

Jatco

JATCO TECHNICAL REVIEW

No.23

目次

巻頭言

技術と情熱でモビリティの可能性を拓ける	1
	高橋 哲哉

技術報告

～特集1：モビリティの可能性～

モビリティの取り組み	3
	米山 信行 山田 直弘
	岡本 宗幸 杉山 智哉
	津田 聡彦

中型風力発電機のナセル開発	10
	渡辺 聡 権田 友彦
	倉橋 嘉裕 前田 誠
	山本 毅

EVパワートレイン用小型48Vモータ巻線構造	17
	田中 大貴 諏訪林 明
	朝間 淳一

高速回転用歯車の鋼材料・工法開発	23
	小田 敏弘 加藤 豪
	前田 誠

～特集2：DX～

Smart Factory活動における設備信頼性向上の取り組み	27
	山口 泰祐 直野 隆寛
	伊藤 翔

高効率な生産現場の実現に向けたSmart Factoryの取り組み	31
	宮園 昌幸 椿 直樹

中長期サプライチェーンの予測・見える化	34
	上田 歩乃佳

欧州向け 世界初CVT用セーリングストップ開発	38
	中野 諭 篠原 到 篠原 史 李 善潁
MILSのシミュレーション時間低減による開発効率化への取り組み	43
	大嶋 歩 松永 賢太郎 金 ジェホ
トランスミッションユニットにおけるベアリング水素脆性剥離発生メカニズム	48
	丸山 博之 早川 和宏 豊原 耕平 征矢 啓 金山 義輝 佐々木 克明
ディファレンシャル装置における鋳鉄と炭素鋼との異材レーザー溶接	54
	西本 大地 津田 翔太 田淵 隆行 島田 秀一 鈴木 健史

商品紹介

日産自動車向け Sentra用 Jatco CVT-XS (JF023E) の紹介	58
---	----



技術と情熱でモビリティの可能性を拡げる

フェロー 高橋 哲哉

小学生の頃、初めて行った東京モーターショーで買ってもらった自動車ガイドブックをほぼ丸暗記して、ガードレールに腰掛け、通りを走り過ぎていく自動車の排気量や馬力を当てるのが好きでした。そして習いたての自転車に跨り、自らの力で見知らぬ街まで遠出することが、その頃の私には大冒険でした。

時は流れ、3歳になる孫は、おもちゃ箱をトミカや機関車トーマスで一杯にし、外に出れば車道や線路を歩き交う車や電車を指さしては嬉しそうに眺めている姿に、なんだか昔の自分を見ているようで、ほのぼのとした気持ちになります。

「Mobility (モビリティ)」とは、いうまでもなく自由な移動や交通手段のことを指し、人間の普遍的な欲望とも言えます。幼少期から成長するに従い、その行動範囲が広がっていきました。新しい場所に行き、異なる文化や環境に触れることで知識や経験が豊かになってきました。そして行く先々で、心に響いた感動の積み重ねこそが自らの人格形成に大きな影響を与えてくれたと我ながら回想しています。

100年に一度の変革期を迎えた自動車業界。持続可能なモビリティの実現には、2050年カーボンニュートラル目標達成と共に、循環型社会(サーキュラエコノミ)との両立も重要となってきており、ジャトコも全方位で新たな価値創造に取り組まなければなりません。

すなわちバリューチェーン全体を視野に入れたCO₂削減努力に加え、設計段階から材料や工法を工夫しリサイクルやリユースを容易にしていくなど、資源の再利用を前提とした循環プロセスへの転換が持続可能な企業にとって必須となってきています。そんな中、自動車用変速機の再生事業(リマニュファクチャリング)を通じ、根付いてきたジャトコにおける「MOTTAINAI(もったいない)」文化は、アドバンテージの一つだと思います。

一方、環境にやさしい移動手段と言われている電気自動車(EV)は、そのエネルギー源である電力構成を再生可能エネルギー(風力、太陽光発電など)にシフトさせていかなければカーボンニュートラルの達成は困難です。自動車用電動ユニットの開発生産に加え、持続可能なモビリティの実現に不可欠ともいえる再エネ事業にも、ジャトコはそのモノづくり力を活用し、積極的に参画していく必要があると考えます。

また電動自転車の普及など移動手段の多様化と共に、都市部の交通システムの改善として期待されているカーシェアリングやライドシェアリングプラットフォームの普及は個人所有の車を減少させ、リソースの効率的な利用を促進します。これにより車両寿命が延び、資源の浪費が減少する一方、車両管理や整備の簡素化など、アフターサービスの事業形態も大きく変わっていくはずであり、その分野においてもジャトコにおける自動車用変速機の市場品質保証のノウハウが活かすことができるでしょう。

モビリティを取り巻く環境は社会構造そのものの変革を生み、技術革新のみならず、バリューチェーン全体をとらえた新たなビジネスモデルへの発展にも影響を与えていくこととなります。

自動車用変速機のグローバルサプライヤとして成長してきたジャトコは、今まで培われてきたモノづくり力を活かし、こういった変化に迅速且つ柔軟に対応し、持続可能なモビリティの実現に貢献していくことが必要です。

ジャトココーポレートパーパス「技術と情熱でモビリティの可能性を拓ける」のもと、人間の普遍的な欲望を満たしつつ、社会や環境への影響も考慮しながら、子供たちの豊かな人生と未来の夢の実現につなげていきたいですね。

モビリティの取り組み

米山 信行* 山田 直弘** 岡本 宗幸** 杉山 智哉** 津田 聡彦**

抄 録

100年に一度の変革期と言われて久しいが、そのような環境下で、モビリティの取り組みとして、ジャトコはどんな考えを持って、何をしていくべきか?その考えに基づき、どんな取り組みをしているか?について紹介する。

1. 環境変化とジャトコが狙う方向性

昨今、持続的な世界に向けて、「環境、社会、経済・企業」といった視点での取り組みがグローバルに求められており、特に製造業に位置づけられる企業においては、カーボンニュートラルとサーキュラエコノミに対して、大きな責任を持つことが重要になってきた。

次に現実世界へ目を向けると、各国・地域内における経済優先の動きや、材料・エネルギー政策による個別の独自トレンドが形成されており、また自動車市場においては、電動化はもちろんのこと、自動車（モビリティハード）自体よりも、それを使った体験といった新しい価値にシフトしつつある。そのような環境変化の中、ジャトコとしては、

- サステナビリティへの貢献
- 安定した域内サプライチェーン
- 新たな価値創出
- 電動化対応

といった課題や要求に応じていく必要があると考える。

それらに対し、コンベンショナルの時代に培った、

- コンポーネントとシステムデザイン
- 生産技術
- グローバル生産やアフターサービス

といったジャトコの強みをいかすことによって、先に述べた社会問題や将来に向けた自動車市場への貢献に取り組んでいく必要があると考える (Fig. 1)。

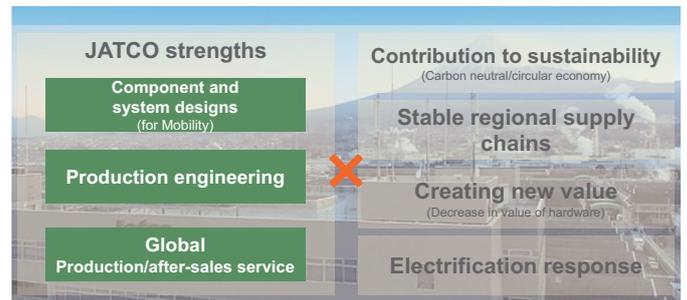


Fig. 1 Directionality aims of JATCO

2. ePT 技術動向と取り組み

自動車市場における電動化時代においては、単にCVTに代表されるトランスミッションをe-Axleに置き換えての企画・開発・生産・販売を進めるのではなく、前述のジャトコの強みをいかし、ニーズである新たな価値創出を考えていく必要があるため、幾つか紹介する。

コンベンショナルの時代は燃費改善のため、トランスミッションの効率向上やエンジンの動作点の最適化といったアプローチをCVTで実現してきたが、ePTになると、e-Axle自身の効率は既に高く、大きな向上代は見込めない。

一方で熱として捨てられてしまうエネルギーが大きく、バッテリーに蓄えられた限りある電気エネルギーを効率良く使い、電気自動車の懸念である航続距離を伸ばすため、車両階層レベルでのエネルギー効率の改善が重要になってくる。

そこでジャトコもe-Axleにとどまらず、Vプロセス上流に当たる、エネルギーマネジメントの領域まで含めた技術開発に拡大している。

またe-Axleにフォーカスすると、小型軽量化というのは

* イノベーション技術開発部 ** 新規事業推進部

トランスミッションの時代と変わらずに求められているため、モータの高回転化と、ジャトコの培ったギヤ技術をいかした高減速比化での小型化を狙っている。

このように車両階層まで含めたePTの競争力向上に取り組んでいるが、ハード自身の価値低下に伴い、モノの売り切り事業だけでなく、サービス事業への拡大も重要になってきている。

そこで市場データを活用したサービス性向上を狙ったカスタマエクスペリエンス (CX) や、ドライバの状態を検知し走行性能へ反映するといったユーザエクスペリエンス (UX) の技術といった新たな分野にもチャレンジを行っている。

3. 新事業への取り組み

ここまで自動車を軸に着目してきたが、大きな環境変化に伴い、従来、自動車単体で完結していたバリューチェーンが、Big Dataやインフラといった大きなバリューチェーン (Fig. 2) の一部として、最近ではモビリティという表現で組み込まれてきているので、その新しいバリューチェーンの中で、ジャトコは、どういった事業にチャレンジしていくか?ということが重要になってきている。



Fig. 2 Changes in value chains

一方、新しいバリューチェーンに飛び込む際には、前述のように何が自分たちの強みで、どこに着手することによって、ジャトコの強みは増し、成長し続けていけるか?といった、コンピテンシやアセットのサイクル設計を行っていく必要がある (Fig. 3).

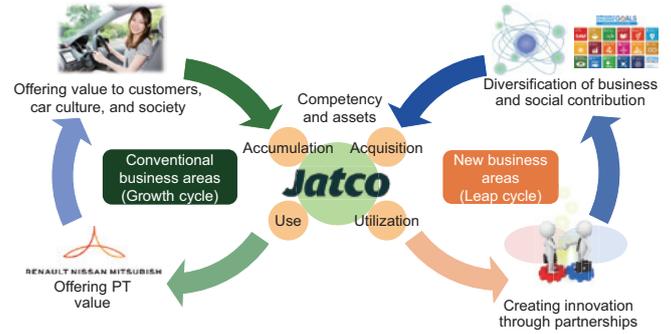


Fig. 3 Competency and asset cycle

このように、バリューチェーンの変化とジャトコのコンピテンシ・アセットを組合せ、どういった事業Pathを取るか?という事業設計が大事になる。そこで、

- 生活を支えるクリーンなエネルギーと供給を実現
 - 環境に優しく快適な安心なモビリティと移動の実現
 - 未来の社会の可能性を広げる部品やシステムを提供
- といった、ジャトコが考える大きな将来像、事業Pathを描き、強みをいかせる新規事業チャレンジを行っていく (Fig. 4).

エネルギーで言えば、電気自動車の部品再利用を含めた風力発電の実現。モビリティで言えば、電気自動車のe-Axleや電動自転車のドライブユニットに相当する。そして、それらを実現する部品とシステムを提供していくという姿である。

では、次から個々の商品に関して述べていく。

4. モビリティの取り組み

4.1 中型風力発電機向けナセル

RE100宣言企業やカーボンニュートラルを目指す自治体を中心に、再生可能エネルギーを自家消費する動きがある。また、2018年9月6日に発生した北海道胆振東部地震にともなう国内初の全域停電「ブラックアウト」を経験したこともあり、地域防災の視点や、離島や過疎地における送電インフラの合理化の観点から分散型電源が注目されている。これらの電源は比較的生活圏に近い場所に設置される。そのため、ジャトコは社会受容性の高いと考えられる中型風力発電機用のナセル開発を行っている。

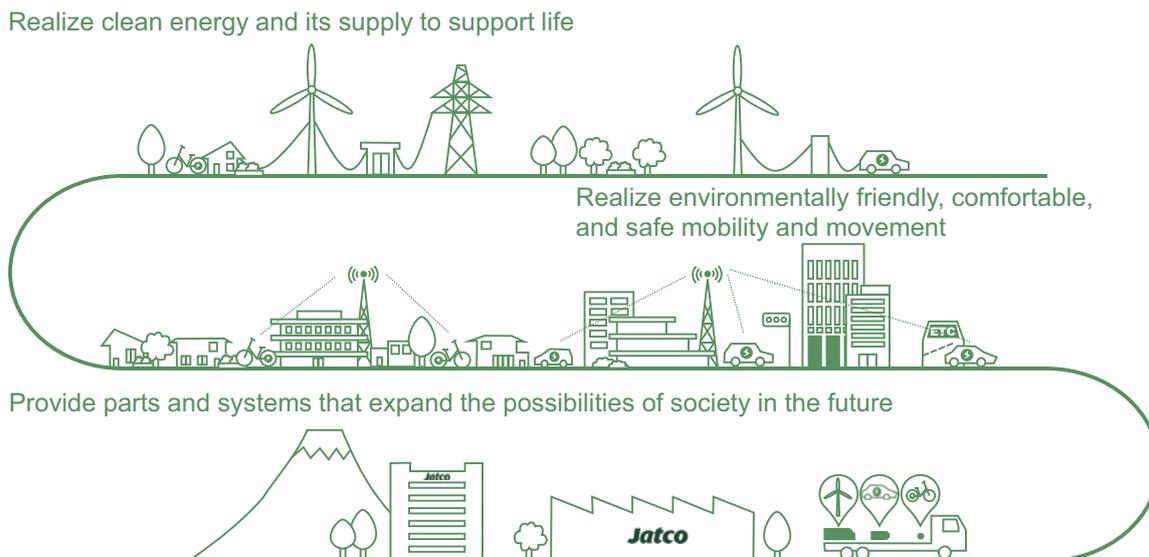


Fig. 4 JATCO's vision for business in the future

事業目的・価値

電気自動車のモータを、ジヤトコが得意とするギヤ(増速機)と組み合わせることで中型風力発電機の発電機として転用することを可能とし、低コスト化、高信頼性で社会受容性の高い風力発電機を実現。前述した企業や自治体のカーボンニュートラルや地域防災に貢献し、更に部品転用では、中古電気自動車から再利用することでサーキュラエコノミに貢献する (Fig. 5).

本事業は、このように昨今の社会課題の解決に貢献するとともに、我々のパーパスであるモビリティの可能性を拓ける。

製品概要 (ナセル)

風力発電機は、大きく分けるとブレード、ロータ、ナセル、タワーで構成される。風を受けたブレード

はロータを回転させ、ナセルはこの回転を電気に変換する。ジヤトコはこのナセルを担当する。

ナセルは、ロータ回転を受け入れる主軸、発電機に増速した回転を伝える増速機、回転エネルギーを電気に変換する発電機、その他、メンテナンス時等に回転を防ぐ主軸ブレーキ、風向きに合わせて風車の方角を変えるヨー機構、これらを載せるナセルベースで構成される。

今回のナセルのコンセプトは自動車部品の転用による低コスト化と高信頼性の確保であり、電気自動車のモータを発電機へ転用すること、ジヤトコが風力発電機用に開発する高増速比のギヤを採用することで、これらを実現している。その他、発電機の冷却システムやブレーキ等も自動車部品の転用を計画しており、それらは中古車からの部品転用も計画している。

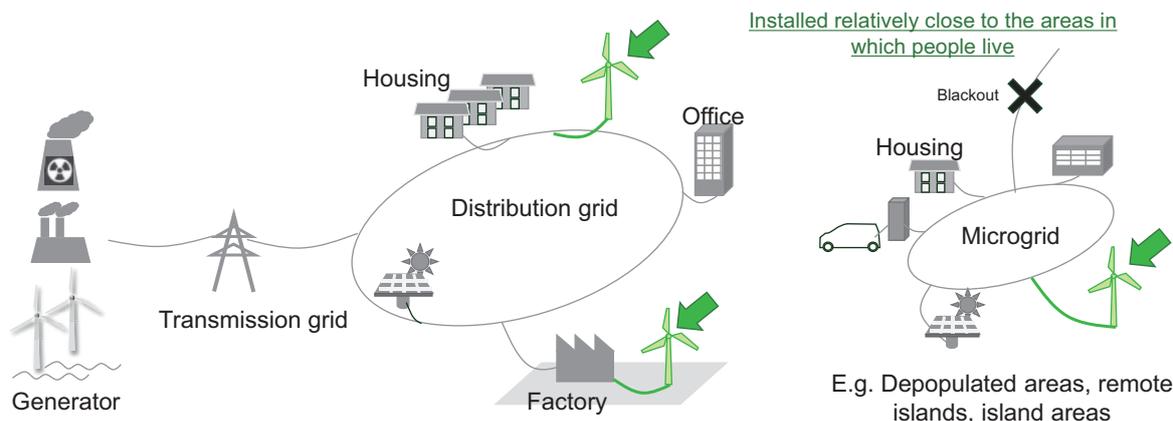


Fig. 5 Assumed markets

現状及び今後の展望

現在は、2023年3月に建てたプロトタイプ1号機 (Fig. 6) による検証と、2025年度の販売開始を目指し、更なる軽量化、低コスト化に取り組んでいる。今後は、2025年度販売開始 (新規事業開始) の実現、販売機での実地検証を目指す。

なお、今回の開発は、これまでの我々の製品開発とは異なり、販売までに開発を終わらせるのではなく、販売した実機からデータ取得するなどして、実地・実機で検証・開発を行う。



Fig. 6 Prototype No. 1

4.2 電動アシスト自転車向けユニット

数あるモビリティの中でも、移動距離に対するCO₂排出量が少なく、年齢を問わず幅広いユーザが比較的長い距離を移動できる手段として電動アシスト自転車が注目されている。ジヤトコは、電動アシスト自転車向けに、ドライブユニット及び、スマホアプリ開発を実施している。

事業目的・価値

ジヤトコが得意とするギヤ・変速技術をいかした変速機構とモータを組み合わせた一体型ユニットにより、電動アシスト自転車のデザイン及び、利便性の向上を図る。またスマホアプリとの組合せにより、運転の楽しさ、安全の価値を提供する。

本事業は、ジヤトコ技術の貢献領域の拡大と、ハードウェアのみではなく、ソフトウェアによる付加価値創造を目的としている。また、富士市との連携による、自転車を活用した地域課題の解決にも貢献しながら、サービス事業へのチャレンジも模索している事業である (Fig. 7)。



Fig. 7 Creating new values through units (hardware) + software

製品概要 (ユニット)

本製品は、モータアシスト機能及び、変速の機能を一体化した2in1ユニットである。3段変速を有する一体型ユニットは従来にない業界初の製品となる。従来製品のようにユニットをペダル軸に搭載する必要がないため、ペダル周りがスッキリ見えることで、自転車のデザイン性向上や、チェーン駆動のみならず、ベルトドライブ駆動の選択肢を持つことが可能となり、多様なユーザーニーズに対応できる (Fig. 8)。

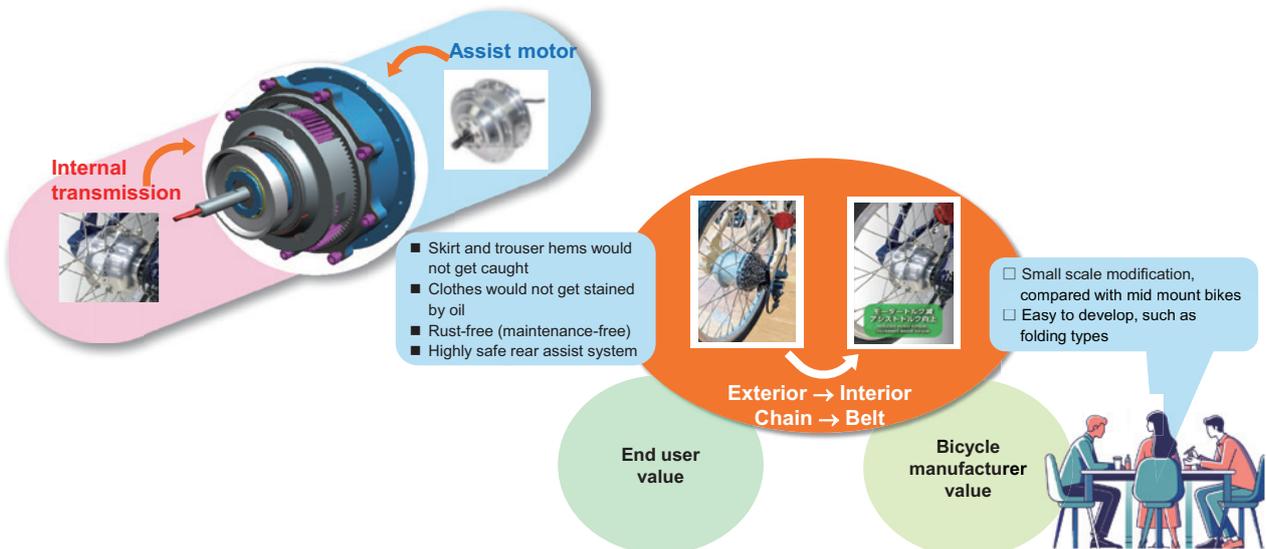


Fig. 8 Unit overview and customer values

製品概要（スマホアプリ）

ソフトウェアによる価値向上としてスマートフォン向けアプリの開発も実施している。アプリによる具体的な価値向上として、以下のようなエンドユーザの「楽しさ」「健康」「安全」の価値につながる製品を開発している。

- 乗心地をエンドユーザの好みにより可変（アシスト力調整する機能）
- 脂肪燃焼モード設定（ユーザの心拍数を脂肪燃焼に最適な数値となるようにアシスト力を自動調整する機能）
- 自転車事故多発エリアや、見通しの悪い交差点での危険アラーム（自治体との連携によるデータ活用）

ユニット（ハード）のみならず、スマホアプリ（ソフト）との組合せにより、ユーザ付加価値を創出する。

現状及び、今後の展開

現時点、国内外を含むお客さま数社とコミュニケーションを取りながら、ユニットの共同開発を実施している。スマホアプリに関して、お客様の求めるインターフェイスや機能の作り込みを共同で実施し、FY24末には、お客さまとの事業開始及び、市場投入を計画している。

製品概要（ユニット）で紹介したユニットの仕様は、第一世代として、市場への先行投入及び、市場を学ぶ位置づけのモデルであり、自転車のリアフレーム幅が広いタイプの自転車に搭載が可能であるが、シティサイクル（いわゆるママチャリ）への搭載は不可のサイズとなっている。そのため、シティサイクルにも搭載が可能となる第二世代のユニットの先行開発も実施している。第一世代の市場での学びを第二世代につなげることで、より多くのユーザへ価値を提供する。第二世代の市場投入は、FY26以降を計画している。

4.3 コンバージョンEV

コンバージョンEVは、持続可能な社会への要求である資源循環や脱炭素といった社会課題を解決するアイテムの1つとして期待される。ジャトコは電動

パワートレインメーカーとして、コンバージョンEVの事業化検討も進めている。

事業目的・価値

本事業は、ジャトコの重要課題（マテリアリティ）の1つである「持続可能な地球環境への貢献」に関連する事業である。コンバージョンEVは、既存のガソリン車を電気自動車に改造し、CO₂排出量の削減と資源再利用を実現する。この取り組みは環境に配慮した選択肢として注目され、新しいEVを購入するよりもコストを抑えつつ、性能向上をもたらす。日本においては、3R (Reduce, Reuse, Recycle) の取り組みを基盤として循環経済への移行が進行中であり、これは企業の事業活動の持続可能性を高めるために必要不可欠である。また、欧州では、メンテナンスやリユース、リサイクル、改装、修理、中古品販売市場の活性化による雇用創出が注目されている (Fig. 9)。

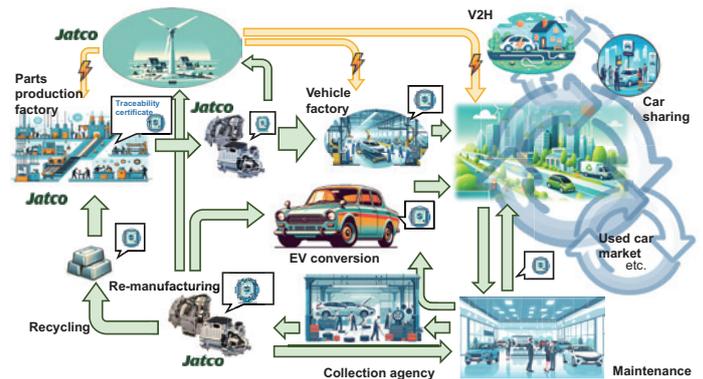


Fig. 9 Conceptual drawing of recycling-oriented society

製品概要

ジャトコのEVコンバートユニットは、トランスミッションを使用していることが特徴の一つである。変速機を利用することで、より小さいモータで高いトルクを発生することが可能となる。これにより、レアメタルの使用を抑え、地政学的リスクを減少させることができる。

現状及び今後の展望

成長志向型の資源自律経済の確立は、循環型経済において大きな課題であり、コンバージョンEVの取り組みでも、事業性の確保は課題である。特に求め

られるコストや持続可能とする市場形成の課題が大きく、サービスやソフトウェアも含めた技術開発並びに、パートナー形成を進めていく必要がある。

4.4 移乗機構付き車いす

移乗機構付き車いすは、ジヤトコのモノづくり力をいかした今後の社会問題の解決、自動車業界以外への異業種参入をテーマに3年前に着想。現在まで、原理試作、実際の介護現場のVOC取得等を重ね、商品化に向けて取り組んできた。

事業目的・価値

今後ますます加速する高齢化社会において、介護の分野でジヤトコのモノづくり力をどうかすか、の議論からこの商品の着想は生まれた。

介護の世界で一番の重労働は、高齢者をベッドから車いす、車いすからベッドへの移動を介助する移乗作業である。この移乗作業があるために、介護士の8割以上が腰痛に悩まされていると言われており、また移乗の動作は高齢者と体を密着させ抱きかかえる動作であることから、セクシャルハラスメントも潜在的な問題であった (Fig. 10)。

