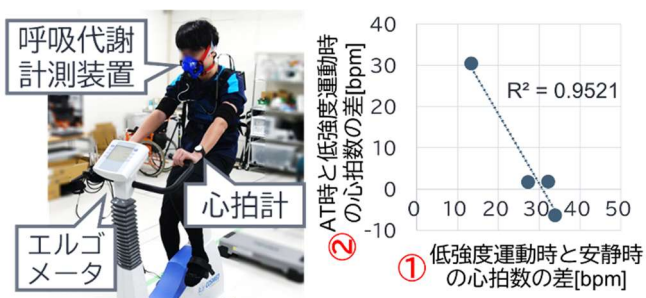


図1 漸増負荷試験と心拍数の差の関係

## 3. 模擬作業における許容作業強度の検知と精度検証

開発手法の適用場面を想定し、草刈作業を模擬した試験により、心拍数による許容作業強度の検知と推定精度の検証を行った（図2）。

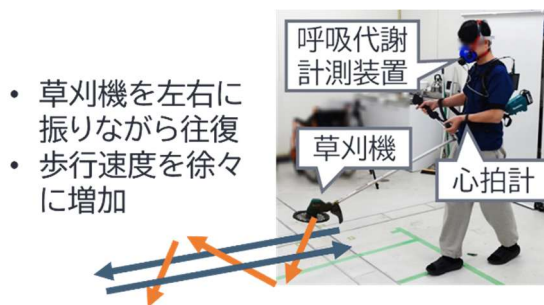


図2 模擬作業試験

漸増負荷試験と同一の被験者に対して模擬作業試験を実施し、作業中の酸素摂取量と心拍数を計測した。次に、開発手法と従来手法で推定したAT時の心拍数に到達したときの酸素摂取量（図3左）を、2章で実測したAT時の酸素摂取量と比較した。その結果、開発手法は従来手法より誤差とばらつきが小さく、精度よくATを推定できることを確認した（図3右）。

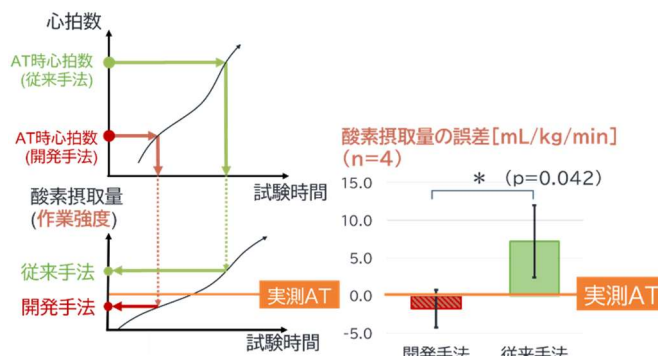


図3 AT推定のイメージと推定精度検証

## 4. おわりに

安静時と低強度運動時の心拍数からAT時の心拍数を推定する式を構築し、個人の身体能力に応じた許容作業強度（AT）を推定する手法を開発した。今後は、属性を広げた被験者実験と適用作業現場の検討を進め、将来的に個人の能力に応じて適切に作業強度の設定ができる作業管理システムの開発などに活用する。

（連絡先：kawasaki-yuta@hro.or.jp）

# 生成 AI と XR を用いたパッケージデザイン開発

パッケージデザインへの生成 AI および XR 技術の適用に関する研究（令和 6～7 年度）

ヒューマンテクノロジー部 ○安田 星季、印南 小冬、大久保 京子  
ものづくり支援センター 高木 友史  
(株)ティーピーパック、(株)シー・ビー・エス、モリタ(株)、(株)ニコデザイン

## 1. はじめに

北海道の基幹産業である食品産業において、消費者向け商品の競争力を高めるためには、その価値や魅力を効果的に伝えるパッケージデザイン（以下、PD）が重要である。一方、昨今生成 AI をはじめとする革新的技術の台頭により、従来の業務フローは大きな変革期を迎えている。しかし、道内の PD 関連企業は中小規模の事業者が多く、限られた経営資源の中で、先端技術の導入研究や効果検証に十分なリソースを割くことは難しいのが現状である。そこで本研究では、道内企業の PD 高品質化と業務効率化を支援すべく、近年進化が著しい生成 AI と XR（AR・VR 等の総称）を用いた新たな PD 開発手法を考案した。

## 2. デザインコンセプト共有支援アプリ

道内 PD 関連企業へのヒアリング調査により、PD 開発業務の一般的な工程（図 1）において、「デザインコンセプト作成」（工程①）では、クライアントが抱く商品イメージを把握し、デザインの方向性を確定するまでに多くの時間を要していることがわかった。そこで、クライアントが抱く商品イメージなどを指定すると、あらかじめ AI 生成した関連イメージ画像群などがまとめられた「デザインコンセプトシート」を出力するウェブアプリを開発した（図 2）。



図 1 PD 開発業務の一般的な工程



図 2 クライアントとデザイナーのデザインコンセプト共有を支援するウェブアプリ

## 3. 2D デザイン案を XR デバイスで原寸大 3D 表示するワークフロー

図 1 の「デザイン選定」（工程③）では、クライアントが平面のデザイン案から立体的な PD を想像することが困難で、確信をもってデザインを決定することができないという課題があることがわかった。そこで 2D のデザイン案を、3D モデル生成 AI 等を用いて 3D 化し、XR デバイスで原寸大表示する 2 つのワークフローを考案した。一つは、低コスト XR デバイスと汎用アプリ等を用いた簡便なワークフローで、もう一つは、現実感をより重視する場合を想定し、高機能 XR デバイスと開発ソフト等を用いて、高度な色補正により色再現性を向上するワークフローである（図 3）。

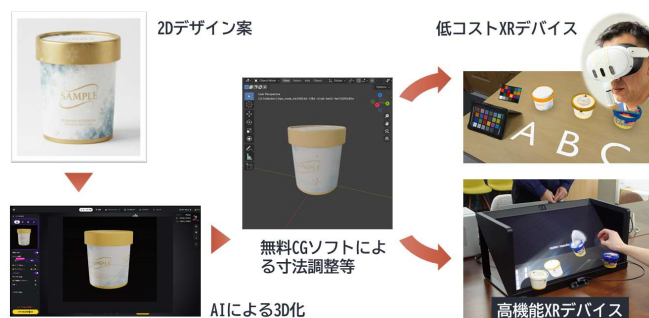


図 3 2D デザイン案を 3D 化し、XR デバイスで原寸大表示するワークフロー

## 4. 考案手法の評価

PD 関連企業の協力を得て、デザインコンセプト検討から XR 表示までの各工程を模擬的に実施し、考案手法を評価した。その結果、クライアントとの合意形成を図る工程①③について、1/3 程度の工数削減が見込まれ、XR は特に遠隔地間のデザイン検討に有用との評価を得た。

## 5. おわりに

PD 開発に生成 AI と XR 技術を採用入れた新たな手法を考案し、企業から業務効率化が期待できるとの評価を得た。得られた知見や成果は講習会や「note」等で公開を進めている。今後は、引き続き道内企業への技術普及を図るとともに、関連技術導入、人材育成等の支援に取り組んで行く。

（連絡先：yasuda-seiki@hro.or.jp）

# 高温高压水による糖由来プラスチック原料の製造法開発

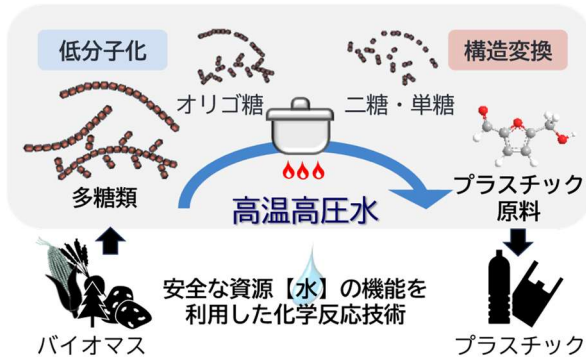
高温高压水を用いた糖質バイオマス由来プラスチック原料の製造法開発（令和6～7年度）

新技術創生研究推進室 ○小川 雄太、森 武士、松嶋 景一郎

## 1. はじめに

2050年カーボンニュートラル社会の実現に向け、日本では2030年までに国内のバイオプラスチック投入量200万tを目標としているが、2022年時点で10万t程度に留まっており、導入の促進が求められている。現状、バイオプラスチックは主に生物プロセスによって製造されており、原料の低分子化や変換などの工程に合わせた酵素が必要である。このことから、高価格化、製造量の制限、原料の多様性などに課題があり、様々な原料に対応可能な低コスト量産技術の確立が求められる。

そのようななか、当場では高温高压水を用いた単糖からバイオプラスチック原料への高収率な変換を報告している。しかし、実装化には、多糖類からなるバイオマスを原料とする変換法の開発が必要である。本研究では、多糖類の構造の一部を反映したモデル糖を用いて、構造、化学的特性の違いが高温高压水反応に与える影響を把握することで、多糖類をプラスチック原料に変換するプロセスの構築を目指した（図1）。



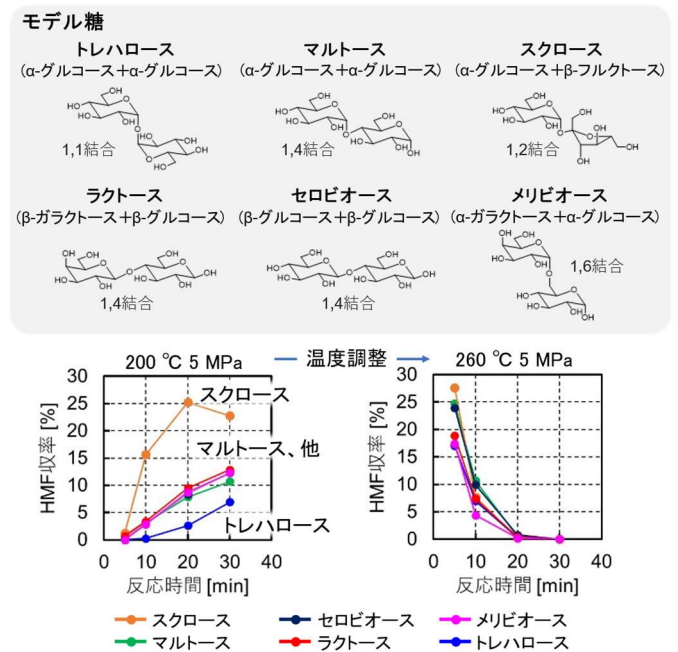
## 2. 高温高压水によるモデル糖の変換挙動

モデル糖を用いた高温高压水による変換反応を反応温度180-260°C、反応圧力5MPa、反応時間5-30minで行った。単糖のモデル糖として、天然に存在する多糖類の多くを構成するグルコース、ガラクトース、マンノース、フルクトースや柑橘類に含まれる多糖類（ペクチン）のモデル糖となるグルクロン酸（ウロン酸の一つ）を検討した。また、二糖のモデル糖として、セルロースの構成糖であるセロビオース、でんぷんの構成糖であるマルトース、その他、食品等に含まれる糖としてラクトース（牛乳に含有）、スクロース（甜菜）、トレハロース（ライ麦）、メリビオース（甜菜、大豆）を検討した。

単糖の変換を検討した結果、グルクロン酸以外の単糖ではプラスチック原料となるヒドロキシメチルフルフラール（HMF）が生成したが、グルクロン酸では脱炭酸反応が優先的に進行し、HMFが生成しなかった。そのため、ウロン酸を含まない糖の検討を優先した。

次に、二糖の変換を検討した結果、200°Cの反応条件において、糖の種類や結合位置に起因する変換挙動の差がみられた（図2左）。しかし、反応条件を高温にすることで、用いたすべての糖が同様の挙動で変換できることを見出した（図2右）。このことから、高温での変換は原料の糖の構成に依存せず変換できる可能性があり、糖の種類にあわせて分解酵素の選択が必要な生物プロセスと比べて、高温高压水反応に利点があると考えられた。

## 3. 有機酸添加の効果



次に、天然物に含まれる有機酸を加えて高温高压水変換反応を行った。上記検討を基に、原料の二糖には天然に多く存在する安価なマルトースを用いた。有機酸としてグリコール酸（甜菜）、リンゴ酸（リンゴ、ブドウ）、クエン酸（柑橘類）、サリチル酸（植物ホルモン）を加えて高温高压水変換反応を行った。その結果、有機酸の種類にかかわらず原料水溶液のpHを3.0以下にすることで、二糖から単糖への低分子化が促進され（図3左）、2.5以下ではHMFの分解物であるレブリン

ン酸の生成が確認された(図3右)。以上より、HMFの生成には原料水溶液のpHを2.5-3.0に調整することが有効であることがわかった。

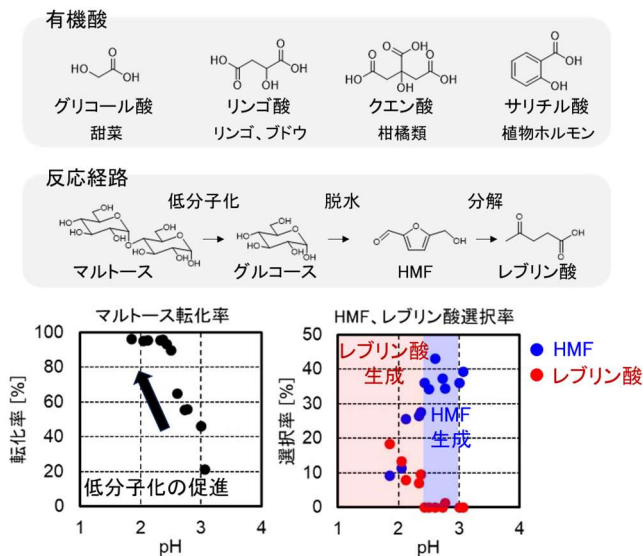


図3. pHと原料の転化率、および生成物の選択率

次に、有機酸を用いたpH調整の効果が多糖類の低分子化にも適用できるか検討した。原料にはでんぷん由来の多糖類であるデキストリンを用いた。リンゴ酸を用いて原料水溶液のpHを2.6に調整し、高温高压水反応を検討した。その結果、モデル反応時と同様に、有機酸の添加によって多糖類から単糖への低分子化反応が大幅に促進されることが明らかとなった(図4)。単糖への迅速な低分子化はその後の変換反応における選択性向上につながるため、有機酸による原料のpH調整がプラスチック原料の収率の改善に有利に働くと考えられた。

