



三菱電機技報

4

2025
Vol.99 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		
“インダストリー・モビリティ”の特集号に寄せて……	1-01	Foreword to Special Issue on Industry & Mobility Kunihiko Kaga
加賀邦彦		
FAデジタルソリューションサービス ……………	2-01	FA Digital Solution Services Yuji Ichioka
市岡裕嗣		
三菱電機FA統合コントローラ “MELSEC MXコントローラ” ……………	3-01	Mitsubishi Electric Programmable Automation Controllers "MELSEC MX Controller" Yoshihiro Sugiyama, Daiki Harada, Shingo Kusakabe
杉山佳大・原田大揮・日下部真吾		
産業用ロボットMELFA FRシリーズ“FR PLUS” ……	4-01	Industrial Robot MELFA FR Series "FR PLUS" Seiya Okumura, Yusuke Dairaku, Hiroki Takahashi, Takaya Goto
奥村誠也・大樂佑介・高橋浩喜・後藤隆矢		
リニアトラックシステム“MTR-Sシリーズ” ……………	5-01	Linear Track System "MTR-S Series" Tatsuya Kawase, Hiroshi Wakayama, Shin Sakai
川瀬達也・若山裕史・酒井 伸		
HDL技術によるV2X相対位置判定 ……………	6-01	Relative Zone Classification in V2X by HDL Technology Takuma Okamoto, Tomoya Ikeuchi, Kohei Fujimoto, Yasuaki Takimoto, Hisao Nakano
岡本卓馬・池内智哉・藤本浩平・瀧本康明・中野久雄		
夜間の安心・安全な運転のための 歩行者見落とし検知技術……………	7-01	Pedestrian Overlook Detection Technology for Safe and Secure Night Driving Yuki Sumiyoshi, Ayumi Nishikawa, Akifumi Yamamoto
住吉悠希・西川歩未・山本見史		
車内レーダー向けの電波伝搬解析……………	8-01	Radio Wave Propagation Analysis for In-Cabin Radar Yuichi Goda, Yasunori Hoshihara, Takuro Mamiya, Yuichiro Horiguchi, Koichi Kai
合田雄一・星原靖憲・間宮拓朗・堀口裕一郎・甲斐幸一		
DMS/HDLの別体マイコンを不要とする SoC制御技術の確立……………	9-01	SoC Control Technology to Reduce Separate Microcontrollers for DMS/HDL Akane Kimura, Akira Mitamura, Masahiko Kamiyama, Hiromu Uemura
木村 茜・御田村 晃・神山真彦・植村宙夢		

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

“インダストリー・モビリティ”の特集号に 寄せて

Foreword to Special Issue on Industry & Mobility



加賀邦彦 *Kunihiko Kaga*

代表執行役 専務執行役 インダストリー・モビリティビジネスエリアオーナー
Representative Executive Officer, Senior Vice President, Industry & Mobility Business Area Owner

三菱電機グループでは、事業を通じた社会課題解決による持続的な社会への貢献を中心としたサステナビリティの実現を目指しています。顧客のデータから蓄積されたフィールドナレッジをよりスマートにデジタル化し、AI、モデリングなどの先進デジタル技術と融合させ、当社デジタル基盤“Serendie”（セレンディエ）と連携することで当社の強みを最大限に高める循環型 デジタル・エンジニアリングの事業モデルへと変革させます。当社が強みとするOT(Operational Technology)、ドメイン知識、セキュリティー、開発設計力などの技術資産を統合し、異なる事業領域のシステム間のデータ連携を進めて、複雑な社会課題を解決するソリューションを創出し続けることで、より良い社会に貢献していきます。インダストリー・モビリティBAではデジタル先鋭化されたコアコンポーネント群とデジタル技術で未来の“ものづくり”と“快適な移動”を支える技術シナジーを最大化し、FAシステム事業と自動車機器事業のものづくり力とデジタルソリューション事業を相互に強化させていきます。

この特集号では、インダストリー領域での循環型 デジタル・エンジニアリングの具体的な取組みとして、FA機器から発生するデータを活用して製造品質や設備稼働管理・改善を支援する製造支援ソリューション(SaaS)と、当社デジタル基盤Serendieと連携することで、データ付加価値を高め顧客起点での提供価値を創出していくFAデジタルソリューションについて紹介します。また新製品となるデジタル先鋭化コンポーネントとして、シーケンサでこれまで培ってきた各種制御とモーション技術をソフトウェアエアディファインドの視点で1ユニットに統合した、FA統合コントローラ“MELSEC MXコントローラ”及び新制御“MELFA High Drive”搭載によって、基本性能を大幅に向上させた産業用ロボット“MELFA FRシリーズ FR PLUS”，そして2024年十大新製品賞を受賞した、直線型・曲線型モジュラーを組み合わせることでフレキシブルかつ省スペースな高速搬送システムを構築できるリニアトラックシステム“MTR-Sシリーズ”を紹介します。

モビリティ領域では、自動車の先進運転支援機能の進化が続いており、当社は事故のない安心・安全な社会を目指して、この先進運転支援機能を支える重要な部品を開発、提供し、その進化をリードしています。この特集号では、自動車で更に安全に移動するための技術として、高精度衛星測位技術を活用して道路上の自車位置を正確に特定するとともに、車外通信によって周辺の自動車との相対位置を把握し、衝突を回避する“高精度ロケータ”及び“V2X(Vehicle to everything)”技術を紹介します。また日々安心して自動車を利用するために、車室内のドライバーや乗員の状態をセンシングし、ドライバーの脇見、居眠りや、駐車時の乗員の閉じ込めを検出して警告する“DMS(Driver Monitoring System)”及び“車内レーダー”技術、その応用として夜間ドライバーが気付いていない歩行者に、光で注意を促す灯火制御技術を紹介します。最後にこれら製品の原価を抑えて、より多くの自動車に搭載可能にするための“マイコンレスSoC(System on a Chip)制御技術”についても紹介します。

複雑で変動の激しい現代社会で、インダストリー・モビリティBAでは自らがゲームチェンジャーとなり未来の可能性に挑戦し続けます。そのため、起こり得る未来から未来価値を洞察して中期技術戦略を考えるバックキャストアプローチと、技術トレンドを手の内化し確実に事業拡大につなげるフォアキャストアプローチの両輪で、既存事業を変革する技術開発に挑戦し、新たな市場と顧客を開拓していきます。

FAデジタルソリューションサービス

FA Digital Solution Services

*DX推進プロジェクトグループ

要旨

近年、製造業(ものづくり)では、労働力不足、グローバル競争、環境規制、消費者ニーズの多様化を背景に、工場IoT(Internet of Things)とデータ活用が注目されている。一方で、製造現場への導入には幾つかの課題が存在する。具体的には、初期投資コスト、技術的専門知識の不足、データセキュリティー、接続互換性、データ活用のサイロ化、ROI(投資対効果)の不確実性が挙げられる。これに対して、三菱電機は製造現場のデータを“集める・貯(た)める・活用する”をワンストップで提供するFAデジタルソリューションサービスを開発した。このサービスはクラウド上で稼働し、エッジゲートウェイ機器でデータを収集・標準化し、様々なシナリオで活用できる。今後、市場浸透を進めて、新たなアプリケーション開発や機能拡張を図る予定である。

1. ま え が き

ものづくりの進化は技術革新と社会的要請に応じて変化してきた。初期は手作業から機械化への移行であり、その後のデジタル技術による自動化は生産効率を飛躍的に向上させた。近年では、製造DX(Digital Transformation)として、工場IoTとデータ活用が新たな進化の方向性として注目されている。この背景には、幾つかの重要な要因が存在する。

まず、労働力不足の問題が挙げられる。多くの先進国では少子高齢化が進行しており、製造業での労働力の確保が困難になっている。特に熟練労働者の減少は深刻であり、これに対応するためには自動化だけでなく、工場IoTの導入が必要とされる。機械や設備の状態をリアルタイムで監視し、遠隔操作や予知保全を行うことが可能になり、労働力不足の問題を緩和できる。

グローバル競争の激化、環境規制の強化とサステナビリティの重要性も、工場IoTの導入を促進している。例えば、生産ラインや設備を制御しているPLC(Programmable Logic Controller)から稼働状況のデータを収集・解析を行うことでボトルネックの特定や生産効率の改善を図り、生産プロセスの最適化や効率化が可能になり、競争力を維持・向上させることができる。また、エネルギー使用量もリアルタイムモニタリングによって、設備の効率的な運用が可能になり、環境負荷の低減が進む。

消費者ニーズの多様化も製造業のデータ活用を促進する要因である。スマートファクトリーでは、顧客の注文データに応じて生産ラインを迅速に変更し、カスタマイズされた製品を効率的に生産できることが期待されている。

このように、労働力不足、グローバル競争の激化、環境規制の強化、消費者ニーズの多様化といった多様な要因が、ものづくりでの進化を、機械化・自動化から工場IoT化・データ活用へと導いている。

一方で、製造現場でのIoT導入やデータ活用の推進には課題もある。

2. 製造現場でのIoT導入やデータ活用の推進課題

工場IoT・データ活用のシステム導入には多くの利点があるが、同時に幾つかの課題や困難も存在する。次に主要な課題を挙げる。

(1) 初期投資コスト

工場IoT・データ活用のシステム導入には高額な初期投資が必要である。要件定義に始まり、ソフトウェア製作やサーバー機材の設置・導入などが含まれ、特に中小企業にとっては、この初期投資が大きな負担になることがある。

(2) 技術的な専門知識の不足

データ活用システムの導入には高度な専門知識が必要である。多くの工場では、これらの技術に精通した人材が不足し

ており、導入や運用が難航することがある。専門知識を持つ人材の育成やIT管理業務の外部委託が必要である。

(3) データのセキュリティ

工場IoTの導入によって大量のデータが生成され、ネットワークを通じてやり取りされる。このデータが不正アクセスやサイバー攻撃の対象になるリスクが高まるため、データのセキュリティ対策が重要な課題である。

(4) 制御機器との接続互換性とリアルタイムデータ収集

既設設備の制御機器からデータを取得する際、制御ネットワークの通信プロトコルの互換性が問題になることがある。また、制御機器でリアルタイムに発生するデータを確実なタイミングで収集できない場合、データ欠損が発生する。

(5) データ活用のサイロ化

部門ごとに導入したデータ活用のシステムでは異なるデータベースやデータフォーマットを使用していることが多く、情報共有が不足している。データの所有権やアクセス権などが不明確なことも、部門間での相互利用の障壁になっている。

(6) ROIの不確実性

システム導入効果を事前に評価することが困難であるため、システム導入投資の社内稟議(りんぎ)書への説明記載が難しい場合がある。さらに、システム導入後も期待効果が現れない場合、システムの機能改善や運用維持自体が負荷になる。

3. データを“集める・貯める・活用する”がワンストップ提供のFAデジタルソリューションサービス

2章で述べた課題や困難に対して、データを“集める・貯める・活用する”をワンストップのクラウドサービスとして提供するFAデジタルソリューションを開発した。基本的な特長は次のとおりである。

- (1) このFAデジタルソリューションサービスはクラウド上で稼働するSaaS(Software as a Service)であり、利用者側でのサーバー等のIT機材の導入・設置が不要で、契約すればすぐに利用を開始できる。
- (2) クラウドにデータを送出するエッジゲートウェイ機器も当社のクラウドサービスに含まれる。エッジゲートウェイ機器は後付けで設置し、設備制御のPLCに通信ケーブルを接続するだけで設備のデータを収集できる。
- (3) エッジゲートウェイ機器は、モバイル無線通信網を使用して、当社が提供するクラウドサービスが稼働するデータセンターまで直接データを送信する。これによって、工場LAN(Local Area Network)やインターネット上にデータを曝(さら)すことなく、安全に当社クラウドサービスまでデータを送信できる。
- (4) クラウド上でのデータ蓄積では、データを効率良く保存し、そのデータを様々なシナリオで活用・共有しやすい標準データ構造(標準データモデル)でデータストアに格納している。利用者はデータ構造を設計する必要はない。
- (5) 製造業としての当社自身が自社工場で培った生産技術でのデータ活用ノウハウを基にして、生産性・品質の向上のためのデータ活用アプリケーションを複数用意している。

製造現場でのデータ活用を推進するための重要なポイントの一つは、ITに詳しくない利用者でも簡単にシステムを導入でき、すぐに効果を実感できることである。そのため、製造現場の様々な課題の中から共通であり、かつ改善効果をすぐに実感しやすい課題を選定し、最初からデータの“収集・保存・活用”をワンストップで提供するデジタルサービスをこのFAデジタルソリューションのSaaSアプリケーションとして提供するように一貫したシステムを設計している。次に、主な構成要素について述べる。

3.1 エッジゲートウェイ機器(データを“集める”)

製造現場の操業を止めることなく、製造設備を制御しているPLCにケーブルを挿すだけでデータ収集を始められるように、次の特長を持つエッジゲートウェイ機器を用意した。

- (1) エッジゲートウェイ機器(図1)は、当社PLCであるMELSECシーケンサのEthernet^(注1)ポートにケーブルを挿すだけでデータの自動収集を開始する。シーケンサの運転制御は停止不要である。
- (2) 収集したデータはモバイル無線通信網を通じてクラウド側に直接送信する。そのため、データ送信のための工場LAN接続やインターネット接続のための工事は不要である。
- (3) エッジゲートウェイ機器を現場に設置後、データ収集対象項目の設定は全てクラウド側で動作するアプリケーション画面から完全にリモートで設定入力・反映するため、再び設置現場に立ち入ることが不要になる。
- (4) エッジゲートウェイ機器内部で動作するデータ収集・一次加工・送信のためのソフトウェア機能モジュールは、ソフトウェア・コンテナ技術を活用して実装されている。そのため、今後、接続対象機器の機種拡大やサイバーセキュリティ

テュー対策が必要になった場合でも、ソフトウェア機能モジュールはクラウド側からモバイル無線通信網を通じて自動でアップデートされるため、利用者によるメンテナンス操作は不要である。

(注1) Ethernetは、富士フイルムビジネスイノベーション(株)の登録商標である。

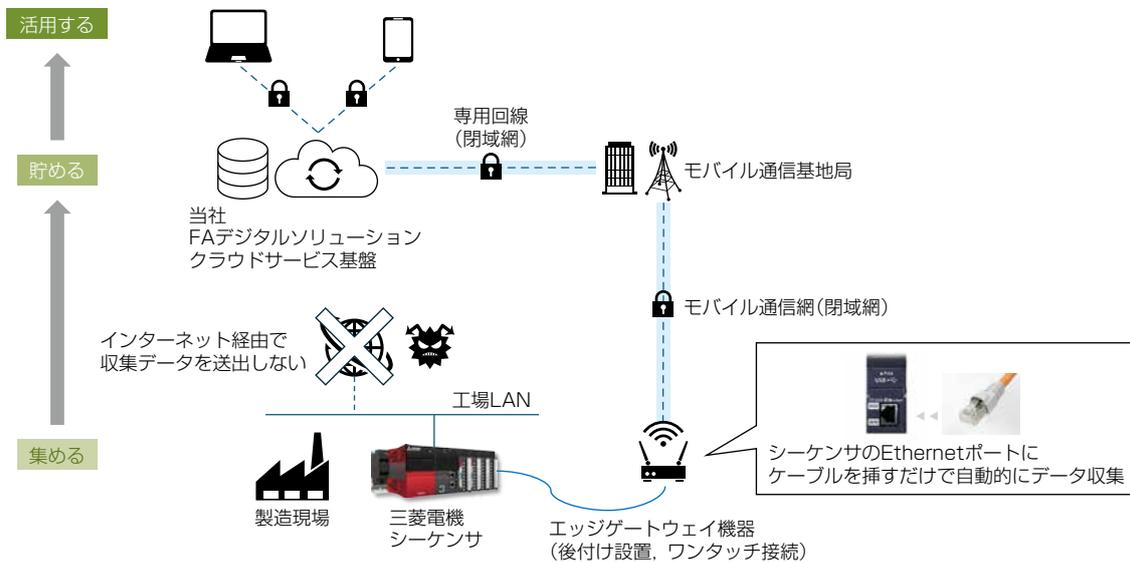


図1-FAデジタルソリューションサービスのシステム構成

3.2 データ標準化とクラウドサービス基盤(データを“貯める”)

これまでの製造現場でのデータ活用は、システムの導入企画や運用管理が部門別で行われることが多く、データの所在、使用ソフトウェア、活用ノウハウが部門ごとにサイロ化し、部門間を横断したデータ共有の障壁になってきた。この問題を解決するため、このFAデジタルソリューションサービスでは、製造現場のデータをクラウド上に集約して蓄積するとともに、標準データモデルによってデータの共有と相互利用を可能にする共通基盤を構築した(図2)。この標準データモデルは、設計・生産・保守の各部門での製造現場データの活用シナリオを複数分析することで標準形を定義した。その際、製造工程や設備構成によって差異がある場合でも適用できるように柔軟性・拡張性も考慮したデータモデルにして、かつ、リアルタイムに収集したデータの蓄積・可視化・分析で十分な性能を保つようにチューニングした構成にしている。

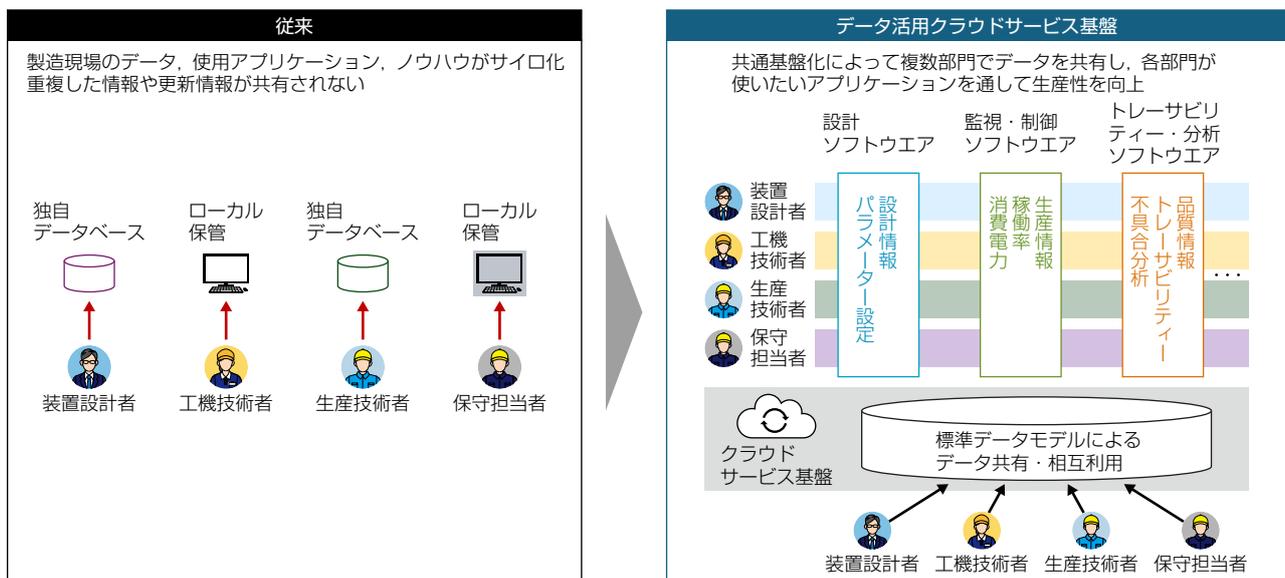


図2-データ活用クラウドサービス基盤

3.3 データ活用アプリケーション(データを“活用する”)

