



道総研

技術移転フォーラム 2025

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

ー 工業試験場成果発表会 ー

プログラム・発表要旨

■ とき 令和 7 年 6 月 3 日（火） 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

	白鳥の間	孔雀の間	丹頂の間
13:00	オープニング・開会挨拶（孔雀の間は音声のみ）		12:00-17:00
13:15-14:30	産業システム部 自動化・作業負担軽減 見守りセンサ	開発推進部 3Dモデリング・UXデザイン 新技術創生研究推進室 バイオリファイナリー	展示コーナー ポスターセッション
14:30-14:45	休憩		
14:45-16:00	産業システム部 AI・シミュレーション・ロボット	材料技術部 水工連携・材料設計・金属加工	
16:00	閉会挨拶		

分野別発表プログラム

産業システム部：白鳥の間 13:15～16:00

番号	時間	発表課題	発表者	ページ
メイン	13:15～13:45	農産物を対象とした目視品質検査の自動化技術の開発【展示】	飯島 俊匡	6～7
1	13:45～14:00	カボチャ収穫作業を軽労力化する軸切りはさみの開発【展示】	浦池 隆文	8
2	14:00～14:15	人参内部の木質化判別装置の開発【展示】	川島 圭太	9
3	14:15～14:30	宅内に設置したセンサによる一人暮らし高齢者の見守り【展示】	栗野 晃希	10
4	14:45～15:00	エッジデバイス向け異常検知AIモデルの開発	本間 稔規	11
5	15:00～15:15	画像認識における説明可能なAIに関する研究	全 慶樹	12
6	15:15～15:30	でん粉原料受入時の異物検出技術の開発	全 慶樹	13
7	15:30～15:45	植物シミュレーションモデルの自動生成手法の開発【展示】	伊藤 壮生	14
8	15:45～16:00	軸間可変機構を有する多品種対応型高速把持ハンドの開発【展示】	川島 圭太	15

開発推進部：孔雀の間 13:15～14:00

番号	時間	発表課題	発表者	ページ
メイン	13:15～13:45	馬の症状に合わせた3Dプリント蹄鉄の設計支援【展示】	印南 小冬	16～17
1	13:45～14:00	ユーザー体験をカタチにするUXプロトタイピング【展示】	高木 友史	18

新技術創生研究推進室：孔雀の間 14:00～14:30

番号	時間	発表課題	発表者	ページ
1	14:00～14:30	バイオマスから有価物を製造する新規グリーンプロセス	森 武士	19～20

材料技術部：孔雀の間 14:45～16:00

番号	時間	発表課題	発表者	ページ
1	14:45～15:00	水中保形性に優れたウニ養殖用配合飼料の開発	瀬野 修一郎	21
2	15:00～15:15	高温高圧水によるグルタミン酸からの有用物質の合成【展示】	近藤 永樹	22
3	15:15～15:30	溶接補修後の金型鋼を強化するレーザー熱処理組織の解析【展示】	櫻庭 洋平	23
4	15:30～15:45	摩擦熱を利用した鋳鉄部材の複合化【展示】	植竹 亮太	24
5	15:45～16:00	万能材料試験機による金属製品の強度試験事例	中嶋 快雄	25

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	複数センサ統合による調理中の状態変化認識	宮島 沙織	28
2	製糖工場の省人化を目指したてん菜自動切断・整列装置	吉田 道拓	29
3	てん菜受渡業務の遠隔モニタリングシステムの開発	岡崎 伸哉	30
4	乳牛の低Ca血症予測システムの開発	泉 巖	31

材料技術部

番号	発表課題	発表者	ページ
1	プラスチックの紫外線劣化と粘弾特性への影響評価	細川 真明	32
2	屋外暴露によるPP/CNF複合材料の耐候性試験	土田 晋士	33
3	樹脂被覆肥料の代替を目指した無機系徐放性肥料の開発	執行 達弘	34
4	環境調和型プロセスによる天然由来物質の高機能化【展示】	吉田 誠一郎	35
5	ハイ・エントロピー合金の粉末焼結に関する研究	中嶋 快雄	36
6	耐摩耗バルブ部品補修の最適化に関する研究	宮腰 康樹	37

開発推進部

番号	発表課題	発表者	ページ
1	3DCGによるパッケージデザイン開発	安田 星季	38

新技術創生研究推進室

番号	発表課題	発表者	ページ
1	高温高圧水を用いた糖質バイオマスのモデル反応	小川 雄太	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>農産物を対象とした目視品質検査の自動化技術の開発 【発表】</p> <p>北海道産農林産物の収穫作業省力化に関する基盤技術の開発 【発表】</p> <p>食品の非破壊内部検査技術の開発 【発表】</p> <p>宅内に設置したセンサによる一人暮らし高齢者の見守り 【発表】</p> <p>植物シミュレーションモデルの自動生成手法の開発 【発表】</p> <p>指間距離を可変とするモーターレス型高速把持ハンドの開発 【発表】</p> <p>除草ロボット</p> <p>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</p> <p>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</p> <p>生体情報を用いた身体負担評価技術</p> <p>GPU サーバー設備の紹介</p>
開発推進部	<p>人間中心設計のための UX プロトotypingに関する研究 【発表】</p> <p>馬の症状に合わせた 3D プリント蹄鉄の設計支援 【発表】</p> <p>CT 検査装置腕置き台の開発</p> <p>ブックスタンドのパッケージ開発</p> <p>光造形システムによる製品試作</p> <p>「つくりながら考えるデザイン」講座</p>
材料技術部	<p>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</p> <p>炭素繊維強化熱可塑性プラスチックを用いた装具の製造方法に関する研究</p> <p>ホタテガイ貝殻粉末を活用したプラスチック複合材料</p> <p>高温高圧水によるグルタミン酸からの有用物質の合成 【ポスター】</p> <p>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 【発表】</p> <p>金型鋼の溶接部に対するレーザー熱処理組織の解析 【発表】</p> <p>摩擦熱を利用した鋳鉄部材の複合化 【発表】</p> <p>レーザーエッチングによるセラミックスめっき</p> <p>金属 AM と材料・構造による高機能化技術シーズ</p>
連携	道内 4 高専研究紹介コーナー

● 分野別発表要旨

研究職員所属は令和6年4月1日現在

農産物を対象とした目視品質検査の自動化技術の開発

農産物を対象とした目視品質検査の自動化技術の開発・実用化（令和4～6年度）

産業システム部 ○飯島 俊匡、浦池 隆文、岡崎 伸哉、藤澤 怜央、本間 稔規
企画調整部 近藤 正一

1. はじめに

食品製造業は、北海道の製造業の約3割を担う基幹産業であるが、一次加工の割合が高く、その原材料となる農水産物は大きさや形が一様ではないことから、受入検査の多くは作業員の目視と手作業に依存している。そのため食品製造工場は労働集約的な雇用形態であることが多く、近年の働き手不足の影響を大きく受けており、生産性の向上が望まれている。

そこで本研究では、受入検査工程の省人化を目的として、農産物を対象とした自動品質検査手法を開発し、目視検査工程の自動化を実現した。さらに、食品製造工場の省力化を目的として、生産管理情報を自動モニタリングする装置を開発し、IoT（Internet of Things）を用いて生産管理情報の共有化を実現したので報告する。

2. ブロッコリーの自動品質検査手法の開発

ブロッコリーの品質検査工程の自動化では、可食部の花蕾を上に向けてコンベアに整列したブロッコリーを4方向から撮影し、AI画像解析により等級（秀／優／規格外）と階級（大きさM／L／2L）を分類する手法を開発した。本手法を搭載した自動選別装置（図1）を試作し性能評価試験を行った結果、等級の正解率は秀95.4%、優55.7%、規格外83.3%となり、秀・優を規格外に間違えるケースはなかった。また、階級の正解率はサイズM87.5%、L80.0%、2L87.5%となり、等階級判別の性能が目視検査と同程度の水準であることを確認した。

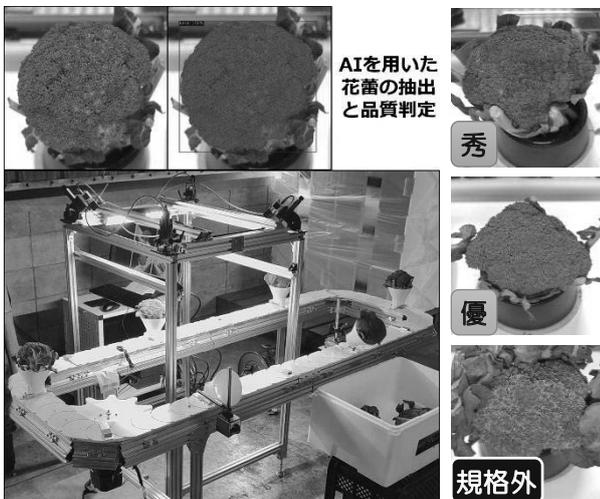


図1 試作したブロッコリーの自動選別装置

3. 馬鈴しょの自動品質検査と不良品教示手法の開発

馬鈴しょの品質検査工程の自動化では、駆動ローラーコンベアで回転しながら搬送される馬鈴しょを上から撮影し、AI画像解析を用いて馬鈴しょを抽出するとともに表面欠陥（傷、変色、異形など）を検出する手法を開発した（図2）。さらに検出した不良品をプロジェクションマッピングで教示する装置（図3）を試作するなど、目視検査を自動化し手作業への集中化を可能とした。

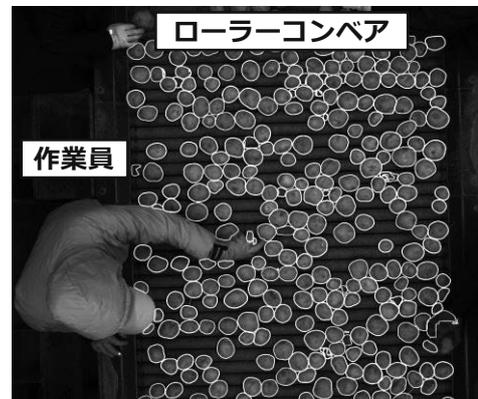


図2 馬鈴しょの抽出と欠陥検出

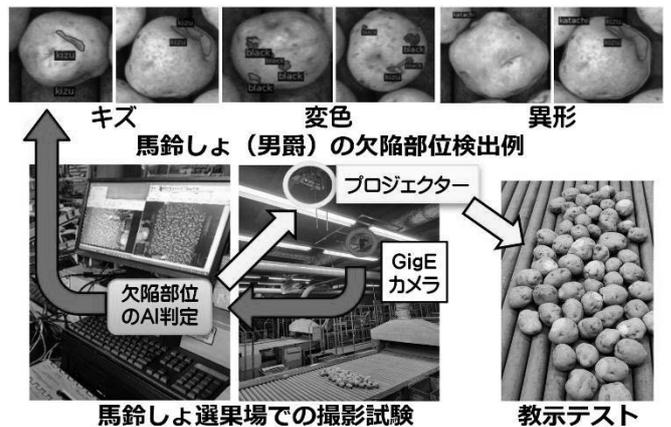


図3 馬鈴しょ不良品の教示装置

4. てん菜の自動品質検査手法の開発

屋外で行われるてん菜受入査定を対象とし、AI画像解析を用いた計数と形状計測、異物検出手法を開発した。屋外では受入の時間帯により撮影画像の明るさなどが変動するが、てん菜の抽出が可能であることを確認した（図4）。さらに、これまでに開発した屋内で撮影したてん菜を対象としたAI画像解析技術（図5）を活

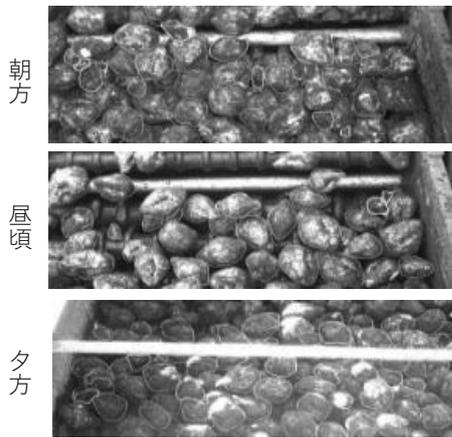


図4 屋外受入におけるてん菜の抽出結果

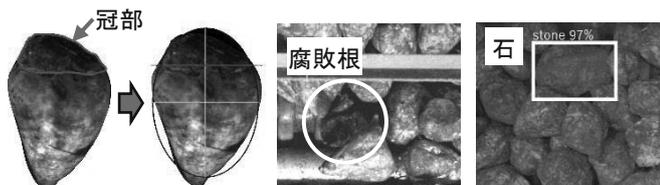


図5 冠部の推定と夾雑物の検出例

用することで、屋外においてもてん菜の形状から冠部（糖度が低い部分）割合の推定や、夾雑物（腐敗したてん菜および土石）の重量推定が可能となった。

5. 生産管理情報の自動モニタリング装置の開発

製糖工場のてん菜受入査定で行われている運搬車両の識別番号の目視確認と手書きによる帳票記入作業について、OCR画像解析により運搬車両の識別番号を自動的に取得し、前節の自動品質検査手法で推定した夾雑物の重量などの生産管理情報を電子化する手法を開発した。また、得られた生産管理情報について、受入査定時のてん菜映像や音声とともにインターネット経由で監視可能とする自動モニタリング装置（図6）を開発した結果、遠隔地から受入検査に立ち会うことが可能となった。てん菜生産者が農協事務所などの最寄りの拠点で受入査定に立ち会うことが可能となり、受入査定現場まで移動する所用時間の44%削減が見込まれる。

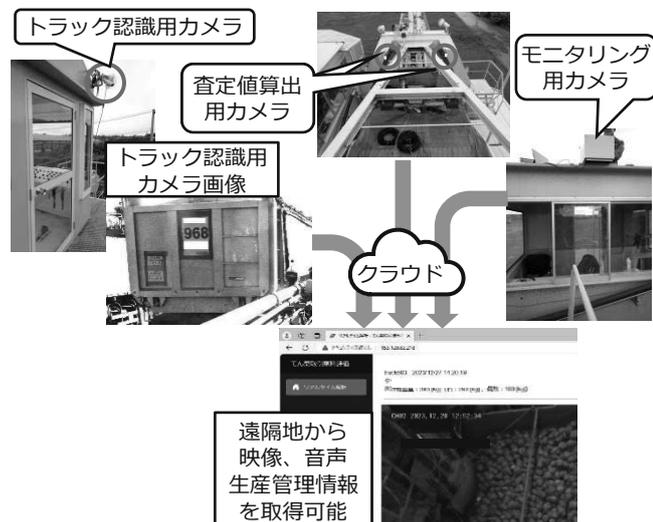


図6 生産管理情報の自動モニタリング装置

6. 選果場などにおける生産性向上の実証試験

道内選果場でブロッコリー自動選別装置の実証試験を行った結果、1個あたり約3秒の処理速度で選別可能であることを確認した。その選果場では選別加工工程に60名が従事しており、ブロッコリーの品質検査と同時に茎葉の除去処理を行っている。開発した自動品質検査手法を別事業で開発を進めているブロッコリー茎葉除去装置に組み込んだ場合の試算では、60名から24名と60%の人員削減を見込んでいる。

また、道内の馬鈴しょ選果場にプロジェクションマッピングを用いた選別補助システム（図3）を設置して実証試験を行った結果、1ラインあたりの作業人員を6名から4名と33%削減できる見通しを得た。

さらに、てん菜受入検査工程において開発した自動モニタリング装置の実証試験を行った結果、従来1ラインごとに1名の生産者が自身の農場等の遠隔地から来場して受入検査に立ち会っていたが、遠隔地から1名で複数ラインの査定に立ち会っても受入検査に問題がないことを確認した。この場合、50%以上の工数削減が可能となる。本開発により見込まれる農産物ごとの人員および工数の削減効果を表1に示す。

表1 農産物ごとの人員・工数削減効果

農産物	効果	削減内容
ブロッコリー	人員 60%減	選果場全体 60人→24人に削減
馬鈴しょ	人員 33%減	選果作業1ラインあたり 6人→4人に削減
てん菜	工数 50% 以上減	立会作業について ・移動時間：44%削減 ・1人で複数ライン立会

7. おわりに

本研究では、ブロッコリー、馬鈴しょ、てん菜を対象として、農産物の自動品質検査手法と自動モニタリング装置を開発し、実証試験を行った。その結果、ブロッコリーと馬鈴しょ選果場における作業人員を3割以上、製糖工場の受入査定立ち会い業務に係る工数を5割以上削減できる見通しを得た。しかし、実用化にあたっては農作物の生産年ごとのバラツキに対する自動品質検査手法の適応性検証などが必要である。

今後は、本研究成果をものづくり企業に技術移転することで道内食品製造業の省力化・省人化を実現する。特にブロッコリーについては、自動選別加工システムの実用化に向けて既に民間企業と共同研究を開始しており、早期の実用化を目指している。

(連絡先：ijjima-toshimasa@hro.or.jp)

カボチャ収穫作業を軽労力化する軸切りはさみの開発

道産農林産物の収穫作業省力化に関する基盤技術の開発（令和2～6年度）

産業システム部 ○浦池 隆文、伊藤 壮生、泉 巖
 技術支援部 今岡 広一
 十勝農業試験場、上川農業試験場、浅香工業(株)

1. はじめに

本道における令和4年のカボチャ生産量は約88,000トン、作付面積は約6,810ヘクタールとともに全国一位であり、全国の約半分を生産している。しかし平成24年以降は高齢化の進行や担い手不足の影響で、生産量・作付面積が右肩下りの傾向となっている(図1)。カボチャ栽培はほとんど機械化が進んでおらず、特に収穫作業においては重い果実を拾い上げて硬い軸を切断する必要があり、相当な重労働となっている。そこで本研究では、カボチャの収穫作業を効率化・軽労力化することで生産を維持・拡大することを目的として、新たな軸切りはさみの開発を行った。

2. カボチャ軸切りはさみの検討

カボチャの収穫では一般的に専用のはさみが使用されている。しかし、軸の切断には大きな力が必要であり、長時間の使用における疲労蓄積の要因となっている。専用のはさみと比較して、より軽い力で軸切断が可能なはさみを検討するため、市販されている様々な刃物を用いて軸切り作業への適用性の比較を行った。農家への聞き取りの結果、樹脂パイプの切断に用いられる刃物(樹脂カッタ)が使いやすさ・安全性の点で評価が高く(図2左)、切断力と切断時間を測定したところ、専用はさみと比較して1/2以下であった(図2右上)。しかし、軸の切り残しが長くなり、農協への出荷基準を満たせないことが課題としてあげられた。

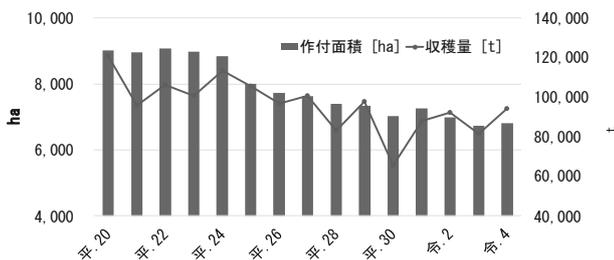


図1 カボチャ生産量と作付面積

専用はさみ					
項目	A	B	C	D	平均
使い易さ	3	3	3	3	3
安全性	4	3	3	3	3.25

樹脂カッタ_1					
項目	A	B	C	D	平均
使い易さ	5	5	3	2	3.75
安全性	4	3	3	5	3.75

樹脂カッタ_2					
項目	A	B	C	D	平均
使い易さ	3	4	4	3	3.5
安全性	4	3	3	3	3.25

項目	専用はさみ	樹脂カッタ_1	樹脂カッタ_2
切断時間[s]	2.6	0.7	0.7
切断力[kgf]	32.1	12.2	15.8

・農家への使用感聞き取り → 樹脂カッタ良好
 ・「切り残し」が長い → 出荷不可!

