



道総研

技術移転フォーラム2024

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6年6月3日（月） 12:00～17:00
- ところ ホテル札幌ガーデンパレス
- 主 催 (地独)北海道立総合研究機構 産業技術環境研究本部
工業試験場・ものづくり支援センター

技術移転フォーラム2024ー工業試験場成果発表会ー

と き 令和6年6月3日（月）

ところ ホテル札幌ガーデンパレス 2階

全 体 プ ロ グ ラ ム

丹頂の間(左側)	白鳥の間(中央)	孔雀の間(右側)
12:00 展示開始		
	13:15～13:30 オープニング・開催挨拶	※白鳥の間の音声をお聞きいただけます。
	13:30～16:00 分野別発表① 〈「情報・ロボット・人間」に着目した研究〉	13:30～15:45 分野別発表② 〈「ものづくりの基盤を支える材料技術」の研究〉
14:30～15:30 ポスターセッションコアタイム ・産業システム部 ・材料技術部 ・開発推進部	〈産業システム部〉 13:30～14:45	〈材料技術部〉 13:30～14:45
	14:45～15:00 休憩	14:45～15:00 休憩
	〈産業システム部〉 15:00～15:30	〈材料技術部〉 15:00～15:45
	〈開発推進部〉 15:30～16:00	15:45～16:00 他試験場から業務のご紹介
		〈エネルギー・環境・地質研究所〉
	16:00 閉会挨拶	
17:00 展示終了	(分野別発表会場終了)	

分野別発表プログラム

《「情報・ロボット・人間」に着目した研究》

白鳥の間

産業システム部

番号	時 間	発 表 課 題	発 表 者	ページ
メイン	13:30~14:00	原料でん菜を対象とした次世代計測システムの開発	本間 稔規	6~7
1	14:00~14:15	ロボットによるスイッチ類遠隔操作支援技術の開発	宮島 沙織	8
2	14:15~14:30	四脚型運搬補助ロボットの開発	伊藤 壮生	9
3	14:30~14:45	株間除草ロボットの開発	今岡 広一	10
4	15:00~15:15	静的解析技術を用いたIoTシステム検証の効率化	堀 武司	11
5	15:15~15:30	五感への感覚刺激生成技術の開発	栗野 晃希	12

開発推進部

番号	時 間	発 表 課 題	発 表 者	ページ
1	15:30~15:45	食品3DCGの物理シミュレーションに関する研究	安田 星季	13
2	15:45~16:00	つくりながら考える製品デザイン	万城目 聡	14

《「ものづくりの基盤を支える材料技術」の研究》

孔雀の間

材料技術部

番号	時 間	発 表 課 題	発 表 者	ページ
メイン	13:30~14:00	パンチング加工における反り抑制技術の開発	鶴谷 知洋	15~16
1	14:00~14:15	AM技術による異種材料接合・高機能化製品の製作法開発	鈴木 逸人	17
2	14:15~14:30	ステンレス鋼の応力腐食割れ評価法に関する研究	板橋 孝至	18
3	14:30~14:45	ナノ繊維シートを利用した連続繊維強化複合材料の開発	瀬野修一郎	19
4	15:00~15:15	セルロースのガスバリア性を活用した鮮度保持評価	細川 真明	20
5	15:15~15:30	水を利用した多孔質炭素材料の低温合成技術の開発	森 武士	21
6	15:30~15:45	触媒反応を活用したバイオプラスチック原料の製造	近藤 永樹	22

ポスターセッションプログラム

丹頂の間

【コアタイム 14:30～15:30】

産業システム部

番号	発 表 課 題	発 表 者	ページ
1	モータレス型高速把持ハンドの開発	川島 圭太	24
2	澱粉原料受入時の異物検出技術に関する研究	全 慶樹	25
3	巡視作業のための自動走行ロボットの開発	高橋 裕之	26
4	SAR衛星で観測可能な海上浮力体の研究開発	宮崎 俊之	27
5	高齢者見守り・健康支援システム	川崎 佑太	28
6	道内における産業安全のための各種取り組み	神生 直敏	29

材料技術部

番号	発 表 課 題	発 表 者	ページ
1	生体骨を模倣した新たな多孔質構造の開発	鈴木 逸人	30
2	熱ナノインプリント法による超微細配線創製技術の開発	櫻庭 洋平	31
3	炭素繊維強化熱可塑性プラスチックの下肢装具への応用	山岸 暢	32
4	プラスチックの長期時間変形予測	細川 真明	33
5	水を用いたワイン製造残渣の高効率な利用法の開発	小川 雄太	34
6	深共晶溶媒の構造設計による効率的な化学プロセス開発	吉田 誠一郎	35

開発推進部

番号	発 表 課 題	発 表 者	ページ
1	UXプロトタイピング手法の開発	高木 友史	36

パネル・展示一覧

丹頂の間

展示時間 12:00～17:00

展示区分	パネル・展示名
産業システム部	★不整地運搬補助のための人間協調四脚ロボットシステムの研究 ★農作物等を再現するためのシミュレーション技術に関する研修 ★モータレス型高速把持ハンドの開発 ★選択式株間除草機構の開発 ★AIによるロボット遠隔操作支援システムの開発 ★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 ★静的解析技術を用いたIoTシステム検証作業の効率化に関する研究 ★澱粉原料受入時の異物検出技術に関する研究 ★五感への感覚刺激生成技術の開発 ★生体情報を用いた身体負担評価技術
材料技術部	★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 ★AM技術を用いた高性能鋳ぐるみ部品製法の開発 ★ナノインプリント法を用いた超微細配線の創製 ★気相環境でのpitting腐食事例とその分析 ★ステンレス鋼の応力腐食割れの評価と改善方法の研究 ★微生物ナノセルロースを用いた高強度環境循環型高分子材料の開発 ★3Dプリンタを活用したホワイトボードレイザーの開発 ★調湿タイルの開発 ★二流体洗浄装置 ★水を用いたワイン製造残渣の高効率な利用法の開発 ★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
開発推進部	★食品の3DCG制作の効率化に関する研究 ★アップサイクル製品のガイドライン開発 ★BBQコンロの開発／デザイン開発力向上講座

● 分野別発表要旨

研究職員の所属は令和 6 年 4 月 1 日現在

原料てん菜を対象とした次世代計測システムの開発

てん菜の受渡における取引原料の評価システムの開発（令和５年度）
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）

産業システム部 ○本間 稔規、藤澤 怜央、全 慶樹、井川 久、吉田 道拓、高橋 裕之
企画調整部 近藤 正一
(一社)北海道農産協会、道総研十勝農業試験場、(北海道電子機器(株))

1. はじめに

製糖工場のてん菜受渡では、石礫、遊離土、茎葉などの夾雑物を除いた原料てん菜から、さらに茎葉冠部、付着土砂、腐敗根などを除いたものが取引対象となる。具体的には、原料てん菜を積載したトラックの重量から除外対象を差し引いた残りが取引対象の重量となる。さらに、トラック単位で原料てん菜をサンプリングして糖分測定を行い、取引単価を決定している。てん菜受渡において、適正な計量作業の確認を担う立会人は生産者から選任されるが、近年は経営面積が拡大傾向にあり、立会業務に従事することが難しくなっている。将来にわたり円滑な受渡を継続していくためには当該業務の自動化・省力化を進める必要がある。

そこで本研究では、原料てん菜を評価するための次世代の計測システムとして、①てん菜を撮影した画像から各種重量の推定を行う AI 技術、②複数の受渡現場を確認するためのリモートモニタリングシステム、さらに、③糖分の迅速分析を実現するための高速搬送・切断機構を備えた近赤外糖分計測装置を開発したので報告する。

2. てん菜受渡における自動化技術の開発

製糖工場におけるてん菜受渡では、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い、石や腐敗根などの夾雑物の重量、てん菜表面に付着した土砂の量、糖分の少ない茎葉冠部の重量等から買入対象重量を決定している。現在、人が行っているこれらの評価を自動化するために、除土装置全体を上方から撮影した画像から原料てん菜の重量を推定する手法を開発した。具体的には、夾雑物のうち、石の検出については物体領域検出手法の Mask R-CNN により検出する手法を開発した（図 1）。



図 1 てん菜に混入する石を検出

次に、付着土砂率については、てん菜の凹部に土砂が付着することに着目して画像分類手法の EfficientNet を用いて推定した。さらに、茎葉冠部については、除土装置を撮影したてん菜画像のうち、重なることなく全輪郭が撮像されているてん菜の形状特徴量から主成分分析によりグルーピングを行い、茎葉冠部の重量を推定する手法を開発した。

また、受渡工程では、通常、立会人が隣接する複数の除土装置を掛け持ち立会しているが、近年の深刻な人手不足のため、遠隔にある複数の受渡拠点を 1 人で同時立会することが可能なシステムへの要望が高くなってきている。これを受け、てん菜受渡工程の除土装置を通過するてん菜の映像および音響データを遠隔地から監視するとともに、茎葉冠部の重量割合と取引除外数量などを推定するシステムを試作した（図 2）。

システムでは茎葉冠部の重量割合と取引除外数量、さらに評価しているてん菜の映像を LTE 通信によりクラウド上のデータベースサーバーへ保存し、Web サーバーと連携させて配信する構成であり、インターネット経由で遠隔地の PC を用いて立会業務を可能とした。製糖業者や農協等の関係機関の立ち会いのもと、試作したシステムの動作試験を行い、リアルタイムにモニタリングできることを確認した。

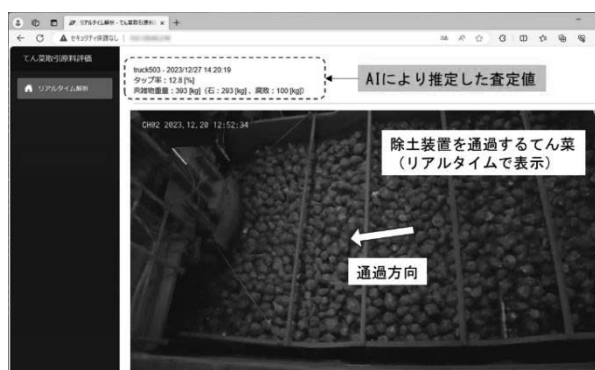


図 2 リモート監視システムの表示画面の例

3. 近赤外分光法による糖分計測装置の開発

糖分測定のために道内各製糖工場に導入されている旋光光度計では、ショ糖のみが含まれる濁りのない搾汁液を調製する必要がある。そのための前処理工程として、てん菜冠部を除去（タッピング）した後、ソウ

マシンを用いてすりつぶしサンプル（ブライ）を採取し、さらに塩化アルミニウムを加えて攪拌・濾過することが必要であり、これら工程には多くの人手を要する。人手不足問題と、長期間運用している設備の更新時期が近づいていることなどを背景として、より簡便で省人化が可能な近赤外分光法による計測装置の実用化が望まれている。これまでに、近赤外分光法を用いて非破壊でてん菜の糖분을計測する技術開発が行われてきているが、現行の旋光光度計と同等の精度を得ることが難しかった。そこで本研究では、令和4年度より、てん菜をカットした切断面を計測して取得したスペクトルデータから糖分を高精度で推定する装置の開発に着手し、十分な精度を実現できる見込みを得た。実用化には、現行設備と同等の検査速度を実現する必要があることから、てん菜切断機構と糖分計測装置の高速化を目指して開発を進めた。目標とする検査時間は、現行の検査時間に相当する1株あたり1.8秒とした。

3.1 高速半割切断機構の開発

てん菜を連続して半割に切断する機構の設計・試作、および試作機の性能評価を行った。てん菜を半割にする切断機構として直径500mmの丸刃（回転数：最大200rpm）を用いた。並列に配置した2台の平ベルトコンベヤの間に丸刃切断部を設置し、平ベルトコンベヤで搬送されるてん菜の中央部で切断する構造とした（図3）。てん菜切断面を下向きに揃える機構を開発し、近赤外糖分計測装置へ搬送する一連の動作を実現した。

次に、試作装置による検査速度の評価を行った。切断開始地点から終了地点までの間のてん菜が通過する時間を計測して切断時間を確認したところ、平均1.2秒、また後段の近赤外糖分計測装置での平均検査時間が1.9秒であったことから、目標速度（1.8秒/株）をほぼ達成することを確認した。

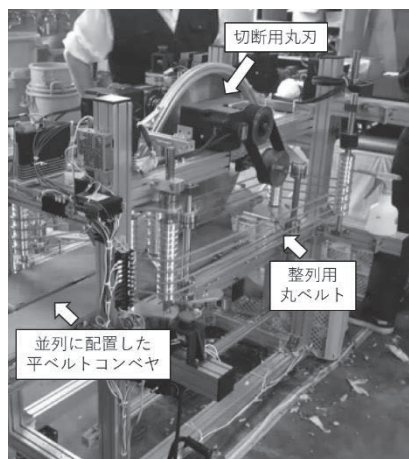


図3 試作した高速半割切断機構

3.2 ベルトコンベヤによる連続計測型近赤外糖分計測装置の開発

高速半割切断装置から排出されるてん菜を連続して計測する近赤外糖分計測装置を試作した（図4）。

この装置では、てん菜を搬送する方向にベルトコンベヤを縦に並べ、コンベヤ間の隙間に光源と分光器を組み込んだ光学系を配置した。これにより、連続しててん菜半割切断面の反射スペクトルを計測可能とした。

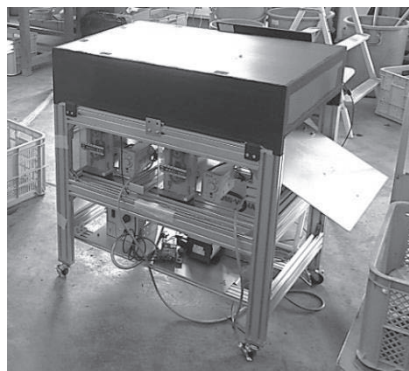


図4 近赤外糖分計測装置試作機

この装置を用いて、十勝農業試験場で栽培したてん菜を対象として根中糖分推定用検量線作成実験を行った。本実験は9月、10月の2回に分けて実施し、各々100サンプル（10株/1サンプル、合計2000株）を供試した。供試したてん菜糖分の旋光光度計による実測値は、最小値11.02%、最大値15.62%、平均値は12.75%であった。これらのサンプルを用い、試作機により取得した吸光度二次微分スペクトルデータからPLS回帰分析により根中糖分推定用の検量線作成を行った。9月および10月の全サンプルのスペクトルデータから、サイズが大きすぎて計測できなかったサンプルや正しい位置で計測できなかったサンプルなどを除外してデータセットを構築し、検量線を作成したところ、評価用の未知サンプルでの予測標準誤差（SEP）として0.29%が得られることを確認した。

4. おわりに

本研究では、てん菜受渡工程における立会業務の自動化・省力化を目的として、画像解析による夾雑物などの重量推定技術や、1人の立会人が複数の製糖工場の受渡の立会業務を遠隔で可能とするリモート監視システム、さらに、てん菜を半割にする前処理工程を含む近赤外糖分計測技術を開発した。試作機による性能評価を行い、糖分推定精度、検査速度において一定の性能が得られることを確認した。今後、これらの技術について引き続き改良を行い、実用化に向けた取り組みを進めていく。

（連絡先：honma-toshinori@hro.or.jp）

ロボットによるスイッチ類遠隔操作支援技術の開発

AI によるロボット遠隔操作支援システムの開発（令和 4～5 年度）

産業システム部 ○宮島 沙織、井川 久
開発推進部 川島 圭太、高木 友史

1. はじめに

人手不足の解消や作業者の負担軽減のため、ロボットの活用による作業の遠隔化が注目されている。作業を遠隔地から行う場合、作業現場に設置されているカメラの映像を見ながらロボットを操作することが想定されるが、映像越しにロボットと操作対象物との位置関係を把握するのは困難であるため、装置のスイッチを押すなどの単純な作業でも習熟が必要となる。

本研究では、遠隔地からロボットへの動作指令を直感的かつ簡便に与えるために、スイッチ類の操作に特化した遠隔操作支援システムを開発した。具体的には、ロボットによるスイッチ類の自律操作機能と、遠隔地から所定の動作指令を与えるためのユーザインタフェースを開発し、実証試験を行った。

2. ロボットによるスイッチ類の自律操作

まず、カメラ映像上のスイッチ類の種類と位置を検出する手法について説明する。操作方法や外観に基づき、一般的に使用されているスイッチ類を 10 種類に分類し、検出対象とした（図 1）。複数種類のスイッチ類が写った学習用画像を 844 枚収集し、深層学習による物体検出アルゴリズム YOLOv5 を学習することで、スイッチ類の種類と位置の検出に特化した物体検出モデル（AI）を構築した。94 枚のテスト用画像を用いてスイッチ類検出の精度検証を実施したところ、平均で 7 割程度の検出精度が得られた。

次に、ロボットの動作生成技術について説明する。本報では、押しボタン、ロッカースイッチ、非常停止ボタン等の垂直方向に押すスイッチ類に着目した。RGB-D カメラで画像と三次元点群を取得し、画像から検出したスイッチの領域と三次元点群を対応付け、スイッチの押す位置と方向を求めることで、スイッチを操作するロボット動作を生成した（図 2）。

3. ユーザインタフェースの開発と実機検証

スイッチ類の検出結果を画像上に重畳表示し、画面上をタッチすることで所望のスイッチ類の選択が可能なユーザインタフェースを開発した（図 3 左上）。また、ロボットの動作中はロボットの手先に取り付けたカメラ映像を表示し、スイッチ操作の成否を遠隔地から確認可能にした（図 3 左下）。

