

The cover features a composite image. The top right shows a city skyline at sunset with the Tokyo Skytree and colorful light trails. The bottom left shows a blue-toned image of light trails on water. A large blue triangle is on the right side, and a white triangle is on the left side.

Jatco

JATCO TECHNICAL REVIEW

No.24

目次

巻頭言

カーボンニュートラルと経済活動のジレンマ解決技術	1
	甲斐 啓之

技術報告

～ 小特集：カーボンニュートラル ～

カーボンニュートラル実現に向けたエネルギー分析プラットフォーム開発	3
	木村 太一 鈴木 祥司
	小海 正嗣 渡邊 仁
マグネシウム溶解炉用代替防燃ガスの開発	10
	深津 隆明
解析技術を用いた小型船舶用船外機の設計支援	14
	島田 勝 射庭 智之
	寺田 幹夫
流体解析を用いた油圧系異音メカニズム解明	17
	島田 勝
潤滑油寿命設計手法	22
	望月 佑馬 加藤 豪
	前田 誠
添加剤追添によるCVT油の性能回復技術	25
	杉村 晃 加藤 豪
	前田 誠

減速機油の設計コンセプトとその検証	29
-------------------------	----

石神 和訓	加藤 豪
前田 誠	佐々木 涼
小松原 仁	

CVTユニットシステム開発の革新とプロジェクト適用	33
---------------------------------	----

金田 武	横田 徹
------	------

商品紹介

日産自動車向け 北米KICKS用 Jatco CVT-XS (JF023E) の紹介	39
--	----

INFINITI/日産自動車向け QX80/ARMADA/PATROL用9速AT JR913Eの紹介	40
--	----

BRPロータックス社様向け変速プーリの紹介	41
-----------------------------	----

特許紹介

動力伝達装置	42
--------------	----



カーボンニュートラルと経済活動の ジレンマ解決技術

VP 甲斐 啓之

この夏の酷暑や世界各地で頻発する異常気象による大規模災害を目の当たりにすると、地球温暖化が全世界に深刻な影響を及ぼしていることを強く実感します。この問題への対応策として、カーボンニュートラル(CN)の実現が国際的な目標として掲げられ、温室効果ガス(GHG)の排出削減を通じて地球の温度上昇を抑える取り組みが進められています。当社ジャトコにおいても、CO₂削減を全社KPIの一つに設定し、サステナビリティにおける18の重要課題(マテリアリティ)の一環として、この課題解決に向けた活動を推進しています。

CO₂の主な発生源は化石燃料の燃焼であり、特に火力発電や自動車エンジンがその主要な要因とされています。このため、化石燃料への依存を減らし、再生可能エネルギーの導入を拡大することや、電力利用の効率化を進めることが重要視されています。例えば、電気自動車(EV)は走行時の排出を削減する有効な手段であり、CO₂削減に寄与します。しかし、EVの製造過程、特にバッテリー生産においては、従来のガソリン車以上のCO₂を排出する場合もあるため、製品のライフサイクル全体でのCO₂削減を考慮する必要があります。

経済活動の活発化に伴いエネルギー需要が増大し、結果としてCO₂排出量が増加するという傾向があります。現代社会において、人々の自由な行動や利便性の追求、さらにはAIを活用したデータ処理や学習活動などが重視される一方、これらの活動が大量の電力消費を伴い、地球環境への負荷を増大させるというジレンマが生じています。

理論的には、個人の行動を制限し経済活動を抑えることでエネルギー消費を削減し、CO₂排出を抑えることは可能です。しかし、こうしたアプローチは経済成長に欠かせない要素と相反するため、現実的には受け入れがたい課題となっています。

このジレンマを解決するためには、CO₂を排出しない再生可能エネルギーの開発や、燃焼時にCO₂を発生させない燃料の研究、さらには環境負荷の少ないバッテリー技術の進化が不可欠です。また、電力消費の効率化もCO₂削減に大きく貢献します。例えば、自動車業界で培われたエネルギーマネジメント技術は、電力効率の向上においても非常に有効であり、重要な役割を果たすと考えています。

これらの技術革新を総合的に進めることで、経済活動や個人の自由を損なうことなく、化石燃料に由来する電力需要を抑え、全体的なCO₂排出量を削減できると信じています。当社としても、こうした技術分野においてCO₂削減に貢献し、持続可能な社会の実現に向けて尽力していきたいと思っています。

なお本号では下記2件の取り組みについて具体的事例を紹介いたします。

「カーボンニュートラル実現に向けたエネルギー分析プラットフォーム開発」

「マグネシウム溶解炉用代替防燃ガスの開発」

カーボンニュートラル実現に向けた エネルギー分析プラットフォーム開発

木村 太一**

鈴木 祥司*

小海 正嗣**

渡邊 仁*

抄 録

ジャトコは2050年バリューチェーン全体でのカーボンニュートラル達成を目指し、生産DXの推進と生産技術の革新により、省エネルギー化を促進している。工場エリア単位での電力見える化は構築できているが、より細かい電力管理を行い職場単位のオペレーションレベルで節電を進める体制を再構築した。

本稿では、カーボンニュートラル実現に向けた生産部門のエネルギー分析プラットフォームとして設備単位で、かつリアルタイムに電力及びエア使用量データを取得・把握できるシステムを内製化開発したので報告する。

1. ジャトコの温室効果ガス削減に向けた取り組み

1.1 日本国内の目標

まず、日本国内の目標として、2021年4月政府は2050年でのカーボンニュートラル、2030年度に温室効果ガス46%削減（2013年度比）を表明している。

1.2 ジャトコの目標設定

次にジャトコでは2050年までにバリューチェーン全体でのカーボンニュートラル実現、2030年までにCO₂排出量46%減を目指している（Fig. 1）。

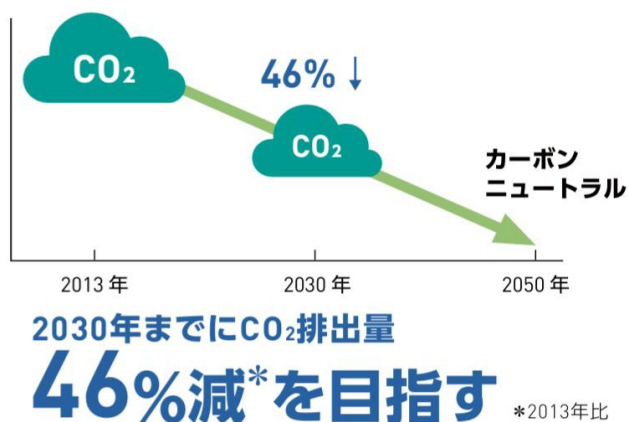


Fig. 1 JATCO's Greenhouse Gas Reduction Targets

1.3 ジャトコの生産活動におけるCO₂排出割合

ジャトコの生産活動における主なCO₂は、2023年度において電力8割、燃料他2割の使用率である。そこで、CO₂排出量が多い電力の使用量削減が重要課題となっている（Fig. 2）。

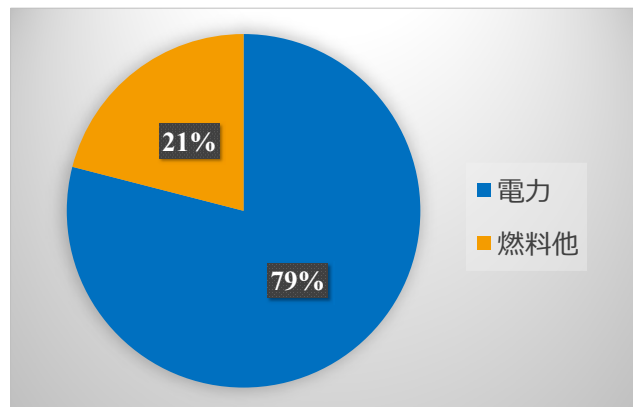


Fig. 2 Percentage of CO₂ emissions from production

1.4 電力の使用量削減に向けた活動

現状の電力見える化を以下に示す。Fig. 3は工場平面図を示し、色別のブロック単位で電力見える化が出来ている。



Fig. 3 Schematic diagram of the entire factory

例えば、Fig. 3図の[A]緑色のブロックをクリックすると、Fig. 4のようにグラフが表示されて、そのエリアにおける電力使用量の1ヵ月の推移が確認できる。縦軸は電力使用量（kWh）、横軸は時間（hour）で任意に設定可能である。

1.5 電力見える化の現状課題と次のステップ

上述のように、工場のブロック単位での電力見える化が完成したが、製造現場から「自職場の設備がどの程度電力を使用しているか分からないため節電が進まない」という声が上がった。

工場の節電を推進するためには、それぞれの設備がどの程度のエネルギーを消費しているか把握して、ムダを発見する必要がある。現在、各職場には大体30台程の設備があるが、すべての設備には電力量計が設置されていない。設備毎に電力量計を取り付けるには、膨大なコストと工数が掛かるため簡単に進められないという課題があった。

また、工場のほとんどの設備は圧縮空気を使用しており、これらのエアーを生成するために多くの電力を使用している。

そこで今回、設備単位での電力及びエアー使用量データを取得・把握できるシステムを内製化開発したので報告する。

2. 開発コンセプト

前述のように、弊社ではカーボンニュートラル目標を達成するため、設備単位での電力見える化を目指している。

ジヤトコ使用設備は、動力源として電力、エアーを使用し、かつ多種多様なメーカー機器を採用している。市販品の多くはパッケージ売りで柔軟性がなく、かつ高額であり、他メーカー機器との互換性がないため、汎用的に設置できる自社製の電力見える化計測ユニットを開発した。

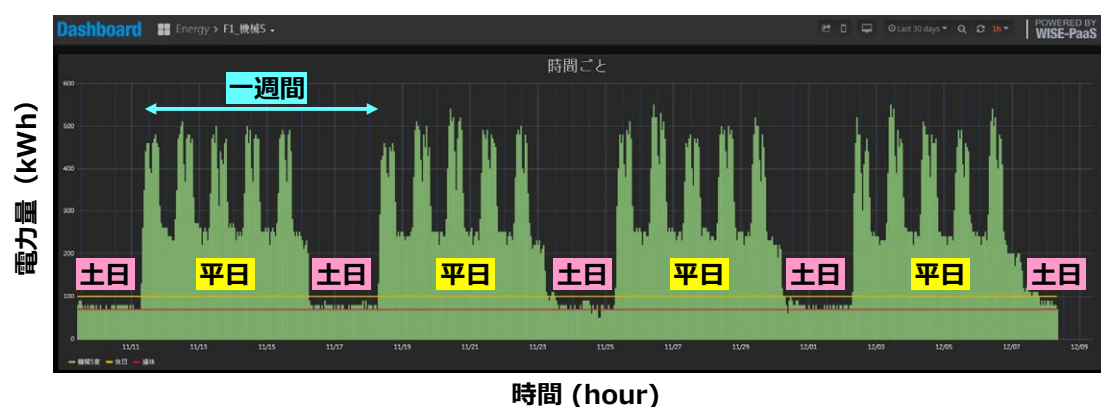


Fig. 4 The power transition of the block

3. 電力見える化計測ユニットの設計

3.1 構成概要

電力見える化計測ユニットは、Raspberry Pi⁽¹⁾、電力計測基板、Uninterruptible Power Supply（以下、UPS）基板の3つで構成し、設計を行った。

ユニットを含めたシステム構成図を示す（Fig. 5）。

3.2 Raspberry Piの選定

ジャトコではIoT内製化開発において標準的にRaspberry Piを使用している。これは、Raspberry Piが安価で小型ながらモータ駆動や設備の状態可視化に適し、さらにPythonの使用が可能なためである。

3.3 電力計測基板の設計

エア流量や設備消費電流を測定するには連続量検出が必要で、センサの出力はアナログ信号である。しかし、Raspberry PiにはアナログI/Fが無いため、A/Dコンバータ（以下、ADC）を用いてアナログ信号をデジタル信号に変換する必要がある。そのため、電力計測基板を製作した。

3.4 UPS基盤の設計

弊社の組立設備では、安全対策のため設備点検や異常時に電源を遮断することが多く、電源供給の途絶が機器の故障やデータ破損リスクの可能性がある。強制電源遮断時のエラーに対処するため、Raspberry Pi用のUPSを製作した。

3.5 データの流れ

フローセンサによるエア流量取得、クランプセンサによる設備消費電流を取得し、アナログ電流を回路の電流を検出するための抵抗器であるシャント抵抗で電圧に変換する。これをA/D変換し、エア使用量や電力使用量を計算後にPLCに送信する。PLCにデータを取り込むことで上位システムに接続でき、設備単位・ライン単位・工場単位の電力見える化が可能になる（Fig. 6）。

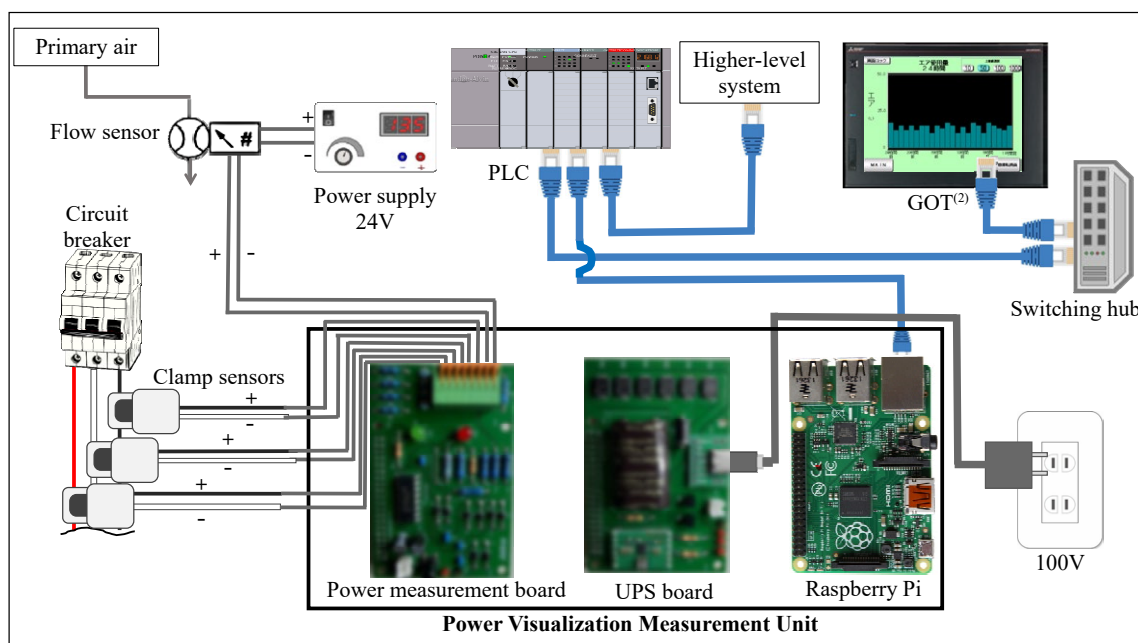


Fig. 5 System configuration

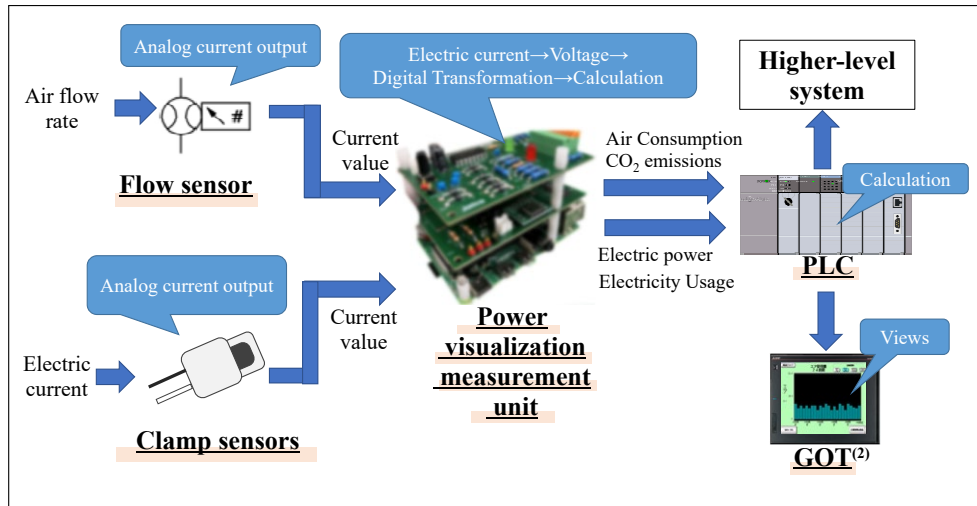


Fig. 6 Data processing flow

4. 開発トピックス

以下に、開発過程で浮上したトピックスを詳述する。

4.1 ノイズ対策の意義

工場設備のノイズ対策は安全管理、品質管理、機械の安定運用に不可欠であり、誤動作が設備停止を引き起こし生産や安全に影響するため、重要である。

弊社の工場は新幹線に近く (Fig. 7)、多数のAC200V～400Vの設備が稼働し、ノイズが多い環境にあるため、しっかりとしたノイズ対策が必要と考えた。

4.2 ノイズ対策事例

ジャトコはCVTのATCUに関するノイズ対策の知見を基に下記6対策を選定し、システムの信頼性を高めた。

対策1) 一点アースの徹底化

回路と基板設計では、一点アースを確実にした。

対策2) アナログ・デジタル信号の配置最適化

基板内アナログ信号、デジタル信号のチャタリングノイズ対策として、ADCを基板出力に近いRaspberry Piの入出力端子であるGPIOピン付近に配置し、信号間距離を置くレイアウトとした。