製造現場の様々な課題に対して、このFAデジタルソリューションサービスでは製造現場から収集・蓄積されたデータを可視化・分析するアプリケーションを複数提供する(図3)。これらのアプリケーションは“生産性-品質”と“設備-人”を軸に品揃(ぞろ)えするとともに、当社の様々な工場で実際に生産性改善・品質向上のために活用実績のある機能仕様や使い勝手を盛り込んでいる。今後は次のような目的別のアプリケーションの品揃えを増やして、機能拡充を推進する。

(1) 生産効率の向上

各工程の生産着手・完了の実績データを確認・分析することで生産プロセスのボトルネックを特定し、効率的な運営を可能にする。これによって、生産リードタイムの向上やダウンタイムの削減が期待できる。

(2) 品質管理

製品品質データを収集・分析することで、品質のばらつきを減少させ、不良品の発生を抑えることができる。これによって、顧客満足度の向上やコスト削減が実現できる。

(3) 予知保全

機械や設備の稼働データを監視・分析することで、故障の兆候を早期に検知し、計画的なメンテナンスを行うことができる。これによって、突発的な故障を防ぎ、稼働率を高めることができる。

(4) エネルギー効率の向上

生産とエネルギー消費に関するデータを比較・分析することで、生産性を維持しながらも無駄なエネルギー使用を削減し、コスト削減と環境負荷の低減を可能にする。

(5) 意思疎通や意思決定の迅速化

データに基づいた正確な情報共有を基に、迅速かつ適切な意思疎通や意思決定を行うことができる。これによって、柔軟な対応や迅速な問題解決を可能にする。

(6) トレーサビリティの確保

生産履歴や製造品質の実績データを記録・管理することで、製品トレーサビリティを確保し、問題発生時の迅速な原因追究や対応を可能にする。

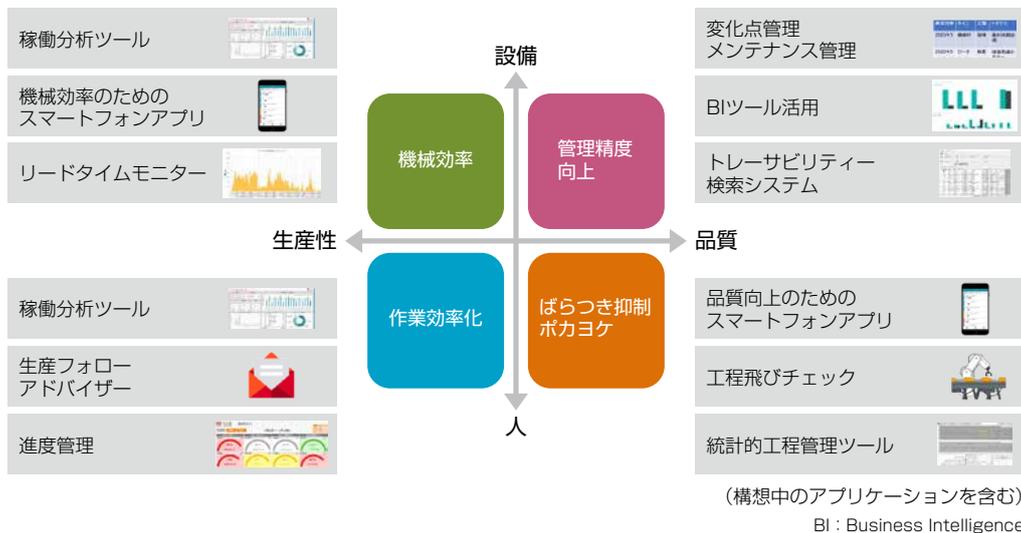


図3-製造現場データ活用アプリケーション群

4. FAデジタルソリューションサービスの今後の展望

このFAデジタルソリューションサービスの開発過程では、幾つかの当社顧客の製造現場に仮導入し、概念検証と技術検証を行った。データを“集める・貯める・活用する”をワンストップのクラウドサービスとして設計したことで、製造現場の生産操業を妨げることなく、わずか1時間程度で導入できることを確認した。また、製造現場から収集したデータで

生産状況の可視化・分析がすぐに始められることも確認した。これは、大きな初期投資や導入作業を必要とせず、データ活用による製造現場の課題解決の最初の一步を簡単に進められるという点で大きな価値がある。

今後、このFAデジタルソリューションサービスの市場浸透を進めて、利用者を増やしていく予定である。これによって、様々な製造現場からデータが集められ、クラウドサービス基盤に集約・蓄積される。当社は、これらのデータを分析することで、潜在課題やニーズを把握し、新たなアプリケーション開発や機能拡張によるサービス強化を図る。同時に、当社FA機器のデジタル先鋭化を進めて、“モノ×コト”によるソリューションを進化させる。これによって、当社が目指す“循環型 デジタル・エンジニアリング”の実現を推進する(図4)。

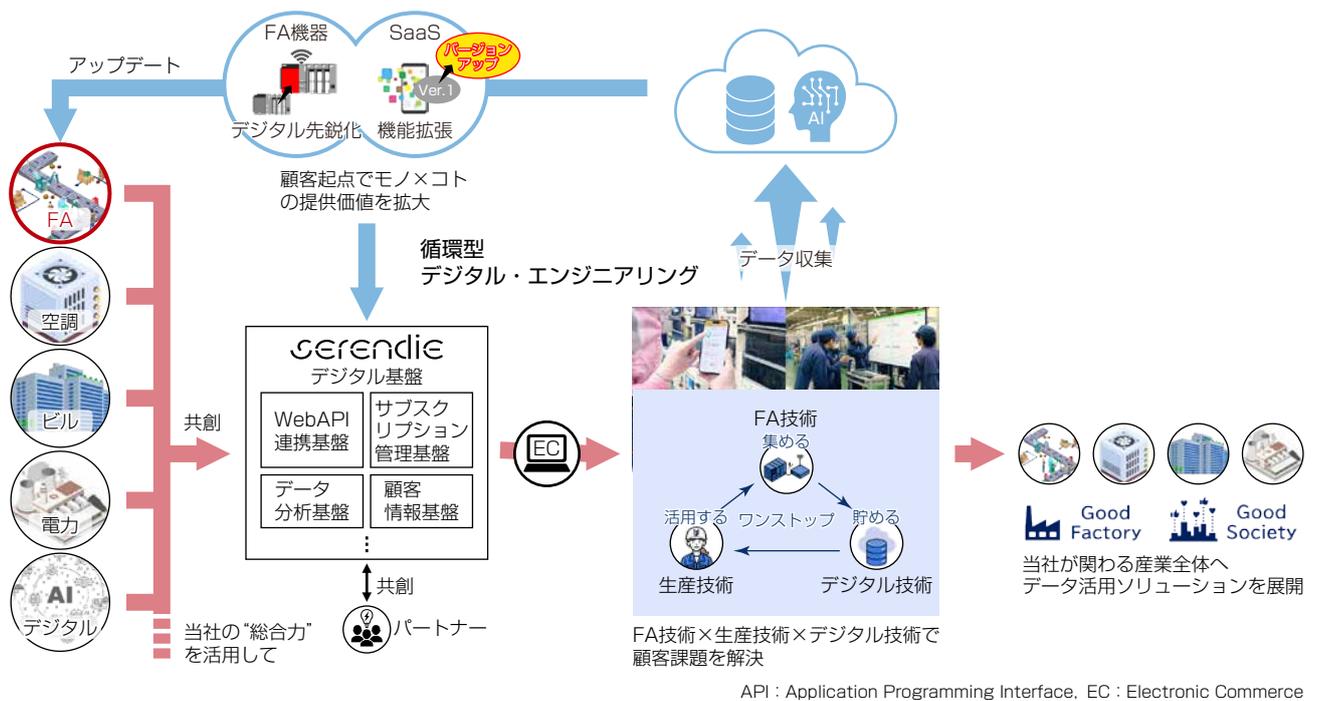


図4-FAデジタルソリューションサービスの目指す姿(循環型 デジタル・エンジニアリング)

また、当社はFAシステム、空調システム、ビルオートメーションシステム、電力システムなどの領域で事業を展開してきたが、これらの事業領域を横断したデジタルサービスを迅速に提供するデジタル基盤“Serendie”(セレンディ)を新たに構築した。このFAデジタルソリューションサービスも、このSerendieの基盤を利用して実装されている。今後、当社の総合力をデジタル領域で掛け合わせることで、マルチリージョンEMS(Energy Management Systems)によるカーボンニュートラルへの対応や、複数工場間での調達・生産・販売を最適化するSCM(Supply Chain Management)の提供といった高付加価値サービスの構築を目指す(図5)。

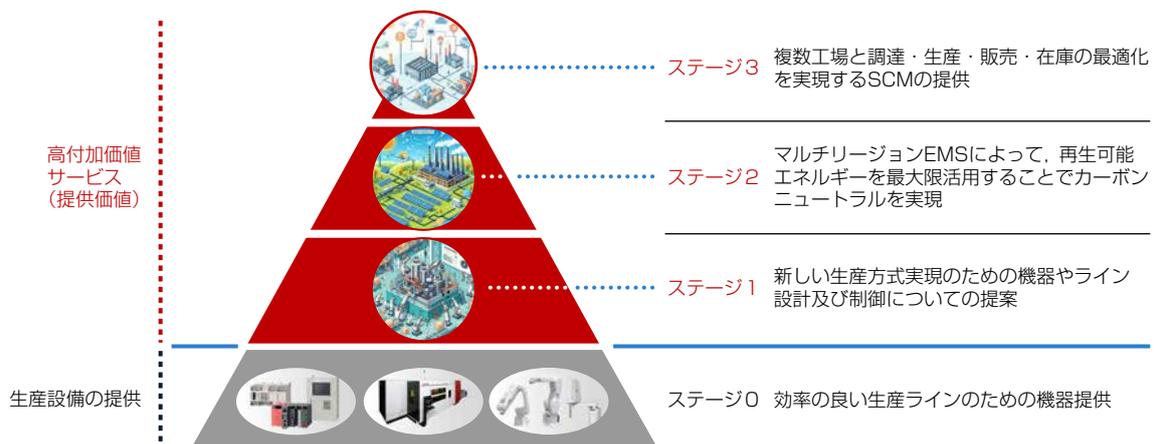


図5-工場領域でのSerendieソリューション(構想)

5. む す び

工場IoT・データ活用のシステム導入には多くの利点がある。その導入を加速するため、製造現場のデータを“集める・貯める・活用する”をワンストップで提供するFAデジタルソリューションサービスを開発した。当社はFA技術、生産技術、デジタル技術を掛け合わせて製造現場のデータ活用による顧客課題解決に取り組むとともに、ものづくりの一層の発展に寄与していく。

参 考 文 献

- (1) 三菱電機：三菱電機のDX戦略，IR DAY 2024プレゼンテーション資料
<https://www.mitsubishielectric.co.jp/news/2024/pdf/0529-a2.pdf>
- (2) 三菱電機：インダストリー・モビリティビジネスエリア，IR DAY 2024プレゼンテーション資料
<https://www.mitsubishielectric.co.jp/news/2024/pdf/0529-a4.pdf>

三菱電機FA統合コントローラ “MELSEC MXコントローラ”

杉山佳大*
Yoshihiro Sugiyama
原田大揮*
Daiki Harada
日下部真吾*
Shingo Kusakabe

*名古屋製作所

Mitsubishi Electric Programmable Automation Controllers "MELSEC MX Controller"

要 旨

多様化する製造現場で、要求される制御規模や性能が異なっており、これらの要求を実現可能なコントローラの対応が課題になっている。これまでMELSECで培った制御技術を1ユニットに統合することによって、顧客の要求に対応し、製造現場に更なる変革を起こすための新製品として“MELSEC MXコントローラ”を開発した。

この製品の特長は次のとおりである。

(1) 多軸設備でも精密な組立て・加工を実現する高精度なモーション制御

多軸で構成された設備で、“高速高精度な加工を必要とするメカ構成”と“要求精度が高くないメカ構成”を異なる制御周期で制御を可能にした。これによって、設備全体の制御の最適化を実現する。

(2) 工場のIoT化を推進する強化された情報処理

工場のIoT(Internet of Things)化を推進するため、MQTT(Message Queuing Telemetry Transport)やOPC UA^(注1)といった上位システムで一般的に採用されているプロトコルを内蔵し、上位システムと親和性の高いシステムが構築可能である。また、上位システムとの親和性が高くなるにつれサイバー攻撃のリスクも上がるため、暗号通信やユーザー認証といったサイバーセキュリティ対策機能を搭載し、堅牢(けんろう)なシステムを構築可能にする。

(3) 顧客の設備規模・用途に合わせたスケーラブルなラインアップ

設備に求められる性能や制御規模は、生産する製品に依存している。それぞれの設備に合ったコントローラが選定できるように、プログラム容量・制御軸数・性能によって、スケーラブルなラインアップを展開している。

(注1) OPC UAは、OPC Foundationの登録商標である。

1. ま え が き

昨今、製造現場では、工程の統合による設備の大規模化、プロセスが複雑になることによる設備の高精度化、製造品質・トレーサビリティ性の向上と保全の効率化のためのIoT化推進、工場のサイバーセキュリティ対策強化など、求められることが多様化している。

従来のシーケンサでは、複数のユニットを組み合わせることでフレキシブルなシステムを構築可能な分散型制御によって、市場要求に対応してきた。しかし、多様化する市場要望の中で、規模の大きな設備を制御する多軸高速高精度モーション制御やライン・装置を管理するための大容量データの管理・演算、また上位システムとのデータ通信など、高性能が要求される設備への対応が課題になっている。このような市場要望に対応しつつ、多様化する製造現場に更なる変革を起こすため、MELSECでこれまで培ってきた制御技術を1ユニットに統合したFA統合コントローラMELSEC MXコントローラ(図1)を開発した。

2. 製品の特長

MELSEC MXコントローラは、様々な制御や機能の一つのコントローラへ統合することによって、高精度な加工や生産効率の向上を求める顧客や、IoT化を推進しデータの利活用を図りたい顧客に向けて製品力を強化し、設備の規模に合わせた最適な製品を提供するために開発した。

主な特長として“多軸設備でも精密な組立て・加工を実現する高精度なモーション制御”“工場のIoT化推進する強化された情報処理”“顧客の設備規模・用途に合わせたスケーラブルなラインアップ”が挙げられる。



図1-MELSEC MXコントローラ

2.1 多軸設備でも精密な組立て・加工を実現する高精度なモーション制御

大規模で高精度なモーション制御が求められる設備では、100以上の軸を一つのコントローラで制御したいという要望があるが、制御する軸数が多いほど処理負荷が増大し、装置全体の軸の制御周期が長くなってしまいます。制御周期が長くなると、駆動機器からのフィードバックやセンサー入力の遅れ、コントローラからの制御指令の分解能低下によって、高精度な制御が困難になる。そこでMELSEC MXコントローラでは、多軸制御と高精度制御を両立できる複数周期混在制御に対応し、高精度な制御が必要な特定の軸だけを高速周期に割り当てて、それ以外の軸を中速周期や低速周期に割り当てることで、特定の軸の制御精度を保ちつつ、多数の軸の制御を可能にした。

複数周期混在制御を多軸制御及び高精度制御が必要なLiB(リチウムイオンバッテリー)製造装置の一部である巻回機に適用した例を示す(図2)。巻回機は、電極シートの巻出し軸、張力制御軸、カッター制御軸等で構成される。カッター制御は電極シートを正確な位置でカットする必要がある。カット位置のずれは製品不良につながるため、高速周期での制御が必要となる。一方、巻出し部は高慣性であり、その応答性に対して低速周期で十分な装置性能を発揮できる。このように複数周期混在制御を適用することによって、一つのコントローラで装置内の各制御部の要求性能に合致した最適な制御が実現可能になる。



図2-巻回機の装置構成概略と複数周期混在制御適用例

2.2 工場のIoT化推進する強化された情報処理

製造現場では、生産性向上・歩留り改善・設備のメンテナンスコスト削減などが常に課題として挙げられている。近年では、こういった製造現場の課題の改善にもAIが活用されるようになり、データ分析や学習のため、生産設備と上位システムの連携強化が求められている。MELSEC MXコントローラでは、OPC UAやMQTTを内蔵することによって、上

位システムとの連携強化を推進する。特に、OPC UAについては、サーバー機能だけでなく、クライアント機能や情報モデルにも対応し、上位システムとの容易なデータ連携、統括コントローラとして設備内のデータの一元管理を実現する。また、IoT化が推進されていく一方でサイバー攻撃の脅威も増加しており、MELSEC MXコントローラでは、暗号通信やユーザー認証機能をはじめとしたセキュリティ機能を搭載し、堅牢なシステムの構築を可能にする。上位システムとの接続例を図3に示す。

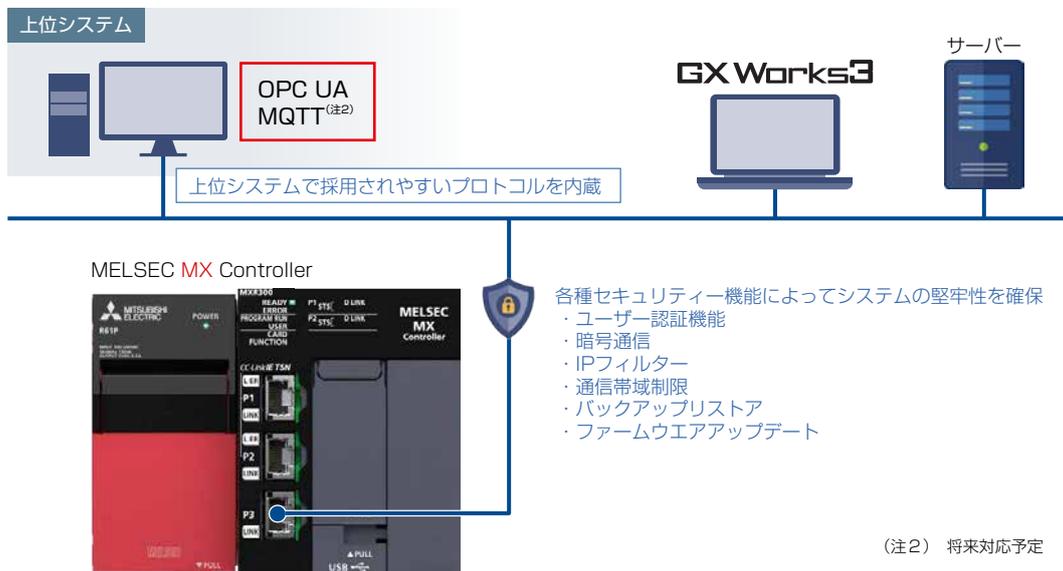


図3-上位システムとの接続例

2.3 顧客の設備規模・用途に合わせたスケーラブルなラインアップ

シーケンス制御では、設備の制御規模を基準として機種選定が行われており、MELSECシーケンサの各シリーズのCPUユニットでは、プログラムメモリー容量の異なるラインアップを展開していた。しかし、モーション制御では、それぞれの設備に必要とされる軸数は設備のメカ構成によって少軸から多軸まで様々であり、要求される制御性能については、使用する軸数や制御規模にかかわらず、生産する製品の加工精度や要求される生産量に依存している。

MELSEC MXコントローラでは、顧客の要求する性能に対応できるようにスケーラブルなラインアップ展開をしている。

3. 実現のための技術

MELSEC MXコントローラの開発で、適用した技術について述べる。

3.1 多軸高精度モーション制御に適用した技術

MELSEC MXコントローラでは、単一周期だけで動作する従来機種の演算処理を複数周期混在に対応させるため、演算処理を高速周期、中速周期、低速周期の三つに分割し、それぞれを異なる実行周期と優先度で実行する必要がある。さらに今回採用したマルチコアCPUを最大限活用するため、複数コアが連携する並列実行にも対応する必要があった。