開発した遠隔操作支援システムを、協働ロボット（UR5e）と RGB-D カメラ（RealSenseD435）を用い



図 1 分類したスイッチ類と操作動作の模式

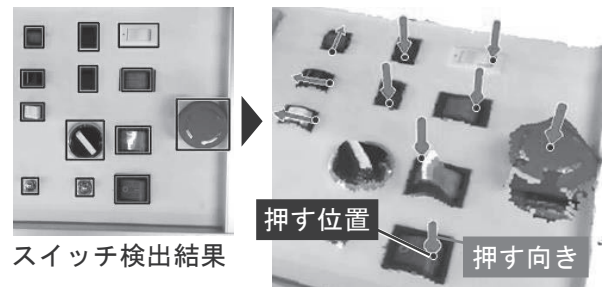


図 2 スwitch類を押す位置と向きの取得結果

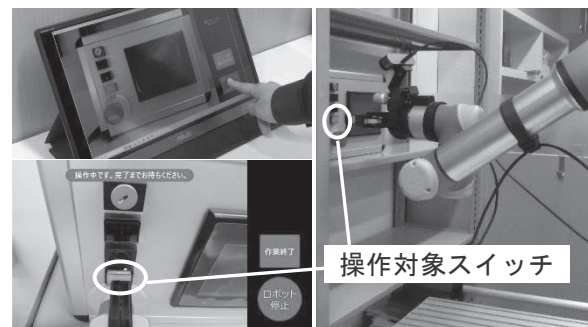


図 3 ユーザインタフェース（左）とロボットによるスイッチ操作の様子（右）

て実装しカメラ映像越しにスイッチ類の操作を行ったところ（図 3 右）、押しボタン、ロッカースイッチ、非常停止ボタンの自律操作が可能であることを確認した。またカメラ映像越しのロボットの手動操作と比較して、所望の操作に要する時間は半分以下であった。

4. おわりに

機器を操作する作業の遠隔化を支援するため、ロボットによるスイッチ類の自律操作技術と、ユーザインタフェースの開発を行った。

今後は、ダイヤルなど押し動作以外で操作されるスイッチ類の自律操作や、スイッチ操作以外の作業の遠隔化に向けたロボット動作の生成を目指す。

（連絡先：miyajima-saori@hro.or.jp）

四脚型運搬補助ロボットの開発

不整地運搬補助のための人間協調四脚ロボットシステムの研究（令和4～5年度）

産業システム部 ○伊藤 壮生、浦池 隆文
技術支援部 今岡 広一

1. はじめに

重量物の運搬作業には台車やリヤカーなどが使用されているが、これらの器具を段差や急傾斜の多い不整地で使用することは困難なことから、不整地での運搬作業は作業者にとって大きな負担となっている。

そこで本研究では、不整地の踏破性に優れる四脚ロボットを台車やリヤカーのように簡単な操作で運搬補助に活用可能とすることを目的に、小型四脚ロボットの歩行技術、および作業者と協調してロボットを動作させるための制御技術の開発を行った。

2. ロボットの試作

本研究では全長 55cm、全幅 44cm、全高 36cm、重量 12kg の小型四脚ロボットを試作した。ロボットには 12 個の関節駆動用モータや姿勢制御のための 6 軸センサ等を搭載した。また、歩行動作中の揺動を小さく抑えて運搬作業を安全に行うため、トルク出力方式の歩行制御アルゴリズムを実装した。トルク出力方式とは、ロボットの姿勢や関節の角度をフィードバックし、各関節に最適なトルク指令を出力する歩行制御の方法であり、高い歩行安定性が確保できる、また突発的な外乱などに対して柔軟な動作が可能といった特徴がある。

開発したロボットの動作検証の様子を図 1 に示す。前後進や旋回などの歩行指令に応じた歩行に加え、高さ 50mm の段差歩行（図 1 上）や、側部からの強い衝撃（突発的な外乱）に対して自動的に転倒を回避できることなどを確認した（図 1 下）。

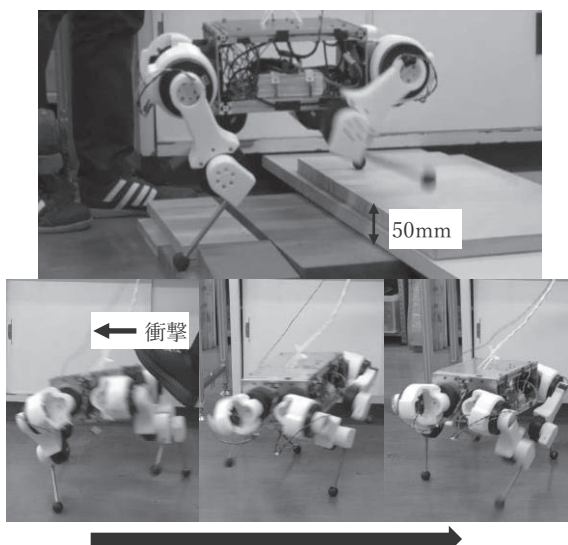


図 1 段差の乗り越え（上）、衝撃に耐える様子（下）

3. 力によるロボットの操作

台車などを操作する際と同様に、作業者が力を加えることでロボットを意図した方向へ移動させることを可能とするため、外力によるロボット胴体の位置の変化を検出することにより、自動的に力が加えられた方向へ足を踏み出し歩行する機能を開発した。実機による検証を行った結果、約 12N の力でロボットを前方へ移動させられることを確認した（図 2）。

ロボットの操作に必要な力を小さくするため、作業者がロボットに加える力を力センサで計測してフィードバックするように制御アルゴリズムを改良し、シミュレーションによる検証を行った。シミュレーションは人間とロボットで荷物の両端を支え合って運搬する状況を想定して行った。検証を行った結果、ロボット操作に必要な力が改良前と比較して約 1/3 になることを確認した（図 3）。

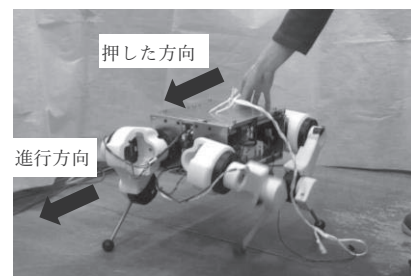


図 2 ロボットを押して操作する様子

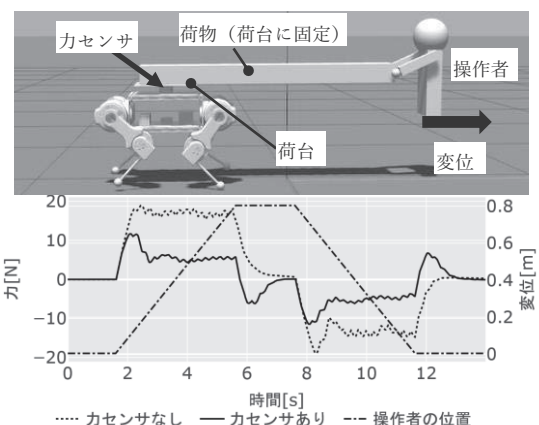


図 3 カセンサの有無による操作力の違い

4. おわりに

本研究では四脚ロボットを簡単な操作で運搬補助に活用するため、小型四脚ロボットを試作し、その制御技術を開発した。今後は操作性の向上などに取り組むとともに、得られたロボット制御技術や開発手法等の普及を図る。

（連絡先：itou-souki@hro.or.jp）

株間除草ロボットの開発

選択式株間除草機構の開発（令和 3～5 年度）

技術支援部 ○今岡 広一

産業システム部 伊藤 壮生、浦池 隆文

(株)パブリックリレーションズ、北海道大学

1. はじめに

ほ場の除草作業は農業に欠かすことのできない管理作業である。一般的には、畝間（畝と畝の間）はトラクターなどの機械で除草し、機械が使えない株間（一畝中の作物と作物の間）では除草剤を使用することが多い。しかし、無農薬栽培や薬草栽培などでは、除草剤の使用が大幅に制限されていることから人手で株間除草を行っており、省力化・省人化が望まれている。

そこで本研究では、AI を用いた画像認識により作物と雑草を見分け、株間の雑草を引き抜いて除草する小型株間除草ロボットの開発を行ったので報告する。

2. 開発した除草ロボット

開発したロボットの外観を図 1 に示す。本ロボットは全幅 1060mm、全長 980mm、高さ 1300mm であり、後輪はモーターによる駆動輪、前輪は駆動力のない操舵輪となっており、畝を跨いで走行する車型のロボットである。2 台の RGB カメラが下向きに取り付けられており、走行中に撮影したほ場の画像に深層学習を適用することで作物と雑草を識別する。深層学習には Mask R-CNN を採用しており、1 秒間に 10 回のリアルタイムでの識別が可能となっている。

また、車体中央部にシリアルリンク型のロボットアームを下向きに取り付け、その先端に除草用のグリッパーが取り付けられている。本グリッパーは互いに反対方向に回転する一対のベルトからなっており、ベルトとベルトの間に雑草を巻き込み、根ごと引き抜く仕組みとなっている。

本ロボットは、前述の作物・雑草識別システムにより畝に沿って自動で走行することが可能であり、雑草を認識すると、その場で停止して除草を行う。

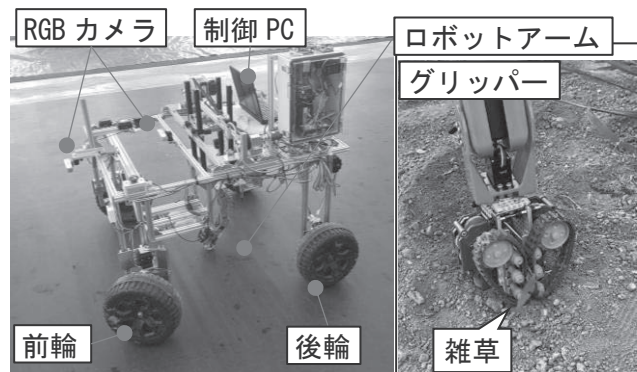


図 1 開発した小型株間除草ロボット

3. 除草試験

室内に畝を模擬した環境を構築し、開発した除草ロボットの株間除草試験を行った。試験の様子を図 2 に示す。この模擬畝上に、30cm 間隔でハトムギ（作物）を模した造花とハコベ（雑草）を模した造花を植えた。

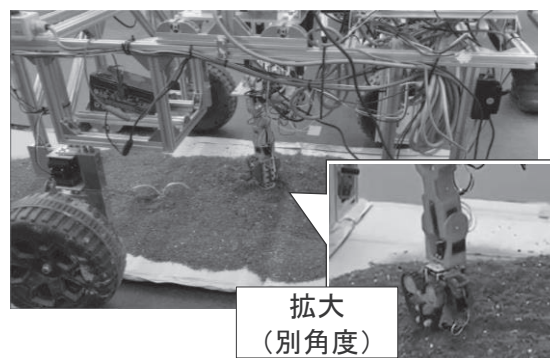


図 2 模擬ほ場での除草実験の様子

畝を跨ぐようにロボットを配置して走行を開始させた。ロボットはカメラで作物を認識して畝に追従走行しながら、雑草を認識するとその場で停止した。その後、ロボットアーム近傍に設置したもう一台のカメラで雑草の位置座標を検出すると、ロボットアーム先端を雑草の上部へ移動させた。グリッパー先端のベルトが回転し、雑草を巻き込み引き抜いたことが確認された。ロボットは一定時間、ベルトを回転させるとロボットアームを退避させ、畝に沿って走行を再開した。以上から目標どおりの除草作業が可能であることが確認された。

4. おわりに

本研究では株間の除草を機械化・自動化するために、深層学習によって雑草と作物を見分け、雑草のみを選択的に除草するロボットを提案した。ロボットの先端に取り付けたカメラで上方から畝を撮影し、取得した画像に深層学習を適用することで、リアルタイムに雑草と作物を識別することが可能となった。また、ベルトコンベア型のグリッパーを備えたロボットアームを用いて、株間の雑草のみを選択的に除草可能であることを確認した。

今後は除草速度の向上を中心に改良を行い、実用化を目指す。

（連絡先：imaoka-kouichi@hro.or.jp）

静的解析技術を用いた IoT システム検証の効率化

静的解析技術を用いた IoT システム検証作業の効率化に関する研究（令和 4～5 年度）

開発推進部 ○堀 武司
産業システム部 本間 稔規

1. はじめに

IoT システムの社会への普及に伴い、これらを支えるソフトウェアの信頼性、セキュリティ品質の確保が不可欠である。例えば、通信ソフトウェアのセキュリティ脆弱性の多くは不正なメモリ操作などの比較的単純な欠陥が原因であることが知られており、これらの欠陥を効率的に除去し脆弱性を未然防止することが IoT システム開発における重要な課題となっている。

近年、プログラムコードを数理的技法により機械的に検査し、コード内に含まれる欠陥を自動的に検出する静的解析技術の性能が向上してきており、自動車等の高信頼性が要求される分野で普及が進んでいる。しかし、自動車業界等で実績がある商用製品は非常に高価であり、道内中小企業への導入は困難である。そこで、無償で商用利用可能なオープンソース静的解析ツールの適用可能性と、これを活用した IoT システム検証作業の効率化について検討した。

2. オープンソース静的解析ツールの選定と評価

現在入手可能なオープンソース静的解析ツールの中から、人手を介さない自動解析型であること、ツール自体の開発・保守が継続していること、などの条件を考慮して調査対象とするツールを選定し、infer、clang の 2 ツールとした。

ツールの欠陥検出能力を評価するために、オープンソースで公開された組込み向け TCP/IP プロトコル実装である TINET-v1.7 (TOPPERS プロジェクト) のソースコードを対象として両ツールを適用し、検出された欠陥の分析を行った。

infer が検出した欠陥 (表 1) は 90 件であるのに対して clang の検出は 7 件と少なく、検出された欠陥の種類も Null 参照、参照なし代入の 2 種のみだった。このため、以降の検討は infer を中心として行った。

利用者からの報告などにより、TINET-v1.7 は 27 件の脆弱性を有することが既知となっている。これらの既知の脆弱性と infer による検出結果を比較したところ、両者の間に直接的な対応関係が認められた検出箇所は 4 件程度 (約 15%) と少なく、infer による検査では検出できない脆弱性が多く残っていることが確認された。

一方、infer による検出結果のうち、重要度の高い欠陥種別であるバッファ溢れ、Null ポインタ参照、参照なし代入の 3 種 (9 件) に着目し、脆弱性ありと報告さ

れている箇所のソースコードを調査したところ、いずれの箇所でも潜在的な欠陥が発見され、検出結果の信頼性は高いことが示された。次に、ツールで検出可能/不可能な欠陥のパターンを調査するため、単純化したテストコードを用いた試験を行ったところ、コードの複雑度や大域変数の利用方法などの条件が検出結果に影響することが確認された。

表 1 TINET に対する infer ツールの適用結果

モジュール	問題の種類						計
	整数 桁溢 れ	バッ ファ 溢れ	Null 参照	事前条 件違反	参照な し代入	その他	
infer							
net	1	1	-	1	1	4	8
netdev	2	0	-	0	-	0	2
netinet	5	1	-	3	-	5	14
netinet6	9	1	-	9	-	19	38
tcp	14	-	1	3	4	6	28
計	31	3	1	16	5	34	90

3. IoT ソフトウェア向けのツール機能強化

小規模 IoT システム開発では特殊な組込み OS 等が使われる場合が多いが、静的解析ツールの多くは Linux などの汎用 OS 上で動作するプログラムの検証を想定している。そのため、静的解析ツールには組込みソフトウェア環境に特化した解析機能の強化が必要である。そこで、infer の内部構造を調査し、解析機能を独自に拡張するための方法を検討した結果、対象環境のサービスコール (OS 機能の呼び出し) 等を模擬するライブラリの作成により機能拡張が可能であることがわかった。ツール機能拡張の例として、組込み OS である μ ITRON のサービスコール呼び出しに関する欠陥を検出する infer 用ライブラリを開発した。これにより不正なシステム状態からのサービスコール呼び出し等の欠陥が検出可能となった。

4. おわりに

組込み IoT ソフトウェアの検証作業におけるオープンソース静的解析ツールの活用を検討した。得られた知見、ノウハウ等は手引き文書等の形で整理し、企業等への支援において活用していく。

(連絡先: hori-takeshi@hro.or.jp)

五感への感覚刺激生成技術の開発

五感による擬似的な経験創出のための感覚刺激生成技術の開発（令和4～5年度）

産業システム部 ○栗野 晃希、川崎 佑太、泉 巖
開発推進部 神生 直敏
本部研究推進部 前田 大輔

1. はじめに

遠隔作業やVR（仮想現実）空間における臨場感や操作感を創出するため、人の五感に訴える「感覚への刺激技術」が注目を集めている。視覚のみならず、触覚などの五感を複合的に利用することで、人間の能力を補完し、対象の的確な認識や感覚的な印象の生成が可能になる。しかし、五感への刺激方法やその設計手法などは容易に利用可能な技術とはなっていないのが現状である。そこで、五感へ作用して、現実に近い疑似的経験を創出するための感覚刺激生成技術の開発に取り組んだ。

2. 力覚と嗅覚刺激の提示技術

のこぎり波、正弦波、矩形波など様々な振動波形で、また任意の周波数で駆動することが可能な振動スピーカを用いた振動刺激装置を開発した。手指で把持した振動スピーカの波形と周波数を適切に設定することで、任意の向きに疑似的な力覚を生成できることを確認した（図1）。特に、60Hzの「のこぎり波」で最も明瞭に力覚を感じることがわかった。

嗅覚刺激については、市販されている香料成分を脱脂綿に含浸させ、ブロウ（圧電式マイクロブロウ）による送気と、刺激の強さ（以下、香料刺激）を匂いセンサで測定する嗅覚刺激測定装置を開発した（図2）。香

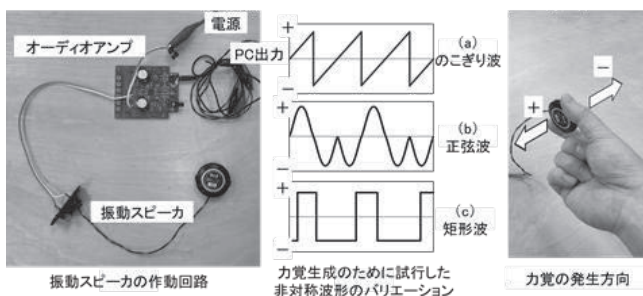


図1 力覚感覚の提示

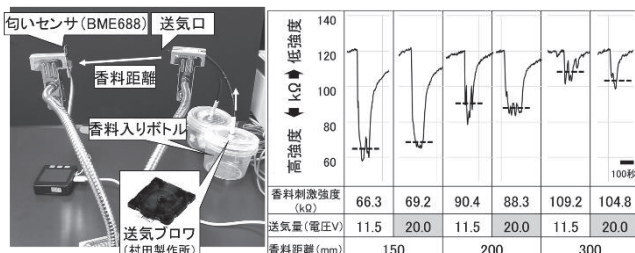


図2 嗅覚刺激の提示

料の送気量はブロウ電圧で制御する。送気実験の結果、香料刺激は送気量の影響を受けづらく、送気量では制御できないこと、香料距離に大きく影響を受けることがわかった。

3. 刺激提示システムの試作

視覚刺激と聴覚刺激、さらに擬似的力覚を組み合わせ、VR空間における仮想物体の操作感が向上するか検証した。振動スピーカをグローブに装着してウェアラブルな形態とし、手指がディスプレイ上の仮想物体と接触した際に、接触音などの聴覚刺激と振動スピーカによる擬似的力覚が作動するシステムを構築した（図3）。その結果、本システムで生成した擬似的力覚と視覚・聴覚刺激により、仮想的な接触を認識できることを確認した。



