

技報 74

2023.11 No.

TOYOTA INDUSTRIES TECHNICAL REVIEW

株式会社 豊田自動織機

特集 当社事業を支える基盤技術

技報 74
2023.11 No.
TOYOTA INDUSTRIES TECHNICAL REVIEW
株式会社 豊田自動織機

目次

豊田自動織機技報

第74号

巻頭言

- 4 未来を創る
一条 恒

特集

- 7 来るべきSDV時代を支える電子制御開発の基盤技術
宮田 八郎 小澤 尚之 前田 洋信 福田 仁志 後藤 宏之 藤井 英樹 小林 貢
犬塚 浩之

- 21 事業活動を支える材料技術部の取組み
竹内 秀隆 下 俊久 鈴木 智博 谷澤 元治 齊藤 さつき 工藤 英弘 神谷 修平
野口 将人 神山 真巳

- 28 2030年ビジョン達成に向けた豊田自動織機のイノベーション
～研究と創造を支える知的財産活動～
伊東 勇 橋本 幸一 加藤 良 山田 量也 山田 敬祐 山口 敦 石田 久人

トレンド

- 36 はやぶさ2
リュウグウ試料から明らかにされる太陽系の進化と生命の起源
吉川 真 白井 寛裕

製品技術紹介

- 44 新型エアジェット織機「JAT910」の開発
八木 大輔

- 50 冷凍冷蔵仕様自動運転フォークリフト(AGF)の開発
小川 透 早川 誠 栗山 泰 青山 茂樹

- 54 Li-ionバッテリー搭載フォークリフトの開発
梶山 英訓 丸山 均 吉田 真継 三竿 洋一 藤原 英晃

- 59 Li-ion Battery Development for Forklift Trucks in North America
Matt Wavrek

- 62 電動バス向けヒートポンプ空調用電動コンプレッサ ES80の開発
角口 健一 猪飼 健介 石原 弘貴

技術解説

- 68 T相強化型高機能アルミニウム合金
野口 将人 近藤 雅晶 鈴木 智博

- 75 CFRPリサイクル技術と循環システム JEC COMPOSITES INNOVATION
AWARDS受賞
原田 亮 吉川 元基 富岡 宏匡 石本 弘樹

- 78 空間除電による工場内空調管理の緩和
白井 俊治 栗栖 誠二

表彰

- 82 新歯形理論による電動車用低騒音スクロール圧縮機
前田 拓巳 山下 拓郎

- 83 特許発明「スクロール型圧縮機の背圧調整機構」が全国発明表彰にて
発明賞を受賞
今福 真紀子

- 87 特許発明「二段着火予混合燃焼」が愛知発明表彰にて愛知発明大賞を受賞
小笠原 雅人

論文

- 91 誘導機の回路モデルにおける軸方向影響とロータ温度の考慮
平本 健二 中井 英雄 岩井 良樹 古川 智康 藪島 紀元

- 91 オキシメチレンジメチルエーテル(OME)燃料を用いた
ディーゼルエンジンのエミッション・燃焼特性
小坂 英雅 冬頭 孝之 脇坂 佳史 植田 玲子 西川 一明 河合 謹

- 92 カーボンニュートラル燃料を用いたディーゼル混焼エンジンの可能性(第1報)
－3D-CFDによる軽油-水素 混焼エンジンにおける熱効率とエンジンアウト
NOxの限界性能の探索－
稲垣 和久 堀田 義博

- 93 感圧・感温塗料を用いたターボチャージャインペラの圧力場計測
古谷 豪教 中井 啄己 今井 雅人 柿本 富広 亀田 正治 松岡 裕也 町田 和也
松田 真明 種田 剛夫

- 94 アンモニア単一燃料エンジンシステム(第1報)－システム成立性－
竹内 秀隆 本間 隆行

- 94 アンモニア単一燃料エンジンシステム(第2報)－動力性能と排気特性－
本間 隆行 竹内 秀隆 薬師寺 新吾 高島 良胤 佐古 孝弘

- 95 アンモニア単一燃料エンジンシステム(第3報)－冷間始動特性－
宮川 浩 鈴置 哲典 中谷 規之介 本間 隆行 竹内 秀隆

CONTENTS

TOYOTA INDUSTRIES TECHNICAL REVIEW

No.74

Foreword

- 4 Create the Future**
Hisashi Ichijo

Feature

- 7 The Foundation Technologies for Electronic Control Development Supporting the Upcoming SDV Era**
Hachiro Miyata Naoyuki Ozawa Hironobu Maeda Hitoshi Fukuda Hiroyuki Goto Hideki Fujii Mitsugu Kobayashi Hiroyuki Inuzuka
- 21 Materials Engineering Initiatives to Support Manufacturing**
Yoshitaka Takeuchi Toshihisa Shimo Tomohiro Suzuki Motoharu Tanizawa Satsuki Saito Hidehiro Kudo Shuhei Kamiya Masato Noguchi Mami Kamiyama
- 28 Innovation of Toyota Industries Corporation to Achieve Vision 2030 ~Intellectual Property Activities That Support Research and Creation~**
Isamu Ito Koichi Hashimoto Ryo Kato Kazuya Yamada Keisuke Yamada Atsushi Yamaguchi Hisato Ishida

Trend

- 36 Hayabusa2**
Evolution of the Solar System and the Origin of Life Revealed from Ryugu Samples
Makoto Yoshikawa Tomohiro Usui

Product Technology

- 44 Development of the New Air Jet Loom JAT910**
Daisuke Yagi
- 50 Development of Automated Guided Forklift with Cold Storage & Refrigeration Specifications**
Toru Ogawa Makoto Hayakawa Yasushi Kuriyama Shigeki Aoyama
- 54 Development of Fully Integrated Li-ion Battery Forklift Trucks**
Hidenori Kajiyama Hitoshi Maruyama Masatsugu Yoshida Yoichi Misao Hideaki Fujiwara
- 59 Li-ion Battery Development for Forklift Trucks in North America**
Matt Wavrek
- 62 Development of ES80 Electric Compressor for Heat Pump Air Conditioning Systems in Electric Buses**
Kenichi Kadoguchi Kensuke Ikai Hiroki Ishihara

Technical Review

- 68 T Intermetallic-reinforced Novel Aluminum**
Masato Noguchi Masaaki Kondo Tomohiro Suzuki

Commendation

- 75 Wins JEC COMPOSITES INNOVATION AWARDS for CFRP Recycling Technology and Recycling System**
Ryo Harada Genki Yoshikawa Hiromasa Tomioka Hiroki Ishimoto
- 78 Improvement of Air Conditioning Management within the Factory Through the implementation of Static-free Space**
Toshiharu Shirai Seiji Kurisu
- 82 Development of Low Noise Scroll Compressor for Electric Vehicles Based On New Scroll Wrap Profile Design Technology**
Takumi Maeda Takuro Yamashita
- 83 The Patented Invention of “A Back Pressure Adjustment Mechanism of a Scroll Type Compressor” Won the Invention Award in the National Commendation for Invention**
Makiko Imafuku
- 87 The Patented Invention of “Two-Stage Premixed Ignition Combustion” Won the Grand Prize in Aichi Prefecture Commendation for Invention at the Aichi Invention Award**
Masato Ogasawara

Monograph

- 91 Consideration of Axial Effects and Rotor Temperature in Circuit Models of Induction Machines**
Kenji Hiramoto Hideo Nakai Yoshiki Iwai Tomoyasu Furukawa Norimoto Minoshima
- 91 Potential of Oxymethylene Dimethyl Ether for a Diesel Engine Improving Emission and Combustion Characteristics**
Hidemasa Kosaka Takayuki Fuyuto Yoshifumi Wakisaka Reiko Ueda Kazuaki Nishikawa Tsutomu Kawae
- 92 Potential of a Dual-fuel Engine Using Carbon Neutral Fuel Ignited with Diesel Pilot (First Report) – Exploring the Ultimate Performances of Thermal Efficiency and Engine-out NOx in a Diesel-hydrogen Dual Fuel Engine by Using 3D-CFD –**
Kazuhisa Inagaki Yoshihiro Hotta
- 93 Measurement of Surface Pressure Field of Turbocharger Impeller Using Pressure and Temperature Sensitive Paints**
Takenori Furuya Takumi Nakai Masato Imai Tomohiro Kakimoto Masaharu Kameda Yuya Matsuoka Kazuya Machida Masaaki Matsuda Yoshio Taneda
- 94 Ammonia Mono-fueled Engine System (First Report) – System Feasibility –**
Yoshitaka Takeuchi Takayuki Homma
- 94 Ammonia Mono-fueled Engine System (Second Report) – Power Performance and Emission Characteristics –**
Takayuki Homma Yoshitaka Takeuchi Shingo Yakushiji Yoshitane Takashima Takahiro Sako
- 95 Ammonia Mono-fueled Engine System (Third Report) – Cold Start Performance –**
Hiroshi Miyagawa Tetsunori Suzuoki Norinosuke Nakatani Takayuki Homma Yoshitaka Takeuchi

未来を創る

平素より「技報」をご愛読いただきありがとうございます。

「技報」74号の発刊に際して、一言ご挨拶申し上げます。

新型コロナウイルス感染症(COVID-19)パンデミックが発生した2020年以降のわずか数年間で、開発や生産の現場をはじめ日常生活全般に至るまで大きな変化がありました。

あたかも小松左京の「復活の日」(1962刊)インフルエンザに酷似した人を死に至らしめる、生物兵器として開発された未知のウイルスが世界中に蔓延し、人類が滅亡の危機に立たされるというSF(Science Fiction)小説を現実が後追いついたかのような事態でした。

それから3年、大きな尊い犠牲を伴いつつも世界は今回の“COVID-19パンデミック”をも乗り越えています。

私たち人類は過去においてはるかに強力な感染症を何度も生き延びてきました。

今回も陰謀論に惑わされず、グローバルな連携を選び科学を信じることができれば、必ずこの危機を脱することができると思います。

そして今後ともウィズコロナ、アフターコロナの社会における本来の企業活動による一層の貢献を目指してまいります。

1. SF思考

「人が想像できることは、必ず人が実現できる」

SFの父と言われるフランスの作家、ジュール・ヴェルヌの言葉です。私が希望に満ちたこの言葉と初めて出会ったのは小学校の図書館でした。たしか小松左京かアーサー・C・クラークのエッセイにあったと記憶しています。この言葉がエンジニアを目指す、決定的なインパクトを与えてくれました。エンジニアはいわば、【未来を創る】ことができると。

小学生の頃の私は、ランドセルを持たずに登校、一年中授業中も自由研究をし、土日は市の青少年科学センターに入り浸る少し困った児童でした。もちろん同級生の、主に女子からは、注意と非難の嵐でしたが、担任の先生は「普通ではないこと、人と違っていることは良いことなんだよ」と皆に言ってくれました。今も感謝しています。

経営役員 技術統括

一条 恒

Hisashi Ichijo



また1962年生まれの際は、同世代の方には多いと思いますが、生まれた時から国内外のSF小説はもちろん、漫画、アニメ、特撮ドラマ、映画等々にてSFの思弁的思考や作中に登場するさまざまなテクノロジー、魅力的なガジェットに触れ、夢中になって育った世代です(近年では中国の劉慈欣著「三体」シリーズ、米国のアンディウィアー著「火星の人」、「プロジェクト・ヘイル・メアリー」がSFの素晴らしさを再確認させてくれました)。

特に1980年代に流行したサイバーパンクと呼ばれる作品群には大きな影響を受けました。代表的作品の一つに「攻殻機動隊/GHOST IN THE SHELL」(1989士郎正宗)があります。テクノロジーが飛躍的に高度化し身体をサイボーグ化し脳を電脳化。人を含めすべてがインターネットに接続されている近未来の世界を舞台に、テロを防ぐ内務省直属「公安9課」(通称「攻殻機動隊」)の活躍を描いた物語。

私はこの世界での産業車両の姿を考え実現したいと強く思い、1995年に公募された「2010年の産業車両の開発テーマ」に応募し着手を許可されました。具体的には、カメラとAIを搭載しネットに常時接続され遠隔操作可能な、自動運転“コネクテッド”フォークリフト。携帯電話を用いた人とのコミュニケーション。“デジタルツイン、メタバース”を用いた故障予測と稼働管理、“上位システム”からの指令による最適配送、“群制御アルゴリズム”等々、実現するために必要となる要素技術を企画、設計し実証試験を実施しました。(上記の構想、用語は全て1980年代のSF作品に描かれていたものです)。この自動運転システムは、現在、L&Fの若手メンバーを中心に製品化が進められています。

近年、このようにSFの思考と技法を使って人の想像力を広げる力、未来の社会を描く力を用いてビジネス、開発に活用、未来を共有しバックキャストにより「未来を創る」技法がSF思考、SFプロトタイプングと呼ばれ注目されています。我々本社開発部門は、これからも未来は創造するものと考え、当社の次世代技術開発を推進してまいります。

2. 今号のご紹介

今号の特集テーマは「当社事業を支える基盤技術」です。将来にむけた本社開発部門の活動を紹介します。

最初はEC開発部の「来るべきSDV時代を支える電子制御開発の基盤技術」です。自動車および産業車両業界ではカーボンニュートラル実現に向けた、電動化技術、自動運転技術、およびコネクテッドを活用したさまざまなサービスの進展が加速しています。こうした電子制御技術の高度化に伴い、ソフトウェアの重要性がさらに高まり、SDV(ソフトウェア・デファインド・ビークル)と呼ばれる、ソフトウェアによって自動車の機能がアップデートされることを前提に設計・開発された車両が主流になりつつあります。本稿ではこのSDVを支えるさまざまな基盤技術、技術動向、品質向上、安全性、セキュリティ向上の取組みについて説明いたします。

次に「事業活動を支える材料技術部の取組み」についてです。現在材料技術部では

- I. 事業部の直面する材料起因の課題解決と品質確保
- II. 事業部将来製品の差別化につながる材料開発・適合
- III. 化学物質管理事務局・LCA算出情報提供

の3つの役割を担い、事業部活動を支援しています。具体的には新規材料の開発や既存材料の改良適合について金属材料から樹脂材料まで幅広い領域が対象となります。ここではこれらの材料開発・適合と共に分析・評価技術に対する取組み、FCEV部品や樹脂ウインドウへの貢献について具体的に説明します。

最後に、知的財産部の当社の2030年ビジョン達成に向けた、研究と創造を支えるさまざまな知的財産活動についてご紹介します。またこれら特集テーマ以外にも、今号ではグローバルに展開している幅広い内容の新製品と、社外より高く評価され、表彰を受けた技術について掲載しております。ぜひご一読いただき、当社の社会課題の解決と企業価値向上に向けた開発の取組み、および開発者達の想いを感じていただければ幸いです。

特集 当社事業を支える基盤技術

当社は、産業車両・物流、自動車関連、繊維機械と幅広い事業に取り組んでいる。

この特集では、これらの事業活動を支えている基盤技術を紹介する。

来るべきSDV時代を支える
電子制御開発の基盤技術 7

事業活動を支える材料技術部の取組み 21

2030年ビジョン達成に向けた
豊田自動織機のイノベーション 28
～研究と創造を支える知的財産活動～

来るべきSDV時代を支える 電子制御開発の基盤技術

The Foundation Technologies for Electronic Control Development Supporting the Upcoming SDV Era

宮田 八郎^{*1} 小澤 尚之^{*1} 前田 洋信^{*1} 福田 仁志^{*1} 後藤 宏之^{*1}
 Hachiro Miyata Naoyuki Ozawa Hironobu Maeda Hitoshi Fukuda Hiroyuki Goto

藤井 英樹^{*1} 小林 貢^{*1} 犬塚 浩之^{*1}
 Hideki Fujii Mitsugu Kobayashi Hiroyuki Inuzuka

*1 EC開発部

1 はじめに

1.1 モビリティ向け電子制御基盤技術動向

自動車および産業車両などモビリティでは、カーボンニュートラル実現に向けた世界的な取組みの加速を受けクリーン・ゼロエミッションにつながる電動化技術、安全・安心・快適な社会を目指すための自動化技術、および新たなサービスやスマート製品を実現するコネクティッド技術など電子制御技術の進化が加速してきている。

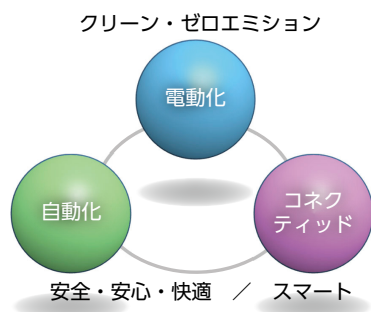


図1 モビリティ向け電子制御技術
 Fig.1 Electronic Control Technology for Mobility

こうした電子制御技術の進化をソフトウェアが担うようになり、ソフトウェアでクルマの機能・性能が決まるソフトウェアデファインドビークル(以下、SDV)への移行に伴いソフトウェアの重要性が高まっている。

SDV時代のソフトウェアは、電動化、自動化、コ

ネクティッドといった電子制御技術を統合して車両で機能させるため、従来の開発に比べてさらに制御の複雑性が増している。

このような高度に複雑化されたソフトウェアを開発するには、新しい基盤技術である仮想化技術やセキュリティ、オープンソフトウェアの活用などにより安全性と開発の効率を向上するとともに製品品質を確保していく必要がある。

また、品質と安全性、およびセキュリティを確保できるようにするための法規、規格・標準に対応できる開発プロセスの整備やソフトウェア開発技術者の育成が重要となってきている。

1)SDV時代の新しいソフトウェア基盤技術

(1) 仮想化技術

自動車の制御が機械式から電子制御が変わっていくことで、車両に搭載されるECU^{*1}が増加しつづけ、従来の分散型ECU構成のままでは車両全体を一つのシステムとして成立させることが困難になってきた。そこで、同機能(ドメイン)軸でECUの機能を集約したドメイン集約型ECU構成が採用されるようになった。さらに、自動運転システムや先進運転支援技術の高度化に伴い、セントラルECUという多数の機能が統合された中央集中型ECU構成に移行してきている(図2)。

注: *1 ECU(Electronic Control Unit):電子制御装置

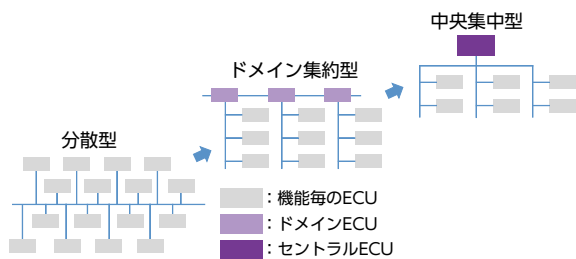


図2 ECU構成の変遷
Fig.2 The Evolution of ECU Architecture

複数のECUに実装されたソフトウェアを一つのセントラルECUに統合するためには仮想化技術が活用される(図3)。これにより、ECUのリソース(CPU、メモリなど)を効率的に利用でき、ECUのコストを削減し、車両全体を一つのシステムとして成立させやすくすることができる。さらに、ECUが少なくなることで、システム全体の保守が容易になる。

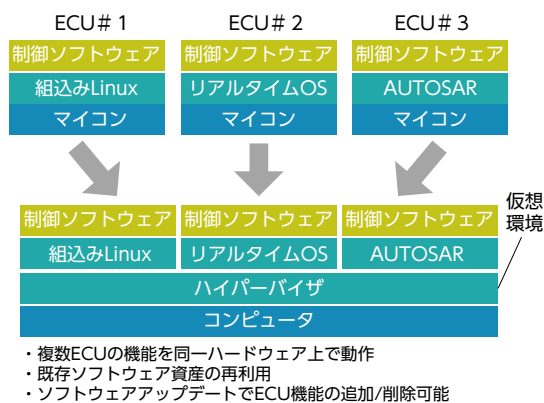


図3 仮想化技術
Fig.3 Virtualization Technology

(2) セキュリティ

コネクティッドサービスの普及により遠隔から悪意ある車両のハッキングによって引き起こされる事故などサイバー攻撃を受けるリスクが高まっている。このようなリスクに対応するために、強固なセキュリティ対策技術とともに車両のセキュリティを常に最新状態にするためのソフトウェアアップデート技術が必要となる。その中で、OTA^{*2}は、短時間に多数の車両へ最新のセキュリティ対策を提供することができる。また、ユーザーに対しても販売店に車両を入庫することなくアップデートすることができる重要な技術となる。

(3) オープンソースソフトウェアの活用

自動化・自律系システムなどの高度化・知能化したサービス機能を効率的に実現するためにROS^{*3}、画像認識、機械学習などのオープンソースソフトウェア(以下OSS^{*4})が広く使われている。ただし、OSSはLinux^{*5}環境で動作するものが多く、組み込みLinux(組み込み機器向けに最適化されたLinux)(図4)を導入する必要がある。また、OSSは無償かつ開発効率向上に有用である一方、ライセンス規約を遵守した上での活用が必須である。

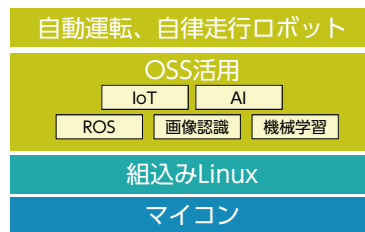


図4 組み込みLinux
Fig.4 Embedded Linux

2) 法規、規格・業界標準化動向

ソフトウェアの役割が増加するに伴い、従来の品質と開発効率のもとより、安全とセキュリティの確保もソフトウェアの重要な課題となってきた。これに対応するため、国際基準に基づく法規、規格・標準が制定され、自動車メーカーや政府認証機関からはこれらの基準への遵守が要求されている。代表的な規格・標準として、品質に関するAutomotive SPICE、安全に関するISO26262、セキュリティに関するISO/SAE21434が制定されている(図5)。

1.2 電子制御基盤技術の強化

ソフトウェアの品質、安全、セキュリティに関する法規、規格・標準への対応が必須となるなか、当社では、2011年10月から全社的な電子制御基盤技術の強化を目的としたECU開発推進プロジェクトを発足し、開発体制の整備を開始した。そして、2014年6月にEC開発部として本格的な活動に移行した。

EC開発部では、車載電子制御ソフトウェアの標

注：*2 OTA(Over The Air)：無線による遠隔からの各種サービスの総称。ここでは無線によるソフトウェアアップデートのことを意味する
*3 ROS(Robot OS)：ロボットの制御機能を開発するためのソフトウェアライブラリ
*4 OSS(Open Source Software)：ソースコードを公開し、使用、修正、再配布などが可能なソフトウェアの総称
*5 Linux：OSSとして公開されているオペレーティングシステム

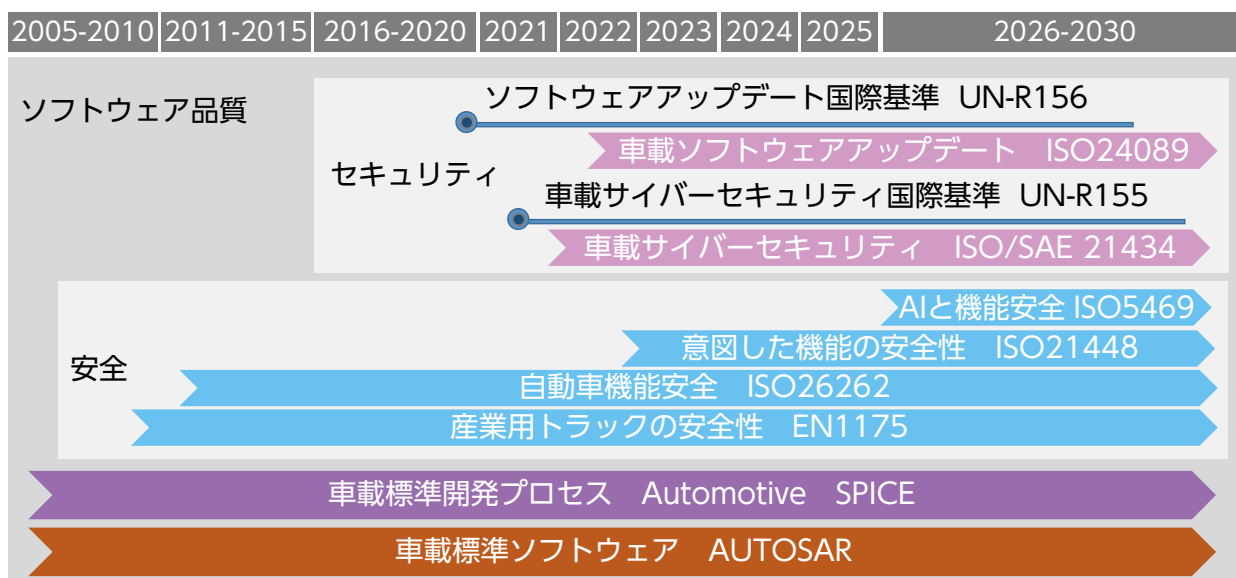


図5 電子制御技術動向(法規、規格・標準)
Fig.5 Trends in Electronic Control Technology (Regulations, International/ Industry Standards)

準化団体であるJASPAR*⁶、および自動車のサイバーセキュリティに関する情報共有や対策向上を推進するJ-AUTO-ISAC*⁷など、業界の標準化を推進する様々な団体に参加している。こうした団体での活動の成果やそこで得られた最新の情報を社内に取り込むことで、電子制御開発のやり方(開発プロセス標準化)、電子制御技術開発(ソフトウェアプラットフォーム開発)、電子制御開発人材の育成(組込みソフトウェア技術者の育成・強化)の3軸をコア技術として、全社の電子制御開発の基盤技術を強化している(図6)。

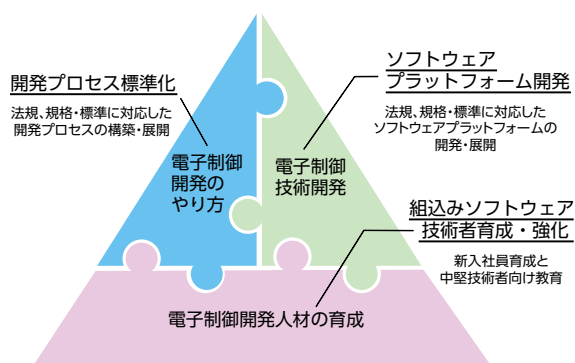


図6 EC開発部のコア技術
Fig.6 Core Technologies of EC Development Department

以降にて、当社の事業の継続および発展のために必要となってくるソフトウェアの品質、安全性、

セキュリティおよび組込みソフトウェア技術者育成の取組みについて説明する。

2 品質向上

2.1 ソフトウェア品質について

1) 開発プロセス

欧州の自動車メーカーが中心となり、車載ソフトウェアの品質向上を目的とした国際的な業界の標準開発プロセスであるAutomotive SPICE*⁸が策定され、2006年より本格的な運用が開始された。Automotive SPICEでは、ソフトウェア開発で実施すべきプロセスの目標と成果を定義し、開発能力を5段階レベルで評価できるようにしている。多くの自動車メーカーは、サプライヤに対し、組織標準プロセスに従った開発ができるレベル3に達していることを要求している(図7)。

注：*6 JASPAR (Japan Automotive Software Platform Architecture)：一般社団法人JASPAR。日本の自動車業界で車載ソフトウェア・電子システム開発の効率化・標準化を行うことを目的として設立
*7 J-AUTO-ISAC (Japan Automotive ISAC (Information Sharing and Analysis Center))：一般社団法人J-AUTO-ISAC。自動車に関するセキュリティについて、関係企業が協力して情報共有やセキュリティ対策を行うことを目的として設立
*8 Automotive SPICE：Software Process Improvement and Capability dEtermination

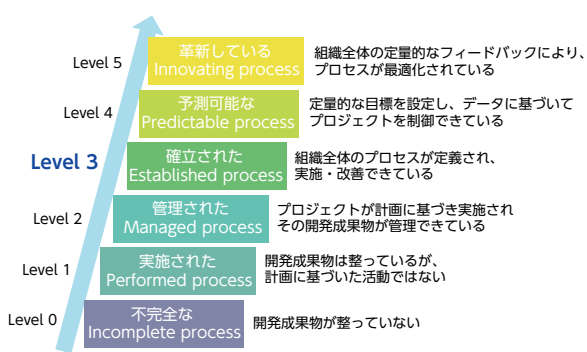


図7 Automotive SPICE開発能力レベル
Fig.7 Automotive SPICE Process capability levels

Automotive SPICEで定義されるプロセスは当初、ソフトウェア開発を中心としたプロセス(図8)とシステム開発プロセスが標準化対象であったが、その後、ハードウェア開発プロセス、メカニカル開発プロセスへと対象を拡張している。現在、サイバーセキュリティやアジャイル開発のプロセスにも拡張中である。

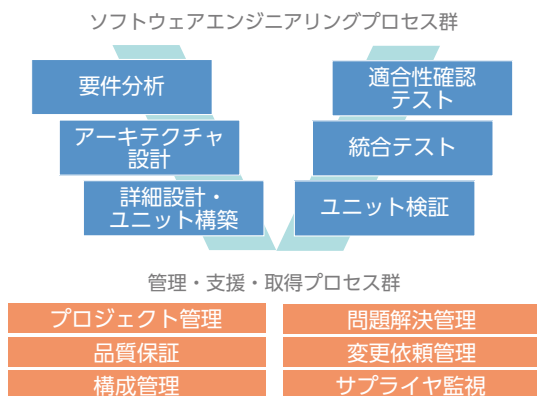


図8 Automotive SPICE定義ソフトウェア開発プロセス
Fig.8 Automotive SPICE Defined Software Development Processes

また、ソースコードの品質に関しては、プログラムの可読性、保守性、移植性、および信頼性を向上させることを目的としたC言語コーディングルール MISRA-C^{*9}や、セキュリティを向上させることを目的としたC言語コーディングルール CERT-C^{*10}が策定されている。

2) 車載ソフトウェアプラットフォーム

ソフトウェアの品質と開発効率の向上を目的とし2003年に設立された車載ソフトウェアの標準

化団体AUTOSAR^{*11}により車載標準ソフトウェア仕様“AUTOSAR”が策定された。

AUTOSAR仕様ではさまざまなECUのソフトウェアに共通して搭載される機能を集約したソフトウェアプラットフォームをBSW^{*12}と定義し、BSW仕様や制御ソフトウェアおよびハードウェアとのインターフェース仕様を標準化している(図9)。

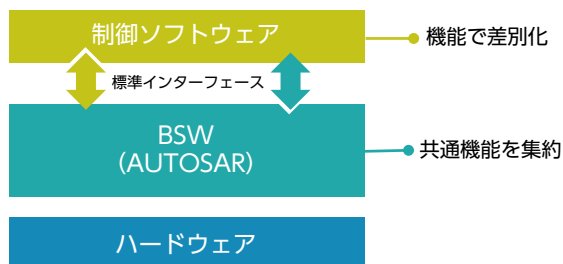


図9 AUTOSAR標準ソフトウェア構成
Fig.9 AUTOSAR Standardized Software Architecture

共通機能としては、車両内通信、診断、マイコン制御、システム、セキュリティなどの機能があり、これら機能を標準化することでBSWを協調(非競争)領域、制御ソフトウェアを各社製品の差別化(競争)領域と位置づけている。

インターフェース仕様を標準化しているためハードウェアの変更による影響を吸収することや、制御ソフトウェアを複数の開発プロジェクトで再利用できるという製品展開時のメリットがある。

このようなことから、BSWを導入することで制御ソフトウェアの開発に注力することができるようになり、品質と開発効率の向上が期待できる。

3) 組込みLinux

OSSとして開発されてきたLinuxは無償で利用でき、豊富なライブラリが存在するため製品開発期間を短縮することができる。また、OSSコミュニティの中で多くの開発者が継続的に機能および品質向上のための活動を行っているため、機能進化が早く品質も高い。しかし、無保証であるため組込みLinuxを製品に適用する時には、利用者側での確実な品質の確保が必要となる。

注：*9 MISRA (Motor Industry Software Reliability Association)-C:自動車分野の安全性を向上させるためのC言語コーディングルール
*10 CERT (Computer Emergency Response Team)-C:セキュリティを向上させるためのC言語コーディングルール
*11 AUTOSAR: AUTomotive Open System ARchitecture
*12 BSW: Basic SoftWare

2.2 これまでの品質向上の取組み

1) 開発プロセス標準化

Automotive SPICEに準拠した全社標準ソフトウェア開発プロセスの構築を2011年度から開始し、2014年3月に国際認証機関によるAutomotive SPICEプロセスレベル3の認証を取得した。このプロセスを基に、各開発部署の開発のやり方を考慮したプロセスの適応展開を進めている。認証取得時にはソフトウェア開発プロセスのみの対応であったが、その後システム開発プロセス、ハードウェア開発プロセスへと全社標準を拡張してきている。さらに、機能安全、モデルベース開発、セキュリティにも対応できるようなプロセスも構築している(図10)。

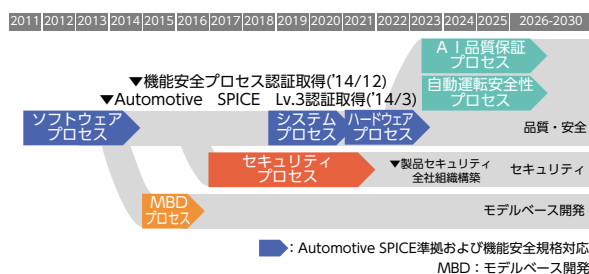


図10 開発プロセス標準化の取組み
Fig.10 Efforts to Standardize Development Processes

全社標準ソフトウェア開発プロセスの構築においては、仕様書や設計書などの帳票(テンプレート)を整備し、作成手順書やチェックリストを用意することで、規格書読解の難しさや個人の解釈ミスによる問題を防ぎ、一貫した品質で開発を進めることができるようにしている。

2) 車載ソフトウェアプラットフォーム開発

当社はEC開発部設立後の2014年にAUTOSARに加入し、本格的にAUTOSAR対応BSWの開発を開始し、社内標準のBSW(以下、TICO_PF)として製品への適用を行っている。そして、2015年以降、機能安全やセキュリティ要求に対応した機能拡張と、コネクティッド化への対応としてOTA機能の開発を進めている。さらに、自律系システム開発を支える組込みLinux導入のための環境整備に2019年から着手した。今後はこれまで蓄積してきたソ

フトウェアプラットフォーム技術を活用して統合ECUに適用できる仮想環境の整備を進めていく(図11)。

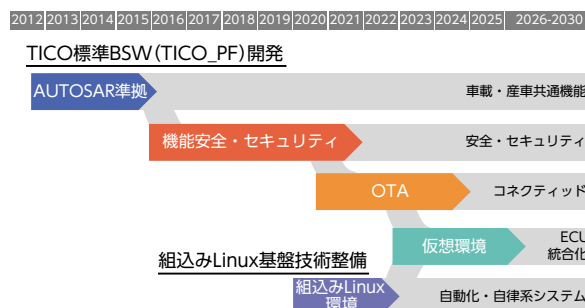


図11 ソフトウェアプラットフォーム開発の取組み
Fig.11 Efforts to Develop Software Platforms

(1) TICO_PFの開発

当社製品に共通的に使用されるマイコンや機能を絞り込み、AUTOSAR仕様をベースに開発を行っている。AUTOSARは自動車向けの仕様であるため、産業車両用の仕様に関してはAUTOSAR仕様に設計を合わせることで、自動車・産業車両両方に使える構成としている。

TICO_PFの品質基準に関しては、全社標準ソフトウェア開発プロセスをベースに開発し、MISRA-C:2012、CERT-C:2016への準拠、およびカバレッジテスト^{*13}においてMCDC^{*14}網羅率100%などを設定し、これらの基準をクリアした状態で社内リリースしている。また、主要自動車メーカーの品質監査基準もクリアしており、これらの活動を通じて得られた知見も含め、当社製品の効率的な品質確保に貢献している。

(2) 組込みLinux基盤技術整備

組込みLinuxを実装した製品開発特有の課題に対する基盤技術整備を行っている。

① ディストリビューション^{*15}の選定

非常に多くのディストリビューションが存在するが、不具合修正や機能追加に関する情報やサポートを迅速に受け取れることが重要であるため、長期保守が可能であり組込み製品やエッジデバイスに適したディストリビューションを選定することにした。

注: *13 カバレッジテスト:テスト対象となるソフトウェアのコードのうち、どの程度の範囲がテストされたか(テスト網羅性)を評価するための手法
*14 MCDC(Modified Condition/Decision Coverage):カバレッジテストの一種。機能安全対応の要求事項となる場合がある
*15 ディストリビューション:LinuxカーネルをベースにOSとして必要となるソフトウェアを組み込んでパッケージ化したもの

② 選定したディストリビューションの最適化

組み込み製品は、リソースが限られているため、効率的なメモリ管理やパフォーマンスの最適化が求められる。そのため、当社製品で使用する必要な機能だけに絞ってカスタマイズを行うことで複雑性を解消させながら、使用するリソースを最小限に抑えた組み込みLinux環境を整備した。

③ 組み込みLinux設計ガイドライン

Linuxを採用したシステムでは、動的メモリ利用時のメモリ解放漏れ(メモリーク)や突然の停電などによるファイルシステム破損といったLinux特有の問題が起こりうるため、これらの課題に対応するための設計ガイドラインを策定した。

④ 組み込みLinux社内コミュニティサイト

組み込みLinuxを用いた開発では、最適化のためのカスタマイズの手法が重要であり、これらを間違えると製品品質に悪影響を与えることがある。そのため、社内の開発者間で専門的な製品化のノウハウを共有し、情報交換できるように、社内コミュニティサイト「Ticopedia」を立ち上げ、整備してきたさまざまなノウハウを部門サイトで全社公開している。

3) OSS活用ガイドライン構築

OSSを活用した製品開発では、訴訟リスクがあるため、OSSの活用状況を把握し、ライセンス規約を遵守した上で、ソフトウェア品質を担保する必要がある。そのため、OSSのライセンスコンプライアンスの標準化を行うためのOpenChainプロジェクトで得られた知見を基にOSSを活用する際に必要な活動(図12)を明確にしたOSS活用ガイドラインを策定した。このガイドラインは知的財産部の部門サイトで全社公開している。

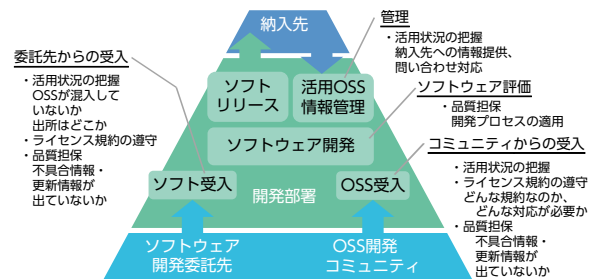


図12 OSS活用時に必要な活動
Fig.12 The Necessary Activities for Utilizing OSS

また、OSS活用時の受入確認作業は膨大なソースコードの調査や、外部から広く不具合情報を収集する作業に多くの工数が必要となる。そこで、この確認作業を効率化するために、OSS管理ツールの整備を行った(図13)。

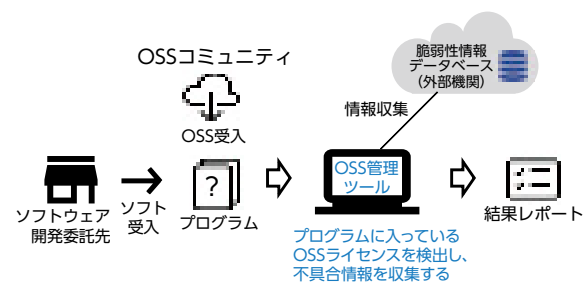


図13 OSS管理ツール
Fig.13 OSS Management Tool

OSS管理ツールは当部の部門サイトで全社公開しており、導入支援も行っている。

2.3 今後の品質向上の取組みについて

1) AI品質プロセス

AI(人工知能)技術の進歩により、自動化・自律系システムなどのさまざまな分野にAI技術が活用されてきている。そのため、これらのAI活用製品に対する品質保証の必要性が高まり、説明責任や不確実性への対処を目的として、AIシステムの機能安全性を向上させるためのガイドラインとしてISO5469などの規格化が進められている。今後、安全な製品開発のために、国立研究開発法人産業技術総合研究所が公開しているAI品質ガイドラインなどを参考に当社のガイドライン構築を行い、品質保証するための解決手順を提供していく。また、AI品質プロセスに関連する規格化に合わ

せ、全社標準ソフトウェア開発プロセスを拡張していく。

3 安全性向上

3.1 機能安全について

電子制御システムの高機能化/複雑化に伴い、異常や故障に対する更なる安全方策の確立が必要になり、機能安全プロセスが策定された。機能安全とは、製品やシステムが意図された機能を安全かつ信頼性高く実行するための取組みのことである。特に複雑なシステムにおいて、部品の故障が車両システム全体に波及しないようにするため、重大な事故や障害のリスクを最小限に抑え、システムの安全性を確保することを目的としている(図14)。

