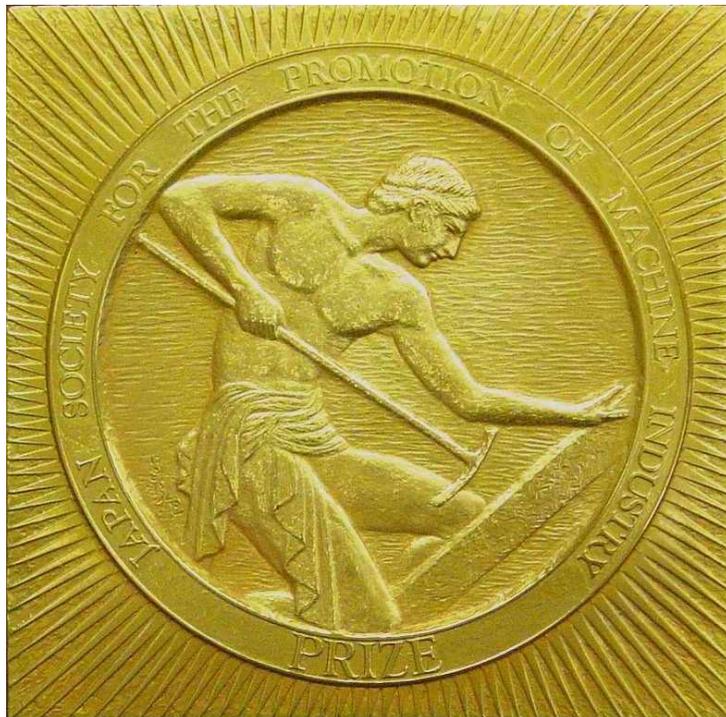


第60回機械振興賞 受賞者業績概要



令和8年2月20日

一般財団法人 機械振興協会



表紙：表紙の図案は、一般財団法人機械振興協会の賞の受賞者に贈る盾のデザインを用いたものです。これは、ギリシャ時代の陶器のデザインをもとに故津上昌平氏（帝展、文展、日展無鑑査）が製作したレリーフです。道具を用いて工作する大工の真剣な表情と進歩を象徴するコロナが作品のモチーフとなっております。

第60回（令和7年度）

機械振興賞受賞者 業績概要

機械振興賞は、経済産業省、中小企業庁、中小企業基盤整備機構、産業技術総合研究所、新エネルギー・産業技術総合開発機構、日本政策投資銀行、日本政策金融公庫、東京中小企業投資育成、名古屋中小企業投資育成、大阪中小企業投資育成、日本商工会議所、全国商工会連合会、全国中小企業団体中央会、発明協会、JKA、全国信用保証協会連合会、全国中小企業振興機関協会、日本技術士会、中小企業診断協会、日本機械工業連合会および日刊工業新聞の後援を受け、機械産業に関わる優秀な研究開発およびその成果の実用化によって機械産業技術の進歩・発展に著しく寄与したと認められる企業・大学・研究機関・支援機関（以下「企業等」という。）および企業等の研究開発または支援担当者表彰することによって、わが国機械産業の振興に役立てようとするものである。

第60回機械振興賞は、機械産業に関わる関係団体、地方公共団体、国公立試験研究機関および学会等からの推薦および自薦による応募の計37件の受賞候補者の業績について、審査委員会における慎重審議の結果、研究開発18件の受賞が決定した。

この業績概要は、受賞者各位がそれぞれの業績について記述したものを紹介するものである。

【研究開発】

〔経済産業大臣賞〕

- ◇ 船用4ストロークアンモニア燃料機関の開発 1
株式会社 I H I 原動機

〔中小企業庁長官賞〕

- ◇ ロスフィルムを熱劣化なく原料化するペレット再生装置の開発 5
株式会社 マルヤス

〔機械振興協会会長賞〕

- ◇ 鋼管の表面欠陥を自動で研削除去するロボットシステム 9
J F E スチール株式会社
- ◇ 二酸化炭素の回収を実現する業界初の高耐久ドライ真空ポンプ 13
神港精機株式会社
- ◇ 硬質線材に対する均一薄膜めっきを可能にしためっき技術（装置及び方法）の開発 17
帝国イオン株式会社、株式会社 岡崎製作所、国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構 那珂フュージョン科学技術研究所
- ◇ 精肉スライス商品づくりの省力化を実現するパック定量スライサー 21
株式会社 なんつね
- ◇ 高速・高強度異材接合法によるリチウムイオンバッテリー用電極端子 25
ファインネクス株式会社、富山県産業技術研究開発センター
- ◇ 小型軽量・高静粛性の高出力ロータリーエンジン搭載PHEVの実用化 29
マツダ株式会社
- ◇ 余剰高さを最小化する国産初の段ボール箱封かん機の開発 33
レンゴー株式会社、プロス株式会社

〔審査委員長特別賞〕

- ◇ 人の触感を数値化する評価装置の開発 37
株式会社 トリニティーラボ、国立大学法人 山形大学、地方独立行政法人 東京都立産業技術研究センター

【支援事業】

〔中小企業基盤整備機構理事長賞〕

- ◇ ものづくり技術力向上支援プログラム 41
株式会社 山形銀行

（原稿作成日 令和8年2月）

【奨励賞】

※奨励賞につきましては、業績概要の掲載はありません。

[研究開発]

- ◇ 気流の動きを可視化する超多点風速分布計測システム

KOA株式会社

- ◇ CFRP異形パイプ成形用簡易自動巻き付け装置

田中技研株式会社

- ◇ 油の漏洩リスクがない環境にやさしい機械を実現する水圧パワーユニット

廣瀬バルブ工業株式会社

- ◇ フレキシブルデバイス向け耐久試験機の開発

ユアサシステム機器株式会社

[支援事業]

- ◇ 公設試験研究機関におけるDX推進支援

群馬県立群馬産業技術センター

- ◇ 中小企業の研究開発のチャレンジを後押しする支援スキーム

公益財団法人 滋賀県産業支援プラザ

- ◇ 企業と協働の研究会等を通じた県内企業の生産性向上への支援活動

栃木県産業技術センター

※ 各業績の題字等は、以下の内容となっています

受賞業績名

受賞団体名 1

受賞団体名 1 代表者名

受賞団体名 2

受賞団体名 2 代表者名

受賞団体名 1 所属 開発担当者名 1

受賞団体名 1 所属 開発担当者名 2

受賞団体名 2 所属 開発担当者名 3

受賞団体名 2 所属 開発担当者名 4

船用4ストロークアンモニア燃料機関の開発

株式会社IHI原動機

代表取締役社長 保坂 知洋

(株)IHI原動機	技術センター アンモニアプロジェクト部	戸田 勝幸
(株)IHI原動機	技術センター アンモニアプロジェクト部エンジン開発設計グループ	増田 裕
(株)IHI原動機	技術センター アンモニアプロジェクト部エンジン開発設計グループ	眞島 豊
(株)IHI原動機	技術センター アンモニアプロジェクト部エンジン開発設計グループ	倉井 智広
(株)IHI	技術開発本部 技術基盤センター エネルギー変換技術部	佐々木 滉 廣瀬 孝行

はじめに

地球温暖化対策として、国際的に温室効果ガス（GHG）排出削減が強く求められている。船用業界では、国際海事機関（IMO）が2030年までにGHG削減率20%以上、2040年までに70%以上、2050年には実質ゼロを目指す目標を掲げている。アンモニアは燃焼時に二酸化炭素（CO₂）を排出しない次世代燃料として期待されており、将来的には世界の船舶の20～40%がアンモニア燃料で運航されるとの予測もある。

本開発は、こうした潮流に対応し、アンモニア燃料を主燃料とする船用4ストローク機関の実用化を目指したものである。なお、本事業はNEDO（国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）のグリーンイノベーション基金事業の助成により実施しており、ここに深く感謝の意を表す。

開発のねらい

アンモニアはCO₂の元となる炭素を含まないため、環境面で有利な燃料として注目されている。一方、レシプロ機関燃料としての実用化には多くの技術的な障壁があった。

発熱量が低く、天然ガスと比べても約1/3程度しかないため多くの燃料供給が必要となる。最小点火エネルギーや自着火温度が高く着火が難しい上、層流燃焼速度が遅いため燃焼が不安定になりやすい（表1）。

表1 重油、天然ガス、アンモニアの物性値

項目	単位	重油	天然ガス	アンモニア
発熱量	MJ/kg	42.7	50.0	18.6
密度（液）	kg/m ³	840	460	670
理論空燃比	kg/kg	14.7	17.4	6.1
最小点火エネルギー	mJ	0.24	0.28	170.00
自着火温度	℃	250	537	630
層流燃焼速度	cm/s	74.0	37.0	7.0
可燃範囲	Vol%	0.7～8.1	4.6～14.6	15.0～28.0
沸点	℃	180.0	-161.5	-33.0
毒性		—	—	劇物、臭気

さらに、毒性や臭気があるため漏洩対策や安全管理が不可欠であり、排ガス中には未燃アンモニアが含まれるため排ガス処理技術の高度化も求められる。加えて、燃焼過程で発生する亜酸化窒素（N₂O）はCO₂の約265倍の温室効果を持つため、GHG削減のためには排出低減技術が不可欠である。

このようにアンモニアには多くの燃焼・取り扱いの課題が存在しており、本開発ではこれらの技術課題の解決を通じて、GHG排出削減への寄与を目指した。

装置の概要

本開発では、既存の LNG デュアルフューエル機関をベースに、アンモニア燃料対応の改良を施した直列 6 気筒機関「6L28ADF」を開発した（図 1）。

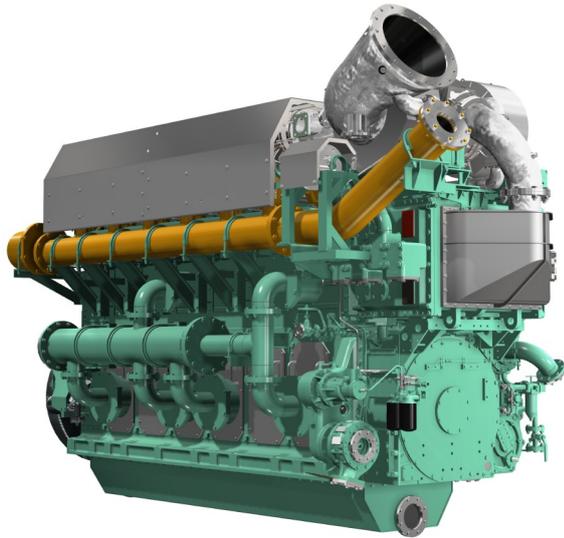


図1 6L28ADF 機関

主要諸元は表 2 の通りである。

表2 船用4ストロークアンモニア燃料機関の主要諸元

型式名	6L28ADF
気筒数	6
ボア径	280mm
ストローク	390mm
定格出力	1618kW
定格回転速度	750min ⁻¹

本機関は、アンモニアガスと A 重油を燃料とするデュアルフューエル仕様で、運転状況に応じてアンモニアモードとディーゼルモードの切り替えが可能である。

マイクロパイロット方式や燃焼室形状の工夫により、安定した着火と燃焼を実現、排気後処理装置により窒素酸化物 (NOx) や N₂O などの有害排出物を低減した。また、耐アンモニア性部材の採用で信

頼性の向上を図っており、環境性能・安全性を両立した次世代船舶用主機関となっている。

技術上の特徴

①燃焼・着火技術

アンモニアガスと少量のパイロット燃料 (A 重油) によるアンモニアモード、および A 重油のみを使用するディーゼルモードの両方で運転可能なデュアルフューエル機関である。

アンモニア燃焼に特有の着火性や燃焼安定性の課題に対しては、燃焼室設計の最適化や圧縮比の向上など、燃焼室内の温度・圧力条件を精密に制御する技術を導入することで、着火性および燃焼の安定性を向上させている。

燃料供給系統では、ガス化したアンモニアを吸気ポートに適切なタイミングで供給する（図 2）ほか、ガス配管径を拡大することで大量の燃料を安定的に供給できる設計とし、圧力変動を従来の LNG デュアルフューエル機関並みに抑制している。

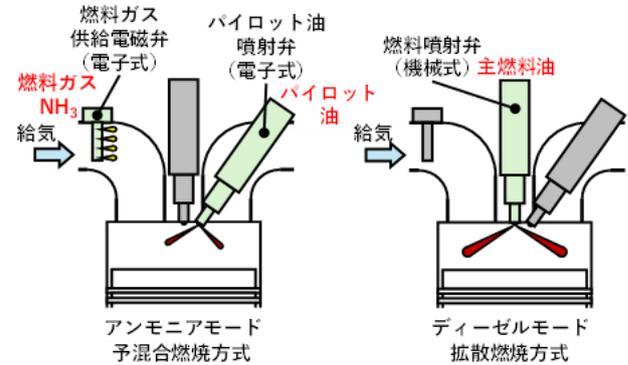


図2 デュアルフューエル機関の燃焼方式

パイロット燃料はシリンダヘッド中央から高圧で噴射され、最適なタイミングと量によって着火を促進し、安定した燃焼を実現している。

機関制御ユニットには燃焼室内圧力センサを装備し、リアルタイムで燃焼状況を監視することで、噴射量やタイミングを最適化し、全負荷域で安定した出力と高い燃焼効率を維持している。

②排気後処理技術

アンモニア燃焼により排気中に含まれる NOx、N₂O、未燃アンモニアなどの有害排出物へ

の対応として、排気後処理技術の高度化を図っている。

排気系統には、アンモニア分解触媒と N_2O 分解触媒を適切に組み合わせて搭載し、排ガス中の有害排出物を効率的に分解・除去する設計とした。これにより、国際的な環境規制への対応や環境負荷の低減が可能となる。

アンモニア分解触媒は、排ガス中の未燃アンモニアを分解し、大気中への排出を抑制するとともに、 N_2O 分解触媒は温室効果ガスである N_2O の排出を低減する役割を担う。

これらの排気後処理技術の導入により、アンモニア燃焼モードにおいても有害排出物の発生が大幅に抑制され、環境性能の向上が図られている。

③安全設計

アンモニアは高い毒性と腐食性を有するため、安全設計には十分な配慮がなされている。燃料供給系統には二重管構造を採用し、二重管の外管と内管との間の空間(アニューラー部)に換気空気を流し、ガス検知器を設置することで、内管からの漏洩を速やかに検知できる設計とした。この構造により、燃料漏洩リスクを最小限に抑え、安全性を確保している。

さらに、クランクケース内を常時負圧に保つ換気システム(オイルミストセパレータ付き換気ファン)を採用し、排出先にも工夫を加えることで、機関内部からのアンモニア漏洩リスクを低減している。クランクケース内からの換気は適切に処理され、周囲環境への影響を最小限に抑える設計である。

腐食対策としては、長期間の運転による部品の劣化を防止するため、機関各部の部材およびシール材質をアンモニア耐性材に変更し、信頼性の向上を図っている。

また、燃料供給圧力や流量は常時監視されており、機関制御システムが異常発生時には警報を発し、迅速な対応を促す設計となっている。

加えて、メンテナンス時の安全性にも配慮し、機関停止後も換気システムを稼働させることでクランクケース内のアンモニア濃度を安全レベ

ルまで低減が可能となっている。

これらの対策により、アンモニア燃料を使用する機関において、運転中およびメンテナンス時の高い安全性を確保している。

実用上の効果

本機関の開発評価では、船舶用推進機関に適用される排ガス試験サイクル(E3モード)において、アンモニアモード時の混焼率が最大95%以上を達成した(図3)。アンモニアガスの着火には一定量のマイクロパイロット燃料が必要となるため、機関出力が低下すると混焼率も低下する傾向が見られるが、主要な負荷領域では90%以上の高い混焼率を安定して維持できることが確認されている。

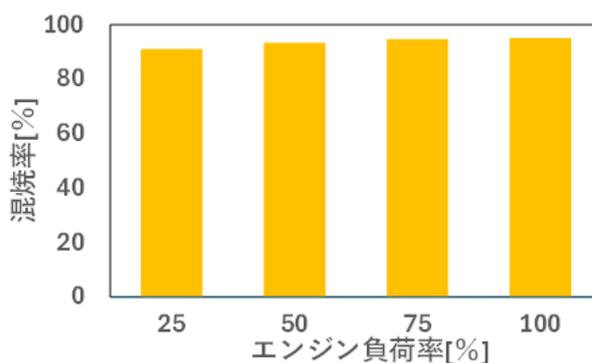


図3 アンモニア燃料の混焼率

また、アンモニア燃焼に伴い発生する N_2O を含めた GHG 削減率は最大90%以上となり、IMO が掲げる 2040 年の GHG 削減目標を十分に達成可能であることが明らかとなった(図4)。

NO_x についても、IMO が定める船舶用機関の NO_x 排出規制(TierIII)をクリアしており、 N_2O や未燃アンモニアについても主要な各負荷で排出量を 25ppm 以下、数 ppm まで低減するなど、環境負荷の大幅な低減を実現している。

加えて、アンモニア燃料を主燃料とする機関として、世界で初めて一般財団法人日本海事協会(NK)の使用承認も取得している。

さらに、今回開発した船用4ストロークアンモニア燃料機関「6L28ADF」を2基搭載したア

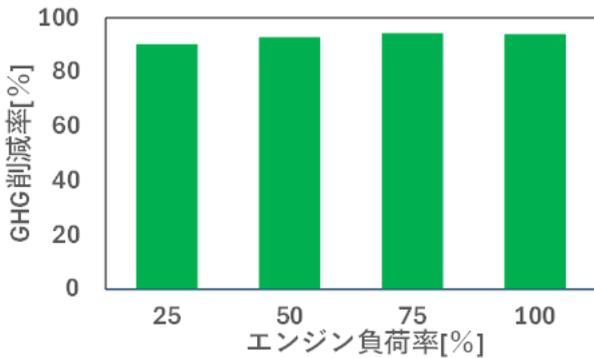


図4 GHG 削減率

ンモニア燃料タグボート「魁（さきがけ）」の実航海における実証試験・解析でも、開発評価と同等の高い混焼率およびGHG削減率が得られた。

これにより、陸上で確認された環境性能や信頼性が、実船運航という実際の運用環境下でも十分に発揮されることが実証されている。

これらの結果は、アンモニアが実用的かつ持続可能な船舶用次世代燃料として、現実的な選択肢となり得ることを示している。

加えて、これらの成果は海運業界におけるGHG排出削減に大きく貢献するだけでなく、港湾施設や燃料供給インフラ整備の促進にも寄与し、海事分野全体のエネルギー転換を加速させる波及効果が期待される。

知的財産権の状況

本開発品の装置に関する特許登録は下記の通りである。

①日本国特許第7394270号

名称:レシプロエンジンシステム、レシプロエンジンの運転方法

概要:レシプロエンジンシステム、レシプロエンジンの運転方法に関する。

②日本国特許第7649433号

名称:レシプロエンジン

概要:レシプロエンジンに関する。

他、国内特許6件、外国出願4件を出願した。

むすび

当社は、海事クラスターのGHG削減に対応すべく、世界初となる船用4ストロークアンモニア燃料機関を開発し、以下の成果を得た。

(1)船用アンモニア機関「6L28ADF」においてNKの使用承認を取得するとともに、アンモニアモードでIMO NOxのTierIII規制をクリアした。

(2)アンモニア燃料における最大混焼率は95%以上を達成し、その際のGHG削減率は最大で90%以上となった。これにより、IMOが目標とする2040年のGHG削減率70%以上を十分に達成可能であることを実証した。加えて、本技術は2030年までにゼロエミッション燃料の使用割合5~10%およびCO₂排出量40%削減(2008年比)という中間目標に対しても、実現性の高い技術的選択肢を提供するものである。

(3)世界初となる商業用アンモニア燃料船の実船における実証試験を成功裏に完了した。

今後は、アンモニア燃料タグボートに搭載した機関の商用運航を通じて得られる技術課題の改善に努めるとともに、本開発によって確立されたアンモニア燃料機関技術は、船舶用途のみならず、陸用分散型発電システムへの展開も可能であり、再生可能エネルギー由来のグリーンアンモニアを燃料とすることで、カーボンニュートラルな発電ソリューションの提供にもつながる。災害時の非常用電源や、離島などエネルギー供給が課題となる地域での活用も期待される。

本開発は、海事分野の枠を超えて、内燃機関の燃料転換による地球温暖化対策の推進や、持続可能な社会の実現に向けた技術的基盤の構築に大きく寄与するものである。今後は、得られた知見や運用実績を活かし、さらなる技術革新と社会実装の深化に努めていく。また、アンモニア燃料機関技術の社会実装を通じて、地球規模でのGHG排出削減とエネルギー転換を牽引し、日本の海事産業およびエネルギー分野の国際競争力強化に貢献していく所存である。

