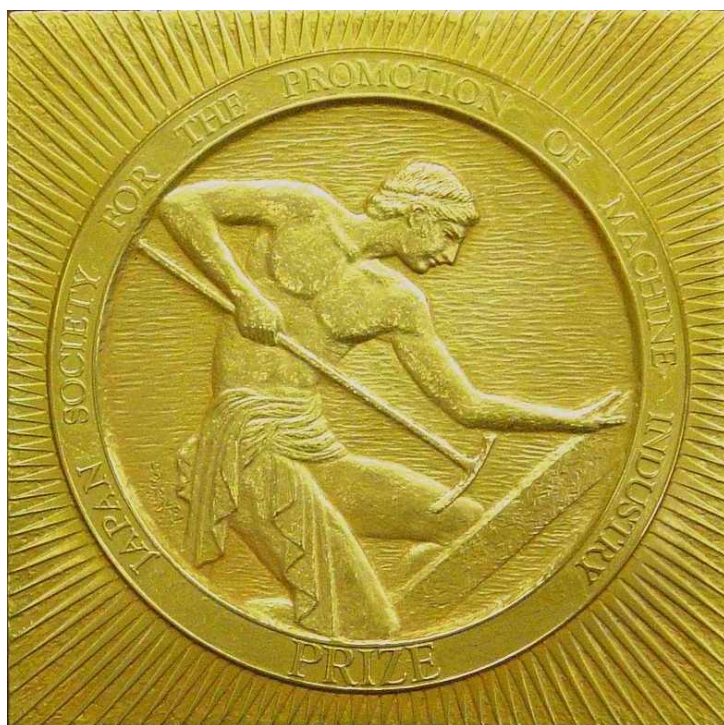


# 第59回機械振興賞 受賞者業績概要



令和7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59回（令和6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、農業・食品産業技術総合研究機構、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59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9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]

- ◇ 厚鋼板の高品質化を実現した連続鋳造の凝固完了位置自動計測装置 …………… 1  
J F E スチール株式会社

#### [中小企業庁長官賞]

- ◇ 校正不要で超高精度制御を実現する産業ロボット制御ソフトの開発 …………… 5  
株式会社 チトセロボティクス

#### [機械振興協会会長賞]

- ◇ セルロースナノファイバー連続脱水シート化装置の開発 …………… 9  
川之江造機株式会社、愛媛大学
- ◇ マグネットの磁力を活用し鉄粉をフィルターにする精密2次ろ過装置の実現 …… 13  
有限会社 ショウナンエンジニアリング
- ◇ 大規模地震発生時の水道管破断対策用革新的伸縮可とう管の開発 …………… 17  
日本ニューロン株式会社
- ◇ 麺類をほぐし、分割、盛り付けをする機械の開発 …………… 21  
不二精機株式会社  
(原稿作成日 令和7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]

- ◇ 生産設備の待機状態を判断し自動で低圧制御する省エネ機器  
SMC株式会社
- ◇ 内製DXによる工程ビッグデータのリアルタイム分析と無人制御の実現  
サンシード株式会社
- ◇ デジタル船上スケールの研究開発  
株式会社 田中衡機工業所

※ 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



# 厚鋼板の高品質化を実現した 連続鋳造の凝固完了位置測定装置

JFEスチール株式会社

代表取締役社長 広瀬 政之

JFE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	西澤 佑司
JFEスチール(株) スチール研究所 製鋼研究部	外石 圭吾
JFEスチール(株) 西日本製鉄所 (福山地区) 製鋼部	田中 智紘
JFEスチール(株) 西日本製鉄所 (福山地区) 制御部	竹中 秀同
JFEスチール(株) DX戦略本部	磯崎 健二
JFEスチール(株) スチール研究所	飯塚 幸理

## はじめに

低炭素社会の実現に向けて、風力発電などと並び、環境負荷の小さい天然ガスは今後も需要増加が見込まれる。しかしガス田の多くは硫化水素などの腐食ガスを高濃度を含み、未精製ガスを運ぶパイプライン用鋼材も厳しい腐食環境に耐える性能が要求される（図1）。

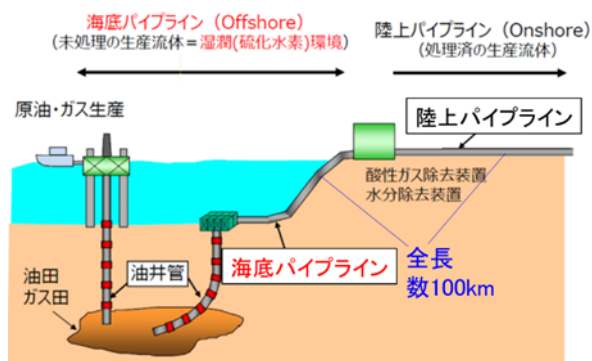


図1 海底パイプライン

厚鋼板の耐腐食性の向上には、溶鋼を連続的に凝固させる連続鋳造プロセスにおいて、凝固完了時に適切な圧下（軽圧下）を加えることが効果的である。しかし、その凝固完了タイミングを把握することは従来技術では困難だった。

そこで今回、連続鋳造における凝固完了位置を自動的に計測する装置を開発した（図2）。本

装置を活用し、凝固完了位置を把握して軽圧下を適正に行うことで、腐食環境下での割れの原因となる中心偏析の低減を達成し、厳しい腐食環境下で利用可能な厚鋼板の製造を実現した。

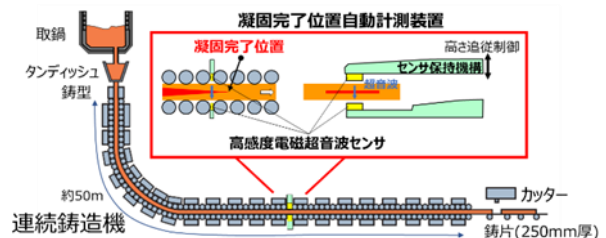


図2 開発した凝固完了位置測定装置

## 開発のねらい

鉄鋼製品は一般に、高炉、転炉、連続鋳造、圧延という製造プロセスを経て製造される。成分調整された溶鋼を連続的に凝固させる連続鋳造プロセスにおいて、厚み中央部に溶鋼中の添加元素が濃化し、中心偏析となる。中心偏析部に水素原子が凝集しガス化して割れが生じる現象を「水素誘起割れ」と呼び、パイプラインの内容物の漏洩などの大きなトラブルを生じさせる。

中心偏析改善のためには、凝固完了のタイミングで、凝固収縮に相当する圧下（軽圧下）を行

い、濃化溶鋼の流入・流動を防ぐことが効果的である。しかし、軽圧下の適用はタイミングが重要で、そのタイミングを外すと効果がないため、凝固完了位置の測定は非常にニーズが高かった。

従来の凝固完了位置把握方法には、様々な課題があった(表1)。スラブに金属製の鋏を打ちその鋏の溶解状況の断面観察から凝固/未凝固を判別する方法では、連続的な実施が困難であり、また実施した鋏片はスクラップとなっていた。伝熱計算により推定する方法では、計算モデルの誤差や操業ばらつきの影響が排除できなかった。超音波を用いた方法もあったが、感度が低く実質的には接触計測となるため、センサの耐久性などの課題があった。以上のように、凝固完了位置の連続的な把握は従来困難であり、製造上のばらつきを生じていた。

## 技術上の特徴

### ① 高感度電磁超音波法

表面温度 900°Cを超え、かつ移動する連続鋳造の鋏片の凝固完了位置を測定するため、非接触で超音波を送受信する必要がある。接触媒質を使わず超音波の送受信が可能な技術として電磁超音波法が知られるが、感度が低いという課題および、センサギャップをほぼ 0mm に近づけなければならないことによるセンサの耐久性の課題があった。これに対し、ハルバツハ配列と呼ばれる特殊な磁石配列を活用して磁場強度を向上させるとともに、デジタル信号処理(チャープパルス圧縮)を用いた高感度電磁超音波法を開発することにより克服した(図3)。

表1 凝固完了位置測定の前技術との比較

	本装置	従来電磁超音波	伝熱計算	鋏打ち
原理	電磁超音波 縦波→凝固位置 +横波校正 センサ保持機構 超音波高感度制御	縦波超音波の伝搬 時間→凝固位置 電磁超音波センサ タッチロー	伝熱モデルにより 凝固位置算出	鋏の溶解 →凝固/未凝固
破壊/非破壊	○非破壊	○非破壊	○非破壊	×破壊
連続測定	○連続測定可	△接触要 耐久性に難	○連続推定可	×点測定
測定精度	○横波利用の 絶対位置校正	△鋏打ち等による 校正必要	△鋏打ち等による 校正必要	○~△ 凝固末期で判定難
難点		△低感度	△モデルの誤差	×鋏取り扱い危険

## 装置の概要

鋏片の凝固完了位置を測定するため、本装置は、以下の三つの要素技術からなる。

- ① 高感度電磁超音波法
- ② 縦波超音波と横波超音波を利用した凝固完了位置算出・校正方法
- ③ スラブ厚み変動にあってもセンサ距離を一定にする機構部・自動制御機構

これらの開発により、凝固完了位置の自動・連続測定を達成した。本装置は、JFE スチール株式会社 西日本製鉄所(福山地区)製鋼工場に導入され、操業改善に活用されている。

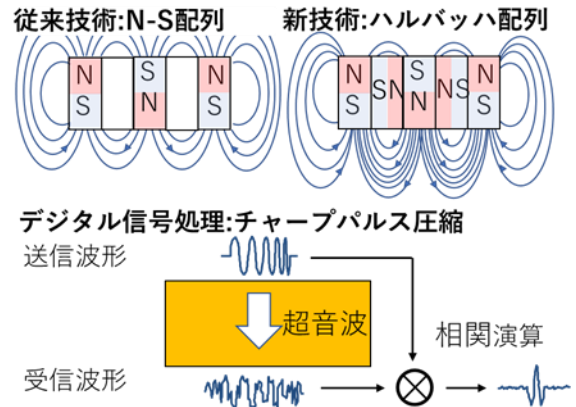


図3 高感度電磁超音波法の要素技術

ハルバツハ配列とは、図のように、主磁極の間に、それと直交するような向きの補助磁石を置くことにより、片側に磁束を集中させる技術であり、これを電磁超音波センサに適用した。従来、加速器などの強磁場利用分野に適用されていた技術であり、磁場強度を向上させ、電磁超音波の送受信感度を向上させた。

また、チャープパルス圧縮は、従来レーダーなどの分野に利用されていた技術で、周波数が時間的に変化する送信波形を用い、かつ受信波形に対し送信波形との相関演算を適用することで、送信波形に相関のある信号のみを抽出する技術である。これにより、受信波形の感度(S/N