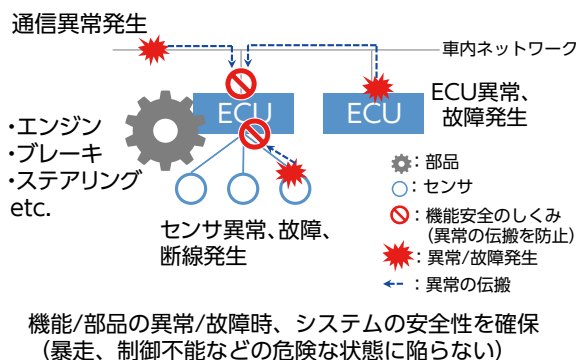


図14 故障波及防止例
Fig.14 Prevention Measures Against Cascading Failures

機能安全規格として、ISO26262(自動車分野)や欧州地域規格EN1175(産業車両分野)などが定められている。機能安全規格には、機能安全に対応するための開発プロセスや要件に関するガイドラインが含まれており、製品やシステムの設計・開発において必要な手順が定められている。また、ISO26262では安全分析手法に基づいた自動車用安全度水準(以下、ASIL^{*16}) (水準はA～Dまでがあり、Dが最も高い水準である)が定義されており、ASILに応じた安全設計手法と開発エビデンスの作成が必須となる。EN1175についても同様の対応が必須となり、欧州では法規要求事項としている国もある。

注: *16 ASIL(Automotive Safety Integrity Level):自動車用安全度水準

3.2 これまでの安全性向上の取組み

1) 開発プロセス標準化

ISO26262の要求事項に準拠した機能安全対応全社標準ソフトウェア開発プロセスを構築し、2014年12月に国際認証機関による機能安全プロセス認証を取得している。プロセスの構築にあたっては、Automotive SPICEに準拠した全社標準ソフトウェア開発プロセスに機能安全で要求されるプロセスを追加し拡張する形で構成した(図15)。

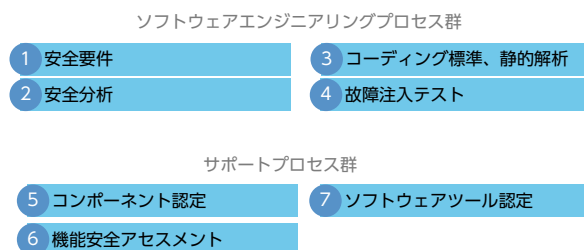


図15 追加した機能安全プロセス
Fig.15 Additional Functional Safety Process

機能安全対応全社標準ソフトウェア開発プロセスを用いて、各開発部署の開発プロセスに合わせた形で機能安全規格への適用支援に加え、機能安全アセスメントの実施を行うなど、開発部署の機能安全活動全体をサポートをしている。

現在は、電気回路等のハードウェア故障に対する機能安全対応に関する開発部署からの支援要望の高まりを受けハードウェア開発プロセスの構築を進めている。

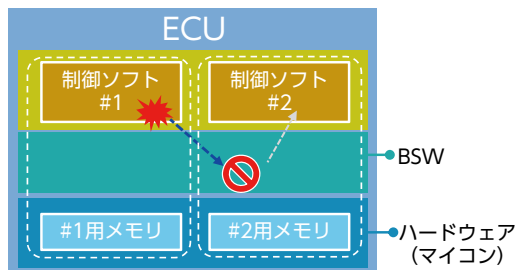
2) 車載ソフトウェアプラットフォーム開発

(1) TICO_PFの開発

ソフトウェアでの機能安全対応として、故障の監視(検出/通知)と故障による影響範囲を抑えるための保護機能を実装している。表1に主な機能安全対応のBSW機能を示す。また、代表例として、メモリアクセス監視・保護機能の詳細を図16に示す。

表1 機能安全対応BSW機能
Table1 BSW Functions of 'Functional Safety'

機能	異常	代表的な機能の概要説明
実行タイミング監視・保護	実行時間超過	規定実行時間超過の監視、処理順序監視・保護
メモリアクセス監視・保護(図16)	不正メモリアクセス	書き込み禁止メモリ領域へのアクセス監視・保護
ハードウェア故障監視・保護	ハードウェア故障	マイコン・周辺機能/監視機能を用いた保護、故障検出・通知



- : 異常/故障発生
- : 異常の伝搬
- : 機能安全により防止される異常の伝搬
- : メモリアクセス監視・保護機能 (機能安全のしくみ)

異常発生により誤動作した制御ソフト#1が制御ソフト#2用メモリのデータを破壊することを防ぐ

図16 メモリアクセス監視・保護
Fig.16 Memory Access Monitoring and Protection

なお、ハードウェア故障監視・保護機能についてはAUTOSARでは仕様化されていないため、TICO_PFの独自機能として、マイコンに備わっているメモリプロテクション、エラー訂正回路などを活用して設計・実装している。

(2) 組み込みLinux基盤技術整備

LinuxはOSSであるため開発エビデンスが十分整っておらず、製品に要求されるASILの要件を満たせない場合がある。このことから、ASIL要件を満たすLinux適用製品を開発していくためには、機能安全認定を受けたLinux互換OSを採用していく必要があると考え、互換OSに関する調査および評価を行った。評価としては、移植性や処理遅延など制御ソフトウェア開発に影響するLinuxインターフェースとの互換性および実行性能確認を実施することとした。これら調査と評価の結果は製品開発時に採用する際の検討に役立つように、Ticopediaで社内公開している。

3.3 今後の安全性向上の取組みについて

1) 非故障時の安全性対応

自動運転や先進運転支援など、高度な自動化技術を備えたシステムでは、これまで人が行っていた操作をシステムが担うようになってきており、人とシステムの役割が変化してきている。これに伴い、認知・判断などを行うシステムが持っている性能の限界を超えた状態での動作や、人が誤った操作をした場合の動作などに関する安全性など、故障時の安全を担保する機能安全規格ISO26262ではカバーできていない“故障によらないリスク”に対する安全性基準(非故障の安全性)に関するフレームワークの定義が必要となった。このことを背景とし、意図した機能の安全性(SOTIF^{*17})の規格としてISO21448が2022年6月に発行された(図17)。

ISO21448では天候や道路状況などの様々な条件下での機能の十分性や、運転時の誤操作などに対する安全性に関する製品ライフサイクル(企画、開発、生産、運用)にわたってのプロセスを定義している。全社標準ソフトウェア開発プロセスには製品ライフサイクルのうち、開発フェーズに対応したプロセスを追加していく。

	故障時の安全性	非故障時の安全性
規格	機能安全規格 ISO 26262	意図した機能の安全性 ISO 21448
要求事項	部品故障、断線、通信異常時にもシステムの安全性を確保	誤操作 機能*の十分性 性能を超えた使われ方でもシステムの安全性を確保 <誤った使い方> 運転支援機能の過信による前方不注意など <操作ミス> アクセルとブレーキの踏み間違いなど 悪天候などで画像認識が正常に動作しない場合など

*機能： センサ/アルゴリズム/アクチュエータの仕様・性能

図17 自動車の安全規格
Fig.17 Automotive-Safety Standards

また、ISO26262の改訂第3版も予定されているため、ISO21448と合わせてJASPARなどを通して情報の収集に努めていく。

2) OSSの機能安全対応

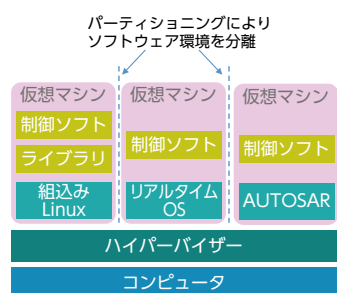
OSSの機能安全フレームワークとして、ISO-

注：*17 SOTIF: Safety Of The Intended Functionality

PAS8926^{*18}やELISA^{*19}プロジェクトなどで安全性基準が策定されている。これを受けて、これら国際規格や業界標準を活用することにより、安全性を確保するためのノウハウを蓄積し、OSSを活用する製品開発に適用できるガイドラインを策定していく。

3) ECU統合化対応

既存ソフトウェアの統合を実現するために、ハイパーバイザー^{*20}を活用した仮想環境の構築を行う。これにより、仮想マシン間のパーティショニング^{*21}が確保されるため一つの仮想マシンの不具合やセキュリティ攻撃に対する他の仮想マシンへの影響を与えることなく、システム全体の安全性およびセキュリティの向上を図ることができる(図18)。



一つのコンピュータ上で複数の仮想コンピュータやOSが動作

図18 ハイパーバイザー型の仮想環境
Fig.18 Hypervisor type virtual environment

4 セキュリティ向上

4.1 サイバーセキュリティについて

遠隔からの不正なアクセスによるデータ盗聴や車両制御の乗っ取りなどの深刻な問題を引き起こすサイバー攻撃に対処するために、安全性と信頼性を確保するための新たな枠組みが世界的に求められるようになった。そのため、国際連合の自動車基準調和世界フォーラム(WP29)は、2021年に車両のサイバーセキュリティに関する国際基準UN-R155を発効した。さらに、サイバーセキュリティの国際規格であるISO/SAE 21434が2021年8月に発行され、UN-R155で実施すべき具体的

な遵守事項が示された。

ISO/SAE 21434は、製品ライフサイクル全体(企画、開発、生産、運用、保守、廃棄)にわたってのプロセスを定義している。

UN-R155を法規として施行した国においては車両を生産・販売するために、サイバーセキュリティ認証を受ける必要がある。具体的には、国土交通省などの許認可権を持つ政府認証機関による審査を受け、法規を遵守していることが認められた場合に認可を受けることができる。

サイバーセキュリティ認証はCSMS^{*22}認証と車両型式認証とで構成されている(図19)。

【CSMS認証】

サイバーセキュリティを確保できるプロセスおよび体制が整備されていることを審査し、3年ごとに認証を更新する必要がある。

認証の対象は自動車メーカーであるが、自動車メーカーはサプライヤーがISO/SAE 21434に準拠した活動が行えることを確認する責務がある。このため、サプライヤーも自動車メーカーと同等のしくみを有することが必要である。

【車両型式認証】

これまでの車両型式認証手順に加えて、CSMS認証を取得したプロセス通りに開発した開発エビデンスおよび、実施したサイバーセキュリティ対策とその有効性、対策の評価結果を審査する。

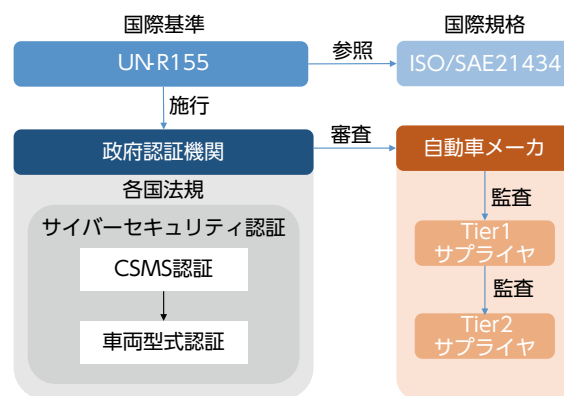


図19 自動車のサイバーセキュリティ法規
Fig.19 Automotive Cybersecurity Regulations

注: *18 ISO-PAS 8926:ISO26262に従って開発されていないLinuxなどの既存ソフトウェアの認定フレームワーク
*19 ELISA (Enabling Linux in Safety Applications):Linux Foundationが発足したLinuxの機能安全を推進するプロジェクト
*20 ハイパーバイザー:物理的なコンピュータ上で複数の仮想マシンに物理リソースを割り当てることで独立して動作させる仮想化技術
*21 パーティショニング:複数のソフトウェア環境を分離し、それぞれの環境が互いに影響を与えることなく動作できる状態
*22 CSMS (Cyber Security Management System):サイバーセキュリティ管理システム

4.2 これまでのセキュリティ向上の取組み

1) 開発プロセス標準化

サイバーセキュリティ対策を講じるため、ISO/SAE 21434の開発フェーズの要求事項に準拠したセキュリティ対応全社標準ソフトウェア開発プロセスの構築を2021年に完了した。

プロセスの構築にあたっては、機能安全対応プロセスとの整合性を保つよう、これまでの機能安全対応全社標準ソフトウェア開発プロセスにISO/SAE 21434で要求されるプロセスを追加する形で構成している(図20)。

ソフトウェアエンジニアリングプロセス群

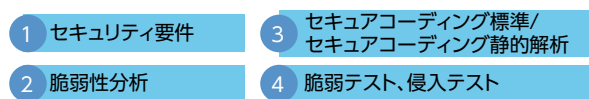


図20 追加したセキュリティプロセス
Fig.20 Additional Security Processes

また、構築したセキュリティ対応全社標準ソフトウェア開発プロセスを用いて、各開発部署の開発プロセスに合わせた形でセキュリティ規格や法規への適用を進めている。そのため、開発部署の脆弱性分析活動にアドバイザーとして参加し、より網羅的な分析を行うなどセキュリティ対策活動全般にわたり開発支援を行うとともに、開発者の育成を行っている。

2) 車載ソフトウェアプラットフォーム開発

ソフトウェアプラットフォームに実装しているサイバーセキュリティ対策のための主な機能を以下に示す。

(1) 通信メッセージのセキュリティ

なりすましなどの不正アクセスを防止するため、車両内の通信メッセージに認証コードを付加する。受信側ECUでは認証鍵を使って、正しいECUからのメッセージかどうかを確認し、セキュリティを確保する(図21)。

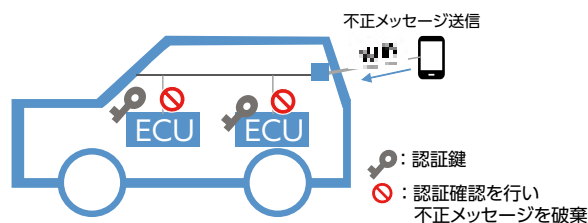


図21 通信メッセージのセキュリティ(認証)
Fig.21 Communication Message Security (Authentication)

また、データの盗聴を防ぐために、通信メッセージの暗号化についても開発している。

認証・暗号をマイコンで実現する方法には、マイコンに搭載された専用の処理回路を使う方法と、ソフトウェアで処理する方法があり、TICO_PFでは両方に対応している。ソフトウェア処理の方法は、マイコンを変更する必要がなく、すぐに現行システムに実装することができる利点があるが、処理速度が遅いことが課題であった。これに対してTICO_PFでは軽量暗号方式を採用し処理の軽量化を図ることで解決した。

認証鍵や暗号鍵は、外部からのアクセスができないように管理しなければならない。また、鍵管理の方法自体も秘匿性が求められるため、各社それぞれ独自の方法で定義している。当社ではJASPARの考え方を基本にして、独自の秘匿性の高い鍵管理仕様を定義した。

(2) ECUソフトウェアのセキュリティ

ECUのソフトウェアアップデート時のプログラムの改ざんを防ぐため、セキュアプログラミング機能を開発した。また、ソフトウェアアップデート中に予期せず電源が切れるような問題が起こった場合でも、更新前のプログラムを保持しておくことで、元の状態に戻せる機能を追加し、安定性を保つ設計にしている。

セキュアプログラミングは、サービスツールを使った有線接続方式と無線接続方式(OTA)(図22)の両方に対応している。有線接続方式は、当社の自動車分野や産業車両分野の両製品で広く使われており、今後OTAも導入されていく予定である。

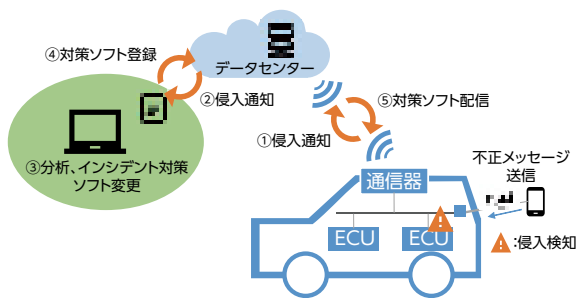


図25 侵入検知技術を活用したインシデント対策例
Fig.25 Example of Incident Countermeasure Using Intrusion Detection Technology

最新のサイバー攻撃対策に関しては、現在参加しているJASPARの情報セキュリティワーキングでの標準化活動で、世の中の最新動向を把握し対策を進めていく。

5 組込みソフトウェア技術者育成の取組み

5.1 エキスパート新人教育

組込みソフトウェア技術者の育成・強化のため、新入社員の中から将来のソフトウェア開発を主導する人材(エキスパート新人)を集め、組込みソフトウェア開発の教育をした後、各開発部署への配属を行っている。

1) 教育体系

教育カリキュラムはETSS^{*24}のフレームワークをベースとし、当社製品の開発に必要な技術内容にアレンジし策定した。このカリキュラムは、常に最新の技術動向に合わせて見直されるとともに、教育の実施状況や育成結果を元に継続的に改善されている。

教育カリキュラムは、組込みソフトウェア開発実務者に必要かつ基礎的な知識習得を目的とする座学による「基礎教育」「専門教育」と、そこで学んだ知識を腹落ちさせるために実際に開発を経験させ確実に身に付けさせることを目的とする「実践教育」と「OJT教育」で構成されている(図26)。

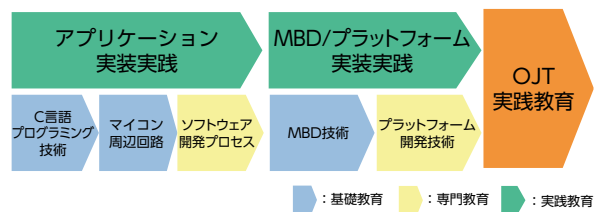


図26 エキスパート新人教育
Fig.26 Training for New Recruits to Become Experts

実践教育はアプリケーション開発とMBD/プラットフォームをテーマとしており、Automotive SPICEに準拠した開発プロセスに従ったソフトウェア開発スキルを習得させている。また、チームで開発をすることにより、メンバーとのコミュニケーションスキルや与えられた日程で課題を達成していくためのマネジメントのスキルも積み上げられるようにしている。

教育講師としては、主に当部の現役技術者が担当することで、実践的な技術の使い方についても直接学ぶことができる。

こうした教育カリキュラムで身に付けたソフトウェア開発と開発プロセスのスキルを、実際の開発現場で行う「OJT実践教育」でさらに現場力として高めた上で全社の開発部署へ配属させている。これらの教育体系を取ることにより短期間で、即戦力となる組込みソフトウェア技術者として活躍できるレベルまで育成している。また、ソフトウェア開発プロセスを理解し、幅広い技術力を持った人材を各開発部署に送り出すことで全社的に正しいソフトウェア開発の方法を広める役割も担っている。

2) 情報共有会

エキスパート新人と育成後に開発部署に配属された社員(卒業生と呼ぶ)を一堂に集めた情報共有会を当社のグローバル研修センター(幡豆アカデミー)で毎年開催している。

情報共有会の主な目的は次のとおりである。

- ・ 卒業生がお互いの業務内容を共有することで、自業務のヒントとする。また、協業の可能性を探る。
- ・ 他部署の開発テーマを知ること、組込みソフトウェア技術者としての知見を広げる。

注: *24 ETSS(Embedded Technology Skill Standard): 独立行政法人情報処理推進機構が策定した、組込みシステム技術者認定スキル標準

- ・エキスパート新人の配属先検討に向けた、情報収集／提供の場として利用する。
- ・エキスパート新人の縦(先輩後輩)と横(同期)のつながりを維持・強化することで、技術交流の円滑化を図り、会社全体のソフトウェア開発スキルを向上させる。



写真1 情報共有会
Photo1 Information Sharing Meeting Among Former Trainees

また、情報共有会後にお互いの親睦を深めるため、車座で懇親会を開催している。

5.2 中堅技術者向け教育

1) 全社向け教育講座

当社の技術技能ラーニングセンターでは、全社の技術者向けに様々な教育講座を開催している。その中で、組込みソフトウェアに関する専門的な知識が必要な講座に関しては、当部がカリキュラムの企画から教材開発、講座開催までを担当している。以下に当部主催の講座概要を示す。

(1) ソフトウェア開発プロセス系

エンジニアリングプロセス群、およびプロジェクト管理プロセス、サプライヤ監視などプロセス毎に講座を開設。

グループディスカッションを活用することにより各開発部署の好事例となる開発活動を受講者全員と共有し、同時にプロセス改善の機会を提供している。

(2) リアルタイムOS系

知識の定着と実践スキルを身に付けることを目的として、座学と演習を組み合わせ実施している。

(3) OSSライセンス系(知的財産部と共同開催)

初級編、開発者編、審査者編の3つのレベルに講座を分けることで、受講者が必要なレベルに応じて受講できる。

講座終了後の受講者アンケートに基づく改善と、技術の進歩に合わせた最新の専門的な知識・技術を習得できるように内容を見直すことで毎年教育の質を向上させている。

2) リスキリング教育

ソフトウェア開発の重要性の高まりを受け、今後の組込みソフトウェア技術者強化の取組みとして、エキスパート新人教育に加えさらに、機械・電気系など非ソフトウェア開発領域に従事する中堅技術者を対象とした、リスキリング教育の体制を構築していく。

エキスパート新人教育は組込みソフトウェア開発実務者の育成を中心としたカリキュラムを構築しているが、リスキリング教育においては、より上流工程となるソフトウェア要件分析やプロジェクト管理などの教育カリキュラムを充実させる計画である。

これにより、中堅技術者自身が持つ専門技術をコアとしたソフトウェア開発領域へ業務範囲を拡大し、組込みソフトウェア技術者の更なる強化を目指す。

6 まとめ

自動車への電気・電子部品の搭載が進み、ハードウェアだけでなくそれを制御するソフトウェアを含んだ不具合によるリスクを許容可能なレベルに抑えることを目的として、2011年11月に自動車の機能安全規格ISO26262が発行されることになった。ISO26262でソフトウェア品質が本格的に要求されるようになったことを契機とし、当社でもソフトウェア技術の強化が重要課題となり、それを解決するためにEC開発部が設立された。EC開発部ではソフトウェアの品質を高めるべく、開発プロセスやソフトウェアプラットフォーム

ムを整備し、各開発部署に提供するとともに、開発した基盤技術を普及させるための人材育成を同時に進めてきた。エキスパート新人教育の卒業生は現在では100人を超え、各開発部署のソフトウェア開発の中心となって、当社のソフトウェア開発を支えてくれている。

また、本文中で説明したように、ソフトウェアへの課題も品質確保から機能安全、さらにはセキュリティ対応など開発すべき基盤技術の重要性や規模がより一層増大してきている。今後は、自動車が現在のスマホ以上の機能を持ち、販売後もOTAでのソフトウェアアップデートによる新機能追加が当たり前になろうとしている。従来は、ハードウェアに組み込んで一緒に製品化されてきたソフトウェアも単独で部品化・製品化され、現状よりもさらに重要な位置づけとなってくる。最先端を走っているテスラでは、OTAにより定期的にソフトウェアでの機能追加が行われ、自動運転ソフトウェアが高価格で販売されているという事実もある。このような来るべきSDV時代に向け、ソフトウェアの重要性はさらに高くなり、最先端のソフトウェア技術なしでは製品開発が成り立たなくなるであろう。我々はソフトウェア技術者の更なる増強とモデルベース開発などの開発手法を含む最先端の基盤技術開発を進め、各事業部とともに製品を開発し、当社の事業拡大をソフトウェア技術で支えていきたいと考えている。

■ 著者紹介 ■

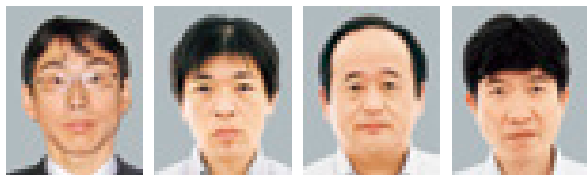


宮田 八郎

小澤 尚之

前田 洋信

福田 仁志



後藤 宏之

藤井 英樹

小林 眞

犬塚 浩之

事業活動を支える材料技術部の取組み

Materials Engineering Initiatives to Support Manufacturing

竹内 秀隆^{*1} 下 俊久^{*1} 鈴木 智博^{*1} 谷澤 元治^{*1} 斉藤 さつき^{*1} 工藤 英弘^{*1} 神谷 修平^{*1}
 Yoshitaka Takeuchi Toshihisa Shimo Tomohiro Suzuki Motoharu Tanizawa Satsuki Saito Hidehiro Kudo Shuheji Kamiya

野口 将人^{*1} 神山 真巳^{*1}
 Masato Noguchi Mami Kamiyama

*1 材料技術部

1 はじめに

モノづくりの会社である当社において材料技術は、創業当時から長い歴史の中で、扱う材料や技術の変遷はありながらも、社業を支える基盤技術としてその技術を引き継いできており、現在は材料技術部がその役割を担っている。

世の中の変化のスピードがこれまで以上に速くなる中、現在の材料技術部の取組みをご紹介するとともに、今後も社会に貢献し続ける会社の一翼を担う部署としての役割を果たすべく、皆様と考える機会としたい。

2 材料技術部の役割

2.1 材料技術部門の変遷

当社はG型自動織機の製造販売を目的に1926年に創立され、その後、事業の多角化を進め、繊維機械、自動車(車両、エンジン、カーエアコン用コンプレッサほか)、産業車両、エレクトロニクスと事業領域を拡大してきた。その中で、当社における材料技術部門は、1947年「材料研究課」として設立し、1990年代の研究所時代等を経て現在の材料技術部に至る。研究所時代までは、各事業部から毎年数多くの分析を依頼されてきた。中でも当時の当社製品において「金属材料」は主要材料であり、SEM^{*1}による金属破面の観察や、EPMA^{*2}による金属成分の組成分析など金属材料の専門家が技術

ノウハウを蓄積してきた。

また、研究所時代には、事業部向けや新規事業向けの「材料開発」を進め、樹脂ウィンドウの基礎技術確立やコンプレッサ事業部向けめっき開発に取り組んだ。

2000年代になると材料技術部門も「新規事業」「差別化材料開発」に力を入れ、ロータリーバルブシャフトの樹脂コート開発など新規事業につながる技術開発で成果を挙げた。一方、選択と集中の経営判断から「依頼分析」を中断する時期もあったことから、2010年代以降、全事業部に役立つ材料技術部門へとかじを切り、後述する材料技術部の3つの役割を掲げ活動を推進している。

2.2 材料技術部の3つの役割

現在、材料技術部は本社機能として、図1に示すように

- I. 事業部の直面する材料起因の課題解決と品質確保
- II. 事業部将来製品の差別化につながる材料開発・適合
- III. 化学物質管理事務局・LCA算出情報提供

の3つの役割を担っており、これらの取組みにより材料技術の専門部署として事業部活動を支援している。

注: *1 SEM:Scanning Electron Microscope

*2 EPMA:Electron Probe Micro Analyzer

I. 事業部の直面する材料起因の課題解決と品質確保

材料技術部では、事業部製品に対し材料提案や材料不具合の原因調査など行っており、長年培った分析技術や外部連携を活用しながら材料課題を解決している。また、品質確保として、事業部のDRBFM*³に参加し、材料の選び方や使い方に関し懸念点を抽出することで、材料起因不具合の未然防止につなげる活動を実施している。

II. 事業部将来製品の差別化につながる材料開発・適合

事業部の将来製品を差別化できる新規材料の開発や、既存市販材料の自社製品向け仕様への適合を行っている。材料開発についての事例は、後述するが、直近では環境対応のためのリサイクル材やCN*⁴に向けた開発も行い、さらなる品質向上・性能向上・原価低減に対する材料提案を推進している。

III. 化学物質管理事務局・LCA算出情報提供

全社の製品含有化学物質管理事務局として、関連する法規情報提供や管理システム運用などを行っている。正確な対応を行うため、化学物質管理システムの再構築を進めている。また、CNに関連して温室効果ガス排出量削減に取り組むためのLCA*⁵算出に関する情報収集や環境構築を進めている。

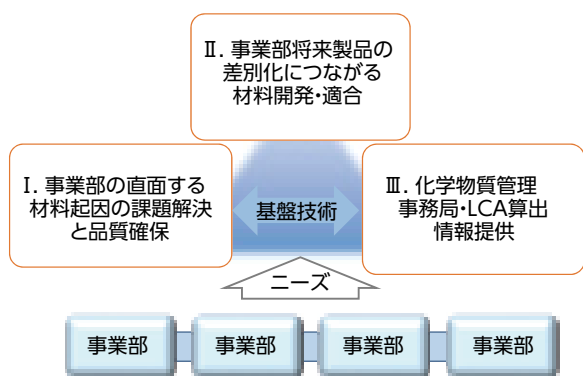


図1 材料技術部の3つの役割
Fig.1 Three Initiatives of the Materials Engineering Department

次章では、II. 事業部将来製品の差別化につながる材料開発・適合を詳細に説明する。

3 材料開発・適合の取組み

当社製品においては「金属材料」から「樹脂材料」まで幅広い領域が対象となる。また、材料開発において、材料固有の複雑な現象を把握するとともに物性向上を図るためには、「材料分析・評価技術」も重要となってくる。ここでは、これらの材料開発・適合とともに分析・評価技術に関する取組みも紹介する。

3.1 鋼の組織制御によるFCEV部品への貢献

機械部品や構造物を製作するためには、必要とされる材料特性を理解し、それに応じた材料を選定する必要がある。また、このためには材料工程の検討や材料特性の評価も重要である。ここでは、第2世代FCEV*⁶に採用されたエアコンプレッサの小型・軽量化を実現する構成要素の一つである、トラクションドライブ式増速機に適用した鋼材の熱処理技術を例として紹介する。

一般的な増速機は歯車を用いるが、本製品では音や振動の問題から図2に示すトラクションドライブ方式を採用した^[1]。トラクションドライブでは、高い圧力で固化する特殊なトラクションオイルを介してローラ同士を押し付けて、トルク伝達を行う。このため、ローラが滑らないように強く押し付けるため、ローラ同士の接触点に数GPa級の応力が生じる。加えて、入力リングが1回転するとシャフトは10倍以上回転することから、シャフトやローラの接触点には、数GPa級の繰返し応力に耐えうる超長疲労寿命が求められる。

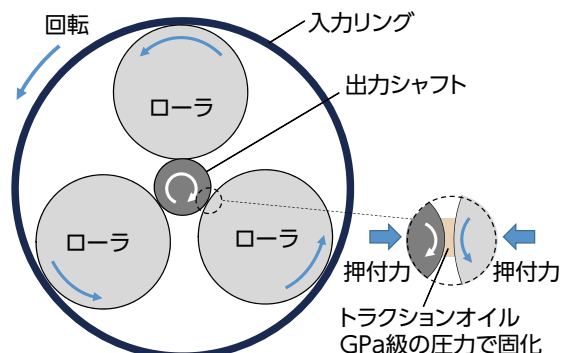


図2 トラクションドライブ式増速機のローラ接触点におけるオイルを介したトルク伝達
Fig.2 Torque transmission using solidified oil at roller-contacts of traction drive.

注：*3 DRBFM: Design Review Based on Failure Mode
*4 CN: Carbon Neutral
*5 LCA: Life Cycle Assessment
*6 FCEV: Fuel Cell Electric Vehicle

さらに、トラクションオイルには摩耗粉などのマイクロな異物の混入が避けられない。試作開発段階において、図3に示すように転がり接触面にはさまざまな異物痕が観察され、これらを起点とした早期破壊が発生した。従って、接触面には耐異物性も求められ、疲労特性との両立が必要になる。

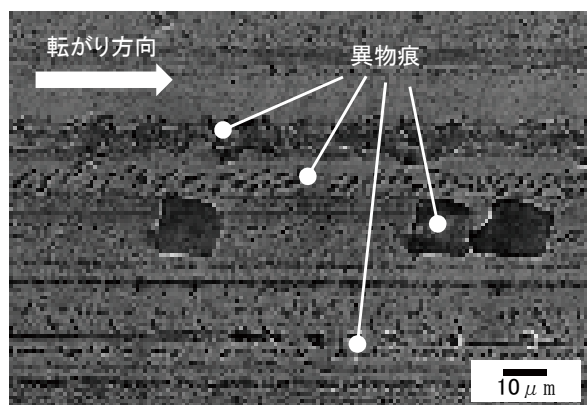


図3 転がり接触面の異物痕(試作開発品)
Fig.3 Impressions caused by contamination
on rolling contact surface of trial product.

疲労特性の向上は、表面にマルテンサイト組織(M相)を形成させ、硬度を高めるとともに耐摩耗性を狙う。一方、耐異物性の向上には、硬いM相中に比較的柔らかいオーステナイト組織(γ 相)を存在させ、異物圧痕の応力集中を緩和させることが有効である^[2]。従って疲労特性と耐異物性の向上を進める上では、硬さとしては狙う方向は相反する。

これに対して、両特性が両立する硬さの最適化、すなわち、M相と γ 相の混在する金属組織の最適化を行った。一般的に鋼材は焼入焼戻し熱処理により硬度を高める。通常の熱処理では前述のように、硬すぎて異物痕による破壊が懸念されることから熱処理条件を見直した。さらに、使用中に高面圧による γ 相 \rightarrow M相の変化が生じるため、その変化を見込んだM相/ γ 相の比率を決定した。このようにして、新品から使用期間全域にわたってM相/ γ 相比率が許容範囲内に収まる熱処理条件を見出し、疲労特性と耐異物性を高い次元で両立させた。

本例に示すように、製品ニーズに応じて工程を最適化し、一般的な材料であっても使いこなしを工夫することで、信頼性確保や小型化・軽量化の両立を実現している。

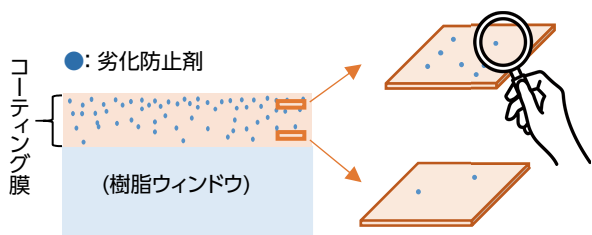
3.2 微量添加剤分析による樹脂ウィンドウへの貢献

樹脂材料は金属材料に比べて強度が低い、軽く、複雑形状に成形しやすい。場合によっては安価に製造することができることから、比較的応力がかからない個所や機能材料を中心に年々その使用が増加している。一方で、樹脂は温度や紫外線などで劣化しやすく、変色・変形・割れなどのトラブルが起こり得るため、劣化防止剤が添加される場合が多い。

樹脂中の劣化防止剤が最大限に性能を発揮するには、その構造、添加量、分散状態などを制御した材料設計と、材料が狙いどおりに作成されているかを確認するための材料分析が欠かせない。しかし、樹脂は劣化防止剤などの混合物のため、微量に含まれる劣化防止剤を分析するには高度な技術が必要である。また詳細な検討には、材料やプロセスの情報、および製品としての使用条件が重要である。

材料技術部では2章で述べたように、分析手法や材料設計ノウハウを蓄積し、製品開発と品質確保を支援している。社内で情報共有できるメリットを活かして、関係者と密接に情報交換・議論をしながら材料分析、評価に取り組んでおり、これらの事例として、樹脂ウィンドウの基礎技術確立に寄与した分析技術を紹介する。

樹脂ウィンドウは無機ガラスと比べて大幅な軽量化効果があるが、日光の紫外線に直接さらされるため耐久性が大きな課題となる。すなわち、耐久性向上につながる添加剤を付与した材料の開発が鍵となる。一般的に、樹脂材料は樹脂主材と添加剤の混合物で、そのまま分析すると複雑なデータとなり状態を把握しにくい。そのため、目的成分を有機溶媒で抽出してから分析する。しかし、樹脂ウィンドウの場合、鍵となる劣化防止剤は樹脂表面のコーティング層に微量に含まれるため、抽出が困難である。また、薄膜の中の添加剤分布の把握も必要である。これらを模式的に図4に示す。



①採取個所のミクロン単位の制御 ②ppm単位の定量分析
 図4 添加剤分析に必要な2つの技術
 Fig.4 Two technical methods required to analyze additives in coating layer.

材料技術部では、コーティング層の薄片を採取する技術と薄片を熱分解GC/MS^{*7}に適用することによって、劣化防止剤を気化させてppm単位の高感度に検出する手法を開発した。一方、薄片であっても樹脂主材やその他有機成分も熱分解されると、図5に示すように100種類以上の熱分解物のスペクトルが得られる。これに対して、劣化防止剤の分子構造から熱分解挙動を推定し、基準となるピークを同定し、そのピークの面積から定量分析を可能とした。

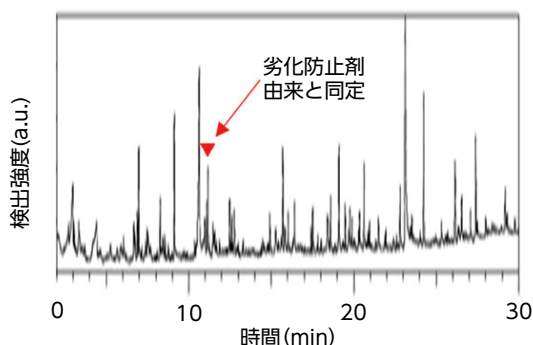


図5 熱分解GC/MSイオンクロマトグラム例
 Fig.5 An ion chromatogram example of pyrolysis GC/MS.

このように、分析手法や材料のノウハウ・知見を活かしながら、今後も困難な材料分析・解析に取り組んでいく。

3.3 アルミ合金の開発と鋳物疲労強度設計

アルミニウム合金(アルミ合金)は軽量でリサイクル性に優れ、CN、CE^{*8}に貢献し得る材料である。図6に示すように、比強度においてアルミ合金は鋼以上となる温度領域があり、さらなる高温域における特性の向上も期待される。また、アルミ合

金鋳物は複雑形状を低コストで作ることができるため、当社の生産では多く用いられているが、一方で、鋳物内部に強度を低下させる欠陥が存在するため、その対策として信頼性担保が重要である。

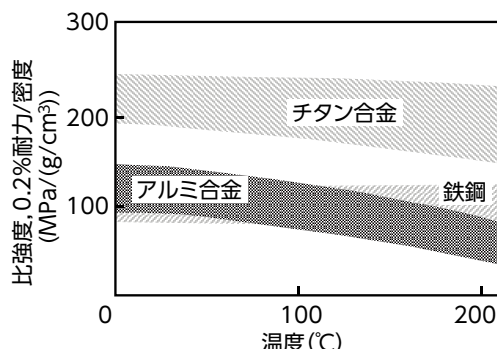


図6 代表的な構造用金属材料の比強度
 Fig.6 Specific proof strength of typical structural metallic materials

材料技術部では、これらのニーズや課題に対して種々の材料評価や合金設計・開発に取り組んでおり、ここでは高温強度向上と信頼性担保について紹介する。

高温強度向上: 従来にはない熱的安定性を有する金属間化合物T相を強化相とする耐熱アルミ合金(Tアルミ)に着目し、実用化開発を進めている^{[3][4]}。詳細については本技報の解説記事を参照いただきたいが、図7に示すように、Tアルミは鋳造および熱処理工程のみであるにもかかわらず、均質化や押し出しといった複雑な工程を経たA2618と同等の高温強度が得られる。

信頼性担保: 鋳物の欠陥は特に疲労に影響するので、欠陥を考慮した疲労強度評価、そのデータ採取に取り組んでいる。すなわち、図8に示すように、欠陥を統計的に扱い、その疲労強度への影響を定量的に把握し、Stress-Strengthモデルを用いて許容欠陥寸法を評価する手法である。製品の疲労強度やCTデータを蓄積していくことで強度予測や工程へのフィードバックが可能になり、製品の高信頼化と過剰品質抑制の両立を実現し得る技術である。

注: *7 GC/MS: Gas Chromatography - Mass Spectrometry
 *8 CE: Circular Economy

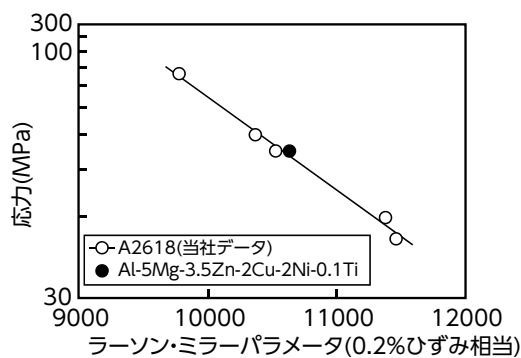


図7 Tアルミ (Al-5Mg-3.5Zn-2Cu-2Ni-0.1Ti) の高温強度 (0.2%ひずみ相当ラソン・ミラーパラメータ)
Fig.7 High temperature strength of T-aluminum -Larson-Miller parameter equivalent to 0.2% strain-

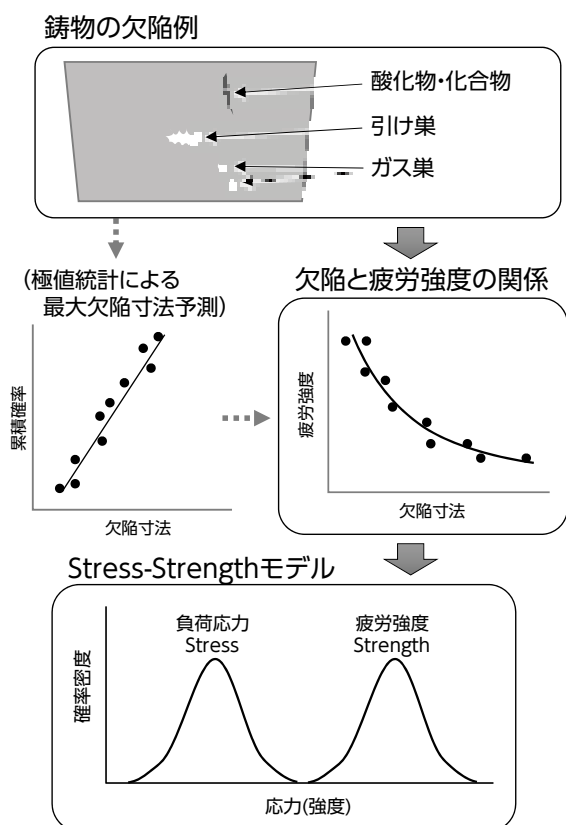


図8 鑄造欠陥を統計的に考慮する疲労設計
Fig.8 Statistical model for fatigue design considering cast defects.