ロスフィルムを熱劣化なく原料化する ペレット再生装置の開発

株式会社 マルヤス

代表取締役 野村 俊夫

(株)マルヤス 専務取締役	野村 まりん
(株)マルヤス 統括本部長	曾根 浩二
(株)マルヤス 技術部 チームリーダー	半田 英二

はじめに

プラスチックフィルム・シートの製造現場では、生産工程上必ず「耳ロス」と呼ばれる端材が発生し、その量は生産量の5～10%に及ぶ（図1）。

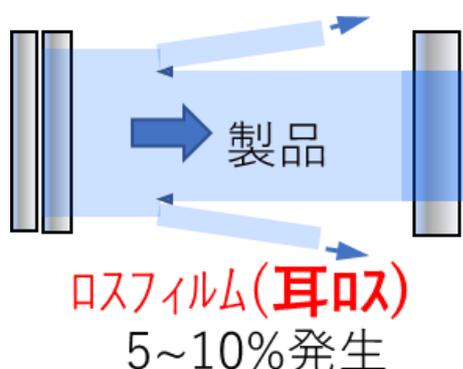


図1 ロスフィルム(耳ロス)の発生

耳ロスは従来、廃棄処理または溶融型リペレッターによる再生が一般的であったが、廃棄はコストとCO₂排出に問題があり、溶融再生は熱劣化や異物混入によって高品質な再生材を得ることが難しく、フィルム製造工程に悪影響を及ぼすリスクがあった。

特に10～20 μ mの薄肉フィルムでは、わずかな黒点や黄変でも品質に影響するため、再生材には高い純度と品質が求められる。近年は原料

循環や脱炭素の観点から、耳ロスを発生源で高品質に再生し、そのまま製造ラインへ戻したいというニーズが高まっていた。

こうした背景から、当社は耳ロスを非加熱で再生し、バージン原料（新品の樹脂材料）と同等品質で循環利用できる技術開発に取り組んだ。

開発のねらい

耳ロスを製造ラインへ戻すためには、再生ペレットに求められる「純度」「混合性」を確保するとともに、再生工程そのものを生産工程に組み込む「インライン化」を実現する必要がある。しかし、従来の再生方式では、溶融押出法は熱劣化が避けられず、圧縮法や粉碎法ではペレット形状が不均一となるため、バージン原料と混合した際に分離しやすいという課題があった。また、製造現場で深刻化する人手不足の観点から、耳ロスの発生から再生、原料投入までを連続して行える仕組みが求められていた。

そこで、当社は非加熱で純度を保ちながら、通常ペレットと同等の形状と密度を実現できる再生方式として「ねじり圧縮法」に着目した。フィルムをねじり・延伸・圧縮する複合工程を組み合わせることで、従来両立が困難であった純度と混合性の両方を満足し、インライン運転にも適した再生原料の製造方法の確立を目指した。

装置の概要

本装置は、耳ロスを非加熱で高純度に再生する「ecoペレ GP-2」（図2、以下 GP2 と記載）と、難素材に対応するためにヒーターユニット機構を備えた「ecoペレ GP-3」（図3、以下 GP3 と記載）の2種類で構成される。



図2 ecoペレGP-2



図3 ecoペレGP-3

本装置を構成する主要な要素技術は、以下のとおりである。

- ①非加熱再生方式(ねじり圧縮法)
- ②高回転下で圧縮力を維持するカウンターウエイト機構
- ③難素材対応のヒーターユニット機構(GP3 に搭載)

これらの技術により、多種多様なロスフィルムを対象として、高品質な再生ペレットの安定製造を実現している。

技術上の特徴

本装置の技術上の特徴は、耳ロスを非加熱で高純度のまま再生しつつ、バージン原料と同等形状のペレットを安定して得るために構築した独自の再生プロセスにある。主要な特徴を以下に示す。

1. 非加熱再生方式(ねじり圧縮法)による高純度・高混合性の実現

ねじり圧縮法は、フィルム状の耳ロスを連続的に処理し、バージン原料と同等の形状と密度を持つペレットに成形するための独自方式である。本方式は、①ねじり、②延伸、③圧縮、④カットの4工程で構成される（図4）。

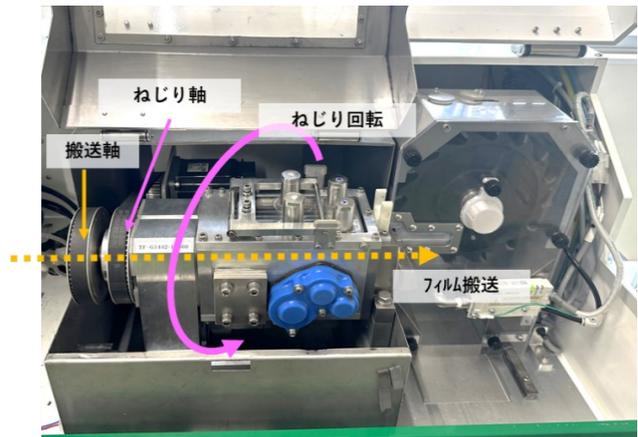


図4 ねじり圧縮機構+カッター機構

①ねじり工程

複数のフィルムを、雑巾を絞るようにねじりながら円筒状の紐状にまとめる工程である。ねじることによってフィルム同士が密着し、後工程の延伸・圧縮処理を安定して行える形状に整えられる。また、材料に与えられる“ねじり”は最終的なペレット形状にも影響し、丸みを帯びた粒状に仕上がるため、バージン原料との混合性向上にも寄与する。

②延伸工程

速度差を持つ二つのピンチローラーによって紐状の材料を強制的に引き延ばす工程である。引き延ばされることで材料の断面積が縮小し、より締まった状態に整えられる。この締めりによって

後工程での固着が安定し、最終的に密度が高く形状が揃ったペレットを得ることができる(図5)。

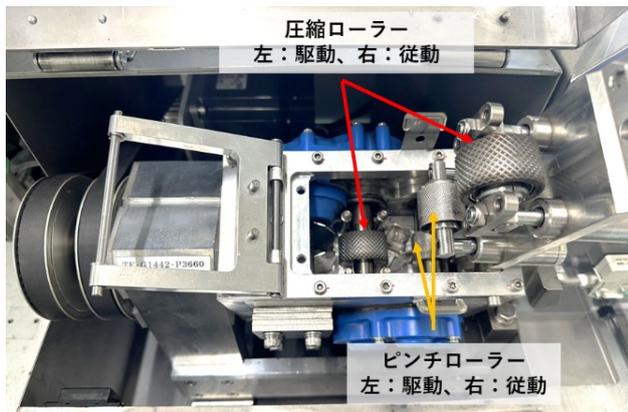


図5 蓋を開けた状態のねじり圧縮機構

③圧縮・固着工程

延伸された材料を凹凸形状の圧縮ローラーで押しつけ、フィルム同士を密着させて一体化する工程である。材料は熱履歴を受けずに固着することが可能なため、黄変や劣化を生じず、品質を保持したまま成形できる。

④カット工程

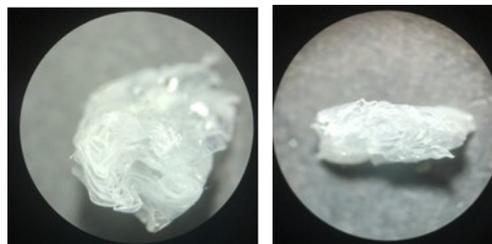
固着したフィルム束を回転刃で切断する工程である。①～③の工程により材料が十分に締まっているため、密度の高いペレットが得られ、丸みを帯びた均一な形状となり、混合時に分離せず、バージン原料との混合性が高い。

2. 高回転下で圧縮力を維持するカウンターウエイト機構

高密度なペレットを得るためには、ねじり工程における回転数を増やすことが有効である。しかし、圧縮ローラーは回転体内部に配置され、バネ力によって材料を押しつける構造であるため、回転数が上がると遠心力がバネの押圧方向とは逆向きに働き、ローラーを外側へ引き離そうとする。その結果、押圧力が低下し、十分な固着が得られなくなるという問題が生じる。つまり、「高密度化には回転数を上げたい」が、「回転により圧縮力が失われる」という相反する課題が存在していた。

この問題を解決するため、圧縮部にカウンターウエイト機構を採用した。カウンターウエイト

は、回転によって発生する遠心力を逆に利用して圧縮ローラーへの加圧力として働かせる構造である。これにより、回転数が増加しても圧縮荷重が低下せず、バネ力を上回る押圧力を得られるため、常に適正な固着状態が維持される(図6)。



左:カウンターウエイトなし、右:カウンターウエイトあり

図6 カウンターウエイトの効果

その結果、回転数増加による高密度化と圧縮力低下防止を両立できるようになり、常に適正な固着状態を保ちながら、密度と品質の安定したペレットを製造可能となった。

3. 難素材対応のヒーターユニット機構

PET、フッ素樹脂、多層フィルム、不織布などの高性能・特殊素材は、非加熱方式のみでは固着が得られず、GP2に搭載された従来のねじり圧縮法だけでは再生が困難であった。GP3では、これらの素材を溶融させることなく芯部まで適切に軟化させる熱制御が求められた。

本機構は、フィルムの進行方向に沿って温風を吹き付け、材料内部まで熱を通すヒーター管路と、加熱されたフィルムを押し広げて厚みを均一化する圧延ローラーの二段構成である。

遠赤外線のような表面加熱では軟化しにくい素材でも、熱風が内部へ浸透することでフィルム全体が均一に軟化し、後工程のねじり・延伸・圧縮が安定して行える(図7)。

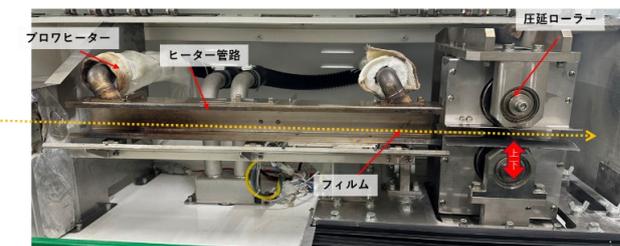


図7 ヒーターユニット

また、限られた装置寸法の中で必要な熱量を確実に伝えるため、圧延ローラーには加熱ムラを抑えつつ効率よく熱を伝える設計が施されている。軟化直後にねじりを与えることで、短い処理距離でも芯部まで伝熱した状態のまま後段へ送り出せる点も特徴である（図8）。



図8 圧延ローラーとフィルム

実用上の効果

本装置は、耳ロスを再生したペレットをそのまま押出機へ供給できるインライン運転を実現する。これにより、耳ロスの回収・保管・運搬といった付帯作業が不要となり、省力化・省人化を実現する。再生材投入時の安定性が向上することで押出機の計量・供給が安定し、生産ライン全体の稼働率向上と管理負荷の低減にも繋がる。再生材を安定的に循環供給できるため、新規原料の使用量を削減でき、原料費および運用コストの抑制に直接的な効果をもたらす。

環境面では、耳ロスを焼却処分せず再生・循環利用することで、焼却由来のCO₂排出量を直接削減できると共に、再生材の利用によりバージン原料の製造に伴うCO₂排出の抑制にも繋がる。押出量 85kg/h、トリミング割合 8%、稼働日 240 日の条件では、焼却回避によって年間約 170t-CO₂、また熔融型再生装置に対し本装置は消費電力が低いため、装置運転によるCO₂排出量を年間約 89t-CO₂削減でき、合計で1ラインあたり年間約 259t-CO₂の削減が見込まれる。

本装置の適用素材が拡大したことにより、従来は再生できず焼却処理等に回されていた高機

能素材についても、熱劣化を生じさせることなく再生材として循環利用できるようになった。その結果、再生可能範囲が大きく広がることで外部処理量を減らすことができ、工場内で再利用できる体制の構築を後押しする。廃棄物削減・CO₂排出抑制・再生材活用率向上を同時に進められる点は、本装置の大きな波及効果である。

知的財産権の状況

本開発品の装置に関する特許登録は下記の通りである。

①日本国特許第 7004373 号

名称:再生樹脂ペレット製造方法とその装置

概要:ロスフィルムの軟化温度で予備加熱する機構

②日本国特許第 7670352 号

名称:撚り紐製造装置および再生ペレット製造装置

概要:生産性を高めるために回転圧縮部の回転速度を上げて品質劣化の問題が生じることのない再生ペレット製造装置

むすび

本装置は耳ロスの発生源で再生を行うことにより、材料ロスの削減、再生材活用による原料使用量の最適化、ならびにCO₂排出量の抑制に寄与する再資源化技術である。

国内では 2023 年に約 215 万トンのプラスチックフィルム・シートが生産され、製造工程上必ず発生する耳ロスは一般に 5～10%である。これらをより多く再生材として循環させていくことが今後の重要な課題であり、本装置はその解決策となることを目指して開発した。

本装置で採用した方式や要素技術は、耳ロス再生という特定用途に対して最適化されたものであるが、今後も処理対象素材や運転条件の多様化に応じた技術改良を継続し、より持続性の高い材料循環の実現に貢献していきたい。

鋼管の表面欠陥を自動で研削除去する ロボットシステム

J F E スチール株式会社

代表取締役社長 広瀬 政之

J F E スチール(株) スチール研究所	サイバーフィジカルシステム研究開発部	渡邊 拓
J F E スチール(株) スチール研究所	サイバーフィジカルシステム研究開発部	山下 浩二
J F E スチール(株) 知多製造所	製造部	角谷 拓馬
J F E スチール(株) DX戦略本部	デジタル化推進部	小菅 駿之介
J F E スチール(株) 知多製造所	企画部	中村 紘大

はじめに

風力発電などと並んで、環境への影響が小さい天然ガスは低炭素社会の実現に貢献し、今後も需要が高まる見込みである。天然ガス田には硫化水素などの腐食成分が多く含まれており、高深度からの採取を行うため高圧にさらされる。このような環境で使用される鋼管には、多くの合金成分が含まれ、高強度かつ高い耐腐食性能が要求される。

このガス田用鋼管は強度を高めるため、継ぎ目のない「シームレス鋼管」が求められる。シームレス鋼管は、材料に非常に大きな塑性変形を与えて製造するため、外表面にさまざまな要因で欠陥が発生することがある。

欠陥が発生した場合、作業者がグラインダーを使用し、欠陥を滑らかに削り取ることで除去している。この欠陥除去作業は、グラインダーを長時間使用するため過酷な 3K 作業となっており、作業者の確保が難しくなっている。

そこで、J F E スチール(株)では欠陥除去作業を自動化するためのロボットシステムを開発した(図1)。このシステムは、動作柔軟性が高い6軸アームロボットに圧力制御装置とグラインダーを持たせ、3Dセンサにより鋼管表面の欠

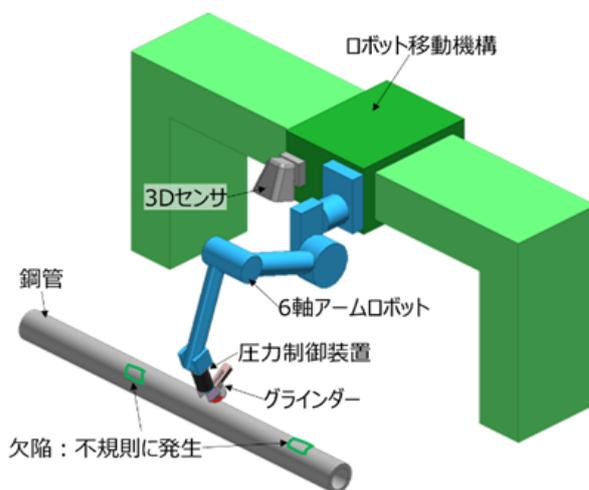


図1 鋼管自動研削ロボットシステムの概要

陥形状を認識し、自動でロボットが研削する動作を生成する「ティーチングレス研削」システムとなっている。これにより、作業者を3K作業から解放し、エンゲージメントを高めるとともに、労働生産性の向上を達成した。

開発のねらい

鋼管を含む鉄鋼製品の表面欠陥を除去する技術について調査・検討した(表1)。

門型フレームにグラインダーを搭載した装置では、鋼管のような曲面に対応できないという課題があり、全長を研削する装置や欠陥検査装

表1 自動研削に関する従来技術との比較

方式	全周・全長 研削装置	門型 加工装置	検査装置 + 研削装置	本装置
	加工時間	○ 欠陥部のみで短い	× 不要部加工するため長い	× 全長検査+研削中は検査停止で長い
曲面対応	× 平面のみ	○ 可能	○ 可能	○ 柔軟なロボで可能

置と一体化した装置では、加工時間が長いという課題がある。

鋼管表面に発生する欠陥は、不規則な位置に多様な形態で発生する。また、対象となる鋼管はφ63～180と非常に多種多様な径を持つ。このような条件下で欠陥を高速に研削除去するためには、従来技術によらない新たな技術の開発が必要であることが明らかになった。

装置の概要

除去対象である鋼管表面の欠陥部を含めた形状を測定可能な3Dセンサと、測定された3D形状データに基づいて研削動作を自動生成し、人によるティーチングなしでロボットによる自動加工を行う「ティーチングレス方式」のコンセプトを提案した(図2)。

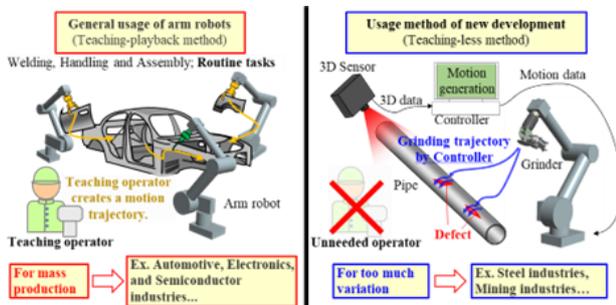


図2 ティーチングレス研削方式

© 2025日本鉄鋼協会¹⁾

「ティーチングレス方式」は、一般的なロボットの使用方法である専門の作業者が事前に設定

した動作を繰り返す「ティーチングプレイバック方式」とは異なり、ロボット、グラインダー、3次元センサに加え、3次元データを処理する制御装置や研削圧力を一定に保つ圧力制御装置を備えている。鉄鋼業界に多く存在する、手入りに代表される眼前の情報のみにより、自動でロボットが動作することが必要な作業に適している。

技術上の特徴

(1) 欠陥位置・形状の認識:

現状の人手作業では、非破壊検査ラインで欠陥の有無を検査し、欠陥が検出された箇所には「マーキング」を施し、その状態でグラインダーラインに送り、作業者はマーキングを目安に研削除去を行っている。ロボットによる自動化においても、この作業フローを踏襲し、欠陥マーキングを自動検出する技術を開発した。

まず、ロボット前に搬送された鋼管を3Dセンサで測定し、搬送装置など不要部分を含んだ3Dデータを取得する。この点群から位置閾値を利用して不要部分を削除する3D点群処理を行い、鋼管のみの3Dデータを得る。次に、鋼管3DデータのRGB情報を用いて鋼管の2D画像を作成し、色抽出や各種フィルタリングなどの2D画像処理

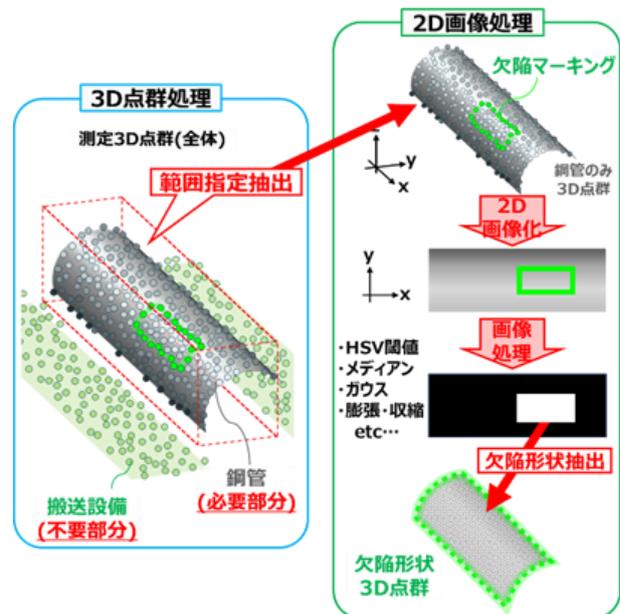


図3 欠陥3D形状の抽出

を適用することで欠陥マーキングを選別する。この選別されたマーキング位置に存在する 3D データを抽出することで、欠陥部の 3D 点群データを自動で取得することが可能となる (図 3)。

(2) 研削加工軌跡の自動生成:

