

JATCO TECHNICAL REVIEW

No.25



目次

巻頭言

芽吹き之年, 未来への挑戦	1
	佐藤 朋由

技術報告

特集:電動パワートレイン「X-in-1」

新型電気自動車及び100%モータ駆動のハイブリッド車向けe-Axle	4
	渡邊 淳美 吉田 進 小林 直樹 鈴木 圭介
新型電動車搭載e-Axle用小型高トルクモータ	7
	関根 優 橘 祐介 前田 篤志 遠藤 雅垂 室田 浩平 尾崎 高一郎
X-in-1 TIG溶接装置開発による高品質・高生産性への取り組み	11
	一言 大輔 奥井 恒樹 何 文強
電動化に向けた次世代ギヤ加工ラインの構築	16
	井上 裕太 日置 秀和 夏目 雅彦
電動パワートレインの騒音・振動に関するフロントローディング型品質保証	22
	岡本 匡平
駆動系浸炭部品のオーステナイト粒径異常成長因子の影響度定量化	26
	伊藤 靖朗 加藤 豪 前田 誠

ベイズアンネットワークによる浸炭部品の異常粒発生予測	33
	伊藤 靖朗 加藤 豪
	前田 誠 吉田 拓未
	山下 翼 小島 秀平
	井上 純哉
MBSE/MBD連携と生成AI(LLM)活用によるe-Axleシステム開発の効率化	39
	勝城 勝 川島 一訓
	河住 拓郎 佐藤 正太
	檜谷 純治
AIによる自動車部品製造会社の業務のデジタル化	44
	何 若文 郑 春慧
	黄 剑波

商品紹介

日産自動車及び三菱自動車向けルークス, デリカミニ・eKスペース用 Jatco CVT-S (JF021E) の紹介	51
日産自動車向け新型セントラ用Jatco CVT-XS (JF023E)の紹介	52
三菱自動車向けデスティネーター用Jatco CVT8 (JF016E) の紹介	53
移乗機構付き車いす「Lifmy (リフミイ)」の紹介	54

特許紹介

動力伝達装置	55
回転電機	56



芽吹き之年，未来への挑戦

代表取締役社長兼 CEO 佐藤 朋由

2025年は、ジャトコにとって「芽吹き」の年です。

ジャトコエンジニアリング(株)との合併を経て新たな体制で迎えるこの年、私たちは確実に芽を育て、基盤を固め、ビジネスを拡大する一年にします。芽吹きとは、単なる始まりではなく、未来に向けた力強い成長の予兆です。創立55周年という節目を迎えた今、私たちは過去の信頼と技術を礎に、次の時代を切り拓く挑戦を加速させています。

この「芽吹き」を象徴するのが、今年を「e-Axle元年」と位置づけた電動化の取り組みです。電動化の中核技術であるe-Axleは、モビリティの未来を支える重要な要素です。私たちは、3-in-1 EVパワートレインと5-in-1 e-POWER電動ユニットを市場に投入し、電動車の効率と性能を大きく引き上げます。さらに新たな挑戦として、高出力密度化を狙った超小型e-Axleの技術開発も進めています。これらは、私たちが描く「すべての車輪にジャトコのドライブユニットを搭載する」という夢に向けた確かな一歩です。

芽吹きの象徴：多様な挑戦

芽吹きの象徴は、e-Axleだけではありません。ジャトコは、モビリティの枠を超え、社会全体の持続可能性に貢献する新たな事業を次々と芽吹かせています。

まず、移乗機構付き車いす「Lifmy」の国内での販売を2026年初旬に予定しています。高齢化が進む社会において、移動の自由は生活の質を大きく左右します。Lifmyは、単なる車いすではなく、利用者の自立を支援する革新的な機構を備えています。東京ビッグサイトで行われた国際福祉機器展での初披露では、多くの来場者から高い評価をいただきました。これは、ジャトコが「人の移動」に真摯に向き合い、技術で社会課題を解決する企業であることを示す象徴的な取り組みです。

次に、中国市場への電動バイク用2速自動変速機インホイールモータードライブユニットの投入を間近に控えています。このドライブユニットは大変シンプルな変速機構にもかかわらず高効率な駆動性能を有していて、中国の山間部でのきつい勾配を楽々と走破し、重い荷物を乗せても力強く発進できるようなバイクに仕上がっています。「バイクを運転することの楽しさ」と共に「生活における移動の自由」を拓けます。今後、中国のOEMと共に中国以外の市場への拡販も狙っていきます。

また、電動アシスト自転車用2-in-1ドライブユニット「GA30」を搭載したモデルが、2026年春に国内で発売される予定です。都市部や観光地での新しい移動体験を提供するこの製品は、軽快な走りと快適な操作性を両立し、環境負荷の低減にも寄与します。自転車という身近な移動手段に、ジャトコの技術が新しい価値をもたらすことで、私たちは「移動の楽しさ」を再定義しようとしています。

さらに、再生可能エネルギー分野への進出も芽吹きの一つです。中型風力発電機の本格的な発売開始は、モビリティを超えた新しい挑戦です。クリーンエネルギーの普及は、持続可能な社会の実現に不可欠です。ジャトコは、これまで培ってきた駆動技術と制御技術を応用し、風力発電の効率化に貢献します。これは、私たちが「移動」だけでなく、「エネルギー」という社会の基盤にまで視野を広げている証です。

未来へのビジョン：すべての車輪にジャトコを

私たちの夢は、「すべての車輪にジャトコのドライブユニットを搭載する」ことです。これは単なる製品戦略ではなく、移動の可能性を拓けるビジョンです。自動車だけでなく、自転車、車いす、産業機械、さらには再生可能エネルギーの分野まで、ジャトコの技術は多様な領域で価値を生み出します。

このビジョンの背景には、社会が直面する課題があります。カーボンニュートラルの実現、都市交通の効率化、高齢化への対応、そしてエネルギーの安定供給。ジャトコは、これらの課題を「技術」で解決する企業であり続けます。電動化、ソフトウェア化、AI活用による新しい価値創造は、単なる製品開発にとどまらず、社会全体の持続可能性に貢献する取り組みです。

技術者へのメッセージ：芽を育て、森をつくる

2025年は、芽吹いた芽を確実に育て、強い幹へと成長させる年です。技術者一人ひとりの挑戦が、ジャトコの未来を形づくります。芽を育てるには、時間と努力が必要です。しかし、その芽がやがて森となり、世界中の人々の生活を支える日が必ず訪れます。

私たちは、創立55周年という歴史を背負いながら、次の時代を切り拓く責任を担っています。グローバル展開を加速し、持続可能なモビリティを実現するために、ジヤトコは挑戦をやめません。ともに、移動の可能性を拓げる夢に向かって歩み続けましょう。

新型電気自動車及び100%モータ駆動のハイブリッド車向けe-Axle

渡邊 淳美*

吉田 進*

小林 直樹**

鈴木 圭介**

抄 録

本稿では、新型電気自動車及び100%モータ駆動のハイブリッド車向けに開発した新型e-Axleについて解説する。本e-Axleは日産自動車株式会社と共同で開発を行ったジヤトコ初のユニットであり、モータ・インバータ・ギヤボックスを一体化して高性能・小型・低コストを狙っている。

1. はじめに

近年、地球温暖化対策や自動車排出ガス低減対策の必要性を背景に、自動車の電動化が急速に進展している。

特に、電気自動車（以下「BEV」という。）や100%モータ駆動のハイブリッド車（以下「e-POWER搭載車」という。）では、航続距離の拡大を狙った空気抵抗の低減、バッテリースペースの拡大、さらに衝突安全性の確保が重要な課題となっている。これらの要求を高いレベルで成立させるため、駆動ユニットの小型化が求められている。

加えて、電動車ならではの「モータ駆動による走りの良さ」を実現するためには、前述の小型化と高トルク・高出力を両立させる技術が求められる。

本稿では、日産自動車株式会社と共同で新型BEV、e-POWER搭載車に向けて開発した新型e-Axleについて解説する。

2. 新型e-Axleの狙い

本e-Axleは新型BEV、e-POWER搭載車の高い要求性能を満足するため、下記を狙った。

- 車両プラットフォーム性能向上に寄与するユニットの小型化と部品点数削減による低コスト化
- 電動車の魅力である静粛性の向上
- 航続距離向上を狙った効率改善
- BEV用とe-POWER搭載車用のe-Axleユニット共用化

ジヤトコとして初となるe-Axleを開発するにあたり、これらをユニット目標に設定してユニットシステム設計を行った。⁽¹⁾

3. e-Axleユニット構成

e-Axleユニット構成について、下記のとおりBEV用とe-POWER搭載車用に分けて説明する。

3.1 BEV向けe-Axle

BEV向けe-Axleはモータとインバータ、ギヤボックスを一体化した3-in-1構成として小型化、低コスト化を狙った（Fig. 1）。



画像出典：日産自動車株式会社

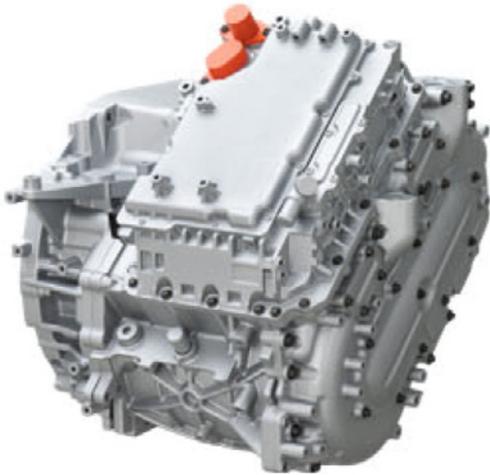
Fig. 1 e-Axle for BEVs

* プロジェクト推進部 ** 日産自動車株式会社 パワートレイン・EV 電動技術開発部

3.2 e-POWER搭載車向けe-Axle

一方、e-POWER搭載車向けe-Axleは、BEV用3-in-1 e-Axleを可能な限り構成部品を共用し、さらに発電機と増速機を追加した5-in-1構成とした (Fig. 2)。

従来型に対して増速機を小型化し、3軸構成を2軸構成に改良した。



画像出典：日産自動車株式会社

Fig. 2 e-Axle for e-POWERs

4. 設計の狙い

4.1 静粛性の向上

モータ、発電機、ギヤボックスの起振力による高周波の放射音が課題となる新型e-Axleでは、モータ・インバータ・発電機・ギヤボックスといった構成要素を一体化したハウジング構造として、ハウジング構成部品の結合剛性の向上やベアリングの最適配置によって起振力を抑制した (Fig. 3)。

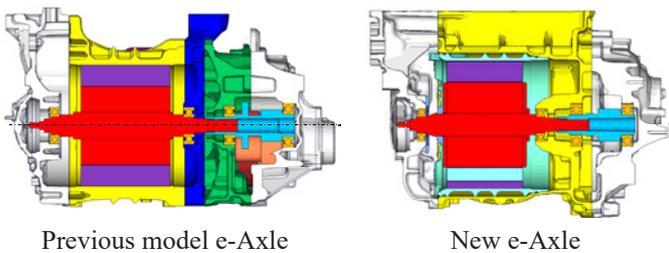


Fig. 3 BEVs e-Axle unit section ⁽²⁾

さらに、ロータコアに6分割スキューを採用し、高次のモータ起振力を抑制して、固体伝搬音を大幅に低減した。⁽²⁾

4.2 ギヤボックスの効率改善

ギヤボックスe-POWER搭載車の燃費向上においては、ギヤボックスの効率を改善していくことが重要である。潤滑油の攪拌抵抗による損失低減、及びギヤ歯当たり部の摩擦損失低減を織り込んだ。

4.2.1 潤滑油の攪拌抵抗による損失低減

2軸ギヤをユニット上方に配置して潤滑油の攪拌抵抗を低減した。潤滑油の流れを3Dシミュレーションで解析を行い、攪拌抵抗低減とギヤ潤滑を両立させることができた。

4.2.2 ギヤ歯当たり部の摩擦損失低減

ギヤの歯当たり形状をシミュレーションによって最適化し、かみ合い損失を低減した。

これらの方策によって従来型e-Axleに対し、ギヤボックス損失を約10%低減することができた (Fig. 4)。

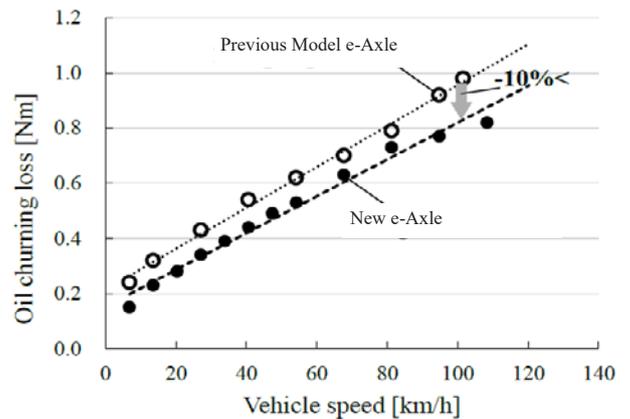


Fig. 4 Gear box loss ⁽¹⁾

4.3 低コスト化の取り組み

4.3.1 磁石の原価低減

モータコストに占める割合の高いロータ磁石の重希土類金属の削減を行った⁽¹⁾ (Fig. 5).

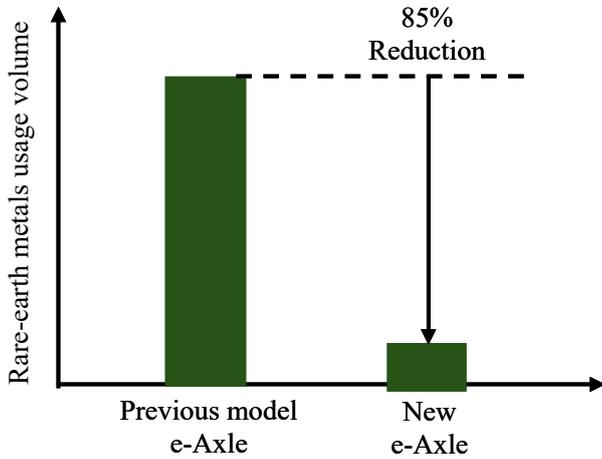


Fig. 5 Rare-earth metals usage volume

4.3.2 部品の共用化

e-POWERはモータ駆動による走りの良さを訴求できるシステムであり、駆動機構自体はBEVとの共通性を高めることができる。この特長を活かし、BEV向けとe-POWER搭載車向けのe-Axleでは、モータ駆動の走りの良さを共有するため、駆動モータとギヤボックスを共用化することでコスト削減と生産性向上を実現した (Fig. 6)。

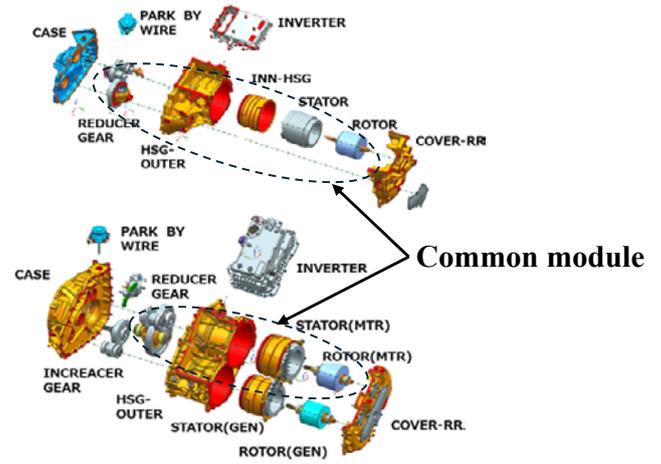


Fig. 6 Module structure concept

5. まとめ

新型BEV及び100%モータ駆動のハイブリッド車向けe-Axleを開発した。

- ハウジング構造の剛性向上やロータコアのスキュー採用により、電動車の魅力である静粛性を向上させた。
- 潤滑油の攪拌抵抗やギヤ摩擦損失を低減する設計により、航続距離や燃費性能を向上した。従来型比でギヤボックス損失を約10%削減した。
- 重希土類金属の削減や部品共用化によって、低コスト化と生産性向上を両立し、BEV向けとe-POWER搭載車向けのe-Axle双方への要求に対応可能である。

6. 参考文献

- (1) 丸山 渉ほか：3代目新型電気自動車向けEVパワートレイン開発，自動車技術会2025年秋季大会予稿集，20256148
- (2) 新井 和彦ほか：電動パワートレインの騒音低減に向けた3in1化とEV専用プラットフォームへの最適化，自動車技術会2025年秋季大会予稿集，20256187

■ 著者 ■



渡邊 淳美



吉田 進



小林 直樹



鈴木 圭介

新型電動車搭載e-Axle用小型高トルクモータ

関根 優*

橘 祐介*
室田 浩平**前田 篤志*
尾崎 高一郎**

遠藤 雅亜*

抄 録

モータ、インバータ、ギヤボックスを統合した新型e-Axle用小型高トルクモータを開発した。新型モータの小型化と高トルクを両立させるため、ステータコイルに薄型平角線を採用し、巻線構造の最適化を図った。本稿では電磁気設計の工夫と生産性向上の課題概要を中心に解説する。

1. まえがき

近年、地球温暖化対策や環境規制の強化に伴い、自動車の電動化が拡大している。車室空間の拡大、空気抵抗の低減、バッテリーを搭載するスペースの確保、衝突安全への配慮などへの要求に応えるべく、モータ、インバータ、ギヤボックスを統合した駆動ユニット（以下、e-Axle）の小型化が求められている。e-Axle（Fig. 1）の小型化の実現には体積に占める割合が大きく、ユニット形状への影響も大きいモータの小型化が不可欠である。

トルクと出力を確保しながらモータを小型化するには、限られたスペースにステータコイルの巻数（以下、ターン数）を確保し、かつ大電流を流す構造を工夫することが重要となる。

新型モータでは小型かつ高性能を表す指標であるモータ体積当たりのトルク（以下、トルク密度）、およびモータ体積当たりの出力（以下、出力密度）の向上を狙った設計を行った。

2. ステータコイルの巻線構造

小型化と高性能化の両立には、ステータコイルの巻線構造の工夫が鍵である。新型e-Axle用モータは、ステータコイル断面が長方形の平角線（Fig. 2）を用いて、ターン数を増やすことでトルクを向上させ、並列巻線構造の最適化による出力を確保した。

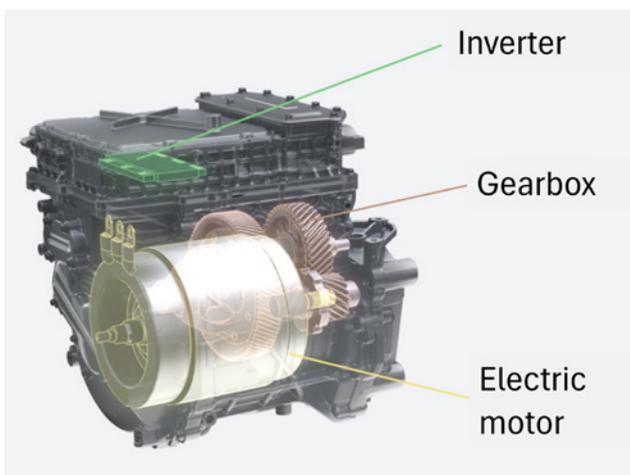


Fig. 1 Main components of e-Axle
画像出典元：日産自動車株式会社

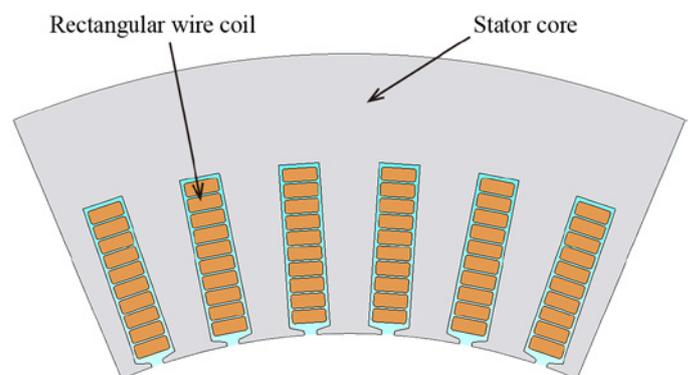


Fig. 2 Stator cross-section

2.1 モータトルクの向上を狙った巻線構造

埋込型永久磁石同期モータ（以下、IPMSM：Interior Permanent Magnet Synchronous Motor）のトルクは、式（1）で表される。

$$\begin{aligned} T &= T_m + T_r \\ &= \frac{p}{2} \{ \psi_a i_q + (L_d - L_q) i_d i_q \} \end{aligned} \quad (1)$$

ただし、 T ：モータトルク、 T_m ：マグネットトルク、 T_r ：リラクタンストルク、 P ：極数、 ψ_a ：磁石による鎖交磁束、 i_d 、 i_q ：d、q軸電流、 L_d 、 L_q ：d、q軸インダクタンスである。

一般に高トルク領域ではマグネットトルク T_m の寄与度が高く、巻線構造がトルクへ与える影響を客観的に示すため、式（1）のマグネットトルク $T_m = \frac{p}{2} \psi_a i_q$ に着目する。マグネットトルクに相関のあるパラメータは式（2）で表される。

$$T_m \propto \frac{p}{2} N_{turn} N_{series} \Phi I_{coil} \quad (2)$$

ただし、 N_{turn} ：スロット当たりターン数、 N_{series} ：コイル直列数、 Φ ：磁束、 I_{coil} ：コイル電流である。

モータトルクは、極数、ターン数、コイル直列数、磁束、コイル電流に比例する。しかし、モータサイズを変えずに極数や磁束を増やす場合、磁石量の増加などコスト影響が大きい。また、コイル電流の増加はインバータなどの強電系の制約やモータ冷却性能の制約によって難しい。そこで、ターン数を増やすことでマグネットトルクの増加を狙った。

スロット断面積を変えずにターン数を増加させるには、コイル断面積およびクリアランスの縮小が必要となる。コイル損失を低減させながらコイル断面積を縮小することを狙い、コイルには薄型平角線を採用した。新型e-Axle用モータでは、薄型平角線を用いたステータの生産技術を工夫することで、競争力のある10ターンを実現した。

2.2 モータ出力を確保する巻線構造

モータ出力は、式（3）で表される。

$$P_{out} = \eta P_{in} = \eta 3 V_{phase} I_{phase} \cos\theta \quad (3)$$

ただし、 P_{out} ：モータ出力、 η ：モータ効率、 P_{in} ：モータ入力電力、 V_{phase} ：モータ相電圧、 I_{phase} ：モータ相電流、 $\cos\theta$ ：力率である。

並列巻線構造では、入力電流が複数コイルに分散されるため、コイル並列数を $N_{parallel}$ とすると、モータ相電流とコイル電流の関係は式（4）で表される。

$$I_{phase} = N_{parallel} I_{coil} \quad (4)$$

Fig. 3 (a), (b)に示すように、一相当たりのコイル数は直列数と並列数の積で、8である。

モータ出力を確保するには、式（3）で示すようにモータ相電圧に応じたモータ相電流が必要となる。一方、式（4）で示すように、モータ相電流はコイル電流とコイル並列数の積で決まる。コイル電流は耐熱・冷却に基づく制約があるため、コイル並列数を増やすことでモータ相電流を確保した。

新型e-Axle用モータでは、平角線のステータ端子とバスバー端子の溶接を工夫することで、4並列を実現し、モータ出力を確保した。

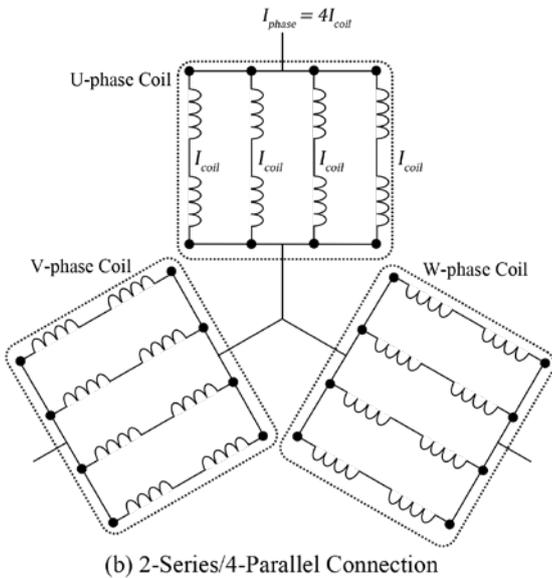
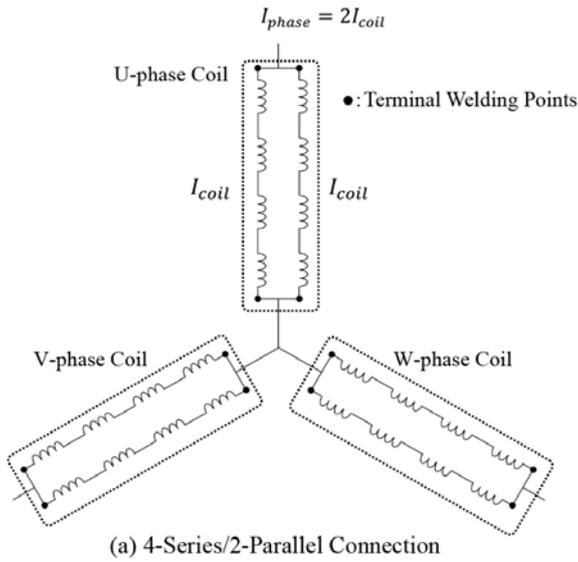


Fig. 3 Three-Phase Coil Connection Diagram

結果、モータサイズを増やすことなくターン数を10ターン、並列数を4並列とすることで高トルクと高出力を両立し、競争力のあるトルク密度、出力密度を達成した (Fig. 4).