図2 専用はさみと市販刃物の比較

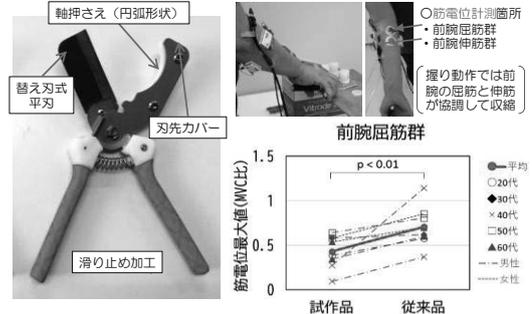


図3 試作したはさみと生体情報計測結果

性別	年代	習熟度	評価項目		
			使い易さ	負担	安全性
女	40	熟練	4.5	4.5	4
	20	熟練	5	5	5
	30	熟練	5	5	5
	30	熟練	5	5	4
	30・40	熟練	4	5	5
男	70	熟練	5	4	5
	平均		4.8	4.8	4.7
平均(R4)			4.6	4.6	4.4

図4 農家へのアンケート調査結果

3. 新たなカボチャ軸切りはさみの試作と評価

2節の結果をもとに新たな軸切りはさみの設計・試作を行った(図3左)。刃部を「替え刃式」とすることでコスト低減を図るとともに、性能(切れ味)の維持を容易にした。また、カボチャの軸を安定して押さえ、かつ安全のためはさみを閉じた際に刃先を隠すための円弧形状の刃受け部を有することを特徴としている。試作したはさみで軸切りの模擬動作試験を実施し、生体情報(前腕部筋電位)の計測を行ったところ、従来品と比較して筋電位が低下し身体負担が軽減されることを確認した(図3右)。また、農家でのテスト使用を実施し、使用感に関するアンケート調査を行った結果、使いやすさ・切断時の負担低減・安全性に関して高い評価が得られた(図4)。

4. おわりに

本研究では、カボチャの収穫作業を効率化・軽労力化することを目的とした新たな軸切りはさみの開発を行い、生体情報計測および農家へのアンケート調査結果より有効性を確認した。現在は人間工学の知見をもとに「握りやすさ」などのユーザビリティ向上に向けた改良設計を進めており、共同開発企業による令和7年中の製品化へ向けた取り組みを進めている。

(連絡先: uraike-takafumi@hro.or.jp)

人参内部の木質化判別装置の開発

食品の非破壊内部検査技術の開発（令和2～6年度）

開発推進部 ○川島 圭太
産業システム部 井川 久、宮島 沙織、吉田 道拓
食品加工研究センター、北海道大学

1. はじめに

北海道は人参の国内生産量1位であり、その加工現場では、人参の内部が木のように固くなり食用に適さない木質化（以下、抽苔）した人参を判別・除去するために、人手で人参のヘタ付近を切断して全数を検査している。その検査には多くの人手が必要であり、人手不足解消のため、抽苔人参を高速かつ精度良く自動的に判別する検査装置の早期開発が望まれている。

本研究では、人参の抽苔部分が紫外光の照射で蛍光する性質に着目し、紫外光を活用した新たな抽苔判別手法を開発したので報告する。

2. 高精度な抽苔人参判別手法の開発

図1に示す実験環境で撮影した人参画像を解析し、抽苔の有無が判別可能か試験した。撮影には可視光領域が撮影可能なカラーカメラと、ピーク波長385nmの紫外光照明を使用した。蛍光した抽苔部分の視認性向上のため、カメラのレンズには撮影画像の青成分を抑制する紫外光カットフィルタを装着した。

試験片は、スチームピーラーで皮を剥いた人参を使用した。人参のヘタを除去した切断面に紫外光を照射して画像を撮影し、適切な色のしきい値を設定して蛍光箇所を検出する画像処理を行い、抽苔を判別した。

本実験環境で撮影した画像の一例を図1に示す。本手法における抽苔の有無の判別精度は84.2%であり、抽苔人参を正常人参と誤判別することはなかった。

抽苔部分が紫外光で蛍光する現象は、抽苔部分にリグニンが含まれていることが原因と考え、抽苔人参におけるリグニンの定性試験を実施した。リグニンの染色液であるフロログルシン-塩酸試薬を人参切片に数滴滴下し、室温で15分静置して着色の有無を確認した結果、抽苔部分のみ赤紫色に着色され、抽苔部分にリグニンが含まれていることを確認した（図2）。

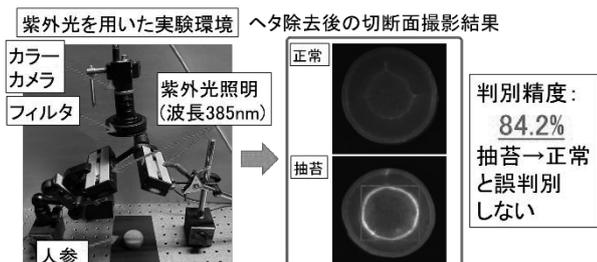


図1 紫外光を用いた実験環境および撮影結果

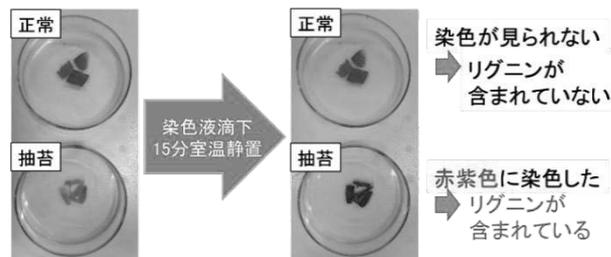


図2 人参におけるリグニンの定性試験結果

3. コンベア式抽苔人参撮影装置の開発

開発した抽苔人参判別手法の実用化を想定し、大量の人参を判別できるよう、コンベア上で人参を連続して撮影可能な装置を開発した。照明にはピーク波長385nmの紫外光照明を採用し、コンベアは人参を1本ずつ仕切って載せられるよう、棧付きコンベアを採用した。開発したコンベア式撮影装置を図3に示す。当該装置で撮影試験をした結果、安定して人参の撮影が可能であることを確認した（図4）。

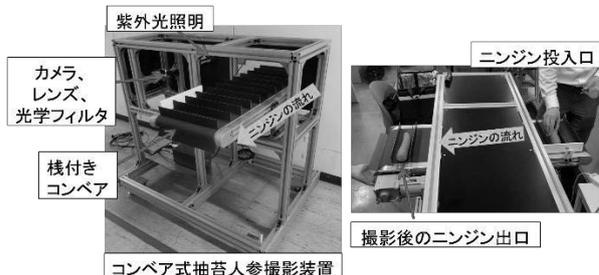


図3 コンベア式抽苔人参撮影装置

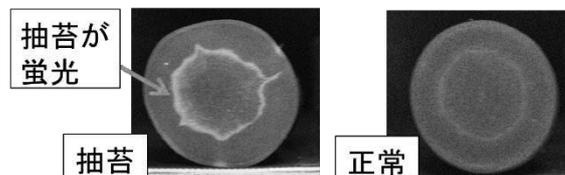


図4 開発した装置で撮影した人参

4. おわりに

紫外光を活用した抽苔人参の高精度な判別手法を開発し、実用化に向けた撮影装置を開発した。現在、紫外光とAIを活用することで、本成果よりも高精度な判別手法を北海道大学と共同開発中である。次年度以降における抽苔人参の判別装置の実用化を目指し、研究開発を継続する。

(連絡先: kawashima-keita@hro.or.jp)

宅内に設置したセンサによる一人暮らし高齢者の見守り

「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、川崎 佑太、泉 巖、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とそれとともなう地域産業の縮小、社会保障費の負担増、一人暮らし高齢者の増加といった問題を抱えており、集落から遠くに暮らす一人暮らし高齢者の健康維持や医療・介護サービスの維持が課題となっている。

一方、加齢に伴う身体機能や認知機能の低下が進行すると要介護状態に至る。健康と要介護の中間の状態を「フレイル」と呼ぶ。フレイルは適切な支援によって健康状態に移行可能といわれていることから、早期発見と改善が介護予防の観点で注目されている。我々は、宅内に設置した様々なセンサを利用して居住高齢者のフレイルを推定することで、自治体における見守り活動を支援できると考えた。そこで、ICT(情報通信技術)を活用したセンサシステム(図1)を構築し、フレイルを推定する信号解析技術を開発したので報告する。

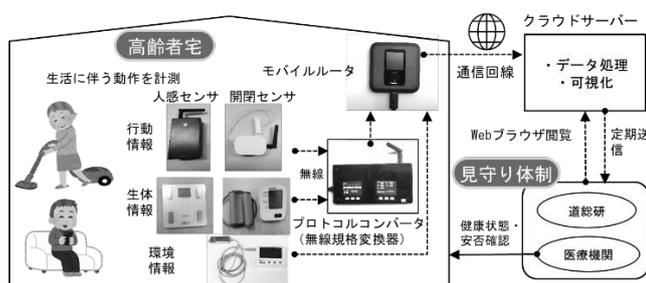


図1 開発したセンサシステム

2. 模擬生活環境下での生活動作計測

フレイルを推定するためのセンサ特徴量を特定するため、健常被験者(以下、被験者)に高齢者疑似体験セットを着用させて仮想的にフレイル、プレフレイル(フレイル予備軍)状態を再現し、被験者が模擬生活環境で生活動作をしたときのセンサデータを取得した(図2)。

その結果、フレイルの進行(健康→フレイル)に伴い、単位時間当たりの人感センサの反応数(以下、



図2 模擬生活環境と仮想フレイルの設定

①人感センサ時間平均反応数)が低下(20%)し、また移動に伴う2か所のセンサの反応時間差(以下、②部屋間の移動時間)が増加(48%)した。以上より、フレイルの推定に①および②のセンサ特徴量が有効であることを確認した。

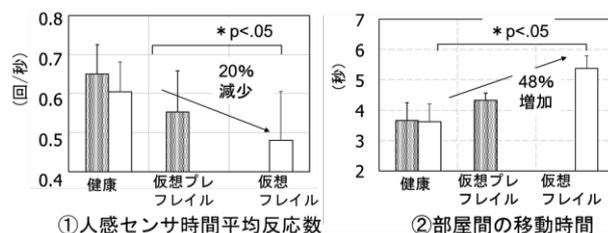


図3 仮想フレイルとセンサ特徴量

3. 高齢者宅へのシステム設置

協力医療機関を退院した一人暮らしの70代男性(以下、協力者)宅にシステムを設置し、特徴量①および②の変化を追跡した。これらの参照値として、協力者の毎月の通院時に、担当医の身体機能計測によるフレイル評価を実施した。その結果、滞在時間の多いキッチンにおける特徴量①およびキッチンからトイレへの移動に関する特徴量②がフレイル評価に対応して変化することを確認した(図4)。このことから、両特徴量がフレイルの推定に有効であり、高齢者を見守る情報として利用できる見通しを得た。

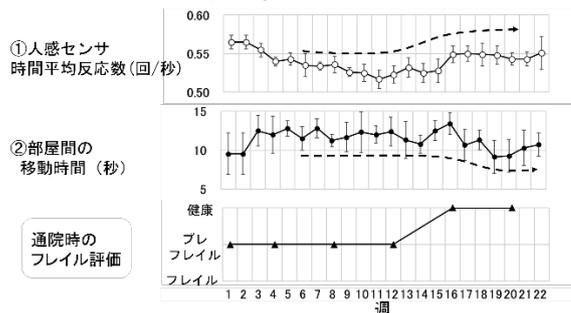


図4 センサ特徴量の週変化とフレイル評価

4. まとめ

一人暮らしの高齢者の健康状態の見守りに向けて、宅内に設置したセンサを利用し、フレイルを推定可能なセンサ特徴量を特定した。今後、自治体や医療福祉機関、家族らが協調して地域高齢者の健康と安全・安心な暮らしを見守る体制の構築に活用する。

(連絡先: kuwano-kouki@hro.or.jp)

エッジデバイス向け異常検知 AI モデルの開発

少量の訓練データから異常検知モデルを構築可能なエッジ AI に関する研究（令和 5～6 年度）

産業システム部 ○本間 稔規、全 慶樹

1. はじめに

近年、生産者人口の減少から人手不足が深刻であり、製造業において省人化、自動化のニーズが高まっている。一方、AIの性能が飛躍的に高まったことを受けて、これを活用した自動化装置の開発事例が増加してきている。しかし、AIを現場で運用する場合は、取り扱うデータの傾向の変化やセンサの経年変化などが原因で生じる予測性能の劣化が問題となるため、この劣化が生じる前に学習モデルを適宜更新することが重要である。

本研究では、装置に組み込む小規模な計算機（エッジデバイス）でも運用でき、少数の訓練データのみで十分な予測性能を実現可能なスパースモデリングやリザバーコンピューティングによる異常検知技術に関して開発を行った。

2. スパースモデリングによる異常検知技術

「スパースモデリング」とは、データの本質を表すような情報はデータ中にわずかにしか含まれていないという「スパース性」を活用する技術である。スパースモデリングにより、少ないパラメータ、かつ少量の学習データから学習モデルを構築することが可能であることから、例えば、少量多品種の製品を扱う分野での異常検知技術として応用が可能である。具体的には食品製造業での異物検査への適用があげられる。異物検査ではX線異物検査装置や金属検出機などの検査機械が用いられているが、すべての異物を検出できないため、最終的には目視検査が必要となる。目視検査の自動化ではAIの適用が有望であり、特に少量多品種生産を行っている食品工場では少ない学習データでAIモデルを構築できるスパースモデリングの手法が有効である。そこで本研究では、スパースモデリングを組み込んだMLF-

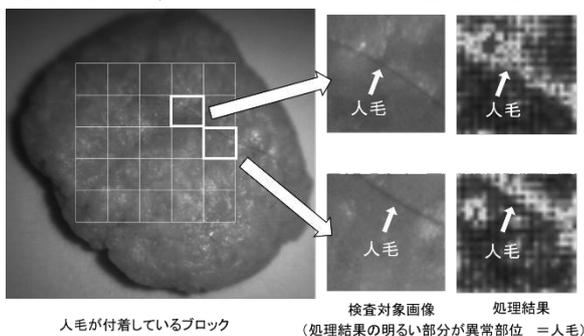


図1 MLF-SCによる異物検出例

SC学習モデル（Multi-Layer Feature Sparse Coding）を用いて異物検査への適用を試みた（図1）。豚挽肉を撮像した分光画像データに適用したところ、混入異物（人毛）を検出することができた。

3. リザバーコンピューティングによる異常検知技術

リザバーコンピューティングはリカレントニューラルネットワークの一つであり、中間層のニューロンの結合がランダム、かつ結合の重みが固定されているという特徴がある。主として時系列データを対象とした学習モデルに適用される。学習は出力層のニューロンのみで行うことにより、少ない計算量で学習モデルを構築することが可能である。本研究では工場内の騒音から異常音の検出にリザバーネットワークの実装の一つであるESN（Echo State Network）を適用した。サンプリング周波数48kHzの騒音データの2,500ステップのデータを学習させることで良好に騒音を予測するモデルを構築することができた（図2）。この予測モデルにより、騒音とは異なる異常音を効果的に検出することが可能となる。

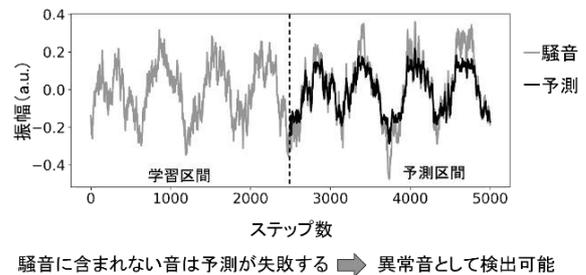


図2 ESNによる工場内騒音予測の例

4. おわりに

エッジデバイス上で学習・推論の機能を実現することを目指して、少数の訓練データのみで十分な予測性能を実現可能なスパースモデリングやリザバーコンピューティングによる異常検知技術に関して開発を行った。これにより、エッジデバイス上でAI学習モデルの更新を適宜行うことにより、予測モデルの劣化を防ぐことが可能となる。今後は人手不足で問題となっている目視検査や異常音検査などの省力化・省人化へ応用していく予定である。

（連絡先：honma-toshinori@hro.or.jp）

画像認識における説明可能な AI に関する研究

(令和 5～6 年度)

産業システム部 ○全 慶樹、本間 稔規
企画調整部 近藤 正一

1. はじめに

深層学習などの AI モデルは膨大な量のパラメータから構成されているため、モデルの内部構造から認識や予測の根拠を説明することが困難である。予測根拠を説明できない場合、「目的外の対象を学習する」等のモデルの問題の発見が困難になることから、近年、AI モデルの予測根拠を説明するための様々な研究が進められている。AI を利用する道内企業から当社に対して、画像認識モデルの認識や予測の根拠に関する相談が寄せられているなど、AI モデルの予測根拠を説明する技術の重要性が高まっている。そこで本研究では、農作物の画像から不良品を判別する AI モデルに対して画像認識 AI の予測根拠を可視化して説明する最新手法を適用することでその有用性を検証したので報告する。

2. 画像認識モデルの予測根拠の可視化手法

画像認識モデルの予測根拠を可視化する手法には、モデルが予測の際に重視した画像内の領域を示す手法やモデルが予測の際に利用した概念 (concept、代表的な画像の集合で表現される) を示す手法などが知られている。最新の手法である CRAFT (Fel et al., 2023) は、これらの手法を組み合わせることでモデルの予測根拠の詳細な可視化を可能とした。本研究では、Python の深層学習フレームワークである TensorFlow を使用して当該手法のプログラムを実装し、画像認識モデルへ適用した。

3. 農作物不良品判別モデルへの可視化手法の適用

開発したプログラムをブロッコリーの画像 (図 1 左) から不良品 (腐敗) を判別する画像認識モデルへ適用し、開発中のモデルが不良品の判別において、どのような概念を、画像内のどの領域で利用しているか、を可視化することでモデルの妥当性を評価した。



図 1 ブロッコリー画像 (左) と可視化結果 (右)

可視化手法により抽出された 5 つの概念を図 2 に、各概念の重要度を図 3 に示す。また、画像認識モデルが判別の際に各概念を利用した画像内の領域を色分けして図 1 右に示す。図 2 と図 3 からモデルは①の茎の概念を利用して不良品 (腐敗) を判別していることがわかるが、腐敗は花蕾が部分的に黒色に変化する現象であり、茎の概念を重視したとする可視化手法の分析結果と整合しない。このことから開発中のモデルは学習に失敗したということが結論づけられた。以上より、予測根拠の可視化手法はこれまで困難だったモデルの問題発見に有用であることがわかった。