そこで、単一周期での動作を前提としていた従来の演算処理を、単に三つの周期に分割するだけでなく、データ構造や処理アルゴリズム、処理スケジューリングを並列処理向けに最適化した。特に、各周期の演算処理間で多くの共有データにアクセスすると競合やCPUキャッシュ効率悪化を招き、並列化による性能向上が限定的になるだけでなく、並列化のスケーラビリティも低下してしまう。そこで例えばデータの局所性を向上する目的のローカル化を実施することで、データアクセス時の排他処理の削減やCPUキャッシュ効率の向上による高速化を実現した(図4)。

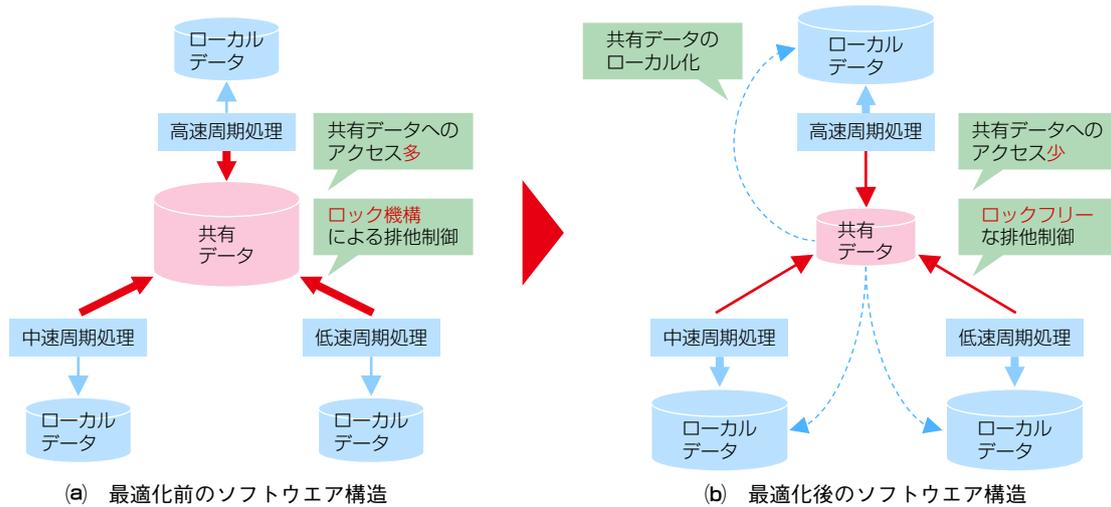


図4-ソフトウェア構造の最適化

3.2 工場のIoT化推進に適した技術

工場のIoT化推進には、上位システムとの連携強化が必須である。そのため、MELSEC MXコントローラの情報処理部には、上位システム側で採用されやすいオープンネットワークや汎用技術の取り込みが容易で、迅速な脆弱(ぜいじゃく)性対応も可能なLinux^(注3)を採用した。一方、シーケンス制御やモーション制御などリアルタイム性が要求される制御処理では、処理のジッターによるタイミングのずれが設備の加工精度やタクトに影響を与えるため、制御処理部にはリアルタイムOSを採用した。これによって、情報処理部・制御処理部それぞれで機能や性能を実現しやすくなったが、情報処理部から制御処理部で管理するリソース(デバイス/ラベルデータなど)へアクセスした際のリアルタイム制御への影響を極小化することが課題であった。

この課題を解決するため、ハードウェアやOSに合わせた作り込みを行うドライバー層、制御処理部や情報処理部へ共通処理を提供するサービス層、制御処理部や情報処理部など機能を実装するアプリケーション層から成るレイヤードアーキテクチャを採用した(図5)。このアーキテクチャでは、サービス層で低オーバーヘッドの排他処理を採用するとともに、アプリケーション層からサービス層が提供する共通API(Application Programming Interface)を呼び出す際に、呼出し元によって共有メモリアクセスの優先度や順序などをコントロールし、リアルタイム制御への影響を低減した。

(注3) Linuxは、Linus Torvalds氏の登録商標である。

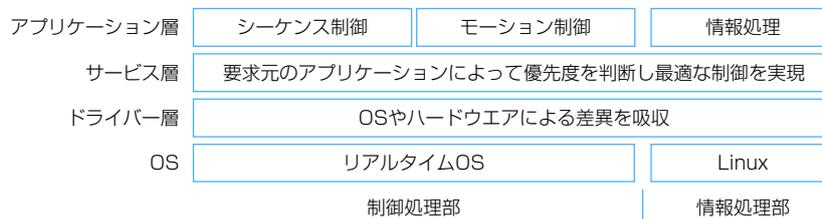


図5-MELSEC MXコントローラのアーキテクチャ

3.3 スケーラブルなラインアップに適した技術

MELSEC MXコントローラのスケラブルなラインアップを実現するため、シーケンサとデータ連携させるためのシステムバスインターフェースやCC-Link IE TSNに対応した機器とのインターフェースに加えて、マルチコアプロセッサ及び汎用バス(PCI Express^(注4))を内蔵した専用ICを開発した。専用ICはPCI Expressによって汎用ICと接続することで、容易にCPUの機能・性能を拡張でき、ソフトウェアが実装しやすい柔軟なハードウェア構成を可能にした(図6)。

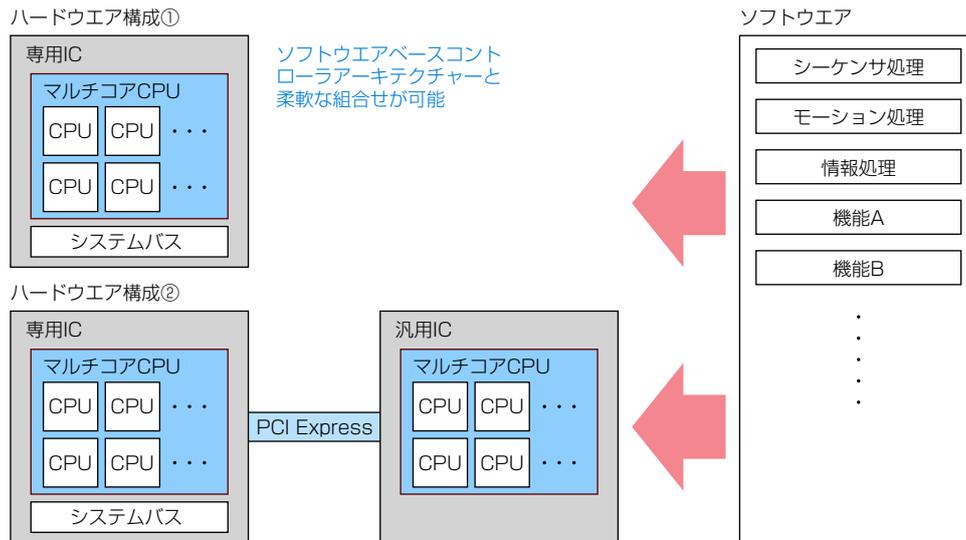


図6-MELSEC MXコントローラのハードウェア構成

マルチコアプロセッサを実装する専用ICの開発では、各CPUの並列演算の効率と高性能化に伴う消費電力が課題となる。各CPUの並列演算の効率に対しては、動作シミュレーションやプロト検証を代表とするフロントローディング設計によって、内部バスの構成とPCI Expressの各ポートに対するソフトウェア処理の割当てを最適化し、マルチコアCPUの並列演算の効率を最大化した。消費電力に対しては、各機能を個別に電源遮断可能な回路を実装し、適応するハードウェア構成や実装されるソフトウェアに応じた電力管理を実施することで、ICの高性能化と低消費電力化を両立した。

専用ICの拡張性・柔軟性によって、顧客の設備規模や用途に合わせて、最適な情報処理部・制御処理部の機能・性能を実現し、多様化する市場ニーズや技術トレンドへの迅速な対応を可能にした。

(注4) PCI Expressは、PCI-SIGの登録商標である。

4. む す び

MELSEC MXコントローラの特長及びその実現に適用した技術について述べた。MELSEC MXコントローラによって、従来は生産する製品の加工精度が生産タクトに優先度を付けてライン・設備設計を行っていたところ、その両方を選択することが可能になり、設備のコストパフォーマンス向上を実現できる。今後も、技術の進歩や顧客の要望の変化をしっかりと捉えて、製造現場の変革を牽引していく。

産業用ロボット MELFA FRシリーズ“FR PLUS”

奥村誠也*
Seiya Okumura
大樂佑介*
Yusuke Dairaku
高橋浩喜*
Hiroki Takahashi

後藤隆矢*
Takaya Goto

*名古屋製作所

Industrial Robot MELFA FR Series "FR PLUS"

要 旨

顧客の製造工程で、高生産・高品質を実現するため、産業用ロボットMELFA FRシリーズ“FR PLUS”を開発した。新制御方式“MELFA High Drive”を採用し、高い軌跡精度、短い位置決め整定時間、レイアウト設計に対する柔軟性を可能にしている。軌跡精度や位置決め整定時間が向上することで、作業品質が向上し、また、タクトタイムの短縮につながる。MELFA High Driveを有効にした場合と無効にした場合で、ロボットに試験経路を動作させ、軌跡精度を比較した。その結果、MELFA High Driveによって、三菱電機の測定環境で軌跡精度が最大64%向上することを確認した。

1. ま え が き

近年、製造業で人手不足の解消のため、産業用ロボットは不可欠な存在になっており、より多くの生産現場で活用できるように多様な作業への対応が求められている。しかし、産業用ロボットはその剛性の低さから部品のピックアンドブレースなどで使用されることが多く、精密な作業に対しては、対象とする作業を専用とした直交ロボットが用いられる場合が多い。

産業用ロボットで精密な作業を実現しようとする時、振動による影響や軌跡精度が低下する懸念があるため、動作速度や加減速度を小さくする、又は、振動が整定するまでの時間を長く取るなど対策が必要である。しかし、これらの対策では生産性が低下してしまう。これらの課題を解決するためには軌跡精度、位置決め整定時間の向上が不可欠であり、実現すると産業用ロボットの活用の幅を大きく広げることが可能になる。

本稿では、これらの性能向上を実現したMELFA FRシリーズFR PLUS(図1)について述べる。

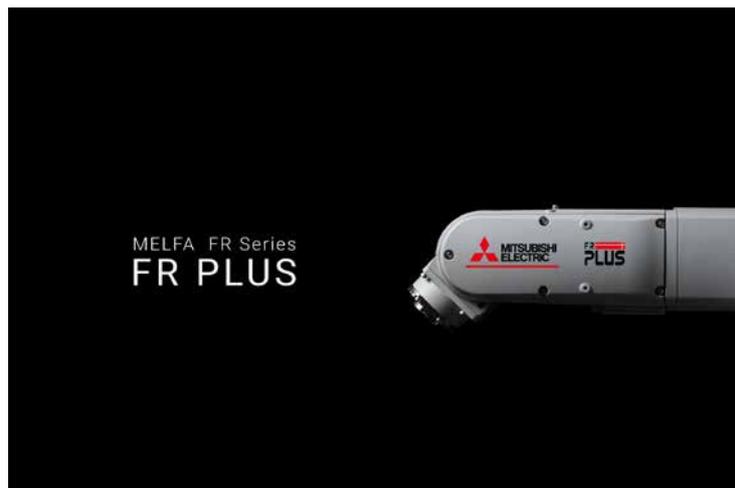


図1 -MELFA FRシリーズFR PLUS

2. MELFA FRシリーズFR PLUS

MELFA FRシリーズFR PLUSは、新制御方式MELFA High Driveによって軌跡精度の向上と位置決め時間の短縮を実現した。さらに、力覚センサーのラインアップ拡張や機器間ケーブルの別売り化によって、幅広いアプリケーションへ

の対応が可能になっている。これらの機能やオプションによって、顧客の製造工程に柔軟に対応し、高生産・高品質の実現に貢献する。

3. 新制御方式MELFA High Driveの特長

MELFA High Driveは、産業用ロボットMELFA FRシリーズの動作性能を向上させた新制御方式である。“High Precision” “High Speed” “High Flexibility”といった三つの特長を持っており、それぞれ高い軌跡精度、短い位置決め整定時間、レイアウト設計に対する高い柔軟性を表している(図2)。MELFA High Driveには、“軌跡優先モード”と“高速位置決めモード”があり、目的に応じて、動作モードを切り替えて使用する。



図2-MELFA High Driveの特長

3.1 軌跡優先モード

MELFA High Driveの軌跡優先モードでは、指令経路を補正することで軌跡精度を改善している。速度や位置による軌跡変化が少なくなることで、立ち上げ調整が容易になり、シーリング加工等の作業品質の向上につながる。

図3(a)に軌跡精度を必要とする作業例として、シーリング加工を実施している例を示す。通常、図3(b)左図のように目標とする軌跡に対して、実際の軌跡が内回りしてしまい軌跡誤差が発生してしまう。MELFA High Driveが有効な場合、図3(b)右図に示すように、内回りを改善し、意図したとおりの加工ができるようになる。



図3-MELFA High Driveの軌跡優先モード

加工、組立て、シーリング又は溶接などの作業を行う産業用ロボットでは、ロボットアームの手先をあらかじめ設定された目標軌跡に追従させるように各関節軸にあるサーボモーターを制御する。この制御で、目標軌跡のコーナー部ではサーボモーターの回転速度が急激に変化するため、機械に振動が発生しやすい。そのため、一般的なサーボ制御では、この機械振動を抑制するために、位置指令に高周波数成分を減衰させるようなフィードフォワード制御をかけることによ

て、位置指令の変化を抑えている(図4)。しかし、その結果、目標軌跡の変化に対して応答軌跡が内回りしてしまい、軌跡誤差が発生する。

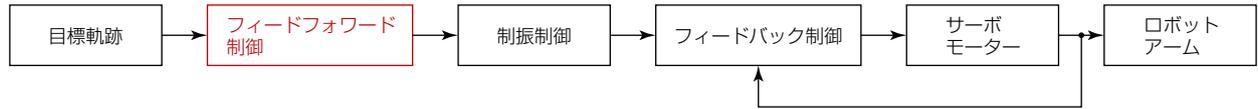


図4-MELFA High Driveのブロック図

MELFA High Driveでは、図4にあるフィードフォワード制御を改善することで、機械振動を抑制しながら、応答軌跡の内回りも抑制している。具体的な方法は、参考文献(1)を参照されたい。位置指令に対する応答の誤差には、目標軌跡の接線方向の成分である追従誤差と、垂直方向の成分である軌跡誤差がある。シーリング加工等の作業では、目標とする形状と一致させるため、軌跡誤差を発生させないことが求められている。一方、追従誤差は加工形状には直接影響を与えないため、許容される場合が多い。MELFA High Driveのポイントは、追従誤差を許容することで、振動を抑制しつつ、高い軌跡精度を実現している⁽¹⁾。

3.2 高速位置決めモード

MELFA High Driveの高速位置決めモードでは、独自の制振制御アルゴリズムで位置決め時の振動を抑制し、位置決め整定時間を短縮することを可能にしている(図5)。位置決め整定時間とは、速度指令値がゼロになってから、実際にロボットアームの手先位置の速度がゼロになって停止するまでの時間を指す。通常、速度指令値がゼロになっても実際には少し遅れてから速度がゼロになる。また、制御方法によっては停止時に振動が発生するため、振動が停止するまでの時間によって位置決め整定時間が長くなることもある。MELFA High Driveでは、三菱電機ACサーボ“MELSERVO”でも実績のある制振制御を採用し、また、産業用ロボットの剛性を補償する制振制御を追加することで、位置指令が完了した後に発生する機械振動の抑制を可能にしている。

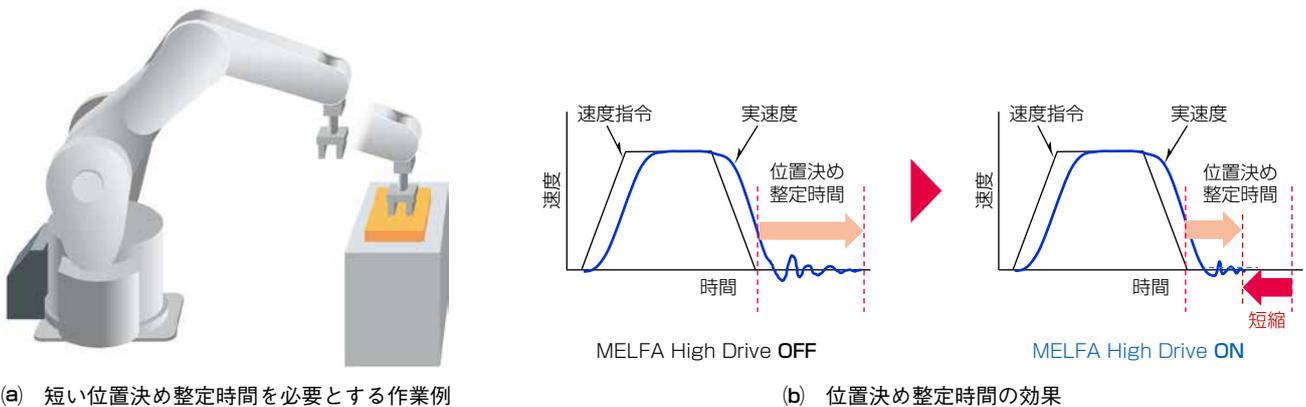


図5-MELFA High Driveの高速位置決めモード

位置決め整定時間が長いと、ロボットが指示した位置に到達した後、微小に振動する時間が長いことを意味する。したがって、ロボットに精密な作業をさせる際、誤差の原因になってしまうことから、振動が収まるまで待機しなければならない。しかし、MELFA High Driveを有効にすると、位置決め整定時間を短くできるため、ロボットが次の動作に移行するまでの待ち時間を短くすることが可能になり、タクトタイムの短縮につながる。

4. MELFA High Driveの改善効果

MELFA High Driveの有効、無効による改善効果を確認した。4.1節に円動作での比較結果を、また、4.2節にロボットに特定の経路を動作させたときの比較結果を述べる。最後に4.3節でMELFA High Driveの改善効果を述べる。

4.1 円動作での比較

MELFA High Driveを有効、無効それぞれの条件で、ロボットに異なる速度で円動作させたときの結果を図6に示す。通常、動作速度を上げるほど、指令の周波数成分が大きくなるため、振動抑制効果によって目標軌跡に対して応答軌跡が内回りしてしまい、軌跡精度の低下につながる。図6から、MELFA High Driveが無効の場合、動作速度を上げていくと内回り量が大きくなるため、速度に対する応答軌跡にばらつきがあることが確認できる。それに対して、MELFA High Driveを有効にすると、動作速度を大きくしても内回り量が少なくなっており、軌跡精度が向上していることが確認できる。

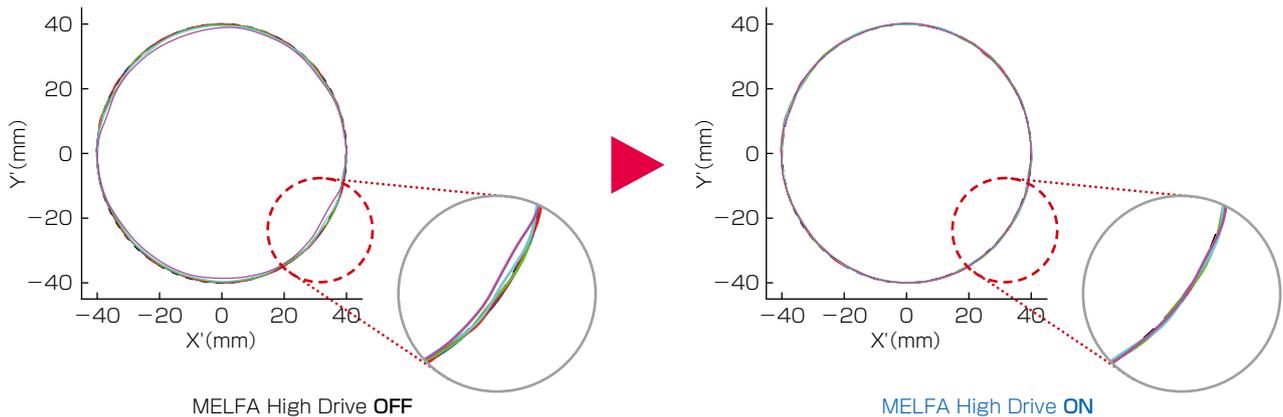


図6-円動作での比較結果

4.2 特定の経路での比較

MELFA High Driveを有効、無効それぞれの条件で、ロボットに特定の経路を動作させ、ロボットアームの手先の位置の軌跡をレーザートラッカーで測定した。その試験結果を図7に示す。

