

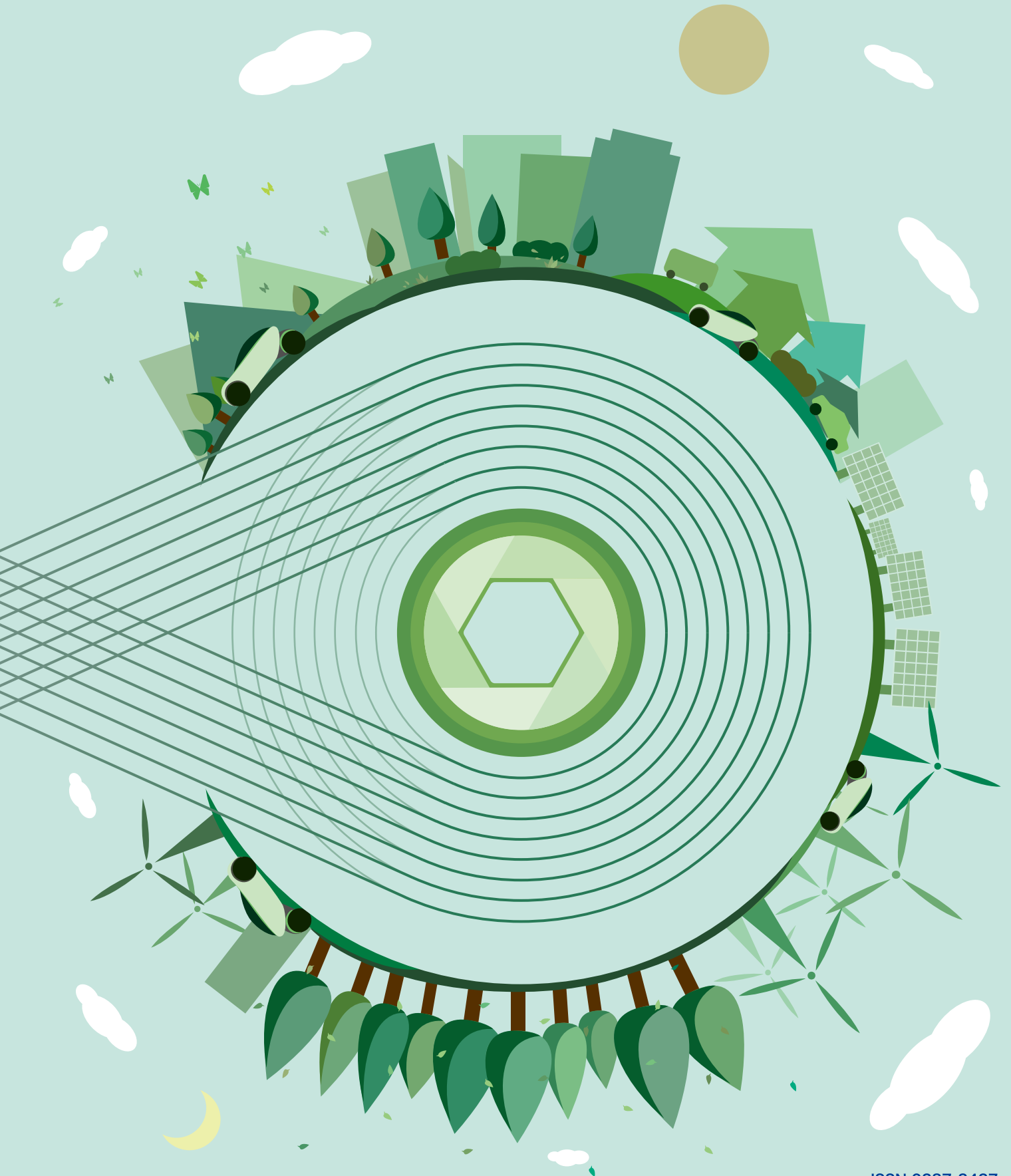


TOYODA GOSEI

TECHNICAL REVIEW

vol.63 2021

カーボンニュートラル実現に向けた技術開発の取り組み
～持続可能な社会に向けて～



ISSN 0287-3427

目 次

巻頭言	「地球を救う二万五千分の一の責任」 ～東京 2020 オリンピック・パラリンピックを通して 想うこと～	石川 卓 1
特 集 「カーボンニュートラル実現に向けた技術開発の取り組み ～持続可能な社会に向けて～」		
特別寄稿	カーボンニュートラルとは何か 内外動向と豊田合成への期待	山家 公雄 2
座談会	豊田合成の技術力で未来を拓き、 カーボンニュートラルを目指す	長尾 一彦 今井 英幸 伊藤 哲浩 木村 洋治 山田 宣伸 傍島 友和 前田 英登 井土 尚泰 早川 慎一 岩本真由美
総 説	サステイナブルな材料への取り組み ～持続可能な社会への実現に向けて～	栗本 英一 13
論 文	ゴム加硫度の予測技術によるロス低減	小田原 仁 19 袖山 清和
	「地球を守るために私たちができる事」 デザイナーの 考察と「新価値, 新商品提案」の取り組みについて	大松 直樹 25
	カーボンニュートラルに向けた取り組み	伊藤 哲浩 30 佐村 洋平
	バイオフィラーを活用した材料開発	内田 均 32 田中 靖昭 佐藤 厚子 太田笑美子 池田 彩
	2050 カーボンニュートラルへの生産工程の 取り組みについて	木村 洋治 38 赤星 茂一 鈴木 佐代
新技術紹介	電力変換ロス低減を実現する新規構造横型 GaN パワーデバイス開発	佐藤 壽朗 神谷 真央 竹中 靖博 荒添 直棋 井手 公康 中田 尚幸 西島 和樹 加藤 久東 篠田 大輔 上村 俊也

特 集	新製品紹介	FCV 用高圧水素タンク	光田 崇 田代 康 成瀬 知優 加賀 弘晃	46
		一 般	論文	様々な自動車乗員の前突事故における 腹部傷害の分析について
新技術紹介	組み込みソフトウェアによる LED 色度補正技術		杉山 剛司 嶋崎 知宏 田邊 智之 堀 岳央	54
	ドアガラスラン 金型挿入時の挙動解析		土山 明子	56
	AI 検査システムの開発		豊田 竜也	58
	ガラスラン生産準備リードタイム短縮のための CAE 解析の活用		柳瀬 圭佑 花田 雅輝	61
	樹脂部品切削における切屑飛散防止技術		岡田 貴之	63
	深紫外 LED による新型コロナウイルス (SARS-CoV-2) 不活化効果		和田 聡	66
	新構造運転席エアバッグ開発 (北米仕向け斜め衝突対応技術)		野々山裕貴	68
新製品紹介	遮音性向上ガラスラン		酒井 大輔 野尻 昌利	70
	LiDAR 用ヒーターフィルムの開発		深川 鋼司 橋本 守行	72
	e-Rubber を用いたゴルフ向けスマートインソール “FEELSOLE”		一柳 星文 小森 陽子	74
知的財産		知的財産活動の紹介		76

CONTENTS

Preface		One Twenty-Five Thousandth of the Responsibility to Save the Earth —Thoughts From the Tokyo 2020 Olympics/Paralympics	Takashi Ishikawa 1
Feature	Technology Development to Achieve Carbon Neutrality—Approaching a Sustainable Society		
Contribution	What Is Carbon Neutrality? Internal and External Trends and Expectations of TOYODA GOSEI	Kimio Yamaka	2
Round Table Discussion	Toyoda Gosei Engineering Opens the Way to the Future, Aims for Carbon Neutrality	Kazuhiko Nagao Hideyuki Imai Tetsuhiro Ito Yoji Kimura Yoshinobu Yamada Tomokazu Sobajima Hideto Maeda Takayasu Ido Shinichi Hayakawa Mayumi Iwamoto	8
Review	Approaches to Sustainable Materials ~ Working Towards a Sustainable Society ~	Hidekazu Kurimoto	13
Technical Paper	Loss Reduction Through Predictive Technology for the Rubber Vulcanization Ratio	Jin Odahara Kiyokazu Sodeyama	19
	What We Can Do to Protect the Earth Designers' Considerations and Efforts for New Value and New Product Proposals	Naoki Omatsu	25
	Our Efforts Toward Achieving Carbon Neutrality	Tetsuhiro Ito Yohei Samura	30
	Material Development Using Bio-fillers	Hitoshi Uchida Yasuaki Tanaka Atsuko Sato Emiko Ota Aya Ikeda	32
	Production Process Efforts for Carbon Neutrality by 2050	Yoji Kimura Shigekazu Akahoshi Sayo Suzuki	38
New Technology	Development of a GaN Power Device with a New Horizontal Structure that Achieves Low Power Conversion Loss	Hisao Sato Masao Kamiya Yasuhiro Takenaka Naoki Arazoe Kimiyasu Ide Naoyuki Nakada Kazuki Nishijima Hisato Kato Daisuke Shinoda Toshiya Uemura	41

Feature	New Products	High Pressure Hydrogen Tank for FCVs	Takashi Mitsuda Yasushi Tashiro Tomohiro Naruse Hiroaki Kaga	46
		General Article	Technical Paper	Analysis of Abdominal Injuries of Various Occupants in Frontal Collisions <small>Shiga University of Medical Science</small>
New Technology	LED Chromaticity Correction Technology Using Embedded Software		Takeshi Sugiyama Tomohiro Shimazaki Tomoyuki Tanabe Takao Hori	54
	Behavior Simulation of Door Glass Runs Being Inserted into Molds		Akiko Tsuchiyama	56
	Development of AI Inspection System		Tatsuya Toyoda	58
	Optimization of Extrusion Production Preparation Using CAE		Keisuke Yanase Masateru Hanada	61
	Technology for the Prevention of Chip Scattering During the Cutting of Resin Parts		Takayuki Okada	63
	Novel Coronavirus (SARS-CoV-2) Inactivation with Deep Ultraviolet (UV-C) LEDs		Satoshi Wada	66
	Driver Airbag with a New Structure (Oblique Collision Technology for North America)		Yuki Nonoyama	68
New Products	Glass Runs with Improved Sound Insulation		Daisuke Sakai Masatoshi Nojiri	70
	Development of Heater Film for LiDAR Sensors		Koji Fukagawa Moriyuki Hashimoto	72
	“FEELSOLE” Smart Insole for Golf Training, Using e-Rubber	Hoshibumi Ichiyonagi Yoko Komori	74	
Intellectual Property		Activities Regarding Intellectual Property		76

「地球を救う二万五千分の一の責任」

～東京 2020 オリンピック・パラリンピックを通して想うこと～

One Twenty-Five Thousandth of the Responsibility to Save the Earth

—Thoughts From the Tokyo 2020 Olympics/Paralympics



取締役・執行役員
(開発本部本部長)

石川 卓

Takashi Ishikawa

【第32回東京オリンピック、第16回夏季パラリンピック】が、閉会式を終え、1か月半に及ぶ熱戦の幕を閉じました。残念ながら史上最悪とも言えるパンデミックにより、開催が1年遅れ、無観客開催が基本となりました。画面を通しての観戦ではあったものの、アスリートの競技に打ち込む姿勢や背後にある物語り、予期せぬ結末に、世界中の多くの人々が手に汗を握り、数多の感動が生まれたことは、やはりかけがえのない素晴らしい事実だと感じています。オリパラを通じて、途切れることなく歴史をつなぐ、持続可能であることの大切さをあらためて感じる時間でもありました。

昨年の豊田合成技報では、「豊田合成におけるSDGsの取り組み～技術を未来へつなぐ～」をタイトルとした特集を組みました。持続可能な社会を作る上で、2030年に向けた世界目標である17の世界共通のゴールSDGsを達成しつつ、美しい地球環境を守っていくために、長期的に脱炭素社会を目指すことが、世界的な潮流、人類共通の目標となりました。

一方、毎年のように発生する異常気象による災害、一向に収束の見えないコロナ禍による環境・健康意識の高まりなどを背景に、SDGsの理解や定着化は大きく進んだように思います。更に、昨年10月の菅総理（当時）による「2050年脱炭素（カーボンニュートラル：CN）宣言」を契機に、CNに関する記事を目にしない日がないと思える程、あらゆる場で取り上げられるようにもなりました。

現実を目を向けると、地球上で排出される温暖化ガス（GHG）の量は、年間約500億トンと言われ、これを極限までゼロにしなければ温暖化は止まりません。その中で、豊田合成のグローバルなCO₂排出量は年間約200万トン、これは地球上の全排出量の二万五千分の一となります。私たちは地球を救う二万五千分の一の責任を背負っていることをしっかりと認識し、今後の行動を変えていかなければなりません。何億年もかけて蓄積され、地球を構成している化石燃料。産業界は、安価でエネルギーとして使いやすいこの化石燃料にあまりにも多くを依存し、産業活動を行い、産業革命以降の急成長を成り立たせてきました。あらためて、化石燃料依存から脱却し、CNを達成し、持続性社会、循環型社会へ転換していかなければなりません。

豊田合成の事業領域、主力製品群をみても、CNへの対応は、課題山積であると共に、会社の将来に向けた大きな転換期に差し掛かっているといえます。再生エネルギーへの転換、バイオ素材の活用はもとより、素材～廃棄までの一連のライフサイクルアセスメント（LCA）を考慮した全方位での課題の抽出、具現化のシナリオ作成、技術開発等、技術者に求められる課題は尽きません。ですが、私たちが育ってきた頃の豊かな自然環境を守り、次の世代につなげていく使命だと思えば、技術者冥利に尽きるのではないのでしょうか。

今回、特別寄稿としてエネルギー政策の専門家であり、豊田合成社外取締役として、常日頃から多方面でご指導をいただいている山家公雄様に執筆をお願いしました。世界のエネルギー政策、動向から、日本のエネルギー政策のあり方、自動車産業、そして豊田合成の事業戦略に対して、大所高所からの課題提起、ご示唆をいただいております。是非、楽しみつつご一読いただければ幸甚です。

カーボンニュートラルとは何か 内外動向と豊田合成への期待

山家公雄^{*1}

What Is Carbon Neutrality?

Internal and External Trends and Expectations of TOYODA GOSEI

Kimio Yamaka^{*1}

始めに：カーボンニュートラルの潮流

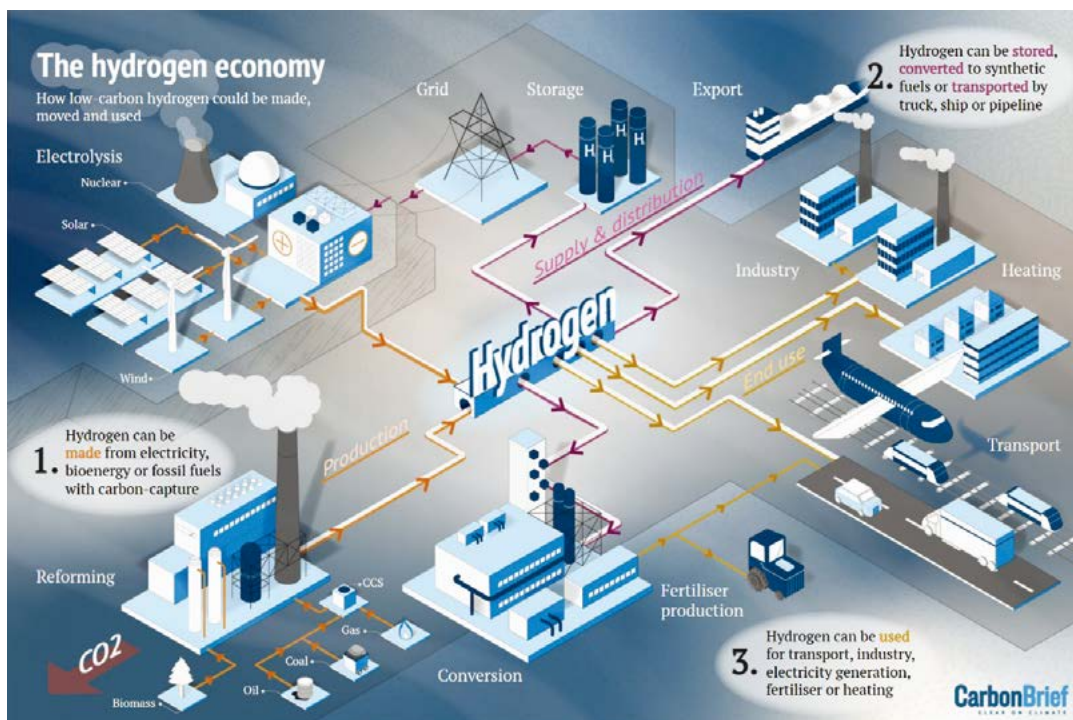
2015年に産業革命以来の大気温度上昇を1.5℃～2℃に抑えるパリ協定が締結された。その後IPCCの提言を踏まえて目標が2℃から1.5℃に事実上引き下げられた。日本をはじめ世界の主要先進国は2050年カーボンニュートラルにコミットするようになり、2050年削減目標は8割から10割に上がる。2割上げによるコスト上昇は大きく、高コスト対策とみられた水素が現実解に浮上する。2019年6月に先陣を切ってCN宣言を行った英国は、水素社会の到来にいち早く気が付く。英国に次いで先進国は相次いで2050年CNを宣言し、中間目標である2030年もEU55%、ドイツ65%、英国78%（2035年）と引き上げられていく。また、

EUやドイツ、英国等で水素戦略が取り纏められ、欧州の戦略が広く知られるようになる。水素で先行していた日本に追いつき追い越す勢いである。

1. カーボンニュートラル（CN）への道程

【電力から水素へ／電力から熱、材へ】

温室効果ガス（GHG）排出の8割強はエネルギー由来CO₂であるが、脱炭素は技術的・経済的に電力が容易であり電化が基本となる。再エネ、原子力という確立された技術がある。他の主要エネルギー源である熱、燃料は化石資源由来が主となり、省エネルギーを徹底してもCO₂排出は残る。また、化学品等化石資源由来の材料も水素かバイオを利用することになる（図-1）。

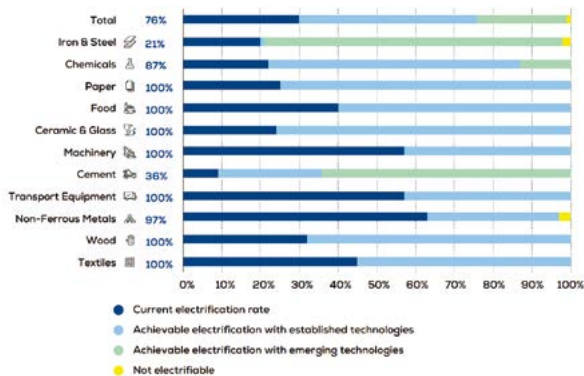


（出所）CarbonBrief

図-1 水素経済概念図

*1 社外取締役

電化しきれない熱は水素や水素由来のメタンにて脱炭素化される。比較的低い温度の領域は、ヒートポンプ等を利用して電化が可能であり、家庭用・業務用の相当部分に対応できる。しかし、産業用の高温の熱は電化が困難な領域がある。大量の高温熱を使用する鉄、セメント・ガラス、紙、化学の脱炭素はチャレンジングで、技術革新を要する。なお、EUでは自動車産業、機械産業は既存技術により殆ど電化が可能としている（図-2）。



(出所) ETIP-WIND, Wind-Europe “Getting fit for 55 and set for 2050” (2021/6)

図-2 EUの産業別エネルギー電化可能率 (除く原料)

天然ガスに代わる気体熱源として水素あるいは水素と回収CO₂を反応させてできる合成メタン(これをメタネーションという)がある。合成メタンは工場内排出CO₂を回収して作るが、都市

ガス会社が気体燃料供給責任の下で製造して供給するかとなる。

化学品等の化石資源由来の材は、水素・バイオ由来の材に切り替わる。各種技術を駆使してメタノール、エタノール等を生成し、それを原料に合成樹脂(プラスチック)等が作られる。

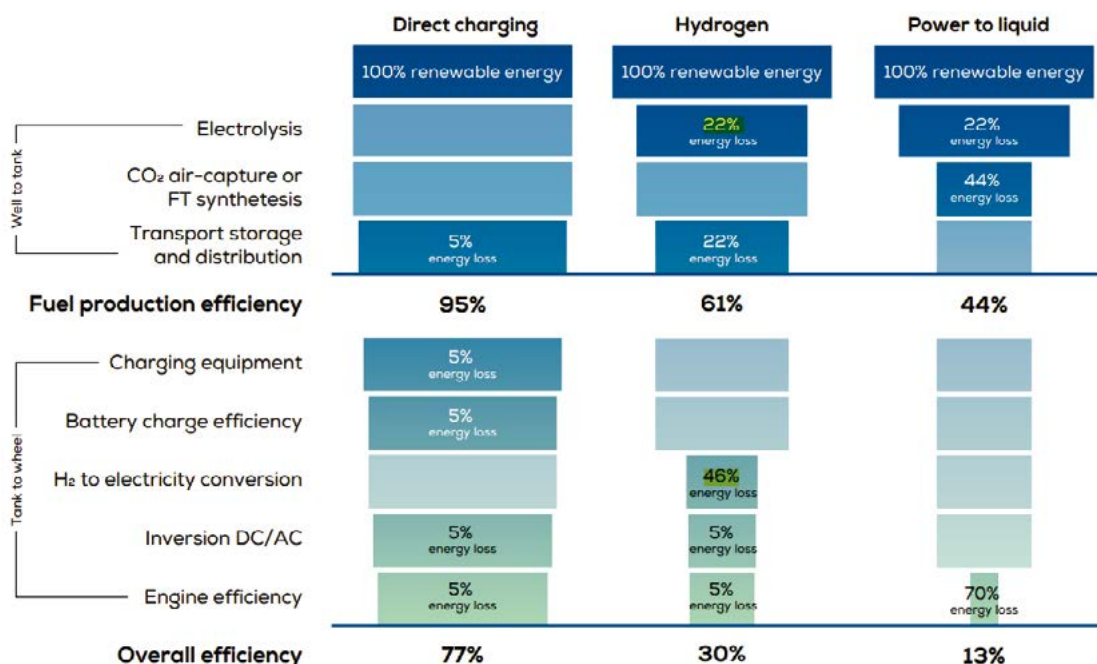
エネルギーとは別に生産工程で利用される水素も見逃さない。現在も石油精製の脱硫工程に、アンモニア(主として肥料用)やメタノール生成の原料として水素が大量に使用されている。また、製鉄工程で還元剤としてコークスが使われるが、これを水素に代える必要がある。

