

SUGINO REPORT

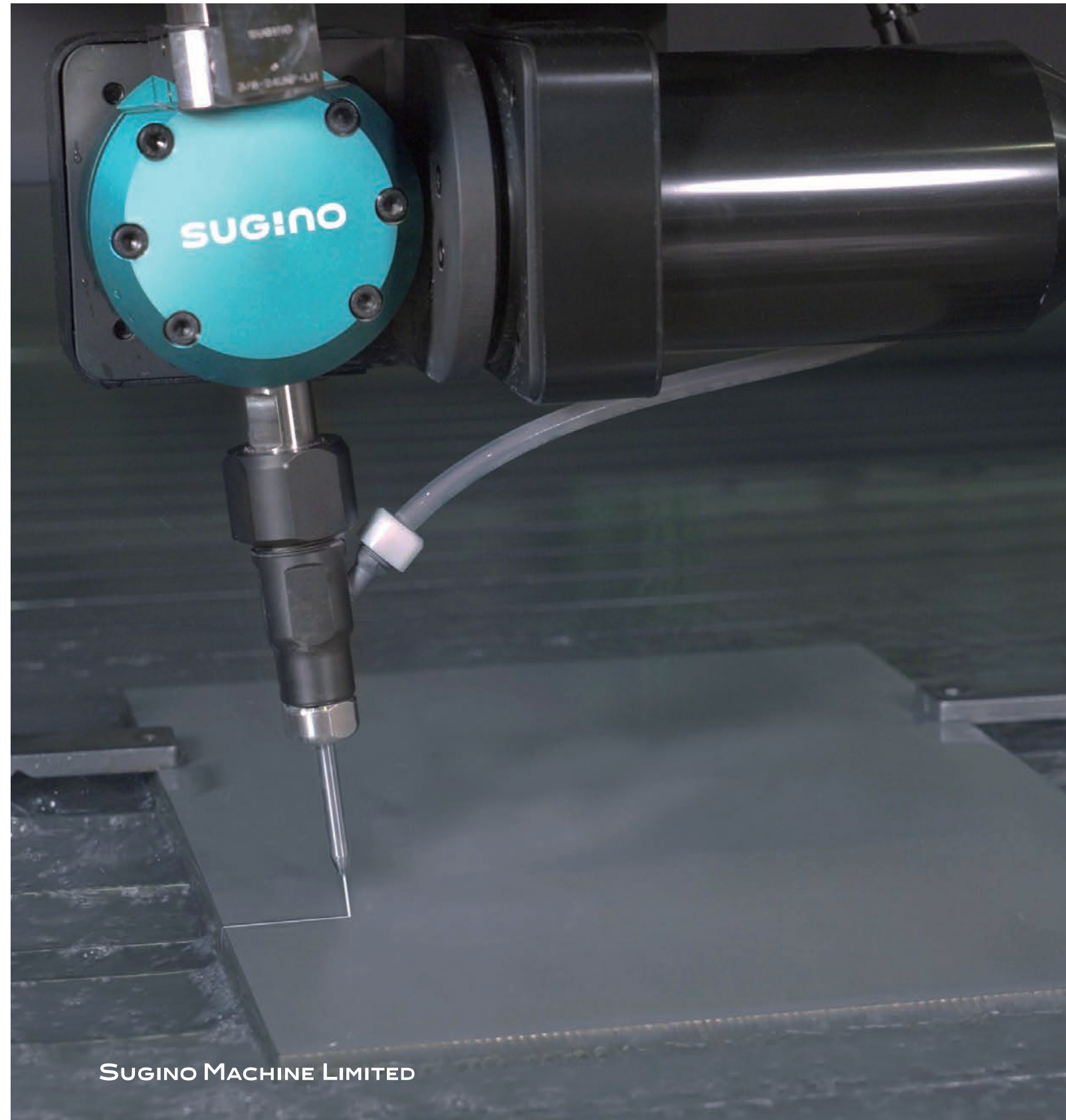
technical news

Spring 2025
No. 190

アプレシブジェット加工における5軸制御機能の開発
ロボット切削加工用「SELFEEDEER DUO Robot Edition」の開発
ロボットバリ取りの理想と現実
CRbの適用事例 ～板金向けCRbファイバーレーザー溶接システムの開発～
航空機部品向け超音波自動探傷システムの開発
ツールプリセッタをベースとした全自動計測システム「HP-6040V-FA」

SUGINO REPORT technical news No.190 発行月/2025年3月 発行 / 株式会社 Sugino 〒936-8577 富山県滑川市栗山2880番地 TEL (076) 477-2555 www.sugino.com 編集責任者/経営企画本部 営業企画部長 山田 義則

SUGINO



SUGINO MACHINE LIMITED



ウォータージェットによる
切断加工の様子

CONTENTS

- 3** Prefatory Note／巻頭言
大気圏突入時の空力加熱：熱の壁への挑戦
坂村 芳孝氏 富山県立大学 工学部 機械システム工学科 教授
- 6** Technical Report
アプレシブジェット加工における5軸制御機能の開発
大割 敬文 プラント機器事業本部 生産統括部 第一技術部 WJ設計二課 AJ係
- 8** Technical Report
ロボット切削加工用「SELFEEDEER DUO Robot Edition」の開発
田村 歩夢 精密機器事業本部 技術統括部 応用開発部 応用開発二課 二係
- 10** Technical Report
ロボットバリ取りの理想と現実
宮内 慎也 精密機器事業本部 技術統括部 応用開発部 マーケティング課 二係 係長
- 12** Technical Report
CRbの適用事例 ～板金向けCRbファイバーレーザー溶接システムの開発～
岩田 拓也 RI事業部 RI技術部 第二技術課
- 14** Technical Report
航空機部品向け超音波自動探傷システムの開発
萩野 剛 プラント機器事業本部 生産統括部 第二技術部 PE設計課 三係 係長
- 16** Technical Report
ツールプリセッタをベースとした全自動計測システム「HP-6040V-FA」
名淵 裕之 国内グループ企業 共立精機株式会社 技術部 技術課 電装係 係長
- 18** NEWS & TOPICS
- 19** 寒ブリを、力に。～富山県氷見市の復興に向けて～

大気圏突入時の空力加熱： 熱の壁への挑戦



坂村 芳孝氏

富山県立大学 工学部 機械システム工学科 教授

◆プロフィール

1966年生まれ。山口県出身。九州大学工学部航空工学科を卒業後、同大学大学院工学研究科応用力学専攻に進学し、衝撃波を伴う高速／高温流動の研究に従事。1994年3月に博士(工学)の学位を取得。同年4月、富山県立大学工学部機械システム工学科に助手として着任。その後、講師、准教授を経て、2011年4月に教授に就任し、現在に至る。

はじめに

2024年2月17日、日本の基幹ロケットであるH3ロケット2号機の打ち上げが成功した(図1参照)。その前年の1号機の打ち上げ失敗を受け、多くの関係者の尽力によって成功した打ち上げは感動的で、いくつものテレビ番組でも取り上げられていた。H3ロケットは、その後も3号機(同年7月1日)、4号機(同年11月4日)と順調に続けて打ち上げられ、本格的な運用が始まろうとしている。

McDowellの報告[1]によれば、世界のロケットの軌道への打ち上げ回数は2023年内に223回(うち212回が成功)となり、史上初めて200回を超えた。その回数の多さはもちろん、そのうちの半分以上(124回)が民間企業によるものであることにも驚かされる。宇宙開発の民営化・商業化は着実に進んでいる。

ロケットによって打ち上げられる代表的な機体は人工衛星だが、それ以外にも宇宙飛行士や物資を運ぶ宇宙輸送機、地球外の天体を探査する宇宙探査機がある。これらの宇宙機の多くは、惑星の大気に突入(地球大気の場合、再突入と呼ばれる)し、任務を終える。大気圏突入時の宇宙機の飛行速度は、地球の周回軌道

からの再突入で秒速7 km(時速2万5千km)程度、惑星探査機が地球に帰還する際には秒速11 km(時速4万km)程度となり、地球上のどの乗り物よりもはるかに高速であるため、機体が大気から受ける力(いわゆる空気抵抗)も必然的に大きくなる。機体設計において、この大きな空気抵抗に耐えるための構造強度に加え、さらに重要な要件として耐熱性が求められる。以下では、この理由を解説したい。



図1 H3ロケット2号機の打ち上げの様子(©JAXA)

