

地方独立行政法人 北海道立総合研究機構 産業技術環境研究本部

— 工業試験場成果発表会 —

プログラム・発表要旨

- と き 令和4年6月13日(月) 12:30～17:50
- ところ ホテル札幌ガーデンパレス
- 主 催 (地独)北海道立総合研究機構 産業技術環境研究本部
工業試験場・ものづくり支援センター

技術移転フォーラム2022—工業試験場成果発表会—

と き 令和4年6月13日（月）

ところ ホテル札幌ガーデンパレス

全体プログラム

12:45~13:00	主催者挨拶	12:30~17:50	展 示
13:00~14:45	分野別発表 材料関連技術	13:15~16:30	ポスターセッション
14:45~15:00	休 憩	<div style="border: 1px dashed black; padding: 5px;"><p>コアタイム</p><p>13:15~14:30 情報・機械・生活関連技術 デザイン開発技術</p><p>15:15~16:30 材料関連技術</p></div>	
15:00~17:00	分野別発表 情報・機械・生活関連技術 デザイン開発技術		
17:00	閉 会	17:50	閉 会

分野別発表プログラム

材料関連技術

白鳥の間・孔雀の間

番号	時間	発表課題	発表者	ページ
メイン	13:00~13:30	新素材「プラチナ触媒」による青果物の鮮度保持技術	森 武士	6~7
1	13:30~13:45	微生物産生セルロースナノファイバーの繊維構造解析	細川 真明	8
2	13:45~14:00	畑から生まれ、畑へ還る生分解性複合材料の開発	瀬野修一郎	9
3	14:00~14:15	アミノ酸の生分解プラスチック原料変換プロセスの開発	近藤 永樹	10
4	14:15~14:30	板金加工におけるIoT金型の開発と活用	鶴谷 知洋	11
5	14:30~14:45	無機粉末積層造形鋳型の鋳鋼品への適用	戸羽 篤也	12

情報・機械・生活関連技術

白鳥の間・孔雀の間

番号	時間	発表課題	発表者	ページ
メイン	15:00~15:30	食品製造工程の自動化技術の開発	井川 久 本間 稔規	13~14
1	15:30~15:45	駐車場向け誤発進対策車止めの開発	今岡 広一	15
2	15:45~16:00	XRデバイスを活用した作業学習コンテンツの開発	神生 直敏	16
3	16:00~16:15	ハイパースペクトルカメラによる作物病害検出技術	本間 稔規	17
4	16:15~16:30	AI画像解析による路面の積雪状態の認識技術の研究	近藤 正一	18
5	16:30~16:45	てん菜受渡査定・立会業務の自動化システムの開発	藤澤 怜央	19

デザイン開発技術

白鳥の間・孔雀の間

番号	時間	発表課題	発表者	ページ
1	16:45~17:00	ユーザー中心設計のための試作活用技術	印南 小冬	20

ポスターセッションプログラム

丹頂の間

コアタイム① 13:15~14:30

情報・機械・生活関連技術

番号	発表課題	発表者	ページ
1	多様な食品に対応したハンドリング技術の開発	井川 久	22
2	道総研におけるソフトウェア無線の取組み	日下 聖	23
3	道内産業における人為的ミス低減のための活動	神生 直敏	24
4	ドローンを活用した作物育種の効率化手法の開発	飯島 俊匡	25
5	耳に着目した非接触な脈拍計測の検討	泉 巖	26

デザイン開発技術

番号	発表課題	発表者	ページ
1	視線計測を用いた好意評価推定	大久保京子	27
2	XRデバイスを用いた学習コンテンツの開発	安田 星季	28

コアタイム② 15:15~16:30

材料関連技術

番号	発表課題	発表者	ページ
1	炭素繊維強化熱可塑性プラスチック積層材の特性評価	山岸 暢	29
2	自動車から回収されるプラスチックのマテリアルリサイクル	細川 真明	30
3	非焼成硬化技術による崩壊性材料の開発	執行 達弘	31
4	新規の環境調和型溶媒によるプロセス技術の開発	吉田誠一郎	32
5	金属製機械部品の強度試験	中嶋 快雄	33
6	SiC系材料とステンレス鋼の接合に関する研究	坂村 喬史	34

パネル・展示一覧

丹頂の間

展示時間 12:30~17:50

分野名	パネル・展示名
情報・機械・生活関連技術	<ul style="list-style-type: none"> ★ ロボットによる食品製造工程の自動化 ★ 多様な食品に対応したハンドリング技術の開発 ★ ハウス栽培管理作業向けフィールドロボット ★ リーダフォロワ方式のロボット操作 ★ 災害復興作業の負担軽減に資する作業用具の提案 ★ 衛生管理の高度化のためのAI食品検査システムの開発 ★ ハイパースペクトルカメラを用いた作物病虫害被害判別に有効な分光反射特性の解析 ★ UAV活用型作物育種に向けた効率的な撮影画像解析ツールの開発 ★ 自動走行ロボット用プラットフォームに関する研究 ★ 一般向けクラウドサービスを用いた工場IoTシステム構築技術 ★ AIによるロードヒーティングの遠隔操作手法の研究 ★ 新型車両誤発進対策安全車止めの開発
材料関連技術	<ul style="list-style-type: none"> ★ 持続可能な材料の開発に関する技術支援 ★ 農産廃棄物由来CNF複合材料の開発 ★ お米のワックスを使った筆記具「キットパス」の開発 ★ 新規の環境調和型溶媒によるプロセス技術の開発 ★ 無機粉末積層造形鑄型の鑄造方案設計指針策定のための基礎データ取得 ★ 耐高温エロージョン・コロージョン金属材料の開発 ★ ブラチナ触媒を用いた青果物の鮮度保持技術の開発
デザイン開発技術	<ul style="list-style-type: none"> ★ XRデバイスによる学習コンテンツ ★ デザインマネジメントゲーム ★ 温泉水を活用した化粧水「ゆの香」の事業化支援 ★ 液体急速冷凍機のデザイン開発 ★ デザイン開発力向上講座 ★ アイヌ木工芸品の3Dスキャン支援

- **分野別発表要旨**

新素材「プラチナ触媒」による青果物の鮮度保持技術

稚内層珪質頁岩担持プラチナ触媒の作製と常温鮮度保持装置の大型・量産化に関する研究
(平成30年度)

常温鮮度保持装置の実現に向けたプラチナ触媒フィルターの開発(令和元年度)
プラチナ触媒による青果物鮮度保持の貯蔵庫での検証(令和2年度)

材料技術部 ○森武士、執行達弘、野村隆文、山岸暢
(株)セコマ、北海道大学触媒科学研究所、フードロス削減コンソーシアム

1. はじめに

食品ロスは、本来食べることができるにもかかわらず捨てられてしまう食品である。国内では、年間612万トンもの食品ロスが発生しており、その削減は社会的・経済的課題である(令和2年農林水産省公表)。北海道においても、「北海道食品ロス削減推進計画」が策定され、食品ロス削減の取組を推進している。食品ロスは多様な形態で発生するが、青果物に由来する食品ロスの量は年間約126万トンであり、食品ロスの全量に対して無視できない割合を占めている(平成26年度農林水産省統計より試算)。そのため、青果物の品質を維持する鮮度保持技術は、食品ロスの削減に資する重要な技術である。

青果物の鮮度保持技術の一つとして、触媒や酸化剤によるエチレンガスの分解処理技術が挙げられる(図1)。エチレンガスは、青果物から放出され、青果物を熟成・腐敗させる作用があるため、貯蔵空間から除去する必要がある。貯蔵庫からエチレンガスを除去することで、青果物の品質低下を抑えることができ、廃棄となる青果物の量を減らすことができる。

北海道大学触媒科学研究所は、エチレンガスを低温で分解できる新素材「プラチナ触媒」を開発した。1)従来の触媒や酸化剤が抱える問題点(熱源が必要、定期的な交換が必要など)を解消した画期的な素材である。一方、その実装には、製造コストの低減、青果物貯蔵庫での実証試験の実施が課題であった。これらの課題を解決すべく、我々は当グループが有する技術シーズ(道産天然鉱物の利活用技術²⁾、青果物の品質評価技術³⁾)を活用し、北海道大学及びセコマグループと協力

してプラチナ触媒の実装に向けた取り組みを進めてきた。

2. 安価な道産天然鉱物「稚内層珪質頁岩」を用いた触媒製造コストの低減

プラチナ触媒は、エチレンを分解する性質をもつ白金微粒子と、白金を微粒子のまま保持するための素材(規則性メソポーラスシリカ)からなる(図2左、従来品)。いずれも高価であるが、重量割合では後者が圧倒的に多いので、この低コスト化に着手した。

規則性メソポーラスシリカは、内部に微細な孔を有し、これらのサイズが数十ナノメートルであることが特徴である。これを代替できる素材を探索したところ、稚内層珪質頁岩という天然鉱物が該当した。稚内層珪質頁岩は、北海道の道北地域で採掘される鉱物である。規則性メソポーラスシリカと類似した微構造を有し、かつキログラム当たり約100円と安価に入手できる。そこで、稚内層珪質頁岩と白金微粒子を組み合わせたプラチナ触媒を開発した(図2右、開発品)。そのエチレン除去性能を評価したところ、従来品に匹敵する性能を有することが判明した。製造コストを試算したところ、従来品の約1/10のコストで製造できることがわかり、稚内層珪質頁岩は規則性メソポーラスシリカの代替材料として利用できると結論した。

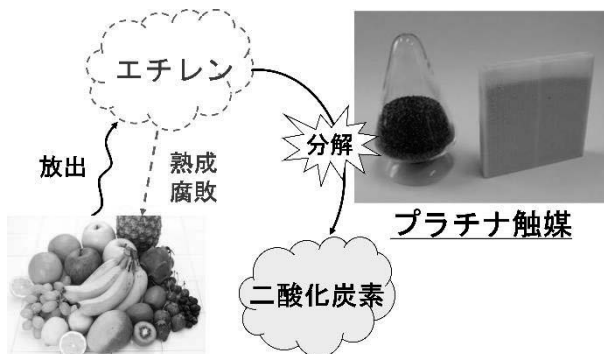


図1 プラチナ触媒による青果物の鮮度保持技術

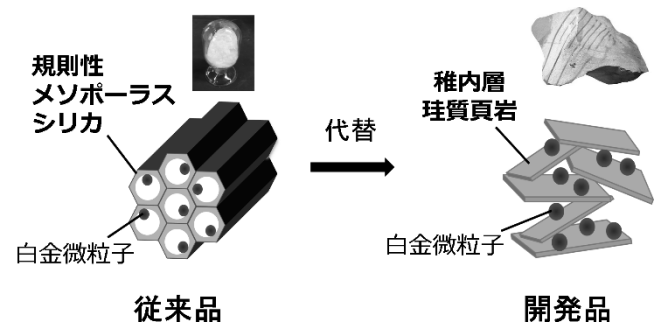


図2 稚内層珪質頁岩を用いたプラチナ触媒の開発

この触媒は粉末であるが、セラミック発泡体に塗布することで、その性能を維持したままフィルター状に加工できる。通気性が良く、貯蔵庫に既設の空調用ファンに装着するだけで、エチレン除去システムを導入することができる。当場では、青果物の貯蔵庫として

利用可能な低温試験室を導入し、実環境における開発品の性能評価を継続している。

3. 青果物貯蔵庫での実証試験

前章の研究と並行して、青果物貯蔵庫での実証試験に向けた研究も実施した。貯蔵庫で使用するプラチナ触媒の量は、触媒システムの導入コストに直結する。費用対効果を最大にするには、使用量を必要最小限に抑える必要がある。これを見積もるためには、青果物から放出されるエチレンの発生速度と、触媒によるエチレンの分解速度に関する基礎データが必要である。しかし、当時はこれらの基礎データは報告されておらず、触媒の使用量を見積もることは困難であった。

これまで、我々は青果物の鮮度保持用資材（包装資材、水蒸気吸着材）の開発を手掛けた経験があり、エチレンガス濃度の測定方法や貯蔵試験の実施方法に関するノウハウを蓄積していた。これを利用して、プラチナ触媒を用いた青果物の貯蔵試験をラボスケールで実施し、触媒の青果物に対する効果を検証するとともに、上記の基礎データを取得した。

具体的には、ガラス製の密閉容器に青果物（未熟果バナナ、キュウリ、ハクサイ、リンゴのいずれか）と触媒を入れ、一定温度で貯蔵した。容器内のエチレン濃度と、貯蔵試験後の青果物の果実品質を評価した。触媒により、確かにエチレンが除去されており、青果物から放出されるエチレンの発生速度と、触媒によるエチレンの分解速度を定量することに成功した。このデータを用い、青果物貯蔵庫で必要となる触媒の使用量を試算することが可能となった。また、貯蔵試験後の青果物の品質評価を行ったところ、触媒を導入した場合は、そうでない場合に比べて熟成が抑制されており、触媒による鮮度保持効果を確認した（図3）。

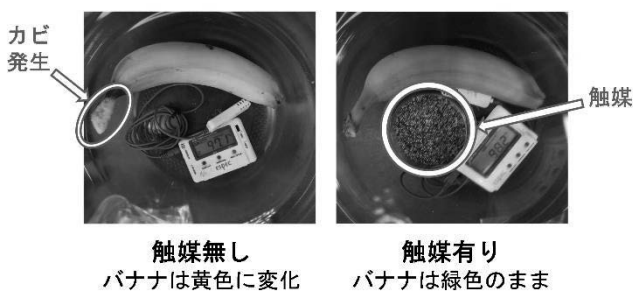


図3 プラチナ触媒による未熟果バナナの貯蔵試験

プラチナ触媒を大型の野菜貯蔵庫（株式会社北香、北見市）に導入し、その鮮度保持効果を検証する実証試験も行った（図4）。庫内には白菜など数種類の青果物が含まれていた。庫内のエチレン濃度を測定したところ、触媒の導入によりエチレン濃度が減少していることを確認した。触媒を入れた貯蔵庫で保管したキュウリ、キャベツ、コマツナの歩留まりは3.1~10.6%向上しており、触媒による青果物の鮮度保持効果が表れていた。



図4 青果物貯蔵庫における実証試験の様子

4. プラチナ触媒による鮮度保持技術の普及に向けた活動

2020年9月、北海道大学は共同団体「フードロス削減コンソーシアム」を設立した。当機構は、北海道科学技術総合振興センター、セコマグープとともに幹事会の構成員を務めている。上記のプラチナ触媒による青果物の保存技術を基盤とし、本技術に関する情報提供やフードロス削減活動への支援を行っている。具体的には、プラチナ触媒を用いたシステムの提供、システムの導入に向けた意見交換に加え、実証試験の結果を共有するための会員限定フォーラムを主催している。また、次世代を担う北海道内の高校生・高等専門学校生を対象とした「チャレンジ！フードロス削減アイデアコンテスト」も開催した。プラチナ触媒を使った保存技術を活用するアイデアを募集するものである。触媒の新用途に関する興味深い提案が数多く寄せられ、課題化に向けた検討も進みつつある。

5. おわりに

一連の研究開発を通じ、プラチナ触媒による青果物の鮮度保持技術が、食品ロスの削減に有効であることを示せた。プラチナ触媒はその性質上、青果物の鮮度保持のみならず、様々な用途で利用できる可能性がある。今後も、関係機関と協力し、本技術の更なる発展に向けた研究開発を継続して行きたい。

謝辞

本研究は、北海道大学ロバスト農林水産工学国際連携研究教育拠点、北海道科学技術総合振興センターの助成を受けたものである。

引用文献

- 1) C. Jiang, K. Hara and A. Fukuoka, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2013, **52**, 6265–6268.
- 2) 執行達弘, 森武士, 野村隆文, 一次産業をサポートする道産天然無機資源の探索と開発, 技術移転フォーラム 2019 工業試験場成果発表会
- 3) 野村隆文, 森武士, 山岸暢, メロン船便輸出における鮮度保持技術への調湿材の適用, 技術移転フォーラム 2020 工業試験場成果発表会

(連絡先: mori-takeshi@hro.or.jp)

微生物産生セルロースナノファイバーの繊維構造解析

微生物産生ナノフィブリル化セルロースの精密構造解析と新規用途開発（令和3年度）

材料技術部 ○細川真明、瀬野修一郎
北海道大学

1. はじめに

セルロースナノファイバーはバイオマスから製造される天然の繊維である。プラスチックやゴムに練り込むことで材料の強度を向上させる繊維補強効果を持つ。このような性質は細くて長いセルロースナノファイバー特有のものであるが、その繊維構造は製造方法や原料によって多様であるため、使用する素材によって繊維補強効果は変化することが知られている。