【運輸の脱炭素】

運輸部門も同様であるが、液体燃料の出番もある。電化しきれない商業車等の大型運輸手段は水素・水素由来の合成燃料やバイオ燃料にて脱炭素化される。BEV, FCV, 水素・E-Fuel等ゼロエミ燃料内燃機関とのエネルギー効率を比較すると、EU等の試算では77%, 30%, 13%となる(図-3)。

可能な限りBEVを利用し、BEVで難しい領域はFCV、それでも難しい領域はゼロエミ燃料ということになる。FCVは商用車、フェリー、鉄道辺りに適すると位置づけられている。船舶、航空機は主にゼロエミ液体燃料の出番となる。E-FuelのEはEcoではなく、Electricityであり、再エネで電気分解された水素とCO₂を触媒を介してできる液体燃料のことである。

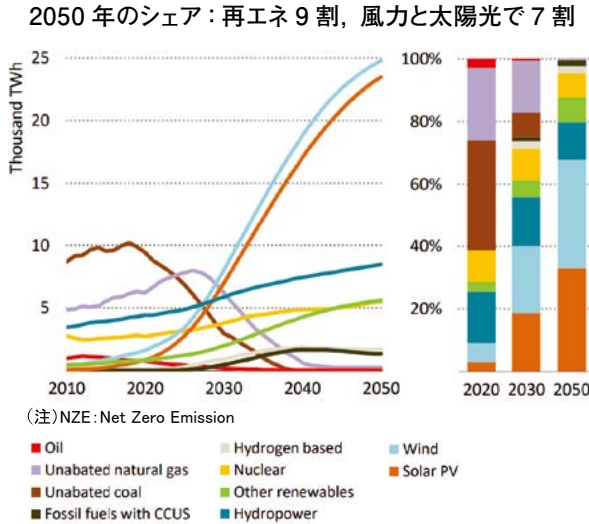
以上のように、CNに向けて膨大な水素需要が



(出所) ETIP-WIND, Wind-Europe “Getting fit for 55 and set for 2050” (2021/6)

図-3 BEV, FCV, E-Fuel車のエネルギー効率比較 (再エネ電力利用)

生じるが、これは膨大な再エネ電力需要を生むことになる。再エネ電力はこれまでも急激なコスト低下をみているが、再エネと水素の拡大・コスト低下の好循環が期待される。国際エネルギー機関(IEA)は、2050年ネットゼロシナリオにて再エネ電力比率9割と試算している(図-4)。



(出所) IEA “Net Zero by 2050” (2021/5)

図-4 世界発電電力量の推移
(電源種別, 2050NZE)

2. 水素を巡る議論

【グリーン水素かブルー水素か】

水素社会は確実に到来するが、その水素はどのように作られるのか。前述のように石油精製、アンモニアやメタノール生成を主に今でも相当量の需要があるが、殆ど化石資源由来の水素である。これのゼロカーボン化がまずは取り組まれることになる。

水素は色により語られる(カラーリング)。石炭由来はブラウン(ブラック)、天然ガス由来はグレイ、CCS(Carbon dioxide Capture and Storage)^{※1}で脱炭素化するのがブルー、再エネ電気で水分解したのがグリーンである。ブルーとグリーンがゼロエミ水素と言われるが、グリーンが優先される。ブルーは、CO₂回収効率が90~95%であり、化石燃料生産・流通の過程でのCO₂発生やメタン漏出をカウントすると効率はさらに下がる。何よりも化石資源利用が続くことになる。

【2030年のコストはグリーン<ブルー】

問題はコストである。現状はブルーの方が低い。

脱炭素化を段階的に進めるためには、経過技術(ブリッジテクノロジー)としてブルーを利用し、グリーンのコストが低下するにつれて置き換えていくとの戦略が採られる。IEAのシナリオでもあり、特にEUは明確にその戦略を打ち出す。グリーンのコスト低下は、再エネ電力と水分解設備のコスト低下による。後者は設備利用率にも大きく依存する。再エネ電力は風力と太陽光の更なるコスト低下が見込まれるが、水分解設備もスケールメリットにより低下していくと見込まれている。

EUは2030年までに逆転するとみている。国際再生可能エネルギー機関(IRENA)、ブルームバーク、マッケンジー等が同様の見通しを示している。ブルーでは、ガス田を所有するメジャー等は設備やノウハウ・貯蔵場所を有している。北海は需要地にも近い。中近東・ロシアもガス田・インフラが整っている。グリーンでは、水力が豊富な北欧や洋上風力の適地である北海・バルト海は需要地にも近い。いずれにしても、ブルーはEUでもブリッジテクノロジーに位置付けられるが、投資判断を間違えるとストラandedアセット(座礁資産)化する。

【地政学大変動/再エネ資源国はCN時代の中東】

以上のように、CN実現のためには膨大な水素需要が生じる。EUは、2050年には最終エネルギー需要の24%はグリーン水素になるとしている(電力消費の25%)。エネルギー需要地(先進国)の内部調達では到底間に合わず輸入が不可欠になる。EUの水素戦略では、水分解設備容量は2024年までに6GW、2030年までに域内に40GW、域外に40GW設置する。EUに近く再エネが豊富に賦存する地域は低コスト生産が期待できる。輸入先としては水力の北欧、太陽光のアフリカ(北サハラ)そして太陽光の中東を想定している。EUは、国際協力体制の構築を重視する。途上国・産資源国に再エネ開発や水素製造の技術を提供する。太陽光ではチリ、メキシコ等も期待でき、輸送コスト次第では供給基地になりうる。

アジアで注目されるのは豪州である。LNG等化石資源に係るインフラが整備されており、太陽光・風力の再エネ資源が豊富である。日本に比較的近く日本工場が集積している東南アジアも要注目である。地政学上の重要地域は化石資源国から再エネ資源国に移行し、再エネ資源国との関係強化が重要になる。水素の輸送コスト如何では、再エネ資源地に産業が立地することは現実的な選択肢となる。日本については、後述する。

※1 CCS(Carbon dioxide Capture and Storage): 「二酸化炭素回収・貯留」技術のこと

3. カーボンニュートラルを巡る日本の動き

【CN 宣言の背景に内外の圧力】

菅政権は、2020年10月に2050年カーボンニュートラルを宣言し、2021年4月に中間目標である2030年46%削減をコミットした。周到に準備したというよりも、世界の情勢や「外圧」に押された感は否めない。COP（Conference of the Parties）^{※2}の場で化石賞の常連になり、安倍元総理が国連演説を拒否された衝撃は大きかったと言われる。これまでと異なるのは、産業界（全てではないが）を含め概ね評価されたことである。経済のグローバル化でCNコミットや再エネ調達が事業継続の重要な要素になるとの認識が進み、むしろ大量で低コストの再エネ調達が可能となるようなエネルギー政策への要望が出されてきていた。

2021年6～8月にグリーン成長戦略、発電コスト検証、エネルギー基本計画（エネ基）素案等が相次ぎ公表されたが、日本でも主役は再エネ、水素となる。再エネは「最大限の導入、最優先電源」と表現され、発電コストは2030年断面予想では太陽光・陸上風力が既存電源よりも低い水準となった。2030年の電源構成（電力量）は再エネ36～38%、原子力20～22%、LNG20%、石炭19%、水素・アンモニア1%、石油等2%とされた（図-5）。原子力は新增設のコミットはなく、現実には高くとも10%程度と考えられるが、これを埋めるのは再エネしかない。海外から排出権を購入するしかないとの見方もあるが、先進国でそれが許されるのかという問題がある。

【危い既存システムへの配慮】

一方で、既存システム（電力設備）への配慮がある。2030年原子力2割程度もそうであるが、2050年の「叩き台試算」では再エネ50～60%、原子力/化石CCUS30～40%、アンモニア/水素10%である（図-5）。前述のように、保守的と言われるIEAでも再エネ9割である（図-4）。

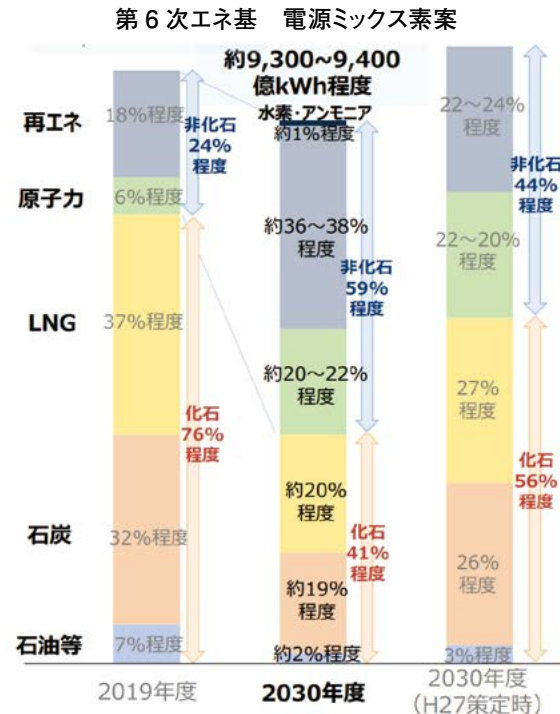
以下は筆者の考えである。ゼロエミ火力を目指すようであるが、課題が多い。前述のように、CCUSはブルー水素であるが、グリーン水素が望ましくコスト面でも2030年ごろに下回る可能性が高い。アンモニアの毒性や吸熱反応というハードルは低くない。何よりも、水素単独を含め既存火力発電で、混焼を含み、燃やすだけである。前述のように、CNにおいては、膨大な水素を必要とするが、再エネを開発しコストをかけて作った水素は大事に利用すべきであり、代替手段がある

※2 COP（Conference of the Parties）：「気候変動枠組条約」の加盟国が、地球温暖化を防ぐための枠組みを議論する国際会議

2050年の電源構成（参考値）

電源種	シェア (%)
再エネ	50～60
原子力/化石 CCUS	30～40
水素/アンモニア	10

（出所）基本政策分科会（2020/12/21）



（出所）エネルギー基本計画（素案）の概要（2021/7/21）

図-5 2030年、2050年電源構成の見通し（日本）

電力への利用は最も低い優先度となる。百歩譲ってもブリッジテクノロジーであり2050年で描くべき絵ではない。水分解で作られ、輸送し、それをまたエネルギー効率の低い（3～4割）方式で電気に戻すのは合理的ではない。既存設備やインフラを利用できるメリットが強調されるが、持続性に課題があり、スタンダード化する可能性が高い。グリーン水素はIEAやEU等の考え方でもあり、日本の方針で投資が生じるのか疑問である。

【国内空洞化の懸念も】

加えて、国内空洞化の懸念もある。前述のようにアジア地域では、豪州が最大の水素適地と考えられる。太陽光等の再エネ資源は豊富で、化石資源輸出立国であり、輸送インフラは整備されている。J-Power、川崎重工等は当地の安価な褐炭を利用したCCS付き水素を液化して日本に輸送する実証事業を進めている。運搬船を含め液化水素のサプライチェーンを構築する試みであり、政府も多額の助成を行っている。最近では、グリーン水素に焦点を当て、複数の輸送手段を含むアライアンスが多く発表されている。遠距離に位置する豪州の

課題は輸送コストである。経済合理性から産業ごと豪州に移転する可能性、国内空洞化する懸念がある。輸送技術も宝の持ち腐れになりかねない。

日本企業が多く立地する東南アジアにて豪州産水素を使うか、東南アジアでグリーン水素（ブリッジでブルー）を作るのか。筆者は、膨大な国内洋上風力資源を活用する方向に国力を傾注すべきと考えている。浮体式技術で先行し、ガスネットワークが未整備の中では、需要地近くまで電気で輸送して水分解装置で水素を作るといふ姿を描いている。

【岐路にある日本の水素競争力】

なお、EUと日本の水素の競争力について敷衍する。確かに日本は水素で先行した。それは、FCVとエネファームという燃料電池の技術開発が先導した。一方、EUは温室効果ガス削減、省エネ・再エネ主導、それに基づき国内（域内）自給率向上、産業競争力との戦略が導かれている。水素戦略の背景には環境・エネルギー政策がある。総合的な戦略の下に再エネ大国となり次いで水素大国を目指す。既にグリーン水素の大規模実証事業が域内に目白押しで、海外とのパートナーシップ構築や投資が活発になりつつある。

米国はどうか。再エネは、資源が豊富で価格機能で自然に普及してきたが、バイデン政権になりパリ協定に復帰し2035年までの電力脱炭素化が目標に掲げられた。石油・ガスのネットワークも充実しており、輸送手段も整備されている。中国は、風力・太陽光共に断トツの生産量を誇り、世界を牽引しており、コストは低い。EV、蓄電池も牽引しており、燃料電池をはじめ水素への関心は高い。水分解についても大規模投資でコストダウンが進む可能性がある。EUの中国への水素関連技術協力は、太陽光の轍を踏まないとの思いがあり消極的との指摘もある。独自の技術開発となる可能性がある。

4. カーボンニュートラルにおいて注目すべき業界・企業の動向

日本でも14分類に及ぶグリーン成長戦略が取り纏められたが、主役は洋上風力を主とする再エネ、水素、CO₂回収、蓄電池で、これに関わる産業・企業が注目される。本節では、CN技術で注目される企業としてトヨタグループ、化学工業に焦点を当てて紹介する。

【トヨタグループのCN取り組み】

まずトヨタグループをみてみる。再エネではジェイテクトが洋上風力への参入を考えている。

グループでも機械関連に強みがあるが、電動化時代の中で、エンジン回りの事業は厳しくなっていく。一方で、風力発電は部品点数1.5～2万点を数え、多くを回転式機械部品により構成されている。課題は自動車に比べてサイズが大きく、常時の自然変動や25～30年稼働し続ける耐性も求められる。また、かねてよりトヨタが風力発電事業に参入するとの話（噂？）を聞くが、モノづくりのチャンピオンとして、自動車業界の将来のためにも関わりを期待したい。

デンソーはグリーン水素の生成、CO₂の回収、それらを合わせた合成燃料・素材の生成に取り組む。大気からCO₂を回収・分離する機器を活用するが、動力は太陽光発電を利用する。化石燃料のCCUS（Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage）^{*3}とは異なり大気からの回収は純粋にCNと見做される。回収されたCO₂は炭素と酸素に分離され、炭素はカーボンナノチューブ等の素材に転換する。また、工場で発生したCO₂を水素と反応させて合成メタンをつくる（メタネーション）取り組みが官民協議会にて始まっているが、同社は日鉄、東京ガス等と並んで主要メンバーとなっている。2025年に実証を開始し2030年の事業化を目指す。

【化学品脱炭素化の動き】

積水化学は、米国ベンチャーのランザテック社が開発した微生物を使いバイオマスからエタノール（を原料とするプラスチック）を作る事業を進める。ランザテック社は、COとH₂を取り込みエタノールに代える性質をもつ微生物を発見し、これが各種バイオマスに利用されている。積水化学は、一般ごみを焼却する代わりに低酸素状態で熱を加えて（蒸し焼きで）ガス化し、CO₂を出さずにCOとH₂に改質する技術を有し、実証事業も行っている。全国に存在するごみ焼却設備に適用するとまとまった量のCNプラスチックが生成されることになる。エタノールから様々な合成樹脂を作ることができるが、積水化学は2025年の事業化を目指している。

旭化成はグリーン水素からアンモニアを作り化学品の原料とすることを目指す。同社は福島県浪江町の世界最大級の10MW水分解装置の実証運転を行っている。日揮と共同で水素を原料とするアンモニアの製造装置を建設し、2024年度にも生産される予定である。生産されたアンモニアはJERA火力発電の脱硝に利用しつつ化学品の原料化を目指している。

*3 CCUS（Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage）：回収・分離・貯留したCO₂を有効利用する技術

5. 豊田合成のCNへの取り組みと担うべき役割

【豊田合成が実施すべき取り組み】

CN実現に向けて、豊田合成（以下、TG）は全社を上げて取り組んでいるところである。以下、筆者の考えを含めて整理する。まずは自社工場・事業所の脱炭素化（Scope1, Scope2）となるが、基本は省エネ、電力の再エネ化と電力化比率（電化）の向上、そして熱の脱炭素化ということになる。電化は一般に効率性向上を伴うので先行する。電化が難しい工程は熱の脱炭素を図ることになる。TGは、かねてより2050年CNにコミットし、2030年度CO₂削減50%・再エネ比率50%実現を公表し、着実に成果を上げてきている。しかし目標に近づくとつれてハードルが級数的に高くなることが予想され、所謂プロセスイノベーションからプロダクトイノベーションへの移行なしには達成は難しくなる。従来の発想に捕らわれない革新的な工法や製品は競争力の源泉でもある。ピンチをチャンスに変える強い意志が求められる。

CNは、サプライチェーン全体においての実現も不可欠である（Scope3）。TGは、プラスチック・ゴム等の高分子材料を扱う大規模加工メーカーであり、基本的に化石資源由来の材料を使用している。これの脱炭素が求められるが実現は容易でなく、時間を要する。素材メーカーの技術開発に期待するとともに主要ユーザーとしての情報提供・開発協力が不可欠なろう。また、リサイクル等3R^{*4}の徹底も低炭素材料確保や易解体の面でも重要になる。3R技術は商品化としても期待できる。

CNでは、本論で見てきたように再エネ（特に風力、太陽光）、水素および関連インフラが主役になる。もちろん自動車業界も例外ではあり得ず、むしろ遅れている大きな分野として、CASE・MaaSとともに、激変の波に晒される。既存製品に留まるとパイが小さくなり、電動車関連や再エネ・水素関連のこれから伸びていく分野（グリーン成長分野）に積極的に進出しなければならない。軽量化技術による代替需要取り込み、付加価値を付けた電池パック、e-Rubberやパワー半導体による省エネ製品開発、プラスチックギアで風力に参入、水素タンク（貯蔵設備）の様々な用途への適用等である。

電力、熱、材、物質の脱炭素化は一義的にそれぞれの供給事業者が責任を持つが、待っていると時間を要する等むしろ高コストになる場合も想定

される。事情に精通し小回りの利く現場で対応する方が、少なくとも過渡的には、効率がいい場合もある。前述のようにセンサーはメタネーションや脱炭素素材開発に取り組むが、格好の事例である。化学品の脱炭素技術はハードルが高いが故にチャンスでもあり、この新分野の市場は大きい。

【TGが担うべき役割と期待】

以上のような（激動の）環境が予想される中、アンテナを高く張って、「再エネの普及やコスト低下」、「水素や水素副産物（合成物）の普及」、「グリーン水素の対ブルー水素コスト競争力」、「エネルギー・産業・運輸等の脱炭素のスケジュール」等の情報収集を行う。情報収集を担う専門の組織を設置するあるいは人材を育成することも重要である。そして、最適なCNの手順を常に検証し、迅速かつ柔軟な判断を行っていくことが肝要となる。

話は大きくなるが、グリーン水素に係る生産コストや輸送コストの見通し如何では、再エネ資源が豊富な地域に生産拠点が移転する可能性がある。豪州、東南アジア、インド辺りは候補地であろう。国内空洞化を防ぐためには領海内洋上風力の大規模開発を政策的に誘導する必要も出てこよう。リーディング産業として自動車業界もこれに関与すべきではなからうか（開発でも、買取でも）。

最後に、高分子メーカーであるTGは、電力・熱の脱炭素化と共に、ゴム・樹脂の脱炭素化を自ら積極的に推進しなければならない。国内外で先進的な技術があれば積極的に活用したり、CVCでパートナーシップを結んだりして、革新的な技術や製品開発をスピーディに進めることで、今後の事業成長につなげ、社会にも貢献することができる。TGは、グローバルに46の製造拠点を持つ、また高分子の材料開発から設計・生技・製造まで一貫して行う企業である。アンテナを高く張り柔軟に対応できる条件は整っている。

著 者



山家公雄

*4 3R: Reduce (リデュース), Reuse (リユース), Recycle (リサイクル) の3つのRの総称

豊田合成の技術力で未来を拓き、カーボンニュートラルを目指す

「2050年カーボンニュートラル」—この高いハードルを越えるために、
そして、変化の時代の中で会社が成長を遂げるために、私たちは今何をすべきか。
各技術部の室長たちが、未来へ向けての課題や決意を語り合いました。



前列左から：カーボンニュートラル・環境推進部 カーボンニュートラル戦略室 室長 伊藤 哲浩 / 材料技術部 カーボンニュートラル開発推進室 室長 今井 英幸 / カーボンニュートラル・環境推進部 担当副本部長 長尾 一彦 / 生産技術統括部 カーボンニュートラル生産工程推進室 室長 木村 洋治 / IE 生産技術部 めっき生技室 室長 井土 尚泰

後列左から：技術管理部 リソース管理室 GL 岩本 真由美 (司会) / FC 技術部 FC 第1技術室 室長 傍島 友和 / WS 技術部 WS 開発室 室長 山田 宜伸 / EM 技術部 EM 製品開発室 室長 前田 英登 / SS 第1技術部 要素開発室 室長 早川 慎一

豊田合成のカーボンニュートラルの取り組み

司会(岩本) まず、座長の長尾担当副本部長より、カーボンニュートラルに取り組む必要性をお話いただきます。

長尾 豊田合成は2016年に2050年のカーボンニュートラルを宣言しました。さらに、2030年の中間目標として、CO₂排出量を50%削減(2013年度比)し、再エネ導入率を50%に引き上げる「Targets 50&50」を今年の4月に公表しました。

今、環境負荷低減活動はやって当たり前の時代に来ています。やらなければ企業価値の低下に直結する。そういった意味で企業の生き残りをかけた経営戦略のひとつとなっています。これまで、環境活動は投資や費用の面で消極的になることも

多かったのですが、今は環境にしっかり取り組む企業姿勢やその結果が高く評価される世の中になり、企業価値向上につながっています。

世界の国々でも温室効果ガス排出量の目標値を引き上げ、欧州のメーカーでは100%CO₂フリーで生産することが発注の条件になってきました。カーボンニュートラルは、企業の存続と成長の必須条件だというわけです。

司会 続いて副座長の今井室長から、自動車サイクル全体の取り組み概要をご説明いただきます。

今井 新たな体制としまして、カーボンニュートラルを推進する部・室が新設され、カーボンニュートラル促進プロジェクトがスタートしました。これは、従来の生産時におけるCO₂削減の取り組みに加え、上流の原材料から下流の廃棄までライフサイクル全体での取り組みを強化するために、製造、