なぜ耐熱性が求められるのか？

地球周回軌道から帰還する宇宙機の場合、前方から秒速7 kmの速さで向かってくる気流をせき止め、減速させなければならない。このとき、気流のもっていた運動エネルギーは内部エネルギーに変換され、気流温度は著しく上昇する。このように、高速で飛行する機体が周囲の気流をせき止めて生じた高温気流から受ける加熱は、空力加熱（または空気力学的加熱）と呼ばれる。例えば、音速の M 倍の速さをもつ温度 T の空気をせき止めた場合、空気の比熱の変化を無視すると気流温度 T_0 は $T_0=T(1+0.2M^2)$ と見積もられる。ここで、 M は流れのマッハ数と呼ばれ、空力加熱の大きさを決定づける因子となる。地球の周回軌道から再突入する宇宙機が高度80 kmの高さを飛行している場合を想定すると、 $T=200$ K、 $M=25$ 程度なので、 $T_0=25200$ Kとなる（太陽の表面温度はおよそ6400 Kなので、その4倍程度）。実際には、高温下で生じる気体の比熱の増加や化学反応（主に吸熱反応）によって、これほどまでには増加しないものの、宇宙機は極めて高い温度の気流に曝され、加熱される。この空力加熱から機体はもちろん内部の乗員や機器を守るための熱防御システムが大気圏突入宇宙機には不可欠となる。

大気圏に突入する宇宙機周りの気流の運動エネルギーが気体の内部エネルギーに変換される過程では、衝撃波による断熱圧縮と機体壁面近傍で生じる粘性

散逸（いわゆる摩擦）が関係するが、再突入宇宙機の場合、前者が支配的となる。衝撃波は、音速を超えて飛行する物体の前方に必ず生じる圧力波で、波面を横切って圧力や温度が急激に変化する。大気圏再突入時の宇宙機の速さは前述の音速を超えているので、その前方には必ず衝撃波が生じ、その背後で気体が圧縮・加熱される。 $M=25$ の流れの中に流れ方向に対して垂直な衝撃波が存在する場合（図2(a)）、衝撃波前後の温度比 (T_2/T_1) は約122となる。衝撃波面が流れ方向に対して傾く（斜め衝撃波、図2(b)）と、波面前後の温度比は低下し、 $M=25$ 、 $\beta=30^\circ$ の場合、約31となる。一般に、斜め衝撃波はクサビのように先端が尖った物体の前方に生じ、その先端に付着する。クサビの先端が鈍くなるにつれて斜め衝撃波の傾き角 β は大きくなり、ある値を境として物体先端から離脱し、強い垂直衝撃波（ $\beta=90^\circ$ ）が現れる。

鈍頭物体コンセプト

ここで、再突入物体の空力加熱に関する技術革新の一例として、鈍頭物体コンセプト[2]を紹介したい。

1950年頃、空気力学の研究者たちは、超音速飛行には細身で先端が尖った機体が適していることを認識していた。これは、そのような機体では前縁に斜め衝撃波が発生し、圧力の増加が抑えられることで空気抵抗（造波抵抗）が減少するためである（図3(a)参照）。しかし、尖った先端の機体を用いた飛行実験により、飛行速度が音速の5倍以上（極超音速と呼ばれる）になると、空力加熱によって機体が破壊されることが明らかになり、空力加熱の低減が当時の空気力学者にとって最重要課題の一つとなった（これがいわゆる「熱の壁」である）。この状況を一変させたのは、NACA（現在のNASA）エイムズ研究所のハリー・ジュリアン・アレンによって提唱された「鈍頭物体コンセプト」である。これまで述べてきたように、空力加熱は、気流をせき止めることでその運動エネルギーが内部エネルギーに変換され、高温となった気流が機体を加熱する現象である。しかし、

機体壁に流れ込むエネルギーは、変換されたエネルギーの全てではなく、一部は気流に蓄えられたまま後方に流れ去っている。したがって、できるだけ壁から離れた場所で気流の運動エネルギーを内部エネルギーに変換させ、気流とともに後方に捨て去ることができれば、熱の形で機体に流れ込むエネルギーを低減できるのではないかと、アレンは考えた。そのため、再突入宇宙機には鈍い先端形状の機体を用いて、離脱した垂直衝撃波を機体の前方に発生させるべきだと主張した（図3(b)参照）。つまり、空力加熱を抑えるためには、当時常識とされていた鋭い先端をもつ機体（図4）ではなく、ずんぐりした機体（図5）を用いるべきだと提案したのである。

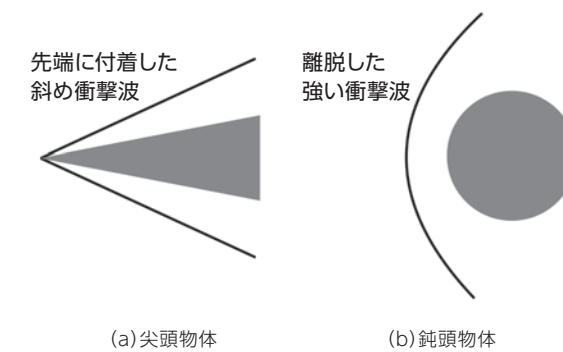


図3 超音速流中におかれた尖頭物体と鈍頭物体の周りの流れの違い



図4 尖頭物体の例（超音速実験機 Bell X-1 撮影：NASA）

アレンによる、この発想の転換は、当時の研究者にはなかなか受け入れられなかったようである。しかし、彼のアイデアは様々な理論解析や実験によって裏付けられ、アポロ宇宙船コマンドモジュールやスペースシャトルをはじめとする、ありとあらゆる再突入宇宙機の形状に反映されている。アレンの発想によって、人類は「熱の壁」を乗り越えることができたのである。

おわりに

宇宙開発は今後ますます加速していくものと予想される。いつか人類が地球以外の惑星に移住する時代がやってくるかもしれない。そのような時代であっても大気圏突入宇宙機の形状は鈍頭であり続けるだろう。アレンの発想は時代を超えて受け継がれていく。

筆者が鈍頭物体コンセプトに初めて触れたのは、大学院生の頃だった。35年以上前の出来事だが、そのときの感動は今も鮮明に記憶に残っている。振り返ると、それは研究者としての人生を歩むきっかけの一つでもあった。

参考文献

- [1] J. McDowell, *Space Activities in 2023*, <https://planet4589.org/space/papers/space23.pdf>, 2024年12月3日閲覧
- [2] ジョン・D・アンダーソン Jr. (織田剛訳)、空気力学の歴史、京都大学学術出版会 (2009)、pp. 565–571.

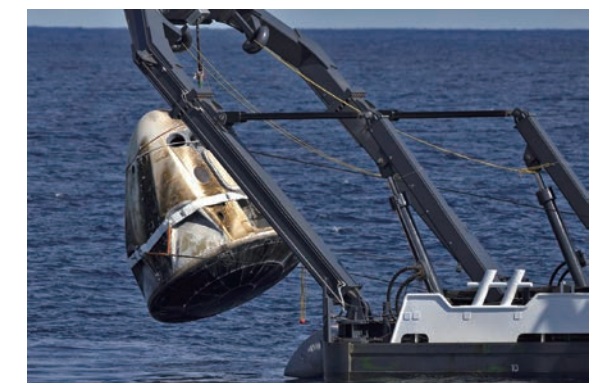


図5 鈍頭物体の例（海上で回収されるスペースXのクルードラゴン 撮影：NASA/Cory Huston）

アブレシブジェット加工における5軸制御機能の開発

大割 敬文

1. はじめに

ウォータージェットとは、300～600MPaに加圧した水を微細ノズルから噴射させた水噴流である。その水噴流に研磨材を混合、加速させることで、アブレシブジェットとして金属や樹脂などさまざまなワークを熱影響を与えずに加工することができる。水噴流を用いる特殊性から、他の加工方法にはないメリットが多い。しかし、アブレシブジェットの加工特性が、加工精度低下の原因にもなる。

当社のアブレシブジェットカッターは、従来からアブレシブジェットの加工特性を補正する機能が搭載されている。今回新たに「先行角制御」と呼ぶ補正機能を開発した。これにより加工性能を強化することができたため、その機能について紹介する。

2. アブレシブジェットの加工特性

アブレシブジェットの加工特性は、加工速度との関わりが大きい。加工速度に応じて、「切断面のテーパ形状」、「コーナー部の形状崩れ」という2種類の精度低下が生じる。

① 切断面のテーパ形状

アブレシブジェット加工は、ジェットがワークに触れている時間に応じて加工面が変化する。図1の(c)に示すように、加工速度を最適な速度(b)よりも速くすると加工面がテーパ形状になる。