対策3) 信号のノイズ低減

アナログ電流は基板上でシャント抵抗により電圧に変換し、ノイズ抵抗値を向上した。

対策4) IC誤動作防止策

IC空き端子は、抵抗を介してGNDレベルに固定し、IC電源とGND間はバイパスコンデンサにより、電源を安定化した。

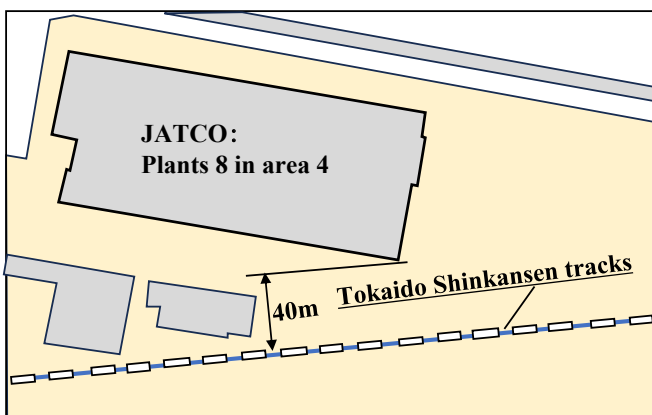


Fig. 7 Distance between Shinkansen and JATCO

対策5) 信号入力端子の対策

基板の信号入力部にローパスフィルタを作り、高周波ノイズ成分をカットした。また、ダイオードクランプ回路を構築し入力端子への過電圧を防ぎ、CPUを保護した。

対策6) 金属ケースによる保護

基板ケースは、高ノイズシールドの金属素材を採用し、外部ノイズ及びRaspberry Piから発生する内部クロックノイズの外部漏洩を保護した。

4.3 耐久性

本開発品に使用するRaspberry Piの耐久性が課題であり、過去の故障を踏まえ、長期間の安定運用を実現するための対策事例として、CPUの過熱防止用に冷却ファンの設置、PSEマーク⁽³⁾が付いた高信頼の電源ユニットの選定、高耐久・信頼性の産業用microSDカード（MLC）を採用した。

5. 検証結果

以下に、電力見える化計測ユニットの開発に関する検証結果を示す。

5.1 ノイズ対策の検証

前述のように、ノイズ対策を実施することで、誤動作防止と信頼性向上を達成した。

5.2 UPS基板の検証

UPS基板の検証を行った結果を示す（Fig. 8）。横軸を時間、縦軸を電圧として、青線を出力信号波形、黄線をUPS電源波形とする。電源遮断後、Raspberry Piのシャットダウンに必要な電源供給時間10sに対して、UPSの電源供給時間が15sになり、電源が保持されることが実証された。

Fig. 8のグラフの詳細は以下の通りである。

A点：Raspberry Piの自動シャットダウン開始

B点：Raspberry Piシャットダウン完了

C点：UPS電源供給OFF

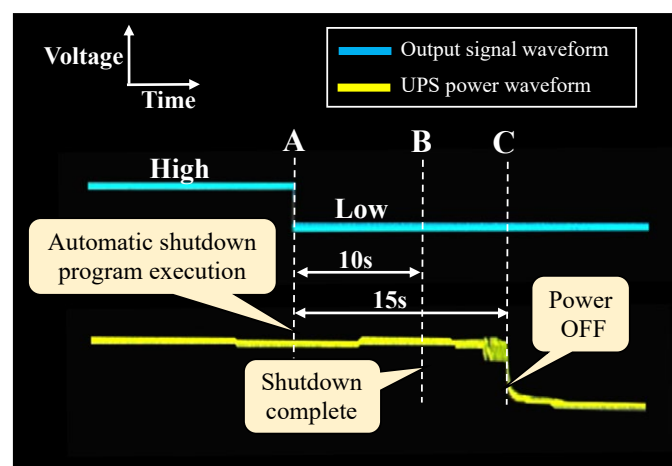


Fig. 8 Verification of the operation of the backup power supply when the power is turned off

5.3 電力計測基板の検証

開発コンセプトで記述したように、汎用的に設置できる計測ユニットを開発した。Ethernetの通信ポートがあれば、どの市販PLCとも汎用的に通信を行える。

次に、計測ユニットの正確性を検証するため、相関取りを行った。各電流値における計測結果を、クランプメータで測定した電流値（縦軸）と計測ユニットに取り付けたクランプセンサで取得し合算した電流値（横軸）とを比較したところ、強い相関が確認された（Fig. 9）。電力値Pは、 $P=VI$ で表され、電圧Vは固定値であるため、電流値が決まれば電力値も決定する。

さらに、各エア流量における計測結果についても、フローセンサのデジタル表示値（縦軸）とフローセンサで測定されたアナログ電流出力をPythonで計算した値（横軸）を比較したところ、強い相関が確認された（Fig. 10）。エア流量から電力値への換算は、工場の圧縮エアの換算係数を用いて計算を行った⁽⁴⁾。

これらの結果により、計測ユニットが正確に動作することが確認できた。

6. 結論

設備ごとにエア流量や設備消費電流を計測し、電力見える化を実現するエネルギー分析プラットフォームを開発した。これは、製造現場での詳細な電力管理と節電を推進したいというニーズに応えるために開発されたものである。このプラットフォームにより、各工場設備の消費電力量が明確になり、効果的な省エネルギー活動が可能となった。また、市販品の標準価格と比較して半減のコストで実現できた。

7. 今後の展望

Fig. 11は、各設備に電力見える化計測ユニットを設置し、電力の総量を可視化したグラフである。横軸は時間、縦軸（1軸）が電力量を、縦軸（2軸）が生産台数を示す。計測した電力量を分析した結果、生産有りの電力量と比較して、生産無しの時間帯でも非常に大きな電力が消費されていることが判明し（待機電力）、電力削減（CO₂削減）への具体的な対策を講じる手掛かりとなった。

PLCを用いることで設備の動作と連動させてデータの多様な解析および活用が可能である。今後、カーボンニュートラルのための多様な削減策を検討するために、試験モニタリングを広範囲に実施し、目標として掲げた2028年度での温室効果ガス46%削減（2013年度比）に向けた取り組みに貢献していく。

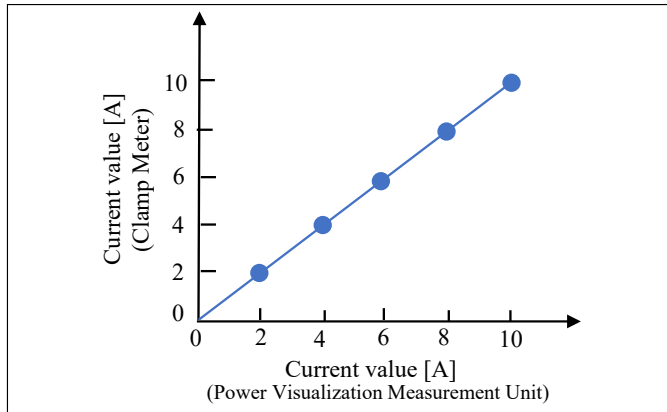


Fig. 9 Relationship between the actual current measured by the clamp meter and the measured current by the measurement unit

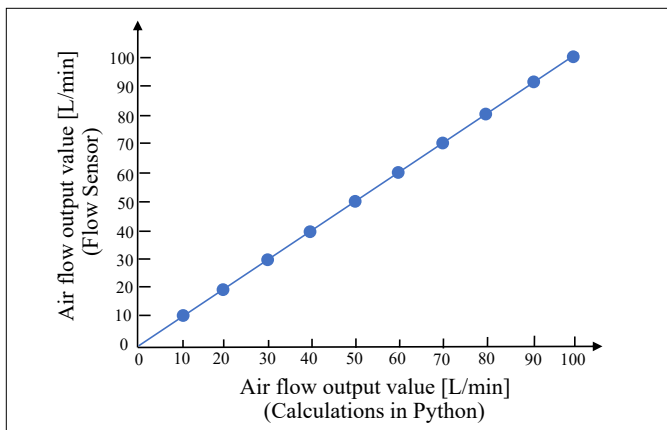


Fig. 10 Relationship between the actual current measured by the air flow sensor and the measured current by the measurement unit

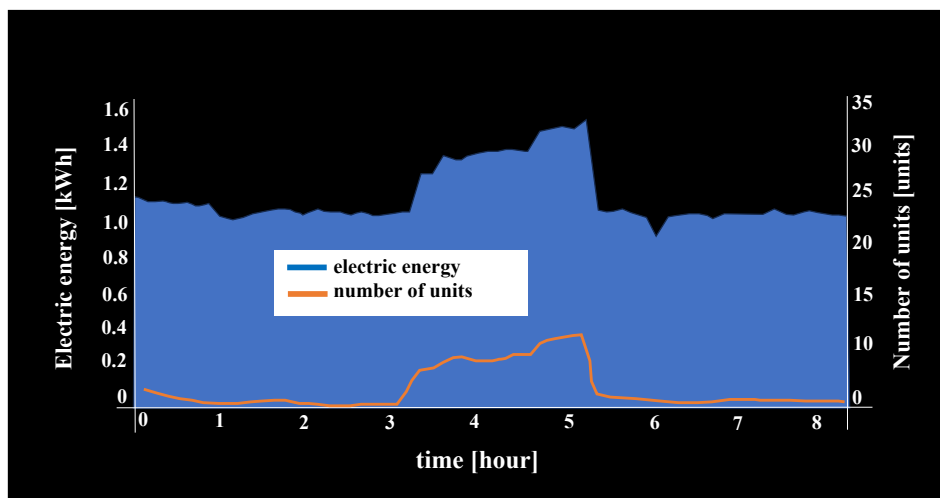


Fig. 11 Total electric energy and number of units produced by the hour

- (1) Raspberry PiはRaspberry Pi財団の登録商標。本記事で引用した回路基板の写真はWikimedia Commonsからの引用（©2016 Herbfargus CC-BY-SA-4.0）。
- (2) GOTは、三菱電機株式会社の日本およびその他の国における商標、または登録商標。
- (3) PSEマークとは、「電気用品が電気用品安全法の基準をクリアしている」ことを証明するマーク。
- (4) 圧縮エアーは大型エアーコンプレッサによって工場単位で生成されるため、コンプレッサの電力消費量に基づいて換算係数を決定。

■ 著者 ■



木村 太一



鈴木 祥司



小海 正嗣



渡邊 仁

マグネシウム溶解炉用代替防燃ガスの開発

深津 隆明*

抄 録

ジヤトコではマグネシウム溶解炉用防燃ガスとして、六フッ化硫黄 (SF_6) を使用している。 SF_6 は地球温暖化効果が非常に高い物質であり、カーボンニュートラル目標達成に向けて代替ガスへの置き換えが求められている。本稿では、代替となる防燃ガスの採用に向けて、予備実験で評価した内容を報告する。

1. まえがき

地球環境問題などから自動車の燃費改善は必須となっており、トランスミッションにおいては効率向上だけでなく、軽量化が求められる。ジヤトコにおける従来のトランスミッションのケース部品はアルミ合金を採用していたが、2019年に量産開始したFR車用新9速オートマチックトランスミッション (Fig. 1) においては、ミッションケースにマグネシウム合金を採用し、約4kgの軽量化を実現した。

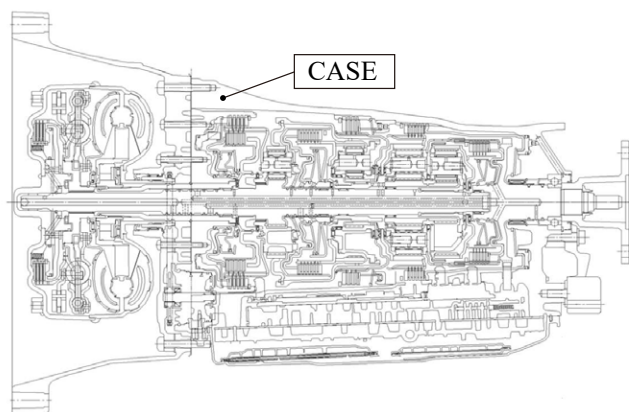


Fig. 1 9-speed automatic transmission for RWD vehicles

新9速トランスミッションケースの生産開始に伴い、マグネシウム専用ダイカストラインを新設した。ダイカストラインはマグネシウムインゴット投入装置、溶解炉、ダイカストマシン、トリムプレスという工程で構成されており、本稿で述べる防燃ガスはマグネシウム溶解炉で使用している。

マグネシウムは400℃以上で自然発火する性質を持つため、600℃以上の溶湯においては、防燃ガスを用いて燃焼を防止する必要がある。現在、防燃ガスとして採用しているのは SF_6 である。 SF_6 は地球温暖化対策推進法の対象に指定されており、地球温暖化係数が CO_2 の約23,000倍と温暖化への影響が強い物質である。ジヤトコのマグネシウム鋳造ラインは国内最大級の生産重量を持つこともあり、 SF_6 はジヤトコの温暖化ガス排出量の8%に相当する (Fig. 2)。2028年度での温暖化ガス46%削減 (2013年度比) に向けて、 SF_6 の代替ガスの開発が必要となった。

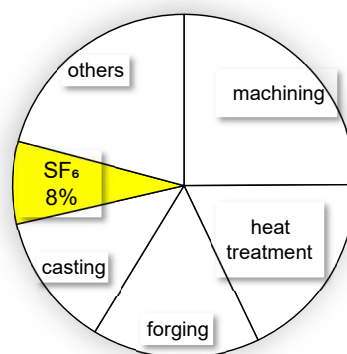


Fig. 2 Ratio of CO_2 emission

*素形材工場

2. 代替ガスの選定

SF₆代替ガスについては、Table 1に示す5種類が候補となる⁽¹⁾。ガスの選定については、GWP（地球温暖化係数）、LC50（半数致死濃度）、PFAS（有機フッ素化合物）規制の3項目を評価した。

まず①SO₂については、空气中に微量存在しただけでも、人体への健康影響が懸念される（LC50の数値が低いためリスクが大きい）。また日本国内では、①に対し厳しい環境基準値が設けられており、採用は困難である。一方、②～④については、PFAS規制に該当する見通しであり、将来的にユーザーの使用やメーカーの製造が禁止される見通しである。PFAS規制の影響により、ガスの製造中止を発表された事例があることから、②～④の採用は見送り、⑤ヨウ化トリフルオロメタン（CF₃I）をSF₆の代替ガスとして選定した。CF₃IのGWPは0.4倍であるため、SF₆の23,000倍から大幅に改善できる。一方、CF₃Iはマグネシウム防燃ガスとしての採用実績が無いため、予備実験の必要があった。

Table 1 Alternative gases

Alternative gases	GWP	LC50 (ppm)	PFAS Regulation Applicable	Practical Use for magnesium
① SO ₂	0	2,520	No	Yes
② C ₃ F ₆ O	1	>100,000	Yes	Yes
③ HFC134	1,300	350,000	Yes	Yes
④ OHFC-1234ze	30	>100,000	Yes	Yes
⑤ CF ₃ I	0.4	>100,000	No	No

3. 実験内容

3.1 評価方法

防燃ガスの性能については、防燃性だけでなく、炉内での化学反応による有毒ガスの発生、鑄造品質への影響などを評価する必要があるが、本稿においては、防燃性を中心に述べる。防燃性評価においては、燃焼するか否かの二値で評価されることが多いが、より定量的に評価する方法を検討した。マグネシウムの燃焼は $2\text{Mg} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{MgO}$ という反応になることから、燃焼度合い（防燃性）は酸化マグ

ネシウムの発生量で評価できると考えた。よって、Fig. 3のように溶湯表面を20分割し、各々のマス目の酸化マグネシウムの有無を判定し、溶湯表面における酸化マグネシウムの割合を酸化マグネシウム発生率として評価した。

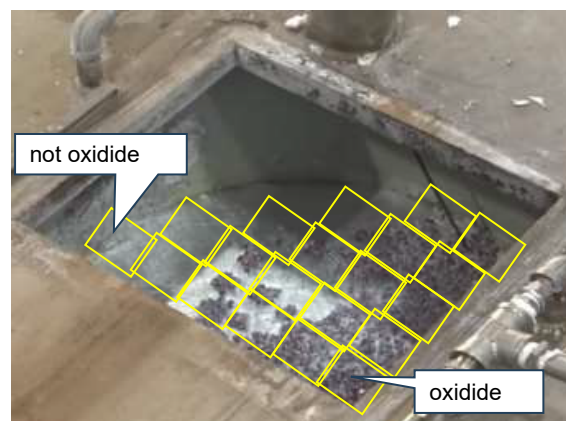


Fig. 3 Inflammability evaluation

3.2 実験条件

予備実験は茨城県産業技術イノベーションセンター様保有の50kg溶解炉で実施した。（Fig. 4）



Fig. 4 Melting furnace for experiment

防燃ガスはキャリアガス (N_2 , CO_2 など) によって溶解表面へ供給される。マグネシウム溶湯が CF_3I と反応すると、溶湯表面にフッ化マグネシウム (MgF_2) が生成される (Fig. 5)。 MgF_2 による皮膜が出来ることで、酸素と溶湯の接触を防止し燃焼を抑制できる。また、防燃ガスは炉内の高温にさらされることで熱分解し、性能が低下する。