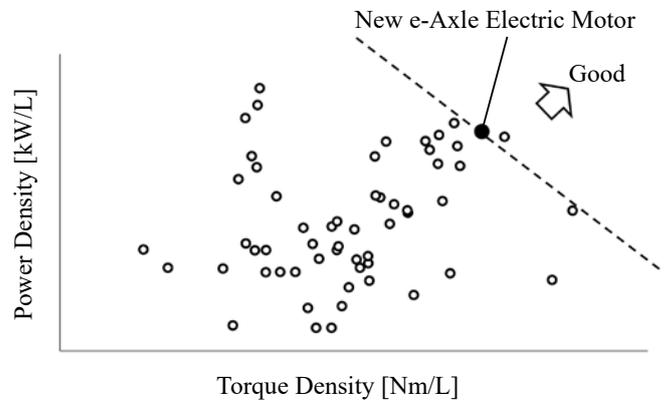


Fig. 4 Torque Density vs Power Density of e-Axle Electric Motor

3. 生産性向上の課題

3.1 薄型平角線コイルの成形

薄型平角線コイル成形時の曲げ応力集中により、引張側でのエナメル被膜の切れ・剥離、圧縮側でのしわ、さらに成形後の形状ばらつきが懸念となる。エナメル被膜に発生する応力が、ばらつきを考慮しても耐力を超えないよう、コイル成形時の曲げ寸法を管理し、エナメル被膜の材料を決定した。

3.2 スロット内ワニス量の管理

薄型平角線を用いたステータコイル10ターン化によって、スロット内クリアランスの不均一の程度が増加するため、ワニス量の管理が懸念となる。

ワニス固着力を確保する量を考慮しつつ、ワニスが増えない範囲で、最短時間に充填できる注入量を最適化し、生産性を確保した。

3.3 溶接打点数の増加

ステータコイルと三相端子台バスバーはそれぞれの銅端子を溶接接合している (Fig. 5).

平角線の4並列構成であるため、Fig. 3 (b)の●で示すように溶接箇所は計24箇所である。溶接箇所の増加に対し、溶接における位置決めや寸法精度を管理し、効率の良い新工法を開発した。

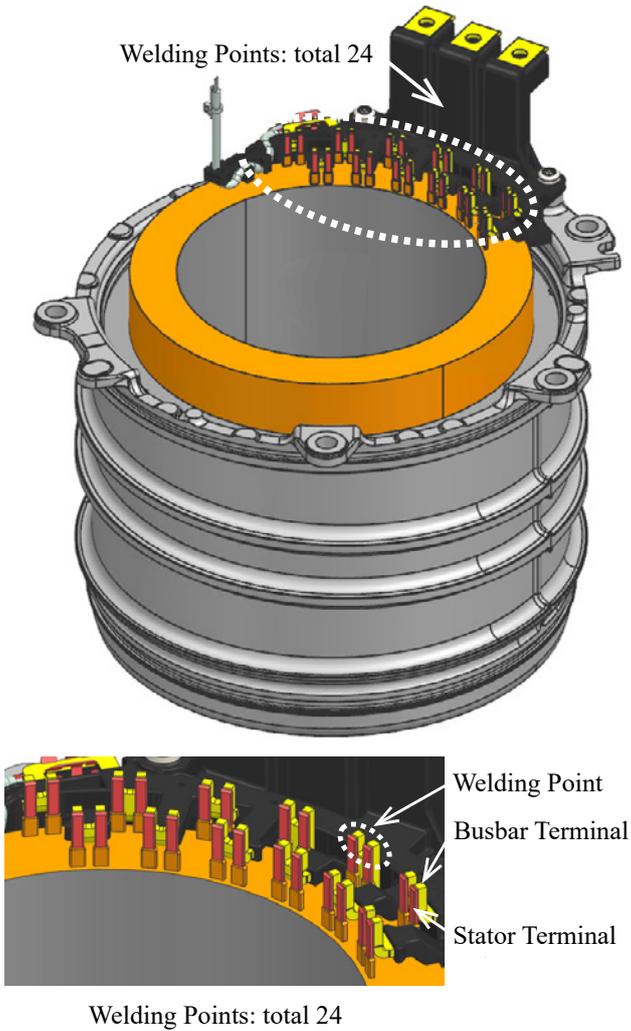


Fig. 5 Welding points of Stator Coil and Busbar

4. まとめ

- 小型・高トルク・高出力を狙った新型e-Axle用モータを開発した。
- ステータコイルに薄型平角線を用い、サイズを拡大せずに10ターンの巻数を実現し、高トルク密度を達成した。
- ステータコイルを4並列構成とすることで相電流を確保し、高出力密度を達成した。
- 課題となる生産性向上についてはコイル成形やスロット内ワニス量の管理、平角線およびバスバーの溶接工法を工夫した。
- 競争力のあるトルク密度、出力密度を達成し、新型e-Axleの小型化かつ高性能化を実現した。

5. 謝辞

本モータ開発に当たり、Astemo株式会社の皆様には多方面にわたりご助力を賜りました。ここに深謝いたします。

■ 著者 ■



関根 優



橘 祐介



前田 篤志



遠藤 雅亜



室田 浩平



尾崎 高一郎

X-in-1 TIG溶接装置開発による 高品質・高生産性への取り組み

一言 大輔* 奥井 恒樹* 何 文強*

抄 録

本報告は、新型電動化ユニット「X-in-1」のバスバーとステータ端子の接合に適したTIG溶接装置の開発について述べる。従来のレーザ溶接と比較し、品質とコストパフォーマンスに優れたTIG溶接を採用した。バスバー、ステータ両端子の配置と位置のばらつき、24箇所の溶接による品質と生産性の課題に対し、一括クランプ治具および3Dカメラによる位置補正を導入し、溶接品質と生産性を両立させ、量産に成功した取り組みを紹介する。

1. はじめに

X-in-1は、モータ、ジェネレータ、インバータおよび増減速ギヤを、コンパクトに一体化した新型電動化ユニットである。モータおよびジェネレータのステータコイルは、従来の丸銅線ではなく、平角銅線（以下「平角線」という。）を採用している。インバータによって制御された電流は、バスバーを介して、モータおよびジェネレータのステータコイルに供給される。この時、バスバーとコイルの接点は、それぞれの銅端子を溶接接合する仕様である。

X-in-1に採用したバスバーは、コンパクトなレイアウトの中で絶縁性を保証し、かつ、走行振動への耐久性を確保するため、樹脂モールドによる剛体化仕様になっている。さらに、このバスバーは、ステータの出力端子近傍でハウジングにボルトで固定するため、溶接端子の位置は、強固に固定される仕様になる。

一方、相手側の溶接部品となるステータ端子は、銅線材を3D曲げ加工するため、先端溶接部の位置度を高い精度で維持することは困難である。

剛体に固定されたバスバー端子と弾性変形が起りやすいステータ端子を整列させ、約3mm四方の小さな範囲を正確に溶接するために、新たな溶接装置の開発を行った。

本報告では、この課題に対応し、溶接品質と生産性の高い目標値を両立するTIG（Tungsten Inert Gas）溶接装置を開発したので紹介する。

2. 溶接工法の選定

X-in-1のバスバーとステータの溶接接合前の全体図をFig. 1のa)に示す。b)は、溶接点の端子部の拡大図である。

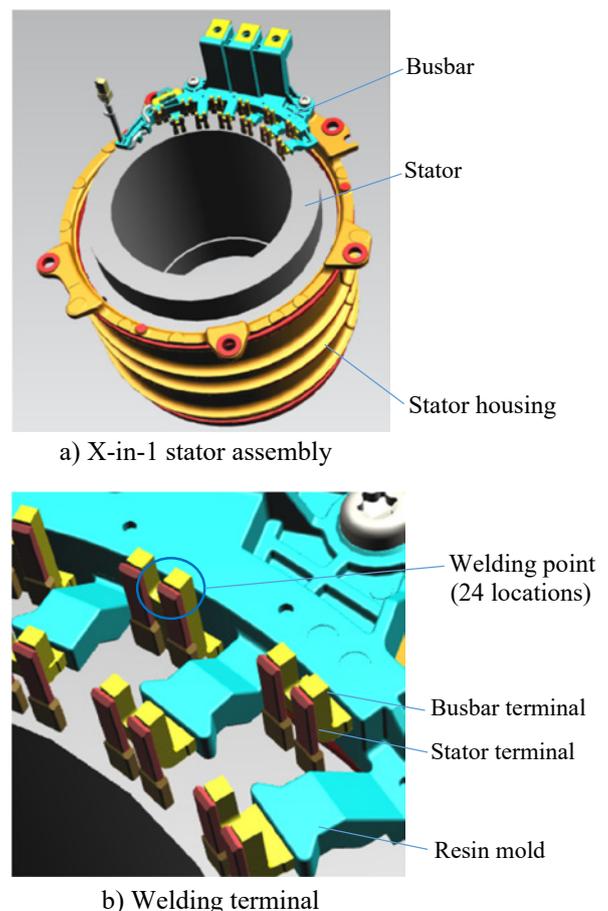


Fig. 1 CAD drawing of X-in-1 stator

モータ平角線の溶接工法は、従来のレーザー溶接とTIG溶接の2方式があり、欧米ではレーザー溶接が一般的に採用され、日本ではTIG溶接が主流である。品質とコスト面ではTIG溶接が有利だが、溶接速度はレーザー溶接において優位性がある。(Table 1)

Table 1 Comparison of welding methods

	Laser welding	TIG welding
Quality (Q)	× Spatter is generated	○ No spatter
Cost (C)	× Welding machines are expensive	○ Welding machines are inexpensive
Time (T)	○ High welding speed	× Slow welding speed

レーザー溶接は、高エネルギーのレーザー光を使って、母材金属を溶融させ、溶接を行うが、急激な温度変化により、溶融金属の激しい対流や気化爆発が起きやすいため、スパッタ発生リスクがある。TIG溶接の場合、Fig. 2に示す通り、タングステン電極の先端から、傘状のアーキにより、溶接点全体を加熱するため、溶融部の液化は緩やかに起り、スパッタ発生を抑えることができる。

今回の開発を行うバスバー溶接工法は、品質を重視し、スパッタ発生懸念がないTIG溶接を採用した。

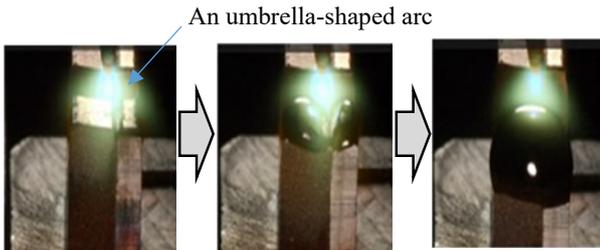


Fig. 2 Progression of TIG welding

3. X-in-1 TIG溶接設備仕様課題

X-in-1 TIG溶接装置の開発に向けて解決すべき課題を3点説明する。

3.1 TIG溶接速度の課題

従来のTIG溶接工法で平角線を接合する際、1点毎に機器の動作が入るため、レーザーと比べて数倍の時間が必要となる。この溶接機内の動きを、Fig. 3で説明する。

- ① Clamp：トーチと一体となった端子クランプが、溶接する端子を把持し、端子の密着と位置決めを行う。
- ② Touch：高さのばらつきを持つ溶接端子に対し電極の高さ方向の距離を保証する。溶接トーチは、一旦溶接部に接触し、アーキが発生する高さまで上昇する動作を行う。
- ③ Weld：適切な高さに達した電極（溶接トーチ）が、溶接を行う。
- ④ Move：溶接後、トーチとクランプは、次の溶接点に移動する。その際、端子の把持を解放し、溶接部を避けた移動となる。

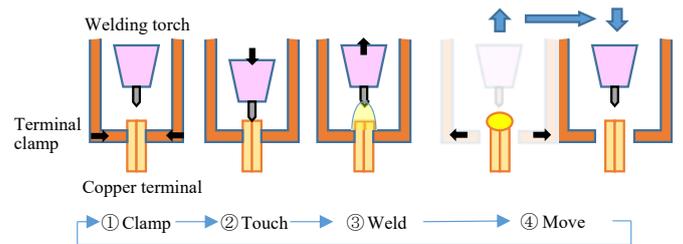


Fig. 3 Conventional TIG welding process

3.2 X-in-1部品特有の形状課題

先述の通り、X-in-1ではバスバーを通電機能とコンパクトなレイアウトを両立させる部品として、設計した。その結果、以下の項目が量産課題として顕在化した。

- ① 溶接点が24箇所あり、他社部品の4倍程度になった。生産時間が伸び、溶接不良が発生するリスクも上がる。
- ② バスバーは、樹脂モールドで固められ、ハウジングにボルトで固定されているため、剛体となる。
- ③ ステータコイル端子は、銅線材を3D曲げ加工するため、端子先端の位置精度にばらつきが大きく、固定されたバスバー端子とは、位置ずれが発生しやすい。
- ④ X-in-1モータとジェネレータで、合計5機種のスレータの仕様に違いがあり、段取りロスが発生する。

3.3 溶接品質課題

TIG溶接後の要求品質は、主に以下の2つの条件がある。

- ① 溶接部の引張破断荷重の確保
- ② 平角線絶縁エナメル部に火ぶくれ（Blistering）が発生しないこと（Fig. 4）

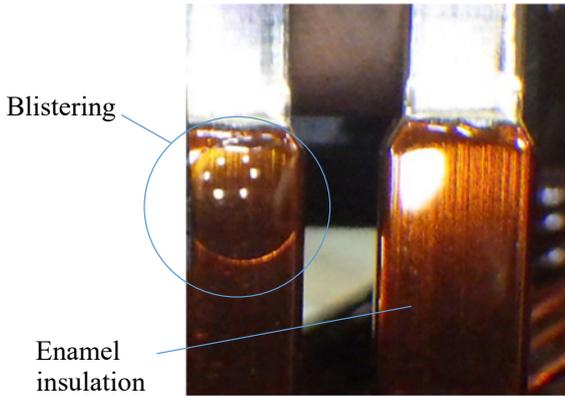


Fig. 4 Blistering

破断荷重の確保は、溶接時に多くのエネルギーを加え、強固な溶接が求められる。一方、火ぶくれを抑制するためには、入熱エネルギーを抑制し、エナメル部に入る熱影響を抑えることが求められる。相反する2つの条件を満足させるバランスの取れた溶接条件が必須となる。

4. 溶接装置仕様の決定

4.1 生産性対策仕様

3.1で述べた通り、接点毎に端子クランプ動作を繰り返したのでは、レーザ溶接に匹敵する生産スピードは達成できない。一方、端子クランプは以下の3つの目的を持っており、平角線溶接では必要な機構である。

＜端子クランプの目的＞

- 1) 整列：バスバー端子とステータ端子の位置を合わせ、密着させる。
- 2) 通電：溶接する端子と接触し、溶接電流の回路を形成する。
- 3) 抜熱：溶接熱がエナメル部へ達する手前で吸収し、火ぶくれを抑制する。

確実な端子クランプを行い、かつ、把持のメカ動作時間を最小にするために、すべての溶接点（24箇所）を同時に一括で把持する治具（以下「クランプ治具」という。）

を開発・採用することとした。加えて、この治具をTIG溶接機から外出しし、溶接機外で脱着させることで、端子クランプに掛かる時間を大幅に短縮することができる。

Fig. 5に、今回開発したクランプ治具の図を示す。円盤型のベースプレートに端子をクランプする爪を放射状に配置し、スプリングをクランプ力として、各爪を個別摺動させる機構とした。（本技術は日本国特許庁へ特許出願済み）⁽¹⁾

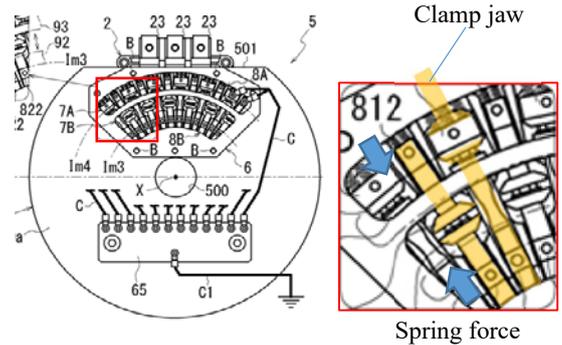


Fig. 5 All terminal simultaneous clamping jig

さらに、機種毎の形状に合わせて、クランプ治具を設定し、溶接機の上流にストックすることで、ワーク5機種のランダムな連続生産を可能とした。

さらに、溶接時の時間短縮のため、Fig. 3で示した②Touchの動作も廃止した。②Touchは、溶接端子と溶接電極の高さと距離を一定に保つ機構である。この距離の保証方法として、溶接機内に3Dカメラを配置した。溶接前の端子位置を撮影、端子高さを算出し、溶接時の電極高さにフィードバックしている。

以上の対策仕様を採用した結果、溶接時のトーチの動きは、Fig. 6となり、時間ロスを解消した。

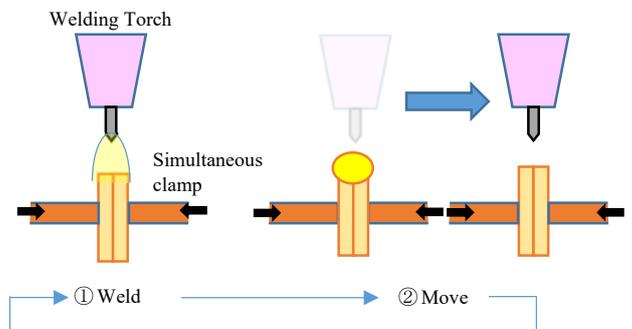


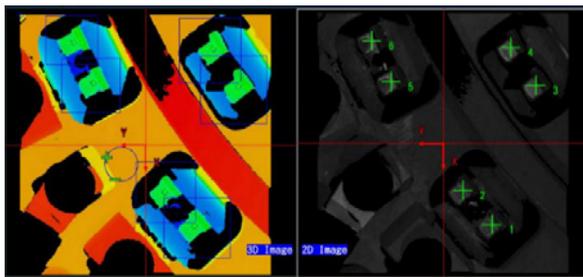
Fig. 6 Newly proposed terminal clamp

4.2 品質対策仕様

本件のバスバー溶接は、24箇所端子がすべて溶接されて、1つの製品が完成する。3.3で述べた通り、溶接強度と火ぶくれ抑制のバランスを取るためには、溶接位置の正確性が重要である。一方、本件部品の端子位置は、剛体部品であるバスバーの位置で決まるため、部品毎や溶接点毎に溶接位置の座標を微調整する必要がある。

部品毎に最適な溶接位置を保証する対策として、4.1で触れた3Dカメラを活用した。端子位置の高さだけでなく、X-Y平面情報も算出し、溶接位置にフィードバックするシステムとした。

カメラは、Fig. 7のような画像を撮影する。a)の3Dデータ画像から、平面画像で端子の形状と位置を捉え、最適な溶接点を算出し、b)のように、指定する。a)の色は、対象物の高さを表しており、適切な溶接高さも保証するシステムとして完成させた。



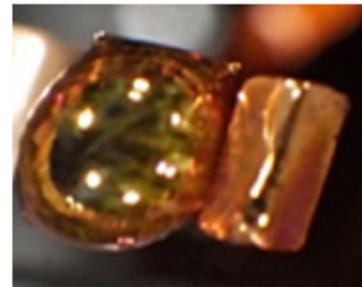
a) 3D image b) Welding position setting

Fig. 7 3D camera data

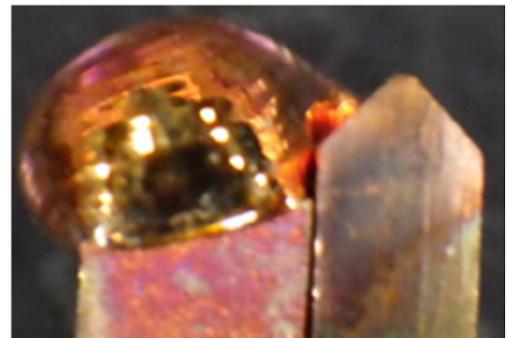
5.1 量産前課題と対策

本件設備にて、トライアル生産を行った際、Fig. 8に示すように端子は、溶けているが、溶融玉が偏り、接合しない現象が発生した。

「二玉」と呼んでいるこの現象を、高速度カメラを使って溶接中の溶融銅の挙動を観察・分析した結果、溶接電流による磁場のバランスが崩れた時、電磁力の差により溶融銅が特定方向に引き寄せられることが原因と判明した。これを踏まえ、クランプ内を流れる電流を均等に調整する対策を行い、二玉現象を防止することができた。



a) Upper view



b) Side view

Fig. 8 Welding defect

5.2 量産対応

生産性課題、品質課題をクリアした設備を立ち上げ、2025年度より量産を開始した。(Fig. 9) 溶接速度も目標達成しており、生産性においても、レーザ溶接と遜色ない結果が出ている。(Table 2)