前項で抽出した欠陥マーキング形状に倣って加工点を配置する。この加工点に対し、砥石の接触姿勢(角度)と速度・圧力の情報を設定することで、研削軌跡が得られる。この研削軌跡は、事前に設定した条件と測定された現物マーキングに基づいて自動生成される。この研削軌跡データをロボットへ伝送することで、ティーチングレス研削が可能となる (図 4)。

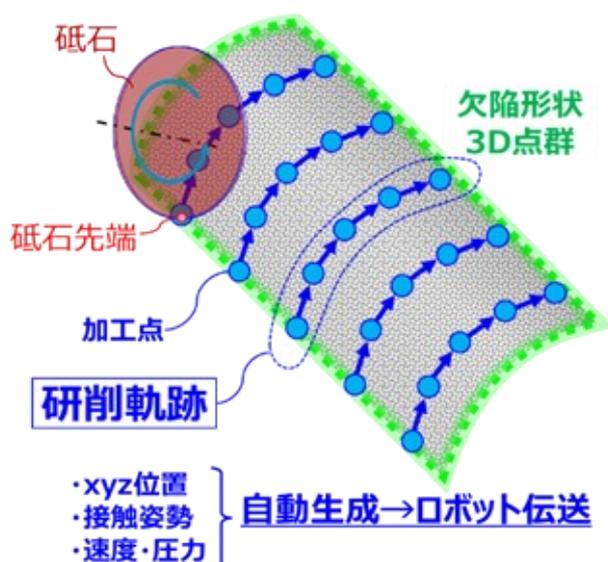


図4 研削加工軌跡の自動生成

(3) 研削深さコントロール・高品質な研削面:

ロボットによる研削においても、熟練作業者と同等の研削深さのコントロールと高品質な仕上げが求められるため、圧力制御装置と研削速度制御を導入した。

圧力制御装置は、ロボットアーム先端とグラインダーの間に備え付けられ、空気圧を用いて鋼管とグラインダーの接触圧力を一定に制御する装置となっている。この装置を用いてロボット研削実験を行い、研削圧力と研削深さの関係を整理した (図 5)。

実験結果から、研削圧力と深さは一次関数と

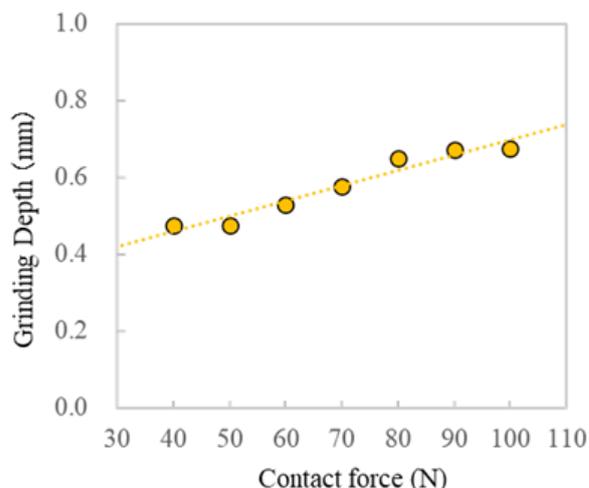


図5 研削圧力と研削深さの関係

© 2025日本鉄鋼協会¹⁾

実験結果から、研削圧力と深さは一次関数として近似可能であることが確認できたため、研削中の圧力を適切に設定することで、目標とする研削深さを達成することが可能となった。

研削速度を一定にして研削を行うと、研削面と未研削部の境界で段差が発生する。この段差は使用中の割れの起点となり得るため、品質不良と判定される。熟練作業者は研削中の状況を細かくフィードバックしながら、段差ができない滑らかな面を得るように研削するが、ロボット研削でそのような細やかなフィードバックを行うことは困難である。

そこで、開発したシステムでは、研削時間が長いほどより深く削れるという Preston の法則を応用し、研削中の速度を連続的に変更するよう制御することで、研削境界部の段差の発生を抑制し、高品質な研削面を得ることが可能となった (図 6)。

実用上の効果

本装置は、JFEスチール(株)知多製造所の小径シームレス管工場に導入され、2025年5月から商業生産を開始している。

本装置は、従来の人手によるグラインダー研削除去と比較して、より大きな研削圧力をかけ

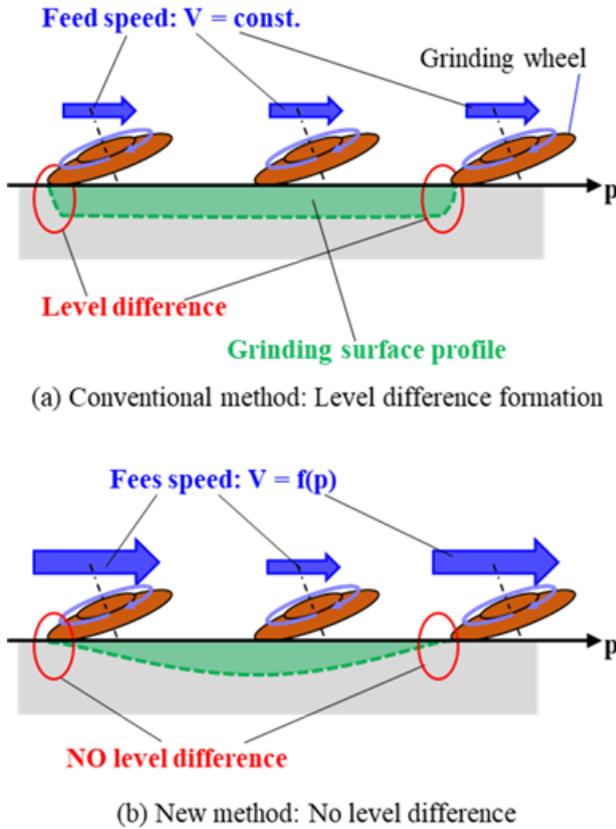


図6 速度制御による高品質な研削面形状

© 2025日本鉄鋼協会¹⁾

ることが可能であり、休憩時間も必要ないため、作業の生産性が向上した。具体的には、処理能率が約 2.5 倍となり、作業にかかる時間のばらつきも低減した。

作業処理能率向上以外の効果として、従来の手作業による研削では、作業者ごとに研削技能に差があり、熟練するまでに時間を要していた点が改善された。本装置による研削面品質は、ロボット特有の再現性により常に高品質であるため、オペレート教育を受けた者は、その日から熟練作業者と同等の研削面品質で手入れを行うことが可能となった。

また、作業者の体力や技量に依存せずに手入れが可能となったため、従来のグラインダー研削作業が必要な職場では活躍が難しかった女性を登用することが可能となった。さらに、ロボット職場となったことで若年者の定着率が向上し、幅広い層の人材が活躍できるようになった。

知的財産権の状況

本開発品の装置に関する特許登録は下記の通りである。

① 日本国特許第 7248148 号

名称：疵研削システム、疵研削方法、およびこれを用いた鋼製品の製造方法

概要：3次元測定データを活用し、欠陥部のみをロボットで研削除去する技術

② 日本国特許第 7647939 号

名称：研削システム、軌跡生成方法、及び製品の製造方法

概要：研削中の速度可変制御を行うことによる研削面品質の向上

上記の他、国内出願 6 件（うち登録 3 件）、外国出願 7 件（うち登録 4 件）となっている。

むすび

本装置では、3K 作業である「グラインダーによる欠陥除去作業」を、ロボットアームと 3D センサを用いてティーチングレスで研削するシステムを開発し、従来のティーチングベースのシステムでは実現困難であった、多種多様な寸法・形状を持つ欠陥部分のみを選択的に自動で研削除去する技術を実現した。

JFE スチール（株）では、本装置をはじめとする自動化技術を積極的に導入し、3K 作業から作業者を解放し、エンゲージメントを向上させることで、これからも持続可能な企業として社会貢献を進めていく。

引用文献：

1) T. Watanabe, H. Makita, T. Sumiya, K. Yamashita and K. Ishida: Tetsu-to-Hagané, 111(2025), 814 (in Japanese).
https://doi.org/10.2355/tetsutohagane1955.73.4_S251

二酸化炭素の回収を実現する 業界初の高耐久ドライ真空ポンプ

神港精機株式会社

代表取締役社長 北中 隆司

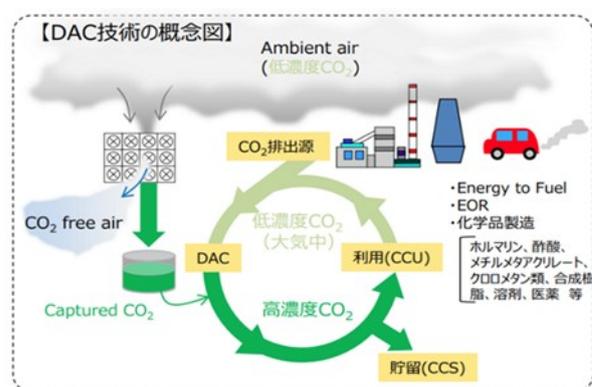
神港精機(株) 規格品事業部 濃野 勝人
 神港精機(株) 規格品事業部 小嶋 一徳
 神港精機(株) 規格品事業部 中西 拓哉
 神港精機(株) 規格品事業部 辻川 浩
 神港精機(株) 規格品事業部 山本 裕治

はじめに

真空を作り出す際に油や水を使用しないドライ真空ポンプは、従来の油回転式や水封式真空ポンプと比較して、廃油や排水が著しく少なく、環境負荷が低いという特長がある。ただし、初期導入コストが高いため、主な市場は半導体や電子部品など付加価値の高い先端産業に限られ、一般産業では耐久性の課題もあり、油や水を嫌う用途や環境負荷低減を目的とする一部の分野に限定されてきた。

こうした状況下、2015年に採択されたパリ協定を契機に、国内外でカーボンニュートラルに向けた取り組みが加速し、二酸化炭素など温室効果ガスの排出削減が重要な社会課題となった。この排出削減は、工場での回収やモビリティの電動化のみでは目標達成が困難である。

そのため、図1に示すように、既に大気中に排出された二酸化炭素を空気から直接分離・回収するDAC (Direct Air Capture : 直接空気回収技術)の実用化と大規模化が注目されている。このDAC装置の重要な構成要素に真空ポンプがあり、耐久性が高く環境負荷の少ない大型ドライ真空ポンプが求められている。



出典：資源エネルギー庁「カーボンサイクル技術事例集」

図1 DAC技術の概念

開発のねらい

真空ポンプが使用されるDAC装置は、低濃度の二酸化炭素を含む大量の空気を触媒に通し、二酸化炭素を吸着・回収する。触媒再生時には、二酸化炭素を蒸気に溶かし、真空ポンプで吸引しながら冷却・凝縮させて高濃度の二酸化炭素を得る。この際、真空ポンプには二酸化炭素とともに大量の蒸気や水分が混入し、負荷増大や機構部への蒸気や水分の流入などで悪影響を及ぼす。また、二酸化炭素が水分に溶けて生成される炭酸によりポンプを腐食させる。これらの課題を解決するため、高耐久性かつ環境負荷の少ない大型ドライ真空ポンプの開発を目指した。

装置の概要

今回開発したドライ真空ポンプを図2に示す。DAC装置への適用に加え、一般産業への展開も視野に入れている。環境負荷の低減や高耐久性を有した大型の不等ピッチスクリーローター、堅牢な機構設計、高いメンテナンス性を備えている。

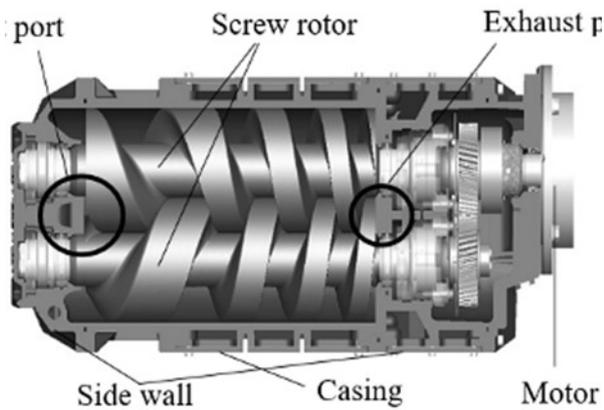


図2 ポンプ本体の構造

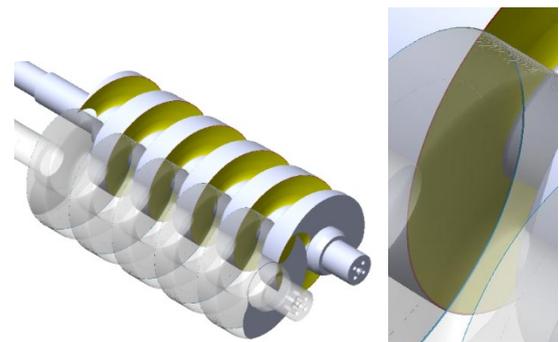
ケーシング(Casing)と側壁(Side wall)で区切られた空間に、左右逆方向に巻いた2本のスクリーローター(Screw rotor)を配置している。ローターは軸受で保持し、その内1本はカップリングを介して電動機(Motor)に繋がる。ローターは歯車により位相しながら僅かな隙間を維持して噛み合いながら回転する。

2本のローターとケーシングで囲まれた容積空間のガスは回転とともに吸気口(Inlet port)から排気口(Exhaust port)へ移動し圧縮される。空間容積はシール部で隔てられガスの逆流を防ぐ仕組みであり、2本のローターが噛み合う箇所が最も漏れやすい。高い性能を発揮するためにはガスの逆流(漏れ)が少ないことが求められ、スクリーローターは非常に高い精度が必要である。その実現には独自技術やノウハウが必要不可欠であり、設計から製造まで全部門が一丸となり技術を擦り合わせる日本的なものづくりにより開発した。

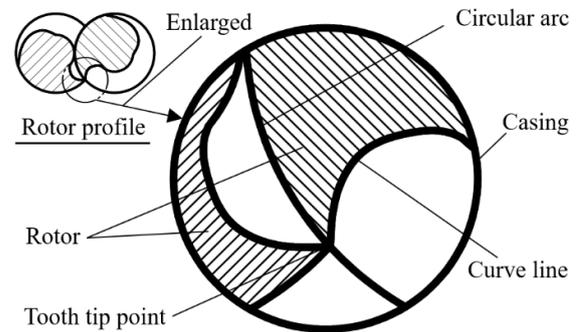
技術上の特徴

① スクリューローター

ポンプ性能を左右するスクリーローターに画期的な工夫を加え、堅牢性と性能を向上させた。図3に従来のスクリーローターのイメージ(上側)と軸方向の直角断面(下側)を示す。



立体イメージ 線シール(赤青部)

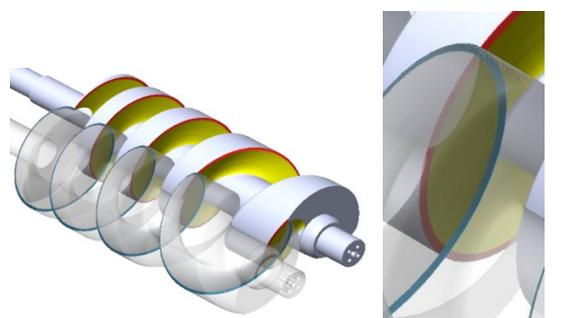


軸直角断面

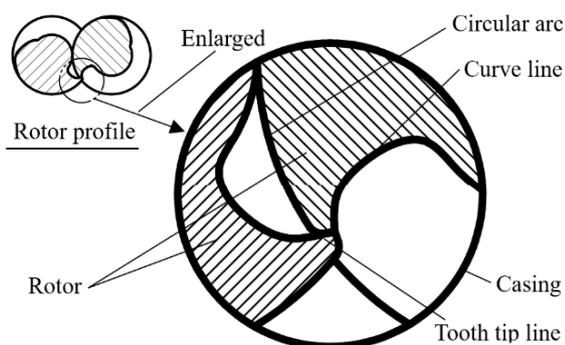
図3 従来のスクリーローター

軸直角断面は円弧(Circular arc)や曲線(Curve line)から構成され、シール部が鋭角なエッジ形状(Tooth tip point)であるため様々な問題があった。断面のエッジは現物の立体になると線となり、線シール(赤青部)とし機能するが、幅が狭いためシール性が低く、ガスの逆流が生じやすい。また、エッジは脆く吸引物や異物による破損や摩耗、腐食により隙間が大きくなり性能が低下しやすい。さらに、僅かな加工誤差や組立誤差で線シールがずれやすく隙間を維持しにくい。

そこで、従来のローターの問題を克服するため、**図4**に新たなスクリーローターのイメージ(上側)と軸方向の直角断面(下側)を示す。



立体イメージ 面シール(赤青部)



軸直角断面

図4 実用化したスクリーローター

軸直角断面のシール部が線(Tooth tip line)であることが特長で、問題となるエッジ形状が存在しない。断面上の線は現物の立体になると面となり、面シール(赤青部)とし機能する。幅が広いいためシール性が高く、従来の問題を克服できる。

さらに、省エネ性を得るため、不等ピッチスクリーローターを実用化した。**図5**に等ピッチと不等ピッチの外観を示す。従来のスクリーローターは等ピッチ(Equal pitch type)で山谷が等間隔であり、空間容積が吸気側から排気側まで同じである。一方、不等ピッチ(Variable pitch type)は山谷が等間隔でなく、徐々に小さくなり空間容積が減少する。初めの空間容積が吸引できるガス容量になりポンプの大小が決まる。

図6にスクリーローターの圧縮工程を示す。不等ピッチは等ピッチに比べ、吸気口側のピッチが大きく、排気口側は同じである。本開発

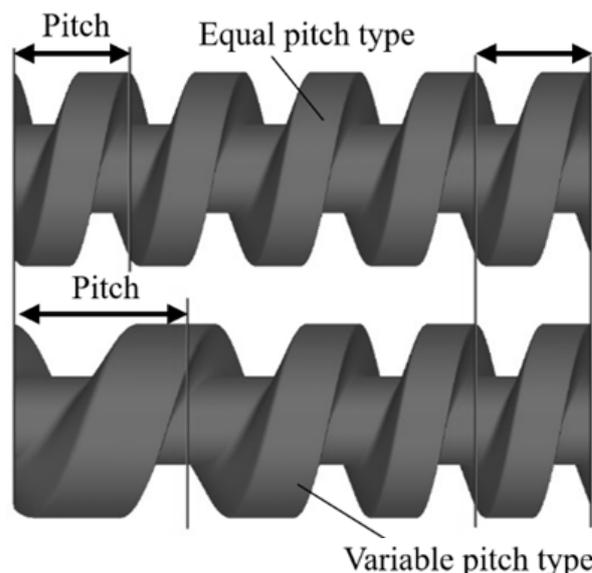


図5 等ピッチと不等ピッチの外観

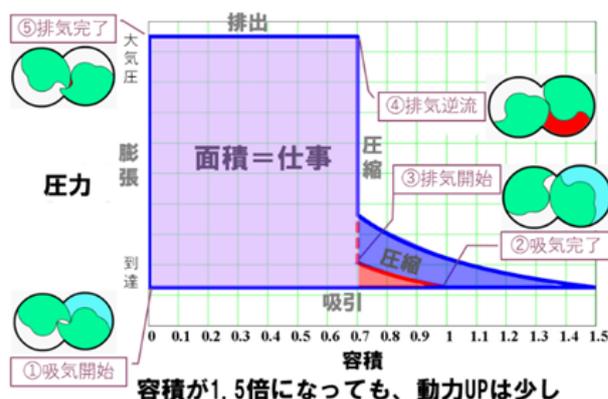


図6 圧縮工程の比較

では約 1.5 倍のガス容積を吸引できるピッチとしたが、容積が等ピッチと同じになるまでの圧縮効率が良く、消費動力は僅かな増加に留まり、高い省エネ性を実現できた。

実用化には高度なものづくりが必要であった。毎分 3,600 回転するスクリーローターは約 350℃まで昇温するため、熱膨張や回転による形状変形・振動で数十μmの隙間を維持することは非常に難しい。この課題を解決するため、設計技術、製造技術、バランス技術、ローターを正確に噛み合わせる組立技術、測定・検査技術を工夫し、全部門が一丸となって技術を擦り合わせ、ノウハウを蓄積しながら試行錯誤することで実現した。