以上のようにアルミ合金を代表例として挙げたが、鑄鉄などの現用材から将来ニーズに備えるチタン合金まで、同様に高信頼化に対する材料評価や合金開発に取り組んでいる。

3.4 CNF分散による発泡吸音材開発

エンジン車におけるアイドルストップやBEV^{*9}化により、これまで騒音の中で大きな割合

を占めていたエンジン音がなくなり、自動車にはより一層の静粛性が求められている。これに伴って、音を吸収する吸音材への要求も高まっている。

吸音材の吸音率を高めるには、吸音材を厚くするか、吸音材の背後に空気層を設ける方法があるが、車内空間を確保するため、吸音材に許される厚さや空間は十分ではない。また、一般的によく使われる多孔質吸音材は、高周波数帯で吸音率が高く、波長の長い低周波数帯の吸音ほど吸音材の厚みを要する。すなわち、より薄く、特に中低周波数帯の任意の騒音を取り除くことができる吸音材が望まれる。

音が発泡体を通る際、迷路のように入り組んだ経路により、発泡体の見かけの厚みを増やすことができる。図9に示すように、気泡が小さく、入り組むほど長い経路となり発泡体の厚みを増やすのと同等の効果がある。発泡体では気泡壁との粘性摩擦が主な吸音モードとなるため、より細い経路を通過することで効率よく音を吸収できる。しかし、一般的な発泡体成形プロセスでは、気泡を小さくすると発泡率を上げることが難しく、さらに、発泡体骨格の比率が高まることで音が骨格で反射される確率が高くなる。この課題を克服するため、CNF^{*10}に着目した。

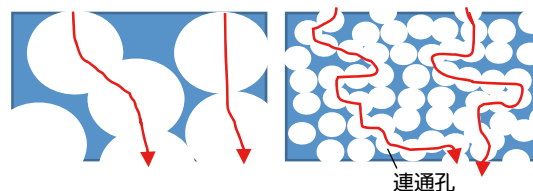


図9 発泡体気泡の大きさと音が通過する経路
Fig.9 Sound wave pathway depend on the size of foam cells.

CNFは直径が3~50nm、アスペクト比が100以上の繊維状物質である。発泡吸音材は樹脂成形時気泡とするためCNFには、ナノサイズの無数の発泡起点として機能すること、気泡のサイズを抑制するために樹脂を増粘させること、連通孔の生成起点となることを期待した。しかしCNFは、そのナノサイズがゆえに凝集しやすいという難点を持つ。

注: *9 BEV:Battery Electric Vehicle
*10 CNF:Cellulose Nano Fiber

そこでCNFの種類・溶媒・極性と樹脂への混合方法を検討し、成形前の液状樹脂に極力凝集を抑えてCNFを混合する条件を見出した。すなわち、添加量を増やすことで、気泡数を増やしながそのサイズを小さくし、音の経路となる連通路を確保できることを確認した。その結果、図10に示すように、吸音する周波数帯は低周波数側へシフトした。これは、図11に示すように、均質化法を用いて実際の発泡体にフィッティングさせたケルビンセルモデル^[5]で計算した結果と同じ傾向となった。すなわち、CNFの添加量を増やすことで気泡数を増やして気泡サイズを抑制し、それに伴って吸音する波長のピークが低周波数側へシフトするというコンセプトが確認できた。また低周波数での吸音率は一般的な多孔質吸音材よりも高い値を示した。今後は適宜製品適用を検討していきたい。

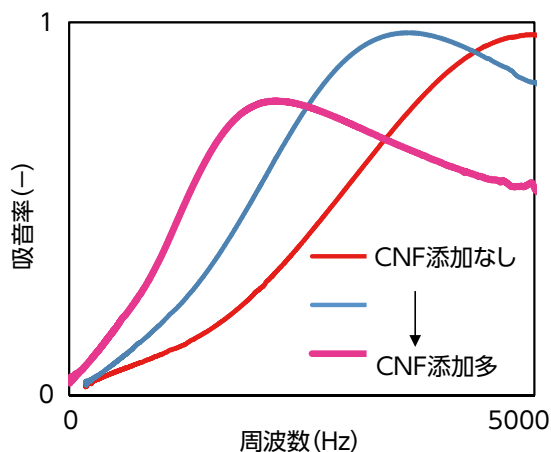


図10 CNFを添加した吸音材の垂直入射吸音率
Fig.10 Sound absorption coefficient of CNF added materials.

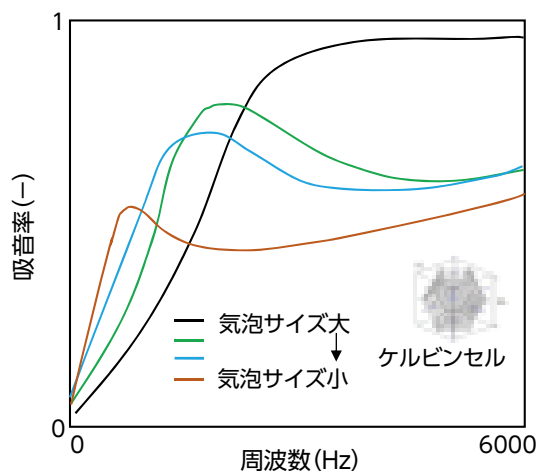


図11 気泡サイズをパラメータにした吸音率のシミュレーション結果
Fig.11 Simulation outcome of sound absorption coefficient with foam cell size.

4 まとめ

ここまで、材料技術の歴史から、現在の取組み内容である品質確保、化学物質管理、そして材料開発事例について紹介してきた。

それぞれの項目の成果や課題については、各章で述べられている通り、これまでの材料技術の活動は、いずれもモノづくりの会社として、基盤技術の一つである材料技術をいかに担保し、各事業部の事業活動のなかで、専門技術を持った本社部門の事業パートナーとして、役割を果たすかということを追求してきた。

幸い、材料に起因した重大な品質問題は発生していないが、それはひとえに、事業部とのパートナーシップと、これまでに培ってきた先人の知恵と努力を引き継いできたことに他ならない。

ここからは、これからの材料技術部門の在り方を考えてみたい。

2020年から始まったコロナ禍は、働き方を大きく変えることになり、常日頃、現場でものを触っていた材料技術部の仕事も人との接触を減らす工夫や、消毒の徹底など変化に対応していった。一方オンライン会議が浸透し、物理的な距離と移動にかかる時間の制約がなくなった。

同時に世の中では、地球温暖化対策からCO₂削減は、より喫緊の課題として取り組むことが要求されCNやCEといったキーワードが毎日のように聞かれるようになった。また2022年2月に始まったウクライナ侵攻は、カントリーリスクを認識させられただけでなく、今後の資源の確保やサプライチェーンの見直しを余儀なくされ、しかも不確実で誰もが見直しを持ち合わせていない状況に突入した。

そして、AIや機械学習が浸透する中で生成AIが登場し、今、まさにコンピュータと人との仕事の役割や線引きが見直されようとしている。

これらの環境変化は、企業活動全般に関わる変化であり、材料技術部門にだけ影響を及ぼすものではないが、材料技術部門の振る舞いが、企業活動に大きく影響を与え、会社にとってチャンスにも機会損失にもなりうる点でかじ取りは重要となる。

以下に具体的なポイントをいくつか挙げる。

- ・先人の知恵と現在進行中の材料技術部のデータは再構築中であるが、ここに生成AIなどの技術も取り込んで、知見はあったが活かされなかったということが無いようナレッジマネジメントシステムを構築する。
- ・技術ノウハウや職人技とも言える、破面観察や各種分析チャートの解析も機械学習を活用し、あるレベルまでは一般化、汎用化を進め、より専門的な解析に技術者の時間を充てる。
- ・CNの達成には、製造工程でのCO₂排出削減のための技術開発、例えば熱処理時間や温度の低減など、材料技術の関わることも多く、事業部や取引先とコラボした対応がより必要とされる。また、内燃機関ではグリーンな燃料への対応や法規制対応に適合した技術開発が求められ、これらを先回りして技術確立することで競争力確保といった攻めの経営にもつなげていく必要がある。事業部と戦略をよく協議し中長期でのシナリオを描いて進めていく必要がある。
- ・CEに対しても、材料メーカはもとより、製品の回収など、業界としての対応が必要である。また、資源確保やCEのしやすさの点で製品設計の見直しも必要であり、品質確保など材料技術の活躍の場はますます広がるため、リソース確保とシナリオが重要なポイントとなる。
- ・CNやCE、そして製品の付加価値向上のための材料開発は、望む特性から材料組成やプロセスを導き出す、MI^{*11}の活用がキーとなる。また、実用には時間がかかると思われるが、MIによる材料開発がゲームチェンジャーになりうる可能性は十分にあり、手を緩めるわけにはいかない。

以上、いくつかの今後の側面について方向性を記したが、当社のような製造メーカにおいて、材料技術部門は、事業部からの日々の困りごと相談や品質確保のためのサポートが主たる業務であり、これらの業務に一つ一つ真摯に向き合い、材料の課題を解決し技術を残していくことがモノづくりの会社の技術力と言える。AIの世界がどんなに進んでも、人が設計し、人が作って、人が使う製品をより良くするのはコンピュータではなくて人であると思う。

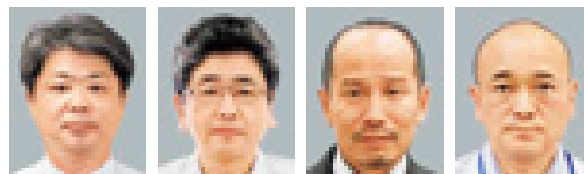
材料技術の専門家集団として、今後も当社の事業活動を支えていくのが我々材料技術部の使命であり、モノづくりの基盤技術を担保する部門として進化を続けていく。

また世の中の変化に伴う新たな社会課題の解決に対応する、新たな価値創造となる新技術・新製品に貢献する材料の創出も目指していく。

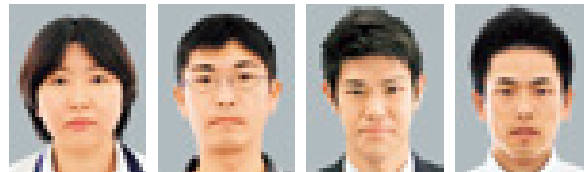
■参考文献

- [1] 技報72号 第2世代MIRAI向けエアコンプレッサの開発
- [2] Y. Murakami, N. Mitamura and A. Maeda: Study on Improvement of Material Properties under Debris Contaminated Lubrication, Proc. Int. Tribol. Conf.(1995), 1393-1398.
- [3] 近藤雅晶,鈴木智博,黎若琪,高田尚記: Al-Mg-Zn3元系耐熱合金の200℃におけるクリープ特性に及ぼす第4元素添加の影響, 軽金属, Vol.72, No.8 (2022), 473-481.
- [4] 近藤雅晶,鈴木智博,黎若琪,高田尚記: Al-Mg-Zn-Cu-Ni5元系耐熱合金へのTi微量添加による高温クリープ特性の向上, 軽金属, Vol.73, No.6 (2023), 1-6.
- [5] 山本崇史,桂大詞,久保田寛: 均質化法による吸音材微視構造の寸法最適化, 日本機械学会論文集, Vol.86, No.889 (2020)

■著者紹介



竹内 秀隆 下 俊久 鈴木 智博 谷澤 元治



斉藤 さつき 工藤 英弘 神谷 修平 野口 将人



神山 真巳

注: *11 MI: Materials Informatics

2030年ビジョン達成に向けた 豊田自動織機のイノベーション ～研究と創造を支える知的財産活動～

Innovation of Toyota Industries Corporation to Achieve Vision 2030
～ Intellectual Property Activities That Support Research and Creation ～

伊東 勇^{*1} 橋本 幸一^{*1} 加藤 良^{*1} 山田 量也^{*1} 山田 敬祐^{*1} 山口 敦^{*1} 石田 久人^{*1}
Isamu Ito Koichi Hashimoto Ryo Kato Kazuya Yamada Keisuke Yamada Atsushi Yamaguchi Hisato Ishida

*1 知的財産部

1 知的財産部の活動方針

当社は創業者である豊田佐吉翁の自動織機の発明により始まった。豊田佐吉翁は動力織機や自動織機を始めとして数々の発明を成して産業の発展に貢献したことが認められ、特許庁による「十大発明家」に選ばれており、特許庁のウェブサイトおよび庁舎内においてレリーフと共にその功績が紹介されている(図1)。



図1 特許庁の庁舎内における「十大発明家」の紹介^[1]
Fig.1 Introduction of 'Top 10 Inventors' in the Office Building of Japanese Patent Office

当社は、豊田佐吉翁の精神を受け継いで制定された豊田綱領の「研究と創造に心を致し、常に時流に先んずべし」に基づき、研究と創造に積極的に取り組むとともに知的財産活動を行っている。知的財産活動とは、特許、実用新案、意匠および商標といった知的財産を扱う活動である。知的財産部では「知的財産の創造、保護、活用(図2)により事業の自由度と優位性を確保する」ことをミッションに掲げ、当社製品にかかわる知的財産について特許権などの知的財産権を取得するとともに、かかる権利に基づく権利活用を推進することで、市場

から利益を回収し、その一部を次の製品化に投資するサイクルを回し競争力強化につなげている。

実際に、豊田佐吉翁が木製人力織機を完成させて最初の特許権を得て以降、多くの発明を成して当社の設立につながっている。つまり、当社は発明および特許が会社創立の原点となっており、知的財産活動は過去から現在に至るまで変わることのない競争力の源泉を生み出す活動であり、当社の発展に欠かせないものである。

また、第三者が保有する知的財産権の調査を実施し、必要な対策をすることで権利侵害の防止を図っている。当社の事業において他社の知的財産権を侵害すると、権利者から損害賠償や差し止めを求められる可能性がある。多くの場合、権利者との関係は競合関係にあるので、当社としては優位な条件で合意することは難しい。そのため、他社の知的財産権を調査し、障害となる可能性があるものに対して開発部門とともに回避案を捻出し、時には特許庁に対して異議を申し立てることで権利の成立を阻止するなどの対策を行い、当社の事業の継続および発展につなげている。

これらを技術開発に付随する「基本の知的財産活動」として位置付け、開発部門と連携して取り組んでいる。

上記の活動に加え、社内のインフラ整備、人材育成および奨励活動を行うことで発明意欲の向上に取り組み、知的財産活動が連綿となされるべく風土の醸成を図っている。当社は今後も多くの知的財産を創造し社会に貢献していくことを求められる。そのためにも、我々は知的財産の専門家の立場から事業部/開発者を下支えし、当社の持続的な成長に向けて取り組んでいく。

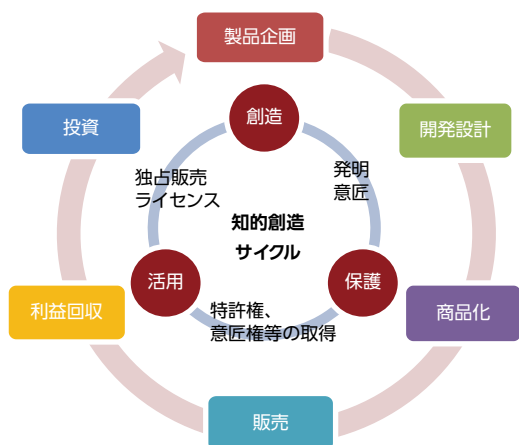


図2 知的創造サイクル
Fig.2 Intellectual Creation Cycle

2 特許出願活動

知的創造サイクルの「知的財産の創造、保護」に対応する活動として特許出願活動を紹介する。市場に新製品を投入するためには商品化までに優れた発明などを創出する必要がある。そのような発明に対する他社による模倣を防ぎ、当社の自由実施を確保するためには特許庁へ特許を出願しておくことが重要である。そこで、開発の成果である発明を漏れなく抽出し、特許の参入障壁につなげるべく次のような支援を事業の形態に応じて実施しているため、その活動を紹介する。

2.1 発明創出会議

開発部門と知的財産部とが定期的集まり、発明創出会議を実施している。発明創出会議では、主に、「現状の課題とその課題を解決するアイデアの確認」と「製品仕様の確認」を行う(図3)。



図3 発明創出会議のイメージ
Fig.3 Image of a Meeting for Drafting Invention Ideas

「現状の課題とその課題を解決するアイデアの確認」では、開発部門が現時点での製品課題とその

課題を解決するアイデアの説明を行い、知的財産部がそのアイデアに対して類似の先行文献があるか否かを説明し、類似の先行文献がある場合にはどうすれば特許性を主張できるかを議論して特許出願へつなげている。

「製品仕様の確認」では、各開発ステージで製品仕様が決まると、開発部門がその製品仕様に係る製品の構造や仕様変更点の説明を行い、知的財産部は説明された特徴が既に特許出願されたか否かを確認し、特許出願の出し漏れを防いでいる。

2.2 自社製品モノ見会

自社製品が出荷される前に、開発部門と知的財産部とが集まり、自社製品に採用された技術であって特許出願されていない技術がないかの確認を行う自社製品モノ見会を実施している。自社製品モノ見会で特許出願していない技術が発見された場合は、自社製品が出荷されてしまうと新規性が無くなり特許出願ができなくなるため、速やかに特許出願を行うようにしている。

2.3 パラメータを活用した出願支援

他社の製品とは効果が違っていても、構造の違いでは説明がしにくい場合がある。通常であれば、構造に違いがなければ特許出願は難しいと判断する。そのような場合、パラメータを使用した特許出願を知的財産部から開発部門へ提案している。パラメータとは、単位を伴う数値のことで、例えば、ある部材の弾性力が100~120[N/m]の範囲で優れた効果を発揮する場合には、特許を取得できる可能性がある(図4)。パラメータを使用した特許出願を特許庁も認めており、審査基準に明記されている。

そこで、知的財産部が優れた効果の確認や提案を行い、開発部門がその効果を証明するためのデータを準備する。そのデータを整理することで、構造の違いでは説明がしにくいアイデアも特許出願へとつなげることができる。



図4 パラメータで優れた効果を発揮するイメージ
Fig.4 Image of a Graph Showing an Effect Generated under a Specific Range of Parameters

2.4 生産技術の結果を構造で捉える出願支援

生産技術の発明は出願せずにノウハウとして管理する戦略をとる企業は多くある。生産技術は他社が模倣をしても侵害発見が難しいからである。

知的財産部では、生産技術自体だけでなく、生産技術を使って生産された物が侵害発見できないか確認している。例えば、ある生産技術を使って生産した製品に強度が優れているという効果があれば、その効果を発揮する構造的な特徴が何かをミクロの視点で確認している(図5)。

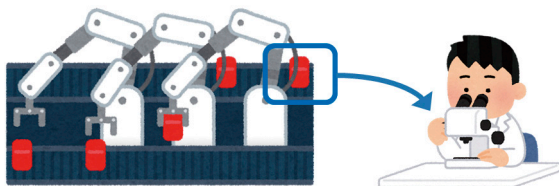


図5 ミクロな視点で製品を確認するイメージ
Fig.5 Image of Checking a Product from a Micro Point of View

その結果、例えば、部品の材料の空隙率に特徴があるとわかれば、空隙率を特徴にした特許出願を行う。具体的には、空隙率であれば、上述したパラメータを活用した特許出願を検討する。空隙率は測定可能であるので、他社による侵害の有無を確認しやすい。ここでのポイントは、生産技術を発明とするのではなく、生産技術を使って生産された製品の構造に特徴が表れていないかとの構造の視点で発明を捉えることである。

2.5 FTAを活用した出願支援

研究開発テーマによっては、量産化されるまでタイムラグがあるため、研究開発フェーズで採用した技術であっても量産開発時に不採用となる場合がある。

そこで、研究開発テーマでは採用した技術だけでなく代替案も含めて創出し、仕様変更があった場合に代替案となる可能性が高いものについて特許出願を行っておく。

最終的に、FTA^{*1}(図6)を利用して課題に対する対策を網羅的に洗い出し、特許出願しておくべきものに漏れがないかをチェックしている。

これにより、量産開発時に仕様変更する必要が生じた場合であっても、開発品の特許権で保護することが可能となる。

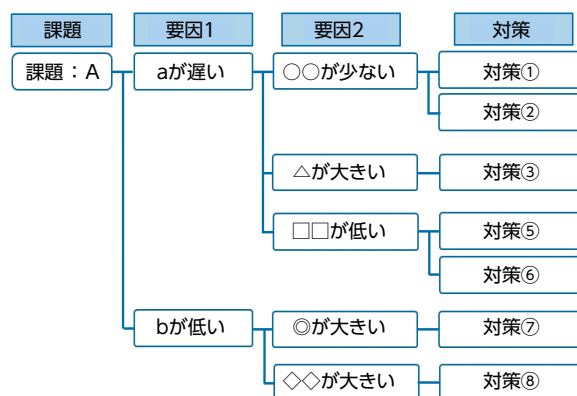


図6 FTAのイメージ
Fig.6 Image of FTA

2.6 特許マップを活用した出願支援

自社出願を整理するために特許マップを活用している。特許マップでは、発明の課題・構成を軸として、マトリクス状に自社出願をプロットしている(図7)。

	課題a		...
構成1	自社特許	自社特許	自社視点での課題・構成
構成2	自社特許	自社特許	

図7 自社出願の特許マップのイメージ
Fig.7 Image of a Patent Map Plotted Own Patents

自社出願をプロットした特許マップはあくまで自社視点に留まるため、新たな視点を追加するために他社情報を活用することが有効である。他社情報としては、例えば他社の特許情報、展示会で入手した製品情報である。他社情報から得られる課題・構成を特許マップへ追加することで、自社視点だけでは見逃していた課題を抽出することができ

注：*1 FTA:Fault Tree Analysis

る(図8)。



図8 他社情報を追加した特許マップのイメージ
Fig.8 Image of a Patent Map Added Other's Information

見逃していた課題を開発部門と知的財産部とで共有し、発明の発掘・創出会議を実施して特許出願につなげている(図9)。



図9 他社視点を取り込んだ特許マップのイメージ
Fig.9 Image of a Patent Map Incorporated Other's Point of View

3 人材育成と奨励活動

先にも述べた通り、知的財産活動は競争力の源泉を生み出す重要な活動であり当社の発展に欠かせないものである。人材育成や奨励活動を通して、知的財産の理解および発明意欲の向上を図っているので、その内容を紹介する。

3.1 人材育成

技術系の従業員に対して知的財産権の基本知識や重要性に関する知的財産教育を行っている。社内では実務者と管理者で階層別に分けたカリキュラムを用意し、eラーニングで実施している。知的財産権の概要、社内における出願手続き、他社特許調査の方法等について項目毎に学習できるようにeラーニングの資料を構成している。また、社外の発明協会や日本知的財産協会等が主催しているプログラムを随時展開し、知的財産に関するトレンドを学べる機会として提供している。

知的財産部の部員は、OJTや社内外の研修を通して知的財産制度を学んでいる。グローバルに展開される事業を支援するためには、市場国における法制度を理解しておくことは必須である。その

ため、中堅クラスになるまでに体系的に習得できるよう計画的に取り組んでいる。また、国内外の弁理士や弁護士との勉強会を開催し、各国の特許庁や裁判所の考え方を掴むようにしている。さらに、海外の特許事務所へ駐在員として派遣することで、海外の法制度に精通したグローバルな対応力を備えたプロ人材の育成も図っている。

3.2 奨励活動

当社では、製品に採用され、特許として登録された発明に対して、褒賞金を支給する制度を設けるとともに、優秀な発明での社外表彰の受賞を通じて、開発の第一線で働く従業員の発明意欲の向上に取り組んでいる。

社内表彰は、特許出願時に出願褒賞を支給し、発明の製品への採用状況に応じて支給される実績褒賞では事業部門ごとに会社の利益に貢献している重要な発明を選考し、知的財産委員会にて最優秀の発明を決定している。役員列席で表彰式を開催し、その労を労うようにしている。

一方、社内評価で優秀な発明については、開発者の功績を讃える目的で、社外表彰に応募し上位賞の受賞を目指している。テーマ選定では、世の中のトレンドテーマ、世の中の課題への貢献度などを指標として、知的財産部で候補テーマを審議し応募する案件を決定している。世の中の課題解決や発明の効果を明確にし、審査員にも分かりやすい応募資料になるよう知的財産部も関与して作成している。その結果、愛知発明表彰では、2021年度から2023年度で3年連続して「大賞」を受賞し、2023年度の全国発明表彰では「発明賞」を受賞しており、これらを通じて、当社の技術の優秀性を対外的にアピールしている。



図10 令和5年度全国発明表彰式
Fig.10 National Commendation for Invention 2023

また、社内向けの知的財産部のウェブサイトにおいて開発者が自身の発明件数や受賞実績を確認できるようにしている。

このような表彰活動を通して、従業員の開発意欲の向上につなげている。

4 活動領域の拡張への取組み

知的財産部では上述した活動を知的財産活動の主領域として今後も更に強化していく。一方で、環境変化を踏まえ活動領域を拡張している。

その取組みとして、IPランドスケープ^{*2}がある。IPランドスケープとは、デジタルツールを活用して特許情報を収集・加工し、経営や事業に関係する非特許情報と合わせて総合的に分析し、新事業・新用途の探索などを行う活動である。デジタル技術の進展により高度化されており、当社としても積極的に活用していくことが肝要である。

他の取組みとして、グループ会社との連携がある。知的財産活動は当社のみならずグループ会社においても適切に成されることが求められる。例えば、グローバルでみたときにいずれかの国で他社の特許を侵害し訴訟提起された場合、事業経営に影響を与える恐れがある。グループ会社との連携を図り、活動の向上を図っていくことが重要である。

これらIPランドスケープとグループ会社との連携の活動を紹介する。

4.1 IPランドスケープ

特許情報は、特許・実用新案などの出願や権利化に伴って生み出される情報である。個々の出願は定型化されると共に特許分類が付与されることで扱いやすく、また特許情報全体では広く技術を網羅する。このため、競合との比較分析等に活用されてきた。近年は、より高度な活用としてIPランドスケープが試みられており、一用途としては新事業・新用途の探索がこれにあたる。社内の同ニーズに応じ、特許分析ツールの導入や分析手法の検討・検証に着手している。以下に具体例を紹介する。

1) 社会課題分析

カーボンニュートラルに関するニュースは、毎日のように見かける。このような社会課題は新しい産業や新事業のタネであるが、一方で各企業の取組みを数値で客観的に分析できるデータは少ない。そこで、二酸化炭素の分離技術に関する特許分類(CPC:B01D2257/504)を用いて、特許出願件数の推移を分析した(図11)。京都議定書の発効、また、パリ協定の合意に前後した急増が確認でき、この技術がカーボンニュートラルとのかかわりが深いことが窺える。個々の出願人(企業)の詳細については省略するが、2000年以前より同じペースで出願を続けている企業も数社確認できるものの、より多くの企業は2005年の京都議定書発効以降の出願増が顕著である。後者は、カーボンニュートラルを意識し開発に着手していることが推測できる。このような企業を特定し俯瞰することで、例えば競合企業が含まれていれば、自社の参入の可能性を検討する動機となる。



図11 二酸化炭素分離技術 出願件数推移
Fig.11 The Number of Applications on Carbon Dioxide Separation Technology

注: *2 IPランドスケープ: Intellectual Property Landscape

2) 特許スコア

新事業により異分野へ参入する場合、対象分野の将来性も重要である。将来性を計る方法の一つは、該当分野の主要企業の動向分析であり、特許情報を活用できる。特許の代表的な指標としては前述の出願件数が知られている。しかし、個々の企業の出願件数は、その企業の出願戦略の変化が強く反映される。例えば量から質へのシフトがあると、件数減が必ずしも開発の停滞や後退を示すわけではなく、解釈は難しい。特許スコアは、被引用数や外国出願率等々を質として反映した指標である。特許分析ツールPatentSight®の特許スコアを使用したA社の分析例を紹介する。A社はとある業界のトップである。研究開発費を増加しながら売上高はそれ以上の伸びを示していることから、業績は堅調であり研究開発も進んでいる(図12)。出願件数は中長期で減少傾向であるものの、所有する特許の維持件数は漸増し、特許の価値を示す特許スコアは増加している(図13)。A社は外国出願率が上がっていることより、グローバルにて売上の伸びを見込んでいる、との見方ができる。この結果より、出願件数よりも特許スコアの方がA社の動向を適切に反映し、将来性を計る目的にも適していると思われる。

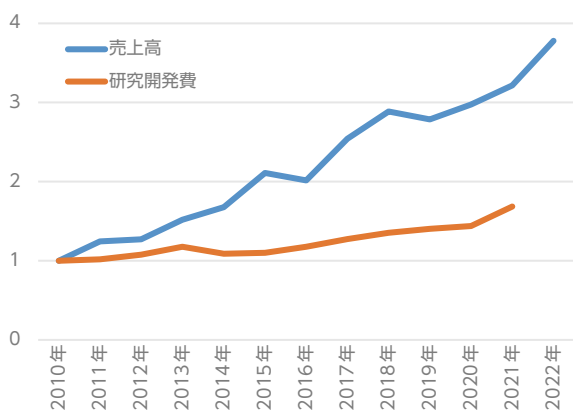


図12 A社業績推移 (値は2010年が1となるように加工)
Fig.12 Performance Trends of Company A

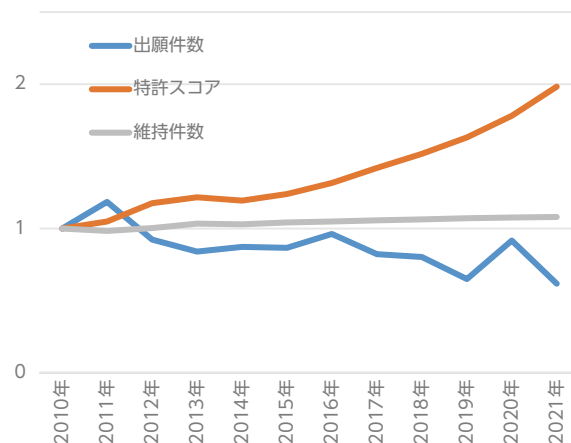


図13 A社特許指標推移 (値の加工は図12同様)
Fig.13 Patent Index Trends of Company A

4.2 開発拠点を持つグループ会社との連携

1) 背景・ねらい

当社の事業活動が全世界に広がる中、開発拠点をもちグループ各社においても、知的財産の創造、保護、活用および第三者の知的財産権に対する侵害防止の活動が行われている。知的財産活動の面から事業経営に支障をきたすことがないように、グループ会社との連携を進め、グループ全体の活動の向上を目指している。

2) 活動事例

支援活動をはじめとして連携を進めている(図14)。以下に、事例を紹介する。

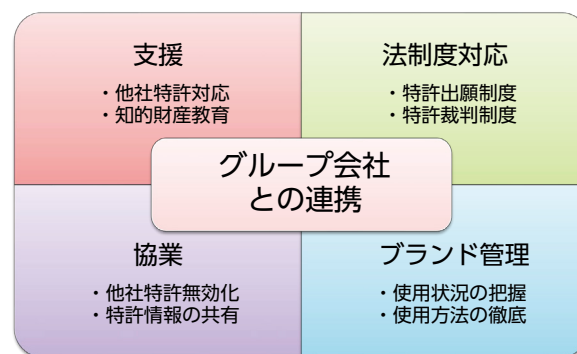


図14 グループ会社との連携
Fig.14 Collaboration with Group Companies

・他社特許対応の支援

グループ会社にとって障害となる他社特許がある場合に、支援を行っている。高度な専門性を有する侵害判定や特許の有効性判定に関して、弁護士も入れて戦略検討を実施し最善の対応が取れるよ

うアドバイスを行っている。必要に応じて、グループ会社向けに知的財産教育を行うことでスキルアップも図っている。なお、ミュンヘン(ドイツ)とワシントンD.C.(米国)へ派遣している駐在員が、グループ会社や弁護士と現地にて調整を図ることで、スピード感をもった対応につなげている。

・法制度対応

法改正を含む知的財産に関する制度変更があれば、欧州と北米の知財連絡会において知財当事者が一堂に会して対応を検討するようにしている。例えば、新たに導入される特許出願制度や特許裁判制度、コンプライアンス活動としての他社特許対応などをテーマとして取り上げている。テーマによっては弁護士を講師として招いてセミナーを開催し、意見交換を行っている。第三者の知見を取り入れた対応方針を立案し、各社のしくみや内規へ織り込むことで知的財産活動の強化を図っている。



図15 知財連絡会での議論の様子
Fig.15 Discussion on an Intellectual Property Meeting

・ブランド管理への意識向上

当社のトヨタL&Fブランドについて、各リージョンごとに適正に使用しているかの実態把握、現地に赴いて使用方法のセミナーを実施し、ブランドの適正使用の周知徹底を図っている。また、それぞれのリージョンでの使用に関する問題を共有し、適正な使用方法を提案している。このような活動を通して、全世界で統一したブランドを確立し、グループ一丸となって顧客からの信頼の獲得に努めている。

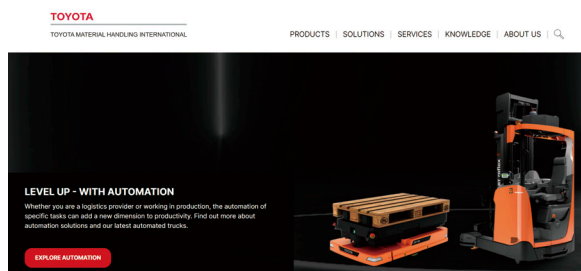


図16 トヨタL&Fブランド^[2]の使用例
Fig.16 Usage Example of TOYOTA L&F Brand

5 今後の取組み

2030年ビジョン達成に向けて、技術開発が今後ますます重要となっていくなかで、知的財産の創造、保護、活用を開発部門と共に愚直に継続的に取り組んでいく。当社の事業領域はIoT、AI、自動運転およびカーボンニュートラルなど新しい技術分野へと広がっている。そのような新しい技術にもしっかりとアンテナを立て、事業・技術開発方針に照らしてどのような知的財産が事業において必要かを検討し、競合の事業戦略等も見ながら競争優位なポジションを築くための戦略を事業部とともに立案していきたい。IPランドスケープを活用して、業界の動向や将来性を探索し、有用な知的財産を保有しているパートナーとのオープンイノベーションの提案や、あるいは開発のスピードアップに資する知的財産情報をタイムリーに展開していく。また、グローバル化の進展に伴い知財リスクも増大するので、各国の法制度を確実にフォローし、グループ会社との連携を強固なものにして、事業の持続的な成長に努めていく。

最後に、競争力の源泉となる知的財産の創造・保護・活用を開発部門と一体となって取り組み、当社が今後も社会に貢献していくよう事業のサポートに取り組んでいく。

■参考文献

- [1] 特許庁ウェブサイト
<https://www.jpo.go.jp/news/koho/kengaku/houmon/index.html>
<https://www.jpo.go.jp/introduction/rekishu/10hatsumeika.html>
- [2] TOYOTA MATERIAL HANDLING INTERNATIONAL
 ウェブサイト
<https://www.toyotamaterialhandling-international.com/>

■ 著者紹介 ■



伊東 勇



橋本 幸一



加藤 良



山田 暁也



山田 敬祐



山口 敦



石田 久人

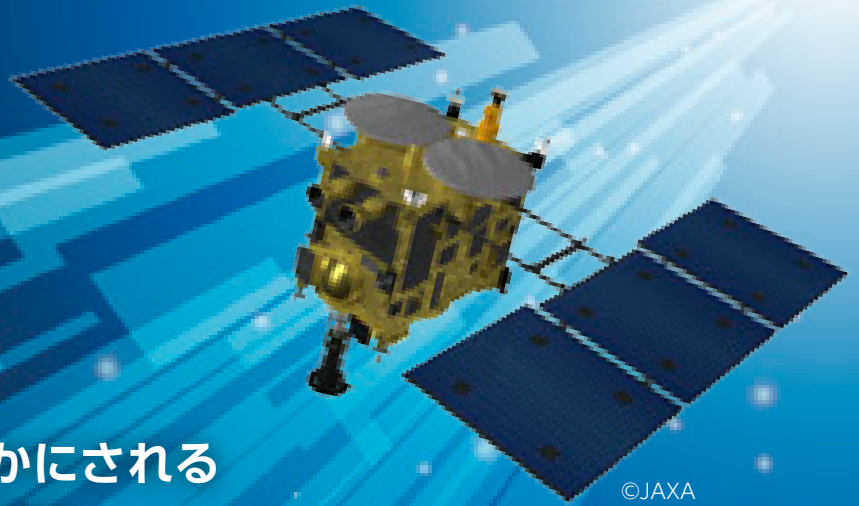
TREND

はやぶさ2

リュウグウ試料から明らかにされる 太陽系の進化と生命の起源

Hayabusa2

Evolution of the Solar System and the Origin of
Life Revealed from Ryugu Samples



©JAXA

宇宙航空研究開発機構



宇宙科学研究所
宇宙機応用工学研究系
准教授

吉川 真



宇宙科学研究所
太陽系科学研究系
教授

臼井 寛裕

★はやぶさ2ミッション

「はやぶさ2」は、「はやぶさ」に続いて、世界で2番目の小惑星サンプルリターンミッションです。サンプルリターンとは、天体からその物質を持ち帰ることを指します。小惑星は、形成された約46億年前からその物質があまり変化していない天体ですので、小惑星から物質を持ち帰ると、地球などの惑星がどのような物質から生まれたのかが分かります。「はやぶさ2」の場合には、リュウグウという直径1kmほどの小惑星を探索してその物質を持ち帰ったのですが、リュウグウは水や有機物を含んだ天体と考えられていました。そのような天体から物質を持ち帰ることができれば、地球の水の起源や地球生命の元になった物質を解明することができるかもしれません。これが、「はやぶさ2」ミッションの最も重要な目的なのです。

サンプルリターンを行うには、非常に高い技術が必要になります。月からは何度もサンプル(月の石や砂)が持ち帰られていますが、月よりも遠くからサンプルを持ち帰ったミッションはこれまで4

例しかありません。2004年に太陽風(太陽から放出される粒子)を持ち帰った「ジェネシス」、2006年にヴィルト第2彗星が放出した塵を持ち帰った「スターダスト」、そして、「はやぶさ」と「はやぶさ2」です。「ジェネシス」と「スターダスト」は、太陽系空間を飛行しながらサンプルを取得して地球に戻ってきたものですが、月よりも遠い天体まで行って着陸して地球に戻ってきた探査機は、現時点では「はやぶさ」と「はやぶさ2」だけです(3番目が最後に述べます米国のOSIRIS-RExになる予定です)。「はやぶさ」は2003年に打ち上げられて2010年に地球に戻ってきましたので、もう20年前に世界初の挑戦を行っていたわけです。ただ、「はやぶさ」は数々の深刻なトラブルに見舞われました。これはお手本がない世界初がいかに難しいかということを物語っているのですが、技術的には好ましくないことです。より確実な技術に仕上げようということで「はやぶさ2」を行いました。これも「はやぶさ2」の重要な目的でした。

★はやぶさ2探査機

「はやぶさ2」は、初号機である「はやぶさ」をベースにして設計されました。ただし、前述のように「はやぶさ」は多くの技術的トラブルがありましたので、それらのトラブルを検証して改良したのになっています。また、2010年に打ち上げられた金星探査機「あかつき」もそのメインエンジンにトラブルがあったのですが、そのトラブルについても「はやぶさ2」では同様なことが起こらないように設計を変更しています。

探査機の外観を図1に示します。太陽電池パドルの端から端までは約6mありますが、本体は1m×1.6m×1.25mの大きさで、燃料込みの重さは約609kgです。これは、惑星探査機としては小さいのですが、カメラをはじめとして4つの科学観測機器、人工クレーターを作るための衝突装置とその観測のための分離カメラ、小惑星表面に降ろす着陸機とローバー（探査車）を合計4機、そして表面物質を採取するための装置や地球に持ち帰るためのカプセルなど多くのミッション機器が搭載されています。これら以外にバス機器と呼ばれる太陽電池パドル、イオンエンジン、化学推進スラスタ、アンテナ、姿勢制御や着陸のための装置など非常に多くの機器が搭載されているのです。

