

# 技報 71

2020.11 No.

TOYOTA INDUSTRIES TECHNICAL REVIEW

株式会社 豊田自動織機

特集 ものづくりを支える豊田自動織機の情報システム

Information Technology



# 技報71

2020.11 No.  
TOYOTA INDUSTRIES TECHNICAL REVIEW

株式会社 豊田自動織機

## 表紙の説明

今号の表紙は、特集で取り上げたデジタル技術がものづくりを支えて、さらに広がっていくことをイメージしております。

## 目次

卷頭言	4 このデジタル技術の時代にどう立ち向かう!?																			
特 集	6 ものづくりを支える豊田自動織機の情報システム 大橋 健児 小室 信二 岡田 真紀 宮澤 準司 佐藤 晃輔 若山 有希 藤崎 幸子 駒田 和史 久保田 翔輔 小林 浩 細川 雅人																			
トレンド	32 「アディティブ・マニュファクチャリング」今までとこれから 丸岡 浩幸																			
製品技術紹介	39 新型ハリアーの開発 秋本 周吾 森山 誠 稲垣 裕也 柴田 篤 近藤 健太 西郡 健太 中神 悠佑 桑原 広樹 宮澤 康介 井口 大輔	49 粗紡機一斉ドッファの開発 峯野 太一	55 TMH初のフルモデルチェンジ開発 電動フォークリフト 8FBC15Uの開発 Jeffrey Fritsch	59 新型1.5kW ACインバータの開発 竹内 崇 市古 雅寛 伊藤 寿晃 森川 真人	63 新型車ヤリス HV向け DC-DCコンバータの開発 間瀬 知行 迫田 慎平 堀田 祐希 原 清仁	67 RAV4 PHV向け昇圧コンバータの開発 古野間 高顕 鶴部 真治 須網 勝	73 RAV4 PHV および Lexus UX300e・C-HR EV向け6.6kW 車載充電器の開発 鈴木 隆弘 滝 浩治	79 シミュレーション活用による産業用エンジンDPFシステム開発 元山 雄登	84 金型加工における刃具異常予知技術 久保 勇人 八木 正	90 特定顧客向け 自動運転タグ & ダイレス絞り工法 青山 茂樹 黒田 博允 小林 基久雄 溝口 宏徳 山内 大介 加藤 和重 薬師 忠幸	97 機械学習を活用した受注成否予測による特型フォークリフトの リードタイム短縮 小紫 浩史 鈴木 亮司 塚原 俊英	104 プロセスダンピングツールを利用した旋削加工におけるびびり振動抑制 嶋野 洋	109 ダイカスト金型加工における刃具寿命管理システムの開発 花井 真澄 金子 博厚 大嶽 篤司 石田 大介 杉原 純子	115 匠の技を知る 尾張七宝の工房を訪ねて 一匠の総合力で一つの工芸品を作る—	122 特許発明「紡機におけるドラフト装置」が経済産業大臣賞を受賞 山本 達也	124 特許発明「エアジェットルームの変形筋」が愛知発明賞を受賞 吉川 康宏	126 自動車塗装乾燥工程における省エネルギーの取り組み 江崎 慎亮	132 かご形誘導電動機におけるロータバー切れ時の定常特性解析 河瀬 順洋 山口 忠 小澤 良輔 魚住 啓斗 河野 寛 渡邉 将史 草留 泰三	132 低温プラズマによるガスエンジンの点火手法の研究 塙本 貴大 松本 優 塙山 達也 森吉 泰生 前嶋 秀明 衣沢 喜幸	133 高速IPMSMにおける高調波銅損と高調波鉄損を最小化する パルスパターンの検証 伊藤 健 熊谷 崇宏 伊東 淳一 山根 和貴 山田 伸明 名和 政道
技術解説	97 機械学習を活用した受注成否予測による特型フォークリフトの リードタイム短縮 小紫 浩史 鈴木 亮司 塚原 俊英	104 プロセスダンピングツールを利用した旋削加工におけるびびり振動抑制 嶋野 洋	109 ダイカスト金型加工における刃具寿命管理システムの開発 花井 真澄 金子 博厚 大嶽 篤司 石田 大介 杉原 純子	115 匠の技を知る 尾張七宝の工房を訪ねて 一匠の総合力で一つの工芸品を作る—	122 特許発明「紡機におけるドラフト装置」が経済産業大臣賞を受賞 山本 達也	124 特許発明「エアジェットルームの変形筋」が愛知発明賞を受賞 吉川 康宏	126 自動車塗装乾燥工程における省エネルギーの取り組み 江崎 慎亮	132 かご形誘導電動機におけるロータバー切れ時の定常特性解析 河瀬 順洋 山口 忠 小澤 良輔 魚住 啓斗 河野 寛 渡邉 将史 草留 泰三	132 低温プラズマによるガスエンジンの点火手法の研究 塙本 貴大 松本 優 塙山 達也 森吉 泰生 前嶋 秀明 衣沢 喜幸	133 高速IPMSMにおける高調波銅損と高調波鉄損を最小化する パルスパターンの検証 伊藤 健 熊谷 崇宏 伊東 淳一 山根 和貴 山田 伸明 名和 政道										
トピックス	115 匠の技を知る 尾張七宝の工房を訪ねて 一匠の総合力で一つの工芸品を作る—	122 特許発明「紡機におけるドラフト装置」が経済産業大臣賞を受賞 山本 達也	124 特許発明「エアジェットルームの変形筋」が愛知発明賞を受賞 吉川 康宏	126 自動車塗装乾燥工程における省エネルギーの取り組み 江崎 慎亮	132 かご形誘導電動機におけるロータバー切れ時の定常特性解析 河瀬 順洋 山口 忠 小澤 良輔 魚住 啓斗 河野 寛 渡邉 将史 草留 泰三	132 低温プラズマによるガスエンジンの点火手法の研究 塙本 貴大 松本 優 塙山 達也 森吉 泰生 前嶋 秀明 衣沢 喜幸	133 高速IPMSMにおける高調波銅損と高調波鉄損を最小化する パルスパターンの検証 伊藤 健 熊谷 崇宏 伊東 淳一 山根 和貴 山田 伸明 名和 政道													
表 彰	124 特許発明「エアジェットルームの変形筋」が愛知発明賞を受賞 吉川 康宏	126 The Efforts of Energy Conservation in Automobile Paint Furnace Process Shinsuke Ezaki	132 Steady State Characteristics Analysis of Induction Motor with Broken Rotor Bars Yoshihiro Kawase Tadashi Yamaguchi Ryosuke Ozawa Hiroto Uozumi Hiroshi Kawano Masashi Watanabe Taizo Kusadome	132 A Study of Ignition Method for Gas Engine using Low Temperature Takahiro Tsukamoto Osamu Matsumoto Tatsuya Kuboyama Yasuo Moriyoshi Hideaki Maeshima Yoshiyuki Kinuzawa	133 Verification of Pulse Pattern to Minimize Harmonic Iron Loss and Harmonic Copper Loss for High Speed IPMSM Takeshi Ito Takahiro Kumagai Jun-ichi Ito Kazuki Yamane Nobuaki Yamada Masamichi Nawa															
論 文	132 低温プラズマによるガスエンジンの点火手法の研究 塙本 貴大 松本 優 塙山 達也 森吉 泰生 前嶋 秀明 衣沢 喜幸	133 Verification of Pulse Pattern to Minimize Harmonic Iron Loss and Harmonic Copper Loss for High Speed IPMSM Takeshi Ito Takahiro Kumagai Jun-ichi Ito Kazuki Yamane Nobuaki Yamada Masamichi Nawa																		

## CONTENTS

Foreword	4 Tackle Challenges in the Digital Technology Era Kazunari Masuoka																			
Feature	6 Information Technology Kenji Ohashi Shinji Omuro Tomonori Okada Junji Miyazawa Kosuke Sato Yuki Wakayama Sachiko Fujisaki Kazuhito Komada Yusuke Kubota Hiroshi Kobayashi Masahito Hosokawa																			
Trend	32 "Additive Manufacturing" Up Until Now and in the Future Hiroyuki Maruoka																			
Product Technology	39 Development of New Harrier Shugo Akimoto Akira Moriyama Yuya Inagaki Atsushi Shibata Kenta Kondo Kenta Nishigori Yusuke Nakagami Hiroki Kuwabara Yosuke Miyazawa Daisuke Iguchi	49 Development of Auto Doffing System for Roving Frame Taichi Mineno	55 8FBC15U Electric Counter Balanced Forklift - TMH's 1st Full Model Development Jeffrey Fritsch	59 Development of 1.5kW AC Inverter Takashi Takeuchi Masahiro Ichigo Toshiaki Ito Masato Morikawa	63 Development of DC-DC Converter for the New Yaris HV Tomoyuki Mase Shimpei Sakoda Yuki Horita Kiyohito Hara	67 Boost Converter Development for RAV4 PHV Takaaki Konoma Shinji Wanibe Masaru Suami	73 Development of On-Board Battery Charger for the RAV4 PHV & Lexus UX300e, C-HR EV Takahiro Suzuki Koji Taki	79 Development of DPF System for Industrial Engine Based on Simulation Yuto Motoyama	84 Prediction of Tool Life in Ferrous Metal Processing Hayato Kubo Tadashi Yagi	90 Automated control Tugger for Specific customer & Dieless drawing method Shigeiki Aoyama Hiromitsu Kuroda Kikuo Kobayashi Hironori Mizoguchi Daisuke Yamauchi Kazushige Kato Tadayuki Yakushi	97 Lead-Time Reduction of Special-Design Forklift Trucks by Order-Winning Prediction Using Machine Learning Hiroshi Komurasaki Ryoji Suzuki Toshihide Tsukahara	104 Suppression of Chatter Vibration Using Process Damping Tool in Turning Hiroshi Shimano	109 Development of Tool Life Management System for Die Machining Masumi Hanai Hiroatsu Kaneko Atsushi Otake Daisuke Ishida Ayako Sugihara	115 Owari Cloisonne Ware (Wired Cloisonne)	122 The Patented Invention of "Drafting Device in Spinning Machine" Won the Prize of the Minister of Economy, Trade and Industry Tatsuya Yamamoto	124 The Patented Invention of "Profile Reed for Air Jet Loom" Won the Aichi Invention Award Yasuhiro Yoshikawa	126 The Efforts of Energy Conservation in Automobile Paint Furnace Process Shinsuke Ezaki	132 Steady State Characteristics Analysis of Induction Motor with Broken Rotor Bars Yoshihiro Kawase Tadashi Yamaguchi Ryosuke Ozawa Hiroto Uozumi Hiroshi Kawano Masashi Watanabe Taizo Kusadome	132 A Study of Ignition Method for Gas Engine using Low Temperature Takahiro Tsukamoto Osamu Matsumoto Tatsuya Kuboyama Yasuo Moriyoshi Hideaki Maeshima Yoshiyuki Kinuzawa	133 Verification of Pulse Pattern to Minimize Harmonic Iron Loss and Harmonic Copper Loss for High Speed IPMSM Takeshi Ito Takahiro Kumagai Jun-ichi Ito Kazuki Yamane Nobuaki Yamada Masamichi Nawa
Technical Review	115 Owari Cloisonne Ware (Wired Cloisonne)																			
Topics	122 The Patented Invention of "Drafting Device in Spinning Machine" Won the Prize of the Minister of Economy, Trade and Industry Tatsuya Yamamoto																			
Commendation	124 The Patented Invention of "Profile Reed for Air Jet Loom" Won the Aichi Invention Award Yasuhiro Yoshikawa																			
Monograph	126 The Efforts of Energy Conservation in Automobile Paint Furnace Process Shinsuke Ezaki																			

## 巻頭言



経営役員  
柾岡 一成

Senior Executive Officer  
Kazunari Masuoka

# このデジタル技術の時代に どう立ち向かう!?

「おまえ!クビだ!」

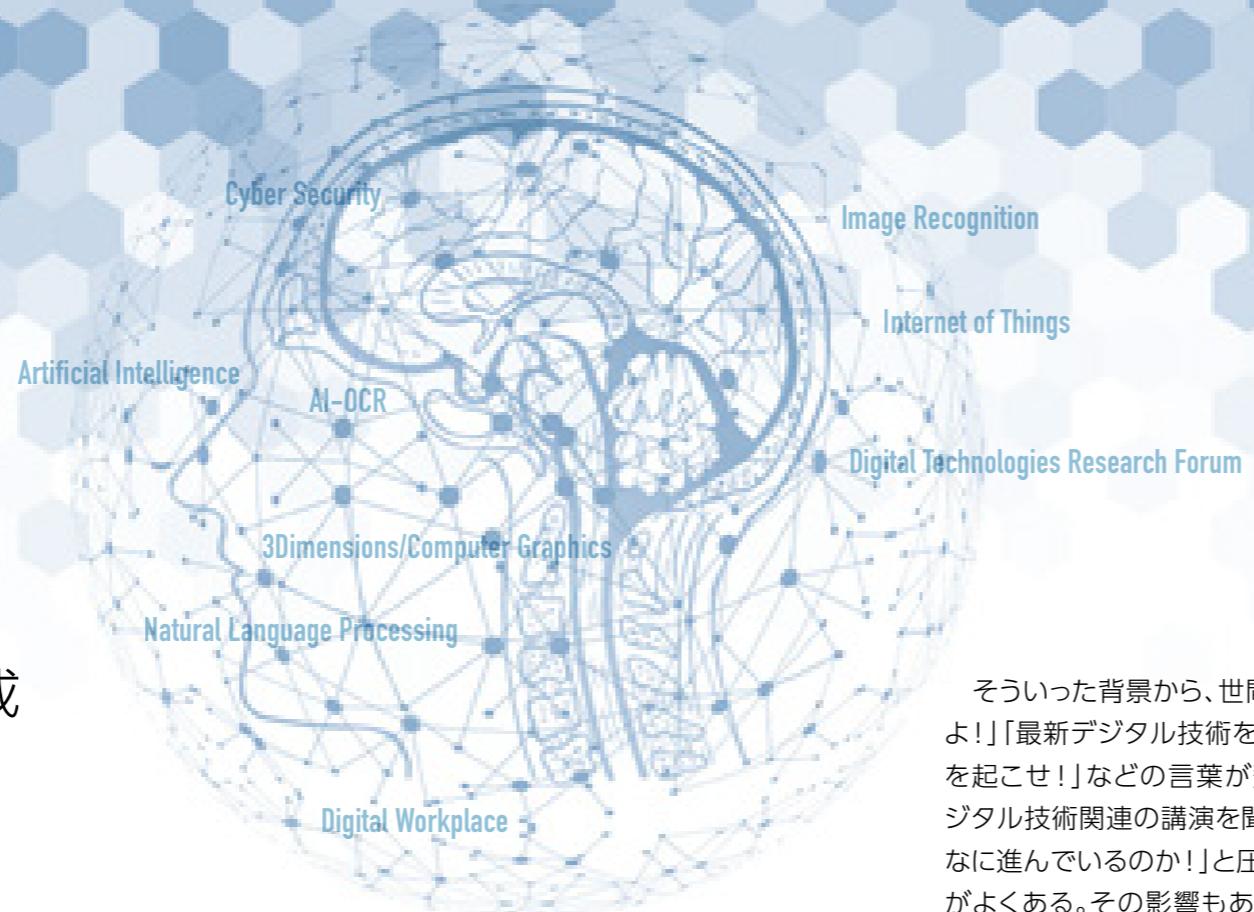
この瞬間、私の顔は青ざめ、本当にクビを覚悟した。今となっては笑い話だが、当時、社内ではかなり深刻な問題になっていた。この苦い経験が私の良き教訓となっている。

私は2006年11月東京支社で実施された全社品質管理大会で発表し、故朝香鐵一先生のご指導を受けた。どうやら私の発表内容は朝香先生のツボを刺激してしまったようで、発表当日の厳しいご指導だけでは済まず、先生のご自宅にお伺いして追加で工程能力評価に対するご指導を受けることになっていた。「サンプリングデータはどうやって収集したんだ?」「いつのデータだ?」「いくつのデータだ?」「この計算はどうやってやったんだ?」など次から次へと質問を受けた。最初から朝香先生は

私が基本を十分に理解せずにアウトプットされたデータだけを見て判断していることを見抜いていた。「あなたはどこで統計学を勉強したんだ!」「大学で勉強したなんて言わせないぞ!」「基本もわかっていないくせに、設備で取得したデータを自動計算した結果をうのみにして、新型車の品質が向上しましたなんて、よく言えたな!」そして、最後が冒頭で紹介した「おまえ!クビだ!」の言葉である。

この苦い経験を通じて、「時代は変わっても、またツールや技術がどれだけ進化しても、基本をちゃんと理解して基本に忠実にやらなければいけない」ことを貴重な教訓として学んだ。

さて、近年のデジタル技術の進化には目を見張るものがある。その内容については今回の技報71号で特集を掲載しているのでぜひご覧いただきたい。



そういった背景から、世間では「AI、IoTを活用せよ!」「最新デジタル技術を活用してイノベーションを起こせ!」などの言葉が飛び交っている。またデジタル技術関連の講演を聞きに行き、「世の中そんなに進んでいるのか!」と圧倒されて帰ってくることがよくある。その影響もあって、私自身も先ほど世間で飛び交っているといったような言葉を無意識のうちに発していることが、あるのだが…。

しかしながら、こうした言葉や情報に踊らされではない。あくまでも、それらのデジタル技術の活用のど真ん中には人がいて、**世のため、人のため**になっていくなくてはならない。また、これは私自身痛感しているのだが、実際にデジタル技術を活用するのは**人**であり、人づくりの大切さは強調してもしすぎることはない。

幸いなことに、当社には社祖豊田佐吉翁の精神が脈々と受け継がれてきている。

このことは社員の皆さんよくご存じのことと思う。当社の諸先輩から私も教えていただいたのだが、G型自動織機には佐吉翁の**こころ、ゆめ、わざ**と**TPSの考え方**が随所に組み込まれている。我々は、佐吉翁の**こころ**をもって、**ゆめ**を描き、それを達成すべく、基本を理解し、**TPSの考え方**に基づき、最新のデジタル技術を駆使し**ゆめ**を成し遂げていかなければならないと思う。

ここで注意していただきたいのは、最新のデジタル技術を活用することが目的にならないようすること。まず、**世のため、人のため**にどうしたいのかを描き、それを達成するための製品／技術／システムを**TPSの考え方**に基づいてつくり上げていく。ここまでができないと、最新のデジタル技術でゴ

テゴテの製品／技術／システムとなってしまうので要注意である。そのつくり上げていく過程で、最新のデジタル技術を適材適所で有効活用していく。デジタル技術はあくまでもツールであり手段である。活用時には以前、私が失敗したような**基本の理解**が不十分ではいけないのは言うまでもない。



豊田佐吉翁(叙勲時)



G型自動織機

佐吉翁の精神が脈々と受け継がれている環境で仕事ができるのは当社の強みであり、他社と差別化できるポイントだと思う。

以上述べてきたことは、技術部門や製造部門の皆さんだけが取り組むことではなく、事務部門を含めた全員が取り組まなければならないことだと思う。

さあ皆さん佐吉翁の**こころ、ゆめ、わざ**と**TPSの考え方**を土台に、**基本を理解**した上で、最新のデジタル技術を有効に活用し、製品開発、技術開発、システム開発を成し遂げて、世界を変えていく。ではありませんか!

※朝香鐵一(1914-2012)  
東京大学名誉教授。日本の品質管理のパイオニアの一人。当社はTQC(総合的品質管理)導入期から指導を受け、1986年のデミング賞受賞以後も長きにわたり熱心な指導を受けた。

ものづくりを支える  
豊田自動織機の情報システム

# Information Technology

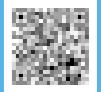
「Information Technology = デジタル技術」は急速な進化と普及により、あらゆる業界にインパクトをもたらしており、その活用が企業にとっての競争力の源泉となる時代へとシフトしています。その潮流は製造業においても同様であり、ドイツの「インダストリー 4.0」や米国の「インダストリアル・インターネット」に象徴される新たな産業革命により、製造業のデジタル化やサービス化が加速しています。

本特集では、先進テクノロジーを活用した「ものづくり」のさらなる深化とサービスやソリューションといった新たな付加価値創出を支え、安心・安全かつ多様な働き方を実現する情報システム部の取り組みを紹介します。

Index		時流に先んじた 先進テクノロジー活用	page
01	人工知能	08	
02	画像認識	10	
03	音声認識	11	
04	自然言語処理	12	
05	IoT	13	
06	RPA	17	
07	AI-OCR	18	
08	xR	20	
09	3D/CG	21	
10	シミュレーション	22	
11	DTRF	24	
Index		織機のITを支える インフラストラクチャー	page
01	グローバルコミュニケーション基盤	26	
02	デジタルワークプレイス	27	
03	サイバーセキュリティ	30	

著者紹介 | 【第1章】大橋 健児、小室 信二、岡田 具紀、宮澤 準司、  
佐藤 晃輔、若山 有希、藤崎 幸子、駒田 和史  
【第2章】久保田 祐輔、小林 浩、細川 雅人

特集カラーページ  
(pdf)ダウンロード



※本特集ページに記載されているQRコードやARマーカーを読み取り、閲覧できるコンテンツの有効期限は発行から1年間です。  
※QRコードは(株)デンソーウェーブの登録商標です。

# 時流に先んじた 先進テクノロジー活用

## 01

# 人工知能 Artificial Intelligence

### 1) AIとは

AIとは、Artificial Intelligenceの略で、「人工知能」と訳され、その定義は研究者によって異なり一意の定義はありません。

AIは「特化型人工知能」と「汎用人工知能」の2種類に分類されます。

#### ●特化型人工知能

個別の領域に特化して能力を発揮する人工知能

例:コンピュータ将棋(チェス)、自動運転、医療診断など

#### ●汎用人工知能

幅広い異なる領域の多様で複雑な問題を解決する人工知能  
例:ドラえもん、鉄腕アトムなど

現在、「特化型人工知能」が特定分野で人間を超える能力を発揮するようになり、AIブームが起きています。

大きく次の4つの分野でAIの活用が進んでいます。

#### ●画像認識

#### ●音声認識

#### ●自然言語処理

#### ●データ分析

画像認識、音声認識、自然言語処理については後述のため、ここではデータ分析について記載します。

### 2) 実現するための技術要素

AIを実現する手法に「機械学習」があり、機械学習の主な学習手法に「教師あり学習」「教師なし学習」「強化学習」があります。

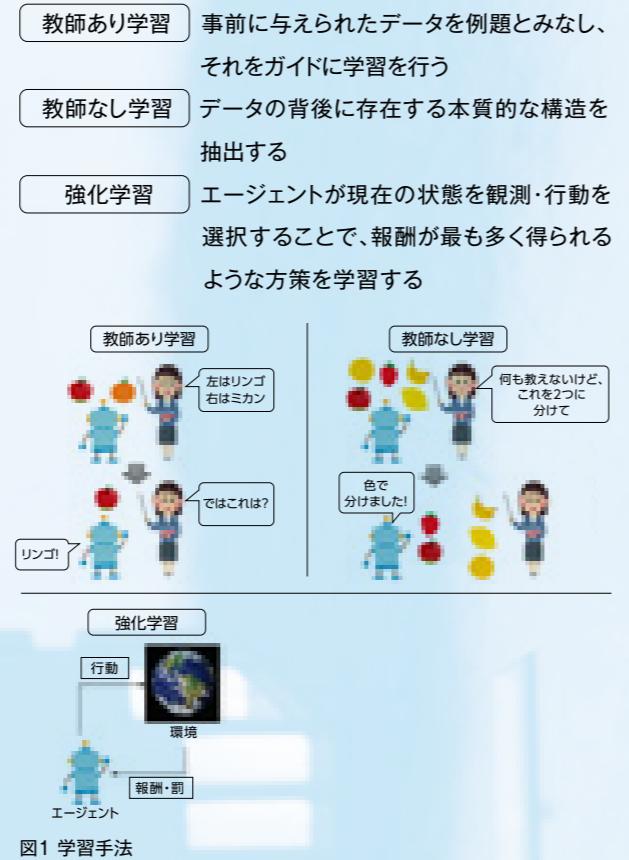


図1 学習手法

### 3) TICOの取り組み

#### (1) 生体情報の活用

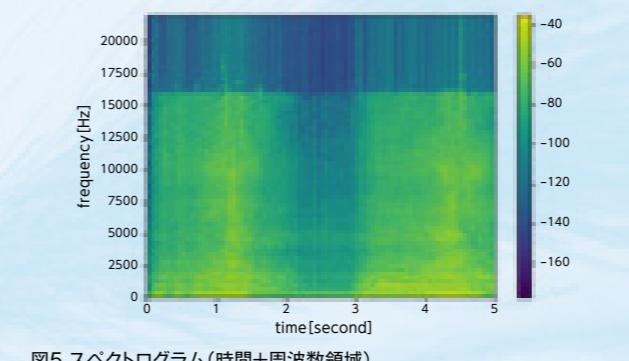
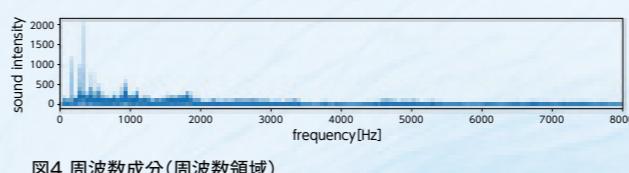
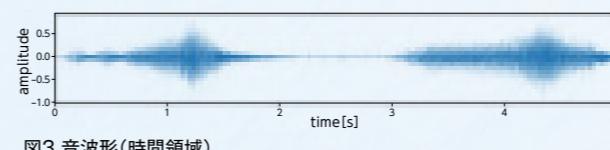
生体情報を活用した生産性向上への取り組みとして、作業者にセンサーを付け生体情報(3軸加速度、心拍)を取得し、焦りなどによる標準外作業や作業遅れの検知に取り組んでいます。他にも生体情報に環境情報(温度、湿度)を組み合わせて作業者の体調変化を検知し、熱中症予防など様々な切り口から作業者を支援・サポートできるシステム開発を目指しています。



#### (2) 音をキーワードとしたデータ分析

現場作業者の感覚で気づいている設備の異常をその音データから検知し、設備故障の予兆検知を目指しています。

音は時間領域(図3)、周波数領域(図4)、時間+周波数領域(図5)での表現など、状況に合わせた表現を用いてデータ分析を実施します。



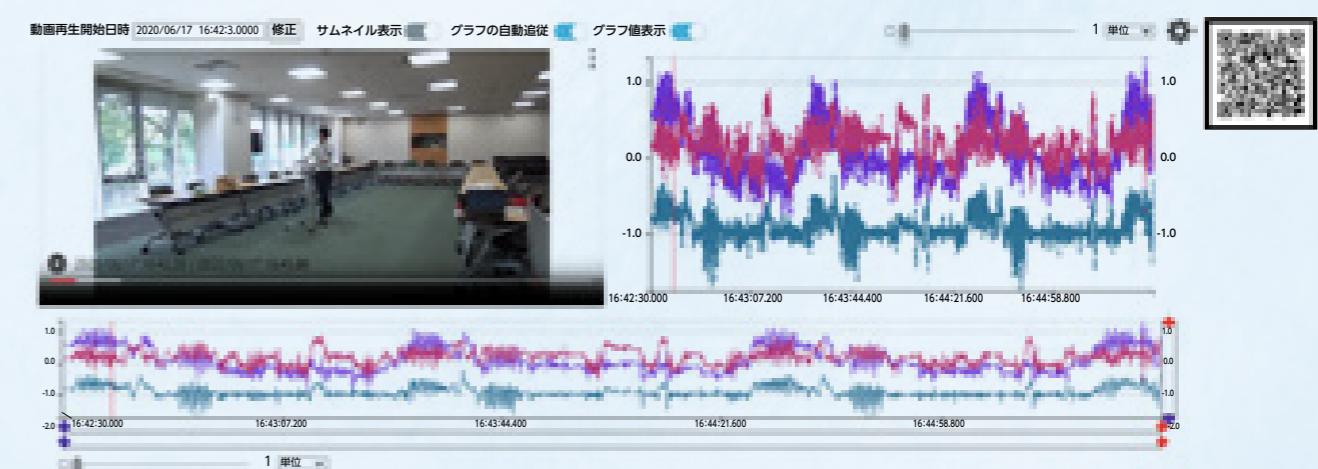
#### (3) 最適化をキーワードとしたデータ分析

出荷時のトラックへの積み付けなど人のノウハウに頼って最適な組み合わせを検討している業務の効率化を目指しています。そのアプローチの1つとして強化学習の活用に取り組んでおり、強化学習実装スキルを習得するために課題を単純化してトライを実施しています。

### 4) 今後の取り組み

#### (1) 生体情報の活用

異常行動検知に向けて、定義した標準行動の分類精度の向上に取り組んでいます。その中で作業状況(動画)と加速度データを同期して視える化し(図6)、各作業の波形変化や



外れ値などを解析し精度向上の糸口を見つけようとしています。さらに作業者毎の特性に左右されないなど、汎化性能の高いモデル構築を目指します。

#### (2) 音をキーワードとしたデータ分析

人の聴覚特性に合わせた特徴量抽出や音の視覚化による分析など様々なアプローチを試しながら、異常音検知の手法確立を目指します。また、製造工程の加工音・溶接音から良品・不良品の判定を行う良品判定の分析手法の実現など、多様な観点から音分析のアプローチを行う予定です。

#### (3) 最適化をキーワードとしたデータ分析

現実課題への適用に向けて、複雑な制約条件を織り込んだ強化学習の実現を目指します。その中で、ディープラーニングを強化学習に応用した深層強化学習にも取り組んでいきます。また、現実課題では強化学習の前提となる報酬の設計が困難な場合も多いことから、逆強化学習と呼ばれる、エージェントの行動が最適な方策に従っていると仮定し、その方策を推定して報酬を求める手法も視野に入れて進めています。(図7)



これら実践を通して、情報システム部として分析技術を手の内化し、多様な視点でビジネス貢献できるデータ分析・データ活用の促進を目指します。

# 由 像認識

## Image Recognition

### 1) 画像認識とは

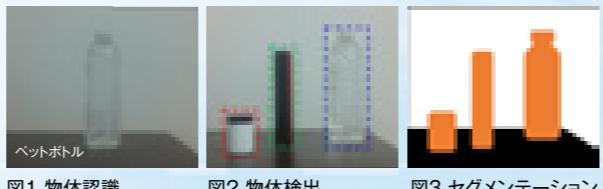
画像認識とは、画像および動画から文字や顔などの特徴を認識し検出するパターン認識技術です。画像認識に必要な機器(カメラ等)は入手しやすく、得られる情報量も非常に多いため、幅広い分野での応用が期待されています。人間が画像のどこに何が写っているかを特定するのは容易ですが、コンピュータを用いて認識処理を行うためには高度な技術が必要となります。画像認識技術は年々進歩しており、2010年から2017年まで行われた大規模画像認識のコンテストであるImageNet Large-Scale Visual Recognition Challenge (INLSVRC)では、画像分類のエラー率は28%から2%まで急速に改善しています。人間が分類した場合でもエラー率は5%程度となっており、画像認識技術はビジネスで十分活用可能なレベルとなっています。この精度向上に大きく寄与した技術がディープラーニングです。ディープラーニングを活用し各シーンに適した画像判定のモデルを作成することで、車の外観検査や顔認証など多様なビジネスシーンへ画像認識技術が適用可能となります。

### 2) 実現するための技術要素

#### (1) 画像認識手法

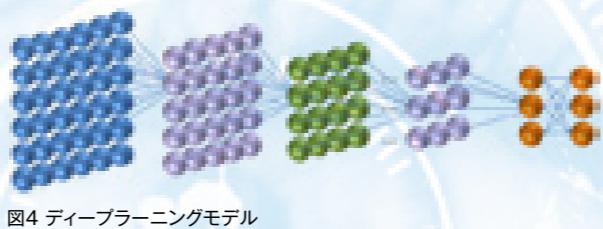
画像認識は、物体認識・物体検出・セグメンテーションの3つの技術に分類されます。1つ目の物体認識では、画像に何が写っているかを判定します。(図1) 画像全体の特徴を分析し、判定結果を出力しています。2つ目の物体検出では、画像から物体の位置の特定も含めて判定します。(図2) 物体認識と比べて、画像のどこに何が写っているかまで判定することができます。3つ目のセグメンテーションでは画像を領域単位に分割し、判定結果を出力します。(図3) 物体検出と比

べてより細かい粒度で画像内の物体を判定することができます。



#### (2) ディープラーニング

人間の判断を介在することなく、コンピュータが自動的に大量データから画像の特徴を抽出する学習技術です。入力された画像から判定するための大量の着目点(特徴量)を抽出し、画像判定モデルを作成することができます。(図4) 画像判定モデルを作成するためには高度な技術を要しますが、現在では多くのクラウドサービスが提供されており、画像認識技術の知見が少ない人でもシンプルな操作で画像判定モデルを作成することもできます。



#### 3) TICOの取り組み

情報システム部ではHOKUSAI CAPTUREと呼ぶ画像認識の実証実験用ツールを提供しています。HOKUSAI CAPTUREでは物体認識・物体検出・セグメンテーション用に作成された画像判定モデルを読み込んで、リアルタイムに読み込んだ動画データから画像データの判定結果を出力することができます。(図5) 自前でコーディングした画像判定モデルから、クラウドサービスで作成した画像判定モデルまで多様なモデルに対応することができる汎用性の高いツールとなっています。下記QRコードを読み込むと本アプリのデモ動画を見ることができます。



図5 HOKUSAI CAPTURE



### 4) 今後の取り組み

顔認証に特化した画像判定モデルを作成するツールを実装予定です。物体検出の中でも、多くの特徴量を抽出する必要がある顔認証用の画像判定モデルを、誰でも手軽に扱うことができるようになりますことで現場の安全・安心の促進、コンプライアンスの向上に貢献していきたいと思います。

# 第1章 時流に先んじた先進テクノロジー活用

## 02

# Sound Recognition

### (1) 集音信号処理

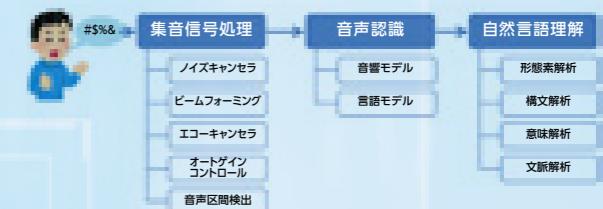


図1 音声認識の流れ

認識の正確度が音声に含まれるノイズに左右されることから、雑音などが入っていない信号を集音するための処理

- ノイズキャンセラ  
入力された音に対し雑音を取り除く技術
- ビームフォーミング  
どの方向から声が発しているかを推定し、その方向からのみの音を対象に処理をする機能
- エコーキャンセラ  
話者の声の反射(エコー)を削除する
- オートゲインコントロール  
音声がある一定レベルの大きさに自動的に補正することで、認識しやすい音声信号にする
- 音声区間検出  
ユーザーが実際に発話した区間を検出する技術。主に発話がいつ終わったのかを自動的に判断する

# 第1章 時流に先んじた先進テクノロジー活用

## 03

# 声認識

## Sound Recognition

### 1) 音声認識とは

音声認識とは人間の声などをコンピュータに認識させることであり、話し言葉を文字列に変換したり、音声の特徴をとらえて声を出している人を識別したりする機能を指します。

歴史的には、1952年にBell Labsで最初の音声認識システムが開発され、2010年頃から深層学習(ディープラーニング)を用いた音声認識研究が本格化、2017年には人間と同等のワードエラー率(4.9%)を達成しています。

主にカーナビゲーション、スマートデバイス、スマート家電の音声入力などに用いられています。

表1 音声認識の歴史

年	イベント
1952	Bell Labsが最初の音声認識システム「Audrey」を開発(数字1文字を認識するシステム)
1976	隠れマルコフモデル(HMM)を用いた音声認識研究が開始される(IBM)
1978	DPマッチングを用いた世界初の連続音声認識装置を商用化(10数字,NEC)
1980頃~	アメリカ国防高等研究計画局(DARPA)による大規模プロジェクト開始
1997	IBMがディクテーションソフトウェア:ViaVoiceを一般発売(Windows,macOS)
2010	深層学習を用いた音声認識研究が本格化
2011	AppleがiPhoneでSiriを提供開始
2016~	Google Home(2016),Amazon echo(2017)などのスマートスピーカー発売
2017	Googleが、人間と同等のワードエラー率(4.9%)を達成

### (2) 音響モデル

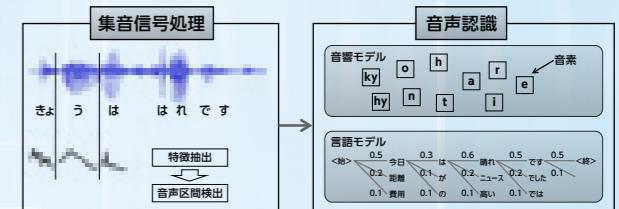


図2 音響モデルと言語モデル

ある単語が、どのような“音”となって現れやすいかということをモデル化したもの

- 音から、言語の最小単位の“音素”を推定する  
例) 晴れ → /h/ + /a/ + /r/ + /e/
- 同じ音素でも、話す人や話し方によって音声波形が異なるため、その揺らぎを吸収して推定する
- (3) 言語モデル  
特定の言語においてある単語列がどのくらいの確率で現れるかをモデル化したもの  
例) 「嬉しい」の後に「い」が続く確率は高いが「あ」が続く確率は低い
- (4) 自然言語処理  
04 自然言語処理にて説明

### 3) TICOの取り組み

情報システム部では2017年より、海外との円滑なコミュニケーションの支援や議事録の自動作成による工数低減のために音声認識ツール(SOSEKI)の開発を行っています。年々、音声認識の精度も上がっており、各種講演会の文字起こしや、昨今急激に増加しているビデオ会議でのリアルタイムキャプションなどに利用されています。

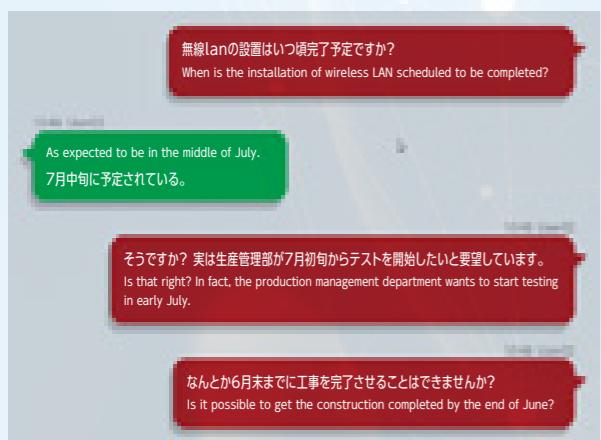
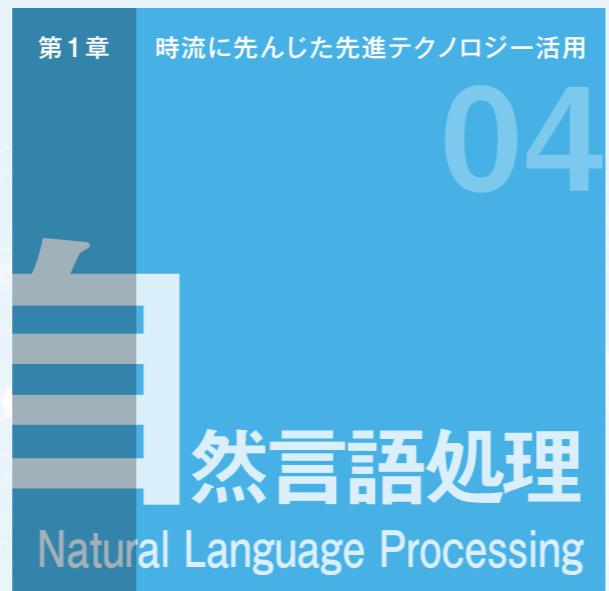


図3 音声認識ツール(SOSEKI)

### 4) 今後の取り組み

今後は、専門用語やトヨタ用語を学習させることによる音声認識精度のさらなる向上や、音声により話者を識別する話者認識、他システム(チャットボットなど)へのインターフェースとしての組み込みなどに取り組んでいきたいと考えています。



#### 1) 自然言語処理とは

自然言語処理とは私達が普段使っている言葉(自然言語)をコンピュータに処理させるための技術であり、Webの検索エンジンや光学文字認識(OCR)、機械翻訳などに応用されています。

#### 2) 実現するための技術要素

##### (1) 形態素解析

自然言語の文章から形態素(意味を持つ最小限の単位、単語)に分解し、それぞれの品詞などを判別していく処理

例)「明日は晴れか?」⇒

「あした(名詞)/は(助詞)/はれ(動詞)/か(助詞)/?(記号)」

##### 形態素解析

英語の場合は単語間にスペースがあるて明確だけど、日本語は難しいよ。  
(例) 明日は晴れか?  
あした / は / はれ / か / ?  
名詞 助詞 動詞 助詞 記号

図1 形態素解析

##### (2) 構文解析

形態素解析された文章に対しそれぞれの形態素の関連を導き、関係性を明らかにする処理。文章に含まれる単語同士の関連性を評価し相関関係を作る処理

例)「人懐っこい犬を私の友達が飼ったらしい

○「人懐っこい→犬を」「私の→友達が」「友達が→飼ったらしい」「犬を→飼ったらしい」  
×「人懐っこい→友達が」「人懐っこい→私の」

##### 構文解析

形態素間の関連性を構文的に解析してよ。  
構文解析には句構造解析と係り受け解析があつて、日本語は主に係り受け解析が使われるよ。  
(例) 人懐っこい犬を私の友達が飼ったらしい  
人懐っこい / 犬を / 私の / 友達が / 飼ったらしい  
形容詞 名詞・助詞 名詞・助詞 名詞・助詞 動詞・形容詞

図2 構文解析

#### (3) 意味解析

知識やルールを使い文章の意味を解析する

例)「スマホのカメラで泳ぐ魚を撮った」

○「泳ぐ魚」を「スマホのカメラ」で「撮った」

×「スマホのカメラで泳ぐ魚」を「撮った」

##### 意味解析

辞書に基づいて意味を持つまとまりを判定して、各まとまり間の関連性を調べてよ。  
(例) スマホのカメラで泳ぐ魚を撮った  
関連性が強い 関連性が強い  
スマホ / の / カメラ / で / 泳ぐ / 魚 / を / 撮った  
関連性が弱い

図3 意味解析

#### (4) 文脈解析

構文解析が文単位で行われるのに対し、複数の文にまたがる意味解析を行うのが文脈解析となる

文脈解析は長い文脈に即して行なう必要があるため、単独文の意味解析よりはさらに複雑となる

省略された名詞等を推定する照応解析も、文脈解析に含まれる

◇照応詞(代名詞や指示詞)の指示対象を推定し、省略された言葉を導き出すこと

◇「彼」「それ」「この」「こういう」などの代名詞や指示詞が何を指すのかを推定する

例)太郎君は今日、会社に出かけました。そして彼は疲れて帰ってきました。  
→「彼」=「太郎」と推定

◇省略(ゼロ代名詞)を推定する

例)吾輩は猫である。(吾輩の)名前はまだ無い。

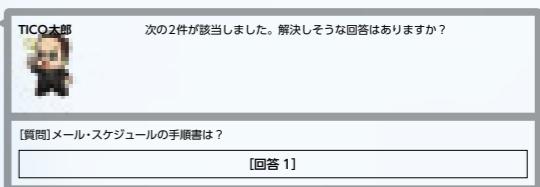


図4 チャットボット

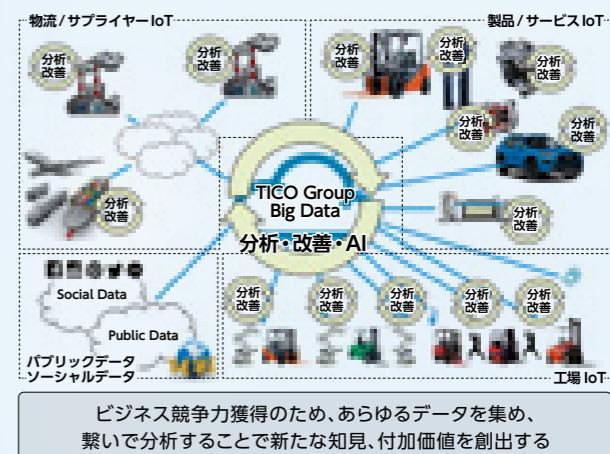
### 4) 今後の取り組み

今後は、音声認識と自然言語処理を組み合わせ、会議の議事録の自動要約や、音声での対話によるAIアシスタントの実現に取り組み、皆さんに愛(AI)されるAIに育てていきたいと考えています。



#### 1) IoTとは

IoTとは、「Internet of Things」の略称で、日本では「モノのインターネット」と訳されます。IoTは、モノがインターネットに繋がって情報をやりとりすることで、モノのデータ化やそれに基づく自動化などが進み、新たな付加価値の創出が期待されています。



## 2) 実現するための技術要素 Internet of Things

IoTでは現場に近いエッジレイヤーと大容量データ(ビッグデータ)を処理できるハイパワーなクラウドレイヤーをスピーディかつ柔軟に連携させることができます。ここではそれを実現するために必要な要素技術である「マイクロサービス」「コンテナ技術」「データ蓄積」について紹介します。

### (1) マイクロサービス

システムを小さなサービスの集合体として捉えて、これらを疎結合に組み合わせることでサービスを提供する考え方(サービス間は、API呼び出しや、メッセージ受け渡しなどで通信する)(図1)

サービス単位で個別最適化でき、システム全体ではなく小さなサービスごとに変更がかけられるため、開発スピードや開発効率が高く、環境の変化が激しく、常に最新テクノロジーをキャッチアップする必要があるIoTの分野に適している

このマイクロサービスの考え方は業界をリードする企業が、続々と採用している

※この技術をエッジ、クラウドのどちらのレイヤーにおいてもマイクロサービス化することで最新機能の提供をスピーディかつ最小限の影響で実現しています。

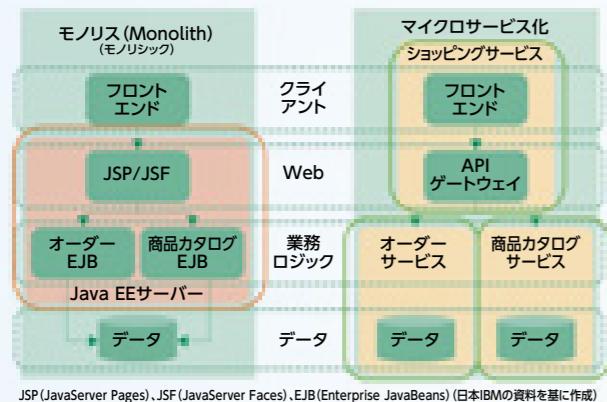


図1 モノリス(従来システム)とマイクロサービスの違い

### (2) コンテナ技術

仮想化技術の一つであり、Virtual Machine(VM)と比較して高速に動作し、イメージサイズも小さくなる

コンテナはOSレベルより上位(アプリケーション)をカプセル化し動作させることができます(図2)

※この技術はエッジで動作するモジュール(マイクロサービス化された機能群)をクラウドから配信するために利用しています。

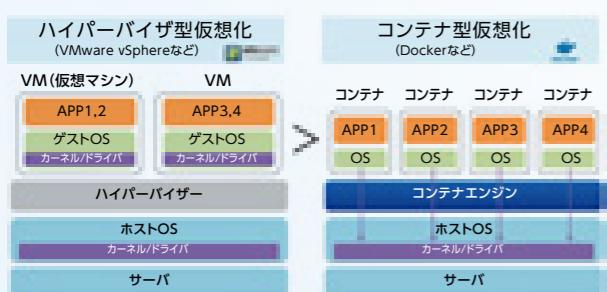


図2 仮想化技術の比較

### (3) データ蓄積

データベースには大きくリレーションナルデータベース(RDB)とNoSQLがあり、RDBには大規模データを扱うDataWareHouseなどもある。NoSQLは動画や画像といった非構造化データや、Key/Value形式などの半構造化データを取り扱うことができる

また、時系列に特化したTimeSeriesDBや大量データを分散処理を利用して高速アクセスを可能にするHadoop関連技術もある

※各カテゴリの代表的なデータベース  
RDB: Oracle/SQLServer/Access/PostgreSQL/MySQL/SQL DWHなど  
NoSQL: MongoDB/Cassandra/CosmosDB/DataLake/BLOBなど  
時系列DB: InfluxDB/TimescaleDBなど

### 3) TICOの取り組み Internet of Things

情報システム部では2016年から、早く、手軽で、タイムリーにIoTを実現する全社IoT標準基盤を開発し、全社展開をさせて頂きました。この全社IoT標準基盤に我々は“Global Architecture for Ultimate Dynamic IoT”(通称GAUDI[ガウディ])と名付けて日々、機能改善を続けています。

GAUDIは自社開発だからこそできる「TPSの知識、マインドを活かした織機独自のデータ活用」を実現し、「何でも繋げる」「安全に使える」「誰でも使える」「どんなことでもできる」システムを目指しています。

情報システム部ではIoTをわかりやすく、以下の4つの機能に分解して考えています。

1. とる
2. ためる
3. 活用する
4. フィードバック

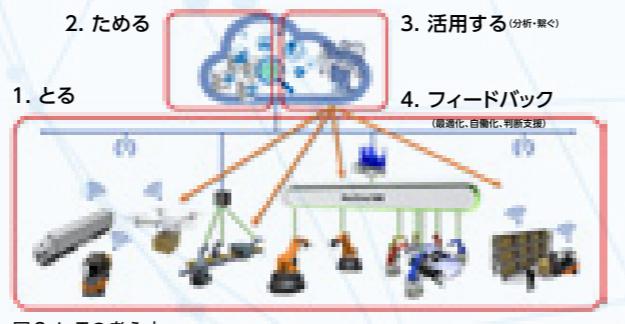


図3 IoTの考え方

開発当初はまず、「1. とる」「2. ためる」「3. 活用する」を中心機能の提供を開始しました。

社内でも会社方針にIoTがキーワードとして織り込まれ、各事業部の中期課題に対して、IoTをキーワードにした動きが活発化してきたため、先行する事業部と協業し、PoC(Poof of Conceptの略)を地道に実施してきています。

3つの機能提供ができ始めた2018年頃から活用の先に

ある「4. フィードバック」に対してのニーズを先取りし取り組みを本格化しました。

製造現場でのフィードバックへ対応できるようエッジレイヤーの再構築や高機能化を行いました。この際もこれまでのノウハウとコンセプトを継承しつつ、都度最新テクノロジーを探用し、実現しています。

これまでの機能に加え以下機能を追加しています。

- AIモデル(カスタムモジュール含む)構築
- 各エッジへの配置
- 共同分析環境(Machine Learning環境)
- GAUDI Monitor(ダッシュボード+設定画面)(図4)

これら機能についても既に活用されており、より大規模なシステムや自立制御などへの適応が可能になっています。

### 4) 今後の取り組み Internet of Things

これまでGAUDIという名前通り、常に新しい機能を実装し続けており、今後の重点項目として以下について着手しています。



図4 GAUDI Monitor

1. IoT(GAUDI)の民主化

2. 強化学習環境

3. 国内・海外展開

4. GAUDIを利用したサブシステム

### (1) IoT(GAUDI)の民主化

現時点では開発者しか作業ができない部分が残っており、コンセプトでもある「誰でも使える」を実現できていないと感じています。そこで、「GAUDIの民主化」を掲げて、利用者が自分たちだけでIoTを実現できるように機能開発を進めています。

- IoT環境の構築や変更の自動化(Automation機能)
- 欲しいデータがすぐに取得可能なデバイス
- 画面でデータベースアクセスをサポート(図5)
- 画面で機能の設定やAIモデルの配信(図6)
- データ分析/活用でよく使う機能・テクニックを提供
- ものづくりのノウハウを織り込んだ織機独自のデータベース設計

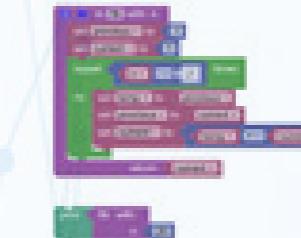


図5 GUIによるデータベースアクセス(イメージ)

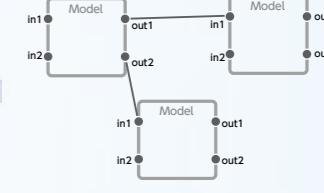


図6 GUIによるモデル設定(イメージ)

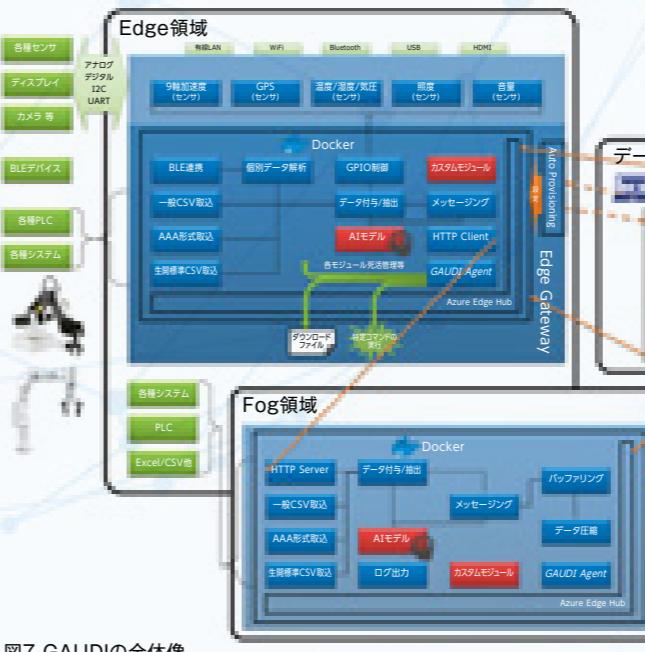


図7 GAUDIの全体像

## (2)強化学習環境

現在提供可能な機械学習・深層学習(Deep Learning)に加え、強化学習<sup>\*</sup>へのニーズが出てくることを想定しています。※強化学習(Reinforcement Learning, RL)とは、システム自身が試行錯誤しながら、最適なシステム制御を実現する、機械学習手法のひとつ

強化学習を使うことでロボットアームが従来ではつかめなかつたもの(球体や柔らかい物など)をピッキングできたり、熟練の技を模倣できたり、最適化問題を解いたりと今までではできないと思っていたことができるようになればと思っています。

それを行うためにロボットシミュレーターを作成し、デジタルの世界でロボットアームを動かして強化学習を行わせるなど、デジタル化を行うこととその情報を活用して学習を行わせることが必要になります。

## (3)国内・海外展開

IoTは繋がる範囲が大きくなればなるほど効果が大きくなると考えています。

(工程<ライン<工場<会社<協力会社<海外<社会)

これらを最大限に生かすために、TICOグループのみならず、サプライチェーン全体でデータを繋ぎ、活用することで、さらなる付加価値創出が可能だと考えています。

## (4)GAUDIを利用したサブシステム

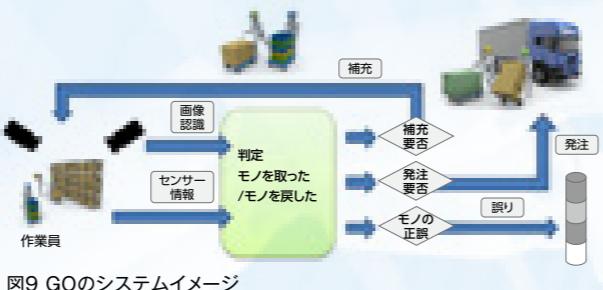
今後の展開としてベースにGAUDIを採用したシステム開発を現場作業効率化の取り組みの一環として、いくつかリリース予定です。その中より今回は2つのアプローチをご紹介します。そのうちの1つがピッキング作業効率化です。