図3 仮想物体との接触感覚の評価

4. おわりに

遠隔作業の臨場感や操作感を創出するため、人の五感に訴える感覚刺激の提示技術を開発した。

振動スピーカの周波数や波形を適切に設定することで疑似的な力覚を生成できることを確認した。また、ブロウを用いた香料送気による嗅覚刺激装置を製作し、所定の位置に配置した匂いセンサの出力値により香料刺激強度をモニタできることを確認した。

今後は、力覚を安定して提示するための最適な条件や、香料刺激強度を制御する手法を検討していきたい。

（連絡先：kuwano-kouki@hro.or.jp）

食品 3DCG の物理シミュレーションに関する研究

食品の 3DCG 制作の効率化に関する研究（令和 4～5 年度）

開発推進部 ○安田 星季、印南 小冬、大久保 京子、高木 友史

1. はじめに

消費者の購買意欲を高めるため、食品の広告やパッケージに物理シミュレーションによる CG が使われる例が増えている。しかし、消費者が違和感を覚えない CG の物体の“動き”（以下、挙動）を作成するには多くのパラメーターの設定や調整が必要である。そこで本研究では、菓子の広告等で頻繁に用いられる、動き方の制御が難しい液体などの物体の挙動 2 種を対象に、これらの挙動を 3DCG ソフト Blender の物理シミュレーション機能等で効率的に再現するプログラムおよびパラメーターのプリセットを開発、作成した。

2. クッキーの破片の挙動

本研究では、クッキー破断時の破片の挙動（以下、対象 1）とスプーンでハチミツを掬う際のハチミツの挙動（以下、対象 2）を対象とした。

対象 1 の実写動画を以下の方法で撮影した。①クッキーの端部をロボットアーム（DOBOT 社製 MG400）で把持し、他端を人が手で把持する②ロボットアームの先端軸を一定の加速度で回転させる③クッキーが破断し、破片が飛散、落下する様子をビデオ撮影する（図 1）。対象 1 の再現のため、クッキーの破片の寸法の分布を以下の手順で求めた。①破片が散乱した平面をカメラで撮影する②撮影画像を画像解析ソフト ImageJ に読み込む③破片に楕円を近似し、長軸の寸法を割り出す④階級幅 0.5mm で度数を集計する。その結果、破片の総数が約 120 個、長軸が 0.5mm 以下の破片が約 70 個（全体の約 60%）であることなどがわかった（図 2）。この結果を基に、Blender の標準機能であるノードベースプログラミング機能を用いて、破片が飛散、落下する挙動を再現するプログラムを開発し、パラメーターのプリセットを作成した。

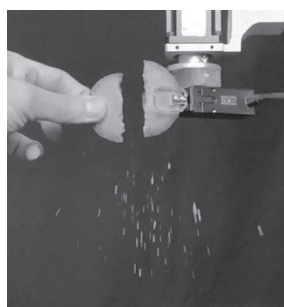


図 1 クッキーの破片が飛散する様子

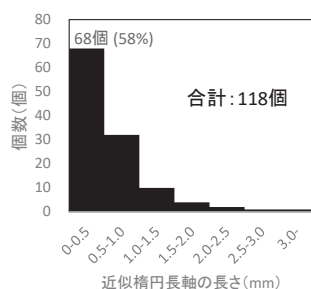


図 2 クッキーの破片の寸法分布

3. ハチミツの挙動

対象 2 の実写動画を以下の方法で撮影した。①一般的なハチミツの粘度に相当するシリコンオイル（信越化学工業製、KF96-1 万 cs）を透明容器に入れる②スプーンの先端部をロボットアームの先端に取り付け、液面下に浸け、一定の加速度で上昇させる③液体の挙動をビデオ撮影する。対象 2 の再現のため、Blender の流体シミュレーション機能（図 3）に粘度や表面張力などに相当する約 20 種のパラメーターを入力し、値を調整して、実際の挙動と類似した液体の挙動を再現可能なパラメーターのプリセットを作成した。

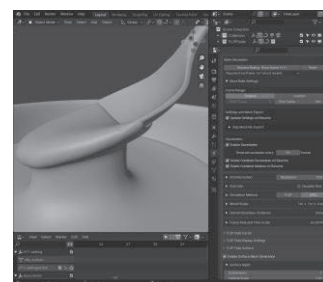


図 3 Blender の流体シミュレーション画面

4. 再現度評価

開発したプログラム、作成したプリセットを用いて制作した CG の物体の挙動の再現度を評価する Web アンケート（図 4）を実施した結果、68 件の回答が得られ、再現度（実写との類似度）が 5 点満点中平均約 4 点と概ね高い評価を得た。

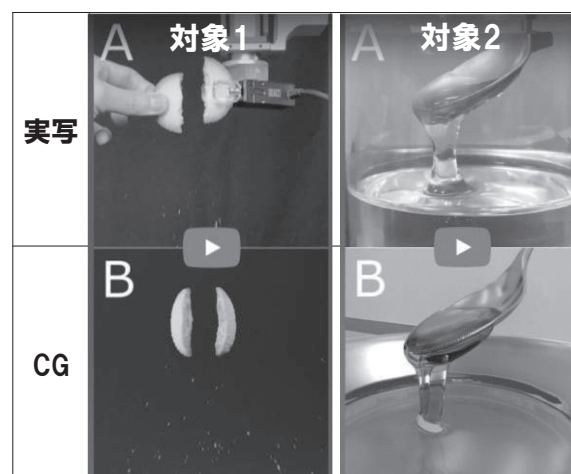


図 4 CG 動画の再現度の評価用動画

5. おわりに

開発したプログラム等は、コスメ商品など食品以外の商品にも適用可能と考える。今後は成果の幅広い活用を目指し、普及に取り組む。なお、開発したプログラム等は提供、試用可能である。ご希望の方は下記までご連絡ください。

（連絡先：yasuda-seiki@hro.or.jp）

つくりながら考える製品デザイン

人材育成事業「デザイン開発力向上講座」（令和 3～5 年度）

開発推進部 ○万城目 聡、安田 星季、印南 小冬、大久保 京子、高木 友史

1. はじめに

道内ものづくり企業において、魅力ある製品の開発には開発初期段階からのデザイン活用が有効との認識が拡がりつつある。しかし、社内デザイナーを抱える企業はほとんどなく、多くの企業が外部デザイナーとの連携も未経験である。このような状況で、社内にデザイン活用のきっかけをつくるには、デザイナーではない職員にデザイン導入プログラムを体験してもらうことが有効と考えた。

そこで、ノンデザイナーでも実践できるデザイン開発技術を学べる「デザイン開発力向上講座～つくりながら考える製品デザイン～」を企画・実施した。

2. 講座の概要

ノンデザイナーを対象とした講座として、次のようなプログラムを企画した。

- ①デザイナーが用いる思考プロセスをビジネスに活用するための「デザイン思考」のアプローチを参考とした 6 ヶ月間のハンズオンプログラム
- ②参加企業をサポートする道総研スタッフ（4 名）と外部アドバイザー（2 名）によるチーム体制
- ③ノンデザイナーでも取り組める、紙や段ボールを用いた簡易試作などのアイデア創出・展開手法の習得
- ④デザイン試作とパンフレットによる製品企画案の見える化

上記プログラムへの参加企業を毎年 3～4 社募集し、各社ごとに設定した製品開発テーマを題材に、全 4 回の集合開催と各社 8～10 回の個別ワークを実施した（図 1）。

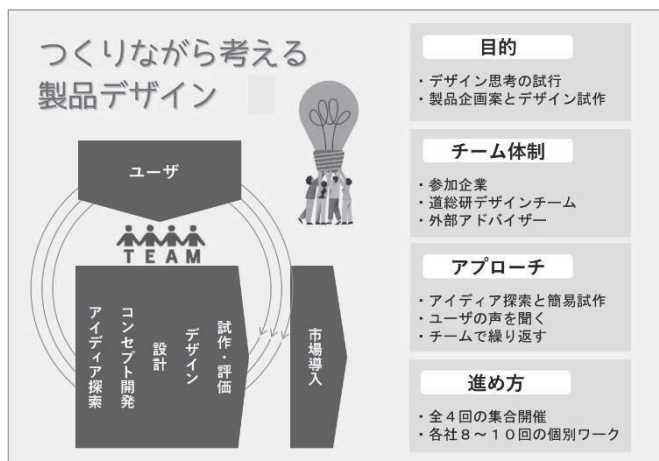


図 1 プログラムの概要



簡易試作を用いた製品アイデア展開

参加企業からは「製品の改良が主な業務だったので新製品開発の手順を学べた。」「イメージ以上の製品案ができ、今後の開発に向けたモチベーション向上につながった。」などの評価を得た。

特に簡易試作については「意外な気づきやアイデアが得られた。」「アドバイスや意見を得やすい。」など、想定していた効果が得られたことを確認した（図 2）。

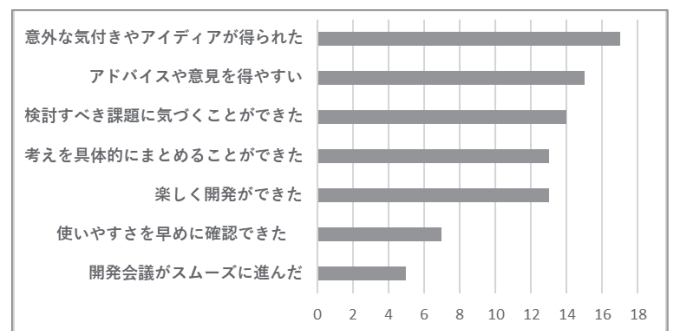


図 2 製品企画段階における簡易試作の有効性

3. 講座の成果

本講座はこれまで 3 カ年実施（令和 3～5 年）しており、参加企業 10 社は各社それぞれ新製品企画案をまとめることができた。事後アンケートでは参加企業の 8 割が本講座で体験したデザイン開発技術を自社に取り入れたいと回答しており、プログラムの有効性を確認できた。また、講座修了後も参加企業の要望に応じて製品開発支援を継続しており、実製品化した事例もある。

4. おわりに

今後も道内企業のデザイン導入・活用を促進するために、新しい考え方や技術を取り入れながらより効果的なデザイン導入プログラムの企画・実施に取り組む。

（連絡先：manjome-akira@hro.or.jp）

パンチング加工における反り抑制技術の開発

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 3～5 年度）

材料技術部 〇鶴谷 知洋、三戸 正道、櫻庭 洋平、鈴木 逸人、宮腰 康樹、植竹 亮太
産業システム部 井川 久
技術支援部 今岡 広一
(株)道央メタル、北海道大学

1. はじめに

汎用金型を用いて様々な形・サイズの孔あけを行うパンチプレスでは、加工品（パンチングメタル）に反りが発生しやすく要求品質を満たせないことに加え、パンチプレスと加工品の衝突による加工停止や、後工程での反り修正によるコスト増加なども課題となっている。

そこで本研究は、シミュレーション技術の活用により加工前に反りの少ない条件を導出し、加工中は反りを監視して設定値を超えた場合に条件を変更し抑制することを目指し、金型の IoT 化と取得データによる加工中の反りの推定手法、複数孔加工に対応したシミュレーション技術とこれを用いた加工条件導出技術、加工中の反りに応じた加工条件補正技術を開発し、これらの機能を搭載した加工システムの有効性を検証した。

2. 金型の IoT 化と反りの推定

金型およびその周辺にレーザ変位計、AE*センサ、加工荷重計を取り付け（図 1）、加工物の表面高さ（4 点）、AE、加工荷重についてのデータを取得した。加工品（図 2）の反りは、3 次元測定機により所定の孔加工が完了するたびに実測した。反りと取得データの関係について解析した結果、AE と加工荷重は反りとの相関が弱く、表面高さは反りとの相関が強いことがわかった（図 3）。そこで、反りと 4 点の表面高さデータおよび加工孔数の重回帰分析を行い、得られた係数を使用して反りを算出する加工状態推定アルゴリズムを開発した。反りの推定値と実測値を比較した結果（図 4）、誤差は平均 0.4mm/m（11.9%）となった。

*AE：物体の変形・破壊により振動が発生する現象

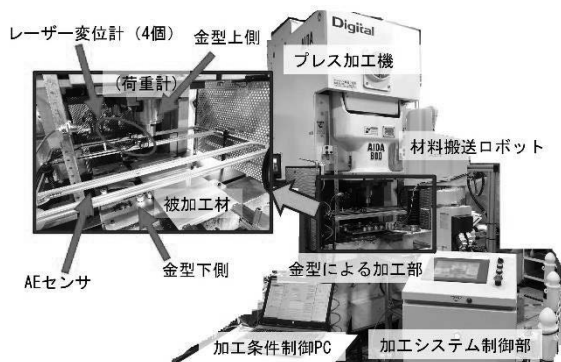


図 1 加工システムにおけるセンサ位置

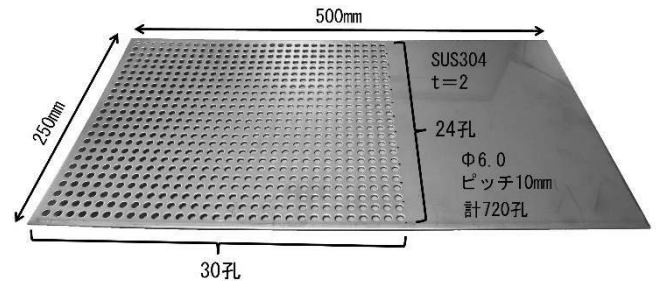


図 2 加工品

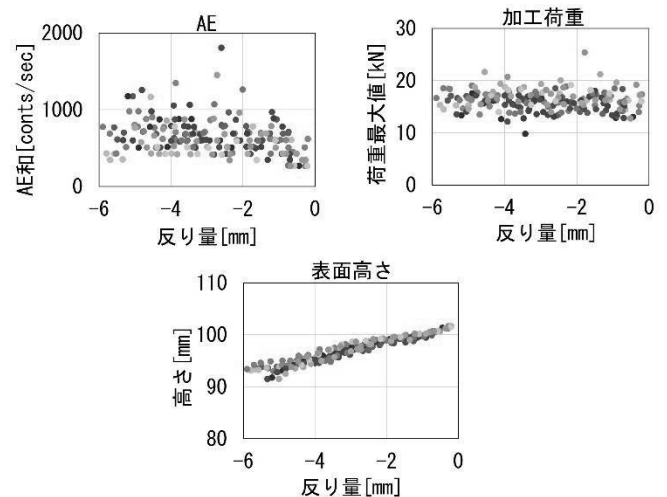


図 3 取得データと反りの解析結果

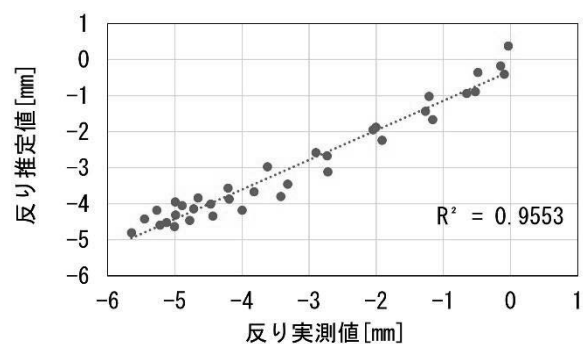


図 4 反り推定結果

3. シミュレーション活用による加工条件導出

反りの制御因子を明らかにするため、様々な加工条件による実験を行った結果、パンチ押さえの角度とダイの角度の組み合わせ（図 5）が反りに大きく影響することがわかった。次に、孔加工により発生する被加工材の変位から加工品の反りの計算が可能な塑性加工シ

ミュレーション技術を開発した（図 6）。シミュレーション結果から、反りの発生方向が上に凸と下に凸の境界となる加工条件を反りが最小となる加工条件として導出した（図 7）。導出にあたりシミュレーション結果と実測の反りの境界が一致していることを確認した。

