

三菱電機技報

4

2026
Vol.100 No.4

インダストリー・モビリティ

No.4

特集	インダストリー・モビリティ	Industry & Mobility
巻頭言		
FAの基盤技術 —工作機械の視点から— 松原 厚	1-01	Foundations of Factory Automation —From the Perspective of Machine Tools— Atsushi Matsubara
見える化アプリケーション “データナビゲートアプリ” 藤永貴久・成井徹志	2-01	Visualization Application “DataNavigateApp” Takahisa Fujinaga, Tetsushi Narui
生産現場の無線化を実現するWi-Fi 6E対応 無線LANアダプタ“NZ2WL-JPGNA” 櫻井大輔・武安政明・古家康太郎・竹内大祐	3-01	Wi-Fi 6E Supporting Wireless LAN Adapter “NZ2WL-JPGNA” for Wireless Connectivity in Production Environments Daisuke Sakurai, Masaaki Takeyasu, Rentaro Furuie, Daisuke Takeuchi
新型ワイヤ放電加工機“MGシリーズ” 林 克彦・岡田文太・関本大介・近久晃一郎	4-01	New Wire-Cut Electric Discharge Machining “MG Series” Katsuhiko Hayashi, Bunta Okada, Daisuke Sekimoto, Koichiro Chikahisa
第3世代MCU(L型：全長短縮)の開発・量産化 恒岡雅也・川口貴久	5-01	Development and Mass Production of 3rd-Generation L-shaped MCU Masaya Tsuneoka, Takahisa Kawaguchi
車室内モニタリングの課題と対策 熊谷太郎・甫天翔悟	6-01	Issues and Countermeasures in In-vehicle Monitoring System Taro Kumagai, Shogo Hoten
ターボチャージャー用電制アクチュエーターの トランスアクスル用途への展開 高居孝輔	7-01	Turbocharger Electric Actuators for Transaxle Applications Kosuke Takai

執筆者の所属は執筆時のものです。
本号に記載されている会社名、製品名はそれぞれの会社の商標又は登録商標です。

三菱電機では、サステナビリティ経営を実現する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」を設定しています。

三菱電機技報ではこのビジネスエリアを中心に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“インダストリー・モビリティ”をご紹介します。

巻頭言

FAの基盤技術 —工作機械の視点から—

Foundations of Factory Automation
— From the Perspective of Machine Tools —



松原 厚 *Atsushi Matsubara*

摂南大学 理工学部 特任教授

Specially Appointed Professor, Faculty of Science and Engineering, Setsunan University

ここ数年はAI、そして昨今はアンドロイドや人型ロボットが大きな注目を集めている。ロボット研究者からは、AIの登場によって研究スタイルそのものが大きく変化してきているという話を聞く。とりわけ、“基盤モデル”と呼ばれる言語モデルを中核に据え、その上にさまざまな機能を実装していくという流れが主流になりつつある。人型ロボットについては、中国のロボットが展示会の話題の中心となっている。そのアクロバティックな動きが注目を集めるが、これをどのようにFAに使うのかは、生産技術者にとっての中心課題であろう。

話は変わるが、先日、通勤途中で工事現場に遭遇した。そこでは、2台のショベルカー(大・小型)、運転手2人、作業員2人、監視員1~2人が作業にあっていた。大きなショベルカーは、大きな穴から土を掘り出す役割を担い、運転手は単純なレバー操作だけで作業を進めていた。この工程では、土が存在すると想定される領域にショベルを動かせばよく、近くの鉄柱を避けながら行う作業も含めて、画像認識を用いれば自動化できそうである。

一方で私が注目したのは、小型のショベルカーと作業員の組合せである。すでに掘削された小さな穴に残った土を、作業員が集め、取り出しやすい位置にまとめ、それをショベルカーがすくい上げていた。作業員は、“穴に入る”、“中を移動する”、“土を見つけてショベルで集める”、“穴から出る”という一連の行為を自然に行っている。旧来の自動化の考え方であれば、“土を見つけてショベルで集める”機能をショベルカー側に持たせることになる。しかし最近のトレンドでは、この役割をロボットが担うことが期待されている。そのためには、①多様で精密な作業が可能なロボットの開発、②作業手順を教え込むこと、さらにその上位の③作業工程そのものをロボットに見つけ出させることが必要になる。ここで私は、“なぜそこまでしてロボットにやらせたいのか?”という疑問を持った。

このとき思い出したのが、橋本毅彦先生の“ものづくり”の科学史(講談社)に紹介されている米国式製造方式の黎明(れいめい)期の話である。1860年頃にブラウン&シャープ社が開発した万能フライス盤は、ミシン部品加工用として生まれ、改良を経て多様な産業に広がった。職人のすり合わせに依存していた作業は分割され、自動化のための専用工作機械が次々と開発された。加工機開発が専門化されることで、技術の深化と応用の効率が向上し、それが他分野へ横展開していった。

重要なのは、技術の縦方向の深化と横方向の展開が、工作機械を媒介として同時に起こった点である。これこそが、ロボットに作業を担わせたい本質的な理由であろう。橋本先生の著書には1941年には米国に570もの工作機械メーカーが存在したことも紹介されている(その後、ほとんどは淘汰(とうた)されている)。現在、中国の人型ロボット関連企業数はこれを大きく上回ると聞く。過去に工作機械業界で起こったことが人型ロボット業界で再現されているのかを見極めるには、工場においてロボットが担える専門作業と、その波及の仕方を観察していく必要がある。それが明確になったとき、FAの基盤技術が誕生したと言える。以上が、工作機械に携わってきた一研究者としての私の意見である。

見える化アプリケーション “データナビゲートアプリ”

Visualization Application “DataNavigateApp”

*名古屋製作所(博士(理学))
†同製作所

要 旨

製造現場の設備レベルで稼働状況の監視や生産性の分析を行う、見える化アプリケーション“データナビゲートアプリ(DataNavigateApp)”を開発した。MELSEC iQ-RシリーズのシーケンサCPUとC言語インテリジェント機能ユニットを使って稼働信号や電力量を収集し、稼働状況やエネルギー消費量を、パソコンやタブレットのWebブラウザで表示できる。監視に必要な信号の割り付けもWebブラウザから行うことが可能になり、設備の見える化システムの導入が容易で、立ち上げの労力軽減が期待できる。

1. ま え が き

効率の良い生産活動を実現するには、稼働率や生産性、品質を低下させる要因を捉えて、その影響を抑えたり取り除いたりするための対策や改善を行い、対策や改善の効果を確認し、対策を見直して、さらに別の要因の改善を行う、というアプローチが求められる。要因や現状の把握は、設備の稼働状態や動作サイクルなどのデータを収集し分析する。これによって、設備の“見える化(注1)”を実現する。

一方、近年の製造現場では人手不足・スキル不足といった組織の対応力の課題が見える化システムの導入の障壁になる傾向がある。こうした製造現場の課題を解決するため、特別なスキルがなくても簡単に導入可能な、見える化アプリケーション“データナビゲートアプリ”を開発した(図1)。

本稿では、データナビゲートアプリの主な特長について述べる。

(注1) 本稿では“見える化(可視化)”“観える化(分析)”“診える化(改善)”を包含する意味として用いる。

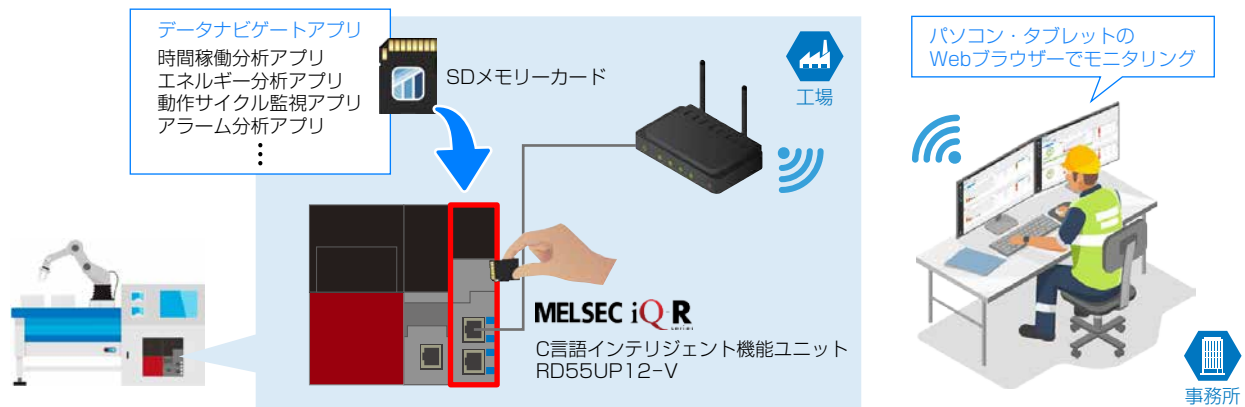


図1-データナビゲートアプリのシステム構成と利用イメージ

2. データナビゲートアプリの特長

データナビゲートアプリの特長を次に述べる。

2.1 シンプルな設定

生産現場の設備データを収集し、稼働状況をみえる化するためには、大抵は導入対象のみえる化システム専用の設定

ツールを使用し、監視に必要な各種設定を行わなければならない。また、見える化システム側で必要になるデータを設備側が持っていない場合、設備側でデータを加工する必要があるため、データ加工用のプログラムを作成しなければならない。

データナビゲートアプリは、Webアプリケーションとして開発したため、汎用のWebブラウザを使って設定できる。簡単なデータ加工処理機能も持っているため、Webブラウザ上での直感的な操作で初期設定ができる。また、Webブラウザで閲覧可能なユーザヘルプページも搭載しており、ツールチップを多用した視覚的なサポートによって設定操作の負担軽減を図っている。データナビゲートアプリの監視条件設定画面を図2に示す。



図2-データナビゲートアプリの監視条件設定

2.2 どこからでもモニタリング

FA機器は専用の表示器を使って操作することが多い。設備のすぐ近くにタッチパネル式の画面を配置し、画面データを専用のエンジニアリングツールで作成して、設備の運転操作や監視を行う。データナビゲートアプリはWebサーバーとしての機能を持っており、同一ネットワーク上に接続したパソコンやタブレット端末でアプリ画面を表示することが可能である。そのためデータナビゲートアプリは、現場から離れた事務所などのように、設備のすぐ近くにいなくても稼働状況を確認できる。

2.3 簡単なデータ収集

データナビゲートアプリは、CPUユニットのデバイスメモリに格納されたデータをバス通信で収集し、設備状態に見える化する。複数の設備を監視する場合、CPUユニットのシンプルCPU通信機能を活用するとパラメーター設定だけでデータを容易に収集でき、通信手順の実装やラダープログラムの追加は不要である。

3. データナビゲートアプリのユースケース

データナビゲートアプリは、設備の稼働監視の基本となる4種類のアプリケーションをラインアップしており、次のようなユースケースで使用できる。

3.1 設備の稼働率の改善

設備の稼働、停止、非稼働などといった設備の稼働状態の可視化・分析は“時間稼働分析アプリ”(図3)で行うことができる。収集したデータを基に、時間稼働率や稼働状態のガントチャート、非稼働要因のパレート図などを表示する。グラフ表示はシンプルなデザインにして、ツールチップを用いて直感的な操作で詳細な情報を表示する。例えば図4のように、ガントチャートはマウスオーバーすると非稼働要因の発生・終了時刻を具体的に表示するほか、パレート図はアラームの名称や割合を表示する。

