

三菱電機技報

4

2023

Vol.97 No.4

FA

No.4

特 集	FA	FA
巻 頭 言		
DXのその先のFA：暗黙知とシステミック思考 ……	1-01	Future FA beyond DX: Tacit Knowledge and Systemic Thinking Tetsuo Sawaragi
根木哲夫		
巻頭論文		
持続可能な社会を支える最新のFA技術 ……	2-01	State-of-the-art Factory Automation Technologies for Building Sustainable Society Toru Oka
岡 徹		
産業用ロボット支援サービス		
"iQ Care MELFA Support" ……	3-01	Industrial Robot Support Service "iQ Care MELFA Support" Atsushi Oyama, Shingo Chida
小山篤史・千田慎吾		
ワイヤ・レーザー金属3Dプリンター"AZ600" ……	4-01	Wire-Laser Metal 3D Printer "AZ600" Maiku Hayashi, Nobuyuki Sumi, Takashi Hashimoto, Ryogo Koba
林 真育・鷺見信行・橋本 隆・木場亮吾		
電子式電力量計"M8HMシリーズ" ……	5-01	Electronic Watthour Meter "M8HM Series" Ryoichi Sugioka, Kengo Hirakata
杉岡諒一・平方健吾		

三菱電機では、サステナビリティ経営を実現する4つのビジネスエリアとして、「インフラ」「インダストリー・モビリティ」「ライフ」「ビジネス・プラットフォーム」を設定しています。

三菱電機技報ではこの4つのビジネスエリアに分類し特集を紹介しています。

今回の特集ではインダストリー・モビリティ領域の“FA”をご紹介します。

巻頭言

DXのその先のFA：暗黙知とシステミック思考

Future FA beyond DX: Tacit Knowledge and Systemic Thinking



榎木 哲夫 Tetsuo Sawaragi

京都大学大学院 工学研究科長・工学部長

Dean, Graduate School of Engineering and Faculty of Engineering, Kyoto University

これからのものづくり現場は、就業人口の減少に伴う労働力不足から、自動化・ロボットの導入が進み、高齢の労働者・外国人労働者等の増加が見込まれることになるが、そこでは、労働者の能力や経験の相違に起因する作業能率や作業品質のばらつき等が不可避の問題となるだろう。さらに働き方改革が進む中であって、時空を超えた働き方が浸透し始めることになると、不規則な就業形態への対応と現場作業者のQoW (Quality of Working Life) の向上が求められることになる。高齢者でも安心して働ける現場、それは個人のペースダウンが全体の生産性の破綻に直ちにつながらないこと、さらに一つのばらつきや一つの想定外事象の発生が、他のところに影響を引き起こすことがないような、“レジリエント”な労働環境であることが求められる。

ではこのような将来において、DX (Digital Transformation) のその先にあるFAの姿とはどのようなものになるのだろうか。この問いに答えるためには、生産現場を、人の能力・生産設備・作業(就労)環境が複合的に絡み合う“社会技術システム(socio-technical systems)”として捉え直さなければならない。現実には、人と設備が協業するラインで常時作業データを取得すること、すなわち設備稼働情報と人作業情報をリアルタイムで自動取得することが可能となっている。これにより工程ごとのサイクルタイムをモニタリングし、今後の動態を予測し、適切なラインバランスの調整によるサイクルタイムの短縮を図っていくことも可能になるであろう。ただしこれを実現するためには、局所的に得られる取得データを相互に関連づけ説明づけられる全体論的な作業活動のモデルが構築でき、このモデルを活用することで、ラインバランス管理における熟練管理者の暗黙知を発揮させられるようにすることが必要である。これはすなわち、データに基づいてサイバー空間に構成する製造現場のデジタルツインであり、さらに人間の知恵と組み合わせて現場のオペレーションに反映させることのできる“サイバーとフィジカルとコグニション(ナレッジ)”が三位一体で結びつかねばならないことを意味する。

ところで、このような機能を実現できるFAシステムとは、従来の“リーン生産”に代表されるような無駄を一切省き、究極まで最適化された生産システムなのであろうか。この問いに関しては、自身が専門とするシステム工学分野での“システムティック vs. システミック”の対比概念を想起する。前者の“システムティック”なシステム観とは、徹底的に対象を分解し、外乱をシャットアウトして辻褄(つじつま)の合うところだけを組み立てて手順にのっとって整然ともれなく物事に対処する思考法であり、まさに20世紀の産業界はこの考え方による科学的な管理と効率主義で支えられてきたと言える。一方、後者の“システミック”なシステム観とは、対象それ自体の形成過程に配慮し、分解すること自体よりも対象とするシステム(系)を全体として不可分な一体と捉えるものの見方である。システムの持つ“ゆらぎ”を認め、あるいは積極的に“ゆとり”や“冗長性”を取り入れてシステムを動かしていくための考え方である。“組み合わせ”ではなく“擦り合わせ”を重視する考え方であって、人間が環境を操作できるとするのではなく、人間の方が環境に合わせるべく自らを調整するという考え方になる。

逆説的な言い方になるが、将来のFAは“生きた人間”を中心に成り立つシステムであるべきである。熟練管理者の暗黙知とは、生産現場を構成するヒト・モノ・コトの間に見られる“相互関連”、つまり“かかわり”から生じる“何ものか”を感じ取り、それを通じていつでも全体に注目できるホメオスタティック(恒常性)な特質の能力であるとも言える。DXと調和を重んじるシステミックな概念を組み合わせたFAにより、一つの大きな生産物の流れをもっと多様な流れに変えることによって、需要に供給を合わせていけるような次世代生産システムへと進化を遂げることになるのではないだろうか。

持続可能な社会を支える最新のFA技術

State-of-the-art Factory Automation Technologies for Building Sustainable Society



岡 徹*
Toru Oka

*先端技術総合研究所長(工博)

要 旨

製造業では、生産性向上はもとより、環境問題に向けた対応などの社会課題解決への貢献が望まれている。

三菱電機のFA事業では、FA制御・加工機・駆動機器・産業用ロボットなどの豊富な製品群で、継続的に生産性を向上させて、さらにカーボンニュートラルなどの社会課題解決の実現を支えるための技術を、AI(人工知能)などの先進のデジタル技術も活用して開発している。

今後も当社の幅広い事業分野で持つ技術を基に生産性向上や“持続可能性(サステナビリティ)”実現といったFA分野への価値をもたらす製品・ソリューションを継続して提供し続けることで、持続可能な社会の実現に向けたものづくりの進化に貢献していく。

1. ま え が き

2015年に発表されたSDGs(Sustainable Development Goals)や昨今の企業経営で着目されているESG(Environment, Social, and Governance)などに見られるように、サステナビリティが社会で重要な要素になってきている。その一方で、デジタル技術の進展で、データの活用によって新たな価値を生み出すアプローチが注目されている。そのような中、当社はサステナビリティの実現を経営の根幹に据えて、持続可能な社会の実現を目指す循環型デジタル・エンジニアリング企業への変革を掲げて、コアコンポーネント、フィールドナレッジ、先進デジタル技術を組み合わせることでカーボンニュートラルなどの社会課題解決に貢献するための統合ソリューションの提供を推進している。

当社FA事業では、2003年から提唱しているFA-IT統合ソリューション“e-F@ctory”で進めてきたFA-IT連携やIoT(Internet of Things)化⁽¹⁾を更に発展・進化させ、生産性向上の要求に対応し続けるとともに環境負荷低減や熟練作業員減少への対処といった社会課題解決に向けた製品・ソリューションのための技術開発を行っている。

本稿では、2章で以前から求められている生産性向上の価値をデジタルツインやAIといったデジタル技術で提供する事例について述べて、3章では昨今要求が高まっている環境負荷低減に対して、コンポーネントとその管理運用の両面から解決する製品・ソリューションについて述べた後、4章では将来その重要性が増すと予想される熟練作業員減少や労働人口不足の課題に対して、ものづくりでの“インクルージョン”を実現する技術について述べる。

2. 生産性向上を支える技術

生産性向上は、製造業にとって常に最重要の命題であり、FA製品もそのニーズに対応するため進化を続けてきた。2010年代からは大規模なデジタルデータを用いたシミュレーションやAIによって、段取り・機器動作等の時間短縮や作業効率改善を図るアプローチが注目されている。

当社の先進デジタル技術を活用した生産性向上の事例について、次のとおり述べる。

2.1 サイバー空間でのシミュレーション技術を活用した生産性向上

2016年に内閣府が策定した第5期科学技術基本計画の中で提唱している“Society5.0”では、サイバー空間と現実世界であるフィジカル空間とを高度に融合させたシステムによって、経済発展と社会課題解決を両立する将来像が示されている。製造業でも、現実世界のFA機器の状態をデジタルデータとして取り出してサイバー空間上にシミュレーションモデルを構築し、現実の生産や加工をサイバー空間上で精緻に模擬することを可能にするデジタルツインが提案されている。デジタルツインを用いることによって、サイバー空間上で生産の効率や加工の精度を事前に検証して現実世界では試行錯誤なしに最適な生産や加工を最初から行うことが可能になる。その結果、設備立ち上げ時間の短縮や歩留りの改善といった生産性向上の効果に加えて、生産に伴うロスの削減による電力や廃棄物の削減といった効果も期待できる。

デジタルツインの導入で鍵になるのは、サイバー空間でシミュレーションを行う技術である。当社FA製品向けには、生産ラインや装置の動作を立ち上げる前にサイバー空間上で確認できる3Dシミュレーター“MELSOFT Gemini”を提供している。当社のシーケンサーやモーションコントローラー、ロボットのシミュレーターと連携させることで、コンベヤーやロボットアームなどの動作タイミングや干渉の有無を設備の立ち上げの前に簡単かつ正確に確認できる。また、工作機械向けには、加工の時間や加工結果の仕上がり形状をサイバー空間上で確認可能な工作機械シミュレーター“NC Virtual Simulator”を提供している。

工作機械のデジタルツインについては、NC(数値制御)装置での加工プログラムの解析処理やモーション制御のほか、送り駆動系のダイナミクスや、切削加工プロセスといった多岐にわたる要素を考慮したシミュレーションが必要になる。デジタルツインの高度化に向けて、事前のシミュレーションによる確認や条件最適化に加えて、図1に示すように現実世界と並行してこれらのシミュレーションを行い、安定した加工をノウハウレスで行うことを目指した技術開発も行われている⁽²⁾。