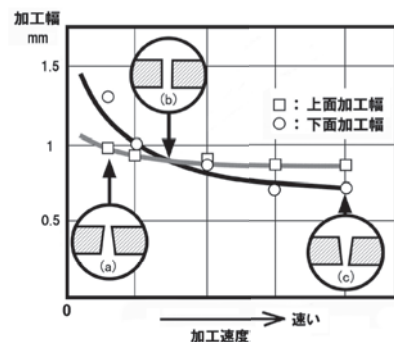


図1 加工速度と加工面の関係

② コーナー部の形状崩れ

ジェットがワーク下面側へ抜けるよりも速くノズルが移動する場合、図2に示す「切り遅れ」という現象が生まれる。

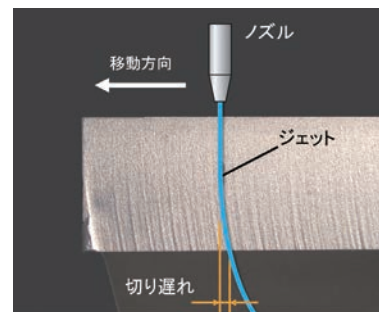


図2 切り遅れ

切り遅れはコーナー部のワーク下面側で形状精度を著しく低下させる。切り遅れたジェットの軌跡で加工が進行するからである。図3に示すように、角部、R部ともに形状が崩れる。

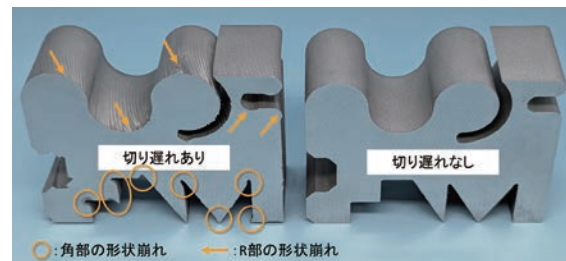


図3 コーナー部の形状崩れ

3. 従来の補正制御

従来の補正制御として、「コーナー加減速制御」、「テーパ補正制御」があり、以下に紹介する。

① コーナー加減速制御

生産性を高めるため、コーナー部以外を速い速度で加工する機能である。直線部では図1の(c)の速度で加工し、コーナー部では図1の(b)の速度まで減速する。これにより、角部の形状精度が向上する。しかし、切り遅れを伴って加減速するため、R部の形状崩れに対応しきれない。また、直線部で切断面のテーパ形状が生じる。

② テーパー補正制御

図4のように、ワーク製品側が直角となるよう、ノズルの傾きを補正する機能である。コーナー加減速制御で直線部に生じたテーパを本機能で補正する。

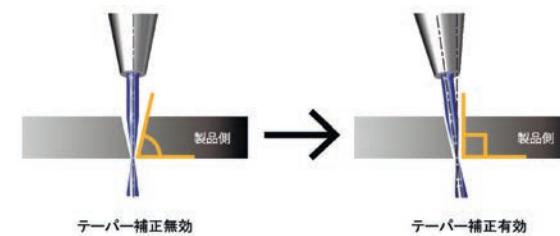


図4 テーパー補正制御

上記①、②の制御の組み合わせにより、角部の形状崩れと切断面のテーパ形状を補正する。しかし、切り遅れは補正することができず、特にR部の加工精度が低下しやすいという課題があった。

4. 先行角制御

新開発した先行角制御では、ジェットを進行方向に傾けることで、ジェットの入り側と抜け側が一致するよう、切り遅れを補正する(図5)。制御装置には切り遅れの予測モデルを搭載しているため、ワーク素材と切断条件から切り遅れ量を予測し、自動で補正を行うことが可能である。

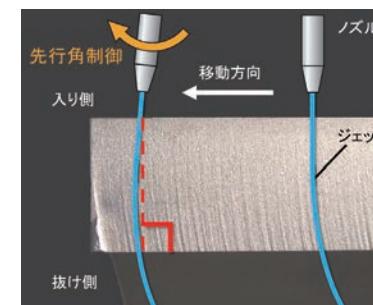


図5 先行角制御

本機能は「コーナー加減速制御」、「テーパ補正制御」と連動し、加減速によるテーパ、切り遅れの変化をリアルタイムで計算しながら滑らかにノズルを傾ける。切り遅れが補正されることで、R部の形状崩れが解消できる。また、短い距離での加減速や速度差の大きい加減速が可能になり、加工時間が約30%短縮できる。新開発した5軸制御あり、なしの加工比較を図6に示す。

先行角制御により、切断可能なワークの厚みも増す。アブレシブジェットの加工能力は研磨材の運動エネルギーによるものであり、研磨材の衝突速度が重要である。速度成分では、ワークに対して垂直な成分が重要となる。切り遅れが生じたジェットは、ワークに対して図7の

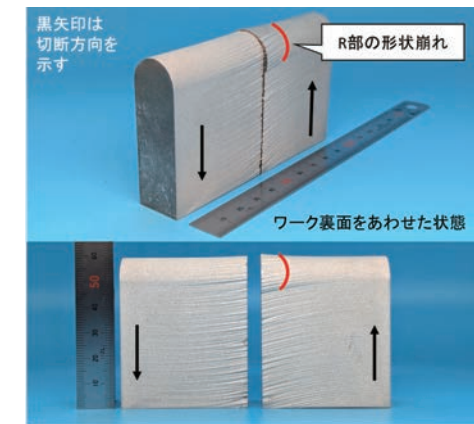


図6 5軸制御あり、なしの加工比較

ような衝突角度をもつ。先行角制御により切り遅れを補正すると、衝突角度を小さくできるため、ワークに対して垂直な速度成分を大きくできる。これにより、ワーク下面側で研磨材がより有効に作用し、切断可能なワークの厚みを約20%増大できる。

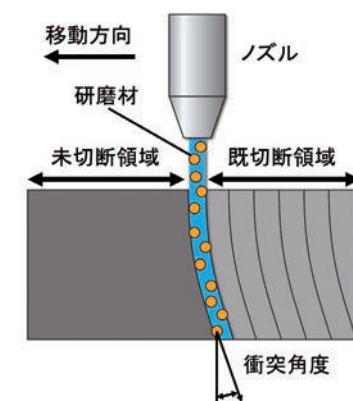
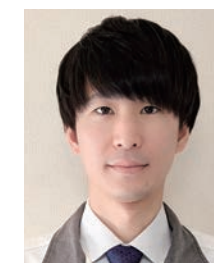


図7 切り遅れと研磨材の衝突角度

5. おわりに

より速く、より高精度に加工するために5軸制御機能を発展させてきた。しかし、制御が高度化するほど補正パラメーターが増加し、マシンオペレーターに求められる技量は高くなっていく。補正パラメーター予測モデルをより発展させ、オペレーターの技能に依存せずとも効率的に精度良く加工できる装置を提供していけるよう、これからも努力していく。



大割 敬文

プラント機器事業本部 生産統括部
第一技術部 WJ設計二課 AJ係

ロボット切削加工用「SELFEEDEER DUO Robot Edition」の開発

田村 歩夢

1. はじめに

昨今、電気自動車の軽量化やコストダウンの目的で、溶接組立をしていた車体部品を大きなアルミダイキャストで一体成型する「ギガキャスト」の開発が各自動車メーカーで進められている。

現在、ギガキャスト用加工機を選択肢には、門型の5面加工機が挙げられているが、要求される加工精度に対しオーバースペックな場合がある。この5面加工機に対し、コストを抑えつつ広範囲・多面加工が可能な加工機が求められており、解決方法の一つとして、産業用ロボットにスピンドルユニットを持たせた、ロボット切削加工が注目されている。このロボット切削加工では、加工軌跡がロボット動作に依存しているため、加工精度と速度の両立に対して課題がある。この課題を解決するため当社製SELFEEDEERをロボット用エンドエフェクターに応用した「SELFEEDEER DUO Robot Edition」を開発した。

2. ロボット切削加工におけるSELFEEDEERの有用性

SELFEEDEERは主軸の回転と送り動作を単体で完結し、効率的な穴あけやタップ加工が可能なユニットである。小型・軽量の点から、ロボットと組み合わせることも可能であり、位置決めをロボットが、加工動作をSELFEEDEERが担うことで、多方向からの穴あけ・タップ加工が実現可能である。また、ロボット切削加工の課題である加工精度と速度の両立に効果的である。

SELFEEDEER DUO Robot Editionは送り軸にリニアガイドとボールねじ(直動機構)を採用し、直進性や剛性が高く、主軸と送り軸にサーボモーターを採用し、切削条件の変更が容易かつ1台で穴あけ・タップ加工が可能である。また、ワークや治具との干渉を抑制したコンパクトなデザイン(図1)という特長をもっている。さらに、横引き加工においても安定した送り動作ができるスライドユニット、複数ツールを管理できるATC