比)を飛躍的に向上させるとともに、パルス圧縮効果により時間分解能を高めることができ、センサギャップ 5 mm での完全非接触超音波計測を達成した。

## ② 縦波超音波と横波超音波を利用した凝固完了位置算出・校正方法

凝固完了位置を高精度に測定するために、縦波超音波と横波超音波を組み合わせた校正方法を開発した。従来の縦波超音波法では、鋳打ち等の方法により凝固完了位置の校正を行う必要があった。また横波超音波法では、測定位置が凝固か未凝固かを判別できるのみで、凝固完了位置を算出することはできなかった。

この課題に対し、横波超音波が液相を透過しないという特徴を用いた校正方法を開発した。具体的には、横波信号が消失した瞬間をとらえ、この時に凝固完了位置がセンサ直下にあるということを検知し、縦波超音波計測の算出式を校正する(図4)。

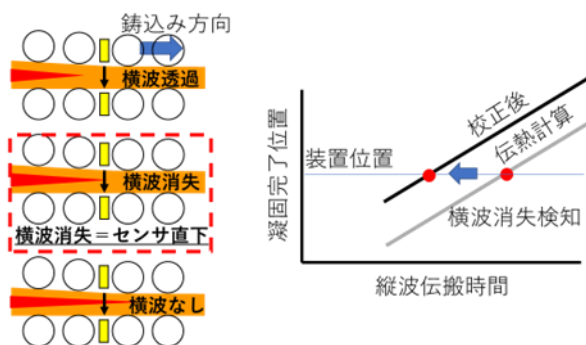


図4 横波消失を活用した位置算出の校正方法

この方法によって、鋳打ち等によらず、凝固完了位置を高精度に測定できるようにした。

## ③ スラブ厚み変動にあってもセンサ距離を一定にする機構部・自動制御機構

電磁超音波センサと水柱式超音波式距離計を組み合わせることで、鋳片の厚み変動やその他の外乱にあってもセンサと測定対象である鋳片の距離を一定に保ち、センサ接触・破損を防止するとともに、また感度を一定化することで安定した自動計測を達成した(図5)。

鋳片の厚みは、操業中の速度変動など操業条件によって数 mm 程度変動することがある。

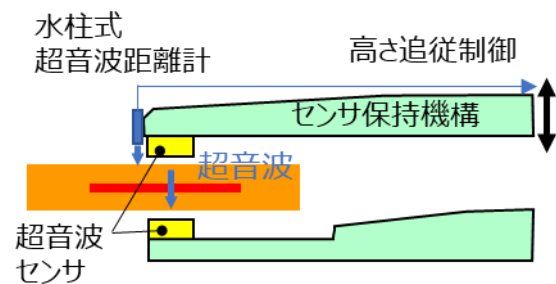


図5 センサ保持・自動制御機構

高感度電磁超音波法によりセンサギャップ 5 mm での非接触計測が実現したものの、鋳片の厚み変動による接触・破損のリスク、感度変動のリスクがあった。接触した場合、センサが破損・焼損するのみならず、センサが破断・脱落し、製品への傷や連続鋳造機の設備の破損といった大きなトラブルに至るリスクがあった。

そこで、連続鋳造機の中という過酷な環境でも利用可能な「水柱式超音波距離計」を用いて、鋳片とセンサの間隔をリアルタイムで計測し、その結果に基づきセンサを自動的に昇降制御する機構部および自動制御機構を開発した。水柱超音波距離計は、ノズルから水を噴射し、超音波を水中に伝搬させ、鋳片表面からの反射波の伝搬時間をもとに距離を測定する技術である、水柱を用いることで、厳しい輻射熱、水蒸気や冷却ミストのある連続鋳造機内でも利用可能であり、高い精度でセンサと鋳片の距離を測定できる。この測定値をもとに、センサを保持・昇降させる自動制御機構を開発した。鋳片の厚み変動した際には追従し、また急激な厚み変動がある場合には自動退避するなどの制御アルゴリズムを実装し、センサの破損およびセンサの接触等による品質トラブルを抑止する。

以上述べた要素技術の実装により、鋳片の凝固完了位置を自動的に・連続的に測定する装置を確立した。高感度電磁超音波法により完全非接触を実現し、かつ、縦波超音波と横波超音波を組み合わせた算出・校正法により、鋳打ち等によらず、凝固完了位置を連続的に把握できるようになった。また鋳片の厚み変動等にあってもセンサの接触・破損なく、安定して測定できる。



## 実用上の効果

本装置は、JFE スチール株式会社 西日本製鉄所(福山地区)製鋼工場に導入されている。本装置を用いて測定した凝固完了位置をもとに操業改善を行い、次のような効果を挙げた。

### ① 中心偏析低減

凝固完了位置を測定し、最適な軽圧下を行えるように凝固完了位置を制御した結果、鋳片の中心偏析低減を達成した。

図6に本装置の導入前後での偏析粒個数の分布を定量的に評価した結果を示す。厚み中央部に合金成分の濃化した領域を偏析粒と呼び、水素誘起割れの起点となる。そのため、偏析粒の個数低減は水素誘起割れの抑止に寄与する。

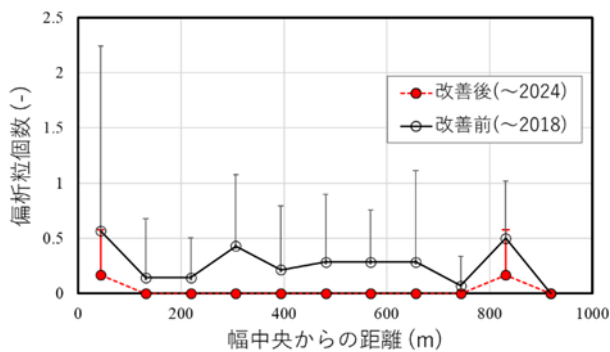


図6 操業改善による鋳片の偏析粒個数の変遷

図6から明らかなように、偏析粒個数について、その平均値でも、ばらつきでも大幅な低減を達成した。連続的かつ自動的な凝固完了位置の測定が可能となったことで、これまで避けられなかった操業上のばらつきも含めて制御できるようになった結果である。

これらの操業改善の結果、厳しい腐食環境である天然ガス用パイプライン向け鋼材の安定製造を達成した。

### ② 海底パイプライン向け鋼材の受注・出荷

本技術により過酷な腐食環境においても水素誘起割れを起こしにくい鋼材を安定して製造できるようになったことで、東南アジアの海底ガ

ス田開発プロジェクトに採用された。当該案件は鋼材重量8万6千トンの大型プロジェクトであり、当社で単独受注した。

## 知的財産権の状況

本開発装置に関する主要な特許登録は下記の通りである。

### ① 日本国特許第5051204号

名称:連続鋳造鋳片の凝固完了位置検知方法及び検知装置並びに連続鋳造鋳片の製造方法

概要:超音波の横波消失を用いて凝固位置の算出式を校正する方法に関する。

### ② 日本国特許第7318848号

名称:凝固位置計測装置、凝固位置計測方法、金属材料の品質管理方法、鋳造設備、金属材料の製造設備及び金属材料の製造方法

概要:自動的に凝固完了位置を測定する装置及び方法に関する。

他、国内特許30件、外国出願7件を出願した。

## むすび

今回、連続鋳造における凝固完了位置を自動的・連続的に測定する装置を世界で初めて開発・実用化した。製鉄、特に鋳造分野における長年の課題の一つであった凝固完了位置計測を可能とする技術である。

開発した本装置を活用し、凝固完了位置の把握、操業改善を行い、天然ガス用パイプライン向け厚鋼板の品質向上を達成した。

本装置を用いて製造した高品質厚鋼板は、2023年から2024年にかけて東南アジアの海底ガス田開発プロジェクトに採用され、鋼材重量8万6千トンを出荷するなど、世界のエネルギー需要に応えるとともに、CO<sub>2</sub>削減に寄与している。

当社は、製鉄プロセスにおける課題を克服し、CO<sub>2</sub>削減、環境調和製鉄を通じ、持続可能な社会の実現に貢献していく所存である。

# 校正不要で超高精度制御を実現する 産業ロボット制御ソフトの開発

株式会社 チトセロボティクス

代表取締役 西田 亮介

(株)チトセロボティクス 西田 亮介

(株)チトセロボティクス 川村 貞夫

(株)チトセロボティクス 立花 京

## はじめに

ロボットには様々な異なる環境での利用が期待されている。そのため、外部環境情報をカメラでコンピュータに取り込み、ロボットアームに利用する方法として、ビジュアルフィードバック制御が注目されている。ビジュアルフィードバック制御では、カメラとロボットの座標系を利用して全体のシステムが構成される。

従来の VF 制御では、座標系などのキャリブレーションが必要となる。キャリブレーションとは、カメラのレンズのひずみを補正し、カメラの座標系、ロボット作業座標系、ロボット関節角座標系それぞれの座標変換の誤差を極小化する作業である。理想的には、位置/姿勢の計測に誤差の無い世界を想定できる。キャリブレーションとは理想世界に現実を合わせる作業となる。しかし、現実世界では、レンズひずみ、カメラ固定フレームの曲がり、床の傾斜、座標系の姿勢の設定誤差、ロボットアームのリンクたわみなどが存在して、理想世界に合わせる努力は苦勞する割には成果が生まれない。

このようなキャリブレーション法は本当に必要か？人間の場合、同じようなことを行っているのか？従来とは異なるシステムインテグレーションの方法は無いのか？などの疑問が生まれる。このような基礎的な疑問から本製品の研究と開発は開始され、原理的にキャリブレーション

作業を必要としない VF 制御法を開発することを志向した。

## 開発のねらい

従来のキャリブレーションを利用する方法は図1に示される。カメラのレンズひずみを調整し、カメラの座標系からロボットの座標系までの変換に生まれる誤差を極小化している。しかし、フィジカル世界は、理想的な直線と平面ではないので、幾何学的誤差は変換のたびに累積する傾向にある。

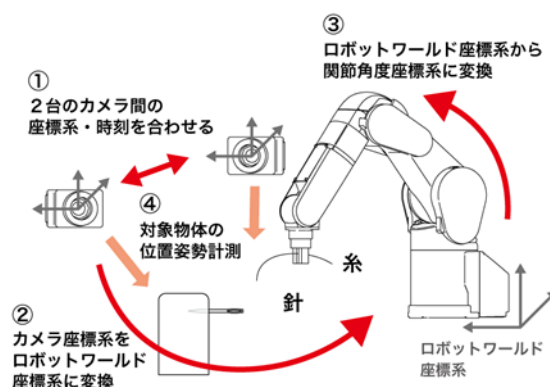


図1 従来法のビジュアルフィードバック制御

[従来方式のデメリット]