そこで本研究では、セルロースナノファイバーの中でも非常に細くて長い種である微生物産生セルロースナノファイバー(NFBC)の繊維構造(繊維径・繊維長)を観察し、繊維構造解析ソフトによる統計的解析を経て繊維構造の精密な評価を行った。

2. セルロースナノファイバーの観察

セルロースナノファイバーは繊維径が数 nm~数十 nm とされており、構造を観察するためには高倍率での拡大観察が必須である。本手法では対象を三次元で拡大観察できる走査プローブ顕微鏡(SPM)を採用し、NFBCの観察を

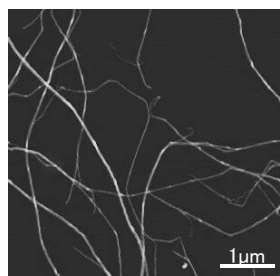


図1 NFBCのSPM画像

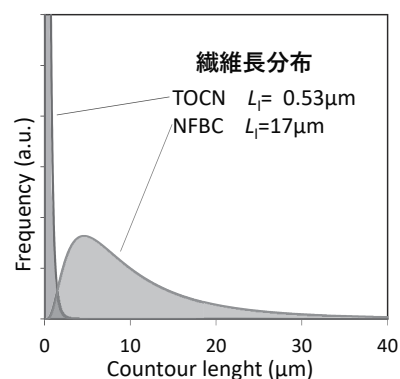
行った(図1)。NFBCの繊維構造を比較するために既報の化学解繊セルロースナノファイバーであるTOCNを同時に観察した。NFBCやTOCNは固形分が1%の水分分散液であり、これを10,000倍に希釈してマイカ製の基板(10mm×10mm)に100μL程度を滴下および乾燥することで繊維が十分に分散した状態で観察可能であった。得られたSPM画像は繊維画像解析ソフトウェア(FiberApp)により集計した。繊維長解析では200本~600本の繊維を集計し、繊維長分布を作成した。繊維径解析では取得した繊維画像のコントラストを繊維の高さに換算することで600点~5,000点の繊維径を集計した。

3. セルロースナノファイバーの構造解析

集計した繊維長及び繊維径分布はそれぞれ対数正規分布曲線と正規分布曲線で最小二乗法によりフィッティングを行うことで解析した(図2)。NFBCの長さ加重平均繊維長 L_1 は17μm、平均繊維径 H_n は14nmであり、

TOCNの繊維長および繊維径と比較するとそれぞれ32倍、3.6倍程度大きいことが明らかとなった。

(a)



(b)

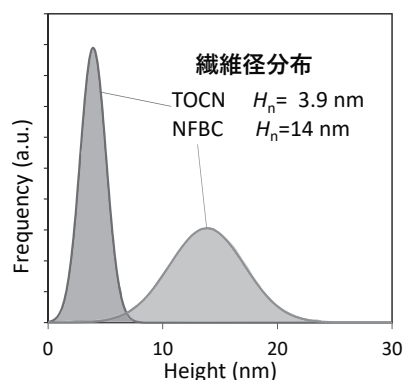


図2 化学解繊セルロースナノファイバー(TOCN)及びNFBCの繊維長分布(a)及び繊維径分布(b)

4. おわりに

セルロースナノファイバーは一般的に繊維が長く細いほど高い繊維補強効果を発揮することが言われている。本研究でNFBCはTOCNよりも繊維径が大きいですがそれ以上に繊維長が大きく他のセルロースナノファイバーよりも高い繊維補強効果を潜在していることが示唆された。

本研究は北海道大学ロバスト農林水産プログラムから助成を受けて実施したものです。ここに記してお礼申し上げます。

(連絡先: hosokawa-masaaki@hro.or.jp)

畑から生まれ、畑へ還る生分解性複合材料の開発

畑を循環する新規生分解性樹脂複合材料の開発（令和2年度）

材料技術部 ○瀬野修一郎、細川真明、大市貴志、可児浩、山岸暢、吉田昌充

1. はじめに

現在、様々な種類の生分解性樹脂が上市されており、畑内でそのまま処理可能な農業資材への活用が進んでいるが、土壌中で生分解性を有する樹脂は軟質の樹脂がほとんどで、剛性や強度をあまり必要としないマルチフィルムのような用途への使用に限られている。一方で収穫後に茎葉と分離しての回収が不要でそのまま畑へとすき込むことが可能になり、農作業の省力化にも繋がるのが予想されるため、つる性植物の誘因支柱などの強度や剛性を必要とする農業資材の生分解性樹脂化も期待されている。

そこで本研究では、生分解性を有する補強繊維である農産廃棄物由来セルロースナノファイバー（CNF）と生分解性樹脂を複合化することで、高強度・高剛性かつ土壌で生分解性可能な CNF 複合材料の開発を目指した。

2. 農産廃棄物由来 CNF と生分解性樹脂の複合化

農産廃棄物であるビートパルプ（図1）をアルカリ及び亜塩素酸（ワイズ法）処理することでセルロース以外の成分（ヘミセルロースなど）を除去し、無水酢酸を用いてアセチル化し、変性度が0.87となる疎水変性ビートパルプを作製した。



図1 ビートパルプ

作製した疎水変性ビートパルプとポリブチレンサクシネート（PBS）粉末を自転公転ミキサーを用いて混合し、その後バッチ式混練機（プラストグラフ EC Plus、ブラバンダー社）を用いて熔融混練を行い、複合化を試みた。得られた褐色状の塊を熱プレス機にて150℃で圧縮成形し、シート状の成形体を作製し、試験に適したサイズに裁断することで図2のような疎水変性ビートパルプ由来CNF複合化PBSからなる短冊状の試験片を作製することができた。

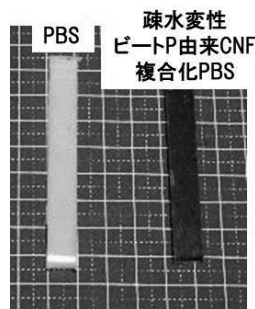


図2 短冊状試験片

3. 機械的特性評価（三点曲げ試験）

作製した疎水変性ビートパルプ由来CNF複合化PBSの三点曲げ試験を行い、得られた応力-歪み曲線を図3に示す。疎水変性ビートパルプ由来CNF添加により曲げ強度・弾性率は飛躍的に向上しており、30wt%で強度は約1.8倍、弾性率は約3.4倍、50wt%で強度は約1.6倍、弾性率は約4.6倍となることがわかった。競合材料と考えられるポリ乳酸（PLA）の弾性率は3.7GPaと剛性の面では同等の材料になっていることが確認できた。

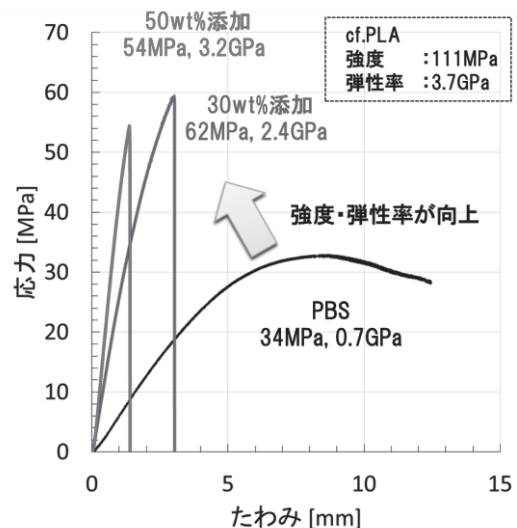


図3 三点曲げ試験の応力-たわみ曲線

4. おわりに

農産廃棄物由来CNFと生分解性樹脂を複合化することでPBSよりも高強度で、弾性率はPLAに匹敵する複合材料を開発することができた。PLAに比べて生分解性に優れることが予想されるため、これまで堆肥下のみでしか生分解性を発揮できなかったために展開が難しかった分野（例えば農業用支柱、農業機械部品など）にも拡大できる可能性がある。

また、同様のコンセプトで海洋生分解性複合材料も作製できるので、海洋下における生分解性に優れた生分解性樹脂においても、漁業関連における剛性が不足し採用されていなかった用途への展開も期待される。

本研究はノーステック財団「研究開発助成事業（ノースタレント補助金）」の補助を受けて実施したものです。ここに記して感謝申し上げます。

（連絡先：seno-shuuichirou@hro.or.jp）

アミノ酸の生分解プラスチック原料変換プロセスの開発

Zr 含有ナノ触媒の調製とアミノ酸変換への応用（令和2年～令和3年度）

材料技術部 ○近藤永樹、松嶋景一郎、吉田誠一郎、小川雄太

1. はじめに

国と地方の協働・共創による地域における「2050年カーボンニュートラル・脱炭素社会の実現」の観点から、石油由来資源に代わり、再生可能な天然・未利用資源から化成品原料を製造する研究が求められている。

本研究では、自然界に豊富で天然物から回収可能なグルタミン酸を用いた生分解性プラスチックの原料となる2-ピロリドンの合成法を提案した。2-ピロリドンは、アミド結合の開環重合により生分解性を示す繊維となるポリアミド4（4-ナイロン）の生成等に用いられており、現在、石油由来による合成が行われているが、バイオリファイナリー技術を取り入れることで、環境調和性の高いプロセス構築が可能となる。そこで、天然アミノ酸のグルタミン酸から合成できるピログルタミン酸を原料とし、2-ピロリドンへの変換を試みた。その際、安全・安価かつ枯渇しない資源である水を反応場に用いた超臨界・亜臨界水反応を適用し、プロセス化の可能性を検討した結果を紹介する。

2. 実験

(1) 回分式超臨界・亜臨界水反応

設定圧力になる量の原料水溶液を耐圧式の反応容器に密閉し、予備加熱した電気炉へ入れた。反応容器を2h静置し、変換反応を実施した。所定の時間経過後、速やかに電気炉から取り出し冷水浴に浸して反応を終了とした。

(2) 流通式超臨界・亜臨界水反応

連続流通型の超臨界・亜臨界水マイクロ空間反応システムを用いた。本システムは、数百 μm 以下の流路で形成される微小な空間（マイクロ空間）を利用して連続的に化学反応を行うシステムである。

3. 結果

図1にピログルタミン酸から2-ピロリドンへの変換反応経路、図2にピログルタミン酸の変換反応結果を示す。

原料から目的生成物である2-ピロリドンを得るためには、図1の経路①（水素加圧下での水素添加反応）と、経路②（ワンポットで進行する脱炭酸反応）が考えられる。回分式反応器を用いた反応の結果、2-ピロリドンは、超臨界水条件となる400 $^{\circ}\text{C}$ 、25MPaで最も収率が高くなった（図2）。その際、経路①で進行した際に得られる中間生成物（ピログルタミノール）を得ることなく、2-ピロリドンが合成されたため、経路②により2-ピロリドンが合成されたものと推定できた。

また、回分式反応において400 $^{\circ}\text{C}$ を超える条件では、いずれも転化率が100%となった。そのため、2-ピロリドンの選択率向上のために、副反応（過分解含む）による生成物の抑制が可能となる条件の選定を行った。その結果、本反応系は、臨界点付近でサルコシン生成等の副反応ができることがわかった。さらに、回分式反応において副反応が発生する要因と考えられる昇温時の温度変動の影響を減らすため、超臨界・亜臨界水マイクロ空間反応システムを用いた。その結果、目的物のアルキル化等の副反応を抑制できることが示唆された。

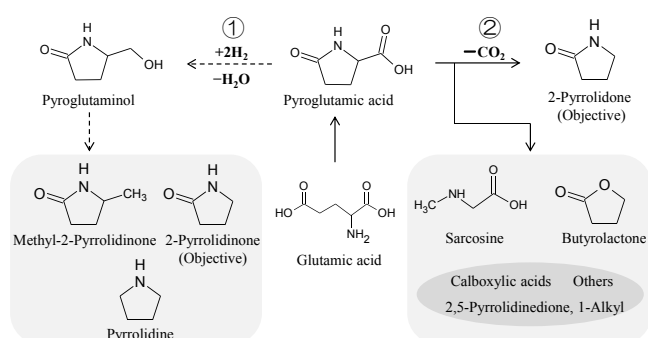


図1 グルタミン酸から2-ピロリドンへの変換経路

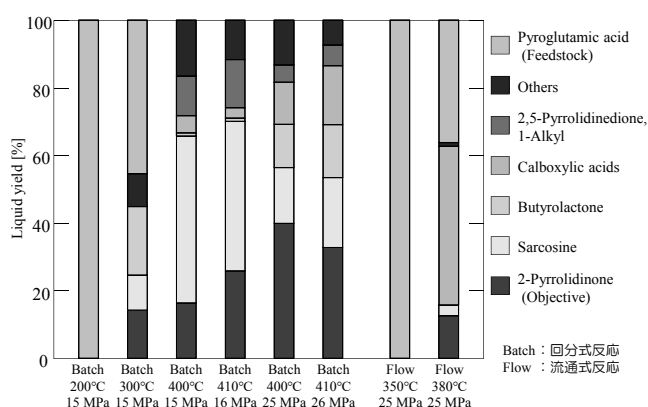


図2 ピログルタミン酸の変換反応結果

4. おわりに

今後、超臨界・亜臨界水マイクロ空間反応システムを用いる条件の最適化を行うことが必要だが、本研究成果より、水を反応場としたグルタミン酸から生分解プラスチック原料である2-ピロリドンへの変換反応プロセスの開発が展開できると考えられる。

謝辞

本研究の一部はJSPS 科研費 20K22473 の助成を受けたものです。

(連絡先: kondou-hisaki@hro.or.jp)

板金加工における IoT 金型の開発と活用

IoT 金型と加工状態推定・補正技術による高品質板金加工システムの開発
(令和3年～令和5年度)

材料技術部 ○鶴谷知洋、戸羽篤也、櫻庭洋平、三戸正道、鈴木逸人、
宮腰康樹、植竹亮太
産業システム部 井川 久、今岡広一
(株)道央メタル、北海道大学

1. はじめに

様々な形・サイズの穴開けなどを行うタレットパンチプレスでは、加工中に発生する被加工材の反りが問題となっている。その要因として、連続的に複数箇所を加工するタレットパンチプレスの特性上、応力状態が複雑で、加工条件と加工品質の関係を把握することが困難であること、金型の摩耗や凝着などの経時的変化が生じることなどがあげられる。

そこで加工中の反りの状態を把握して加工条件を修正するため、加工中の情報(加工荷重、振動等)を収集する IoT 金型を開発した。本発表では IoT 金型とデータ収集システム及び得られたデータの解析結果を紹介する。

2. IoT 金型によるデータ収集システムの構築

タレットパンチプレスの加工中に情報を収集するため、金型にセンサを取り付け、データを収集するシステムを構築した。センサとして、AE(Acoustic Emission)センサ、レーザ変位計、荷重計の3種類を選定した(図1)。加工部として、サーボプレスと水平多関節ロボットの連動によるタレットパンチと同等の加工システムを構築し、次ステップの研究を見据えて取得データに基づく加工中の加工条件変更を可能とした。AEセンサは物体の変形や破壊の際に発生する音波を測定し、レーザ変位計は被加工材の表面高さを測定する。加工荷重計はサーボプレスに付属のものを使用し、穴開け時の加工荷重を測定する。センサからのデータはUSB接続のロガーを用いてPCに取り込む。

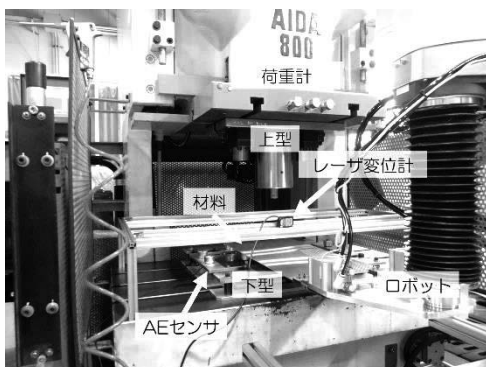


図1 選定したセンサと配置

3. データの解析

構築したデータ収集システムを用いて、穴開け加工時のデータを得た。AEセンサのデータでは、加工動作中に発生するノイズの影響が大きく、信号とノイズの分離が課題であることがわかった(図2)。レーザ変位計のデータでは、加工後の材料に振動が発生し、実際の材料表面高さを得るには振動の中心を算出するなどの処理が必要なことがわかった(図3)。加工荷重のデータでは荷重の変化に対するノイズが小さく、データの使用に支障がないことがわかった。今後はAEセンサとレーザ変位計について、有効なデータ処理方法の検討を進めていく必要がある。

