

TECHNICAL REVIEW

VOL. 67 2025

未来を創る脱炭素技術



目次

| | | | |
|-----------------|---|--|----|
| 巻頭言 | 豊かな地球を未来に残す | 安田 洋 | 1 |
| 特集 「未来を創る脱炭素技術」 | | | |
| 特別寄稿 | ポリマーのサーキュラーエコノミー | 伊藤 耕三 | 2 |
| 総説 | 脱炭素技術の今後の方向性 一次世代へ繋ぐ脱炭素社会の実現に向けてー | 川地 正禎 | 4 |
| 論文 | 豊田合成オリジナルブランド“Re-S”の事業化 ー脱炭素実現に貢献する新事業の立ち上げー | 伊藤 彰浩 | 10 |
| | 高品位再生ゴム製造のためのケミカル脱硫技術の開発 | 青 達也 瀬尾 明繁 | 15 |
| | 廃車由来プラスチックの水平リサイクル技術 | 田中 靖昭 内田 均 寺田 洋平 古川 欣史 水野 克俊 | 20 |
| | 生産工程のカーボンニュートラルへの取り組みについて | 赤星 茂一 木村 洋治 細江 登 | 27 |
| 新製品紹介 | 脱硫再生材 高添加オープニングトリムの開発 | 石川 結衣 中野 里咲 河村 滯 野竹 和也 木下 雅也 | 31 |

| | | | | |
|------|-------|---------------------------------|---|----|
| 一 般 | 論文 | 縦型 GaN トレンチ MOSFET 開発とインバータ動作実証 | 西井 潤弥 長谷川一也 田中 成明 丹羽 隆樹 | 33 |
| | 新技術紹介 | 車載イルミ向け通信技術 | 西山 哲朗 大西 良和 | 38 |
| | | ホットスタンプ製品の金型意匠面加工技術確立 | 杉浦 智哉 高木 諭司 村瀬 太基 | 41 |
| | | 低コストホットスタンプ工法開発 | 鈴木 紳也 早川 峰男 大里 雄也 | 44 |
| | 新製品紹介 | リバーシブルアームレスト | 釜谷 拓人 | 47 |
| | | 小型水浄化ユニット | 和田 聡 松永 直人 岡田 誠 出向井幸弘 飯田 充彦 林 貴文 | 50 |
| 知的財産 | | 知的財産権紹介 | | 53 |

CONTENTS

Preface

Handing Down a Greener World to
Our Children

Hiroshi Yasuda

1

Feature

Creating the Future with Decarbonization Technology

Contribution

Circular Economy for Polymers

Kohzo Ito

2

Review

Future Direction of Decarbonization
Technologies
—Progress Toward Decarbonization for a
Sustainable Future—

Masayoshi Kawachi

4

Technical Paper

Developing Toyoda Gosei's Original "Re-S"
Brand
—Starting a New Business that Contributes to
Decarbonization—

Akihiro Ito

10

Development of a Novel Chemical
Devulcanization Process for Rubber Recycling

Tatsuya Ao
Akishige Seo

15

Horizontal Recycling Technology for Plastics
from End-of-Life Vehicles for Use in Automotive
Applications

Yasuaki Tanaka
Hitoshi Uchida
Yohei Terada
Kinji Furukawa
Katsutoshi Mizuno

20

Efforts for Carbon Neutrality in Production
Processes

Shigekazu Akahoshi
Yoji Kimura
Noboru Hosoe

27

New Products

Development of Opening Trim with High Levels
of Devulcanized Recycled Material

Yui Ishikawa
Risa Nakano
Rei Kawamura
Kazuya Notake
Masaya Kinoshita

31

| | | | | |
|-----------------------|-----------------|--|---|----|
| General Article | Technical Paper | Progress in Development of a Vertical GaN Trench MOSFET, and an Inverter Demonstration | Junya Nishii Kazuya Hasegawa Nariaki Tanaka Takaki Niwa | 33 |
| | New Technology | Communication Technology for Onboard Vehicle Illumination | Tetsuro Nishiyama Yoshikazu Onishi | 38 |
| | | Establishment of Mold Design Surface Processing Technology for Hot Stamp Products | Tomoya Sugiura Satoshi Takagi Taiki Murase | 41 |
| | | Development of a Low-Cost Hot Stamping Method | Shinya Suzuki Mineo Hayakawa Yuya Osato | 44 |
| | New Products | Reversible Armrest | Takuto Kamaya | 47 |
| | | Compact Water Purification Unit | Satoshi Wada Naoto Matsunaga Makoto Okada Yukihiro Demukai Mitsuhiko Iida Takafumi Hayashi | 50 |
| Intellectual Property | | An Introduction to Toyoda Gosei's Intellectual Property Rights | | 53 |

豊かな地球を未来に残す

Handing Down a Greener World to Our Children



取締役副社長
安田 洋
Hiroshi Yasuda

豊田合成は、ゴム・樹脂をコア技術に、高分子の可能性を追求し、よりよい移動と暮らしを未来に繋ぐモノづくりのグローバル企業を目指し発展して参りました。主に、ゴム・樹脂の自動車部品を軸とした、モビリティ社会の変化を先取りした研究開発とモノづくり技術により、経済的な発展を遂げてきました。

ただ、一方で、ゴム・樹脂の、成形・加硫・塗装・めっきなどに代表される、私たちの製品製造工程では、大量の熱エネルギーを使うことが必要で、その過程で多くのCO₂を排出します。また、我々が世の中に提供するゴム・樹脂製品はそのままでは自然に還りません。昨今、世界各地で異常気象のニュースをよく耳にします。昔に比べ熱中症のリスクがかなり高くなっていることは明白です。CO₂を起因とした地球温暖化がかなりのスピードで進んでいる可能性が否定できません。また、マイクロプラスチックによる海洋汚染も深刻化しており、近い将来、マイクロプラスチックゴミの数が、魚の数を超えるのではと聞いたときは衝撃を受けました。豊田合成がゴム・樹脂の製品製造を生業にする以上、カーボンニュートラル・サーキュラーエコノミー・ネイチャーポジティブに取り組むことは宿命であり使命だと捉えています。

今後も、モノづくりのグローバル企業として、ステークホルダーのみなさまに認めていただくためには、社会的価値と経済的価値の両立が必須です。脱炭素社会の実現とは、どちらかを犠牲にすることではなく、その両立の先にあるべきです。

それは、単に声を上げるだけでは達成はできません。日々の省エネ改善活動、戦略的な再エネ活用はもちろん、モノづくり企業として圧倒的なCO₂削減と原価低減を実現する設計技術、材料技術、生産技術の革新に全社をあげて取り組んでいます。本書にもいくつか代表事例を投稿していますが、製品機能を落とさずに、材料を環境負荷の低い材料へ置換したり、分別しやすい設計構造へ根本的に見直したり、工程統合により圧倒的にCO₂使用量を削減する生産技術の確立など、多くの技術開発を実現しています。また、廃棄物に新たな価値を与えるモノづくりにも挑戦し、事業の一つとして育ててきています。

さて、話を少し変えて、私事で大変恐縮ですが、最近の一番の楽しみは、休日に4歳と1歳になる孫と過ごすことです。少し会わない間に歩けるようになったりと、彼らの成長には目を見張るものがあります。そう、彼らが成長する未来はすぐにやってきます。遠い先ではありません。私たち豊田合成グループは、2030事業計画に、提供価値として安心・安全・快適に“脱炭素”を加え、スコープ1、2のCN目標を2030年に前倒しすると同時に、サプライチェーンにおけるCO₂削減目標も宣言することで技術革新をさらに加速させています。

これは、私たち豊田合成グループだけの努力のみでは実現は難しい非常に高い目標です。技術革新においては、産官学連携による開発や、尖った技術をもつベンチャー企業様との連携に着手し一定の成果も出てきています。仕入れ先様や協力会社様と連携した活動も新たに立ち上げています。

さらに、その私たちの想いをより多くの方に広げるべく、ネイチャーポジティブの考えに基づき、里山整備、ビオトープの設置、干潟の保全活動など、地域のみなさまと一緒に、生物多様性の保全に向けた自然共生活動に取り組んでいます。

冒頭の言葉『豊かな地球を未来に残す』は我々の経営理念から持ってきています。先人から脈々と受け継いできたこの意思を、我々社員一人ひとりが言葉にしながら豊田合成グループ一丸となり、ステークホルダーのみなさまと一緒に脱炭素社会の実現に全力で取り組んで参ります。

なお、今回は特別寄稿として、SIP第3期「サーキュラーエコノミーシステムの構築」の中心的な存在として研究開発事業を推進している伊藤耕三(東京大学特別教授)様から、カーボンニュートラル・サーキュラーエコノミーに関する国内外の動向と併せ、私たち豊田合成に対する期待の言葉を頂戴しております。併せてご一読いただき、私たちの活動をご理解いただけますと幸いです。

ポリマーのサーキュラーエコノミー

伊藤 耕三^{*1}

Circular Economy for Polymers

Kohzo Ito^{*1}

1. はじめに

高分子材料は、自動車、航空機、電子・電気、建築、情報、食品、ヘルスケア分野など広範な産業分野で主に金属・無機材料の代替材料として開発され多量に利用されてきた。近年、地球環境保全の見地から、CO₂排出量の削減や資源循環型社会構築などに対する配慮が材料開発の段階から求められるようになってきた。一方で、マイクロプラスチックによる海洋汚染が世界的注目を集めるようになり、地球レベルでの環境保全への取り組みが一層高いレベルで求められている。このような状況の中で、サプライチェーン全体として産業競争力の向上や環境負荷を最小化するサーキュラーエコノミーシステムの構築を目指した技術開発が喫緊の課題となっている。また、消費者の行動変容を促す環境整備や特に欧州を意識した国際的な法規制への対応も加速する必要がある。

環境負荷の低減のためには、ポリマーの強靱性・耐久性を向上し、リユースして長く使うことが重要である。筆者は2014年に始まった内閣府 革新的研究開発プログラム (ImPACT) の中で、プログラムマネージャーとして自動車用タフポリマーの開発に産学連携で取り組んできた。現在はNEDO ムーンショット型研究開発事業「非可食性バイオマスを原料とした海洋分解可能なマルチロック型バイオポリマーの研究開発」と、2023年4月から始まった、内閣府 戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 第3期の「サーキュラーエコノミーシステムの構築」のリーダーを務めている。SIPには豊田合成が主要メンバーとして参画し、日本におけるサーキュラーエコノミーの構築に尽力いただいている。我が国はこれまで高分子分野で世界トップの技術レベルを誇ってきたが、資源循環という新たな国際基準による歴史的転換点を迎え、引き続き世界で主導権を維持するためには、産学官民一体となったサーキュラー

エコノミーシステムの技術開発とその社会実装が是非とも必要と考えている。

2. SIP「サーキュラーエコノミーシステムの構築」の概要

従来の大量生産・大量消費・大量廃棄の一方通行型社会（リニアエコノミー）は、本来自然が有している健全な物質循環を阻害するほか、気候変動問題や天然資源の枯渇、生物多様性の破壊など、様々な社会問題を引き起こしている。一方で、急速な勢いで発展する産業・工業を減速・縮小させる形での循環型社会（サーキュラーエコノミー）の実現は、ステークホルダー間の合意形成が難しい。そこで、持続可能な形で資源を利用しつつ、かつ、経済合理性をも同時に満足するサーキュラーエコノミーへの移行が急務であると世界的に認識されている。

このような気運の高まりを受け、2015年に欧州委員会は初のサーキュラーエコノミー行動計画を採択した。欧州がサーキュラーエコノミーへ移行し、国際競争力を高め、持続可能な経済成長を促進し、新たな雇用を創出するための施策が盛り込まれている。また2023年7月には、自動車の車両設計から生産、廃車までの過程における循環性の向上に向けた自動車設計・廃車管理における持続可能性要件に関する規則案（ELV規則案）が欧州議会及び理事会に対して提案され現在審議が行われている。サーキュラーエコノミーについては、「経済成長と雇用の創出」を強調し、経済政策を通じて環境に対応していく点が、これまでの環境政策との大きな違いと言える。特に、製品の流れをデジタル情報として共有することを前提としたデジタル・プロダクト・パスポート（DPP）等の新しいコンセプトが数多く提示されており、これがEU以外の国々にとっては、非関税参入障壁にもなりうると考えられている。

^{*1} 東京大学 特別教授／物質材料研究機構 フェロー

サーキュラーエコノミーの実現は、政府の規制又は特定の企業の技術開発だけで成立するものではなく、幅広いステークホルダーの相互連携が不可欠である。素材・製品開発といった動脈産業とリサイクルを担う静脈産業が連携した動静脈・静動脈連携、具体的には、素材・製品・流通・回収・分別・リサイクルの各段階の担い手が、先に述べたDPP等を利活用することにより、高度に連携し、バリューチェーンを構築することが求められる。加えて、サーキュラーエコノミーへの移行は従来のリニアエコノミーからのビジネスモデル・ライフスタイルの転換を意味するため、新しい価値観として社会に受容される必要がある。このためには、技術開発における自然科学的なアプローチだけでなく、社会・人文科学的なアプローチが必要である。産学官民の幅広いステークホルダーが一体となり社会課題の解決に取り組む「総合知」を活用したアプローチにより、企業・消費者の意識・行動変容も含めた取り組みが重要となる。

このような背景の元で2023年度から筆者がプログラムディレクターを務めるSIP「サーキュラーエコノミーの構築」が始まった。ELV規則案の需要を満たすためには、廃車からのリサイクル（Car-to-Car）だけでは足りず、一般の消費財を品質向上して自動車に展開する（X-to-Car）ことが必須となる。しかしながら、自動車のような耐久消費財には高品質のプラスチックが使用されているのに対して、一般消費財の品質は相対的に低い。その中から比較的高品質のプラスチックを大量に抽出し、さらに品質を向上して自動車用プラスチックとして利用することが重要である。そこで再生材の要件定義・規格検討（グレード化）のために必要不可欠となる再生材の物性データを蓄積したデータベースの構築も必要となる。

また、今後増加する再生材需要に対応するためには、再生材の品質に対するメーカーの信頼性向上を図るとともに、メーカーの要求品質を満たす再生材を質と量の両面で安定的に供給することも重要である。これは、再生材のバリューチェーン全体、すなわち消費者、リサイクラー、化学メー

カー、部品メーカー、製品メーカーなどに広く関わる問題であり、個社での対応困難な課題である。SIPにおいては、この流れを受け、高品質再生プラスチックの開発も計画に組み込んでいる。

2024年度の最も大きな成果として、市場から回収した再生材のポリプロピレン（PP）を25%含んだ材料で、豊田合成にグラブ・ボックスを試作いただいたところ、一部の再生材についてはトヨタ自動車株式会社から示された仕様をすべてクリアできた。これは実際にX-to-Carモデルが成立することを初めて明確に示した重要な結果であり、読売新聞などマスコミでも大きく紹介された。現在は、様々な一般消費財の再生PPを回収し、どの自動車部品で使用可能か検証を行っている。

3. おわりに

現在、SIPは14課題が進行中だが、本SIPは豊田合成の多大の貢献もあり、昨年度その中で一番高い評価を内閣府より頂戴した。そのため、経済産業省や環境省などでも、本SIPの成果はサーキュラーエコノミーの先進的なモデルケースとして注目され政策の中にどんどん取り込まれている。今後も豊田合成には、我が国のサーキュラーエコノミーを先導している本SIPにご協力いただければ幸いである。欧州の規制をピンチではなく大きなビジネスチャンスと捉え、イノベーションに結びつけることで、世界一の資源循環大国の実現を目指していきたい。

著 者



伊藤耕三

脱炭素技術の今後の方向性 —一次世代へ繋ぐ脱炭素社会の実現に向けて—

川地正禎^{*1}

Future Direction of Decarbonization Technologies —Progress Toward Decarbonization for a Sustainable Future—

Masayoshi Kawachi^{*1}

1. はじめに

私たちを取り巻く地球環境は、かつてないスピードで変化しており、気候変動問題はその最たる課題です。産業革命以来の急激なCO₂排出量増加は、地球温暖化を加速させ、異常気象の頻発、生態系の破壊といった深刻な影響を引き起こしています。このような状況下、世界各国は2015年のパリ協定を採択し、産業革命前からの平均気温上昇を2℃より十分低く保ち、1.5℃に抑える努力をするという長期目標を掲げ、脱炭素社会の実現に向けて大きく舵を切りました。

自動車産業においては、電動化の進展や自動運転技術の進化とともに、そのサプライチェーン全体でのCO₂排出量削減、資源の循環利用、そして自然生態系への配慮が、これまで以上に強く求められています。単に法規制を遵守するだけでなく、企業としての社会的責任を果たすという視点が不可欠です。

豊田合成は「限らない創造」を社是とし、長年にわたり自動車部品製造で事業活動を進めて参りました。2030事業計画においては、「脱炭素への貢献」をグローバル経営の最重要課題のひとつと位置付け（図－1）、単なる環境負荷の最小化に留まらない、環境と経済、社会が調和した持続可能な社会の実現に貢献する新たな価値創造を使命としています。

ここでは、こうした地球規模の課題に対し、長年培ってきた材料技術力と設計開発力、生産技術力、これらを基盤とするモノづくり力を最大限に活用し、脱炭素社会の実現をリードしていくという強い決意を持ち、それを実現するための独創的な技術戦略、そして具体的な取り組みについてご紹介します。



図－1 2030 事業計画

2. 豊田合成が目指す脱炭素戦略としての「CN・CE・NP 統合的アプローチ」

豊田合成は、持続可能な社会の実現に向け、「カーボンニュートラル（CN）」「サーキュラーエコノミー（CE）」「ネイチャーポジティブ（NP）」の3つの軸を統合した“豊田合成版 脱炭素戦略”（図－2）を策定し、具体的な目標を掲げ着実に推進しています。本戦略は、単なるCO₂排出量削減に留まらず、資源の有効活用や生物多様性の保全まで視野に入れた、統合的なアプローチです。

CN（カーボンニュートラル）は、「製品のライフサイクル全体」、すなわち原材料調達から生産、使用、廃棄、リサイクルに至るあらゆる段階でのCO₂排出量について、実質ゼロを目指すものです。自社の生産プロセスの徹底的な改善、省エネルギー化の推進、再生可能エネルギーへの転換、そしてサプライチェーン全体での排出量削減を包括的に推進します。

^{*1} カーボンニュートラル・環境推進部 担当副本部長
自動車事業統括本部 副本部長

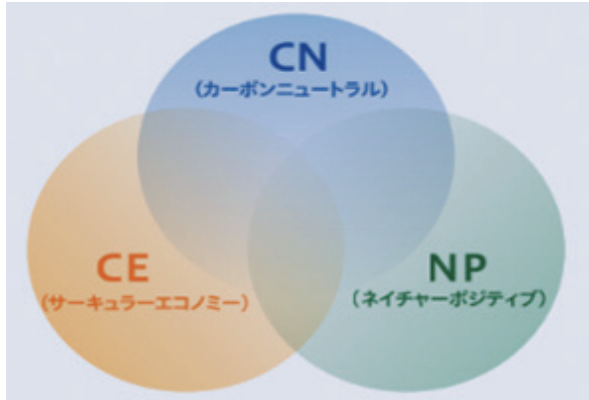


図-2 CN・CE・NP 統合的アプローチ

CE（サーキュラーエコノミー）は、使用済み製品の再利用、再資源化を徹底し、資源の投入量と廃棄物排出量を最小限に抑制することで、資源の循環利用を最大化する概念です。具体的には、材料リサイクル技術の高度化、製品の長寿命化、そして再生可能資源への積極的な転換を推進します。

NP（ネイチャーポジティブ）は、事業活動が自然環境に与える影響を最小化するだけでなく、生物多様性の保全と再生に積極的に貢献し、自然資本の回復を目指すという考え方です。生態系への配慮、生物多様性の保全、そして環境負荷の少ない製品設計を通じて、自然再興に貢献し、持続可能な社会の実現を目指します。

これまでの取り組みが認められ2024年度の活動成果としてCDP「気候変動」で初の「A」の評価をいただきました（図-3）。今後は、これらCN、CE、NPの活動について2026年度から始まる、「第8次取組みプラン」のなかで2030年度に向けた高い目標を設定し、革新的な技術開発とその社会実装を加速させていきます。

CDPで高評価を獲得 さらなる環境活動の充実に向けて取り組み

国際的な環境非営利団体であるCDP^{®1}が実施する企業調査において、「気候変動」で初の最高評価（A）を獲得、「サプライヤー・エンゲージメント評価」では6年連続となる最高評価の「リーダー・ボード」に選定されました。

また、「水セキュリティ」ではリーダーシップレベル^{®2}（A-（エーマイナス））の評価を獲得しました。更なる環境活動の充実に向けて、課題を抽出して改善に取り組み、レベルアップを図っています。



図-3 CDP「気候変動」最高評価「A」獲得

3. 脱炭素戦略を支える具体的な技術と取り組み

3-1. CN スコープ 1/2（自社排出）の技術戦略：抜本的な排出量削減に向けて

3-1-1. コア工程の省エネマトリクスによる省エネ活動の徹底

工場におけるエネルギー消費の削減は、CO₂

排出量削減の基盤と考えます。特に豊田合成のコア工程における効率的な生産を実現する省エネ技術は、今後のエネルギー費の高騰（図-4）も懸念される中、重要な競争力の一つとなり得ます。コア工程毎にきめ細やかな省エネ活動を徹底することで、グローバルでの更なる排出量削減を目指しています。

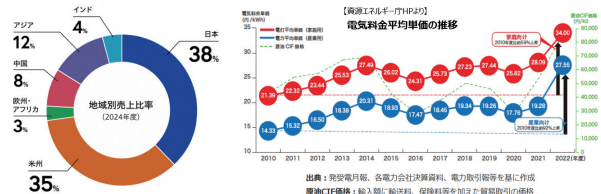


図-4 グローバル売上比率とエネルギー費高騰¹⁾

- 1) 現地現物ウォークスルーでの省エネやりつくし活動
- 2) ユーティリティ最適化
- 3) エアレス・蒸気レス化に向けた工程革新

これらの考え方で、徹底的に玉詰め活動を実施し、その改善アイテムを「工程別省エネマトリクス」として整理、関連する全工程への展開を進めています。さらにグローバル各地域にも展開することで、効果の最大化、スピードアップを目指します。

また、この「工程別省エネマトリクス」を豊田合成標準とし、継続的にブラッシュアップすることで、重点工程の“豊田合成らしさ”を磨き上げ、競争力のある工程を具現化します。

3-1-2. 電化・再エネ活用による化石燃料依存からの脱却

製造工程における熱源や動力源を、化石燃料から電力へと転換する「電化」を強力に推進しています。具体的には、塗装ブース空調の蒸気レス化や、ユーティリティにおいてのガス吸収冷温水発生器を実用することで、直接的なCO₂排出量の抜本的な削減を目指します。

また自社で使用する電力の再生可能エネルギーへの転換は、スコープ1/2排出量削減の大きな柱です。私たちは、工場への太陽光発電設備の導入を進めるとともに、再生可能エネルギー由来の電力購入を積極的に行っています。具体的には、TGミズーリにおける遊休地を活用した太陽光発電所の新設、また計画的な再生可能エネルギーへの切り替えを行っており、国内において、再エネ導入率20%を実現しております。

3-2. CN スコープ3 (サプライチェーン全体) 技術戦略

新しいモビリティ社会の到来とともに、EV (電気自動車) や FCV (燃料電池自動車) の普及が急速に進む中、関連する部品技術や材料技術も大きく変化しています。豊田合成の水素タンクも従来の乗用車だけでなく船舶や一般社会のエネルギーインフラへの期待値も高まっています (図-5)。

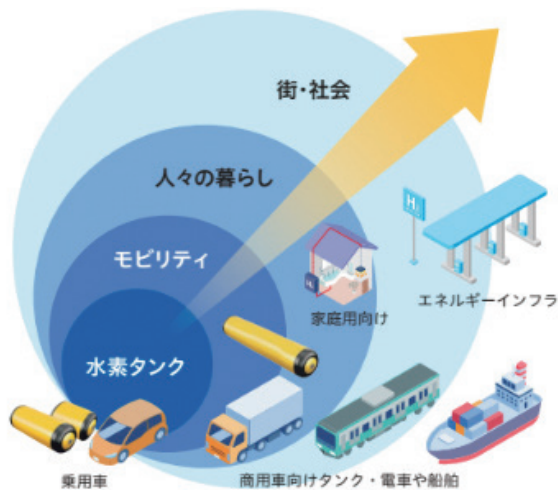


図-5 水素タンク事業の拡がり
自動車→インフラ

このような背景から、サプライチェーン全体でのCO₂排出量削減は、私たち一社だけでは達成できない、複雑かつ広範な課題となっています。私たちは、豊田合成グループ全体はもとより、材料メーカー様や仕入先様との強固な連携を通じて、各工程における排出量削減を総合的に推進し、スコープ3全体の排出量削減を目指します。

