

三菱電機技報

8

2026
Vol.100 No.8

イノベーティブカンパニーへの変革を牽引する
デジタル技術

No.8

特集 イノベティブカンパニーへの変革を牽引するデジタル技術

Digital Technologies Driving Transformation into Innovative Company

巻頭言

イノベティブカンパニーへの変革を牽引する

デジタル技術…………… 1-01
岡 徹Digital Technologies Driving Transformation into Innovative Company
Toru Oka

特集論文

少量の学習データで機器の劣化を高精度に推定する
物理モデル組み込みAI …………… 2-01
栗山俊通・脇本浩司・蜂谷優人Physics-Embedded AI Accurately Estimating Equipment Degradation from Small Amounts of
Training Data
Toshiyuki Kuriyama, Koji Wakimoto, Yuto Hachiya生成AI活用基盤の構築 …………… 3-01
伊藤直輝・塚田真規Building Enterprise Platform for AI Agents
Naoki Ito, Masaki TsukadaAIサービスの顧客共創を支える
安全なデータ利活用基盤…………… 4-01
中井綱人Secure Data Utilization Platform Technologies Supporting Customer Co-Creation in AI
Services
Tsunato Nakai事業持続性向上を目的とした
生体データ活用ソリューション…………… 5-01
神谷雅志・堀 淳二・安達佳明・山田旭洋・垣尾政之Human Sensing Solution for Supporting Business Sustainability
Masashi Kamiya, Junji Hori, Yoshiaki Adachi, Akihiro Yamada, Masayuki Kakioヒューマンモニタリングシステム…………… 6-01
馬場直哉・合田雄一・池上季美果・江戸勇樹・田中堅人Human Monitoring System
Naoya Baba, Yuichi Goda, Kimika Ikegami, Yuki Edo, Kento Tanaka群ドローンの自律分散制御技術…………… 7-01
山隅允裕・森本貴景・朝比奈 努Autonomous Distributed Control Technology for Drone Swarm Systems
Mitsuhiro Yamazumi, Yoshihiro Morimoto, Tsutomu Asahinaビル内機器エネルギー消費の時系列予測を用いた
異常予兆検知手法…………… 8-01
長瀬誉英・森 裕之・中井敦子Anomaly Detection Method Using Time-Series Prediction of Energy Consumption in Building
Equipment
Takahide Nagase, Hiroyuki Mori, Atsuko NakaiDX技術とマインドセットを備えたDX人材育成
-DXイノベーションアカデミーの展開 …………… 9-01
目黒正之・吉田真也・西川孝典・清水広之・加藤嘉明Developing DX Professionals with DX Technologies and DX Mindset
- Further Developing DX Innovation Academy
Masayuki Meguro, Shinya Yoshida, Takanori Nishikawa, Hiroyuki Shimizu, Yoshiaki Kato

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。

今回の特集では全エリアを支える基盤となる“イノベティブカンパニーへの変革を牽引するデジタル技術”をご紹介します。

巻頭言

イノベティブカンパニーへの変革を牽引する デジタル技術

Digital Technologies Driving Transformation into Innovative Company



岡 徹 Toru Oka

上席執行役員 研究開発本部長(博士(工学))

Executive Officer (Associate); Vice President, Corporate Research and Development

三菱電機グループは、“飽くなき探求心と驚きの技術で、未来の価値を創造する”を理念に掲げて、サステナビリティの実現を経営の根幹に位置付けています。社会・環境への貢献と事業の更なる発展の両立を目指して、リスクを恐れず新たな発想で価値を創出する“イノベティブカンパニー”への変革を推進しています。強みであるコンポーネント技術とデジタル技術を融合・深化させて、基盤技術を強化することで持続的な事業成長を牽引(けんいん)する研究開発に取り組むとともに、社会や産業構造の変革に大きなインパクトを与える新技術の獲得と創出にも挑戦します。

デジタル技術はこの変革を支える中核です。デジタル基盤“Serendie”(セレンディイ)を活用し、製品やシステムから得られるデータとコンポーネント技術を融合させることで、性能や効率の向上に加えて、異常予兆検知など新たな価値やソリューションを創出します。さらに、顧客とつながって価値を提供し続ける“循環型 デジタル・エンジニアリング”を展開していきます。これらの取組みを国内外のパートナーとの共創によってスピーディに進めて、社会実装していきます。

三菱電機技報8月号では、“イノベティブカンパニーへの変革を牽引するデジタル技術”と題して、当社の強みであるコンポーネント技術に先進デジタル技術を融合させた最新の成果を特集します。技術基盤の面では、物理モデルの組み込みによって少量の学習データで高精度な劣化推定を実現するAI技術、業務の高度化を支える生成AI活用基盤、さらには機密性を保持したまま共創を可能にする連合学習など、データ利活用の質を変える研究開発を紹介します。また、製造・物流現場での従事者のウェルビーイングと生産性の両立に向けた生体データ活用、車載から都市インフラまで多領域に応用されるヒューマンモニタリング、さらには狭小空間での点検を革新する群ドローンの自律分散制御や、ビルの省エネルギー化に向けて“いつもと違う”運転状態を検知・可視化する異常予兆検知など、幅広い領域での研究開発を詳述します。加えて、これら一連の変革を支え加速させるDX(Digital Transformation)人財の育成を目的に、2025年4月に設立した人財育成機関“DXイノベーションアカデミー”の具体的な取組みについても紹介します。

私たちは、社会や事業に大きなインパクトをもたらす技術の研究開発に注力するとともに、開発・設計力の抜本的な改革を推進してまいります。これによって、従来の枠組みを超えた事業モデルの変革と事業領域の拡大を加速させて、イノベティブカンパニーとして持続可能な社会の実現に貢献してまいります。

少量の学習データで機器の劣化を高精度に推定する物理モデル組み込みAI

栗山俊通*
Toshiyuki Kuriyama
脇本浩司†
Koji Wakimoto
蜂谷優人*
Yuto Hachiya

Physics-Embedded AI Accurately Estimating Equipment Degradation from Small Amounts of Training Data

*AXイノベーションセンター
†同センター(博士(工学))

要 旨

三菱電機は、物理モデル(逆動力学モデル)を組み込んだ“物理モデル組み込みAI”によって、少量の学習データで機器の劣化を高精度に推定する手法を検討した。従来のAIによる劣化推定は大量の正常データを必要とし、運転パターンの変化や個体差に対して再学習が必要であった。今回の手法は物理的な大まかな挙動を事前に推定し、実測データで機器固有の傾向変動だけを効率的に学習することで学習データ量を大幅に削減する。実機評価(当社産業用ロボット)では学習データ量を約90%削減し、劣化推定性能(AUC)を従来手法の0.68~0.89から0.97~1.00へ向上させて、実際の機器を利用して模擬した劣化をほぼ全て推定できることを確認した。今後は、実際の利用シーンを想定した実証実験を進めて、2027年以降の製品化適用検討に進む。

1. ま え が き

製造現場では保守要員の高齢化・人手不足や素材コストの上昇によって、装置の故障や長期ダウンタイムが重大な经营风险になっている。従来のAIによる劣化推定は、大量の正常動作データから“正常範囲”を学習することで逸脱を検出する手法が主流だが、実際の現場では運転パターンの多様化や個体差、設置環境の違いによって、パターンごとの学習や再学習が必要になり、導入・維持の負荷が大きいという課題がある。

本稿では、機器の運動原理を表す逆動力学などの物理モデルをAIに組み込むことで、実測データが乏しい状況でも運転パターンの変化や個体差も含めて効率的に学習する手法について述べる。

2. Neuro-Physical AI

当社のAI研究開発は“自律性”“安全性”“物理世界での実効性”の三本柱で構成され、本稿はそのうち“物理世界での実効性”に焦点を当てる。物理世界での実効性とは実機での高精度な予測・制御・診断を実現する能力であり、実時間性や計算資源の制約、マルチフィジックス連携など現場固有の要請を満たすことを意味する。Neuro-Physical AIはこうした要請に応えるため、当社が長年にわたって蓄積した機器設計・制御・現場ノウハウと、数理・物理モデルをAI技術と融合する当社独自のフィジカルAI概念である。

2.1 研究開発戦略での位置付けと狙い

当社のAI研究開発戦略(図1)では、(1)自律性を担う“エージェントAI”(現場協調・タスク計画・意思決定)、(2)安全性を担う“セキュアAI”(セーフティー/セキュリティ統合、堅牢(けんろう)性・ガバナンス)、(3)物理世界での実効性を担う“フィジカルAI”の三本柱によって、他社差別化を狙う。エージェントAIはシステムの自律的最適化と人協調を、セキュアAIは安全・品質・信頼性を、フィジカルAIは実機での予測・制御・診断の精度と外挿性をそれぞれ強化し、製品群への横展開を加速する。本稿では、この三本柱のうち、フィジカルAIの概念と実装、及び劣化推定への適用を中心に述べる。

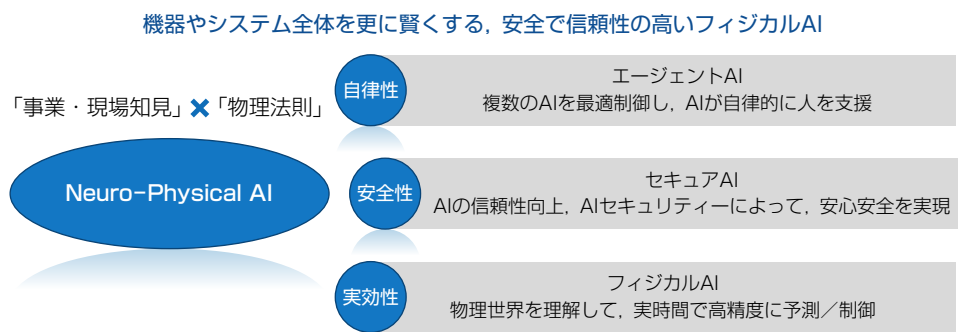


図1-当社のAI研究開発戦略

2.2 定義・基本要素と当社の強み

Neuro-Physical AIでのフィジカルAIの定義は、当社が持つ事業領域のドメイン知識と物理法則を融合し、機器やシステム全体を更に賢く、安全かつ信頼性高く動作させるフィジカルAIである。基本要素としては、逆動力学や流体・熱伝導などの物理モデルによるセンサー値の推定、その残差を学習するAIモデル、計算負荷を下げるためのサロゲートやシミュレーター連携、そしてエッジ実装を見据えたモデルのコンパクト化が挙げられる。当社の強みは、機器設計や制御理論に根ざした高精度な物理モデルを初期推定に用いることで、少量データでも迅速に高精度化が可能な点である。これによって実運用時の再学習負荷を低減し、実運用を考慮したAIソリューションを現場に提供できる。図解(図2)や実例を通じて、本稿では逆動力学を中心とした具体的な統合アーキテクチャーと期待される効果を示す。

当社が長年培ってきた事業領域や現場での知見・ノウハウと物理法則を融合し、
機器やシステム全体を更に賢くする、安全で信頼性の高い当社独自のフィジカルAI



図2- Neuro-Physical AI

3. AIによる劣化推定手法とその課題

本稿の対象は機器の劣化推定とする。この章では、センサーデータを用いた機器の劣化推定手法と、それに伴う現場導入の主要な課題について述べる。

3.1 データを利用した機器の劣化推定

製造現場の機器には位置・速度・加速度・トルク・温度など多種のセンサーが搭載されて、これらの時系列データを用いて機器の状態を監視する事例が多い。機器が長期使用で劣化すると、例えばベルトの緩みやギヤの潤滑低下に伴って指令に対して必要なトルクが変化するなど、センサーデータに微小な変動が表れるという前提に基づいて劣化推定が行われ

る。劣化は直接観測できないことが多いため、センサーデータの統計的特徴や周波数成分、相関構造の変化を抽出して正常時の振る舞いからの逸脱を検出する。しかし劣化に伴ってデータに表れる変化は機器ごとに大きく異なることが多く、同じ劣化カテゴリーでもセンサー変動の特徴が異なることが頻繁にある。このため従来は機器の専門家が個別に特徴設計・しきい値設定・前処理ルールを作り込んで、ドメイン知識を反映した劣化推定ロジックを構築して運用してきた。こうした手作業による作り込みは高い精度になる一方で、専門人材の工数を多く消費し、新機種や運転条件の変化ごとに再設計・検証が必要になるため、スケール化や迅速な現場導入が難しいという課題も存在する。

3.2 劣化推定へのAI活用

近年、機械学習や深層学習を用いて大量の運転データから“正常範囲”を学習し、そこからの逸脱をもって劣化や異常を判断する手法が広く採用されている。データのばらつきを考慮したデータの変化を捉える能力によって、人手では見落としやすい前兆を推定できる点が利点である。典型的なアプローチは正常動作データを用いた再構成誤差や確率分布の学習であり、学習済みモデルが示す正常領域からの有意な外れ値を劣化と判定する(図3)。

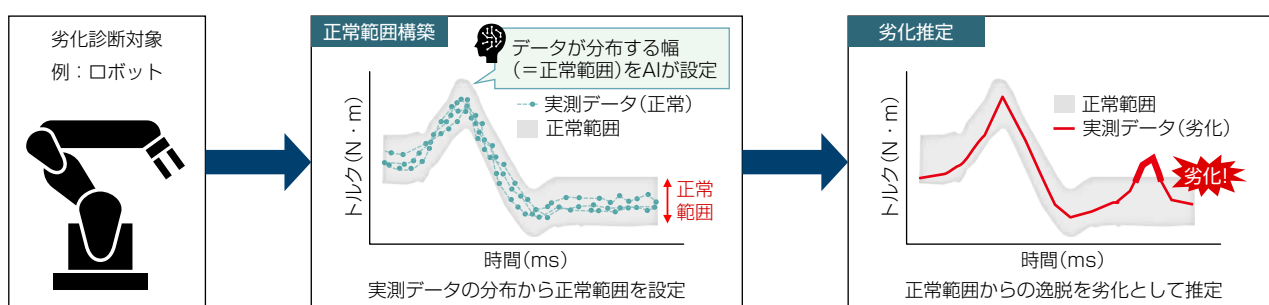


図3-AI活用による機器の劣化推定

3.3 従来手法の課題

AIを利用した従来手法には現場導入での実務的な課題が複数存在する。第一に、正常範囲を安定的に学習するには多様な運転パターンを網羅した大量データが必要であり、パターンごとに学習やしきい値調整が求められるとデプロイの負担が増す。第二に、学習データに含まれない運転条件や個体差に対する外挿性能が低く、未学習パターンでの誤検知や見逃しが発生しやすい。それに加えて、誤報が増えると現場の対応負担が増大し信頼を失うため、継続的な再学習・運用監視・しきい値調整のための人手やコストが実用化の障壁になる。これらの課題を解決するためには物理知見の活用による学習データの削減、未学習パターンでも学習可能な機構が求められる。

4. 物理モデル組み込みAIとその効果

この章では、産業用ロボットを対象とし、ロボットが従う物理モデル(逆力学モデル)をAIに組み込む手法について述べる(図4)。また、実機を利用した実証結果についても併せて述べる。

4.1 物理モデル

センサーだけのデータから機器挙動を完全に再現することは困難である。測定ノイズやセンサーの取付け差、運転条件の多様性によって生じる変動を全てデータ駆動で吸収しようとする膨大な学習データが必要になるためである。そこで今回の研究では産業用ロボットの剛体動力学を物理モデルとして採用した。ロボットの運動を表す位置 q 、速度 $\dot{q}$ 、加速度 $\ddot{q}$ といった動力学情報を入力とし、各軸に必要なトルク τ を推定する逆力学モデルを用いる(図5)。逆力学は $\tau = M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + g(q) + F(q, \dot{q})$ のように慣性項($M(q)\ddot{q}$)・コリオリ項($C(q, \dot{q})\dot{q}$)・重力項($g(q)$)・摩擦項($F(q, \dot{q})$)で構成され⁽¹⁾、これによって指令された動作から理論的に必要な大まかなトルク挙動を事前に算出できる。物理モデルによる基準推定は未学習の運転パターンでも一定の外挿性を持って、後段のデータ駆動処理が解くべき課題を“物理挙動との差分(残差)”に限定することで学習負担を大幅に低減する手法を開発した。