これらの問題を抱える介護士の心身の負担を軽減するとともに、使用する高齢者が、安心・安全に身を任せられるような介護機器を、モノづくりの現場で培った改善力とCVTで使われている高度な制御システムを活用し、ジヤトコはこれを実現しようとしている。



Fig. 10 Physical burden using transfer assistance

出典：「職場のあんぜんサイト」(厚生労働省)

製品概要

移乗機構付き車いすは、“移乗”と“移動”の機能が1台にパッケージされた画期的なモビリティである。その機能は、前方部にある移乗機構部でベッド

に座っている高齢者の腰を浮かせ、いすの座面をセットすることで車いすに着座。そのまま車いすで移動が可能なモビリティである。

移乗機構は2つのアクチュエータの動作の組み合わせで、高齢者の身体的負担が少なくなるような立ち上がり、着座軌跡を導き出し、その軌跡をロボット制御で可能としている (Fig. 11)。



Fig. 11 Transfer mechanism motions

現状及び今後の展望

現在、第3世代の試作機を富士市の介護施設様のご協力で高齢者の方に体験いただき、施設様の期待も大きいですが、実際に使っていただくためには、コンパクト化やコスト削減など課題も多い。

それらの課題を解決し、お客さまの声を反映してよりよい商品にしていくことに注力したい。商品を出場に出すことを優先して、市場投入はFY24を計画している。

4.5 部品への適用

ジヤトコは電動化ユニットはもとより、電動化をターゲットにした部品開発にもチャレンジしている。

EVパワートレイン用小型48Vモータ巻線構造

近年のカーボンニュートラルへの取り組みにより、車両の電動化の必要性が高まっている。同時に、電動車両のコスト上昇も抑えなければならない。

コスト削減のために低電圧システムを考慮すると、目標の出力を達成するには大電流が必要になる。大電力・低電圧システムを実現するため、48Vシステムを例に検討した。

ただし、低電圧方式のため、モータの高出力化に必要な大電流に対応できるモータの巻線構造には十分な注意が必要である。今回の開発プロジェクトでは、トランスミッションと組み合わせてモータ並列

巻線構造を採用し、十分な抑制効果を発揮し、モータの大型化を抑制することにより車両への搭載を可能にした。

高速回転用歯車の鋼材料・工法開発

e-Axleは、車両の空力性能や衝突安全性等の観点から小型化が要求されている。

e-Axleを小型化するには、モータの小型化が必要になる。そのため、高速回転化によって小型化によるトルク低下分を補い、出力を確保する。

モータ高速回転化により減速機歯車も高速回転となるため、潤滑が不十分となり貧潤滑環境になることが考えられる。貧潤滑環境では、摺動面の金属接触部が増加するため、焼付きの発生が懸念される。

そこで、既存の耐焼付き手法に対し、安価な歯車の焼付き対策法を開発した。

以降、具体的な事例として、以下について報告する。

- 1) 中型風力発電機のナセル開発
- 2) EVパワートレイン用小型48Vモータ巻線構造
- 3) 高速回転用歯車の鋼材料・工法開発

■ 著者 ■



米山 信行



山田 直弘



岡本 宗幸



杉山 智哉



津田 聡彦

中型風力発電機の本セル開発

渡辺 聡* 権田 友彦** 倉橋 嘉裕*** 前田 誠** 山本 毅****

抄 録

カーボンニュートラル，サーキュラエコノミなど環境負荷軽減に向け，地域でエネルギーを地産地消すること，およびリユース部品を活用し新たな価値を創出することが重要である．その実現方策として，自動車部品を転用し配電網に接続可能な中型風力発電機の構想がある．このたび，環境省の実証事業に参画し，社会課題の解決に貢献するため，国産初となる中型風力発電機の本セル開発に着手した．

1. はじめに

再生可能エネルギーの需要が高まる中，分散型電力普及や過疎地インフラの投資抑制のため，自家消費型電源を想定し，配電網に接続可能な発電出力50kW台の中型風力発電機の構想がある⁽¹⁾．これは，EVと同等の出力であり，そのシステムは増速機と発電機によって構成される．当社も電動PT領域に進出しており，このコア技術を活用し，自動車部品を転用することで，安価で高品質な構成部品を短期間で提供することを狙う．

2. 中型風力発電の本セル開発概要

2.1 開発コンセプト

前述のとおり自家消費型電源を想定し，発電出力は日本国内の低電圧配電網に接続可能とされている50kWとした．サイズは事業所の敷地に適した規模 (Fig. 1) とし，価格も一事業主が経済的に運用可能なレベルに設定した．また，風車が生活圏に設置されることを考慮し，騒音問題とならないように静粛性も確保することとした．さらに，コストと環境負荷低減を両立するため，自動車部品をリユースし，循環型システムを築くことにした．

2.2 中型風力発電機の仕様概要

実施例として，実際に制作した実証機の主要諸元を以下に示す．

1) 風車概要

-定格出力：50kW (目標，主軸定格回転数60rpm)

- 定格風速：11m/s
- カットイン-カットアウト風速：3.0 - 25.0m/s
- タワー高：18.9m
- ロータ直径：18.2m

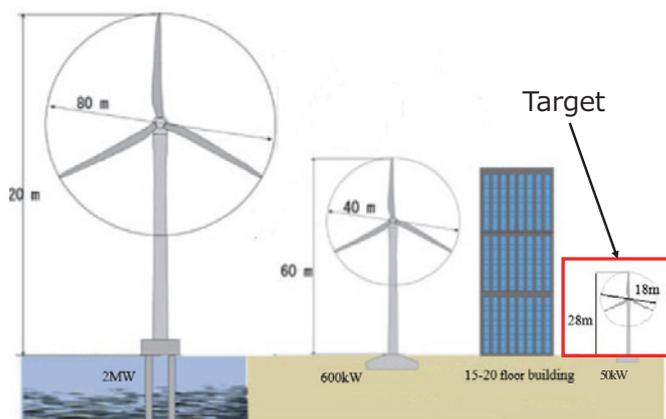


Fig. 1 Power generation and wind turbine size

参考に，風力発電機の性能を理解する上で一般的な出力特性の定義をFig. 2に示す．

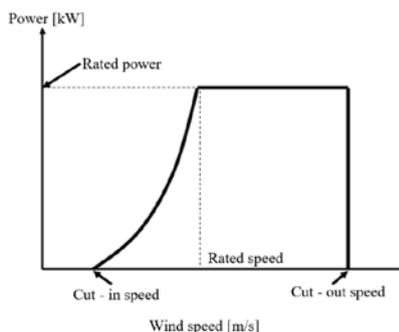


Fig. 2 Power curve of wind turbine

* 部品システム開発部 ** イノベーション技術開発部 *** 制御システム開発部 **** プロジェクト推進部

2)ナセル概要 (Fig. 3)

- 発電機 : 機電別体タイプ (市販車転用)
- 増速機 : 平行5軸式
- 冷却装置 : 水冷制御式(市販車転用)
- 主軸ブレーキ: 無励磁作動 ドラムブレーキ
- ヨー制御装置: 三相駆動モータ式 ブレーキ付
- ナセルサイズ: L 4.4×B 2.2×H 2.4m
(カウル抜 L 3.0×B 1.7×H 1.2)
- ナセル質量 : 5,212kg

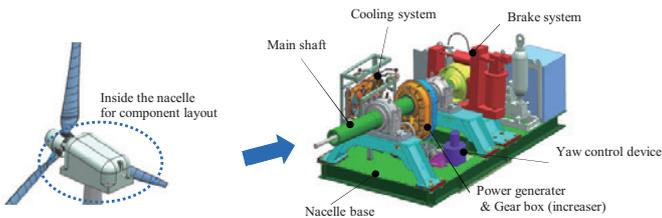


Fig. 3 Inside the nacelle

3. 開発プロセスと主要技術

3.1 開発プロセス

この開発プロセスに当社がこれまでに築き上げたシステムズエンジニアリング (以下SE) を応用することにした。SEを適用することで、当社では未経験である風力発電用ナセルという新しい開発対象においても、サブシステム、ナセル、風車と各システム階層の要求のつながり、機能、構成部品を漏らすことなく設計することが可能となる。また、V字プロセスの評価体系を構築し、各階層において検証企画を立案することで、大型の設備を導入することなく、効率的に実験検証を可能にする。

具体的な実施例と主要技術について次節以降で紹介する。

3.2 ハードシステム設計

上位の風車システムからナセルシステムへの要求をユースケース図により分析した (Fig. 4)。前述の通り、自家消費型電源としての発電出力と、環境負荷低減を実現するため自動車のモータ・インバータのリユース品活用が本開発において重要であることがわかる。

次に、ナセルの機能・構成要素を漏れなく抽出し、各要素の設計上必要な前提条件を決定するため、市販されている小型風力発電機を基に、ナセルシステムが担う主要な5つの機能と、構成要素、周辺要素との物理量のIN-OUTをコンテキスト図にて明確にした (Fig. 5)。

- 【機能1】 発電する → 発電増速機
- 【機能2】 回転する → 回転機構
- 【機能3】 主軸を停止する → 主軸ブレーキ機構
- 【機能4】 発電性能を維持する → 冷却機構
- 【機能5】 状態を監視・通信する → 冷却系コントロールユニット

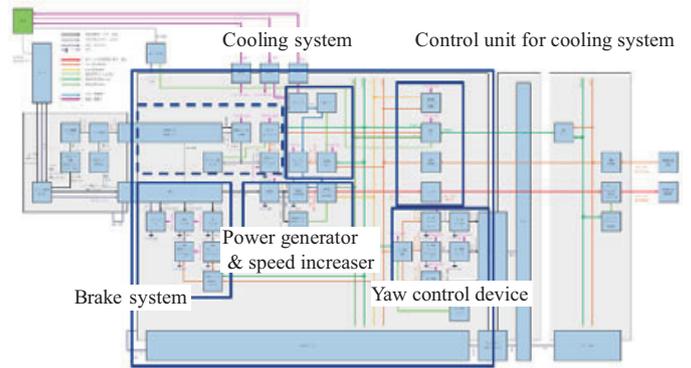


Fig. 5 Context diagram

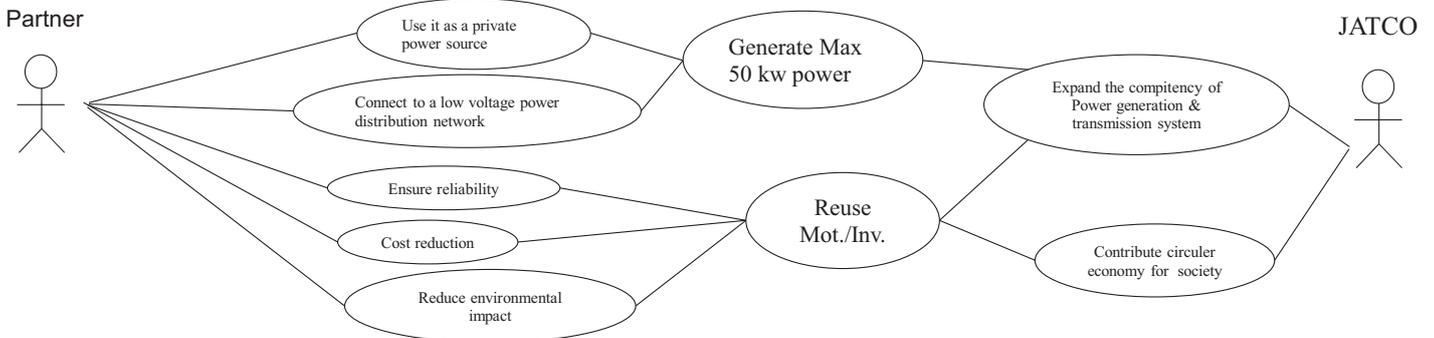


Fig. 4 Use case diagram for wind turbine system

その上で各要素の要求を定義し、目標値を割り付け、詳細な設計を実施した。主要なコンポーネントとして発電機には回生出力が目標値に近い市販車のモータ・インバータを転用した。また、静粛性確保のため主軸回転は60rpmとし、増速機のギヤ比102.8とすることで、モータを最大効率で運転できるように設計した。こうして設計された発電増速機の仕様をTable 1, Fig. 6に示す。

Table 1 Function and specifications for wind power

Request (R)	Function (F)	Specifications (L)
Generate electricity	Generate electricity	Motor regeneration output *Kw Voltage 240~400V
	Transmit power (Determine the motor operating point)	Speed increase ratio 102.8
	Transmit power (Ensure reliability)	Spindle maximum input torque 7,958 Nm
		Spindle maximum speed 70 rpm
Ensure quietness (Main shaft speed 60rpm)	Reduce transmission loss	Transmission efficiency *%
Operate continuously	Control inverter water temperature	Water cooling mechanism (for commercial vehicle use)
	Lubricate gearbox parts	Built-in electric pump

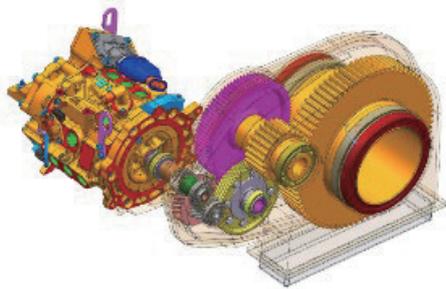


Fig. 6 Exterior of power generator & increaser

こうして設計された本セルシステムは、約130点の部品群で構成され、自動車および産業機器を参照し、本中型風力発電機の本セル開発コンセプトを実現する転用設計を多数施した。実証機における部品転用割合は約3割を占めたが、量産化に向けて、さらに転用率の向上が期待できる (Table 2)。

Table 2 The reuse rate of automotive parts

	Prototype	Mass production	
Nacelle ASSY	29%	Approximately 40%	
Power generator & increaser	38%	Approximately 50%	
		Motor	←
		Inverter	←
		Lubricating oil pump	←
		Sensor	←
		Lubricant fluid	←
Nacelle system	12%	16%	
		O-rings, etc.	
		Cooling system	←
		Coolant	←
		Sensor	

3.2 制御システム設計

風力発電機全体のシステムのうち、当社は発電機の維持管理のために以下の(1)~(4)の制御を担当した。

- (1) 発電機の水冷補機の作動量制御
 - (2) 増速機の潤滑量制御と温度監視
 - (3) 上位指令に基づく補機類の起動/停止制御
 - (4) 異常状態検知時、上位システムへ停止を要求
- 制御開発範囲をFig. 7に示す。

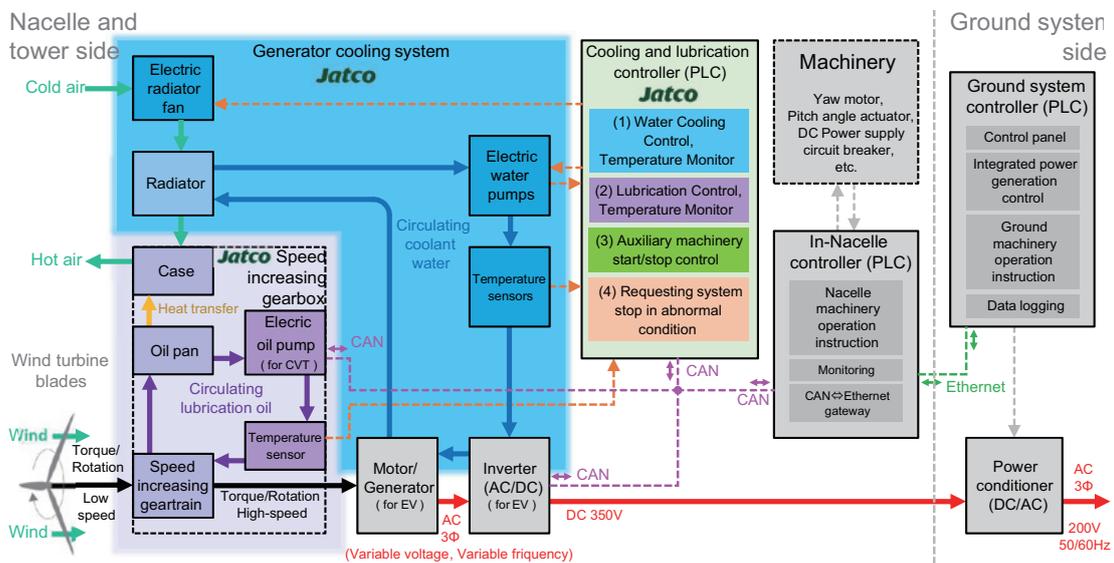


Fig. 7 Concept block diagram

風力発電システムは当社として未知の分野であり、また共同開発先である風力発電機メーカーも自動車とは異なる文化圏であったため、要求仕様の明確化と齟齬のない共有が重要な課題であった。そこでタイムチャート等のSEのツール群を用いることで、社内外での仕様の共有を図ることができた。共同開発先と制御仕様を合意した時のタイミングチャートの一例をFig. 8に示す。

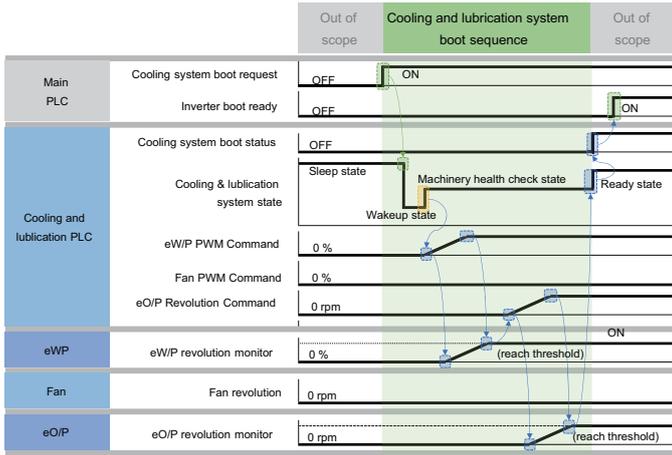


Fig. 8 Timing chart

制御開発プロセスとしては当社で標準的に採用しているModel Based Development (以下MBD) プロセスを採用した。これにより社内の制御モデルライブラリの活用と制御開発担当者の流動的な割り当てが可能となる他、実機ハードウェアが未完成の段階からModel In the Loop Simulation (以下 MILS) や Hardware In the Loop Simulation (以下 HILS) で検証のフロントローディングが可能となるといったメリットがある。

今回は産業向け汎用コントローラであるProgrammable Logic Controller (以下 PLC) を採用したが、PLCには当社標準のC言語ベースでのMBDの開発環境が整備されていなかったため、今回PLC向けMBD環境の構築とPLC実装用のベースソフトウェアの内製開発を行った。PLC向けMBD環境とソフトウェア構造の概要をFig. 9に示す。

また、MBDプロセスにより実際に開発された制御モデルのコア部をFig. 10に示す。本図には入出力などの処理を割愛したコアアプリケーション部のみを示しているが、Fig. 7に準じた機能配置となっていることがわかる。

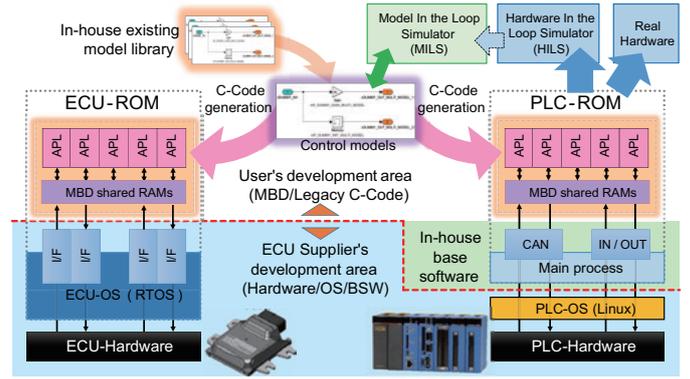


Fig. 9 Overview of MBD development environment and software structure

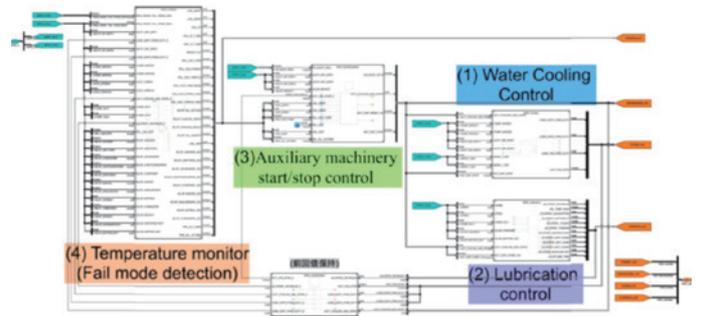


Fig. 10 Control model diagram (core part)

MILS検証においては、このコア部にプラントモデルを接続した形で早期に動作検証を実施し、続くHILS検証では並行開発していたPLCのベースソフトウェア部や通信・入出力モデルと結合して実行形式にまとめ、実機PLCを用いた検証を行った。これにより想定されるセンサ/アクチュエータの挙動範囲において制御が問題なく動作することを実験供試前に確認できた。

これらPLCへのMBD適用とMILS/HILS運用により、既存モデルライブラリの活用、流動的なチーム編成での開発、検証のフロントローディングによる開発期間の圧縮を図ることができた。さらに副次的な効果として、社内の生産設備でのPLC制御開発においても、MBD適用や自動車向け制御モデルライブラリを転用した開発スキームの礎を築くことができたと考えられる。

3.3 実験検証

実験検証も設計と同様に自動車開発プロセスで用いられるV字プロセスを適用した。各工程で課題を検出し、対策した上で次の工程に進む手順を踏むため、後工程で課題が検出されるリスクを抑えることができた。今回、工程をサブシステム、ナセル、風車の3つに区分し、各工程で要求仕様に対する検証を実施した。

各工程と主な検証項目の関係をTable 3に示す。

始めにサブシステムにて検証を行った。サブシステムは、発電機と増速機を組み合わせた状態で、発電容量、冷却水及び油温度など風車の基本的な性能と信頼性検証を行った。

次に、ナセルにて検証を行った。ナセルは、発電機及び増速機と周辺ユニットを組み合わせた状態で複合的に動作させ、相互干渉による影響や起動・停止シーケンスなどの機能検証及び信頼性検証を行った。そして最後に風車の状態で総合的な性能、機能、耐久信頼性の検証を現在も行っている。

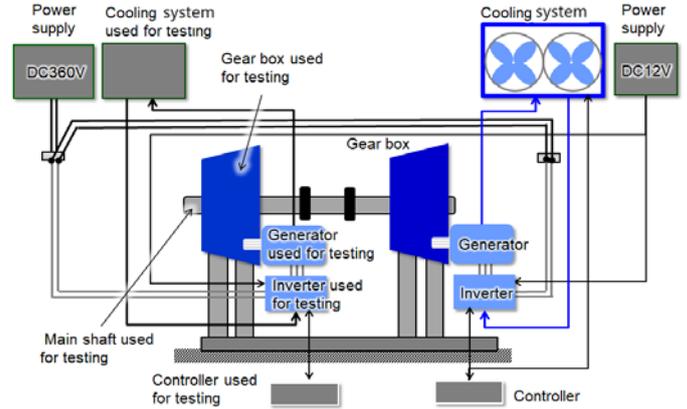


Fig. 11 Test system of sub-system

次にナセルの検証システムをFig. 12に示す。ナセルは、主軸とその周辺ユニット及び、旋回用ユニットなど複数のユニットが組み合わされている。しかし、風車のロータが設置されていないことにより、風などの外力で主軸を回転させ検証を行うことができなかったため、発電機を駆動機として動作させた。その結果、相互干渉による影響及び起動・停止シーケンスなど機能検証などを行うことができた。

Table 3 Relation between each process and testing items

Process	Performance verification	Functional verification	Reliability verification	Durability verification
Sub-system	○		○	
Nacelle		○	○	
Wind turbine	○	○	○	○

ここで、サブシステムの検証システムをFig. 11に示す。サブシステムにて発生する最大トルクは約8,000Nmにも達するため、自動車に搭載されるコンポーネントを検証する既設の設備では対応することができない。しかし、検証するために新規に設備を導入した場合、高額な導入コストが発生するとともに、長納期による開発日程への遅れが懸念される。このため、本検証において2つの試作機を連結し、1つを駆動用として使用し、他方を発電用として使用する検証システムを製作した。この結果、検証システムの導入コストを大幅に低減することが可能となり、更に開発日程に影響を及ぼすことなく、検証を行うことができた。

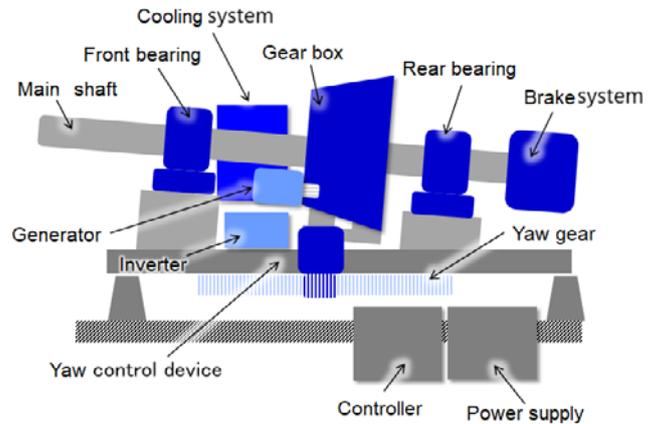


Fig. 12 Test system of nacelle

4. 検証結果

サブシステム、ナセルの検証結果の一部をTable 4に示す。Table 4より、各検証で要求仕様を満足した。

Table 4 Testing results

Process	Items	Verification results
Sub-system	Rated power	○
	Rated speed	○
	Rated torque	○
	Efficiency	○
	Maximum coolant temperature in generator	○
	Maximum oil temperature in gear box	○
Nacelle	Sequence operation of start-stop	○
	Rotating operation of main shaft	○
	Operation of brake mounted on main shaft	○
	Yaw turning operation of nacelle	○