現状ピッキング作業はほとんどがDPS<sup>\*</sup>やハンディターミナルを利用して実施しています。

\*DPS(デジタルピッキングシステム)とは、棚ランプとスイッチからなる作業指示の仕組み

それらの仕組みは棚に正しい物が入っている前提で機能しています。そのため誤供給等が発生すると作業者は気づかず間違った物を取ってしまいます。

上記問題を解決するため、人が「何を」「どこに・どこから」「どれだけ」「置いた・取った」といった情報を画像認識や重量センサ等を組み合わせて支援するシステムの開発を行っています。



これにより付帯作業なく誤供給や誤ピックの防止、ライン側や工場内の部品在庫状況が把握できると考えています。

また、棚の状況や工場内部品在庫がリアルタイムに把握できることで様々な改善活動に繋がるのではと思っています。(図8)

もう1つは位置測位システムです。

位置情報やそれを時系列で並べた動線情報は有用性が高く、その他のデータと組み合わせることで、より効果的な改善やイノベーションに繋がると考えています。

しかし、位置情報は屋外であればGPSや準天頂衛星システム(みちびき)等が利用可能ですが、屋内では取得することが難しく、高い精度を求める高価な仕組みや環境整備費が必要になります。

そこで、なるべく環境整備が不要でかつ、簡易的に位置情報を計測することで位置情報の有用性をいち早く確認し、改善に繋げるためのシステムを開発しています。

そのシステムは汎用的なBluetooth Low Energy(BLE)通信の電波強度を活用し距離を推定することで実現しています。

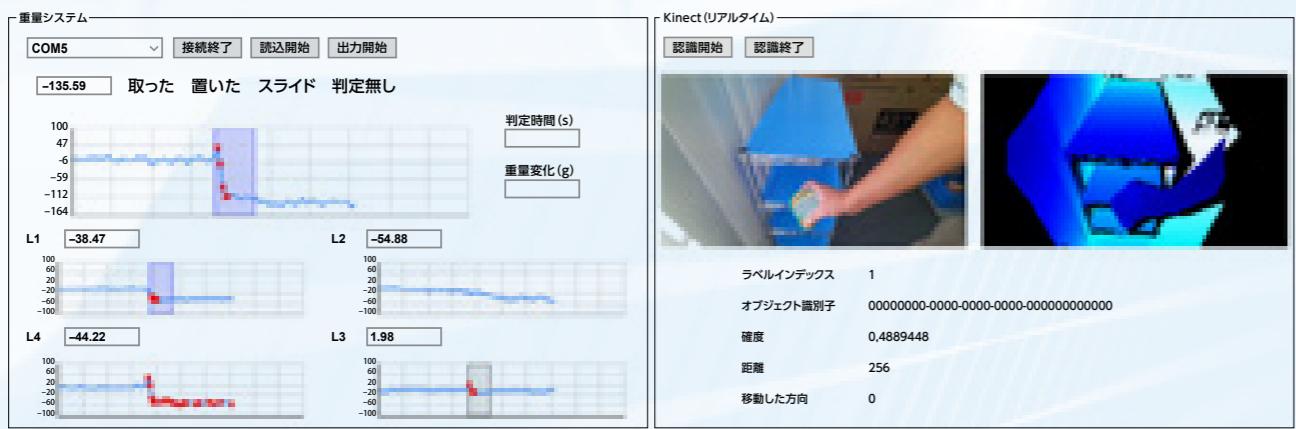


図8 重量変化での置く・取るの判定と深度カメラでの物の判断や棚位置の計測

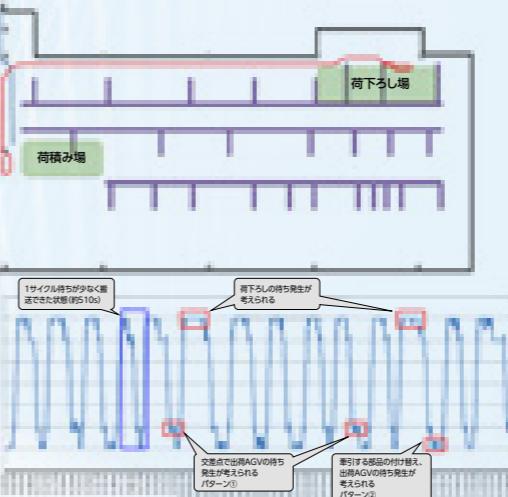


図10 位置測位を利用した物流改善の社内事例

現状は電波強度のみで推定しているため、位置精度が2~5m程度が限界であり、今後は別の技術の採用や組み合わせることでより高精度なシステムの実現を目指しています。



## 1) RPAとは

RPA(Robotics Process Automation)とは、人がパソコンで行う定型作業(入力、クリック、コピー、ペースト等)を自



動化するソフトウェア(ロボット)です。人が行う作業は、時に「作業モレ」「作業ミス」「作業時間が長い」などの問題が発生しますが、RPAを活用することで解決することができます。

RPAを活用することで、①「品質向上」、②「スピードアップ」、③「効率化」、④「高度化」といった効果が得られることから、「働き方改革」の取り組みとして、業種を問わず、多くの企業で導入されています。当社では、2018年に導入し、2020年5月現在、165本のRPAロボットにより年間9,800時間の工数削減・業務効率化に寄与するツールとして幅広く活用されています。

## 一般的な効果/Effect

1 品質向上	事務ミス激減
2 スピード	150~200倍
3 効率化	40~75%減
4 高度化	高付加価値業務に集中

図2 RPAの効果

Robotic Process Automation

## 2)RPAの特徴

### (1)複数のシステムを跨いだ作業の自動化

RPAは、Windows操作、Excel、Webシステム(社内外問わず)などのパソコン上のあらゆる処理を自動化することができます。また、それらの複数の処理を一連の処理として自動化することができます。Webシステムからデータをダウンロードし、そのデータをExcelファイルにある送付先にOutlookからメール送信するといった作業をRPAロボットの起動・実行だけで処理することができます。

### (2)大量の反復作業の自動化

一般的なソフトウェアと同様、RPAロボットは決められた処理を確実に実行することができため、反復作業が多いほど、大きな効果を得られます。

### (3)高度なITスキルがなくても開発可能

一般的なシステム開発で用いられるコーディング形式に

より開発ではなく、処理部品を操作順に並べ、フローチャートで処理を定義する開発のため、直感的で理解しやすく、高度なITスキルを身につけなくても開発することができます。ただし、基礎的なIT知識(変数・分岐・繰り返し等)は必要となりますので、開発者のITスキルによって、習得までの時間は異なります。

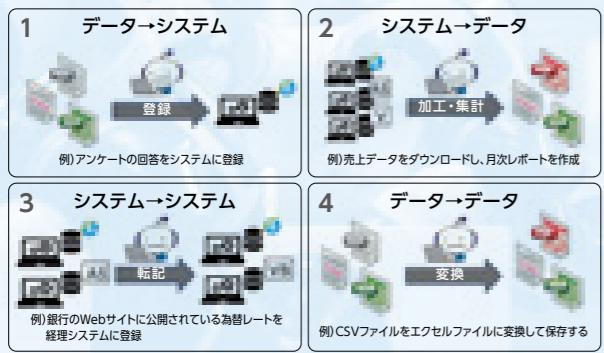


※製品によって開発画面は異なります。

図3 ソフトウェア開発画面

### 3) RPAの処理パターン

RPAで自動化するパソコン作業は、4つのパターンに分類することができます。(1)ExcelファイルやCSVファイルなどの構造化データをシステムに登録する作業、(2)各種システムを作成・検索し、抽出したデータを加工・集計する作業、(3)各種システムを操作・検索し、抽出データの加工等を行い、別のシステムへ登録する作業、(4)データのファイル形式を変換する作業です。特に(3)は、RPAの特徴を生かした利用方法といえます。



### 4) RPAのリスク

RPAは便利な反面、様々なリスクも想定されます。「インフラ障害」「セキュリティ」「品質不良」「内部統制違反」「コンプライアンス違反」などです。これらを回避するために、TICOでは統制ガイドラインを整備しました。「導入」「開発」「運用」の3つのフェーズに分かれしており、開発者から実行者までRPAユーザはガイドラインを遵守しながら、業務活用を進めています。

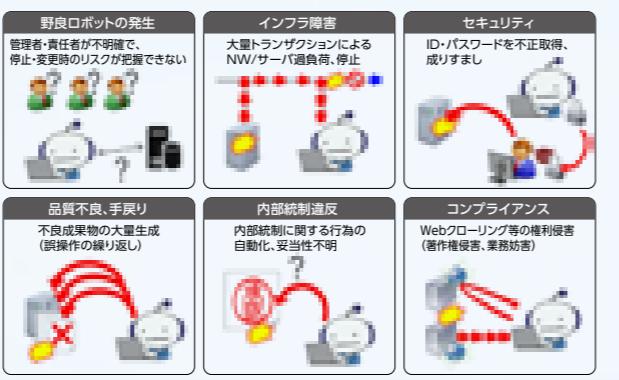


図5 RPAリスクイメージ



### 1) AI-OCRとは

#### (1) 概要

AI-OCRは、文字画像をデータ化する従来の「OCR(Optical Character Recognition: 光学的字符识别)」に、AIの一種である「ディープラーニング」を組み合わせた技術です。

#### (2) 従来型OCRの課題

OCRの歴史は古く、1900年代初頭に誕生しました。その後、コンピュータの発展とともに技術が向上し、1980年代中盤には一般にも普及されるようになりましたが、従来型OCRには2つの課題が残されていました。

1つ目が「手書き文字の認識率」です。OCR専用フォントや活字は高精度で認識することが可能でしたが、手書き文字の認識はまだ実用レベルではありませんでした。

2つ目が「帳票定義の作業負荷」です。OCRを利用するには、帳票上の読み取り位置を指定する帳票定義の作成が必要であり、帳票毎に設定しなくてはなりません。帳票の種類が多いほど、その負荷が高くなることも課題でした。

### (3) AI活用による精度向上

その2つの課題解決に寄与する技術が「ディープラーニング」です。収集した大量の文字データから文字の特徴を学習することで、高精度な文字認識が可能となり、手書き文字の認識率も飛躍的に向上しました。また、「どこに」「何が」書かれているかという情報もAIが学習することで、帳票の項目を自動で識別することができ、帳票定義なしでも読み取ることが可能になってきています。

読み取精度は100%に近付いており、読み取ったデータの確認・修正作業を見込んだ業務設計が必要ですが、その工数は従来より少なくなり、金融業を始めとする様々な業種で活用が進んでいます。

### 2) TICOの取り組み

#### (1) 背景

当社においても、紙媒体で管理する業務が多く存在し、紙からシステムへの入力作業が発生しています。ペーパーレス活動は進めているものの、すべての業務や取引先で紙媒体での管理を無くすことは困難な状況にあり、「AI-OCR」活用の検討を開始しました。

#### (2) 調査概要

2019年11月に社内の5部署・9帳票(申請・アンケート・作業報告・会計の4種類)にて調査を行いました。

種別	帳票	文字
申請	通勤費立替申請書	手書き
アンケート	持株会退会申請書	手書き
	研修アンケート	手書き
	展示会アンケート	手書き

図1 対象帳票一覧

#### (3) 調査結果

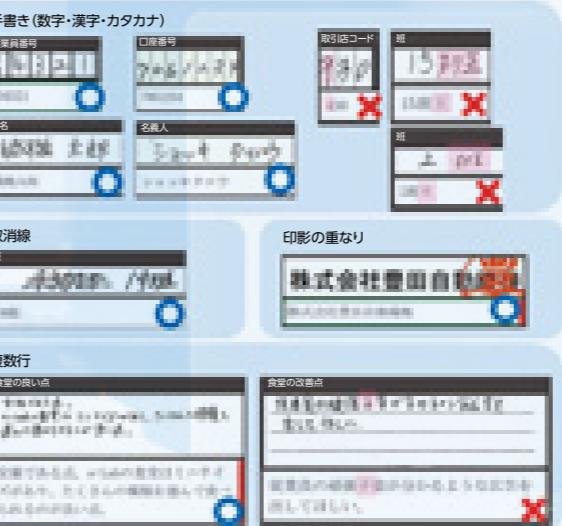


図2 読取結果

文字画像の識別しやすさ(文字の大きさ、濃さ、崩れ)により、識字率は異なりますが、一般的なAI-OCRの識字率は90%以上といわれています。当社で運用されている3種類の帳票においても、90%以上の文字が正しく読み取れていることがわかりました。10%の文字は正しく読み取れていないため、人の目による確認・修正を行う必要がありますが、そうした手間を加味しても90%の文字入力を自動化できれば、業務全体では効率化できると期待できます。

種別	帳票	項目数		文字数						
		総数 /枚	平均	修正/枚 平均	修正率 平均	総数/枚 平均	修正/枚 最大	認識率 平均		
申請	持株会退会申請書	16	2	4	10%	120	130	8	26	93%
アンケート	研修アンケート	8	3	6	40%	320	600	4	19	99%
	展示会アンケート	15	6	11	70%	280	640	29	98	90%

図3 識字率

### (4) 想定効果

いくつかの帳票で手入力の工数とAI-OCRを活用した場合の工数を計測し、比較を行いました。

読み取文字の判別しやすさ、タイミング速度など対象・実施者によって差異はありますが、平均60%の工数削減を見込むことが可能であるとわかりました。また、心理的負担軽減(ex.入力ミスの不安)、身体的負担軽減(ex.目・手・腕の疲労)といった定性効果も期待できることがわかりました。

種別	帳票	作業時間(h:m:s)		削減率
		手入力	AI-OCR	
申請	持株会退会申請書	0:02:54	0:01:05	63%
アンケート	研修アンケート	0:04:18	0:01:05	75%
	展示会アンケート	0:03:43	0:01:27	61%

図4 定量効果

### (5) 他の技術との連携

AI-OCRは紙情報を扱うことができないRPAの弱点を補うことができます。AI-OCRとRPAを組み合わせることでさらなる業務効率化に取り組むことが可能となります。TICOにおいても、業務適用を見据え、トライアルに着手しました。

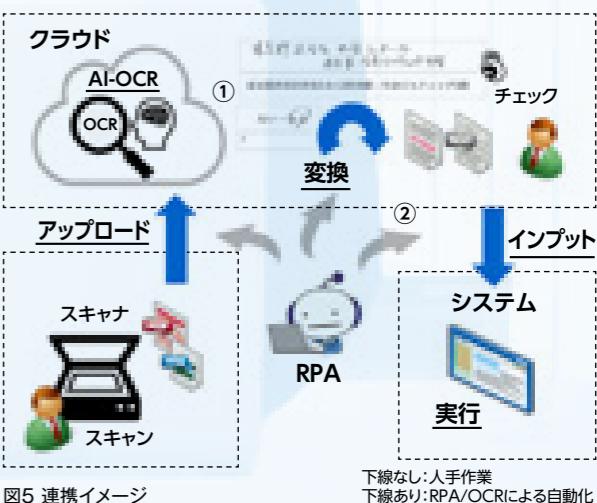


図5 連携イメージ

# xR

VR/MR/AR

## 1) xRとは

xR(エックスアール)とはVR(仮想現実)、MR(複合現実)、AR(拡張現実)の各技術の総称です。以前はエンターテインメント業界内で個人中心に発展してきましたが、近年は産業界内で法人中心での活用が進んできています。各技術(VR、MR、AR)には技術的に優劣ではなく、業務課題に適した“ツール”として選択することが大切です。

## 2) 実現するための技術要素(図1)

分類	見え方と特徴
VR	全て仮想空間
MR	現実と仮想との前後が正確
AR	現実と目の間に常にデータ表示(データが実物に被ってしまう)

図1 VR/MR/ARの違い

### (1) VR(Virtual Reality:仮想現実)

VRは、映像の世界(仮想現実)に実際に入り込んだかのような体験ができる技術です。VR用のゴーグルを使って、コンピュータグラフィックス(CG)や360°カメラなどで撮られた全周囲映像を体験すると、右を向けば右の景色が、左を向けば左の景色が見えます。(QRコード参照)



Unity & Interact

### (2) MR(Mixed Reality:複合現実)

MRは、現実世界と仮想世界をより密接に融合させ、バーチャルな世界をよりリアルに感じることができます。後ろ側に回り込んだり、近づいて自由な角度から見たり、目の前の空間に様々な情報を3Dで表示させ、そこにタッチし入力できます。

### (3) AR(Augmented Reality:拡張現実)

ARは、現実の世界に仮想の世界を重ねて「拡張」する技術です。CGでつくられた3D映像やキャラクターなどを現実の風景と重ねて投影することで、まるで現実の世界にCGキャラクターが現れたような体験ができます。近年では、アプリをインストールしなくてもAR体験ができるウェブARが主体となってきています。(QRコード参照)



Unity & ARKit

### 3) TICOの取り組み

#### (1) 取り組みの歴史

情報システム部では、2016年度よりMR技術を生技分野への適用を目指し調査を開始しました。2017年度にはVR活用へ着手し、視認性の検討などのコンセプトを開発しました。2018年度には各工程へのVR活用の有効性を確認することができましたので、2019年度には全社サービス化を行いました。さらなる活用を目指してAR技術の適用調査を開始しました。

#### (2) 適用範囲

エンジニアリングチェーンに対して、前工程はVR、後工程はARを中心に活用を推進しています。(図2)

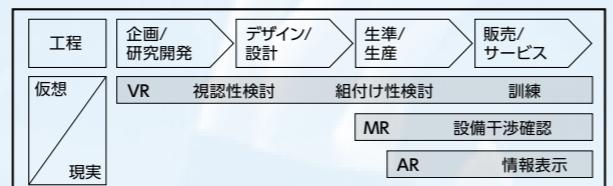


図2 エンジニアリングチェーンへの適用

#### (3) 適用事例

従来、工場内のレイアウト変更の際には、作業性検討はCAD図だけでは検討しきれず、製作後に手戻りが発生していました。しかし、3DデータをVRに投影し、実際に作業者が立つ位置からの工具や部品までの距離などを確認することで、手戻りを削減することができました。(図3)

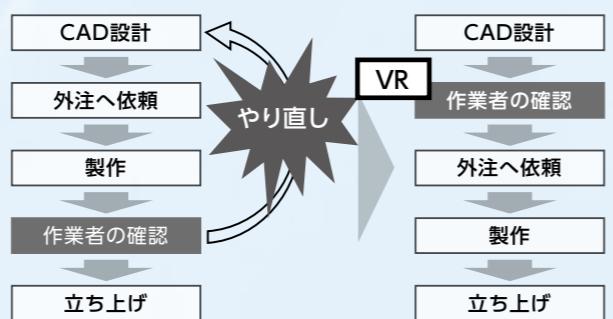


図3 生技分野への適用例

### (4) 全社サービス

各事業部にてVRを効率的に活用するために、事業部と本社での機能を分けました。具体的には、事業部固有のものは事業部が所有し、全社共通のものは情報システム部が所有しました。具体的には以下3つの課題に対して、取り組みを行いました。

#### 課題①コンテンツ作成にスキルと工数がかかる

→対策①誰でもVR化できるCAD→VR化システム構築

#### 課題②費用対効果の説明ができない

→対策②誰でもVR活用できる無料VR機器貸出しの仕組み構築(図4)

#### 課題③VR活用時に周りが見えず不安全状態となる

→対策③誰でも安全にVRできる安全規定を発行(安推部と協業)

#### I トライ時



図4 課題②のイメージ図

### 4) 今後の取り組み

#### (1) 既存サービスのカイゼン

体の表示、部品との干渉(触覚)、立体音響などの各種ニーズに対して、デバイスの進化とともに、サービスインする計画を立てています。サービスの充実によって、より没入感のあるVR空間を体験することが可能になり、手戻り工数などの業務課題の解決に貢献していきます。

#### (2) 新規サービスの拡充

さらなる活用を目指し、設計/生技分野だけでなく、販売・サービス分野への拡大を図ります。スマートフォンやスマートグラスを活用し、商品知識の習得や技術訴求などに貢献していきます。また、COVID-19の影響下に対応した新しい業務形式が求められています。そこで、VR/AR技術に加えて、外部データ(360度画像)やCG技術(次章を参照)を活用して、バーチャル展示会などの遠隔地での業務支援を行います。(図5)



図5 バーチャル展示会のイメージ図

# 3D/CG

3 Dimensions/Computer Graphics

## 1) 3D/CGとは

CG(コンピュータグラフィックス)とは、コンピュータを用いて画像を生成する科学技術、およびその技術によって生成される画像のことです。一から画像を生成する手間を削減するために、3Dデータ(CADなどの設計データ)を活用しています。いいものを安く/早く生成するために、3Dデータを活用して、CG技術を作り出すため、3D/CGとしています。

## 2) 実現するための技術要素

#### (1) デジタルコンテンツ

デジタルコンテンツは、Unityを始めとするゲームエンジンを活用し、3Dデータや外部データ(360度画像)などをもとに、動きを付与した上でデバイス連動させたバーチャル空間を生成したものです。製品データは3D設計データを流用、建物や設備データは複眼レンズ付き撮影データによる3Dデータ化により早く安いいいコンテンツ作成を行います。



Unity Car, provided courtesy of "Genesis Design GmbH"

#### 3 Dimensions/Computer Graphics

#### (1) 安全分野

従来の紙や映像中心の講義形式では伝えきれなかった災害事例をデジタルコンテンツを活用することで、“疑似体験”することができるようになりました。

現実では体験できない災害を疑似体験することで、受講者の安全意識の向上に貢献することができました。

今回フォークリフトと歩行者との接触事故のコンテンツを紹介します。ポイントは1つの事故を3つの視点(フォークリフト運転手、歩行者、俯瞰者)で追体験できるようにコンテンツを

製作したこと。同じ事故を異なる視点で追体験することで、双方の不安全行動を体験することができます。その結果として、受講者一人一人がより深く理解することで、安全度の向上に寄与することもできました。(図1)



図1 3つの視点イメージ図(俯瞰者、運転手、歩行者)

#### 4) 今後の取り組み 3 Dimensions/Computer Graphics

##### (1) 費用の最小化

安全教育をVRで実施するために、必要な環境として大きく分けますと、ソフトウェア(コンテンツなど)とハードウェア(パソコン、ヘッドマウントディスプレイなど)があります。

まず、コンテンツですが、バラバラに各部が製作しますと、類似のコンテンツがバラバラにでき、それぞれが所有することになります。そこで、その対策としては、コンテンツを共有することができる従量課金型のプラットフォーム構築を計画しています。さらに、従量課金型にすることで、トライ時に必要となる初期費用がかかることで、誰でもトライに参加しやすい環境となる予定です。

また、ハードウェアですが、VR教育に必要な一式をIT部門で所有し、トライ時に活用できるように従量課金型貸出しサービス構築をしています。ハードウェアの進化が激しい分野での柔軟なサービスを提供できる環境を計画しています。

##### (2) 効果の最大化

同じコンテンツを複数部署で活用してもらうことで、費用対効果を最大化する取り組みを行っています。そのために、ある工場と作成したコンテンツを他の工場へ紹介・導入サポートを行っています。さらにその枠を広げるために、国内関係会社や海外関係会社へと幅広い活用の推進を行う予定です。

##### (3) コンテンツの充実

フォークリフトとの接触以外にも災害の中には、転倒、落下、挟まれ、感電など様々なことがあります。各工場のニーズに対して、優先順位を決めて、高いものから順番にコンテンツを作していく予定です。

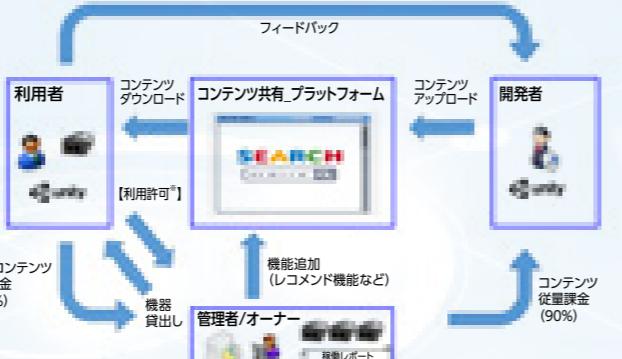


図2 コンテンツ共有プラットフォームイメージ図



#### 1) シミュレーションとは Simulation

CAE(Computer Aided Engineering)によるシミュレーションは、製造業のデジタル活用を加速させ、企業の競争力を高めるために、製品開発現場において重要性を増しています。

当社において、CAEの製品開発への適用を始めて早30年、ハードウェアとソフトウェアの進化を取り入れてきました。導入期から活用されている3Dデータを活用した構造、流体、衝突解析は、性能評価のフロントローディングにより開発期間の短縮を実現してきました。計算環境の進化により大規模かつ緻密な現象解明ができるようになり、予測精度の向上に貢献しています。

また、MBDの考え方がCAEにも取り入れられ、従来力ができなかつ構造検討や構造と流体、製品機構と制御ソフト、といった異なる領域を連成するシミュレーションのニーズも高まっています。



図1 CAEの変遷

#### 2) TICOの取り組み Simulation

##### (1) 計算環境

当社は多くの研究開発や製品開発を行っており、計算環境へのニーズも多種多様です。CAEは高性能な処理性能を持つ計算環境が必要であり、オンプレミス\*でスーパーコンピューターを保有しています。会社全体でニーズを集約しリソースを一元化した環境として、オンプレミスとクラウドのハイブリッド環境を従量制で社内向けに提供しています。それにより、高速なターンアラウンドの維持と利用平準化によるコストミニマムの両立を目指しています。

また、大規模プリボスト処理向けに高性能端末をVDI環境で提供しています。プリボスト処理以外にも、最適化のようなクラウドアントーサー間通信が高負荷となるような場合に、自席の端末利用時と比べて速度アップが見込まれます。

\*オンプレミス: サーバーやソフトウェアを自社で設置し運用すること

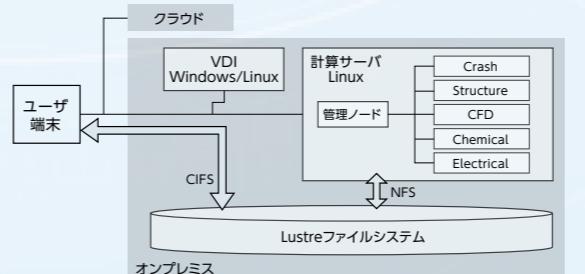


図2 TICO計算環境

##### (2) シミュレーション活用

CAEシミュレーション導入期から活用されている構造、流体、衝突解析は、性能評価のフロントローディングにより開発期間の短縮を実現してきました。計算環境の進化により大規模かつ緻密な現象解明ができるようになり、予測精度の向上に貢献しています。



図3 シミュレーション活用事例

近年進められているモデルベース開発の分野では、制御ソフトと制御対象を組み合わせたシステム全体のシミュレーションや、HILS・MILSの実装をサポートするシステムシミュレーション用ソフトも装備しています。

#### 3) 今後の取り組み

##### (1) 電動化

CAEの多くの多くはメカ中心の寸法決めに活用されてきましたが、電動化に求められるCAEは、例えば自動車部品の小型化に対し熱と振動がセットで問題が顕著化するような複合領域かつ多目的問題への対応です。物理的な相互作用が性能に影響を及ぼすような現象を正確に予測するためのマルチフィジックスシミュレーションソフト、また、複雑化した現象を限られたL/Tで効率的に検証するため、トレードオフを多目的に可視化する最適化ソフトの整備を行っていきます。

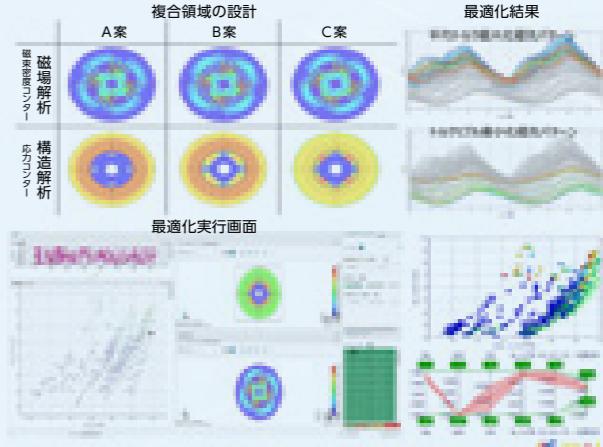


図4 マルチフィジックスシミュレーション

##### (2) 自動運転

自動運転フォークリフトの走行環境は顧客ごとに様々であり、膨大な数の走行や荷役のシーンを評価するため、シミュレーションは必須です。そのため、仮想空間内のシナリオベーステスト実現を目指し、ゲームエンジンを活用したシミュレーションプラットフォームを構想します。



図5 自動運転プラットフォーム構想



## 織機のITを支える インフラストラクチャー

01

### lobal Communication Platform グローバルコミュニケーション基盤



#### 1) TICOグループ グローバルインフラストラクチャー

当社は主な事業として6つの事業部・カンパニーをもっており、グローバルには製造・販売・サービスなど90以上の拠点(=TICOグループ)をもっています。2000年頃から、海外を含めた事業買収も進めており、ビジネスの拡大が急速に進んでいます。また、トヨタグループとの取引も多いです。

一方、ここ数年、製造業だけでなく各産業でデジタル化の対応が進み、当社およびTICOグループ間でもシステム連携、データ活用などを推進しています。グローバル化、デジタル化は、利用される場面(データ連携、場所/地域、人/言語、時間、文化、デバイスなど)の拡大および多様化も進んでいます。我々はこの変化に対応するため、TICOグループのグローバルインフラストラクチャーの再構築と機能拡大を行ってきました。ここでは直接利用者に関する以下3点について紹介します。

- ①関係会社・グループ会社と知見・情報の共有を推進し、グローバルでの競争力を高めるコミュニケーション基盤を整備する。
- ②迅速、且つ効率的に活用できる柔軟なITインフラ環境を整備する。
- ③安全・安心を確保したITインフラ環境の提供のためセキュリティ基盤を整備する。

#### 2) グローバルコミュニケーション基盤

今回、TICOグループとして、共通のコミュニケーション基盤を、業界標準であるマイクロソフトのクラウドサービスである「Office365」\*を活用して整備しました。以下に我々が目指すコミュニケーション基盤の考え方を示します。(図1)

\*2020年4月に「Microsoft365」に名称変更されました。

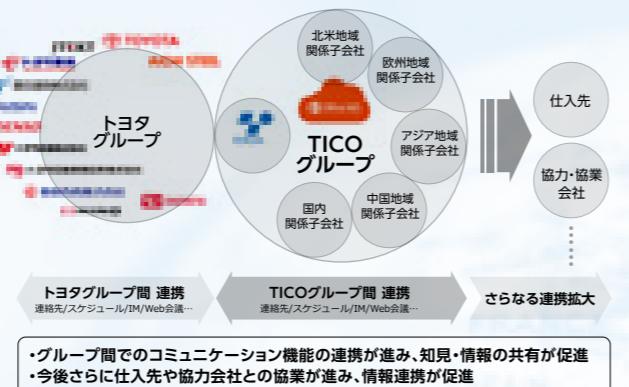


図1 コミュニケーション基盤の目指す姿

この基盤はTICOグループのみならず、トヨタグループ各社とも連携が可能であり、今後想定される、グループ外の会社・団体とも情報共有がしやすいものです。この基盤の整備をTICOグループ全体で迅速に進めていく必要がありますが、当社グループは複数事業部・グローバル拠点・買収拠点が多いという特徴があります。そこで、本構想の展開において「ルール・方針」「システム検討・導入」「システム運用」などのガイドラインを取り決め、各地域・拠点の利便性とグループでの統制のバランスが取れるような仕組みとしました。(図2)

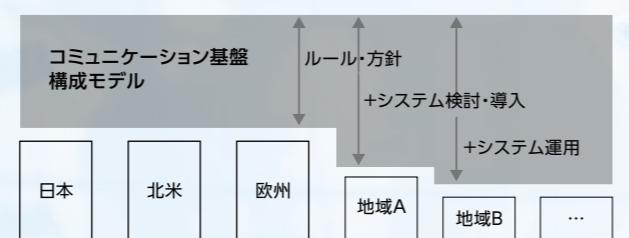


図2 TICOグループのコミュニケーション基盤構成モデル

TICOグループ各拠点は、事業や地域により、ITとビジネスとの連携度や、構築・運用体制のレベルなどに差があります。そこで、グループ全体として統一すべき部分と地域・拠点によって柔軟に対応できる部分に分けることにより、基盤整備のスピードアップを図ることができました。

具体的には2016年にグローバルコミュニケーション基盤整備の構想を立案し、全グループ会社に説明。北米・欧州・日本・アジアなどの各地域ごとにシステム構築・展開・運用整備を行い、約2年半で主要拠点がこの基盤を利用する環境が整い、現在も順次拡大・拡張中です。

次に構成上の主な特徴を紹介します。

#### (1) 各地域でのシステム構築(マルチテナントモデル)

TICOグループとして安全性を確保した構成ガイドラインを作成し、そのガイドラインに準拠したOffice365利用環境を各地域ごとに整備(マルチテナントモデル)。ユーザ登録や認証および運用管理は各地域で実施し、統制・管理と利便性を確保。(テナント=マイクロソフトクラウドサービス上の管理単位で、データセンターのようなもの)

#### (2) Office365テナント間連携(TICOグループ連邦モデル)

各地域・国ごとに整備したOffice365のテナントを、相互に連携(フェデレーション)する構成ガイドラインを作成(TICOグループ連邦モデル)。このシステム構成によりTICOグループコミュニケーション基盤を利用するグループ会社は、TICOグループ間でメール・スケジュール・Web会議・インスタントメッセージなどどこでも利用することが可能。

#### (3) グローバルアドレス帳の整備

(GIM=Global Identity Management)

TICOグループで整備するユーザ情報整備ガイドラインを作成し、各地域・各国の管理会社にユーザ認証基盤(AD=Active Directory)の整備を依頼。各ADからユーザ情報を集約(TICOグループAD=GIM)することにより、グループ社員のメールアドレス、電話番号、職種などを検索できる仕組みを整備。(図3)

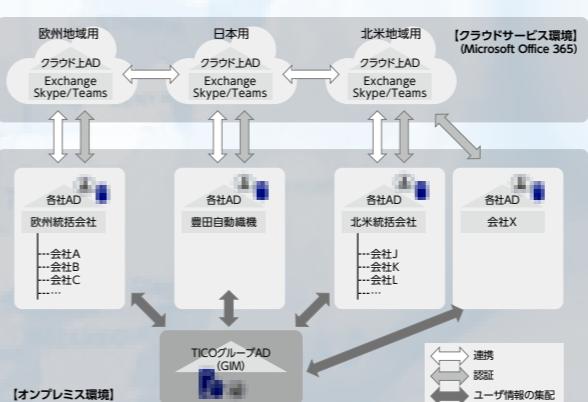


図3 TICOグループのOffice365/ADシステム構成基本コンセプト

TICOグループのグローバルコミュニケーション基盤をOffice365で整備したことにより、今後Office365上で利用できるアプリケーションを簡単に活用できるようになります。また、他のクラウドサービスとの連携もしやすく、データ活用も柔軟に対応できます。

この利用環境は2020年初頭より全世界に影響を及ぼしました。COVID-19対策として、在宅勤務環境整備にも柔軟に対応できました。なお、この活動はトヨタグループとしても同一のアプリケーションでの情報連携を行うことができます。

02

## Digital Workplace デジタルワークプレイス

Digital Workplace

#### 1) 労働環境の変化

昨今では企業を取り巻く環境は大きく変化しており、少子高齢化、育児・介護への対応、グローバル人材の採用などの多様な働き方への対応をすることにより、企業としての労働力向上を求められています。

労働力向上のためには、場所、時間、言語、働き方などの多様性を許容できる労働環境の提供と生産性の向上が課題となっています。

近年のデジタルテクノロジーの発達やクラウドサービスの普及によって、働く環境に縛られない「デジタルワークプレイス」という言葉が世間では注目されており、デジタルワークプレイスの実現によって、上記課題を解決できると期待している。

弊社では、自社のワークスタイルを分析し、新しいITツールの目利きと組み合わせをすることでデジタルワークプレイスに向けた取り組みを始めています。次は、弊社のデジタルワークプレイスに向けた取り組みを紹介します。

#### 2) デジタルワークプレイスに 向けた取り組み

##### (1) デジタルワークプレイスの主要技術

2章01「グローバルコミュニケーション基盤」にて記載したように、弊社ではOffice365の導入を完了しており、Office365の各ツールを活用することでデジタルワークプレイスを実現しようとしています。現在、社内で導入・展開が完了しているツールは図1の通りです。図1に記載のTeamsを中心として、様々なITツールを組み合わせることで業務のデジタル化を図っています。



## (2) 現場内線

自動車を製造している長草工場では、構内物流についてある問題を抱えていました。それは、工場内の物流での異常発生時に、すぐに職制の呼び出しをできないという問題です。今までは、最寄りのインターラムに行き呼び出しをしたり、直接詰所に行ったりすることでムダな移動が発生し、迅速な異常時対応ができていませんでした。

そこで、工場内に無線LANを整備し、職制にはiPodを携帯させ、作業者が乗車するエレカにはWindowsタブレットを搭載することで、異常発生時にはTeamsの通話機能を使用して職制を呼び出すことを実現しました。これによって、場所を意識しない連絡手法を確立することができました。

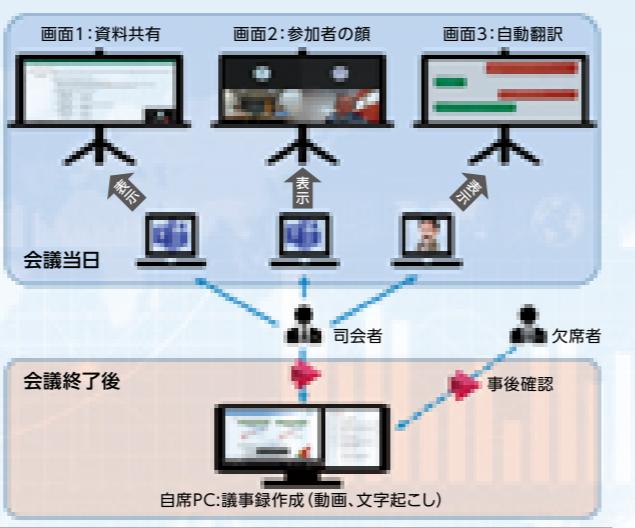


## (3) デジタル大規模会議

各会議を行うにあたり、①参加者が部屋に集まり、②資料を紙で印刷し、③議論を行い、④議論した結果を議事録にまとめる、という形式をとることが一般的です。しかし、この形式にはいくつかの問題がありました。①では、参加者が集まるための会議室が必要となり、社外の相手と会議をする場合は出張するための時間・費用がかかってしまう。②では、紙代と印刷代が発生してしまう。③では、海外拠点との会議をするために言語の壁が存在する。④では、議事録を作成することに時間がかかり、会議の欠席者は議論の結果を文字で確認するしかなく、会議当日の雰囲気や発言のニュアンスを汲み取ることが困難です。

そこで、海外数社を集めた大規模会議を図3のソリューションにて実施しました。会議当日は、TeamsとSOSEKI(1章03「音声認識」に記載)を組み合わせて、1つの画面に資料共有、2つの画面に相手のビデオ画像、3つの画面に発言内容の自動文字起こし+自動翻訳、をそれぞれ映して会議を実施しました。これによって、場所と言語の問題を解決したペー

バレス会議を実現することができました。また、会議終了後には録画した映像をStreamで保存し、キャプションを追加することで動画による議事録を作成し、その動画を関係者に共有することで、いつでも会議の内容・結果を確認できるようになりました。



## (4) 社内Q&amp;A対応

情報システム部は、様々なITサービスを社内ユーザーに提供しており、提供サービスに関する問合せ対応をするために、専用ヘルプデスクを構えています。問合せ方式は、電話または、メールで問合せを受け付けていましたが、ヘルプデスクの人員が限られているため、電話が繋がらないという問題が発生していました。また、複数のユーザーから同様の問合せ内容がある際には、同一の回答を複数ユーザーに個別に回答をして非効率な状態でした。

そこで、図4のように、Teams上にヘルプデスクのチームを設立し、「質問・相談チャネル」「機能紹介チャネル」「お知らせチャネル」を作成することでQ&A対応を実施しました。質問・相談チャネルでは、ユーザーが問合せ内容を書き込んだら情報システム部員が回答を書き込むという運用をしていました。これによって、電話のように繋がらないという状況を改善することができました。また、過去の問合せ内容は全ユーザーに公開しているため、同様の問合せ内容が頻発するということになりました。さらには、社内にいる有識者の方々が自発的に問合せ内容に対して回答することがあり、部署をまたいだ横串の知見の共有・繋がりが広がっています。機能紹介チャネルでは、日々変化するクラウドサービスの新機能や便利機能を紹介することで生産性を向上させるためのきっかけ作りをしています。お知らせチャネルでは、メンテナンス情報や運用情報等を発信しています。上記の対応をすることで、時間・場所を意識しないQ&A体制を構築することができました。今後の課題としては、各チャネル内の情報量が膨大になり、情報検索が大変になることが予想されるため、将来的には

社内版Wikibediaのような情報共有ツールを企画ていきたいです。



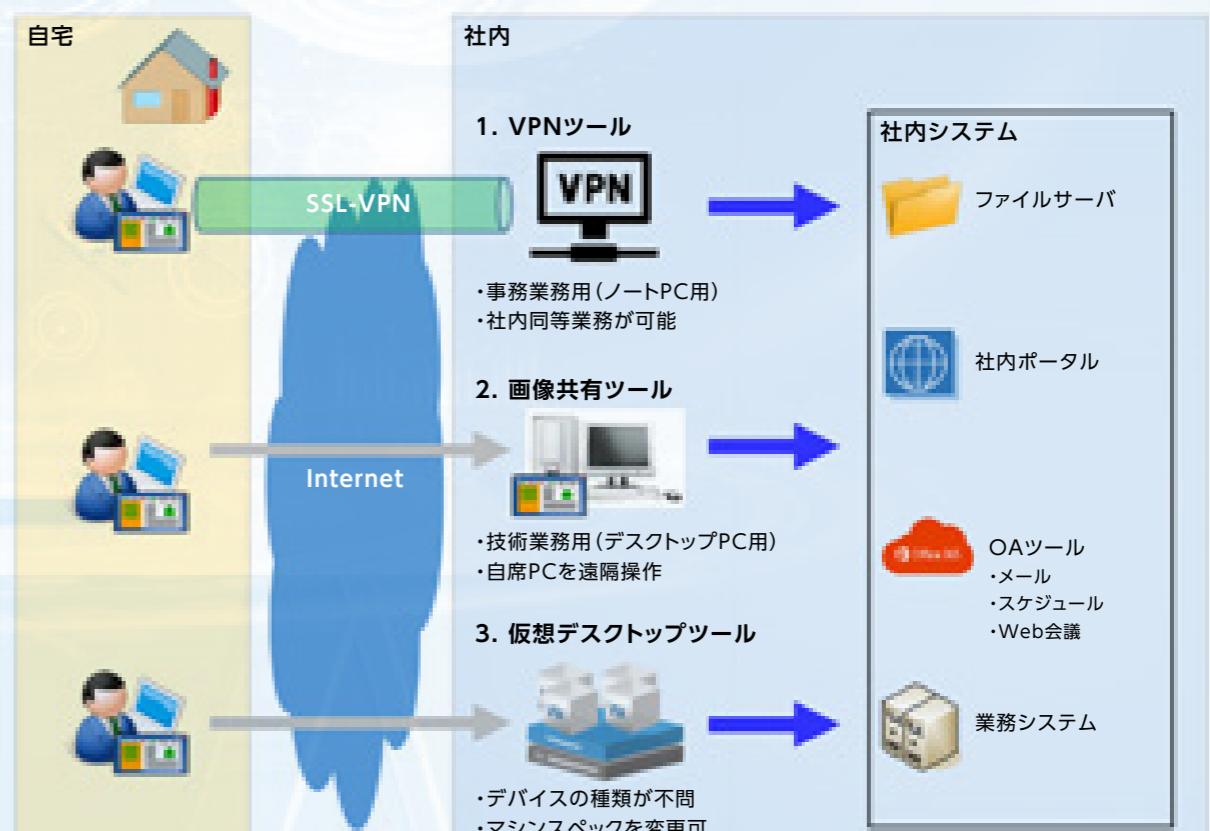
続方法・経路を整備することで、セキュリティの確保とムダなネットワークトラフィックを発生させない在宅勤務環境を提供することができました。

また、在宅勤務ツールと同時にTeamsを全社展開することで、在宅勤務ツールの利用に付随してTeamsの利用が急速にユーザーに浸透しました。この展開の際に、「(4)社内Q&A対応」で紹介したTeamsヘルプデスクを活用することで、慣れない在宅勤務やTeamsの利用方法・トラブル等に関してスムーズにQ&A対応ができました。

## 3) デジタルワークプレイスの今後

近年のデジタルテクノロジーの発達やクラウドサービスの普及は顕著です。世間では、将来的にクラウド化の加速は必至であり、ハードウェアやソフトウェアを自社で保有して、システムを一から構築するという従来の方法から、クラウドサービスを借りて使う・不要なら捨てるという方法への切替・使い分けが重要になることが予想されます。

デジタルワークプレイスにおいても、データをクラウド上に持っていくことで、時間や場所等の制約を脱することができる予測しています。データのクラウド化をした上で、最適な通信経路・セキュリティを整備し、将来のさらなる変化に対応できる環境を企画・構築していくたいです。





## 1) サイバー攻撃の変化

2010年頃までのサイバー攻撃は、エンジニアの腕試しや愉快的な意味合いが強く、攻撃手法も、ばらまき型が主流でした。このため、サイバー攻撃に対する防御の手法は、社内・社外の境界点の防御（ファイアウォールの設置やメールフィルタリングなど）や既知ウイルスに対するパターン型のウイルス検知ソフト導入が主な対策でした。転機が訪れたのは、2010年代前半の標的型メール攻撃の登場です。目的が、これまでの愉快的な内容から、金銭の取得（サイバー攻撃のビジネス化）になり、機密情報の取得を目的として、特定の標的を狙った攻撃に変化しました。この変化により、全体を包括的に守るやり方だけでは、守り切れない事例が多くなりました。また、ばらまき型ではないため、世の中の誰かが先に感染し、その情報をもとにワクチンをつくるという流れが機能しなくなっているためです。ここ数年は、これに加え、サイバー空間での国益の絡んだ戦争的な様相も呈してきています。国家機関が絡むサイバー攻撃の増加です。手法も執拗に、長期間、気づかれないように実行される事例が増えています。サイバー攻撃は、早期に気づき、封じ込めることが重要な時代になっています。

項目	2000～2005	2006～2010	2011～2015	2016～2020	2021～
攻撃手法 目的	第1世代 (ばらまき型)  迷惑行為・いたずら・内部犯  エンジニアの腕試し (目立つ)	第2世代 (標的型攻撃)  金銭・機密情報目的  組織化・ビジネス化 (目立たず、長期間)  国益が絡む (執拗に、長期)			

## 2) サイバー攻撃のプロセスと対策

### （1）サイバー攻撃対策のプロセス

前述したように、近年のサイバー攻撃手法は、標的型攻撃が主流になっています。まず初めに、攻撃者はターゲットを定め、特定の相手の特性や個人的な嗜好も含め情報収集しなりすまし等でフィッシングメールを送信します。ターゲットは、添付ファイルやメール内のURLをクリックすることで、社内への侵入を許してしまいます。一旦社内に入られると、社内ネットワークを介して、他のパソコン・サーバに次々と侵入を繰り返され拡大していきます。情報搾取基盤を拡大した攻撃者は、搾取の痕跡を残さないように長期間をかけて情報を搾取し続けます。手法も特殊化してきており、攻撃され始めた段階では、ウイルス検知ソフトのバーンファイルが作成されていない状態のため、侵入に長期間気がつけない事例が増えています。

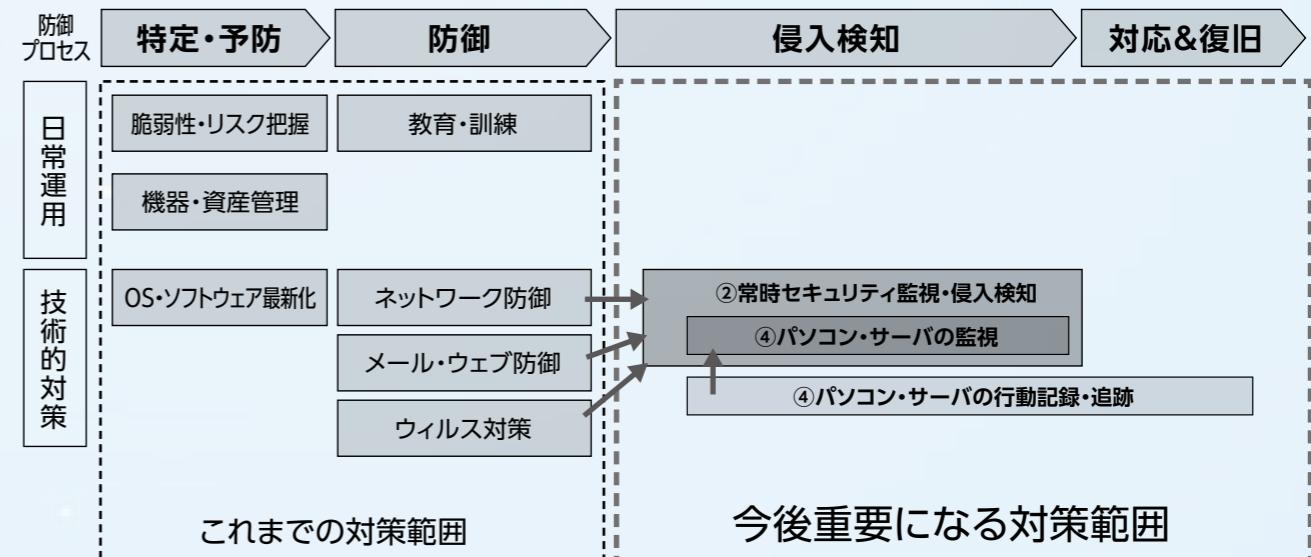


### （2）サイバー攻撃対策の変遷

これまでのセキュリティ対策は、防御系の対策を多層的に実装することで、防御力を向上させてきました。しかし、前述したように、攻撃者は巧妙にターゲットを狙ってくる時代となつた今、全体を包括的に防御しきる対策はもはや不可能になってしまいます。もちろん、脆弱性を絶えず修正し、ユーザのリテラシーを向上させることでサイバー攻撃に対する耐性を上げていくことは重要かつ効果的な方法ではありますが、確実性という面では不確実です。

今後、重要になってくるセキュリティ対策は、社内で感染拡大する（横展開される）ことを防ぐことだと考えられます。万が一、1台の端末が感染してしまったとしても、いかに迅速に状況を把握し、被疑端末を封じ込めるかが被害を局所化、最小化することに繋がります。このため、パソコンやサーバなどのエンドポイントに常時監視や行動記録・追跡を行うソフトウェアの導入を実施しています。

これらの対策は、モバイル・テレワーク・クラウド利用等の拡大により、守るべき端末・対象が社外に存在する環境にも有効であるといえます。



### （3）グローバル全体で最適な防御体制構築

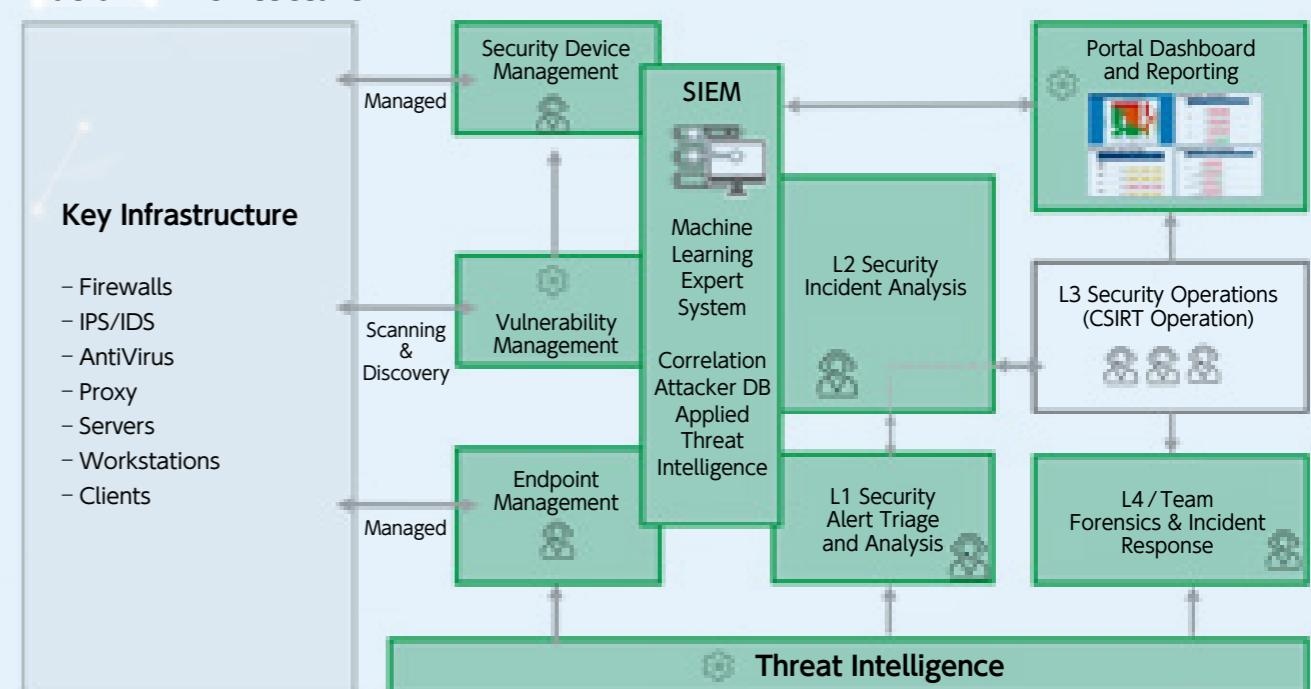
攻撃者の巧妙かつ執拗な攻撃を迅速に検出し、万が一侵害された場合も最小の被害でインシデントを収束させるために、グローバルで統一したプラットフォームAEGIS\*を立ち上げました。

\*Advanced Enhanced Global Integrated Security Platform

このプラットフォームは、社内外の境界に設置されているセキュリティ機器、パソコンやサーバなどの端末機器から常時行動情報(log)を収集し、脅威情報をベースとしたAI分析基盤と専任の分析官により攻撃者の活動情報を絞り込み、各社

のインシデント対応チームに数時間以内に通知することができます。この通知を受けた、インシデント対応チームは、被疑端末への確認・封じ込め作業を開始します。執行条件を指定することにより、自動でネットワークからの切り離し、感染経路の遮断も可能です。グローバル全体のグループ会社に導入を行った後、執行条件を整理・定義し、インシデントを自動的に処理・収束させ、その情報をTICOグローバル全体に横展開させる自律型プラットフォームへの発展を目指しています。これにより、グローバルおよそ8万台のどこか1つの端末でも攻撃者の脅威にさらされた場合、その脅威が、数時間以内に世界中に即時に反映できる防御体制が確立されます。

## Platform Architecture



“Additive Manufacturing”  
Up until now and in the future



## 「アディティブ・マニュファクチャリング」 今までとこれから



丸紅情報システムズ株式会社

製造ソリューション事業本部  
モデリングソリューション技術部 アプリケーション推進課  
スペシャリスト

丸岡 浩幸  
Hiroyuki Maruoka

### 1 はじめに

「Additive Manufacturing(アディティブ マニュファクチャリング、以下AM)」とは、現状一般呼称として広く知られている3D(3次元の意)プリンタの原理技術、およびそれにより作る行為を指し、和訳として非公式だが「付加製造」とも称される。基礎技術が開発・実用化されたのは1980年代後半から1990年代前半で、現在に至るまで継続して進化発展してきた技術および工法である。一方、まだ実用化や普及のレベルからすれば他の加工技術・装置に及ばないが、今後の発展に大きな可能性を有している。本稿では、3DプリンタメーカーであるStratasys社、Desktop Metal社の正規販売代理店である丸紅情報システムズ株式会社において用途開発を担当する技術員の立場から、AMに関連する基礎、今までの変遷、これからの発展や課題について述べる。