3-2-1. 豊田合成の取り組み：材料技術と設計開発力

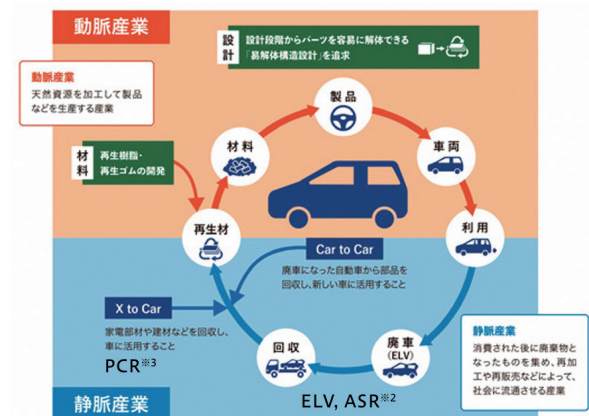
材料の選択と開発は、製品のライフサイクル全体における環境負荷を大きく左右する極めて重要な要素です。豊田合成は、長年培ってきたゴム・樹脂の専門技術と商品化・設計開発力を基盤に、競争力のあるモノづくりを実現してきました。

これらにより、環境負荷の低い材料への転換、軽量化、再生材料を適用した、競争力のある商品を提供し、CO₂排出量削減を実現します。

- 1) 再生材料開発、活用技術
- 2) 軽量化、薄肉化
- 3) バイオマス由来含む、低炭素材への材料置換
- 4) 易解体設計によるリサイクル促進
- 5) 新工法への置き換えによる低CO₂製品開発

エアバッグの基布やインフレーターに関する材料開発、既存材料からの置き換え、リサイクル促進は、グローバル規模で大きなインパクトを持つ重要なテーマです。

また、樹脂材料リサイクルにおいては、ELV指令案の適用を見据え、内外装品において多用されるポリプロピレン (PP) について、廃車由来材料を50%含む、高強度リサイクル材の開発を進めています。これはリサイクル材料の従来からの課題である異物混入への課題を克服したもので画期的な実績といえます (図-6)。



※1 ELV: End of Life Vehicle:使用済み自動車
 ※2 ASR: Automobile Shredder Residue:自動車シュレッダーダスト
 ※3 PCR: Post Consumer Recycled:消費者が使用済みの廃棄物

図-6 循環型 樹脂リサイクル 静脈 / 動脈

一方、付加価値の高い加飾技術においても開発が進んでおり、従来の樹脂めっき工法に置き換わる加飾としてのホットスタンプ工法や、環境負荷の高い工程の一つであるスプレー塗装工程の置き換えとしてインモールドコート技術の具現化、実用化があげられます。

3-2-2. 材料メーカー様との連携

環境負荷の低い材料の開発には、材料メーカー様との緊密な連携が不可欠です。私たちは、早期から材料メーカー様と共同開発を進め、高性能かつ低環境負荷な材料の製品適用を推進しています。

3-2-3. 仕入先様との連携

サプライチェーン全体のCO₂排出量削減には、仕入先様との連携も欠かせません。私たちは、仕入先様に対してCO₂排出量削減目標の設定だけに留まらず、豊田合成での省エネルギー活動の展開、再生可能エネルギーの導入などに向けた働きかけ、サプライチェーン全体の脱炭素化を共に進めています。具体的には、省エネを効果的に推進していくために、エネルギー見える化支援として“各種測定機器の貸し出し”、社内施設である“省

エネ道場”の見学，“省エネ勉強会”の開催などを実施しております。

3-3. CE（サーキュラーエコノミー）に関する技術戦略

サーキュラーエコノミーの実現は、資源の枯渇問題への対応だけでなく、CO₂排出量削減にも大きく貢献します。私たちは、製品のライフサイクル全体での資源循環を最大化することで、環境負荷の低減を目指します。

3-3-1. 再生ゴム・樹脂の活用に向けた技術開発

使用済み製品からの再生材活用を積極的に推進しています。特に、ゴムや樹脂は自動車部品の主要材料であり、これらの再生材活用はCE（サーキュラーエコノミー）実現の鍵となります。上述した樹脂の再生に加えて、ゴムにおいても独自技術である、「脱硫再生技術」によるリサイクルが挙げられます。

2030年までに再生ゴムを1,200t活用を目標に掲げ取り組んでいます。現時点でオープニングトリムWSに配合比率を20%まで引き上げ実用化をしています。今後再生する対象のゴム材料は自社製造工程のみならず、国内関係会社、他社ゴム製品も視野に入れて再生を進めています（図-7）。

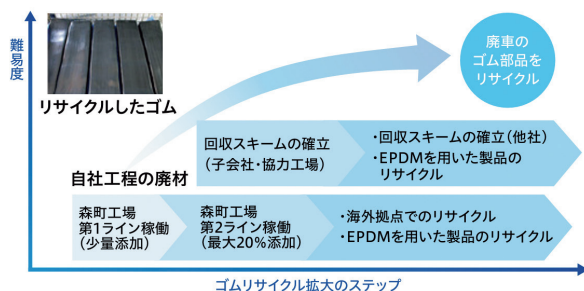


図-7 脱硫再生によるゴムリサイクルの拡大

3-4. NP（ネイチャーポジティブ）への取り組み

ネイチャーポジティブは、事業活動が自然環境に与える影響を最小化するだけでなく、生物多様性の保全と再生に積極的に貢献することです。

3-4-1. 生態系に配慮した材料開発と製品設計

製品の材料選定において、サプライチェーン全体での生態系への影響を考慮します。例えば、牛革など、森林破壊に繋がらない持続可能な供給源から調達された原材料の採用や、生分解性材料の活用を推進します。製品設計においても、リサイクル性だけでなく、自然界への影響が少ない素材

の使用や、製造工程における環境負荷低減を追求します。

3-4-2. 廃棄物・水のリスクの低減活動に向けた必要技術

生産プロセスにおける廃棄物の削減や水資源の有効活用は、環境負荷低減と資源循環に不可欠な要素です。私たちは、生産工程から排出される廃棄物の発生量削減、リサイクル率向上、そして水使用量の削減と再利用技術の高度化に取り組んでいます。

コア工程における水使用量の極小化等に加え、「小型浄化ユニットの開発」も社会課題に貢献できる重要なテーマと位置付けています。

3-4-3. 事業活動における環境負荷低減と地域貢献

豊田合成では、日々の生産活動で発生する端材を活用し、再活用することで、環境負荷の低減と地域貢献の両立を目指す事業をいくつか実施しています。

その一つに「Re-S」ブランドとしてのアップサイクル事業があります。エアバックの生地、革巻きハンドル用レザー、芦森工業様のシートベルト、飛騨地方の広葉樹など、多くの廃棄素材を活かし、独自のデザインによる商品企画と、飛騨高山の家具職人や、多治見市の就労支援施設のサポートもいただき、地域社会への貢献を実現しています（図-8）。



図-8 Re-S 飛騨高山 木工クラフトショップ「匠館」

また自然再興の観点でも、工場敷地内の緑地保全やビオトープ、地域社会との連携による環境活動を通じて、30by30など生物多様性の保全に貢献します。2019年から開始した「樹守の里」「陸実の里」などでの“森林保全活動”も、今年から仕入先様の参画も得て「十和の森」に拡大し、地元の皆様からも、認知をいただくようになってきております。

その活動を通じ、自社のゴム廃棄物を減らし

つつ、「再生ゴムを活用した森林保全ツールの提供」という形態でも実用化に向け取り組んでいます。更に、生産現場で金型用ゴムマットとしての活用にも広げ、自然再興に関する社会課題解決への貢献と、経済活動の両立を持続的に実現するモデルケースとして積極的に進めてまいります（図－9）。



図－9 再生ゴムを活用した森林保全ツールと金型マット

4. 未来に向けて持続的な成長を支えるために

4－1. パートナーとのオープンイノベーション

革新的な脱炭素技術の開発には、社外の知見を積極的に取り入れるオープンイノベーションが不可欠です。私たちは、お客様や各仕入先様との連携に加え、大学や研究機関との共同研究、スタートアップ企業との協業を積極的に推進し、新たな材料技術や生産プロセス技術の創出を加速させています。例えば、量子科学技術研究開発機構（QST）のナノテラス（NanoTerasu）という放射光を活用した設備（図－10）を活用し、これまで不可能だった観察・解析により、加硫のメカニズム解明を進めています。さらに大学の研究機関との共同開発も進め、共創の輪を広げることで、産業全体の脱炭素化と持続可能性にも貢献します。



図－10 ナノテラス（NanoTerasu）²⁾

4－2. 「モノづくり」と「人財」の重要性

今後も永続的に活動を継続し、持続的な成長を実現するためには、豊田合成の根幹である「モノづくり」のDNAと、それを支える「人財」の育成が不可欠です。私たちは、革新的な技術を生み出す「モノづくり」の追求と、未来を担う「人財」の育成を通じて、豊田合成の基盤を盤石なものにすることで、持続的な成長を実現します。

1) 「モノづくり」の進化：

長年培ってきた材料技術、設計開発力、生産技術の知見を深化させるとともに、デジタル技術やAIを融合することで、より高度で効率的な「モノづくり」へと進化させ続けることが重要です。

2) 「人財」の育成：

持続可能な社会の実現を担う多様な人財の育成は、私たちの最重要課題です。私たちは、従業員一人ひとりの専門能力向上と、多様な視点を持つ人財の育成に注力します。

5. 結び

この総説を通じて、私たちは、持続可能な社会の実現という揺るぎない信念のもと、豊田合成の未来を拓く挑戦を続けてまいります。多様な専門性と柔軟な発想力を持つ人財が、その能力を最大限に発揮できる環境を整え、脱炭素技術のイノベーターとして、地球全体の持続可能性に貢献する企業へと進化し続けます。

私たちの目指す未来は、単に豊田合成が成長するだけでなく、地球全体が持続可能な豊かな社会へと変革することです。この壮大な目標は、私たち一社だけでは達成できません。お客様、地域社会、政府・学術機関、そしてあらゆるステークホルダーの皆様との強固な連携と共創を通じて、知恵と力を結集することで、必ずや実現できると確信しております。

豊田合成は、これからも『未来を拓く企業』として、地球と社会の持続的な発展に貢献し続けることをお約束します。この壮大な挑戦に向け、皆様からの温かいご支援とパートナーシップを心よりお願い申し上げます。

参考文献

- 1) 資源エネルギー庁, 日本のエネルギー 2023
年度版「エネルギーの今を知る 10 の質問」,
2. 経済性
[https://www.enecho.meti.go.jp/about/
pamphlet/energy2023/02.html](https://www.enecho.meti.go.jp/about/pamphlet/energy2023/02.html)
- 2) ナノテラス HP より
ようこそ - NanoTerasu | 3 GeV Synchrotron
Radiation Facility in Japan

著 者



川地正禎

豊田合成オリジナルブランド“Re-S”の事業化 —脱炭素実現に貢献する新事業の立ち上げ—

伊藤彰浩^{*1}

Developing Toyota Gosei's Original “Re-S” Brand —Starting a New Business that Contributes to Decarbonization—

Akihiro Ito^{*1}

要旨

豊田合成オリジナルブランド“Re-S（リーズ）”^{*1}の活動は、2020年1月、専任チームとして2人体制でスタートした。生産工程で発生する廃棄物を活用した取り組みは“もったいない活動”^{*2}を起源とする。持続可能な“脱炭素に貢献する新事業”として位置付け、循環型社会実現に向けた廃棄物低減活動に加え、就労支援施設のサポートも併せた“社会貢献”と商品企画／製造／販売による“経済活動”の両立を目指し、活動の認知拡大と豊田合成の企業価値向上につなげる取り組みとして推進している。

Abstract

Toyoda Gosei's original brand Re-S activity began in January 2020 with a dedicated team of two people. Efforts to utilize waste materials generated in production processes stem from the concept of Mottainai activities. Re-S is positioned as a new business contributing to sustainable decarbonization. In addition to waste reduction activities aimed at achieving a circular society, we strive to balance social contribution—which includes support for vocational facilities—and economic activities through product planning, manufacturing, and sales. The Re-S project is being promoted as an initiative that will increase awareness and enhance Toyoda Gosei's corporate value.

1. はじめに

脱炭素社会実現に向け、何ができるか…と考え、スタートしたRe-S。商品企画から小売りまでを通して取り組む業務は、豊田合成内で事例がなく、知見やスキルもない中、手探りでの活動が始まった。脱炭素への貢献に向けたコラボ企画先、販売先…パートナー探し／仲間づくりのため、自治体産業振興課へのヒアリングやマッチングイベントへの参加を通じ、積極的にPR活動を展開。2022年開催のメッセ名古屋にて、日本外科学会定期学術集会事務局メンバーが豊田合成ブースを来訪。協議を進める中、2024年愛知県開催の学会向けのコングレスバッグとしてエアバッグ生地を使ったトートバッグ1万枚を採用いただくこととなった。

本稿では、脱炭素に貢献する新事業として、小

規模活動から事業化への起点となったバッグ1万枚受注対応に向けた諸施策について報告する。

2. これまでの取り組み

廃棄物活用の方法はアップサイクルという方法を採用した。素材をそのまま活かし、加工を経て付加価値のある商品に生まれ変わらせる手法で、マテリアルリサイクルのように難易度は高くない。エネルギーロスも小さく、スモールスタートに適しており持続可能性も高いと考える。不良素材を廃棄せずアップサイクル素材として活用することで、長く使い続けることができ、結果的に廃棄物抑制にもつながる。主な素材は豊田合成主要事業のコア製品であるエアバッグ用の基布と革巻きハンドル用の牛革を活用している。それ以外にも、環境部（現カーボ

^{*1} 経営企画部 SDGs関連商品室

^{*2} 1 Re-S（リーズ）

Re-Born, Re-Useなどの“Re-”とSustainabilityの“S”をつなげたブランド名。ロゴデザインは広報室に協力いただいた

^{*2} 2 もったいない活動

2018年6月より、環境部（現カーボンニュートラル・環境推進部）がスタートさせた環境活動。従業員で『もったいない』を『知る、考える、参加・行動する』取り組み

ンニュートラル・環境推進部（以下CN環境推進部）が推進する森林保全活動を通じ、木材（間伐材）にも着目した。Re-S商品向け木材は小径木（直径20センチ以下）や虫食いの広葉樹を対象とし、これらは家具や木工製品の生産には不向きで、木材としての価値が低い。燃料として木質チップに代えられたり、紙の原料として紙パルプに加工されることが主な用途である。これらの素材を木工製品に積極活用することで、付加価値向上につなげ、結果として間伐作業を促進、放置林に光が入ることで森が再生され、人工的な植林ではなく、自然が本来持つ力で回復に向かう循環が生まれると考える。

以上のようにRe-Sは社会貢献と経済活動の両立を目指す一方で、アップサイクルによる循環型社会の実現と間伐材等の木材も積極活用し、森林再生につなげる環境活動も推進する取り組みである。

2-1. 再生素材の確保

Re-S商品の素材は下記3点からスタートした（図-1）。

- ①エアバッグ生地
- ②革巻きハンドル用レザー
- ③美濃加茂市の広葉樹“アベマキ”

①、②はSS事業本部支援の下、社内外関係先から素材を集めた。生産工程で一定量発生する不良素材を対象とした。③は環境部（現CN環境推進部）協力の下、素材を確保。木工加工は飛騨高山の家具職人と協業で進めた。

活動が進むに連れ、他メーカーの生産過程で発生する廃棄材も取り込み、活動範囲を拡大。社内外関係者への理解活動を進め、環境活動を拡大させる仲間づくりを率先推進させた。特に芦森工業株式会社のシートベルト類の活用貢献度は大きい。

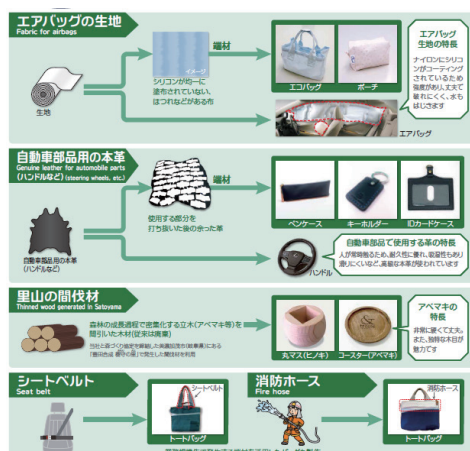


図-1 Re-S商品に活用した素材

2-2. 独自性を追求した商品企画

初品のリリースは2020年9月のエントリオオープンイベントで配布するバッグを目標とした。

加工ノウハウや委託候補先がない中、何とか量産にこぎつけることができたのはエアバッグ縫製メーカーである中国の華利達集団の存在が大きい。

反省点として、意匠性に乏しく加飾による付加価値向上の必要性を痛感した。その後、素材特性や加工方法の調査を重ね、素地⇒プリント加工⇒染色加工と素材加工の幅を広げた（図-2）。



【活動初期】 【プリント仕様】 【染色仕様】
図-2 素材加飾の経過

商品企画については、自宅作業場を商品開発拠点とし、自作によるスピード感を重視。意匠デザインも外部に頼らず自ら企画、サンプルも自作し課題抽出も同時並行した。自前主義を貫くことでスキル蓄積＝ノウハウの手の内化を進め、「外部に頼らない商品企画推進の流れ」を整備した。

並行して、社内外とのコラボ企画も推進し、仲間づくりを拡大。社内フリーアドレス化に伴い、専用バッグを人事部と企画。社外協業では、尖ったスキルを持つ木工メーカー、熟練の技術を持つ染色メーカー、就労支援施設には作りやすさを重視した企画を提案。それぞれの強みを活かした方法で積極的に活動範囲を広げ、商品ラインナップを拡充し認知拡大につなげた。個性的商品の事例は（図-3）に示す。

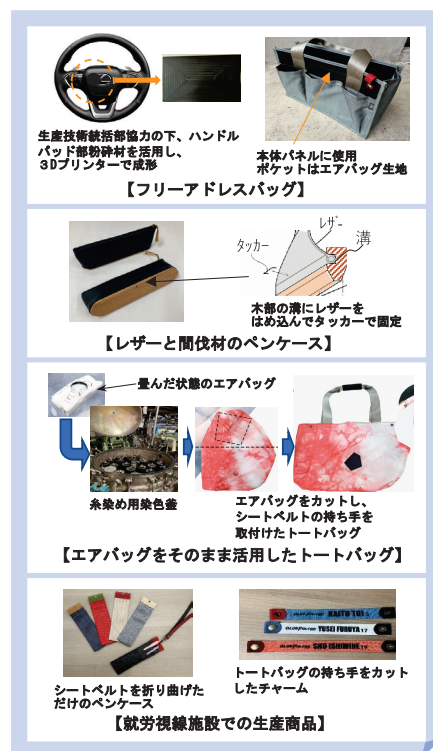


図-3 個性的な商品事例

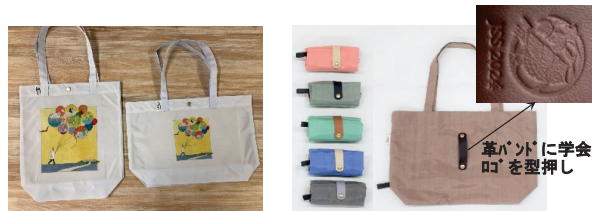
3. 事業化に向けたターニングポイント ～バッグ1万枚受注への対応～

学会メインテーマである「我が国の資源で持続可能な外科診療を考える」に対し、

- ・エアバッグ生産工程で発生する廃棄素材を活かしたアップサイクル活動が学会テーマに合致している点
- ・廃棄物低減と就労支援施設サポートによる社会貢献の両立を目標に掲げている点

上記を訴求し、商品提案とセットでPRすることで、候補として検討いただくこととなった。

初回サンプル提案では学会のイラスト入りのプリントバッグを提案。チープ感が残るため、染色カラーバッグを再提案（革バンドに学会ロゴ型押し）し、質感のレベルを図った（図－4）。



初期提案仕様 最終仕様
図－4 学会向け提案仕様（コンGRESバッグ）

並行して、VIP、招聘者への寄贈用として、既存品をカスタマイズした商品も提案（ヒノキマス、名刺入れ、ペンケース、オリジナルバッグ等）（図－5）。

いずれも顧客ニーズに応えると共に、廃棄素材のアップサイクルであることをアピールすることで、脱炭素への貢献を積極推進する企業であることを訴求。結果として受注につなげることができた。



図－5 学会向け提案仕様（贈答用商品）

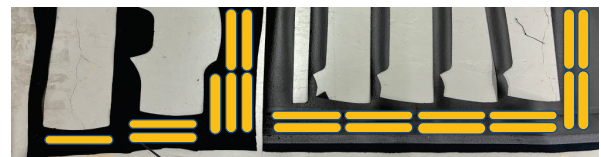
4. 事業化実現のための具体的取り組み

4－1. 海外再生材の確保

エアバッグ生地は主にSS事業本部や試作メーカーから、評価後のスペックアウト材や廃棄予定の余剰材を不定期で提供いただきながら生産適用していた。

トートバッグ1万枚生産には素材4000メートル（約1.8トン）が必要なため、別ルートでの確保が必要となった。調達部経由で素材メーカーにコンタクトし海外拠点で一定量の不良生地入手が可能であることを確認。素材調達に目途を付けた。（定期コンテナの空きスペースを活かし、輸送効率にも配慮）

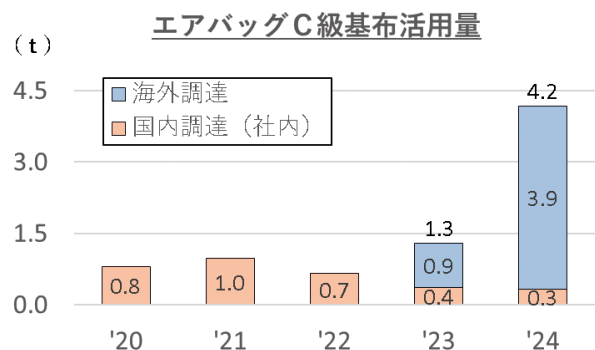
革バンドの素材については、サイズが小さく、原皮廃材の使用はもったいないため、SS事業本部で企画検討用に使用した後の“落とし革”を分けてもらい、生産に充てた（図－6）。



余剰材でモノ取り（黄色部）
図－6 落とし革の事例

以上のように、廃棄予定の材料を再生素材として活用できるよう社内関係部署に働きかけ、同時に素材確保先を海外にまで広げた。不良生地（C級基布）の活用量は（図－7）に示す。5年間でトータル8トンに達するが、今後、更に活用量を増やしたい。

海外からの素材調達に加え、現地生産拠点で発生する廃棄素材のアップサイクル活動（企画、製造、販売）も推進できるよう、グローバルでの連携も進めていきたい。



図－7 C級基布調達量（国内／海外）

4-2. ネック工程抽出とリソースの確保

受注確定から納品でのリードタイムは9カ月強、素材確保3か月+生産6カ月での対応を迫られた。当時のトートバッグ生産は500枚/月程度であったため、能力を3倍程度に引き上げる必要があった。

就労支援施設は通常のメーカーのような高負荷状態の生産継続は困難なため対応策を整理し、下記3点により生産キャパを確保した。

- ①加工委託先の追加確保（2社体制）
- ②ネック工程の洗い出しとアウトライン化
- ③単純作業の集約

①について

就労支援施設の活用は顧客である学会事務局からも賛同を得ていたため、その前提で人脈を伝って候補先を確保。力量確認のため、ハイボリュームトライを実施したが不良流出防止が改善できず断念した施設もありながら、外部アドバイザーの協力も得て、加工先探索を継続。結果的にQCDを満足できる施設を確保した。

②について

トートバッグ生産工程の作業を分解。裁断・縫製・ホックカシメに分別した結果、スペースが必要な裁断加工がネックであることが判明。アウトライン化を検討した。現状の手切りでは限界があるため、自動裁断機を所有している施設を探索した。同時に刑務作業にも着目し、法務局経由で名古屋刑務所にコンタクトを試みた。

コロナ禍での医療用防護服不足に対し、経産省より全国の刑務所に防護服生産の指示があり、自動裁断機が配備されたことが判明（図-8）。コロナ終息と共に裁断機の稼働も落ち着き裁断加工を快諾いただけたことで、ネック工程アウトライン化の目途を付けた。