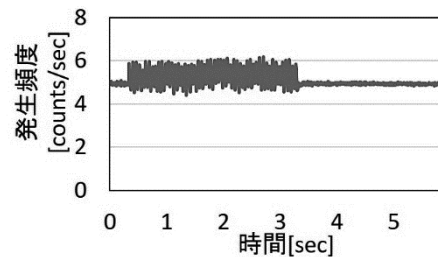


図2 AEセンサのデータ

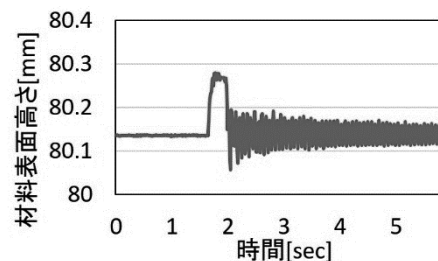


図3 レーザ変位計のデータ

4. おわりに

タレットパンチプレスの加工中に情報を収集するため、AE(Acoustic Emission)センサ、レーザ変位計、荷重計の3種類のセンサによりデータを収集するシステムを構築した。センサによっては得られるデータの処理が必要なため、今後はデータ処理方法を検討し、その後、加工状態とデータの比較等により加工状態推定技術の確立を目指す。

(連絡先: tsuruya-tomohiro@hro.or.jp)

無機粉末積層造形鑄型の鑄鋼品への適用

無機粉末三次元造形鑄型の鑄鋼品製作適合性評価（令和2～3年度）

材料技術部 ○戸羽 篤也、鈴木 逸人
太平洋セメント(株)

1. はじめに

当場では、企業と共同開発した三次元積層造形用高耐熱無機粉末で積層造形した鑄型による鑄物の製作事例を積み重ねている。無機鑄型は炭素分を含まず、特に低炭素量の鑄鋼品製作に有利である。また、無機鑄型は燃焼する素材を含まず、鑄造時に鑄型からのガスの発生が抑えられるため、中子としての利用も有効である。このように、開発した無機粉末による積層造形鑄型は、鑄鋼品の製作への応用が期待されている。

しかし、鑄鋼品の溶解温度は極めて高く、鑄型の耐熱性や高温環境下での強度が求められる。当場では、無機粉末積層造形鑄型を鑄鋼品製造用として適用するため、種々の技術開発に取り組んだので報告する。

2. 鑄鋼品製作への適合性向上

無機粉末造形鑄型は、その造形機構から通気度が極めて低い。また、配合するセメント系粘結材は強度や形状を保つために一定量の水分を含有する。鑄鋼品の溶解温度は極めて高いため、鑄造時に鑄型からの水蒸気の発生を抑えるとともに、型内のガスを鑄型外に排出させるための通気性の確保が重要になる。

これを解決する方法として鑄型の厚さを薄くするのが有効である。図1は、鑄型肉厚を変えた時の空気透

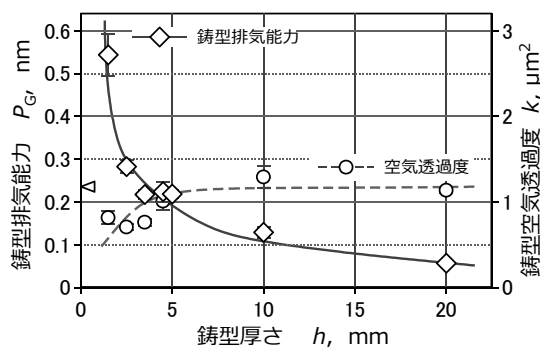


図1 無機粉末積層造形鑄型の肉厚と通気性

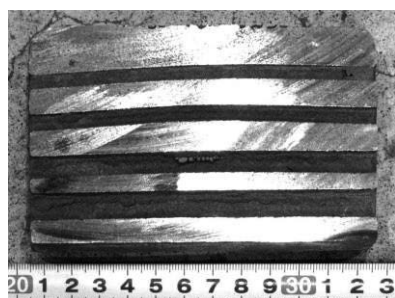


図2 中子への利用を想定した鑄造試験試料の断面写真

過度とその値を肉厚で除した排気能力の関係を示す。空気透過度は材料特性で鑄型厚さに依存しないが、鑄型の通気性は鑄型厚さが薄いほど高く、砂型の排気能力（約0.24nm）に近づけるには鑄型厚さを3mm程度にするとよいことがわかった。

また、中子への利用を想定して、無機粉末積層造形鑄型を溶湯で鑄込む試験を実施した。鑄造時の水蒸気の発生を抑えるため、造形した鑄型に強熱乾燥処理を施した中子試験片に鑄造し、溶湯の浮力に耐える強度を確認した。（図2）

3. 鑄造試験と品質評価

当場で開発した、鑄型の薄肉化設計、強熱乾燥処理等の技術を背景に、無機粉末積層造形鑄型を使って鑄鋼品を鑄造した。

鑄物に接する面の鑄型厚さを2.5mm、5mm、10mmと変えて製作した鑄型に鑄鋼溶湯（SCH13相当）を鑄造したところ、いずれも、大きなガス欠陥等が認められず、鑄型の耐熱性が十分であることを確認した。特に、通気性に優れた薄肉鑄型で鑄造した場合、形状、鑄肌ともに良好な鑄物が得られた。（図3）

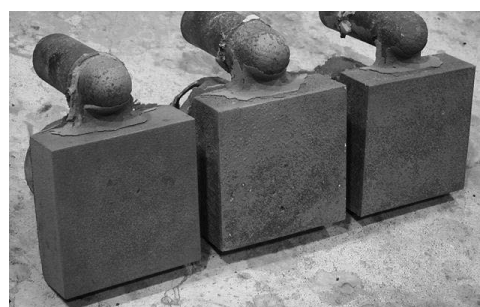


図3 無機粉末積層造形鑄型で鑄造した鑄鋼品(SCH13相当)

4. おわりに

これまでに、無機粉末積層造形鑄型をアルミ合金から鑄鋼に至る各種金属材料の鑄造に適用可能な水準に到達した。特に、鑄鋼品の製作においても高温焼成せずに、鑄造後の崩壊性に優れた鑄型として利用拡大を期待している。今後とも無機粉末積層造形鑄型を用いた鑄物製作実用事例を積み重ねながら、積層造形鑄型の優位性を活かした鑄造技術の高度化を進めていきたい。

（連絡先：toba-atsuya@hro.or.jp）

食品製造工程の自動化技術の開発

多品種少量生産に対応したロボットハンドリング技術の開発（令和元年度～令和3年度）

衛生管理の高度化のためのAI食品検査システムの開発（令和元年度～令和3年度）

産業システム部 ○井川久、川島圭太、宮島沙織、中西洋介、
飯島俊匡、岡崎伸哉

開発推進部 ○本間稔規

(株)ASGe、(株)安西製作所北海道支店、(日糧製パン(株))

1. はじめに

食品業界は深刻な労働力不足の問題に直面しており、ロボット等の導入による自動化が喫緊の課題である。産業用ロボットは、メーカー出荷時にハンドや動作プログラムが組み込まれていないため、ロボット Sier がシステムを構築しているが、食品は不定形状であることが多く、ロボット導入による自動化の難易度を高めている。また、令和3年からの HACCP の義務化に伴う製造工程のモニタリングなどの作業量の増加をカバーするためには、目視検査で行われている異物混入対策の省力化が求められている。

本研究では、食品製造業で特に多くの人手を要しているハンドリング作業の自動化を目指し、食品の個別識別、多種多様な食品の把持を可能とするロボットハンドリング技術、さらに食品衛生・品質の管理を効率化するため、分光イメージング技術と AI 技術を組み合わせた AI 食品検査システムを開発した。

2. ロボットハンドリング技術の開発

2. 1 把持個所認識技術の開発

食品製造の各工程について自動化の可能性を検討し、焼成後のパンの検品及び整列作業を本研究における自動化対象作業として決定した。

コンベア直上にカメラを設置し、撮像した画像から画像処理によりパンを検出し、ロボットハンドの把持箇所を決定するアルゴリズムを開発した（図1）。

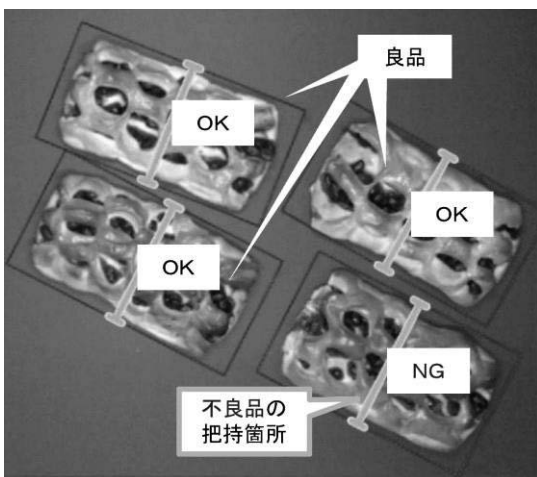


図1 把持箇所認識および不良品判別

また、パンの良品と不良品それぞれの画像を学習させることで、不良品の判別を可能とする AI 技術を開発した。6品種のパンに対して AI による不良品判別を行い、81～100%の精度で判別可能であることを確認した（図2）。

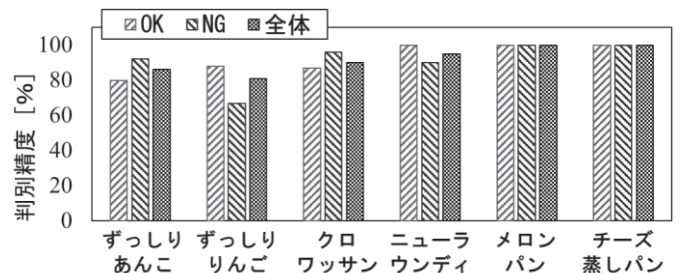


図2 各品種における不良品の判別精度

2. 2 ロボットハンドの開発

様々な大きさや形状のパンを把持するために、空気圧駆動のソフトフィンガーを有し、パンの大きさに応じて把持幅が可変となるスライダクランク機構を採用したロボットハンドを開発した（図3）。6品種のパンに対してそれぞれ約50回の把持試験を行ったところ、把持の成功率は99.4%であった。

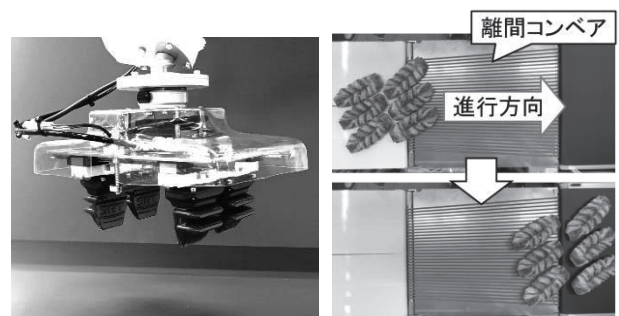


図3 ロボットハンド

図4 離間コンベア

2. 3 実証試験

密集した状態で流れてくるパン同士の間隔を広げるために、丸ベルト駆動の離間コンベアを開発した（図4）。本コンベアは上流から下流に向かって丸ベルトのピッチが広がっており、搬送されるパンの間隔を広げる事が可能である。

不良品と判別されたパンを排除するための不良品排除ロボット、良品と判別されたパンを高速に位置決め・整列するためのワーク整列ロボットを開発し、実証試

験を行った結果、パンの検品・整列作業の自動化が可能であることを確認した（図5）。

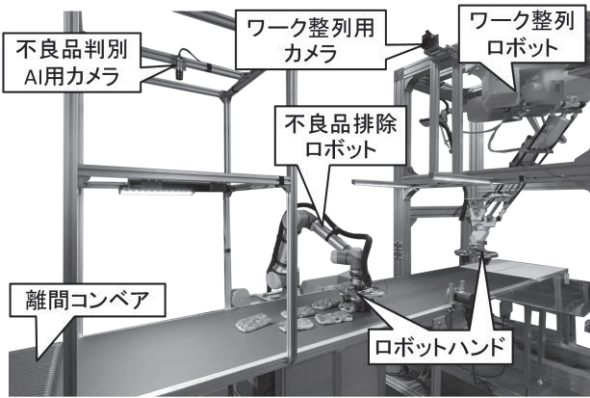


図5 実環境を模擬して構築した仮想ライン

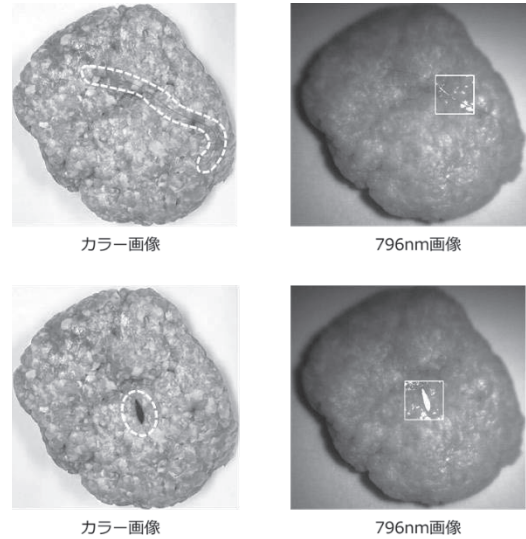


図7 異物検出例（上：人毛、下：ゴム片）

3. AI 食品検査システムの開発

3. 1 多眼式分光イメージング鏡筒の開発

複数の光学フィルタの透過波長を各々可変にできる多眼式分光イメージング鏡筒を開発した。本鏡筒を産業用 CMOS カメラに接続し、1 台につき 4 つの分光画像を取得可能な設計とした（図6）。計測対象のサンプルの分光特性に合わせて光学フィルタの透過波長を調整することにより、最適な分光画像を取得することが可能となった。

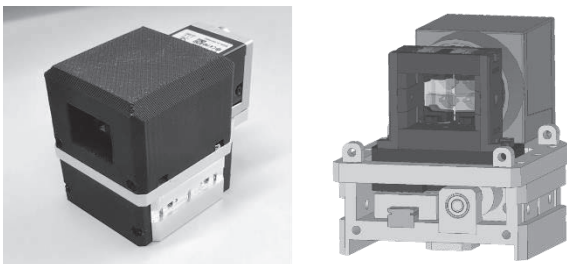


図6 CMOS カメラと複数の光学フィルタで構成した多眼式分光イメージングセンサ
（左：外観、右：内部構造）

3. 2 教師なし学習による異物検出アルゴリズム

複数波長の分光画像に対して PCA（主成分分析）により特徴量を求め、その特徴量に対し 1-class SVM（サポートベクターマシン）及び COS 類似度を適用してサンプル表面の異物を検出するアルゴリズムを構築した。異物として人毛とニトリルゴム手袋の破片を豚挽肉に付着させたサンプルに対し本アルゴリズムを適用して異物検出を行ったところ、良好に検出できた（図7）。

3. 3 真空包装食品の両面を検査可能な食品検査システムの開発

タイミングベルトと搬送用プレートにより包装した食品を挟み込み、搬送機構端部で折り返し、食品の表裏を入れ替えることで食品の表面・裏面を順次撮像可能な搬送機構を開発した（図8）。本試作機により、レ

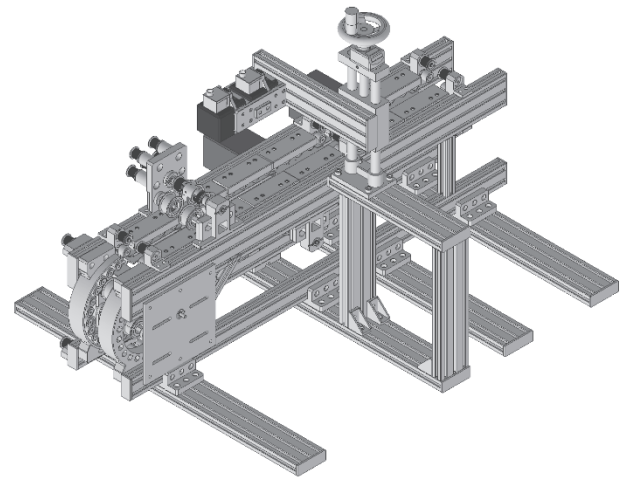


図8 食品検査システム試作機

トルト殺菌加工などにより反りが生じた包装フィルムを平坦にそろえて連続して搬送し、表、裏の両面検査が実現可能となった。

4. おわりに

本研究では、食品製造で人手を要する包装工程や検査工程の自動化・効率化を目指して、AI による不良品判別技術や多様な形状の対象物の把持が可能なロボットハンドを組み込んだパンの検品・整列作業の自動化システムと多眼式分光イメージングセンサと機械学習による異物検出アルゴリズムを組み合わせた食品検査システムの開発を行った。今後は、実ラインへの投入を目指すと共に、多くの食品への展開についても調査を進め、実用化を目指す。