図7から、MELFA High Driveが無効の場合と比較して、有効の場合は、動作速度を上げても軌跡誤差が低下していないことが確認できる。

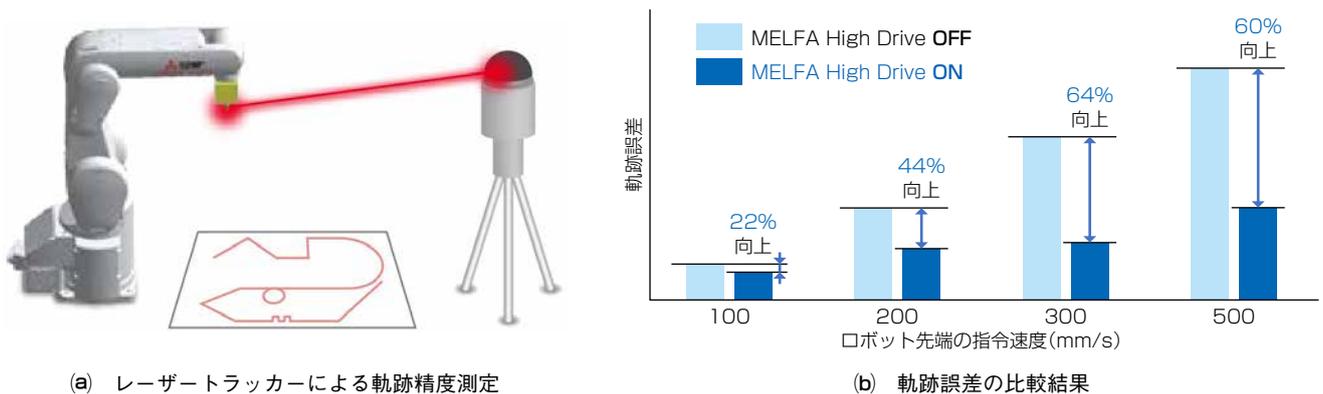


図7-特定の経路での比較結果

また、MELFA High Drive無効時に200mm/sの動作速度で動作させたときの軌跡誤差と、MELFA High Drive有効時に500mm/sの動作速度で動作させたときの軌跡誤差が同等になっている。これは、MELFA High Driveを有効にすることで、加工精度を維持しつつ従来よりも加工時間を短縮可能であることを意味している。また、同じ動作速度で軌跡誤差が低下していることが確認できる。このことは、従来と同じ動作速度で動作させた場合、加工品質を向上させることにつながる。

4.3 MELFA High Driveの改善効果

MELFA High Driveの改善効果を次に述べる。

(1) 装置立ち上げ期間の短縮

目標とする軌跡に対して高い精度でロボットを動かしたい場合、一度、実際にロボットを動作させ、軌跡誤差がある箇所の教示点を微調整する必要がある。また、通常、動作確認時は低速で動作させ、実際に加工するときは高速に動作させる。速度によって軌跡精度に違いがあると、動作確認時と異なる加工になってしまい、教示点を再度調整する必要がある。MELFA High Driveの軌跡優先モードによって、これらの問題を解決でき、ティーチングを容易にすることにつながる。

(2) 作業品質の向上

マイクロメートル単位の精度を要するような精密な作業では、目標軌跡と実際の軌跡がずれていると、意図どおりの加工にならず、製品不良を引き起こす可能性がある。MELFA High Driveの軌跡優先モードでは、加工速度を変更することなく加工精度が向上するため、製品の品質向上につながる。

(3) 軌跡精度向上による加工時間の短縮

精密な作業では、応答遅れによる軌跡誤差を抑制するため、動作速度を小さくしている場合が多い。MELFA High Driveの軌跡優先モードでは、動作速度を大きくしても従来と同じ加工品質になるため、動作速度を大きくすることが可能になる。

(4) 整定時間短縮によるサイクルタイムの短縮

ビジョンによる撮像や、精密部品の組立て、搬送では、目標とした位置に動作した後の残留振動がなくなるまで、待機させる必要がある。又は、残留振動を低減するため、ロボットの加減速度を小さくして、ゆっくり動作させる必要がある。MELFA High Driveの高速位置決めモードでは、位置決め時の振動を抑制するため、目標位置に動作した後の待機時間を減少させることができる。又は、振動を抑制するために小さくしていたロボットの加減速度を大きくすることが可能である。これらはサイクルタイムの短縮につながる。

5. む す び

産業用ロボットMELFA FRシリーズの性能向上のために開発したMELFA FRシリーズFR PLUSに搭載された、新制御方式MELFA High Driveの特長について述べた。

今後も引き続き産業用ロボットの性能を改善し、自動化できていない作業の課題を解決していく。

参 考 文 献

- (1) 斎藤暁生, ほか: JP6821041B2, サーボ制御装置, 日本 (2021)
<https://www.j-platpat.inpit.go.jp/c1801/PU/JP-6821041/15/ja>

リニアトラックシステム “MTR-Sシリーズ”

川瀬達也*
Tatsuya Kawase
若山裕史*
Hiroshi Wakayama
酒井 伸*
Shin Sakai

Linear Track System "MTR-S Series"

*名古屋製作所

要 旨

近年、生産ラインでは、タクトタイムの更なる短縮及び変種変量生産のニーズが高まっており、高速搬送が可能かつフレキシブルな搬送システムの必要性が増している。さらに、就労人口減少問題から、生産ライン立ち上げ工数・オペレーション工数・保守工数の低減も重要性を増している。

三菱電機では、こうしたニーズや課題に対応するため、リニアトラックシステム“MTR-Sシリーズ”を開発した。

“MTR-Sシリーズ”では、リニアトラック特有の高速性・柔軟性はもちろんのこと、製品導入・保守・プログラミングの容易化に焦点を当てた開発を行い、ユーザーへの価値を向上させている。

1. ま え が き

自動化された連続する生産設備で製品を生産する場合、工程ごとに作業を行い、次の工程に搬送する、という流れを繰り返す。その中で搬送システムには、一般的にベルトコンベヤーやローラーコンベヤーなどが用いられてきた。しかし、近年では生産性の更なる向上、変種変量生産への対応、オペレーションコストの上昇、製品リリースサイクルの短縮による生産ライン立ち上げ・組替えの更なる短縮要求など、様々な課題を抱えており、従来の搬送システムではこれらの課題を解決することが困難であった。こうした生産現場の課題を解決するために、当社がこれまで磨いてきたリニアサーボ技術・モーション制御技術を活用し、高速・循環・フレキシブルな搬送システムであるリニアトラックシステムMTR-Sシリーズを開発した(図1)。本稿では、MTR-Sシリーズの主な特長について述べる。



図1-リニアトラックシステムMTR-Sシリーズ

2. リニアトラックシステムMTR-Sシリーズの特長

MTR-Sシリーズの特長を次に述べる。

2.1 リニアトラックシステムとしての特長

MTR-Sシリーズの代表的な仕様を表1に示す。直線・曲線形状に適した新型リニアサーボモーターの開発によって、直線・曲線区間共に最大推力300N、最大速度4m/sを達成し、従来のコンベヤーシステムでは実現できない高加速・高速

搬送を可能にした。また、独自のリニアスケールシステムを開発することで、業界最高レベルの繰り返し位置精度 $\pm 5 \mu\text{m}$ を実現した。さらに、高剛性が特長である新型の直曲メカニカル案内機構(ガイド)を採用することで、単なる搬送装置ではなく、位置決めステージとしての役割も兼ねることができる。精密な部品実装が必要になる電子機器組立てラインにも、追加の位置決め機構、ストッパーや加工台が不要になり、装置システムコストと設置面積の削減が可能になる(図2)。

キャリアは2種類存在し、アプリケーション対応力を高めている。48mmキャリアMTR-SCR00-003-048は、最大可搬質量3kg、最大推力140Nで主に食品・医薬品の二次包装への活用が期待される。98mmキャリアMTR-SCR00-010-098は、最大可搬質量10kg、最大推力300Nであり、電子機器・二次電池セルの組立て向けへの活用が期待される。

表1-MTR-Sシリーズの製品仕様

キャリア	MTR-SCR00-003-048	MTR-SCR00-010-098
最大速度(m/s)	4 ^(注1)	
最大可搬質量(kg)	3 ^(注1)	10 ^(注1)
最大推力(N)	140	300
繰り返し位置精度(μm)	± 5 ^(注2)	
最大トラック周長(m)	18	
最大制御キャリア数	48 ^(注3)	
設置方向	水平/垂直	

(注1) 可動部の重心位置やトラックの設置方向によって、最大速度・可搬質量に制限がかかる場合あり

(注2) スケール検知部での実力値

(注3) リニアトラック制御ユニット・ヘッドユニットMTR-SCU00-4Gに、拡張ユニットMTR-SCU00-PGを取り付けた場合

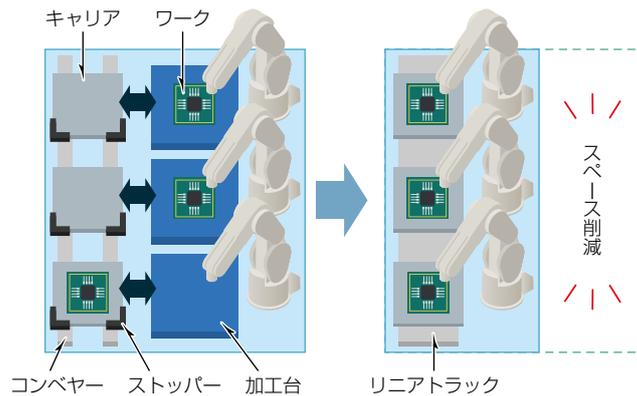


図2-リニアトラックシステムによる装置設置面積の削減例

直線・曲線形状のモジュール化された“トラックモジュール”を組み合わせることで、オーバル・円形・四角形といった無終端形状はもちろん、直線やL字といった終端形状にも対応可能である。トラックの設置方法は、水平・垂直設置が可能であり、設計自由度の高いシステムになっている(図3)。

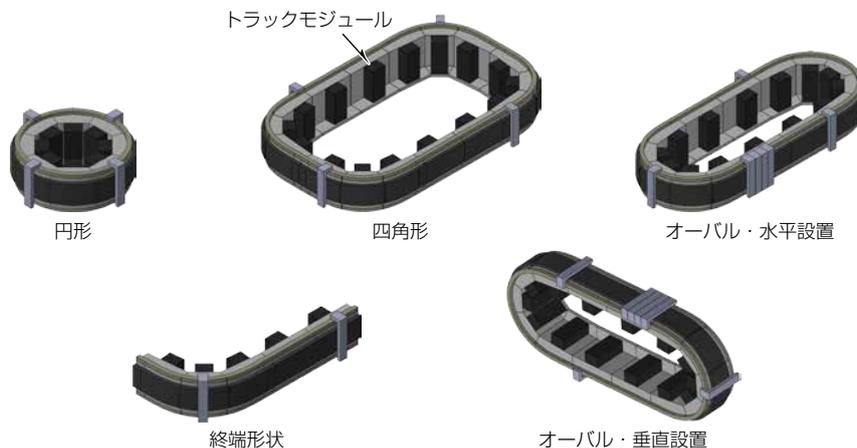


図3-トラック形状と設置方向のバリエーション例

キャリアは最大48台を独立して制御可能で、必要なキャリアだけを動作させることができるため、コンベヤーシステムに比べて省エネルギー化が可能である。

2.2 三菱電機FA機器との親和性

MELSEC iQ-RシリーズであるモーションユニットRD78G(H)用のリニアトラック制御用アドオンと、CC-Link IE TSN対応リニアトラック制御ユニットMTR-SCU00-4Gを開発することで、MTR-Sシリーズは、三菱電機FA機器との高い親和性を実現した(図4)。

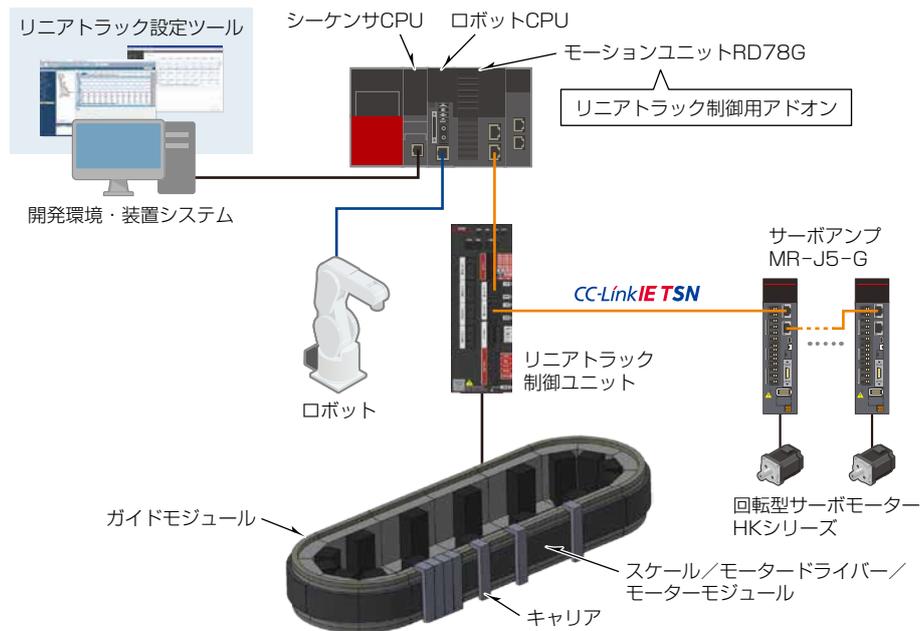


図4-リニアトラックシステムの構成例

2.2.1 ACサーボアンプMELSERVO-J5との完全同期制御

リニアトラックシステムでは、リニアトラック制御用アドオンを追加したモーションユニット1台で、リニアトラックシステムとACサーボアンプMELSERVO-J5(以下“MR-J5”という。)をシームレスに制御できる(図4)。リニアトラック制御ユニットはCC-Link IE TSN Class Bに対応しており、モーションユニット、リニアトラック制御ユニット、及びMR-J5をCC-Link IE TSNを介して接続することによって、リニアトラックシステム内のキャリアだけでなく、周辺サーボモーターとの同期制御が可能になる(図4)。また、リニアトラック制御ユニットは、各キャリアの情報を仮想的に把握することで、リニアトラック上の全てのキャリアを個別に制御可能になっている。これらの特長によって、キャリアと周辺サーボモーター間での高度なモーション制御(同期制御、カム制御など)を実現可能になり、例えば、各工程でのワークのロード/アンロードを高速化させ、装置のタクトタイム向上を図ることができる。

2.2.2 ACサーボアンプMR-J5制御機能への対応

リニアトラック制御ユニット/モータードライバーは、MR-J5のサーボ制御で使用されるJ5サーボエンジンを搭載しており、MR-J5で培った各種制御機能を使用できる(表2)。キャリア軸(キャリア1台に対してキャリア軸1軸が割り当てられる)ごとにJ5サーボエンジンが割り当てられるため、キャリアごとに制御機能やゲインをそれぞれ設定可能である。装置アプリケーションに応じて設定することで、低振動・高精度なモーション制御が可能になり、装置の更なるタクトタイム向上を実現できる。例えば、任意のタイミングでゲインを切り替えることができる“ゲイン切替え機能”を使用することで、キャリア走行中でも状況に応じた最適ゲインを設定できる。また、キャリア上のワークの積み降ろしによって負荷質量比が変化するのに合わせてゲインを変更したり、キャリア停止間際にゲインを高めて整定時間を短縮したりすることも可能である。

表2-キャリア制御機能

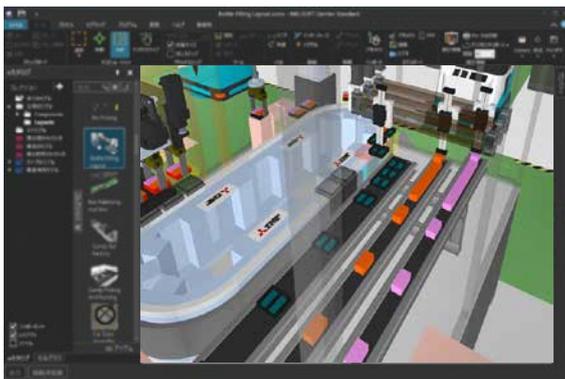
機能	効果
オートチューニング	キャリアに搭載される負荷が変化しても、最適なサーボゲインを自動的に調整
ゲイン切替え機能	任意タイミングでゲインを切替え
機械共振抑制フィルター	キャリアの共振を抑制
制振制御	キャリアに搭載したワークの振動を抑制
オーバーシュート抑制制御	停止時のオーバーシュートを抑制
スケールオフセット機能	キャリアごとのスケール取付誤差を補正

2.3 導入の容易化

MTR-Sシリーズは、次に述べる機能・構造によって導入の容易化を実現している。

2.3.1 3Dシミュレーター“MELSOFT Gemini”連携

一般的に搬送システムは、各工程間搬送のサイクルタイムの余裕度や、各工程でのローダー・アンローダー・ロボットなどとの同期制御・物理干渉など、複雑な検討項目が多岐にわたる。3Dシミュレーター“MELSOFT Gemini” (図5(a))を使用することで、リニアトラックシステムを含む設備レイアウトや、タクトタイム、干渉チェックを実機レスで事前に確認できるため、設備設計工数を大きく削減可能である。



(a) MELSOFT Gemini連携



(b) 2Dキャリアモニター

図5-MELSOFT Gemini連携と2Dキャリアモニター

2.3.2 リニアトラック設定ツール・2Dキャリアモニター

リニアトラックシステムのトラック・キャリア構成の設定を定義するためのシステム情報ファイルを直感的に作成するために、ビジュアル設定が可能な“リニアトラック設定ツール”を用意した。さらに、このリニアトラック設定ツールで作成したトラック・キャリア構成を用いて、実機レスかつ視覚的にキャリア運転プロファイルの確認を行える“2Dキャリアモニター機能” (図5(b))も搭載している。

2.3.3 簡単モジュール据付け

複数のモジュールを連結して高精度なりニアトラックシステムを構築するためには、モジュール同士の位置調整やガイドレール継ぎ目の段差調整が必要になる。微調整を要する作業になるとモジュール据付けが難航し、装置の立ち上げが長期化するおそれもある。この課題を解決するため、モジュール側にピンを設けて隣接モジュールを容易に位置決めする構造とした。また、ガイドレール継ぎ目はボルト締結だけで段差が小さくなる新規構造を取り入れて、細かな調整作業を不要にした。これらの構造によって、ユーザーでも簡単にモジュールを据え付けることが可能になり、据付け工数の削減にも貢献する。

2.4 保守の容易化

MTR-Sシリーズは、次に述べる構造を採用し、保守の容易化を実現している。

2.4.1 高剛性ガイド・メタルローラー

直線部、曲線部のどちらでもガタつきがなく、滑らかにキャリアを周回させることができる新型の直曲メカニカル案内機構(ガイド)を採用した。ガイドレールと接触して摩擦しやすいキャリアのローラー部分にはプラスチックではなくメタルローラーを使用することで、高剛性と長寿命(50,000km)の両立を実現した。