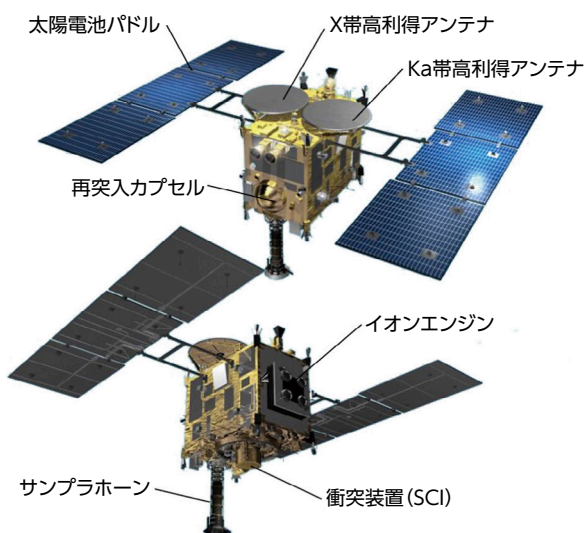


図1 はやぶさ2探査機の外観

★ミッションの経緯

「はやぶさ2」が提案されたのは2006年でした。2005年の年末に、「はやぶさ」が小惑星イトカワへの着陸を試みたのですが、離陸後に燃料が漏れてしまい、一時的には通信も途絶えてしまいました。また、サンプルを採取する手順が予定通りに実行されていなかったこともわかりました。サンプルが取得されていないかもしれないし地球に戻れるかどうか分からないという状況でしたので、翌年の2006年に再挑戦として「はやぶさ2」を提案したのです。ですが、提案は認められず、毎年のように予算要求を行いましたが、プロジェクトとしてはスタートできません。諦めかけていた2010年6月、「はやぶさ」が劇的な地球帰還をします。すると、2011年に「はやぶさ2」がプロジェクトとして認められました。

惑星や小惑星などの太陽系天体に行くには、打ち上げウィンドウと呼ばれる、探査機打ち上げのタイミングが決まっています。「はやぶさ2」がリュウグウに行くには、2014年末に打ち上げる必要がありました。探査機を設計・製作するのに、実質的に4年程度しかなく、これは、このクラスの探査機にとってはかなり厳しいのですが、どうにか間に合わせることができ、2014年12月3日、「はやぶさ2」は種子島宇宙センターからH-IIAロケット26号機で打ち上げられました。探査機は、通常は打ち上げられるとすぐに地球から離れて太陽系空間に向かって行くのですが、「はやぶさ2」の場合には、ロケットから探査機が分離される時の条件がよくなかったため、地球を1周してから離れていくという特殊な軌道で打ち上げられました。

打上げからちょうど1年後の2015年12月3日、「はやぶさ2」は地球に接近して、地球の引力を利用して軌道を変更するスイングバイというテクニックを使って、リュウグウに向かいました。リュウグウ到着は、打ち上げから約3年半後の2018年6月27日。初めて見たリュウグウは、そろばんの珠のような形で、これは全くの想定外でした(図2)。さらに、その表面は大小無数の岩塊で覆われており、広くて平らな場所が無いということもわかりました。これは着陸(タッチダウン)にとっては、かなり難度が高いということを示しています。

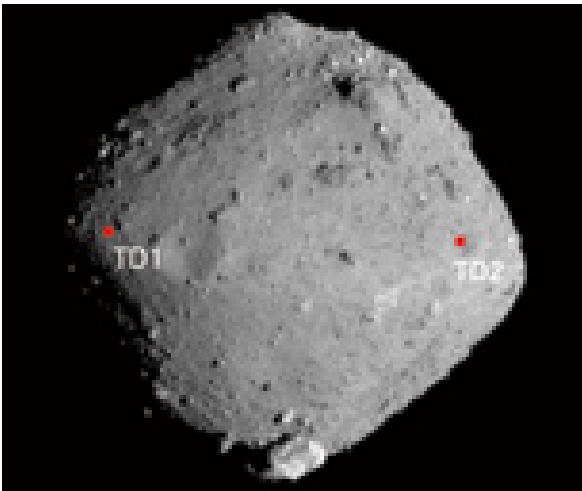


図2 小惑星リュウグウ。TD1とTD2はそれぞれ1回目と2回目のタッチダウン地点を示す。

探査機に搭載された観測機器でリュウグウを詳しく観測した後、リュウグウ表面にミネルバIIの1Aと1Bという2機のローバと、マスコットというドイツ・フランスが開発した着陸機を降ろしました。これらはすべて成功して、リュウグウ表面でデータの取得ができました。そして、2019年2月には1回目のタッチダウンを、4月には衝突装置によってリュウグウ表面に人工クレーターを作る実験を、7月にはその人工クレーターの近くに2回目のタッチダウンを行いました。2回目のタッチダウンでは、人工クレーターから放出された地下物質を採取するということが目的でした。これらの運用もすべて成功しました。タッチダウンは、リュウグウ表面がデコボコだらけなので、直径がたった6~7mの領域に降りるといふピンポイントタッチダウンというテクニックを使いましたが、2回とも誤差が1m以下の高精度で実施できました。

以上で予定されていた運用はすべて終了したのですが、タッチダウンを行うときに事前にリュウグウ表面に降ろしておくターゲットマーカという人工的な目印が3個余っており、ミネルバIIのローバ2も残っていたので、ターゲットマーカ2個とローバ2をリュウグウを周回する人工衛星とする実験を追加で行いました。リュウグウのような小さな天体のまわりに人工衛星を飛行させたことも世界初です。これらすべてのミッションが終わって、2019年11月13日に「はやぶさ2」はリュウグウを出発し、地球に向かう軌道に乗りました。

約1年後の2020年12月5日、地球に接近した「はやぶさ2」から再突入カプセルが分離されました。そして、翌日12月6日の未明に、カプセルは流

れ星となってオーストラリアの夜空を横切っていく、オーストラリアのウーメラ砂漠に無事着地したのです。カプセルはすぐに回収され、まず現地ではカプセル内の気体を抽出したあと、すぐに日本に輸送されました。そして、12月8日には、JAXA相模原キャンパスのキュレーションという施設に搬入されたのです。この後、キュレーションの作業と初期分析が行われますが、以下で詳しくご説明します。

なお、「はやぶさ2」はその後、地球から離れていき、新たなミッションを開始しました。この新しいミッションを「はやぶさ2拡張ミッション」と呼びますが、2026年に小惑星2001 CC21の近くを通過しながら観測をし(フライバイ探査)、そして2031年に小惑星1998 KY26に到着する予定です。これらの小惑星も未知の天体ですから、新たな事実が判明することでしょう。

★ サンプルからの科学成果

すでに述べたように、2020年12月6日、「はやぶさ2」により小惑星リュウグウの試料(サンプル)が地球に届けられました。リュウグウ試料は太陽系が生まれた時の様子を知るための貴重な情報源と考えられています。リュウグウ試料の分析により、太陽系がどのように形成され進化してきたか、そして私たち地球や生命がどのように誕生したのかという問いへと迫るような成果が次々と明らかになっています。以下では、その科学成果の一端をご紹介します。

★ リュウグウ試料の処理: キュレーション活動

小惑星リュウグウから持ち帰られた試料は、太陽系が生まれたばかりの時代の姿を記録しています。このような重要な試料を地球の環境に晒すと、それが太陽系の原初的な情報を失う恐れがあります。それはまるで、歴史的な文書を水や風に晒すことに等しいのです。そこで、試料が地球に到着した後、最初に行われるのが試料の保管・管理・記載を行うキュレーション作業です。

キュレーション作業は、相模原にあるJAXA宇宙科学研究所に設置されたキュレーション施設で実施されました(図3)。試料の処理は、クリーンルーム内に設置された超高真空環境と純化した窒



図3 ISASクリーンルームに設置された、はやぶさ2クリーンチャンバーとそこで作業するキュレーションスタッフ

素ガス環境を維持したクリーンチャンバーで実施されます。そして試料は光学顕微鏡などを用いた詳細な観察と分析がなされたあと、その情報はカタログに記載されます。この観察・分析作業もまた、試料が汚染されることなく、その初生的な状態が維持されるように行われます。キュレーション作業は、世界中の研究者が、試料の科学的な価値を最大限に引き出すために必須の工程となっており、JAXAが責任を持って実施しています。

★リュウグウの化学分析結果：隕石との関係

JAXA宇宙科学研究所のキュレーション施設から持ち出された試料は、科学者の手によってさまざまな分析活動が行われました。その一つは、化学組成・同位体組成の分析です。化学組成分析の結果、リュウグウは「イブナ型炭素質隕石」(CIコンドライト)と呼ばれる、小惑星を起源とする隕石と酷似していることが明らかになりました。CIコンドライトとは、太陽系が誕生した初期の物質で構成される、非常に古い種類の隕石です。また、化学分析からは、リュウグウの試料が、地球汚染を全く受けていないことも確認されました(図4)。この事

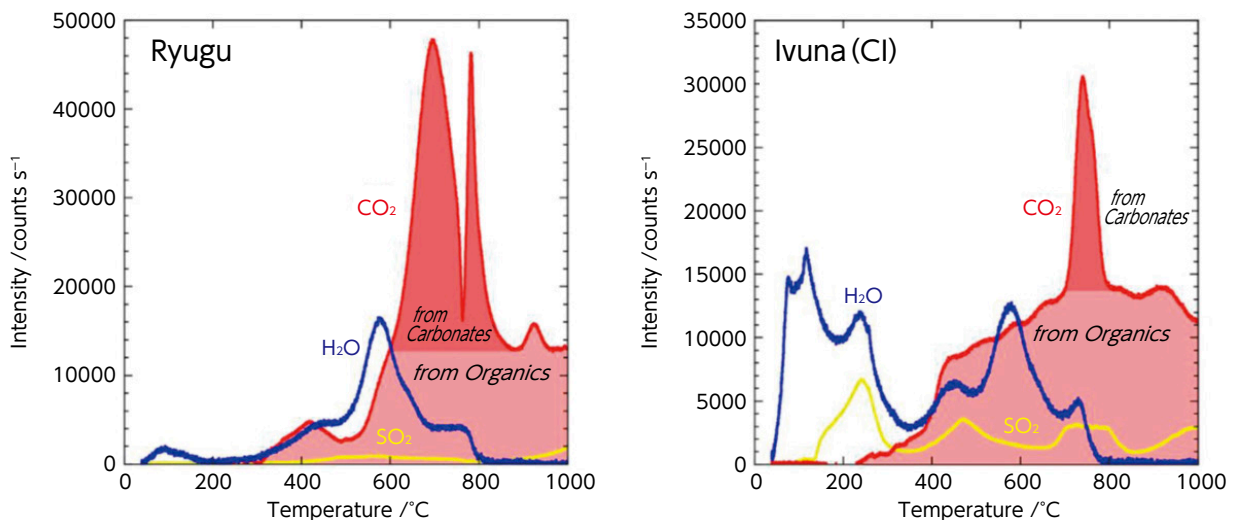


図4 TG-MSによるリュウグウ(左)、およびイブナ隕石(右)の水分量分析の結果。縦軸は質量分析計の信号強度。リュウグウでは、イブナ隕石で見られる200℃以下の低温領域で発生する地球由来の水が検出されなかった(Yokoyama et al. 2023)。

実は、リュウグウ試料が太陽系の起源を理解するための鍵となる情報を持っていることを意味しています。

★リュウグウの化学分析結果: 小惑星の水分量

一方、リュウグウ試料とCIコンドライト隕石との間には微妙な違いも存在します。特にリュウグウ試料に含まれる水分量(約7%)は、CIコンドライト隕石に含まれる水分量(約13-20%)の半分以下であることが分かりました。両者の違いを生んだ要因は何なのでしょう? 実は、隕石は地球にもたらされる際に大気中の水分を吸収し、変質していることが分かっています。つまり、リュウグウ試料の分析により、世界で初めて、地球汚染の影響のない、小惑星が本来持つ水の量が正しく見積もられることができました。

小惑星の水分量の正確な見積もりは、小惑星資源探査、特に水資源探査に大きな影響を及ぼすことになりました。つまり、リュウグウ試料に含まれる水の存在形態、分布、含有量が明らかになったことで、小惑星からの水資源がどの程度利用可能かを評価する正しい情報が得られるようになったのです。リュウグウの分析は、宇宙科学のみならず、

人類の宇宙開発の新たなステージを切り開く可能性を秘めています。

★リュウグウの形成の歴史

リュウグウ試料の分析から、リュウグウとその母天体の歴史が明らかになりました(図5)。太陽系が誕生した際の冷たい原始的な雲(原始太陽系星雲)の中で、リュウグウの母天体が誕生したと考えられています。この冷たい環境で、リュウグウは岩石、氷、ドライアイスの粒子を取り込んで成長しました。

一方、リュウグウ試料には、太陽に近い場所で高温環境下で生成された粒子も存在しています。これは、太陽系が形成された初期には物質が広範囲に混ざり合っていたことを示し、太陽系初期のダイナミックな状況を物語っています。

その後、リュウグウ母天体の岩石が天体内部の水や二酸化炭素と反応し、水を含んだ鉱物や炭酸塩鉱物を形成しました。そうしてできた鉱物(硫化鉄)中にも水分子が閉じ込められていることが発見されました(図6)。リュウグウの多様な成分は、その形成に関与した多くの小さな岩片や、水との化学反応時の条件の違いから来るものと推測されます。

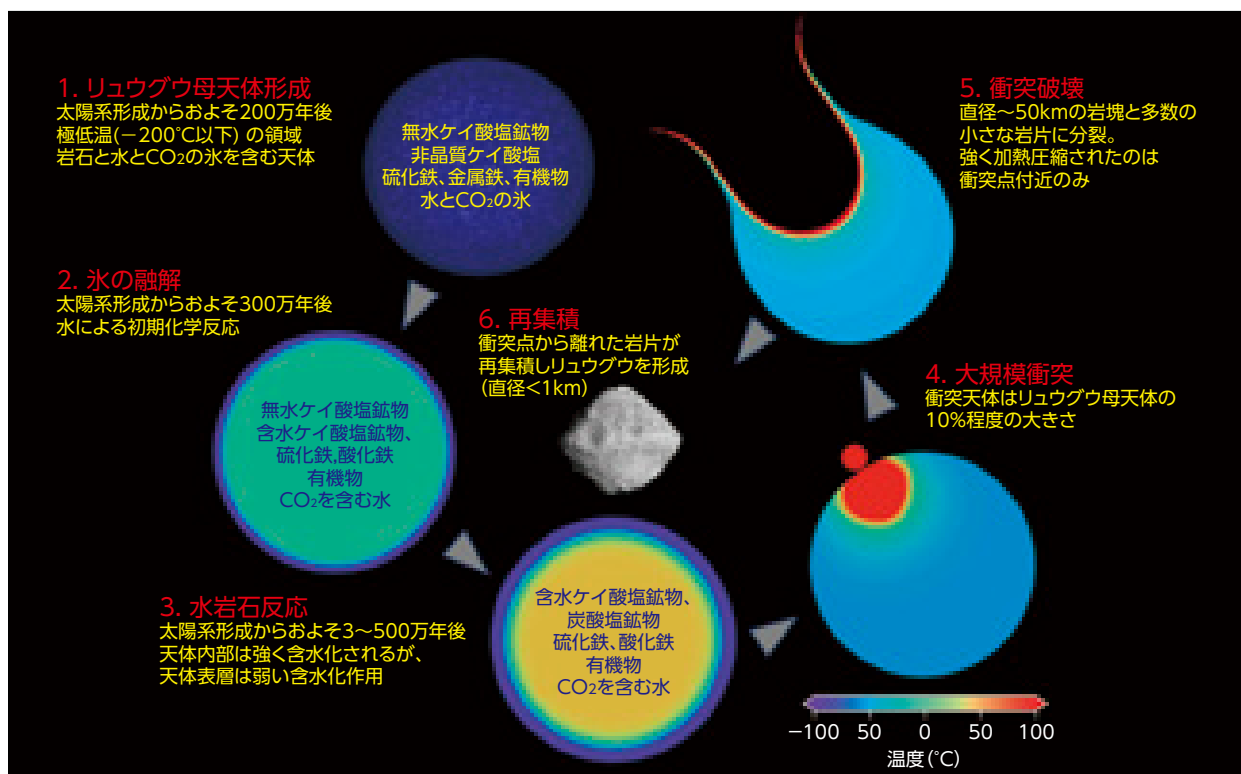


図5 リュウグウサンプルの分析結果から推定されるリュウグウの形成進化プロセス(Nakamura et al. 2023)。天体の温度分布や年代、衝突破壊のプロセスは数値シミュレーションで求めた。

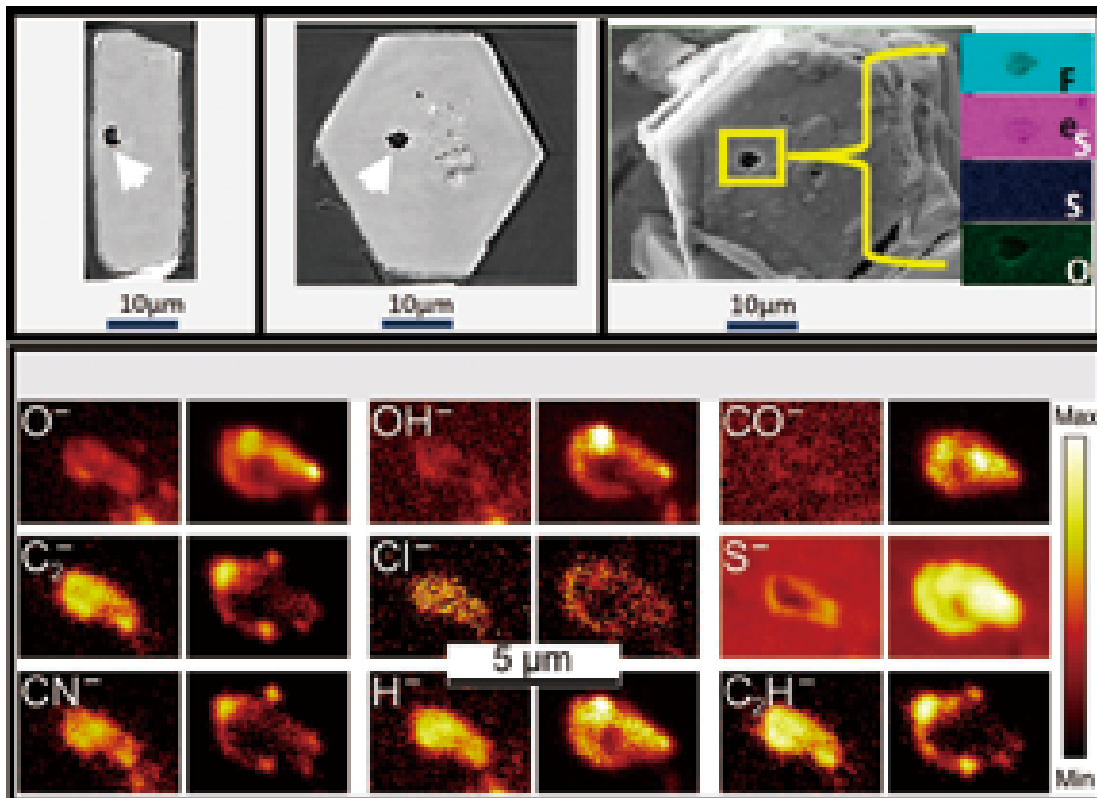


図6 リュウグウ試料に含まれる結晶(硫化鉄)の内部に発見された水とCO₂を主成分とする液体(Nakamura et al. 2023)。

リュウグウの母天体がどのように形成され、また大規模な衝突でどのように破壊されたのかを理解するために、研究者たちはシミュレーションを実施しました。その結果、リュウグウの母天体は太陽系が形成されてから約200万年後に形成され、その後水と岩石の反応が始まり、約500万年後に内部が最高温度に達したと推定されました。その後の大規模な衝突により、直径100kmほどの母天体が破壊され、その破片から最大直径50kmの天体と多数の小さな岩塊が生じました。そして、これらが再び集合し、現在のリュウグウが形成されたと考えられています。

★ リュウグウ試料に含まれる有機物

「はやぶさ2」のリュウグウ探査は、太陽系の進化と成り立ちに対する理解だけでなく、地球上の生命の起源に関する重要な情報も提供しました。リュウグウから得られた試料には、種々様々な有機分子が含まれていました。有機分子は生命の基盤となる炭素を主成分とし、水素、窒素、酸素、硫黄など他の元素と結合することで複雑性と多様性を持ちます。

初めに取り上げるのは、黒い固体として存在す

る不溶性有機物です。この有機物は、リュウグウの母天体で水および岩石と反応し、化学進化したと考えられています(図7)。試料中の有機物の組成は、原始的なコンドライト隕石と類似していますが、リュウグウの試料はより多様性を示しました。これは、水と有機物の反応がさまざまな条件下で起き、リュウグウの成形過程が複雑で多様だったことを示唆しています。

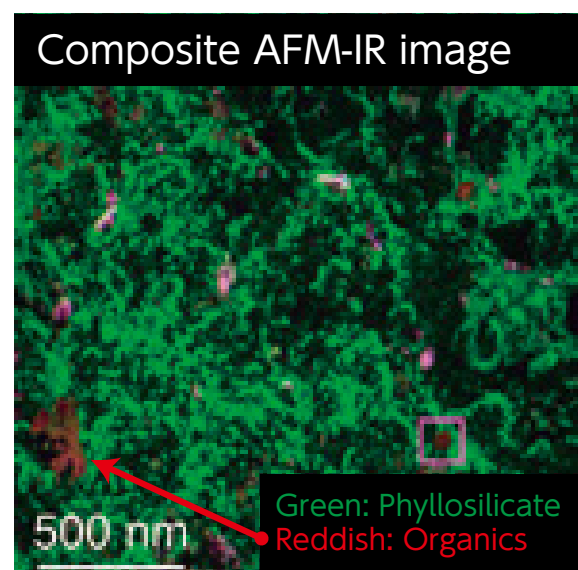


図7 リュウグウ試料の原子間力赤外顕微鏡観察で取得された、各官能基の赤外吸収に基づくマップ(Yabuta et al. 2023を一部改変)。鉱物である層状ケイ酸塩(緑色)と有機ナノ粒子(赤、紫)が共存している様子が見取れる。

★おわりに

「はやぶさ2」によるリュウグウ試料の分析結果は、小惑星の成分やその歴史に関する非常に重要な情報を提供しました。同じく今年の秋(2023年9月24日)に帰還が予定されているNASAのOSIRIS-RExミッションによるベンヌ小惑星からのサンプルリターン計画も、宇宙の歴史を解明するための重要な手がかりとなるでしょう。JAXAは、NASAからベンヌ試料の一部を受け取る予定で、リュウグウ試料に対して行ったようなキュレーションの準備が急速に進行しています。リュウグウとベンヌの試料を比較することで、これらの小惑星がどのように形成され、どのように進化してきた、現在の状態に至ったのかという、より詳細かつ具体的なプロセスを理解することが期待されます。

- 図1: ©JAXA
 図2: ©JAXA, 東京大, 高知大, 立教大, 名古屋大, 千葉工大, 明治大, 会津大, 産総研
 図3: ©JAXA
 図5: ©MIT, 千葉工業大学, 東京工業大学, 東北大学
 図6: ©東北大学, NASA/JSC, SPring-8

次に、水溶性有機物について触れます。リュウグウ試料を溶媒抽出して分析した結果、驚くべきことに約2万種類の有機分子が存在することが判明しました。これらの有機分子には、アミノ酸、カルボン酸、アミンといった化合物が含まれています。特筆すべきは、アミノ酸です。これらの化合物は生命の基礎であるタンパク質を形成する材料となります。リュウグウから得られた試料には、生物に一般的に見られるアミノ酸、例えばアラニンなどのタンパク性アミノ酸や非タンパク性アミノ酸が確認されました。しかしながら、これらのアミノ酸の構造から判断すると、それらは生物によって生成されたものではなく、生物学的プロセス以外の自然現象によって形成された可能性が高いことが示唆されました(図8)。

さらに、リュウグウ試料から見つかった芳香族炭化水素は、ナフタレン、フェナントレン、ピレン、フルオランテンなどを含んでいました。これらの化合物は地球上の原油と似た特性を持ちます。それらの分布パターンは、地球上の熱水原油のパターンと一致し、これはリュウグウが母天体上で水の存在により形成された可能性を示唆しています。これらの有機分子の存在は、リュウグウが豊富な炭素資源を持つことを示し、これ自体が宇宙資源探索の観点から重要となります。

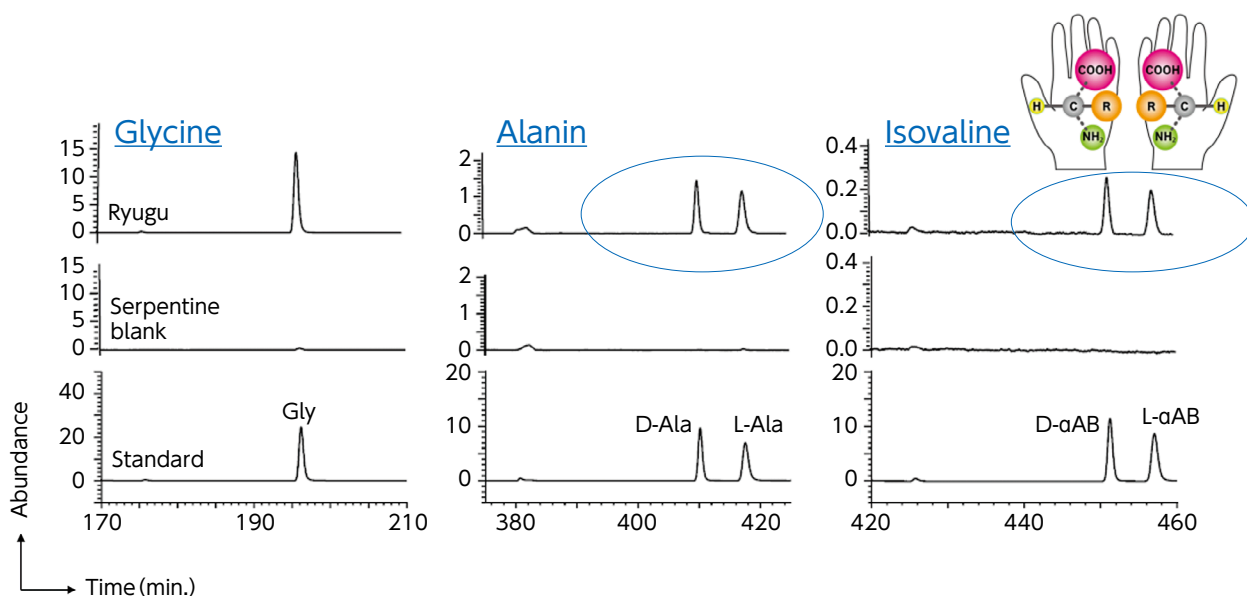


図8 リュウグウ試料の熱水抽出・加水分解物から検出されたアミノ酸の光学分離。検出された光学対掌体アミノ酸は左手構造・右手構造がほぼ1:1のラセミ体であった(Naraoka et al. 2023)。

製品技術紹介

Product Technology

P.44 新型エアジェット織機「JAT910」の開発

P.50 冷凍冷蔵仕様自動運転フォークリフト(AGF)の開発

P.54 Li-ionバッテリー搭載フォークリフトの開発

P.59 Li-ion Battery Development for Forklift Trucks in North America

P.62 電動バス向けヒートポンプ空調用電動コンプレッサ ES80の開発

新型エアジェット織機「JAT910」の開発

Development of the New Air Jet Loom JAT910

八木 大輔^{*1}

Daisuke Yagi

*1 繊維機械事業部 技術部

要旨

エアジェット織機のベストセラーとして、世界中のお客様にご愛用いただいているJATシリーズについて、JAT810型エアジェット織機のモデルチェンジを行った。新型エアジェット織機JAT910では、さらなる省エネルギー化や自動化を推進するため、エア・機台電力消費量の低減、新センサを用いた自動調整支援、工場管理システムの改良を主要な開発項目とした。これによりさらに競争力を高め、ますますお客様より信頼される織機となることを確信している。

キーワード：エアジェット織機、JAT910、省エネルギー化、自動化

Abstract

The Air Jet Loom "JAT Series" is the best-selling air jet loom and is used by customers all over the world. The new model JAT910 was mainly focused on reducing air and power consumption, automatic adjustment support using a new sensor, and improvement of the factory management system. We are convinced that JAT910 will surely prove its excellence and earn good reputation among customers worldwide.

Keywords: Air Jet Loom, JAT910, Saving Energy, Automation

1 はじめに

当社のエアジェット織機は、品質・信頼性・生産性・操作性など、多くの点においてお客様より高い評価をいただき、先々代モデルのJAT710型（2003年）発売以来、20年連続して世界シェアNo.1（当社調べ）を獲得し続けている。

また、さらなる省力・省エネルギー化を図ったJAT810型（2013年）を発売し、市場をリードしてきた。その後もお客様の多様なニーズにお応えすべく、常に新しい技術を盛り込んだ改良を継続し、競合他社に対し優位性を確保してきた。

近年の市場動向としてメイン市場である中国・インドなどの新興国において電力費・人件費が上昇傾向にあり、省エネルギー化・生産性向上がより一層求められている。

こうした背景から、「高品質な織物を低コストで生産する」というJATシリーズの開発コンセプトをベースに、省エネ性能、自動化を追求し、開発したエアジェット織機JAT910について紹介する（図1）。また、表1に本製品の主な仕様、表2にオプション・バリエーション装置を示す。

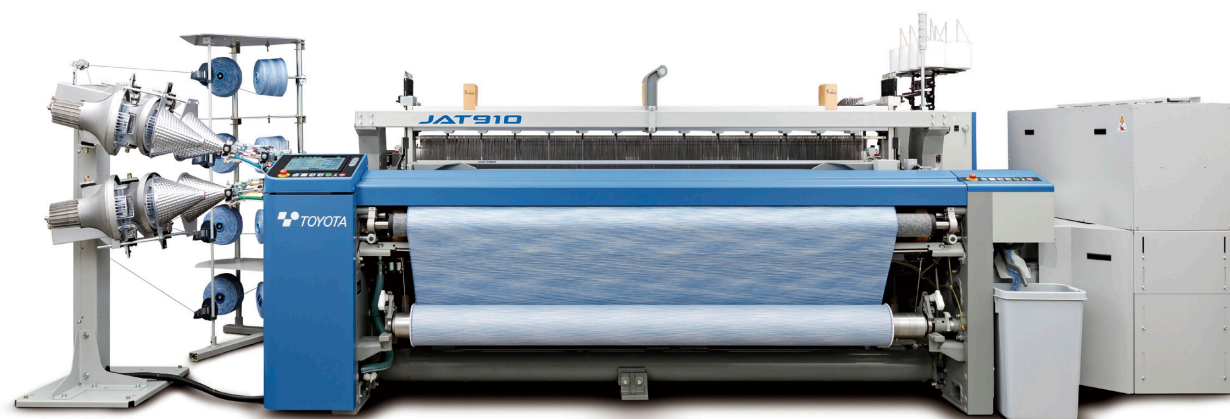


図1 JAT910エアジェット織機の外観
Fig.1 Appearance of the New Model JAT910

表1 主な仕様
Table1 Main Specifications (Standard)

項目	標準装備
駆動	●超高速起動モータ ●起動・停止・正逆転スローモーション押しボタン
箠打ち	●オイルバス式クランク両側駆動
送出し	●電子制御送出し装置 ●積極イーピング式2本バックローラ (前後位置調整可能)
巻取り	●密度可変式電子制御巻取り装置
テンブル	●上カバーテンブル
緯入れ	●測長ドラム (EDP) ●コニカルタンデムノズル ●高推進力型メインノズル ●高効率テーパ付サブノズル ●新型高応答性電磁バルブ ●バルブ直結型エアタンク ●高効率型エア配管及びレギュレータ ●メイン圧力自動制御機能 (EPCm) ●エア圧力と消費量のモニタリング機能 (Pモニター) ●インテリジェントエアセイビングシステム (IAS)
耳組	●左右非対称回転モジリ装置
捨耳	●キャッチコードによる片側糸端把持方式
糸切れ停止	●電気式終止め装置 ●耳組・捨耳切断停止装置 ●反射式緯糸フィーラ (ダブルフィーラ)
給油	●主要部オイルバス潤滑方式 ●全自動一括給油
主制御	●32bitマルチコアCPU&リアルタイムOS ●高速イーサネットによる通信ネットワーク
パネル機能	●マルチタッチ式 (対話型) 12インチ液晶 ●FACT連携による取扱説明書表示 ●トラブルシューティング表示 ●24時間&1週間効率グラフ ●ビームクロス予測 ●標準条件自動設定装置 (ICS) ●インテリジェントフィリングコントローラ (IFC) ●ウィーピングアシストシステム
その他	●4色LED表示灯 ●止め段防止及び調整支援システム ●停電停止装置

表2 主なオプション及びバリエーション装置
Table2 Option & Variation Device

主なオプション	
●個別インバータ (SCI) ●ハイブリッドブレーキシステム ●多節箠打 ●ツインビーム ●二重ビーム ●定張力巻取 (ITC) ●緯糸張力自動補正装置 (ABS) ●緯糸飛走圧力自動制御装置 (EPC) ●緯縮内緯糸検知センサ (i-SENSOR) ●エアグリッパシステム (AGS) ●ストレッチ糸用スレッドガイド ●バルーンカバー ●送り機構付き測長ドラム	●マルチタンデムノズル ●オートメティックインサージョンコマンド (AIC) ●省エアリード (JAT e-REED) ●異種異番手緯入れ装置 ●緯糸自動処理装置 (TAPO) ●左右独立電子レノ装置 ●2本からみ耳装置 ●タックイン耳装置 (左右及びセンター) ●中耳装置 ●電動別耳装置 ●終糸切れ位置表示装置 (6または12分割) ●豊田トータルコンピュータシステム (TICS) ●豊田工場管理システム (FACT-plus)
項目	バリエーション
呼称箠幅 (R/S)	140cm, 150cm, 170cm, 190cm, 210cm 230cm, 250cm, 260cm, 280cm, 300cm 340cm, 360cm, 390cm
送出し	●消極イーピング式2本バックローラ (上下位置調整可能型)
ヤーンビーム フランジ径	φ800, φ930, φ1000 φ1100, φ1250 (タオル織機のパイルビーム)
テンブル	●下カバーテンブル ●全面テンブル
開口	●消極カム (最大8枠収容可能) ●積極カム (最大10枠収容可能) ●クランク (最大6枠収容可能) ●C-shed (最大6枠収容可能) ●E-shed (最大16枠収容可能) ●ドビー (最大16枠収容可能) *タオル織機は20枠収容可能 ●ジャカード
緯入れ	●最大8色まで対応 (2・4・6・8色自由交換電気ドラム)
糸切れ停止	●透過式緯糸フィーラ

製品技術紹介

2 開発のねらい

今回のモデルチェンジでは、前述の市場動向・要求に基づき以下の項目に重点を置き、開発を行った。

- (1) 環境性能の進化:さらなる省エネ性能向上
[エア圧力・エア消費量・電力消費量の低減]
- (2) 自動化技術の提案:「i-SENSOR」による緯入れ設定最適化支援
- (3) 工場全体の効率化:IoT技術を活用した
[FACT plus]
- (4) 当社オリジナル開口技術の進化:「電子開口第4世代」、「新型多節クランク開口」

3 環境性能の進化

近年の電力費の上昇により省エネルギー化が求められる一方で生産性についてもさらに向上させることが求められている。即ち、効率的に機台を稼働させる必要がある。エアジェット織機において使用する電力の内訳としては、機台電力と圧縮空気の電力の2つに分類することができる。機台電力では、機台のメインモータが織機電力の約8割を消費する(一部仕様を除く)。また圧縮空気では、生産性を向上させようとする、緯入れを高速化する必要がある。即ち、緯入れノズルを高圧化する必要があり、それによってエア消費量が増加する。

これらの2つに対してそれぞれ省エネルギー化を図った。

3.1 機台電力低減方策

機台のメインモータにおいて高効率モータを採用、またモータ制御方式を一新することで電力消費量従来機種比10%低減を達成した(図2)。



図2 JAT910メインモータ
Fig.2 Main Motor of JAT910

3.2 エア圧力・エア消費量低減方策

エア圧力・エア消費量を低減させるために、以下の項目において開発を進め、新型緯入れシステムの搭載及び緯入れ可能時間をより伸ばす箆打ちを改良したことにより、従来機種比エア圧力10%低減、エア消費量20%低減を達成した(図3)。それぞれの詳細について説明する。

(1) メインタンク

バルブ・レギュレータとメインタンクとを直結することでエア応答性が向上し、より効率的な緯糸搬送を実現させた。

従来はレギュレータからメインタンク、バルブまでのエア流路をそれぞれ配管で接続していた。この配管をなくすために、JAT910ではタンクの最適容量・配置について検討を実施、タンクにレギュレータ、バルブを直結することで応答時間が短縮化され、効率的な緯入れを実現させた。

(2) タンデム・アシストバルブ直結

(1)同様、従来はバルブとノズルはエア配管で接続していた。そのため配管内の残圧により、噴射時間に制約があった。ノズルをバルブに直結することで残圧を解消し、タンデム・アシストノズルの噴射時間の拡大が可能となった。これにより噴射特性がより安定し、緯糸搬送力の向上を実現させた。

(3) 新型サブバルブシステム

バルブとサブノズルの配管流路容積削減と制御を見直したサブバルブシステムを開発した。流路

容積削減により圧損低減させることで、サブノズルによる糸搬送の効率を高めた。また制御方法を併せて見直すことで、より安定した緯入れを実現させた。

(4) 新型多節箆打ち

より長い緯入れ時間を確保することでさらなるエア圧力・エア消費量低減を実現させた。

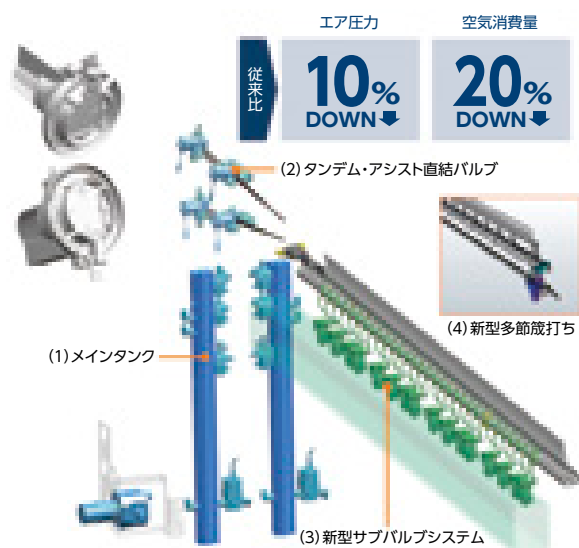


図3 JAT910緯入れシステム
Fig.3 Insertion System of JAT910

4 自動化技術の提案

省人化が求められていることに対するアプローチとして従来ノウハウが必要だった緯入れ調整について製織支援という形で自動調整を組み入れることにした。

4.1 i-SENSOR

エアジェット織機緯入れでは世界初(当社調べ)となる織幅内に設置可能な織幅内緯糸検知センサ「i-SENSOR」を開発した。これにより今まで見ることができなかった織幅内での糸到達タイミングを検知することが可能となった(図4)。

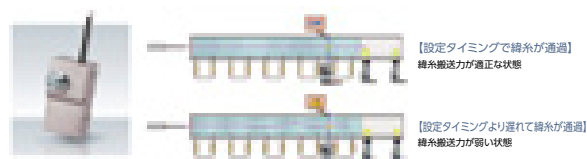


図4 i-SENSOR設置イメージ
Fig.4 i-SENSOR installation image

このセンサを活用した製織支援機能も並行して開発を進めた。主な機能としては以下に示す3つである。最適なサブエア圧力(図5)とサブバルブ噴射タイミング(図6)をi-SENSORによりマイピック得られるデータに基づき解析・自動調整することで調整支援を行う。解析には、当社の緯入れノウハウをアルゴリズム化したソフトを実装している(図7)。