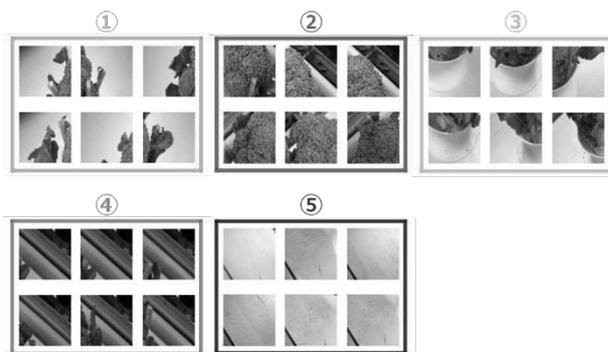


図 2 可視化手法により抽出された概念

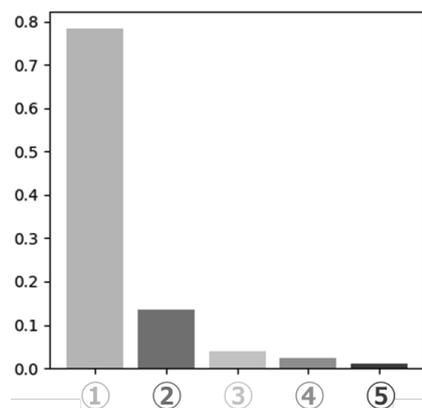


図 3 各概念の重要度

4. おわりに

本研究では、画像認識 AI の予測根拠を可視化して説明する最新手法をブロッコリーの不良品判別モデルへ適用することでその有用性を検証した。その結果、これまで困難だった、モデルの問題の発見に有用であることがわかり、より信頼性の高い AI の開発が可能となった。

(連絡先: zen-keiki@hro.or.jp)

でん粉原料受入時の異物検出技術の開発

澱粉原料受入時の異物検出技術の性能向上に関する研究（令和6年度）

産業システム部 ○全 慶樹、本間 稔規、高橋 裕之、新井 浩成
士幌町農業協同組合

1. はじめに

馬鈴しょでん粉の製造工程では加工機械の損耗を軽減するため、原料である馬鈴しょの加工前に軽石や木片等の混入異物の除去作業を行っている。現在は検査員が目や耳を頼りに 24 時間三交代制で異物の除去作業を行っているが、大量に高速搬送される馬鈴しょの中から異物を見つける作業は身体的負担が大きいため自動化が求められている。そこで本研究では、異物除去作業の自動化に向けて音と画像を利用した異物検出技術を開発したので報告する。

2. 異物衝突音を利用した異物検出技術の開発

検査員は視覚情報のほかに軽石等の異物が搬送コンベアの金属板に衝突する音を手がかりに異物を見つけられている。そこで混入異物の衝突音を取得するために、マイクを裏側に固定する筐体を配置した金属板を開発し、検査工程に設置した（図 1）。取得した音を周波数の時間変化を表すスペクトログラム画像（図 2）に変換し、AI（畳み込みニューラルネットワーク）を用いた異物検出モデルを開発した結果、軽石を約 63%検出できることを確認した。

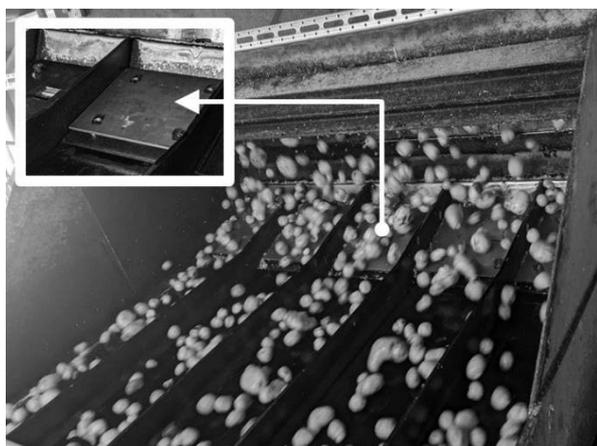


図 1 異物衝突音を取得する機構
（金属板の裏面にマイクを設置）

3. 画像を利用した異物検出技術の開発

異物のうち木片は衝突音を生じにくいいため、音では検出が困難である。そこで、画像情報を利用する検出技術を開発した。画像の撮影では、高速移動する被写体のブレが問題となるため、高輝度の LED 照明を設置し、カメラの露光時間を短くすることでブレの少ない

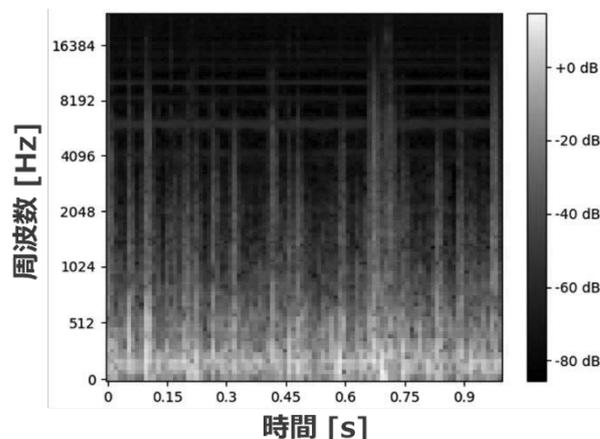


図 2 異物衝突音のスペクトログラム画像
（軽石あり）

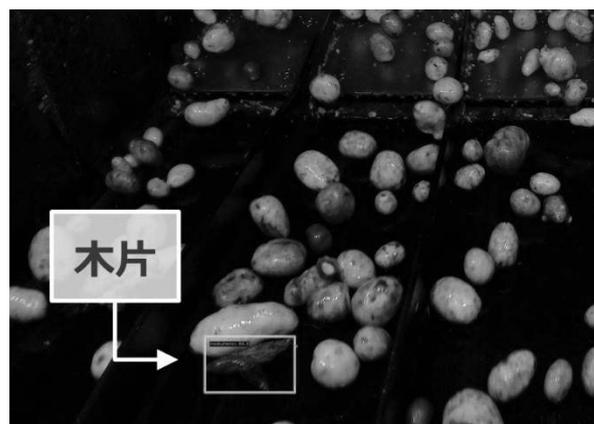


図 3 画像を利用した異物検出

画像を取得した。取得した画像データから物体検出（object detection）モデルを開発した結果、木片等の異物を約 87%検出できることを確認した。

4. おわりに

本研究では、馬鈴しょでん粉の原料に混入する軽石や木片等の異物を、音と画像を利用して検出する技術を開発した。

異物除去作業の自動化にあたっては、除去機構を異物が通過する前に作動させる必要があり、特に画像を利用した異物除去技術では計算時間が問題となる。今後、AI の高速推論が可能な TensorRT 技術を活用する等の検討を進め実用化を図る。

（連絡先：zen-keiki@hro.or.jp）

植物シミュレーションモデルの自動生成手法の開発

プロシージャルモデリングによる植物シミュレーションモデルの自動生成（令和6年度）

産業システム部 ○伊藤 壮生
開発推進部 印南 小冬
東京科学大学

1. はじめに

農業用ロボットや農業機械の開発では圃場で実地試験を行うことが重要だが、植物の生育状況や天候により実地試験が可能な時期に制約がある。そのため、シミュレーション上でロボットハンドを用いた収穫等の操作を検証することができれば、植物の生育状況など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。

しかし、植物の持つ大量の葉や茎を手動でシミュレーションモデルに反映するためには膨大な労力を必要とする。そこで本研究では、3Dモデルの生成技術の一つであるプロシージャルモデリングを応用することで、植物シミュレーションモデルの生成に必要な工程を自動化する手法を開発したので報告する。

2. 植物のシミュレーション

植物のシミュレーションでは、植物を構成する葉や茎のような薄く細い部位を扱うため、図1に示すような複数の簡易形状の要素を結合して構成したシミュレーションモデルを用いた。植物シミュレーションモデルの各要素は、葉や茎などの部位の違いに応じて形状や大きさを適切に設定して配置する必要がある。そのため、シミュレーション対象とする植物の構造について正確なデータを得ることが重要となる。

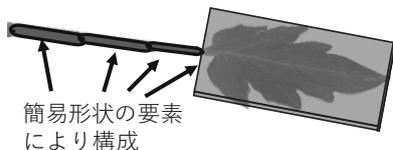


図1 植物シミュレーションモデルの概略

3. 植物シミュレーションモデルの生成

本研究では植物の構造データを生成するためプロシージャルモデリングを用いた。プロシージャルモデリングでは図2に示すように、茎がカーブしながら伸びることや、茎が分岐するなどの成長パターン（生成規

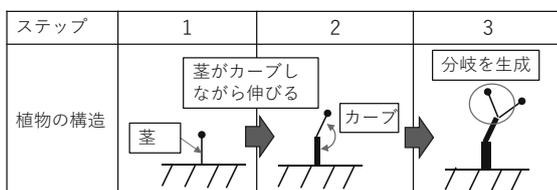


図2 植物構造生成の例

則）を定め、それらのパターンを繰り返すことによって得られた植物構造をもとに3Dモデルを生成する。本研究ではイチゴとミニトマトを対象として生成規則を構築し、それぞれの3Dモデルを生成した（図3）。

次にプロシージャルモデリングによって得られた植物構造にもとづいて、植物シミュレーションモデルを構成する各要素の形状や大きさ・重さを設定して配置した。また、各要素の結合部の曲げ強さ等の硬さについても自動的に計算されるように開発を行った。

図4に生成した植物シミュレーションモデルを用いてシミュレーションを行った様子を示す。プロシージャルモデリングによって生成した3Dモデルを植物シミュレーションモデルに連動して変形させることでリアルな表示が得られた。シミュレーションの結果、植物がロボットハンドを模擬した仮想物体と接触した際の変形を再現可能なことや、曲げ強さ等の硬さを適切な値に設定することで植物の挙動を再現できることなどを確認した。



図3 生成した植物3Dモデルの例

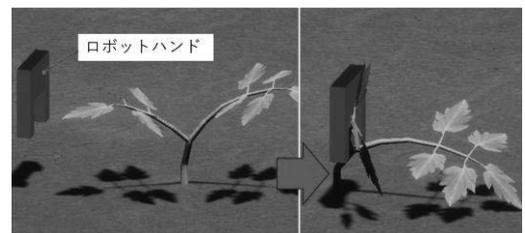


図4 ハンドとの接触により変形する様子

4. おわりに

本研究ではプロシージャルモデリングを応用することで植物シミュレーションモデルを自動生成する手法を開発した。今後は実際の収穫作業などを想定したロボットシミュレーションを行うための改良を進めることで、農業用ロボット等の開発への活用を目指す。

（連絡先：itou-souki@hro.or.jp）

軸間可変機構を有する多品種対応型高速把持ハンドの開発

指間距離を可変とするモーターレス型高速把持ハンドの開発（令和5年度）

開発推進部 ○川島 圭太、高木 友史
産業システム部 井川 久
金沢大学

1. はじめに

近年、様々な産業分野で人手不足が深刻化しており、農業分野においては屋外における野菜の収穫作業などの自動化が強く求められている。屋外作業を自動化するためには、雨風などの影響を避けるためにモーターなどのアクチュエーターを使わず、かつ、野菜などの収穫作業の時間短縮のために対象物を高速に把持可能なロボットハンドを開発する必要がある。

昨年度までに、図1に示すモーターレス型高速把持ハンドを開発したが、指の間隔(以下、軸間距離)を変更することができないため、把持対象の大きさに合わせてハンドを随時交換する必要があるなど、汎用性が低いという課題があった。

本発表では、高速把持ハンドの汎用性向上を目的とし、対象物の大きさに合わせてハンドの軸間距離が可変する高速把持ハンドの開発について報告する。

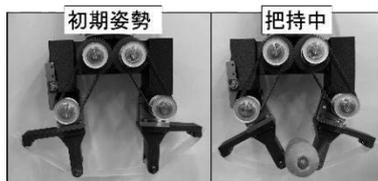


図1 昨年度開発した高速把持ハンド

2. 軸間可変機構を有する高速把持ハンドの開発

高速把持ハンドの汎用性向上のため、2つの課題解決方法を検討した。

まず、課題①：把持対象を床置き状態から把持できない点について改良した。ハンドの指先を細くして関節を1個から2個に増やすことで、把持物の下に指先を潜り込みやすくし、床置きした状態でも対象物を把持可能とした。開発した試作機を図2左に示す。

次に、課題②：把持対象の大きさが変わると把持できない点について、軸間距離（指の間隔）が可変する機構を検討した。2つのスライダとリンクを組み合わせ、スライダAを上下することでスライダBが左右に動く軸間可変機構（図2右）を開発し、高速把持ハンドに組み込んだ。

課題①、②の解決案を組み合わせ開発した高速把持ハンドを図3に示す。動作速度改善のため、図2右のスライダAをボールネジからリニアブッシュへ変更した。また、剛性向上のためスライダBのリニアガイドを2本から1本に変更した。

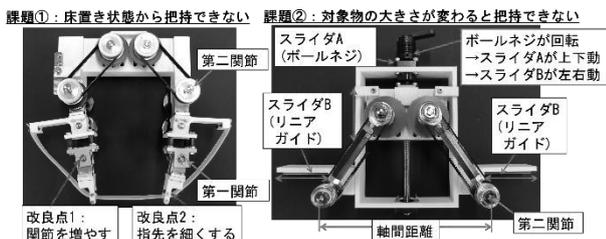


図2 課題①、②の解決のための試作機

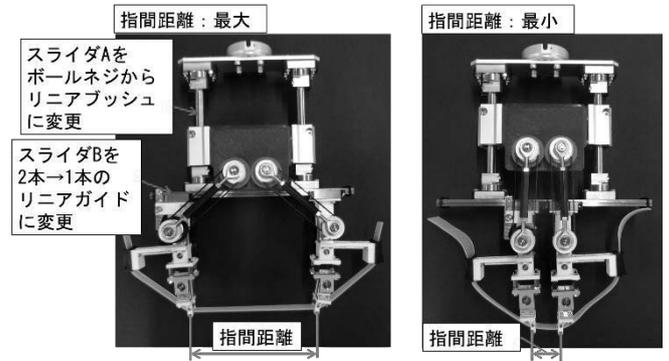


図3 今年度開発した高速把持ハンド

3. 試作機による把持試験

Universal Robots社製の協働ロボットUR5eに開発した高速把持ハンドを取り付け、サツマイモ、ゴボウ、ニンジン、カットしたカボチャの4種類の野菜について把持試験を行った。その結果、4種類すべての野菜を床置きした状態から高速把持した後、所定の位置で把持を解放できることを確認した。図4に、高速把持ハンドがサツマイモとカボチャを把持している様子を示す。

次に市販品の電動ハンドと高速把持ハンドの作業時間を比較した。サツマイモ1個を把持して、所定の位置に配置するまでの動作時間で評価した。ロボットの動作速度は、両ハンドにおいて同様の速度で動作させており、市販品ハンドの開閉は最高速度で動作させた。それぞれのハンドにおける作業時間を計測した結果、高速把持ハンドは6.9秒、市販品ハンドは8.1秒となり、開発した高速把持ハンドの方が高速に動作可能であることを確認した。

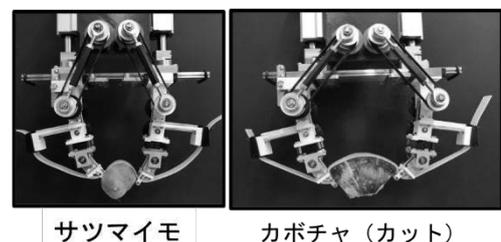


図4 高速把持ハンドによる把持の様子

4. おわりに

本発表では、指の軸間可変機構を搭載したアクチュエーター不要の新たな高速把持ハンドを開発した。また、開発したハンドで把持試験を行った結果、様々な大きさの農作物の高速把持と把持解放が可能であることを確認した。今後、実用化を目指し、軸間距離変更の際のベルト長の自動調整機構を開発する予定である。

(連絡先: kawashima-keita@hro.or.jp)

馬の症状に合わせた 3D プリント蹄鉄の設計支援

馬蹄カバー 3D モデル作成・モデリングマニュアルの開発（令和 4～6 年度）

開発推進部 ○印南 小冬、川島 圭太
公益社団法人日本軽種馬協会

1. はじめに

サラブレッドの脚に異常や疾患が生じた場合、木や樹脂の蹄鉄を用いて脚を矯正する装蹄治療が行われている。しかし、馬の蹄形状は個体差があり、また疾患によっては特殊な蹄鉄形状を必要とするため、各馬に合わせた矯正用蹄鉄の開発が求められている。



図1 異常が生じている肢勢と既製品の樹脂蹄鉄

この課題に対し、競走馬の生産・育成に関する事業を行っている公益社団法人日本軽種馬協会では、2022 年より当場の支援のもと、矯正用蹄鉄を 3D プリントで作成する 3D ホースシューの開発を行っている。3D プリントを使用することで、各馬の個体差や症状、成長に合わせた治療が容易になり、また蹄への負担も少ないなど、治療に効果があることがわかっている。



図2 ホースシューの 3D モデル例

しかし、各馬に合わせたホースシューの 3D モデル設計は難易度が高く、全国の装蹄師への技術普及の障

壁となっている。そこで今回、3D モデルの設計手順を簡略化する支援プログラムを開発し、また設計手順を解説するマニュアルを製作した。

2. 3D モデリング支援プログラムの開発

3D モデリングソフトには Robert McNeel & Associates 社の Rhino を選定した。Rhino は自由曲面の造形に適していることから、馬の蹄に合わせた曲面を比較的容易に作成できる。また、Rhino 内の機能である Grasshopper を使用して形状を半自動的に生成するアルゴリズムを作成することも選定理由の一つである。

Grasshopper は Rhino 上で動作するビジュアルプログラミング言語であり、ホースシューの形状を作成するアルゴリズムをプログラミングすることができる。Grasshopper を使用した 3D モデリング支援プログラム（以下、本プログラム）の画面を図 3 に示す。

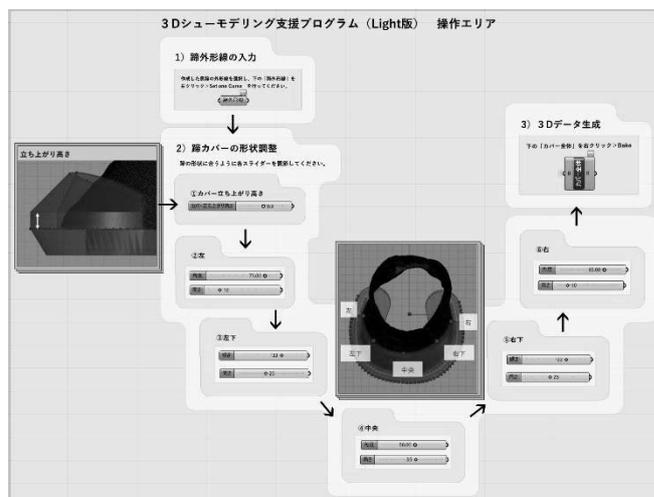


図3 3D モデリング支援プログラム画面

本プログラムの操作方法概要は下記のとおりである。

- ① Rhino 上で蹄の外形線を作図する。
- ② ①の外形線の本プログラムへ読み込ませる。
- ③ カバー部の立ち上がり高さを設定する。
- ④ カバー部の左・左下・中央・右下・右の 5 点について、高さや角度の数値を設定する。
- ⑤ 設定した形状を Rhino 上へ出力する。