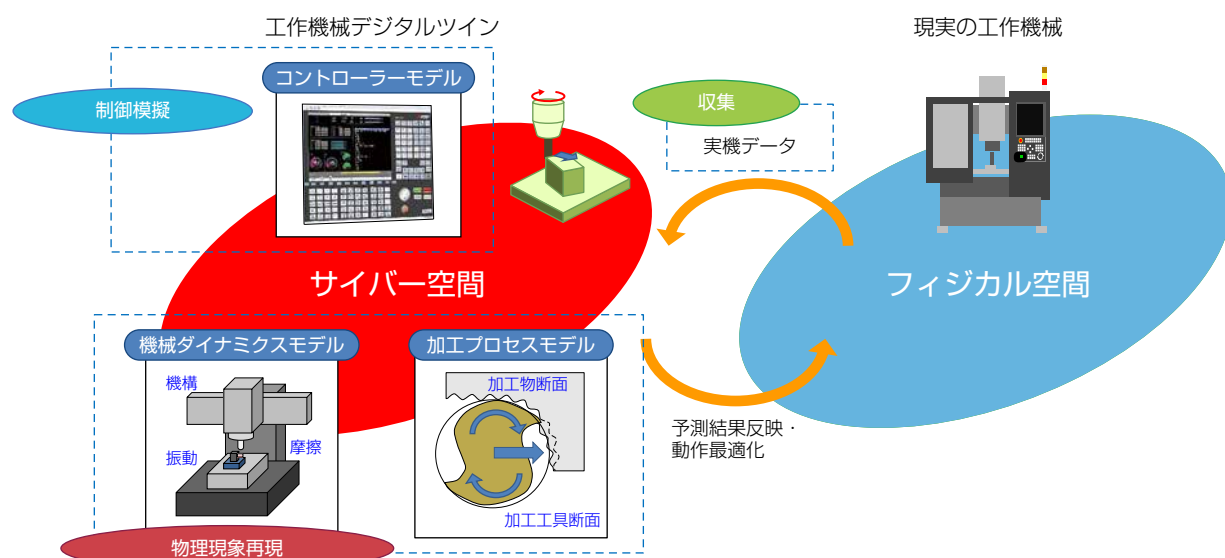


図1. 工作機械デジタルツイン

2.2 信頼できるAIを用いたオンライン制御による高速・高精度化の実現

AIは2000年代に入って急速に技術が発達し、製造業でも2015年頃からAIを適用した製品やソリューションが展示会等で多く見られるようになってきた。一方で、AIは演算量が膨大になるほか、演算結果の精度が事前に準備したデータに依存するために必ずしも正解値が得られるとは限らず、そのためFA機器の制御といったリアルタイムに正確な処理が求められる分野への適用が難しかった。そこで、当社は国立研究開発法人 産業技術総合研究所と連携して、AIが高速で機器の動作や加工中の誤差を高速で推論し、さらに推論結果の信頼度も同時に指標化して、信頼度に応じて機器の動きを適切に制御するオンライン制御技術を当社のAI技術“Maisart”の一つとして開発した。

開発したオンラインAI制御技術は、高速推論・環境適応・高信頼の特長を持ち、当社の様々なFAアプリケーションで高速・高精度化の価値を提供するものになっている。産業用ロボットを用いた部品搬送では、把持した部品の質量や慣性

モーメントを高速に推論して最適な動作パターンを適用することで、面倒なパラメーター調整作業なしに移動時間を短縮することが可能になる。放電加工では、予測が難しい加工中の加工屑(くず)排出動作のタイミングをAIが学習して、加工状態に適応した最適動作を行うことによって、加工時間の短縮を実現している。さらに、NC工作機械を用いた切削加工では、図2に示すように、機械の駆動要素の特性によって発生する数 μm オーダーの加工誤差をAIで予測し、その予測の信頼度に基づいて補正をすることで、安定して高精度な加工を実現できる。

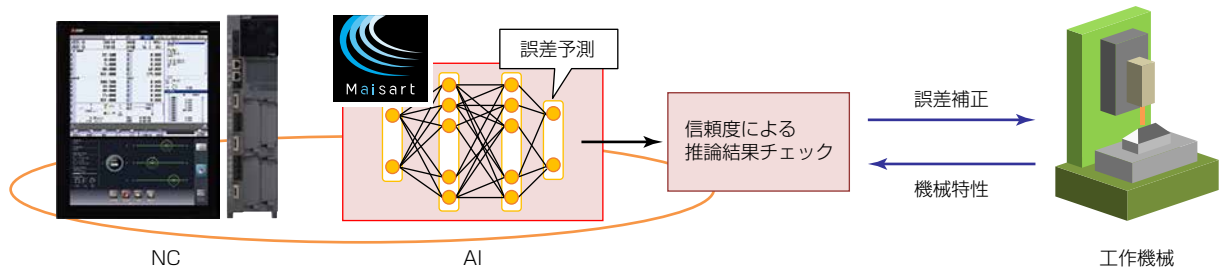


図2. 信頼度を用いたオンラインAI制御の適用例

2.3 行動分析AIによる作業効率化

生産現場での人作業工程の生産性を向上させる新たな取組みとして、AIを用いた自動作業分析による作業者の習熟支援、リアルタイムでの作業内容“みえる化”等が提案されている。しかし、従来手法では正解ラベルデータの作成や対象作業のモデル作成といった人手による事前準備が必要であり、生産現場への導入・運用の際の課題になっていた。

この課題に対して、当社は独自AI技術Maisartを用いた事前準備の不要な行動分析AIによる自動作業分析システムを開発した。行動分析AIは、人の一連の行動を複数の動作要素に自動で分割し、複数回の一連の行動での動作要素を比較することで、他と異なる動作要素を自動で検知できる。

このシステムは、作業行動のデータ計測機能、行動分析AIに基づくデータ分析機能、分析結果に基づく習熟支援やリアルタイムでの作業内容みえる化のための映像表示機能で構成される(図3)。このシステムについて当社工場で実証実験した結果、事前準備なしで正解率約9割の自動作業分析が可能であることを確認できた。

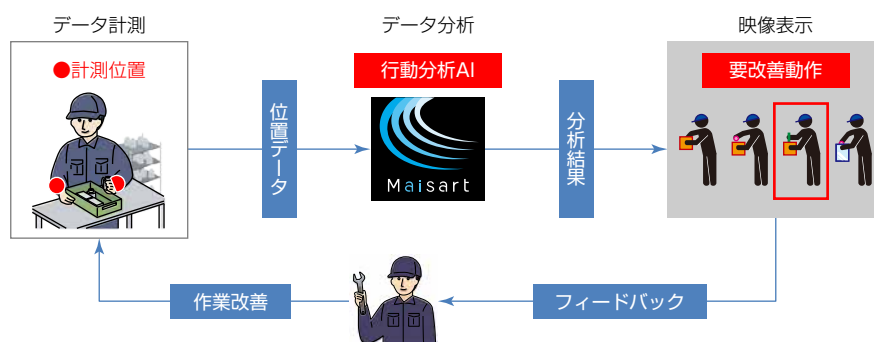
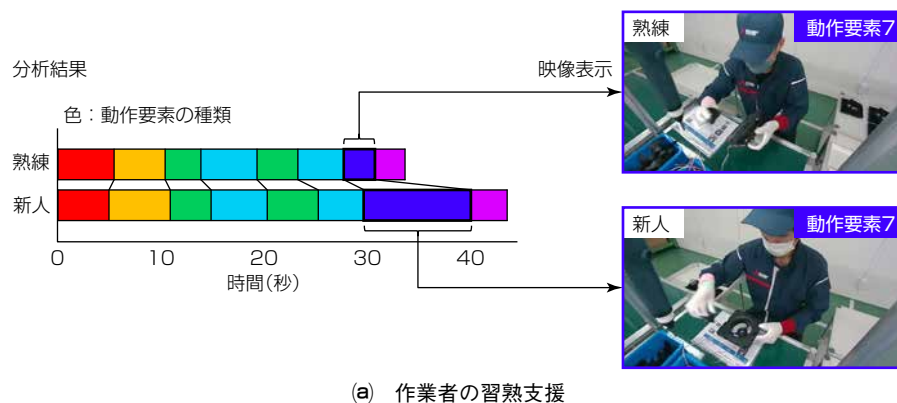


図3. 行動分析AIによる自動作業分析システム

図4(a)は、熟練作業者と新人作業者による作業行動の比較分析結果の例である。特に時間差の大きい動作要素等の映像表示によって、新人作業者は自らの動作の改善点を短時間で把握できる。また図4(b)は、過去の標準的な作業と現在の作業を比較分析した例である。標準的な作業と異なる現在の動作要素、すなわち標準外動作をリアルタイムで検知するとともに、対応する標準的な作業と併せて映像表示することで、作業者は短時間で作業を修正できる。

3. 環境負荷の低いものづくりを支える技術

地球規模の課題である気候変動問題の解決に向けて、日本政府を始め120以上の国と地域が“2050年カーボンニュートラル”の温室効果ガス排出をゼロとする目標を掲げている。目標達成に向けて生産現場で必要になる、環境負荷低減に寄与するコンポーネント技術と運用改善による省エネルギー技術について、当社の取組みを次のとおり述べる。



(a) 作業者の習熟支援



(b) リアルタイムでの作業内容みえる化

図4. 自動作業分析システムによる比較分析結果の例

3.1 環境負荷低減に向けたコンポーネント技術

3.1.1 モーター設計技術

モーターは電気エネルギーを機械エネルギーに変換する装置であり、近年の省エネルギー志向を背景にモーターの低損失化要求が高まっている。

この項では工作機械の主軸に用いられる高速モーターを対象にモーター損失を低減した事例について述べる。

図5にこの項で対象とする高速モーターの回転部分であるローターの断面図を示す。ローター表面に磁石を設ける表面磁石型モーターであり、磁石の飛散を防止するためにローター外周がCFRP(炭素繊維強化樹脂)で覆われている。高速モーターは高速域の出力を確保するためにモーターインダクタンスを小さくする必要があり、モーター駆動電流のリプル成分に起因する渦電流損失がローターに多く発生し、エネルギーロスが大きくなるという課題があった。

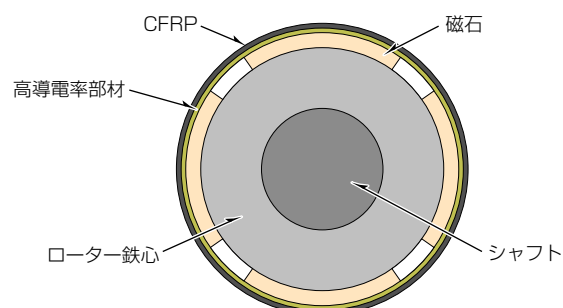


図5. 高速モーターのローター断面図

そこで、磁石外周に高導電率部材を巻き付ける構造を適用した。高導電率部材で発生する渦電流がモーター駆動電流のリプルによる磁束を打ち消すため、高導電率部材よりも内周にある磁石やローター鉄心の渦電流損失が低減される。高導電率部材には渦電流損失は発生するものの抵抗が小さいためその損失は小さい。結果として、ローターで発生する総損失は高導電率部材を設けない場合よりも小さくなる。

高導電率部材による損失低減効果を検証するため、二次元電磁界解析を実施した結果を図6に示す。モーター駆動電流のリプル周波数によって磁界が減衰する距離 d に対する高導電率部材厚み t の比率(t/d)を横軸、高導電率部材がない場合

を1として規格化したローター損失を縦軸としている。図6に示すとおり、高導電率部材の厚みが増すにつれて高導電率部材の損失は増加するが、高導電率部材以外の損失は減少し、両者を合わせたローター全損失は高導電率部材がない場合よりも小さい。この結果を基に製品設計を行い、低損失な高速モーターの製品化を実現している。