稼働率改善のユースケースとして、まず稼働率低下の原因になる非稼働要因をパレート図であぶり出す。次に工程や設備動作上の非稼働要因を引き起こす問題を改善し、改善後も同様にデータを収集する。データナビゲートアプリのデータ比較画面を活用し、改善の前後で稼働率向上の効果が得られたかを確認できる。



図3-時間稼働分析アプリ

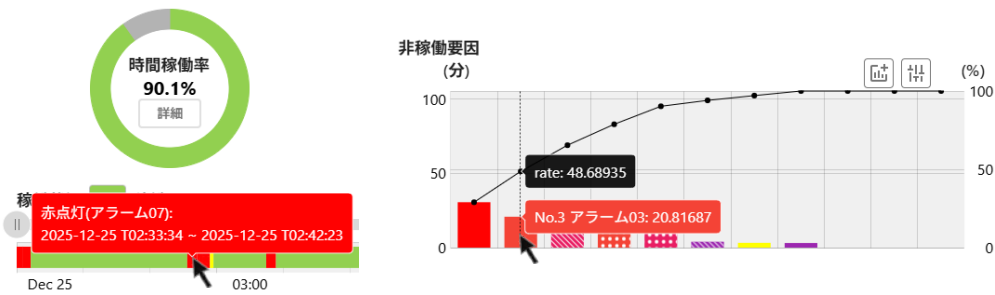


図4-マウスオーバーで表示されるツールチップの例

3.2 設備の消費エネルギーのムダ削減

設備が休憩時間中に停止しているにもかかわらずエネルギー消費量が変わらない場合や、オペレーターの習慣や作業上の傾向、日中と夜間の外気温の影響で設備のエネルギー消費量に変化する等といった、時間帯に依存した変化を捉えるのには、“エネルギー分析アプリ”(図5)を用いる。エネルギー分析アプリを使って、電力量やエア流量などの設備のエネ

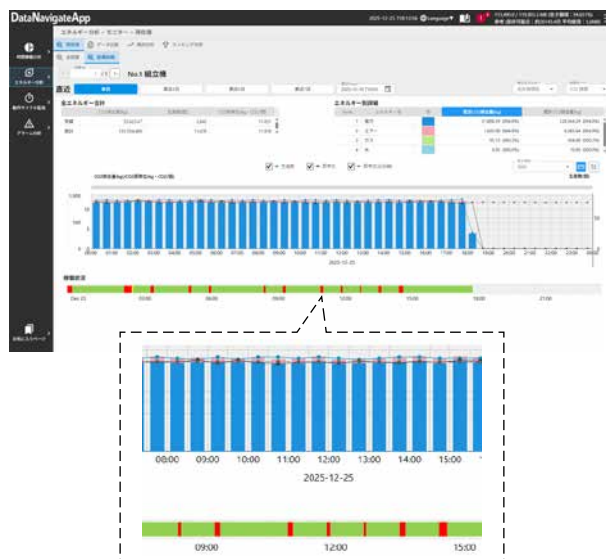


図5-エネルギー分析アプリ

ルギー消費量を可視化・分析でき、CO₂排出量やエネルギーコストに換算する機能も持つ。エネルギー消費量の推移を棒グラフで表示し、エネルギー消費が多い時間帯を一目で把握できる。時間稼働分析アプリと組み合わせて、非稼働要因とともに分析もできる。

3.3 シリンダー故障の予知保全

シリンダーなど毎回決まった動作を行うアクチュエーターで、経年とともに動作時間が次第に長くなる傾向がある場合、あるしきい値を超過したら寿命が近づいていると判断しシリンダーを交換するなど、設備の予期せぬ中断や長時間の生産停止を防ぐことができる。このような監視を“動作サイクル監視アプリ”で行うことが可能である。

動作サイクル監視アプリでは、周期的な動作のサイクルタイムを監視する。しきい値を設定し、動作時間がしきい値を超過すると画面上の状態表示で把握できるほか、CPUユニットのデバイスへ通知することが可能である。

しきい値は監視対象の動作のばらつきを考慮し、マージンを持たせて設定する必要がある。しきい値算出のために動作時間を設定した回数を収集し、その平均や標準偏差からしきい値を決定する機能も持つため、経験や勘に頼ったしきい値設定ではなく統計的なアプローチで決定することが可能である。

4. む す び

データナビゲートアプリの市場投入によって、設備レベルの見える化をより多くの人に取り組むことが可能になった。目の前の生産活動の維持に精一杯で、DX(Digital Transformation)やIoT(Internet of Things)の技術力不足を理由に導入の優先度を上げられなかった生産現場にも見える化の導入・立ち上げが簡単になった。現在は稼働監視に重点を置いたアプリケーション構成であるが、今後は生産状況の分析など新しいラインアップを開発し、製造業全体の生産性最大化に貢献する。



生産現場の無線化を実現するWi-Fi 6E対応無線LANアダプタ“NZ2WL-JPGNA”

櫻井大輔*
Daisuke Sakurai
武安政明*
Masaaki Takeyasu
古家廉太郎*
Rentaro Furuie

竹内大祐*
Daisuke Takeuchi

*名古屋製作所

Wi-Fi 6E Supporting Wireless LAN Adapter “NZ2WL-JPGNA” for Wireless Connectivity in Production Environments

要 旨

製造業の少量多品種化に伴い、柔軟な生産ライン構築のため無線化の需要が高まっている。製造現場での無線ネットワークは、ノイズや電波干渉による通信の不安定性が課題である。Wi-Fi^(注1) 6E対応無線LANアダプタ“NZ2WL-JPGNA”は、6GHz帯対応、メッシュ機能、ローミング機能によって外乱に強い安定通信を実現し、CC-Link IE TSNフレーム優先送信機能で三菱電機FA機器との高い親和性を確保する。これによって、既存設備への容易な無線導入が可能になり、製造現場の柔軟性向上と生産性改善に貢献する。

(注1) Wi-Fiは、Wi-Fi Allianceの登録商標である。

1. ま え が き

近年、エンドユーザーの多様化したニーズの高まりによって、製造業では少量多品種生産が増えてきており、従来の少品種大量生産方式からの変革が求められている。少量多品種生産に対応するには柔軟な生産体制が必要である。しかし、従来の有線設備環境ではライン組換え時の再配線作業の時間とコストで大きな負担が生じて、これが課題になっている。このライン組換えの課題に対しては無線ネットワークの導入が有効であるが、無線通信はノイズや電波干渉など外部環境の影響を受けやすく、通信が不安定になりやすいという運用面の懸念も存在する。

これらの課題を解決するために、サイレックス・テクノロジー社とのダブルブランド開発によって、Wi-Fi 6E対応無線LANアダプタNZ2WL-JPGNAを開発した(図1)。本稿では、NZ2WL-JPGNAの特長を述べる。



図1 - Wi-Fi 6E対応無線LANアダプタNZ2WL-JPGNA

2. 製品の特長

NZ2WL-JPGNAは、製造現場の無線化によるフリーレイアウト化や生産ライン組換え時の再配線作業の削減など、有線設備特有の課題を解決するとともに、製造現場に無線導入する際の通信環境の課題を解決するため、“安定した無線環境の提供”“CC-Link IE TSN Class A対応による当社FA機器との親和性強化”という二つの特長を持つ。

2.1 安定した無線環境の提供

従来、有線環境が主流である製造現場に無線ネットワークを導入することで、ライン組換え時の再配線作業に要する時間やコストを削減できる。しかし、製造現場では、通信の不安定性による設備停止などが生産効率に影響を与えるため、安定した通信環境が求められる。

無線通信はノイズや電波干渉など外部環境の影響を受けやすく、有線通信と比較して通信の安定性に課題がある。そこでNZ2WL-JPGNAは、外的要因による通信品質低下を抑制するため、干渉やノイズの影響を受けにくい6GHz帯対応、メッシュ機能、ローミング機能など通信安定性を高める機能を実装している。

2.1.1 6GHz帯対応

従来のWi-Fiは主に2.4GHz帯と5GHz帯を使用していたが、2022年9月2日に総務省が電波法施行規則等を改正し、IEEE 802.11axをベースとした新規格である“Wi-Fi 6E”が認可された。これによって、従来の2.4GHz帯と5GHz帯に加えて、新たに6GHz帯の利用が可能になった。

6GHz帯は、現状、対応端末数が少なく通信速度の低い端末も存在しないため、他端末による電波干渉や電波混在などの影響を受けにくいという利点がある。そのため、Wi-Fi機器が多く電波干渉が起きやすい工場環境で、6GHz帯の利用は安定した通信環境構築に有効である。

2.1.2 メッシュ機能

メッシュ機能は、送信元アクセスポイントと宛先ステーション間の通信を、別のアクセスポイントを介して中継する仕組みである。中継アクセスポイントで故障などのトラブルが発生した場合、送信元アクセスポイントが電波状況に応じて中継先を切り替えることで通信を維持する(図2)。これによって、より安定した通信環境を構築できる。

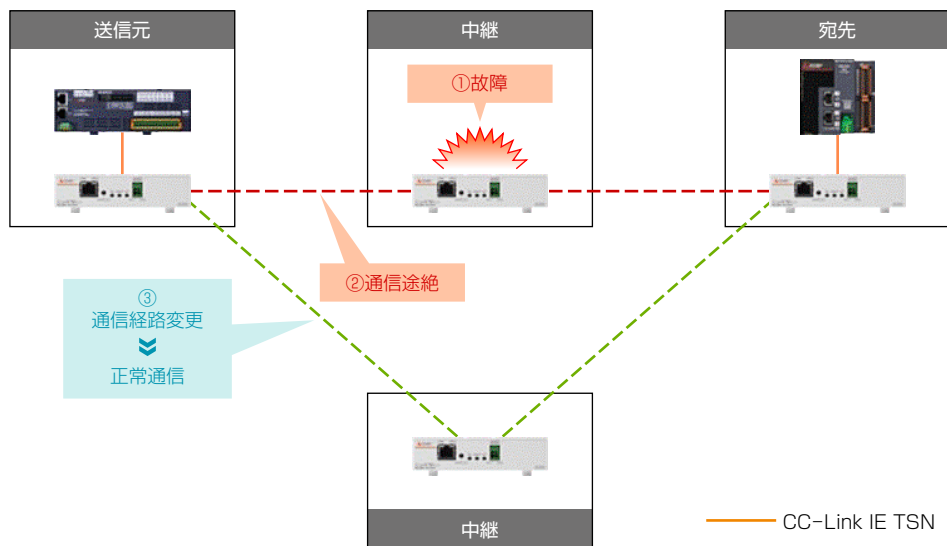


図2-メッシュ機能

2.1.3 ローミング機能

AGV(Automatic Guided Vehicle)やAMR(Autonomous Mobile Robot)などの移動体は工場内を移動するため、アクセスポイントとの距離が離れて電波強度が低下する場所が存在する。この場合、通信が不安定になり途絶する可能性があるため、従来は移動体の適用範囲を制限する必要があった。

NZ2WL-JPGNAはローミング機能を搭載し、電波状況に応じて、より良好な電波強度のアクセスポイントへ自動的に切り替える(図3)。これによって、移動体の適用範囲を制限することなく、広範囲で安定した通信が可能になる。