### 2 AMの定義

AMの主用途が試作品加工であったことも背景にあり、使われ始めてから長い間その工法や行為は一般に「ラピッド プロトタイピング(RP)」と呼ばれていた。その後実機能部品が作られるようになり、欧米先進地域で工業規格の策定が行われ始め、2008年にASTM規格の国際委員会F42が設立され、2009年に広義の用語「積層造形技術」をAdditive Manufacturing(付加製造)と定義し(既に国際規格ISO/ASTM52900発行済み)、2014年に用語「3D Printing」も追認された。しかしながら、日本においては「Additive Manufacturing」という用語の認知普及度が低く、同義として「3Dプリンティング(プリンタ)」が広く認知されている。また、日本語の用語がまだ規格化されていないが、ここではAMの定義を「3Dモデルデータから、材料層の積み重ねにより物体を作る工法」とし、その装置を「3Dプリンタ」と称する。

### 3 AM工法の分類名称

表1は、AM工法の分類と名称を示したものである。ISO17296-2において、AMの工法は表中の7つに分類され、今後も世界的にこの分類が標準となっていると考えられることから、本稿でも表1の分類と名称を使用する。これら工法の原理詳細については本稿では割愛するが、詳しくは産業技術総合研究所「加工技術データベース」ウェブサイト内「3Dプリンタ」を参照されたい。近年、AMの研究開発が急激に活発化したことにより、既に表1の分類に該当しない新工法や新装置が頻繁に公表、発売されており、今後、表1の分類が変更追加される可能性は否定できない。

表1 AM工法の分類と名称

英文表記	和文表記(未規格化)
Material Extrusion	材料押出法
Material Jetting	材料噴射法
Vat Photopolymerization	液槽光重合法
Powder Bed Fusion	粉末床溶融結合法
Sheet Lamination	シート積層法
Binder Jetting	結合剤噴射法
Directed Energy Deposition	指向エネルギー堆積法

代表的な材料押出法の基本構造を図1に、材料噴射法の基本構造を図2に示す。

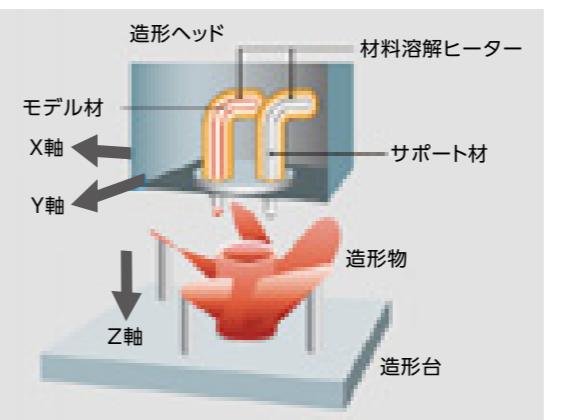


図1 材料押出法の基本構造

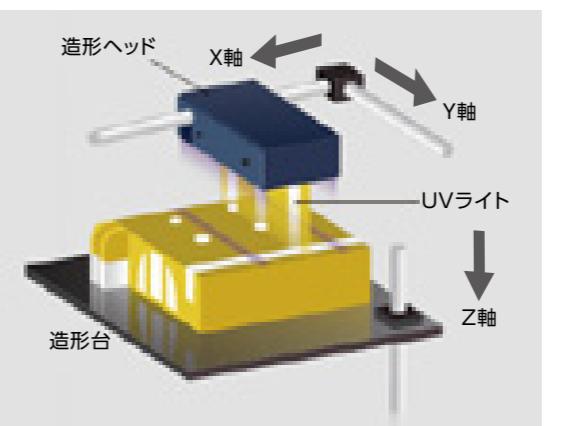


図2 材料噴射法の基本構造

### 4 3Dプリンタの発明と実用化

1970年代末から1980年代初頭にかけて3Dプリンタの原理が発明された。何れの発明も、コンピュータにより3次元データを作成する3次元CADの市販製品が相次いで発売され始めた時期と重なり、3次元データから直接立体物を成形する発想から生まれている。その後徐々に様々な工法と材料が開発市販されてきたが、新しい工法の例として、Desktop Metal社が開発製造販売する金属3Dプリンタ「Studio」の金属粉を樹脂バインダーで固めた棒状材料を材料押出法で積層成形、それを脱脂、加熱による拡散接合で金属体を得るBMD工法などが挙げられる。これら装置のみならずコンピュータの高性能化、クラウド化、3Dデータ作成技術やソフトウエアの進化、素形材料開発という基盤の上でAMはそれらと密接かつ相互に影響しながら発展してきたことは、これまでも今後も同様である。

### 5 AMの今まで

AMは1990年代前半、航空宇宙や自動車製造関連企業から、製品部品設計に形状評価を目的とした「試作品」を作る用途で使われ始めた。設計の初期段階で問題抽出解決を行い、後戻りを減らす「フロントローディング」が求められる中、大企業は、造形装置を社内に導入・運用し、または導入できない企業に対して有償受託造形を行う「造形サービス企業」も始めた。一方、日本では3次元CADの普及が遅れたこともあり、1990年代中盤から後半にかけて欧米に追従するようにならざるを得ないAMが使われ始めた。その後2009年の材料押出方式(Stratasys社のFDM)の基本特許権利期間終了を契機に、欧米にて簡素で安価な部品で組み立てられる3Dプリンタが開発された。インターネット上で基本技術や設計情報を公開し、自主参加者が自由に開発に参加、成果を共有できるオープンソース型のものづくりの普及と共に、多数の小型パーソナル3Dプリンタ商品が出現し個人によるものづくりの流行が始まった。このような状況の中、アメリカのオバマ政権は2012年7月に、AMの実用化を研究する専門機関 現 America Makesを設立するなど、国を挙げて製造産業復活の力としてAMの活用推進を始めたことから、製造産業全般においてもAMは急速な普及拡大を始めた。現在に至るまでAMの種類と用途が多様化し、しかもまだその途上で、今後

益々の成長拡大が予測されている。このような状況下で、今までのAMの主な用途分野と、それを実現するための設計技術について以下に述べる。

### 5-1 コンセプト・デザイン検討評価用途

商品コンセプト設定、初期外観デザイン、基礎研究の段階において、コンピュータ性能の向上により、VR、シミュレーションが多く使われているが、それでも立体現物が持つ情報量は依然多い。それ故、まず「カタチ」を出来るだけ正確に、早く立体現物化して評価、情報交換することの利点は大きい。

この用途において、3Dデータを作成するソフトウェアはCG系、デジタルクレイ系、デザイン用サーフェスマーラー、またはCAEによるシミュレーション、トポロジー最適化ソフトウェアなどの有限要素データ、あるいは色・テクスチャ画像情報を持つポリゴンデータとして作られることが多い。それらは、従来ディスプレイ内の3次元画像、または印刷上の2次元画像として主に使われてきたが、そのデータから立体現物化できるようになったことはAMがもたらした大きな利益の一つである。なお、ポリゴンデータは、そのままではソリッドデータではなく、3Dプリンタが処理できない場合があった。しかし、現在はソフトウェアでAMに適したデータに変換できるようになり、それらの活用技術が重要であることが再認識されている。上記用途に適したプリンタとして、比較的安価で、オフィスの中に設置使用でき、操作やサポート除去が比較的容易な小型デスクトップ機種が挙げられ、最も普及している。一方、自動車インパネ、建築模型や、玩具に代表されるような、色やテクスチャ情報もそのまま出力したい場合は、材料噴射法フルカラープリンタが適している。

### 5-2 設計・生産検討評価用途

最終量産する部品の設計、生産に必要な治工具や型などの設計に3次元CADが使われている場合、コンピュータ内で形状や機能をシミュレーションできるが、それでも多くの場合は現物の試作品を作り、形状検証や組み立て検証、そして修正を繰り返し玉成していくことが必要となる。この用途に、AMは時間短縮、コスト削減、品質向上の効果があり、普及してきた最大の要因で、現在においても過半数の用途といえる。量産する部品は大きさ、材料、加工方法、要求寸法精度、仕様

が多岐にわたり、また試作評価の目的も多岐にわざることから、それに対応する3Dプリンタと材料も急速に多様化してきた。半面、一つのプリンタで多岐の需要を満たすことができないのも事実で、試作品加工の5W1H(何を・なぜ・誰が・どこで・いつ・幾らで)に基づいて最適なプリンタと材料を複数の組み合わせで選択することが肝要になる。さらに、現状のAMでは樹脂金属に関わらず、量産と全く同じ材料と形状で試作品を作ることはできず、如何に近似した試作品を作るか、または量産品同等材料試作品を作るための型・工具を作るかにより、適する3Dプリンタと材料の選び方が大きく異なる。

### 5-3 量産品同等材料での試作用成形型・工具製作用途

量産品が樹脂の場合、量産時の成形工法に金属を使う場合が多く、金属3Dプリンタで試作型を作ることは行われているが、用途は限定される。むしろ、アルミニウム合金や亜鉛合金など、快削材を切削加工した方が速さ、コスト、品質の面で現状では有利な場合が多い。一方、近年材料噴射法の3Dプリンタで、比較的耐熱性と強度の高い紫外線硬化樹脂により樹脂型を作り、射出成形、ブロー成形、RIM成形などで試作品を成形することが可能になった。これにより、切削加工より時間的に優位になり普及しつつある。しかし、樹脂の耐熱性や強度以上に熱伝導率が炭素鋼などの1/100程度であり、成形樹脂の硬化が遅いことが成形、離型上の問題になることが多い。そのため、蓄熱による強度低下を含め、型への適用には限界がある。他には量産品が金属鋳造品の場合、鋳造用の砂型や石膏型を直接造形できる3Dプリンタが販売されている。特に、複雑形状品の試作において、速さの点で大きな利点がある。同じく、砂型鋳造の模型、中子を樹脂3Dプリンタで作る場合もある。インベストメント鋳造(精密鋳造)のセラミック型用ロストワックスを射出成形に代わり直接材料噴射法プリンタで作る、または大部品では液槽光重合法や材料押出法で内部を中疎構造にした模型を造形する例もある。量産品が金属シートプレスで板厚1mm程度までのアルミニウム合金、0.5mm程度までの鋼板の曲げ、絞り加工であれば、金型の代わりに材料押出法での高強度樹脂材料や、材料噴射法で作る樹脂型で少量プレス成形をしている例がある。また、航空機関連の試作でハイドロフォーミングプレス型

を材料押出法でのPEI樹脂で作り、金属切削型より早い試作を実現している。

### 5-4 Direct Digital Manufacturing(DDM)用途

前述のように、AMは試作品を作るRP用途としての進化拡大をしてきた。一方、2010年前後から欧米を中心に商品自体、実使用機能部品、または製造工程で使われる治工具、型、生産設備部品、品質検査設備部品を3次元データからAMで直接生産するDDM用途が各分野で開発実用化されている。DDMの用語定義は、現時点で国際的な規格としてはないが、欧米中心に総称としての認知は広がりつつある。そこで、筆者は広義として、AM生産を前提に、3次元物体を定義するデータを作成し、そのデータから物理的、視覚的な機能を持ち、何らかの価値を産む物をAMにより作る行為と捉えている。AM用途の変遷としては、発明、市販化された初期はほぼ全てRPが用途であり、その後、徐々にDDM用途が増え、現時点ではほぼRPとDDMが同等である。そして、今後はDDMがさらに拡大すると見ている。そこで、以下にDDMの現状と将来展望を述べる。

#### 5-4-1 DDMの現状(実機能部品)

現在市販されている3Dプリンタによる材料および造形物の大きさにおいては、製造の三要素と言われるQ (Quality :品質・良さ) C (Cost :コスト・安さ) D (Delivery : 納期・速さ) の点で、既存工法による型成形や切削加工などに勝る点は限られている。それ故、DDMによる実機能部品生産のケースは、下記成立条件の何れか、または複数に該当する限定的な適用に留まっている。

- ①1個から数十個の少量生産、または1個ずつ異なる類似形状の大量生産(マスカスタマイゼーション)
- ②他の工法では困難または不可能な形状を一体物として設計製造することで、QCD上の価値が高まる部品の生産
- ③軽量化または一体化することで、部品のQCDだけではなく設計、輸送、在庫、使用上で何らかの利点がある部品の生産
- ④一体部品の中で、部分的に機械特性(例:ヤング率)や光学特性(例:色、光透過性)が異なる

ことで、何らかの利点がある部品の生産

- ⑤従来の工法では加工が難しい材料で、AMであれば可能な部品の生産

上記適用として、欧米が先行し国内でも既に存在する事例を以下に列記する。

- ・写真または3Dスキャニングデータからの人物ミニチュア
- ・インテリア小物や照明器具
- ・アクセサリ(鋳造用ワックス、貴金属)
- ・カスタムメイド補聴器やイヤホン筐体(樹脂)
- ・航空機ジェットエンジンの燃料噴射ノズル(金属)
- ・航空機内エアダクト、インテリアパーツ類(樹脂)
- ・カスタムメイド人工骨や歯科補綴物(チタンなど)
- ・UAV、ドローンの機体や部品
- ・自動車のレース、カスタマイズ、レストアパーツ
- ・電車の少量カスタマイズ、補修パーツ
- ・スポーツシューズのクッションソール(軟質樹脂)

上記のほか、研究開発中の件を含め世界中から日々新たな事例が報告されている。最近では新型コロナウイルス感染拡大により不足したマスク、フェイスシールド、人工呼吸器部品、ドアハンドルレバーなどをDDM生産された例も多く報道された。



図3 弊社での腕で引けるドアハンドルレバーの例

#### 5-4-2 DDMの現状(治工具・型)

AM以外の工法による製造に必要な治工具や成形型は、DDM前項の実機能部品DDMと同様の理由により、限定的な適用に留まっている。しかし、DDMの採用はQCDの利点が比較的大きいため、実機能部品より適用が先行拡大している。例えば、自動車エンジン用インテークマニホールドやタービンハウジングなど、複雑内部構造を持つ鋳造品の砂型は、金属鋳造用砂型を直接一体造形することで、QCDが大幅改善された。また、樹脂射出成形金型の場合、金属粉末積層と高速切削加工を1つの機械で、交互に行う複合装置により、高い表面品質と寸法精度が得られるようになった。特に、現状の切削放電加工では困難とされる複雑形状型の一体加工、深リブ、薄リブ加工、成形時の冷却を最適化する3次元形状の冷却水管加工、粉末焼結時に生じる微細空隙を利用したガス抜き用ポーラス加工など、QCD大幅改善を実現し、今後も活用拡大が見込まれている。また、近年航空機や自動車への適用が拡大しているCFRP(カーボン繊維樹脂複合材)の成形型または溶解コアに材料押出法の樹脂型が使われる例がある。

型以外でも、国内外の自動車メーカーが乗用車組み立て製造において作業者が手に持つて部品を組み付ける際の位置決め治具を従来の金属切削、ボルトナットや溶接締結による製造から樹脂AMによるDDMに変えた例がある。これにより、用途に最適な形状、軽量化による身体負荷の低減、内製化によるコストと納期削減など、大きな効

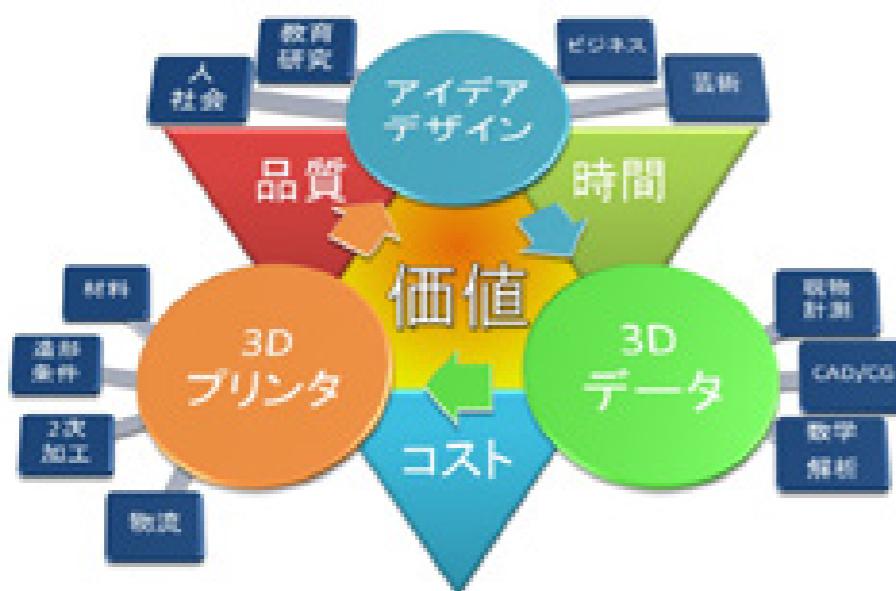
果を挙げた事例の一つである。その他、寸法検査、計測、組み立て、切削加工などのために部品を最適位置に固定するための支持具(フィックスチャ)など、特定箇所の樹脂によるDDM化で、軽量化やコストダウンに成功した例が多々見られる。

#### 6 AMのこれから

AMはプリンタ、材料、設計、品質管理において、研究開発が国内外で活発化しており、AMの今後の発展方向性として下記を挙げる。

- ①特定用途に特化したプリンタ・材料開発
- ②大型小型、高価格低価格の両極拡大
- ③金属、有機、無機材料の多様化
- ④新積層技術と装置による高速化とプロセス省人化
- ⑤新しい解析・設計手法・ツールの連携活用

AMの変遷は、約30年にわたって進化発展してきたものであるが、今後もドイツの「インダストリー4.0」やIoT(Internet of Things)コンセプトによるものづくり、およびサプライチェーンの革新、性能と機械的物性と軽さの高次元両立を実現する新しい設計手法と共に発展活用するものと考える。特に今般の新型コロナウイルス感染拡大後の製造企業にとって、人や物流への依存度を下げ、急な変化に対応しやすい製造プロセスやサプライチェーンへ変えていくことは共通の課題となり、対策としてのロボットの活用拡大に伴い、エンドエフェクタやフィックスチャへAMがさらに活用されることや、急に供給が途絶えた物資を、供給回復までの短期間代替製造にAMが



ブリッジプロダクションとして活用されることなども推測される。

加えて、AMが産みだす最大の可能性は、革新的創造やビジネスを産む「人のアイデア」を増やすことであり、その創造を現物化する新たな設計技術であると考えている。左ページの図4は筆者が考える「AM価値創生サイクル」で、人のアイデア→3Dデータ→3Dプリンタからまた人のアイデアが生まれるサイクルを早く繰り返し回することで、Q(品質・良さ)C(コスト・安さ)D(納期・速さ)の価値が生まれることを示している。

また、欧米の製造企業が企業全体でAM導入に取り組む背景には、急変する社会経済情勢、顧客志向、国際化、労働者人口の減少などに対し企業全体やサプライチェーンを変えていく、または変化を受け入れる企業文化、人材を作る手段として、AMを含むデジタルマニュファクチャリングを利用していると見られている。もちろん急には出来ず、社内試作→社内製造治工具→カスタマイズ・スペアパーツ→量産製品製造へ、設計開発部署から全社部署横断へ段階的に進めるのが一般で、図5に示す「考える→作る→整える→評価する」の循環プロセスを作り、それぞれの過程で適したツールと人材と工程の開発、整備、定着標準化を行っており、その需要に応じてツール、規格、教育なども供給され、その結果高度な人材活用につなげている。

日本国内でも多くは公表されていないが同様の取り組みをされる企業はあるものの、全体としては少ないとみられる。しかしAM関連の国際工業規格も制定が進み、必要な技術、ツール、サービスも全世界で活発に開発供給されているので、日本でもまずデジタルエンジニアリングについて正しい情報を得て理解をされる人材を有し、適切な段階を経て企業全体に受け入れ変化できる企業において、AMがさらに活用していくものと考えられる。

#### 7 おわりに

筆者も、国内外のAMに関する様々な情報を収集発信し、微力ながら製造産業の皆様と共に、AMを含むデジタルマニュファクチャリングにより「変化を強みに」変えることの一助となることと共に、日本から世界的にも優れた人材、創造、技術、材料が産まれ、ものづくりや医療分野の革新を通じ、より良い社会や生活につながることを期待している。

参考文献  
Stratasys社:製品カタログ(1992)

国立研究開発法人 産業総合技術研究所「加工技術データベース」  
<http://www.monozukuri.org/mono/db-dmrc/3dprinter/overview/method.html>

丸岡浩幸:設計工学 Vol.51 No.5(2016年5月)「3Dプリンティングの変遷」

# 製品技術紹介



## Product Technology

- P.39 新型ハリアーの開発
- P.49 粗紡機一斉ドッファの開発
- P.55 TMH初のフルモデルチェンジ開発 電動フォークリフト8FBC15Uの開発
- P.59 新型1.5kW ACインバータの開発
- P.63 新型車ヤリス HV向け DC-DCコンバータの開発
- P.67 RAV4 PHV向け昇圧コンバータの開発
- P.73 RAV4 PHV および Lexus UX300e・C-HR EV向け6.6kW車載充電器の開発

## 製品技術紹介

### 新型ハリアーの開発 Development of New Harrier

秋本 周吾<sup>\*1</sup> 森山 誠<sup>\*2</sup> 稲垣 裕也<sup>\*2</sup> 柴田 篤<sup>\*2</sup> 近藤 健太<sup>\*2</sup> 西郡 健太<sup>\*2</sup> 中神 悠佑<sup>\*2</sup>  
Shugo Akimoto Akira Moriyama Yuya Inagaki Atsushi Shibata Kenta Kondo Kenta Nishigori Yusuke Nakagami  
桑原 広樹<sup>\*2</sup> 宮澤 康介<sup>\*2</sup> 井口 大輔<sup>\*1</sup>  
Hiroki Kuwabara Yosuke Miyazawa Daisuke Iguchi

\*1 自動車事業部 製品企画部 \*2 自動車事業部 技術部

#### 要旨

今回で4代目となる新型ハリアーはトヨタ自動車高岡工場で生産され国内および北米に向けて販売が開始された。当社は3代目に引き続き4代目もアッパー・ボディの開発を受託し高い要求レベルに応えるべく活動を行った。

#### Abstract

The new Harrier, in its fourth generation, is now in production at Toyota Motor Corporation Takaoka plant and has been launched for the domestic and North American markets. Continuing with the third generation, we have been contracted to develop the upper body. We have carried out measures to achieve the high requirements by Toyota Motor Corporation.

Keywords: Graceful Life

#### 1 はじめに

1997年にクロスオーバーSUVの先駆けとして誕生したハリアーは、都市型SUVという新ジャンルを開拓し、様々なチャレンジを続け、市場でオンラインのSUVのトレンドリーダーとしてのポジションを確立してきた(写真1)。当社長草工場では3代目からアッパー・ボディの開発～生産準備までをトヨタ自動車から受託し、高品質な車両を開発することで長草のプレゼンス向上に貢献している。

今回で4代目となる新型ハリアーは、競合他社の同カテゴリーへの新規参入や社会環境が変化する中、新たな価値をSUV市場に提案し、他社の追従を許さないトレンドリーダーを狙うべく開発を行ったので、その内容について紹介する。アッパー・ボディ開発に関するトヨタ自動車からの開発委託内容は以下の通り。アッパー・ボディ(ボディー、内装、外装、インパネ、シート、ランプ、機能部品)および電子技術(メーター、ワイヤーハーネス、ECU)およびそれらに関係する性能評価。



写真1 ハリアーの変遷  
Photo1 History of Harrier

#### 2 開発の狙いと車両コンセプト

ハリアーは3代目までの累計販売50万台以上と、比較的好調な販売台数を維持しており、内外装、品質、乗り心地の良さでブランドイメージを確立。幅広い年齢層から支持を得てきた。しかし高級なイメージが浸透する一方で、ハリアーを意識した多数の競合車の登場により、個性的なイメージは低下している懸念があり、4代目ハリアーにおいては、新価値提供への再チャレンジとブランドイメージの再向上を掲げ開発を行った。

4代目ハリアーは車両のコンセプトキーワードをGraceful Life(優雅で豊かな人生)とし、見て:「スタイリッシュかつ逞しいシルエット」乗って:「心地よい室内空間と充実の先進装備」走って:「優雅な乗り心地と静粛性」これらをテーマに「スペックには表れない、感性を大切にしたハリアーならではの存在感」を創出した。

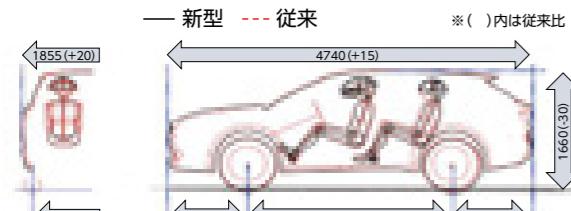
#### 3 主要諸元と車両構成

図1に寸法諸元を示す。

新型は従来よりも15mm長い全長でハリアーとしての車格感を強調。さらにホイールベース・全幅も拡大し、日本での使用性を考慮しながらも、ワイドで安定感のある走りをもたらすスタンスの良さを確保している。また全高を抑え、ルーフラインを「クーペフォルム」に見せることで実用性能だけでなく、感性に訴えるエモーショナルなスタイリングを実現。

パートレーンは2.5Lハイブリッドと2.0Lガソリンの2系統。ハイブリッド車、ガソリン車共に3グレード(S、G、Z)のラインナップ。全グレードで2WD/4WDの選択が可能。

また「Z」、「G」には本革シートを搭載した「Leather Package」を設定。



## 4 感性を大切にした上質なデザイン

### 4.1 外形デザイン

外形デザインテーマは「Dignified Elegance」。本来ハリアーが持っているエレガントをベースに、新たにおおらかな逞しさと、ダイナミックな動感を兼ね備えたスタイリングを狙った。

具体的には、スポーツカーのような逞しいスタンスを持った足回りと、クーペのような流麗キャビンの組み合わせで、独自のシルエットを形成。ボディの前後に貫くティアドロップ形状はフロントからリヤへ大胆に断面変化させ、絞りこむことで、リヤの足回りを強調している(写真2)。



### 4.2 内装デザイン

内装においても「Dignified Elegance」を大きなデザインテーマとした。「派手ではなく、落ち着いていて、品のあるデザイン」と同時に新しさも求められる、非常に難しい課題だったが、これを実現するため、CMF(Color Material Finish:素材、色、カタチを一体としてとらえたデザイン手法)を追求した。

内装デザイナーとカラーデザイナーがチームを組み、様々な生地を集めて机に並べ、組み合わせを模索することで、「異素材の組み合わせ」「トーンを抑えた色合い」「さり気ないアクセント」というヒントを得た。

このコンセプトに基づき、構成を吟味し、カタチをデザインしながら、おおらかに曲げた厚い革、縫い合わされたステッチ、曲げ木に、硬くて鈍く光る金属等素材の組み合わせで内装の調和を整理した(写真3)。



## 5 新技術の開発

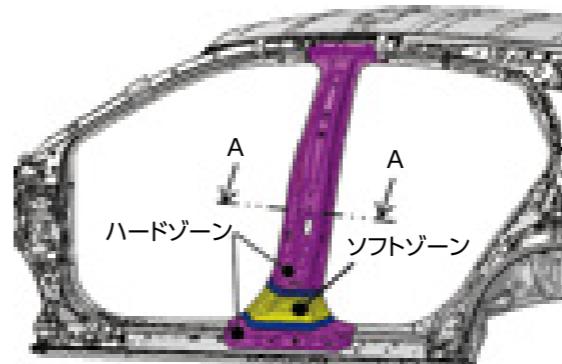
### 5.1 センターピラー R/F焼き分け技術の導入

センターピラーは側面衝突から乗員を守る重要な部位で、ボディの侵入速度の低減と変形モードのコントロールのため、センターピラーリインフォース(R/F)は超高張力鋼板を重ね合わせたり比較的強度の低い鋼板を組み合わせるのが一般的である。

新型ハリアーでは、平板の鋼板を重ねてスポット溶接しておき、ホットプレス加工するパッチワーク成形に加えて、ホットプレスの焼き分け技術を量産車両に導入した(トヨタ初)。

ホットプレス加工は鋼板を約900°Cに加熱し、成形時に型内で急冷し高強度化する工法だが、焼き分け技術は型の一部にヒーターを入れ、鋼板の冷却速度を遅くし、強度が低い部位(ソフトゾーン)を作る工法である。

高い強度が必要なセンターピラー上部はパッチワーク成形で鋼板2枚重ね。意図的に変形させる下部は焼き分け技術でソフトゾーンにすることで、センターピラー R/Fを一体構造とし、3部品構成の従来構造から同等以上の性能で質量-1.5kg/台、コスト約-30%を実現した(図2、図3、図4)。



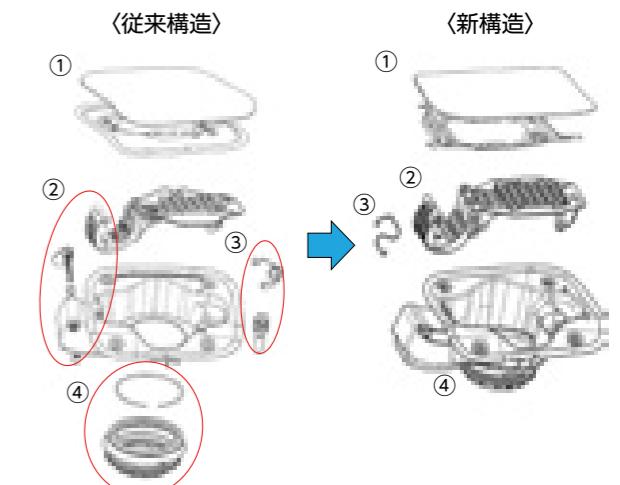
### 5.2 新構造樹脂フューエルリッド

樹脂フューエルリッドは準外板部の打点、シラーが見えないため上質感があり、車両イメージと合致するが、コストが高い。そのためレクサス車が主流でトヨタ車での採用実績は少ない。

そこで仕入先と共にトヨタ初となるコスト低減アイテム(①リッドカバーのカシメ構造化、②ハンジピン一体化、③多機能ばね、④シールドゴム一体化)を織り込んだ。新構造開発の過程で従来の見では予測できない問題が発生したが、設計・生

技・工場・仕入先で連携し、迅速に解決することができた。また、見栄えや危険性などの細かなノウハウを共有し商品性を高めることもできた。

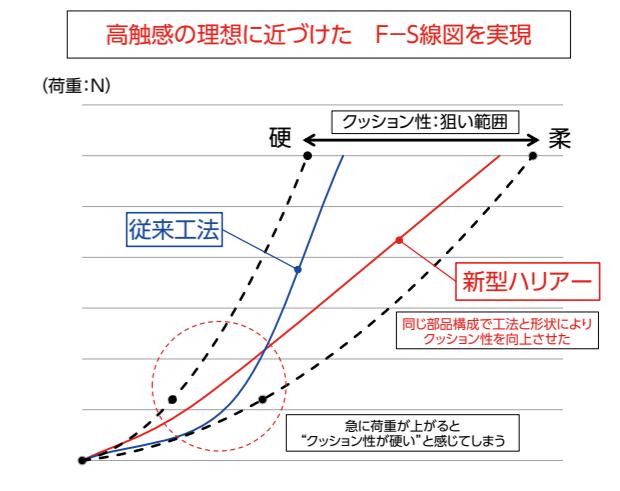
結果として部品点数を11部品から5部品に削減し(図5)、従来構造から同等の性能で、約50%のコストカット、質量-200gを実現した。



### 5.3 コンソール一体発泡

従来のドアに比べて、低成本かつ高品質なコンソールドアを開発。

高級ソファをイメージしながら、アームレストの触り心地やクッション性に拘った(図6)。



- (1)過度な巻き込みや張り込みのバラツキを安定させるための、新規工法開発を実施。
- 金型でウレタン発泡力を用いて、意匠面の張

りを持たせる。(触り心地の改善)

※表皮一体発泡工法(図7)

- (2)表皮全周固定方法を従来のタッカー止めのみに対し、ウレタン発泡接着を併用することに剥離強度を満足しつつ、タッカ一点数削減およびコスト低減を図った(図8)。

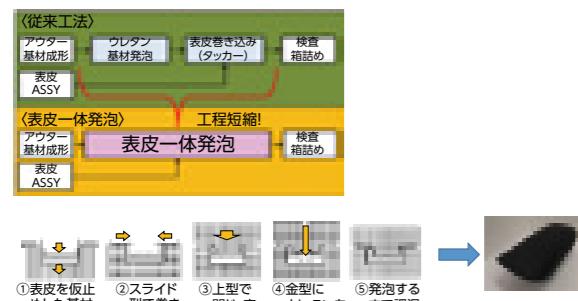


図7 工法  
Fig.7 Method

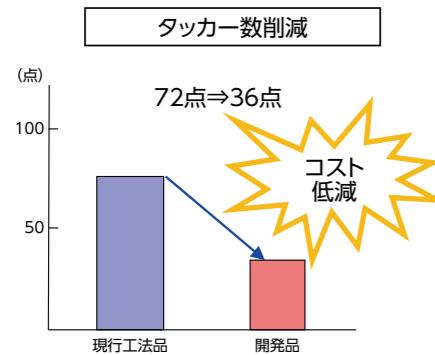


図8 打点数  
Fig.8 Spotting Point



図9 操作方法  
Fig.9 Operation procedure

## 6 拘りの空間演出

### 6.1 見て・触れて味わえる上質感

開発コンセプトであるGraceful Life(優雅でより豊かな人生)を演出するために「上質な内装空間」を細部まで拘りぬきワンクラス上級の見栄えと触感を追求した(図10)。

インパネからコンソール後方まで表皮を連続させることで、表皮による上質な空間の広がりを実現した(図11)。



図10 上質な内装空間  
Fig.10 High quality interior space

### 5.4 音声制御

家電機器、および競合他社で導入が進んでいる音声制御機能について、新型ハリアーでは、従来のナビ操作に加え、新たにパワーウィンドウ、ドライビングポジションメモリ、ワイパー、調光ガラスの操作を音声制御機能の対象として採用し、トヨタ自動車(株)と共同で開発を行った(表1)。

表1 音声認識機能一覧  
Table.1 Voice recognition function

機能	サービス内容
パワーウィンドウ	全席 開／閉 運転席のみ 開／閉
ドライビングポジション	運転席メモリ記憶 運転席メモリ再生
ワイパー	フロントワイパー払拭 リヤワイパー払拭
調光ガラス	調光ON／OFF (シェード開／閉連携) シェードのみ開／閉

従来は運転中にスイッチ操作をするためにステアリングから手を放す必要があったが、音声による制御を可能とすることで、ステアリングから手を放す必要がなくなり、運転に集中することができる(図9)。調光ガラスの動作時にはシェードとの連携した動きを取り入れることで、上質な室内空間の演出にも配慮した。

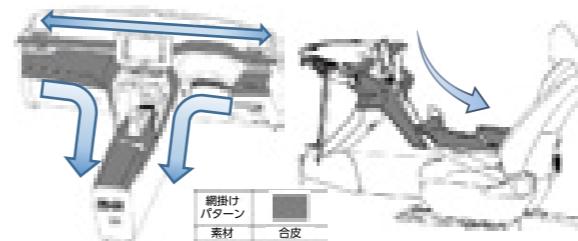


図11 空間の広がり  
Fig.11 Expansion of space

アッパー部の表皮部品には成形表皮層を採用し、同じ表皮部品でも工法を変えることにより、デザインの再現性を高めた(図12)。

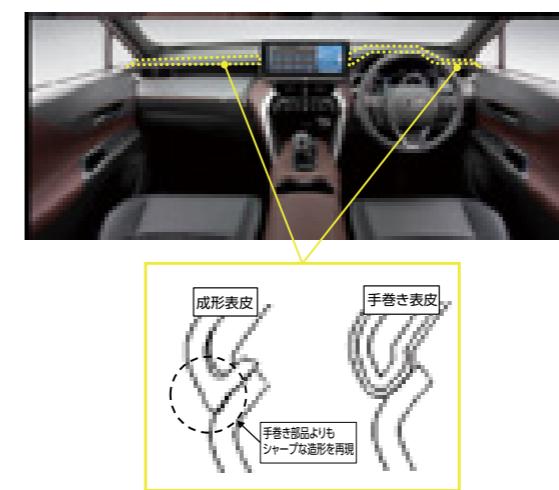


図12 成形表皮  
Fig.12 Molded upholstery

写真4 コンソールドア  
Photo4 Console Door

車両中央部は、大型のモニター／センターパネルによりダイナミックでありながら、洗練された高級感のあるデザインを実現した。各部品の側面をマットブラック塗装し、縁を薄くすることでピアノブラック部の薄型のモニター／センターパネルがフローティングしているかのような演出をした(図13)。

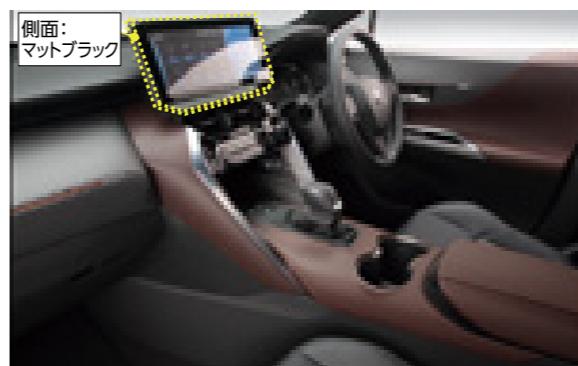


図13 薄型モニター  
Fig.13 Thin monitor

## 6.2 大人のさりげないセンス

### 【パイピングオーナメント/メタルラッチ】

インパネ、ドアトリムには従来のステッキングを追加し、パイピングオーナメントと端末部にはメタルラッチ加飾を設定。異なる材質で構成されている部品であっても部品間隙を極限までつめることで、まるで職人がハンドメイドで仕立てたような仕上がりを実現した(図14)。



図14 パイピングオーナメント/メタルラッチ  
Fig.14 Piping/metal latch ornamentation

## 7 見やすく・届きやすく・わかりやすい運転環境

### 7.1 12.3インチセンターディスプレイ&静電式ヒーターコントロールパネル

国内仕向けのトヨタグレード車両初の高精細12.3インチセンターディスプレイを採用。トヨタマルチオペレーションタッチのシステムを活用することにより、ナビ画面×エアコン画面といった複数機能の同時表示と、直感的なタッチ操作に対応(写真5)。

また黒艶静電式ヒーターコントロールパネルスイッチを採用し、スイッチ間の見切りをなくしすっきりとした意匠を実現。静電スイッチの課題であるユーザー操作のしづらさについて、連打するスイッチ周辺のパネル形状を膨らませ、ガイドの役割を果たすことで操作性を向上。本車両ではエアコンスイッチ系とオーディオスイッチを一体のパネルに複合した。それぞれのスイッチを加飾セパレーターで分けグリーピングすることで、ユーザーが視覚的に認識しやすいよう設計(写真6)。

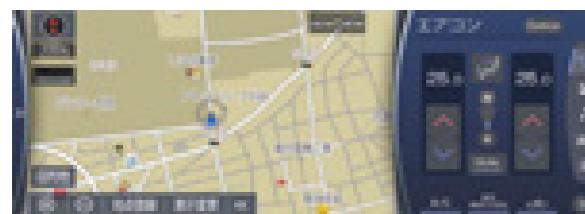


写真5 12.3インチディスプレイ画面  
Photo5 12.3 inch display screen



写真6 12.3インチセンターディスプレイ & 静電ヒーター制御パネル  
Photo6 12.3 inch center display & electrostatic heater control panel

## 7.2 スピードメーター

7インチカラーディスプレイメータを採用。大型のワンオープンリング、立体目盛、旭光文字盤を採用し上質感を向上。さらに、旭光文字盤に全長発光の指針後ろが映り、指針の動きに余韻を持たせる演出を実現(写真7)。



写真7 スピードメーター  
Photo7 Speedometer

メータ起動時のオープニングアニメーションには霧の演出を採用しハリアーの世界観(大人の色気、妖しさ、エレガンス)を表現。霧描写は大変繊細なため少しの違いで見え方が大きく変わってくるが、霧の濃度やタイミングを徹底的に細部までこだわり、トライ&エラーを繰り返しながらデザインが思い描く霧表現のグラフィックを実現(写真8)。



## 8 上質な乗り味 ~雅~の追求

### 8.1 静肃性の高い車内空間の創出

新型ハリアーに「乗り込み」、「発進し」、「クルージングする」というお客様が体感するシーンをイメージし、動的性能のコンセプトである雅(上質・優雅・都会風)をどうやって演出するか考え、新型ハリアーとして相応しい理想的なNV性能を追い求めた(図15)。

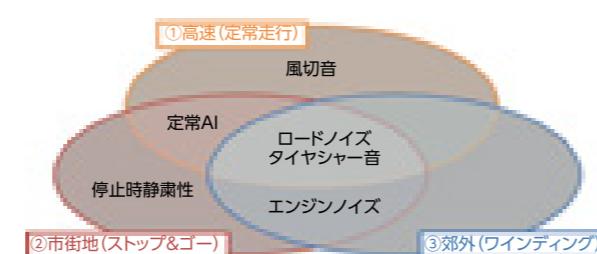


図15 走行シーンとこだわり性能  
Fig.15 Each driving scenes and particular performance

性能向上させるべき性能をシーンに合わせて、防音材の最適配置を実施(図16)。

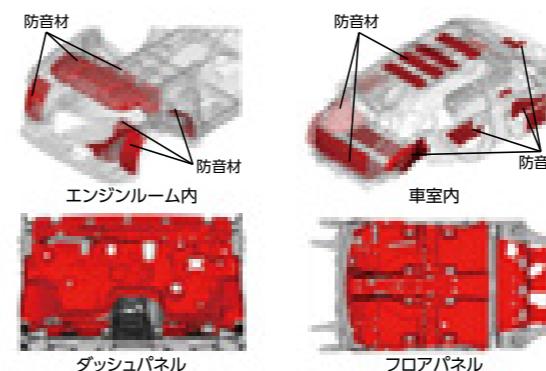


図16 防音材の最適配置  
Fig.16 Optimal placement of soundproofing materials

エンジンやタイヤからの音を重点的に低減させ、エンジンノイズや会話明瞭度(AI値)を向上。ハリアーという車名に相応しい「静謐性の高いプライベート空間」を実現した(図17)。

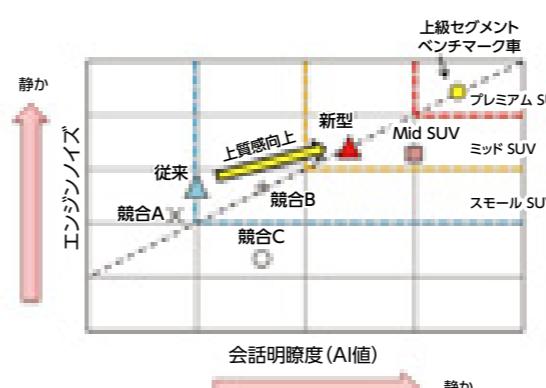


図17 エンジンノイズとAI値の向上  
Fig.17 Improving performance of engine noise and AI values

### 8.2 空力性能

「上質な乗り心地 ~雅~」の追求のため、車体周りの空気の整流に取り組んだ。シミュレーションや風洞実験を繰り返し、細部まで形状を最適化。流麗なキャビンデザインを最大限に活用しつつ、細部まで乱流を抑制することで、競合トップレベルの空力性能を確保した。

車両前方では、バンパー側面に通気孔を設定。抵抗となる前面圧力を低減させつつ、吸い込んだ空気をタイヤ側面に適切に流すことで、タイヤによる乱流を抑制した(図18)。

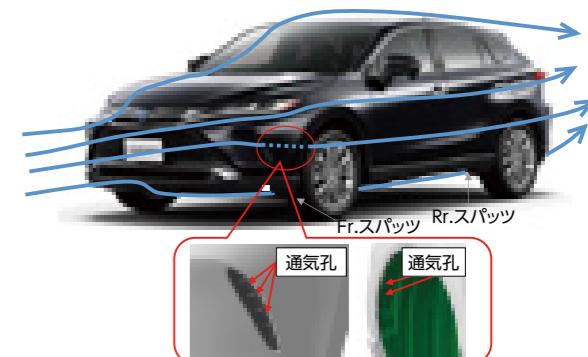


図18 空力アイテム (車両前方)  
Fig.18 Aerodynamics items (Forward)

車両後方では、絞り込まれたキャビンデザインを活かしつつ、Rr.スパイラー(Rr.バンパー)の形状を最適化。ルーフからの流れを後方に飛ばし、側面、床下からの流れと適切に合流させることで、巻き込みによる乱流を抑制した(図19)。



図19 空力アイテム (車両後方)  
Fig.19 Aerodynamics items (Rearward)

床下では、エンジンアンダーカバー、フロアカバーなどを設定し、フラットな床下を実現。乱流を抑制した(図20)。

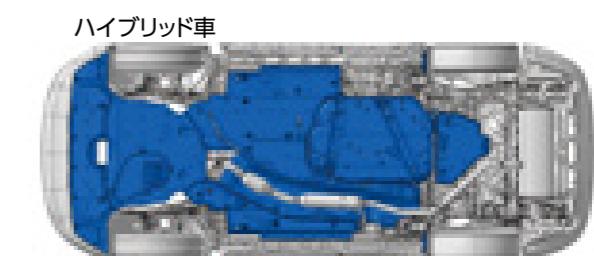
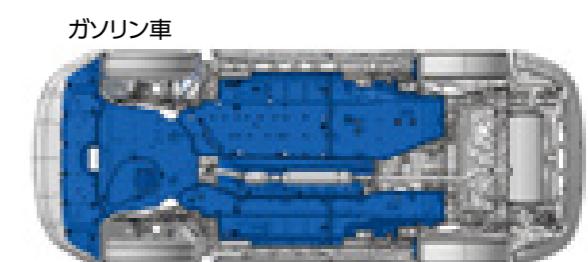


図20 空力アイテム (床下)  
Fig.20 Aerodynamics items (Floor)

## 9 優れた燃費性能＆新規設定色

### 9.1 軽量化と高剛性の徹底追求

燃費性能にはエンジン、トランスミッションといったユニットや、空力など様々要因があるが、ボディ質量もその要因の一つになる。衝突時の安全性を確保するにはボディ強度も重要であり、これらは一般的には質量と比例する。

この課題に取り組み、(超)高張力鋼板の採用拡大(使用率40%)や各部材の配置および結合構造の工夫により、優れたボディ強度を確保しつつトップレベルの軽量ボディを実現。質量効率の良いボディを開発することで燃費性能に貢献した(図21)。

意のままに扱える操縦性能を達成するために、FRまわりはカウルパネルの稜線を直線化し、さらに閉じ断面化することで、左右のフロントサスペンションタワーの優れた結合剛性を確保した(図22)。

RRまわりはバックドア開口の稜線をスムーズに通し、ルーフサイドインナーとレール後端の結合を強化した(図23)。

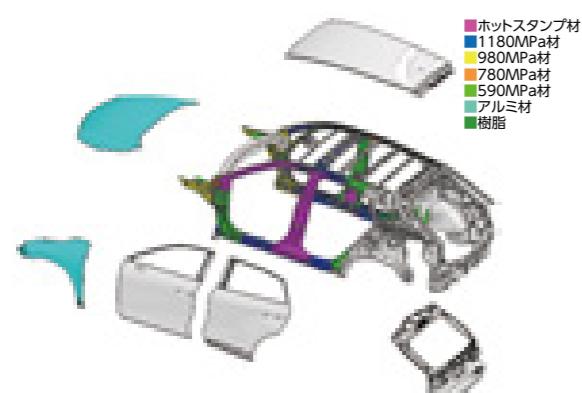


図21 高張力鋼板採用部位  
Fig.21 Steel sheet type

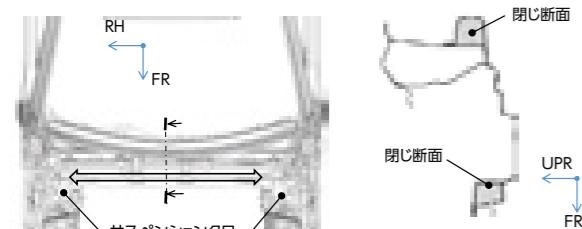


図22 FRまわり結合剛性  
Fig.22 Body structure (Front)

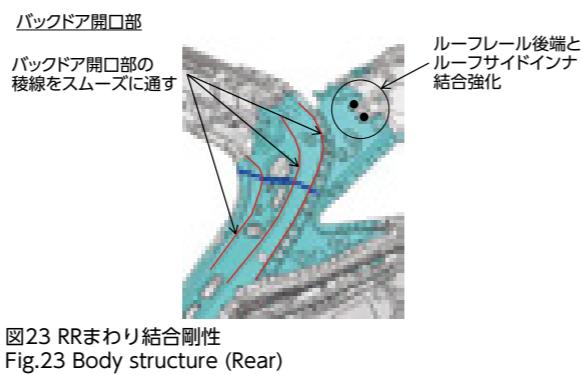


図23 RRまわり結合剛性  
Fig.23 Body structure (Rear)

### 9.2 新規設定色の特徴

陰影の美しい変化とシルキーな質感を引き出した上質感のあるブラックをテーマにしたプレシャスブラックパールを新規設定。

一般的な色は中塗り/ベース/クリアの3層であるのに対し、プレシャスブラックパールはベース層を2層に分けて、2層目のベースに薄膜技術を採用。

第2ベースを低固体分設計とし、焼き付け時の水分蒸発量を増加させ、体積収縮率を高め薄膜化。光輝顔料を緻密に配向させた。

これにより正面視では明るく、斜視では暗く高い陰影感とシルキーな質感を実現(図24)。

また、一般的に濃色は洗車などによる擦り傷が目立つが、高い意匠性を持つプレシャスブラックパールには塗膜に生じた傷を弾性により、ばねのように修復するセルフリストアリングコートを採用。

トヨタで初めて環境負荷の低い3wet工程用の塗料をトヨタ自動車と開発。

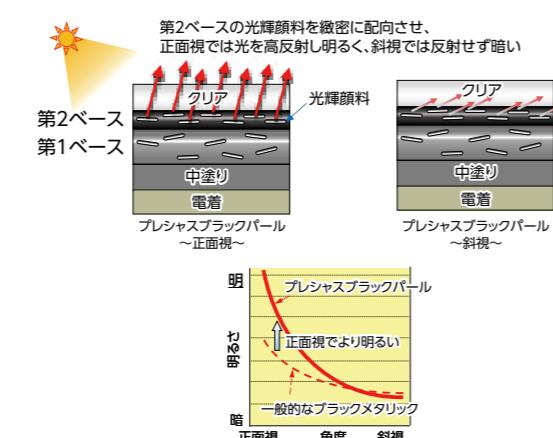


図24 プレシャスブラックパールの特徴  
Fig.24 Characteristic of Precious Black Pearl

## 10 ワイヤーハーネス解析

従来、ワイヤーハーネス(以下、W/H)は図面作成フェーズにおいて、CATIAの機能を使い、FH(=Fire Hazard)や組付性を確認してきた。特にFHを確認する「バルーン」機能については、実物と少し乖離するような形状で計画をしてきた(図25)。

結果、実車組付フェーズにおいて、W/Hの経路を見直すことになり、品質確保のためのやり直しが発生していた。

本プロジェクトでは次世代シミュレーションツール「IPS(=Industrial Path Solution)」を用いて、実物に即した経路を表現し、やり直しの低減を取り組んだ。



図25 バルーン機能(フロントサイドドア REGULATOR MOTOR 行きコネクタ付近幹線のW/H)  
Fig.25 The function of balloon (W/H near regulator motor connector in the front side door)

IPSはSCSK社が国内代理店のソフトであり、トヨタ自動車から提供されたカスタマイズツールを使い、W/Hの経路を再現する(図26)。

IPSを使うことで、W/H自体の剛性を再現し、実物に近い形での経路計画が可能となる。

今回は試行的に実施し、30箇所に適用。効果としては、実物に即した形で検討できた箇所が28箇所、約90%以上の再現効果があり、図面品質向上につながった(図27)。

IPSの再現効果があったことで、経路の見直しが不要となり、やり直し低減となった。

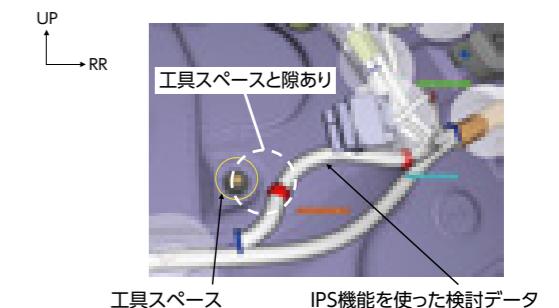


図26 IPS機能(フロントサイドドア REGULATOR MOTOR 行きコネクタ付近幹線のW/H)  
Fig.26 The function of IPS (W/H near regulator motor connector in the front side door)



図27 実車確認(フロントサイドドア REGULATOR MOTOR 行きコネクタ付近幹線のW/H)  
Fig.27 Confirmation of vehicle (W/H near regulator motor connector in the front side door)

## 11 まとめ

以上のように、4代目となる新型ハリアーは、これまで都市型SUVをリードし続けた自負のもと、ひと足先にSUVという枠も超え、高級セダン/ミニバンとも堂々競合しうる新しい価値を提示。ブランドパワーを高めながらSUVマーケットのさらなる牽引をすべく開発を行った。

最後に、本開発および生産準備に当たり、多大なるご指導・ご協力を頂いたトヨタ自動車(株)をはじめとする社内外の関係者に、深く感謝の意を表します。

## ■著者紹介■



## 製品技術紹介

## 粗紡機一斉ドッファの開発

## Development of Auto Doffing System for Roving Frame

峯野 太一

Taichi Mineno

\*1 織維機械事業部 技術部

## 要旨

当社のFL200型高速粗紡機は4軸サーボ駆動化や最適条件自己学習機能などの操作性と信頼性により長年市場にて高い評価を受け続けてきた。近年主な市場である新興国でも人件費高騰により省人化できる一斉ドッファのニーズが高まっている。

従来の独立型から内蔵型へ改良したことで装置の省スペース・オープンスペース化、ドッフィング時間短縮を実現し、よりお客様に使い易い装置となった内容について紹介する。

キーワード:粗紡機、一斉ドッファ

## Abstract

Our FL200 type high speed roving frame has been highly evaluated in the market for many years because of its operability and reliability such as 4-axis servo drive and optimum condition self-learning function. In recent years, the rising labor costs in emerging countries, which are the main markets, have increased the demand for simultaneous doffers that can save labor.

By improving the conventional fork type to a built-in type, we have realized the space saving and open space of the device, shortening the doffing time, and making the device easier for customers to use.