技術、調達、人事等の面からも全社一丸となって推進するプロジェクトとなっております。進めるにあたっては、従来、我々が得意としてきた軽量化や省エネに加えて、製品開発の上流である原材料そのものの選定や、使用量の低減、また、次のリサイクル技術の向上により、ライフサイクル全体での効果を実現させていきたいと思っています。

そのためには、我々だけでは成し遂げることは難しいので、色々な人に共感を得て、一緒に歩んでいく仲間を増やすことが大変重要だと考えています。

活動のキーワードは、「1 / 25,000 の責任」です。世界の温室効果ガスの排出量が500億トン、豊田合成のCO₂排出量が200万トンということで、25,000分の1の責任を我々が負っていくという宣言になっています。

新たな技術を模索し、 大きな転換期を乗り越える

司会 カーボンニュートラルという大きな課題にどのように向き合っていくか皆さんの環境への思いをお聞かせいただきたいと思っています。

木村 売り上げを伸ばそうとする中で、現状取り組んでいる製造時のCO₂削減目標も、非常に高い水準だと感じています。2050年にゼロにする、この目標に立ち向かうには、まずトップにカーボンニュートラルの必要性や、省エネ設備導入など投資についても理解いただくことが重要だと思います。各技術部門の皆さんには、豊田合成ならではの脱硫再生技術^{*1}のような画期的な技術を企画していただくことをお願いしたいです。それをしっかりアピールすることで、企業価値の向上にもつなげたいと思います。

前田 グリルやバンパーなどの外装製品の開発を20年やってきました。これまでは、外装製品への付加価値としてめっきや塗装などの加飾を重点に取り組んできましたが、そこへセンサーやミリ波などの透過技術を加え、多くの機能を統合するような開発を進めてきました。

グローバルで商品力を確保していくには、加飾や機能統合だけでは顧客にアピールできない状況があります。しかし、カーボンニュートラルによって、軽量化やCO₂低減の技術が競争力の源泉になると思うと、ピンチをチャンスにではないですが、新興のサプライヤーなど競合先に対して、大変強い武器になると感じています。部品メーカーの技術をベースに、OEMメーカーと一緒に新技術へ

取り組んでいくことがとても重要なテーマになると考えています。

木村 CO₂を下げてカーボンニュートラルをアピールすることで、グローバルで競争優位が確保できると思います。ただ、競合する国そのものがエネルギーすべてを再エネでまかなうようになると、どう立ち向かえばいいものかと思っています。

長尾 それでCO₂フリーになっても、電気を再エネに変えただけではものづくりの企業としての価値は低くなると思います。やはり、革新的な技術の結果としてCO₂フリーを実現するというストーリーが基本ではないでしょうか。

木村 再エネは、みんながやるとそのうち価値が小さくなると考える必要がありますね。生産技術、設計技術でどこまで頑張れるかが重要で、それが最後まで勝ち残っていく会社づくりにつながると思います。

前田 外装は面積も広いので、発電するとか、CO₂を吸収するとか、今までにない機能を考えていきたいです。

早川 私が担当するエアバッグは、衝突時に乗員や歩行者の命を守る製品です。交通死亡事故ゼロという大方針を掲げてやってきました。現に交通事故により乗員の死亡率は大きく下がってきました。エアバッグだけの要因でないにせよ、私たちの技術が貢献してきたという自負もあります。一方で市場を見てみると、エアバッグが作動するのはわずか数パーセントであり、ほとんどは使われないでその使命を終えています。カーボンニュートラルの観点からは、発想を大きく変えて、リサイクルや再利用などを考えた開発が必要だと思います。しかしながら、エアバッグの再利用は法規の関係ですぐには実現できません。そこで自分たちができることとして、今まで以上に3R^{*2}を考えた製品設計やCO₂排出量を減らす工程づくりなど、技術革新に取り組む必要があると思っています。

傍島 高圧水素タンクを扱っていますが、FCVは走行中はCO₂フリーでも、モノづくりの上流・下流を考えると相当CO₂を排出していることに気づかされます。豊田合成の部品のなかでは、製品単価が高い製品のため、まずは安くしようと努力していますが、開発者がCO₂のことまで考えて開発を進めていくと、とても大きな競争力を得ると感じています。

井土 私はカーボンニュートラルをきっかけに考え方が大きく変わりました。入社以来、車を美しく見せるための、表面処理、塗装の業務に取り組

^{*1} 廃棄ゴムを原材料として再利用するために、せん断熱で加硫前のゴムに戻す豊田合成独自の技術。

^{*2} リデュース (Reduce)、リユース (Reuse)、リサイクル (Recycle)。

んできましたが、めっきを樹脂に付ける技術は難しく、豊田合成の強みでした。しかしながら、これが反対にカーボンニュートラルにとっては足かせとなり、従来の商品性（見栄え）／コストという軸以外に、今後は環境という軸を持つという、技術者のスタンスとして大転換が必要であるという意識に変わりました。

今までは、めっきや塗装が剥がれないようにするために苦勞してきましたが、これからは、環境に考慮し再利用するためにしっかりと剥がす必要があります。

ただ、これについては、自信があります。また、伸びしろがあると思っています。長年積み重ねてきた技術ノウハウがあるからです。めっきを簡単に剥がせる技術開発を目指していきます。

山田 ウェザストリップ製品は変形する柔らかいモノを扱ってるため非常に固有技術が多いのですが、市場では全然目立たない商品です。ただ、今はゴム・樹脂リサイクルをきっかけに我々の製品にも注目度や期待値が上がってきて、メンバーもこの状況をよい機会だと捉えています。

単純に材料だけに頼るとコストもどんどん上がりますので、我々設計も車両全体で部品点数を減らしながらシール性能は維持できる構造検討するなど、コスト抑制も考えながら開発を進めています。また、FC 技術部など他領域ともリサイクル材活用についての議論を始めたところです。

いかに資源にしていくか、課題に挑む

司会 ゴム・樹脂のリサイクルのお話が出ましたが、リサイクルに関して皆さんはどうお考えですか？

今井 世の中を調査すると、まず取り組むべきはリサイクルだといわれていて、そのためには設計の段階から解体のしやすさを考える必要があります。取り外したものを、また資源として使うことができるので、その点を大変期待しています。

井土 内外装部品の塗装やめっきは、樹脂に対して強力に固着させるので、剥がすのは難しいですね。使い終えたら剥がせるようにすれば、リサイクルに貢献できると思います。

今井 加飾はお客様を惹きつける重要な要素ですが、一方でカーボンニュートラルの観点だと、リサイクルできないのでそのよさが裏目に出てしまう。そこは今後の技術の見せ所で、剥離技術も進んでいますから、開発段階から考えていただきたいですね。

井土 先ほども言いましたが、剥がれない技術を間違いなく持っています。逆にウィークポイントを知っているので、剥がす技術も実現できると思っています。10年ほど前は、剥がれなくする



のに必死で、剥がれた事例をトコトン研究し解決してきましたので、それがノウハウになると気づきました。考え方が180度変わってショックでもあったのですが、また面白味を感じながらできそうです。

今井 ウェザストリップは、脱硫再生がひとつのコア技術になってくると思います。樹脂は顧客から製品への再プラ使用を要請されていますが、ゴムはまだそのような要請がない中、豊田合成から顧客にウェザストリップへ再生ゴムを使用するよう逆提案し、豊田合成がこの分野で有利に進められると感じています。

長尾 脱硫再生は昔研究していた技術を復活させたものです。技術革新も大事ですが、過去に実用化に至らなかった技術を再び見つめ直すというのも手段のひとつかもしれないですね。

山田 世の中が変わり、価値観も変わってきている今、昔の技術に着眼することも大事ですね。古い技術でもコア技術になり得ると感じています。ただ、脱硫再生技術は長い間止まっていた技術ではあるので、これで安心するのではなく、関係部署含めたみんな市場品質レベルや特許などの調査を実施し改善は継続していきたいと考えています。

早川 エアバッグは国内では、リサイクル法の制約がありますが、回収の仕組みからみんなで考えていくことも重要だと思っています。従来の開発の枠組みに留まることなく、社外に飛び出すことが大切だと思います。これまでの開発は社内の関係者と進めることがほとんどでした。これからは、OEMだけでなく、関係省庁や仕入先様などとリサイクルに関して、一緒に開発を進めることが必要と考えています。エンジニアだけで完結していた開発も、文系の出身の方など、幅広い方と考え方を合わせて、ゴールを目指していきたいと思っています。

長尾 命にかかわる製品なので、ハードルが高いですね。でも、多くの方の力を借りて一緒に仕組みをつくっていくことが必要ですね。

早川 エアバッグは構成部品の強度が求められる製品なので、再生材も含め技術を駆使して使える材料にしていきたいと思います。見栄えだけでなく、強度も確保できる再生材の開発、適用化がポイントになります。

傍島 機能部品は100%サーマルリサイクルなので、マテリアルリサイクルできるようになると強みになると思います。廃車から出る部品は、ゴミではなく資源だという考え方を持ち続けることは大事ですね。

木村 個人的にはサーマルリサイクルはリサイクルではないと思っています。マテリアルリサイクルの新しい技術ができればいいですね。

早川 海外のリサイクル事情はどうなのでしょう？

傍島 埋め立てている国も多く、アメリカの山はほぼゴミ山という話もあります。いつまで捨て続けるのだろうと思います。

前田 欧州は進んでいると聞いています。そこを調査するのもいいのでは？

長尾 確かに、欧州の動向や事例を把握するのは大事です。ぜひやっていきたいと思います。

自分たちの環境への思いを、若い世代へつなぐ

井土 表面処理、塗装の業務をやってきて、カーボンニュートラルの視点を持つようになってから、多くの電気を使い、環境に負荷のかかる材料を使って、それでもやっていくべきなのか考えたりします。

長尾 自分がやっている塗装やめっきが、実は地球にやさしくなかったということに気づき、転換しようと思ったのは、何かきっかけがあったのですか？

井土 カーボンフットプリント^{*3}という考え方を教えてもらい、それが大きな視点の変化になりました。めっきの材料の金属を採掘する時も運ぶ時もCO₂が出て、車をライフサイクルで捉えるととんでもない量だなと気づき、やってきた責任として今後の改善点を示せるようにしたいと思っています。

長尾 会社から意識を変えろと言われても実際は難しく、自分で勉強して気づいたから、意識がパッと変わったんですね。部下の人たちもそんな体験ができればいいですね。

井土 儲かる、儲からないとかではなく、若い人たちはもっと切実に思うレベルがあるような気がします。

傍島 若い人が読む未来って、僕たちより20年、30年先ですからね。

長尾 環境に敏感なのは若い人たちの方で、パッと意識を変えて新しい発想ができるようになるんじゃないかな。

井土 環境に関する話では、若い人たちの方が環境問題に対して意識が高く、自分事として捉えています。これからは、彼らが主人公となって取り組んで行って欲しいと思います。若い人たちの力で、20～30年変わらなかっためっき工程の開発が大きく飛躍する気がしています。

早川 私は実際に業務に携わるメンバー誰もが無関係ではなく、みんなが危機感を持って取り組む必要があると思っています。そのためには、どういう情報発信をしていくかも課題だと思っています。

前田 CO₂フリーがカーメーカーからの条件になってくると、見積依頼書にも記載することになるし、おのずと意識するようになると思います。

山田 カーボンニュートラルが事業としても非常に重要な位置づけであることを全員にすぐ理解してもらうことは大変です。まずは興味を持つことが重要なため、展示会に行ってもらったり、海外出向者を通じて取り組みが進んでいる欧州の街の様子を紹介してもらったり、まわりの環境がどんどん変化していっていることを自身で感じ取ってもらえるような工夫は意識しています。結果、みんなで再生ゴムのメカニズムを改めて勉強しながら理解を深めたり、WEBで見かけた情報をTeamsで共有しあったり、良い雰囲気業務に取り組んでいると思います。

早川 カーボンニュートラルを自分事と捉えること、また、何とかしたいという強い思いを持つと、開発に向き合う大変大きなモチベーションが生まれると思います。しっかりとした意思によって開発を続けると、変革に通じる可能性も感じています。カーボンニュートラルは、私たちにとって競争力の源になるのではと、考えています。

カーボンニュートラル活動をする中、自分の製品のCO₂排出量の立ち位置が見えたことは新たな発見で、そういったことを若いメンバーにも知らせて興味を持ってもらうことも進めていきたいと思っています。

長尾 豊田合成が、国内LCAで100万トンCO₂を排出しているといっても、なかなか自分事にはならないものです。

自分事にするには、担当している製品の排出量を認識することも大切かもしれませんね。

※3 原材料の調達から生産、流通、廃棄に至るまで製品のライフサイクル全体を通して排出される温室効果ガスの排出量をCO₂に換算すること。

様々な業界で進む カーボンニュートラルの取り組み

司会 次に伊藤室長から他社の事例をご紹介します。

伊藤 ひとつ目は無印良品の事例^{※4}です。コロナ禍のステイホームで保冷材の廃棄が増えたことを受け、保冷材を回収し、リサイクルする仕組みをつくっています。自分たちが売った商品が役割を終えたらどうなるのか、そこに従業員が着目して活動し、様々なリサイクル製品が生まれているそうです。

日立製作所では、再エネの使用を見える化し、環境価値を訴求するシステムを開発しました。EV車や工場などの施設で何%再エネを使っているのかスマホで確認できるそうです。この他にも、再エネ普及を狙って太陽光パネルをフィルム型にした企業や、CO₂を吸収するコンクリート、CO₂を再利用した化粧品ボトルなども製品化されています^{※5}。

傍島 CO₂からモノをつくるのはいいですね。

井土 世の中の価値の軸がひとつ増えると、見直される技術もあるんですね。

山田 保冷材の回収って技術ではないのですが、環境を考える風土が根付いていて、メンバーから取り組み提案がされているのはいいなと思います。ただ、無印良品のようにブランドイメージもうまく使ってエンドユーザーの心に働きかけるような取り組みは、我々部品メーカーには難しいですよ。どれだけ我々も製品をリサイクルできるのか、できているのか、もっと自分たちの活動を強化して世の中の人たちに知ってもらいたいと思います。

木村 つくるだけじゃなく行く末まで見届けていくと、回収や再生についてももっと考えられるのですね。

高い理念とプライドで、次世代のために

長尾 今日は技術者の皆さんと議論ができて本当によかったと思います。



環境負荷低減を技術本部の方針に上げてもらえなかった時代のことを考えると、今回皆さんが環境に対して熱く語ってくれたことに心から感動しています。皆さんの声から、自ら世の中の環境破壊を憂い、カーボンニュートラルに貢献したいという強い意志と、このままでは会社の存続が危ぶまれることを自分事とし、従来の技術をブレークスルーしなければならないという危機感を感じました。

これから皆さんに期待したいことは、まず、これまでQCD（Quality 品質・Cost コスト・Delivery 納期）で考えてきた仕事に、「E（Environment 環境）」を付け加えることで、より社会から求められる会社になると私は思っています。

次に、リスクをチャンスに変えるために、課題をバックキャストで捉えることです。そしてビジネスチャンスにつなげてほしい。しかし将来は不透明ですので、何をすべきか、変えるべきかは、誰も言ってくれません。我々が自分たちの責任で、リードしていくという使命感で将来を予測して道筋を描いていく必要があります。そうすることで、持続可能な会社として認められると思っています。

三つ目が社外への発信です。豊田合成の技術者として、環境課題をどう捉え進めていくのか、その考えや姿勢を社外の人に見せ評価を受けるとともに、ステークホルダーから共感を得て、応援してくれる人を増やしていくことが大切だと思っています。

“自分のため”“会社のため”の仕事から、“地球のため”“後輩・子どもたちのため”の仕事なのだと考え方を変えて、高い理念とプライドを持って進めていきましょう。将来、確実に花を咲かせる「芽」をつくっていくのが我々の世代の役割です。次の世代のために、一緒に頑張っていきましょう。

※4 無印良品の事例
https://www.sustainablebrands.jp/news/jp/detail/1204698_1501.html

※5 日立製作所の事例
<https://www.hitachi.co.jp/New/cnews/month/2021/01/0122.html>
<https://social-innovation.hitachi/ja-jp/topics/renewable-energy/>

サステイナブルな材料への取り組み ～持続可能な社会への実現に向けて～

栗本英一^{*1}

Approaches to Sustainable Materials ～ Working Towards a Sustainable Society ～

Hidekazu Kurimoto^{*1}

1. はじめに

近年、世界が異常気象に見舞われ、地球温暖化がその一因と考えられている。2015年に開催されたCOP21（気候変動枠組条約第21回締結国会議）では、世界全体の温室効果ガス排出量削減のための方針と長期目標を設定し、2019年のCOP25では、それを具現化する議論を実施してきた¹⁾。

温室効果ガスには7種類あると定義されているが、その代表的なものが二酸化炭素である。そのため地球の気温上昇を抑えるために、二酸化炭素の排出量をプラス・マイナス・ゼロにすることが「カーボンニュートラル」を指すことになる。

世界各国の取り組みをみると、EUでは自主的に二酸化炭素排出量取引制度を導入し、早くから2050年カーボンニュートラルを宣言した。世界で排出量が最大である中国は、2060年カーボンニュートラルを宣言し、アメリカは「グリーンニューディール政策」より2050年カーボンニュートラルに向けて取り組んでいる²⁾。

これに対して日本では、2020年10月に菅首相が発言した「2050年カーボンニュートラル宣言」はメディアを通じて瞬時に拡散され、いまでは環境用語でなく経済用語になってきた。

豊田合成では、2021年4月に、カーボンニュートラルに向けた中長期シナリオとして「2050年カーボンニュートラルを改めて宣言」「2030年Targets50&50（スコープ1と2を対象に2013年比CO₂排出量▲50%、再生エネルギー導入率50%）を打ち出した。2050年カーボンニュートラルに向けては、従来から取り組んできたスコープ1と2に加え、スコープ3までを対象にした取り組みを開始した。スコープ3の排出量は、多くの企業で最も大きな割合を占めるが、排出削減目標を設定する企業は、まだ極少数であり自動車業界の各社も模索中である。

図-1に豊田合成のスコープ別CO₂排出量を示す。中でもスコープ3の原材料の調達や製品・部品の外部委託生産（カテゴリ1）が最も多い。そのため、原材料メーカーや外部委託生産先のCO₂排出低減への取り組みが必要である。豊田合成は、これらを含めたCO₂排出量を低減するシナリオ策定が急務である。

Scope別CO₂排出量

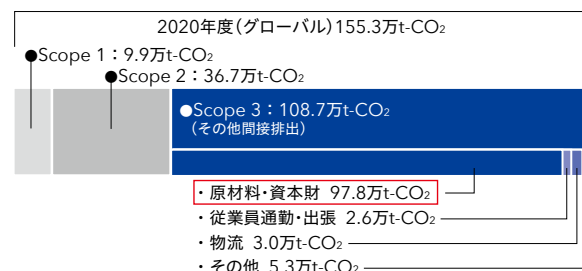


図-1 スコープ別CO₂排出量（2020年度）

今回は、スコープ3を対象に豊田合成主体で取り組む「サステイナブル材料」の考え方を、過去の開発事例を含めて報告する。

2. サステイナブル材料に向けた取り組み

サステイナブル材料の実現に向けて、豊田合成の当面の重点取り組みは以下の3つにまとめられる。1つ目は「省材料化」、2つ目は「廃棄物リサイクル」、3つ目は「バイオ材料の活用」である。これらは今までの取り組みにおいて、多くの知見と技術を蓄積しており、以下に詳細をまとめた。

2-1. 省材料化の取り組み

豊田合成は、燃費向上による地球温暖化対策のため長年、省材料化による軽量化・コンパクト化に取り組む量産してきた。図-2に豊田合成の自動車事業である機能(FC)部品、ウエザストリッ

*1 材料技術部

プ (WS) 製品, セーフティシステム (SS) 製品, 内外装 (IE) 部品が過去 20 年, 本技報で報告した軽量化の方策を示す. その方策は「薄肉化」「コンパクト化」「部品の削減」「低比重化」「発泡」が挙げられる.

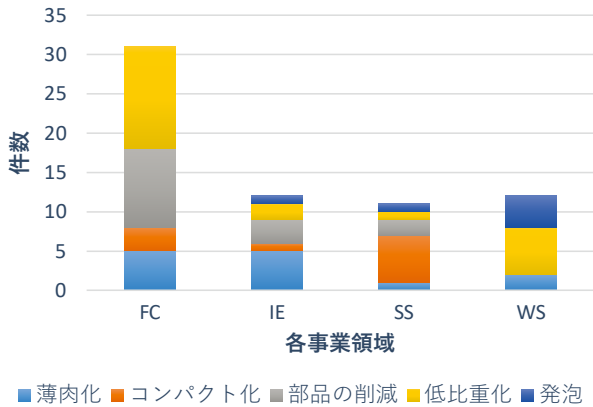
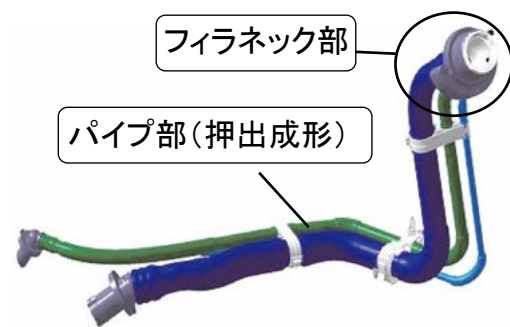


図-2 豊田合成の軽量化の取り組み

FC は従来の金属部品を樹脂への一体成形による「低比重化」や「部品の削減」, IE は設計・材料・成形のセットによる「薄肉化」「部品の削減」, SS はエアバッグの「コンパクト化」, WS はゴムから樹脂への「低比重化」や「発泡」が主な取り組みである. 代表事例として図-3 に FC 部品の樹脂フィラパイプを示す. フィラパイプとは給油ガンの挿入口から燃料タンクをつなぐ燃料給油用導管である. 豊田合成は, 均肉化に有利な押出成形により従来品と比較して 40% 以上の軽量化を実現した³⁾. これらの取り組みを基に, 今後も各事業領域の製品に適した方策で軽量化に取り組み, 省材料化を推進していく.