#### 4. 連続プロセスの検討

最後に、連続プロセスの検討を行った。当場が有する連続反応技術「高温高压水マイクロ化学プロセス」について以下に説明する。

水は超臨界や亜臨界といった高温・高压状態において、イオン積や誘電率などが著しく変化し、高い反応性を持つようになる。さらに、それらの物性は温度・圧力条件により連続で変化させることができる。この水の機能と、数百μm以下の微小な流路を反応場に利用した連続・高速反応システムが、高温高压水マイクロ化学プロセスである。微小空間の特性から、流体の

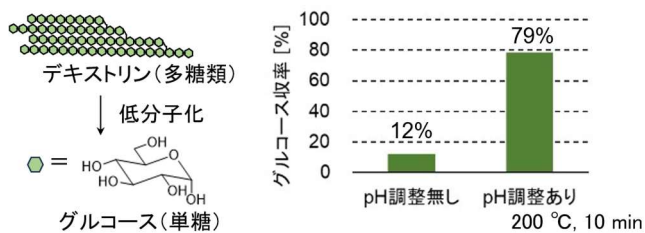


図4. デキストリンの低分子化におけるpH調整の効果

拡散のみによる混合、反応温度までの急速昇温、および反応を急停止させる急速冷却ができる。すなわち、精密な反応時間・温度制御が可能で、これにより副反応が抑制され、反応選択性の向上が可能になり、水の高い反応性との相乗効果により、高速・高選択反応を実現できる(図5)。

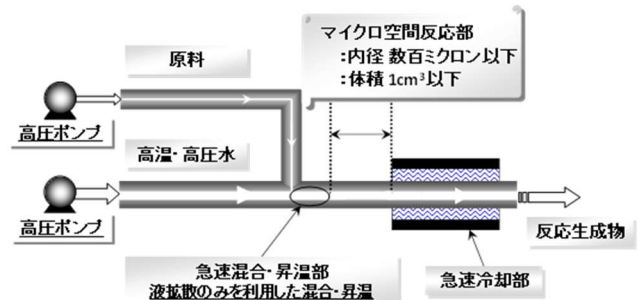


図5. 高温高压水マイクロ化学プロセス

多糖類を原料に上記プロセスを用いてHMFの製造を以下の条件で検討した。原料にデキストリン、およびフルクトースが連なったイヌリン(タマネギに含有)を用い、リンゴ酸を用いてpH調整を行った。反応温度200-300°C、反応圧力15-25MPa、反応時間8.8-17.6sで検討した結果、pH調整を行わない場合と比較して大幅に収率を向上させることができた(図6)。

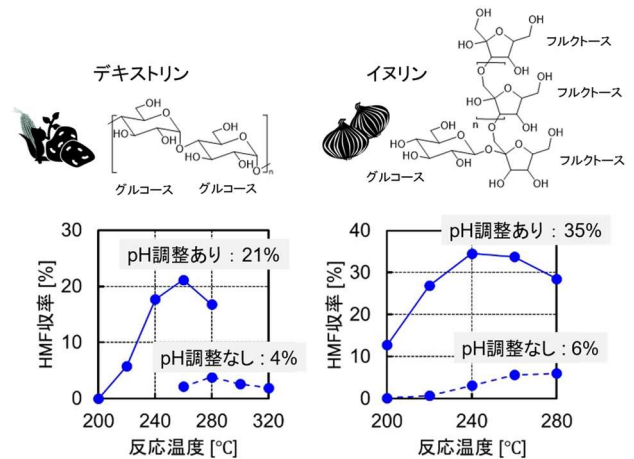


図6. マイクロ化学プロセス反応結果

#### 5. おわりに

バイオマスの構造の一部を反映するモデル糖を用いて、高温高压水による変換挙動を検証した。その結果、高温高压水による変換では、糖の種類に依存しないプロセスを構築できる可能性を見出した。また、原料水溶液の有機酸によるpH調整が、低分子化を促進させることがわかった。これらの結果を基に、多糖類を原料とした連続プロセスを検討した結果、有機酸の添加によってプラスチック原料であるHMFの収率を大幅に改善することができた。今後、さらに収率改善を進め、バイオマスを用いたプラスチック原料製造プロセスの開発を継続して検討していく。

(連絡先: ogawa-yuta@hro.or.jp)

# 各種センサを用いたレーザー溶接割れ検知技術の開発

マルチセンシングとデータ解析による溶接割れ判別技術の基礎研究（令和6～7年度）

材料技術部 ○鈴木 逸人、櫻庭 洋平、三戸 正道

## 1. はじめに

金属加工において溶接は欠かせない技術であり、身近な金属製品から自動車、大型構造物など幅広く適用されている。溶接には、ブローホール、割れ、溶込不良などの欠陥があり、ばらつきの少ないロボット溶接でも、多いときには3%程度の不良が発生する。これらの不良に対して、通常、溶接後の検査工程で欠陥を発見し、修正加工、または再製作を行う。検査工程に進む前に欠陥を検出可能となれば、検査コストや時間を削減することができる。特にレーザー溶接は、微細な溶接部が数秒で溶融、凝固し、欠陥も数十から数百  $\mu\text{m}$  と小さいためセンシングが非常に難しい。

本研究では、実用化に至っていないレーザー溶接における工程内割れ検出手法を開発するため、溶接中の欠陥から生じる各種信号のセンシング方法と、センシングデータの解析方法について基礎的な検討を行った。

## 2. 方法

センシング方法を検討するため、SS400 と SUS304 を対象として、表面割れや内部割れが再現性良く発生する溶接条件を検討した。ブロック状試験片（30×30×t10 mm）にレーザー加工機を用いた点溶接を行いレーザー出力200、600、1,000、1,400 W、レーザー照射時間0.5、1.0、2.0秒で溶接した試験片を観察した。その結果、SS400では、600W1秒照射で欠陥の無い健全な溶接部、600W2秒で表面割れと空孔が発生した。また、SUS304では、600W1秒と600W2秒のいずれも表面割れと内部割れが発生した（図1）。これらの溶接条件を用いて、割れ発生時の温度、ひずみ、アコースティックエミッション（AE）のセンシングを試みた。センサには熱電対、ひずみゲージ、AEセンサを使用した。溶融、凝固中のデータセンシングが可能なセンサ配置を検討し、センシングデータと割れの発生状況の解析、割れ検出の可能性のあるデータ処理方法について検討した。

## 3. 結果・考察

各種センサの取付け位置は、熱電対が試験片裏面の溶接部真下、ひずみゲージが試験片表面に溶接部の中心から半径方向と円周方向の2か所、AEセンサが試験片表面に棒状の導波管を介して接触させることでレーザー加工機と干渉せず計測を可能とした。

データ解析の結果、温度データには割れ発生と明確な関係が見られなかったが、ひずみデータは割れの有無により圧縮引張の発生モードが異なり、割れ検知の

可能性が示唆された。AEデータは、AE信号（発生した音波の生波形）とAEカウント（振動発生数）を取得し、AE信号に対して高速フーリエ変換による周波数解析を行なった（図2）。アーク溶接など溶融部が大きい場合、AE信号は割れ発生に伴い明確なスパイク状のピークが発生することが知られている。一方、本研究で取得したAEカウントやAE信号の周波数解析、各周波数データの時間変化のいずれも、割れ発生の特徴が見られなかった。これは、微細な割れ現象で発生したAE信号がノイズや他の現象の信号と比較して微弱なため、明確なデータ特徴を示さなかったと考えられる。微細な割れ現象を検出するには、現象に対応したデータフィルタリング手法の開発が必要であることが示唆された。

## 4. おわりに

微小空間、高速で欠陥が発生するレーザー溶接に対して、割れ欠陥検出の各種データセンシング方法とデータ解析方法の基礎的な知見を得ることができた。

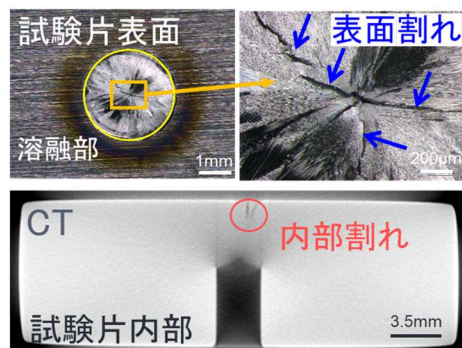


図1 点溶接による欠陥発生例

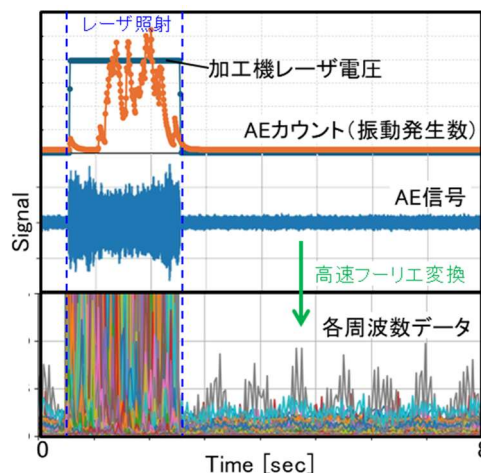


図2 割れ発生時のAEデータと解析例

(連絡先：suzuki-hayato@hro.or.jp)

# ステンレス/アルミナ複合材料 AM 造形技術の開発

ステンレス 316L/アルミナ複合材料の AM 造形におけるアルミナ領域制御法の開発 (令和 6 年度)

材料技術部 ○菅 結実花、鈴木 逸人

## 1. はじめに

Additive Manufacturing (AM) 技術によって金属セラミックス複合材料を作製する手法は、海外を中心に研究されている。特に、レーザ粉末床溶融結合法 (PBF-LB) で金属セラミックス複合材料の造形を行うことで、材料特性と複雑構造の融合による高機能部材の開発への寄与が期待される。これまで、高速気流中衝撃法で SUS316L 粉末表面に Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 粉末を複合化した粉末を PBF-LB で造形することで、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 粒子分散 SUS316L 複合材料と Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 領域から成る複雑な複合材料 (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 粒子分散 SUS316L-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 複合材料) を造形可能であることを明らかにした。

本研究では、複合化粉末の混合質量比を SUS316L : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 1 : 0.01、1 : 0.1 とした粉末を用いて、レーザ走査間隔を変量した PBF-LB 造形実験を行い、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 混合量およびレーザ走査間隔が、造形体内部の Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 領域形成に与える影響について検討した結果を報告する。

## 2. 実験方法

造形材料は、ハイブリダイゼーションシステム (NHS-1、奈良機械製作所) を用いて、PBF-LB 用 SUS316L 粉末 (平均粒子径 23μm) と Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 粉末 (平均粒子径 3.8μm) を混合質量比 SUS316L:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 1:0.01、1:0.1 で混合した複合化粉末を用いた。

造形装置は、レーザ粉末床溶融結合装置 (Lumex Avance-25、松浦機械製作所) を使用し、8×8×5 mm の試験体を造形した。造形条件は、レーザ出力 160W、集光径 0.2mm とし、レーザエネルギー密度が 60J/mm<sup>3</sup> となるようにレーザ走査速度と走査間隔を設定した。隣接した既成層に集光径が重複する割合 (走査重複率) は 0、25、50% とした。レーザ走査方法は、各層ごとに走査方向を 90 度ずつ回転させ、積層厚さ 0.05mm とした。造形後、試験体縦断面の光学顕微鏡および SEM/EDS 観察を行った。

## 3. 結果・考察

図 1 に試験体縦断面の組織例 (混合質量比 SUS316L : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 1 : 0.1 レーザ走査重複率 0%)、図 2 に各条件での試験体縦断面の観察結果を示す。

走査重複率 0% では、いずれの混合質量比においても走査間隔に応じた等間隔な Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 領域が形成された。重複率 25% では Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 領域の間隔が狭まり、50% では規則性が低下しランダムに連続した Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 領域が形成

された。混合質量比 1 : 0.01 と 1 : 0.1 を比較した場合、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 領域の形成位置や形状に差は見られなかったものの、混合質量比 1 : 0.01 の条件では Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 領域が縮小する傾向が見られた。一方で、SUS316L 組織の Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 分散状態には混合質量比による明確な差は見られなかった。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 粒子分散 SUS316L-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 複合材料の組織形成は、レーザ照射により溶融した Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> が溶融池内で早期に析出し、対流によって溶融池境界へ運搬、堆積することで Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 領域を形成し、一部が SUS316L 組織内に分散するものと考えられる。本実験の結果から、造形材料の Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 混合量は SUS316L 組織への分散量よりも、溶融池境界へ堆積する Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 領域の形成量に寄与することが示唆された。

## 4. おわりに

本研究では、混合質量比 SUS316L : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 1 : 0.01、1 : 0.1 の複合化粉末を用いた PBF-LB による造形体における Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 混合量およびレーザ走査間隔の影響を調査し、以下の結果を得た。

- ・レーザ走査重複率 0%、25% では Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 領域間の間隔がレーザ走査間隔の減少に従い狭まり、50% ではランダムに連続する組織が形成される。
- ・複合化粉末中の Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含有量は、主に Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 領域の形成量に影響を与える。

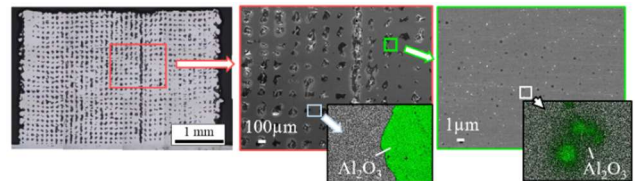


図 1 試験体縦断面の組織例

		レーザ走査重複率 [%]		
		0	25	50
混合質量比	1 : 0.01			
	1 : 0.1			

図 2 試験体縦断面の観察結果

(連絡先 : suga-yumika@hro.or.jp)

# 複雑構造体に適用可能な循環型電気めっき処理方法の開発

(令和7年度)

材料技術部 ○川上 諒大、鈴木 逸人、櫻庭 洋平、近藤 永樹

## 1. はじめに

3次元の格子が周期的に配置されたラティス構造などの複雑構造体は、軽量化や比表面積の増大を目的として幅広い分野で利用されている。これらの構造体表面へめっき処理により金属被覆を施すことができれば、耐摩耗性、耐食性、導電性などの機能向上が可能である。特に化学工学分野では、連続フロー合成用反応器への応用が検討されており、表面に触媒を付与することによる反応効率や収率の向上が期待されている。また、無電解めっきは還元剤との化学反応によって析出する金属でのみ使用可能であるため、より多様な金属の析出が可能な電気めっきの適用ができれば、様々な用途に応じて最適な材料を選択することが可能となる。しかし、複雑構造体への電気めっきでは、内部におけるイオン供給不足により、均一な皮膜形成が困難である。