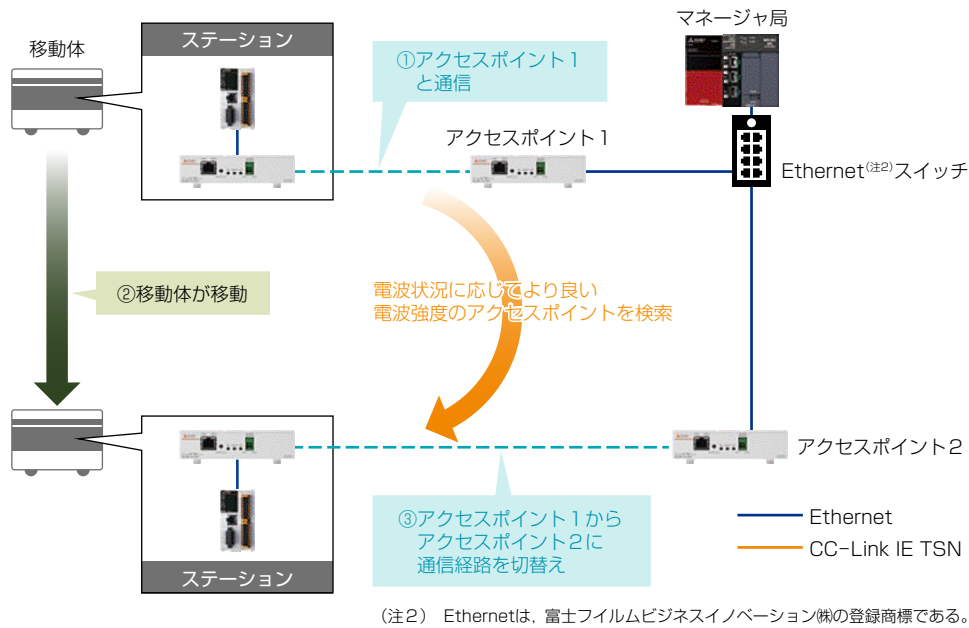


図3-ローミング機能

2.2 CC-Link IE TSN Class A対応による当社FA機器との親和性強化

NZ2WL-JPGNAは、CC-Link IE TSNの無線認証クラスAカテゴリCTRLに対応しており、汎用IP(Internet Protocol)通信に加えて、CC-Link IE TSN Class A対応機器を用いたシステムにも適用可能である。これによって、同期通信が不要なりモータI/O制御やAGV制御用途にも利用できる。

2.2.1 CC-Link IE TSNフレーム優先送信機能

製造現場で無線通信を用いてCC-Link IE TSN Class Aのサイクリック通信を行う場合、汎用IP機器からのIP通信と混在すると、IP通信の影響によってリアルタイム性が損なわれる課題があった。

そこで今回の開発では、WMM(Wi-Fi MultiMedia)機能を応用し、CC-Link IE TSN Class Aサイクリック通信の優先度を高める“CC-Link IE TSNフレーム優先送信機能”を実装した(図4)。これによって、パソコンなどの汎用IP機器とCC-Link IE TSN Class A対応機器が同一ネットワーク上に混在しても、リアルタイム性を維持した安定通信が可能になり、柔軟なシステム構築を実現した。

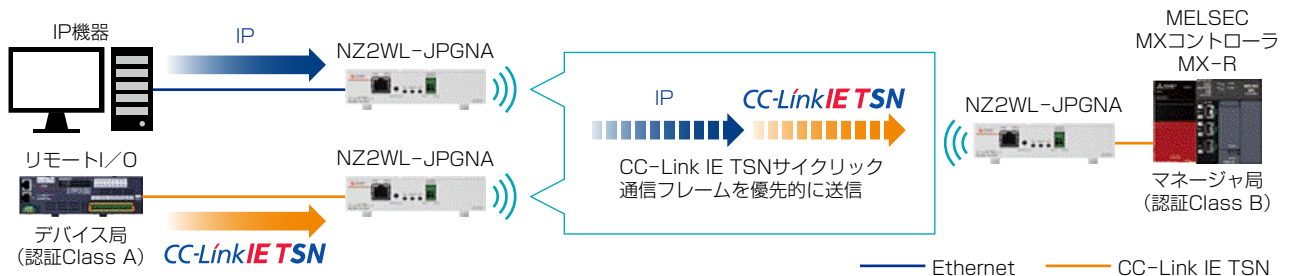


図4-CC-Link IE TSNフレーム優先送信機能

2.2.2 安全制御

NZ2WL-JPGNAは、無線通信をブラックチャネルとして利用し、CC-Link IE TSN Class A対応の安全製品の安全通信を無線化できる(図5)。これによって、自動倉庫やスタックークレーンなど安全通信が必要な可動部への無線ネットワーク適用が可能になり、より柔軟なシステム構築を実現する。

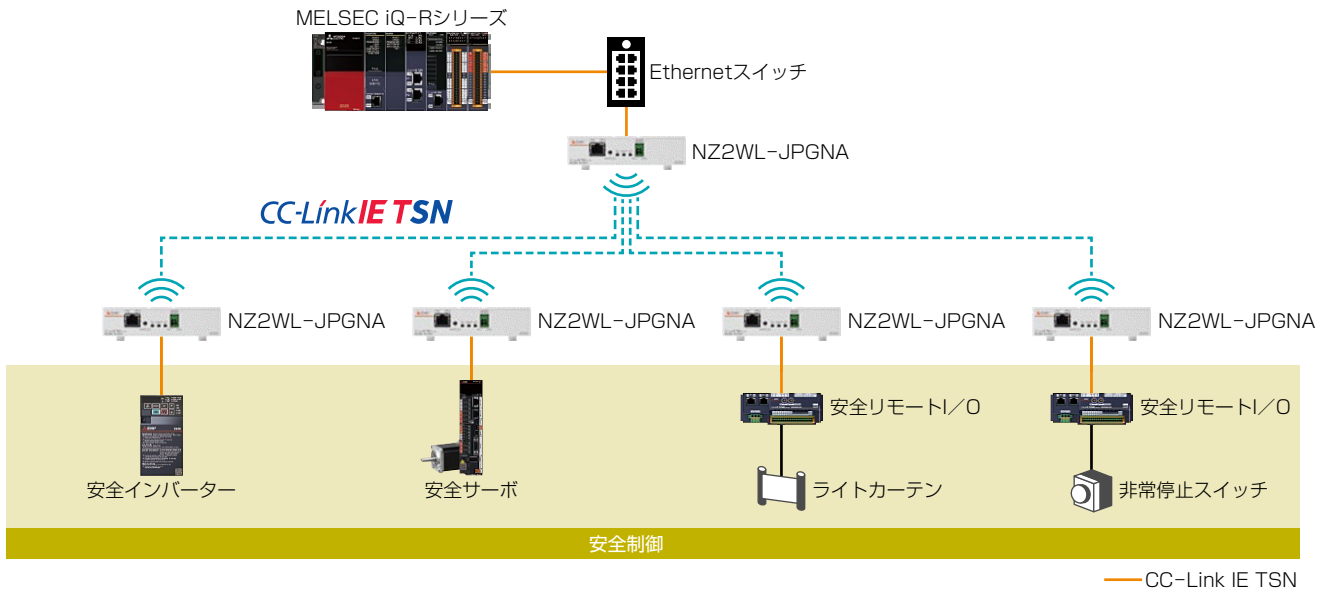


図5 - Wi-Fi通信を用いたCC-Link IE TSN Class A対応機器による安全通信

3. ユースケース

図6にNZ2WL-JPGNAを用いた製造現場でのソリューション事例を示す。既存製造ラインで生産データや設備データなどの“見える化”を実現する場合、NZ2WL-JPGNAを設置することで、大規模な追加配線工事を行わずに無線ネットワークを構築できる。

さらに、当社シーケンサのシンプルCPU通信機能によって、既存設備のネットワーク設定を変更せず、プログラムレスでデータ収集が可能である。これによって、既存設備に大きな変更を加えることなく、容易に製造ラインの見える化を実現できる。

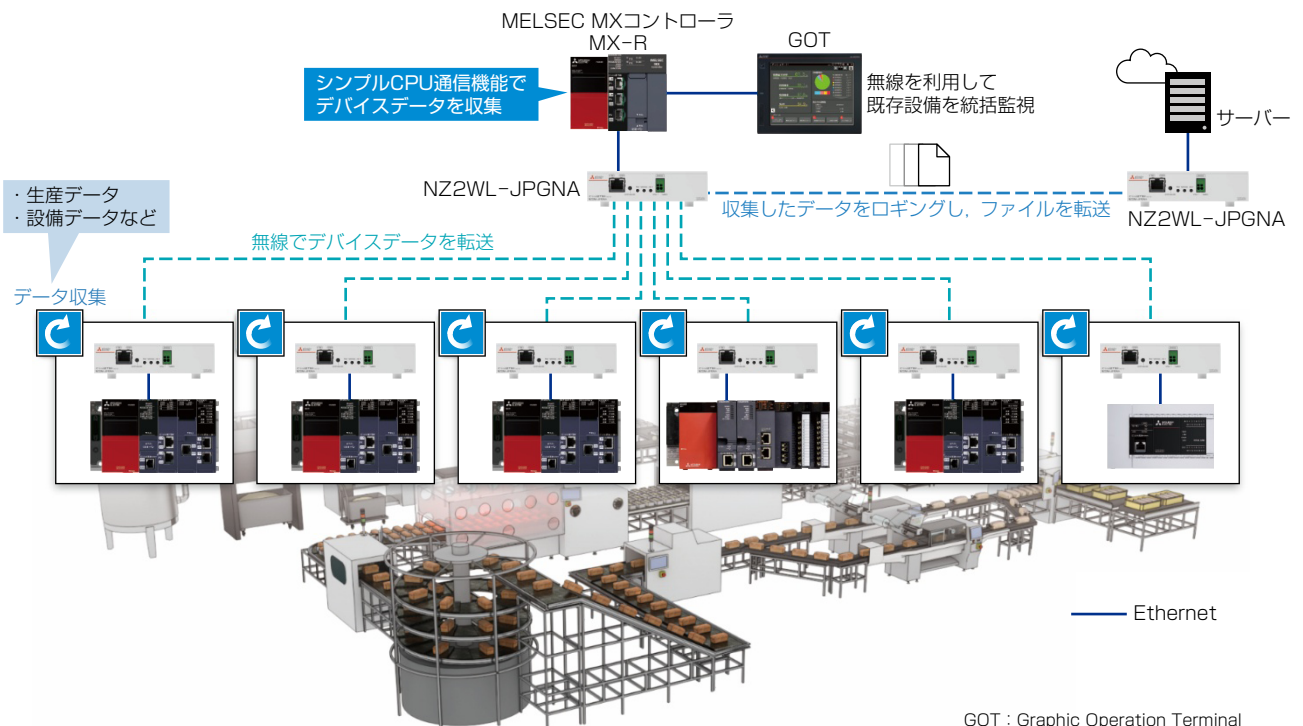
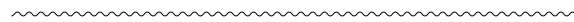


図6 - シンプルCPU通信機能によるデータ収集ソリューション

4. む す び

Wi-Fi 6E対応無線LANアダプタNZ2WL-JPGNAの特長及びユースケースを述べた。NZ2WL-JPGNAは、製造現場での無線通信の課題を解決し、無線化を推進するとともに、製造業の生産性向上に寄与する。