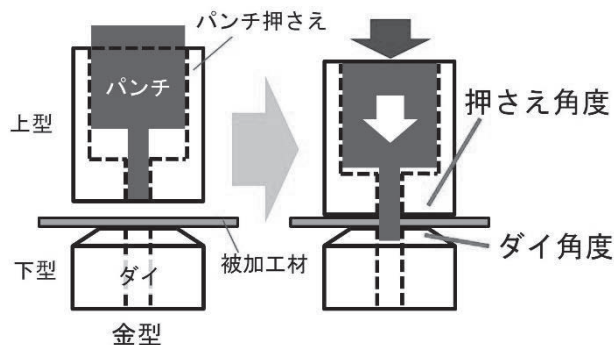


図 5 加工模式図

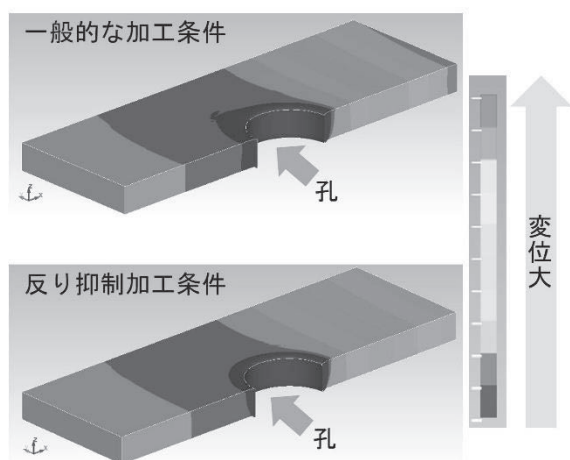


図 6 シミュレーション例

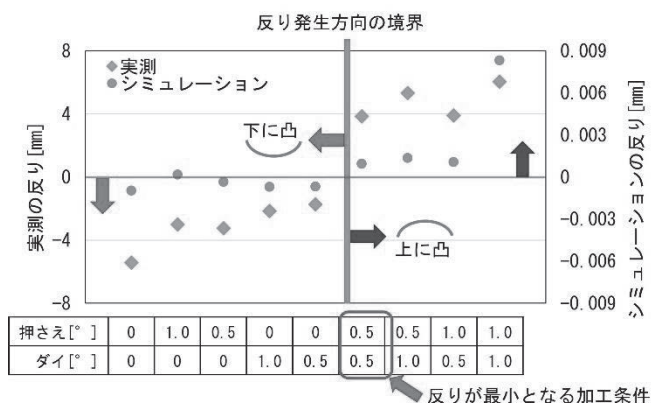


図 7 シミュレーションによる加工条件導出例

4. 反りに応じた加工中の条件補正

加工中の反りの実測が困難なため、IoT 金型から得た高さデータにより推定される反りが設定値を超える場合に条件を変更する加工条件補正技術を開発した。推定した反りと設定値の差に応じて反りを抑制する条件を選択し変更する仕様とした。変更する条件は、あらかじめシミュレーションを行い加工条件と反りの関係から作成した補正加工条件表に基づき決定した。

5. 加工システムの有効性検証

反りの推定手法、加工条件導出・補正技術を搭載したシステムを当場内に構築し実証試験を行った。本システムの機能を使用しない場合の反りが 10.8mm/m であったのに対し、システムで導出した初期加工条件を用いた場合は 3.8mm/m、さらに加工条件補正技術を用いた場合は 1.7mm/m となり、開発技術の有効性が確認できた。

また、企業の実工場において、事前に設定した孔あけ回数ごとに加工条件を補正することで IoT 金型による補正技術を用いない簡易な実装方法を適用した。具体的には、反りが最小となる加工条件が押さえ角度 0.5° ダイ角度 0.5° の場合、押さえ角度 0° ダイ角度 0.5° として、これらの条件で交互に加工する。その結果、従前の反りが 5.0mm/m だったのに対して、1.1mm/m にとどめることができた。（図 8、図 9）

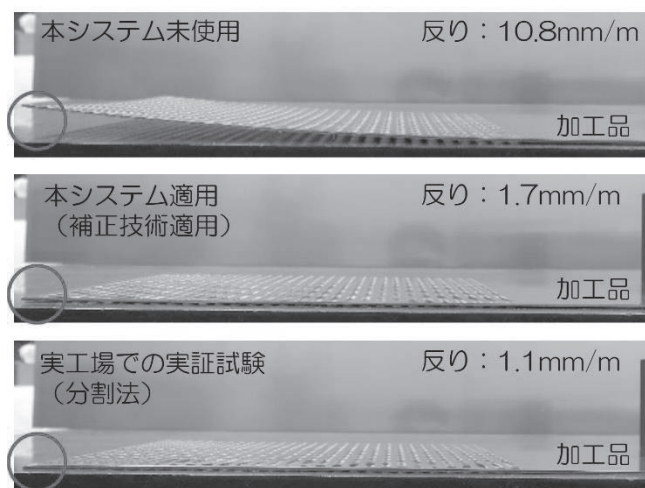


図 8 有効性検証結果

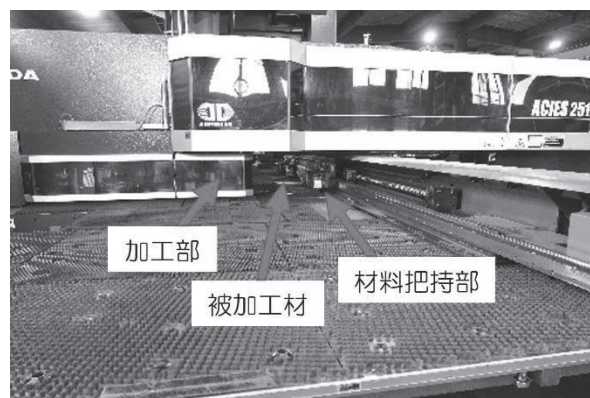


図 9 実工場での検証試験の様子

6. おわりに

パンチング加工時の反りを抑制するため、反りの推定手法、加工条件導出・補正技術を開発し、搭載したシステムを用いた実験により開発技術の有効性を確認した。本研究の成果は、すみやかに道内企業へ技術移転していく。

（連絡先：tsuruya-tomohiro@hro.or.jp）

AM 技術による異種材料接合・高機能化製品の製作法開発

AM 技術を用いた高性能鑄ぐるみ部品製作法の開発（令和 2～4 年度）

材料技術部 ○鈴木 逸人、鶴谷 知洋、植竹 亮太、宮腰 康樹、三戸 正道
札幌高級鑄物(株)、(株)サカイ技研、室蘭工業大学、北海道大学

1. はじめに

Additive Manufacturing (AM) は、材料を積層することでモノを製作する手法である。国内外で製造プロセスを変革する新たな製造方法として注目されている。金属製品を製造可能な AM 技術には、金属粉末積層造形法（金属 AM）や積層造形した鑄型（AM 鑄型）を用いた鑄造法がある。本研究では、金属 AM で製造した部品を鑄ぐるみ接合により鑄物と一体化してマルチマテリアル化させる技術と、複数応力が作用する鑄物製品をトポロジー最適化により高剛性、軽量化させる方法を開発した。これらの技術について概要を紹介する。

2. AM 部品の鑄ぐるみ接合による異種材料接合技術

金属 AM のみで製品生産を行う場合、従来加工方法と比較して材料単価が高額なためコストが増大する傾向がある。複雑形状を製作可能な金属 AM の長所を活用した製品製作を行うには、すべての部品を金属 AM で製作するのではなく、形状による機能や材料特性を考慮し、製品機能を満たす必要最低限の部分に金属 AM 部品を使用し、構造体となる他の場所には従来使用されてきた材料を用いた部品を用いて両者を接合させる方法が有効である。

鑄造製品の製造工程で異種材料を接合させる技術に鑄ぐるみ接合がある。鑄造製品の中で金属 AM 部品の活用を想定した場合、複雑な中子を要する部位や寸法精度が必要な部位、製品としての機能を発現する部位を金属 AM 部品に置き換え、構造体部分を従来の鑄造材料とし、鑄ぐるみ接合で製作する方法が考えられる。中子の代わりに金属 AM 造形部品を用いることで、複雑形状やマルチマテリアル化による機能向上や中子破損や変形による不良発生の解決に寄与できる。

本研究では、はじめに金属 AM 部品の鑄ぐるみ接合に適した接合部形状の検討を行った。検討の結果、注

湯温度と接合部形状の関係が接合強度に与える影響を明らかにした。この検討で得た接合強度の情報を参考に、製品形状に適した接合部形状を付与した金属 AM 部品を造形し、製作試験を行った（図 1）。製作試験を行った結果、接合部形状を適切に選択することで、良好な接合状態の製品形状を製作可能であることがわかった。

3. トポロジー最適化による鑄造製品の高剛性・軽量化技術

トポロジー最適化は、外力に対して必要最低限の構造を計算することで、製品形状の軽量化や高剛性化を行う形状最適化方法である。しかし、複数の外力や応力が作用する状況に対するトポロジー最適化理論は確立されておらず、製品に対する応用例が非常に少ない。

そこで本研究は、外力と熱応力が同時に作用する鑄物製品に対して、汎用のソフトウェアを用いてトポロジー最適化を行う方法について検討を行った。検討の結果、製品使用環境を再現した予備解析の結果から求めた代替荷重を用いて複数の応力により生じる変形を表現し、トポロジー最適化を行う方法を開発した。また、本方法を用いることで、軽量・高剛性な形状設計が可能であることを解析により示した。さらに、計算した最適形状について、鑄物として製作可能（図 2）であり、従来の形状よりも熱応力による変形が少ないことを評価用鑄物による実験で確認した。

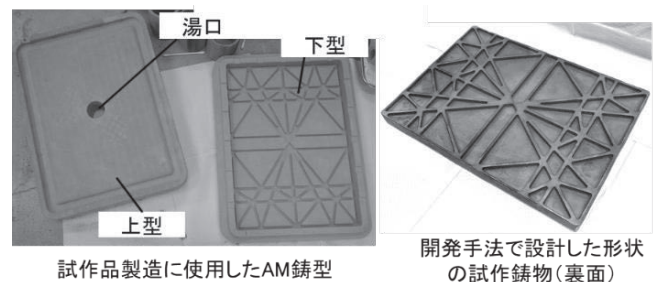


図 2 開発手法で設計した高剛性・軽量化鑄物

4. おわりに

金属 AM 部品の鑄ぐるみ接合技術と複数応力状態に対するトポロジー最適化による高剛性、軽量化設計手法は、AM 技術を用いた金属製品製造の発展に寄与する技術である。今後、技術普及を行い、AM 技術によるものづくりの発展に努める予定である。

（連絡先：suzuki-hayato@hro.or.jp）

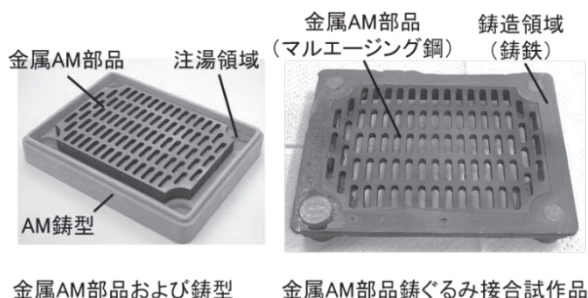


図 1 AM 部品の鑄ぐるみ接合による異種材料接合技術で作製した金属製品例

ステンレス鋼の応力腐食割れ評価法に関する研究

ステンレス鋼の応力腐食割れの評価と改善方法の研究（令和4～5年度）

材料技術部 ○板橋 孝至、櫻庭 洋平、飯野 潔、宮腰 康樹
企画調整部 坂村 喬史

1. はじめに

ステンレス鋼はさびにくいため耐食性金属材料として広く使用されているが、塩化物イオン（Cl⁻）と引張応力の両方が存在すると応力腐食割れ(SCC)を生じることがある。これは微細な表面亀裂が内部に進展する現象で、外観上問題なさそうな部材が、突然、破損し様々な事故の原因となる。

この SCC の感受性（発生しやすさ）を評価する方法として JIS 試験法がある。本法は曲げることで外側に引張応力を加えた試験片を腐食液に浸漬し、拡大鏡観察により亀裂の有無を判定することで亀裂発生時間の評価を行う。しかし試験前の応力を測定しないため、個々の試験結果の原因について議論ができない上に、規定の形状の試験片しか評価できない問題がある。

本研究では、亀裂により応力が低下すると考え、JIS 試験法に表面応力測定を組み合わせることで初期亀裂の発生時間の検出精度の向上と、規定形状でない実製品への SCC 感受性の評価方法の開発を試みた。

2. 実験方法

2.1 JIS 試験法と表面応力測定との組み合わせ

SCC 感受性評価試験は、JIS G 0576 に基づき行った。曲げ試験片は、15×75×2mm の SUS304 の未処理材及び鋭敏化熱処理材の板材を、ポンチ(R8)を用いて U 字に曲げ、ボルト締めしたものをを用いた（図1）。これを沸騰した 42wt%塩化マグネシウム水溶液に浸漬し、15分ごとに取り出して蒸留水洗浄し、実体顕微鏡観察と、ポータブル型 X 線残留応力測定装置を用いて表面応力の変化を測定した。試験は亀裂が試験片を横断するまで続けた。

2.2 実製品に即した SCC 感受性の評価方法

図2に、試験に使用した市販の D リング(SUS304 製)および応力を印加するために作製した治具を示す。治具を D リングの内側から拡張する方向に伸展させることで、実際の使用環境を模擬させた。

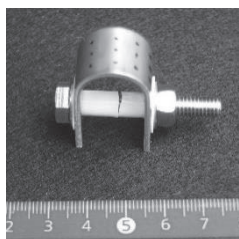


図1 JIS 曲げ試験片

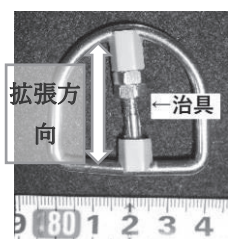


図2 D リング試験片

3. 結果

3.1 JIS 試験法と表面応力測定との組み合わせ

図3に SCC 感受性試験の累積浸漬時間と応力の推移を示す。どちらの曲げ試験片も試験開始時の引張応力は同等であり SCC 試験開始後 15 分において大きく応力低下することが認められた。未処理材と鋭敏化熱処理材を比較すると割れによる応力低下の速度に違いが確認できた。これにより SCC 感受性評価方法として応力測定を組み合わせることが有効な手法であることが確認でき、SCC 発生の有無を表面応力測定から非破壊的に検査できる可能性も示唆された。

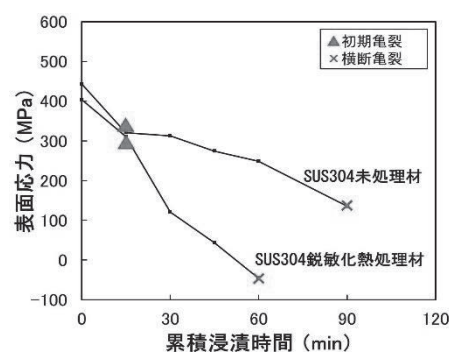


図3 SUS304 の SCC 累積試験時間による表面応力の変化

3.2 実製品に即した SCC 感受性の評価方法

試験前の D リングの外周はほぼ全面において圧縮応力がかかっていたが、治具を拡張することにより R 部外周の中央に 771MPa、ストレート部外周の中央に 374MPa の引張応力を印加できた。この試料を SCC 試験した結果、時間経過に応じた応力低下と 120min 浸漬後に非常に微細な亀裂を確認することができ、実製品の SCC 感受性評価ができる見通しが得られた。

4. おわりに

ステンレス鋼の SCC 感受性を評価するにあたり、JIS 試験法に表面応力測定を組み合わせることは、試験ごとの違いについて検証しやすくなるなど有効な手法であることが確認された。また、適切な治具を用いることにより、実製品の使用環境に即した SCC 感受性を評価できることが示された。

（連絡先：itabashi-koji@hro.or.jp）

※本研究で使用したポータブル型 X 線残留応力測定装置は、競輪の補助を受けて整備されました。

ナノ繊維シートを利用した連続繊維強化複合材料の開発

環境に優しい BNF シート積層複合材料の開発（令和 3～5 年度）

材料技術部 ○瀬野 修一郎、細川 真明、可児 浩
山岸 暢、吉田 昌充、土田 晋士

1. はじめに

構造材料の開発の一つの方向性として輸送機器の軽量化が達成される連続炭素繊維強化樹脂(CFRP)のような軽くて強い金属代替材料の開発が強く望まれている。また、令和元年に政府より策定されたプラスチック資源循環戦略においては 2030 年までの約 200 万トンのバイオマス樹脂導入がマイルストーンとして掲げられており、バイオマス由来の材料が今後もより一層求められる社会となっている。

そこで本検討では、近年バイオマス由来の高強度な新素材として注目されているバイオマスナノファイバー(BNF)を活用した軽量・高強度な複合材料の開発を試みた。

2. BNF シート中間複合材料の作製

近年、用途が拡大し、実用化が進みつつあるセルロース系 BNF 強化樹脂においては繊維が個々に独立して樹脂中に分散した状態であるため、例えば従来の連続繊維強化樹脂のように繊維強度のポテンシャルを最大限に引き出せていないことが推定される。ポテンシャルを最大限に引き出すためには複合材中で繊維同士が連続した構造であること（例えばシート状の BNF など）が必要と考えられる。そこで疑似的な連続繊維構造を有することが予想されるシート状 BNF を利用した積層複合材料の開発に向けた検討を行った。

BNF シート単独では積層複合化する際にシート間の接着が不十分なことが予想されるため、まず CFRP 等で一般的に利用されている樹脂が予備含浸されているプリプレグと呼ばれるような中間複合材相当の材料作製を目指した。バインダーの役割を果たすと考えられる粉末状の熱可塑性樹脂（ナイロン 6 [PA6]）と BNF 懸濁液を、自転公転ミキサー（マゼルスターKK-250S、倉敷紡績(株)）を使って混合したものを吸引ろ過し、風乾することでφ80mm 程度の中間複合材シートを作製した（図 1）。BNF に



図 1 中間複合材のイメージ図

PA6 と BNF の重量配合比率を変えた中間複合材シートの機械的特性試験の結果から物性が良好な BNF と樹脂との配合比率は BNF60wt%以上であることがわか

った。また、中間複合材(BNF/PA6=6/4[重量比率])と樹脂シートからなる積層複合材の熱プレス試験の結果から、好適な熱プレス条件も明らかとした。

3. 積層複合材料の機械的特性評価

熱プレスにより作製した中間複合材の枚数および積層構成が異なる（（中間複合材と PA6 の交互積層[図 2 左]、中間複合材の連続積層[図 2 右]）複合材の機械的特性を評価し、BNF の体積含有率・積層構成と機械的特性の相関について検証した（図 3）。その結果、中間複合材と PA6 を交互積層した方が強度・弾性率が高い複合材料が作製可能であることがわかった。これは交互積層の方がバインダーの役割を担う樹脂が多く、層間剥離の発生が抑制されたためと考えられる。最大で曲げ強さ 107MPa、弾性率 4.8GPa の物性が得られ、ガラスマット繊維からなる強化プラスチック相当の積層複合材が作製できた。