2.4.2 潤滑装置

ガイドの性能を十分に発揮し、かつ長期間使用するためには、ローラーとガイドレールの間に油膜が形成される状態を保つ必要がある。ユーザーは定期的に潤滑油を給油する必要があるが、メンテナンスに手間がかかるため、給油頻度を減らしたいというニーズがある。そこでMTR-Sシリーズでは、キャリアのローラー部に潤滑装置を標準搭載し、適切な量の潤滑油をローラー経由で供給することによって、メンテナンス間隔の大幅な延長を可能にした。

2.4.3 機電分離構造

リニアトラックを構成するガイドモジュール・モーターモジュールのメカ部とモータードライバーの電気部は、ユーザーによる取り外しが可能である。もし電気部であるモータードライバーに異常が発生し、モータードライバーだけの交換が必要になる場合でも、組み上がったガイドモジュール・モーターモジュールを取り外すことなく、モータードライバーだけをリニアトラックから取り外して交換でき、装置のダウンタイムを大幅に削減可能である。

2.5 プログラミングの容易化

MTR-Sシリーズは、次に述べる機能によってプログラミングの容易化を実現している。

2.5.1 多軸位置決めデータ運転機能・キャリア通過バッファ

搬送システムでは、キャリアがあるプロセスポイント(図6左①)に到達すると、そのプロセスポイントをスタート地点として位置決め(演算)プロファイルを実行するような単一の運転パターンを、全てのキャリアが実行することが一般的である。このような運転パターンをキャリアごとに設定することはプログラミング量が多く、煩雑性が高くなるという課題がある。そこで、単一の運転パターンを全てのキャリアに適用させるための次の二つの機能を用意した。

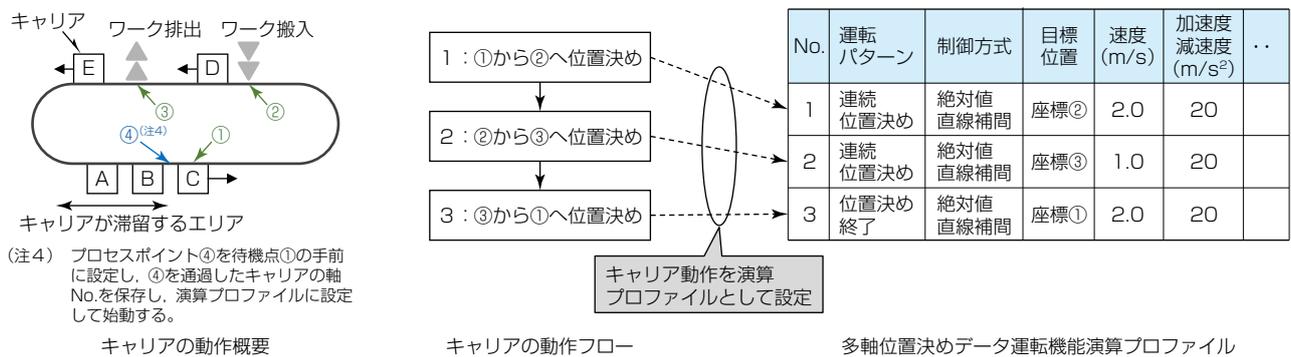


図6-多軸位置決めデータ運転機能・キャリア通過バッファの使用例

(1) 多軸位置決めデータ運転機能

キャリア運転パターン(図6左①→②→③)を一つの演算プロファイルとして設定し、その演算プロファイルを全てのキャリアに適用できる機能である。キャリアの経路を可視化でき、動作変更時は一つの演算プロファイルを変更するだけでよいので、プログラムの保守性が向上する。

(2) キャリア通過バッファ機能

プロセスポイント(パラメーターで指定したトラック上の任意座標(図6左④))を通過したキャリア軸No.を保存(バッファリング)する。保存したキャリア軸No.を、多軸位置決めデータ運転機能を始動するキャリア軸No.指定・トリガーに使うことで、キャリア軸No.を意識しないプログラミングが可能になる。

2.5.2 衝突回避機能

モーションユニットのリニアトラック制御用アドオンには“衝突回避機能”が備わっている。この衝突回避機能を使用することによって、キャリアの滞留が発生するエリア(図6左④)で、キャリアの衝突を防ぐための動作プログラムをユーザーが作成する必要がなくなる。

図7に衝突回避機能の動作例を示す。キャリアAの目標座標への位置決めが完了するまでの間に、指定間隔分前方にキャリアBが停止して存在する場合、指定間隔を空けてキャリアAも自動的に停止する。キャリアBが再加速した際には、キャリアAも再加速を行い、キャリアBに追従して走行することで、衝突を回避しつつ、キャリアAは目標座標への位置決め動作を遂行できる。

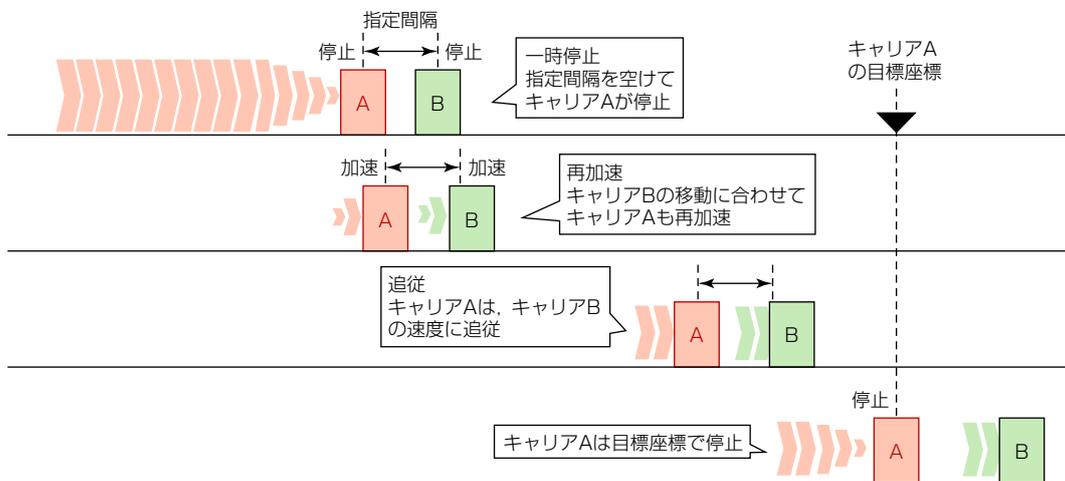


図7-衝突回避機能の動作例

3. む す び

今回開発したリニアトラックシステムMTR-Sシリーズの特長について述べた。生産性向上や変種変量生産への対応のニーズがますます高まっていく搬送システムに対して、リニアトラックシステムへの注目度は高まっていくと考えられる。今後もリニアトラックシステムを更に市場に浸透させるために、顧客の要求にスピード感を持って対応していく。

HDL技術によるV2X相対位置判定

Relative Zone Classification in V2X by HDL Technology

*三菱電機モビリティ株式会社

要 旨

近年、自動車業界では100年に一度と言われる変革期にある中、CASE(Connected, Autonomous, Shared & Services, Electric)領域の技術開発を加速させている。V2X(Vehicle to everything)は自車両が他車両や外部ネットワークに接続するためのキー技術であり、安心安全を目的としたADAS/AD(Advanced Driver Assistance Systems/Autonomous Driving)の認識性能の向上や車両間の協調制御をスムーズに行うための技術として期待が高まってきている。世界的にも欧州・米国を中心に検討や開発が盛んに行われており、日本でも制度整備や実現検討がなされ、高速道路での実証試験も進められている。

三菱電機モビリティ株式会社(MELMB)では、より安心安全なADASアプリケーション(衝突警報など)を実現するためのV2X技術として自車両と他車両の位置情報から他車両との相対的な位置関係の算出精度を向上させ、衝突危険性の警告精度を高めるための技術を開発した。この技術では、高精度ロケータ(High Definition Locator : HDL)技術の特長である高精度な位置情報と地図情報を用いることで自車両周辺の他車両の状況をより正確に認識し、相対位置及び警告の高精度化を実現した。

1. ま え が き

ADASや自動運転システムが近年、各車両に搭載されている。主な車両制御としてはカメラやミリ波等の車両センサーによる検知結果に基づいた制御であり、物陰や見通しが悪い場合などセンサーでの検知が難しい範囲やユースケースについての考慮が必要になってきている。これらの課題に対して、V2Xによって車外と接続することで自車両と他車両、二輪車、信号などのインフラ、歩行者との間で相互の挙動を事前に把握し、衝突危険性の警告などを行うことが可能になる。その結果、安全性、利便性、快適性を向上させることができ、交通事故減少、渋滞緩和、環境負荷低減などの効果が期待される。

V2Xの技術課題として、相互に挙動を把握し衝突危険性の警告を行う際、他車両の座標位置及び状況から自車両と他車両との相対的な位置関係を高い精度で把握することが挙げられる。この点について、自車両に関しては高精度ロケータによるGNSS(Global Navigation Satellite System)やセンサー情報、地図情報を用いたマッチング補正処理によって高い位置精度を保つことができるが、他車両から受信した位置情報に関しては他車両の測位性能によって位置精度の信頼性が必ずしも高いとは言えない。そのため他車両の位置推定の精度を高める技術が求められている。

本稿では、これらを改善するために、HDL技術の特長である高精度な位置情報と地図情報を用いて他車両との相対位置の算出精度向上技術に関するMELMBの取り組みについて述べる。

2. HDL技術を用いたV2X開発の取り組み

2.1 従来のV2X技術での課題

V2X技術では、自車両と他車両とで緯度経度、高度などの位置情報を相互で送信を行う。受信した他車両の位置情報を用いて、自車両と他車両との相対的な位置推定をリアルタイムで実施する。次に相対的な位置推定に加えて、自車両と他車両それぞれの移動方位、速度、任意の到達点までの距離、到達に要する予測時間から衝突などの危険性を推定し、ユースケースに応じてドライバーに対して情報提供・注意・警告を行うかの判断を実施する。

V2X技術での課題として、他車両から送信される位置情報だけでは正確な位置推定が困難であることや、自車両に関

連する道路上又は走行車線上に他車両が存在しているかの推定が困難であることが挙げられる。そのため他車両の位置推定の精度を高める技術が求められるが、以前から用いられている他車両の走行経路履歴からの位置推定では、他車両の位置情報の精度や走行している道路形状などによっては、必ずしも正確な推定を行うことができない。

これらによって起こり得る問題として、現実には自車両と他車両とで衝突の可能性がないにもかかわらずシステム上では危険性を推定しドライバーに誤警告を通知してしまうことや、逆にシステム上では衝突の可能性がないと推定されるが、実際には衝突の危険性が存在する誤判断の場合が考えられる。

このような誤警告や誤判断は、車両ドライバー、交通に対して安全なシステムを提供できない可能性を持つことになる。これらの要因を低減し信頼性の高いV2X技術を確立するためには高精度な他車両位置の推定が必要になる。そのためMELMBでは図1に示すように、他車両のマップマッチングの実施とそれを用いた相対位置判定技術の開発を行った。

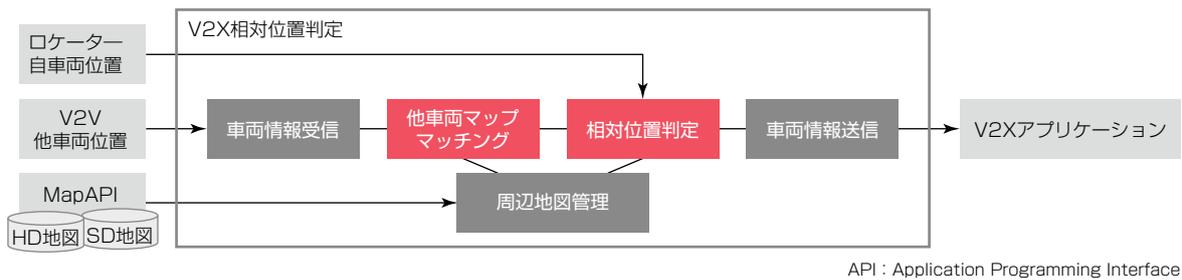


図1 - HDL技術を用いたV2X相対位置判定機能のシステム構成

本稿では、2.2節でHDL技術を用いた他車両マップマッチングによる位置推定の向上について述べて、2.3節ではHDL技術を用いた自車両と他車両の相対位置判定の方法について述べる。また2.4節でHDL技術を用いたV2X相対位置判定に関する評価結果について述べる。

2.2 HDL技術を用いた他車両マップマッチング

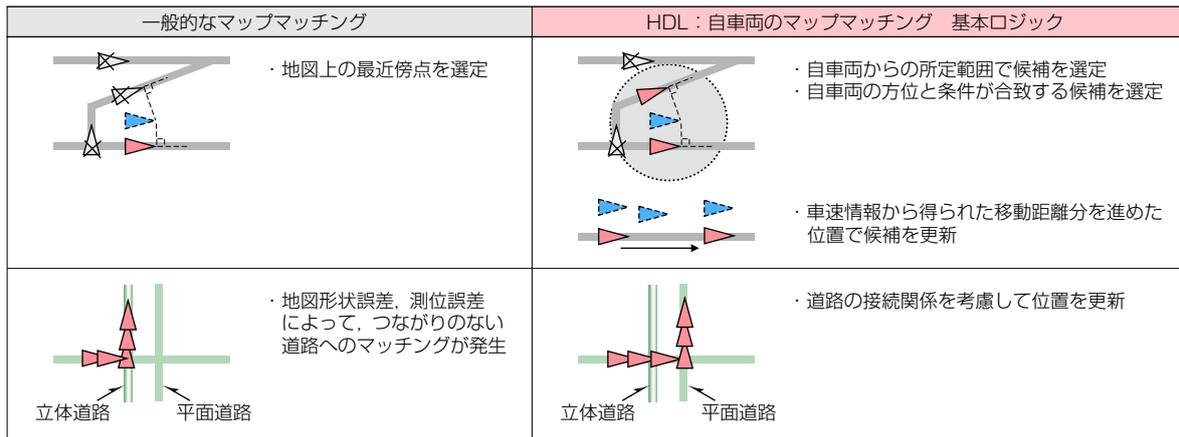
高精度ロケータでは衛星測位とDR(Dead Reckoning)によって高精度の測位を行い、さらに高精度地図(以下“HD地図”という。)で車線単位の情報が整備されていることで走行車線単位の特定を行うことができ、また関連する前方や周辺の地図が利用可能になる。それに加えて従来のナビゲーションシステムで利用される地図(以下“SD地図”という。)も搭載されており、一般道走行中はSD地図を活用する。HD地図は主に高速道路や一部の高規格道路で活用されている(図2)。

		HD地図	SD地図
情報の粒度	車線単位		
地図精度	50cm以下		
対象道路	高速道路や一部の高規格道路		
		道路単位	全ての道路

画像 ©2024 Airbus, Maxar Technologies, 地図データ ©2024 Google

図2 - HD地図, SD地図の情報内容

従来の地図情報を用いたマップマッチングでは、測位位置に対して地図上の最近傍点をマップマッチング位置としていた。しかし道路形状や測位誤差によっては算出位置が実際の走行位置と異なることが多く発生する。そこでMELMBのHDL技術では、自車両の測位位置を中心とした所定範囲の道路から自車両方位の条件に合致する地点を候補位置としている。また自車両が走行し位置更新が発生する場合、車速情報から移動距離を算出することで自車両移動に伴うマッチング性能を安定させることができる。この技術をV2X技術での他車両情報にも適用することでHD地図, SD地図を用いる際に自車両位置同等のマッチング性能を他車両でも得ることが可能になる(図3)。



自車両の測位位置
 マップマッチング位置
 車速情報から得た移動距離

図3-HDL技術でのマップマッチング方法

2.3 HDL技術を用いた相対位置判定ロジック

相対位置判定とは自車両に対して他車両の相対的な位置を判定する処理である。従来の地図情報を用いない場合は、受信している他車両の位置情報を基に予測される走行経路履歴を算出し、自車両に対して前方又は後方に存在するなどの位置推定を行う。この場合、ジャンクション、分合流などの単純ではない道路形状で走行経路履歴による相対位置の推定が正確に行えないケースが存在する。また自車両の対向方向から接近する他車に対しても衝突の可能性があるのか、単に反対車線を走行中の車両かの推定が正確に行えないケースが存在する(図4)。



画像 ©2024 Airbus, CNES/Airbus, Maxar Technologies, 地図データ ©2024 Google

図4-単純でない道路形状例、及び地図を用いない場合に起こり得る課題

MELMBでは自車両について高精度ロケータによる精度の高いマップマッチング結果をV2X技術に用いている。他車両でも相対位置判定の精度を高めるためHDL技術を活用し、HD地図の場合は車線単位での判別、SD地図の場合は道路単位での判別を可能にしている。HDL技術では図5のPathモデルに示すように、自車両位置から前方又は後方道路とそれに接続する道路を検出し、接続道路のモデル化を行うことで関連道路の情報を取り扱っている。V2X技術ではRecognitionモデルに示すように道路のモデル化をPathモデル同様にを行い、その道路モデルで他車両のマッチングを行う。これによって自車両に関連する道路候補の分類、及びその中に他車両が存在するかの判定、相対的な位置推定を可能にしている。その結果、地図情報を利用しないケースでは図6に示すように、警報対象の他車両候補が多く存在することになるが、地図情報を用いたRecognitionモデルの適用によって警報対象にならない他車両候補のフィルタリングを行うことができる。これによって様々な道路形状、対向判定に対しても他車両の相対位置を正確に判断でき、多数の他車両情報に関する処理負荷を軽減することにつながる。

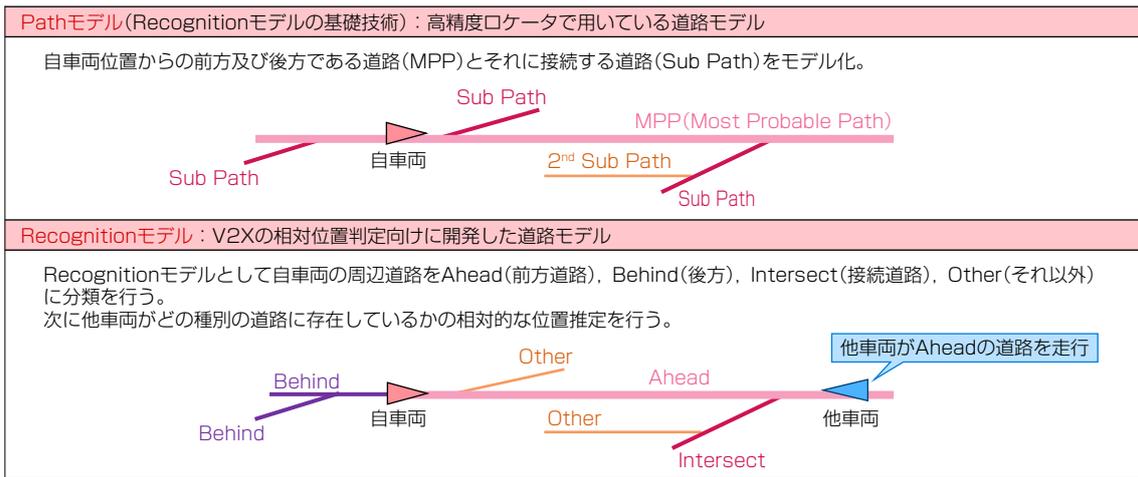


図5-HDL技術を用いたV2X技術でのRecognitionモデル

従来V2X技術	高精度ロケータを用いた場合	
	HD地図(車線単位の情報)	SD地図(道路単位の情報)
他車の位置, 方位, 速度だけ	HD地図(車線単位の情報)	SD地図(道路単位の情報)
警報対象の他車両候補が多数	地図とマッピングし、確実に警報対象でない他車両をフィルタリング可能	
走行履歴を用いた相対位置判定	車線単位での相対位置判定が可能	道路単位での相対位置判定が可能