（連絡先： igawa-hisashi@hro.or.jp
： honma-toshinori@hro.or.jp）

駐車場向け誤発進対策車止めの開発

駐車場での「車両誤発進対策安全車止め」の開発（平成30年度、令和3年度）

産業システム部 ○今岡広一

(株)白石ゴム製作所、トライ・ユー(株)、山梨大学

1. はじめに

車両停止時にアクセルとブレーキを踏み間違え、建物へ突入する誤発進事故が問題となっている。車両突入防止対策として「車止め」の設置が挙げられるが、一般的なパイプアーチ型の車止めは、車両が衝突すると根元から折れ曲がる、あるいは埋設部が浮き上がるなどして、誤発進車両を停止させることができない場合がある。また、ボラードと呼ばれる車止めは、誤発進車両を完全停止させることが可能だが、大がかりなコンクリート基礎部埋設工事が必要であるなど、設置には多大なコストと労力を必要とする。

そこで本研究では、基礎部の埋設が不要で簡単に設置でき、かつ誤発進車両の突入防止効果が高い駐車場向け車止めの開発を行った。

2. 基本設計及び試作

開発・考案した車止めのCADモデルを図1に示す。従来のパイプアーチ型の車止めを折り曲げた形となっており、車両は車止めに乗り上がることで停止する。折り曲げた先端部が地面に接地していることから、車両乗り上げ時において地面への「差し込み部」に大きな力が働かず、破損の危険性が低い。設置にあたって本格的な基礎工事は不要であり、アスファルト用のドリルで地面に穴をあけ、ベースプレートおよび車止め本体を差し込むことで、簡単に設置することが可能である。図2に試作した車止めの外観を示す。

3. 衝突シミュレーション解析

設計した車止めのCADモデルを用いて、時速30kmで走行する車両の衝突を想定したシミュレーション解析を行った。解析結果を図3に示す。①衝突後に車両は車止めに乗り上げて停止すること、②車止めは差し



図1 CADモデル



図2 試作した車止め

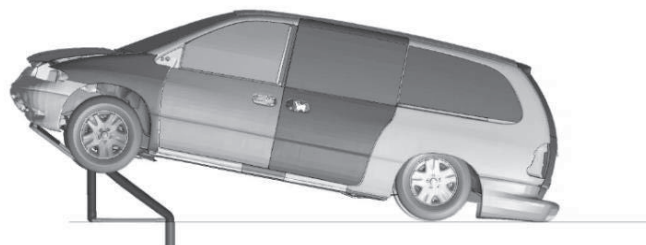


図3 時速30kmでの衝突シミュレーションの様子



図4 時速10.2kmの衝突試験後の様子

込み部（根元）から折れ曲がることは無いこと、③差し込み部が地面から抜けることは無いことなど、想定した性能が得られることを確認した。

3. 衝突試験による評価

実際の車両を用いた衝突試験を行い、車止めの性能を確認した。試験は、①車止めの1m手前から発進、②3m手前から発進、③後ろ向き駐車の状態から1m手前から発進の3条件で行った。

高速度カメラによる衝突画像解析を行ったところ、衝突時の速度はそれぞれ、①7.4km/h、②10.2 km/h、③6.0km/hであった。試験②の衝突後の様子を図4に示す。いずれの条件でも、車両が車止めに乗り上がり、それ以上進むことがないことを確認した。試験後に車止め本体とベースプレートを撤去し、設置部の様子を確認した結果、路盤や車止め本体の損傷は確認されなかった。

4. おわりに

本研究では、3D-CADを用いた構造設計や衝突シミュレーション解析を活用し、基礎が不要で簡単に施工でき、誤発進車両の建物への突入を防止する駐車場向け車止めを開発した。また、衝突試験による性能評価を行い、基本構造を決定した。今後は詳細形状の検討などを行い、商品化を目指す。

(連絡先：imaoka-kouichi@hro.or.jp)

XR デバイスを活用した作業学習コンテンツの開発

技術・技能伝承における視線データを活用した拡張現実技術に関する研究（令和2年～3年度）

開発推進部 ○神生直敏、安田星季

1. はじめに

国内企業では、少子化・高齢化問題による労働力不足を補うために、IoT や AI の活用が進められている。しかし、熟練作業者が感覚的に有しているノウハウやコツを明確化できていないため、視線計測などによってノウハウ情報の可視化や整理をすることが、IoT や AI を有効活用するために重要となっている。

一方で、XR（クロス・リアリティ：現実世界には存在しないものや情報を、表現・体験できる技術の総称）の進歩が昨今著しく、XR を労働力不足解決に活用することが期待されている。

本研究では、熟練作業者の視線データの XR への活用により、非熟練者が効率的に学習できる教育コンテンツを作成して、道内企業の効率的な技術・技能伝承を目指すとともに、XR に関する技術蓄積を行った。

2. 研究内容

2.1. 視線計測データの可視化手法の検討

熟練者のノウハウを明確化するためには、作業中のいわゆる「カン・コツ」に関するタイミングと視線の位置の関係や、注視点の移動経路を分析する必要がある。そこで、これらの点に着目して、複数ある視線データの可視化手法を比較した結果、注視した頻度を色濃淡で可視化する「ヒートマップ」と注視点の軌跡を線・円で可視化する「ゲイズプロット」を選定した。更に、チェーンソーによる樹木の伐倒作業を事例に視線データの可視化を実施した（図1）。

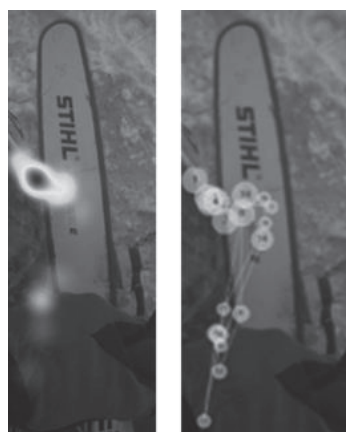


図1 視線データの可視化例
(左：ヒートマップ、
右：ゲイズプロット)

2.2. 拡張現実コンテンツの作成

前節で選定した2つの可視化手法を用いた熟練者の視線計測結果と作業の要点に関する聞き取り調査結果等を踏まえて、「チェーンソーによる樹木の伐倒作業」

及び人工透析装置の「血液回路を液で満たす作業（プライミング作業）」の教育コンテンツについて検討して、図・動画・コメント、任意に表示位置を設定できる「作業手順リスト」等で構成される実証試験用の XR 教育コンテンツを作成した（図2）。

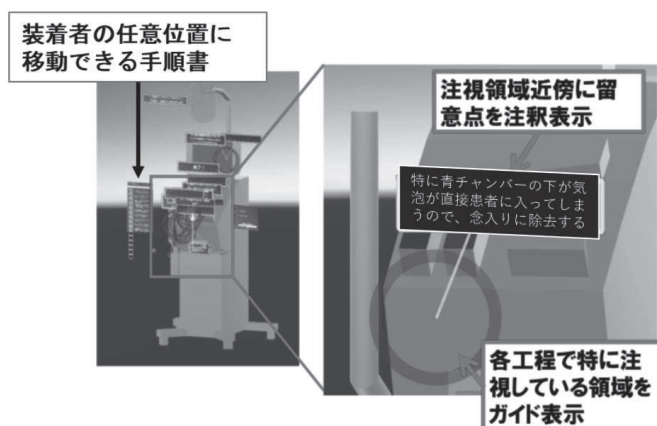


図2 作成した教育コンテンツ（プライミング作業）

2.3. コンテンツの実証試験

試作した教育コンテンツは、被験者から得られたコンテンツ使用の有・無による作業に対する理解度の回答と、コンテンツ使用前後の作業時間計測結果から、一定の効果が見られた。

また、XR 端末を導入している道内企業及び教育コンテンツ被験者に聞き取り調査をした結果、コンテンツ作成における複数の課題が明らかとなった。

3. まとめ

本研究により、熟練者の重要なノウハウである、視線情報を活用した作業学習のコンテンツを作成した。

本成果を活用することで、道内製造業等において XR 技術の導入促進により熟練が必要な作業の学習効率向上が期待される。今後は、本技術の普及活動と共に、今回の調査で判明した XR の課題解決にも取り組む予定である。

4. おわりに

本研究を進めるに当たり、道立北の森づくり学院 駒田 賢主任、札幌看護医療専門学校 山田憲幸臨床工学技士学科長、そして両校の学生の皆様にご協力を頂いた。ここに感謝の意を表する。

(連絡先:kamio-naotoshi@hro.or.jp)

ハイパースペクトルカメラによる作物病害検出技術

ハイパースペクトルカメラを用いた作物病虫害被害判別に有効な分光反射特性の解析
(令和1年～令和3年度)

開発推進部 ○本間稔規
産業システム部 岡崎伸哉
道総研 中央農業試験場

1. はじめに

農作物の生育管理において病害の発生は農作物の収穫量や品質に大きく影響するため、発生状況を確認し適切な対策を取ることが重要である。病害を判別できる熟練農業生産者は年々減少していることから、病害判別の自動化技術が望まれている。本研究では、可搬型のハイパースペクトルカメラで取得した分光データに対して機械学習を用いて解析することで作物病害を自動で判別する技術を開発した。

2. ハイパースペクトルカメラ

圃場での農作物の分光データ収集には、中央農業試験場のハイパースペクトルカメラ Specim IQ (SPECIM, SPECTRAL IMAGING LTD.製) (図1) を用いた。取得波長範囲は 400~1000nm、空間分解能 512 画素、波長分解能 7nm である。1回の撮像で取得できる分光データサイズは 512×512×204 (空間 x 軸、空間 y 軸、波長軸) であり、ENVI (Environment for Visualizing Images) 形式で保存される。撮像方式はカメラ内部に駆動機構を備えたラインスキャン方式であり、使い方は通常のカメラと同じであるが、データ取得時間は撮像環境の明るさにより 10~30 秒程度を要するため、三脚が必要である。



(SPECIM, SPECTRAL IMAGING LTD. HP (<https://www.specim.fi/iq/>) より引用)

図1 ハイパースペクトルカメラ

3. 病害判別のための機械学習手法

作物の病害を判別する機械学習の手法として、病変部の範囲が広い場合は、訓練データの収集が容易であることから、教師あり学習のランダムフォレストを用いた。りんご樹木の枝幹に発生する腐らん病について、健全部と病変部の訓練データにより判別モデルを構築し、訓練用のデータとは別の評価用のデータに対して適用したところ、良好に判別可能であった (図2)。一

方、病変部が点状で小さい場合は訓練データの収集が困難なことから、教師あり学習ではなく、主成分分析 (PCA)、1-class サポートベクターマシン (SVM)、局所外れ値因子法 (LOF) などの教師なし学習を用いた。てん菜の褐斑病に対して適用したところ、こちらも良好に病変部を検出することができた (図3)。

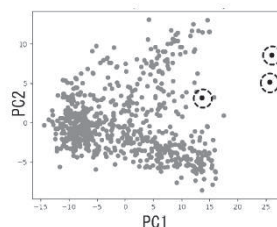


2019-0529の病変部判別結果 (矢印部分)

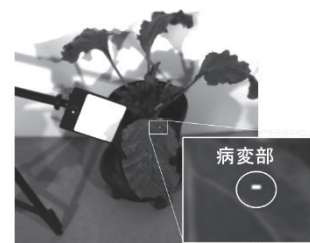


2021-0616の病変部判別結果 (矢印部分)

図2 ランダムフォレストによるりんご腐らん病の病変部判別



PCA スコアデータから LOFにより病変部を検出



PCA+LOFにより検出した部位

図3 PCA+LOFによるてん菜の褐斑病検出

4. おわりに

可搬型のハイパースペクトルカメラにより取得した農作物の分光データに対して機械学習を適用し、作物病害を判別する技術を開発した。りんご腐らん病やてん菜の褐斑病に適用し、良好な結果が得られた。ハイパースペクトルカメラが小型化されたことでフィールドへの適用が可能となったが、現場に普及するには未だ高価である。今後は本研究で得られた知見をもとに、判別に重要な波長範囲を絞り込むことで構造を簡素化した現場向けの装置開発へと展開していく予定である。

(連絡先: honma-toshinori@hro.or.jp)

AI 画像解析による路面の積雪状態の認識技術の研究

AI によるロードヒーティングの遠隔操作手法の研究（令和 2 年～令和 3 年度）

産業システム部 ○近藤正一、堤 大祐
開発推進部 本間稔規
(株)サンケーコーポレーション

1. はじめに

北海道では、集合住宅、商業施設などの駐車場などにロードヒーティングが施工されていることが多く、融雪運転は一般的に降雪センサ、地温センサ等のセンサ情報を基に制御されている。しかし、降雪センサの誤検知や融雪状態を検知できずに運転停止タイミングが遅れ過剰運転となり、燃料コスト増大が問題となっている。(株)サンケーコーポレーションでは、ロードヒーティング現場に設置した監視カメラ等の画像や気象データから積雪状態を判断し、遠隔でロードヒーティング制御を行い燃料コストの削減を実現している。しかし、24 時間監視体制のため監視者負担が大きいという課題がある。本研究では、監視者の負担を軽減するため、AI により画像解析を行うことで積雪状態を認識する技術を開発した。

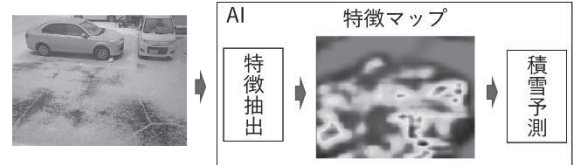
2. AI 画像解析による積雪量予測

路面の積雪状態を認識するために、図 1 のように画像から積雪量を定量化する方法を AI による画像解析（畳み込みニューラルネットワーク）を用いて開発した。図 2 (a) に示すように、入力画像から抽出した特徴マップを用いて積雪量を予測し、0~100%の間の値を出力する。

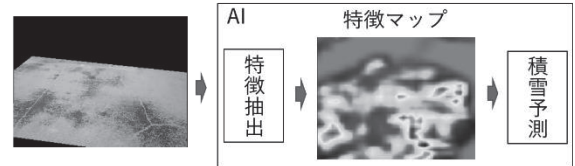
監視者が積雪状態を判断する際は、駐車場の車によって遮蔽されていない部分を中心に判断を行う。そこで、マスク処理によりその部分の特徴のみを抽出し、積雪量を予測する方法についても検討した。入力画像にマスクを適用する方法（図 2 (b)）、特徴マップにマスクを適用する方法（図 2 (c)）の 2 つのモデルを検討した。

駐車場画像の積雪量を監視者が 0~100%の間にラベル付けしてデータセットを作成した。図 2 のモデル 1

(a) モデル 1：マスク画像未使用



(b) モデル 2：AI への入力前にマスク適用



(c) モデル 3：特徴マップにマスク適用

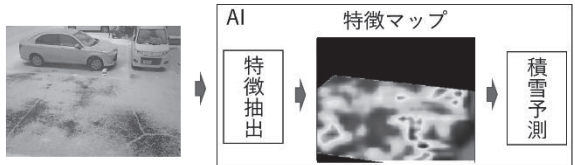


図 2 画像解析モデル



予測積雪量：53%

図 3 積雪量予測結果

～3 について学習及び評価を行った結果、入力画像にマスクを適用するモデル 2 の精度が最も高くなった。図 3 に積雪量予測結果の例を示す。

3. おわりに

AI による画像解析を用いて画像から積雪量を予測する手法を開発した。駐車画像に適用し、積雪量予測ができることを確認した。マスク処理により、駐車場の車によって遮蔽されない部分の情報のみを抽出することで、より正確に積雪量を予測できることがわかった。

(連絡先：kondou-shouichi@hro.or.jp)