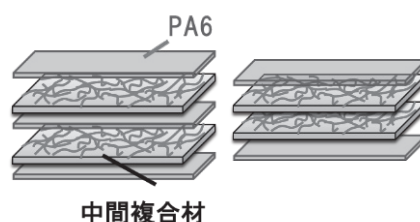


図 2 積層構成（左：交互積層、右：連続積層）

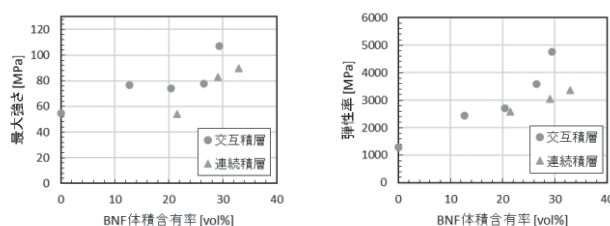


図 3 積層複合材の機械的特性と BNF 体積含有率の関係

4. おわりに

バイオマス素材を利用した機械的特性に優れる積層複合材料の開発を行った。強さと弾性率においてはガラスマット繊維強化プラスチック相当の材料であることがわかったが、構造材料としての利用にはさらなる物性の改良が必要となる。持続可能な社会構築に貢献する環境循環型材料の実用化・普及に向けて、引き続き開発を継続したい。

（連絡先：seno-shuuichirou@hro.or.jp）

セルロースのガスバリア性を活用した鮮度保持評価

青果物鮮度保持のためのバイオマス系コーティング剤の評価（令和4年度）

材料技術部 ○細川 真明、瀬野 修一郎、可児 浩
山岸 暢、吉田 昌充、土田 晋士

1. はじめに

セルロースナノファイバー（CNF）は樹木や微生物が生産する天然の繊維であり、高い結晶性と親水性を有する。CNFはこのような特性に起因してシート状に成形した際にガスバリア性を発現することが知られている。バイオマス資源から得られる材料の中でもこのような性質は極めて特異的であり、可食性・生産性の観点も合わせて食品のコーティング剤としての利用が期待できる。このような背景から令和5年に我々はCNFの種類によって繊維構造が異なり、ガスバリア性も繊維構造に依存することを報告した。一方で、実際にCNFの種類と鮮度保持能力を比較した例は少ない。そこで本研究では、4種のCNF水分分散液を青果物の表面に塗布し、繊維構造と鮮度保持能力の関係性を評価した。

2. CNFのメロンとバナナへの塗布

コーティング剤として使用したCNFは化学解繊セルロース、セルロースナノクリスタル、物理解繊セルロース、発酵ナノセルロースの4種である。これら0.4wt%水分分散液（界面活性剤50ppm添加）を図1のようにメロン表皮全体に刷毛で塗布した。さらに、これらコーティ



図1 メロンへのCNF水分分散液の塗布の様子

ング剤の効果を比較するために、50ppmの界面活性剤を添加した水溶液塗布の試験区を設けた。コーティング剤を塗布したメロンは十分に風乾したのち室温で暗室中に約3週間保管した。バナナについても同条件で約2週間保管した。

3. 鮮度評価

保管中の鮮度評価は、外観観察、重量測定、表皮の色差測定を行った。メロンについては、発酵ナノセルロース・化学解繊セルロース・セルロースナノクリスタル・物理解繊セルロースの順で高い鮮度保持効果が認められ、最も高い鮮度保持効果を示した発酵ナノセ

ルロースでは1週間以上鮮度が延長された。一方バナナでは化学解繊セルロース・発酵ナノセルロース・セルロースナノクリスタル・物理解繊セルロースの順に高い鮮度保持効果が認められ、最大5日の鮮度延長が可能であった。このような効果は、ガスバリア性を有するCNFが果皮を覆うことで果実の呼吸を抑制し、熟成を遅らせているためであると考えられる。いずれのCNFでも鮮度の延長が確認されたが、対象の青果物によって最適なCNFが異

なることも明らかとなった。これは呼吸速度の高いメロンのような青果物に高いガスバリア性を有する化学解繊セルロースを塗布すると呼吸を過度に抑制してしまい、鮮度を低下させたことが要因であると考えられる。一方で、セルロースナノクリスタルや物理解繊セルロースでは十分な鮮度保持効果を確認できなかった。これら2種類のCNFは過去の構造解析結果から繊維のア

スペクトル比が小さく、水に分散させた状態で低粘度となることが判明している。そのため青果物の果皮に塗布した際に液だれが発生し果皮にCNFが付着しにくかったためであると考えられる。

4. おわりに

CNFは一般的にプラスチックなどの補強用フィラーや増粘剤として多く使用されている。今回焦点を当てた鮮度保持用コーティング剤としての活用はCNF利活用のための新しい着眼点であり、CNFの更なる利用拡大が期待できる。

（連絡先：hosokawa-masaaki@hro.or.jp）

保管期間 試験区	初期	1週間後	2週間後
Control			
化学解繊セルロース			
セルロースナノクリスタル			
物理解繊セルロース	No data		
発酵ナノセルロース			

図2 CNFを塗布したバナナの外観推移

水を利用した多孔質炭素材料の低温合成技術の開発

水熱処理法による高表面積炭素材料の開発（令和4～5年度）

1. はじめに

活性炭に代表される多孔質炭素材料は非常に大きな表面積を持つため、吸着材や触媒等として利用できる優れた素材である。通常、多孔質炭素材料は、樹脂などの原料を無酸素状態で熱処理し製造するが、1,000℃近くの高温が必要であり、脱炭素化の観点から低温化が求められてきた。

そこで近年、200℃程度の低温で炭素材料を製造できる水熱処理法が注目されている。この手法では、原料を水とともに耐圧容器に入れて加熱すると、原料の脱水反応などが促進され、低温でも炭素材料を合成できる。しかし、この手法で得られる炭素材料は表面積が十分に大きくないため、低付加価値な用途でしか利用されてこなかった。

一方、当場は樹脂のナノ粒子を製造する技術（ゾルゲル法）を有している。このナノ粒子が非常に大きな表面積を持つことに注目し、本研究では炭素材料の原料となる樹脂のナノ粒子と水熱処理法を組み合わせることで、表面積の大きな炭素材料を低温で合成することに成功した（図1）。

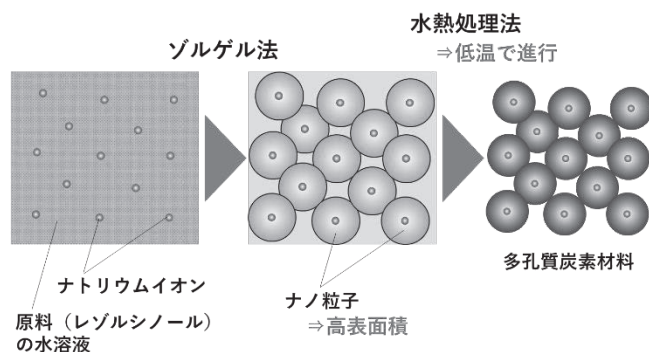


図1 水熱処理法とゾルゲル法を組み合わせた多孔質炭素材料の製造方法

2. 多孔質炭素材料の低温合成

ゾルゲル法では、樹脂の原料であるレゾルシノールを溶かした水溶液に、ナトリウムイオンを添加し、これを核として樹脂のナノ粒子を生成させる。このナノ粒子を耐圧容器に入れて水とともに150℃で加熱することで、約400 m²/gもの比表面積を持つ炭素材料を製造できた（図2）。一般的な製造法では、この比表面積を持つ炭素材料を製造するのに400-600℃での熱処理が必要であることから、熱処理温度を大幅に低減することができた。

さらに、この手法を用いると、レゾルシノール以外の様々な分子からも多孔質炭素材料を製造できること

新技術創生研究推進室 ○森 武士、松嶋 景一郎
材料技術部 吉田 誠一郎、執行 達弘

がわかった。例えば、木材の主成分の一つであるセルロースや、自然界に最も存在する糖であるグルコースから出発しても、100 m²/gを超える高い比表面積をもった炭素材料を製造できた。

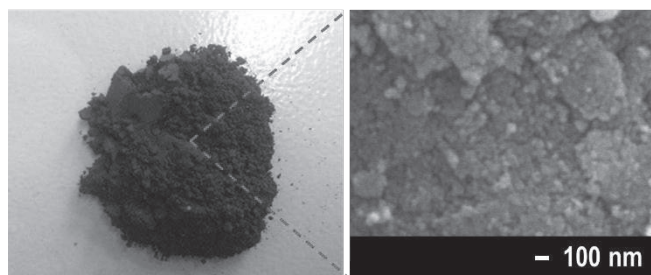


図2 得られた多孔質炭素材料の外観（左）と微構造（右）

3. 多孔質炭素材料の応用検討

本手法で得られた多孔質炭素材料は、大きな表面積を持つことに加え、その表面には酸性を示す官能基が存在することがわかり、様々な用途に展開できる見通しを得た。例えば、紫外線やアルコールに耐性のある細菌の増殖を抑制する効果が見られ、抗菌資材として利用できる可能性を見出した（図3）。他にも、通常の高比表面積炭素には無い触媒機能（セルロースの加水分解を促進する機能）が発現することがわかり、バイオマスから化学製品を製造するバイオリファイナリーで利用できる触媒となり得ることがわかった。

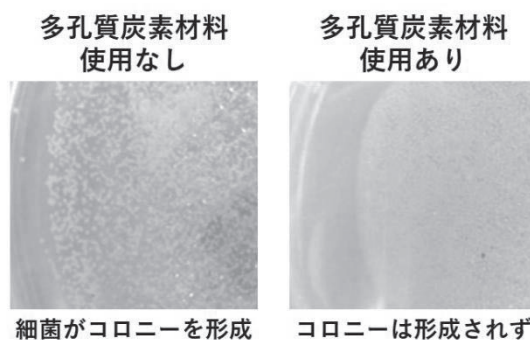


図3 得られた多孔質炭素材料による細菌の増殖抑制効果

4. おわりに

水熱処理法とゾルゲル法を組み合わせた、低温で多孔質炭素材料を製造する新手法を開発し、得られた材料は様々な用途で利用できることを明らかにした。今後は、更なる機能向上やスケールアップに向けた検討を行い、実装に向けた取り組みを進めて行きたい。

（連絡先：mori-takeshi@hro.or.jp）

触媒反応を活用したバイオプラスチック原料の製造

触媒反応を活用した道産天然物バイオリファイナリーに関する基礎的研究（令和 4～5 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 松嶋 景一郎、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・未利用資源より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、触媒反応を活用した効率的なプロセスで、農・林・水産系バイオマスに含有される糖およびアミノ酸をバイオプラスチック原料等の高付加価値な化成品へ変換する合成法を開発した。

触媒とは、固体酸や固体塩基などの反応を促進させる活性点を持つもので、バイオマス変換の観点から言えば、生物由来の原料を効率的に変換するプロセスにおいて重要な物質であり、持続可能な資源利用に貢献することが期待できる。

検討した触媒反応は以下(a)~(c)のとおりで、本発表では、グルコースからバイオプラスチック原料やエネルギーとなるレブリン酸への反応を中心に紹介する。

- (a) グルコース（糖類）からレブリン酸※
 - (b) リジン(アミノ酸)から ε アミノカプロラクタム※
 - (c) グルタミン酸（アミノ酸）から 2-ピロリドン※
- （※はいずれもバイオプラスチック原料）

2. 実験方法

(1) 回分式高温高压水反応

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、予備加熱したオイルバスへ入れた。反応容器を所定時間静置し、変換反応を実施した。所定時間経過後、速やかにオイルバスから取り出し冷水浴に浸して反応を終了とした。

(2) 触媒調製

表に変換に用いた触媒を示す。本研究では金属酸化物を中心に以下の 3 つに分類される触媒を調製した。

表 天然・未利用資源由来 糖・アミノ酸変換触媒

	特徴	触媒種
① 金属酸化物	固体酸	Al_2O_3 , Nb_2O_5 , SnO_2
	固体塩基	MgO
	両機能	TiO_2 , ZrO_2 , CeO_2
	他	NiO , Fe_2O_3
② 複合	相乗効果	CeZr , CeZrAl , TiZr , SnAl , FeZrAlCe (-Ox略記)
③ 天然物由来	担体効果	稚内層珪質頁岩 (WS), 金属担持珪質頁岩 (Sn, Nb, Ni, Zr-WS)

金属成分の触媒効果を検討するため、①一種類の金

属で構成される「単一金属酸化物」、②そのスクリーニング結果をフィードバックし、2 成分以上の金属成分を合成段階で複合することで発現する相乗効果を期待した「複合金属酸化物」、さらに、③未利用資源利用技術の深化を目指して、触媒調製にも天然鉱物の珪質頁岩を利用し、担体効果を発現させた「天然物由来触媒」を用意した。

3. 結果

図にグルコースからレブリン酸への変換結果を示す。単一金属酸化物のスクリーニングをもとに、 SnO_2 、 Al_2O_3 を変換反応に使用した結果、Sn と Al を複合化していない $\text{SnO}_2 + \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ (SnO_2 と $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ を複合化せずに単純に物理混合した粉体) では、満足する収率が得られなかったが、複合化した SnAl-Ox (Sn 成分と Al 成分を化学的に複合した複合酸化物) では、収率が向上 (19%) したことから、成分の複合化が触媒能を高めることが確認された。天然物由来触媒を利用した結果、Nb-WS (Nb 担持珪質頁岩) は、比較的高いレブリン酸収率 (12%) が得られ、他の金属成分を担持した WS (珪質頁岩) 由来の天然物触媒は有効な機能を発現しなかったことから、適切な金属成分の選定により天然鉱物を担体とした触媒設計が可能であることがわかった。

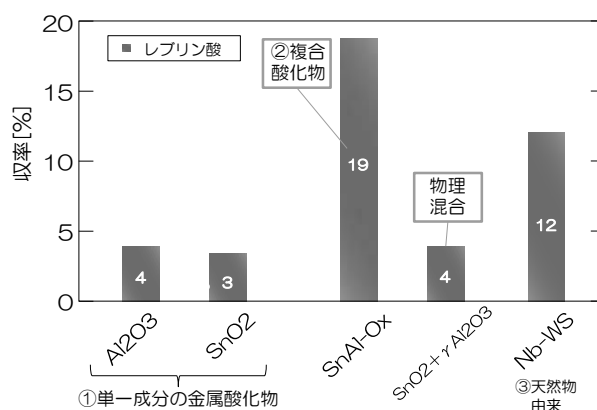


図 林産系バイオマスから有用化学物質への
変換反応結果 (原料：グルコース、180℃, 3h)

4. おわりに

触媒を利用して、糖およびアミノ酸を高効率でバイオプラスチック原料へ変換することに成功した。また、天然鉱物を担体として利用した触媒開発の可能性を見出した。今後、反応容器や加熱様式など、スケールアップに関する技術開発を進め、実用化を目指す。

(連絡先：kondou-hisaki@hro.or.jp)

● ポスターセッション発表要旨

研究職員の所属は令和 6 年 4 月 1 日現在

モータレス型高速把持ハンドの開発

(令和4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、製造業のみならず1次産業においても人手不足が深刻化しており、屋外における野菜などの収穫作業の自動化が強く求められている。屋外作業の自動化の際には、雨風などの影響を防ぐためにモータなどの電気駆動式アクチュエータなどを使用せず、さらに作業効率向上のため高速に対象物を把持可能なロボットハンドの開発が必要である。

本稿では、屋外で使用可能な新たな把持機構を考案し、当該機構を組み込んだ高速把持ハンド（以下、ハンド）を開発したので報告する。

2. 高速把持ハンドの設計・開発

図1に示すように、モータなどのアクチュエータを用いずに受動的に動作するハンドの構想設計を行った。ハンドが対象物に接触した際にベルトに生じる張力を関節トルクに変換することで、受動的な把持動作を実現する構造となっている。受動把持を可能とするハンドは、対象物との接触と同時に把持動作を開始するため、把持指令を受けてから能動的に動作するハンドと比較して把持に要する時間が短い。なお、本ハンドでは対象物の把持状態を保持するためにラチェット機構を組み込んだ。

ハンドの把持を解放する動作の概要を図2に示す。把持状態において、ラチェット機構の歯止めリリースポイントを当てることで、ラチェット機構の拘束が解放され、トーションバネの復元力でハンドは初期状態に戻る。

開発したハンドを図3に示す。左右の指の開閉を同期させるために歯車、プーリ、タイミングベルトを用いた機構とし、接触時に対象物を傷めないようシリコン製のベルトを採用した。

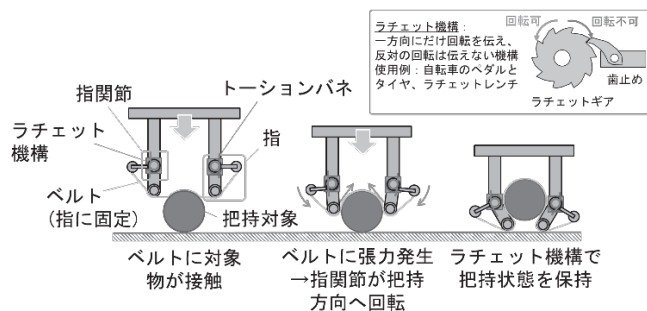


図1 ハンドの構想設計

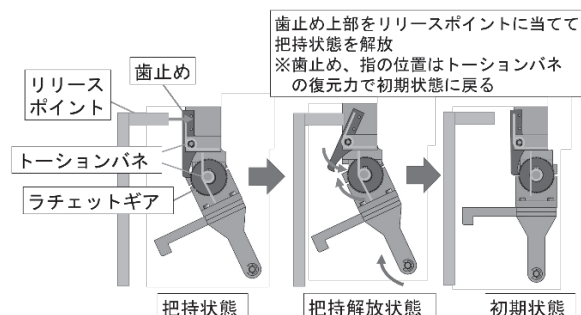


図2 ハンドの把持解放動作の概要

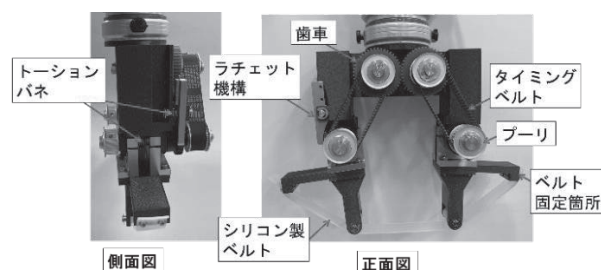


図3 開発したハンド

3. 高速把持ハンドによる把持試験

開発したハンドを Universal Robots 社製の人協働ロボット UR5e に装着し、キュウリ、ニンジン、ナスの高速把持が可能か確認した。ハンドが対象物を把持した様子を図4に示す。把持試験を行った結果、本ハンドで対象物の高速把持と把持解放が可能であることを確認した。