図6-HDL技術を用いた場合での他車両のフィルタリング効果

2.4 実験評価

MELMBでシミュレーション環境を構築し、道路形状(直線道路, 急カーブ, S字カーブ, 分合流, ジャンクションなど), 自車及び他車の位置関係(同一方向, 対向方向など), 走行方法(道なりに走行, 右左折など)の組合せによる走行シナリオを基にシミュレーションを実施し, 想定される判定になるかの性能評価を実施した。HDL技術によるHD地図を用いた場合と, 地図情報を利用しない場合の相対位置判定の比較結果を図7に示す。HD地図を用いることによって, 各道路形状や位置関係のパターンに対して, 特に分合流やジャンクション, 高架/側道のケースでは正確な相対位置判定ができることが分かり, また同一, 対向方向の道路についても同様の改善効果が見られた。HDL技術を用いることでV2X技術での他車両の相対位置判定の精度改善の結果が得られたと言える。またSD地図を用いた場合と, 地図を利用しない場

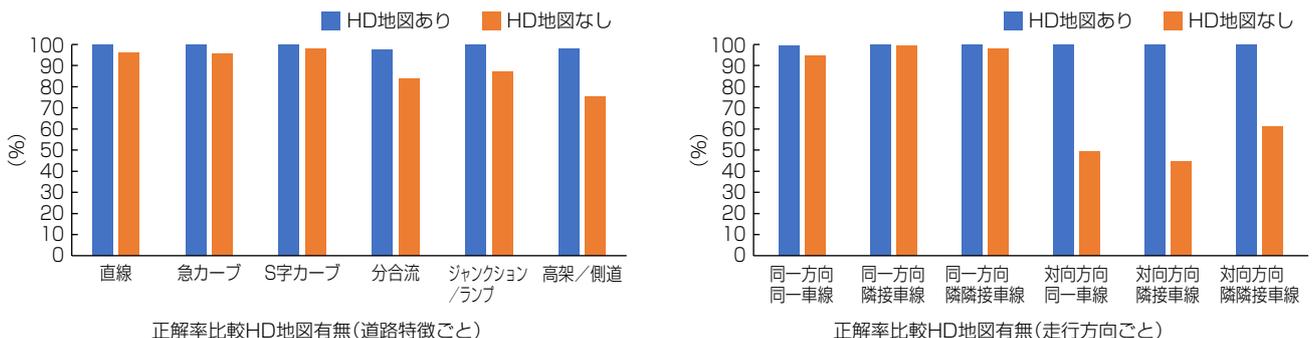


図7-HD地図を用いた場合の相対位置判定の結果

合の比較結果を図8に示す。急カーブ、交差点、ジャンクション、高架／側道、対向方向で改善効果が見られたが、直線、分合流、同一方向(隣接車線)では想定していた改善効果を得ることができていない。これはSD地図利用時の処理に改善すべき点があるためであり、今後は改善環境で性能評価を再度行い、改善効果の検証を行う予定である。また対向方向の同一車線や隣接車線はHD地図に比べて詳細な地図データが含まれていない。したがってHD地図相当の改善効果を得るために、道路形状や接続関係の判断などSD地図独自の技術検討を今後行う。

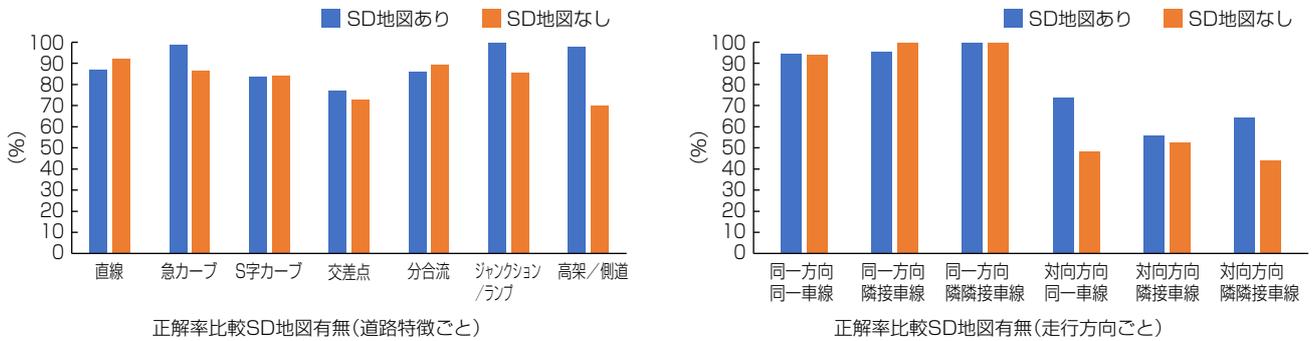


図8-SD地図を用いた場合の相対位置判定の結果

3. む す び

V2X技術に対するHDL技術の適用についてMELMBの取組みを述べた。この技術を用いた他車両マップマッチングや相対位置判定を行うことでV2X技術の課題である相対位置判定に関して従来の地図情報を用いない場合と比較し、道路形状や走行パターンでの有効な判定精度改善を行うことができることを確認した。またHD地図は主に高速道路、高規格道路を対象としており、一般道についてはSD地図を用いることになるが、HD地図同等の効果を得るために各道路形状や接続関係、走行パターンでの相対位置判定の改善を行っている。今後はSD地図での更なる性能向上の対応や、二輪車、歩行者への対応を進めることによって、安心安全な交通社会の実現に向け貢献していく。

参 考 文 献

- (1) 入江崇志, ほか: 車載向け高精度ロケータ, 三菱電機技報, 90, No.3, 187~190 (2016)
- (2) 石上忠富, ほか: CLAS対応車載向け高精度ロケータ, 三菱電機技報, 95, No.7, 425~428 (2021)

夜間の安心・安全な運転のための歩行者見落とし検知技術

住吉悠希*
Yuki Sumiyoshi
西川歩未†
Ayumi Nishikawa
山本晃史†
Akifumi Yamamoto

Pedestrian Overlook Detection Technology for Safe and Secure Night Driving

*三菱電機モビリティ㈱
†三菱電機㈱ 先進応用開発センター

要 旨

夜間の安心・安全な運転環境の実現のためには、車対歩行者の事故の抑制が重要な課題である。ドライバーが事前に回避行動を取ることができれば、ヒヤリハットの軽減と安全性の確保を両立できる。そこで三菱電機モビリティ㈱(MELMB)と三菱電機は、ドライバーが見落としした歩行者を早期に知らせる機能を開発している。この機能は、見落とし検知アルゴリズムによって、ドライバーに知らせる対象を限定することで、知らせる頻度が多いことによるドライバーの煩わしさ軽減の効果が期待できる。このアルゴリズムの開発に必要な、歩行者を見落とししたときのデータは、実車での収集が困難であるため、CG(Computer Graphics)映像を用いた評価実験によって収集した。これによって、安全かつ効果的なパラメーター最適化及び性能評価を行った。

1. ま え が き

MELMBと三菱電機では、安心・安全な運転環境の実現を目指している。完全自動運転技術の進展によって、将来的にはドライバーが運転から解放されることが期待されている。しかし、ドライバーが運転の主体になる自動運転レベル2以下の割合は、2035年でも約75%と予想されており⁽¹⁾、ドライバーの負担は残る。特に夜間の運転は視界が悪くなるため、事故のリスクが高まる。交通事故のうち、歩行者との事故は全体の約35%を占めており、その中でも夜間の車対歩行者の死亡事故の発生率は、昼間の約1.8倍に増加する⁽²⁾。したがって、安心・安全な運転環境の実現のためには、夜間の車対歩行者の事故の抑制が課題である。

歩行者との事故を抑制するためには、自動ブレーキ機能(Autonomous Emergency Braking : AEB)が効果的であることが示されており⁽³⁾、各社が性能改善に取り組んでいる。しかし、自動ブレーキのタイミングはドライバーの過信を防ぐために緊急時だけに限定されており⁽⁴⁾、自動ブレーキが作動した際に“怖い”と感じるドライバーも少なくない。三菱電機のアンケート調査でも、自動ブレーキを体験したドライバーのうち約半数が、作動時に“怖い”と感じたという結果になった。MELMBと三菱電機が目指す安心・安全な運転環境の実現のためには、このような“怖さ”につながるヒヤリハットの軽減に取り組むことも重要な課題と考えている。そこでMELMBと三菱電機は、自動ブレーキが作動する前に、ドライバーに歩行者の存在を知らせる機能の開発を進めている。

本稿では、この機能の実現のために必要な技術の開発と、その評価結果について述べる。

2. ドライバーが見落としした歩行者を知らせる機能

2.1 機能概要

ドライバーが見落としした歩行者を知らせる機能のシステム構成図と動作のイメージを図1に示す。安心・安全な運転環境を実現するためには、ドライバー自身が歩行者を認識し、早期に回避行動を取ることが重要である。この機能では、ドライバーが余裕を持って回避行動を取れるタイミングで、ヘッドライトやインテリアライトなどの光で歩行者の存在を知らせる。これによって、ドライバーは早期に歩行者に気付き、安全な回避行動を取ることができるため、事故やヒヤリハットの軽減が期待される。

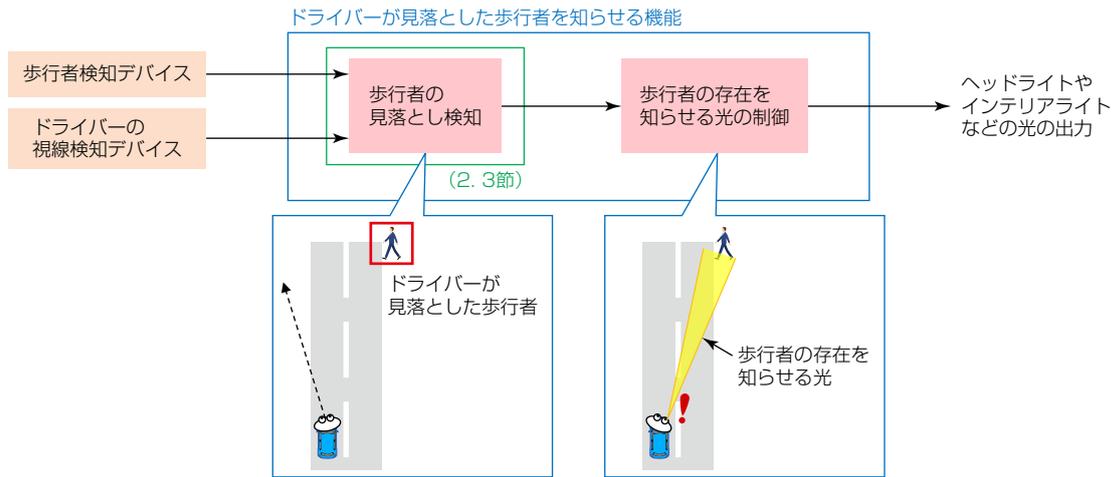


図1-機能のシステム構成図と動作のイメージ

2.2 歩行者を知らせる機能の課題と対策

走行中の道路に存在する全ての歩行者について知らせることは、ドライバーに煩わしさを与えるという問題がある。その対策として、次の二つが考えられる。

- (1) 知らせる対象を限定する
- (2) 知らせ方を工夫する(例：弱い光で知らせる)

(2)は、歩行者を知らせる効果が弱くなってしまう懸念があるため、まずは(1)に取り組むべきと考える。(1)の案として、自動ブレーキのように、センサーで得た歩行者の情報(自車両と歩行者の位置関係、歩行者の動きなど)に基づいて、リスクの低い歩行者はドライバーに知らせる対象から除く方法が考えられる。しかしこの方法では、リスクが高くなった場合にだけドライバーに知らされるため、ドライバーのヒヤリハット軽減の効果は弱くなる。また、リスクの程度に関わらず、ドライバーが歩行者を認知できている場合は、知らされるのが煩わしいと感じる可能性がある。

そこでMELMBと三菱電機は、周辺の状況だけでなく、ドライバーの状態も考慮することで、より効果的にドライバーに知らせる方法を提案する。具体的には、ドライバーが見落としした歩行者だけを知らせることで、ヒヤリハット軽減とドライバーの煩わしさを軽減の両立が可能と考えている。ドライバーに知らせるタイミングは、ドライバーが余裕を持って回避行動を取れるタイミングにすべきであるため、先行文献⁽⁵⁾に倣(なら)い、自車両から歩行者までのTTC(Time To Collision)を4秒に設定した。

本稿では、ドライバーが見落としした歩行者を検知する“見落とし検知アルゴリズム”について述べる。

2.3 見落とし検知アルゴリズム

見落とし検知アルゴリズムは、ドライバーが歩行者を見落としているかどうかを判定する。人間が物体を認知するためには、一定の視認時間(以降“必要視認時間”)以上、物体を有効視野内にとどめる必要があることが示されている⁽⁶⁾。また、人間が視認可能な物体までの距離は、物体の大きさ、周辺の明るさ、ヘッドライトの届く距離などによって限度がある。このアルゴリズムでは、これらの考え方に基づいて、ドライバーが歩行者を見落とししたか否かを判定する。具体的には、ドライバーが歩行者を“有効視野”内にとどめた視認時間が“必要視認時間”以上になった場合に“発見”と判定し、“必要視認時間”に満たなかった場合は“見落とし”と判定する。視認時間のカウントは、ドライバーが歩行者を視認可能な距離である“視認可能距離”内の場合だけとする。このアルゴリズムで用いる三つのパラメーター“必要視認時間”“有効視野”“視認可能距離”のイメージを図2に示す。

ここで、これら三つのパラメーターは、最適な値が明らかになっていない。先行文献では様々な調査によって値が取得されているが、どれも基礎実験による結果であり、この機能のターゲットである夜間の走行環境でも適用可能かどうかは不明である。また、それぞれ自車両及び歩行者の周辺の状況によって変動することが考えられる⁽⁷⁾⁽⁸⁾。そこでこのアルゴリズムでは、この機能のターゲットである夜間での、ドライバーが歩行者を発見したとき、及び見落とししたときのデータに基づいて、これら三つのパラメーターを最適化した値を用いる。

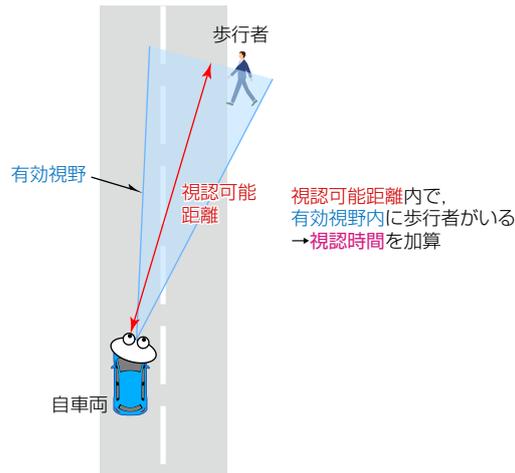


図2-見落とし検知アルゴリズムのパラメーターのイメージ

3. データ収集

3.1 データ収集の課題

パラメーターの最適化のためには、ドライバーが歩行者を発見したとき、及び見落とししたときの両方のデータが必要である。しかし、実車試験でドライバーが歩行者を見落とす状況を再現することは危険性が高く、実現が困難である。そこで、CG映像を用いて運転状況を再現し、ドライバーが歩行者を発見したか否か、及びアルゴリズムに必要なドライバーの視線情報を同時に取得することで、パラメーターの最適化に必要なデータを収集した。

また、2.3節で述べたように、このアルゴリズムで用いる三つのパラメーターは自車両及び歩行者の周辺状況によって変動することが考えられる。そこで、本稿では、この機能のターゲットである夜間を対象としてデータ収集を行った。

3.2 データ収集の方法

このデータ収集は、夜間の街中を走行中の、ドライバー視点のCG映像を用いて行った。CG映像内には歩行者が一人だけ配置されており、CG映像を実験参加者へ呈示すると同時に、ドライバーの視線情報及びCG映像内での自車両と歩行者の位置関係を取得した。視線情報は、赤外線カメラで撮像した顔画像から視線方向を計測する視線計測システムを用いて取得し、CG映像の各フレームと同期して取得した。

CG映像は、2.2節で述べた、ドライバーに知らせるタイミングで中断して黒画面になり、その時点で実験参加者が歩行者を発見したか否かを回答させた。この方法によって、パラメーターの最適化で用いる正解データになる、ドライバーに知らせるタイミングでの歩行者の発見又は見落としのデータを収集した。

このデータ収集は、屋内に簡易的に設置した暗室内で行った。このデータ収集を行った環境を図3に示す。

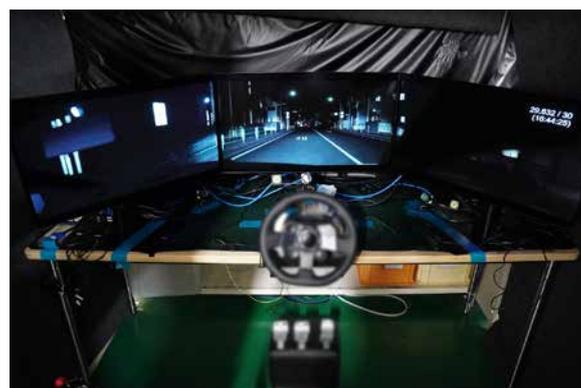


図3-データ収集環境

3.3 実験参加者へ呈示したCG映像

CG映像は、3面ディスプレイを用いて実験参加者へ呈示した。CG映像内の歩行者は、横断待ちをしているシーンを想定し、車道方向を向いて静止した状態で配置した。また、実験参加者が自然と前方の道路を見るようにするために、自車両の前方を先行車両が走行しているシーンとした。CG映像の一例を図4に示す。実験参加者がCG映像を見る際は、実際の夜間の運転をイメージしやすいように、ハンドルコントローラーを用いてハンドル及びアクセルの操作を行った。ただし、走行速度などの実験条件を統一するために、操作はCG映像とは連動しないものとした。

CG映像は、街灯の明るさ(3パターン)、歩行者の配置場所(2パターン)、歩行者の左右位置(2パターン)のそれぞれが異なる組合せ(合計12パターン)に加えて、実験参加者による歩行者の位置の推測を防ぐために、歩行者の位置が異なるパターンを複数呈示した。



図4-CG映像の一例

4. 性能評価

4.1 評価概要

本稿では、3章のデータ収集で収集した、12名の実験参加者の合計144件のデータ(歩行者を発見したデータが125件、歩行者を見落としたデータが19件)での性能評価の結果を述べる。

見落とし検知アルゴリズムの性能指標は、次の二つとした。

- (1) 正検出率：ドライバーが見落とした歩行者を“見落とし”と判定した割合
- (2) 過検出率：ドライバーが発見した歩行者を“見落とし”と判定した割合

2.3節で述べた三つのパラメーター“必要視認時間”“有効視野”“視認可能距離”は、1名を除いた残り11名のデータから最適化した値を、除いた1名のデータに対して適用した。これを12回繰り返すことで、交差検証での評価を行った。

4.2 評価結果

評価の結果、正検出率が84.2%(19件中16件)、過検出率が10.4%(125件中13件)という結果が得られた。これによって、この機能を搭載しない場合に見落としてしまう歩行者のうち、84.2%の歩行者を早期に知らせることができる。一方で、ドライバーが見落としていない歩行者のうち、ドライバーに知らせる歩行者は10.4%であり、見落とし検知アルゴリズムを適用しない場合よりも知らせる対象を限定できる。このことから、このアルゴリズムによって、煩わしさを軽減しつつ、ドライバーが歩行者を早期に発見する効果が期待できる。