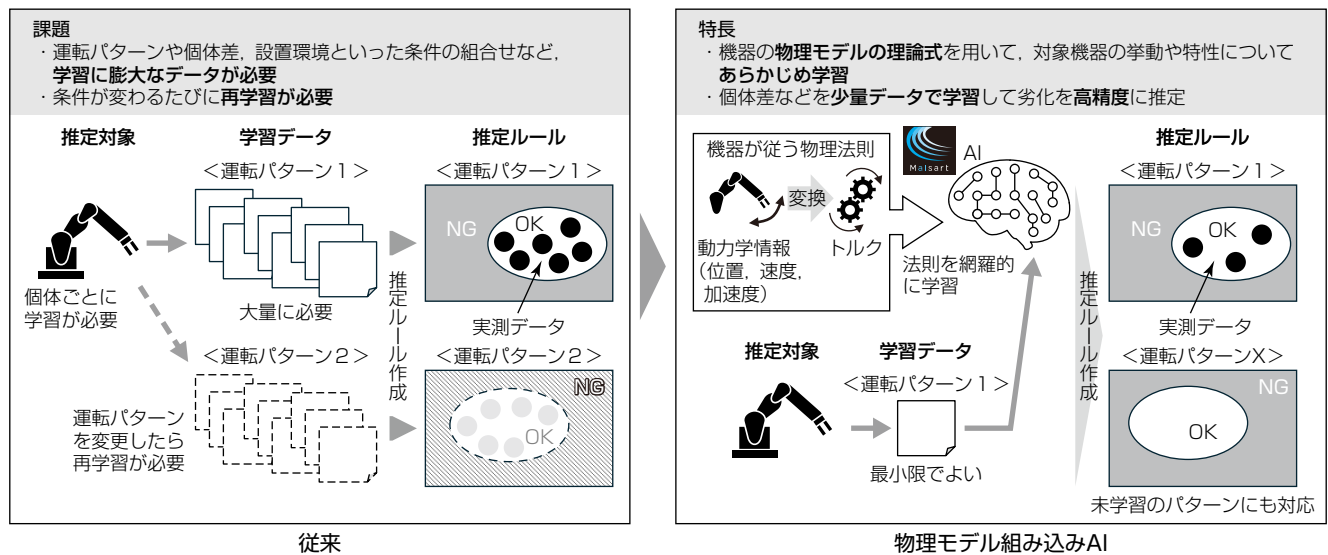


図4-物理モデル組み込みAI

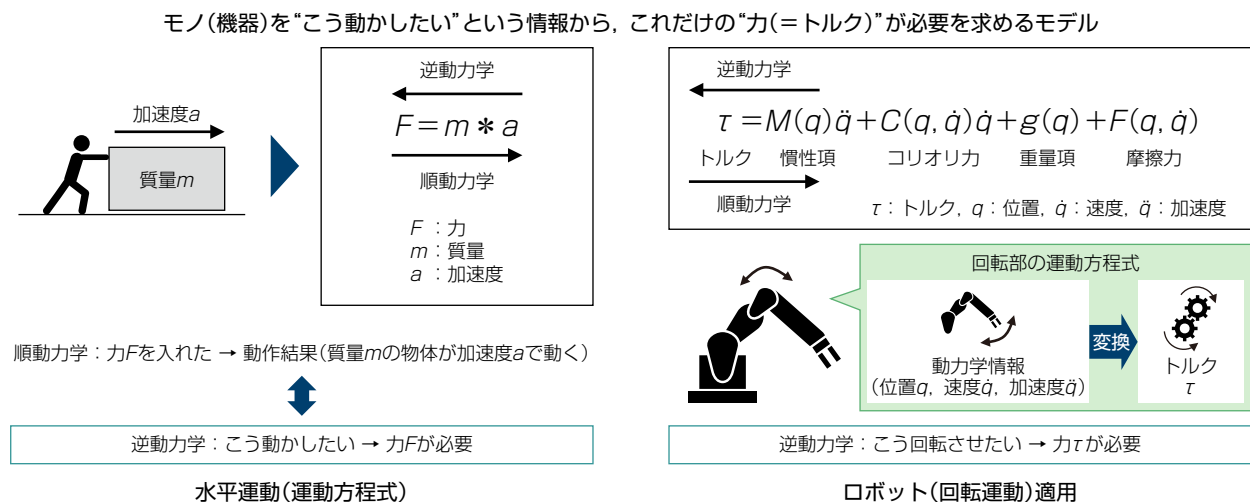


図5-逆動力学モデル

4.2 AIへの組み込み

逆動力学で得た物理推定値と実測トルクとの残差に着目し、その“傾向変動”をAIで補正するのがこのアプローチの核心である。ロボットの動力学情報は制御指令として事前に取得可能なため、これらの情報を物理モデルへの入力として用いることで監視対象トルクの基準推定を事前に行える。実測と推定の残差には機器個体差、設置誤差、温度などの環境要因が反映されるため、AIはこの残差だけを少量データで学習すればよく、結果として学習データ量の大幅削減が可能になる。また、物理モデルが基準挙動を与えるため、従来のように運転パターンごとに正常範囲を学習・管理する必要がなく、未学習の運転パターンに対しても物理推定を起点に外挿的に挙動を評価できる点が運用上の大きな利点である（図6）。

4.3 実証実験

方式の有効性を確認するため、当社製の6軸産業用ロボットを用いて二段階の実証実験を行った。実験①はピック&ブレース動作を対象とした正常範囲設定の検証で、従来手法と比較して正常性を判定するために必要な学習データ量を評価した結果、物理モデル組み込みAIは学習データ量を約90%削減（学習データ数：約200→約20）して同等以上の正常範囲設定を達成した。実験②は軸摩擦を模擬するために6軸のうち一つの軸の潤滑剤を除去して加速試験で異常停止まで収集したデータを用いたものである。ここではピック&ブレースの速度を変えた二つの運転パターンを定義し、片方のパターンで学習したモデルを未学習のもう片方に適用して劣化推定が可能かを検証した。評価はROC(Receiver Operating Characteristic)/

AUC(Area Under the Curve)で行い、従来手法に対して約30%相当の性能向上(従来手法：0.68～0.89→提案手法：0.97～1.00)を確認した。これによって、実際の機器を利用して模擬した劣化をほぼ全て推定できて、学習負荷削減と未学習パターンへの外挿性向上の両立を実証した。今後は、評価対象装置の拡大や故障種別の増強などを進める予定である。

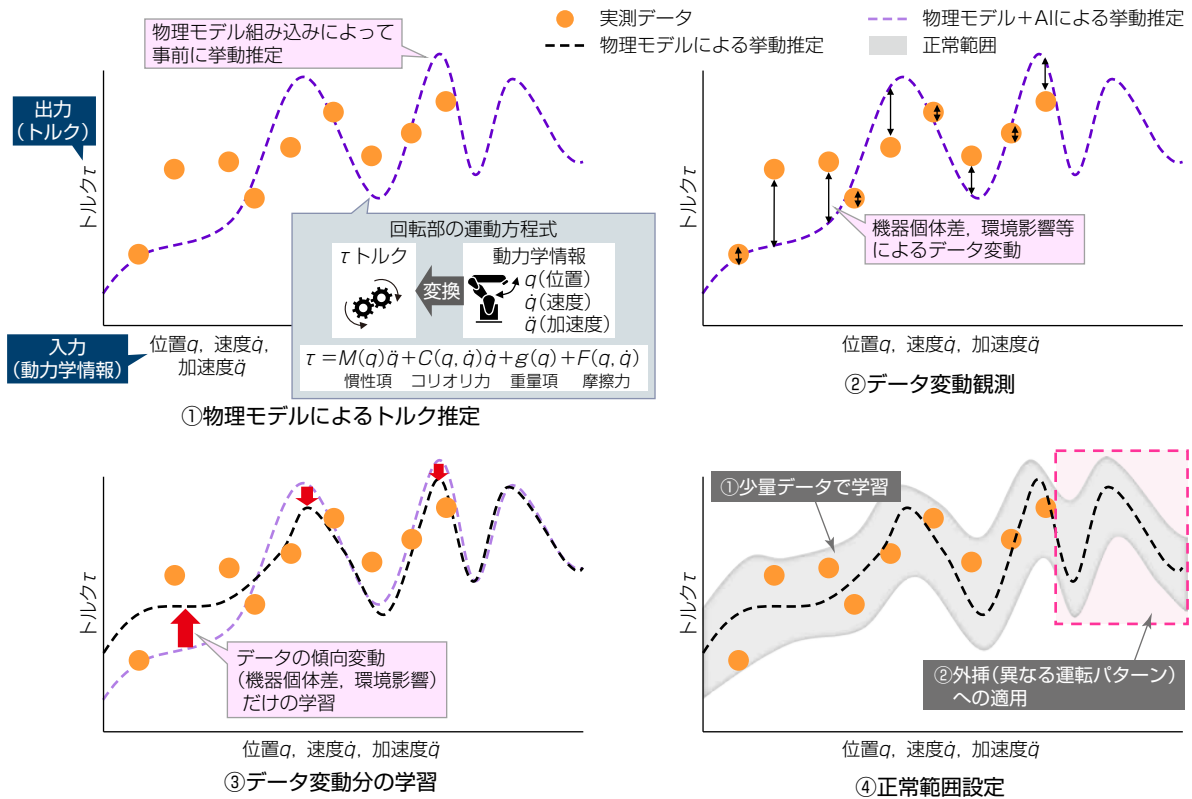


図6-正常範囲設定への物理モデル組み込みAI適用

5. む す び

逆動力学に基づく物理モデルをAIに組み込んで、機器の動力学情報から事前にトルク挙動を推定し、その残差を少量データで学習する手法を示した。実機評価では学習データ量を約90%削減し、劣化推定性能(AUC)を約30%向上させる結果を得た。物理モデルが大まかな基準挙動を担保することで未学習の運転パターンへの外挿性が確保され、誤検知抑制と高精度化を両立できる点がこの手法の大きな強みである。

今後は実験設定を拡張して試験規模や故障種別を増やして、評価の深掘りを行うとともに、エッジ実行やオンライン同定を含む実運用要件を整備して、2027年以降の製品適用に向けた検討を進めていく。

参 考 文 献

- (1) Siciliano, B., et al. : Robotics: Modelling, Planning and Control, Springer Science & Business Media (2010)

生成AI活用基盤の構築

Building Enterprise Platform for AI Agents

*AXイノベーションセンター

要 旨

生成AIの活用が全社的に広がって、社内各部門で多様な生成AI活用の開発が進んでいる。生成AIの活用は一層拡大することが予想され、今回の取組みでは、開発したAI資産の再利用を実現する生成AI活用基盤を構築した。複数のAI資産を連携可能とするオーケストレーターと、AI資産と社内外データを接続するデータ連携機能を備えることで、利便性を高めた。また、オープンな標準プロトコルを採用し、外部AIサービスとの接続など柔軟な連携と拡張を可能とした。さらに、認証・認可基盤と連携した権限制御を実現し、利用者がアクセス可能な範囲の情報だけを扱う安心・安全な利用環境を整備した。この基盤を全社の業務改革に活用して開発、運用の効率化を図って、各部門の自走的なAI活用を加速する。

1. ま え が き

生成AI及びAIエージェントの市場は急速に拡大しており、各社とも業務・設計・製造から顧客接点に至るまで積極的な活用を検討している。多様な事業領域を抱える三菱電機が競争力を維持・向上していくためには、特定部門の個別取組みにとどめるのではなく、組織横断で生成AIの活用を広げていく必要がある。

当社では業務プロセスや設計・製造業務の改革、事業部門主導の個別取組みなど、複数の生成AI活用プロジェクトを並行して立ち上げているが、各プロジェクトの成果共有を十分に行わないと類似機能の再開発が発生する可能性がある。さらに、各プロジェクトが個別にデータ連携、認証・認可、監視ログを作り込むと、技術的な重複と品質ばらつきが発生する懸念がある。特に、生成AIが機密情報を扱う場合、部門ごとのアドホックなセキュリティ実装は情報漏洩(ろうえい)のリスクにつながる。

そこで今回の取組みでは、全社横断で再利用可能かつ“安心・安全”に利用できる生成AI活用基盤(以下“本基盤”という。)を構築した。本基盤の目的は、①社内の複数プロジェクトで開発された質の高いAIエージェント及びツールを全社

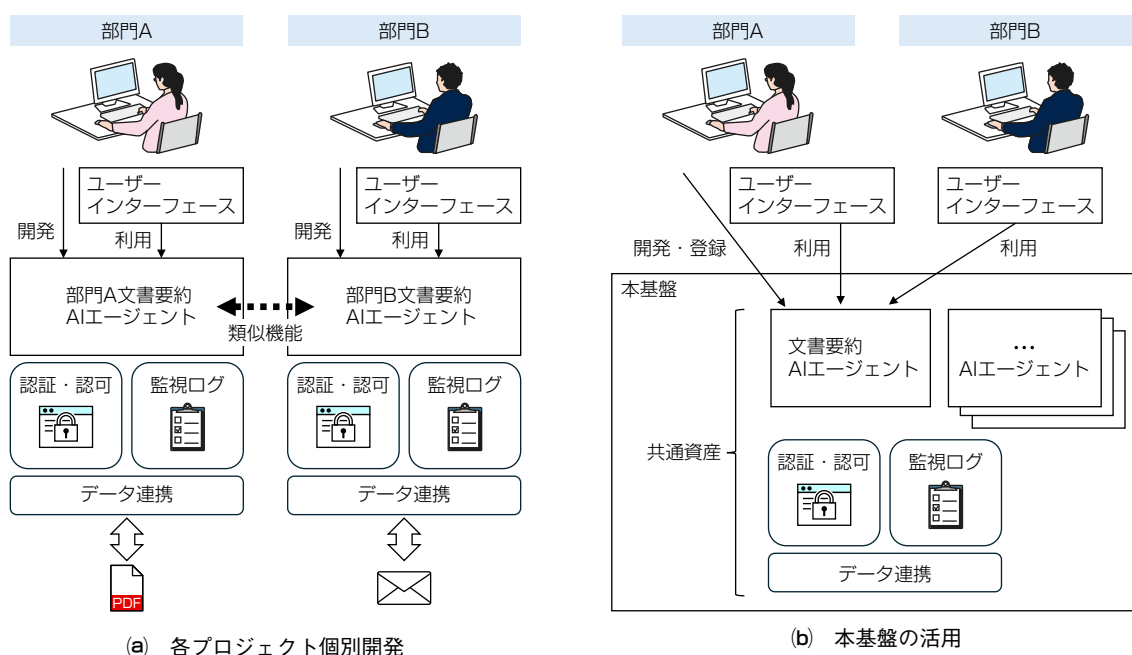


図1-本基盤による効果

AI資産として再利用可能な形に整えて後続開発で活用できる仕組みを提供すること、②社内の認証・認可を踏襲した権限制御によって利用者がアクセス可能な範囲の情報だけを扱う仕組みを提供すること、③オープンな標準プロトコルを採用し、外部AIサービスとの接続性を確保することである。図1に、本基盤による効果を示す。複数部門による類似のAIエージェント開発を防いで、AIエージェントの再利用を促進する。

本稿では、本基盤のアーキテクチャー、主要機能と活用パターン、適用効果と今後の展望を述べる。

2. 本基盤のアーキテクチャー

本基盤は、蓄積したAI資産を全社で再利用して開発効率を高めること、情報管理とセキュリティを社内統制と整合させること、特定ベンダーの技術や環境への依存を排除して変化に柔軟に対応することを目的として、資産の再利用容易性、社内ガバナンスとの整合、構成要素間の疎結合の3点を設計原則とした。オープンな標準プロトコルとして、エージェント間協調はA2A (Agent to Agent Protocol)、データ連携はMCP (Model Context Protocol)を採用することで、エージェントのデプロイ先やデータの連携先を特定ベンダーの技術や環境に依存せず任意とできる点が本基盤の特徴である。

本基盤の構成要素を図2に示す。

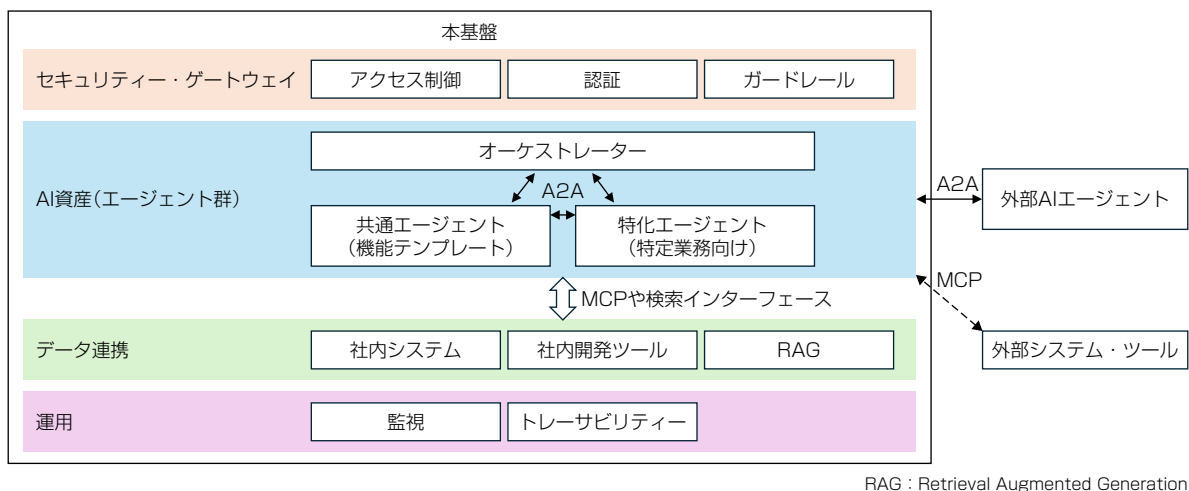


図2-本基盤の構成要素

(1) セキュリティ・ゲートウェイ

本基盤への入り口でアクセス制御と認証を担う。ガードレールも提供し、AIエージェントの不適切な回答の防止や暴走検知・停止を行う。

(2) AI資産(エージェント群)

利用者からの要求を分解して最適な実行手順を生成し、登録された複数のエージェントから適切なエージェントを選択して呼び出すオーケストレーターと、各部門・プロジェクトで開発されたエージェント(業務領域を問わずテンプレートとして再利用可能な共通エージェントと、特定業務に最適化された特化エージェント)で構成する。