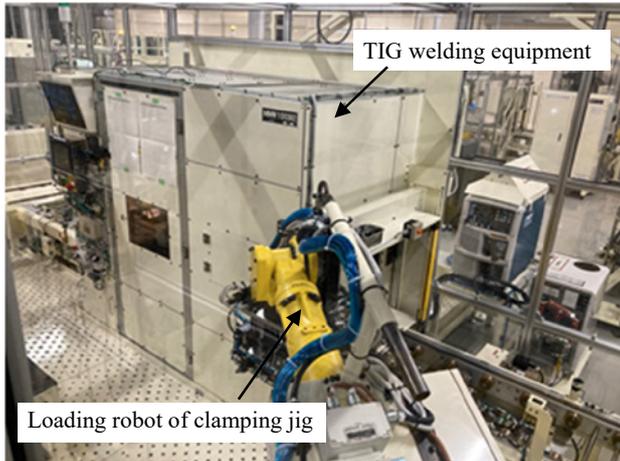


Fig. 9 TIG welding equipment

Table 2 Comparison with JATCO welding method

	Laser welding	TIG welding
Quality (Q)	× Spatter is generated	○ No spatter
Cost (C)	× Welding machines are expensive	○ Welding machines are inexpensive (approx. 1/5)
Time (T)	○ High welding speed	○ Production cycle time is the same as for laser welding

6. まとめ

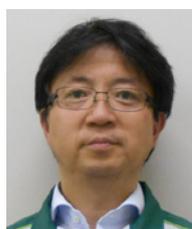
現在は、このTIG溶接設備で量産を行っている。いくつかの課題は発生したが、すべて解決してきている。課題解決にあたり、電気回路の基本法則、溶接点周りの熱伝達解析、クランプ治具の構造と劣化分析など、原理・原則に則って、現象を解析することが、重要であることを体感した。

今後、電動化ユニットに、さらに溶接・接合工法が拡大してくると予測している。今回の経験を活かし、今後の電動化ユニットへ貢献していく。

7. 参考文献

- (1) 田村 清人, 一言 大輔, 石川 達也, 梶田 将史: クランプ治具, 特願2024-038513, 2024年

■ 著者 ■



一言 大輔



奥井 恒樹



何 文強

電動化に向けた次世代ギヤ加工ラインの構築

井上 裕太* 日置 秀和* 夏目 雅彦*

抄 録

近年、自動車業界は従来のガソリン車から電気自動車やハイブリッド車などの電動化へ急速にシフトしており、環境変化が著しい。この変化に対応するため、従来の生産方式に代わり、工程単位で行うショップ生産方式を導入した。これにより、生産台数の変動に柔軟に対応できるほか、設備投資の効率化と生産準備期間の短縮を実現した。本論文では、その取り組みについて報告する。

1. はじめに

自動車産業の電動化シフトに伴い、ギヤトコにおいても既存のCVT中心の生産体制から、電動化（EV、HEV）への転換を進めてきた。電動化の進展に伴う環境規制や政策支援などの外部環境の変化に加え、多くの企業による新規参入が見られることから、トランスミッション（駆動系部品）生産においては、生産台数の変動への対応、多様化する顧客仕様への適応、そして従来とは異なるコスト競争力の確保が求められている。

ギヤトコの実生産方式は、競争力を向上させ、収益に貢献することを目的としたJEPS（JATCO Excellent Production System）⁽¹⁾に基づいている。JEPSでは、従来の生産方式（同期生産ライン）を理想の生産方式として位置づけているが、生産台数の変動に柔軟に対応しにくいという課題がある。その結果、投資計画や納期などの顧客ニーズに十分に対応することが困難である。また、従来のCVT部品加工に用いていた設備を有効活用することで、コスト競争力を高める必要がある。これらの課題を解決するため、新たな生産方式の構築・適用を行った。

2. 同期生産ラインが抱える問題点

同期生産ラインが抱える課題をFig. 1およびFig. 2に示す。縦軸は生産台数、横軸は年次、黒線は従来の計画台数、赤線は電動化部品の供給変動による予測台数、青線は従来のライン能力をそれぞれ示している。

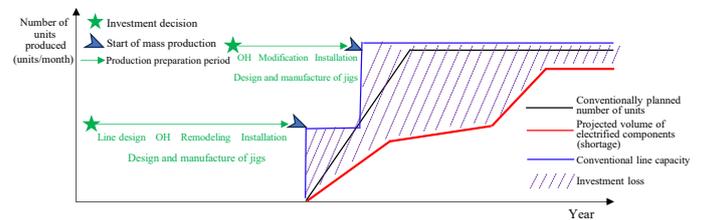


Fig. 1 Demand v.s. Line capacity (Demand decrease)

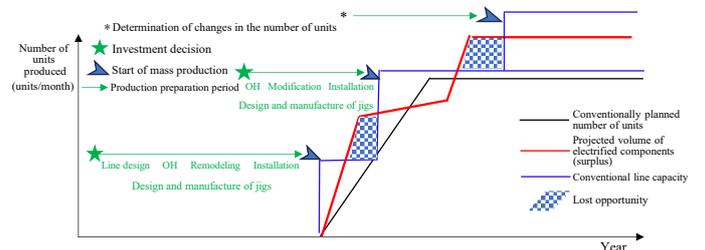


Fig. 2 Demand v.s. Line capacity (Demand increase)

同期生産ラインは、生産準備期間（緑線）が長く、また1ラインあたりの生産台数が多い。このため、台数が下振れした場合（Fig. 1）にはライン能力に余剰が生じ、投資ロス（斜線部）が発生する。一方で、台数が上振れした場合（Fig. 2）には、ライン能力の増強が間に合わず、機会損失（網掛け部）が発生する。これら問題点に対応するため、余剰ライン能力を最小化し、生産準備期間を短縮可能な生産方式の検討を行った。

*第二加工技術課

3. 新たな生産方式の検討

電動化に対応するため、JEPSでは同期生産の理念を維持しつつ、その運用を柔軟化し計画的に在庫を持つ仕組みへと刷新を進めてきた。これにより、変動環境下においてもライン能力と安定性を両立できる生産方式の選択が可能となった。

この方針に基づき、工程の特性（旋削加工、歯切り加工、研削加工など）が近い工程を一括りにし、その最小単位を「ショップ」と定義する。それらショップ間に在庫を設ける生産方式により、能力増強を細かく刻むことができると考えた。従来の同期生産ラインと、今回検討を行ったショップ生産ラインの概要をFig. 3にまとめる。

同期生産ラインは、各工程が直列に接続されているため、在庫はほぼなく工程間の流れがスムーズである反面、工程単位の能力を揃える必要があることから1ライン毎の能力は大きい。また、増産対応時は同様のラインを1式追加する必要がある。この時のライン全体の能力 N は、ラインの中で最も能力の小さな工程の値に一致する。(Fig. 3では仕上げ工程)

一方、ショップ生産ラインは、工程間に在庫を設け、各工程を独立したショップとして構成するため、ショップ単位での能力増強が可能である。ここでは、仕上げショップの能力が $0.5N$ であるため、能力 $0.5N$ の生産ラインとして立ち上げることができる。

次に仕上げショップ $0.5N$ を追加することで、能力 $0.75N$ の旋盤ショップがライン能力となる。このようにショップ生産ラインではショップ単位の追加で能力増強することが可能であるため、増強時のライン能力を細かく刻むことができ、余剰能力を抑制できる。また、増強時はショップ単位での増設が可能となることから、生産準備期間の短縮も期待できる。

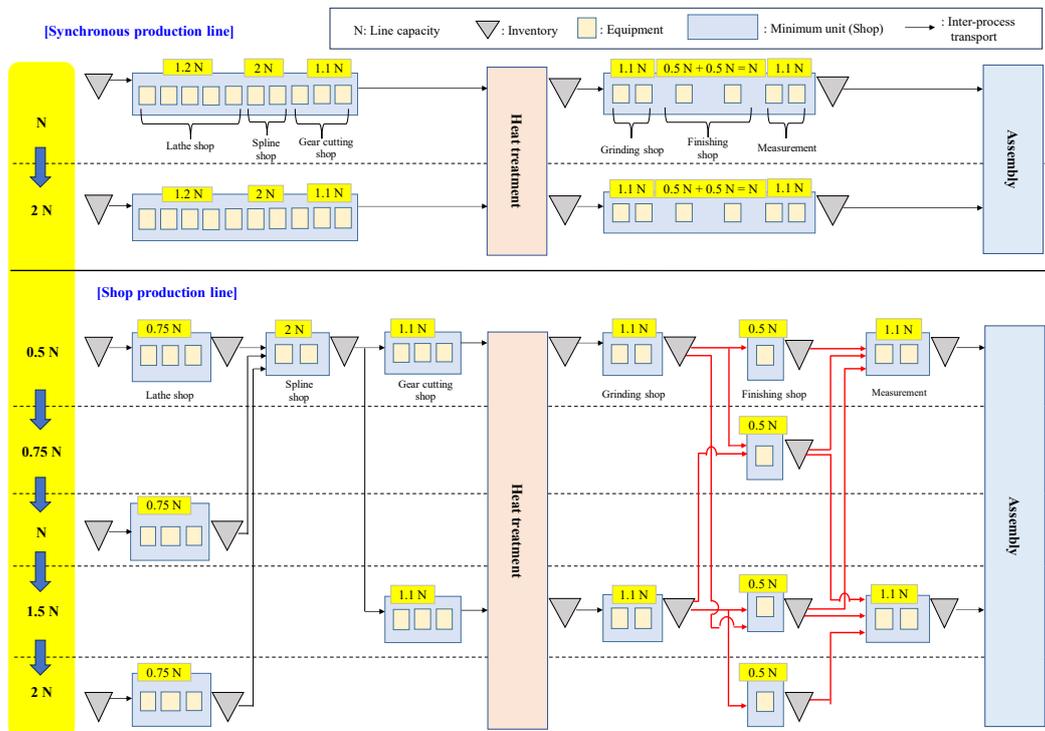


Fig. 3 Differences between Synchronous Production Lines and Shop Production Lines

4. ショップ生産ライン採用に向けた取り組み

ショップ生産ラインは、設備、ショップ単位での増設が可能であることから、能力を細かく増強することが可能であることを3章で述べた。しかし、採用にあたっては在庫管理の複雑化や、工程間搬送の作業量が増えるなどの課題を解消する必要があり、その取り組みを本章で紹介する。

4.1 在庫の設計・管理と運用

同期生産ラインは、在庫は最終工程にのみ存在するが、ショップ生産ラインでは各ショップ間に在庫を持つことになるため、本事例での在庫発生個所は約3倍となり (Fig. 3)、在庫管理が複雑化する。この課題に対応するため、新たな在庫管理方法の導入を検討した。

(1) 適正在庫数の設計

ショップ生産ラインはサイクルタイムが最も長いショップ (ネックショップ) を停止させないことが重要である。そのためには前工程に在庫を持つ必要がある。適正在庫の考え方をFig. 4を例に説明する。

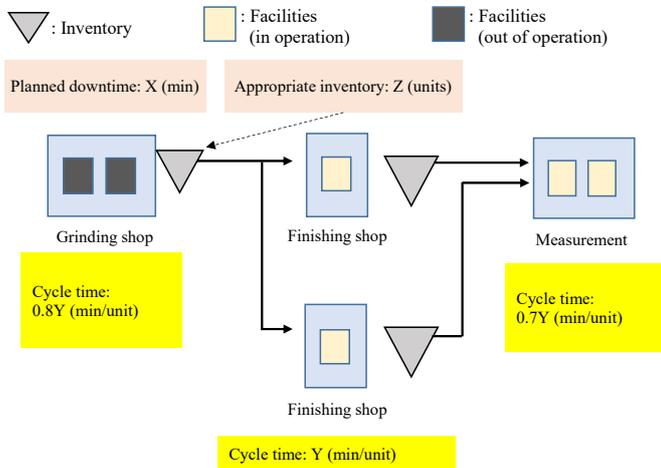


Fig. 4 Model for calculating the optimal inventory

ネックショップである仕上げのサイクルタイムをY (min/台)、その前工程である研削ショップの計画停止時間をX (min)、適正在庫をZ (台) とし、以下のように関係式を求められる。

$$Z \text{ (台)} = X \text{ (min)} / Y \text{ (min/台)}$$

停止時間X (min) は、機種段取りや工具交換などの計画停止のうち、最も長い時間とした。研削ショップが停止している間は、この在庫を切り出して仕上げラインに供給することで、ネックショップである仕上げは停止しない。また、ネックショップ以外の必要在庫数は、台車の出荷梱包単位 (SNP: Standard Number of Package) とした。台車運用に関しては(2)で述べる。

(2) 在庫の運搬方法

ショップ生産ラインは生産順序や工程が多岐にわたるため、搬送動線は複雑になる (Fig. 3の赤線部)。したがって、同期生産ラインで採用されているコンベア搬送では、経路設定・現場運用が困難である。これらを解消するために台車による運搬を検討した。台車による運搬方式のメリットは、以下の通りである。

- 柔軟性：台車は経路設定に制限がなく、変更も容易
- 投資、コスト：コンベアに比べて初期投資、ランニングコストともに抑えられ、また、生産準備期間が短縮可能
- 在庫管理効率：台車上での在庫管理が可能のため、詰め替え作業が不要で、容易に運搬可能

(3) 適正在庫数の管理方法

在庫管理においては、在庫数が適正数を超えると、在庫コストが増加し、逆に下回るとネックショップが停止して生産性が低下する。このため、常に適正在庫数を維持することが重要である。台車の数を管理することで適正在庫数の維持が容易になるため、適正在庫数は台車SNPの倍数となるようにZ (台) を切り上げて設定した。各台車はショップ間で定量・定位置で管理され、設定された台車数に達した場合には研削ショップが停止することで在庫過多を防止できる。

4.2 自動搬送システムの導入

4.1節で述べたように、シヨップ生産ラインでは各シヨップ間に在庫を設けるため搬送動線が複雑になり、従来の人手による台車搬送では作業効率の低下や労務費の上昇、部品混入などの品質リスクが懸念される。そこで、搬送作業の安定化と効率化を図るため、自動搬送システムの導入を行った。

(1) 搬送方法の選定

台車の自動搬送仕様は、自律走行搬送ロボット（AMR：Autonomous Mobile Robot）タイプ、無人搬送車（AGV：Automated Guided Vehicle）タイプの双方で検討を行った。台車運搬は、台車の下にもぐりこみ、牽引あるいはリフト上昇により台車を運搬し、シヨップ間を行き来する仕様とした。AMRは決められた経路に縛られず自由に移動可能だが、センサーおよびAI制御搭載や統合システム導入が必要である。今回の検討では、搬送先経路が固定化できたため、AGVで経路設計が成立することと、社内で既に保有しているAGVを転用することで、新規導入費用を抑えられることから、コストメリットが高いAGVを導入することとした。

(2) AGVの経路設計

(1)の通り、シヨップ間の在庫を台車に搭載し、その台車はAGVによる運搬とした。切れ目のない生産を継続するためには、部品が載っている台車が常に下流シヨップ側にいる必要がある。加えて、台車が1台では入替時にシヨップ停止が発生するため、シヨップ間に2台分の台車スペースを確保する設計とした。また、ネックシヨップを停止させないことが重要であり、そのためのAGVの移動経路をFig. 5のように設計した。仕上げシヨップの台車が空になったら、AGVが研削シヨップの台車との入替を実施する（Fig. 5 ①）。また、仕上げシヨップに部品を載せた台車が2台いる場合、研削シヨップの台車は計画在庫置き場へ運搬する（Fig. 5 ②）。この在庫は、研削シヨップが計画停止した場合に、仕上げシヨップへ供給される（Fig. 5 ③）。こうすることでネックシヨップである仕上げシヨップの停止リスクは最小にでき、切れ目のない生産と在庫確保を可能にする。

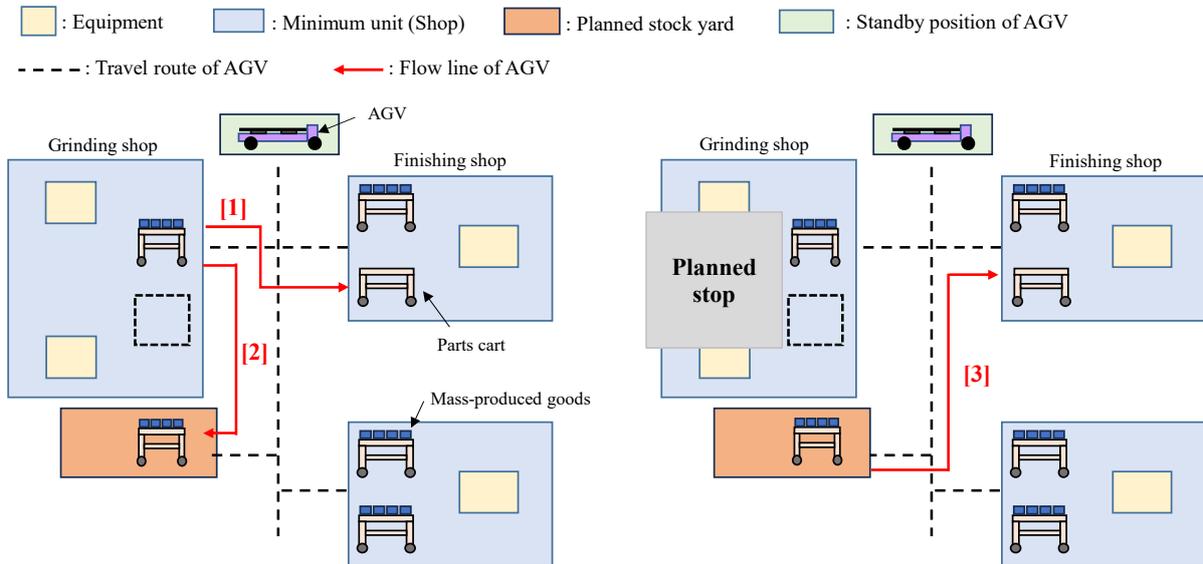


Fig. 5 Diagram of AGV and inter-shop parts cart

(3) AGVとロボットの連動

切れ目のない生産を継続するためには、ネックショップ側の台車を空にしないことが必要である。したがって、AGVは台車の状態（満杯、空など）を自動で検知し、ショップ内搬送ロボットと連動させる必要がある。台車の状態を検知するため、台車の上部に撮像機器を設置し、台車上の部品をロボットが1つ取る度に、台車の状態を撮像することで、台車が空になった際にその情報をショップ内搬送ロボットからAGVに送信し、ネックショップの台車が空になることを防いでいる。

さらに、台車入替時の停止ロスを抑制するために、ショップ内搬送ロボットには産業用ロボットではなく協働ロボットを採用した。産業用ロボットは、ショップ内にAGVが進入した際に作業者とAGVの区別がつかず、安全上の理由でショップ内の設備が停止するため、台車入替時に停止ロスが発生する。一方、協働ロボットは台車入替時も生産を継続できるため、停止ロスの抑制が可能である。

実際に導入した自動搬送システムを以下に紹介する。Fig. 6は、「(1) 搬送方法の選定」で述べた台車運搬仕様、Fig. 7は、「(3) AGVとロボットの連動」で述べた撮像機器および協働ロボットである。

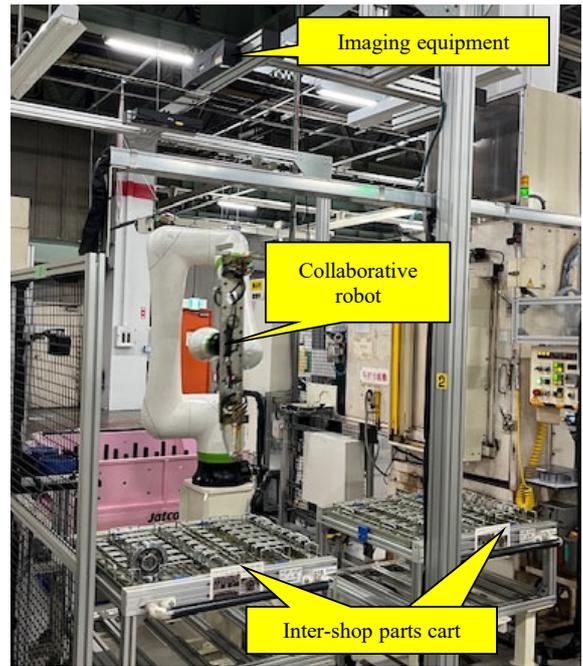


Fig. 7 Parts cart detection camera and collaborative robot

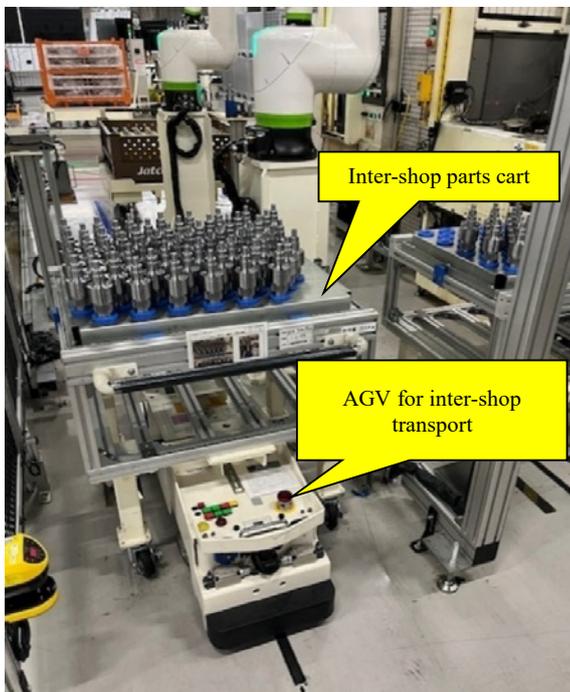


Fig. 6 Parts cart transport using AGV

5. 効果の確認

同期生産ラインでは、台数が下振れした場合にはライン能力に余剰が生じ、投資ロス（斜線部）が大きかったが、ショップ生産ラインを採用することで、台数変動に追従できるため、投資ロス（斜線部）を小さくすることが可能となった（Fig. 8）。

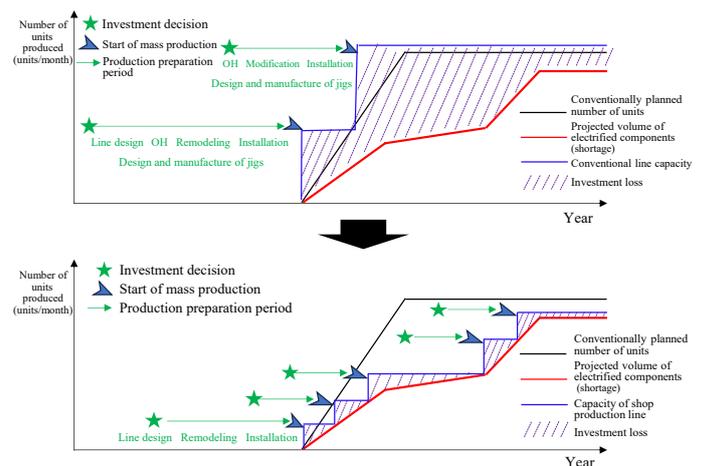


Fig. 8 Effect of shop production line, when the number of units decreases

また、台数が上振れした場合には、ライン能力の増強が間に合わず、機会損失（網掛け部）が発生していたが、ショップ生産ラインを採用することで、生産準備期間を短縮し、機会損失のリスク低減が可能となった（Fig. 9）。