以上 5 つの手順で、ホースシューの 3D モデルを作成することができる。数値設定はスライダーによる直感的な入力と、数値入力の両方が可能となっている。

馬の蹄に合わせるためには 3D スキャンした馬の蹄モデルがあることが望ましいが、3D スキャナーの価格やスキャン技術の習熟などがハードルになる。そこで本プログラムでは、蹄の寸法がわかるスケール入りの蹄底の写真と中央・左右の 3 点の蹄角度の測定値 (図 4) のみでホースシューを作成できるようにした。

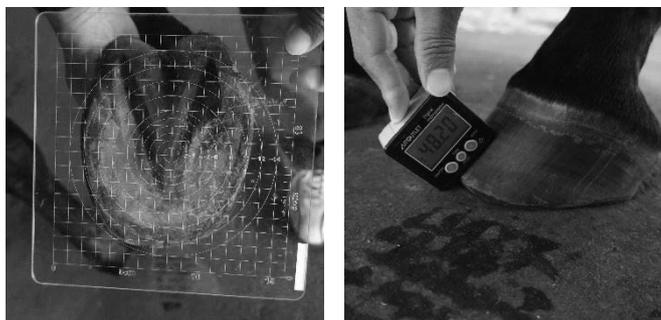


図 4 必要な蹄底写真と蹄角度 (中央) の測定

装蹄治療の現場のニーズから、より細かい形状調整にも対応できるように設定項目数を増やした高機能版も開発した (図 5)。高機能版では設定できる項目数が 11 から 21 に増え、カバー部と馬蹄部を別々のモデルで出力することもできる。

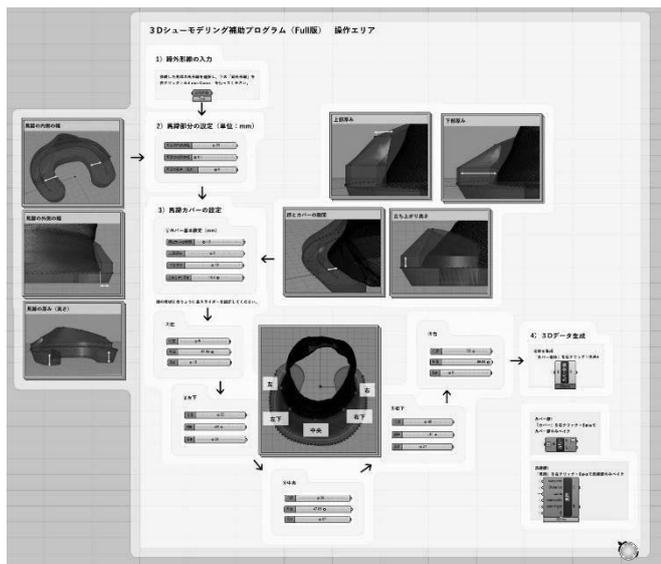


図 5 設定項目数を増やしたバージョンの画面

本プログラムは、日本軽種馬協会のホームページ上でダウンロードが可能となっている。

(URL : <https://jbba.jp/data/booklet/>)

3. マニュアルの製作

開発したモデリング支援プログラムの利用方法や、プログラムによって出力したモデルの編集手順について解説するマニュアルを製作した (図 6)。

マニュアルは 1.Rhino の基本操作方法、2.Grasshopper による 3D ホースシュー作成、3.Grasshopper を使用しないモデリング、4.モデルの加工方法 の全 4 章で構成した。Rhino の基本操作方法では、3D シューの作成に

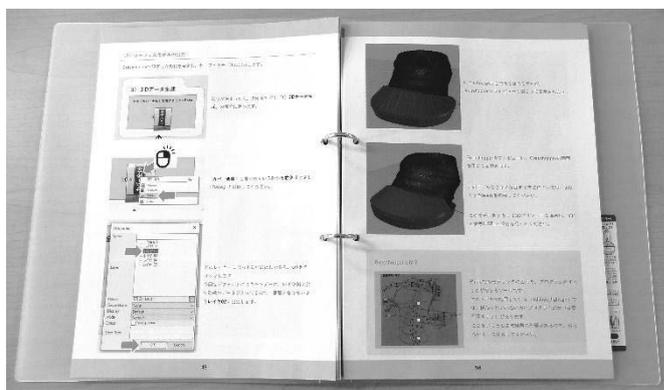


図 6 製作したモデリングマニュアル

必要な操作方法のみを紹介することで技術習得のハードルを下げた。また、モデルの加工方法については、装蹄治療を行っている装蹄師の意見をもとに、治療で頻繁に使用している形状に絞って紹介した。

また、作業手順をより視覚的に理解しやすくするために、マニュアルのうち特に利用頻度が高い手順について、動画版マニュアルを作成した (図 7)。これらのマニュアルは、支援プログラムと同様にダウンロードが可能である。また、日本軽種馬協会の主催する装蹄師向けワークショップ等で周知を図っている。



図 7 モデリングマニュアル動画

4. おわりに

3D ホースシューは日本中央競馬会 (JRA) 日高育成牧場において令和 4 年より装蹄治療での臨床応用が開始されており、多くの治療成果を上げている。臨床現場において、3D ホースシューは既存の治療用蹄鉄に比べて装着しやすい、蹄に優しい、形状修正が容易であるといった多くのメリットが評価されている。また、ばん馬などこれまで治療用蹄鉄がなかった重種馬についても治療が可能となった。

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」の一環として日本軽種馬協会が実施しました。

(連絡先 : innami-kofuyu@hro.or.jp)

ユーザー体験をカタチにする UX プロトタイピング

人間中心設計のための UX プロトタイピングに関する研究（令和 5～6 年度）

開発推進部 ○高木 友史、万城目 聡、安田 星季、大久保 京子、印南 小冬

1. はじめに

ユーザーニーズに適した製品やサービスの開発を目指す「人間中心設計」の取り組みでは、開発の初期段階で簡易的な試作の繰り返しによるアイデアの具体化と検証が有効である。当场では、道内製造業に向け、紙や段ボールなど身近な素材で素早く簡単に作る「簡易試作手法」の周知・普及に取り組んでいる。

当场で、様々な製品開発に対して技術支援を行うなかで、ラフな簡易試作だけでは「開発メンバー間でアイデアの詳細や発案者の意図の把握が難しい」「次の段階に進むべきタイミングの判断に迷う」といった問題に遭遇することがあった。そのような場合、簡易試作上で製品・サービスが提供するユーザー体験(UX)を開発メンバーで実際に体感・理解できるような試作(UXプロトタイピングと定義)が行えれば、共通理解や合意形成が促進され、より円滑に開発が進められると考える。

そこで本研究では、人間中心設計の考え方や簡易試作手法をもとに、道内企業の企画・設計担当者など、デザイナーではない人たちでも手軽に活用できる「UXプロトタイピング手法(拡張簡易試作、ユースシーン試作)」を開発した。

2. UX のリアリティを高める「拡張簡易試作」

「拡張簡易試作」は、紙や段ボールなど身近な素材で素早く作成した簡易試作に、可動部や電子工作キットを用いて機能を追加し、実際に動作させることで UX のリアリティを高める手法である(図 1)。

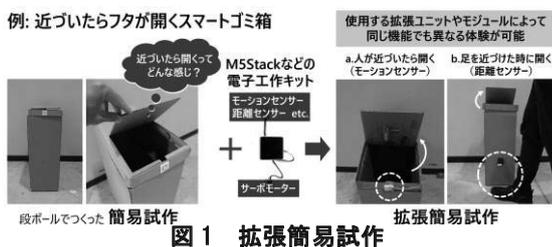


図 1 拡張簡易試作

電子工作キットで拡張可能な機能は、「○○(INPUT)したら、××(OUTPUT)する」と表すことができ、電子工作キットのユニットを「INPUT(Sense & Action)」として 65 項目、「OUTPUT(Feedback)」として 17 項目に分類・体系化し、簡易試作の「拡張メニュー」として一覧表にとりまとめた。さらに、プログラミングの知識がなくても参照・活用できるよう、サンプルプログラム(14 種類)を用意した。

3. UX の全体像を描く「ユースシーン試作」

「ユースシーン試作」は、製品やサービスの利用状況を紙や段ボールなど身近な素材を用いてミニチュアサイズの簡易試作を作製し、UX の全体像を表現する手法である(図 2)。

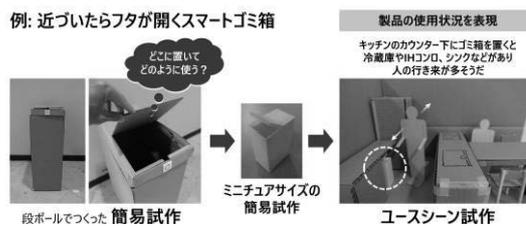


図 2 ユースシーン試作

ユースシーンの可視化に必要な 6 つの構成要素(製品/関係物/使用者/関係者/床面/背景)を抽出し、そのなかで利用頻度が高く、作製効率化や質向上の導入効果が見込まれそうな「人(1/10・1/20 スケール)」と「床面(10 種)」をツールキット化した。また、製品開発のケーススタディでのユースシーン検討過程を考察し、ユースシーン試作を用いたグループワークの円滑化・活性化を目的とした「問いカード(基本 9 枚/深掘り 18 枚)」をツールキットに加えた。

4. UX プロトタイピング手法の周知・普及

本研究の手法は、企業の製品開発のケーススタディで試行して有効性を確認した。道内企業へ周知・普及するために得られた知見をまとめ、「試作活用ガイド(Web)」に、利活用の方法や拡張簡易試作の拡張メニュー・サンプルプログラム、ユースシーン試作のツールキットなど、コンテンツを拡充した。



図 3 試作活用ガイド(Web)と拡充コンテンツ

5. おわりに

今後は、技術移転先企業の業種や取り扱う製品・サービスによって、様々なケースに対応できるようにしていく。また、さらなる Web コンテンツの拡充はもちろんのこと、技術支援やデザイン講座でのハンズオンも並行して進めていきたい。

(連絡先: takagi-tomohito@hro.or.jp)

バイオマスから有価物を製造する新規グリーンプロセス

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）、道産天然鉱物を用いた有機未利用資源のバイオリファイナリー（令和5年度）、粉碎法の検討（R6年度）等

新技術創生研究推進室 ○森 武士、小川 雄太、松嶋 景一郎
明和製紙原料㈱

1. はじめに

我々の身の回りにあるプラスチック製品や燃料等の化学製品の多くは、石油に由来する原料から製造されている。しかし、この製造プロセスは大量の二酸化炭素を排出するため、その削減が課題となっている。近年、この製造プロセスに替わる技術として、植物の成分から化学製品の原料となる物質を製造するバイオリファイナリーが注目されている。植物は空気中の二酸化炭素を原料として光合成により成長する。そのため、植物由来の物質から化学製品を製造できれば、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することができる。こうしたコンセプトから、炭素循環型社会の実現を目的に、バイオリファイナリーの技術開発が行われている。

特に、植物の成分のうち、多糖類であるセルロースは、地球上で最も賦存量の大きいバイオマスであることから、バイオリファイナリーの原料として有望視されている。他都府県に比べ豊かな自然に恵まれている北海道には、バイオリファイナリーの原料となりうる有機未利用資源が大量に賦存していることから、当場ではその利活用技術を開発してきた。その一例として、本発表では、当場において最近取り組んでいる粉碎処理と高温高压水処理を組み合わせた「新規グリーンプロセス」を紹介する（図1）。

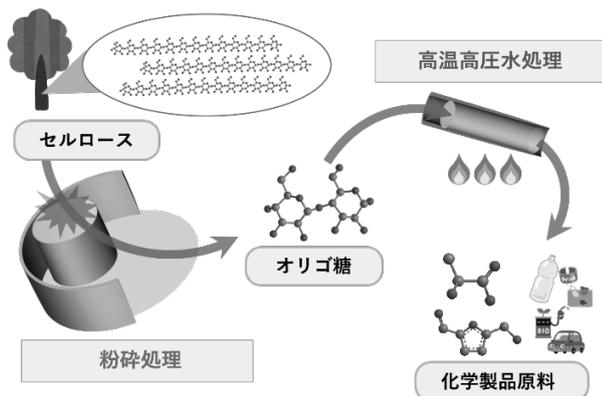


図1 粉碎処理と高温高压水処理を組み合わせた新規グリーンプロセス

2. 新規グリーンプロセスの概要

以下、セルロースを原料とした場合を例に、バイオリファイナリーによる化学製品原料の製造方法を述べ

る。まず、原料であるセルロースを硫酸等で分解し、水に可溶なオリゴ糖という物質に変換する。続いて、このオリゴ糖の水溶液を金属イオン等の触媒と混ぜて加熱し化学製品原料を製造する。最初のセルロースを分解する工程では、酸を含む廃液が発生するので環境負荷が大きいことが問題であった。硫酸ではなく酵素を用いた環境負荷の小さい手法も開発されているが、酵素が高価であることが課題となっている。これらがバイオリファイナリーの実装に向けた障壁の一つとなっている。これに替わる手法として、セルロースを安価な反応剤である粘土とともに粉碎するだけで分解できる新手法が報告されている。この手法は乾式プロセスであるため前記の廃液が発生しないうえ、安価に実施できるという特徴がある。当場では、粉碎を行う際に発生する力の種類に注目し、剪断力を加えられる振動ディスクミルという粉碎機を用いることで、セルロースの分解が効果的に進むことを発見した（図2）。

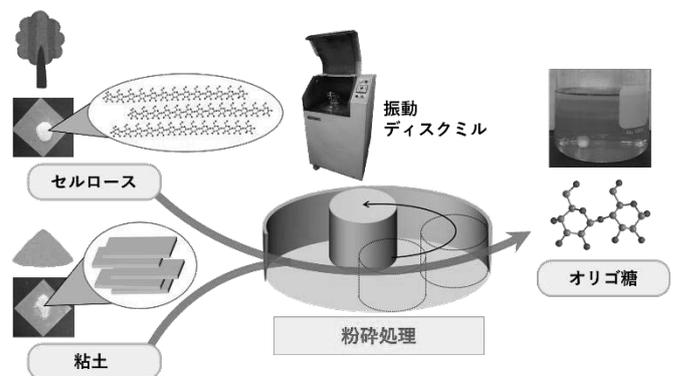


図2 粉碎処理を用いたセルロースの分解

さらに、後段のオリゴ糖から化学製品原料を製造する工程に、当場で長年取り組んでいる「高温高压水処

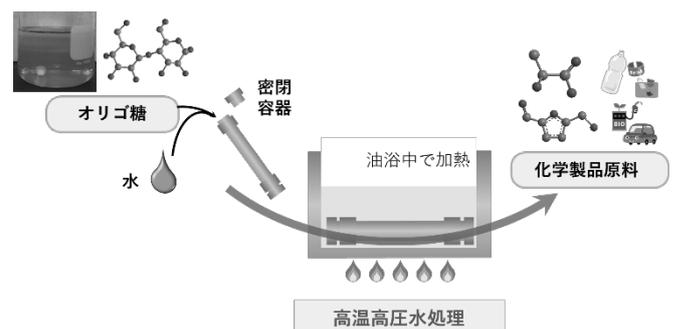


図3 高温高压水処理を用いた化学製品原料の製造

理」を適用した。この処理では、水をオリゴ糖とともに密閉容器に入れ、水の沸点以上に加熱する（図3）。このとき、水は超臨界や亜臨界といった高温・高圧状態になり、イオン積や誘電率等が著しく変化することで、反応性に富んだ物性を持つようになる。この水の性質を利用することで、従来必要であった金属イオン等の触媒を使わずに、オリゴ糖から付加価値の高い化学製品原料を効率良く製造できることが判明した。例えば、生分解性プラスチック原料として注目されている乳酸や、バイオ燃料の原料となる5-ヒドロキシメチルフラン（5-HMF）が得られている。

このように、当场で開発した粉碎処理と高温高圧水処理を組み合わせた新しいグリーンプロセスを活用することで、安価に入手できるセルロース、粘土、水を用いて、高付加価値な化学製品原料を製造することができる。

3. 樹木等の木質バイオマスへの展開

前節で原料として用いたセルロースは樹木の主成分の一つであるが、樹木にはその他にもキシランやリグニンといった物質も含まれている。キシランはセルロースと同様に多糖類で、これらを樹木から回収し利用するには、物性が異なるリグニンをアルカリ等の薬剤で溶解除去する前処理が必要であった。

一方、本技術ではこうした前処理を行うことなく、樹木からセルロースとキシラン由来の成分を分離し回収できる。樹木（シラカバ）と粘土を振動ディスクミルで粉碎すると、シラカバに含まれるセルロースとキシランは分解され水に可溶性オリゴ糖になるが、リグニンはほとんど分解されず水に不溶である。そのため、粉碎後の粉末を水に入れるとオリゴ糖だけが溶け、残ったリグニンと粘土をろ過で除去すると、セルロースとキシラン由来のオリゴ糖を回収することができる（図4）。

このように、本技術を用いると、樹木から化学製品原料に変換できるオリゴ糖を容易に分離回収できる。今回はシラカバへの適用例を紹介したが、ほかにもセルロースと同じ天然多糖類であるキチンを含む甲殻類の殻等、様々なバイオマスに適用できることを確認しており、本技術の汎用性の高さを実証している。

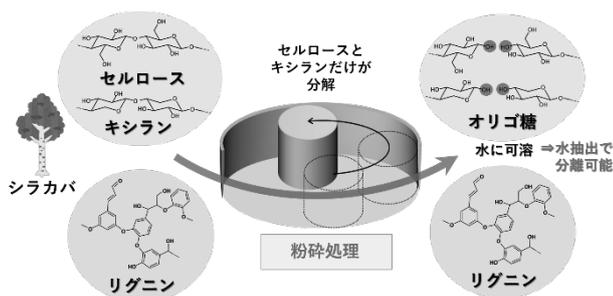


図4 シラカバからセルロースとキシラン由来のオリゴ糖を分離する粉碎処理

4. 廃棄物のアップサイクル技術への展開

こうした技術シーズを蓄積するなかで、本技術を廃棄物である古紙に適用できないかという技術相談を受けた。古紙は、使用済みの紙製品（新聞紙、包装紙等）であり、樹木と同様にセルロースとキシランが主成分であることから、本技術を適用できる可能性があると考え、古紙から化学製品原料を試作した。