(3) データ連携

社内外システムのデータソースやツールと安全かつ容易に連携するための仕組みである。RAGもこの層の機能の一つとして内包する。

(4) 運用

異なるベンダーのクラウド環境に対応してAI資産の稼働状態・応答時間・エラー率を可視化する監視と、呼出し履歴や処理経路を追跡可能にするトレーサビリティを備える。

2.1 A2A・MCPの採用

AIエージェント間の協調にはA2A、主要なデータ連携の手段にはMCPを採用した。オープンな標準プロトコルを採用することで、社内開発エージェントと外部ベンダー提供のAIエージェントや、MCP対応ツールを組合せ可能とした。

これによって、外部ベンダーより利便性の高いAIエージェントやツールが提供された際にも、迅速かつ柔軟に拡張可能になる。

2.2 セキュリティー・ガバナンス

本基盤は社内向け認証基盤と連携しており、社員はシングルサインオンで利用できる利便性を確保した。それに加えて、本基盤へのアクセスは社内環境からの接続に限定することで利用範囲を制御している。

また、AIエージェントは呼出しごとに利用者の権限を認可・検証する。AIエージェントは利用者本人がアクセスできる範囲内の情報だけ動作し、生成AIを介した意図しない情報越境を構造的に防止する。

3. 主要機能と活用パターン

本基盤は、再利用可能なAIエージェントを共通エージェントとして登録・提供する。共通エージェントは処理特性に応じて体系化しており、各プロジェクトはこれらを組み合わせることによって、短期間でアプリケーションを構築できる。本基盤では、特定業務向けに構築したAIエージェントや共通エージェントの組合せを特化エージェントとして登録し、社内展開することも可能である。

表 1 に共通エージェントの体系を示す。

表 1-共通エージェント体系		
項目	機能概要	想定活用場面
認識・解析	文字・音声・画像・動画等の非構造データを正規化し、構造化データに変換する	設計図面の認識、帳票読み取り、音声の議事録化、動画を手順書化
検索・抽出	指定情報に基づいて、情報源から必要な情報を検索・抽出する	技術動向の調査、登録された社内ナレッジの検索、ソースコードの自然言語検索
分類・スコアリング	パターンや相関・因果関係を見だし、類型化・評価・要因特定を行う	不具合情報の分類、リスク評価、品質のスコアリング
分析・最適化	目的関数を最大化する数値予測や解候補の探索を行う	製造工程の最適化、スケジュール最適化、需要予測
予測・推薦・推論	数値予測や提案、結論の導出を行う	故障予知、コンテンツ推進、意思決定支援
要約・生成	コンテンツの取りまとめや生成を行う	レポート生成、組み込み機器向けコード生成

本基盤では、次の三つの活用パターンを提供する。社内活用では、利用者は社内認証基盤を用いたシングルサインオンで認証を受けて、セキュリティー・ゲートウェイを通過した後、オーケストレーター経由又は個別に直接エージェントを呼び出すことで基盤を利用する。オーケストレーター及び各エージェントで利用者権限を認可・検証するため、AIエージェントは利用者の権限範囲内の情報だけを参照・処理する。

(1) Webアプリケーション構築

基盤の共通エージェントを組み合わせることで、各部門の業務に特化したWebアプリケーションを構築する。AIエージェントの処理や運用を基盤側に委ねることができて、各部門はユーザーインターフェースや生成AI以外の機能開発に注力できる。

(2) 非同期呼出し

利用者の操作やシステムからの通知をトリガーとして基盤に処理要求を行い、基盤側がバックグラウンドで処理を行う。大量のデータ分析や定期的なレポート生成など、即時応答を要しない処理を効率的に実行する。

(3) 既存システム組み込み

データ連携を用いて既存の業務システムから基盤を呼び出して、生成AIを活用した機能を後付けする。システム刷新を伴わず段階的にAI化を進められる。

4. 適用効果と今後の展望

本基盤の導入によって、生成AIを活用したアプリケーション開発では、開発者が社内認証との連携、データ連携、AIエージェント、ユーザーインターフェースと個別に設計・実装していた機能のうち、共通化可能な部分を基盤側で提供できるようになった。これによって、開発者はユーザーインターフェース開発やAIエージェントの選定・組合せ、AIエージェント以外の機能開発に専念しやすくなり、次の効果を見込む。

(1) PoC工数の短縮

AIエージェントの実現性や効果測定のためのPoC(Proof of Concept)に際して、認証連携・データ連携・AIエージェント設計・実装を開発工程から除外できるため、迅速に実施できる。

(2) 開発費の削減

共通エージェントの再利用によって、プロジェクト当たりの新規開発範囲をユーザーインターフェースや共通エージェント以外の設計・開発に集約できるため、開発作業の効率化が期待できる。

(3) 運用費の削減

共通エージェントの再利用では、監視やトレーサビリティの仕組みを基盤側に集約できるため、個別プロジェクトごとに運用する必要がなくなり、効率化が期待できる。

図3に本基盤の今後の展望を示す。本基盤を全社に展開した上で、各部門が生成AIアプリケーション開発を自走・量産できる仕組みの構築、生成AIリスク統制、共通エージェントの拡充を進めることで、利用容易性を高めて、活用の幅を広げていく計画である。

また、日々進化するAI技術をタイムリーに取り入れた最新のアーキテクチャーを全社に提供するため、本基盤のアーキテクチャーは適宜見直す計画である。

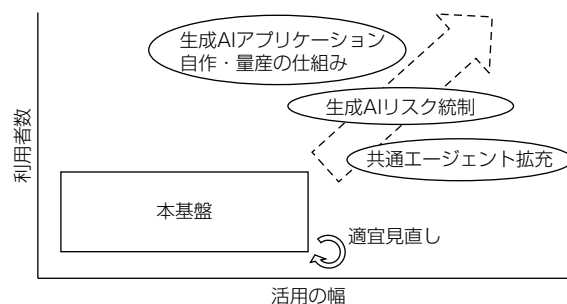


図3-本基盤の今後の展望

5. む す び

社内の複数プロジェクトで開発された質の高いAIエージェントを共通エージェントとして体系化・共通資産化し、社内の認証基盤と連携したセキュリティ・ガバナンスと、オープンな標準プロトコル(A2AやMCP)を採用することで、柔軟性を実現した本基盤の構築について述べた。本基盤は全社の業務プロセスや設計・製造業務の改革に活用しPoC立ち上げて、開発、運用の各段階の効率を図った。

今後は各部門の自走的なAI活用を支える共通基盤として、使用容易性の向上や活用の幅を広げる取組みを進めるとともに、日々進化するAI技術の動向を確認し、適宜アーキテクチャーを見直していく計画である。

参 考 文 献

- (1) A2A Protocol : Agent2Agent (A2A) Protocol (2026)
<https://a2a-protocol.org/>
- (2) Model Context Protocol : What is the Model Context Protocol (MCP)? (2026)
<https://modelcontextprotocol.io/>

AIサービスの顧客共創を支える 安全なデータ利活用基盤

Secure Data Utilization Platform Technologies Supporting Customer
Co-Creation in AI Services

*情報技術総合研究所(博士(工学))

要 旨

AIサービスは、顧客接点で蓄積されるログ、画像、センサー値、文書、運用ノウハウなどのデータを活用することで、更に高精度で顧客に適したサービスを提供できる。特に、複数顧客や複数拠点を持つデータや知見を生かして、一つのAIサービスを継続的に高度化していくことへの期待が高まっている。一方、こうしたデータの多くは個人情報、企業機密、知的財産を含むため、単純に集約・学習することは難しい。すなわち、複数顧客の機微なデータを安全に利活用できる基盤が不可欠である。三菱電機は、安全なデータ利活用基盤の構築に有用となる技術として、データとその処理を保護するセキュア実行環境(TEE: Trusted Execution Environment)、及び生データを外部に出さずに共同で学習する連合学習の検討を進めている。

1. ま え が き

AIの活用は研究開発段階にとどまらず、公共、空調・ビル設備、FA、金融、医療など幅広い現場へ広がっている。特に生成AIやAIエージェントの進展によって、AIは単なる分析技術から、業務を支援して新たなサービス価値を生み出す源泉になりつつある。サービスの利便性を高めるには、顧客接点や現場運用を通じて蓄積されるログ、画像、音声、センサー値、文書、利用履歴、運用ノウハウなどを継続的に活用することが重要である。それに加えて、複数顧客や複数拠点の知見を反映し、一つのAIサービスを継続的に改善していくことへの期待も高まっている。

一方、このようなデータの多くは個人情報、企業機密、知的財産を含んでおり、単純に集約して活用することは難しい⁽¹⁾。したがって、AIサービスを高度化したい一方で、その前提になるデータ共有や運用には大きな制約がある。この課題に対する重要な取組みが、データと処理を保護するTEEと、生データを外部に出さずに共同で学習する連合学習である。さらに両者を組み合わせることで、分散したデータを活用しながら、学習過程やモデルも含めて保護する安全なデータ利活用基盤を実現できる。

本稿では、まず2章で、安全なデータ利活用基盤の適用シナリオとして、複数顧客の機微なデータを生かしてAIサービスを高度化したいというニーズと、その実現に向けた課題を述べる。次に3章で、それらの課題に対応する基盤技術として、TEE、連合学習、及びその組合せの考え方を述べる。さらに4章で今後の展望を述べる。

2. 安全なデータ利活用基盤の適用シナリオ

安全なデータ利活用基盤の価値は、単にデータを守ることだけでなく、これまで機密性の高さゆえに十分に活用できなかったデータを、安全性を確保しながらAIサービスへ結び付けられる点にある。特に、組織ごと、現場ごと、機器ごとに分散して蓄積されるデータを適切に活用できれば、AIモデルの精度向上だけでなく、導入範囲の拡大や継続的なサービス改善にもつながる。

この章では、公共、空調・ビル設備、FA、金融、医療などを例に、複数顧客の機微なデータを用いて一つのAIサービスを継続的に賢くしたいというニーズと、その実現に向けた課題を述べる。

2.1 公共空間の見守りと災害時捜索

公共分野では、監視カメラやセンサーから得られる画像・映像データを活用することで、不審行動の検知、混雑状況の把握、転倒や異常行動の早期発見など、多様なAIサービスが期待される。また、災害時には、現場映像や検索データを解析することで、要救助者の発見や状況把握の高度化が可能になる。これらは、安心・安全の向上に直結する代表的な

ユースケースである。さらに、複数の拠点や自治体、機器群がそれぞれ持つデータを生かせれば、単独の現場では得にくい多様な事例をモデルへ取り込むことができ、見守りや災害対応でのAIの実用性を高めることができる。

一方、公共空間や災害現場で取得されるデータには、個人の行動や位置に関する情報が含まれることが多く、そのまま集中管理・共有することには慎重さが求められる。それに加えて、公共分野では安定かつ長期的な運用継続性も重要である。そのため、この分野では、データを守るだけでなく、必要な処理をどの環境で安全かつ継続的に実行するか、さらに複数地点の知見をどのように生かすかを一体で考える必要がある。

2.2 空調・ビル設備分野での最適制御

空調やビル設備分野では、温度、湿度、人流、設備稼働状況、利用時間帯など、多数のセンサー情報が日々蓄積されている。これらのデータを活用することで、快適性と省エネルギー性を両立する運転最適化や、設備異常の予兆検知、人や空間に応じた制御の高度化が期待される。AIサービスの観点では、機器の販売後も運用データを活用してサービスを改善し続けられる点が大きな価値になる。さらに、複数の建物や設備から得られる知見を生かせれば、個別設備に閉じた最適化ではなく、多様な現場を踏まえたAIモデルの高度化が期待できる。

しかし、建物の利用状況や運転履歴には、生活パターンや業務実態を推測できる情報が含まれる場合がある。また、設備運用の知見そのものが事業上の競争力につながることも多い。それに加えて、エッジ機器上での継続運用や実装性も重要な制約になる。そのため、この分野では、データ、処理、モデルの保護に加えて、長期運用しやすい形で分散した知見を活用できる基盤が必要になる。

2.3 FA分野での品質向上と異常検知

FA分野では、製造ラインの画像、設備状態、検査結果、運転条件など、製品品質や生産性に直結するデータが大量に存在する。AIを活用すれば、不良品検知、製造異常の早期把握、設備の予知保全などを高度化できて、現場の省人化や品質向上に貢献できる。特に、多様な製品や設備条件を学習したモデルほど、現場での適用範囲が広がりやすい。さらに、複数工場や複数ラインに分散した知見を生かせれば、単独拠点では得られない異常パターンや不良兆候もモデルへ取り込める可能性がある。

一方、製造データには、製品仕様、工程条件、不良傾向など、企業にとって重要な機密情報が含まれる。そのため、工場間や企業間でデータをそのまま共有することは難しいことが多い。さらに、停止コストの高い現場で安定運用できることも重要である。したがって、この分野では、データ秘匿だけでなく、現場制約に耐える運用性も含めて考える必要がある。

2.4 金融分野での不正検知

金融分野では、取引履歴、口座利用状況、アクセスログなどのデータをAIで解析することで、不正取引や異常行動の早期検知が期待される。不正検知は、被害抑止に直結するだけでなく、利用者の安心感やサービス品質の向上にもつながる重要な領域である。それに加えて、複数の組織や拠点で蓄積される不正傾向を生かせれば、更に多様なパターンに対応した検知性能が期待できる。

しかし、金融データは極めて機密性が高く、顧客情報や各社の業務ルールを含むため、慎重な取扱いが求められる。また、不正検知モデル自体にも、各組織が蓄積した検知ノウハウが反映されるため、モデル保護の観点も重要になる。それに加えて、金融分野では監査性や説明責任も常時強く求められる。そのため、この分野では、データとモデルを守るだけでなく、運用の継続的透明性も考慮した基盤が必要になる。

2.5 医療分野での診断・予防支援

医療分野では、画像、検査値、診療記録、センサーデータなどを活用することで、疾病の早期発見、重症化予防、診断支援、治療計画支援などへの応用が期待される。医療AIの価値は、単に精度が高いことだけでなく、多様な患者データや運用環境に対応することにもある。そのため、複数医療機関のデータや知見を生かすことができれば、更に多様な症例に対応できるAIサービスが可能になる。

一方、医療データは個人情報として特に慎重な扱いが必要であり、単純なデータ集約には大きな制約がある。また、医療機関ごとにデータ形式や運用が異なるため、AIの出力が現場によってばらつかず、医療従事者が判断根拠を理解できることが重要になる。そのため、実際のAI導入には技術面だけでなく、信頼性や説明可能性も求められる。したがって、

この分野では、機微なデータを保護しながら、異なる現場の知見をどのように統合していくかが重要な課題になる。

2.6 適用シナリオに共通する課題

それらの各シナリオに共通しているのは、複数顧客や複数拠点を持つ機微なデータや知見を活用し、一つのAIサービスを継続的に賢くしたいというニーズである。一方、その実現には、単にデータを預かって学習させればよいわけではない。データを守るだけでなく、処理を守る、モデルを守る、さらに分散した知見を安全に活用することが求められる。したがって、安全なデータ利活用基盤では、データ、処理、モデル、さらに分散した知見の活用を一体で考える必要がある。

3. 安全なデータ利活用基盤構築技術

この章では、2章で示した課題に対する基盤技術として、TEE、連合学習、及びその組合せの考え方を述べる。

3.1 TEEによる保護

TEEは、CPU内部に設けられた隔離領域で、データやAIモデルを保護しながら処理を実行する技術である。通常の実行環境では、処理時間の都合上、データやモデルのAI処理は上記隔離領域の外の通常領域メモリ上で行われる。そのため、メモリ上に展開された機微なデータやモデルが不正な参照、解析、改ざんを受ける懸念が残る。当社では、CPUが備えるTEEを活用しつつ、さらに暗号処理の小型・高速実装技術を組み合わせることで、保護と実用的な処理性能の両立に取り組んでいる(図1左)⁽²⁾。

AIサービスでTEEが有効なのは、学習時だけでなく、推論時にも機微な情報を扱う場面が多いためである。例えば、顧客の利用履歴や現場のセンサー情報を用いて推論する場合、入力データそのものが保護対象になる。また、AIモデル自体にも、長年蓄積した業務知識や運用ノウハウが組み込まれており、知的財産として守る必要がある。TEEは、こうしたデータとモデルの双方を保護しながら、クラウドやエッジ機器上でAI処理を実行できる点に特長がある。さらに、TEEを活用することで、OSやユーザーの信用性を担保できない外部委託先や共有インフラ上でも、更に安心してAI処理を実行しやすくなる。