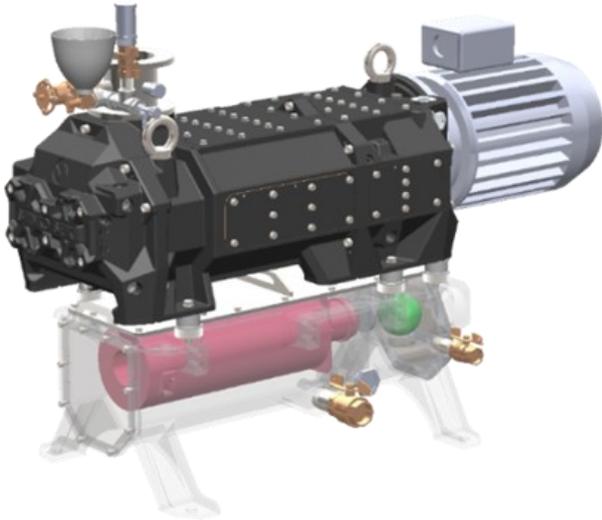


図7 ポンプ全体の構成

② 大量の水分や異物を処理・内部洗浄を実現

図7にポンプ全体の構成を示す。大量の水分や異物を吸引しても、分離回収できるサイレンサーを備え、排気抵抗にならない構造である。さらに、運転中に洗浄液を投入し、スクリーローターや排気経路に堆積した汚れや異物を簡単に洗浄できる。これにより、重負荷用途でも長期間安定的に使用でき、分解の手間を省き、省人力化に貢献する。

③ メンテナンス性

図8に分解洗浄のイメージを示す。ユーザー自身が現地で簡易的に分解できる構造としたことで、洗浄液でも落ちない強固な堆積物を直接洗浄でき、迅速な復旧が可能となった。これにより、重負荷用途でも長期間安定的に使用でき、メーカーでの分解が不要でコスト削減や省人力化に貢献する。



図8 メンテナンス

実用上の効果

① カーボンニュートラルへの貢献

開発したドライ真空ポンプは国内で実証実験中の多くのDAC装置に採用され、実績を積んでいる。これによりDAC装置の長期間安定的な稼働を下支えし、結果として大気中に排出された二酸化炭素を空気から回収することを実現している。また、従来に比べて消費電力を30%削減できる省エネ性があり、機種により14～33t-CO₂/台の排出量を削減できる。

② 他分野への展開

環境分野では、新エネルギーとして注目される水素運搬船の巨大水素タンクの真空断熱用ポンプに適用できる。溶接カスや金属片などの異物や海上の塩分を吸い込む過酷な環境にも耐え、長時間の航海中でもメンテナンス性に優れている。さらに、一般産業にも適用でき、廃油削減やメンテナンス性の向上により、省人化や効率化に貢献できる。

知的財産権の状況

本開発品の装置に関する特許登録は下記の通りである。

① 日本国特許第4068083号

名称：スクリーローター

発明者：西村伸弘

概要：断面設計に関する発明である。

むすび

本開発は、技術とノウハウを擦り合わせる日本的なものづくりによって実現し、社会課題であるDAC装置の実用化や大規模化に貢献した。

結果として二酸化炭素の回収を可能にし、さらに、省エネ性や省人力化を達成している。今後も社会課題の解決を支える真空ポンプの開発を継続し、微力ではあるが社会に寄与したい。

硬質線材に対する均一薄膜めっきを可能にした めっき技術（装置及び方法）の開発

帝国イオン株式会社

代表取締役社長 中村 綾 佑

株式会社 岡崎製作所

代表取締役社長 岡崎 一 英

国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構 那珂フュージョン科学技術研究所
所長 花田 磨砂也

帝国イオン(株) 代表取締役会長	中村 孝 司
帝国イオン(株) 代表取締役社長	中村 綾 佑
帝国イオン(株) 常務	平 紙 昌 彦
帝国イオン(株) 開発課	川 脇 拓 哉
帝国イオン(株) 開発課	北 條 将 史 彦
帝国イオン(株) 製造部	寺 下 光 彦
(株)岡崎製作所 専務取締役	西 川 豪 人
(株)岡崎製作所 ヒータ部門	漁 俊 彦
(国研)量子科学技術研究開発機構 ITERプロジェクト部	石 川 正 男

はじめに

核融合エネルギーは、CO₂を排出しないクリーンで安全なエネルギーであるとともに、燃料を海水から得ることができるため枯渇の懸念がなく、世界のエネルギー問題を解決し得る新たなエネルギーとして注目されている。現在、核融合の実用化に向けては、33カ国が協力して建設を進める国際プロジェクト ITER をはじめ、各国の大学、大企業、中堅企業、さらには多数のスタートアップ企業が開発競争を繰り広げる巨大な技術開発市場が形成されている。

この中でも ITER は核融合開発の中核を担うプロジェクトであり、その成否が今後の核融合エネルギー実現の重要な鍵を握っている。ITER は数億度の超高温プラズマを生成することで核融合反応（燃焼）を発生させ、50万キロワットの核融合エネルギーを生み出すことにより、核

融合エネルギーの実現性を実証することを目的としている。

ITER は真空容器、超伝導コイル、加熱装置など多岐にわたる機器およびシステムで構成されるが、なかでも計測装置は核融合燃焼プラズマの特性を測定し、物理現象の解明に加え、燃焼制御および安全管理を行う極めて重要な役割を担っている。その中で、日本が製作を担当するマイクロフィッションチェンバー計測装置は、ITER における核融合反応時に発生する中性子の総量を計測し、核融合出力を評価する中核的な中性子計測装置である。

同計測装置は高温かつ高放射線環境に設置されるため、ゴムやビニールを用いた通常のケーブルを使用することはできず、無機絶縁物を用いた金属製ケーブル（MI ケーブル（φ6mm 程度））を採用する必要がある。一方で、ITER では超高温プラズマを維持するためにマイクロ波による加熱が不可欠であり、その一部が MI

ケーブルに入射して過熱や損傷を引き起こすことが大きな課題となっていた。

このため、マイクロ波による過熱を低減し得る銅めっきの適用が必要となった。一方で、銅は導電体であるため、めっき厚が大きい場合にはMIケーブルに作用する電磁力を増大させる恐れがある。このことから、MIケーブル表面全長にわたり、精度よく均一な薄膜（ $5\mu\text{m} \pm 1\mu\text{m}$ ）として銅めっきを形成する技術が求められた。

しかしながら、MIケーブルのような高剛性の線材に対して、所定の膜厚精度を満たす均一な薄膜めっきを施す技術は、これまで存在していなかった。

開発のねらい

帝国イオン株式会社は、株式会社岡崎製作所および量子科学技術研究開発機構と共同で、従来技術ではめっきが困難であった硬質線材であるMIケーブルに対し、均一な銅めっきを施すための新規めっき技術の開発に取り組んだ。

一般的なリール to リール方式やバッチ式めっき法では、MIケーブルのような高剛性線材を巻き伸ばし・再巻取することができず、また膜厚の均一化が難しいという課題があった。これに対し、本開発では「MIケーブルを輪巻き形状のままめっき処理する」という着眼のもと、3Dの螺旋状にケーブルを保持しながら回転させる独自構造のめっき装置を考案した。

装置の概要

本件で開発した回転式めっき装置を図1に示す。本装置により、保管・輸送時と同様の輪巻き形状（同一曲率）のままMIケーブルに対して、従来のめっき方法と同等の電気化学的条件でめっきを施すことができ、形状変更が不要となるとともに、めっき槽の小型化も実現した。また、本装置では、MIケーブルを螺旋状に巻く方式を採用できるため、1m程度の短尺から任意の長さの硬質線材まで対応可能である。さらに、回

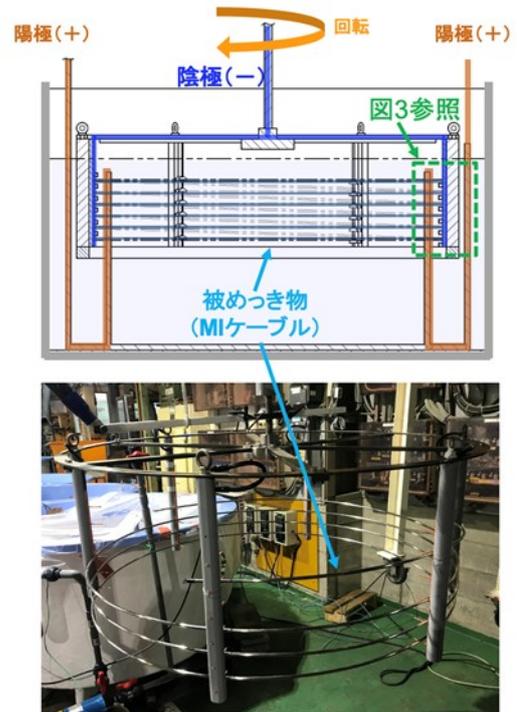


図1 新たに開発した3D回転式めっき装置

転方式、給電方法、極間距離の差異抑制機構、めっき液循環方式などに独自の工夫を施し、これらを組み合わせためっき方法を確立することで、MIケーブルの円周方向および全長にわたり偏りのない均一なめっき皮膜形成に成功した。

この装置により、従来のめっき方法と同等の電気化学的条件を輪巻き状態で再現でき、MIケーブルにダメージを与えることなく、全長にわたり均一なめっきを施すことが可能となった。

技術上の特徴

本開発では、MIケーブルに対して $5\mu\text{m} \pm 1\mu\text{m}$ の均一な銅めっきを実現するため、以下の三つの主要技術課題を解決した。

(1) 電極間距離の偏りを抑制し析出速度を均一化

めっき膜厚の均一性には電極間距離の一定化が不可欠であるが、実際にはケーブルの巻き方（曲率）のわずかなズレにより偏りが生じる。そこで、図2に示す通り、

- ①回転中心位置
- ②陽極位置
- ③回転速度

の3パラメータを同時に変化させる独自機構を導入し、電極間距離を最小偏差に抑えることで全長にわたる均一めっきを可能とした。

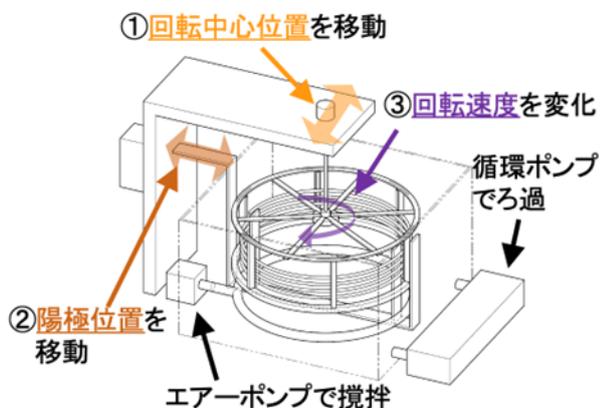


図2 均一めっき実現のために採用した技術

(2)陰極接点条件の最適化

この手法の大きな課題は、MIケーブルと陰極との接点部の膜厚が薄くなることであったが、この問題に対しては、図3に示すように、

- 接点部を点接触化する形状設計
- 接点位置を円周方向に往復移動させる機構
- 接点移動をめっき液中で実施

を導入した。これにより、接点部の膜厚を他部位と同等とし、酸化によるめっき不良も防止した。

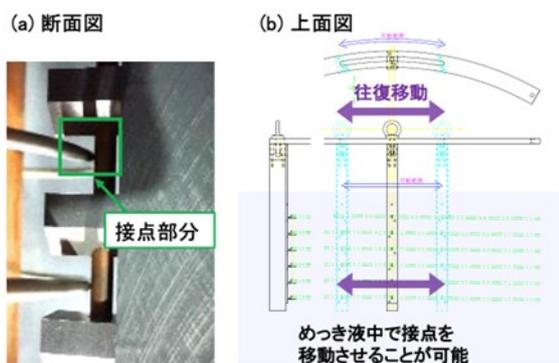


図3 めっき装置の接点条件の最適化

(3)めっき液循環によるめっき品質向上

回転方式および接点移動による攪拌効果に加え、循環ポンプによるろ過により銅イオン濃度を均一化し(図2参照)、従来のバッチ式では困難だった高品質・高均一の皮膜形成を実現した。

薄膜均一めっきの実証結果

新規開発した装置および治具を用い、1mおよ

び15m(実機相当の長さ)のMIケーブルに対して実証試験を実施した。回転数・回転中心位置・陽極位置の3パラメータを変動させながらめっきを行い、循環ポンプを稼働してめっき液の均一化を図った。その時のめっき完了時の写真を図4に、ケーブルのめっき膜厚の測定結果を図5に示す。測定の結果、いずれの測定点でも膜厚 $5\mu\text{m} \pm 1\mu\text{m}$ を達成し、外観品質も欠陥なく良好であることを確認し、ITER要求を満たす高精度めっきの実現に成功した。

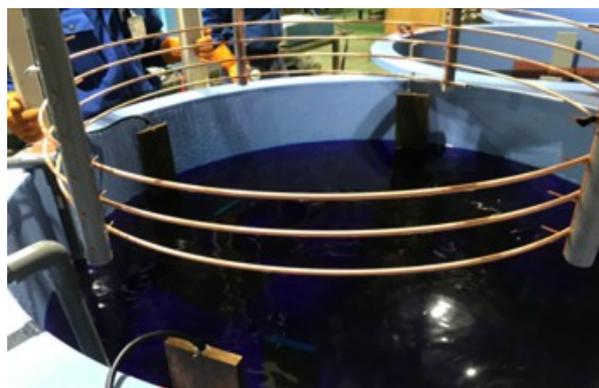


図4 MIケーブルを用いた実証試験時の様子

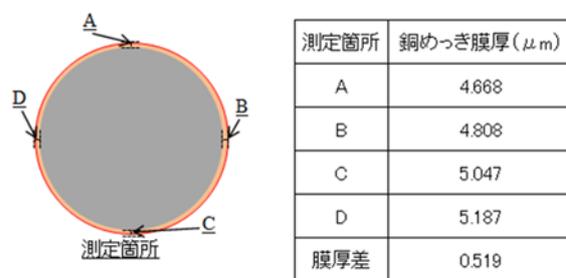


図5 めっき後のMIケーブルの銅めっき膜厚

任意箇所に任意の膜厚めっきを施す技術の開発

上記に加え、ITER用MIケーブルでは、中間部の限定区間に約 $100\mu\text{m}$ の厚膜めっきを施す新たな要求が追加された。これに対しては、新たに、必要箇所のみを選択的にマスキングして再めっきを行う新プロセスを構築し、任意位置に任意厚さの均一めっきを形成できる高度技術を開発した(図6)。この成果により、従来技術では不可能であった部分厚膜めっきを実現し、ITERの追加要求に応える革新的めっき技術を確立した。

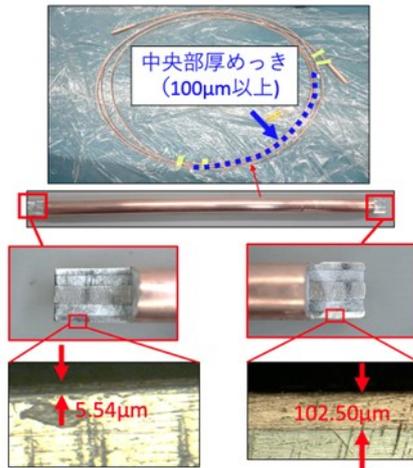


図6 所定箇所に任意厚さ(100μm)の均一めっき

実用上の効果

ITER 計測装置の実機のめっきに本技術を適用

今回開発した均一薄膜めっき技術を適用した MI ケーブルへのめっき技術は、ITER 機構が要求する品質基準（ISO2819 および ITER のガイドライン）を満たすことが認証試験により確認された。これを受け、実機の MI ケーブルに対して、本件で開発した装置を用いてめっきが実施された。めっきが施された MI ケーブルは、他の構成機器とともに、日本の計測装置としては初めて ITER 機構（フランス）への輸送された。到着後の ITER 機構での受入検査では、目視検査、員数確認、識別番号の整合性検査など全てに合格し、めっきの品質が輸送後も維持されていることが確認された。

これにより、日本開発めっき技術の信頼性と国際プロジェクトへの貢献が明確に示された。

実用上の経済性

また、上記のめっき装置を導入することにより、従来のリール to リールめっき法と比較して装置価格を大幅に削減でき、約 660 万円程度での製作が可能となった。また、装置自体が小型で、小スペース（φ1,200mm の槽を 4 つ配置するのみ）で、めっき処理が可能となった。さらに、本装置は 1m から数百 m まで、幅広い長さの線材に対応可能で、繰り返し処理も容易なため、資

源の有効活用、エネルギー消費の低減、コスト削減に寄与し、経済的な優位性を有している。

加えて、本めっき装置は小型化に加え現地組立てを前提とした構造であるため、めっき対象材料の移動が困難な場合でも、現場に装置を持ち込み、その場でめっき処理を実施できるという利点を併せ持っていることも強みである。

知的財産権の状況

本開発に関する特許登録は下記の通りである。

①日本国特許第 6893001 号

名称:めっき装置およびめっき方法

概要:硬質線材に対して高品質な薄膜均一めっきを実施できる技術

②米国特許番号: 12410536

名称: PLANTING APPARATUS, PLANTING METHOD, AND METHOD FOR PRODUCING WIRE ROD HAVING THE SURFACE PLATED

概要:上記技術に任意箇所に任意の膜厚を施す技術を加えたもの

むすび

今回開発しためっき装置は、硬質線材に適用できる世界初の 3D 回転式めっきシステムであり、ITER 用 MI ケーブルに留まらず、医療分野で利用される粒子加速器の導波管など、高精度なめっきが要求される幅広い分野への高品質めっきの実現に大きく寄与する技術である。

また、本件技術が蓄電池の負極材に使用されている電解銅箔に替わる複合銅箔の開発に繋がる、といった新たな波及効果ももたらしている。

今回の開発は、大型国際プロジェクト ITER の技術開発の中で生まれたものだが、中小企業である帝国イオン株式会社と株式会社岡崎製作所が、国立研究開発法人である量子科学技術研究開発機構と一体となって、共同で生み出した開発技術であることも、特筆すべき点である。

精肉スライス商品づくりの省力化を実現する パック定量スライサー

株式会社 なんつね

代表取締役社長 南 常之

(株)なんつね 技術本部 河野 敬明

(株)なんつね 技術本部 土門 晋

はじめに

弊社は世界初の薄切り肉用生肉切断機を製造・販売して以来、一貫して食肉加工を中心とした食品加工業者と価値共創を行ってきた。1925年の創業以来 100周年を迎えた現在も、薄切り肉用生肉切断機「ミートスライサー」は弊社の主力製品であり、様々な進化を重ねている。

同製品で最も一般的な方式は、回転丸刃に対して原料をスライドさせてスライスし、往復運動によって一枚ずつ排出されたものを受け取り、トレーに盛り付けるものであり、現在も精肉店・飲食店・スーパーマーケット（以下、SM）のインストア加工などで広く利用されている。

一方、SM業界では1980年代以降、集約生産による生産性向上、人件費削減と製品の均一化を目的としてプロセスセンター（以下、PC）化が進展した。これに応じ、弊社は1984年に高速スライサー「NS-300 ミートロボ」を発売した。同機は自公転方式による高速かつ連続的なスライスと、コンベヤへの鱗列排出機構が市場で高く評価され、同種のスライサーはPCにおける主力設備となった。

その後、処理速度の向上や歩留まりの改善を重ねてきたが、精肉商品づくりにおけるさらなる生産性の向上を目指し、従来スペックの向上に加えて「重量調整機能」に着目した製品開発に着手した。

開発の狙い

重量調節機能を持つスライサーはこれまでも存在していたが、1枚あたりの重量を揃えてスライスする機能に留まっており、主にトンカツやステーキの生産に活用されていた。そこで、SMの精肉では主力商材となっている薄切りにも対応が可能な「パック定量機能」の開発に着手した。

また、精肉スライス商品は、原料のスライス、トレー盛付け、包装といった工程を経て製造される。その際、後述の3つの課題を解決し、「コンベヤに排出された状態のまま盛付けるだけで、誰でも簡単に出来栄の良い商品ができる定量整列スライス」の実現を目指した。

①重量調整の課題

盛付け工程では、商品規格に合わせて重量を調整する作業が発生する。具体的には「盛付 → 計量 → 手直し」という手作業による試行錯誤の繰り返し避けられず、これが生産性の低下や人員負担の増大を招いていた。さらに、手直し作業中に鱗列が崩れ、見た目の美しさが損なわれることもあり、一定の技能を要する作業となっている。

②鱗列精度の課題

精肉スライス商品づくりの現場では、鱗列排出されたものをそのままトレーに盛り付けて商品化を行っている。つまり、出来栄の良い商品を作るには、排出時点でよれ・曲がりがなく均一