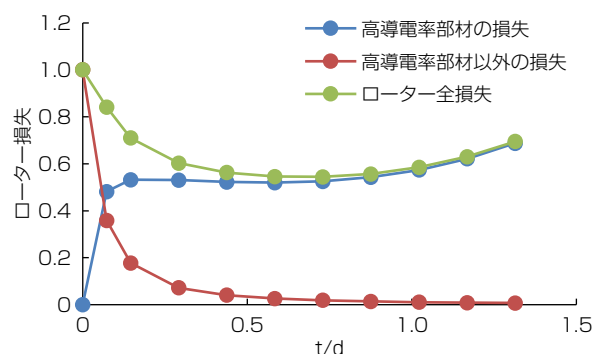


図6. 二次元電磁界解析の結果

3.1.2 環境負荷低減に寄与する加工機技術

環境負荷の低いものづくりに貢献する加工機技術として、金属3DプリンターとCFRPレーザー加工について述べる。

金属3Dプリンター技術は、金属を付加して造形する技術であり、機械部品や金型などの金属素材の加工で従来の主流であった切削加工に比べて、素材を無駄なく使って成形できる点や、補修にも用いることができ製品の長寿命化に寄与できる点で、環境負荷低減への貢献が期待されている。当社では、数ある造形方式の中でも、ワイヤ・レーザーDED (Directed Energy Deposition)方式を採用した加工機AZ600を製品化している。この方式は、金属ワイヤをレーザーで溶融させて直接堆積するものであり、金属粉末を使用する他の方式に比べて取扱いが容易でクリーン、かつ材料供給のほぼ100%が造形物に使用され歩留りが良いといったメリットがある。図7にその造形例を示す。

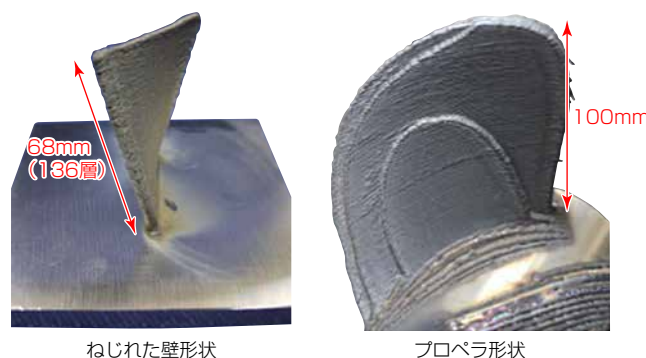


図7. 金属3Dプリンターの造形例

CFRPレーザー加工は、軽量かつ高強度な素材CFRPを効率良く切断加工でき、自動車などの燃費向上による環境負荷低減に貢献するものである。レーザーによるCFRP加工は、機械加工やウォータージェットといった他の方式に比べて高速加工の実現が可能であるが、レーザーの熱によって切断エッジ付近の樹脂が溶融してしまい、切断面の品位が低下する課題があった。そこで、当社独自のクロスフローレーザー発振器で発振段と増幅段の構成を工夫することでCFRPを高速・高品位に切断可能な最適パルスCO₂レーザーを開発し、当社加工機CVシリーズに搭載した。図8に示すように、他工法では難しいシャープなエッジの加工を実現している。

3.2 カーボンニュートラルの実現に向けた省エネルギー支援技術

当社は、3.1節で述べた低環境負荷なモーターや加工機などのコンポーネント技術に加えて、データマネジメント (データ収集・可視化・分析・診断)による継続的な運用改善を支援するソリューションを提供している(図9)。

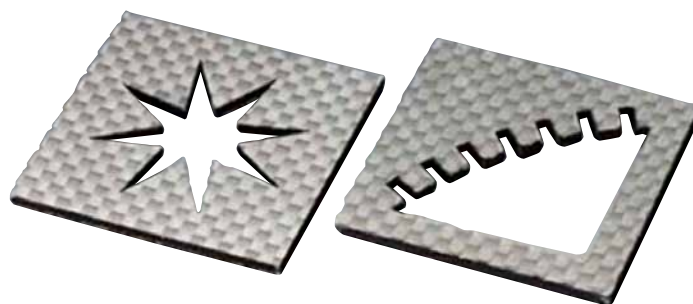
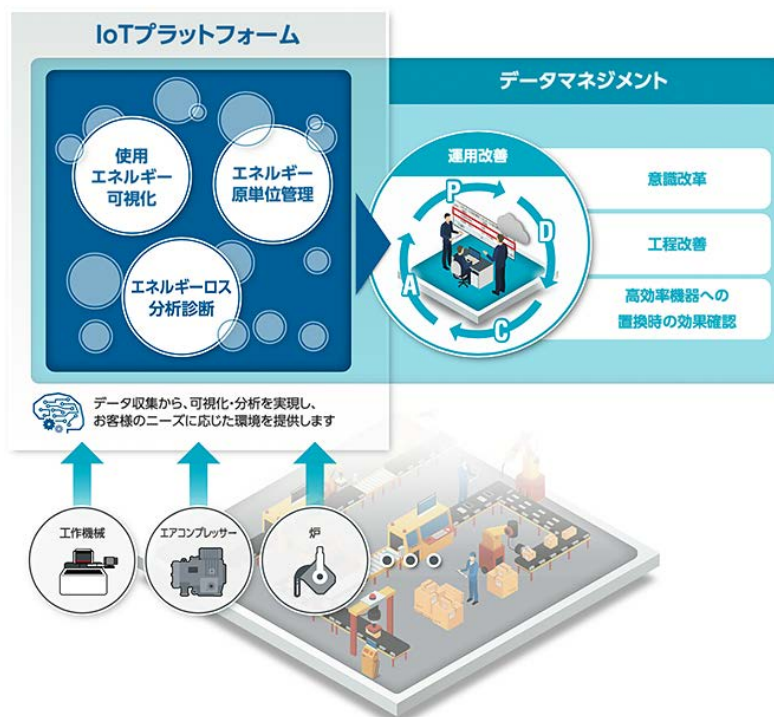


図8. CVシリーズによるCFRP(厚さ2mm)の切断加工例



出典元： https://www.MitsubishiElectric.co.jp/fa/sols/sol/carbon_neutral/index.html

図9. 当社のカーボンニュートラルソリューション

データ収集・可視化に関しては、CC-Link、B/NETなどのフィールドネットワークに接続した計測機器からの計測データと当社シーケンサーの持つ生産情報データを、ソフトウェアの追加手配なしに簡単な設定だけで収集可能なデータ収集サーバーEcoServerⅢを活用した、原単位管理による生産活動での運用改善に向けた省エネルギー支援技術を提供している。

データ分析・診断に関しては、当社のAI技術Maisartによって現状把握からエネルギーロスの抽出・要因診断、省エネルギー対策の効果検証に至るまでの省エネルギー活動をトータルサポートするアプリケーションEcoAdviserを提供している(図10)。



図10. 当社の省エネルギー支援製品(EcoServerⅢ, EcoAdviser)

国際的な温室効果ガス排出量の算定・報告基準であるGHG(GreenHouse Gas)プロトコルでは、生産現場での排出量であるScope1, 2に加えて、調達・輸送・販売・使用・廃棄といったサプライチェーン全体にわたる排出量であるScope3が定められている。これらScope3の算定には企業間のデータ共有が必要と考えられ、欧州を中心にIDSA, GAIA-X, Catena-Xといった自律分散型のデータ共有ネットワークの取組みが推進されている。当社はGreen × DigitalコンソーシアムやIVI(Industrial Value Chain Initiative), IAF(Industrial Automation Forum)などで他社と連携し、IAFでは排出量計測システムとGAIA-Xとの接続検証を実施するなど、サプライチェーン全体での省エネルギー支援技術の開発にも取り組んでいる。

4. ものづくりでのインクルージョンを支える技術

製造業では、機械化や自動化によって生産性の向上が図られてきたが、昨今では消費者ニーズの多様化に伴い、必要なものを必要なだけ適時に生産する変種変量生産のような柔軟なものづくりへの注目が高まっている。そのため、機械の正確さと人の柔軟性を適所に組み合わせることが望まれるが、一方で熟練技能者の減少や、日本では高齢化社会の到来によって労働人口が不足するといった社会課題に直面している。そこで、当社では将来も持続的に製造業が発展成長していくことを目指して、様々な“人”がものづくりに関わり、高付加価値な生産活動を行うことを可能にするインクルージョンとしてのものづくりに向けた研究開発を行っている。

“人”との関わりを対象とした技術の一例としては、非熟練者の作業習熟を支援するための、デジタルトリプレットを活用した作業支援システム⁽³⁾を開発している。デジタルトリプレットは、2.1節で述べたサイバー空間でのシミュレーションや予測によってフィジカル空間の生産性を向上させるデジタルツインと、“人”である作業者の知的活動とを一体で構築するものである。従来は熟練技能者が知識や経験に基づいて行っていた作業プロセスをモデルとして記述し、サイバー空間での情報分析と組み合わせることで、フィジカル空間での作業で非熟練者が何を基準にどのように判断するか意思決定の支援を可能にする。機械加工のような熟練技能を必要とする作業に適用することで、加工工程のロス削減による生産性向上に加えて、高度な加工技術ノウハウの伝承を容易化して持続的な産業競争力強化に寄与する。

5. む す び

持続可能な社会の実現に向けた最新FA技術として、デジタル技術やAIの活用による生産性向上、環境負荷低減と脱炭素社会の実現に向けたモーター技術や加工機技術とデータマネジメントによる省エネルギー支援技術、将来のものづくりでのインクルージョンに寄与する技術について述べた。

今後も当社の幅広い事業分野で持つ技術を基にFA分野への価値をもたらす製品・ソリューションを継続して提供し続けることで、ものづくりの進化に貢献していく。

参 考 文 献

- (1) 田中博文：生産現場のIoT化を支える最新のFA技術，三菱電機技報，95，No.3，166～171（2021）
- (2) 藤田智哉，ほか：FA-IT統合ソリューションによる工作機械デジタルツインの実現，日本機械学会誌，124，No.1231，22～25（2021）
- (3) 佐藤 剛，ほか：デジタルトリプレットを活用した作業支援システム，三菱電機技報，95，No.4，268～271（2021）

産業用ロボット支援サービス “iQ Care MELFA Support”

Industrial Robot Support Service “iQ Care MELFA Support”

*名古屋製作所

要 旨

近年、製造業の生産現場では人手不足解消のため、ロボットの導入による自動化が進むとともに、更なる生産性向上や生産設備での安定稼働のニーズが高まっている。

このような状況下で、三菱電機の産業用ロボット“MELFAシリーズ”は、製品販売後、顧客の装置安定稼働のため、修理サービスを主としたアフターサービスを提供している。しかし、近年の人手不足、働き方改革及びIoT(Internet of Things)の普及によって、アフターサービスへの要望も多様化している背景があり、顧客の要望に対応する新たなアフターサービス製品を開発した。

1. ま え が き

産業用ロボットのアフターサービスに対する要望は、ロボットの使用方法や環境、メンテナンス費用、メンテナンスの考え方等によって様々である。また、近年の人手不足や働き方改革による労働時間の短縮によって、より効率的なサービスを求められている。

このようなロボットのアフターサービスへの要望に対応するため、ロボットの運用や保守／修理に至るまで、ロボットの安定稼働をサポートするサービスを構築した。

本稿では、この新たなサービス“iQ Care MELFA Support”の三つのサービス“モニタリングサービス”“点検サービス”“保証延長サービス”の特長について述べる(図1)。