Keywords: Roving Frame, doffer

## 1 はじめに

当社のFLシリーズは2007年に最適運転条件の逐次推定や自己学習による紡出安定性の強化など数々の新たな機能を有したFL200型高速粗紡機を開発し、長年市場にて高い評価を受け続けてきた。

しかし、紡績産業が盛んである新興国でも人件費高騰により省人化ニーズが高まり、自動で一斉に満ボビンと空ボビンの交換(以下ドッフィング)を行うドッファ装置の需要が増えてきている。

当社は2000年に全自動一斉ドッファ装置を開発し、2014年にマル力を発売するなどこれまでにも改良を重ねてきた。従来は粗紡機本機に対しドッファ装置が独立していたが、今回は粗紡機本機へ内蔵させる構成へと一新した。市場評価の高いFL200本機の基本性能である操業安定性や信頼性は維持したままに内蔵化を実現した粗紡機一斉ドッファについて紹介する(図1)。



図1 内蔵型ドッファ  
Fig.1 Built-in doffer

## 2 開発のねらい

当社の一斉ドッファはフォークを用いた独立型で、粗紡機の前面を満ボビンと空ボビンを保持しながら前後動するフォーク、ボビンを載せるボビンレール、そして搬送レールを上下動させるリフタの3つの装置の相互運動によりドッフィングを行っていた(図2)。

図2 独立型ドッファ  
Fig.2 Independently type doffer

本方式では粗紡機の前面に錘数分のフォークを設置していたため、占有面積が大きく、作業者が粗紡機にアクセスしにくいといった課題を抱えていた。また、各装置の複雑な相互運動によりドッフィングを行うため、競合他社が1分45秒に対し2分50秒のドッフィング時間を見ていた。

これらの課題を解決するため、以下に重点を置き、開発を行った。

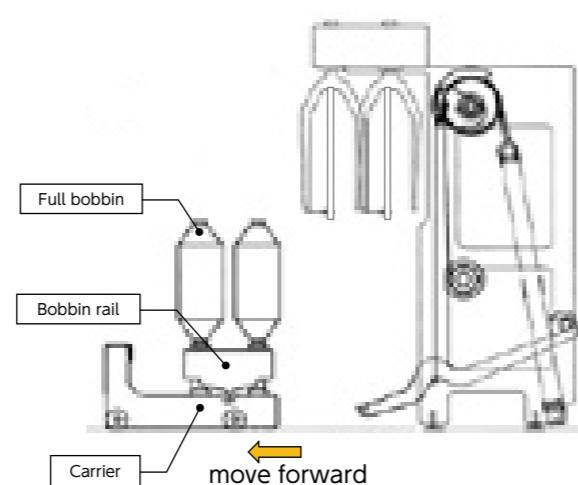
- ・省スペース、オープンスペース化
- ・ドッフィング時間短縮
- ・粗紡機本体の基本性能維持
- ・ドッフィング成功率向上
- ・搬送レール、エクスチェンジ装置の手の内化

### 3 開発項目

#### 3.1 省スペース、オープンスペース化

##### 1) ボビンレール前進機構

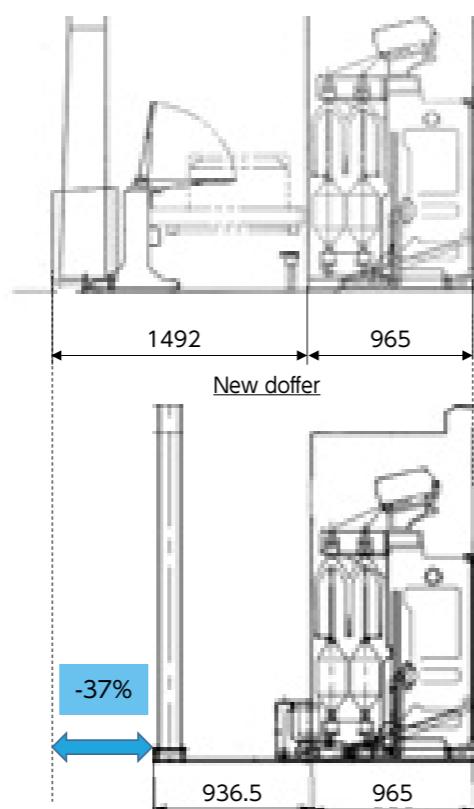
前述した課題を解決するために、今回ボビンレール前進機構を採用した。ボビンレール前進機構とは、通常紡出運転中は昇降動作のみを繰り返すボビンレールを下方で待機しているキャリア装置に乗せ、ドッフィング位置まで前進させる装置である(図3)。

図3 ボビンレール前進機構  
Fig.3 Bobbin rail forward system

フォークの廃止により機台前がオープンスペース化され、作業者の粗紡機へのアクセス性が飛躍的に改善したと同時に37%省スペース化した(図4)。これにより粗紡機の紡出運転中に粗糸切れや胴切れといった機台停止が発生した際に作業者が迅速に対処することができ、無駄な停止時間を削減することができる。

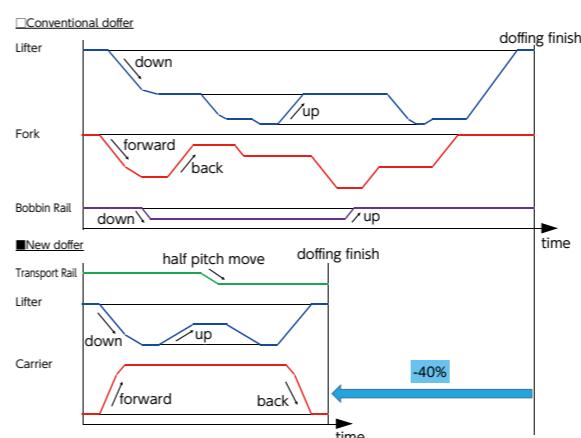
また、ボビンレール前進機構を採用したことにより動作が簡素化され、ドッフィング動作時間の短縮にも繋がった。

Conventional doffer

図4 占有面積削減  
Fig.4 Reduction of occupied area

#### 3.2 ドッフィング時間短縮

各装置におけるドッフィング動作線図の比較を示す(図5)。従来ではフォークの前後動作と搬送レールの上下動作、ボビンレールの上下動作でボビン交換を行うのに対し、内蔵型ではボビンレール前進動作と搬送レールの上下動作、半ピッチ動作で行うため、動作が簡素化されドッフィング時間を1分42秒まで短縮できた。

図5 ドッフィング線図  
Fig.5 Operation diagram of doffer

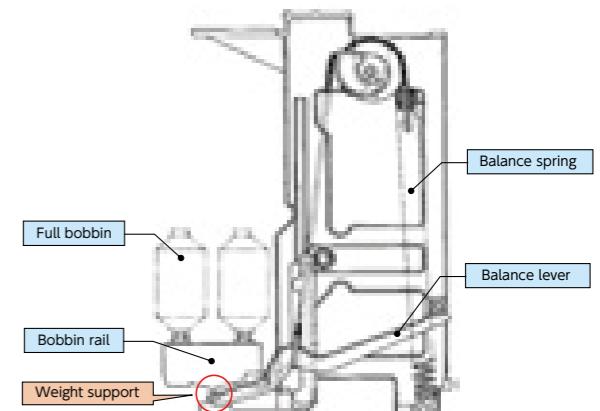
#### 3.3 粗紡機本体の基本性能維持

##### 1) バランス機構

粗紡機ではボビンを載せたボビンレールが昇降運動を繰り返し、撓りをかけられた粗糸がボビンの回転により巻き取られていく。このボビンレールは重量物のため、機台後方に設置したスプリングによりレバーを介して下面より荷重を軽減するバランス機構<sup>[1]</sup>を有している。

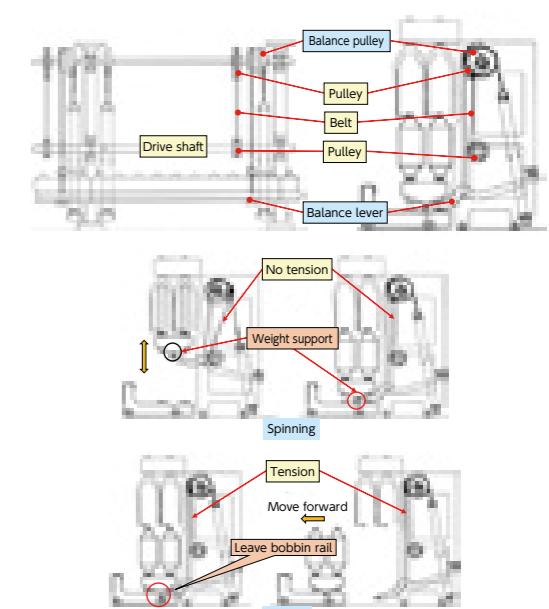
このバランス機構により、昇降機構であるラック・ピニオン、駆動源の減速機への負荷を軽減するなど粗紡機全体の信頼性確保、そして昇降動作における反転動作を鋭敏にすることで巻き崩れを抑制するなど重要な役割を果たしている。

この粗紡機本機の信頼性や特長を維持するためには、常時ボビンレールを支持しているレバーをボビンレールが前進するタイミングで切り離す機構が必要となる(図6)。

図6 バランス機構  
Fig.6 Balance system

今回このレバーを切り離すためにバランス力解除機構を新たに開発した。本機構は通常の紡出動作では動作せず、ボビンレール前進動作を行うタイミングでのみ動作する。

ボビンレールは紡出が完了した後に満ボビンを取り出すために最下点まで自動で下降する。バランス力解除機構は紡出範囲外にボビンレールが下降するタイミングで動作を開始し、リフティングシャフトと連結された解除機構のテープが張り始める。ボビンレールが最下点に到達するタイミングでスプリングの荷重を解除機構のテープを介してリフティングボックスで受けることにより、レバーは脱力し、ボビンレールから切り離すことができる。本機構は新たな駆動源を追加せず、既存駆動を用いた機構であることも特長の一つである。本機構により粗紡機のバランス機構を維持したままボビンレール前進機構を実現することができた(図7)。

図7 バランス力解除機構  
Fig.7 Balance cancellation system

## 2)上側スピンドル

粗紡機ではスピンドルにボビンが挿入された状態で粗糸を巻き取っていくが、そのスピンドル駆動はFL200では上側、競合他社は下側と方式が異なる(図8、9)。

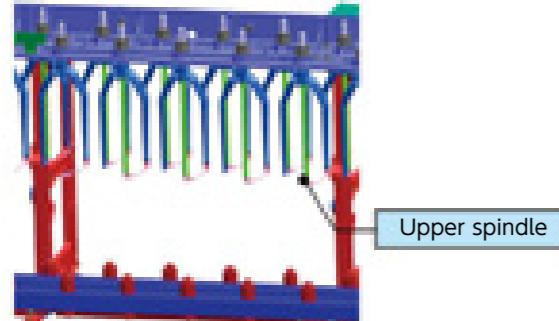


図8 上側スピンドル方式  
Fig.8 Upper spindle system

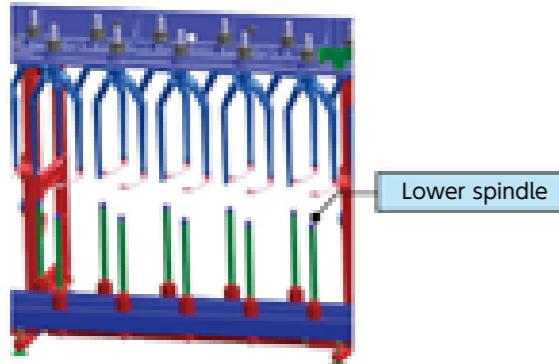


図9 下側スピンドル方式  
Fig.9 Lower spindle system

それぞれの方式の特長を下記に挙げる。

- ・上側スピンドル方式:
  - ①昇降部品の重量軽減
  - ②ボビン交換の作業性が良い

## ・下側スピンドル方式:

- ①ドッフィング時にボビンが倒れない
- ②異常発生時にボビンの抜取りが可能

上記に示すようにそれぞれの方式に特長はあるが、本開発ではドッファなし粗紡機との仕様統一を図るために上側スピンドルで進める方針とした。上側スピンドルではドッフィング時にボビンが倒れて失敗する恐れがあるが、ボビンが倒れる要因としてボビンが傾いた状態で移送され、その振動により倒れてしまうことが挙げられる。

3.4項ではドッフィング動作でボビンが傾く課題を解決し、上側スピンドル方式を維持したと同時にドッフィング成功率向上に取り組んだ内容に

ついて説明する。

## 3.4 ドッフィング成功率向上

### 1)ボビン底・ノブ形状変更

従来はボビン底の角溝にボビンホイール上に設置された角ノブを引っ掛けでボビンを回転させていたが、角形状ではドッフィング時にボビンが角ノブ上に乗り上げて、ボビンが傾く可能性がある。より成功率を向上させるためにボビン底形状を山形化、ノブ先端形状を先丸形状とし、呼び込みやすい形状とした(表1)。

### 2)ボビンホイール回転動作

ドッフィング時の空ボビン挿入に失敗する要因の一つとしてボビン底の摩耗が挙げられる。ボビン底の摩耗が進展すると摩擦抵抗が増加し、ノブに対して引っ掛かりやすくなり乗り上げてしまう。

そのためボビン交換動作時にボビンホイールを極低速(10rpm)で回転させ、ボビン底との位相関係を常時ずらすことにより乗り上げる確率を減らし、ドッフィング成功率を向上させた(図10)。今回は底が摩耗したボビンを用いてN=350のイジワール試験を行い、傾かずに挿入された場合を成功として比較を行った。お客様の実際の操業では成功率は約100.0%(約33万回のボビン交換動作で16回の失敗)となり、比較評価に即した結果が得られている。ボビン交換に失敗した場合は異常検知センサにてドッファ装置が停止し、作業者が処置をして再起動するという流れで操業を継続する。

表1 ボビン・ノブ形状  
Table1 Shape of bobbin and nob

	Conventional model	New model
Bobbin		
Bobbin wheel nob		
Bobbin wheel rotation	-	○

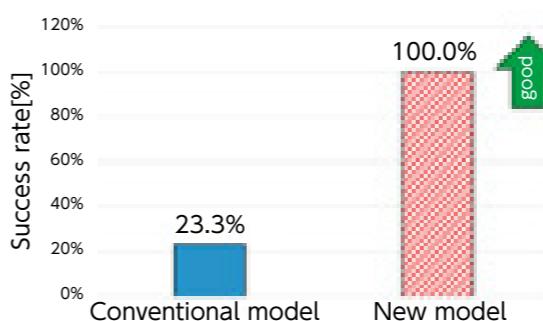


図10 ボビン交換成功率(N=350)  
Fig.10 Success rate of changing bobbins

## 3.5 搬送レール・エクスチェンジャ装置手の内化

ドッファ装置の一部である搬送レールはこれまで各搬送メーカーが供給しており、当社のドッフィング装置と連結することで構成されていた(図11)。

ドッファ装置をスムーズに立ち上げるために搬送メーカーとの連携が重要となるが、搬送レールがドッファ装置と同時に納入されない場合にはドッフィング動作ができない、各搬送メーカーのレール重量が異なるためそれに応じた設計・微調整が必要、ボビンハンガの停止精度は各搬送メーカーに依存するなど複数の課題を抱えていた。

これらの課題を解決するために本開発において搬送レールとエクスチェンジャ装置を手の内化した。当社からの納入でドッファ装置が完結しているためドッファ装置をスムーズに立ち上げることができ、メーカー毎の微調整が不要、ボビンハンガの

停止精度を担保できるようになつたため、信頼性を高めることができた。

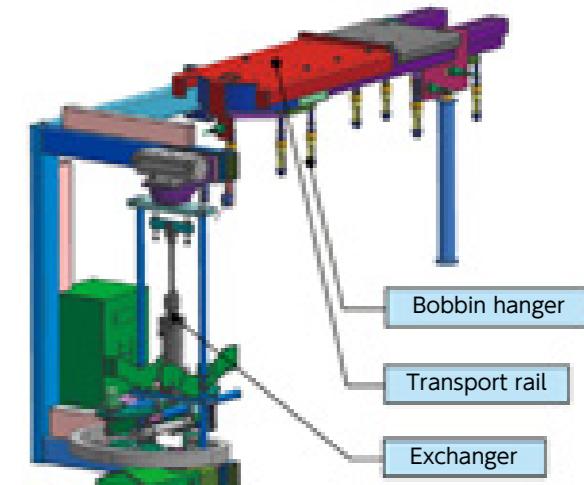


図11 搬送レール・エクスチェンジャ  
Fig.11 Transport rail and exchanger device

## 4 おわりに

粗紡機一斉ドッファ開発における開発のねらいと主な開発内容について概要を紹介した。

今回の開発により新規のお客様はもちろんのこと、これまで長年FLシリーズの粗紡機をご愛用頂いているお客様もご納得頂けるドッファ装置の開発ができたと考える。

紡績産業でも省人化の流れは急速に進んでおり、粗紡機単体のみならず工場全体として紡績を考えていく必要がある。今後とも多様化する織維業界のニーズを捉えつつ、お客様にさらに喜んで頂ける紡機づくりに取り組んでいきたい。

最後に本開発にあたりご協力頂きました社内外の関係者の皆様にこの場を借りて感謝申し上げます。

## ■ 参考文献

- [1]特開平05-071023:粗紡機のボビンレール昇降用バランス装置

## ■著者紹介■



峯野 太一

## 開発の経緯と開発者の思い

今回の開発は長年当社の粗紡機を使用して下さるお客様のニーズに応えるために、粗紡機本機の信頼性や生産性はそのままにドッファ装置の性能と使い易さを追求することをコンセプトに進めました。最大のネックはバランス機構を有したままボビンレールを前進させるためにどうやってバランス機構の荷重を解除できるかでした。プーリとベルトを追加し、現状の駆動を利用して解消することができるアイデアを思い立ったことが今回の開発がうまくいった最大のポイントです。また、これまでにはなかった搬送レールとエクスチェンジャを手の内化するなど新しい領域にも挑戦することができました。

今後も省人化や効率化が求められる紡績産業のニーズを反映した粗紡機やその周辺装置の開発に取り組んでいきたいと思います。

## 製品技術紹介

## 8FBC15U Electric Counter Balanced Forklift - TMH's 1st Full Model Development

### TMH初のフルモデルチェンジ開発 電動フォークリフト8FBC15Uの開発

\*1

Jeffrey Fritsch

\*1 Toyota Material Handling

## Abstract

The 8FBC15U Electric Counterbalance Forklift has been developed by TMH (Toyota Material Handling, Inc.) over the period from 2016-2020. This is a new model of the 7-series Toyota 1.5-1.8 Ton Electric 4 Wheel Forklift which was introduced into North America in 2001. Additionally, this development is the first full model change development for TMH in Columbus, IN. The team grew in knowledge, skill, and development experience through this project with hard work of the team and the guidance of TICO members as well.

Keywords: 4 Wheel Forklift, AC Motor, Performance, Regenerative Braking

## 要旨

2001年に北米で発売されたトヨタ1.5~1.8トン電動4輪カウンターバランスマチックフォークリフト7シリーズの新モデルとして、インディアナ州コロンバス所在のTMH(Toyota Material Handling, Inc.)は8FBC15Uを2016年から2020年にかけて開発した。さらに本開発はTMHにとって初のフルモデルチェンジ開発として取り組み、このプロジェクトにおいてTMHの開発チームはその努力とTICOメンバーの指導により、知識、技術、開発経験とともに成長し開発をやり切ることができた。

キーワード:4輪フォークリフト、ACモータ、性能向上、回生ブレーキ

## 1 Background and Introduction

The 7-series Toyota 1.5 - 1.8 Ton Electric 4 Wheel Forklift was introduced in 2001. It featured an AC motor drive and Toyota's original SAS system (System of Active Stability). Since the introduction, over 19 years ago, the desire is for the next generation model to exceed the competitor's forklifts.

Main Goals:

- 1) Competition Leading Performance
- 2) Enhanced Workability and Ergonomics
- 3) Ease of Maintenance



Figure 1 Design Image

## 2 Features and Benefit

- 1) Competition Leading Performance
  - A. Improved runtime using new AC motors, new motor drivers, and enhanced regenerative braking.
  - B. Competition leading performance of travel and lift performance of 36V/48V in High Performance mode by utilizing the new AC motors and new motor drivers.

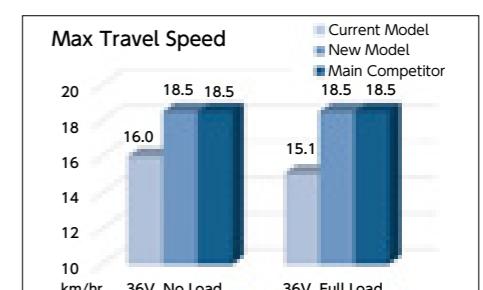


Figure 2 Travel Speed Comparison

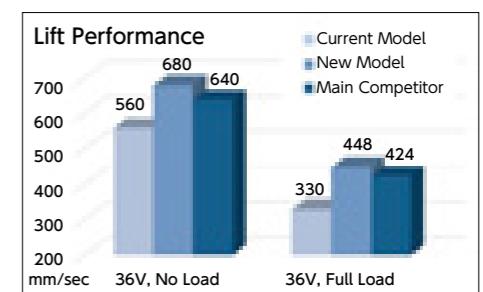


Figure 3 Lifting Speed Comparison

## 2) Enhanced Workability and Ergonomics

### A. Enhanced Upward/Downward Visibility:

Upward Visibility - Changed front cross bar in head guard from vertical to angled, in order to reduce obstruction from 4.9° to 1.7°.

Downward Visibility - Moved display from steering column to instrument panel (dash); enhanced fork tip visibility.

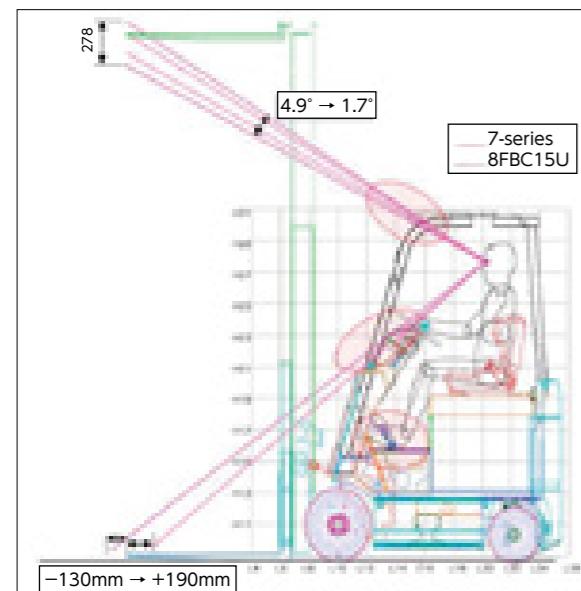


Figure 4 Visibility Enhancements - Side View

### B. Operator Compartment:

Floor length - Increased by 25mm.

Cabin Room - Seat travel increased 32mm, and hood to instrument panel distance increased which increases the clearance to calf.

Cup Holder - Enhanced durability by integrating into instrument panel (dash).

### 3) Ease of Maintenance

Maintenance free AC pump motor has been adopted and the brush wearing for DC motor has been abolished.



Figure 5 AC Pump Motor Layout

## 3 Structure - Detailed Design

- 1) Adopt new motor drivers, new duct, and fan layout to keep max temperature rise within limits.

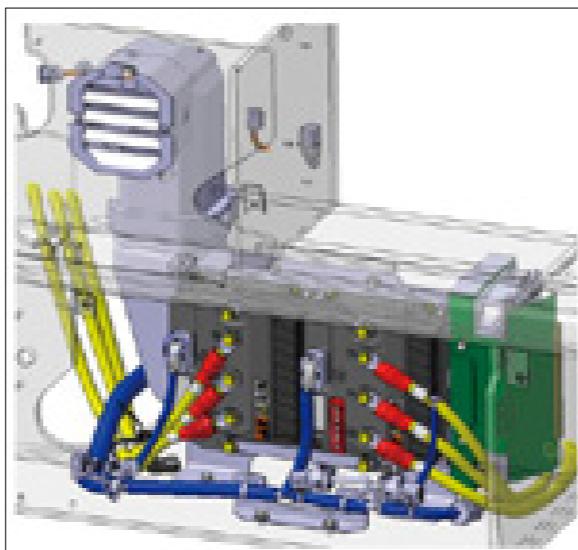


Figure 6 New Motor Drivers and Duct Layout

- 2) New drive motor, gear, housing of drive unit, and frame developed to meet the increased strength needed due to increased acceleration.

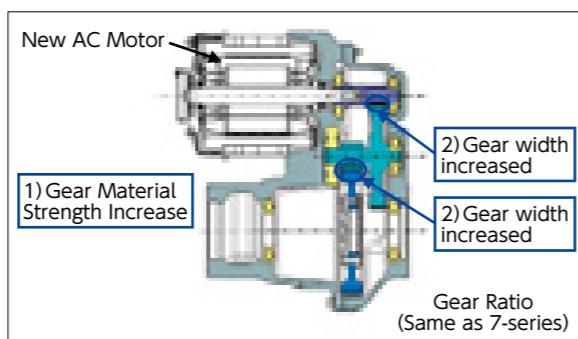


Figure 7 New Motor, Gear, and Drive Unit

- 3) New control system features

- A) Turning Speed Control with Load and Height Sensing

This feature can control the speed when turning by sensing the lift height and load.

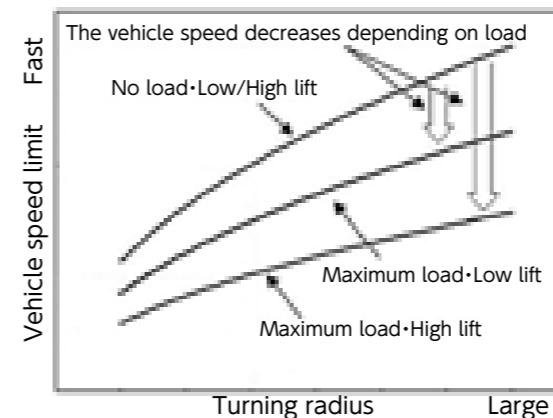


Figure 8 Turning Speed Control theory diagram

### B) Control on Ramp

This model has a newly adopted (similar to other 8-series) control on ramp function that limits the truck downward speed below the "rollback speed" when the accelerator pedal is released while climbing a ramp.

### C) Key - lift interlock

This feature is carried over from the previous model, but is integrated into the new control valve. The mast cannot be lowered with the key switch off.

## 4 Team Background

Around 2012, a few members from the Custom Design group moved into a new group to form NPD (New Product Development). From 2012 to 2016, the group continued to grow and first developed Raymond models of the Columbus built Toyota Electric 3 and 4 wheel Sit Down Trucks, as well as a new 2-Speed Transmission, along with TICO, for IC 3.5-8T Pneumatic trucks in North America. The Testing team also grew and expanded the testing facilities as the evaluation requirements increased. During the fall of 2017, the team designed, built, and tested a hand-built proof of concept truck with the new performance.



Figure 9 Team with the Hand-Built Truck

By the end of the product planning period of the project, the team had grown to about three times as many members before, including Testing. 4 Engineers then moved from Takahama to Columbus for the duration of the project as specialists in each design field, and also teachers of the Toyota Design Process.

## 5 Project Execution and Lessons Learned

During the prototype design period, the main focus was design, documentation, and learning the Toyota Design Process. Documents such as the CDCP (Component Design Concept Paper), and F&R (Function and Reliability) Checksheet were keys to both learning and developing the new model. After releasing the prototype drawings in August of 2018, several prototype trucks were built in October 2018 with the support of all departments.

The Motor driver and performance tuning proved difficult to perform in the winter months due to difficulties keeping a constant motor temperature above 10°C, due to cold winter temperatures. Since TMH's ramps and travel speed areas are outdoor, we identified a need to improve our process or facilities in the future.

After Truck Tuning, the prototype testing was completed using the several prototype trucks by many members in the Testing Group. Some major challenges took place and were overcome. Front Axle and Frame stress required many strength countermeasures using CAE. During sensory evaluations, features such as ramp roll back and brake pedal feeling took many adjustments. Once the challenges were overcome, during the mass production preparation period,

all departments executed their respective activities to prepare for production.

## 6 Conclusions

The team is confident that this product we have worked so hard to create will be accepted by our customers. Looking back, the most rewarding part was being able to achieve our goals of enhancing our development skills, and enhancing our communication with suppliers on newly developed local parts. The team shares fond memories of all of the effort, teamwork and communication required to develop, validate and prepare production for an entire forklift. The immense amount of learning while executing the project has proven to be both valuable to the team, and also to the future quality of our products we can develop in the future. We feel that the quality of forklift we will be launching is a truly high quality and durable product, which is a testament to the hard work of our Engineers and all teams supporting the launch in Columbus, as well as the support, guidance, and teachings from TMHG.



Figure 10 Developed Product

## ■ Author ■



Jeffrey Fritsch

Manager - New Product Development - Mechanical, Testing, Planning, and Energy  
Toyota Material Handling

## 製品技術紹介

### 新型1.5kW ACインバータの開発 Development of 1.5kW AC Inverter

竹内 崇<sup>\*1</sup> 市古 雅寛<sup>\*1</sup> 伊藤 寿晃<sup>\*1</sup> 森川 真人<sup>\*1</sup>

Takashi Takeuchi Masahiro Ichigo Toshiaki Ito Masato Morikawa

\*1 エレクトロニクス事業部 技術部

#### 要旨

1.5kW ACインバータを搭載している電動車が災害における停電での非常用電源として注目されている。1.5kW ACインバータはHV、EV等において高圧バッテリの直流電圧を交流電圧に変換し、電子レンジはじめとする消費電力が大きな電気製品を車内外で使用可能とする機器である。

今回我々は、2020年2月発売の新型ヤリスをはじめとする小型車など搭載制約が厳しい車両へも搭載可能な小型・低背のACインバータを開発したので報告する。

キーワード: 小型化、低背化

#### Abstract

1.5kW AC Inverter is receiving a lot of attention as an emergency power supply at the time of a disaster. The AC Inverter converts DC voltage of HV or EV high voltage battery to AC voltage. The AC Inverter can work various household appliances with large power consumption such as microwave ovens, to be used inside/outside of the vehicle. To be installed to small sized electric vehicle, We developed new, small size, low profile 1.5kW AC Inverter.

Keywords: Small size, Low profile

#### 1 はじめに

エレクトロニクス事業部では、2001年よりHV車を対象とした、大容量出力(1.5kW)のACインバータの開発、量産化を行っている。発売当初は、大容量の電気製品を車内で利用可能にすることで、キャンプ等のレジャー時に役立つ電源として拡販を行い、HV車への利便性向上に貢献してきた。2011年の東日本大震災で発生した停電において、HV車に搭載されている1.5kW ACインバータが非常用電源として様々な場面で活躍し注目されている。

よりACインバータを普及させるためには小型の電動車への展開が必要であるが、搭載制約が厳しく従来モデルでは搭載できていないという課題があった。

今回、量産されている従来モデルの構造を一から見直しを行い、現行品から小型・低背化を実現した搭載性を向上したACインバータを開発した。本稿ではその製品概要について紹介する(写真1)。



写真1 新型1.5kW ACインバータ  
Photo1 New 1.5kW AC Inverter

#### 2 ACインバータの役割と課題

ACインバータの役割は高圧バッテリの直流電圧をDC-AC変換し、家庭用交流電圧のAC出力に変換することで電気製品を車内外で使用できるようになることである(図1)。

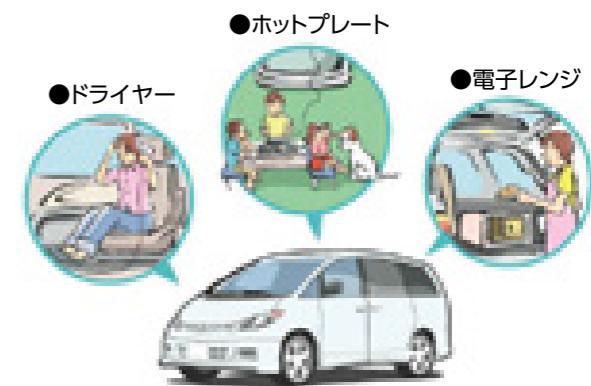


図1 1.5kW ACインバータ使用例  
Fig.1 Usage examples

ACインバータの内部回路は大きく分けて、DC-DC回路部とDC-AC回路部の回路から構成される。DC-DC回路部の機能は、高圧バッテリの電圧をAC100V出力するために必要な電圧に変換することと、高圧バッテリとAC出力部をトランジスタにより絶縁することである。DC-AC回路部の機能は直流電圧をPWM制御により正弦波のAC電圧へ変換することである(図2)。

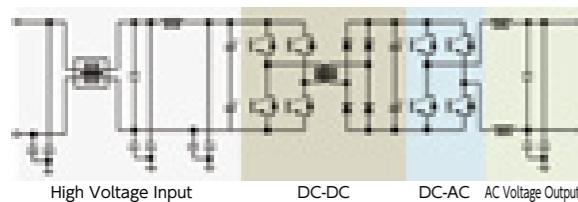


図2 1.5kW ACインバータブロック図  
Fig.2 Circuit block diagram

ACインバータの搭載位置は車両毎に様々な位置に搭載されている。搭載の自由度を向上するために、より小型化・低背化が必要である。しかし、それを実現するためには、電圧変換時に発生する発熱の冷却が課題となる。

### 3 ACインバータの構成

従来モデルの冷却は放熱シートを用いてアルミケースに設けた直線的なフィンに熱を伝え、軸流ファンで冷却する構造としていた(図3、4)。この構造では、冷却性能を確保するために、軸流ファンのサイズが必要である。そのファンのサイズが製品高さの制約となるため低背化の課題となっていた。また、放熱シートは圧縮して用いるが、圧縮時に発生する反発力が基板へストレスを与える課題があり、放熱シートの厚みを確保することでストレスを緩和していた。そのため熱抵抗が高くなり熱伝導性能を悪化させていた。

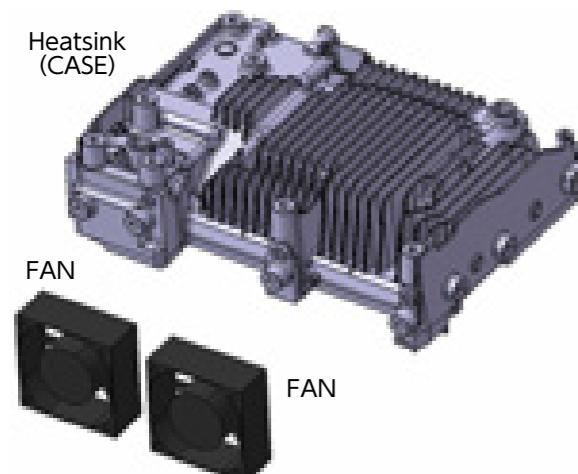


図3 構造(従来品)  
Fig.3 Structure of Current product

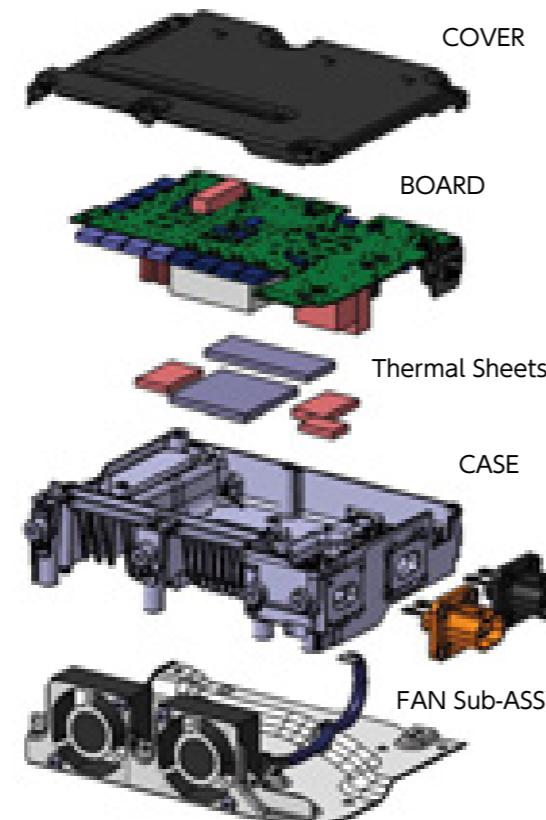


図4 冷却方法(従来品)  
Fig.4 Air cooling method of Current product

### 4 空冷方式変更による低背化

従来品の軸流ファンは吸気と排気で直線的な冷却風を発生させているが、冷却風に偏りがありアルミケース全体が冷却できていなかった。開発品では吸気に対して平面に排気するターボファンを用いて、アルミケース底面に渦巻き状のフィンを設定した。このターボファンが発生する冷却風を渦巻き状のフィンが制御することで、アルミケース底面の全体冷却ができ、フィンの高さの低減で低背化を実現した(図5)。

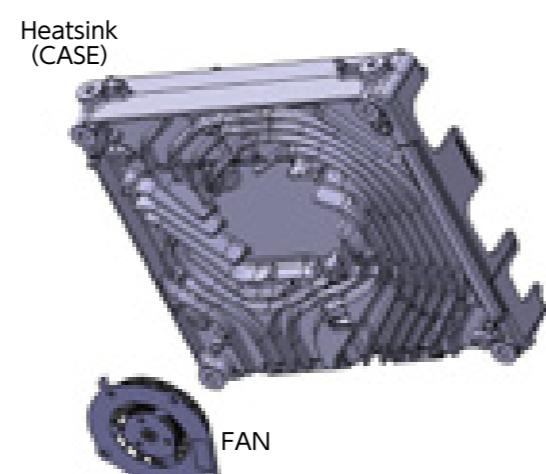


図5 冷却方法(開発品)  
Fig.5 Air cooling method of developed product

### 5 放熱構造変更による部品小型化

従来品では発熱部品とアルミケースの間に、放熱シートを用いて冷却を行っていた部分を、開発品では放熱樹脂を用いている。放熱樹脂はACインバータの組付け時に発生する反発力を放熱シートと比較して大幅に低減できる(図6)。そのため、発熱部品とアルミケース間を薄くでき、熱伝導性能の向上が狙える。しかし、放熱樹脂はその塗布方法による生産性が課題となるが、生産部門とSE活動(Simultaneous Engineering Activity)を実施することで生産性を確保しつつ熱伝導性能を向上させ、電子部品の小型化を実現した。

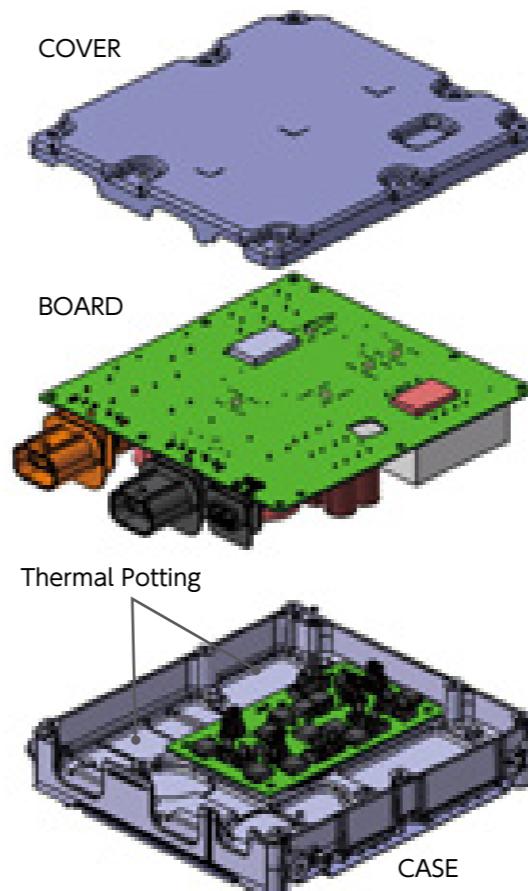


図6 構造(開発品)  
Fig.6 Structure of developed product

### 6 热成立性の確認

電子機器の低背化・小型化の課題として、冷却性能低下が挙げられる。流速解析と熱解析を活用して、部品の配置およびアルミケースに設けたフィンの最適化をすることで、目標の体格で放熱性能を満足した(図7)。

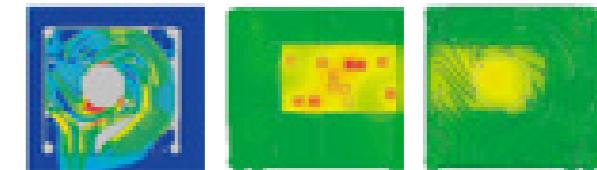


図7 解析  
Fig.7 CAE

### 7 まとめ

今回、新冷却方式を開発することで、従来品の1.5kW ACインバータと比較し、体積36%・高さ30%の小型化・低背化を実現し、車両搭載性が大幅に向上することができた。それにより様々な電動車へ搭載されることでACインバータの普及に貢献できた。

更なる普及のため、より搭載性の高く低コストなACインバータの開発を進めていきたい。

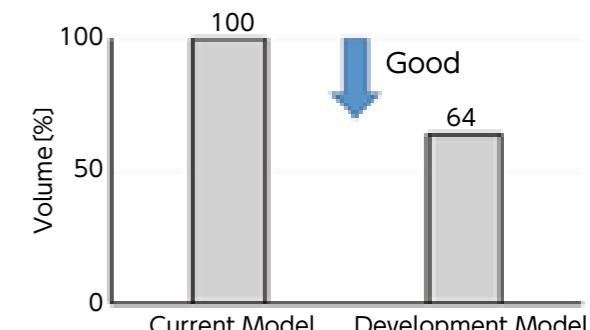


図8 従来品と開発品の体積比較  
Fig.8 Comparison of Volume

## ■著者紹介■



竹内 崇 市古 雅寛 伊藤 寿晃 森川 真人

## 開発の経緯と開発者の思い

1.5kW ACインバータはレジャー用途として当初開発されてきた。東日本大震災以後、災害時において非常用電源としても注目されました。災害時において1.5kW ACインバータを使用していただき、とても役に立ったというお客様の声をいただくことで、より普及させるために小型電動車にも搭載が可能なACインバータを開発したいという思いで開発を行いました。

電源機器の小型化では熱とノイズが課題となります。本開発においてもその解決が苦労した点でした。対策検討は従来から行ってきた熱解析に加えて、ノイズ解析も新たに取り入れ、開発メンバー全員で課題解決に取り組んできました。

今後も更なるACインバータの普及を目標に、搭載性が高く、低コストの製品開発を実施していきたいと考えています。

## 製品技術紹介

新型車ヤリス HV向け DC-DCコンバータの開発  
Development of DC-DC Converter for the New Yaris HV

間瀬 知行<sup>\*1</sup> 迫田 慎平<sup>\*1</sup> 堀田 祐希<sup>\*1</sup> 原 清仁<sup>\*1</sup>  
Tomoyuki Mase Shimpei Sakoda Yuki Horita Kiyohito Hara

\*1 エレクトロニクス事業部技術部

## 要旨

環境対応車の燃費性能に貢献するため、「小型」、「軽量」、「低損失」をコンセプトとした次世代DC-DCコンバータを開発し、それぞれ従来品に比べ大幅に性能向上を達成した。その概要について紹介する。

キーワード: 小型、軽量、低損失

## Abstract

In order to contribute an improvement of fuel efficiency for eco-friendly vehicles, next generation DC-DC converter has been developed. The development concept is set to "down-sizing", "lightweight", "low-loss", and DC-DC converter for the new Yaris HV has achieved improvement compared to conventional DC/DC convertor. In this article describes the outline of this development.

Keywords: down-sizing, lightweight, low-loss

## 1 はじめに

年々厳しくなる各国の環境規制に対応する為、各自動車メーカーは、ハイブリッド車やEV車などの開発に力を入れている。

その中で、満を持してトヨタ自動車からコンパクトハイブリッド 新型車ヤリス が市場に投入された。新型車ヤリスは、36.0km/L(WLTCモード)<sup>\*</sup> の世界トップクラスの超低燃費とコンパクト車でありながら高出力の動力性能がセールスポイントである。<sup>\*</sup>一部モデル

車両の燃費性能と動力性能に貢献するため、開発当初から、DC-DCコンバータの開発コンセプトを「小型」「軽量」「低損失」として技術開発に取り組み、従来品に比べ大幅な性能向上を達成した(表1)。

本稿ではこれらを達成した技術アイテムについて紹介する。



写真1 新型車ヤリス外観  
Photo1 Appearance of New Yaris

表1 従来品との性能比較  
Table1 Comparison of main performance

	従来品	開発品	向上率
体積	0.7L	0.4L	42%削減
重量	1213g	988g	18%削減
損失(軽負荷)	22W	12W	45%向上

## 2 DC-DCコンバータとは

DC-DCコンバータとは、HV用高圧バッテリーを14Vに変換し低圧バッテリーとアクセサリーへ電力供給するHV車特有の電源装置である。

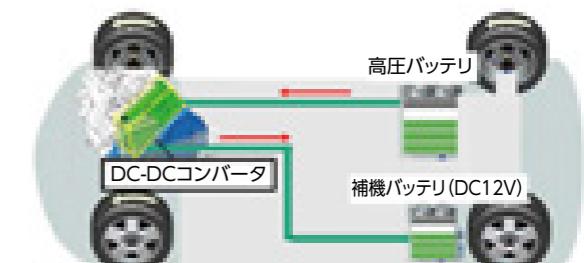


図1 DC-DCコンバータの機能  
Fig.1 Function of DC-DC Converter

## 3 小型、軽量化

従来品では新規開発した厚銅基板により部品点数が削減され小型化を実現した。この厚銅基板の特徴である、大電流通電、ダイレクト放熱、部品集約機能を活かしつつ更なる小型・軽量方策を模索したところ、いくつかの改善すべき点が分かってきた。図2に従来品と本開発品の構成比較図を示す。基本構成と厚銅基板機能を踏襲しつつ、「制御基板/厚銅基板の一体基板化」と「銅板厚の最適化」により小型・軽量を達成した。その具体的な内容について示す。

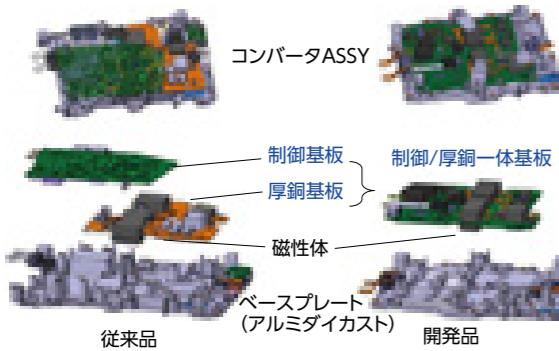


図2 従来品との部品構成比較  
Fig.2 Comparison of main parts

### 3.1 制御基板/厚銅基板の一体基板化

従来品の厚銅基板は製造制約上、配線間隔が狭い回路が形成できないため、ICのような電極間隔が狭い部品を厚銅基板上に実装することはできない。そのため制御基板と厚銅基板は別体構成となる。図3のように、従来品は各々の基板は上下それぞれに配置する対抗配置となるため、製品高さが高くなることによる体格的な不利に加え、基板同士を電気的に接続するコネクタの追加やアルミダイカストによる上基板の固定点追加などコストや重量も不利となる。

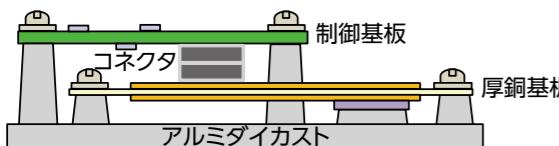


図3 基板部の断面図(従来品)  
Fig.3 Cross section of Substrate in Previous Product

そこで図4に示すように制御基板機能と厚銅基板機能の一体化に取り組んだ。制御基板上に厚銅基板の大電流通電、ダイレクト放熱機能を集約するため、同一機能を持つ銅部品を考案した(図5)。銅部品と基板の導通/固定は、基板上の電子部品と同様にはんだ付けとし、自動機で実装できるようシングルな形状として製造性も確保した。厚銅基板のような専用工程が不要となり従来から14工程削減しコスト低減にも寄与した。

一方で、銅板は電流通電による発熱により膨張するため、基板とのはんだ接続部には膨張/収縮ストレスが印加されるため、従来品よりも高いはんだ信頼性が必要となる。そのため、銅部品形状や搭載レイアウトを工夫してはんだ部への応力を軽減し、はんだ信頼性を確保した。

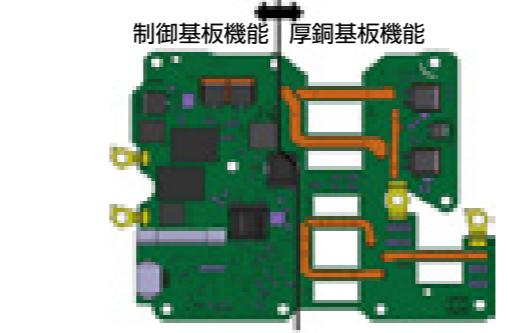


図4 制御/厚銅一体基板  
Fig.4 Integration of Control/Thick copper Substrate

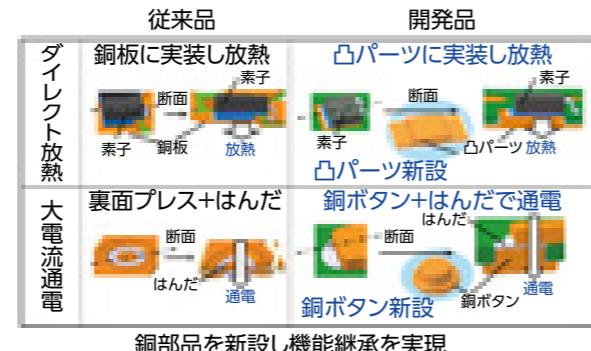


図5 銅パーツの比較  
Fig.5 Comparison of Copper parts

### 3.2 銅板厚の最適化

図6に従来品と開発品での厚銅基板の比較を示す。従来品は厚銅基板の製造制約上、銅板の厚みは均一である必要があった( $t=0.5\text{mm}$ 均一)。そのため、大電流回路部は断面積を稼ぐために銅板幅を広げる必要があり、厚銅基板の搭載投影面積は大きくなつた。

また、厚銅基板の特徴であるダイレクト放熱機能は、銅板を放熱用のアルミダイカストに密着させて放熱する構造であることから、銅板幅の拡大はアルミダイカストの放熱台座も広くなり重量も増す(図7上段)。同様に磁性体の巻線幅が広くなることで巻枠が拡大、磁性体の搭載投影面積、重量が増してしまう(図7下段)。

本開発品では、厚銅部分を個片部品化することで、回路電流に応じて銅板の厚みを設定可能とした。大電流部は断面積を稼ぐために銅板を厚くする、小電流部や熱性能に余裕がある回路は銅板を薄くするというように回路毎に銅板厚/幅を最適化することで投影面積を抑制した。

銅板は従来と同様にダイレクト放熱構造を踏襲するため、銅板幅の縮小に伴い、アルミダイカストの放熱台座や磁性体の巻線幅も同様に縮小し投影面積、重量を低減した。



図6 銅板の厚み比較  
Fig.6 Comparison of thick copper

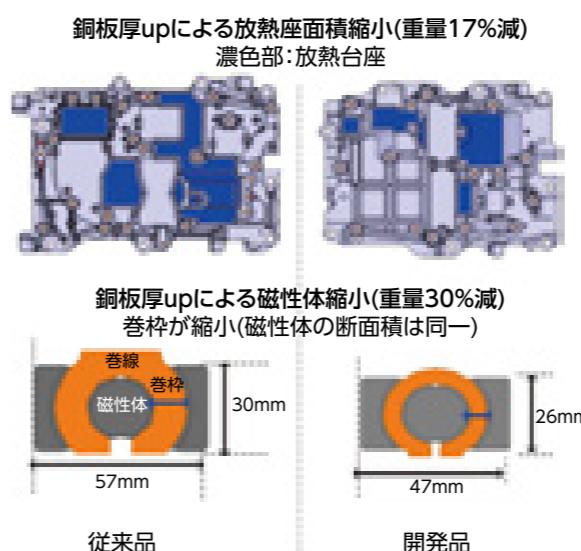


図7 銅板個片化による効果  
Fig.7 Effect of New copper parts

### 4 低損失化

車両におけるDC-DCコンバータの使われ方を調査したところ、出力電流は最大定格の30%未満の小電流領域での使用頻度が高いことが分かったため、本開発品では小電流領域に重点を置いて低損失化に取り組んだ。

従来品の小電流領域での電力損失は整流素子が最も大きい(図8)。

本製品では整流素子に低損失のMOSFETを使用する同期整流回路を採用した(従来品の整流素子はダイオードを採用)。しかし、図9に示すように過去製品で実施していた旧同期整流回路は、20A未満の小電流領域での損失性能は、ダイオード整流よりも悪化していた。これは補機バッテリからの逆流回避を目的に小電流領域時には、MOSFETを駆動させず動作を停止させ、MOSFETの寄生ダイオードにて整流、この寄生ダイオードは損失性能が悪いため小電流領域では同期整流回路の方がダイオード整流回路に対して損失性能は悪化した。そこで、本製品では小電流領域でもMOSFETで整流可能とする補機バッテリから逆流することがない独自の新同期整流制御方式を考案した。この新制御は、小電流領域を判定し、

MOSFETの駆動制御を切替える。小電流領域でもMOSFETを駆動し導通期間を増やすことで整流素子損失は大幅に低減した。また、新制御には小電流領域を判定する追加回路が必要となるが、内製の制御ICに集積化することで、ほぼコストUPなしで実現した。

整流素子の他にもトランジスタは低損失コアをメートル協業して開発、内部電源は消費電流の抑制による低電力化などを織り込むことで小電流領域の損失は従来比で45%向上した。

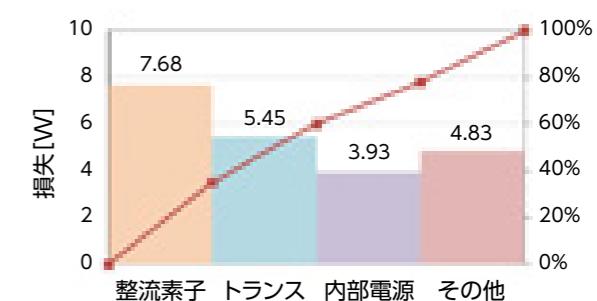


図8 小電流領域での損失内訳(従来品)  
Fig.8 Details of Power loss in small output current (Previous Product)

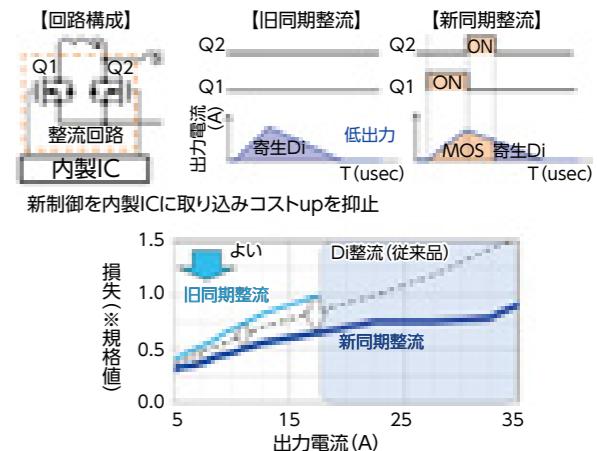


図9 新同期整流制御  
Fig.9 New synchronous rectification control

### 5まとめ

今回の開発では開発初期から「小型」「軽量」「低損失」をコンセプトとして技術開発を進めてきた結果、開発初期に掲げた性能目標を大きく上回ることができた。今回開発した技術アイテムは、本製品以降のDC-DCコンバータにも展開予定である。

最後に、本開発にあたり多大なご指導・ご協力を頂きましたトヨタ自動車(株)様、(株)デンソー様をはじめとする社内外の関係部署の皆様に深く感謝いたします。

## ■著者紹介■



間瀬 知行、迫田 健平、堀田 祐希、原 清仁

## 製品技術紹介

RAV4 PHV向け昇圧コンバータの開発  
Boost Converter Development for RAV4 PHV古野間 高顕<sup>\*1</sup> 鰐部 真治<sup>\*1</sup> 須網 勝<sup>\*1</sup>  
Takaaki Konomo Shinji Wanibe Masaru Suami<sup>\*1</sup> エレクトロニクス事業部 技術部

## 要旨

RAV4 PHV向け昇圧コンバータの開発課題は、高放熱化、小型化、高信頼性確保であった。その解決手段として、高放熱鍛造ピンフィン、摩擦攪拌接合、ゲル封止という新要素技術を確立し、小型・高品質の昇圧コンバータを実現。PHV車両の商品性向上に大きく寄与することができた。

キーワード：昇圧コンバータ、鍛造ピンフィン、摩擦攪拌接合、ゲル封止

## Abstract

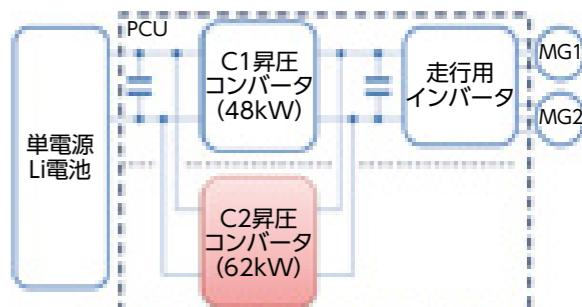
The development issues for the boost converter for RAV4 PHV were high heat dissipation, miniaturization, and high reliability. As a solution, we have established new elemental technologies such as high heat dissipation forged pin fins, friction stir welding, and gel sealing to realize a compact, high-quality boost converter. We were able to make a significant contribution to improving the product appeal of PHV vehicles.