に重なった状態になっていることが望ましい。しかし、現在主流となっている回転丸刃を利用したスライサーには、回転の影響を避けられず排出状態にばらつきが生じるという構造上の特有課題が存在する。特に、切片の重量が軽い薄切りや、大きめのスライスでは顕著で、斜行・シワ・よれ・飛散・伸びといった現象が頻発する。また、生産性向上のために回転速度を上げた場合には、これらの現象がさらに強く現れ、美しい鱗列排出と高い生産性との両立が困難となる。これは概ねトレードオフの関係にあるといえる。

③歩留まりの課題

精肉スライスにおいて高速スライサーはまさに主力と言える機器であり、常に高い歩留まりが求められる。仮に1日あたり1,000kgの原料を処理している工場で、歩留まり98%が99%と1ポイント改善した場合、1日の廃棄ロス削減量は10kgとなる。これはkg単価1000円とすると、1日1万円、年間365万円となる。原料単価の高騰が叫ばれる昨今では、求められる歩留まり性能はさらに高まっているといえる。

装置の概要

前述の3つの課題を解決すべく、以下3点の技術を開発、採用した。

- ①パック定量スライスの実現
- ②鱗列精度の向上を実現するはがし装置
- ③歩留まりの向上を実現するラック構造

これらにより「コンベヤに排出された状態のまま盛付けるだけで、誰でも簡単に出来栄の良い商品ができる定量整列スライス」を実現した。

技術上の特徴

前述の3つの発明は相互補完的に機能し、定量精度・排出精度・歩留まりの三位一体で生産性向上を達成する。

①パック定量スライスの実現

本装置の概要が図1、食肉原料の総重量を計

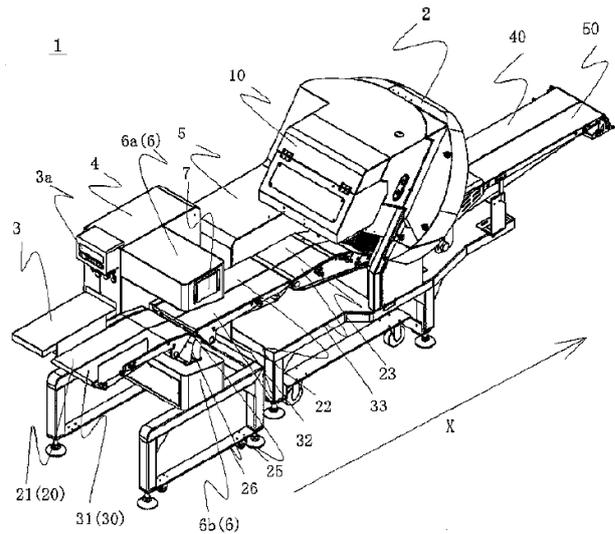


図1 ゼウス装置全体概略図

測する重量測定部(3)と、外形を上下から測定する形状センサ(6)を備え、それらの情報をもとに単位体積あたりの密度を算出し、所定の一群重量・厚みに応じた切断位置、枚数を自動的に決定する制御機構を有する。これにより、原料の形状に応じた最適な切断が可能となり、目標重量に合わせた定量スライスと、トレーにそのまま載せられる鱗列整列排出を同時に実現する。また、複数の搬送ベルトを独立制御する構造により、複数原料の同時かつ個別処理を可能にし、処理能力と汎用性の両立を図っている。さらに、トレー寸法にもとづく盛付け長さの演算処理を組み込むことで、出荷可能な商品形態に直結したスライス制御を行う点が特長である。

この技術のポイントは、取得した重量データと形状データから最適な送り量を演算し、その送り量通りにスライスを行う点にある。原理上、送り量が正確であり、かつその通りにスライスすることができれば、重量誤差は発生しないが、これは「スライス時の形状が計測時と全く同一である」ことが前提である。だが、実際の運用においては、搬送時の荷重変化やスライス動作時の衝撃等により、形状の再現性を保つことは困難である。本装置では、これらの誤差要因を後述の発明構成(②、③)によって極力軽減することで、±5%という実用的な精度を実現した。

②鱗列精度の向上を実現するはがし装置

ゼウスは自公転方式のスライサーである。自公転方式とは、丸刃の回転（自転）と、丸刃取り付け部分の回転（公転）によってスライスする方式のことであるが、鱗列精度の向上を実現するためには、回転の影響を避けられず排出状態にばらつきが生じるという構造上の特有課題を解決する必要がある。

本発明は前述の誤差要因軽減と共に、鱗列精度の向上を目的として、スライスと同時に食品の切片を直ちに丸刃から剥離する手段を備えたスライス装置を提供することを目的とするものである。

スライス部の概略図が図2である。自転する丸刃が(21)、そして丸刃に重なるように取り付けられた図中赤色で示した扇形の部品(43)が今回発明したはがし装置である。

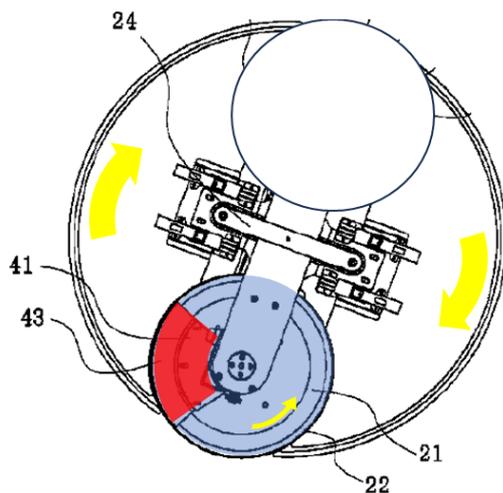


図2 スライス部概略図

これまでの丸刃スライサーは回転面が露出しているため、切片はスライスした後も回転の影響を受けるが、このはがし装置を取り付けることにより、スライス直後に切片を刃から剥がし、回転の影響を最小限に抑え、鱗列精度の向上を実現した。スライス時の概念図が図3である。

丸刃の刃先でスライスされた後、その切片ははがし装置によって回転の影響を受けることなく直にはがされる。また、はがし装置の傾斜部は刃先の傾斜面に対して同一平面上、又はほぼ平行に位置するため切片の形状を崩すことがない。さらに、はがし装置の先端手間に設けられた

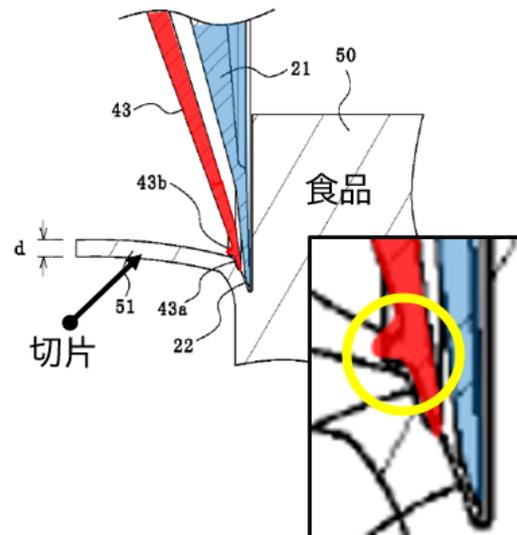


図3 スライス時概念図

突起(43b)によって切片が押し出されることによって、食品の切断面と切片がほぼ同形状を保つことができるようになった。

③歩留まりの向上を実現するラック構造

本発明は前述の誤差要因軽減と共に、歩留まりの向上を目的として、丸刃のたわみによって接触しても丸刃の破損を防止するとともに、食品を切断位置至近で支持するラックを備えたスライス装置を提供することを目的とするものである。原料供給部の斜視図が図4である。

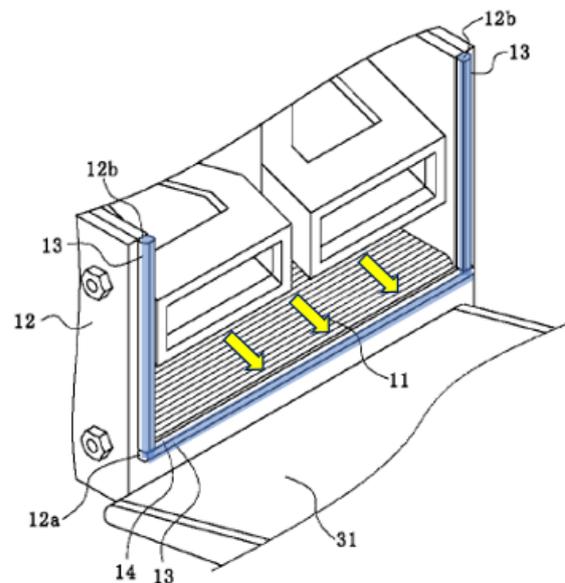


図4 原料供給部斜視図

そもそも、食肉スライサーは設定した厚み通りに原料を送り出し、ラックと呼ばれる部分か

らはみ出した部分をスライスする構造が一般的である。ただし、はみ出した部分は支持することができないので、この部分で切れ残りや肉くずを生じ、歩留まりの低下要因となっている。

よって、ラックと刃物は至近であればあるほど原料の形状を損なうことがなく、歩留まり良くスライスすることができるといえる。しかし、高速で回転する丸刃が原料負荷によりたわみを生じた場合は、ラックへの接触及び破損、ひいては食品への異物混入の危険性が著しく高まる。この問題を解決したのが本発明である。

原料は原料供給コンベヤ(11)の奥から手前、矢印方向に搬送される。このコンベヤの周囲に設置された枠体(12a.12b)が本発明によるラックである。

本発明の改善点はこれまでの平滑な形状から丸みを帯びた形状にした点と、丸刃に対する摩擦抵抗を軽減する表面処理を施した点の2点である。これらの改良により、丸刃のたわみによってラックへの接触が発生したとしても、丸刃との接触面積を限りなく小さくすることができ、なおかつ摩擦抵抗を低減したため、刃先の破損を防止することができるようになった。これにより、ラックと刃物の距離は、従来構造では1.5～1.0mmであったのに対し、0.5～0.0mmとごく至近に配することが可能となり、歩留まりの向上に寄与した。

実際のスライス片の排出状態と、スライス後の原料断面の状態が図5である。

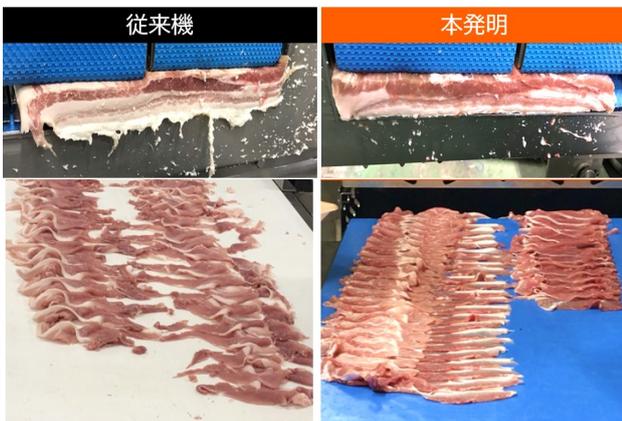


図5 従来機とのスライス状態比較

実用上の効果

パック定量スライスの実現、はがし装置による鱗列精度の向上により、従来機では1分あたり5.42パックだった生産能力が、ゼウスでは8.08パックと約1.5倍の人時生産性向上に寄与した。

また、ラック構造の発明により、スライス歩留まりは、従来機が97.7%であったのに対し、99.5%と1.8ポイント改善した。仮に1日1トンの原料を扱う現場、廃棄評価額が1kgあたり1,000円だと仮定した場合、廃棄ロス年間削減額は670万円分となる。1.8ポイントという、一見小さな歩留まりの改善は、生産現場においては重要である。

知的財産権の状況

特許第7614641号（はがし装置）

特許第7602262号（ラック構造）

むすび

これまで、連続式スライサーは主にスライス速度や歩留まりといった、いわば“スライス単体の性能”を競う傾向にあった。本装置はこれに加え、「重量調節機能」という新たな機能を中核に据えることで、従来は個別最適に陥りがちであった生産プロセス全体を、前後工程を含めて最適化できる点に大きな特徴がある。

その結果、「コンベヤに排出された状態のまま盛付けるだけで、誰でも簡単に出来栄の良い商品ができる」という、精肉加工の省力化に直結する価値を提供することが可能となった。

本装置によって得られる成果は、単なる設備性能の向上にとどまらず、深刻化する労働力不足や技能継承の困難といった、食品加工業界が直面する構造的課題の解決に寄与するものと考えている。

今後も、現場の声に寄り添いながら、食肉加工の生産性向上と品質向上の両立を実現する装置開発に取り組み、業界の発展に貢献していきたい。

高速・高強度異材接合法による リチウムイオンバッテリー用電極端子

ファインネクス株式会社

代表取締役社長 松田 竜彦

富山県産業技術研究開発センター

所長 高林 外広

ファインネクス(株) 企画開発部 部長

北嶋 一郎

ファインネクス(株) 圧造設計部 主査

江尻 雄一

ファインネクス(株) 圧造設計部 主任

段 一輝

富山県産業技術研究開発センター ものづくり研究開発センター 課長 山岸 英樹

はじめに

モビリティの電動化が急速に進む中、コアとなるリチウムイオンバッテリー(LIB)では通常正極端子にAl、負極端子にCuが用いられる。

従って、LIBセルの直列接続ではCu/Al異材接合が必要になるが、この材種の組合せでは脆弱な金属間化合物(IMC)が容易に形成するため、実用的な溶接ができない(IMCの厚みがわずか1~2 μm 程度であってもIMCにき裂や空孔が生じ接合強度が大きく低下することが知られている)。

このため、これらの電極端子の接続には一般に高価なCu/Alクラッドバスバーが用いられるが、コスト低減、さらに電気部品としての機能性・信頼性向上のため、Cu負極端子をAlトップ化、軽くて安いAlバスバーで接続可能なCu/Al複合電極端子の市場ニーズが強くなってきている(図1)。

本開発では、富山県産業技術研究開発センターが近年開発、IMCを脆弱性の目安となる1 μm よりも十分薄く抑え込み実質IMCフリー化する固相接合技術(低温鍛接(CFW)法)(図2)をファインネクス(株)が長年培ってきた高精

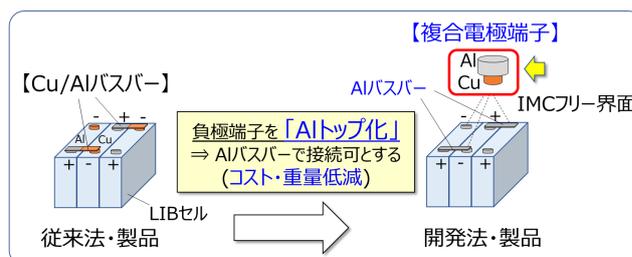


図1 LIBに求められるCu負極端子のAlトップ化

度複動金型技術と組み合わせることで、従来の高価なCu/Alバスバーを不要にする次世代の複合電極端子を開発した。

開発のねらい

現在LIB電極端子には、一般にその接続が同材種で溶接可能となる異材接合されたCu/Alバスバーが用いられている。また最近ではCu/Alクラッド端子も一部で用いられている。しかしながら、これらはいずれも「クラッド+熱処理+プレス加工」によるものであり、材質およびその製造工程から高コストで、また接合品質も優れたものとは言えない。

低温鍛接法を接合基盤原理とし、界面に接合強度また電気特性に優れる欠陥の無い冶金的に

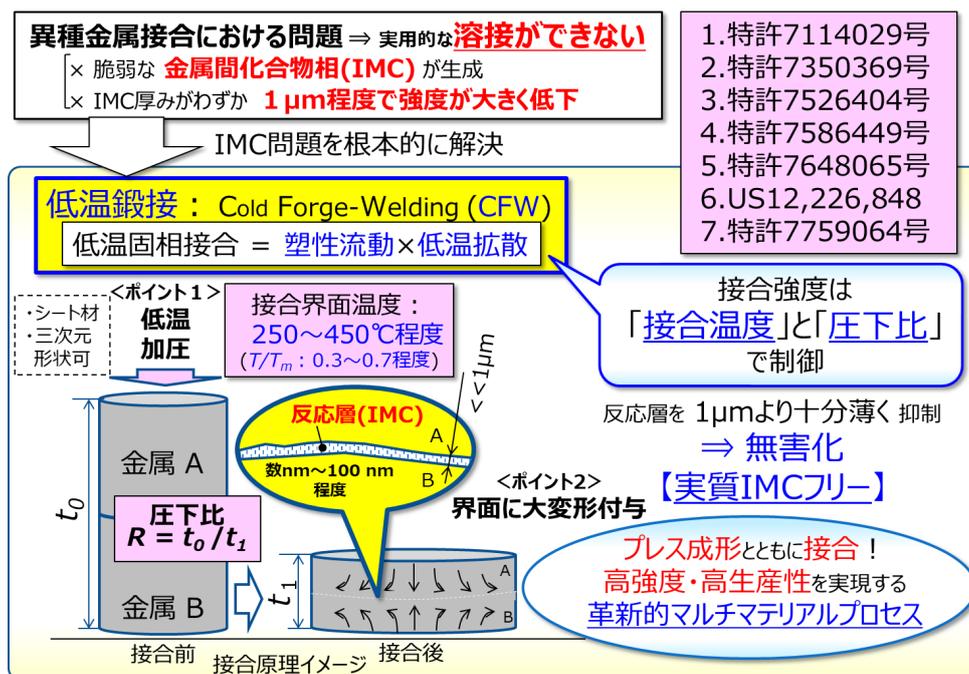


図2 本開発技術の基盤技術となった低温鍛接法

適切なナノメートルオーダーの拡散反応層を形成、電極部品として性能、耐久性の高い複合電極端子をハイスループット・低コストで製造する金型、自動機を開発した。

装置の概要

低温鍛接法を接合原理とし、複合電極端子を製造するためには被接合材を加熱、接合温度を保ったまま端子成形・接合を同時に行う必要がある。本装置ではそれらを一連のラインの中で高速かつ高精度で実現した。図3に本装置外観を示す。



図3 装置外観

Cu、Al部材を投入すると、梱包まで完了した状態で複合電極端子がアウトプットされる設備となっており省人化およびワンストップなライ

ンとなっている。ラインの中には検査工程もあり規格や加工条件等を常時監視しているため、合格品だけが自動梱包される。これら仕様により全自動で無人運転が可能となっている。

接合と成形を同時に行っている設備により、工程数も1工程のみとなっており、設備もCu/Alバスバーやクラッド端子設備と比べると非常にコンパクトなサイズとなっている。

技術上の特徴

図4に本開発技術の概要として、Cu部材とAl部材を低温鍛接法により冶金的に異材接合するための熱間成形技術イメージを示す。

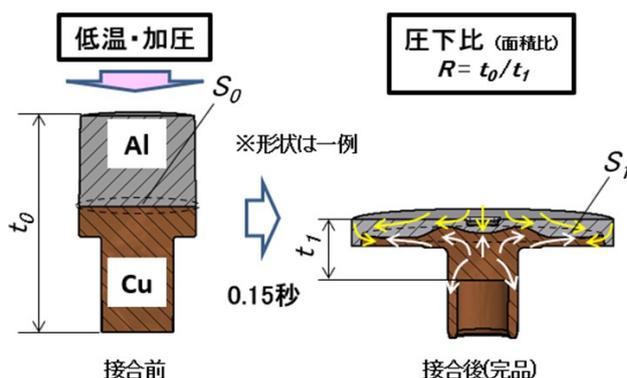


図4 低温鍛接法による熱間成形技術イメージ

接合界面の IMC 厚をナノオーダーに薄くするためには低温での拡散が必要である。しかしながら低温であると通常の金属表面では有効な拡散反応が困難である上、処理時間も非常に長くなる。本開発技術は、加圧前後の接合面の大変形により、拡散の障害となる酸化被膜の影響を限りなく小さくし、低温(約 300°C)かつ短時間(加圧 0.15 秒)でも効率的に拡散反応できるようにした(高 cleanliness 界面の創生)。これにより、IMC 厚みを 1 μ m よりも十分に薄く抑え、高速・高強度異材接合を実現している。

Cu と Al の組合せは、熱間での機械的性質の差が大きく、各材の塑性流動のコントロールが難しいが、成形後の製品形状(精度)を考慮した接合前部材の形状設計、複動金型および最適な低温鍛接技術(接合温度および適切な圧下比)を蓄積することで当該技術・製品の開発を実現した。以下に本開発技術により創生された端子の特徴を示す。