- ・座標変換誤差により位置/姿勢の精度が劣化
- ・キャリブレーション負担が大きくコスト高

このような問題を解決するために、図2に示されるような制御法を我々は開発した。新しい制御法では、カメラ、ロボットの座標系を高精度

にキャリブレーションする必要はなく、適当な精度でカメラやロボットを設置してよい。作業中に座標系が多少変化しても問題ない。

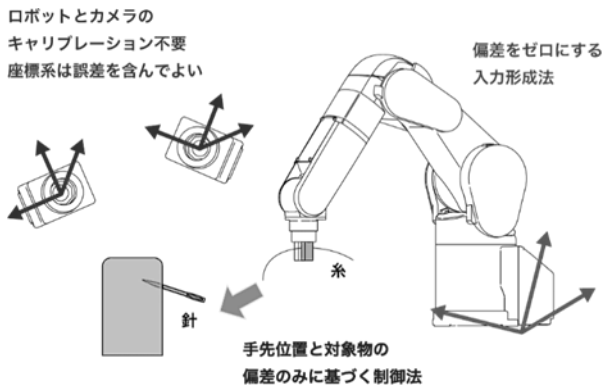


図2 新方式(クルーボ)のVF制御

### 装置の概要

開発技術を搭載し、キャリブレーションの負担ゼロで、カメラを使った高精度なロボットアーム制御を実装できる産業用ロボット制御ソフトとして「クルーボ」という製品を開発した(図3)。

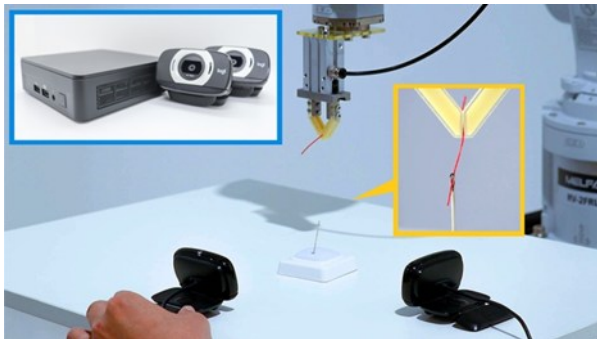


図3 開発技術をインストールしたコンピュータとカメラで針の穴に糸を通すデモの様子

クルーボはロボット制御ソフトウェアであり、インストールされた制御用コンピュータと、産業用ロボットアームに接続して動作する。ソフトウェアとしての実態はLinuxを搭載した制御コンピュータ上で動作する画像認識プログラムとロボットモーションコントロールプログラム、センサ信号処理プログラムの集合である。この制御コンピュータとロボットは、イーサネットケーブル1本で接続するだけで、画像認識、軌道計算、センサ処理をすぐ実装することができ、現場でのス

ムズなロボットシステム立ち上げに貢献する。

開発した新方式のビジュアルフィードバック制御を搭載した制御ソフトウェア「クルーボ」の特徴は図4にまとめられる。従来方式での精度達成限界値0.5mm(経験則)を超える位置決め精度をビジュアルフィードバック制御で実現した。カメラとロボットの設置などが容易であり、システムの実装や変更も負担なく行えるため、システム構築の負担(図縦軸)は極めて少なく、安価に実装可能となっている。

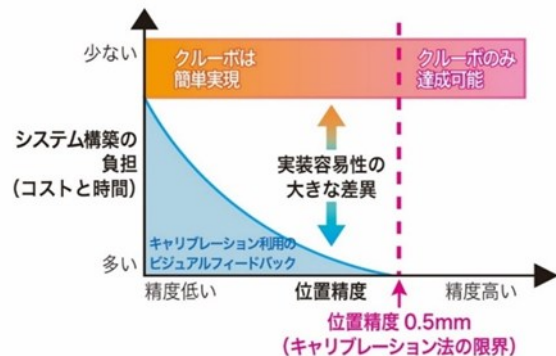


図4 開発技術を搭載した「クルーボ」の特長

機能①キャリブレーションなしでも、手先制御精度20マイクロメートルの制御ができる

当社発明の相対的位置誤差に基づく制御によって、ロボットパラメータやカメラパラメータに誤差があっても視覚情報とロボット内界センサ情報を統合して制御することでロボットの手先位置制御精度を高める。針の穴に糸を通すことも容易で、これまでは人の目と手が必要な現場における高精度、かつ柔軟な自動化に貢献する。

機能②ケーブル1本でロボット/PLC/カメラと接続し、迅速なシステム構築ができる

当社発明の産業用ロボット等制御技術によって、制御コンピュータとケーブル1本の接続で制御が可能。従来ロボットシステムはケーブル配線がスパゲティ状態の制御盤が必要だったが、配線数が減って製造工数費用が下がり、人手不足に困るエンドユーザの初期投資額を抑えることにつながる。

機能③ 3.6 ミリ秒サイクルで目標物体を追従し、変動環境下でも物体ハンドリングができる

当社発明のリアルタイム軌道生成技術によって、高速なロボットと制御コンピュータの通信を行って逐次軌道を変更しながら動作可能。コンベア等で高速に、ランダムな部材が流れてくる状況において、対象物体をトラッキングし、素早く、高精度に移動しながら取り上げたり（ピッキング）、組み付けたり（アッセンブリ）することができる。

## 技術上の特徴

本開発技術の原理は、目標の位置/姿勢と対象物の位置/姿勢の偏差のみの情報によってロボットを運動制御する方法にある。この発想は、ヤコビ転置行列を利用するトルク制御法から生まれている [1]。ただし、[1]では、ヤコビ行列の各係数は正しい運動学に基づいて計算されたと想定していた。そこで、立命館大学ロボティクス学科川村研究室では、1998年ごろからヤコビ行列の係数に誤差が含まれる場合について、研究が開始され、運動安定性が数学的に証明された [2] [3]。しかし、これらの方法はトルク制御法となっており、現状の産業用ロボットコントローラにおける位置制御に直接利用はできなかった。そこで、2012年ごろから同じように相対的偏差のみを利用して、位置制御ベースでも利用可能な方法が提案され、学会報告もされている [4]。しかし、当時の提案法は運動の停止と開始を繰り返す必要があり、長い収束時間や振動などの問題があった。そこで、一連の技術に関係した研究室の卒業生らを中心に株式会社チトセロボティクスが立ち上げられ、連続運動を比較的高速で実現する新しいVF制御手法（クルーボ）を開発した。

新方式（クルーボ）の性能概要は図3に示される。図中では横軸に達成可能な位置/姿勢の精度、縦軸にキャリブレーションに必要な作業負担としている。本方式では原理的に通常のキャリブレーション作業は不要であるので、縦軸の作業負担は極めて少なくなっている。横軸の位置精度限界 0.5mm は経験則で、科学的データに

基づいていないものの、従来法でのビジュアルフィードバックでは事実上の限界値と我々は想定している。本手法では、すでに 20 $\mu$ m 程度の位置精度を実験的に確認している。キャリブレーションの負担低減のみならず、従来方法では到達できなかった位置精度を達成している特徴が本技術の優位性となっている。

## 実用上の効果

### ①ラフな環境設定でも高精度制御を実現

ロボット設置床面が傾いている、アンカー固定ができない、頻繁なロボットの移動があるなど、ロボットのキャリブレーションが困難な環境でも高精度な制御を実現した。従来のビジュアルフィードバック制御とは異なり、座標変換による誤差の影響を受けずに制御精度を高められる本開発技術の特長が活きる（図5）。



図5 移動式マニピュレータによるLED挿入  
(柔軟タイヤ変形の影響下でも可能)

### ②モデル化困難なワークハンドリング

リアルタイムのビジュアルフィードバック制御によって変化する環境とワークオブジェクトへの追従制御を実現した。自動車製造におけるワイヤーハーネスや、電機製造におけるケーブリングなどの作業を自動化できる。図6では、ロボットの手先に搭載したカメラで認識した画像からロボットの手先位置と手先姿勢をケーブルのしなりやうねりにあわせてロボットへの制御入力を行っている。



図6 不定形ケーブルのトラッキング作業  
(ケーブルの位置姿勢変化も対応可能)

### ③パラメータの異なるロボットを協調制御

産業用ロボットはサイズやメーカーによってリンク長さやモータ仕様、通信サイクルなどのパラメータが異なる。そのため複数台のロボット制御は実現が困難であった。図7では、4台のロボットをクルーボがインストールされたコンピュータ1台で制御する例を示す。2台のロボットはカメラを持ち、1台が針、もう一台が柔軟な糸をつまんでいる。この4台のロボットが様々な位置と姿勢で、針穴に糸を通す作業を達成している。



図7 メーカーが異なるロボットアームを位置校正なしで4台協調制御する例

## 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6307431号

名称:ロボット制御装置

概要:パラメータに誤差を含んでも高精度ロボットアーム制御を実現するアルゴリズム

### ② 日本国特許第6485620号

名称:ロボット制御装置

概要:未校正カメラからの情報に基づいて産業用ロボットアームを制御する

その他3件を権利化済。

## むすび

ロボットアームのビジュアルフィードバック制御において、キャリブレーションの呪縛から解放されれば、従来は困難と思われていた様々な作業を達成できると期待される。今後もロボット活用促進を実現するロボット制御技術の創出に挑戦を続ける。

## 参考文献

[1] M. Takegaki and S. Arimoto: "A new feedback method for dynamic control of manipulators," Trans. of the ASME J. of Dynamic Systems, Measurement and Control, Vol. 103, No. 2, pp. 119-25, 1981.