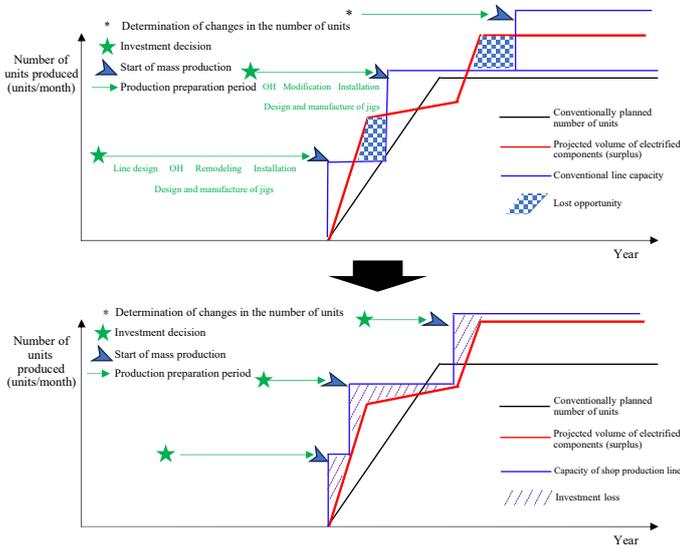


Fig. 9 Effect of shop production line, when the number of units increases

6. 所感

本論文では、同期生産ラインが抱えていた生産台数変動への対応力不足という課題を克服するため、ショップ生産ラインを導入し、柔軟な能力の増強および生産準備期間の短縮を実現した。これにより、電動化シフトに伴う環境変化に対応可能な生産方式の基盤を構築できたと考える。

新部品の立ち上げにおけるパイロットラインとして一定の効果を得られる一方で、量産拡大時にはパイロットラインで生産変動を吸収できる。そのため、同期生産ラインでも大きな問題は生じないことから、ショップ生産ラインが常に最適な生産方式であるとは限らない。今後は、生産方式を適切に選択できる仕組みの構築を課題として取り組んでいく。

7. 参考文献

- (1) 渡辺 浩児, 松本 昌浩: JEPS のグローバル展開について, JATCO Technical Review No.14, pp.65-70, (2015)

■ 著者 ■



井上 裕太



日置 秀和



夏目 雅彦

電動パワートレインの騒音・振動に関する フロントローディング型品質保証

岡本 匡平*

抄 録

近年、自動車業界はカーボンニュートラル実現に向けた世界的潮流の中で急速に電動化が進展している。パワーユニットが内燃機関からモータへ置き換わることで車両の静粛性は飛躍的に向上した。一方でその結果、これまでエンジン音にマスキングされていた微小な音や振動が、乗員に知覚されやすくなるという新たな課題が顕在化している。本稿では、当社が初めて本格的に開発した電動パワートレインを対象に、騒音・振動現象の未然防止と卓越した静粛性を実現するために構築したフロントローディング型品質保証のアプローチについて述べる。

1. はじめに

従来、当社でのエンジン車向けトランスミッションの騒音（Noise）・振動（Vibration）（以下「NV」という。）に関する品質保証は、車両から割り付けられたNV目標値に基づき筐体やギヤを設計し、パワートレイン単体で達成度を確認するアプローチが主流であった。内燃機関という大きな起振源を持つ環境下では、この方法で十分にNV品質を保証できていたため、車両を用いたNV評価は問題が顕在化した後の原因特定や再現試験が主たる目的となっていた。

しかし、電動パワートレインでは内燃機関という起振源がなくなるため、これまで問題にならなかった微小なNV現象も乗員に知覚される可能性が高まる。当社の電動パワートレインはギヤボックスに加えて、モータとインバータを一体化した構造であり、これらの部品固有の振動や周辺部品との共振など、NV発生源は多岐にわたる。問題が顕在化した後に個別対処する従来型アプローチでは、開発終盤での大幅な設計修正や対策品追加が発生し、コストと期間の両面でリスクが大きい。そこで我々は、Fig. 1に示すように、開発初期から潜在的な課題を能動的に抽出・対策するフロントローディング型品質保証プロセスを構築・適用した。

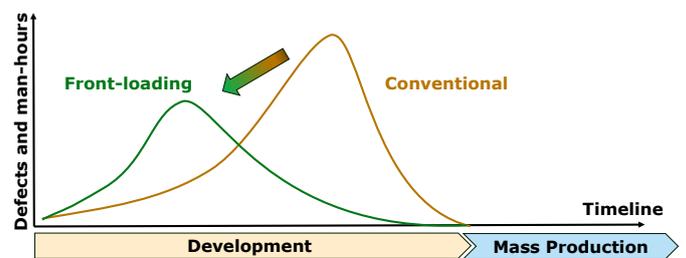


Fig. 1 Difference of conventional and front-loading

2. フロントローディング型NV品質保証プロセスの構築

2.1 品質機能展開によるNV発生要因の体系的分析

NV現象は複数要因が複雑に絡み合って発現するため、個別対処では根本的な解決が難しい。そこで我々は、顧客要求品質を機能部品の特性へ展開し、因果関係を体系的に整理する目的で品質機能展開（Quality function deployment, 以下「QFD」という。）を用いた。具体的には以下の手順で、開発部門を中心としたチームで因果関係を整理した。

- ① 顧客要求品質「不快な音や振動がないこと」を、具体的に想定されるNV現象へ分解。
- ② 各NV現象に目標値を設定。
- ③ 各NV現象に影響を及ぼす機能部品の品質特性を抽出。
- ④ 品質表を用いて顧客要求品質と品質特性の関連度を評価。
- ⑤ 品質特性を具体的な管理特性値へ展開。

* コーポレート品質保証部

Sample of QFD results (Differs from the actual results)

Customer requirements	① NV defects	② Target	③ Allocated component characteristics	④ Sensitivity	⑤ Parameter
No noise that stand out from the background noise	Thumping noise when acceleration	$\Delta L \leq 20\text{dB}$	Shaft outer Diameter	By sensitivity line	$\Phi 50 + 0.500$
			Press-fit start shape	By sensitivity line	In drawing
			Bearing play	By sensitivity line	—

Fig. 2 Sample of the results by QFD

これによりFig. 2に示すように管理特性値を机上検討で抽出した。その妥当性を車両で検証するため、後述のフィジカル検証を計画した。

2.2 フィジカル検証早期導入の必要性

電動パワートレイン搭載車両は、内燃機関という大きな起振源がなくなることで、微小なNV現象も乗員に知覚される可能性が高まる。加えて、NV現象は電動パワートレイン単体ではなく、車体への伝達経路、周辺部品の共振、車室内音響特性など複合的要因により発現する。そのため、机上検討のみで乗員の知覚レベルを正確に予測することは極めて困難である。顧客が真に体験する品質を保証するには、開発初期から最終製品である車両を用いたフィジカル検証が不可欠である。そこで、QFDにより抽出した懸念点の検証に加え、予測困難なNV現象そのものの発見を目的とし、完成車を用いた大規模フィジカル検証を品質保証プロセスの基軸に据えることとした。実際のフィジカル検証の風景をFig. 3に示す。

2.3 NV現象を漏れなく検出する走行パターン設計

潜在課題を漏れなく検出するためには、顧客が遭遇する、市場で想定されるあらゆる使われ方を網羅した走行パターン設計が必要である。そこで本検証では、QFDからNV現象の発生メカニズムを想定し、電動車特有のNV懸念領域も評価可能な走行パターンを設計した。具体的にはFig. 4に示すように、従来の基本的な走行パターンに加えて、モータノイズ・ギヤバックラッシュノイズなどの検出を目的とした、急発進・急加速のような加速度のコントロール、回生ブレーキの強弱を頻繁に切り替える走行、微小なトルク変動などを盛り込んだ。また、都市部・高速道路・渋滞状況・山道走行などの市場で想定される様々な走行環境条件も意図的に設定し、単一条件では検出が困難なNV現象も評価できるよう配慮した。

さらに、時間や試作台数の制約がある中で効率性を重視し、複数条件を1つの走行パターンに内包させることで、限られた評価リソースでも走行距離と時間を最小限に抑えつつ、NV現象を漏れなく検出可能な網羅的走行パターンを実現した。



Fig. 3 Physical verification

List the conditions		Combine conditions for efficiency
E.g.,) Condition	E.g.,) Driving pattern	
Speed	Maintain 60km/h	-40Nm deceleration after maintaining 60km/h
Torque	Maintain +80Nm	
Temperature	Drive with 35°C over	Full throttle with 35°C over
Throttle vol.	Keep 25%	Step on the accelerator quickly with 10% gradient
Gradient	Brake at 10% slope	
Acceleration	Slow acceleration	
Deceleration	Deceleration with e-Pedal	
Steering	Full steering	
Shift	Shift D to N while driving	
Special	Repeat acceleration and deceleration with extremely low torque	

Fig. 4 Part of the driving pattern

3. フロントローディングアプローチの適用結果

フロントローディング型品質保証体制を適用した結果、机上検討では想定できなかったNV懸案を数十件抽出した。これらは全て開発初期に確認・対策が施されたため、開発終盤での手戻りは発生しなかった。

Fig. 5は、あるNV現象について、乗員の知覚 (1) → 車両振動 (2) → パワートレイン単体の振動 (3) → 部品特性値 (4) の4階層で分析し、これを一連の因果構造として可視化した例である。以下、象限毎に説明する。

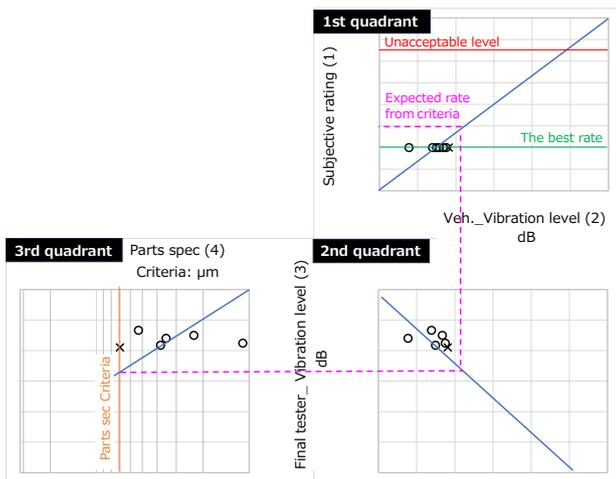


Fig. 5 Analysis results of acquired data

第一象限では、官能評点=乗員の知覚レベル (1) と車両で測定した振動値 (2) との関係を示した。乗員の知覚レベルを評点として数値化している。当該NV現象は乗員の知覚に至らず、全て最高評点であった。そのため、乗員の知覚レベルと車両振動との間に相関関係は確認できなかった。

第二象限では、車両で測定した振動値 (2) とF/T (Final tester：製造工程での台上NV保証設備) で測定した振動値 (3) の関係を示した。車両振動値とF/T振動値の間には正の相関がみられた。これは、車載状態での振動値がF/T結果、すなわち電動パワートレイン単体での振動挙動を反映していることを示している。

第三象限では、F/Tで測定した振動値 (3) とQFDで求めた部品特性値 (4) の関係を示した。F/T振動と部品特性値の間に相関関係は確認できなかった。当該NV現象は部品特性値の管理によって振動レベルが一定の低水準に抑制されており、周辺振動に埋もれているためであると考えられる。

以上より、車両全体の振動レベルに対して電動パワートレイン起因の振動レベルは相対的に十分小さく、車載環境では他の振動に埋没したため、第一象限が示すようにNV現象が乗員に知覚されず、顕在化しなかったと解釈した。

部品特性値から設定した感度線に基づき、乗員の知覚レベルを推測した。破線で示すように、部品公差上限の電動パワートレインで評価しても、乗員の知覚閾値を下回ることが示唆された。また、部品公差上限品である最悪仕様のパワートレインで測定したデータをFig. 5に×で示した。実際に、規格上限のパワートレインでも乗員の知覚に至らなかったことをフィジカルで検証した。

4. 考察

部品特性値・パワートレインの振動・車両振動・乗員の知覚レベルを一貫した因果構造として整理することで、部品スペックから乗員の知覚レベルを推定するプロセスを確立した。これにより設計段階におけるNV目標値の妥当性検証が可能になったと考える。

また、車両でのフィジカル検証を基軸に据えたフロントローディング型品質保証により、開発初期でのNV課題抽出と早期対策が可能となり、開発終盤での設計変更によるリスクを大幅に低減できた。特に、電動パワートレインのようにNV発生源が多岐にわたる製品において、本手法の有効性が示されたといえる。

5. 結論

本アプローチにより、開発段階で潜在的な品質課題を徹底的に抽出・対策し、結果として当社初の本格的な電動パワートレイン開発においてNV不具合ゼロでの立ち上げを実現した。

また、本手法は部品・パワートレイン・車両・乗員の知覚の因果関係を体系的に評価できる汎用性を有し、他製品への水平展開においても有効である。

6. まとめ

今後の展望として、本活動で蓄積した膨大な車両評価データをさらに詳細に分析・データベース化し、NV現象の予測精度の向上を図る。また、より少ない評価工数で高精度のNV品質保証を実現する解析手法の確立を進め、開発リードタイムの短縮・コスト低減・品質向上に貢献していく。

■ 著者 ■



岡本 匡平

駆動系浸炭部品のオーステナイト粒径異常成長因子の影響度定量化

伊藤 靖朗* 加藤 豪* 前田 誠**

抄 録

冷間鍛造で成形した浸炭部品は、強度低下を引き起こすオーステナイト粒径の異常成長が発生することがある。影響因子は定性的に知られているが、その影響度合いは明確ではない。そこで、部品製造工程を模擬した試験片を用いて、各影響因子と浸炭後のオーステナイト粒径との関係を実験によって明らかにした。⁽¹⁾

1. 背景

浸炭焼入れ焼き戻し処理（以下、浸炭）は、耐摩耗性と疲労強度を両立させるための重要な熱処理法として自動車駆動系部品で広く採用されている。しかしながら、この処理過程においてオーステナイト結晶粒の異常成長（grain growth以下、G.G.）が発生すると、部品の機械的特性が著しく低下し、製品寿命や信頼性に悪影響を及ぼすことが報告されている⁽²⁾。また、異常成長の発生に関する因子についても先行研究で述べられており、析出物の分布、塑性加工時の歪、および熱処理条件における温度などが主な因子として挙げられている⁽³⁾⁽⁴⁾。しかし、G.G.に対するこれらの因子の相互作用や影響度について未だ不明な点が多いのが現状である。

本研究では、冷間成形後の浸炭部品を模擬したテストピース（以下TP）を用いて、G.G.の発生に影響を及ぼす因子の特定とその影響度の定量化を行った。

2. 課題

G.G.の発生に関わる先行研究では、単一の因子を変化させ、G.G.に及ぼすその因子の影響について報告されている⁽⁵⁾。しかし、実際の部品製造においては、G.G.の発生に関わる因子は多数存在する。そのため、G.G.の発生を効果的に防止するためには、それら多数の因子を総合的に考慮し、各因子がG.G.に及ぼす影響度を定量的に評価する必要がある。

また、影響度が定量化された因子であっても、それが部品製造プロセスにおいて制御可能な因子でなければ、製造条件へのフィードバックが困難となる。

したがって、本研究における課題は製造条件に直接フィードバック可能な因子を特定し、それらの影響度を定量的に評価することである。

3. 課題解決方法

G.G.は金属組織の変化に伴い発生する現象である。そのため、発生メカニズムに関わる因子とそれに影響する因子を、金属組織の変化の過程ごとに体系的に設定した。具体的にはFig. 1に示すように、以下の4段階のSTEPに分けて分析を行った。

STEP 1: G.G.と浸炭後の組織の関係

STEP 2: 浸炭後の組織と冷間成形後の組織の関係

STEP 3: 冷間成形後の組織と素材組織および製造条件の関係

STEP 4: 製造でコントロール可能な因子とG.G.の関係

各STEPにおいて、目的変数と説明変数の関係を多変量解析により分析し、相関の高い因子を抽出した。

最終的にSTEP 4では、製造工程で制御可能な因子とG.G.との関係を多変量解析により定量化した。

本手法により、中間工程における組織変化の影響度を段階的に分析することが可能となる。これにより、素材特性や部品製造条件など、実際の製造プロセスで制御可能な因子がG.G.に及ぼす影響度を明確に把握することができる。

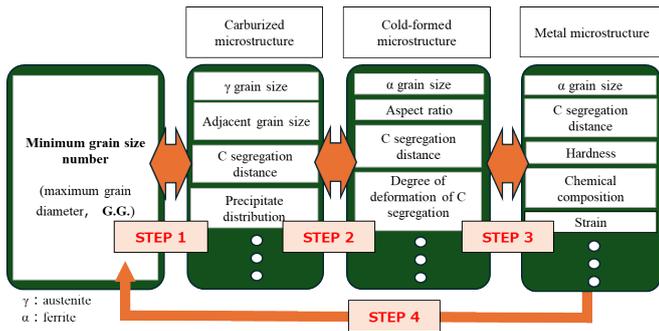


Fig. 1 Extraction and quantification procedure for G.G. influence parameters

4. 因子抽出の考え方

4.1 G.G.発生メカニズム

一般にG.G.は隣接する結晶粒のエネルギー差を低減するために発生する現象であり、この現象におけるエネルギー因子は粒界エネルギーである。

しかしながら、G.G.の発生機構は粒界エネルギーのみに依存するものではなく、歪エネルギー、熱エネルギー、および析出物による粒成長抑制エネルギーなどの複数の外的因子の影響も受ける。このような複合的な影響を考慮するため、本研究では各エネルギー因子に関連する影響因子を体系的に抽出した。

4.2 粒界エネルギーに関わる因子

粒界エネルギーは、粒界自体が持つ固有エネルギーであり、結晶学的因子によって決定される。

浸炭過程で発生するG.G.は、結晶粒界の曲率差により生じるエネルギー勾配を緩和するための現象である。そのため、歪エネルギーおよび熱エネルギーが一定条件下にある場合、G.G.の発生は主に隣接する結晶の粒径差に起因する。この観点から、本研究では金属組織の粒径およびその分布に関わる因子を抽出した。

4.3 歪エネルギーに関わる因子

歪エネルギーは、冷間成形などの塑性変形過程において材料内部に蓄積されるエネルギーである。この歪エネルギーは浸炭昇温時の再結晶温度や相変態温度に直接的な影響を与えると同時に、結晶粒成長の挙動を支配する重要な因子である。このことを考慮し、本研究では冷間成形条件および冷間成形後の組織に関わる因子を抽出した。

4.4 熱エネルギーに関わる因子

熱エネルギーは、浸炭などの熱処理過程で材料に付与されるエネルギーである。このエネルギーの大きさは、再結晶および相変態後の結晶粒の成長挙動に顕著な影響を与える。この影響を定量的に評価するため、本研究では浸炭工程における温度条件を重要な因子として抽出した。

4.5 炭素濃度分布

素材中の炭素濃度が変化すると、金属組織の変態温度や材料の成形性が変化する。特に冷間成形過程において、炭素偏析部位（以下、C偏析部位）周辺のフェライト粒（以下、 α 粒）は、偏析が存在しない部位と比較して大きく変形し、より多くの歪エネルギーが蓄積する傾向がある。この現象に着目し、本研究ではC偏析部位付近の組織特性に関わる因子を詳細に抽出した。

4.6 粒成長抑制エネルギーに関わる因子

析出物を粒界に微細分散させることで、結晶の粒成長を効果的に抑制することが可能である。先行研究によれば、直径20nm以下の析出物が粒成長の抑制に有効であることが報告されている⁽⁶⁾。この知見に基づき、本研究では析出物のサイズ分布に関わる因子を抽出した。

以上の原理に基づき、G.G.の発生機構に関わる各種エネルギー因子を体系的に分類し、それぞれに影響を及ぼす因子を包括的に抽出した (Table 1)。

Table 1 Extracted parameters

Material and forming parameters	Hardness
	α particle size No. ave.
	α particle size No. σ
	C segregation width ave.
	C segregation width σ
	C segregation width ave.- σ
	C segregation interval ave.
	C segregation interval σ
	C segregation interval ave.- σ
	Chemical composition
	Shear strain
	Equivalent strain
	Post-cold forming and carburization parameters
α particle size No. σ in C segregation	
α particle size No. ave.	
α particle size No. σ	
Aspect ratio of α particles	
P-F angle	
L \times Φ	
T \times Movement distance	
Hardness \times C segregation movement distance	
C segregation interval ave.	
C segregation interval σ	
C segregation interval ave.- σ	
C segregation width ave.	
C segregation width σ	
C segregation width ave.- σ	
Post-carburization parameters	Carburizing temperature
	γ particle size No. ave.
	γ particle size No. σ
	γ particle size area ratio (No. \leq 5)
	γ particle size area ratio (No. \geq 10)
	Area ratio of particle size No. \leq 5 near C segregation
	Area ratio of particle size No. \geq 10 near C segregation
	γ particle size No. ave around maximum γ particle
	γ particle size No. σ around maximum γ particle
	Distance from maximum γ particle to C segregation
	C segregation interval
	C segregation width
Quantity of fine precipitates	
Precipitate size ave.	

5. 実験方法

本研究では、実際の部品製造工程を模擬したTPを用いて実験を実施し、製造過程における金属組織の変化を詳細に調査した。

5.1 供試材

供試材にはJIS G 4053に規定されているSCr420を使用した。析出物の析出状態を変化させるため、3つの異なる製造ロットの材料を実験に供した (Table 2)。

Table 2 Chemical composition (mass%)

Steel	C	Si	Mn	P	S	Al	N
A	0.21	0.31	0.89	0.017	0.015	0.044	0.021
B	0.22	0.33	0.86	0.017	0.015	0.038	0.018
C	0.22	0.33	0.86	0.019	0.015	0.043	0.018

5.2 素材組織

冷間成形時に α 粒へ付与される歪は、4.5で記載したように素材組織の影響を受ける。そこで、供試材を $\phi 8 \times 12\text{mm}$ の円筒状のTPに機械加工後、 γ 単相域まで加熱し、その後冷却速度を変化させ (Fig. 2)、異なる金属組織を有するTPを作製した (Fig. 3)。

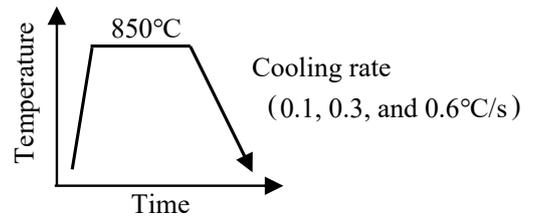


Fig. 2 Conditions for controlled microstructures

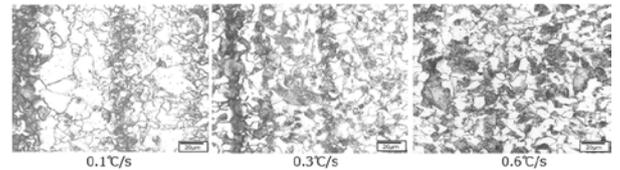


Fig. 3 Examples of controlled microstructures

5.3 冷間成形による歪エネルギーの付加

$\phi 8 \times 12\text{mm}$ の円筒状TPを単純圧縮する冷間成形を実施した。付与した相当歪およびせん断歪は有限要素法解析により求めた。また、TP内の歪分布が異なる部位の金属組織の変化を調査した (Fig. 4)。

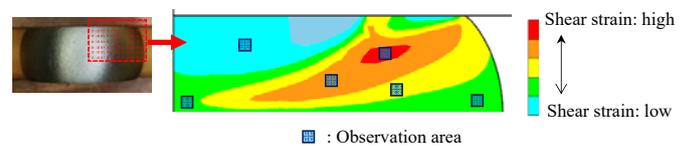


Fig. 4 Finite element analysis of strain distribution during compression testing

5.4 浸炭による熱エネルギーの付加

浸炭温度を950℃, 970℃, 1,000℃の3水準に設定し, 各温度で所定時間保持後, 油焼入れを実施した (Fig. 5).