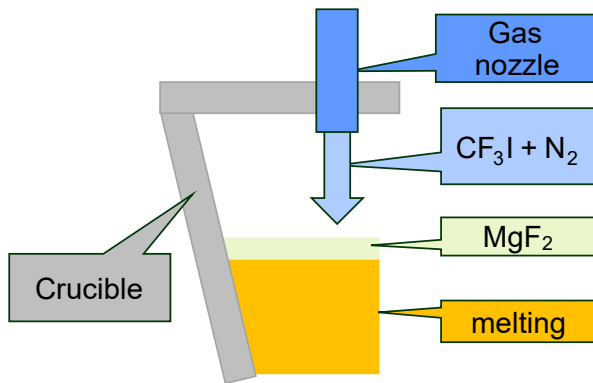


Fig. 5 Flame retardant film MgF_2

以上のことから、防燃皮膜の生成には、防燃ガスの量 (濃度)、キャリアガス、溶湯温度が影響すると考えられる。^{(2),(3)} これらの因子の影響度を調査するため、各々3水準の調査を実施した。

実験に際し、ガス、溶湯温度などの所定の実験条件を設定した後、溶湯表面の酸化マグネシウムを除去し、2分間静置し、溶湯表面上の酸化マグネシウム発生率を観察し、防燃性を評価した。

代替ガス実験条件

- ① 溶解炉：50kg溶解炉
- ② マグネシウム合金材質：AS31
- ③ 防燃ガス： CF_3I
- ④ 防燃ガス濃度：250, 500, 1,000ppm
- ⑤ キャリアガス： N_2 , N_2+CO_2 混合, CO_2
- ⑥ 溶湯温度：base-20℃, base (実機温度), base+20℃
- ⑦ 炉蓋：開放
- ⑧ 実験時間：2分

4. 実験結果

実機での生産条件 (SF_6) で実験した結果、酸化マグネシウムの発生率は40%となった。これが CF_3I 採用の目標値となる。

次に CF_3I の試験結果を述べる。一つ目に防燃ガス濃度ごとの防燃性評価を行った。溶湯温度は実機と同じ温度 (base)、キャリアガスを N_2 で固定し、 CF_3I 濃度を250ppm, 500ppm, 1,000ppmの3条件で実験した結果をFig. 6に示す。濃度が濃いほど防燃性が向上し、500ppmの CF_3I 濃度であれば、 SF_6 とほぼ同等の防燃性が得られることが分かった。

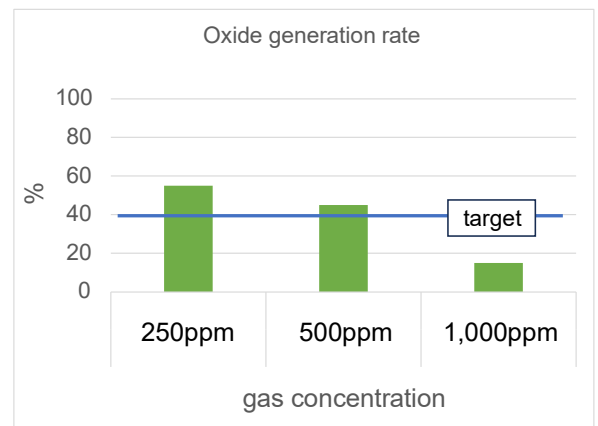


Fig. 6 Inflammability evaluation of gas concentration

次にキャリアガスごとの防燃性の評価を行った。 CF_3I 濃度を500ppm、溶湯温度は実機と同じ温度 (base)、キャリアガスの種類を N_2 のみ、 N_2 と CO_2 の混合ガス、 CO_2 のみの3条件で実験した結果をFig. 7に示す。

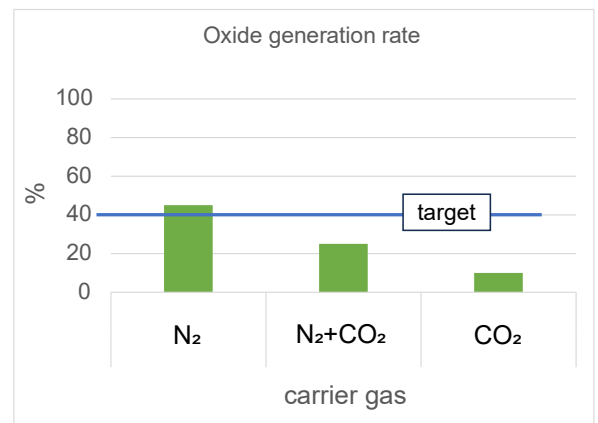


Fig. 7 Inflammability evaluation of carrier gases

CO₂のみの条件が高い防燃性を得られる結果となった。ただし、CO₂のみの条件の場合、有毒ガスHF（フッ化水素）の発生が見られ、炉内の金属を腐食させる傾向が見られた。したがって、N₂とCO₂の混合ガス条件を採用することとした。

次に溶湯温度ごとの防燃性評価を行った。防燃ガス濃度を500ppm、キャリアガスをN₂+CO₂混合で固定し、溶湯温度をbase-20℃、base、base+20℃の3条件で実験した結果をFig. 8に示す。溶湯温度が高いと防燃性が低下し、溶湯温度が低いと防燃性が向上する結果となった。

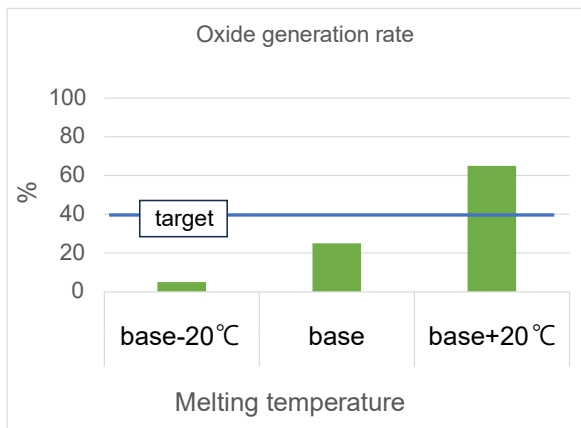


Fig. 8 Inflammability evaluation of melting temperature

5. 考察

実験結果より、下記のように考察する。

CF₃I濃度については、濃度が高いと防燃性が向上する傾向となった。これは溶湯表面に十分な量のCF₃Iが供給され、防燃皮膜を生成しやすくなったためと考えられる。

キャリアガスについては、CO₂量が多いと防燃性が高くなる傾向となった。N₂よりCO₂の比重が大きいため、CF₃Iが熱分解する前に溶湯表面に到達させやすく、防燃皮膜が生成しやすくなったと考えられる。ただし、CO₂のみの条件では、HFが発生し炉内の金属部に腐食が認められた。

そのため、CO₂の混合量については、HFが発生しない量に抑える必要がある。なお、N₂とCO₂の混合ガスを所定の比率とすることで、HFが環境基準値以下となることを確認した。

溶湯温度については、高温になると防燃性が低下する傾向となった。これは溶湯表面にCF₃Iが到達する前に熱分解されてしまい、防燃皮膜の生成が不十分となったためと考えられる。鑄造品質を改善するために溶湯温度を高温にする場合があるが、火災防止の観点から、溶湯温度が所定の温度以上に設定できないようにするなどの対策が必要である。

6. まとめ

今回の実験結果により、SF₆以上の防燃性を得られる条件を見出すことが出来たため、CF₃Iを実機で採用可能と判断した。CF₃Iの採用によって、ジャトコから発生する温暖化ガスのうち、8%の温暖化ガスが削減でき、地球温暖化対策に貢献できる見込みである。また、マグネシウム溶解炉用防燃ガスへのCF₃I採用は日本初の取組となり、PFAS規制にも対応可能となる。

7. 参考文献

- (1) 大陽日酸（株）：新マグネシウム合金溶湯用カバーガス エムジーシールド、大陽日酸技報No.23（2004年）、P1
- (2) （株）TOSEI：マグネシウム合金製造プロセス適用可能性に関する調査研究、省エネルギーフロン代替物質合成技術開発、（平成19年5月）、P2-P7
- (3) （株）アーレスティ：マグネシウム合金製造プロセス適用可能性調査等、省エネルギーフロン代替物質合成技術開発、（平成19年3月）

■ 著者 ■



深津 隆明

解析技術を用いた小型船舶用船外機的设计支援

島田 勝*

射庭 智之*

寺田 幹夫*

抄 録

自動変速機の開発で培ってきた流体解析技術を用いて、ヤマハ発動機株式会社マリン事業部様に対して部品設計支援を行った。解析ソフトの選択からデータ処理の工夫、流れ場の詳細分析まで、流体力学の知見や解析・データ処理の技術をフルに活用することで、お客様のニーズに的確にお応えし、高い評価を頂くことができた。

1. はじめに

自動車用自動変速機の開発では、熱・流体に関する様々な検討を行っている。変速機内の熱・流体現象は複雑かつ多岐に及び、例えば油圧系では数 μm ～数百 mm の現象を同時に解くマルチスケール問題や、油に空気が混入した際の油圧応答遅れ、圧力波の伝播問題などがある。また潤滑系ではギヤによる油の攪拌や、高速回転するクラッチやプーリー、ベアリング等への強制潤滑・冷却問題などがあり、現象の理解や可視化には幅広く、そして高度な解析技術が必要である。

今回、その流体解析技術を適用し、ヤマハ発動機株式会社マリン事業部様の部品設計支援を行ったので、ここに紹介する。



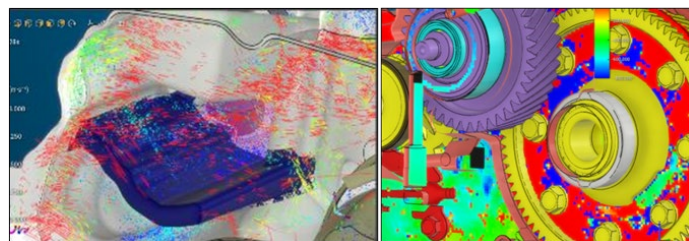
Fig. 1 Outboards for Small Vessels

2. 設計支援の概要

2.1 解析の概要

解析の対象はFig. 1に示した小型船舶用船外機のギヤボックス（赤枠部）であり、攪拌ロス低減のため、油の挙動の詳細な分析を行った。目的および今後の設計検討の発展性を考え、現象再現には空気の考慮が不可欠であると判断したため、解析は気液二相流を精度良く計算できる汎用熱流体解析ソフトSIMULIA XFlow（以下 XFlow）⁽¹⁾を用いることとした。

XFlowは解析精度が良い反面、速度ベクトルが小さく見えない、圧力分布を滑らかに描けないなどの表示上の問題があり、詳細なポスト処理を苦手としている（Fig. 2）。自動変速機の開発においては主なアウトプットがギヤによる攪拌ロスや油のマクロな挙動だったため問題にはならなかったが、今回の目的においてはそこが大きな課題となる。そこで、XFlowの結果データを優れた可視化・データ処理機能を持つ別の流体解析ソフトSTAR-CCM+⁽²⁾に読み込ませることで、解決を図ることとした。



(a) Velocity vector

(b) Pressure distribution

Fig. 2 XFlow results display example

* ジャトコ エンジニアリング（株）部品システム開発部

2.2 データ処理

ギヤボックス内の流れを分析する際には、乱れ成分の取扱いに注意が必要である。ギヤで攪拌された流れは大小様々な渦や界面変動により常に変化しており、基本的に同じ流れが繰り返されることはない。そのため、瞬時の流れ場を見ても正確な分析ができず、判断を誤ることに繋がりがねない。そこで今回はデータを平均化することで、乱れ成分を除去することとした。ただし、単純な時間平均化ではギヤ表面のデータを正しく残すことはできないため、ギヤの位相に注目し、ギヤの歯が全く同じ位置にある時のデータのみを抽出して平均化するアンサンブル平均を行った (Fig. 3)。

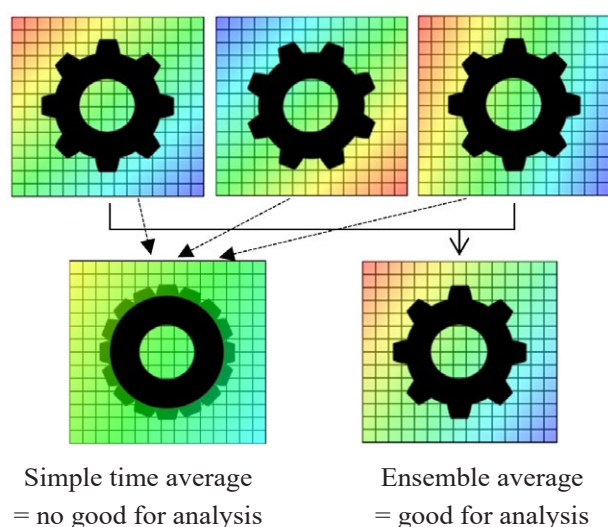


Fig. 3 Data processing method

これにより、ギヤの位相に応じた時間平均成分のみが残るため、見るべき現象をしっかりと捉えることができるようになった。

しかし、XFlowの結果をSTAR-CCM+に受け渡す際には、以下の課題を克服する必要があった。

- 1) XFlowから出力されるデータが、STAR-CCM+で読み込めるフォーマットになっていない
- 2) ギヤの位相が同じだとしても、ベアリングやシャフトなどの位相が揃っていないため、各時刻で出力される結果ファイル内でデータの並びが変わってしまい、そのままではアンサンブル平均ができない (同じ場所のデータなのに各ファイルで書かれる行が異なる)

これらの課題に対しては、各々データ処理プログラムを作成して対応することとした。まず1)に対しては、テキストデータの処理に特化した言語であるawkを用いてフォーマットの書き換えを行った。次に、2)についてはSTAR-CCM+のデータマッピング機能を用いることとした。まず位相が異なる回転体をモデルから削除した統一メッシュを用意し、各時刻で書き出された結果ファイルを順番に読み込み、マッピングし、そして出力する、という処理を行った。結果ファイルは200個あったため、javaプログラミングによりすべてを自動化し、業務の高速化・効率化を図った。

こうした処理を行うことで、同じ場所のデータが常に同じ行に書かれるようになったため、データ処理が容易になり、awkで簡単なプログラムをすることで、アンサンブル平均を行うことができるようになった。

Fig. 4に流れの分析を行った事例を示す。乱れ成分の少ないデータを用いることで、圧力分布や速度分布、それらと損失トルクの関係など、詳細な分析・評価を行うことができた。またそれにより損失トルクと密接な関係にある設計パラメータを同定することができ、設計指針の明確化に繋がった。

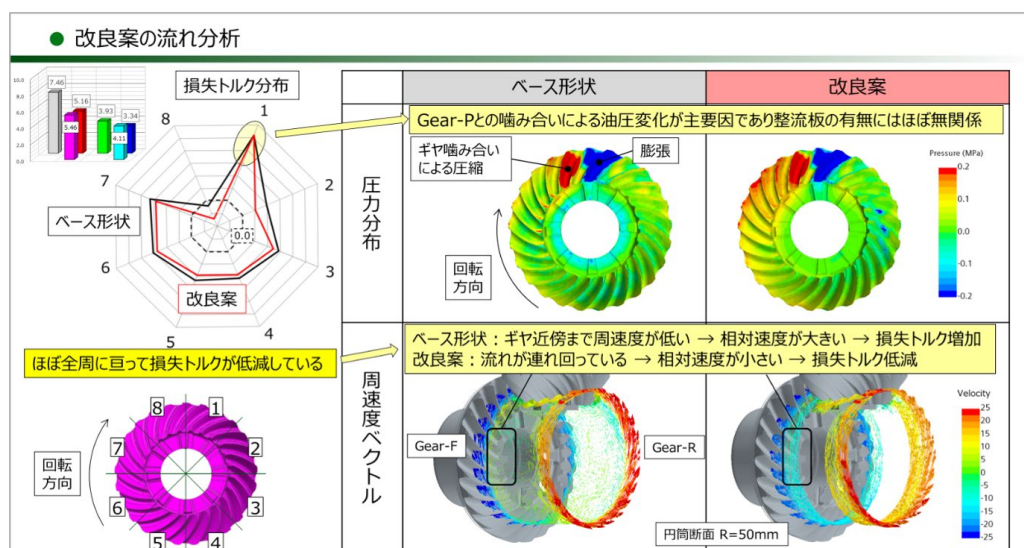


Fig. 4 Example of data analysis

3. まとめ

今回、流体解析技術を用いて、初めて自動車業界以外の部品に対して設計支援を行った。これまで経験したことのない部品の検討ではあったが、自動変速機の開発で培ってきた流体力学の知見、解析技術、プログラミングを伴うデータ処理技術などをフルに活用することで、お客様のニーズに的確にお応えし、高い評価を頂くことができた。今後も更に技術を磨き、様々なお客様に対して技術貢献をしていきたい。