[2] C. C. Cheah, S. Kawamura, S. Arimoto, "Feedback control for robotic manipulator with an uncertain Jacobian matrix" Journal of Robotic Systems, 16 2, 119-134

[3] C. C. Cheah, M.Hirano, S. Kawamura, S.Arimoto, "Approximate Jacobian Control for Robots With Uncertain Kinematics and Dynamics" IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol.19, No.4, pp.692-702, 2003

[4] 相原貴拓、河村晃宏、川村貞夫: "視覚フィードバック繰り返しPTP制御によるロボットアームの高精度運動制御"、第32回日本ロボット学会学術講演会、九州産業大学、2014.9.4-6, 3N2-01

# セルロースナノファイバー 連続脱水シート化装置の開発

川之江造機株式会社

代表取締役社長 篠原 貴裕

愛媛大学

愛媛大学長 仁科 弘重

川之江造機(株) 設計部 取締役設計部長

合田 真二

川之江造機(株) 設計部

木下 聖也

川之江造機(株) 設計部

西内 大貴

愛媛大学 紙産業イノベーションセンター センター長

内村 浩美

愛媛大学 紙産業イノベーションセンター 副センター長

藪谷 智規

愛媛大学 紙産業イノベーションセンター

秀野 晃大

## はじめに

セルロースナノファイバー (CNF) は紙の主原料である木質繊維を機械的・化学的にナノ化処理した幅 3 ~ 100 nm 程度の微細繊維である。軽量かつ高強度、高弾性などの優れた特徴 (図 1) を有しており、高強度材料 (自動車部品) や高機能材料 (住宅建材) への活用が期待されている。また、CNF は植物由来で再生可能な資源であることから、地球温暖化対策や環境適合性材料開発への貢献が期待されている。しかし、CNF は一般的に水を多く含んだ状態で提供されており、輸送や乾燥コストが課題となっているため、脱水・乾燥に対する新技術の開発が希求されていた。



セルロースナノファイバー (CNF)

木質繊維を機械的・化学的に解繊

〈特徴〉

- ・ 軽量 (鉄の1/5倍)
- ・ 高強度 (鉄の5倍)
- ・ 熱的寸法安定性
- ・ ガスバリア性

等

図1 CNFの特徴

## 開発のねらい

CNF の製造は、木質繊維を水中で機械的に解繊処理する方法が多いことから、製造時の CNF は、構成要素の大部分 (90 %以上) が水で占められている。製造された CNF の高い含水率は、製造プラントから CNF を利用した製品製造工場へ輸送する場合に、CNF と一緒に 9 割以上の水分も合わせて輸送することになり、輸送効率が悪いという問題を抱えている。また、CNF を成形体や樹脂混練など、構造物成形に利用する場合は、CNF が保有する多量な水分が、成形体製造プロセスの障害となることが容易に想像される。すなわち、この CNF の高い含水率は、CNF 輸送に関わる高コスト性や CNF 成形体製造時の高エネルギー消費等の問題をもたらす。今後の産業界での利活用を考慮すると、CNF の脱水に関わる課題解決は急務である。ただ、CNF は極めて微細であり、高い水分保持力を有するため、既存の脱水技術である遠心分離法やろ過法を適用することが困難である。また、加熱乾燥による高濃度化も可能であるが、加熱乾燥法は典型的な高エネルギー消費プロセス

となり、高い環境負荷とコストが問題となる。

CNFの脱水に関わる課題解決のために、抄紙に関わる高度な機械設計と装置製造を専門とする川之江造機(株)と、紙産業に関わる国内唯一の大学研究拠点である愛媛大学紙産業イノベーションセンターとの共同研究体制を基に、抄紙技術を応用したCNF連続脱水シート化装置を世界に先駆けて開発した(図2)。



図2 CNF連続シート化装置

## 装置の概要

抄紙技術を応用したCNF連続脱水シート化装置は、産業界での利活用を前提に、大量の脱水が可能な抄紙技術を基本とした装置である。CNFの捕捉効率向上のため、ワイヤパート前段では、新たな機構として抄紙用ワイヤとフェルトを多層とした吸引脱水機構を有し、非加熱で効率的かつ連続的な吸引脱水が可能である。また、本装置による吸引脱水後のCNFは、加圧しても紙層構造への影響が小さかったことから、ワイヤパート後段に新規に開発した面圧印加機構とプレスパートでRoll to Rollの段階的な加圧脱水機構を設置することで高固形分濃度のCNFウェットシートが成形可能である。最終工程のドライヤパートでは、ウェットシートを拘束しながら加熱乾燥することで連続的に地合いの良好なCNF乾燥シートを製作可能とした(図3)。

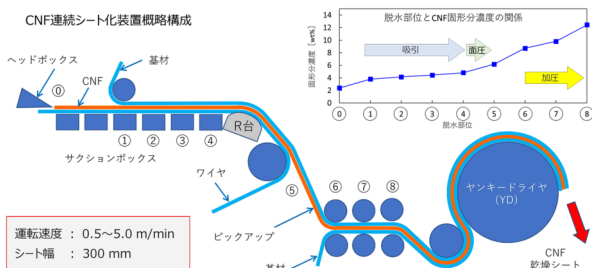


図3 装置概略図と固形分濃度の推移

## 技術上の特徴

本装置は、①吸引脱水、②面圧脱水、③加圧脱水、④拘束加熱乾燥の4つの機構を組み合わせて構成されている。以下に個々の機構を解説する。

### ① 吸引脱水機構

ワイヤパート前段の吸引脱水機構では、ベルトコンベヤのようなエンドレス形状の抄紙ワイヤ上にCNFを均等に塗布し、圧力調整可能な12基のサクシオンボックスで段階的に吸引脱水を行う。CNFの繊維は極めて微細なため、単層の抄紙ワイヤ上で吸引脱水を行うとワイヤの開きからCNFの漏洩が発生する(図4(a))。そこで、愛媛大学から、ワイヤからの漏洩対策としてワイヤおよび吸水性基材を重ねて多層化する方法が提案された。これは、CNFの通過流路を長くし、流路抵抗を増大させることを目的として、CNFの捕捉効率向上を目指した。実用化に向けて、愛媛大学と度重なる試作と改良を行い、多層化法として、抄紙用具のワイヤとフェルトを重ねることによって、実用的なCNFの捕捉効率向上を可能とした(図4(b))。

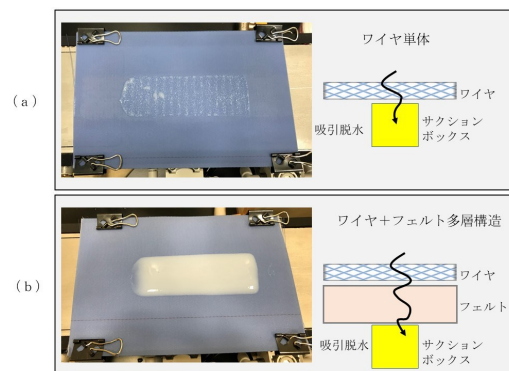


図4 吸引脱水の比較  
(a:ワイヤ単体、b:多層構造)

### ② 面圧脱水機構

減圧吸引脱水では、ワイヤ近傍のCNF層下部から優先的に脱水が進行するためにCNF層上部は含水率が高いままとなる。特に、高坪量(CNFを厚くしたシート)の場合には、吸引脱水効率の低下が見られた。このシート表面層の脱水を可能

とするためには、上部からの減圧吸引脱水機構の装置も考えられるが、脱水装置の構造が複雑となることから、ワイヤパート後段に新たな面圧脱水機構を取り入れた（図5）。本機構は含水率の高い CNF 層上部に対し、動力を必要としないシンプルな構造で効果的な脱水ができる。しかも、抄紙幅全面にソフトな加圧を行うことにより、CNF 層の構造変化を起こさずに、CNF 層上部の脱水が可能である。装置の原理は、曲率半径の大きな R 台に沿って移動するワイヤと CNF に対して、上部から基材を被せ、基材にテンションをかけることで、CNF ウェットシートに対して面圧が印加される構造となっている。面圧により基材上部から水分が染み出し（図5）、脱水が進行する。

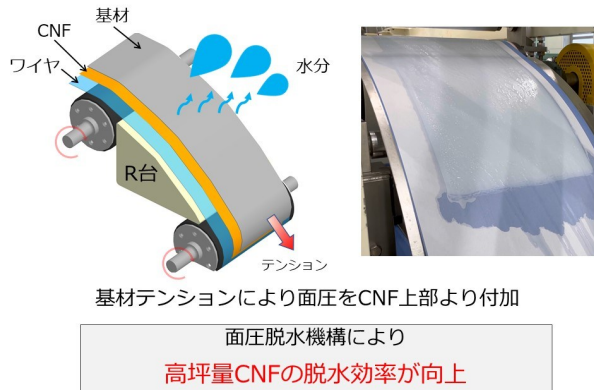
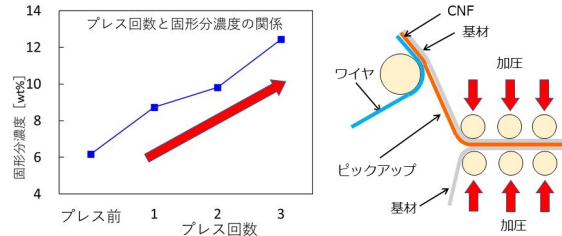


図5 面圧脱水機構の脱水効果

### ③ 加圧脱水機構

CNFシート化の実現には、乾燥時のエネルギー削減と収縮に伴うしわや割れを防ぐために、ウェットシート形状を保持した状態でさらに脱水する必要がある。そこで、プレスパートでは、面圧脱水後の CNF ウェットシートの加圧脱水機構を考案した。本機構は、CNF ウェットシートをシート基材でピックアップし、基材ごとロールで加圧することで、シート内部の水分を搾水する機構である。一度に高いプレス圧力で加圧するとシート形状が崩れてしまうおそれがあるが、加圧脱水機構では加圧力を調整可能な複数のロールが設置されており、段階的に加圧脱水を行う（図6）。具体的には、吸水およびソフトな圧力印加が可能な特殊素材ロールや軟質素材ロール、硬質

素材ロールを用いて、徐々に表面硬度の高いロールとなるように組み合わせることで、段階的な加圧を可能とし、吸引脱水終了後の6%の固形分濃度を約13%に高めることが可能となった。



段階的な加圧脱水により  
シート形状を維持した効率的な脱水が可能

図6 段階的な加圧時の脱水効果

### ④ 加熱乾燥機構

ドライヤパートでは、前述の脱水機構で成形した CNF ウェットシートを乾燥させるために、抄紙機で用いられる、円筒内部に蒸気を通して加熱するヤンキードライヤ (YD) を使用した（図7）。一般的なパルプ繊維よりも保水性の高い CNF は乾燥による収縮・割れが生じやすい。この課題を解決するために、CNF ウェットシートに金網を被せた状態で拘束乾燥する。これにより CNF 乾燥シートを連続的に製作可能とした。なお、CNF の種類の違いによる保水性の差異や坪量増加による水素結合発生状況（位置）の変動に対応するために、金網拘束位置を可変できる構造とした。

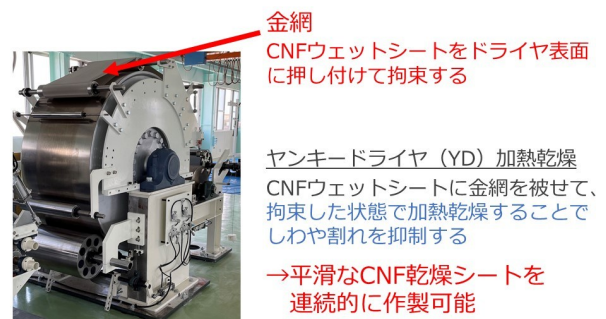


図7 CNFウェットシート乾燥機構

以上のように本装置は、実用的な抄紙用具のワイヤとフェルトを重ねた多層構造とし、CNFの捕捉効率を向上させている。さらに、新規に開



発した面圧印加機構 (R 台) や段階的な加圧機構で高濃度な CNF ウェットシートを得ることが可能となった。この高濃度 CNF ウェットシートを拘束して加熱乾燥することで、CNF 乾燥シート (図 8) を連続的に製作可能とした。



図8 CNF乾燥シート  
(スギノマシン社製CNF ビンフィス使用)