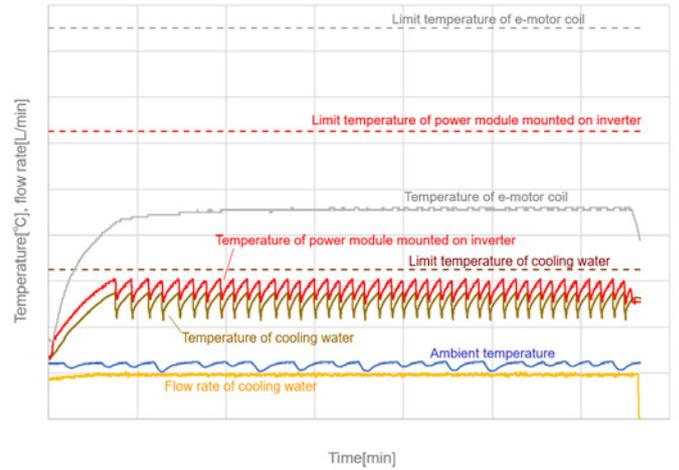


Fig. 14 Temperature testing result

こうして実機試験用に製作されたナセルを実証実験用の風力発電タワーに組み込んだ。ナセルをFig. 15に、風力発電機をFig. 16に示す。

ここで、風車性能の主な指標となる発電機と増速機の効率検証結果をFig. 13に示す。増速機に適切なギヤ比を設定することで、自動車用モータの効率の良い領域を使用することが可能となり、良好な発電効率を実現できていることがわかる。

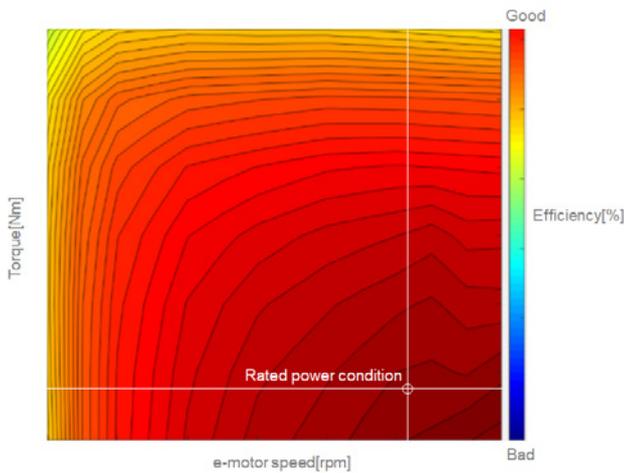


Fig. 13 Efficiency testing result

次に、連続運転時の温度評価結果をFig. 14に示す。今回、ラジエータなど自動車用冷却装置を風車に適用するため、新たな制御ロジックを織り込んだPLCをナセルに搭載しているが、モータ温度、インバータ温度共に許容範囲を下回り、風車として要求される長時間の連続運転においても問題ないことが検証できた。

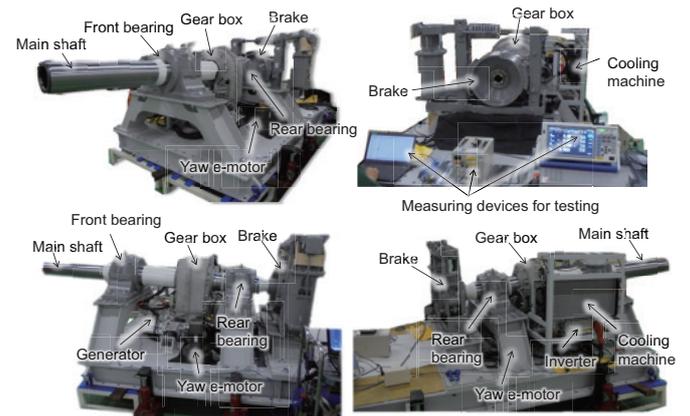


Fig. 15 Nacelle used for testing



Fig. 16 Wind turbine generator

5. まとめ

環境省受託の国産初50kW風力発電用ナセル開発に挑戦し、実証機の試作を完了させた。自動車部品を多数転用することで、開発期間の短縮、コスト低減の見込みが立った。特に、発電機に市販車のモータ、インバータを使用し発電性能および信頼性を実機検証できた。これにより、自動車部品の転用可能性を確認できた。AT、CVTの開発を通して当社が築いてきたSEは本開発にも有効である。

6. あとがき

今後、ナセルシステムにバッテリーを接続し、発電から充電、そして給電の電力を制御する技術(電力マネージメント)に挑戦していく予定である。この技術を習得すること、つまりモータ、インバータ、減速機とバッテリーを繋ぎ意のままに動かす(EVを動かす)ことにより、システムサプライヤ(Tier 0.5)としての展望が開けることになる。

7. 参考文献

- (1)ゼファー株式会社：地域共創・セクター横断型カーボンニュートラル技術開発・実証事業(低圧風力発電機に関する技術開発・実証)委託業務報告書(2024年発行予定)

■ 著者 ■



渡辺 聡



権田 友彦



倉橋 嘉裕



前田 誠



山本 毅

EVパワートレイン用小型48Vモータ巻線構造

田中 大貴* 諏訪林 明* 朝間 淳一**

抄 録

近年のカーボンニュートラルへの取り組みにより、車両の電動化の必要性が高まっている。同時に、電動車両のコスト上昇も抑えなければならない。

コスト削減のために低電圧システムを考慮すると、目標の出力を達成するには大電流が必要になる。大電力・低電圧システムを実現するため、48Vシステムを例に検討した。

ただし、低電圧方式のため、モータの高出力化に必要な大電流に対応できるモータの巻線構造には十分な注意が必要である。今回の開発プロジェクトでは、トランスミッションと組み合わせてモータ並列巻線構造を採用し、十分な抑制効果を発揮し、モータの大型化を抑制することにより車両への搭載を可能にした。

本稿では、モータの並列巻線構造を実現するために適用した技術について説明する。

1. 目的

近年のカーボンニュートラルへの取り組みにより、車両の電動化の必要性が高まっている。同時に、電動車両のコスト上昇も抑えなければならない。その手段の一つが、比較的 low コストで導入できる48Vシステムの採用である。ただし、48V系は電圧が低いため、モータの高出力化に必要な大電流に対応できるモータ巻線構造が必要となる。今回の開発では、トランスミッションと組み合わせてモータ並列巻線構造を採用することで、モータの大型化を十分に抑えて搭載を可能にした。

本稿では、モータの並列巻線構造を実現するために適用した技術について説明する。

2. 開発のねらい

今回開発するモータは小型車両への搭載を想定している。

従来の小型車と同等の出力を目標に、高回転モータを採用することでさらなるコンパクト化を実現した。

そこで、モータとインバータに要求される性能値を次のように定義した。

- 48V電源採用
- 最大インバータ電流905Arms
- ダブルスター結線を採用、スター結線あたりの最大相電流は452Arms
- モータ出力32kW以上
- モータ最高速度20,000rpm
- 目標モータトルク32Nm

2.1 取り組むべき技術課題とその解決策

上記の性能要件を達成するには、モータを開発する際に次の課題に対処する必要があった。

(1)モータの高出力化に伴う電流増加に対応してモータコイルの電流密度を維持するには、コイル断面積を大きくし、スロット面積も大きくする必要があった。その場合、ステータ容積も大きくなり、車両への搭載性が悪化してしまう。さらに、固定子の体積を同じに保ちながら電流密度を増加させると、発熱が大きくなり、熱性能が低下する。

このプロジェクトでは、車両への搭載性の要件からモータのサイズを維持する必要があった。そのため、電流密度を従来と同じに保ちながら、単位面積あたりに流れる電流を抑える方法が必要であった。

(2)モータは小型かつ高速に設計されているため、高速域で駆動すると鉄損が大きくなる懸念があった。また、モータはコンパクトな設計のため熱容量が小さいため、温度が急激に上昇する可能性が懸念されていた。

2.2 技術課題を解決するための巻線仕様の選定

2.2.1 モータ巻線のターン数の定義

今回のプロジェクトでは、以前に開発した高出力モータをベースに巻線仕様を検討した。このモータを2ターン仕様にする、低速運転時にバッテリー電圧を超える誘起電圧が発生し、必要な出力が得られなかった。一方、1ターン仕様では最大電流が1,000Armsを超え、今回のモータとしては許容できない電流値であった。

そこで中間の1.5ターン仕様を検討した。必要なモータ出力は得られたが、1.5ターン仕様のコイル配置によりスロット内のコイル充填率にばらつきが発生した。したがって、4つの1.5ターン巻線を直列に接続し、2つの3ターン巻線を直列に接続したダブルスター接続に変更した。

ダブルスター結線の採用により、スター結線1個あたりの目標出力を16kWとし、電流密度を抑えながら目標のモータ出力32kWを達成することができた (Fig. 1)。

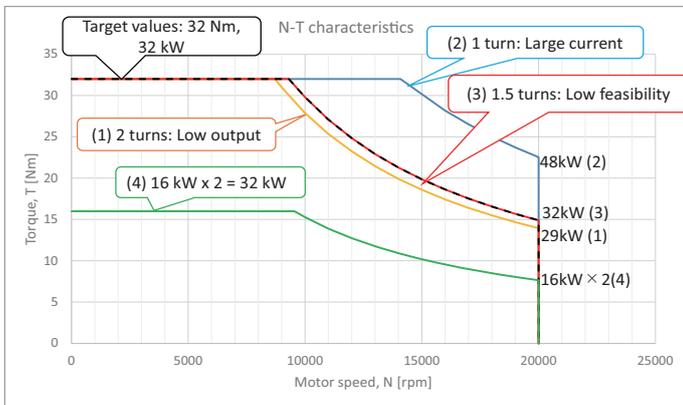


Fig. 1 Relationship between number of winding turns and motor output

2.2.2 高速域での鉄損対策

二層短節巻を採用し、高速域での鉄損を低減した。短節分布巻のメリットとして、誘起電圧がより正弦波に近い波形となる。その結果、高調波成分の低減につながり、鉄損の低減につながる。また、コイルピッチを短くすることで銅線の長さも短くなり、銅損の低減も期待できる。

このプロジェクトでは短節巻と二層巻の仕様を組み合わせることで、コイル周長がさらに短くなり、銅損がさらに低減された。

3. 平行巻構造の課題とその解決策

この章では、ダブルスター接続の二層、全節線、3ターン巻線について検討する。ターン数が奇数のため、2ターンスロットと1ターンスロットに分かれている。1スロットに3ターンまでしか巻けないため、ダブルスター結線間の同相スロットに2ターンと1ターン、または1ターンと2ターンの組み合わせでコイルを挿入する。起磁力の分布はスロット内のコイルの巻き数に比例するため、最大値は2ターンのコイルのスロット間で発生する。

Fig. 2に示すように、V相を基準に比較すると、v1巻線とv2巻線の2ターンコイルのスロットが異なるため、起磁力分布に位相差が生じる。

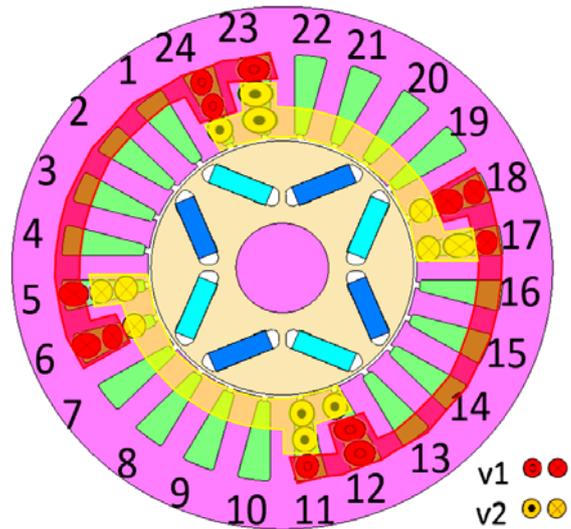


Fig. 2 Winding diagram for double-layer, full-pitch distributed windings

その結果, Fig. 3に示すような1スロット分の位相がずれた誘起電圧波形が発生する. v1巻線が発生する磁束とv2巻線が発生する磁束には位相差が生じ, モータ制御時に相互に磁気干渉が発生する可能性がある. それを防ぐ対策として, ダブルスター結線間のv1巻線とv2巻線の誘起電圧波形が同位相になるようにする必要がある.

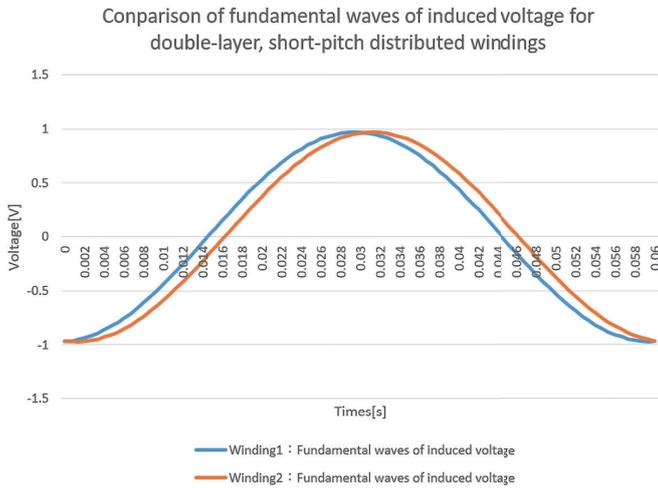


Fig. 3 U-phase induced voltage waveforms for double-layer, full-pitch distributed windings

今回は短節巻を採用し, 巻線配置を変更し, コイルピッチを短くする巻線方法を採用した. その結果, v1巻線の2ターンと1ターンの配置位置に対して, v2巻線は電気角 180° 位ずれて6スロットずらした位置に同様に配置した. その結果, 各相の誘起電圧は同一の位相が得られた (Fig. 4).

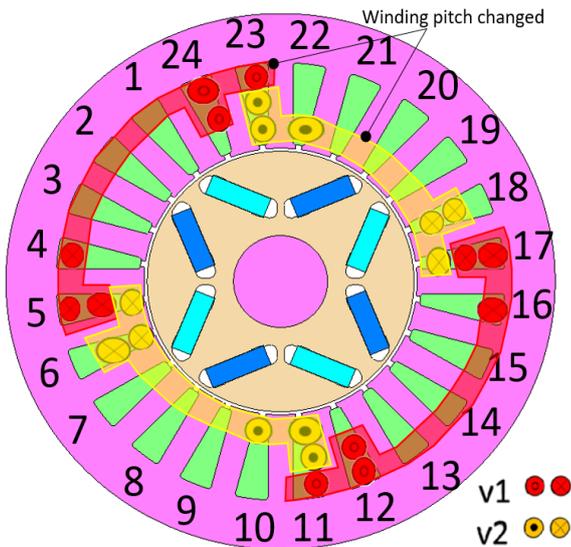


Fig. 4 Winding diagram for double-layer, short-pitch distributed windings

Fig. 5に示すように, ここで説明した巻線の変更により, v1巻線と v2巻線の誘導電圧を同じ位相にすることが可能になった.

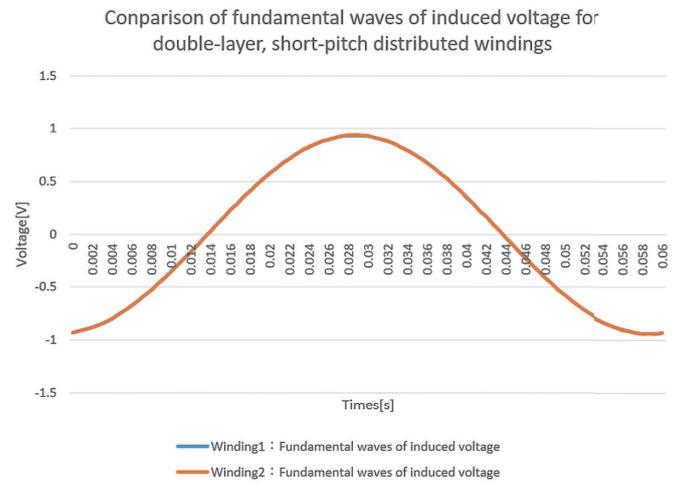


Fig. 5 U-phase induced voltage waveforms for double-layer, short-pitch distributed windings

最終的なコイル配置をFig. 6に示す. ダブルスター結線におけるU相, W相のコイルの配置も, 前述のV相コイルの配置と同様の位置関係となる. このコイル配置により, 誘起電圧の位相差なく配置できた.

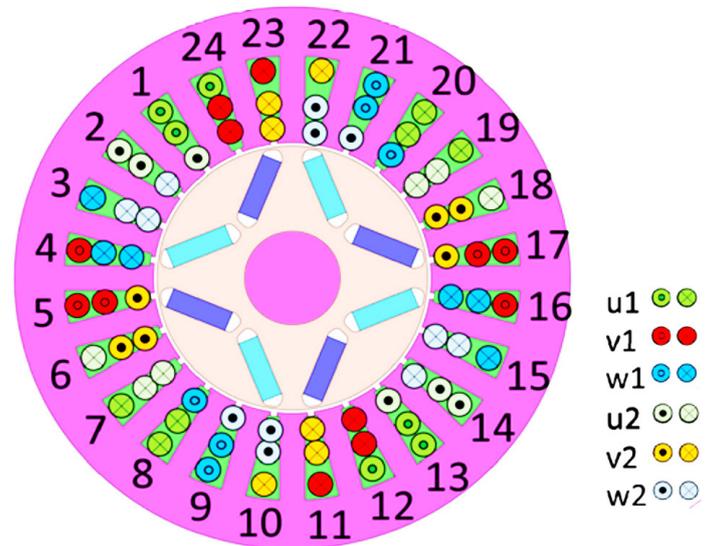
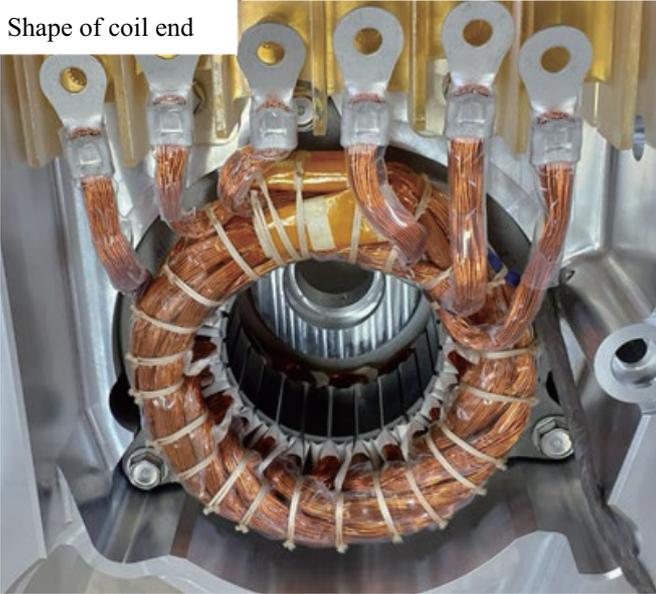


Fig. 6 Final winding arrangement

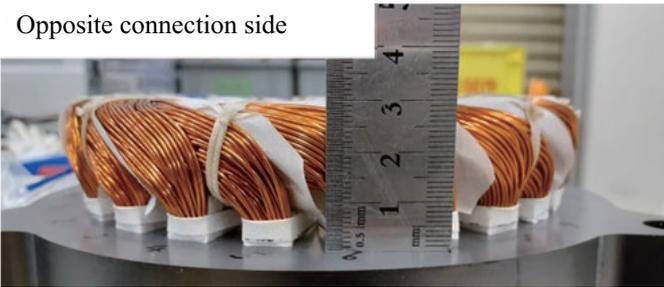
4. 結果

モータを製作し、性能、電気的特性を確認した。Fig. 7にモータコイルの外観を示す。

Shape of coil end



Opposite connection side



Connection side

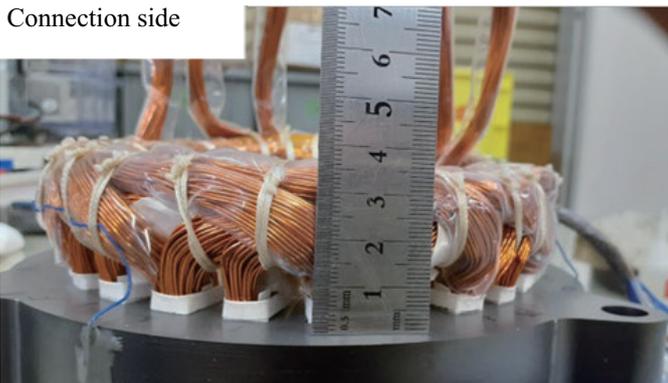


Fig. 7 Photos of windings (appearance/opposite the connection side/connection side)

今回検討したコイル配置に従ってコイルを製作し、二層重ね巻きを採用することでコイルエンドを小型化した。

製造仕様では、 17.7 Arms/mm^2 の電流密度が得られた。

モータの誘起電圧波形を測定した結果をFig. 8に示す。図に示すように、ダブルスター結線ではU-V線間電圧に位相差がないことが確認できた。

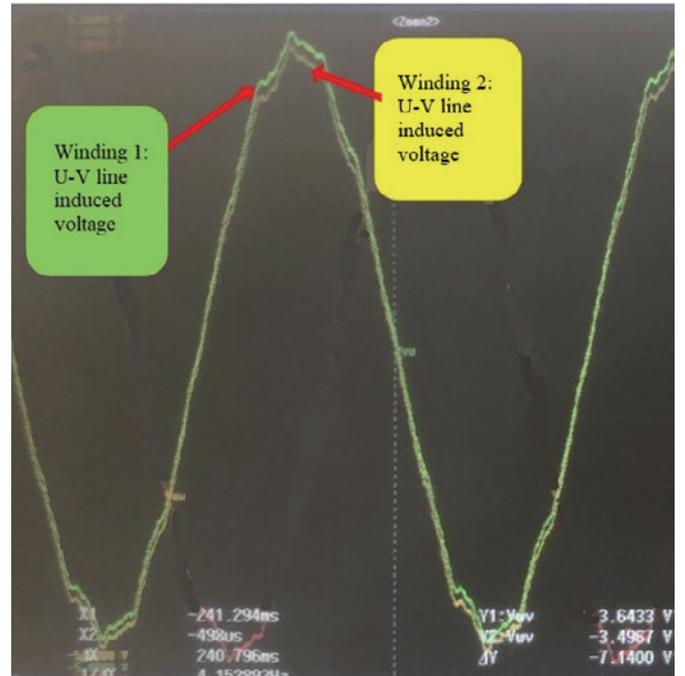


Fig. 8 Measured induced voltage waveforms

Fig. 9にモータの出力トルクの測定結果を示す。モータはほぼ意図したとおりの出力トルクを発生した。インバータとの詳細適合を行っていない為3,000rpm付近にてトルクが落ちているが、最大トルク領域である為、適合を実施すれば狙い通りの出力が達成できる見込みである。

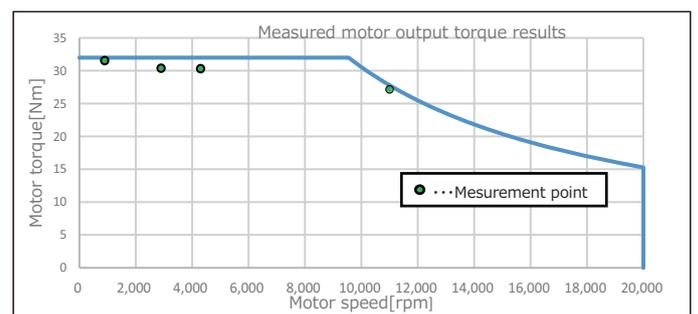


Fig. 9 Measured motor output results Measurement point

シミュレーションの結果、磁気回路にモータのさらなる出力に対する余裕があることが分かった。残留磁束密度の高い永久磁石の採用により、Fig. 10に示すように、モータの出力は最大42kW、トルクは最大41Nmが期待できる。

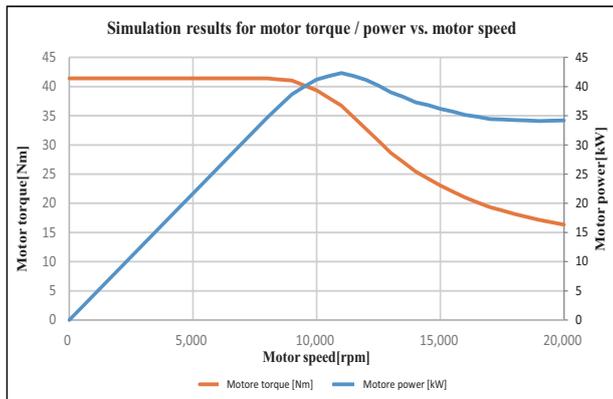


Fig.10 Simulation results for motor torque/power vs. motor speed

鉄損と銅損のシミュレーション結果をFig. 11に示す。このモータは高速域での鉄損低減を目的として短節巻を採用した。その結果、シミュレーションにおける鉄損は全節巻と比較して約22%低減された。

一方、低速高トルク領域では短節巻の採用によるトルク定数の低下により、銅損が7%程度悪化することが予想される。高速域での鉄損の低減により銅損値も約35%低減した。これは、必要なトルクを出す為に必要な電流が小さくなった為と考えている。

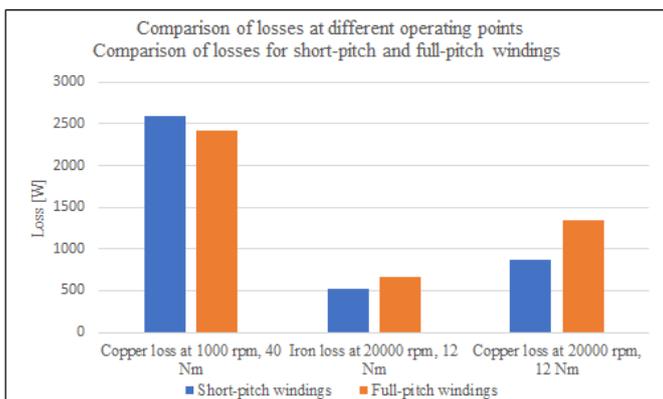


Fig.11 Comparison of losses at different operating points

新開発モータを搭載した試作車両による走行試験を実施した。得られる駆動力と車速の関係をFig. 12に示す。その結果、車両が満足のいく性能を発揮することが確認された。

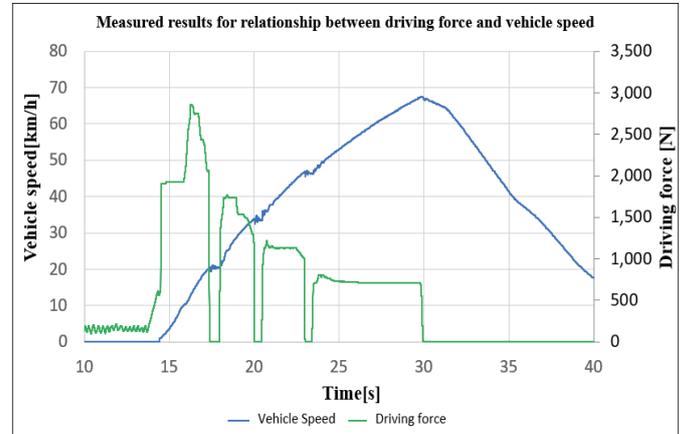


Fig. 12 Measured results for driving force vs. vehicle speed

5. 最後に

48Vシステムで高いモータ出力を得ることは難しいとされてきた。しかし、今回はモータの並列巻線構造を採用することでモータの大型化を抑制し、システムの小型化と小型車両への搭載を実現した (Fig. 13)。



Fig. 13 Photo of prototype demonstration vehicle

今回紹介した技術により、高速化による鉄損増加の課題と、モータの低電圧・高出力化による大電流化の課題の両方が解決されることが確認された。

48Vシステムに限定されず、他の電圧レベルでも同じ技術を使用してモータ出力の増加を得ることができる。したがって、本技術は小型化やコスト、資源の削減に貢献出来ると考えている。

6. 参考文献

- (1)松森 宏明 EV 駆動システム E-AXLE から見る電気・機械技術 日本機械学会誌 VOL.30 NO.1 (2022)
- (2)日経クロステック「EV軽トラ」は48V駆動で、ヴァレオと群馬大学が4WD試作車, <https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/column/18/01537/00121/>
- (3)Car Watch ヴアレオ, [超小型電気自動車「48V 軽 e-シティーカー」を「人とくるまのテクノロジー展 2022 横浜」でジャパンプレミア
- (4)ポッシュがCATLと長期的協力, 新車の20%に増える48Vハイブリッドに備える, <https://monoist.itmedia.co.jp/mn/articles/1909/06/news041.html>
- (5)Daiki TANAKA, Akira SUWABAYASHI, Junichi ASAMA: Downsized 48V Motor Winding Structure for an EV Powertrain, EVTeC2023.

