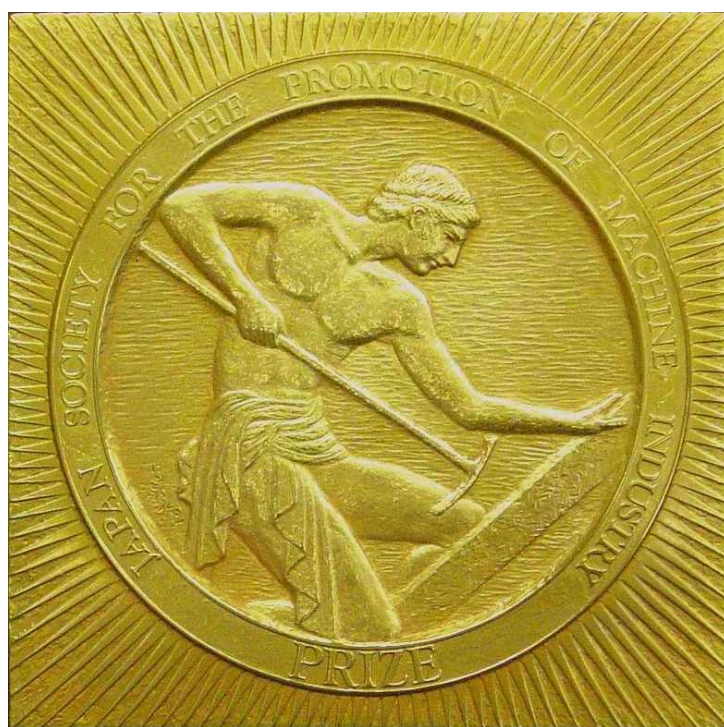


第56回機械振興賞 受賞者業績概要



令和4年2月22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56回（令和3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、農林水産省、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、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を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56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23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10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]

- ◇ 3D歯車創成加工技術と高精度スカイビング加工機の開発 1
株式会社 ジェイテクト

[中小企業庁長官賞]

- ◇ ホースの制約がない高粘度液移送システムの開発 5
兵神装備株式会社

[機械振興協会会長賞]

- ◇ グローブ式パワーアシスト荷役物運搬機の開発 9
アイコクアルファ株式会社

- ◇ 多種素材に対応する串刺食品製造装置（団子製造機）の開発 13
株式会社 飯田製作所

- ◇ 高能率超狭開先溶接システムの開発 17
JFEスチール株式会社、株式会社 永井製作所、ヤマネ鉄工建設株式会社

- ◇ 高性能糸冷却装置の開発 21
TMTマシナリー株式会社

- ◇ 第2世代燃料電池駆動システムの開発 25
トヨタ自動車株式会社

- ◇ 非破壊（小径）金属パイプ内面粗さ測定機 29
二九精密機械工業株式会社

[審査委員長特別賞]

- ◇ 振動可視化レーダの開発 33
アルウェットテクノロジー株式会社

[奨励賞]

- ◇ 重力を利用した水中酸素溶解技術と装置の開発
安原環境テクノロジー株式会社

※奨励賞につきましては、業績概要の掲載はありません。

（原稿作成日 令和4年2月）

※ 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



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56回（令和3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、農林水産省、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、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を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56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23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10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]

- ◇ 3D歯車創成加工技術と高精度スカイビング加工機の開発 1
株式会社 ジェイテクト

[中小企業庁長官賞]

- ◇ ホースの制約がない高粘度液移送システムの開発 5
兵神装備株式会社

[機械振興協会会長賞]

- ◇ グローブ式パワーアシスト荷役物運搬機の開発 9
アイコクアルファ株式会社

- ◇ 多種素材に対応する串刺食品製造装置（団子製造機）の開発 13
株式会社 飯田製作所

- ◇ 高能率超狭開先溶接システムの開発 17
JFEスチール株式会社、株式会社 永井製作所、ヤマネ鉄工建設株式会社

- ◇ 高性能糸冷却装置の開発 21
TMTマシナリー株式会社

- ◇ 第2世代燃料電池駆動システムの開発 25
トヨタ自動車株式会社

- ◇ 非破壊（小径）金属パイプ内面粗さ測定機 29
二九精密機械工業株式会社

[審査委員長特別賞]

- ◇ 振動可視化レーダの開発 33
アルウェットテクノロジー株式会社

[奨励賞]

- ◇ 重力を利用した水中酸素溶解技術と装置の開発
安原環境テクノロジー株式会社

※奨励賞につきましては、業績概要の掲載はありません。

（原稿作成日 令和4年2月）

※ 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

3D歯車創成加工技術と 高精度スカイピング加工機の開発

株式会社 ジェイテクト

取締役社長 佐藤 和弘

(株)ジェイテクト	加工システム技術部	大谷 尚
(株)ジェイテクト	先行開発部	荒井 義博
(株)ジェイテクト	加工システム技術部	外山 弘治
(株)ジェイテクト	マシン制御技術部	大崎 嘉太郎
(株)ジェイテクト	研究開発本部 研究開発領域	
	データアナリティクス研究部	吉永 克仁

はじめに

近年、カーボンニュートラル、SDGsの実現に向け、自動車部品を中心に電動化が急速に加速している。図1に示すように電動車は、モータ、インバータ、減速機から構成されているE-Axleという機電一体型の減速機が多く用いられており、その減速機の必要性能としては、小型軽量で静か、高効率であることが要求されている。

この減速機に内蔵される歯車は、コンパクト、かつ高精度、スムーズにかみ合う最適形状であることが必要とされる。これらに対応するため、スカイピング加工法を用いて3D歯車を創成する加工技術と加工機を開発した。

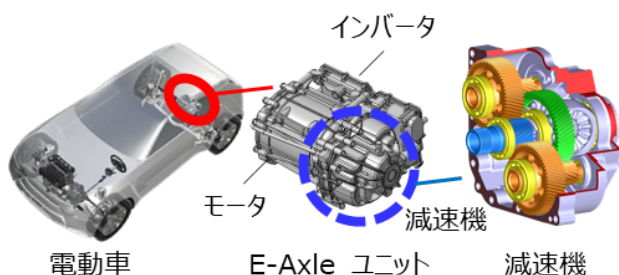


図1 電動車、E-Axleおよび減速機

開発のねらい

設計者は高性能な減速機を開発するために、理想となる歯車を思い描くが、現状は製品製作時の加工法に制約が多く、自由な設計ができない困りごとがある。現状の歯車製作における課題点を下記に示す。

① コンパクト化が困難

E-Axleの減速機は、図2に示すように、インプットギヤ、中間ギヤ、ファイナルギヤなど数種類の歯車が用いられ、歯車の大きさがユニットサイズに直結する。

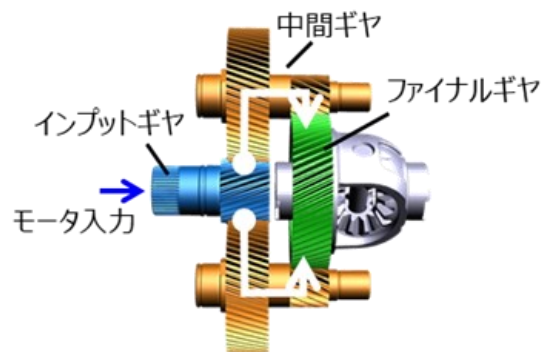


図2 減速機の構造

中間ギヤについては、インプットギヤからファイナルギヤに動力を伝達する必要があるため、2段のギヤとなる。

この2段ギヤの小歯車部を加工する場合、焼き後の仕上げでは、高精度加工ができる歯車研削を行うが、**図3**に示すように、大径のねじ状砥石を用いるために、干渉が発生しないように歯車の間隔を広くする必要があるので、製品が長くなり、コンパクトに製作することが困難である。

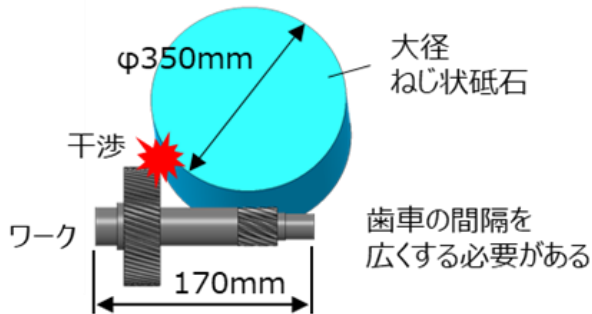


図3 歯車研削盤による加工

② 3D 歯面形状を加工できる加工法がない

通常、歯車はインボリュート形状の歯形を用いるが、歯車や歯車軸の変形によって生じるかみ合いの悪化を改善するために、クラウニング等の歯形修正を行う。しかし、この修正は歯面を均一に大きく修整するため、かみ合い範囲が小さくなり、振動発生や、効率悪化等の問題がある（**図4**）。

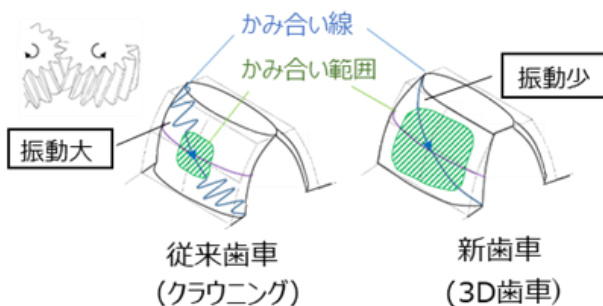


図4 従来歯車と3D歯車

これを解決するには、最近では、かみ合い範囲を増やし、低振動で、かつ効率を損なわないような、新たな自由曲面を有した3D歯車が提案されている。

この歯面形状は、ユニット構造や相手歯車とのかみ合い状態により最適形状が異なるため、歯車製作時には、自由度の高い加工が必要とされるが、それを対応した加工法がない。

これらの課題を解決するために、小型で高精度、かつ、高い自由度を持ち自由自在に3D歯面形状を加工できる加工技術、および加工機を開発した。

装置の概要

開発した高精度スカイビング加工機 GS200Hを**図5**に示す。本機械は、スカイビング加工法により高精度に3D歯面形状を加工する機能、および工具を搭載している。



図5 スカイビング加工機 GS200H

スカイビング加工方法

スカイビング加工は、歯車形状の工具を用いて加工する創成歯切り法の一つである。原理は、**図6**に示すように、工具と工作物を相対的に傾け、同期回転させることにより発生する相対速度を用い歯車加工を行う工法である。

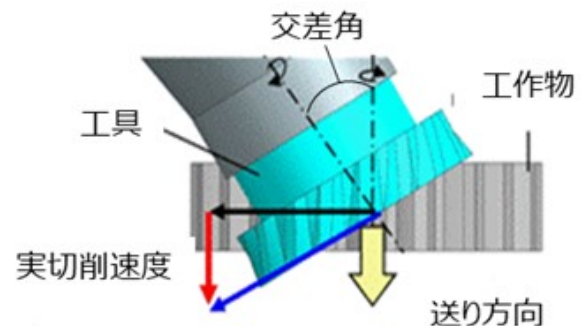


図6 スカイビング加工方法

この工法の特徴は、工具が小径であり接近性が良いため（**図7**）、コンパクトな歯車部品を製作できることである。

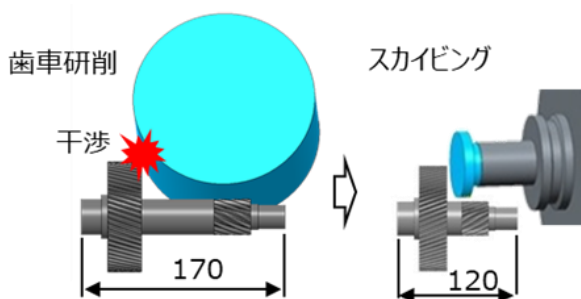


図7 スカIVING加工方法の特徴

技術上の特徴

3D 歯面創成加工方法

3D 歯面創成加工技術は、様々な自由曲面を創成する技術である。

図8に示すように、圧力角、歯形丸みといった歯形形状は工具で創成し、歯すじ傾斜やクラウニング、バイアス等の歯すじ形状は機械運動で創成する。そして、工具と機械運動を複合して組み合わせることにより、3D 歯面形状を実現する。

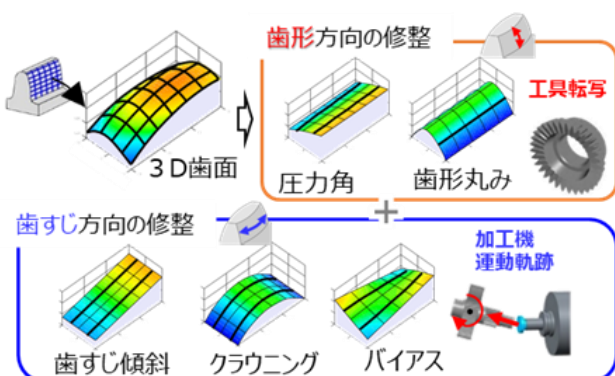


図8 3D歯面を構成する5つの要素

機械要素技術

機械の制御については、自由曲面である歯形に沿って工具をなめらかに動かす必要があるために、工具回転軸とワーク回転軸のみならず、位置決めとしての直線軸、割出し軸を含め、6軸すべてを高精度に同期制御する必要がある。

そこで、機械構成は、直線軸はフルクローズド制御、回転軸はすべてダイレクトドライブモータ方式とした。

また、加工時の機械振動を低減するために、内製による高剛性で高精度な軸受けを採用し、さら

に内部構造を見直すことによって、なめらかな追従性と、従来に対して非常に高い剛性を実現した(図9)。

- 高速高剛性・ワーク軸



- 高追従性テーブル軸

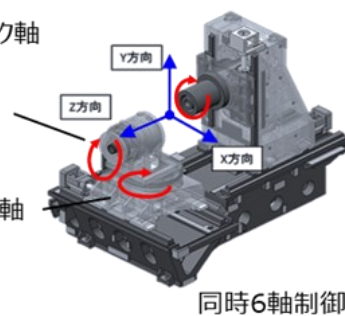


図9 高精度仕様加工機

3D 歯面加工用工具

通常のインボリュート歯車を加工する場合は、工具の歯形形状は、ワークとの創成運動から決定される。

それに対し、3D 歯面を加工する場合は、図10に示すように、さらに機械の運動を加えて、工具の歯形形状を算出する必要がある。

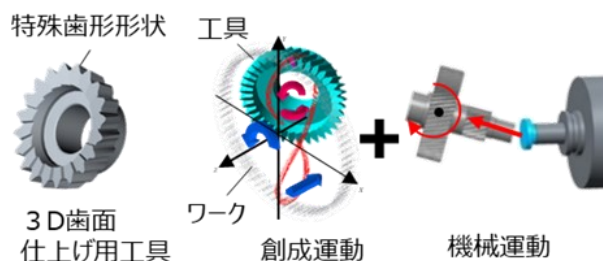


図10 3D歯面創成加工用工具

そこで、独自シミュレーションを開発して工具を設計、それに合わせて製作することで、3D 歯面創成用工具を開発した。

今回は高精度な加工を実現するために、焼入れ前に荒加工、焼入れ後に仕上げ加工を行った。

工具材質については、ワークの硬度を考慮し、荒加工ではハイス材、仕上げ加工では超硬材を用いて工具を製作している。

実用上の効果

加工事例

図11は開発した技術を用いて製作した2段

ピニオンギヤである。2 段の歯車間距離は短く 10mm を実現した。そのため全長も短くなり 120mm となり、従来の歯車研削で製作できる長さ 170mm に対して、30%コンパクトである。