そこで本研究では、電解液を強制循環させる循環型電気めっき法を提案し、構造体内部に均一なめっき皮膜を形成するための条件を検討した。

## 2. 実験方法

図1(a)に示す流路内で電解処理を行う電解セルを作製し、図1(b)の安定化電源、電圧電流計、溶液送液ポンプ、流量計、恒温槽および温度計からなる循環型電気めっき装置を構築した。

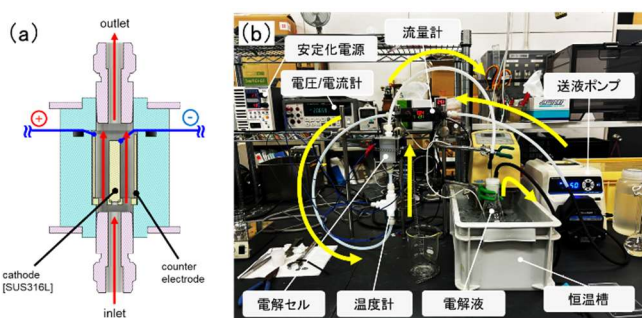


図1 (a) 電解セルの内部構造、(b) 循環型電気めっき処理装置

供試材には、図2(a)に示す金属積層造形装置により作製したBCC型ラティス構造体(線径0.8mm、格子間隔3mm、材質:SUS316L)を用いた。

電気めっきの前処理に10% HClによる活性化処理を行った後、亜鉛またはニッケルめっきを行った。亜鉛めっきには、KOH 5.0 mol/L および ZnO 0.2 mol/L からなるアルカリ浴を用い、めっき液温度 298 K、電流値

0.4 A で処理した。また、ニッケルめっきは、ワット浴を用いて温度 323 K で処理した。

循環型電気めっき処理では、図2(b)に示すように供試材を電解セル内に留置し、流量 0.1 L/min でめっき液を循環させながら処理を行った。

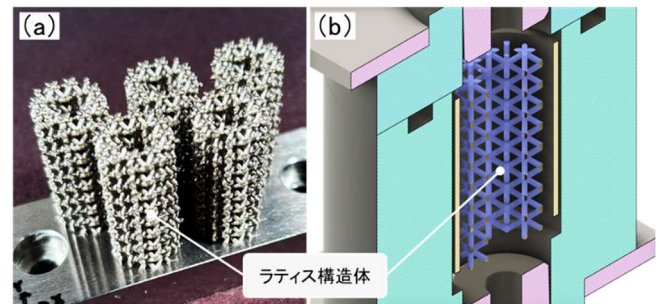


図2 (a) 作製したラティス構造、(b) 電解セルに留置したラティス構造体の模式図

## 3. 結果

溶液を循環しない条件では、試験片の上部と下部でめっき析出量が異なることが確認されたが、溶液を循環する条件では、全体的な析出量が減少したものの均一性の向上がみられた。しかし、亜鉛めっきおよびニッケルめっきのいずれにおいても、溶液循環のみでは構造体内部への析出は微量であり、特に電流密度分布の影響により外周部に析出が集中する傾向が示唆された。

原因として電流密度分布の影響が考えられるため、構造体中心部に補助電極を挿入し、めっき処理を行ったところ、内部領域の電流密度分布が改善され、断面観察の結果から、構造体内部までめっき皮膜が形成されることが確認された。

したがって、溶液循環によるイオン供給と、補助電極による電場制御を組み合わせることが、めっき厚さの均一性向上および複雑構造体内部への析出に有効であることが確認された。

## 4. 結論

本研究では、循環型電気めっき処理装置を構築し、複雑構造体への適用可能性を検証した。循環処理により、析出速度は低下するものの、めっき厚さの皮膜均一性が向上することが明らかとなった。また、補助電極の挿入により、構造体内部へのめっき析出が増加することを示した。

(連絡先: kawakami-ryouta@hro.or.jp)

# プラスチックの紫外線劣化による長期変形予測

動的粘弾性の解析による再生プラスチックの長期時間変形予測（令和5～7年度）

材料技術部 ○細川 真明、瀬野 修一郎、三島 康太、可児 浩、吉田 昌充  
本部研究推進部 土田 晋士

## 1. はじめに

多くのプラスチックは石油（ナフサ）を原料として製造されており、石油資源への依存低減を目指してリサイクルの取り組みが進められている。なかでも、使用済みプラスチックを回収し、選別・洗浄・粉砕・再熔融などの工程を経て再び原料形態に戻す手法は「マテリアルリサイクル」と呼ばれ、近年その実用化が重要視されている。一方で、マテリアルリサイクルされたプラスチックは、紫外線や熱などによって劣化しており、その物性は新規材とは異なる。特に、インフラ材、建材、電化製品など長期使用が想定される用途に再生材を適用する場合、長期間荷重を受けることで生じるクリープ変形の評価が不可欠である。しかし、クリープ試験は1回の測定に数か月を要する長期試験であり、品質ばらつきの大きい再生材では高頻度での評価が求められるものの、実施は容易ではない。そこで本研究では、プラスチックの粘弾性特性に基づく温度-時間換算則に着目し、再生材のクリープ変形を短時間で予測する手法を検討するとともに、劣化を受けたプラスチックがクリープ挙動に及ぼす影響についても調査した。

## 2. 試験方法

使用した材料は、新規材として市販のポリプロピレン（PP）、ポリスチレン（PS）、ポリカーボネート（PC）、再生材として自動車部品から回収されたPP、ポリメチルメタクリレート（PMMA）、PCである。いずれも射出成形により短冊状に成形し、紫外線劣化の影響を評価するため、屋外曝露約20か月分の紫外線量に相当する2,000時間まで促進耐候劣化を行った。これらの試験片を用いて、動的粘弾性試験機（DMA）による粘弾性解析に基づくクリープ予測試験（図1）および試験温度を高湿側へ変化させたクリープ加速試験（図2）の両手法により、クリープ挙動を評価した。

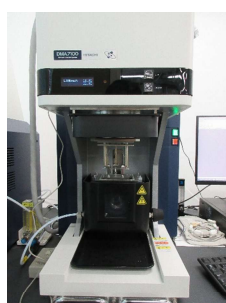


図1 クリープ予測試験

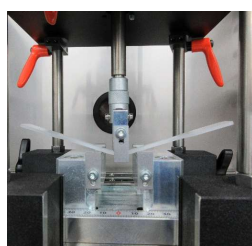
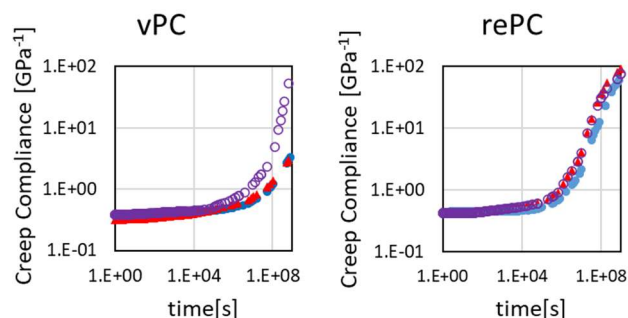


図2 クリープ加速試験

## 3. 試験結果

ここでは代表例として、新規材PC（vPC）および再生材PC（rePC）のクリープ予測結果を図3に示す。縦軸はクリープ変形の程度を示すクリープコンプライアンスであり、値が高いほど変形が大きいことを意味する。横軸は時間（秒）である。DMAによるクリープ予測では、23°Cから180°Cの範囲で粘弾性データを取得し、1試験片あたり約5時間で測定が可能であった。基準温度を23°Cとした場合、それ以上の温度条件で取得した粘弾性データは加速試験の結果とみなすことができ、各温度で得られたデータを重ね合わせることで数年分に相当する耐久性評価が可能となる。本研究ではこの温度-時間換算則を適用し、約10年分のクリープ挙動を予測できた。図3は、新規材と再生材のクリープ挙動が紫外線劣化の程度によってどのように変化するかを比較したものである。その結果、vPCは紫外線処理0時間で高いクリープ耐性を示したが、2,000時間の紫外線処理後にはクリープ耐性が急激に低下した。一方、rePCは初期のクリープ耐性は低いものの、紫外線処理後も大きな変化は見られず、比較的高い耐候性を有することが明らかとなった。この結果は自動車由来のPCが市販のPCとは異なり、添加剤などで耐候性を向上させているためであると考えられる。



●紫外線処理0h、▲紫外線処理1150h、○紫外線処理2000h

図3 クリープ予測試験の結果

## 4. おわりに

再生材を耐久用途に用いる試みが世界的に進められており、耐久性評価の一つとしてクリープ試験は必須となることが予想される。本研究の成果は時間を要するクリープ試験の期間短縮につながり、材料開発の加速化を実現する技術になることが期待される。

（連絡先：hosokawa-masaaki@hro.or.jp）

# バイオマスを利用した複合材料の開発

再生可能資源を利用したプラスチック使用量低減化素材の開発（令和6～8年度）

持続可能な漁業を実現する高付加価値バイオ素材の有効利用（令和5～9年度）

材料技術部 ○瀬野 修一郎、三島 康太、細川 真明、板橋 孝至、可児 浩  
本部研究推進部 土田 晋士  
北海道大学、苫小牧工業高等専門学校、北海道曹達㈱

## 1. はじめに

プラスチック使用量の急増に伴い、海洋ごみ、地球温暖化などの問題が深刻化し、持続可能な材料の開発が急務となっている。政府のプラスチック資源循環戦略では、3R（リデュース、リユース、リサイクル）に加えて再生可能資源への代替が推進されており、ワンウェイプラスチック削減や代替素材・バイオプラスチックの利用促進がマイルストーンの一部として掲げられている。

このような背景のもと、持続可能性の高いバイオマスとプラスチックの複合材料開発が進んでいる。北海道にはそば殻やもみ殻など豊富なバイオマス資源があり、これらを高配合で利用できる複合化技術の確立は、地域資源活用と資源循環型社会の実現に寄与すると期待される。本研究では、道内で入手可能なバイオマスをを用い、プラスチックへの高配合複合化技術の開発を目指した。

## 2. バイオマスとプラスチックの複合化

バイオマスとプラスチックを複合化する際、バイオマスの粒径は製品の物性や外観、成形加工性に影響するため、一般的には適切な粒径に粉碎して利用される。一方で粉碎工程の追加は原料コストの上昇につながり、製品化の妨げとなる場合がある。そこで、本研究ではコスト競争力のあるバイオマス複合材料の開発を目的とし、樹脂中で天然繊維資源の微細化と複合化を同時に行う「パルプ直接混練法」を応用し、粉碎工程を省略した複合化を試みた。

バイオマスにはそば殻を、プラスチックには低密度ポリエチレンに類似した物性を持つ生分解性樹脂であるポリブチレンアジペートテレフタレート（PBAT）を用いた。バイオマスの配合量は材料中の主原料となるよう55 wt%とし、残りの成分にはPBATおよび必要に応じて成形助剤や相容化剤等を配合した。

未粉碎のそば殻、PBAT、成形助剤、相容化剤をバッチ式溶融混練機（プラストグラフ EC Plus、ブラベンダー社）に一度に投入し、溶融混練を行い、得られた褐色の塊を熱プレス機にて150°Cで圧縮成形し、シート状の成形体を作製し、裁断することで3点曲げ試験用の短冊状試験片を作製した。

## 3. バイオマス複合材料の物性評価

2章で作製した55wt%そば殻複合化PBAT試験片を用いて三点曲げ試験を行い、得られた応力-ひずみ曲線を図1に示す。そば殻の添加により曲げ強度・弾性率は大きく向上し機械的特性を損なうことなく高配合での複合化が可能であることが確認された。

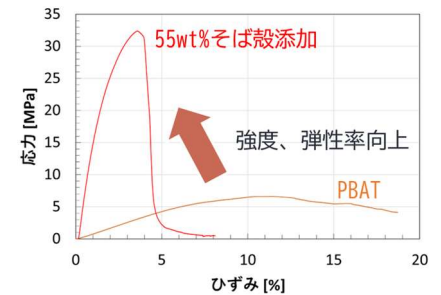


図1 そば殻複合化PBATの応力-ひずみ曲線

図1に示す。そば殻の添加により曲げ強度・弾性率は大きく向上し機械的特性を損なうことなく高配合での複合化が可能であることが確認された。

## 4. 混練後のプラスチック中のバイオマスの形状観察

55wt%そば殻複合化PBATからプラスチックや添加剤を溶媒で溶解除去し、混練後のそば殻形状を観察した。粗大粒子が混在し、粒径の分布も広いため、粒度分布計での測定は困難であったが、図2のとおりmmスケールでの微細化が進んでいることが確認できた。この結果から、パルプ直接混練法により粉碎工程なしで原料コストを抑えて複合化できることが示された。厚みがμmオーダーの包装資材への応用には、要求特性を満たさない可能性が懸念されるため、さらなる微細化が必要だが、厚みのある日用品製品などであれば、現状の微細化水準でも十分適用可能と考えられる。



図2 溶融混練前後のそば殻形状

## 5. おわりに

パルプ直接混練法を応用することで、粉碎工程を必要としない原料コストを抑えたバイオマス複合化プラスチックの製造が可能であることを示した。バイオマスを55 wt%という高配合で利用でき、地域資源活用と資源循環型社会の実現に寄与する材料としての展開が期待される。

(連絡先：seno-shuichirou@hro.or.jp)

# 過熱水を利用したグルタミン酸由来の有用物質の合成

高温高圧水雰囲気下でのグルタミン酸から生分解性プラスチック原料への変換  
(令和4～6年度)

材料技術部 ○近藤 永樹、吉田 誠一郎、香川 晃輝、野村 隆文、執行 達弘

## 1. はじめに

脱炭素社会の実現に向け、石油資源に依存しない化成品原料の製造技術が求められている。本研究では、自然界に豊富に存在し、低利用海藻などの天然物から回収が可能なグルタミン酸 (Glu) を利用し、生分解性プラスチックであるナイロン4の原料となる2-ピロリドン (2P) の合成を検討している。2Pは工業的には石油から生産されており、一般に水素加圧条件下で触媒を用いて製造されるため、より環境負荷の少ない代替プロセスの確立が課題である。これを解決すべく、GluおよびGluを加熱して得られるピログルタミン酸 (PGA) を出発原料とし、枯渇の心配がなく安全で取り扱いやすい水を反応場とする超臨界・亜臨界水反応を適用した。本発表では、既に報告した過熱水 (超臨界・亜臨界水) を用いた反応条件の最適化による収率向上に加え、量子化学計算 (DFT法) による2Pが高選択的に得られるメカニズムの理論的解明、およびその知見を基盤とした実バイオマス (道産コブ) 由来Gluによる2P合成の実プロセス化に向けた実証結果について詳細に報告する。