図-8 名古屋刑務所の自動裁断設備

③について

- ・ミシン所有の施設には縫製作業に注力
- ・ホックカシメは簡易なハンドプレス機で対応可能

上記の通り安価な設備増設で生産キャパ増しが可能なカシメ作業をアウトライン化した。一部の

作業は、TG ウェルフェア株式会社に移管し、グループ内の仕事量確保にも寄与することができた。

①、②、③の課題に対して、それぞれ対応策を講じたことで目標の生産能力である2000枚/月を達成し、顧客要求に応えることができた（図-9）。



図-9 学会向け कांग्रेसバッグ配布風景

5. 更なる事業拡大＝脱炭素貢献に向けて

継続的なPR活動により、25年度は企業からの引合いも増加傾向にある。一定数のオーダーをいただいた場合でも、トートバッグでMAX2000枚/月まで生産可能な体制は整備できているため、今後はその前提で拡販活動を推進したい。

一方、顧客のカスタマイズ要求に都度対応できたことも大きな強みとなった。一からオリジナルデザインを起こすよりも、既存品をベースにカスタマイズした方が、廉価・短納期での提案が可能になり、費用対効果の面でもメリットは大きい。今後も加飾工法を増やし、提案の幅を広げ、より多くの方にRe-Sを広げていきたい。

冒頭でも述べた通り、廃棄物低減の取り組みは仲間づくりが肝になると考える。直近のコラボ事例は下記の通りである（図-10）。



図-10 直近のコラボ事例

今後も下記視点で仲間づくりを拡大させたい。

①商品コラボ

独自技術と廃材融合（再生材らしさを活かす）

②更なる再生材活用

エアバッグ生地、革、木材のみならず、SS事業本部以外の素材活用の拡大、更には他メーカーでの生産工程で発生する廃材を持ち合い、協業でかたちにする

③認知活動強化

社内外関係先での即売会（つながりを活かす）に加え、グローバルにおいても、環境活動としてのRe-SのPRと拡販を目指す

④次世代とのコラボ

子供向けに廃材を活用したワークショップを開催しており、最近引き合いが増加傾向である。（ショッピングモール、カーディーラー、出前授業、イベント参加等）生産工程で発生する廃棄物の低減はメーカーの責任であり、身近なモノづくりを通じて、我々の活動をわかりやすく次世代に伝える取り組みも重要であり今後も継続していきたい（図－11）。



図－11 ワークショップ事例

6. おわりに

外科学会向けトートバッグ1万枚において、まずは注文いただいた外科学会事務局関係者各位にお礼を申し上げる。また、無事生産を終えることができたのは社内外関係者の協力があってこそ達成できたと考える。特に、社外では就労支援施設に厳しい計画に対応いただいたことに感謝したい。また社内ではSS事業本部のサポートが大きな支えとなった。

商品企画～販売までを一気通貫で担う業務は全くの未経験であり、素人同然からスタートした。現時点で5年が経過し、少し進んだ感はあるが、まだまだ道半ばである。今後も仲間と共にこの取り組みを拡大させ、“社会貢献”と“経済活動”の両立を目指すと共に脱炭素への貢献とサーキュラエコノミー実現に努力したい。同時に本活動を次世代に引き継ぎ、少しでも暮らしやすい世界になるよう持続的な取り組みとしていきたい。

著 者



伊藤彰浩

高品位再生ゴム製造のためのケミカル脱硫技術の開発

青 達也^{*1}, 瀬尾明繁^{*1}Development of a Novel Chemical Devulcanization Process
for Rubber RecyclingTatsuya Ao^{*1}, Akishige Seo^{*1}

要旨

サーキュラーエコノミーの拡大に向けて、ゴムにおいても循環型リサイクルへのシフトが求められている。豊田合成では、高品質を追求した「脱硫再生技術」を独自に開発し、工程内で発生するゴム廃材のマテリアルリサイクルを実現している。現在は2本目の工程稼働により、生産能力が従来の2倍の年間1,200トンとなった。今後さらに領域を拡大していくため、脱硫材のさらなる高品位化が求められる。

この課題に対し我々は、硫黄に反応しやすい脱硫試薬を用いることで、架橋部のみを高効率かつ高選択的に切断する「ケミカル脱硫技術」の開発に取り組んでいる。本論文では、脱硫試薬の構造設計や反応の考え方などについて報告する。

Abstract

To expand the circular economy, the rubber industry also needs to shift to circular recycling. At Toyoda Gosei, we have independently developed a high-quality devulcanization and regeneration technology and achieved material recycling of rubber waste generated during production processes. With the second devulcanization and regeneration line now in operation, production capacity has doubled to 1,200 tons per year. Further expansion in the future will require even higher-quality devulcanized materials. To address this issue, we are developing a chemical devulcanization technology that uses a devulcanization reagent that reacts readily with sulfur to cleave only crosslinked portions with high efficiency and selectivity. Here, we report on the structural design of the devulcanization reagent and the reaction concept.

1. はじめに

サーキュラーエコノミー実現に向けて、ゴムにおいても循環型リサイクルへのシフトが求められている。自動車業界を含め、鉄やプラスチックなどの資源循環が進む一方、ゴム製品はリサイクルが難しく、ほとんどが焼却処分（熱利用）されているのが実状である（図-1）¹⁾。豊田合成は環境意識が高まり始めた1990年代、後述する「脱硫再生技術」を独自に開発し、工程内で発生するゴム廃材のリサイクルを実現している。また2024年には、2本目のゴムリサイクル工程を稼働し、生産能力が従来の2倍となる年間1,200トンとなった。新ラインでは、技術改良によりリサイクルしたゴムの品質も向上したことで、数パーセントだった新材への配合割合を、20パーセントま

で引き上げ可能となり、森町工場で製造するオープンングトリムウェザーストリップのほぼ全ての廃材をリサイクルできるようになった。さらなるリサイクルの拡大として、廃材と同種の合成ゴム（EPDM）を用いた他社製品や、天然ゴム領域などへの展開を検討している（図-2）。



図-1 主な自動車用材料のリサイクル実状

^{*1} 第1材料技術部 FC・WS 材料開発室

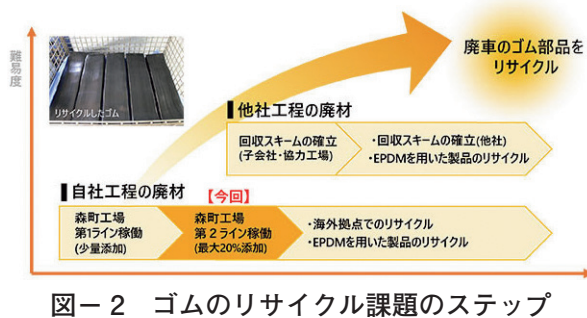


図-2 ゴムのリサイクル課題のステップ

2. 背景

2-1. 架橋ゴムのリサイクル技術

架橋ゴムの一般的なリサイクル技術としてパン法と呼ばれるバッチ式の加熱・加圧処理がある。図-3にパン法の概略図を示す。粉碎した架橋ゴムに適量の再生剤とオイルを添加してオートクレーブ（脱硫釜）に投入し、200℃の水蒸気を用いて約5時間の加熱処理を行うことで再生ゴムを得る技術である。本手法は脱硫処理に長時間を有する点、工程数が多い点から生産性に課題があると言われている。またゴムに苛烈な熱エネルギーを付与することから、架橋結合だけでなく、ポリマー主鎖の切断も進行してしまう。そのため得られる再生ゴムの特性が十分ではないという欠点を有する²⁾。

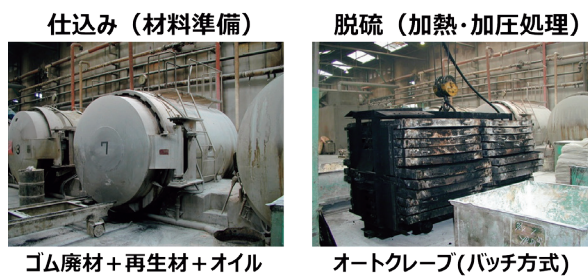


図-3 パン法の概略図

豊田合成では、このパン法に代わる架橋ゴムのリサイクル技術として株式会社豊田中央研究所、トヨタ自動車株式会社と協業で「せん断流動場反応制御技術」を開発した³⁾。本手法は二軸押出機のスクリュウ形状や設定条件を最適化することで熱・剪断力・圧力・滞留時間を制御し、ゴム内の架橋結合のみを選択的に分解することをコンセプトとしている。図-4に二軸押出機を用いた架橋ゴムリサイクル技術の概要を示す。粗粉碎されたゴム廃材を二軸押出機に投入すると粉碎ゾーンにて更なる微粉化が進行する。次に脱硫ゾーンにて瞬間的に剪断エネルギーが付与される。これにより架橋結合が選択的に切断されることで脱硫が進行する。最後に脱臭ゾーンにて二軸押出機内に水

を注入し、脱硫過程で生じた臭気成分を水に溶解させる。さらに真空バントより強制脱気することで再生ゴム特有の臭気を除去する。

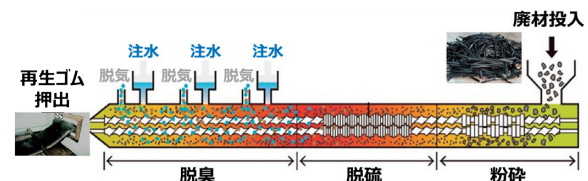


図-4 二軸押出機による脱硫技術概略図

パン法では再生処理に約5時間を要していたのに対し、本技術では約10分で脱硫が完了することから生産性は大幅に向上した。さらに短時間での脱硫を実現したことで、ゴム内の過剰な劣化を防ぎ、パン法再生ゴムに比べ大幅な物性向上を達成した。

2-2. 今後の狙い

前述のように、さらにゴムリサイクルを拡大していくにあたり、他社廃材、廃車ゴム部品はそもその素性が不明瞭な場合が多く、再生ゴムの品質もバラツキが大きくなると予想される。また天然ゴムは素材としての耐熱性がEPDMよりも低く、脱硫条件の良品範囲が狭いことが想定される。以上のことから、リサイクル領域拡大を目指すほどゴム再生の難易度は高くなるため、再生技術に関してもさらなる高品位化が求められている。

3. 本開発の考え方

以上を背景として我々は、高品位化の手段として、化学反応によって架橋結合を選択的に切断する「ケミカル脱硫」を考えた⁴⁾。具体的には硫黄原子とリン原子の親和性が高く、反応例も報告されていることから⁵⁾、脱硫試薬として有機リン化合物を用いることとした。図-5に、脱硫反応のコンセプトを示す。有機リン化合物が硫黄原子と反応し、硫黄架橋が切断されることで脱硫が進行する。このとき有機リン化合物は、ゴム主鎖とは反応せず、硫黄架橋のみと反応するため、主鎖骨格を維持した高品位な再生ゴムを得ることを狙った。

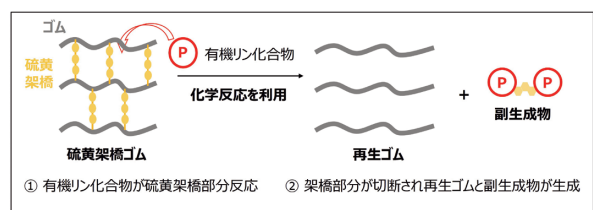


図-5 ケミカル脱硫の考え方

そこで基礎検証として、EPDM ゴムと天然ゴムの二つのゴム種を用いて下記の二点に取り組んだ。

- 1) 脱硫効果の高い有機リン化合物の構造の選定探索 (EPDM ゴム)
- 2) ジエン系ゴムへの展開と選択的架橋切断による脱硫進行の検討 (天然ゴム)

4. 実験結果と考察

4-1. 脱硫効果の高い有機リン化合物の構造の選定探索 (EPDM ゴム)

4-1-1. 実験方法

評価用サンプルとしては、標準配合 (参考: JIS K 6395) からカーボンブラックを除いた硫黄架橋 EPDM を準備した。実験では、粉碎した硫黄架橋 EPDM 1 g に対して、有機リン化合物を所定量添加し、溶媒 (1, 2-dichlorobenzene) とともに試験管に入れ、150℃で6時間加熱撹拌した。所定の反応時間経過後、ゴムを試験管から取り出し、エタノールで洗浄後、吸引ろ過により回収した。回収したゴムに対してトルエン膨潤試験を実施し、膨潤率から硫黄架橋密度を算出することで、脱硫反応の進行を評価した。

4-1-2. 実験結果と考察

はじめに、有機リン化合物の構造検討の結果を示す (図-6)。先行研究で利用例³⁾のある有機リン化合物 P-1 を用いて実験したところ、反応前よりゴムの架橋密度が約 48% 減少しており、架橋切断反応によって脱硫が進行したと考えられた。次に、新たに選定した P-2 を用いて検証したところ、架橋密度が約 83% 減少しており P-1 よりも脱硫が進行していることが確認された。この理由として、P-1 に比べて P-2 の方が反応しやすい構造をとることができ、リンが硫黄へ求核攻撃し架橋切断が進行したと考えられる。

これらの結果から、有機リン化合物の骨格として第二級ホスフィンオキシドのときに、脱硫効果が高いことが検証できた。

続いて有機リン化合物の骨格を第二級ホスフィンオキシドに固定し、置換基の効果について確認した (図-7)。電子供与基を有する P-2a を使用したとき、P-2 よりも脱硫が進んでいた。一方で、電子吸引基を有する P-2b のときは、P-2 よりも脱硫が進んでいなかった。また P-2c の時が P-2 よりも、これは置換基が嵩高く、リン原子が硫黄原子に攻撃しにくかったためと推定している。

以上の結果より、第二級ホスフィンオキシドの

置換基の電子的要因や構造的要因が、脱硫効果に影響あることが確認できた。

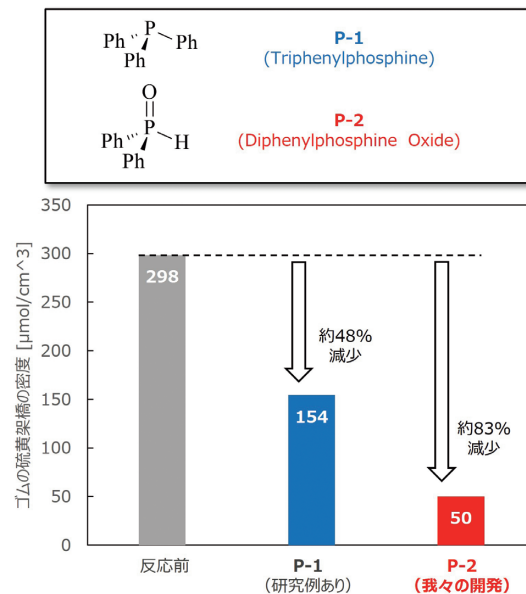


図-6 有機リン化合物の構造検討

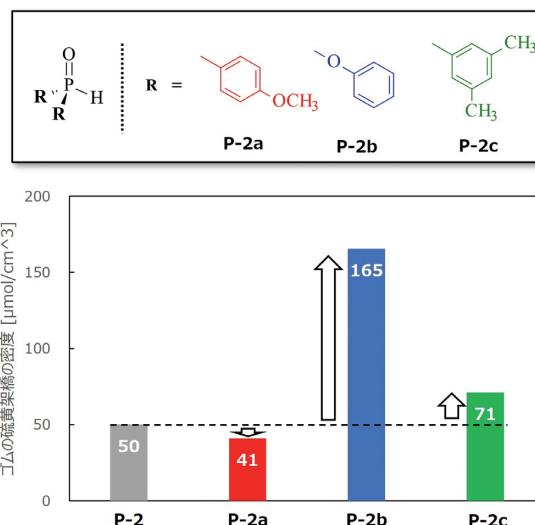


図-7 置換基の検討

ここで、第二級ホスフィンオキシドによる脱硫メカニズムについて、現在想定しているスキームを図-8に示す。ここでは有機リン化合物として、P-2を例に挙げている。脱硫試薬を使用した例として比較的報告例のあるラジカル反応機構⁶⁾ではなく、本反応では求核反応機構によって硫黄架橋切断が進行し脱硫が進行していると想定している。

まず、系中で P-2 が異性化し、リン原子の価数が5価から3価へと変化する。次に3価となったリン原子上の孤立電子対が硫黄架橋の硫黄原子を攻撃することで硫黄架橋が切断される。水素原子の移動を経て化合物 5, 6 が生成し、硫黄架橋の切断が完了すると考えられる。その後、化合物

6に残存する硫黄架橋に有機リン化合物が反応することを繰り返すことで、脱硫反応が進行していくと推定している。

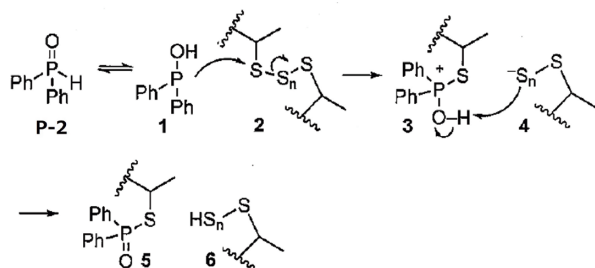


図-8 想定している脱硫反応のメカニズム

4-2. ジエン系ゴムへの展開と選択的架橋切断による脱硫進行の検討(天然ゴム)

4-2-1. 実験方法

使用サンプルとしては、標準配合(JIS K 6352)の天然ゴムを用いた。

実験では、0.5 cm片に切断した天然ゴム1 gに対して、P-2を過剰量添加し反応場を形成させ、試験管中で加熱攪拌させることで脱硫処理した。反応終了後、ゴムを取り出し吸引ろ過して回収した。回収したゴムは、再生ゴムとしてトルエン膨潤試験によって架橋密度を算出し、脱硫進行の評価をした。

4-2-2. 実験結果と考察

天然ゴムを110℃で6時間脱硫処理したところ、反応後のゴムの架橋密度が減少していることが確認された(図-9)。この結果から、EPDMと同様に天然ゴムにおいても有機リン化合物による脱硫が有効であることが確認された。

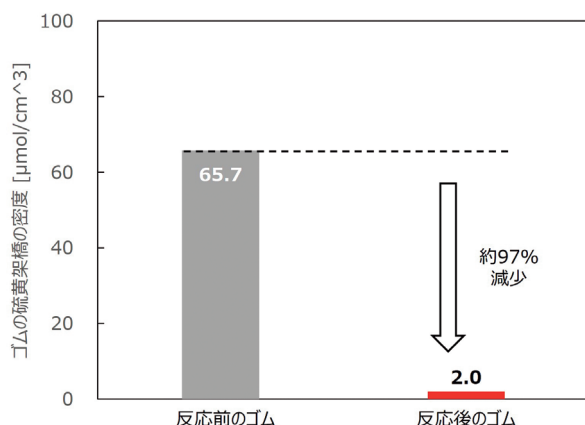


図-9 天然ゴムでの検討結果

続いて、硫黄架橋のみを切断する選択的脱硫の進行について検討した。経時変化で脱硫処理した反応後のゴムのゾル分率と重量平均分子量Mwの結果を図-10に示す。図のようにゾル分率が

が確認された、これは架橋切断が進行して脱硫が進行するとともに、長いゴム主鎖がゾル分に抽出されたため分子量Mwが増加したものと考えられる。この結果から、主鎖骨格を維持したまま、硫黄架橋のみが選択的に切断されて脱硫が進行していることが示唆された。以上より、ケミカル脱硫は、せん断脱硫と比較して高品位な脱硫方法であることが考えられる。

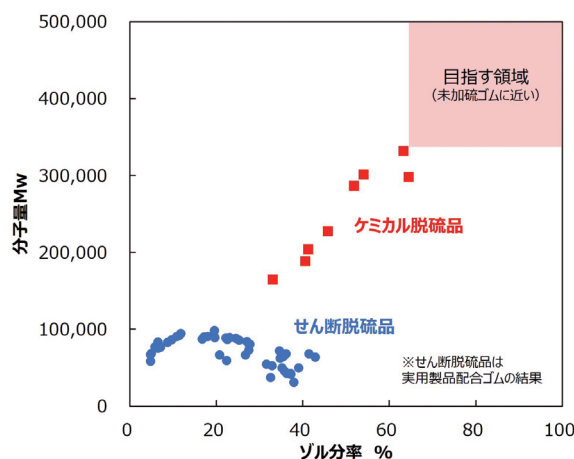


図-10 脱硫後ゴムのゾル分率と分子量の結果

5. まとめ

本論文では、有機リン化合物によるケミカル脱硫の検証を行った。有機リン化合物の最適構造を探索したところ、第二級ホスフィンオキシドを用いたときに脱硫効果が高いことを見出した。また、ジエン系ゴムである天然ゴムでも脱硫の進行が確認でき、様々なゴム種への適用が期待できる。ゾル分率が高くなるにつれて分子量が大きくなっている結果から、ゴム主鎖は保たれたまま、硫黄架橋のみが選択的に切断され脱硫が進行していることが示唆される。最後に、本技術は、我々の狙うマテリアルリサイクル拡大に貢献するための基礎技術となると考えている。将来的には、前述の二軸押出機によるせん断脱硫と組み合わせ、品質の高い再生ゴムの製造を目指す。以上のような取り組みで、業界全体の環境負荷の低減に貢献していきたいと考えている。

謝辞

本成果は、岐阜大学村井特任教授との共同研究ならびに、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の助成事業の結果得られたものです。ご支援・ご協力をいただきましたこと感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 豊田合成株式会社ニュースリリース,
“ゴムリサイクル工程の生産能力を強化”,
2024/10/18
- 2) 福田政仁, 豊田合成技報, Vol.52 (2010)
- 3) 毛利誠, “せん断流動場反応制御技術による
架橋ゴムの連続再生に関する研究” 博士論文
(2019)
- 4) 1. 青達也, 瀬尾明繁, 村井利昭, 日本ゴム
協会 2024 年年次大会, 若手口頭発表,
D-6 (2024)
2. 青達也 人とするまのテクノロジー展
2025Nagoya 中部支部研究発表会 (2025)
3. 豊田合成株式会社 再生ゴム活用量を拡大
30 年度に 1200 トン目指す 岐阜大
と新技術共同開発. 中部経済新聞. 2025-
09-05, 中部経済新聞電子版, [https://
www.chukei-news.co.jp/news/
2025/09/05/OK0002509050101_01/](https://www.chukei-news.co.jp/news/2025/09/05/OK0002509050101_01/)
(参照 2025-09-19)
- 5) Yajie Fu et al., *Molecules* 2025, 30, 2097.
- 6) 1. Noel, J.-N. et al., *ACS Sustainable Chem.
Eng.* 2022, 10, 159.
2. Ghoral, S. et al., *Mater. Today Commun.* 2023,
35, 106065.

著者



青 達也



瀬尾明繁

廃車由来プラスチックの水平リサイクル技術

田中靖昭^{*1}, 内田 均^{*1}, 寺田洋平^{*2}, 古川欣史^{*3}, 水野克俊^{*3}

Horizontal Recycling Technology for Plastics from End-of-Life Vehicles for Use in Automotive Applications

Yasuaki Tanaka^{*1}, Hitoshi Uchida^{*1}, Yohei Terada^{*2}Kinji Furukawa^{*3}, Katsutoshi Mizuno^{*3}

要旨

豊田合成は脱炭素を目指し、廃車由来のプラスチックを自動車部品にリサイクルする技術を業界に先駆けて実用化した。自動車でも最も使用量の多いポリプロピレン（PP）について、静脈産業との連携によりサプライチェーンを構築し、内装・外装部品への水平リサイクルを実現した。外装部品では塗膜剥離技術とPP配合設計により、ELV回収バンパー材50%含有でもバージン材同等の強度を達成した。内装部品では、リサイクル材から発生するVOC（揮発性有機化合物）をアミン系捕捉剤の添加により低減し、周辺部品への影響もないことを確認した。この技術により、従来は埋め立てや燃料処理されていた廃車プラスチックの価値を創出し、自動車産業のカーボンニュートラルと循環経済に貢献する基盤を構築した。

Abstract

Toyoda Gosei has pioneered the practical implementation of technology to recycle plastic from end-of-life vehicles for re-use in automotive parts, with the aim of decarbonization. Polypropylene (PP) is the most widely used plastic in automobiles, and the company has built a PP supply chain through collaboration with the reverse logistics industry to achieve horizontal recycling into interior and exterior parts. For exterior parts, we have achieved strength equivalent to virgin materials even with 50% content of bumper materials recovered from ELVs. This has been done mainly through paint film removal technology and PP compound design. For interior parts, we have reduced the volatile organic compounds (VOCs) generated from recycled materials by adding amine-based scavengers, and confirmed that this has no impact on surrounding parts. This technology creates value from waste vehicle plastics that were previously landfilled or used as fuel, establishing a foundation that will contribute to carbon neutrality and a circular economy in the automotive industry.