各部の機能

- 1) フィラネック部
給油ガンの挿入口/フューエルキャップとの気密保持
- 2) パイプ部
燃料給油用導管(燃料注入とタンク内ベーパー排出)

図-3 豊田合成の樹脂フィラパイプ

また豊田合成は, 2020 年から燃料電池自動車の新型 MIRAI 向けに高圧水素タンクを量産している. 高圧水素タンクは 3 層構造で樹脂ライナ,

その上に耐圧強度を確保する炭素繊維強化樹脂層, 表層はガラス繊維樹脂からなる (図-4).

今回, トヨタ自動車株式会社との共同開発において, 炭素繊維強化樹脂層の材料や生産方法などの工夫により, 耐圧強度を保ちつつ厚みを極小化して内容積を増やし, 水素の貯蔵効率を約 1 割高めることができた. 今後も燃料電池自動車の普及拡大に向け, 更なる高圧水素タンクの軽量化を材料・設計・工法の面から検討していく.

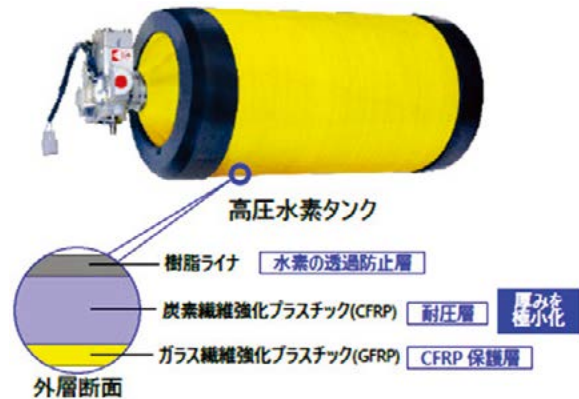


図-4 豊田合成の高圧水素タンク

2-2. 廃棄物リサイクルの取り組み

豊田合成は樹脂・ゴム材料を基盤として製品へ適用しており, 今後も物量の増加とともに生産時に発生する廃棄物は増えることが想定される. 今回, 樹脂・ゴム材料等のマテリアルリサイクルを推進する中で, 社会課題解決への貢献が大きく, 豊田合成ならではの取り組みを, 技術動向と併せて報告する.

- 1) 加硫ゴムの廃棄物
- 2) エアバッグ基布の端材
- 3) 高圧水素タンクの炭素繊維

1) 加硫ゴムの廃棄物⁴⁾

豊田合成の製品である工業用ゴム製品や自動車用タイヤなどの架橋ゴムは, 成形後も粉碎・溶融・再成形ができる熱可塑性の樹脂と異なり, ゴム弾性を発揮する三次元網目構造をもつ. そのため, 一般的に材料としてのリサイクル等が困難とされてきた. 廃タイヤなどのゴム廃棄物は, その半数以上が燃焼による熱エネルギーとして利用され, 材料としてリサイクルされる量は, 全体の廃棄量の約 17% である⁵⁾.

図-5 に従来の脱硫再生方法であるパン法を示す. 粗粉碎した廃ゴムに再生剤とオイルを添加し, 压力容器内で約 200℃ の水蒸気により加熱するバッチ式の処理であり, 約 5 時間の加熱処理の後, 更に精錬工程, ストレーナー処理工程などが必要となる.

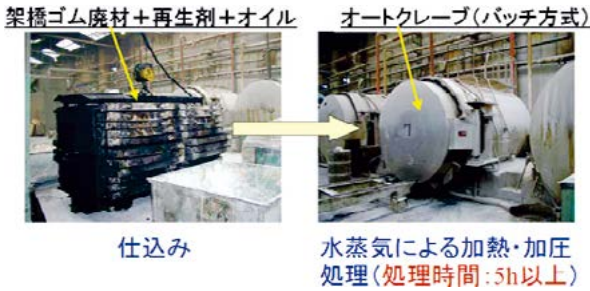


図-5 パン法によるゴムの再生工程

これに対して、株式会社豊田中央研究所、トヨタ自動車株式会社との協業により、汎用二軸押出機を応用した新たな架橋ゴムの脱硫再生技術を開発した。架橋ゴム中には、主にゴム分子(主鎖ポリマー)を形成するC-C結合、加硫により生成する架橋結合(硫黄加硫の場合はC-S結合、S-S結合)が存在する(表-1)。

表-1 架橋ゴムの分子間エネルギー

結合種 Bonding type	結合エネルギー Bonding Energy (kJ/mol)
C-C	370
C-S	310
S-S	270

本技術は、主鎖を形成するC-C結合に比べ、架橋結合点を形成しているC-S結合及びS-S結合の結合エネルギーが小さいことに着目し、架橋結合だけを選択的に切断することに着想した。架橋点切断に適切なエネルギーを与える手段としては、汎用二軸押出機を活用し熱・剪断力・圧力・滞留時間を最適化にしてきた。

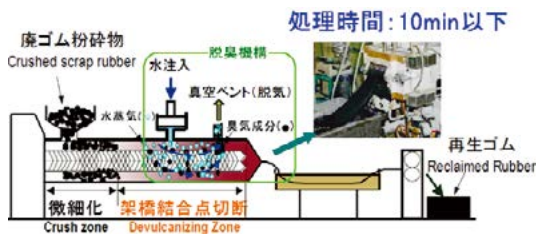


図-6 豊田合成のゴム再生工程の概要

図-6に豊田合成のゴム再生工程を示す。まず、予め粗粉碎した廃ゴムを、適切な温度に設定された押出機に投入する。投入されたゴム粉は、押出機の微細化ゾーンで更に微粉化され、圧縮過程を経て擬似熔融状態となり、そのまま高温下で剪断エネルギーを与え続けることにより、硫黄架橋点の開裂反応が起こる。この時の温度・剪断条件を最適に保つことで、ゴム分子主鎖を切断することなく硫黄架橋点のみを選択的に切断し、初期のゴム特性とほぼ同等の力学特性を得ることが確認できた(図-7)。

更に本技術では、反応中に水を強制注入し、脱硫過程で発生する臭気成分を水に溶解させ、真空ベントより脱気させることで、再生ゴム特有の臭気を同時に除去することも可能にした。

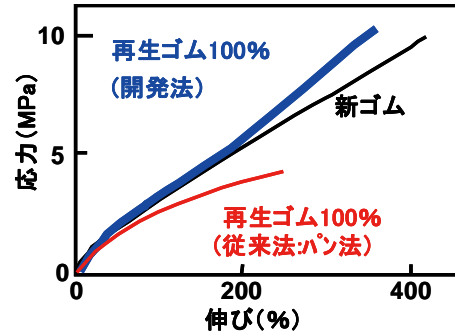


図-7 再生ゴムの応力-ひずみ線図

本技術は、豊田合成の森町工場にて20年以上前から量産化し、近年は金属インサート入り製品の脱硫再生ゴム等へ適用拡大してきた。従来のパン法に比べて自動化、省人化・省スペース化、労働者の安全性の向上、作業負荷も軽減されている。また、再生処理時間は従来パン法の5時間以上に対して、本技術では10分以下に短縮され、生産性は飛躍的に向上した。その成果が社会的にも認められ、日本ゴム協会優秀論文賞(2000年)、高分子学会賞(2003年)、中部科学技術センター顕彰・振興賞(2006年)、GSC賞(2009年)を3社で受賞している。今後は自社工程内廃材の100%活用だけでなく、市場から回収したゴム製品の活用に向けて、更なる高品位な脱硫再生ゴムの開発を進めていく。

2) エアバッグ基布の端材

エアバッグには、主にナイロン66が原糸に使用され、これを織布、後加工を施したものがエアバッグ基布である。ナイロン66が使われる理由は、インフレーターからの高温ガスなどの耐熱性、強度保持であるが、一部ではポリエステルも使用されている⁶⁾。コートの有無は、エアバッグの展開速度に合わせ使用部位別で設定しており、コート剤は一般的にシリコン樹脂が使用されている。表-2に示すように豊田合成のエアバッグ基布の端材は購入量に対して1割程度であり、その処理に取り組んできた。

表-2 エアバッグ基布端材の主な活用先

基布	コート	端材の活用先
ナイロン66	なし	・エンジンカバー ・内装部品 ・フェンダーライナー
	あり	社外へ有価物
ポリエステル		

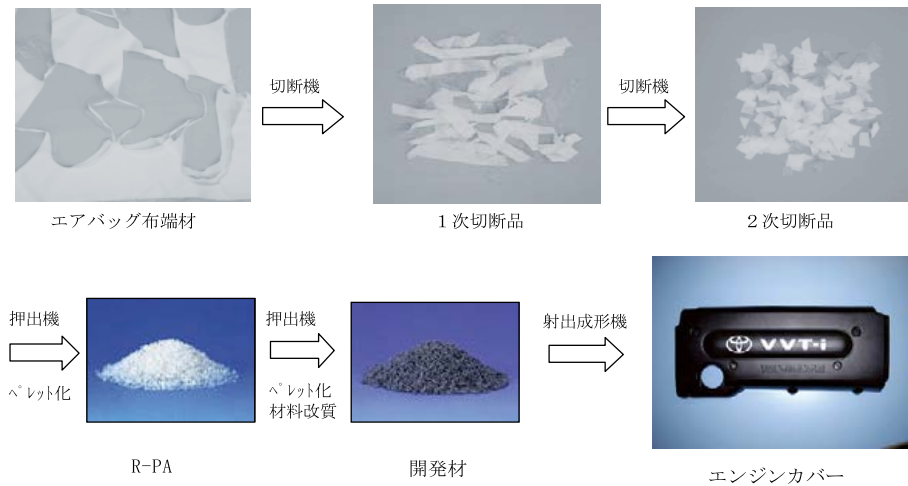


図-8 エンジンカバーの製造フロー

図-8 にエアバッグ布端材を活用したエンジンカバーの製造フローを示す。エアバッグ基布に使用されるナイロン66原糸は高分子量で、かつ結晶性が高く、結晶化速度が速い材料であるため、射出性を配合で改良して量産化した⁷⁾。

また豊田合成はSDGs経営の取り組みとして、材料調達から廃棄までの一連の生産活動における環境負荷の低減に注力している。その中で図-9に示すように、エアバッグ基布の端材を加工したエコバッグなどをオリジナルブランド「Re-S(リーズ)」として商品化した。



図-9 Re-S商品のエコバッグ

今後、豊田合成のSS事業拡大とともに、有価物で処理したコート有の基布を社内で活用していく。活用の方法は、コート有の基布をそのままリサイクルする、もしくはコートを分離してリサイクルすることである。

コート有の基布をリサイクルする取り組みとし

て、コート端材を起毛加工して吸音材などに活用する処方がある。また基布と同じ成分であるナイロン樹脂コート等により、分離することなくリサイクルが可能である基布も開発されている。

コートを分離する方法として、基材のナイロンやシリコンコートを溶解分離する方法があるが、ナイロンの分子量低下や廃液処理等の課題が残る。今後、基布そのものの再利用を含め、再資源化に向けて技術・適用開発を進めていく。

3) 高圧水素タンクの炭素繊維

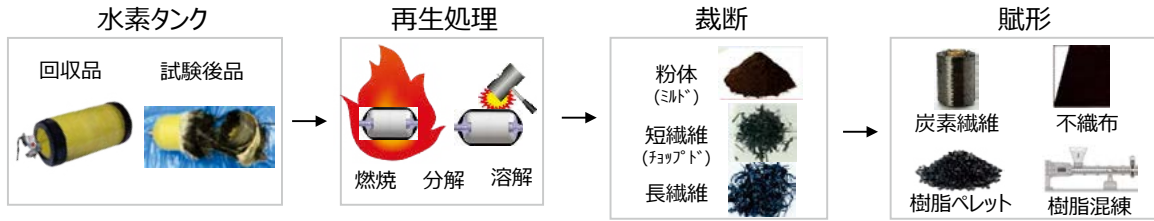
前項でも述べたが、豊田合成は電動化製品の取り組みの一つとして、燃料電池自動車（以下FCVと示す）の新型MIRAI向けに高圧水素タンクを量産している。

FCVは電気自動車とともにゼロエミッション車であるが、普及に向けては水素ステーション数などの多くの課題が残っている。その一つは廃車への対応である。FCVが搭載する高圧水素タンクには公式に定められた寿命「充填可能期限15年」があり、炭素繊維が大量に使用される水素タンクは、そのリサイクル方法が課題として顕在化しつつある。

炭素繊維強化樹脂は航空機、自動車の車体への用途拡大とともに、リサイクル技術の開発も盛んに行われてきた。表-3に示すように熱分解法・溶解法・流體法・電解法・触媒分解法等がある⁸⁾。

表-3 国内の炭素繊維リサイクル技術

技術分類	熱分解法	常圧溶解法	超臨界流體法	亜臨界流體法	電解法	触媒分解法
樹脂の種類	樹脂全て	エステル系	エステル系	エステル系	樹脂全て	樹脂全て
回収物	炭素繊維 ガス	炭素繊維 樹脂分解物	炭素繊維 硬化前熱硬化性樹脂	炭素繊維 樹脂分解物	炭素繊維	炭素繊維
温度	500℃	100～200℃	250～300℃	300～400℃	酸アルカリ 電解温度	400～450℃
圧力	常圧	常圧	5～10MPa	1～4MPa	常圧	常圧
前処理	なし	なし	粉碎	なし	チップ粉碎	なし
規模	2000トン/年	12トン/年	ラボスケール	ラボスケール	ラボスケール	ラボスケール



図－10 高圧水素タンクのリサイクル概要

ただし実用化を考慮すると、現段階では熱分解法と溶解法が有望と考えられている。特に熱分解法は各社が高精度・高効率を狙いに独自の技術を保有している。

図－10に示すように、豊田合成も熱分解法等で検討中である。適用製品の対象は、水素タンクだけでなく他製品も企画中である。適用の考え方は、炭素繊維の特性を活用することであり、新規事業も視野にいれて取り組んでいきたい。

2-3. バイオ材料の活用

バイオ材料は、過去から材料製造における石油依存度低減や、カーボンニュートラルといった観点から、自動車業界でも高分子材料向けに検討・量産化を実施してきた。事例として、トヨタ自動車株式会社が2009年に販売したSAIは、室内の表面積の約60%の部材で植物由来樹脂を使用した。今後、採用車種を拡大するとともに採用部位も拡大する見込みである⁹⁾。

豊田合成も表－4に示すように、バイオ材料を活用して製品化を実施してきた。その材料の活用の考え方は、機能を付与することである。

表－4 バイオ材料を活用した豊田合成の主な製品

バイオ材料の種類	機能	適用製品
ナイロン11(ひまし油)	低吸水性、耐寒性	フューエルチューブ
ナイロン610(ひまし油)	低吸水性、寸法安定性	ウォーターパイプ
ポリカーボネイト(トウモロコシ油)	良外観	オーナメント、レジスター
オイル	菜種油、亜麻仁油	耐候性(ゴムの可塑剤) CVJブーツ
ファイラー	コルク	シール性 ガスケット

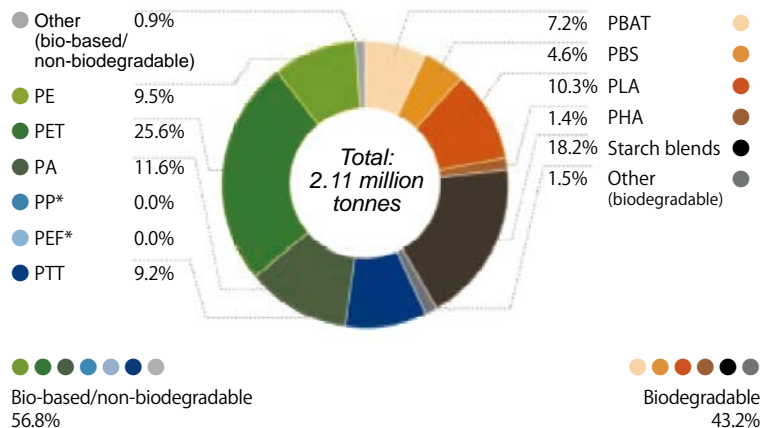
また表－5に示すように次世代に向けてバイオ材料の課題を解決する技術を蓄積してきた。天然ゴムやポリ乳酸は代表的なバイオ材料であり、脱石油由来材料としての基盤的な取り組みである。

表－5 バイオ材料を活用した豊田合成の主な取り組み

バイオ材料の種類	要素技術と狙い	特許(査定)
ポリマー	天然ゴム	水添技術による高耐候性化 ・特開 2010-248388 ・WO2011/108660
	ポリ乳酸	エラストマー混合技術による軟質化 ・特開 2004-35691 ・特開 2005-81585 ・特開 2008-81585
ファイラー	セルロースナノファイバー	相溶化技術による高剛性化 ・特開 2019-183123 ・特開 2019-178195

特にセルロースナノファイバー(以下CNFと示す)は、木材などの植物を原料とし、低比重で高い強度や弾性率を持つ素材として、各国で精力的な開発が進められている。豊田合成も環境省ナノセルロースプロモーション事業に参画し、CNFを活用した製品化の推進のために、車の内装部品の成果を報告した¹⁰⁾。詳細は本誌の「バイオファイラーを活用した材料開発」¹¹⁾を参照されたい。

今後、バイオ材料の需要が増加することは明瞭であり、課題は供給能力である。世界の樹脂生産量3億6千万t/年(2018年)に対して、バイオ樹脂は211万t/年であり、全体の0.6%にすぎない(図－11)¹²⁾。今後、バイオ樹脂の生産能力は2023年に262万t/年まで増加する予測¹³⁾であるが、



図－11 世界のバイオ樹脂生産能力(2018年)

根本的な解決には至っていない。豊田合成は「原料」「供給」「コスト」「機能」「リサイクル性」「環境・社会面」を含めた活用について、戦略を練る必要がある。

3. おわりに

サステイナブルな材料は、決して短期間で実現できる容易な目標ではない。素原料の合成・製品製造・物流・車の組み立て・走行から廃車までのLCAの観点において、業界の垣根を越えての取り組み・仕組みの議論、技術開発の連携が必要である。

豊田合成は2050年のカーボンニュートラルの実現に向けて「事業に関わる全ての製品を持続可能な材料にする」ことを宣言し、この大きな課題を自分たちの活動にしっかりと結び付け、努力を怠らず邁進していきたい。

参考文献

- 1) 一般財団法人エネルギー総合工学研究所, 図解でわかるカーボンリサイクル, 技術評論社 (2020) p2
- 2) 夫馬賢治, 超入門カーボンニュートラル, 講談社 + a 新書 (2021) p175-186
- 3) 三品啓司, 豊田合成技報, 58, 12 (2016)
- 4) 福田政仁, 豊田合成技報, 52, 13 (2010)
- 5) 一般社団法人日本自動車タイヤ協会, 2020年廃タイヤ(使用済みタイヤ)リサイクル状況 (2021.4.23)
https://www.jatma.or.jp/environment/pdf/recycle_report2021.pdf (閲覧日 2021.11.8)
- 6) 日本化学繊維協会, ナイロン(エアバッグ用途), 化学繊維を知ろう
https://www.jcfa.gr.jp/about_kasen/katsuyaku/07.html (閲覧日 2021.11.8)

- 7) 中川博之ら, 豊田合成技報, 46(2), 59(2004)
- 8) 金升将征ら, 三菱重工技報, 55(2), 1(2018)
- 9) トヨタ自動車株式会社, 自動車用内装部品へエコプラスチックの採用拡大, (2008.12.17)
<https://global.toyota.jp/detail/1328763>
(閲覧日 2021.11.8)
- 10) 環境省, CNFの成果品と可能性自動車部品, ナノセルロースプロモーション
<https://cnf-ncp.net/deliverable2.html>
(閲覧日 2021.11.8)
- 11) 内田均ら, 豊田合成技報, 63, 32 (2021)
- 12) 環境省, バイオプラスチック導入ロードマップ,
http://www.env.go.jp/recycle/post_58.html
(閲覧日 2021.11.8)
- 13) 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構技術戦略研究センター (TSC) バイオプラスチック分野の技術戦略策定に向けて
<https://www.nedo.go.jp/content/100899114.pdf> (閲覧日 2021.11.8)

著 者



栗本英一

ゴム加硫度の予測技術によるロス低減

小田原仁^{*1}, 袖山清和^{*1}

Loss Reduction Through Predictive Technology for the Rubber Vulcanization Ratio

Jin Odahara^{*1}, Kiyokazu Sodeyama^{*1}

要旨

昨今、2050年カーボンニュートラルに向けた低CO₂の材料や工法の開発が急ピッチで進んでおり、生産準備時の材料ロス低減や工数短縮も急務となっている。また、天災による材料供給リスクや法規動向変化への対応といった、短期での量産切替えが必要な状況も増加しており、迅速に量産展開する必要がある。しかしながら、加硫工程設備や設定条件が拠点毎にバラバラになっていることで、ゴム材料の加硫における“明確な良品条件”を設定できていない課題があり、従来は熟練技術者の勘やコツに依存しているため、特に経験の乏しい海外拠点での生産準備トラブル、やり直し業務が頻発している。

本検討では、この加硫工程の条件設定迅速化の方策として、ゴム加硫度のシミュレーション技術開発を実施。各工程で必要な加硫度となる条件をシミュレーション技術で設定し、①生産準備トライアルの工数削減、②白化等の加硫不足に起因する不具合発生 of 未然防止（やり直し業務の防止）を実現させることを目指して検証を行い、技術確立できたためここで報告する。

Abstract

In recent years, the goal of achieving carbon neutrality by 2050 has accelerated the development of low-CO₂ materials and the improvement of manufacturing methods. The establishment of a method to facilitate the changeover to mass production is also needed, as is the ability to handle various risks such as material supply uncertainty due to natural disasters and changes in legal trends.

However, the situation is complicated by the fact that the equipment and setting conditions for the vulcanization process vary from location to location, and the vulcanization process condition settings currently rely on the intuition and skills of experienced workers. As a result, production preparation troubles and re-do work occur frequently at overseas locations with limited experience.

In this study, we improved the prediction method for rubber vulcanization in order to accelerate the optimization of vulcanization condition settings. This prediction method can calculate and set the vulcanization conditions required in each process. We have verified our technology in order to reduce the worker-hours required for production preparation trials and prevent the occurrence of vulcanization defects. Here we report on the establishment of this prediction method.