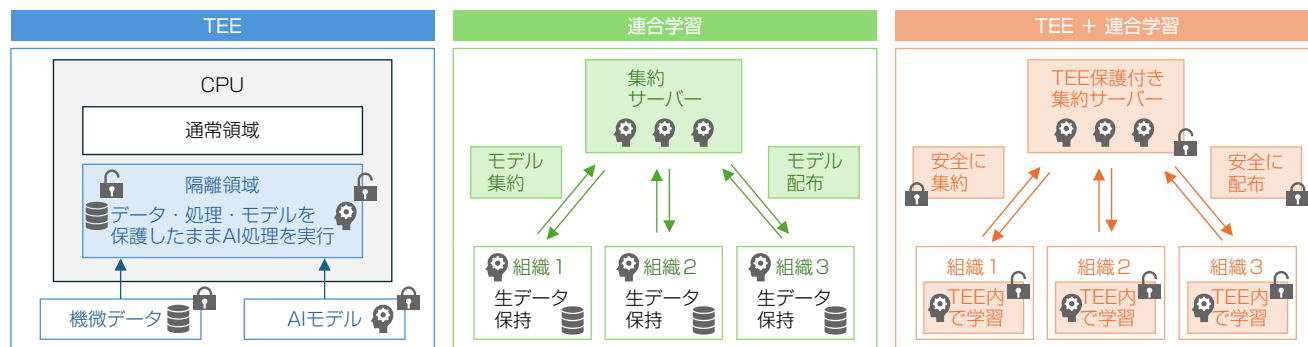


図1-AIサービスの顧客共創を支える安全なデータ利活用基盤の構成

3.2 連合学習による分散データ活用

連合学習は、複数の拠点や機器が持つ生データを1か所へ集めることなく、それぞれの場所で学習を行い、学習結果だけを持ち寄って全体のモデルを改善する技術である。AIサービスでは、公共空間や災害現場の画像・映像データ、空調・ビル設備の運転データ、FA現場の稼働データ、金融機関ごとの取引データ、医療機関ごとの診療・検査データなど、価値の高いデータが分散して存在することが多い。しかし、それらは個人情報、企業機密、知的財産に関わるため、そのまま共有することが難しい。連合学習は、このような条件の下でも、分散したデータを活用してAIモデルの性能向上を図れる点に意義がある。この方式の利点は、各参加者がデータの管理主体であり続けながら、共同で学習できることである。特に、単独の拠点では十分な件数や多様性を確保しにくい場合でも、複数の現場が協調することで、更に実用的なAIモデルに近づけることが期待できる(図1中央)。

一方、生データを外部に出さなくても、やり取りされる学習結果やモデル情報から、元のデータに関する情報が推測されるおそれがある。また、悪意ある参加者による改ざんや、不正な学習妨害への対策も必要になる。したがって、連合学習は有力な手法である一方で、安全性を更に高めるためには、追加の保護手段と組み合わせる活用が必要である。

3.3 TEEと連合学習を組み合わせた高セキュア化

安全なデータ利活用基盤を実現する上では、TEEと連合学習を単独ではなく組み合わせて活用することが有効な場合がある。構築上のポイントは、どのデータを拠点に残して、どの処理をTEE内で保護し、どのモデル情報を共有するかを設計する点にある。連合学習は、生データを外部へ出さずに学習できる点で優れているが、モデル情報や集約処理の保護には課題が残る。これに対してTEEを組み合わせることで、学習結果の集約、モデルの配布、機微な処理の実行を隔離環境内で行い、更に高い安全性を確保できる⁽³⁾。この構成を当社が持つ知見と技術によって実現し、各拠点や各機器のデータはその場に保持しつつ、学習に必要な処理や共有されるモデル情報を保護しながら全体最適を図れる基盤を構築する。つまり、データを守る、処理を守る、モデルを守る、という三つの観点を同時に満たすことを可能にする(図1右)。

また、TEEと連合学習を組み合わせた基盤は、単なる防御技術にとどまらず、AIサービスを継続的に成長させる。顧客は、安全性が確保されることで、これまで活用が難しかった機微なデータや、組織横断でのデータ活用に踏み出しやすくなる。その結果、サービス導入の障壁を下げるだけでなく、運用開始後も継続的に学習と改善を進められる。

4. 今後の展望

今後、安全なデータ利活用基盤で保護すべき対象は、従来の画像やセンサー値に加えて、大規模言語モデル(Large Language Model : LLM)が扱う文書、知識、対話履歴、AIエージェントが用いる業務手順や判断ロジックへ広がっていく。特に検索拡張生成(Retrieval-Augmented Generation : RAG)やAIエージェントシステムでは、参照知識、システムプロンプト、推論過程、外部連携処理まで含めて守る視点が重要になる。また、将来は単独組織内の活用にとどまらず、複数組織や複数拠点が協調してAIを高度化する場面が増えると考えられる。TEEのような保護技術と連合学習のような分散協調技術を適切に組み合わせることで、安全性を確保しながらAI活用の幅を広げられる。

さらに、これらの技術を実際のAIサービスへつなげるため、適用シナリオを想定した試作の開発も進めている(図2)。図2の試作は、モデル集約を担うサーバーと、学習・推論を行う3台のエッジ機器(クライアント)から構成される。図2中の“TEEを用いたE2E高セキュア連合学習システム”は、サーバーとクライアントを含む全体構成を指す。試作を通じて、各クライアントのデータ・処理・モデルの保護、及び複数拠点の知見を安全に活用する流れを確認し、性能・運用面の課題を明らかにしていく。

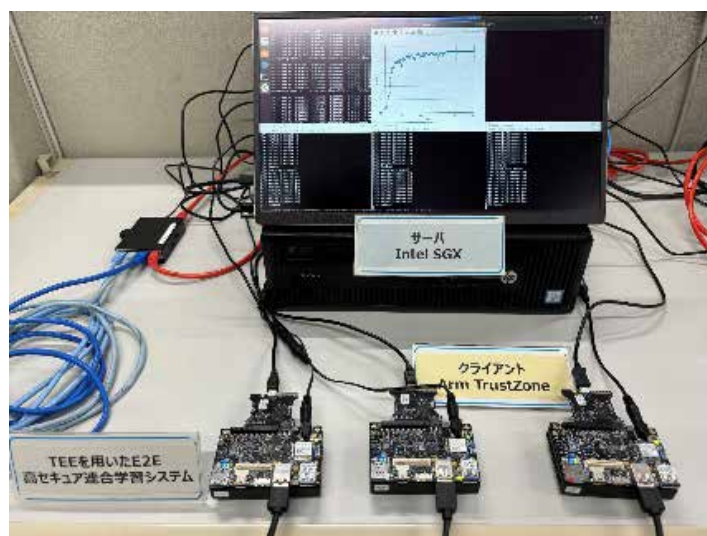


図2-サーバーと3台のエッジ機器で構成する試作

5. む す び

AIサービスの顧客共創を支える安全なデータ利活用基盤技術として、TEEと連合学習の取組みを基に、データ、処理、モデルを守りながらAI活用を進める考え方を述べた。公共、空調、FA、金融、医療などの適用シナリオに共通するのは、安全に使えること自体がAIサービスの成立条件である点である。

今後も、LLM、RAG、AIエージェントへ展開しながら、機微なデータやノウハウを守りつつ価値の高いAIサービスの実現に貢献していく。

参 考 文 献

- (1) 小関義博, ほか: AIの安心・安全を守るセキュリティー技術とプライバシー技術, 三菱電機技報, **98**, No.8, 5-01~5-04 (2024)
- (2) Nakai, T., et al.: Co-designing Trusted Execution Environment and Model Encryption for Secure High-Performance DNN Inference on FPGAs, 2024 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS) (2024)
- (3) 中井綱人, ほか: ビザンチンロバストな連合学習における学習モデル保護の基礎検討, 2022 Symposium on Cryptography and Information Security (2022)



事業持続性向上を目的とした 生体データ活用ソリューション

Human Sensing Solution for Supporting Business Sustainability

神谷雅志*
Masashi Kamiya
堀 淳二*
Junji Hori
安達佳明*
Yoshiaki Adachi

山田旭洋*
Akihiro Yamada
垣尾政之†
Masayuki Kakio

*先端技術総合研究所
†同研究所(博士(工学))

要 旨

近年, “人的資本経営”を重視する企業が増加しており, デジタル技術を活用した生産性の向上に加えて, 作業者の働きがい, 働きやすさなどのウェルビーイング指標の向上が, 事業持続性を左右する一因になると考えられている。

三菱電機は, 生体データ計測, 生体データ分析及び時空間データ基盤によって作業者のウェルビーイング指標を客観的に把握し, 環境制御やインタラクションを通じてウェルビーイング指標を向上させるソリューションの実現を目指している。

1. ま え が き

第四次産業革命と呼ばれるAI, IoT(Internet of Things), ビッグデータなどのデジタル技術の急速な進展が, 労働環境を大きく変革している。労働人口減少もあいまって, 各企業は自らが抱える人材を“消費される資源”ではなく“企業価値向上の重要資産”として捉える“人的資本経営”重視の傾向を強めている。経済産業省が公表した“人材版伊藤レポート”⁽¹⁾では, スキル, ダイバーシティ, エンゲージメント指標などの導入による人的資本の価値創造が, 企業価値創造の中核に位置すると述べられており, デジタル技術を活用した生産性の向上に加えて, 働きがい, 働きやすさなどが, 事業持続性を左右する一因になると提言している。また, 国際的な枠組みでも, 労働環境でのウェルビーイング推進のための世界共通のガイドラインであるISO 25554⁽²⁾が2024年に発行されて, 作業者個人や集団に関するウェルビーイング指標の定義, 評価, 効果的な運用などに関する枠組みが策定された。

当社がリーダー会社として推進した産業競争力懇談会のプロジェクト“「人」が主役となる新たなものづくり”の提言を実現するため, 2019年に国立研究開発法人 産業技術総合研究所(産総研)内に“「人」が主役となるものづくり革新推進コンソーシアム”⁽³⁾が設立された。さらに, 2022年にはQoW(Quality of Work)の高い快適な労働環境による生産性向上や高度な快適性を届ける統合ソリューションの実現を目指す“三菱電機-産総研 Human-Centricシステムデザイン連携研究室”が設立された。当社はこれらの産官連携活動を通じて, ISO 25554に準拠した作業者個人や集団でのウェルビーイング指標の客観的な把握と向上に資する技術を実現し, 多様な産業現場への適用を目指している。

当社技術によって実現を目指すソリューションの概念を図1に示す。まず, 生体データ計測技術, 生体データ分析技術によって, 生体データや行動分析情報から成る作業者データを生成する。次に, 時空間データ基盤技術によって, 作業者データ, 機器データ, 環境データ, さらに現場に合わせて分析したウェルビーイング指標など, 現場のあらゆる時空間データをバーチャル空間で管理及び可視化する。最後に, 環境制御技術やインタラクション技術によって, 生産性とウェルビーイング指標を向上させて, 事業持続性を向上させる。

本稿ではこのような事業持続性向上を実現する生体データ活用ソリューションについて, 関連する取組みを述べる。

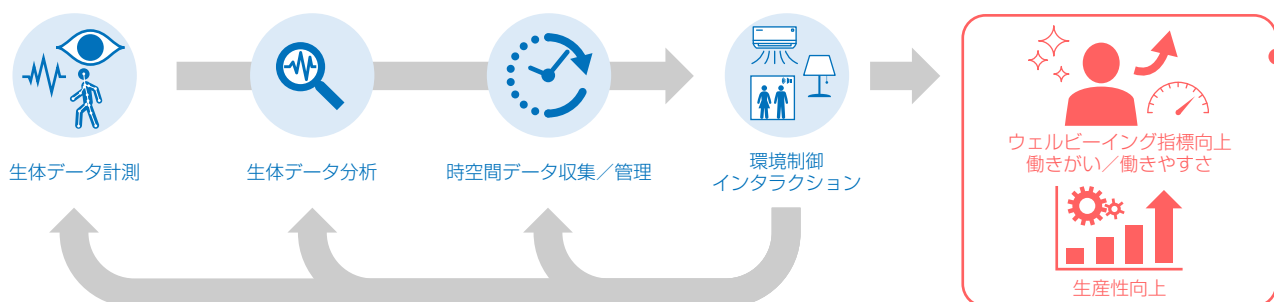


図1-生体データ活用ソリューションの概念

2. ウェルビーイング指標の客観的把握に資する技術

この章では、生体データ計測、生体データ分析、時空間データ基盤によってウェルビーイング指標を客観的に把握するための技術について、当社の取組みを述べる。

2.1 映像による生体データ計測技術

カメラを用いた計測は、他のデバイスを用いる場合と比較して汎用性、他システムの流用可能性、導入コストの低さなど様々な利点がある。また生体データ計測に適用する場合、利用者への負荷が小さい非接触計測が実現できることも大きな利点である。当社は、映像を用いた生体データ計測技術やそれを基盤とした見守り技術を複数確立している⁽⁴⁾。図2(a)は、近赤外カメラで撮影した顔映像の微小輝度変化から脈拍数を計測する技術で、作業者の生理心理状態をロバストに推定して作業環境を改善するなどの活用が期待できる。図2(b)は、エッジ処理とクラウド処理を連携した状態検知技術で、プライバシーを確保しつつ、転倒など危険な状態を検知してクラウド経由で通知するシステムを実現できる。作業者に対して、緊急時に支援を受けることができる安心感を与えるなど、働きやすい作業環境の構築に貢献可能である。

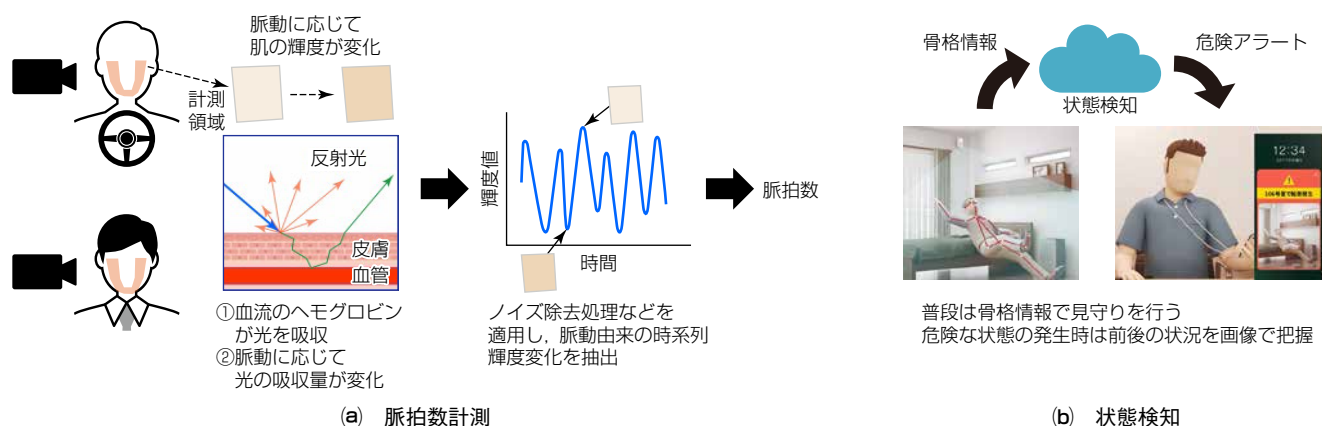
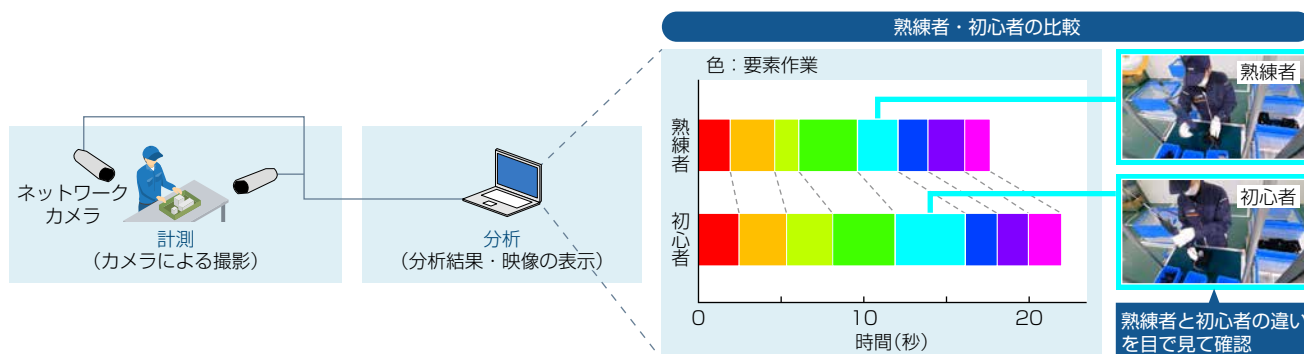


図2-映像による生体データ計測技術

2.2 行動分析AI技術

生産現場の作業者を支援する上で、リアルタイムでの自動作業分析や作業内容可視化は大きな効果を持つ。しかしながら、従来技術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、現場導入や運用に課題があった。

この課題に対して、当社は、教師データの作成が不要で、生産現場の人の作業分析を数分で実現する“行動分析AI”技術を開発した(図3)⁽⁵⁾。この技術は、一人一人の作業を撮影した動画から、改善すべきポイントを短時間で見える化できる。当社が進める複数の実証試験を通じて、正解率約9割の作業分析が自動で可能であるとともに、分析にかかる時間を



最大99%削減可能であることを確認できた。高性能な計算機が不要で、現場導入が容易という特徴も備える。この技術を用いることで、新人作業者が熟練作業者との比較を通じて改善点を把握したり、管理者が作業の停滞や遅れを把握して適切な支援につなげたりすることが可能になる。

2.3 時空間データ基盤技術

現実世界を構成するモノやその状態をデジタルデータとして収集し、それらを高度に連携、表現したデジタルツインの活用が注目されている。デジタルツインの実現には、人、物品、設備などのあらゆるデータを収集し、それらの関係性を把握する必要があるが、各データは異なるシステムで収集されており、データ同士の関係性を把握できない問題があった。

この問題に対して、当社は、現実世界を構成するモノやその状態を位置と時間を持つ時空間データとして収集し、現場を精緻に再現したデジタル空間上に紐(ひも)付けて管理する時空間データ基盤“GeoCLOVER”の基礎技術を開発した(図4)。この技術を用いることで、作業者と設備の関わり、作業者同士の関わりなど、これまでは見逃されていた、現場で発生している些細(ささい)な変化を把握可能になり、作業内容や作業環境の改善に活用できる。