- (1) SIMULIAは、フランスの法律に基づいて設立された欧州会社（Societas Europaea）であり、ヴェルサイユの商業裁判所書記 課に登記番号 322 306 440 で登録されているダッソー・システムズ、またはアメリカ合衆国やその他の国における ダッソー・システムズの子会社の商標もしくは登録商標。
- (2) STAR-CCM+はSiemens社（Siemens AG）の登録商標。

■ 著者 ■



島田 勝



射庭 智之



寺田 幹夫

流体解析を用いた油圧系異音メカニズム解明

島田 勝*

抄 録

実験によるトライ&エラーで解決することが多かった油圧系異音に対して流体解析を適用し、バルブの調圧挙動を再現した上で流れ場を詳細に分析した。それにより回路内で油中のエアが膨張・圧縮して異音を発生させるという、実験では解明が難しいメカニズムであることを突き止めた。本報ではその詳細と対策について紹介する。

1. はじめに

トランスミッションの開発においてNVHは重要な課題であるが、中でも油圧系の異音は、油圧システムの複雑さや構成部品の多さから、発生部位の特定やメカニズムの解明が難しいことが多い。そのため、条件振りによる発生条件の特定や、部品の組み換えによる異音に寄与する部品の特定など、実験による試行錯誤を重ねるのが常となっている。

一方、ここ数年油圧システムの設計では流体解析の活用が欠かせなくなっており、解析結果が定量的な判断にも用いられるようになっている。

そこで本報では、トランスミッションの油圧系異音に対して流体解析を適用し、①音源の特定 ②メカニズムの推定 ③メカニズムの検証を行い解決した事例を紹介する。今回の異音はエンジンが動いている状態でNレンジからDレンジにシフト操作をした直後に発生したものである。

2. 実験による課題の絞り込み

2.1 音源の絞り込み

Fig. 1にオートマチックトランスミッション(以下AT)の油圧システムの概略を示す。ATではオイルパンに溜まった油をオイルポンプで各部位に圧送する。その際、油圧および流量を適正に配分するのがコントロールバルブであり、その最上流に位置するのがプレッシャーレギュレータ弁である。今回異音が発生したシステムでは、このプレッシャーレギュレータ弁のすぐ下流側に潤滑調圧弁があり、潤滑回路の油圧を制御する構造となっている。

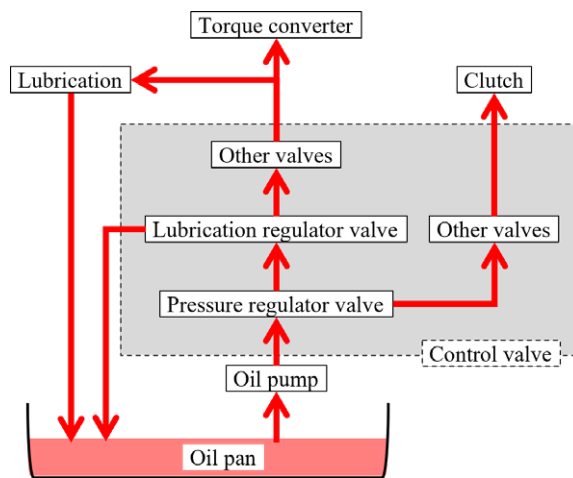


Fig. 1 Schematic diagram of hydraulic system

まず、実験により異音発生部位の絞り込みを行った。異音が発生しているタイミングを考えると、シフト操作時に作動しているのはプレッシャーレギュレータ弁と潤滑調圧弁のみであることから、音源はそのどちらかであると絞り込めた。しかし、Fig. 2(a)に示すように両バルブは配置位置が近く、実験による音の観測だけではどちらのバルブが音源になっているのかを特定することはできなかった。

* ジャトコ エンジニアリング (株) 部品システム開発部

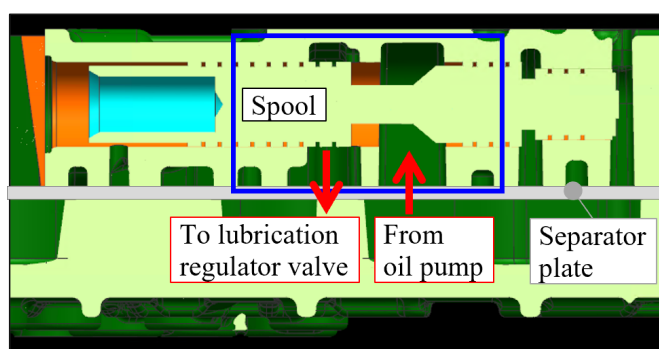
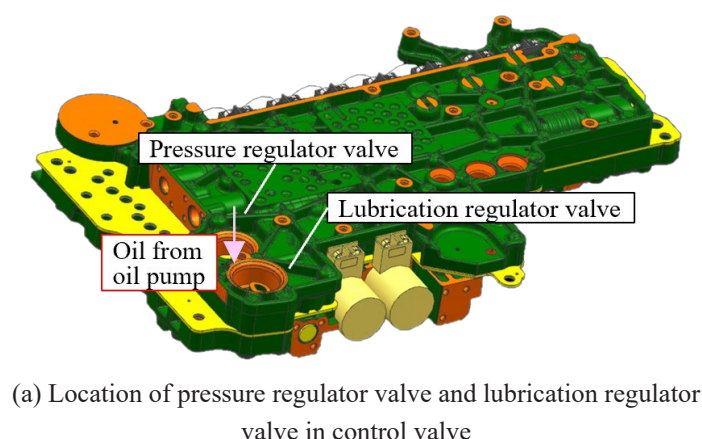
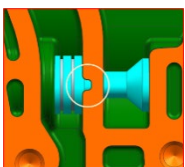
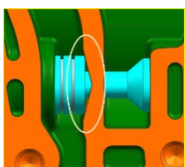


Fig. 2 Control valve and pressure regulator valve

そこでTable 1に示すようにプレッシャーレギュレータ弁のノッチ形状を変更して音の観測を行った。ここに示した形状はFig. 2(b)の青枠内を下から見たものである。結果、音の大きさは元形状に対して円筒ノッチ・三角ノッチ共に低減することが確認できた。しかし、この形状変更が潤滑調圧弁の挙動に影響を及ぼしている可能性は否定できず、ここでもやはりどちらのバルブが音源になっているのかを特定するには至らなかった。

Table 1 Noise reduction by notch shape

Original shape	Cylindrical notch	Triangular notch
		
Noise occurred	Noise reduced	Noise reduced

2.2 要因の絞り込み

経験上、油圧系異音の要因としては、以下の三つが考えられる。

要因1. 油圧振動に伴う部品の振動

要因2. 渦放出時の圧力変動による部品の振動

要因3. エアの膨張・圧縮による圧力変動

まず、要因1を確認するため、元形状で音が発生している時のライン圧を実験にて測定した(Fig. 3)。その結果、異音が発生している時間およびその前後を見ても油圧は振動しておらず、要因1は今回の異音の要因から除外できることが分かった。ただ、残る要因2と3については実験による検討ができず、これ以上の絞り込みは不可能となった。

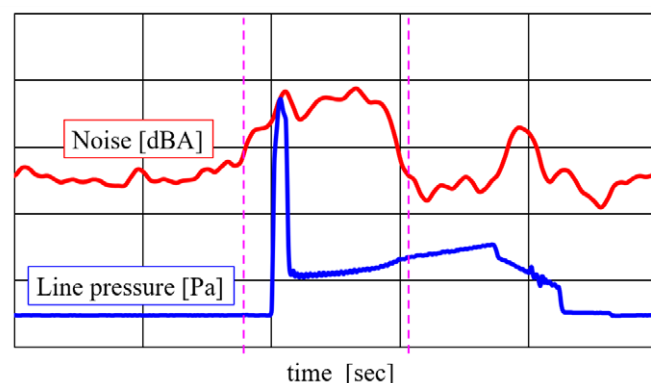


Fig. 3 Noise and line pressure over time

3. 流体解析を用いたメカニズム推定

3.1 音源の特定

実験では音源や要因の絞り込みに限界があったため、流体解析を適用した。まず、着目すべき部位を絞り込むため、音源となるバルブの特定を行った。

Table 1に示したように、ノッチ形状を変えることで音の大きさに変化が現れた。これはプレッシャーレギュレータ弁と潤滑調圧弁のどちらか、もしくは両方の調圧状態が変化したことを意味している。そこで、三つのノッチ形状について調圧状態を確認する解析を行った。

解析は汎用熱流体解析ソルバSTAR-CCM+を用い、プレッシャーレギュレータ弁と潤滑調圧弁に関係するすべての油圧回路を対象に行った。各スプールの運動方程式は4次のルンゲ・クッタ法で解き、スライディングメッシュとモーフィング(メッシュの移動と伸縮)を組み合わせるスプールの運動を再現した。

Fig. 4にプレッシャーレギュレータ弁および潤滑調圧弁の出力圧とスプール位置の時間変化を示す。潤滑調圧弁ではノッチの違いによる変化が全く見られないのに対し、プレッシャーレギュレータ弁では両者に大きな変化が見られた。このことから、音源は潤滑調圧弁ではなく、プレッシャーレギュレータ弁の方であると特定できた。

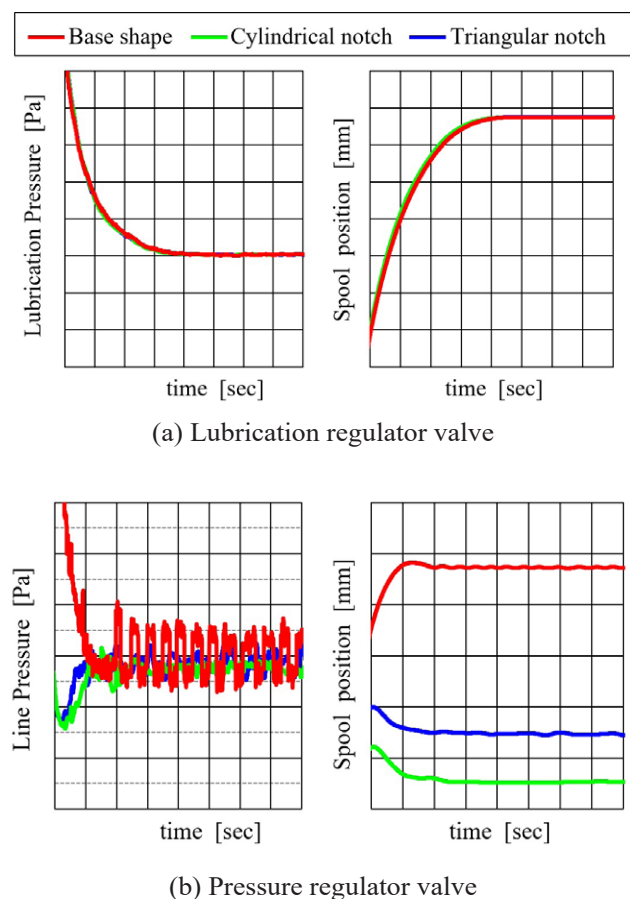


Fig. 4 Pressure and spool position over time

3.2 メカニズムの推定

3.2.1 要因分析：渦放出

回路内にオリフィス等の絞りがある場合、その下流側で周期的な渦が発生することがあり、その渦放出による圧力変動で部品が振動すると音になる(要因2)。Fig. 5にその代表例を示す。これはオリフィスを通る流れを解析したもので、色は圧力の分布を示している。油は上から下へ流れているが、オリフィスの下流側に正負の圧力が並んでおり、ここで周期的な渦が放出されているのが分かる。この圧力変動によってセパレータプレートが振動すると、音になる。

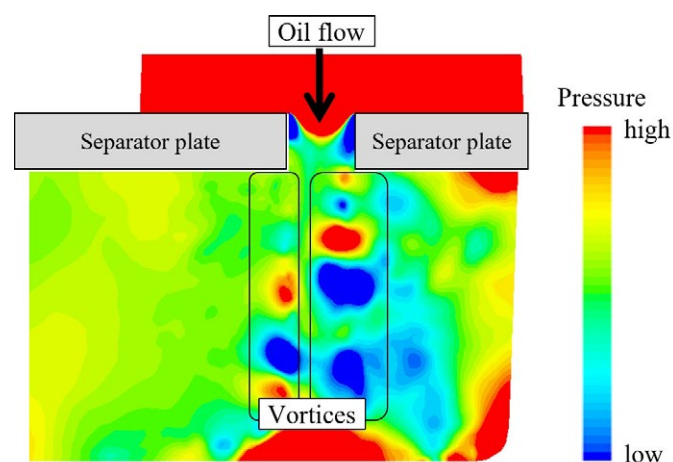


Fig. 5 Pressure distribution in orifice flow

プレッシャーレギュレータ弁でこれと同様の現象が起きているかを確認したのがFig. 6である。これは調圧時の圧力分布を見たものであるが、振動の可能性があるセパレータプレート側(実線枠内)を見てみると、周期的な渦放出は見られない。このことから、今回の異音が渦放出によるものではないことが分かった。

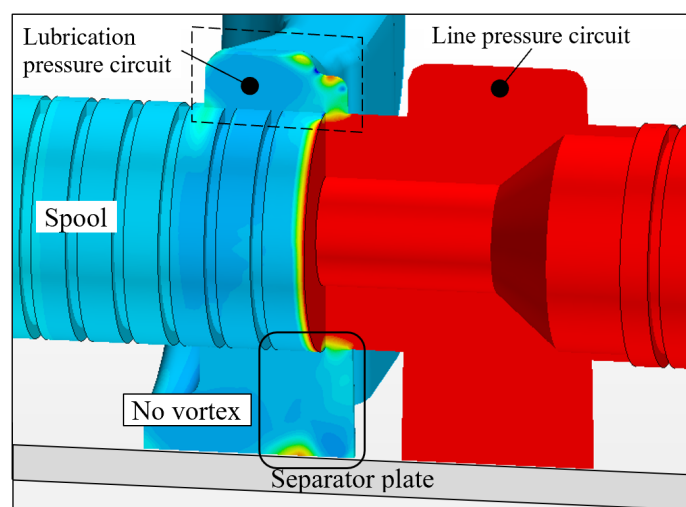


Fig.6 Pressure distribution around pressure regulator valve

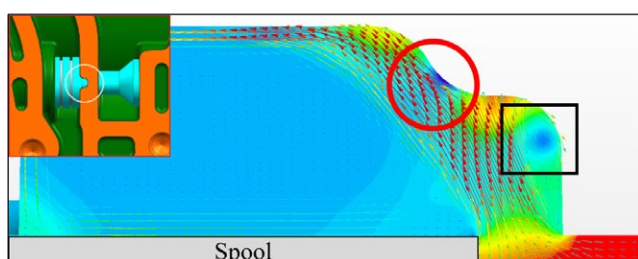
3.2.2 要因分析：エアの膨張・圧縮

要因としてもう一つ考えられるのは、エアの膨張と圧縮による圧力変動である。トランスミッション内を循環する油には、大気圧状態の体積分率で数パーセント程度の細かな気泡が混じっているが、これまで経験してきた異音は油

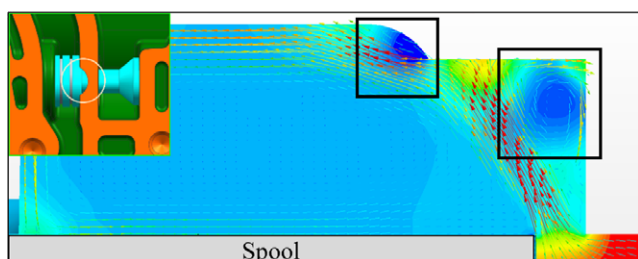
圧回路からオイルパンつまり大気圧へのドレンでそのエアが膨張して音が発生する、というものであった。しかし今回音源となっているプレッシャーレギュレータ弁では、そこに繋がるすべての回路に油圧がかかっている。従って、今回の着目点は、そのような加圧状態でも本当に音が出る程のエアの膨張・圧縮はあるのか、ということになる。

そこで、異音の大きさに差があった元形状・円筒ノッチ・三角ノッチについて、セパレータプレートとは反対側(Fig. 6 破線枠内)の圧力分布を確認した(Fig. 7)。

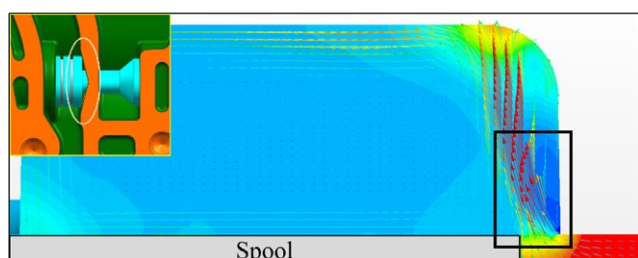
すると、今回実験で確認したすべての形状において、エアが膨張する要因となる強い低圧領域が形成されていることが分かった。そして同時にそれらには二種類あることも見えてきた。一つ目は黒色の四角形で囲んだもので、流れのはく離により渦が形成され、その中心で圧力が低下する、