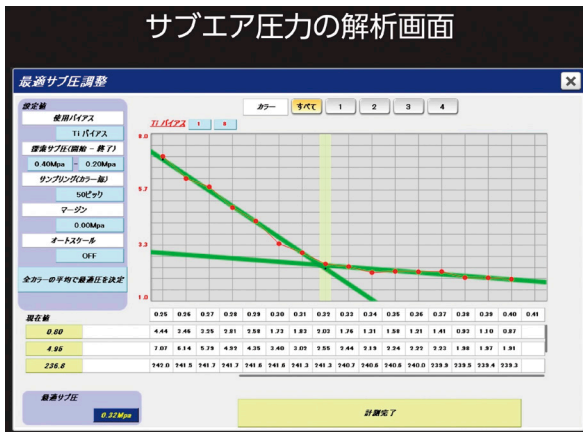


図5 サブエア圧力の解析画面
Fig.5 Sub Air Pressure Analysis Screen

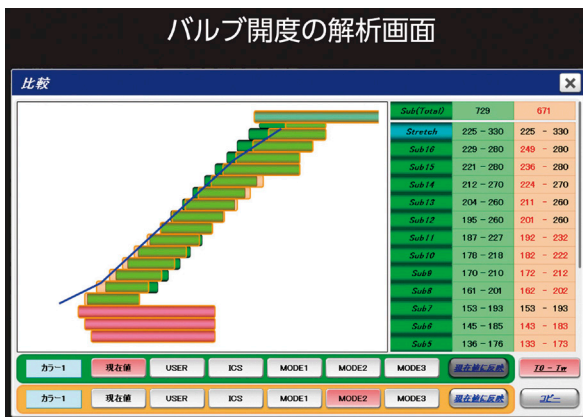


図6 バルブ開度の解析画面
Fig.6 Valve Open/Close Analysis Screen

また緯入れを制御する既存のセンサにi-SENSORが加わることで緯入れミスを自動分類し、要因分析を行うことが可能となった。さらに停止時の糸状態を入力することで今まで稼働効率向上に向けて当社がノウハウとして蓄積した調整・確認ポイントをガイダンスする。



図7 緯ミス分類・調整支援画面
Fig.7 Weft Mispick Stratification & Adjustment Support Screen

5 工場全体の効率化

布工程の効率最大化を目指し、JAT810から導入された工場管理支援システム「FACT (Toyota FACTory Management System)」においてファクトリーオートメーション機能の拡充を図った。これにより、「機械」と「人」への最適な提案と、既存の工場管理システムの連携が容易となり、お客様の円滑な工場運営をサポートするシステムを実現させた。

5.1 新工場管理支援システム「FACT plus」

新工場管理支援システム「FACT plus」では、主な項目として、以下に説明する機械の管理〔(1)、(2)〕(図8)と人の管理〔(3)、(4)〕(図9)を支援するシステムの開発を行った。

(1) 計画保全(機台センシング)

機台の各種センサデータをリアルタイムに収集、機台状態を可視化することで、計画保全を支援する。

(2) 圧力管理(コンプレッサ最適制御)

機台に必要なエア圧力をリアルタイムに監視し、コンプレッサの設定圧力を自動最適化することで消費電力低減を図る。

(3) 次機台作業指示

工場稼働状況をリアルタイムに監視し、当社独自のアルゴリズムにて次の作業機台を自動指示することで、さらなる工場全体の効率化を支援する。

(4) 停台分析

機台停止時間の「待ち時間」と「修復時間」をさらに分析・可視化することで習熟度向上、工場人員最適配置を支援する。

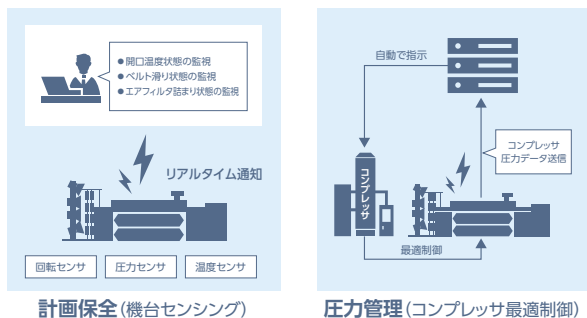


図8 FACT plusにおける機械の管理
Fig.8 "Machine" Management

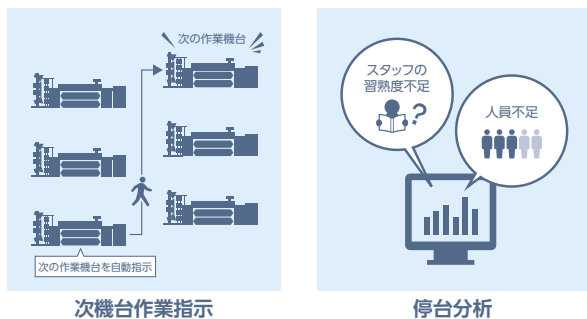


図9 FACT plusにおける人の管理
Fig.9 "Operator" Management

6 当社オリジナル開口技術の進化

当社オリジナルの開口装置として電子制御により枠を開口させる電子開口装置がある。電子開口装置は、複雑な織物の製織に必要な多数枠仕様において、枠ごとに自由に調整できる項目が多いことから多くのお客様に好評いただいている。この電子開口装置において、さらなる改良を加えた電子開口第4世代を開発した。またこれまでの電子開口装置の開発を通じて培った技術を活かし、新型多節クランク開口装置を開発した。

6.1 電子開口装置(第4世代)

構成部品の軽量化、冷却装置の見直しによる冷却効率UP、サーボモータの制御最適化の追求により消費電力の従来比10%低減を達成した(図10)。

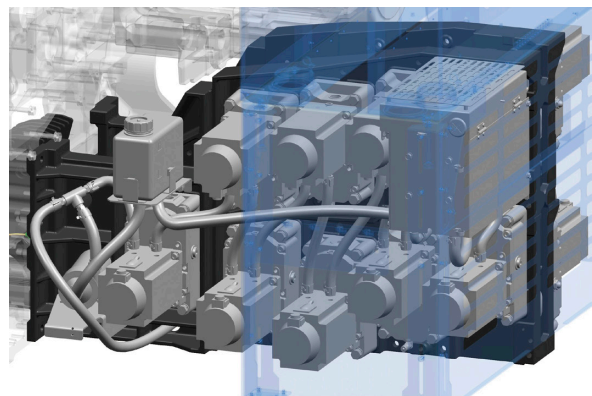


図10 電子開口装置(第4世代)
Fig.10 Electronic Shedding (4th Generation)

6.2 新型多節クランク開口

既に号口化している静止角付きクランク(多節クランク)開口において、前述の電子開口装置で培った高速化技術・良好な操作性を横展開した新しい多節クランク開口装置(図11)を開発した。

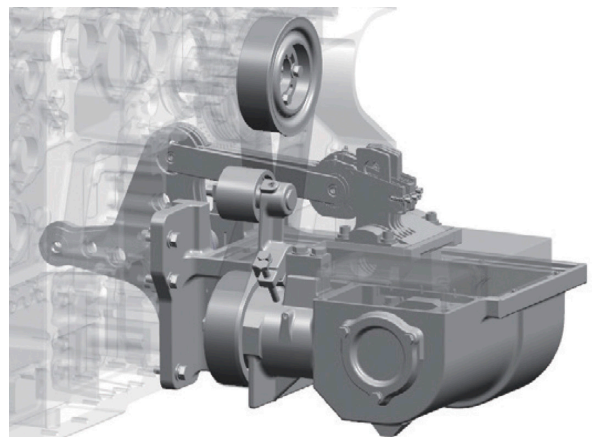


図11 新型多節クランク開口
Fig.11 New Multi-link Crank Shedding

7 まとめ

新型エアジェット織機JAT910の開発のねらい、及び主要開発項目について説明した。

当社織機の原点となるG型自動織機より「自動化」の思想をベースに、「高品質な織物を低コストで生産する織機」の開発に取り組み続けてきた。今後とも、多様化する織布業界のニーズに応えるべく、常にお客様の声に耳を傾け、さらなる性能向上を目指し、世界の繊維産業の発展に貢献していきたい。

最後に本開発にあたり、ご協力をいただいた社内外の関係者の皆様にこの場を借りて、心よりお礼申し上げます。

■ 著者紹介 ■



八木 大輔

開発の経緯と開発者の思い

織機の市場環境は24時間365日フルに稼働する厳しい条件のもと、高品質な布を常に製織しつづけることが求められます。このような条件は、実験室での評価のみでは完結させることは困難のため、最終的な確認はお客様工場で行います。そのため開発推進にはお客様、営業部、サービス部の方々にご協力いただきました。また、設計開発において生産技術部・製造部とともに試作機を実際のラインに流し、事前に課題を洗い出すSE (Simultaneous Engineering) 活動を通じて、設計品質と製造品質を両立させる活動を行いました。さらにJAT910で新たに開発した新規部品については協力メーカー・調達部・品質保証部とともに品質確保できる号口化製造方法の確立について取り組んできました。

このように事業部一丸となって取り組んだ結果、いいモデルチェンジができたと確信しています。

冷凍冷蔵仕様自動運転フォークリフト(AGF)の開発 Development of Automated Guided Forklift with Cold Storage & Refrigeration Specifications

小川透^{*1} 早川誠^{*1} 栗山泰^{*1} 青山茂樹^{*1}
Toru Ogawa Makoto Hayakawa Yasushi Kuriyama Shigeki Aoyama

*1 トヨタL&Fカンパニー AR開発部

要旨

従来の「Rinova AGF」に対し、自動運転時の安全性・使いやすさ・有人/無人切替運用を踏襲しつつ、結露、もや、低温に対応する技術を開発することで、冷凍庫 -25°C ～冷蔵庫 $+10^{\circ}\text{C}$ 間の移動を可能にし、かつ -25°C 冷凍庫内にて60分稼働可能な特定顧客向け冷凍冷蔵仕様自動運転フォークリフトを実現した。これにより、低温環境下で長時間労働することによる作業負担軽減が可能となった。

キーワード：冷凍、自動運転フォークリフト、結露、もや、低温

Abstract

In comparison with the conventional "Rinova AGF", we have newly developed technology to solve problem of condensation, mist and low-temperature while following safety during automated control, ease of use as well as switching operation between Ride-on / Automated control. We have developed Automated Guided Forklift with cold storage & refrigeration specifications for specific customer that can travel between -25°C freezer and $+10^{\circ}\text{C}$ refrigerator, and operating for 60 minutes in -25°C freezer. This has made it possible to reduce the physical strain of the operators due to long working hours in low-temperature environment.

Keywords: Freezer, Automated Guided Forklift, condensation, mist, low-temperature

1 はじめに

近年、少子高齢化社会がもたらす労働人口の減少にともない物流現場においても人材確保が困難となってきている。それにより自動機器への需要が増加し急速に自動化市場が拡大しつつある。

これらの要望に応えるため2018年安全性・使いやすさを向上させた自動運転フォークリフト「Rinova AGF」(以下、AGF)を市場投入し、販売台数の増加に結び付けている。

一方、低温物流業界では低温環境下での長時間労働による作業負担への軽減ニーズが高まっている。

従来AGFは冷蔵庫内移動のみを行い、冷蔵庫から冷凍庫への移動、冷凍庫内移動は有人フォークリフトが行っていた(図1)。

今回、従来AGFに対し自動運転時の安全性・使いやすさ・有人/無人切替運用を踏襲しつつ、冷凍庫 (-25°C) と冷蔵庫 $(+10^{\circ}\text{C})$ 間を移動可能かつ低温環境下 (-25°C) にて60分稼働可能な冷凍冷蔵仕様AGFを新規開発した(写真1)。

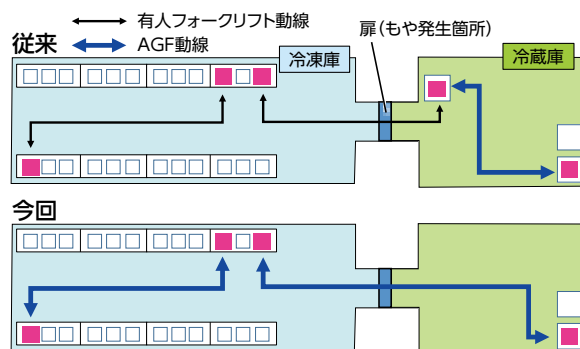


図1 有人フォークリフトとAGFの作業範囲
Fig.1 Workspace of forklift and AGF



リーチ式



ラックストック式

写真1 冷凍冷蔵仕様AGF
Photo1 AGF with cold storage & refrigeration specifications

2 製品の特長

2.1 冷凍庫と冷蔵庫間移動の実現

AGFが冷凍庫と冷蔵庫間を移動すると、冷凍庫で冷やされた電子機器が冷蔵庫の温かい空気に触れることにより機器結露が発生し、車両の誤動作につながる。また、冷凍庫と冷蔵庫間の扉が開くと、冷蔵庫の空気中水分が冷凍庫の冷たい空気に急冷され、もやが発生する(写真2)。従来AGFに安全装置として搭載しているセンサはもやを誤検知し、AGFは動作を停止してしまう。

今回は従来AGFをベースに、有人フォークリフト(冷凍冷蔵庫仕様オプション)の機能モジュールを流用しつつ、AGF搭載のコントローラやセンサに対し結露防止機構、もや誤検知防止機能を採用し、冷凍庫と冷蔵庫間の移動を可能とした。



写真2 もやの発生状況
Photo2 Occurrence of Mist

2.2 低温環境下(-25℃)での60分稼働の実現

冷凍庫内で長時間稼働を続けると、機器が温度低下し稼働継続が困難になる。

例えば、ラックストック式では荷役停止用センサが温度低下すると、自動運転に必要な停止精度が確保できない。今回は機器・センサへ温度低下防止措置を行い低温環境下(-25℃)での長時間稼働(60分)を可能とした。

これらの実現により、過酷な環境下における自動化領域が拡大し、作業負担軽減・高付加価値業務への人員投入を可能とした。

3 開発内容

3.1 構造概要

車両各部に結露、もや、低温への対応を行った(図2)。

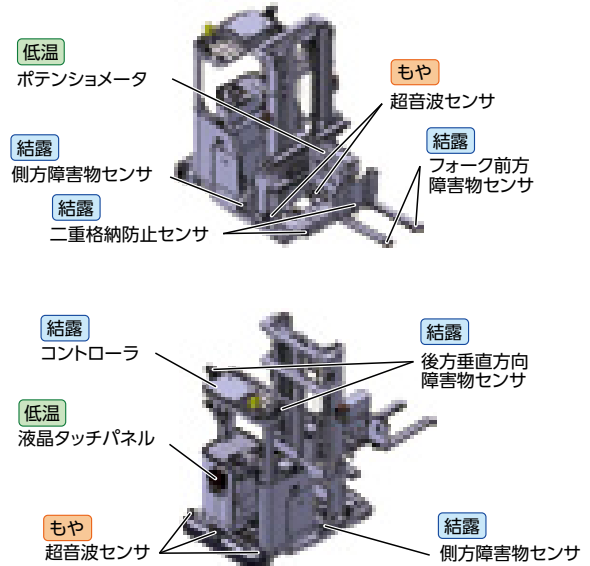


図2 構造概要(ラックストック式)
Fig.2 Structural outline (Rack stocker type)

3.2 結露防止機構

1) コントローラへの対応

従来AGFのヘッドガードに搭載しているコントローラは密閉構造ではないため冷凍庫と冷蔵庫間の移動に伴い、内部電子機器に結露が発生する。そこで、電子機器を樹脂製ボックスに収納し空気の出入りを遮断することにより、結露防止を図った(図3)。

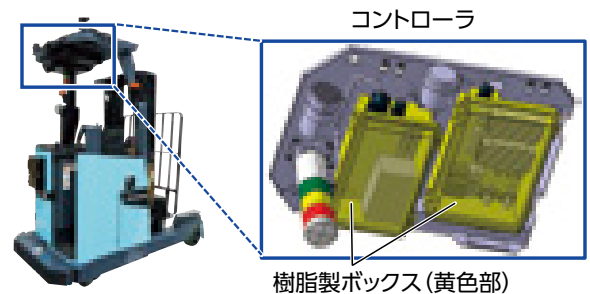


図3 コントローラの結露防止構造
Fig.3 Condensation prevention structure of the controller

2) 障害物センサへの対応

AGFは安全装置として走行経路上で人や物を検知した際、減速・停止する障害物センサ(光学式)を搭載している。このセンサ本体が、冷凍庫内で冷

却された状態で冷蔵庫に移動した場合、レーザ走査面が結露により曇ることで、誤検知が発生し、減速・停止を繰り返すことで、作業遅れが発生、もしくは自動運転継続が困難となるおそれがある。

この課題解決のため、メーカーと協業し、透明シートヒータ（以下、シートヒータ）をレーザ走査面に貼付け、表面温度制御により結露防止可能なセンサユニットを開発した（図4）。

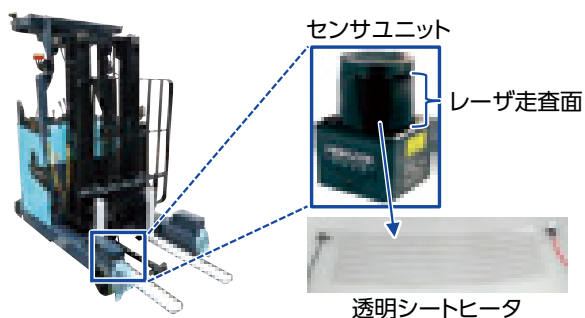


図4 結露防止のためのセンサユニット
Fig.4 Sensor unit for condensation prevention

試作品評価の過程で、シートヒータ貼付け面に気泡が発生し、その気泡を人や物として誤検知する課題があることが判った（図5）。

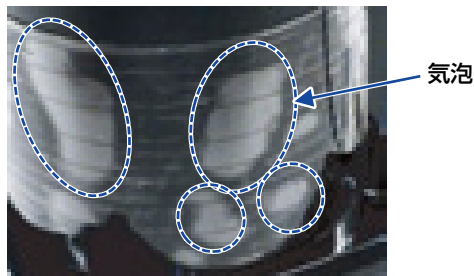


図5 気泡発生状況
Fig.5 Bubble generation

調査した結果、レーザ走査面に含まれる水分がシートヒータで温められ気泡に成長したことが原因と判明した（図6）。

そのため、レーザ走査面を加温、水分除去後にシートヒータを貼付けることで、気泡発生を防止する対策とした^[1]。

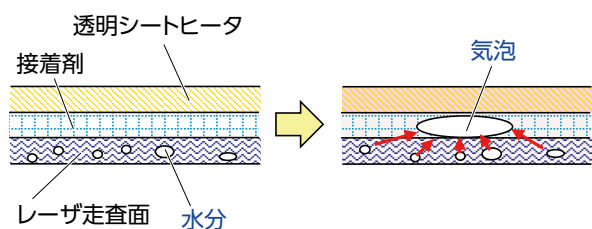


図6 気泡発生メカニズム
Fig.6 Bubble generation mechanism

3.3 もや誤検知防止機能

前述の障害物センサ（光学式）はレーザ走査面からレーザ光を照射し障害物に反射し戻ってくる時間から障害物の有無・距離を判断する。レーザ光はもやを透過できないため、障害物として誤検知する（図7 a）。

そこで、もやを検知しない手段として、超音波センサを採用した（図8）。このセンサは超音波で障害物の有無を検知するため、もやを透過し、人や物を検知可能である（図7 b）。ただし、超音波センサは周囲環境ノイズの影響を受けやすい。そのため、障害物センサと切替運用することで、実用性と安全性の両立を実現した。（特許出願中）

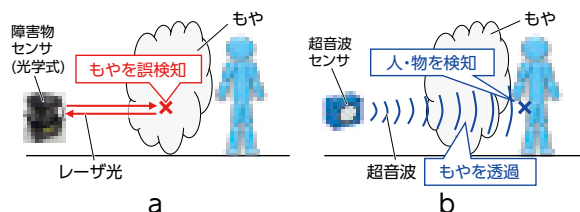


図7 もや検知状況
Fig.7 Mist detection status

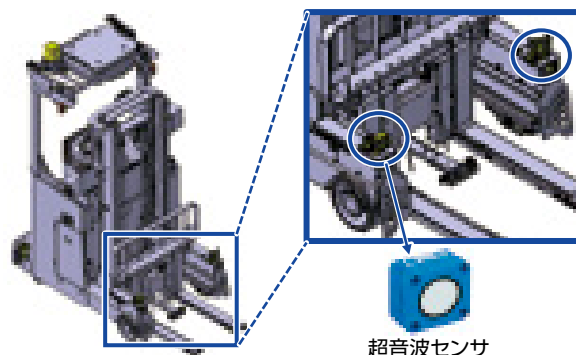


図8 超音波センサの配置
Fig.8 Placement of the ultrasonic sensor

3.4 低温環境への対応

1) 機器の温度低下への対応

AGFは自動運転異常発生時の復旧操作に必要な液晶タッチパネルを搭載している。低温環境下で使用すると液晶画面切替わりに時間がかかり、復旧作業に支障が出る。これに対し温度低下を防ぐため、ヒータを液晶タッチパネルの前後に配置し挟み込んで温める構造を採用した（図9）。

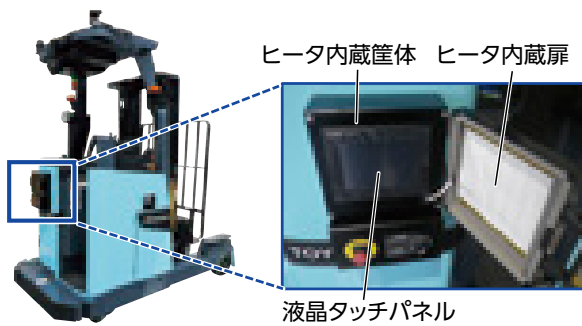


図9 液晶タッチパネルの低温対応
Fig.9 Low temperature support for liquid crystal touch panels

2) 荷役精度の確保(ラックストック式のみ)

ラックストック式(車両方向を変えず左右の棚へ荷役可能)は荷役装置の停止位置制御のためポテンシオメータを使用している(図10)。

低温環境下では、ポテンシオメータ検出値の直線性誤差が増大するため、荷役装置の停止位置がばらつき、自動運転に必要な停止精度が確保できない。

この課題に対し、ポテンシオメータをヒータで温める方策を採用した。ポテンシオメータ表面温度を一定に保持可能なptcヒータ*を選定し、ヒータを弾性のある断熱材とポテンシオメータの間に配置し、ボルト締付けによりヒータを密着させる構造とした(図11)。(特許出願中)

*ptcヒータ:半導体セラミックの特性を利用した自己制御機能を持つヒータ

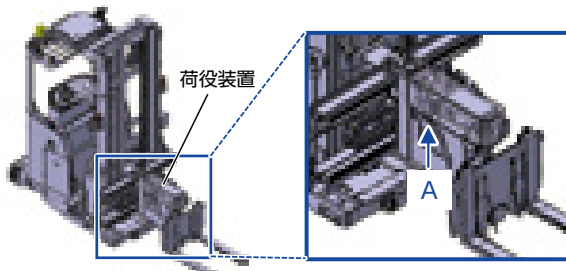


図10 ヒータユニットの配置
Fig.10 Placement of heater unit

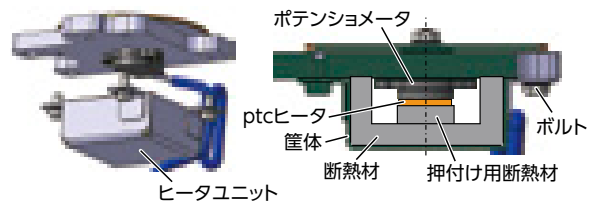


図10矢視A 構成部品断面図

図11 ヒータユニットの構造
Fig.11 Structure of heater unit

4 まとめ

今回開発した冷凍冷蔵仕様AGFは従来AGFで得た知見・技術を活かしつつ、冷凍環境下の課題である結露、もや、低温に対応することで、お客様の負担軽減に貢献できる製品に仕上げることができた。

一方、冷凍庫内作業時間の更なる延長ニーズもあるため、今後も改良を重ね、物流業界をリードする製品開発につなげていきたい。

最後に今回の開発にあたり、多大な協力・サポートをいただきました社内外の関係者各位に深く感謝いたします。

■参考文献

[1]東亜合成グループ研究年報(2014)

プラスチック板から発生するガスと粘着剤の発泡の関係
森穂高 白崎雅彦

■著者紹介



小川 透 早川 誠 栗山 泰 青山 茂樹

開発の経緯と開発者の思い

本開発では低温物流業界最大手の株式会社ニチレイロジグループ本社様と冷凍庫冷蔵庫における実証実験を約1年間実施しました。お客様使用環境でのもや発生については事前想定していましたが、実現場における梅雨から夏にかけての空気中水分量が多い日は、視界不良に至るほどのもやが発生。このような想定外の外乱環境課題等多くの知見を得ることができました。また、立っただけでも大変な環境を体感し、お客様のニーズである作業改善に対応できたことを大変うれしく思います。

実証実験で多大なご協力を賜りました株式会社ニチレイロジグループ本社様に深く感謝いたします。

今後はさらに過酷な環境下での自動運転を実現することにより社会課題である労働力不足・労働環境改善に貢献していきたいと考えています。

Li-ionバッテリー搭載フォークリフトの開発 Development of Fully Integrated Li-ion Battery Forklift Trucks

梶山 英訓^{*1} 丸山 均^{*1} 吉田 真継^{*1} 三竿 洋一^{*1} 藤原 英晃^{*1}
 Hidenori Kajiyama Hitoshi Maruyama Masatsugu Yoshida Yoichi Misao Hideaki Fujiwara

*1 トヨタL&Fカンパニー 製品開発部

要旨

脱炭素社会の実現を目指して、従来の鉛バッテリー同様の使い勝手を確保しつつ、これまでの電動車に対するお客様の困りごとや課題を解決できる新たなソリューションを提案するために、フォークリフト専用のLi-ionバッテリーを新規開発した。また、主要4機種^(図2)のフォークリフトに対して、本Li-ionバッテリーの搭載開発を行ったので紹介する。

キーワード: フォークリフト、Li-ionバッテリー、電動車、脱炭素

Abstract

Aiming to achieve carbon neutrality, we have developed forklifts equipped with Li-ion batteries (4 major models) so that we can propose new solutions that can solve customers' problems and issues related to forklift trucks. This article introduces a large-capacity Li-ion battery exclusively for forklift trucks, which is installed in the truck under development and is linked with vehicle communication to ensure usability similar to that of the lead battery.

Keywords: Forklift, Li-ion Battery, Electric Forklift, Decarbonation

1 はじめに

当社では、2011年2月に環境面での具体的な行動指針を示した、「グローバル環境宣言」のもと、第七次環境取組みプラン(2021~2025年度)の方針、「製品技術開発によるCO₂排出量の削減」に対して、電動化を重視した製品技術開発を推進している^[1]。

フォークリフトはエンジン式と電動式があるが、近年、日本国内におけるフォークリフトの電動車比率は60%を超え、拡大傾向が続いている(図1)。

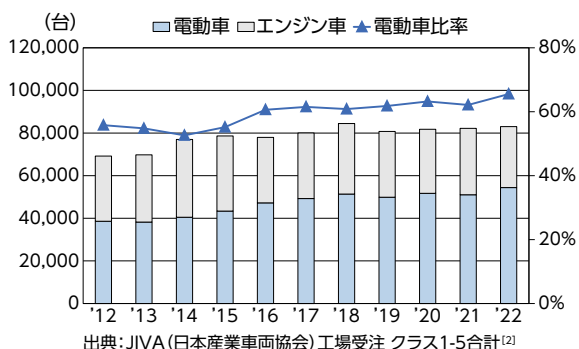


図1 日本国内のフォークリフト工場受注推移
Fig.1 Forklift Truck Plant Orders in Japan

その中で、さらに電動車比率を高めるため以前より電動フォークリフトに搭載されている鉛バッテリーの課題であるバッテリーの長寿命化、充電時間の短縮、バッテリー液の補水作業不要などが実現でき、省エネルギー性能を追求したLi-ionバッテリー

を新規開発し、主要4機種^(図2)に搭載した。本稿では、新規開発したLi-ionバッテリーの概要を紹介する。



図2 Li-ionバッテリー搭載フォークリフト^[3]
Fig.2 Forklift Truck with Li-ion Battery

表1 ラインアップ
Table1 Lineup

機種	バッテリー電圧(V)	バッテリー容量(Ah)		
		228	456	604
gene B	51.52	○	○	○
Ecore		—	○	○
8FBN		—	○	○
Rinova		○	○	—

○:設定あり、—:設定なし

2 開発のねらい

これまでの電動フォークリフトに搭載されている鉛バッテリーと同じコンパートメントに搭載(図3)することで、Li-ionバッテリーの特徴を活用

しつつ、鉛バッテリー搭載車同様の低重心による安定感、足元スペースの広さを確保できることを目標に開発に取り組んだ。

Li-ionバッテリー開発の主なねらいは下記5項目となる。



図3 Li-ionバッテリー搭載フォークリフト (gene B)
Fig.3 Forklift Truck with Li-ion Battery (gene B)

1) バッテリー長寿命化

汎用Li-ionバッテリーの中で、長いサイクル寿命を有するリン酸鉄Li-ionバッテリーを採用した。また、鉛バッテリーに対して最大で約3倍の寿命(図4)を目指し、充放電電気を無駄なく使用できる最適な充放電制御システムを採用して、バッテリーの寿命を延長させた。

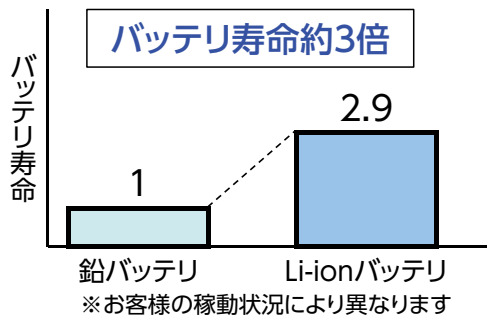


図4 バッテリーのサイクル寿命比較
Fig.4 Comparison of Battery Cycle Life

2) バッテリーのメンテナンス時間低減

バッテリー液の補水作業やバッテリーのメンテナンス時間低減と費用削減に貢献するため、長寿命、高効率なLi-ionバッテリーを採用した。また、バッテリー構造も防水/防塵性を高めてIP65^[4]の防水/防塵構造にした。

3) 充電時間の短縮

Li-ionバッテリーは鉛バッテリーと比較して充電効率が良く、充電時間の短縮(図5)が可能である。この特性を活用し、充電器を高出力化することで休憩時間等での充電量を増加させ、バッテリー交換なしの連続稼働を可能にした。また、予備バッテリーも不要になるので、バッテリーの保管スペース削減にも貢献した。

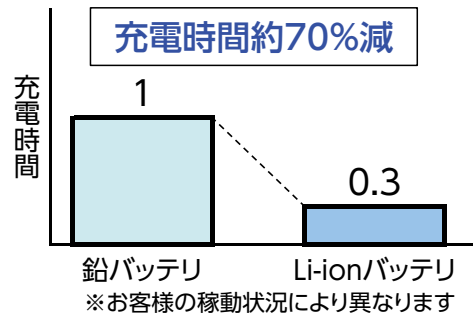


図5 充電時間比較
Fig.5 Comparison of Charging Time

4) 省エネルギー化

Li-ionバッテリーにバッテリーマネジメントユニットを搭載して、Li-ionバッテリーの特性に適した充電制御を行い、鉛バッテリーと比較して、電気代を約20%低減(図6)した。

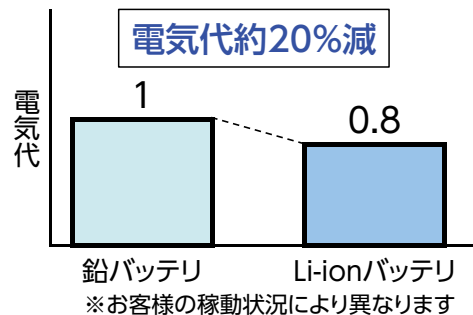


図6 電気代比較
Fig.6 Comparison of Electricity Bills

5) Li-ionバッテリーと車両の協調制御

Li-ionバッテリーの内部にバッテリーの状態を常に監視するバッテリーマネジメントユニットを搭載し、車両のコントロールユニットと通信して情報交換することにより、車両をバッテリーの状態に即した最適な性能で稼働させることができる。また、鉛バッテリー搭載車と同様にバッテリーの状態を車両ディスプレイに表示(図7)することで、お客様にバッテリーの状態をお知らせして車両を長期間にわたってご使用いただけるようにした。



図7 車両ディスプレイ表示
Fig.7 Vehicle Display

3 主な開発内容

1) 鉛バッテリーとの互換性

これまでの鉛バッテリーと同じコンパートメントに搭載するためには、Li-ionバッテリーの体格、重心を鉛バッテリーと同等にする必要があるが、Li-ionバッテリーは質量エネルギー密度が高いため、新たに重量調整用ウエイトが必要となり追加した。そのため、重量調整用ウエイトの配置を工夫し、低重心化とバッテリー容量の最大化の両立を行った。また、バッテリーケース内の構造はモジュールと電装部品が、走行や荷役時の振動衝撃に耐えられるように、強度解析と試験による検証を繰り返して、取付形状を作りこんだ。放熱設計と組付性、および、機種間の部品共通化も横にらみしながら、搭載レイアウト設計の最適化を行うことで、車両搭載の主要コンポーネント部品は鉛バッテリーと共通の部品を使用でき、車両開発の期間短縮にも貢献できた。

2) 充電の作業性向上

休憩時間等の充電頻度が増加することが予想され、充電の煩わしさを低減する必要があった。鉛バッテリーと異なり、Li-ionバッテリーの充電中に水素が発生しない特徴を活かし、充電専用インレットをバッテリー上部に配置することで、車両右側の専用扉より充電できる構造(図8)にした。これにより、充電時にバッテリーフードの開放を不要とした。併せて、充電プラグを差し込むと自動で最適な充電が開始できる充電制御を開発した。また、充電専用インレットの横に充電表示LEDを設けることで、充電中であることを確認できるようにした(図8)。

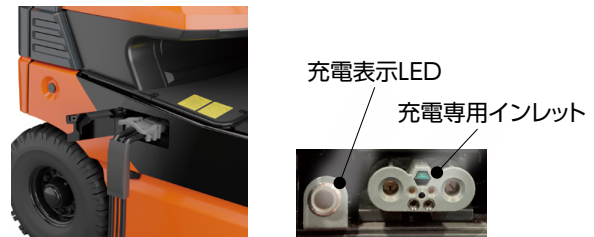


図8 Li-ionバッテリー充電と充電表示LED
Fig.8 Li-ion Battery Charging and Charge LED

3) Li-ionバッテリーの防水/防塵構造

鉛バッテリーと違い、Li-ionバッテリーは状態を制御するバッテリーマネジメントユニットを備えている。これらの構成部品をモジュールと同じバッテリーケース内に収納することでシール部の共通化を図り、部品数削減に寄与するとともに、余分なシール部の設計が必要なくなったことで、密閉性を高めた1BOXのケース構造にすることができた。これによりIP65^[4]の防水/防塵構造を実現した(図9)。



図9 Li-ionバッテリー耐塵密閉試験
Fig.9 Li-ion Battery Dust-Tight Test

4) Li-ionバッテリーと車両の協調制御

Li-ionバッテリーは鉛バッテリーと比較して電圧が高くエネルギー密度も高い。そのため、お客様にバッテリーを安全に使用していただくために、バッテリーマネジメントユニットによりバッテリーの電圧、電流、温度などの状態を監視し、異常時にはバッテリーからの電源供給を停止するのが一般的である。Li-ionバッテリー搭載車を鉛バッテリー搭載車と同様の使い勝手でおお客様にご使用いただけるよう、Li-ionバッテリーと車両間で通信してバッテリーの状態に応じて車両制限をかけることで、お客様に段階的に異常をお知らせし、急な稼働の停止を回避する(1)から(3)の制御を開発した。

- (1) フォークリフトが走行・荷役中にバッテリーが過放電状態になり、急に動かなくなる前に、ディスプレイのバッテリーの残量警告、過放電警告、容量低下時の車両性能制限などでお客様にバッテリーの状態をお知らせして充電を促す制御を開発した(図10)。

バッテリー残量低下時には、鉛バッテリーと同様に車両の性能を制御。使用を継続した際は、車両の走行・荷役動作を停止



図10 容量低下時の車両制御イメージ^[3]
Fig.10 Image of Vehicle When Capacity is Low

- (2) バッテリーの温度が高温、または低温の状態でも車両を使い続けた場合、バッテリーが劣化して長期間使用できなくなる恐れがある。その状態を回避するため、車両ディスプレイのインジケータランプを点灯することでバッテリーの状態をお客様にお知らせして車両の性能を段階的に制限する。最終的に車両の走行・荷役動作を停止することでバッテリーの劣化を抑制する制御を開発した(図11)。

低温環境下のバッテリー温度低下時や高温環境下、高稼働によるバッテリーオーバーヒートの際は車両の性能を制御。使用を継続した際は、車両の走行・荷役動作を停止



図11 高温/低温時の車両制御イメージ^[3]
Fig.11 Image of Vehicle at High/Low Temperatures

- (3) バッテリーに内蔵したヒーターを用いて、バッテリーの温度管理を行う制御を開発した。ヒーターでバッテリーを昇温することで、低温環境下での性能低下を抑制してお客様に車両を快適にご使用いただくとともに、バッテリーが低温状態で劣化することを抑制する(図12)。

また、ヒーターを使用して、電力を消費することによるバッテリーの残容量低下を補うために、充電器とバッテリーを充電ケーブルで接続しておくことで、残容量の低下時に充電を自動で再開する補充電制御を開発した。

バッテリーが一定温度まで低下すると、バッテリーに搭載されたヒーターが自動で起動。キーオフ時でもバッテリーを一定温度以上に保ち、車両に必要な性能を維持



図12 バッテリー内蔵ヒーターによる車両制御イメージ^[3]
Fig.12 Image of Vehicle by Battery-Integrated Heater

4 まとめと今後の計画

脱炭素社会の実現を目指して省エネルギー性能を追求したLi-ionバッテリーを開発することができた。また、Li-ionバッテリーの特徴を活用しながら、鉛バッテリー搭載車同様の使い勝手を確保するための設計にこだわり、第一段として電動フォークリフトの主要4機種にオプションとして追加発売することができた。

今後もLi-ionバッテリー搭載フォークリフトのラインアップ展開を図るとともに、さらなる低コスト・高品質のLi-ionバッテリー開発を推進して参ります。

最後に、本製品の開発にあたり多大なるご指導をいただいた社内外の関係者の皆様に厚く御礼申し上げます。

■参考文献

- [1] 豊田自動織機レポート2022(2022年3月期)
- [2] JIVA(日本産業車両協会) ホームページ
- [3] トヨタL&Fホームページ
- [4] JIS C0920 電気機械器具の外郭による保護等級(IPコード)

■ 著者紹介 ■



梶山 英訓



丸山 均



吉田 真継



三竿 洋一



藤原 英晃

開発の経緯と開発者の思い

当社は2016年9月に、日本で初めて(当社調べ)Li-ionバッテリーを搭載した電動フォークリフト(1.35～1.8トン積リーチタイプ)を発売し、「充電時間の短縮」や「バッテリー管理の手間削減」の課題改善に取り組んできました。今回、さらに多くのお客様のご期待に応えるべく、Li-ionバッテリーの搭載車種を主要4機種に拡大しました。

4車種への搭載にあたっては、車種共通のLi-ionモジュールを使用する条件とし、車種別にモジュール搭載構造を工夫し現物での検証を重ね、難関であった耐振、耐衝撃性確保の課題解決に取り組みました。また、車両と連携したバッテリーマネジメントでは、これまで培ってきた技術を発展させ車種およびバッテリー容量に応じた、きめ細かなバッテリー保護を実現しました。

今後も、多くのお客様のご期待に沿ったLi-ionバッテリー搭載車開発を推進したいと考えています。

Li-ion Battery Development for Forklift Trucks in North America

北米フォークリフト向けリチウムイオン電池開発

* 1

Matt Wavrek

* 1 Raymond Corporation

Abstract

Rapid growth in multiple material handling sectors has driven needs in the industry for more powerful, effective equipment. That growth drove a need for improved, more capable power sources. In response to the need for increased power and data enabled devices, Raymond developed the Energy Essentials line including Lithium batteries (LIB). In addition, business operations began needing more storage space to cope with growing product variability. The LIB removed the need for large battery rooms and regular battery maintenance. This returned floor space to operations and required less intervention from personnel, who could now return battery maintenance time to value added activities. Developing a telematics enabled, NMC (Nickel Manganese Cobalt) chemistry power source maximized battery capacity and performance of our lift trucks. The battery's long cycle life, with stable performance, ensures a good investment for our customers. Market acceptance has gone well, and adoption continues to increase year over year.

Keywords: Lithium ion Battery, NMC, Cycle life, UL certification

要旨

マテリアルハンドリング分野では、より高性能、高効率な機器を求めるニーズが急速に高まっている。高性能電池はそのニーズの一つであり、レイモンドでは出力向上と“つながる”機能ニーズに対応したEnergy Essentialsと称する電池製品群を開発・展開している。特にリチウムイオンバッテリー (LIB) は高エネルギー密度、省メンテナンスでお客様の省スペース化、作業負担軽減に貢献できる。今回開発したテレマティクスに対応したNMC型 LIBはフォークリフトトラックのバッテリー容量と性能を最大化し、長寿命化を達成した。

キーワード: リチウムイオン電池、NMC、サイクル寿命、UL認証

1 Introduction/Background

The material handling industry continues to seek energy power sources, capability of providing increased performance and superior uptime. Lithium-ion batteries (LIB) continue to expand the horizons of vehicle performance and rapid charging capability. The concept of charging at point of use and high C-rate¹⁾ charging was now possible. Customers began to demand maximum performance and quick return on investment.