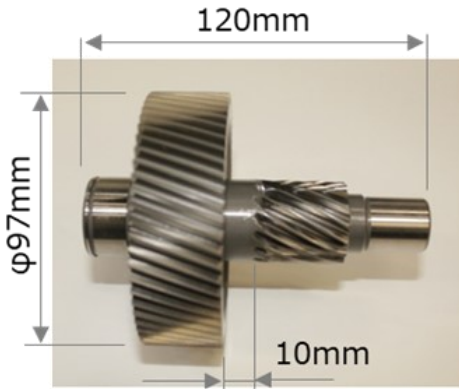


図11 2段ピニオンギヤ

加工については、超硬材のスカイピング工具を用いて、熱処理後の仕上げを実施した。

加工精度については、歯車精度は JIS5 級相当で、3D 歯面形状の歯形修整量は図 1 2 に示すように、狙い値 ± 1.0μm 以内で加工することができた。

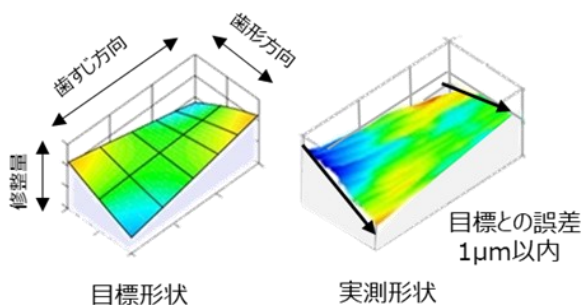


図12 3D歯面精度

このワークを内蔵した減速機ユニットの振動を評価した結果、3D 歯面を有しない従来歯形に対して 25%の振動低減効果が得られた(図 1 3)。

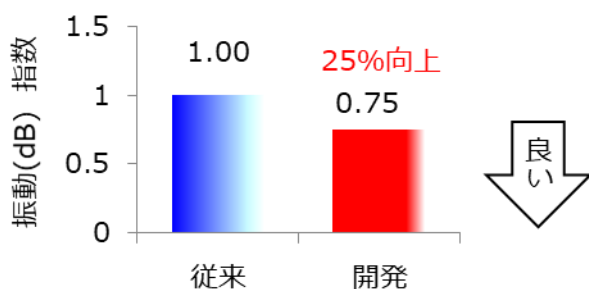


図13 3D歯面の振動低減効果

E-Axleユニット事例

図 1 4 は製作した 2 段ピニオンギヤを搭載した 4 輪駆動用の E-Axle の減速機である。

この減速機は、従来に対して非常に小型であり、体積は 30%、重量は 10%低減しており、効率は 0.3%向上、96.8%を達成した。



図14 減速機ユニット

知的財産権の状況

本開発品に関する特許登録は 19 件あり、主要特許は下記のとおりである。

- ① 日本国特許第 6606967 号
名称: 歯車加工装置及び歯車加工方法
- ② 日本国特許第 6871675 号
名称: 歯車加工装置及び歯車加工方法

むすび

新開発した 3D 歯面創成加工技術と高精度スカイピング加工機を用いることで、3D 歯面形状の歯車をコンパクト、かつ高精度で加工することができ、それにより、小型で静かな減速機を実現することができた。

この技術は、電動化が進む自動車をはじめ、減速機を搭載する、あらゆる製品の燃費や性能の向上が期待でき、CO₂の削減に貢献することができる。

今後も、さらなる技術開発を進めて、歯車の技術革新に貢献していく。

ホースの制約がない 高粘度液移送システムの開発

兵神装備株式会社

代表取締役社長 市田 邦洋

兵神装備(株) 技術本部 技術部 田中 雄介

はじめに

ロボットに搭載した吐出装置を用いて、自動車の構成部材などに接着剤などの高粘度液を塗布する際、一般的にはロボット上に液移送用高圧ホースを設置する(図1)。この高圧ホースは非常に硬く、ホースの可動範囲を考慮する必要があるため、設備の省スペース化や奥まった部位に吐出装置を入れることが難しい。また、ホースの制約があってロボットを自在に動かすことができず、ロボットティーチング作業やタクトタイムの短縮に苦慮している。これらを解決するため、ロボット上のホースを排除したシステムの実現を目指した。

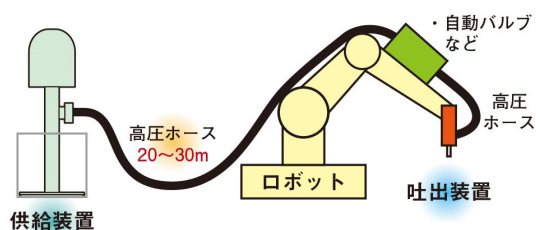


図1 一般的なシステム

開発のねらい

吐出装置にタンクと接続具を設け、接続具の接続・分離によってタンクに液を供給する本シ

ステム(図2)の特許は存在していたが、実際の生産ラインではほとんど見られなかった。これは、接続具の接続・分離動作を繰り返す中で、以下の4つの課題を解決できていないことが要因である。

- ① エア混入：移送液内にエアが混入し、吐出後の形状が綺麗にならない。
- ② 移送液漏れ：接続具から移送液が漏れ、頻繁に拭き取り作業をしなければならない。
- ③ 接続具の耐久性：固い粒子を含む移送液の場合、接続具内部の部品が摩耗し、頻繁に交換しなければならない。
- ④ タンクへの供給時間：接続・分離動作と供給時間によりタクトタイムに間に合わない。これら課題の解決を目指した。

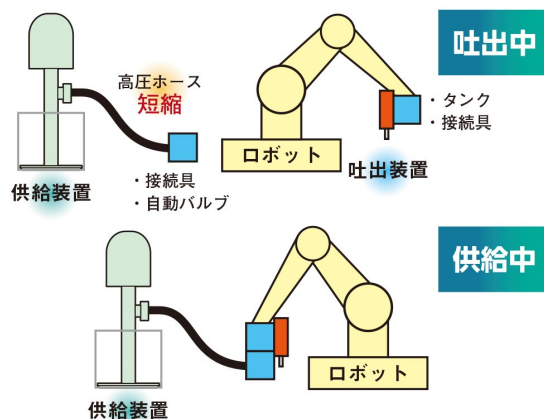


図2 本システム

システムの概要

本システムのロボット周辺部を図3に、吐出装置(モノディスペンサー)ならびに接続具周辺部を図4に、液の流れを図5に示す。

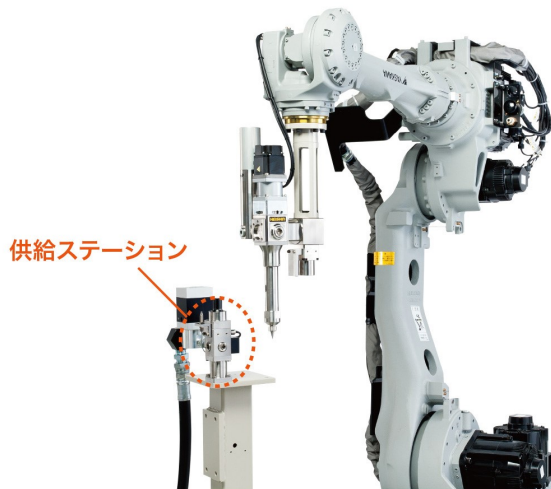


図3 ロボット周辺部



図4 モノディスペンサーと接続具周辺部

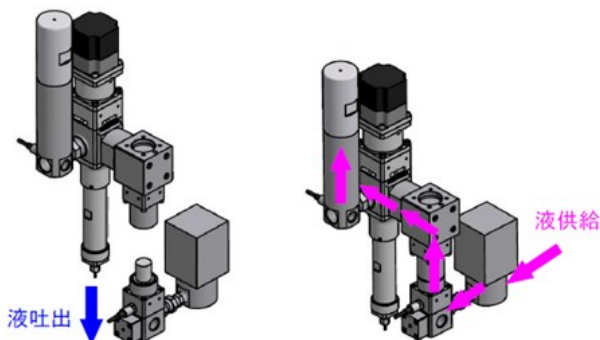


図5 液の流れ

モノディスペンサーから液を吐出し、タンク内の液が減って下限に到達するとロボットを供給ステーションに移動する。ロボットを移動しながら接続具を接続し、センサーなどで接続確認した後に自動バルブを開く。接続具を通してタンクに液が供給され、上限に到達すると自動バルブを閉じ、ロボットを移動しながら接続具を分離する。これら一連の動作を繰り返す。

技術上の特徴

①エア混入を低減する技術

接続具の分離速度を制御することで、分離時に接続具内部が負圧にならないようにした。また、接続具の両側にアキュムレーターを設け、接続時の内部圧力変動を抑制することで、接続具内部が負圧にならないようにした。

これらの技術により、外部からのエア混入や、移送液内に含有していたエアの発生を低減でき、幅2mmの塗布線が2mm以上途切れることがないレベルを達成できた(図6)。

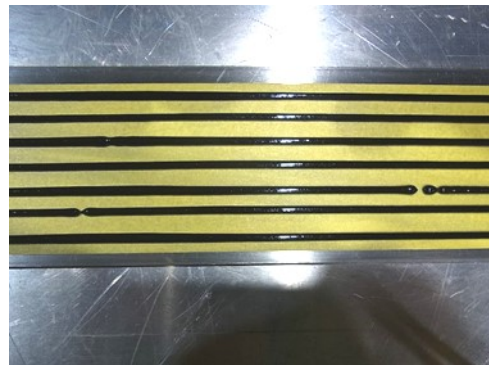


図6 直径2mmの塗布線

②移送液漏れを低減する技術

接続具の接続・分離速度を制御することで、接続具内のシール部品がより多くの移送液を堰き止めることができる。また、接続具の両側にアキュムレーターを設け、接続時の内部圧力変動を抑制することで、接続具内部の圧力を下げ、外部への漏れを低減できる。

これらの技術により、外部への移送液漏れを低減でき、1～2万回の接続・分離動作で

1g以下のレベルを達成できた（図7）。



図7 25,000回接続・分離後の漏れ

③接続具の耐久性を上げる技術

固い粒子を含む移送液を扱う場合は、接続具内の部品間のクリアランスを所定値以上の大きさに設定することで摩耗を低減できる。

この技術により、固い粒子を含む移送液でも、エア混入ならびに移送液漏れの目標値①②を10万回接続・分離まで維持できるレベルを達成できた。

④タンクへの供給時間を短くする技術

システム構成ならびに制御システムを可能な限りシンプルにした。また、自動バルブ〜タンク間の流路を可能な限り大きくし、配管抵抗を下げた。

これらの技術により、接続・分離時間を含め、200mℓのタンクを10秒以下で充填できるレベルを達成できた。

4つの課題に対する性能を表1にまとめた。

表1 システムの性能

	項目	性能
1	エア混入	幅2mmの塗布線が2mm以上途切れない
2	液漏れ	1~2万回の接続・分離動作で1g以下
3	接続具の耐久性	固い粒子を含む液でも、①②を10万回接続・分離まで維持
4	タンクへの供給時間	接続・分離時間を含め、200mℓのタンクを10秒以下で充填

実用上の効果

■ユーザーの生産性向上

- ・ホースの可動範囲を考慮する必要がないため、設備の省スペース化や奥まった部位にモノディスペンサーを入れることができた。
- ・ホースの制約が無いため、ロボットティーチング作業やタクトタイムを短縮できた。
- ・ロボットを自在に動かすことができるため、机上でのシミュレーション（オフラインティーチング）が可能になった。

■省エネ

ロボット上のホースが無く、ホース全長が短くなることで、供給装置の消費エネルギー削減とホースのヒーティングに必要な電力を削減できた。

■省資源

ロボット上のホースが無いため、ゴムの使用量とホース廃棄時のホース内残液量を削減できた。

■ユーザーのランニングコスト削減

ロボット上のホースが無いため、約1年ごとに発生するヒーター付きホースの定期交換が不要になった。

■ユーザーのメンテナンス性向上

ロボット上のホースが無いため、保全担当者が主に夜間・休日に実施していたホース周辺のメンテナンスが不要になり、ストレスフリー・働き方改革を実現できた。なお、本システムは、接続具に付着した液の拭き取りと、C型止め輪で固定している接続具の交換のみである。

■ユーザーの安全性向上

ロボット上のホースが無いため、保全担当

者が高所作業をする機会が激減した。なお、本システムはシンプルな構成で、安全性に配慮する箇所は特にない。

知的財産権の状況

本開発品の装置に関する主な特許登録は下記の通りである。

- ① 日本国特許第 5994049 号
名称：吐出システム
概要：接続具の接続・分離速度を制御する
- ② 日本国特許第 5994050 号
名称：吐出システム
概要：接続具の上下流にアキュムレーターを設ける
- ③ 日本国特許第 6019365 号
名称：吐出システムの製造方法
概要：接続具内の部品間クリアランスを所定値以上の大きさに設定する

本システムを実用化するために 9 件の発明をなし、「事業戦略対応まとめ審査」を経て、特許として登録となった。

むすび

ロボット上のホースが無くなれば、複数台のロボットを使用していたラインが、1 台のロボットで対応できるようになる。具体的には、以下の 2 パターンが考えられる。

- ① 吐出装置と、搬送装置や溶接装置を交換して使い分ける（図 8）。
- ② 異なる高粘度液が入った複数の吐出装置を交換して使い分ける（図 9）。

いずれも、実現できれば生産ラインを革新的に変えることができる。ユーザーとの協働により①は既に実現できており、②の実現ならびに①の更なる発展に向け、引き続き貢献していく所存である。

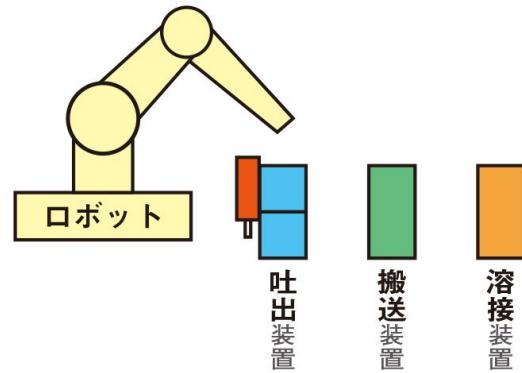


図8 吐出装置と他装置を交換

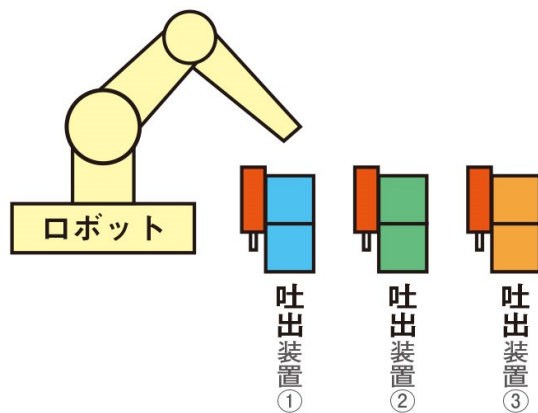


図9 複数の吐出装置を交換

グローブ式パワーアシスト 荷役物運搬機の開発

アイコクアルファ株式会社

代表取締役社長 樋田 克史

アイコクアルファ(株) RH事業部	RRDT シニアマネージャー	長屋 俊久
アイコクアルファ(株) RH事業部	RRDT 技術マネージャー	中村 豊
アイコクアルファ(株) RH事業部	RRDT リーダー	下村 和樹
アイコクアルファ(株) RH事業部	RRDT	鷓生 卓也

はじめに

当社は、1970年にアーム式荷役物運搬機1号機を開発し、製造販売を開始した。以来この分野の先導企業として、多様な用途や条件に対応でき、かつ導入後直ちに使用できる即応性の高い荷役物運搬機を提供してきた。同運搬機の機能高度化と利用技術の拡大を追求し、30～400kgまでの多種多様な荷役物の取り扱いが可能なアーム式荷役物運搬機を世界の市場に提供しており、過去50年間の国内外での累積販売実績は37,000台に及んでいる。第一世代であるアーム式荷役物運搬機は、重量物の移動には適していたが、荷役物の形状・寸法に応じて、その都度、個別に設計・製作する専用の機械式把持装置が必要なことに加え、一般に手作業で運搬ができる重量30kg以下の荷役物運搬作業においては、手作業ほど迅速に人の作業に追従できるまでには至らず、利用範囲が限定されていた。

そこで、手作業で運搬ができる重量30kg以下の荷役物に焦点を当て、1994年に第二世代となるベルトで荷役物の昇降を補助し、バキューム吸着式把持装置を備えたベルト昇降型アーム式荷役物運搬機を新たに開発し、販売を開始した。現在までに2,300台を販売し、主に米穀用紙袋等のパレタイズ作業において現在も高い評価を

得ているが、アーム式荷役物運搬機と同様に荷役物に応じて把持装置の調整や付け替えが必要となることや、図1に示すように、1分間当たりの作業回数は第一世代より向上したものの、人の作業に追従できるまでには至らなかった。

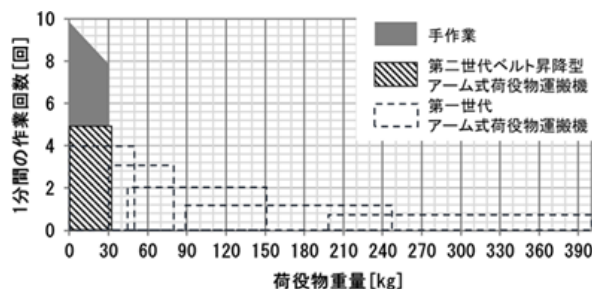


図1 荷役物重量と1分間の作業回数の関係

本業績は、重量30kg以下の荷役物の運搬作業において、第三世代となるグローブ式パワーアシスト荷役物運搬機の開発・活用の成果に関するものである。

開発のねらい

手作業で運搬ができる重量30kg以下の荷役物に焦点を当て、第一世代、第二世代の荷役物運搬機での課題の克服を主眼として、①専用の把持装置無しで多様な荷役物を把持しつり上げることができる、②手作業と遜色なく高速で作動し、作業者の作業意図への追従性に優れる、等の特徴を備えた新たな荷役物運搬機の開発を目指した。