開発した複合電極端子の一例について図5に外観およびその断面マクロ写真を示す。高い寸法精度とともに内部にはワレや隙間が無い冶金的一体化を実現した。

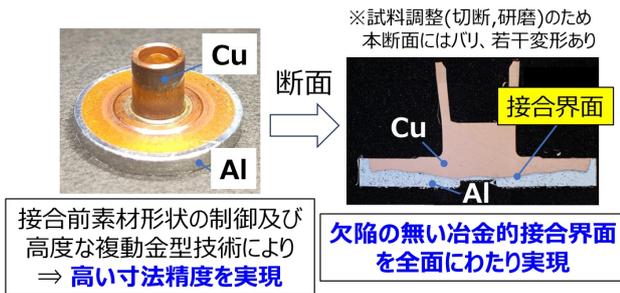


図5 複合電極端子の外観および断面マクロ

図6に左から本接合界面の電子線マイクロアナライザー(EPMA)による化学成分の線分析と面分析結果さらに透過型電子顕微鏡(TEM)を用いた接合界面の高倍率観察像(明視野像)を示す。接合界面の酸素信号強度は EPMA で検出できるレベル以下となっており非常にクリーンな接合界面であることが分かる。また TEM 像より、

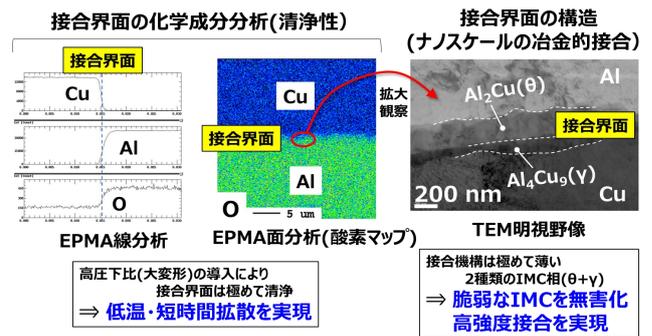
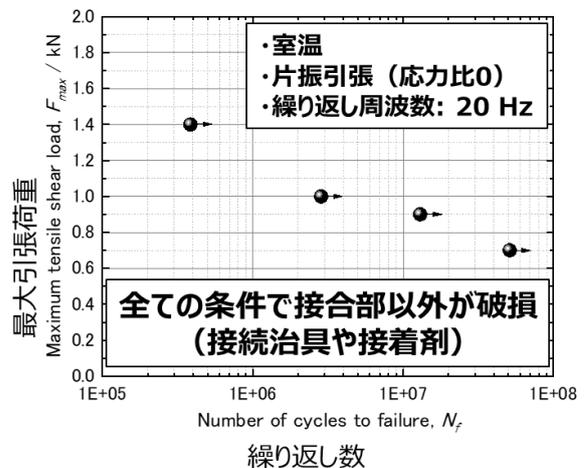


図6 接合界面のEPMA分析およびTEM観察

低温において一瞬で接合された界面には、層状の IMC から成る冶金の接合機構が確認できる(ナノスケールで実質 IMC フリー)。IMC は一般に電気抵抗が悪いと言われる(Cu-Al 系 IMC の抵抗率は Al の 5 ~ 6 倍程度大きいとの論文報告)。当該反応層は非常に薄く、またボイドやワレ等の欠陥も無い。BEV 用には大電流化が求められるため、本接合技術の界面は電気機能部品としても優れたものと理解できる。

本開発法による複合電極端子の疲労強度特性を図7に示す。小さな端子のため、治具との接続をアクリル系接着剤等で行ったが、いずれの負荷でも Cu と Al の接合部で破壊は生じなかった。本製品形状のメーカー静的強度規格(一発破壊強度)は 0.4kN であるが、その 2 倍の負荷を 1,000 万



静的強度規格を大幅に上回る耐久性
⇒ 静的規格(0.4kN)の
2倍負荷でも1000万回耐久

図7 複合電極端子の疲労強度特性

回繰り返しかけても接合部は破壊しない。本製品は優れた接合界面により、疲労においても極めて高強度であることが証明できている。

実用上の効果

本開発技術(製品)は、従来品(クラッド+熱処理+プレス加工)の多工程製造方法と異なり、接合と成形をプレス加工1回、一瞬で完品にするため省エネかつ低コストである(図8)。本開発技術(製品)の概算単価は、クラッドバスバーに対して約1/10、クラッド端子に対して約1/2であり、性能面のみならず価格競争力においても破壊的に優れている。またCuとAl素材形状も切削では無く冷間圧造で成形するため、材料を100%使い切り、捨てる場所が無い(従来品はプレス加工で打ち抜いているため無駄が生じる)。モビリティ1台当たりでみても当該電極端子が数十個から100個程度用いられるため、全世界的な需要においては環境負荷の高い従来品に対してSDGsへの貢献も大きくなる。

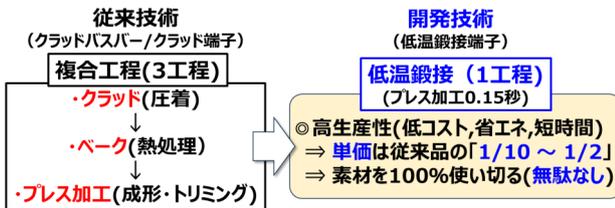


図8 本開発技術の経済性・環境配慮性における利点

知的財産権の状況

本開発品の装置に関する特許登録は下記の通りである。

① 日本国特許第7114029号

名称: 金属接合方法

概要: 異種金属を高速で高強度に固相接合可能とする低温鍛接法の基本特許

② 日本国特許第7526404号

名称: 金属材料の接合方法

概要: 異種金属を高速で高強度に固相接合可能とする低温鍛接法のスポット版(スポット鍛接)の基本特許

③ 米国特許 12,226,848

名称: Method for joining metal materials and controlling bonding quality thereof

概要: スポット鍛接法の米国特許

④ 日本国特許第7759064号

名称: 複合電極端子の製造方法

概要: 低温鍛接法を用いた銅とアルミニウムから成る異材電極端子の製造方法および製品特許

むすび

従来製品を凌駕する高品質かつ高生産性なりチウムイオンバッテリー負極用の複合電極端子を開発した。「低温鍛接法」を用いた世界初の革新的なマルチマテリアル製品である。圧造製品で蓄積してきた高精度複動金型技術により量産化技術・自動化ラインを確立、プレス加工による革新的複合化技術として新たな基盤技術分野を拓くことができた。

今後も様々な分野・用途で生産性の高い高機能マルチマテリアル製品を次々と創出し、社会課題の解決に貢献していきたい。

小型軽量・高静粛性の 高出力ロータリーエンジン搭載PHEVの実用化

マツダ株式会社

代表取締役社長 毛 籠 勝 弘

マツダ(株) 商品開発本部	岡 留 光 代
マツダ(株) 商品開発本部	志 村 直 紀
マツダ(株) パワートレイン開発本部	星 野 司
マツダ(株) パワートレイン開発本部	長谷川 裕 一

はじめに

移動をもっと感動に。快適をもっと活力に。安心をもっと自信に。「走る喜び」が「生きる喜び」につながる世界を描いていきたい。「心よ、走れ」。この想いを形にするために、私たちはクルマの一つひとつの動きにこだわった。人の感覚に寄り添うアクセル応答性、そして全乗員が安心して走れる乗り心地——それをすべてモーター走行で実現させ、「心よ、走れ」の世界観実現を目指した。

開発のねらい

一方、すべての走行をモーターで行うには、航続距離が課題となる。しかし、地域によっては社会インフラ整備が不十分であり、電欠（バッテリー切れ）への不安や不満が存在している。この課題解決に向けて、エンジンによる発電ユニットを採用した。すべてをモーター走行とするために発電用エンジンに求められる条件は2つ。1つ目は、できるだけエンジンによる充電時間を短くさせること。つまり、高出力域での高効率で発電ができることであり、かつ不快な振動が出ないエンジンであることが必要不可欠である。

2つ目は、超コンパクトな形状であること。す

べてをモーター走行で行うには、最高出力125kwの大きなモーターを搭載する必要があるため、エンジンは残されたスペースに搭載が可能なサイズが必要。つまり、発電用エンジンは超コンパクトで高出力帯に高効率領域をもち、低振動であることが要件となる。

これらの要件を満足できるエンジンとしてロータリーエンジンを採用することとし、発電用ロータリーエンジンの開発に取り組んだ。

普段はBEVとして、最大107kmのモーター走行に加え、新規開発した発電用8C型ロータリーエンジンでバッテリーを随時充電する構成を採用することで、電欠リスクを低減しつつ長距離走行を実現した。これにより、人の感覚に寄り添う安心感のある操縦性と快適な乗り心地を提供する電動パワートレインを搭載した、MX-30 Rotary EVが誕生した。

装置の概要

MX-30 Rotary-EVはモーターとバッテリー、充電システムに加え、発電用のエンジンを有したシリーズ式のプラグインハイブリッドである。

発電用のエンジンとして選択したロータリーエンジンは、同排気量のレシプロエンジンに比べて小型で高出力という特長(図1)があると共に、エンジンの中心に出力軸があることでモー

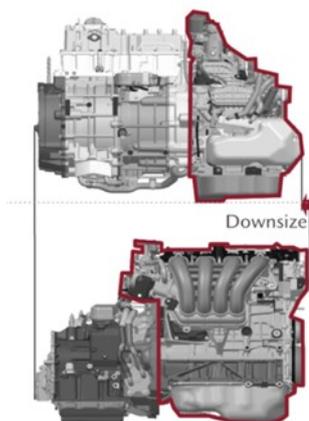


図1 エンジンの大きさ比較

ターのような形状をしているという特長がある。さらに、要求出力に応じて、ローターの数を変えることで、サイズを最適化することができる。これらの特長を活かして、1ローターのロータリーエンジン、駆動用モーター（以下モーター）、発電用モーター（以下ジェネレーター）を同軸に搭載した（図2）。このシステムは、小さな車にも搭載できるよう、コンパクトな設計になっている。



図2 同軸搭載

（右からエンジン、ジェネレーター、モーター）

また、MX-30 Rotary-EVでは、このコンパクトなシステムに加え、一体化されたインバーターやDCDCコンバーターなどの電駆制御装置も含めて車両の前部に収めている。合わせて、フロア下にはPHEVとしては大容量のリチウムイオンバッテリーと燃料タンクを設置。これにより、日常的な使用に十分なモーター走行距離を確保した上で、発電走行時には長距離ドライブも楽しむことが可能。全領域モーター走行を実現さ

せる、スムーズで力強い走行を実現した実用的なEVとして開発をした（図3）。



図3 MX-30 Rotary-EV システムイメージ

技術上の特徴

高い発電効率と様々な車格に搭載できること。これらの両立に向け、下記を実施した。

(1)EVらしさを追求した発電制御

本システムでは、電池残量が低下した後、発電走行に移行した際にも、EVらしく運転できる発電制御を織り込んだ。「EVらしさ」とは、発電時間を最小限にすることで、エンジンを停止してモーター走行を多く行うことができることと定義した。例えば、低中車速となる市街地走行において発電頻度を下げることで「EVらしさ」を実現した（図4）。

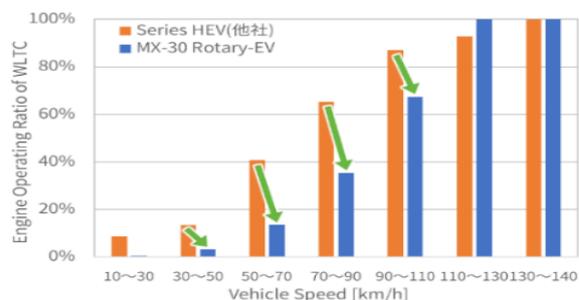


図4 WLTCモードの各車速における発電時間

(2)理想燃焼による高効率発電の実現

1) 基本諸元の最適化

ロータリーエンジンの基本諸元であるロー

ターの形状を見直し、燃焼室の表面積を低減することで冷却損失を低減した。

2) 燃焼室形状の最適化

火炎伝播と燃焼室容積変化を最適化し、初期燃焼時期の壁面への熱伝達を抑制しつつ、燃焼重心を早期化させ急速燃焼を実現することで、冷却損失と排気損失の両立を実現させた。

3) 高圧縮比化

圧縮比を、11.9（従来のロータリーエンジンは圧縮比 10.0）まで向上し、発熱効率を従来比、最大 25%向上させた。高圧縮比化は熱効率の向上にも寄与するが、ノッキングを誘発させる問題がある。燃焼室内を冷却する効果がある筒内直接噴射をロータリーエンジンとして初めて採用し、さらに冷却した排出ガスを吸気に再循環させる Cooled EGR システムを導入することで、燃焼温度を下げ、ノッキングを防ぎ、圧縮比を向上させ、効率を大幅に改善した。

(3) 様々な車格への搭載性

車両へ搭載するには軽量・小型なエンジンが必要である。

1) 8C 型ロータリーエンジン

①エンジン小型化：発電機の要求出力に合わせエンジンを 1 ローターとすることで、同出力程度のレシプロエンジンに比べて 1/3 のサイズを実現。合わせてモーター・ジェネレーターユニットのコンパクト設計により、全体としてコンパクトな発電ユニットとした。

②エンジン軽量化：排気量当たりの重量が軽量のロータリーエンジンでも更なる軽量化を追求した。ロータリーエンジンにおいて、大きな構造体であるサイドハウジングはその機能上、強度・耐摩耗性が必要な部位であり、従来は鋳鉄製であったが、軽量化のため、アルミへの材料置換に挑戦した(図 5)。サイドハウジングは構造上、サイドシール軌跡と燃焼圧による押付力で短軸部に負荷が集中し、シール摺動面に段付き摩耗が発生する。その摺動面の耐摩耗性強化として、レースエンジンで実績のあるサーメット溶射 ($\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$) を高速フレイム溶射法によって

量産化し解決した。

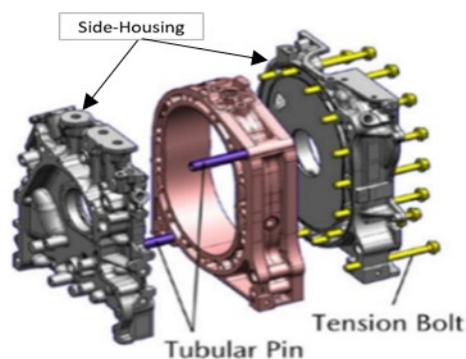


図5 サイドハウジングのアルミ化

このサイドハウジングのアルミ化により 8C 型ロータリーエンジンで 15kg 以上の軽量化を実現している。

2) モーター&ジェネレーターユニット(7 in 1)

モーターとジェネレーター、減速ギヤの 3 つの機能を 1 つの筐体に集約し、「3 in 1」構成とした。また、モーターやジェネレーターを制御するインバーターとコンバーター、電圧を変換する DCDC コンバーター、および電気を分電するジャンクションボックスの機能を一つの筐体に収め「4 in 1」構成とした。ロータリーエンジンとモーターおよびジェネレーターを同軸で配置した 3 in 1 によって高さを抑制し、生み出した空間にコンパクトな 4 in 1 を重ね 7 in 1 として集約することで省スペース化を実現した(図 6)。

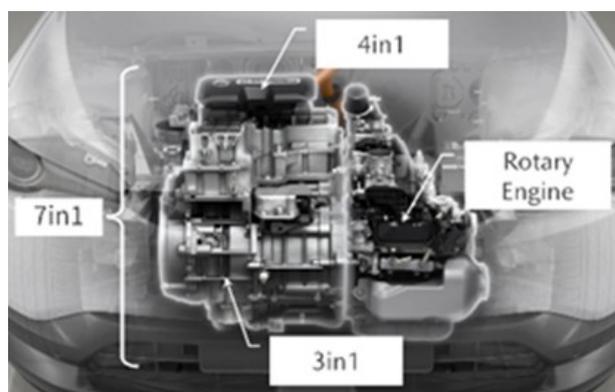


図6 パワートレイン搭載図

主要な電駆システムを車両前部に集中配置できたことで、床下の空間の大部分をバッテリーと燃料タンクに配分できた。

3) リチウムイオンバッテリーと燃料タンク

開発着手にあたりユーザーの使用実態を調査し、バッテリーと燃料タンクの容量の最適化を行った。バッテリーの高密度搭載と薄型構造の冷媒冷却方式によりバッテリーケースの高さを抑えつつ、バッテリーケースを使って車体剛性を向上させることで車体の構造を簡素化し、小型車においても、床下に 17.8kWh もの大容量バッテリーと 50ℓの燃料タンクとの同時搭載を実現した（図7）。

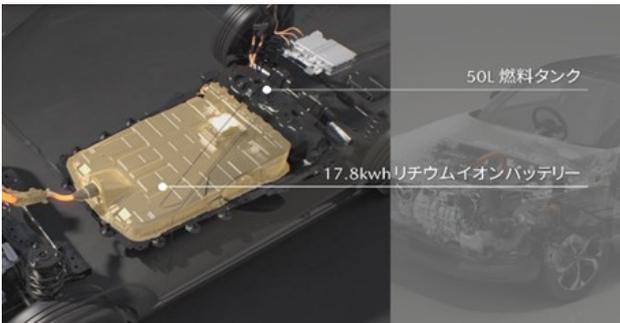


図7 リチウムイオンバッテリーと燃料タンク搭載図

以上の施策を実現することで、居住空間や荷室等、お客様の使用空間に影響することなく、主要部品の配置が実現できた。

実用上の効果

1) 電池素材使用量の低減

MX-30 Rotary-EV と同じ距離をバッテリーだけで走るには、2.5 倍の大きさのバッテリーが必要となるが、この発電ユニットを使うことで、電池素材に使う貴重な資源を重量比約40%で済ませることが可能となる。

2) カーボンニュートラル燃料への展開性

ロータリーエンジンは、エンジンの構造的特長から液体/気体（低圧/低濃度の可燃ガスにも対応可）を問わず様々な燃料との親和性が高いため、バイオ燃料などのカーボンニュートラル燃料を使用することで CO₂ 削減、地球温暖化抑制に寄与することができる。

3) 災害時の電源供給

エネルギー供給が難しい災害発生の状況下で

も外部給電器を使用することで停電時の家庭用電源としても使用でき、人々の安全・安心を支えることができる。

知的財産権の状況

本開発品の装置に関する特許登録は下記の通りである。

① 日本国特許第 2023-078856 号

名称:ロータリーエンジン

概要:燃費向上のため、ローターの凹部(リセス)のほぼ中央付近の断面積を最大化することで、プラグで点火した火炎が壁面に当たって冷やされ、成長を妨げられないよう工夫した。

② 日本国特許第 2023-078692 号

名称:ロータリーエンジン

概要:燃費向上のため、ローターの凹部(リセス)のほぼ中央付近の断面積を最大化した。混合気の流速を抑え、火炎が吹き消されないようにすることで着火安定性を確保した。

③ 日本国特許第 2023-078740 号

名称:エンジンの吸気構造

概要:Cooled-EGR の取込ノズル形状とインタークマニホールド形状とで形成される通路形状によって吸入空気と EGR ガスの混合を促進することで燃費改善に寄与した。

むすび

「走る喜びは、地球を笑顔にする」

マツダは、自分らしく前向きに今日を生きる人々の輪を広げ、多くの人々へカーライフを通じた人生の輝きを提供したいと考えています。これからも、人々がクルマを通じて豊かな人生を過ごしている姿を思い描き、挑戦し続けます。

余剰高さを最小化する 国産初の段ボール箱封かん機の開発

レンゴー株式会社

代表取締役社長兼COO 川本 洋祐

プロス株式会社

代表取締役 白井 正

レンゴー(株) 包装システム本部	企画開発部	開発課	担当部長代理兼課長	佐々木 良
レンゴー(株) 包装システム本部	企画開発部	開発課		阿部 信幸
レンゴー(株) 包装システム本部	企画開発部	開発課		安部 潤一郎
レンゴー(株) 包装システム本部	企画開発部	開発課		加茂野 照大
レンゴー(株) 開発本部	包装技術第一部	東京包装技術第一課	担当課長	坪田 晶博
プロス(株) EMS事業部	開発技術課			佐藤 晃弘
プロス(株) EMS事業部	開発技術課			宮脇 薫

はじめに

物流業界では、トラックドライバーの残業時間規制や労働人口の減少など、輸送能力の低下が大きな課題となっている。この課題は一過性のものではなく今後さらに深刻化すると考えられる。特に2030年以降は労働力の減少が顕著になることが予想されており、早急な対策が望まれる。これらの課題解決を目指し、当社は段ボール封かん機「J-RexS（以下、本機械）」を開発した。

開発のねらい

(a) 輸送箱の形態見直し

輸送能力の低下を補うためには、輸送効率を改善することが必要となる。通販で商品を購入した際に、商品の寸法に対して過大な段ボール箱、過剰な緩衝材で梱包されて届くということがしばしば起こる。通販市場は今後も成長が見込まれており、何も対策を講じなければこのような非効率な梱包が増加し、輸送効率改善の妨