図4-時空間データ基盤技術

3. ウェルビーイング指標の向上に資する知見

この章では、環境制御やインタラクションでウェルビーイング指標を向上するための知見について、当社の取組みを述べる。

3.1 環境制御が人に与える影響

当社では、奥行き感のある自然な青空を再現する青空模擬照明“青空照明misola”を2020年に製品化した。また、青空模擬照明を利用し、照明環境制御が睡眠に与える影響を慶應義塾大学と共同で評価した⁽⁶⁾。1日のうち午前9～11時に実施するパソコン作業時の照明条件をパラメーターとし、睡眠への影響を終夜睡眠ポリグラフ装置で評価した。その結果、睡眠効率は通常照明下、青空模擬照明下、自然光下の順に向上し、中途覚醒割合は同じ順に減少することが分かった(図5(a))。

関西学院大学と共同で実施した研究では、オフィス環境での主観的快適性の評価構造を調べた⁽⁷⁾。その結果、快適感の判断が温熱要素だけでなく体調や心理状態といった内的要素にも影響を受けること、さらにその影響度の違いによって3タイプに分類できることを科学的に解明した(図5(b))。これらの知見は、ウェルビーイングを実現する作業環境構築に寄与する貴重な情報であり、例えば、タイプ判別によって個人のウェルビーイングに資するソリューションの実現を検討している。

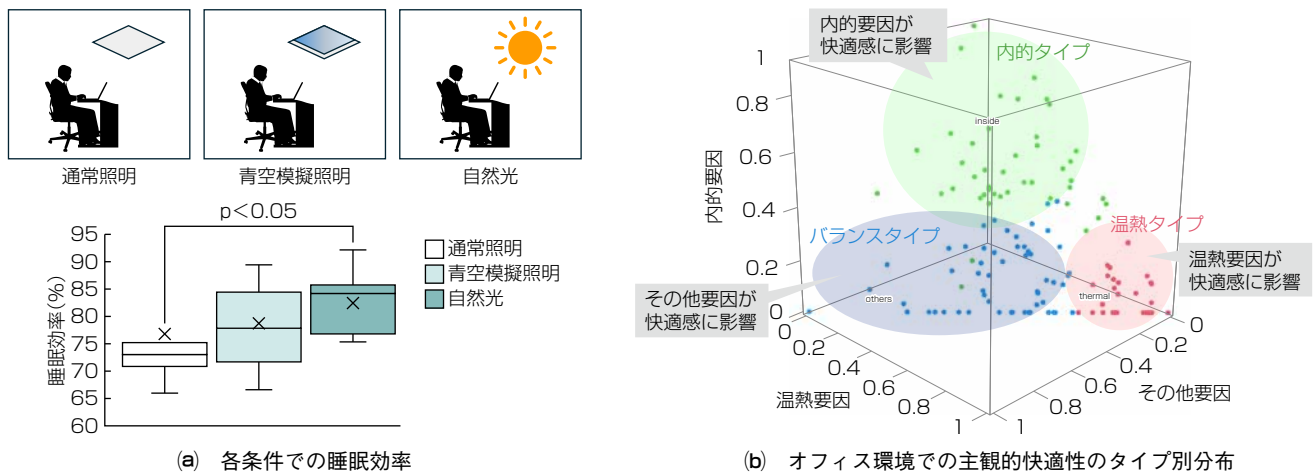


図5-環境制御が人に与える影響

3.2 ヒューマンファシリティーインタラクション

近年、オフィスビルをはじめとした多様な産業現場で、清掃や警備、搬送など様々なサービスロボットの導入が進んでいる。サービスロボットへの期待、役割が大きくなり、特定フロアだけにとどまらず、エレベーターを利用してビル全体でサービスを行うサービスロボットの実用化も進んでいる。

当社では、(株)国際電気通信基礎技術研究所とともに、人とロボットがエレベーターに同乗する際に、人がロボットに対して抱く不安やストレスを軽減するためのヒューマンファシリティーインタラクションの研究を行った⁽⁸⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾。その結果、エレベーターへのロボット乗降時にエレベーターが動作情報を人に音声で案内することで、ロボットに対する利用者の好感度が上がって、安心感を提供できることが分かった(図6)。この知見は、作業者とロボットが協働作業する現場がごく一般的になると考えられる将来において、周囲のファシリティーの介在によって作業者の働きやすさを向上させるソリューション実現につながる。

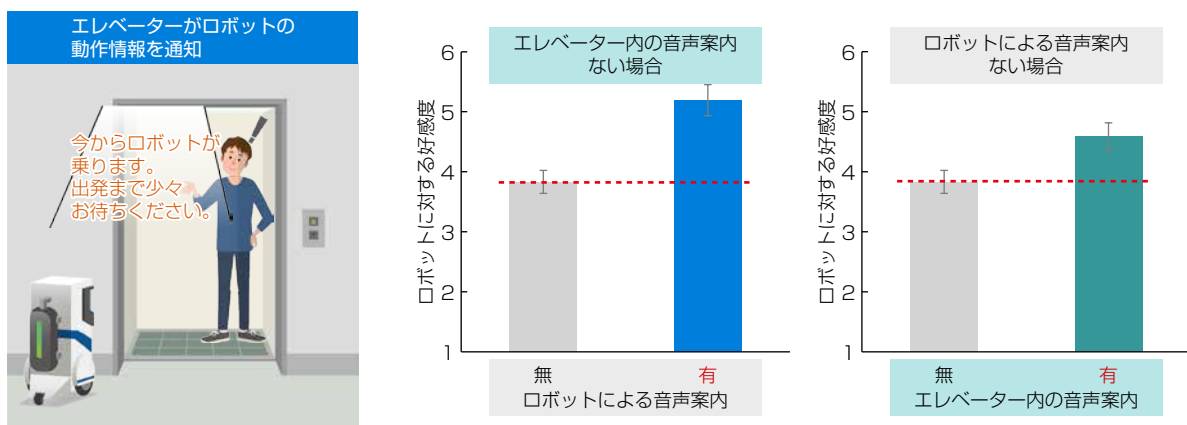


図6-ヒューマンファシリティーインタラクション

4. む す び

産業現場向けの生体データ活用ソリューションに関連する取組みとして、生体データ計測、行動分析AI、GeoCLOVER、環境制御が人に与える影響、ヒューマンファシリティーインタラクションについて述べた。