装置の概要

作業者が手に装着する多能グローブ式把持装置を備えたパワーアシスト荷役物運搬機を開発し、2011年に販売を開始した。開発したグローブ式パワーアシスト荷役物運搬機の構造と外観を図2、3に示す。

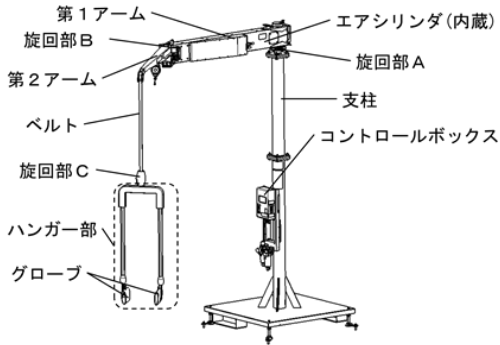


図2 構造



図3 外観

全体を支える支柱とコントロールボックス、ベルトとエアシリンダ、第1アームと第2アーム、旋回部A、B、C、作業者が装着するグローブとグローブを吊すハンガー部から構成される。

図4に制御を示す。

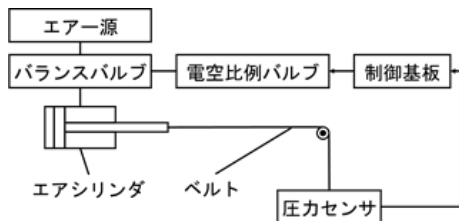


図4 空気圧駆動制御

駆動源はエアシリンダを用い、操作デバイスは加わった圧力に応じて抵抗値が変化する感圧抵抗体素子を圧力センサとして利用している。

圧力センサはグローブ内の右手人差し指部分にあり、作業者がグローブに手を入れ荷役物を把持すると、右手人差し指から加えた圧力を制御基板に出力する。電空比例バルブは制御基板からの指令信号に応じた圧力をバランスバルブのパイロット圧として出力する。バランスバルブはパイロット圧に等しい圧力をエアシリンダに供給し、ベルトを昇降させる。

つまり、右手人差し指で圧力センサを押す力が弱ければ、エアシリンダ推力は弱くなり、圧力センサを強く押すと強いエアシリンダ推力を発揮する。作業者は荷役物の重量に応じた把持力は必要になるが、昇降はエアシリンダ推力により、僅かな力で楽に操作できる。

技術上の特徴

図5は第二世代と第三世代の第1アームと第2アームの構造の比較を示す。

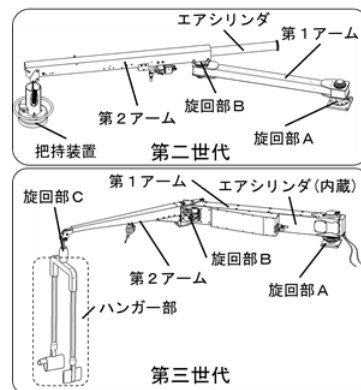


図5 アーム部比較

運搬作業に伴って発生する慣性モーメントを低減させるために、重量の大きい部品の配設を変更した。第二世代では、第2アームにエアシリンダを配置しているが、これに対して第三世代では、エアシリンダを第1アームに内蔵した。

図6にエアシリンダを用いたベルト昇降伝達方法の比較を示す。第1アームに内蔵するために、図6に示す通り滑車を追加することで昇降ストロークをシリンダストロークの2倍から4倍に変更し、エアシリンダの全長を短縮しつつ、同等の昇降ストロークを確保した。また、第2アーム

ムを従来の一般構造用鋼材から高張力鋼材に変更し、さらにアーム先端まで絞り込んだ形状とすることで、アームの軽量化を図った。加えて、ハンガー部はカーボンパイプを使用することで、グローブと合わせて重量は2 kgと第二世代のバキューム式把持装置の1/4の重量に抑え、慣性モーメントを約1/4に低減した。

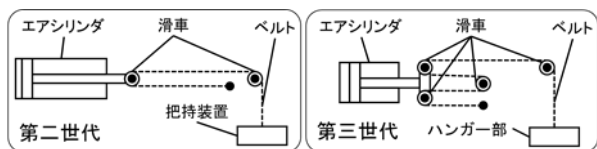


図6 ベルト昇降伝達方法の比較

荷役物を把持するグローブの開発については、手の自由度を生かして、一つのグローブで様々な荷役物の持ち上げができることを想定し①握る、②引っ掛ける、③挟む、④支える、に分類して把持したときの感覚を調査した結果、指先を自由に動かすことが望ましい事実が明らかになり、特に④支える把持動作で力が入れやすい指出しタイプグローブ（図7）を標準グローブとして採用した。



図7 指出しタイプグローブ

また、グローブのつり点については、作業を繰り返すことでつり点付近に痛みを感じたため、図8に示すように、どのようなつり上げ方でも対応できるように、手の甲付近にベルト状のリングを設け、つり点における力の作用点と作用方向が持ち方によって可変するように改善し、支持点を幅広にすることで手に加わる力を分散させる工夫を行った。



図8 グローブつり点

さらに販売台数・業種が増えるにつれ、ユーザーからの要望もあり、グローブのカスタマイ

ズ化を実施した。カスタマイズ化の一例として、図9は、リングタイプである。手の平を覆うグローブの面積が小さいことで負荷は集中するが、工程間の移動や伝票処理等、作業者が頻繁にグローブの着脱を行う工程に有効である。



図9 リングタイプグローブ

制御については、当初はアナログであったが、2018年にデジタル電子回路基板とタッチパネル、各種センサを使用してプログラムで制御できるよう、制御部の全面的な改良を実施した。

図10は圧力センサに加わった押し力と、電空比例バルブへの出力電圧の関係である。

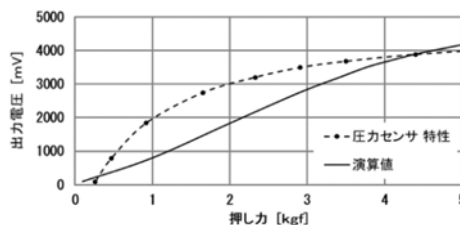


図10 圧力センサの特性と演算値比較

当初のアナログ制御は、圧力センサからの信号をそのまま電空比例バルブへ出力していた。そのため、圧力センサの特性から図10の通り破線のような出力となり、作業者のイメージと合わず急激に持ち上がるような挙動が見られ、操作に慣れるまである程度の時間が必要であった。そこで制御部を全面的に見直し、デジタル電子回路に変更した。これにより、図10実線のように圧力センサに加わった押し力と出力電圧を比例させる演算が可能になった。その結果、作業者のイメージに近い持ち上げ力を出力できるようになり、操作の習熟までの時間が短縮された。



図11 タッチパネル画面例

また、デジタル制御ではタッチパネルを採用した。電源をオンにすると図11左側のメイン

画面がタッチパネルに表示される。メイン画面では、スマートフォンのように指でスライダーバーを操作し、直感的に細かな調整ができるようになった。特に出力規制は、荷役物の最大重量に合わせることで、作業者がコントロールしやすくなり、操作性が向上した。図11右側は一次エア圧を検出するセンサが異常と判断したときに表示されるお知らせ表示例である。各種センサが異常を検出したときは、タッチパネルで異常を表示し、作業者の安全性を向上させた。その他にも、予防保全のため、作業時間や回数、納入月から消耗品の交換時期等をタッチパネルに表示することで、メンテナンス性も向上させた。

実用上の効果

本開発に依るグローブ式パワーアシスト荷役物運搬機の実用上の効果は以下に要約できる。

従前、手作業で行われてきた荷役物運搬作業において、負荷が著しく低下し、男女を問わず高齢者を含めて作業者の定着率が向上した。

作業の安全性が著しく高まり、事故・怪我等に依る経済損失が大きく低減した。

グローブ式把持装具の導入により、多様な荷役物に即座に対応できるようになった。

以上を含めて、本荷役運搬機の利用分野が大きく拡大し、第二世代と比較し1分間の最大作業回数は5回から8回となり、生産性が大きく向上できた。

また、近年販売されているパワーアシストスーツとの大きな違いとしては、当社のグローブ式パワーアシスト荷役物運搬機は、着脱が容易で、どんな姿勢でもアシストでき、作業者の動きを阻害しないことが挙げられる。

図12のように手を伸ばし、片足を突き出し、



図12 アシスト姿勢例

腰と荷役物が離れた姿勢でも常に把持装具をアシストすることにより、楽に安定して持上げ動作ができる。

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 4326266 号

名称：荷役物運搬機

概要：グローブ式パワーアシスト荷役物運搬機の基本特許。特別な把持装置無しで、作業者の把持力を検出し、把持力に応じて昇降させる。

② 日本国特許第 5106874 号

名称：荷役物運搬機用グローブ、荷役物運搬機用グローブユニット及び荷役物運搬機

概要：グローブに関して、センサは、板・袋・ゲル状センサ等の素材を使用する。

③ 日本国特許第 5106900 号

名称：荷役物運搬機

概要：初心者・熟練者で把持力からの増幅率（ゲイン）を切替える。把持力が規定以上に減少したら、下降速度を抑制する安全回路。

むすび

今回の開発では、制御方式を従来のアナログからデジタルへ変更することで、より人の感覚に近いスムーズな操作性を実現したグローブ式パワーアシスト荷役物運搬機を創り上げることができた。第一世代機においてもこのデジタル制御化を進めることで、人が手作業で運搬することができない重量の荷役物におけるアーム式荷役物運搬機の活用の幅が広がっている。

またデジタル電子回路を利用することで、将来的にはIoTにより予知保全や技術・ノウハウのデータ化へと利用技術がさらに進化していく可能性があり、さらに開発を進めていく。

多種素材に対応する串刺食品製造装置 (自動串団子製造機)の開発

株式会社 飯田製作所

代表取締役社長 飯田 勉

(株)飯田製作所 代表取締役会長 飯田 一

(株)飯田製作所 常務取締役 飯田 博

はじめに

開発機の元となった従来機、自動串団子製造機は昭和42年に特許申請、翌43年より販売を開始。団子生地と竹串をセットし運転するだけで串団子が自動で製造され10人分の手作業が1人で対応可能となり大幅な生産性向上が実現された。過去自動串団子製造機を見たお客様から串刺しされた「五平餅」や「焼鳥のつくね串」の製造機作成を打診され製品化に取り組んだが実現には至らなかった。生地の特性が影響し機械上部にセットした生地を機械内部に効率よく送ることができない、機械内部に送り出し串刺し・成形した後、食材が機械内部に張り付き出てこないなど課題であった。串刺食品を製造するに当たり「上新粉」を主原料とした団子生地と比較し粘りのあるもち米素材のおはぎ・道明寺や含水量の著しく多いわらび餅・葛素材に対応することが強く求められていた。

開発のねらい

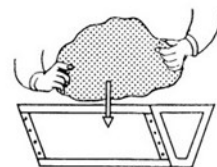
串刺しされた食品の中で、手作業で串刺し・成形している「焼鳥のつくね串」の自動化、2工程で製造している「五平餅」の生産効率向上を望む声は大きかった。串団子等の食品は手で直接触れること無く食することが可能で衛生面ではメリットがある。近年、食品製造業において新商品

を提供する企画開発力が企業の存続に大きな影響を与えている。従来からの串団子に加え日本の食文化に一石を投じる和菓子の提案が必要であると考え、今回、新たに多種素材に対応する串刺食品製造装置(自動串団子製造機)の開発を目指した。

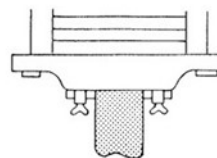
装置の概要

今回開発した新機構説明の前に従来機(うるち米を原料とする串団子を製造する自動串団子製造機)の基本動作を図1、2に示す。

①生地のかたまりを
ホッパーに投入する



②生地送りロールで
シート状に押し出す



③生地誘導ロールに
て生地を誘導する

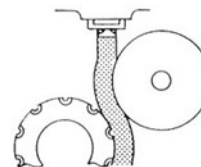
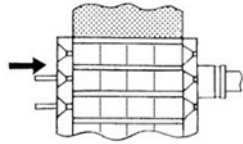


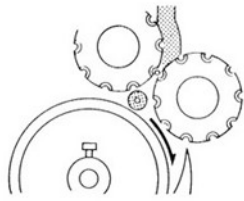
図1 自動串団子製造機の基本動作

また図3は生地の流れを示した図である。2つ並んだ成形ロールの間をシート状の生地が通過する際串刺しされ、円筒状に分割される(図4)。

④成形ロールで串刺し円筒状に分割



⑤分割され串刺しされた生地が丸目仕上ロールに入る



⑥丸目仕上ロールで球状にして完成

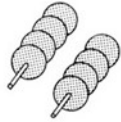


図2 自動串団子製造機の基本動作

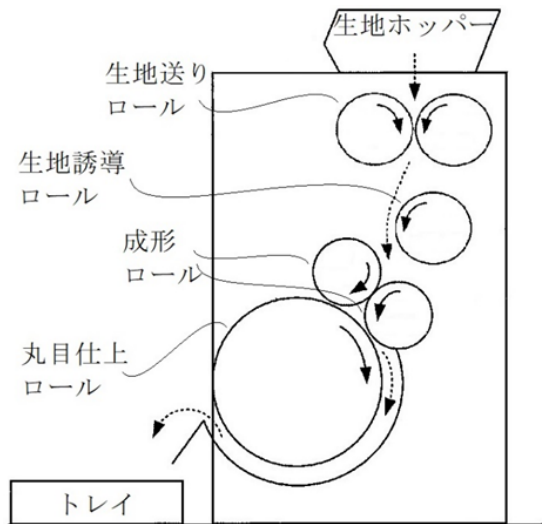


図3 生地の流れ

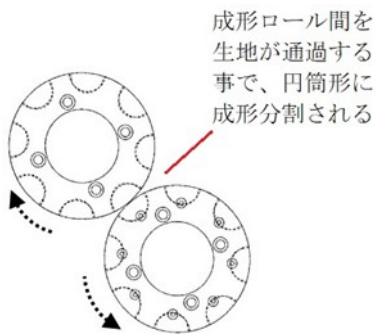


図4 成形ロール写真、構造

技術上の特徴

今回新たに以下4点の装置を開発した。①多種素材を供給可能とした生地送り装置部、②成形ロールからの素材離脱をサポートするエア吹込装置、③重量設定の変更が任意で行える制御装

置、④竹串送り出し部へ強制串吸引機構を搭載することで串刺ロスを減らす串刺安定装置。

① 多種素材を供給可能とした生地送り装置部

粘りのある素材、含水量の多い素材を用いると素材が生地送りロールに付着し生地送りロールに沿って逆戻りする現象が発生し生地供給が安定しなかった。そこで3点の部材を新たに設け安定した生地供給が可能となった(図5)。(a) 生地重量を調整する「口金」(b) 生地逆戻り量を調整し逆戻りを防ぐ「生地安定化部材」(c) 生地送りロールに付着し逆戻りした生地が下方への落下を防止する「生地送りロールカバー」。