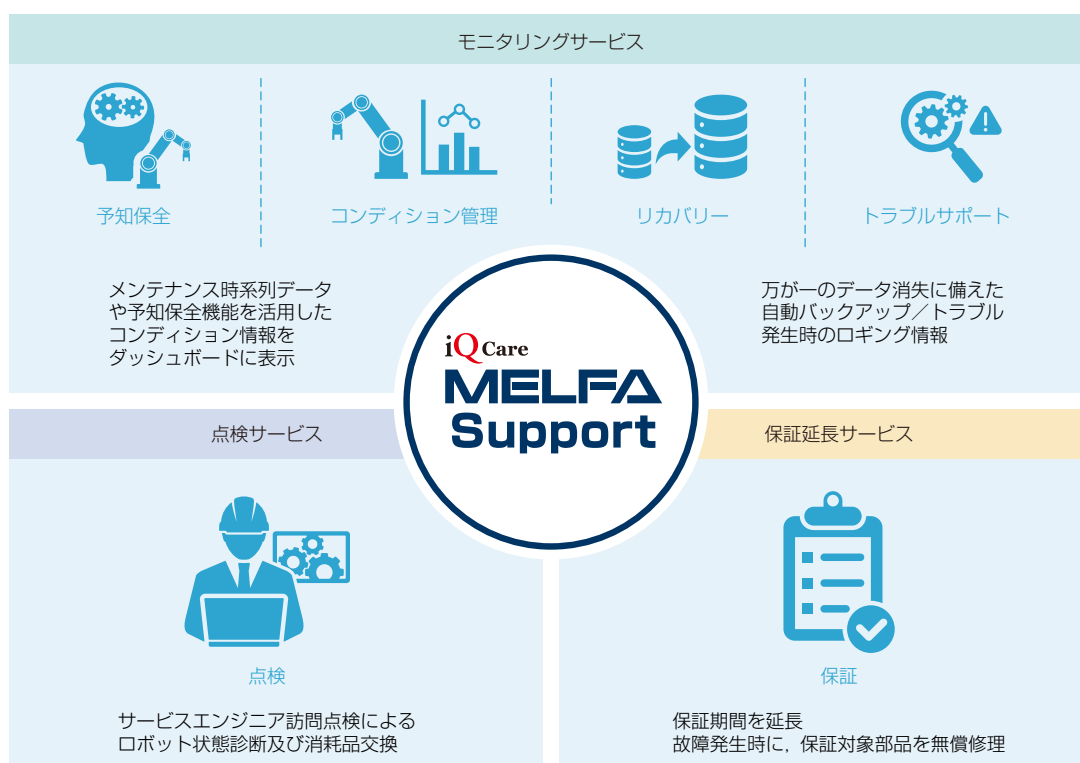


図1. iQ Care MELFA Support

2. iQ Care MELFA Support

iQ Care MELFA Supportは、三つのサービスをパッケージ化したアフターサービス製品であり、システム構築時の立ち上げだけでなく、システムの実運用、故障時の修理や保守に至るまで一連のサービスを利用できる。このサービスは当社の産業用ロボットを新規で購入する顧客向けだけでなく、既にロボットシステムを導入済みの顧客に対してもオプションとして提供する。そのため、顧客の運用環境下で既存のシステム構成を大幅に変更せずに運用できることが前提になっており、構成部品は最小限になるように開発した。

このサービスでは、システム運転中の稼働情報や保守・修理時の点検情報など、各種データが日々蓄積され、運用期間に応じて増加していく。しかしながら、MELFA FRシリーズで使用されるCR800ロボットコントローラーは、ロボットを動作させるためのMELFA BASICプログラムや制御設定を変更するためのパラメーター、登録件数が有限であるアラーム発生履歴データなど、運用上必要最小限のデータ格納領域しかストレージを確保していない。そこで、サービスを有効化するための物理キーとしてだけでなく、データストレージとして使用可能な特殊なSD(Secure Digital)カードをキーパーツとして採用することによって、顧客既存システムに手を加えることなくサービスの提供を実現した。

基本的なシステム構成としては、ロボットアーム本体とそれを制御するためのロボットコントローラー、ロボットの状態の確認やプログラム作成を支援するエンジニアリングツール(RT ToolBox3)という従来の構成に対して、サービスをアクティベーションするための情報が書き込まれたSDカードを、CR800コントローラー標準搭載のSDカードスロットに挿入するだけというシンプルな構成にした。SDカードに保存される各種情報はCSV(Comma Separated Values)形式のテキストデータでファイル化されるため、顧客の用途に沿ったデータの二次加工も容易になるように工夫している。システム構成を図2に示す。

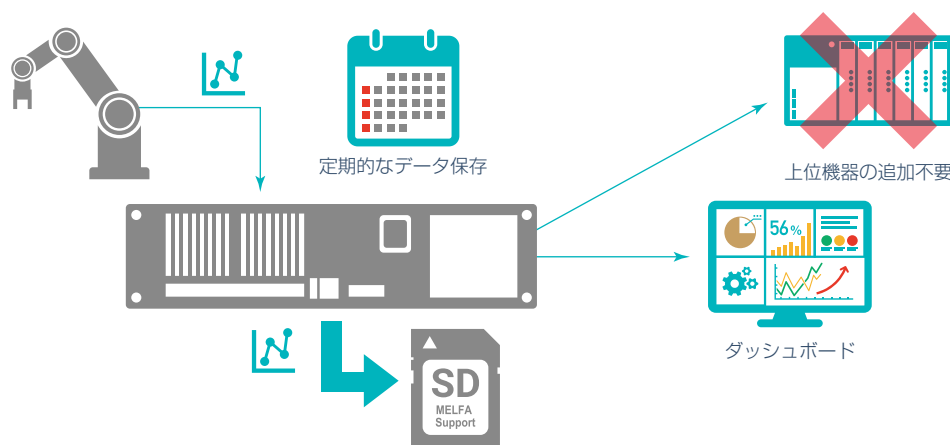


図2. iQ Care MELFA Support システム構成

3. iQ Care MELFA Supportの特長

3.1 モニタリングサービス

モニタリングサービスとは、ロボットの安定稼働に必要なロボット内の各種データをダッシュボードに集計表示し、統合的なメンテナンス情報を参照・管理するためのソフトウェアを使用可能にするサービスである。

製造業のDX(Digital Transformation)推進に伴い、FA機器の運用・保守のデジタル管理が進んでいく中、ロボットシステムを使用している既存顧客層から新規顧客層に至るまで、各種運用データのデジタル提供を目的として、複数のソフトウェア機能をパッケージ化した。

日々のロボットの稼働情報を自動集計し、毎日の運転情報やロボット構成部品の状態をモニタリング、時系列ファイル化してSDカードに保存する“コンディション管理”を基本機能としているが、さらにアフターサービスの視点から顧客に有用になる機能を提供している。

リカバリー機能は、ロボットの設定や登録プログラムを日々バックアップし、誤操作による設定変更間違いやプログラム誤編集を解消することを目的にしている。1日1回の周期でロボットのデータバックアップを自動的に実施し、SDカードの中に保存していく。バックアップデータが保存されている日付は、RT ToolBox3内に表示されるカレンダーから参照でき、任意の保存日付を選択することで、その日の状態にロボットの設定やプログラムを復元できる(図3)。

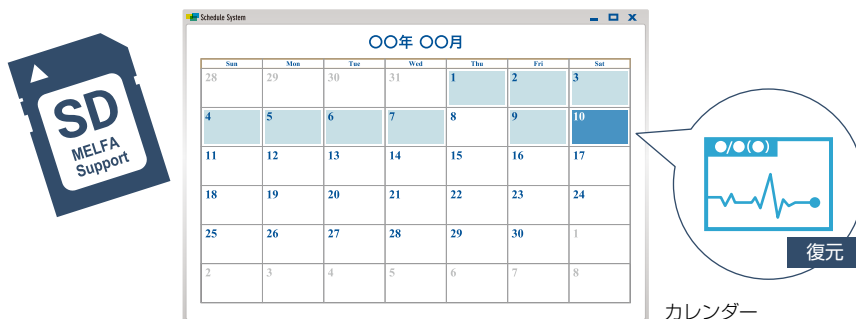


図3. リカバリー機能イメージ

ドライブレコーダー機能は、使用しているロボットに指定のエラーが発生すると、それをトリガーとしてエラー発生前後のロボットのサーボデータをログとして保存する(図4)。問題が発生した場合、発生直前の状態を含めてエラー発生原因の調査を実施できるため、調査難易度が高い問題発生時の原因解析ツールとして使用が可能である。

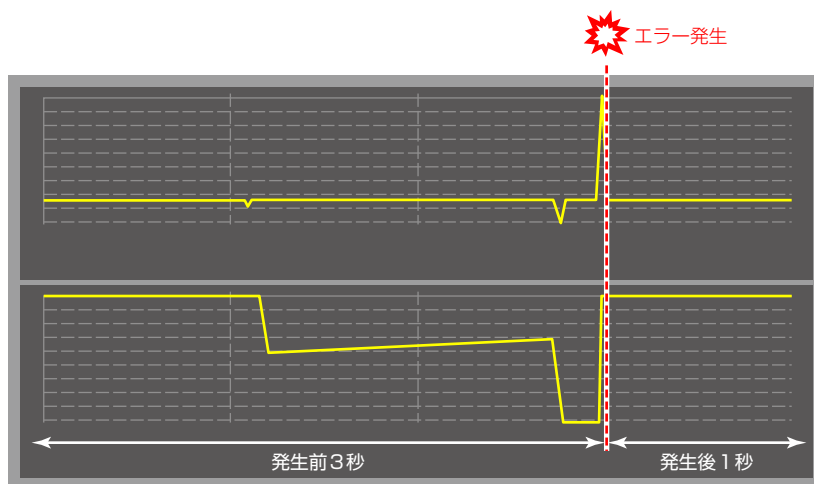


図4. ドライブレコーダー機能イメージ

予知保全機能は、ロボットの部品の異常や劣化の予兆を早期に検出することによって、ダウンタイムの削減やメンテナンス推奨時期の想定を行うことができる。この機能は、“MELFA Smart Plus”として市場から高評価を得ているAI機能を、iQ Care MELFA Supportでも使用可能にしたものである。予知保全機能を広く顧客に認知してもらうために、iQ Care MELFA Supportでも一定期間使用可能にした。iQ Care MELFA Support各サービスに継続契約するか、MELFA Smart Plusを購入することで、継続使用が可能になる。

これらの機能で生成されるデータはファイル化され、SDカード内に蓄積されていく。このデータはRT ToolBox3上でダッシュボードとして集計表示され、統合的なメンテナンス情報の管理が可能になるほか、顧客による二次加工によって、BI(Business Intelligence)ツールなどの市販ツールの活用も可能にしている。

3.2 点検サービス

3.2.1 点検サービスとは

点検サービスとは、産業用ロボットの設置場所に、当社サービスエンジニアが訪問し、ロボットの状態診断や消耗品交換等を実施するサービスである。

産業用ロボットは、多くの部品で構成している産業用機器である。また、検出機の位置情報を保存するメモリーのバックアップ電池や駆動部の稼働に伴う潤滑材(グリース等)の定期消耗部材も必要である。

そのため、ロボットの安定稼働のためには、定期的な点検によるメンテナンスが不可欠である。しかし、市場故障の分析では、メンテナンス実施の手間から定期点検作業を実施せず、その結果突発的な故障によって生産に影響が生じているケースも認められた。

この点検サービスでは、定期的なメンテナンスを当社サービスエンジニアが実施し、顧客のロボットを最適な状態に保つことで、ロボットの安定稼働を実現する。

3.2.2 点検サービスでの技術ポイント

従来の点検サービスは、サービスエンジニアの経験値による判断で判定を実施していた。例えば、稼働に伴うロボットアームのガタツキ(バックラッシュ)判定では、サービスエンジニアは、ロボットをサーボロック状態にした後、自身の手感でガタツキを確認し、異常有無を判定している。この方法は、経験値の多いサービスエンジニアであれば判断可能であるが、経験値の少ないサービスエンジニアでは判定が難しい場合が生じていた。