1. はじめに

豊田合成は、中長期経営計画（2030事業計画）のもと脱炭素をキーワードに高分子の知見を活かしたプラスチックとゴムのリサイクルを推進している。

プラスチックは軽くて、複雑な形状にも加工しやすいため、自動車にも多く使われている（図-1）。一方、環境負荷低減の観点から、プラスチックの資源循環に関わる法規制の強化が各国

で加速している。自動車業界では欧州の廃車規則の改定が議論され、車のプラスチック部品に一定割合のリサイクル材の使用が義務化される予定である。

そのため脱炭素と並び欧州の法規対応という側面もあり業界全体としての重要性が非常に高まっている。

本報告では、業界に先駆けて実現した「廃車由来のプラスチックを自動車用内装部品に適用」の事例について報告する。

*1 第2材料技術部 樹脂材料技術室

*2 第2材料技術部 樹脂リサイクル企画プロジェクト

*3 IE生技開発部 IE材料技術室

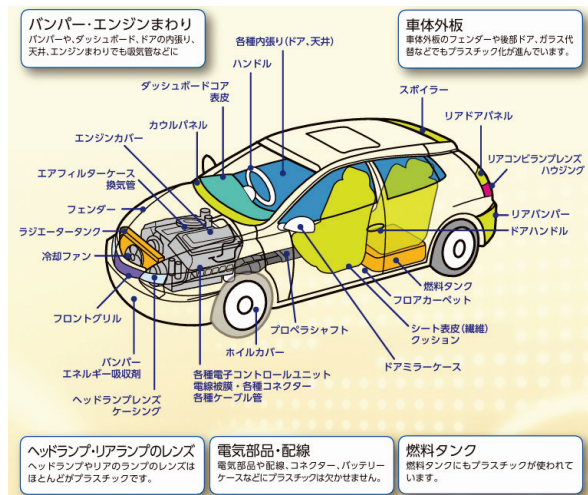


図-1 自動車に使われる主なプラスチック部品例¹⁾

2. 背景と目的

ポリプロピレン (PP) は自動車の中で最も多く使用されているプラスチック (図-2) であり、重量比率で 44% を占めている。豊田合成においては、多種多様な製品で PP を使用しており、なかでも内装及び外装部品は PP の使用比率が非常に高く、CE 実現に向けて早期のリサイクル技術の実用化が期待されている。

プラスチックのリサイクルは大きく分けるとサーマルリサイクル (熱回収)、ケミカルリサイクル、マテリアルリサイクルの 3 つの方法に分類 (表-1) され、日本ではサーマルリサイクルが広く行われている。

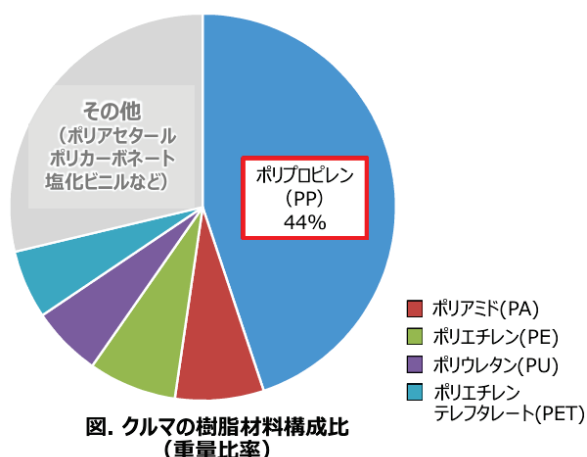


図-2 クルマの樹脂材料構成比率 (重量%)²⁾

表-1 リサイクルの 3 つの分類³⁾

| 分類 | 特徴 |
|------------|--|
| サーマルリサイクル | <ul style="list-style-type: none"> ・廃プラスチックを熱エネルギーとして利用する。 ・汚れや、異樹脂の混合の影響が小さく簡便である。 |
| ケミカルリサイクル | <ul style="list-style-type: none"> ・化学の力で分解して再利用する方法で、プラスチックを化学的に分解して元の材料 (モノマー) に戻す。 ・元の材料に戻すので、新品と同じくらい高品質な製品が作れる。 ・特別な設備や技術が必要で、コストが高く、まだまだ使用されていない。 |
| マテリアルリサイクル | <ul style="list-style-type: none"> ・廃プラスチックを、新たな製品原料としてリサイクルする。 ・リサイクル時に必要なエネルギーが少ない。 ・様々なグレードの材料が混ざり、性能が新材と比較して劣る。 |

サーマルリサイクルは、使用済製品を燃焼して、その熱で発電したり暖房に使ったりする。どんなプラスチックでも使え、汚れていても、種類が混ざっていても燃やせるので便利であるが、CO₂ が出るので、地球温暖化の原因になることもある。

ケミカルリサイクルは、使用済製品を化学的に分解し、化学原料 (モノマー・ガス等) として再利用する方法であり、新材と同等の品質の材料確保ができるが、価格及びリサイクルの過程で排出する CO₂ 排出量が多いのが課題である。

マテリアルリサイクルは、使用済製品から回収した材料を新たな製品の原材料として使用する方法でありリサイクル時の CO₂ 排出量が少ないが、使用時の劣化及び汚染の影響を受けること、均一な材料の回収が難しく不純物が混入することにより新材と同等の性能を得るのが難しい課題がある。

特に自動車から回収する廃プラスチックは、長期間使用による劣化、汚れ及び塗膜などの不純物混入等の問題があり、リサイクルの難易度が高くサーマルリサイクルまたは必要性能の低い用途に再利用 (ダウンサイクル) することが一般的である。

今回、自動車向けで最も使用量比率の大きい PP 材料について、難易度の高い外装 3 部品と内装 3 部品 (図-3) で水平リサイクルを実用化した。

外装部品は、リサイクル材に含まれる塗膜による材料性能低減を補完する開発材料を適用した。

内装部品は、材料物性に加えて VOC に対して改良をした開発材料を適用したので、それぞれの技術について報告する。

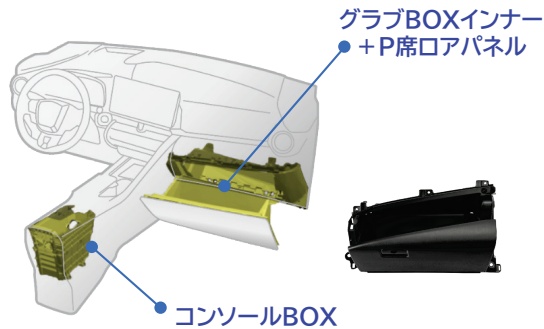


図-3 今回適用した内装樹脂部品
(外装部品は後述)

3. 動静脈連携による サプライチェーン構築

前述のとおり、廃自動車から発生するプラスチックはマテリアルリサイクルされることはほとんどなく、ASR (Automobile Shredder Residue) という形で回収され、埋め立てもしくは燃料という形で最終処理されることが大半であり、リサイクル推進に向け、サプライチェーン構築が必要である。

今回、廃プラスチックを入手するために、全国

の解体業者から廃車由来のプラスチック回収及び再生に取り組まれている静脈産業のいその株式会社と協業することでサプライチェーン構築を進めた (図-4)。

3-1. 解体業者との連携

図-4において、解体業者と連携して廃自動車由来のプラスチックを調達し、いその株式会社で物性調整及び異物除去をすることで自動車部品に適用可能なリサイクル原料となる。

この中で重要なのは解体業者において、いかに異物のない状態でPPを回収できるかが重要で、解体業者の協力が欠かせない。

実際の廃車から廃プラスチックを回収する過程は図-5に示すように、

- ①廃自動車からPPを使用した樹脂部品を取り外す
 - ②回収した自動車部品からPP材料以外 (シール、クリップ等の異材質) を取り除く
 - ③粉碎・洗浄してフレーク状に加工し梱包
- 以上の作業を解体業者に実施いただくことで、異材の少ない自動車に活用可能な廃プラスチック素材となる。

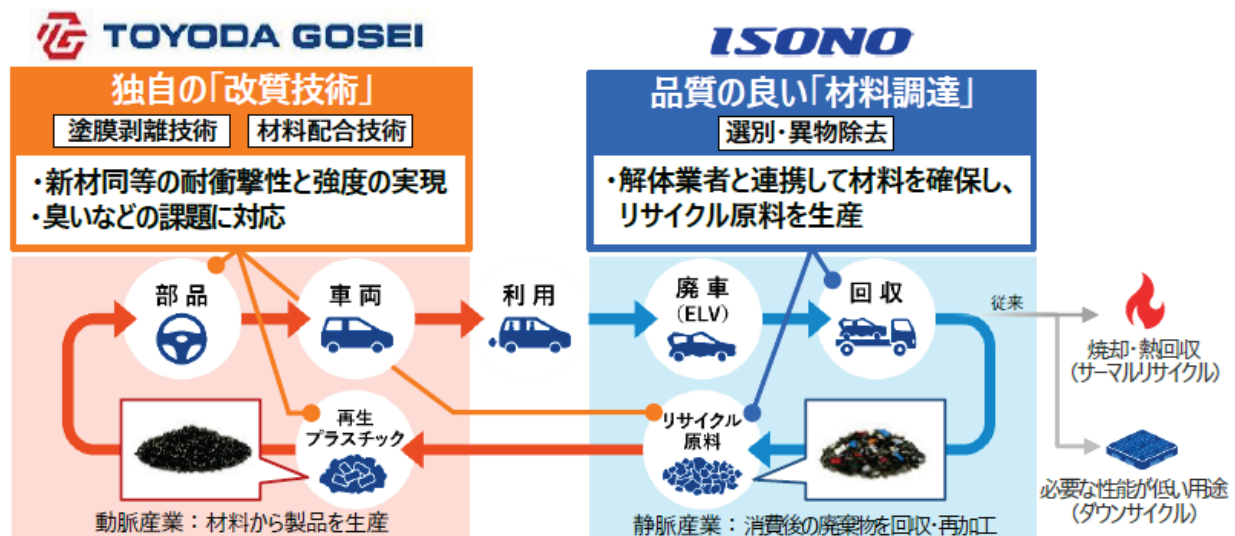


図-4 いその株式会社と協業して構築したサプライチェーン

<解体業者での樹脂回収の様子>



図-5 解体業者での PP 素材の回収

このような形で、静脈産業の解体業者及びその株式会社と動脈産業の豊田合成が連携したサプライチェーンを構築できた。

3-2. 今後について

廃自動車由来のリサイクル PP を使用した内装部品、外装部品を実用化することができた。そこには動静脈連携による、需要側と供給側のミスマッチの解消が重要であることがわかった。

そこで、これまで活用されていなかった廃車由来プラスチックの価値を全国の解体業者に認知いただき、廃車由来プラスチックの市場構築に引き続き貢献していきたい。更に、動静脈連携の知見を活かして、他の車種や自動車部品へのリサイクルプラスチックの適用を広げていく。

また、他産業の廃プラスチックでの自動車部品への適用も進め自動車産業の CN, CE に貢献する。

4. ELV 回収バンパー材を含有するリサイクル材料開発

4-1. ELV 回収バンパー材の活用

ELV (End of Life Vehicle: 使用済自動車のこと) から回収したバンパーは塗装が施されているため、そのままリサイクルすると塗膜が異物として作用し、主に耐衝撃性がバージン材と比較して劣る。さらに、様々な自動車メーカーのバンパーが混在するため、ロット間で耐衝撃性や弾性率などの物性ばらつきが生じる。

このような課題に対し、塗膜剥離による異物除去技術と独自の PP 配合設計技術を組み合わせることで、ELV 回収バンパー材を 50% 含む高強度リサイクル材を開発した。

本開発材料はバージン材と同程度の品質を確保していることから、インナーグリルやロアグリルシールといった、高剛性の性能が必要な外装部品へ採用された。

ここでは塗膜剥離技術と PP 配合設計技術による高強度化について述べる。

4-2. 塗膜剥離技術

塗膜剥離の手法として、有機溶剤を用いる化学的手法と、研磨やブラスト等による物理的手法に大別される (表-2)。しかしながら、従来の化学的手法では使用済み溶剤の処理が必要となるうえ、熱処理によるポリマーの熱分解が懸念される。また、物理的手法のブラスト処理においても、処理時間が長く量産性に不向きである。

これらの理由を踏まえ、今回は物理的手法の表面研磨を選択した。

表-2 塗膜剥離の既存手法

| 分類 | 塗膜剥離 | 物性保持 | 環境影響 | 処理時間 |
|-----|------|------|--------------|------|
| 化学的 | 溶剤剥離 | ○ | × (廃液処理要) | × |
| | 塗膜分解 | △ | ○ | ○ |
| 物理的 | 表面研磨 | △ | ○ | ○ |
| | ブラスト | △ | ○ | × |

凡例… ○: 採用可, △: 要検討, ×: 採用不可

採用した手法の剥離原理は、加圧・攪拌により材料同士で生じる摩擦力と摩擦熱を利用して塗膜を除去するものである。

本手法での塗膜剥離による衝撃性の改善効果を図-6 に示す。剥離処理されたものは、衝撃性がバージン材相当まで向上することが確認された。

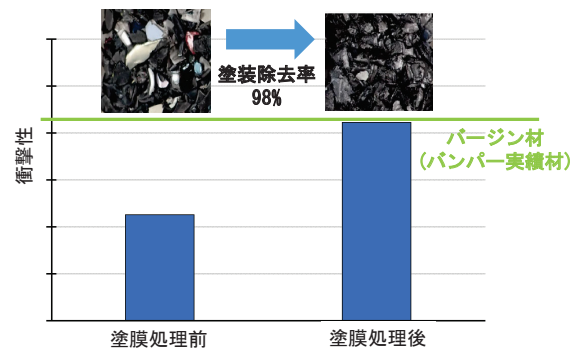


図-6 塗膜剥離による効果

4-3. PP 配合設計による高強度化

塗膜剥離材のさらなる高強度化を目指し、バージン原料配合による物性改質を行った。

物性改質のための配合設計として、①塗膜剥離で改善した衝撃性を維持しつつ弾性率を向上させることと、②回収バンパー材の物性ばらつきを吸収しつつ目標物性域に収めることに十分留意した。

豊田合成独自の配合ノウハウに基づき、複数のバージン PP 原料にタルクとゴムの補強材を組み合わせ、それぞれの配合材比を調整した (図-7)。

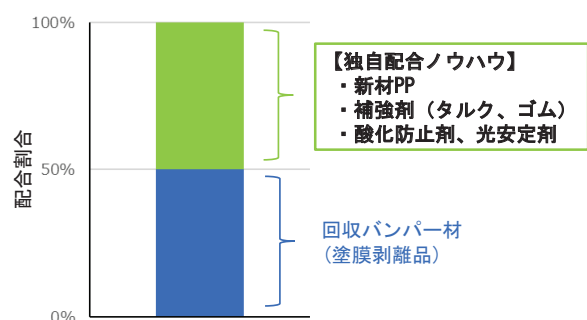
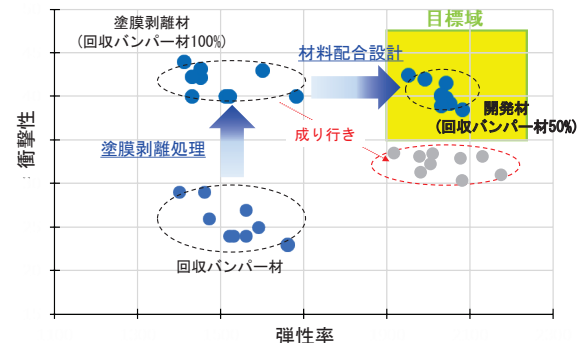


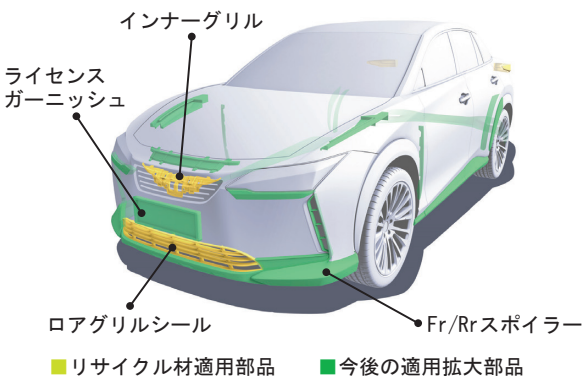
図-7 開発材の配合イメージ

その結果、回収バンパー材 50% の高含有率でありながら、バージン材と同程度の強度（衝撃性等を合わせた強さ）を達成することができた（図－8）。



図－8 材料改質の考え方

今後はフロントスポイラーやライセンスガーニッシュなどの意匠部品への適用を目指し（図－9）、さらなる外観品質の向上を行っていくとともに、ASR など新たなリサイクル原料の拡大に向けて挑戦を継続する。



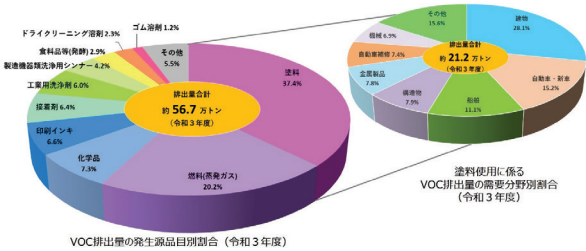
図－9 今回の適用製品（黄）と
今後に拡大したい部品（緑）

5. VOC（揮発性有機化合物）低減技術

5－1. VOC 対策の必要性

VOC とは、揮発性を有し、大気中で気体状となる有機化合物の総称であり、トルエン、キシレン、酢酸エチルなど多種多様な物質が含まれる。VOC は健康に様々な影響を与える可能性があり、シックハウス症候群の原因となることが報告されている。具体的な症状として、目の痛み、頭痛、注意力の低下、意欲の低下、寝付きが悪い、朝すっきり起きられない、イライラ、怒り、感情の爆発などが挙げられる。

VOC は、塗装、建設工事、印刷、脱脂洗浄や自動車への給油など、様々なところから排出される（図－10）。



図－10 VOC 発生源⁴⁾

自動車において、車室内 VOC 規制の目的は住宅のシックハウス症候群防止と同じであり、日本自動車工業会として自主規制するもの。規制物質は、厚生労働省が定めた 13 物質で濃度指針値も同じ。規制物質は以下の 13 種類である。（ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、トルエン、キシレン、エチルベンゼン、スチレン、パラジクロロベンゼン、テトラデカン、フタル酸ジ-*n* ブチル、フタル酸ジ-2 エチルヘキシル、クロロビリホス、ダイアジノン、フェノブカリブ）。

自主規制であるが、規制対応を一般公開しており、市販車で車室内 VOC が検出された場合は処置が必要となる重要品質製品である。

今回採用の ELV 回収材においても VOC 発生が検出されるため、その対策を材料面から実施した。

5－2. VOC 対策配合

VOC 対策をしていない開発材料の VOC 評価を実施した（表－3）。評価方法については、顧客規格に準拠した試料サイズ、加熱条件にて処理し、発生物質を HPLC（高速液体クロマトグラフィー）と GC-MS（ガスクロマトグラフ質量分析）によって定量した。

表－3 VOC 対策前の開発材の VOC 測定結果

| VOC 成分 | ELV50%配合材 |
|----------|-----------|
| トルエン | 規格未満 |
| キシレン | |
| スチレン | |
| エチルベンゼン | |
| DBP | |
| テトラデカン | |
| DOP | |
| ベンゼン | 規格超 |
| ホルムアルデヒド | |
| アセトアルデヒド | |

開発材では、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒドが高い値で検出された。原材料とする ELV 材において、アルデヒド値が高くなる要因として以下が挙げられる。

- 1) リサイクル工程中で発生する廃水や廃材からの VOC 発生
- 2) 金属（鉄／銅）との接触による PP（ポリプロピレン）の劣化
- 3) POM, ABS, ウレタンなどの VOC 発生要因となり得る材料の混入
- 4) 喫煙、芳香剤、体臭などの付着や浸透

以上のホルムアルデヒド、アセトアルデヒドの発生を抑制することが必要であり、その対策案を検討した。

5-3. VOC 対策剤の検討

市場には、アルデヒド排出を抑制する改質剤が種々販売されている。アルデヒド捕捉剤としては、物質として無機／有機／無機＋有機のもの、捕捉機構が化学吸着／物理吸着のもの、性状が粉末／マスターバッチ／液体のものなど、その効果についてもさまざま存在している。

その中で今回は、リサイクル PP へ添加すること、機械物性への影響が小さいこと、コストなどを考慮して有機官能基修飾無機粒子を選定した。捕捉機構はアミン系化学吸着機構となる。吸着されるアルデヒド類と化学結合を形成するため、活性炭やシリカゲルのような物理吸着機構の捕捉剤に比べて、吸着された物質を再放出しない点が特徴である。反応機構について図-11 に示す。

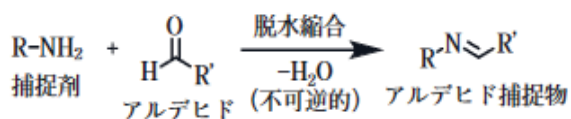


図-11 アルデヒド捕捉反応機構

アミン類の注意点として、反応性が高く、隣接する他部品（樹脂、塗装など）と反応して分解や変色を引き起こす可能性がある。これらについては、後で検証する。

アルデヒド捕捉剤を開発材へ添加した場合のホルムアルデヒド捕捉効果を図-12 に示す。ある添加量以上でホルムアルデヒドの検出が抑制されることを確認し、その添加量を設定した。アセトアルデヒドについても同様な結果が得られている。

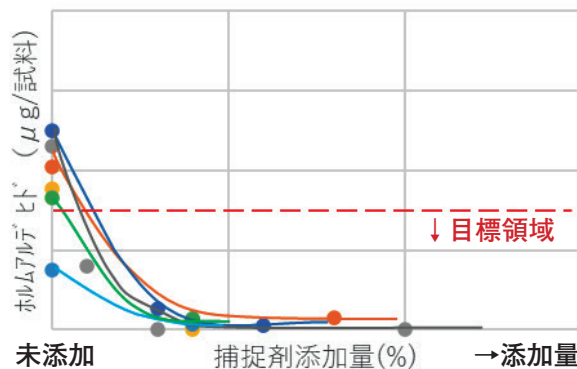


図-12 アルデヒド捕捉剤の効果

また、アルデヒド捕捉剤を添加したことによる機械物性への影響についても評価した。

PP 樹脂へ無機フィラーや充填剤を添加する場合、その分散性や衝撃性低下などが心配される。今回選定したアルデヒド捕捉剤も無機粒子骨格であるため、機械物性を評価した。その結果、機械物性についてアルデヒド捕捉剤を設定量添加した場合においても、無添加の場合と同等であることを確認された。

5-4. アルデヒド捕捉剤の周辺部品への影響

今回、アミン系アルデヒド捕捉剤を配合した材料を内装部品へ適用するにあたり、隣接する他部品への影響が心配される。

アミン類は反応性が高く、縮合重合系の物質と反応し分解・劣化、あるいは、変色や腐食を引き起こす可能性がある。特に3級アミンの場合、窒素原子 N が露出し反応性が高いことが知られている。今回選定のアミン系捕捉剤は、3級アミンではないが、アミンの反応性についての心配点を確認しておく必要があると考えた。自動車内装部品の場合、PC/ABS 製の部品や PVC 表皮などと PP 部品が隣接する設計の車両が考えられる。それら材料と今回の開発材の接触による影響を評価した。

PC/ABS への影響を評価する方法として、次の実験を実施した。PC/ABS のテストピース (TP) を開発材の TP で上下からサンドイッチ状に挟み密着させた状態 (図-13) で、製品耐久試験条件を想定した湿冷熱サイクルを実施し、その後の物性変化を測定した。

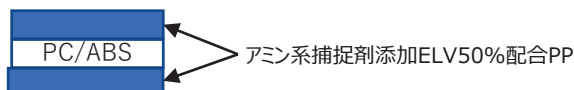


図-13 アルデヒド捕捉剤の PC/ABS への影響試験の形態

図-14に示すとおり、PPとの接触と湿冷熱サイクルにより、PC/ABSの衝撃値や引張伸びは変化せず、劣化が促進しないことを確認した。

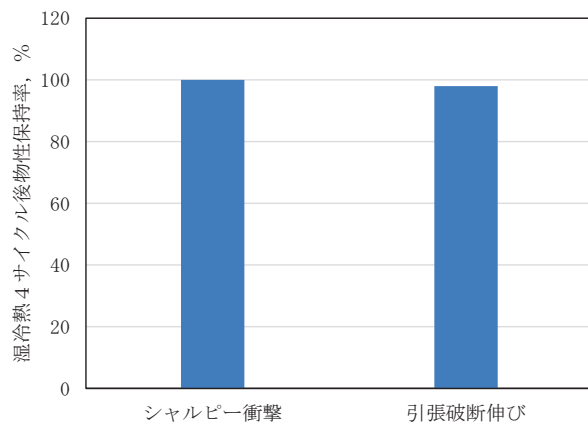


図-14 アルデヒド捕捉剤添加 ELV 配合 PP を接触させた PC/ABS の物性変化

次に PVC 表皮への影響を次の方法で評価した。PC/ABS の場合と同様に、PVC 表皮 TP をアミン系捕捉剤添加の開発材で上下からサンドイッチ状に挟み密着させた状態で、100℃×24 時間放置後の表皮変色を色差変化 (ΔE^*) 及び外観目視にて評価した。表皮 TP との接触面については、PVC 面と基布面の両側で評価した。表皮の色調については、ブラウン系とグレー系の 2 種類で実施した。試験状態を図-15に示す。