## 実用上の効果

固形分 2% の CNF を脱水した場合、運転実績として、固形分濃度 10% 以上に脱水が可能のため、1000 kg の CNF を脱水すると、最低でも 800 kg の水分を脱水できる (図 9)。

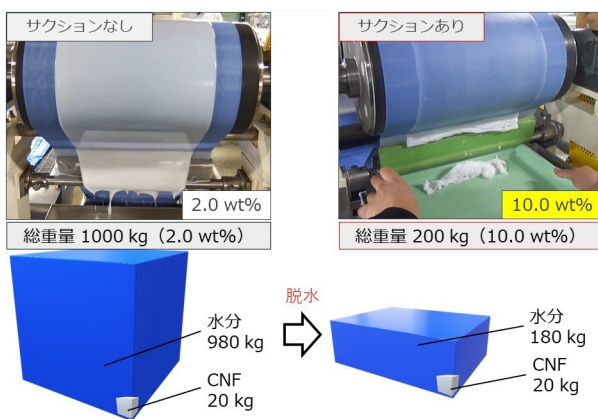


図9 吸引脱水の効果

輸送や乾燥コスト増加の原因となっている水分を大きく取り除くことが可能であり、加熱脱水法などのバッチ処理と違い、大量の CNF を連続的に処理できることが本装置の大きな特長である。

昨今の脱炭素や海洋プラスチック汚染などの

環境問題に対する関心の高まりから、植物バイオマスから調製可能な CNF は注目されているが、実用的な脱水およびシート化が課題であった。我々の技術で作製可能な CNF シートを樹脂製自動車部品や建材等と置き換えることで、プラスチック使用量削減や製品の軽量化に伴う燃費・輸送効率向上が見込めることから、持続可能な社会を構築するための重要な技術と位置付けることができる。

## 知的財産権の状況

本件に関する特許登録は下記の通りである。

- ① 日本国特許第 6653891 号  
名称: 微細繊維脱液装置  
概要: ナノセルロースなどの微細な繊維を連続して脱液する装置。
- ② 日本国特許第 7156652 号  
名称: 微細繊維シート製造装置  
概要: 脱液微細繊維シート中の水分をさらに連続で加圧脱水、乾燥処理し、効率的にシート化する装置。

## むすび

CNF 連続脱水シート化装置は、川之江造機テクニカルセンターに設置されている。現在も、さらなる改良改善を繰り返し、より効率的な脱水、シート化技術の確立に向け、技術データ、ノウハウの蓄積を行い、パイロット機として運用中である。

脱水困難なものを脱水するため、研究機関と企業が協力し、産学連携で独自の脱水技術を備えた装置開発に至った。この知見を有効に活用いただき、『お客様とともに』試作や共同開発の取組を積極的に行っていくことで、CNF に関する用途開発を一層拡大するための基盤設備として活用され、紙産業界の活性化や発展の一助となれば幸いである。

# マグネットの磁力を活用し鉄粉を フィルターにする精密2次ろ過装置の実現

有限会社 ショウナンエンジニアリング

代表取締役社長 佐澤 昌治

(有)ショウナンエンジニアリング 代表取締役社長 佐澤 昌治

## はじめに

### (1)ろ過装置に求められる新たなニーズ

これまで加工機や研削盤などで使用されるタンク内で循環する液の精密ろ過を行う場合、そのろ過精度を達成するために1次タンク（ダーティ槽）から2次タンク以上（クリーン槽）が必要となり、多くのポンプとタンク容量を要する設計が主流でした。しかしながら、昨今「カーボンニュートラル」実現のために必要最低限のポンプ数と使用する液量を少なくする等の新たなニーズを考慮しながら、従来通り、もしくは、それ以上のろ過精度が求められております。

### (2)タンクの基本構造

図1で示すように1次タンク（ダーティ槽）から2次タンク（クリーン槽）に供給用ポンプでくみ上げる際、通常、フィルター等にて循環する液のろ過を行います。

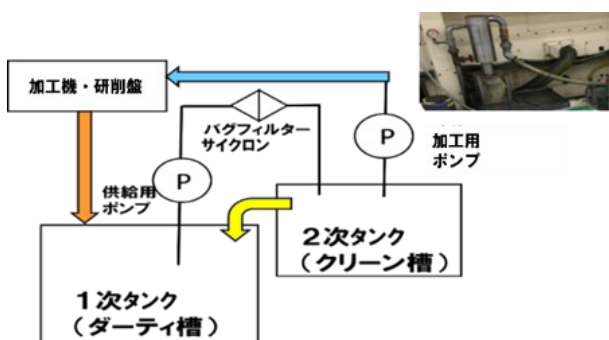


図1 従来のろ過要領

この時に、1次タンクから2次タンクへの供給用ポンプの水圧（揚程）を利用してろ過を行います。この原理により構造上、圧損が生じてしまい、そのままろ過した液を加工機や研削盤等の加工時に直接使用する事ができないため、2次タンクに1度ろ過した液を溜めてから加工用ポンプにて加工機側へ送る仕様となり、ポンプを最低でも2個使用する構造となります。

## 開発のねらい

弊社は、図1で示すような供給用ポンプの水圧（揚程）をろ過に使用せず、図2のように2次タンク（クリーン槽）が不要で供給用ポンプを加工用ポンプと置き換える事が可能となる循環ろ過装置の実現に向け、精密2次ろ過装置の開発に着手いたしました。また、本装置が開発できれば、使用するタンクのコンパクト設計が可能になると考えました。

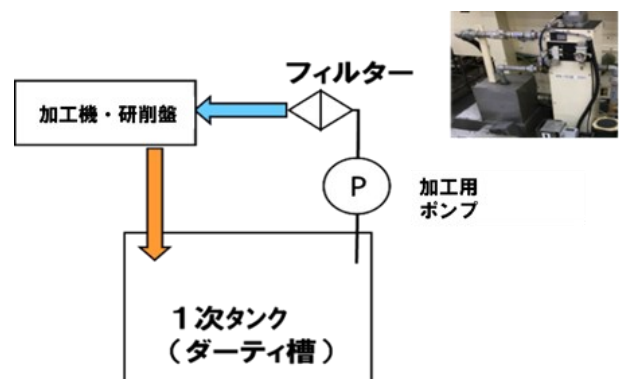


図2 新たなろ過要領（イメージ図）

## 装置の概要

弊社は、ろ過する際に圧損をしないでろ過が可能となる要領として、現在、加工技術の発達により、加工時に出るスラッジの形状に着目しました。磁性体のスラッジを対向する磁石の強力な磁力で捕獲し、その捕獲されたスラッジを特殊配管内で液中に停滞させ、スラッジを集合体とさせる事でフィルター素材として活用できる精密2次ろ過装置マグネットインラインフィルター（図3）の開発をいたしました。

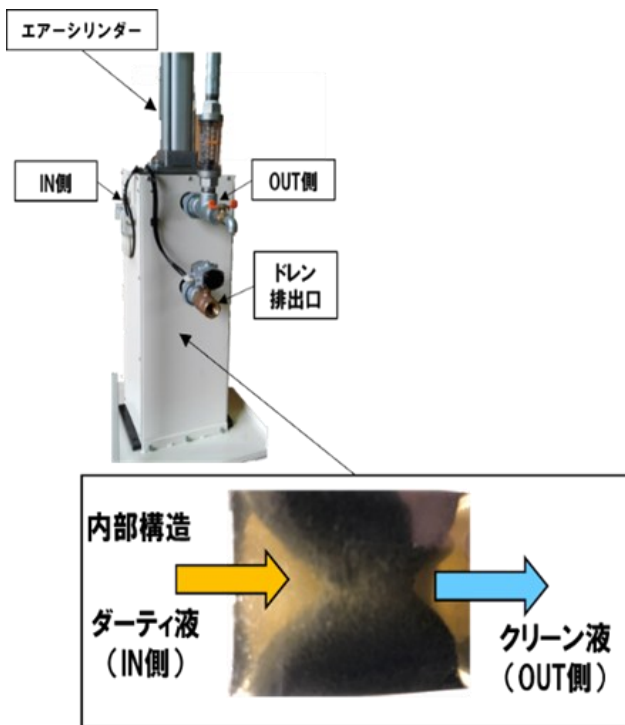


図3 マグネットインラインフィルター

## 技術上の特徴

### (1) ろ過中の状況(磁力 ON 状態)

マグネットインラインフィルター内にある強力な磁力を発生させるマグネットユニットが特殊配管を覆う事で、液中のスラッジがフィルターを形成し、ろ過を常時行います（図4参照）。

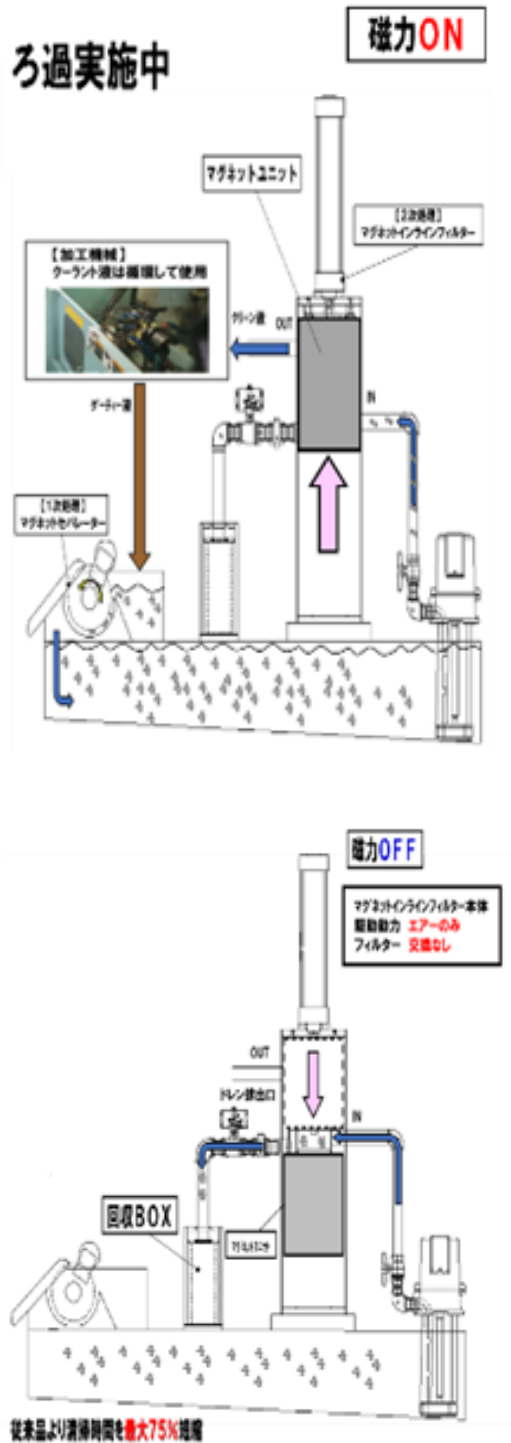


図4 装置概要(イメージ図)