1. はじめに

2050年カーボンニュートラルの実現に向け、原材料や工法をはじめとして、事業活動のすべての面でCO₂削減が必要となっており、豊田合成は2050年のカーボンニュートラル、2030年の“Target 50&50”を宣言して対応を進めている。豊田合成CO₂の排出状況は、スコープ3の原材料に相当するものが最も多く、総排出量に対して

7割近くを占めている。従って、このスコープ3を削減できる材料の開発は急務となっている。

2. ゴム加硫工程改善の取り組み

2-1. ゴムの加硫について

WS製品に使用されるゴム原材料の多くはEPDMゴムやカーボンブラック、オイルといった石油由来の成分である。CO₂を削減する手段

*1 材料技術部 ゴム材料技術室

としては原材料を低CO₂材料に変更することが主流であるが、混練や押出、加硫といったゴムの加工工程に大きく影響を及ぼしてしまう。

加硫とは、ゴムと硫黄を混合して加熱することによって、硫黄分子がゴム分子間に架橋を形成させることで、ゴムの化学的特性や物理的特性が改善され実用可能な物性を発現することである。このように加硫はゴムの製造において最も重要な工程の一つであり、製品のできを左右する最終工程となっている。この加硫反応が十分に進行していないゴム製品では、引張強度などのゴム物性の規格未達や、白化と呼ばれる不具合がしばしば発生することがある。

白化とは、ゴム中に配合した薬品のうち、過飽和成分（溶けきらなかった分）がゴム表面に出てくるブルーム現象を言い、高温や高湿にさらされる、急冷される、油分や水分の付着など、外部からの刺激をきっかけに発生する。推定されるメカニズムとしては、原因物質（加硫促進剤の反応物）の分子運動性と溶解度のバランスが崩れることと推定しており、ゴムの加硫不足や加硫促進剤の過剰添加がこれを招く原因と考えている。この白化に対する評価は長時間の試験後に初めて明確になるため、見極めに時間がかかり、やりなおし工数のロスも大きい。この場合、加硫条件の見直し、最悪の場合は配合からやり直しになるケースがあり、加硫工程条件の設定は非常に重要なプロセス

である。

これらの対策手法として、製品からゴムの加硫状態を把握する評価方法が開発されており、溶剤による膨潤法や、近年ではNMRを用いた分析によりスポンジゴムの加硫状態を評価することが確立されている¹⁾。所要時間も3～10日程度のため、白化試験よりは幾分早期に加硫状態を把握することができるが、分析には実際の工程で加硫させたサンプルが必須となるため、事前に加硫度を早期で把握することは難しい。

2-2. 工程について

豊田合成品の製造工程は押出成形が主流となっており、押し出された未加硫ゴムが加硫槽内に入り加硫が進行する連続加硫方式である。この押出成形は単一形状で高い生産性が見込める一方で、ゴムの加硫状態や製品形状の制御が複雑であり、熟練技術者のノウハウに頼ったものになっている。これは金型成型とは異なり、大気下で製品が昇温するため、加硫と発泡のバランスを維持することの難易度が高いためである。発泡に対して加硫が速すぎると先にゴムが硬化してしまい発泡せず、逆に加硫が遅すぎると発泡ガスがゴム内部から抜けてしまう。これらの反応は、ゴム材料の配合や加硫温度によって左右されるため、製品ゴム温度が経時で変化の中で加硫と発泡のバランスを制御することは非常に困難である。

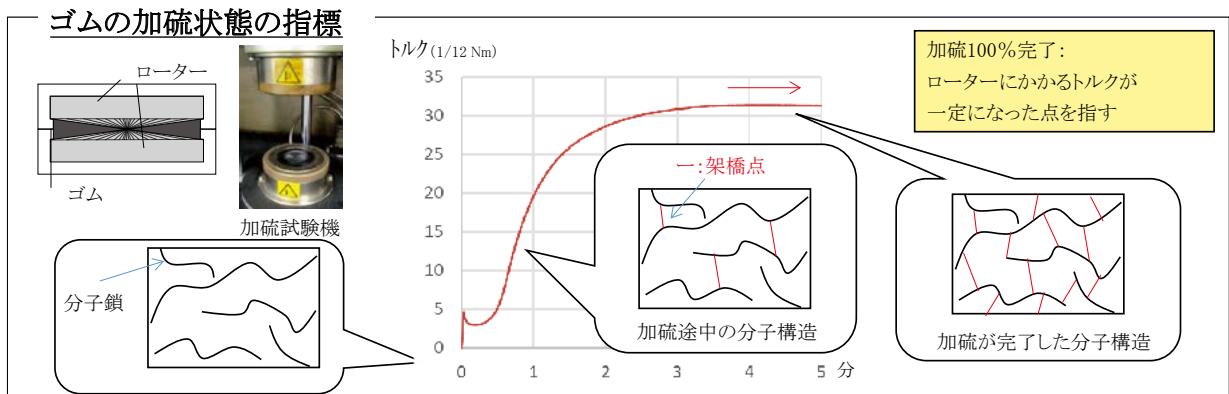


図-1 ゴム材料と加硫について

豊田合成において加硫度の製品規格は存在しないが、形状は図面指示に要求されるため、形状優先での加硫槽条件調整をせざるを得ない。ゴムの加硫度はこうした制約の中から成立する条件を満たさねばならず、現状ベテランの技術者のノウハウに頼った条件設定が必要となっている。また、豊田合成の各拠点の加硫設備は、導入当時の最適条件を反映しているため、拠点ごとに設備設計や能力に差がある(図-2)。そのため、工程や材料に応じた加硫良品条件設定を個別に設定する必要があり、量産化に時間がかかっている。また、この生産準備ロスとしては、トライアル工数で年間1,000時間以上要しており、これに伴う材料の廃棄も発生しておりスコップ3のCO₂排出量として計上されている。

加えて、ゴム加工技術が未だ発展途上にある海外拠点においては、ゴムの白化など加硫不足に起因する不具合が頻発している。白化を代表とした加硫に関する不具合は新材料の展開においてのボトルネックになっており、カーボンニュートラルの達成のためには原材料の改善だけでなく、加工方法も併せた開発が必要である。

温度

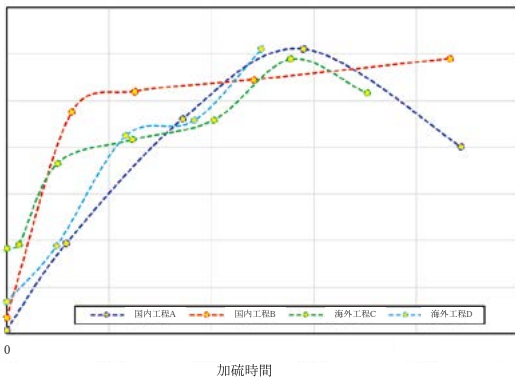


図-2 代表的な拠点・工程の温度プロファイル

2-3. 他社ゴムメーカーの動向

加硫の予測技術は豊田合成を含む各社ゴムメーカーで研究されており、様々な手法が確立されている^{2)~4)}。他社の加硫度評価は特許内容から考察すると、様々な加硫条件で製造した製品を膨潤法にて評価し、これらのビッグデータ解析により予測を実施している⁵⁾。またこの予測を基に工程の条件設定を自動化する技術を確立している。別の他社の例では、アレニウス式を利用した予測として、加硫試験機のような加硫トルクを基にした解析を採用している。しかし、これらの技術は主にタイヤメーカーでの金型加硫の製造手法であり、ウェザストリップのような温度が連続的に変化する押出工程ではそのまま活用は難しい。また、豊田合成では各拠点の昇温カーブが異なるため、解析結果をそのまま横展できないのが問題である。

技術的難易度

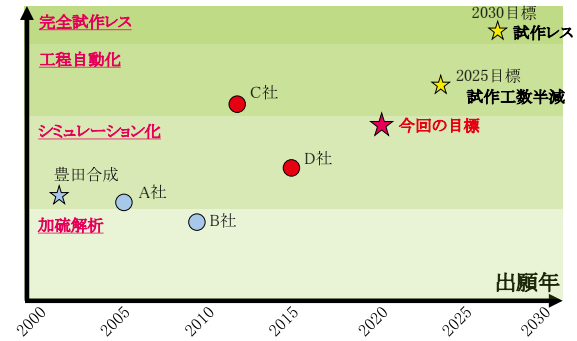


図-3 加硫予測技術に関する特許技術 BMC

そこで、豊田合成の蓄積したデータを活用し、かつこれらの技術が経験の浅い社員でもベテラン並みの結果予測が可能になることを本開発シミュレーションの目標とし、加硫条件の良品条件設定がより容易になることをコンセプトとした。

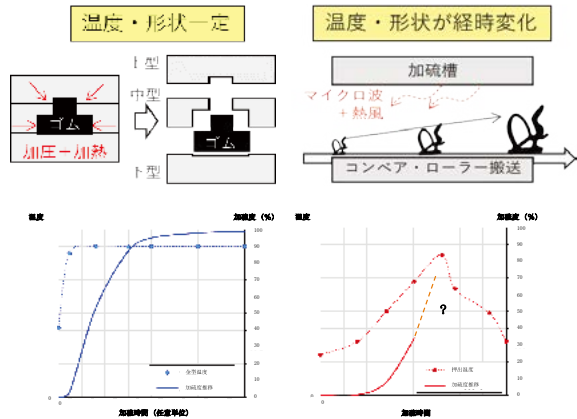


図-4 金型加硫イメージと押出加硫イメージ

3. 目標設定

ウェザストリップ製品の押出工程において、ゴムの加硫度検証や加硫工程の改善を容易に実施できる加硫度シミュレーションソフトを開発する。目標値として、「予測精度が膨潤法の一致率80%以上」を設定し、開発を進めた。それにより、生産準備のトライアル工数と廃棄ロスとしてのCO₂排出量の低減を図る。

4. 加硫度シミュレーションについて

4-1. 加硫度予測までの流れ

加硫度算出までには、実測した工程の温度曲線データとゴム材料の加硫データがあればよい(図-5)。

根本的にはこれまでに報告されている予測手法と同様である。もっと言えば、取得した温度曲線データや解析した加硫度点間の補正処理があるが、一般的なコンセプトとして説明する。

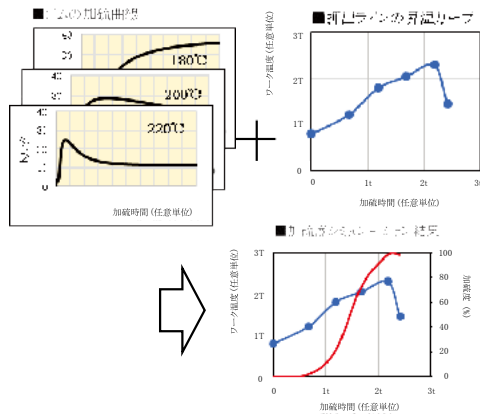


図-5 加硫度予測までのステップ；実際には温度データおよび解析した加硫度の補正処理を含む

4-2. 加硫度算出

加硫度を複数点に分割し、各加硫度に到達する時間をアレニウス式 ($k=A \cdot \exp\{-Ea/RT\}$) により算出できるようにすることで予測を行う。加硫トルクデータのうち、最も低い値を加硫度0%とし、最も高い値を加硫度100%として、5%間ごとの時間を利用する (図-6)。このデータを複数の温度水準ごとに準備し、アレニウスプロットから任意の温度で予測を実施する。本開発は加硫戻りの現象にも対応しており、100~80%の領域を5%間に区切り、加硫度を減算していくプログラムを組んでいる (4.4にて後述)。

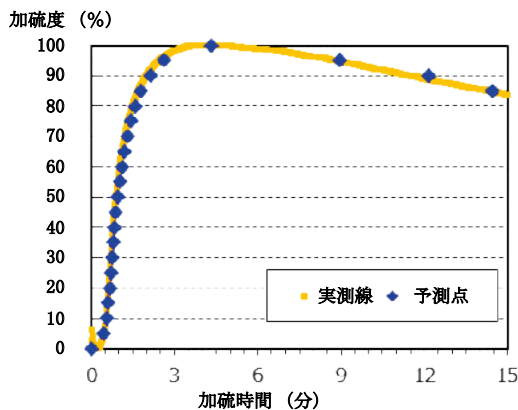


図-6 予測加硫度点 (青色) および実測した加硫曲線 (黄色)

図-7に加硫度5%点に到達する時間と各測定温度のプロットを示す。アレニウス式を利用することで直線と近似して経験則的にこの範囲内の温度における加硫度5%に到達する時間を求められる。この計算が各加硫度点において都度実行される。

ここで留意しておきたいのは、あくまでも加硫トルクの変化を基にして加硫度と定義している点であり、必ずしも分子レベルでの反応を見ているわけではないことである。

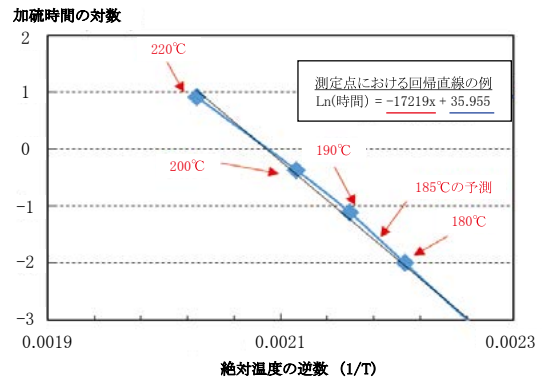


図-7 加硫度5%における温度の逆数と対数でとった時間のアレニウスプロット

加硫度とゴムの物性には一定の相関関係があるという前提で、加硫トルクの変化を硫黄結合と結び付けて“見かけ上の加硫度”として定義している^{2)~4)}。工程設計においては、ゴム材料のTC90など加硫トルクの時間変化を基にした評価データを利用して設計していることが多い。こうした工程設計である以上、物性の予測とまでは言わずとも、この“見かけの加硫度”を用いて工程の加硫条件の是非を問うことは十分に可能であると考えられる。一般的に、この見かけの加硫度が90~95%以上になる領域を最適加硫領域と定義される事が多いが、実工程に用いる際にはより詳細な検討が必要になると思われるため、引き続き最適加硫条件についても検証を続ける。

4-3. 積分計算による温度曲線への対応

加硫度の積算は、実機工程から得られた昇温カーブを一定時間ごとに分割して積分することにより求められる。この際の分割数は、加硫評価装置の時間分解能を考慮して設定している。

図-8のように、どんなに複雑な昇温カーブであっても分割された時間単位では各区間において平均温度で一定とみなし、各区間の温度からそれぞれの加硫度を算出することで、積算して全体の加硫度として計算することが可能である。

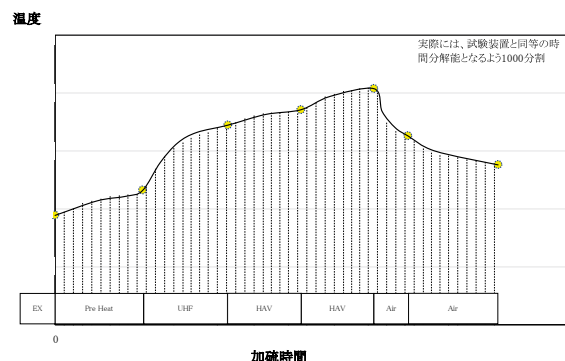


図-8 加硫度積算の際の昇温曲線分割イメージ

4-4. 加硫戻り

加硫戻りとは熱劣化にて加硫トルクが減少することであり、不具合の原因にもなりうるため必ず検知して未然防止したいと考える。加硫反応の進行には熱エネルギーが欠かせない一方で、200℃以上の加硫で過剰な熱エネルギーは、ゴム材料の分子鎖や硫黄結合の切断および架橋点の破壊を引き起こす。その結果、硬度不足や接続割れ、製品の臭気質悪化といった不具合を招く可能性がある。また、CO₂ 排出量削減の観点からも、不必要なエネルギー消費は抑制したい。

図-6に、ソリッドゴム材の185℃における予測加硫度(青点)と予測後に測定した加硫曲線(黄線)を示している。少なくとも一定温度においては加硫戻りも含めてほぼ誤差なく予測できた。加硫戻りの計算は、80%までを算出できるようにプログラムを実施している。なお実際の条件では、90%程度までの加硫戻りが最大と予想できており、十分な検知能力があると考えられる。

5. 加硫度シミュレーションを用いた解析

5-1. 予測精度の検証

開発したシミュレーションソフトについて、豊田合成の実際の工程にて加硫度の予測精度検証を実施した。図は従来の膨潤法と開発したシミュレーションによる加硫度測定結果の相関を示している。

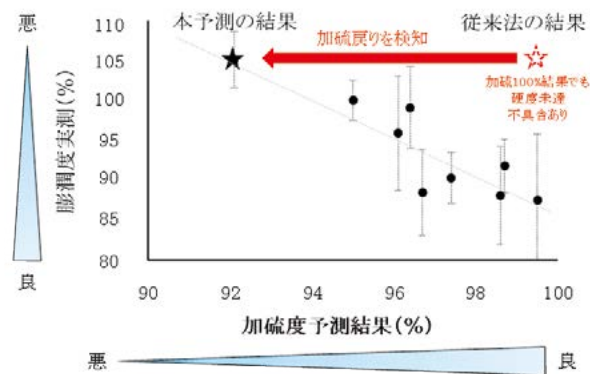


図-9 従来の加硫度検証(膨潤法)と加硫度予測結果の相関；国内工場_工程Aで硬度90のソリッドゴム材で検証

解析結果から、膨潤法とシミュレーションの相関係数は80%であり、十分に押出加硫においても膨潤法との相関がとることができた。また溶剤による膨潤法はその手法から測定の誤差が大きいため、これを考慮するとシミュレーションは従来の測定手法と同等以上の精度で加硫度を予測できていると考えられる。

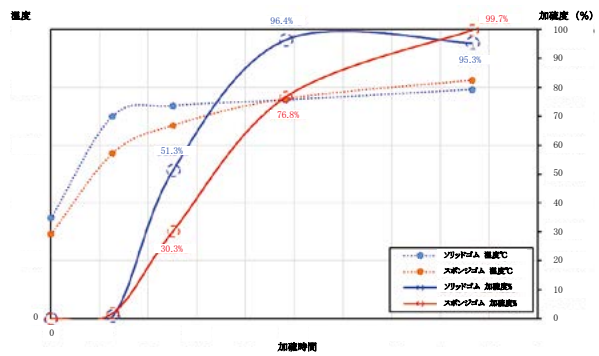


図-10 国内工場_工程Aの加硫度予測結果：一例

これに加えて、シミュレーションは加硫戻りも再現可能であることが確認できた。従来のシミュレーション手法では加硫戻りが反映できず加硫度100%と算出されるため、ゴム硬度が加硫戻りで低下する事例が発生していたが、今後は再発防止が可能と判断できる。

5-2. 加硫度予測の活用事例

加硫度シミュレーションを活用した事例として、国内工場および海外工場での事例を紹介する。いずれの事例においても白化を事前に防止するため、工程の加硫条件の妥当性を検証する目的でゴムの加硫度予測を実施した。その解析結果、それぞれの事例において異なる要因を抽出できたため、有効な対応が施行した。

表-1 活用事例とその対応

拠点	懸念	推定原因	処置	加硫度	結果
国内工場A	ゴム白化	加硫不足	加硫条件変更	87%⇒99%	○
海外工場B	ゴム白化	加硫不足	ゴム配合変更	78%⇒94%	○
海外工場C	ゴム臭気	加硫過多	加硫条件変更	実施中	実施中
国内工場D	新規工程設立	—	実施中	実施中	実施中

国内工場Aの例では、総熱量が不足していることによりゴムの加硫度が低くなることを検知。改善策として加硫工程温度の上昇をシミュレーション実施、加硫度を満足させる条件設定を予測にて解明。実機での条件設定に反映させ、実際に白化の発生が防止できた。

海外工場Bでの例では、ゴムの加硫度が低くなることを検知したが、工程の設備能力が上限に近いことが判明。対策としてゴム材料の加硫速度を早くすることが必須の手段と考え、ゴム配合中の加硫促進剤の調整によって複数水準の加硫速度を検証し、加硫度が満足できることをシミュレーションにて確認後、実際に配合変更にて対応した。シミュレーション通り、実際の製品にて検証し、

白化を防止できた。

上記事例以外に、押出工程新設時の加硫設備設計にも検討し、省エネ工程設計に活用されている。

6. まとめ

実機製品との加硫度相関係数が高く（一致率80%以上）、誰でも簡単に活用可能な加硫度シミュレーションソフトを開発できた。また、トライアル工数や排出CO₂も低減が見込まれる。

今後は発泡形状や物性のシミュレーション技術と共に技術を積み重ね、組み合わせて予測することで、ゴム配合から製造までを完全試作レス化することを目的に開発を進める。

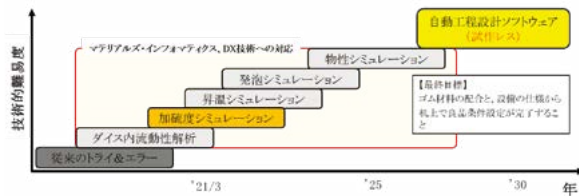


図-11 技術山登り図；図に示している要素技術の多くは、豊田合成内で基盤技術化がすすめられている。

謝辞

本開発に関わる全ての関係者に厚く御礼申し上げます。まずは偉大な先人たちの礎があったからこそ達成できたことと感謝いたします。加硫予測のみならず、多くの技術は過去既に確立されているものであったからこそ、現在改めて検討に取り組んでいると思います。今後も各要素技術の積み重ねを大きくしていき、最終的には豊田合成として試作レスの達成、ひいては長時間労働の解消やCO₂排出量の抑制など人や環境にもよりよい影響を与えられるように尽力してきたいです。

参考文献

- 1) 中内秀雄, “膨潤圧縮法による加硫ゴムの架橋構造解析”, 日本ゴム協会誌, 75, 2, (2002).
- 2) 中島邦彦, 嶺木実, “オシレーティング・ディスク・レオメーターによる加硫の反応速度に関する研究”, 日本ゴム協会誌, 40, 9, (1967).
- 3) 佐藤真一, “ゴム射出成型のプロセル解析2—シミュレーションの応用—”, 日本ゴム協会誌, 68, 2, (1995).
- 4) 有松利雄, “加硫工程設計の実際”, 日本ゴム協会誌, 59, 3, (1986).
- 5) 島広志, “ゴム材料のマルチスケールシミュレーション”, 第4回材料系ワークショップ, (2017).