4.3 今後の課題

今後の課題は、このアルゴリズムの性能向上及び適用範囲の拡大である。このアルゴリズムの性能向上のためには、自車両及び歩行者の周辺状況に応じたパラメーターの調整が必要であると考えられる。本稿では夜間のデータを用いて行った評

価について述べたが、夜間でも自車両周辺の明るさや交通状況によって最適なパラメーターが異なる可能性がある。また、このアルゴリズムの適用範囲を拡大するためには、より多様な状況で収集したデータを用いた評価が必要である。これらの課題を解決するためには、3章のデータ収集で収集したデータセットだけでは不十分であるため、まずは様々な状況下でのデータを収集することが必要である。

5. む す び

ドライバーが見落としした歩行者を知らせる機能の開発と、この機能を実現するための見落とし検知アルゴリズムの概要及びアルゴリズム開発に用いるデータ収集と性能評価結果について述べた。CG映像を用いたデータ収集によって、安全かつ効率的なアルゴリズムの開発と評価を進めることができた。

今後は、より多様なデータを用いたアルゴリズムの性能向上及び適用範囲拡大を目指す。さらに、この機能をシステム全体で動作させ、ヘッドライトやインテリアライトなどの光で知らせる部分までを含めた効果の確認及び見落とし検知アルゴリズムの性能目標の策定を行う。さらに、実環境でもこのアルゴリズムが適用可能かどうかの検証を行う。

参 考 文 献

- (1) ㈱富士キメラ総研：2022 自動運転・AIカー市場の将来展望 (2022)
<https://www.fcr.co.jp/report/221q15.htm>
- (2) 内閣府：令和5年度交通事故の状況及び交通安全施策の現況 第1編 陸上交通 第1部 道路交通 第1章 道路交通事故の動向 第2節 令和5年中の道路交通事故の状況
https://www8.cao.go.jp/koutu/taisaku/r06kou_haku/zenbun/genkyo/h1/h1b1s1_2.html
- (3) 公益財団法人 交通事故総合分析センター：衝突被害軽減ブレーキ(AEB)の世代別効果分析, 第22回 交通事故・調査分析研究発表会 (2019)
https://www.itarda.or.jp/presentation/22/show_lecture_file.pdf?lecture_id=125&type=file_jp
- (4) 波多野 忠, ほか：先進緊急ブレーキシステム(AEBS: Advanced Emergency Braking System)に係る国際調和基準について-続報-, 交通安全環境研究所フォーラム講演概要, 2011, 135~136 (2011)
- (5) 辻 孝之, ほか：夜間の歩行者認知支援システムの開発, 自動車技術会論文集, 37, No.1, 185~190 (2006)
- (6) 一般社団法人 照明学会：道路照明のビジビリティレベルに関する研究調査委員会報告書, JIER-072 (2002)
- (7) 岩崎電気(株)：IWASAKI LIGHTING HANDBOOK 1.3 明るさと物の見え方
<https://www.iwasaki.co.jp/documents/jp/lighting/support/tech-data/knowledge/unblinking.pdf>
- (8) 公益社団法人 自動車技術会：自動車技術ハンドブック <人間工学編> 第7章 ドライバ行動, 537~601 (2016)

車内レーダー向けの電波伝搬解析

Radio Wave Propagation Analysis for In-Cabin Radar

*三菱電機㈱ 先進応用開発センター
†同社 情報技術総合研究所
‡三菱電機モビリティ㈱

要 旨

車の安全性を評価するアセスメントであるEuro NCAP(The European New Car Assessment Programme)の評価基準に幼児置き去り検知が追加される⁽¹⁾など、車内に取り残された幼児に対する熱中症などの事故リスクを軽減する取り組みが進んでいる。車内用センサーの一つとして60GHz帯ミリ波レーダーが有力視されているが、その検知性能は車内の構造物による透過・反射等の影響を受けるため、製品開発前段階でセンサー仕様、搭載条件、車内レイアウト等が適切であるかの見極めが重要である。この開発では、三菱電機の“電波見える化技術⁽²⁾”を車内レーダーに適用し、実測した人体の散乱データとの比較によって実験的検証を行う。さらに、車内の検知可否マップを作成し、電波伝搬解析が製品開発前段階でのレーダー検知性能の見極めに有効であることを示す。

1. ま え が き

近年、屋外での利用が主であったミリ波レーダーが屋内や車内といった閉じた空間でも使われるようになってきており、特に、自動車の車内モニタリングでの需要が高まっている。その背景として、車の安全性を評価するアセスメントであるEuro NCAPの評価基準に幼児置き去り検知が追加されたことが挙げられる。幼児置き去り検知は、図1に示すように、車内に取り残された幼児の存在を検知し、使用者や第三者に知らせることで、幼児の熱中症などの事故リスクを軽減するためのものである。

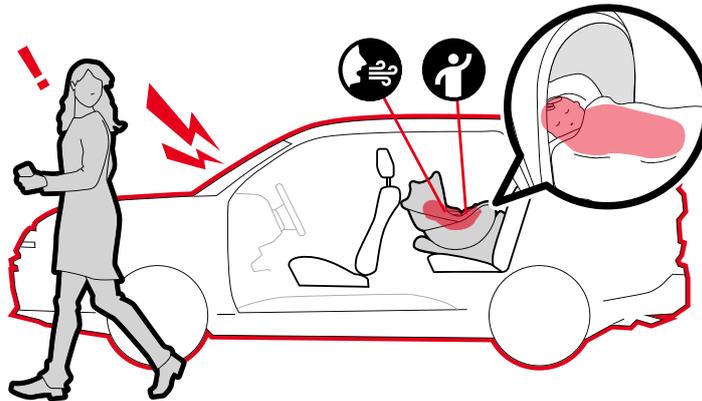


図1-幼児置き去り検知システム

Euro NCAPでは、日よけ付きの後ろ向きチャイルドシートで睡眠中の乳幼児に毛布がかかっている条件や、幼児が座席の足元領域に入り込んだ条件でも、幼児の存在を検知することが求められる。このような条件下では、カメラのような光学系センサーでは幼児を捉えることは困難で、レーダーのような電波系センサーの方が適しており、三菱電機では、60GHz帯ミリ波レーダーを活用した幼児置き去り検知システムの開発を進めている⁽³⁾。電波系のセンサーは、金属以外であればある程度物体を透過するため、先に述べたようなシナリオでも幼児の存在を検知することが可能である。

車内レーダーの検知性能は、レーダー本体の仕様だけでなく、位置や角度などの搭載条件や、車内レイアウトなどによる電波伝搬状態の変化に伴い変化する。このため、車種ごとに搭載条件の最適化が必要不可欠である。このような最適化を実現する方法の一つとして、全ての車種で様々なレーダー搭載条件でのデータを取得し、設置条件及び各種パラメータを最適化する方法が挙げられるが、開発に要する時間・コストを考えると現実的ではない。

このような課題を解決するため、今回の開発では三菱電機の電波見える化技術を車内レーダーに適用し、開発の効率化を図る。本稿では、車内レーダーの電波伝搬環境とモデル化の方法を述べた後、開発した車内レーダー向け電波伝搬解析の評価結果として、電波暗室内で測定した人体の散乱データを用いた実験的検証、及び車内の検知可否マップ作成による搭載条件検討例を示し、電波伝搬解析が製品開発前段階でのレーダー検知性能の見極めに有効であることを示す。

2. 車内レーダーへの電波見える化技術の適用

この章では、車内レーダー向けに三菱電機の電波見える化技術を適用する考え方を述べる。

2.1 車内レーダーの電波伝搬環境

自由空間中でミリ波レーダーの送受信アンテナから距離 R だけ離れた位置にある物体からの反射波の受信電力 P_r は、送信電力を P_t 、送信アンテナ利得を G_t 、受信アンテナ利得を G_r 、波長を λ 、レーダー反射断面積(Radar Cross Section : RCS)を σ として、一般にレーダー方程式で次のとおり表す。

$$P_r = \frac{G_t G_r \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4} P_t \dots\dots\dots (1)$$

しかし、実際の車内の電波伝搬環境は自由空間ではなく非常に複雑である。例えば、レーダーには指向性があり、方向ごとに異なる強度で電波が放射されている。すなわち、式(1)の送信アンテナ利得及び受信アンテナ利得は方向ごとに異なる。また、車内の場合、電波は幼児に直接届くだけでなく、シートなどを透過して届く場合や、車内の構造物に反射して(マルチパス)届く場合もある。このため、車内レーダーの設計には、単純なレーダー方程式ではなく、車種や搭載条件ごとに、車内に網羅的に電波が届いているかを評価、可視化する方法が必要になる。その方法が、電波伝搬解析技術、すなわち電波見える化技術である。

三菱電機の電波見える化技術はレイトレーシング法を採用しており、車内レーダー向け電波伝搬解析にもこの手法を用いている。レイトレーシング法では、図2に示すように、電波を光線で表現し、送信アンテナから光線を発射し、その軌跡を追跡する。また、車内構造物で電波が反射、回折する物理現象は、光線の反射、回折に近似して計算される。さらに、車内構造物の電気特性や形状を考慮して電磁界の変化を算出しており、多様な実環境を反映した計算が可能である。

レイトレーシング法の特長としては、電波の波長に比べて十分大きな物体や空間に対して幾何光学近似に基づき電界強度を高精度に計算できることが挙げられる。60GHz帯のミリ波レーダーの場合、波長は約5mmであるため、車内の構造物に対しては十分に波長が短いと言える。また、レイトレーシング法は、FDTD(Finite-Difference Time-Domain)法などの厳密な電磁界解析と比べて高速に演算可能であるという特長がある。

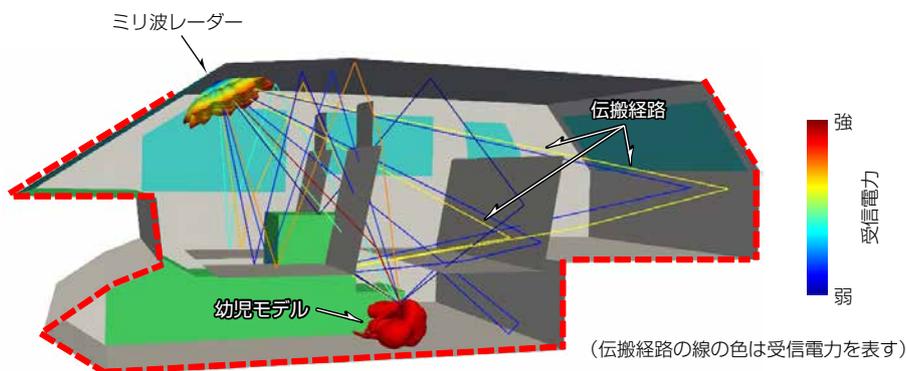


図2-レイトレーシング法のイメージ

2.2 車内レーダー向け電波伝搬解析用のモデル化

車内レーダー向け電波伝搬解析では、図3に示すとおり、アンテナ特性、車内構造、人体の反射強度のモデル化が必要である。次にそれぞれのモデル化の手法を示す。

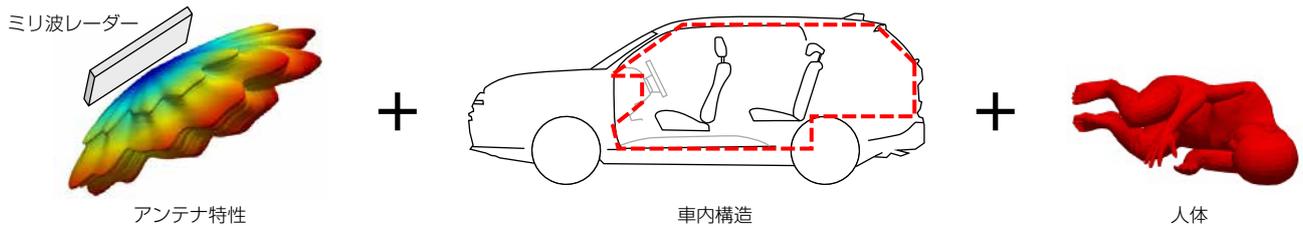


図3-車内レーダー向け電波伝搬解析のモデリング要素

(1) アンテナ特性のモデル化

アンテナ特性は三菱電機のレーダー設計要素であり、実測値や電磁界解析値を用いて数値化が可能である。なお、レーダー設置位置の近傍に構造物が存在する場合は、必要に応じてレーダーとその周辺構造物を含むアンテナ特性を導出する。

(2) 車内構造のモデル化

車内構造のモデル化は、各パーツの位置関係を実測してモデル化する方法が挙げられる。近年では3Dスキャナーを活用することで詳細な形状を反映することも可能である。また、実測だけでなく、車内3Dモデル(サーフェスモデルで可)をベースにすることも可能であり、試作前段階の車両に対しても適用が可能である。なお、細かいパーツは解析時間を延ばすだけで解析結果への影響は小さい場合があるため、解析時間や解析精度を考慮しながら、3Dモデルの形状修正を行う。車両シートなどの構造物の電気特性は、実測データなどを基に合わせ込みを行う。

(3) 人体のモデル化

人体の形状は波長に対して細かい形状をしており、単純なレイトレーシング法では正しく受信電力が計算できない。そこで、①人体モデル全体の反射の合成波として受信電力を計算する方法、②人体の代表的なRCSを点ターゲットとして与える方法、という二つの方法を用いた。

①は、人体モデルの姿勢や大きさに応じたレーダーの受信電力を計算可能になるが、その分計算量は増加する。なお、人体から得られる受信電力の計算方法としては、レイトレーシング法と物理光学近似を組み合わせる方法もあるが、今回の開発ではより簡易な計算方法として、人体表面上に仮定の散乱点を配置し、それらまでの伝搬損と散乱特性からレーダー方程式に従ってレーダーでの受信電力を求め、それらを合成する方法を採用した。

②は、人体のRCSが設定したRCSに固定されるが、点ターゲットとなるため単純なレイトレーシング法で計算が可能であり、車内の各エリアに十分な電力が届いているか網羅的に評価する際に適している。

3. 車内レーダーの電波伝搬解析を用いた評価

この章では、三菱電機の電波見える化技術を車内レーダーに適用した評価結果を示し、その有効性を検証する。

3.1 人体の散乱データを用いた実験的検証

開発した車内レーダー向け電波伝搬解析について、電波暗室内で測定した人体の散乱データとの比較によって妥当性の検証を行う。図4に、2.2節で述べた人体モデル化方法①(人体モデル全体の反射の合成波として受信電力を計算する方法)を適用した場合の受信電力と距離の関係について、電波伝搬解析結果と実測結果の比較の例を示す。人体モデルは、実際の人体を3Dスキャナーで取り込んで、姿勢及び形状が同等になるよう生成した。シミュレーションでは、人体表面上に仮定の散乱点を28,796点配置し、それらまでの伝搬損と散乱特性からレーダー方程式に従ってレーダーでの受信電力を求めている。なお、縦軸の電力は、頭部付近の受信電力を0 dBとして規格化しており、実測データは2回分の平均値を0 dBとしている。図4から、実測と解析は完全には一致していないが、実測も解析も頭部や肩付近で電力が高くなる傾向が確認できており、電波伝搬解析で、実測と類似した受信電力の傾向が得られることを確認した。誤差の要因としては、人体モデルと実測が完全には一致していないことや、実測中の人体がデータ取得中もある程度揺らぎを持っていることが挙げられる。今後、様々な姿勢での検証や、車内の乗員での検証などを行い、より実環境に近い環境での有効性を確認していく。

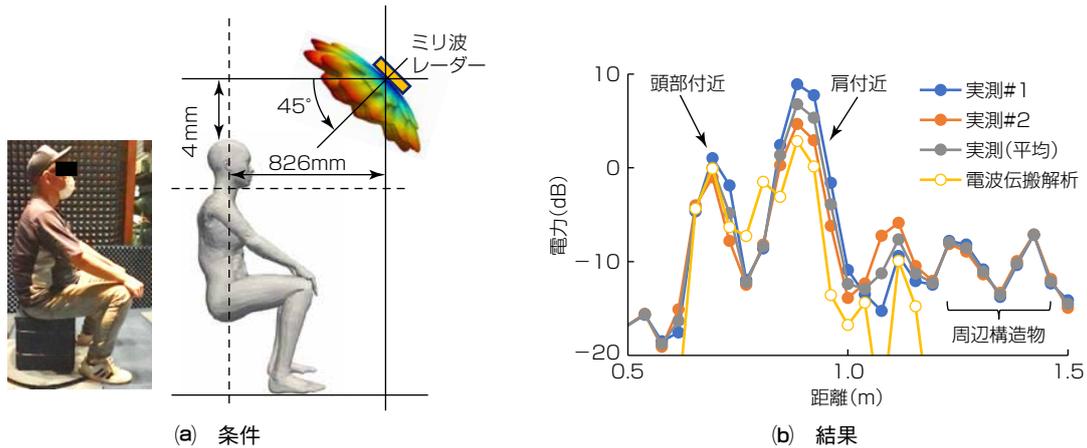


図4-人体から観測される受信電力の電波伝搬解析結果と実測結果の比較

3.2 車内の検知可否マップ作成による搭載条件の検討

車内の幼児の検知可否について、搭載角度を変えながら電波伝搬解析を行った場合の例を示す。レーダーは車のルームミラー上部のオーバーヘッドコンソール付近に搭載しており、搭載位置は2.1節に述べた図2に相当する。このシミュレーションでは、人体のモデル化方法②(人体の代表的なRCSを点ターゲットとして与える方法)を使用した。

図5(a)に搭載位置・角度の条件を示し、図5(b)に搭載角度45°、60°での足元付近の受信電力マップとレーダー検知可否マップを示す。受信電力マップは、車内の各地点に幼児相当の反射物が存在した場合の受信電力の強さを色の濃淡で表現しており、車内の各領域にどの程度の電波が届いているかを把握するのに用いる。レーダー検知可否マップは、レーダーのハードウェア及び信号処理性能も考慮して、受信電力が、幼児を検知可能なSNR(Signal-to-Noise Ratio)以上である範囲を白、それ以外を黒で可視化しており、検知したい範囲を網羅できているかを直感的に把握するのに用いる。なお、図には参考のため、1列目及び2列目の座席足元に幼児相当のオブジェクトを重畳して描画しており、また、車内を見やすくするため図には車両ボディ部分は描画していない。

図5(a)から、シートなどの遮蔽物の影響や距離の減衰によって受信電力が低下することが分かる。さらに、図5(b)から、搭載角度45°と60°の両方で、図5(a)の電波減衰領域でも、おおむね幼児を検知可能であることが分かる。ただし、搭載角度60°の場合、1列目の足元にいる幼児を一部検知しにくい領域があることも確認でき、この条件下では搭載角度は45°にする方が適切であると言える。以上のように、電波伝搬解析を活用することで、試作前段階で“レーダー本体仕様”“レーダー設置位置・角度”などの設計パラメーターの適切性を確認できる。これによって、設計の最適化を早期に図ることが可能になり、開発効率の向上が期待できる。