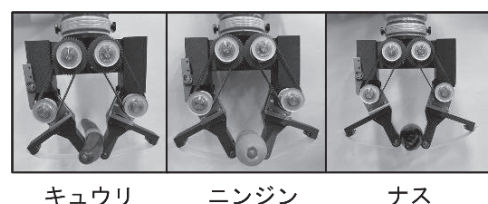


図4 高速把持ハンドで把持した様子

4. おわりに

本稿では、新たな高速把持機構を有するハンドを開発し、複数種類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。

現在、様々な大きさの対象物への対応を可能とする指間距離の可変機構を開発中であり、汎用性の高いハンドの実現に取り組んでいる。

(連絡先: kawashima-keita@hro.or.jp)

澱粉原料受入時の異物検出技術に関する研究

(令和5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

澱粉の製造工程では加工機械の損耗を軽減するため、原料である馬鈴薯の加工前に軽石や木片等の混入異物の除去が行われている。この作業は、大量に高速搬送される馬鈴薯から検査員が音や目視を頼りに異物を発見し除去するものであり、長時間高い集中力を要するため身体的負担が大きい。また、昨今の人手不足の影響、さらに検査員の高齢化から、作業の自動化・省力化が求められている。そこで本研究では、検査ラインに接触式マイクを設置し、ラインを流れる澱粉原料の音から混入する軽石を検出する技術を開発したので報告する。

2. 馬鈴薯に混入する異物の除去作業

検査員は、検査ラインに流れてきた軽石等の異物をボタン操作により各レーン独立に落下させて除去する(図1)。異物がレーンに衝突する音を手掛かりに検査員は異物を発見していることから、本研究では音による異物検出技術の開発を検討した。

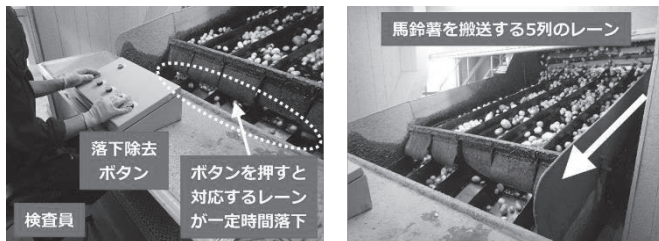


図1 異物除去作業

3. 音による異物検出技術の開発

馬鈴薯が投入される検査レーンの上流側に異物の衝突音を強調して検出するための金属板を追加した(図2左、全5レーン)。さらに金属板に直接衝突する物体の音を取得するため、各レーンに設置した各々の金属板の裏面に接触式マイクを配置した(図2右)。このように隣接レーンの音を分離し、レーンごとに異物検出

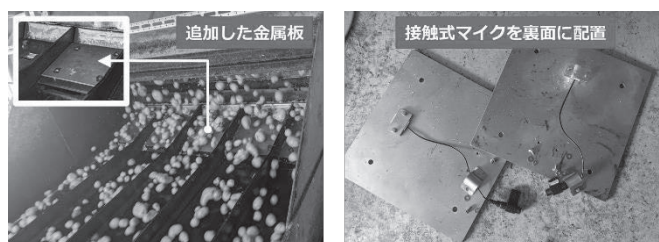


図2 金属板と接触式マイク

処理を行う構造とした。

接触式マイクを用いて検査レーンを流れる原料が金属板に衝突する音を取得し、音の周波数と信号強度から澱粉原料に混入する軽石をリアルタイムに検出する技術を開発した。検出に使用する周波数の帯域と信号強度の閾値を調整した結果、検出漏れの少なさの性能指標である再現率は約50%となった。これは現行の検査員と同程度の検出性能であることを確認した。

4. 異物検出提示システムの試作

音の解析により異物を検出したレーンをリアルタイムに検査員に提示するシステムを開発した(図3)。本システムは、音による異物検出を実行する計算機システムと、LEDライトを点灯させて検査員に異物検出を通知するマイコンシステム(図4)で構成される。

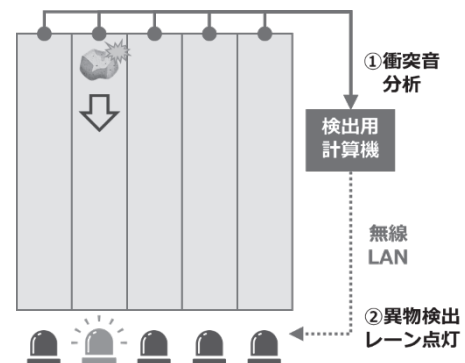


図3 異物検出提示システム

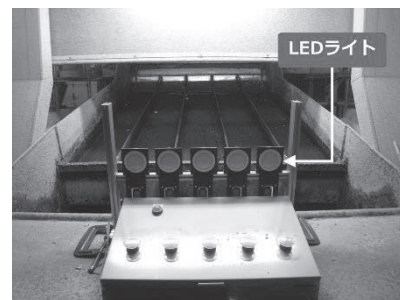


図4 LEDライトを制御するマイコンシステム

5. おわりに

本研究では、大量に高速搬送される澱粉原料の馬鈴薯に混入する軽石を、音により検出する技術を開発した。さらに検出した異物の位置情報を検査員に提示するシステムを試作した。今後は実用化に向けて性能の向上を図るとともにシステムの耐久性の検証を進める。

(連絡先: zen-keiki@hro.or.jp)

巡視作業のための自動走行ロボットの開発

自動走行ロボット用プラットフォームに関する研究（令和 2～3 年度）
自動走行ロボットのためのモニタリング機能に関する研究（令和 3～4 年度）
自動走行ロボットの計測システムの試作開発（令和 5 年度）

産業システム部 〇高橋 裕之、全 慶樹、本間 稔規
企画調整部 近藤 正一
(株)HBA

1. はじめに

工場や施設などでは、設備や装置などが安定稼働しているかを確認し、異常の兆候がある場合に迅速に対応するため、定期的な巡視作業が行われている。この作業で実施する検査項目には熟練技術を要するものがあり、作業者の高齢化や若手人材の不足などから後継者への技術伝承が課題となっている。そこで、DXを活用してこの課題解決に取り組むことを目的として、企業と共同で自動走行ロボットを開発し、巡視作業の効率化に取り組んだ。本発表では、これまでに行ってきた研究開発や支援内容について報告する。

2. 自動走行ロボットの構築

本研究では、磁気テープなどによる移動環境の整備を必要とせず、地図情報により自律的に巡回走行が行える自動搬送ロボット（オムロン製 LD-90）を自動走行ロボットの走行機能として選択した。実際の工場・施設内で走行試験を行った結果、十分な移動性能を有することを確認した。

また、巡視作業で行われる検査項目としては、設備のメータ値や異音、温度、また、配管等からのオイルやガス、水蒸気漏れ等の検出が挙げられる。これらを計測するため、ロボットアーム（オムロン製 TM5-900）にカメラやマイクロフォン、センサ等を搭載し、装置の上部や奥側など、検査箇所を限定せずにデータを収集することが可能なモニタリング機能を検討した。

計測システムとして、アナログメータ自動検針処理、FFTによる音響解析、分光画像によるオイル漏れ検査システムを開発し、自動走行ロボットへ搭載した（図 1）。

図 1 構築した自動走行ロボットシステム



から情報提示や制御を行うための管制室から成る基本システム構成を検討した（図 2）。



図 2 基本システム構成

基本システムから各工場や施設の巡視に必要とされる機能を選択して巡視作業ロボットを構築する。本研究では前述した計測システムを搭載し、観測点でデータを収集する巡視作業ロボットを構築して動作試験を行った。自動でのデータ収集に加え、管制室との情報通信により遠隔監視や制御が行え、基本的な巡視作業が実現できることを確認した（図 3）。



図 3 動作風景（展示会でのメータ検査デモンストレーション）

4. おわりに

巡視作業を支援するため、検査機能を有する自動走行ロボットを構築し、動作試験を行った結果、基本的な巡視作業に活用できることを確認した。

今後は、自動検査項目を充実させることで作業者の負担を軽減し、様々な工場や施設内において巡視作業への活用を図る。

（連絡先：takahashi-hiroyuki@hro.or.jp）

SAR衛星で観測可能な海上浮力体の研究開発

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

産業システム部 O宮崎 俊之

(株)グリーン&ライフ・イノベーション、日東製網(株)、北海道大学

1. はじめに

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

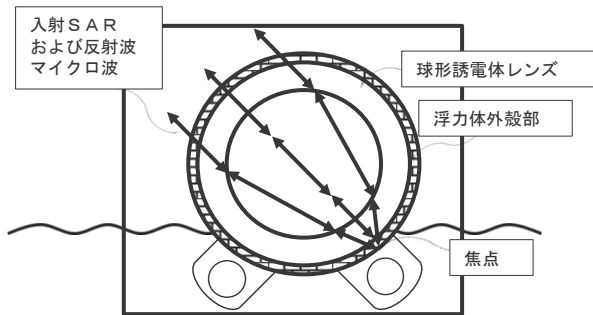


図1 再帰反射構造を内蔵した浮力体

2. ルネベルグレンズの製作と評価

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

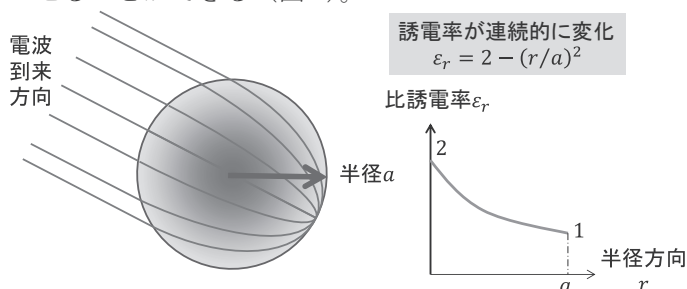


図2 ルネベルグレンズの構造

ルネベルグレンズを構成するためには、球体の半径方向に無限段階で誘電率を変化させる必要がある。また浮力体内部に搭載するためには海水よりも密度

を小さくする必要がある。本研究ではルネベルグレンズを安価に成型するために3層構造とし、各層をメッシュ構造とすることで軽量化を図った。また、各層のメッシュ密度を変えることで誘電率を変化させた（図3、図4）。製作したルネベルグレンズを電波暗室やコンパクトレンジなどの電波試験設備を用いて評価した結果、SAR衛星からのレーダ波を到来方向へ反射するために必要となる再帰反射性能を有することを確認した。

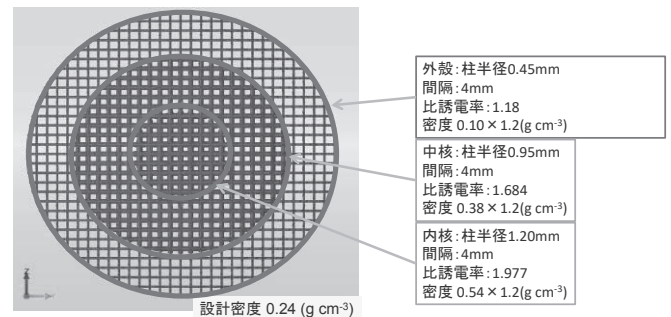


図3 メッシュ構造ルネベルグレンズの設計

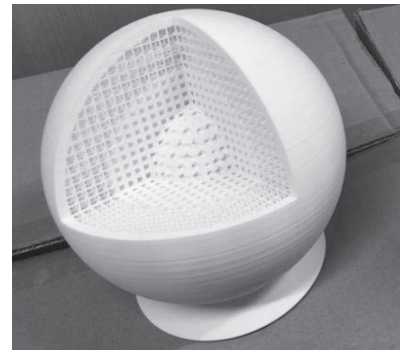


図4 3Dプリンタを用いたルネベルグレンズ製作

3. おわりに

本研究では、漁業で使用する浮力体を SAR 衛星で観測するために、ルネベルグレンズによる再帰反射構造体を製作した。今後は、本格的なルネベルグレンズの生産を目指し、製造手法の開発に取り組む。

謝 辞

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

（連絡先：miyazaki-toshiyuki@hro.or.jp）

高齢者見守り・健康支援システム

「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 ○川崎 佑太、泉 巖、栗野 晃希、中島 康博
本部研究推進部 前田 大輔
北海道科学大学

1. はじめに

北海道では、人口減少や高齢化の進行に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、特に集落から離れた居住地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。

当場では、一人で暮らしている高齢者の見守りや健康支援のため、見守り・健康支援システム(図1)の実用化に取り組んでいる。これまでの取り組みにより、一人暮らしの高齢者宅に温・湿度センサや開閉センサ、人感センサなどを設置することで暮らしに伴う様々な情報を取得し、長期的なデータを解析することで生活パターンの把握や体調変化の予兆検知に活用できる可能性があることを確認している。

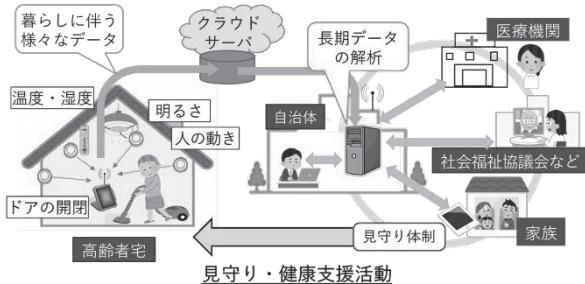


図1 見守り・健康支援システム

2. フレイルとセンサデータ

加齢にともない、身体機能や認知機能は低下する。健康な状態と要介護状態の中間の段階は「フレイル」と呼ばれ、適切な支援によって健康状態に移行可能とされていることから、フレイルの早期発見とその改善が介護予防の観点で注目されている。

そこで、各種センサから得られる計測データを解析し、健康(フレイル)状態の評価を行うことができるアルゴリズムの開発に取り組んだ。

3. 模擬生活環境下での生活動作計測

フレイル評価アルゴリズムの構築に向けて、模擬生活環境下での生活動作において取得したセンサデータと身体機能(フレイル)状態の関係について分析した。実験室内に模擬生活環境を構築し、各部屋と扉に人感センサと開閉センサを設置した(図2)。

フレイル状態を再現するため、高齢者疑似体験セットを用いて身体機能を調節した。セットの負荷の調節

により、仮想的にフレイル、プレフレイル(フレイルの前段階)、健康の各状態を再現した。

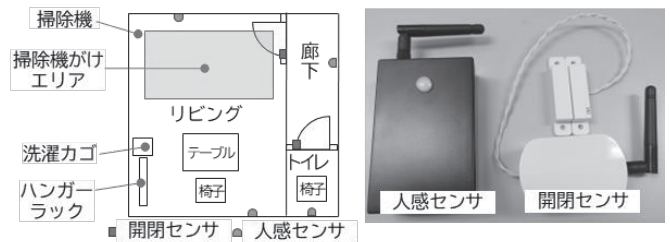


図2 模擬生活環境とセンサ配置

模擬生活環境下で、リビングとトイレのドア間移動時間の計測と家事動作(物干し・掃除機がけ動作)時の人感センサの反応頻度の計測(図3)を行った。



図3 模擬物干し動作(左:健康、右:仮想フレイル)

取得したセンサデータの解析結果を図4に示す。身体状態が低下するにつれて、人感センサの反応頻度は低くなる傾向がみられ、開閉センサから得られたドア間の移動時間も長くなる傾向がみられた。以上のことから、宅内で取得可能なセンサデータからフレイル状態の評価を行うことができる可能性が示唆された。

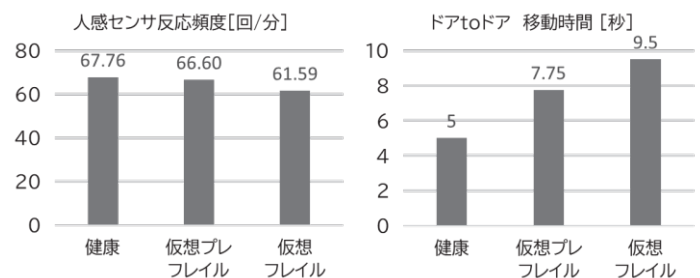


図4 仮想身体状況とセンサデータ

4. まとめ

センサデータから健康(フレイル)状態を評価するアルゴリズム開発のため、模擬生活環境下における家事動作について、センサから取得したデータと、仮想フレイル状態の関係について分析した。今後は、協力高齢者宅にシステムを設置し、健康情報解析アルゴリズムの開発と検証を進める予定である。

(連絡先: kawasaki-yuta@hro.or.jp)

道内における産業安全のための各種取り組み

技能伝承ノウハウの定量化手法を適用したヒューマンエラー対策への活用（令和4年度）
生産性向上研修（令和4年度～）

開発推進部 神生 直敏

1. はじめに

工業試験場では道内における製造不良や労働災害を防止することを目的として、ヒューマンエラーに起因するトラブル防止や産業安全に関するオンライン研修会を開催するとともに、「階層分析法によるリスク評価手法」に関する研究を進めてきた。本発表では、研修内容やリスク評価の研究内容を紹介する。

2. 産業安全についての研修事業の紹介

工業試験場ではヒューマンエラーに起因するトラブル対策の知見を深めるため、令和3年度に「品質評価技術研修」を、令和4年度からは「生産性向上研修」を、のべ10名以上の外部講師を招へいし、遠方からの参加者も考慮してオンライン方式で実施した。

研修では、安全の考え方、分析手法・対策手法、現場でのテクニック、安全パトロールの仕方、危険に対する自己評価方法、錯視、コミュニケーション、AIの活用など、多岐にわたるテーマを取り上げて実施した。また昨年度の研修では、労働安全衛生法上では扱われない「農作業安全」について取り上げた。それらの中から選んで紹介する。

3. 階層分析法によるリスク評価・判断の試行

研修で取り上げたテーマの一つに、製造業における設計や作業リスクの評価手法があった。

一般的なリスク評価の手法としては、直接的な評価となる点数法（和または積）やR-mapなどのマトリクス（行列）法が多く利用されている。評価・集計作業が平易であることが大きな利点であるものの、評価者の経験・立場などで評価揺れ（評価のばらつき）が生じるため、その対策として、評価基準を明確化・厳格化することが推奨されている。