著者



小田原仁



袖山清和

「地球を守るために私たちができる事」 デザイナーの考察と「新価値，新商品提案」の取り組みについて

大松直樹^{*1}

What We Can Do to Protect the Earth Designers' Considerations and Efforts for New Value and New Product Proposals

Naoki Omatsu^{*1}

要旨

私共が暮らす地球は年々環境悪化に向かった変化にさらされている。その要因はより豊かで快適、利便性、安全を求め、衣食住、移動等「豊かさ」を得る代償といえる。この環境変化の対応としてカーボンニュートラルを目標に温室ガス排出量の削減を各国で政府が主導する取り組みが進められている。私共、デザイナーは単に環境対応材料や素材に置き換えるのではなく、このような開発で生まれる、新たな素材や工法を活かし、デザインや機能等を新たな価値として、お客様に届けることである。本稿は、これらにおけるデザイン開発部の考え方、取り組みについて記述するものである。

Abstract

The earth we live in is exposed to changes that bring environmental deterioration year by year. It can be said that a factors in this is the cost of obtaining "abundance," such as the necessities of life and transportation as we seek more affluence, comfort, convenience and safety. In response to these environmental changes, government-led efforts are underway in each country to reduce greenhouse gas emissions with the goal of being carbon-neutral. We designers do not simply replace existing materials with environmentally friendly materials, but take advantage of the new materials and construction methods created through development processes to deliver designs and functions as new value to our customers. This article describes the efforts of design in these fields.

1. はじめに

私共が暮らす地球は年々環境悪化に向かった変化にさらされている。その要因は、より豊かで快適、利便性、安全を求め、衣食住、移動等のための様々な工業製品の生産とその製造物等の廃棄物が、文明社会における生活の「豊かさ」を得る代償となっている。

1つは、温室効果ガスの排出量増大に伴う地球温暖化である。局地的な集中豪雨、干ばつ、山林火災等、人々の命をも脅かす異常な災害（図-1）を引き起す原因となっている。2つ目に様々な食品、工業製品、漁網等、廃棄物の大量投棄、大海原を漂う海洋投棄プラスチックごみは貴重な海洋生物の命を脅かす、絡みつき、誤食、海岸線への漂着は、植物への影響や景観の悪化等、大きな社会問題（図-2）となっている。



図-1 温室効果ガス増大に伴う異常気象や災害



図-2 海洋投棄プラスチックによる社会問題

これら社会問題解決に対し、各国政府が旗を振りカーボンニュートラル（CN）に向け温室ガス排出量の削減を2030年～2050年に向けて活動を取り組み始めている。日本も例外なく取り組みに拍車をかけた。大きな考え方はライフサイクル

*1 デザイン開発部

ルアセスメント（LCA）で、簡単に言うと温室効果ガスの排出を極力減らすべく、材料、工法、工程、物流、廃棄に対し、すべての製造物で有害となる素材、石油、電力をできる限り使わない、リサイクル、リデュース、リユース可能なサステイナブルな製品の製造を実現することである。

このような目標に対し、豊田合成においても、新たに立ち上げたカーボンニュートラル環境推進部を中心に全社体制による活動を強化、推進している。豊田合成の主力商品の多くが石油由来のゴム、プラスチック等で構成されたものが多く、これらの材料、設計、製造、輸送、廃棄、リサイクル、サプライチェーンに至るまで、開発技術陣により各スコープ毎に目標を設定し活動を進めている。こちらの取り組み内容については、前項の材料技術部のレポートに任せるとし、この後、私共デザイン開発部の考え方と取り組みについて記述していく。

2. デザイン開発部が取り組むサステイナブルの「新価値、新商品提案」の取り組み

デザイナーの役割は、単なる材料置換や代替材の活用に残らない、これらの活動によって得られる新素材や、リサイクル、リデュース、リユースによる新価値を創出し、その魅力をエンドユーザーに届け、更には、環境意識の象徴となるような表現手法の確立によるブランドイメージの醸成に貢献することと考える。

2-1. 日本文化とサステイナブル

古来、日本人は自然を愛で自然との調和を美と捉える。例えば「書院造り」（図-3）建物の中と外を明確にせず自然との連続性と「春夏秋冬」季節のうつろいを楽しむといった「あいまいさ」を大切にする等、独特な美意識を持っていると言われている。



図-3 建物の中と外をあいまいとする日本古来の建築様式

また「朽ちて、果てていくもの」散りゆく桜や、紅葉の落ち葉等（図-4）に対する美意識、これらも「あいまいさ」といった、いわゆる「わび、さび」という日本人は独特の価値観を持っている。



図-4 散りゆく桜、紅葉の落ち葉等「あいまいさ」「わび、さび」は日本独自の美意識

また、モノを大切に長く使うこと、伝統や美を融合させるといった価値観も特有だと考える。

代表事例として「着物」はまさにサステイナブルファッションである。洋服は、体のラインに沿うように曲線や立体的裁断で曲面を構成するため、端材が出る。それに対して「着物」は、構成するパーツはほぼすべて直線裁断で、長方形パーツと直線だけの縫製で構成している（図-5）ため、捨てる端材はまったく出ない。

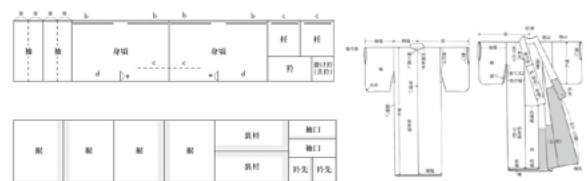


図-5 長方形のパーツと直線だけの縫製で構成される着物

そして、この「着物」は日本を代表する美的価値（図-6）となっていると共に、代々その家系に受け継がれリユースするこういった考えも正にサステイナブルである。



図-6 美しい染模様

もう一つの事例は、「金継ぎ」である。欠けてしまったり、割れたりしてしまった器を継いで直して使う。

欠けてしまった器の部分を漆を接着剤として継ぎ、継ぎ目を金粉等で装飾するといった技法(図-7)である。



図-7 金継ぎ

ある意味、修復後の器のほうに美的価値を見出す、日本人特有の価値観と言える。

もともと日本人にはこのようなサステナブルという価値観が潜在的に備わっており、自然を愛で大切にすること、素材を無駄なく使いきること、壊れても直して使うこと、尚且つ、これらは単に効率ではなく、感性にも響く美意識が伴っていることに感銘を受ける。

このような、先人の価値を現代の商品価値に昇華させることは、私共デザイナーの使命と捉え、新商品企画、開発に影響を与えるクリエイティブティに活かしたいと考えている。

2-2. 現在の市場の現状把握

日本の自動車OEMから市場に出ているサステナブルを新価値とするような製品はまだ少ない。

環境よりも、生産性等の効率やそれらに伴うコストへの影響から、サステナブルを価値や魅力とする活動というよりは温室効果ガス排出量削減目標への技術的な具体策が中心であると考えられる。

私共は、先行しているファッションやアパレル業界、欧州の一部の高級車、コンセプトカー等の様々な取り組みの調査からスタート、また、各国のユーザー価値変化予測による将来に向けた潜在ニーズの発掘と同時に、材料メーカーが取り組むリサイクル素材や、バイオ材料のサンプル収集と、その素材が持つ魅力発掘などを、まだまだ微力ではあるが進め始めているところだ。

工業製品のサステナブルに最も力を入れているのはアパレル業界であろう。

もともと温室効果ガス排出量が最も多い産業と言われており、グリーントランスフォーメーション(GX)を急いでいる。起点は、2019年8月、G7サミットで2050年カーボンゼロ「ファッション協定」を世界150ブランドが署名している。また、スポーツ用品ブランドと著名なエコロジー

ファッションデザイナーとのコラボ(図-8)等、積極的に消費者への浸透を図っている。



図-8 スポーツ用品及びファッションのブランドがコラボ

当然、自動車の使っている様々な素材、電子部品、そもそも製品のスケールや規模、石油依存度、生産工程の規模、複雑さはアパレル製品の比ではなく、実現性の難易度はまったく別モノのため、単純な比較にはならない。

ただ、顧客へのプロモーションの仕方、サステナブル素材そのもののアプローチ、活用手法(図-9)は私共が取り組む自動車部品にも、大いに参考となる。このようなアパレルメーカーのアプローチは、特に欧米を中心に「緑の消費者」と呼ばれる環境志向ニーズが高い消費者が増えており、それらのユーザー嗜好から、私共が目指す方向性を捉えることができるのではないかと考える。



図-9 サステナブルを商品価値とするプロモーション

一方で、日本の市場にも変化が見られる。インターネット等メディアの多くを見ると、若者を中心とする「急速な環境意識の高まり」といった発信が目につくようになってきている。

実際、総務省の昨年アンケート結果(図-10)からも、若年層の環境対応製品購入意欲が比較的高いと考察される。

これは、私自身の主観ではあるが、SNSやインターネットでの、各ブランドのプロモーション戦略や若者に影響力が高い、著名人の発信も大きく影響していると考えられる。また前述した、「ファッ

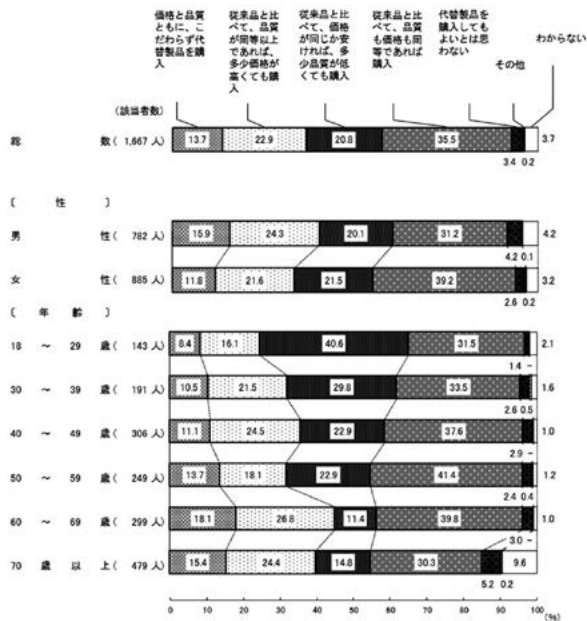


図-10 総務省の環境対応製品購入意欲アンケート結果

ション協定」に著名したグローバルアパレルメーカーのプロモーションの影響や、また各企業の工夫による、商品のデザイン、触感、風合いの向上などの魅力づくり、モノ作りの努力は私共の想像を大きく超えるものと推測できる。

続いて、自動車とはいうと、今年'21年9月に開催されたヨーロッパでのモーターショーで、従来からのトレンドCASEの、EV化はもとよりサステイナブルをテーマとするコンセプトカー(図-11)が目立っていた。



図-11 サステイナブルをテーマとするコンセプトカー

使われている材料をすべてリサイクル、リデュース、リユース可能とすると共に、それらのモノ造りに起因するOEMが提唱するデザイン表現を見て取ることができる。コンセプトカーなので企業イメージ発信を強調した、若干奇を衒ったデザインとなっている。それらを具現化する技術

開発、生産技術の確立には、まだまだ時間を要すると想像できる。

2-3. 現在取り組んでいる新価値、新商品提案の取り組みについて

ここでは、サステイナブルをテーマとする商品企画や、異業種とのコラボレーションによるデザイン開発部の2つの取り組みについて紹介する。

1つ目は、部員のモチベーションアップ、発想力や市場価値の変化を捉えるといった、能力アップ等の目的で、社外デザインコンペへの挑戦を推進している、その事例として環境省主催のサステイナブル製品をテーマとしたデザインコンペティションにおいて優秀賞を受賞したもので、食品ロスゼロの観点から、レストランでの食べ残しを持ち帰るための、器と持ち帰り容器(図-12)である。



図-12 環境省サステイナブルコンペティション受賞作品

2つ目に、業種を超えた協業活動で、豊田合成で余剰となったエアバック基布を活用したスポーツシューズ(図-13)の開発である。この活動はもともと東京モーターショーにおいて豊田合成と某スポーツメーカーとの異業種コラボによるサステイナブルプロモーションといった位置付けでスタート、東京モーターショーは、コロナの影響で中止となったが、両者のサステイナブルの思惑の一致から商品化にむけて活動継続、来年の商品化を目指し推進している。



図-13 異業種コラボのサステイナブルスポーツシューズ

3. デザイン開発部が考える新価値実現に向けて

今年の秋、豊田合成技術センターのエントランスにて、CN活動を中心としたIR向のプロモー

ション活動を、またその一部を名古屋メッセでも展示し、様々な分野の方からボイスを収集し、今後の取り組みに活かしていく。

その中で、私共デザイン開発部では、CNだけでなく、アフターコロナにおける物流の社会課題解決をテーマとした、小型EVのコンセプトを出展し、モビリティのみに限定せず、豊田合成が目指すテーマの検証と今後の活動の参考とする(図-14)。



図-14 サステイナブルをテーマとする
コンセプトカー

4. 終わりに

冒頭に記述した、昨今の命にかかわるような気象災害のみならず、猛暑、暖冬等、日本らしい「春夏秋冬」という季節感を感じにくい気候に年々変化しているように思う。

繰り返しになるが、日本人の持つ古来からの美意識は、この季節感からインスパイアされたものが多く、日本らしい独特な価値観を今一度取り戻すためにも、CNの目標達成は重要である。それを前提とし古来からの価値観の継承と、社会や環境の変化から出現する若者等の新たな嗜好を理解し、それらを組み合わせ、この時代だからこそその新価値と新商品提案に向けて、デザイン開発部ならではのアプローチで、アフターコロナへの対応と合わせ、地球のみらいに貢献していきたいと考えている。

20年、30年後の地球のみらい、地球そのもの、みらいの人類が、豊かで快適、便利で、安全に暮らせる社会の実現に向け、微力ではあるが日々、研鑽と精進していきたい。

著 者



大松直樹

カーボンニュートラルに向けた取り組み

伊藤哲浩^{*1}, 佐村洋平^{*1}

Our Efforts Toward Achieving Carbon Neutrality

Tetsuhiro Ito^{*1}, Yohei Samura^{*1}

要旨

世界中でカーボンニュートラルに向けた動きが進む中、企業のカーボンニュートラルに向けた動きも加速してきている。豊田合成においては、1949年創立以来、「限りない創造、社会への奉仕」の社是のもと、経営理念に「地球環境・資源の保全」を掲げ、企業活動を通じて地球環境・資源の保全に取り組んでいる。本稿では、豊田合成における2050年カーボンニュートラルに向けた取り組みについて紹介する。

Abstract

Countries around the world have been accelerating their transition towards carbon neutrality, and companies have been increasing their efforts to achieve it. Since the time it was founded in 1949, Toyota Gosei has been committed to environmental protection and resource conservation through its business activities, incorporating “Conservation of global environment and resources” into its Management Philosophy of “Boundless Creativity and Social Contribution.” Toyota Gosei’s efforts to achieve carbon neutrality by 2050 are introduced in this report.

1. はじめに

世界中で発生する異常気象により世界でカーボンニュートラル（以下、CN）の動きが加速している。2021年8月、IPCCの第6次評価報告書¹⁾によると、人間の影響が大气、海洋及び陸域を温暖化させてきたことには疑う余地がないとしている。このような地球規模の課題に対して、各国政府、企業、金融業界などあらゆるところで動きが加速している。各国はガソリン車の廃止を宣言し、企業もCNの宣言や達成時期の前倒し、ライフサイクル全体での取り組みをサプライヤーに要請、金融業界でのESGをはじめとする環境の取り組みを企業価値として評価に取り入れるなど、

ますます取り組みが加速するとみられる。我々も環境基本方針をもとに、「TG2050環境チャレンジ」や「2030年マイルストーン」を見直しながら取り組みを進めている。本稿では豊田合成のCNに向けた取り組みについて紹介する。

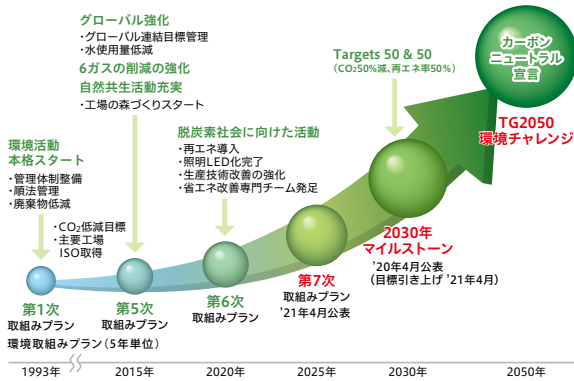
2. CNに向けたマイルストーン

2016年2月、「TG2050環境チャレンジ」を公表し、脱炭素社会の実現に向け2050年工場CO₂極小化を宣言した。また、2020年4月には中間目標「2030年マイルストーン」を策定し、CO₂排出量を43%削減する目標を公表した。更に、昨今のCN加速を受け、2021年4月、「TG2050環境チャレンジ」に掲げた工場CO₂極小化を工場CO₂ゼロとし、2050年CNを宣言した。また、2030年の中間目標についても、CO₂排出量目標を50%削減に引き上げ、更に重点取り組みとして再生可能エネルギー由来の電力利用率についても2030年に50%とする「Targets 50 & 50」を公表し、CNに向けてチャレンジングな姿勢を示した。



図-1 環境活動の基本的な考え方

*1 カーボンニュートラル・環境推進部 カーボンニュートラル戦略室



図ー2 CN 実現に向けた中長期シナリオ

3. 組織・体制

2021年6月、豊田合成グループ全体でのCNを推進するため、「環境部」を「CN・環境推進部」に名称を変更し、CN戦略室を新たに設置。また、材料・製品開発や生産工程でのCN推進に向け、CN開発推進室及びCN生産工程推進室を新設。更に、社長を議長とする全社横断プロジェクトを発足し、CN達成に向けた体制強化を実施している。

4. 重点取り組み

製品ライフサイクルでのCN実現に向け、3つの重点取り組みを実施している。

4-1. 使用材料のCO₂排出量削減

樹脂・ゴムの専門メーカーとして、資源の有効利用とCO₂排出量の少ない材料利用として、廃材のリサイクルとその利用を推進している。特に、ゴム廃材は、ゴムが硬化しリサイクル材料としての利用が困難だったものを、脱硫再生技術を開発し、ゴム廃材のリサイクルを実現。リサイクル材料として製品への活用を実施している。その他、社内外のリサイクル材料の活用やバイオ材料の利用についても積極的に推進している。

4-2. モノづくりにおけるCO₂排出量削減

スコープ1, 2のCO₂排出量削減に向け、4つの柱を掲げ活動を推進している。エネルギーロス極小化に向けた日常改善(柱1)およびユーティリティ更新(柱2)、使用エネルギーの極小化に向けた生技革新(柱3)、CO₂を排出しないエネルギー利用として再生可能エネルギーの導入(柱4)、これらの4つの柱毎に目標を設定し、CO₂排出量削減を推進している。

4-3. 購入部品のCO₂排出量削減

スコープ3の購入部品のCO₂排出量削減に向け、製品単位でのCO₂排出量の見える化を推進している。製品単位のCO₂排出量を見える化し、重点取り組み製品および部品を明らかにし、スコープ3のCO₂排出量削減の方策立案に向け推進している。

5. おわりに

企業としての社会的責任を果たすとともに、企業価値を高めるため、2050年豊田合成グループ全体でのCN達成に向け、CO₂排出量削減に向けて積極的な取り組みを推進していく。

参考文献

- 1) IPCC 第6次評価報告書 政策決定者向け要約 (SPM) の概要 別添1 (2021)

著 者



伊藤哲浩



佐村洋平

バイオフィラーを活用した材料開発

内田 均^{*1}, 田中靖昭^{*1}, 佐藤厚子^{*1}, 太田笑美子^{*1}, 池田 彩^{*1}

Material Development Using Bio-fillers

Hitoshi Uchida^{*1}, Yasuaki Tanaka^{*1}, Atsuko Sato^{*1}, Emiko Ota^{*1}, Aya Ikeda^{*1}

要旨

カーボンニュートラルを目指して、軽量化や形状変更などによる材料削減、リサイクル材などの省CO₂材料や、CO₂を固定化したバイオ由来材料の使いこなしが必須となっている。豊田合成では、石化メーカーとの連携によるポリマー部分のCO₂排出量低減と併せて、樹脂やゴムの複合材に使用されるフィラー部分の材料開発を進めている。バイオフィラーであるセルロースナノファイバー（CNF）は森林資源、農業廃棄物等を原料とする高機能材料で、地球温暖化対策への多大な貢献が望める。CNFを樹脂材料に適用することで、製品原材料のCO₂を削減し、製品を軽量にすることで車両走行時の燃費向上に貢献する。

本検討では、ポリプロピレン（PP）にCNFを20wt%配合した複合材を開発し、その結果、従来の自動車用材料と同様の成形加工性を示し、特性値も一般部品レベルであることが確認された。また製品のCO₂排出低減は約4%と試算された。今後、サーキュラーエコノミー（CE）を物流資材領域で検証したのち、自動車部品への拡大に繋げる。

Abstract

In aiming for carbon neutrality, it is essential to reduce the amounts of materials used by reducing the weight and changing the shape of products and making good use of CO₂-saving materials, such as recycled materials and bio-derived materials that fix CO₂. In collaboration with petrochemical manufacturers, Toyoda Gosei is developing materials for fillers used in plastic and rubber composites and reducing CO₂ emissions from polymer parts. Cellulose nanofiber (CNF), which is a biofiller, is a highly functional material made from forest resources, agricultural waste and similar matter, and is expected to contribute greatly to countering global warming. By applying CNF to plastic composites, the CO₂ in the product raw material is reduced and the product is made lighter, contributing to improved vehicle fuel efficiency.

In this study, we developed a composite material containing 20 wt% of CNF in polypropylene (PP). It was confirmed that this material shows the same moldability as conventional automobile materials and that its characteristic values are at the level of general parts. The CO₂ emissions of products were estimated to be reduced by about 4%. In the future, we will test this circular economy (CE) in the area of logistics materials, after which we will expand it into automobile parts.