1) C-rate: It is a measure of the rate at which a battery is discharged relative to its maximum capacity. A 1C rate means that the discharge current will discharge the entire battery in 1 hour. For a battery with a capacity of 100 Amp-hrs, this equates to a discharge current of 100 Amps.

Raymond developed the Energy Essentials battery to address these customer needs and application requirements. Through this premium LIB offering, some customers, because of their application / lift truck usage, have been able to reduce battery counts on site and achieve more throughput with a single battery. When it is possible to deploy a single battery solution, per truck, the need for battery changing is removed,

as part of the process and improvements in operational efficiency and floor space utilization can be realized [Figure 1].

Raymond has now released multiple UL Listed battery voltage offerings to support the class I-III model lineup. Telematics and integrated data support, with the PSI²⁾ battery communication option, now enable improved fleet optimization and real time battery data reporting. Additional, complimentary product offerings are being developed now to support the Energy Storage Solutions needs of the future.

2) PSI: Power Source Integrated. It enables data liberation for both lithium and hydrogen fuel cells, reporting 12 unique performance metrics through the iWAREHOUSE GATEWAY™.



Figure 1 LIB family from Energy Essentials

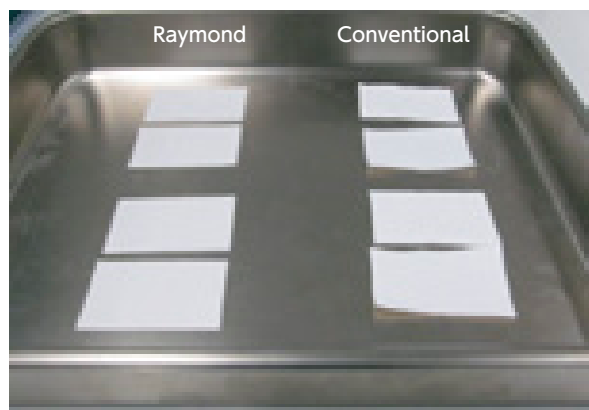
2 Features and Benefits of Product

The Raymond LIB offerings are technology rich and have industry leading features. UL compliance, reliability, and durability were designed in. The battery requires limited maintenance over its lifetime -- no daily watering and emits no harmful vapors or gases during normal operation.

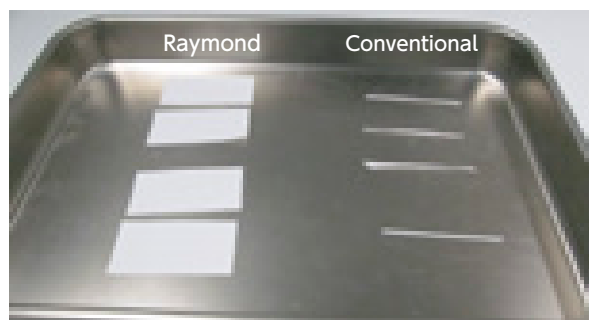
Projects to release 24V and 36V battery offerings have been completed. 48V batteries will be launched by time of this article's release. Premium cycle life and energy density were top priorities and resulted in the decision to utilize NMC chemistry and these features on this critical path.

2.1 High cycle life

The special ceramic separator technology used allows the battery to be used in wider temperature ranges and helps to maximize the cell's potential. Figure 2 shows the ceramic separator's results during characterization testing for heat.



(1) Before test



(2) After test (15min at 130°C)

Figure 2 Ceramic separator

NMC chemistry was selected for its energy density. Due to the proprietary cell chemistry, special ceramic separator, and customized Battery Management System (BMS), the Energy Essentials battery delivers industry leading cycle life. Figure 3 shows Lab testing results that demonstrated cycle life in excess of 5000 cycles. This means much higher cycle life performance than current competitor levels of up to 3000 cycles. This allows Raymond to offer a product with industry leading performance and value.

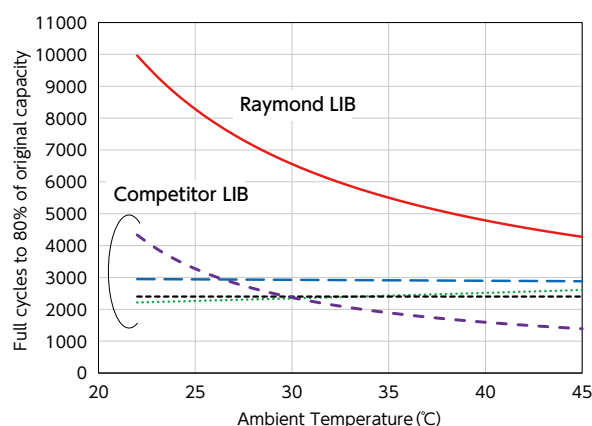


Figure 3 Characteristics of cycle life
Cycle life testing is based on controlled laboratory conditions and shows equivalent life expected. ELV is the industry leader.

2.2 UL certification

Energy Essentials batteries are inherently designed to UL2580 to ensure compliance and strong performance.

Should battery customization be required, or even the need for an alternate battery be pursued, Raymond supports requests through our third-party EPS approval process. Customer first, always.

3 Conclusions

The results of years of development and testing, offerings under the Energy Essentials distributed by Raymond brand are now available across the full product line with UL2580 listings [Figure 1]. These batteries have already been

delivering strong performance in applications and adoption continues to increase, year over year. Sales trends show accelerating sales and more customer interest in LIB. Raymond is delivering industry leading total cost of ownership with these batteries [Figure 4, Table1].

Overall customer adoption continues to grow. During this development, we created a joint working group to provide more high efficiency products to meet customer satisfaction as one TMHNA. A development cadence is in process for next generation batteries, with even more improved performance.

■Author■



Matt Wavrek
Product Development Engineering
The Raymond Corporation

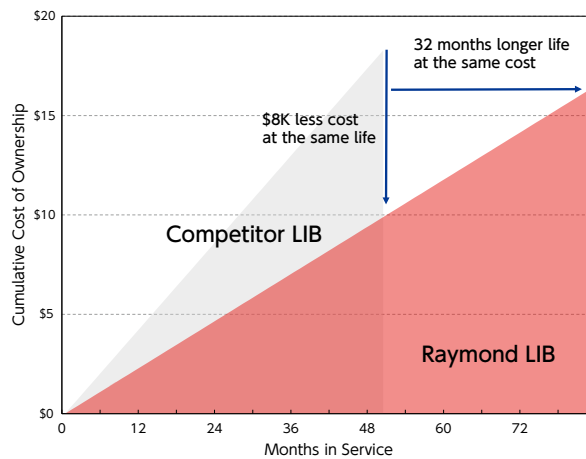


Figure 4 Total cost ownership

Table1 Comparison of useful life and cost

	Competitor	Raymond	Difference
Operation shift	2	2	-
Days/Year Usage	365	365	-
Design cycle life	3000	5000	+2000
Useful Life Mo	50	82	+32
\$/Mo Operation	\$366	\$198	-\$168

電動バス向けヒートポンプ空調用電動コンプレッサ ES80の開発 Development of ES80 Electric Compressor for Heat Pump Air Conditioning Systems in Electric Buses

角口 健一^{*1} 猪飼 健介^{*1} 石原 弘貴^{*1}
Kenichi Kadoguchi Kensuke Ikai Hiroki Ishihara

*1 コンプレッサ事業部 技術部

要旨

電動コンプレッサES80は、電動バスのヒートポンプ空調に搭載されている。乗用車だけでなく、バス市場でも電動化が進んでおり、電動バス向けにも電動コンプレッサの需要が高まっている。電動バス向けに適した電動コンプレッサが必要となる。これまでの乗用車向け技術を応用し、大容量化、高電圧化、小型軽量化に対応するES80を開発した。ここでは、その製品概要を紹介する。

キーワード: スクロール式圧縮機、電動バス、ヒートポンプ

Abstract

The Electric Compressor ES80 is installed in the heat pump air conditioning systems of electric buses. Electrification is progressing not only in passenger cars but also in the bus market, increasing the demand for electric compressors for electric buses. There is a need for electric compressors suitable for electric buses. We have developed the ES80 compressor by applying the technology used for passenger cars, which is capable of handling high capacity, high voltage, and compact and lightweight design. Here, we introduce an overview of this product.

Keywords: Scroll Type Compressor, Electric bus, Heat Pump

1 はじめに

自動車業界では、環境に対する法規制強化に伴い、ハイブリッド車(HEV)、プラグインハイブリッド車(PHEV)、電気自動車(BEV)、燃料電池車(FCEV)などさまざまな電動車の販売が増えている。

これら電動車のカーエアコンには、電動タイプのコンプレッサが必要となり、当社では2003年に2代目プリウス向けに世界初(当社調べ)の量産型カーエアコン用電動コンプレッサES18の生産を開始した。その後も約20年にわたり電動コンプレッサの容量・機種バリエーションを拡大し(図1)、生産台数は2022年度に累計3300万台を突破している。

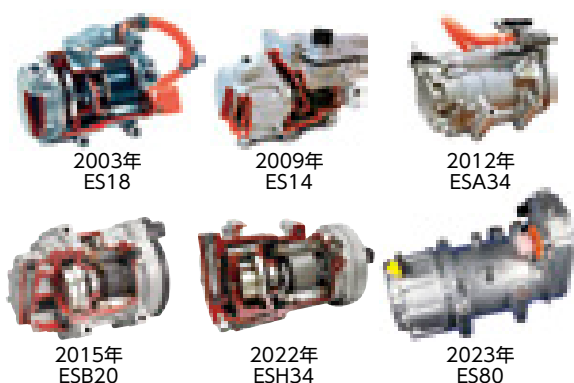


図1 電動コンプレッサの機種変遷
Fig.1 History of Electrical Compressor

従来のガソリン車では、電動コンプレッサは冷房空調専用に搭載されていた。一方BEVでは、エンジン廃熱を利用した暖房を行うことができないため、電動コンプレッサを用いたヒートポンプ空調の需要も高まっている。ヒートポンプ空調システムとは、大気から熱を取り込んで車室内を暖房するシステムである。

さらに、電動コンプレッサに求められる機能も多様化している。車室内だけでなく、高温になりやすい電池などの車載電子機器を冷却する熱マネジメントの重要性も高まっており、電動コンプレッサは電動車に必要不可欠な部品として役割の幅を広げている(図2)。

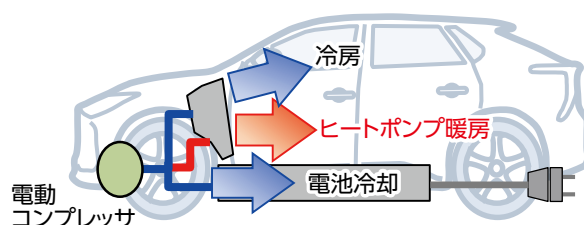


図2 電動コンプレッサを用いたヒートポンプ空調
Fig.2 Electric Compressor-Driven Heat Pump Air Conditioning

近年では、バス市場でも電動化が進んでおり、電動バス向けにも電動コンプレッサの需要が高まっている。乗用車向けと比べ車室内が広い、より大容量な電動コンプレッサが必要となる。ES80は、電動バスの冷暖房空調に搭載する電動コンプレッサ

レッサとして開発され、2023年から市場に出る予定である。

ここでは、その製品概要を紹介する。

2 開発コンセプト

電動コンプレッサは、スクロール式のコンプレッサ部、コンプレッサを駆動するモータ部、モータを駆動制御するインバータ部から構成されている(図3)。

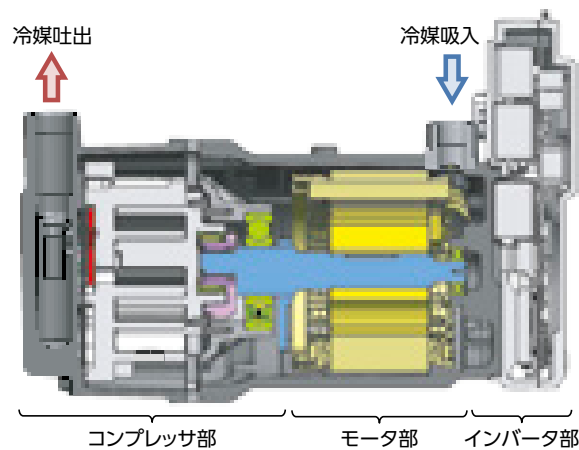


図3 ES80のシステム概要
Fig.3 System Outline of ES80

当社では、コンプレッサ、モータ、モータ制御ソフトウェア、インバータといった基本構成部品の設計、評価、生産体制を整えており、車両ニーズに対応した最適な製品作りに取り組んでいる。電動バス向け電動コンプレッサに求められる主な顧客ニーズは以下である(図4)。

1) 大能力

電動バスでは、エンジン廃熱を利用して暖房を行うことができない。そのため、大気から熱を取り込んで暖房する、電動コンプレッサを用いたヒートポンプ空調システムの採用が検討されている。乗用車向けと比べ車室内が広いので、大容量な電動コンプレッサが必要になっている。

2) 長寿命化

電動バスでは、夏場の車室内の冷房だけでなく冬場の暖房にも使われるため、使用時間が長くなる。そのため、従来のコンプレッサと比べ、より長寿命化が求められている。

3) 高電圧化

電動バスでは、運行スケジュールに影響しないよう急速充電するために、電池の高電圧化が進んでいる。そのため、電池から電力供給を受ける電動コンプレッサは、モータやインバータの高電圧化対応が求められている。

4) 小型・軽量化

バリアフリー電動バスは、低床化設計から床下にスペースがなく、冷暖房空調は天井に配置されるため軽量化が必要である。また、同じ天井に配置される電池や充電器のスペースを確保するためには、冷暖房空調の省スペース化も必要である。そのため、電動コンプレッサは小型・軽量化対応が求められている(図5)。

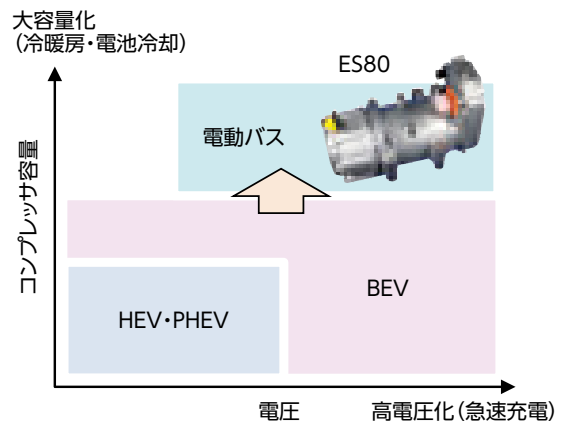


図4 電動コンプレッサの高電圧化・大容量化の拡充
Fig.4 Expanding of High-Voltage / Large-Capacity Electrical Compressor

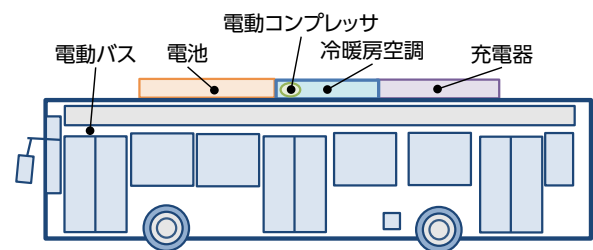


図5 電動バスへの冷暖房空調の搭載
Fig.5 Installation of Air Conditioning for Heating and Cooling in Electric Buses

これまで当社では、電動コンプレッサの容量・電圧帯のバリエーションを拡充してきたが、以上のようなニーズに対応するコンプレッサは存在しない。現有機種で対応するには、能力が足りないため容量34ccの電動コンプレッサESB34を2台使いし、高電圧対応していないため電圧を降圧させるDC-DCコンバータを併用するなどの対応が必要となる。

そこで、1台でも電動バスのニーズに対応するために、新たなラインナップとして高電圧対応した容量80ccの電動コンプレッサES80を開発した。

3 開発の概要

1) コンプレッサ

ES80向けコンプレッサは、大能力、長寿命化を両立するために、市場実績のある容量80ccのエンジン車向けスクロールコンプレッサSCSA08を流用した。しかし、エンジン車向けよりも電動バス向けは使用時間が長く、従来のメインベアリングでは十分な寿命を確保できないことが判明したため、新規メインベアリングを採用することで目標寿命を満足することができた。

メインベアリングとは、回転するシャフトを介して、固定スクロールと旋回スクロールで発生する圧力変動を支える部品であり、コンプレッサにとって重要な機能部品である。メインベアリングの目標寿命を満足するには軸長を伸ばす方法もあるが、体格アップし小型化ニーズに対応できない。そこで、従来の複列アンギュラ玉軸受から単列深溝玉軸受に変更し、スペースに余裕のある胴径方向に拡大することで、軸短化も達成し目標寿命を満足することができた(図6)。このようにして、大能力、長寿命化、小型化を実現した。

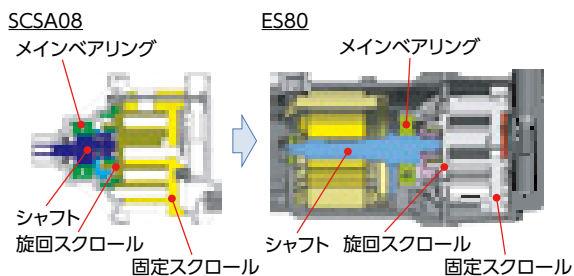


図6 SCSA08とES80の構造比較
Fig.6 Structural Comparison between SCSA08 and ES80

2) モーター

ES80モーターは、車両電池の高電圧化に対応する設計を行った。具体的には、国際電気標準会議(IEC)規格に準拠した絶縁距離拡大、高電圧特有の現象である部分放電^{*1}の発生防止である。その達成のために様々な変更を織り込んでいるが、特に大きな変更が「巻線方式変更」である。従来機種で採用している巻線方式である分布波巻では、3相の各相間がコイルエンドで近接していること、

及び、コイル内の電位差の大きい部位が近接しているため、部分放電の発生防止が困難であった。

そこで、当社電動コンプレッサとしては初採用であったが、部分放電発生防止に有利な集中巻モータを愛知電機(株)と共同で開発した(図7)。

*1 部分放電:電位差が大きく近接したワイヤ間で放電が発生し、長時間放電が繰り返されることでワイヤの絶縁皮膜が徐々に損傷し絶縁破壊に至る現象

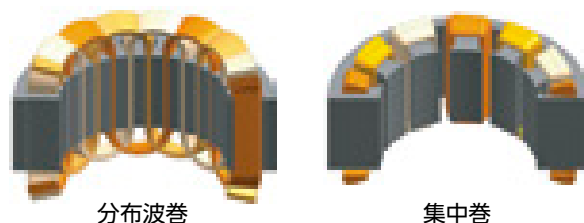


図7 巻線方式の概要
Fig.7 Outline of Coil Winding Method

集中巻とすることで各相コイル間の絶縁距離を確保し相間の放電を防止、また、各相内のコイルを直列に接続し、電圧を各コイルに分担させることでコイル内の電位差を低減して放電を防止し(図8)、体格アップや絶縁部材のコストアップなく高電圧化を実現した。

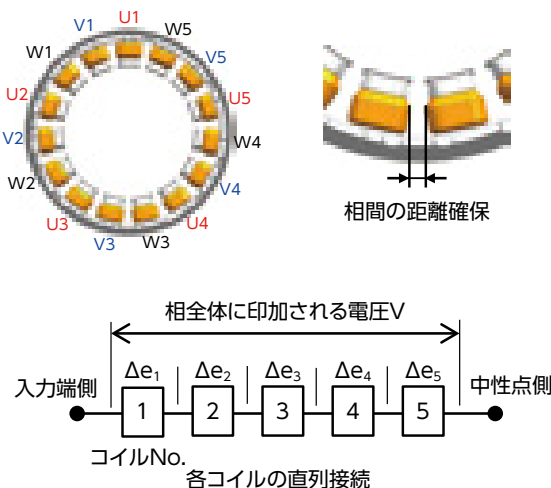


図8 高電圧対応設計の概要
Fig.8 Overview of High Voltage Design

3) インバータ

ES80のインバータは、高電圧化に対応するために従来機種に対し、入力フィルタ(コモンコイル、キャパシタ)、出力素子(IPM: Intelligent Power Module)を高耐圧部品へ変更し、要求仕様を満足できる設計を実施した。構造に関しては、高電圧に伴い、必要な絶縁距離を確保するため部品体格が大きくなるが(IEC規格に準拠)、部品配置の最適化と、インバータ固定用のネジ位置の共通化を図

り、既存ラインで製造が可能なインバータを実現した(図9)。

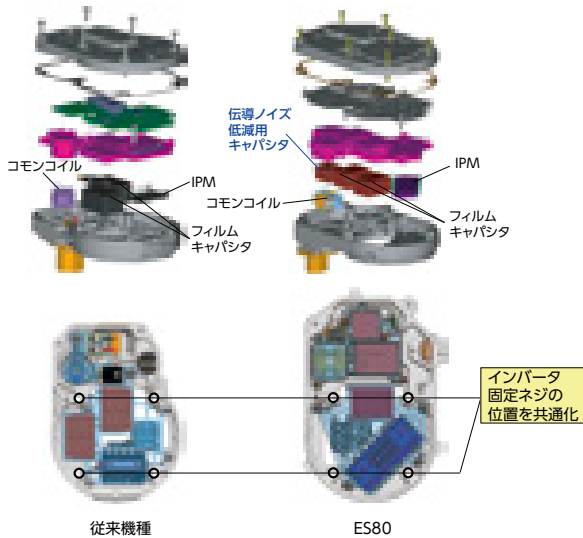


図9 新旧機種の部品構成比較
Fig.9 Comparison of Component Composition between New and Old Models

また、ES80インバータは今後の様々な車両メーカーへの拡販に対応できるように開発を進めた。拡販するためにはノイズ対応が課題となり、車種によっては車両側キャパシタがなく、インバータ動作時に配線を伝って発する伝導ノイズが大きくなるため、他機器に悪影響を及ぼす可能性がある。そこで、インバータ内にノイズ伝搬を低減するキャパシタを電動コンプレッサとして初めて採用し、車両側のキャパシタ有無に関係なく、国際的なEMC規格 (ECE-R10, CISPR25) を満足できるように設計した(図10)。車両側キャパシタは通常、数100uF程度の容量が必要だが、検証の結果、伝導ノイズの低減用途としては数uFの容量で規格準拠できることが分かった。なおキャパシタ容量は大きくとると体格が大きくなり、他製品との干渉や、振動しやすくなるといった背反が出てくるため、EMC性能を満足できる必要最小限の容量とした。

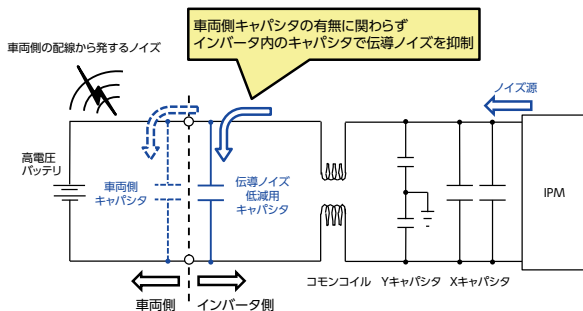


図10 EMC低減回路構成の概要
Fig.10 Overview of EMC Reduction Circuit Configuration

4 まとめ

ES80はスクロールコンプレッサの容量を80ccとすることで、従来機種ESB34 (34cc) に対して最大冷房能力を135%向上できた(図11)。

メインベアリングの新設による長寿命化で、従来機種SCSA08に対して設計寿命を41%向上できた(図11)。

モータとインバータの高電圧化対応により、従来機種ESB34に対して最大使用電圧を95%向上できた(図11)。

ES80は高電圧化対応により、DC-DCコンバータを併用することなく電動バスの冷暖房空調に搭載可能となった。その結果、DC-DCコンバータを併用し従来機種ESB34を2台使ったものに対して、重量を18%低減し、体積を9%低減できた(図12)。

上記のように、電動バス向けニーズに対応するES80の開発・量産化を実現することで、当社の電動コンプレッサに新たなラインナップを拡充することができた。今後も電動車両に対応する製品の開発を通じて、地球環境保全に貢献していきたい。

本稿においては、機密の観点からグラフの数値、表記を省略しています。

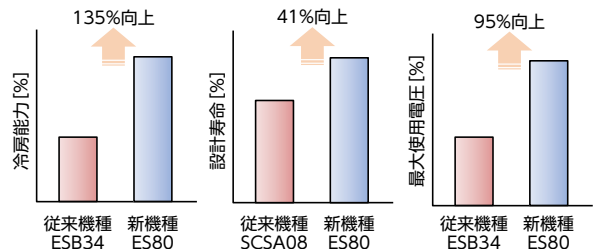


図11 新旧機種の性能比較
Fig.11 Performance Comparison between New and Old Models

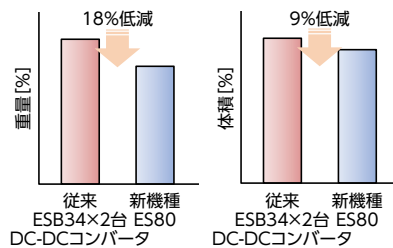


図12 新旧機種の体格比較
Fig.12 Size Comparison between New and Old Models

■ 著者紹介 ■



角口 健一

猪飼 健介

石原 弘貴

開発の経緯と開発者の思い

2015年のパリ協定で温室効果ガス排出削減目標が設定されたため、各国で排出削減の取組みが開始されました。その流れがバス市場にも押し寄せ、世界各国でバスの電動化ニーズが高まっています。電動バスに対応する電動コンプレッサは、大容量、長寿命、高電圧、小型・軽量である必要がありますが、市場にはそれら全てを満足する電動コンプレッサがありませんでした(当社調べ)。ニーズに合った製品を早期に投入して成長市場を押さえていくことは、当社にとって拡販のチャンスだと判断し開発をスタートしました。これまで乗用車向けで培ってきた技術を集結することで、ES80を世に送り出すことができました。

最後に、本製品の開発・量産化にあたり多大なる御協力を頂いた社内外の関係者の皆様に、深くお礼申し上げます。

技術解説

Technical Review

P.68 T相強化型高機能アルミニウム合金

T相強化型高機能アルミニウム合金

T Intermetallic-reinforced Novel Aluminum

野口 将人^{*1} 近藤 雅晶^{*1} 鈴木 智博^{*1}
 Masato Noguchi Masaaki Kondo Tomohiro Suzuki

*1 材料技術部

要旨

アルミニウム合金は軽量でリサイクル性に優れるが、近年、適用拡大に際してさらなる機能向上が求められており、従来より厳しい高温環境下でも機械特性に優れていることが要求される。これに対して材料技術部では、従来にはない熱的安定性を有するT相を強化相として用いるAl-Mg-Zn系合金に着目し、平衡状態図計算により合金組成を幾つか選定した。これらの合金を試作し、高温強度向上およびそのメカニズムを明らかにした。

キーワード：アルミニウム合金、平衡状態図、金属間化合物、金属組織、クリープ特性

Abstract

Aluminum alloys have low specific gravity and excellent recyclability. Recently, it is necessary to improve mechanical properties furthermore, i.e. better heat resistant, for expanding applicability to various products. We focused on Al-Mg-Zn alloys that have heat stable precipitates of T intermetallic phase, and picked out alloy compositions by calculations of equilibrium phase diagram. Trial products of these alloys have made it obvious that T intermetallic phase induces fine microstructures and good creep properties at high-temperature.

Keywords: Aluminum alloys, Precipitation, Microstructure, Intermetallic, Creep property

1 はじめに

一般的にアルミニウム合金(以下、アルミ合金)は、機械部品適用時には軽量かつリサイクル性等の観点において鉄や銅より優れており、昨今の地球環境保護のための世界的なCO₂排出問題や資源問題に対して貢献できるとされている。しかし、近年ではアルミ合金へのさらなる機能向上が求められている。例えば、輸送機器や発電機設備等において、燃焼効率を高めるために高温化が進む場合があり、200℃以上の高温環境下における機械特性に優れていることも要求される。

当社においてもアルミ合金を使った様々な製品や部品を製造しており、同様の機能向上が求められる。本稿では、今後の製品ニーズに向けて、当社材料技術部で開発してきたアルミ合金の高機能化として、金属間化合物T相に着目した高温高強度化(耐熱化)への取組みについて述べる。

2 耐熱アルミ合金の設計

2.1 コンセプト

エンジン部品等の機械要素は高耐熱化や高強度化により、高効率化ならびに小型軽量化に貢献できるとされている。しかし、高温で高強度を保つことは従来のアルミ合金では難しく、例えば、耐熱アルミ合金として世の中で広く用いられているA2618は、200℃以上の温度域において熱的不安

定域にあり顕著な強度低下を示す(図1)。これは、アルミ合金中のS相と呼ばれる強化相(金属間化合物)は高温時の相変態により粗大化すること^[1]、熱力学計算によるとS相の体積率は5%程度であることが理由と考えられる^[2]。すなわち、強化相である金属間化合物の高温における熱的安定性が足りないこと、および強化相の体積率が少ないため、200℃以上の温度域での強度低下の要因と考えられる。

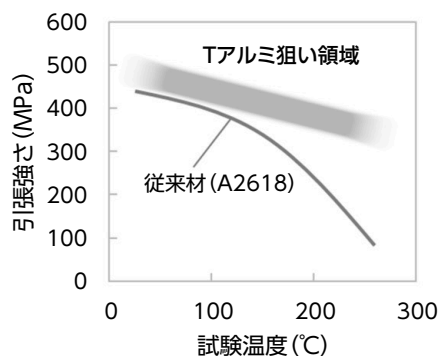


図1 従来材の高温強度とT相強化アルミニウム合金(Tアルミ)の狙い領域
 Fig.1 Conventional Aluminum and Target of T-Aluminum

これに対して、従来にはない熱的安定性を有し、 α -Al母相と平衡する金属間化合物T相(T-Al₆Mg₁₁Zn₁₁相)を強化相として着目したAl-Mg-Zn 3元系アルミ合金が、耐熱性合金としての可能性を示している^{[3]-[5]}。そこで、この3元系合金 Al-5Mg-3.5Zn (mol%) をベースに、図1に示す従来材A2618を上回るグレー領域を狙いとし

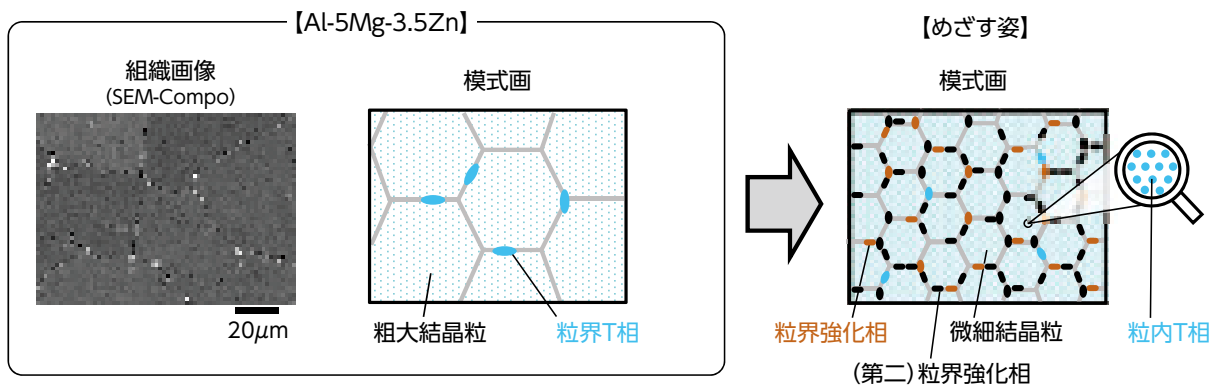


図2 TアルミAl-5Mg-3.5ZnのSEM画像とめざす姿
Fig.2 SEM Image of T-phase Reinforced Aluminum alloy at the Start of Development and its Goal

た耐熱アルミ合金の開発に着手した。以後、この開発合金をTアルミと呼ぶ。

Tアルミの開発着手時のAl-5Mg-3.5Zn合金の金属組織画像 (SEM-Compo像) ならびに模式図、その「めざす姿」を図2に示す。図2において、Al-5Mg-3.5Znの金属組織ではT相は粒界に点在する程度で、結晶粒も粗大であった。一方、Al合金と同じ結晶構造をもつfcc金属の耐熱性は、一般的に結晶粒内と結晶粒界双方の変形を抑制する必要がある、結晶粒内については析出強化による転位運動の抑制、ならびに結晶粒界については析出強化によるすべり変形の抑制が重要といわれている^{[6]~[9]}。そこで、粒内と粒界を強化するために「めざす姿」としては、T相が結晶粒内にも微細に分散していることに加え、結晶粒界に強化相が分散していることが必要であり、同時に結晶粒の微細化も必要と考えた。

この「めざす姿」の実現に向けて、まずはTアルミの平衡状態図計算によって生成する化合物の種類と量を評価し、合金組成を選定した。次に、その組成のTアルミを実際に作製し、金属組織を確認するとともに高温強度評価としてクリープ試験を実施した。

2.2 平衡状態図計算

金属の平衡状態図は、ある組成と温度の金属がどのような状態で存在しているかを熱力学に基づいて表し、合金組成や温度を変えた場合に金属が液体なのか固体なのか、あるいは液体と固体が共存するのか、また、その状態でどのような構成元素の結晶を持つのかを示す図である。

Tアルミの基本合金Al-5Mg-3.5Znのさらなる高強度化のために組織形成に影響を与える添加元素を検討し^[9]、強化相であるT相に分配して結

晶粒界および結晶粒内にそれぞれ析出、熱的安定性を高める効果が期待できるCu、ならびに、主に Al_3Ni として結晶粒界に化合物を生成するNiを選定した^[10]。さらに、固溶強化をねらって、Alに比較的高い固溶限を有し、高温でも安定な低拡散係数遷移金属元素のTiの微量添加も併せて検討した^[11]。

幾つかの組成のTアルミについて平衡状態図計算を実施した中で、Al-5Mg-3.5Zn-2Ni-2Cu-0.1Tiの計算結果を図3に示す。この図では、横軸に温度を示し、縦軸に金属の状態を表す「相」がどのような割合で存在するかを相分率として示す。したがって、この図を右から左へ読み解けば、高温で溶融している金属が温度低下にともなって凝固し、種々の相が生成する様子がわかる。

図3において、680°C以上の高温域ではTアルミが液相のみ、すなわち溶融状態であることがわかり、それ以下の温度では凝固が開始することがわかる。最初に680°C付近で液相が減少し始め、これに代わって Al_3Ti 相が晶出する。次いで670°Cから Al_3Ni 相が晶出する。また、600°C付近からは α -Al相が急激に晶出し、480°C付近で液相が消滅、すなわち凝固が完了する。この時に一旦ピークを迎えた α -Al相は以降の低温化に伴い徐々に減少し、 α -Al相に代わってS相やT相が析出して組織形成が完了する。この形成された組織では、 α -Al相が80%弱を占め、他については Al_3Ni 相とS相がそれぞれ約2%、T相が約7%である。

以上のように平衡状態図計算によって、CuやNiの添加量をそれぞれ変えた場合、両者を添加した場合、あるいはTiを添加した場合のTアルミについて、組織形成を評価した上でTアルミを試作し、金属組織解析および高温強度評価を行った^{[10][11]}。

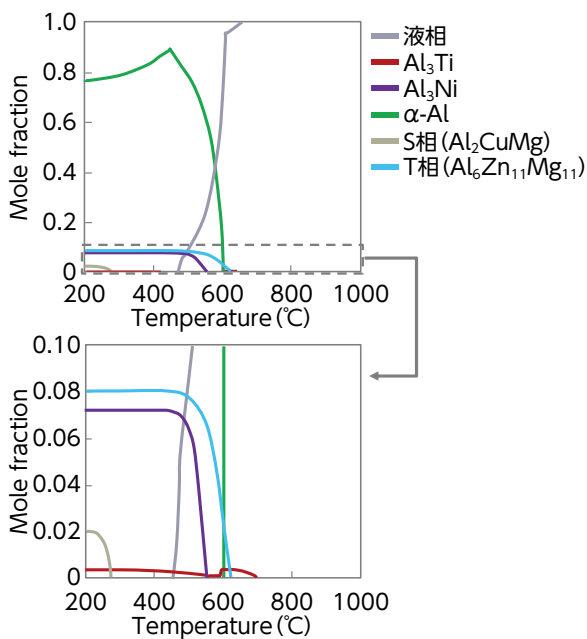


図3 Tアルミの平衡状態図計算
Fig.3 Phase Diagram Calculation of T-Aluminum

3 結果と考察

3.1 組織解析とクリープ試験の結果

前述の平衡状態図計算による合金組成検討を経て試作したTアルミの中で、良好な高温強度を示したAl-5Mg-3.5Zn-2Ni-2CuならびにAl-5Mg-3.5Zn-2Ni-2Cu-0.1Tiの組織解析およびクリープ試験について、以下に述べる。

走査型顕微鏡 (SEM)、電子線マイクロアナリシス (EPMA) による組織観察画像を図4に示す。粒界が不明瞭で、T相を構成するAl, Mg, Znが粒界

にわずかに点在している3元系合金 (a) Al-5Mg-3.5Znに対して、CuならびにNiを添加した (b) Al-5Mg-3.5Zn-2Ni-2Cuでは粒界にT相構成元素Al, Mg, ZnおよびAl, Cu, Niが存在している。また、T相を結晶粒内に微細分散させる目的でTiを添加した (c) Al-5Mg-3.5Zn-2Ni-2Cu-0.1Tiでは、(b) と同様のT相構成元素Al, Mg, ZnおよびAl, Cu, Niが存在しており、それらに加えて結晶粒内に塊状のTi分散領域が形成されている。

X線回折法 (XRD) による構造解析結果を図5に示す。検出された回折ピークは (a) Al-5Mg-3.5Zn では α -Al相, T相のみであったのに対し、Cu, Niを添加した (b) Al-5Mg-3.5Zn-2Ni-2Cuでは $Al_3(Cu, Ni)_2$ 相, Al_3Ni 相および η -MgZn₂相の回折ピークが検出された。(b) に更にTiを添加した (c) Al-5Mg-3.5Zn-2Ni-2Cu-0.1Tiでは (b) と同様の回折ピークであり、図3に示す平衡状態図で見られた Al_3Ti 相あるいはTiを含む回折ピークは検出されなかった。

図6に200°C, 105MPaにおけるクリープ試験結果 (時間-ひずみ線図) を示す。一般に、クリープ曲線は試験初期のひずみ速度が減少する1次 (遷移) クリープ、ひずみ速度が最小となりほぼ一定となる2次 (定常) クリープ、ひずみ速度が増加する3次 (加速) クリープの各領域に分けられる^[12]。Al-5Mg-3.5Znに対しNi, Cuを添加すると、クリープひずみを抑制させる効果が認められた。また、さらにTiを添加すると2次、3次クリープひずみが抑制された。