## 2. 実験および解析方法

### 2.1 過熱水を利用した反応実験

SUS316製の回分式反応容器およびマイクロ管型流通式反応装置を用い、所定濃度のGluまたはPGA水溶液を原料として供給し、反応温度200～450℃、圧力0.1～30MPaの条件下で反応を行った (図1)。回分式では、密閉された回分式反応器を予熱した電気炉へ投入し、設定温度で2時間保持した後、冷水浴で急冷した。流通式では、加熱した蒸留水と原料水溶液を反応器入口で混合して昇温させ、出口で急冷した。反応圧力の制御には背圧弁を用いた。生成物はGC-MSおよびHPLCにより定性・定量分析した。

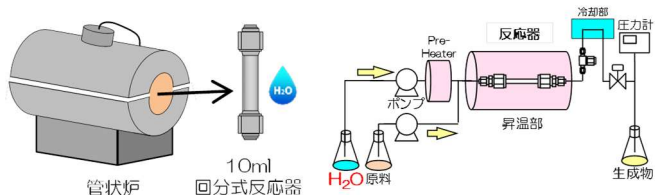


図1 回分式(左)および流通式(右)反応器概要図

### 2.2 実バイオマスを用いた反応

北海道産コブから、Gluを含む各成分を熱水抽出

した。次にイオン交換樹脂を用いてアミノ酸を吸着・溶離し、濃縮した。その後、等電点で晶析してGluを結晶化し、得られた結晶を減圧ろ過で分離・乾燥することで、実バイオマス由来Glu粉末を得た。この粉末を所定の濃度に溶解し、前項と同様の過熱水を利用した2P合成実験に供した (図2)。



図2 実バイオマス (コブ) からGlu抽出

### 2.3 計算化学的解析

量子化学計算プログラムによる密度汎関数法 (汎関数:  $\omega$ B97X-D4、基底関数: def2-TZVP) にて、Gluから2Pに至る各反応経路の構造最適化と振動解析を行った。気相 (25℃) でのギブズ自由エネルギー変化 ( $\Delta G$ ) および遷移状態の活性化障壁を算出し、反応の熱力学的・速度論的評価を行った。

## 3. 結果と考察

### 3.1 反応経路の推定と条件の最適化

原料から2Pを得る変換経路として、(1)水素加圧下での還元反応、(2)ワンポットで進行する脱炭酸反応の二つが考えられる (図3)。回分式反応器を用いた実験の結果、超臨界水条件 (374℃、22.1MPa以上) において2Pが高収率で得られたが、その際、経路(1)の中間生成物であるピログルタミノールは検出されなかった。これにより、本環境下では水素添加経路を経由しない脱炭酸反応 (経路(2)) が主経路であると推定された。

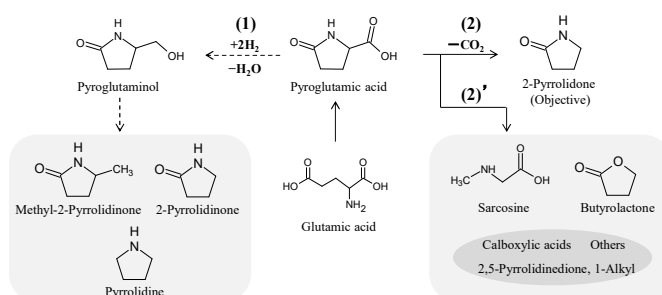


図3 PGAから2Pへの推定変換経路

また、流通式反応装置を用いて図4に示す気相、液相、超臨界水条件で網羅的に実験を行った結果、400°C、30 MPaの超臨界水条件において2Pが最大収率を示した(図5)。収率向上の要因として水のイオン積( $K_w$ )との相関を解析した結果、 $K_w$ が高いほど2P収率が向上する傾向が確認された(図6)。これは、高温高压下で増加した水由来の $H^+$ や $OH^-$ が、触媒的に機能したためと考えられる。

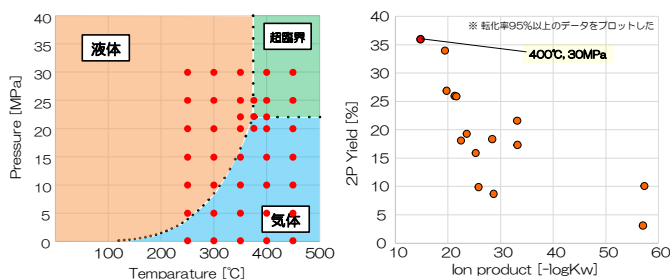


図4 相図上での実験条件

図5 流通式水のイオン積( $K_w$ )と2P収率の相関

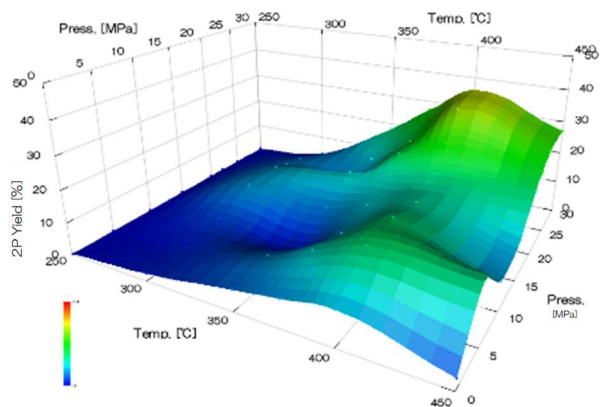


図7 流通式反応の温度・圧力と2P収率の関係

### 3.2 量子化学計算による反応機構の解析

前述のとおり、本反応は脱炭酸経路(経路(2))が主経路と推察されたが、GC-MS分析では競合する副反応として、脱アミノ化による $\gamma$ -ブチロラクトン(GBL)等の生成(経路(2'))も確認された。そこで、なぜ副反応ではなく2P生成経路が優先されるのかをエネルギー面から検証した。

DFT計算によるエネルギープロファイルを解析した結果、まずGluは脱水縮合してPGAへ変換される経路が熱力学的に有利に進行することが示された( $\Delta G = -24.6$  kcal/mol)。このPGAからの分岐反応において、2P生成系の総エネルギー変化( $\Delta G = -41.9$  kcal/mol)は、GBL生成系( $-36.9$  kcal/mol)よりも約5.0 kcal/mol熱力学的に安定であることが判明した(図7)。

さらに、反応速度に直結する律速段階の遷移状態(TS)を探索したところ、PGAからの脱炭酸過程における活性化障壁は+7.2 kcal/molと、非常に低い値を示した。以上の計算結果から、本反応系においては、低い活性化障壁による「反応の進行しやすさ(速度論的優位性)」と、生成物の「エネルギー的な安定性(熱力学的優位性)」の双方が寄与しており、これらが相まって2Pの極めて高い選択性を生み出していることが理論的に裏付けられた。

性)」の双方が寄与しており、これらが相まって2Pの極めて高い選択性を生み出していることが理論的に裏付けられた。

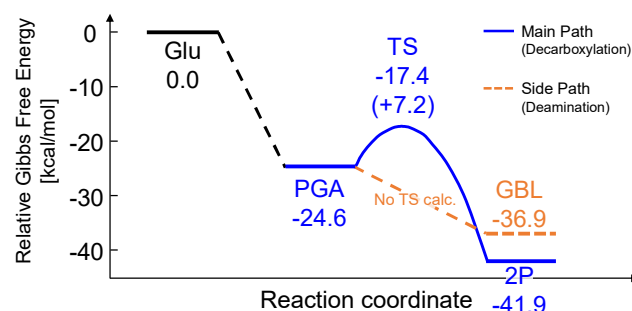


図7 各反応経路のギブズ自由エネルギー変化(25°C)

### 3.3 実バイオマス由来原料を用いた実用化検討

未利用資源の有効活用を見据え、コンブから抽出・精製した実バイオマス由来Gluを用いて反応評価を行った。抽出・精製工程を経て得られたGluを374°C、22.1 MPaで回分式反応に供した結果、2P収率は25%となった(図8)。これは試薬Gluを用いた場合の結果(29%)と比較しても遜色のない値である。精製工程における成分バランスの変化がわずかに影響している可能性はあるが、実際のバイオマス資源に対しても本プロセスが十分に有効であり、実プロセス化に向けた大きな指針が得られたといえる。

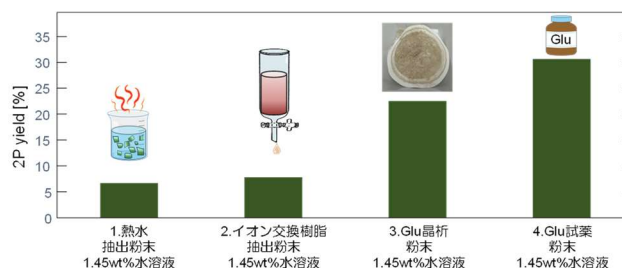


図8 実バイオマス由来原料等による2P合成結果

### 4. おわりに

本研究では、過熱水反応によるGluから2Pへの高効率な変換プロセスを構築した。さらに、量子化学計算により、本反応が無触媒条件下においても速度論的および熱力学的な有利性に導かれ、2P生成が選択的に進行するメカニズムを理論的に解明した。これらの知見を踏まえ、コンブから抽出した実バイオマス由来Gluを用いた実証実験を行い、本プロセスが未利用資源に対しても有効であることを明らかにした。現在は、過熱水環境における溶媒効果等を含めたより詳細な解析を進めるとともに、さらなる収率向上を目指している。

**謝辞** 本研究はJSPS科研費22K14718の助成を受けました。分析に使用したGC-MSは、JKA補助事業により整備されました。コンブは北海道立工業技術センターより提供を受けました。ここに謝意を表します。

(連絡先: kondou-hisaki@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 8 年 4 月 1 日現在

# 効率的な AI 学習用データ作成手法の開発

汎用画像認識モデルを使用した AI 学習用データ作成の効率化に関する研究（令和 7 年度）

産業システム部 ○全 慶樹

## 1. はじめに

一般に人工知能（AI）を用いた研究開発では、大量の学習用データ（データセット）が必要である。教師あり学習におけるデータセットの構築には、データの取得に加えて、各データに正解ラベルを付与する「アノテーション」が必要となる。例えば、画像内の物体を認識する AI の学習では、各学習用画像データの「どこ」に「何」があるかを示す正解ラベルが必要であり、大量のデータに対するアノテーションは非常に多くの時間と費用を要する。

このようなアノテーションは手作業により実施されることが多く、その効率化が課題とされている。2024 年に公開された Segment Anything Model 2 (SAM2) は、動画内の物体のアノテーション作業を効率化する手法であり、最初のフレームにおいて対象物体の位置を示すことで後続のフレームにおける同一物体のアノテーションを自動化することが可能である。しかし、物体が高速に移動する場合には追従できず、アノテーションの自動化に失敗することが知られている。

本研究では、動画の各フレームを補間する中間フレームを AI により自動生成することで、高速移動物体に対するアノテーション自動化を改善する手法を開発したので報告する。

## 2. 中間フレーム生成と SAM 2 への適用

中間フレームの生成手法として、モーション推定・補償に基づく Motion Compensated Interpolation (MCI)、深層学習に基づく Real-Time Intermediate Flow Estimation (RIFE) の 2 つの手法について、複数の馬鈴しょが高速に搬送される動画に対して適用を試みた。その結果、MCI は一部の馬鈴しょの生成に失敗し、不自然な中間フレームを生成した（図 1 左）。これは、フ

レーム間の移動量が大きい対象物に対するモーション推定が失敗したためと考えられる。一方、RIFE はフレーム間の移動量が大きい馬鈴しょに対しても自然な中間フレームの生成が可能であることを確認した（図 1 右）。

次に、RIFE を用いて中間フレームを補間した動画に対して SAM 2 によるアノテーション自動化を適用した。その結果、補間なしでは自動アノテーションに失敗した対象物に対して（図 2）、中間フレーム補間が自動アノテーションを改善できることを確認した（図 3）。本手法を馬鈴しょでん粉製造ラインにおける物体検出 AI の学習用動画データに適用し、アノテーション作業時間を検証したところ、中間フレーム補間を適用することで作業時間を約 1/4 に短縮できることを確認した。

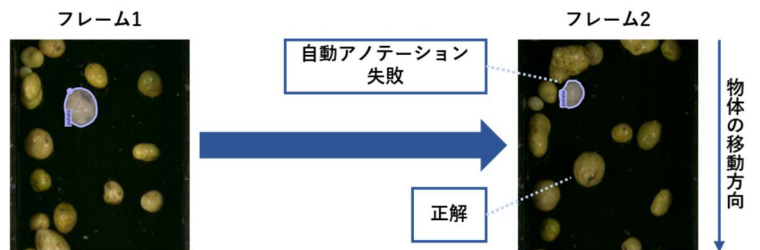


図 2 従来手法によるアノテーション自動化の失敗

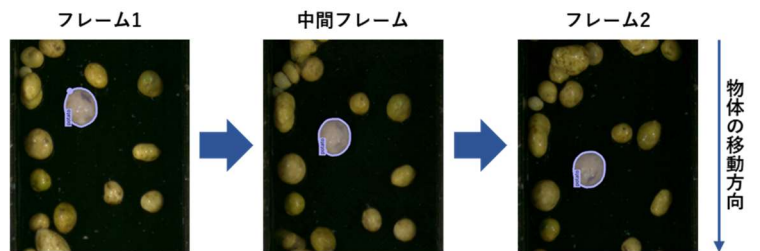


図 3 提案手法によるアノテーション自動化

中間フレーム  
(MCI)



中間フレーム  
(RIFE)



図 1 高速移動物体に対する中間フレーム生成の比較

## 3. おわりに

本研究では、AI の研究開発において多くのコストが必要となるアノテーション作業の効率化について、SAM 2 による動画のアノテーション自動化の性能向上を目的に、動画の中間フレームを AI により自動生成することで高速移動物体に対しても適用可能な手法を開発した。今後、本手法を活用し道内企業における AI 研究開発の工数や費用の削減を図る。

（連絡先：zen-keiki@hro.or.jp）

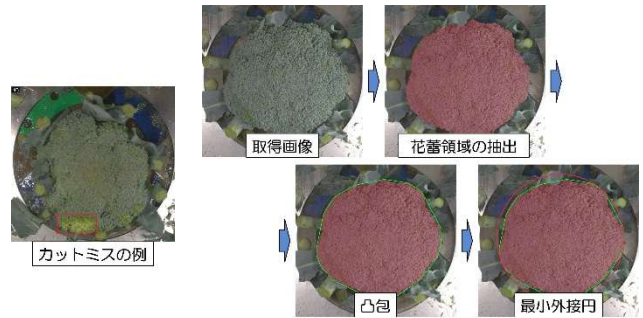
# ブロッコリー選別加工システムの開発

(令和6～8年度)