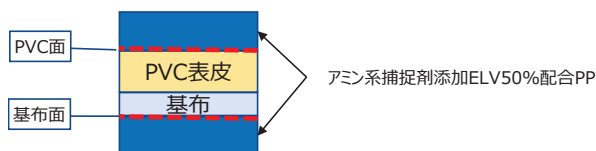


図-15 アルデヒド捕捉剤の PVC への影響試験

表-4に示すとおり、それぞれの色調の表皮において変色は発生せず、本捕捉剤によるアミン変色のリスクは低いと判断した。

表-4 アルデヒド捕捉剤添加 ELV 配合 PP を接触させた PVC 表皮の色差・外観評価結果

| 表皮の接触面 | 目標値 | ブラウン | | | | グレー | | | |
|--------|--------------|--------------|------|----|--------------|------|----|--------------|----|
| | ΔE^* | ΔE^* | 外観 | 判定 | ΔE^* | 外観 | 判定 | ΔE^* | 判定 |
| PVC 面 | ≤ 3.0 | 0.21 | 異常なし | ○ | 0.18 | 異常なし | ○ | | |
| 基布面 | | 0.14 | 異常なし | ○ | 0.14 | 異常なし | ○ | | |

5-5. VOC 低減技術のまとめ

上述したように、ELV 材から検出される VOC、特にアルデヒド類については、選定したアミン系捕捉剤の添加により、規格満足まで抑制することが可能となった。

6. まとめ、おわりに

廃自動車由来のリサイクル PP を使用した外装内装部品を実用化することができた。

今回の知見を活かして、他の車種や自動車部品へのリサイクルプラスチックの適用を広げていく。また、他産業の廃プラスチックでの自動車部品への適用も進める。

謝辞

今回のリサイクル技術の実用化にあたり、いその株式会社の皆様には、廃車由来プラスチックの回収・再生に関して多大なご協力をいただきました。解体業者との連携や、異物除去・物性調整など、実用化に向けた素材づくりにおいて、いその社の知見とご尽力が大きな力となりました。心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 日本プラスチック工業連盟 (編)。「暮らしの中のいろいろなプラスチック」
- 2) 自動車工業会。「再生材プラスチックの活用促進に向けた 自工会の取組みについて」
- 3) プラスチック循環利用協会。「プラスチックリサイクルの基礎知識」
- 4) 環境省「令和 4 年度揮発性有機化合物 排出インベントリ作成等に関する調査業務報告書 (R5)」

著 者



田中靖昭



内田 均



寺田洋平



古川欣史



水野克俊

生産工程のカーボンニュートラルへの取り組みについて

赤星茂一^{*1}, 木村洋治^{*1}, 細江 登^{*1}

Efforts for Carbon Neutrality in Production Processes

Shigekazu Akahoshi^{*1}, Yoji Kimura^{*1}, Noboru Hosoe^{*1}

要旨

2030年カーボンニュートラル達成に向けて、豊田合成の生産工程におけるカーボンニュートラルへの取り組みについて紹介する。各工程における省エネや工法革新のポイントおよび、カーボンニュートラルを早期に実現するための方策について説明する。

Abstract

We introduce the efforts Toyoda Gosei has been making towards the achievement of carbon neutrality in the company's production processes by 2030. This article will cover key points in saving energy and innovating the methods used in each manufacturing process, and explain strategies to achieve carbon neutrality at an early stage.

1. はじめに

気候変動対策に関する長期的な枠組みであるパリ協定の1.5℃目標が採択されてから、脱炭素に対する関心は年々高まってきており、日本においても2050年カーボンニュートラルを宣言し、環境問題が企業が取り組むべき課題としてこれまでにないほど重要になってきた。

2025年の夏場の猛暑日(最高気温35℃以上の日)の日数は名古屋で52日であり、2000年の約2倍、1990年の約4倍となっており、最高気温も40℃を超える地域もある等、誰もが実感している通り、危機的な状況に近づきつつある(図-1)。

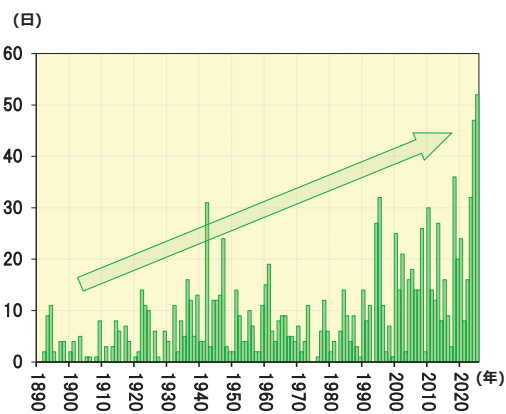


図-1 名古屋の年間猛暑日 日数¹⁾

豊田合成においても、2030事業計画の中で「安心・安全」、「快適」、「脱炭素」を掲げて、カーボンニュートラル達成時期を2050年から2030年へ前倒しを宣言し、取り組みを加速している(図-2)。

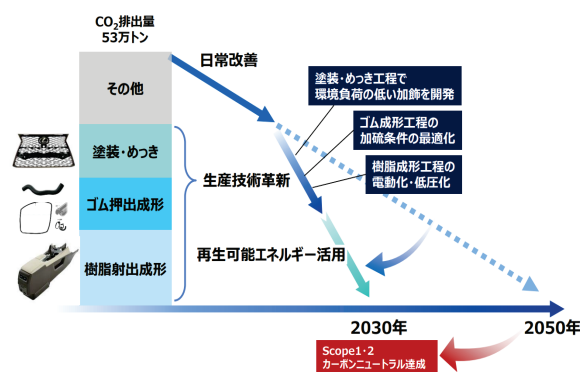
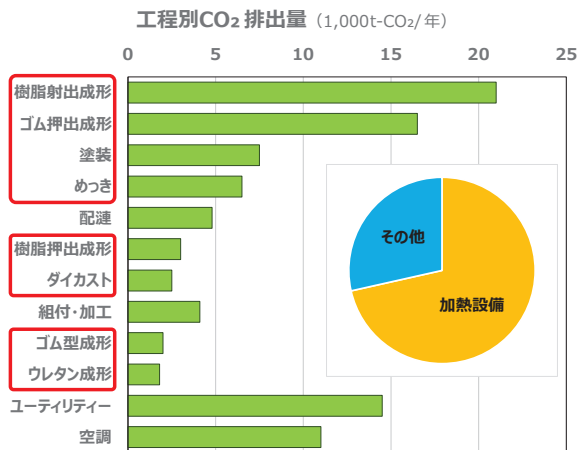


図-2 豊田合成のカーボンニュートラル

2. 生産工程の省エネ

豊田合成はゴム、樹脂の高分子を使った自動車部品を軸とした商品の生産を行っており、このゴム、樹脂を使った商品は、樹脂を溶かして流して固める、ゴムを練って流して加熱するといった、いずれも大量の熱エネルギーを使うことが必要で、その過程で多くのCO₂を排出しており、主要工場のCO₂排出量の約70%を占めている(図-3)。

^{*1} 生産技術統括部 カーボンニュートラル生産工程推進室

図-3 工程別 CO₂ 排出量

我々、豊田合成はこれらの熱エネルギーを効率的に有効に使うために、加熱設備の省エネの取り組みを行っており、その代表的な事例を紹介する。

2-1. 樹脂射出成形工程の取り組み

前回も報告したように、射出成形機の油圧式と電動式の電力の差は1/3程度になることが分かっており（図-4）、カーボンニュートラルを考えた計画的な老朽化更新計画に舵を切るとともに、新規設備導入時には、金型のコンパクト化による成形機のクラスダウンや材料開発によるハイサイクル化や薄肉化についても力を入れて検討することで、電力使用量を抑制するとともに材料使用量の低減にもつなげている。

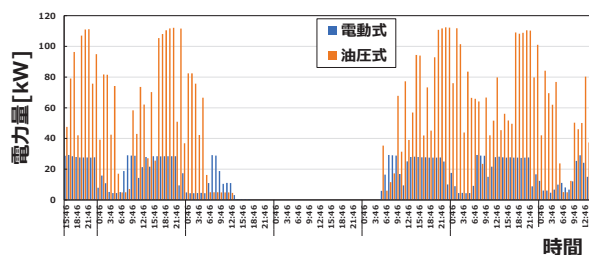


図-4 射出成形機の電力量実績調査結果

また、電動化に加えて、射出成形機の放熱ロスについても射出ユニットへ断熱ジャケットを装着してヒーターのエネルギー使用量を半減させる等、徹底的な省エネを実践している（図-5）。

2-2. ゴム押出・加硫工程の取り組み

ゴム製の自動車用ホースは、弾性を持たせるため、成形後に高温の蒸気で満たした大型の缶に入れて加熱する（図-6）。その際、所定の温度まで上昇させるのに大量の蒸気を使用しており、蒸気を作り出すためにガスを大量に消費していた。

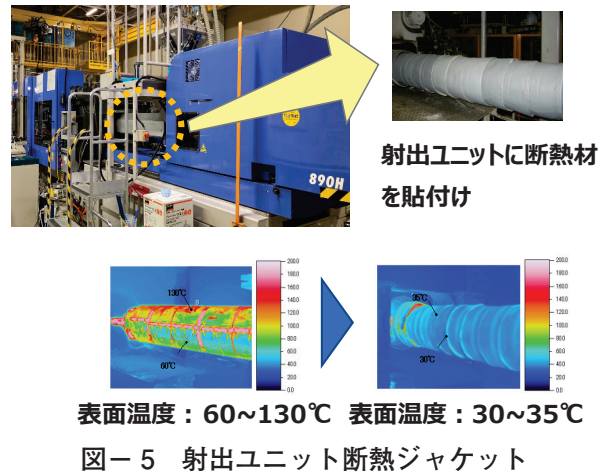


図-5 射出ユニット断熱ジャケット

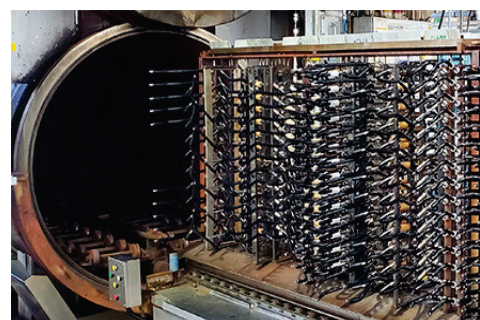


図-6 ゴムホースの缶加硫

豊田合成は蒸気の使用量を減らすため、缶内の空気を蒸気に入れ替えるプロセスに着目し、内部の気流や熱分布を高い精度で解析できる豊田中央研究所のシミュレーション技術を活用し、入れ替え時に必要な蒸気量を従来から半減させる技術を開発した（図-7）。

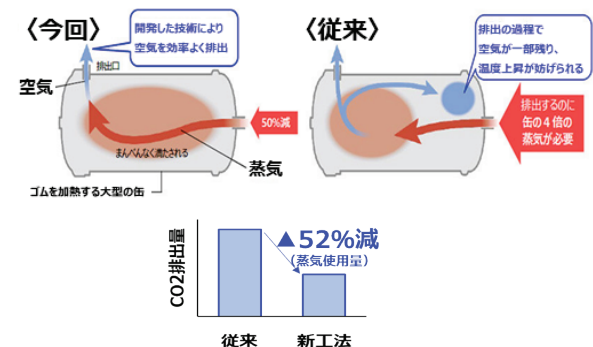


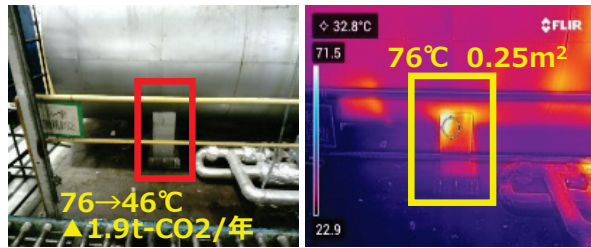
図-7 缶加硫蒸気使用量低減

この省エネ技術は、豊田合成の森町工場（静岡県周智郡）で活用しており、年間110トンのCO₂削減につながり、今後、BEV化による冷却系ホースの増加により工程数も増えるため、国内外の工程への適用拡大を予定している。

また、放熱ロスを徹底的に抑制するため、社内でチームを結成し工程のウォークスルー活動を行うことで、今まで気づかなかった部分のロスが見

つかり、更なる省エネに貢献している（図－8）。

■ 構造部材から伝熱による熱漏れ(蒸気缶)

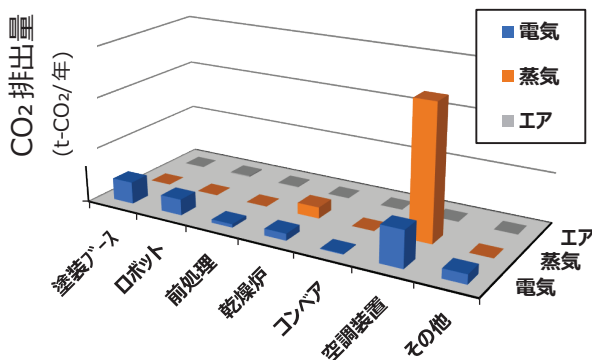


図－8 缶加硫の放熱ロス

今後はマンドレルの搭載方法の検討による効率化を図り、生産性向上に加えて省エネを狙う。

2－3. 塗装工程の取り組み

塗装工程では製品に塗装を施す際に使用するエネルギーはもとより、安定して良品を生産するための環境として、温度、湿度を一定に保つことが重要で、そのための空調や給排気で使用する電力が塗装工程全体の40%以上を占めることが分かっており（図－9）、塗装ブース体積の▲30%コンパクト化とヒートポンプの採用により、消費エネルギー低減を図ることができた（図－10）。



図－9 塗装工程のCO₂の焔



図－10 塗装工程のコンパクト化

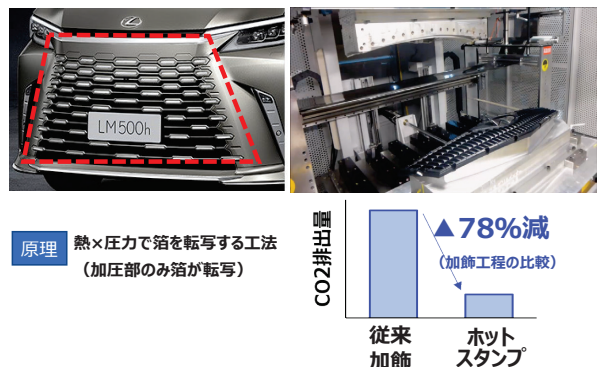
2－4. 生技革新によるエネルギー削減

豊田合成では革新的な技術を生み出す「モノづくり」を追求し、画期的なエネルギー削減を実現する生産技術の革新に力を入れている。

樹脂製品へ加飾をする工程において、工程そのものを減らす・なくす取り組みを積極的に進め、

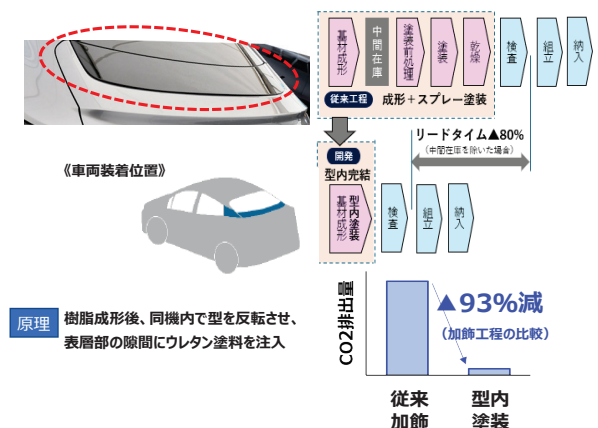
リードタイムの短縮と共に、工程のCO₂を大幅に削減する技術を確立した。

めっき工程に代わり、熱×圧力で箔を転写させるホットスタンプ工法では工程のCO₂排出量を78%低減した（図－11）。



図－11 ホットスタンプ工法

また、塗装工程を使わず、射出成形機内の型内で加飾を完結させる型内塗装工法の技術を確立し、工程のCO₂排出量を93%低減した（図－12）。

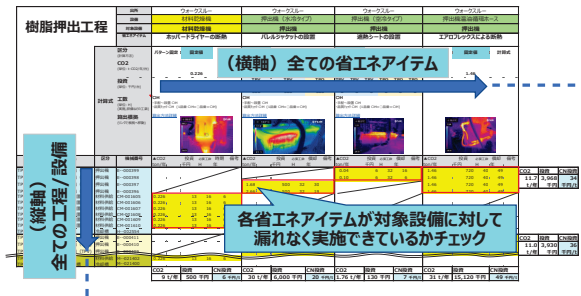


図－12 型内塗装工法

豊田合成はこれからも樹脂、ゴム等の高分子を扱うトップランナーとして、生産技術革新による画期的なエネルギー削減を進めていく。

3. グローバル展開

2030年カーボンニュートラル達成まであと5年しかなく、確実に実現させるためにコア工程の「工程別省エネマトリックス」（図－13）やGPES（グローバル生産技術情報共有システム）を活用したグローバルネットワークのしくみを活用して、早く、取りこぼしのない省エネアイテムのグローバル展開を進めている。



図ー13 工程別省エネマトリックス

「工程別省エネマトリックス」は、横軸にその工程に該当する全ての省エネアイテムを集め、縦軸に全工程・設備を並べることで、対象工程を漏れなく洗い出し、各工場間での省エネアイテム適用の横展開を促進する。

また、この「工程別省エネマトリックス」を豊田合成標準とし、各工場のウォークスルー活動や新たなアイテムの発掘を継続し、ブラッシュアップすることで、競争力のある工程づくりを目指す。

豊田合成は、これからも生産工程の徹底的な省エネと生技革新を進めることで、気候変動等の社会課題解決へ貢献すると共に、競争力のある生産工程づくりを実現していく。

参考文献

- 1) 気象庁 東京管区気象台 関東甲信・北陸・東海地方の気候の変化

著 者



赤星 茂一



木村 洋治



細江 登

脱硫再生材 高添加オープニングトリムの開発

石川結衣^{*1}，中野里咲^{*1}，河村 滯^{*2}，野竹和也^{*3}，木下雅也^{*3}

Development of Opening Trim with High Levels of Devulcanized Recycled Material

Yui Ishikawa^{*1}，Risa Nakano^{*1}，Rei Kawamura^{*2}，Kazuya Notake^{*3}，
Masaya Kinoshita^{*3}

1. はじめに

カーボンニュートラルやサーキュラーエコノミー（CN・CE）の実現に向け、ゴム・樹脂材料のリサイクル利用が求められている。自動車部品分野では高い耐久性や安全性が要求されるため、リサイクル材の導入は容易ではない。

豊田合成ではゴムのリサイクル材(脱硫再生材、以下再生材と表記)の技術開発に取り組み、その成果をオープニングトリムの製品に適用した。

オープニングトリムは、①ソリッドゴムトリム材、②スポンジゴム中空材、③高発泡スポンジ材、④金属インサートで構成されており（図-2）、本開発ではゴムの中で最も重量の割合が高いソリッドゴムトリム材に再生材を導入することで材料変更でのCO₂削減の効果を最大にした。

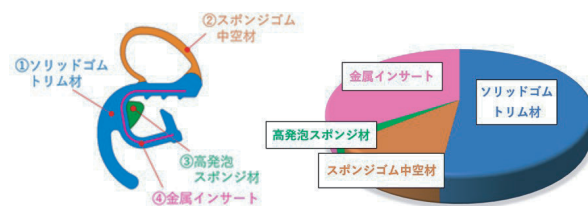


図-2 オープニングトリム構成 / 重量割合

2. 製品紹介

オープニングトリムは、主に自動車のドア開口部周辺に取り付けられ、ドアの各部品とシールさせることで、快適な室内空間を作るゴム部品である。

その主な役割は下記のとおりである。

- 1) 遮音性（外部からの音を遮断する）
- 2) ドア保持性（ドア閉時とドア振動時の衝撃を吸収する）
- 3) 意匠性（ドアと車本体の隙をなくす）

図-1 に装着部位と断面を示す。



図-1 オープニングトリム取り付け図

3. 開発の狙い

加硫ゴムは熱や化学的処理によって元の可塑状態に戻すことができず、再生材としての品質低下や物性劣化が避けられないという技術的な壁が存在する。また、廃材は臭いが強く、脱硫した際には再生材に臭いが残ってしまうことも大きな課題である。

こうした背景のもと、再生材の添加率は従来、性能維持の観点から低く制限されてきたが、本開発にて再生材を20%添加しながらも製品の品質や臭気を高水準で維持する技術を確立した。20%という高い再生材比率の実現は、1本当たり7%のCO₂排出量の削減を可能とし、ゴム製品のCN・CEに大きく貢献した。

3-1. 脱硫のポイント

ゴム中には、主鎖（C-C結合）と、加硫によって生成する加硫結合（C-S結合とSS結合）があ

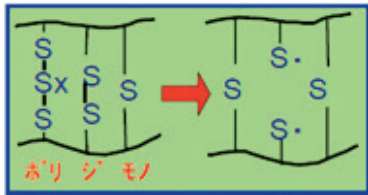
*1 第1材料技術部 FC・WS材料開発室

*2 WS開発部 WS第1開発室

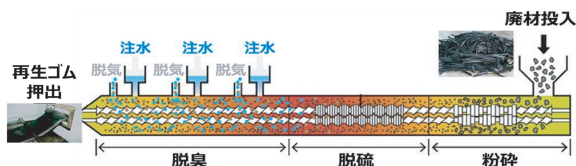
*3 WS技術部 WS第1設計生技室

る（図－3）。

1つ目の課題である品質を向上させるためには、加硫結合を選択的に切断する必要がある。豊田合成はスクリー2本を高速回転させ、脱硫に必要なエネルギーを与える2軸せん断脱硫技術を開発。この時に、スクリーの形状や回転数、温度設定などを最適に保つことで、適切なエネルギーを与えて加硫結合を選択的に切断し、高品位なゴムリサイクルが可能となった（図－4）。

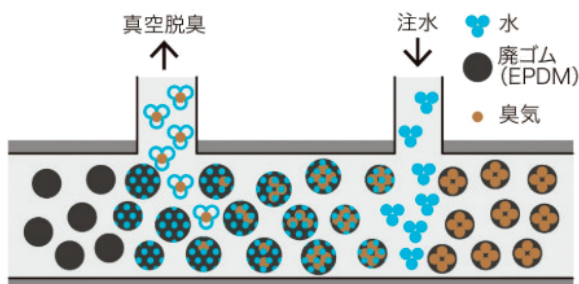


図－3 選択的脱硫イメージ



図－4 脱硫設備全体

また2つ目の課題である臭気について、豊田合成は脱硫反応中に水を注入することで、臭気成分を水に溶解させ、蒸気と一緒に脱気させる脱臭技術を開発（図－5）。従来品よりも脱臭レベルを向上した。



図－5 脱臭技術イメージ

3－2. つくりのポイント

3－2－1. 配合のポイント

脱硫再生材はポリマーと比較して、分子量が小さく、架橋点も少ないため、20%添加すると材料の剛性が低下する。そこで、低下した物性を補うために、ポリマーブレンド比率の調整および加硫促進剤の配合調整を実施したことにより、材料物性および製品性能の維持を可能にした。

3－2－2. 工程のポイント

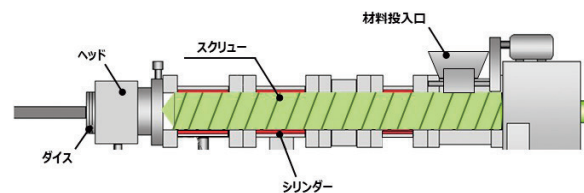
再生材を20%添加した材料は、現行材と比較して加工性が低下し、押出断面形状の安定性が損なわれた。

押出機周辺のデータ分析により、この原因が押出機内の充填状態にあることが判明した。

固有技術と仮説より充填状態に寄与する項目を推定し、統計手法を用いて加工性が安定する最適条件を確立した（図－6）。

これにより、材料の充填状態が一定となり材料の吐出が安定した。

本対策により、再生材20%添加材料の押出断面形状を安定することができた。



図－6 押出安定の影響因子例

4. まとめ

今回紹介したオープニングトリムは、2025年12月に量産化される予定です。本製品の開発にご支援、ご指導いただいたトヨタ自動車株式会社、株式会社豊田自動織機、並びに関係者の方々に厚く御礼申し上げます。

著 者



石川結衣



中野里咲



河村 滯



野竹和也



木下雅也

縦型 GaN トレンチ MOSFET 開発とインバータ動作実証

西井潤弥^{*1}, 長谷川一也^{*1}, 田中成明^{*1}, 丹羽隆樹^{*1}Progress in Development of a Vertical GaN Trench MOSFET,
and an Inverter DemonstrationJunya Nishii^{*1}, Kazuya Hasegawa^{*1}, Nariaki Tanaka^{*1}, Takaki Niwa^{*1}

要旨

縦型 GaN トレンチ MOSFET を試作し、ハーフブリッジモジュールと三相インバータモジュールでの動作実証を行った。インバータモジュールでの出力は目標の 10 kW に到達した。

Abstract

Vertical GaN trench MOSFETs were fabricated and their operation was verified in a half-bridge module and a three-phase inverter module. The inverter module output reached the target of 10 kW.