今後も、シーケンサやGOTなど他製品との連携強化や海外対応製品の拡充、Wi-Fi 7規格対応なども視野に入れて、より良い無線化ソリューションを構築することで、NZ2WL-JPGNAの付加価値向上を図るとともに、当社FA機器の規模拡大に貢献していく。



新型ワイヤ放電加工機 “MGシリーズ”

林 克彦*
Katsuhiko Hayashi
岡田文太*
Bunta Okada
関本大介*
Daisuke Sekimoto

近久晃一郎*
Koichiro Chikahisa

*産業メカトロニクス製作所

New Wire - Cut Electric Discharge Machining “MG Series”

要 旨

製造業では若年層の就業者数減少や外国人労働者の受入れ、熟練技術者の引退などが進んでいる。一方、金型製作では高精度化も進んでいることから、誰でも簡単に高品位な加工が可能な加工機の需要が高まっている。また、昨今の物価高の影響などによって、生産ロスやコスト削減についての要望も高い。そこで、“誰でも簡単に高品位な加工”が可能であり、“安定した稼働”と“省エネルギー”を実現するワイヤ放電加工機を開発することで、製造現場の課題解決に貢献する。

1. ま え が き

近年、製造業では若年層の就業者数減少による労働力不足が進んでいることから、外国人労働者の受入れなど多様な人材が採用されている。その中で、熟練工の引退も増加しているため、技術継承が一つの課題になっている。また、働き方改革による労働時間短縮や昨今の原材料費、人件費、エネルギーコスト等の上昇から、生産ロス及びコスト削減についての要望も高まっている。

本稿では、先に述べた課題やニーズに対応するため開発した、新型ワイヤ放電加工機“MGシリーズ”の最新技術と加工事例を述べる。図1にMG/MG-Rシリーズの外観を示す。



図1-新型ワイヤ放電加工機MG/MG-Rシリーズ

2. 生産現場でのワイヤ放電加工機の課題

ワイヤ放電加工機では、工作物の段取り状態や板厚、材質によって加工条件の設定や調整が必要になる場合や、加工内容に合わせてプログラムの編集などを要する場合がある。これらの作業ではノウハウを必要とすることが多いため、容易な設定で、高品位な加工が可能な加工機が求められている。また、安定稼働による生産性向上や省エネルギーについても要求されている。

2.1 誰でも簡単に高品位加工を実現するための課題

三菱電機ワイヤ放電加工機は当社AI技術“Maisart”を活用した“Maisartノズル離れ制御”と“Maisartコーナ制御”を搭載している。Maisartノズル離れ制御とは工作物とノズル距離が離れた加工で、仕上げ加工の放電状態を検出し、加工速

度を自動最適化する制御である。Maisartコーナ制御とは、コーナー部の放電発生確率モデル化によって、コーナー形状に合わせて電気エネルギーや加工速度を最適化する制御である。これらによって、加工ノウハウ等を必要とせず、ノズル離れ加工の安定性や微小コーナーを含む形状の加工精度向上を実現し、市場からも評価を得ている。一方、適用材質や板厚が限定的であることから、適用範囲の拡張が要望されている。また、加工に合わせたプログラムの編集や加工条件設定の容易化などの要望も挙がっている。

2.2 安定稼働を実現するための課題

加工機の安定稼働にはマシンダウン時間削減が必要である。従来の加工機では稼働時間が長くなると自動結線性能の維持が難しくなる場合があるため、定期的に加工機を停止し、メンテナンスする時間を確保する必要がある。不意なトラブルやアラームによるマシンダウンが発生した場合、加工機状態や状況整理に時間を要する場合や現地訪問中に別の修理対応が必要になることが生じ、早期復旧が困難になるという課題があった。

2.3 省エネルギーによるコスト削減の課題

ワイヤ放電加工機は加工中以外の工作物段取り作業時や夜間の加工機稼働停止中にも電力を消費していることから、省エネルギー実現には、加工中以外の待機時間の消費電力削減が必要になる。

3. 新型ワイヤ放電加工機MGシリーズの特長

当社新型ワイヤ放電加工機MGシリーズは、次に述べる特長がある。

一つ目の特長は、当社AI技術Maisartの適用条件拡張と新機能搭載による“誰でも簡単に高品位加工”の実現である。従来は主に鋼材に適用されていたMaisart制御を超合金や銅、アルミニウムなどにも拡張することで、多様な加工での高品位加工を可能にした。また1 Push Technology、新スケジューラー、ショートカットの新機能搭載によって、操作性向上を実現する。1 Push TechnologyはMaisartノズル離れ制御と組み合わせる機能で、簡単操作で加工回数の変更や旧機種プログラムの変換が可能になる(図2)。新スケジューラーは、一つの画面で複数の加工の加工順序、開始位置といった諸設定が可能になり、連続加工専用のプログラム作成が不要になる。ショートカット機能は、加工機に搭載される多様な機能をショートカット画面に登録することで、簡単に画面遷移ができる機能である。登録、変更も容易で用途に応じたカスタマイズも可能になり、操作性向上を実現する。

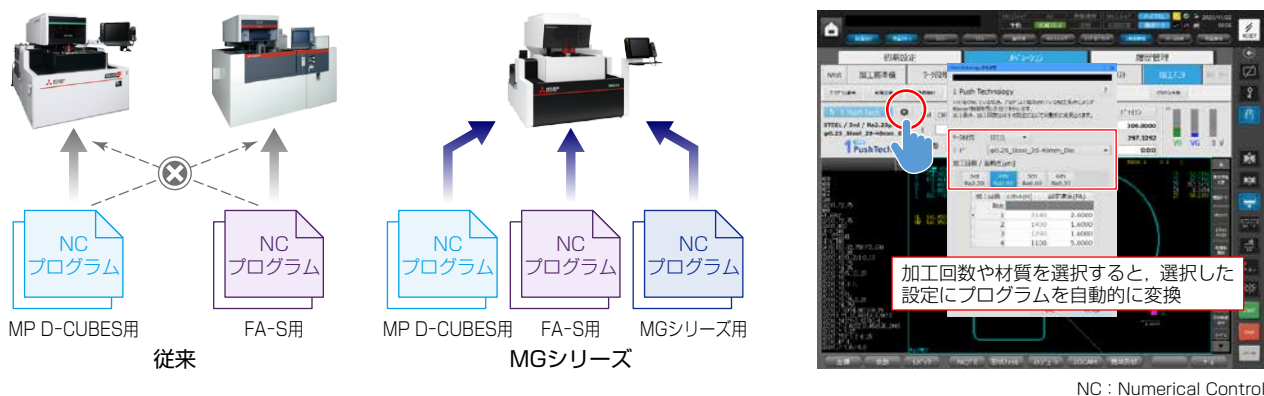


図2-1 Push Technologyによるプログラム変換

二つ目の特長は、自動結線機能の改良と新サポートプランによる安定稼働である。図3に示す、新たに開発した新クイックリトライ機構、ワイヤ搬送力向上機構と吸引力向上機構によって、従来機よりも少ないメンテナンス頻度で、自動結線性能維持が可能になった。また、IoT(Internet of Things)技術であるiQ Care Remote4Uを活用した新サポートプランによって、加工機停止時間の最小化を図る。図4に示す見守りサービスでは、AIを用いた学習モデルがユーザーの加工機状態を管理し、異常等を検知した場合の迅速なサポートを実現する。事前診断機能では、訪問対応前に機械状態をリモートで確認、把握することで、最適な加工機点検、修理を実現する。

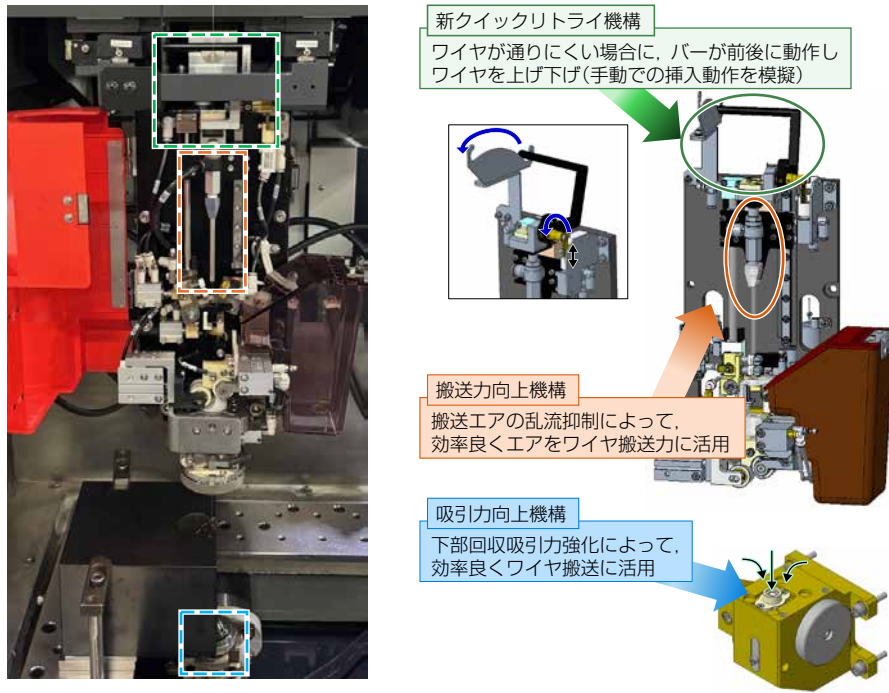


図3-新ワイヤ自動結線機能



図4-見守りサービス導入イメージ

三つ目の特長は、ポンプ制御最適化による省エネルギーである。図5に示すように、ワイヤ放電加工機の消費電力の大半はポンプによるものである。そのため、待機中、加工中など加工機の状態に合わせてポンプ出力を制御することで消費電力を抑制する。また、加工液フィルターの詰まり具合を逐次推定し、ポンプ出力を最適化することで、省エネルギー効果を向上させる。

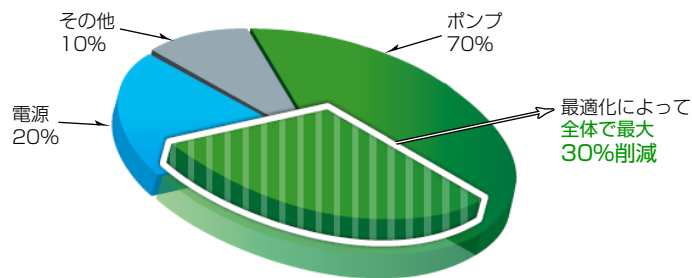


図5-ワイヤ放電加工機の消費電力分布

4. 加工事例

3章で述べた新型ワイヤ放電加工機MGシリーズでの加工事例を述べる。

図6はMaisartノズル離れ制御を活用した加工事例である。複数の材種で、板厚及びノズル離れ量が異なる箇所の加工で寸法精度 $\pm 3\mu\text{m}$ 以下の加工を実現した。図7はパンチ、ダイ嵌合(かんごう)加工事例である。Maisartコーナ制御によって、複数のコーナーを含んだ形状でも嵌合クリアランス $3\mu\text{m}$ の嵌合加工を実現した。

工作物	スチール/超硬合金/銅/アルミニウム
板厚	20mm, 40mm
電極	$\phi 0.2\text{BS}$
加工回数	スチール/超硬合金/銅: 6回 アルミニウム: 5回
面粗さ	スチール: Ra0.35 μm /Rz2.8 μm 超硬合金: Ra0.35 μm /Rz2.8 μm 銅: Ra0.35 μm /Rz2.8 μm アルミニウム: Ra1.00 μm /Rz8.0 μm