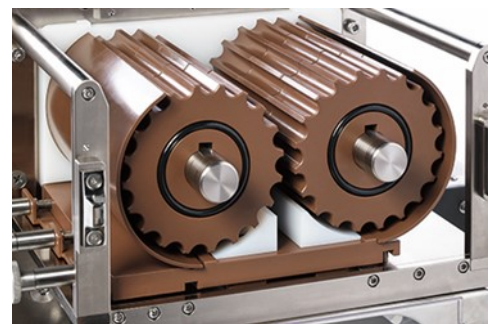
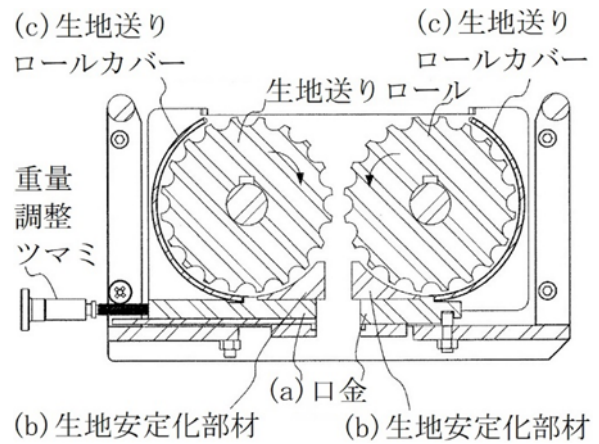
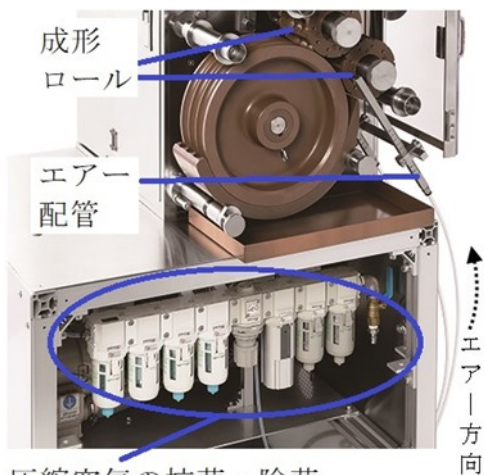
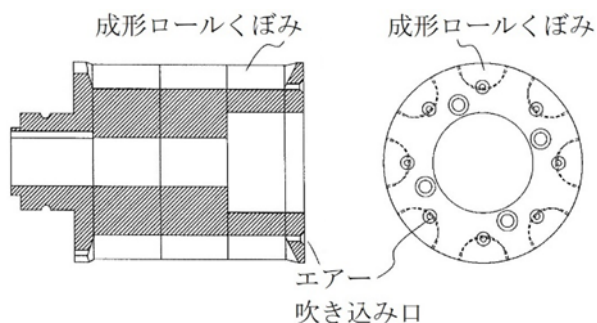


図5 生地送り装置部構造及び写真

② 成形ロールからの素材離脱をサポートするエア吹込装置

粘りのある素材、含水量の多い素材を用いると、成形ロールのくぼみに張り付いて出てこない現象が発生。そこで成形ロールのくぼみにエアを送る穴を設け成形ロールで分割後エアを吹き込むことで自重落下をサポートする機構を開発(図4、6)、スムーズな素材離脱が実現された。



圧縮空気の抗菌・除菌脱臭を行うエア装置

図6 素材離脱をサポートするエア吹込装置の構造及び写真

③ 重量設定の変更が任意で行える制御装置

串刺しの際、成形ロールは一時停止し串差し完了後回転する（間欠運転、図7）。従来機では間欠運転実現にギアを使用したラチェット（図8）送り機構を採用。食品重量はくぼみ部の大きさによって決定されるため、くぼみ数の異なる成形ロール交換（容易）に加えラチェット部の歯数の異なる部品への交換（内部部品かつ要調整）が必要で容易とは言えなかった。多種素材に対応した串刺食品製造機を販売するに当たりあらゆる重量の多品種食品製造を容易に可能とするため、ギアを使用したラチェット送り機構からステッピングモーターによる電子制御へと変更し、タッチパネルから簡単に設定できるようにした（図9）。

例) 食品重量 50g の場合

くぼみ数 = 10ケ 間欠運転 36度ごと

食品重量 40g の場合

くぼみ数 = 12ケ 間欠運転 30度ごと

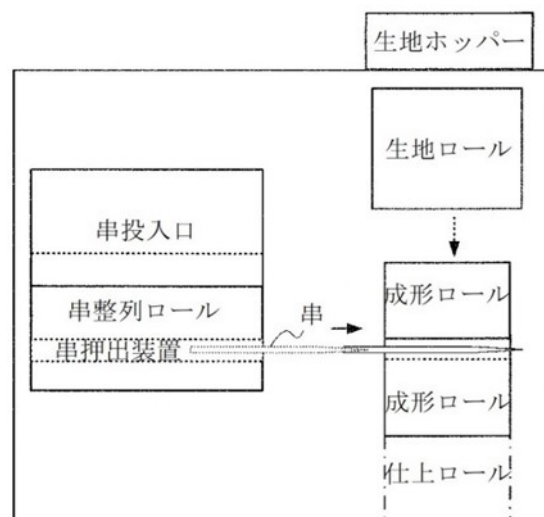


図7 串押出装置と生地成形ロールの位置関係



図8 既存串団子製造機で使用した成形ロール(上)とラチェットギア(下)



図9 食品重量設定等を変更するタッチパネル

④ 竹串送り出し部へ強制串吸引機構を搭載することで串刺しロスを減らす串刺安定装置

多種素材に対応する機能の開発に加え、串刺の製造ロスを減らす機構を搭載した。竹串が「串整列装置」から「串押出装置」へ自重で落下。串レールに收容された串を押し出すことで串刺しを行う。竹串は自然素材のため、油等の汚れ、形状のバラツキ等により途中で引っ掛かり、串レール内に收容される前に押

し出しが行われ、製造ロスが生じていた。そこで、串の自重落下に加え、串レール内にブローで吸引收容する手段を装備し製造ロスを少なくし効率の良い製造が行なえる串刺安定装置を搭載した（図10、11）。

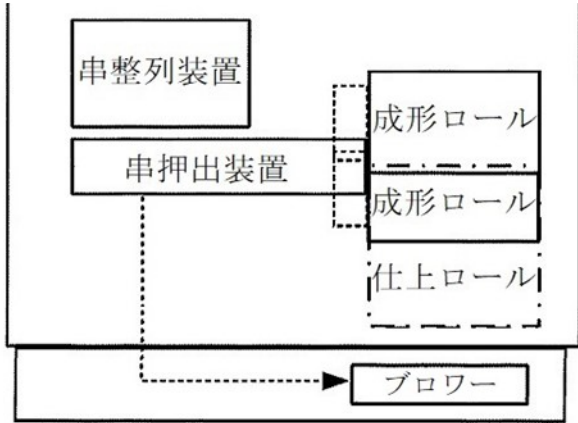


図10 串押し装置とブローの接続図

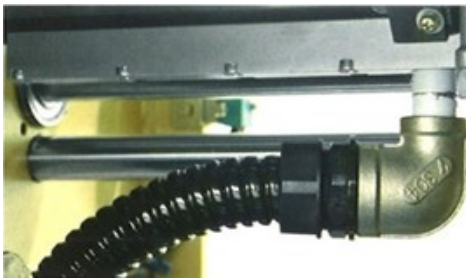


図11 串押し装置下部のブロー接続写真

実用上の効果

今まで実現できていなかった、おはぎ、道明寺、わらび餅、葛素材の自動串刺し丸目製造が可能となった。上新粉以外の素材、例えば五平餅を当開発機で製造した場合5人の作業を2人で対応可能となる。鳥つくね串の場合、6人で手作業の所、3人で対応可能となった。

串刺安定装置により串の重量・長さにもよるが、軽く短い串の場合、1時間に2本くらいの串刺ロス発生が、2時間に1本くらいへと改善された。

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6370360号

名称：食品串刺装置（2018年特許登録）

概要：串レールに自動落下した串を対象食品に押し出すことで串刺しを行う装置で、串レール下部に落下する串を吸引する機構を有することで、串レールに収まる前に押し出されることが起きないように、高速で串レール内に收容されるため、効率の良い食品の串刺しを行うことができる。

以下3件は出願中である。

② 特願 2020-074605

名称：串刺食品製造装置

概要：鳥肉等すり身を団子状・棒状に成形して串刺した後、エアーを吹き込むことで成形ロールからの素材離脱をサポートする。

③ 特願 2021-081377

名称：串刺食品製造装置

概要：もち米、おはぎ、道明寺、わらび餅等種々の素材を用いても信頼できる効率で串刺し食品を自動製造することができるようにした。

④ 特願 2021-081378

名称：串刺食品製造装置

概要：成形ロールの任意の周期の間欠駆動を可能とし、これによって自由度をもって成形食品の単位重量を変更できるようにした万能串刺食品製造装置を提供する。

むすび

近年、食品製造業界においても生産性向上、安全衛生面での改革が更に求められる時代になっている。お客様の生産量も少量多品種となっているため、切替等の機動力を重視した生産に対応する機械の提供が求められている。今後も弊社は食品団子製造機メーカーとしてお客様のあらゆるご要望にお応えして行く。

高能率超狭開先溶接システムの開発

JFEスチール株式会社

代表取締役社長 北野 嘉久

株式会社永井製作所

代表取締役社長 永井 毅

ヤマネ鉄工建設株式会社

代表取締役 山根 正寛

JFEスチール(株) スチール研究所 接合・強度研究部	上月 渉平
JFEスチール(株) スチール研究所	大井 健次
JFEスチール(株) 建材センター 建材技術部 建築技術室	藤沢 清二
JFE STEEL ASIA PTE. LTD.	飯谷 邦祐
JFEテクノロジー(株) 構造材料ソリューション本部 接合評価センター	早川 直哉
JFEテクノロジー(株) 構造材料ソリューション本部 構造材料評価センター	角 博幸
(株)永井製作所	板谷 俊臣
ヤマネ鉄工建設(株)	小林 健史

はじめに

アーク溶接は建築、鉄骨、建機、造船分野等における鋼構造物の製造において必要不可欠な技術であるが、溶接作業に携わる溶接技術者は国内全体で慢性的に不足しており、溶接施工時間の短縮・省力化が強く求められている。

溶接時間の短縮は溶接量を削減する方法が有効である。溶接量は構造物の接合部の数や長さによって決まる。例えば、超高層ビル一棟分の溶接量は千数百 km にもおよぶと言われており、特に規模の大きな鋼構造物では膨大な量の溶接が必要となる。これらは構造物の強度や規模によって一意に決まるため削減が難しい。

開発のねらい

そこで、溶接部に設けられる間隙である「開先」を狭くすること（＝狭開先化）で、溶接部一

箇所あたりの溶接量を削減して溶接時間を短縮する試みが検討されている。しかしながら業界に広く普及している炭酸ガスアーク溶接法を用いる場合は大量のスパッタが発生するという問題から、開先表面へのスパッタ付着、付着したスパッタとコンタクトチップとの接触、アーク不安定、溶込み不足の発生などが課題となり、狭開先化が極めて困難であった（図1）。

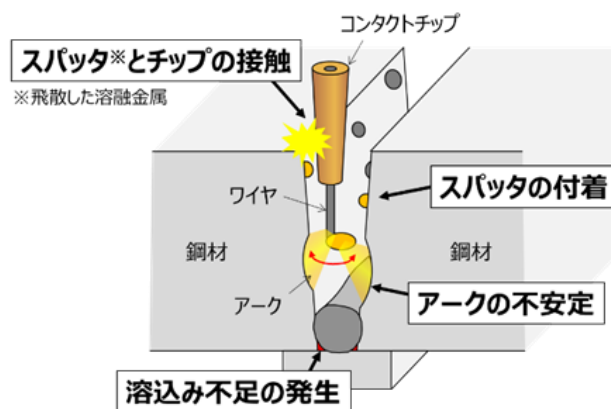


図1 従来法における狭開先溶接の諸課題

筆者らはこの難題を解決すべく、スパッタ発生量を従来の約 1/10 に低減した炭酸ガスアーク溶接法により、溶接ビードの積層方法ならびに開先形状の最適化とワイヤ曲率コントロールによる溶込み不足の抑制技術を確立した。これによって開先断面積を従来の約 1/3 に削減可能な高能率超狭開先溶接システムを開発した。図 2 に板厚 100mm の溶接継手を従来法と開発技術で溶接した場合の一例を示す。

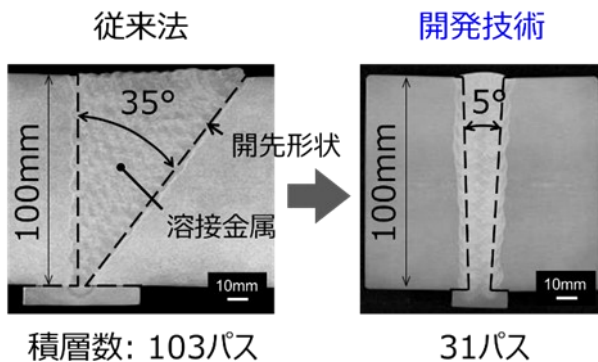


図2 開発技術による超狭開先溶接の一例

装置の概要

高能率超狭開先溶接システムの概略図を図 3 に示す。本システムは①極低スパッタで安定したアークかつ深い溶込みを特徴とする炭酸ガスアーク溶接法と、②ワイヤ曲率制御と開先形状・積層方法の最適化技術によって構成される。極低スパッタ炭酸ガスアーク溶接法は溶接ワイヤに REM (希土類元素) を適量添加した特殊ワイヤを用い、かつワイヤの極性をワイヤマイナスとして使用する。メカニズムは後述するが、これにより炭酸ガスアーク溶接でも超狭開先溶接に適した極低スパッタ化、アークの安定化、深い溶込みの確保が可能となった。加えて、先端が曲がった特殊なコンタクトチップ (ワイヤへ給電するための部品) を開発し、ワイヤの曲率を制御することでアークを効果的に開先壁面に向け、かつ開先形状と積層方法を最適化することで狭開先溶接において発生しやすい溶込み不足を完

全に抑制することを可能とした。これらの技術により、従来法では実現困難であった高能率超狭開先溶接システムが完成した。

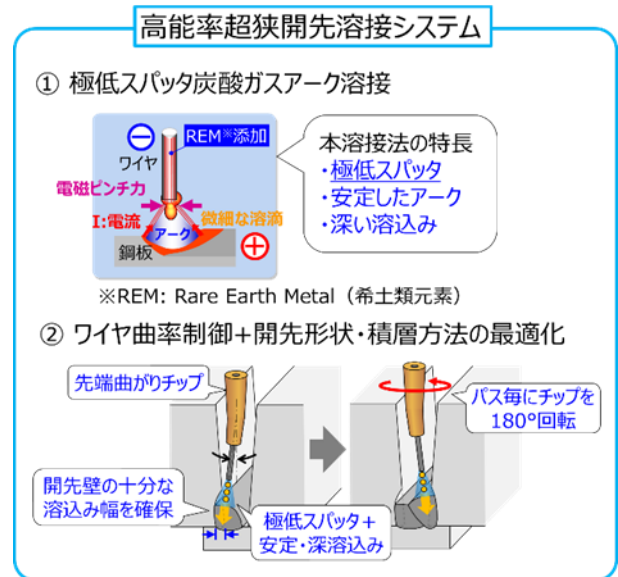


図3 開発技術の概略図

技術上の特徴

開発技術では、炭酸ガスアーク溶接のスパッタ発生を低減するため、新たに溶接時の極性に着目した。炭酸ガスアーク溶接では、ワイヤ先端の溶滴移行時に粒状のスパッタが飛散することが大きな問題であった。そこで、ワイヤと母材の極性を逆にすることでワイヤ溶滴側に陰極点を配し、ワイヤへの REM 添加により電子放出を容易にさせることができた。その結果、微細なスプレー状の溶滴移行による炭酸ガスアーク溶接の極低スパッタ化を実現した。図 4 に従来の炭酸ガスアーク溶接法と開発技術のスパッタ発生量と溶接後の外観写真を示す。開発法は最大で従来比約 1/10 までスパッタ発生量が低減された。図中 (A)、(B) はそれぞれの溶接方法で溶接した際のビード外観写真を示す。従来法はビードの周辺に大粒のスパッタが大量に付着しているのに対し、開発技術ではビード周辺へのスパッタ付着は僅少であった。

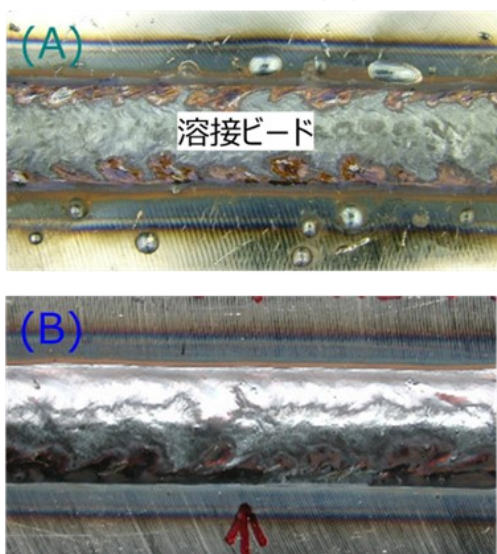
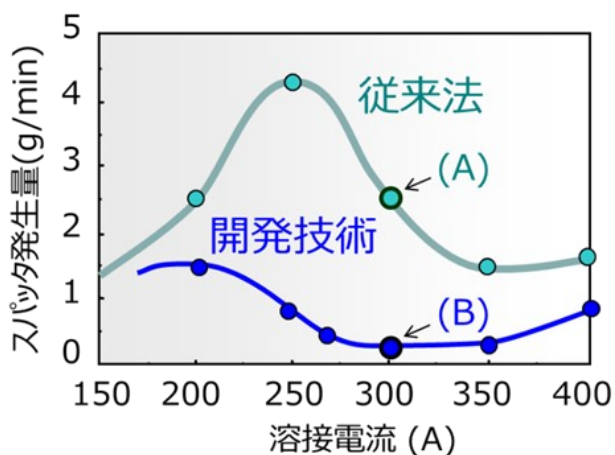