(a) Original shape



(b) Cylindrical notch



(c) Triangular notch

Fig.7 Pressure distribution and velocity vector at lubrication pressure port of pressure regulator valve

というものである。このような場合、渦の変動が異音の大きさに大きく影響するが、今回の形状でははく離する位置がノッチ開口部や段差エッジ部と決まっており、渦が形成される位置が大きく変わることはない。したがって、低圧によってエアが膨張したとしてもその変動は比較的小さく、音も小さいものと考えられる。

それに対し、赤丸で囲んだ部分は段差によって流路が狭められ、流れが高速になって低圧化したものである。このようなメカニズムは水中翼におけるキャビテーション⁽¹⁾と同様であり、噴流に乗って流れてきた気泡は低圧部で急激に膨張し、低圧部を過ぎると急激に圧縮される。そしてこの気泡の急激な圧縮がキャビテーションと同様の大きな圧力変動を生み出し音を発生させている、と考えられる。このメカニズムの低圧部は元形状にのみ存在し、異音が低減した二つの形状では見られない。よって、今回の異音の主たる要因は、この縮流による流れの局所的な高速化・低圧化に伴うエアの急激な膨張・圧縮にあったと推定される。

4. メカニズムの検証

異音のメカニズムが推定できたため、実験および流体解析にて検証を行った。異音は油中のエアが圧力低下により膨張することから始まっているため、その周辺圧力である潤滑圧を上げれば低圧領域の圧力低下が抑えられ、その分異音が低減するはずである。

Fig. 8に元形状において潤滑圧を上げた際の解析結果を示す。Fig. 7(a)と比較すると、潤滑圧を上げたことで赤丸で示した段差部圧力の低下が抑えられているのが分かる。

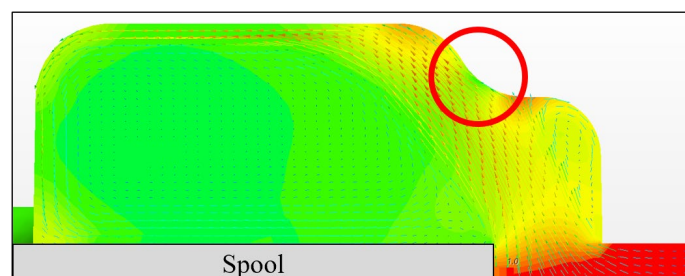


Fig.8 Pressure distribution and velocity vector at lubrication pressure port of pressure regulator valve
- lubrication pressure is higher than original

さらに、潤滑圧と段差部圧力との関係を計算した結果を Fig. 9に示す。これにより両者はほぼ線形な関係にあることが確認できた。

それに対し、実験では同様に潤滑圧を上げた際の異音の大きさを測定した(Fig. 10)。結果、潤滑圧を上げることで音が小さくなることが確認できた。これにより「段差部圧力が大きくなると異音が低減する」という明確な相関関係があることがわかり、推定メカニズムが正しいことが裏付けられた。また同時に、N-Dシフト時に潤滑圧を上げるという対策で異音課題を解消することができた。

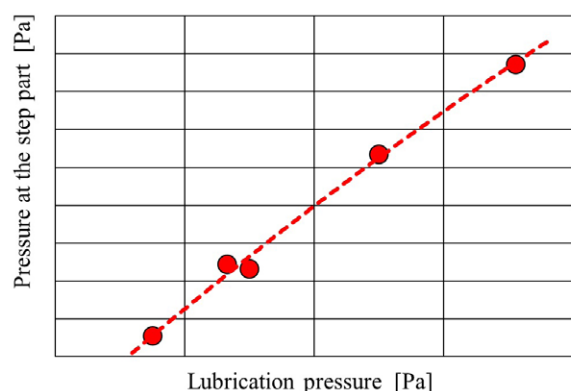


Fig. 9 Relationship between lubrication pressure and step part pressure

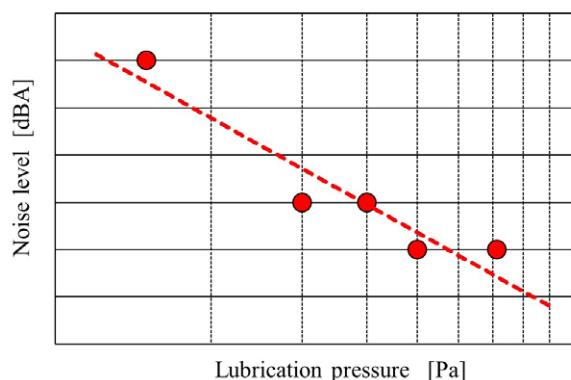


Fig. 10 Relationship between lubrication pressure and noise level

5. まとめ

これまで実験による試行錯誤で多くの時間とコストをかけてきていた油圧系の異音に対し流体解析を適用することで、以下の成果が得られた。

- ① 定量評価が可能な調圧解析により、容易に音源を特定することができた
- ② 実験では決して見ることができない現象を可視化したことで、これまで経験したことの無いメカニズムを解析結果の分析だけで推定することができた
- ③ 油圧回路内の局所的な圧力低下が異音の要因であることが分かったため、潤滑圧を上げるという比較的に簡単な方法で検証・対策をすることができた

これらの成果は実験によるアプローチだけでは成し得なかったものであり、流体解析の有用性を証明するものであった。

6. 参考文献

- (1) 鈴木和夫・川村隆文・佐々木紀幸：第6章キャビテーション，船体抵抗と推進 船舶海洋工学シリーズ2，成山堂書店，(2012)，pp.211-240
- (2) 島田 勝：流体解析を用いた油圧系異音メカニズム解明，2024年春季大会学術講演会予稿集（春），pp.1-4，20245156，（公社）自動車技術会より許諾を得て転載

■ 著者 ■



島田 勝

潤滑油寿命設計手法

望月 佑馬*

加藤 豪**

前田 誠*

抄 録

潤滑油は使用環境や時間の経過で劣化し、初期状態で有していた性能を失う。油温の上昇による劣化促進や金属触媒の存在による劣化加速は既知の現象であるが、各要因が劣化に及ぼす影響の定量的評価は未だ報告されていない。本報では、油温と金属触媒量を変数として潤滑油の劣化試験を実施し、各要因が余寿命に与える影響を定量的に評価した。得られた知見は、新規潤滑油の開発および最適な油交換インターバルの設定に活用可能である。

1. まえがき

添加剤の機能は、基油の性状を改善し、基油が持たない性能を付与することで、潤滑油全体としての性能を発揮させることである。特に自動車変速機用潤滑油には様々な添加剤が配合されており、クラッチの摩擦特性の制御やギアなどのしゅう動部品の焼き付き防止性能、耐久性に寄与している。しかし、潤滑油は使用環境や時間の経過に伴い劣化を生じる。劣化とは、潤滑油の性質が変化し、初期に有していた性能を失うことを指し、その場合、上記部品の制御や損傷の原因となるため、潤滑油の寿命設計は非常に重要である。

一般的に油は油温が高いほど早く劣化することが知られている⁽¹⁾。また、金属触媒の存在が油の劣化を促進させることも知られている⁽²⁾。一方、市場では両者が複雑に変化する環境で使用されるが、それぞれが油の劣化に関してどのような感度を持つのかについて定量的に報告された事例はない。

本報では、当社で使用している自動車変速機用潤滑油について、油温や金属触媒の量を変えて、様々な条件で劣化させた油を比較することで、その感度について調査したので報告する。

2. 実験方法

自動車変速機用潤滑油において、劣化の影響を最も顕著に受けるのは、クラッチの摩擦特性を制御する添加剤の消耗である。潤滑油が劣化することによりクラッチの開放、締結時のショックが懸念される⁽³⁾。そのため、当社ではクラッチ摩擦特性に寄与する添加剤の消耗を評価することで、油の余寿命を算出している。100が新油の状態で0が劣化により完全に消耗した状態とする。以下、本報の中ではこの油の余寿命を、油の劣化を表す指標として用いる。

まずTable 1の条件でISOT試験を実施し、劣化油の余寿命を整理することで油温と劣化速度の関係を求めた。

使用潤滑油としては既存のAT油を使用した。

Table 1 ISOT Test Conditions

	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Test 6	Test 7	Test 8	Test 9	Test 10
Temperature, °C	50	80	110	110	120	140	140	160	175	180
Time, h	144	144	144	1,152	280	144	576	144	216	144

その後、金属触媒の影響を調査するため、金属触媒を抜いた加熱試験（Table 2）、ユニット部品やその摩耗粉等金属触媒が多量に含まれるユニット耐久試験終了後の油（Table 3）について、併せて余寿命を整理することで金属触媒量の影響についても調査した。

Table 2 Heating Test Conditions

	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4
Temperature, °C	100	100	120	140
Time, h	1,000	3,000	3,000	2,000

Table 3 Unit Durability Test Conditions

	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4
Driving Conditions	A	B	C	D
Distance, km	37,000	5,000	38,000	18,000

3. 結果と考察

3.1 油温と劣化速度の関係

ISOT試験終了油の分析結果をTable 4に示す。余寿命から反応速度および反応速度定数を算出した。

反応速度定数を劣化の進行が初めに認められた110℃を起点として整理し、油温と劣化速度の関係を考察した。

110℃からの温度差がx℃あった場合、その反応速度倍率は $e^{0.0471x}$ 倍となる（Fig. 1）。

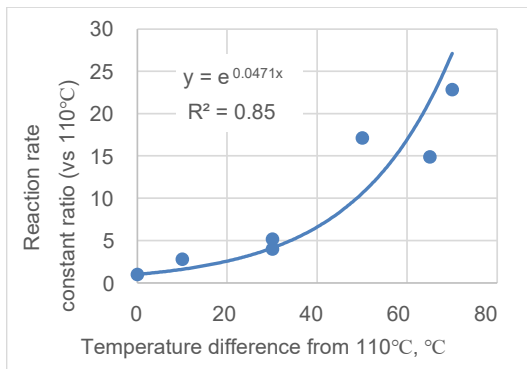


Fig. 1 Relationship between Lubricant Temperature and Reaction Rate Constant

Table 4 Results of ISOT Test

	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Test 6	Test 7	Test 8	Test 9	Test 10
Remaining life	100	100	100	64	74	75	39	36	24	23
Reaction rate	0	0	0	0.031	0.093	0.172	0.106	0.444	0.352	0.535
Reaction rate constant	0	0	0	0.0004	0.0011	0.0020	0.0015	0.0065	0.0057	0.0087

この考え方をを用い、110℃で1時間経験した時の油の熱被害を1とし、この値を熱被害数と定義することで、Fig. 2のように異なる油温での実験をまとめて整理することができる。

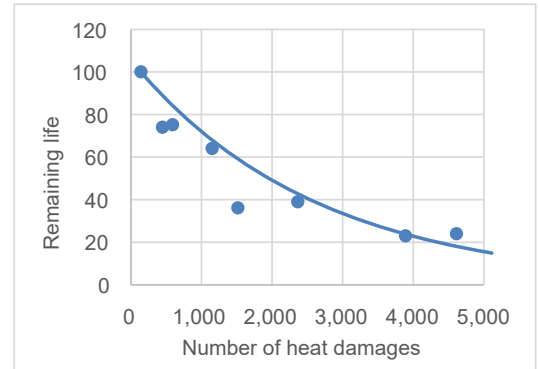


Fig. 2 Sorting Remaining Life Based on Number of Heat Damages

3.2 金属触媒の影響

各試験後の油の余寿命を算出し、それぞれ熱被害数で整理した（Fig. 3）。金属触媒無しの加熱試験終了油は金属触媒を含むISOT試験と同じ熱被害数でも長い余寿命を示した。

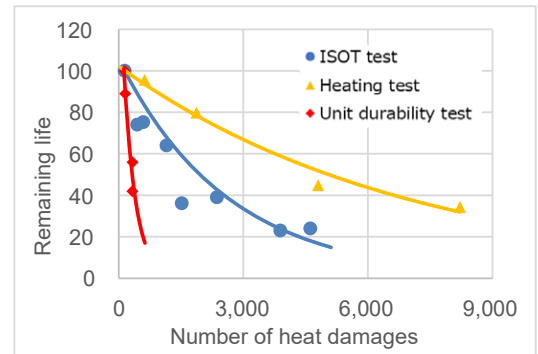


Fig. 3 Sorting Remaining Life Based on Number of Heat Damages

一方，ユニット部品やその摩耗粉等，金属触媒が多量に含まれるユニット耐久試験終了油は短い余寿命を示し，劣化速度が速くなっている様子が確認できた。

これは，鉄や銅といった金属触媒が添加剤の消耗を速めたものとする。

3.3 重回帰分析による整理

それぞれの要因の影響度合いを算出するため，得られた結果を用い，目的変数を油の余寿命，説明変数を熱被害数，金属触媒量の変数として油中Fe元素量，油中Cu元素量として重回帰分析を実施した。

得られた相関係数は0.83であり，高い相関があると解釈できる。

横軸に重回帰分析で得られた予測式から算出した油の余寿命計算値，縦軸に実測値を示したグラフをFig. 4に示す。計算値は実測値と良好な関係を示し，各油温での経験時間，金属触媒量と油の劣化の関係性を求めることができた。

また，各要因の標準化偏回帰係数も比較しており，その結果から，油の劣化に関して熱被害数，油中Cu元素量，油中Fe元素量の順に影響度が高いことが分かった。

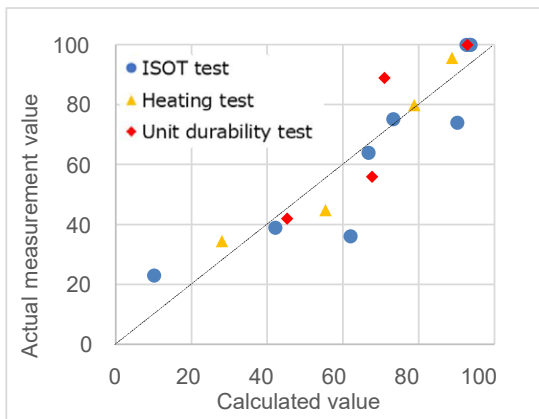


Fig. 4 Multiple Regression Analysis Results

4. まとめ

潤滑油の劣化に，各油温での経験時間，金属触媒が関係しており，今回様々な条件で劣化させた油の余寿命を比較することにより，それぞれの影響度合いについて定量的に整理することができた。

これらは，使用環境に適した寿命を持つ新油設計や適正な油交換頻度の設定のための基盤的な知見となる。

今後はユニット内の局所発熱の影響やしゅう動面の吸着による添加剤の消耗等を考慮し，更なる設計精度の向上を図り，実使用環境下における潤滑油寿命設計の確立を目指す。

5. 参考文献

- (1) 豊口 満：潤滑油酸化防止剤について，有機合成化学，13，11，512-516 (1955)．
- (2) 片山：潤滑油の酸化，油化学，5，5，261-270 (1956)．
- (3) 市橋 俊彦：クラッチに対する摩擦調整剤の作用とその劣化機構，石油学会，第41回石油・石油化学討論，2F13 (2011)．
- (4) 望月・加藤・前田：潤滑油寿命設計手法，トライボロジー会議2024秋 名護 予稿集，2024，A31

■ 著者 ■



望月 佑馬



加藤 豪



前田 誠

添加剤追添によるCVT油の性能回復技術

杉村 晃*

加藤 豪*

前田 誠**

抄 録

当社の無段変速機（CVT）用の油は交換不要として設計されているが、使用環境によっては油の添加剤の著しい消耗により、湿式クラッチの締結・解放時にショックが発生する。そこで、添加剤の消耗メカニズム、および油の各性能に及ぼす添加剤の作用を明らかにし、その知見に基づいて追添剤を設計した。

本剤の効果を実車試験により検証したところ、ショックが改善され、効果の持続性は油交換以上であることを確認した。さらに、本剤は追添による副作用も認められず、CVT油の性能回復技術として極めて有効であることを実証した。

1. まえがき

近年、地球環境問題への関心が高まる中、低炭素・循環型社会の実現に向けて、製品のライフサイクルおよびサプライチェーンにおけるCO₂排出削減が重要な課題となっている。

当社が開発・製造する無段変速機（以下、CVT）で使用する潤滑油（以下、CVT油）は、「Fill for life」を前提として設計されており、本来、交換の必要はない。

しかしながら、使用環境や運転条件によっては、CVT油の一部性能が劣化し、新油に交換する場合がある。

この交換に伴い発生する廃油は、一般的に焼却処分されることでCO₂を排出する。

また、潤滑油の再生技術に関する研究開発も進められているものの¹⁾、再生プロセスにおけるエネルギー消費に起因するCO₂排出という新たな環境負荷が課題として指摘されている。

このような背景から、油を交換せずに劣化した性能を回復させることは、廃油量削減に繋がり、低炭素・循環型社会に貢献すると考え、添加剤の追添による性能回復技術の開発に取り組んだ。