Ra: 算術平均粗さ, Rz: 最大高さ粗さ

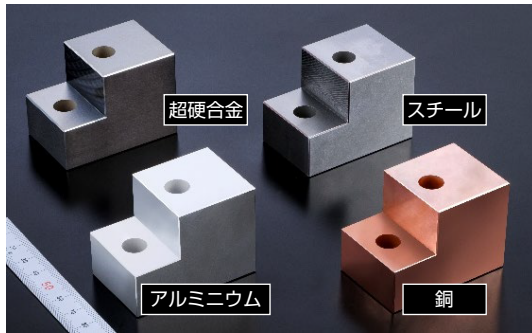


図6-多材種ノズル離れ加工事例

工作物	スチール/超硬合金/銅/アルミニウム
板厚	パンチ: 30mm スチール/超硬合金/銅/アルミニウム ダイ: スチール20mm
電極	$\phi 0.2\text{BS}$
加工回数	スチール/超硬合金: 9回 銅: 6回 アルミニウム: 4回
面粗さ	スチール: Ra0.20 μm /Rz1.6 μm 超硬合金: Ra0.15 μm /Rz1.2 μm 銅: Ra0.30 μm /Rz2.4 μm アルミニウム: Ra1.00 μm /Rz8.0 μm
加工精度	スチール/超硬合金: $\pm 2.0\mu\text{m}$ 銅: $\pm 3.0\mu\text{m}$ アルミニウム: $\pm 5.0\mu\text{m}$

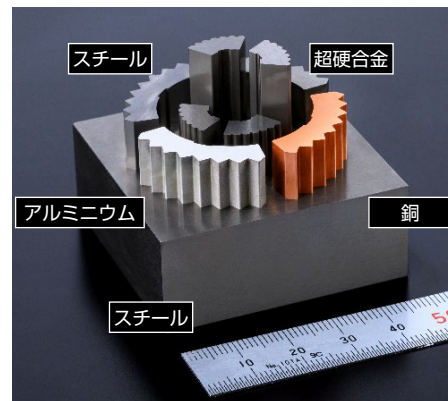


図7-多材種嵌合加工事例

5. むすび

今回, “誰でも簡単に高品位加工” “安定稼働” “省エネルギー” を実現する新型ワイヤ放電加工機についての最新技術と加工事例について述べた。今後もユーザーニーズに継続して応えるため, 新技術及び製品開発に取り組んでいく。

第3世代MCU(L型：全長短縮)の開発・量産化

Development and Mass Production of 3rd-Generation L-shaped MCU

*三菱電機モビリティ株式会社

要旨

三菱電機モビリティ株式会社(MELMB)は、EPS(Electric Power Steering：電動パワーステアリング)向けに、モーター、インバーター、制御回路を一体化したMCU(Motor Controller Unit)を量産しており、2020年からは、先進運転支援システムや自動運転搭載車に対応した冗長性を確保可能なラック搭載型EPS第3世代MCUを量産化している。今回、従来機種に対して全長を約50%短縮し、コラムへの搭載可能で、冗長性も確保した第3世代MCU(L型)を開発・量産化した。インバーター及び制御回路、モーター角度検出センサーを1枚の基板で構成し、構造を簡素化、最適化することによって、全長を約50%短縮しただけでなく構造部品の部品点数を25%削減し、生産性を向上させた。さらに、放熱性能及びEMC(ElectroMagnetic Compatibility)性能を確保した製品の開発に成功した。

1. ま え が き

EPSは、ドライバーの操舵(そうだ)力をモーターでアシストするシステムで大多数の車両に搭載されており、今後は自動運転の車両にも適用される見込みである。MELMBは、モーター、インバーター、制御回路を一体型にしたMCUを量産しており、2020年からは、先進運転支援システムや自動運転搭載車に対応した冗長性を確保可能なラック搭載型EPS第3世代MCUを量産化している。この第3世代MCUは、ラック搭載に有利な円筒型スリムパッケージになっているが、MCUの全長がボトルネックになり、コラム搭載には不向きなパッケージになっていた。そこで今回、MCUの全長を短縮しコラムへの搭載も可能にしつつ、冗長性を確保した第3世代MCU(L型)(図1)を開発し、2025年から量産を開始した。

本稿では、第3世代MCU(L型)の特長について述べる。

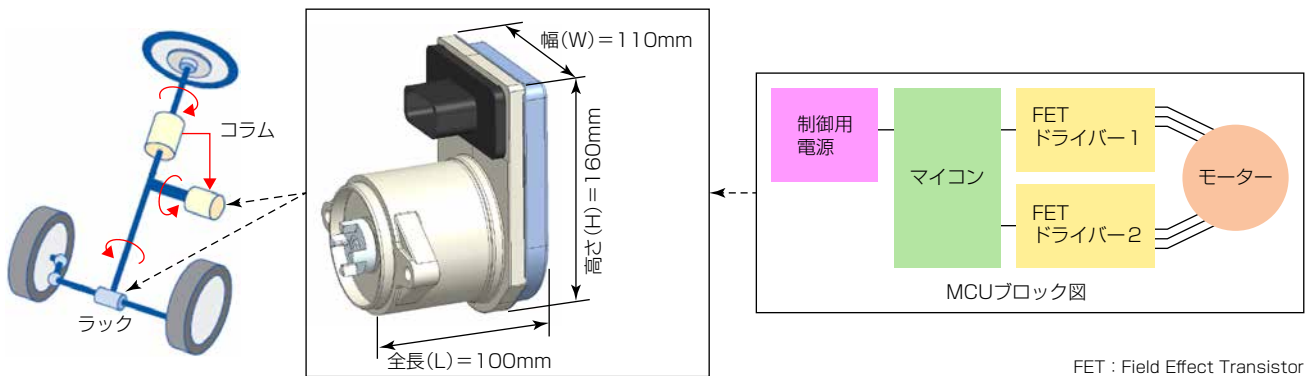


図1-第3世代MCU(L型)

2. 第3世代MCU(L型)の特長

この章では、第3世代MCU(L型)の特長を述べる。

2.1 安全設計と小型化の両立

図2にラック搭載型第3世代MCU、図3に第3世代MCU(L型)の構造図を示す。

ラック搭載型第3世代MCU及び第3世代MCU(L型)は、インバーター、モーター巻線、モーター角度検出センサーを

冗長化し、1系統が故障したとしても、もう一方の正常系統によって動作を継続することが可能である。第3世代MCU(L型)では、インバーター及び制御回路、モーター角度検出センサーを1枚の基板に集約し、さらに、MCU全長方向に配置していた基板を全長方向と垂直に配置することで、ラック搭載型第3世代MCUに対して、全長を約50%、容積を約18%低減(同等出力のMELMB製品比較)できた(図4)。また、基板外形の影響でモーター径方向に突出したスペースには、コネクタを配置し、無駄な空間を作らずに、車両レイアウト性を向上させている。これによって、ラック搭載型第3世代MCUでは不向きであったコラムの領域でも適用が可能になった(表1)。なお、図3で、コネクタは、モーターの取付け面に向けて配置されているが、顧客要求に合わせてカバー側(反モーター側)に配置することも可能である。

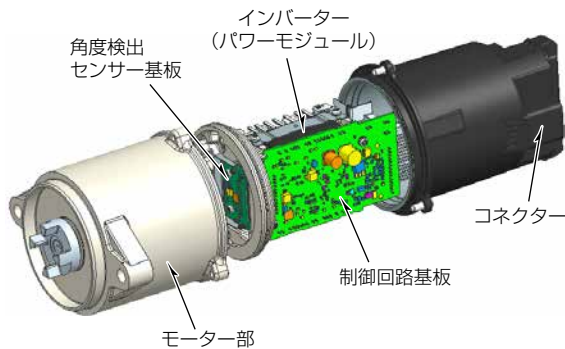


図2-ラック搭載型第3世代MCU構造図(従来機種)

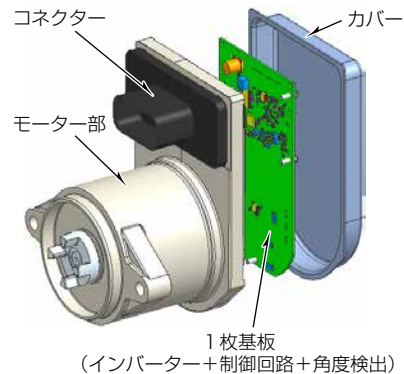
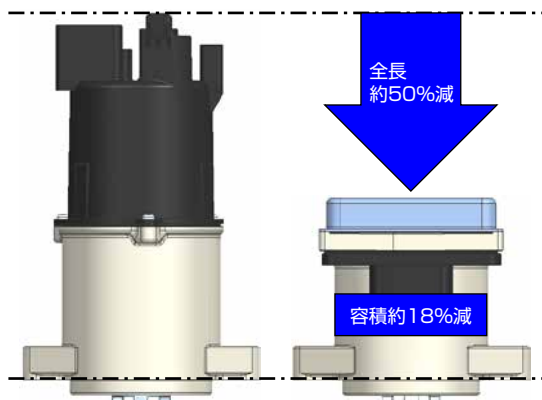


図3-第3世代MCU(L型)構造図(開発機種)



ラック搭載型第3世代MCU 第3世代MCU(L型)

図4-MCU全長比較

表1-MCU適用範囲

		第3世代MCU	第3世代MCU(L型)
搭載箇所	コラム	-	○
	ラック	○	○
冗長対応		○	○

2.2 生産性の向上

2.1節で述べたように、第3世代MCU(L型)では、インバーター、制御回路、モーター角度検出センサーを1枚の基板に集約している。これによって、生産性も向上させている。ラック搭載型第3世代MCUでは、モーター端子は、フレームASSY(Assembly)を中継し、インバーターと溶接によって接合されて、インバーターと制御回路基板は、はんだ付けによって接合される。また、制御回路基板とコネクタは、ターミナルASSYを介してはんだ付けと溶接によって接合される(図5)。一方、第3世代MCU(L型)では、中継部材を介さずに、モーター端子は基板にはんだ付けされて、コネクタ端子は基板にプレスフィット接合されることによって(図6)、構造部品の部品点数を約25%削減(同等出力のMELMB製品比較)できた。これによって、組立工数を削減し、生産性を向上させている。なお、コネクタと基板の接続にプレスフィットを採用することで、コネクタをモーター側/反モーター側どちらにでも配置することが可能になり、顧客要求に対して柔軟に対応できる。また、基本構造を変えずに基板やコネクタを組み換えることによって、非冗長仕様から電源、マイコンを2系統化した完全冗長仕様までを同一ラインで生産することが可能である。