■ 著者 ■



田中 大貴



諏訪林 明



朝間 淳一

高速回転用歯車の鋼材料・工法開発

小田 敏弘* 加藤 豪* 前田 誠*

抄 録

電動化により歯車が高速回転化し、潤滑環境が厳しくなる(貧潤滑環境)。本開発では、歯面を表面改質し、耐焼付き性・耐ピッチング性を向上させる工法を見出した。更に、歯元疲労強度を確保できる材料成分を設計し、高速回転に対応可能な鋼材料・工法を開発した。

1. まえがき

e-Axleは、車両の空力性能や衝突安全性等の観点から小型化が要求されている。

e-Axleを小型化するには、モータの小型化が必要になる。そのため、高回転化によって小型化によるトルク低下分を補い、出力を確保する。

モータ高速回転化により減速機歯車も高速回転となるため、潤滑が不十分となり貧潤滑環境になることが考えられる。貧潤滑環境では、摺動面の金属接触部が増加するため、焼付きの発生が懸念される。

そこで、既存の耐焼付き手法に対し、安価な歯車の焼付き対策法を開発した。

2. 歯車の耐焼付き性向上の方法

焼付きは金属結合により生じる現象であるため、異種金属層を表面に設け、防止または抑制する。

自動変速機の座金等の部品では安価なガス軟窒化処理を用いて、摺動表面に化合物層を生成させる(Fig. 1)。しかし、ガス軟窒化処理では硬化層は表面に留まるため、内部まで高い硬さが必要な歯車への適用は困難である。

そのため、歯車では高価な二硫化モリブデン処理で対策している(Fig. 2)。

そこで、安価なガス軟窒化処理を活用するため、ガス軟窒化処理前に焼入れ焼戻しで内部硬さを得て、かつガス軟窒化処理後もその硬さが維持できる鋼を開発した。

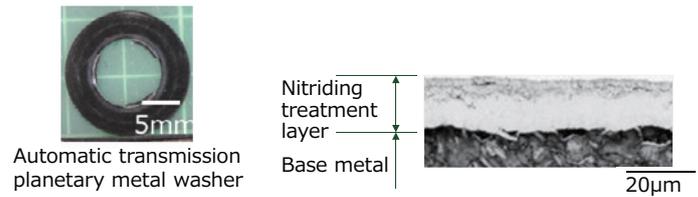


Fig. 1 Surface cross-sectional microstructure after gas nitriding treatment

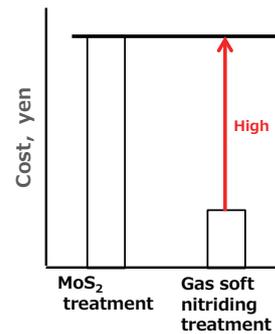


Fig. 2 Cost comparison

3. 材料仕様について

Table 1に今回開発した歯車の材料成分を示す。

炭素量を高くし、焼入れ焼戻し処理で既存仕様の歯車の内部硬さに近づくようにした。さらにモリブデン、バナジウムを添加して、ガス軟窒化処理時の軟化を抑制した。

この成分系の開発鋼を用いTable 2に示す製造工程で歯車を試作した。製造工程の変更規模としては、既存製造条件の範囲内での条件変更のみで対応できた。

* イノベーション技術開発部

なお、比較対象としては、既存の焼付き対策歯車（二硫化モリブデン処理）と対策を行っていない歯車（浸炭焼入れ焼戻し）を用いた。

Table 1 Main material composition (wt%)

	C	Si	Mn	Cr	Mo	V
Development steel	0.34	0.05	0.34	1.12	0.95	0.25
JIS SCr420H	0.21	0.32	0.87	1.18	-	-

Table 2 Manufacturing methods comparison

Method		Manufacturing process					
Seizing countermeasure specifications	Development	Quenching and tempering + Gas soft-nitriding treatment	Forging	Machining	Quenching and tempering	Finish processing	Gas soft nitriding treatment
	Current						Carburizing, quenching and tempering + MoS ₂ treatment
General gear specifications		Carburizing, quenching and tempering	↑	↑	↑	↑	—

4. 歯車の金属組織と硬さ分布

4.1 調査方法

調査は、歯幅中央断面の歯丈中央部とした (Fig. 3)。断面組織はナイタールで腐食後、光学顕微鏡で観察し、断面硬さはマイクロビッカース (HV0.1) にて測定した。

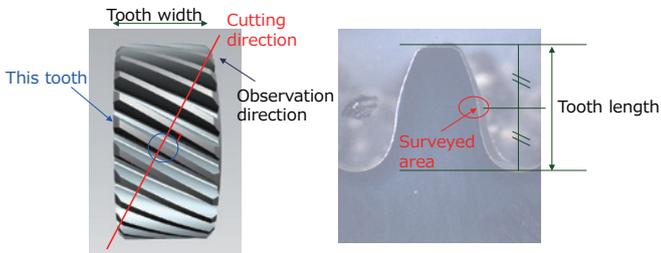


Fig. 3 Gear evaluation cross section

4.2 断面組織, 断面硬さの結果

Fig. 4に断面組織, Fig. 5に断面硬さ分布を示す。表層に化合物層の生成が認められ、かつ目標硬さ以上の硬さが得られた。

なお、目標硬さは歯車の入力より推定した値を用いている。

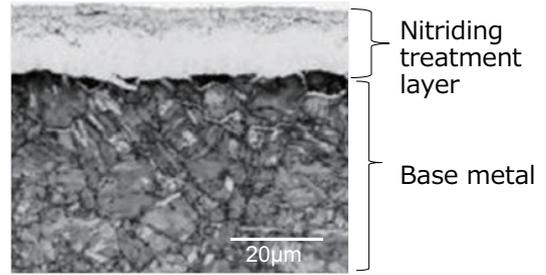


Fig. 4 Cross sectional microstructure

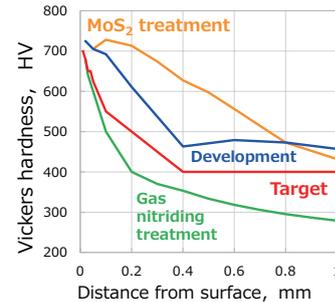


Fig. 5 Cross-sectional hardness distribution

5. 焼付き評価

5.1 評価条件

試作した歯車で焼付き評価を実施した。条件をTable 3, 4に示す。評価はEV車の高速走行（低トルク）と発進（高トルク）を模擬した2水準のトルクで回転数を変更し、焼付き有無を外観観察により判断した。今後想定される高速回転化は、3万回以上になると想定される。

Table 3 Low torque evaluation experimental conditions (high speed driving simulation)

Number of rotations, rpm	4,000	5,000	...	10,000
Torque, Nm	202	202	...	202

↑ Observation ↑ Observation ↑ Observation

Table 4 High torque evaluation experimental conditions (simulating starting)

Number of rotations, rpm	1,000	2,000	...	7,000
Torque, Nm	625	625	...	625

↑ Observation ↑ Observation ↑ Observation

今回は、試験機の関係で実際に3万回転の入力を与えることができなかった。そこで、評価油温を上げることで油膜形成が厳しい潤滑条件とし、現行EV車の2倍以上の回転数(3万回転)相当以上で耐焼付き性を評価している(Fig. 6)。

また、各条件における評価時間は3分である。

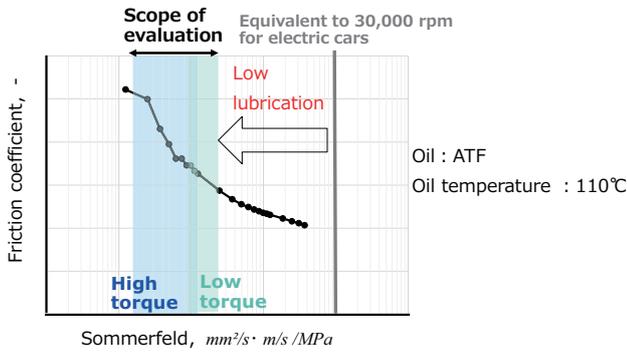


Fig. 6 Stribeck curve

5.2 評価結果

(1)低トルク条件

試験機の限界回転数まで評価したが、開発仕様と二硫化モリブデン処理は焼付かず、浸炭焼入れ焼戻しに対し約2倍以上の耐焼付き性であった(Fig. 7, 8)。

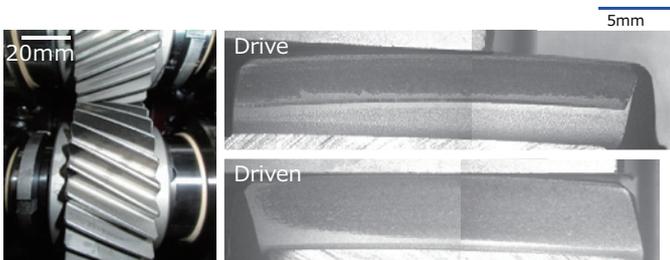


Fig. 7 Development specifications external view (after low torque evaluation test)

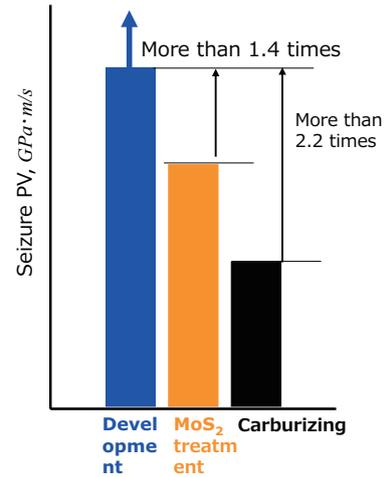


Fig. 8 Endurance test results (low torque test)

(2)高トルク条件

開発仕様は焼付きがなく、浸炭焼入れ焼戻しに対し2.2倍以上の耐焼付き性が得られ、二硫化モリブデン処理に対し1.4倍以上の耐焼付き性が得られた(Fig. 9, 10)。

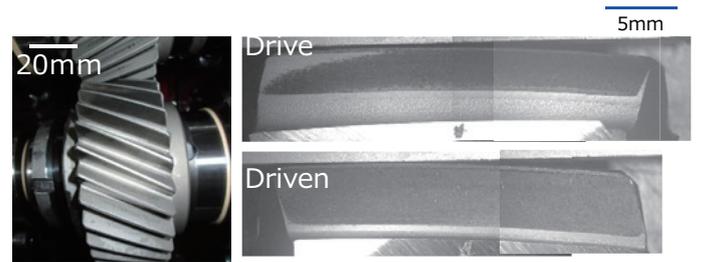


Fig. 9 Development specifications external view (after high torque evaluation test)

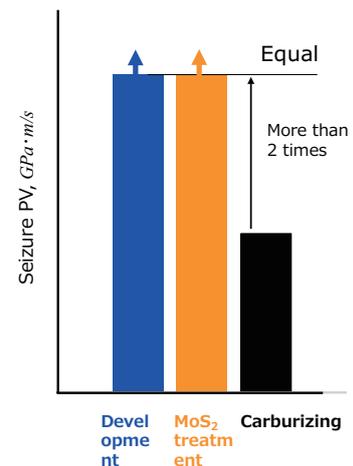


Fig. 10 Endurance test results (high torque test)

6. 考察

高トルク条件での評価では、開発仕様は二硫化モリブデン処理に対し1.4倍以上の結果が得られ、低トルク条件での評価では両者ともに焼付くことなく終了した。

そこで、有意差が確認できなかった低トルク条件の試験後の歯面を確認したところ、被膜硬さが硬質な開発仕様は約 $4\mu\text{m}$ の摩耗量であるが、軟質な二硫化モリブデン処理は約 $16\mu\text{m}$ と4倍程度大きいことがわかった (Fig. 11, 12)。

そのため、開発仕様は二硫化モリブデン処理に比べ、被膜維持に必要な耐摩耗性が高く、低トルク条件でも耐焼付き性に優れていると考える。

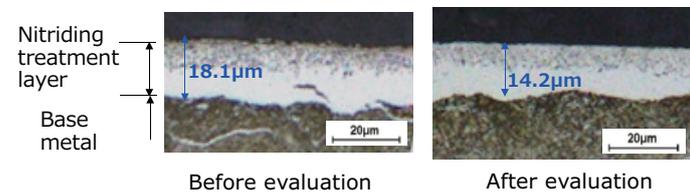


Fig. 11 Film thickness before and after evaluation tests of development specifications

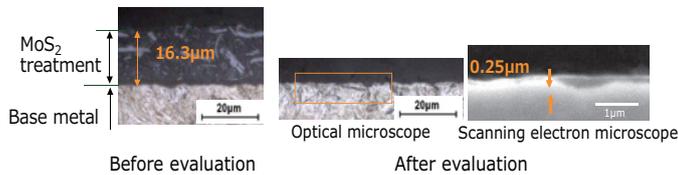


Fig. 12 Film thickness before and after evaluation tests of MoS₂ treatment

7. まとめ

モータ高速回転化による歯車の耐焼付き性が向上できる材料工法を開発した。

高合金鋼と焼入れ焼戻し、ガス軟窒化処理を組み合わせ、既存対策仕様である二硫化モリブデン処理に比べ、高い焼付き性が確保できた。

また、既存製造条件の範囲内での条件変更のみで対応できたので、二硫化モリブデン処理の歯車に比べ安価にすることができた。

8. 参考文献

小田敏弘, 加藤豪, 玉井智也, 山崎歩見: 貧潤滑環境下での耐力を向上させる歯車材料・工法の開発, 中部支部研究発表会2023年人テク名古屋

■ 著者 ■



小田 敏弘



加藤 豪



前田 誠

Smart Factory活動における設備信頼性向上の取り組み

山口 泰祐* 直野 隆寛* 伊藤 翔**

抄 録

電動化による、さらなるコスト・品質の競争力向上のため、ジヤトコでは、203X年度までに、最高効率を維持できる工場の実現を目指してSmart Factory活動を行っている。

本稿では、保全設備データの入力漏れ防止と故障分析力向上について、保全設備管理システムのタブレット化及びアプリ開発によって実現し、Smart Factory活動に貢献したので報告する。

1. ジヤトコの Smart Factory 活動

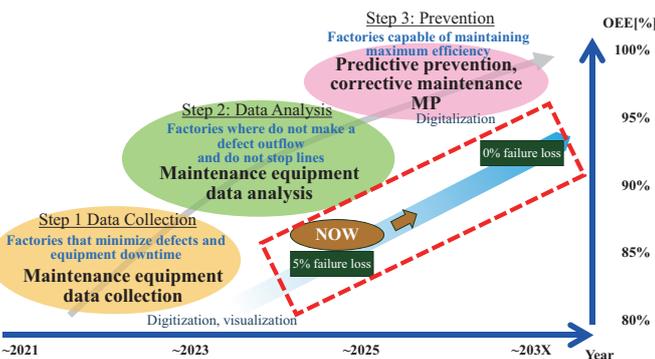
工務部 保全技術課 (以下、保全) では、Smart Factory活動を、以下の3ステップで取り組んでいる。

Step1 保全設備データ収集

Step2 保全設備データ分析

Step3 予知保全, 改良保全, MP (新しい設備づくりへの反映)。

現在は、Step1と2の間において、故障ロスが5%発生しているが、Step3故障ロス0%を目標に、故障ロス低減と設備信頼性向上に取り組んでいる (Fig. 1)。



2. 現状把握

2.1 保全設備データの必要性

保全では、設備故障時、対応した調査、故障分析、処置のデータを管理システムに入力し、データを基に、再発防止策の立案を行っている。

この管理システムを、ジヤトコではSupports Efficient Maintenance of Equipment Systemの頭文字をとってSEMES (シームズ) と呼んでいる。

以下SEMESと記載する (Fig. 2)。

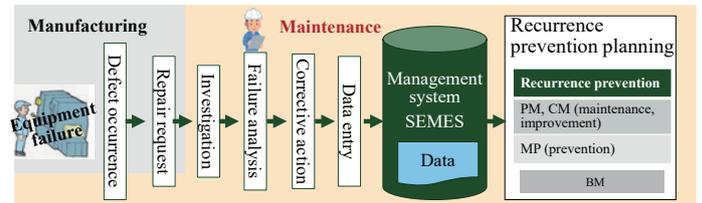


Fig. 2 Equipment failure handling process flow

2.2 SEMES データの現状把握と課題設定

SEMESデータを現状分析したところ、以下2点の問題があることがわかった。

(1)故障分析・処置データの入力抜け

故障分析・処置のデータに未記載があり、それは故障ロス1%に相当していた。

* 工務部 **JEPS 統括部

(2)故障真因の未分析

故障分析が、故障部位の特定でとどまり、真因にたどり着いていない事例があった。それは故障ロス4%に相当していた (Table 1).

上記、2点を課題として設定した。

Table 1 Understanding the current SEMES data situation

	SEMES data	Failure loss
(1)	Failure analysis, corrective action data entry omissions	1.0%
(2)	Failure to analyze true cause of failure	4.0%
	Total	5.0%

2.3 SEMES データの課題と原因

(1)故障分析・処置データの入力抜けの原因

保全員は、故障対応時、現場でメモを取り、事務所で記憶とメモからSEMESにデータ入力する。そのため、時間が経つと記憶が曖昧で、メモが理解できなくなりデータ入力に抜けがあった (Fig. 3).

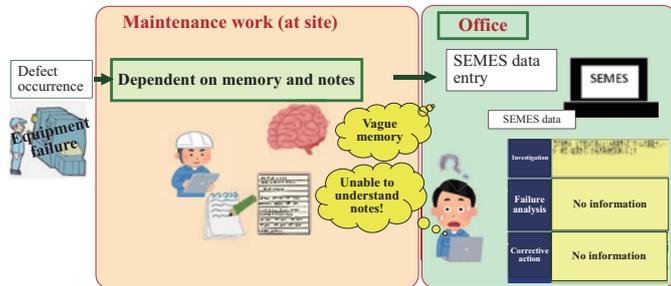


Fig. 3 Cause of failure analysis, corrective action data entry omissions

(2)故障真因の未分析の原因

保全員の故障分析は、個人の知見・経験・技能に依存しており、確認する項目にばらつきが発生していた。そのため、真因にたどり着かず、対策が復元となっている事例があった (Fig. 4).

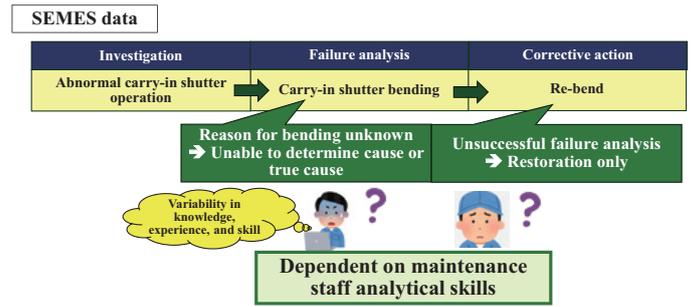


Fig. 4 Cause of failure to analyze true cause of failure

まとめると、SEMESデータの課題は2点あった。

課題1:「データを記憶とメモに依存し入力している」

課題2:「故障分析を個人の知見・経験・技能に依存している」

3. 対策案の検討と決定

3.1 コンセプト

対策するにあたり、コンセプトを決めた。

(1)現場でデータ入力をさせること

(2)スキルに依存せず真因を特定できること

この2つより、コンセプトを、「現場で真因を考える」とし、対策の立案を行った (Fig. 5).

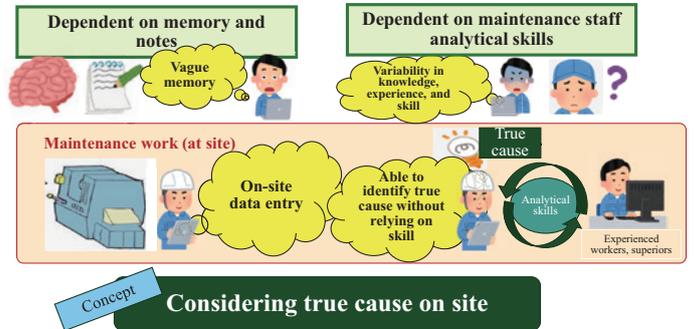


Fig. 5 Measures concept

3.2 対策案の検討と決定

コンセプトに沿って、以下3点の対策の方向性を決定した (Fig. 6).

- (1) モバイル端末を使用すること
- (2) 故障分析をナビゲートすること
- (3) 故障分析をサポートすること

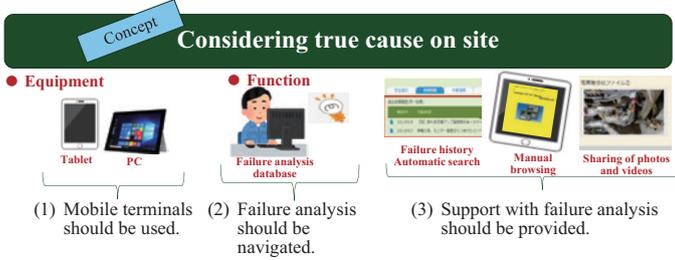


Fig. 6 Measures proposal study

方向性に対し対策案を挙げ、評価を行い決定した。

- (1) モバイル端末は、ノートPCとタブレットを比較し、コストで優れたタブレットを採用した。
- (2) 故障分析のナビゲートと (3) 故障分析のサポートは、新機能追加・改修を効率よく、スピーディに対応できる内製開発アプリにて進めた (Fig. 7).

Concept	Measures (proposal)	Tool	Benefit	Cost	Management	Adoption
Considering true cause on site	(1) Use of mobile terminals	Tablet	○	○	○	Yes
		Laptop	○	△	○	No
Able to identify true cause without relying on skill	(2) Failure analysis navigation (3) Failure analysis support * Automatic failure history search Manual browsing Sharing of photos and videos	SEMES modification	○	△	△	No
		App	○	○	○	Yes

Fig. 7 Deciding measure

4. 対策の実行

4.1 タブレットによる現場での入力

SEMESとタブレットを連動させるため、QRコードを利用しデータ連携を実現した (Fig. 8).

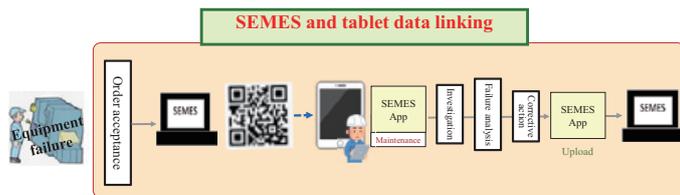


Fig. 8 On-site data entry using tablets

4.2 故障分析ナビゲーションアプリ

(1) 故障分析データベースの作成

データベースは、複数のベテラン保全員を軸として過去のデータから故障部位に対する、FTAを基に作成した。

(2) 故障分析ナビゲーションのアプリ開発

- ナビゲーション機能

このナビゲーションは、故障部位に対する調査項目一覧を、データベースより呼び出し、指示された項目を入力することにより故障分析をナビゲートする機能である。また、調査項目一覧の入力が漏れているとアプリが完了しないインターロックを設けた。

- ナビゲーション追加機能

新規に故障部位や調査項目が発生した場合は、保全員にて、アプリを使用しデータベースに追加できる機能を設けた。

以上により、保全員の知見・経験・技能を集約したジャストコ独自の故障分析データベースとナビゲーションアプリを内製開発した (Fig. 9).