まず、古紙を粘土とともに粉碎処理することで、古紙に含まれるセルロース、キシランの大部分をオリゴ糖に変換できた。さらに、このオリゴ糖を高温高圧水で処理し化学製品原料への変換を試みたところ、5-HMF と比べて乳酸が顕著に多く生成するという、従来の樹木等を原料とした場合には現れない特異な結果が得られた（図5）。つまり、古紙は乳酸の製造に適した原料であることが判明した。さらに検討を進めたところ、古紙に填料として含まれる炭酸カルシウムが前記の要因であることが判明した。すなわち、原料に含まれる糖質バイオマス以外の成分の種類によっては、所望の化学製品原料を無駄なく製造できる可能性があることがわかった。

このように、本技術は単にバイオリファイナリーにおける要素技術としてだけではなく、廃棄物のアップサイクルにおいても展開できる可能性が見いだされた。

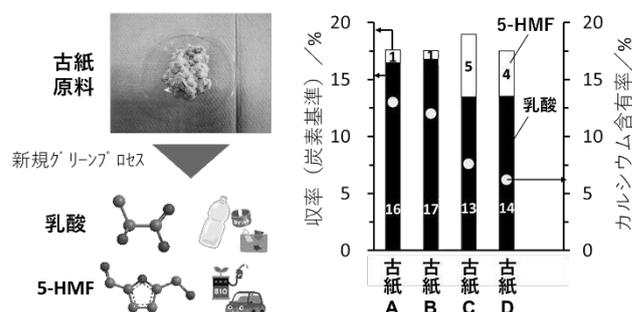


図5 新規グリーンプロセスを用いた古紙からの化学製品原料の試作

5. おわりに

本発表では、粉碎処理と高温高圧水処理を組み合わせた新しいグリーンプロセスを用い、セルロース等から化学製品原料を製造した事例を紹介した。北海道には天然資源が豊富に存在し、化学製品原料に変換できる未利用資源や、触媒として活用できる岩石が大量に賦存している。今後はこれらも活用した技術開発を進めるとともに、本プロセスのスケールアップに向けた検討も行い、バイオリファイナリーの実装・普及を進めていきたい。

謝辞

本研究は、公益財団法人 北海道科学技術総合振興センター 若手研究人材・ネットワーク育成補助金、江間忠研究助成 研究助成 (A) により実施しました。

(連絡先: mori-takeshi@hro.or.jp)

水中保形性に優れたウニ養殖用配合飼料の開発

秋から冬に行うキタムラサキウニの養殖技術開発（令和4～6年度）

材料技術部 ○瀬野 修一郎、細川 真明、可児 浩
（株）北三陸ファクトリー、北海道大学、北海道立工業技術センター
栽培水産試験場、中央水産試験場

1. はじめに

日本海側で盛んなウニ漁業は、水揚げが夏場に集中しており秋から冬にかけては品不足により取引価格が高くなる。北海道日本海沿岸部には身が入らず未利用なキタムラサキウニが高密度に存在しているが、製品化には給餌が必要なため有効な利用法が確立されていない。近年、北海道大学等が開発した配合飼料によって身入り改善への有効性が確認されており、実用性も検証され、将来重要な養殖産業につながる可能性が大きくなっている。しかしながら、養殖コストの大部分は飼料コストに占められており、給餌量を減らすなど持続可能な事業とするためにもさらなるコスト低減が求められている。そこで、飼料コスト低減につながる水中保形性を高めるために微細繊維を添加したウニ養殖用配合飼料の開発を行った。

2. 微細繊維配合飼料の作製

北海道大学等が開発した配合飼料成分と同じ配合割合の混合原料と微細繊維を水中でかくはん混合した後、プラスチック容器中で風乾させ、図1のような外観の微細繊維添加配合飼料を作製した。

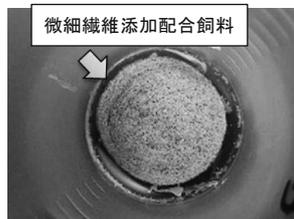


図1 微細繊維添加配合飼料の外観

3. 微細繊維配合飼料の簡易水中保形性試験

2節で作製した微細繊維添加配合飼料の水中保形性を評価するために、実験室内で実施可能な簡易の試験方法を考案した。2節の方法で作製した配合飼料を水中に浸漬し、卓上振とう機に設置した後、一定回転数および一定時間で旋回振とうを行った。



図2 簡易水中保形性試験の流れ

続いて、振とう後の飼料をメッシュでろ過した後に残った飼料の乾燥重量を測定し、その重量を初期乾燥重量で除した値を残存率とし、水中保形性の目安とした（図2）。この残存率の値が大きいほど、振とう後に残った飼料が多いことから、水中保形性が高いと考えられる。

微細繊維を固形分量換算で2wt%添加した配合飼料の簡易水中保形性を上記の方法で評価した結果を図3に示す。微細繊維を添加していない配合飼料の残存率が0.27だったのに対して、微細繊維添加配合飼料の残存率は0.61と約2倍の値となり、水中保形性が大きく向上していることがわかった。

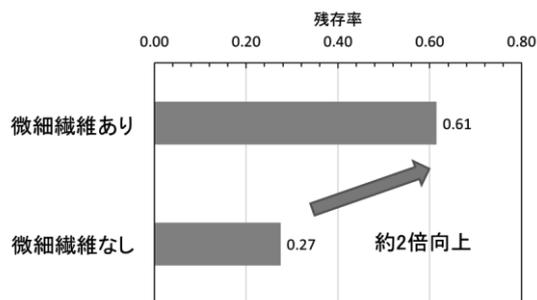


図3 水中保形性に与える微細繊維の影響

さらに、より実用的な水中保形性を評価するため、養殖カゴの揺れや海流といった海中環境を再現可能な水槽を利用して海水中保形性試験を実施した。その結果においても微細繊維添加配合飼料は簡易試験の結果と同様に高い水中保形性を示した。

4. おわりに

給餌量低減につながる水中保形性を向上させるために微細繊維を添加したウニ養殖用配合飼料の開発を行った結果、2wt%添加することで約2倍水中保形性が向上可能なことがわかった。持続可能なウニ養殖事業の確立に向けて、引き続き関係者と協力し、本技術の本格的な普及を図りたい。

（連絡先：seno-shuuichirou@hro.or.jp）

高温高圧水によるグルタミン酸からの有用物質の合成

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 〇近藤 永樹、吉田 誠一郎
新技術創生研究推進室 小川 雄太、松嶋 景一郎

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。本発表では、自然界に豊富に存在し、天然物から回収可能なグルタミン酸（Glu）を利用し、生分解性プラスチックの原料となる2-ピロリドン（2P）の合成を検討した結果を紹介する。2Pはナイロン4の原料として有望視されるが、現在は石油由来原料から生産されており、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 および加熱して得られるピログルタミン酸（PGA）を原料とし、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。

2. 回分式反応による変換と変換機構の推定

SUS 316 製の体積一定の反応容器に、所定圧力となる量の原料水溶液を密閉し、予備加熱した電気炉へ挿入した。2時間保持して反応を進行させた後、容器を直ちに電気炉から取り出し、冷水浴で急冷して反応を停止した。生成物はGC-MSで同定・定量した。

図1にPGAから2Pへの変換経路を示す。PGAから2Pを得るには、(1)水素加圧下での水素添加反応、(2)ワンポットで進行する脱炭酸反応の二つの経路が考えられる。回分式反応器を用いたPGAの反応の結果、2Pは超臨界水条件（400℃、25 MPa）で最も高収率を示し、その際、(1)で得られる中間生成物（ピログルタミノール）がGC-MSで検出されなかったため、この条件下では水素添加経路を経由しない脱炭酸反応が主たる経路であると推定された。

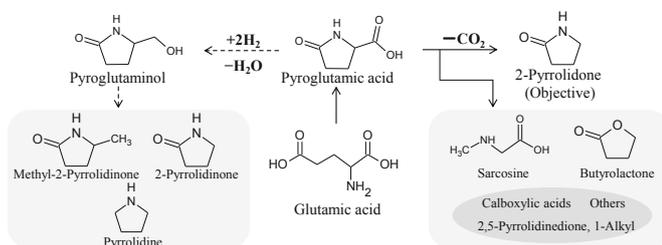


図1 ピログルタミン酸から2-ピロリドンへの変換経路

3. 流通式反応による変換と収率

次に流通式装置（超臨界/亜臨界水マイクロ空間反応システム）を反応に供した。水を高圧ポンプで送液し、別のポンプで送液した原料と反応部（ハステロイ製、0.5 mm×3 m、0.59 cm³）入口で混合することで所定温度まで昇温

し反応を行った。出口で急冷し反応を停止させた。圧力は背圧弁で制御し、生成物はGC-MSで分析した。

図2にPGAの変換結果を示す。流通式反応では、気相、液相、超臨界水条件で40通りの実験を行い、400℃、30 MPaにおいて最高収率を得た。また、超臨界水条件付近で高収率を示す一方、400℃の気相条件でも高収率を示し、さらに、収率向上の要因として水のイオン積（Kw）との相関を解析した結果、Kwが高いほど2P収率が向上する傾向が確認された。

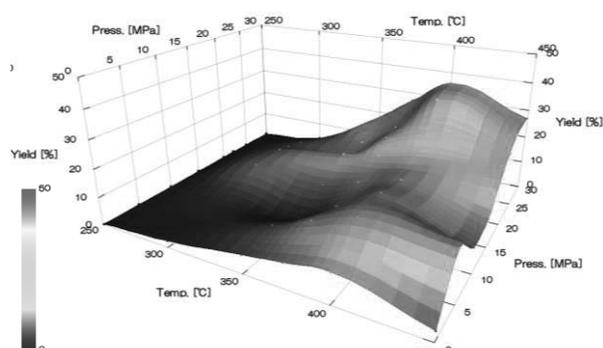


図2 ピログルタミン酸の変換反応結果

4. 実バイオマスを用いた反応

北海道産のコンプから、Gluを含む各成分を熱水抽出した後、イオン交換樹脂を用いた吸着・溶離を行い、濃縮した。その後、等電点晶析によりGluを結晶化し、減圧ろ過・乾燥によって実バイオマス由来Glu（実Glu）粉末を得た。この粉末を所定濃度に溶解し、回分式超臨界水反応を適用した。

実Gluを用いた回分式反応（374℃、22.1 MPa）では、2P収率が25%となり、試薬Gluを用いた結果（29%）とおおむね同等であることが明らかとなった。

5. おわりに

本研究では、水を反応場とする超臨界・亜臨界水技術を活用し、GluおよびPGAから2Pを合成するプロセスを検討した。今後は、広報活動を通じて関心を持つ企業等を募り、協力の可能性を模索する。また、実験条件の最適化により技術の完成度向上を目指す。

謝辞 本研究は JSPS 科研費22K14718の助成を受けました。コンプは北海道立工業技術センターより提供を受けました。

（連絡先：kondou-hisaki@hro.or.jp）

溶接補修後の金型鋼を強化するレーザー熱処理組織の解析

金型材料およびその溶接部への局所熱処理における
冶金的メカニズムの解明（令和5～6年度）

材料技術部 ○櫻庭 洋平、川上 諒大、宮腰 康樹

1. はじめに

金属製品の量産時に割れの生じたダイカスト铸造用金型は、損傷箇所を溶接補修で復元する必要がある。しかし、溶接後の金型鋼は熱影響部の硬さが変化し、この部分から早期に損傷するため耐久性の向上が必要となる。この対策として、熱影響部のみを強化するレーザー熱処理の活用が期待されるが、適切な熱処理を行うには、熱影響部の硬さと組織を解析し、その上で適切な条件の熱処理を加える必要がある。そこで、熱影響部の組織観察と結晶構造解析から硬さ変化のメカニズムを明らかにし、それをもとに硬さを平均化させるレーザー熱処理条件を探索した。

2. 金型鋼熱影響部の硬さおよび組織の解析

ダイカスト铸造の金型に使用する SKD61 改良鋼に、溶接金属を盛った溶接試験片を作製し、溶接金属～母材にかけての硬さ分布を測定した（図1）。

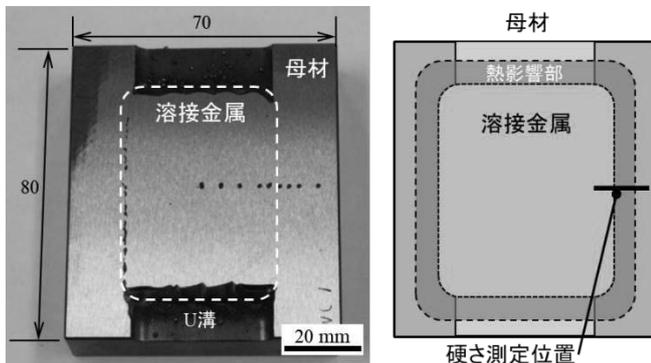


図1 金型鋼の溶接試験片

その結果、熱影響部の溶接金属側は母材部（約 510 HV）と比べ 100 HV 以上硬化し、反対に母材側は約 200 HV 軟化して、硬さの傾向に明確な違いが現れた（図2）。

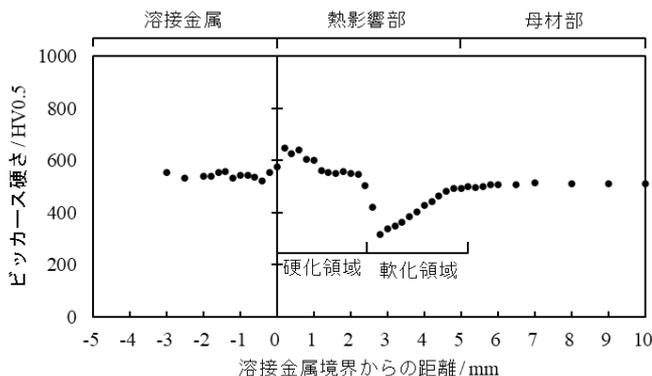


図2 熱影響部付近の硬さ分布

硬化領域と軟化領域の組織を電子顕微鏡で観察し、母材部と比べたところ、硬化領域では溶接時にマルテンサイト組織が形成され焼入硬化し、軟化領域では析出炭化物の増加によって焼戻二次硬化性が低下したことで軟化したと考えられる（図3）。

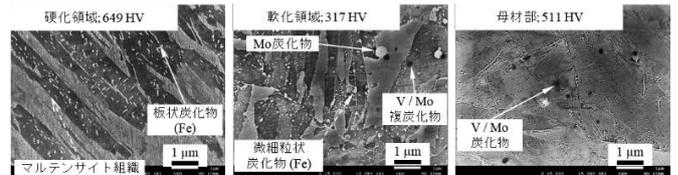


図3 熱影響部と母材原質部の組織比較

3. 熱影響部に対するレーザー熱処理条件の探索

金型鋼の熱影響部に表面温度の異なるレーザー熱処理を加え、硬さと組織の変化を解析した。その結果、表面温度を金型鋼のオーステナイト変態温度（ A_{C1} : 1073 K）以上とした場合、熱影響部全体がマルテンサイト変態し硬さも 650～700 HV に平均化された。反対に、 A_{C1} 点以下のレーザー熱処理では析出炭化物が増加し、軟化領域が拡大して硬さも平均化されなかった（図4）。以上より、レーザー熱処理で熱影響部を硬化させ硬さを平均化させるには、表面を A_{C1} 点以上に加熱して焼入硬化させる必要があることを明らかにした。

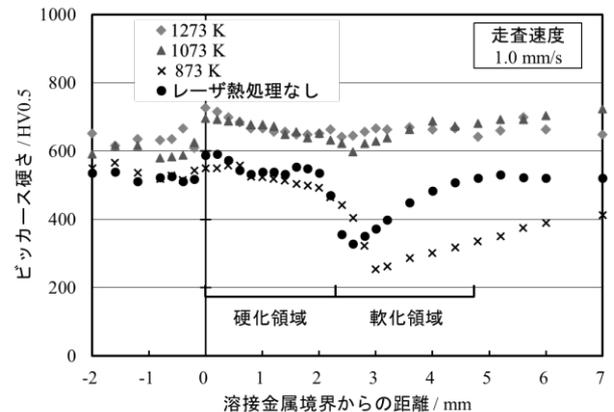


図4 表面温度の異なるレーザー熱処理後の硬さ分布

4. おわりに

金型鋼の溶接補修後の熱影響部組織を解析し、硬さを平均化させるレーザー熱処理条件を明らかにした。金型寿命を改善する熱処理技術として、道内の金型保守メーカーなどに技術移転を進めていく。

（連絡先：sakuraba-yohei@hro.or.jp）

摩擦熱を利用した鋳鉄部材の複合化

摩擦スポット接合法による鋳鉄部材の複合化（令和6年度）

材料技術部 ○植竹 亮太、櫻庭 洋平、中嶋 快雄
北海道科学大学

1. はじめに

鋳鉄はさまざまな工業製品に広く使用されており、アルミニウム等の軽量材料と冶金的に接合することで製品の軽量化や付加価値の向上につながる。しかし、これらの金属は融点差などの要因により一般的な溶接の適用が極めて困難である。また、接着やボルト締結等の代替手法では重量や工数の増加が課題となる。

そこで本研究では、溶融亜鉛めっきを施した鋳鉄とアルミニウム合金板材を、回転ツールによる摩擦熱を利用して接合する方法を検討した。母材を溶融させることなく、めっき層の亜鉛のみを選択的に溶融させ、これを接合材として活用することで、鋳鉄とアルミニウム合金の冶金的な接合を試みた。

2. 実験方法

図1に接合機構の概要を示す。接合はマシニングセンタを用いて行い、被接合材には溶融亜鉛めっきを施した球状黒鉛鋳鉄板材（板厚10mm）とA6061-T6アルミニウム合金板（板厚0.8mm）を使用した。被接合材を重ね継手の形状で配置し、アルミニウム合金板材側からツールを押し当て接合を行った。回転ツールには直径15mmのSKD61鋼丸棒を用い、端面中央に直径4mm、深さ10mmの止まり穴を設けた。接合パラメータは押し付け荷重を98N、196N、392Nの3水準、ツール回転数を2,000rpm、4,000rpmの2水準、接合時間を3秒、5秒、10秒の3水準とした。得られた継手の強度は、試験速度0.5mm/minでせん断引張試験を実施して評価した。

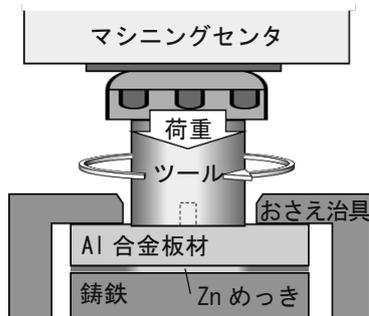


図1 接合機構の概要

3. 結果

表1に接合条件ごとの接合の成否を示す。回転数4,000rpmでは押し付け荷重、接合時間にかかわらず、ほとんどの試験で良好な接合を達成した。一方、回転

数2,000rpmでは接合不良が多発した。良好な接合が得られた回転数4,000rpm、荷重98Nおよび392N、接合時間3秒および10秒の4条件の継手に対してせん断引張試験を実施した。比較対象として、接合部と同径の頭部を有するボルトで締結した継手、ならびに接合部と同面積を金属用ボンドで接着した継手も同様の試験を行った。結果を図2に示す。試験の結果、押し付け荷重および接合時間の増加に伴い継手強度が向上し、押し付け荷重392N、接合時間10秒の条件で最も高い平均5.9kNを記録した。また、比較用の継手と比べると、金属用ボンドによる接着の約1.8倍、ボルト締結と同程度の接合強度が得られた。