(Automatic Tool Changer)機能、材料寸法のばらつきなどに対応できる切削条件自動切換システムを追加し、ロボット切削加工に最適なエンドエフェクターとした(次項①～③参照)。

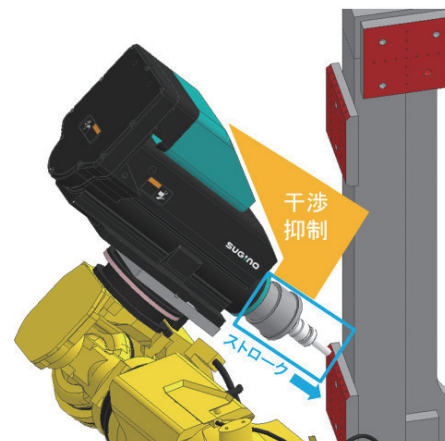


図1 ワーク・治具との干渉を抑制したデザイン

3. SELFEEDEER DUO Robot Editionの機能

① 横引き加工用スライドユニット

SELFEEDEERの主軸に対し直行移動するスライドユニット(図2)を搭載することであらゆる角度からの横引き加工を実現した。

スライドユニットにはSELFEEDEER同様リニアガイドとボールねじを採用し、ロボットと比較して高い直進性を実現する。図3にロボット駆動とスライドユニット駆動のエンドミル加工結果を示す。平面度がロボットの64 μ mに対し、スライドユニットは11 μ mに改善されている。また、ロボット駆動ではカッターマークの付き方が不均一となっている。これはロボットの加工軌跡が多関節軸を制御・補間した疑似直線になっていることが原因と考えられ、直動機構を搭載した加工用エンドエフェクターがロボット切削加工に効果的であることを示している。

② 複数ツールを扱えるATC機能

SELFEEDEERでATCを行うため、当社製SELF-CENTERで培われた皿パネによるツールクランプ/アンクランプ

機構を搭載し、#30マシニングセンタと同等のクランプ力を実現した。皿パネを押し込む機構にSELFEEDEERの送り軸を利用することで、油圧ユニットや配管部品などの付帯設備が不要、かつ、設置スペースを削減し、ロボットに搭載しやすい装置とした。

また、ツールを管理するために開発したATCステーション(図4)は、ツールの保持やSELFEEDEERのツールクランプ/アンクランプ動作への追従にパネの復元力を利用し、センサー用の電力を除く外部動力が不要なシンプルな装置とした。ロボットはATCポジションへの移動とSELFEEDEERへの動作指令のみでATCが可能となっており、複雑なプログラムを設定する必要がない。

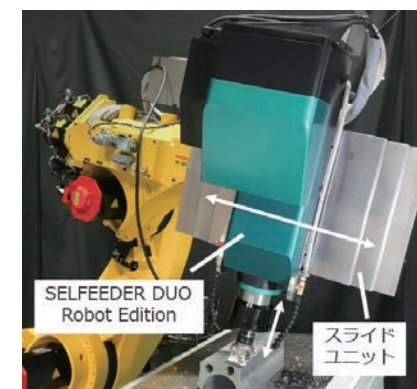


図2 外観

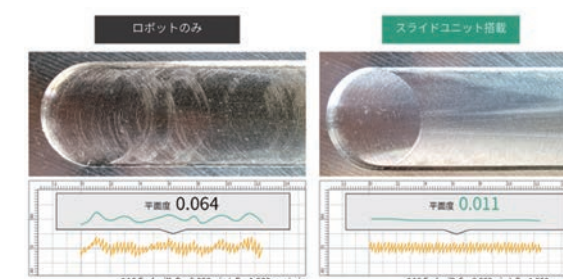


図3 エンドミル加工比較

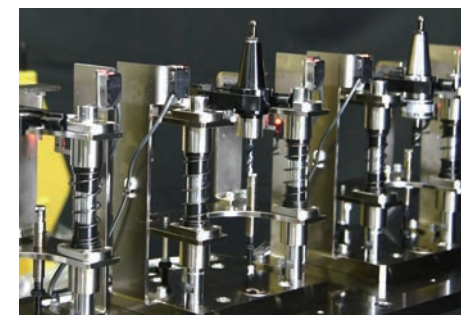


図4 ATCステーション

③ 送り軸負荷検知制御システム(AFAS)

航空機用SELFEEDEER ELECONFEEDEERの機能をベースに、送り軸の負荷変動を検知して、あらかじめ設定した切削条件へ自動的に切り替えるシステム

「AFAS(“A”utomatic “F”eed “A”djustment “S”ystemの頭文字)」を搭載した。AFASを利用する負荷変動検知の例を次に示す。

① 食い付き、加工開始点の検知

ツールが部品に食い付いた際の負荷変動から加工開始点を検知できる。大型部品で顕著な材料寸法のばらつきやたわみによる加工開始点のずれを自動的に補正可能となる(図5)。

② 加工途中における切削条件変更点の検知

食い付き後の負荷変動から材料の変化(切削条件変更点)を検知できる。航空部品に用いられる複合材では、材料に合わせた適切な切削条件、パイプなどの中空材では、エアカット部で早送りへ自動切り替えることで効率的な加工が可能となる。

③ 抜け際、加工終了点の検知

ドリルが貫通する際に減少する加工負荷から抜け際および加工終了点を検知できる。抜け際に適切な切削条件に切り替えることでバリを抑制し、素材寸法のばらつきや曲げ加工で変化した板厚に合わせたストローク(加工終了点)の自動調整が可能となる。

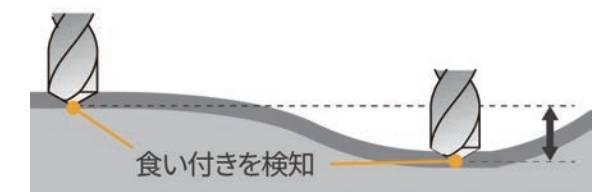


図5 食い付き・素材寸法ばらつきの検知

4. おわりに

ギガキャストや航空部品などさまざまな大型部品の加工が求められる一方で、高価な加工機を導入できず人力で加工せざるを得ない企業、労働力・熟練者不足により加工を断念せざるを得ない企業が存在する。今回開発した「SELFEEDEER DUO Robot Edition」がロボット切削加工のブレイクスルーとなり、大型部品加工の新たな選択肢として確立するよう、今後も尽力していきたい。



田村 歩夢

精密機器事業本部 技術統括部
応用開発部 応用開発二課 二係

ロボットバリ取りの理想と現実

宮内 慎也

1. ロボットバリ取りのイメージ

ロボットによるバリ取りの自動化と聞くと、次のようなイメージを持たれることが多い。

- 手作業動作の再現
- 手作業以上の精度と品質の安定性
- 小型ロボットによる自動化

しかし、実際にはロボットの軌跡の曖昧さ(図1)や加工反力によるアームのたわみ、ワーク寸法のばらつきなど、さまざまな要因でイメージ通りにならない。バリ取りの自動化が普及するには、ロボット+αの技術を用いてそれらのイメージに近づけることが重要であると考えている。

+αの技術には、センシング技術もあるが、本章では、メカニカル機構に関する内容を紹介する。

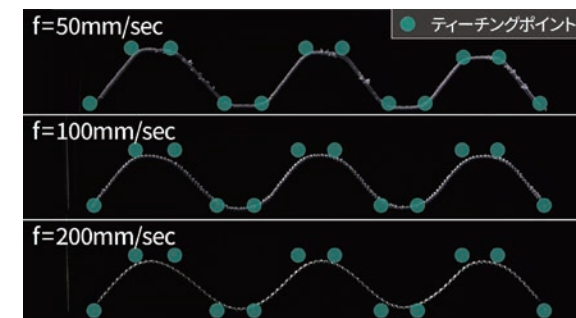


図1 送り速度によるロボット軌跡の変化

2. フローティング機構の進化

ワークの寸法やロボットの軌跡が曖昧であったとしても、要求される加工精度と速度を達成する技術が求められる。2016年に販売を開始したスピンドルモーターユニット「BARRIQUAN」(図2)は、回転工具を一定圧力でワーク形状に沿わせるフローティング機構を搭載し、安定したバリ取り品質を実現した。しかし、近年の急激な労働人口減少により、高難度な案件でも自動化が求められるようになり、フローティング機構もそれに対応した進化が必要となった。そこで、フローティング機構の代表的な伸縮型と傾動型で新たな技術を開発した。