2. 本開発の狙いと課題

CVT油は、CVTの前後進切り替えや副変速部の変速の際、湿式クラッチの締結・解放を滑らかに行う機能が必要である。しかし、油が過度に劣化すると、締結・解放時にショックが発生し、運転者が不快に感じることもある。その原因は、主にCVT油の添加剤の消耗であり、最も早く影響を受けるのは湿式クラッチの摩擦性能（以下、湿式クラッチ μ 性能）である²⁾。

一方、その他の性能（金属部品の摩擦性能、油圧性能、冷却性能など）は十分維持できている。このため、湿式クラッチ μ 性能のみを回復させるために新油交換を行うことは、約8Lの廃油が発生し、交換費用や作業時間などの点でお客様に大きな負担をかけることになる。

そこで、湿式クラッチ μ 性能の回復に必要な添加剤を基油で希釈し、CVT内の油に追添することで、廃油量の削減およびお客様負担を軽減しつつ、ショックを改善する追添剤の開発を狙った。

本開発における主な技術課題を以下に設定した。

課題1：湿式クラッチの締結・解放時におけるショックを改善することと、新油交換並みに改善効果が持続（以下、耐久性）すること。

課題2：ベルト、プーリなどの金属部品の摩擦性能（以下、金属間 μ 性能）が変化しないこと。

課題3：新油や規定以上に添加剤を追添してもCVT油の性能が変化しないこと。

3. 解決策の検討

各添加剤の機能を整理し（Table 1）、追添する添加剤の種類と追添量を検討した。

Table 1 Main functions of additives

Additives	Function
Friction modifier	Wet clutch friction adjustment
	Steel-on-steel friction adjustment
Detergent dispersant	Disperses contamination
	Neutralize any acid contents
	Wet clutch friction adjustment
	Steel-on-steel friction adjustment
Extreme-pressure additive	Steel-on-steel friction adjustment
	Prevents wear and seizure
Anti-oxidant	Prevents oxidation
Viscosity index improver	Viscosity index adjustment

課題1に対する解決策

添加剤の消耗メカニズムは、部品のしゅう動発熱により生成する基油の酸化劣化物³⁾が添加剤を捕捉し、消耗することである。具体的には、酸化劣化物の生成と湿式クラッチ μ 性能を制御する清浄分散剤と摩擦調整剤（以下、FM剤）が消耗する。そのため消耗した分の添加剤を追添する必要がある。

しかし、酸化劣化物は、走行時のユニット部品のしゅう動で生じる金属イオンが触媒となり⁴⁾、生成が促進される。そのため、新油交換並みの耐久性を確保するためには、この影響を考慮し、清浄分散剤の追添量を決める必要がある。

課題2に対する解決策

金属間 μ 性能を発現する潤滑環境は、しゅう動面温度が高いため、分子量が低いFM剤はブラウン運動が活発になり、金属表面に吸着しにくくなる。

しかし、FM剤が金属間 μ 性能を制御する極圧剤に比べ多量に存在すると、金属表面に吸着し、金属間 μ 性能を低下させる。このため、極圧剤はFM剤との比率を考慮し追添量を決める必要がある。

課題3に対する解決策

新油や規定以上に添加剤を追添すると油中の添加剤量は過剰となる。しかしながら、添加剤が金属表面に吸着する状態は、その存在比率によって決まる。そのため、追添剤に含まれる添加剤の比率を適正化できれば、新油に追添しても耐久性以外の性能は新油並みとなる。

そこで、各添加剤の追添量を以下のように決定した。まず、市場回収油および耐久試験終了油の中から添加剤の消耗量が最も多い油を基準劣化油とし、それらに追添後、性能が回復し、耐久性が新油交換並みになるように設計した。結果的に、FM剤は基準劣化油に必要な量に安全率を考慮した量とした。一方、清浄分散剤は基準劣化油に追添した時に新油と同じ清浄性が得られる量に調整した。次に、それらを新油に追添して、FM剤と清浄分散剤が過剰に存在する油を試作し、予備実験を行って、その油の金属間 μ 性能が新油並みになるように極圧剤の量を調整した。

4. 効果の確認

CVT油（新油）、基準劣化油を用いて、追添前後の清浄性（試験方法：JPI-5S-55-99）、湿式クラッチ μ 性能（試験方法：JASO M349）、金属間 μ 性能（試験方法：JASO M358）を確認した。

4.1 課題 1, 2 に対する確認

追添後の基準劣化油の清浄性, 湿式クラッチ μ 性能は新油並み, 耐久性は新油以上に回復した (Fig. 1,2,3). 一方, 金属間 μ 性能も新油並みであった (Fig. 4).

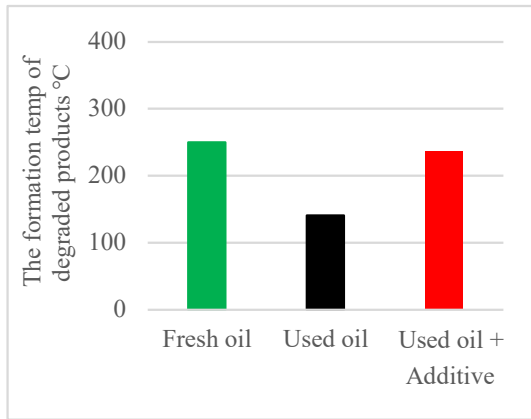


Fig. 1 Detergency test results

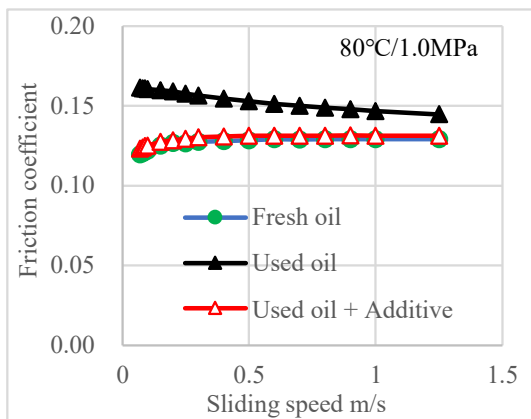


Fig. 2 Wet clutch friction test results

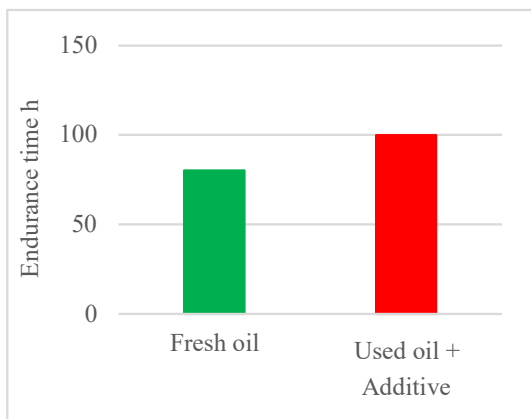


Fig. 3 Wet clutch friction endurance test results

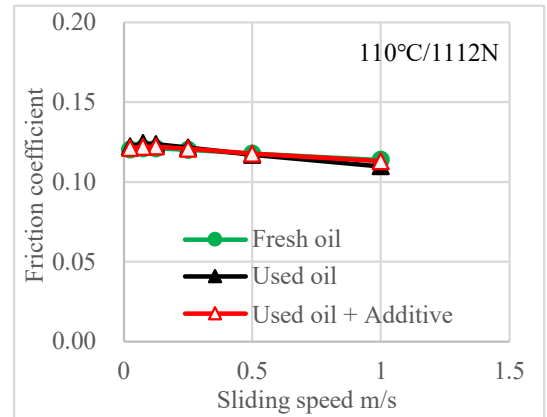


Fig. 4 Steel-on-steel friction test results

4.2 課題 3 に対する確認

新油に追添しても湿式クラッチ μ 性能, 金属間 μ 性能は新油並みであった (Fig. 5,6). さらに, 他の性能も新油並みであった.

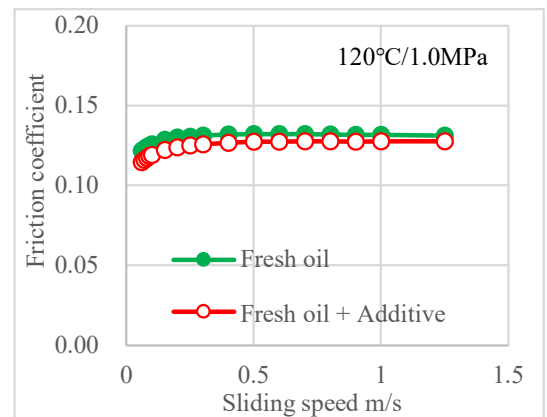


Fig. 5 Wet clutch friction test results

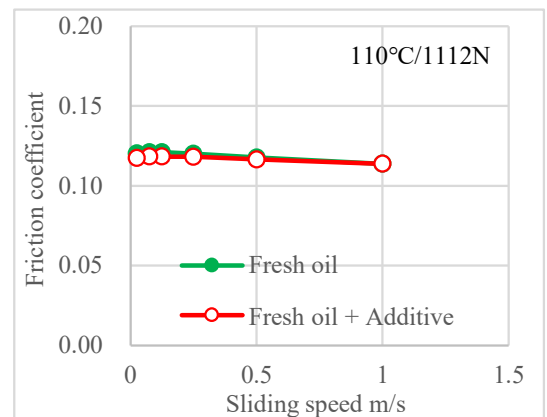


Fig. 6 Steel-on-steel friction test results

5. 実車による検証

CVT油の劣化を促進する条件で実車走行を行い、湿式クラッチ締結・解放時のショックを発生させ、本剤を追添したところ、実車走行でショックの改善が確認できた。さらに、実車走行を継続した結果、次にショックが発生するまでの走行距離は新油交換時以上であることが確認できた。

その後、再度追添し、ショックが発生するまで走行したが、その効果と耐久性に再現性があることが確認できた。また本剤を複数回追添しても、CVTのユニット性能（油圧、変速性能）とユニット内の各部品に及ぼす影響（焼き付き、摩耗、破損）がないことを確認した。

6. まとめ

本研究では、湿式クラッチの締結・解放時におけるショックを改善し、新油交換時以上の耐久性を実現する追添剤を開発した。

開発した本剤を当社のCVT油に追添することで、CVT油の性能に影響を及ぼすことなく、繰り返し性能を回復できる。さらに、本剤の使用により廃油量を0.5Lまで削減でき、従来の新油交換と比較して環境負荷を大幅に低減することができる。

本研究で確立した添加剤追添による油性能回復技術は、低炭素・循環型社会の実現に向けた有効なアプローチであるとともに、潤滑油の設計技術向上に大きく貢献するものである。

7. 参考文献

- 1) 大久保・矢野，他：低炭素・循環型社会に貢献する潤滑油の延命/再生技術の開発，三菱重工技報Vol.61 No.1 (2024)
- 2) 市橋：クラッチに対する摩擦調整剤の作用とその劣化機構，石油学会，第41回石油・石油化学討論会，(2011) 2F13.
- 3) 豊口：潤滑油酸化防止剤について 有機合成化学，13，11 (1955) 512-516.
- 4) 望月・加藤・前田：潤滑油寿命設計手法，トライボロジー会議2024秋 名護 予稿集，2024，A31

■ 著者 ■



杉村 晃



加藤 豪



前田 誠

減速機油の設計コンセプトとその検証

石神 和訓* 加藤 豪* 前田 誠** 佐々木 涼*** 小松原 仁***

抄 録

地球温暖化対策としてCO₂排出抑制が喫緊の課題となる中、自動車産業における電気自動車（EV）の開発が加速している。しかし、EVの航続距離確保に必要なバッテリー容量の増加は、製造コストの大幅な上昇を招くという課題がある。本研究では、EVの電費向上によるバッテリー容量削減などを目的として、減速機用低粘度油の開発および性能評価を行った。具体的には、減速機内のフリクション（攪拌抵抗）に着目し、電費向上に寄与する低粘度油の設計コンセプトを確立した後、実機試験により性能検証を実施した。開発した低粘度油により、従来油と比較して減速機内のフリクションが有意に低減され、電費向上効果が確認された。本研究で開発した低粘度油は、EVの電費向上に有効であり、バッテリーコスト削減への貢献が期待できる。

1. まえがき

近年、地球温暖化対策としてCO₂排出規制が世界的に強化される中、自動車産業では電動化が加速している。自動車メーカーおよびサプライヤは、従来の内燃機関車両に加え、ハイブリッド電気自動車（HEV）や電気自動車（BEV）の開発・普及に注力している。しかしながら、EVの本格的な普及に向けて、航続距離の制約という重要な技術的課題が存在する。航続距離の延長にはバッテリー容量の増加が必要となるが、これは大幅なコスト上昇を招くため、エネルギー効率の向上（以下、省電費化）による解決策が求められている。

また、EVの小型・高出力密度化への要求に応えるため、小径・高回転モータと高減速比ギヤの組み合わせによる駆動システムが主流となりつつある¹⁾。このような高出力密度モータの採用に伴い、モータの発熱対策が新たな技術課題として浮上しており、その有効な解決策としてモータ油冷システムが注目されている。

本研究では、EVの省電費化を実現するため、減速機内のトルク損失低減（フリクション低減）に着目し、同時にモータ油冷にも適した低粘度減速機油の開発を行った。本論文では、その設計コンセプトと検証結果について報告する。

2. 開発の狙いと目標

省電費化のためにベンチマークトップの低粘度を狙いつつ、かつしゅう動時の摩擦特性、金属部品の疲労防止性能、焼き付き防止性能が既存油（ATF）以上となることを狙った。

目標粘度は車両の電費目標の達成と市場の減速機油のベンチマークから40℃動粘度は11mm²/s以下とした（Fig. 1）。また、モータ油冷のために電気絶縁性の確保も狙った。目標の電気絶縁性は、現行モータ冷却油の体積抵抗率以上とした。

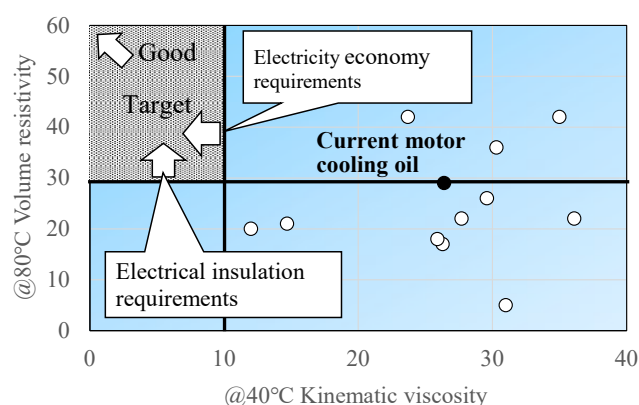


Fig. 1 Target value development oil

3. 低粘度化の課題

Fig. 2のストライベック曲線より、低粘度ATFは流体潤滑域の摩擦係数が既存油に比べて低下するが、混合潤滑域では油膜が薄くなり金属接触を生じやすくなる。このため、摩擦係数の上昇、金属の疲労防止性能、焼き付き防止性能の低下が懸念される。

従来の低粘度化技術では、油膜を確保するために粘性の高い油膜形成ポリマーを配合することで金属接触を防止（極圧性を向上）してきた²⁾。しかし、本開発では目標粘度達成のため、増粘効果がある上記ポリマーを除外し検討を行った。

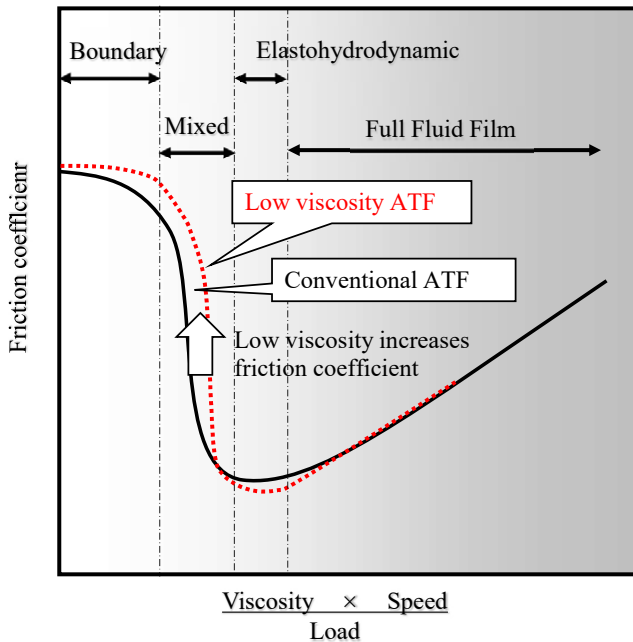


Fig. 2 Stribeck Curve

4. 設計コンセプト

低粘度化による混合潤滑域の金属接触を生じにくくするために、添加剤の被膜形成により、極圧性を向上させる必要がある。そこで、油膜が薄くなることによるしゅう動面温度の上昇を利用し、混合潤滑域からしゅう動面に早期に添加剤による吸着被膜および反応被膜を形成させることを図った³⁾。具体的には、作用の異なる2種類のリン系添加剤を配合し混合潤滑域で早期にしゅう動面に被膜を形成させる。