産業システム部 ○岡崎 伸哉、藤澤 怜央、全 慶樹、浦池 隆文  
企画調整部 飯島 俊匡  
日本協同企画(株)

## 1. はじめに

生食用ブロッコリーの選果場では受け入れたブロッコリーの全数を対象に、人手で茎の根元や側枝などの不用部を除去し、大きさと品質に応じて等階級分けしている。近年の労働力不足の影響により作業員を集めることが困難であることから、作業の自動化が望まれている。本研究ではこの課題解決を目的として、生食用ブロッコリーの不用部を取り除く機構と、大きさと品質を自動で判定する等階級判定機能を備えたブロッコリー選別加工機を開発したので報告する。



(a) 等級判定

(b) 階級判定

図2 等階級判定機能

## 2. 不用部除去機構の開発

不用部の除去では次の2工程を実施している。

①先端から茎までの長さを一定に調整

②側枝を切り揃えて形状を調整

これらを実現するため、人手で装置に投入したブロッコリーに対して、エアシリンダで花蕾先端を一定の位置に押し込みながら茎を切断することで長さを揃え、刃を回転させ遠心力で花蕾周辺の不用な側枝を切断する不用部除去機構を開発した(図1)。

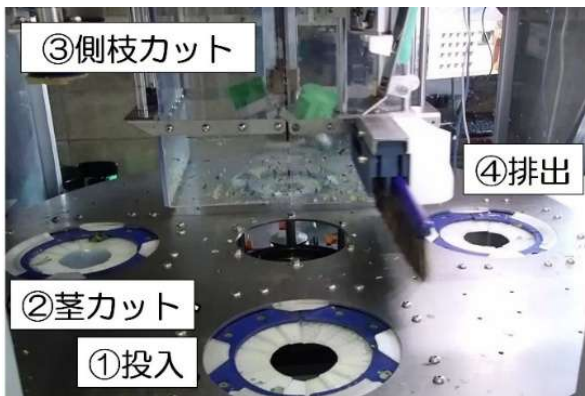


図1 不用部除去機構

## 3. 等階級判定機能の開発

不用部除去機構にて処理したブロッコリーを真上から撮影し、カットミス領域(誤って花蕾をカットしてしまった箇所)を検出するAIを構築し、カットミス領域の有無により等級判定を行った(図2(a))。同様に花蕾領域を抽出するAIを構築し、抽出した領域に対して最小外接円を算出、その直径から階級(サイズ)を判定するアルゴリズムを開発した(図2(b))。

## 4. 実証試験

不用部除去機構に等階級判定機能を組み込んだブロッコリー選別加工機を開発し(図3)、性能評価を行った。その結果、カットミス発生率が0.02%、階級(サイズ)判定精度が99.5%、等級(カットミス)判定精度が80.3%と良好な性能が得られた。また、選果場における実証試験の結果、ブロッコリー1個の処理時間は約3秒と、目標とする処理速度を達成した。



図3 ブロッコリー選別加工機

## 5. おわりに

本研究では不用部を取り除く機構と、大きさと品質を自動で判定する等階級判定機能を備えたブロッコリー選別加工機を開発した。これにより、今まで6名で担当していた作業を、本装置を用いることで投入1名、箱詰め1名の計2名で行うことができるようになり、2/3の省人化が見込まれる。

今後は等階級判定精度の向上とカットミス以外の腐敗や黄変などの等級判定機能の追加を目指し、引き続き開発を進める。

(連絡先: okazaki-shinya@hro.or.jp)

# ホタテガイ資源量調査における AI 画像解析技術の開発

短期実用化研究開発（令和 7 年度）

産業システム部 ○藤澤 怜央、全 慶樹  
企画調整部 飯島 俊匡  
恵比寿システム(株)

## 1. はじめに

北海道を代表する水産物であるホタテガイは、「垂下式」と「地まき式」の 2 方式の漁業が行われている（図 1）。「地まき式」の漁業は主にオホーツク海沿岸を中心とした地域で行われており、漁協単位で生育状況・生産数を把握するため資源量調査を行っている。これまで、一部のホタテガイを漁獲して全体の資源量推定を行っていたが、近年では道総研を中心に開発したビデオカメラを利用した海底画像撮影法による資源量調査に移行してきた。これにより省人化を進めているが、海底画像から目視でホタテガイを計数するには熟練の技術が必要であり、未だ多くの人手と時間を要している。

本研究では、様々な環境下におけるホタテガイを検出し計数する技術開発を行ったので報告する。



図 1 ホタテガイの生産量  
（令和 6 年度北海道水産現勢より）

## 2. 海底画像の分析

海域や深度、天候などによって海水の状態や明るさなどの撮影環境が変動するため、同じ場所の海底においても取得できる海底画像が大きく異なる。例えば、浅瀬で貝殻が多い場合は太陽光と撮影用の照明によって画像の多くの部分が白とびしてしまう。逆に沖合で海底が深くなると撮影用の照明のみとなるため、画像全体が暗く物体の検出が難しい（図 2）。海底の環境が既知であれば、明るい画像と暗い画像で別の検出方法を作成することもできるが、海底の環境は変化が大きく個々に対応したシステムを都度作成することは困難である。また、推論時にすべての画像に前処理を行うことはデータが欠損する可能性があり難しい。



図 2 撮影された海底画像  
（左：浅い海域、右：深い海域）

## 3. 環境変化に対応した AI 解析技術の開発と評価

本開発では、多様な環境に対応できる AI を作成するため学習画像にランダムでフィルタをかける水増し処理を行った。本処理では、輝度変換や色相変換、ノイズをかけるフィルタを作成した（図 3）。



図 3 各種フィルタをかけた例

この学習画像をもとに AI を作成し、熟練者が行った目視によるホタテガイ計数結果との比較を行った。1 枚の海底画像に対して目視の計数と AI による計数が一致したときを正答とすると、海域によって変化し 70～80%の正答率となった。また、ホタテガイは貝の殻縁部分以外が砂地などに潜っていることが多い。このことから熟練者でも目視による計数の誤差が生じるため、目視と AI の差が 1 枚以内であるときを正答としたところ、開発した AI で正答率は 95%となった。実用化の目安として目視計数との一致が 90%以上であることが求められていることから、学習に使用するデータについての精査や AI モデルを改良することにより精度を向上させていく。

## 4. おわりに

本研究では、地まきホタテガイ漁業の資源量調査において熟練の作業員が目視で行っていたホタテガイの計数を自動化する AI の開発を行った。海底画像は明るさや色が環境によって異なるため、明るさ調整や色味を補正した画像を学習データに入れることにより、70～80%の正答率が得られた。

今後は、実用化に向けて正答率が 90%以上となるよう、改良を続けていく。

（連絡先：fujisawa-reo@hro.or.jp）

# 高い段差乗り越え性能を有する球体車輪の開発

回転整流機構により高い段差乗り越え性能を有する球体車輪の開発（令和7年度）

産業システム部 ○佐野 峻輔

## 1. はじめに

近年、配膳ロボットのように、人と同じ空間で働くサービスロボットや屋内搬送ロボットの活用が広がっている。これらのロボットは、人の動作を妨げずに移動・作業するために、狭い空間でも自由に移動できる高い機動性が求められている。そのため、車体の向きを変えずに全方向への移動を可能とする、図1左のような複数のローラーを組み合わせることで1つの車輪を構成する、球体型全方向車輪（以下、球体車輪）の研究開発が進められている。

しかし、図1右のようにローラーの姿勢によっては、接地点からローラー回転軸までの距離（以下、実効半径。一般的な車輪の半径に相当。）が低下し、段差乗り越え性能の低下につながる。

本研究では、実効半径の低下・変動が小さく、高い段差乗り越え性能を有する球体車輪の実現を目指し、新たな機構の提案、および試作機による動作確認を行ったので報告する。

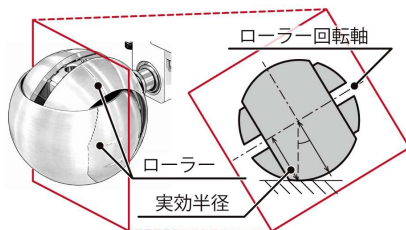


図1 従来機構の実効半径

## 2. 提案コンセプト・原理

提案する球体車輪の構造は、図2のようにルービックキューブの機構から着想を得た。複数（8個）のタイルをまとめて1つのローラーとして扱うことで、同一の球体表面上に、3つのローラーを構成することが可能になる。

図1の球体車輪は、2つのローラーが直交するように組み合わせられている。車輪全体が主軸周りに90°回転するごとに接地するローラーが切り替わるため、車輪全体の半径に対する実効半径は、最小値が約71%、平均値が約90%である。これに対しローラーが3つの本手法では、主軸周りに60°回転するごとに接地するロ

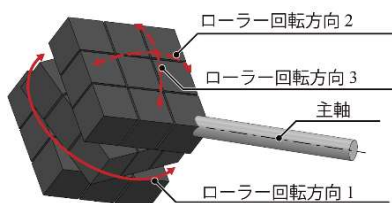


図2 主軸とローラー軸の配置コンセプト

ローラーが切り替わり、実効半径は最小値が約82%、平均値が約99%となる。従来機構と比較して、実効半径の低下・変動を小さく抑えることが可能となった。

## 3. 動作確認

本研究で提案した手法にもとづいて試作機を製作し、動作確認を行った。試作機の3Dモデルを図3に示す。各ローラーを内歯車構造とし、それぞれにピニオンギアを組み合わせている。さらに各ピニオンギアを個別のモーターで駆動する。図4のとおり、3つのローラーをそれぞれ任意の方向に回転させ、主軸の回転と組み合わせることで、全方向への移動が可能であることを動作試験により確認した。

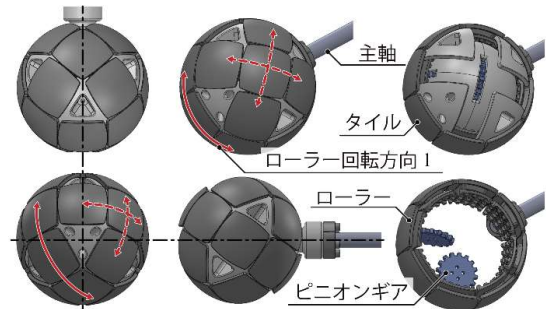
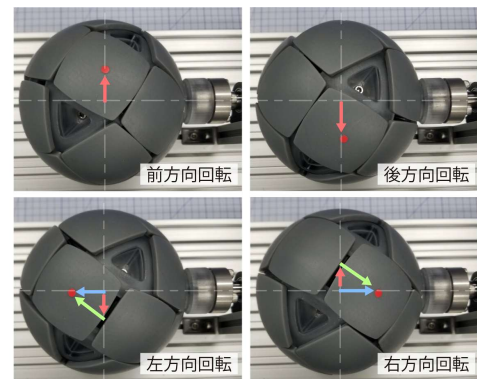


図3 提案する球体型全方向車輪の構造



→ 主軸回転方向 → ローラー回転方向 → 合成した回転方向

図4 動作確認

## 4. まとめ

全方向に高い段差乗り越え性能を有する球体車輪の新機構を提案し、動作試験により機構が成立することを示した。一方で、実用化に向けては、耐荷重性の向上や駆動するローラーの円滑な切り替え方法、球体車輪の制御手法の検討が必要である。今後は、実環境における段差を対象として乗り越え性能の評価を行い、実用化に向けた改良を進める。

（連絡先：sano-shunsuke@hro.or.jp）

# 持ち上げ作業の適正なアシスト力のための動作分析

筋シナジー仮説に基づく持ち上げ動作のシミュレーションモデルの構築（令和7年度）

ヒューマンテクノロジー部 ○於本 裕之介、泉 巖

## 1. はじめに

持ち上げ動作は腰痛などの労災リスクが高いことが知られており、負担軽減のためにアシストスーツの導入が進められている。一方で、装着者の動作意図とアシスト力不一致による違和感が課題となっている。この要因の一つとして、アシスト力の大きさやタイミングが筋肉の働きと十分に連動していないことが考えられる。人が運動を行う際、脳は多数の筋肉を協調させながら効率よく動かすために、少数の信号で統合的に制御していると考えられている。このような脳の制御戦略にもとづいて、動作と連動したアシスト力を加えることで違和感の低減が期待できる。

本研究では、違和感の少ないアシスト制御の実現に向けて、持ち上げ動作における筋肉の協調パターンを実験データから抽出し、これらのパターンが担っている運動機能をシミュレーションにより解析した。

## 2. 持ち上げ動作実験

持ち上げ動作時の筋活動特性を把握するため、表面筋電計を用いて筋電図（筋肉の電気信号）を計測した。実験の概観を図1に示す。実験協力者は健康成人男性1名（31歳、体重72.5kg）とし、台の上に置いたコンテナ（14.5kg）を、膝を曲げた姿勢から約1.5秒かけて腰高まで挙上させる動作を行わせた。計測対象は、動作への関与が大きい6筋とした。

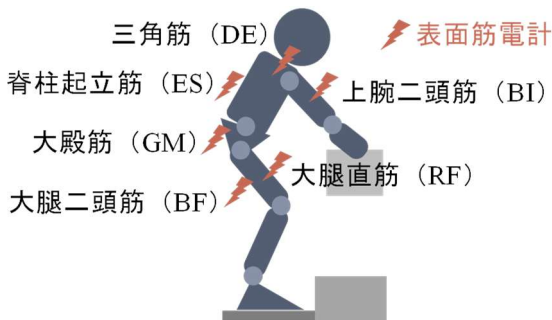


図1 実験の概観

## 3. 筋肉の協調パターンの抽出

計測した筋電図の振幅と時間変化を統計的に解析し、協調パターンを抽出した。解析の結果、6つの筋肉から得られた筋電図の振幅変化 $P$ は2つの協調パターン $P_1$ と $P_2$ の重ね合わせで表されることを確認した（図2上段）。すなわち、以下の関係が成り立つ。

$$P = P_1 + P_2 \quad (1)$$

## 4. 協調パターンが担う運動機能の解析

筋骨格シミュレーション環境を構築し、3章で抽出した筋電図の振幅変化を入力として与えた際の身体重心の挙動に着目して、各協調パターンの運動機能を解析した。筋電図の振幅変化（計測データ $P$ および2つの協調パターン $P_1$ 、 $P_2$ ）に対応する身体動作を図2下段に示す。計測データの身体動作は持ち上げ動作の実測画像、各協調パターンの身体動作はシミュレーション結果である。また、シミュレーション結果の黒線は身体重心の軌跡を表す。重心の動きに着目すると、パターン1では上方方向に移動し、パターン2では体幹側へ引き寄せられる軌跡を示した。これらの結果から、2つの協調パターンは①体を持ち上げる運動（パターン1）と②転倒を防ぐためにバランスを保つ運動（パターン2）という異なる機能を担っていると考えられる。