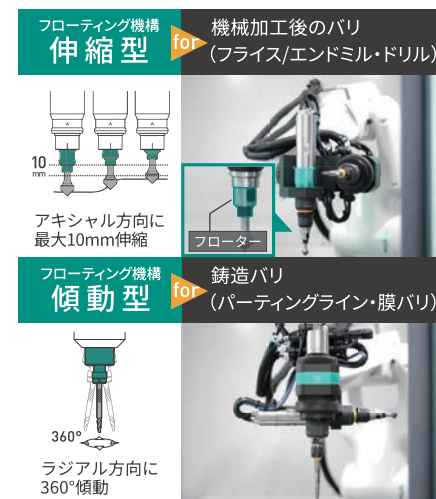


図2 フローティング機構を搭載した「BARRIQUAN」

3. 伸縮型の進化

伸縮型フローティング機構を搭載したBARRIQUANはフライス加工後に発生するバリ取りに適している。開発にあたりバリ取り自動化の市場調査を実施したところ、「アルミ材の糸面取り」に市場の共通した課題があることが分かった。「糸面取り」とは、数値的規定のない指示で、言い換えると「バリを削除し、かつ最小限の削り幅で加工すること」といえる。経験上C0.2~C0.4程度と認識しているが、この寸法レンジに収めることが非常に困難なのである。必要以上に削らないよう、フローティング機構には素早い追従性能が要求される。そこで、摺動部品である「フローター」の改良を行った。

BARRIQUAN先端にある「フローター」が内部のスプリングにより軸方向に伸縮することで、刃物をワーク形状に追従させる。従来品では送り加工時のスラスト荷重により、反応が遅れる傾向があったため、新構造を開発した(図3)。

摺動案内溝をらせん形状にしたことでわずかな切削トルクでもフローティング機構が作動するようになった。これにより、縮む方向への反応性が高まり、母材を削り過ぎずバリ取りを行うことを可能にした。

しかし、単に案内溝をらせん形状にただけでは、伸び方向に対して追従性能が低下してしまう。結果として、面取り幅のばらつきが大きくなり、バリの取り残しが発生する場合もある。そこで、縮む方向にはらせん溝の特性が働き、伸び方向では直線溝の特性が働く特殊技術(特許第7319439号)を開発し二律背反する問題を解決した。

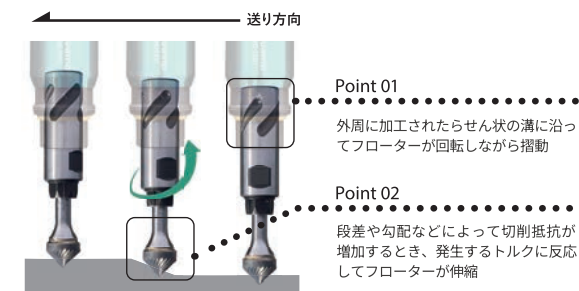


図3 らせん溝フローティング加工

以下、図4に高低差4mmの山形状を加工した際の削り寸法ばらつきと、ロボットへの荷重変動の結果を示す。SGフローター(新型)はLGフローター(従来品)に比べ面取り幅寸法のばらつきが少なくなっている。さらにロボットに掛かる荷重変動が小さいため、安定した加工ができていると言える(図4)。

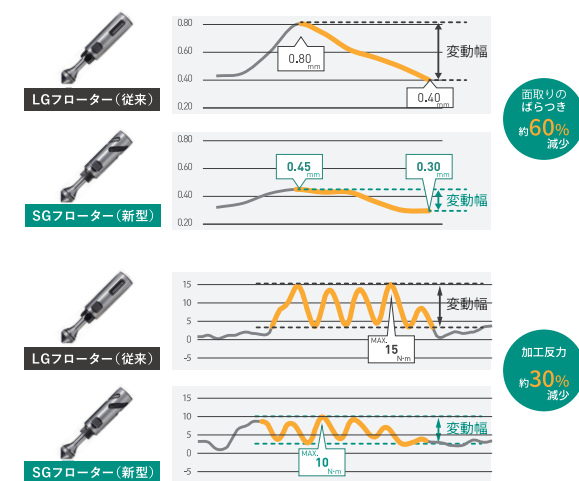


図4 新型フローターの性能比較

4. 傾動型の進化

傾動型は先端が細く長い工具によるバリ取りで使用される。奥まった箇所へのアプローチや鋳物のパーティングライン除去などに適している。傾動型に対しては、伸縮型と同様に母材を削り過ぎずかつバリの取り残しを防ぐ追従性だけでなく、場合によっては大きなバリ取りにも対応できる汎用性と、さらには7kg可搬ロボットで使用できる軽量コンパクトさが求められている。

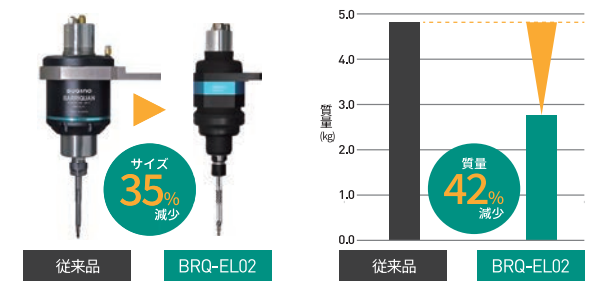


図5 BRQ-EL02の小型軽量化

そこで、従来品より断面積を35%サイズダウンし、42%の軽量化を行ったBRQ-EL02を開発した(図5)。コンパクトながら1.2N・mハイトルクのスピンドルモーターを搭載し、厚みのあるバリ取りも可能とした。また、独自の傾動機構(特許出願済)により、傾き具合による先端荷重の変化がほとんどないため、ロボットの軌跡精度やワークの寸法ばらつきによる仕上り品質の低下を大幅に軽減できるようになった(図6)。

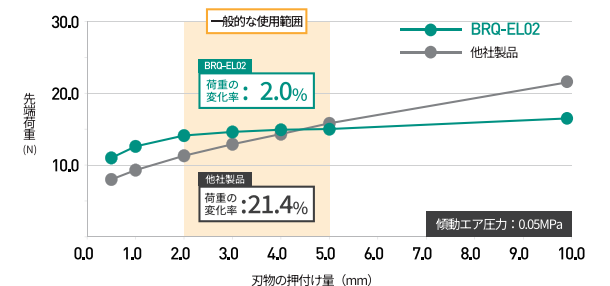


図6 BRQ-EL02の性能

5. おわりに

市場ニーズに応え、これら全ての技術を搭載したロボットバリ取りセル「RDM-S」の販売を開始した(図7)。今後もさらに新しい技術の開発にまい進し、バリ取り自動化を効率化させていく。



図7 「RDM-S」外観・商品ページ2次元コード



宮内 慎也

精密機器事業本部 技術統括部
応用開発部 マーケティング課
二係 係長

CRbの適用事例
～板金向けCRbファイバーレーザー溶接システムの開発～
岩田 拓也



1. はじめに

製造業全般での自動化が進む中、中小の溶接板金分野の溶接工程は職人による作業が中心で、ブランク加工工程や曲げ工程ほど自動化が進んでいない。板金部品は多品種少量生産で工程が多い上に、熱変形や素材のばらつきが大きい。自動化は単純ではない。自動化目的で溶接ロボットを導入しても、溶接経路の作成や位置調整に時間がかかるため、稼働率が上がらずノウハウの伝承はなかなか進んでいない。

そこで、これらの課題を解決するために、ロボットシミュレーションソフトなどのデジタル技術と独自のセンシング技術を組み合わせた「溶接ロボットシステム」を開発した(図1、表1)。本システムは、溶接経路を容易に作成し、溶接位置のリアルタイム補正も可能とした。さらに、溶接品質や生産性の向上、そして溶接ノウハウの蓄積を目指している。

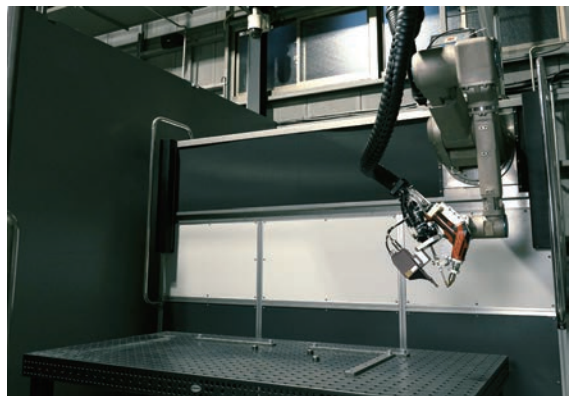


図1 溶接ロボットシステム

表1 仕様表

型 式	CRb015H712
制御軸数(自由度)	7軸(直動軸:1軸、回転軸:6軸)
可搬質量	15kg
最大リーチ長	1,165mm
位置繰り返し精度	±0.05mm
本体質量	アーム部 約140kg+35kg/m
溶接機	ファイバーレーザー(TIGも可)
オプション	フィラー送給ユニット