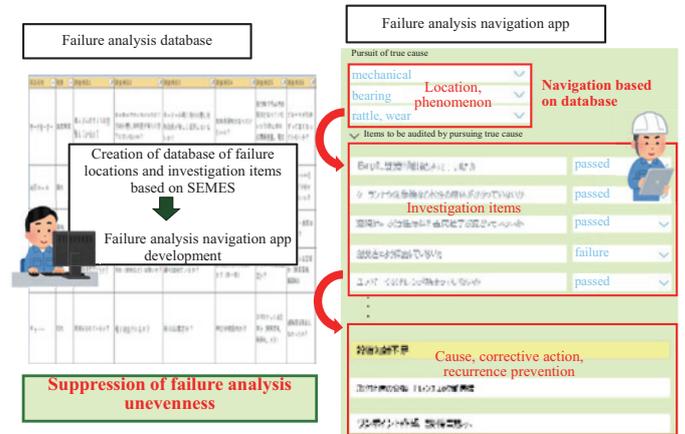


Fig. 9 Failure analysis navigation app

4.3 故障分析サポートアプリ

故障分析サポートアプリは、故障履歴の自動検索、取扱い説明書の閲覧、写真・動画の閲覧機能から構成される。

(1)故障履歴の自動検索

タブレットに設備番号または、設備メーカー名を記載すると、故障履歴を自動収集し表示する。

(2)取扱い説明書の閲覧

タブレットにNC、ロボット等の型番を記載すると、取扱い説明書が表示され、現場で閲覧可能となった。

(3)写真・動画の閲覧

故障履歴を検索すると、写真・動画データが、現場で閲覧可能となった (Fig. 10).

(1) Automatic failure history search



(2) Browsing instruction manuals



(3) Photo and video storage



Fig. 10 Failure analysis support app

5. 効果の確認

対策の実施により、以下の効果が得られた。

(1)故障分析・処置データの入力抜け

故障分析・処置データの未記載がなくなり、故障ロスを1%改善した。

(2)故障真因の未分析

全て真因の特定ができ、故障ロスを1%改善した (Table 2).

Table 2 SEMES data situation

	SEMES data	Failure loss	
(1)	Failure analysis, corrective action data entry omissions	0.0%	1% → 0% 1% improvement
(2)	Failure to analyze true cause of failure	3.0%	4% → 3% 1% improvement
	Total	3.0%	

6. 今後の課題

故障分析力は向上したが、未だ3%の故障ロスが発生している。更なる、故障分析の精度向上に取り組んでいきたい。

7. 参考文献

- (1)廣崎誠：製造現場データのデジタル化推進と設備総合効率向上を支えるプラットフォームの構築，JATCO Technical Review No.22, pp.37 - 41.
- (2)プラントエンジニア，山口泰祐，設備信頼性向上サイクル実現への取り組み，55巻，9号，pp.34 - 44，日本プラントメンテナンス協会，2023年

■ 著者 ■



山口 泰祐



直野 隆寛



伊藤 翔

高効率な生産現場の実現に向けた Smart Factoryの取り組み

宮園 昌幸* 椿 直樹*

抄 録

電動化が進む中で、さらなるコスト・品質競争力の向上のため、製造現場の設備総合効率の向上が求められている。それには、稼働率低下の要因についてのさらなる分析・改善サイクルの短縮が必要であるため、情報のデジタル化を推進した。製造現場ごとに異なるニーズやビジネス環境の変化に速やかに対応するためのシステムを、内製で開発し展開したので報告する。

1. ジャトコが目指す Smart Factory

ジャトコでは、工場内の情報をデジタル化し、設備総合効率（以下 OEE）を向上させる活動を Smart Factory 活動と称し、Fig. 1 に示すロードマップと下記の3つの Step に基づいて推進している。

- Step1:不良と設備停止時間を最小化する工場
- Step2:不良を流さない，ラインを止めない工場
- Step3:最高効率を維持できる工場

2023年現在の進捗状況は、Step1とStep2の間である。ジャトコの実績OEEは80%前後であり、Step2では90%、Step3では100%を目指している⁽¹⁾。

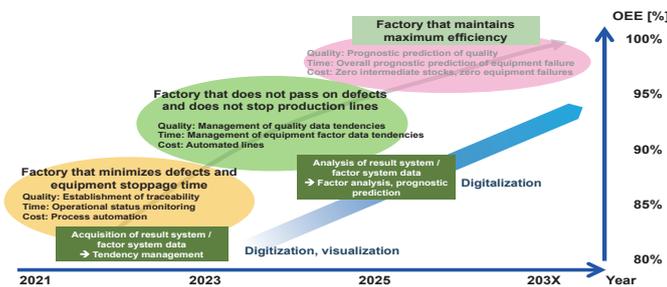


Fig. 1 Roadmap to JATCO's Smart Factory

2. デジタル化，見える化の進め方

2.1 生産現場の情報をデジタル化する必要性

OEEを向上させるには、生産ラインの稼働状況や変化を共有し、稼働率低下の原因の特定と対策を迅速に行う必要がある。情報の迅速な共有には、人手を介さずに必要な情報を収集・分析できるように情報がデジタル化され、蓄積するシステムが不可欠である。

情報を蓄積するシステムとして、ジャトコでは全社統一の情報プラットフォームEQ_Connectを構築している⁽¹⁾。

EQ_Connectとは「データ収集→転送→保管→見える化」までを一貫して行い、現場のデータの見える化を支援するプラットフォームである。

本報告では、EQ_Connectに結合させるためのサブシステムの内製化開発について述べる。

2.2 サブシステムの内製化開発の必要性

各製造現場からの多様な要求をフレキシブルに対応することを目的として、サブシステムの開発を行った。

ジャトコは casting, processing, assembly までの製造現場を有している。製造現場ごとに異なる生産方式や固有の設備を持っており、管理・分析したい情報が異なる。そのため、最適な入力デバイスが異なる。

*JEPS 統括部

例えば、加工の自動化ラインでは、ラインの端で画面が大きく入力しやすいタブレットやPCが求められる。

一方、組立ラインではラインを離れずに各設備の停止理由が入力できる小型の携帯端末が求められる。

このように機器ごとのバリエーションに対応するためには、外製では工数、費用、リードタイムが膨大となるため内製開発が必要である。

また、フレキシブルな対応として、日々変化する生産ラインの課題に合った情報を収集するための変更や、より新しいデバイスとの連携、AIなどの新技術を用いたデータ収集など、分析・活用を迅速かつきめ細かく対応するためにも、内製化開発を行った。

また、副次的な効果として、ソフトウェア資産やノウハウの蓄積により、システム改善のリードタイムを短縮し、手の内化もできた。

3. メリットを最大化するための開発手法

システムの内製開発にあたって、そのメリットを最大化するために以下の方針で開発を行った。

1) アジャイル開発プロセスの採用

アジャイル開発とは、システムやソフトウェアの開発手法であり、『計画→設計→実装→テスト』といった開発工程を機能単位の小さいサイクルで繰り返すことをいう。テスト段階から製造現場に複数回試用することで、詳細な仕様の明確化と追加要望の反映を行った。また、テストを通して習熟を進めることで、運用開始へスムーズに移行することができた。

2) 既成ソフトウェアの利用

無料のオープンソースソフトウェアや、有料のパッケージソフトウェア（外製システム）を活用しつつ、カスタマイズ性を損なわないよう、デバイスやシステム間でのインターフェースのアジャイル内製開発を行い、開発工数とリードタイムの最小化を図った。

3) 多様な入力デバイス・センサに対応

設備から信号を取得するデバイスは制御基板から内製開発し、接続できる信号の数・種類に自由度を持つよう開発した。

4) Webベースのシステムを核として開発し、PCだけでなく、タブレット・スマートフォン、IoTデバイスでの入

力を可能とした。また、Wi-FiやプライベートLoRa通信を採用した。LoRa通信とはWi-Fiよりも通信距離が長く、工場建屋全域をカバーしつつ、安定した通信ができる。デバイスの位置関係をFig. 2に示す。

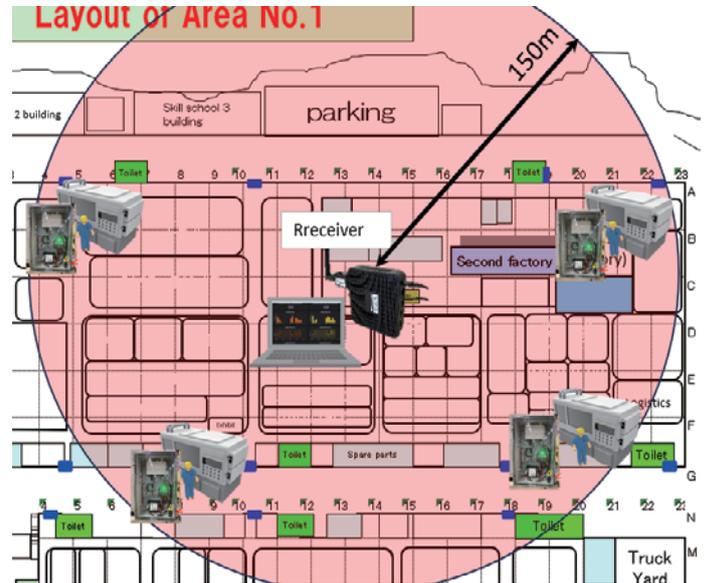


Fig. 2 Visualization of device locations

4. 内製開発事例

開発方針に伴う事例を以下に示す。

4.1 簡易稼働モニタ「JPH Monitor System」の開発

JPH Monitor Systemとは、既存の稼働情報の自動取得が困難な設備に後付けすることで、時間ごと出来高データを取得する内製開発システムのことをいう。

今回、ハードウェア（基盤）の設計制作及び、ソフトウェアの開発を行い、「JPH Monitor System」を内製開発した。本システムの概要をFig. 3に示す。

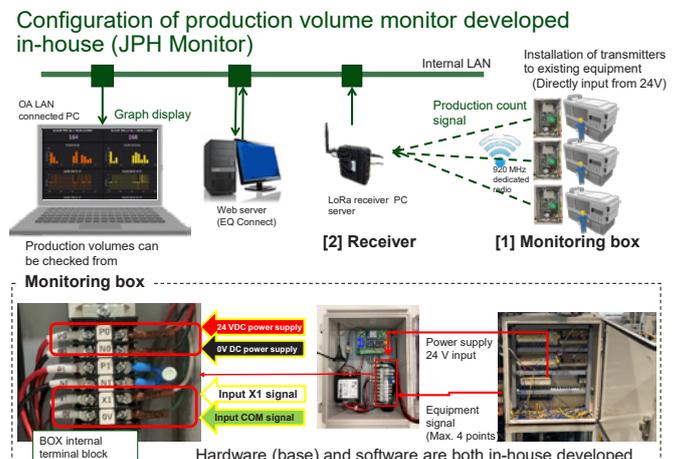


Fig. 3 JPH Monitor System

本システムは設備の生産数と生産時刻を無線でデータベースサーバに送信・記録・表示が可能であり、以下の特徴を備えている。

- 工場の標準仕様に合わせ、追加の配線製作などが不要で設置が容易なハードウェアである。
- プライベートLoRa通信により、工場内でも長距離の通信ができ、追加のインフラが不要である。
- 専用受信ソフトウェアにより、サーバに受信機を接続するだけでデータ取得が可能である。
- EQ_Connectでのデータが利用できる。

なお、ハードウェア・ソフトウェアを全て内製しているため、生産ラインからの要望に合わせてカスタマイズが可能であり、ソフトウェアの追加カスタマイズにより、設備異常の発生時間・回数の取得や、サイクルの高速な設備及びアナログセンサデータの取得にも容易に対応できた。

4.2 手書き作業日報のデジタル化

生産ラインオペレータが入力せざるを得ない情報は、ダイレクトに情報をタブレットで入力するシステムを開発し、記録用紙の削減、転記のロスを排除しつつ、データの入力精度向上を図った。

本システムの開発にあたっては、オープンソースのBIツールとして「Grafana」を活用した。このツールは蓄積されたデータの見える化を行うツールである。一方ローコードアプリ開発プラットフォームとして「Plesanter Community Edition」を活用した。

5. 現場への定着と運用管理のための方策

生産現場でのデジタル化の拡大と定着を図るため、DX人員の質と量を増強した。

- 全社統括部にデジタルスキル中級者でICTチームを発足、内製開発と支援が行える体制を構築した。

- 各工場にデジタル化を推進する「DXチーム」を配置した。
- 各DXチームとICTチーム合同での課題解決を通じたスキルアップを実施した。
- 生産部門に「DXラボ」を開設し、トライ&エラーを行える環境を構築、課題解決のための相談会やスキルアップ希望者を受け入れ、育成を実施した。

生産部門のDX推進体制をFig. 4に示す。

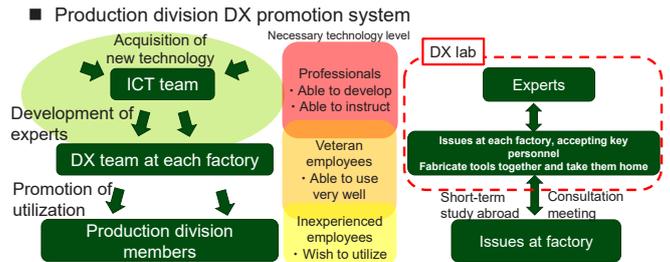


Fig. 4 DX promotion system in the production division

6. 結論と今後の取り組み

今回の活動にて、OEEの目標のStep2の目標達成の目途が見えてきた。

また、DX推進メンバの増強、権限の明確化を行い、自立したデジタル化を推進する体制を拡大できた。

今後は、Step2:不良を流さない、ラインを止めない工場の実現に向け、収集できたデータの解析技術の向上を進めていきたい。

7. 参考文献

- (1) 廣崎 誠：製造現場データのデジタル化推進と設備総合効率向上を支えるプラットフォームの構築, JATCO Technical Review No.22, pp.37 - 41.

■ 著者 ■



宮園 昌幸



椿 直樹

中長期サプライチェーンの予測・見える化

上田 歩乃佳*

抄 録

調達部門では、電動自動車へのシフトに向け、将来起こりうる変化を見据えた様々な検討を実施している。筆者の所属するプロジェクト調達部は、新規ユニットのサプライヤ選定活動と現行ユニットの購入部品原低活動の取りまとめ、および中長期台数情報の取りまとめと部内展開を主な業務としている。これらの業務の中で取り扱っている今ある情報（データ）をDXツールを活用し組み合わせることで、ジヤトコの将来に向けた検討に活用できる新たな価値のある情報（データ）を生み出せないか検討した。本稿では、具体的な取り組み内容について紹介する。

1. はじめに

今、自動車業界は100年に一度の大変革時代と言われており、電動自動車へのシフトが加速している。

ジヤトコの主力商品も、Automatic Transmission（以下AT）やContinuously Variable Transmission（以下CVT）から、電動ユニットへと変わっていくため、使用される部品や購入先、取引金額も大きく変化していくことになる。

調達部門ではこのような将来を見据え、サプライヤとともにAT/CVTの大幅な台数減少で想定される生産性非効率の抑制と、安定供給の確保や価格競争力の維持に努めている。こうする動きが始まっている。

この活動を“ICE transformation”と呼んでいる。そこで、この活動に貢献すべく、DXを利用して“今ある情報（データ）”を組み合わせることで、未来のサプライチェーンを予測できないか、そして今後のサプライチェーン再構築のオポチュニティを早期発見できるよう、見える化した情報を提供できないかチャレンジすることとなった。

2. 取り組みの目標

今回の活動にあたり、以下の3つの目標を設定した。

- (1) “今ある情報（データ）”を組み合わせ、“価値ある情報（データ）”を生み出すこと。
- (2) 視覚的かつ容易に情報が把握できるよう、データを可

視化すること。

- (3) サプライヤの取引金額や台数情報などの秘匿情報を守るため、セキュリティを確保すること。

この3つを活動の柱とし、使用するデータとその組み合わせ方、DXの取り入れ方を検討した。

3. 使用したツール

前述の3つの活動目標を踏まえ、DXツールとしては以下の機能や特長が今回の活動内容に適していると考え、kintone⁽¹⁾を使用した。

- (1) 標準機能でExcel⁽²⁾データの読み込みやアクセス権の設定を細かく行うことができる。
- (2) プラグインと呼ばれる拡張機能の追加プログラムを用いることで、データの結合や計算が自動で行える。
- (3) グラフの作成とダッシュボード⁽³⁾化が簡単にできる。

使用したプラグイン機能について、具体的には、データの結合・計算・出力にkrewData⁽⁴⁾、ダッシュボード化にkrewDashboard⁽⁵⁾という拡張機能を用いた。krewDataではアプリ間をまたぐ集計フローを直感的な操作で作成することができ、krewDashboardではドラッグ&ドロップの簡単な操作で、各アプリのデータを目的に応じて様々な種類のグラフにし、1画面のダッシュボードで表示することができる。

*プロジェクト調達部

4. 中長期の部品購入金額の推移予測

中長期の年間部品購入金額予測は、「部品番号ごとの購入価格×使用されているユニットの将来台数」で算出した。

具体的には、各ユニットの購入品パーツリスト（部品番号、部品名、台当たり使用個数、サプライヤ、単価etc.）と、中長期のユニット別台数データを使用した。どちらもプロジェクト調達部で、コスト管理やプロジェクトマネジメン

トといった通常業務に使用している“今ある情報（データ）”である。

この2種類のExcelデータをkintoneへ読み込み、krewDataでデータの結合と自動計算を行うフローを作成した (Fig. 1)。また、これによって算出された約7万件のデータを、krewDashboardでグラフ化・ダッシュボード化した (Fig. 2)。

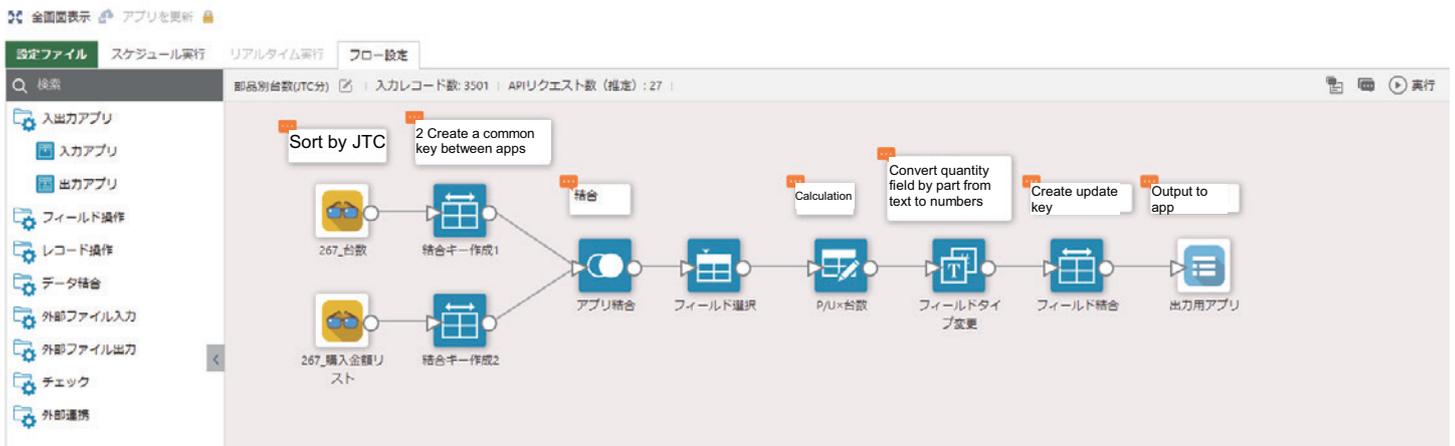


Fig. 1 krewData setting screen



Fig. 2 App dashboard screen (prepared using krewDashboard)

画面左側にスライサを設置し、サプライヤや部品番号を選択すると、中央のグラフやピボットテーブルが連動するようになっている。

グラフでは購入金額の推移をサプライヤまたは部品番号ごとに一目で確認でき、ピボットテーブルではより具体的に、使用ユニット/生産拠点/年度ごとの購入金額等、ブレイクダウンした詳細情報を確認することができる。

また、これらのデータはPDFやExcelデータに出力して利用することも可能である。

苦労したのは、人間が理解しやすいデータの形式と、コンピュータが理解しやすいデータの形式が異なるという点である。我々は縦軸×横軸のいわゆる表形式でデータをまとめることが多いが、コンピュータを使ってデータの結合や集約をするためには、1行1データのテーブル形式でデータをもつことが前段階として必要である。今回の取り組みで使用した台数データは、縦軸:ユニット×横軸:年度の表形式であったが、この形式のままkrewDataでデータ結合を行ったところ、テーブル形式の購入品パーツリストとうまく連携せず、非常に煩雑なフローになってしまった。クエリの機能を使ってテーブル形式に修正してから結合したところ、Fig. 1のようなシンプルなフローを作成することができた。このデータクレンジング⁶⁾の作業は、DXにおいて非常に重要なポイントであり、かつ前段階として誰もが苦労するポイントであろうと感じた。

5. 結果

前述の3つの目標に対しては、以下の通り達成できた。

(1)“今ある情報（データ）”を組み合わせ、“価値ある情報（データ）”を生み出すこと。

コスト集約やプロジェクトマネジメント等の通常業務で取り扱っているデータを用い、DXを利用して組み合わせることで、“ICE transformation”の活動において利用価値のあるデータを生み出すことができた。

(2)視覚的かつ容易に情報が把握できるよう、データを可視化すること。

サプライヤ別、部品番号別など、様々な切り口でのデータ集約とダッシュボード機能を利用した可視化を実現することができた。

(3)サプライヤの取引金額や台数情報などの秘匿情報を守るため、セキュリティを確保すること。

kintoneの機能を用いて、閲覧権・アプリ編集権・データ削除・データの出力等、各個人の役割に応じてアクセス権を設定し、また関係者以外の閲覧権を外すことで、セキュリティの確保ができた。

当該アプリは2022年3月に運用を開始し、部品調達部が各サプライヤと“ICE transformation”の活動についてコミュニケーションをとる際に、実際にアプリからデータを出力して利用している。

これまでは部品調達部のバイヤー個人が、サプライヤごとに各ユニットで使われている全ての部品を洗い出し、そのユニットの将来台数データを入手して、購入金額を計算・グラフ化しなければならず、かなりの工数がかかっていた。しかし、今回作成したアプリをマスターデータとし、プロジェクトサイドで定期的にメンテナンスを行うことで、常に最新の情報を提供することができ、ユーザ側もダッシュボード画面から直感的な操作で欲しいデータをすぐに入手することが可能となった。

6. 今後の展望

我々が所有する様々なデータは、ただ情報として保持するだけでなく、ある特定の目的をもって、他のデータや知識と組み合わせる時に、また新たに大きな利用価値を生み出すものである。

今回プロジェクト調達部で作成したアウトプットについても、他部署で持っている他のデータや知識とさらに組み合わせることで、より価値のある使い方ができるようになるはずである。

例えば、各ユニットから類似部品を抽出し、それぞれのサプライヤと部品価格、仕様互換性を整理したデータに、今回のアウトプットデータである中長期のサプライヤ別・部品別の購入金額の動向をかけ合わせることで、部品番号の統廃合やサプライヤの生産ラインの統合・ダウンサイジングを検討する材料にすることができる。

これによって、生産性の向上、供給の安定、コストリダクションなどに繋げることができれば、より適切で、より強固なサプライチェーンの確立を目指すことができる。

DXを利用してこれを実現するためには、システムが理解しやすいよう、組み合わせるデータの体系を統一することが必要である。このデータクレンジングの作業について

は、前述の通り、今回の取り組みにおいても苦労した点の1つであり、手作業による多大な労力を要した。自由に、かつクイックにデータを組み合わせ、欲しいデータにできるような仕組みづくりについても、今後取り組んでいきたい。

大変革時代の中、ジヤトコにとってだけでなく、取引先にとっても将来に向けた価値あるデータを提供できるよう、デジタル技術を適切に活用しながら引き続きDXに取り組んでいきたい。

-
- (1)(4)(5)kintone, krewData, krewDashboardはサイボウズ株式会社の登録商標です。
 - (2)Excelは、米国Microsoft Corporationの米国およびその他の国における登録商標または商標です。
 - (3)さまざまなデータをグラフィカルにまとめ、一目で理解できるようにするデータ可視化ツール (参考 <https://liskul.com/dashboard-28575>)
 - (6)データの誤記や未入力・重複などの不備を修正し、データの正確性を高めること (参考 <https://business.ntt-east.co.jp/content/cloudsolution/column-357.html>)

■ 著者 ■



上田 歩乃佳

欧州向け 世界初CVT用セーリングストップ開発

中野 諭* 篠原 到** 篠原 史*** 李 善濤****

抄 録

今回、欧州向けJatco CVT-XにCVTとの組み合わせとしては世界初のセーリングストップ技術が採用された。セーリングストップ技術は、近年欧州メーカ、サプライヤより、CO₂低減、燃費改善アイテムとして積極的に採用されてきた技術である。しかし、それらに貢献可能な技術である一方、再加速するシーンの運転性能が課題になる。

本稿では、Jatco CVT-Xの特徴を活かした世界初のセーリングストップ技術により、どのように再加速シーンの運転性能を達成させたのか、その詳細について解説する。

1. はじめに

昨今、カーボンニュートラル実現に向け電動化が進められる一方、ICEへも継続的なCO₂低減が求められている。欧州のCO₂低減目標は、排出ガス試験方法に基づき、2020年から2024年時点で95g CO₂/kmとなり、超過時1g/km当たり95€と高い罰則がある。一方、CO₂削減量を完全に実証することができない革新的技術搭載車両に対し、CO₂の排出権を付与するエコ・イノベーションシステムという優遇措置が存在する。特に欧州メーカでは、DTCやATとの組み合わせによるセーリングアイドル採用車種が市販され、セーリングストップの開発ニーズも高まっていた。

CVTはセーリングストップでも自由度の高い無段階変速が出来るため、ドライバーの意図するきめ細かな駆動力をコントロールし安定した再加速性能を実現出来るという技術的価値がある。

本稿では、Jatco CVT-X (以下CVT-X) により欧州向けに開発したセーリングストップ技術について紹介する。

2. 概要

セーリングストップとは、走行中にエンジンを停止 (ストップ) し、エンジンとトランスミッション (以下T/M) 間のクラッチを切り離す (セーリング) 制御である (Fig. 1)。