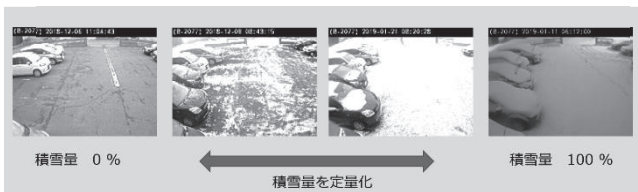


図 1 積雪量の定量化

てん菜受渡査定・立会業務の自動化システムの開発

てん菜受入査定・立会業務の自動化システムの開発（令和3年度）

産業システム部 ○藤澤怜央、岡崎伸哉、近藤正一、全 慶樹
（一社）北海道農産協会

1. はじめに

北海道の製糖工場におけるてん菜受渡査定・立会業務では、輸送車両ごとに夾雑物（石や腐敗したてん菜など）の重量や原料受渡正味規格外となる茎葉冠部（てん菜上部の糖含有量が低く、製糖に適さない物質が含有している部位）の重量割合を目視にて判別している。この業務は他の農産物とは異なり圃場での選別はなく、夾雑物が混在した状態で行うことから熟練の技術が必要である。加えて大量のてん菜を受入するために多くの人手が必要となっていることから、査定・立会業務の自動化が強く望まれている。

本研究では、（一社）北海道農産協会と共同で、てん菜受渡査定・立会業務における目視検査の自動化に取り組んだ。AIと画像解析による石及び腐敗根判別技術と茎葉冠部の重量割合推定について、それぞれ開発を行ったので報告する。

2. 撮影範囲の検討

製糖工場におけるてん菜受入では、ローラー形状の除土装置上を通過するてん菜に対して目視検査を行う。除土装置上では10t以上のてん菜を一度に処理するため、てん菜ごとの重なりが多くなる。また、てん菜と比較して比重が大きくサイズが小さい石はてん菜の下に入り込むことが多い。以上の要因から真上からの撮影ではてん菜および石の全体像を得ることが難しい。そこで、ローラー平面及び段差を撮影し、比較を行った（図1）。輸送車両1台分を撮影した画像に対して目視で石を計数・比較したところ、段差撮影の方がより多くの石を確認できた。

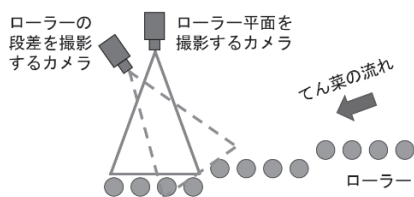


図1 除土装置とカメラの配置

3. 夾雑物の検出

受渡査定・立会業務における夾雑物検査では、主に石と腐敗根の有無を確認している。本研究では、画像領域分割と物体検出を同時に行うディープラーニングのモデルMask R-CNNとResNet152を用いた個体抽出と各領域の物体判別を行い、石及び腐敗根の検出を行った。

石については検出率32.2%となった。検出率が低くなった原因として、作成した学習データは黒色に近い石が多く、白色を含む石などの検出ができなかったと考えられる（図2）。また、腐敗根については判別率81.4%となった。誤判別の原因として、腐敗箇所が画像上に写らない、などがあることから、複数角度の撮影を検討するなどの改良が必要である（図3）。

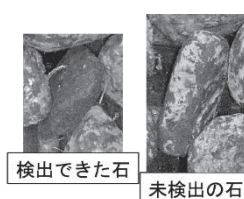


図2 石検出の例

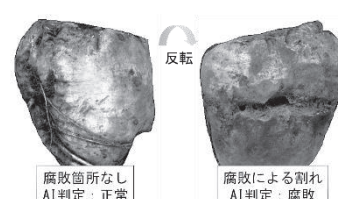


図3 腐敗根誤判別の例

4. 茎葉冠部の重量割合推定

てん菜の栽培方法（移植及び直播）によらない茎葉冠部重量割合推定手法を開発した。楕円フーリエ記述子を用いててん菜の輪郭情報を数値化し、線形重回帰分析の変数として用いることにより、てん菜重量及び茎葉冠部重量を推定する。

移植てん菜110本、直播てん菜110本を撮影し、てん菜重量及び茎葉冠部重量を実測した。無作為に抽出した55本ずつのデータから線形重回帰のための回帰係数を求めた。また、残りのてん菜に適用し、重量割合を算出したところ、目標誤差である±1ポイント以内に収まることを確認した。

表1 茎葉冠部重量割合推定結果

	移植		直播	
	推定	実測	推定	実測
てん菜[kg]	272.8	284.7	206.8	198.4
冠部[kg]	28.5	31.6	11.7	10.4
重量割合	10.5%	11.1%	5.6%	5.2%
差	-0.6		0.4	

5. おわりに

本研究では、てん菜の輸送車両ごとの受渡査定・立会業務の自動化を目的として、石及び腐敗根の判別と茎葉冠部の重量割合推定を行った。石の検出率は32.2%、腐敗根の判別率は81.4%となった。今後は、検出漏れとなったデータを用いて追加学習を行うなど精度向上を図っていく予定である。

（連絡先：fujisawa-reo@hro.or.jp）

ユーザー中心設計のための試作活用技術

ユーザー中心設計のための試作活用技術に関する研究（令和2年～令和3年度）

開発推進部 ○印南小冬、万城目聡、安田星季、大久保京子、高木友史

1. はじめに

ユーザーに訴求する製品を開発するためには、開発初期段階から試作を用いて企画の受容性やユーザビリティを検証しながら進めることが重要である。しかし中小企業等では「試作」＝「設計品質や製造品質の検証」という認識が強く、開発初期に企画や使いやすさなどをユーザー視点から検証するための試作があまり行われないケースが多い（図1）。

製品開発フェーズ

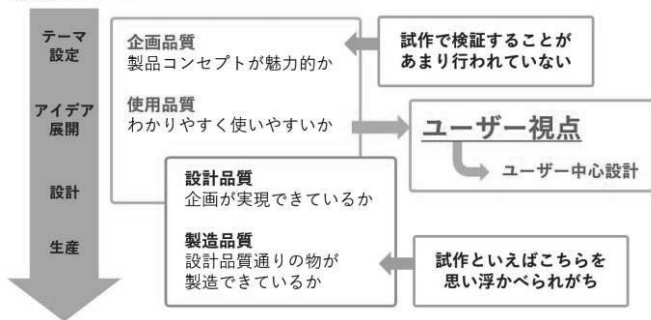


図1 製品開発の流れと各段階で検証する品質

そこで本研究では、中小製造業の製品開発担当者がユーザー視点を取り込んだ製品開発（ユーザー中心設計）に取り組むことを支援するために、ユーザー視点を検証する試作ガイドを作成した。

2. 試作状況の実態調査

道内製造業における試作の現状について、過去に当場でデザイン支援を行った例を調査するとともに、自社製品を開発している企業計6社に対してヒアリングを行った。その結果、製品開発にデザイナーの関与がある企業では開発初期の試作が行われており、デザイナーの関与がない企業では行われていないことがわかった。また、そうした試作のほとんどをデザイナーが行っていることがわかった。しかし、開発初期の試作は簡易的なもので検証が可能であるため、デザイナー以外の試作でも十分な効果が得られることをケーススタディで検証することとした。

3. ケーススタディ

会場主催のセミナーにおいて、製品開発を行っている企業4社6名の方に、アイデアを検証するための簡易試作を作成してもらうケーススタディを行った（図2, 3）。作成された簡易試作は初期検討に十分な情報量があり、アイデアの共有が円滑に行われた結果、



図2 試作用材料



図3 セミナー参加者が作成した試作

試作同士を組み合わせるなどブラッシュアップも活発に行われた。一方で、参加企業から試作の効果が分かりづらい、具体的な試作例が欲しい等の意見があったため、ガイドではそれらの情報を掲載する事とした。

4. まとめ

調査とケーススタディから得られた知見から、ガイドを①開発初期段階で試作を使ってユーザー視点を検証する必要性・有効性の解説と②ユーザー視点を検証するための具体的な試作例紹介という構成とし、具体的な試作例を随時追加できるようWEBサイトの形式でまとめた（図4）。WEBサイトは今後道内企業向けに公開予定である。



図4 WEB型デザイン試作ガイド

（連絡先：innami-kofuyu@hro.or.jp、011-747-2377）

- **ポスターセッション発表要旨**

多様な食品に対応したハンドリング技術の開発

多様な食品に対応したハンドリング技術の開発（令和元年度～令和3年度）

産業システム部 ○井川 久、川島圭太、宮島沙織、中西洋介

1. はじめに

食品製造工程において、把持すべき対象物が定形の容器に入っている原料処理や、包装・充填後の移載作業ではロボットによる自動化が進んでいるが、対象物が不定形かつ重なり合っている工程では、対象物位置の認識やハンドリングの難易度が高くなるため、自動化は困難である。

本研究では、食品製造業で多くの人手を要している工程間の移載作業の自動化を目指し、重なり合った不定形状物の把持を可能とするロボットハンドリング技術の開発を行った。

2. バラ積みされた対象物の把持箇所認識技術の開発

深層学習を用いたインスタンスセグメンテーション技術（同じ種類として分類された複数の対象物から個体を識別する技術）により、バラ積みされた対象物を個別に認識できることを確認した。しかし、対象物毎に数百枚の学習データを用意する必要があり、未知対象物への適用は困難であることが分かった。

そこで、未知対象物を個別に認識してロボットハンドで確実に把持するため、3Dカメラで対象物までの距離を計測して得られた深度データの断層画像に画像処理を行うことで対象物の把持箇所を認識し、その場所にロボットハンドを位置決めする経路生成技術を開発した（図1）。ロボットによる把持試験を行った結果、バラ積みされた未知対象物の把持が可能であることを確認した。

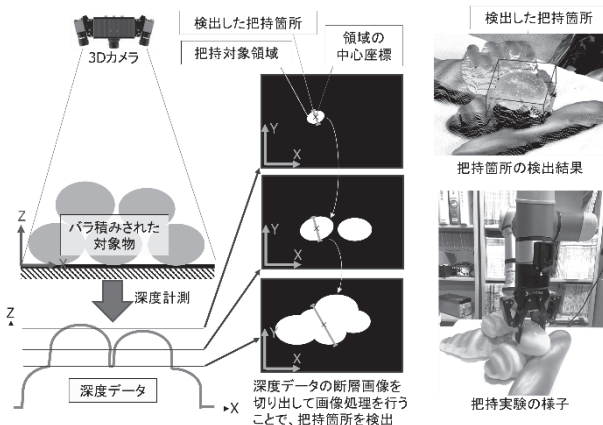


図1 3Dカメラによる対象物の把持箇所認識技術

3. ソフトロボットハンドの開発

ゴム系樹脂を用いて3Dプリンタで造形したソフトロボットハンドは、一定圧以上のエアを加圧した際に

積層痕から裂けるなど、強度が不十分であった。そこで、シリコンなどの柔軟樹脂を型に入れて成型することで、対象物を把持する上で十分な強度を有する空気圧駆動型のロボットハンドを開発した（図2）。

空気圧とロボットハンドの把持力の関係を求めるための把持力試験（図3）、対象物を把持するために必要となる空気圧を求めるための把持試験（図4）、対象物を把持したロボットハンドを水平方向に一定の加速度で移動させた場合の把持状態を確認するための加速度試験（図5）などの性能評価試験を行った結果、開発したハンドはロボットによるハンドリング作業に活用可能であることを確認した。

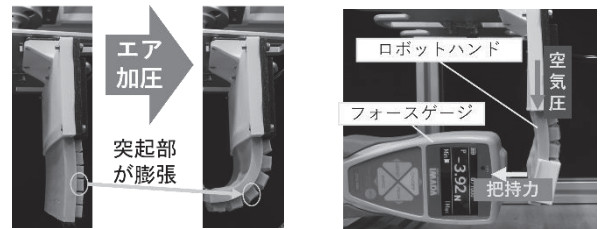


図2 ロボットハンドの動作

図3 把持力試験

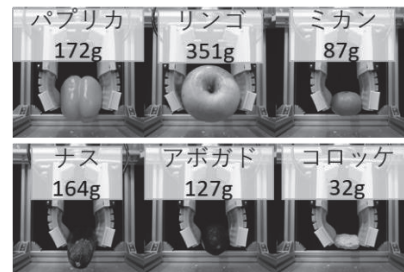


図4 対象物把持試験

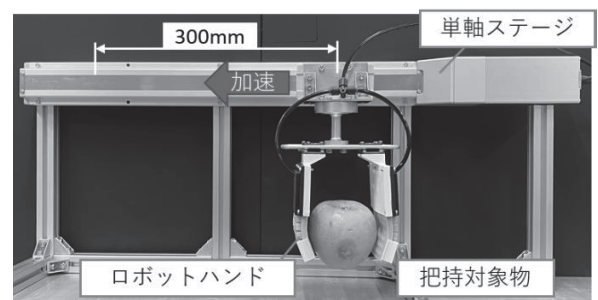


図5 加速度試験（空気圧 50kPa）

4. おわりに

バラ積みされた対象物をハンドリングするための画像認識技術およびロボットハンドを開発し、有効性について検証した。今後は実用化に向けた検討を進めていく予定である。

（連絡先：igawa-hisashi@hro.or.jp）

道総研におけるソフトウェア無線の取組み

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

産業システム部 ○日下 聖、宮崎 俊之、堤 大祐、新井 浩成

1. はじめに

一般の無線システムにおいて、変調方式や通信周波数などの「通信方式」はシステム設計時に決定され、製品搭載後の変更は難しい。そのため、使用する環境や要求に応じて通信方式を変更する必要がある場合、ハードウェアそのものを再開発する必要があり、非常にコストと時間が掛かる。

これを解決する手段の一つとして、通信システムをソフトウェアで再構築可能な形で実装し、単一の無線デバイスで様々な通信方式に対応させることが可能なソフトウェア無線 (SDR) がある。道総研では、通信環境の悪化やシステムの設計変更の要求にも柔軟に対応できる無線通信システムの開発を目指し、ソフトウェア無線の活用に関する取組みを行っている。

2. ソフトウェア無線と GNU Radio

ソフトウェア無線の活用に向けて、その有効性の確認のためにオープンソースの GNU Radio を用いて開発環境の構築を行った。GNU Radio は旧来の Ver.3.7 系と最新の Ver.3.8 系というアーキテクチャが異なる 2 種が存在する。前者は技術情報が豊富である一方で、一部機能にバグが残ったまま開発が終了しており、後者はバグ修正や依存機能の最新化が行われて現在も開発が継続中である。本研究では、開発の持続可能性を考慮して Ver.3.8 系を選択した。また、廃止された機能のいくつかは、それまでの技術資産を活用するために必要なものであるため、最新環境でそれらの資産を活用可能にするための追加機能開発を行った。

3. デジタルデータ伝送システム開発の取組み

前章の通り、GNU Radio の大規模な仕様変更のため、旧来の技術情報と最新の開発環境には大きな差異がある。そこで本研究では、新旧の挙動を比較し、旧来情報との差分や変更点を整理して、過去の技術情報を活用するために不足していた機能の開発を行った。

本成果の適用対象の一つとして移動体搭載センサのデータ送受信を想定しているが、そこで必要なデジタル通信のための基本モジュールも前章のバグによる廃止機能に含まれる。そのため、最新環境ではデジタル通信系全般において過去の資産を活用できなくなっており、それまでの技術情報を利用するためには旧来環境を用意してバグが含まれた状態で扱うのが唯一の選択肢であった。この問題を解決して過去の技術資産を最新環境で活用するために、新たな基本モジュールの開発を行った。これを利用することで図 1 に示す OFDM のような様々なデジタル通信系を最新環境でも容易に扱うことができる。

開発した実験環境 (図 2) は寒冷地ものづくりラボにて性能試験を行い、ソフトウェア無線による安定したデジタル通信が実現可能なことを確認した。

4. おわりに

道総研におけるソフトウェア無線の取組みとして、GNU Radio の活用とその知見獲得に関する検討を行った。本成果は、ドローンなど移動体のセンサ伝送系に活用し、効率的で安定な通信系の実現を目指す。

(連絡先: kusaka-takashi@hro.or.jp)