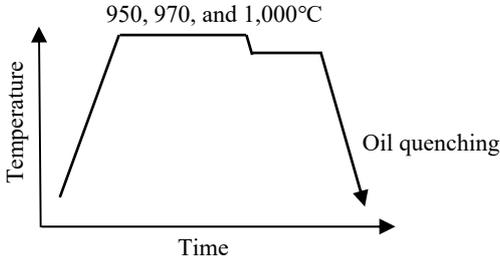


Fig. 5 Carburization Conditions employed in the study

5.5 G.G.の発生と各因子との関係

各工程における金属組織を観察し, Table 1に示す因子の定量化を行った. 本研究では, 金属組織の粒径をJIS G 0551に準拠し, 結晶粒度番号 (以下, 粒度No.) を測定した. この規格では, 粒度No.の数値が大きくなるほど結晶粒径 (以下, 粒径) が微細になることを示している.

金属組織を調査し, 金属組織に関わる因子を数値化した. これを用い, Fig. 1に示した各STEPにおける目的変数と説明変数の関係を多変量解析により分析した.

6. 解析結果

6.1. 中間工程でのG.G.影響因子

6.1.1. G.G.と浸炭後の組織との関係 (STEP 1)

先行研究の報告の通り, G.G.は浸炭後の金属組織と高い相関を示した (Table 3, Fig. 6). G.G.はγ粒径のばらつきが大きいC偏析の周辺部付近で顕著に発生し (Fig. 7), それに関わる因子の影響を強く受けていることが明らかとなった.

Table 3 G.G. parameters of carburized microstructure

Objective variable name	R ²
Maximum γ grain size number	0.78
Explanatory variable name	Standardized regression coefficient
Distance to C segregation in maximum γ grain	0.50
Area ratio of γ grains with size number < 5 near the C segregation	-0.31
Average size number of the grains surrounding the maximum γ grain	-0.24
Amount of AlN fine precipitates	-0.04
Average diameter of AlN precipitates	0.00

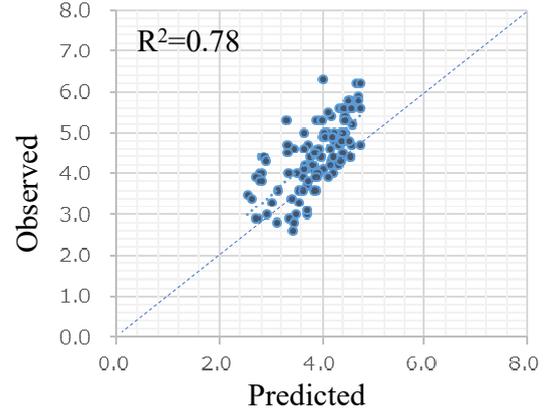


Fig. 6 Multivariate analysis results using carburized metal microstructure parameters (STEP 1)

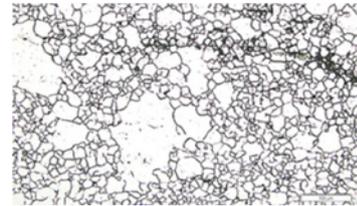


Fig. 7 An example of post-carburizing microstructure where G.G. occurs

6.1.2. 浸炭後の組織と冷間成形後の因子との関係 (STEP 2)

6.1.1.で抽出した浸炭後の組織との相関が高かった因子は, 冷間成形後のα粒度No.のばらつきとその平均粒度No., C偏析の間隔, および結晶の変形度を表すC偏析付近の変形角度が支配的因子であることが判明した (Table 4).

この結果から, G.G.に影響する浸炭後の組織は, 冷間成形後の粒界エネルギーおよび冷間成形時の歪エネルギーと関係があることがわかった.

Table 4 Relationship between post-carburizing microstructure and parameters after cold forming

G.G. correlated to the post-carburization microstructural parameters	Highly correlated post-cold-forming parameters	Standardized regression coefficient	R ²
Average grain size number of the surrounding γ coarse grains (No. 4 and below)	Variation in the α grain size	-1.09	0.70
	Average α grain size number	-0.43	
Area ratio of crystals with an γ grain size number ≥ 10 near the C Segregation	Carburization temperature	-0.60	0.55
	Average α grain size number	-0.49	
	Variation of α grain size	-0.35	
Distance to C segregation in the maximum γ grain	C segregation deformation angle	1.69	0.34
	C segregation interval	-0.47	
Area ratio of crystals with an γ grain size number < 5 near the C segregation	C segregation deformation angle	0.70	0.30
	Carburization temperature	0.54	
	C Segregation interval	-0.36	

6.1.3. 冷間成形後の因子と素材組織，製造条件の因子との関係 (STEP 3)

6.1.2.で抽出した冷間成形後の因子と相関が高かった因子は，素材の α 粒度No.とそのばらつき，C偏析の幅と間隔，およびせん断歪であることが判明した (Table 5)。

STEP 3においてもSTEP 2と同様に，粒界エネルギーと歪エネルギーに関わる因子が，G.G.に影響する冷間成形後の因子と関係があることがわかった。

Table 5 Relationship between parameters after cold forming and material microstructure and manufacturing condition parameters

Parameters after cold forming	Highly correlated material factors	Standardized regression coefficient	R ²
α grain size after cold forming	α grain size of the material	0.82	0.67
C Segregation interval after cold forming	C segregation interval in the material	0.30	0.30
Variation in the α grain size after cold forming	Variation in the α grain size of material	0.52	0.29
	C segregation width of material	-0.55	
Deformation angle of C segregation after cold forming	Shear strain	0.55	0.31
	C segregation width of material	0.18	
Shear energy	Shear strain	0.61	0.39
	C segregation width of material	0.33	
Carburization temperature	Carburization temperature	-	-

6.2. G.G.と製造でコントロール可能な因子との関係 (STEP 4)

6.1.で実施した組織分析により，6.1.3.で抽出した因子に浸炭温度を加え，G.G.との関係を解析した。その結果，素材の α 粒度No.がG.G.への影響度が最も高く，次いで素材の α 粒度No.のばらつき，素材C偏析幅，そして浸炭温度とせん断歪の順となった (Table 6)。

この結果から，G.G.の発生は粒界エネルギー（素材組織），歪エネルギー（冷間成形条件），熱エネルギー（浸炭温度）の影響を受けることが確認できた。

Table 6 Relationship between G.G., material structure and manufacturing parameters

Objective variable name	R ²
Maximum γ grain size number	0.21
Variable name	Standardized regression coefficient
Material α grain size number	-0.72
Variation σ in the α grain size	-0.53
Width of C segregation in the material	0.43
Carburization temperature	-0.35
Shear strain	-0.34

7. 考察

製造でコントロール可能な因子のうち，素材の α 粒度No. (α 粒径)は，下記現象が生じるためG.G.と高い相関があったと考える。

- ① α 粒度No.が大きい (α 粒径微細)と，変態後の γ 粒径も微細になる。そのため，わずかな粒径差であっても粒界エネルギーが高いため，粒成長が促進される。
- ② 一般に結晶粒が微細であると，材料強度が増加し，成形加工時の変形性能が低下する。そのため，変形しにくい微細粒が混在する材料を成形すると，微細粒の組織とそれ以外の組織との間で歪に差異が生じる。これは，4.5と同様の現象になるので粒成長が促進される。

一方，析出物に関わる因子は，Fig. 1に示すSTEP 1において，G.G.への影響を示す有意な因子として抽出されなかった (Table 3)。これは，大きな塑性変形を伴う冷間成形部品では，析出物による粒成長抑制エネルギーよりも，粒成長を促進するエネルギーの方が支配的であるためと考えられる。

本研究ではFig. 8に示すように段階的に中間因子との因果関係を考慮することによりG.G.への影響度が高い制御可能な因子を特定した。しかし，この特定した因子をFig. 9に示すように直接G.G.との関係を確認したが相関性は低かった (6.2の結果，Fig. 10参照)。

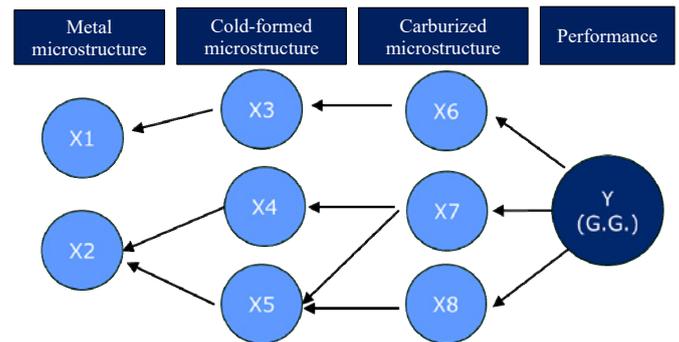


Fig. 8 Method for identifying the influencing factors

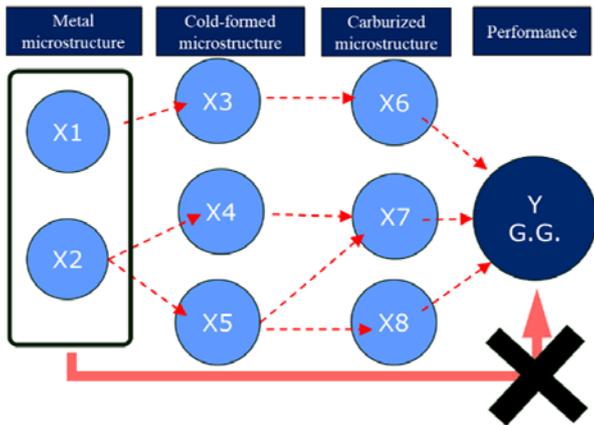


Fig. 9 Method for predicting the G.G.

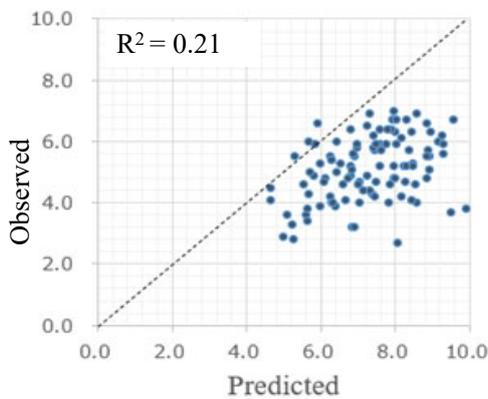


Fig. 10 Multivariate analysis results using material microstructure and manufacturing condition parameters (STEP 4)

これはFig. 8のような中間因子との因果関係を考慮せず、予測したためであると考えられる。したがって、本事例のように複数回組織変化が生じる現象では、その変化の過程ごとに因子間の関係を考慮し、変化後の組織を予測する必要がある。

またFig. 11に示すように、素材および浸炭温度が同一であるにもかかわらず、G.G.の発生が冷間歪みの高い仕様ではなく、歪みの低い仕様において生じた事例も確認された。本研究では、因子間の関係をすべて線形関係として捉えたため、Fig. 12の破線で示すような非線形関係にある因子を重要度の高い因子として抽出しなかった。そのため、今回特定した因子だけでは説明できない現象が発生したと考える。

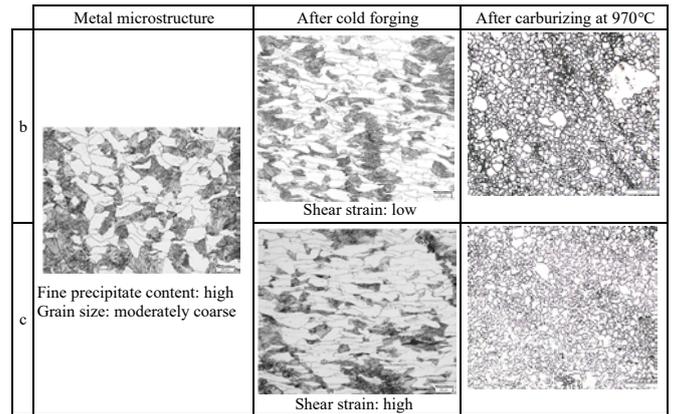


Fig. 11 Comparison of the pre- and post-carburization microstructures

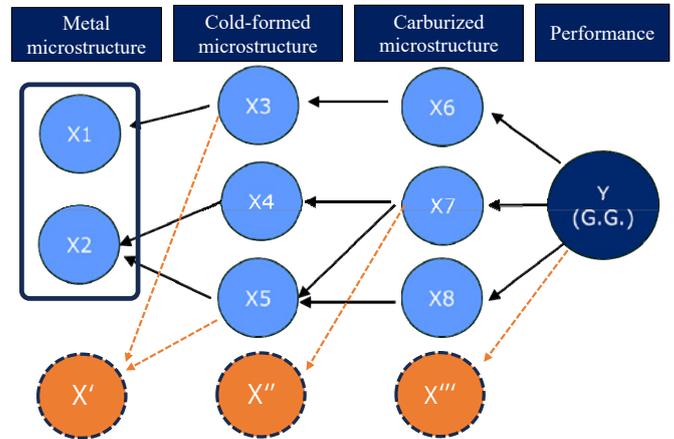


Fig. 12 Issues in the current influencing factor identification approach

8. 結言

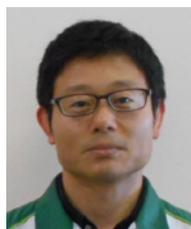
本研究により以下の知見が得られた。

- ① 部品製造時に制御可能なG.G.に影響する因子を抽出し、その影響度が明らかとなった。
- ② 影響度が高い制御可能な因子のうち、G.G.に最も影響した因子は素材の α 粒度No.であった。次いで、 α 粒度No.のばらつき、素材C偏析幅、浸炭温度、せん断歪の順で影響度が高いことが明らかとなった。
- ③ 直接的に制御可能な因子とG.G.との関係を検討すると、その相関関係は低くなる。これは、G.G.が組織変化を繰り返す現象であるため、変化に影響する中間因子やその組み合わせを考慮することで、相関が高まると考えられる。

9. 参考文献

- (1) 伊藤 靖朗, 加藤 豪, 前田 誠: 駆動系浸炭部品のオーステナイト粒径異常成長因子の影響度定量化, 2025年 春季大会 学術講演会予稿集(春), (公社)自動車技術会, 2025年, pp. 1-5, 許諾を得て転載
- (2) 瓜田 龍実, 並木 邦夫, 飯久保 知人: 電気製鋼, 59, 1, 33
- (3) 藤松 威史, 中崎 盛彦, 福本 信次, 山本 厚之: 鉄と鋼, Vol. 95 (2009), No. 2
- (4) 藤松 威史, 橋本 和弥: Sanyo Technical Report, Vol. 17 (2010), No. 1
- (5) 久保田 学, 越智 達朗: 新日鉄技報, 378 (2003), 72
- (6) 神谷 尚秀, 田中 優樹, 石倉 亮平: 電気製鋼, 89 (2018), 1

■ 著者 ■



伊藤 靖朗



加藤 豪



前田 誠

ベイジアンネットワークによる浸炭部品の異常粒発生予測

伊藤 靖朗* 加藤 豪* 前田 誠** 吉田 拓未***
 山下 翼*** 小島 秀平*** 井上 純哉****

抄 録

駆動系浸炭部品の強度低下を引き起こす異常粒成長は、複雑な現象が生じるため発生予測が困難である。本研究では、ベイジアンネットワークを構築し、冷間鍛造を模擬した試験片データを用いて学習させ、素材の材料特性および製造条件から異常粒成長の発生有無を予測できる手法を開発した。⁽¹⁾

1. 背景

近年、自動車業界においてはCASE (Connected, Autonomous, Shared & Services, Electric) への対応に伴い、開発期間を短縮しつつ高品質部品を安定的に供給することが強く求められている。同時に、熟練技術者の減少や製造現場におけるデジタルトランスフォーメーション (DX) の推進により、製造条件の最適化を効率的に行う手法の確立が喫緊の課題となっている。

このような産業的背景の中、人工知能 (AI) を活用した製造工程および条件の最適化技術は、開発期間の短縮と品質の安定化を同時に実現する有効なアプローチとして注目を集めている⁽²⁾。これらの技術的潮流を踏まえ、当社においてもAIを活用した製造プロセスの最適化技術の開発に着手した。

2. 選定テーマと課題

駆動系部品は主に動力伝達に関わるため、肌焼鋼に高温で浸炭焼入れ、焼戻し処理を行い、高い強度を確保する。その際の懸念事項の一つに、部品の強度低下を引き起こす鋼材の結晶の異常粒成長 (grain growth以下、G.G.) がある (Fig. 1, 2)。この現象は金属組織、浸炭温度、塑性歪みなどの要因が重なると生じる⁽³⁾。

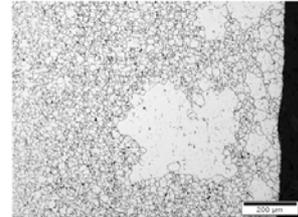


Fig. 1 Example of G.G.

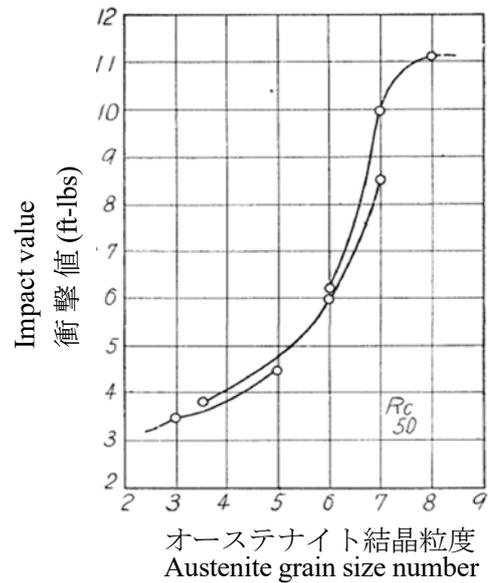


Fig. 2 Strength reduction due to G.G.⁽⁴⁾

そのため、単純なパラメータの回帰では予測が困難であるので、パラメータの組合せにより感度が変わることを考慮した予測を行う必要がある (Fig. 3).

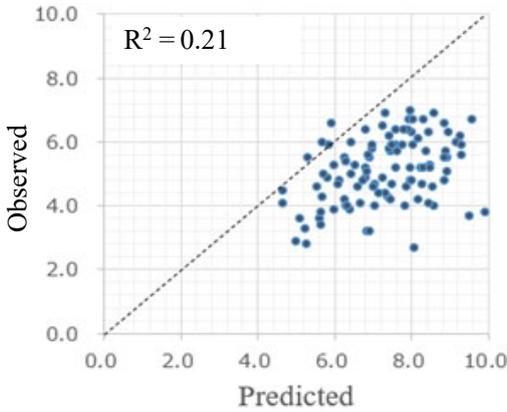


Fig. 3 Multiple regression analysis of post-carburization grain size number based on in-house evaluation test results

先行研究では一部のパラメータのみを変化させ、G.G.の発生に対する定量的な影響を報告している⁽⁶⁾。しかし、実際の部品製造ではそれ以外のパラメータも変化しているため、先行研究を参考にした部品製造条件の設定を行うことが難しい。

そこで、複数のパラメータを同時に変化させた多様な組合せでの発生予測を行うことを課題とした。

3. 課題解決方法

今回、複数のパラメータを同時に変化させた多様な組合せでの発生を予測させるためにAIを用いた。

AIを用いた材料特性の予測は、主に単一工程で特性が決定する高分子材料で多く用いられている⁽⁶⁾。一方、複数工程を経て複雑な組織変化が生じる鉄鋼材料を用いた部品の特性予測における適用事例は少ない⁽⁷⁾。

従来の単純なAIでの予測は、説明変数間の関係性を考慮せずに説明変数と目的変数との関係性を学習させる傾向がある。そのため、説明変数の組合せによる影響を十分に考慮できない。

そこで、因果関係の構造を直接表現し、既存の知見を反映することが可能な確率モデル (以下ベイジアンネットワーク) を用いることにした (Fig. 4)。

これにより、複雑かつ多様な組合せ検討が実施でき、G.G.の発生予測が可能になると考えた。

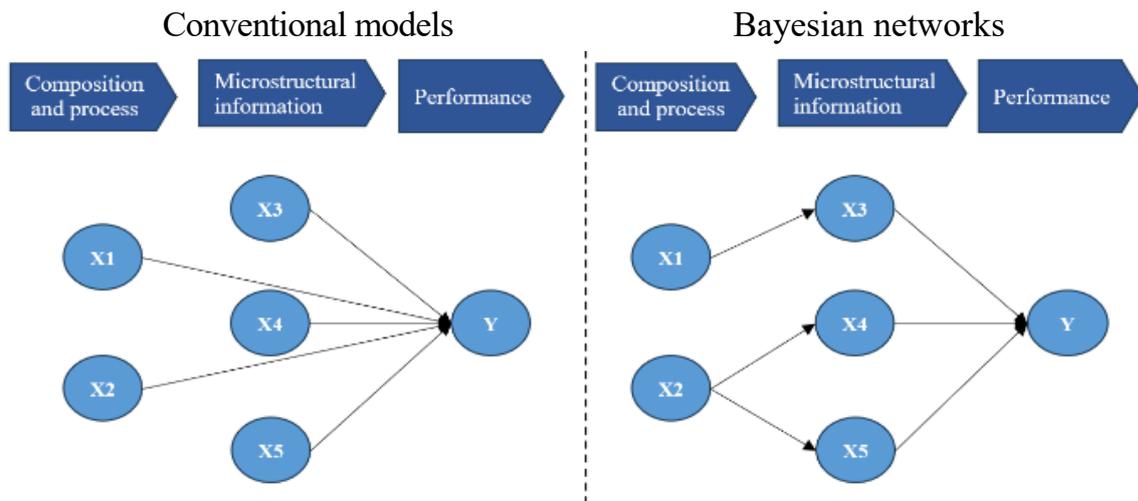


Fig. 4 Comparison between conventional prediction models and Bayesian networks

一般に、ベイジアンネットワークは連続値を扱う場合、正規分布など特定の分布を仮定する必要がある。そのため、実際のデータがその仮定から外れると予測精度が低下するリスクがある。一方、本研究では「G.G.の発生有無」という二値（離散的）分類問題として課題を定義したため、粒径サイズなどの連続値データを直接扱う必要はない。ここで浸炭後の最大粒の粒度番号をJIS G 0551に従い測定し、浸炭後の最大粒の粒度番号が5以下のものが存在した場合、G.G.発生と定義した。

このような離散値データでは条件付き確率を直接モデル化でき、分布仮定に伴う誤差のリスクがなく、計算も効率的である。

そのため、今回は分類によるベイジアンネットワークを用いることとした。

4. 解析手順

AIによる組合せ検討および予測可否評価は、事前にパラメータを変化させ、G.G.の発生を確認したテストピース（TP）の評価結果を用いた。このTP評価は、実部品の製造を模擬し、各パラメータは実部品の製造範囲を考慮し、設定した。

今回、実データを使用することで、AIが学習する際の補完がなく、G.G.の発生予測の精度が向上できると考えた。

また、本研究の結果を実際の部品製造に反映させるため、製造時に制御可能な素材および工程パラメータでG.G.の発生有無が予測できるモデルを作成した。

4.1 影響パラメータの選定

事前のTP評価で取得した、G.G.に影響するパラメータの中で、浸炭後の最大粒の粒度番号と相関が高いものを選定した。

また、選定したパラメータの中で、浸炭後の最大粒の粒度番号と共線性があるものは除いた（Table 1）。

Table 1 Parameters affecting G.G.