そのため、点検は測定器等を用いた数値化で定量的に判定可能な点検方法へと変更した。

また、ロボットコントローラーに蓄積されている内部データ(コンディション情報等)は、点検時にサービスエンジニアが目視で確認し、転記する等の作業が生じていた。そのため、この点検サービスでは、内部データを自動変換するソフトウェアを開発し、作業時間の短縮及び転記ミスを防止した。このサービスの対象になるロボットの例としては、図5に示すFRシリーズが挙げられる。



図5. 対象ロボット例(FRシリーズ)

このような点検方法の変更によるロボット状態の判定結果は、図6に示す点検報告書で顧客へ提示する。点検サービスでは、各点検項目を分類し、分類ごとに判定値を設けて、異常／正常が点検項目ごとに一目で判断可能になった。

3.3 保証延長サービス

3.3.1 保証延長サービスとは

保証延長サービスとは、製品に付属する保証期間を延長するサービスである。従来、当社ロボットの保証は、製品購入後の1年間だけに付与するものであり、期間中の故障については、無償で修理実施している(ただし、仕様外による故障は対象外)。しかし、エンドユーザーでは、設備導入後のメンテナンスコストの予測やシステムインテグレーターでの立ち上げ期間を経ての設備納入時の保証期間切れ等の課題が存在した。

この保証延長サービスについて、製品付属の1年間の保証期間を更に延長することによって、顧客の課題解決を実現した。また、既購入の顧客についても、3.2節で述べた定型化・定量化した点検サービスの判定によって問題なければ、保証延長サービスが受けられる。そのため、より多くの顧客への対応が可能になる。サービスの概要を図7に示す。



図6. iQ Care MELFA Support点検報告書



図7. 保証延長サービス

3.3.2 保証延長サービスでの技術ポイント

保証延長サービスは、保証期間を延長するというサービスの特性上、対象になるロボットの使用期間を正確に把握しておく必要がある。また、使用期間に関する情報を容易に変更できないようにする必要がある。このサービスでは、特殊なSDカード内の秘匿情報領域を使用し、利用者からは参照できないデータとして、サービスを適用したロボットの情報や使用期間情報を管理している。この領域のデータは、CR800コントローラーのファームウェアに組み込んだ特殊な処理で、SDカードメーカーから提供されるSDK(Software Development Kit)を使用して作成したアプリケーションでだけ参照可能であり、公開している情報では変更は行えない。また、この領域に保存された使用期間情報に対して、ロボットの設定情報が異常値に変更された場合は、機能を無効化し、サービスを一時的に停止するような処理を行っている。

4. む す び

産業用ロボットMELFAシリーズの顧客設備安定稼働のためのアフターサービス製品として開発したiQ Care MELFA Supportの特長について述べた。

生産性向上や生産設備での安定稼働のニーズがますます高まっていくロボット製品に対して、今後も市場要求は多様化していくと考えられる。そのため、アフターサービスの要求も多様化していくことを想定し、今後も引き続きサービスコンテンツを追加し、顧客の要望に対応するサービス施策を開発していく。

ワイヤ・レーザー金属3Dプリンター “AZ600”

Wire-Laser Metal 3D Printer "AZ600"

林 真育*

Maiku Hayashi

鷲見信行†

Nobuyuki Sumi

橋本 隆†

Takashi Hashimoto

木場亮吾*

Ryogo Koba

*産業メカトロニクス製作所

†同製作所(博士(工学))

要 旨

製造業で、Additive Manufacturing(AM, 付加製造, 3Dプリンティング)の適用が進んでいる。

三菱電機では、材料に金属ワイヤ、熱源にレーザーの組合せを国内で初めて(注1)採用した、ワイヤ・レーザー金属3Dプリンター“AZ600”を開発した。各種センサーで造形状態を検知し、加工条件や軸速度を協調させる造形プロセス制御機能を搭載し、造形の安定化と高精度化を実現している。また、当社独自の点造形を使用することで、熱歪(ひずみ)の抑制と酸化の抑制が可能である。AZ600によるAMの適用事例では、加工時間、製造コスト、材料廃棄量の削減が期待でき、カーボンニュートラルへの貢献が見込まれる。さらに、属人化された作業の品質安定化や自動化・省人化のニーズへの対応も期待できる。

(注1) 2022年2月24日、当社調べ

1. ま え が き

近年、製造業では、新型コロナウイルス感染症(COVID-19)拡大や、地政学リスクの高まりを受けて、原材料の価格高騰や長納期化が発生している。また、世界各国でカーボンニュートラルへの注目が高まっている。AMは、ニアネットシェイプ(完成品に近い状態)で素材を仕上げられることから、廃棄材料削減によるコスト低減、納期短縮、消費エネルギー量の削減などが期待できる。さらに、DfAM(Design for Additive Manufacturing, ディーフアム)と呼ばれるAMの特徴を最大限に生かしたAM専用設計を行えば、省資源化だけでなく高機能化も可能である。AMは、3D-CADデータなどのデジタルデータを使用して造形することから、装置と加工条件さえあれば、人と場所を選ばずに造形が可能なデジタル製造技術である。そのため、DX(Digital Transformation)を実現する技術としても注目されている。

これらの背景から、AMでのものづくりによって生産の課題解決から環境対応まで大きく社会貢献が可能なワイヤ・レーザー金属3DプリンターAZ600を開発した。金属ワイヤ(材料)とレーザー(熱源)を組み合わせた指向性エネルギー堆積法(DED: Directed Energy Deposition方式)には、種々のユーザーメリットがありながらも高難度な制御開発が必要なため参入可能な装置メーカーは限られている。当社の製品である“数値制御装置(CNC)”“レーザー加工機”“ワイヤ放電加工機”の技術シナジーを発揮することによって、国内で初めて(注1)ワイヤ・レーザー金属3Dプリンターを実現した。AZ600は、2022年3月から国内向けに販売開始している。

2. ワイヤ・レーザー金属3DプリンターAZ600の特徴

2.1 加工機仕様

AZ600の外観を図1(a)に、諸元を表1に示す。造形方式はDED方式を採用している。この加工機は、加工ヘッド側にXYZの直交3軸、ワーク側に傾斜軸と回転軸の2軸ロータリーテーブルを搭載し、当社製CNCによって同時5軸制御を行う。これによって、複雑な曲面やオーバーハングを持っている形状でもワーク側の姿勢を変化させることで液垂れなく安定した造形が可能である。熱源のレーザーは、連続波タイプのファイバーレーザー発振器を搭載し、出力は2kWと4kWの2機種が選択可能である。

加工点近傍の様子を図1(b)に示す。鉛直に照射されるレーザーと、ワイヤノズルから供給される金属ワイヤの交点加工点になる。加工点では、レーザーと同軸で供給されるシールドガス(アルゴン)で酸化を抑制しながら基材と金属ワイヤを同時に熔融することで一体の金属になる。金属ワイヤには市販のφ1.2mmの溶接ワイヤが使用可能である。また、金

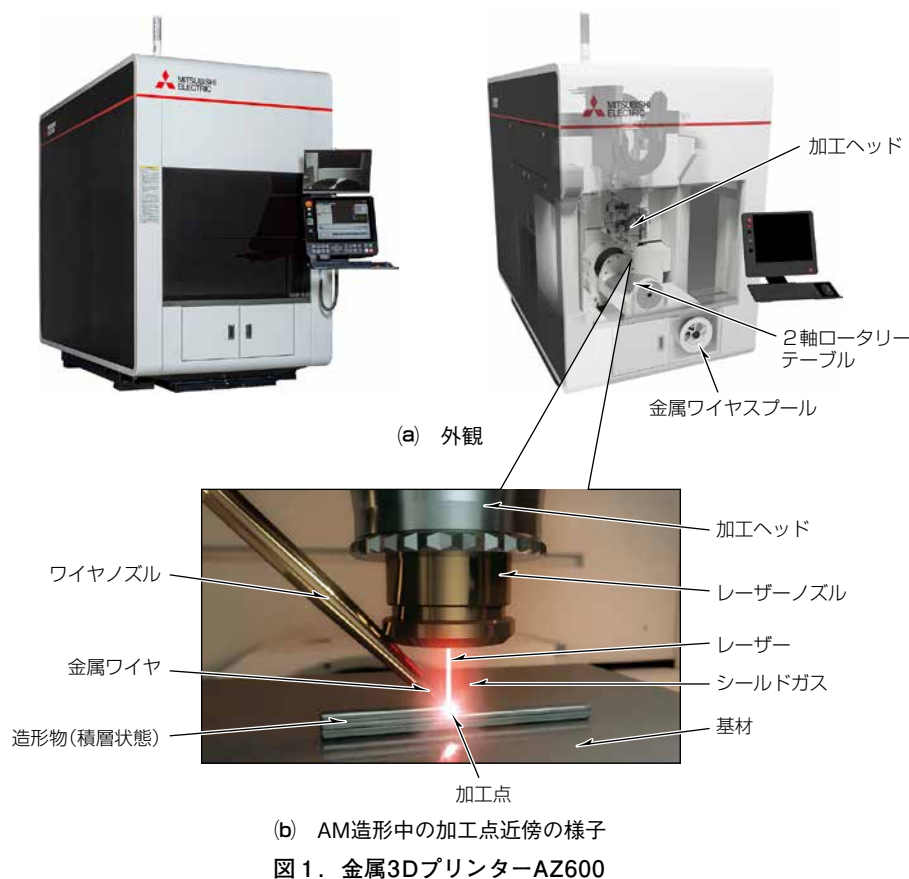


図 1. 金属3DプリンターAZ600

表 1. 金属3DプリンターAZ600の諸元

造形方式		DED方式
供給材料		金属ワイヤ(標準径：φ1.2mm)
熱源		ファイバーレーザー(CW)
レーザー定格出力		2kW又は4kW
外形	幅×奥行×高さ(mm)	1,600×2,900×2,500
	本体質量(kg)	約7,000
軸移動量	X×Y×Z軸(mm)	600×600×600
	B(A)軸(°)	±120
	C軸(°)	360
ワーク	最大サイズ(mm)	500×500×500(φ500×500)
	最大質量(kg)	500

属ワイヤのスプールは作業者足元に設置することで、交換作業の効率化と安全性を実現した。

供給材料にワイヤを用いることで、粉末の方式と比較すると、材料の取扱いがクリーンかつ安全で、造形歩留りが高く、造形物内の気孔の生成確率も低い⁽¹⁾。材質の切替えも比較的容易である。

熱源にレーザーを用いることで、他のDED方式で採用されているアークや電子ビームと比較すると、高精度な造形まで可能になる。また、電子ビームのように真空チャンバーの搭載が不要である。

2.2 モニタリング機能と造形プロセス制御機能⁽²⁾

加工ヘッドには、各種センサーやカメラが搭載されており、ワーク側の高さや、加工点に形成される溶融池の状態などをモニタリングし、加工機の操作画面に表示している。また、CNCには、造形プロセスを制御する機能を搭載している(図2)。この機能では、NC(Numerical Control)プログラムによる軸移動指令や、レーザー出力やワイヤ送給速度といった加工条件の初期の出力指令に対して、先に述べたモニタリング結果を反映する。また、造形中のワイヤ先端位置やビード幅・ビード高さなどを適正に保つように、軸移動制御・レーザー出力制御・ワイヤ送給制御を協調させて、軸移動指令や加工条件出力指令を行う。これによって、造形プロセスの安定化や造形物の高精度化を図っている。