今後も、現場の多様な課題を解決して事業持続性向上への貢献を目指す。

参考文献

- (1) 経済産業省：持続的な企業価値の向上と人的資本に関する研究会 報告書 ～人材版伊藤レポート～ (2020)
https://warp.ndl.go.jp/web/20220201154934/www.meti.go.jp/shingikai/economy/kigyo_kachi_kojo/pdf/20200930_1.pdf
- (2) 国際標準化機構：Ageing societies - Guidelines for promoting wellbeing in communities, ISO 25554 (2024)
- (3) 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 HCMI コンソーシアム事務局：「人」が主役となるものづくり革新推進コンソーシアム
<https://www.hcmi.cons.aist.go.jp/index.html>
- (4) 高橋龍平：カメラを用いた非接触生体センシングによるドライバーの体調異常検知技術，三菱電機技報，**98**，No.5，5-01～5-04 (2024)
- (5) 八田俊之，ほか：生産現場の効率化に貢献する作業分析システム，三菱電機技報，**95**，No.4，264～267 (2021)
- (6) 桑田宗晴，ほか：自然を模擬するライティング技術，三菱電機技報，**95**，No.4，252～255 (2021)
- (7) 栗原幸大，ほか：オフィスおよび在宅勤務におけるヒトの主観的快適性の評価構造とタイプ分類，室内環境，**27**，No.3，201～216 (2024)
- (8) Shiomi, M., et al. : Designing standing position and voice cues for a robot riding in a social elevator, Advanced Robotics, **39**, 19-20, 1247～1259 (2025)
- (9) Adachi, M., et al. : Human-facility interaction improving people's understanding of service robots and elevators - system design and evaluation, Frontiers in robotics and AI, **12** (2025)
<https://www.frontiersin.org/journals/robotics-and-ai/articles/10.3389/frobt.2025.1681187/full>
- (10) Shiomi, M., et al. : How long is too long? Examining waiting times and stress in human-elevator interaction, PeerJ, **13** (2025)
<https://peerj.com/articles/19913/>

~~~~~

# ヒューマンモニタリングシステム

Human Monitoring System

\*三菱電機(株) 先進応用開発センター  
†三菱電機モビリティ(株)

## 要 旨

自動車内の乗員状態を検知するドライバーモニタリングシステム(DMS)及び乗員モニタリングシステム(OMS)は、安全強化に向けた法規制やアセスメント要求によって、車両への搭載が加速している。DMSでは、IR(Infrared)カメラによる走行中のロバストな脈拍計測技術と、AIを用いた複合的な解析による高精度な飲酒状態検知を開発した。OMSでは、広角カメラとミリ波レーダーを連携し、カメラ画像からの三次元骨格推定によるシート位置に依存しない乗員体格検知と、レーダーの透過性を生かした幼児置き去り検知技術を開発した。今後、車載環境で培った高度な人検知・状態推定技術をヒューマンモニタリングシステムへと発展させて、三菱電機及び三菱電機モビリティ(株)両社の幅広い事業領域へ展開していく。

## 1. ま え が き

自動車内に設置したカメラなどのセンサーで乗員の状態を検知するDMS、OMSは、欧州GSR(General Safety Regulation)などの法規制及びNCAP(New Car Assessment Program)などの安全関連のアセスメント強化によって、欧州を皮切りに車両への搭載が加速している(図1)。これまでDMSは、ドライバーの外面上の変化から捉えられる、脇見、居眠り、眠気といった顔検知機能を中心として発展してきた。近年、DMSの技術は外面的な情報にとどまらず、脈拍や呼吸検知などの生体センシングを通じてドライバーの内面状態を推定する方向への発展が期待されている。さらに、顔だけでなく乗員の身体全体を検知し、運転席だけでなく車室内の全乗員へと検知範囲を拡張したOMSも更なる安全性向上に向けて、重要になっている。

本稿では、両社の次世代戦略での重要技術として開発したDMS・OMS技術及び将来展望について述べる。



DMS



OMS

図1-DMSとOMSによる乗員センシングの様子

## 2. DMS

交通事故の根絶には、ドライバーの健康状態の把握と、飲酒運転の防止が不可欠である。

この章では、生体センシング技術と生体データを活用したソリューション展開について述べる。

## 2.1 生体センシング技術

この節では、ドライバーの状態把握のために必要な生体センシング技術の一つである“脈拍数計測技術”と、計測結果を活用した“飲酒状態検知技術”について述べる。

### 2.1.1 脈拍数計測技術

これまでRGB(Red Green Blue)カメラ(カラー)を用いて対象者が静止した状態で脈拍を計測する技術は知られているが、DMSに用いるIRカメラ(白黒)は信号量が少なく、振動や外光のノイズにかき消されるため、脈拍計測は困難とされていた。今回、運転中の振動や顔の動きにも追従する“肌トラッキング技術”と、ノイズ信号から脈拍信号を分離して抽出するための“脈拍ノイズ分離技術”を開発した(図2)。これによってIRカメラで走行時でもロバストに脈拍数を計測可能にした。また、カメラの設置角度や距離に応じて計測領域を最適化する“適応型レイアウト技術”によって、顔の写る面積が限られるレイアウトでも安定した信号品質での計測を実現した。これによって様々なレイアウトの要求に対応できる。

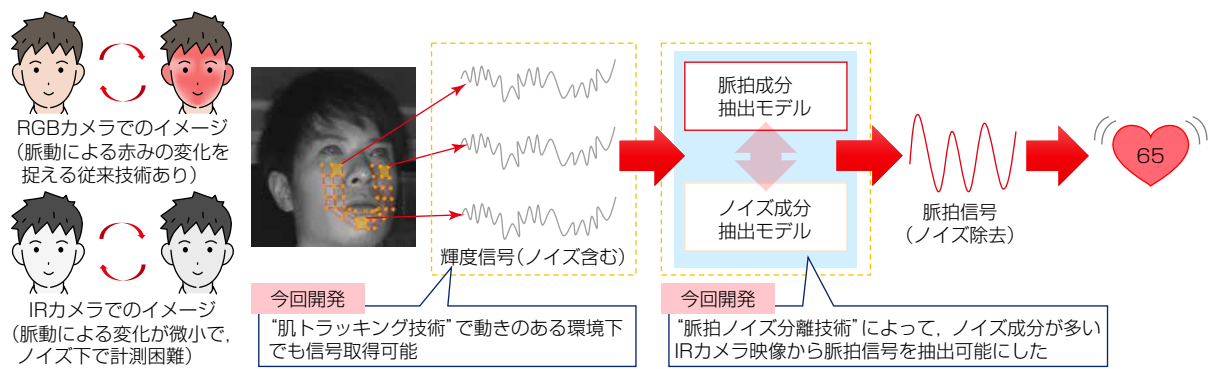


図2-脈拍数計測アルゴリズム概要

### 2.1.2 飲酒状態検知技術

2025年12月に発表した最新技術として、カメラ映像から飲酒状態を検知する手法を確立した。この技術は、飲酒に伴う脈拍の変化、及び顔や目の変化などをAIが複合的に解析するものである(図3)。従来の呼気検知器のようなドライバーの負担がなく、なりすましも防止できる。また、飲酒による覚醒度の変化は表情に個人差が現れるが、飲酒によって変動する脈拍数を判定に組み込むことで、この個人差の影響を低減し、高精度な飲酒状態検知を実現する。2.1.1項で述べた高度な脈拍計測技術を特徴量抽出の基盤として活用することで、高い検知精度を実現している。

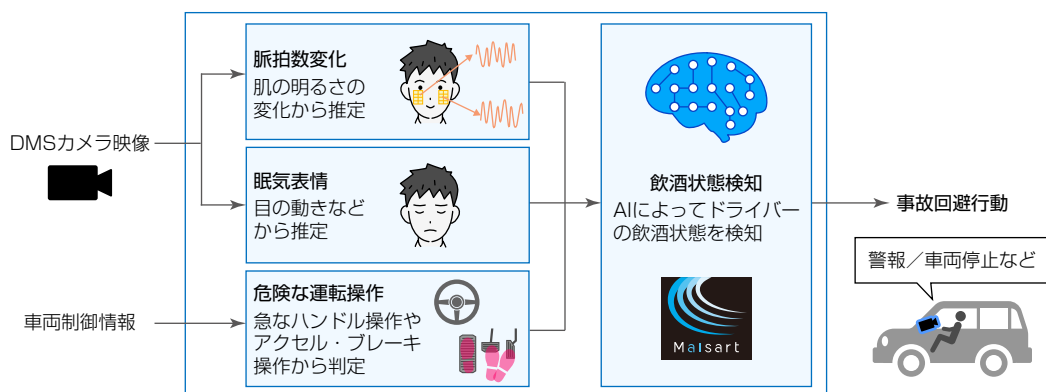


図3-飲酒状態検知技術の全体像

## 2.2 生体データを活用したソリューション展開

今後はDMSで計測した生体データを、三菱電機のデジタル基盤“Serendie”（セレンディ）へ蓄積し、解析することで、ドライバーの長期的な健康傾向の把握や、事故リスクの将来予測といった、更に高度な予防安全サービスを提供することを目指す。

## 3. OMS

この章では、OMSの多機能な検知項目のうち、両社が独自のアルゴリズム開発に注力した“乗員体格検知技術”及び“幼児置き去り検知技術”について述べる。

### 3.1 乗員モニタリング技術の概要

1章で述べたように、OMSは運転席に限らず車室内の全乗員を検知することで、車内の安全性及び快適性を向上させる技術である。このシステムは、車室内上部に設置した広角カメラとミリ波レーダーを連携させて、車室内全域の状況をリアルタイムに把握する。具体的には、全席のシートベルト着用状況の確認、エアバッグへの過度な接近やダッシュボード上への足載せといった危険姿勢の検出、乗員の体格分類、さらには幼児の車内置き去り状態の検知など、多岐にわたるセンシングを実現する。カメラは高い空間分解能と豊富な視覚情報を提供可能なため、人物の骨格推定やシートベルト、チャイルドシートといった物体の認識に特に有利である。一方、レーダーはシートや毛布などの非金属を透過してセンシングできる特性を持つため、遮蔽物に隠れた幼児もロバストに検知できるという利点を持つ。これらのセンサーの長所を組み合わせることで、車室内全体の安全性と快適性の向上に貢献する。

### 3.2 乗員の体格検知技術

自動車の車室内には、幼児から大柄な成人まで多様な体格の乗員が乗車する。車両側で乗員の体格を正確に把握することは、体格に応じたエアバッグの展開制御やシートベルトの張力最適化を可能にし、衝突安全性能を向上させる上で重要である。従来の手法では、シート内の荷重センサーによる体重計測で体格分類を行っていたが、重い荷物を乗員と誤判定したり、チャイルドシートの重量増加によって幼児を成人として誤検知したりする課題があった。

そこで両社は、図4に示すように、OMSカメラの画像から乗員の骨格点を検出し、身長と体重を推定することで、体格(幼児、小柄、中柄、大柄など)进行分类する新たな技術を開発した。この手法は画像認識AIによって乗員と物を識別できるため、従来の手法が抱えていた誤判定の問題を解決する。一方、カメラ方式の技術的課題は乗員の奥行き補正である。二次元画像では奥行き情報が欠落するため、画像上の見かけの大きさだけでは、シート位置の前方スライドによるものか、乗員自身の体格が大きいのかを識別することが困難である。この課題に対して、両社は車両のカメラ位置と座席位置に関する事前情報を活用し、二次元画像から乗員の各骨格点の三次元座標を推定する手法を導入した。これによって、三次元骨格点の関係性から身長・体重を算出し、シート位置に依存しない体格検知を実現した。

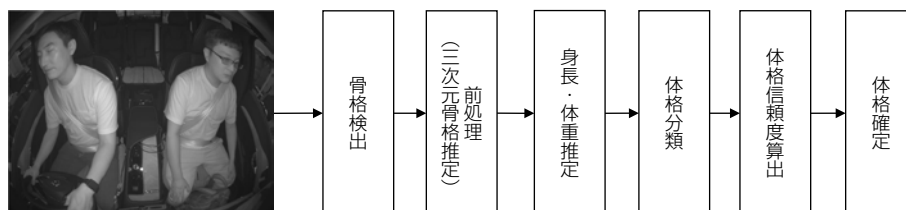
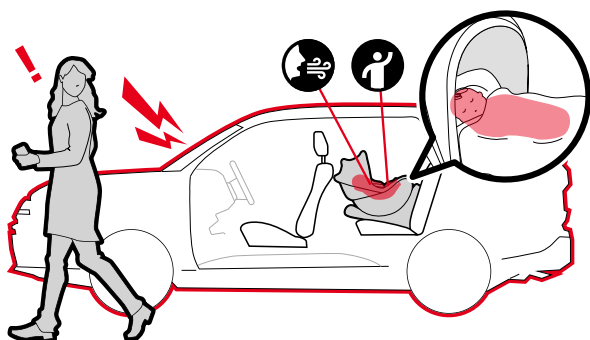


図4-体格検知技術の処理フロー

さらに、この技術は衝突安全制御に直結するため高い信頼性が求められる。そこで両社は、体格検知の信頼度を算出するアルゴリズムも開発した。このアルゴリズムは、体格分類の境界付近や、人間の身長・体重の統計値から外れた推定結果に対しては、低い信頼度を出力する。このように両社の体格検知技術は、信頼性の高い検知結果だけを出力することで、車両の衝突安全性能の向上に貢献する。

### 3.3 幼児置き去り検知技術

幼児置き去り検知システムは、車内に取残された幼児を検知・通知し、熱中症などの重大事故リスクを軽減するものである。近年、欧州の自動車安全評価機関であるEuro NCAPの評価基準にこの機能が追加されるなど、世界各国で規格化が加速している。車内環境では、後ろ向きチャイルドシートで眠る幼児や、座席足元に潜り込んだ幼児の検知が求められる。こうした死角の多い状況下では、光学式センサーだけでは検知は困難であるが、金属以外を透過する特性を持つ電波センサーであれば検知が可能である。両社は、この特性を生かせるセンサーとして、ミリ波レーダー及びUWB(Ultra Wide Band)レーダーの開発を進めている。ミリ波レーダーとUWBレーダーを比較すると、ミリ波レーダーの方が波長が短く、使用する周波数帯域幅も広い。このため、距離分解能や微小な動きの観測性能の観点ではミリ波レーダーが優位であり、車室内の更に広い範囲を高精度にモニタリングすることが可能である。一方、UWB帯は近年デジタルキーシステムへの応用が進んでおり、デジタルキー用のUWBユニットを既に搭載している車両では、新たなハードウェアを追加することなく、ソフトウェアの変更だけで幼児置き去り検知システムを実現できる。このように、ミリ波レーダーとUWBレーダーという異なる特徴を持つ電波センサーを開発することで、車両のレイアウトや搭載システムに応じた最適なセンサー構成を提供可能になる(図5)。



| 検知対象                        | カメラ | レーダー | カメラ+レーダー |
|-----------------------------|-----|------|----------|
| 席上の幼児                       | 😊   | 😊    | 😊        |
| 日よけや毛布の下の幼児                 | 😞   | 😊    | 😊        |
| 後ろ向きチャイルドシート上の幼児            | 😞   | 😊    | 😊        |
| 足元にいる幼児<br>(シート背後/ダッシュボード下) | 😞   | 😊    | 😊        |
| 大人/幼児の判別                    | 😊   | 😐    | 😊        |

図5-幼児置き去り検知システム

両社レーダーの技術的特長は、呼吸に伴う微小な体動を高感度に捉える信号処理技術と、反射波から人体由来の成分を抽出する独自の判定アルゴリズムにある。反射信号の時間・周波数特性や位相変動を解析することで、車両の揺れや構造物の動きと、人体特有の微細な動きを識別する。さらに、レーダーと車内カメラを連携させることで、体格分類も可能である。レーダーは車内カメラに比べて解像度が低いため、車内カメラを活用することで、レーダーだけを用いるシステムと比較して、高精度な体格分類が可能になる。これによって、幼児だけが取り残されている状態を的確に判断し、大人が同乗している場合には警報を抑制するなど、ユーザーの利便性を損なわない高度な制御を実現する。

## 4. む す び

モビリティ社会の安心・安全を支える中核技術として、AIや生体センシングを駆使した最新のDMS及びOMS技術について述べた。これらの技術は、乗員の内面状態から車室内全域までを把握することで、車両の予防安全及び衝突安全性の向上に貢献できる。今後、両社はこれらの技術を車載領域だけではなく、“人”を理解し寄り添うヒューマンモニタリングシステムへと発展させていく予定である。車載環境下で培われたロバストな人検知技術や状態推定アルゴリズムは、FA、インフラ、ライフ領域など両社の幅広い事業基盤で強力なシナジーを生むと考えている。両社はヒューマンモニタリングシステムの全社的な展開を通じて、イノベティブカンパニーとしてあらゆる生活シーンでの社会課題の解決に貢献していく。

# 群ドローンの自律分散制御技術

Autonomous Distributed Control Technology for Drone Swarm Systems

\*先端技術総合研究所(博士(工学))  
†同研究所

## 要 旨

社会インフラの維持管理の省力化と業務の高度化のため、屋内の狭く閉鎖的な空間に対する点検・計測の自動化が重要である。三菱電機は、狭隘(きょうあい)な閉鎖空間で安全・柔軟な運用を実現する群ドローンの自律分散制御技術の開発に取り組んできた。当社は、群ドローンのシステム構成や、小型・安全・柔軟な運用を実現する自律分散制御技術を検討し、これらの技術のシミュレーション及び実験による編隊飛行の検証を実施した。そして、この技術をドローンに適用することで、複数機で協調・交代運用して多様なタスクを実行する編隊飛行を実現した。