Orange hatching: selected parameters	
Material and forging parameters	Grain size number ave.
	Grain size number σ
	Width of pearlite bands σ
	Width of pearlite bands ave.- σ
	Spacing of pearlite bands σ
	Spacing of pearlite bands ave.- σ
	Shear strain
	Effective strain
Post-cold forming and carburization parameters	Grain size number in carbon segregation ave.
	Grain size number ave.
	Grain size number σ
	Aspect ratio
	Angle between pearlite and ferrite
	$L \times \theta$
	$\tau \times$ migration distance
	Hardness \times migration distance of carbon segregation
	Spacing of carbon segregation ave.
	Spacing of carbon segregation σ
	Spacing of carbon segregation ave.- σ
	Width of carbon segregation σ
Width of carbon segregation ave.- σ	
Carburizing temperature	
Post-carburization parameters	Grain size number ave.
	Grain size number σ
	Area fraction of grains with grain size number 5 or less
	Grain size number around the largest grain ave.
	Grain size number around the largest grain σ
	Distance from the largest grain to pearlite bands
	Spacing of pearlite bands ave.
Width of pearlite bands ave.	

4.2 有向非巡回グラフの作成

要ベイジアンネットワークを構築するためには、変数間の関係性を表すネットワークを作成する必要がある。

原理およびモデルから求めたパラメータ同士の関係に基づき、ベイジアンネットワークの基礎となるDAG (Directed Acyclic Graph; 有向非巡回グラフ) を作成することにした。また、G.G.は部品製造時の金属組織の変化により発生するので、組織の変化に応じ、段階的にモデルを作成した (Fig. 5)。

4.3 変数の離散化

分類によるベイジアンネットワークを扱う際、連続値を離散値に変換する必要がある。

そこで、設定したパラメータのデータを離散化し、分類した。具体的には冷間成形後および浸炭条件のパラメータの値により、浸炭後の最大粒の粒度番号が5以下か否かに大別できる値 (閾値) を求めた。

同様に、冷間成形後および浸炭条件のパラメータの値が大別できる素材および冷間成形条件のパラメータの閾値を求めた (Fig. 6)。

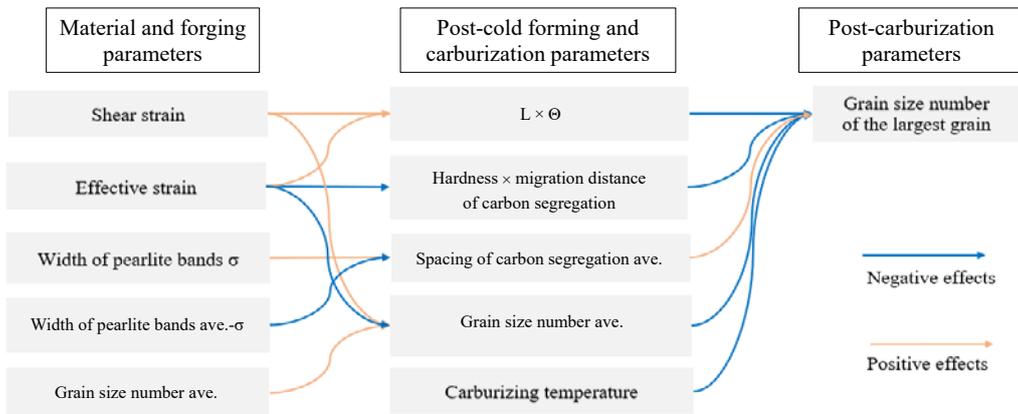


Fig. 5 The DAG in this study

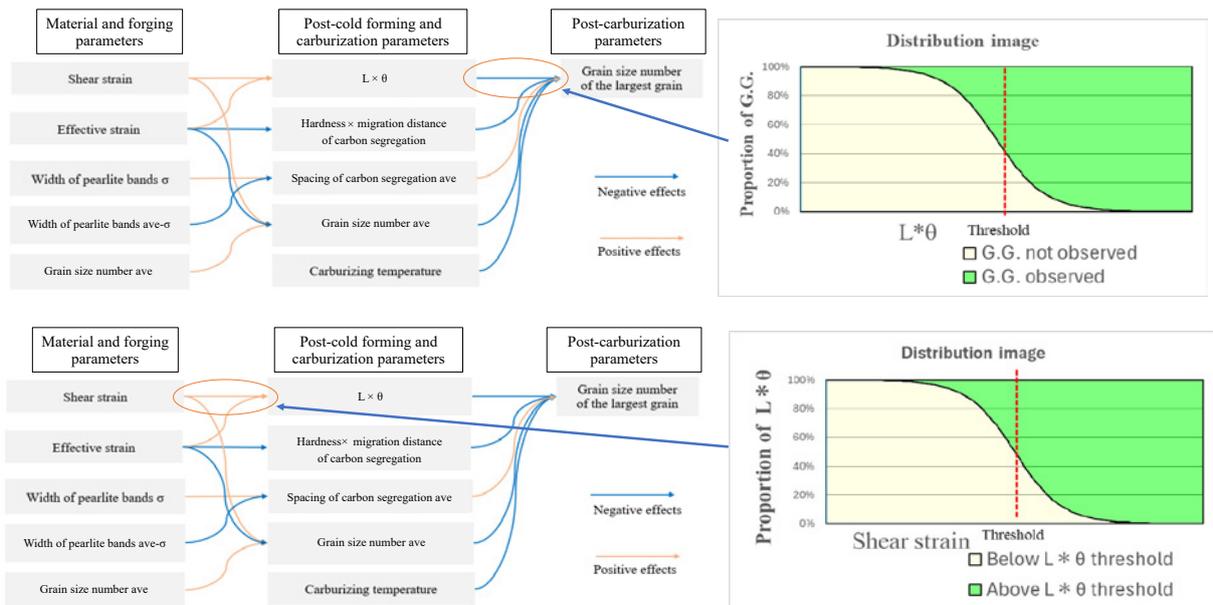


Fig. 6 Setting of threshold values

4.4 ベイジアンネットワークの構築

4.1-4.3の結果を統合し、ベイジアンネットワークを構築した。このベイジアンネットワークでは、ある説明変数(例えば、素材パラメータの一つ)を変更すると、その影響がネットワークを通じて伝播し、関連する他の説明変数(冷間成形後パラメータ)の確率分布を更新する。最終的に、この更新が目的変数(G.G.発生の有無)の予測確率に反映される。

この特性を利用することで、素材および工程パラメータを変化させ、G.G.が発生または発生しない条件の範囲を示すことが可能である。

5. 予測の検証方法と結果

分作成したモデルの精度を検証するため、全組合せ(108通り)を用いて一つ抜き交差検証を実施した(Table 2)。まず、一つの組合せを除いた残りの組合せのデータをAIに学習させた。その後、除いた組合せの素材および工程パラメータの実データを、学習させた予測モデルに入力し、G.G.の発生を予測させた。その結果が実データに沿っているかを確認した。