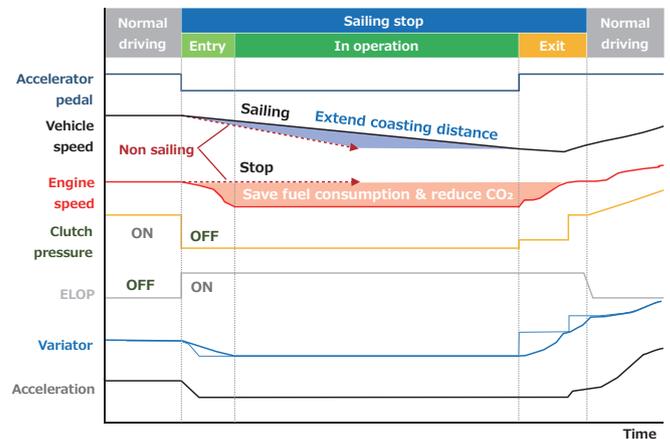


Fig. 1 Sailing stop control outline

セーリングは惰性走行距離を延ばす効果があり減速速度が緩やかになることでドライバーの不必要なアクセルペダル操作が減り、エンジン作動時間が低減出来る。

作動車速範囲は高速道路や市街地走行等、高速から低速と広範囲になりアクセルペダルを離すとセーリングストップが作動する。

セーリングストップ作動中はエンジンを停止するが、T/Mにはクラッチの解放とバリエータ変速が求められ、急減速や路面入力、再加速等の早い変速に備えたオイル流量が必要になる。CVT-XはTwin oil pump systemを採用しており、セーリングストップではエンジン停止中から再始動の間、流量を得られないメカニカルオイルポンプ (以下MOP) に代わって、電動オイルポンプ (以下ELOP) を用いる。

Twin oil pump systemは、従来CVTよりも小型のMOPとELOPを併用しメカロス低減を狙っている。セーリングストップに限らず車速を一定に保つ低流量シーンなどはMOPを用いメカロスを低減する。大流量を必要とする急減速や急加速シーンではELOPを併用している。また、アイドルストップや低速走行中エンジンが停止するコーストストップも、セーリングストップ同様、MOPに代わってELOPが作動する⁽¹⁾。

次にセーリングストップを解除するには、アクセルペダル、ブレーキペダル、又はシフトレバーを操作することで通常走行に移行する。特に重視するのは、再加速になる。高速道路の追い越しシーンなど、加速要求が高いアクセルペダル操作時に、いかに通常走行に近い加速フィーリングに近づけるかが鍵になる。

次章よりその運転性能要求について解説する。

3. 運転性能要求コンセプト

運転性能とはドライバが自動車を運転し加減速操作する際のスムーズさやその安定性を示す性能であり、再加速シーンにはアクセルワークに見合ったリニアでスムーズな加速が求められる。セーリングストップを伴わない通常の再加速はCVTによる素早いダウンシフトをエンジン制御と協調し実現している。その際の性能指標としてはLagとResponse (Fig. 2) を用いており、セーリングストップの再加速も同様である。Lagはアクセルペダル踏み込みから初期反応までの時間を表し、Lagが長いと応答遅れや空走感につながる。Responseはアクセルワークに見合った加速が得られるまでの時間を表す。これら目標時間は、市場性を考慮し先行していたDCT車両のベンチマーク結果を踏まえ決定した。

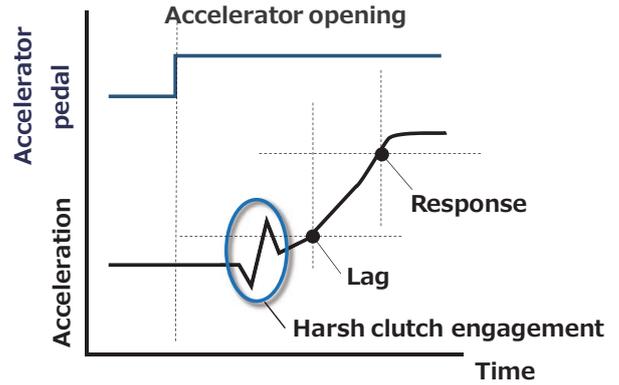


Fig. 2 Acceleration feeling index

セーリングストップ再加速 (Fig. 3) は、通常再加速シーンに相当するフェーズBの前に、フェーズAの動作が必要になる。フェーズAでは、クラッチは解放から締結スタンバイ状態とし、クラッチ回転数を同期させてから締結状態とする。この同期時間を短縮することでリニアな加速フィーリングを実現できる。そのためには、次の3要素のコントロールがポイントになる。

- エンジン回転数
- バリエータ変速による回転同期
- クラッチ締結タイミング

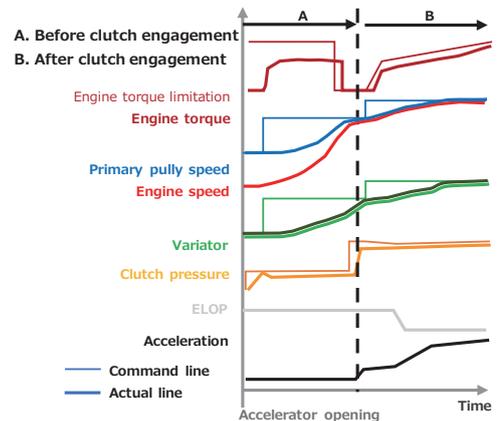


Fig. 3 Re-acceleration control concept

CVTは、有段変速のDCTと比べ変速比設定の自由度が高く、必要駆動力に応じた的確なダウンシフト量によって安定したLagとResponseを実現し易いという利点がある。しかしながら、クラッチ締結ショック (Fig. 2) を抑えたスムーズな加速を得るためには、前述の3要素が的確にコントロールされた高精度な適合(制御バランス)状態が求められる。

4. 再加速抜けシーン方策

4.1 Lag, Response の方策

アクセルペダルを深く踏み込む再加速シーンはLag, Response要求が高くなる。特にバリエータ変速比がHigh側になる中高速域はFig. 4のクラッチ締結前ダウンシフト機能 (以下Pre-low down shift) が鍵になる。例えば上記のままクラッチ締結させた場合、通常再加速に比べクラッチ締結時間分、加速応答が悪化する。その方策としてPre-low down shift機能を追加することでクラッチ締結後の必要駆動力を確保している。このダウンシフト量については、Lag, Responseとクラッチ締結ショックにトレードオフの関係がある。ダウンシフト量が大き過ぎると、変速比がLow側になりクラッチ締結ショックへの感度が高くラフな加速になり易い。また変速時間が長くなりクラッチ締結完了までの時間 (フェーズA) が遅れることでLagが悪化する。一方、ダウンシフト量が小さ過ぎると上記悪化は回避出来るが、クラッチ締結完了以降 (フェーズB) にダウンシフトすることになりResponse目標までの駆動力発生が遅くなる。そのため、Pre-low down shift量は、Lag, Responseの目標時間とクラッチ締結ショック感度のバランスをとった適合が必要になる。

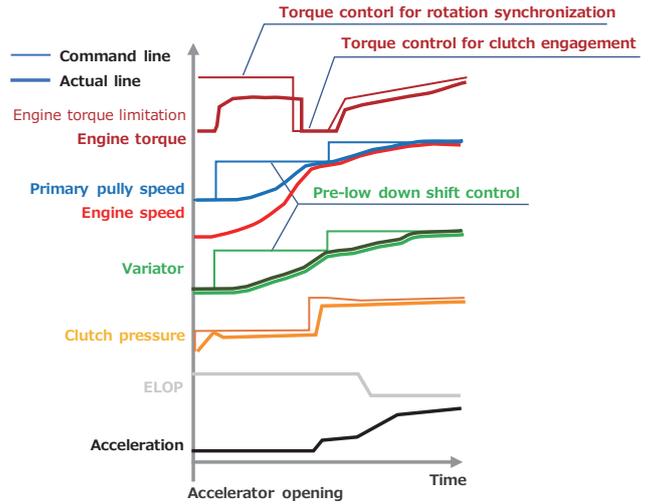


Fig. 4 Method of re-acceleration improvement

4.2 クラッチ締結ショックの方策

クラッチ締結ショックを抑えたスムーズな加速性能の実現には、クラッチ差回転を目標差回転以内にコントロールし締結する必要がある (Fig. 5)。クラッチ入力回転はタービン回転になり、この時エンジン回転とロックアップにより同期している。クラッチ出力回転はバリエータのプライマリプリー回転になる。

$$\text{クラッチ差回転} = \text{クラッチ出力回転} - \text{クラッチ入力回転(1)}$$

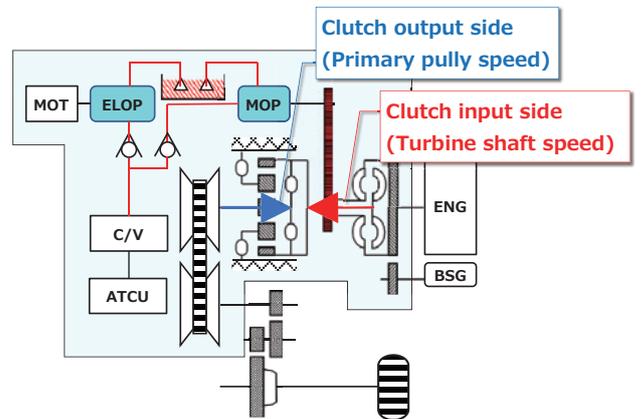


Fig. 5 CVT-X block diagram

クラッチ締結完了までの流れは以下になる (Fig. 4).

- 1)クラッチ入力回転数コントロール
再始動後のエンジン回転を回転同期用トルク制御によって目標回転まで上昇させる。
- 2)クラッチ出力回転数コントロール
Pre-low down shiftにより目標回転まで上昇させる。
- 3)クラッチ締結前入出力軸コントロール
クラッチ締結用トルク制御により入出力軸を目標回転内にコントロールする。
- 4)クラッチ締結開始
目標差回転以内に締結を完了する。

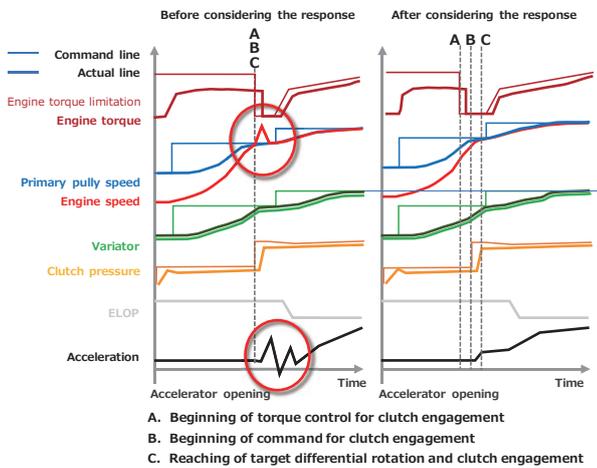


Fig. 6 Clutch engagement harsh optimization

3), 4)の開始タイミング (Fig. 6 A, B) は, 式 (1), (2) より判定する。

$$\text{変速終了判定差回転} = \text{目標クラッチ入力回転} - \text{目標変速比} \times \text{セカンダリプリー回転} \quad (2)$$

3)トルク制御, 4)クラッチ締結開始タイミングは, 制御を指示してから実応答するまでの時間である応答遅れを考慮した適合が必要になる。例えば, それらを考慮せず単に目標差回転に設定すると突き上げショックが発生する (Fig. 6左図)。クラッチ締結指示後の実際の締結が間に合わずエンジン回転が吹け上がりクラッチ締結の際, イナーシャトルクによる突き上げが発生する。そのためFig. 6右図に示す様に, 開始タイミングは応答遅れを加味した適合をすることで, スムーズな加速を実現している。

4.3 エンジン制御協調

更にクラッチ締結ショック目標を満たすためには, CVTの特性に加えエンジン特性を捉えた適合が必要になる。特に影響の大きい特性として2点挙げられる。

1)エンジン再始動性

セーリングストップが作動すると, エンジンは燃料を遮断後, 惰性で低下し完全停止する (以下停止中)。ドライバの解除操作タイミングによっては, エンジン停止中に再始動することになり, この時の回転数によって再始動方式がBelt-driven Starter Generator (BSG) 又は, Injection方式に切り替わる。この違いによって生じるエンジン回転の上昇速度差を回転同期用トルク制御により安定させることでスムーズな加速を実現している。

2)エンジン再始動タイミング, 回転上昇ばらつき

ばらつきの要因としてはエンジン停止時のピストンサイクル状態, 吸入空気温度などがある。例えば, エンジンのピストンが圧縮行程で停止した場合, 再始動が遅れてしまう。エンジンの再始動制御は, 制御中はエンスト回避を優先するため, CVTからのクラッチ同期用トルク制御を受け付けず, エンジン回転が吹け上がり, クラッチ締結ショックが起きてしまう (Fig. 7)。

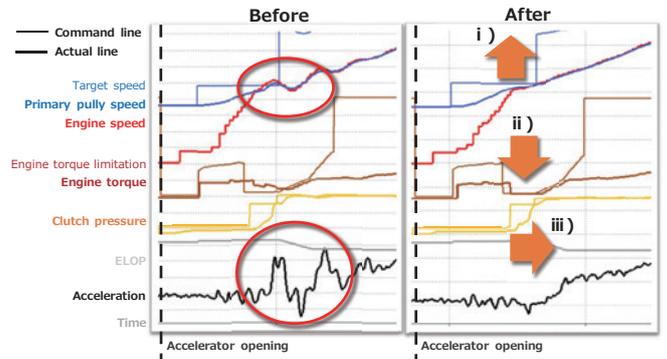


Fig. 7 Engine control interference and the measure

対策としては以下の方策により解決可能である (Fig. 7).

- i) Pre-low down shift量を上げ、クラッチ締結用トルク制御の開始タイミングを遅らせ再始動制御との干渉を避ける。
- ii) Low側へダウンシフトする分、クラッチ締結用トルク制御のトルク制限量を強め締結後の駆動力を調整しクラッチ締結ショックとのバランスを取る。
- iii) トルク制限量を強めると、制限後の回転上昇速度が遅くなる。クラッチ締結開始タイミングをその回転上昇速度に合わせて遅らせた設定にすることでエンジン制御、バラツキを見極めたスムーズな加速性能が実現出来る。

以上の様に、エンジン特性、制御を考慮したCVT適合によってドライバのアクセルワークに見合ったリニアでスムーズな加速を実現することが出来た (Fig. 8).

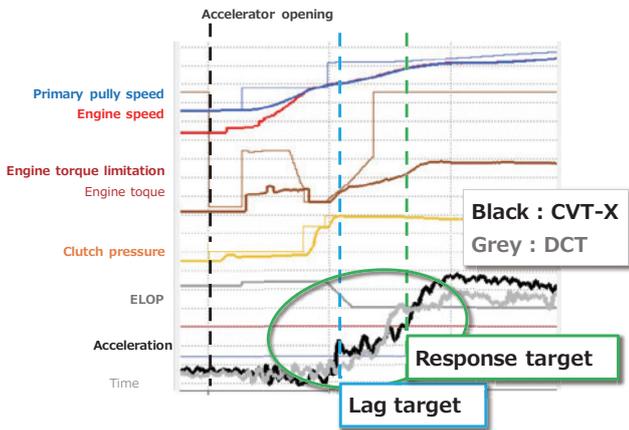


Fig. 8 Comparison CVT-X and DCT

5. 最後に

今回の開発で、DCTと比べCVTの利点である無段階変速により、安定したLag, Response性能を実現しやすいという技術的価値を証明することが出来た (Fig. 9).

DCTがクラッチスリップコントロールで対応しているクラッチ締結ショックは3要素 (エンジン回転数, バリエータ変速比, クラッチ締結) を理解した制御を構築し緻密に適合したことにより、競争力の高いリニアでスムーズな加速性能に上げることが出来た。本開発では、各機能への目標割り付けと、ばらつき着目点を事前に洗い出すことで、適合すべきポイントを事前に絞り込みLag, Response, クラッチ締結ショックの背反性能を満足することが出来た。本機能を実現したことでCVT-Xとしての魅力品質を向上することが出来た。

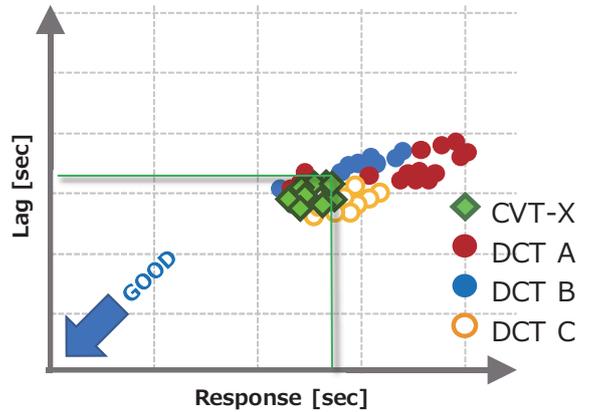
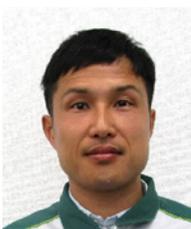


Fig. 9 Re-acceleration performance comparison with competitive DCT cars

6. 参考文献

- (1) 鈴木真悟, 豊原耕平, 小栗慎, 松村将矢: 高効率ワイドレンジ新型CVTの開発, JATCO Technical Review No.22, pp. 3 - 8.

■ 著者 ■



中野 諭



篠原 到



篠原 史



李 善澣

MILSのシミュレーション時間低減による 開発効率化への取り組み

大嶋 歩* 松永 賢太郎* 金 ジェホ*

抄 録

制御ソフトウェア開発では効率的に開発できるようモデルベース開発が一般的になっており、モデル設計段階においてはバーチャル上で制御検証することが重要である。しかし現状、トランスミッションの制御ソフトウェアの検証に用いているMILSはシミュレーション時間が非常に長い。そこでシミュレーション時間を低減できる手法やツールを導入し、これまでより効率的に開発が行えるようにした。本稿ではその取り組み内容について紹介する。

1. まえがき

制御ソフトウェアの開発では、制御の各機能をブロックで表現したモデルベース開発が広く普及してきた。制御仕様をモデルで記述した後、そのままシミュレーションすることで、設計と検証を短いサイクルで回すことができる (Fig. 1)。このようなモデルを用いた検証手法や環境のことをModel In-the Loop Simulation (以下MILS) と呼んでいる。例えば、開発プロセス内の後半にある実車検証フェーズにおいて設計ミスが発覚した場合、設計フェーズに戻ってやり直すといった大きな手戻りが発生してしまう。しかし、設計フェーズの時点であらかじめMILSを使った検証をしていれば、そこでミスが発覚しても小さな手戻りで制御ソフトウェアを修正できる。つまり、効率的な開発が実現できる⁽¹⁾。

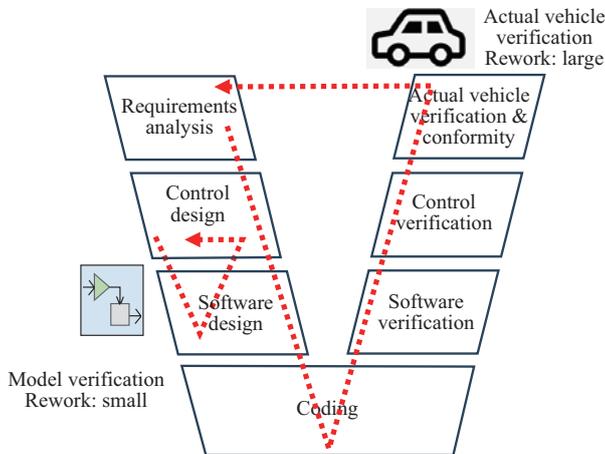


Fig. 1 V process of control development

我々も、制御ソフトウェアをトランスミッションコントロールユニット (以下ATCU) に実装する前に、モデルの段階で検証できるようトランスミッション制御MILS (以下TM制御MILS) を準備している。しかし、このTM制御MILSはシミュレーション時間が非常に長い。そこで、MILSのシミュレーション時間を低減させる取り組みを行った。本稿ではこの取り組みについて紹介する。

2. TM 制御 MILS の現状と課題

まずTM制御MILSの構成を述べる。実車操作を模擬したドライバモデル、実車やトランスミッション実機を物理式で表現したプラントモデル、トランスミッション制御が入ったコントローラモデルの3つからなり、これらを接続して1つのモデルとして、シミュレーションしている (Fig.2)。

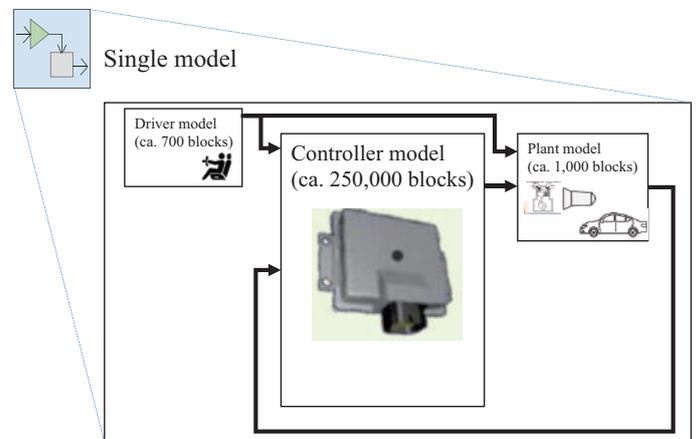


Fig. 2 Overview of the TM-control MILS

* 制御システム開発部

このうち、ドライバモデルやプラントモデルは必要最低限の機能に限定しているのに対し、コントローラモデルはATCUに実装している制御ソフトウェア全てを組み込んでいるため、他のモデルに比べてブロック数が多くボリュームが大きくなっている。それが原因でTM制御MILS全体のシミュレーション時間が長くなっている。具体的には、30sのテストケースを用いてシミュレーションすると、計算が終了するまでに20倍の600s程度の時間が掛かっている。

そこで、シミュレーション時間を低減できるか検討を始めた。低減後の目標値は、シミュレーション時間をリアルタイムの2倍以内に収めることとした。

3. 課題解決の手法

TM制御MILSのシミュレーション時間を低減させる手法として、以下2つの手法に取り組んだ。

(1) モデルを実行形式に変換してシミュレーションする手法

モデルを実行形式に変換する手法を説明する。通常、モデルは記述されている演算を1か所ずつ解釈し、機械語に翻訳しながらシミュレーションしている。演算を1か所ずつ解釈していくため、例えば、どの演算結果を出力するか条件分岐によって切り替えるモデルだと、全演算を行った上で最終的に条件に沿った結果が出力される。また同時に、都度機械語に翻訳する手間が発生している。これらが原因となり、シミュレーション時間が長くなっている。

それに対して、モデルを実行形式に変換してシミュレーションする手法の場合、まず演算全体を機械語に変換する。その際、演算全体を見て条件分岐に該当する部分などを最適化して必要最低限の演算のみを行う。こうすることで余計な手間が省かれ、結果シミュレーション時間が低減できる (Fig.3).