図4 開発技術の極低スパッタ化効果

以上の極低スパッタ炭酸ガスアーク溶接法を用いることで狭開先溶接において課題となっていた開先表面へのスパッタ付着の問題が解決した。加えて、狭開先溶接では開先底部に発生する溶込み不足が大きな問題であったが、その課題に対して筆者らはワイヤ曲率のコントロール（図5）と180°反転可能な溶接トーチ（図6）を組み合わせた超狭開先溶接用溶接システムを新たに開発することで解決を図った。安定化された炭酸ガスアーク溶接の指向性の強いアークによって溶接部の溶融を促進すると同時に、積層方法を適正化することで十分な溶込み深さを確保した。その結果、最も大きな課題であった溶込み不足を皆無にした「超狭開先溶接」が実現された。

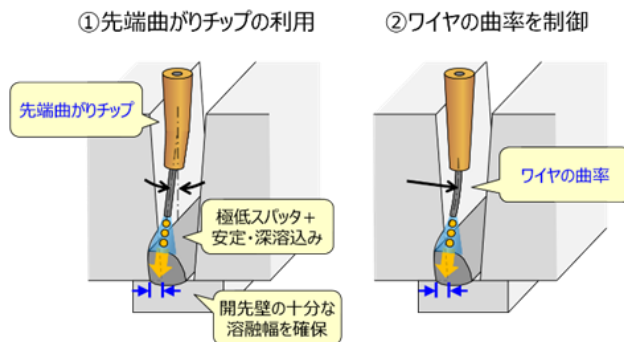


図5 ワイヤ曲率のコントロール

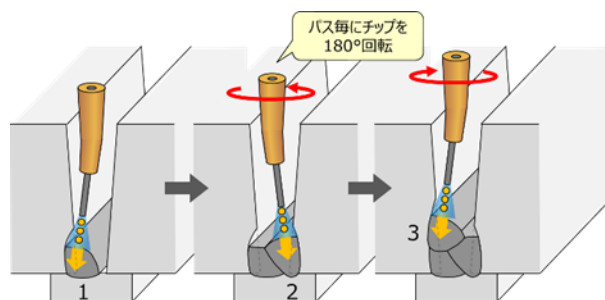


図6 180°反転可能な溶接トーチ

以上の技術的課題を克服し、開発した超狭開先溶接は溶接量が従来比で約 1/3 となり大幅な溶接時間の削減を達成した。また、極低スパッタ化によるスパッタ除去作業の省略と、溶接熱変形の低減による溶接後矯正作業の省略により、更なる作業時間の短縮も可能となった。

実用上の効果

開発技術のメリットが高く評価された結果、2018年に熊本城天守閣復旧整備事業の内、大天守6階鉄骨造の主要構造物である四面ボックス柱の角部溶接に採用された。図7は開発技術の適用状況、図8は開発技術によって製造された鉄骨部材の適用箇所である。開発技術の適用効果によって鉄骨柱製作の工期を大幅に短縮し、熊本地震により被災した熊本城の早期復旧に貢献した。

開発技術は上記の適用例に留まらず、国内建築鉄骨ファブリーケーターやゼネコン、造船所などで合計21台が導入済みであり、首都圏のオフィスビルや大型コンテナ船など、鋼構造物の製造現場



図7 開発技術適用状況
(四面ボックス柱の角溶接)

(熊本市ホームページから引用)



図8 開発技術の適用箇所

における溶接能率の向上に貢献している。

加えて、開発技術の適用によってアークの発生時間が短縮されるため、溶接作業者が有害なヒュームや紫外線に暴露される時間が最小化さ

れるという健康上のメリットや、スパッタ発生量の低減により火災や火傷などの災害リスク低減など安全上のメリット、エネルギー使用量削減や環境負荷低減などの副次的効果も期待される。

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 3941528

名称：炭酸ガスシールドアーク溶接用ワイヤ
概要：スパッタの発生が少ない炭酸ガスシールドアーク溶接用ワイヤに関する

② 日本国特許第 5861785

名称：狭開先ガスシールドアーク溶接方法
概要：ガスシールドアーク溶接の狭開先溶接方法に関する

むすび

広く普及している炭酸ガスアーク溶接法の狭開先化は課題が多く、その実現は困難であったが、極低スパッタ炭酸ガスアーク溶接法とワイヤ曲率制御および開先形状・積層方法の最適化技術によって構成された「高能率超狭開先溶接システム」の開発によって炭酸ガスアーク溶接の超狭開先溶接が可能となり、鋼構造物の製造現場における溶接能率の向上に貢献した。

溶接施工の効率化は溶接技能者が慢性的に不足している国内鋼構造物製造現場における喫緊の課題であり、高能率溶接施工に対するニーズは依然として強い。今後も本開発技術の更なる展開を通じ、製造現場における溶接施工能率の向上に努めていく所存である。

高性能糸冷却装置の開発

TMTマシナリー株式会社

代表取締役社長 高本 隆二

TMTマシナリー(株) TMTグループR&Dセンター 橋本 欣三
 TMTマシナリー(株) 技術本部 技術部 開発グループ 川本 和弘
 TMTマシナリー(株) 技術本部 技術部 開発グループ 鈴木 淳平

はじめに

世界の人口増加、生活水準の向上に伴い、衣料品の需要は年々増加している。衣料品の素材は天然繊維と合成繊維が用いられるが、ポリエステルやナイロンなどの合成繊維は、低コストで大量生産が可能で保温・発熱、接触冷感、消臭機能などの特殊機能の付与も可能なため、近年その需要はますます高まっている。

開発のねらい

合成繊維は他の工業製品と同様、中国が世界の生産量の多くを占めているが、合成繊維メーカー同士の過当競争による糸値低下や経済成長による労働賃金の高騰などにより事業収益は悪化傾向である。合成繊維メーカーは収益を向上するため、より付加価値の高い糸を安定生産でき、生産性向上、省スペース、省エネを実現できる新しい紡糸巻取り設備への期待を高めていた。

当社は上記市場ニーズに応えシェア、売上の拡大をはかるべく、単糸繊度が小さく(0.4～0.6dtex(単糸径:6～7 μ m))付加価値の高い糸を生産でき、従来設備と比較し①糸品質向上、②生産性向上、③省エネ実現、④省スペース実現を開発コンセプトとした新しい高性能糸冷却装置 iQC を開発した。

装置の概要

合成繊維の製造設備は上流の紡糸装置と下流の巻取装置で構成されている(図1)。

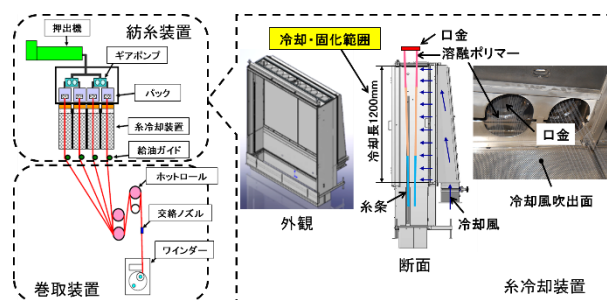


図1 従来の糸冷却装置

紡糸装置の重要な機能に糸冷却機能がある。糸冷却装置は、口金から紡出される高温のポリエステルやナイロンの溶融ポリマーをガラス転移温度以下に冷却固化し糸にする装置部分となる。糸冷却装置によるポリマー冷却作用は、糸の分子配向などの内部構造、形状的な糸形態を決定づける大変重要な機能要件となる。この冷却装置で糸に付与される空気流が少しでも乱れると糸の冷却が不均一となり糸品質が低下するだけでなく、糸に不安定な揺れが発生し最悪は糸切れとなってしまう。このように糸冷却装置の性能は糸品質・生産性を左右し、合成繊維の製造設備の要となる装置要素である。

糸冷却装置としては、伝統的な横吹き冷却方式と近年開発された環状冷却方式がある。図2にそれらの外観と冷却方式を示す。

横吹き冷却方式は、口金下の奥に設置された

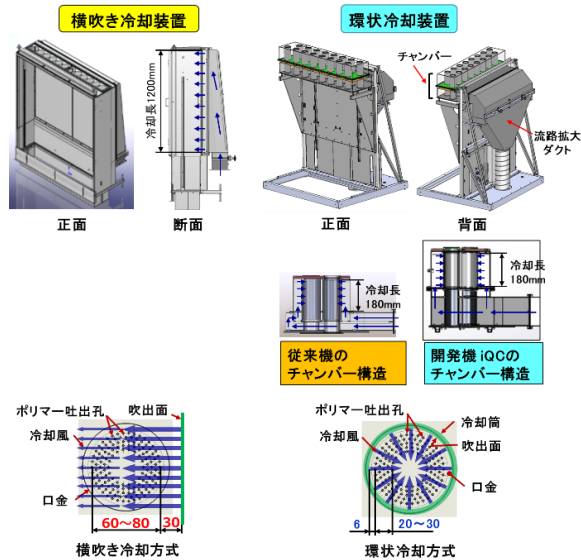


図2 外観と冷却方式

垂直面から水平方向に冷却風を吹き出し、口金から紡出されたポリマーを片側から冷却・固化させる方式である。この冷却装置はシンプルな構造だが生産可能な糸銘柄が限定される。一方、環状冷却方式は、各口金の下に口金毎に設置された円筒面から内側に冷却風を吹き出し、少量の冷却風でポリマーを周囲から均等に冷却・固化させる方式である。この冷却装置により単糸繊度が比較的小さな糸銘柄の生産が可能となった。しかし冷却風の変動が存在し、高品質な糸を安定生産することは依然困難であった。

表1に今回開発した新型冷却装置 iQC の仕様を、従来の横吹き冷却装置、環状冷却装置と比較して示す。新型冷却装置 iQC は従来の環状冷却装置を基本構造から見直している。その結果、生産可能な糸条数は 24 本から 32 本に増加し生産性が 33%向上し、生産糸銘柄も単糸繊度 0.4 ~ 3.5dtex の広い範囲が可能となった。環状冷却方式のため、冷却長は従来の横吹き冷却装置の

表1 開発機の仕様

冷却方式	横吹き冷却装置	環状冷却装置 (従来機)	環状冷却装置 (開発機:iQC)
仕様・性能			
糸条数/錠	24	24	32
生産可能単糸繊度	1.0~5.0dtex	1.0~2.5dtex	0.4~3.5dtex
生産可能単糸数	144未満	最大144	最大576
冷却長	1200mm	180mm	180mm
冷却風量比	1	0.25	0.25
口金配列	直列	千鳥	千鳥
機台間隔比	1	0.6	0.6

注: dtexとは合成繊維の繊度を表し繊維10000m当たりの質量(g)を示す

1,200mm から 180mm まで短縮され、冷却風量は大幅に削減された。また、口金の千鳥配置が可能となり紡糸装置幅は大幅に圧縮され、設置スペースの大幅な削減を実現した。

技術上の特徴

新型冷却装置の開発においては、従来の横吹き冷却装置や環状冷却装置が抱えていた欠点・性能問題の解決を最優先課題とした。その従来装置の欠点・性能問題について説明する。

1. 横吹き冷却装置の問題点

- ① 冷却風が水平方向から吹き出すため、吹き出し面に近い単糸と遠い単糸の間に冷却作用差が生じやすい。特に単糸数が多く144本以上となる銘柄では、吹き出し面に近い単糸で冷却風が遮られ、吹き出し面から遠い単糸への冷却作用が不十分となり、単糸間に品質ばらつきが生じる。その結果、単糸繊度 0.4 ~ 0.6dtex の糸銘柄では糸品質基準を満足できない。
- ② 装置構成上、冷却風吹き出し面と口金から吐出されるポリマーの距離は大きく、吹き出し面から遠い単糸を所定温度（ガラス転移温度以下）まで確り冷却するためには、長い冷却長と大量の冷却風が必要となる。
- ③ 冷却風が垂直面から水平に吹出すため、各口金は吹き出し面から同一距離とする必要があり、口金の配列は一行の直列配置に限定される。

2. 従来型環状冷却装置の問題点

環状冷却方式とすることで冷却風吹き出し面から各単糸までの距離は最少とでき、冷却風が単糸間を通過することが容易となった。その結果冷却長は短縮でき冷却風の消費量は削減された。また、口金は千鳥配置が可能となり省スペース化も実現された。しかし以下の構造的な問題により冷却風には乱れが生じ、0.4~0.6dtexの糸銘柄で糸品質は低下し生産も不安定であった。

① チャンバー室手前で冷却風を分流しチャンバー室の前後から冷却風を流入させ冷却筒からの吹出しを均等にすることを狙った構造であったが、実際にはチャンバー内各部に多くの渦流が発生してしまい流速変動を生じていた（図3）。

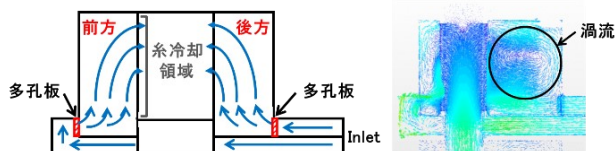


図3 チャンバー室内の流れ

② チャンバー室の上流に位置する流路拡大ダクトには、内部流速を一定にする狙いで三角形の仕切板を設置していたが、三角形仕切板の下流側で非常に大きな渦が生成されてしまい、内部の流速は均等とならず、肝心のダクト出口の流速には大きな変動が生じていた（図4）。

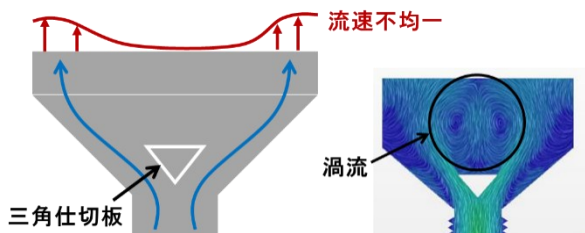


図4 ダクト内の流れ

3. 開発機の新技術・特徴

次に、従来機の課題を解決した新型冷却装置iQCの新技術・特徴について説明する。

1) 冷却風の整流による糸品質向上

チャンバー室やダクト内の冷却風変動抑制のために2つの新しい整流技術を導入した。

① チャンバー室の整流

チャンバー室内にバッファ空間を設け、その内部に機能が異なる2種類の多孔板を設置した。上流側の第1多孔板は冷却風を乱れなく水平方向から垂直方向に変える機能、下流側の第2多孔板は冷却風の速度分布を均一にする機能を担う。機能が異なる2種の多孔板は、開孔径と板厚の比(厚比)を変えることで必要な整流特性を付与した（図5）。

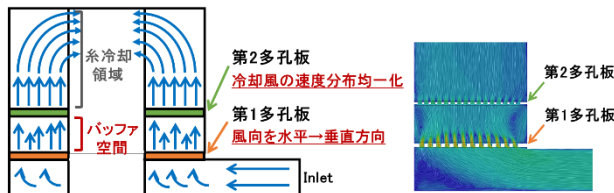


図5 チャンバー室の整流

② 流路拡大ダクト内の整流

流路が拡大する部分に放射状に複数の整流板を設置した。また、この整流板の上流側端部には円柱状の膨らみを設けた。この整流板の設置角度(θ)、先端の円柱状膨らみの直径(ΦD)、その間隔(W)を最適化することで渦流の生成とダクト出口の流速ばらつきを抑制した（図6）。