検証の結果、素材および工程パラメータを入力したG.G.の発生予測の結果は、79通りの組合せで実データと合致した(Table 3)。

Table 2 Leave-one-out cross-validation method

	Validation pattern							
	1	2	3	4	...	107	108	
Data No. 1	×	○	○	○	...	○	○	
No. 2	○	○	○	○	...	○	○	
No. 3	○	○	○	○	...	○	○	
No. 4	○	○	○	○	...	○	○	
~~~~~								
No. 107	○	○	○	○	...	○	○	
No. 108	○	○	○	○	...	○	○	

○ : Training data  
 × : Validation data

Table 3 Prediction results of G.G.

	Result
Occurrence	96% (22/23)
Non-occurrence	67% (57/85)
Total	73% (79/108)

6. 予測モデルの精度向上

本結果は、複雑な現象を予測するという点で、高精度の予測結果が得られたが、実際の部品製造でG.G.を発生させない条件の予測値としては、67%と期待に対して低い予測結果と考えた(Table 3)。そこで、部品製造で要求されるG.G.を発生させない条件の精度を高めるため、製造可能な条件の範囲内で判定基準を見直した。その結果、Fig. 7に示す通り、88%まで予測精度が向上した。これにより、G.G.を発生させない製造条件を高精度に予測することが可能となった。

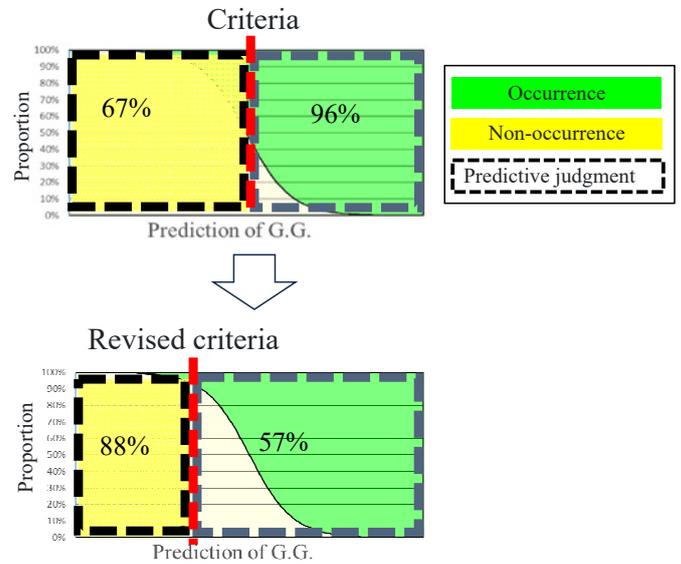


Fig. 7 Modified decision criteria improved non-G.G. precision to 88%

## 7. 結言

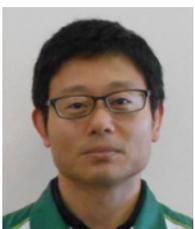
AIを活用した製造プロセスの最適化技術開発として、これまでの研究で予測が困難とされていた鋼材の結晶の異常粒成長(G.G.の発生予測)に取り組み、以下の知見を得た。

- ① パラメータ間の因果関係を考慮可能なベイジアンネットワークを構築することで、G.G.の発生を予測することができた。
- ② ①の結果、G.G.を発生させない製造条件を88%の高精度に予測することができた。

## 8. 参考文献

- (1) 水野 朗, 加藤 豪, 前田 誠, 吉田 拓未, 山下 翼, 小島 秀平, 井上 純哉: ベイジアンネットワークによる浸炭部品の異常粒発生予測, 2025年春季大会 学術講演会予稿集(春), (公社)自動車技術会, 2025年, pp. 1-4, 許諾を得て転載
- (2) 筒井 和政, 他: 鉄鋼分野における深層学習技術の活用現状, 鉄と鋼, Vol. 109, No. 6, pp. 464-489 (2023)
- (3) 吉村 英徳, 他: 肌焼鋼浸炭時の旧オーステナイト粒異常成長機構の解明, JFE技報, No. 23, pp. 30-35 (2009)
- (4) 益子 美明: 鋼のオーステナイト結晶粒度と機械的性質について, 材料試験, 6巻46号, pp. 446-452 (1957)
- (5) 藤田 昇輝: 計算材料科学に基づく鉄鋼材料の塑性変形と集合組織の予測, CAMP-ISIJ, Vol. 37, pp. 387-389 (2024)
- (6) 池端 久貴: PoLyInfoを活用した高分子インフォマティクス, 日本化学会情報化学部会誌, 37巻4号, pp. 94-98 (2019)
- (7) Hui Wang, et al.: An integrated approach for numerically predicting the failure of resistance spot welds, Science and Technology of Welding and Joining, 27, pp. 229-237 (2022)

### ■ 著者 ■



伊藤 靖朗



加藤 豪



前田 誠



吉田 拓未



山下 翼



小島 秀平



井上 純哉

# MBSE/MBD連携と生成AI(LLM)活用による e-Axleシステム開発の効率化

勝城 勝* 川島 一訓* 河住 拓郎* 佐藤 正太** 樫谷 純治***

## 抄 録

e-Axle開発の効率化に向け、ドキュメント中心のシステムズエンジニアリングをデジタル化し、生成とAI連携させる取り組みを行った。デジタル化ではメタ構造を策定し、ツール依存のあいまいさを抑える仕組みを整え構造を統一化。AI連携ではベクトルRAG (Retrieval-Augmented Generation) とグラフRAGを比較し、関係追跡に強いグラフRAGが高精度な情報抽出と、AI回答根拠の可視化による設計者の妥当性検証に有効であることを示した。(1)

## 1. まえがき

近年、電動車の急速な普及に伴い、e-Axle（電動アクスル）においては、熱の管理や有効利用も含むシステム開発の質の向上と効率化が重要な課題となっている。

従来の設計プロセスでは、システムズエンジニアリング (SE) の概念を導入してR-F-L-P (Requirements, Functions, Logical, Physical) に基づく情報管理を実施していた(2)。しかし、図1のような膨大なSE情報が階層別、システム別に分かれた多数のドキュメントとして管理されているため、設計者は異なる階層のドキュメント間を行き来しながら必要な情報を探し出さなければいけない。例えばある設計値の変更がシステム全体にどのような影響を与えるかを確認するだけでも多大な手間がかかるという問題があった。

一方、昨今生成AI（大規模言語モデル：LLM）が著しく進歩している。SEの分野ではMBSE (Model-Based Systems Engineering) のシステム要求を生成AIに学習させるアプローチ(3)が報告されている。

本研究では、複数階層にわたるR-F-L-PにMBSEを適用し、図2に示すようにMBSEを土台とし、生成AIと連携した情報抽出の効率化と、MBD (Model-Based Development) と連携した解析準備・結果共有の効率化を図り、開発スピードアップと競争力の向上を目指す。

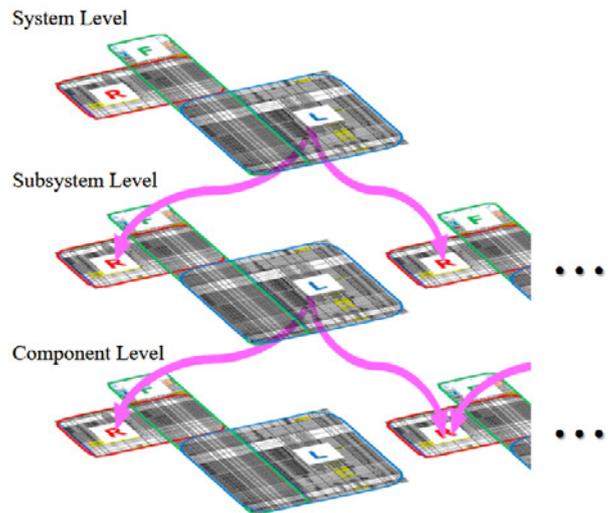


Fig. 1 SE Management form

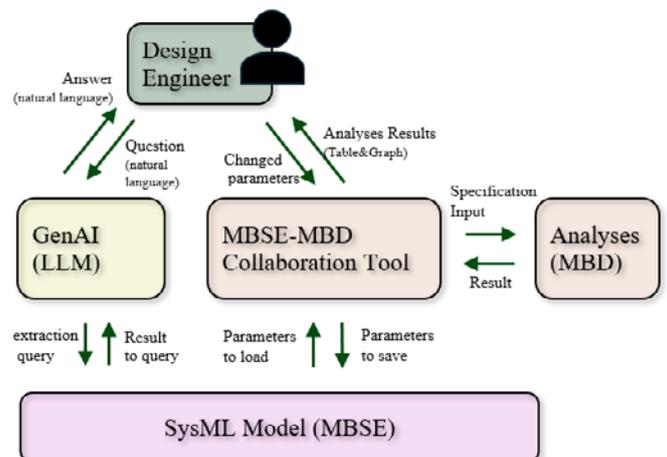


Fig. 2 Overview of this research initiative

## 2. MBSE の構築

MBSEはデジタルモデルを中心にシステムズエンジニアリングを行うアプローチで、SysML (Systems Modeling Language) を使ってモデル化される。従来のドキュメント形式のSE情報をもとに本研究の土台となるMBSEモデルを構築する際、SysMLツールの自由度や設計者の個人差によって土台のMBSEモデルの構造が統一されていない場合、生成AIと連携しても得られる回答が不正確になってしまう懸念がある。このためMBSEモデルの構造に統一性を持たせるルールとしてメタ構造を定義し、それに従ったモデル構築を可能とする実装手法を提案する。メタ構造は、公開情報⁴⁾を参照しつつ、従来のSE管理帳票の運用に沿うようR-F-L-Pを階層ごとに管理している点を考慮し、階層間の受渡しを上位Pと下位Rを接点とし、図3のような階層構造とした。

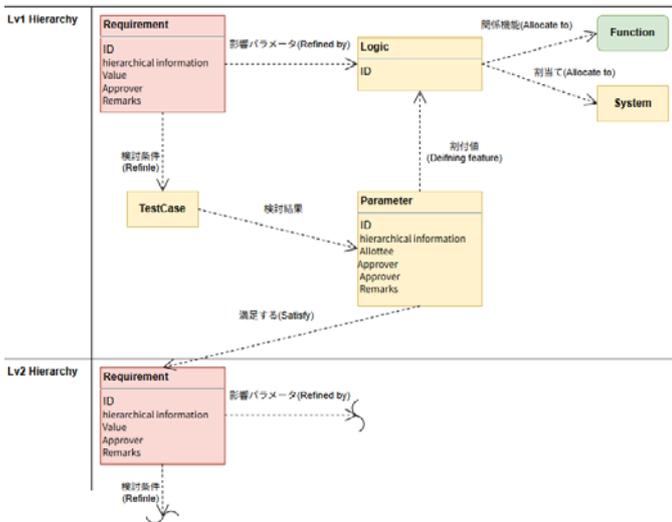


Fig. 3 MBSE Meta Structure

またメタ構造に従ったモデルの実装手法はフレームワークとバリデーションルールの2つで構成する。

- フレームワーク：あらかじめ用意された馴染みのある図表に順に情報を入力していくと、メタ構造に沿った要素間の関係性が自動的に定義され、MBSEモデルの構造が形成される仕組み。図4に一例を示す。
- バリデーションルール：各要素が持つ関係性を確認し、抜けや誤りがあれば検出して通知する仕組み。表1に一例を示す。

これらの実装手法によって、効率化の土台となる統一性をもったMBSEモデルの構築が可能となった。

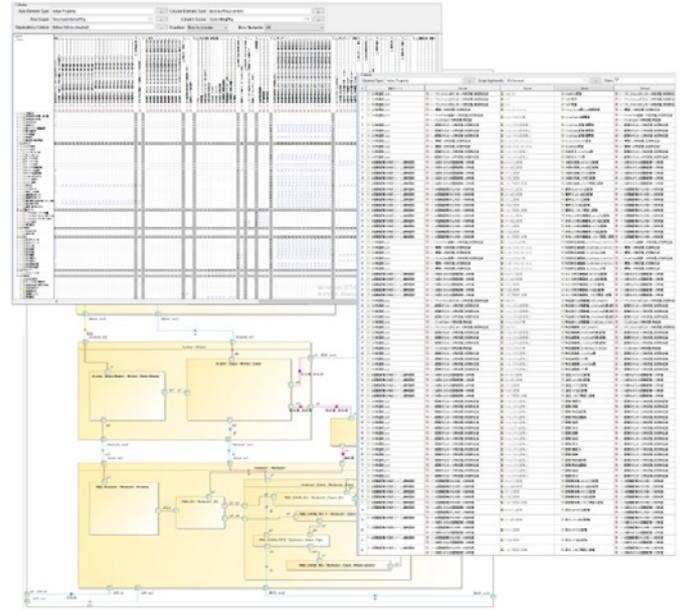


Fig. 4 Example of MBSE modeling Framework

Table 1 Example of MBSE Validation Rule

#	Element	ValidationRule
1	Requirement	Requirementの Refine 先はTestCaseのみであること
2	Requirement	Requirementを Refine するのはLogic, TestCaseのみであること
3	Requirement	RequirementはLogicから satisfy されている必要がある
4	Requirement	RequirementはLogicから Refine されている必要がある
5	TestCase	TestCaseの Refine 先はRequirementのみであること
6	TestCase	TestCaseを Refine するのはRequirement, TestCaseのみであること
7	Function	Functionを Refine する要素はないこと

## 3. MBSE と生成 AI の連携による設計支援図

従来の異なる階層のドキュメント間での情報抽出を効率化するため、前章で構築したMBSEモデルを生成AIと連携させる。検索に基づく連携手法として、以下に示す二つのアプローチで検証を行った。

一つ目はベクトルRAG (Retrieval-Augmented Generation) と呼ばれる手法である。この手法では、MBSEモデルを適切な単位で区分し、各区分を数値ベクトルに変換する。設計者のクエリも同様にベクトル化し、両者の類似度に基づいて関連性の高い情報を上位n件の範囲で検索・取得する。文脈や意味の類似性に基づいて検索が行えるため、汎用性の高さが特徴である。

二つ目はグラフRAGと呼ばれる手法であり、検索対象をナレッジグラフとして表現する。情報の実体をノード、各情報間の関係性をエッジで表現することにより、類似度のみに基づくベクトルRAGと比較して、情報間の関係性の捕捉や網羅性の観点で検索精度の向上が期待できる。本研究で構築したMBSEモデルにおいては、メタ構造が維持されるようにナレッジグラフへの変換を行った。図5にグラフRAGの構成を示す。設計者が質問を行うと、生成AIは回答に必要な情報を取得するためのクエリを自動生成し、ナレッジグラフへ照会する。ナレッジグラフから得られた情報と質問内容を照合した上で、最終的に生成AIが適切な回答を生成する。なお、クエリ生成の精度向上のため、質問と適正なクエリのセットを訓練データとして学習させるFew-Shot Learningを後述するパターンごとに実施している。

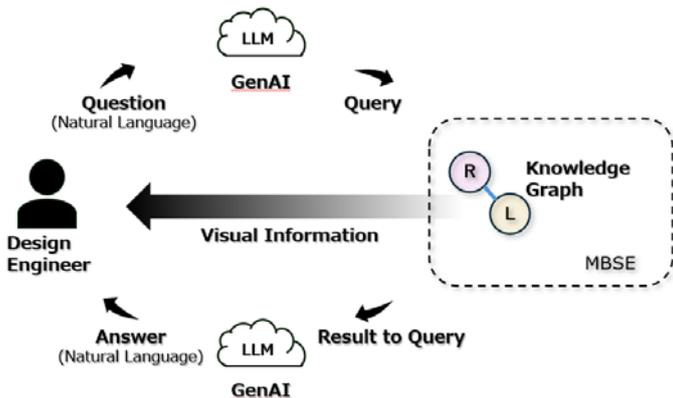


Fig. 5 Configuration of Knowledge Graph RAG

両設計支援手法の効果を検証するため、実際の設計現場を想定した質問集を用意し（表2）、4つの質問パターン（A～D）ごとに回答精度を評価した。その結果を図6に示す。ベクトルRAGではパターンAについてのみ正答が得られたが、パターンB, C, Dでは正答に至らなかった。一方、グラフRAGではすべてのパターン（A, B, C, D）において高い正答率を示した。

Table 2 Question Pattern Classification for Generative AI Response

パターン	分類	質問例
A	特定の要素の情報抽出	モータコイル温度[℃]の要求値は？
B	特定のサブシステム、部品内での関係性抽出	〇〇部品のA寸法を決めている要求をすべて抽出して
C	階層を跨いだ関係性の抽出	〇〇部品のA寸法を変更した場合影響を受ける他部品の寸法は？
D	影響度の高い要素の抽出	e-Axleユニットにおいて最も影響度が高い要求の上位3位を教えてください

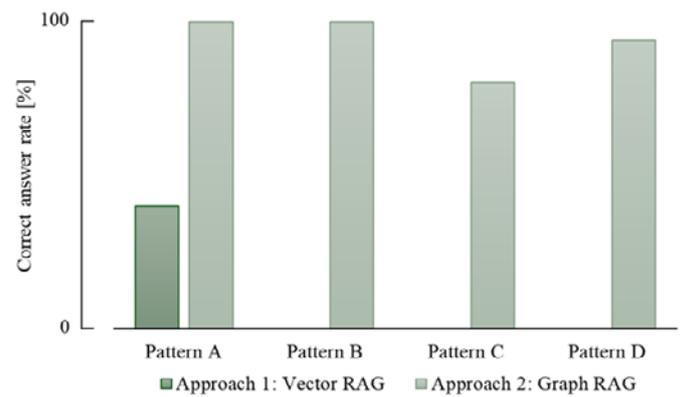


Fig. 6 Generative AI Response Accuracy Evaluation Results

特に、パターンDのようなモデルの目視だけでは把握しにくい影響度の大小の観点で設計パラメータを容易に抽出できることが確認された。実際の質問およびグラフRAGにおける回答例を図7に示す。この回答例では、ナレッジグラフからはノードの固有ベクトル中心性を計算した結果が返されている。

**質問**  
e-Axleユニットにおいて最も影響度が高い要求の上位3位を教えてください

**回答**  
影響度が大きい要求を上位3つ挙げます。同じ順位で複数存在する場合はむれなく抽出します。

1. **性能 (Score: aaa)
1. **性能 (Score: aaa)
2. **周波数 (Score: bbb)
3. **性能 (Score: ccc)
3. **条件 (Score: ccc)

これらの要求が影響度の大きい要求として挙げられます。

Fig. 7 Practical Example of Q&A in the Graph RAG Approach

また、生成AIによる回答結果と併せて、設計者が直接ナレッジグラフを参照することで、複雑な依存関係の視覚的な把握とともに、回答結果の検証が可能となる。ナレッジグラフ全体から回答に用いた参照先を抽出して可視化した例を図8に示す。

以上の結果より、メタ構造が重要な要素であるMBSEモデルにおいては、グラフRAGの手法を用いることで情報抽出を高精度で効率的に行えることが確認された。

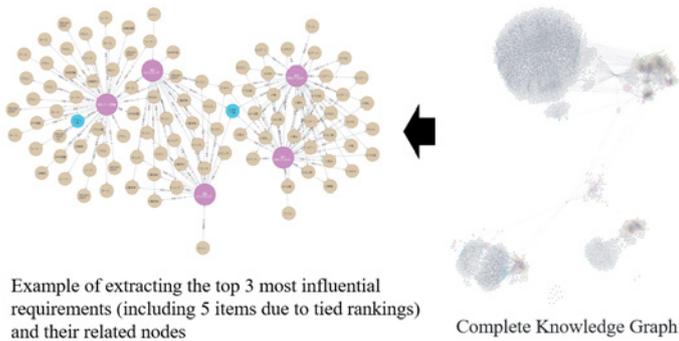


Fig. 8 Example Visualization of the Queried Knowledge Graph

#### 4. MBSE モデル構築による解析の効率化

図1のような情報の分散は解析にも影響しており、具体的には最新情報の確認、解析の入力や結果の整理などに多大な手間がかかるという問題があった。これに対し統一構造化されたMBSEモデルを構築することで、MBSE-MBD連携ツールを介した解析とシームレスな接続が可能となった。この連携により設計者の手間が軽減され、効率化できるようになる。

実際に、このMBSE-MBDの連携を小規模な設計プロセスに適用して効果を確認した。熱マネジメント解析での仕様決めにて運用した流れを図9に示す。

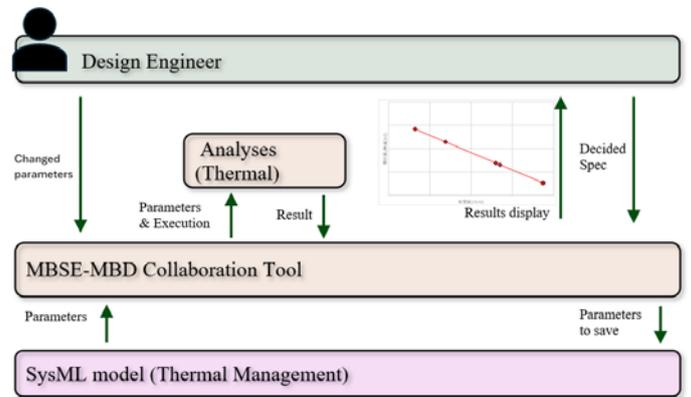


Fig. 9 Example of applying MBSE-MBD collaboration

MBSE-MBD連携により設計者は入力条件設定と結果整理の作業を自動化でき、解析業務を通して3割の時間削減ができることが確認できた（図10）。

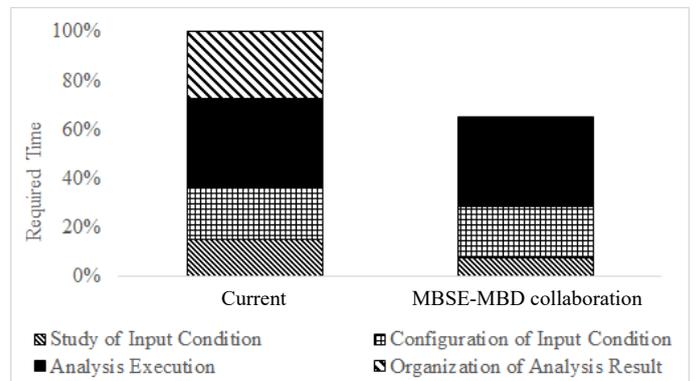


Fig. 10 Efficiency from MBSE-MBD collaboration

## 5. まとめ

本研究では、ドキュメント形式のSE情報をMBSEモデルとして再構築し、これを活用することで解析（MBD）や生成AIによる情報抽出の効率化を行った。特に生成AIとの連携においては、ベクトルRAGと比較して、ナレッジグラフを用いるグラフRAGの優位性が示された。グラフRAGにより、高精度かつモデルの構造を反映した情報抽出が可能になることを確認した。また、MBSEモデル構築を通じてMBDと連携することで、解析作業自体も効率的に実施できることを示した。

今後は、階層間を跨ぐ関係性の経由数が多い質問など、現状では正確な回答が得られない質問に対する精度向上を目指す。さらには、設計者からの質問に直接回答するだけでなく、関連する品質課題情報や過去の設計知見を設計者に提供したり、潜在的なリスクを予測したりするなど、設計者の思考を補完・拡張する、より能動的な支援ツールへと発展させていく。また、MBD連携ツールの操作など、現状では人手による作業が残されている領域にも生成AIの適用範囲を拡大し、設計プロセス全体のさらなる効率化を実現する。

将来的には、設計者の意図を理解し、自律的にパラメータ選定や最適化の解析を実行して結果を解釈し、次のアクションを提案できるAIエージェントへと進化させることで、設計者がより創造的な業務に集中できる環境の構築を目指す。

## 6. 参考文献

- (1) 勝城勝, 川島一訓, 河住拓郎, 佐藤正太, 樫谷純治: MBSE/MBD連携と生成AI (LLM) 活用によるe-Axleシステム開発の効率化, 2025年春季大会 学術講演会予稿集 (春), (公社)自動車技術会, 2025年, pp.1-4, 許諾を得て転載
- (2) 望月勉, 道岡浩文: トランスミッション開発におけるシステムズエンジニアリングの導入～MBSE活用への取り組み～, ジヤトコテクニカルレビュー, No.19, p.19-28 (2020)
- (3) Braxton VanGundy, Nipa Phojanamongkolkij, Ramana Polavarapu, Barclay Brown, Joshua Bonner: Requirement Discovery Using Embedded Knowledge Graph with ChatGPT, 34th Annual INCOSE international symposium, p.2011-2027 (2024)
- (4) Aistė Aleksandravičienė, Aurelijus Morkevičius: MagicGrid® BOOK OF KNOWLEDGE A Practical Guide to Systems Modeling using MagicGrid from Dassault Systèmes 2nd edition, Lithuania, Vitae Litera, UAB, 2021, 350p

## ■ 著者 ■



勝城 勝



川島 一訓



河住 拓郎



樫谷 純治

# AIによる自動車部品製造会社の業務のデジタル化

何 若文* 郑 春慧* 黄 剑波*

## 抄 録

自動車産業のデジタル化・スマートファクトリー化による業務効率化の進展に対応して競争力を維持するため、検索拡張生成と大規模言語モデルを連携させたAIエージェントシステムを開発した。開発したシステムは、知識検索や翻訳など8つの業務シナリオに適用した。

## 1. まえがき

自動車産業ではデジタル化・スマートファクトリー化を進めることで業務効率化が急速に進展しており、当社でもこれらの技術を実務に適用していくことが必須である。本稿ではJATCO (Guangzhou) Automatic Transmission Ltd.における事務分野の取り組みを紹介する。この分野では知識検索、翻訳、資料整理、契約審査など多岐にわたる業務があり、特定の業務だけでなく、それらを幅広く支援する必要がある。本研究では、検索拡張生成（RAG：Retrieval-Augmented Generation）と大規模言語モデル（LLM：Large Language Model）を組み合わせた方式を中核とし、前処理・後処理やプロンプトを最適化することで実業務に適用可能なシステムを構築した。

### 1.1 用語の解説

#### 1) LLM^[1]

大量のデータで事前学習された大規模AIモデルで、多様な言語処理（翻訳、解析等）を実行できる。

#### 2) RAG^[2]

LLMの回答精度を向上させるため、外部データベース（用語辞書、社内文書等）から関連知識をリアルタイムで検索し補強する技術である。

#### 3) 混合類似度（Hybrid Similarity）

RAGシステムの検索評価指標で、キーワード類似度とベクトル類似度の重み付き融合を求め、クエリと文書の字面・意味の総合的な適合性を示す。値は0%から100%までで、数値が高いほど総合的一致度が高い。

#### 4) キーワード類似度（Keyword Similarity）

RAGシステムの検索評価指標で、クエリと文書のキーワード重複度に基づき字面一致度を示す。値は0%から100%までで、数値が高いほどキーワードの一致度が高い。

#### 5) ベクトル類似度（Vector Similarity）

RAGシステムの検索評価指標で、クエリと文書の高次元ベクトル変換後の意味関連性を示す。値は0%から100%までで、数値が高いほど意味の一致度が高い。

## 2. 手法及び考え方

### 2.1 業務分析とコア技術選択

本研究では、社内アンケートを通じて特定された高頻度・高工数な業務シナリオに焦点を当てた。これには、知識検索、翻訳、プログラムコーディング、契約審査など8つのコア業務のシナリオ（Table 1）が含まれており、汎用的に活用される場面から部門固有の専門的応用まで、多様な実践ケースを網羅している。

技術的な実現手法として、RAGをコア検索エンジンとして採用し、文書処理とベクトル^[3]検索を担当させ、高品質な知識検索を提供する。同時に、LLMを言語モデルサービスの基盤として活用し、システムのコアとなる言語理解及び生成機能を提供する。

*JGZ情報管理科

Table 1 Matrix of departments and works

Department	Knowledge retrieval	Information organization	Program coding	Translation and Interpretation	Request and submission for approval	Contract review	Application proxy service	PC kitting
Production Engineering	R	R	R					-
Information System	A	A, R	A, R	A, R	R	R	R	A, R
Management	R	R	R		C	C	A	-
Finance	R	R	R					-
Legal Affairs	R	R	R		A	A		-
Purchasing	R	R	R					-
Manufacturing	R	R	R					-

RACI: I (Informed)  
 C (Consulted)  
 R (Responsible)  
 A (Accountable)

本システムはRAGとLLMの前処理・後処理に新しい処理手法を検討・導入し、各シナリオの最終的な出力による効果を高める。Fig. 1に示すように、全体構成はRAGとLLMの連携による知識検索・言語処理の統合フローとなる。

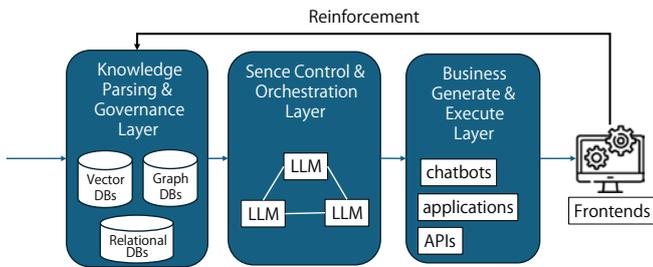


Fig1 Configuration of the system

2.2 前処理

前処理は、RAGとLLMを基盤とするAIエージェントシステムの処理精度、安定性、業務適合性を左右する基盤的な工程である。本システムが対象とする知識検索、翻訳等の業務シナリオでは、処理対象となる文書がPDF、Microsoft Word、Microsoft Excel^{注1}といった多様なフォーマットにわたり、単一の前処理プロセスでは全ての業務ニーズを満たすことが困難である。

本システムの前処理では、「共通基盤+シナリオ特化」のアプローチ (Fig. 2) を採用し、各業務の特性に応じた前処理戦略を設計した。すなわち、文書の構造解析、意味抽出といった共通的な工程を標準化するとともに、知識検索のための戦略的な文書フォーマット変換、原文構造要素の保全と意味整合性確保のためのコンテンツの構造と再構成など専用の前処理プロセスを構築した。

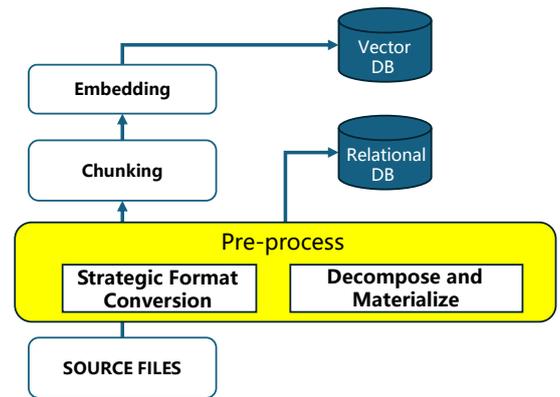


Fig.2 Pre-process of RAG

2.2.1 戦略的なフォーマット変換^[8]

RAGシステムにおいて、文書解析の品質は検索効果に直接的な影響を与える。従来の方法では、元のフォーマット (特にExcelファイル) の文書を直接解析すると、深刻な「意味の断片化」と「構造情報の損失」という問題が発生する。その理由は、Excelファイルの分割が主にワークシートや固定行数に基づく機械的な処理に依存しており、セル間の行列関係やデータの意味的連携を把握できず、情報の断片化と構造的つながりの喪失を招くことにある。さらに、Excelの解析には多くの場合、軽量の処理ライブラリが用いられ、PDF解析で普及しているレイアウト分析や意味理解による多段階処理メカニズムが欠如しているため、複雑な表の階層構造やデータ間の論理関係を保全することが困難である。標準化された処理基盤を構築するため、本システムでは、まず各種文書を統一的にPDFファイルに変換することとした。PDFは、レイアウトが固定され、構造が安定しているため、文書の元のレイアウトと意味の完全性を保持する上で優位である。したがって、複雑なExcelソースファイルを直接処理するよりも解析精度が大幅に向上する。

注1 Microsoft Word, Microsoft Excelは、米国Microsoft Corporationの登録商標です。

## 2.2.2 コンテンツの構造分析と再構成

ビジネス運営のデジタル化において、知識検索と翻訳はいずれも重要なアプリケーションシナリオである。両者は文書解析と意味理解のレイヤーで技術基盤を共有するものの、Excelファイルに含まれる複雑な表、グラフ等の構造要素はフォーマットに敏感であり、汎用的な翻訳プロセスではレイアウトの崩れ、意味のゆがみ、コンテキストの断絶といった問題が発生しやすい。

この課題の解決策として、以下2つの重要なデータ処理がある。

- 1) Excelファイルにおけるテキスト要素（セル、コメント、グラフラベル等）は孤立して存在するものではなく、その位置と結合状態が重要な意味的コンテキストを構成している。そこで、Excel要素を自作Extractorにより抽出して、データベースへ格納することとした（Table 2）。なお、ここに示したものは模式的な構造であり、実際の業務シナリオにおける完全な表構造ではない。

Table 2 Structured tokens of the text

Idx	File name	Sheet name	Element type	Location	Row	Contents	Result
1	File 1	Sheet 1	Cell	\$A\$1	1	Test 1	
2	File 1	Sheet 1	Cell	\$A\$1	2	Test 2	
3	File 1	Sheet 2	Shape	Shape name	2	Test 1	

- 2) 本Extractorは、運用場面に応じて、抽出パターンのカスタマイズや、文字のフィルタリングを設定できる機能を持たせた。例えば、LLMを活用する際、翻訳精度と翻訳スピードを確保するため、単なる「○」、「ー」、数字等の翻訳不要な要素は対象外とすることが可能である。

## 2.2.3 プロンプトエンジニアリング

バッチ翻訳の対象となる原文を入力し、プロンプトを作成する。

プロンプト例：

1. Input format : `{{Idx}}和文原文;{{Idx}}和文原文;...` (Idxはインデクスの数字)
2. Output format : `{{Idx}}中文翻訳;{{Idx}}中文翻訳;...`

翻訳する文章例：

.....  
`{{1}}テスト1;{{2}}テスト2;{{3}}テスト1;`  
 .....

AIの回答例：

.....  
`{{1}}测试1;{{2}}测试2;{{3}}测试1;`  
 .....

なお、ここで示したプロンプト内容は、Table 2に基づいて作成された模式的な例であり、実際の運用シナリオにおける設定案ではない。

上記のAIによる回答から訳文を次の処理で入力するため、まず正規表現（例：`\{(\d+)\}(.*)\}`^[6]）を用いて「`{{Idx}}訳文`」の固定構造をマッチさせる。この過程で、LLMのハルシネーションによる構造化破壊（例：`{{1}}测试1`（閉じ括弧欠如）、{{A}}测试1`（Idxが数字以外）、{{3}}测试3`（内容一致性の崩れ）等）を初歩的に検出する。`

次に、正規表現分析の結果に基づき「構造化破壊検証」を実施する。具体的には、検出された破壊箇所の数と種類を判定し、閾値（例：破壊箇所1件以上）を超えた場合には、LLMに対し「構造を遵守した回答の生成」を再指令する（再実行設計）。これにより、LLMのハルシネーションによる構造化破壊の悪影響を回避し、訳文抽出の精度を保証する。