表1 接合条件ごとの接合の成否

回転数 [rpm]	接合時間 [sec]	押し付け荷重 [N] (○:接合成功、×:接合不良)		
		98	196	392
2,000	3	×××	××	○××
	5	××	×○	××
	10	×××	××	×○○×
4,000	3	○○○○	×○	○○○×○
	5	○○	○○	×○
	10	×○○○○	○○	○○○○



図2 せん断引張試験結果

4. まとめ

回転ツールによる摩擦熱を利用した工法を用いて、亜鉛めっきを施した鋳鉄とアルミニウム板材の接合を試み、接合が達成される条件を明らかにした。得られた継手は、ボルトによる締結と同等の強度を示し、良好な接合が実現された。

(連絡先: uetake-ryouta@hro.or.jp)

万能材料試験機による金属製品の強度試験事例

技術指導（令和4年度）

材料技術部 ○中嶋 快雄
(株)二二商会、及川鉄工(株)

1. はじめに

当場は長年、道内企業の要望にもとづき金属製品等に機械的な力を加える強度試験に取り組んできた。試験に適用できる規格(JIS等)がない場合は、製品・目的に適する試験方法を提案し支援を行ってきた。ここでは万能材料試験機(以下「試験機」)を用いる試験の要点を説明し、実施した事例から2件を紹介する。

2. 万能材料試験機による試験

試験方法は、材料力学や金属材料の機械試験法を基礎として考案するが、様々な実製品に対応するための要点りのうち特に必須となるのは次のとおり。

- 試験機は引張または圧縮のいずれかのみ動くため、一方向の負荷による試験を行う。
- 製品および試験機に合わせたジグを製作(原則依頼者負担)する。

なお、試験対象が製品ではなく、接合部である場合は、破断等の位置を特定し、最大荷重(または強度)を被接合材の数値と比較すると、接合の良否がわかりやすくなる。

3. 金属製品等の強度試験事例

3.1. 製品の試験事例

株式会社二二商会の消防訓練設備用金具「丸環」は、使用荷重を基準とした試験を製作企業にて行い、供給後は問題なく使用されてきた。あるとき当該製品の限界の強度を調べるにあたり、同社が保有する設備より大容量の試験機が必要となったことから、当場の試験機を使用することとした。

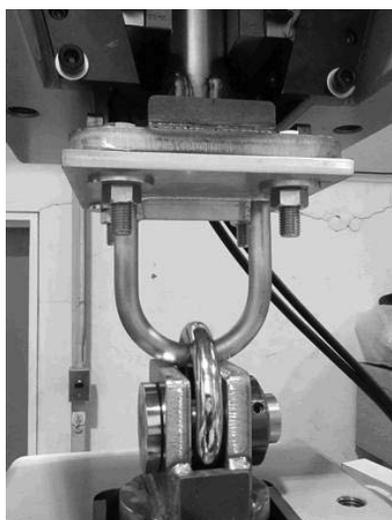


図1 製品「丸環」の強度試験

当該企業にて試験用ジグを製作し、試験した結果、当該製品が塑性変形はするが破断に至らない荷重を把握し、使用荷重を上回っていることを確認した。また、破壊試験により破断位置がわかった。

3.2. 接合部の試験事例

及川鉄工株式会社が製作・販売しようとする金属製品の1つに、ナットと鋼板を接合する工程があり、接合法として「圧入法」と「溶接法」を候補とした。両者を比較すると、圧入法は工程が簡易であるが接合は冶金学的ではない、溶接法は冶金学的な接合であるが、製作のコストが大きいと一長一短である。そこで、実験結果を比較することにより、いずれを採用するかを決定することとした。

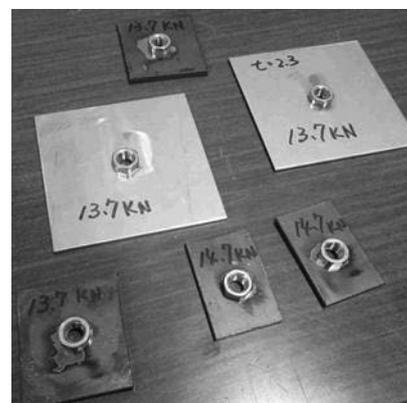


図2 試験体「ナットと鋼板との接合部」

試験用ジグを製作して試験を行った結果、圧入法は、試験体ごとにバラツキがあり強度も低いことがわかった。したがって、製品として必要な強度を示した溶接法を採用した。

4. おわりに

試験機は一軸・静的荷重であるため、単純な試験のみが可能であるが、見てわかりやすい実体試験により、説得力のある知見を得られるのが特長である。

製品を最もよく知るのは依頼企業であり、試験については当場に相当程度の技術蓄積があることから、これらを組み合わせることにより、様々な試験体へ対応することが可能となる。

謝辞

本技術支援で使用した万能材料試験機は、JKA 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) 工業試験場成果発表会 発表要旨集(2022)

(連絡先: nakajima-yoshio@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6年4月1日現在

複数センサ統合による調理中の状態変化認識

複数種の感覚を利用した状況認識手法の検討（令和6年度）

産業システム部 ○宮島 沙織、井川 久

1. はじめに

労働力不足を解消するためには、人間の複合的な判断力が求められる高度な作業にも適用可能な自動化技術の開発が必要である。そこで本研究では、人間の五感のように複数のセンサから得られた情報を統合した状態認識の実現を目指し、具体的なタスクとして、加熱調理されている肉の焼き具合の認識に取り組んだ。

調理作業は、加熱や泡立てなど視覚情報のみでは正確な状態把握が困難な工程が多いため自動化が進んでおらず、本研究のタスクとして最適である。

2. 調理中の状態変化認識のための計測環境構築

状態の変化を認識するためには、まずその変化がどのように現れるかを把握し、それを計測可能な適切なセンサを選定する必要がある。

肉の加熱により生じる主な変化は、脱水とタンパク質の変性である。肉を構成するタンパク質は加熱により変色するとともに収縮・硬化する。また熱源に接している面は、メイラード反応・カラメル化・炭化など温度に応じて香気成分を伴う様々な反応が生じる。このように、加熱調理中の肉の状態変化は外観・湿度・温度・音・匂いの変化として観測することが可能である。そこで、これらの情報を計測可能な機器やセンサ類を選定し、図1に示す実験環境を構築した。

3. LSTMによる状態認識の試行と結果

まず、肉の焼き加減を認識するためのデータセットを作成した。前節で構築した実験環境を用いて状態を計測しながら、牛の成形肉（1辺約20mmのサイコロステーキ）を加熱する実験を9回実施してデータセットとした。成形肉は、食品衛生の観点から70℃で3分間の加熱が推奨されている。そこで認識対象とする焼き加減は、温度センサを用いて計測した肉の内部温度をもとに以下の3状態と設定した。

- ①生焼け: 70℃で3分間加熱される前
- ②適度: 70℃で3分間加熱後、内部温度80℃到達前
- ③焼きすぎ: 内部温度80℃以上

複数種類のセンサ情報を用いた状態認識手法には多様なアプローチが存在するが、本研究では事前に統合したデータを一つのネットワークに入力する Early fusion という手法を採用した。状態認識には時系列データ処理に適した長期短期記憶ネットワーク（LSTM: Long Short Term Memory Network）を使用した。

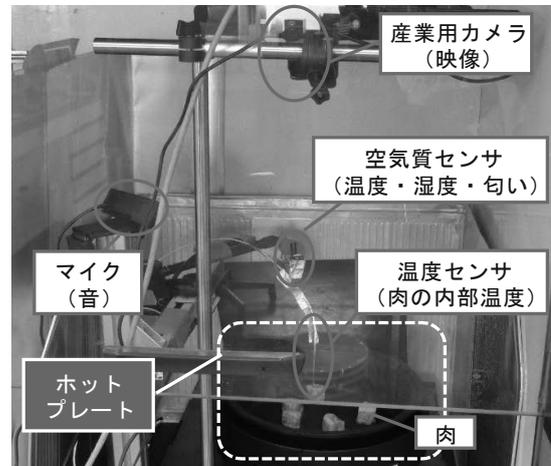


図1 構築した実験環境と使用機器・センサ

センサデータを統合するにあたり、産業用カメラのデータは他のデータよりも次元数が大幅に大きいため、映像そのものではなく1フレームごとに肉の領域の色情報（明度と彩度）を抽出して特徴量として使用した。肉の領域検出には物体検出モデルであるYOLOv11を学習させて使用した。また、音はハイパスフィルタでノイズを除去した後、音量に相当する振幅の二乗和(RMS)と、音の周波数成分の特徴に相当するスペクトル重心の2つを抽出して使用した。

実験9回分のデータのうち8回分を学習用、残り1回分をテスト用としてデータセットを作成し、認識精度の評価を行った。学習用・テスト用の全組み合わせ8通りについて前述の3状態の認識を行った結果、平均83%の正解率で認識可能であることを確認した。

また、比較として各センサデータを個別に用いて同様にLSTMを学習・評価した結果、いずれも正解率は80%未満であった。このことから、複数種類のセンサデータを統合して状態認識を行うことで、単一のセンサ情報では捉えきれない変化にも対応可能になったと考えられる。

4. おわりに

今回は加熱調理を対象として複数センサ情報を統合した状態認識を行ったが、本成果は部品の研磨作業、農作物の収穫適期の判断や選果など、複数の感覚を用いて行う様々な作業の自動化に適用可能である。

今後はTransformerなどのより高度な深層ニューラルネットワークの活用に加え、他の産業分野における作業への展開についても検討を進める予定である。

（連絡先：miyajima-saori@hro.or.jp）

製糖工場の省人化を目指したてん菜自動切断・整列装置

高速搬送・切断機構を備えた近赤外てん菜糖分計測システムの開発（令和5年度）
てん菜高速切断装置の開発（令和6年度）

産業システム部 ○吉田 道拓、井川 久、本間 稔規、岡崎 伸哉
（一社）北海道農産協会

1. はじめに

製糖工場では原料となるてん菜の買入れ価格を査定するために旋光計を用いた糖分計測を行っているが、作業の複雑さや人手不足から計測工程の自動化が望まれている。当場では近赤外光の反射スペクトルを用いて高速に糖分を計測する装置を開発してきたが、精度良く計測するためにはてん菜を半割し、切断面をセンサに接する状態で装置へ投入する必要がある。そこでこれまでに丸刃を備えたてん菜の高速切断装置を開発し、当初目標（1.8秒/株）を上回る切断処理速度を達成した。しかし、てん菜のサイズや形状は様々であるため半割動作の安定性に課題が残った。

そこで本研究では、サイズや形状にバラつきがあるてん菜を中央で半割し、安定して切断面を接地させる装置を開発した。

2. センタリング機構、切断面接地機構の開発

開発した装置では、平行に並べた2台のコンベアでてん菜を搬送し、コンベア間に設置した丸刃により切断する構造とした。コンベアは傾斜させてV字型に配

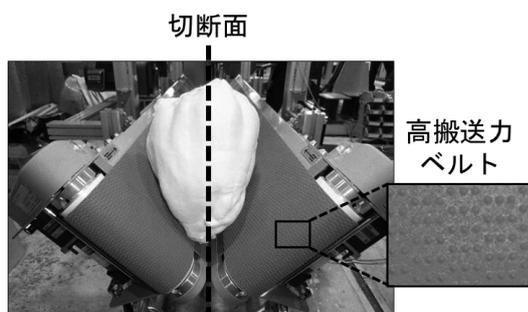
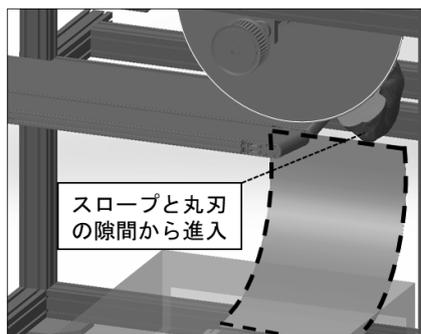


図1 センタリング機構



(a) これまでの機構：片割れの進入により不安定

置し、谷間にてん菜を挟んで搬送する機構を開発した（図1）。試作機で試験した結果、てん菜を丸刃に対してセンタリングして搬送することが可能となり、てん菜のサイズや形状の影響を受けずに正確に中央で半割することが可能となった。

切断面接地機構は切断直後のてん菜の断面をスロープで誘導する方法とした。スロープは装置の片側のみ設置され、半割した一方を後段の計測機へ搬送し、もう一方の片割れは廃棄する。従来の機構ではスロープ上縁が水平であったため丸刃とスロープの間に隙間があり（図2(a)、本来廃棄される片割れが隙間からスロープ上に進入し、計測サンプルと衝突して整列に失敗する場合があった。そこで、スロープの形状を丸刃の縁に沿うように改良し、丸刃・コンベア・スロープの位置関係を調整した結果、計測サンプルのみを安定して整列させることが可能となった（図2(b)）。

3. 動作試験

装置の性能評価のためにサイズや形状の異なる16個のてん菜を用いて動作試験を行った結果、すべてのてん菜を中央で切断した上で、断面を接地させて整列可能であることを確認した。

4. おわりに

本研究で開発中の糖分計測システムにより、製糖工場における糖分計測業務の省人化が期待できる。今後は、自動化ラインとして現場へ導入する際の搬送機構の検討や省人化効果の検証等を進める予定である。

（連絡先：yoshida-michihiro@hro.or.jp）



(b) 開発した機構：スロープ形状の改良で安定

図2 切断面接地機構

てん菜受渡業務の遠隔モニタリングシステムの開発

原料てん菜の受渡に於ける原料評価・立会業務のDX化に向けた
遠隔モニタリングシステムの開発（令和6年度）

産業システム部 ○岡崎 伸哉、藤澤 怜央
（一社）北海道農産協会

1. はじめに

製糖工場では原料てん菜の受渡の際、生産者立ち会いのもとで査定を行っている。この受渡査定・立会業務では、主に原料てん菜の外観について目視検査を実施しているが、熟練者の人材確保が困難となっており、当該業務のDX化が求められている。本発表では、AIによる査定値推定機能を組み込んだ、遠隔地から受渡査定現場を確認可能な遠隔モニタリングシステムの開発と現場試験の結果について報告する。

2. 遠隔モニタリングシステムの構成

図1に今回構築したシステムの構成を示す。このシステムは遠隔モニタリング用カメラ、コーデック、AI査定用カメラ、AI解析用PC、通信用ルーターにより構成され、受渡査定現場に設置される。遠隔モニタリング用カメラの映像およびAI解析用PCで推定された査定結果を、携帯電話網を用いたインターネット経由でクラウドサーバーにアップロードし、システム利用者がそのクラウドサーバーにwebブラウザでアクセスすることで、映像および推定査定結果を確認することが可能である。



図1 遠隔モニタリングシステムの構築

3. 受渡査定現場における連続稼働試験

受渡にはビートパイラーと呼ばれる除土積上装置（以下、パイラー）を使用している。構築したシステムを複数のパイラーに設置し、連続稼働試験を実施した。表1に試験および結果の概要、図2に屋内Aの試験環境を示す。屋外BおよびCでは受渡業務時間外は発電機が停止することから、システムと発電機の間は無停電電源装置（以下、UPS）を設置し、自動起動・停止機能を組み込んだ。屋内現場は常に電源が供給されているが屋外現場と条件を一致させるため、UPSと商用電源の間にタイムスイッチを設置し、時間外は電源供給を停止した。

試験の結果、モニタリング映像は3カ所の現場において安定稼働したが、屋外Cのみ一部の映像に乱れが

生じた。これは、パイラーの駆動モーター等から発生したノイズが原因と考えられる。AI解析機能に関しては、屋内Aおよび屋外Bともに試験期間の前半は安定して稼働したものの、後半ではエラーが発生した。これらのエラーのうち、屋内Aのものに関してはプログラム改良で回避可能であった。屋外Bに関しては、パイラーの振動により発生したUPS内蔵バッテリーのコネクタ接続不良や、モーター駆動による電圧変動が原因と考えられる。また、屋外Cに関しても自動起動失敗などの不具合が発生した。これは、屋外Bで使用した試験装置を試験終了から1週間後に移設して試験に利用したことが原因と考えられる。このように、モニタリング映像の乱れとシステムの自動起動時の不具合に対する対策が今後の課題として残ったが、システムの機能としてはおおむね期待どおり動作することが確認できた。



図2 試験環境（屋内A）

表1 試験および結果の概要

設置場所	屋内A	屋外B	屋外C
期間	3ヶ月	1ヶ月	3日
電源	商用電源	発電機	発電機
モニタリング映像	安定稼働	安定稼働	一部映像にノイズ
AI解析用PC	前半2ヶ月 安定稼働 後半1ヶ月 エラー停止	前半2週間 安定稼働 後半2週間 自動起動失敗	自動起動失敗

4. おわりに

本開発では、てん菜受渡業務の省力化を目的として、遠隔地から受渡査定現場を確認可能な遠隔モニタリングシステムを開発した。今後は、システム動作の安定性を高めるとともに、ユーザビリティに関して製糖関係者と調整を図る。

（連絡先：okazaki-shinya@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）

産業システム部 ○泉 巖、川崎 佑太
帯広畜産大学

1. はじめに

分娩前後の乳牛に多発する低 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、早期発見による対処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 濃度をモニタリングし、その推移から低 Ca 血症の発症を予測することで、早期対処を可能とするシステムの開発に取り組んでいる。

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。

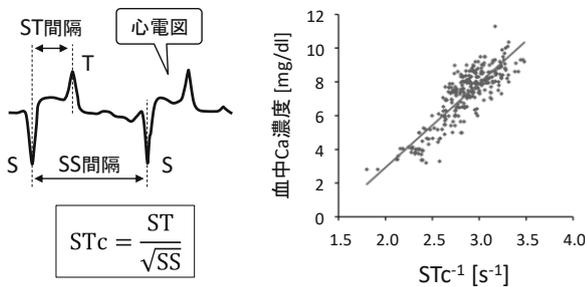


図 1 STc 間隔の概要（左）と Ca 濃度との関係（右）

3. 低 Ca 血症予測アルゴリズムの開発

低 Ca 血症の発症を効果的に抑制するには、予防が重要である。そこで、心電図から算出した血中 Ca 濃度データをモニタリングし、その推移から今後の血中 Ca 濃度の低下を予測するアルゴリズムを開発した（図 2）。

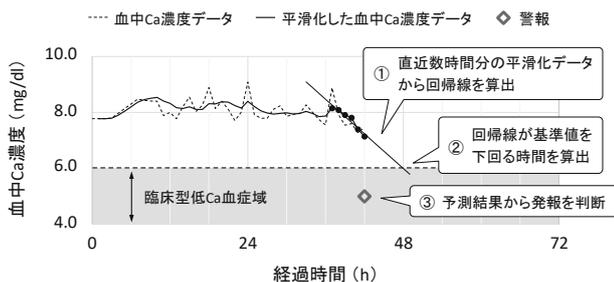


図 2 予測アルゴリズムの概要

分娩前後の乳牛から 1 時間ごとに算出した血中 Ca 濃度のデータセット（N=26）に開発したアルゴリズムを適用した結果、臨床性低 Ca 血症を呈するデータ（N=9）に対し、平均で発症の 7.8 時間前に警報を発報することができた（図 3）。なお、発報漏れの事例はなかった。