2. ファイバーレーザー溶接ロボットシステム

本システムは、主に当社製のロボットCRb(シーアールビー:Connected Robot)とその制御/操作ユニット、ファイバーレーザー溶接機器、溶接定盤などで構成されている。ロボットハンドには新しいセンシング機器を搭載し、ティーチングレスの中核をなすロボットシミュレーションソフト「CROROROS(クロロロス)」も備えている。さらに稼働状況や溶接データの保存・分析・可視化を行うIoTツール「ViiNUS(ヴィーナス)」などとデジタル連携を実現させている。本システムの構成要素を以下に示す。

■ ファイバーレーザー溶接

この溶接方法は、エネルギー密度の高さから溶接速度を速くでき、変形や変色が少ない高品位な仕上がりが得られるため、薄板溶接に適しているといわれている。昨今、経験の浅い作業員でも扱いやすい手持ち型トーチや自動ワイヤー供給機を組み合わせたタイプのファイバーレーザー溶接機の導入例が増えている。一方で、レーザー機器であるため作業員には取り扱い上の危険が伴い、溶接方式に関係なくスパッタやヒュームにさらされる。また、場合によっては、つらい作業姿勢や重いワークを持つなど、大きな作業負担が発生する。ファイバーレーザー溶接をロボットで自動化し段取りレスとすることで、これらのリスクから作業員を解放し、溶接品質を安定化させることができる。

■ 7軸CRbの開発

本システムに搭載するロボットは、さまざまな溶接継手に対しトーチ姿勢の自由度を高めるため、直動軸1軸に多関節6軸を壁掛けスタイルで組み合わせた7軸構成とした。この構成は、直進性が高く、溶接精度向上に寄与する。また、ワーク断面サイズが奥行450mm×高さ250mmに対応できるよう、アーム長を1,015mmから1,165mmに延長した型式「CRb015H712」を

CRbシリーズに追加した。標準の直動軸ストロークで1mを超える長尺ワークに対応でき、カスタマイズでストロークの延長が可能である。

■ 溶接経路の補正機能「アクティブトラッキング」

ロボットハンドには、溶接トーチの進行方向側に新たなセンシング機器を併設した。CROROROSで生成したロボットプログラム動作で実ワークの稜線位置を測定する(図2)と同時に、その位置や形状のばらつき、変形量に合わせて溶接経路を自動補正する。具体的には、先行するセンサーが測定したワーク稜線の位置座標と、トーチの加工点(TCP:ツール・センター・ポイント)の位置座標のずれ量を逐次演算、それを補正量としてTCPの指示値に反映させ、実際の溶接経路上を動作させる。

溶接継手形状はさまざまで、箱型ワークの内外や角部・隅部など形状に応じて計測条件を使い分けている。例えば、片引き継手(図3)の場合は板の接合部の外側に溶接位置があり、隅肉溶接の場合は内側となるため、センサーで演算処理する方法が異なる。

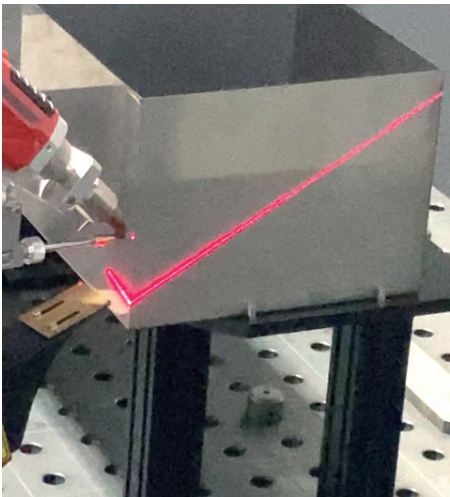


図2 アクティブトラッキング中の様子

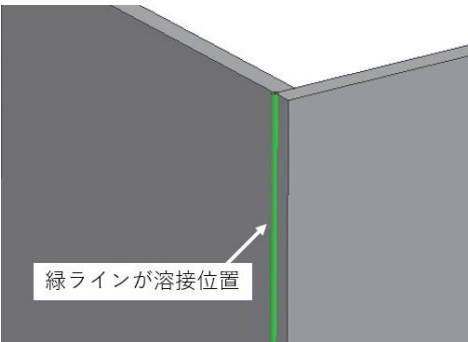


図3 片引き継手

■ ロボットシミュレーションソフト「CROROROS」と機能拡張

CROROROSでは、3Dモデル上のワークの溶接線を選択し、溶接の指定を繰り返すことで直観的に溶接経路を作成でき、動作検証したデータをロボットプログラムに自動変換できる。本システムでは、CROROROS上でセンサーの計測条件もロボットプログラムに反映できるよう機能を拡張した。また、PC側に保存された特定ワークに紐づく複数のロボットプログラムを、USBメモリなどを介さず、直接装置本体へ転送するツールを準備した。今後も、システム全体でオペレーターの操作を軽減するための機能拡張を行う。

■ 溶接条件のデータベース化「ViiNUS」

「溶接」と一言で言っても、板厚、継手種類、フィラー有無、速度、形状など、溶接品質を左右するパラメーターが多い。それらを総合的に決定しなければならないことが、溶接工程の自動化を困難にする理由の一つになっている。そこで、熟練者のノウハウが反映された溶接データや溶接後の評価結果を、自社開発の生産性可視化ツール「ViiNUS」で収集・保存している。それらを装置の稼働データとともにクラウド上でデータベース化し分析・可視化することで、遠隔監視をはじめ、溶接品質や生産性の向上につなげていく。将来的には入力条件に応じた溶接条件の「最適化」も目指す。

3. おわりに

本システムの開発に当たり、ベースとなるCRbと新たな技術要素や既存の当社アプリケーションの機能を有機的に「つなぐ(Connected)」ことで、ティーチングレスやシームレスな操作性といった、ユーザーの求める価値に近づくことができたと考えている。引き続き市場のニーズを先取りしたCRbシリーズの機能開発を進めていく。

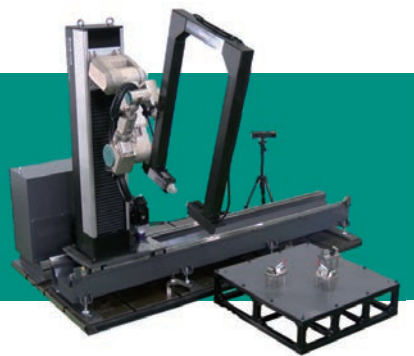


岩田 拓也

RI事業部 RI技術部
第二技術課

航空機部品向け超音波自動探傷システムの開発

萩野 剛



1. はじめに

軽量、かつ、強度がありさびることがないCFRP(以後、複合材)はBoeing787やAirbusA380に代表される航空機の機体や翼およびエンジン部品に多用されている。複合材は成形する自由度が高いことから曲面構造の製品に使われることが多く、さらに、ハニカムコアを内部にサンドイッチすることにより軽量でありながら強度を持たせることが可能である。それらの複合材部品は内部に接着剥離などの欠陥が発生した場合、部材の強度低下につながるため、製造時および定期メンテナンスにおける内部検査手法として 超音波探傷(UT)が広く用いられている。当社では曲面形状のハニカム複合材の探傷に適した「超音波自動探傷システム」の開発に取り組んでおり、本稿ではその取り組みに関して紹介する。

2. ハニカム複合材の超音波探傷試験

空気を多く含むハニカム複合材は超音波を通しにくい材料であり、底面波が反射していく1往復分のエネルギーが得られにくいことから、超音波が材料を透過するエネルギー量を評価する透過法が適用される(図1)。透過法には「スカーター法」、「直接触法」または「水浸法」などがあるが、複雑な曲面形状の部材に

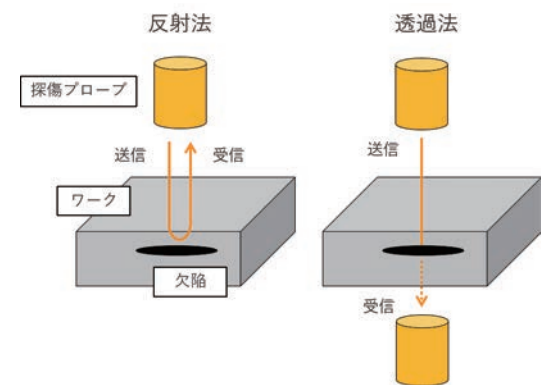


図1 反射法と透過法

おいては、探傷面の状態により良好な接触状態を得づらい「直接触法」や、検査対象物を水没させるために大型の水槽が必要となる「水浸法」より、超音波の入射に水柱を使用することで水槽なしで良好なカップリング状態が得られる「スカーター法」が適している。スカーター法による透過法では、水柱を介して送信側の探傷プローブから超音波を試験体内部に入射し、受信側の探傷プローブで受信する。この際に、試験体内部に接着剥離などの空気層(超音波の反射源)が存在した場合、超音波は受信側のプローブに透過しないことから、複合材内部の欠陥を検出することが可能となる(図2)。