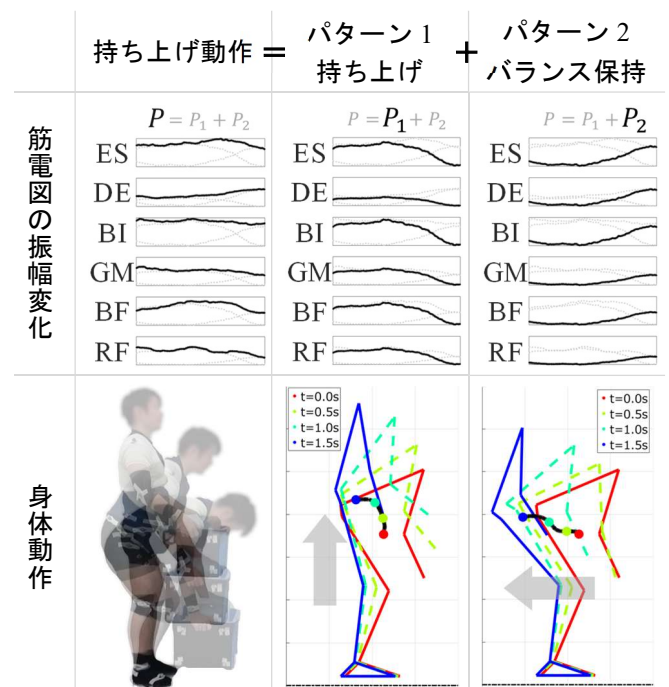


図2 筋肉の協調パターンと身体動作

## 5. おわりに

本研究では、持ち上げ動作における複数の筋肉の協調パターンを抽出し、その運動機能をシミュレーションにより解析した。

今後は、「持ち上げ」と「バランス保持」に対応する2つの協調パターンを反映した、新たなアシスト制御手法の開発を目指す。

（連絡先：omoto-yuunosuke@hro.or.jp）

# 乳牛の低Ca血症予測システムの開発

ウェアラブル心電計を利用した乳牛のCaステータス予測システムの開発（令和5～7年度）

ヒューマンテクノロジー部 ○泉 巖、川崎 佑太  
帯広畜産大学

## 1. はじめに

分娩期の乳牛に多発する低カルシウム(Ca)血症は、乳へ大量のCaが移行することで血中Ca濃度が低下し、全身の筋機能が低下していく疾病である。治療が遅れると死亡や廃用につながり多大な経済損失が生じることから、予防が重要とされている。

本研究では、ウェアラブル心電計で計測した乳牛の心電図から血中Ca濃度を算出し、その推移から低Ca血症の発症を予測することで、早期の予防を可能とするシステムを開発したので報告する。

## 2. 心電図を利用した血中Ca濃度のモニタリング

帯広畜産大学と現場を中心とした研究チームは、血中Ca濃度の低下が心筋の収縮機能に影響を及ぼすことに着目し、心電図のSTc間隔の逆数と血中Ca濃度に正の相関性があることを明らかにした(図1)。これにより、採血による従来の診断法に代わり低侵襲で迅速な低Ca血症の判断が可能となった。

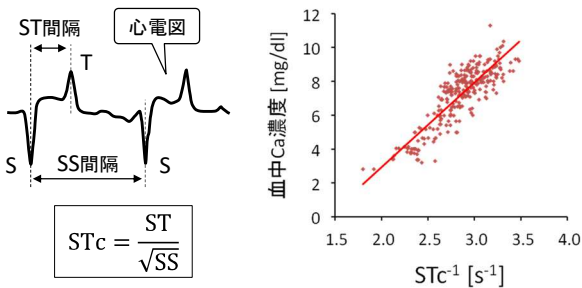


図1 STc間隔の概要(左)とCa濃度との関係(右)

## 3. 低Ca血症予測アルゴリズムの開発

低Ca血症の予防へ踏み込むためには、発症を事前に予測する技術が必要となる。そこで、心電図から算出した血中Ca濃度データの推移に基づき、低Ca血症の発症日時を予測するアルゴリズムを開発した(図2)。

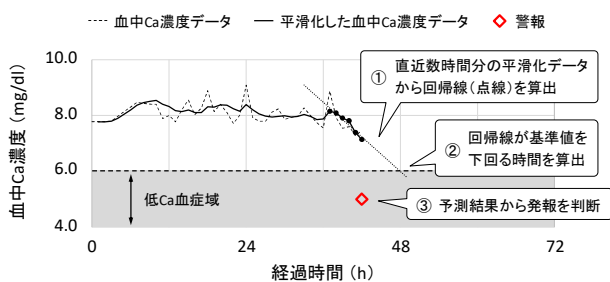


図2 予測アルゴリズムの概要

このアルゴリズムの予測性能を検証するため、分娩期の乳牛から計測した血中Ca濃度のデータセット(N=26)を用いてシミュレーションを行った。その結果、低Ca血症を発症したデータ(N=9)のすべてに警報が出された。警報のタイミングは発症の7.8時間前(9データ平均)であり、予防措置に必要な時間的余裕があることを確認した。

## 4. 警報通知システムの構築

開発したアルゴリズムをサーバーに実装し、予測結果に基づき警報をメール通知するシステムを構築した(図3)。ウェアラブル心電計で算出された血中Ca濃度データは、Wifiでサーバーへ送信される。サーバーに蓄積した血中Ca濃度データに予測アルゴリズムを適用し、一定時間内の発症を予測した場合に警報メールを送信する仕組みとなっている。

開発したシステムは実際の牧場等で試験運用されており、血中Ca濃度が低下傾向にある牛の発見や、予防措置が迅速化されていることを確認している。

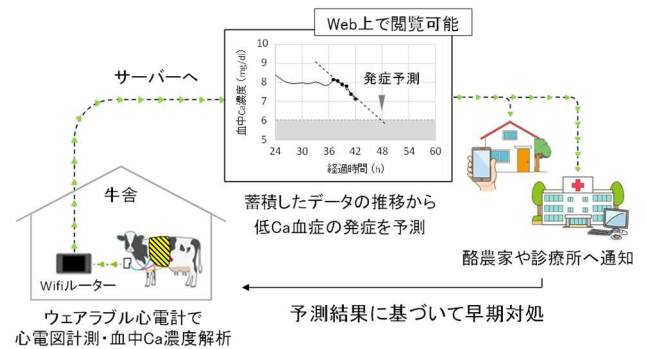


図3 低Ca血症予測システムの全体像

## 5. おわりに

本研究では、ウェアラブル心電計で計測した乳牛の心電図から血中Ca濃度を算出し、その推移から低Ca血症の発症を予測するアルゴリズムを開発した。このアルゴリズムをサーバーに実装し、発症予測警報を通知するシステムを構築することで、低Ca血症の予防を可能とした。

今後は、心電図を利用した分娩予測技術等について検討を進め、開発したシステムと組み合わせることでさらなる付加価値の向上を図る予定である。

(連絡先: izumi-iwao@hro.or.jp)

# アップサイクルを推進するための製品開発ガイドライン

北海道内の SDGs に貢献するアップサイクル製品開発ガイドラインの開発（令和 5 年度）

ヒューマンテクノロジー部 ○大久保 京子

## 1. はじめに

持続可能な循環型社会の実現のためには、資源のリサイクルが不可欠である。リサイクルには、元の製品より品質が低下するカスケードリサイクル、元の製品を一度原料に戻し、同じ物を作る水平リサイクル、廃材に新たな付加価値を持たせて、元の製品より価値の高いものに生まれ変わらせるアップサイクルがある。リサイクルは、資源の回収、輸送、選別などのコストが大きく、カスケードリサイクルや水平リサイクルだけでは、技術的には可能であっても、経済性を理由にリサイクルが進みにくい。一方、アップサイクルは、デザインやアイデアの力で付加価値をつけ、経済的に価値の高い製品を生み出すため、リサイクルの推進に有効であり、道内でもアップサイクル製品の開発事例は増え、近年注目されている。

しかし、リサイクル活動の当事者である企業において、アップサイクル製品に求められる特有の要求事項が不明確なため、製品の魅力の低さが課題であった。そこで、本研究では消費者満足度に大きく貢献する感性価値に着目し、現在市場で受容されているアップサイクル製品を調査し、消費者が求める感性価値の解明を試みた。

## 2. 感性価値の抽出・分類

市場に定着している製品調査、ユーザへのインタビュー、既存製品の感性価値を探るワークショップを通して、消費者によって選択された既存アップサイクル製品に内在する感性価値を構成する語彙を抽出し、得られたデータについて KJ 法を適用し、分類、整理を行った。その結果、「審美性」「物語性」「希少性」「必然性」「持続性」の 5 つの感性価値に分類できた（表 1）。

表 1 アップサイクル製品の感性価値

	感性価値	
1	審美性	思わず使いたくなるような、美しさや意匠性の高い魅力的なデザインであること
2	物語性	あえて廃材の特徴や使用感を残したり、素材の由来や開発背景など、人に語りたくなるようなストーリーがあること
3	希少性	廃材の組み合わせ方などによって、色や形、模様などがすべて異なる一点物で、デザインが他とは被らない唯一無二な製品であること
4	必然性	廃材の特性を活かした製品機能を持ち、消費者が廃材を使っている意義を感じられること
5	持続性	簡単に廃棄されない機能性や壊れた際に回収・修理するシステムなどの仕組みがあり、消費者が製品をできるだけ長く使い続けられること

## 3. 消費者属性別の感性価値の解析

消費者属性（合理性および情緒性）による感性価値の受容の差異を明らかにするため、web アンケート調査を実施した。調査対象は 124 名（男性 72 名、女性 52 名、平均年齢 31.5 歳）であり、アップサイクル製品の感性価値と「価格」を因子として、アップサイクル製品プロファイルを作成し、購入希望順位を回答させるコンジョイント分析を実施した。被験者は、購買行動における価値観を評価する REC スケールを用いて、属性を分類した。その結果、合理性・情緒性のいずれの群においても「審美性」の重要度が高く、アップサイクル製品においても外観の魅力が受容の前提条件であることが示唆された。一方で、消費者タイプによる選好の相違も見られ、合理性タイプは「必然性」や「持続性」を、情緒性タイプは「希少性」をより重視する傾向が認められた（図 1）。

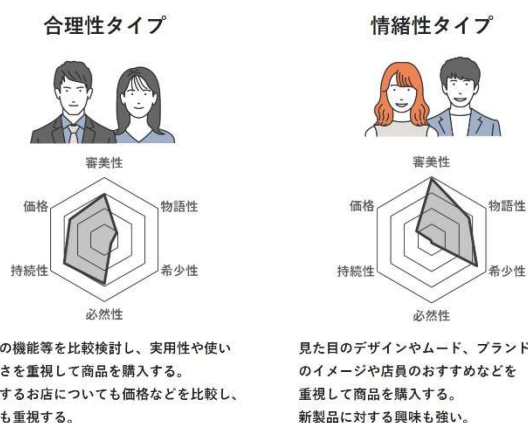


図 1 消費者属性別の感性価値（アップサイクル製品開発ガイドライン抜粋）

## 4. まとめ

本研究では、市場で支持されている既存のアップサイクル製品の選択要因を調査し、消費者が求める感性価値の構造を解明した。さらに、消費者タイプごとに重視される感性価値の特性が異なることを明らかにし、アップサイクル製品開発ガイドラインとしてまとめた。廃材をアップサイクルしたい企業の開発指針として普及を進めるとともに、今後も消費者に受容されるアップサイクル製品開発の体系化を図っていく。

（連絡先：ookubo-kyouko@hro.or.jp）

# 滑りにくい冬靴ソール形状の試作開発支援

技術指導（令和7年度）

ヒューマンテクノロジー部 ○印南 小冬

## 1. はじめに

北海道等の寒冷地では、冬期間の転倒防止のため、高い防滑性を持つ「冬靴」が広く普及している。その開発において、ソールの意匠ごとの防滑性能を実素材で検証するには、高額な金型製作が必要となり、開発初期段階で多数のデザイン案を比較検証することが困難であった。

今回、LCD式光造形3Dプリンタによる耐熱レジン製の簡易型と、空圧式射出成形機を用いて実素材に近い軟性素材を用いた射出成形品の早期試作を支援した事例について報告する。

## 2. 簡易型の設計と3Dプリント

本支援では、まず試作用簡易型の設計を行った。使用する空圧式射出成形機は小型機であり、一度に射出できる樹脂量に制限があるため、ソール全体ではなく、防滑性能の検証に必要な意匠の一部を試作対象とした。型の外形は金属製モールドベースに適合させ、キャビティの容積を成形機の射出量に合わせて最適化した。なお、検証対象となるソールの意匠データは支援先企業が作成し、当场ではこれに基づく型データの作成および設計支援を行った。

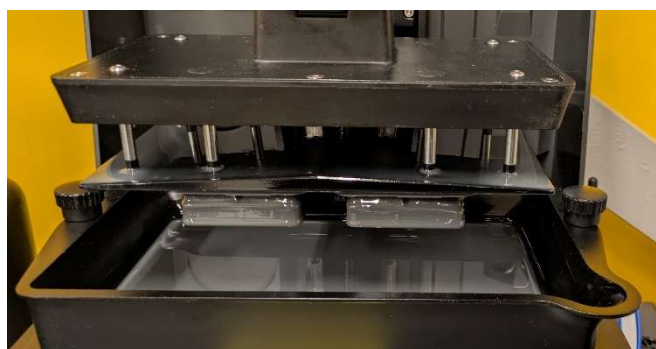


図1 ELEGOO社製 Saturn 4 Ultra

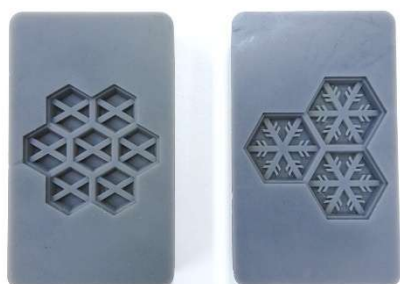


図2 造形した型の例

型の造形には、LCD式光造形3Dプリンタ（図1）を使用した。光造形方式は耐熱レジンを材料として使用でき、また複雑なパターンを高精度に再現できるという利点がある。（図2）上下型の造形時間は2時間程度であり、従来の金型製作と比較して短期間での型準備が可能であることを確認した。