### (2) 自動清掃機能(磁力 OFF 状態)

図4のように、マグネットユニットが上下する機構があり、特殊配管内の磁力がなくなる事で、捕獲したスラッジもタンク外に自動排出できる機能が組み込まれております。

(3) 本製品を導入するメリット

① 消耗品ゼロ

マグネットインラインフィルターを導入するとランニングコストが低減します。

② メンテナンス不要

定期的にフィルターで利用したスラッジを自動排出するため、取り換え作業等で加工を止める必要はありません。

③ 省エネ設計

駆動力は、清掃回路切替用のエアーのみで電力を使用せずエコロジーな設計です。

実用上の効果

図5は、生産ラインにおける本製品を利用したタンクを導入した比較資料です。

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す。

① 日本国特許第 6086928 号

名称:磁気インラインフィルター

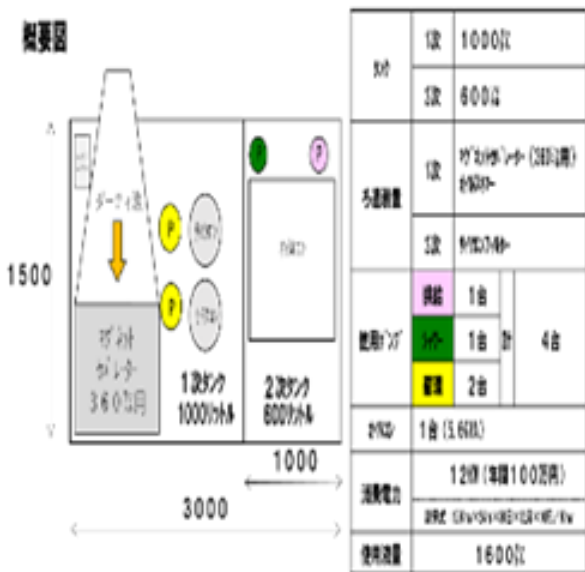
概要:本発明は、汚水中の異物である磁性体をフィルターで除去する磁気インラインフィルターに関する。

② 実用新案登録第 3206424 号

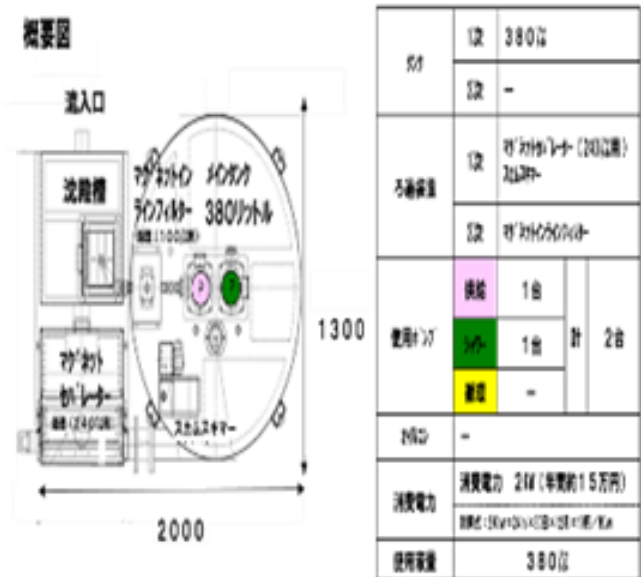
名称:クーラント装置

概要:工作機械に供給する貯留される有底円筒形クーラントタンクに磁気インラインフィルターを使用したユニットに関する。

2次処理：サイクロン



2次処理：マグネットインラインフィルター



タンク	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ クーラント液の使用量が、約1200%節約</li> <li>○ ステンレス製で錆等の腐食がでず、スラッジの側面等への付着がなく、長期間クーラント液を高品質に維持</li> </ul>
節電効果	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 1時間当たり約12kWの消費電力が、約2kW以下の消費電力となり、約10kW以上の節電が可能</li> <li>○ 電気代だけで年間約8.5万円(弊社概算)以上のコストダウン</li> </ul>
発熱量	約10kW以上の節電が可能となることからCO <sub>2</sub> の削減に寄与

図5 タンクの比較資料

## むすび

生産ラインでのカーボンニュートラル実現に向けて、多角的に対策を立てていかなければなりません。本製品は、従来のろ過要領に加えて新たなろ過を導きだしました。このように、時代のニーズに合致する製品の重要性が増しております。その中で、導入していただいたお客様からは全体的にタンク容量を減らす事で、加温や冷却する液量が、物理的に減少するため液温管理の効率化が図れる等の副次的効果も確認されております。

弊社は、お客様のお困りごとに一助できる製品の開発・販売に邁進していく所存でございます。

# 大規模地震発生時の水道管破断対策用 革新的伸縮可とう管の開発

日本ニューロン株式会社  
代表取締役 岩本 泰一

日本ニューロン(株) 代表取締役	岩本 泰一
日本ニューロン(株) エンジニアリング本部	金丸 佑樹
日本ニューロン(株) エンジニアリング本部	清水 英次
日本ニューロン(株) エンジニアリング本部	西 勇也
日本ニューロン(株) エンジニアリング本部	大西 雅行

## はじめに

上下水道、工業用水、農業用水など様々なライフライン配管において、季節変遷による管路の熱伸縮や地盤沈下などによる管路破断を防止するため、「伸縮可とう管」と称する部品を管路の継ぎ目に適宜設置し対策を講じている。その際、大地震時等の大きな管路変位を吸収するには、従来の伸縮可とう管では製品長を非常に長くする必要がある。

しかし、据付スペースを必ずしも確保できない現場事情から、施工性および経済性に大きな問題を抱えており、我が国の喫緊の課題である水道管の耐震化を妨げている。そこで、災害発生時の大きな管路変位を極めて短い面間（製品長）で吸収でき、施工期間も短く、低価格にて提供できる革新的な耐震化対策継手として、当社独自の形状最適化アプローチにより従来構造に革新的改良を施した『MC (Modulated Convolutions) ジョイント』を開発した。

## 開発のねらい

近年、我が国で発生する自然災害は激甚化の傾向にある。直近では令和6年1月1日に発生した能登半島地震でマグニチュード7.6、最大震度7を

観測し、地震動や地盤液状化等によって水道管に大きな変位が作用し、管路が脱管破損（写真1）や橋梁付近で大きな地盤のずれが見られた。兵庫県南部地震（1995年）や東日本大震災（2011年）などの過去の教訓に基づき、水道管路の更新が各自治体で推し進められてきたものの、厳しい現実として多くの地域で管路の破損による断水が発生した。水道が極めて重要なライフラインであることは言うまでもなく、その耐震化が喫緊の課題であることは疑いようもない。



写真1 石川県 珠洲市水管橋破損

本開発品の目的は、これらの大変位を柔軟に吸収し、かつ地震荷重に耐える強靱な配管耐震化継手をライフラインに寄与するあらゆる管網へ普及させることで、国が掲げる「防災・減災、国土強靱化」へ貢献することである。

## 装置の概要

伸縮可とう管には伸縮部位の構造に応じて「ベローズ型」、「摺動型」、「ゴム型」などのタイプがあり、当社はベローズ型伸縮可とう管の設計製造メーカーである。同製品の伸縮部位である金属製蛇腹パイプ“ベローズ”は従来、全て同じ山高およびピッチの山形状を連続して設けたものである(図1)。今回開発したMCジョイントは、山高やピッチが異なる2種類の山形状を組み合わせた特異な構造を特徴としており、低い山形状と高い山形状を交互に設けた伸縮部位を『MC P (Metal Corrugated Pipe : メタルコルゲートパイプ)』と命名した(図2)。

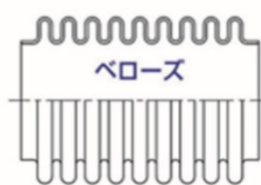


図1 従来ベローズの形状

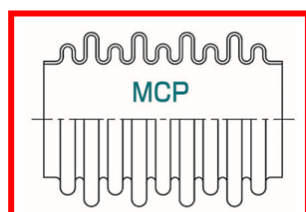


図2 MCジョイント  
(本開発品)の形状

従来のベローズは100年以上前のドイツが発祥とされ世界的に普及しているが、ベローズの既往設計法では現行のものを含め全ての山が均一な高さであることを前提とされている。つまり、既往設計法では単純な均一山形状しか評価する術が無いため、一つのベローズ内で山の高さが異なるMC P構造を誰も発想し得なかった。MCジョイントは当社が得意とするFEM(有限要素法)解析を用いた複雑な変形シミュレーション技術や豊富な自社開発試験機群を活用した実大実験を駆使するという先進的なアプローチによって開発に成功したものである。

**【技術の獨創性】**当社は、数々のベローズ成形機群を保有しており、成形可能寸法は、板厚：0.15mm～36mm、口径：φ8mm～φ8,000mmの非常に広範囲にわたり、それぞれの仕様に応じて成形機を使い分け、且つミリ単位で山形状を調整できる高い塑性加工技術を有する。

一方、地震発生時の管路の破裂や脱管、大きな地盤のずれなどによる水道管路の断水を未然に防ぐには、実物大配管が大変位に対してどの程度耐え得るかを実証する必要がある。しかし、そのような大変位の耐震試験を行える管路試験施設は国内には無いに等しい。そこで当社では、外径φ2,700mmもの巨大な管体供試体の実大実験が可能な『大変位耐震試験機(写真2)』を一昨年に開発し、MCジョイントの耐震性能の実証に活用すると同時に、FEM解析によるMC Pの形状最適化手法を確立した。



写真2 大変位耐震試験機  
(試験体最大サイズφ2,700mm×長さ6,300mm)

以上のように、MCジョイントはMC Pを代表とする独自のベローズ構造設計技術をベースに、その製品化を実現するための高度な成形技術と塑性加工技術、そして実大実験技術とFEM解析によるデジタルツイン技術などの融合を通じて開発した極めて獨創性の高い製品である。

## 技術上の特徴

本開発品MCジョイントは蛇腹状変形部であるMC Pにパイプやフランジ等の接続部品を溶接一体化した構造であるという点では従来のベローズ型伸縮可とう管と同様であるが、その設計思想は革新的であり性能・用途は全く異なる。

従来ベローズの山形状は、同形のものが連続する構造であるため、変形時には隣の山形状が接触し、スムーズな変形を阻害する。ゆえに、山形状が接触するまでの距離が許容変形量となる(図3)。