1. はじめに

本稿は、豊田合成が令和 4 年から参画している¹⁾、環境省による『超低抵抗 GaN ウェハを用いた高効率インバータの開発・検証事業』(以下『環境省 pj』と略する)での開発進捗、特にデバイス開発からインバータモジュールでの動作検証について報告する²⁾。

1-1. 背景と周辺技術

近年、自動車の電動化や AI、仮想現実技術などの発達により、電子部品やデータサーバーなどの需要が旺盛である。これに従い、電子部品群が消費する電力量も増大の一途である。電力は、発電所やバッテリーなどの供給源から様々な経路で最終消費地まで運ばれるが、その過程で電圧の変圧、交流から直流、あるいは直流から交流への変換など様々な『変換』を経る(図-1)。この電力の変換を担う電気回路技術をパワーエレクトロニクスと呼び、その根幹部品が半導体を用いたパワーデバイス(トランジスタ、ダイオード)である。

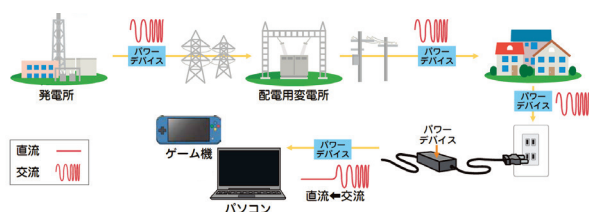
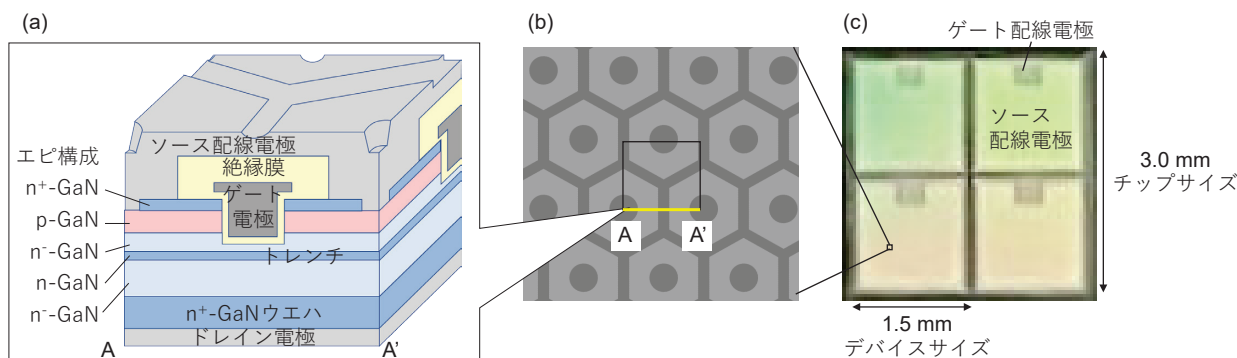


図-1 送電経路の模式図とパワーデバイス

各種の電力変換の際には、一部の電力エネルギーが熱エネルギーとして放出されてしまう。これを電力損失という。発電所から最終消費地に届くまでの電力損失は発電時の電力に対して 26 % に達するとの試算もあり³⁾、電力需要の増加の中、電力損失を抑える省エネ技術が必要不可欠である。電力損失を抑え効率良く電力を変換するためには、炭化ケイ素や窒化ガリウム (GaN) などのワイドバンドギャップ半導体と呼ばれる新しい半導体の優れた物性を活用することが有効である。

豊田合成では、青色発光ダイオードをベースにした GaN 関連の技術を活用して、GaN の種結晶開発とパワーデバイス開発に取り組んでいる。種結晶開発では、大阪大学との共同開発により 6 インチサイズの大口徑結晶の育成に成功し、GaN の単結晶ウェハの大口徑化、高品質化技術に貢献している⁴⁾。またこれを受けて、GaN ウェハ上の GaN デバイスの研究開発が活発化してきている。GaN ウェハ上の縦型 GaN パワーデバイスは次世代の高出力・高速動作を実現するものとして注目されており様々なデバイス構造が提案されている^{5)~8)}。特に出力電流を制御するゲート電極周辺の設計が、金属/絶縁体/半導体 (MOS : Metal Oxide Semiconductor) 構造の電界効果トランジスタ (FET : Field Effect Transistor) は電圧駆動でドライブ回路がシンプルであり、比較的高いしきい値電圧により動作不良を回避しやすいため、高い信頼性、長寿命が求められるパワーデバイス用途には不可欠なデバイスと考えられて

*1 新価値第 1 技術部 GaN パワーデバイス技術室



図－2 縦型 GaN トレンチ MOSFET

(a) トランジスタセルの鳥瞰模式図, (b) セル上面イメージ (c) 試作したチップの写真

いる^{9)~12)}。図－2は、豊田合成が開発している縦型 GaN トレンチ MOSFET（以下、『縦 GaN MOSFET』と略称する）の模式図、写真類である。これまでに、単一セルでの原理実証を経て 3 mm × 3 mm サイズのマルチセルデバイスでの動作報告を行ってきた^{11), 12)}。しかしながら、性能のバラツキ、再現性などの課題があり、以降、信頼性、プロセス再現性の改善に取り組んできた。その間、冒頭に述べたように GaN ウエハの高品質化が進み、これによりデバイスの試作歩留まりが向上し、数 mm サイズのデバイスも再現よく作製することができるようになってきたことを受け、環境省 pj でのインバータ搭載、動作検証に挑戦することになった。

2. デバイス開発

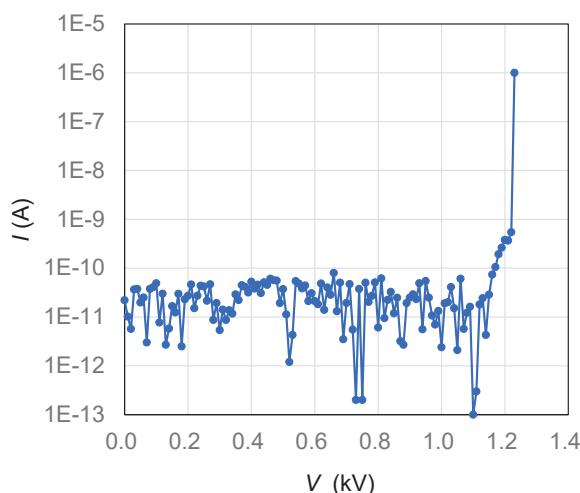
2－1. デバイス作製

市販されている n⁺-GaN ウエハ上に、図－2 (a) に示すエピ構成を有機金属気相成長法にて結晶成長し、リセス、トレンチを GaN 上にドライエッチングで形成する。続いて、ソース電極、ゲート絶縁膜、ゲート電極などを成膜する。作製したデバイスは上面から見ると六角形のセル状になっており、この“セル”を数万～十数万個、ハニカム状に並べて一つのデバイスを形成する（図－2 (b)）。各セルの電極は、配線電極で接続されている。最後に、GaN ウエハの裏面にドレイン電極を形成する。プロセスの詳細は参考文献^{11), 12)}を参照されたい。

このようにして、一辺が 1.5 mm の縦 GaN デバイスを作製する。チップサイズは、実装工程、モジュール設計の都合上、一辺を 3 mm としたので、1 チップ上に 4 つのデバイスが形成されることになる（図－2 (c)）。各デバイスの上辺の中央に配置されているのがゲートの配線電極、それ以外の部分がソース配線電極となる。

2－2. デバイス性能

図－3は、縦 GaN デバイスと同時に作製した直径 200 μm の PIN ダイオードの耐圧特性である。PIN 接合のエピ耐圧は 1.2 kV 程度である。縦 GaN デバイスの耐圧も、デバイス面積が比較的小さい場合はエピ耐圧と同等の耐圧が得られるが、デバイス面積が大きくなるに従い耐圧は低下する。後述するインバータモジュールの設計は 400 V 駆動であるため、サージ電圧等に対するマージンを考慮して定格を 650 V と設定し、この電圧でスクリーニング試験を行い、合格したデバイスをモジュール実装用を選定した。図－4は出力特性であり、定格電流は 10～15 A 程度である。チップ上の 4 つのデバイスを実装工程で並列接続することで、出力電流は最大 4 倍まで増すことができるが、プロセス歩留まりの低下が背反となる。これは結晶欠陥やエピゴミなどによるリークの発生頻度が高くなることに起因すると考える。ウエハの更なる高品質化が必要不可欠である。



図－3 φ 200 μm PIN ダイオードの耐圧特性

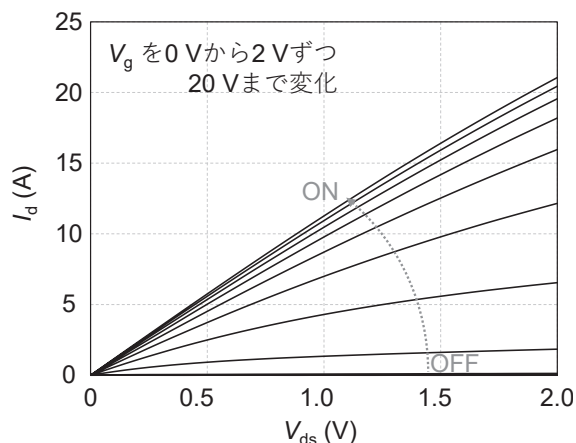


図-4 1.5 mm × 1.5 mm サイズ
縦型 GaN トレンチ MOSFET の出力特性

3. インバータ開発

インバータ開発は環境省 pj の共同実施者である名古屋大学未来材料・システム研究所トヨタ先端パワーエレクトロニクス寄附研究部門で行われた。以下、概要を述べるが、詳しくは環境省 pj の委託業務成果報告書を参照されたい²⁾。

3-1. ハーフブリッジモジュール作製

図-5 は、もっともシンプルなパワーエレクトロニクス回路の一つであるハーフブリッジモジュールの、樹脂封止前の外観写真である。このモジュールには、放熱設計、配線設計の自由度の高さから、大分デバイステクノロジー株式会社の FLAP モジュールを利用している¹⁵⁾。

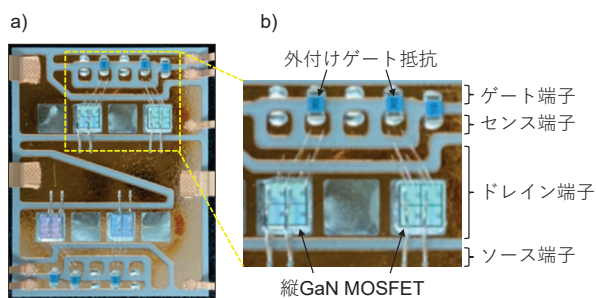


図-5 ハーフブリッジモジュールの外観写真
(a) 全体像, (b) high サイドの実装部拡大

High サイド, low サイドそれぞれに 2 チップずつ縦 GaN MOSFET が実装されている。1 チップ上から 2 つのデバイスをワイヤボンディングで並列接続し、合計 4 つのデバイスの並列動作で出力電流が 40 A 級になる設計である。

縦 GaN MOSFET に比べて小さいチップは外付けゲート抵抗である。外付けゲート抵抗を付与することでデバイスのスイッチング速度を意図的に遅くし、並列接続したデバイス間の負荷

の偏りが発生しないように調整している。たとえば、並列接続したデバイスの中で比較的動作が速いものに ON 動作時に電流集中が発生しやすく、そのデバイスだけ発熱が高くなるような故障モードがあるが、そのような負荷集中を防ぐ役割を果たす。

デバイスが実装される銅の多層配線の裏面は、樹脂封止後も露出するようになっており、この部分を水冷ヒートシンクに接触させることでデバイスでの発熱を効率よく放熱することができる。

3-2. ハーフブリッジ動作

図-6 は、作製したハーフブリッジモジュールのスイッチング動作のターンオフ波形である。ON と OFF の遷移時間は多く見積もって 150 ns 程度である。デッドタイムを 200 ns、ON 時間、OFF 時間をそれぞれ 100 ns と仮定して、およそ 1 MHz のスイッチング性能が見込める。モータードライブ用のインバータでは、数十 kHz から百数十 kHz のスイッチング周波数を用いるので、十分に高速なスイッチングができています。電流、電圧それぞれのリングング（スイッチング後の波状のノイズ）も小さい。

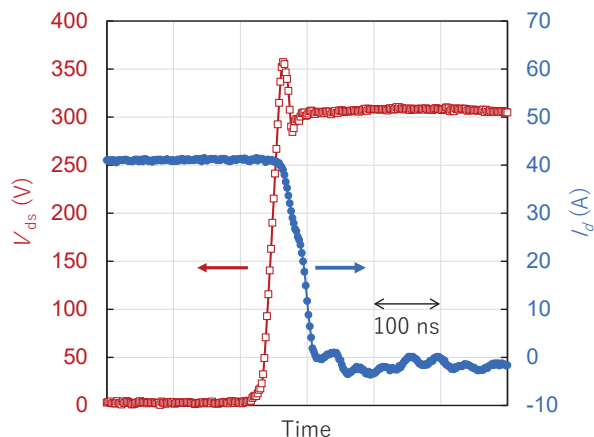


図-6 ハーフブリッジモジュールの
ターンオフ波形

3-3. 三相インバータモジュール

作製したハーフブリッジモジュールを 3 つ用い、三相のインバータモジュールを構築する。モータードライブ用のインバータは、バッテリーからの直流電力を交流に変換してモーターを駆動させる（図-7）。インバータの前段には、DC リンクコンデンサが配置され電圧レベルを安定化させる。ハーフブリッジモジュールは水冷ヒートシンクに固定され、デバイスからの放熱を促す。ハーフブリッジモジュールの直上にはゲートドライバが搭載され各デバイスの動作を制御する。実際に

電気自動車で使われるインバータの出力は 100 kW を超えるが、本開発では出力の目標を 10 kW として、縦 GaN MOSFET を使ったインバータ動作の原理検証を行った。

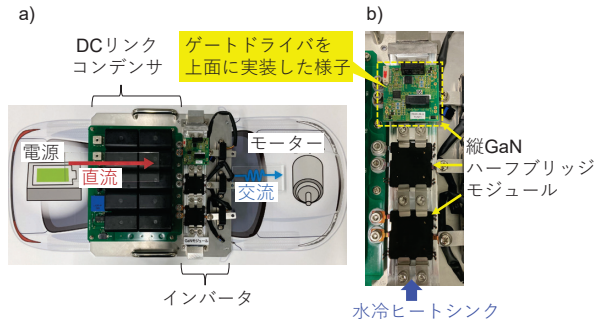


図-7 インバータモジュール
(a) 配置イメージ, (b) インバータ部の拡大写真

図-8 は、構築したインバータモジュールを使ってモータベンチを駆動させる実験環境である。モータ駆動では徐々に出力を上げ目標の 10 kW に到達した (図-9)。出力目標は達成したものの、インバータ動作後のデバイス特性には変動が見られ、この特性変動の低減が今後の課題であり、MOS 構造周辺に改善点があると考えられる^{13), 14), 16)~21)}。

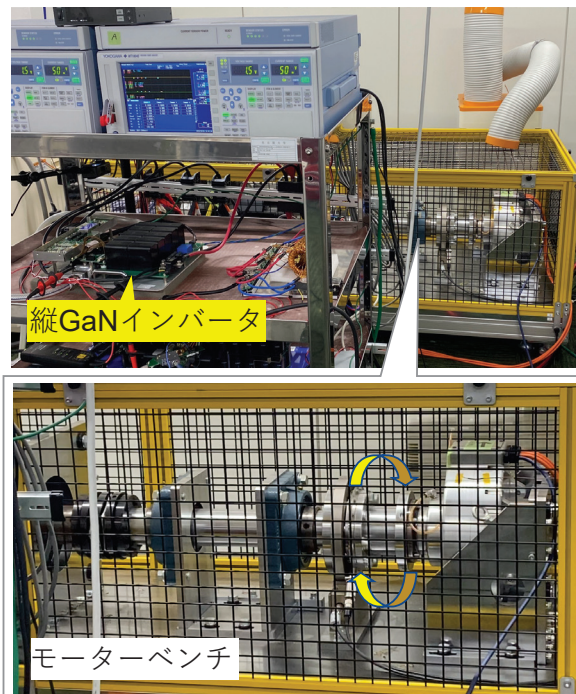


図-8 モータ駆動実験環境 (名古屋大学)

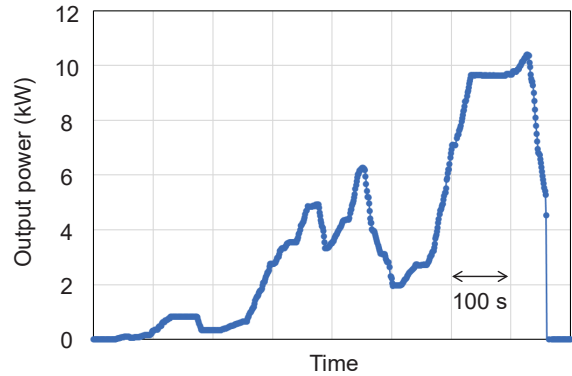


図-9 インバータ出力電力

4. まとめ、今後の展開

縦型 GaN トレンチ MOSFET と、それを用いたインバータ動作とモータ駆動の実証を行い、目標のインバータ出力 10 kW を達成した。インバータ動作実証後のデバイスには特性変動が確認され、主に MOS 構造周辺の欠陥などに起因すると思われる。MOS 構造の設計、プロセス技術構築は化合物半導体でのデバイス開発における最難関技術課題の一つと言えるが、GaN パワーデバイス分野の技術発展と市場形成に貢献すべく、この課題解決に邁進する所存である。

謝辞

本研究は環境省「革新的な省 CO₂ 実現のための部材 (GaN) や素材 (CNF) の社会実装・普及展開加速化事業」の委託を受けて行われました。インバータモジュールでのデバイス評価、デバイス信頼性の議論でご協力、ご指導いただいた名古屋大学の塩崎教授、只野教授、成田教授にお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 環境省, 報道発表資料
<https://www.env.go.jp/press/110692.html>
- 2) 革新的な省 CO₂ 実現のための部材や素材の社会実装・普及展開加速化事業 (超低抵抗 GaN ウェハを用いた高効率インバータの開発・検証) 委託業務成果報告書, 令和 5 年度
- 3) 環境省, GaN パワーデバイスについて
<https://www.env.go.jp/council/06earth/y0618-06/mat04.pdf>
- 4) M. Imanishi et al., *Phys. Status Solidi. RRL*, 18, p. 2400106, (2024).
- 5) M. Kanechika et al., *Jpn. J. Appl. Phys.*, 46, p. L503-L505, (2007).

- 6) D. Shibata et al., in *IEDM Tech. Dig.*, p. 10.1.1–10.1.4, (2016).
- 7) M. Sun et al., *IEEE Electron Device Lett.*, 38, p. 509-512, (2017).
- 8) N. Torii et al., in *IEDM Tech. Dig.*, Dec. (2024).
- 9) H. Otake et al., *Jpn. J. Appl. Phys.*, 46, p. L599-L601, (2007).
- 10) R. Tanaka et al., *Jpn. J. Appl. Phys.*, 59, p. SGGD02, (2020).
- 11) T. Oka et al., *Appl. Phys. Express*, 8, p. 054101, (2015).
- 12) T. Oka et al., Proc. IEEE 31th Int. Symp. Power Semiconductor Devices and ICs, p. 303-306, (2019).
- 13) K. Ito et al., in *IEDM Tech. Dig.*, Dec. (2024).
- 14) T. Kondo et al., in *IEDM Tech. Dig.*, Dec. (2024).
- 15) 大分デバイステクノロジー株式会社, 次世代型パワーモジュール汎用パッケージ FLAP
<https://www.odt.co.jp/>
- 16) Y. Irokawa et al., *ECS J. Solid State Sci. Technol.*, 12, p. 055007, (2023).
- 17) M. Fregolent et al., *Microelectron. Reliab.*, 150, p. 115130, (2023).
- 18) Y. Ichikawa et al., *Jpn. J. Appl. Phys.*, 63, p. 02SP31, (2024).
- 19) N. Zagni et al., *J. Semicond.*, 45, p. 032501, (2024).
- 20) M. Henn et al., *IEEE Trans. Electron Devices*, 71, p. 1553-1560, (2024).
- 21) J. Nishii et al., *Microelectron. Reliab.*, 投稿準備中

著 者



西井潤弥



長谷川一也



田中成明



丹羽隆樹

車載イルミ向け通信技術

西山哲朗^{*1}, 大西良和^{*1}

Communication Technology for Onboard Vehicle Illumination

Tetsuro Nishiyama^{*1}, Yoshikazu Onishi^{*1}

1. はじめに

CASE (Connected, Autonomous, Shared, Electric) 技術の発展に伴い、自動車産業における車両室内照明の役割は従来の装飾や汎用的な照度確保に留まらず、より高度な機能が要求されるようになっている。具体的には、運転状況に応じた警告表示や、車両機能操作に対する直感的なフィードバック提供など、ヒューマン・マシン・インターフェース (HMI) の向上に資する照明システムが求められている。これらの要件を満たすには、多数の LED をリアルタイムかつ高精度に制御可能な照明製品が不可欠であり、同時に製品の市場競争力を確保するためには、その低コスト化が重要な課題となる。

本稿では、車載ネットワークにおいて普及している低コストな通信プロトコルである LIN (Local Interconnect Network) 通信を基盤としつつ、多種多様な LED をリアルタイムに制御するための技術的アプローチについて考察し、その実現方法を提示する。

2. 製品概要

対象となる製品はイルミユニットとなる。イルミユニットは赤、緑、青 LED をワンパッケージ化した 3 色 LED で構成される RGB LED と、マイクロコントローラで構成される (図-1)。

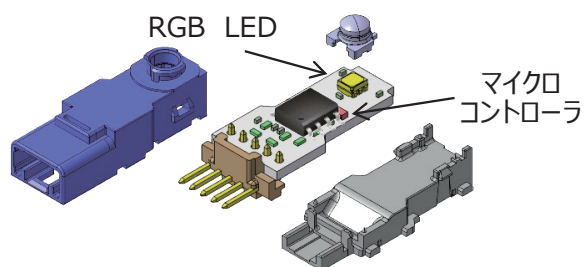


図-1 イルミユニットの構造

車両側から LIN 通信にて送信されるデータをマイクロコントローラが受信する。受信したデータをソフトウェアにて解析を行い、車両側の指示通りとなるようにマイクロコントローラから LED へ PWM (Pulse Width Modulation) を出力し、LED の点灯を行う (図-2)。

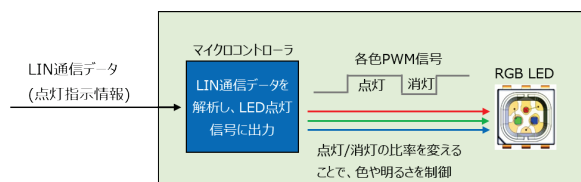


図-2 色・明るさのコントロール

3. 技術紹介

3-1. 課題

今回採用した LIN 通信は低コストである分、通信速度が他の車載通信と比較して遅いというデメリットがある。通信速度が遅い場合、指示を送るべき対象となるノード (車室内に複数設置される個々のイルミユニット) が多くなるほど、リアルタイムに照明を制御することが難しくなる。例えば、イルミユニットを 14 個搭載 (図-3) し、R,G,B の情報の分解能を 10bit かつ照明の更新を 10 ms 間隔で行うと仮定した場合に必要な通信速度は 42 kbps となる (図-4)。LIN 通信の最大通信速度は 19.2 kbps では記載した例のパターンは実現できないということとなる。