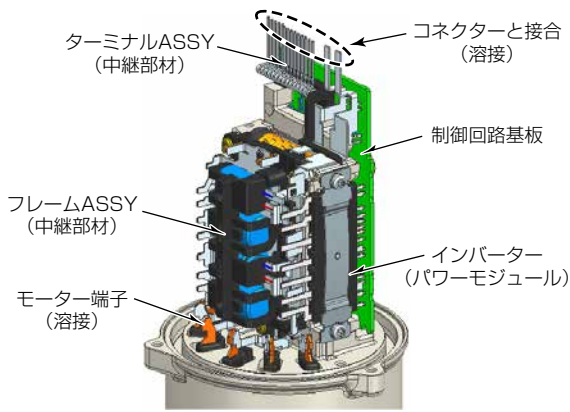


図5-ラック搭載型第3世代MCU接続構造

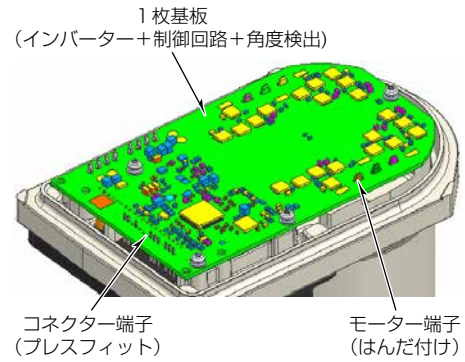


図6-第3世代MCU(L型)接続構造

2.3 放熱設計

基板に実装されたMOSFET(Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor)から発生する熱は、基板裏面から放熱グリスを介してハウジングに放熱する構造(図7)である。MOSFETの仕様は一般的なパッケージ下面(ドレイン端子)側から放熱するタイプを採用している。この構造は、小型化には大きなメリットがある一方で、MOSFETの発熱は基板を介して放熱する構造であるため、構造上熱抵抗が高くなりやすく、熱性能の最適化が最重要項目であった。

第3世代MCU(L型)では、基板パターン設計、放熱グリス選定、ヒートシンク形状の最適化を行い、効率的な放熱を実現した。その結果、ラック搭載型第3世代MCU同等の熱性能を維持しつつ、MCU全長を短縮した製品を開発した。

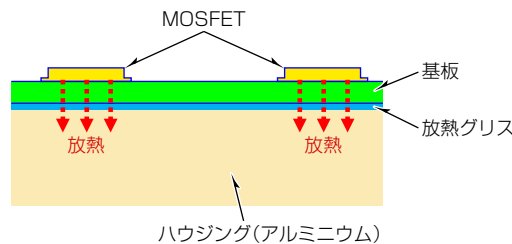


図7-第3世代MCU(L型)MOSFET放熱構造

2.4 EMC性能

車両を安全に走行させるために、車両内の電子機器には自身の動作によって、ほかのシステムの動作を妨害しないこと(EMI: ElectroMagnetic Interference性能)が求められる。EMI対策として、図8に示すように、MCU外部につながるコネクター端子部をアルミニウム製のハウジングで覆う構成にして、インバーター及び制御回路基板から放射されるノイズがコネクター端子部に重畳し、外部に漏れることを抑制した。さらに、MCUカバーに鉄製カバーを採用し、放射ノイズを低減させた。これによって、EMI性能CISPR(Comite International Special des Perturbations Radioelectriques)規格の中で最も厳格なクラス5を満足する性能を達成した(図9)。

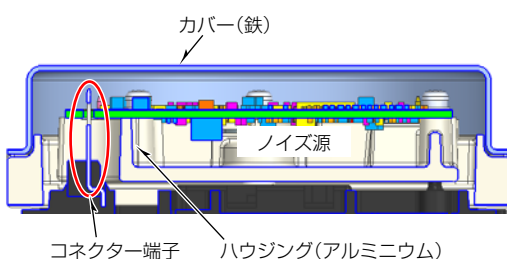


図8-第3世代MCU(L型)断面構造図

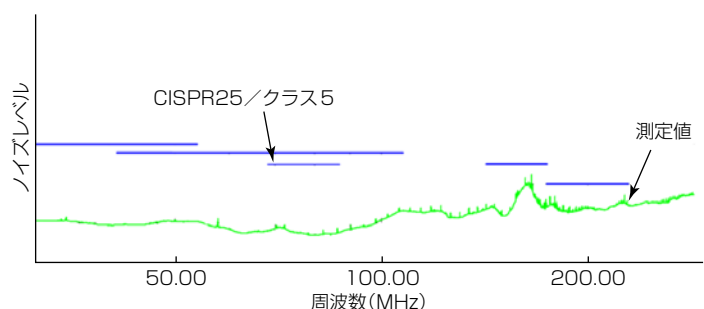


図9-放射EMI測定結果

3. む す び

MCUの全長を短縮しコラムへの搭載も可能にしつつ、冗長性を確保した第3世代MCU(L型)を開発し、量産を開始した。今後は、自動運転レベル3以上に向けて、電源を2系統化した完全冗長仕様の製品開発、量産化が必要になる。今回の基本構造を保ちながら、製品外形の拡大を抑えて完全冗長仕様にどのように対応していくかが課題である。引き続き、市場・顧客要求に追従した製品を開発し、安心安全なモビリティ社会に一層貢献していく。

参 考 文 献

- (1) ラック搭載型ADAS/AD対応EPS用第3世代MCUの開発・量産化, 三菱電機技報, **97**, No.1, 20 (2023)
- (2) 有働豊秋, ほか: EPS用次世代モータコントロールユニット, 三菱電機技報, **93**, No.5, 320~322 (2019)
- (3) 浅尾淑人, ほか: EPS用次世代モータコントロールユニット, 三菱電機技報, **87**, No.8, 452~455 (2013)



車室内モニタリングの課題と対策

Issues and Countermeasures in In-vehicle Monitoring System

*三菱電機モビリティ㈱(博士(学術))
†同社

要旨

自動車の室内をカメラで撮像し、各乗員の状態をセンシングする車室内モニタリングシステムは、自動運転の普及や一部地域での規格・アセスメント化によって、需要が高まっている。運転者を含む前席をセンシング対象とする場合、広角カメラを利用してカメラ1台でセンシングを行うケースが考えられる。このように広角カメラを用いたケースでは、運転者と運転者以外を明確に分けてセンシングすることが必要である。三菱電機モビリティ㈱(MELMB)は、センシングのうち特に、撮像制御や運転者の顔検出、顔認証について、開発や改善を行った。




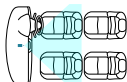
1. ま え が き

自動車の室内をカメラで撮像し、運転者の不注意や疲労状態を推定した上で警告や支援を行う車室内モニタリングシステム(In-vehicle Monitoring System: IMS)の導入が進展している。これは、自動運転機能の普及によって、従来の運転挙動(ふらつきや加減速など)から運転者の状態を推定する手法に限界が生じたことが一因にある。また、欧州の一般安全規則(General Safety Regulation: GSR)や欧州新車アセスメントプログラム(European New Car Assessment Program: ENCAP)で運転者の不注意等を推定する機能要件が追加されたことも、IMSの導入・拡大に寄与している。さらにENCAPでは、助手席乗員の体格や着座状態といったセンシング機能についてもアセスメント化が進んでおり、運転者だけでなく助手席乗員の状態推定を行う機能を持ったIMSの普及も見込まれる。

運転者の不注意状態の推定は、欧州のGSRやENCAPにも含まれている機能であり、また、警察庁が発表している一般原付以上運転者の法令違反別死亡事故件数⁽¹⁾でも不注意が死亡事故原因上位に存在することから、IMSの必須機能と位置付けることができる。不注意状態を推定する手段としては、運転中の視線方向を推定することが一般的かつ有効であるが、カメラを瞳孔が撮像できる位置に設置して、比較的高解像度かつ高フレームレートでセンシングする必要がある。一方、前席乗員の体格や着座姿勢の推定では、カメラの解像度やフレームレートよりも、複数乗員の体全体を撮像できるといった広画角への要求度が高い。つまり、センシング機能によって求められるカメラ要求は大きく異なる。

これらの前提を踏まえた場合、カメラの搭載構成は、主に二つに分類される。一つ目は、運転者専用でセンシングするカメラと運転者含む乗員をセンシングするカメラの2台から構成されるパターン①であり、二つ目は、1台のカメラで運転者と乗員をセンシングするパターン②である。表1にそれぞれの構成と特長・短所を示す。パターン①はカバーできる機能は多いもののコストが高くなってしまふ。その一方、パターン②は、瞳孔を撮像するための設置レイアウトや解像度に制約があり、対応できる機能に制限があるが、コストメリットがある。

表1-カメラ搭載パターンの特長と短所

パターン①: 運転者専用カメラ+乗員用カメラ		パターン②: 前席用カメラだけ	
			
運転者専用カメラ	乗員用カメラ		
<p>○特長</p> <ul style="list-style-type: none"> ・運転者専用カメラ: 顔以外の情報が少なく、センシングが容易 ・乗員用カメラ: 車室内を広く撮像可能 <p>▲短所</p> <ul style="list-style-type: none"> ・カメラ追加に伴って、コスト増加 		<p>○特長</p> <ul style="list-style-type: none"> ・前席用カメラ: 前席乗員の胸から上を撮像可能 <p>▲短所</p> <ul style="list-style-type: none"> ・実現機能に制限あり (例えば、ステアリング把持は条件付きになる) 	

そこで本稿では、パターン①よりコストメリットがあるパターン②の構成に着目した。パターン②で、運転者向けのセンシングをロバスト性高く、また、効率的に行うための工夫について述べる。

2. IMSの概要と本稿のスコープ

この章では、IMSの概要と、それにまつわる課題と対策について述べる。

2.1 IMSの概要

IMSのハードウェアは、近赤外線イメージセンサーと近赤外線LEDを備えたカメラモジュールと、撮像を制御し、取得した画像から乗員の状態を判定するECU(Electric Control Unit)から構成される。近赤外線を用いるのは、夜間等で車室内の明るさが一定以下になった場合でも、乗員に眩(まぶ)しさを感じさせることなく撮像が行えることに加えて、外光の状況に依存せずにセンシングすることが可能で、性能が安定するためである。

IMSのソフトウェアは主に、撮像制御部、コアセンシング部、アプリケーション部の三つの処理部から構成される。撮像制御部は過去に撮像された画像の輝度情報を基に、LEDの光を取り込む露光時間を制御することによって、黒つぶれや白飛びを抑制し、センシングを行いやすい画像を取得する。コアセンシング部は、顔の位置や向き、視線などを推定処理する。アプリケーション部は、コアセンシング部で取得した情報を基に、不注意状態や顔認証といった機能を実行する。

2.2 課題と対策

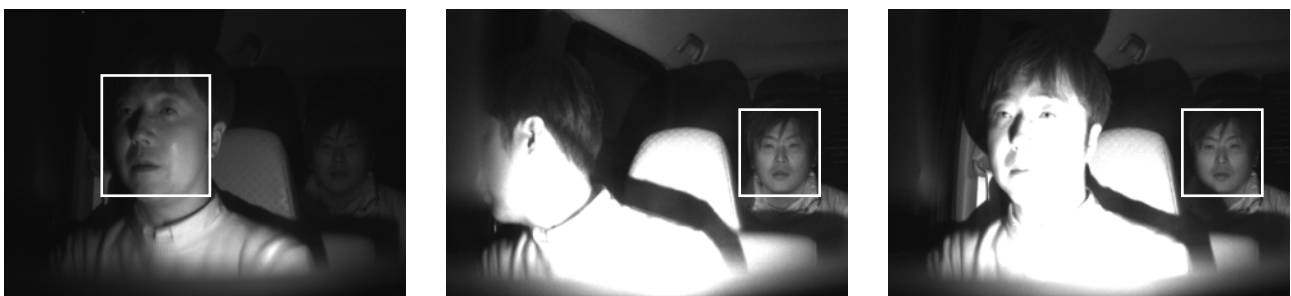
本稿では、2.1節で述べた三つの処理部の実装に当たって、運転席だけではなく前席全体を撮像できるカメラであるがゆえに生じた課題への対策を述べる。具体的には、まず、撮像制御の誤りによって画像が白飛びし、運転者のセンシングが正しく行えなかった事例への対策、次に、顔検出のロバスト性向上、効率化の対策、最後に、運転者に対する個人認証機能をほかの乗員に対して誤って実施してしまう課題に対して行った対策を述べる。