これに対して本開発品MCジョイントでは、隣り合う山形状の高さを調整して大小組み合わせることで大きい山形状は小さい山形状と接触

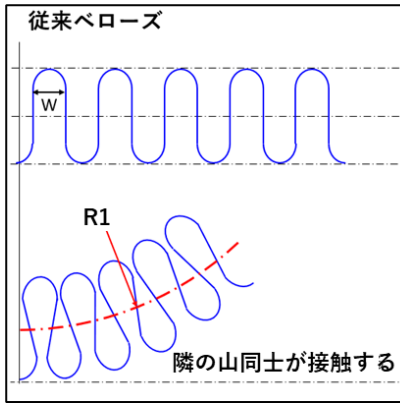


図3 従来ペローズの曲げ半径

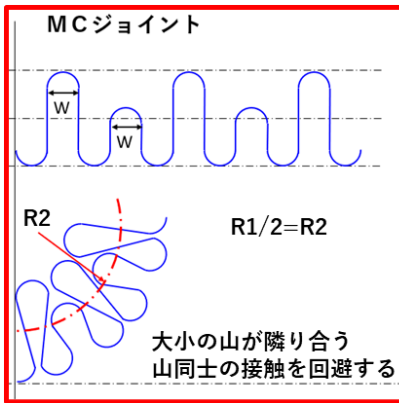


図4 MCジョイントの曲げ半径



写真3 変位時に大小の山が折り畳む

せず、1つ先の大きい山形状と接触する（図4、写真3）。そのために接触するまでの距離が約2倍となり、許容変形量が格段に増大する。また、曲げ変形時には、山同士が近づく内側の変形量を大きくすることができ、曲げ半径も従来の約1/2まで小さくできる。このような特異な機構により、短い変形距離でも大変位を吸収できる優れた性能を発揮する。これらの変形メカニズムに関して、従来ペローズとMCジョイントの縮小スケール試験体での変形比較実験（図5）や大変位シミュレーションに基づくFEM解析（図6）を通じて、それらの解明に成功しており

ライフラインでの実用に至っている。シミュレーションと実物実験の結果は良い一致を示しており、複雑に塑性加工されたMCPが期待通りの品質であることを定量的に証明している。

以上のようにMCジョイントの開発において、常用時の少量繰返し変位ではなく、大規模地震や断層ずれ、また能登半島地震でも多くの箇所で見られた地盤液状化など、管路の破損に繋がるような様々なモードでの大変位を吸収し、通水維持性能に焦点を当てたところに革新的な設計指針がある。従来製品の課題であった大変位による破損・脱管箇所を大幅に減少させ、被災地域の断水を防ぐことが期待できる。



図5 縮小スケール試験体での比較実験

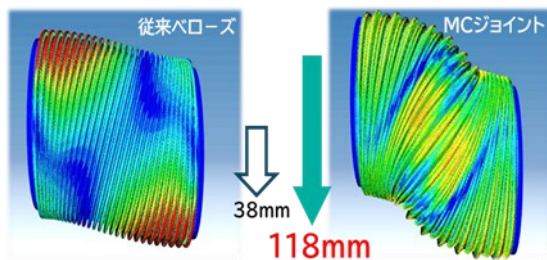


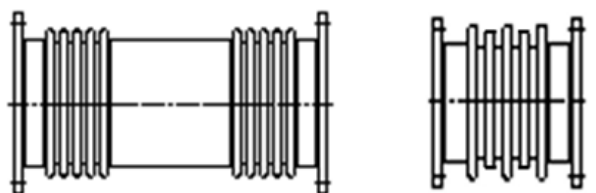
図6 従来ペローズとMCジョイントのFEM解析による許容変位量比較

## 実用上の効果

【経済性】従来の伸縮可とう管において大きな管路変位を吸収する場合、2箇所の伸縮パーツと中央にパイプを設ける複式構造が一般的である（図7左）。そのため、製品長さを非常に長く設計する必要がある。これに対して本開発MCジョイントは、伸縮パーツ1箇所のみの単式構造により大変位を吸収できるため、製品長さ重量を50%削減できる（図7右）。それに伴い加工量も約半減するために製造時に約50%の電力削減が可能となり、CO<sub>2</sub>ガス排出量の大幅な削減による環境負荷低減に貢献できる。特に被災地では、限られた狭い工事現場への搬入が容易になり、吊り下ろしに必要な重機の小型化と台数の削減、設置時間の短縮などの効果が期



待できる。その結果、従来ベローズに比べて施工時間を約30%、コストを約20%それぞれ削減できるほか、輸送コストを約20%低減可能と試算している。



従来の複式構造  
(伸縮パーツ2個+パイプ)

本開発単式構造  
(伸縮パーツ1個)

図7 従来品の複式構造と本開発製品の  
単式構造での部品点数の比較

【今後の展望】「管路」という括りで言及すると、ありとあらゆるライフライン施設において縦横無尽に張り巡らされているという点で、巨大かつ多彩な市場があり、その市場内におけるMCジョイントの水道管路分野ではない別分野への転用は大いにあり得る。

例えば、再生可能エネルギーであるバイオマス発電、地熱発電などにおいて、熱媒によるタービン回転が発電を可能とするという点で、必ず伸縮可とう管が多数必要となる。水素や核融合発電などの新エネルギー分野においても、極低温環境あるいは極高温環境において「熱」は常に管路破断の主要因たりえる重要要素であり、管路の熱伸縮吸収用途で適宜設置されるベローズ型伸縮可とう管は将来的にもエネルギー分野において多くの活躍の場が約束されていると言っても過言ではない。

また、MCジョイントの性能確認用に開発した「大変位耐震試験機」は、他のあらゆる管体試験体の耐震性能確認用途で転用可能であり、自社製品に限らず、我が国のライフライン配管の耐震化という共通の目標をもつ企業として、仮に競合メーカー品であっても試験を請け負うスタンスである。

加えて、同試験機を備える施設である『管路防災研究所』（経営母体：日本ニューロン株式会

社）では多くの学識者や技術者、設計コンサル会社や事業者の方々に視察いただいております。同試験機を含む豊富な試験機群のスペックを社内外問わず多くの人の目に晒すことにより、本来の試験機用途とは全く異なる、ユニークな発想の創出を期待している（写真4）。



写真4 管路防災研究所 全景

## 知的財産権の状況

本件に関する特許登録は下記の通りである。

### ①特開 2022-123958(P2022-123958A)

名称:伸縮可撓管

概要:圧縮変形、S字変形、湾曲変形等の変形量を大きくし、地震等における配管の変位を確実に吸収緩和できる。

### ②特開 2022-170945(P2022-170945A)

名称:配管継手

概要:平時には伸縮部を拘束部材で拘束し、地震等の災害時にはこの拘束部材による拘束を自動的に解除させる。

その他1件を出願中。

## むすび

水道管路に設置する、大規模災害発生時の破断対策用防災継手「MCジョイント」について記した。本開発品の普及により、大規模地震などによる断水戸数を減少できると確信している。当社は今後も安全性の高い管路システム構築のため、研究・開発を継続して参る所存である。

# 麺類をほぐし、分割、盛り付けをする 機械の開発

不二精機株式会社

代表取締役社長 青木 太志

不二精機(株) 開発設計部 機能開発室 酒井 崇成

不二精機(株) 開発設計部 機能開発室 池田 幸平

不二精機(株) 開発設計部 機能開発室 安西 淳人

## はじめに

近年、食品製造工場における自動化が進む中、コンビニエンスストア等で販売されているパスタの製造工程の盛り付け作業は依然として人手がかかり、高温または低温の麺を扱うことから作業者の身体的な負担が大きいという課題を抱えている。特に、麺が長く、手を高く上げる動作を長時間繰り返すため、腕や肩への負担が大きいことが問題視されていた。

## 開発のねらい

従来、人手に代替する方法として、ロボットハンドや容積分割式の機械が提案されていたが、生産性や製品品質の面で実用的な解決策とはなっていない。

本研究では、麺類の盛り付け作業における上記課題を解決するため、麺の塊を効率的にほぐす装置の開発に着手した。従来の装置が抱えていた主な課題は、以下の2点に集約される。

**ロボットハンド:** 麺の絡まりを完全に解消することが難しく、ロボットハンドによる把持では重量精度が安定せず、生産性が低い。また、繰り返し同じ箇所から麺を摘み取ることで、麺塊の密度が低下し、以降の把持が困難になる。

**容積分割方式:** 麺を切断することで品質が低下する。また、切断しないシャッターを使用すると、麺の絡まりにより、重量精度が安定しない。

これらの課題を解決するため、麺の塊を効率的にほぐし、品質を維持したまま盛り付けを行うことができる装置の開発に着手した。本装置は、麺の絡まりを最小限に抑え、安定した供給を可能にすることで、省人化と生産性向上に貢献することを目的とする。

## 装置の概要

運転前に本装置(写真1)に麺塊の入った番重をセット、容器供給部に積み上げられた容器の束をセットする。運転開始すると複雑に絡まった麺を2段階の工程で効率良くほぐし、絡まりを取る。



写真1 パスタ供給装置

絡まりを取った麺を常に一定量に分割する機構も、麺を切らない特殊形状の「(パスタ)フォークシャッター」を使用することで、麺の品質を保ったまま、一定量に分割と計量も行っており、

フィードバックし重量を調整する機能を有する。

1枚ずつ剥離した容器に、設定した重量の麺が盛り付けられて、次の具材の盛付やソースの充填の工程に送られる。

## 技術上の特徴

### 麺塊の絡まりをほぐす方法

本装置は、番重に入った8～12kgの麺の塊を、付属のリフターでホグシ部へと搬送するが、この段階では、麺が互いに強く絡み合っているため、一度に大きな力を加えてほぐすと、麺が千切れたりするため、製品品質が低下する。本装置は、この問題を解決するため、2段階の工程で麺を丁寧にほぐす機構を採用している。まず、大きな塊を適度な大きさに分割し、その後、それぞれの塊をさらに細かくほぐすことで、麺の品質を損なうことなく効率的に絡みを解消する。

#### ① 一次ホグシ

番重に入った麺の塊は、4つの櫛状の部品によって、髪の毛を梳くように丁寧にほぐす。この際、櫛状の部品は、片方が麺の塊を押しえつけ、もう片方が麺を引っ張り出すような動きを繰り返すことで、複雑に絡み合った麺を効果的に分離する。この工程を2回繰り返すことで、麺の絡まりやもつれを完全に解消し、次の工程へとスムーズに繋げる（写真2、図1）。