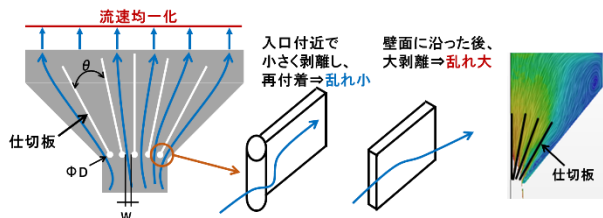


図6 ダクト内整流

環状冷却方式の従来装置と新型装置iQCのチャンバー室圧力変動を図7に、糸冷却領域の風速変動を図8に示す。どちらも新型装置iQCが良好な結果となった。

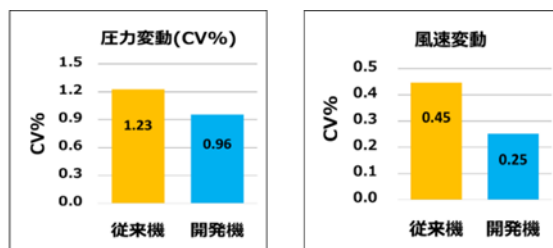


図7 チャンバー室圧力変動 図8 糸冷却領域風速変動

また、従来装置と新型装置iQCでの糸品質のばらつき(CV%)を表2に示す。新型装置iQCで糸品質ばらつきは20~30%改善された。

2) 冷却風消費量の削減

横吹き冷却装置と新型冷却装置iQCの冷却風消費量の実測値を表3に示す。新型冷却装置iQCの消費量は70~80%と大幅に削減された。

表2 糸品質ばらつき評価結果

(糸銘柄: 167dtex/288f (0.6dtex))

項目	CV%	
	従来機	開発機:iQC
強度	3.12	2.18
伸度	3.16	2.31
60%応力	1.73	1.42
Evenness U% (糸太さむら)	0.41	0.25
Draw Force	1.72	1.23

表3 冷却風消費量

系種	条件			横吹き冷却	開発機:iQC	削減率
	銘柄 (dtex/fil)	単糸織度 (dtex)	糸条数 (本)	冷却風消費量 (m ³ /min)		(%)
PET	140/72	2.0	10	42	12	72%
ナイロン	33/34	1.0	12	47	9	80%

3) 省スペース化

従来の横吹き冷却装置は一方向からの冷却のため口金は直列配置に限定されるが、新型冷却装置iQCは口金毎に円筒吹出し面が配置されるため、口金は千鳥配置が可能となった。これにより紡糸装置の幅は大幅に圧縮され、設備の最小据付ピッチは40%短縮された(図9)。

結果、必要となる設備設置スペースは大幅に削減でき、お客様の工場建屋の建築コスト削減に貢献した。

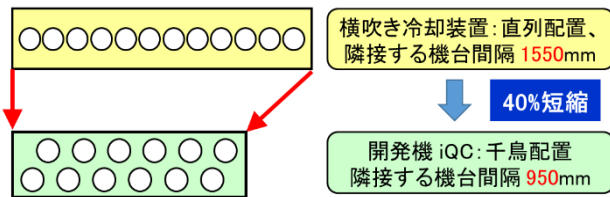


図9 開発機の省スペース化

実用上の効果

本高性能糸冷却装置 iQC により得られるパフォーマンスを従来機との比較で示す。

① 糸品質

品質ばらつき20~30%低減。0.4~0.6dtexの高付加価値糸の安定生産を実現した。

② 生産量

安定生産できる糸条数が24から32に増加

し、生産量が33%向上した。

③ 省エネ

冷却効率の高い環状冷却で冷却長短縮。冷却風量を70~80%削減した。

④ 省スペース

口金千鳥配置で隣接する機台間隔を40%削減した。

新型冷却装置iQCは空気流の整流に新しい技術を導入することで、従来冷却装置に対して大幅な性能向上を実現した。この新型冷却装置iQCは現在当社が販売する全ての衣料用合成繊維製造設備に採用され、その優れた性能は中国をはじめ世界中の合成繊維メーカーでご満足を戴いている。

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 6522452 号

名称: 糸条冷却装置

概要: チャンバー室内のバッファ空間に設置した第1、第2多孔板の厚比の関係

② 日本国特開 2019-31756

名称: 糸条冷却装置

概要: 上流側端部に円柱状の膨らみ部を設けた仕切板を流路拡大部に放射状に配置

むすび

本開発では、空気流の整流について原理原則から見直し、最適な整流技術を選択導入し、実験・解析によりその特性の最適化を行った。

その結果、市場ニーズを満足させる高性能な糸冷却装置が開発でき市場投入できただけでなく、空気流の整流に関する様々な貴重なノウハウを社内に蓄積することができた。

今後も技術開発を継続し、市場ニーズにマッチした新技術・新製品を提供し続けたい。

第2世代燃料電池システムの開発

トヨタ自動車株式会社

代表取締役社長 豊田 章 男

トヨタ自動車(株) 商用ZEV製品開発部 高橋 剛
 トヨタ自動車(株) 商用ZEV製品開発部 井田 敦 巳
 トヨタ自動車(株) 商用ZEV製品開発部 奥村 暢 夫
 トヨタ自動車(株) 商用ZEV製品開発部 中村 謙 五
 トヨタ自動車(株) 商用ZEV製品開発部 山下 顕

はじめに

CO₂ 排出による地球温暖化や化石燃料の枯渇という危機感から、カーボンニュートラルに向けた取り組みが拡大している。トヨタ自動車は2050年もしくはそれより前にカーボンニュートラルを実現するという目標を掲げている。水素は使用時にCO₂が発生せず、様々な素材から作ることができ、貯蔵・輸送が比較的容易なため、カーボンニュートラル社会実現の柱として重要度が高まっている。

トヨタ自動車は、水素をエネルギーとする燃料電池自動車(FCEV)の開発を1992年にスタートし、2014年に第1世代の燃料電池システムを搭載した初代MIRAIを量産型のFCEVとして世界に先駆けて市販開始した。6年間で累計11,000台を世界のお客様に購入いただき、カーボンニュートラル社会・水素社会に向けFCEVの普及を進めてきた。

開発のねらい

初代MIRAIでFCEV市場を開拓してきたが、FCEVを広く普及させるためには量的な拡大が重要である。初代MIRAIに搭載された第1世代燃料電池システムの生産技術では3,000台/年という量的な限界があったため、第2世代燃料電池

システムでは燃料電池の更なる性能向上と同時に本格量産を可能にする生産革新を行った。

また、水素インフラが普及途上である環境下でお客様に極力ご不便をおかけしないため、一充填当たりの航続距離の延長に取り組んだ。

さらに、水素社会を実現していくために、乗用車だけでなく様々なアプリケーションに燃料電池が搭載できるよう、各ユニットをコンパクト化し搭載自由度を向上させた。

装置の概要

第2世代燃料電池システム(図1)は発電を行うFCスタック、高圧タンクに貯蔵した水素を供給する水素系システム、酸素を供給する空気系システム、FCスタックなどの冷却を行う冷却系システムからなるFCシステムと(図2)、FCスタックで発電された電力を昇圧し、駆動モーターや2次バッテリーなどの高電圧システムへ供給するHVシステムからなる(図3)。

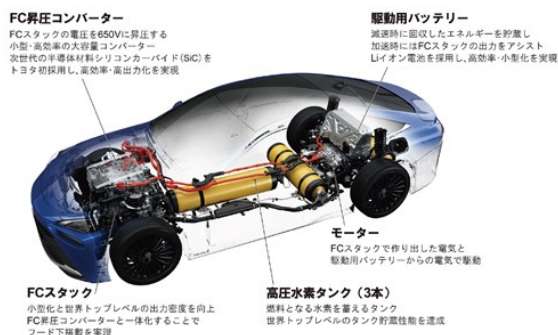


図1 システムレイアウト

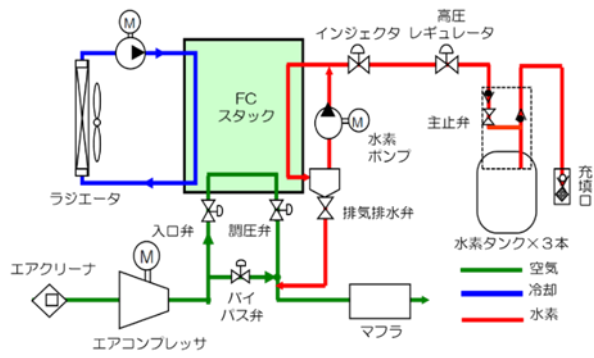


図2 FCシステム図

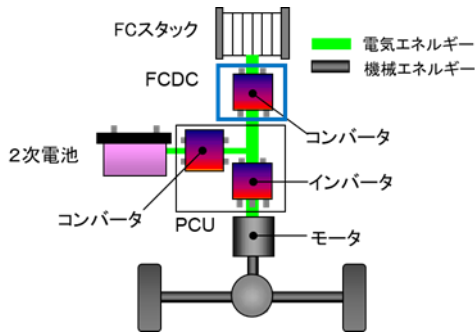


図3 HVシステム図

ここで FC スタックは 330 枚のセルからなり各セルでは水素と酸素から電気化学反応により発電し、水を排出する。また第 1 世代を踏襲し外部加湿器を搭載せず、生成水のセル内循環にて自己加湿を実現している。

技術上の特徴

1. FCスタック

セル構造と電極の革新により、スタックの最大出力を第 1 世代の 114kW から 128kW に向上（セル当たりの出力 26% 向上：図 4）しながら、第 1 世代スタックの 33L・41kg からそれぞれ 27% 小型化、41% 軽量化を図り、24L・24kg と世界トップレベルの出力密度 5.4kW/L（54% 向上）を達成した。

セルを小型/軽量化するために、第 1 世代で 4 辺に配置していたマニホールドを左右 2 辺配置の対向流とし（図 5）、空気極の流路構造として、第 1 世代では 3D ファインメッシュ流路と呼ばれる微細格子構造を持つ部品を採用していたが、ストレート溝に断面積を局部的に絞った抵

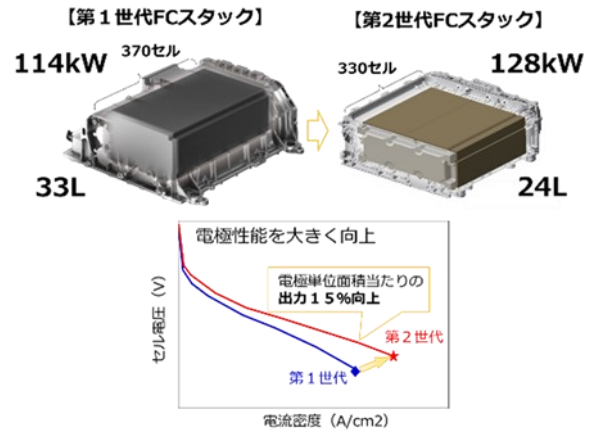


図4 スタックの技術進化

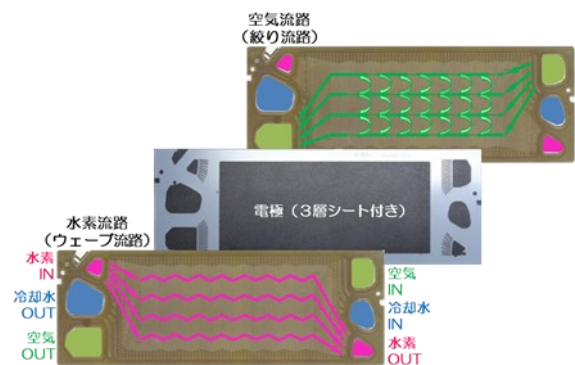


図5 セル構造

抗部（以下絞り部：図 6）を設ける流路とした。絞りにより強制的に空気を電極内部に潜り込ませて、触媒層への酸素供給と拡散層内の排水性を促進して 3D ファインメッシュと同程度まで発電性能を向上させた。

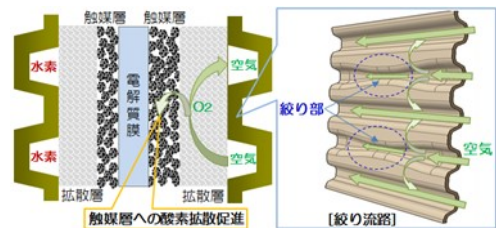


図6 絞り流路構造

セルの出力向上と白金触媒使用量を低減するために、新規のカーボン担体とアイオノマ（プロトン伝導性ポリマ）を採用した。従来担体の中実カーボンは表面に Pt を担持させることで Pt 利用率の向上を図っていたが、被覆しているアイオノマのスルホン酸被毒により活性が低下する課題があったため、微細なメソ孔を有する多孔

質カーボンを新たに採用した。多孔質カーボンは、アイオノマが入り込めない微細なメソ孔を有し、Ptの80%程度をカーボンの内部に担持させることで、アイオノマがPtに直接接触するのを避け、スルホン酸被毒を抑制する(図7)。PtCo合金触媒の固溶度アップと合わせて、触媒の活性を約50%向上した。

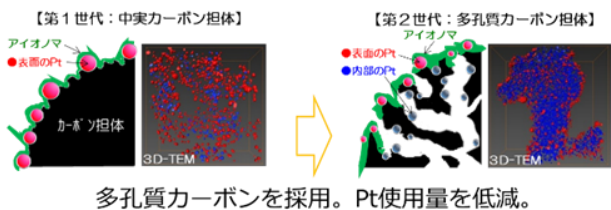


図7 多孔質カーボン担体

さらに、触媒層にプロトン伝導性を付与するために添加しているアイオノマとして、酸素透過性3倍、プロトン伝導度1.2倍の新規アイオノマを採用し、触媒への酸素やプロトンの物質移動を促進した。上記開発により電極面積当たりの出力を15%向上し、出力当たりの触媒Pt量を58%低減した。セルあたりの出力を26%向上させ、さらに最大電流を20%向上させることで積層セル数を第1世代の370セルから330セルへ削減できた。

量産化に関しては、セルの接着シール構造を刷新し、EPDMゴムの加硫接着から3層シートの熱可塑接着およびUV硬化接着(図8)を採用することで、秒オーダーでの接着を可能とした。熱可塑樹脂を用いたセル化工法は図9に示すように、まず熱可塑樹脂を電極と貼り合わせ、その後セパレータを積層し、加熱/冷却プレス接合する。

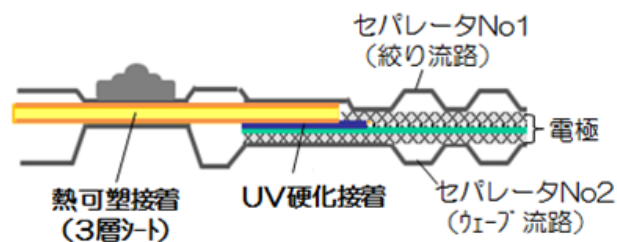


図8 FCセルの接着構造

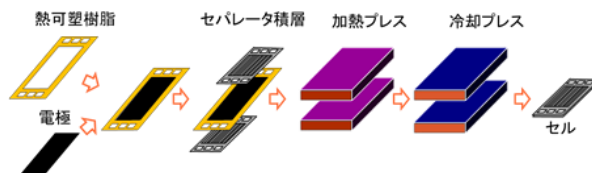


図9 セル化工程

1セルを製造するために第1世代で十数分を要していたのに対し、第2世代では数秒で製造できるようになった。

2. 高圧水素タンク

高圧水素タンクはガスを気密する樹脂ライナー、高圧ガスに対する強度を担う炭素繊維強化プラスチック(CFRP)層、口金等からなる。高強度高弾性カーボンファイバーの開発によりCFRP層数を7%削減すると同時に、70MPaの長尺タンク(φ299×L1467mm)を開発した(図10)。

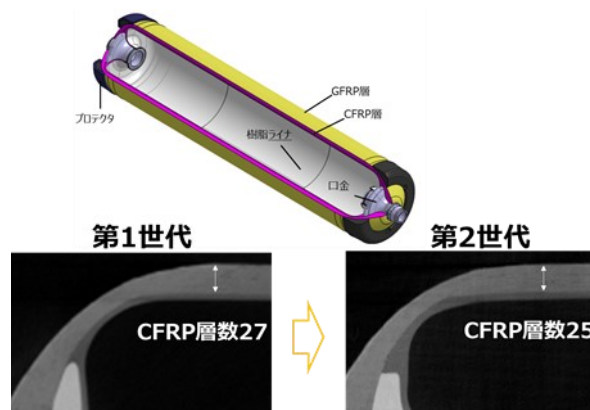


図10 高圧タンクシステム

この長尺タンクの開発においては3分割の樹脂ライナーを赤外線溶着により一体化する生産技術を確認した(図11)。またCFRP層の製造はフィラメントワインディング(FW)と呼ばれる工程が重要であり高い精度が必要である。樹脂ライナーに炭素繊維を張力制御しながら約3500m巻きつけているが、FW機の可動部軽量化とボールねじ方式からワイヤードライブ方式の採用により加工時間を50%短縮した。さらに品質測定自動化により測定時間を削減することで、生産時間を66%削減することができた。

タンクの貯蔵性能(質量効率)は従来の5.7wt%から6.0wt%に向上させた。またタンクを従来の2本から3本に増設し、有効水素搭載量を4.6kgから5.6kgに20%アップした。