1. はじめに

2020年の“カーボンニュートラル宣言”により、低CO₂、脱炭素やカーボンネットゼロが様々な領域で求められている。さらには、資源・エネルギー・食料需要の増大、廃棄物量の増加、気候変動等の環境問題の深刻化が世界的な課題となる中、従来の大量生産・大量消費・大量廃棄型のリニアエコノミー（線形経済）から、中長期的にサーキュラーエコノミー（CE）への移行が必要となっている

（図-1）。CEへの移行は、事業活動の持続可能性を高め、中長期的な競争力の源泉となりうる。

たとえば、ESG要因（環境（E）、社会（S）、ガバナンス（G）の3つの分野）を考慮する投資は国内外で年々拡大しており、循環ビジネスの市場規模の拡大が見込まれることから、CE分野に関するサステナブル・ファイナンスの動きが活発化している。自動車材料にも、脱炭素が求められ、高分子素材はもとより、材料を構成する充填剤等についても脱炭素が同様に求められている。

*1 先端材料開発部 有機材料開発室

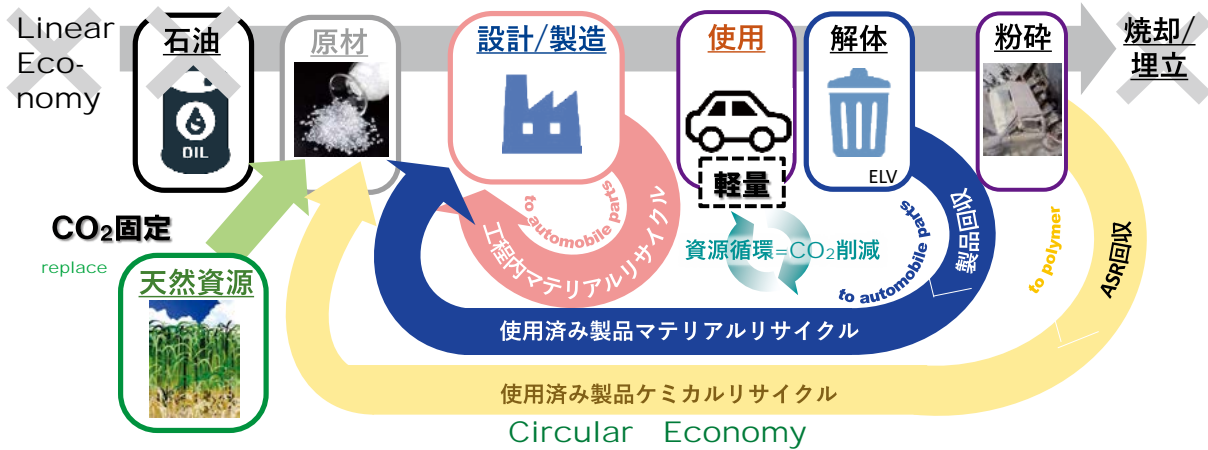


図-1 線形経済からサーキュラーエコノミーへの変換に伴うサプライチェーンの変化

脱炭素の方策として、樹脂・ゴムの原材料をCO₂が固定化されたバイオ素材への代替するバイオナフサ化や、使用済み製品からのマテリアル・ケミカルリサイクル材料を自動車製品へ適用を進めることで、CEへ移行する。ここでは、社内にて管理運用が可能な物流領域を皮切りに、CEモデルを構築し、検証を進め、自動車部品へ拡大する礎をつくる。

2. 背景と目的

2-1. 背景

自動車に用いられる材料において、走行時のCO₂排出量抑制を目的に軽量化が計られ、金属から高分子材料への置換が進んでいる。高分子の素材の中でも比重が低いことを特徴とするPPやエチレン-プロピレンゴム (EPDM) への材料変更と統合が進んでいる。

これらの自動車材料は、樹脂やゴムなどの高分子量材料だけではなく、カーボンや無機フィラーなどの充填剤を含んでいる複合材が多くを占め、CO₂を低減する複合材の配合設計が求められている。

豊田合成では、高分子材料と各種フィラーを配合設計し、工場で混練し、各種成形手段を駆使することで自動車部品を製造している。

カーボンニュートラルの社会ニーズに対して、これらのフィラーへの要求性能も、従来の剛性、低コストに加え、軽量、環境性などが新たなニーズとして重要となっている(表-1)。

ここでは、軽量、環境性に優れたバイオ素材に注目し、その中でも、近年、間伐材や食物残渣などから得られるセルロースファイバーに注目する。

表-1 各種フィラーのニーズ変化¹⁾

フィラー種類	特性 ○:優 ×:劣				
	コスト	分散性	剛性	軽量	環境性
炭酸カルシウム (重質,沈降,軽質)	○	○	○	-	○
水酸化アルミニウム、アルミナ	-	-	○	-	-
マグネシウム	-	-	○	-	×
シリカ (天然,溶融,合成,気相法)	△,×	○	◎	-	○
タルク	○	○	○	-	○
マイカ	○	○	○	-	○
カオリン・クレー	○	○	○	-	○
酸化チタン	-	○	△	-	×
ガラス繊維	○	△	◎	-	×
炭素繊維	×	×	◎	○	×
セルロース (CNF: Cellulose Nanofiber)	×	×	◎	○	○
カーボンブラック (CB, CNT)	○,×	◎,×	○	×	×

2-2. セルロース材料

バイオフィラーであるセルロースナノファイバー (CNF と略す) は、近年、注目度が更に高まっている素材で、森林資源、農業廃棄物等を原料としながら、鋼鉄の5分の1の軽さで5倍の強度等の特性を有すると言われている(図-2)。

図-2 CNF の特徴²⁾

自動車部材の軽量化による燃費改善，住宅部材や家電の高断熱化によるエネルギー消費の減少から地球温暖化対策への多大な貢献が望める。また，森林資源活用により循環型社会実現に貢献できる。

環境省においても，さまざまな製品等の基盤となる樹脂材料をセルロースで補強した活用材料（複合樹脂等）を使用することで，CO₂の効果的な削減を図ることを目的とした，CNF性能評価モデル事業を推進している。豊田合成は，2020年度にセルロースマッチング事業（NCM）に参画し，その成果を公表した（<https://cnf-ncp.net/deliverable2.html>）。

自動車用の材料について，取扱いの多い各種フィラーとCNFの比較を図-3，図-4に示す。

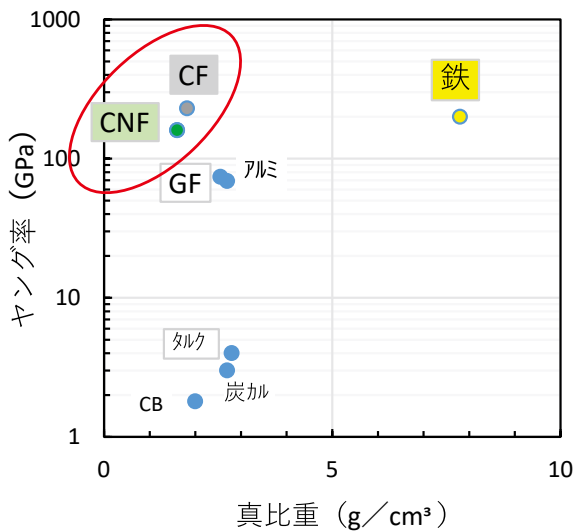


図-3 フィラーの比重とヤング率

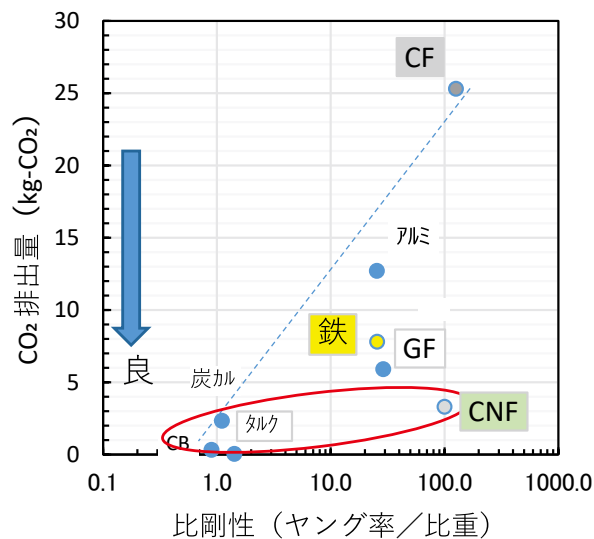


図-4 比剛性とCO₂排出量

図-3のように，CNFは比重が低いにも関わらずヤング率がカーボンファイバー（CF）並み

に高い。また，図-4にてCO₂排出量を各フィラーと比較すると，地中から掘削し，粉碎する炭カルやタルクと同等レベルであり，高剛性で且つ，低CO₂排出量のフィラーであることが解る。そのため，従来フィラーの代替をすることで，適用先への広がりが図-5のように期待される。

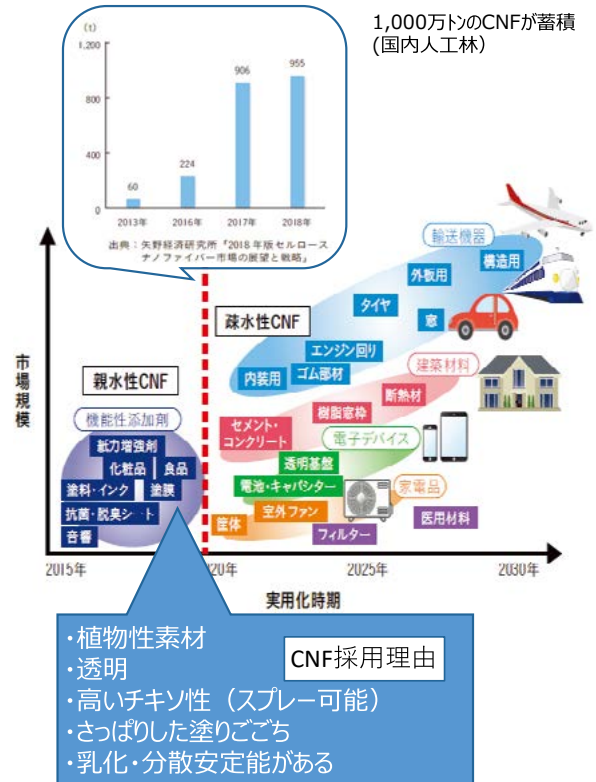


図-5 CNFの実用化ロードマップ³⁾

一方で，社会実装への期待が高いにもかかわらず，化粧品やインク，塗料の添加剤としての採用にとどまっている。これらは粘度調整機能に注目されて採用が進んでいると予想される。2020年以降の筐体，キャパシタ，車部品への普及が進んでいない理由について，CNFは高強度，軽量に優れた特性のポテンシャルがあるものの，まだ十分に，その特徴を引き出せる“材料”として取り扱いが難しいためと考えられる。

2-3. 目的

CO₂削減とサーキュラーエコノミーの素材供給を目的に，活用の広がりが予想されるバイオ素材のセルロースファイバーに着目し，自動車部品への適用を目指して，材料開発を進める。

本検討においては，従来の材料特性のみならず，CO₂排出量についても，従来材料と比較・検証をすることで，低減効果の試算を実施した。

3. PP 樹脂コンパウンドの取り組み

自動車用の樹脂材料はタルク入り PP が多くを占めており、無機フィラーのタルクを代替する CNF 含有 PP (CNF - PP コンパウンド) について検討した。

3-1. CNF - PP 試作結果

我々は、社内配合設計によるタルク - PP コンパウンドを製造している。PP、ゴムとタルク及び添加剤の配合設計と、量産材料として安定的に製造する生産技術のノウハウを蓄積しており、それらの配合設計を応用することで、本検討のオリジナル CNF - PP コンパウンドの配合設計を行った。図-6 に検討概要をしめす。ここでは、あらかじめ分散しやすい CNF の選定、耐衝撃性を高める樹脂の配合設計及び材料を均一に分散・混練するコンパウンド製造技術を駆使することで、従来のセルロース材料の弱点であった“耐衝撃性”を一般 PP 樹脂並みに引き上げることが可能となった。材料物性の結果を、表-2 に示す。

表-2 PP コンパウンドの材料物性⁴⁾

項目	単位	試験条件	開発材料
			ソリッド
密度	g/cm ³	ISO 1183-1	1.03
MFR	g/10min	ISO 1133 230°C, 21.2N	5.4
曲げ弾性率	MPa	ISO 178 2mm/min.	1810
曲げ強度	MPa		36
シャルピー衝撃強度	kJ/m ²	ISO 179-1 23°C	8.3
バンクチャー試験 全吸収エネルギー	J	ISO 6603-2 23°C	4.1

表-2 において、耐衝撃性が 8kJ/m² 程度と、汎用の耐衝撃性 PP に近い性能を有していることから、本材料が PP 材料の代替として、使用可能なレベルであることが解った。

また、フロントピラーガーニッシュの実機試作を行った。その結果、ほぼ従来材料と同等の成形条件での加工が可能であり、また寸法の修正も必

要ないことが解った。なお、押出ペレット及び成形品は茶色身を帯びており、色調の変更が求められる。

3-2. CO₂ 低減量の試算

本材料を、クルマのピラーへ搭載し、約 10 年間走行したときの CO₂ 排出量を、従来の部品とした時の CO₂ 排出量を比較した。試算の範囲を工程フローと併せて図-7 に示す。

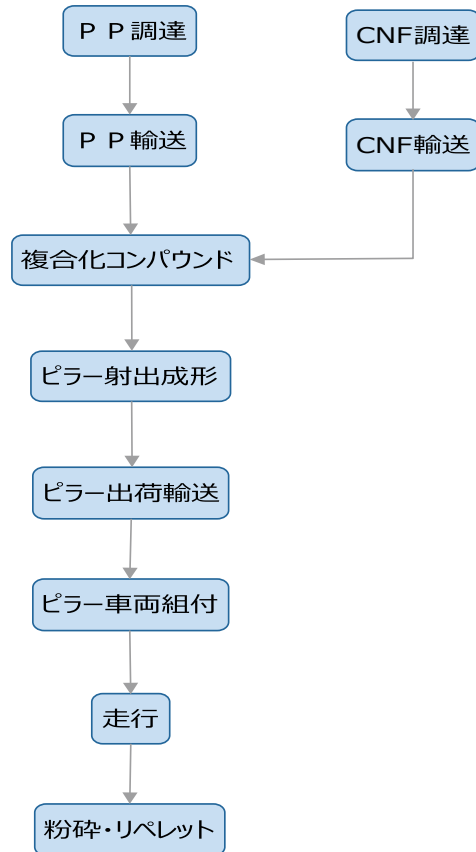


図-7 CO₂ 排出量の試算用工程フロー

本試算においては、粉砕・リペレット後の再度の製品利用を含んでいない。ただし、粉砕・リペ

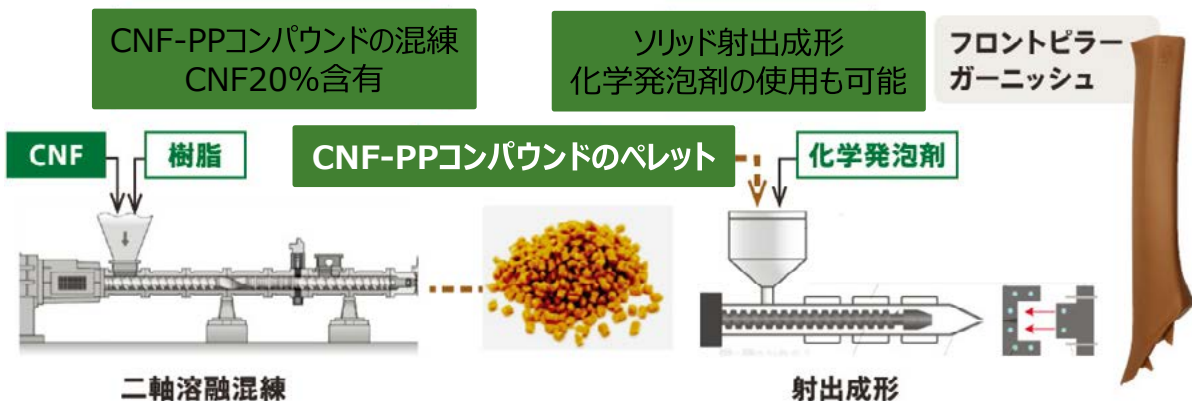


図-6 CNF - PP コンパウンドの検討概要⁴⁾

レット後の材料でリサイクルを実施し、燃焼廃棄処理はされないことと仮定する。CO₂の試算結果は、従来のタルク-PPコンパウンドと比較して、約4%のCO₂排出量低減効果があると試算された。

ここでの試算によると、自動車に搭載され、走行しているときのCO₂排出量が最も多く試算される。これは、材料のバイオ化などによる材料の低CO₂化も大切であるが、ガソリンを利用しているユーザーにおいては車両を使用している際の軽量化の効果が最も効果的であることを示している。

一方で、クルマの電動化が進んで、走行時のCO₂排出量が少なくなったときは、材料そのもののCO₂排出量比率が高くなり、材料そのもののCO₂排出量を低減することが、効果として大きくなることが想定される。

4. 社会実装へ向けた 梱包資材への材用適用

豊田合成では、本テーマのCNF-PPコンパウンド材料を用いて、CEの移行へ向けて検証を進めている。社内にて管理運用が可能な物流資材を皮切りに、CEを自動車部品へ拡大する礎をつくる。

対象とする物流資材のうち、通箱の例を図-8に示す。顧客への部品納入に際し、その部品に合わせた通箱を作製し、製品を梱包して納入する。荷の傷つきや変形抑制のため、箱だけではなく緩衝材などの内容物も多く含まれる。



図-8 通箱の部品納入のイメージ⁵⁾

4-1. サプライチェーンの変換

現状のサプライチェーンを図-9に示す。箱(コンテナ)、緩衝材、包装材を各素材メーカーが成形し、その素材を、梱包資材組立メーカーにて通箱に加工後、工場に通箱として納入される。その後、豊田合成の各工場と自動車メーカー各工場との間を、部品を梱包しながら物流用のトラックで搬送される。本通箱は概ね約4年間使用される。

使用後は、廃棄物として処理しており、素材が戻ってくることはない。これと比較してCEを具現化した時のサプライチェーンを図-10に示す。

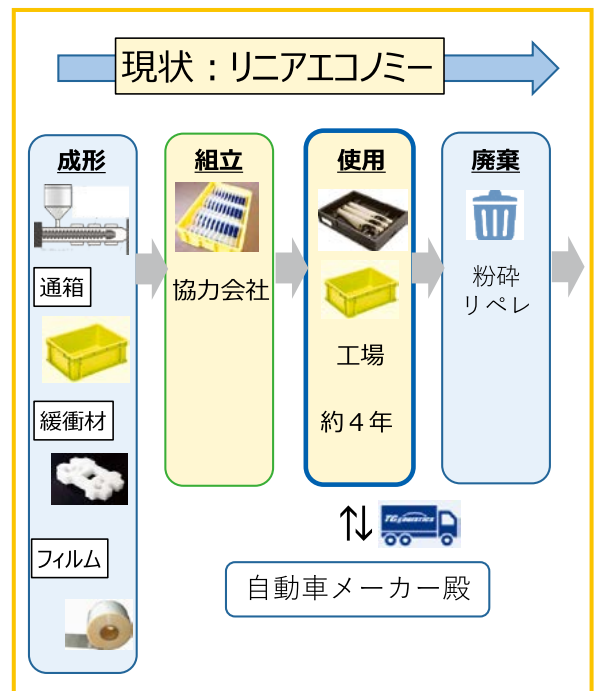


図-9 現状のサプライチェーン

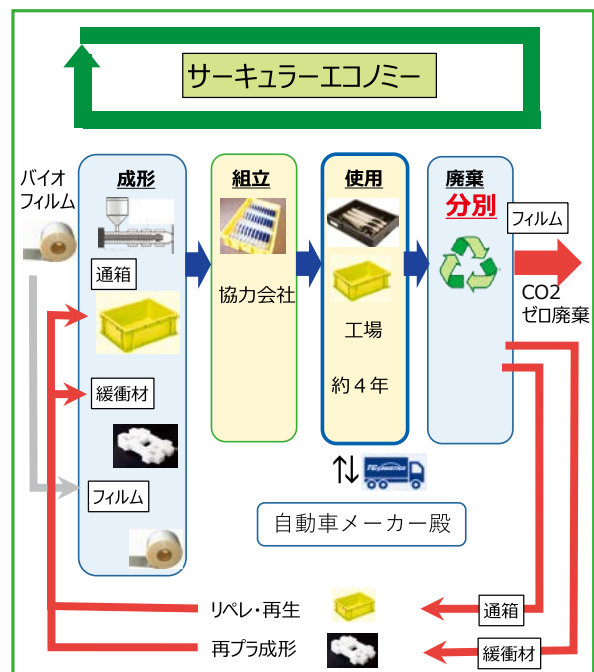


図-10 サーキュラーエコノミーの新サプライチェーン

CEへ移行するためには、図-10の“廃棄”に示すように、各素材に分別し、コンテナはリペレ・再生、緩衝材は粉碎・再成形、製品袋は焼却してもCO₂を増加させない素材への転換などが必要である。本検討では、通箱のコンテナに注目し、使用後の通箱からコンテナを分離回収し、その後リペレすることで材料を使い続けることを企画する。また、再生材料の物性が不足するときは、再成形時の物性向上も想定する。

4-2. 通箱のセルロース材料適用効果

図-11に樹脂コンテナに本材料を適用した時のCO₂低減効果試算結果を示す。本材料を適用し、従来の材料よりも高剛性化することで、コンテナ自体の重量を5%軽量化する。それにより、使用時のCO₂排出量が低減され、トータル約6%のCO₂排出量低減が見込まれる。使用時（製品搬送による走行時）に排出されるCO₂が約80%を占めており、通箱自体の軽量化による効果が最も有効であることが解る。

本企画は環境省“令和3年度革新的な省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”に採択され、具現化を目指して検討を進めている⁶⁾。

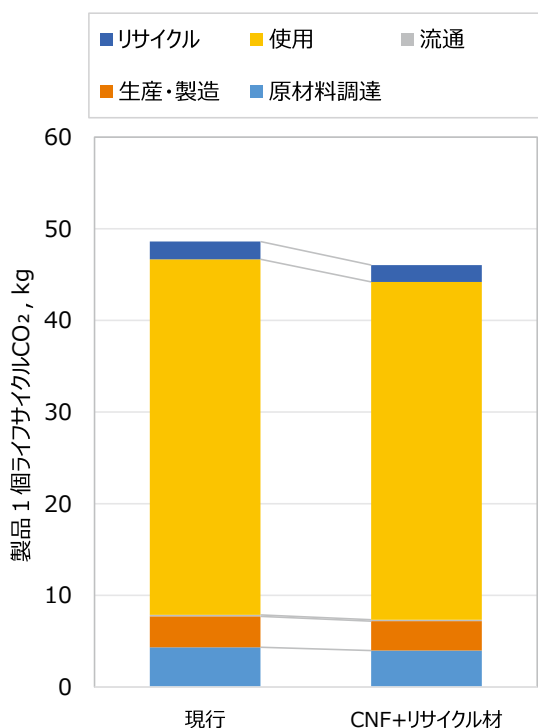


図-11 CO₂ 排出量の試算⁷⁾

前提条件：現行はバージン PP を使用
1日往復100km 300日/年 4年間運搬活用

5. まとめ

CO₂削減を目的にCE実現へ向けてバイオフィラーであるセルロースファイバーを素材として検討した。CNF-PPコンパウンドの物性等を評価し、実製品への適用を検証した結果、一般材料や梱包資材に使用できるレベルの材料であることが実証できた。

ただ、素材のセルロースのコストは、その他のバイオ素材と同様に高価であり、自動車部品への採用は、これらの課題が解決されない限り難しいと予想される。

今後はセルロース素材や材料メーカーと連携したコスト低減の取り組みが必要と考える。また、引き続き自動車用途へ向けた本材料の開発を継続し、ナノセルロースプロモーション事業なども通じて技術成果を展開する。

謝辞

本検討はナノセルロースマッチング事業を通じて京都大学 矢野先生、臼杵先生のアドバイスのもと大きく進捗しました。また製品の成形・評価においてTGテクノ乾GM殿に多大なるご協力をいただきました。

参考文献

- 1) フィラー研究会, 2010年 フィラー一覽抜粋
- 2) NCP_HP <https://cnf-ncp.net/about.html>
- 3) 出典: 京都大学 矢野教授
- 4) NCP_HP <https://cnf-ncp.net/deliverable2.html>
- 5) <http://www.miyajima-co.jp>
- 6) http://www.env.go.jp/earth/ondanka/biz_local/03_a01_3/r3_gancnf.html
- 7) SuMPO 殿試算結果

著者



内田 均



田中靖昭



佐藤厚子



太田笑美子



池田 彩

2050 カーボンニュートラルへの生産工程の取り組みについて

木村洋治^{*1}, 赤星茂一^{*1}, 鈴木佐代^{*1}

Production Process Efforts for Carbon Neutrality by 2050

Yoji Kimura^{*1}, Shigekazu Akahoshi^{*1}, Sayo Suzuki^{*1}

要旨

2050年カーボンニュートラル達成に向けて、生産工程における現状のCO₂排出量の把握と現状の取り組みについて紹介する。各工程におけるCO₂の畑より、設計を含めた工法革新のポイントを明確にして取り組むことと、カーボンニュートラルを実現するための残された課題として、水素バーナーなどのクリーンエネルギー活用について説明する。

Abstract

We will introduce the current CO₂ emissions in production processes and current efforts to achieve carbon neutrality by 2050. Based on the CO₂ produced in each process, we will clarify the key points in system innovations including design and explain the utilization of clean energy, such as hydrogen burners, as a remaining issue for the realization of carbon neutrality.