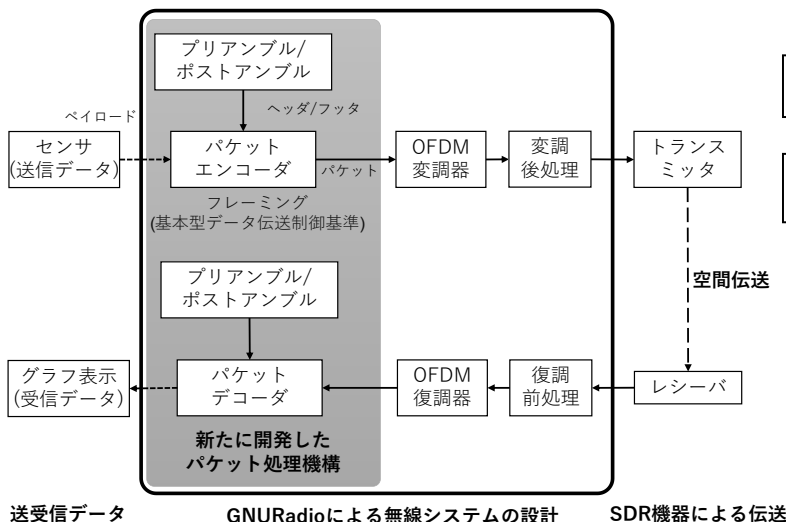


図 1 GNU Radio による OFDM 通信システム

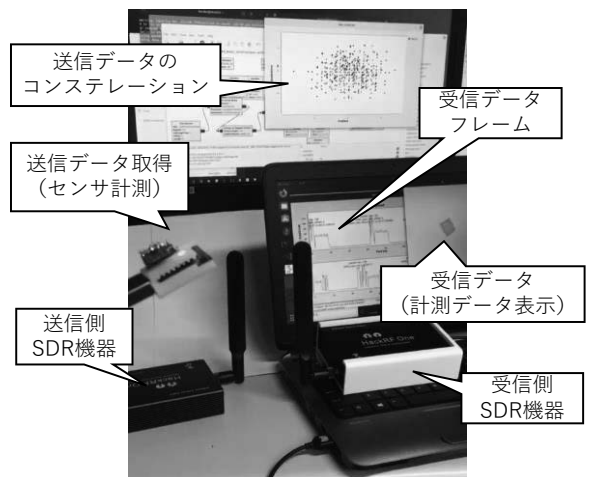


図 2 デジタルデータ伝送実験

道内産業における人為的ミス低減のための活動

地域活性化雇用創造プロジェクト事業（令和元年～3年度）

開発推進部 ○神生直敏、高橋 浩、中村紗由美

1. はじめに

道内では、しばらく減少傾向だった労働災害（死傷）発生件数が近年増加している。災害防止のためには、原因の一つである「人為的なミス（ヒューマンエラー）」を理解することが効果的である。

これまで、工業試験場では、道内企業等を対象に様々な技術に関する研修事業を実施している。昨年、その中の「品質評価技術研修」にて、人為的ミスの予防に関するオンライン研修会を実施したので、その概要を紹介する。

2. 内容紹介

①第1回（9月8日）

講師：中央大学理工学部 中條武志教授

医療機関での「意図的不順守」の分析ツールでも著名な中條先生より、製造業での人為的なトラブル・事故の原因（図1）や「エラープルーフ化」について、紹介頂いた。

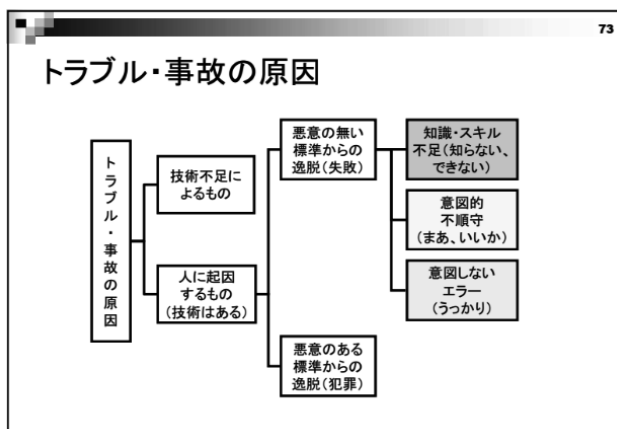


図1 作業トラブル・事故の原因分類

②第2回（10月5日）

講師：立命館大学総合心理学部 北岡明佳教授

人為的ミスでは、視覚による錯覚（錯視）を原因とするものも多い。そこで、錯視について知見を深めるために、研究と同時に様々な錯視作品を手掛けられる北岡先生より、錯視についての説明を最新の研究成果も含めて紹介頂いた。講演テキストは立命館大学のサイトでも閲覧可能である。

〈講演テキスト「北岡明佳の錯視のページ」〉

<http://www.psy.ritsumeiji.ac.jp/~akitaoka/Hokkaido2021.html>

③第3・4回（11月2日）

講師：中部産業連盟 富澤祐子主任コンサルタント

人為的ミスの未然防止手段であるA-KOMIK^{エイコミック}について指導等をされている富澤先生より、工場・事務等で

の業務別のA-KOMIKの進め方や人為的ミスの発生原因（管理面と心理面）について紹介頂いた（表1）。また、企業参加者を対象に、心理面の人為的ミス対策の説明と演習も実施した。

表1 工場作業でのA-KOMIKの注力ポイント例

① 多品種少量品の工場生産		
業務の特性	A-KOMIK	注力ポイント解説
・つくる製品が毎回異なる ・ベテランのスキルに頼る部分が多い ・ライン化しにくい	K(決める)	共通技術の標準化 ・部品供給技術 ・ネジ締め技術 ・配線取り回し技術 など
	O(教える)	作業者訓練 ・図面読み ・技能スキルマップ など

④第5回（12月6日）

講師：(株)SMC 松田龍太郎代表取締役

人為的ミスに関する研修会が好評であったため、追加回を設け、国内外での指導経験が豊富な松田先生に製造現場でポカヨケ（人為的ミスの予防）の具体的方法とKYT（危険予知訓練）について、紹介頂いた（図2）。

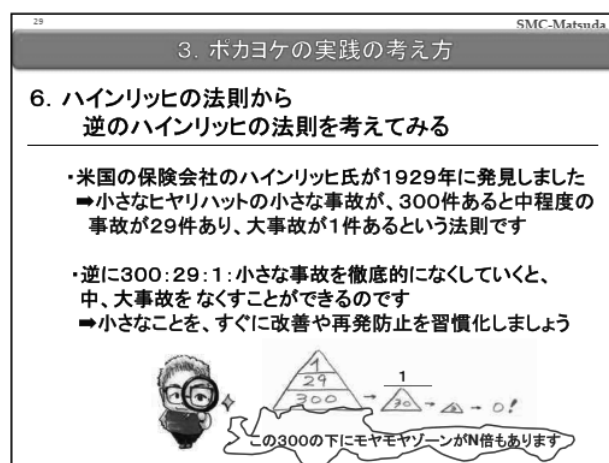


図2 ポカヨケ実践の考え方（逆のハインリッヒの法則）

3. おわりに

今回開催した品質評価技術研修には、のべ431名(全5回)の参加があり、道内における関心の高さが伺えた。今後は、人為的ミスに関する研究会等での普及活動により、道内産業の労災事故を低減させる取り組みを実施する。

開催に当たり、講演頂いた講師各位、そして北海道地域活性化雇用創造プロジェクト協議会に、感謝の意を表する。

(連絡先:kamio-naotoshi@hro.or.jp)

ドローンを活用した作物育種の効率化手法の開発

UAV活用型作物育種に向けた効率的な撮影画像解析ツールの開発（令和元年度～令和3年度）

産業システム部 ○飯島俊匡、浦池隆文、今岡広一、林峻輔、伊藤壮生、岡崎伸哉
 開発推進部 本間稔規
 道総研 十勝農業試験場、北見農業試験場、上川農業試験場、中央農業試験場

1. はじめに

農作物の品種改良（育種）において、収量性は重要な選抜評価項目の一つであり、その収量性と光合成能力は密接に関連している。そして光合成能力が高いと葉は活発に蒸散し、気化熱により葉面温度が下がる。すなわち葉面温度が低い育種材料の方が光合成能力が高く、収量性に優れると考えられる。これまで葉面温度の計測は、人が放射温度計を用いて数百点の育種材料を一つずつ定期的に計測しており、多くの時間と手間を要していた。加えて、葉面温度は刻々と変化するため、計測に時間を要すると温度比較が困難になる。そこでドローンとサーモグラフィを用いた葉面温度の効率的な計測手法と、生育解析のための空撮画像解析ツールを開発したので報告する。

2. 葉面温度の効率的な計測手法の開発

豆類、秋まき小麦、ばれいしょ及び水稻の育種圃場において、生育ステージの異なる時期に様々な飛行高度及び熱画像の空撮方法を検証した結果、各作物に適した撮影時期及び撮影高度、角度を得た（図1、表1）。使用したドローンはDJI社製MATRICE 200で、熱画像の取得はDJI社製Zenmuse XT2とZenmuse H20Tを使用した。

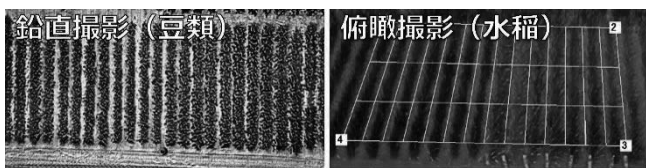


図1 空撮して得た育種圃場の熱画像

表1 作物毎の熱画像撮影条件

作物	撮影方法	撮影高度	撮影時期
豆類	鉛直	25-40m (生産力検定)	7月上旬 -8月下旬
秋まき小麦	鉛直	35m (系統選抜) 70m (生産力検定)	5月中旬 -6月下旬
馬鈴しょ	鉛直	30-40m (系統選抜) 50m (生産力検定)	6月下旬 -7月下旬
水稻	鉛直・俯瞰	20-35m (生産力検定)	7月中旬 -8月上旬

3. 生育解析のための空撮画像解析ツールの開発

葉面温度を生育解析に利用するため、①撮影向きに依存せず一意に番号を取得可能な同心円状バイナリコードを持つ対空マーカー（図2右上。大きさ45cm×45cm）を開発し、②空撮による測定値と試験区画番号の対応付けを容易にするマーカー自動検出機能と、③

機体の個体差（レンズ歪み及びセンサー出力）に対応した補正機能を持ち、④高解像度のオルソモザイク画像（複数の熱画像の結合画像）への対応が可能な空撮画像解析ツールを開発した（図2）。

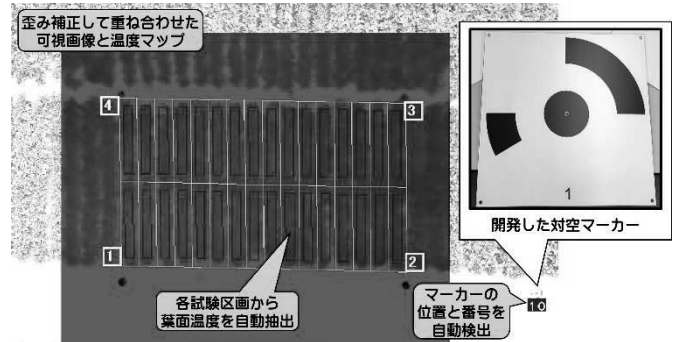


図2 空撮画像解析ツールと対空マーカー

4. 開発した手法およびツールの評価

開発した新規法と従来法（放射温度計による地上測定）について、調査時間の比較及び両測定法における測定値の相関係数について調査した結果（表2）、調査時間は約1/10に短縮され、葉面温度と収量性の相関が得られた（図3）ことから、育種作業の効率化が可能であることを確認した。

表2 開発した手法と従来法の比較

調査日時	7/16	7/21	7/26	7/30	8/3
調査時間	UAV法 8分	4分	6分	4分	4分
	従来法 50分	60分	54分	58分	64分
測定法間の相関係数	0.604	0.673	0.538	0.513	0.188

※1 対象は豆類 R3年測定 測定点数：128点
 ※2 調査時間：各測定法を実施した2名の作業時間の合計

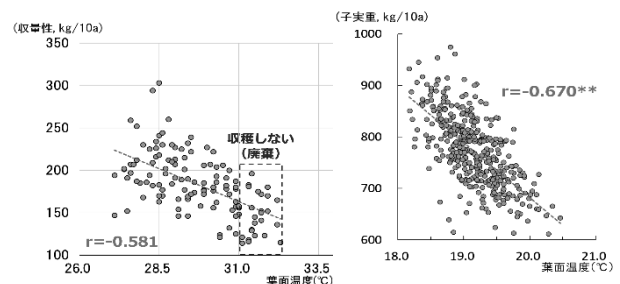


図3 葉面温度と収量性の相関（左：豆類、右：小麦）

5. おわりに

本研究成果を活用することで従来の葉面温度測定作業を迅速化し、秋まき小麦では選抜指標の1つとして系統評価に適用することで、収穫作業の軽減など、育種効率の向上が期待される。

（連絡先：ijijima-toshimasa@hro.or.jp）

耳に着目した非接触な脈拍計測の検討

生活空間におけるバイタルサイン計測システムの開発（令和3年度～令和4年度）

産業システム部 ○泉巖、川崎佑太、栗野晃希、中島康博
開発推進部 神生直敏

1. はじめに

センサ技術の向上に伴い、脈拍や呼吸、体温といったバイタルサインを非接触で計測して見守りするニーズが増えてきている。カメラによる頬の輝度解析は、非接触な脈拍計測を実現する有力な技術の一つであるが、マスクの着用による適用場面の制限や、化粧品による計測精度への影響が懸念される。

本研究では、これらの影響を受けにくいと考えられる耳を注目領域とした脈拍計測の可能性について検討を行った。

2. 耳の特徴点検出とトラッキング

撮影した耳を検出して注目領域をトラッキングするため、耳の画像とこれに対応する特徴点座標のデータセットを作成し、畳み込みニューラルネットワークにより耳の特徴点検出プログラム（図1）を開発した。

検出した特徴点の座標を用いて注目領域を区画し、トラッキングした例を図2に示す。



図1 耳の特徴点検出



図2 注目領域のトラッキング例

3. 注目領域の輝度解析

安静・座位の条件でトラッキングしたそれぞれの区画において、各画素のG（緑）成分平均を時系列解析した結果、図3のように心電図のピークと同期した脈波を確認することができた。こうした脈波は、特に耳の付け根付近（図2における⑬～⑯の区画）で再現性よく計測できることがわかった。

さらに、それぞれの区画で計測した脈波はほぼ同位相と見なせることから、⑬～⑯の区画で計測した脈波に加算平均処理を適用した結果を図4に示す。混在していたノイズが平坦化され、脈波成分がより強調された波形を得ることができた。

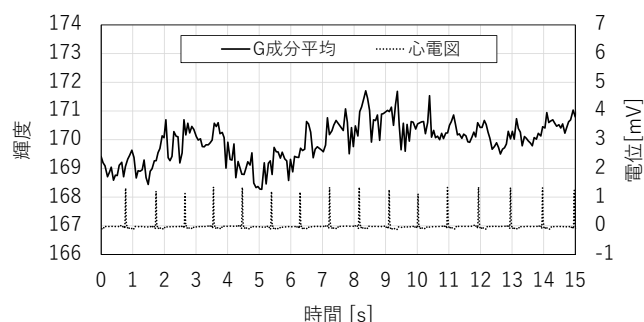


図3 耳の輝度解析で計測した脈波の例

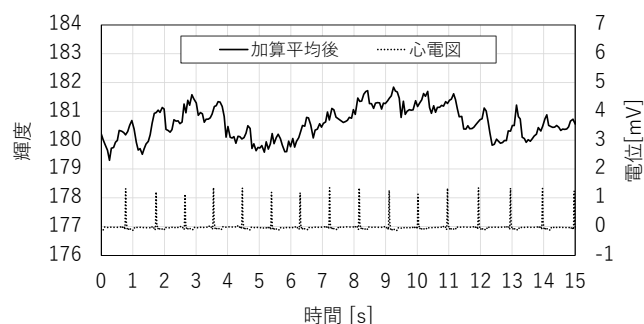


図4 加算平均処理後の脈波

4. おわりに

本研究では、独自に開発した耳の特徴点検出プログラムを用いて注目領域のトラッキングを行い、耳に着目した脈拍計測が可能であることを確認した。

今後は、他の部位と組み合わせることで様々な角度から脈拍計測するための技術や、大きな体動等に伴うノイズの影響を低減する技術などの開発を進めていきたいと考えている。

（連絡先：iwao-izumi@hro.or.jp）

視線計測を用いた好意評価推定

生体情報に基づく好意推定手法の開発に関する研究（令和3年～令和4年度）

開発推進部 産業システム部 専修大学
○大久保京子、安田星季、神生直敏、大村功
今岡広一

1. はじめに

昨今のコロナ禍において小売業の営業時間短縮や消費者の外出自粛により、ネットショッピングなどの通信販売の需要が益々増加している。ネットショッピングは、視覚情報である商品のパッケージやECサイトのデザインが消費者から好まれることが重要である。

一方、眼球運動により感情や意図などヒトの内部状態の推定をする試みが近年盛んにおこなわれており、消費者の意思決定プロセスの理解にも有用な方法と考えられている。眼球運動のような生体情報によるヒトの内部推定は、既存のアンケートやインタビューのような主観評価に代わる新たな客観的評価手法になり得ると考えられる。