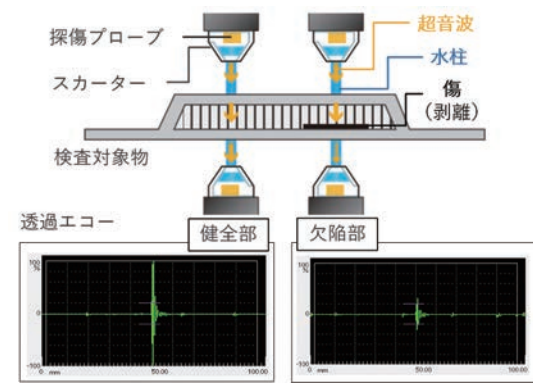


図2 スカーター法による透過法

3. システムの特長

以下に当社で開発中の超音波自動探傷システム(図3)の特長を、表1に開発スペックを記載する。

① 当社製ロボットの採用

- ① 当社の多関節ロボットCRb(Connected Robot)を採用し、さらにX-Z方向に直動軸を配したことにより曲面形状に対応可能かつ、精度の高いプローブ走査を実現。
- ② シミュレーションソフト「CROROROS(クロロロス)」によりオフラインティーチングに対応可能。さらに

3Dビジョンセンサーと組み合わせることにより検査対象物の設置誤差補正が可能。

- ③ 探傷する空間位置を出力するための専用回路を設け、位置計算処理を高速に行うことで超音波信号と位置信号のシンクロを短時間で処理。
- ④ 従来の門型構造の駆動装置に比べて、構造がシンプルなためメンテナンスが容易。また、納入先での設置工程を大幅に短縮することが可能。
- ⑤ X方向(横行方向)の直動軸はストロークの変更が可能であり、検査対象物寸法に合わせた駆動装置寸法にカスタムが可能。
- ⑥ ヨークの代わりにジンバル機構を有したプローブホルダーを持たせることで反射法への適用が可能。



図3 超音波自動探傷システム

表1 開発スペック

探傷方法	スカーター法による透過法
探傷速度	～300mm/sec
対応ワークサイズ	W1,000mm×H800mm ※形状に依存
スカーター	水柱径: φ6mm
駆動装置寸法	W3,000mm×L2,000mm×H2,200mm
アーム長	1,000mm
質 量	約600kg

② ヨーク法の採用

スカーター法は送信側と受信側のスカーターを別々のアームに持たせて、検査対象物を挟むよう対面に配置し、その対面したスカーターから噴射する水柱の軸を合わせながら、かつ、検査対象物表面に垂直に水柱が当たるように2つのアームを動作させる方式が多い。当開発機はヨークと呼ぶコの字型のアームに送信用・受信用のスカーターを取り付けていることから水柱の軸ずれが発生しにくく安定した探傷が可能となる。ヨーク本体は剛性が高く軽量の複合材で構成され、当社の多関節ロボットでの走査が可能な非常にコンパクトな駆動装置となった。

③ 探傷器の選定

当開発機では、フェーズドアレイUTと従来UTの両方に使え、解析ソフトも含めて世界一般に広く認知されている探傷器「QuartZ」(Eddyfi社)を採用している。ただし、探傷器に関してはメーカーを問わずお客様の要求に応じた探傷器を組み込んだシステムを提案することができる。

4. おわりに

今回、当社製多関節ロボットを採用した複雑形状のハニカム複合材の内部探傷に適した、超音波自動探傷システム開発の取り組みに関して紹介した。今後は引き続き開発を継続していくとともに、本開発で得た超音波探傷技術と、われわれが長年培ってきた原子力発電関連装置の設計、製造の経験を活かして、さまざまなお客様の要求に合わせた超音波自動探傷システムの提案に注力していく。



萩野 剛

プラント機器事業本部 生産統括部
第二技術部 PE設計課
三係 係長

ツールプリセッタをベースとした全自動計測システム 「HP-6040V-FA」

名 瀬 裕 之

1. 生産現場におけるFA化の課題

製造現場では少子高齢化による人手不足が慢性化し、熟練作業員の減少、若者の製造業離れが問題視されている。産業界ではこのような深刻な情勢を受け、生産性向上を目的としたファクトリーオートメーション(FA)を進める企業が増加した。実際に切粉を出す加工工程においては工作機械のネットワーク化による自動加工、ロボットや自律走行ロボット(AMR)でのワーク自動搬送、チャックへのワーク自動着脱、さらにはAIやIoTを利用した稼働管理、工程最適化、予防保全、品質保証などのさまざまなシステム構築が可能となっている。

ところが、工具段取り作業について見てみると、ツーリングや刃具の管理、刃具の着脱、突き出し量の調整、刃先測定、工作機械への工具補正値入力など、ほとんどが作業員による手作業で行われているのが現状で、工具段取り工程が工場全体におけるFA化の足かせとなっている。これらの課題を解決するには、ツールプリセッタをベースにした工具段取り作業の自動化が不可欠で、ここ数年、全自動計測システムのニーズは高まっている。

2. ツールプリセッタへの要求

高精度な金型加工や部品加工に使用する工具はますます高精度化・複雑化していて、従来のツールプリセッタでは機能や精度面で要求を満たすことが難しくなっている。当社は国内初のツールプリセッタを開発したパイオニアとして常に技術開発に取り組み、なかでも「HP-6040V」は全自動で高精度かつ多彩な測定機能を有し、従来機では困難であった測定要求や条件をクリアする。それだけでなく、ハード面・ソフト面で拡張性があり、さまざまな周辺装置との連結を可能にし、組み合わせは自由自在でお客様の求める最適なユニットを構成する。さらにはお客様所有の既存システムや既存データと連携ができるよう柔軟性を兼ね

備えており、ツールプリセッタはシステムの中心的な位置づけを成している。

そして、画像処理システムは業界初となるAI機能を搭載していて、自動測定をアシストすることで、オペレーターの手間やヒューマンエラーを回避し、作業の効率化を実現する。

3. 全自動計測システム

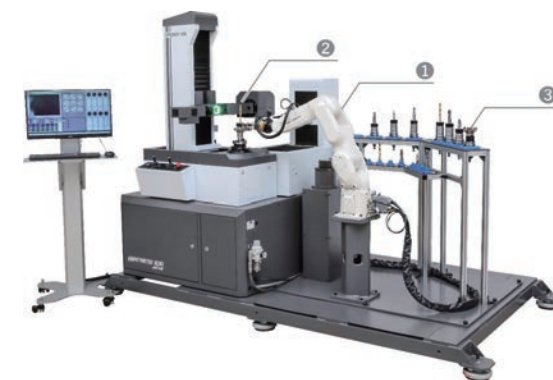


図1 全自動計測システム「HP-6040V-FA」

全自動ツールプリセッタ「HP-6040V」を中心として、搬送ロボット、自動刃具交換ユニット、刃具ストック、搬送台車を組み合わせたシステムが、全自動計測システム「HP-6040V-FA」である(特許第7312059号)。

刃先測定だけでなく、刃具の着脱から搬送まで、工具の段取り作業における全工程を自動化する。また、要望の多かった工具の洗浄装置や刃先の突き出し量を自動調整する装置もオプションとして準備している。ユニット構成はカスタマイズ可能で、必要なユニットだけを組み合わせることで最適なシステムを提案する。

システムの主なユニット

① 搬送ロボット

ツールプリセッタへの工具搬送や刃具の着脱、クリーニング作業など、システム内のすべての搬送を行うロボット。ロボットハンドはツーリングと刃具の両方を

一つのハンドで賄うことができるよう複合ハンドを採用している。また、複数のシャンクサイズを使用する場合はハンドチェンジユニットを付加することができる(各種ロボットが搭載可能)。

② 自動刃具交換ユニット



図2 自動刃具交換ユニット

コレットチャックやミーリングチャックの刃具を自動交換するユニット(特許第7510841号)。データベースに登録された工具情報に基づいて適正トルクで締め付けを行うため、作業員の負担が解消され締め付け不良もゼロになる。最近ではツールプリセッタのスピンドル上で突き出し量の調整と刃具の締緩が可能な一体型の需要が増えている。爪の交換でさまざまなツーリングに対応する。