3. 運転者の状態推定の安定化に向けた露光制御の重要性

運転者の状態推定の精度と安定性を向上させるためには、運転者の顔の状態推定に最適化された画像取得を実現する必要と、露光制御を適切に実施する必要がある。具体的にMELMBでは、運転者の顔の輝度状態をリアルタイムでセンシングし、顔が望ましい輝度状態より白飛び傾向にある場合は、露光時間を短くして撮像画像の明るさを抑えて、黒つぶれ傾向にある場合は、逆に露光時間を長くする方へ制御することで、運転者にとって最適な画像に近づけている。

3.1 課題

センシングに最適な運転者の顔映像を取得するためには、運転者の顔領域内の画素の輝度情報がどのような状態かを知る必要がある。しかし、運転者以外が撮像範囲に含まれるカメラの場合、誤って運転者以外の顔を運転者としてセンシングし、露光制御が正しく行われぬ事象が発生してしまう。図1に発生事象のイメージを示す。この例は、後席乗員の顔を誤って運転席乗員としてセンシングしてしまい、後席乗員の黒つぶれ傾向の顔を明るくするために露光時間が長くなっ



(a) 運転者の顔を検出

(b) 姿勢変化に伴って後席乗員の顔を誤検出

(c) 後席誤検出が継続

図1-後席乗員誤検出に伴う露光制御不正例(画像中矩形(くけい)は顔検出結果)

ている。しかしLED光が後席には届いていないため、光を過度に照射された運転者だけが白飛びするくらいに明るくなり、後席乗員を運転者として検出し続けてしまう例である。3.2節で、この例の対策について述べる。

3.2 対策

3.1節で述べた白飛びを最小限に抑えるためにMELMBのIMSでは、検出された顔が誤っていないかを判定し、誤検出していないと判定した場合に運転者の顔領域内の画素の平均輝度に応じた露光設定の制御を行い、誤検出していると判定した場合には露光設定を維持する制御を行う対策をとる。例えば、運転者が存在し得る画像領域内で複数の顔が存在したとしても、各座席は物理的に離れているため、画像上では顔の大きさが異なる。そのため、運転姿勢の変化などによって一時的に運転者の顔が撮像範囲から逸脱し、その間に後席乗員の顔を検出したとしても、検出した顔の大きさの変化が一定以上であれば誤検出したと判定可能である。また、誤検出したと判定された際には、顔の検出領域自体を狭めて、かつ露光設定を維持することで、後席乗員の顔を継続して誤検出することを防いで、運転者の顔が撮像範囲に戻った際に改めて検出することが可能になる。

しかし、この誤検出判定を用いても、後席乗員の顔を運転者の顔と誤検出する場合がある。通常、後部座席は、運転席よりも光が届きにくいいため、後席乗員の顔は画像で暗く撮像される。そのため、後席乗員の顔を鮮明に撮像するための露光設定の値は、運転者の顔を鮮明に撮像するのに十分と想定される値よりも大幅に大きくなる。それに伴って、運転者の顔が撮像されている可能性の高い領域には、白飛びが発生し、運転者の顔を検出できない状態に陥る。そのため、露光設定の値が一定以上であり、かつ運転者の顔が撮像されている可能性がより高いと推定される領域の平均輝度があらかじめ設定された条件を満たす場合にも誤検出したと判断し、顔の検出領域自体を狭めて、かつ露光設定を初期値に変更する制御を行うことで白飛びを解消させて、運転者の顔を再検出可能にしている。なお、この対策に関する特許権(特許第7183420号⁽²⁾、特許第6945775号⁽³⁾)も取得している。

4. 顔検出の未検知及び誤検知の防止と、処理の効率化

前席全体を撮像できるカメラで運転者のセンシング処理を行う場合、前席全体の画像に対して運転者の顔検知を毎フレーム行うのは、処理負荷の観点でも、また、運転者以外の顔を運転者と誤検出する事象発生観点でも適切ではない。そのため、画像内で運転者領域を定めて、その領域内で検出された顔を運転者の顔としてセンシング処理することが合理的である。この章では、このように運転者領域を定めて処理を行う場合の課題例と対策について述べる。

4.1 課題

運転者領域を定めて運転者のセンシング処理を行う場合、運転者領域を狭く設定すればそれだけ運転者以外の対象を運転者と誤って検出するリスクは低下する。しかし、領域を狭く設定した場合、運転者の姿勢によってはその領域から顔が外れてしまって、運転者の顔検出が行えなくなるケースも増加する。また、運転者領域から顔が外れた場合に警告を行うようなシステムにすれば、運転者にとっては自由度が低い窮屈な運転環境になってしまう。4.2節で、この課題の対策について述べる。

4.2 対策

4.1節で述べた課題を解決するために、顔の未検出が生じた場合にだけ、顔の検出領域を拡張する対策が考えられる。より効率的に顔を探索するために、最終的に未検出となった顔の位置座標を参考に、未検出の範囲周辺の顔検出領域を拡張することで、ほかの乗員を誤って検出するリスクを更に低下させることも可能である。図2にこの対策のイメージを示す。図2(a)では、顔検出領域に後席乗員や助手席乗員の顔が含まれにくくなるように設定した。しかし、図2(b)のように、運転姿勢によっては顔が顔検出領域をはみ出してしまうため、図2(c)のように領域を拡張することで、継続的な検出を行うことができる。この方法であれば、例えば、運転中の姿勢崩れ等で早急に支援を行うべき状況なのか、正面方向に視線は向けて運転していて緊急性の低い状況であるのかの判別も行うことができる。なお、この対策に関する特許権(特許第7345632号⁽⁴⁾)も取得している。



図2-顔検出領域と顔検出結果

5. 運転者に対する顔認証機能のロバスト性向上

自動車での顔認証機能のユースケースとしては、盗難防止や車室内環境の個人最適化が挙げられる。例えば、乗り込み時に運転者を特定して、運転者があらかじめ設定したシート位置やミラー角度に自動変更するといったサービスを実現できて、複数ユーザーが利用する自動車の場合でも、各運転者が都度手でシート位置などを変更する手間を省くことができる。このような機能を実現するためには、撮像内に映ったどの人物が運転者なのかを正しく判別する必要がある。

5.1 課題

3章や4章でも述べたとおり、前席全体が撮像できるカメラの場合、助手席や後席に着座した人物も検出可能である。運転環境を最適化するためには、これら運転者以外の乗員や車外の人の顔を運転者として認識せず、運転者が乗り込んできたときに、運転者が誰であるかを正しく判定する仕組みを導入する必要がある。5.2節で、この課題の対策について述べる。

5.2 対策

MELMBのIMSでは、5.1節で述べた課題を解決するために、撮像画像内に、運転席や助手席の領域を定めて、その領域内に顔が検知された場合に、該当の座席に着座したユーザーと判定し、個人認識を行う対策をとっている。例えば図3(a)の状態では、誰が運転者なのかを判定することが難しいが、図3(b)のように運転席のヘッドレスト周辺を運転者領域と定めて、その領域で顔が検出された場合だけ顔認証を行うようにすれば、その他乗員を運転者と誤検出するリスクを低減させることができる。さらに、これらの領域設定のほかに、顔の大きさの条件を加えることで、後席の乗員の顔が仮に運転席向けに設定した領域内に入っても、撮像された顔の大きさから、後席の乗員としてある程度正確な判定が可能である。また、顔の向きの条件を追加することで、車外から車室内をのぞき込んでいる人が誤検出されるといったケースも防止できる。なお、この対策に関する特許権(特許第6807951号⁽⁵⁾)も取得している。



図3-運転者の顔認証領域設定有無による運転者の判定

6. む す び

車室内モニタリングの運転者向け機能に着目し、前席全体を撮像できるカメラで、正確かつ効率的に運転者をセンシングするためのMELMBの工夫を述べた。運転者として正しくセンシングするためには、まずは着座位置や撮像される顔の大きさといった運転者の定義が必要であり、仮に誤ってセンシングした場合も、3章で述べたようなりカバリー策を持つことで、よりロバスト性の高いシステムになる。

今後は自動運転の高度化によって、車室内での行動自由度が高まることが予測されるため、新たなユースケースに最適化した乗員センシングの創出が必要である。

参 考 文 献

- (1) 警察庁交通局：令和6年中における交通死亡事故の発生状況及び道路交通法違反取締り状況等について (2025)
- (2) 安田太郎：車載用画像処理装置、および、車載用画像処理方法、特許第7183420号 (2022)
- (3) 安田太郎：車載用画像処理装置、および、車載用画像処理方法、特許第6945775号 (2021)
- (4) 國廣和樹，ほか：顔検出装置、特許第7345632号 (2023)
- (5) 三菱電機：画像認証装置、画像認証方法および自動車、特許第6807951号 (2020)



ターボチャージャー用電制アクチュエーター のトランスアクスル用途への展開

Turbocharger Electric Actuators for Transaxle Applications

*三菱電機モビリティ株式会社

要 旨

近年の電気自動車(EV)化に伴い、内燃機関(ICE)車の需要が減少する中で、ターボチャージャー用アクチュエーターの需要も減少していく傾向にあり、三菱電機モビリティ株式会社(MELMB)としてアクチュエーターの新たな用途への適用を検討している。MELMBのアクチュエーターの最大の特長は、減速機構及び直動出力機構をモーター内部に持っているという点にあり、車両の様々な用途で、小型・軽量化や車両側機構の簡略化などの有効性が期待される。一例として、三菱自動車工業株式会社(以下“三菱自動車”という。)が公開した“エクスフォース”ハイブリッドEVモデルに採用された、トランスアクスル用途への展開での開発内容をまとめる。今後も多様な用途で直動のニーズは存在すると考えられるため、各用途に向けた直動アクチュエーターの適用開発を進める。

1. ま え が き

近年のカーボンニュートラルに向けた排ガス規制の厳格化や燃費基準の引上げに対応するため、多くの自動車メーカーがEVの開発と普及を加速させている。この動きは、ICEを搭載した従来型の車両の市場規模を縮小させるとともに、車両の構造や制御システムの大きな変革を促している。

このような背景の下、従来のICE車両で重要な役割を果たしていたターボチャージャー用アクチュエーターの需要も、次第に減少していく傾向にある。そこで、MELMBではアクチュエーターの新たな用途への適用を模索し始めた。

MELMBのアクチュエーターは、モーター内部に減速機構と直動出力機構を持っており、単体で高精度な直動運動を実現できる点が最大の特長である。この直動運動が可能なアクチュエーターに対しては、ターボチャージャー用途以外にも多様なニーズが存在している。

本稿では、その一例として、三菱自動車のエクスフォース向けに採用された、トランスアクスルの2速切替用途及びモーター断接用途の事例を述べる。これらの採用例は、MELMBのアクチュエーターが新たな車両用途でも有効であることを示す。