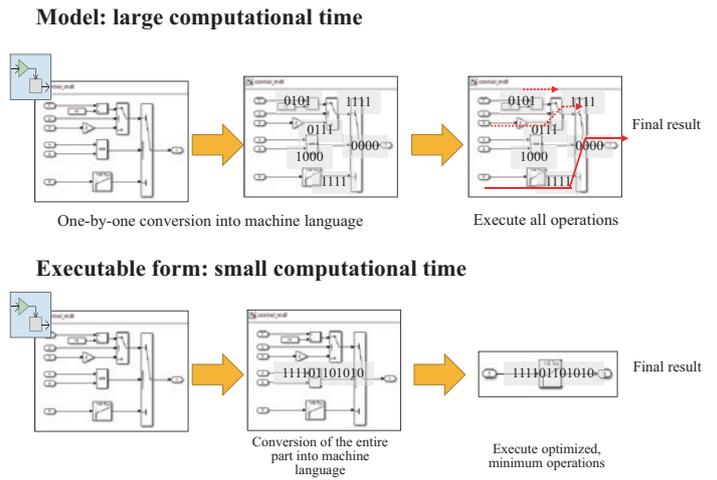


Fig. 3 Difference between a model and an executable form

この手法をTM制御MILSに対して適用するためにdSPACE社のソフトウェアツールVEOSを用いた (Fig. 4)。VEOSは、モデルの取り込み、モデルから実行形式に変換するためのビルド、実行形式ファイルでのシミュレーション、という機能が備わったツールである。

なお、ボリュームの大きいモデルをVEOSに取り込むと、モデルをビルドする際にエラーが発生してしまう。このエラーを回避するには、VEOSを使う前に、1つのモデルを複数のボリュームが小さなモデルに分割してからVEOSに取り込む必要がある。TM制御MILSもボリュームが大きいモデルになるため、複数のモデルに分割することが考えられる。

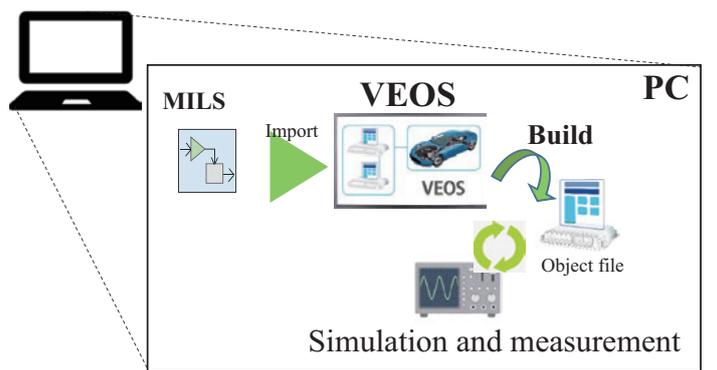


Fig. 4 Simulation environment using VEOS

(2) モデルを専用マシン上でシミュレーションする手法

モデルを専用マシン上でシミュレーションする手法を説明する。パソコンとは別に、モデルのシミュレーションに特化したハードウェアを用いる。専用マシン内のプロセッサコアにモデルをダウンロードしてから、シミュレーショ

ンを行う。この専用マシンは、高い演算能力を持つプロセッサコアとリアルタイムOSを備えたハードウェアツールであるdSPACE社のSCALEXIOプロセッサユニット(以下SCALEXIO)を用いた(Fig. 5)。

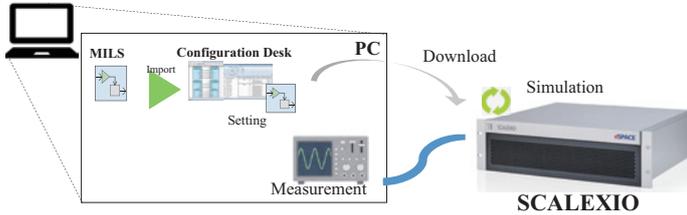


Fig. 5 Simulation environment using SCALEXIO

4. シミュレーション時間短縮の結果

ここでは各ツールを用いたシミュレーション時間短縮の結果を述べる。

(1) モデルを実行形式に変換したときの結果

TM制御MILSをVEOSで実行形式に変換してシミュレーションを行った結果、シミュレーション時間がリアルタイムの4倍程度の時間まで短縮された。

3章で述べたようにTM制御MILSそのままでは、モデルブロック数が多いため、VEOS上でビルドエラーが発生する。そのため、1つのモデルで作られているTM制御MILSを、それぞれのモデルブロック数が均等になるよう複数のモデルに分割した。分割した後に各モデルをVEOSに取り込むと、ビルド時にエラーなく実行形式ファイルに変換することができた(Fig. 6)。

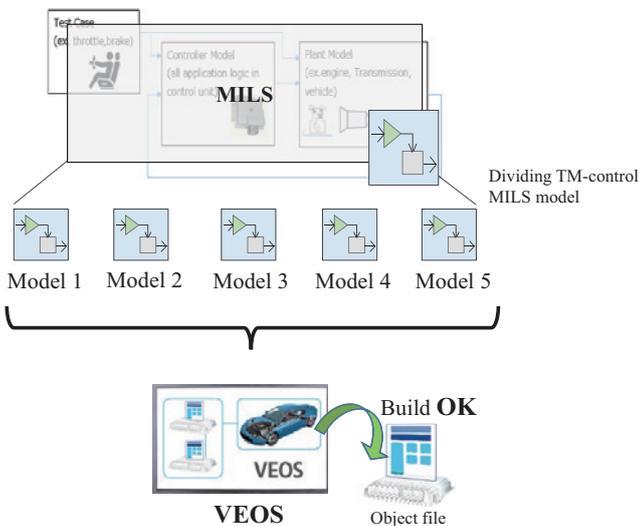


Fig. 6 Model division for MILS

VEOSを使う中で、モデルの分割数とシミュレーション時間には相関があることが分かった。分割数とシミュレーション時間の関係を Fig. 7に示す。こちらは30sテストケースを例にとっている。今回10分割まで試したが、その結果、分割数に応じて120s~300s(4倍から10倍)とシミュレーション時間が長くなることが分かった。

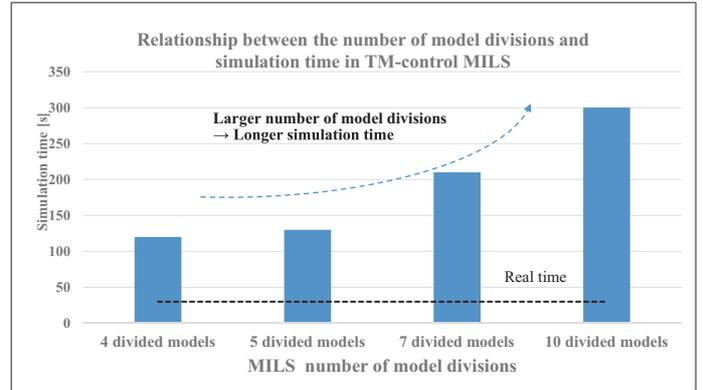


Fig. 7 Relationship between the number of model divisions and simulation time

分割数とシミュレーション時間に相関が有るのは、1つのモデル演算が終わってから次のモデルの演算を行うといった演算順序の指定が影響している(Fig. 8)。分割数が多くなるほど演算順序の指定箇所が増えてしまうため、それだけ演算の待ち時間が発生し、結果シミュレーション時間が長くなってしまふ。この演算順序の指定がないと、各モデル間の演算順序が不定となってしまふ。この場合、分割する前のTM制御MILSとは異なる演算順序になってしまふ、狙いの結果が出力されないこととなる。しかし、モデル間で演算順序を指定することで、分割前のMILSと同じ演算となり狙いの演算結果が得られる。

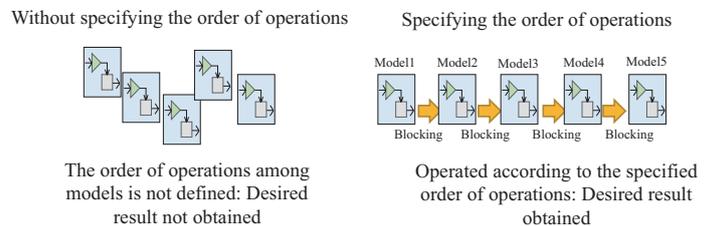


Fig. 8 Specification of the order of operations

また、MILSを用いた検証はTM制御全体だけでなく、ボリュームの小さい単一機能MILSという使い方もある。これは、ある制御機能のみを検証したい場合、その制御機能のコントローラモデルとプラントモデル部分に限定した

MILSとなっている。一例として、変速制御機能のみに限定した単一機能MILSであれば、リアルタイムに対して半分程度の時間にまでシミュレーション時間が短縮されている (Fig. 9)。実際の開発においては、ある制御機能だけを検証する際は、単一機能MILSで必要な検証ができるケースもあり、より短いシミュレーション時間でMILSを使った検証が可能となる。

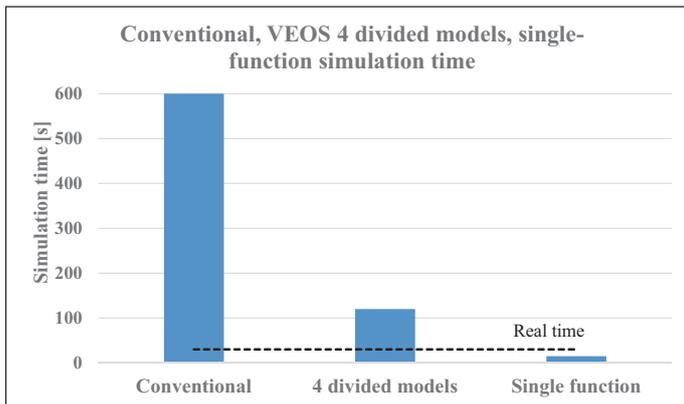


Fig. 9 Comparison of simulation time between conventional MILS and VEOS

(2) 専用マシンでの結果

SCALEXIOを用いると、TM制御MILSのシミュレーションを行う場合でも、VEOS使用時のようにモデルを分割することなく、リアルタイムと同等の時間でシミュレーションすることができた (Fig. 10)。これはMILSのシミュレーション実行をSCALEXIOという高性能な専用マシンで行っていることと、SCALEXIOが一般のパソコンで使われているOSと異なるリアルタイムOSを有しているためである。

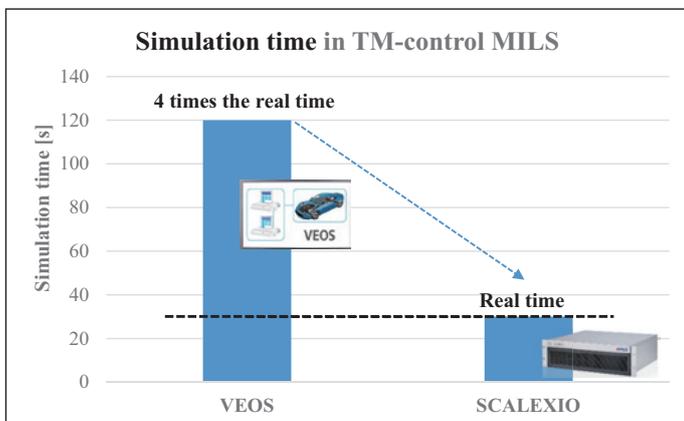


Fig. 10 Simulation time of TM-control MILS

この手法の場合、パソコンだけでなく専用のハードウェアが必要になるため、設計者一人ひとりが個別で行うには多くの設備投資が必要となる。しかし、TM制御MILSのようなボリュームの大きいMILSにおいても、モデルを分割することなくリアルタイムでシミュレーションすることができるのは、使用頻度は高くなくても非常に有益であるため、数人で1台を使うという共有のリソースとして運用するのが理想的と考える。

5. 結論

今回のTM制御MILSのシミュレーション時間低減の取り組みにおいて、目標値と置いたリアルタイムの2倍以内のシミュレーション時間を達成した。

モデルを実行形式に変換したときの結果は、従来リアルタイムの20倍程度掛かっていたシミュレーション時間が4倍から10倍の時間に低減された。単一機能MILSであればリアルタイム以下のシミュレーション時間まで低減できた。専用マシンでのシミュレーション結果は、リアルタイムと同じシミュレーション時間まで低減できた。

6. 考察

このように2つの手法とも、シミュレーション時間短縮ができるため、MILSの使い勝手向上に効果があると言える。このMILSを活用することで、より効率的な制御ソフトウェア開発が出来ると考えている。

今回2つの手法を用いたが、実際にMILSで検証する際は、用途に応じて使い分けするのが望ましい。部分的な検証で良い場合は、単一機能MILSを実行形式に変換することで、リアルタイムよりも短い時間でシミュレーションするのが有効である。一方、制御ソフトウェア全体を検証する場合には、TM制御MILSをモデルの分割をしなくてもシミュレーションできる専用マシンを用いるのが有効である。

7. 今後の課題

今回取り組んだ2つの手法は、どちらもツールが必要となるため、社内で普及させるには必要なツール数を精査し、設備投資計画に落とし込む必要がある。また実際に開発プロセスの中でMILSやツールを使う際に、具体的にどの設計フェーズで使うべきか、開発者内で共通のMILSを使う際の管理、運用ルールを決めることが今後の課題となる。

技術開発としては、ATCUの実機が無い状態でも制御の検証ができるよう、バーチャル検証領域の拡大を検討している。現状のTM制御MILSでは、OS部分を簡易的にモデル化しているが、これを実際のソフトウェアと組み合わせてATCU全体を模擬できる仮想ECUシミュレーション環境構築を検討している。これによって、ATCU実機や実車が必要となるような検証内容でも、仮想ECUがあれば設計フェーズで検証ができるようになる。

このようにモデルベース開発のメリットを有効活用し、更なる開発効率化をこれからも追求していく。

8. 参考文献

- (1)藤塚亮平, 原田大輔, 馬場勇輝: MILS (Model In the Loop Simulation) を用いた制御検証の効率化, JATCO Technical Review No.18, pp.39 - 44, 2019.
- (2)山形大輔: 実験業務へのMBD活用による開発品質向上～CVT開発におけるVRS適用～, JATCO Technical Review No.21, pp.11 - 14, 2022.

■ 著者 ■



大嶋 歩



松永 賢太郎



金 ジェホ

トランスミッションユニットにおける ベアリング水素脆性剥離発生メカニズム

丸山 博之* 早川 和宏* 豊原 耕平*
征矢 啓* 金山 義輝* 佐々木 克明**

抄 録

ベアリング単品での水素脆性剥離については多くの研究報告がなされているが、実際の使用環境での研究報告はあまり見られない。本報ではContinuously variable transmissionユニットにおける組付け状態と運転状態を考慮し、プーリ支持ベアリングに水素脆性剥離が発生するメカニズムと影響因子を明らかにしたので紹介する。

1. ま え が き

近年、CO₂削減のためトランスミッションへの要求性能は年々高まり、さらなる低フリクション、小型軽量化が求められている。電動化車両に適用されるトランスミッション(e-Axle)においてはモータの小型化が進み将来的に高回転化が進む見込みである。またコンベンショナルな無段変速機(以下CVT)においても、さらなるレシオカバレッジの拡大や内部フリクションの低減が要求される。このようなトランスミッションに用いられるベアリングにおいて、苛酷な環境下でもその使われ方を考慮した信頼性保証をしていく必要がある。

ベアリングの様々な故障モードの一つに水素脆性剥離がある。ベアリングの水素脆性剥離が発生するメカニズムについて、ベアリング単品では多くの研究報告⁽²⁾がなされているが、実際のトランスミッション使用環境での研究報告はあまり見られない。

ベルトCVTではプーリを支持するためのベアリングが複数使われている(Fig. 1)。ベアリング単体試験やCVTユニットでの通常試験条件では設計通りの寿命を確保できているが、高油温条件で発進、停止、および高速走行を組み合わせた複合加速耐久試験(以後、複合加速耐久試験という)を実施したところ、該当条件で算出した寿命よりも早期に破損する現象が認められた。Fig. 2に示すようにベアリング外輪転走面の負荷圏側に剥離が発生しており、その内部に白層が認められた。

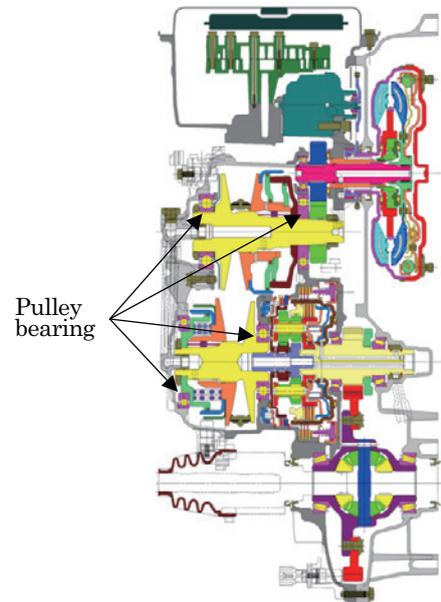


Fig. 1 Schematic structure of Jatco CVT 7

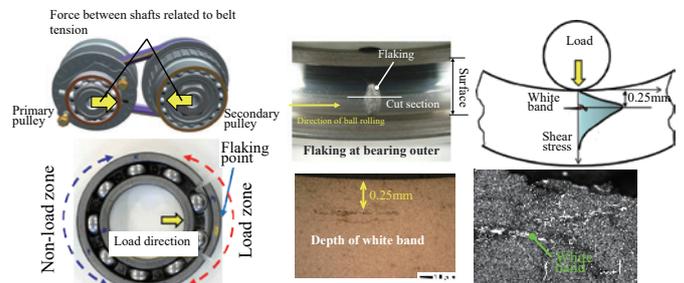


Fig. 2 Hydrogen embrittlement flaking

* 部品システム開発部

**NTN 株式会社 適用技術部

さらに詳細に分析した結果、通常より多くの水素侵入量が認められ、水素脆性剥離が発生していることがわかった。

本報ではCVTユニットにおける組付け状態と運転状態を考慮し、プーリ支持ベアリングに水素脆性剥離が発生するメカニズムを明らかにしたので紹介する。

2. 水素脆性剥離の発生メカニズム

摺動部の水素による金属脆性剥離現象は、一般的に以下のメカニズムで発生すると考えられている (Fig. 3)。

- (1)金属摺動部面の面圧，すべり速度および潤滑油温それぞれは炭化水素などから水素を分解する活性化エネルギーの影響因子である。それらは金属間の油膜切れに影響する因子でもある。つまり高面圧，高すべり，高油温で繰り返し摺動すると，水素が発生し，また油膜切れにより金属新生面を露出させやすくなる。
- (2)新生面の露出は触媒として作用するため水素原子に分解する活性化エネルギーは小さくなる。このため新生面が水素原子発生加速要因となり，多くの水素原子が発生する。
- (3)水素原子は油膜切れが発生した新生面に吸着する。
- (4)吸着した水素原子は，自身の持つ運動エネルギーで金属内部へ拡散する。
- (5)内部に拡散した水素原子は接触直下のせん断応力発生部位に集約される。
- (6)これが連続して繰り返されることで，白層となる。
- (7)白層部位は硬く脆い組織であり繰り返し内部応力が与えられるとその白層部位から内部破壊が進み亀裂が起これり，最終的に摺動部表面に進展し剥離現象に至る。
- (8)一方で金属内に侵入した水素は放出される特性がある。そのため，連続運転環境下で水素は侵入し続けるが，停止時などを含む断続運転の場合は水素が放出されるため水素脆性剥離が発生しにくい。

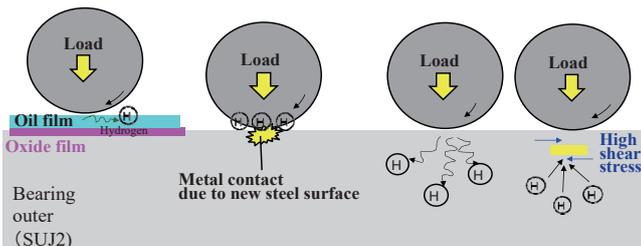


Fig. 3 Mechanism causing hydrogen embrittlement flaking

このメカニズムに従って，以下の検証試験を実施した。

- 水素侵入量に対する感度把握試験。
- CVTユニットを用いたベアリングの油膜厚さ測定試験。
- 車両停止時間中に放出される水素量確認試験。

3. 検証試験方法

3.1 水素侵入量に対する感度把握試験。

2章で述べたメカニズムを考慮し，ユニット環境での条件で水素侵入量がどのような感度を示すかを，ベアリング単体試験とユニット試験で確認した。

ベアリング単体試験機をFig. 4に示す。ラジアル荷重，油温，回転数を影響因子として感度試験を行い，試験終了後のベアリング内部への水素侵入量を調査した。

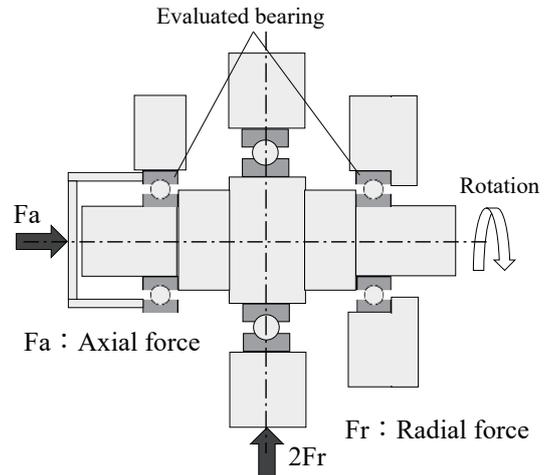


Fig. 4 Schematic of bearing unit test equipment

またトルクおよび回転数の入力変化に着目し，CVTユニットを用いて，発進停止パターンおよび入力を一定にしたコンスタント条件 (start-stop or constant loading) で入力の違いによる水素侵入量の調査を行った。

それらの具体的な条件をTable 1に示す。

Table 1 Test conditions

	Influential factor	Radial load	Oil temperature	Input speed	Start-stop or constant loading
1	Radial load	2 conditions (medium and large)	High	High	Constant
2	Temperature	Large	2 conditions (medium and high)	High	Constant
3	Temperature	Large	High	3 conditions (small, medium, high)	Constant
4	Start-stop or constant loading	Medium	High	-	2 conditions (start-stop test pattern of triangular wave form)

Lubricant: CVTF (NS-3)

3.2 CVTユニットを用いたベアリングの油膜厚さ測定試験

油膜厚さ測定手法は光学的手法，電気的手法，超音波を
持った手法，物質を透過するX線や中性子線の性質を用い
た手法などの様々な手法がある。CVTユニットにて油膜
厚さ測定を行うためには，周辺部品の変更を最小限にする
こと，また耐久試験ができる試験設備内に計測設備が設置
できることが必要条件である。そのため今回はブリッジ回
路を用いた電気抵抗法を用いた，電気抵抗法の計測システ
ムをFig. 5に示す。ベアリング内外輪の転走面以外の部位
にセラミックコーティングを施し絶縁，ボールが転走面に
油膜を介して転がり運動している状態では，回路では抵
抗値無限大となり電流が流れない。反対にボールが転走面
と直接金属接触している場合は回路上に電流が流れる。こ
のような計測システムをCVTユニットに組み込み電圧の
変化によってボールと転走面の接触状態を判別できるよ
うなシステムを開発した。

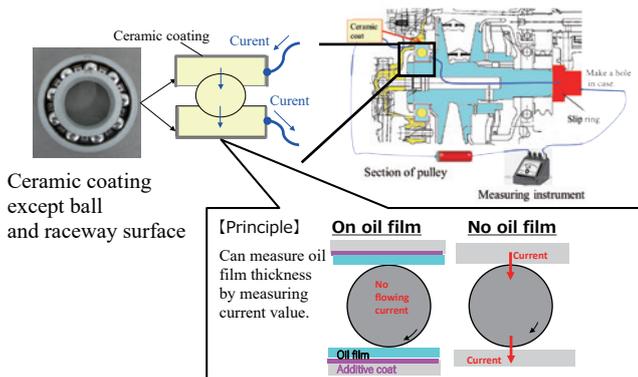


Fig. 5 Test method for measuring oil film

Fig. 6に電圧を読み取るブリッジ回路図を示す。この回
路の合成抵抗Rは

$$R=R1+(R2 \times Rx \div (R2+Rx)) \quad (1)$$

となる。この回路図の抵抗Rxはボールと外輪転走面間の
抵抗値である。ボールと外輪間の油膜が切れ，金属接触す
る場合，Rx=0Ωになる。すると回路の電圧計の電圧は式(1)
より，V=I*0となり，電圧計の値は0Vを示す。

ボールと外輪間に油膜ができ金属同士の直接接触がなく
なると絶縁されるため，式(1)より合成抵抗R=∞Ωとなる。
すると電圧計の値は，V=I*∞となり式上では∞になるが，
回路の電源電圧が1Vであるため，電圧計の値は1Vを示す。

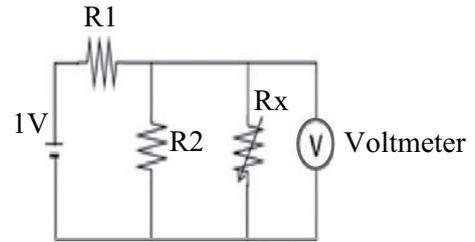


Fig. 6 Circuit for measuring oil film

なお測定条件は複合加速耐久試験の中から，全開発進条
件を抜き出して，油温2水準で実施した。以下のTable 2に
試験条件を示す。

Table 2 Test condition for measuring oil film thickness

	Oil temperature	Input torque	Input speed	Primary pressure	Secondary pressure
Combined durability test conditions (Full acceleration start)	2 conditions (medium and high)	High	~medium	~medium	~high

3.3 車両停止時間中に放出される水素量確認試験

陰極電解水素チャージ試験にて，25mA/cm²で120
分間チャージした。その後，車両停止時を模擬して，
ガスクロマトグラフィ分析を高油温等温保持条件で
水素放出速度と水素放出量を測定した (Fig. 7)。

Conditions

Solvent : 3%NaCl, 0.3%NH₄SCN

Time : 120min,

Input : 25mA/cm²

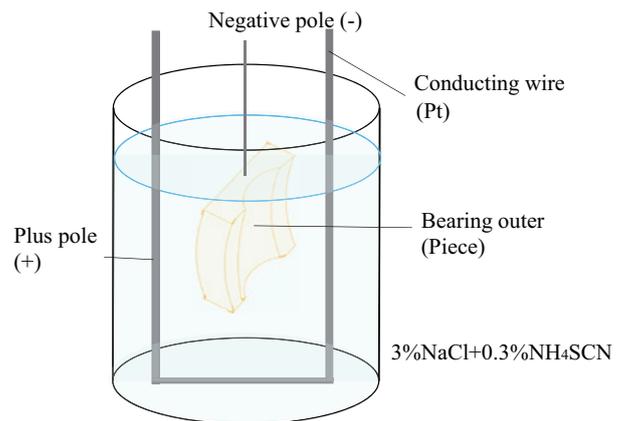


Fig. 7 Test for charging hydrogen

4. 試験結果

4.1 水素侵入量に対する感度把握試験結果

試験結果をFig. 8に示す。

- 水素侵入量と荷重，油温については正の相関，回転速度については負の相関が見られた。
- 異なる入力条件でのCVTユニットを用いた試験では，入力を一定にしたコンスタント条件よりも発進停止を繰り返す入力の方が水素侵入量は多くなった。

それぞれ感度がある中でも荷重，油温，発進停止パターンが水素侵入量の影響が大きい結果となった。

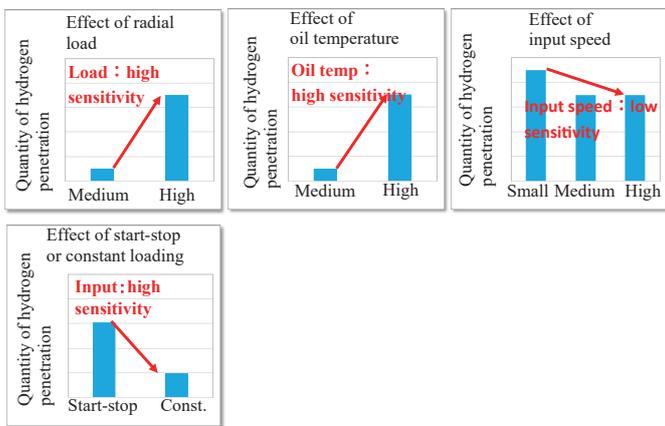


Fig. 8 Sensibility of hydrogen penetration for bearing

4.2 CVT ユニットを用いた油膜厚さ測定試験結果

CVTユニットを用いたベアリングの油膜厚さ測定試験の結果をFig. 9, 10に示す。ここで各影響因子であるプライマリ油圧，プライマリトルク，プライマリ回転数の入力上昇前をa区間，入力上昇中をb区間，入力上昇後の安定区間をc区間とする。