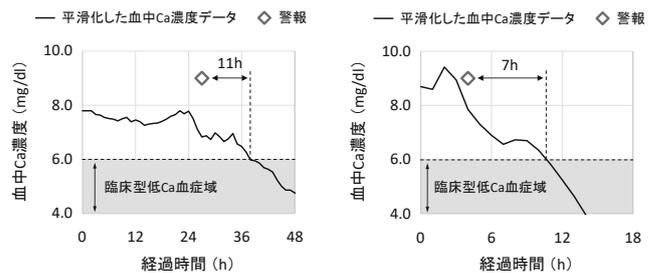


図 3 予測結果の例

4. 予測システムのサーバー実装

開発した予測システムをサーバーに実装し、インターネット上で利用できるようにした（図 4）。ウェアラブル心電計で計測した心電図データは Wifi で送信され、サーバーで血中 Ca 濃度データの算出とモニタリングが行われる。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。

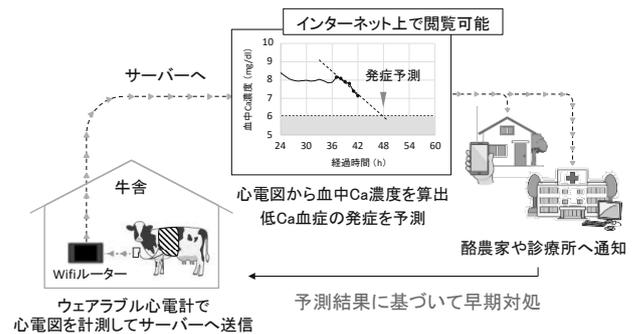


図 4 実装したサーバーシステムのイメージ

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 濃度のモニタリングを行い、低 Ca 血症の発症を予測するシステムを開発した。

今後は開発したサーバーシステムを実際の牧場等で運用し、予測結果にもとづく早期対処の有効性などを検証する予定である。

（連絡先：izumi-iwao@hro.or.jp）

プラスチックの紫外線劣化と粘弾特性への影響評価

動的粘弾性の解析による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、可児 浩、吉田 昌充、土田 晋士

1. はじめに

プラスチックはあらゆる外的要因で劣化し、特に屋外で利用されるプラスチックは紫外線によって外観や強度が変化する。これら紫外線劣化を伴ったプラスチックをリサイクルする場合においては材料物性が変化していることに留意して再評価する必要があるが、長期的な使用を見込んだ際の耐久性評価をリサイクルプラスチックで行うことは所要時間とコストの観点から極めて困難である。本研究では、プラスチックの粘弾特性が持つ「温度-時間換算測」にもとづき、約 1 年分の耐候劣化を受けた種々のプラスチックの高温クリープ試験を実施し、約 10 年間の継続利用を見込んだプラスチックの変形（クリープ）挙動を予測した。

2. 試験方法

使用した材料はいずれも射出成形によって短冊状に成形したポリプロピレン (PP)、ポリスチレン (PS)、アクリロニトリル-ブタジエン-スチレンプラスチック

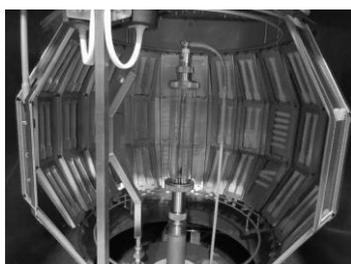


図 1 促進耐候試験の様子

(ABS)、ポリメチルメタクリレート (PMMA)、ポリカーボネート (PC) である。これら試験片を促進耐候試験機（スーパーキセノンウェザーメーター、スガ試験機製 SX75）を使い、屋外で約 1 年間使用した際の紫外線量に相当する約 1,000 時間まで耐候劣化させたのち（図 1）、23℃、30℃、40℃、50℃、60℃で三点曲げクリープ試験を行った。各温度で試験したクリープ試験結果の時間軸は粘弾特性の温度-時間換算測に則って式(1)を適用できる。

$$t_r = a_T \times t \quad \dots(1)$$

ここでは t_r : 基準温度における測定時間、 a_T : シフトファクター、 t : 測定温度における測定時間とする。 t_r を 23℃での測定時間とした場合、30℃～60℃で行ったクリープ試験結果は時間軸を a_T の倍率で加速的に試験した結果であるとみなすことができ、各温度のクリープ曲線を重ね合わせることで数年分の耐久性評価が可能になる。本研究では耐候劣化させた 5 種のプラスチックに温度-時間換算測を適用し、約 10 年分のクリープ挙動を予測した。

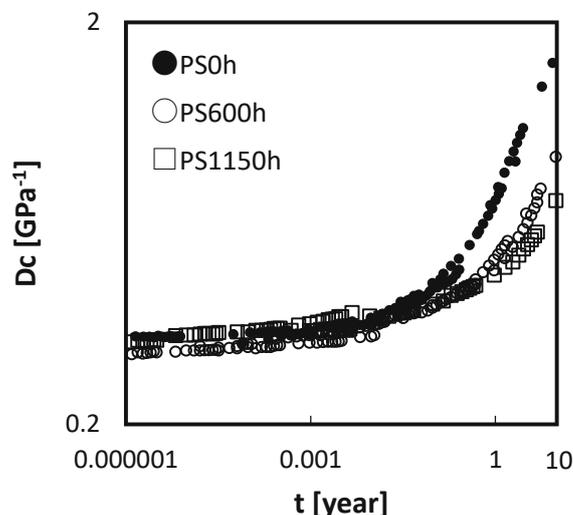


図 2 PS のクリープ曲線

3. 試験結果

ここでは代表して PS のクリープ試験結果を図 2 に示す。縦軸はクリープ変形の度合を表すクリープコンプライアンス D_c であり、値が高くなるほど変形が大きいことを表す。横軸は時間（年）を表す。60℃におけるクリープ試験結果から算出した a_T は 15,000 であり、これは 60℃下において PS は 23℃の時と比較して 15,000 倍の速度でクリープ変形が進行することを意味する。この値を用いて促進耐候試験を 0h、600h、1,150h で行った 3 水準の試験体 (PS0h、PS600h、PS1,150h) についてクリープ挙動を比較した結果、耐候劣化が大きくなるほど D_c は増大しづらくなり、クリープ耐性が向上することが示された。この傾向は他のプラスチックの ABS、PC、PMMA においても見られた一方で、PP に対しては耐候劣化が大きくなるほどクリープ耐性が減衰した。このような差異は紫外線曝露によって変化したプラスチックの分子構造に関与していると考えられ、より多角的に現象を検討する必要がある。

4. おわりに

本研究では種々のプラスチックの劣化と耐久性の関連に着目し、約 1 週間の高温クリープ試験で 10 年分のクリープ挙動と耐候劣化の影響を評価することができた。一方で、紫外線によって生じるプラスチックの構造変化については未だに不明な点があり、今後も詳細な解析を行っていく。

（連絡先：hosokawa-masaaki@hro.or.jp）

屋外暴露による PP/CNF 複合材料の耐候性試験

産総研・地域オープンイノベーション強化事業

ポリプロピレンとセルロースナノファイバーを用いた複合材料の屋外暴露試験および評価
(令和 4~6 年度)

材料技術部 ○土田 晋士

熊本県産業技術センター 他 全国公設試 計 44 機関、(国研) 産業技術総合研究所

1. はじめに

セルロースは賦存量が最も多い天然の有機素材である。近年、セルロースを利活用した研究開発が盛んに行われており、とりわけ、セルロースより取り出されるセルロースナノファイバー (CNF) は、樹脂の補強効果が期待されており、その複合材の社会実装化に向けた取り組みが活発化している。

樹脂への CNF の添加による機械強度の改質例が報告される一方で、耐候性に関する調査事例は乏しい。そこで本研究では、汎用的に広く用いられるポリプロピレン (PP) および CNF との複合材料 (PP/CNF) に対し、全国公設試 44 機関との共同で屋外暴露試験のラウンドロビン・テストを行った。本発表では、当场が採取した評価結果について報告する。

2. 屋外暴露試験

屋外暴露試験は JIS K 7219 に準拠し、当场屋上に設置した暴露台 (南向き、仰角 45°) に、PP および CNF を 10 wt% 添加した PP/CNF の射出成形試験片を取り付けた。屋外暴露試験前の試験片を基準 (0 カ月) とし、試験開始後、3、6、12、18 および 24 カ月の計 6 ポイントで外観評価および引張試験を実施した。



図 1 屋外暴露試験

3. 屋外暴露後試験片の評価結果

外観評価の結果、PP/CNF の試験片において、屋外暴露期間の経過に伴い、暴露面の白化が観測された。また、デジタルマイクロスコープによる暴露表面の観察を行ったところ、いずれの試験片も 12 カ月の暴露で、成形方向に対し垂直な亀裂の発生が観測された。

引張試験について、所定期間暴露後の試験片が示す引張強度を暴露前の試験片が示す引張強度で除して保持率を算出した。PP 試験片では、暴露後 12 カ月で保持率が著しく低下し、24 カ月の暴露期間で 30.7% の保持率であった一方、PP/CNF 試験片では、期間の経過

とともに保持率は低下するものの、その程度は緩やかであり、最終的に 79.6% の保持率を維持した。

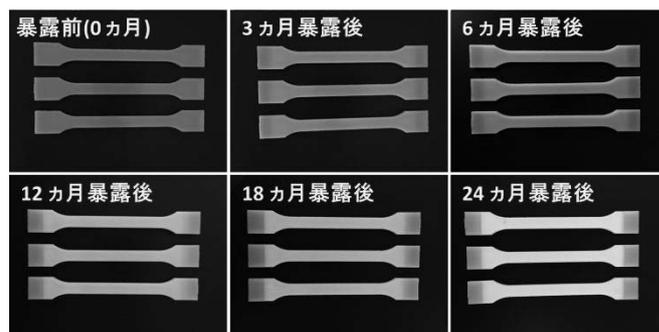


図 2 PP/CNF 試験片の外観評価

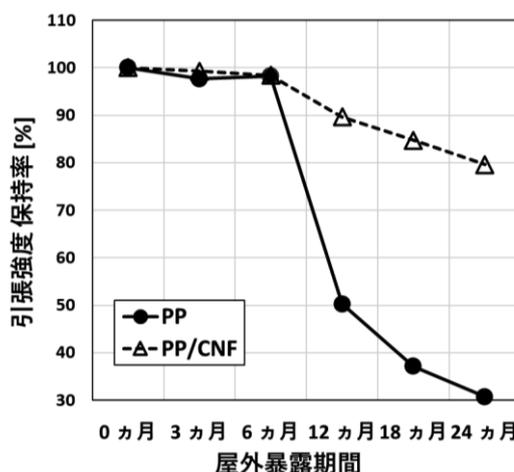


図 3 屋外暴露期間に対する引張強度保持率

4. おわりに

屋外暴露試験の結果、PP/CNF は PP と同様に暴露表面に亀裂が発生するものの、引張強度保持率の低下は小さかった。このことから、CNF は PP 樹脂に対する機械強度の改質のみならず、光劣化に対する耐久性をも付与できることが明らかとなった。

謝辞

本研究の実施に際し、産業技術連携推進会議高分子分科会共同研究幹事の熊本県産業技術センターをはじめ、分科会会員機関ならびに産業技術総合研究所に御礼を申し上げます。

(連絡先: tsuchida-shinji@hro.or.jp)

樹脂被覆肥料の代替を目指した無機系徐放性肥料の開発

(令和 5~6 年度)

材料技術部

○執行 達弘

新技術創生研究推進室

森 武士、小川 雄太、松嶋 景一郎

1. はじめに

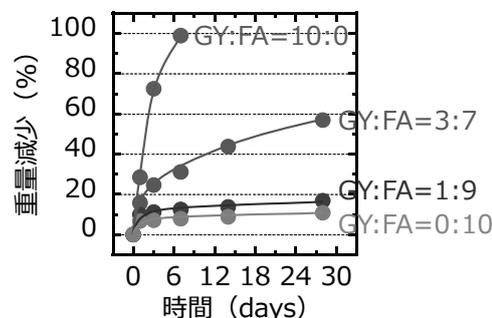
徐放性肥料とは、圃場で徐々に肥効成分を放出する肥料である。長期間にわたって農作物の成長を助けるだけでなく、施肥量の削減による省資源や環境負荷の軽減、施用回数の低減による省力化を実現している。徐放性肥料の大部分が樹脂被覆肥料であり、水溶性の肥効成分を安定な樹脂の被膜で覆うことで放出挙動を高度に制御している。しかしながら、近年、マイクロプラスチック汚染の問題から、圃場での樹脂の使用と海洋への流出が懸念されており、樹脂被覆肥料の代替となる徐放性肥料の開発が喫緊の課題となっている。本研究では、無機系の「崩壊性材料」を用いた新たな徐放性肥料の開発を試みた。

2. 水中で任意の崩壊挙動を発現する材料の開発

発表者らは、二水石膏（硫酸カルシウム二水和物）とシリカゾルを混合することで硬化体を得られ、その硬化体は水中で 7 日間をかけて徐々に崩壊することを報告した（技術移転フォーラム 2022）。しかし、これを徐放性肥料に適用するには、さらなる耐水性の付与が課題であった。一方、ジオポリマーとは、非晶質ケイ酸アルミニウムとアルカリを混合することで得られる硬化体であり、強度と耐水性に優れることが知られている。そこで、二水石膏とシリカゾルにジオポリマーを組み合わせることで、崩壊性材料、すなわち水中で任意の崩壊挙動を発現する材料の開発を試みた。

原料に二水石膏とシリカゾル、さらにジオポリマー源としてフライアッシュと 10 mol/L 水酸化ナトリウム水溶液を用いた。これらを種々の割合で混合した後、一軸成形で直径 6 mm、長さ 6 mm のペレットを作製し 60°C で 24 時間乾燥することで硬化体を得た。水中での崩壊挙動を調べるため、23°C の恒温室において硬化体 500 mg を 500 mL の蒸留水に浸漬した後、24 時間ごとに蒸留水を交換し重量減少の時間依存性を測定した。

図 1 に、二水石膏とフライアッシュの混合比が 10:0、3:7、1:9、0:10 の粉末に 10 mass% のシリカゾルまたは 25 mass% の 10 mol/L 水酸化ナトリウム水溶液を用いて作製した硬化体の水中での崩壊挙動を示す。これより配合の割合で崩壊挙動が制御できることがわかった。また、3:7 では 28 日で重量減少が 57% であり、徐放性肥料に適した崩壊挙動を示すことがわかった。なお、圧壊強度も 74 N であり、肥料に適した強度であった。



GY : 二水石膏 FA : フライアッシュ

図 1 硬化体の水中での崩壊挙動

3. 開発材料と化学肥料の複合

開発材料（二水石膏とフライアッシュの混合比が 3:7 の粉末に 25 mass% の 10 mol/L 水酸化ナトリウム水溶液を用いて作製した硬化体）と化学肥料（硫安・重過石・硫加）を用いて、押出造粒機で混練粒子を、パン型造粒機で被覆粒子を作製した。作製した粒子に対して先述の浸漬試験を行い、蒸留水に溶出した肥効成分の濃度を求めた。

図 2 に、開発材料と硫加の被覆肥料の外観を示す。比較的均一な被覆肥料を作製できたが、溶出期間は 7 日であった。開発材料では二水石膏がジオポリマーに取り込まれて耐水性を発現することを期待したが、X 線回折によって、二水石膏とフライアッシュの大部分は混合物であることがわかった。したがって、崩壊には 28 日など長期間を必要としたが、より短期間のうちに二水石膏が溶出し、その空隙から肥効成分も溶出したものと推察できる。



図 2 開発材料と硫加の被覆肥料の外観

4. おわりに

実用化には溶出期間を延ばす必要があることから、被覆条件に加え、肥効成分の溶出を抑制可能な崩壊性材料の検討も含めた基礎研究を継続する。

(連絡先 : shigyo-tatsuhiko@hro.or.jp)

環境調和型プロセスによる天然由来物質の高機能化

深共晶溶媒の構造設計による効率的な化学プロセス技術の開発（令和5年度）

天然由来物質の化学変換について（令和6年度）

材料技術部 ○吉田 誠一郎、近藤 永樹、執行 達弘
新技術創生研究推進室 小川 雄太、松嶋 景一郎

1. はじめに

近年、化学工学の分野では SDGs の観点などから、有機溶媒を用いない環境調和型プロセスの開発が求められている。これまで我々は、水蒸気や深共晶溶媒（Deep Eutectic Solvent, DES）を用いた天然由来物質の高機能化技術について研究を進めてきた。本研究では、水蒸気を反応媒体に用いたアミノ酸から環状ジペプチド（Diketopiperazine, DKP）への化学変換、および DES を用いたファイトケミカルの抽出ならびに糖から化成品原料への化学変換を紹介する。

2. 水蒸気を反応媒体に用いたアミノ酸の化学変換

農畜水産物などにも豊富に含まれるアミノ酸は、化学反応により、機能性を有するペプチドなどに変換することが可能である。これまで我々は、アミノ酸を高温の水蒸気存在下で反応させることにより、触媒や有機溶媒などを用いず、二分子のアミノ酸が環状構造をとった、DKP が効率的に得られることを見いだした（特願 2021-022190）。DKP はアミノ酸の組み合わせにより、睡眠の質向上や脳機能の改善など様々な機能が報告されていることから、健康食品や医薬品などへの利用が期待される。例として、構造の異なるいくつかのアミノ酸を水蒸気反応に供した場合の DKP 収率を図1に示した。いずれのアミノ酸からも DKP が得られるが、収率を向上するためには、アミノ酸と水のモル比を最適化する必要があることを見いだした。

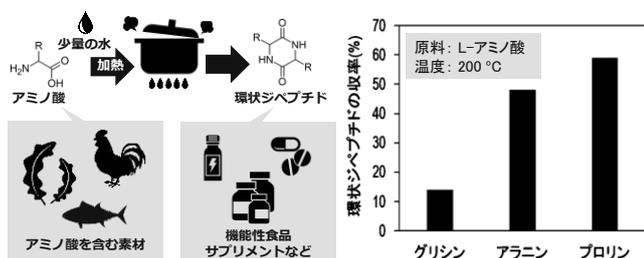


図1 水蒸気によるアミノ酸からのDKPの合成

3. DES を用いた抽出および化学変換

DES とは、水素結合の受容体および供与体として働く複数の化合物からなる溶媒である。原料に糖や有機酸などを用いることができ、原料の組み合わせを変えることで物理化学的な特性を設計可能な溶媒である。我々はこれまで、DES を用いた抽出や反応技術の開発

に取り組んできた（図2）。例えば、ファイトケミカルの一種であるβ-カロテンは、ニンジンなどに含まれる抗酸化性物質であるが、水に溶けにくいいためその抽出には有機溶媒が用いられる。そこで、疎水性を示すDESを用いてニンジンからのβ-カロテン抽出を検討した結果、水では全く抽出されないβ-カロテンを効率的に抽出することができた。また、酸性を示すDESを用いて、糖の一種であるフルクトースから、プラスチックや燃料の原料となるHMFの合成を検討した。適切な酸性度を有するDESを用いることで、HMFの収率は最大で約90%まで到達した。このように、用途に応じてDESの物理化学的特性を設計することで、所望の化学プロセスを効率化できることがわかった。