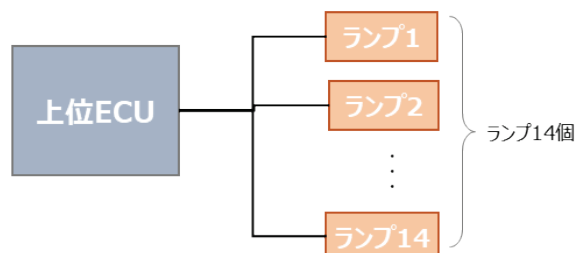


図-3 ランプ 14 個のシステム構成イメージ

^{*1} 電子技術部 第1商品開発室

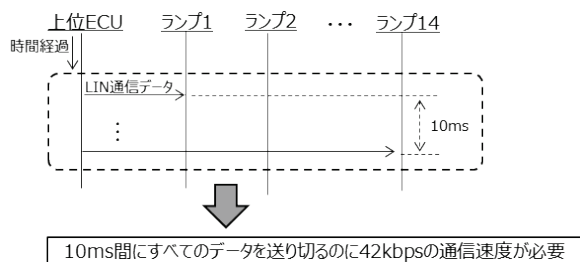


図-4 ランプ 14 個の通信の流れのイメージ

3-2. 課題の分析

イルミユニットに搭載されている RGB LED が点灯するためには、R,G,Bそれぞれが出力すべき PWM の Duty 比の情報が必要となる。本製品では、上位 ECU の車載通信から PWM の Duty 比の情報を送信することになる。また、LIN 通信の規格では、接続できる最大のノード数は 15 ノードとなる。照明の情報を更新するためには以下の情報を送信する必要がある。

PWM の Duty 比 × RGB 3 種類 × 接続ノード数（最大 15 ノード）

これらの情報を送信する場合、照明をより滑らかな表現とするために PWM の Duty 比の分解能をより高くすることや、大規模な演出のために接続ノード数を増加させること、動きのある演出のため照明の更新頻度を高くするといった複数の要因により、通信すべきデータ量が加速度的に増大する。この増大したデータ量を、LIN 通信のような比較的低速な通信プロトコルで処理しようとすると、必要な通信速度が足りなくなり、求められている車室内照明の高機能化が実現できなくなる。

3-3. 開発した技術

3-2. にて分析した内容の中で、今回は「データ量が大きくなりすぎる問題」に着目する。車両側から送信されるデータを少なくするための考え方として、イルミユニットが受信するデータは必要最小限とし、その中でイルミユニット自身が自律的に判断して照明の点灯を行うしくみを検討した。車両の照明を点灯させるための流れとしては以下の4つに分解できると考える。

＜照明を点灯させるための流れ＞

1. 演出シーンの決定
2. 調光・調色の決定
3. RGB 信号に分解
4. 点灯（LED へ出力）

上記の流れの中で従来のイルミユニットは「4. 点灯（LED へ出力）」のみを役割としていた。今回の技術では「3. RGB 信号に分解」「4. 点灯（LED へ出力）」を役割とする（図-5）。

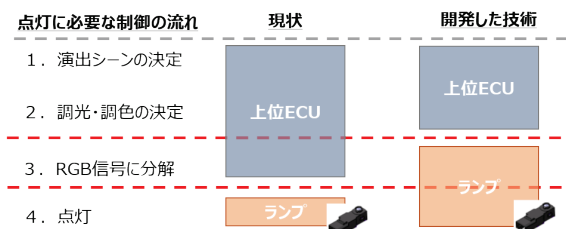


図-5 イルミユニットの役割範囲

イルミユニットはあらかじめ決められた演出を実装する。そして、車両側とイルミユニットは事前に車両側からの限りなく短い指示がイルミユニットのどの演出に紐づくのかの取り決めを行う。そうすることで、車両側からの短い指示をイルミユニットが受け取るだけで RGB LED への出力を自立して行うことが可能となる。

3-4. 効果

照明をフェードインで点灯させる場合を例にする。従来の方式の場合、フェードインの演出の見た目になるよう、上位 ECU 側からイルミユニットへ頻繁に通信を行いフェードインの演出を実現する必要がある（図-6）。その際、照明の更新間隔（通信の送信間隔と等しい）は限りなく短くする必要があり、膨大な通信を行う必要がある。しかし、開発技術の方式を使用した場合、フェードインを行う指示を上位 ECU 側からイルミユニットへ送信するのみで、イルミユニットは自律してフェードイン演出を行うことが可能となる（図-7）。通信は最初の1度のみでフェードイン演出を実現することができるため、通信量を大幅に削減することが可能となる。

このように、本来であれば 42kbps の通信速度が必要な照明でも、今回開発した技術を使用することで比較的低速な LIN 通信でも実現できるしくみを確立することができた。

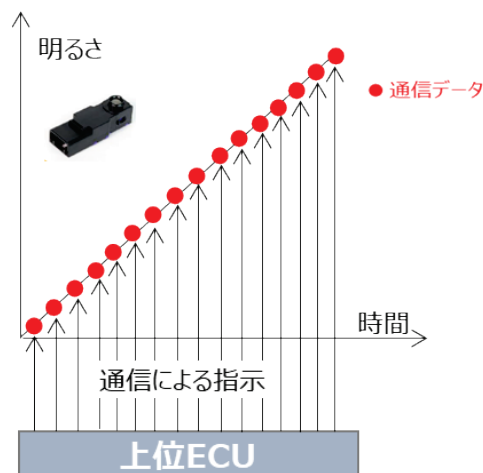
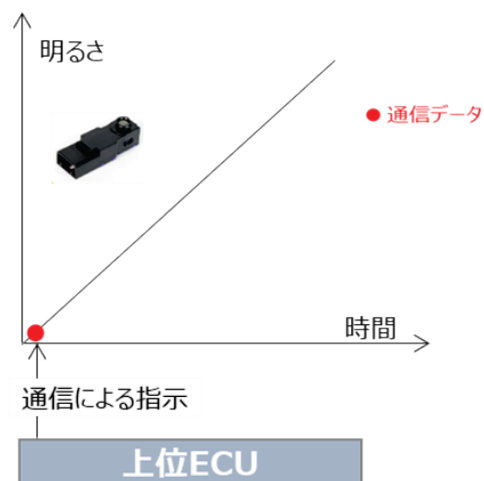


図-6 従来技術のフェードイン演出とその通信量



図ー 7 開発技術のフェードイン演出とその通信量

著 者



西山哲朗



大西良和

4. まとめ

LIN 通信という低コストの通信方式を採用しつつ、より複数のイルミユニットに対して様々な照明の演出を行うことができる仕組みを確立することができた。これにより、例えば流れるような照明を滑らかに点灯させることができ、ユーザーに対して警告を的確に伝えることや、車両の空間演出の幅を広げたりすることができると思う。

本技術の開発、検討にあたり、社内の多くの関係者の皆様からのご支援とご協力を賜り、厚く御礼申し上げます。

ホットスタンプ製品の金型意匠面加工技術確立

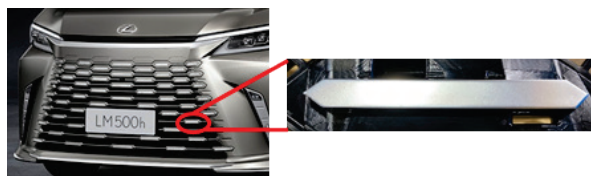
杉浦智哉^{*1}，高木諭司^{*1}，村瀬太基^{*1}

Establishment of Mold Design Surface Processing Technology for Hot Stamp Products

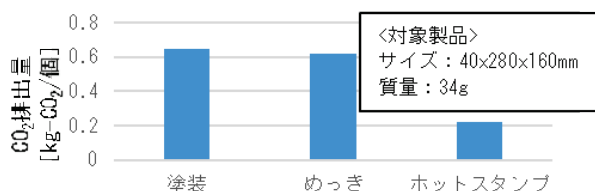
Tomoya Sugiura^{*1}，Satoshi Takagi^{*1}，Taiki Murase^{*1}

1. はじめに

BEV 化の進展に伴い，シームレスな意匠（図－1）の需要が増加している．これを受け，従来の加飾技術に比べて CO₂ 排出量の 70% 低減が見込まれる（図－2）．ホットスタンプ工法を活用した加飾製品の市場ニーズがグローバルで高まっている．

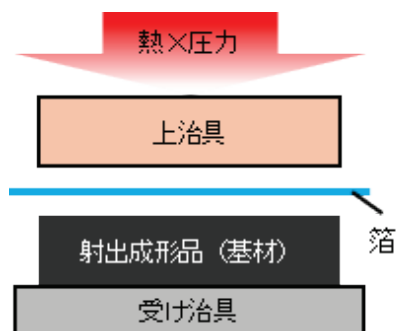


図－1 シームレスな意匠例



図－2 加飾別 CO₂ 排出量（スコープ 1，2，3）

ホットスタンプ工法は，射出成形した基材と薄い箔を熱と圧力で溶融させて接着する工法である（図－3）．



図－3 ホットスタンプ工法概要

ホットスタンプ工法は，プレス条件や治具の温度管理・加工精度や基材の品質がホットスタンプ製品の品質に大きく影響を与える．

治具の温度管理については，金型設計で従来から実施している熱収支計算を活用し，HS 治具の温調仕様を確立した．

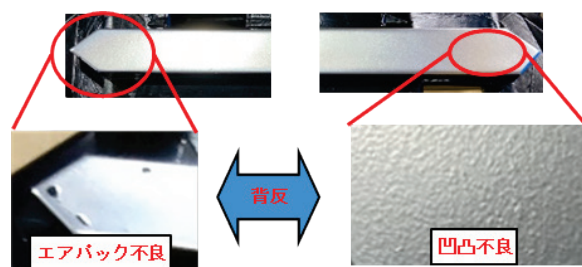
治具の加工精度については，テスト加工を繰り返し加工条件や精度保証方法を標準化した．

基材の品質については，一般的な樹脂製品と比べホットスタンプ裏面の形状にも高い精度が求められる．さらに，基材のホットスタンプ面には形状精度だけでなく，箔表面の光沢性を維持しつつ，基材と箔の間のエアを排出し，箔の密着性を確保する品質が要求されている．

今回，上記を満足し，グローバル生産拠点で維持管理が容易な金型意匠面加工技術を確立した．本稿では，その事例について紹介する．

2. ホットスタンプ工法の問題点と課題

ホットスタンプ工法では，基材と箔を接着する際，基材と箔の間のエアが排出されず，エアバック不良が発生する．その対策として，基材のホットスタンプ面に凹凸を形成することで，エアを排出させる方法が有効である．しかし，基材表面の凹凸が大きい場合，その凹凸がホットスタンプ表面に転写され，光沢性が失われる凹凸不良が発生する（図－4）．



図－4 エアバック不良と凹凸不良

^{*1} モールド事業統括部 金型技術室

この背反する課題解決のため、箔の密着性を確保する基材の凹凸形状（面粗度）を調査し、最適な金型面粗度を定義した。その要求面粗度を確保するため、SQC手法を用いて効率的に金型加工技術の確立を進めた。

3. 金型意匠面加工技術の確立

3-1. 工法の選定

一般的な金型加工法を洗い出し、加工法ごとの面粗度範囲を調査した。要求品質を満足できる加工法はブラスト加工とミガキ加工であることが分かった。グローバルで安定した品質が確保できる工法（材料・技術・設備）という観点から、ブラスト加工を採用した（図-5）。

| | 加工法 | 面粗度 | | | | |
|-------|---------------|----------|--|--|--|--|
| | | 滑らか ← 粗い | | | | |
| □ 狙い値 | 切削加工 | | | | | |
| | 放電加工 | | | | | |
| | エッジング加工 | | | | | |
| | ブラスト加工 | | | | | |
| | ミガキ加工 | | | | | |

図-5 加工法ごとの面粗度範囲

3-2. 因子の抽出

ブラスト加工は、タンクに溜まったブラスト材をエアによってノズルから噴射させ、被加工材に衝突させることで凹凸を施す加工である。

ブラスト加工で金型の面粗度に寄与する因子から、制御可能なものとしてブラスト材の粒度・エアの圧力・噴射時間・ノズルの角度・距離・金型材の硬度・ミガキ番手の7因子を抽出した（図-6）。

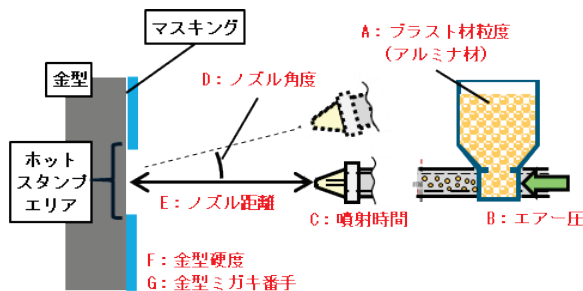


図-6 ブラスト加工概要と因子

3-3. 加工条件の予測

プラケットバーマン計画を活用し、7因子2水準（表-1）を12回の試験で主効果を確認した。目的変数は金型面粗度、金型材は平板形状とした。面粗度の測定は、量産性を考慮し非接触式の粗さ測定器を採用した。

水準幅の上下限は、製品の要求品質・各因子の規格の有無・工場の設備容量等を考慮し決定した。

表-1 因子と水準

| 制御因子 | | | 水準 | |
|------------|---------------------|--|-----|-----|
| 因子名 | 単位 | | 上限 | 下限 |
| A: ブラスト材粒度 | # | | #1 | #2 |
| B: エア圧 | kgf/cm ² | | P1 | P2 |
| C: 噴射時間 | sec | | S1 | S2 |
| D: ノズル角度 | deg | | θ1 | θ2 |
| E: ノズル距離 | mm | | L1 | L2 |
| F: 金型硬度 | HRC | | H1 | H2 |
| G: 金型ミガキ番手 | # | | #'1 | #'2 |

試験結果（表-2）から各因子の分散比（図-7）を求め、7因子から3因子（A, B, C）に絞り込んだ。ブラスト材粒度は他因子に比べ分散比が大きく、寄与度が大きいことが分かった。調整因子としてエア圧・金型ミガキ番手を選定した。

表-2 プラケットバーマン計画の水準と結果

| No. | 因子 | | | | | | | 特性値 |
|-----|----|----|----|----|----|----|-----|-------|
| | A | B | C | D | E | F | G | 面粗度 |
| 1 | #1 | P1 | S1 | θ1 | L1 | H1 | #'1 | 16.3 |
| 2 | #1 | P2 | S1 | θ2 | L2 | H1 | #'2 | 32.3 |
| 3 | #2 | P2 | S2 | θ1 | L1 | H1 | #'2 | 85.3 |
| 4 | #1 | P1 | S1 | θ2 | L1 | H2 | #'2 | 20.6 |
| 5 | #1 | P2 | S2 | θ2 | L2 | H1 | #'1 | 34.6 |
| 6 | #1 | P2 | S2 | θ1 | L1 | H2 | #'2 | 29.3 |
| 7 | #2 | P2 | S1 | θ2 | L1 | H2 | #'1 | 101.2 |
| 8 | #2 | P1 | S2 | θ2 | L1 | H1 | #'1 | 78.2 |
| 9 | #2 | P1 | S2 | θ2 | L2 | H2 | #'2 | 81.9 |
| 10 | #1 | P1 | S2 | θ1 | L2 | H2 | #'1 | 23.2 |
| 11 | #2 | P2 | S1 | θ1 | L2 | H2 | #'1 | 89.6 |
| 12 | #2 | P1 | S1 | θ1 | L2 | H1 | #'2 | 76.6 |

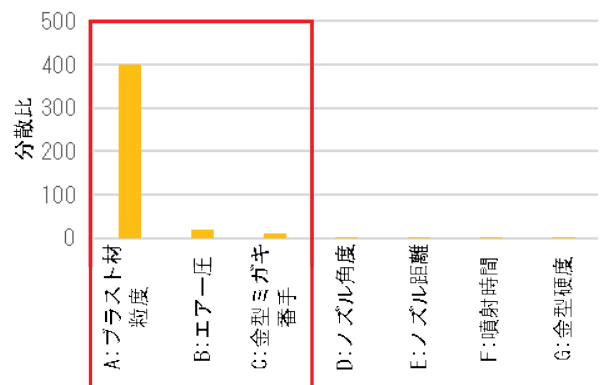


図-7 各因子の分散比

中心複合計画を活用し、3 因子 3 水準（表－3）を 17 回の試験をした。

表－3 中心複合計画の因子と水準

| 制御因子 | | 水準 | | |
|-----------|---------------------|---------|-----|---------|
| 因子名 | 単位 | 角点 (－1) | 中心点 | 角点 (+1) |
| ① プラスト材粒度 | # | #a-1 | #a | #a+1 |
| ② エアー圧 | kgf/cm ² | Pa-1 | Pa | Pa+1 |
| ③ 金型ミガキ番手 | # | #b-1 | #b | #b+1 |

3－4. 検証・条件予測

試験結果に対して、応答局面解析を実施し、その結果が技術的に妥当と判断した。また得られたモデル式は、寄与率 0.8 以上であり、統計的にも妥当であることを確認した。

構築したモデル式を活用し、金型面粗度が狙いの範囲内となる実現可能な最適水準を予測した。

4. 結果

上記の最適条件で加工した結果、面粗度が狙いの要求範囲内だった。また、その金型で成形した基材をホットスタンプしたところ、エアパック・凹凸不良は発生せず、安定して良品を得ることができた。

5. おわりに

ブラスト加工の最適条件を定義することで、グローバル生産拠点で維持管理が容易な金型意匠面の加工技術を確立した。

今後はホットスタンプ工法の更なる開発を行い製品形状の要件緩和（浮島高さ制限や製品キャンバー角度など）をして、ホットスタンプ製品を多くのユーザー様にお届けするとともに、CO₂削減にも貢献できると考える。

最後に、本技術を確立させるにあたり、ご協力いただいた社内外関係者の皆様に厚く謝意を表します。

著 者



杉浦智哉



高木諭司



村瀬太基

低コストホットスタンプ工法開発

鈴木紳也^{*1}，早川峰男^{*1}，大里雄也^{*1}

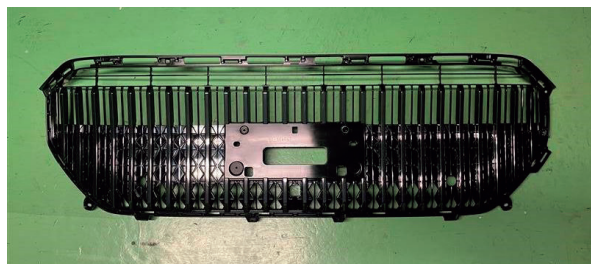
Development of a Low-Cost Hot Stamping Method

Shinya Suzuki^{*1}，Mineo Hayakawa^{*1}，Yuya Osato^{*1}

1. はじめに

ホットスタンプグリル（図－1）は，フィルム加飾を施したラジエータグリルであり，現在多くの車両に採用されている。

豊田合成においても，2023年に2車種で量産実績があるが，その際は外製のホットスタンプ設備を用いていた。



図－1 ホットスタンプグリル

この度豊田合成が内製開発したホットスタンプ設備を導入し，ホットスタンプグリルの新製品量産化に成功した。本稿では，その開発事例について紹介する。

2. 設備概要

2－1. ホットスタンプ工法

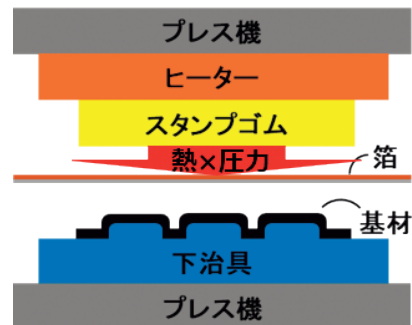
ホットスタンプとは，基材の表面に熱と圧力を加えることで金属箔を転写し，加飾を行う工法のことである。

この加飾プロセスを担うホットスタンプ設備は，

- 1) 基材に圧力をかけるプレス機
- 2) 金属箔を連続的に供給する箔送り装置から構成される（図－2）。

2－2. 設備の要求精度

一般的に他社事例では，グリルのような大型製品の場合，複数回に分けてホットスタンプ加工を行うことで品質を確保することが多い。しかし，



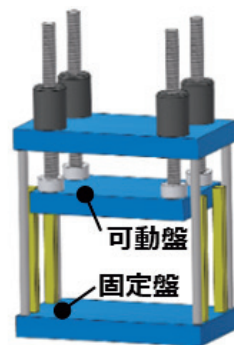
図－2 ホットスタンプ設備構成

この方法では中間在庫を確保する必要があるため加工コストが高くなるという問題がある。

そこで豊田合成では，大型製品であっても一度にホットスタンプする工法を採用した。ただし，対象製品が大型化するとスタンプ箇所が増加し，スタンプゴムへの当たり方のバラつきが生じやすいため，それを抑えるべく設備にはより高い精度が求められる。

大型ホットスタンプ設備に求められる精度は以下の通りである（図－3）。

- 1) 可動盤と固定盤の平行度：± 0.05mm
- 2) 可動盤下死点の繰り返し精度：± 0.05mm



図－3 可動盤と固定盤

豊田合成は，これらの要求精度を満たしつつ生産性の高いホットスタンプ設備の設計・開発を行った。

^{*1} マシンエンジニアリング部 設備設計室

3. 開発のポイント

3-1. 低コストでの高精度構造

従来機ではプレス機の可動盤を4軸独立制御していたので制御システムが複雑かつ高価であったのに対し、開発機では、1軸駆動のタイバー方式へ変更し、機械的に精度を確保することで制御システムをシンプルかつ安価にした（図-4）。

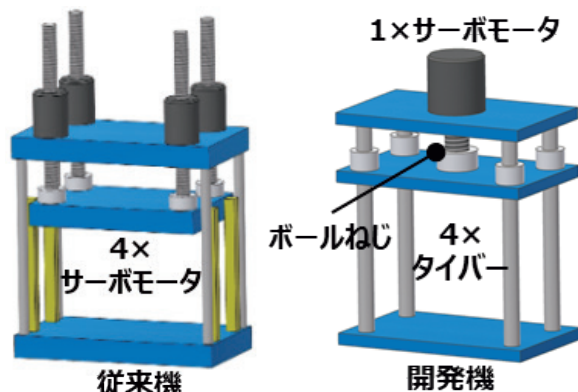


図-4 従来機と開発機の構造比較

しかし、タイバー方式では高温治具からの熱伝導により、可動盤が熱膨張し、その影響で位置ずれが生じるという問題が考えられる。

そこで開発機では、タイバー接合部にはほぞ継ぎ機構を採用し、熱膨張に伴う横方向の膨張力を吸収可能な構造とすることで、この問題を解決した。

さらに連続運転時ではボールねじの熱膨張により下死点が徐々に低下していくという問題も考えられるため、これに対しては、タイバーに搭載したリニアスケールの値をフィードバックし、ボールねじの伸び分を補正する制御をすることで繰り返し精度を保証した。

従来機と比較して設備剛性を上げることで平行度を保証し、CAEにより20ton加圧時の設備変位量を解析した結果を図-5に示す。

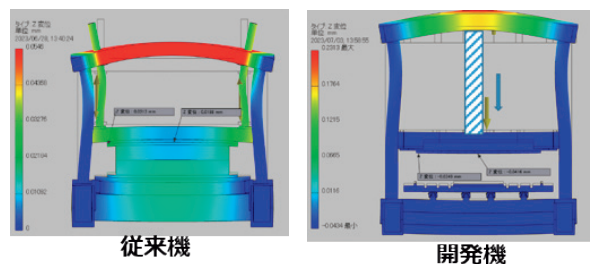


図-5 プレス機の変位量比較

従来機では変位量 0.017mm/m であったのに対し、開発機では 0.009mm/m となり、変位量を低減することができた。

実機における平行度および繰り返し精度の測

定結果においても、要求精度を達成することができた。

3-2. 箔歩留まり向上機能

従来機においては、対象製品に使用する箔の歩留まりが低く、製品原価に占める箔コストの割合が高いことが問題であった。

この問題に対し、開発機では箔供給側および箔排出側にXYスライド機構を追加し、製品に対して箔のみをXY方向に移動させる機能を実装した。ホットスタンプ後に箔の使用済み箇所をスライドさせることで、同一箔の複数回使用を可能とした（図-6）。