Keywords: Boost Converter, Forging Pin Fin, Friction Stir Welding (FSW), Gel Sealing

## 1 はじめに

近年の環境規制強化により、自動車メーカー各社は電動化へのシフトを加速、市場も急拡大を続けている。トヨタ自動車は、走る楽しさの追求と地球環境へ配慮の両側面が重要である、との考えの下、動力性能追求とともにクルマの環境負荷ゼロを目指して、RAV4 PHVを開発した(図1)。

このコンセプトを達成する車両システムとして、低燃費実現のバッテリ容量増加(=EV走行距離向上)とともに、高性能化のEV出力増加(=EV走行性能向上)を実現するため、従来搭載の昇圧コンバータに加えて、もう一つ昇圧コンバータを並列接続したダブル昇圧システム(図2)を採用することになった。

図1 RAV4 PHV  
Fig.1 RAV4 PHV図2 ダブル昇圧システム  
Fig.2 Double Boost System

また、TNGA(Toyota New Global Architecture)のコンセプトの下、多数の部品を共有化し、HV車両と同じ位置へPCUが搭載可能であることも開発の要求であったため、HV PCUの構成内のDC-DCコンバータのスペースへ追加の昇圧コンバータを置き換えることになった。

本稿では、上述した追加の昇圧コンバータの開発に取り組んだので報告する。

## 2 昇圧コンバータの開発課題

昇圧コンバータの開発課題は大きく3点ある。昇圧コンバータは、PCU内の既存DC-DCコンバータとの置き換え搭載を行う。出力の小さいDC-DCコンバータを搭載していた狭い空間に大電力製品を搭載するため、出力密度が増大することになる。よって、昇圧コンバータは高放熱を実現することが1つ目の課題となる。置き換え搭載が前提であるため、昇圧コンバータ搭載のために周辺部品の形状を修正することは一切できない。製品の徹底的な小型化が2つ目の課題である。PHV

車の商品性向上目的のため、昇圧コンバータの要求寿命が通常のHV車両の2倍となっており、高信頼性確保が3つ目の課題である。

### 3 高放熱化の取り組み

#### 3.1 昇圧コンバータの構成

昇圧コンバータは、アルミダイカスト製の「ベースプレート」上に基板等の電子部品を搭載したASSY(図3)で、最後にアルミケースに搭載され、PCUとして完成する。ベースプレートを介してASSYを水冷する。



図3 昇圧コンバータ構成  
Fig.3 Boost Converter Structure

#### 3.2 热抵抗と热伝達率

昇圧コンバータの発熱は、電圧変換を担うスイッチング素子の発熱が主である。スイッチング素子は放熱用の銅板上に実装され、全体を樹脂でパッケージングされた部品である。

ベースプレート上にシリコーングリースを塗布しパッケージを設置する。よって、素子の冷却は、「パッケージ→グリース→アルミ→冷却水」という伝熱経路をたどる。

ここで冷却に必要な熱抵抗 $R_{th}$ (°C /W)は式(1)で計算できる。

$$R_{th} = (T_{max} - T_c) / Q \dots\dots (1)$$

$T_{max}$ :素子最大温度

$T_c$ :冷却水温度

$Q$ :素子損失

上式で算出した結果、昇圧コンバータの冷却に必要な $R_{th}$ は0.2°C /W以下となる。

パッケージを設置する部位の材質は、熱抵抗を小さくするために、ベースプレートの材質ADC12よりも高熱伝導な純アルミA1100を採用する。

そして、放熱面の熱伝達率 $\alpha$ [kW/m²K]と熱抵

抗の関係を解析にて求めた。この関係から、熱抵抗0.2°C /W以下を実現するためには必要な $\alpha$ は28kW/m²K以上となる(図4)。

熱伝達率は、放熱面から冷却水への熱交換の度合いを示す数値であるため、この数値が高いほど冷却性能が高い。

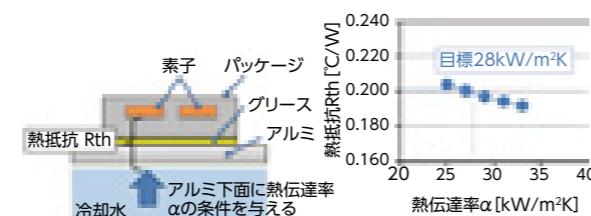


図4 目標熱伝達率  
Fig.4 Target of Heat Transfer Coefficient

#### 3.3 目標熱伝達率の達成手段(ピンフィンの設計)

フィンの表面積を大きくするため、ピンフィン構造とした。ピンフィン製造工法は、コスト面から鍛造を選択した。

鍛造の成形性の観点から、円柱状のピンが林立した形状とした(図5)。

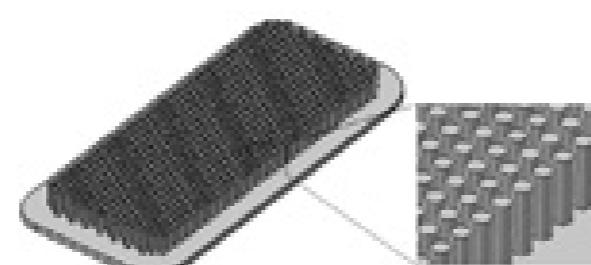


図5 ピンフィン  
Fig.5 Pin Fin

単純に、ピンを密集させ本数を増やすほど放熱面積は増加するが、隙間が少なくなることで冷却水の圧力損失も増加する。冷却水を循環させるウォーターポンプは他の機器とも共有するため、昇圧コンバータに割り当てられる圧力損失上限も規定される。

よって、ピンフィンの設計では、「熱伝達率(W/m²K)」と「圧力損失(kPa)」の二つの特性値の同時最適化を行う必要があるため、応答曲面法を適用し、圧力損失の目標13kPa以下を満たしつつ熱伝達率が最大となるよう、最適化を行った。ピンフィンの設計パラメータを図6に示す。

応答曲面法にて、二つの特性値が要求を満たす領域を調査した(図7)。

最適解を設計値とし、設計性能を確認した(図

8)。以上より、目標28W/m²Kに対し、それを上回る29W/m²Kで設計成立する形状が得られた。

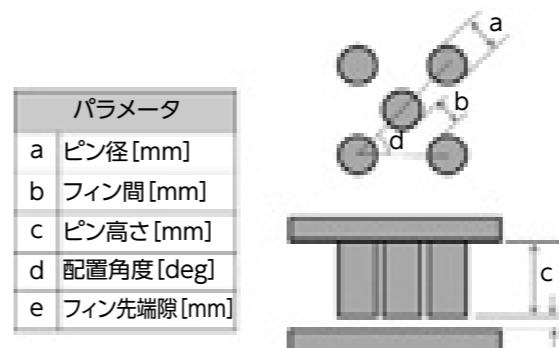


図6 ピンフィン設計パラメータ  
Fig.6 Design parameters for Pin Fin

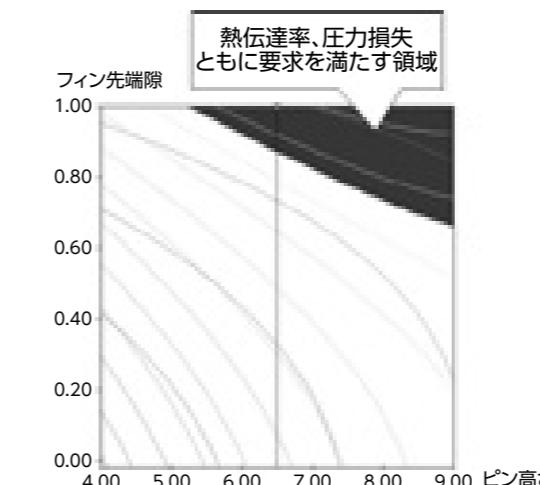
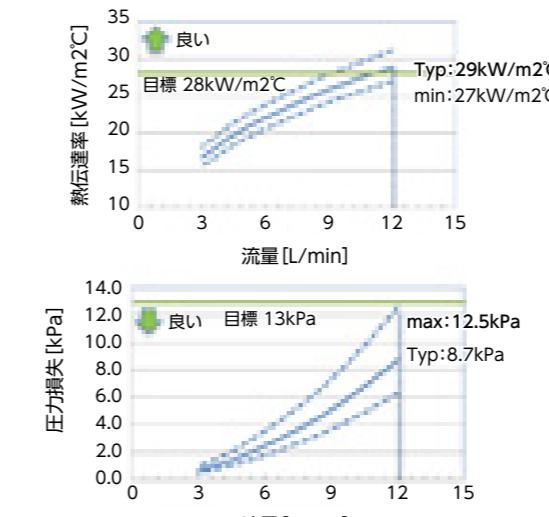


図7 応答曲面グラフ  
Fig.7 Response surface graph



※破線はフィン先端隙ばらつき±0.25mm  
図8 ピンフィン設計性能  
Fig.8 Design performance for Pin Fin

### 4 小型化の取り組み

#### 4.1 ピンフィンの固定とシール

放熱性能は、別体の鍛造ピンフィン採用により設計成立の目処がたったが、これにより、小型化とは逆行しピンフィンを締結固定するためのスペースが必要となった。また、ピンフィンはいわば「水路の蓋」でもあるため、ガスケット等を用いてベースプレートとピンフィンを隙間なくシールする必要がある。しかし、与えられた空間内に部品配置を行うと、締結部およびシール部材を設けることが困難であった(図9)。

そこで我々は、従来どおり「部品をボルトで締結する」のではなく、「ボルトを使用せず、部品を接合する」方法を検討することとした。

検討した接合方法を表1に示す。

我々は、固層接合の一種である摩擦攪拌接合に着目し、昇圧コンバータへ適用するための詳細検討を行った。

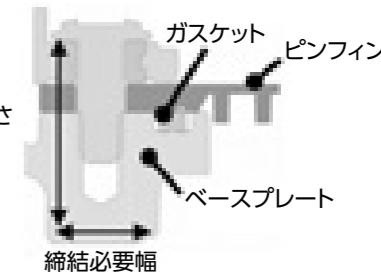


図9 フィンの固定  
Fig.9 Fixing the Fin

表1 接合方法の比較  
Table1 Comparison of Joining methods

		強度	低背化	シール	変形	コスト
溶融接合	アーカ溶接	△	○	×	×	△
固相-液相接合	ロウ付け	△	○	○	○	×
固相接合	超音波接合	△	○	△	○	△
	摩擦攪拌接合(FSW)	○	○	○	○	△

#### 4.2 摩擦攪拌接合

摩擦攪拌接合(Friction Stir Weldingの頭文字をとり、FSWと呼ぶ)は、回転するツール(一般的に雄ねじ形状)を接合界面に押し込み、摩擦熱により材料を軟化させ、接合界面に沿ってツールを動かすことで接合する接合技術である。

FSWの接合ステップを図10に示す。

回転するツールが接合界面に沿って動く際に、ツールの前方から後方へアルミが攪拌され送り込

まれることで接合される。



図10 FSW  
Fig.10 FSW

FSWは融点以下で塑性流動を利用して接合するため、アーチ溶接のように著しい変形や、熱影響による強度低下は起こりにくい。

アルミ合金同士の接合技術として研究・開発されてきた技術であるが、原理的には非アルミや異種金属間の接合も可能である。

### 4.3 昇圧コンバータへの適用

トヨタ自動車では、ボデー製造の分野でのFSW採用事例はあるが、シール性を要求される水路部での採用例は今回が初となる。

FSWは、アーチ溶接とは異なり、溶接棒による材料供給をしない。そのため、接合前の部品間に隙間があると、材料不足による「欠損」の原因となる。欠損は接合部表面が谷状にえぐれたり、内部にボイドのように発生し、接合強度不足をまねく。また、接合条件が不適切であると、材料が狙い通りにツール後方に送り込まれず、これも欠損の原因となる。

板材の1辺を直線的に接合する突合せ接合の場合、板材同士を隙間なく配置するのは容易であり、寸法バラつきの影響も排除できる。しかし、昇圧コンバータでは、ベースプレートに設けた開口部にピンフィンを落とし込み、周囲を接合するため、隙間は必ず生じ、寸法バラつきの影響も受ける。

また、昇圧コンバータではベースプレートのADC12とピンフィンのA1100という「異種アルミ」を接合する点でも難しさがある。

アルミ合金は添加物によって機械的性質が変化し、塑性流動時のアルミの「流動性」も異なる。攪拌した時の流動量が違うため、A1100は正しく流動できても、ADC12が流動不十分という結果になり、欠損が発生する(ADC12は特に流動性が悪

い)。接合品質に対して、ツールと部品の位置関係が非常にセンシティブになり、条件出しも困難である。

これらの、「難しさ」へのアプローチとして以下を行った。

#### (1)重ね接合+突合せ接合

ピンフィン側面とベースプレートとの突合せ面の接合だけでなく、ピンフィンがベースプレート上に重ね置かれる設置面(重ね面)も攪拌し、接合する(図11)。

この重ね面の接合を主とする。重ね面は、ツールによる押し込み力で常にベースプレートに押し付けられ隙間は無くなる。また、重ね面の接合にはツール位置(突合せ面とツール軸との位置関係)の影響もないため、安定した接合が可能となる。

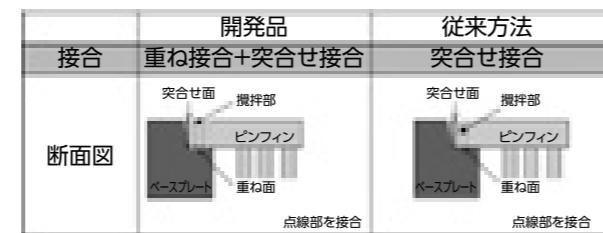


図11 接合箇所  
Fig.11 Joint

#### (2)ツール位置のオフセット

流動し難いADC12の攪拌を極力抑える狙いから、ツール中心位置を、突合せ面からピンフィン側に意図的にオフセットさせた(図12)。流動しやすいA1100が主に攪拌され、逆にベースプレート側であるADC12はわずかに表面が攪拌されるのみとなる。

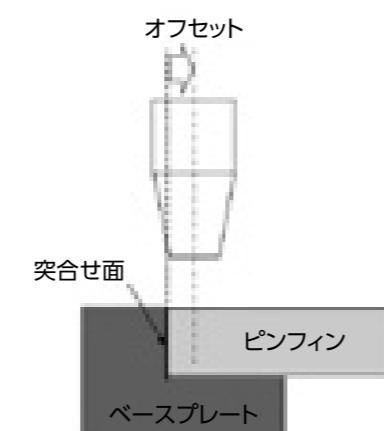


図12 ツール位置のオフセット  
Fig.12 Offset of Tool position

#### (3)材料の段差

ベースプレートの壁高さに対し、ピンフィンの厚みが上回る寸法設定とする(図13)。ベースプレートとピンフィン間の隙間に對して、ピンフィンのアルミが供給され不足分を補い、材料不足による欠損を抑制する狙いである。



図13 材料段差  
Fig.13 Material step

### 4.4 FSWの良品条件

材料の重ね面が攪拌された幅を「接合幅」として定義する。図14は、FSWで接合した試験片を用いた引張試験の結果である。接合幅が1.9mmを超えると、必ず引張強さの小さいA1100側で母材破断する。

接合幅1.9mmを下回ってもA1100母材破壊となる場合がある。これは、重ね面に加えて突合せ面の攪拌もされている場合であり、重ね面の接合幅不足を突合せ面で補っているためである。

以上より、接合幅を1.9mm確保できる条件で接合を行えば、接合強度が満足できるといえる。

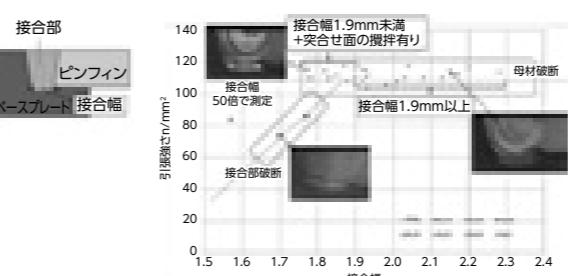


図14 接合幅と引張強さ  
Fig.14 Joint width and Tensile strength

### 4.5 プロセスウィンドウ評価

安定してFSW接合の「良品」を得るために接合条件を定めるため、また、バラつきに対する許容量を把握するためプロセスウィンドウ評価を行った。

パラメータを表2に示す。ツール位置と挿入深さは、その値が接合幅と密接に関係し、かつ部品寸法バラつきや治具精度の影響も受け重要なパラメータである。それぞれのパラメータの上下限範囲(想定バラつき範囲)と、さらに外側の範囲につ

いても評価を行った。評価は、各ポイントでの断面観察と引張試験を行った。その調査結果を図15に示す。

表2 FSWのパラメータ  
Table2 Parameters of FSW

項目	単位
FSW条件 (設備 パラメータ)	[rpm]
送り速度 [mm/min]	
ツール位置 [mm]	
挿入量 [mm]	
部品 (部品パラメータ)	
クリアランス [mm]	
段差 [mm]	

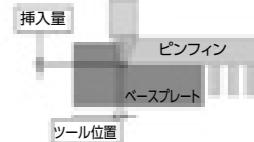


図15 プロセスウィンドウ結果  
Fig.15 Result of Process Window

バラつき範囲外の左上の調査点で、接合強度が得られない結果が見られた。この点は、ツールの挿入が浅く、かつ突合せ面へのツールの当たり具合も弱くなるため、接合幅不足により強度が出なかったと考えられる。バラつき範囲内では強度不足な点はなく、この範囲の中央をねらい値とすれば安定して接合できることが分かった。

FSWでピンフィンを接合したベースプレートは、リーグ検査でNGとなることはなく、シール性も保証できている。

以上により、鍛造ピンフィンをFSW接合したベースプレートを実現したこと、小型化に大きく貢献した。

### 5 高信頼性確保の取り組み

熱抵抗低減のため、スイッチング素子のパッケージを設置する面にはシリコーングリースを塗布している。スイッチング素子のON、OFF動作の切り替わりによって発熱量も増減を繰り返すが、これはつまりパッケージとしても熱膨張・収縮を繰り返すということである。この動作により、塗布していたグリースが押し出される。この現象は「ポンプアウト」と呼ばれる。

ポンプアウトによりグリースが抜けてしまうと熱抵抗は増大する。これは、初期状態では問題無く

ても使用するうちに経年劣化するということである。その結果、素子の冷却が不十分となり、出力低下する。これは車両の動力性能低下に直結する。通常の要求寿命範囲であれば、問題となるレベルまでの劣化はしないが、RAV4 PHVでは対策が必要となる。

メカニズムを正確に把握するため、視える化試験を実施した。これにより、熱膨張によりパッケージがグリースを物理的に押し出すことに加え、反ったパッケージ端面から空気が巻き込まれることもわかった(図16a)。

このグリース押し出しと空気巻き込み2点への対策として、パッケージ周囲を熱硬化型のシリコーンゲルで封止する方法を採用した。その構造を図16bに示す。

ゲルは、硬化後はグリースを押しとどめるのに十分な硬さを有し、また、パッケージの反りが発生してもゲルの液面の方が高い位置に存在するため、空気を巻き込むことはない。

また、ゲルを溜めるためのバスタブ構造として、樹脂枠をベースプレートに接着する方法を採用した。この樹脂枠があることでゲルの充填量を必要最小限にでき、端子台としての機能も包含させることで、製品の小型化にも寄与している。

パワーサイクル試験結果の比較を図17に示す。昇圧コンバータはゲル封止構造採用により、ポンプアウト抑制が可能となり従来の2倍の寿命目標に対し3倍を達成することができた。

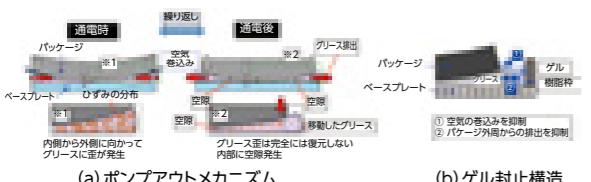


図16 ポンプアウトメカニズムとゲル封止  
Fig.16 Pump-out mechanism and Gel sealing

## 開発の経緯と開発者の思い

低燃費、EV走行の高出力化の実現を目指すRAV4 PHVの開発の一翼を担うことは、大きな使命感、責任感を感じるとともに、失敗できないというプレッシャーがありました。限られたスペースに搭載する昇圧コンバータの高放熱化、小型化、高信頼性確保のために、社内外の関係者と議論、検討、評価を重ね、困難と思われる様々な課題を解決し、ついに新要素技術を確立させることができました。今後もお客様に喜ばれる車両の実現のため、課題を乗り越え、開発に取り組んでいきたいと思います。

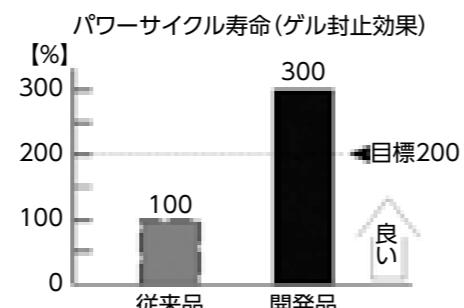


図17 パワーサイクル評価結果  
Fig.17 Result of Power cycle evaluation

## 6まとめ

高放熱鍛造ピンフィン、FSW、ゲル封止の新要素技術を確立した。これにより小型・高品質の昇圧コンバータを実現し、RAV4 PHVの商品性向上に大きく貢献することができた。

今後は、確立した各要素技術を他製品の開発に横展開し、製品の商品性、競争力の向上を図っていきたい。

本開発にあたり多大なご協力をいただいた日本軽金属(株)、日輕松尾(株)の皆様、および社内外関係部署の皆様に深く感謝いたします。

## ■著者紹介■



古野間 高顕 鰐部 真治 須網 勝

## 製品技術紹介

### RAV4 PHV および Lexus UX300e・C-HR EV向け6.6kW車載充電器の開発 Development of On-Board Battery Charger for the RAV4 PHV & Lexus UX300e, C-HR EV

鈴木 隆弘<sup>\*1</sup> 滝 浩治<sup>\*1</sup>  
Takahiro Suzuki Koji Taki

\*1 エレクトロニクス事業部 技術部

## 要旨

トヨタ自動車は環境対応車としてこれまでのPHVに加え、EVについても新規にラインアップし拡充していく予定である。今回EV・PHV向けに従来の2倍の高出力となる車載充電器を開発したので、その概要について紹介する。

キーワード: RAV4 PHV, Lexus UX300e, C-HR EV, 車載充電器、小型、高出力、水冷、空冷

## Abstract

In addition to the PHV, the EVs will be launched newly and be expanded as an eco-friendly car by Toyota Motor Corporation. We developed the new on board charger double output power comparing to the current model for the EVs and PHVs. The following is the introduction of overview.

Keywords: RAV4 PHV, Lexus UX300e, C-HR EV, On-board charger, Downsizing, Hi-Power, Water-cooling, Air-Cooling

## 1はじめに

年々厳しくなる各国の環境規制(北米ZEV、CAFE規制、中国NEV規制等)に対応するため、PHV(Plug-in Hybrid vehicle)、EV(Electric vehicle)の急速な拡充が自動車メーカーに求められている。

トヨタ自動車は'16年末に'20年EVの市場投入を発表。従来のPHVに加えEVもラインナップする計画である。またPHVの車種拡充も同時に進め、こちらも'20年から各車両が立ち上がる計画となっている。



写真1 Lexus UX300e  
Photo1 Lexus UX300e



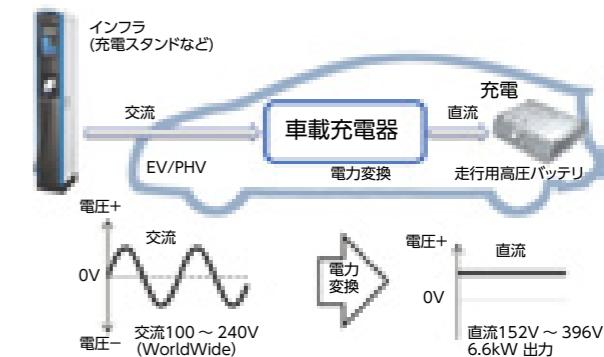
写真2 C-HR EV  
Photo2 C-HR EV



写真3 RAV4 PHV  
Photo3 RAV4 PHV

従来のプリウスPHVに対し、EVでは長距離の電動走行を実現するため高圧バッテリ容量が飛躍的に大きくなる。またPHVにおいても燃費向上・電動走行距離の拡大のため高圧バッテリ容量が増加する傾向にある。どちらにおいても走行用高圧バッテリの充電時間が伸びることから高出力の車載充電器が求められている。

今回、この新開発となるEV・PHV向けに従来の出力3.3kWから倍増させた、6.6kWの車載充電器を開発したので、その概要について紹介する。車載充電器とは家庭用の交流電源(AC)を直流電圧(DC)に変換し、走行用高圧バッテリを充電するユニットである。



## 2 製品の特長

車載充電器は各国のインフラ(日米欧中およびその他地域)に適合させるため、AC100V～240Vの入力電圧に対応可能な設計としている。また従来と同じく、充電システムの要となる充電制御ECU機能と、充電中の補機12V系の電力を供給するDC-DCコンバータを引き続き内蔵している。

表1 車載充電器仕様  
Table1 Specifications of the on board charger

入力電圧	86～264Vrms
出力電圧	152～396V
最大入力電流	32.9Arms
最大電力	6.6kW
冷却方法	水冷 空冷
性能保証温度範囲	-40～70°C -30～60°C

表2 充電ECU搭載機能  
Table2 Functions on the charging ECU

機能名	内容
AC充電制御	充電インフラや車両内ECUと協調して充電を実行する
タイマー充電制御	ユーザが予約設定した時刻に充電を開始もしくは終了する
インジケータ制御	電池残量や充電時の状態表示に車両搭載のインジケータを駆動する
リッドロック制御	充電リッドや充電コネクタのロック/アンロックを制御する
AC給電制御	ACインバータを制御して車両高圧バッテリからAC100Vを給電する
表示制御	充電状態をディスプレイに通知してエネルギーフローを表示する

搭載においては、EVはフロントコンパートメント(従来のエンジルームに相当)に走行用のインバータ・モータと共に搭載される。PHVはベースとなるHV(Hybrid vehicle)にアドオンすることと、様々なHV車種に展開予定もあり、車室内床面に搭載される予定である。

EVはフロントコンパートメントの走行用インバータと冷却システム共用する水冷方式となり、かつ防水構造を求められる。対してPHVはアドオンの形となる為、搭載自由度の高いFANを用いた空冷方式となる。このことから、EV向けは水冷、PHVは空冷と冷却システムの違う充電器を同時に開発することが必要となった。



図2 水冷6.6kW 車載充電器  
Fig.2 Water cooled 6.6kW on board charger

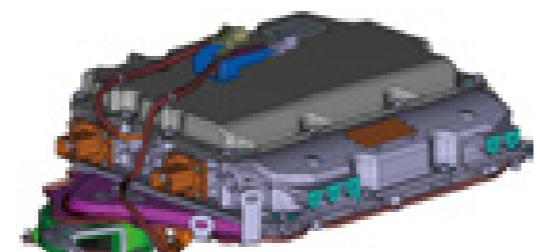


図3 空冷6.6kW 車載充電器  
Fig.3 Air cooled 6.6kW on board charger

## 3 小型化

EV(フロントコンパートメント)・PHV(Rrシート下)の種々の搭載要件をクリアするため、出力密度(出力/体積)を従来比1.1倍とする必要があった。次の手法を用い小型化を図った。

### ■トーテムポール型PFCの採用によるACフィルタの適合

充電器は商用系統(ACライン)に接続されることもあり、各国の規制に適合する必要がある。充電器の入力部にフィルタ(インダクタ、キャパシタで構成される)を設定することで、商用系統に流出する伝導ノイズを低減させ規制適合を行っている。ただし、他の規制として人体保護の為、タッチカレント上限規制があり、フィルタのキャパシタ総容量が規定されている。

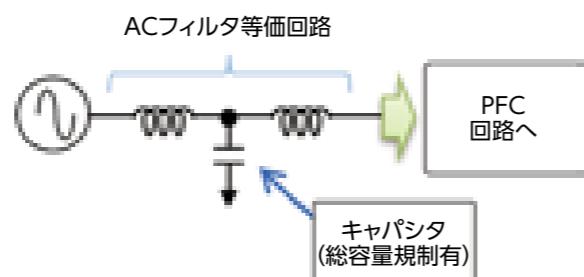
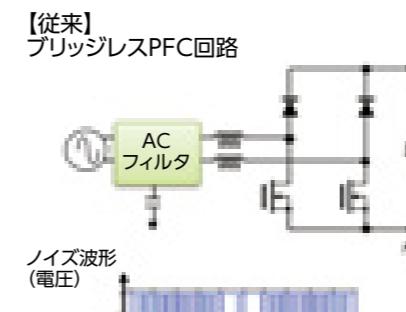


図4 ACフィルタ等価回路  
Fig.4 Equivalent circuit on the AC filter

従来のPFC回路方式を流用すると、6.6kW充電

器の構成は内部に3.3kWの充電器を2系統並列接続することで実現していることから1系統当たりのC容量は半分となり、同じフィルタ減衰特性を得ようとするインダクタが大きくなり出力密度の悪化を招く。これを抑えるために、原理的にノイズ発生レベルの低いトーテムポール型PFC回路を採用した。(トーテムポール型PFCは豊田中央研究所と技術・開発本部開発一部にて基礎検討し、エレクトロニクス事業部にて製品化した)

伝導ノイズは主として商用系統の活線(AC電流が流れるHot,Coldの2線)とアースとの間に発生するコモンモードノイズが主である。従来のブリッジレスPFCは他社の採用が多いダイオードブリッジドPFCに対し、効率に優れる物のコモンモードにPFCのスイッチング周波数が重畠し、伝導ノイズのレベルが大きくなる。それに対し、トーテムポール型PFCはダイオードブリッジドPFCとノイズレベルは比較的近くコモンモードにはPFCのスイッチング周波数が原理的に現れずノイズレベルが低い。またブリッジレスPFCとほぼ同じ効率が得られるという2つのメリットがある。これにより、ACフィルタのキャパシタ容量を下げた上でインダクタを従来と同サイズのまま、伝導ノイズ適合が可能となった。



【従来】  
ブリッジレスPFC回路



ノイズ波形  
(電圧)  
時間



【開発品】  
トーテムポール型PFC回路

ノイズ波形  
(電圧)  
時間

■PFCの2相インターリーブ化による体格低減  
先のトーテムポール型PFCのみの採用は体格の増加は招かないものの、出力密度は従来通りとなる。そのため、さらなる小型化の工夫として、このトーテムポール型PFCを2相化し、インターリード・トーテムポール型PFCとした。

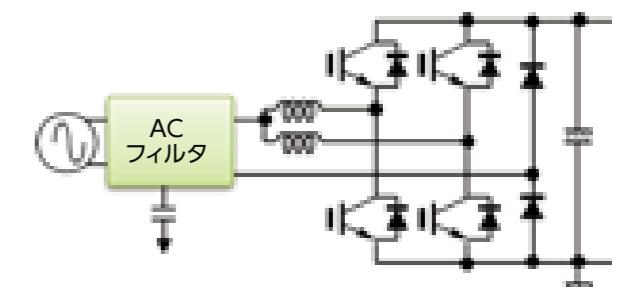


図6 インターリーブド・トーテムポール型PFC  
Fig.6 Interleaved totem pole PFC

2相化はPFCコイルに流れる電流を2つに分け1個当たりの電流を半分とすることが狙いである。PFCコイルの体格決定要素は流れる電流により発生する損失(ジュール熱)が支配的な因子となる。熱成立させるため損失を一定以下とする必要がある為である。PFCコイルの損失は、

$$W(\text{損失}) = R(\text{抵抗成分}) \times I^2(\text{電流})$$

である。これはPFCコイルに流れる電流の2乗で損失が増加することを示している。つまり電流を半分とするとR(抵抗成分)が一定とすれば、損失が半分となることになる。従来と損失同等で良いとすれば抵抗成分を増加することができ、PFCコイルを構成する銅線の断面積を減らすことができるため、PFCコイルの小型化が可能となる。これにより従来比コイルの体格は-25%を達成した。



図7 PFCコイル従来型と開発品の比較  
Fig.7 Comparison the current type PFC coil with the developed type PFC coil

インターリーブ動作はコンデンサに流れるリップル電流を低減する技術である。2相目のパワー素子のスイッチング動作を1相目に対し半周期遅らせ、コンデンサには1相+2相の電流が流れることになる。位相が半周期の差をもつ1相と2相の電流

の振幅が重ね合わせにより打ち消す方向に働くため、コンデンサにとってリップル電流が低減される。

これにより必要なコンデンサ容量を低減することができ、入力のコンデンサは従来比-50%、出力のコンデンサは-23%を達成した。

**■コネクタ一体型モジュールの開発による体積低減**  
従来の充電器はパワーモジュールのパワー電流導通部を溶接により接続していた。(ネジ締結手法に対し約半分の占有面積となる)本機種はさらなる小型化のため、コネクタを一体化させたパワーモジュールを開発した。パワーモジュールを制御する基板とコネクタ接続することで、組付け時の工具隙を取る必要がなくなり、従来比で-33%を達成した。

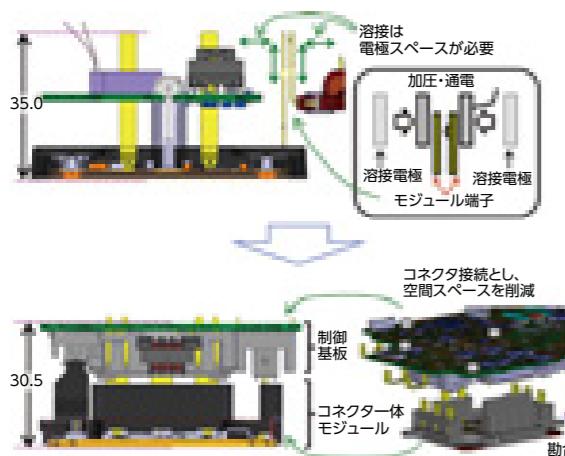


図8 従来型モジュールと開発品の比較  
Fig.8 Comparison the current module with developed module

#### 4 水冷・空冷2種の冷却方式の対応

EVはLLC(Long Life Coolant; 冷却水)による水冷、PHVはFANによる冷却となる。冷却方式違いの2種を同時開発するため、冷却ユニット以外の部品を完全共通設計とした。

パワーモジュール・PFCコイル・絶縁トランジistorといった熱的に厳しい部品を冷却ユニットに熱伝導させるため、1階層に配置。その他のECU機能、ACフィルタ、充電時の補機電力供給用の小容量DC-DCコンバータを2階層に配置する2層構造とした。



図9 充電器レイアウト 水冷・空冷 冷却ユニット差異  
Fig.9 Layout of the on board charger (Cooling unit of water cooling and air cooling)

水冷ユニットはウォーターポンプの損失を最小とするためシミュレーションによりウォータージャケット形状を最適化している。

空冷ユニットは従来のFANからの風を冷却フィンに押し当てる方式から、筐体サイズ拡幅により冷却フィンへの風のバランスを最適化するため、冷却フィンからFANが風を吸い込む方式へと変更した。こちらもシミュレーションにより冷却フィン形状を最適化している。これにより広くなった風口の間口から冷却フィンにバランスよく冷却風を導入でき空冷においても冷却性能を満足することができた。

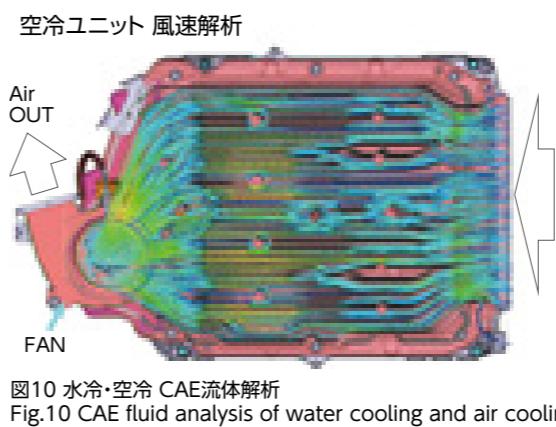
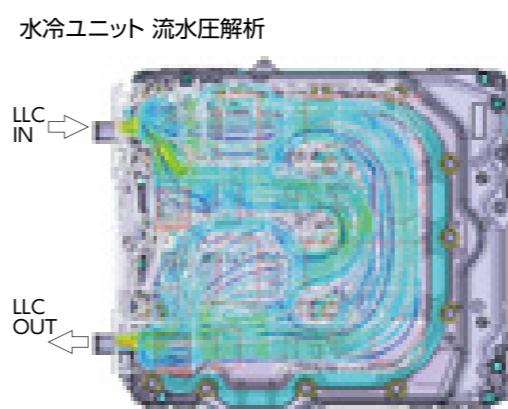


図10 水冷・空冷 CAE流体解析  
Fig.10 CAE fluid analysis of water cooling and air cooling

#### 5まとめ

今回の開発ではEV・PHVと冷却・搭載方法の違う2種の同時開発を、「小型化」「冷却ユニット交換のみの共通設計」により実現することが出来た。EVはC-HR EV、IZOA EV、Lexus UX300eで中国を皮切りに順次展開予定である。PHVはRAV4 PHVを皮切りにこちらも順次展開予定である。

最後に、本開発に当り多大なご指導・ご協力を頂きましたトヨタ自動車、当社長草工場自動車事業部をはじめとする社内外の関係部署の皆様に深く感謝いたします。

#### ■著者紹介■



鈴木 隆弘 滝 浩治

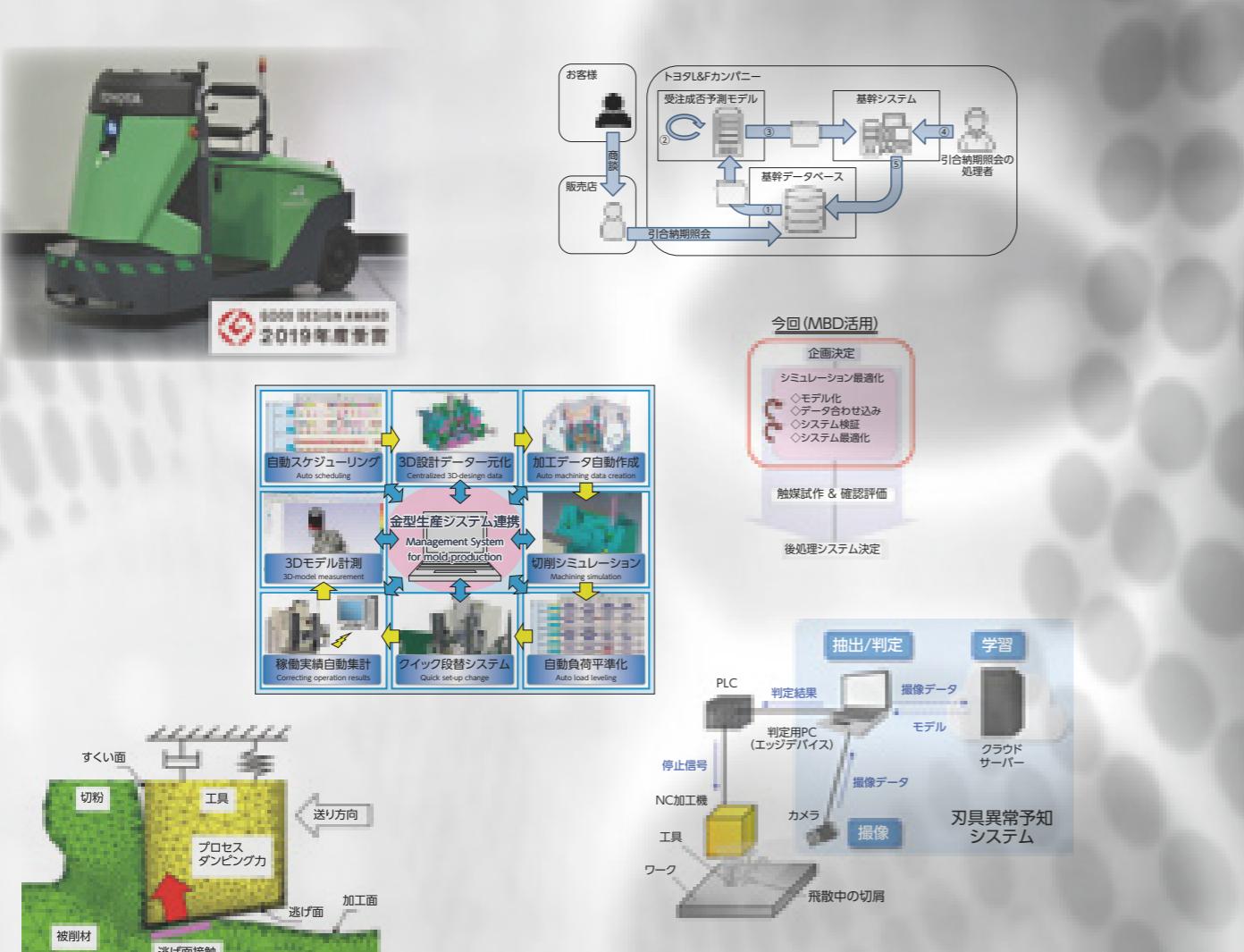
#### 開発の経緯と開発者の思い

満を持してトヨタ自動車様がEVを展開すると発表があった時、とにかく開発期間に不安を覚えたことが強く印象に残っています。その上冷却方式違いの2種の同時開発と非常に厳しいスケジュールの連続でした。

小型化については、短期開発ながら充電器の核となるPFC回路方式の変更と最重要部品であるパワーモジュールを刷新することはかなりの不安がありました。それを決断し、やりきることができたのは偏にエレクトロニクス事業部の総力を結集できた賜物と感じています。

この先電動車両、とりわけ充電を必要とするEV・PHVは各国環境規制の強まりを受け増加の一途の見込みです。今後も車載充電器の小型・高出力化・高機能化をより進め、お客様に貢献できる様に努めてまいります。

# 技術解説



## Technical Review

- P.79 シミュレーション活用による産業用エンジンDPFシステム開発
- P.84 金型加工における刃具異常予知技術
- P.90 特定顧客向け 自動運転タガー＆ダイレス絞り工法
- P.97 機械学習を活用した受注成否予測による特型フォークリフトのリードタイム短縮
- P.104 プロセスダンピングツールを利用した旋削加工におけるびびり振動抑制
- P.109 ダイカスト金型加工における刃具寿命管理システムの開発

## 技術解説

### シミュレーション活用による産業用エンジンDPFシステム開発 Development of DPF System for Industrial Engine Based on Simulation

元山 雄登

Yuto Motoyama

\*1 エンジン事業部 技術統括部

#### 要旨

近年、乗用車向けオフロードエンジンのみならず産業車両向けオフロードエンジンに対する排出ガス規制の強化が進んでいる。中でも欧州ではディーゼルエンジンへの粒子数規制が導入された。この規制強化により、DPF (Diesel Particulate Filter)などの排出ガス浄化触媒は必須となり、後処理システムの複雑化が加速している。

本稿では1Dシミュレーションを利用して、最適なDPFシステム選定を達成したモデルベース開発(MBD:Model Based Development)の事例を報告する。

キーワード: モデルベース開発、1Dシミュレーション、V字プロセス、工数削減

#### Abstract

In recent years, exhaust gas regulations have been tightened not only for on-road engines but also for off-road engines. Especially in Europe, the particle number regulation on diesel engines was imposed. Due to this regulation, the use of catalytic converter such as DPF is necessary and the complexity of after treatment system is accelerating.

In this paper, we report a model based development in which an optimal DPF system is selected by using 1D simulation.

Keywords: Model based development, 1D simulation, V-process, Man-hour reduction

## 1はじめに

近年のオフロード向けディーゼルエンジンの排出ガス規制動向を図1に示す。欧州においてStage V規制が施行され、粒子数規制が導入された。これによりディーゼルエンジンから排出される煤を取り除くためにはDPFの搭載が必須となっている。当社製エンジン式フォークリフト1t～8tへ搭載されている1ZS/1KDエンジンは、DPFを使うことなくStage III B規制に対応するクリーンディーゼルエンジンとして2013～2014年に市場投入された(図2)。そのため最新の欧州Stage Vの粒子数規制に対応するために、新たにDPFを搭載する必要がある。

また近年のグローバル開発競争の中で優位性を維持するには、市場ニーズを捉え、より良い製品をより早くお客様へ届けることと、コスト低減の両立が不可欠である。乗用車に比べて、少量多品種化の進んだ産業車両向けエンジン開発においても、いかに開発期間を短縮することができるかが課題となっている。一方で年々厳しさを増す排出ガス規制に対応するため、触媒の複数使用や、触媒に塗布して排出ガス浄化性能を左右する貴金属の使用量増加により、エンジン開発に占める後処理システム開発のコスト割合は大幅に増加してきている。こうした背景から後処理システム開発の効率化は、競争力向上や製品コスト低減へ直結する重要な開発テーマとなっている。

本稿では、1Dシミュレーションを利用して、DPFシステム選定する技術を構築し、開発期間短縮および試作費用の大幅削減ができたので、その内容を報告する。

	出力P(kW)	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
日本	0≤P<19	法規なし(陸内協同規制)													
	19≤P<56	第3次	第4次												第5次? STAGE5相当 NOx規制強化
	56≤P<75	第3次	第4次												
米国	0≤P<19	Tier4													
	19≤P<56	Tier4													Tier5? STAGE5相当 NOx規制強化
	56≤P<75	Tier4													
欧州	0≤P<19	法規なし	StageV	StageV?											
	19≤P<37	StageIII A													STAGE6? NOx規制強化 PN粒子規制拡大
	37≤P<56	StageIII B													
	56≤P<75	StageIV													
中国	0≤P<37	国3													
	37≤P<75	国3													国4? PM 1/10, PN規制
															国5?

図1 世界のオフロード排出ガス規制動向  
Fig.1 Global exhaust gas regulation trend for off-road engines

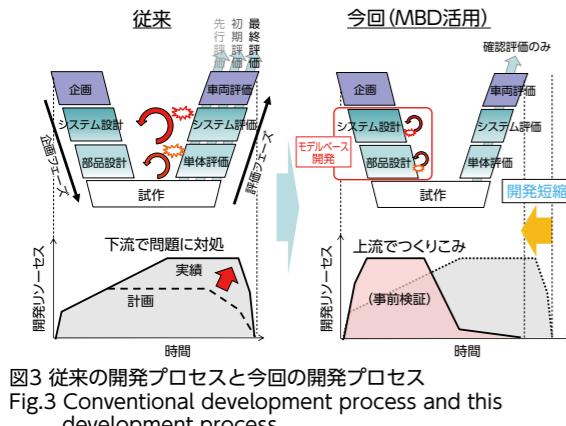


図2 当社のフォークリフト(Tonero)とディーゼルエンジン(1ZS)  
Fig.2 Our company's forklift and diesel engines (1ZS)

## 2 開発効率化の取り組み

### 2.1 プロセス効率化

従来の開発プロセスでは、V字プロセスにおける下流側の評価フェーズで問題が発生した際に、上流側の設計に立ち返り再試作～再評価という手戻りが発生していた。このような大きなサイクルの手戻りが発生することで、どうしても開発後半にリソースが増加してトータル工数が増えることが課題であった。この開発プロセスを効率化すべく、本開発ではプロセス上流側の設計段階においてシミュレーションを活用し、試作前に性能確認できる環境の構築を目指した。これにより手戻りが縮小化し、試作評価回数を減らすことで、「開発期間の短縮化」に取り組んだ。



### 2.2 貴金属量最適化

触媒開発においては、システム全体の複雑化が進むなか仕様を決定するためには、経験や知見によるところが大きい。これまでには、他機種横比やベンチマークなどから試作仕様を決定し、実機評価で得られる結果をフィードバックしながら仕様変更を行うため最終仕様決定まで時間がかかる。また、排ガス規制強化により使用する貴金属量が増加し、製品コストに占める触媒コストの割合も急激に増加するなかで、触媒開発における貴金属量の最小化・最適化は急務の課題となっている。今回は、シミュレーションを活用することで、限られた開発期間に繰り返し性能評価を行い、製品コストへ直結する「貴金属量を最適化すること」を目標とした。

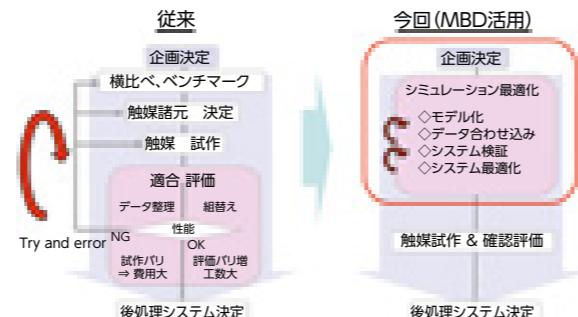


図4 従来の後処理選定プロセスと今回のプロセス  
Fig.4 Conventional selection of after-treatment selection process and this development process

## 3 開発内容

### 3.1 DPFとDPF再生

ディーゼルエンジンから排出される煤は、DPFと呼ばれるセラミック製フィルタへ堆積される。DPFはハニカム構造をとり、入口と出口を交互に目封じすることで、排出ガスを強制的にセラミックフィルタへ通過させることで煤を捕集する。運転時間の経過に伴い、DPF底面側より煤が堆積はじめる(図5)。

そのままでは、煤によりフィルタが閉塞して圧損が上がりてしまい、エンジン性能へ影響を及ぼすため、定期的に煤を酸化させ無害化し、圧損を下げるDPF再生とよばれる処理を行うことが必要である。DPF再生にはいくつか手法があるが、DPF上流に配置したDOCへ燃料添加し、酸化反応を発生させることで得られる反応熱を利用して煤を燃焼する方式が一般的である(図6)。

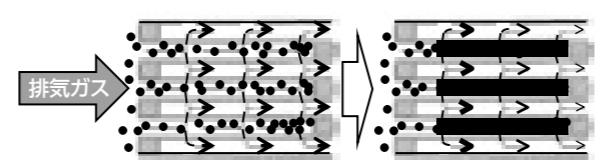


図5 DPFへの煤堆積  
Fig.5 Soot deposition on DPF



図6 DPF再生の方法  
Fig.6 Regeneration method of DPF

### 3.2 性能目標

DPF再生を行うためには、その上流に配置しているDOCが活性化温度の220°C以上に達することが要求性能となる。この性能は、低外気温環境下においても満足しなければならず、フォークリフトの場合この性能は-20°Cの低外気温環境下まで満足させる必要がある。低外気温環境は、吸入空気温度の低下、排気経路での放熱量増加により、高い排気ガス温度を維持しづらいためDPF再生には不利な条件となる。現状の排気経路やDPF搭載レイアウトでは、要求性能であるDOC温度220°C以上を確保することは難しいことがあらかじめ分かっていた。よって何らかの対策を行う必要があり、今回はこの対策効果の検証を、実機評価ではなく1Dシミュレーションモデルで検討し最適なシステム選定を行った。

### 3.3 モデル化

今回作成した1Dシミュレーションモデルを図7に示す。本モデルは排気ガスに特化したシミュレーションモデルであるため、エンジン出口の排気ガスをモデル内における入口ガスとしており、エンジン内部のモデル化は省略している。また各触媒近傍や、排気管各部でガス温度、圧力や成分をモニタしている。

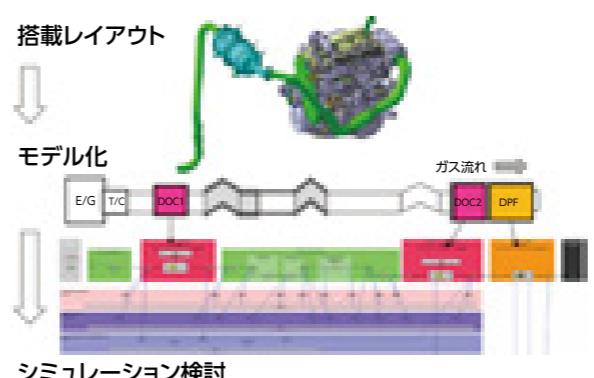


図7 1Dシミュレーションモデル  
Fig.7 1D simulation model

### 3.4 同定評価

汎用ソフトを用いてモデル化したのみでは実機とシミュレーション結果で大きく乖離が生じるため、同定評価を行い合わせこむ必要があった。今回のモデルにおいてはエンジン出口直下のDOCでの触媒反応、排気管部での放熱の計算結果にズレが確認できた(図8)。

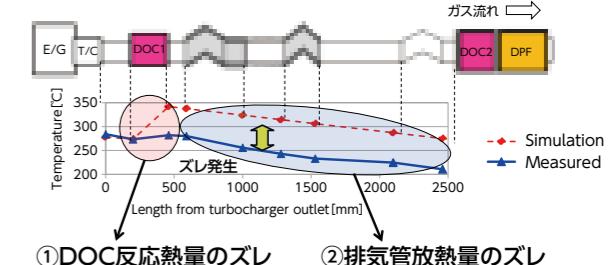


図8 排気ガス温度の推移  
Fig.8 Transition of exhaust gas temperature

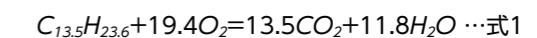
#### 1) DOCの触媒反応

DOC部での触媒反応熱量の同定は、まず触媒へ添加する軽油燃料の酸化反応式を仮定する(式1)。

次にDOCのIN/OUTで軽油濃度を測定し反応速度定数kを算出する(式2)。

反応速度定数が分かるとアレニウス反応式より、頻度因子Aと活性化エネルギーEaを算出できる(式3)。

得られた頻度因子Aと活性化エネルギーEaをシミュレーションの触媒反応計算式へ織り込むことで、実機とシミュレーションで同等の結果を得られるようになった。



$$k = \frac{v}{[C_{13.5}H_{23.6}]} \cdots \text{式2}$$

$$k = Ae^{-\left(\frac{E_a}{RT}\right)} \cdots \text{式3}$$

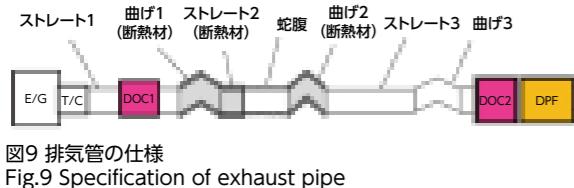
k	: 反応速度定数
A	: 頻度因子
Ea	: 活性化エネルギー
R	: 気体定数
T	: 温度

#### 2) 排気管の放熱

排気管部での放熱量は、排気管ハード仕様や周辺環境により変化する。同定においては、機台で想定される排気管仕様(形状、蛇腹、断熱材)や外部環境(気温、風当たり)を変化させ測定したデータを基に、ニュートン冷却則(式4)から、熱伝達係数hを算出する。ここで得られる熱伝達係数hをシミュレーション内の各排気管要素へ織り込むことで、実機とシミュレーションで同等の結果が得られた(図9)。

$$\frac{Q}{A} = h(T_w - T_\infty) \cdots \text{式4}$$

Q	: 热量
A	: 断面積
T <sub>w</sub>	: 壁面温度
T <sub>∞</sub>	: 外気温
h	: 热伝達率



### 3) 結果の確認

触媒反応と放熱量を合わせて、シミュレーションで実機同等の結果を得られるようになった(図10)。

また合わせ込んだ各係数のうち、頻度因子Aはガス流量、温度を変数とする関数 $A=F_1(Q, T)$ で表した。同様に活性化工エネルギー $E_a$ や熱伝達係数 $h$ に関しても、排気ガスの状態量を変数とする $E_a=F_2(T)$ 、 $h=F_3(Q, T_w, T_\infty)$ と関数化した。これにより、配管長の変更・DOC位置変更・断熱材の有無などのバリエーション評価において、エンジンOUT～DPF経路のガス温度をシミュレーションで実機同等に評価可能となる(図11)。

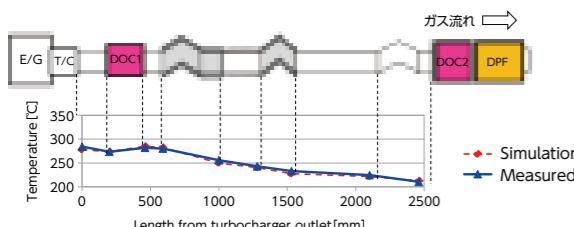


図10 排気ガス温度の比較  
Fig.10 Comparison of exhaust gas temperature

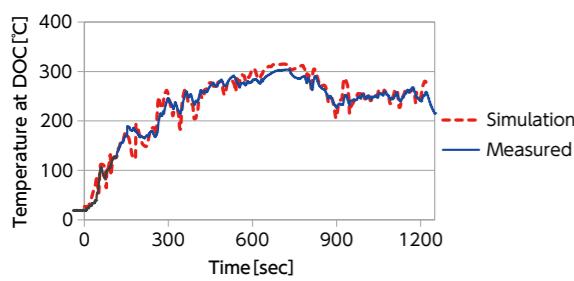


図11 NRTCパターンの排気ガス温度  
Fig.11 Exhaust gas temperature of NRTC pattern

### 3.5 シミュレーションによる最適システムの選定

作成したシミュレーションモデルでDPF再生の要求性能であるDOC2入口温>220°Cを満足する仕様を検討する。今回は6つの方策を立案し、シミュレーションで性能効果を算出する(図12)。

No	内容	ねらい	背反
①	アイドル回転数 UP (車両停止、DPF再生時のみ)	エンジン出口ガス温度UP ガス流速UP	騒音、燃費
②	DOC1 貴金属量UP	DOC1出口ガス温度UP	コストUP
③	DOC1 容量UP	↑	コストUP、搭載性
④	DOC1 L/D最適化	↑	コストUP
⑤	DOC1 搭載位置変更	搭載位置最適化	コストUP、搭載性
⑥	排気管仕様変更 (シングル管→ワール追加 or 二重管)	放熱低減(保溫)	コストUP、搭載性

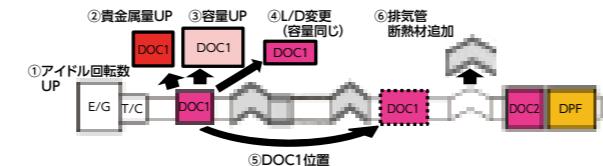


図12 排気昇温のための方策  
Fig.12 Item of rising exhaust gas temperature

シミュレーションによる対策効果への寄与度から、6諸元のうち効果の高い3諸元「アイドル回転数UP」「貴金属UP」「排気管ワール追加」を選定した(図13)。

またこの3諸元を対策効果(昇温代)×コストを両立しながら開発目標を満足する仕様をシミュレーションで探求し、最適諸元を決定することができた(図14)。



図13 各方策の昇温効果  
Fig.13 Effect of each item

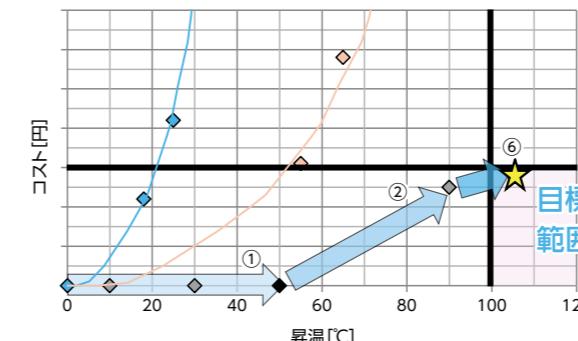


図14 最適システムの選定  
Fig.14 Selection of optimal system

### 4 まとめ

1Dシミュレーションを活用して、様々な外気温条件で触媒部の温度を予測できるシミュレーション環境を構築でき、性能とコストを両立したシステム選定まで行うことができた。また試作評価を行う前に、性能確認や仕様変更の検討ができたため、評価のやり直しがなくなり、大幅に費用と工数を削減できた(図15)。

今後は、後処理のみならず様々なエンジン部品のモデル化を加速しながら、シミュレーションによる性能予測の領域を拡大させ、開発力向上に取り組んでいく。

### 開発の経緯と開発者との思い

触媒の貴金属量最適化は、エンジン開発において製品コストへ直結する課題です。また乗用車向けエンジンと比較すると、1機種あたりの生産台数が少ない産業車両向けエンジン開発では、いかに試作＆評価回数を低減できるかが大事になります。開発効率化を進めるなかで、重点取り組みアイテムのひとつとして1Dシミュレーション活用に取り組みました。はじめは、シミュレーションと実測結果の合わせこみが上手くいかず試行錯誤の日々でしたが、関係者の皆様の協力もあり、開発期間のなかでモデルの活用化まで実現できました。今回のようなモデルベース開発における各社の競争領域は、詳細なモデル化や同定手法の部分だと考えています。今後は、合わせこみの難しい触媒の経時劣化モデル作成などに取り組み、エンジン全体のモデル化へと活用領域を拡大させて、開発効率化を推進していきます。

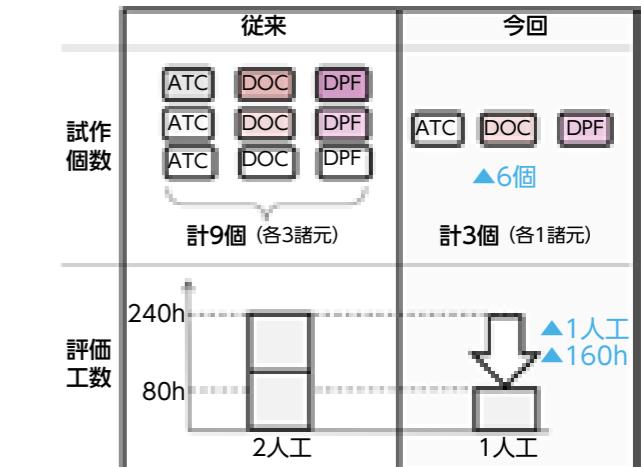


図15 シミュレーション活用による効果  
Fig.15 Effect of using simulation

### ■著者紹介■



元山 雄登

# 金型加工における刃具異常予知技術

## Prediction of Tool Life in Ferrous Metal Processing

久保 勇人 \*1  
Hayato Kubo

八木 正 \*1  
Tadashi Yagi

\*1 生技生産本部 生技開発センター

### 要旨

IoT技術の発展に伴い、自動化された加工工程における刃具異常予知技術として、加工振動や刃先損耗等のデータを取得して寿命を判定するという方法が広まりつつある。しかしながら、それらの取得データの変化は、異常発生後には顕在化するが、予兆は小さく判定基準となりにくいという問題を抱えている。そこで、IoT技術ありきではなく、「熟練技能者の判断基準を自動化する」というアプローチで解決を図り、今回は、切削を判定することで刃具寿命の予知をするという手法を開発したので報告する。

キーワード: 切削加工、刃具異常予知、CNN、物体検出、画像認識

### Abstract

With the development of IoT technology, a technique of determining the tool life by acquiring data such as machining vibration and tool wear is becoming popular as a cutting tool exchange method in an automated machining process. However, these methods have a problem that their data changes become apparent after an abnormality occurs but they are too small as a sign. Therefore, instead of using IoT technology, we tried to solve it by an approach of "automating the judgment criteria of skilled workers", and this time, we developed a method to predict the cutting tool life by judging chips.