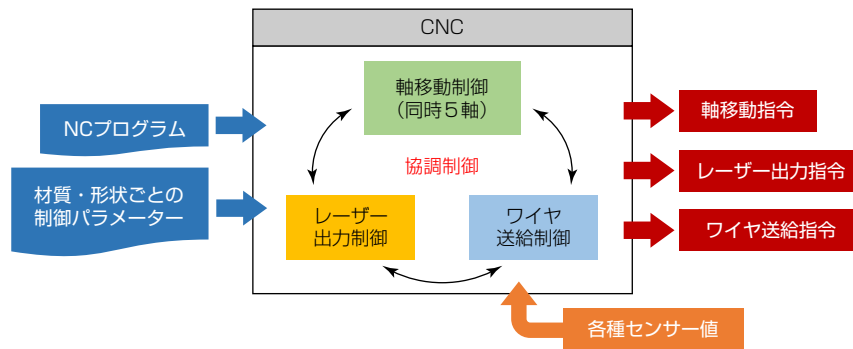


図2. 造形プロセス制御機能

2.3 造形プロセス“線造形と点造形”

この加工機では、ワイヤ送給とレーザー照射をパルス的に実施して点状のビードを形成する点造形⁽³⁾が可能である。図3に、一般的な線造形プロセスと点造形プロセスの一層の造形プロセスを示す。この層を積み重ねたり並べたりすることによって三次元に造形物を形成する。

線造形は、図3(a)のとおり、レーザー照射とワイヤ送給と軸移動を連続的に行うことで一層の線状のビードを形成する。

一方、点造形では、図3(b)のとおり、軸移動が停止中に所定時間だけレーザー照射とワイヤ送給を行うことで点状のビードを形成する。その後、NCプログラムによって指定された次の位置まで軸移動し、同じプロセスで点状のビードを形成する。これを繰り返すことで一層を形成する。

線造形は、点造形に比べると単位時間当たりの入熱量が多いため蓄熱が大きくなり、熱歪による造形精度が低下する場合があるものの、造形速度は大きいというメリットがある。

一方で点造形は、線造形に比べて造形速度は小さいものの、蓄熱による造形物への熱歪は小さく、造形精度が高い。また、加工点のシールド時間を長くできるため、チタン合金のように酸化を嫌うような材料でも酸化を抑制しながら造形できる。

それぞれの造形プロセスの特徴に基づいて、造形形状や造形箇所、要求品質に応じて線造形と点造形を使い分けて造形を行う。

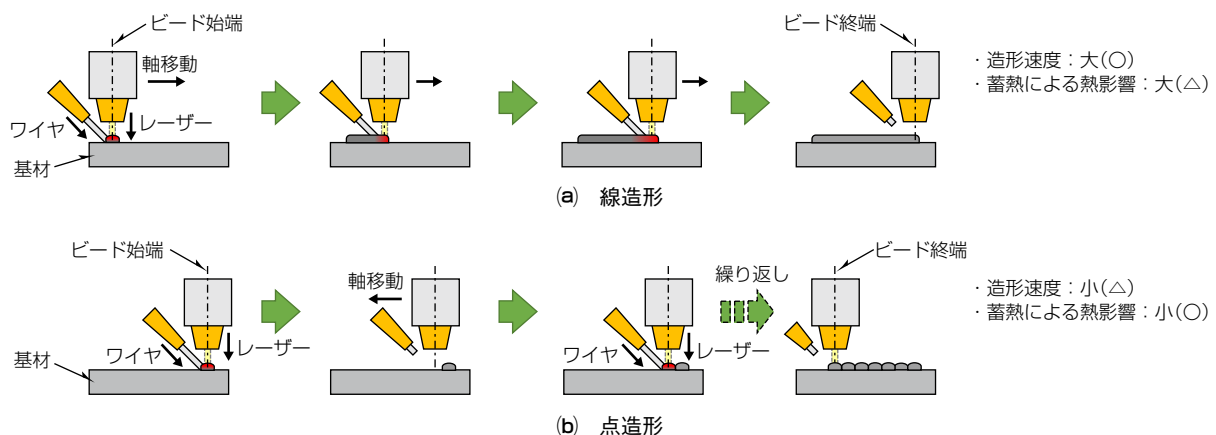


図3. 一層の造形の模式図

3. 適用効果

3.1 ニアネットシェイプ

船舶用プロペラを想定したニアネットシェイプ適用事例を図4に示す。SUS(ステンレス鋼)304のφ99mm円筒形状の基材に、SUS630のワイヤを用いて翼部分を線造形と点造形で積層造形している。なお、円筒基材も積層造形で製作する

ことは可能であるが、この場合は旋削で製作した方が早く安価に製作できる。このようにAM以外の工法を上手に組み合わせてAMのメリットを最大限に引き出すことがDEDのDfAMとして一つの要素になる。

翼先端の外径で $\phi 300\text{mm}$ であり、造形時間は3翼合計で約9時間である。その後、製品精度を得るために積層造形後の後工程として切削をしており、切削加工時間は3翼合計で約31時間である。

従来工法(切削だけ)とAM工法(積層造形+切削)の比較結果を図5に示す。図5(a)は総加工時間の比較を示している。従来工法は $\phi 312\text{mm}$ のSUS630無垢(むく)材から削り出すため、加工には約168時間かかる。一方で、AM工法はニアネットシェイプ翼を形成し、後工程の切削は荒加工を省いた仕上げ加工だけにすることで加工時間が大幅に短縮でき、合計で約40時間になる。積層造形を適用することで、従来工法に比べて約80%の加工時間短縮が可能である。

次に、材料廃棄量の比較を図5(b)に示す。従来工法は約95%が切粉とほとんどが廃棄材料になってしまう。AM工法では従来工法より材料廃棄量を96.5%も削減できるため、エネルギー消費量を抑えて、炭素排出量の削減に貢献が可能である。

最後に、製造コストの比較を図5(c)に示す。図5(b)の材料廃棄量は切削量としても見ることができ、ステンレス鋼は難削材のため、従来工法の場合は、超硬などの比較的高価なエンドミルを多量に消費して切削していく必要がある。一方で、AM工法は、消耗品としてワイヤやシールドガスが必要になるが、切削量を減らせるためエンドミル消費量が少なく、それに加えて素材体積も小さいため、78%の製造コスト削減が可能である。

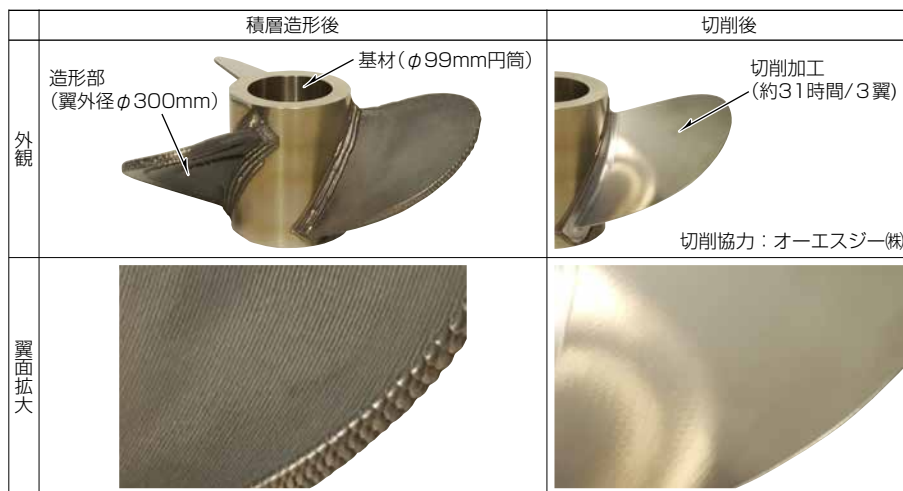


図4. AM工法による船舶プロペラ

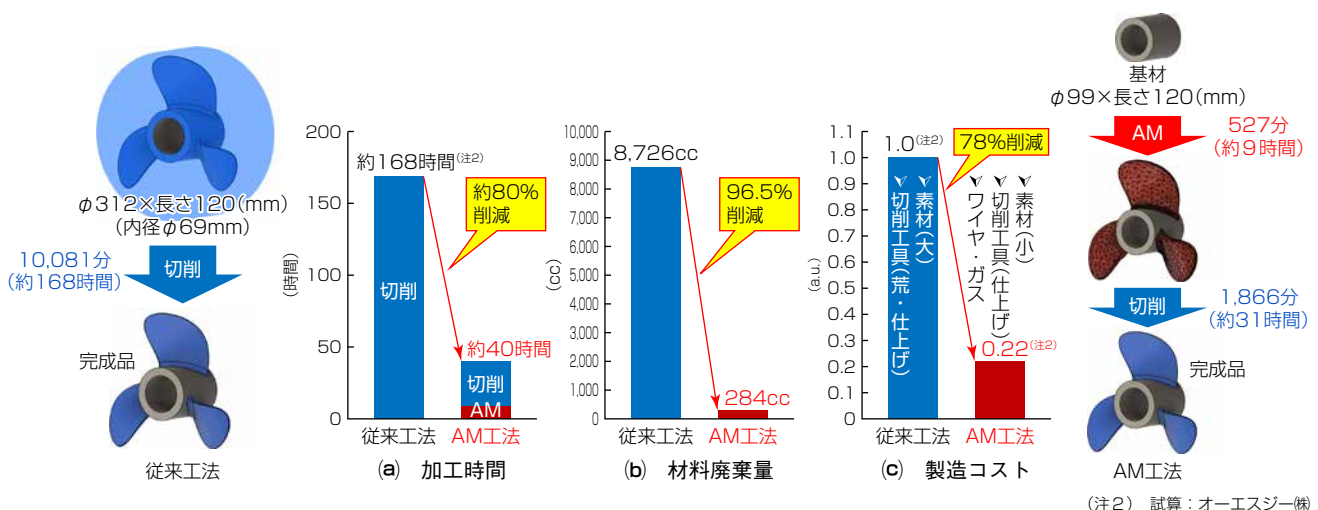


図5. 従来工法とAM工法の比較

3.2 マルチマテリアル

石油や天然ガス産業などで使用される掘削用のドリルを想定した適用事例を図6に示す。掘削ドリルは、被削材が高硬度の土砂であることに加えて、高温の海水と腐食性の高いガスが噴き出す過酷な環境で使用される。従来工法では耐摩

耗・耐食性を備えた難削材を削り出して製作することが検討されているが、時間とコストがかかって非現実的である。このためコストと長寿命化のトレードオフが課題になっている。

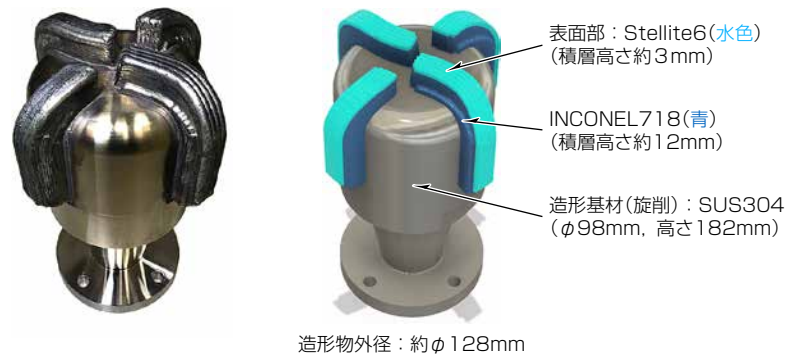


図6. 異種材によるAM工法

この適用事例では、高温下で多くの媒体に優れた耐食性を持つニッケル基合金INCONEL^(注3)718のワイヤを用いて刃本体部を積層造形後、さらに刃表面部には耐摩耗性に優れたコバルト基合金Stellite^(注4)6のワイヤを用いて積層造形でコーティングした。造形時間は合計で約2.5時間である。なお、基材には材料コスト・加工性・耐食性を勘案しSUS304を使用した。