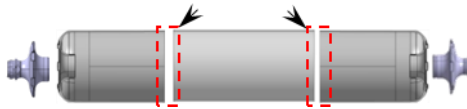


図11 ライナー構成



図12 ラFCシステムモジュール外観

3. 高電圧および補機部品

FC スタックで発電された電力を昇圧するための FC 昇圧コンバータのスイッチング素子として新たに SiC パワー半導体 (MOSFET/SBD) を搭載したパワーモジュールを採用し、従来の Si パワー半導体に比べ 80%の電力損失低減を実現した。

エアコンプレッサは従来の 6 葉ヘリカルローツ式から世界初のトルク感応型可動ローラー式増速機を用いたターボ式エアコンプレッサを新規開発し、圧縮効率を 24%向上、35%軽量化、45%小型化を実現した。水素循環ポンプは新シール構造により耐食性を向上させ、素材を従来のステンレスからアルミ化することで、41%軽量化を実現した。

実用上の効果

水素を燃料とするため走行中の CO₂ 排出はゼロであり、LCA による製造から廃棄までの CO₂ 排出は 2.5L HEV と比較し、副生水素で 28%、再エネ由来水素で 39%削減でき、カーボンニュートラル社会に向け大きく貢献することができる。

また、車両燃費として世界トップレベルの 67→74MPGe (マイル/ガロン相当) を実現し、航続距離は第 1 世代の 312Mile から 402Mile (Mode) に 30%向上し利便性を向上できたと考えられる。

さらに、第 2 世代燃料電池システムをコンパクトにパッケージ化し、乗用車以外の多様なアプリケーションへの搭載を想定した FC システムモジュールという形態でも本技術を展開している。小型トラックから大型トレーラまでの商用車、船、電車および定置発電など、燃料電池をより幅広い分野への拡大が期待されている。

知的財産権の状況

関連する特許として国内 1,046 件出願済み。代表的な特許 4 例の概要を以下に示す。

- ① 日本国特許第 6521912 号
名称：樹脂枠つき電極構造体とセパレータの接合方法
- ② 日本国特許第 6969996 号
名称：燃料電池用電極触媒及びその製造方法
概要：細孔を有するカーボン担体と、Pt/Pt 合金からなる燃料電池用電極触媒
- ③ 日本国特許第 6354797 号
名称：燃料電池単セル
概要：流路に絞り部を設けたセルとその配置
- ④ 日本国特許第 6281525 号
名称：高压タンク、高压タンクの製造方法、ライナー形状の設計方法
概要：等張力曲面を形成する高压タンク

むすび

本技術の開発・量産化は様々な技術の組み合わせから成っており、協力会社を含め非常に多くの関係者にご尽力いただくことで実現することができた。

水素は、近年各国政府が進めるカーボンニュートラルの中で脱炭素化のためのエネルギー源として重要な役割を期待されている。本技術をはじめとする燃料電池技術の革新をつづけることで水素の利活用を拡大し、カーボンニュートラル社会の実現に貢献をしていきたい。

非破壊（小径）金属パイプ内面粗さ測定機

二九精密機械工業株式会社

代表取締役社長 二九 良三

二九精密機械工業(株) 営業部営業課技術係 主幹 須戸 文夫
二九精密機械工業(株) 営業部営業課技術係 副主事 古屋 秀幸

はじめに

二九精密機械工業は 1917 年の創業より金属の精密・微細加工に取り組み、2000 年頃より小径パイプ（図 1）の加工にも力を入れている。小径パイプの一貫生産と内面研磨、合わせて小径パイプに施すファイバーレーザーやフェムト秒レーザー加工などの技術を有している。



図1 当社製作のパイプ(ノズル)

小径（内径φ1.0mm 以下）金属パイプは、現在、精密分析機器に搭載されており、医療分野等で使用されている。精密分析機器においては、パイプ内を検体が流れるため、これらパイプ内面の滑らかさ（表面粗さ）が、機器の分析結果に影響を及ぼす（図 2）ため、より滑らかにするためのパイ

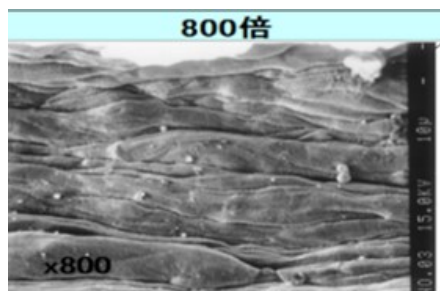


図2 粗い小径金属パイプの拡大写真
（内面の凹凸が大きいため、検体の流れを阻害するなどして、正しい分析結果が得られない）

プ内面研磨が実施される。当社は、前述したようにパイプ内面研磨技術を有しており、パイプ内面研磨後の内面粗さ測定は、内面研磨したパイプを半割り（破壊）し、測定面を露出し、表面粗さ測定機を使用するという手法をとっていた（図 3）。

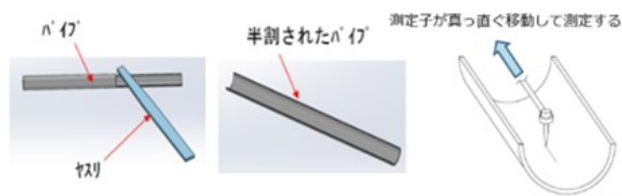


図3 従来の粗さ測定
（内面研磨したパイプを半割（破壊）し、
1本あたり45分かけて表面粗さを測定する）

しかしこの手法は、測定用（破壊用）に余分にパイプを製造する必要があり、それを半割し測定するのに 1 本あたり 45 分もかかっていた。また、破壊してしまったパイプは当然、顧客には納品できず、さらに言えば、精密分析機器に搭載されるにも関わらず、顧客に納品する全てのパイプの測定を実施できていないという課題があり、非破壊でのパイプ内面粗さ測定機が望まれていた（2018 年）。

開発の経緯

別件で、パイプ内面の異物検査をファイバースコープを使用して実施していたところ、照明（光源）が一定なのに、測定されたパイプによって、明るい画像と暗い画像があることを偶然に発見した。そこで、この現象の原因は、「パイプ内面の粗さ（凹凸）の大小により画像の明るさ

（光の散乱）に違いが出ているのでは？」という仮説（図4）を立ててみた。

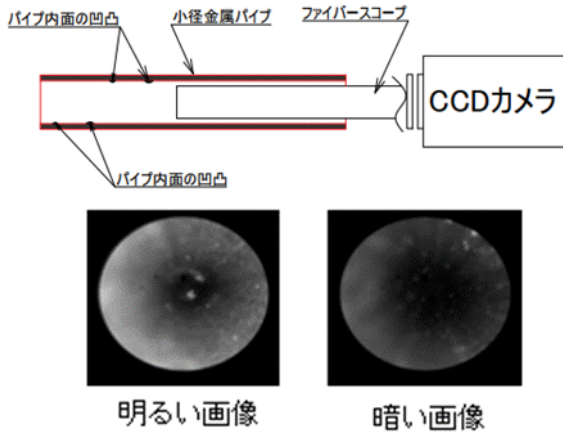


図4 立てた仮説
（パイプ内面の凹凸の大小が
画像の明るさに現れているのでは？）

仮説を検証するために、画像撮影したパイプを破壊し、内面粗さを測定してみたところ、画像の明るさと内面粗さに相関（図5）があることが判明した。

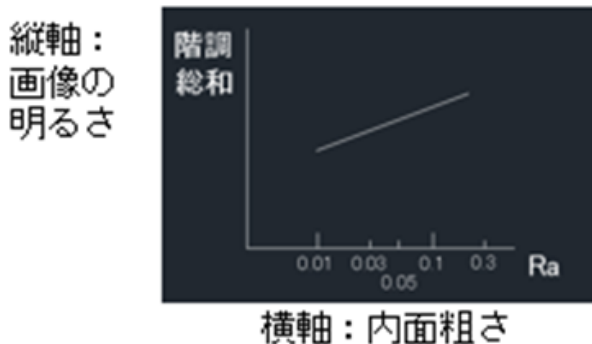


図5 画像の明るさと内面粗さの相関関係
（内面粗さの小さいものは画像が暗い）

相関があるということは、「事前にパイプ内面の明るさと粗さの関係を明確に（数値化）できていればパイプ内面の画像から非破壊でパイプ内面の表面粗さを求めることができる。」という結論に至った。

そこで2018年末にプロジェクト（産学連携）を発足し、1年をかけて活動を実施し、2019年末には非破壊金属パイプ内面粗さ測定器の開発機を製作した。プロジェクト発足時にはデジタル画像に関する知識を有している者がいなかった

ため、フリーの画像処理ソフトを使用しながら画像の基本知識の習得と、画像の明るさの数値化の模索をしていった。

装置の概要

・基本構成。

開発した測定機の全体図および装置全体写真を図6、7に示す。測定すべき金属小径パイプの内径よりも小さいファイバースコープを小径パイプに挿入し、その内面の画像の明るさの情報と、事前取得した表面粗さと明るさの測定

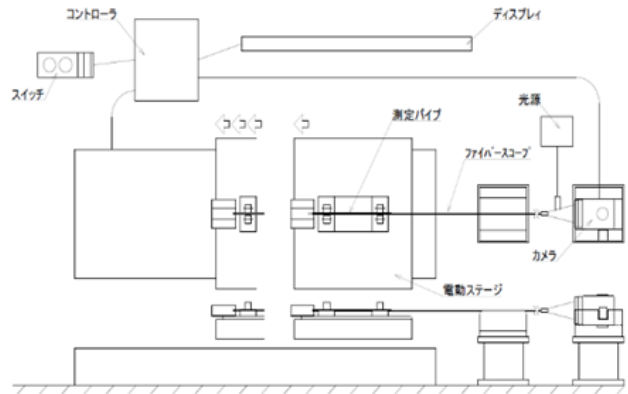


図6 装置全体図



図7 装置全体写真

データの相関関係を基に表面粗さを算出する。

また、装置構成は操作性を考慮して、図8に示す通り、パイプを電動ステージにセットすると電動ステージでパイプを自動移動させて小径パイプ内面の画像撮影を順次繰り返し実施するようにプログラムでコントロールされる。

・パイプ内面の撮影時間

パイプ 1 本当たり 20 箇所を撮影した場合の

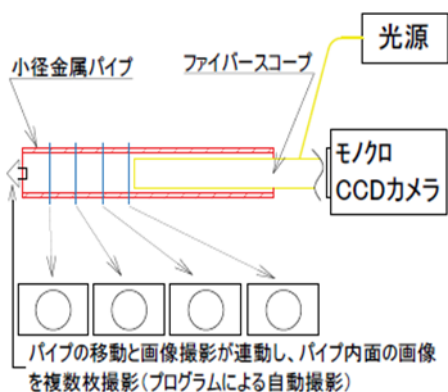


図8 画像撮影と電動ステージ(パイプ)の移動

撮影時間は20秒であり、画像撮影毎に表面粗さの値がリアルタイムで、ディスプレイに表示され、20箇所での測定が終了後、各表面粗さを合計し、平均値をそのパイプの表面粗さとしてディスプレイに表示する。

・画面配置 (レイアウト)

測定機の画面配置を図9のようにプログラムした。

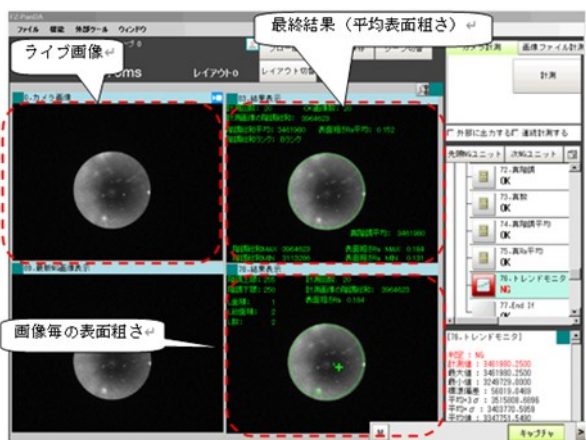


図9 画面レイアウト

技術上の特徴

前述したように、照明(光源)を一定に保ち、ファイバースコープを使用して、パイプ内面を画像で観察した場合、パイプ内面の画像がそのパイプ内面の表面粗さに応じた(明るさの)画像になるという原理を利用する。

画像の明るさは階調総和(画像の各ピクセルの階調0~255(8bit情報)を合計した値)を使うことにした(図10)。開発当初はフリーの画

像処理ソフト(図11)を試みたが、パイプ内の画像撮影と画像処理をリアルタイムにできないことから、最終的には有償のものを使用することにした。



図10 表面粗さと画像の明るさ(階調総和)

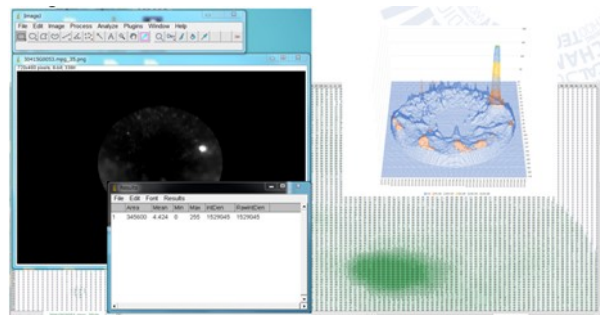


図11 フリーソフトによる階調総和の計算

事前に画像の明るさと表面粗さの関係(式)を画像処理ユニットに登録しておき、それに基づき画像から表面粗さを算出させる。

実用上の効果

・経済的效果

これまでの破壊試験のように余分に製品を製作する必要がない(省資源、コスト低減)。また、短時間でのパイプ内面粗さの非破壊測定が可能となったため、全数測定したものを顧客に納品できる(検査コストの低減、企業の経済的優位性)。

・波及効果

例: 小径パイプの内面検査装置

内面粗さを必要としない検査装置で、これまで観察できなかった小径パイプ内面が、小径ファイバースコープの使用により、観察が可能

となり、パイプ内面の異物（図12）、キズ（図13）、油分（図14）等の不良を発見／除去することで品質向上につながる。

異物確認

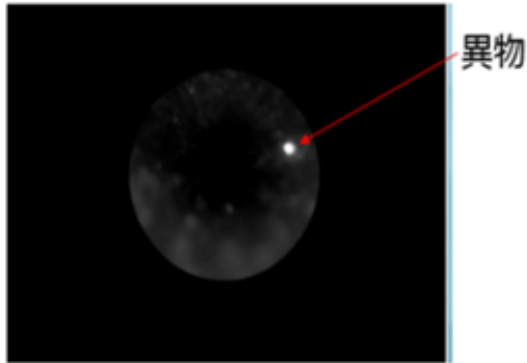


図12 パイプ内の異物

キズ確認

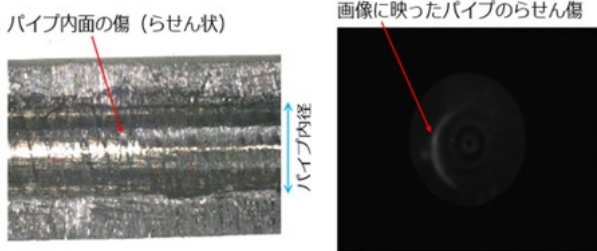


図13 パイプ内の傷

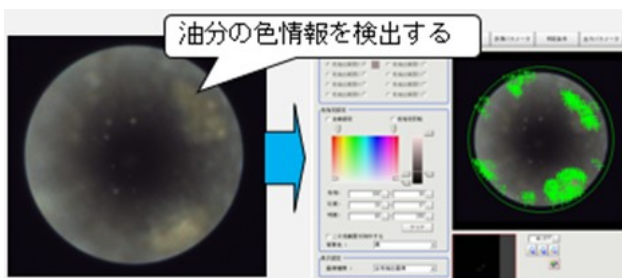


図14 パイプ内の油分と画像処理による油分検出

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 出願番号：2020-120
 名称：金属パイプ内面の表面粗さ非破壊測定装置
 概要：小径金属管内面の表面粗さを、事前に検

証できている小径金属管の内面画像の階調総和と表面粗さの相関関係を基に、小径金属管の内径と、小径金属管内面の画像の階調総和から計算し、ディスプレイ等に出力、表示する装置

むすび

非破壊（小径）金属パイプ内面粗さ測定機は、これまでに述べたように、製品を余分に製作したくない、測定に時間をかけたくない等の製造業の共通の要望に応えるものとなっている。また全数測定の要望にも応えることも可能である。しかし、全数測定となると、測定作業者が測定機につきっきりになり測定をし続ける必要が生じ、この課題の解決が必須となる。

そこで、現在当社は、測定の自動化技術の確立に向けて取り組んでいる（図15）。人が実施するのに最も煩わしい作業である、パイプへのファイバースコープの挿入を、ハンドリングロボットを用いて行うことを目指している。