## 3. 空圧式射出成形機による試作

造形した簡易型を用い、空圧式射出成形機による試作を実施した。材料には実際のソール製品に近い物性を持つTPEを選択した。今回2種類の硬さのペレット材を混合し、実製品に近い質感や硬度となる配合割合の検討を行った。

190°C耐熱のレジン成型材を採用したところ、連続で6ショット程度の成形を行うと型に割れが発生したが、十分な冷却時間を設けることで繰り返し使用が可能であることを確認した。

また、スパイクピンをインサート成形し、ピンの突出量を変化させた試験片を作成した。（図3）これにより、ピンの高さが防滑性に与える影響を開発初期に比較検証することが可能となった。



図3 インサート成形例

## 4. おわりに

本支援を通じて、9か月間で11件のソールデザイン案試作を行い、開発サイクルの高速化に寄与した。試作した成形品は耐滑性能試験に活用されており、3Dプリント簡易型と空圧式射出成形機を用いた試作手法は冬靴のソール開発の初期段階において有効な手法であることを確認した。

今後は、本手法を冬靴以外の製品開発にも展開するため多様な意匠や材料への対応を進め、道内企業の試作支援を強化していく。

（連絡先：innami-kofuyu@hro.or.jp）

# グリーン技術を用いた新規バイオリファイナリー

活性化した反応助剤と高温高圧水を用いたバイオマス変換技術の開発（令和7年度）

新技術創生研究推進室 ○小川 雄太、森 武士、松嶋 景一郎

## 1. はじめに

近年、世界的に炭素循環型社会を目指す動きが活発化しており、化石資源由来のプラスチックからバイオマスプラスチックへの代替、つまりバイオリファイナリーへの転換が推進されている。そのようななか、我々は世界最大の賦存量を有するバイオマスである「木質バイオマス」を低環境負荷かつ効率的にプラスチック原料に変換できる化学プロセスの確立を目指して研究を進めてきた。木質バイオマスからプラスチック原料を製造する場合、木質バイオマスに含まれる多糖類を低分子化する工程（①）と低分子化した糖をプラスチック原料に変換する工程（②）が必要となる。我々はそれぞれの工程に対し、以下の技術を検討してきた。

①溶媒を必要とせず「粉碎」により反応を促進させるメカノケミカル処理

②反応溶媒に安全な水を用いた高温高圧水処理

これまではそれぞれの工程で異なる触媒を用いて反応の促進を図っており、工程間での分離精製が必要であった。本研究では、工程①で触媒として用いた無機資源を工程②の触媒にも使用することで、途中の精製を必要としないプロセスの構築を検討した（図1）。

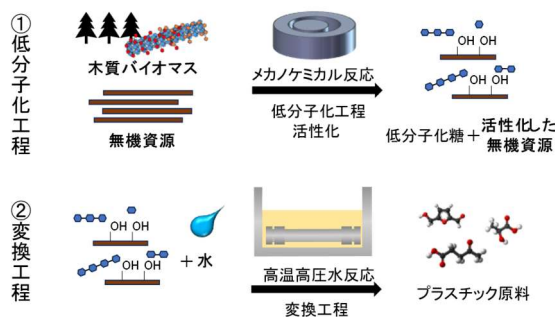


図1 本課題の概要

## 2. 無機資源の粉碎による活性化

初めに、メカノケミカル処理で粉碎される無機資源が高温高圧水処理に与える影響を確認した（図1、②）。可溶性糖のモデル化合物であるマルトースと粉碎処理した無機資源を加え、高温高圧水処理を行った。その結果、粉碎の有無で生成するプラスチック原料の種類（ヒドロキシメチルフルフラール：HMF や乳酸）と、生成量に影響を与えることがわかった（図2）。これは無機資源が粉碎され構造内部の水酸基や金属が露出することで、無機資源の触媒としての活性が変化したためと考えられた。

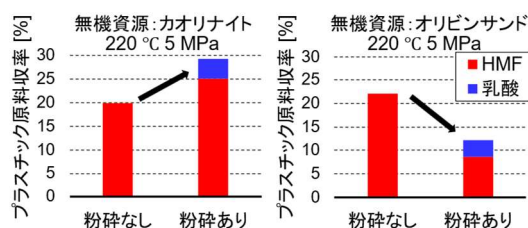


図2 無機資源の粉碎による影響

## 3. 無機資源の組成とプラスチック原料収率

次に、メカノケミカル処理を経た木質バイオマス「しらかば」と無機資源の混合粉末を原料に、高温高圧水処理を行い、プラスチック原料の収率と無機資源の組成との関連について評価した（図1、①+②）。

その結果、Mg、Ca、Naを含む無機資源は含有量の増加に伴いHMF収率の低下が見られた。しかし、乳酸の収率は触媒なしの条件と同等以上であった。このことからMg、Ca、NaはHMFの生成を抑制し、プラスチック原料全体の収率低下を招くが、乳酸の選択性を向上させることがわかった（図3）。

一方、Mg、Ca、Naを含まない無機資源は、Al含有率の増加に伴いHMFおよび乳酸ともに収率が向上した。最もAl含有率の高いカオリナイトを触媒に用いた場合、触媒なしの場合の1.5倍以上である50.2%の収率で、プラスチック原料に変換できた。（図3右）。

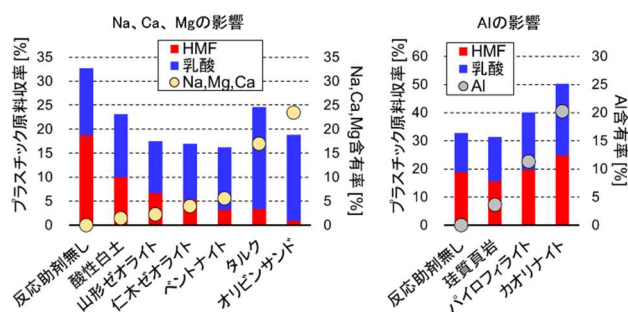


図3 無機資源の組成と収率の関係

## 4. おわりに

今回の検討でメカノケミカル処理と高温高圧水処理の両工程に適用可能な触媒の条件を明らかにした。乳酸の選択性向上にはMg、Ca、Naを含む無機資源が有効であり、プラスチック原料全体の収率向上には、Mg、Ca、Naを含まず、Al含有率の高い資源を用いるのが有利であることを見出した。今後得られた条件をもとに、高効率で変換可能なプロセスの構築を目指す。

（連絡先：ogawa-yuta@hro.or.jp）

# 農産物の鮮度保持のための新規エチレン分解触媒の開発

北海道農産物の物流を補強する低温酸化触媒の開発とそれを用いた鮮度保持システムの構築  
(令和6～8年度)

新技術創生研究推進室 ○森 武士、小川 雄太、松嶋 景一郎  
北海道大学、北方建築総合研究所

## 1. はじめに

北海道産の野菜・花卉は、低温物流網により道外に出荷されているが、働き方改革関連法の施行によるトラック運転手の労働時間の上限規制に伴って輸送能力が減少し、膨大な損失が発生すると試算されている。その解決策として、これまで別々に輸送していた農産物の混載が検討されているが、従来の物流では起こりえなかった腐敗等の品質低下が顕在化してきた。その原因は農産物自身から発生し、熟成を促すエチレンにあること、つまり、エチレン感受性の異なる農産物の混載が要因であることがわかってきた。

近年、このエチレンを低温で酸化分解し除去することで青果物の鮮度を保持するエチレン分解触媒が注目されている(図1)。熱源や光源が不要であり導入が容易であるといった長所から、すでに道内企業が保有する農産物の貯蔵庫で実装されている。

本研究では、この触媒をトラックコンテナに導入することで、農産物の混載を可能とする鮮度保持システムを構築することを目的としている。その実現に向けて現地調査を行ったところ、実装には触媒の低コスト化が課題であることが判明したため、まずは安価に製造できる新触媒の開発を行った。



図1 触媒を用いたエチレン除去による鮮度保持技術

## 2. 新規エチレン分解触媒の開発

従来のエチレン分解触媒には高価な白金が含まれているが、同様に高価であるメソポーラスシリカも含まれており、後者が主成分である。そのため、このメソポーラスシリカを安価な素材で代替することが触媒の低コスト化に有効であると考えた。当场では、メソポーラスシリカと同様に主成分が二酸化ケイ素でナノメートルサイズの微細な孔をもつ安価な天然鉱物である稚内層珪質頁岩に注目し、これを原料とした安価なエ

チレン分解触媒(新触媒)の開発に取り組んできた(図2左)。

これまでの検討では、少量の触媒製造に適した含浸法で触媒の試作を行ってきた。一方、本研究ではスケールアップが比較的容易であるインシピエントウェットネス法(IW法)による触媒製造を行った。その結果、IW法で製造した触媒は含浸法で製造したものよりも高いエチレン分解性能を有することが判明した(図2右)。さらに、キュウリやトマト等の農産物を用いた貯蔵試験において、この触媒を用いることで農産物から発生するエチレンを除去でき、それにより品質低下が抑制できることも確認できた。以上より、安価でありながら高性能なエチレン分解触媒を製造することができ、物流分野に適用できる見通しを得た。この触媒のトラックコンテナへの導入に向け、触媒の設置量や配置箇所等の使用条件を決定するための検討も実施しており、コンテナ内の空調設備の現地調査や、コンテナ内の温湿度およびエチレン濃度分布を把握するためのシミュレーション技術の開発を行っている。

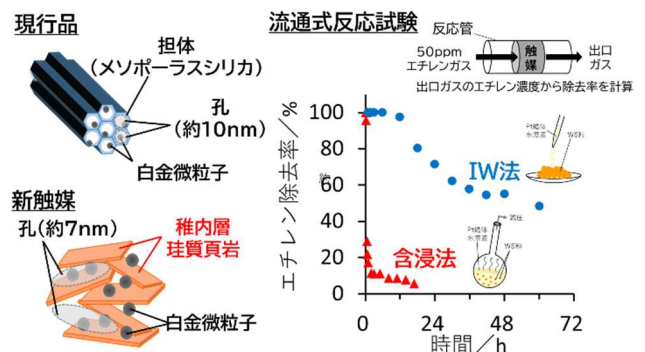


図2 (左) 従来のエチレン分解触媒と新触媒の比較、  
(右) 従来法とIW法で調製した新触媒の性能比較

## 3. おわりに

道産天然鉱物である稚内層珪質頁岩を用いた安価なエチレン分解触媒を開発した。本触媒を活用した鮮度保持技術は輸送のみならずサプライチェーンの様々な場面で活用できる可能性があることから、関連企業に対して本技術の普及を進めることで、道産農産物の廃棄ロス削減に貢献したい。

(連絡先: mori-takeshi@hro.or.jp)

# お米からつくったプラスチックの複合化検討

お米からつくったプラスチックの複合化検討（令和7年度）

材料技術部 瀬野 修一郎、可児 浩  
本部研究推進部 ○土田 晋士

## 1. はじめに

持続可能な社会実現のため、プラスチック産業においても枯渇や地政学上の調達性に常に懸念のある石油資源の使用量を削減し、構成成分中の再生可能なバイオマス資源の比率（バイオマス度）を高めることは重要な方策の一つである。そこで、(株)ライスレジンが近年上市した RiceResin<sup>®</sup> に着目した。RiceResin<sup>®</sup> はお米を主原料とするため、石油資源の消費により製造されるプラスチックとの対比ではその使用量削減に貢献できる上、米作段階における二酸化炭素の吸収がカーボンニュートラルにも寄与できる観点から注目されている。

本発表では、道内でも生産できるお米を原料に使用する RiceResin<sup>®</sup> に対して道内で入手可能なバイオマス資源を添加し、バイオマス度が高く、かつ、道内のリソースを多く投入できる新しい複合材料の作製並びにその材料特性について報告する。

## 2. 溶融混練での複合材料の作製

RiceResin<sup>®</sup> (R50E-4 (バイオマス度 50 %)、(株)ライスレジン) に添加するバイオマス資源として、ホタテガイ貝殻、ズワイガニ殻およびトドマツを選定した。ホタテガイ貝殻は市販の粉末製品（日本理化学工業(株)）を使用、ズワイガニ殻並びにトドマツに対してはそれぞれ前処理操作を施して取り出したズワイガニ由来キチン及びトドマツ由来パルプを添加した。

RiceResin<sup>®</sup> との複合化はバッチ式混練機（プラストグラフ ECplus、Brabender 社）を用い、バイオマス資源の添加量が 10、20 wt% となるようにそれぞれ溶融混練した。

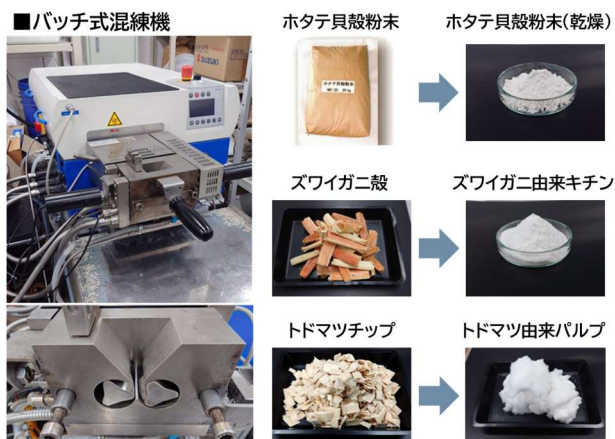


図 1 溶融混練での複合材料の作製

また、RiceResin<sup>®</sup> に代わり汎用プラスチックの一つである低密度ポリエチレン (LDPE) を用い、同様にして複合化を行い、RiceResin<sup>®</sup> 系複合材料との物性を比較した。

## 3. 複合材料の機械特性評価

作製した複合材料の引張特性評価の結果を図 2 に示す。LDPE 系複合材料 (図 2、点線) ではいずれも添加量の増大に伴い引張弾性率が向上した一方、添加した原料の樹脂中での分散不良が主要因と推測される引張応力の低下が観測された。

RiceResin<sup>®</sup> 系複合材料 (図 2、実線) において、ホタテ貝殻粉末及びズワイガニ由来キチンを用いた場合は同様の傾向を示したが、トドマツ由来パルプを添加した複合材料では、唯一、引張応力の向上が観測され、トドマツ由来パルプは RiceResin<sup>®</sup> に対する分散性並びに相溶性が最も良好であるとの結論を得た。