げとなる。過大な段ボール箱で梱包される背景にはさまざまな理由が考えられるが、われわれは輸送箱として主に0201形（以下、A式）と呼ばれる形態が採用されている点に注目した。図1に示すように、A式では既定の高さで封かんできるように加工されているため箱の高さを変えることが難しく、高さ方向に余剰空間が生じやすい。そこで、天面側に加工をしていない

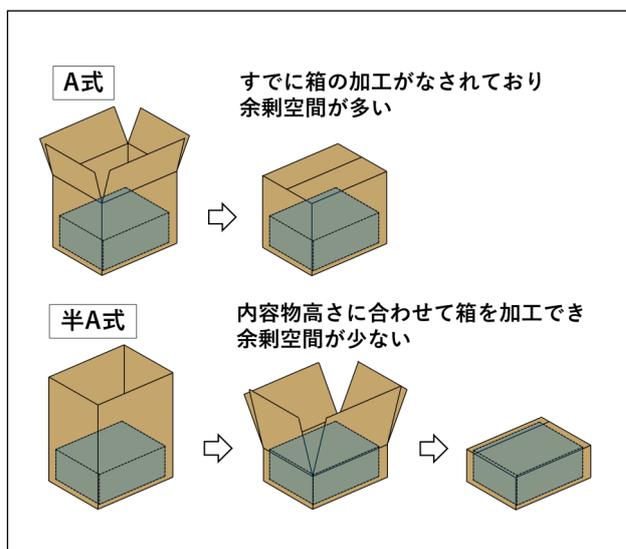


図1 A式と半A式

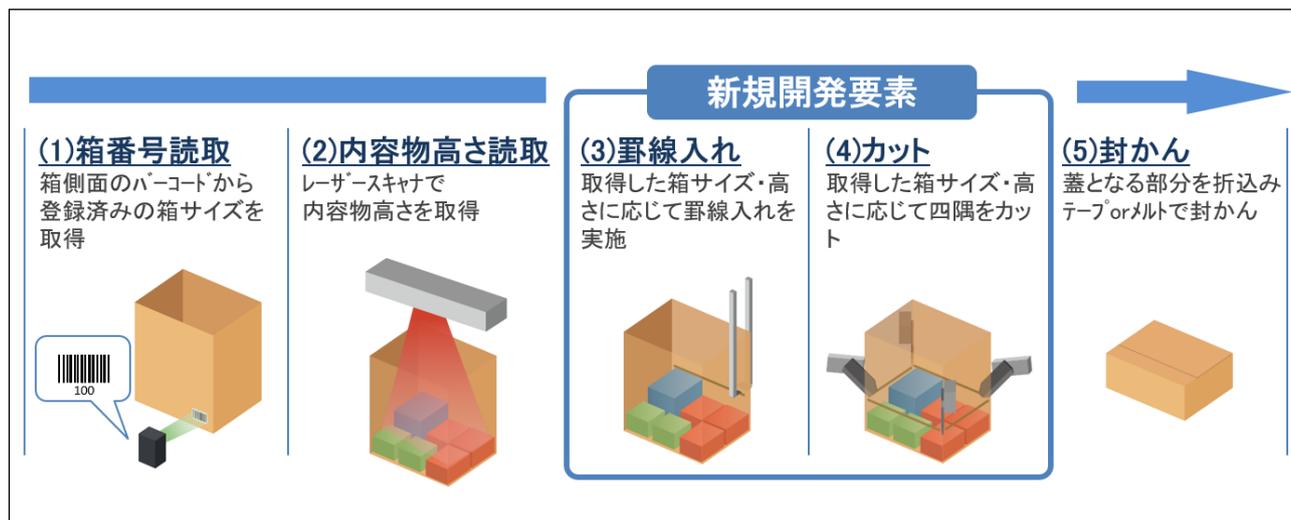


図2 本機械の各ステップ概要

0200形（以下、半A式）という形態を採用し、内容物の高さに合わせて箱を加工することで輸送効率を改善できると考えた。

(b)従来機からの発想転換

半A式の特徴を生かすためには、柔軟に高さ調整を行える機械が必要である。内容物に合わせて箱の高さを変えることができる機械は「高さ可変機」と呼ばれるが、従来の高さ可変機では1台で対応できる箱サイズは基本的に1種類である。しかし、物流現場において梱包される商品は多様であり、それに応じて使用される箱サイズもさまざまである。そのため、輸送効率を最大限に改善するためには1つの箱サイズに対応するだけでは不十分であり、複数の箱サイズで高さを変えられる必要があると考えた。

装置の概要

本機械は半A式の箱について、内容物高さに合わせて箱を加工し、封かんする機械であり、図2に示すように、5つのステップに分かれている。

(1)箱番号読取

箱に印刷されたバーコード番号を読み、番号と箱サイズの対応表から箱サイズを取得する。

(2)内容物高さ読取

レーザースキャナで内容物高さを非接触で読み取る。

(3)罫線入れ

箱サイズと内容物高さの情報を用いて折り目となる罫線を入れる。

(4)カット

罫線の位置まで箱の四隅の縦稜線をカットし、蓋となる部分を形成する。

(5)封かん

蓋となる部分を折り込み、箱を封かんする。

技術上の特徴

本機械では、罫線入れ、およびカットにおいて技術上の特徴があり、さらに段ボール箱に対しても段ボールメーカーならではの技術が活かされている。

①罫線入れ

段ボールへ罫線を入れるためには、表裏から挟み込み、凹みをつける必要がある。本機械では、異なる箱サイズにも適切に罫線を入れられるようにするため、ローラーで段ボールを挟み込み、その移動距離を電動アクチュエータにより制御するという手法を採用している(図3)。当初はローラーを移動させる際の抵抗が大きく箱がゆがむ、もしくは破損するといった問題があったが、新たな形状のローラーを開発することで移動時の抵抗を低減しつつ確実な罫線入れを実現している。

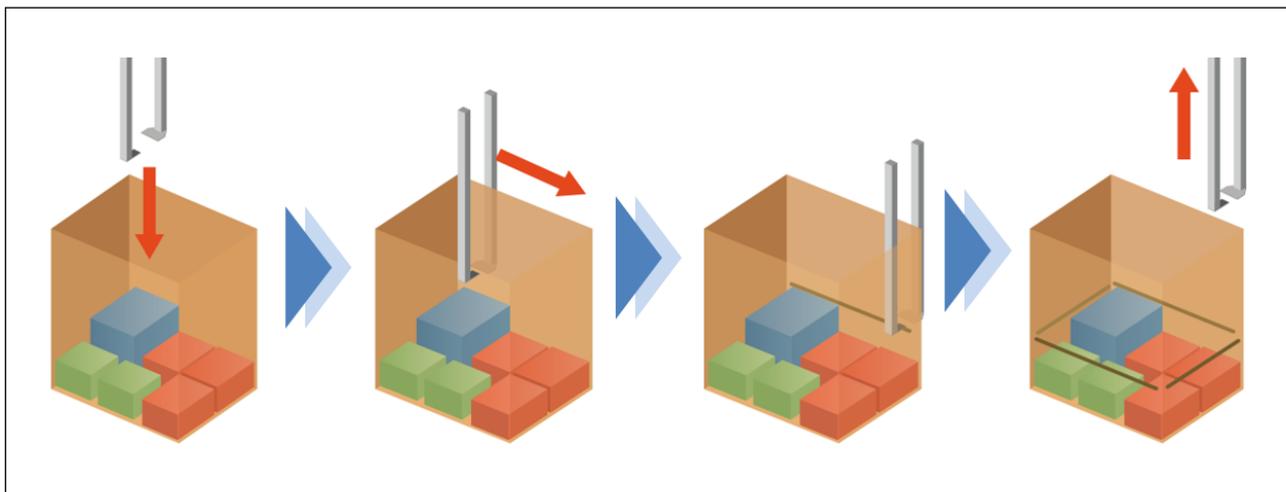


図3 罫線入れ動作の模式図

②カット

従来の高さ可変機では段ボール箱の四隅を切断する際に鋭利な刃物を使用している。鋭利な刃物は交換時に指を切るなどのケガのリスクがあり、さらにわずかな傷から生じる応力集中によって対象が段ボールであっても欠けや折れが発生し箱内に混入する危険性もある。これらの課題を解決するため、鋭利ではないプレート(以下、カットプレート)を開発した。図4に示すように、開発したカットプレートは指を押し当ててもケガをしない。さらに、これまでに50万箱ほど

カットしているが、いまだにカットプレートの折れ・欠けの報告はなく、安全性と高耐久性を実現している。また、罫線入れと同様にカットプレートの位置を電動アクチュエータで制御しているため、異なるサイズの箱に自動的に対応できる。

③段ボール箱

開発したカットプレートは鋭利であることによるデメリットを克服したが、一方で段ボールカットの安定性が低下した。そこで、段ボールメーカーならではの技術として、箱の縦稜線にミシン目と呼ばれる、切目と継目が交互に連なる加工を施すことでカットの安定性を向上させた。また、半A

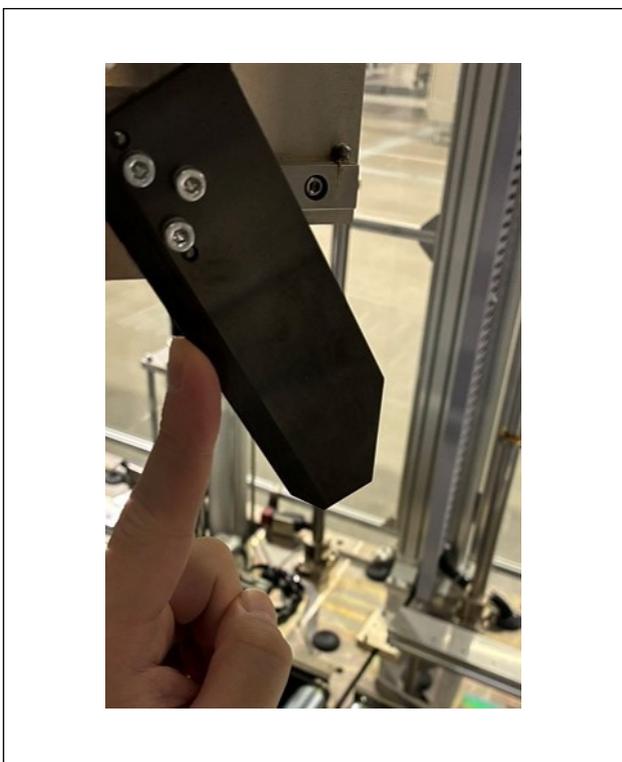


図4 開発したカットプレート

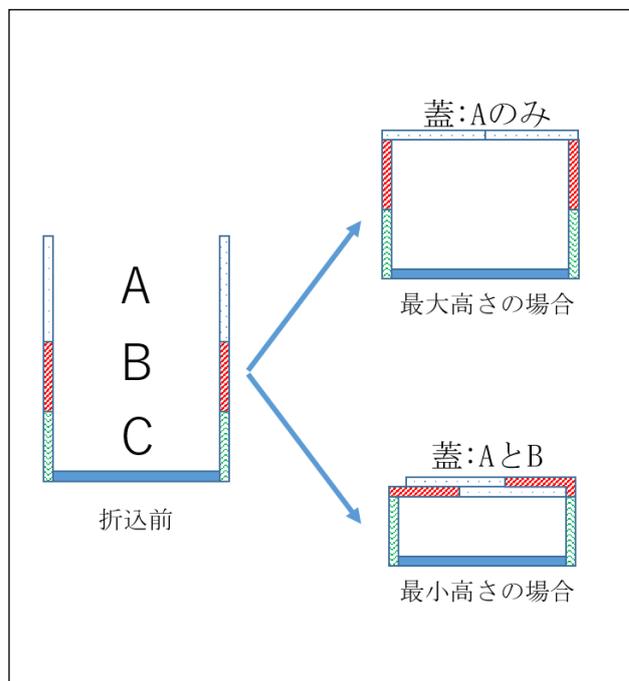


図5 半A式箱の各領域分け

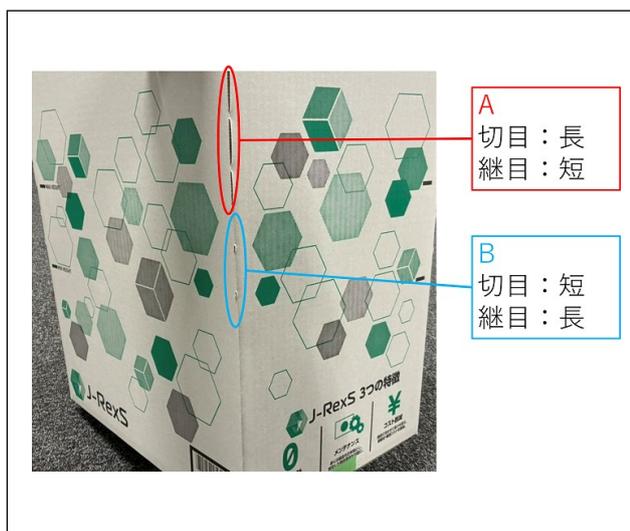


図6 領域AとBにおけるミシン目の違い

式の箱には「必ず蓋になる部分 A」、「蓋になりうる部分 B」、「必ず蓋にならない部分 C」の3つの領域がある(図5)。これら領域の違いに注目し、A と B それぞれに異なるミシン目加工を施した(図6)。A は必ずカットされる領域であるため封かん前の持ち運び時に千切れない範囲で継目を最小限に設定し、B では箱の圧縮強度や落下耐性が損なわれないようできるだけ継目を長く設定することで、開発したカットプレートでも安定したカットを実現した。

実用上の効果

一般的に、高さ可変機の効果として主に、①梱包作業の自動化による人手不足解消、②余剰空間の削減による輸送効率の改善および緩衝材使用量削減、③三辺合計サイズ縮小による配送コスト削減、④資材集約による管理コスト削減の4点が挙げられる。従来の高さ可変機は1台で対応できる箱サイズは1種類であるため、上記効果が限定的である。一方で、本機械は1台で複数の箱サイズに対応できるため、これらの効果を最大限発揮できる。さらに、一般的な高さ可変機は、(1)箱サイズ変更時には部品交換や型替えなどの工事が必要、(2)海外製であるため故障時には海外からの修理部品やメンテナンス作業者の手配が必要といった欠点がある。しかし、本機

械は箱サイズ変更時でも工事が不要であり、さらに国産であるため故障時に迅速に対応でき、導入後の柔軟性やメンテナンス性が高い。加えて、箱の四隅をカットする際に独自開発したカットプレートを採用したことで、交換時のケガや刃折れによる異物混入などのリスクを排除している。

知的財産権の状況

本開発品の装置に関する特許登録は下記の通りである。

①日本国特許第7763991号

名称: 包装箱の封緘方法

概要: 圧縮強度の低下を抑制することができる包装箱の封緘方法に関する

その他2件を登録、5件を国内出願中、3件を海外出願中である。

むすび

本稿では国産高さ可変段ボール封かん機「J-RexS」について記した。物流現場における労働力不足という年々深刻化する課題に対して本機械が解決の一助になれば幸いである。

J-RexS は異なる得意分野を持つ企業同士が各々の強みを活かすことで開発された機械であり、連携により新たな価値が創造された好例であると考えている。今後も、連携を通じて新たな価値を創出し、数多くある社会課題の解決に向けて尽力していく所存である。

人の触感を数値化する評価装置の開発

株式会社 トリニティーラボ

代表取締役 野村 修平

国立大学法人 山形大学

学長 玉手 英利

地方独立行政法人 東京都立産業技術研究センター

理事長 黒部 篤

(株)トリニティーラボ 代表取締役

野村 修平

(国大)山形大学 学術研究院 教授

野々村 美宗

(地独)東京都立産業技術研究センター 研究開発本部 機能化学材料技術部 副主任研究員 齋藤 庸賀

はじめに

近年、製品の「触り心地」は消費者の購買行動や満足度に大きな影響を及ぼす要素として、ますます注目を集めています。従来はパネルによる官能評価が主流でしたが、評価者の主観や経験に左右されやすく、標準化や客観的な比較が難しいという課題がありました。さらに、材料や表面処理技術の進化により製品の多様化が進む中、従来の評価手法では対応しきれないケースも増えています。こうした背景から、科学的かつ定量的な触感評価へのニーズが急速に高まっています。本装置は、人の指の動作や皮膚構造を忠実に再現し、実際の触察動作に近い条件下で多様なサンプルの触覚を高精度かつ客観的に評価できる、新しい摩擦試験技術を提供します。

開発のねらい

従来の触覚センサーや評価装置では、皮膚の複雑な力学応答や、実際の触り方によって生じる感覚の違いを十分に再現することができませんでした。こうした課題を解決するため、私たちは皮膚表面で発生する摩擦現象に着目し、ヒト

の指の形状や力学的特性を忠実に模した「指モデル接触子」を開発しました。この接触子を用いることで、人が実際にモノに触れる際の「active touch（能動的な触察）」のプロセスを再現できる評価装置を実現しています。本装置は、ヒトがモノに触れたときの触感を数値として記録できるだけでなく、液体・粉体・固体といった多様なサンプルの触覚データを一律に収集することが可能です。これにより、従来困難だった異種材料間の比較や、製品開発の効率化、新たな技術ソリューションの創出が期待されています。

装置の概要

本装置「人の触感を数値化する評価装置」(図1)は、ヒトがモノに触れた際に感じる触覚を、



図1 触覚評価測定機TL201Sf

現実に近い条件下で定量的かつ高精度に評価することを目的として開発された革新的な評価システムです。触覚は、繊維、化粧品、自動車、ロボット、バーチャルリアリティなど多様な分野で製品価値を左右する重要な感覚であり、その科学的な定量評価へのニーズは年々高まっています。しかし、従来の摩擦試験機を応用した触覚評価やセンサーでは、ヒト皮膚の複雑な力学応答や、実際の触り方による感覚の違いを十分に再現できず、製品開発や品質管理の現場で大きな課題となっていました。

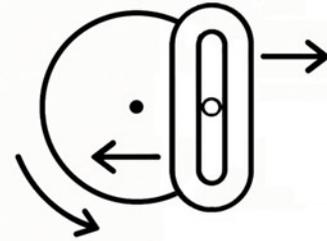
本装置は、こうした課題を克服するため、ヒトの指の形状や表面、力学的特性を忠実に模倣した「指モデル接触子」(図2)を搭載しています。指モデル接触子はウレタンゲルを用い、皮膚と同程度の表面エネルギーや硬さ、さらに深さ0.15mmの指紋パターンまで再現しており、従来の金属やゴム片では得られなかったリアルな触覚評価を可能にしています。



図2 指紋を模した触覚接触子

また、駆動機構にはスコッチ・ヨーク機構(図3)を採用し、回転運動を正弦運動に変換することで、ヒトがモノに触れる際の自然でなめらかな動きを忠実に再現しています。ヒトの触覚動作は一定速度ではなく加速・減速を繰り返す特徴があり、この運動を再現することで、実際の触覚に近い評価が実現しました。正弦運動下での摩擦評価は、従来の一定速度測定では得られなかった摩擦係数の速度依存性や遅れ時間など、触覚に影響する重要な物理パラメータを一度の測定で定量的

スコッチ・ヨーク機構を採用



回転軸に偏心して取付けられたピンが長円形の中を転がる事により正弦運動させる機構

図3 スコッチ・ヨーク機構

に解析できる点が大きな利点です。

さらに、摩擦力を高精度に計測するため、直線摺動機構やロードセル、動ひずみアンプなどの力計測技術を組み合わせています。これにより、触覚動作時に発生する振動成分を含む摩擦抵抗力を、人の手に頼ることなく、的確かつ定量的に測定できます。得られた摩擦パラメータは主成分分析やクラスター分析にかけることで、繊維・化粧品・自動車用樹脂材料などの「しっとり」「さらさら」「なめらか」といった感覚の解析も可能となりました。

本装置は、液体・粉体・固体など多様なサンプルの触覚データを一律に取得できるため、従来手法では困難だった異なる物性間での比較評価も容易です。装置の操作性や拡張性にも優れ、ユーザーの仕様に応じたカスタマイズも可能です。これらの技術的特徴により、化粧品・繊維・塗料分野だけでなく、ロボットやバーチャルリアリティ分野など、今後さらなる応用が期待されています。

技術上の特徴

本装置「人の触感を数値化する評価装置」は、人がモノに触れる際の触覚を、物理的側面と官能的側面の両方から高精度かつ汎用的に評価できる摩擦試験装置です。最大の特徴は、従来の摩擦試験機では困難だった「人の指によるリアルな触覚動作」と「多様な触覚の物理的要因」を、工