このように必要な箇所を必要な材質にするマルチマテリアル化によって、部品の高機能化と製造コストの削減も実現できる。

(注3) INCONELは、Huntington Alloys Corp.の登録商標である。

(注4) Stelliteは、Kennametal Inc.の登録商標である。

3.3 肉盛補修及び溶接

ダイカスト金型の補修を想定した適用事例を図7(a)に示す。熱間工具鋼SKD61ワークの角部にC10の模擬欠損部を作製し、マルエージング鋼のワイヤを用いて積層造形で肉盛補修を行った。造形時間は、4分/角である。その後、造形部の一部を切削・研磨し、補修部にクラックやボイドなどの欠陥は見られず、元のワーク形状を復元できることを確認した。

また、図7(b)は開先溶接の適用事例である。開先角度が30°と狭く、深さが15mmと深いため、開先溶接の中でも難易度が高い。この事例では、長さ200mmのSUS304ワークの開先部をSUS308Lのワイヤを用いて17層の多層盛りで溶接しており、加工時間は約10分である。

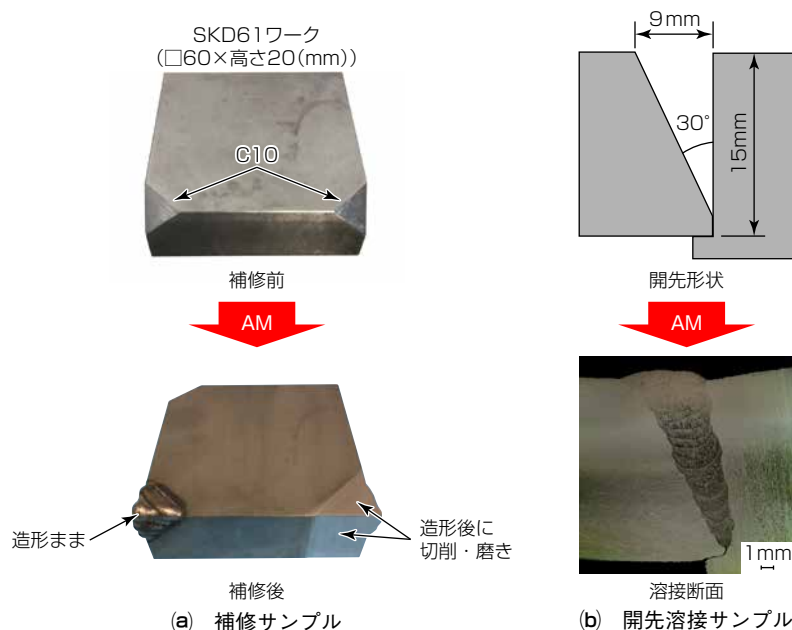


図7. 肉盛補修及び溶接

どちらの事例も、経験とノウハウを要する作業のために属人化されており、人手不足や品質が安定しないといった課題がある。これをAZ600で実施することで、品質安定化だけでなく、自動化・省人化のニーズに対応することが可能である。

4. む す び

当社のワイヤ・レーザー金属3DプリンターAZ600の特徴と適用効果について述べた。この技術は、製造時間短縮だけでなく、材料廃棄量や工具消耗量を抑えることができ、カーボンニュートラルへの貢献が期待できる。

AM技術の普及のためには、AM技術の特徴を正しく認識することが必要である。当社でも、顧客とAM技術の相互理解の下、AZ600を用いたAM工法の適用を拡大していく。また、市場ニーズに合わせて加工機の高機能化に取り組んでいくことで、より大きな利用価値を顧客へ提供できるよう開発を進める。

参 考 文 献

- (1) 小泉雄一郎, ほか: 金属系材料の3次元積層造形技術の基礎, まてりあ, **56**, No.12, 686~690 (2017)
- (2) 鷺見信行: ワイヤ・レーザー金属3Dプリンタ「AZ600」の特徴と適用効果, 型技術, **37**, No.6, 58~61 (2022)
- (3) 森田大嗣, ほか: レーザーワイヤ指向性エネルギー堆積法(DED)方式金属3Dプリンタによる点造形技術, レーザー学会誌, **48**, No.8, 431~435 (2020)

電子式電力量計“M8HMシリーズ”

Electronic Watthour Meter "M8HM Series"

*福山製作所

要 旨

近年、人手不足の解消や働き方改革での業務効率化を目的に自動検針システムの需要が高まっている。自動検針システムに対応する電力量計のラインアップを強化するため、スマートメーター機能(30分値機能、通信機能)を搭載した“M8HMシリーズ”を開発した。主な特長は次のとおりである。

- (1) 30分/10分/1分ごとの電力量管理機能を搭載している。
- (2) MODBUS^(注1) RTU(Remote Terminal Unit)通信及びB/NET伝送に対応している^(注2)。上位システムから計測データ及び計器管理データの取得が可能である。
- (3) 双方向計量計器をラインアップしている。
- (4) 設置前・設置後の計量値の確認が可能である^(注2)。
- (5) モバイル検針に対応している^(注2)。モバイル端末から計量値の取得が可能である。

(注1) MODBUSは、Schneider Electric USA, Inc.の登録商標である。

(注2) 別売りのオプションモジュールが必要である。

1. ま え が き

自動検針システムの需要の高まりに対応するため、従来の電子式電力量計“M8Pシリーズ”の後継機種として、取付互換・配線互換を持ちつつ、スマートメーター機能を搭載したM8HMシリーズを開発した(図1)。M8HMシリーズは配電盤への設置に適しており、低圧～高圧まで幅広く使用される。顧客の多様な要望に対応するため、通信機能のオプション化などを織り込んで、用途に合わせた機能の拡充・選択が可能な電力量計になっている。ラインアップを表1に示す。



図1. スマートメーター機能(電力量の30分タイムデータ、通信機能)を搭載したM8HMシリーズ

表 1. 電子式電力量計のラインアップ

シリーズ名	M2PMシリーズ	M8FMシリーズ	M8HMシリーズ
取付方法	表面形・埋込形	表面形	埋込形
主な用途	誘導形電力量計置き換え	分電盤設置	配電盤設置
モバイル検針	○	○	○
通信機能	×	○(本体一体型)	○(オプション)
30分値機能	×	○	○
双方向計量計器	×	○	○
外観			

2. M8HMシリーズ

2.1 製品仕様

M8HMシリーズの主な仕様を表2に示す。電子式電力量計M8Pシリーズと同様に、普通電力量計(単相2線式、単相3線式、三相3線式、三相4線式)、精密電力量計(三相3線式、三相4線式)、無効電力量計(三相3線式、三相4線式)をラインアップした。また、三相4線式及び無効電力量計を除いて、単方向計量計器又は双方向計量計器を選択することが可能である。

表 2. M8HMシリーズの主な仕様

計器の種類		普通電力量計			精密電力量計		無効電力量計		
形名 ^(注3)		M7HM-S2VT(R)	M8HM-S2VT(R)	M9HM-S2VTR	WP3HM-S2VT(R)	WP4HM-S2VTR	WV3HM-S2VR	WV4HM-S2VR	
相線式		単相 2 線式	単相 3 線式 三相 3 線式	三相 4 線式	三相 3 線式	三相 4 線式	三相 3 線式	三相 4 線式	
耐候性能		屋内耐候							
定格電流(A)		/5							
計測データ		電力量，電圧，電流，電力，無効電力，力率							
タイムデータ ^(注4)		30分タイムデータ：30分ごとの電力量を当日含む45日分記憶							
		10分タイムデータ：10分ごとの電力量を当日含む21日分記憶							
		1分タイムデータ：1分ごとの電力量を48時間分記憶							
表示	計量値		6桁表示						
	状態表示		動作・無負荷・逆電流				動作・無負荷		
	誤結線 判別	中性線	—	計量値が点滅 (単相 3 線式)	計量値が点滅	—	計量値が点滅	—	計量値が点滅
		誤接続相	誤接続相を表示						
外形寸法(mm)		W72×H144×D104.5(盤内奥行き94.5)							
質量(kg)		0.7							
停電補償		計量値：停電時に不揮発性メモリーに記憶し，復電時に再表示 表示：停電時は消灯 ^(注5)							

(注3) M7HM-S2VTR, M8HM-S2VTR, M9HM-S2VTR, WP3HM-S2VTR, WP4HM-S2VTRは単方向計量計器である。

末尾Rは逆方向電流の場合に計量しないことを示す。

M7HM-S2VT, M8HM-S2VT, WP3HM-S2VTは双方向計量計器である。

(注4) タイムデータの設定は通信によって行う。(初期値：30分)

(注5) 別売りの電池モジュール又は停電時表示用電源モジュールを装着した場合、点灯する。

2.2 製品コンセプト

2.2.1 スマートメーター機能(電力量タイムデータ、通信機能)に対応

スマートメーターの機能である電力量タイムデータ(30分値/10分値/1分値)の保持機能とMODBUS RTU通信及びB/NET伝送による上位システムとの通信機能を搭載した。図2のように、通信機能によって電力量タイムデータを取得することで、きめ細かなエネルギー監視・時間帯別計量が可能である。

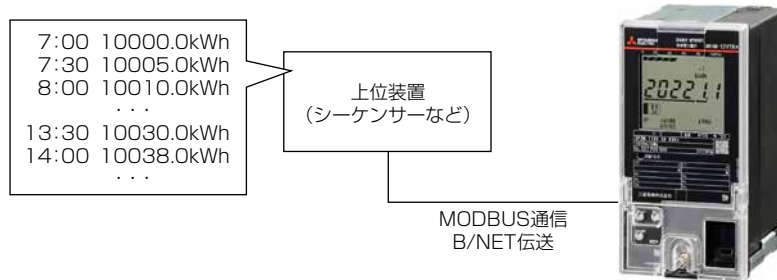


図2. 通信による30分タイムデータの収集

2.2.2 モバイル検針に対応

別売りのモバイル用検針モジュールと組み合わせることで、Bluetooth^(注6) Low Energy通信によってモバイル端末(タブレット・スマートフォン)で使用電力量の収集が可能である(図3)。誤検針(読み取りミス・転記ミス)の防止や検針データの管理をサポートする。