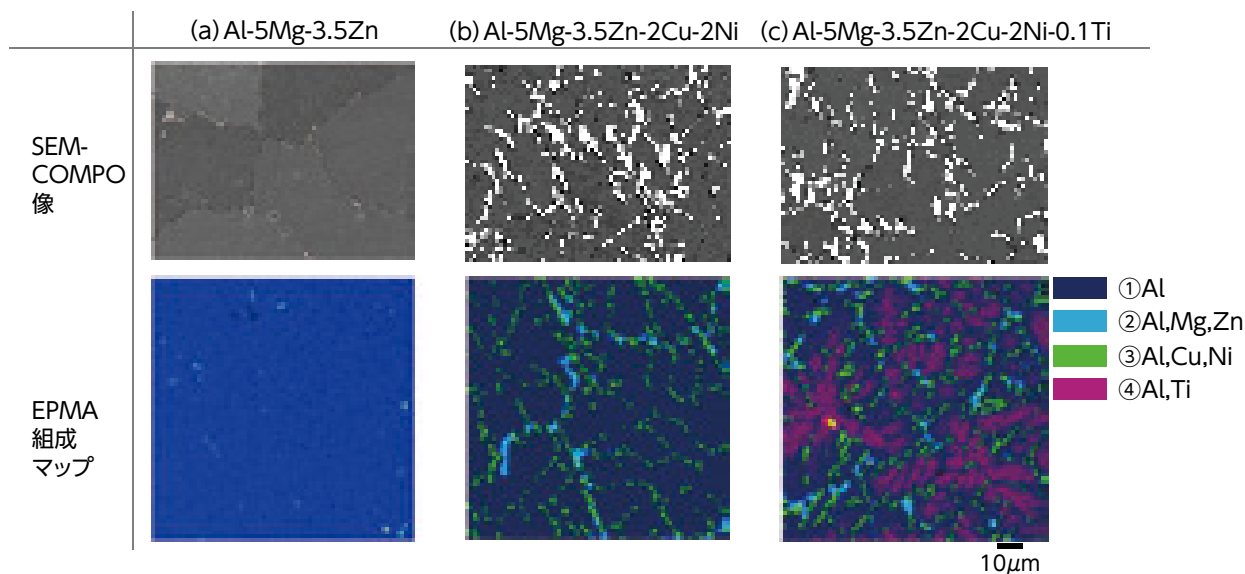


図4 TアルミのSEM観察画像と組成マップ
Fig.4 SEM Image and EPMA Map of T-Aluminum

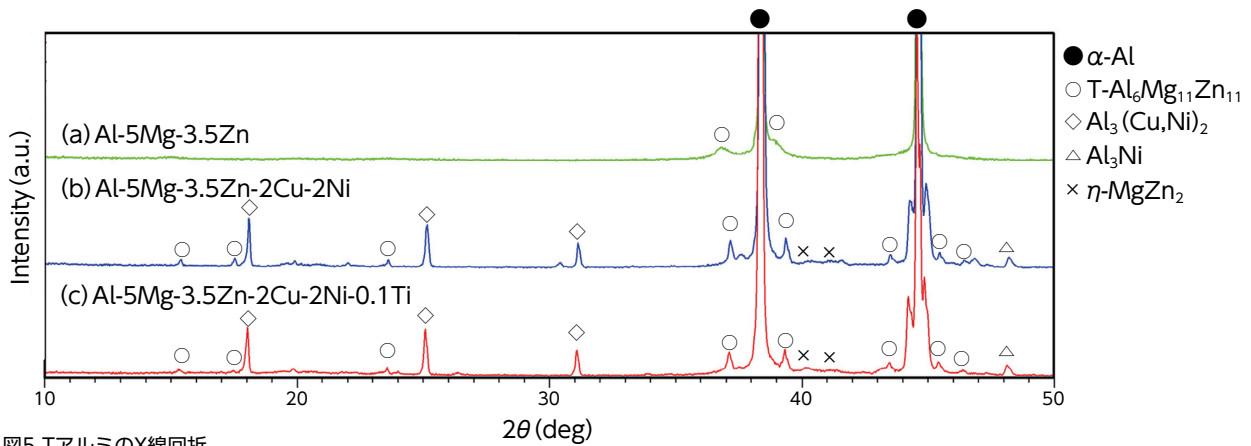


図5 TアルミのX線回折
Fig.5 X-ray Diffraction of T-Aluminum

図7に200℃, 105MPaにおける時間とクリープひずみ速度の関係(ひずみ速度は単位時間当りのひずみ量)を示す。各合金の1次クリープ(遷移域)におけるひずみ速度は時間に伴い減少し、2次クリープ(1次クリープの末期)における最小ひずみ速度は、Al-5Mg-3.5Zn 3元系合金では約 2.2×10^{-8} /s、Cu, Ni添加材では約 1.5×10^{-9} /s、対してTi添加材は約 7.0×10^{-10} /sと低い。Ti添加材のひずみ速度は200hに最小付近に達し、そのひずみ速度は800hまで維持される。その結果、Ti添加合金の3次クリープの開始は著しく遅延され、クリープ破断時間は延長される。

3.2 組織とクリープに対する考察

1) 組織形成

図4に示す元素分析結果から、存在する相およびその構成元素は①Alのみ、②Al, Mg, Zn、③Al, Cu, Ni、④Al, Tiの4つに分けられる。これらは、図5に示す構造解析結果ならびに図3に示す平衡状態図から、次のとおりと同定できる。

①は α -Al相であり、本アルミ合金中に一番多く存在する。②は主にMg, ZnとAlの化合物であるT相と同定できる。また、図5から、②にはMg, Znの化合物である η 相が存在すると考えられる。この相は、図3に示す平衡状態図には存在しないので、凝固あるいは熱処理過程で生じた非平衡相と推測される^[13]。一方、S相は図3で存在すると計算されているが非平衡状態では存在せず、図4、図5では分析されなかったと推測される。同様に③は図4、図5から、主にAl, Cu, Ni化合物の $\text{Al}_3(\text{Cu}, \text{Ni})_2$ 相であるとともに、Al, Ni化合物の Al_3Ni 相と考えられる^{[11][12][14][15]}。これも②同様、図3に示す平衡状態図では存在しない $\text{Al}_3(\text{Cu}, \text{Ni})_2$ 相が実際には Al_3Ni 相に代わって存在すると考えられる。

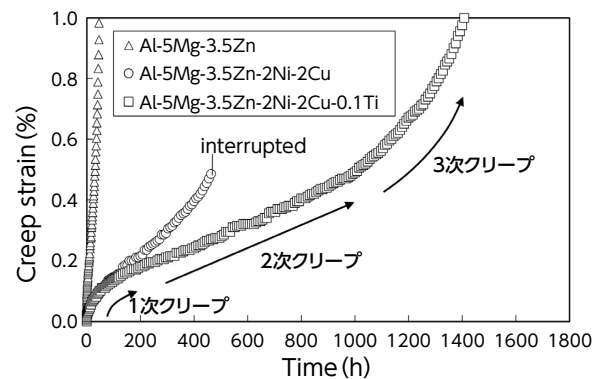


図6 Tアルミのクリープ試験結果(時間-ひずみ)
Fig.6 T-Aluminum Creep Test Result
(Relationship between Creep Time and Strain)

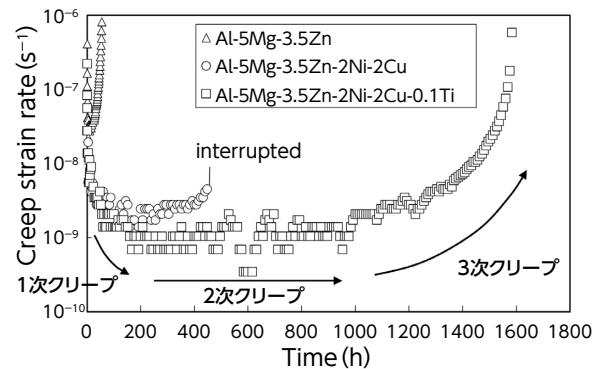


図7 Tアルミのクリープ試験結果(時間-ひずみ速度)
Fig.7 T-Aluminum Creep Test Results
(Relationship between Creep Time and Strain Rate)

④はAlとTiからなる相であることが図4(c)からわかるが、他方、図5ではTiに対応する相が検出されない。これらは、Tiは化合物を作らずに α -Al相に固溶していることを示唆する。また、Tiは凝固時にAlと包晶反応を示すので、 α -Al結晶粒内にTiの濃化領域が形成され、Tiは塊状となったと考えられる^[11]。なお、ミクロ組織解析から、結晶粒内には微細なT相および η 相の析出物が存在する^[10]。以上より、結晶粒内にはT相および η 相といった

微細な化合物、ならびに固溶Tiが存在し、結晶粒界にはT相および η 相、ならびにAlとNi, Cuの化合物が存在する。すなわち、図2に示す「めざす姿」の金属組織が実現できたと考える。

2) クリープ特性

これまでの研究でクリープ特性と組織の関係については、2次クリープ領域は結晶粒内強度と、3次クリープ領域は結晶粒界強度と相関があることが示唆されている^{[6] - [9]}。それぞれの添加成分がクリープ特性に及ぼす影響を以下に述べる。

図7では、3元系合金Al-5Mg-3.5Znに対してCuならびにNiを添加した合金Al-5Mg-3.5Zn-2Ni-2Cuは、2次クリープにおける最小クリープ速度が低く、3次クリープ開始が遅い。2次クリープの最小クリープ速度が低いのは、Cuによる結晶粒内に析出するT相、もしくは η 相の生成を促進^[10]することによる、結晶粒内の強化によるものと考えられる。3次クリープ開始が遅いのは、T相および η 相、ならびにAlとNi, Cuの化合物による結晶粒界の強化によるものと考えられる。

また、図7においてTiを添加した合金Al-5Mg-3.5Zn-2Ni-2Cu-0.1Tiは、2次クリープにおける最小クリープひずみ速度がさらに低く、3次クリープ開始が遅い。これは、結晶粒内に存在する固溶TiがT相および η 相の粗大化を抑制して結晶粒内を更に強化し、最小ひずみ速度の著しい低下、これにともなう3次クリープ開始の遅延を引き起こしたためと考えられる^[11]。

4 まとめ

アルミ合金の高耐熱化や高強度化に向けT相の耐熱性に着目し、平衡状態図計算を用いてT相や他の化合物が晶出あるいは析出する合金組成を選定、Tアルミを試作してさまざまな評価手法の組合せによって、クリープ特性の向上およびそのメカニズムを明らかにすることができた。

また、このTアルミは従来の耐熱アルミ合金の製法である連続鋳造—鍛造(押出)—熱処理に対し、鋳造のみで作製できる可能性があるため、製造時のCO₂排出量低減やコスト低減に対しても貢献できると考えている。今後、このアルミ合金の実用展開を進めていく予定である。

謝辞

本報告内容は国立大学法人東海国立大学機構名古屋大学との共同研究の一部である。本件の開発でご指導、ご協力いただきました社内外の関係者各位に対し、深く感謝いたします。

参考文献

- [1] Microstructures and properties of aluminum (アルミニウムの組織と性質), Japan Inst. Light Metals, (1991), 296-530.
- [2] 里達雄, 北岡山治, 神尾彰彦: 軽金属, 6 (1988), 558-578.
- [3] N. Takata, M. Ishihara, A. Suzuki and M. Kobashi: Mater. Sci. Eng., A739 (2019), 62-70.
- [4] N. Takata, R. Takagi, R. Li, H. Ishii, A. Suzuki and M. Kobashi: Intermetallics, 139 (2021), 107364.
- [5] 高田尚記, 鈴木飛鳥, 小橋 眞: までりあ, 61 (2022), 195-201.
- [6] 竹山雅夫: 第194・195回西山記念技術講座, 日本鉄鋼協会, (2008), 1-23.
- [7] 竹山雅夫: までりあ, 60 (2021), 281-288.
- [8] I. Tarigan, K. Kurata, N. Takata, T. Matsuo and M. Takeyama: MRS Online Proceedings Library Archive, 1295 (2011), 317-322.
- [9] 味噌作裕, I. Tarigan, 木村堯弘, 高田尚記, 上田光敏, 丸山俊夫, 竹山雅夫: 鉄と鋼, 100 (2014), 1158-1164.
- [10] 近藤雅晶, 鈴木智博, 黎若琪, 高田尚記: 軽金属72 (2022), 473-481.
- [11] 近藤雅晶, 鈴木智博, 黎若琪, 高田尚記: 軽金属73 (2023), 1-6.
- [12] 丸山公一, 中島英治: 高温強度の材料科学—クリープ理論と実用材料への適用, 内田老鶴圃, (1997).
- [13] Ruoqi Li, N. Takata, A. Suzuki and M. Kobashi: Mater. Sci. Eng., A857 (2022), 144055.
- [14] H. Ishii, R. Takagi, N. Takata, A. Suzuki and M. Kobashi: J. Japan Inst. Light Metals, 71 (2021), 275-282.
- [15] H. Ishii, R. Takagi, N. Takata, A. Suzuki and M. Kobashi: Mater. Trans., 63 (2022), 513-521.

■ 著者紹介 ■



野口 将人

近藤 雅晶

鈴木 智博

開発の経緯と開発者の思い

耐熱アルミニウム開発はこれまで材料メーカーにおいても取り組まれている中、今回機械部品メーカーである当社が開発してこられたのは、大学と事業部とのパートナーシップ、つまり大学との材料に関する議論、および事業部との製品思想の共有といった、双方の組合せを通して成し得ていることに他ならない。

今回紹介した事例ではアルミニウムの高温特性に目を向けた開発であったが、無機あるいは有機問わず材料開発においては、製品の望む特性から材料組成やプロセスを導き出し、材料設計のコンセプトをいかにして構築するかが重要と考える。今後はDXの活用も視野に入れながら、事業部を支える本社機能として当社の事業活動を支えていきたい。

表彰

Commendation

- P.75 CFRPリサイクル技術と循環システム JEC COMPOSITES INNOVATION AWARDS受賞
- P.78 空間除電による工場内空調管理の緩和
- P.82 新歯形理論による電動車用低騒音スクロール圧縮機
- P.83 特許発明「スクロール型圧縮機の背圧調整機構」が全国発明表彰にて発明賞を受賞
- P.87 特許発明「二段着火予混合燃焼」が愛知発明表彰にて愛知発明大賞を受賞

CFRPリサイクル技術と循環システム JEC COMPOSITES INNOVATION AWARDS受賞

Wins JEC COMPOSITES INNOVATION AWARDS for CFRP Recycling Technology and Recycling System

原田 亮^{*1} 吉川 元基^{*1} 富岡 宏匡^{*1} 石本 弘樹^{*1}
 Ryo Harada Genki Yoshikawa Hiromasa Tomioka Hiroki Ishimoto

*1 先行要素開発センター

要旨

当社が開発した炭素繊維強化プラスチック（以下、CFRP）のリサイクル技術および構築を目指す包括的CFRP循環システムがJEC COMPOSITES INNOVATION AWARDS(Circularity & Recycling部門)を受賞した。本稿では技術・システムの特長とAWARDSについて解説する。

キーワード：炭素繊維強化複合材料、リサイクル、紡績

Abstract

TICO won the award at the JEC COMPOSITES INNOVATION AWARDS (Circularity & Recycling category) for its carbon fiber reinforced plastics (CFRP) recycling technology and the comprehensive CFRP recycling system that we aim to build.

Keywords: Carbon Fiber Reinforced Plastics, Recycling, Spinning

1 はじめに

1.1 JEC COMPOSITES INNOVATION AWARDSについて

JEC COMPOSITES INNOVATION AWARDSとは、複合材料業界と技術の発展を推進するフランスのJECグループが1998年から毎年主催し、世界で最も革新的な複合材料製品や技術を、航空宇宙、自動車やエネルギーなど約10の産業分野ごとに表彰するもので、複合材料業界で最も権威ある賞のひとつとして知られている。

1次審査でJEC内部の審査員により各分野3件のファイナリストが選出され、2次審査で世界的に著名な複合材料の専門家で構成される外部審査員により1件の受賞者が選出される。

当社は初エントリーにして初受賞となる(図1)。



図1 フランス・パリで行われた授賞式
 Fig.1 Award Ceremony in Paris

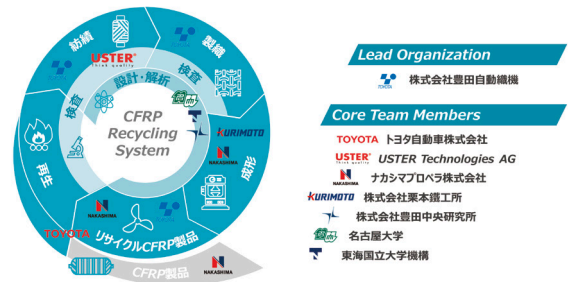


図2 包括的CFRP循環システム概念図
 Fig.2 Conceptual Diagram of the Comprehensive CFRP Recycling System

Lead Organization

株式会社豊田自動織機

Core Team Members

- TOYOTA トヨタ自動車株式会社
- USTER USTER Technologies AG
- ナカシマプロペラ株式会社
- KURIMOTO 株式会社栗本織工所
- 株式会社豊田中央研究所
- 名古屋大学
- 東海国立大学機構

1.2 評価ポイント

この度の受賞は、以下の点が高く評価された。

- ・使用済みCFRPの炭素繊維を紡績して高品質な糸にする革新的リサイクル技術によりCFRPライフサイクルにおけるCO₂排出量と廃棄量の大幅な削減が可能となること
- ・再生した炭素繊維の紡績糸から製織・成形・加工を経てCFRPリサイクル製品を生産する製造技術だけでなく、製品設計や性能評価、品質保証のツールとなる高度なCAE (Computer Aided Engineering) や検査技術も一体となって構築される「包括的CFRP循環システム」構想の確実な実現に向け広くパートナーと協業していること(図2)
- ・「包括的CFRP循環システム」の社会実装が、幅広い業種や企業にCFRPの活用を促進し、更なる普及に寄与すること

1.3 CFRPについて

CFRPとは、プラスチックに炭素繊維を強化材として加えたもので、軽量かつ強度や耐久性に優れている点から、航空機の機体やエンジン部品、自動車の内外装や高圧水素タンク、風力発電機のブレードなどに使用されている(図3)。2030年には、2021年と比較して2.5倍の3.5兆円^[1]に市場規模が拡大する見通しであり、世界的に注目されている。



図3 MIRAIに搭載されているCFRP製高圧水素タンク^[2]
Fig.3 CFRP High Pressure Hydrogen Tank on the MIRAI

2 受賞の内容

2.1 開発の背景

CFRPはその性能の高さから、使用段階におけるCO₂排出量は鉄やアルミを使用した同じ製品よりも遥かに少なく、環境負荷の低い優れた材料であるが、一方で製造段階では新材1kg生産あたり約20kg^[3]ものCO₂が排出されており、また、使用済みCFRPや端材の約9割^[4]が埋め立て処理されていることから、市場規模の拡大も相まってリサイクル技術の開発が強く求められている。

こうした社会の要請に応えるため、当社創業以来、約100年にわたり培ってきた紡績技術に加え、綿花の格付けや検査で誰もが世界標準と認めるスイス子会社Uster社(Uster Technologies AG)の糸品質測定技術を基に、使用済みCFRPから再生した綿状の炭素繊維の方向を揃えて均一・均質な紡績糸にする技術を確認した。

2.2 技術の特長

新材の炭素繊維製造の中でCO₂排出量の大部分を占める焼成工程が、リサイクル材では不要となることから、8~9割ものCO₂排出量の削減が可能であるが、従来のCFRPリサイクル技術は、使用済みCFRPの炭素繊維を粉末状に加工、あるいは

相当量の化学繊維を混ぜて不織布にする方法が主流で、炭素繊維量の少なさや繊維方向の不均一性による性能低下に加え使い勝手の悪さに課題があり、リサイクル材の利用が進んでいない。これに対し、当社技術は炭素繊維のみ、かつ撚りがなく繊維方向が均一・均質な糸の形態にできるため、新材に近い強度や弾性率を維持したまま、従来からある製織・成形工法の適用が可能である(図4)。

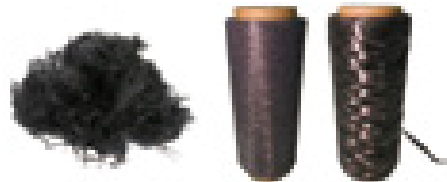


図4 使用済みCFRPの再生炭素繊維とその紡績糸
Fig.4 Recycled Carbon Fiber and its Spun Yarn

この優れた特性の紡績糸を作るため、カードや練条などで構成される従来の綿花向けの紡績工程や製造条件・インライン品質測定を、綿花に比べて格段に折損しやすく導電性を有する炭素繊維向けに最適化している。また、紡績糸向けに、既存の設計・評価支援ツールの機能を補強する“紡績糸-織物-製品”の各スケールを数学的均質化法に基づき構築した独自の材料構成則で繋ぐ、高精度なマルチスケールCAEを開発した(図5)。

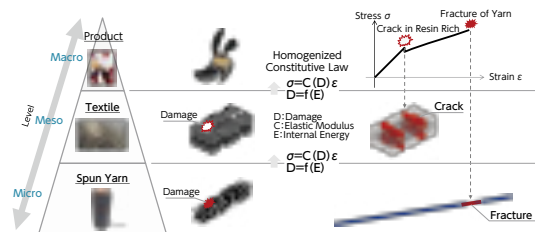


図5 紡績糸の適用も可能なマルチスケールCAE
Fig.5 Multi-Scale CAE Tool

2.3 包括的CFRP循環システムの実現に向けて

包括的CFRP循環システムは3つのフェーズに分けて実現、拡大する計画である(図6)。早期の社会実装を目指し、コア技術となる紡績以外は、外部の企業やパートナーがオープンに参加可能なシステム構成としている。

- ・フェーズ1: 当社内の循環システム
CFRP試作品製造工程で出る端材を使って紡績の要素技術を確認する
- ・フェーズ2: トヨタグループ内の循環システム
トヨタ自動車(株)のFCEV用高圧水素タンク

や外装部品製造工程で出る端材・廃材から再生した紡績糸を使って自動車や当社製品向けのCFRP部品を実用化する

- ・フェーズ3:グローバルな産業横断循環システム
最大級のCFRP市場である欧米で、安定した品質と生産の担保のため、信頼できるパートナーの確保と商流を確立する

フェーズ1は既に完了しており、現在はフェーズ2のモデル実証としてエアジェット織機向けにリサイクルCFRP製の綜絞枠を開発中である(図7)。当社が紡績糸を使った製品の最初のユーザーになることで、信頼性を世に示し、フェーズ3へ移行する計画である。

フェーズ3に向けたモデル実証も進行中であり、数年内の実用化を目指しリサイクルCFRP製の船舶用プロペラの開発に着手したところである。なお、船舶用プロペラは搭載にあたり、船舶が安全に航行できることの証明として国土交通省および国際条約や船籍国の国内法に基づき船体構造や推進機関などの検査を行う国際船級協会の承認が必要であり、実用化を成し遂げることで紡績糸の更なる信頼と実績を積み上げ、循環システムの産業横断化ならびにグローバル化を大きく加速させたいと考えている。

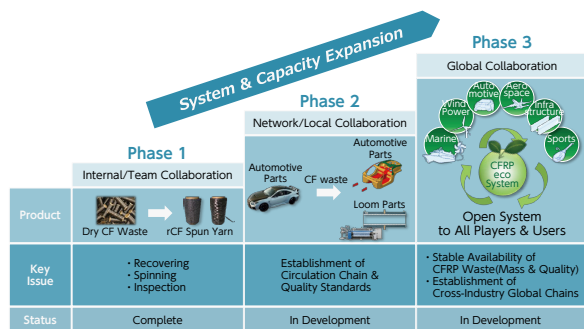


図6 包括的CFRP循環システムの実現計画
Fig.6 Realization Plan for the Comprehensive CFRP Recycling System

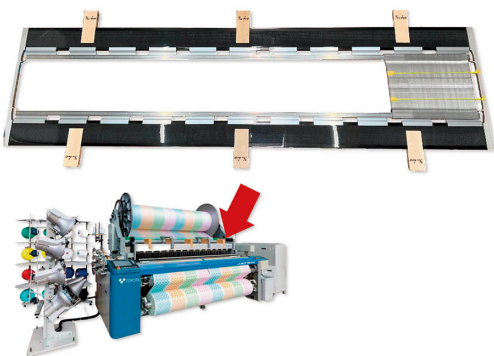


図7 エアジェット織機向けのリサイクルCFRP製綜絞枠
Fig.7 Recycled CFRP Heald Frame for Air Jet Loom

3 欧州市場への提案

CFRPの分野で先行する欧州で、当社が実現を目指す包括的CFRP循環システムの妥当性検証、システムの入口となる使用済みCFRPの炭素繊維の入手先と出口となるリサイクルCFRP製品やその採用先を開拓するため、受賞した内容を2023年4月25日(火)から27日(木)にフランス・パリで開催された世界最大級の複合材料の展示会であるJEC World 2023に出展した。

当社ブースへの来訪者は絶えることがなく、様々な分野の企業、大学や研究機関から多くの関心や意見が寄せられ、盛況のうちに3日間を終えることができた(図8)。

出展を通じて得られた知見や課題をもとに、今後もより一層市場に適した形でCFRPリサイクル技術の向上と包括的CFRP循環システムの構築を進めていく予定である。

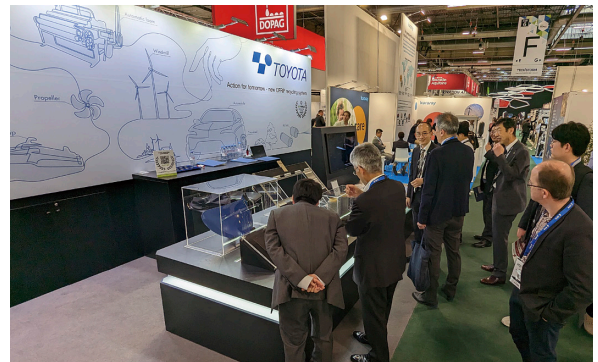


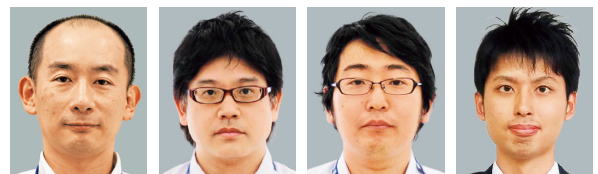
図8 JEC World 2023 当社展示ブース
Fig.8 Our Exhibition Booth at JEC World 2023

最後に、この度のJEC COMPOSITES INNOVATION AWARDSの受賞は、社内外の関係各位の理解と協力の結果であり、この場をお借りしてお礼を申し上げます。

■参考文献

- [1] [3] [4] 株式会社富士経済「炭素繊維複合材料関連技術・用途市場展望2022」
- [2] トヨタ自動車(株)ホームページ

■著者紹介



原田 亮

吉川 元基

富岡 宏匡

石本 弘樹

空間除電による工場内空調管理の緩和 Improvement of Air Conditioning Management within the Factory Through the implementation of Static-free Space

白井 俊治^{*1} 栗栖 誠二^{*1}
Toshiharu Shirai Seiji Kurisu

*1 エレクトロニクス事業部 生産技術部

要 旨

車載用電子部品の生産を行っている安城工場において、空間除電装置導入により工場の空調管理基準を緩和し、工場LNG使用量を40%削減した。本取組みが評価され、一般財団法人省エネルギーセンターが主催する「2022年度省エネ大賞(省エネ事例部門)」で、最高位の経済産業大臣賞を受賞した。

キーワード: 電子部品、静電気、工場空調、LNG

Abstract

The Anjo factory, engaged in the production of electronic components for automotive use, successfully improved the air conditioning management by implementing static-free space, resulting in a 40% reduction in the factory's LNG usage. This initiative was awarded the highest honor, the Minister of Economy in the "Energy Conservation Grand Prize" organized by ECCJ (Energy Conservation Center, Japan) in 2022.

Keywords: Electronic components, ESD (Electrostatic Discharge), Factory air conditioning, LNG

1 はじめに

2023年2月1日、一般財団法人省エネルギーセンター主催の「2022年度省エネ大賞」表彰式が開催され、安城工場の「空間除電による工場内空調管理の緩和」が、最高位の経済産業大臣賞(産業分野)を受賞した(写真1)。「省エネ大賞」は、産業、業務、運輸各部門における優れた省エネの取組みや、先進的で高効率な省エネ型製品などを表彰するもので、経済産業大臣賞の受賞は、豊田自動織機として2019年度以来2度目。

当社は、「2050年にめざす姿」の中で「グローバルでのCO₂ゼロ」を掲げ、サプライチェーン全体での温室効果ガス排出量削減の取組みを推進している。このたびの受賞は、長年の慣習などにより省エネ化が進みづらいと言われる電子部品プロセスにおいて、生産技術部門、品質管理部門、製造部門が一体となった活動により、工場全体のLNG使用量を大幅削減したという点で、取組みプロセス含め高い評価をいただいた。



写真1 省エネ大賞表彰式(左から松井さん、白井さん)
Photo1 Ceremony of Energy Conservation Grand Prize Awards. (from the left Mr. Matsui, Mr. Shirai)

2 取組みの内容

2.1 取組みの背景

当社では、1993年より環境取組みプランを策定し、現在は第七次プランの活動を推進している。2003年には、豊田自動織機グループとして、自動車・産業車両・エレクトロニクス・物流などの事業領域で地球環境保護と経済発展の両立に貢献するため、環境宣言を行っている。現在は、2021年に改訂したグローバル環境宣言に基づき、脱炭素社会の構築に向け、CO₂ゼロ社会を見据えた取組みを実施している(図1)。

上記全社方針を受け、エレクトロニクス事業部安城工場では、「2050年CO₂排出ゼロに向けたロードマップ(図2)」を策定し、工場カーボンニュートラルに向けた活動を推進している。今回の取り組みは、安城工場CO₂排出量の3割を占める「空調エネルギーの削減」に関する事例である。

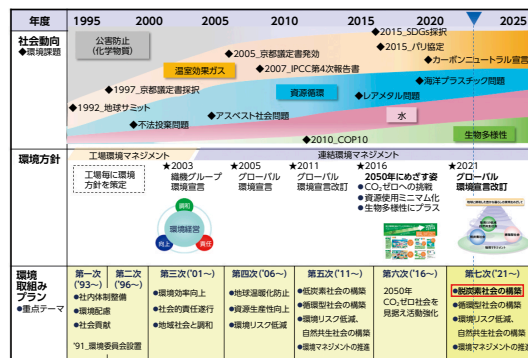


図1 当社の環境の取組み
Fig.1 The progress of TICO's environmental activities

安城工場2050年CO₂排出ゼロに向けたロードマップ

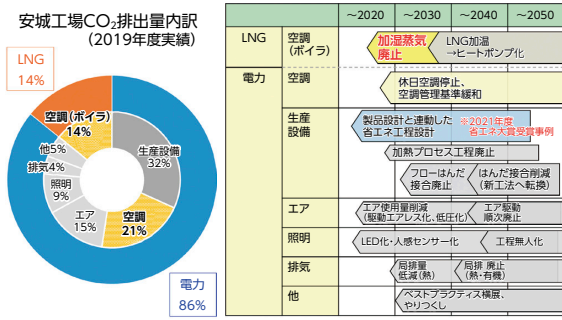


図2 安城工場 CO₂排出ゼロに向けたロードマップ
Fig.2 Roadmap of CO₂ reduction, Anjo plant

2.2 工場空調システム概要

はじめに、今回の活動の対象となる「工場空調システム」について説明する。安城工場では、車載用電子部品の生産を行っており、以下に示す3つの観点から、年間を通じた工場空調管理を実施している。

- ① 製品の静電破壊防止
- ② 作業環境維持
- ③ 工程のクリーン度維持

工場の空調管理を担う空調システムは、内調機と外調機で構成されており、外調機における加温／加湿用途として、ボイラーで生成した蒸気を用い、その熱源にLNGを使用する構成となっている(図3)。

また、空調エネルギーにおけるLNG使用量は、季節変動が大きいことが分かっている(図4)。理由は、製品の静電破壊防止を目的とした工場内の湿度管理において、特に湿度が下がる冬場は、加湿用途で大量の蒸気が必要となり、熱源として使用するLNGが増加するためである。

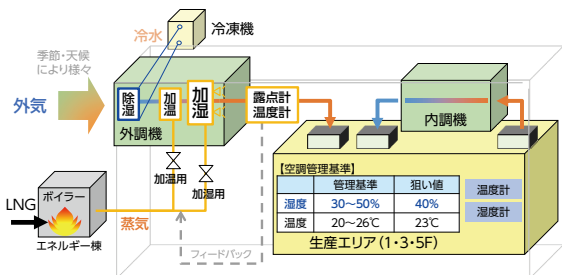


図3 安城工場 空調システム図
Fig.3 System diagram of Factory air conditioning

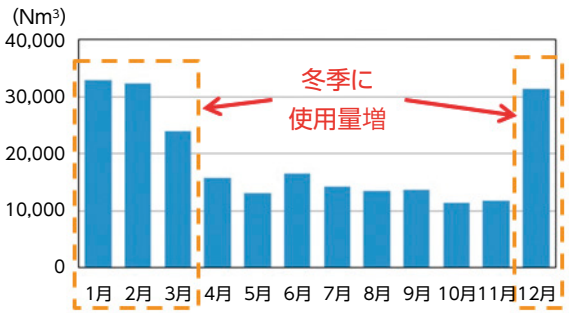


図4 年間LNG使用量推移
Fig.4 Yearly trend of LNG consumption

2.3 改善の着眼点

安城工場の生産工程は、1F / 3F / 5Fに配置されており(図5)、全てのフロアで全体空調を行っている。一方で、製品の静電破壊防止が必要となる工程の容積を測定してみると、3フロア分を足し合わせても424m³しかなく、工場容積の1%にも満たない(表1)。上記を踏まえ、必要エリアのみ静電気対策を実施できれば、工場全体の湿度管理を緩和できるのではないかと考え、方策検討に着手した。

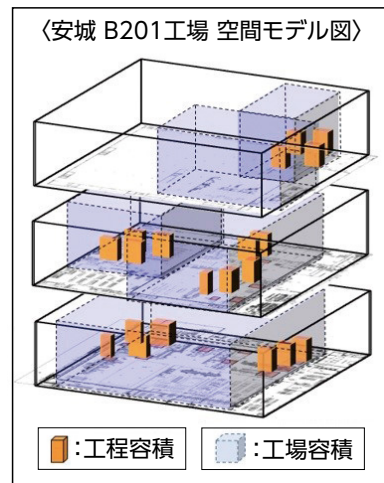


図5 安城工場空間モデル図
Fig.5 Floor map of Anjo plant

表1 工場／工程容積比較
Table1 Volume comparison of static-free space

	工場容積 (m ³)	工程容積 (m ³)
5F	9,500	80
3F	20,900	256
1F	17,500	88
合計	47,900	424

(0.89%)

2.4 方策立案と量産適用に向けた取組み

1) 現状把握

工場内からモデルとなる工程を選定し、設備・治工具・作業員、および組付け部品各々の帯電量を測定した(図6)。設備・治工具・作業員は、工場の接地ルールとドレスコード規定(制電服&安全靴)が遵守されており、帯電は見られなかった。部品は、導体/絶縁体に大別して調査を進めた。導体部品は帯電していないことを確認できた一方で、絶縁体部品は、定常状態では工場管理規格以下を示しているものの、作業等で周囲との接触や摩擦が起こった直後に、一部規格を上回っているものが見られた(表2)。

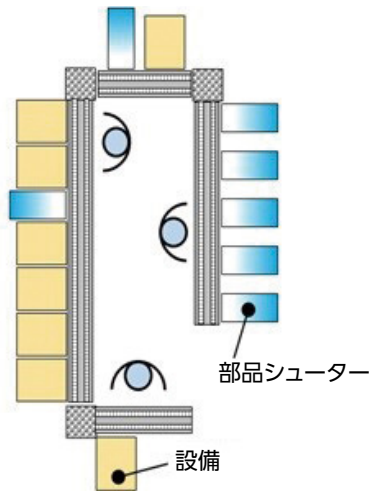


図6 モデル工程 レイアウト
Fig.6 Layout of Model Line

表2 モデル工程 静電気測定結果
Table2 Measurement Result of static charge in Model Line

項目	対象	結果	備考	
作業員	3人	帯電なし	帯電リスクなし (社内規定適用を確認)	
設備	8台	帯電なし		
治工具	13式	帯電なし		
部品	導体	26個	帯電なし	〈参考〉 ・設備/治工具仕様 ・作業員ドレスコード規定 ・部品荷姿/梱包仕様 etc..
	絶縁体	8個	一部帯電あり	

2) 対策案の洗い出し、比較検証

帯電部品の静電気を除去する方法として、イオン発生装置を用いた積極的な中和を行うことを考えた。比較した機器は以下のとおり(表3)。

表3 イオン発生装置 比較
Table3 Performance comparison of Ion generator

区分	項目	空間除電装置	イオンライザー		湿度による中和
			バータイプ	ファンタイプ	
Q	効果範囲	広範囲 15m ³	局所的 0.5m ³	局所的 0.2m ³	制限なし ∞m ³
	除電速度	やや速い ~数十秒程度	非常に速い ~数秒程度	非常に速い ~数秒程度	遅い 数分程度~
	異物飛散リスク	リスク低 無風	要管理 有風	要管理 有風	リスク低 無風

選定に当たり、最も重視したのは「効果範囲」である。工程内の至る所に配置された部品ひとつひとつに対し、個別のイオンライザーを設置して対策するのは、コスト面においても、管理運用面においても、現実的ではないと考え、工程内を広くカバーできる空間除電装置を有力候補として実証評価を進めた。一点、除電速度は、ファン型やバー型イオンライザーと比較すると若干劣るという点が懸念として挙がったが、対象工程のサイクルタイム内で目標レベルまで除電できることを確認し、採用を決定した。

3) 量産適用に向けた取組み

量産適用に当たり、万が一の品質リスクを最優先に考え、丁寧に進めていくことが求められた。まず工場内のエリアを限定して、湿度管理下限値を段階的に下げながら、工程内の全てのモノを対象に帯電量に変化がないか、数か月にわたり測定を続け、データを蓄積した。湿度を下げた環境下でも、大半の部品が規格を満足した一方で、数点の部品は、荷姿・シユート位置等の関係で、帯電量が規定値まで下がりきらないという現象が見られたため、追加でファン型イオンライザーを設置して対応した。実証評価を積み上げ、工場関係部署ともデータ共有・連携を深めながら徐々に対象工程を拡大し、2021年1月末より工場全体の湿度管理緩和を実現した。

2.5 取組みの結果と効果

今回の取組みにより、工場の湿度管理基準を緩和(下限撤廃)した結果、工場LNG使用量を40%削減することができた(図7)。

省エネ効果としては、以下のとおり。

- ・LNG使用量：▲138 [千Nm³/年]
(原油換算：▲160kL)
- ・CO₂排出量：▲316 [t-CO₂/年]

■ 著者紹介 ■



白井 俊治

栗栖 誠二

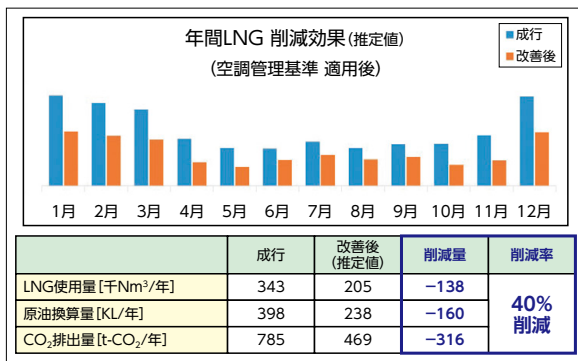


図7 年間LNG削減効果
Fig.7 LNG reduction effect

3 まとめ

本活動の結果、当社安城工場のLNG用途の大半を占めていた工場全館加湿を廃止、電気への置換えを行うことができた。

今後も、工場カーボンニュートラル実現に向け、経済的・社会的側面も考慮しながら、計画的に取組みを進めていく。

最後に、今回の『省エネ大賞』受賞に至る一連の取組みに際し、社内外の皆様にも多大なるサポートをいただいた。この場をお借りして厚く御礼申し上げます。

新歯形理論による電動車用低騒音スクロール圧縮機

Development of Low Noise Scroll Compressor for Electric Vehicles Based On New Scroll Wrap Profile Design Technology

前田 拓巳^{*1} 山下 拓郎^{*1}
 Takumi Maeda Takuro Yamashita

*1 コンプレッサ事業部 技術部

要 旨

カーエアコン用電動コンプレッサ「ESHシリーズ」に採用した新たなスクロール形状が、2022年度(令和4年度)日本機械学会賞(技術)・第73回(2023年)自動車技術会賞(技術開発賞)を受賞した。各賞と受賞概要を紹介する。

キーワード: 電動コンプレッサ、スクロール、低騒音

Abstract

The new scroll shape used in the ESH series of electric compressors for car air conditioners won the Japan Society of Mechanical Engineers Medals for New Technology 2022 and the Society of Automotive Engineers of Japan Award 2023 (The Technological Development Award). This paper describes each award and the new scroll.

Keywords: Electric compressor, scroll, low noise

1 はじめに

日本機械学会賞(技術)は、機械工業に関する新技術で画期的な新製品の開発、製品の品質または性能の向上あるいは生産の向上に寄与し、経済および社会的貢献の大きいものを受賞の対象としている。

また、自動車技術会賞は、自動車工学および自動車技術の向上発展の奨励を目的として1951年に設けられ、公益社団法人自動車技術会より、自動車技術における多大な貢献・功績に対して贈られる。その中で「技術開発賞」は、自動車技術の発展に役立つ新製品または新技術を開発した個人およびその共同開発者を対象としている。

今回の受賞は、株式会社豊田中央研究所 友田 達規氏、近藤 靖裕氏、堀 英津子氏との共同受賞であり、記念の賞状並びにメダルが贈られた(写真1)。

2 受賞概要

今後急速な普及が見込まれる電動自動車においては、乗員の快適性を左右する空調用圧縮機の静粛性向上が重要課題の一つとなっている。その課題克服のため、元来、歯車設計技術として開発された新歯形理論を拡張することで、長年にわたり不変であったインポリュート曲線に代わる新たな渦巻き曲線創成技術を確立し、圧縮性能・騒音・強度などの多性能を同時に満たす新歯形スクロールを開発した。特に、半径方向圧縮力変動と騒音の関係性に着目して、渦巻き体どうしが接触する位置を本技術で適性化することにより、当社の従来製品に比べて大幅な低騒音化を実現することができた。電動自動車では圧縮機をバッテリー冷却にも活用することから、その重要度は増しており、新歯形スクロールは多性能向上に大きく貢献する。



写真1 賞状・メダル
 Photo1 Certificate and medal

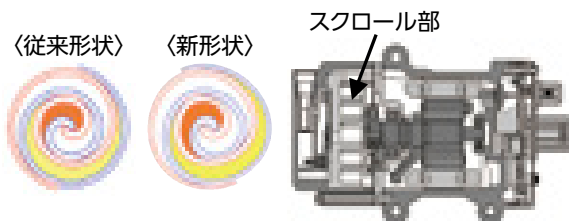


図1 スクロール形状と電動コンプレッサ断面図
 Fig.1 Scroll shape and electric compressor cross section

■ 著者紹介 ■



前田 拓巳 山下 拓郎

特許発明「スクロール型圧縮機の背圧調整機構」が全国発明表彰にて発明賞を受賞 The Patented Invention of “A Back Pressure Adjustment Mechanism of a Scroll Type Compressor” Won the Invention Award in the National Commendation for Invention

今福 真紀子^{*1}

Makiko Imafuku

*1 知的財産部

要 旨

特許発明「スクロール型圧縮機の背圧調整機構」(特許第5201113号)が全国発明表彰にて発明賞を受賞した。また、これに先立ち、中部地方発明表彰にて発明協会会長賞を受賞した。本発明は、圧縮動作に不可欠な可動側スクロールの背圧力をシンプルな構造で自動自律的に最適化することで、圧縮効率の向上と低コスト化の両立を実現したもので、本発明の技術は当社の全ての電動圧縮機に採用されている。特許発明の内容について紹介する。

キーワード: 全国発明表彰、背圧調整、電動圧縮機

Abstract

The patented invention of “A Back Pressure Adjustment Mechanism Of A Scroll Type Compressor” (Japanese Patent No. 5201113) won the invention award in National commendation for invention. Prior to the commendation, the invention won the award of President of Institute of Invention and Innovation in local commendation for invention of Chubu. The invention realizes both improvement of compression efficiency and cost reduction by automatically and autonomously optimizing the back pressure of the movable scroll, which is indispensable for compression operation, with a simple structure. The technique of the invention is used in all of our electric compressors. The contents of the patented invention are introduced.