## 1. ま え が き

労働人口の減少が社会課題になる昨今、国土の維持に必要な社会インフラの管理で省力化と業務の高度化が求められる。特に対策が必要な職種である社会インフラの点検・計測は、労働集約でなされており、限られた人員・財源の下で効率的に業務を遂行することが求められる。それに加えて、点検・計測の現場には、高所や狭隘部、交通供用下、又は有害・危険因子の存在などで安全かつ容易に接近できない箇所が少なくない。こうした課題に対して、実空間の情報を効率的に取得するために、例えば、ドローン(マルチコプター)の活用が求められる。

ドローンは、GNSS(Global Navigation Satellite Systems)などの測位情報を用いて屋外を広く自律的に運用される。一方、社会インフラ内部では、GNSSが利用できず、狭く閉鎖的な空間の飛行が要求されるため、屋外の点検用途で普及する大型ドローンに代わって小型のドローン(マイクロドローン)の活用が期待される。しかし、マイクロドローンは、取り回しに優れる反面、運用時間や故障等の安全性に課題があった。この課題解決には、複数機で協調・交代運用する群ドローンの自律分散制御技術が有効である。

本稿では、多様な協調関係を統一的に扱う自律分散制御理論に注目し、隊列を姿勢も含めて指定する編隊を形成する“SO(3)分散制御技術”と機体同士が互いの相対位置姿勢を計測して高精度に同定する“合意推定技術”について述べる。さらに、この技術を複数のマイクロドローンに適用した群ドローンのシステムを構成し、シミュレーションと実験で小型・安全・柔軟な運用を実現する編隊飛行を検証する(図1)。今後、群ドローンによって、屋内の狭隘な閉鎖空間での安全かつ高効率な点検・計測に基づくデジタル技術の高度な活用が期待できる。

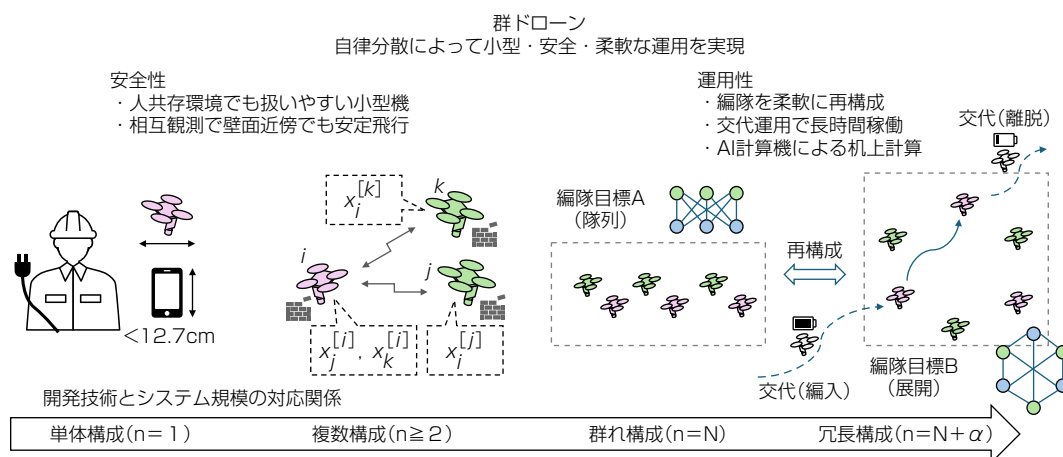


図1-群ドローンの概念図

2. 群ドローン

この章では、群ドローンのシステム構成と、自律分散制御技術について述べる。

2.1 システム構成

本稿で述べる群ドローンは、複数のマイクロドローン(図2①)と一つの地上局(図2②)で構成される。各々のマイクロドローンは、分散制御器(図2③)と相対観測システム(図2④)及び単体のドローン制御を搭載する。

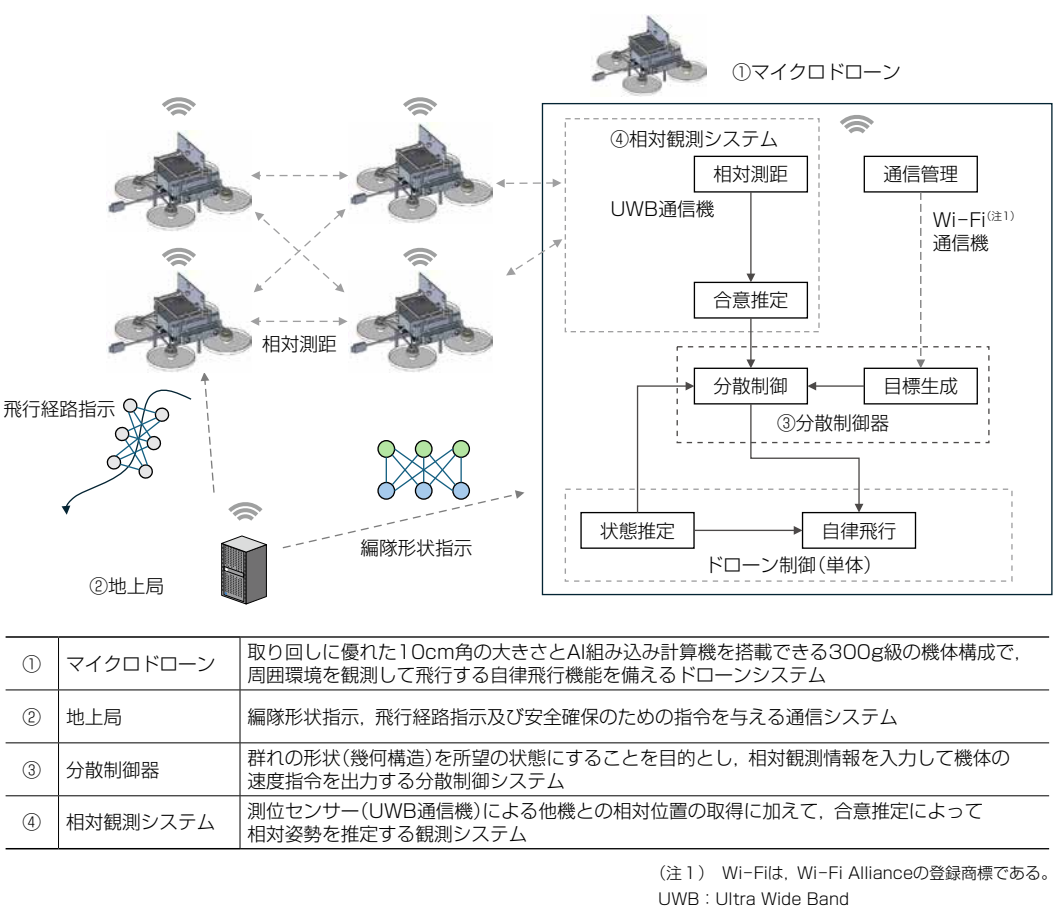


図2-群ドローンのシステム構成

2.2 自律分散制御技術

この節では、分散制御器及び相対観測システムを構成する当社独自の自律分散制御技術(一般化協調)と、その実現に必要なSO(3)分散制御技術、合意推定技術について詳細を述べる。

2.2.1 多様な協調関係を統一的に扱う自律分散制御理論(一般化協調)

群ドローンを実現するには、多数の機体を安定的に運用できる自律分散制御が重要になる。従来の自律分散制御による編隊制御では、機体間の一対一の関係に基づくペアワイズ設計が広く用いられてきた。このペアワイズ設計は安定した編隊形成を実現しやすい一方で、列を成す編隊飛行や広域を探索する被覆作業など、タスクごとに異なる設計が必要になる。また、GNSSやコンパスなどの絶対測位情報を用いる場合の設計と、測距センサーなどの相対測位情報を用いる場合の設計では、別々の設計が求められる。そのため、一つのシステムで複数のタスクを滑らかに切り替えることや、編隊を組み変えながら多様な協調関係を扱うことが難しかった(図3(a))。

そこで大阪大学と当社は、複数機体間で共有される相対観測情報の連結度に着目し(図3(b))，“多様な協調関係を統一的に扱う自律分散制御理論”(以下，“一般化協調”という。)の共同研究を2019年から進めてきた。この理論によって、利用可能な観測手法の種類や精度に応じて、要求されるタスクを満たす制御器の設計条件を体系的に整理した<sup>(1)</sup>。さらに、相互観測に基づく相対関係を適切に管理することで、単機制御やペアワイズ設計では実現が難しい制御性能を達成できる<sup>(2)</sup>。

一般化協調の自律分散制御理論を群ドローンに適用することで、隊列を姿勢も含めて指定する編隊形成(以下，“相対位置姿勢型編隊制御”という。)を実現する分散制御器を設計した。理論によって任意の初期状態で安定性が保証されるため、機器の置き換えで群れが不安定な挙動を示すことがない。これによって、群ドローンは、運用中に機体の置き換えや機体の追加、削減に頑健な編隊飛行を実現する。また、小型・軽量の測距センサー(UWB通信機)に対して相対姿勢を同定する合意推定技術を開発し、屋内の閉鎖空間での相対位置姿勢型編隊制御を実現した。これによって、群ドローンは、複数機体で壁近傍の対象をカメラで指向する利用等、インフラの点検・計測に有用な運用を実現する。

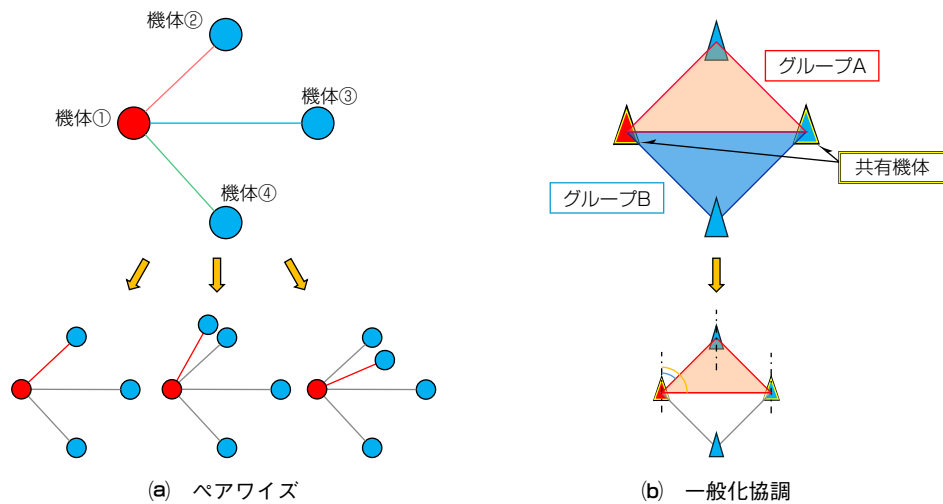


図3-分散制御器の設計イメージ

## 2.2.2 SO(3)分散制御技術

相対位置姿勢型編隊制御では、機体間の相対位置と相対姿勢の両方を用いて編隊を形成する。以前は、相対位置の制御と相対姿勢の制御を個別に計算し、それらを組み合わせて指令を生成するため、局所解への収束や編隊全体のドリフトが生じやすいという課題があった。

そこで、機体の姿勢表現と機体間の相対位置関係を特殊直交群SO(3)によって記述した幾何構造を制御指令とするSO(3)分散制御技術を開発した。SO(3)分散制御技術は、一般化協調に基づく自律分散制御によって、任意の初期状態で安定性が保証され、かつ、編隊形成も初期状態の重心近傍にまとまるため、狭隘部や危険箇所でも安全な運用を実現する。また、相対観測が疎な場合でも安定した編隊形成が成立することを証明し<sup>(3)</sup>、主従関係があるようなセンサー(例えばUWB通信機)によって機体が二つのグループに分かれる条件でも群ドローンが構成できることを示した。

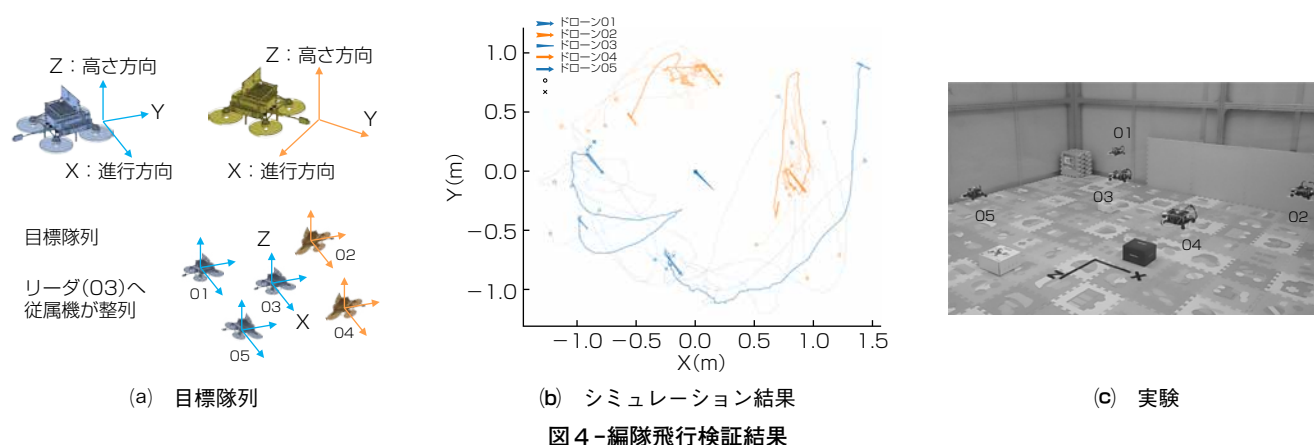
## 2.2.3 合意推定技術

相対位置姿勢型編隊制御には、機体間の相対位置に加えて相対姿勢の情報が要求される。従来の屋外編隊飛行は、各機体がGNSSやコンパスから絶対位置情報を取得し、通信によって取得した情報を基に相対位置又は相対姿勢を推定して編隊制御の入力とする方法が一般的であった。しかし、屋内ではGNSSやコンパスが利用できず、撮像情報や電波測距(例：UWB通信機)で絶対位置や相対位置を取得するため、機体間の相対姿勢を求めることが容易でない。

そこで、UWB通信機の搬送波に受信側と送信側の相対観測情報を個別に付加することで相対姿勢を推定する合意推定技術を開発し、既存のEKF(Extended Kalman Filter)ベースの推定器よりも高い精度で相対位置と相対姿勢が得られることを確認した。これによって、マイクロドローンに搭載できる小型・軽量の相対観測システムを実現し、屋内のインフラ環境で編隊形成できる群ドローンの設計及び開発を実現した。

### 3. シミュレーション及び実験による評価

マイクロドローン5台に対する編隊飛行を数値解析と実機によって検証した(図4)。マイクロドローンは、ドローン制御(単体)を物理シミュレーターで構成するシミュレーションと、10cm角の小型筐体(きょうたい)による実験で構成する。前者は、編隊形成の応答や誤差、統計的な成否を評価し、後者はアクチュエーターやセンサー、通信の遅れやノイズによる影響を評価する。地上局は任意の1機を誘導し、他の機体は編隊を維持して飛行する。分散制御器及び相対観測システムはシミュレーションと実験で同一のソフトウェアで実装し、地上局からの指令に基づいて編隊形成する。機器の構成から二つのグループ(図4の青色、オレンジ色)に分けて配置し、様々な初期位置や姿勢に対して目標隊列を形成できることを確認した。



### 4. む す び

デジタル技術の活用には実空間の情報を効率的に取得する技術が不可欠であり、様々な環境で無人機による自律的な点検・計測の自動化が普及に向けて重要になる。本稿の群ドローンは、屋内の狭隘な閉鎖空間に対する自動化技術として今後の社会インフラ管理を維持することに貢献していく。また、一般化協調による自律分散制御技術はマイクロドローンに限らず、自動車や衛星、電力のマイクログリッドなど様々な適用できる技術である。当社は、高い制御技術に基づく多様な製品群を持っており、これらの自律化・分散化・協調化によるソリューションの革新を支える基盤技術として期待される。自律性及び作業性が高いマイクロドローンの開発及び分散制御器の応答速度向上や相対観測システムの小型化、高性能化によって、社会インフラの維持管理への実利用に向けた開発を進めて、日本国土全体のデジタル技術の進展に寄与していく。

### 参考文献

- (1) Sakurama, K. : Unified Formulation of Multiagent Coordination With Relative Measurements, IEEE Transactions on Automatic Control, **66**, No.9, 4101~4116 (2021)
- (2) Sakurama, K., et al. : Multiagent Coordination With Relative Measurement via Cooperative and Individual Control, IEEE Transactions on Automatic Control, **70**, No.2, 992~1007 (2025)
- (3) Peng, C., et al. : Distributed SE(d) Formation Control of Multi-Agent Systems Using Relative Measurements, International Journal of Robust and Nonlinear Control, **36**, No.1, 100~116 (2026)

# ビル内機器エネルギー消費の時系列予測を用いた異常予兆検知手法

Anomaly Detection Method Using Time - Series Prediction of Energy Consumption in Building Equipment

\*先端技術総合研究所

## 要 旨

ビルの省エネルギー化に向けては、機器の“いつもと違う”運転状態をいち早く検知することが重要である。従来の固定しきい値による異常検知手法は、季節や時間帯による変動への追従が難しく、検知精度に課題があった。この課題を解消するために、ビル内機器のエネルギー消費を時系列予測し、その予測誤差を基に、動的な正常範囲を設定する異常予兆検知手法を提案する<sup>(1)</sup>。実在のビルの受電電力量データを用いた検証では、ビル内機器のエネルギー消費予測精度はMAPE(Mean Absolute Percentage Error：平均絶対誤差率)1.46%の高い予測精度を達成した。このエネルギー消費予測結果に基づいて、ビル監視システムへの適用を想定した異常予兆検知手法の検証用アプリケーションを開発した結果、機器構成図上での異常予兆の可視化が実現できることを確認した。

## 1. ま え が き

地球温暖化対策やエネルギーコスト削減の観点から、ビルのエネルギー効率化は社会的に重要なテーマになっている。政府が推進するZEB(ネット・ゼロ・エネルギー・ビル)の実現に向けて、ビルの消費エネルギーを削減する取組みが各所で加速している。

ビルのエネルギー効率を高めるためには、図1に示すように、“可視化”“検知”“診断”の三つのステップで取り組むことが有効である。まず消費エネルギーの現状を“可視化”し、次に“いつもと違う”状態を“検知”し、最後にその原因を“診断”する。この中でも“検知”は、効率悪化の早期発見につながる重要なステップである。例えば、空調設備の効率低下が数か月気付かれないまま放置されると、無駄なエネルギー消費が積み重なる。異常を早期に検知できれば、こうした無駄を未然に防ぐことができる。

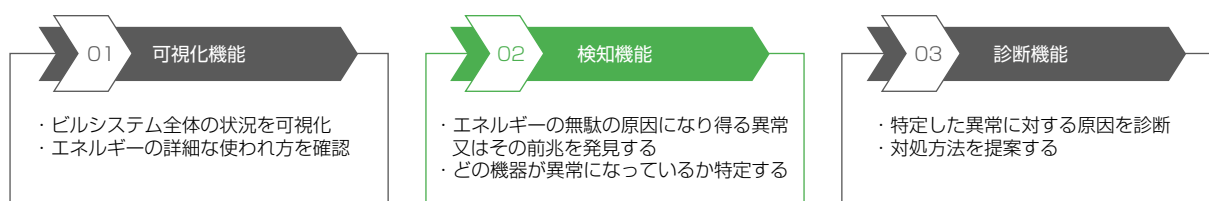


図1-エネルギー効率向上の三つのステップ(可視化→検知→診断)

異常検知の従来手法としては、機器の消費電力量などに対してあらかじめ固定したしきい値を設けて、それを越えた場合に異常と判定する方法が一般的である。しかしこの手法には、季節・曜日・時間帯によってエネルギー消費量が大きく変化するビル設備への適用が難しいという課題がある。例えば、真夏の空調消費電力と真冬のそれとは大きく異なるにもかかわらず、同一のしきい値で判定しようとする、正常な運転状態を誤って異常と判定したり、本来検知すべき異常を見逃したりするリスクがある。

そこで本稿では、エネルギー消費の時系列予測結果を用いて、正常範囲を動的に設定する異常予兆検知手法を提案する。併せて、実在ビルのデータを用いたビル内機器のエネルギー消費予測の精度検証結果と、ビル監視システムへの適用を想定した異常予兆検知手法の検証用アプリケーションについても述べる。

## 2. 提案手法

この章では、動的正常範囲方式(提案手法)について述べる。

### 2.1 基本的な考え方

提案手法の核心は、“固定された基準値”ではなく“その時々予測値からのずれ”で異常を捉える点にある。天気予報に例えると、30℃という気温に対して、予報気温が32℃であれば何も感じず、予報気温が20℃であれば“何かおかしい”と判断することと同じ発想である。この考え方によって、季節変動や時間帯変動を自然に吸収した上で、真の異常を検知できる。

図2に、固定しきい値方式(従来手法)と提案手法の動作の違いを示す。従来手法では消費量がしきい値を超えたかどうかで異常を判定するため、季節・時間帯によって消費量が変動するビル設備には追従できない。提案手法では時系列予測値を基に正常範囲を動的に設定することで、変動への追従と異常の早期検知を両立する。

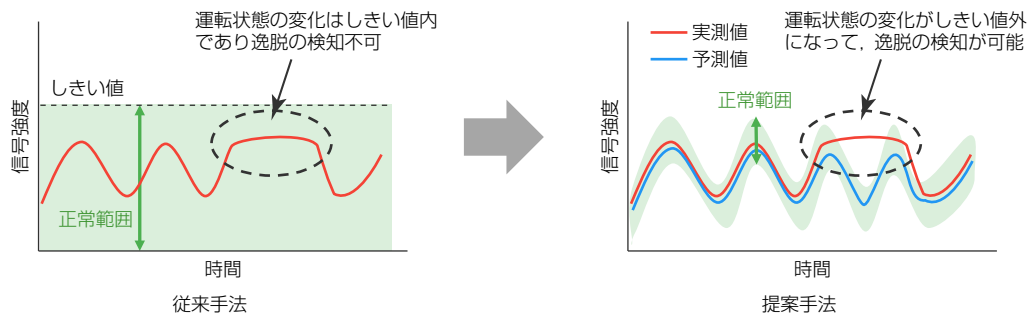


図2-従来手法と提案手法の比較

図3に提案手法の全体フローを示す。機器の過去のエネルギー消費データから時系列予測を実施し、予測値に基づく正常範囲を算出する。実際の消費量がその正常範囲から逸脱した場合に“異常予兆あり”と判定し、結果をビル監視システムの画面に表示する。

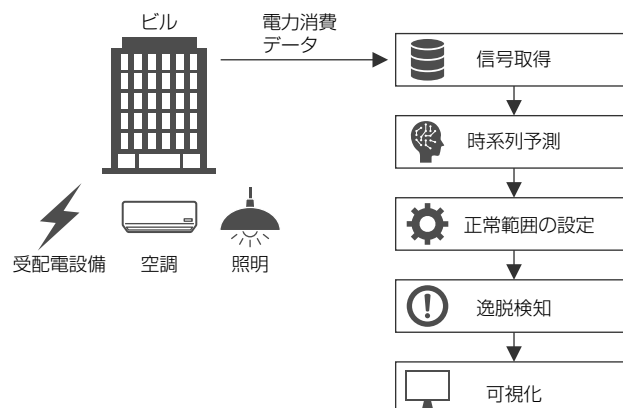


図3-提案手法の全体フロー

### 2.2 時系列予測手法(局所近似法)

時系列予測には、局所近似法<sup>(2)</sup>を採用した。局所近似法とは、“過去のデータの中から今の変動パターンに似ている期間を探し出して、その後どのような動きをしたかを参考にして未来を予測する”手法である。

この手法の実用上の大きな特長は、モデルレス(事前の学習モデル構築が不要)ということである。機械学習で一般的なニューラルネットワーク等の手法では、予測モデルの学習に多くのデータと計算時間が必要で、機器の運転状態が変化するたびにモデルの再学習が求められる場合がある。一方、局所近似法は予測対象の時系列データそのものから逐次的に予測するため、モデルの更新処理が不要であり、機器の状態変化にも柔軟に対応できる。図4に局所近似法の概念を示す。