Keywords: Cutting, Cutting tool life prediction, CNN, Object detection, Image recognition

## 1 はじめに

### 1.1 背景

近年のIoT技術の進化により、生産現場における、特に生産設備の故障に対する予知保全ソリューションは、展示会での定番テーマとなってきた。予知保全とは故障する前かつ寿命ギリギリを診断・予知して保全するものである。従来の予め定めた使用回数や時間で行う予防保全においては、保全のタイミングより前に故障するリスクや、まだ使える部品を余裕を持って交換するといったムダが発生する。しかしながら、予知保全においてはそれらのリスクやムダが発生しない(図1)。

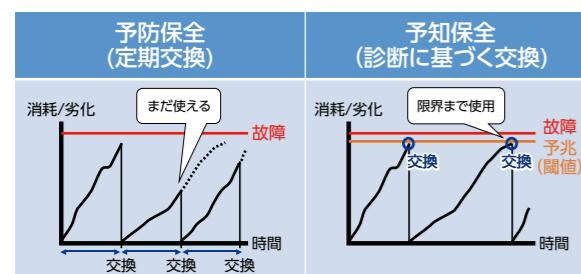


図1 予防保全と予知保全  
Fig.1 Preventive maintenance and predictive maintenance

一方、加工工程の刃具交換についても設備保全と同様であり、部品加工数や使用時間での予防的交換が主に行われている。交換のタイミングよりも前に破損するリスクや、余裕を持って交換するム

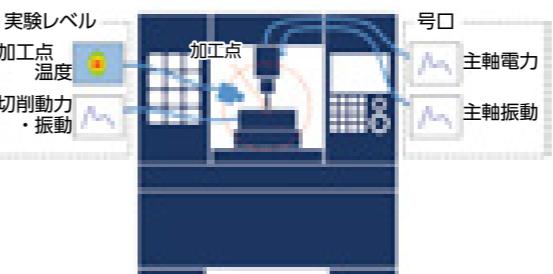


図2 加工設備における検知要素  
Fig.2 Detection element in machining equipment

黎明期には、それらの瞬間値やトレンドに閾値を設けて判定するだけであったが、現在では、周波数解析を用いた特徴量の抽出や機械学習による判定などを加えて発展してきているようだ。複数のメータから商品化もされている。しかしながらこれらに用いられている要素そのものは、当社における加工工程においてはあまり有効ではないと考える。それは、当社で採用されている加工機の剛性が十分に高く、刃具異常による予兆が微弱になりがちだからである。例として検知要素に振動を採用した場合を考えると、ベアリング劣化のようなものは変化が明らかで予兆として使えるが、刃具異常のようなものはS/N比が低いことで他の振動に変化が埋もれてしまい、予兆として使いにくい(図3)。このことから、振動を検知要素とした刃具異常の予知は、予兆の振動が十分大きい条件下では実現可能かもしれないが、多くの場面では適用が難しい。その他、主軸電流値や音を要素として判定するものについても同様である。

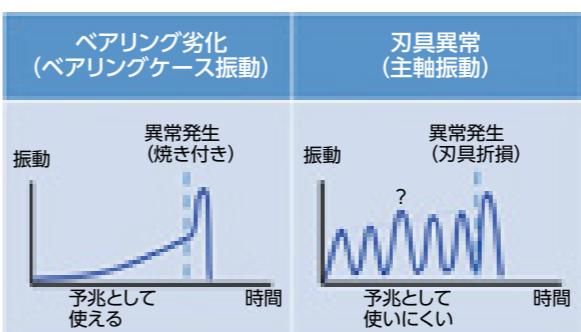


図3 異常と予兆の検知例  
Fig.3 Detection examples of abnormalities and signs

ダを抱えている点は保全と同様であり、刃具異常予知のために異常の予兆を検知する機器や手法が開発されている。しかし、いざ導入してみても期待したように予知できず四苦八苦しているという相談や、あきらめて異常検知に使用しているという声をよく耳にする。

当社においても刃具異常の対策として各事業部でそれぞれ取り組みがあるが、刃具異常発生時に最もロスが大きいのは、金型加工である。これは、他の製品に比べ加工のリードタイムは圧倒的に長く、休日の無人運転時に停止する稼働ロスや、修復不能な加工不良になった場合の仕損費が大きいためである。今回取り組みの第一歩として、その金型加工をターゲットとした刃具異常予知技術を開発したのでその内容を解説する。

### 1.2 従来技術

刃具異常の予知技術は大別すると2種類に分けられる。加工現象を取得し判定する方法と、刃具そのものから判定する方法である。

加工現象による判定で取得するデータは、実験レベルでは切削動力や振動、刃先温度などであるが、これらを号口用の設備で取得するのは困難である。そのため、号口用の設備で取得するデータは、切削動力を代替する要素として主軸電力、加工時の振動を代替する要素として主軸振動が主だったものである(図2)。

らいで異常が発生するかといったことを予知することは困難である。研ぎ直したばかりの刃具がすぐに折れるといったことも珍しいことではない。刃具の検査頻度を上げれば明らかな異常状態で加工することは防止できるが、稼働ロスとならないよう工夫が必要である。

従来技術は、いずれにおいても刃具異常を検知する要素はそのまま予知にも使えるという仮説に基づいているが、実際の現場では必ずしもそうではないため、刃具異常検知の技術で予知の実現は難しいと言わざるを得ない。

## 2 開発内容

### 2.1 開発の進め方

刃具の異常を検知する要素は、そのまま予兆の検知には使えない可能性がある。開発のステップとして、刃具異常の予兆の決定、予知システムとしての成立性検証、号口ビッグデータによるシステムの進化の3ステップに分けて進めていく(図4)。

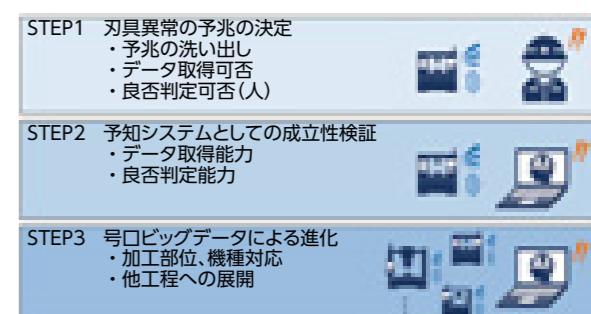


図4 開発ステップ  
Fig.4 Development steps

### 2.2 刀具異常の予兆

従来の刃具異常検知の機器で取得できる要素に加え、熟練作業者が何を予兆としているのか調査を行った結果、それらはまったく異なることが分かった。各要素が予兆となり得るか、データ取得可能かどうかを評価し、切削の色を刃具異常の予兆とすることとした(図5)。

一方で刃具そのものの判定であるが、形状測定により取得した形状から判定するものと、近年では撮像した画像から摩耗状態を判定するといったものが開発されているようである。しかしながら、刃具そのものから判断できることは、明らかな異常や、まだまだ使えるといったことで、あとどれく

切り口	計測要素	予兆としての使用可否(目視)	号口機上でのデータ取得可否	総合評価
従来の刃具異常検知機器	刃先の画像	△	○	△
	加工負荷	△	×	×
	電力	△	○	△
	振動	×	○	×
	加工点温度	○	×	×
	音	×	○	×
	臭い	×	×	×
	切屑のはけ方	△	○	△
	切屑の色	○	○	○
	切屑の大きさ	△	○	△
熟練作業者へのアピリング	切屑の温度	○	×	×
	加工精度の変化	×	○	×
	加工面の変化	×	○	×
	(むしれ、光沢など)	×	○	×
	加工面の面粗度	×	○	×

図5 刃具異常の予兆  
Fig.5 Signs of abnormal cutting tools

刃具折れなどの刃具異常を、刃先を見てあとどれくらいと予知することは難しいが、刃先の劣化に伴い異常が発生しやすくなるのは間違いない。切屑の色が刃具異常の予兆となり得るか検証するにあたり、刃先の劣化状態と切屑の状態を調査したところ、摩耗に始まる劣化の進行とともに切屑の色が鮮やかに変化し、はっきりと違いが認識できることが分かった(図6)。今回は加工継続可／不可の2グループに分け、それぞれ切屑A／切屑Bとした。

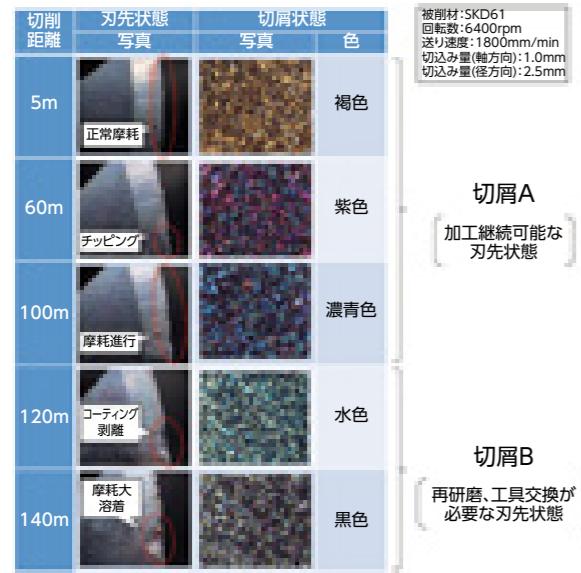


図6 刃先状態と切屑の色  
Fig.6 Tool condition and chip color

切屑の色は、切屑にかかる熱によってできる酸化被膜表面と、金属との境界面からの反射光が干渉することによって生じる干渉色である<sup>[1]</sup>。その色相は酸化被膜の厚みによって変化するため、酸化被膜の厚みを決める熱によって変化するとも言える。切削加工における切屑の色は加工点温度によって変化するものである(図7)。

干渉色	加工点温度
藁色	約300°C
褐色	約350°C
紫色	約400°C
すみれ色	約450°C
濃青色	約530°C
淡青色	約600°C以上

図7 加工点温度と干渉色(SKD61)  
Fig.7 Cutting point temperature and interference color

切削速度等の加工条件によって加工点温度が変わることはよく知られているが、今回、刃先の劣化によっても加工点温度が変わることも確認できた(図8)。

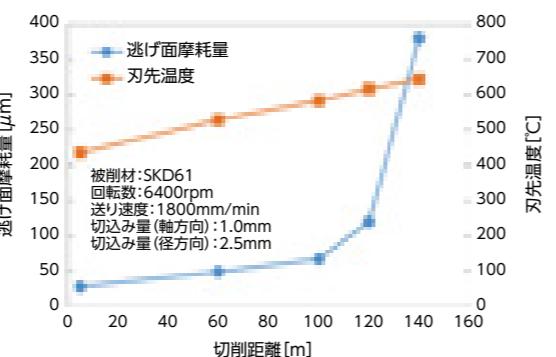


図8 刃先劣化と刃先温度  
Fig.8 Tool wear and cutting point temperature

金属切削加工は、刃具が金属を押すと、金属内部でせん断力によるすべりが起き、金属をその母材から引き離すという現象を利用しているため、金属のせん断熱や摩擦熱が発生する。今回、刃先の劣化に伴い刃先の形状が変わることによってせん断角が変化し、加工時の温度が変わったと推定される(図9)。せん断角が変わることにより、温度以外にも切屑の厚みや母材から引き離される頻度が変わるために、切屑の数や飛び方、形が変わることも考えられる。熟練作業者の挙げた色以外の現象も、理論上起こり得るということが分かる。



図9 刃先の劣化箇所と切削モデル  
Fig.9 Tool deterioration point and cutting model

## 2.3 刃具異常予知システム構成

切屑を判定するシステムとしては、カメラとエッジデバイスとして判定用PCとし、判定結果は加工機の制御機器へ出力、学習モデルの作成はクラウド上で行う構成とした(図10)。加工室内に堆積した切屑や、回収された切屑を観測する方法も考えられたが、レスポンスや情報の劣化が懸念されるため、加工中に排出される切屑をそのまま観測することとした。

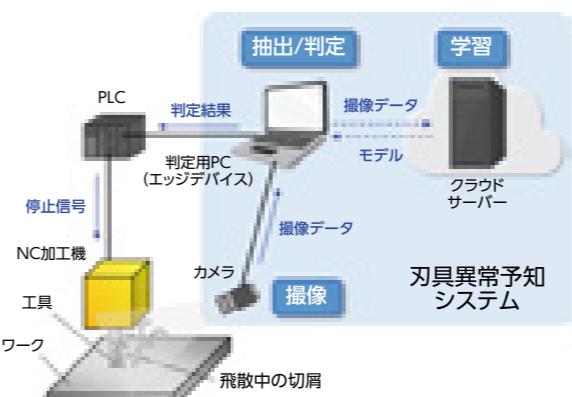


図10 システム構成  
Fig.10 System configuration

## 2.4 切屑抽出のための撮像系

取得する画像は、見える化の観点から、人間でも判定可能な画質が望ましい。飛散する物体の撮像において、色情報を正確に取得するために、残像が少なく、明るく撮像可能なカメラを選定した。標準的な加工条件で排出される切屑の速度であれば、120fps相当のフレームレートを持つカメラであれば色の判定は可能であったが、拡張性を持たせるために440fpsのものを採用した(図11)。

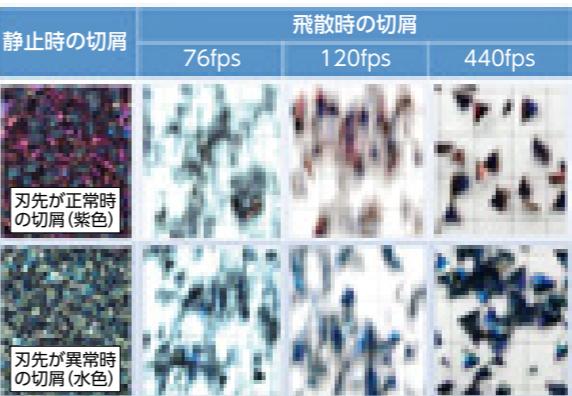


図11 フレームレートと取得映像  
Fig.11 Frame rate and captured video

## 2.5 切屑抽出と切屑判定

加工点を俯瞰した画像より、切屑一片を抽出する手法としディープラーニングによる物体検出を用いた。物体検出とは、入力された画像の中から、定められた物体を背景から区別して位置を特定する手法である(図12)。今回は、DNN(Deep Neural Network:深層ニューラルネットワーク)による物体検出モデルであるYOLOを採用した。YOLOは処理速度が速く、リアルタイム処理が可能である<sup>[2][3]</sup>。刃具異常予知システムにおいては、ある程度のリアルタイム性が要求されることと、今後への展開性を考慮して、YOLOによる物体検出を採用した。

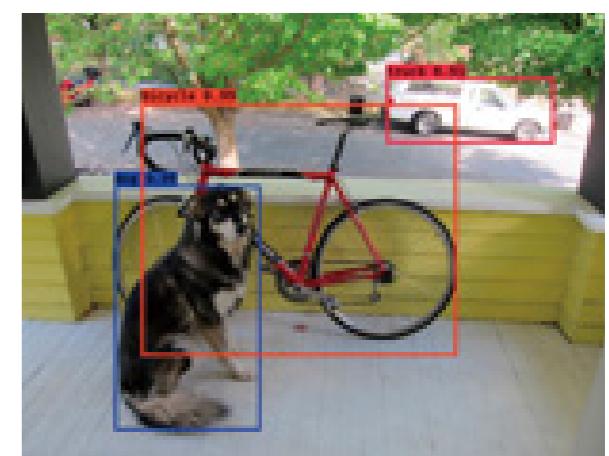


図12 物体検出の例<sup>[2]</sup>  
Fig.12 Object detection example

物体検出により切屑Aと切屑Bを区別して検出することも可能だが、検出及び判定精度を上げるために検出と判定は分けることにした。検出精度は、検出根拠となる特徴量がシンプルな方が精度を向上させることができる。区別して検出するためには切屑の大きさや形状に加えて色を特徴量として学習する必要があるため、学習がより複雑になり検出精度が低下しかねない。また、学習に必要な教師画像の量も増えてしまう。今回は教師画像として、加工点を俯瞰した静止画を200枚用意し、切屑が映った部分を矩形領域で囲って切屑を教える(アノテーション)作業は手動で実施した。

判定精度は物体検出により切屑部分を抽出することで、切屑以外の余分な情報が排除されるため、精度を高くできると考えた。判定手法として、物体検出により抽出した切屑の画像をさらにCNN(Convolutional Neural Network:畳み込みニューラルネットワーク)で判定させることと

した。CNNとは、DNNと同じディープラーニングのモデルの1つであり、画像認識で最もよく用いられている。CNNの特徴は、入力画像の特徴を維持したまま画像を縮小処理していることである。処理負荷が低く、多くの情報を処理でき、なおかつ判定精度もよい物体認識モデルである。今回、連続的に発生する切屑に対して都度判定を行うことから、多くの情報処理が必要となるため、CNNによる判定を採用した。また、切屑の色を見るのであれば、画像処理により色情報を抽出する手法でも判定できることを確認したが、色以外の要素への拡張性を考えてCNNによる判定を採用した。

## 2.6 刃具異常判定

切屑から刃具異常を判定するにあたり、切屑Bが出た=刃具異常とすると、刃具異常の過判定が発生する。切屑は刃先の劣化以外の因子でのバラつきや、過渡期における切屑Aと切屑Bの混在、誤判定などが発生するため、それらを包括した刃具異常判定が行えるよう、一定数以上の切屑より切屑Bの混在率を算出し、判定要素として最終的な判断を行うシステムとした(図13)。

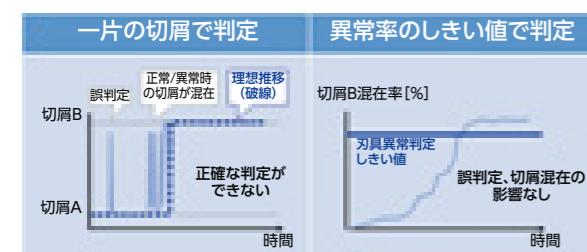


図13 異常判定方法  
Fig.13 Method to judge abnormality

## 3 開発結果

加工点を俯瞰した映像より切屑を抽出している例を示す(図14)。抽出できた切屑の数は、100フレームあたり、切屑A発生時で260片、切屑B発生時で137片であった。切屑以外のものを抽出する誤抽出は0%であり、十分判定に使えると判断した。切屑B発生時に抽出数が減っているのは実際に飛散する切屑が少ないことが主原因である。

切屑一片毎に切屑A／Bの判定を行った結果、それぞれの状態における正答率は96%であった。刃具異常判定として切屑B混在率96%未満で閾値を設定すれば予知として使えることが分かった。実際に刃具異常として信号を出すタイミングや、予兆が出てからの反応速度については、混在率算

出のための切屑数や閾値で調整可能であるため、今後は対象設備に合わせて設定し、検証を進めていく。

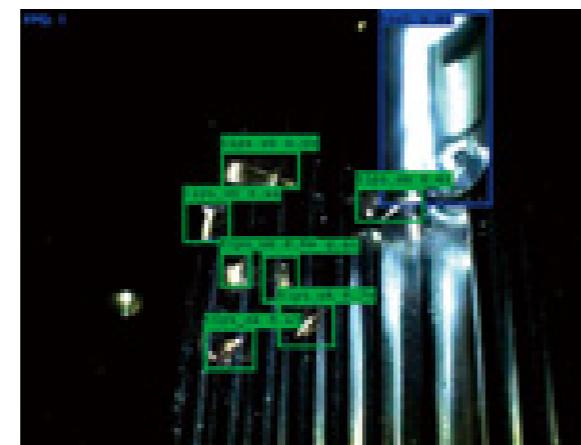


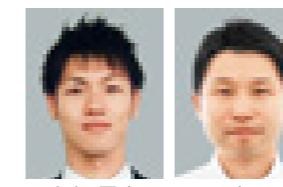
図14 切屑抽出結果  
Fig.14 Result of detecting chips

## 4 まとめ

刃具異常の予知として、切屑を観測して判定するという熟練技能者の暗黙知を明確化した上で、AI技術を駆使して自動化できそうなことが分かってきた。今回は切屑の色に着目しているが、加工点を映像として取得し、判定することで、他の加工現象をも予兆にできるのではないかと期待している。

次ステップでは号口ビックデータを取得しシステムの進化を考えているが、金型は複雑形状であるため、ここまで開発からは想定外の特徴を持った切屑が排出されることも考えられる。その際には、熟練作業者はどうしていたのか、の基本に立ち返り、より強固なシステムを創りあげていきたい。

## ■著者紹介■



久保 勇人 Hama Masaru

## 開発の経緯と開発者の思い

刃具異常予知技術に対しては、近年のIoT技術の進化により、いよいよ実用化レベルになると期待していましたが、一時の盛り上がりに終わりそうでした。いろいろ調べていくうちに感じたのは、IoTツールを頼ってばかりで、いかに活かすか、加工技術側からのアプローチが不足しているということです。

機械加工は様々な物理現象を発生させており、号口では各要素のバラつきもあるため、さらに複雑な現象になります。そのような難しい号口運用における加工技術一つとして、熟練技能者の暗黙知に理論的な裏付けや実証を加え、IoTツールをうまく活用することで課題を解決できるのではないかと取り組み始めました。切屑の視覚情報に限らず、加工点から発生し人間が感じることができる五感情報から刃具異常を予知するという手法は、加工点の見える化の一つの答えだととも考えています。

将来的には、より広範な工程に使用できるのではないかと期待していますが、まずは金型加工でのデータを重ね、より使いやすいシステムを構築していきたいと思います。

# 特定顧客向け自動運転タガー&ダイレス絞り工法

## Automated control Tugger for Specific customer & Dieless drawing method

青山 茂樹<sup>\*1</sup> 黒田 博允<sup>\*1</sup> 小林 基久雄<sup>\*1</sup> 溝口 宏徳<sup>\*2</sup> 山内 大介<sup>\*2</sup> 加藤 和重<sup>\*2</sup> 薬師 忠幸<sup>\*3</sup>  
Shigeki Aoyama Hiromitsu Kuroda Kikuo Kobayashi Hironori Mizoguchi Daisuke Yamauchi Kazushige Kato Tadayuki Yakushi

\*1 トヨタL&Fカンパニー R&Dセンター ARプロジェクト \*2 トヨタL&Fカンパニー 生産技術部 \*3 トヨタL&Fカンパニー R&Dセンター 製品企画部

### 要旨

従来の「タグノバリモコン仕様車」に対し、有人運転時の走行性能や有人/無人切替え運用を踏襲しつつ、自動化機能を大幅に充実させた特定顧客向け自動運転タガーを新規開発した。今回の開発では、優れた安全性と有人/無人両方の使いやすさを実現。そのつくりにおいては、プレス型を使わず丈夫な厚鉄板による造形が可能なダイレス絞り工法をベースとした新工法を開発し、コストと丈夫さ、使いやすさを兼ね備えた機能的デザインも実現した。

キーワード: タガー、自動運転、ダイレス、ツールマーク、スプリングバック

### Abstract

In comparison with the conventional "TUGNOVA with remote-control system", we have newly developed the Automated control Tugger for specific customer that greatly expanded automated functions while following driving performance during Ride-on as well as switching operation between Ride-on / Automated control. In this development, we achieved excellent safety and ease of use for both Ride-on / Automated control. We have developed and introduced a new processing method of Dieless drawing that enables molding durable thick iron plate without using press die. As a result, we have also realized a functional design that benefits cost, durability and ease of use with an Automated control Tugger.

Keywords: Tugger, Autonomous, Dieless, Tool mark, Springback

### 1 はじめに

これまで自動車産業を中心とした構内の水平搬送に活用する小型牽引車として、有人牽引車「タグノバ」と一部自動化機能を追加搭載した車両「タグノバリモコン仕様車」(写真1)を市場投入し、販売台数が増加。



写真1 タグノバリモコン仕様車  
Photo1 TUGNOVA with remote-control system

今回の開発では、従来のタグノバリモコン仕様車に対し、有人運転時の走行性能や有人/無人切替え運用を踏襲しつつ、自動化機能を大幅に充実させた自動運転タガーを新規開発した(写真2)。



写真2 自動運転タガー  
Photo2 Automated control Tugger

### 2 製品の特長

#### 2.1 自動化機能の充実

今回の開発では、既に多くのお客様にご使用いただいているタグノバリモコン仕様車からの代替や混在が可能のように誘導方式には従来同様、床面に敷設した磁気テープに沿って走行する磁気ガイド式を標準装備とした。

従来のタグノバリモコン仕様車はリモコン運転

(無人走行とリモコン操作によるピッチ走行)により一筆書きのコースしか走行できなかつたが、開発車はこれまでのリモコン運転機能に加え、自動化機能として以下の5つの自動化機能を搭載した(表1)。これにより、従来できなかつた複雑なコース設定や多様な運用が可能となつた。

表1 自動化機能一覧  
Table1 List of automated control functions

自動化機能	説明
1 分岐/合流コース走行機能	分岐・合流を含んだ999種類のコースNo.の設定が可能 (従来)分岐/合流なし コース乗せ替えが必要 (一筆書きのみ) (今回)分岐/合流有り 複数コースの行き来が可能
2 コースNo.指定機能	タッチパネルでコースNo.の指示が可能
3 上位システム連携機能	上位システムからコースNo.や発進動作指示が可能
4 走行速度切替え機能	走行経路上のRFIDタグにて5段階の走行速度切替えが可能
5 障害物センサ検知範囲切替え機能	走行経路上のRFIDタグにて31種類の障害物センサ検知範囲切替えが可能

#### 2.2 優れた安全性の実現

障害物センサの検知範囲切替え機能によりお客様の様々なコースレイアウト(狭い通路や設備近傍を通過する場所など)に柔軟に対応可能。さらに障害物センサにはPLd<sup>\*1</sup>に対応したセーフティレーザースキャナを採用した。これにより従来のメカ式バンパーから非接触式バンパーへの変更が可能となった。

また棚間や狭い通路を走行することが多い牽引車は、作業者や他の車両と共に存するため、周囲の作業者に車両の接近を知らせるブルーライトを標準装備した(写真5)。さらに、非常停止スイッチは押しやすさに配慮し、車両四隅にレイアウトした。

\*1 PLd (パフォーマンスレベルd)

PLdは国際規格ISO13849-1で規定された時間当たりの危険側故障確率を示す。PLdは危険側故障確率 $10^{-7}$ 以上、 $10^{-6}$ 未満を示す

#### 2.3 使いやすさの追求

##### 1) 異常復旧のしやすさ

自動機器において、異常発生時いかに短時間

で復旧できるかは大きな課題となる。そこで、RFID<sup>\*2</sup>を用いて車両の現在位置を自動で把握し、異常復旧時に必要な車両の現在位置入力操作を不要とした。また、カラー液晶タッチパネルを搭載し(写真3)、異常内容・復旧手順を表示することにより異常発生時の復旧作業を支援。これらにより、短時間での異常復旧を可能とした。

\*2 RFID (radio frequency identifier)

ID情報を埋め込んだRFタグから、電磁界や電波などを用いた近距離の無線通信によって情報を読み書きする技術

#### 2) 人にやさしい操作性

操舵ハンドルにハイピックリフトで好評の小径ハンドルを採用(写真4)、さらに有人/無人切替えに適したステアリングシステムとして操舵制御安定性の高いステアバイワイヤ方式を採用することにより操作力を低減し、オペレータの疲労を軽減した。



写真3 カラー液晶タッチパネル  
Photo3 Color liquid crystal touch panel



写真4 操舵ハンドル  
Photo4 Steering wheel

また、駆動・操舵ユニットを車両前方に配置し、ユニット化した自動運転コントローラを車両後方

のボデー内部にコンパクトに収めることで、低いボデー高さを実現。これにより牽引台車を連結する際の運転席からの優れた後方視認性を確保した(写真7)。

## 2.4 機能モジュールの共通化

最新のフォークリフトの機能モジュールを採用し、稼働時間をタグノバに対し7%向上した\*3。また、部品共通化によりアフターサービス部品の入手性が向上し、ダウンタイムの短縮にも効果が見込める。

\*3 当社試験サイクルによる実測値。使用する作業環境により異なる

## 2.5 デザイン

### 1) デザインコンセプト

有人/無人切替え可能な点を活かし、機能的で先進性を感じさせる、トヨタブランドに相応しいデザインを目指した。

### 2) 機能的デザイン

センサ類の飛び出しを抑えたフォルム、コーナーを削った造形による小回り性向上、乗車スペース確保、後方ほど低くすることによる連結部の優れた視認性確保、サービス性への配慮などの機能的デザインにより有人でも無人でも使いやすいデザインを実現した(写真5)。



### 3) ブランドデザイン

トヨタ産業車両ブランドの共通のデザイン要素を用いることでファミリーデザインをアピール(写真6)。カラー配色は、ブランドカラーであり、工場内で目立つグリーンやオレンジをメイン色とし、オペレータから見える範囲にグレーを用いる

ことで視覚的ノイズを低減する機能的配色とした(写真7)。フロントランプを2連縦型にレイアウトした非対称ランプグラフィックや、機動性を感じさせるシャープな造形とすることで特徴ある先進性を表現した(写真5)。

### 4) デザイン工法

少量機種の専用意匠部品に対し、高額な金型は使わず、樹脂パネルは真空成型、鉄板部品はダイレス絞り工法を採用した。これにより優れた耐久性と、溶接工法ではできない造形自由度を活かし、運転席前側カバーにおいて運転スペース拡大。バッテリーフードにおいて、補機類のとりつけを考慮しつつインテグレートされた高い意匠性を実現した。

以上のように、お客様の困りごとに柔軟に対応した機能的でスマートなデザインを評価していたとき、2019年度グッドデザイン賞を受賞することができた(写真2)。



写真6 トヨタ産業車両の共通デザイン要素  
Photo6 Toyota Brand icon



写真7 配色デザイン  
Photo7 Coloring design

写真7 配色デザイン  
Photo7 Coloring design

## 3 ダイレス絞り工法

### 3.1 工法の概要

ダイレス工法とは、図1に示すように樹脂製の治具と成形工具、鋼板を固定するワークホルダから構成され、成形工具と治具の間に鋼板をセットする。セット後、ワークホルダが一定量下降し、成形工具で鋼板を治具に押し当てる(図1)。この動作を繰り返すことで成形する工法で、スピニング加工に似た工法である。従来のプレス工法との主な違いを下記に示す。

#### 〈メリット〉

- 専用プレス金型を使用せずに絞り成形部品の製作が可能なため、少量機種に対して大幅な投資低減が可能

#### 〈デメリット〉

- サイクルタイム(分/枚)が長い
- 成形工具を押し当てるため、成形痕による特徴的なマーク(ツールマーク)が発生(写真8)し、塗装外観に影響を及ぼす(仕上げ作業が必要)

従来のプレス工法との比較を表2に示す。

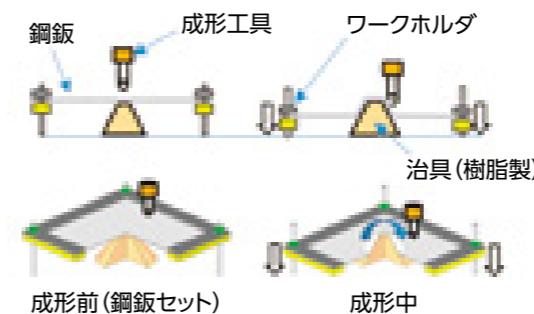


図1 ダイレス工法概要  
Fig.1 Image of dieless method

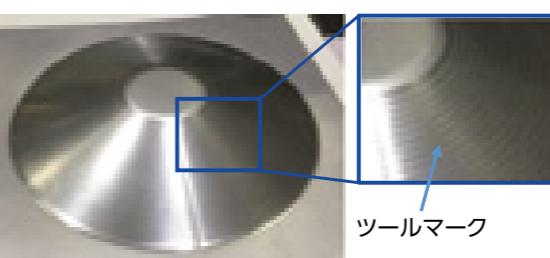


写真8 ツールマーク  
Photo8 Tool mark

## 特定顧客向け 自動運転タガー&ダイレス絞り工法

表2 プレス工法(従来工法)とダイレス工法の比較  
Table2 Comparison of press method and dieless method

特徴	プレス工法(従来)	ダイレス工法(今回)
設備外観	量産部品に適した工法 大型プレス機	少量部品に適した工法 ダイレス加工機
金型・治具イメージ	専用金型	専用治具
設備面積(m <sup>2</sup> )	445	40
金型・治具サイズ(mm)	1270×1380×750	1040×840×380
金型・治具重量(t) (同一製品製作時)	6	0.3
S 型・治具交換作業 リスクレベル (IV → I(良い))	リスクIV (ハイスト作業)	リスクII (リフター作業)
E CO <sub>2</sub> 排出量[t/枚]	0.03	0.006
Q 表面粗度[μm] (基準:10μm以下) (塗装外観に影響)	3~8	80~100 (ツールマーク部位)
スプリング/バック量 *3 (建付け精度に影響)	1	5
C 型・治具費/個[指數] (初期投資+維持管理) *3	1	0.2
D 部品製作[分/枚]*3	1	900
D 生産リードタイム *3	1	0.3

ダイレス工法は、品質とサイクルタイムに課題がある。しかし、プレス工法と比較し、少ない投資と短い生産リードタイムで絞り部品の製作が可能なため、少量機種に対して是有利な工法である。従って、本機種ではダイレス工法を採用することとした。

## 3.2 部品製作の課題

ダイレス工法は既知、既存の技術・工法であるが、今回の対象部品であるバッテリード、運転席前側カバーは外観上最も重要な部位(図2、以下Aゾーンとする)であり、デザイン要求も高く難易度の高い部品であった。

要求品質を満足させるために、生技部もデザイン構造の段階からSE\*4活動に参画し、製品形状をつくり込んだ。その結果、デザイン要件・設計要件を満足する形状にできたため、試作品を製作した。しかし懸念していた品質に関する工法の課題が一部残り、従来の工法では対応できないため、新たな工法開発が必要となった。各部品の要求品質項目と試作結果を表3に示す。

\*4 SE(Simultaneous Engineering)

設計段階から、各部のメンバーが情報を共有し設計図面をつくりあげていく活動



図2 ダイレス絞り工法対象部品  
Fig.2 Works made in dieless drawing method

表3 要求品質項目と試作結果  
Table3 Required quality and trial result

部品	品質項目	基準	試作結果
バッテリード	塗装外観	外観Aゾーンを満足する品質確保 (表面粗度10μm以下)	80~100μm ツールマークが深い 手上げに120分/枚必要 …課題1-① …課題1-②
	寸法精度	精度合格率100% (図面指示:51カ所)	100% ○
運転席前側カバー	寸法精度	精度合格率100% (図面指示:21カ所)	90% (NG:2カ所) 外周トリム後のスプリングバック量が大きい(+80mm) …課題2-① 手修正に150分/枚必要 …課題2-②
	建付け精度	要求精度確保 (ピラーとの隙間0~+3.0mm) 図3 青点線部	+80.5mm 手修正に150分/枚必要 …課題2-②

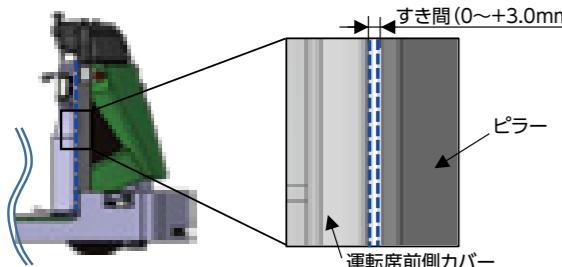


図3 運転席前側カバーとピラーの建付け  
Fig.3 Gap between front cover and pillar

バッテリードでは、ツールマークが80~100μmと深く(写真9)、仕上げ作業に120分/枚の時間が必要となった。そのため、課題1-①、1-②(表3)を解決するために、ツールマークをなくす工法開発に取り組んだ。

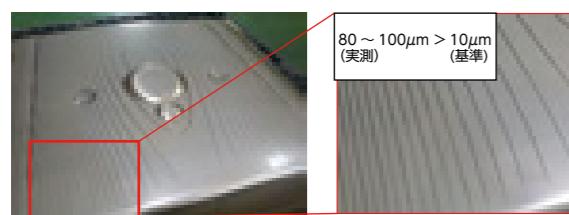


写真9 バッテリードのツールマーク  
Photo8 Tool mark of batteryhood

運転席前側カバーでは、外周トリム後に80mmものスプリングバックが発生(図4)し、寸法精度、建付け精度ともにNGとなり、要求精度を満足するためには、修正作業に150分/枚の時間が必要となった。そのため、課題2-①、2-②(表3)を解決するために、外周トリム後のスプリングバック量を2mm以下に抑制する工法開発に取り組んだ。

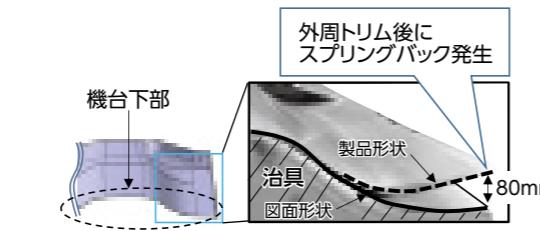


図4 運転席前側カバーのスプリングバック  
Fig.4 Springback of front cover

### 3.3 課題を解決する技術のポイント

#### 1) 課題1 ツールマークレス工法【成形工具レス工法】

従来工法では、製品形状全体を成形工具で押し当て成形するため、製品全体にツールマークが発生する(表4\_試作)。成形条件や成形工具の形状を変更し、試作を重ねたが、外観要求品質を満足する結果は得られなかった。そこで発想を変え“成形工具を押し当てて成形せずに形状をつくることができれば、ツールマークをなくせるのでは”と考えた(表4\_成形工具レス工法)。具体的には、予め鋼鋸を治具に押しつけて形状をつくり、外周のみを成形することで剛性を確保させ、最終形状をつくることに成功した。これにより表面粗度3~8μmとなり、仕上げレスを実現できた。

表4 ツールマークレス工法(成形工具レス工法)  
Table4 New processing method to reduce tool mark

	試作 (従来工法)	成形工具レス工法 (新工法)
成形前		
成形方法	①凸部を成形工具で形状凍結  ②全体を成形工具で形状凍結  ③外周のみを成形工具で形状凍結  ④成形工具レスで形状凍結 	 A-A断面
結果 (表面粗度) 基準: 10μm以下		

#### 2) 課題2 スプリングバック抑制工法【裏面成形工法】

運転席前側カバーは機台下部の剛性が不足しているため、成形後の外周トリム工程で80mmものスプリングバックが発生した(表5\_試作)。従来の対策は外周トリム工程前に熱処理工程を追加し、成形により発生する残留応力を除去し、スプリングバックを抑制していた(表5\_熱処理工程追加)。背反として、追加投資とリードタイムの増加(+1日)となるため、熱処理レスの工法開発に取り組んだ。試作のように1工程後に外周トリムをすると残り応力が解放されスプリングバックが発生する。そこで“1工程後に製品を反転させ、成形する表面の裏面側から再度押し付ければ、蓄積された応力が相殺でき、スプリングバックが抑制できるのでは”と考えた(表5\_裏面成形工法)。その結果、スプリングバック量を大きく低減することができた。その際、裏面側から押し付ける場所、範囲、量などのパラメーターを最適化することで、寸法精度、建付け精度ともに要求精度を満足する良品条件を確立できた。これにより熱処理レスを達成し、投資低減とリードタイム短縮、また修正レスを実現できた。

表5 スプリングバック抑制工法(裏面成形工法)  
Table5 New processing method to reduce springback

	試作	対策
	熱処理工程追加 (従来工法)	裏面成形工法 (新工法)
成形前		
1工程 (成形)		
2工程 (スプリング バック対策)	なし	焼鉈 
3工程 (外周トリム)		治具 トリムライン 
結果 (スプリング バック量) 目標:2.0mm 以下		製品形状(点線部) バック量  図面形状(実線) バック量  ×(80mm) ○(2.0mm) ○(1.5mm)

以上の取り組みにより、品質に関する工法の課題を解決でき、その結果、デザインコンセプトを満足する形状の製作が可能となった。

### 3.4 今後の課題

今回の新工法開発により、デザインコンセプトを満足した部品を製作することができたが、その一方、裏面成形工法の開発により反転工程が追加になったことで部品製作時間は長くなっている。今後は適用部品の更なる拡大のため、ダイレス成形工程の成形時間の短縮、工程集約を進めていきたいと考えている。

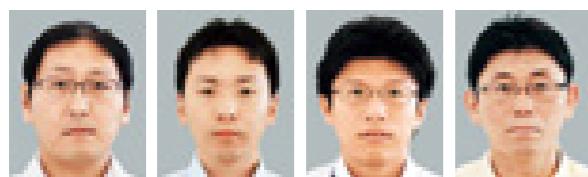
### 4 まとめ

今回開発した自動運転タガーは、フォークリフトの最新技術を導入しつつ、様々な運用が可能な自動化機能を搭載することにより、多様化するお客様ニーズにお応えするとともに人手不足に悩む工場内において、物流現場の改善や省人・省力化に貢献できる製品に仕上げることができた。

また従来、少量機種の外観部品においては、単純な形状(切断→曲)のものが多かったが、今回ダイレス絞り工法を採用し、新工法を開発することで、高機能に見あう先進的なデザインを少量機種で実現できた。今後も少量機種に対して、デザイン形状・機能性を向上させた製品開発ができると考えている。また、本工法は既成のプレス部品からの追加成形も可能なため、適用部品の更なる拡大が期待できる。

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。

## ■著者紹介■



青山 茂樹 黒田 博允 小林 基久雄 溝口 宏徳



山内 大介 加藤 和重 薬師 忠幸

## 技術解説

## 機械学習を活用した受注成否予測による特型フォークリフトのリードタイム短縮 Lead-Time Reduction of Special-Design Forklift Trucks by Order-Winning Prediction Using Machine Learning

小紫 浩史<sup>\*1</sup> 鈴木 亮司<sup>\*1</sup> 塚原 俊英<sup>\*2</sup>

Hiroshi Komurasaki Ryoji Suzuki Toshihide Tsukahara

<sup>\*1</sup> トヨタL&Fカンパニー 製品開発センター CS開発部 <sup>\*2</sup> コーポレート本部 情報システム部

## 要旨

顧客個別仕様のフォークリフト(以下、特型フォークリフト)は受注後に都度で設計を行っているため、設計済みの標準フォークリフトに比べて受注から出荷までのリードタイムが長い。このリードタイムの長期化によってお客様の希望納期を満たせない場合は、失注の可能性が高くなる。本解説では、受注前の引合納期照会段階で機械学習の手法を用いて受注の成否を予測することによって受注に繋がる確率が高い引合案件を抽出し、これらを受注前に設計を行ってリードタイムを短縮するシステムについて紹介する。

キーワード: 特型フォークリフト、リードタイム、機械学習、予測、決定木分析

## Abstract

Customer-specific forklift trucks (special-design forklift trucks) are designed each time after receiving an order, so the lead time from order receipt to shipment is longer than with standard trucks. If the customer's desired delivery date cannot be met due to the extended lead time, there is a high possibility of losing an order. Using the method of machine learning at the stage of inquiries, the inquiries that are highly likely to lead to the orders are extracted by order-winning prediction, and we design the special-design trucks of those in order to shorten the lead time. This report describes the system that lead-time reduction is realized.