- 停止時であるa区間では，油温にかかわらず電圧が0Vを示しており，ボール～転走面間には油膜が形成されていない状態を示している。
- 通常油温の場合，b区間前半において，電圧値は0～0.6V付近を示しており，断続的に油膜形成がなされていることを示している。またc区間において電圧値が1V付近に計測され油膜が形成されていることがわかる。
- 高油温の場合，b区間前半において，0Vを示しており油膜形成はなされていないことを示している。その後のc区間で電圧値が1V付近を示しており，通常油温の場合と同様に油膜形成がなされている。

以上より，発進直前までのa区間では油温にかかわらず油膜形成がされていない。b区間では油温が高い条件では油膜が形成されないが，油温が低い通常条件では断続的に油膜形成がされている。c区間では油温にかかわらず油膜形成がされている結果となった。よって，油温の違いにより各影響因子の入力上昇中のb区間前半にて油膜形成の有意差が認められた。

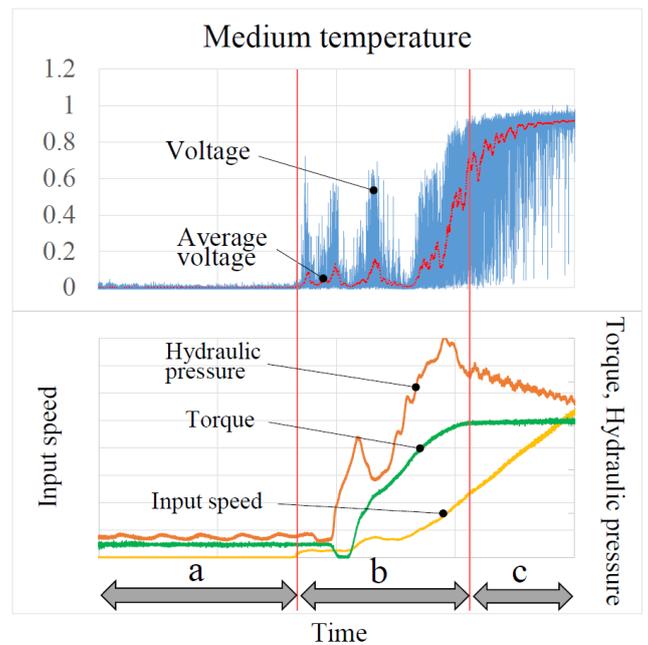


Fig. 9 Measured oil film thickness (medium temperature)

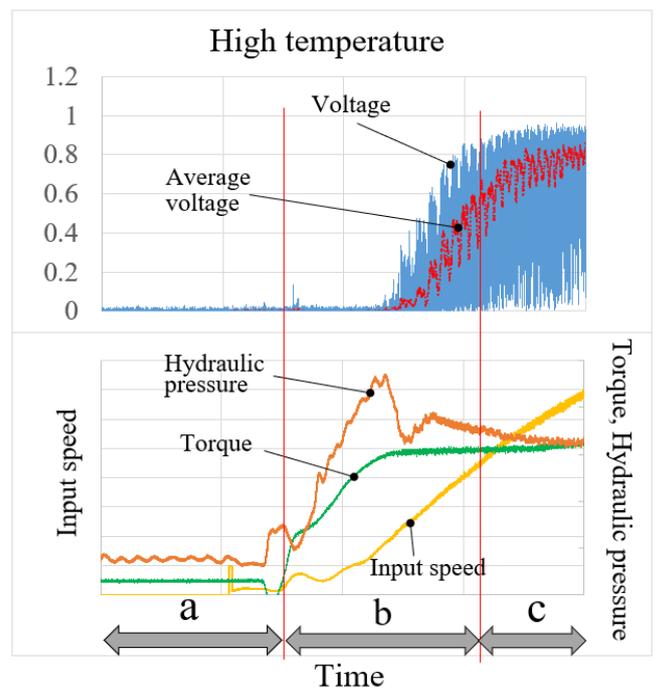


Fig. 10 Measured oil film thickness (high temperature)

4.3 車両停止時間中に放出される水素量確認試験結果

陰極電解チャージ試験にて水素をチャージし、その後車両停止時を模擬して時間を置き水素放出量を測定した。水素放出量を測定した結果をFig. 11に示す。停止時間の影響は大きく、特に60分までの間で急速に水素が放出されることがわかった。

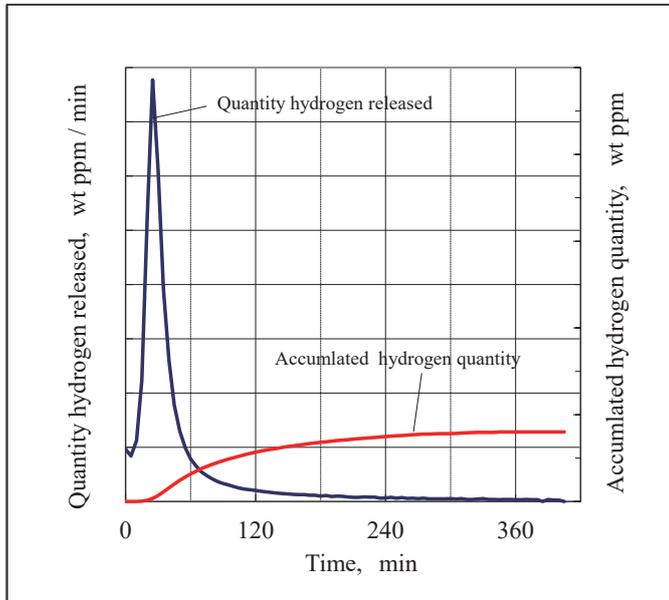


Fig. 11 Measured quantity of hydrogen released (high temperature)

5. CVT ユニットにおける水素脆性剥離メカニズム考察

CVTユニットを用いた油膜厚さ測定試験で有意差が認められたb区間前半部では、通常油温に対して高油温では油膜切れが発生している。この結果は、高油温のためオイル粘度も低くなり、発進時において油膜が切れた状態がより高い回転数まで継続したものと考えられる。水素侵入量に対する単体感度把握試験結果の油温感度大条件とも合致している。

また、CVTユニットでは、停止状態からベルトに張力がかけられているため、ベアリングにも高い荷重が入力されており、単体試験での感度から、水素が侵入しやすい状態であることがわかる。

これらのことからCVTユニットの高油温の複合加速耐久試験だけで水素脆性剥離が発生したメカニズムは、高油温のためオイル粘度も低くなり、発進時において高荷重かつ油膜が切れた状態がより高い回転数まで継続した結果、水素が侵入しやすい条件になっていたと推測される。

加えて複合加速耐久試験は、耐久時間短縮のためインターバルがなく、水素が抜けにくい状態であったことも要因と考えられ、市場の使用環境よりも水素脆性剥離が起きやすい条件がそろっていたと考えられる。

6. まとめ

ユニットの使用条件を考慮し、水素侵入に対する感度把握試験、油膜測定試験を実施した結果、ユニット環境での水素脆性剥離の発生メカニズムが明らかになり、高油温の複合加速耐久試験の連続運転でのみ発生する現象であることも説明できた。

7. 参考文献

- (1)南雲道彦：水素脆性の基礎—水素の振るまいと脆化機構，内田老鶴圃新社
- (2)田中進：ベルトCVTプーリ支持軸受，NSK Technical journal No.679 (2005)，pp.14 - 20.
- (3)藤田慎治：耐白色はく離長寿命材料，NSK Technical journal No.679 (2005)，pp.21 - 27.
- (4)磯賢一：耐白色はく離HABグリース NSK Technical journal No.679 (2005)，pp.28 - 35.
- (5)笹田直：摩耗，養賢堂
- (6)とことんやさしい水素の本，水素エネルギー協会，日刊工業新聞社
- (7)久保田浪之介：おもしろ話で理解する化学入門，日刊工業新聞社
- (8)福岡智人：忘れてしまった高校の化学を復習する本，中径出版
- (9)木野伸朗：水素脆性型早期剥離の要因解析，日本機械誌，2006,5 vol.109 No.1050.
- (10)七野勇人：歯車における白色組織を伴う歯面剥離について，KOMATSU TECHNICAL REPORT，2018 VOL.64 No.171.

- (11)日本精工 (株) 江波 翔：転がりすべり接触下における潤滑剤からの水素発生に及ぼすすべり速度と温度の影響，トライボロジー会議2022春 東京 予稿集, E20
- (12)日本精工 (株) 丸山泰石：EHD線接触における電気インピーダンス法の開発，トライボロジー会議 2022 秋 福井 予稿集, C7
- (13)丸山博之, 早川和弘, 豊原耕平, 征矢啓, 金山義輝, 佐々木克明：トランスミッションユニットにおけるベアリング水素脆性剥離発生メカニズム，2023年春季大会学術講演会講演予稿集，文献番号20235021

■ 著者 ■



丸山 博之



早川 和宏



豊原 耕平



征矢 啓



金山 義輝



佐々木 克明

ディファレンシャル装置における鋳鉄と炭素鋼との異材レーザー溶接

西本 大地* 津田 翔太* 田淵 隆行* 島田 秀一** 鈴木 健史*

抄 録

自動車の電動化や小型化により、パワートレイン部品においては鋳鉄と炭素鋼の溶接が必要となるが、鋳鉄を含む異材溶接では遅れ割れが課題となる。遅れ割れの対策としてNiを添加しながら溶接を行うことにより、応力の低下、韌性の確保を図っているが、割れの撲滅は難しいのが現状である。本稿では鋳鉄と炭素鋼の異材溶接部において調査を行い、溶融部におけるNi攪拌の重要性を確認した。また、溶融部よりも熱影響部が硬く、割れのリスクが高いこと、溶接中にマルテンサイト生成に十分な冷却速度が発生することを確認した。

1. ま え が き

近年、電気自動車普及に伴いバッテリー搭載空間を確保するため、パワートレイン部品においては小型軽量化が要求される。またガソリン車においても、低燃費化を目的とした軽量化が必要とされる。

一方、ディファレンシャル装置では、差動機構を格納するケース部(鋳鉄製)とファイナルギヤ(炭素鋼)の接合にボルトが使われてきた。Fig. 1に示すようにボルトによる接合は接合面の確保のため大型化するうえ、ボルトの数だけ重量も増加する。この鋳鉄と炭素鋼の接合方法をレーザー溶接に置き換えることで、小型軽量化を実現する。しかし鋳鉄を含む異材溶接では、溶接後数日以内に発生する遅れ割れが課題となり、生産適用が難しい。

本稿ではこの遅れ割れ低減のため、レーザーの照射条件によって変化する材料組織の状態と、材料組織の形成に影響を与えるNiの分布状況を調査した。

2. 遅れ割れの要因と対策

溶接時の遅れ割れは熱影響部、又は溶融部で、48時間以内に発生するとされている。遅れ割れの詳細ははまだ解明されておらず、Fig. 2に示す溶接部の金属組織・拡散性水素・内部応力の3要素によって発生するとされている。遅れ割れ全体では研究途上である一方で、3要素の各々では研究が進んでおり、次に示すような事象が一般的に知られている。

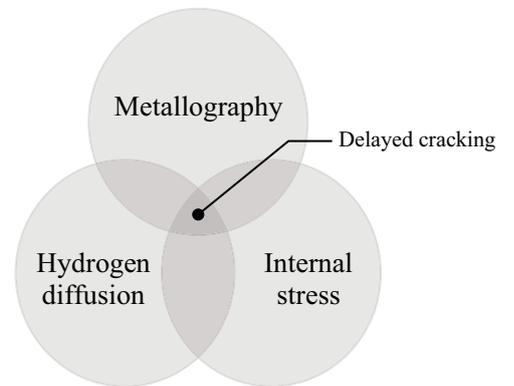


Fig. 2 Three elements of delayed cracking

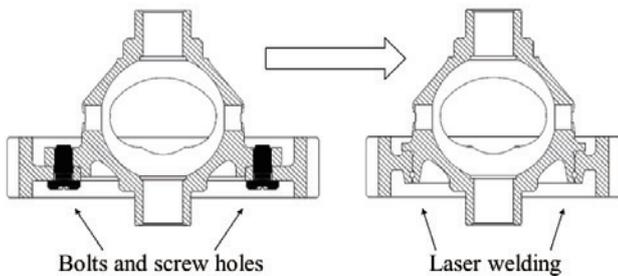


Fig. 1 Downsizing and weight reduction by laser welding

* 部品技術部 ** 技術統括部

2.1 金属組織

金属組織の観点では、急冷による熱影響部でのマルテンサイト生成が割れの要因となる。溶接では材料に与える温度履歴が急熱急冷となるため、マルテンサイトのような高硬度の組織が生成されやすい。マルテンサイトは熔融温度から500℃付近までの冷却速度が速くなることで生成されるため、予熱行程や徐冷行程を設けて、金属組織の制御を行う場合もある。

2.2 拡散性水素

金属材料内部には常温で結晶格子内を移動できる水素原子が存在し、これを拡散性水素という。拡散性水素は、材料内部の高応力部位に集積する特性があり、溶接によって内部応力が高くなった場所に集積することで水素脆化を引き起こし、遅れ割れの要因となることが知られている。拡散性水素は溶接前に材料に含まれるものと、溶接時に周囲から巻き込むものがあり、遅れ割れ対策としては溶接後に残留する水素を低減することが重要である。

2.3 内部応力

鋳鉄を含む溶接を行う場合は一般的にNiを添加し、生産工程ではNi合金ワイヤを添加しながら溶接している。これはFeに対しNiを約36%⁽¹⁾添加すると熱膨張係数が最小となるインバー特性を利用し、冷却時の熔融部の収縮量を小さくすることで残留する内部応力を下げることが目的である。またNiはCと結合しないため、周囲からCを固溶することによる熔融部の硬化を防ぐこともでき、靱性確保の点でもNi添加は有効である。

本稿では遅れ割れの全容解明に向けた第一歩として、熔融部のNi濃度分布測定を行い、レーザ照射条件によって異なる遅れ割れの発生状況との関係を調査した。また、金属組織の視点で溶接部の組織観察、硬さ分布測定を行い、割れ発生箇所と高硬度部位との関係を調査し、実際に高硬度組織を形成する急冷が発生しているかを、温度履歴測定で確認した。

3. 実験方法及び結果

レーザ溶接実験の概要をFig. 3に示す。母材は鋳鉄と炭素鋼で、φ1.0mmの70%Ni合金ワイヤを添加しながら溶接する。ワイヤはレーザの進行方向前方から45°の角度で熔融池に投入する。シールドガスにはN₂を使用した。レーザはYb:YAG発振による焦点直径φ0.4mmのIRレーザを使用した。レーザパワーを2,510W, 2,650W, 2,710Wの3条件、焦点高さを溶接部表面から-2.5mm, -3.0mmの2条件変化させ、Table 1の合計6条件で溶接を行った。溶接中は上部から赤外線ハイスピードカメラで撮影を行い、溶接後はFig. 4に示す方向に試料を切り出し、Ni濃度分布と硬さ分布測定を行った。

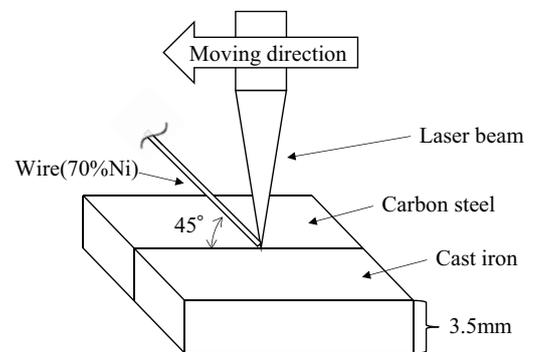


Fig. 3 Laser welding setup image

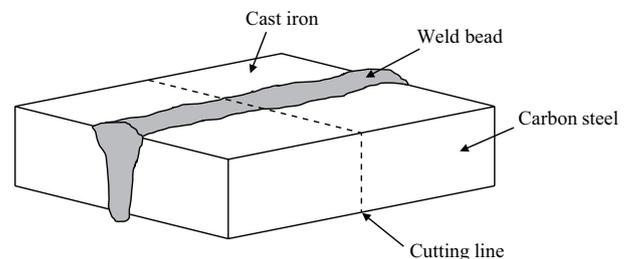


Fig. 4 Cutting

Table 1 Experimental settings

No.	Laser power (W)	Focus position (mm) (from surface)
1	2,510	-2.5
2	2,650	-2.5
3	2,710	-2.5
4	2,510	-3.0
5	2,650	-3.0
6	2,710	-3.0

3.1 Ni 濃度分布

3.1.1 測定方法

Ni濃度分布の測定にはEPMA (Electron Probe Micro Analyzer) を用いた。EPMAは試料に電子を衝突させ、放出される特性X線を計測することにより元素分析を行う装置である。今回は最大加速電圧30kVの装置を使用し、溶接部の断面を測定した。濃度分布のカラーマッピングを行う際に、溶接時に使用するNi合金ワイヤを濃度基準とすることで、視覚的に比較可能な、同レベルでのカラーマッピングを行った。

3.1.2 結果と考察

Fig. 5にレーザー照射条件ごとのNi成分のカラーマッピング結果と割れの発生状況を示す。割れの発生状況は発生率をLow, Middle, Highの3段階で評価し記載した。焦点距離-2.5mmでは上部に滞留しているのに対し、-3.0mmでは下半分までは到達している。レーザーパワーによる変化でも割れ発生率は変化するが、Ni濃度分布が割れに大きく影響を与えることを確認した。

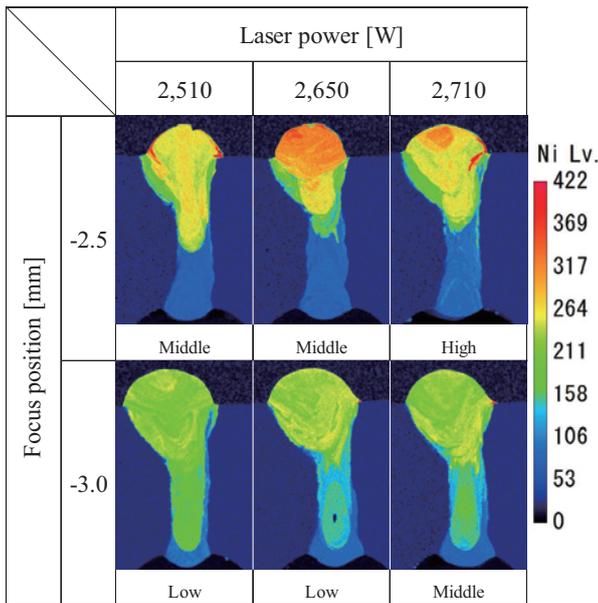


Fig. 5 Distribution of Ni and crack rate

3.2 硬さ分布測定

3.2.1 測定方法

硬さ分布の測定にはマイクロビッカース硬さ試験機を用いた。荷重300g, 0.2mmピッチで測定を行い、等倍した試料写真上にマッピングした。測定範囲は溶融部と両側の熱影響部を含む、縦5mm (24点), 横3.5mm (17点) とした。

3.2.2 結果と考察

Fig. 6に硬さ分布のカラーマッピング結果を示す。熱影響部の、特に鋳鉄側で最も硬く、600HV以上を示しており、組織観察の結果マルテンサイトが生成されていた。一方で溶融部は300~350HVに抑えられており、溶融部の靱性確保の観点では、Ni添加の効果が得られている。

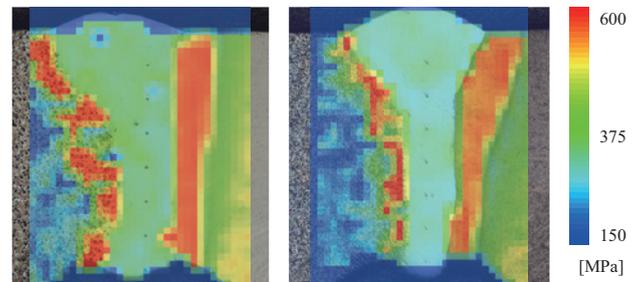


Fig. 6 Hardness distribution of welded area

3.3 温度履歴測定

3.3.1 測定方法

温度履歴の測定には赤外線ハイスピードカメラで撮影した映像データを用いた。撮影には最大画素640×512で1,000fpsの撮影が可能なカメラを使用した。また波長感度を3,000~5,000nmとすることで、レーザー光とヒュームの影響を除外した。撮影した映像と材料固有の放射率を用いて温度換算を行い、位置情報から経過時間を算出することで温度履歴グラフを作成した。

3.3.2 結果と考察

温度履歴作成に至る過程とグラフをFig. 7に示す。放射率は鋳鉄の0.29と鉄の0.42から平均0.35として計算した。溶融部表面では凝固後も800°C/sec以上の急冷が観測され、熱影響部においてもマルテンサイト生成には十分な冷却速度が発生していると考えられる。

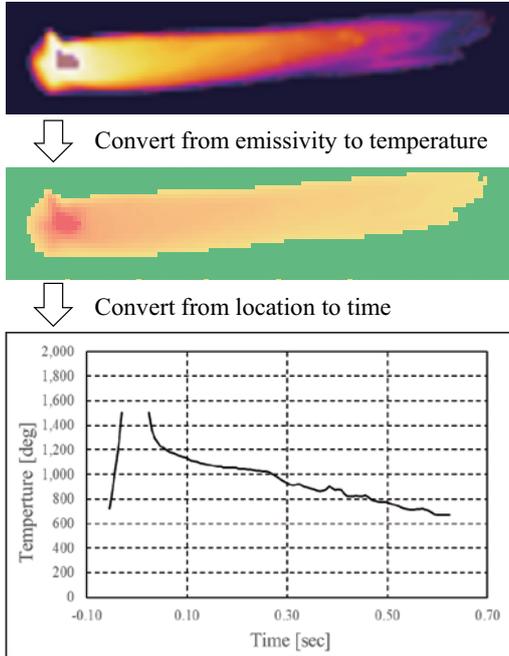


Fig. 7 Creating a temperature history graph

4. まとめ

鋳鉄と炭素鋼の溶接を行うにあたり、遅れ割れに影響する3要素の1つである組織について、関連する調査を行った。今回の調査で得られた結果を下記に示す。

1. Ni分布、硬さ分布、温度履歴の測定方法を確立し、可視化できた
2. Ni分布が割れに大きく影響を与えることを確認した

5. 今後の課題

今回確立したNi分布、硬さ分布、温度履歴の測定手法を用いて、金属材料視点での遅れ割れメカニズムについて引き続き調査を進める。また今後は残り2要素の応力・水素も考慮した調査を行い、遅れ割れの全容解明に向けて取り組んでいく。

6. 参考文献

- (1)機械材料学, 武井英雄, 中佐啓治郎, 篠崎賢二, 292 - 293, 株式会社オーム社, 2016 (第1版第3刷)
- (2)溶接・接合技術, 溶接学会編, 200 - 202, 338 - 339, 産報出版株式会社, 2015 (再版第6刷).
- (3)溶接学会全国大会講演概要, 西本大地 他, Ni合金ワイヤを用いた鋳鉄と炭素鋼のレーザー溶接部におけるNi分布状況の調査, 第113集, 60 - 61, 溶接学会, 2023.
- (4)溶接学会全国大会講演概要, 張人之 他, Ni合金ワイヤを用いた炭素鋼と鋳鉄のレーザー溶接温度場解析モデリング, 第113集, 58 - 59, 溶接学会, 2023.

■ 著者 ■



西本 大地



津田 翔太



田淵 隆行



島田 秀一



鈴木 健史

日産自動車向け Sentra用 Jatco CVT-XS (JF023E) の紹介

2023年10月に日産自動車より北米で発売された「Sentra」に、Jatco CVT-XS (JF023E) が搭載された。

新開発したJF023Eでは油圧システムを一新し、ツインオイルポンプの採用によりメカオイルポンプ小型化を行い、メカニカルロス低減した。また、多板ロックアップ・3方リニアソレノイドを採用することで発進時および再加速時にエンジン回転の吹け上がりを抑え、ドライバーの意図通りの加速感を実現した。

これまで横置きだったコントロールバルブを縦置きにしてユニットの全高を低くしたことで、小型車の衝突要件を達成した。合わせてベルト巻き付き小径化を行うことで、プーリ軸間の短縮を行いつつ変速比拡大 (7.0→7.9) を実現し、変速比拡大とユニット小型化を両立させた。

これらの技術により燃費性能・動力/運転性能及び車両安全性能に貢献し、お客様からの高い評価を得ている。

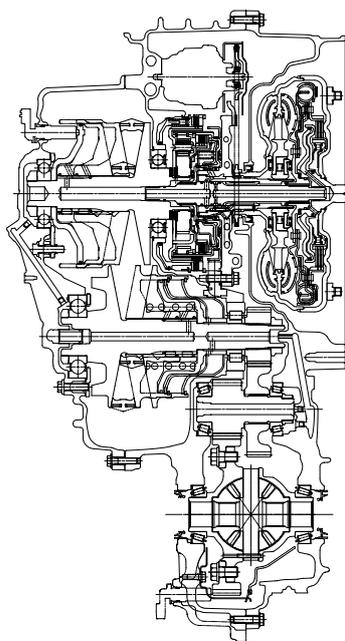


Fig. 1 Main cross-sectional view

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



Nissan Sentra

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

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

副編集長 (Deputy Editor)

矢部 康志
Yasushi YABE

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

荒巻 孝
Takashi ARAMAKI

開発部門
R&D Division

梅里 和生
Kazuo UMESATO

開発部門
R&D Division

渡辺 和彦
Kazuhiko WATANABE

調達管理部
Purchasing Administration Department

中野 晴久
Haruhisa NAKANO

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

市川 隆義
Takayoshi ICHIKAWA

法務知財部
Legal & Intellectual Property Department

谷野 剛
Takeshi YANO

ジャトコ エンジニアリング (株)
開発マネジメント部
Development Management Department,
JATCO Engineering Ltd

溝口 裕幸
Hiroyuki MIZOGUCHI

ジャトコ エンジニアリング (株)
部品システム開発部
Hardware System Development Department,
JATCO Engineering Ltd

ジャトコ テクニカル レビュー No.23

JATCO Technical Review No.23

発行 行 所 © 禁無断転載
2024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 E-グラフィックス コミュニケーションズ株式会社
東京都三鷹市牟礼6丁目25番28号

March 2024
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