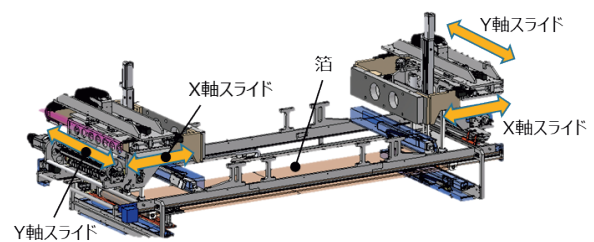


図-6 XYスライド機構

複数回押しをするためにはホットスタンプ後の箔の位置精度が重要となるが、箔のエッジ位置を検知するセンサの値を用いたフィードバック制御をすることで、スタンプ後に生じる位置ずれをY軸スライドにて補正し、箔の位置精度を確保した。その結果、歩留まりを大幅に改善し、原価低減に大きく貢献することができ、廃棄物低減にも寄与できた。図-7に1回押しした箔と2回押しした箔の比較図を示す。なお、同一箔の複数回押し機能は、最大4回押しまで対応可能な機能を有している。

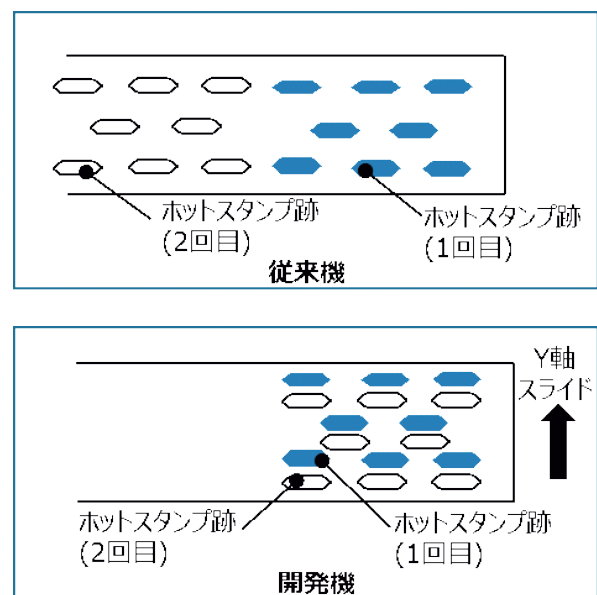


図-7 スタンプ済み箔の比較

4. おわりに

今回紹介したホットスタンプ設備を用いたホットスタンプグリルは、2025年11月より量産を開始した。またコスト面においても大きな削減効果を得ることができた。

最後に、本活動に際し、ご支援・ご指導を賜りました関係者の皆様に深く感謝申し上げます。

著 者



鈴木紳也



早川峰男



大里雄也

リバーシブルアームレスト

釜谷 拓人^{*1}

Reversible Armrest

Takuto Kamaya^{*1}

1. はじめに

近年、自動車のコンソールアームレストには多様な開閉機構が採用されており、主に縦開きタイプと左右両開きタイプがある（図－1、図－2）。



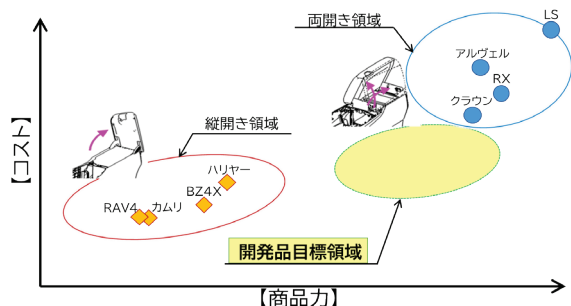
図－1 縦開き
コンソールアームレスト



図－2 両開き
コンソールアームレスト

従来の縦開きタイプは構造がシンプルでコストが低い一方、使用感においてはいくつかの制約があった。具体的には、アームレストの開閉がやや不便であること、後部座席（RR 席）からのコンソール BOX 内アクセスが困難であることが挙げられる。

これに対して、左右両開きタイプはアームレストの開閉が容易であり、RR 席からのコンソール BOX 内アクセスも簡単であることから、商品力が高いとされている。しかし、左右両開きタイプはその複雑な構造ゆえに製造コストが高くなるという課題があった（図－3）。



図－3 アームレストタイプ別
コスト / 商品力比較

今回、豊田合成はこの課題に着目し、低コストでありながら商品力を損なわない新しい左右両開きタイプのリバーシブルアームレストを開発した。開発および量産化されたリバーシブルアームレストの概要とその特長について紹介する。

2. 製品の概要

本製品は、世界初となるリバーシブル機能を持つ自動車内装アームレストである。アームレストの左右にあるロックを同時に解除することでアームレストを取り外すことができ、さらにアームレストの表裏を反転させて取り付けることも容易にできる（図－4）。



図－4 アームレスト着脱 / リバーシブル
イメージ

また、異なる表皮等でアームレスト単品のバリエーションを商品展開し、ユーザーが自由にアームレストの着せ替えを行うことでの付加価値の提供を想定している。

従来の両開きアームレストのロック機構は、左右のロックが同時に解除できない設計を取り入れることで、アームレストが外れることを防止している。これは、従来の両開きアームレストが外れてしまうと再取付が困難であったためである。

本製品は、同時ロック解除機能を廃止することで部品点数の削減を実現し、コストを従来比約 22% 削減することができた。

^{*1} IM 技術部 IM 第 3 技術室

3. 開発の着想

本製品の開発のヒントになったのは、異業種ではあるが大手釣り具メーカーの両開きクーラーボックスである。このクーラーボックスは、蓋が外れて洗浄が簡単で、容易に再取付が可能であった。

また、自動車車室内の部品でもトノカバーやシートヘッドレストが取外し可能である。これらの事例からコンソールアームレストも、容易に再取付が可能であれば外れても問題ないのではないかとこの着想に至った。

さらに、ユーザーがアームレストを取外した際に表裏の誤組付を行う可能性があるため、誤組付防止を検討した。しかし、あえてそのまま裏面でも取付できるようにし、トレイという機能を持たせることで、誤組付防止部品や追加による部品点数増を抑えるだけでなく、商品力も上げることができた。

4. 開発のポイント

本開発品では、2.項で述べた同時ロック解除防止部品の廃止に加え、製品構造の合理化と部品点数の削減を実現させるため、複数の工夫を施した。これらの取り組みにより、原価低減、組立工程の効率化、質量低減といった多方面にわたる効果を得た。

4-1. 部品機能統合

従来の両開きアームレストにおいては、開閉ロック機構を構成する部品が15点、過開き防止機構を構成する部品が4点、合計19点の部品が必要であった。本開発品ではこれらの機能を一体化し、開閉ロック機能と過開き防止機能を併せ持つ部品を10点に集約することで、9点の部品点数削減させ、コスト削減に繋げた（図-5、図-6）。

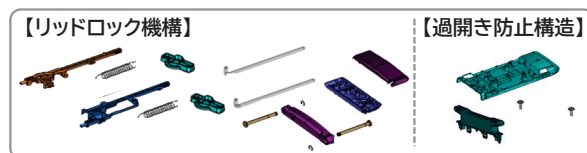


図-5 従来品 機能対応部品



図-6 開発品 機能対応部品

4-2. 開閉ロック解除新機構

簡略化を両立させ部品コストを削減するために、ロック解除部品の摺動方向にも工夫を加えた。従来の両開きアームレストでは、ボタン操作方向とは異なる2方向に前後のロック解除部品の摺動方向をリンク部品を用いて変換させる必要があり、複雑な構造となっていた。これに対し、本開発品では、ボタン操作方向とロック解除部品の摺動方向を一致させることで、リンク機構を不要とし、構造の簡素化を図ることで6点の部品削減をすることができた（図-7、図-8）。

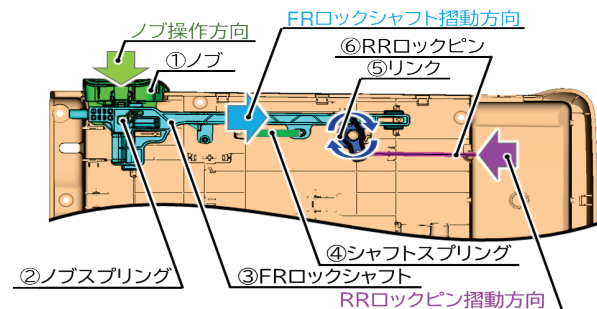


図-7 従来品ロック解除摺動方向 (RH側上面視)

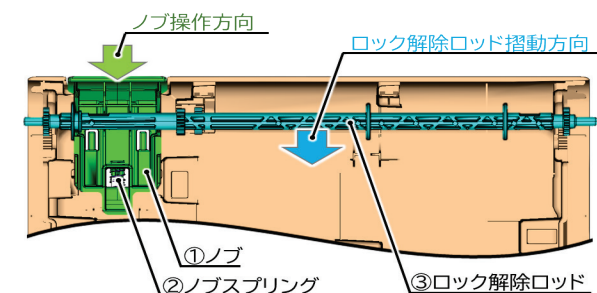


図-8 開発品ロック解除摺動方向 (RH側上面視)

5. おわりに

今回紹介したリバーシブルアームレストはトヨタRAV4に採用され量産化された（図-9、図-10）。



図-9 トヨタ RAV4 内装 (表皮パッド上面状態)



図ー 10 トヨタ RAV4 内装（トレイ上面状態）

最後に、この製品の開発・量産化に際し、ご支援・ご教授いただきましたトヨタ自動車株式会社、豊田自動織機株式会社 車両設計部、車両品質管理部並びに関係部署、関係会社の方々に厚くお礼を申し上げます。

著 者



釜谷拓人

小型水浄化ユニット

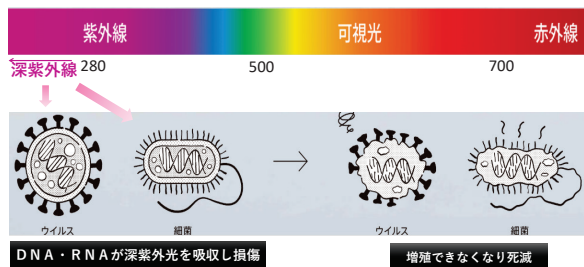
和田 聡^{*1}，松永直人^{*1}，岡田 誠^{*1} 出向井幸弘^{*1}，飯田充彦^{*1}，林 貴文^{*1}

Compact Water Purification Unit

Satoshi Wada^{*1}，Naoto Matsunaga^{*1}，Makoto Okada^{*1}，Yukihiro Demukai^{*1}，
Mitsuhiko Iida^{*1}，Takafumi Hayashi^{*1}

1. はじめに

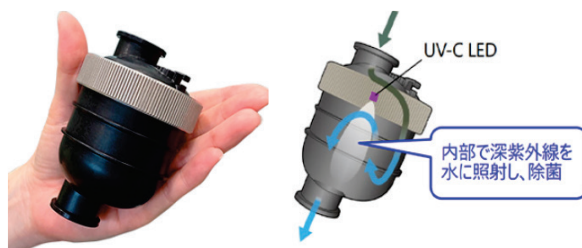
菌やウイルスが増殖しないようにすることを不活化と呼び，太陽光に含まれる紫外線による不活化による除菌は天日干しをはじめ，古来より活用されている。紫外線はその波長により UV-A，UV-B，UV-C に分類され，特に 100～280 nm の波長となる UVC は深紫外線と呼ばれ，特に高い不活化能力を有する（図－1）。深紫外線は太陽光が地表に届く前にオゾン層等により吸収されるため，地球上には自然には存在しない。深紫外線はその不活化効果により，様々な用途での除菌に用いられている。



図－1 光の波長と不活化効果

浄水場や養殖場などの大型施設における水処理では，水銀ランプを使用した水殺菌が運用されている。近年，深紫外LEDの高出力化・高効率化が進んだ結果，従来の水銀ランプでは実現できない小型の殺菌装置を必要とするエコキュートなどへの搭載が進んでいる。豊田合成では2022年より，深紫外LEDを使用した水冷構造の小型水浄化ユニット（図－2）を量産している。

今回，高い不活化性能を有し，配管スペースに収容しやすいスリム形状，かつ小型ヒートシンクによる連続点灯が可能な「空冷式小型水浄化ユニット」を開発したので紹介する。



図－2 エコキュート搭載水冷浄化ユニット

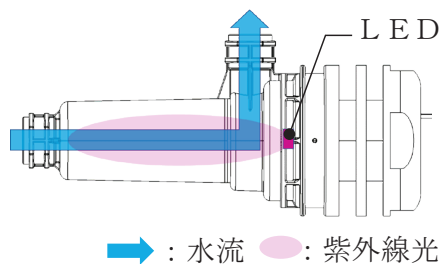
2. 製品の概要

図－3に本製品の外観を示す。流入口から流入した水は深紫外線の照射を受け，水中の菌を不活化し，流出口から流出する構造となっている。



図－3 製品仕様

図－4に水流と紫外線光の照射の模式図を示す。内部に設置された深紫外線LEDからの光を水流方向へ照射する構造になっている。LED発熱は取り付けられたヒートシンクによって放熱される構造となっている。



図－4 水流と紫外線照射模式図

^{*1} 新価値2技部 製品技術室

本製品は流量 0.5L/min から 2.0L/min まで対応し、3W 以下の低電力で動作する。不活化性能は水 1L/min の通水量で、大腸菌において 99.999% となる。

3. 開発のポイント

3-1. 連続動作可能な放熱設計

本製品の特長の一つ目は、ヒートシンクによる空冷によって連続動作が可能であることである。表-1 に水冷と空冷の比較を示す。空冷方式の最大のメリットは、水が流れていないときも紫外線処理ができる空焚き動作が可能となる点である。不定期に流れる水や通水間隔が短い用途に対しても、確実に紫外線を照射することができる。

表-1 冷却方式比較

| 冷却方式 | 水冷 | 空冷 |
|--------|--------|-------|
| 本体サイズ | 小 | 水冷より大 |
| ヒートシンク | 不要 | 必要 |
| 空焚き動作 | 不可（数秒） | 連続動作可 |

ヒートシンクを使用した放熱では LED から発生した熱を効率よくヒートシンクへ伝え、空気へ伝達させることが必要である（図-5）。冷却ファンなどを取り付けることで放熱性を高めることは可能であるが、故障のリスクがあるためファンを使用しない自然空冷を実現するため、熱シミュレーションを活用し、最適な形状を導出した。図-6 に放熱シミュレーション結果を示す。ヒートシンク部分は温度が均一に広がっており、放熱効果を最大限発揮できる構造となっていることが分かる。周囲の空気対流などを考慮し、スリット形状などを設定している。

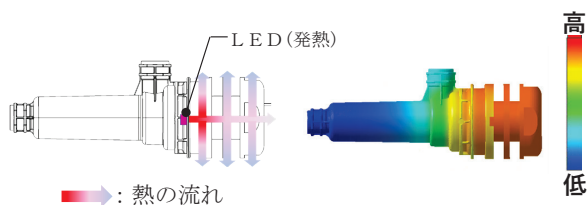


図-5 LED 発熱の冷却模式図 図-6 熱シミュレーション結果

3-2. 不活化性能向上

菌、ウイルスが不活化するために必要な紫外線照射量（紫外線照射線量 mJ/cm^2 ）がそれぞれ実験的に求められている。LED から発する紫外線を効率よく利用し、不活化性能を高めるためには、水の流れおよび紫外線照射分布を均一し、ムラなく光を照射することが必要となる。

水流と紫外線照射分布をシミュレーションした結果を図-7、図-8 にそれぞれ示す。水流は流入口から流出口の方向へ均一に流れていること、紫外線照射分布は流路内で均一に分布していることが確認できる。

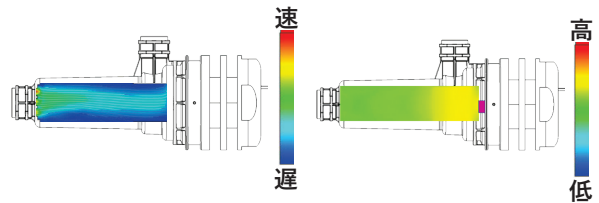


図-7 水の流れ分布 図-8 紫外線照射分布

上記検討結果より、高い不活化性能を達成するユニットを実現できた。図-9 に、枯草菌、緑膿菌、大腸菌で、流量 1.0L/分における本製品の不活化率の評価結果を示す。

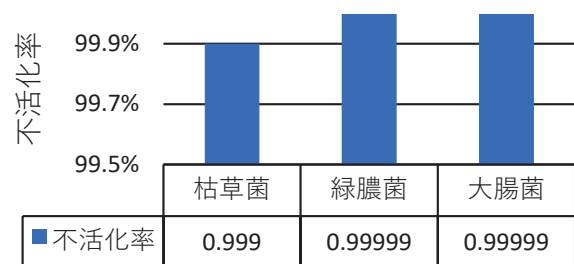


図-9 各種菌における不活化率

いずれの菌において、99.9% 以上の不活化率を有することを実証した。紫外線照射が有効な様々な菌、ウイルスに対し、用途に応じて幅広い製品への活用が期待できる。

4. まとめ

空焚き動作が可能な小型の水浄化ユニットにより、様々な装置への搭載が可能となり、多くの水の不活化要望に対し適用可能と考える。本技術を活用し、社会のニーズにこたえられるより小型で高効率な製品をお届けできるよう開発を推進していく。

謝辞

本研究の一部は環境省「革新的な省 CO_2 型環境衛生技術等の実用化加速のための実証事業」の援助を受けた。

本製品の開発設計に携わった皆様に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 和田ら, 豊田合成技報「UVC-LED による空調機向け抗ウイルスダクトに関する研究」
- 2) Yoshiki Saito et al 2021Jpn.J.Appl. Phys. 60 080501

著 者



和田 聡



松永直人



岡田 誠



出向井幸弘



飯田充彦



林 貴文

1. 保有知的財産権の紹介

脱炭素に関する豊田合成の保有特許と商標をご紹介します。

1-1. 特許

[植物由来原料を複合したポリオレフィン系樹脂組成物、樹脂成形品] セルロース繊維強化ポリオレフィン系樹脂組成物及び樹脂成形品

特 許 No. 7533318

発明者 内田 均, 田中靖昭

[発明の属する技術分野]

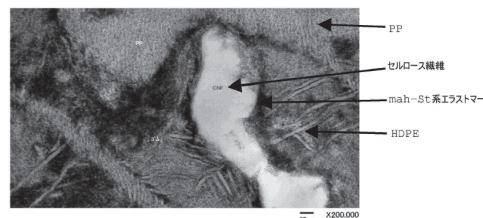
本発明は、セルロース繊維強化ポリオレフィン系樹脂組成物及び樹脂成形品に関する。

[発明の概要]

酸変性高分子化合物に高密度ポリエチレンを配合し、繊維長 $1\mu\text{m}$ 以上のセルロース繊維とポリオレフィン系樹脂組成物を含有した樹脂組成物を樹脂成形品へ適用する。

[発明の効果]

植物由来原料セルロース繊維を複合したことにより軽量化が可能で、環境負荷を低減できる。



[水素タンク] ガス容器

特 許 No. 7694425

発明者 熊谷拓大, 榎本健太郎

[発明の属する技術分野]

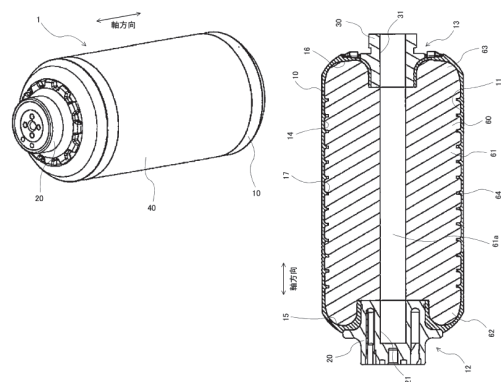
本発明は、水素を吸蔵可能かつ放出可能な容器に関する。

[発明の概要]

水素などのガスを貯蔵すると共に放出する貯蔵部材を有する筒状容器本体の軸方向端部に口金を備えて、貯蔵部材の径方向外面と、容器本体の径方向内面に、互いに係合する凹部と凸部を設ける。

[発明の効果]

容器本体の内部空間でのガスの貯蔵量を十分に確保しつつ貯蔵部材の固定保持を実現することができる。



1-2. 商標

豊田合成では環境への取り組みとして、生物多様性の保全活動である里山づくりを推進しており、その名称である「樹守の里」、「睦実の里」の商標登録をしています。

商標登録第 6250946 号：樹守の里（文字商標） 商標登録第 6943668 号：睦実の里（文字商標）

編集後記

豊田合成は、2030 事業計画を策定し、「高分子の可能性を追求し、よりよい移動と暮らしを未来につなぐ会社」を目指す中で「脱炭素への貢献」を最重要課題のひとつと位置付けました。今号は「未来を創る脱炭素技術」を特集テーマとし、特別寄稿では東京大学の特別教授である伊藤耕三様に、循環型社会の概念やポリマーの再利用・リサイクル技術、環境負荷軽減の取り組みについて執筆いただきました。また、脱炭素社会実現に向けた新事業の立ち上げや材料のリサイクル技術、生産工程の省エネ技術について紹介しております。なお一般テーマは、コア技術を軸とした持続可能で効率的な未来を築くための新技術・新製品などを掲載しております。是非、一読いただき豊田合成の取り組みを知っていただけたら幸甚に存じます。

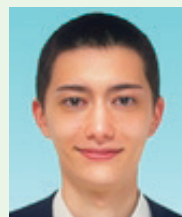
最後にお忙しい中、原稿の執筆にご尽力いただいた執筆者、編集委員の方にお礼申し上げます。

表紙デザインコンセプト

今回の特集である「脱炭素技術」が目指すものとは、「自然の豊かな美しい地球」だと考え、それを豊田合成のコア技術である高分子＝六角形が創り上げていくというテーマで表紙をデザインしました。

コーポレートカラーの赤と青をアクセントに、円状に配置された六角形は豊田合成が持つ数多くの技術を表現しており、その中心に水と緑の光輝く地球を置くことで、豊田合成が美しい地球の未来を形作る存在となるようにという思いを込めています。

デザイン開発部



與猶 サミュエル淳

豊田合成技報編集委員会

| | | |
|-------|--------|---------------------------|
| 編集委員長 | 七田 裕章 | (技術管理部) |
| 編集委員 | 伊藤 哲浩 | (カーボンニュートラル・環境推進部) |
| | 佐藤 啓子 | (モビリティ開発部) |
| | 矢嶋 孝義 | (知的財産部) |
| | 袖山 清和 | (第1材料技術部) |
| | 内田 均 | (第2材料技術部) |
| | 渡邊 千穂 | (デザイン開発部) |
| | 上岡 裕一 | (電子技術部) |
| | 丸田 康博 | (性能実験部) |
| | 栗木 大次 | (生産技術統括部) |
| | 野竹 知義 | (モールド事業統括部) |
| | 鈴木 哲也 | (マシンエンジニアリング部) |
| | 金子 健一郎 | (F C 技術部) |
| | 光田 崇 | (F C E V 企画・開発部) |
| | 井上 知則 | (W S 開発部) |
| | 寺本 光伸 | (W S 技術部) |
| | 田中 克巳 | (F C 生産技術部) |
| | 寺本 泰庸 | (I E 開発部) |
| | 水野 雅規 | (I M 技術部) |
| | 関谷 隆 | (E M 技術部) |
| | 鈴木 一央 | (I E 生産技術部) |
| | 王 蕾 | (I E 生技開発部) |
| | 森 雅明 | (S S 開発部) |
| | 水野 喜夫 | (S S 第1技術部・第2技術部) |
| | 谷川 竜也 | (S S 第1生産技術部・S S 第2生産技術部) |
| | 酒井 智和 | (新価値開発部) |
| | 奥野 浩司 | (新価値第1技術部) |
| | 大矢 昌輝 | (新価値第2技術部) |
| | 山口 秀明 | (新価値生準・品質管理部) |
| 事務局 | 三輪 聡彦 | (技術管理部) |
| | 花木 貴子 | (技術管理部) |
| | 松田 修司 | (技術管理部) |
| | 平尾 剣弥 | (技術管理部) |

TOYODA GOSEI TECHNICAL REVIEW

豊田合成技報 Vol. 67 2025 (禁無断転載)

2025 年 12 月 19 日発行

発行所 豊田合成株式会社
〒452-8564
愛知県清須市春日長畑 1 番地

発行人 苗代 光博

編集人 豊田合成技報編集委員会

事務局 〒492-8540
愛知県稲沢市北島町西の町 30 番地
Tel 0587-34-3295
Fax 0587-34-3309

印刷所 竹田印刷株式会社

Copyright(C) TOYODA GOSEI CO., LTD. All rights reserved.

TECHNICAL REVIEW

VOL. 67 2025

VOL. 67 2025