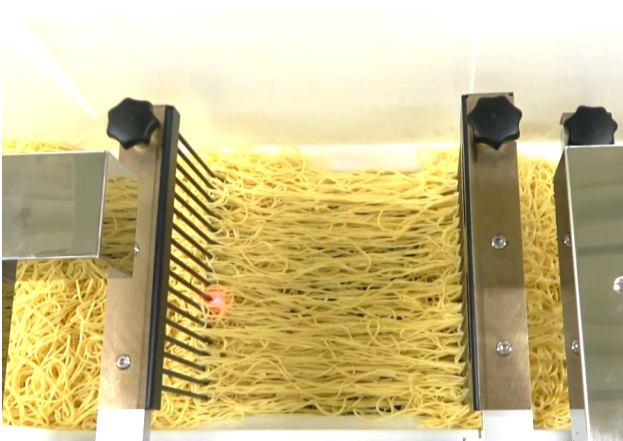


写真2 一次ホグシで麺の絡まりを取る様子

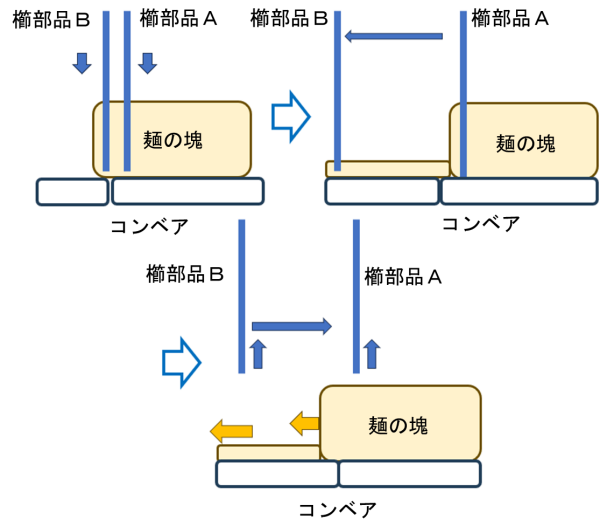


図1 一次ホグシの基本動作

また、上部の距離センサにより麺塊の高さをリアルタイムで計測し（図2）、その情報に基づいて下部のコンベアの移動量を制御している。この制御システムにより、麺塊の高さを常に一定に保ち、均一な厚さで麺をほぐすことが可能となる。移動量は、麺塊の高さに対して一般的に反比例の関係を示すが、麺の太さや長さといった特性によって、この関係は変化する。これらの特性を考慮した数式モデルを構築することで、より最適な移動量を算出することが可能となる。

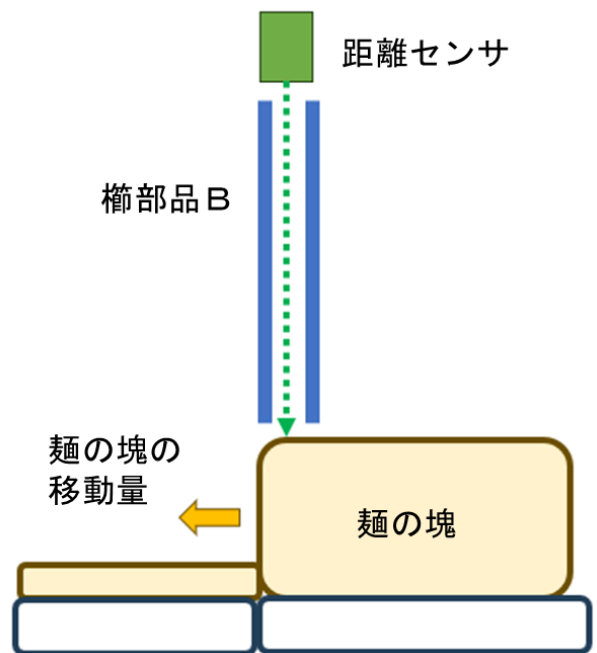


図2 麺の塊高さの検出方法

② 二次ホグシ

横から伸びた楕状のホグシ(二次ホグシ)が一次ホグシとは垂直方向に動き、より細かく麺の絡まりを解きほぐす。下部には、ピン形状の突起が付いたコンベアが設置されており、ほぐされた麺をピンに引っ掛けることで、一定量ずつ次の工程へと送り出す(図3)。一次ホグシからの麺の流出量は、麺の絡まり具合によって変動するため、次の工程の分割部に過不足なく麺が供給されるよう、以下の制御を行っている。

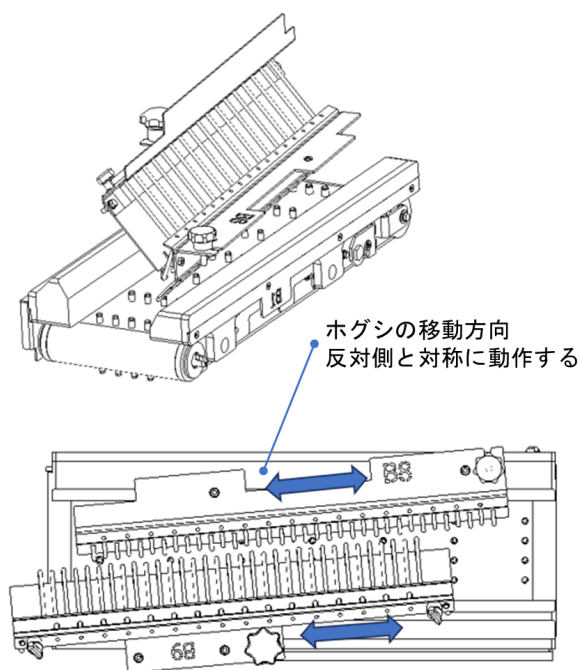


図3 二次ホグシと移動方向

二次ホグシの麺の量は、横方向に設置された2個のセンサで検知し(図4)、麺が過剰に溜まった場合は一次ホグシの動作を停止させ、不足している場合は二次ホグシの動作を停止させることで、常に最適な状態を維持する。この制御により、次の分割部へ供給される麺の量が一定となり、分割後の重量精度が向上する。

麺を切らない分割方法

麺の絡まりを一次ホグシと二次ホグシで解消し、生産性向上のため、升量り方式による分割を採用している。ほぐされた麺は、円筒形の計量ボックスに供給され、一定量になると上部

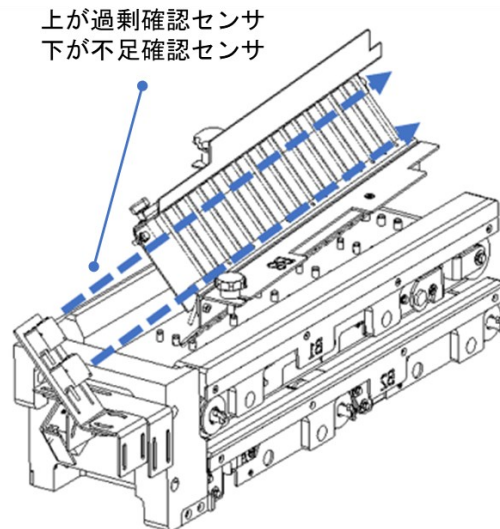


図4 二次ホグシの溜め量の検出

シャッターが閉じて下部シャッターが開き、麺が落下して容器に盛り付ける。従来の升量り方式では、シャッターによる切断が麺の品質を損ねていたが、本装置では、特許取得の「フォークシャッター」と「折り込みシャッター」を採用することで、麺へのダメージを最小限に抑え、高品質な分割を実現した。

① フォークシャッター(図5)

「フォークシャッター」は、先端がフォーク状に分かれた構造の上部のシャッターである。この形状により、積み重ねられた麺に差し込んでも麺を切断せず分割する構造となっている。しかし、麺が絡まっている状態では、フォークシャッターに多く引っ掛かるため、少量しか落下せず、重量が安定しないといった問題が発生する。そのため、一次ホグシと二次ホグシによる事前処理が不可欠となり、麺を十分にほぐすことで、

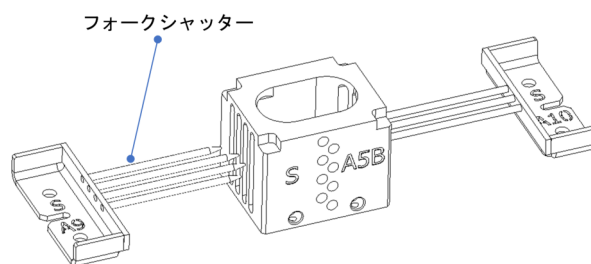


図5 フォークシャッターと計量ボックス

フォークシャッターの性能を最大限に引き出すことができる。

## ② 折り込みシャッター

フォークシャッターを用いた分割では、麺が数センチ垂れ下がる場合があり、容器搬送コンベアとの接触によるトラブルが発生する可能性がある。この問題を解決するため、機械の高さを大幅に上げることなく、複数の板を重ねた構造の新しいシャッターを開発した（図6）。このシャッターは、左右から互い違いに差し込むことで、垂れ下がった麺を切断することなく折り込むことができ、ベルトおよび容器への接触を防ぐことが可能になった。

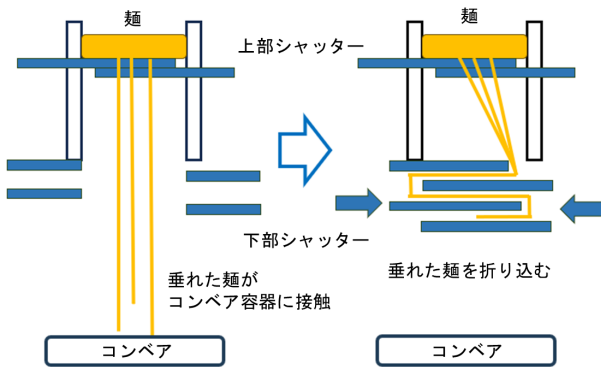


図6 垂れた麺の折り込み原理

## 実用上の効果

### ① 省人効果

本装置は、様々なサイズ・材質・形状の容器に対応可能なオプションの小型容器供給装置を備え、麺のほぐしから分割、盛り付け、計量までの全工程を自動化する。これにより、従来必要であった3～5名の作業を省力化し、生産ラインの効率化に貢献する。

### ② 食べやすさの向上

本装置は、麺の絡まりを解消することで、重量精度と生産速度を向上させただけでなく、消費者が麺をフォークや箸で掴む際の麺のまとまりを改善し、食べやすさを向上させるという副次

的な効果も得られた。

### ③ パスタ以外の麺の対応

本装置は、パスタ（スパゲティ）の製造工程の効率化を目的として開発を行った。今後は、お客様からのご要望にお応えし、フィットチーネなどの形状の異なるパスタや、焼きそば、焼うどんなど、他の麺類への対応も視野に入れている。

## 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 日本国特開 2023-118049

名称: 麺計量分割装置および茹麺のほぐし機構  
 概要: 製造された茹麺が容器まで搬送される際に団子状態を生起する虞を解消しつつ、所定の重量に正確に分割できる麺計量分割装置。

## むすび

本装置は、当社が培ってきた米飯に関する技術とノウハウを基に、麺の製造工程へ応用したものである。食品業界において、機械化が進んでいない工程は、人間の感覚や手先の器用さに依存している部分が多く、様々な課題が存在する。

当社は、お客様との連携を深め、最先端の技術と蓄積されたノウハウを駆使することで、食品製造における様々な課題解決に貢献していく所存である。



(無断転載を禁じます)

第59回機械振興賞受賞者業績概要

令和7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)