2. MELMBのアクチュエーターの従来の用途と構造

この章では、従来の用途(ターボチャージャー用途)での使われ方及び必要能力に関する説明と、それに対応したMELMBのアクチュエーターの構造に関して述べる。

2.1 ターボチャージャー用途での使用

ターボチャージャーとは、エンジンの機械損失を低減するための小型化に伴う出力低下を補うために必要な過給システムの一つで、エンジンからの排気ガスでタービンを回して、同軸上に構成されたコンプレッサーを回転させ、エンジンへの吸入空気を過給することで出力を増加させることができる装置である。エンジンへの吸入量はタービンに取り付けられたバルブで調整され、このバルブ開度を調整する機能をMELMBのアクチュエーターが担っている(図1)。

アクチュエーターに対しては安定した過給圧を得るため、このバルブ開度の調整を高精度で制御し、排気ガスの圧力脈動に対する位置保持性が要求される。それとともに、エンジンルーム狭小化に伴う小型化によって、エンジンにより近い位置に配置されることから、耐熱性や耐振性も要求される。



図1-ターボチャージャー用途での使用例

2.2 MELMBのアクチュエーターの構造

MELMBのアクチュエーター(図2(a))は回転子内にねじ機構が設けられており、送りねじ構造にすることで直動変換機構及び減速機構を同時に実現しているのが特長である。ねじの逆効率によって位置保持力も向上する(図2(b))。

センサー検出機構は磁界のベクトル変化を読むことで位置検出を行う機構を採用している。これによって高温でのマグネット減磁の影響を受けないため、より高温域でも高精度の位置検出が可能になる(図2(c))。

また、アクチュエーター内部には素子等の使用環境温度に制限がある部品を使用していないため、使用温度範囲としては160℃まで対応可能になっている。

これらのことから、温度領域にかかわらず高精度な位置検出が可能である。送りねじ機構によって排気ガスの脈動にも影響されない位置保持性を持っていることから、ターボチャージャー用途では数多く採用されている。

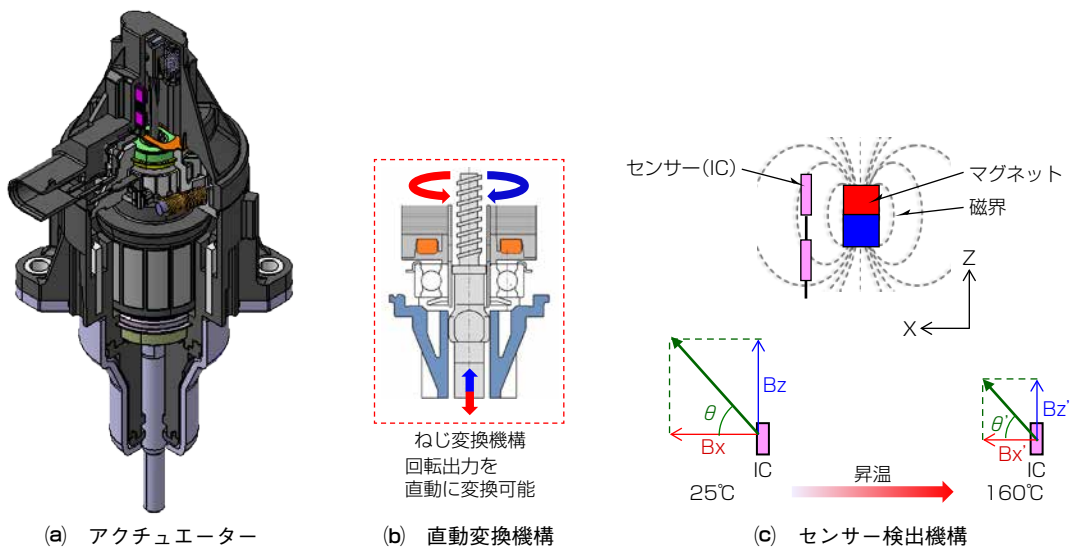


図2-MELMBのアクチュエーターの構造⁽¹⁾

3. トランスアクスル用途への適用

この章では新たな用途として、三菱自動車のエクスポース向けに採用された、トランスアクスルの2速切替用途及びモーター断接用途の事例について述べる。

3.1 2速切替用途及びモーター断接用途

近年の環境規制強化から、ハイブリッド車でもより低燃費のシステムが求められている。エクスポース(図3)では、

次の機構⁽²⁾を採用することで燃費向上を図っている。

- ① 2速切替機構 : 高速走行時や登坂時にエンジン動力をより効率的に使用
- ② モーター断接機構 : アクセル操作の少ない高速域で、モーターとドライブシャフトを切り離すことによる駆動抵抗を低減

どちらの用途も機構としてはシフトフォークを直動に動かす必要があり、その点にMELMBのアクチュエーターとの親和性があった(図4)。



出典：三菱自動車

HEV : Hybrid Electric Vehicle

図3-三菱自動車エクスポースHEVモデル⁽²⁾

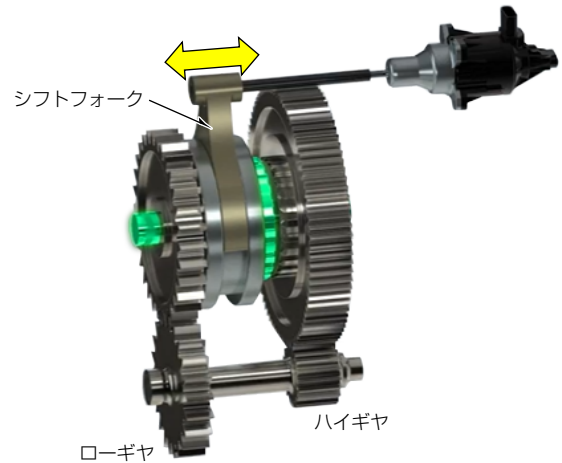


図4-シフトフォーク機構(イメージ)

3.2 アクチュエーターに対する要求仕様

ターボチャージャー用途との要求仕様について比較する(表1)。

表1-要求仕様比較

項目	ターボチャージャー用途	2速切替/モーター断接用途
動作環境	最高温度	高(○) / 低(◎)
	振動	大(○) / 小(◎)
	動作回数	多(○) / 少(◎)
要求性能	必要推力	小(○) / 大(△)
	ストローク	同等(=)
	センサー精度	同等(=)

動作環境に関して、2速切替用途及びモーター断接用途どちらもトランスアクスルに取り付くことになる。そのため、ターボチャージャー用途に比べて熱及び振動源になるエンジンから遠ざかる位置に配置されることになり、温度、振動環境に関する耐性は十分満たしている。また、動作頻度でも、アクセル開度によって細かく調整されるターボチャージャー用途と違って、動作するシチュエーションが限定されていることもあり、動作回数に関しても十分な耐性がある。

要求性能に関して、必要ストローク、センサー精度はターボチャージャー用途と同等要求であり、MELMBのアクチュエーターには十分な性能があった。

必要推力に関して、ターボチャージャー用途では、排気ガス圧に抗してバルブを開閉するための推力が必要になる。この場合、負荷はバルブ開度に応じて排気ガス圧が変化するため、アクチュエーターのストロークに対して比較的にリアに変動する特性を示す(図5)。

一方、2速切替用途及びモーター断接用途では、高速回転中のギヤを係合・解除するための推力が要求される。この場合、負荷はギヤの係合/解除の瞬間に急激に変化し、ターボチャージャー用途に比べてより高い推力が必要になる(図6)。

MELMBのアクチュエーターは、送りねじ機構による減速機構をモーター内部に備えており、高推力の発生が可能である。この構造的な特性によって、先に述べた高推力要求にも対応可能であることが確認された。最終的には、負荷状況を模擬した耐久試験も実施し、要求性能及び信頼性を十分に満足することを実証した。

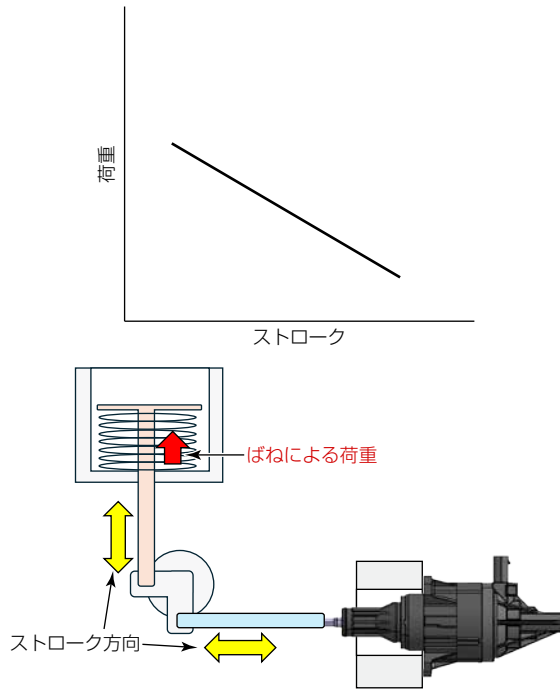


図5-ターボチャージャー用途治具／負荷イメージ

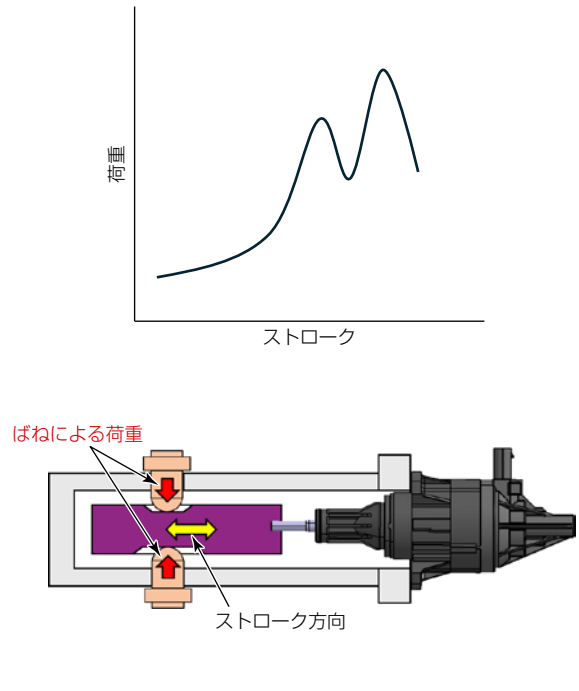


図6-シフトフォーク用途治具／負荷イメージ

4. むすび

今回の事例は、ターボチャージャー用途以外での直動アクチュエーターの有効性を示す一例に過ぎない。実際には、モビリティ分野でもロック、クラッチ、昇降用途など直動アクチュエーターに対するニーズは存在している。自動車分野に限らず、ロボットや産業機器等の他業界でも高出力／高耐久のMELMB直動アクチュエーターの適用可能性を探求していくとともに、それぞれのニーズに適したアクチュエーターの開発を推進し、今後も革新的な製品づくりを通じて、幅広い分野での課題解決に貢献していく。

参考文献

- (1) 山岡邦宏, ほか: 次世代電制ウエストゲートアクチュエータ, 三菱電機技報, **93**, No.5, 323~325 (2019)
- (2) 三菱自動車工業(株): 三菱自動車、コンパクトSUV『エクスポース』のHEVモデルをタイで世界初披露(2025)
https://www.mitsubishi-motors.com/jp/newsroom/newsrelease/2025/20250320_1.html

三菱電機株式会社