一方で、二者択一（一対比較）的である間接的評価で判定する階層分析法（AHP: Analytic Hierarchy Process）は、評価の回数が増加する欠点はあるものの、評価者の経験の有無等による評価揺れが少なく評価結果を数値化・定量化できる利点があるため、リスク評価に有効と思われる。

そこで作業安全が必要な製造工程について AHP を用いて、①対策を施したい複数のエラーの中から優先して対策したいエラーを選定する、②その対策案を選定する、というように2段階に分けて工程分析する方

法を構築した。具体的には、まず第1段階として、対策を優先したいエラーの「発生頻度・発生時の影響度・発生の検出困難度」（RPN: Risk Priority Number）の3項目を、そして第2段階として、第1段階で選定したエラーの対策案の「実施容易性・コスト・効果」（SPN: Solution Priority Number）に「作業安全性」を加えた4項目を、それぞれ AHP により分析を行う（図1）。

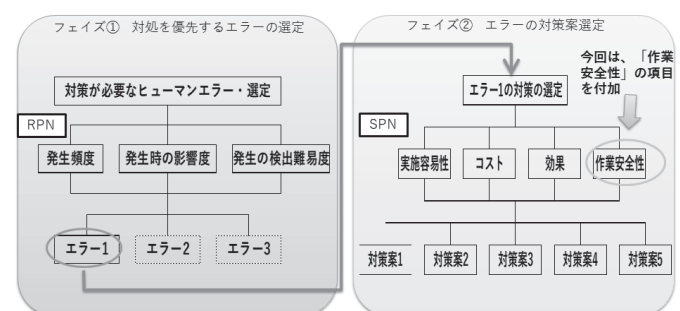


図1 エラーの対策案を選定する2段階 AHP 階層図

発表では、AHP による作業リスクの評価方法および適用事例として、農業資材サンプルの作成作業時のヒューマンエラーに対し、対策案を選定した事例などを紹介する（図2）。分析の結果、AHPの方が回答者の意志を反映しやすいことなどが確認できた。

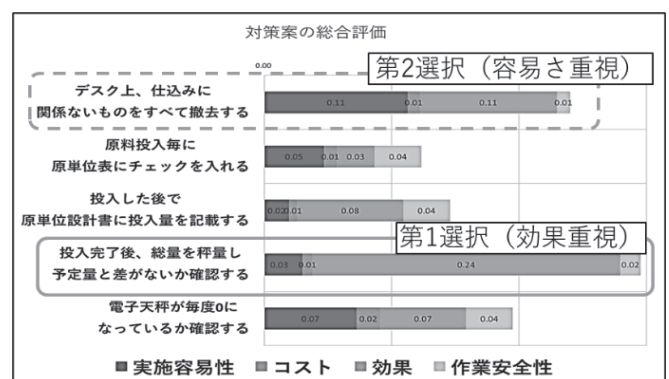


図2 分析結果例（対策案の選定）

4. おわりに

工業試験場では、今年度も産業安全に関する研修会を「生産性向上研修（産業安全）」の中で実施予定であり、道内の産業安全へ寄与できればと考えている。

また AHP を活用した作業リスク評価方法については、移動工業試験場や今年の全国産業安全衛生大会（11月、広島市）などで、引き続き普及を進める。

（連絡先：kamio-naotoshi@hro.or.jp）

生体骨を模倣した新たな多孔質構造の開発

新規金属多孔質構造の高性能化（令和5年度）

材料技術部 ○鈴木 逸人
北海道大学

1. はじめに

レーザー粉末床溶融結合法（L-PBF）は、金属製品を製作する Additive Manufacturing（AM）技術で現在最も使用されている微細構造の造形が可能な方法である。金属 AM を用いることを前提として設計を行う場合、軽量化や比表面積の増加を目的としてラティス構造が用いられる。しかし、従来の単位格子の繰り返して構成されるラティス構造（セルララティス）には、単位格子に由来した破壊進展や異方性の課題がある。そこで、生体内負荷に最適化された海綿骨に着目し、海綿骨の構造－力学特性を模倣した新たな多孔質構造（海綿骨模倣構造）を開発した。この構造は、樹脂や金属を用いて 3D プリンタにより製造可能であり、造形材料や設計パラメータにより力学特性が変化する。本発表では、金属で造形した海綿骨模倣構造の特徴を報告する。

2. 試験体の製作方法

立方体状の設計空間（ $25 \times 25 \times 25 \text{ mm}^3$ ）の中心を原点として xyz 座標系を設定し、原点に 4 本のビーム（梁）を 3 次元等方的に分岐するようランダムに配置した。生成されたビーム先端の節点に対して、順番に分岐数 3 または 4 とする確率質量分布により分岐数を与え、同様にビームを 3 次元等分的に分岐・生成させた。設計空間が満たされるまでこれを繰り返した。近傍の節点を接合させ、ビームが互いに接続された 3 次元ネットワーク状の骨格を生成した。この骨格に同一直径の円柱体積を与え、節点に同じ直径の球体積を与えることで、3D モデルを構築した。本研究では、体積密度が約 40% となるように設計変数を調整した。

試験体は、レーザー粉末床溶融結合法装置（松浦機械製作所製、LUMEX Avance-25）により、SUS316L 粉末（松浦機械製作所製、マツウラステンレス 316L）を用いて造形を行った。このとき、作成した 3D モデルの xyz 軸がそれぞれ積層方向となるように回転させ、各方向に対して 5 個ずつ造形した。造形後に高速切断機により 6 面を切断し、 $20 \times 20 \times 20 \text{ mm}^3$ の立方体試験片を作製した。

試験片の積層方向と圧縮方向を一致させ、万能材料試験機を用いて、ISO13314 に準拠し圧縮破壊試験を行った。比較のため、ラティス構造試験体として、同体積密度のダイヤモンド型格子構造の試験体を作製し、

圧縮試験を行った。図 1 に造形後切断した海綿骨模倣構造およびラティス構造の試験体を示す。

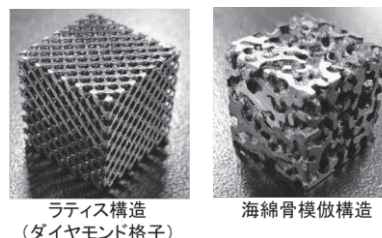


図 1 海綿骨模倣構造およびラティス構造試験体

3. 圧縮破壊試験結果

海綿骨模倣構造は、応力－ひずみ関係における試験片間のばらつきが小さく、再現性が非常に高かった。応力－ひずみ関係は xyz 軸によらず同様に、 yz 軸間の吸収エネルギーの小さな有意差を除いて、弾性率、オフセット応力、プラトー応力、吸収エネルギーにおいて軸の違いによる有意差は認められなかった。海綿骨模倣構造が、積層方向によらず等方的な力学特性を示すことがわかった。図 2 に z 方向積層の海綿骨模倣構造とラティス構造の応力－ひずみ線図を示す。海綿骨模倣構造は、ラティス構造と比較して、高いプラトー応力と吸収エネルギーを示すことがわかった。圧縮破壊挙動について、ラティス構造が層状破壊したのに対して、海綿骨模倣構造は構造全体が変形しながら圧縮されることがわかった。

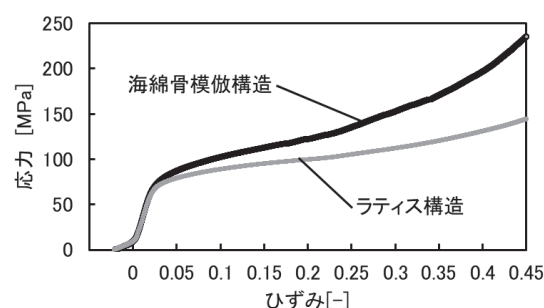


図 2 応力－ひずみ線図ラティス構造および z 方向積層海綿骨模倣構造の圧縮破壊

4. おわりに

海綿骨模倣構造を開発し、本構造の等方性について報告した。今後、海綿骨模倣構造をインプラントなどの医療分野、衝撃吸収材や軽量化部材が必要となる航空宇宙分野など AM 技術の活用が期待される分野での応用展開を目指す予定である。

（連絡先：suzuki-hayato@hro.or.jp）

熱ナノインプリント法による超微細配線創製技術の開発

ナノインプリント法を用いた超微細配線の創製（令和 3～5 年度）

材料技術部 ○櫻庭 洋平、齋藤 隆之、吉田 昌充
北海道科学大学

1. はじめに

情報通信の高速化により半導体や実装部品の高密度化も年々進んでいるが、従来のプリント基板では配線幅 $5\mu\text{m}$ 程度が限界であるため、第 6 世代 (6G) 以降の高速通信に対応した $5\mu\text{m}$ 以下の配線幅を可能にする製造技術が必要となる。そこで熱ナノインプリント法(図 1) で基材の熱可塑性樹脂に微細な溝を作り、めっき処理で銅を充填して導体を形成する、超微細配線の創製技術を開発した。

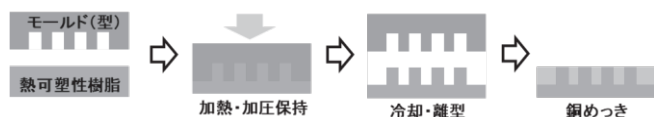


図 1 熱ナノインプリント法

2. 熱可塑性樹脂の熱物性評価

数種類の熱可塑性樹脂から、耐熱性・高周波特性の高い液晶ポリマー (LCP) と耐熱性・耐薬品性の高いポリフェニルサルファイド (PPS) を選定し、パターンの転写性に影響する動的粘弾性測定を行った。LCP の貯蔵弾性率 E' (弾性成分) と損失弾性率 E'' (粘性成分) は、温度上昇とともに単調減少した。一方、PPS は成形温度によって粘弾性挙動が変化し、高温で成形したものは単調減少したのに対し、成形時に急冷したものは 108°C 付近に粘弾性の極小値が見られ (図 2)、転写が容易になる温度を明らかにした。

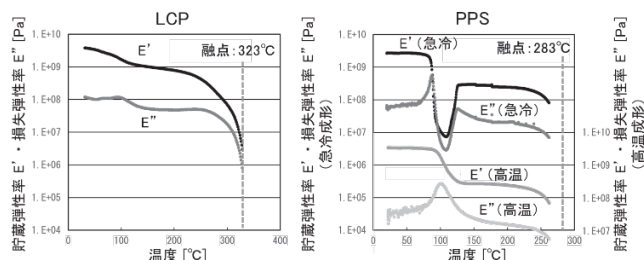


図 2 熱可塑性樹脂の動的粘弾性測定

3. 熱ナノインプリント実験

熱物性評価をもとに温度、圧力、成形時間を変えてインプリント実験を行い、線状、丸穴、円柱の各パターンが適正に転写される条件を調べた。その結果、LCP はモールド側温度 280°C 、圧力 5MPa 、成形時間 300s でインプリントした場合に、幅 $0.5\sim 2.0\mu\text{m}$ 、深さ $5\mu\text{m}$ のモールドが適正に転写された (図 3a)。

次に急冷成形の PPS では、粘弾性が極小となる 108°C 付近、圧力 4MPa 、成形時間 300s の条件でパターンが適正に転写された (図 3b)。しかし、転写後 130°C 以上に加熱すると樹脂が冷結晶化し、体積が収縮して変形したことから、インプリント条件の改良を試みた。その結果、インプリント直後にモールドを離型せず、加圧保持したまま 130°C 以上に加熱して冷結晶化を進める“結晶化インプリント”法を考案し、転写パターンの変形を抑制することができた。

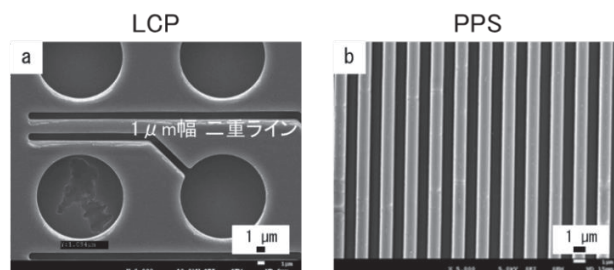


図 3 インプリントによる転写パターン

4. 充填めっき実験

転写パターンへの充填めっき処理は、最初は無電解めっきと電解めっきを組み合わせ、深さ $5\mu\text{m}$ のトレンチに銅を充填し、その後過剰に析出した銅をエッチングで除去する 2 工程で行った。各工程のめっき条件やエッチング条件を探った結果、LCP と PPS のいずれにおいても幅 $1\mu\text{m}$ 、深さ約 $5\mu\text{m}$ の銅配線パターンを形成することができた (図 4)。

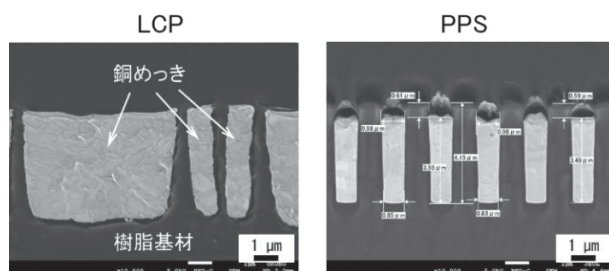


図 4 銅めっき充填後の試験片断面

5. おわりに

熱可塑性樹脂の LCP と PPS の熱ナノインプリント条件を、粘弾性挙動をもとに検討し、幅 $1\mu\text{m}$ 以下の微細な回路形成を可能にした。今後は高周波特性の良好な熱硬化性樹脂に対象を広げ、引き続き実用化に向けた研究を展開する。

(連絡先: sakuraba-yohei@hro.or.jp)

炭素繊維強化熱可塑性プラスチックの下肢装具への応用

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

低下した身体機能を補う装具は、強度があり軽量で身体への適合がよく、かつ個々の患者の身体状況に合わせた調整が容易である必要がある。炭素繊維強化熱可塑性プラスチック(CFRTP)は、金属に比べ比強度が高く軽量化が図れることや、再加熱による形状変更が可能であること等から、装具に適した材料である。

CFRTP を装具に応用する場合、装着者の安全を確保できる強度が必要であり、JIS に定められた強度の基準に準拠する必要がある。本研究では、強度を確保し、軽量化も図れる基材構成について検討した。

2. CFRTP 支柱の評価

装具用支柱の CFRTP の材料として 3K 平織のクロスシート、マトリックス樹脂として PMMA を用いた。CFRTP 支柱と金具の連結方法を図 1 に示した。



図 1 支柱とあぶみの連結

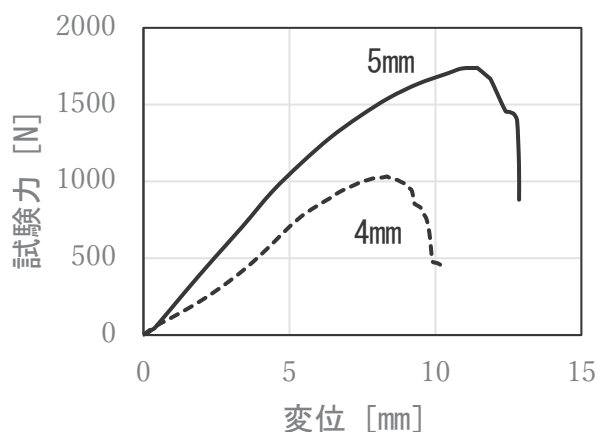


図 2 矢状面 3 点曲げ試験

図 2 と図 3 に、連結部に 3 点曲げ荷重を負荷した際の試験力と変位の結果を示した。CFRTP 支柱は、厚み 4mm（クロスシート 18ply）と 5mm(23ply)を用いた。JIS T9214（金属製下肢装具用継手）の規格に準拠するためには、矢状面で 1,000N、前額面で 200N の荷重に耐える必要がある。矢状面では、4mm と 5mm のいずれの場合も最大荷重は 1,000N 以上であるが、4mm の

場合には、1,000N 以下の荷重で破壊音が発生しており、使用時の安全性を考慮すると、支柱には 5mm 以上の厚みが必要である。前額面では、4mm と 5mm のいずれの場合も最大荷重は、200N 以上である。以上の結果より、CFRTP を下肢装具用の支柱として用いるには 5mm の厚みが最適である。

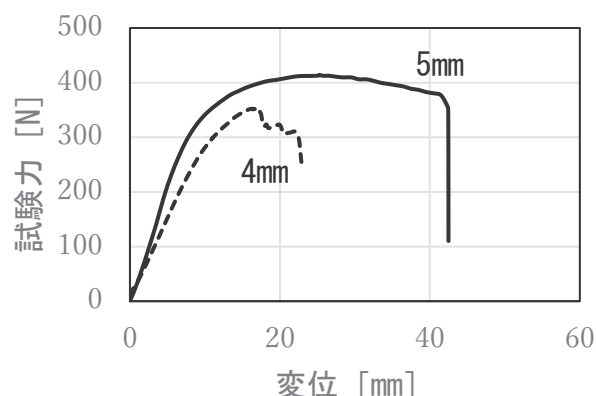


図 3 前額面 3 点曲げ試験

3. 下肢装具への適用

図 4 は、支柱に CFRTP を適用した下肢装具の外観である。従来の金属製の支柱を用いた装具に比べて重量が 70%以下まで低減された。



図 4 CFRTP 支柱付短下肢装具

4. おわりに

今後は、これらの知見を基に他の製品の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）

プラスチックの長期時間変形予測

動的粘弾性の解析による再生プラスチックの長期時間変形予測（令和 5～7 年度）

材料技術部 ○細川 真明、瀬野 修一郎、可児 浩、山岸 暢、吉田 昌充、土田 晋士

1. はじめに

近年プラスチックのマテリアルリサイクルが非常に活発になっている。中でもインフラ構造物や長期使用を見込んだ製品に使用される場合、持続的にかかる応力によって起こるクリープ変形への耐性が非常に重要視される。しかし、再生プラスチックはクリープ変形に関する知見が非常に少ない。また、長期の試験期間と多大な費用を要するクリープ試験は頻繁な実施が困難であり、これがボトルネックとなって開発が断念される場合もある。一方で、過去の研究では動的粘弾特性から、繊維強化プラスチック等のクリープ変形を予測する成果がいくつか存在している。これを応用することで再生プラスチックのクリープ変形を予測できると考える。そこで本研究では、種々のプラスチックの粘弾性を調査することによって約 3 年間のクリープ変形挙動を予測する手法を検討した。