5. 極圧性能の向上

5.1 リン系添加剤の配合

減速機の急激な荷重変動に対応するため、混合潤滑域から早期に被膜を形成させて、しゅう動部品の金属接触を防ぐ必要がある。そこで、低面圧、低速度条件で、吸着型リン系添加剤がしゅう動面に吸着して被膜を形成させ、高面圧、高速度条件で、化学反応型リン系添加剤がしゅう動面に被膜を形成させる方策を講じた。

5.2 添加剤 formulation の見直し

Table 1に示す減速機（Reducer）の要求性能⁴⁾を考慮し、低粘度化と背反する極圧性、電気絶縁性の確保を目指し既存油をベースに添加剤formulationの見直しを図った。見直しの狙いは、減速機油に不要な添加剤を取り除き、しゅう動面の反応被膜形成を最大化させることである。具体的には、湿式クラッチの摩擦特性に影響を及ぼす分散剤、摩擦調整剤を取り除いた。

Table 1 Performance required for e-Axle (Reducer)

Performance required for e-Axle (Reducer)	Performance required for Oil	Objectives of additive formulation optimization
Reduction of agitation resistance	Low viscosity	Elimination and reduction of dispersants with thickening effects, FM agents
Oil-cooling the motor	Electrical insulation	Elimination and reduction of conductive dispersants and FM agents
Gear durability	Wear resistance, Pitching resistance, Scuffing resistance	To maximize the effectiveness of the two phosphorus-based additives, the dispersant and FM agent that cause competitive adsorption reduced or eliminated

6. 検証結果

開発油の摩擦性能、焼き付き防止性能を既存油および低粘度ATFと比較した結果を以下に示す。

6.1 摩擦係数

MTM（Mini Traction Machine）試験によるTable 2の混合潤滑条件下における摩擦係数の測定結果を示す（Fig. 3）。低粘度ATFに比べ開発油は摩擦係数が低い。この結果から、吸着型リン系添加剤と化学反応型リン系添加剤がしゅう動面に吸着被膜、反応被膜を形成し、金属接触を防止して低摩擦を実現するという設計コンセプトを検証できた。

Table 2 MTM test conditions

Surface pressure[GPa]	1.2(Load 60N)
Speed[mm/s]	10-3000
Oil temperature[°C]	40
Slip ratio[%]	50

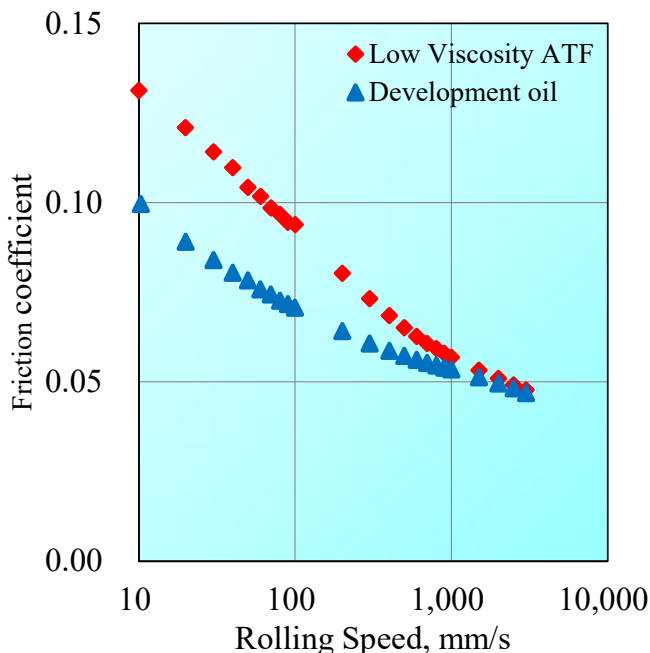


Fig. 3 MTM test

6.2 焼き付き防止性能

Fig. 4に高速四球試験による焼き付き防止性能の評価結果を示す。既存油を低粘度化した場合、最大非焼き付き荷重が既存油より低くなるが、開発油は設計コンセプト通り最大非焼き付き荷重が既存油以上となった。この結果から、添加剤formulationの見直しにより、しゅう動面に反応被膜形成させる設計コンセプトが検証できた。

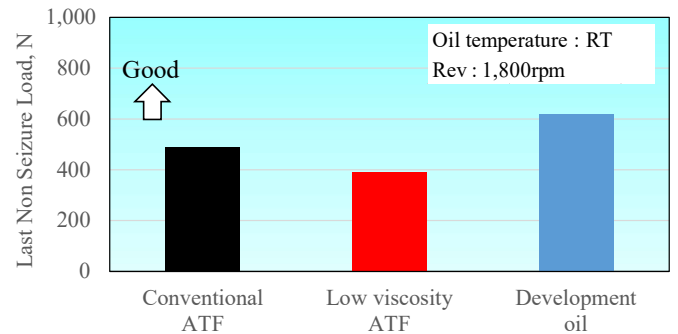


Fig. 4 High-speed 4-ball test

6.3 実機想定ギヤを用いた焼き付き防止性

高周速歯車試験にて、実機ギヤ破面の貧潤滑環境、および車両走行パターンを想定した試験条件にて焼き付き防止性能を既存油と比較した（Fig. 5）。開発油はBEVの発進走行（高トルク）を想定した条件においてギヤ表面の損傷が発生する回転数は既存油よりも高く、耐焼き付き性に優れていることが確認できた。

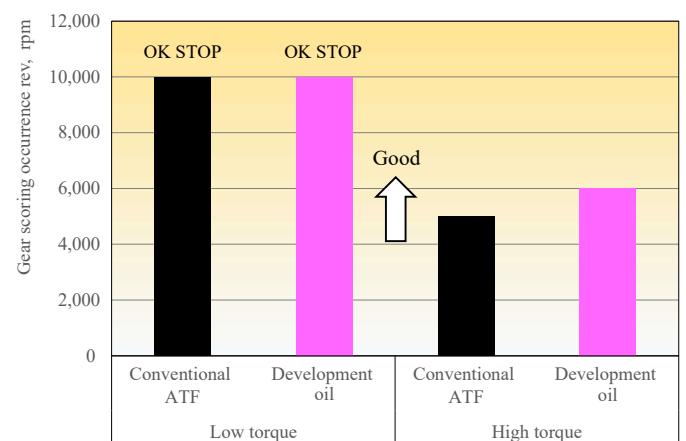


Fig. 5 High-speed gear seizure test

7. まとめ

本研究では、電気自動車用減速機油の開発を行い、以下の成果を得た。

開発した減速機油は、業界最高水準の低粘度特性を実現しながら、ギヤ部品のしゅう動時における優れた摩擦特性、疲労防止性能、および焼き付き防止性能を両立させた。さらに、モータ油冷に必要な電気絶縁性も確保することに成功した。

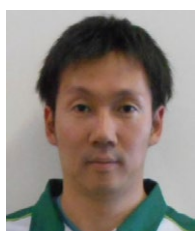
性能評価試験の結果、本開発油の使用により、従来油と比較してユニットのエネルギー効率が約10%向上することを確認した。この効率向上は、電気自動車の航続距離延長に直接的に寄与することが期待される。

本研究で得られた知見は、電気自動車の普及促進に向けた技術的課題の解決に貢献するものであり、今後の潤滑油の設計技術向上にも大きく貢献するものである。

8. 参考文献

- 1) 塚越，他：e-Axle向け高回転モータにおける同期3パルス制御の開発,自動車技術会論文集Vol.53, No.3, May 2022
- 2) 増田：超低粘度ATFの開発 JXTG Technical Review 第61巻（2019.7）
- 3) 有山・小松原：低粘度デファレンシャルギヤオイルの摩擦低減機構説明 トライボロジー会議（2017秋）
- 4) 石神・荒川・前田：自動車用変速機油の変遷と最新動向 トライボロジスト（2020）
- 5) 石神・加藤・前田：低粘度減速機油の設計コンセプトとその検証，トライボロジー会議2024秋 名護 予稿集，2024，A32

■ 著者 ■



石神 和訓



加藤 豪



前田 誠

CVTユニットシステム開発の革新とプロジェクト適用

金田 武* 横田 徹**

抄 録

自動車への性能要求の高まりを受けて、CVTユニット開発への要求も複雑化している。また多くのトレードオフを抱えており手戻りのない開発を行うことが難しくなっている。これに対してジヤトコは、Quality Function Deploymentを応用したシステム・アーキテクチャ分析手法を構築した⁽¹⁾。

これを実際のプロジェクトに適用し、開発を完了させる上で抽出された課題やその対応策について紹介する。

1. はじめに

近年の新規CVTユニット開発においては、車両衝突安全性要求の厳格化に伴うユニットの小型化要求や、排ガス改善および燃費向上要求の高まりにより、開発への要求が多様化・複雑化している。このような状況下で、従来の手法では開発を円滑に進めることが困難になってきている。これに対処するために、システムズエンジニアリング（以下、SE）の手法⁽²⁾を導入し、車両全体、パワートレイン、CVTを鳥瞰的に捉えた開発を行うことで、手戻りのない円滑な開発プロセスを実現し、量産化に成功した事例を紹介する。

2. 実プロジェクト適用時の課題

新規CVTユニット開発を円滑に進めるためには、SEのVプロセスに沿った開発を行っていく必要がある。その中でも最初のプロセスである車両要求からユニット要求へ落とし込んでいくシステム設計が重要で、その成否の影響は下流の全ての工程に及ぶ（Fig. 1）。したがって、システム設計の最終関門である課題審議（デザインレビュー）において抜け漏れなく課題を出し要求を割りつけられるかどうかが開発品質のキーポイントとなる。

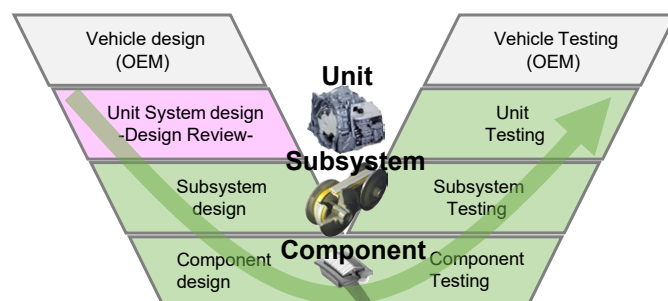


Fig. 1 V-shaped development process

システム設計段階においては、変更点の把握→課題の抽出→課題検討→デザインレビューに至るまでの一連のプロセスが重要である（Fig. 2）。

以下、要求影響伝播マトリックスを実プロジェクトに適用するにあたって、各プロセスで発生した課題とその解決策を示す。



Fig. 2 The system design process until the design review

2.1 変更点の把握

プロジェクトを進めるにあたって、変更点の把握は重要なステップである。要求影響伝播マトリックスを活用することで、要求項目の網羅性を確保することが可能となったが、これは入力情報（顧客要求）である変更点が明確になっていることが前提である。しかし、実際のプロジェクト適用においては、以下のような課題が発生した。

2.1.1 要求の把握における課題

顧客要求の中で要求項目が不足していたり、要求項目はあるが要求値が未定だったりするものがあつた。これに対して、要求管理ツールを導入し、開発に必要な性能要求項目を当社で自ら設定し、顧客にその要求項目の目標値を提示していただくことで項目の抜け漏れを防止した。また、合意した当事者とその日時を明記しコミュニケーション不足による認識の相違も防止した。

車両要求からユニット要求，ユニット要求からサブシステム要求への割り付けについても，計画図体系（Fig. 3）を整備して，各階層のRFL（Requirements - Function - Logic）を計画図でやり取りすることにより割り付けが不明確になることを防止した。

2.1.2 仕様の把握における課題

開発初期段階では性能要求から仕様を決定するため変更点の把握が容易であったが，開発後期には生産要求，サプライヤ要求，コスト目標，重量目標達成のために仕様変更が頻発し，変更点の把握漏れが発生しやすくなった。これに対しては，図面ベースでの変更点把握・リスト化を出図プロセスに導入し，変更点のチェックを行うゲートを追加することで解決した（Fig. 4）。

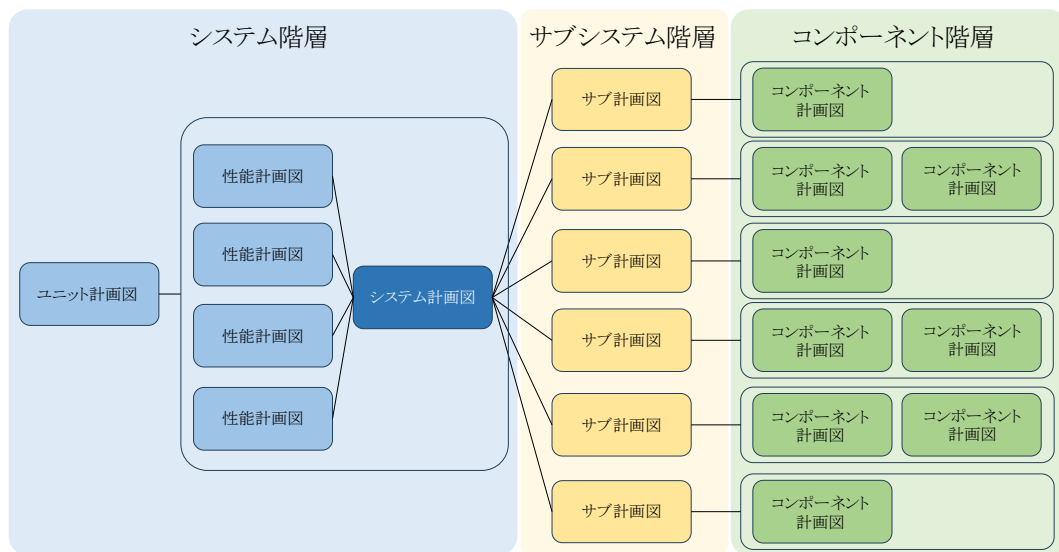


Fig. 3 The framework of planning drawings

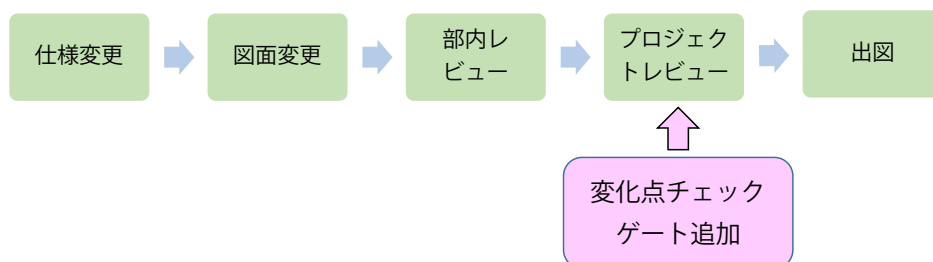


Fig. 4 Improving the drawing process

2.2 変更点に対する課題抽出

要求影響伝播マトリックスを活用することで、変更点に対する影響を漏れなく抽出することが可能となった。これにより、知見者からの課題抽出が効率的に行われ、個人能力のバラつきによる抜け漏れを防止することができた。しかし実際にプロジェクト適用していく中で、以下の課題が顕在化した。

2.2.1 情報更新遅れによる課題抽出不足

要求影響伝播マトリックスの課題抽出は、既存のCVTシステム構成による課題抽出であり、新規システム導入に伴う課題や他機種の仕様変更の水平展開などの情報更新遅れにより抽出課題を網羅できないことがあった。

これに対して、変更点と要求影響伝播マトリックスから抽出した項目をベースとして、各機能設計で最新情報を基に課題の追加有無を検討するプロセス（Fig. 5）を導入した。これにより抜け漏れ防止と要求影響伝播マトリックスの定期的な最新化が実現できた。

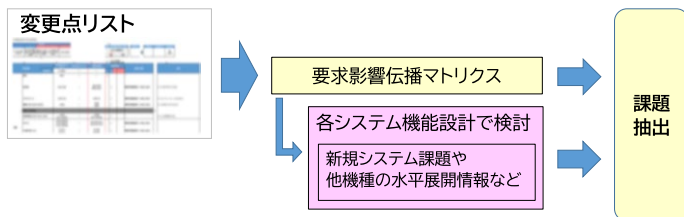


Fig. 5 The issue extraction process

2.2.2 課題の過剰抽出

要求影響伝播マトリックスは、課題抽出の抜け漏れを防止する目的で一般的に影響しそうな項目をすべて抽出できるようにしていた。このため、抽出した項目数が膨大になり、この後の課題検討に必要なリソースが過大になる懸念が発生した。これに対しては要求影響伝播マトリックスから抽出された項目の中から、各設計部署が明らかに性能に影響しない変更であると判断したものは除外した。これにより抽出項目が膨大になることを防止し、重要な課題検討の時間を確保することができた。

2.3 課題検討

抽出された課題について各機能設計で課題検討を進め仕様を決定していく。このとき、機能間のトレードオフに対して要求調停が必要であり、仕様決定の順番が不適切な場合には大規模な手戻りが発生していた。

これに対して要求影響伝播マトリックスを用いて、設計順の織り込み(主要諸元の抽出)、トレードオフの可視化、システム・アーキテクチャの複雑さの数値評価を行った(インターフェーススコア)。これにより、優先度が高いものを明確にし、効率的にトレードオフを解決することができた。