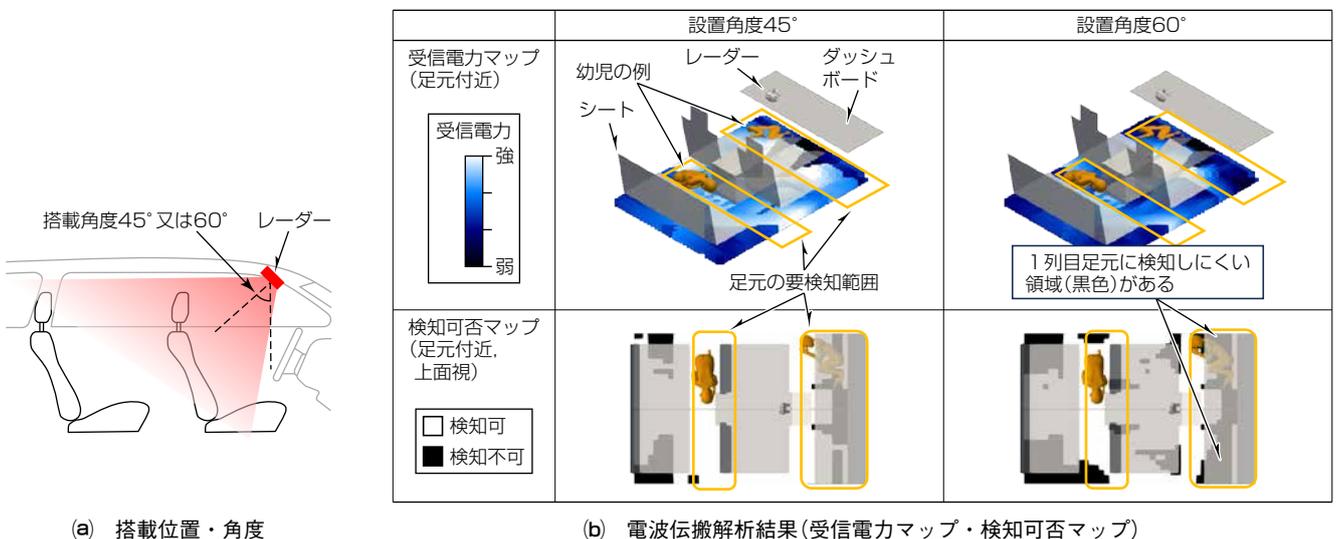


図5-搭載条件と電波伝搬解析結果の例

4. む す び

三菱電機の電波見える化技術を車内レーダーに適用し、その有効性を示した。

今後は、実車での解析結果の妥当性評価などを行い車内レーダー向けの電波伝搬解析技術を確立するとともに、電波伝搬解析技術だけでなく、三菱電機が持つ様々なレーダー技術を活用して、車内に取り残された幼児をより確実に検知可能な幼児置き去り検知システムの実現に貢献する。

参 考 文 献

- (1) Euro NCAP : Child Presence Detection Test and Assessment Protocol Ver.1.3 (2024)
<https://www.euroncap.com/media/83740/euro-ncap-cpd-test-and-assessment-protocol-v13.pdf>
- (2) 三菱電機：無線機器の最適配置を支援 IoTを支える「電波見える化技術」を開発 (2017)
<http://www.mitsubishielectric.co.jp/news/2017/pdf/0524-c.pdf>
- (3) カメラとミリ波レーダを用いた車内乗員検知技術, 三菱電機技報, 97, No.1, 71 (2023)



DMS／HDLの別体マイコンを不要とするSoC制御技術の確立

木村 茜*
Akane Kimura

植村宙夢*
Hiromu Uemura

御田村 晃*
Akira Mitamura

神山真彦*
Masahiko Kamiyama

*三菱電機モビリティ(株)

SoC Control Technology to Reduce Separate Microcontrollers for DMS/HDL

要 旨

三菱電機モビリティ(株)は、ADAS-ECU(Advanced Driver Assistance Systems-Electronic Control Unit)、DMS(Driver Monitoring System)、HDL(High-Definition Locator)などのADAS機器製品の提供を通じて、安心安全なモビリティ社会実現に貢献している。中でも特にDMS、HDLは高負荷処理とリアルタイム処理の両立が求められ、従来の三菱電機モビリティ(株)製システムではSoC(System on Chip)とマイコンで機能を分担し、システム要件を実現していた。しかし、近年のSoC高機能化に伴い、SoCに搭載されている複数のコアを使い分けることで、単一SoCでのリアルタイム処理と非リアルタイム処理の両立が可能になった。そこで、従来システムのマイコン機能をSoCに統合し、機能、性能、コストを検証した。

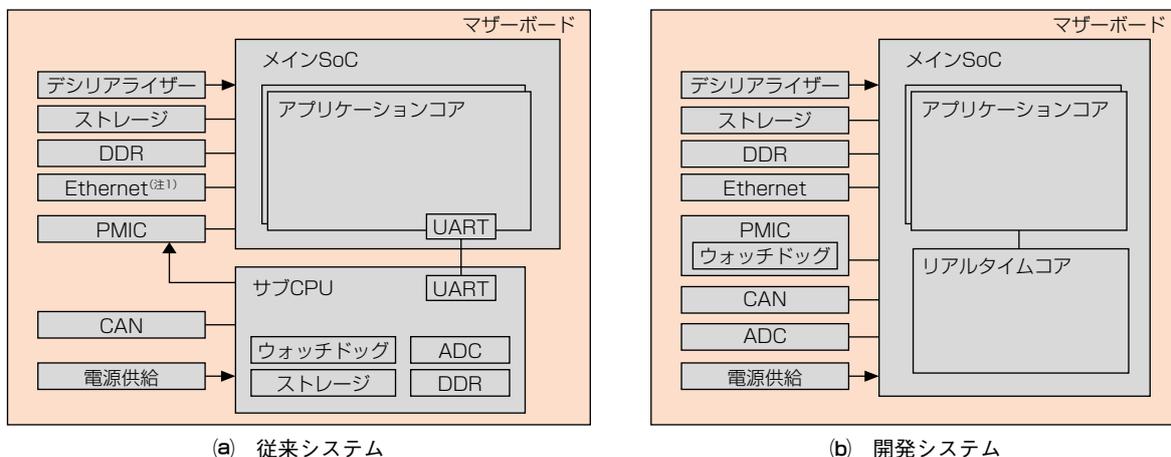
1. ま え が き

三菱電機モビリティ(株)は、人々が安心・安全に移動ができる事故のない社会の実現に向けて、車内外の情報処理技術に応用したADAS-ECU、画像認識技術に応用したDMS、高精度測位技術に応用したHDL、車外通信技術に応用したV2X(Vehicle to everything)など、ドライバーの安全な運転を支援する先進運転支援システム(ADAS)を開発している。

電動パワーステアリングのような制御系ECUには厳格なリアルタイム性が要求されるのに対して、DMSやHDLのようなADAS系ECUは画像処理など高負荷処理とリアルタイム処理の両立が必要である。

従来の三菱電機モビリティ(株)製ADAS系ECUでは、車載機器に求められる様々な性能要求を満たすため、SoCと別体マイコン(以下“マイコン”という。)の二つのCPUを搭載し、SoCに画像認識や高精度測位などシステムを特徴づけるアプリケーションを、マイコンに車載ネットワーク通信制御などリアルタイム性が求められる機能を搭載、という構成を採用してきた。しかし、このような2CPU構成のシステムは、基板上の部品点数・基板面積が増加するため原価低減が難しく、ハードウェア設計も複雑化するという問題があった。

このような問題を解決するため、リアルタイム処理が可能でリアルタイムコアが含まれる異種コア構成のSoCを使い、1CPUでありながらリアルタイム処理と高負荷処理を両立するシステム(以下“開発システム”という。)を開発した。図1



DDR : Double Data Rate, PMIC : Power Management IC, CAN : Controller Area Network, ADC : Analog-to-Digital Converter, UART : Universal Asynchronous Receiver Transmitter

(注1) Ethernetは、富士フイルムビジネスイノベーション(株)の登録商標である。

図1-システムブロック図

に示すように従来システムのマイコン機能をSoCに統合し、機能、性能、コストを検証した。これによって、ストレージの一本化、リソース共有、コア間通信、システム制御の簡素化が可能になり、部品コストを30%削減しつつ、従来の機能維持と性能向上を達成した。

本稿では、2章に開発システムの特長を、3章で評価結果を述べて、最後に4章でまとめを述べる。

2. 開発システムの特長

図2に示すように、開発システムでは、SoCのアプリケーションコアに高負荷処理を行うリアルタイムOS(QNX^(注2))やAUTOSAR^(注3) Adaptive Platform(AP)を、リアルタイムコアに電源制御や車内通信を行うAUTOSAR Classic Platform(CP)を搭載し、マイコンの統合を実現した。

(注2) QNXは、BlackBerry Limitedの登録商標である。

(注3) AUTOSARは、AUTOSAR GbRの登録商標である。

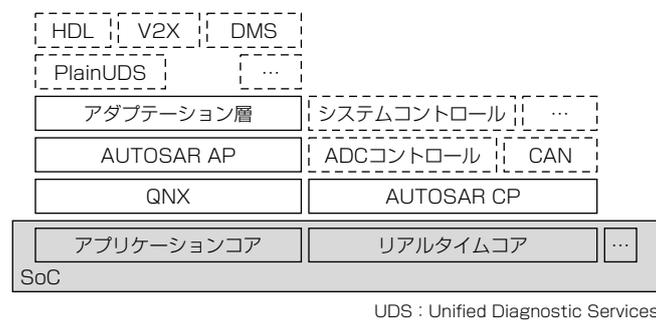


図2-開発システムのソフトウェアブロック図

2.1 開発システムの構成

先に述べた開発システムの構成内容について詳細を述べる。

2.1.1 AUTOSAR CP

AUTOSAR CPは、自動車業界の標準化組織AUTOSARが提唱する、リアルタイム性と安定性を重視した組み込みシステム向けのプラットフォーム(以下“PF”という。)である。SoCのリアルタイムコア側に搭載することで、ハードウェアの詳細を抽象化し、ソフトウェアの再利用性と交換可能性を向上させることが可能である。

2.1.2 AUTOSAR AP

AUTOSAR APは、AUTOSARが提唱する、より高度な機能や複雑なアプリケーションを実現するための演算処理に長(た)けた新しいPFである。SoCのアプリケーションコア側に搭載することで、ソフトウェアの再利用性と交換可能性、開発効率と品質の向上を目的に採用した。またAdaptive Application間にサービス通信を用いることで、アプリケーションは通信相手を意識しない開発が可能になり、APの搭載有無の切替えも容易である。

2.1.3 QNX

QNXは、カナダのQNX Software Systemsが開発したリアルタイムOSである。マイクロカーネルアーキテクチャを採用しており、その結果、高い安定性とリアルタイム性能を実現している。信頼性と即時性があり、かつ新技術の搭載も早いQNXをアプリケーションコアに搭載した。QNXは特定のPFに依存することなく様々なPFに流用可能なため、異なるECU開発向けにも相性が良い。

2.2 単一ストレージシステム

車載ECUは、制御プログラム、設定情報、ログなどのデータの保存や更新のためにマイコン内部又は外部にストレージを搭載している。従来システムでは、アクセシビリティを確保するためにSoC及びマイコンそれぞれにストレージを準

備し、マイコン向けストレージに格納した起動プログラム(ブートローダー)から起動させ、その後、SoC向けのストレージに格納したブートローダーを動作させることによって起動処理を実現していた。

開発システムでは、一つのストレージにブートローダーを含む全てのデータを格納し、単一のブートローダーから起動する仕組みを実現した。これによって、従来システムでの、マイコン及びその周辺回路の部品点数や基板面積の削減を可能にした(表1)。ただし、従来システムのマイコンで実現していた電源電圧監視及び温度監視の機能を実現するために、外付けのADC ICやサーミスターを追加搭載している。

表1-構成部品の比較

	従来システム	開発システム
ストレージ	2点	1点
メモリー	2点	1点
別体マイコン	✓	
X' tal, LDO, 周辺部品	✓	
ADC IC		✓
サーミスター		✓

X' tal : 水晶振動子, LDO : Low Drop Out

2.3 機能間リソース共有(又は単一メモリーシステム)

開発システムでは、3.1節で述べたストレージ以外に、メモリー、タイマー、センサーについても、SoCの高性能ハードウェアリソースをコア間で共有することで、従来のシステムと同様の機能を実現しつつ、高性能化を実現した。

表1に示すように、従来システムでは、各マイコンに専用のメモリーを搭載しており、他のマイコンの影響を受けずに機能実現が可能であった。しかし、開発システムのように複数のコアから同一メモリーにアクセスする場合、メモリーアクセス違反が問題になる。そこで、共有メモリーにはSoCのメモリー保護機能、及びOSのメモリーアクセス保護機能を利用することでメモリー分離を実現した。これによって安全にリソースを共有しながら、部品点数の削減が可能になる。

2.4 コア間通信機能

従来システムでは、SoCとマイコンの間をUART等の物理線で接続して制御していたが、開発システムでは共有メモリーと割り込みレジスターを用いたコア間通信機能を実現した。また、これまでのUARTによる通信は、半二重プロトコルを採用していたことで通信効率に課題があったが、開発システムでは、このプロトコルを全二重プロトコルに修正し、高速通信を実現した。また、マイコンが分離した従来システムでは、動作時刻の厳密な同期が難しく、故障発生時にはそれぞれのマイコンの動作ログを突き合わせて解析が必要であった。開発システムでは、同一Clockを各コアで参照することで、時刻同期が容易になる。さらに共有メモリーを用いてアプリケーションコア側からリアルタイムコア側の情報を取得することが可能なため、ログ出力機構をアプリケーションコアに集約することも容易である。

2.5 システム制御機能

従来システムから、CAN通信等から車両情報を最初に受信するマイコンが、システムの起動終了制御や電源管理を実施している。システム制御のために、2.4節に述べたマイコン間通信が確立する前、又は通信終了した後にも、複数のGPIO(General Purpose Input/Output)を使ってマイコン間や、複合電源IC間の制御を実施していた。

開発システムでは、リアルタイムコアがシステム制御を実施する。管理対象のGPIOは削減され、SoCの起動方法に準拠することで起動終了シーケンスは簡素化される。さらに、エラーの発生源やシステムの状態遷移が減少することでシステムの信頼性が向上し、開発や検証にかかるコストが削減されることも期待される。

またソフトウェア更新でも、従来のシステムでは、複数CPUのソフトウェアを順に更新するため、複雑な状態管理と更新時間の長時間化が課題であった。さらにマイコンはストレージ容量が小規模であったため、ソフトウェアイメージを二面持つことが困難な場合も多い。開発システムでは、二面化によるソフトウェア更新の簡素化が可能になった。

従来のシステムでは、システムの起動終了や、ヘルスマニター等の制御をUARTによるマイコン間通信に加えて、ハードワイヤーによるON/OFF制御(GPIO制御)によって実現していた。開発システムでは、これらの処理を共有メモ

リーや、CPUのレジスタ処理によって置き換えて、GPIOによる制御を削減し、システム制御の簡素化を実現した。これによって、従来システムで問題になっていた、GPIO線の不足によるシステムの複雑化の防止が可能になる。

また、ソフトウェア更新機能でも、開発システムによって簡素化を実現している。従来システムでは、次の課題があった。

- (1) SoC搭載のストレージのデータを更新し、その後、マイコン搭載ストレージのデータの更新を行う、逐次処理が必要である。
- (2) SoC及びマイコンのどちらかの更新が失敗すると、双方の一貫性保持のため、他方のロールバックが必要である。
- (3) マイコンに搭載されているストレージ容量が小さいためにデータの二面化ができず、複雑な制御が必要である。

開発システムでは、大容量ストレージとなるSoC向けストレージに一本化することで、従来システムでの課題を解決し、ソフトウェア更新機能の簡素化と更新時間45%短縮(更新速度(Mbps)の180%高速化)を実現した。

3. 評価

2章で述べたマイコンの削除によるシステムの変化点について検証を行った。

3.1 起動性能

マイコンを削除し、一つのSoCにマルチコア、マルチOSの大規模システムを実現する上で課題になるのが起動時間である。システムが大規模になるほど、ソフトウェアイメージは大きくなり、イメージを不揮発性メモリーから読み出し、実行する時間は長くなる。車載ECUの高速起動は必須であり、ADAS系ECUでは電源投入後200msほどでCAN通信応答を返すことなどが要求される。

従来システムでは、マイコンが内蔵フラッシュメモリーから必要最小限のデータをロードして、起動時の高速応答性能を実現していた。開発システムでは、ストレージを一本化しているが、従来どおり、リアルタイムコア向けのプログラムと、アプリケーションコア向けプログラムを分けて管理し、起動時の高速応答性が必要なプログラムだけを先にロードすることで、高速応答性を実現している。図3に示すように、通信応答に必要な最小限のプログラムを先に起動し、残りのプログラムを並行して起動することで、従来の起動の高速応答性能を維持した。また機能維持の観点でも、ストレージへのアクセスタイミングや領域を分割することで、従来システム同様に、システム異常が発生した場合に単一コアの処理でエラーログを保存することなども可能になった。

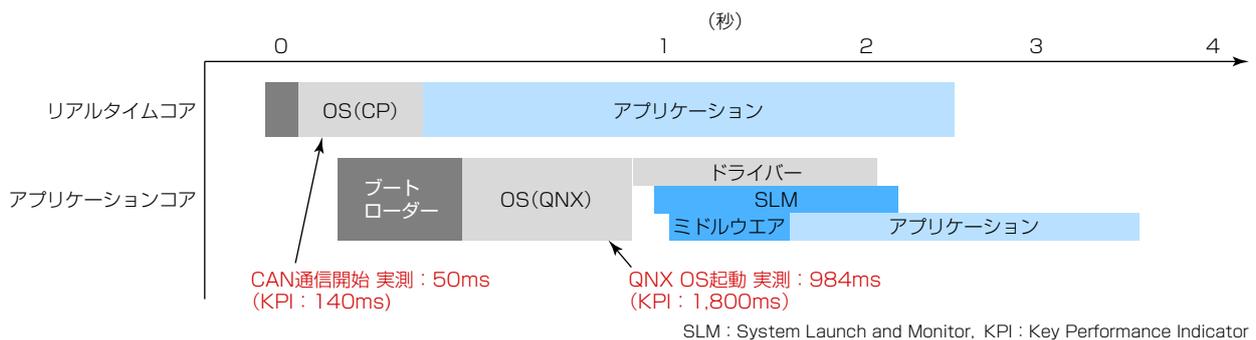


図3-開発システムの起動シーケンス図

3.2 コア間通信性能

従来システムでは、物理線を介した通信であったため、ノイズや干渉の影響を比較的受けやすく、1回の通信転送サイズを大きくすることが困難であった。一方、開発システムでは、物理線を介さず共有メモリーを使用したコア間通信が可能になり、転送サイズの増加とともに数十倍以上の通信速度が実現可能になった(図4)。

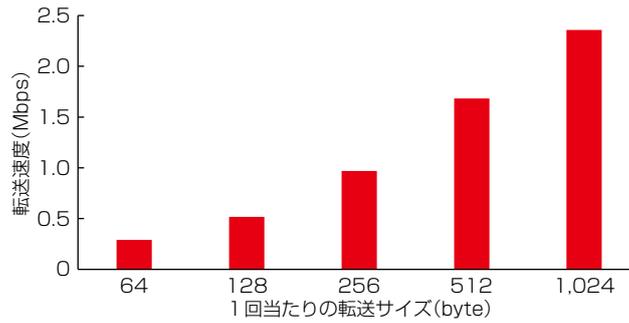


図4-コア間通信スループット

4. む す び

複数のマイコンを搭載するシステムは、基板上の部品点数・基板面積が増加するため原価低減が難しく、ハードウェア設計も複雑化し、ソフトウェア設計も複数CPUのPFを開発する非効率さが課題であった。

そこで、ヘテロジニアス型マルチコアのSoCに搭載されるリアルタイムコアに従来のマイコンの機能を搭載し、マルチOSシステムを構築した。従来システムのマイコン機能をSoCに統合し、機能、性能、コストを検証した。これによって、ストレージの一本化、リソース共有、コア間通信、システム制御の簡素化が可能になり、部品コストを30%削減しつつ、従来の機能維持と性能向上を達成した。



三菱電機株式会社