2. 試験方法

使用したプラスチックはポリプロピレン (PP)、ポリスチレン (PS)、ABS 樹脂 (ABS)、アクリル (PMMA)、ポリカーボネート (PC) でいずれもバージン材である (図 1)。動的粘弾性試験機 (DMA) を用いて、各種試験片を両持ち梁曲げモード、0.1Hz～100Hz の振動数で測定を行い、 -150°C ～融点までの動的粘弾性結果を得た。各種プラスチックで報告されている粘弾特性の温度-時間換算測を適用し、得られたデータを常温 (23°C) において 10^{-9}Hz ～ 10^{12}Hz 程度のマスターカーブに変換した。さらにこれら DMA から得られたクリープコンプライアンスの予測曲線を、高温で加速させた実測のクリープ試験と比較した。

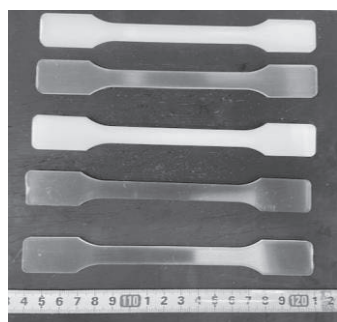


図 1 プラスチック試験片
(上から PP、PS、ABS、PMMA、PC)

3. 試験結果

動的粘弾性のマスターカーブ (図 2) はクリープコンプライアンスに変換可能であり、PP を除く 4 種のプラスチックにおいて 5 時間程度の DMA 測定で 3 年以上にわたるクリープコンプライアンス曲線を作成するこ

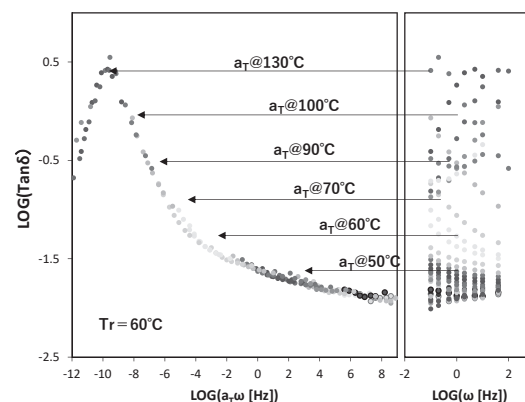


図 2 PS のマスターカーブ (損失正接)

とが可能であった (図 3)。一方で PP に対しては滑らかなマスターカーブを作成することが困難であり、温度-時間換算測が適用できないことが明らかとなった。これは PP が他の 4 種のプラスチックと異なり、結晶性プラスチックであることが要因と考える。さらに 4 種の非晶性プラスチックに関しては DMA によるクリープ予測と温度加速によるクリープ実測で比較を行った。一方 PP に対しては温度加速によるクリープ実測と実際に 8 か月間常温で測定したクリープ試験結果で比較を行った。非晶性プラスチックの場合クリープ予測と実測は妥当な一致を示し、約 3 年のクリープ挙動を予測することが可能であった。結晶性プラスチックの PP は、温度加速によるクリープ実測が 8 か月間の実測値と良い一致を示していることから、クリープ加速試験については結晶性によらず温度-時間換算測が成立することが明らかとなった。

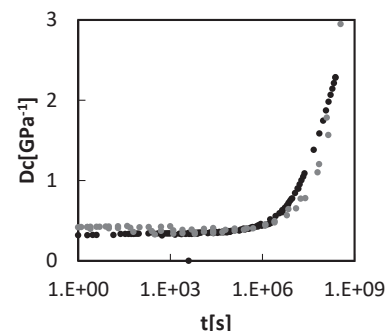


図 3 PS のクリープコンプライアンス D_c (1.E+09 秒は約 30 年)

4. おわりに

本研究ではバージン材のプラスチックにおける長期耐久性を予測することができた。当該技術をプラスチックのマテリアルリサイクルに活用するため、今後は再生プラスチックによるクリープ挙動の予測を行っていく。

(連絡先: hosokawa-masaaki@hro.or.jp)

水を用いたワイン製造残渣の高効率な利用法の開発

(令和 5 年度)

新技術創生研究推進室 ○小川 雄太、松嶋 景一郎
材料技術部 吉田 誠一郎

1. はじめに

ワイン製造残渣は果皮と種子より構成され、ポリフェノール、多糖類などの機能性物質が豊富に含まれており、未利用資源としての潜在能力は非常に高い。これまでに我々は、ワイン製造残渣に含まれる有用成分を食品や化粧品へ利用する需要の高まりを受け、含有する有用成分が異なる果皮と種子の部位ごとに残渣を分離し、それぞれを粉末化する技術を開発している。さらに、粉末化によって抽出効率が向上し、熱水で有機溶媒に匹敵する量のポリフェノールを抽出できることを見出している。

しかし、粉末中には未だ多くの不溶成分が含まれている。この不溶成分を分解、可溶化できれば、高効率に有用成分を得ることができると考えた。

そこで、分解、可溶化する方法として低環境負荷な水を用いた高温高压水処理に着目した。高温高压状態の水は常温の状態とは異なる挙動を示し、様々な反応を進行させることができる。

本課題ではワイン製造残渣中の不溶成分を効率的に可溶化する高温高压水処理条件を見出し、水のみで高効率に有用成分を獲得する技術の基礎を確立した。

2. 高温高压水処理条件の検討

ワイン製造残渣の効率的な可溶化を検討するため、果皮及び種子粉末の熱水抽出後の不溶成分に対する高温高压水処理を行った。その結果、果皮はポリフェノールを効率良く抽出でき、種子はオリゴ糖を選択的に抽出できたことから、果皮はポリフェノール、種子はオリゴ糖に着目して検討を進めた。

初めに処理温度および時間 (140–260 °C、3–60 min) の影響を検討したところ、果皮で 200 °C、3 min (ポリフェノール)、種子で 240 °C、3 min (オリゴ糖) の高温短時間の処理が有効であった。

次に、圧力を飽和蒸気圧から 10 MPa まで調整したところ果皮からのポリフェノールの抽出では飽和蒸気圧に近い圧力 (200 °C、約 1.6 MPa) で抽出効率の向上がみられ、種子からのオリゴ糖の抽出では特に圧力の影響を受けなかった。

最後に、一度に処理できる量を把握するため、原料投入量の検討を行った。抽出効率を低下させずに原料を多く投入できる条件は果皮で 2.4 wt%、種子で 4.8 wt%であった。

3. 多段プロセスの検討

ワイン製造残渣の果皮及び種子の中には低分子のポリフェノールが多く含まれている。これらは高温高压水処理により迅速に分解してしまうため、多段プロセスによる抽出の効率化を行った。果皮及び種子粉末それぞれに対して、80 °C 熱水で一段目の分離、抽出を行い、前述の高温高压水処理条件で二段目の分離、抽出を行った。その結果、果皮では多段プロセスにすることで倍以上の有用成分を獲得できることを見出した。また、種子では 80 °C 熱水でポリフェノールを選択的に抽出し、二段目の高温高压水処理でオリゴ糖を選択的に獲得できることを見出した (図 1)。

①ワイン残渣の抽出フロー



②抽出液に含まれる成分

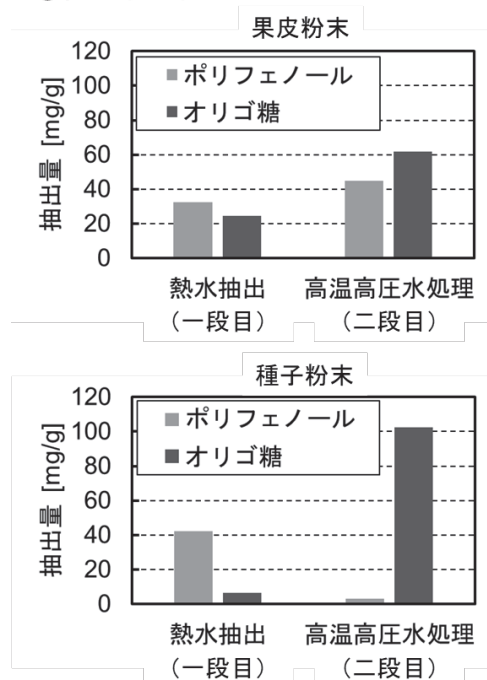


図 1 ワイン製造残渣の段階的な抽出

4. おわりに

ワイン製造残渣中の不溶成分に対して高温高压水を用いて可溶化し、有用物質であるポリフェノール及びオリゴ糖を効率良く得るプロセスを検討した。その結果、不溶成分の可溶化条件を確立し、有用物質を効率良く抽出可能な多段プロセスを開発した。

(連絡先: ogawa-yuta@hro.or.jp)

深共晶溶媒の構造設計による効率的な化学プロセス開発

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）

1. はじめに

深共晶溶媒（Deep Eutectic Solvent, DES）とは、水素結合の受容体・供与体として働く複数の物質を、加熱混合して得られる溶媒であり、糖や有機酸などからも調製可能な、次世代の環境調和型溶媒である（図1）。DESは、原料の組成を設計することで、物理化学的特性（極性、酸性度など）を制御できるため、種々の化学プロセス分野における応用が期待される。一方、その特性を制御するための設計指針は十分に体系化されていない。

そこで本研究では、天然物からの疎水性物質の抽出、および糖類の変換反応をモデルプロセスとして、DESの物理化学的な特性がそれらに与える影響を系統的に評価した。

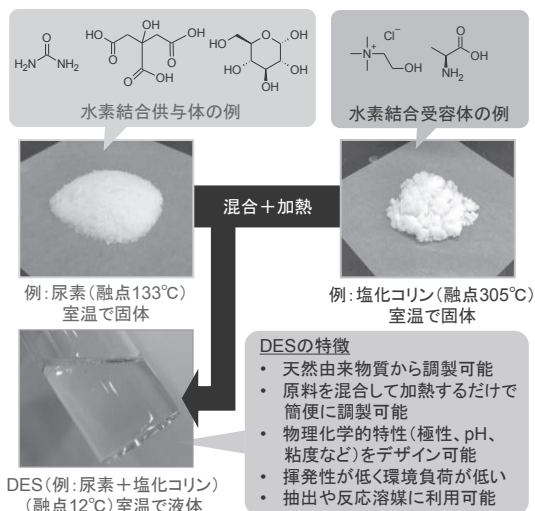


図1 DESの概要

2. DESによるニンジンからのβ-カロテン抽出

抽出では、ニンジンに含まれる疎水性物質で、抗酸化性を示すβ-カロテンの抽出をモデルとし、溶媒の極性が抽出効率に与える影響を調査した。凍結乾燥したニンジン粉末を粉砕し、1mm以下とした粉末0.5gを溶媒10gに加え、25℃で1hかくはんすることで抽出を実施した。

疎水性物質であるβ-カロテンは水に溶けにくいので、効率的に抽出するためには、溶媒の極性を制御することが重要と考えられる。そこで、塩化コリン（ChCl）とグリセリン（Gly）からなる親水性のDES（ChCl/Gly）およびメントール（Men）とラウリン酸（LauA）からなる疎水性DES（Men/LauA）を調製し、抽出能を比較した。その結果、疎水性のMen/LauAを用いることで、エタノールには及ばないものの、β-カロテンを比較的

材料技術部

○吉田 誠一郎、近藤 永樹

新技術創生研究推進室

松嶋 景一郎、小川 雄太

良好に抽出することができた（図2(a)）。この結果から、DESの極性を適切に制御することで、効率的にβ-カロテンを抽出できることが明らかとなった。

3. DESによるフルクトースのHMFへの変換

反応では、糖類のフルクトース（Fru）から、燃料やプラスチックの原料となる5-ヒドロキシメチルフルフルール（HMF）への変換をモデルとし、DESを構成する成分の酸性度の影響を調査した。溶媒3gにFru 0.3gを加え、80℃でかくはんすることで反応を実施した。

FruからのHMF合成の結果を図2(b)に示した。ChClと乳酸（LA）からなるDES（ChCl/LA）中でFruを反応させたところ、90%の高収率でHMFが得られた。一方、乳酸水溶液中ではほとんどHMFは生成しなかったことから、DESがFruからのHMF合成において、優れた反応場であることを実証することができた。また、比較のため酸性度の異なる成分を含むDESを用いて同様の反応を実施した結果、酸性度が小さい場合は反応が起こらず、酸性度が大きい場合はHMFの分解により副生成物が生じてしまう（詳細は発表で解説する）。よって、FruからHMFを合成するためには、DESを構成する成分の酸性度を適切に制御する必要があることが明らかとなった。

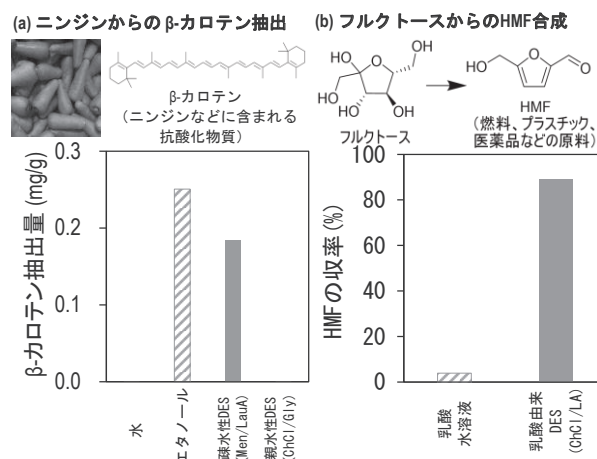


図2 DESによる(a)抽出と(b)反応の結果

4. まとめ

DESを用いた抽出、反応のモデル実験の結果、疎水性物質の抽出ではDESの極性が、糖の変換反応ではDESの構成成分の酸性度が支配的であることを明らかにした。今後は、他の化学プロセスにおける、DESの適用可能性を引き続き調査していく予定である。

（連絡先：yoshida-seiichiro@hro.or.jp）

UX プロトタイピング手法の開発

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

製品開発において、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アプローチとして、開発初期段階で紙やダンボールなど身近な素材で簡単に素早く作る簡易試作が有効である。

一方、簡易さとスピードを重視する簡易試作を繰り返すだけでは、製品企画案の詳細や制作者の意図を深く理解することや、どのタイミングで次の段階に進むべきか判断に迷うといった課題がみえてきた。

その場合、簡易試作で重要となる箇所の詳細度やリアリティを部分的に高めることや、製品だけでなく使用する環境や人も含めたユースシーンを把握できることが有効と考える。これを可能とするのが UX プロトタイピングである（UX はユーザー体験の意味）。

そこで本研究では、人間中心設計の考え方や簡易試作技術を基に、道内製造業・サービス業の企画担当者や設計担当者など、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について報告する。

2. リアリティをより体感できる拡張簡易試作技術

拡張簡易試作は、身近な素材を用いて簡単に素早く作成した簡易試作に対し、さらに可動部や電子部品などを一部追加することで、リアリティをより体感できる試作技術である。

はじめに、本試作技術に適した電子工作部品として、プログラミングが不要または簡単で部品の接続がしやすい「簡便さ」と、扱える部品が多い「拡張性」の観点から、「LittleBits」と「M5Stack」を選定した。

次に、ケーススタディとして技術指導やデザイン講座の中で拡張簡易試作を実施し、アイデアの検証や深掘り、要求仕様の抽出に有効であることを確認した。

また、ケーススタディの結果をふまえ、電子工作部品を用いて拡張できる体験（UX）を「INPUT(Sense & Action)」と「OUTPUT(Feedback)」に分類し（図 1）、それぞれ最低一つを選択し組み合わせることで体験を



図 1 拡張簡易試作の体験構成

実現できるように、簡易試作を拡張するメニューとして「INPUT」と「OUTPUT」の一覧表を作成した。

3. ユースシーンの簡易可視化技術

ユースシーン簡易可視化は、製品の使用環境やサービスのユースシーン、あるべき姿を、身近な素材を用いて簡単に素早く「空間」「人」「対象物」をミニチュアサイズで作成し、体験の全体像を表現する試作技術である。

拡張簡易試作と同様に、ケーススタディとして技術指導やデザイン講座の中でユースシーン簡易可視化を実施し、既存製品や製品アイデアのユースシーンを他者へ説明する際に有効であることを確認した。

ケーススタディの結果から、検討対象である製品のサイズが大きく原寸の簡易試作が困難でミニチュアサイズで簡易試作した場合、あわせてミニチュアサイズの使用環境（人や空間）を用意すれば、ユースシーンの検討が可能になる。特に、製品と人を対比させて説明する場合に本技術が適しているといえる。

また、過去事例やケーススタディから、ユースシーンを可視化するための構成要素を抽出した（図 2）。可視化対象は 6 つに分類でき、これらの要素を表現することで、試作方法や表現の抽象度が異なっても、アイデアを相手に伝えるという目的を達成できることがわかった。

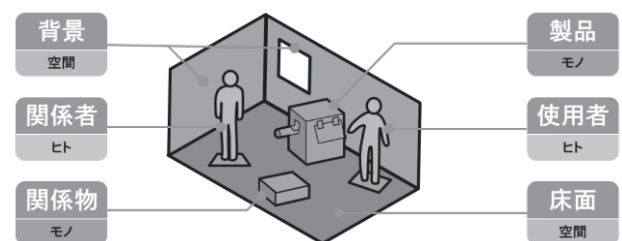


図 2 ユースシーン可視化の構成要素

4. おわりに

引き続きケーススタディを行いながら、拡張簡易試作とユースシーン簡易可視化について、適用ノウハウを蓄積するとともに、表現方法の評価検証を行い、これらを知見としてとりまとめる。

拡張簡易試作とユースシーン簡易可視化のそれぞれについて、UX プロトタイピング手法として汎用的に利用できるように、試作活用ガイドのコンテンツ化やツールキット化を目指す。

（連絡先：takagi-tomohito@hro.or.jp）

技術移転フォーラム2024 ―工業試験場成果発表会―

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（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>