Keywords: National Commendation for Invention, Back Pressure Adjustment, Electric Compressor

1 はじめに

2023年6月12日に公益社団法人発明協会主催の令和5年度全国発明表彰の表彰式が開催され、特許発明「スクロール型圧縮機の背圧調整機構」(特許第5201113号)が発明賞を受賞した。また、これに先立ち、2022年11月25日に公益社団法人発明協会主催の令和4年度中部地方発明表彰の表彰式が開催され、発明協会会長賞を受賞した。発明賞は全国発明表彰の中でも上位に位置付けられる賞であり、令和元年以来4年ぶりの受賞となった。また、発明協会会長賞は中部地方発明表彰の中で文部科学大臣賞、特許庁長官賞などに続く上から5番目の賞であり、栄えある受賞となった。

全国発明表彰や中部地方発明表彰は、それぞれ全国や中部地方における発明の奨励と育成を図るため、産業界において大きな実績を挙げ、かつ特に優れていると認められた発明の創作者に賞を授与すべく、毎年開催されている。

今回受賞した特許発明「スクロール型圧縮機の背圧調整機構」は、コンプレッサ事業部の伊藤達也さん、福谷義一さん、水藤健さんらによって創作されたものであり、記念の賞状並びにメダルが贈られた(写真1)。



写真1 全国発明表彰授賞式
Photo1 Awarded Winners at Ceremony of National commendation for invention

2 発明の内容

2.1 発明の背景

地球温暖化や化石燃料の枯渇といった環境問題に直面していることから全世界で規制厳格化が進み、全車両メーカーは燃費の良いハイブリッド自動車(以下、HEVという)や電気自動車(以下、BEVという)など車両の電動化を加速させている。これらの電動車に搭載されるカーエアコンは、昨今では室内冷房のみならず、暖房、電池冷却や電気機器冷

却などにも用途が広がっており(図1)、低燃費で航続距離を確保するためには、その心臓部を担う電動圧縮機をできるだけ少ない消費電力で運転できるように効率を向上させることが求められる。

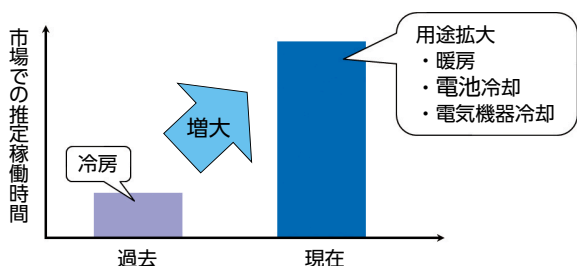


図1 用途拡大による電動圧縮機稼働時間
Fig.1 Operating time of electric compressor due to expanded use

電動圧縮機は、静粛性、体格、効率の観点から可動側と固定側の2つの渦巻壁からなるスクロール型が採用されている。スクロール型電動圧縮機は、圧縮力によって可動側が固定側から引き離されるため、効率的な圧縮を行うためには渦巻壁の先端の隙間を介した冷媒ガスの内部漏れを防ぐ必要がある、そのために可動側の背面に圧縮された冷媒ガスの圧力(以下、背圧力という)を圧縮力に対抗させるように作用させ、可動側を固定側に押し付ける必要がある(図2)。

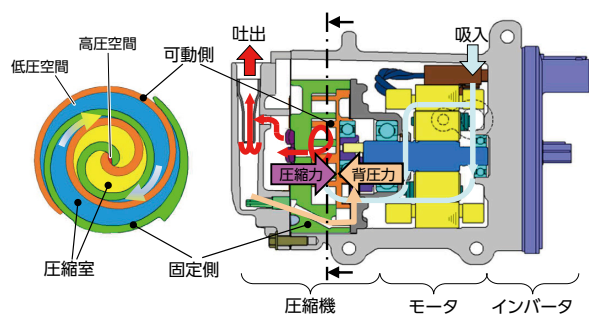


図2 電動圧縮機の構造
Fig.2 Structure of electric compressor

2.2 発明が解決しようとする課題

従来の背圧力を調整する背圧調整機構は、高压空間に絞りを介して接続される背圧空間と低压空間との間にボール弁を設け、その前後差圧でボール弁を開閉させることで背圧力の調整を行っていた(図3)。

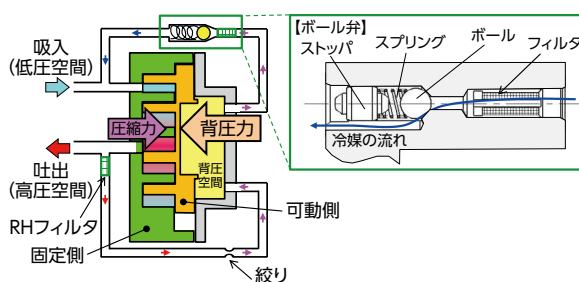


図3 ボール弁の背圧調整機構
Fig.3 Back pressure adjustment mechanism by ball valve

この方式では、背圧空間は一定の背圧力に設定されるため、使用範囲内で圧縮比が変動すると、圧縮比が小さい状態では過剰背圧となって接触部の高摩擦による機械損失が拡大し、逆に圧縮比が大きい状態では背圧不足となって接触部が離れ冷媒ガスの内部漏れ拡大に繋がる問題があり、いずれの場合にも高効率化を達成できず、低燃費(省電力)の要求に応えることができないという課題があった(図4)。また、ボール弁は、設定圧力の調整が複雑で高コストである。

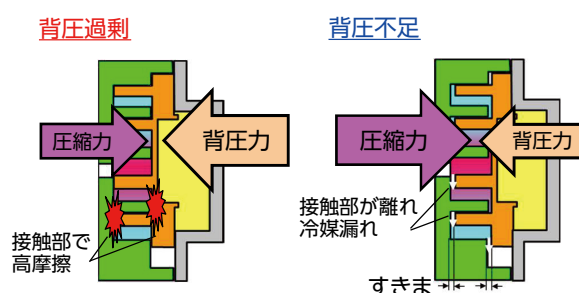
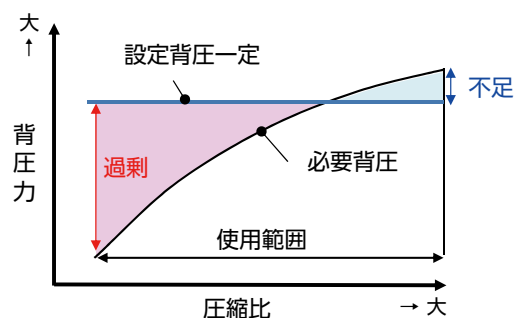


図4 従来の背圧挙動
Fig.4 Conventional back pressure behavior

2.3 発明の特徴

1) スラストバルブの基本構成

本発明は、圧縮力に対抗させる背圧力を圧縮室から直接背圧空間に導入させることで、常に最適な圧力で可動側を固定側に押し付けるようにした背圧調整機構であり、開閉機能として渦巻壁自身の軸方向移動を利用する弁機構(以下、スラストバ

ルブという)を核心とするものである。可動側には、背面と渦巻壁の先端を連通させる連通孔(給気通路)が設けられ、圧縮室と背圧空間とが連通可能となっている。また、圧縮室側の開口面積が大きくなるように渦巻壁の先端の壁面方向に延びるザグリ加工を施している(図5)。

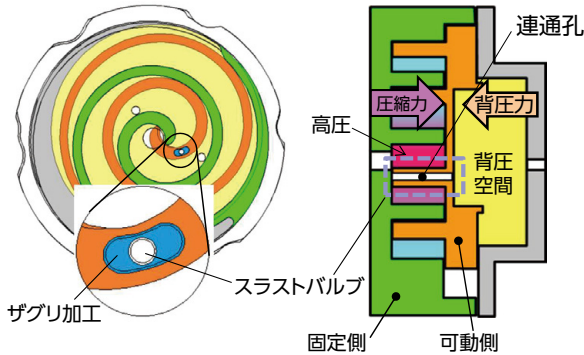


図5 スラストバルブの構成
Fig.5 Structure of thrust valve

2) スラストバルブの機能・効果

背圧力が不足(圧縮力>背圧力)する場合、圧縮力により可動側の渦巻壁の先端は固定側から離間するため連通孔が開く。これにより背圧空間は圧縮力に対抗できる程度に加圧され冷媒ガスの漏れを効果的に防止する。背圧力が十分(圧縮力<背圧力)の場合、逆に連通孔は閉鎖され背圧空間が過剰に加圧されることなく高摩擦による機械損失を効果的に防止する(図6)。開口時の冷媒ガスの漏れを極力低減するために、連通孔の流入口は高圧側に配置している。このようなスラストバルブでは、自動自律的に最適な背圧力の調整を行うことを可能とし(図7)、圧縮効率の向上を実現する電動圧縮機の提供を可能とする。

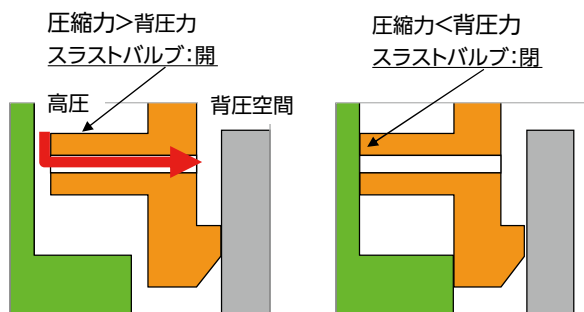


図6 スラストバルブの機能
Fig.6 Function of thrust valve

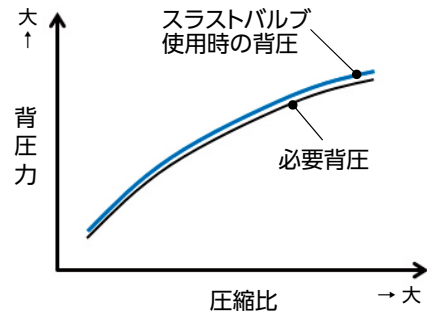


図7 スラストバルブの背圧挙動
Fig.7 Back pressure behavior of thrust valve

3 まとめ

今回受賞した特許発明「スクロール型圧縮機の背圧調整機構」は、当社の全ての電動圧縮機に採用され、多くのHEVやBEVなどの電動車に搭載されている。これにより、燃費改善に伴う航続距離の延長やCO₂の削減に貢献している。

知的財産部では、発明の益々の促進をはかり、当社の技術者が多くの技術的課題に取り組んだ成果を漏れなく特許出願して権利化することにより、当社製品に対するより強固な特許網を構築するとともに、今回のような名誉ある賞に値するような優れた発明を創出できるよう、今後も開発部署と一丸となって努めていきたい。

■ 著者紹介 ■



今福 真紀子

受賞者(伊藤達也さん)の思い

開発当時、車両燃費改善が重要視されており、効率向上代が大きい背圧最適化は大変注目されていました。背圧制御は圧縮を行う過程で肝になるため、圧縮機が運転される全てのシーンで成立性を見極める必要があり、特に低回転運転時のスラストバルブ開口による内部漏れは大きな課題でした。そういった課題に対しメンバーで知恵を出し合い、試行錯誤を繰り返すことでクリアし、信頼性と高効率を両立する背圧調整機構を成立させることができました。ひとえに多大なるご指導・ご協力を頂いた関係者の皆様のおかげです。深くお礼申し上げます。

この背圧調整機構は2011年に生産を開始したESA系電動コンプレッサで初めて採用され、現在も年間数百万台生産している当社の電動コンプレッサ全てに使用されています。今後も、このように社会に貢献できる魅力的な製品作りを進めていきたいと思っております。

特許発明「二段着火予混合燃焼」が愛知発明表彰にて愛知発明大賞を受賞 The Patented Invention of "Two-Stage Premixed Ignition Combustion" Won the Grand Prize in Aichi Prefecture Commendation for Invention at the Aichi Invention Award

小笠原 雅人^{*1}

Masato Ogasawara

*1 知的財産部

要 旨

特許発明「二段着火予混合燃焼」(特許第5062340号)が愛知発明表彰にて愛知発明大賞を受賞した。本発明は、ディーゼルエンジンにおける燃焼制御に関するものであって、熱発生率波形を最適化することで、コストの増加を抑制しつつ画期的な排気クリーンを実現したもので、本発明の技術は2021年に発売された新型トヨタ・ランドクルーザー300用ディーゼルエンジン(F33A-FTV)に採用されている。特許発明の内容について紹介する。

キーワード: 愛知発明表彰、予混合燃焼、二段着火

Abstract

The patented invention of "Two-Stage Premixed Ignition Combustion" (Japanese Patent No. 5062340) won the grand prize in Aichi prefecture commendation for invention at the Aichi invention award. The invention relates to combustion control in a diesel engine. By optimizing the heat release rate waveform, it is possible to achieve revolutionary clean exhaust gas while suppressing cost increases. The technology of the invention is used in the diesel engine (F33A-FTV) for the new Toyota Land Cruiser 300 released in 2021. The content of the patented invention are introduced.

Keywords: Aichi Invention Award, Premixed Ignition Combustion, Two-Stage Ignition

1 はじめに

愛知発明表彰は、愛知県内において優秀な発明をされた方々を表彰し、当該地域の発明奨励・振興を図ることを目的に、昭和55年から公益社団法人発明協会によって毎年開催されている。知的財産部ではこの愛知発明表彰に毎年社内発明を応募して、技術者のモチベーション向上および製品のPRを図っている。

2023年6月13日に令和5年度愛知発明表彰の表彰式が開催され、当社の発明である特許「二段着火予混合燃焼」(特許第5062340号)が栄えある愛知発明大賞を受賞した。当社としては3年連続の大賞の受賞である。

今回受賞した特許発明「二段着火予混合燃焼」は、既存技術の改良により、ディーゼルエンジンの燃費向上や騒音削減などを実現できる点をはじめ、汎用性が高く、環境問題への効果も期待できる点などが評価された。

今回受賞した特許発明は、エンジン事業部の葛山裕史さん、河合謹さん、町田匡浩さん、濱松健仁さんらによって発明されたものであり、記念の賞状並びに盾が贈られた(写真1)。



写真1 愛知発明表彰授賞式(左から愛知県発明協会副会長の佐々木さん、発明者の河合さん)

Photo1 Awarded Winners at Ceremony of Aichi Invention Award (From left; Aichi institute of Invention Vice President Sasaki, the inventor Mr. Tsutomu Kawai)

2 発明の内容

2.1 発明の背景

地球温暖化や化石燃料の枯渇といった環境問題に直面していることから全世界で排気規制の厳格化が進み、年々 BEV(電気自動車)化が加速してきているが、主に新興国において内燃機関に根強いニーズがある。

また2023年3月には欧州委員会から再生可能エネルギー由来の燃料e-fuelを使用した内燃機関搭載車に限り継続を認める発表がなされた。

内燃機関の一種であるディーゼルエンジンは、ガソリンエンジンに比べて燃費が良く、商用車や

大型SUV^{*1}に広く採用され、高効率化の技術も年々進化しており、全世界における市場についても、BEV化の加速に関わらず、今後しばらくは緩やかな成長を示すと予想^{*2}されている。

他方、厳格化が進む世界各国における排気規制(図1)に対応するためには、排気クリーン技術においても大幅な進化が求められている。

排気規制に対応する排気クリーン技術として、後処理装置(触媒等)の追加などコストの大幅な増加に繋がる技術が一般的に知られている。しかし、ディーゼルエンジンはガソリンエンジンと比較して高強度が必要な分コストが高く、このような追加構造によるコストの増加は、更なる市場拡販を阻む要因となり得る。

よって、コストの増加を抑制しつつ、排気クリーンを実現できる対策が求められていた。

※1 Sport Utility Vehicle

※2 IMARC Services Private Limited (出版日:2023/1/31)より

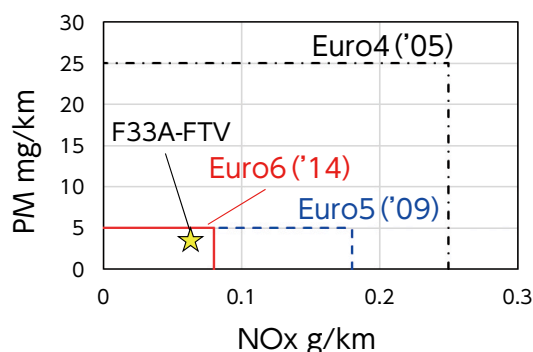


図1 欧州排気規制の推移(ディーゼル車)
Fig.1 Trends in European exhaust regulations (diesel vehicles)

2.2 発明が解決しようとする課題

コストの増加を抑制しつつ、排気クリーンを実現するにはエンジン本体での燃焼の改善が必要となる。そこで着目したのが、NOx(窒素酸化物)を大幅に低減できる次世代のディーゼル燃焼である予混合圧縮着火燃焼(PCCI: Premixed Charge Compression Ignition)である。

従来のディーゼルエンジンの燃焼は、拡散燃焼と呼ばれ、図2(a)に示すように、ピストンによって圧縮された高温高压の空気に燃料を噴射し、燃料噴霧表面から自己着火した後、自己拡散により燃焼が広がる。しかし燃料噴霧は燃料が濃いため高温燃焼となり、高温のガス中で空気の中のN(窒素)とO(酸素)が結合することでNOx(窒素酸化物)が大量に発生してしまう。

一方、PCCIでは、図2(b)に示すように、シリンダ内が高温高压になる前に燃料を噴射することで

燃料と空気を均質予混合化してから着火させ、局部的に燃料の濃いところを減らして燃焼温度を抑えられるためNOxを大幅に低減することが可能である。

このようにPCCIは燃料の噴射方式を変えるだけで、デバイスの追加無しでNOxを大幅低減可能である。

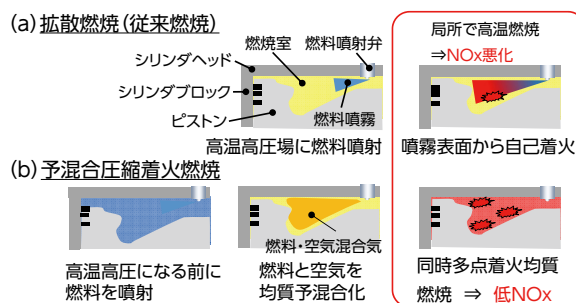


図2 拡散燃焼(従来)と予混合圧縮着火燃焼
Fig.2 Diffusion combustion (conventional) and Premixed Charge Compression Ignition

2.3 発明の特徴

本発明は、従来のPCCIを進化させた、更なる排気クリーンを達成する新たな燃焼制御である。

PCCIは、排気クリーンにできる一方、適用できる運転領域の狭さに課題があり、中負荷領域以上では熱発生率^{*3}ピークの高さに起因して燃焼騒音が大きいため、低負荷領域での使用に限られていた。

PCCIには、図3に示すように、噴射時期が早く熱発生率波形が圧縮上死点付近にあるタイプI(燃焼騒音は小さいが燃費が悪い)と噴射時期が比較して遅く熱発生率波形が圧縮上死点より遅角側にあるタイプII(燃焼騒音は大きいが燃費が良い)の2種類があるが、ここでは、敢えて燃焼騒音が大きいタイプIIを選択し、ディーゼルエンジンのメリットである燃費の良さを維持したまま燃焼騒音の低減を行った。

※3 内燃機関内の燃焼によって発生した単位時間当たりの熱量のこと

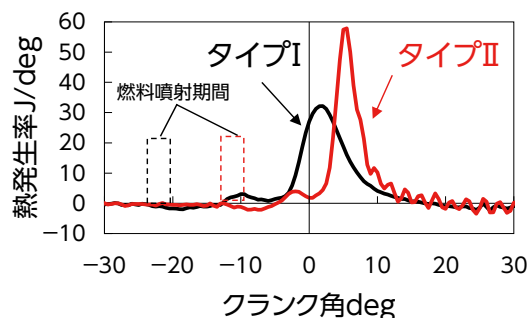


図3 予混合圧縮燃焼の2つの種類
Fig.3 Two types of Premixed Charge Compression Ignition

本発明では、燃焼騒音を小さくするために、燃料噴射を2回に分割し、熱発生率波形を二山形状（即ち、二段着火）として熱発生率ピークの低減を行った（図4）。

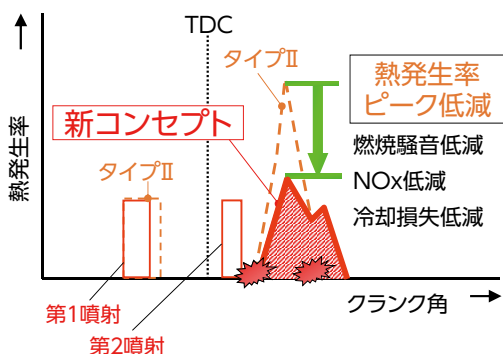


図4 本発明のコンセプト
Fig.4 Concept of the present invention

二山形状の熱発生率波形を形成する上で第2噴射時期が重要な役割を果たす。第2噴射時期を第1噴射の低温酸化反応のピークから高温酸化反応のピークの間（図5の「H」の期間）に実施することで二山形状の熱発生率波形を形成することができた。

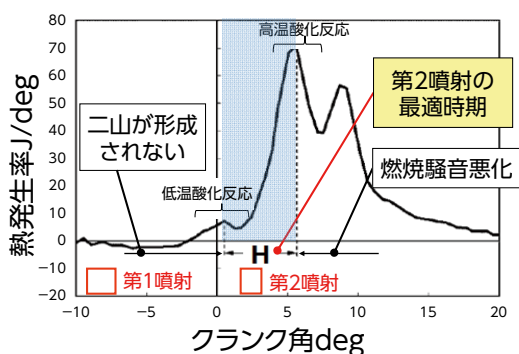


図5 第2噴射の最適時期
Fig.5 Optimal timing for second injection

結果、燃焼騒音を小さくすることができ、中負荷領域を含めた広い運転領域にPCCIを適用することで排気クリーンを実現することができた。

本発明により、従来比^{*4}で7%の燃費向上および65%のNOxを低減しつつ、燃焼騒音も6dBA低減することができた（当社調べ）。

*4 Euro5規制に適合された量産エンジンと比較

3 まとめ

今回受賞した特許発明「二段着火予混合燃焼」は、2021年に発売された新型トヨタ・ランドクルーザー300用ディーゼルエンジン（F33A-FTV）に採用され、世界125か国に導入されている。また、他のディーゼルエンジン車にも順次採用拡大を目指している

知的財産部では、発明の益々の促進を図り、当社の技術者が多くの技術課題に取り組んだ成果を漏れなく特許出願して権利化することにより、当社製品に対するより強固な特許網を構築するとともに、今回のような名誉ある賞に値するような優れた発明を創出できるよう、今後も開発部署と一丸となって努めていきたい。

■ 著者紹介 ■



小笠原 雅人

受賞者（河合謹さん）の思い

本発明は排ガス浄化装置の追加なく世界最高レベルの排気規制を達成するという非常に高い目標をもって開発が行われた中で生み出されたものです。

予混合圧縮着火燃焼のポテンシャルの高さは広く知られていましたが、一方で排気・燃費・燃焼騒音を高い次元でバランスさせることが非常に難しいことも知られていました。当初は予混合圧縮燃焼に合ったハード諸元への変更などの検討も行いました。しかし本発明の発見により従来のハード諸元でも予混合圧縮着火燃焼が実現できることが分かり実用化へ大きく前進し、またこの汎用性の高さが評価され受賞に至ったと思っています。

本発明を搭載したランドクルーザー300用ディーゼルエンジンF33A-FTVとして製品化するにあたり、豊田中央研究所はじめ社内外の多くの方々にご尽力賜りましたこと深く感謝します。

本受賞を励みに今後も人と社会、地球環境のためになるエンジンを創っていきたいと思います。

論文

Monograph

P.91 誘導機の回路モデルにおける軸方向影響とロータ温度の考慮

オキシメチレンジメチルエーテル(OME)燃料を用いたディーゼルエンジンのエミッション・燃焼特性

P.92 カーボンニュートラル燃料を用いたディーゼル混焼エンジンの可能性(第1報)

—3D-CFDによる軽油-水素 混焼エンジンにおける熱効率とエンジンアウトNO_xの限界性能の探索—

P.93 感圧・感温塗料を用いたターボチャージャインペラの圧力場計測

P.94 アンモニア単一燃料エンジンシステム(第1報)—システム成立性—

アンモニア単一燃料エンジンシステム(第2報)—動力性能と排気特性—

P.95 アンモニア単一燃料エンジンシステム(第3報)—冷間始動特性—

誘導機の回路モデルにおける軸方向影響とロータ温度の考慮 Consideration of Axial Effects and Rotor Temperature in Circuit Models of Induction Machines

平本 健二^{*1} 中井 英雄^{*1} 岩井 良樹^{*2} 古川 智康^{*2} 藁島 紀元^{*2}
Kenji Hiramoto Hideo Nakai Yoshiki Iwai Tomoyasu Furukawa Norimoto Minoshima

*1 株式会社豊田中央研究所 *2 トヨタL&Fカンパニー SC開発部

要旨

回路モデルは、モータ制御や特性把握において基本的なモデルである。ここでは、回転子スキュー、バー温度とバー内の電流分布を考慮した誘導機の回路モデルパラメータの導出法を提案する。提案法は、スキューといった軸方向の構造変化に対しても2次元磁界解析だけでパラメータを決定できるため、設計変更にも柔軟に対応できるという特徴がある。試験機の測定結果との比較により、導出した回路モデルパラメータによる解析結果は、精度が高いことを確認した。

キーワード: 誘導機、回路モデル、磁界解析、パラメータ

Abstract

The circuit model is a simple model that can be used for motor control and other applications. Here, we derive circuit model parameters that can take into account the rotor skew, bar temperature, and current distribution in the bar of an induction machine. The proposed method is characterized by the fact that the parameters can be determined only by 2D magnetic field analyses, even for axial structural changes such as skew, and can flexibly respond to design changes. The high accuracy of the model was confirmed from analysis results using the circuit model with the proposed parameters and the measurement data of a test machine.

Keywords: Induction machine, circuit model, magnetic field analysis, parameters

オキシメチレンジメチルエーテル(OME)燃料を用いた ディーゼルエンジンのエミッション・燃焼特性 Potential of Oxymethylene Dimethyl Ether for a Diesel Engine Improving Emission and Combustion Characteristics

小坂 英雅^{*1} 冬頭 孝之^{*1} 脇坂 佳史^{*1} 植田 玲子^{*1} 西川 一明^{*1} 河合 謹^{*2}
Hidemasa Kosaka Takayuki Fuyuto Yoshifumi Wakisaka Reiko Ueda Kazuaki Nishikawa Tsutomu Kawae

*1 株式会社豊田中央研究所 *2 エンジン事業部 技術部

要旨

再生可能エネルギーから製造されるオキシメチレンジメチルエーテル(OME)は、Well-to-WheelのCO₂排出量やその他の排気有害物質を削減する燃料として有望視されている。特に、ディーゼル燃焼の煤-NOx(窒素酸化物)トレードオフは、OMEを使用することで劇的に改善される。最近の研究では、C-C結合を持たないOMEの化学構造により、煤の発生が抑制されることが明らかになった。本論文では、単気筒ディーゼルエンジンを用いて、OME_{3.5}の燃焼およびエミッション特性の改善効果を実証した。シミュレーションからは、燃料の高い酸素含有率による燃焼領域での当量比低減、これによって可能になるEGR増加により、煤-NOxトレードオフの改善を実現することが示された。

キーワード: 熱機関、オキシメチレンジメチルエーテル、圧縮自着火燃焼、エミッション

Abstract

Oxymethylene dimethyl ether (OME) produced from renewable energy is a promising fuel for reducing Well-to-Wheel CO₂ emissions and other pollutants. Especially the Soot-NOx trade-off of diesel combustion dramatically improved by using OME. Recent investigations revealed that the chemical structure of OME without C-C bond reduced soot production. In the present paper, we examined the use of OME_{3.5} in a single-cylinder diesel engine and proved improved combustion and emission characteristics. Simulation results indicate that the lower flame temperature and lower equivalence ratio due to higher oxygen content realized improved Soot-NOx trade-off.

Keywords: Heat engine, Oxymethylene dimethyl ether, Compression ignition combustion, Emissions

カーボンニュートラル燃料を用いたディーゼル混焼エンジンの可能性(第1報) -3D-CFDによる軽油-水素 混焼エンジンにおける熱効率とエンジンアウトNOxの限界性能の探索- Potential of a Dual-fuel Engine Using Carbon Neutral Fuel Ignited with Diesel Pilot (First Report) -Exploring the Ultimate Performances of Thermal Efficiency and Engine-out NOx in a Diesel-hydrogen Dual Fuel Engine by Using 3D-CFD-

稲垣 和久^{*1} 堀田 義博^{*2}
Kazuhisa Inagaki Yoshihiro Hotta

*1 株式会社豊田中央研究所 *2 エンジン事業部 技術部

要 旨

水素・ディーゼル混焼エンジンのポテンシャルを3D-CFDにより検討した。水素の均一予混合気を軽油噴射で着火する方式では、軽油パイロット噴射のタイミングと量を最適化することで水素の着火タイミングを制御できること、多量のEGRガスを導入することで低NOx(窒素酸化物)かつ穏やかな燃焼が得られることがわかった。図示熱効率はディーゼルエンジン並みの48.5%に達し、大量EGRにより図示平均有効圧1.2MPaの高負荷でも50ppmの低NOxが可能である(ディーゼルの1/4レベル)。一方、水素を上死点付近で筒内噴射して軽油噴射で着火する方式では、異常燃焼を伴うことなく圧縮比を上げることが可能であり、熱効率を55%程度まで高めることができると予測された。

キーワード: 熱機関、圧縮着火エンジン、性能/燃費、排気ガス

Abstract

Potential of a dual-fuel engine of hydrogen ignited using diesel pilot was explored at a high load of 1.2MPa in IMEP by 3D-CFD. The CFD results have shown that ignition timing of hydrogen can be well controlled by optimizing the injection timing and quantity of diesel pilot, and mild burn with low NOx can be obtained by large amount of EGR gas. In the case of the homogenous distribution of hydrogen, that was conducted by early injection of hydrogen, the indicated thermal efficiency can reach 48.5%, that is the same level with a diesel engine. At the same time, engine-out NOx can be drastically reduced to 50ppm (1/4 level of diesel) even at high load of 1.2MPa (IMEP) with a high ratio of EGR gas. Furthermore, hydrogen diffusive combustion conducted by the late injection (around TDC) of hydrogen with diesel pilot was explored by 3D-CFD. It has been indicated that thermal efficiency of the diffusive combustion, that is free from preignition, can be pushed to around 55% by increasing compression ratio.

Keywords: Heat engine, Compression ignition engine, Performance/fuel economy, Emissions gas

感圧・感温塗料を用いたターボチャージャインペラの圧力場計測

Measurement of Surface Pressure Field of Turbocharger Impeller Using Pressure and Temperature Sensitive Paints

古谷 豪教^{*1} 中井 啄己^{*1} 今井 雅人^{*1} 柿本 富広^{*1} 亀田 正治^{*1}
Takenori Furuya Takumi Nakai Masato Imai Tomohiro Kakimoto Masaharu Kameda

松岡 裕也^{*2} 町田 和也^{*2} 松田 眞明^{*2} 種田 剛夫^{*2}
Yuya Matsuoka Kazuya Machida Masaaki Matsuda Yoshio Taneda

*1 東京農工大学 *2 エンジン事業部 技術部

要 旨

ターボチャージャは、エンジンに供給される空気の質量流量を増加させる装置である。圧縮効率や作動レンジを改善するためには、インペラ翼面圧力分布を適切に設計することが重要である。

感圧塗料 (PSP) は対象物の表面圧力分布を非接触測定するための光学センサーであり、ターボ機械への応用は1990年代から研究されている。しかし、高圧高温環境かつ高回転のターボチャージャインペラの計測は未だ困難である。

本研究では、温度影響のあるPSPに対し、感温塗料 (TSP) を併用した測定技術を開発した。露光時間の短い高速カメラを用いて、各インペラ翼のPSPとTSPを交互に撮影し、温度補正を入れた寿命法を適用した。塗料は本試験に合わせ適切に配合したものを用いた。

定格回転数に近い182krpm、インペラ表面温度が100℃を超える条件で測定を実施し、結果としてCFD解析と一致する信頼性の高い圧力分布が得られた。

キーワード: ターボチャージャ、インペラ、感圧塗料

Abstract

The turbocharger is an effective device in internal combustion engines that increases the mass flow of air supplied to the engine. It is crucial to design appropriate impeller surface pressure distribution for the improvement of compression efficiency and wide flow range.

Pressure-sensitive paint (PSP) is an optical sensor for non-contact measurement of the surface pressure profile of the object. The application of PSP to turbomachinery has been investigated continuously since the 1990s, but the turbocharger impeller is still a difficult target.

In this study, a PSP measurement technique using Temperature-sensitive Paint (TSP) to compensate the temperature effect on PSP signals was developed. The technique was the lifetime-based method using a high-speed camera with a very short exposure, taking pictures PSP and TSP painted blades alternately and the appropriate paint formulation.

Measurement was conducted at 182krpm, which was close to the rated speed. The impeller surface temperature exceeds 100℃ at that rotational speed. As a result, the PSP signals provide reliable surface pressure distributions consistent with CFD analysis.

Keywords: Turbocharger, impeller, pressure-sensitive paint

アンモニア単一燃料エンジンシステム(第1報) – システム成立性 – Ammonia Mono-fueled Engine System (First Report) – System Feasibility –

竹内 秀隆^{*1} 本間 隆行^{*1}

Yoshitaka Takeuchi Takayuki Homma

*1 先行要素開発センター

要 旨

アンモニアは燃やしてもCO₂を排出せず、容易に液体となり貯蔵や輸送効率に優れるため、脱炭素燃料として注目されている。難燃性のアンモニア燃料をレシプロエンジンに適用するため、オンボード改質システムを構築した。冷間始動や運転領域の確保、排気抑制などの課題解決に取り組み、システム成立性を検証した。

キーワード: アンモニア、火花点火エンジン、代替燃料、燃料改質

Abstract

Ammonia is attracting attention as a decarbonized fuel due to no CO₂ emission, easily liquefaction and relatively high efficiency for storage and transport. The reciprocating engine with an on-board reforming system to extract highly combustible hydrogen from a part of ammonia has been developed, because ammonia has poor combustibility. Feasibility of the ammonia mono-fueled engine was studied for cold-start, securing of operational range and emission control.

Keywords: Ammonia, Spark ignition engine, Alternative fuel, Fuel reforming

アンモニア単一燃料エンジンシステム(第2報) – 動力性能と排気特性 – Ammonia Mono-fueled Engine System (Second Report) – Power Performance and Emission Characteristics –

本間 隆行^{*1} 竹内 秀隆^{*1} 薬師寺 新吾^{*2} 高島 良胤^{*2} 佐古 孝弘^{*2}

Takayuki Homma Yoshitaka Takeuchi Shingo Yakushiji Yoshitane Takashima Takahiro Sako

*1 先行要素開発センター *2 大阪ガス株式会社

要 旨

アンモニア単一燃料では燃えにくいことから、既存エンジンにオンボード改質システムを追加し、アンモニアから改質した水素との混焼によりエンジン運転領域を確保した。出力や排気などのエンジン特性を取得するとともに、実用機器としてトーイングトラクターと可搬形発電機に搭載して運転評価を実施した。一連の評価で既存の化石燃料を用いたエンジンと同じように使えることを示した。

キーワード: アンモニア、単一燃料、燃料改質、出力性能、排気ガス

Abstract

An industrial reciprocating engine was added the developed on-board reforming system, because ammonia has poor combustibility. Usual operating range of the engine system was kept by co-firing hydrogen reformed partially from ammonia. The developed engine system was modified to be mounted on a towing tractor and a power generator as demonstration machines. The evaluation results indicate that the engine can be used equivalently as existing internal combustion engines using fossil fuels.

Keywords: Ammonia, Mono-fuel, Fuel reforming, Power performance, Exhaust emissions

アンモニア単一燃料エンジンシステム(第3報) – 冷間始動特性 – Ammonia Mono-fueled Engine System (Third Report) – Cold Start Performance –

宮川 浩^{*1} 鈴置 哲典^{*1} 中谷 規之介^{*2} 本間 隆行^{*2} 竹内 秀隆^{*2}

Hiroshi Miyagawa Tetsunori Suzuki Norinosuke Nakatani Takayuki Homma Yoshitaka Takeuchi

*1 株式会社豊田中央研究所 *2 先行要素開発センター

要 旨

市販の列型エンジンに、オートサーマル方式のオンボード改質器と排気後処理装置として三元触媒とSCR触媒を取り付け、アンモニアを単一の燃料とするエンジンシステムを構成した。本報では、混合気の空気過剰率を段階ごとに制御することにより、未燃アンモニアや窒素酸化物の排出を抑制した冷間始動が可能であることを示す。

キーワード: アンモニア、火花点火エンジン、冷間始動、燃料改質、エミッション

Abstract

This study demonstrates the cold start performance of ammonia mono-fueled engine system. The system was composed with a commercial four-cylinder spark ignition engine and a developed on-board ammonia reformer by means of autothermal reforming. A TWC (Three-Way Catalyst) and a SCR (Selective Catalytic Reduction) catalyst were also adapted the system for exhaust aftertreatment. The engine achieved a starting operation in 3 seconds while the reformer provided stable hydrogen fraction within several seconds. Zero ammonia emissions and pretty low NO_x and N₂O emissions were obtained during cold start operation by controlling the excess air ratio of mixture step by step.

Keywords: Ammonia, Spark ignition engine, Cold start, Fuel reforming, Exhaust emissions

技報

TOYOTA INDUSTRIES TECHNICAL REVIEW

編集後記

「技報」をご愛読いただきましてありがとうございます。

世の中では新型コロナウイルス感染拡大や地球温暖化など大規模な環境変化が進行しています。これに対し、多くの企業がカーボンニュートラルやサステナビリティ、デジタル化などを掲げ、さまざまな技術革新に力を注いでいます。

本号では、このような時代の変化に柔軟に対応し続け、いつの時代も必要不可欠な「基盤技術」を特集としました。ソフトウェア、材料、知的財産は過去から未来にわたって当社事業の支えとなっています。ぜひ本号をご一読いただき、当社の技術力を感じていただけますと幸いです。

今後も、社内外の最先端の技術情報を読者の皆さんにお届けし、活性化や相互研鑽の一助となるよう、質の高い誌面づくりに努めてまいります。

最後に、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) 様をはじめ、ご寄稿いただいた執筆者や編集委員の皆さんに技報事務局より心からの感謝を申し上げます。

技報事務局 (R&D統括部)
大室 渉

編集委員

野田 昇 (トヨタL&Fカンパニー)	神谷 恭平 (繊維機械事業部)
樋脇 孝平 (自動車事業部)	今村 太郎 (ITデジタル推進部)
加藤 文弘 (エンジン事業部)	宮部 祐三子 (知的財産部)
伊藤 智志 (エレクトロニクス事業部)	前坂 敏彦 (生技開発センター)
坪井 浩志 (コンプレッサ事業部)	杉本 和彦 (ダイエンジニアリングセンター)

豊田自動織機 技報 No.74

2023年11月発行
(禁無断転載)

発行所 株式会社 豊田自動織機
〒448-8671 愛知県刈谷市豊田町2丁目1番地
TEL 0566-22-2511 (代表)

発行人 一条 恒

印刷所 株式会社 アイワット



株式会社 豊田自動織機