用語の不一致問題を解決するため、本研究では翻訳指令生成フェーズに動的用語強化メカニズムを導入した (Fig. 3)。本システムは用語辞書をリアルタイムで検索し、識別された用語とその社内での標準的訳語を強制的な制約条件としてLLMのプロンプトに埋め込むことで、ソース側からキーワードの翻訳を固定し、全文における用語の一貫性を保証する。

最適構造したプロンプトをLLMリクエストに埋め込み、膨大な翻訳業務などに安定した出力を確保する。

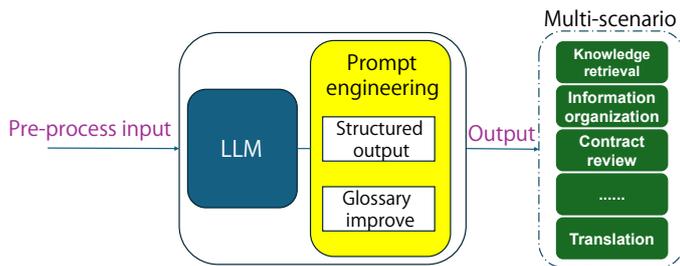


Fig. 3 Prompt engineering

## 2.3 後処理

### 2.3.1 デュアルLLMの競合最適選択^[7]

単一モデルのバイアスを解決するため、本研究はデュアルLLMによる並列翻訳と自動最適選択メカニズムを採用した (Fig. 4)。本システムは訳文の「位相整合」を完了した後、用語の一致度、コンテキストの正確性、言語の流れの自然さといった多次元基準に基づいて、1項目ごとに比較・スコアリングを行い、総合的に優れた訳文を自動的に採用する。当該最適選択メカニズムは、異なるモデルの長所を効果的に集約し、翻訳品質の顕著な向上を実現した。

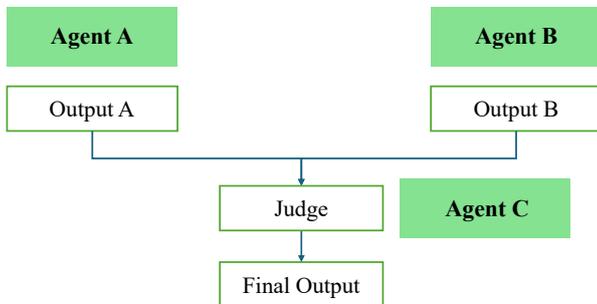


Fig. 4 Optimal selection of dual LLM outputs

### 2.3.2 画像の高精度処理

本研究はさらに文書中の画像翻訳課題を解決した。一般的な画像翻訳ツールまたはAPI (Application Programming Interface) では、元の画像の視覚的レイアウトを保持することが通常困難である。そこで精緻化された画像処理サブプロセスを設計した。そのコアステップと技術的課題は以下の通りである。

#### 1) 光学文字認識^{[4], [5]}及びテキストと座標の構造化

まず、Excel内の埋め込み画像を一括抽出し、OCR (Optical Character Recognition) でテキストコンテンツとそのバウンディングボックス座標 (A, B, C, D) を認識する。これにより、画像情報をテキストと座標を含む構造化データに変換し、後続の高精度処理の基盤を構築する (Fig. 5)。

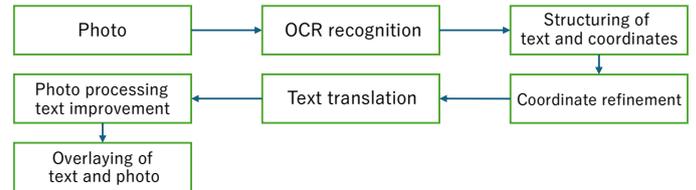


Fig. 5 Use of position information in text OCR

2) テキスト座標の高精度化キャリブレーション

OCRの認識座標に誤差が生じるという課題に対し、本研究は自動座標補正アルゴリズムを設計した。「デュアルスライダー」メカニズムを通じてピクセル単位の座標微調整を実現するとともに、アルゴリズムによってテキスト認識の有効性（例：文字分割の正確性、空白領域の合理性）を判定することで、高精度化後の最終座標（A1, B1, C1, D1）を確定し、訳文テキストボックスが画像背景と完全に一致することを保証する（Fig. 6）。

Coordinate refinement

1. Coordinates after OCR recognition: A, B, C, and D



2. Refinement process: By moving the slide pixel by pixel, the refined coordinates can be determined, based on whether the text can be recognized or not.



3. Coordinates after refinement: A1, B1, C1, and D1

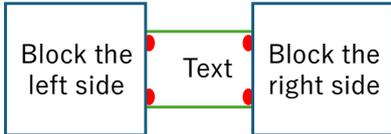


Fig. 6 Refinement of text position

3) テキスト翻訳, リライト及び画像合成

高精度座標を取得した後、本システムは認識テキストに対してLLMによる翻訳を実行する。続いてキャリブレーション後の座標に基づいて、適合するフォントで訳文をレンダリングした上で元画像に重ね合わせ、高品質な翻訳画像の生成と書き戻しを完了する。

3. 結果

2.2, 2.3で述べた前処理と後処理を本研究のAIエージェントシステム（RAGとLLMの連携）に組み合わせることで、回答の精度が大きく向上することを確認した。

3.1 前処理効果

特定のファイル形式の正規化において文書をPDFに統一した効果を評価するため、ベクトル検索を用いた比較実験を実施した（Table 3）。キーワード類似度は同一クエリ下で一致しており、これはチャンクの内容におけるキーワードの一致内容が同じであるためである。PDFチャンクは大半のケースでベクトル類似度がより高く、その語義構造をより良好に保持できることが実証されている。

Table 3 Effect of file format conversion

File Format	Average Hybrid Similarity [%]	Average Keyword Similarity [%]	Average Vector Similarity [%]
Excel	71.86	73.95	66.98
PDF	74.8	73.95	76.78

本実験では、標準プロンプトと用語強化プロンプトにおける2つの代表的なLLM AとLLM Bの性能を比較し、各グループで複数回繰り返して平均値を算出した。Fig. 7に示すように、用語を埋め込むことで用語使用率は、LLM Aで32%から98%、LLM Bで22%から86%にそれぞれ向上し、平均65%の大幅な改善が見られた。

Terminology usage before and after terminology injection

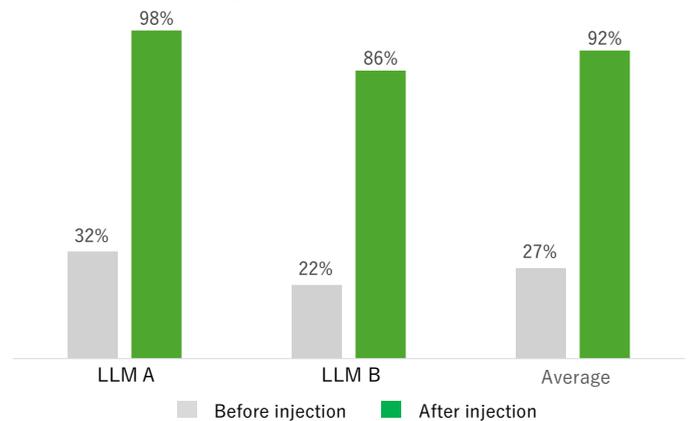


Fig. 7 Terminology injection effect

### 3.2 後処理効果

同一データセットに対し、2つの異なるLLMで個別に翻訳を実施した結果、出力間に差異が生じることを確認した。単一LLMの翻訳精度は平均96%であるが、2つのLLMの翻訳差異を判断する第三のLLMによる最適選択機構を導入することで、全体の翻訳精度を97%に向上させることが可能となった。この結果、複数のLLMによる協調メカニズムによる翻訳精度の向上が実現可能であることを示唆する。

画像高精度処理に関しては、Fig. 8に例示する中国語から日本語への翻訳において、座標精確化処理により整合性が大きく向上していることが分かる。



Fig. 8 Coordinate precision effect

最後に開発における技術文書の大量翻訳を通して、独立した精度重視型専門技術ルートを設計し、「デュアルLLMによる並列処理+意味強化（RAG）+構造化制御+結果最適選択」の混合戦略を採用し、総合テストの結果、社内用語の翻訳における一貫性が大幅に向上し、文書の構造要素が効果的に保全されると同時に、翻訳の総合的品質が顕著に改善された。従来の業務プロセスに比べ、翻訳にかかる総工数も大幅に削減された。特に画像内テキストの翻訳においては、座標ずれといった従来の課題が効果的に解消され、技術情報の正確な伝達と共有に必要な高品質な翻訳成果を安定的に提供できるようになった。

上記の手法の適用により、本システムは自動車部品製造会社の多岐にわたる事務業務において「精度向上」と「効率改善」の両方を達成した。

### 4. 考察

本システムの効率化で得られた成果は、RAGとLLMの協調メカニズムによって実現されている。具体的には、RAGが外部データベースから用語や社内知識をリアルタイムに検索し補強することで、LLMのハルシネーションを抑制し、翻訳における用語の一貫性や契約審査の精度を向上させた。同時に、知識検索業務においてはRAGによる高品質な知識リコールが、従来の手動検索に比べて大幅な時間短縮を実現した。このように、知識検索能力はAIシステムの業務適合性と処理精度を両立させる中核的な支えとなり、AI協調とその応用の実用化に不可欠な要素である。

そして、正確なセマンティック・チャンキング（Semantic Chunking）はRAGの識別精度を向上させる中核要因である。精度向上手段の一つとして、Excelの翻訳プロセスにおけるShape要素の枠内内容抽出や画像要素に含まれる内容の抽出などとデータの前処理の構造化アプローチは、他のファイル形式におけるセマンティック・チャンキング処理に新たなアイデアを提供している。

### 5. 結論

本研究の成果は、RAGによる知識検索能力とLLMによる言語処理能力の協調モデルが、自動車部品製造業の多岐にわたる事務業務に対して高い適応性と効率化をもたらす効果を発揮することを実証した。このモデルは、複雑な文書処理の自動化と品質保証を両立する解決策を提供し、自動車産業のスマートファクトリー化におけるAI技術の実用化に新たな視点を与える。

### 6. まとめ

本研究では、RAGとLLMを連携させたAIエージェントシステムによる事務領域の業務デジタル化・工数削減を実現した。当社におけるAI技術の活用は事務部門に限られず、生産現場においても同様に、画像処理と深層学習を応用して加工工程の検査自動化に取り組んでいる。

AIエージェントシステムの1年間運用結果を検証したところ、Table 4に示すように、翻訳・通訳（722時間）、知識検索（381時間）など8つの業務シナリオにおける工数削減を合算し、年間総計1,837時間の工数削減を達成した。

Table 4 Labor hour reduction effect

Core business scenarios	Reduction in man-hours (h)
Translation and interpretation	722
Knowledge retrieval	381
Application proxy service/PC kitting	243
Contract review/request and submission for approval	240
Program coding	231
Information organization	20

今後の課題としては、以下の4点を挙げる。

- 1) 本研究の前処理・後処理アーキテクチャについて、より多くの業務シナリオへの更なる応用を検討する。
- 2) 各モジュールの出力安定性と処理速度の更なる向上を図る。
- 3) LLMの技術発展に伴い、随時アーキテクチャと実装戦略の調整を行う。
- 4) 高度応用を目指し、事務代行実行のアシスタント、会議司会者、教育講師、設備予知メンテナンスアシスタント、部品設計アシスタント等のロール型エージェントを開発する。

## 7. 参考文献

- [1] Alammar, J. & Grootendorst, M. (2024). Hands-On Large Language Models. O'Reilly Media. (Official code repository: [https://gitcode.com/GitHub_Trending/ha/Hands-On-Large-Language-Models](https://gitcode.com/GitHub_Trending/ha/Hands-On-Large-Language-Models)).
- [2] Lewis, P., Perez, E., Piktus, A., Petroni, F., Karpukhin, V., Goyal, N., Küttler, H., Lewis, M., Yih, W. T., Rocktäschel, T., Riedel, S., & Kiela, D. (2020). *Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks*. Advances in Neural Information Processing Systems, 33 (NeurIPS 2020). arXiv Preprint arXiv:2005.11401. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2005.11401>.
- [3] Johnson, J., Douze, M., & Jégou, H. (2019). FAISS: A Library for Efficient Similarity Search and Clustering of Dense Vectors. Research Facebook, arXiv Preprint arXiv:1702.08734. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1702.08734>.
- [4] Cheng Cui, Ting Sun, Manhui Lin, et al. PaddleOCR 3.0 Technical Report [Online]. 2025. arXiv:2507.05595 [cs.CV]. <https://arxiv.org/abs/2507.05595>.
- [5] Cheng Cui, Ting Sun, Suyin Liang, et al. PaddleOCR-VL: Boosting Multilingual Document Parsing via a 0.9B Ultra-Compact Vision-Language Model [Online]. 2025. arXiv:2510.14528 [cs.CV]. <https://arxiv.org/abs/2510.14528>.
- [6] Jeffrey E. F. Friedl: Mastering Regular Expressions, 3rd Ed., Sebastopol, CA, O'Reilly Media, Inc., 2006, 515 pages. ISBN: 0-596-52812-4
- [7] Zhang, Y., Li, J., & Chen, W. 2023. JudgeLLM: Evaluating and Selecting LLM Outputs via a Specialized Judge Model. In Proceedings of the 2023 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP), pages 8924–8938, Singapore. Association for Computational Linguistics. <https://doi.org/10.18653/v1/2023.emnlp-main.521>
- [8] Zixuan Ke, Yucheng Wang, Yichao Zhou, Jia Li, Yutao Zhu, Yujiu Yang, Yi Liu, Ninghao Liu, Haiyun Jiang, Wayne Xin Zhao, & Zhicheng Dou. (2023). *A Survey on Table Understanding in Natural Language Processing*. arXiv Preprint arXiv:2305.13095. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2305.13095>

### ■ 著者 ■



何 若文



郑 春慧



黄 剑波

# 日産自動車及び三菱自動車向けルークス, デリカミニ・eKスペース用 Jatco CVT-S (JF021E) の紹介

2025年10月に日産自動車及び三菱自動車より発売された、ルークス、デリカミニ・eKスペースにJatco CVT-Sが搭載された。オイルポンプの設計の最適化により、ポンプのノイズを低減した。あわせて、ノイズ対策として追加したトランスミッションケース及びサイドカバーのリブを削減したことで軽量化を成し遂げた。また遊星ギヤのノイズ課題により小型CVTでは困難とされていたキャリアのピニオン数を4から3に削減したことで原価低減を成功させ、収益性向上に貢献した。制御では新仕様のエンジンの特性に対して変速プログラムを最適化することで、アクセル開度に応じたスムーズな回転の吹け上がりを実現し、加速フィーリングがより自然になったことでお客様より高い評価を得ている。

さらに、デリカミニではPOWER, ECO, NORMAL, GRAVEL, SNOWの5つのドライブモードを搭載し、商品力強化に一役買っている。

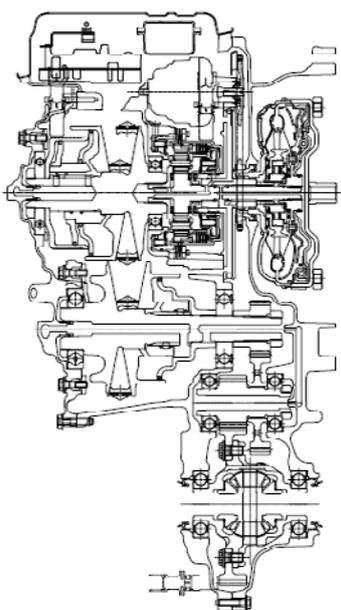


Fig. 1 Main cross-sectional view

Table 1 Specifications of JF021E

Torque capacity	100 Nm
Torque converter size	185 mm
Pulley ratios	2.411–0.404
Auxiliary transmission gear ratios	Fwd 1.000
	Rev 1.000
Ratio coverage	6.0
Final gear ratio	7.319
Selector position	P, R, N, D, L
Overall length	356 mm
Weight (wet)	60.6 kg



ルークス



デリカミニ



eKスペース

# 日産自動車向け 新型セントラ用Jatco CVT-XS (JF023E)の紹介

2025年に日産自動車より北米で発売された新型「セントラ」にJatco CVT-XS (JF023E) が搭載された。

このCVT-XSは、広い変速比幅と最適なギア比の組み合わせにより、新型セントラの性能を最大限に引き出した。

また、CVT-XSの特長である多板ロックアップや3方リニアソレノイドによる高い制御性能を活かしたダイナミックな走行性能と自然で滑らかなフィーリングを高次元で実現している。

JATCOの制御技術が生み出す走行性能は搭載車両の魅力を一段と高め、北米市場においてお客さまから高い評価を獲得している。

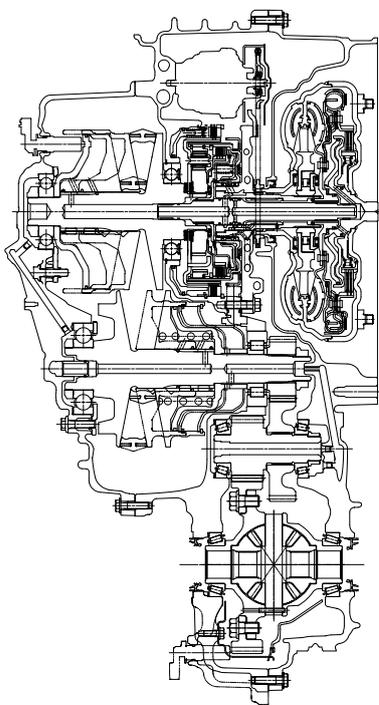


Fig. 1 Main cross-sectional view

Table 1 Specifications of JF023E

Torque capacity	280 Nm
Torque converter size	230 mm
Pulley ratios	2.805–0.357
Ratio coverage	7.9
Reverse gear ratio	0.745
Final gear ratio	5.034
Selector positions	P, R, N, D, B
Overall length	379.9 mm
Weight (wet)	94.6 kg



セントラ

# 三菱自動車向け デスティネーター用Jatco CVT8 (JF016E) の紹介

2025年7月に三菱自動車がインドネシアで販売を開始した新型SUV「デスティネーター」(DESTINATOR)にJatco CVT8 (JF016E)が搭載された。

JF016Eでは、車両及び1.5Lのターボエンジンに最適なトルクコンバータとデフを採用し、これまで磨き上げてきた変速制御と適合技術によって、街中の渋滞や高速道路での巡航など穏やかな走行シーンでは上質でスムーズな走りを、上り坂や高速道路での追い越しなどアクセルを踏み込むシーンでは、レスポンスの良い力強い加速を実現した。

またドライブモード*にも対応し、路面状況に応じた駆動力の最適化によって、2WDであっても優れた走破性の実現に貢献している。

※路面状況に応じて5つのモードから選択可能。

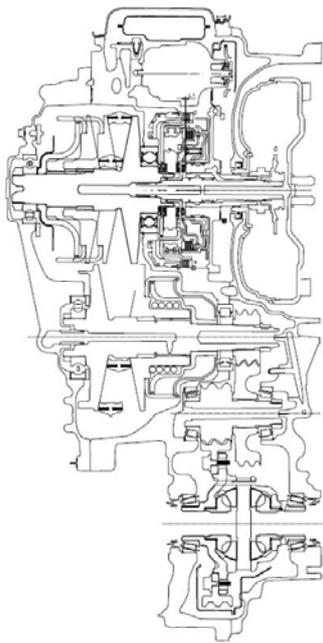


Fig. 1 Main cross-sectional view

Table 1 Specifications of JF016E

Torque capacity	250 Nm
Torque converter size	236 mm
Pulley ratios	2.631-0.378
Ratio coverage	7.0
Reverse gear ratio	0.745
Final gear ratio	6.386
Selector positions	P, R, N, D, L + Ds - SW
Overall length	372.2 mm
Weight (wet)	93.2 kg



デスティネーター

## 移乗機構付き車いす「Lifmy（リフミィ）」の紹介

「Lifmy（リフミィ）」は、介護負担の軽減と利用者の自立支援の両立をコンセプトに開発された、移乗機構付き車いすである。ベッドから車いすへの移乗や着脱衣、便器への移乗といった繊細な介助が必要な場面にも対応できるよう、科学的に分析したリフト機構で、安全かつ確実なサポートを目指している。

利用者が自身の身体機能を活かした立ち上がり移動できるよう支援し、介護者の身体的・精神的負担を減らすことに取り組んでいる。安定感のある座面機構により、座ったまま快適な移動を可能にし、転倒リスクの低減を図っている。

ジャトコの技術と品質管理を融合させた革新的な製品で、誰もが自分らしく生き生きと暮らせる社会の実現に貢献することを目指している。



Lifmy（リフミィ）

# 特 許 紹 介

本特許は、本技報内で紹介した新型BEVに搭載のe-Axleに関するものである。

## 1. 動力伝達装置

(Fig. 1)

出願番号 : 特願2024-540304  
 出願日 : 2023.6.28  
 特許番号 : 特許第7713111号  
 登録日 : 2025.7.15  
 発明の名称 : 動力伝達装置  
 発明者 : 土田 晃

### 【発明の概要】

動力伝達装置において、エアブリーザ室やオイルキャッチタンクの設置は軸の配置に制約を与え、浸す必要のない軸まで油溜めに浸かってしまい、抵抗が増大し、動力伝達効率が低下するという課題がある。

本発明の動力伝達装置では、エアブリーザ室10bを第3軸23の上方且つ近傍に設け、第3軸23のギアが掻き上げた油を溜めるオイルキャッチタンク10cを第1軸21の上方且つ近傍に設け、オイルガイド10dを第2軸22の上方に設け、第2軸22を、第1軸21の軸線A1及び第3軸23の軸線A3より高い位置に配置する。

これにより、第1軸及び第3軸間のケース内上部の空間であって、油溜め外の位置に第2軸を設けているため、第2軸が油溜めに浸かる配置となる場合と比べて軸の攪拌抵抗が減少し、油溜めにおける軸の攪拌抵抗を改善できる。

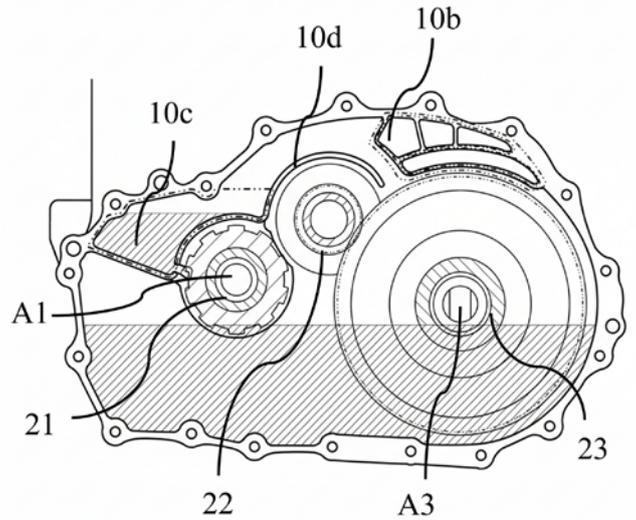


Fig. 1

本特許は、本技報内で紹介した新型BEVに搭載のe-Axleに関するものである。

## 2. 回転電機

(Fig. 2)

出願番号 : 特願2023-536275

出願日 : 2021.7.20

特許番号 : 特許第7580609号

登録日 : 2024.10.31

発明の名称 : 回転電機

発明者 : 望月 洋治郎, 鈴木 悠介, 江口 和希,  
内田 達也, 趙 イウエイ, 本田 史雄

これにより、インナーハウジングとアウターハウジングとを組み立てる際に、インナーハウジングの先端部を圧入する前にインナーハウジングの芯出しをすることができるので、インナーハウジングがアウターハウジングに対して傾くことなく、インナーハウジングの先端部をアウターハウジングに圧入することができる。

### 【発明の概要】

円筒状のアウターハウジングの内部に円筒状のインナーハウジングを設け、これらに冷却液流路を形成した回転電機について、インナーハウジングをアウターハウジング内に組み付ける際に、インナーハウジングの先端部をアウターハウジングに圧入するとともに、インナーハウジングに設けられたフランジをアウターハウジングに固定している。このインナーハウジングの圧入時に先端部の芯出しが不十分であると、インナーハウジングが傾いた状態でアウターハウジングに圧入されてしまい、シール部分から冷却液が漏れてしまうという問題があった。

本発明の回転電機では、インナーハウジング3の外周に配置した二つのシール部材6a, 6bと、段付き径を有するアウターハウジング4の内周面によって冷却液通路5を形成し、インナーハウジング挿入時にはアウターハウジング内周面にシールが当接したときインナーハウジングの先端部が最奥のアウターハウジングの第3円筒面43に当たらず隙間Cを保持するようにした。

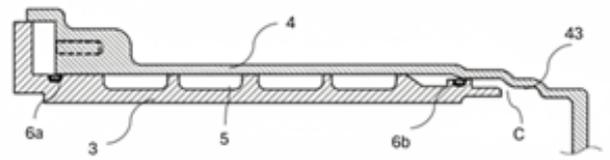


Fig. 2

## 発行人 (Issuer)

大曾根 竜也  
Tatsuya OSONE

CTO  
Chief Technology Officer

## 編集委員会 (Editorial Committee)

### 編集長 (Chief Editor)

山本 雅弘  
Masahiro YAMAMOTO

部品システム開発部  
Hardware System  
Development Department

### 副編集長 (Deputy Editor)

安井 健二郎  
Kenjiro YASUI

イノベーション技術開発部  
Innovative Technology  
Development Department

### 委員 (Members)

島田 秀一  
Syuichi SHIMADA

技術統括部  
Engineering Management Department

杉本 正毅  
Masaki SUGIMOTO

技術統括部  
Engineering Management Department

鈴木 義友  
Yoshitomo SUZUKI

技術統括部  
Engineering Management Department

道岡 浩文  
Hirofumi MICHIOKA

開発部門  
R&D Division

小野 山 泰一  
Taiichi ONOYAMA

開発部門  
R&D Division

鈴木 勝則  
Katsunori SUZUKI

開発部門  
R&D Division

村上 賢一郎  
Kenichiro MURAKAMI

開発部門  
R&D Division

市川 隆義  
Takayoshi ICHIKAWA

法務知財部  
Legal & Intellectual Property Department

渡邊 和宏  
Kazuhiro WATANABE

調達管理部  
Purchasing Administration Department

伊藤 洋次  
Youji ITOU

コーポレート品質保証部  
Corporate Quality Assurance Department

鈴木 圭介  
Keisuke SUZUKI

プロジェクト推進部  
Project Management Department

## ジャトコ テクニカル レビュー No.25

## JATCO Technical Review No.25

発行所 © 禁無断転載  
2026年3月  
ジャトコ株式会社  
イノベーション技術開発部  
〒417-8585  
静岡県富士市今泉 700-1  
TEL: 0545-51-0047 (代)  
FAX: 0545-51-5976  
編集 有限会社 BLUE CODE  
東京都世田谷区大蔵 6-14-14

March 2026  
Distributor Inovative Technology Development  
Department  
JATCO Ltd  
700-1 Imaizumi, Fuji City, Shizuoka  
417-8585, Japan

Copyrights of all articles described in this Review have been preserved by JATCO Ltd. For permission to reproduce articles in quantity or for use in other print material, contact the editors of the Editorial Committee.

## **ジヤトコ株式会社**

〒417-8585 静岡県富士市今泉700-1

TEL 0545-51-0047(代) FAX 0545-51-5976

**[www.jatco.co.jp](http://www.jatco.co.jp)**