(注6) Bluetoothは、Bluetooth SIG, Inc.の登録商標である。

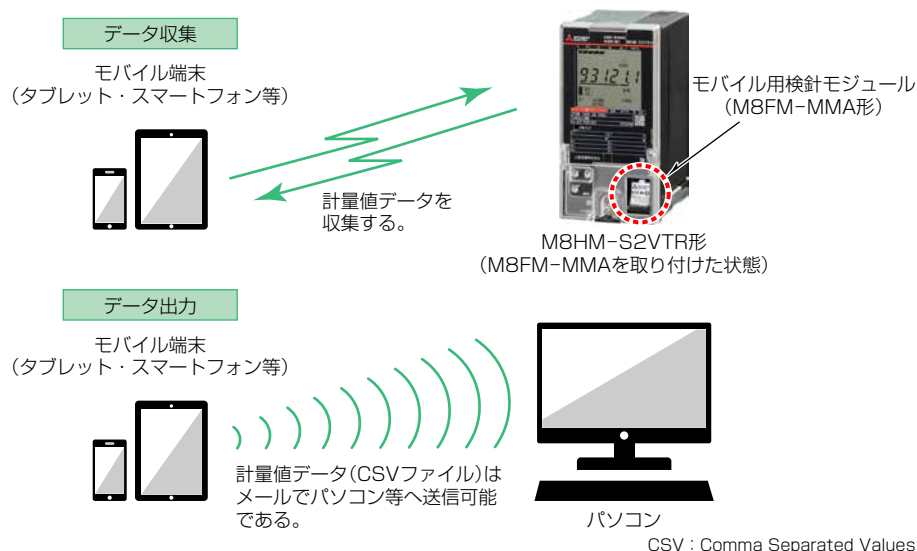


図3. モバイル検針

2.2.3 双方向計量計器のラインアップ

従来、順方向電流と逆方向電流の電力量を計量する場合、電力量計が2台必要であった。双方向計量計器は1台で順方向電流と逆方向電流の電力量を計量することが可能であるため、盤の省スペース化に貢献する(図4)。

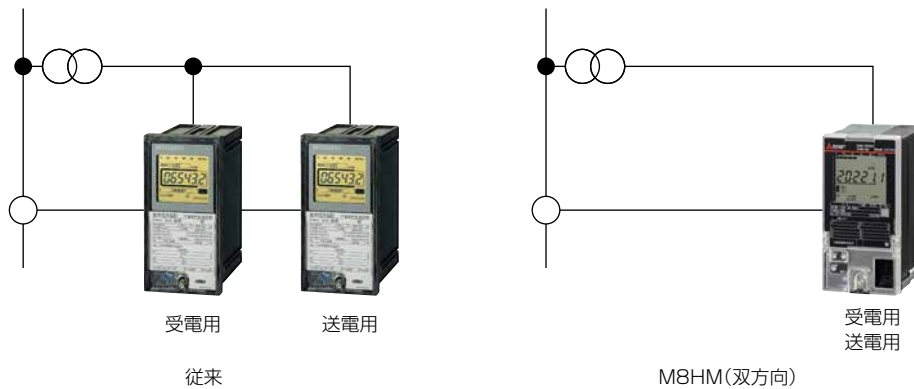


図4. 双方向計量計器のメリット

3. 特長及び製品化のための技術

3.1 設置作業の省力化

3.1.1 通信機能のオプションモジュール化

従来の電子式電力量計M8FMシリーズでは、MODBUS RTU通信やB/NET伝送といった通信機能は本体に内蔵しており、通信の種類に応じて電力量計本体を購入する必要があった。M8HMシリーズでは、通信機能をオプションモジュール化し、電力量計本体を共通にすることで設置時に通信機能の選択が可能になった(図5)。

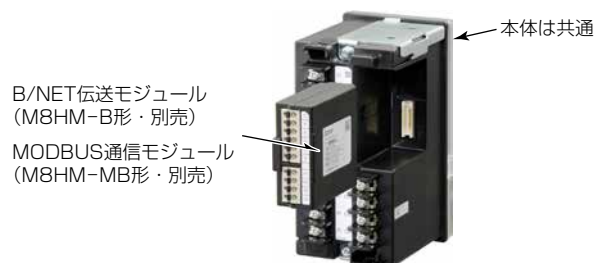


図5. オプションモジュールの取付け

3.1.2 アドレス設定の省力化

MODBUS RTU通信やB/NET伝送を使用するには、端末ごとに別々のアドレスを設定する必要がある。従来、端末1台ずつに対して手作業でアドレスを設定するため、設定作業に時間を要して、設定ミスが発生する可能性があった。M8HMシリーズでは、従来の設定方法に加えて、通信機能を用いた設定方法を実現した(図6)。

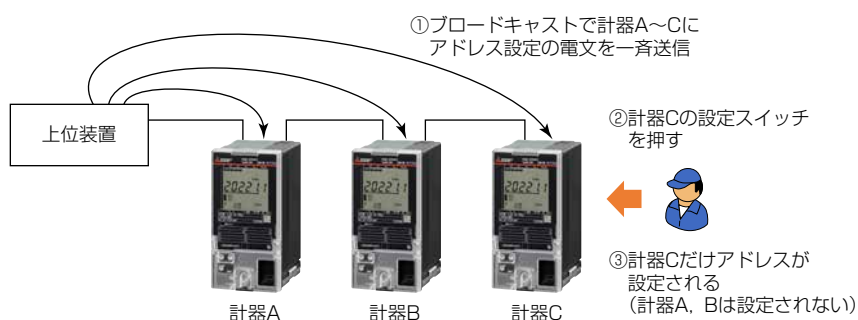


図6. アドレス設定の省力化

まず、上位装置から設定したいアドレス(電文)をブロードキャストで送信すると、計器の液晶表示が5秒間切り替わる。その間に、計器の設定スイッチを1回押すとアドレスが確定する。設定スイッチを1回押すだけでアドレスを設定できるため、従来に比べて、アドレス設定作業の省力化を図ることが可能である。

それに加えて、B/NET伝送モジュール組合せ時には、事前に上位装置へ製造番号とアドレスを登録しておくことで、設定スイッチの操作不要でアドレスを自動設定することが可能である(図7)。

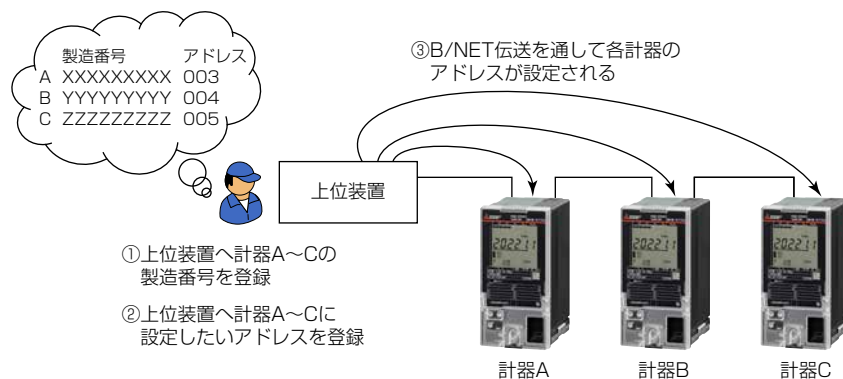


図7. B/NET伝送によるアドレス設定

3.1.3 誤結線判別機能の拡張

設置時に接続間違いをした場合、正しく計量ができず、課金トラブルが発生する。M8HMシリーズについても、M2PMシリーズやM8FMシリーズで好評を得ている誤結線判別機能を搭載した。誤結線状態の液晶表示に加えて、別売りのオプションモジュール装着時には、MODBUS RTU通信やB/NET伝送を通して収集可能であるため、誤接続状態を遠隔で一括監視することも可能である。

3.1.4 テストパルス出力機能の搭載

従来、電力量計本体とパルス受量器の接続を確認するためには、パルスが出力されるまで電力量計を計量させる必要があった。M8HMシリーズではテストパルス機能を搭載しており、設定スイッチの操作によって通電中^(注7)の任意のタイミングでテストパルスを出力させ、パルス受量器との接続確認が可能である。

(注7) 電池モジュール及び停電時表示用電源モジュール接続時は操作不可である。

3.1.5 発信装置(パルス出力)と通信機能の並行使用

通信機能付き電力量計のM8FMシリーズでは発信装置(パルス出力)か通信機能(MODBUS RTU通信及びB/NET伝送)のどちらか一方だけ使用可能であった。M8HMシリーズでは、本体に発信装置(パルス出力)を備えており、オプションモジュールで通信機能を追加した場合でも引き続き発信装置(パルス出力)が利用可能である。

3.2 信頼性向上

3.2.1 不揮発性メモリー2面化による信頼性向上

計器の計量値は電気の料金取引で使用されており、計量値データが破壊された場合、ユーザーに多大な損害を与えてしまうおそれがある。計量値などのデータを記憶している不揮発性メモリーを2面化(ミラーリング)することで、データの信頼性を向上させた(図8)。

3.2.2 ロータリースイッチの廃止

従来の電子式電力量計M8Pシリーズでは、未検定品の合成変成比(VT(Voltage Transformer)/CT(Current Transformer)一次側定格)をロータリースイッチで変更できたが、ロータリーの位置ずれによって意図しない設定になるリスクがあった。M8HMシリーズではロータリースイッチを廃止し、プッシュスイッチによる設定方式にした(図9)。これ

によって、通電時や電池モジュール取付け時に画面表示を見ながらVT一次電圧／CT一次電流を設定でき、設定間違いを防止できる。

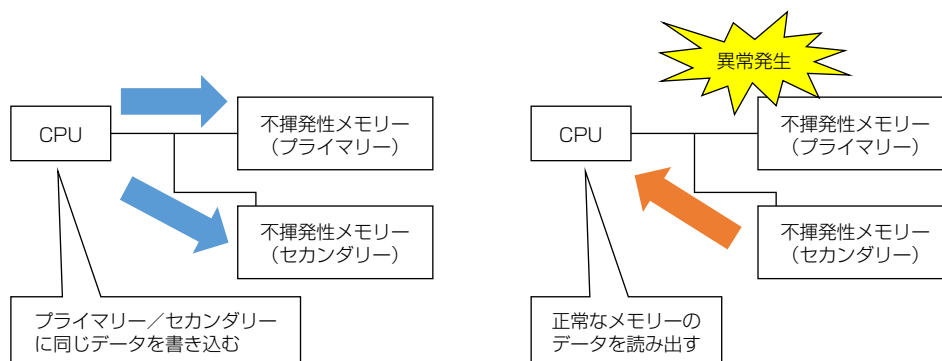


図8. 不揮発性メモリのミラーリング

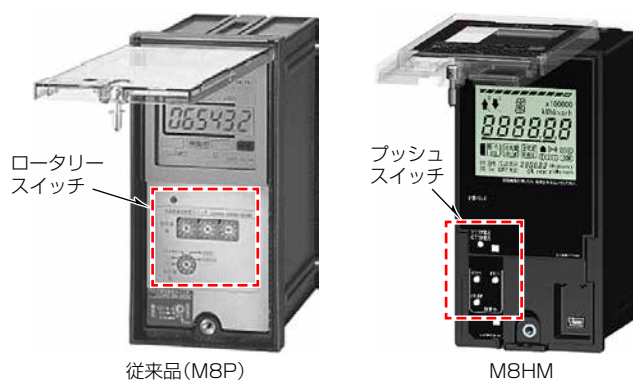


図9. VT／CT一次側定格の設定方法

4. む す び⁽¹⁾⁽²⁾

スマートメーター機能を搭載したM8HMシリーズについて述べた。M2PMシリーズ、M8FMシリーズを含めて、電子式電力量計のラインアップ強化が完了したため、今後は上位システムの拡充による検針システムの強化を目指す。

参 考 文 献

- (1) 植野 岳：電子式電力量計“M2PMシリーズ”，三菱電機技報，92，No.4，261～264（2018）
- (2) 平方健吾，ほか：電子式電力量計“M8FMシリーズ”，三菱電機技報，95，No.3，208～211（2021）

三菱電機株式会社