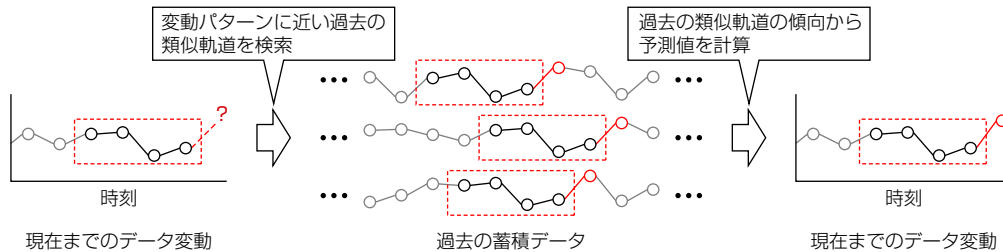


図4-局所近似法の概念

### 2.3 正常範囲の設定と異常予兆の判定

時系列予測結果を基に、正常範囲の上限値・下限値を式(1)、式(2)で定義した。

$$\text{上限値} = \text{予測値} \times (1 + k \times \text{MAPE}) \quad \text{..... (1)}$$

$$\text{下限値} = \text{予測値} \times (1 - k \times \text{MAPE}) \quad \text{..... (2)}$$

ここでMAPEは予測精度を示す指標であり、過去データから算出した予測の典型的な誤差率を表す。係数kは正常範囲の広さを調整するパラメーターである。実測値がこの上下限値を超えた場合を異常予兆として検知する。

この方式では、予測精度が高いほど正常範囲が狭まって、わずかなずれも検知できる。逆に予測精度が低い場合には正常範囲が自動的に広がって、過剰な誤報を抑制する仕組みになっている。

## 3. 検 証

この章では、予測精度の検証と、検証用アプリケーションについて述べる。

### 3.1 予測精度の検証

提案手法の有効性を確認するため、実在のビルの受電電力量データを用いて、ビル内機器のエネルギー消費予測精度を検証した。使用したデータは1時間周期で計測された約3年分の実測データである。図5に予測結果の一例を示す。予測値(青線)と実測値(赤線)の増減タイミングや値がほぼ一致しているため、予測値が実測値に高い精度で追従していることが分かる。

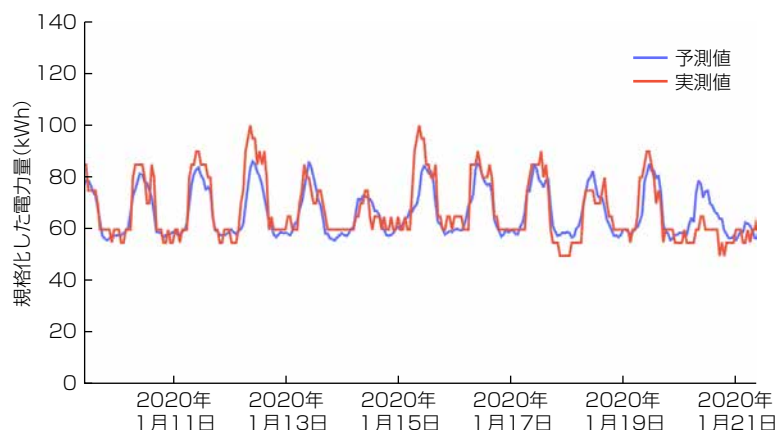


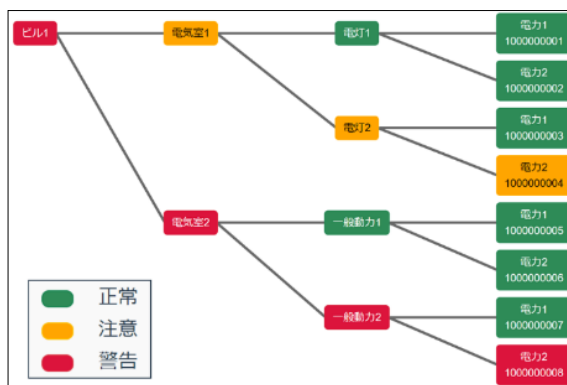
図5-時系列予測結果

予測誤差はMAPE1.46%であり、ノイズが少なく周期性を持つ電力量データに対して局所近似法を用いた時系列予測が高い精度で機能することが確認された。

### 3.2 検証用アプリケーション

提案手法のビル監視システムへの適用可能性を評価するため、異常予兆検知手法の検証用アプリケーションを開発した。このアプリケーションは、ビル管理者が実際に使う場面を想定して設計されており、複数の機器・信号を一元的に管理できる。

図6に検証用アプリケーションの画面例を示す。図6(a)は異常予兆の検知結果一覧画面である。ツリー構造で表した機器構成図上に異常予兆の有無を重畳表示することで、どの系統で何が起きているかが一目で分かる。図6(b)は信号のトレンドグラフ画面であり、実測値・予測値・正常範囲のグラフで逸脱の詳細を確認できる。1時間先の消費エネルギー予測処理と異常予兆の検知処理に必要な時間は8信号に対して約20秒であり、1時間ごとに最新データで異常予兆を判定する運用サイクルに対して十分な速度である。



(a) 異常予兆の検知結果一覧画面



(b) 信号のトレンドグラフ画面

図6-検証用アプリケーションの画面例

## 4. む す び

ビル内機器の“いつもと違う”運転状態を早期に検知することを目的として、エネルギー消費の時系列予測を活用した異常予兆検知手法を提案した。

局所近似法によるモデルレスの時系列予測を採用し、事前のモデル学習なしに動的な正常範囲を設定できる手法を実現した。実在のビルの受電電力量データを用いたビル内機器のエネルギー消費予測精度の検証で、MAPE1.46%の高い予測精度を達成した。また、異常予兆検知手法の検証用アプリケーションによって、機器構成図上での異常予兆可視化と、トレンドグラフによる詳細確認という直感的な操作インターフェースを実現した。

なお、本稿での精度検証はビル内機器のエネルギー消費予測の精度確認を主目的としており、実際の異常事象との照合による異常検知性能の評価は今後の課題である。併せて“診断”機能との統合も検討していく。提案手法をビル監視システムに組み込んで、エネルギー効率改善への貢献を検証していく予定である。

## 参 考 文 献

- (1) 長瀬 誉英, ほか: ビル内機器エネルギー消費の時系列予測を用いた異常予兆検知手法の検討, 2024年電気学会電子・情報・システム部門大会論文集, OS1-2-8 (2024)
- (2) 五百旗頭正, ほか: 局所ファジィ再構成法を用いた水力発電所流入量データの短期予測, 電気学会論文誌D, 118, No.3, 329~334 (1998)

# DX技術とマインドセットを備えたDX人財育成 -DXイノベーションアカデミーの展開

目黒正之\*  
Masayuki Meguro  
吉田真也\*  
Shinya Yoshida  
西川孝典†  
Takanori Nishikawa

清水広之\*  
Hiroyuki Shimizu  
加藤嘉明\*  
Yoshiaki Kato

*Developing DX Professionals with DX Technologies and DX Mindset  
- Further Developing DX Innovation Academy*

\*グローバル人財部  
†AXイノベーションセンター

## 要 旨

三菱電機グループが目指す“イノベティブカンパニー”への変革に向けて、2030年度までに2万人のDX人財確保を目指して、2025年4月に“DXイノベーションアカデミー”(以下、“DIA”という。)を設立した。当社でのトライアル運用として1,071人を育成し、2026年度は国内グループ会社範囲を拡大して本格展開を開始し、3,500人超を育成予定である。

DIAは、“循環型 デジタル・エンジニアリング”具現化に向けた戦略的な人財育成を目的とし、DX(Digital Transformation)人財の七つの類型・役割に基づいた体系的な育成プログラムを提供しているが、2026年度からはDXスキル認定制度を導入する。さらに、産学連携や新たな学びの拠点として整備した“横浜イノベーションスタジオ”活用による実践的な学びとコミュニティ形成を促進していく。

## 1. ま え が き

近年、製造業を取り巻く環境は激変しており、単なる製品(モノ)の提供から、データを活用したソリューション(コト)による価値創出への転換が急務になっている。

当社グループでは、経営戦略としてイノベティブカンパニーへの変革を掲げて、従来のコンポーネント中心のビジネスから、コンポーネントに加えてデータを駆使する顧客中心のビジネスモデルへの変革を推進している。この変革の中核を担うのは“人”であり、2030年度までに当社グループ全体で2万人のDX人財を確保する目標を掲げている。

本稿では、2025年4月に設立した人財育成機関DIAの狙い、カリキュラム体系、及び具体的な取組みについて述べる。

## 2. DIA設立の背景と狙い

全社的なDXを加速させるためには、個人の技術習得にとどまらない、更に戦略的な人財育成の枠組みが求められていた。

そこで当社は、DX推進を担う人財に求められる類型・役割及びそれらに必要なスキルセットを明確に定義し、これらに基づいて、新たなDX人財育成プログラムの構築を目指すこととした。このプログラムを実現する基盤として、当社は40年以上の歴史があり、約15万人の従業員を対象に450以上の講座を運営する社内教育プラットフォーム“MELCOゼミナール”(以下、“Mゼミ”という。)<sup>(1)</sup>を最大限に活用することとした。この充実した社内資産をベースに、最新の知見を含む社外講座を組み合わせ、多様なニーズに応える学びの場を実現している。

さらにDIAは、単なる知識習得の場にとどまらず、DXの総合的な学びと実践を促す“四つのつながり”をテーマに、組織横断的な変革を推進する。

### (1) 業務とつながる

当社グループの事業領域・業務に直結する、DXに必要な七つの類型・役割ごとに設定した独自のプログラムで、学んだ知識を実際の業務で活用できるよう、実践的なプログラムを提供する。

### (2) 一人一人のキャリアアップとつながる

入門から上級までの各レベルの講座を提供するとともに、自身のレベルを客観的に把握できる4段階のレベルに対応した認定制度を設けた。七つの類型・役割ごとにレベルを可視化し、受講者のモチベーション向上とキャリアアップを支援する。

(3) 最先端とつながる

データサイエンスやIoT(Internet of Things)／AI, DX分野で先進的な研究, 教育に積極的に取り組んでいる大学をはじめとする外部パートナーとの連携によって, 常に最新の技術や手法を取り入れる。

(4) コミュニティーとつながる

事業の枠を超えた人と人との出会いや交流, 多様なバックグラウンドを持つ人々が共に学ぶことで, 新しい価値を創造することを目指す。

### 3. 体系的な育成プログラム

当社は, 事業変革を牽引(けんいん)するDX人材を, 次の七つの類型・役割に分類し, 定義している(図1)。

- ・DXマーケティング
- ・ソリューションクリエーション
- ・データエンジニアリング
- ・UI(User Interface)／UX(User Experience)デザイン
- ・DXアーキテクチャーデザイン
- ・DXエンジニアリング
- ・DXクオリティーアシュアランス

この分類は, 顧客との接点からシステム構築, 品質保証まで, DXを実現するために必要な役割を, 顧客との関わりの観点で整理しているのが特徴である。

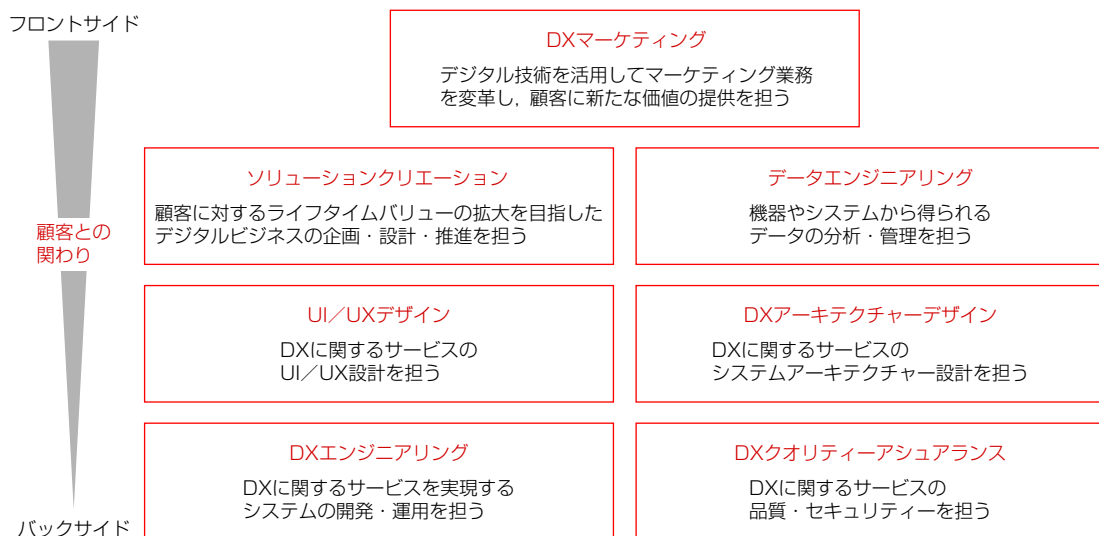
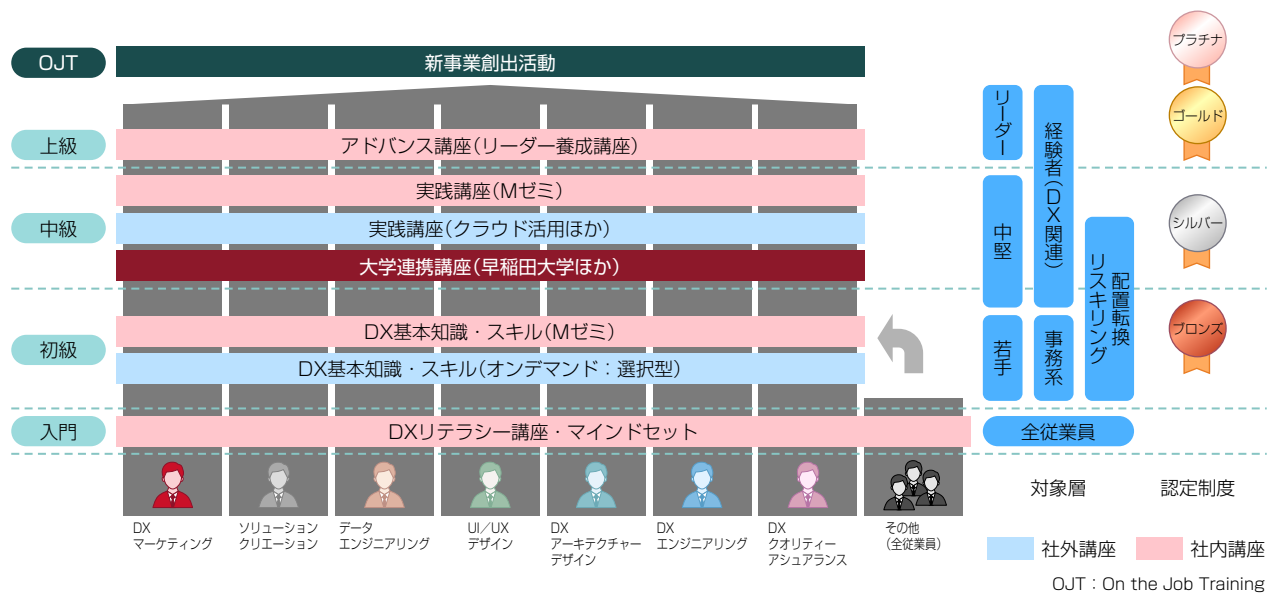


図1-DX人材の類型・役割

DIAでは, それぞれの類型・役割に応じて必要になる各種スキルを学べる七つのコースを整備し, 入門から上級まで四つのレベルを設定している。入門レベルでは全社員を対象にDXの基本的な知識とマインドを, 初級では基礎知識の習得を, 中級では専門知識と実践を, 上級では次世代リーダー向けの課題解決型講座を提供している(図2)。

これによって, これまでDX関連の業務に従事していた人はもちろん, 他業務からの職務転換者や新規入社者など, 個々人の持つ知識・スキルのレベルに応じた幅広い育成を可能とする。



#### 4. 育成プログラムと連携した認定制度

講座の修了状況や業務実績などに応じて4段階（プラチナ、ゴールド、シルバー、ブロンズ）のレベル認定制度を導入する。七つの類型・役割ごとに必要になる知識・スキルとそのレベルを可視化し、レベルに応じた適切な人財配置、育成を進めるとともに受講者のモチベーション向上、キャリアアップを促進する。

- ・プラチナ：DX業務での顕著な功績を持つエキスパート
- ・ゴールド：技術力・事業推進能力を持つDX事業を牽引するリーダー
- ・シルバー：DX事業を主体的に実行できる主担当
- ・ブロンズ：DX業務での基本的な知識を持つ者

レベル認定制度の構築・運用については、独立行政法人 情報処理推進機構（IPA）策定のスキル標準iCD（iコンピテンシーディクショナリ）、及びITスキル標準（ITSS）での社内プロフェッショナル認定<sup>(2)</sup>の仕組みを参考に設計を進めている。IT人財育成の仕組みとして広く認知、活用されているITSSの枠組みをベースにすることで、体系的でグループ会社間でも共通レベルに統一しやすいといったメリットがあり、透明性・再現性が高く、社員の納得感を満たせる制度の実現を目指している。

#### 5. 産学連携による人財育成

DIA設立に当たって、これまで研究開発や技術交流を主目的に実施してきた産学連携に加えて、DX人財の育成に特化した新たな産学協創スキームの構築を目的として、2025年3月に早稲田大学データ科学センターとの連携を開始した。特に、最新のデジタル技術の潮流をいち早く取り込んで、実務に応用できる人財を継続的に輩出する体制を整えることを目指す。

この連携では、当社のDX事業を牽引する次世代リーダーの計画的育成を目的に、同大学の教育プログラム体系の中に当社専用のコースを新設し、専門領域の大学教員や研究者による指導の下、データサイエンス、AI、IoTなどの先端領域を体系的かつ実践的に学ぶ機会を提供している。ケーススタディー形式の課題解決演習や、実業務での適用を想定したプロジェクト型学習（PBL）を組み込むことで、単なる知識習得にとどまらず、実務への橋渡しや即戦力化を重視した育成を実現している。

また、両者の知見を融合する取組みとして、DXに関する講演会・研究会やインターンシップなどを通じた交流や協創によって、新たなイノベーションの創出を促進する。

## 6. 学びの拠点の開設

DIAでは、受講者が主体的に取り組むための仕掛けとして、コミュニティー活動を重視している。コミュニティーでの交流を通じて自身の向かうべき方向性や成長を共有することで、継続的な動機付けを行う。

また、事業の枠を超えた人と人との出会いや交流、多様なバックグラウンドを持つ人々が共に学ぶことで、新しい価値を創造することを目指している。その実現に向けて、横浜に新たな人財育成拠点“横浜イノベーションスタジオ”を2026年3月に開設した(図3)。当社DX推進部門が集結し、社内外の知見を融合して新事業を創出する共創空間“Serendie Street Yokohama”を構えた横浜に学びの拠点を設けることで、事業と密に連携した育成を行う。従業員が主体的に学ぶとともに、事業領域、専門性を超えてDXという同じ志を持った仲間が集うことで、喜びや成長を実感できる学びの場になり、ここから当社の新たな学びの文化が創造されていくことを期待している。



図3-学びの拠点“横浜イノベーションスタジオ”

## 7. 期待される成果と今後の展開

DIAの運用によって、2030年度の目標である2万人のDX人財育成を加速させる。単なるスキル習得にとどまらず、学んだ人財が各現場に戻って“エバンジェリスト”として周囲に影響を与えることで、企業文化そのものをデジタルネイティブなものへと変革していくことを目指す。DIA初年度の2025年度は、トライアルとして対象を当社に絞って運用を開始し、応募があった1,071人が講座を受講した。本格展開開始となる2026年度は、対象を国内グループ会社に拡大し、3,500人超から受講申込みを受け付けた(図4)。DX人財として育成予定であることに加えて、DX技術者のスキル認定制度の導入によるDXに関わる人財のスキルやレベルの明確化と育成の促進、自律的キャリア形成へのモチベーション向上、DX人財の適材適所での配置による組織力向上を図る。

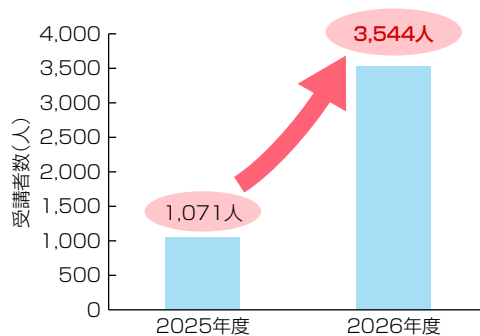


図4-DIA受講者数

## 8. む す び

当社のDX人材育成の核になるDIAの取組みを述べた。

今後は、育成された人材が創出する具体的なビジネス成果の定量的な評価手法の確立が課題である。

## 参 考 文 献

- (1) 細谷史郎, ほか: IoT・AI人材育成の全社的取組み, 三菱電機技報, 94, No.6, 368~371 (2020)
- (2) 独立行政法人 情報処理推進機構: 社内プロフェッショナル認定の手引き (2009)  
<https://www.ipa.go.jp/archive/jinzai/skill-standard/itss/qv6pgp000000buc8-att/000024808.doc>

~~~~~

三菱電機株式会社