そこで、本研究は眼球運動により、消費者が商品を選ぶ選好判断の予測ができる可能性を探る目的で、ケーキ画像の選好実験を行い、選好時の眼球運動と、好み評価との関係性を解析した。

2. 選好判断時の眼球運動計測実験

本実験では視線計測装置（トビー・テクノロジー株式会社 Tobii Pro ナノ）を使用し、モニター上に提示した一対のケーキ画像に対し、「好き」な画像を選択させ、被験者の眼球運動計測を行った。被験者は17名（女性13名、男性4名）で、提示されるケーキ画像は味が想像できるように一般的なケーキを5種類選定した。どちらのケーキ画像が好きかを選ぶ際には、キーボードにより選択させ、選択までの時間も計測した。また、選好実験の後に簡単なアンケートとインタビューを実施した。

3. 結果と考察

「好き」と選択した選好画像と非選好画像では、瞳孔径の変化量では有意な差が見られなかったが、注視時間・回数、サッケード（注視点から次の注視点までの急速な眼球運動）の時間・回数において「好き」と選択した画像が有意に多いことが明らかになった（図1、2）。この結果から選好判断を眼球運動により計測できる可能性が見いだされた。また、本実験の被験者を選択の矛盾や、好みの偏りにより、購買意思決定プロセスの3つの問題解決タイプに分類し、眼球運動との関係性を解析した結果、いくつかの仮説が提案できた（表1）。

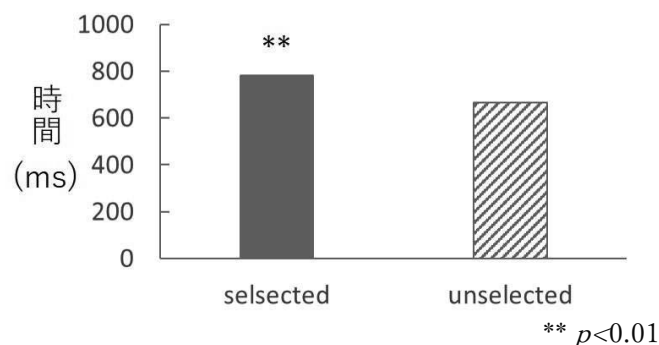


図1 注視時間の結果

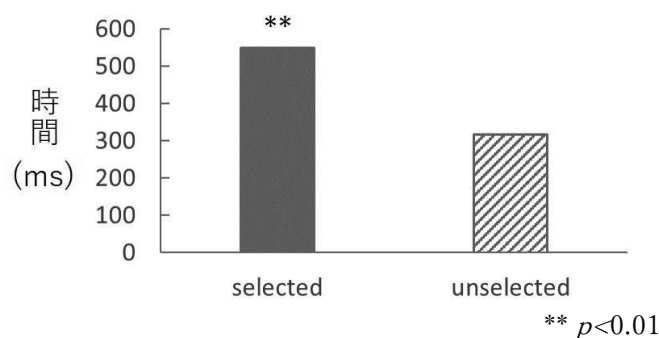


図2 サッケード時間の結果

表1 消費者の問題解決タイプと眼球運動の関係性

問題解決タイプ	選択時間	注視時間	注視回数	サッケードの時間
包括的問題解決	長い	長い	多い	長い
限定的問題解決	中間	長い	中間	長い
ルーチン型反応行動	極めて短い	極めて短い	少ない	短い

4. おわりに

本実験の結果から、眼球運動により選好判断を計測できる可能性を見出した。今後は、他の生体情報（脳波や心拍など）とあわせて解析することで、好意を推定するモデルについて検討を進め、製品デザインにおける評価手法等としての展開を目指す。

（連絡先：ookubo-kyouko@hro.or.jp）

XR デバイスを用いた学習コンテンツの開発

技術・技能伝承における視線データを活用した AR 技術に関する研究（令和 2～3 年度）

開発推進部 ○安田星季、神生直敏

北海道立北の森づくり専門学院、札幌看護医療専門学校

1. はじめに

XR (Extended Reality または Cross Reality) は、AR (拡張現実)、VR (仮想現実)、MR (複合現実) など、デジタル技術で構築された仮想空間を現実空間と融合するなどして、実在しないものをあたかも実在するかのように人に知覚させることができる技術の総称である。本技術により、3DCG モデルなどを実在するかのようにゴーグル型情報端末等（以下、XR デバイス）のディスプレイに表示できることから、製造業や建設業など様々な業種において社員教育や業務効率化などに活用が進んでいる。

本研究では、チェーンソーを用いた樹木の伐倒作業（以下、伐倒作業、図 1 左）と透析装置の血液回路を液で満たす作業（以下、プライミング作業、図 1 右）の 2 種類の作業を対象に XR デバイス (Microsoft 社製、HoloLens2) を用いた学習コンテンツを開発し、その有効性と課題を検討した。



図 1 伐倒作業とプライミング作業

2. XR デバイスを用いた学習コンテンツの開発

学習コンテンツは XR デバイス向けコンテンツ開発に頻用されるゲーム開発ソフト「Unity」で開発した。XR デバイスを装着した人の視点から見た学習コンテンツの画面例を図 2 に示す。コンテンツには、①作業の対象である樹木、透析装置の 3DCG モデル②作業工程表③作業の留意点を示す矢印や注釈等を配した。また、特に重要な留意点については、事前に録画した作業中の教師の視点からの動画に教師の注視点の動きを重ねて示した動画を作成、配置するなど、生徒が該当する作業途中に注視すべき箇所を理解しやすいような独自のコンテンツとした（図 2 右）。



図 2 学習コンテンツ画面例

(XR デバイスのディスプレイに表示された画面)

3. 開発コンテンツの有効性と課題

開発した学習コンテンツの有効性を確認する実験を行った（図 3）。被験者 7 名（伐倒作業：5 名、プライミング作業：2 名）にコンテンツを使用させ、使用後アンケート調査した。その結果、7 名中 6 名が従来の学習方法と比べて作業の留意点を「よく理解できた」「ある程度理解できた」と回答した（図 4）。一方、「力覚フィードバックが無い」等の課題があることがわかった。



図 3 伐倒作業の学習コンテンツの有効性確認

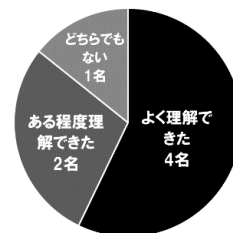


図 4 アンケート結果

(従来の学習方法と比較した作業の留意点の理解度)

(連絡先：yasuda-seiki@hro.or.jp)

4. おわりに

XR は農業、水産業などでも業務効率化等に有効な技術の一つだと考える。今後は、本研究で得た知見を踏まえ、道内企業等に対し同技術の普及、活用促進を進める。

炭素繊維強化熱可塑性プラスチック積層材の特性評価

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（令和3～5年度）

材料技術部 ○山岸 暢、可児 浩、瀬野修一郎
北海道科学大学、興和工業(株)

1. はじめに

炭素繊維強化熱可塑性プラスチック(CFRTP)は、比強度が高く、加熱による賦形が可能である等の優れた特性が注目されている。多品種少量の製品の生産を行う場合、金型を用いた大掛かりな専用成形装置の導入はコスト面から現実的でなく、簡易な成形方法の確立が必要である。平織カーボンクロスシートを積層したCFRTP積層材を加熱オーブンやエアコンプレッサー等の比較的安価な設備を利用して低圧での曲げ加工を行うとシートの層間に剥離欠陥が生じる。この解決のためシートをパッチ状に切断し、積層成形することにより曲げ加工時の内側と外側の繊維長差をパッチの継ぎ目で調整する方法で層間の剥離を防止することが可能である。しかし、パッチの積層方法により積層材の機械的特性が大きく異なるため、パッチの積層のずらし幅と機械的特性の関係について調査した。

2. 積層材の成形

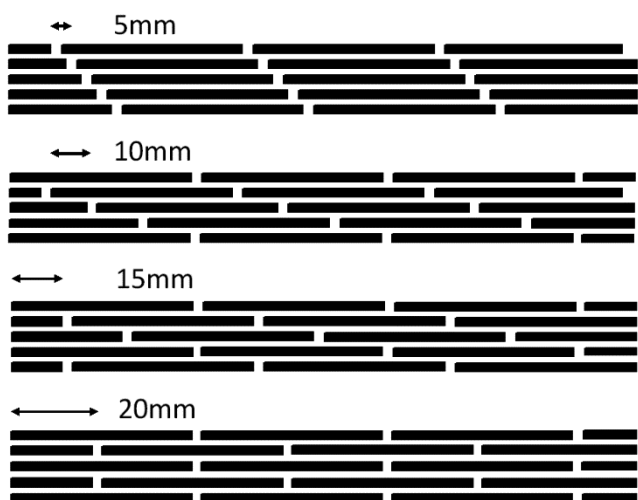


図1 パッチシートの積層構成の概略図

図1に、長さ40mmのパッチシート(3K平織、マトリックス樹脂:PMMA)のずらし幅を5、10、15、20mmに変えて積層した積層材の概略図を示した。積層は、厚み方向にシートを10プライ積層し、加熱温度230℃、加熱時間10min、加圧圧力5MPaの条件で厚み約2mmの積層板を成形し、25mm幅の短冊状の試験片を切り出し、引張試験を行った。

3. 特性評価

図2にパッチシートのずらし幅と引張強さの関係を示した。パッチシートを10mmずらした場合が最も高

くなった。また、図3にずらし幅と引張弾性率の関係を示した。引張強さと同様に10mmずらした場合が最も高くなった。

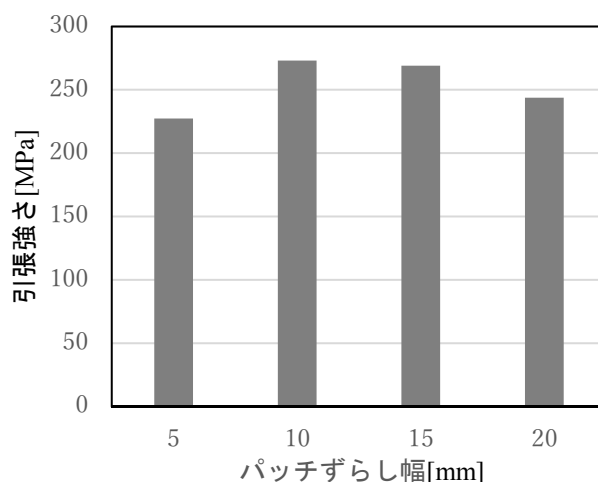


図2 パッチシート積層材の引張強さ

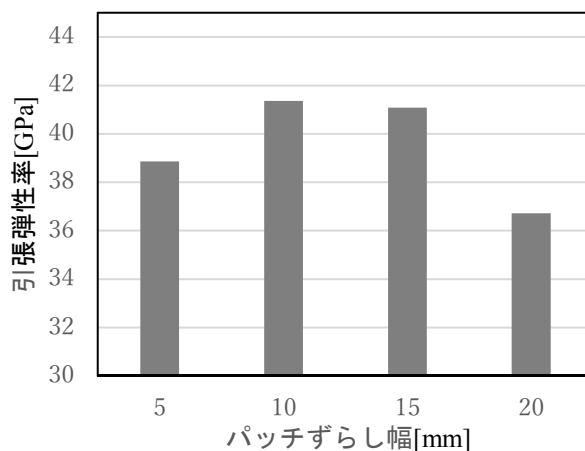


図3 パッチシート積層材の引張弾性率

図1より、ずらし幅5mmの場合、各層での繊維の切断部分が近く、引張荷重により破壊や試験体の伸びによる弾性低下が起こり易いと考えられる。また、ずらし幅20mmの場合、繊維の切断部分が厚み方向で複数重なることで、試験片断面での繊維の切断部分が多くなり、引張荷重で破壊や伸びが起こり易くなるものと考えられる。

4. おわりに

今後は、これらの知見を基に下肢装具等の2次加工修正が必要な部材への展開を図っていく予定である。

(連絡先: yamagishi-tohru@hro.or.jp)

自動車から回収されるプラスチックのマテリアルリサイクル

自動車廃プラスチック材の再利用技術と特性評価（令和3年度）

材料技術部 ○細川真明、大市貴士
(株)マテック

1. はじめに

成形加工性に優れたポリエチレンやポリプロピレンといったプラスチックは、包装材や自動車部品などあらゆる用途に使われている。これらは、一般的に枯渇性資源である石油から生産されており、2017年時点で年間約900万トンが廃棄されている¹⁾。廃棄されたプラスチックの27%は熱融解や化学的な改質を経て新しい材料として再利用されるが、実際は使用過程で異物の混入や材料の劣化が起こるため、大半は火力発電などの燃料といった環境負荷の大きいサーマルリサイクルにとどまっている。

我々は回収されたプラスチック製品をマテリアルリサイクルするために、無機フィラー等を添加し、性能を改善する試験に取り組んでいる。今回は自動車から回収されたバンパー材や内装材の性能向上に向けて取り組んだ結果を報告する（図1）。



図1 自動車から回収された部品（左）と粉碎されたプラスチック（右）

2. リサイクル材の高品質化

自動車のバンパーおよび内装部品から回収されたプラスチックを破碎し、再度溶融成形することでダンベル形試験片を作製した。その後、物性値を向上させるため、無機フィラーの種類と添加量を検討した。プラスチックとフィラーの溶融混練は二軸押出機（HK-

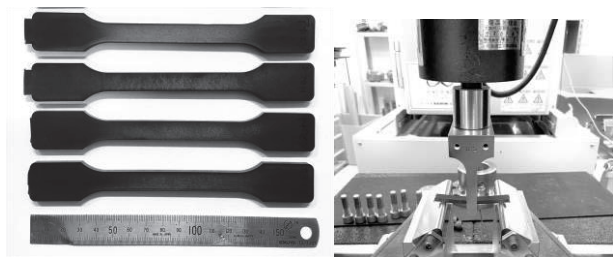


図2 ダンベル形試験片（左）と強度試験の様子（右）

20D、(株)パーカーコーポレーション)で行い、射出成形機（EC100SX-3A、東芝機械(株)）でダンベル形試験片に成形した（図2左）。ダンベル形試験片は三点曲げ強度試験を行うことで、曲げ方向に対する最大強度および弾性率を測定した（図2右）。

3. 物性値の改良の評価

母材であるプラスチックに対して添加した無機フィラー量を0%~10%の割合で混練した結果、曲げ強度は6%のフィラー添加で約6%上昇し、弾性率についても約20%の上昇が確認された（図3）。これはプラスチック中に硬くて小さなフィラーが均一に分散することで材料を補強しているためであり、無機フィラーの添加によりリサイクル材の性能を向上させていることが明らかとなった。

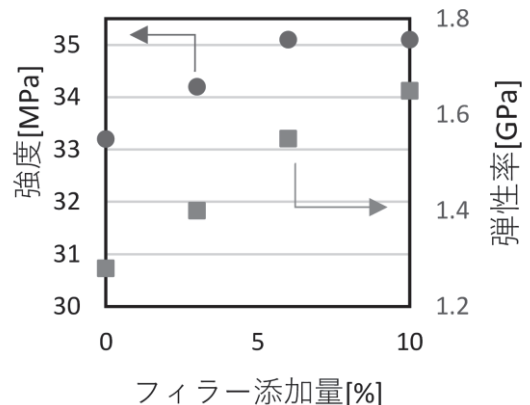


図3 無機フィラーの配合検討（曲げ強度試験）

4. おわりに

今回の検討結果は同社の実機試作で再検証が進められており、新製品として本材料の使用が検討されている。さらに他原料から得られる再生プラスチックの性能改善についても試験しており、今後より多様な用途で再生プラスチックが既存材料の代替となることが見込まれる。今後も更なる物性値の改良を目指して、廃プラスチックのマテリアルリサイクルに取り組んでいく。

（出典）

[1] (一社)プラスチック循環利用協会

(連絡先: hosokawa-masaaki@hro.or.jp)

非焼成硬化技術による崩壊性材料の開発

(令和2年度～令和3年度)

材料技術部 ○執行達弘、森 武士、野村隆文

1. はじめに

発表者らは、稚内層珪質頁岩を二水石膏とシリカゾルに混合・成形することで、焼成せずにタイル形状に硬化させる「非焼成硬化技術」を見出している(特許第5070529号)。近年では、この技術の新たな展開として、硬化材である二水石膏とシリカゾルのみを用いた独自の牡蠣養殖用基質の開発にも取り組んでいる(技術移転フォーラム2021)。この中で、開発中の硬化体は焼成タイルと同等の強度を発現し、静水中では長期間崩壊しないが、流水中では速やかに減耗するという特徴を明らかにした。水産資材への展開としては解決すべき課題であり、研究を継続している。一方、崩壊性材料、すなわち使用初期は強固であるが使用中、特に流水中で徐々に崩壊する特徴を活かした用途の開発についても並行して取り組んだ。