具体的には、変更点に対するトレードオフとなる要求項目を把握し、その複雑性を数値化することで、他の変更点と比較することが可能となった。また、複雑性と主要諸元や搭載性への影響の大きさの2軸で評価して検討の優先順位をつけて課題検討する事で、複雑なトレードオフを効率的に解決することができた（Fig. 6）。

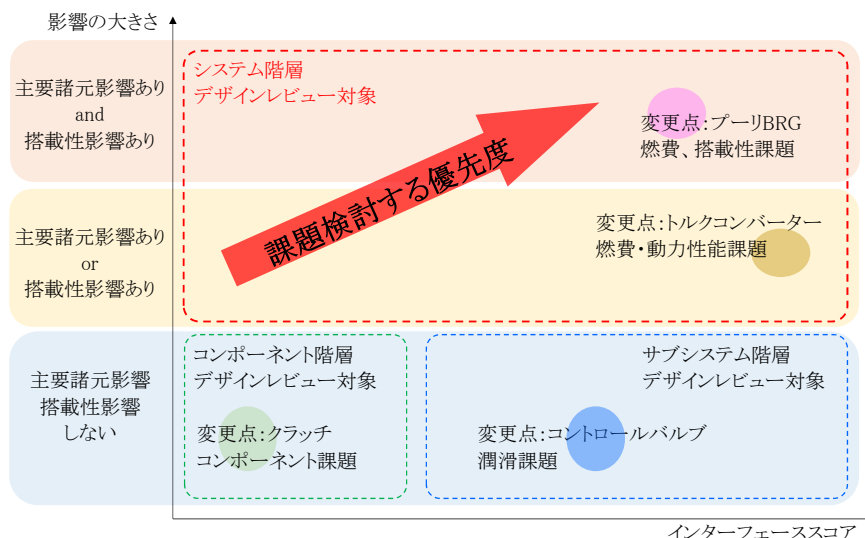


Fig. 6 Implementation of an Interface Score (Priority of issue study)

2.4 課題検討の審議

今回のプロジェクトでは、要求影響伝播マトリックスの課題抽出によるシステム課題有無と、インターフェーススコアと主要諸元や搭載性への影響の大きさの2軸での評価に基づいて、デザインレビューの審議先を割り振った。これにより重要課題の審議に集中することができた (Fig. 7)。

2.5 実際のプロジェクト開発適用事例

実際のプロジェクト開発適用事例を下記①から⑤にて説明する (Fig. 8)。

- ① 開発途中でCVTの基幹部品の一つであるベルトで大きな仕様変更が発生した。
- ② ①を受けて、システム課題抽出を行った。要求影響伝播マトリックスより、最重要課題かつ搭載性へ影響可能性が高い燃費、動力（全開発進）を優先度1として取り組み、他の課題は燃費、動力性能解決後に取り組むことを決めた。

- ③ その燃費、動力性能を確保するためにはレシオカバレッジ拡大が必要であることが分かった。レシオカバレッジ拡大のためには、CVTのもう一つの基幹部品であるプーリ設計変更が必要になった。
- ④ ③を受けて再度システム課題抽出を行った。要求影響伝播マトリックス+②のその他課題+優先度づけより、プーリ強度耐久性を新優先度1に、搭載性、動力（最高速）、運転性課題を新優先度2と設定し直した。
- ⑤ ④で抽出した課題のシステム影響の大きさに応じて各審議先を決定した。

以上により、実プロジェクトにおいて、課題の重要度に応じて必要な審議に集中することが可能になった。

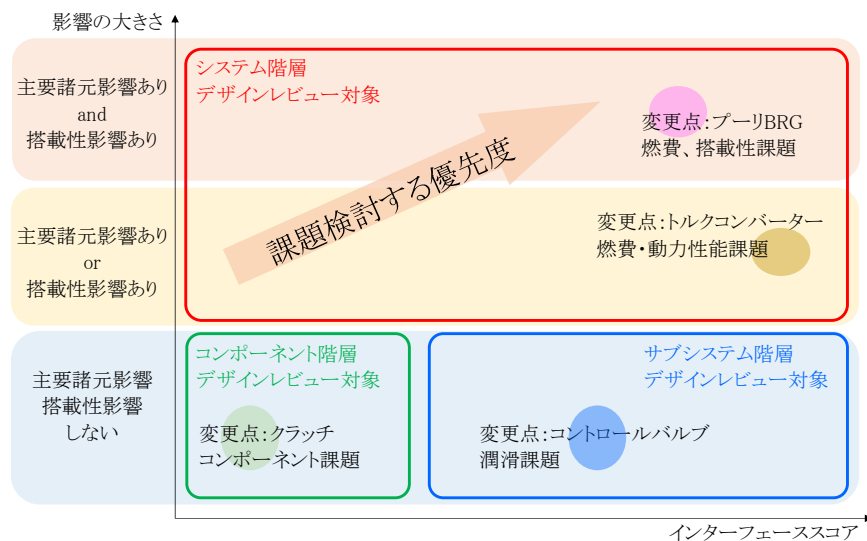


Fig. 7 Implementation of an Interface Score (Decide review level)



Fig. 8 Case study of project application

3. システム検討の改革の成果

本稿で紹介した手法を適用したプロジェクトは、ユニットサイズ小型化により適用車種のNCAP5star獲得に貢献し、燃費動力性能向上に貢献するレシオカバレッジを前型比13%拡大した (Fig. 9)。

また開発費は前型比で約14%削減することができた。

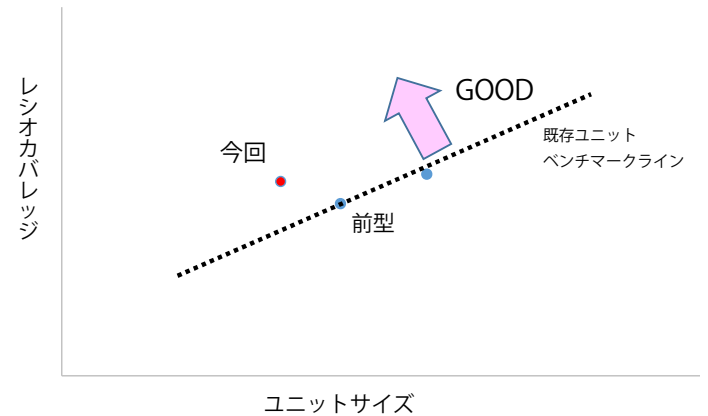


Fig. 9 Ratio coverage vs. Unit size

4. 考察

本稿で実現させた革新的なCVTシステム開発手法は今後、以下のように展開していくことで更なる開発品質の向上を目指したい。

4.1 電動化ユニット開発への適用

CVTほど複雑なシステムではないものの減速機のみならず原動機も包括してシステム開発する必要がある。車両とのトレードオフは更に増加することから本手法を活用することで効率的かつ高品質な開発が実現できる。ただし、要求影響伝播マトリックスの精度を高め、可視化して関係者で議論できる環境を整えることも重要である。

4.2 AT, CVT ユニット開発への適用

既存AT, CVTユニット開発においても、近年の法規制や新デバイスの追加などシステム課題が山積している。本手法を導入することで、多品種の適用開発を効率的に行うことが可能になる。

4.3 システム人財の育成

日本の少子高齢化に伴い、技術の伝承、人財の育成を従来のようにOJTで実施することが難しくなっている。本手法を適用し、経験の少ないエンジニアでもシステム課題抽出や課題の優先度付けができるようになり、早期の人財育成を実現できる。

5. まとめ

本稿では、要求影響伝播マトリックスをプロジェクトに適用した事例を示し、各プロセスにおける課題とその解決策を考察した (Table 1)。

要求影響伝播マトリックスを工夫して活用することで、プロジェクト課題の抜け漏れ防止と高効率、高品質なユニットの開発が可能となった。

Table 1 Issues and solutions in each process

プロセス	課題	解決方策
変更点把握	要求の把握	- 要求管理ツール - 計画図体系 - RFL
	仕様の把握	- 図面ベースでの変更点把握, リスト化 - 出図プロセスにゲート追加 (変更点のチェック)
課題抽出	情報更新遅れによる課題抽出不足	課題追加有無の検討プロセス
	課題の過剰抽出	性能影響判断プロセス
課題検討	機能間のトレードオフによる手戻り	複雑性と主要諸元や搭載性への影響の大きさで優先順位付け
デザインレビュー	課題検討の審議	抽出した課題のレビューの審議先を割り振り

6. 参考文献

- (1) 勝生水, 服部靖司, “自動車のトランスミッション製品開発におけるシステム・アーキテクチャ分析手法の導入”, ジャトコ・テクニカル・レビュー No.19 (2020).
- (2) 中澤孝志, “システムズエンジニアリングを用いた新エンジン開発”, 日本機械学会誌, Vol.119, No.1177 (2016).

■ 著者 ■



金田 武



横田 徹

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

2024年8月に日産自動車より北米で発売された「KICKS」に、Jatco CVT-XS (JF023E) が搭載された。

JF023Eは2023年10月発売の「セントラ」から搭載しており、一新された油圧システム、ツインオイルポンプ、多板ロックアップ、3方リニアソレノイドなど最新の機構により動力/運転性能のフィーリング向上、ベルト巻き付き小径化によるレシカバ拡大は燃費性能の向上に貢献している。また、特徴であるコントロールバルブの縦置化は衝突性能の向上にも大きく貢献している。JF023Eとのマッチングにより洗練されたKICKSの性能はお客様より高い評価を得ている。

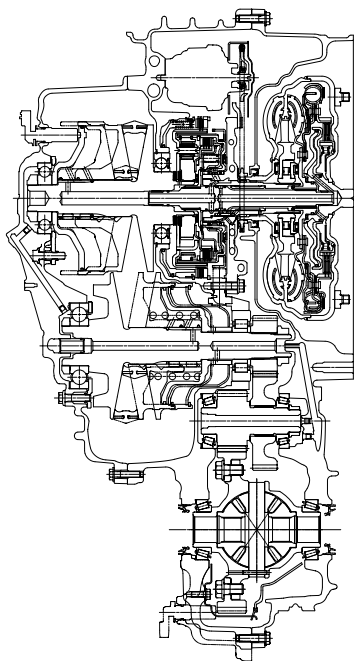


Fig. 1 Main cross-sectional view

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	5.341
Selector positions	P, R, N, D, B
Gear box length	379.9 mm
Weight (wet)	94.6 kg

KICKS



INFINITI/日産自動車向け QX80/ARMADA/PATROL用9速AT JR913Eの紹介

2024年7月に発売されたINFINITIの新型「QX80」に、FR車用9速AT（JR913E）が搭載された。

新開発の3.5L ツインターボエンジンと従来の7速ATより約40%ワイドレシオ化したJR913Eにより、加速時のレスポンス向上と高速走行時の燃費を両立した。

また、ダイレクト油圧コントロールシステムによる変速時のダイレクトなフィーリングを実現した。

ARMADA/PATROLにはドライブモードにTerrainモードが設定され、市街地から険しい地形に至る様々な地形でもより質の高い運転性を実現した。

JR913Eとのマッチングにより運転性向上と燃費性能向上を両立し、お客様より高い評価を得ている。

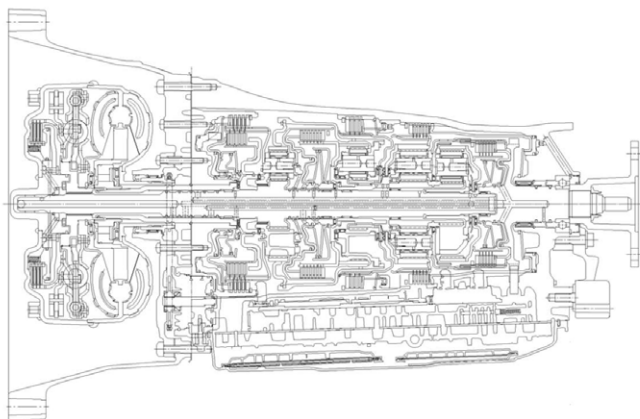


Fig. 1 Main cross-sectional view

Table 1 Specifications of JR913E

Torque capacity	700 Nm	
Torque converter size	260 mm	
Gear ratios	1st	5.425
	2nd	3.263
	3rd	2.249
	4th	1.649
	5th	1.221
	6th	1.000
	7th	0.861
	8th	0.713
	9th	0.596
	Rev.	4.799
Ratio coverage	9.1	
Final gear ratio (reference)	3.357	
Selector positions	P, R, N, D, +Manual shift (Paddle) (Park & Shift by wire)	
Overall length	439.5 mm	
Weight (wet)	100.5 kg	

QX80



ARMADA



PATROL



BRPロータックス社様向け 変速プーリの紹介

ボンバルディエ・レクリエーショナル・プロダクツ社（BRP）様は全地形車両（ATV）や水上オートバイ（PWC）などのレクリエーショナルビークルのトップメーカーのひとつである。当社は、そのパワートレインを生産しているオーストリアのBRPロータックス社（BRP-Rotax GmbH & Co KG）様に対してATV変速機用プーリの供給を開始した。これまでの自動車用無段変速機（CVT）の開発生産を通じて培った技術を活用して、オフハイウェイ・モビリティをご利用されるお客様にも当社製品をご使用いただける機会を得た。本部品はジャトコメキシコ社（JMEX）で生産している。

ATV変速機用プーリ



動力伝達装置

本特許は、製品紹介「日産自動車向け北米KICKS用 Jatco CVT-XS (JF023E) の紹介」のコントロールバルブの縦置化に関するものである。

1. 動力伝達装置

(Fig. 1)

出願番号：特願2024-509224

出願日 : 2023.3.23

特許番号：特許第7596055号

登録日 : 2024.11.29

発明の名称：動力伝達装置

発明者：山下 勝則，湯川 洋久，神谷 将弘，
池田 智雄，児島 謙治，東山 晃，
湯本 泰章，伊藤 務，沼田 和也，
川原 淳之介，秋山 和慶

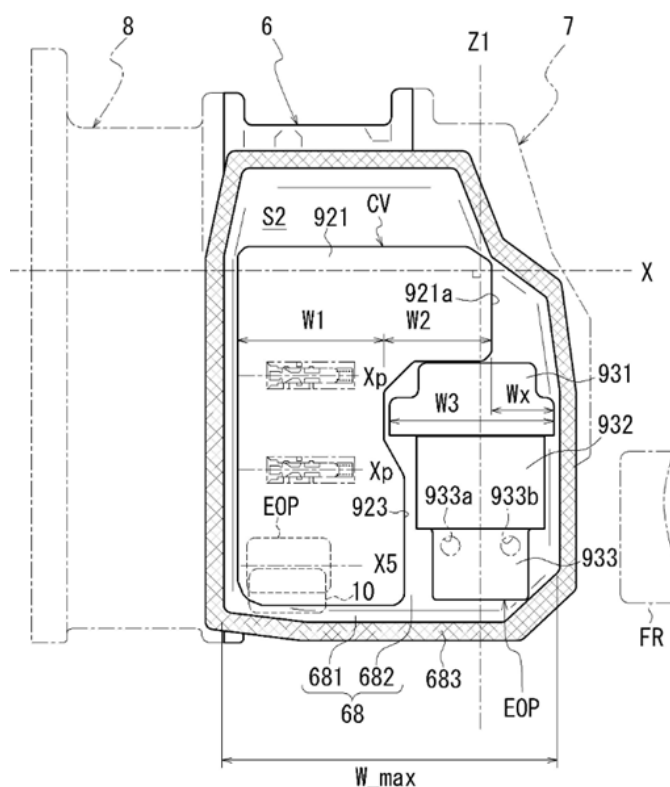


Fig. 1

【発明の概要】

コントロールバルブを起立姿勢で配置し、さらに電動オイルポンプとメカオイルポンプとをケース内に動力伝達装置の回転軸に沿う向きで並べて配置すると、ケース内でこれらのポンプを収容する部位が回転軸方向に大きくなってしまったという問題があった。

本発明の動力伝達装置では、メカポンプの回転軸を動力伝達機構の回転軸に沿わせた向きでケース内に配置し、さらに、ケース内の縦置きコントロールバルブ室に電動ポンプをその回転軸が上下方向に沿うように縦置きで配置する。

これにより、メカポンプの回転軸と電動ポンプ回転軸がケース内で同軸に配置されないため、動力伝達装置を回転軸方向に大型化することなくこれらのポンプをケース内に配置できる。

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

担当 (Editor)

多 田 健 一
Kenichi TADA

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

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

谷 野 剛
Takeshi YANO

ジャトコ エンジニアリング (株)
エンジニアリングサービス部
Engineering Service Department,
JATCO Engineering Ltd

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

曾 根 隆 一
Ryuichi SONE

デジタルソリューション部
Digital solution Department

中 川 季 昭
Hideaki NAKAGAWA

経営企画部
Corporate Planning Department

ジャトコ テクニカル レビュー No.24

JATCO Technical Review No.24

© 禁無断転載
発行 2025 年 3 月
発行所 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 2025
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