③ 刃具ストック

刃具を供給、収納するストックで、持ち運びが簡単なパレット式やポットが回転し刃具を自動供給するマガジン式がある。刃具の種類、サイズ、数量に応じて構成することができる。

④ 搬送台車

工作機械と全自動計測システム間で工具を移送する台車でツールワゴン、AMRのいずれも対応可能である。

「JIMTOF2024」ではスギノマシンRI事業部のAMRと連携し、ツールプリセッタで測定した工具を工作機械まで自動搬送するシステムを展示した(図3)。AMRにはロボットアームが搭載されており、工具の取り付けや交換を自動で行える。全方位置移動の柔軟性とコンパクト走行が可能で、停止位置の誤差を補正する機能により、最大で±5mmの停止精度を担保する。

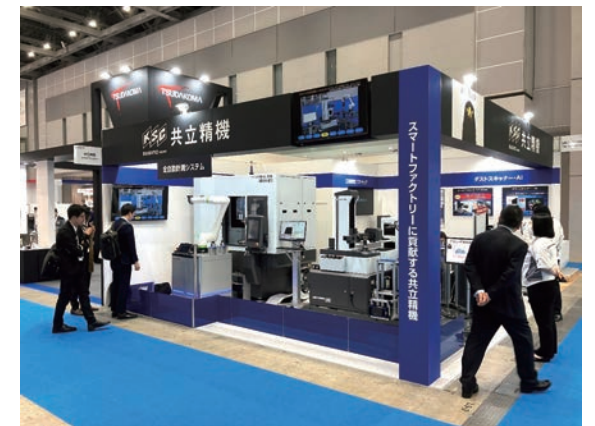


図3 JIMTOF2024出展の様子

4. AIによる付着物除去機能

刃先に付着する埃やちり、切粉などのノイズにより測定精度が著しく悪化する。この問題を解消するため、AIを活用し、付着物が付いた画像から付着物を取り除いた画像を生成し、その画像で測定することにより付着物の影響のない測定が可能となった。推論時間は開発当初、20秒かかっていたが、AIモデルの改良とハードウェアの見直しにより今では自社目標の5秒以内を達成した。

5. おわりに

生産現場では、これまで「モノづくり」に直結する機械加工の自動化ばかりに集中し、工具の段取りなど補助的な作業は人手まかせで自動化が遅れていた。生産現場には、まだまだ人手に頼っている作業は数多く存在する。これらの課題を一つずつ解決していくことで、理想的なFAが構築できるはずである。最先端技術へのチャレンジ精神と完全自社生産の強みを活かし、お客様のニーズに柔軟に対応することで、これからも国内製造業の生産性向上に貢献していく。



名 瀬 裕 之

国内グループ企業
共立精機株式会社
技術部 技術課 電装係 係長

愛称は「スギノマシンラウンジ」に 富山大・学生会館ラウンジのネーミングライツを取得

当社は、富山大学五福キャンパス（富山市）の学生会館内にあるラウンジのネーミングライツ（施設命名権）を取得し、2024年4月から「スギノマシンラウンジ」の愛称で利用されるようになりました。当社が施設の命名権を取得するのは初めてです。

このラウンジは、キャンパス中心部にあるフリー交流スペースで、契約期間は2029年3月末までの5年間です。当社は富山県を基盤にする企業として、この事業を通じて、地元の大学の教育研究環境の

詳細はこちら▶



同年7月のイベント「つながるcafe」は約100名が参加してくださいました（写真右）

当社独自の技術やソリューションをご紹介 展示会「JIMTOF」盛況

2024年11月5日～10日、世界最大級の製造技術の展示会「第32回 日本国際工作機械見本市（JIMTOF2024）」が東京ビッグサイトで開催され、当社からはウォータージェット技術を使った超高压水切断装置やロボットマシニングユニットをはじめ、多彩な商品を出品しました。



国内外の製造業界の関係者など、たくさんの方にご来場いただきました。

当社ブースでは、実機のほか動画や展示パネルを使いながら新商品や新技術などの

当社独自のソリューションをご紹介しました。加工能力や省エネ性能を向上した「カンチレバー式超高压水切断装置」は、アルミ板をスパナ形状に切り出す様子を実演したほか、バリ取りの自動化を可能にするロボットバリ取りセル「RDM-S」のプレゼンテーションも行い、会場は多くの来場者でにぎわいました。

当社公式Webサイトでは展示

内容を再現したバーチャルブース

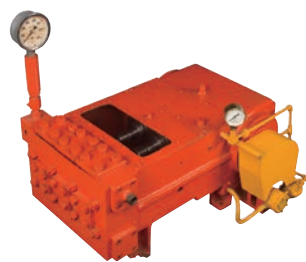
詳細はこちら▶



機械技術発展への貢献を評価 スギノポンプ1号機が「機械遺産」に認定

日本の機械技術の発展に貢献し、歴史的な意義を持つとして、当社の三連プランジャ式高压水発生ポンプ「スギノポンプ1号機」が2024年7月、日本機械学会の「機械遺産」に認定されました。

同機は1964年に誕生し、その後、超高压ジェット水を使ったウォータージェット技術へと発展。現在では自動車やインフラ、食品や医療など、産業界全般で活用されていることなどが評価されました。本社1階展示室で常設展示しています。



2024年“超”モノづくり部品大賞で 「機械・ロボット部品賞」を受賞

2024年10月、モノづくり日本会議と日刊工業新聞社が優れた部品や部材に贈る「2024年“超”モノづくり部品大賞」の「機械・ロボット部品賞」に、当社のロボットバリ取り用スピンドルモーター「BRQ-EZ01」が選ばれました。

同機器は、ロボットによるバリ取り作業の自動化に適したモーターで、回転部と一体化しています。刃先をワーク（対象物）にならわせることができ、ワークの削り過ぎや、バリの取り残しを防ぐことができます。当社は今後もお客様のさまざまなニーズに応えられるよう、商品開発に励んでまいります。



商品の詳細はこちら▶



氷見漁港

富山をさまざまな切り口でご紹介

寒ブリを、かに。

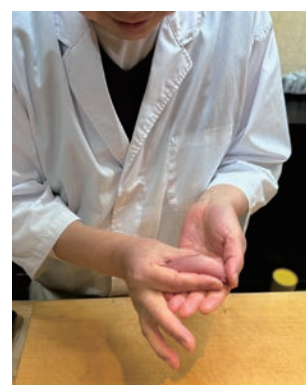
富山県氷見市の復興に向けて

2024年11月20日、令和6年能登半島地震で甚大な被害を受けた氷見市にて、「ひみ寒ぶり宣言」が過去2番目に早く出され、復興の大きな後押しになりました。

当時、被災地派遣の医療従事者の多くが氷見に滞在していました。日々寿司を握ることで最前線で頑張っている皆さんを応援している中、お客様からさまざまな救援物資をいただき、改めて人の優しさに感動しました。春以降は通常に近い状態に戻ってきましたが、まだまだ観光客も少なく、復興半ばですが、氷見の飲食店が元気に営業することが一番の恩返しです」と語っていました。

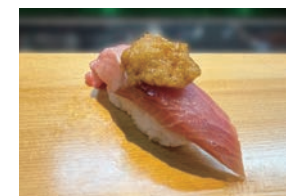
氷見で人気の寿司店「すし屋の城光」店主の城光守さんは震災当日をこう振り返ります。「元旦も予約が入っており、店を出たのが午後3時過ぎ、その後、実家で地震に遭いました。幸い大きな損傷は免れました。

そんな被災地を応援するかのようにならぬよう早く出された「ひみ寒ぶり宣言」。初日には723本が水揚げされ、港内は活気に包まれました。その中には、10キロを超えるものも含まれ、競りでは、仲買人たちが出荷す



るために、元氣よく次々と競り落としていきました。少しづつ観光客が戻り始めた氷見。特に「ひみ寒ぶり」のシーズンには多くの観光客が訪れます。地元の鮮魚店や観光施設には、ブリを求める大勢の人々が集まり、活気が徐々に戻りつつあります。漁港では朝市が賑わい、地元の新鮮な海産物が並ぶ様子は、まさに冬の氷見を象徴する風景です。

例年より早い宣言を迎えたことで、氷見はますます活気づき、寒ブリを通じた復興活動が加速することが期待されています。寒ブリの美味しさが広まり、被災地の復興が着実に進んでいくことを願っています。



〔取材協力〕

すし屋の城光

所在地 富山県氷見市間島 1-50
営業時間 11:30～14:00
17:00～22:00
定休日 木曜日
TEL 0766-72-6167