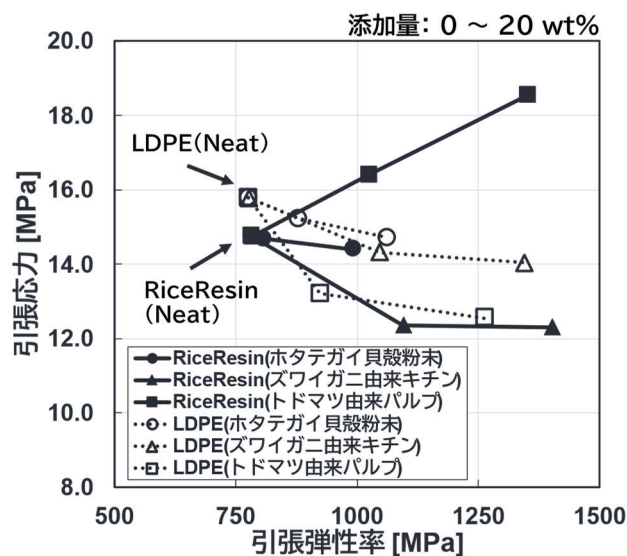


図 2 複合材料の引張特性

## 4. おわりに

バイオマス度 50 % の RiceResin<sup>®</sup> を利用し、最大 60 % までバイオマス度を高め、道内のリソースを多く投入できる新しい複合材料を作製した。機械特性評価の結果、LDPE 系複合材料では発現しない引張特性を有することが示された。持続可能な社会を実現すべく、本複合材料のさらなる改良を進めるとともに、本研究で獲得した知見や技術の普及に努めていく。

(連絡先：tsuchida-shinji@hro.or.jp)

# プロセスインフォマティクスによる化学プロセスの設計

プロセスインフォマティクス技術による化学プロセスの設計（令和6～7年度）

材料技術部 ○吉田 誠一郎、近藤 永樹、執行 達弘

## 1. はじめに

近年、AI やシミュレーション技術の発展に伴い、データ駆動型のアプローチで、材料製造プロセスや化学プロセスを設計する、プロセスインフォマティクス (PI) が注目されている。設計因子が複雑で、最適化に膨大な試行錯誤が必要な各種プロセスの設計に、統計や機械学習などの手法を適用し、設計期間の短縮と高効率化の両立を目指す技術である。PI 技術の導入は、リソースが限られている中小企業において有効であると考えられるが、ケーススタディが少なく、その適用範囲は未知である。そこで本研究では、PI 技術の一つである適応的実験計画法<sup>2)</sup>を用いた、天然資源の分離・反応プロセスの最適化を検証する。

## 2. 適応的実験計画法とは

適応的実験計画法のイメージを図1に示す。本手法は実験計画法の一種であるが、得られた実験結果をもとに機械学習モデルの更新を繰り返すことで、目標の達成を目指す点に特徴がある。本手法では、はじめに統計的な手法などを用いて初期の実験点を選んで実際に実験を実施し、初期データセットを取得する。続いて、このデータセットを用いて機械学習モデルを構築し、目標を超える可能性のある実験条件を提案させ、その条件にもとづいて実験を実施する。実験結果が予想から外れている場合は、その実験結果を盛り込んで機械学習モデルを更新し、再び予測、実験を行う。このサイクルを繰り返すことで、最適な実験条件を探索する。

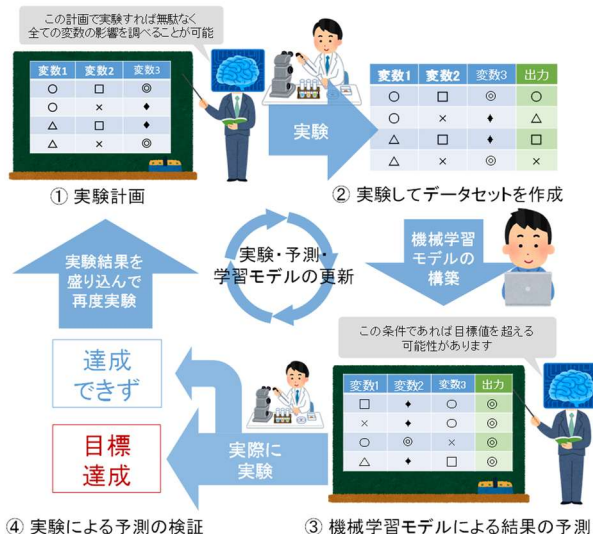


図1 適応的実験計画法のイメージ

## 3. 天然資源に含まれる有用物質の抽出

分離プロセスのうち、抽出への適用事例を紹介する。農林水産資源やその残渣から、健康食品などに利用可能な有用物質を抽出する際には、溶媒を用いた抽出プロセスが用いられる。そのプロセス開発においても、溶媒の候補が膨大で、最適な抽出条件が溶媒ごとに異なることから、最適化が必要である。そこで、適応的実験計画法を用いて、ニンジンに含まれる抗酸化性物質のβ-カロテンを効率的に抽出可能な、混合溶媒の組成と条件を探索した。その結果、30回弱の実験で、効率的にβ-カロテンを抽出でき、かつ溶媒コストを数十%削減できる可能性のある条件を見出した。(図2)

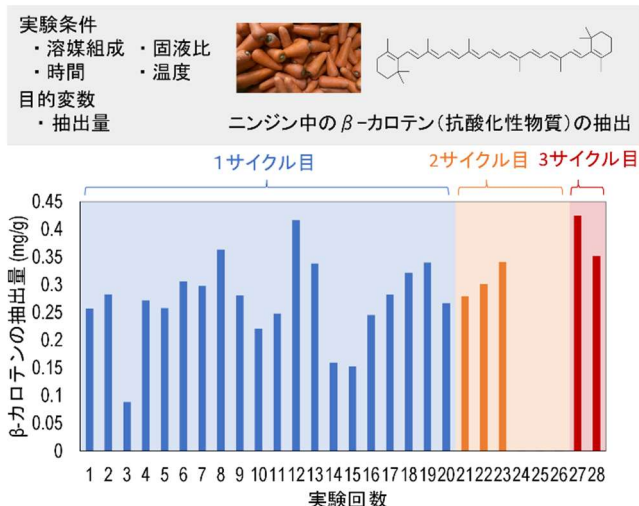


図2 ニンジンからのβ-カロテンの抽出条件の最適化

## 4. おわりに

適応的実験計画法による、化学プロセスの最適化を検証した。紙面の都合で割愛したが、他の様々な化学プロセスも数十回程度の実験で、おおよそ最適化が可能であることを確認している。よって、本技術の中小企業への展開が期待できるため、普及に努める。なお、当日はPIを活用する上での留意点なども紹介する。

## 参考文献

- 1) 坂口和優: 適応的実験計画法によるマテリアルズ・インフォマティクス、アイシン技報、vol.29、pp.65-68、(2025)
  - 2) 金子弘昌: Pythonで学ぶ実験計画法入門 ベイズ最適化によるデータ解析、講談社、pp.13-19、(2023)
- (連絡先: yoshida-seiichiro@hro.or.jp)

# 金属製品の強度試験に関する研修の実施報告

講習会・研修会（令和7年度）

材料技術部 ○中嶋 快雄、櫻庭 洋平  
ものづくり支援センター 高木 友史、中西 洋介

## 1. はじめに

工業試験場における金属技術の歴史は古く、昭和12年に金属工業部が設置されてから88年にわたり、金属に関わる技術開発を進めてきた。その結果、多くの基盤的技術を保有するに至り、企業支援に活用している。これらの技術のうち「万能材料試験機を用いた金属製品の強度試験」については、近年、成果発表会等において試験実施の要点りを公表し、企業等への普及に努めている。

令和7年度、札幌鉄工団地協同組合から、金属に関する基盤的技術を有する人材を育成したいとの要望が寄せられた。そこで「金属製品の強度試験」技術を選定し、企業等の技術者向けの研修を企画し、会場において開催した。

## 2. 実施内容

本研修は、座学および実習により構成した。座学では、過去に発行した「技術支援成果事例集<sup>2)</sup>」などから引用して事例を紹介し、実製品を対象とする試験に特有となる技術的要点を解説するとともに、実施検討時の留意点についても説明した（図1）。実習では、ひずみゲージの貼付け作業（図2）を行った後、部品を模擬した試験体に荷重を加えて破断挙動を確認する破壊試験を実施した（図3）。



図1 座学の様子



図2 実習（ひずみゲージの貼付け作業）



図3 実習風景

## 3. 実施結果

当初想定より多数の受講申し込みがあったため、令和7年12月17日および令和8年1月21日の2回、実施した。受講者数は、企業技術者および地域公設試験研究機関（公設試）職員の合計23名であった。

実施後アンケートでは、多くの参加者からわかりやすかったとの回答があり、受講後、企業等で活用される可能性が伺えた。また、実習における金属の破壊を間近に見るという体験も好評であった。

## 4. おわりに

「強度試験」は、製品の良否を明解に示せる技術である。会場や公設試等にある万能材料試験機を利用し、企業の製品開発等に活用されると幸いである。

強度試験などの基盤的技術には明確な流行が存在しないことから、習得の機会を逃しやすい傾向にある。しかし、ものづくり全般に不可欠な技術であるため、今後も継続して、習得機会の提供に取組みたい。

## 謝 辞

本研修会の実施にあたって、札幌鉄工団地協同組合 常務理事 新津健次氏のご協力をいただきました。また、使用した万能材料試験機は、競輪（公益財団法人JKA）の補助事業により整備されました。ここに謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 技術移転フォーラム2025 工業試験場成果発表会プログラム・発表要旨
- 2) 工業試験場技術支援成果事例集2023・2022・2021

（連絡先：nakajima-yoshio@hro.or.jp）

# レーザー熱処理による銅合金積層造形品の時効処理

レーザー熱処理による銅合金積層造形品の硬さ制御（令和5～6年度）

材料技術部 ○櫻庭 洋平  
釧路工業高等専門学校

## 1. はじめに

宇宙ビジネスが急速に発展する中、小型ロケットの商用化には打上げコストの削減が不可欠であり、そのためには開発費の多くを占めるエンジン部品の耐久性向上により繰返し使用を実現することが重要となる。3,000°C以上の燃焼ガスに晒されるエンジンノズルは、ノズル内部の流路に大量の冷却材を流して冷却するため、流路と内表面の温度勾配によりスロート部に熱応力が集中し割れの要因となる（図1）。このため、エンジンノズルを繰返し使用するためにはスロート部の強化が必要となる。そこで、内表面のスロート部のみをレーザー熱処理し、材料のCu-Cr-Zr系銅合金の局所的な時効硬化を試みた。

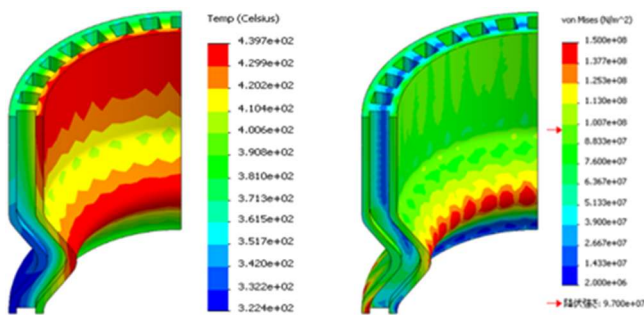


図1 エンジンノズル内面の温度分布（左）  
および熱応力分布（右）

## 2. Cu-Cr-Zr系銅合金の時効硬化特性の評価

時効硬化の生じるレーザー熱処理条件を探るため、銅合金試験片に電気炉で異なる温度や時間の時効処理を加え、硬さの変化を比較した。その結果、800°Cでは0.25h加熱が最も硬化した。また、400°Cと600°Cは1h加熱の硬さが最大かつほぼ同等となったため、中間の500°C・1hをレーザー熱処理条件とした。（図2）

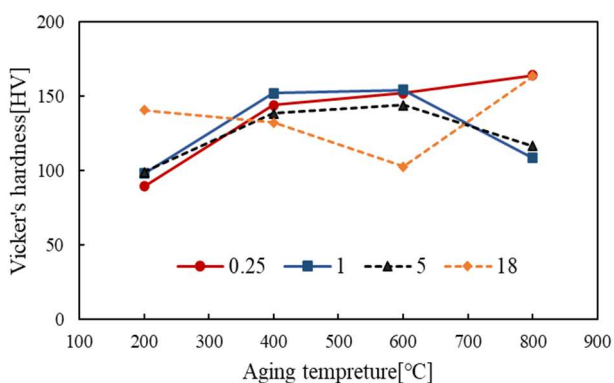


図2 時効処理条件の異なる銅合金の硬さ比較

## 3. エンジンノズル模擬部品のレーザー熱処理

レーザー熱処理実験のため、サイズを縮小したエンジンノズルの半割模擬部品を積層造形により作製した。この模擬部品を1,000°C・40minで溶体化処理し、10日間常温時効したものを実験に使用した。また、スロート部の周方向にレーザーを照射するため、ステッピングモータ駆動の回転テーブルを作製した。（図3）



図3 エンジンノズルの半割模擬部品（左）  
およびレーザー熱処理実験の状況（右）

これらを使用し800°C・0.25hと500°C・1hの2条件でスロート部をレーザー熱処理した。レーザー出力は放射温度センサで照射点の温度を検出しフィードバック制御した。回転テーブルは周速度20mm/sで±10mmの範囲を往復動作させた。硬さ測定の結果、2条件とも約10HRF硬化し、溶体化処理前の硬さには達しなかったものの時効硬化が確認された。（図4）

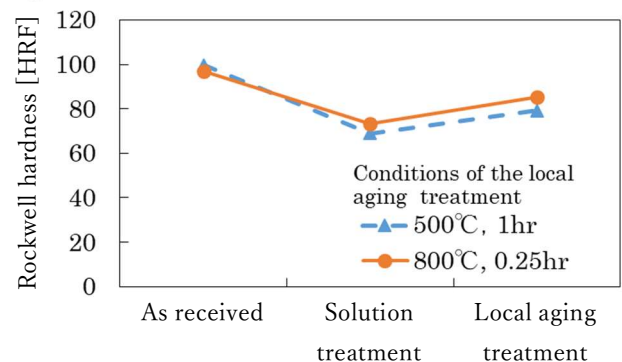


図4 レーザー熱処理による硬さの変化

## 4. おわりに

レーザー局所熱処理により局所的な時効硬化が確認され、銅合金製エンジンノズル再使用の可能性が示された。（連絡先：sakuraba-yohei@hro.or.jp）

**KO-SHI FORUM 2026 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 011-747-2348 (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/industrial/research/iri/index.html>