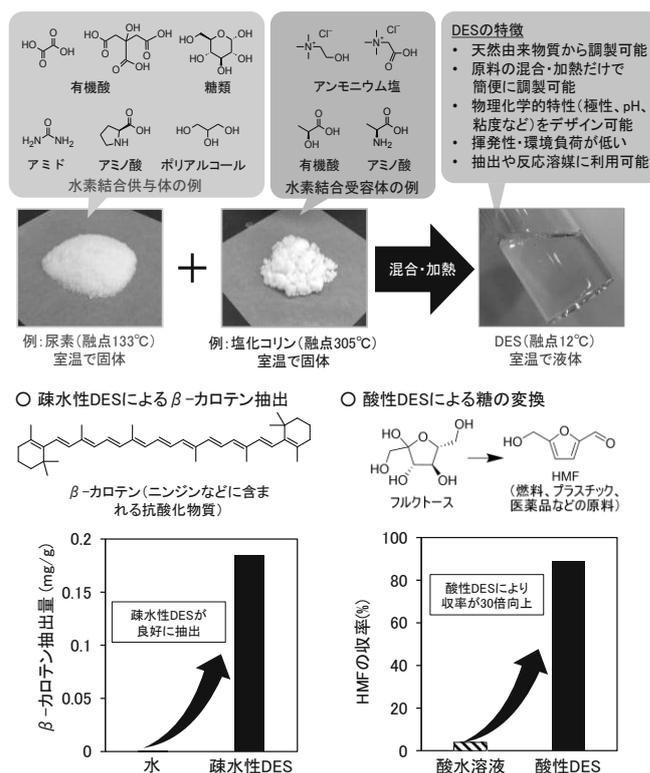


図2 DESの概要とDESを用いた抽出と変換の例

4. おわりに

水蒸気やDESを用いた環境調和型プロセスによる、天然由来物質の高機能化技術について紹介した。今後は、具体的な道内資源の活用ニーズに関する情報収集を行い、天然由来物質の有効利用へとつなげる。

（連絡先：yoshida-seiichiro@hro.or.jp）

ハイ・エントロピー合金の粉末焼結に関する研究

(令和 5~6 年度)

材料技術部 ○中嶋 快雄、宮腰 康樹、飯野 潔

1. はじめに

ハイ・エントロピー合金(HEA)は、5種類以上の金属をほぼ等量混ぜた合金であり、CrMnFeCoNi 組成は低温における強度・延性がいずれも高いことが報告されている。一般的に金属は粒径が微細なものほど機械的性質が優れていることが知られており、当場の保有技術でもある放電プラズマ焼結法(SPS 法)は微細結晶粒の優れた特徴を有する材料の作製に適している。そこで本研究では、金属5元素を等量混合した粉末から SPS 法を用いて HEA を作製することを試み、さらに作製した試料の強度評価を行った。

2. 組成と作製条件の探索

CrMnFeCoNi の組成について、試薬粉末(粒径 2~63 μm)を 20at%ずつ秤量し、メカニカルアロイング(MA)による合金化促進を期待し遊星ボールミル(PBM)(ボール質量/試料質量=65)による混合・粉砕を行い、SPS 装置による焼結条件を変えた実験に供した。得られた粉末および焼結体を走査型電子顕微鏡(SEM)、付属の元素分析装置(EDS)、X線回折装置(XRD)等により観察・分析した。PBM (回転数:360rpm、混合粉砕時間:100h)処理した粉末は5元素が単独で存在し、実験した条件では粉末段階での合金化に至らなかった。

その粉末の焼結体は、断面観察では空隙がほとんど見られなかったが、元素分析により高融点である Cr (融点 1,890 $^{\circ}\text{C}$)の偏析がみられ、今回試みた条件での Cr MnFeCoNi 組成の HEA 作製は困難であった。

一方、Cr を融点の低い Cu (融点 1083 $^{\circ}\text{C}$)に置き換えた MnFeCo NiCu 組成で同様の作成条件で得た焼結体は偏析のない組織となっていた。この組成については、PBM より簡便な自動乳鉢(AG)のみの混合でも偏析のない焼結が可能であるとわかった。

3. MnFeCoNiCu 合金の作製と評価

MnFeCoNiCu 合金の作製条件を検証した。粉末(AG 1h 処理)を、パンチ径 ϕ 20mm の黒鉛型に充てんし、40MPa、温度 900 $^{\circ}\text{C}$ 、保持時間 6、30min の条件で焼結したものを XRD 測定し、混合粉末の XRD 測定とともに比較した結果、焼結前は5元素の重ね合わせだった回折パターンが、焼結後は結晶構造の変化が見られた(図1)。

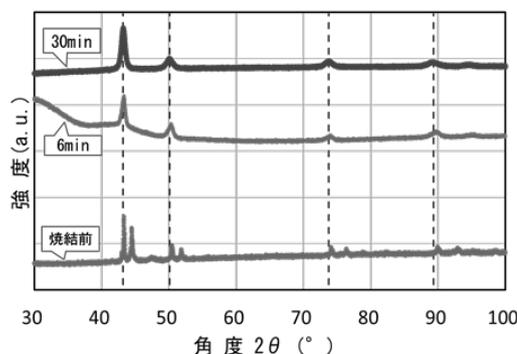


図1 焼結時間による XRD 結果

30min 焼結体から試験片を採取し低温(-100 $^{\circ}\text{C}$)で衝撃荷重を与えた結果、吸収エネルギーの値は極低温用材料 SUS316 より低かったが、破面は、SEM 観察で延性を有する痕跡が見られた(図2)。一方、室温における曲げ強さ試験では、MnFeCoNiCu 合金は SUS316 より高い強度を示した(図3)。

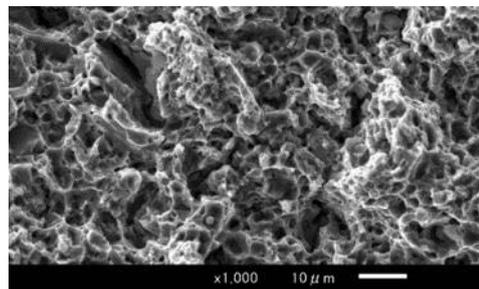


図2 MnFeCoNiCu 合金低温衝撃試験片(-100 $^{\circ}\text{C}$)の破断面

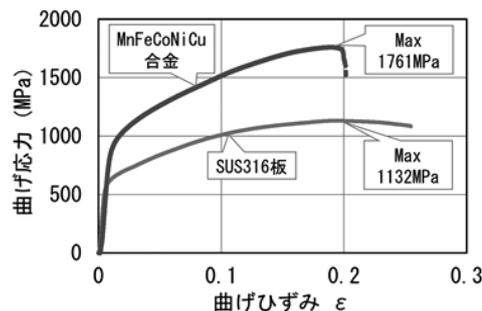


図3 曲げ強さ試験結果(室温)

4. まとめ

HEA のうち MnFeCoNiCu の組成の合金を、粉末の溶解や MA を要せず、SPS 法による焼結工程のみにより作製することができた。この合金は、低温衝撃荷重に対しても延性を有する破面を示し、低温材料として使用し得る可能性を示した。

(連絡先: nakajima-yoshio@hro.or.jp)

耐摩耗バルブ部品補修の最適化に関する研究

耐摩耗バルブ部品補修の最適化に関する研究（令和6年度）

材料技術部 ○宮腰 康樹、中嶋 快雄、飯野 潔、植竹 亮太
ワコオ工業(株)

1. はじめに

石油化学工場などで使用されるステンレス鋼製バルブ（弁）の部品には、スラリーにより摩耗損傷するものがある。この補修に対し共同研究企業は、現行法（ステライト肉盛り溶接）のほかに、溶射や熱処理など複数の表面硬化法から最適なものを選択し客先に提案することを望んでいる。そこで本研究では、ステンレス鋼に対する種々の表面硬化方法の摩耗特性を評価し、バルブ補修の最適化に寄与する基礎データの構築を目指した。

2. 実験方法

現行のステライト肉盛り溶接品、超硬合金溶射品（WC-14CoCr）、セラミックス溶射品（Cr₂O₃）、及び熱処理で硬化させた三種のステンレス鋼（SUS420J2、SUS440C、SUS630）について φ60×15mm の円盤状試料を作製し、摩耗角度 0°、45°、90°と三水準の摩耗試験を行った（図1）。摩耗材はともに#60 のアルミナを用いた。

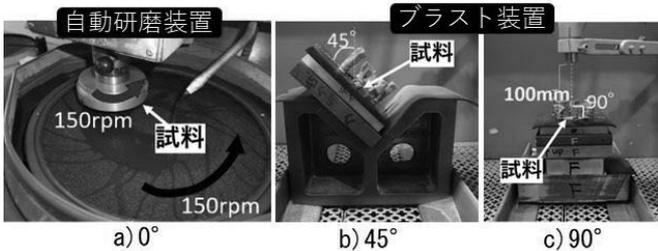


図1 摩耗試験の概要

3. 結果及び考察

表1に各試料の硬さを示す。超硬合金溶射皮膜（WC-14CoCr）、セラミックス溶射皮膜（Cr₂O₃）は現行のステライトに比べ硬さが高い値となっている。硬化させた三種のステンレス鋼もステライトより硬さが高い。

図2に、これら試料についての摩耗試験結果を示す。摩耗角度0°では硬さの高い超硬合金溶射やセラミックス溶射の耐摩耗性がよく、摩耗角度45°および90°では靱性の期待できるステライトおよびステンレス鋼・熱処理品の耐摩耗性が良好な傾向にある。溶射試料は組織内にクラックや空隙を有しているため、衝撃荷重を受ける摩耗形態に耐えられなかったと考えられる。すべての摩耗試験から総合的に判断すると、現行のステライトおよびSUS440Cの焼入・焼戻品が良好な耐摩耗性を示すことがわかった。

表1 各試料の硬さ

※5点測定した算術平均

試料	硬さ	
	HV	HRC
ステライト	434	43
超硬合金溶射皮膜	1526	—
Cr ₂ O ₃ 溶射皮膜	1649	—
SUS440C・Q	635	57
SUS420J2・Q	587	54
SUS630・S	373	36
SUS630・H900	477	46
軟鋼（SS400）	164	—

Q：焼入・焼戻、
S：固溶化熱処理、H900：析出硬化処理

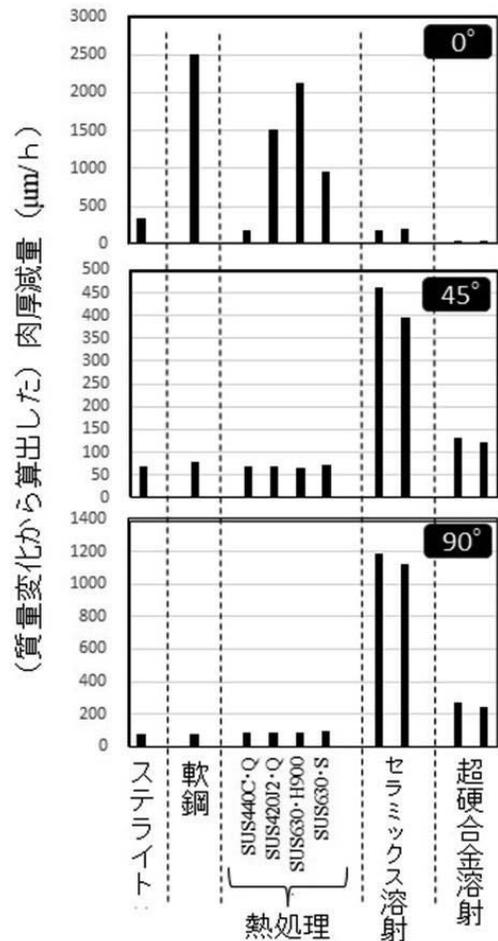


図2 摩耗試験結果

4. おわりに

研究の結果、今後の補修作業に有用な基礎データを得ることができた。

（連絡先：miyakoshi-yasuki@hro.or.jp）

3DCG による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）

開発推進部 ○安田 星季、印南 小冬、大久保 京子、高木 友史
(株)ティーピーパック、(株)シー・ビー・エス、モリタ(株)

1. はじめに

食品等の道産品のさらなる付加価値向上や販売促進のために商品のパッケージデザインは重要である。しかし、道内パッケージ関連企業では、急増する外国人観光客など多様な顧客に対し効果的に訴求するデザイン開発や、デジタル技術を活用した業務の効率化が課題となっている。

一方、近年 CG 関連技術が進展し、3DCG モデルがあたかも実在するかのように表示できる立体視ディスプレイが市販され、プロダクトデザインなどの分野で活用され始めている。今後、当該技術や機器が業務効率化のために他分野でも活用されることが見込まれており、当场では現在、パッケージデザイン開発に適用する方法について研究を進めている。

2. 2D デザイン画像適用によるパッケージの 3DCG モデル作成

3DCG 作成ソフト Blender 上で、パッケージの形状のもととなる 3D モデルに、従来の 2D でのデザイン手法で作成したラベルやイラスト画像をテクスチャとして貼り付け（図 1）、glTF 形式で出力した。

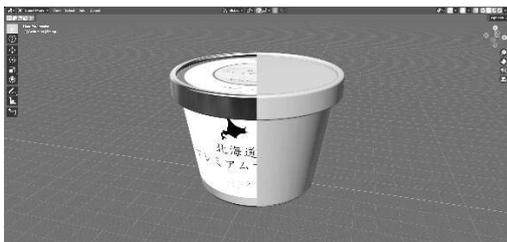


図 1 作成したアイスクリームカップの 3DCG モデル
(左半分のみ貼付画像を表示)

3. 立体視ディスプレイ用パッケージビューワーソフトの試作

前節の手順等で作成したパッケージの 3DCG モデルを立体視ディスプレイ（ソニー製、ELF-SR2）で 3D 表示できるビューワーソフトを試作した（図 2）。本ソフトは、パッケージデザイン案検討やユーザーテストでの使用を目的としており、その主な機能は下記のとおりである。

- ① ハンドトラッキング技術を組み込み、手の動きで 3DCG モデルを回転したり、移動したりできる。

- ② 実店舗の売り場の 360 度画像を読み込み、ソフト内の 3D 空間に適用することで、実際の売り場に近い環境光を再現でき、3DCG モデルが売り場に存在しているかのように表現できる。



図 2 試作したビューワーソフト画面

4. ビューワーソフトのユーザーテスト

パッケージ関連企業の営業担当者、デザイナー等（3 社 8 名）に対し試作したビューワーソフトのユーザーテストを行った。その結果、「ハンドトラッキングよりもマウスの方が 3DCG モデルの操作がしやすそう」「遠隔地に同じ機器を設置するとリモートでも、より合意形成しやすくなるかもしれない」といった意見や感想を得た（図 3）。



図 3 デザイナーによるユーザーテストの様子

5. おわりに

従来のパッケージデザイン開発に 3DCG や立体視ディスプレイを採り入れ、効率化を図る方法を検討している。今後は、引き続き協力企業の意見等を踏まえながら本方法の利点や欠点をまとめ、得られた知見や成果をウェブサイト等で順次公開していく予定である。ご興味のある方は下記までご連絡ください。

（連絡先：yasuda-seiki@hro.or.jp）

高温高压水を用いた糖質バイオマスのモデル反応

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。しかし、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、当场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、多糖類からなる糖質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、糖質バイオマス由来プラスチックの製造法開発を目的に、多糖類の構造の一部を反映したモデル化合物を用いて、糖の変換挙動を検証した。

2. 高温高压水によるモデル化合物の変換挙動

二糖（セロビオース、マルトース、ラクトース、スクロース、トレハロース、メリビオース）をモデル化合物として用い、高温高压水による変換反応を行った。200℃で変換した場合、スクロースおよびトレハロースは構造の差に起因して、他の糖と異なる挙動を示した（図1左）。しかし、反応条件を260℃にすることで、用いたすべての二糖が同様の挙動で変換できることを見いだした（図1右）。このことから、高温での変換は原料の糖の構成に依存しない可能性があり、構成する糖に合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。

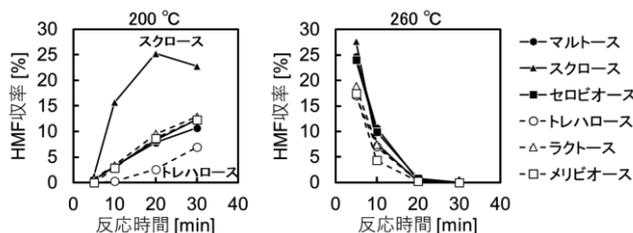


図1 モデル化合物の変換挙動

次に、触媒として天然物に含まれる有機酸を用い、高温高压水変換反応を行った。原料のモデル化合物には上記結果をもとに、天然に多く存在し、比較的安価なマルトースを選択した。有機酸にはグリコール酸、リンゴ酸、クエン酸、サリチル酸を用いた。その結果、原料水溶液のpH3以下で二糖から単糖への低分子化が促進され（図2左）、pH2.5以下ではHMFからレブリン酸の生成まで進行することを確認した（図2右）。このことから、HMFの生成にはpH2.5-3.0、レブリン酸の生成にはpH2.5以下が有効であり、原料水溶液のpHの違いによって生成物を制御できる可能性を見いだした。

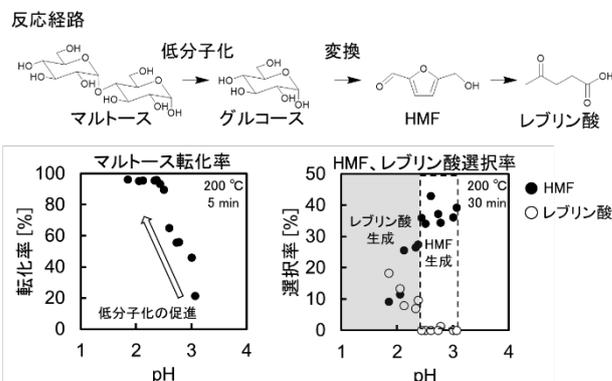


図2 pHと原料の転化率、および生成物の選択率

これまでの結果をもとに、原料にマルトースが連なった多糖類であるデキストリン、触媒にリンゴ酸を用いて高温高压水変換反応を行った。200℃、10minで反応した時のグルコース（単糖）の収率は触媒なしで12%、触媒ありで79%となり、触媒の添加によって多糖類から単糖への変換が大幅に促進されることが明らかとなった。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有利に働くため、このことから有機酸触媒の使用が有用であると考えられた。

3. おわりに

糖質バイオマスの構造の一部を反映するモデル化合物を用いて、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、糖の構成に依存しないプロセスを構築できる可能性を見いだした。また、有機酸触媒を検討した結果、原料水溶液のpHの違いが、低分子化の促進と生成物の選択性向上につながる可能性を見いだした。これらの結果をもとに、糖質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）

技術移転フォーラム2025 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>