Keywords: Special-Design Forklift Truck, Lead Time, Machine Learning, Prediction, Decision Tree Analysis

## 1はじめに

## 1.1 特型フォークリフトの背景

当社は、業界のリーディングカンパニーとして、物流現場で使用されるフォークリフトの開発・生産・販売・サービスを展開している。フォークリフトを提供する中でも、お客様ごとの物流現場に応じたニーズに最適なフォークリフトのご要望があり、オプション設定だけでは実現できない顧客個別仕様のフォークリフト(特型フォークリフト)の受注設計を行っている。近年、この特型フォークリフトの需要が増加している。

図1にて、特型フォークリフトの具体例の写真を示す。事例1では、回転灯をヘッドガードの上部に取り付ける標準オプションに対して、作業場の出入り口が低いお客様では全高が高くなりフォークリフトの出入りができない場合にフォークリフト後方のウエイト部へ回転灯位置を変更する特型仕様である。また事例2では、造船中の船の船下で作業ができるようにフォークリフトの全高を低くする仕様である。これらのように、特型フォークリフトはお客様の目的に合わせて一台一台個別の仕様をお応えしている。

図1 特型フォークリフトの事例  
Fig.1 Examples of Special-Design Forklift Truck

## 1.2 リードタイム短縮の課題

図2に、標準的な特型フォークリフトの業務フローのプロック図を示す。既存のオプションの組み合わせだけではご満足頂けなかった場合、まず、販売店様を介してお客様方に、どのような目的でどのような仕様のフォークリフトをご要望されているかを伺い、これに応じて必要な特型仕様を検討し、その実現可否を含めて仕様内容を回答する。これを仕様設定回答と呼ぶ。商談が次の段階へ進んだ時、多くの商談は受注の前に引合納期照会を行う。これによって、受注後の設計枠の確保、部品納期や生産日程等を含めた計画を立てて、具体的に出荷可能な日程を回答する。この後、この回答がお客様のご要望を満足できれば、受注へと繋がり、

特型設計、出図、部品発注、生産、出荷と進んでいくことになる。

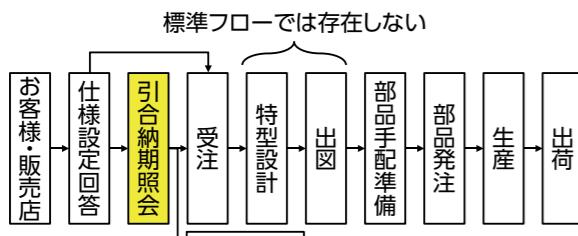


図2 特型フォークリフトの業務フローのブロック図  
Fig.2 Block Diagram of Special-Design Forklift Truck Business Flow

特型フォークリフトの業務フローの場合、標準的な量産フォークリフトのフローと比べて大きく異なるのは、受注後に都度で設計工程が存在することである。従って、標準フォークリフトに比べれば、必然的にリードタイムは長くなり出荷は遅くなる。出図後に特型仕様の新設部品が発生すれば、既存の部品に比べ部品納期も長くなる傾向があり、さらに特型フォークリフトを出荷するまでの出荷リードタイムは長期化する。

このリードタイムの長期化により、お客様の希望納期に間に合わない場合は、引合納期照会段階で失注するケースが存在する。従って、特型フォークリフトの生産、販売において、リードタイムを短縮することは重要な課題である。

リードタイムを短縮するために、受注前の引合納期照会段階で事前設計をするフローを図3に示す。引合納期照会段階から受注までの受注待ちを利用して設計することにより、設計着手が早くなったり分の期間をリードタイム短縮することが可能である。図中では、従来のフローで8週間の出荷リードタイムであったが、2週間の設計期間を短縮して6週間のリードタイムを実現する事例を示している。

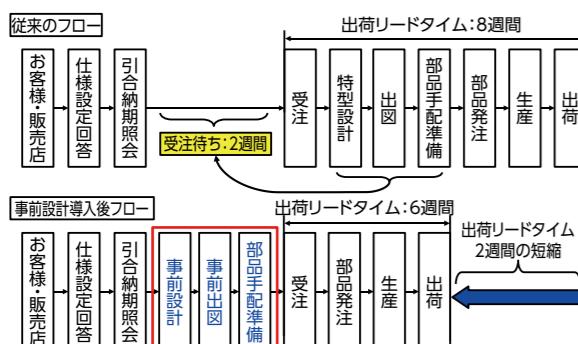


図3 リードタイム短縮の業務フローのブロック図  
Fig.3 Block Diagram of Lead-Time Reduction Business Flow

しかし、引合納期照会に依頼された商談が全て受注に繋がる訳ではない。たとえリードタイムを短縮してお客様の希望納期に間に合ったとしても、仕様・性能や価格等の別の要因にて失注する商談が存在する。もし受注前の事前設計を実施した案件が失注した場合は、設計や出図処理等が無駄になり、工数をロスする。従って、この工数ロスを低減するためには、希望納期を満たすことによって受注が成功する商談案件を引合納期照会段階で予測(受注成否予測)して抽出しなければならない(図4参照)。

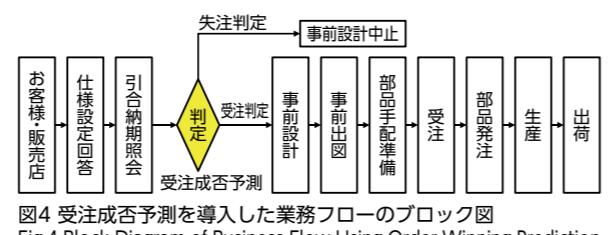


図4 受注成否予測を導入した業務フローのブロック図  
Fig.4 Block Diagram of Business Flow Using Order-Winning Prediction

本解説では、機械学習によって実現した受注成否予測のモデリング手法を説明し、このモデルと連携することによって受注前に特型フォークリフトの事前設計を行い、リードタイムを短縮するシステムについて述べる。

## 2 機械学習による受注成否予測

### 2.1 機械学習と予測モデル

引合納期照会段階での受注成否予測を実現するにあたり、この予測のインプットとなる引合納期照会データが、多次元(説明変数が多い)かつ大標本という特徴であることが挙げられる。入力変数が非常に多次元なため重回帰分析等の統計手法は不適と判断し、機械学習手法の適用を検討した。

機械学習とはコンピュータに物事やルールを覚えさせてるために学習させることである。また、機械学習により過去のデータを学習してモデルを作成することにより、将来の予測が可能となる。このモデルが予測モデルである。

予測モデルを作成する標準的なプロセスとしては、CRISP-DM (CRoss Industry Standard Process for Data Mining) やSEMMA (Sample, Explore, Modify, Model, Assess) などがある。これらの中でCRISP-DMは、業種や使用されるテクノロジーに限定されず有用であり<sup>[1]</sup>、より完全なメソドロジーであると報告されている<sup>[2]</sup>。図5

はCRISP-DMのプロセスフロー図である。本取組みはこれに従い、CRISP-DMの手順で進めた。

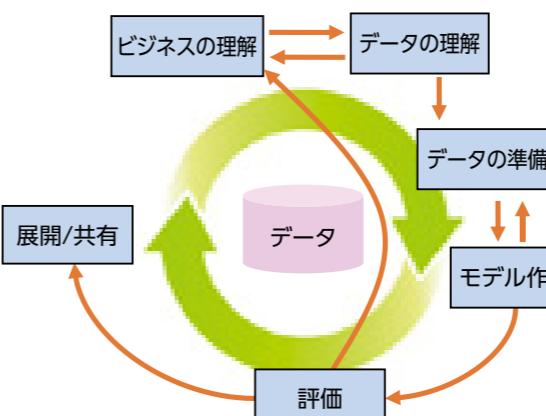


図5 CRISP-DMプロセスのフェーズ  
Fig.5 Phases of the CRISP-DM Process Model

今回の受注成否予測に関して、引合納期段階で受注すると予測して設計したものが失注した場合に、工数ロスが発生する問題があることを前述した。つまり言い換えると、受注すると予測するものが実際に受注する確率(適合率)を向上させることを最も重視しなければならない。この点については、工数ロスの影響を受ける関係各部署と協議した結果、適合率90%以上を目標値として同意した。これを達成した上で、受注と予測して抽出できる商談案件の数を最大化する受注成否の予測モデルを実現させる。

### 2.2 決定木分析によるモデリング

機械学習に用いるデータには、商談結果が確定した過去の引合納期照会のデータ(約29,000件)を使用する。この引合納期照会データの次元数(説明変数の数)は100以上であり、非常に多い。そこで、データの理解としてデータを取得し内容を整理・検討した結果、ランダムに割り振られる値や単体では意味を持たない値については学習には不要である(機械学習の処理ができない可能性がある)ため、予めこれらの変数を除外し、学習に用いる説明変数の数を46まで削減した。また、データの準備の段階では、空白やヌル値などの処理をデータクリーニングとして実施した。これらによって、受注成否予測モデルの学習を効率よく行うことができる。

機械学習としては様々な手法が提案されているが、判別のプロセスを樹形図上に表すことができ、直感的に理解しやすく説明力が高いため、今回は

まず決定木分析を用いた。決定木分析の事例を図6に示す。決定木分析とは、データを集中度の指標がより高い(低い)セグメントにグルーピングしていく分析である。目的変数に対して影響の強い説明変数を見つけ出し、樹形状のモデルを作成することから決定木と呼ばれる。

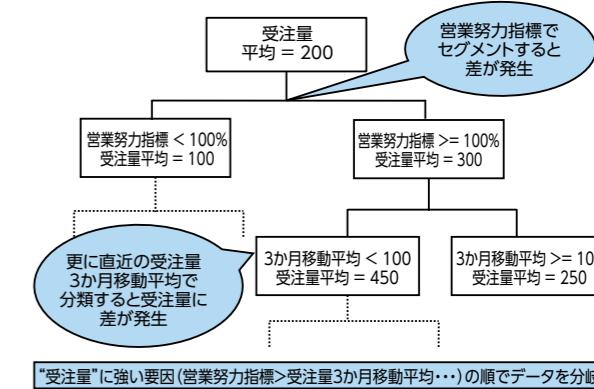


図6 決定木分析の事例  
Fig.6 Example of Decision Tree Analysis

受注成否予測モデルの作成・分析ツールには、IBM製予測分析プラットフォームのIBM SPSS Modelerを使用した。決定木分析によるモデルを作成するにあたり、過学習せずに汎化能力を向上させるために閾値を設けて意味の小さい枝葉が発生せぬように分歧を停止させた。また、終端ノードでの正しく分岐した(予測した)割合を予測に対する確信度として扱うこととした。

決定木分析によって作成した受注成否予測モデルの評価結果を図7に示す。確信度を受注判定する閾値とし、適合率と受注予測件数のそれぞれの確信度への依存性を表している。閾値の確信度を上げることにより、適合率は向上するが、一方で受注予測件数が減少する。確信度90%を受注判定閾値としても適合率は84%しかなく、目標とする90%を満たすことができないため、受注成否予測モデルの適合率向上をはからなければならない。また、受注予測件数については、確信度50%の閾値に対して確信度90%では約4.8%の数(793件)しか判定できず極めて少なく、この件数を増加させる必要がある。

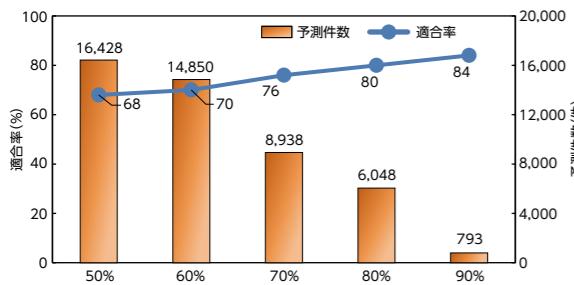


図7 決定木分析による受注成否予測モデルの評価結果  
Fig.7 Evaluation Results of Order-Winning Prediction Model Using Decision Tree Analysis

### 3 受注成否予測モデルの適合率向上と予測件数増

#### 3.1 ベテランの経験の説明変数化

受注成否予測モデルの適合率を向上させて、かつ、予測件数を増加させるため、2つのアプローチを行った。まず第1のアプローチはベテランの経験の説明変数化である。引合納期照会を担当するベテランの知見者は処理を行う際に経験上で受注するかしないかを予測して、処理時のプライオリティを決定している。このときの予測する視点(経験者のカントツ)に着目する。

何点かの予測の視点が提案され議論した結果、その中で4つの入力変数の追加を試行し、最終的には2つの新たな説明変数を採用した。一つは引合納期照会の依頼日と受注予定日との差分であり、これを新たな“受注予定日”として変数変換する。この値が大きいほど遠い未来であり、小さいほど近々の予定ということになり、小さい値の方がより受注の可能性は高いと想定している。もう一つは、引合納期照会の依頼者が記載する備考欄への記載事項である。引合納期照会の処理者が処理を行う際に実オーダーへ繋がる可能性(依頼者の感覚)をここから読み取っている。備考欄に記載された日本語の“意図”抽出は別途の複雑な処理が必要なため、本受注成否予測モデルでは、決められたキーワードの記載有無を“0”と“1”的フラグへ変換する簡単な方法で新たな説明変数とする。

これらの採用による効果を受注成否予測モデルで評価した結果、確信度の閾値90%とした場合で適合率が9%向上して93%を達成することができた。また、この時点での受注予測件数は1050件であり、これも257件増加した。

#### 3.2 アンサンブル学習

次に、受注成否予測モデル改良の第2のアプローチとして、アンサンブル学習<sup>[3]</sup>を用いた。アン

サンブル学習とは、複数の学習結果を用いて1つの同じ問題を解決するように構築された機械学習手法である。図8にアンサンブル学習の概念図を示す。アンサンブル学習は単独の学習結果を用いるよりも予測精度ははるかに向上するが、一方でデメリットとして説明力の不足が挙げられる。アンサンブルによって得られた知見は、ユーザーにとって理解が困難なのである。

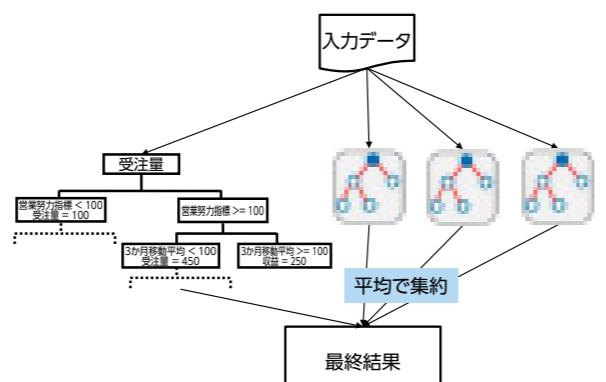


図8 アンサンブル学習の概念図  
Fig.8 Conceptual Diagram of Ensemble Learning

アンサンブル学習を適用する前に、他の代表的な機械学習手法との比較評価を行った(図9参照)。特にSVM(Support Vector Machine)では、非常に多くの受注予測件数(5,417件)を得られるが、適合率は90%に満たない。これらの結果から、いずれの手法においても単独の機械学習手法だけでは、90%以上の適合率と決定木分析以上の受注予測件数の両方を同時に達成することができないと判断した。

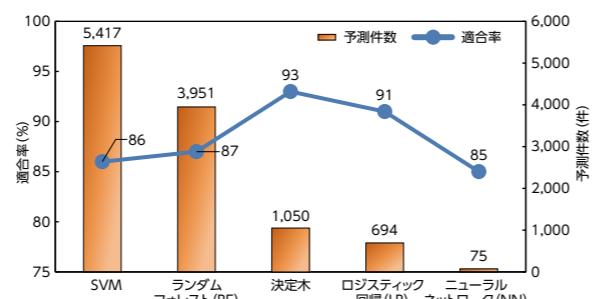


図9 機械学習手法の比較結果  
Fig.9 Comparison Results of Machine Learning Methods

これに対して、アンサンブル学習によって2つの機械学習手法を組み合わせた受注成否予測モデルの評価結果が図10である。図中では、決定木分析と同等以上の適合率(93%以上)の結果のみを示している。決定木分析とSVMを組み合わせたモ

デルで受注予測件数が最大化し、確信度90%の閾値で適合率93%を達成すると同時に、予測件数は2,618件へ増加した。これは、アンサンブル学習を適用する前の決定木分析単独のモデル(受注予測件数1,050件)に対して、約2.5倍である。

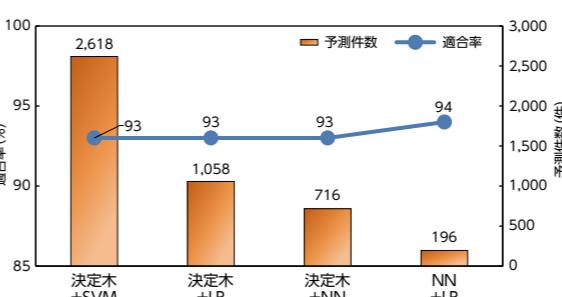


図10 アンサンブル学習の評価結果  
Fig.10 Evaluation Results of Ensemble Learning

#### 3.3 受注成否予測モデルの評価結果

前節で作成した受注成否予測モデルに対して、学習完了後に依頼された引合納期照会のデータ500件を精度比較検証用のデータセットとして用い、評価を実施した。本データは学習に用いられていないのは明らかであり、しかも予測をした時点では受注成否が未確定の状態である。

予測モデルの出力した結果に対して確信度90%を閾値として受注予測の案件の抽出を行ったところ、39件を抽出した。この抽出した案件の経過を追跡し、実際の受注を確認できたのは36件であった。つまり、この39件抽出した中で36件が受注したので適合率は92%(=36件/39件)であり、前述のモデル作成時点での適合率93%とほぼ同等の評価結果が得られた。本結果から、今回実現した受注成否予測モデルは過学習されておらず汎化能力があり、実運用上で所望の特性を得られる可能性が高いと考えられる。

#### 4 基幹システムとの連携

今回作成した受注成否予測モデルを基幹システムと連携し、受注成否予測に基づいて引合納期照会段階で事前設計に着手できるようにシステム改修を行う。

従来の基幹システムでは、受注成否予測モデルの連携機能もなく、また、引合納期照会段階と受注段階で処理者が利用する画面が異なっていた。そこで、今回の基幹システムへの組込みにあたり、第1の改良として受注成否予測モデルと基幹システムをファイル授受方式による連携、第2の改良と

して引合納期照会段階で処理者が利用する画面を受注後に利用する設計処理画面と共に通化(事前設計の実行可能化)、第3の改良として受注確率の算出結果を基幹データベースで保持、以上の3つを実現する改修を行った。

第1の改良では、受注成否予測モデルと基幹システムを疎結合で連携させることにより、受注成否予測モデル更新時に基幹システム側への影響を最小化することができた。第2の改良により、引合納期照会の処理者が事前設計指示の処理をする場合、および、従来通り受注後に設計着手する場合のどちらも同じ手順で設計業務の着手指示を出すことが可能となった。第3の改良により、事前に算出した確信度と実際の受注結果との比較を行い、継続的に受注成否予測モデルの精度向上を行えるようとした。

図11に、改修を行った基幹システムのプロック図を示す。お客様からの引合納期照会のデータは基幹データベース側に保管され、受注成否予測モデルは、登録された引合納期照会データを基幹データベースから取得(①)し、対象の引合納期照会の案件に対して確信度を算出して、これを2つの閾値によって3つのレベルへ変換する(②)。変換した結果を基幹システムが取得(③)し、基幹システムで確信度を“受注確度”と表記して3つのレベルを“高”、“中”、“低”で表現して色分けして表示する(図12参照)。確信度を数値表現ではなく3レベルに留めることにより、確信度の数値による判断に時間を要して考えることなく、直感的にわかりやすく処理に時間をかけることがないインターフェースにした。引合納期照会の処理者は基幹システムで確信度(受注確度の表示)を確認し、“受注確度”が“高”的に優先的に事前設計の着手指示を出す(④)。受注成否予測モデルの出力結果は事前設計の有無の情報を合わせて、基幹データベースに保管(⑤)され、以降の受注成否予測モデルの更新に活用される。また、本システム連携において、①～③の処理は引合納期照会の処理者の業務に影響を及ぼさないように、販売店からの引合納期照会依頼の受付から最大約15分で実行処理される。

本基幹システムの改修、立ち上げ後の数ヶ月間の運用で26件の事前設計を実施した。事前設計によるリードタイム短縮を達成した結果、22件が受注に成功した。つまり、実際に事前設計を実施した案件での適合率は85%(=22件/26件)であり、モ

デーリング時点の結果に達しなかった。これについては、前記基幹データベースに保管されたデータを基に解析を進め、受注成否予測モデルの改良を継続していく。

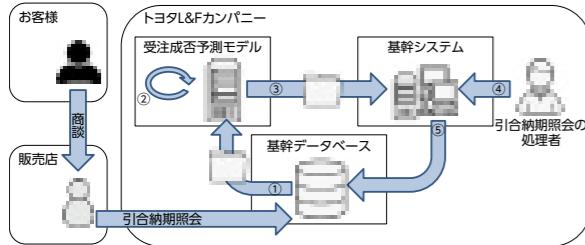


図11 改修後の基幹システムブロック図  
Fig.11 Block Diagram of the Core System after Improvement



図12 基幹システムにおける確信度表示  
Fig.12 Display of Certainty Factor in the Core System

## 5まとめ

特型フォークリフトのリードタイム短縮に必要な受注前の事前設計を行うために、機械学習による受注成否予測モデルの実現方法について述べた。ベテランの経験の説明変数化やアンサンブル学習によって、予測モデルの適合率を向上させて実運用レベルの精度を達成した。さらに、本予測モデルと基幹システムとの連携システムを構築することによって、実際に引合納期照会段階で受注前の事前設計を行い、特型フォークリフトの出荷リードタイム短縮に繋げることができた。

今後も引き続き予測モデルの高精度化を行うことにより、さらにより多くのお客様に対してご希望の納期通りに特型フォークリフトをお届けするとともに、また一方で、得られた機械学習手法の知見を社内の新たな業務改善へと展開する。

最後に、本システム開発にあたり多大なご指導・ご協力を頂きました(株)AIT様、(株)豊田自動織機ITソリューションズ様はじめとする社内外の関係部署の皆様に深く感謝申し上げます。

## ■参考文献

- [1]Rüdiger Wirth and Jochen Hipp, "CRISP-DM: Towards a Standard Process Model for Data Mining", Proceedings of the Fourth International Conference on the Practical Application of Knowledge Discovery and Data Mining, pp.29-39, 2000.

Fourth International Conference on the Practical Application of Knowledge Discovery and Data Mining, pp.29-39, 2000.

[2]Ana Azevedo and M.F. Santos, "KDD, SEMMA and CRISP-DM: A Parallel Overview", Proceedings of the IADIS European Conference Data Mining, pp.182-185, July 2008.

[3]Zhi-Hua Zhou, "Ensemble Learning", in: Stan Z. Li, ed. Encyclopedia of Biometrics, pp.270-273, Springer, 2009.

## ■著者紹介■



小紫 浩史 鈴木 亮司 塚原 俊英

## 開発の経緯と開発者の思い

特型フォークリフトは代わりが効かないからこそ、お客様のご希望通りにお届けしたいと考えています。しかし、引合納期照会で希望納期を確認した際に、“受注してから設計しては間に合わない”と感じることがあります。ただ、間に合わせるために受注前の設計をして受注できなかったら、自部署だけでなく他の関連部署の工数を無駄にするリスクがあります。そこで、まずは“過去の実績から受注する可能性を定量化できないか”と考え、開発をスタートしました。

開発途中で今回の取組みを関連部署の皆様にご説明して試行した際には、我々の機械学習の手法を信頼して前向きにご協力して頂いたことはとても嬉しい限りです。

初めて事前設計をした時は、受注が来るか来ないかの不安が大きく指折り受注を待つ日々を過ごしましたが、今は安心してシステム運用ができるようになりました。そして、我々の思いは、希望納期に間に合うことで少しでもお客様のお役に立っていることを期待しています。

今後もチャレンジングな取組みを実践して、より多くのお客様に貢献できるよう業務を推進して参ります。

# プロセスダンピングツールを利用した旋削加工におけるびびり振動抑制 Suppression of Chatter Vibration Using Process Damping Tool in Turning

嶋野 洋<sup>\*1</sup>

Hiroshi Shimano

\*1 コンプレッサ事業部 生産技術部

**要 旨**

切削加工におけるびびり振動は、工具や工作物が様々な要因から振動することで発生する。その結果、加工面にびびり模様が現れ、仕上げ面性状の悪化と工具の損傷を促進する。このようなびびり振動の問題に対して、様々な対策手法が存在しているが、実際の加工現場では、その要因解析自体が難しく、試行錯誤で改善しているのが現状である。こうした中で、今回はコンプレッサ用部品の旋削加工に対して、加工面からびびりの発生要因を解析し、その結果からプロセスダンピングと呼ばれる現象を利用した工具を開発した。本報告ではその解析手法の解説と開発工具による改善事例を紹介する。

キーワード: 切削加工、びびり振動、びびりマーク、プロセスダンピング

**Abstract**

Chatter vibration in cutting is caused by vibration of tool and workpiece due to various factors. As a result, a chatter mark appears on the machined surface, which promotes deterioration of finished surface and tool damage. There are various countermeasures against the chatter vibration problem, but at the actual machining site, the factor analysis is difficult, and the present situation is that it is improved by trial and error. In this time, we analyzed the cause of chatter from the machined surface in the turning of compressor parts, and developed a tool that utilizes the phenomenon called process damping. In this report, we explain the analysis method and introduce the improvement case by the developed tool.

Keywords: Cutting, Chatter vibration, Chatter mark, Process damping

**1 はじめに**

コンプレッサ事業部の加工ラインは、高速・高精度加工が求められているため、特殊形状を有する専用設計の切削工具を数多く使用している。また、加工時に被削材との干渉を避けるため、剛性の低い形状の工具も存在する。被削材についても、製品モデルによって、その形状は様々であり、今回対象としている加工部品も、薄肉の物もあれば厚肉の物もある。

こうした中で、どの加工現場でも悩みとなるびびり振動は、工具剛性、被削材剛性、被削材のクラシプ方法などが複雑に関連して発生する。そのため、原因追及が難しく、対策についてもトライアンドエラーが多い。今回の報告では、コンプレッサ用部品の内径旋削加工に対して、FFTアナライザやシミュレーションソフトを利用してことで、びびりの発生原因の検証から、対策工具の開発まで、効率的に進めることができ、その有用性が確認できたので報告する。

**2 対象工程と課題について**

今回対象にしている工程について説明する。加工姿勢は図1に示す通りで、この工程では対象部品のボスと呼ばれる部分をクランプし、φ104の大径とφ17の小径の内径旋削仕上げを行ってい

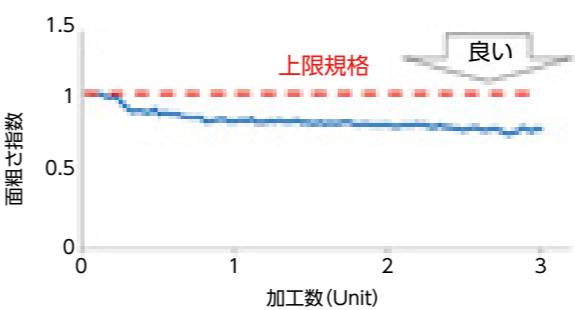
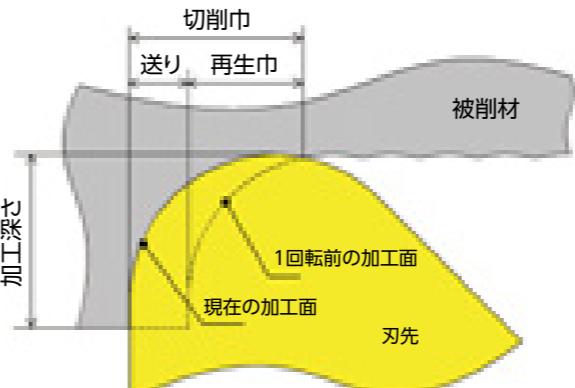
る。また、サイクルタイムの観点から、同図の破線で示したツールパスで、φ17の内径加工が可能な先細のバイトで大径側のφ104も加工している。

この工程の課題の一つは、びびり振動による短命な刃具寿命である。状況としては、刃具交換直後にφ104の大径部で図1の様なびびり模様が現れたり、初物が良好でも、切削加工を続けると、同様のびびりが発生する。結果として、他の切削工具と比較して寿命が短く、刃具費が高くなる。また、びびりの発生頻度が製品モデルの形状に依存している傾向もあり、どのモデルでも正常に加工できるよう対策が必要である。

図1 加工概要図と内径加工面のびびり模様  
Fig.1 Machining outline diagram and chatter mark

もう一つの課題は加工面粗さである。図2に刃具寿命まで記録したφ104の面粗さデータを示しているが、刃具交換直後に規格の上限付近で推移

している。初物で粗さが規格外となる場合があるので、本来、加工送りを低速側へ変更したいが、送りを落とすと、その際にもびびりが発生するため、必要以上の高送り加工になっている。この現象については、刃先のノーズRと送りの関係で、送りが高い程、切削巾に対する再生巾が小さくなり(図3)、1回転前の加工面の影響を受け難くなることで、びびりが低減できていると考えられる<sup>[1]</sup>。こうしたことから、安定した面粗さの品質確保も必要であり、この工程はびびり振動と面粗さの問題が連立する極めて不安定な加工になっている。

図2 面粗さの推移  
Fig.2 Transition of surface roughness図3 切削巾と再生巾の関係  
Fig.3 Relationship between cutting width and regenerative width**3 びびり振動の要因解析**

多くの場合、切削工具や被削材の周波数特性と加工振動の周波数ピークを比較することで、発生要因を特定できる<sup>[2]</sup>。しかし、今回は仕上げ旋削ということもあり、削り代が少なく、振動レベルが小さいため、加工振動を測定しても特出した振動周波数のピークが確認できず、この手法は使えなかった。このため、今回は周波数特性と加工面のびびりマークと呼ばれる周期的な切削痕を比較することで、その要因を検証した。

FFTアナライザで測定した被削材とバイトの周波数特性を図4に示す。結果から、被削材はバイト

よりも剛性が低く、複数の振動モードを持つていることが分かった。

図4 被削材とバイトの周波数特性  
Fig.4 Frequency characteristics of workpiece and cutting tool

次に、びびりマークを調査した。びびりマークは、図5の様に横穴を境にして模様の傾斜角が変わっている。これは加工回転数の違いに起因していて、上側は低剛性のため、真円度の向上を狙い低速回転で加工し、下側は高剛性なので、高速回転で加工していることによる。横穴を境界として上側と下側で、それぞれの真円度を測定し、びびり振動から成形されるうねりの山数を確認した。また、山数と加工回転数から、振動周波数を計算し、それを図6にまとめた。ここで、山数:N、加工回転数:Sとする、振動周波数:fvは、 $fv = N \cdot S / 60 \dots \text{式(1)}$ と求まる。

結果から、図4と照らし合わせると、3,200Hz付近の共振周波数が振動周波数と近く、びびりの原因は被削材側であると判明した。

全体写真	拡大写真
上側	
下側	

図5 びびりマークの詳細  
Fig.5 Chatter mark detail

104

豊田自動織機技報 No.71

技術解説

105

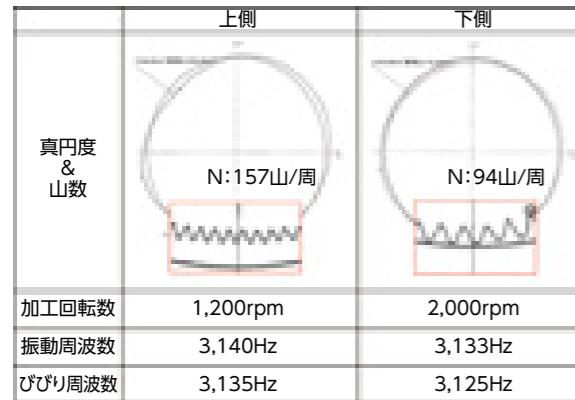


図6 真円度とびびり周波数  
Fig.6 Roundness and chatter frequency



図7 びびりマークと加工条件の関係  
Fig.7 Relationship between chatter mark and cutting condition

続いて、実際のびびり周波数を推定する。びびり周波数は先に求めた振動周波数とは若干異なり、図7で示す様に、刃先の1回転後で加工面のうねりに位相差が生じることで、びびりマークの傾斜角:  $\theta$  が現れる。よって、振動周波数よりも、びびり周波数は低くなるはずである。こうしたことから、まずは図5のびびりマークの傾斜角を測り、加工面のうねりにどれだけ位相差が生じているのかを計算して、びびり振動発生時の波長:  $\lambda$  を求める。

びびり傾斜角:  $\theta$ 、加工径:D、加工送り:fとする

$$\alpha = f/\tan \theta \quad \dots \text{式(2)}$$

となり、波長:  $\lambda$  は

$$\lambda = (\pi D + \alpha) / N \quad \dots \text{式(3)}$$

となる。よって、びびり周波数:  $f_c$  は

$$f_c = (\pi D \cdot S / 60) / \lambda \quad \dots \text{式(4)}$$

と計算できる。

壁面の上下側で、それぞれのびびり周波数を求めた。結果を同図の図6に示す。この結果より、被削材の上下でびびり周波数が異なることが分かる。

次に、びびりマークをシミュレーションで検証した。結果を図8に示す。この結果から、図5のびびりマークの特徴を捉えており、上側は傾斜角が強

く、下側は緩やかになり、びびり周波数の確からしさを確認できた。

これにより、加工振動からびびり周波数を特定できない場合でも、加工面から推定して、次の対策アクションへ移行できる。

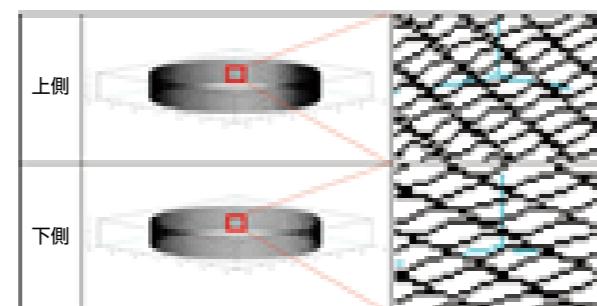


図8 びびりマークのシミュレーション結果  
Fig.8 Simulated surface in chatter

#### 4 びびり振動の対策手法

今回の様な薄肉旋削加工におけるびびりの対処法として、外径を拘束する制振バンドや制振装置が提案されている<sup>[3]</sup>。しかし、当社の自動加工ラインへの適用を考えると、こうしたツールや装置の導入はコスト面で難しく、今回は工具形状の変更と加工条件の調整で対処していく。

びびり振動の対策手法における、当社オリジナルの適用マップを図9に示す。今回の旋削加工においては、プロセスダンピングと安定ポケット理論が適用できるが、旋削加工はエンドミル加工等のツール回転による加工と比較して、主軸回転数の使用領域は低回転側である。よって、このマップからも分かる通り、プロセスダンピングを適用するのが適当である。プロセスダンピングとは、図10に示す様に工具の逃げ面と被削材の加工面が接触することで、振動の減衰力(プロセスダンピング力)が発生し、びびりが抑制される加工現象である。

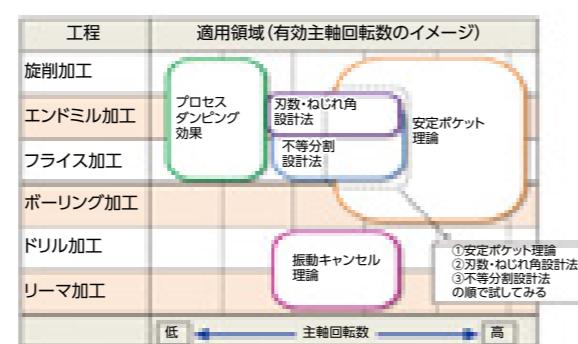


図9 びびり振動の対策適用マップ  
Fig.9 Chatter vibration countermeasure application map

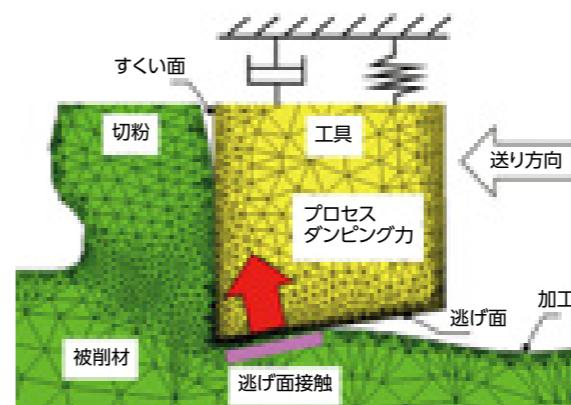


図10 プロセスダンピングの概要図  
Fig.10 Outline diagram of process damping

#### 5 プロセスダンピングを利用した工具の開発とその効果

このプロセスダンピングを積極的に利用する工具の設計手法は、文献[4,5]で紹介されているが、振動抑制に対するロバスト性や、刃先の作り勝手の面から、本件に対してそのまま適用するのは難しい。そこで今回は、どの製品モデルの共振周波数でも制振効果を持ち合わせること、刃先の作り易さも考慮して、図11に示すバイトを設計開発した。刃先は荒刃R<sub>1</sub>と仕上げ刃R<sub>2</sub>を持つ複合的なR形状で構成されており、荒刃にダンピング機能を持たせているので、加工面がむしれても、仕上げ刃により良好な面を得ることができる。また、荒刃の2番角を0°とすることで、どんなびびり周波数でもダンピング効果を得ることができる。

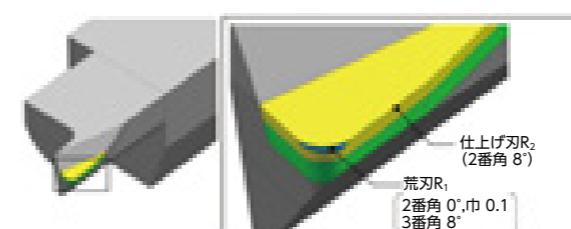


図11 開発バイトの刃先構成  
Fig.11 Development tool edge configuration

今回設計した刃先に対し、ダンピング効果をシミュレーションで確認した。その際、先の真円度測定で得られたびびり周波数や、振幅の測定結果を用いた。結果を図12に示す。2次元切削での簡易的な計算ではあるが、開発したバイトは、背分力が瞬間に20N増大しており、プロセスダンピングの発現が確認できる。

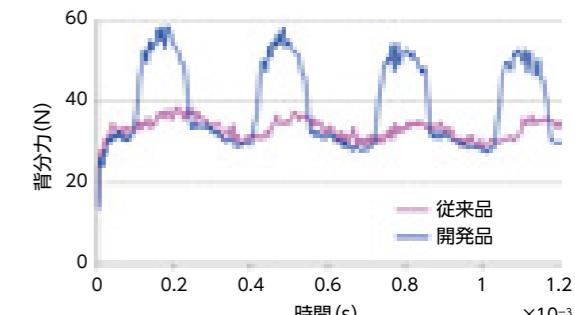


図12 シミュレーションによる各バイトの背分力  
Fig.12 Simulated back force

上記で設計したバイトを製作し、実機にセットして加工した。初物に対する面粗さの品質確保を狙い、加工条件を従来バイトでびびりが発生する低送り側へ変更したが、結果は図13に示す通り、良好な加工面を得られた。次に、連続加工した結果を図14に示す。粗さは問題ないレベルで推移し、刃具寿命に関しては、従来よりも3倍以上延長することができた。

その後、さらに加工を続けると、従来品と同様にびびりが発生した。その要因としては図15の逃げ面摩耗写真で分かる通り、荒刃の逃げ角0°の面が摩耗によって小さくなり、ダンピング効果が薄れ、加工安定限界を超えたためだと考える。また、仕上げ刃は40 μmの摩耗が確認でき、切削負荷も増大したことが、もう一つの要因である。

制振性能のロバスト性については、開発工具を複数のラインへ展開し、どの製品モデルでも問題なく加工できたので期待通りであった。

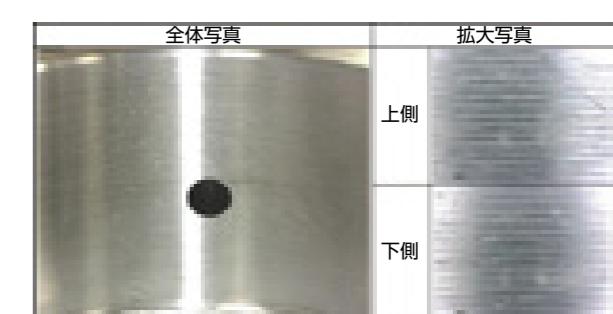


図13 開発品による加工面  
Fig.13 Machined surface with developed tool

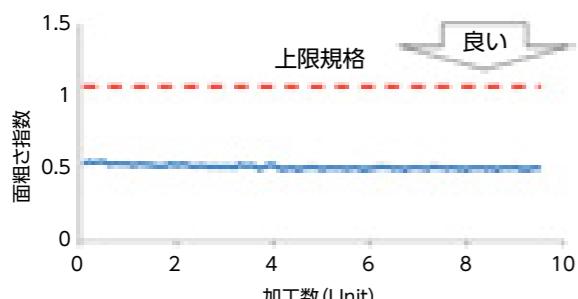


図14 開発品による面粗さの推移  
Fig.14 Transition of surface roughness with developed tool

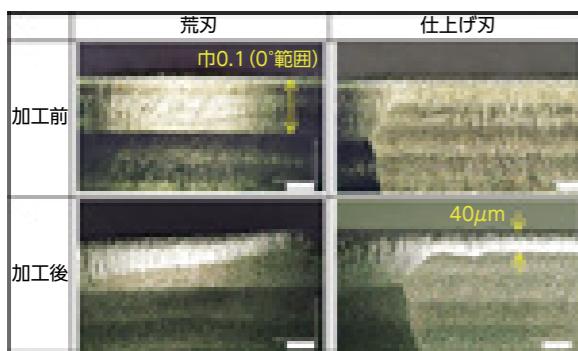


図15 逃げ面の比較と加工後の摩耗量  
Fig.15 Comparison of flank faces and amount of wear after machining

## 6まとめ

今回、加工振動からびびり周波数を測定できない仕上げ加工に対して、加工面から周波数を推定する手法を提案し、シミュレーションによりびびりマークを再現した。また、その解析結果から、プロセスダンピングを利用して、かつロバスト性を有する専用バイトを設計開発した。結果として、びびりの抑制と面粗さの向上を両立し、刃具寿命の延長が可能となった。

開発工具に関しては、その他のびびり易い加工工程へ横展開が可能と考える。例えば、細穴の超精

密仕上げが必要な加工では、バイトの径が極細となる。このため、今回とは逆に、工具の動剛性が原因でびびりが発生する可能性があるが、その場合にも、ダンピングツールが活用できる。

最後に、この活動にご協力頂いた関係部署各位に深く感謝申し上げます。

## 参考文献

- [1]鈴木教和:切削加工におけるびびり振動(前編),精密工学会誌 Vol.76, No3, 2010
- [2]星鉄太郎:機械加工の振動解析 最近の診断解析ツールと安定ポケット理論の実用, 平成23年 先端加工技術セミナー
- [3]川田昌宏:航空機用薄内部品の切削加工時に発生する工作物変形型びびり振動の抑制技術の開発, 平成28年 戦略的基盤技術高度化支援事業 研究開発成果等報告書
- [4]内山大輔:旋削加工におけるプロセスダンピングのびびり振動の安定性に対する影響, 2014年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集
- [5]井桁秀徳:切削加工におけるびびり振動抑制を実現する逃げ面テクスチャの提案, 2017年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集

## ■著者紹介■



嶋野 洋

## 開発の経緯と開発者の思い

これまでの工具開発は、担当者の勘と経験で進めることが少なくありませんでした。今回の案件も、見た目の「先入観」から、先細いバイトの剛性不足が原因ではないのかと、材質をスチールから超硬に変えたり、「何気なく」切削負荷の低減を狙って、刃先のノーズRの大きさを変えてみたという経緯もありました。しかし、最近ではFFTアナライザやハイスピードカメラ等の可視化ツールが充実してきて、複雑な加工現象の解析が可能になり、今回の様にびびりの原因も判明できるようになりました。また、文献技術を効果的に取り入れることで、「先入観」や「何気なく」の対策では無くなり、確実にびびりを抑制する新しい刃先形状を生み出すことができました。

これからも、新しい切削理論を積極的に取り入れ、高速・高精度加工を目指した設計はもちろんですが、切り屑処理の向上など、現場の嬉しいに繋がる工具を開発ていきたいと思います。

## 技術解説

# ダイカスト金型加工における刃具寿命管理システムの開発 Development of Tool Life Management System for Die Machining

花井 真澄 \*1 金子 博厚 \*1 大嶽 篤司 \*1 石田 大介 \*2 杉原 紗子 \*3  
Masumi Hanai Hiroatsu Kaneko Atsushi Otake Daisuke Ishida Ayako Sugiura

\*1 コンプレッサ事業部 アルミ技術部 \*2 コーポレート本部 情報システム部 \*3 (株)豊田自動織機 ITソリューションズ

## 要旨

当社ではコンプレッサの製造を行っており、そのハウジングはダイカスト製である。大府工場では、そのダイカストで使用する金型を内製している。従来のベルト駆動向けに加え、近年の電動化による製品ラインナップの増加とコスト競争により、金型は今まで以上に多品種少量生産への対応と高寿命化が求められてきている。金型材料の高寿命を狙った高剛性化で加工難易度が上がっており、刃具寿命の低下と刃具の種類の増加がそれに伴う課題になっている。本稿では、トレーサビリティの技術を応用し、刃具を個体管理するシステムを開発・運用することで、刃具費を低減した事例を報告する。

キーワード:ダイカスト、金型加工、刃具寿命、二次元コード、バーコードリーダー、レーザマーカー、リユース

## Abstract

The housing parts for compressor are made by die-cast. Obu plant makes the die for die-cast in house. In current situation, we must achieve the proper die-manufacturing style for many kind and small amount production volume, and make die life time longer. In die machining process, the new die material for long die life time makes die machining harder. As a result, it causes the increasing of the kinds of tools and decreasing the tool life time. In this report, we introduce the tool management system by identifying and tracing each tool.

Keywords: Die-casting, Die-machining, Tool Life, 2D-code, Barcode reader ,Laser marker, Reuse

## 1はじめに

### 1.1 金型産業(事業)を取り巻く環境変化

日本の金型産業は戦後の高度成長とともに大きく発展してきた。当社においても1983年よりダイカスト向けの金型の生産を開始し、会社事業の発展に貢献してきた。

バブル崩壊以降も金型産業(事業)は大きな影響を受けず、不況に強いと言われてきたが、2000年代に入り取り巻く環境に大きな変化を迎えていく。グローバル化とIT(CAD/CAM)の発展により良品廉価な金型が海外でも調達が可能になってきた。更に2008年金融危機以降はコスト競争の激化と団塊の世代の定年、少子高齢化による金型産業の空洞化により、海外からの金型調達が加速し、当社においても国内金型事業の変革が求められるようになった。

### 1.2 変革のはじまり 型費低減プロジェクト発足

2010年からコンプレッサ製品設計とダイカスト製造工程が連携し、内製金型部門にしかできない高機能金型の開発と金型製作の各工程にデジタルツールを導入し、連携するシステムを構築(図1)。3D設計と連携した加工データの自動作成や多品種に特化した生産管理システムの構築、製造

現場においてもそれに追従した段階システムの開発などそれらの効果により生産性が向上し、型費低減に貢献してきた。

### 1.3 新たな変革 電動化に向けての対応

2015年から電動化の拡大により開発リードタイム短縮の期待が高まっており、金型加工においてもより安く、より早くが求められるようになる。更に金型部品の大型化(図2)やダイカスト工程のハイサイクル化により型の寿命低下が問題となった金型材は、より劣化し難い材質に変更し対応してきたが、その背反として加工し難くなり、刃具の使用量(刃具費)が増加した。

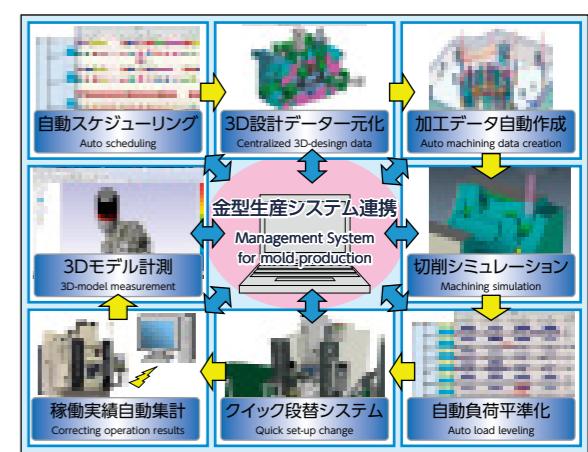


図1 金型生産システム  
Fig.1 Die production system



固有番号は、刃具への印字スペースや二次元コードの大きさを考慮して、システム管理に必要な情報で桁数一定になるように、日付と通し番号からなる10桁の番号(例:190304-005)とした。

次に、今回システムと組み合わせた各要素技術(二次元コード・レーザマーカ・バーコードリーダ)の詳細について説明する。



図9 刃具に二次元コードを印字  
Fig.9 Marking 2D-code on the tool

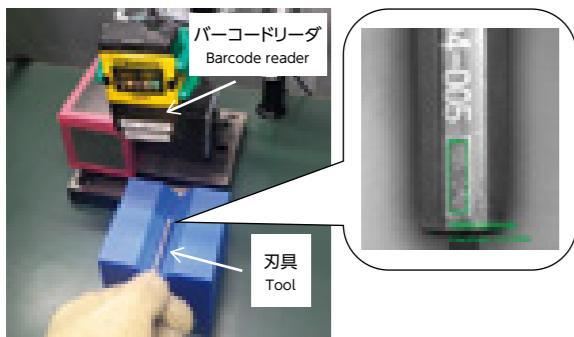


図10 バーコードリーダを使った認証  
Fig.10 Authentication by barcode reader



図11 電気ペンで品番を印字  
Fig.11 Marking tool number by electric pen

### 1) 二次元コード

金型加工で使用している刃具の最小シャンク径は $\phi 4$ と小径のため、印字できる二次元コードの大きさは限られる。二次元コードの大きさはシンボルサイズ×セルサイズから決まる。リーダでの読み取り易さを考慮し、極力大きなセルサイズで印字するため、円筒部の曲率の影響を考慮(図12)した最小のシンボルサイズの選定が必要になる。本システムでは表2に示すように、小型製品のトレーサビリティ等で使用されている主な二次元

コードのシンボルサイズを比較し、DataMatrix長方形タイプの8×32セルを選定した。

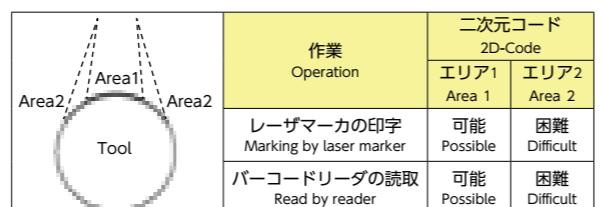


図12 曲率の影響  
Fig.12 Affected by curvature

表2 二次元コードのシンボルサイズ比較  
Table2 2D-code symbol size comparison

	形状 Shape	イメージ Image	シンボルサイズ Symbol size	データ数(英数字) Data quantity
QRコード QR code	正方形 Square		21x21cell	×
マイクロQRコード Micro QR code	正方形 Square		15x15cell	△ 11~14
DataMatrix	正方形 Square		14x14cell	△ 10
DataMatrix	長方形 Rectangle		8x32cell	○ 13

### 2) レーザマーカ

今回、刃具のシャンク部(円筒形状)に二次元コードを直接印字するため、本システムでは表3に示すように、刃具への熱影響が少ない印字ができ、刃具径毎に必要なレーザの焦点合わせ作業を自動化できる焦点の三次元制御機能を持つマーカを選定した。

二次元コードの印字は、リーダでの読み取りやすさを考慮し、表面のキズ等を除去する下地加工(印字)を実施した後、コードを重ね書きするという工夫も施している。

表3 レーザマーカの比較  
Table3 Laser marker comparison

マーカ A Maker A	仕様 Spec		特長 Characteristic	
	高ピーク/低パルスレーザ High peak/Low pulse laser	印字速度 Marking speed	高速 High speed	○
	熱影響 Heat influence	低い Low	○	
	焦点深度 Depth of focus	±2mm	○	
マーカ B Maker B	二次元焦点制御 2D Focus control	焦点合わせ Focusing	手動 manual	△
	高出力レーザ High power laser	印字速度 Marking speed	高速 High speed	○
	熱影響 Heat influence	懸念 Concerned	△	
	焦点深度 Depth of focus	±1mm	△	
マーカ C Maker C	三次元焦点制御 3D Focus control	焦点合わせ Focusing	自動 Auto	○
	高ピーク/低パルスレーザ High peak/Low pulse laser	印字速度 Marking speed	高速 High speed	○
	熱影響 Heat influence	低い Low	○	
	焦点深度 Depth of focus	±2mm	○	
	三次元焦点制御 3D Focus control	焦点合わせ Focusing	自動 Auto	○

### 3) バーコードリーダ

刃具に印字した二次元コードは、そのサイズや金属表面反射、曲面歪などの影響からリーダでの読み取り難易度が高い。本システムでは表4に示すように、印字したコードを読み取る分解能を持つリーダで読み取りテストを実施し、金属面反射対策として偏光フィルタを付けた機種を選定した。また選定したリーダは、刃具ホルダへの付け外しなどで生じる可能性があるコード破損を補正する機能も搭載されている。

一方、選定时に使用環境の照度に対する配慮が欠けていたため、事務所(1100Lx)で問題なく動作したリーダが現場(500Lx)ではコードを読まない事案が発生した。新たに専用の照明を持つ機種への変更を検討したが、図13のようにLED照明を追加(1800Lx)することで解決できた。

表4 バーコードリーダの比較  
Table4 Barcode reader comparison

	分解能 Resolution	読み取りテスト test	金属面反射対策 Antireflection	補正機能 Correction function
リーダA Reader A	0.04	○ 遅い Slow	△ 偏光フィルタ Polarizing filter	○ ダイナミックレンジ Dynamic range
リーダB Reader B	0.05	○ 遅い Slow	△ 特殊内蔵照明 Special built-in Lighting	○ 劣化コード Degradation code
リーダC Reader C	0.05	○ 速い Fast	○ 偏光フィルタ Polarizing filter	○ 劣化コード Degradation code



図13 バーコードリーダに追加したLED照明  
Fig.13 LED lighting added to barcode reader

## 4 開発結果

### 4.1 システムの運用効果

今回開発したシステムを2019年度の1年間、段階的に対象刃具を拡大して運用することで、図14に示すように2018年度刃具費の5%に相当する低減効果を得ることができた。今回開発したシステムは、2018年度刃具費の30%低減に相当するポテンシャルがあるため、2020年度も引き続き対象刃具の拡大を実施する。

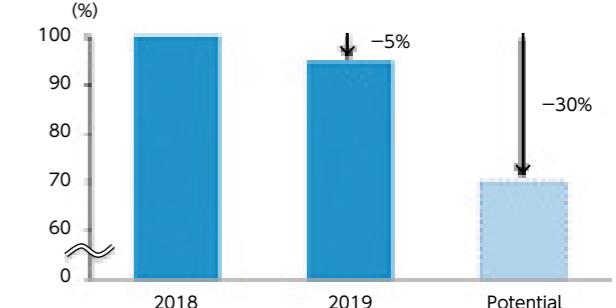


図14 刃具費低減効果  
Fig.14 Tool cost reduction effect

## 4.2 加工履歴の活用

本システムを1年間運用し、蓄積された加工履歴を解析することで得られた刃具寿命の傾向を2品番を例として示す(図15)。

品番Aは寿命途中での破損が多く、安定した加工で使用できていないため、切削条件の変更を検討する必要があることがわかった。

また、品番Bは設定寿命を超える切削距離での使用が多いが、破損率がかなり低く、安定した加工ができていることから、設定寿命を50%延長した。

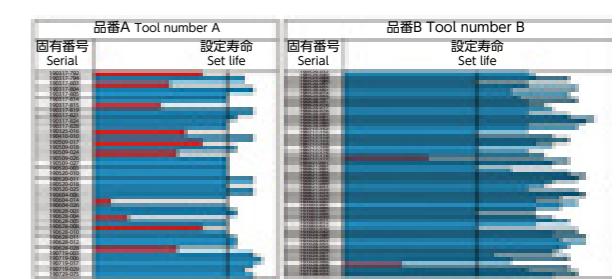


図15 刃具寿命の傾向  
Fig.15 Tool life consumption trend

## 5まとめ

今回開発したシステムは、運用初年度で前年度刃具費の5%に相当する効果が得られた。またシステムの履歴を解析することで、設定寿命を延長することもできた。

本システムは以下2点をブレイクスルーすることにより実現した。

①刃具の個体情報と加工プログラム情報の紐付け処理

②既存の要素技術(二次元コード、レーザマーカ、バーコードリーダ)を組み合わせた刃具の認証

今後は引き続きシステム対象刃具の拡大と設定寿命延長を横展することで、さらなる刃具費低減に繋げていく。

現在、本システムは他の事業部から問い合わせをいただいており、量産加工ラインにおける刃具の異常の追跡や治工具の管理への応用にも期待できる。

#### ■参考文献

[1]株式会社キーエンス:よくわかる2次元コードの基本vol2

#### ■著者紹介■



花井 真澄 金子 博厚 大嶽 篤司 石田 大介



杉原 紗子

TOPICS

匠の技を知る

# 尾張七宝の工房を訪ねて

— 匠の総合力で一つの工芸品を作る —

#### 開発の経緯と開発者の思い

3年前のこと、女性の作業者の方から声をかけられました。「来月から産休に入るのですが、ひとつ心配があります。」と、彼女の作業の一つに電気ペンという道具を使って刃具に品番を刻印する作業があります。お米に字を書くようなもので、引継ぎをする年配の作業者(老眼)には難しい作業だからです。刻印をする機械を入れてほしいというのが要望なのですが、ただ刻印をするだけでは何かつまらない、何か情報を連携することはできないか、それが開発のきっかけでした。開発プロセスにおいては要件定義の段階から実際に使う作業者の方にも参画をしてもらい、より使い易いシステムを創ることを目指しました。現場の声を聞くことの大切さと既存技術の連携に付加価値があることを学びました。今後もこのような視点を活かしていきたいと思います。ちなみに開発期間中は年配の作業者に引き継いだのですが、問題なく刻印作業ができていたためお礼を伝えたところ、「自分が彫った刻印は、見えてないよ。」との回答。金型の職人技には驚かされました。

TOPICS



十二稜銀彩古鏡文皿<sup>\*1</sup>

尾張七宝は経済産業大臣より、1995年「伝統的工芸品」の指定を受けています。工芸品は一人の職人が製品を完成させるイメージですが、尾張七宝は生産が始まった当初から、製造工程の一つひとつに専門の職人がいて、分業制をとっているといいます。100年以上続く、七宝の「匠の技」をご紹介します。



安藤七宝店 名古屋本店<sup>\*1</sup>

沿革  
1880年(明治13年) 創業  
1900年(明治33年) パリ万国博覧会にて金牌を受賞  
宮内省ご用達となる  
1995年(平成7年) 尾張七宝が国の伝統的工芸品の指定を受ける  
2020年(令和2年) 会社創業140年

創業140年の老舗 株式会社安藤七宝店を訪問して、伝統的工芸品「尾張七宝」を中心に  
七宝のお話を名古屋本店長・近藤 真充取締役と製造部・柴田 明工場長に伺いました。

## 尾張七宝の歴史と安藤七宝店

### 「七宝」という名前の由来を教えてください

その出来映えが、仏教の經典にある「七宝」(七つの宝石のこと)に匹敵する美しさだからと言われています。宗派によって若干違いがありますが「法華經」では、金・銀・瑠璃・碑礎・瑪瑙・真珠・玫瑰のことをいいます。また、「七つの宝」とは「すべての宝」という意味とも言われ、その色を表現できる焼き物ということです。



柴田工場長(左)、近藤取締役(右)

### 七宝の歴史を教えてください

七宝の歴史は、古代エジプトが起源とされています。その後、ヨーロッパ、中国を経て、日本にも伝わりました。正倉院に「黄金瑠璃鏡背十二稜鏡」という七宝の御物が収蔵されています。

日本で七宝が製作された記録が存在するものは、17世紀以降で、徳川幕府にはおかげ七宝師がいて、襖の引手、鴨居の釘隠などを製作していました。その後次第に衰退し、七宝はほとんど作られなくなりました。

幕末に入り、尾張藩の梶常吉氏が、銀のリボン線で輪郭を描く、尾張七宝(有線七宝)を開発し、明治になり新しい釉薬の開発とともに、隆盛期を迎える「二人のみかわ」と言われる、並河靖之氏(京都)、濱川惣助氏(東京)や、工房で専門職人の合作で作られる安藤七宝店(名古屋)などの七宝が、万国博覧会などで高い評価を受け、盛んに海外に輸出されました。

### 安藤七宝店の歴史について教えてください

明治13年(1880年)創業ですので、今年で創業140年を迎えます。江戸時代は煙管屋をやっていました。のちに、七宝の販売も始めました。明治中頃に、七宝の職人をまとめ、製造・販売を担っていた名古屋七宝会社が解散することになりましたので、跡を引き継ぎ、初代工場長に梶佐太郎氏(梶常吉氏の孫)を招聘して、製造も手掛けるようになりました。

初代社長の安藤重兵衛は、海外の万博などに自分も行って、いろいろ研究して、当社の発展に尽力しました。万博は品評会だったそうです。そこで、金牌を取って、現地で作品を売って、その資金で翌年の万博出展のための作品を作りました。