学的に忠実に再現・解析できる点にあります。

まず、評価対象と摩擦する接触子には、ウレタンゲルを用いて人の指腹部の形状や指紋パターンを精密に再現した「触覚接触子」を採用しています。人工皮膚を張り付けた接触子と本装置の触覚接触子で摩擦試験を行うと(図4)、摩擦係数に明確な違いが現れ(図5)、実際に人が触った際の感覚ともよく一致します。摩擦現象は摺動材料の物性や形状の影響を強く受けることが知られており、人の指先を模擬した触覚接触子が、実際の指先で生じる摩擦現象を高い精度で再現できることを示しています。さらに、実際の指先で発生する応力集中や材料変形、「キュキュッ」と鳴るスティックスリップ現象まで再現可能となり、個人差や肌状態によるばらつきを排除した再現性の高い評価が実現します。指

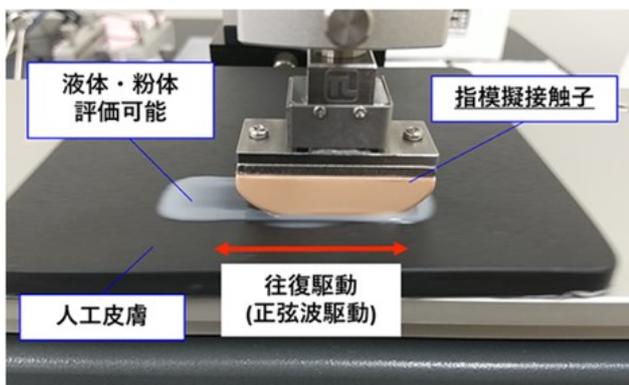


図4 摩擦試験の様子

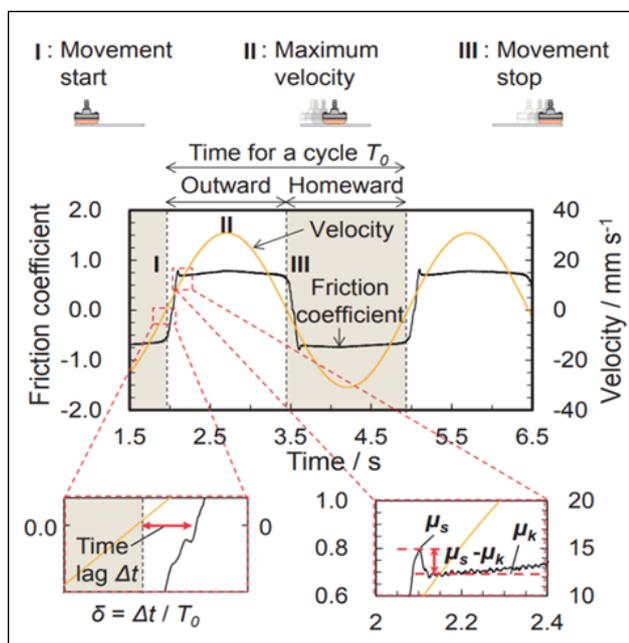


図5 測定結果

紋パターンは摩擦振動の発生源となり、評価対象の表面突起との相互作用を通じて、触認知に寄与する摩擦振動の解析も可能です。また、指紋突起間に存在する水分の働きが摩擦抵抗を増加させることも人工指モデルで明らかにされており、摩擦現象の本質的な理解に貢献しています。

駆動機構にはスコッチ・ヨーク機構を採用し、正弦波的な加減速運動を実現しています。一般的なクランク機構では厳密な正弦波運動の再現が難しいのに対し、本装置はスコッチ・ヨーク機構により忠実な正弦波的な加減速運動を実現しています。これにより、材料応答を素直に記録できるだけでなく、従来見落とされていた摩擦現象や材料の粘弾性応答も評価可能となりました。特に、滑り出し直前の前駆すべりや、加速に伴う液体サンプルの追従性など、動的条件下での摩擦挙動を詳細に解析できる点が大きな特徴です。

測定部には、高感度ロードセルの技術革新が重要な役割を果たしている。従来のロードセルは感度向上のため起歪体を柔らかく設計するが、固有振動数が低下し高周波成分の計測が困難となる課題があった。人の指先が検知できる周波数帯は数 Hz から 500Hz 程度であり、従来のロードセルでは 200Hz 程度が限界だったため、本装置では、起歪体を極力短くし、漢字の「立」の字に似た形状を採用することで高剛性化を実現した。さらに、触覚接触子をロードセルに直接取り付ける構造を採用し、接触部で発生する微細な力や振動成分をダイレクトに検出可能とした。加えて、ひずみアンプの開発も進め、触覚受容感度 500Hz の倍となる 1kHz での応答を目標に設定し、試作と検証の結果、従来比で約 10 倍歪みにくく、5 倍の高感度化に成功した。これにより、繊細な触覚情報の取得が可能となり、触覚評価の精度向上に大きく貢献したのである。

実用上の効果

本装置では、静摩擦係数・動摩擦係数・遅れ時間・弾性係数・粘性係数・摩擦振幅など、触覚評

価に有効な複数の摩擦パラメータを一度の試験で取得できます。静摩擦係数や動摩擦係数は「すべり感」や「粘着感」と強い相関を示し、製品の滑りやすさや粘着性の評価に直結します。遅れ時間や弾性係数は、材料の変形能や「柔軟感」「硬質感」の評価に有効であり、遅れ時間が長いほど柔軟感が強く、短いほど硬質感が強い傾向が見られます。摩擦振幅は、指紋パターンに由来する摩擦振動を解析し、「なめらか感」や「粗さ感」との相関を明らかにします。摩擦振動の刺激が小さいほど滑らかに、振幅が大きいほど粗いと感じられる傾向が実験的に示されています。これらのパラメータは、主成分分析やクラスター分析を通じて官能評価との相関性も高く、客観的な触感評価指標として活用できます。さらに、摩擦パラメータの空間周波数解析により、表面テクスチャや微細構造の違いも定量的に評価可能です。

本装置は、固体（本革・合皮・塗膜・樹脂）、繊維（ニット生地）、液体（化粧水・オイル）、粉体など、サンプルの状態や形状を問わず評価が可能です。従来の評価法では困難だった異種材料間の比較や、特殊な表面処理・新素材の評価にも対応できるため、製品開発や品質管理の現場で高い汎用性を発揮します。

摩擦試験の条件設定も柔軟で、荷重・速度・接触面積などを調整することで、目的に応じた評価が可能です。さらに本装置は、触動作時に得られる摩擦情報をもとに、物理特性と官能評価（すべり感、粘着感、湿潤感、乾燥感、柔軟感、硬質感、なめらか感、凹凸感など）との関係性を明確化することに寄与しています。AI技術やデータ解析技術と組み合わせることで、触感認知のメカニズム解明やバーチャルリアリティ分野への応用も期待されています。今後は、取得した摩擦データを活用した触感予測や、個人差を超えた標準化された触覚評価基準の構築にも貢献することが期待されます。

このように本装置は、「人の指のリアルな再現」「人の自然な動作の模倣」「多様な摩擦パラメー

タの取得」「幅広い材料への適用性」「触覚認知理論への貢献」という多面的な技術的特徴を有し、従来の摩擦試験装置では得られなかった高精度かつ汎用的な触覚評価を実現しています。

知的財産権の状況

本開発品の装置に関する特許登録は下記の通りである。

- ① 日本国意匠第1579775号
名称:触覚接触子
概要:ヒトの指の触感を再現したウレタン弾性体で摩擦特性を評価する触覚接触子
- ② 日本国特許第6138092号
名称:触覚評価測定装置
概要:ヒトの指の形状を再現した接触子で触感を定量評価する装置に関する特許
- ③ 日本国特許第7335006号
名称:噛み心地評価測定機
概要:ヒトの咀嚼動作を再現し、食品の噛み心地を定量評価する装置に関する特許

むすび

本装置は、指モデル接触子と正弦波駆動機構を組み合わせることで、従来困難だった多様な材料の触感を科学的に数値化し、製品開発や品質管理の現場に革新をもたらしました。摩擦パラメータと官能評価の相関解析により、触感の標準化や効率化が進み、AIやデジタルツイン技術との連携による新たな触覚体験の創出も期待されています。今後は、サステナビリティやウェルビーイング、バーチャルリアリティ分野など、社会の多様なニーズに応える触感評価技術として、さらなる発展が見込まれます。

ものづくり技術力向上支援プログラム

株式会社 山形銀行
取締役頭取 佐藤 英司

はじめに

〈やまぎん〉ものづくり技術力向上支援プログラム（以下、やまぎんMSP）では、山形県の基幹産業である「製造業」をターゲットとして、製造業の技術力向上支援を通じた山形県の産業競争力向上を目的に、2015年4月より「技術評価による事業性評価戦略」をスタートさせた。

2021年経済センサス活動著調査によると、山形県のGDP（図1）に占める製造業の比率は約30%と全国平均の19%を大幅に上回っており、製造業は名実ともに山形県の基幹産業となっている。

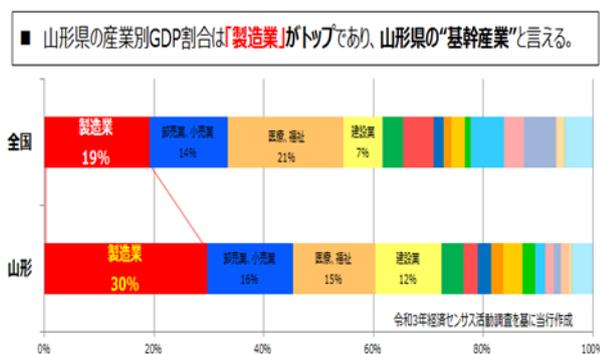


図1 山形県産業別GDP

これをふまえ、約10年間にわたる、やまぎんMSPの取組では、機械振興賞の対象である機械分野の他に、鉄工、電子、食品、繊維、木工、コンクリート、プラスチック等の幅広い分野で製造業に対する支援活動を実施してきた。ここに、やまぎんMSPの取組内容を紹介したい。

事業支援のねらい

やまぎんMSPの目的は、工場見学・技術評価

活動を起点とし、山形県の基幹産業である製造業の技術力向上に資する重要課題を解決することにより、個別企業の将来にわたって持続可能なビジネスモデル構築を力強く後押しすることである。その結果として、製造業全体の底上げを通じた山形県の産業競争力を一層強化し、地域経済の活性化につなげていくねらいがある。

事業支援の概要

当行は、山形県工業技術センターのOB5名を技術支援アドバイザーとして招聘し、当行独自の工場見学・技術評価を通じた事業性評価戦略を展開している。やまぎんMSPでは、企業の財務面に加えて、技術力を正確に捉え、事業性を見極めながら積極的な融資・コンサルティングにより、企業の主体的な取組をバックアップしている。

やまぎんMSPのなかでも核となる技術評価は、単に製造技術のみみるのではなく、大きく3つの観点から、技術を核とする企業のビジネスモデル全体を捉え、定性的な特徴を当行独自の基準で定量化したうえで、製造業としての総合力を評価している。

技術支援アドバイザーを中心に、工場見学・技術評価を通じて経営課題や技術課題を把握したうえで、山形大学等の外部機関を活用しながら、補助金等コンサルティングやビジネスマッチングといったソリューションを活用し、県内製造業の課題解決を支援している（図2）。

当行が、これまで技術評価を実施した企業は、累計1,000社を超える。各企業の工場を訪問し、50項目を超えるチェックポイントをメモしな



図2 やまぎんMSPスキーム図

から、自動化と品質向上、作業環境の改善等を意識しながら生産性の向上を図るための提案をまとめる。各項目のポイントを集計し、参入障壁などを含めた評価結果を点数化し技術評価を行う。なお、企業に対しては、内部評価・外部評価等から導き出された課題を整理し、その解決策を記載した工場見学レポートを経営者に手交して意見交換を行う。課題のすり合わせにより、共通認識を持ったうえで、企業の技術力向上に資するソリューションを提供している。

当行は、企業の置かれている状況に応じて対応を検討している。当行単独での解決が困難な技術課題については、山形大学や山形県工業技術センター、デザインを含むブランディングにかかる改善策については東北芸術工科大学、というように、企業ごとに異なる課題に応じて、都度最適なサポーターと協働している。

例えば、生産性向上支援については、省力化に資する補助金を活用した高精度マシン導入の提案、受注拡大のニーズがある企業に対しては、企業の技術力をふまえ、当行の強みである「目利き力」をベースとした、付加価値の高いビジネスマッチングを実践し、「企業にとっての仕事を創る」動きを実践している。

このマッピング（図3）は、縦軸に技術評価、横軸に財務内容をベースとする信用格付を取り、二次元座標にマッピングしたものである。この4象限のうち、右上の象限は、技術評価・信用格付とも高く、技術力を本業に十分活かしながら、安定的な経営を実践している企業である。一方、右下の象限は、財務内容は良好であるが、技

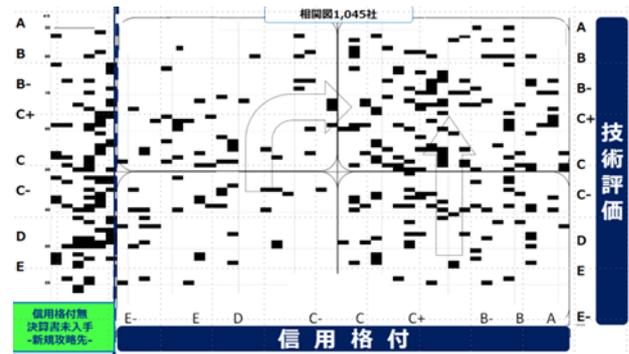


図3 技術評価・信用格付のマッピング図

術力に課題を有している状況であり、現在のビジネスモデルの将来的な持続可能性に疑義が生じる可能性がある。そこで、対象企業には、高精度で生産性の高い設備の導入を提案し、品質管理体制整備、技能検定などの資格取得による従業員のスキルアップにも対応する必要がある。左上の象限は、技術力は認められるが、財務基盤が脆弱な企業群である。対象企業には、当行のネットワークおよび、目利き力を最大限活用したビジネスマッチングによる新規取引先開拓や、展示会・商談会への出展による自社技術のプロモーション等を幅広く提案している。最も解決すべき課題が多く存在するのは、左下の象限に位置する企業群である。対象先企業には、品質管理を抜本的に見直すことや、老朽化している生産設備の更新や従業員のスキルアップ、モデルとなる同業の優良企業見学などのアドバイスを行っている。そうした社内改革を行い、きちんとステップを踏んだうえで、ビジネスマッチング等に取り組むことで、各種ソリューションの有効性が高まる。

このように、企業の技術力に着目した技術評価を起点とするやまぎんMSPは、財務・技術両面からの支援を実現していることから、全国の地方銀行においても類を見ない、他行との明確な差別化に資する当行の強みにもなっている。

事業支援の特徴

技術支援アドバイザーは、山形県を中心として、北は秋田県から南は東京都までの当行営業

エリアを5人で分担しており、各営業店の担当者と協働して、やまぎんMSPを実践している。

技術支援アドバイザーは、山形県工業技術センターの職員時代に培った専門分野に関する知見を数多く有していることから、それぞれの専門分野を活かすため、担当エリアを越えて複数の技術支援アドバイザーが企業を支援するケースも増えている。当行単独で解決が困難な課題については、その内容に応じて各サポーターと連携して支援に当たっている。

このように、当行は、企業が抱える課題解決策の検討にあたり、都度、最善の支援体制を構築し、やまぎんMSPを実践している。

2020年2月に開催したMSP報告会(図4)では、当行が、やまぎんMSPの概要を紹介したほか、当行やサポーターと連携した研究・開発を実施した3社による事例発表を行った。当日は、県内製造業を中心に定員100名を超える参加者が耳を傾けた。当行は、こうした特色ある事例を留めることなく、MSP報告会等を通じて県内企業へ共有することで、横展開による更なる製造業の発展、地域経済活性化への呼び水としている。

事業支援の成果

技術支援アドバイザーは、営業店担当者とともに企業を訪問し、銀行員単独では対応が困難な技術相談や、工場見学を起点とする技術評価を行ってきた。企業との対話を通じて技術課題を把握し、サポーターと連携しながら課題解決を支援している。状況に応じて、補助金コンサルティングやビジネスマッチング等を活用し、技術開発や生産効率化、新分野展開といった企業の課題に応じて適切なサポートを実践している。やまぎんMSPによる定量的な成果は以下のとおりである(図5)。

以下、やまぎんMSPの具体的な成果として、株式会社弘栄ドリームワークスの事例を記載する(図6)。

当社が身を置く建設業界は、従業員の高齢化・



図4 やまぎんMSP 報告会の様子



図5 MSP活動による企業支援サイクル・実績等

人手不足・公共予算削減等で新築案件が減少する一方、老朽化したオフィスや公共施設のメンテナンスにより、インフラ寿命の延伸が主流になっている。しかし、建物の配管は定期点検が義務付けられているものの、老朽化した建物では図面がなく、内部に埋め込まれた配管の点検・更新には大きなコストが発生していた。

そこで、設備工事業を手掛けている当社の親会社である株式会社KOEIは、ドローンや内視鏡からヒントを得て、配管内部を画像で記録しながら前進するヘビ型ロボットの活用を構想し、設備工事業界の課題である「下請け体質」から脱却を目指して、配管探査ロボット「配管くん



図6 〈株式会社弘栄ドリームワークス〉

®を開発し、数年にわたる試行錯誤・研究開発期間を経て、実用化にこぎつけた。

当行は、2015年の事業立ち上げ段階から、技術支援アドバイザーを中心に主体的関与を継続し、山形大学や山形県工業技術センターなどのサポーターとともに、やまぎんMSPによる支援を実施してきた。技術面のバックアップに加えて、配管くん®の知名度向上を企図したブランディング、事業計画策定、地域金融機関・政府系金融機関による協調体制の構築等、当社の挑戦を一気通貫で後押しすることで、将来にわたって持続可能なビジネスモデル構築を支援してきた。今後とも配管くんをフックとする当社の挑戦を力強く支えていきたい。

むすび

やまぎんMSPにおける、近時の象徴的な取組として、EV化を見据えた自動車産業支援を挙げる。これは、電動化・脱炭素等といったトランジションに直面する自動車産業の支援を強化するため、2023年8月、全国地銀7行（当行、足利銀行、群馬銀行、静岡銀行、名古屋銀行、広島銀行、横浜銀行）において「自動車産業支援の高度化に向けた覚書」を締結し、各行のノウハウ・ネットワークを活用しながら山形県内企業のEV事業参入や既存事業深化、新分野進出の後押しを行う、全国広域連携の枠組みである。やま

ぎんMSPのなかでも、自動車産業を注力業種の一つと位置付けて取組を強化中であり、サプライヤーのトランジション対応を強力に後押ししていく。

2025年4月には、県内企業の脱炭素やDXといったマクロトレンドへ対応していくため、技術評価基準の一部見直しを行った。時代に適合した新たな基準で企業の技術力を評価することで、刻々と変化する時流に対してきめ細やかに対応していくことがねらいである。経営課題へ対応することができない企業は、将来的にサプライチェーン内での立場を失う恐れがある。当行は、中長期的な視点に立ち、企業と適切な危機感を共有したうえで、前倒しでの取組を進めていく（図7）。

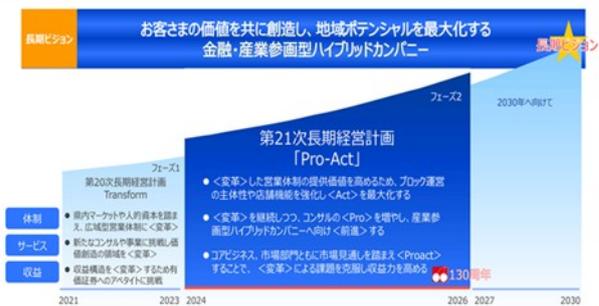


図7 当行長期ビジョンと実現に向けたステップ

今回の受賞は、やまぎんMSPが地域にもたらす価値について客観的に評価されたものであり、更なる取組強化に向けて、大きな自信を得た。当行は、長期ビジョンにおいて「お客さまの価値を共に創造し、地域ポテンシャルを最大化する金融・産業参画型ハイブリッドカンパニー」を標榜しており、今回の受賞を契機としながらも、これに甘んじることなく、地域の成長・発展に責任を持つリーディングバンクとして、一層の支援拡充を図ってまいりたい。

(無断転載を禁じます)

第60回機械振興賞受賞者業績概要

令和8年2月20日発行

発行所 一般財団法人 機械振興協会
〒105-0011 東京都港区芝公園三丁目5番8号
e-mail prize@tri.jspmi.or.jp (技術研究所 賞事務局)