2. 徐放性カルシウム肥料

徐放性肥料とは圃場で徐々に成分を放出する肥料である。長期間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・環境負荷の軽減や、施用回数の低下による省力化などが期待できることから、多くの研究開発や製品化が行われている。

カルシウムは、窒素・リン酸・カリウムに次いで農作物に必要な成分である。一般に、土壌の酸性を中和する目的で炭酸カルシウムが散布、供給されるため、特殊な肥料としての要望は少ない。しかし、北海道の主要農産物であるジャガイモの栽培においては、土壌pHがアルカリに傾くことで、そうか病が発生しやすくなることから、pHが上昇しすぎない程度に徐々にカルシウムを供給する肥料が切望されている。

本研究では、非焼成硬化技術の硬化材である二水石膏とシリカゾルを用いて種々の硬化体を作製し、崩壊性材料としての水中での崩壊挙動を調べるとともに、徐放性カルシウム肥料としての展開を検討した。

3. 崩壊性材料および徐放性カルシウム肥料試作品の作製と評価

崩壊性材料として、二水石膏の粉末に0～400 mass%のシリカゾルを混合した後、プレス成形によるタイル形状や押出造粒によるペレット形状、吹き付けによる厚膜形状の成形体を作製し、23～40℃で24～72h乾燥して硬化体を作製した。得られた硬化体について、3点曲げ強度、圧壊強度、摩耗強度を測定し、静水及び流

水中での試料重量や寸法、強度の変化を評価した。これまでに得られた知見のとおり、いずれの形状でも硬化し、水中では崩壊することが確認できた。これらの特徴を活かした用途の開発を継続する。

徐放性カルシウム肥料として、二水石膏の粉末に10 mass%のシリカゾルを混合した後、押出造粒により直径3mm、長さ約10mmのペレット形状に成形し、23℃で72h乾燥した。試作品(図1)の圧壊強度は155Nであった。一般的な肥料が40N程度であることから、使用初期の強度は十分であることがわかった。



図1 徐放性カルシウム肥料試作品の外観

水中での崩壊挙動を調べるため、試作品を23℃の恒温室に設置された容器に入れ、全量が溶解する二倍量の蒸留水に浸漬した後、減量の時間依存性を測定した(図2)。試作品は7日後に80%以上が減少したことから、二水石膏粉末より徐放性を示すことがわかった。X線回折および微細構造観察により、硬化は二水石膏粒子の溶解と析出による固体架橋に由来し、徐放はシリカゾルから生成したシリカ粒子が「骨格」として残存した結果と推察した。

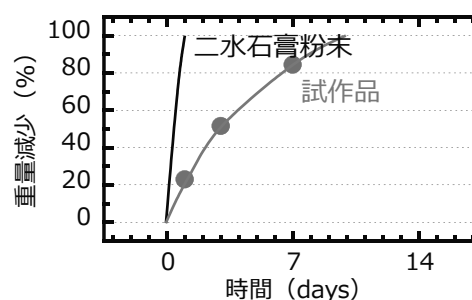


図2 徐放性カルシウム肥料試作品の崩壊挙動

4. おわりに

徐放性カルシウム肥料の実用化には、さらなる徐放性の向上が求められることから(40日後に80%以上が減少するなど)、硬化と徐放の機構に基づく新たな材料開発を継続する。

(連絡先: shigyo-tatsuhiko@hro.or.jp)

新規の環境調和型溶媒によるプロセス技術の開発

天然由来物質の高機能化を目指した分離・反応プロセスの開発（令和2～令和3年度）
ワイン製造残渣に含有される機能性物質の高度利用（令和3年度）

材料技術部 ○吉田誠一郎・松嶋景一郎・近藤永樹・小川雄太
エネルギー・環境・地質研究所
北海道ワイン(株)

1. はじめに

農業残渣、使用済み家電中の廃電子基板などの有機・無機の廃棄物の中には、ポリフェノールや糖類などの有機物や、金属などの無機物が含まれている。これらを抽出する、あるいは化学反応により、高付加価値な物質に変換することで、廃棄物を有用な資源として活用することが可能となる。

一方で、抽出や反応などの化学プロセスで用いられる有機溶媒や強酸などは、環境負荷が課題となっている。そこで我々は、新規の環境調和型溶媒として、深共晶溶媒¹ (DES, Deep Eutectic Solvent) に着目した(図1)。DESは水素結合供与体・水素結合受容体として働く物質を混合、加熱することで簡単に調製ができる溶媒である。DESはその組成により物理化学的性質(極性、pHなど)をデザイン可能である。加えて、揮発性が低く、安価で、天然物にも豊富に含まれる成分(糖、有機酸など)からも調製可能である。これらのユニークな特徴から、DESは抽出や反応といった化学プロセスの溶媒として有望である。今回はDESの応用例として天然資源からのポリフェノールの抽出、都市鉱山からの金属の抽出や、糖類の変換反応などを紹介する。

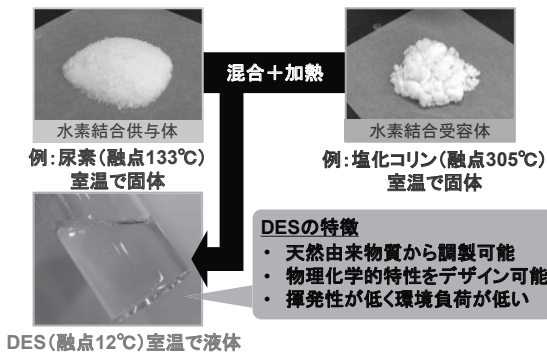


図1. DESの概要と特徴

2. 抽出プロセスへの応用

DESを用いて、ブドウや玉ねぎの果皮といった天然資源に含まれるポリフェノールの抽出を検討した。DESの極性を制御することで、これらの果皮に含まれる種々のポリフェノールを有機溶媒と同等の効率で抽出することができた(図2(a), (b))。

また、廃電子基板は鉱石に比べて高濃度に金属を含有する有望な都市鉱山である。DESのpHを制御する

ことで、廃電子基板中の銅を90%以上の収率で抽出できた(図2(c))。一方、塩酸だけでは銅の抽出率は低く、DESが特異的に銅を抽出できることが判明した。

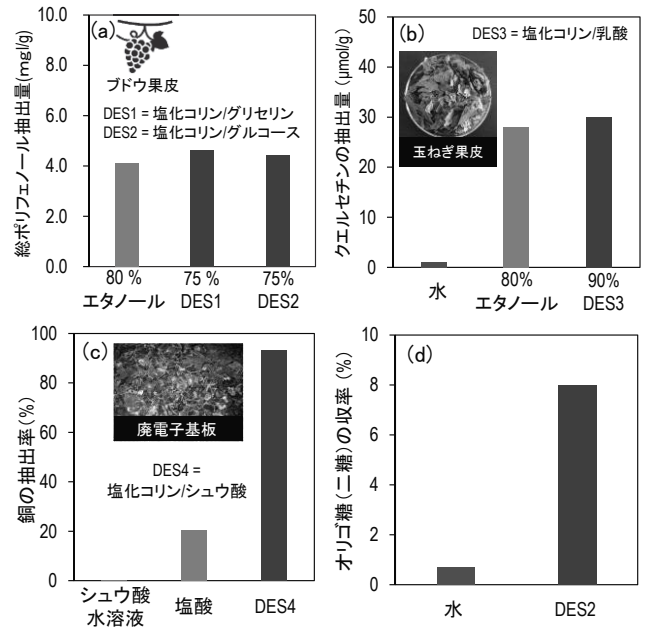


図2. DESによる(a)ブドウ果皮・(b)玉ねぎ果皮からのポリフェノール抽出、(c)廃電子基板からの金属抽出、(d)オリゴ糖合成

3. 反応プロセスの応用

DESを有機溶媒に代わる反応場として考え、糖からのオリゴ糖合成を検討した。単糖の一種であるグルコースを含むDESを酸触媒で反応させたところ、水を溶媒に用いた場合よりも高い収率でグルコース由来のオリゴ糖(二糖)が得られた(図2(d))。

4. おわりに

環境調和型溶媒であるDESの物性をデザインすることで、様々な化学プロセス(抽出、反応)への応用の可能性を見出した。今後もDESの用途開発ならびに実用化に向けた検討を進めていく予定である。

(参考文献)

[1] Abbott, A. P. *et al.*, Chem. Commun., 19, 2010-2011, (2001)

(連絡先: yoshida-seiichiro@hro.or.jp)

金属製機械部品の強度試験

技術指導（令和3年度）

材料技術部 ○中嶋快雄
札幌ポデー工業(株)、(株)ホクエイ

1. はじめに

機械部品は、設計段階において、機械的性質（弾性率・耐力など）を元に材料が選定されるとともに、形状・寸法が決定されることを経て、使用荷重や変形の限界が概算される。近年はCAEなど設計支援ツールの充実が著しく、負荷時の挙動をほぼ正確に推定できる。しかし、製品が荷重を受けた場合の変形量、限界荷重や破断位置などを知るには、実際に負荷して観察・測定することが最も明解である。当時は長年、道内企業が製作する製品に対し、想定される負荷に適する試験方法を提案し、万能材料試験機（以下、試験機）による試験を行ってきた。本発表では、この強度試験の要点を示し、それによって令和3年度に道内企業の製品に応用した事例を紹介する。

2. 強度試験の要点

強度試験方法は、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主な要点を列挙すると次のとおりとなる。

- 対象製品の支持点ならびに負荷の作用点及び方向を把握する。
- 試験機は引張または圧縮のいずれかのみに動くため、試験の負荷方向を一軸にする。
- 測定の位置・距離等を定め、なるべく具体的な数値を試験結果とする。これにより、後日の検証（再現）を可能とする。
- 予め定めた荷重による挙動を観察する耐荷重試験か、永久変形または破断まで負荷する破壊試験か、目的に適する方法を選択する。
- 従来品など比較品がある場合は、実態の負荷にとらわれず、相対比較を目的とした単純な試験を行う考え方もある。
- 試験体を固定し所望の方向に負荷するため、製品及び試験機に合わせたジグを製作する。なお当場では、ジグや消耗品等を依頼企業の負担でご用意いただいている。

3. 道内企業への支援事例

3.1. 貨物自動車用ドアヒンジ（蝶番）

対象品は、開いた状態・閉じた状態それぞれについて、3方向の負荷による変形の測定を行う必要があった。このため、6種類のジグを製作し実施した。この結果、試験した全ての方向での負荷による変形量が

業界基準を満たすことが確かめられた。



写真1 ドアヒンジの強度試験

3.2. ボンベ庫固定金具

この試験は、軽量化を目的とした材料変更に伴い、製品の強度を確認するものであった。新材料及び従来材の双方に同じ試験を行い、相対比較した。この結果、新候補材から採用すべきものを選定することができた。



写真2 固定金具の強度試験

4. おわりに

試験機は一軸・静的荷重による単純な負荷のみが可能であるが、強度試験は見てわかりやすいため、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製作する企業であり、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、これらを組合せることにより、様々な試験体へ対応することが可能となる。

(連絡先：nakajima-yoshio@hro.or.jp)

SiC 系材料とステンレス鋼の接合に関する研究

宇宙航空部品適用に向けた SiC とステンレスの接合技術開発（令和 2 年～令和 3 年度）

材料技術部 ○坂村喬史
室蘭工業大学

1. はじめに

炭化ケイ素（以下、SiC）は軽量かつ優れた耐熱性等の特徴を有する材料であるが、セラミックスであるため脆弱である欠点を有している。しかし、近年 SiC 繊維が開発され、SiC セラミックスに SiC 長繊維を複合化させることで、靱性を向上させた SiC/SiC 複合材料が開発されたため、次世代の高温構造材として期待されている。

ここで SiC/SiC 複合材料が構造材料として実用化させるためには金属との接合が課題となる。金属とセラミックスの接合においては、ホットプレスを用いた拡散接合などが研究されているが、現状では小型試験片にしか適用できない。ここで溶接等の汎用的な方法による接合が可能となれば、この課題を解決することができるが、SiC の溶接に関して成功事例が無いため、新たな技術開発が必要である。

そこで本研究では、SiC/SiC 複合材料および SiC 単層材料に表面処理を加えることでステンレス鋼との接合を可能とする技術開発を行った。

2. SiC 上への金属皮膜形成

SiC は融点を持たず、2500℃以上で分解することや、金属との反応性および濡れ性が悪いことから、一般的に金属との直接溶接は困難である。そこで中間層として SiC 上に金属皮膜を形成し、中間層を介して溶接する方法を考えた。皮膜形成法としてスパッタリングおよびめっき処理を検討した。

その結果、薄膜ではレーザー溶接時の熱衝撃などに皮膜が耐えられなく、また TIG 溶接の場合、電導性の不足によりアークが発生しなかった。このことからある程度の膜厚が必要となることが判明し、長時間の電解 Ni めっきによる皮膜形成を考案した。SiC とめっき層の密着力を確保するためダイヤモンド工具を用いて、

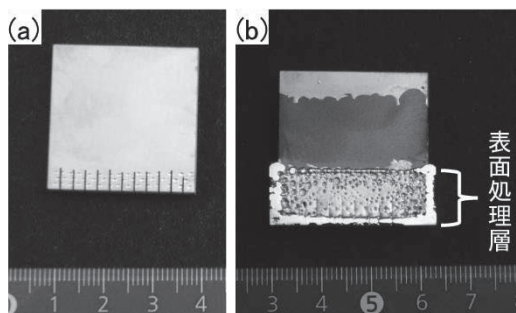


図 1 (a)アンカー付与した SiC 材料
(b)ニッケルめっきした SiC 材料

図 1(a)に示す SiC への凹凸（アンカー）付与したのち、図 1(b)に示す無電解ニッケルめっき、および長時間の電解ニッケルめっきを被覆した。

3. 溶接実験および評価

SUS304 ステンレス鋼との溶接方法はレーザー溶接、および TIG 溶接を用いた。レーザー溶接条件は出力 1500 W、走査速度 1.0 mm/s、焦点スポット径 0.3 mm とした。TIG 溶接は溶接電流 20~100 A とした。溶加材は Ni 系合金を用い、各種開先形状（I、X、K、レ形）にて行った。

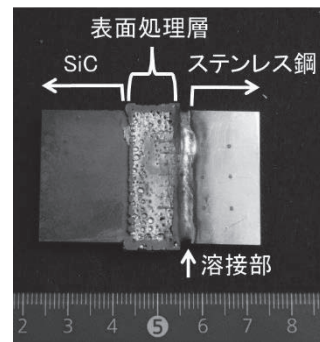


図 2 表面処理を施した SiC とステンレス鋼とのレーザー溶接片

図 2 に I 形開先における SiC 単層とステンレス鋼のレーザー溶接後の試験片の外観写真を示す。めっき層とステンレス鋼が溶接されていることが確認できる。このことから溶接が可能となる、接合用表面処理技術を開発できたと言える。

溶接材の評価として、支点間距離 16 mm、各支点 R2 mm で 3 点曲げ試験を行った。その結果、SiC 単層・I 形開先・レーザー溶接片は最大応力 20 MPa、SiC 単層・K 形開先・TIG 溶接では 359 MPa、SiC 複合材・レ形開先・TIG 溶接片では 95 MPa であった。破面観察から SiC とニッケルめっき界面での剥離が観察され、曲げ強度は SiC とめっきの接合強度および開先形状による力の掛かり方などが影響を強く受けることが判明した。

4. おわりに

SiC とステンレス鋼の間に中間層を形成する処理法を検討した結果、SiC へのアンカー付与、無電解・電解ニッケルめっきを被覆することで溶接が可能となる、接合用表面処理技術を開発した。

3 点曲げ試験の結果、SiC 単層・K 形開先・TIG 溶接片で最大応力 359 MPa となった。

本研究は、科学技術振興機構研究成果展開事業研究成果最適展開支援プログラム ASTEP トライアウト JPMJTM20A4 の支援を受けて実施したものです。ここに記して感謝申し上げます。

（連絡先：sakamura-takasi@hro.or.jp）

技術移転フォーラム2022 ー工業試験場成果発表会ー
プログラム・発表要旨

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

〒 060-0819 札幌市北区北19条西11丁目

TEL 011-747-2346 (直通ダイヤルイン)

FAX 011-726-4057 (代表)

工業試験場ホームページ

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