同じころ、東京・銀座にも店を開き、宮内省ご用達になるなど、国内でも七宝を広めました。銀座に出店したのは、七宝を輸出するためでもありました。当時は、傑作ならば家一軒建つぐらいの値段で買い取ったと聞いています。半面、良いものでなければ買い取らない場合もあったそうで、どんどん腕が上がるという世界でした。

そのころは、名古屋にも、七宝町(愛知県あま市)にも、たくさんの職人集団があって裾野が広い産業でした。しかし、今は職人の高齢化が進み

後継者不足が深刻で、かつてのような職人集団がなくなりつつあります。以前、当社は新製品を試作し製品にすると、量産は職人集団に任せることを行っていましたが、今は全部自社製造となりました。

### 現在は、どのような製品を製作されていますか?

花瓶、飾り皿、食器、アクセサリーなどの小さな品物、建物の定礎、銘板、お店の表札など、多種多様なものをすべて手作業で製作しています。また、重要文化財の修理や復元も手掛けています。

花瓶、飾り皿などは贈答品の定番ですが、昔からある商品として、社章があります。社章は入社してから定年となって会社に返すまでの40年ほど、色あせることなく品質が保たれないといけない。当社の七宝は、40年以上色も変わらず品質を保ちます。昔からご用命いただいている会社も少なくないです。



花瓶<sup>\*1</sup>



飾り皿



香炉<sup>\*1</sup>



ゴルフマーカー<sup>\*1</sup>

### 文化財の復元でご苦労されたことは何ですか?

文化財を修理・復元するときは、学識者の先生にお話を伺いながら製作しています。例えば、釉薬を調合して先生にお見せすると、「この縁は、何で出したの?」とおっしゃる。「酸化クロムで出しました」と答えると、「それはダメです。江戸時代のものと違います。酸化銅で作ってください」といった具合です。酸化銅では釉薬が安定せず、結構割れるので製品にならない。色合わせも、何種類も色見本を持って、何回も本物と比較するために足を運びました。昔の材料で同じ色・かたちを再現することはとても大変でしたが、勉強にもなりました。

## 尾張七宝の技

### 「尾張七宝」とは どんな七宝ですか?

天保年間(1830~1844年)、尾張国の梶常吉氏が、オランダ船により輸入された七宝の皿を手掛かりに、その製法を発見し、改良を加えたのが始まりです。

当初は「泥七宝」といって、原料(不透明の釉薬)を混ぜて、素地の上で、ガラス化させました。焼成の温度も低いので、濁ったものでした。その後、透明の釉薬が開発され、焼成温度も1,300度以上に上がって、完全ガラス化できるようになりました。

### 「尾張七宝」の製造方法を教えてください

七宝は、銅または銀の金属素地を用い、その表面にガラス質の釉薬を施し、花鳥風月、風景などの図柄をあしらったものです。

「尾張七宝」は、金属の素地に下絵を描き、下絵に沿って、銀のリボン線を立てながら植え付け(「銀線付け」という)、ガラス質の釉薬を施して(「釉薬差し」という)焼成します。釉薬差しと焼成を数回繰り返したのち、研磨し、仕上げに覆輪という飾り金具を上下にはめて完成となります。各工程に専門の職人がいて、分業制になっています。

### いくつかの工程を詳しく教えてください

#### 「銀線付け」について

尾張七宝の特徴でもある銀線付けは、薄いリボン状の銀線(高さ:1.2~1.3mm)を白芨糊(シランの根から取った特殊な糊)で素地に垂直に立てるというか、貼っていきます。垂直でないと銀線の腹、つまり幅の部分が見えてしまうのでみつともないです。素地は曲面が多いですから技術が必要で、特に菊の花弁などは同じ曲線でないといけないので、非常に難しいです。人の目はちょっとした狂いでもわかりますからね。



## 「釉薬差し」について

昔から釉薬を「塗る」ではなく、「差す」と言います。銀線で囲まれた輪郭の細い先まで釉薬を入れていきます。釉薬は絵の具や色鉛筆のように色を素地の上で重ねて色を出すことはできませんので、下絵に合わせて表現する色すべての釉薬を調合します。グラデーションも1色ずつ色を変えて表現します。図案の言いたいところをくみ取って釉薬を差していくのが難しいところです。

また、釉薬は水が多いと差しやすいですが、素地が曲面ですので、垂れてほかの模様に入らないように水分量を加減します。



## 「研磨」について

粗い目から細かい目へと、数種類の砥石を使い分けて、表面が滑らかで、宝石のような光沢になるまで、水をかけつつ砥ぎあげます。職人の指の感覚で仕上がりを判断しますので、製品が出来上がるころには、職人の指紋がなくなるほどです。濃い色のものほど研ぐのが難しいです。

## 技の伝承

### 「一人前の職人」になるにはどれほどかかりますか？

「始めてから8年から10年です。そのころに、『ああ、これでやっていけるなあ』という自信がついた記憶がありますね。最初の4～5年は下塗りばかりでした。器も平らな物から、模様も簡単なものから始めて、難しいものをやらせてもらえるようになりました。」と、柴田工場長が経験を話してくれました。

### 職人の採用はどのように行っていますか？

今、ここにいる若い人たちとは、専門学校を卒業して、どうしても七宝がやりたいと、当社に売り込んできた人たちです。面接して、学校の時の作品を見せてもらって、採用しました。

### 新人の教育は、マニュアルなどありますか？

教えはしますが、マニュアルなどはありません。先輩の手元を見て覚えるというよりも、自分で経験と研鑽を積むしかないと思っています。みんな熱心にやってくれているので、ありがとうございます。

昔は、七宝をやったことがない者が入社していましたので、一から先輩に教えてもらいましたが、今はなくなりました。



### 各工程とも専門の職人が担当することですが、出来上がりの評価はどうされているのですか？

最終の判断は工場長がします。どの仕事を誰に任せるかも、工場長が判断します。各工程で最適な職人を選んで仕事を任せます。

製作する時は、デザインを描いた者のセンスを、職人が自己の中で処理して品物に表現することですから、その人の技量によって表現のしかたがずいぶん違ってきます。難しい品物は、最も優秀な人がやらないと、デザインに近いものにはならないのです。同じデザインでも、職人が見ると、「あれは俺のだ。あっちはあいつがやったな」と、わかるのです。

以前は工程ごとに専門の職人がいましたが、今は職人が少なくなったため、ひとりが複数の工程をできるようにしています。しかし、任された仕事は、ひとりで仕上げます。ひとつの作品の同じ工程で複数の職人が関わることはありません。

## 品質への思い

### 「品質」についてのお考えを教えてください

ものすごく心がけていることは、「品質」です。そして、落ち着いた中にも気品がある佇まい、「品」を、大切にしています。目利きの力がないと、悪いものを受け入れてしまい、どんどん品質が落ちてしまいます。商品に何かのエラーがあったら、1か月以上費やしてきた最終段階で捨てることになります。失敗のできない仕事です。

### 失敗したら、最初からということになりますが、後工程ほど、責任重大ではありませんか？

それぞれの職人が自分の与えられた仕事を精一杯やるということでしょうか。次の工程の職人に「渡す」という気持ちでやっていくしかないですね。



## 伝統的工芸品<sup>\*2</sup>ということ

### 「尾張七宝」は、1995年に「日本の伝統的工芸品」の指定を受けていますが、「伝統的工芸品」をどのようにとらえておられますか？

伝統的工芸品には、昔のまま作って、昔のまま使うというのが「伝統的工芸品」という考えがあります。七宝もその考えが強いので、有線七宝が「尾張七宝」になってしまいました。しかし、当社の考え方は明治の初めから、どんどん新しい技術を開発して、変わるのが当たり前と思ってきました。飾りではなく、日常生活で使えるものが工芸品というなら、いろいろな作り方をして使っていただける商品を開発したいと思っています。

### 例えどんな商品がありますか？

お猪口などの食器に挑戦しています。七宝は釉薬に鉛を使用するので、従来は食器を作れなかつたのですが、無鉛の釉薬を使って作るよう

になりました。

また、時計の文字盤にも挑戦しました。古くから「時計には手を出すな」という伝承があったのですが、あえて挑戦しました。七宝は、焼成すると曲がるため、平らにするのは難しいし、大きさが必ず伸びるという特性があり、平らで枠に収まらないといけない時計の文字盤は、大変難しい技術です。

腕時計の文字盤となると、さらに薄くないと機械部分が入らない。通常製作している七宝の厚みより薄く1mmで作る必要がありました。量産ともなりますと、同じものをたくさん作ることになりますが、手作業で作るので、研磨で同じ色に近づけるようにするのですが、全く同じ色にはならない。不利な条件ばかりでした。

みんなで「どうやったらできるんだろう」と。時計メーカーさんの協力もいただいて、完成させました。

## これからのこと

### 次はどんなことに挑戦されますか？

いろいろな方からヒントをいただき、新しいことにチャレンジしていこうと思っています。いろいろなやり方があるはずです。

伝統的な図柄も、現代のデザイナーさんのアイデアを取り入れて変わっていきます。時代に合ったものを産業として成り立つように続けていく。尾張七宝は、量産が利く七宝の産地として、明治から100年以上続いてきたから、伝統的工芸品の指定を受けました。産業としてこれからも続けていかなければという思いです。

注：

\*1 写真提供：安藤七宝店

\*2 伝統的工芸品とは、以下の5つの条件を満たし、伝統的工芸品産業の振興に関する法律（昭和49年法律第57号）に基づく経済産業大臣の指定を受けた工芸品のことをいう。

- ・主として日常生活の用に供されるもの
- ・その製造過程の主要部分が手工業的
- ・伝統的な技術または技法により製造されるもの
- ・伝統的に使用してきた原材料が主たる原材料として用いられ、製造されるもの
- ・一定の地域において少なくない数の者がその製造を行い、またはその製造に従事しているもの

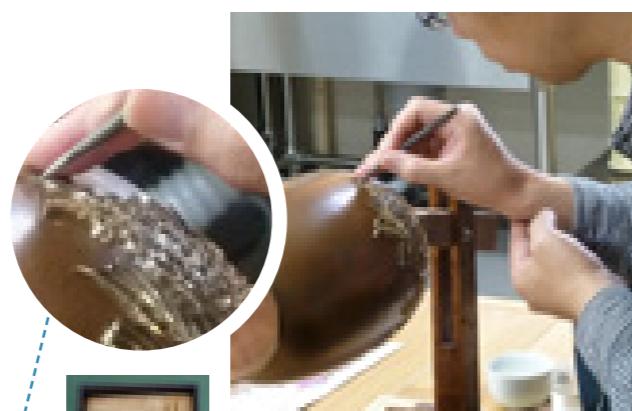
■安藤七宝店ホームページ  
<https://www.ando-shippo.co.jp>

# 尾張七宝(有線七宝)の製造工程

主な製造工程をご紹介します。

## 1 図案の作成

デザインを作成します。



## 2 素地の作成

素地(材料は、銅板・銀など)を絞込み(へら絞りなど)、成形します。

## 3 下絵付け

下焼きした素地に墨で図案を写します。

## 4 銀線付け(植線)

下絵の輪郭線に沿って、素地表面に銀線を特殊な糊で垂直に接着します。

## 5 銀線口ウ付け

製品にロウ釉薬を薄く振りかけ、線を焼き付けます。



2~3回繰り返す

## 7 焼成

炉で製品全体を焼き上げます。

## 8 研磨

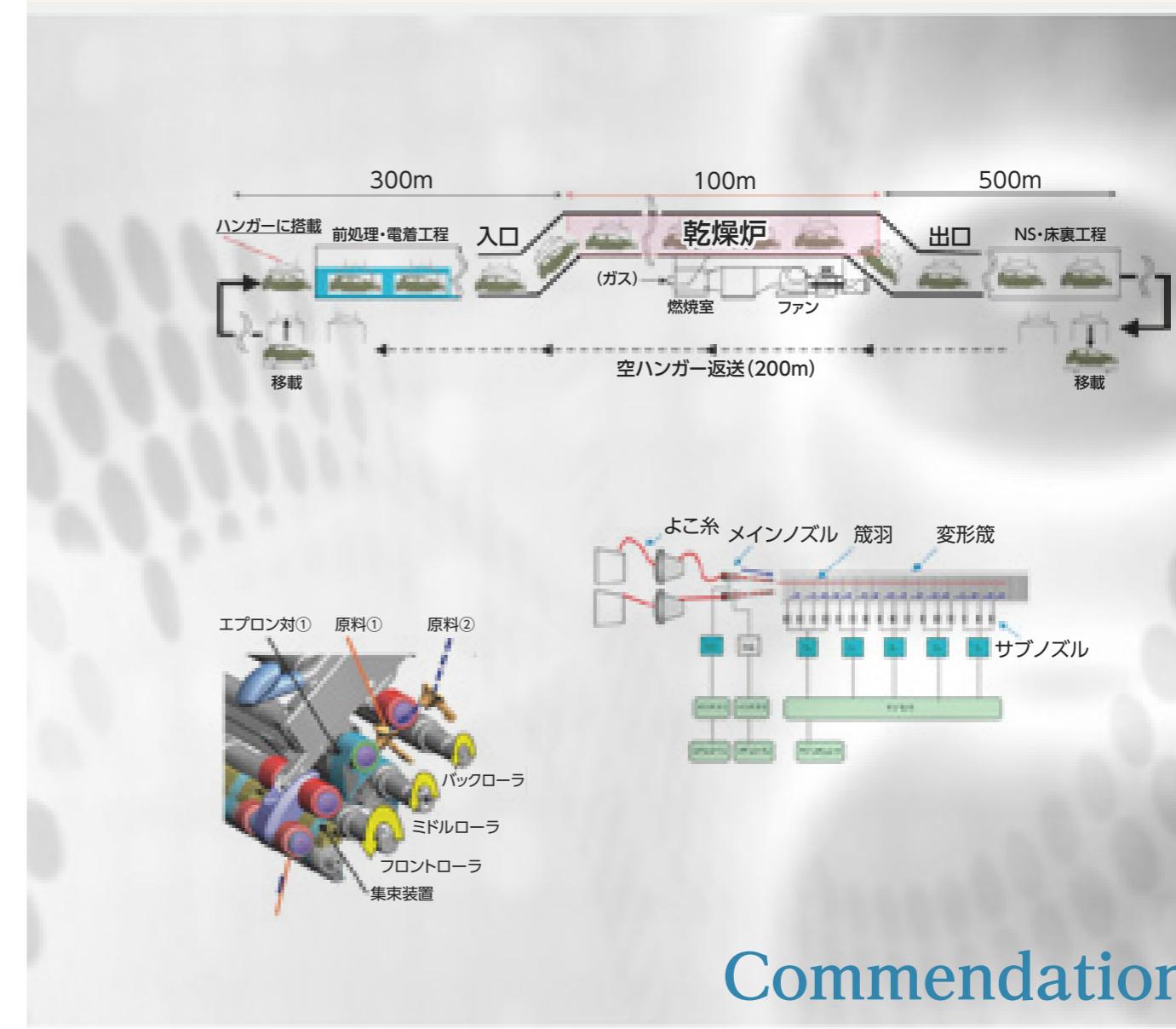
表面を滑らかにして、光沢を出し、銀線の輪郭をはっきり出すために、磨きます。

## 9 覆輪付け

上下の釉薬止めの部分に飾り金具(覆輪)を付けます。



# 表彰



# Commendation

P.122 特許発明「紡機におけるドラフト装置」が経済産業大臣賞を受賞

P.124 特許発明「エアジェットルームの変形筒」が愛知発明賞を受賞

P.126 自動車塗装乾燥工程における省エネルギーの取り組み

# 特許発明「紡機におけるドラフト装置」が経済産業大臣賞を受賞

## The Patented Invention of "Drafting Device in Spinning Machine" Won the Prize of the Minister of Economy, Trade and Industry

山本 達也<sup>\*1</sup>

Tatsuya Yamamoto

<sup>\*1</sup> 技術・開発本部 知的財産部

## 要旨

特許発明「紡機におけるドラフト装置」が経済産業大臣賞を受賞した。受賞した「紡機におけるドラフト装置」(特許第6156503号)は、繊維機械事業部が販売するリング精紡機RXシリーズに適用されるモザイクヤーン装置に関する基本特許である。特許発明の内容について紹介する。

キーワード: 経済産業大臣賞、リング精紡機、モザイクヤーン

## Abstract

Patented invention "Drafting device in spinning machine" won the Prize of the Minister of Economy, Trade and Industry. The awarded patent "Drafting device in spinning machine" (Japanese Patent No.6156503) is a basic patent for MOSAIC YARN device used in the RX series of ring spinning machine sold by the Textile Machinery Division. The contents of the patented invention are introduced.

Keywords: Prize of the Minister of Economy, Trade and Industry, ring spinning machine, MOSAIC YARN

## 1 はじめに

2020年9月24日に公益社団法人発明協会主催の令和2年度全国発明表彰の受賞発明が発表され、特許発明「紡機におけるドラフト装置」(特許第6156503号)が経済産業大臣賞を受賞した。経済産業大臣賞は全国発明表彰の中で、恩賜発明賞、内閣総理大臣賞、文部科学大臣賞に次ぐ上から4番目の賞であり、栄えある受賞となった。

全国発明表彰は、日本国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「紡機におけるドラフト装置」は、繊維機械事業部の梶田大輔さんによって発明されたものであり、意匠性に富み、機能性に優れた付加価値の高い新しい糸の製造を実現した点に優秀性が認められた(写真1)。

写真1 表彰状及びメダル  
Photo1 Certificate of commendation and Medal

なお、本発明装置により製造された糸を「モザイクヤーン」と命名し、商標登録を受けている。

## 2 発明の内容

## 2.1 発明が解決しようとする課題

産業革命以来の長い歴史を持つ精紡技術であるが、現在でも技術の進化は続いている。特に、普通糸よりも付加価値の高い様々な特殊糸の製造法が実用化され普及してきた。そんな中、より意匠性に富み、機能性に優れた新しい糸がお客様に求められている。

従来、糸の長さ方向で色が変化する糸として、ベース糸となる原料①に所々別の原料②を付加したインジェクションヤーンがある(図1)。

図1 従来の紡出方法  
Fig.1 Conventional spinning method

この従来技術では、連続的に回転するミドルローラのエプロン対①へ原料①を供給する一方で、間欠駆動されるバックローラからエプロン対

①へ原料①とは色が異なる原料②を供給し、原料①からなるベース糸に原料②が被覆された糸が製造される。

従来の紡出方法ではミドルローラを止められないため、原料①からなるベース糸を0にはできず、原料②のみからなる部分を作ることができない。また、原料①と原料②とは同じエプロン対①で把持されるため、原料①、②の配合比率を変更できない。さらに、間欠的に供給される原料②の切断される位置や長さのバラツキにより、付加部の前後に色混ざりが残ったり、原料①が被覆(原料②)の外に現れたりするなど意匠性や品質に課題が残る糸しか製造できなかった。

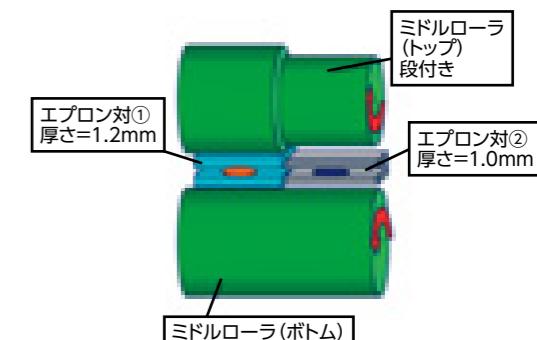
## 2.2 発明を実施するための形態

発明者は、ドラフト装置の構成を工夫することで、原料①と原料②をともに切断して個別にドラフトし、繋ぎ合わせて1本の糸にする発想に至った。

本発明装置を図2に示す。

図2 本発明装置  
Fig.2 Device of the awarded invention

原料①が含まれず原料②のみで構成される部分を作るには、ミドルローラを停止して原料①を切断した状態で、原料②を集束装置(2つの原料を集めて繋ぐ装置)へ運ぶ必要がある。そこで、バックローラで駆動するエプロン対②をエプロン対①とは別に設け、エプロン対②に原料②を供給するようにした。また、ミドルローラに段差を付け、かつエプロン対②の厚さをエプロン対①よりも薄くすることで、停止するミドルローラによりエプロン対②の回転が阻害されないようにした(図3)。

図3 本発明のミドルローラ構成  
Fig.3 Middle roller configuration of the awarded invention

また、ミドルローラとバックローラを任意の回転数比とすることで、原料①と原料②とを任意の比率で配合することも可能となった。本発明装置は、ドラフトローラの増設が不要なため既設のリング精紡機に後付けが可能であり、お客様が導入しやすい装置となっている。

## 3 まとめ

今回受賞した特許発明「紡機におけるドラフト装置」により、2種類の原料を切断して繋ぎ合わせた全く新規な「モザイクヤーン」が当社リング精紡機で製造できるようになったことで、当社リング精紡機の販売増加に貢献している。また本発明装置により製造されるモザイクヤーンは、従来にない多様なデザイン表現が可能な糸としてアパレル業界で注目を集めている。

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的課題に取り組んだ結果を漏れなく特許出願して権利化することにより、強固な特許網を構築するとともに、このような名誉ある賞を受賞することができるよう、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■



山本 達也

# 特許発明「エアジェットルームの変形筋」が愛知発明賞を受賞

## The Patented Invention of "Profile Reed for Air Jet Loom" Won the Aichi Invention Award

吉川 康宏<sup>\*1</sup>

Yasuhiro Yoshikawa

<sup>\*1</sup>技術・開発本部 知的財産部

## 要旨

特許発明「エアジェットルームの変形筋」(特許第5573629号)が愛知発明賞を受賞した。受賞した特許第5573629号は、繊維機械事業部が販売するエアジェット織機JATシリーズに使用されるe-REEDに関する基本特許である。特許発明の内容について紹介する。

キーワード: 愛知発明賞、エアジェット織機、e-REED

## Abstract

Patented invention "Profile reed for air jet loom" won the Aichi Invention Award (Japanese Patent No. 5573629). The awarded patent "Japanese Patent No. 5573629" is a basic patent for e-REED used in the JAT series of air jet loom sold by the Textile Machinery Division. The contents of the patented invention are introduced.

Keywords: Aichi Invention Award, Air Jet Loom, e-REED

## 1 はじめに

2020年10月1日に一般社団法人愛知県発明協会主催の令和2年度愛知発明表彰の表彰式が開催され、特許発明「エアジェットルームの変形筋」(特許第5573629号)が愛知発明賞を受賞した。愛知発明賞は、愛知発明表彰の中で上位にランクされる賞であり、栄えある受賞となった。

今回受賞した特許発明「エアジェットルームの変形筋」は、繊維機械事業部の牧野洋一さん、牧野功さん、高木信次さん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(左から牧野功さん、牧野洋一さん、佐々木副社長、高木さん)

Photo1 Awarded Winners at Aichi Invention Award Ceremony (From left; Mr. Makino Isao, Mr. Makino Yoichi Executive Vice President Sasaki, Mr. Takagi)

愛知発明表彰は、愛知県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「エアジェットルームの変形筋」は、従来の変形筋の筋羽の形状を見直すことで、エアジェット織機の空気消費量低減を実現

した点に優秀性が認められた。

なお、形状を変更した筋羽が数千枚組み合わせられた新規な変形筋を当社で「e-REED」と命名し、商標登録を受けている。

## 2 発明の内容

## 2.1 発明が解決しようとする課題

エアジェット織機は、メインノズル及びサブノズルから噴射されるエアによりよこ糸を飛走させ(図1)。

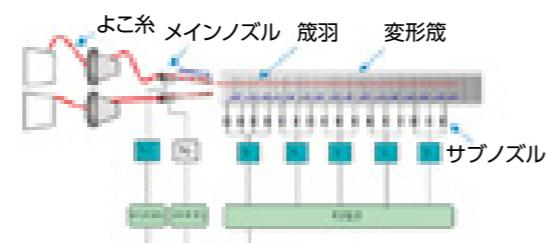


Fig.1 Overview of air jet loom

メインノズルから噴射されたよこ糸は、サブノズルのリレー噴射により筋の中央部に設けられたよこ糸飛走通路内を飛走する。図2aのX部のように、織物種類に合わせて変更される厚さ0.1~0.6mm程度のステンレスの薄板(筋羽)を数千枚組み合わせて形成された変形筋によこ糸飛走通路は形成されている。

よこ糸はこの通路内を紙面と垂直方向に飛走することになる。従来はA部の上あご部は9mm、D部の下あご部は7mmが一般的であった。

サブノズルをよこ糸飛走通路に近づける筋形状にして空気消費量を減少させる技術は、以前から知られていた。しかし、サブノズルをよこ糸飛走通路に接近させると、よこ糸が飛走する領域のエア流速は速くなるが、筋前面へのエアの飛出しも増加する等の不安定要因の増加もあった。そのため、この技術はよこ入れ可能なよこ糸の種類や、稼動条件等で汎用性を欠いた部分があり、広く市場に適用するには問題があった。特に太めのよこ糸でのトラブルが多く、汎用性のあるサブノズル接近技術の確立が必要とされていた。

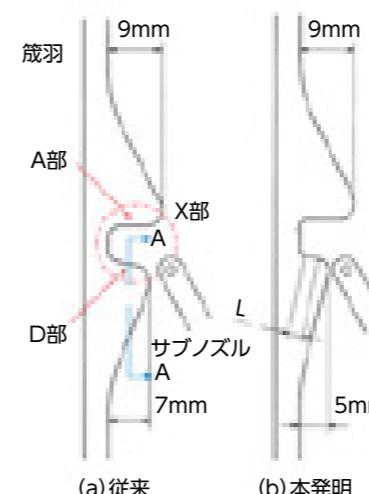
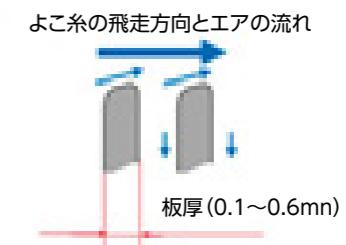
図2 筋羽形状  
Fig.2 Shape of dent図3 筋断面形状(図2aのA-A断面図)  
Fig.3 Cross-sectional shape of dent  
(A-A Cross-section of figure 2a)

図4は、よこ糸飛走通路内の流速分布で、従来の筋羽形状と新形状との比較を示す。単に下あご部を短くしただけでは下あご部のストレート部の長さを十分に確保できないが、本発明では下あご部を短くしつつ、よこ糸飛走のコントロールできる下あご部のストレート部の長さを見出した。この結果、下あご部のストレート部の効果とその長さに必要な量Lを明確にでき、空気消費量を低減しつつ、かつ、サブノズル接近の技術の適用範囲を汎用性のあるものにすることを実現した。

図4 筋羽の断面流速分布  
Fig.4 Cross-sectional velocity distribution of dent

## 2.2 発明を実施するための形態

変形筋の筋羽は1枚毎が図3のようにテーパ加工によって、よこ糸の飛走状態の安定性をコントロールしているが、その際に十分なテーパを設けるための下あごのストレート部とその長さが重要になってくる。

従来の筋羽形状で下あご部を5mm以下にすると、サブノズルをよこ糸飛走通路により接近させることができ一方で、下あご部のストレート部がほとんどなくなり曲面のみになってしまうため、下あご部からのエアの反射流が拡散してしまい、よこ糸の搬送力が低下する。

本発明(図2b)では、下あご部を7mmから5mm以下にすることで不安定となるよこ糸飛走を安定させるために、下あご部に一定の長さ(L)のストレート部を設けることによりエアの流れをコントロールできることに着目し、下あご部に一定長さ以上のストレート部を確保することで、必要なよこ糸搬送力を確保している。

## 3まとめ

今回受賞した特許発明「エアジェットルームの変形筋」は、空気消費量低減技術の確立をもたらしたこと、当社のエアジェット織機の販売増加につながり、また筋単体での販売も増加しており織機業界での筋の基準を変えつつある。

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的課題に取り組んだ結果を漏れなく特許出願して権利化することにより、強固な特許網を構築するとともに、このような名誉ある賞を受賞することができるよう、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■



吉川 康宏

# 自動車塗装乾燥工程における省エネルギーの取り組み

## The Efforts of Energy Conservation in Automobile Paint Furnace Process

江崎 慎亮

Shinsuke Ezaki

\*1 自動車事業部 生産技術部

## 要旨

自動車ボデー電着塗装の乾燥工程において、放熱ロスの低減など徹底した省エネに取り組み、年間391トンのCO<sub>2</sub>を削減した。この取り組みが評価され、一般社団法人省エネルギーセンター主催「2019年度省エネ大賞(省エネ事例部門)」の最高賞である「経済産業大臣賞(産業分野)」を当社として初めて受賞した。

キーワード:自動車、乾燥炉、熱ロス、均一化

## Abstract

Succeeded Yearly 391tons of CO<sub>2</sub> Reduction by efforts of heat loss reduction thorough energy conservation, in furnace process of automobile body electrodeposition. Acclaim to their efforts, it could earn the award as the Grand Prize of "Minister Prize of Economic, Industrial category" first prize in TICO from "Energy Conservation Award 2019, section of energy conservation case" hosted by ECCJ(Energy Conservation Center, Japan), General Incorporated Association.

Keywords: Automobile, furnace, heat-loss, uniform

## 1 はじめに

2020年1月29日に一般社団法人省エネルギーセンター主催の「2019年度省エネ大賞」の表彰式が開催され、長草工場の「自動車塗装乾燥工程における省エネルギーの取り組み」が、最高賞である経済産業大臣賞(産業分野)を受賞した(写真1)。「省エネ大賞」は事業者や事業等において優れた省エネの取り組みや、省エネ製品等を表彰するもので、経済産業大臣賞は当社初めての受賞となる。豊田自動織機グループは「2050年にめざす姿」に基づきCO<sub>2</sub>ゼロ社会に向けた取り組みを推進しており、このたびの受賞は、工場の設備更新において放熱ロスの低減などCO<sub>2</sub>排出量削減に向けて徹底的に省エネに取り組んだことが評価された。以下に実施した内容について紹介する。



写真1 省エネ大賞表彰式(左から宮谷さん、小川さん、江崎さん、荒川さん)

Photo1 Energy Conservation Grand Prize Awards Ceremony  
(from the left Mr. Miyatani, Mr. Ogawa, Mr. Ezaki, Mr. Arakawa)

## 2 背景と経緯

当社では1993年から環境取り組みプランを策定し、現在は第6次プランの活動を推進している。また、2002年に豊田自動織機グループとして、自動車、産業車両、エレクトロニクスや物流など多岐にわたる事業領域で地球環境保護と経済の発展の両立に貢献するために環境宣言を行った。2011年には改訂したグローバル環境宣言に基づき、低炭素社会の構築に向けてCO<sub>2</sub>ゼロ社会を見据えた取り組みを実施している(図1)。それを受けた長草工場では、2050年CO<sub>2</sub>排出量ゼロに向けてCO<sub>2</sub>削減ロードマップを策定しており(図2)、今回、工場再編を機に電着塗装工程の乾燥炉を40年ぶりに更新し、徹底的にCO<sub>2</sub>排出量削減を図った。乾燥炉は約20年で更新が一般的であることから、次回更新時まで省エネ競争力を維持できるよう、20年後の2035年削減目標である▲35%を今回の目標と定めた。

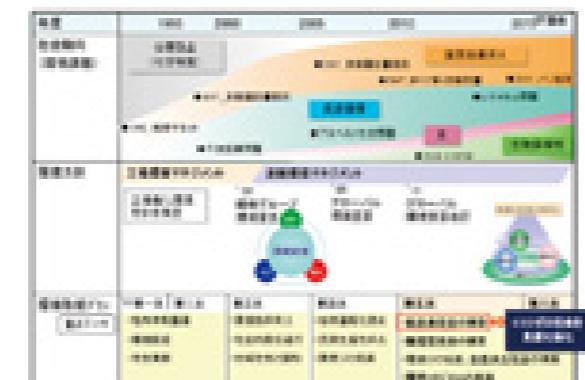


図1 取り組みの変遷  
Fig.1 The vicissitude of the efforts

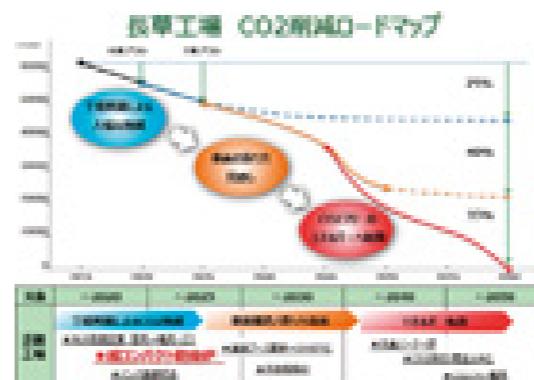


図2 長草工場CO<sub>2</sub>削減ロードマップ  
Fig.2 Reduction of CO<sub>2</sub> Roadmap, Nagakusa Plant

## 3 省エネの視点と内容

## 3.1 電着塗装乾燥炉

電着塗装乾燥炉は、ボデーに付着した電着塗料を硬化させる乾燥炉で、100mの炉長があり、ガスを燃焼して熱風を炉内へ対流させている(図3)。電着塗料の乾燥条件は、ボデー温度160°Cを10分以上キープすることである(図4)。工程の流れは、搬送キャリアであるハンガーにボデーを搭載し、前処理・電着工程を経て乾燥炉内を連続で搬送し、乾燥炉を出た後、後工程を経て次工程の搬送キャリアに載せ替え、空になったハンガーが戻り再びボデーを搭載している(図5)。

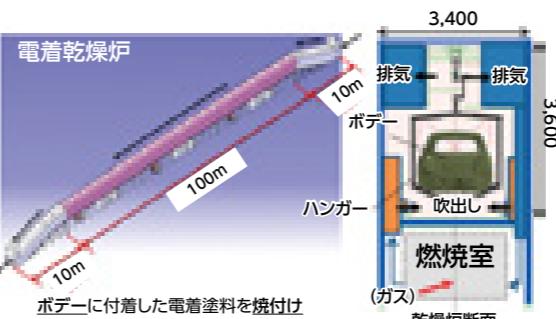


図3 電着乾燥炉(更新前)  
Fig.3 ED Oven, before update

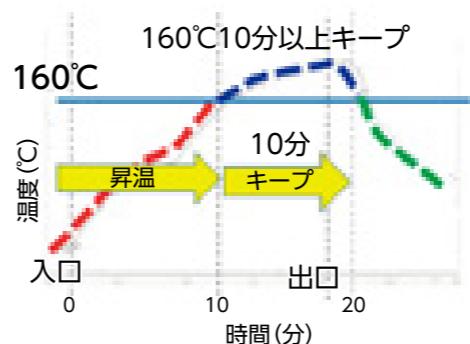


図4 乾燥炉内ボデー温度推移  
Fig.4 Temp. transitive of body in the ED Oven



図5 ボデー搬送流れ  
Fig.5 Flow of body transportation

## 3.2 乾燥炉更新の狙い

乾燥炉の更新に伴い、CO<sub>2</sub>排出量の大幅な削減を狙うため最新の乾燥炉を調査したが(図6)、40年経過しても搬送キャリアが変わった程度で大きな進歩は見られなかった。このような従来の技術を横展開するだけでは我々が定めた省エネ目標に届かないため、他にはない新たな取り組みが必要になった。

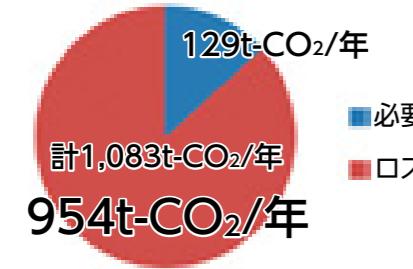
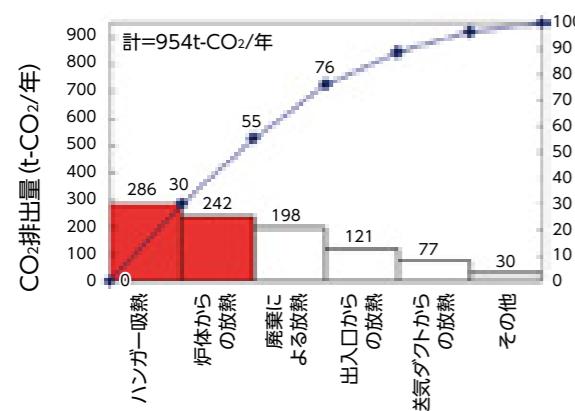
現状	最新標準乾燥炉	狙う姿
乾燥炉断面 3400 排気 ハンガー 吹出し ボデー 3,600	最新標準乾燥炉 3600 排気 吹出し ボデー 台車 3,600	現状比 ▲35%低減目標
CO <sub>2</sub> 排出量 1,083t-CO <sub>2</sub> /年	902t-CO <sub>2</sub> /年 ▲181t-CO <sub>2</sub> (▲16%)	*ロードマップ 2035年到達点 ※20年後更新時、 CO <sub>2</sub> フリーエネルギーへ転換
狙う姿 Fig.6 An Aim	704t-CO <sub>2</sub> /年 ▲379t-CO <sub>2</sub> (▲35%)	

## 3.3 熱の使われ方を分析

まず現状の問題を明確にするために、乾燥炉の熱の使われ方を分析した。乾燥炉の熱の使われ方として、ボデーに付着した塗料を乾燥させるため、ボデー自体への吸熱は必要な熱量と捉えた結果、塗料の乾燥に消費する熱量より乾燥以外の吸熱・放熱に多くの熱量が消費されていることがわかり、熱エネルギーをロスしていることに着目した(図7)。さらに、乾燥炉で発生するCO<sub>2</sub>排出量に換算し内訳をみると、約90%(954t-CO<sub>2</sub>/年)をロスしていることがわかった(図8)。この954t-CO<sub>2</sub>/年のロス分を構成別に分析した結果、『ハンガー(搬送キャリア)吸熱』『炉体からの放熱』で55%を占めており、今回これらの熱ロス低減に取り組んだ(図9)。



図7 乾燥炉の熱の使われ方  
Fig.7 Use of heat in the ED Oven

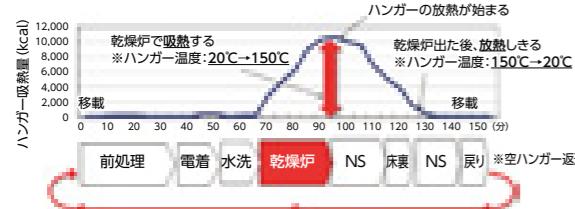
図8 CO<sub>2</sub>排出内訳  
Fig.8 Breakdown of CO<sub>2</sub> emission図9 乾燥炉構成別CO<sub>2</sub>排出量(ロス分)  
Fig.9 Chart of CO<sub>2</sub> emission in the oven, loss of CO<sub>2</sub>

### 3.4 取り組み

#### 1) 搬送キャリア保温返送

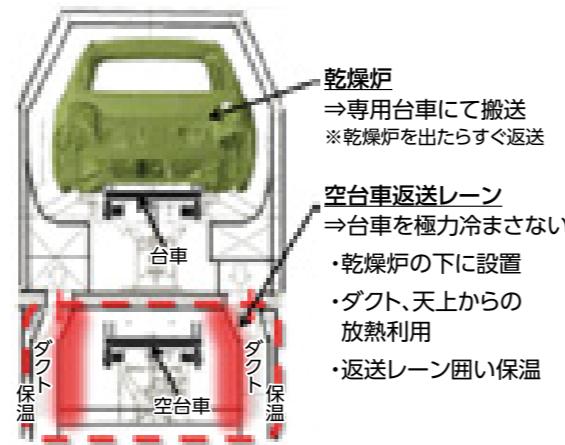
##### ①『ハンガー吸熱』について解析

ハンガー吸熱による熱ロスが多いという問題に対し、ハンガー吸熱のプロセスを解析した。ハンガーは乾燥炉に入り20°Cから150°Cまで昇温し、乾燥炉から出た後、乾燥炉で吸熱されたハンガーは後工程を経て工場内で自然放熱されている(図10)。乾燥炉に入る度に、吸熱と放熱を繰り返し、熱エネルギーをロスしていることから、『乾燥炉から出た後ハンガーの放熱量が多い』ことを問題点として捉えた。

図10 ハンガー1台の吸熱推移  
Fig.10 Heat-absorbing of a hanger

##### ②搬送キャリア保温返送

『乾燥炉から出た後ハンガーの放熱量が多い』という問題点に対し、対策として搬送キャリア保温返送に取り組んだ。搬送キャリアを乾燥炉専用台車化とし、乾燥炉入口でハンガーから載せ替え、乾燥炉出口で後工程台車に載せ替えることで、空になった台車をすぐに返送することにした。返送経路を最短にするため乾燥炉の下を返送エリアとし、返送エリアの囲い・保温を実施し、ダクト炉体底部からの放熱を利用することで(図11)、キャリアの放熱量を最小化し、再加熱ロスをミニマムにした。結果、乾燥炉入口で20°Cだった搬送キャリアが80°Cになり再加熱による熱消費ロスを低減することができた(図12)。

図11 乾燥炉及び空台車返送レーン断面  
Fig.11 The cross section of Oven and redeliver lane of empty carrier

##### 更新前 ※他工程共通ハンガーで搬送



##### 更新後 ※乾燥炉専用台車で搬送

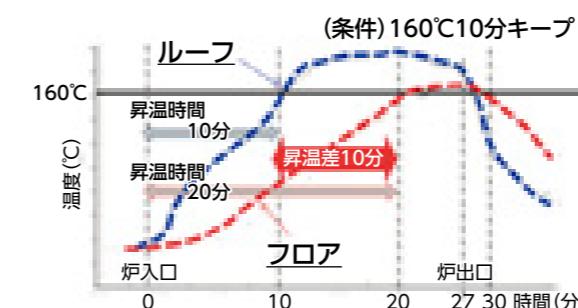
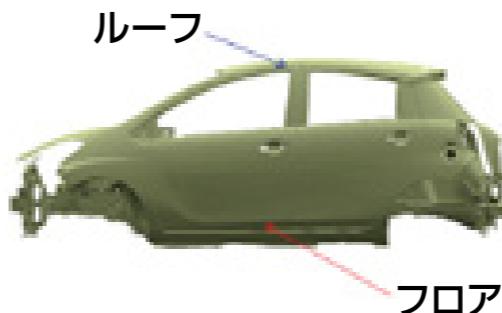
図12 搬送キャリアの動きと温度推移  
Fig.12 Behavior of carrier transportation and temp. transitive

#### 2) ボデー昇温均一化

##### ①『炉体からの放熱』について解析

続いて、炉体からの放熱量による熱ロスが多い

という問題に対し、炉体表面(炉断面辺長×炉長)からの放熱が多いと捉え、影響の大きい炉長と関連する乾燥時間に着眼した。乾燥時間はボデーが160°Cまで昇温する時間と10分以上キープする時間で決まる。ボデー温度推移をみるとボデーの上面にあたるルーフと下面にあたるフロアで160°C昇温するまでに10分の差があった(図13、14)。この昇温差により、フロア昇温が遅れる分、ルーフにムダな加熱をし続けるロスが発生する。また、乾燥必要時間をキープするため炉長が長くなることで放熱するロスが増え、且つ加熱する容積が大きくなるため、『昇温時間に差がある』ことを問題点と捉えた。

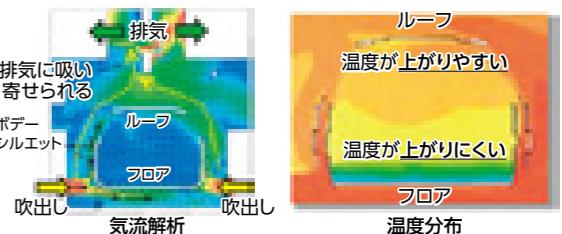
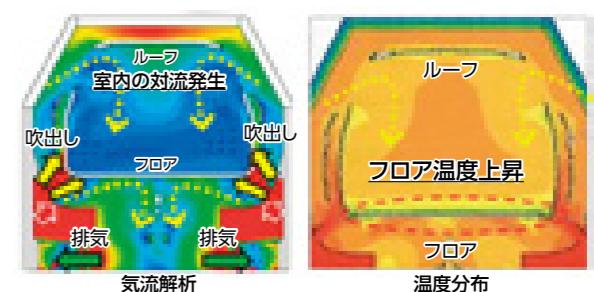
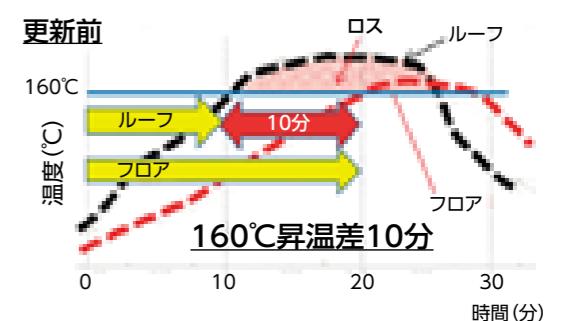
図13 ボデー温度推移  
Fig.13 Body temp. transitive図14 ボデー部位  
Fig.14 Body region

##### ②ボデー昇温均一化

『昇温時間に差がある』という問題点に対し、対策としてボデー昇温均一化に取り組んだ。まず更新前の炉内の気流状態をシミュレーションにより解析した結果、下からの吹出し口から上部の排気口までの対流が一方向で、温度分布では、炉内の昇温状態が不均一であり、ボデーの上部と下部で温度差が確認された(図15)。

今回、気流解析を活用することで吹出し口と排気口を最適配置(下方排気)にすることで効率よく熱を対流させた結果、ボデー昇温状態を均一に近づけることができた(図16)。

実際に、ボデー昇温評価では、10分あったルーフとフロアの昇温時間差が3分に縮まり、炉長短縮につなげたと同時に炉断面積も極限まで縮小した(図17)。

図15 気流解析 及び 温度分布(更新前)  
Fig.15 Airflow Analysis and Temp. Distribution, before update図16 気流解析 及び 温度分布(更新後)  
Fig.16 Airflow Analysis and Temp. Distribution, after update図17 ボデー温度推移比較(更新前後)  
Fig.17 Comparison of body temp. transitive, before & after update

## 4 成果

### 4.1 乾燥炉サイズ

これらの取り組みの結果、標準乾燥炉と比較し、断面積▲29%、炉長▲27%の低減となり、圧倒的なコンパクト化を実現した(図18)。



図18 乾燥炉断面比較  
Fig.18 Comparison of cross sectional view, Regular oven / energy conservation oven

### 4.2 ガス使用量及びCO<sub>2</sub>排出量

今回の乾燥炉更新によりガス使用量▲187,000Nm<sup>3</sup>/年(原油換算▲217kL)、CO<sub>2</sub>排出量▲391t-CO<sub>2</sub>/年を達成した(図19、20)。

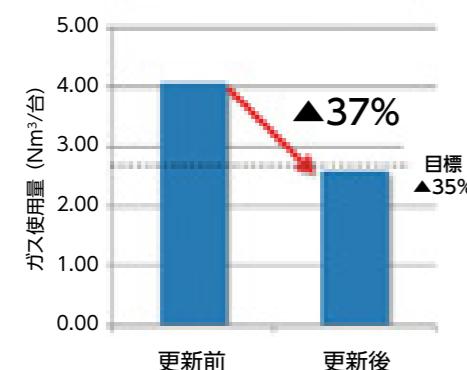


図19 ガス使用量  
Fig.19 Gas consumption, before and after update

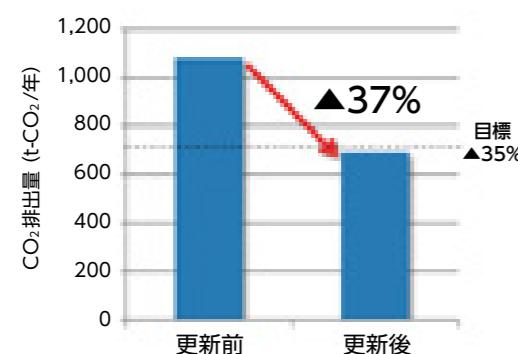


図20 CO<sub>2</sub>排出量  
Fig.20 An amount of CO<sub>2</sub> emissions

## 5 まとめ

長草工場には、今回更新した乾燥炉以外に5つの工程の乾燥炉があり、今回の考えを織り込んだ更新を行っていく。また、他設備のCO<sub>2</sub>削減を図るために重点思考でロスをなくす考え方を推進していく。

### ■著者紹介■



江崎 慎亮

# 論文



P.132 かご形誘導電動機におけるロータバー切れ時の定常特性解析

P.132 低温プラズマによるガスエンジンの点火手法の研究

P.133 高速IPMSMにおける高調波銅損と高調波鉄損を最小化するパルスパターンの検証

## かご形誘導電動機におけるロータバー切れ時の定常特性解析 Steady State Characteristics Analysis of Induction Motor with Broken Rotor Bars

河瀬 順洋<sup>\*1</sup> 山口 忠<sup>\*1</sup> 小澤 良輔<sup>\*1</sup> 魚住 啓斗<sup>\*1</sup> 河野 寛<sup>\*2</sup> 渡邊 将史<sup>\*2</sup> 草留 泰三<sup>\*2</sup>  
Yoshihiro Kawase Tadashi Yamaguchi Ryosuke Ozawa Hiroto Uozumi Hiroshi Kawano Masashi Watanabe Taizo Kusadome

\*1 岐阜大学 \*2 トヨタL&Fカンパニー R&Dセンター SC開発部

**要 旨** かご形誘導電動機は堅牢であることが知られているが、頻繁に始動停止を繰り返すような過負荷運転を続けると熱疲労により、ロータバーが切れる場合がある。これまで我々はかご形誘導電動機の始動時の解析を行い、バー切れが始ま特性に及ぼす影響について検討を行った。本論文では、スキー付きかご形誘導電動機を解析対象とし、三次元有限要素法を用いて、定常状態におけるバー切れの諸特性への影響を調べた。

キーワード：誘導電動機、バー切れ、並列三次元有限要素法

### Abstract

In this paper, we analyze a skewed squirrel-cage induction motor with broken bars using the 3-D parallel finite element method and investigate the influence of the broken bars on the characteristics as steady state. As a result, the steady torque, the current value and the loss, when the rotor bar is broken, are numerically clarified.

Keywords: Induction Motor, broken bars, 3-D parallel finite element method

## 低温プラズマによるガスエンジンの点火手法の研究 A Study of Ignition Method for Gas Engine using Low Temperature Plasma

塙本 貴大<sup>\*1</sup> 松本 僕<sup>\*1</sup> 嶋山 達也<sup>\*1</sup> 森吉 泰生<sup>\*1</sup> 前嶋 秀明<sup>\*2</sup> 衣沢 喜幸<sup>\*2</sup>  
Takahiro Tsukamoto Osamu Matsumoto Tatsuya Kuboyama Yasuo Moriyoshi Hideaki Maeshima Yoshiyuki Kinuzawa

\*1 千葉大学 \*2 エンジン事業部 技術統括部

**要 旨** ガスエンジンの新しい点火手法として、点火プラグの耐摩耗性向上、低エネルギーかつ、体積着火が可能な低温プラズマ点火が提案されている。本研究では、希薄燃焼限界の拡大を目的に、GHP用ガスエンジンを用い、点火プラグ諸元の影響と電源の高dV/dt化の影響を調査した。その結果、4電極点火プラグ採用により、従来の火花点火方式に対し、希薄燃焼限界の拡大を達成。また電源の高dV/dt化では、燃焼変動の抑制と燃焼期間の短縮により、熱効率の向上が確認された。

キーワード：火花点火エンジン、天然ガス、低温プラズマ、熱効率、NOx

### Abstract

Low-temperature plasma ignition has been proposed as a new ignition method for gas engines, which has improved wear resistance of the spark plug with low energy release and combustion enhancement. In this study, structure of ignitor and power supply performance with steep voltage rising are examined to investigate the effects on combustion performance for extending lean combustion limit using a gas heat pump engine. As a result, by adopting a 4-electrode spark plug, the lean combustion limit was expanded compared to the conventional spark ignition method. Steep dV/dt also realized small cycle-to-cycle variation, shorter combustion period and improvement of indicated thermal efficiency.

Keywords: Spark ignition engine, Natural gas, Low temperature plasma, Thermal efficiency, NOx

## 高速IPMSMにおける高調波銅損と高調波鉄損を最小化するパルスパターンの検証 Verification of Pulse Pattern to Minimize Harmonic Iron Loss and Harmonic Copper Loss for High Speed IPMSM

伊藤 健<sup>\*1</sup> 熊谷 崇宏<sup>\*1</sup> 伊東 淳一<sup>\*1</sup> 山根 和貴<sup>\*2</sup> 山田 伸明<sup>\*2</sup> 名和 政道<sup>\*2</sup>  
Takeshi Ito Takahiro Kumagai Jun-ichi Itoh Kazuki Yamane Nobuaki Yamada Masamichi Nawa

\*1 長岡技術科学大学 \*2 技術開発本部 開発第一部

**要 旨** モータドライブシステムの効率向上を目的に、高調波銅損と高調波鉄損から成るモータ高調波損失をPWMパルスパターンにより低減する方法が研究されている。これまでに、高調波銅損について非正弦波状の速度起電力を考慮した評価関数を導出し、粒子群最適化により最適なパルスパターンを生成し、実機検証にて有用性を確認した。また、高調波鉄損はインダクタンスを前提に磁束密度振幅に注目した評価関数を提案し、モータにおいても高い相関が得られるこを実機検証にて確認した。本論文では、2つの評価関数を組み合わせ、損失が最小となるパルスパターンの生成と実機検証を行った。

キーワード：モータ損失、最適パルスパターン、粒子群最適化法、高速IPMSM

### Abstract

Recently, PWM pattern to reduce motor losses have been studied for the purpose of improvement efficiency for motor drive systems. So far, harmonic copper loss is reduced by optimal PWM pattern applying copper loss evaluation function considering non-sinusoidal electromotive force. On the other hand, evaluation function of harmonic iron loss focused on magnetic flux density amplitude with inductance have been proposed. Evaluation value of harmonic iron loss have strongly correlate with iron loss in experimental value. This paper presents the verification of pulse pattern to minimize motor loss with evaluation function applying weighting factor.

Keywords: Motor loss, Optimum pluses pattern, Particle Swarm Optimization, High speed IPMSM

# 技報

TOYOTA INDUSTRIES TECHNICAL REVIEW

## 編集後記

いつも豊田自動織機技報をご愛読いただき誠にありがとうございます。執筆者の皆様や編集委員のおかげで71号をお届けすることができます。

近年、産業車両、物流業界における自動化や自動車でのCASE革命の進展、織維機械においてもデジタル革命の波が押し寄せています。

そこで、今号は「デジタル技術にどう立ち向かうか」をテーマに、特集では、当社のものづくりを支える情報システム部の取り組みを掲載し、トレンドでは、丸紅情報システムズ様にご寄稿頂きました。また、トピックスでは匠の技として、140年続く安藤七宝店様への訪問を通じて学んだ、伝統や伝承、品質を大事にする心を記事にしました。

当社が培ったものづくりの基本、経験を活かしたうえで、デジタル化の大きな変革に向かっていく流れを感じて頂きたいと思います。このような技術の移り変わりの中で、技報は、当社の技術の歴史を財産として残す活動です。また、社内の技術を知る機会としてもご活用頂ければ幸いです。

最後にご寄稿頂きました、丸紅情報システムズ様、社内の執筆者の皆様、編集委員の皆様に、技報事務局より厚く感謝申しあげます。

技報事務局(R&D統括部)  
北村 一典

## 編集委員

坪井 浩志	(コンプレッサ事業部)
野田 昇 (トヨタL&Fカンパニー)	伊東 大輔 (織維機械事業部)
足立 正樹 (自動車事業部)	和田 洋 (生技開発センター)
鈴木 譲 (エンジン事業部)	栗野 多太成 (ダイエンジニアリングセンター)
三輪 誠 (エレクトロニクス事業部)	星野 雅樹 (知的財産部)

## 豊田自動織機 技報 No.71

2020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 赤塚 裕哉  
印刷所 株式会社 アイワット



株式会社 豊田自動織機