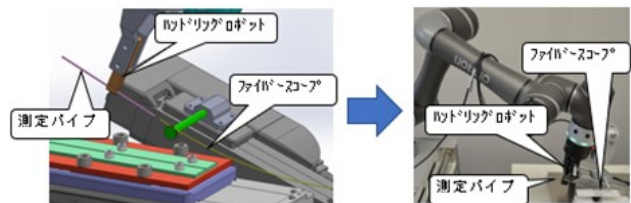


図15 測定の自動化

また、測定の自動化にあたっては他にもチャレンジングな課題があり、それらにも併行して取り組んでいる最中である。

当社はこれまでも必要に応じて、社内で測定機を設計・製作することを実施している。今回の測定機およびその自動化技術が、さらなる社内技術向上に資するよう、今後も真摯に向き合い、尽力していきたい。

振動可視化レーダの開発

アルウェットテクノロジー株式会社

代表取締役 能美 仁

アルウェットテクノロジー(株)	能美	仁
アルウェットテクノロジー(株)	能美	陽
アルウェットテクノロジー(株)	九十歩	修
アルウェットテクノロジー(株)	白井	郁夫

はじめに

近年、橋梁やトンネル等、インフラ構造物の老朽化が社会問題となっており、それらインフラ構造物の健全性を早急に調査することが求められている。インフラ構造物の点検では、動揺や固有振動数を計測する手法がある。主に橋梁の点検では、斜張橋のケーブルの張力管理のため加速度計を設置してケーブルの固有振動数を計測することがある。しかし、橋梁各部に多数の計測センサーを取り付けるには膨大な手間・コストを要し、また交通規制や高所作業等の危険な作業も多い。そのため、安全に短時間で正確な計測ができる非接触計測システムが望まれている。

ムが望まれるなか、インフラ構造物の点検・モニタリング・診断を可能にするシステムを提供することを目的に、振動可視化レーダの開発を行った。VirA(Vibration Imaging Radar)は、遠隔から観測対象にマイクロ波のレーダ信号を照射し、計測対象からの受信信号を処理したレーダ画像上の任意点の振動や微小変位を面的に計測することができるレーダである。またデジタルビームフォーミング(DBF)技術を用いることで、従来型レーダのようにレーダビームを走査することなく、毎秒最高1,000枚の2次元または3次元レーダ画像が得られる。そして画像データの位相情報を解析することで、5 μ m程度距離変化を計測し、観測対象全体の揺れが記録できると共に、計測場所で準リアルタイムに確認することができることを特徴とする計測システムである。

開発のねらい

安全で且つ短時間で正確な非接触計測システム

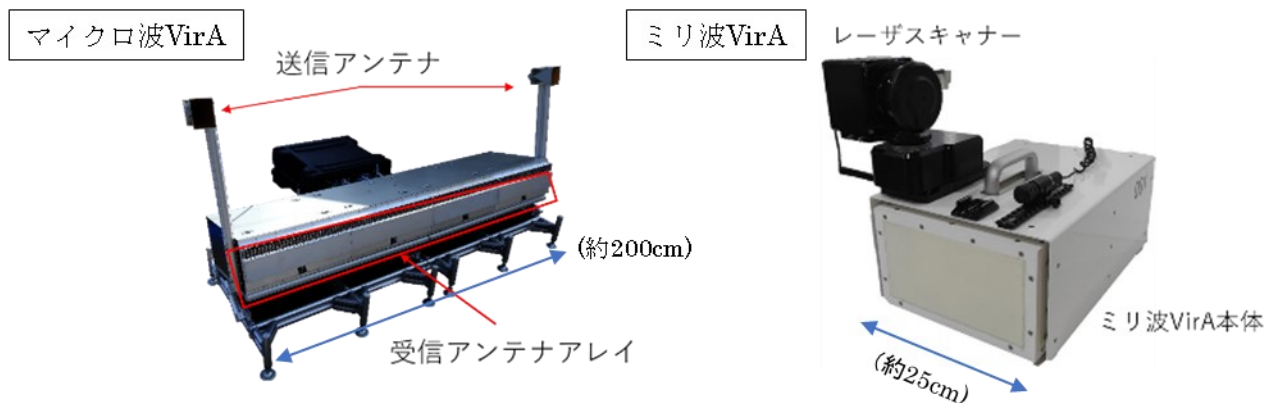


図1 VirA外観

装置の概要

振動可視化レーダ (VirA) は、マイクロ波とミリ波の 2 種がある。図 1 にその写真を示し、図 2 に、計測原理図を示す。

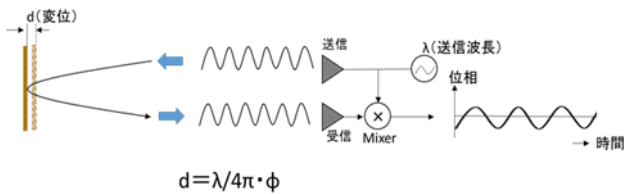


図2 変位・振動を計測する原理図

図 2 に示すように VirA は送信信号の一部を受信ローカル信号として、中間周波信号を生成する。送信波が計測対象に照射され、その反射波が受信され Mixer でベースバンド信号に変換される。反射点が振動している場合、アンテナから反射点までの距離が変化するため、このベースバンド信号の位相が変化する。この位相変化から反射点の変位量を求めることができる。レーダの波長を λ 、位相変化を Φ とすると、反射点の変位 d は式(図 2 に記載)のように表される。また、VirA の計測概念図を図 3 に示す。図 3 に示すように受信アンテナを含む受信系を多数配置して、各受信系で受信した反射信号の位相は、反射点の振動によって変調される。変位の振幅と周波数は、この位相変化を分析することにより測定される。変位を正しく測定するには、レーダの繰り返し周波数をターゲット振動周波数より高くする必要がある。ビームスキャンを使用する従来のイメージングレーダは、高い繰り返し周期で受信信号を受信することは困難である。一方 VirA はデジタルビームフォーミングテクノロジー (DBF) の適用により、アンテナビームスキャンが不要になり、送信の繰り返し周期ごとに画像が処理可能である。VirA は、従来の FMCW レーダと同じ方法でターゲット距離を

決定すると共に、ターゲットに対する方位角を DBF 処理によって決定するため、2 次元のレーダ画像を、繰り返し周期ごとに取得することが可能である。

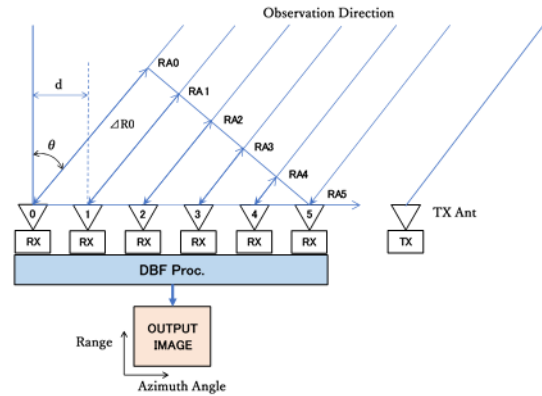


図3 フェーズドアレイ技術とDBF 技術

技術上の特徴

(1) FPGA による高速処理

計測対象からの受信信号は多数の受信系で同時に受信されデジタル信号に変換されて画像処理部に送られる。観測データからレーダ画像を処理するには膨大な演算が必要となり、高速な PC でも実時間の 100 倍以上必要である。そのため、FPGA による画像処理ハードウェアプロセッサを開発した。これによりリアルタイムにレーダ画像の表示、振動解析、変位量の表示を可能にした。

(2) 高精度な変位計測

表 1 は、マイクロ波 VirA とミリ波 VirA の性能表である。VirA は、高純度の信号源を使用することにより微細な変位も抽出することができる。図 6 は、ミリ波 VirA の信号強度と揺らぎ量を送信繰り返し周期 1ms のデータを用いて、10ms、100ms 積分した実際のレーダで取得した計測揺らぎ量の分布を示している。それぞれ 1ms 積分に比べ 10dB、20dB と SN が改善しており、揺らぎ量をそれぞれ青、橙、黄の点で示す。100ms 積分で信号強度 40dB 以上の時、変位揺らぎ量 $5\mu\text{m}$ の変位計測ができていることが解る。

表1 VirA仕様

型名	マイクロ波 VirA	ミリ波 VirA
周波数	17GHz	79GHz
計測距離	10m~10km	1m~100m
振動周波数	< 5kHz	
計測振幅	> 20 μ m	> 5 μ m
画角	32度	30度
方位分解能	> 0.5度	> 0.5度
距離分解能	> 50cm	> 4cm
送信電力	100mW	10mW
サイズ	横幅約2m	横約25cm
無線従事者資格	必要	不要

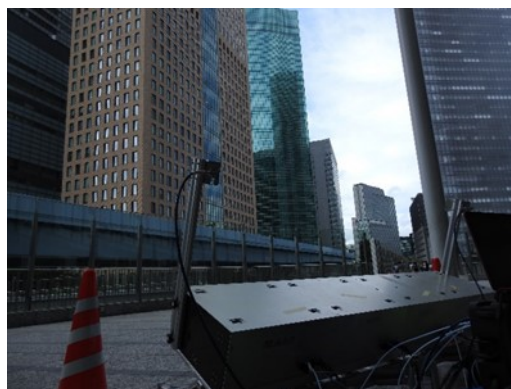


図5 ビル計測時写真

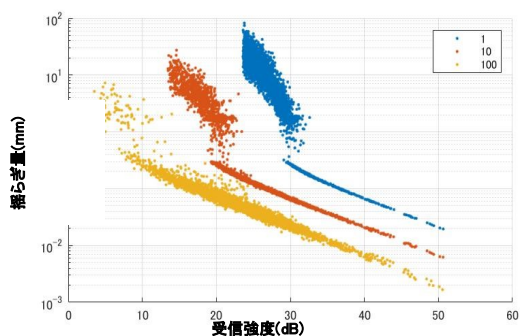


図4 ミリ波VirAの信号強度と揺らぎ量

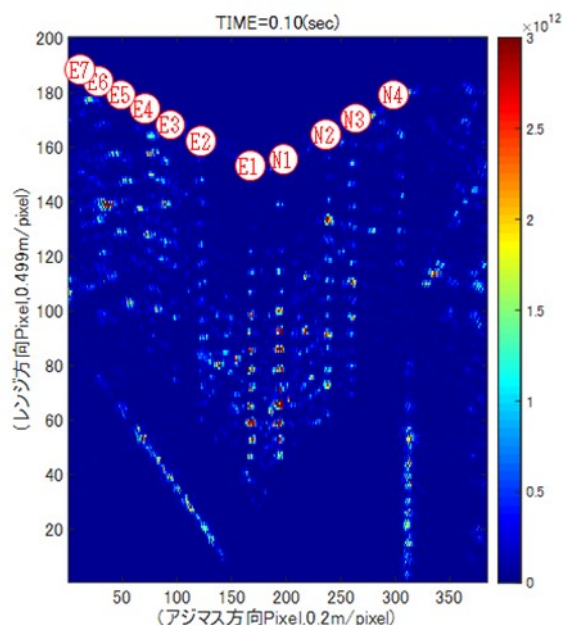


図6 レーダ画像

実用上の効果

様々な分野での計測検証を行ったなかで、VirA の特徴を顕著に発揮している計測結果として、高層ビルの動揺計測結果、および建物の壁面（ガラス窓）の計測結果を以下に示す。

(1) 高層ビル動揺計測（マイクロ波 VirA）

図5、6、7は、27階建てビルの動揺を計測した例である。約30分間の各点の変位は、約2mm程度の動揺があることが判る。図7は60秒間の変位を時間軸に拡大したもので、このビルが約3.5Hzの固有振動を有して揺れていることが解る。

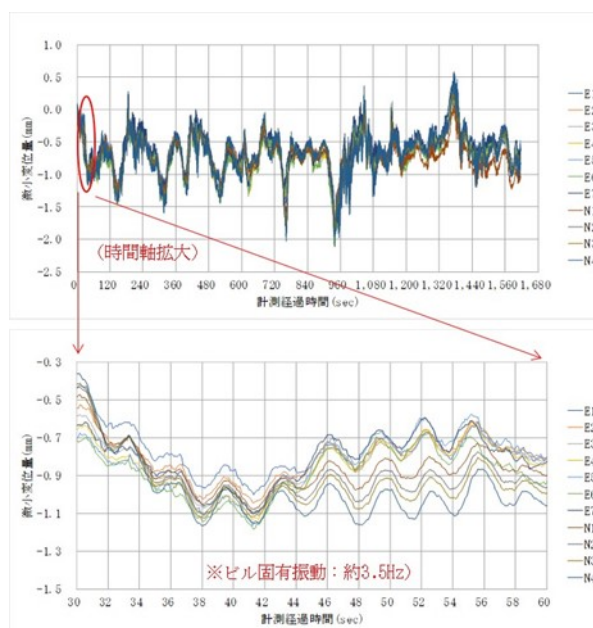


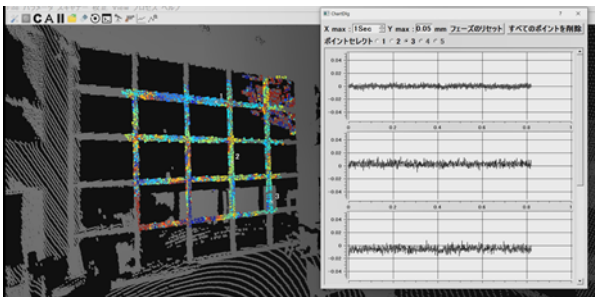
図7 変位計測結果

(2) 大型窓計測(ミリ波 VirA)

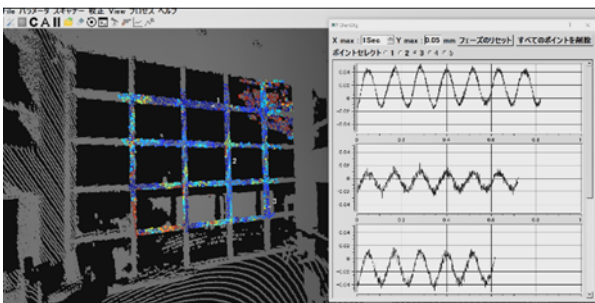
ミリ波 VirA はマイクロ波 VirA に比べて観測距離は短い、高分解能、高精度で高い周波数の振動まで計測可能である。図8、9は、建物の大型ガラス窓の振動を計測した例である。空調が作動時窓枠は約 10Hz、50 μ m P-P の振幅で振動していることが判る。また空調が停止すると振幅は 5 μ m 以下となりほとんど振動していないことが確認できる。



図8 ガラス窓計測時写真



(空調OFF)



(空調ON)

図9 リアルタイム計測確認状況図

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 6363209 号

名称：干渉型振動観測装置、振動観測プログラム、記録媒体、振動観測方法および振動観測システム

② US 特許第 10,718,659 B2 号

名称： INTERFEROMETRIC VIBRATION OBSERVATION DEVICE, VIBRATION OBSERVATION PROGRAM, RECORDING MEDIUM, VIBRATION OBSERVATION METHOD AND VIBRATION OBSERVATION SYSTEM

US 特許第 10,989,589 B2 号

名称： INTERFEROMETRIC VIBRATION OBSERVATION DEVICE, VIBRATION OBSERVATION PROGRAM, RECORDING MEDIUM, VIBRATION OBSERVATION METHOD AND VIBRATION OBSERVATION SYSTEM

むすび

振動可視化レーダ VirA は当初、インフラモニタリング用に開発された。本システムは数百 m の遠隔から数十 μ m の変位、数 kHz の振動を面的に計測可能であり、インフラモニタリング以外にも、様々な応用が考えられる。

近年、豪雨による堤防決壊、斜面崩落等が発生しているが、微小変位の検知により、これらの災害防止にも応用可能である。掘削工事現場(地下道路、トンネル掘削等)周辺地域の陥没事故も散見されている。土木工事では、表面での振動、変位等の微細な変化をモニタすることで予兆をとることが可能である。発電用風車のブレード振動、大型機械装置の振動源調査および計測、高層ビルの高次振動モードの計測から耐震性の評価等も提案されている。

このように VirA による振動計測は、幅広い分野にわたり社会の安心安全向上に貢献できると考える。

(無断転載を禁じます)

第56回機械振興賞受賞者業績概要

令和4年2月22日発行

発行所	一般財団法人 機械振興協会
〒203-0042	東京都東久留米市八幡町一丁目1番12号
	電話 042-475-1168 (技術研究所 賞事務局)