1. はじめに

2020年10月の菅総理大臣の2050年カーボンニュートラル宣言から、脱炭素に対する関心はかつてないほど高まり、今や新聞等で取り上げられない日は1日もないと言える。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。産業革命以降、人間活動によって地球の平均気温は約0.85度上昇し、頻発する大規模災害もこの温暖化による気候変動だと言われている。それに伴い経済損失や人命が失われる

莫大な自然災害に対し、取り組みを行わない企業は、顧客や投資家から選ばれなくなる状況となっている。

豊田合成においても、2021年4月5日のESG説明会にて取り組みを宣言し「2050工場CO₂ゼロ宣言、30年CO₂排出50%削減(13年比)、再エネ導入率50%以上」の実現に向けて取り組みを再加速した(図-1)。

今回は、特に生産工程におけるカーボンニュートラルに向けた取り組み状況について紹介する。

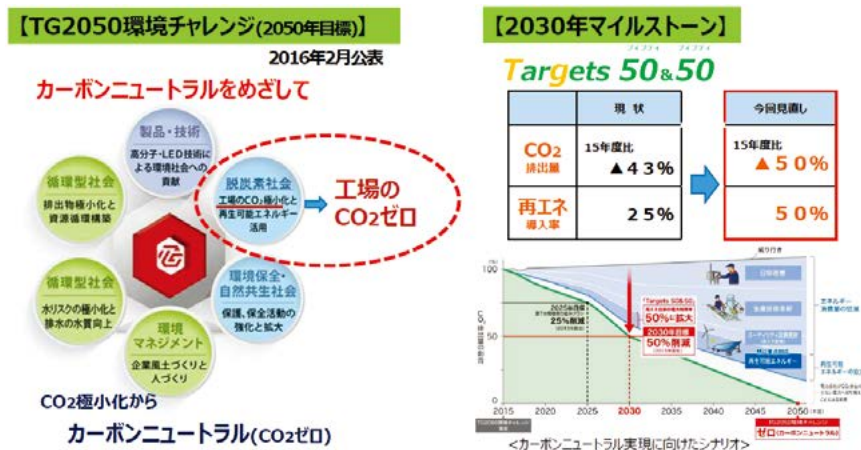


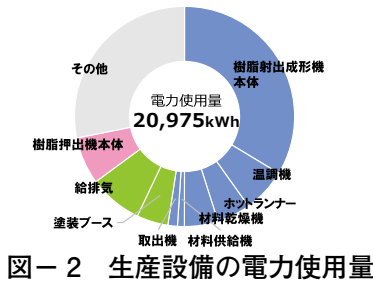
図-1 ESG説明会での宣言

*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

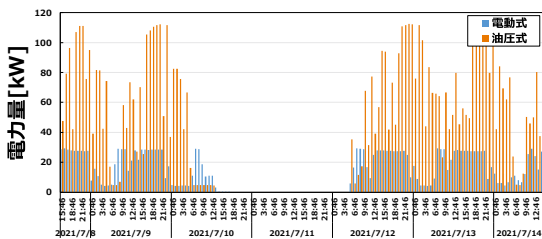
2. 工場／工程の CO₂ 排出の見える化

2-1. 設備の棚卸しと日常改善

生産工程の CO₂ 低減として日常改善や老朽化に伴う更新時の CO₂ 低減の地道な活動は以前より推進してきた。改めて、国内生産設備を棚卸しして、電力使用量を調査してみると、豊田合成においては射出成形関連が最も多く、続いて塗装関連となる（図-2）。



射出成形機の油圧式と電動式の電力の差は、一般的には電動式は油圧式の50%と言われていたが、実際に調査してみると1/3程度になることがわかった（図-3）。

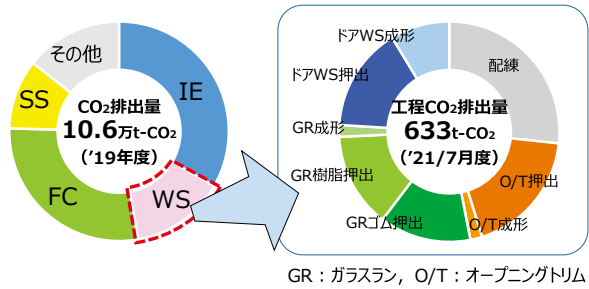


今までの老朽化更新計画の考え方だけではなく、カーボンニュートラルを考えた計画的な老朽化計画に舵を切るとともに、新規設備導入時には、金型のコンパクト化による成形機のクラスダウンや材料開発と組み合わせたハイサイクル化や薄肉化にも力を入れて検討することで、電力使用量を抑制するとともに材料使用量の低減にもつなげていく。

2-2. 重点工程中の CO₂ 排出量の明確化

更に CO₂ の低減を進めていくためには各事業領域の重点工程を決め、その工程における CO₂ 排出量の多いポイントを把握し革新的な工法開発を立案する必要がある。しかし、現状は領域ごとの CO₂ 排出量しか把握できていなかったもので、まずは現時点1ヶ月間の工程別の CO₂ 排出量を測定し重点工程の選定を行った（図-4）。

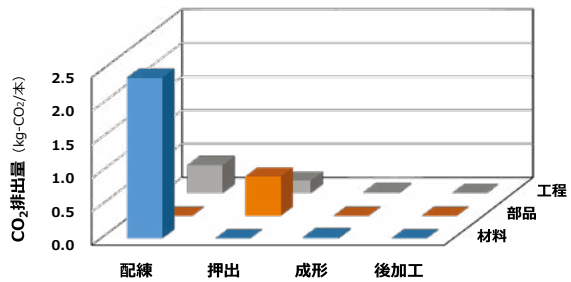
CO₂ 排出量の多い工程は把握したが、最近の動向としてライフサイクル全体（図-5）を見た CO₂ 低減や自動車メーカー各社が製品1個あた



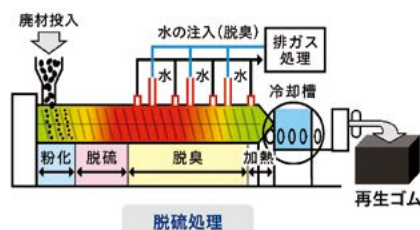
GR：ガラスラン、O/T：オープニングトリム



りの CO₂ 排出量の要求も高まりつつあることから材料、部品、工程に区分して小工程ごとの CO₂ 排出量の多いポイントについてオープニングトリム工程を事例に明確にした（図-6）。



この工程における CO₂ の畑より配練工程の原材料 CO₂ 排出量や配練、押出の工程での CO₂ 排出量の多いことが見えてきた。つまりオープニングトリム工程では材料を使用する量が多いことから材料をいかに少なくすることがポイントとなる。そこで我々は、材料の使い切りとして不良低減や歩留り向上を行うとともに工程内不良をリサイクルすることで全体の CO₂ 低減を考えた。ゴムは熱硬化材料であることから優れた弾力性や耐久性を発揮させている。一方で、ゴムの熱硬化という特性からリサイクルは困難と言われてきたが、分子間の結合エネルギーのわずかな差より適切なエネルギーを2軸押出機で与えることで架橋点のみ切断する脱硫再生技術を開発し、リサイクルが可能となった（図-7）。



この技術により製品1個あたりのCO₂排出量の低減ができる(図-8)ことから、今後はリサイクル率の向上を検討し工程内廃棄物のゼロ化を目指す。また、廃棄物ゼロに対して、現在では再生ゴムをもとの製品に戻すのではなく、工場での作業中の疲労を軽減するマットとして応用し、販売も開始した。

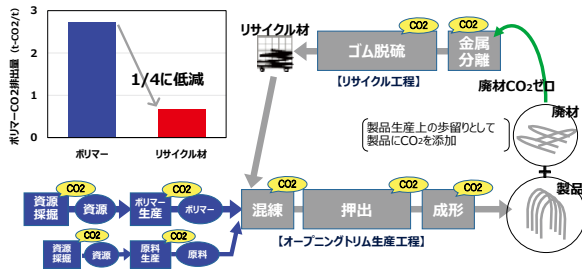


図-8 リサイクル材料適用によるCO₂低減効果

また、今後のナフサ危機として樹脂やゴムといったポリマーが入手しにくくなる可能性があり、その対応として将来は廃車からゴムを取り外し原材料として活用することも考えていきたい。

今回の取り組みのように工程の重点ポイントを絞り込み豊田合成ならではの工法革新を行うことでCO₂低減とともに企業価値向上に向けて検討を進めていきたいと考えている。

3. 今後の検討

国内CO₂排出量12万tonに対して省エネの追求や再エネ導入の検討によりCO₂低減を進めていく(図-9)。

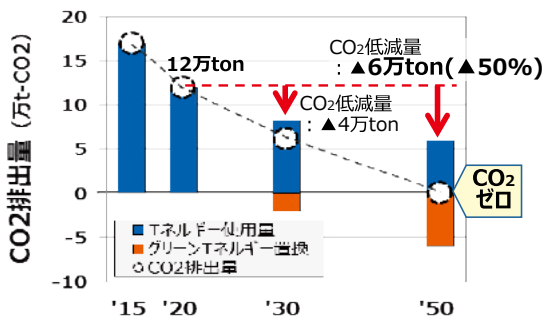


図-9 2050年カーボンニュートラルへのロードマップ

しかし、カーボンニュートラルを目指すためには、ガス燃焼のScope1からのCO₂排出をゼロにする必要がある。加熱工程の共通課題としては放熱ロスや排熱があるものの、これまでほぼ活用できていなかった。2021年8月に熱を電気に変換する「熱発電」の独自技術を持つスタートアップ企業の株式会社Eサーモジェンテックに出資し、熱エネルギーの有効利用に向けた開発を開始

した。隣り合う2つの半導体(熱電変換素子)に温度差が生じると電子が半導体間を移動し電流が流れる仕組み(ゼーベック効果)で、CO₂を排出しないクリーンエネルギーを作り出すことに期待する(図-10)。

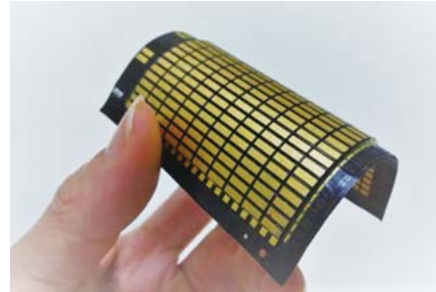


図-10 熱電変換素子 (Eサーモジェンテック製)

更にガス燃焼に対しては電化して再エネを活用するか、熱需要の大きく電化ができない場合は水素バーナーかメタネーションの適用をしなければCO₂をゼロにすることができない(表-1)。

表-1 工場CO₂ゼロの考え方

現状	ゼロ化	課題
電気 Scope2	再エネ クレジット購入	技術的課題なし 量の確保、コスト→今後課題
ガス燃焼 (蒸気) Scope1	ヒータ加熱+再エネ 水素バーナー CO ₂ の変換 (メタネーションなど固定化)	コストUP 世の中の開発技術待ち、 インフラ整備

※ ゼロ化：ガス燃焼(特に蒸気)の代替対応が課題

そこで、世の中の技術開発の動向を見ながら導入を検討し、夢物語ではなくカーボンニュートラルを実現できる道筋を描いていくことが我々の使命だと感じている。

著者



木村洋治



赤星茂一



鈴木佐代

電力変換ロス低減を実現する新規構造横型 GaN パワーデバイス開発

佐藤壽朗^{*1}, 神谷真央^{*1}, 竹中靖博^{*1}, 荒添直棋^{*1}
井手公康^{*1}, 中田尚幸^{*1}, 西島和樹^{*1}, 加藤久東^{*1}
篠田大輔^{*1}, 上村俊也^{*2}

Development of a GaN Power Device with a New Horizontal Structure that Achieves Low Power Conversion Loss

Hisao Sato^{*1}, Masao Kamiya^{*1}, Yasuhiro Takenaka^{*1}, Naoki Arazoe^{*1},
Kimiyasu Ide^{*1}, Naoyuki Nakada^{*1}, Kazuki Nishijima^{*1}, Hisato Kato^{*1},
Daisuke Shinoda^{*1}, Toshiya Uemura^{*2}

1. はじめに

新型コロナウイルスの拡大に伴う経済活動の停滞によって温室効果ガスの排出量が急減、大気清浄化したことが話題となり、これまで以上に環境問題に対する意識が世界的に高まっている。特に自動車産業においては脱炭素社会実現に向けて、各国、各自動車メーカーがEVの普及を加速化する計画を打ち出しており、EV充電システムの需要が高まっていくことが予想される。また、再生可能エネルギーとして注目される太陽光発電装置やそれに付随する定置型蓄電装置も堅調に需要を伸ばしており、それらを系統的に接続する電力変換装置のニーズも高まっている。EV充電システムでは高電圧で充電した方が急速充電が可能となるため、最近では800V充電のシステムが実用化されている。こうした高電圧充電を可能とするためには、使用されるパワーデバイスには1200Vを超えるような耐圧性能が要求される。また産業用途としても1000Vを超えるような高耐圧のニーズは数多くあり、高耐圧で電力変換ロスの小さなパワーデバイスの需要が今後急激に高まっていくことが予想されている。

2. パワーデバイス材料

従来のパワーデバイスはSi半導体がほとんどであったが、SiCやGaN半導体ではパワーデバイスとしての重要特性である低オン抵抗と高速スイッチング特性を実現できるため、電力変換ロスの小さいデバイスが作製可能であり、次世代パ

ワーデバイスとして注目されている。

図-1にはSi, SiC, GaN材料ごとの耐圧とオン抵抗の理論限界値の関係を示す¹⁾。図-1から同じ耐圧であれば、Siに比べてSiCが、さらにSiCに比べてGaNがオン抵抗限界値で優れていることがわかる。高耐圧用途でオン抵抗が小さい、すなわちスイッチングロス・電力変換ロスの小さいデバイスを実現するための材料としては、GaNが最も優れている。

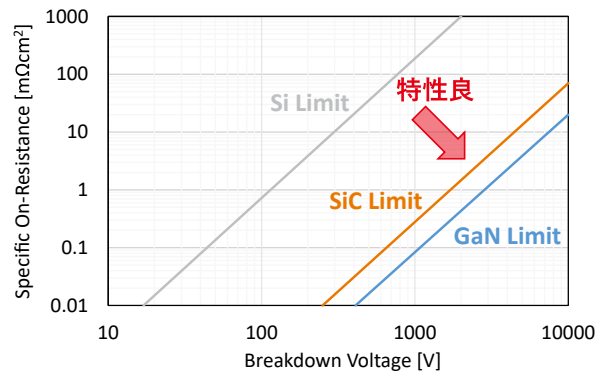


図-1 パワーデバイスの耐圧とオン抵抗の関係

SiCは電流が縦方向に流れる縦型構造のパワーデバイスであり、実用的な耐圧性能は1200V程度までが一般的で、これ以上の耐圧性能を実現する場合には信頼性やコストが課題となる。

GaNパワーデバイスとしては、GaN基板を用いた縦型構造のデバイス開発が行われているが²⁾、これもSiC同様、1200Vを超えるような高耐圧化を実現することは容易ではなく、また使用するGaN基板の大口径化と低コスト化が課題と

*1 ライフソリューション第3技術部 パワーデバイス開発室

*2 ライフソリューション第3技術部

なっている。

既に市販されている GaN パワーデバイスとして HEMT (High Electron Mobility Transistor) 構造の横型デバイスがある^{3),4)}。これは、AlGaIn/GaN ヘテロ接合により生じる高濃度、高移動度の 2次元電子ガス (2DEG) をチャネルとして利用するものであり、Si や SiC では実現できないような高速スイッチングが可能で電力変換器の高効率化に有用である。しかしながら、HEMT 構造横型 GaN パワーデバイスでは電圧印加時に局部的に電界集中が生じてしまうため、1000V を越えるような高耐压化の実現は極めて困難である。

本稿で紹介する新規構造の横型 GaN パワーデバイスは、サファイア基板上に GaN/AlGaIn/GaN 積層構造を有し、高耐压特性を実現する特徴があるため⁵⁾、EV 急速充電システムや高電圧が必要な産業機器用途への適用が可能なデバイスである。

3. 新規構造横型 GaN パワーデバイスの構造と特徴

図-2 に示すように GaN/AlGaIn/GaN 積層構造を形成すると AlGaIn 中の自発分極により AlGaIn 上の GaN 界面付近には正孔が、AlGaIn 下の GaN 界面付近には電子が発生する。発生した電子と正孔は薄く平面にガス状に広がることから二次元正孔ガス (2DHG) と二次元電子ガス (2DEG) と呼ばれ、AlGaIn を介した分極超接合 (PSJ: Polarization Super-Junction) 構造となっている。この 2DEG は非常に高密度に存在し、かつ移動度も高いため高速スイッチング動作が期待できる。

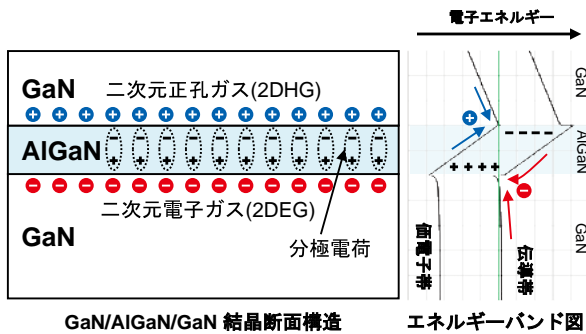


図-2 GaN/AlGaIn/GaN 構造とエネルギーバンド図

一方、2DHG を利用することで高耐压の素子が実現できる。GaN の破壊電界強度は 3MV/cm であるが (Si は 0.3MV/cm)、通常の素子構造では電界集中する領域ができるため、破壊電界強度を超えないような設計の工夫がなされている。図-3 に PSJ GaN-FET (Field Effect

Transistor: 電界効果トランジスタ) と一般的な GaN-HEMT を示す。図-3 (a) の PSJ GaN-FET はゲート電極 (G) に負バイアスを印加することにより、u-GaN 領域の 2DHG の正孔が引き抜かれ、それに伴い u-GaN 下の 2DEG の電子が消滅する。その結果、図-3 (a) に示した PSJ 領域は全体が空乏化 (電荷がない状態) し、ゲート・ドレイン間の電界強度は一定になる。ドレイン電極からゲート電極へかかる電界を均等に分散できるため電界集中する領域がなく、6000V を超えるような超高耐压を実現できる可能性がある。

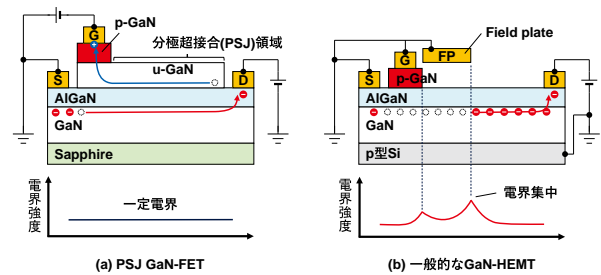


図-3 (a) PSJ GaN-FET と (b) 一般的な GaN-HEMT
S: ソース電極, G: ゲート電極,
D: ドレイン電極, FP: フィールドプレート,
p-GaN: p型 GaN, u-GaN: アンダーブ GaN,
-: 電子, +: 正孔

一般的な GaN-HEMT 図-3 (b) は Si 基板上に結晶成長した基板を用いて素子が作られ、ゲート端への電界集中による耐压低下を、フィールドプレート (FP) を備えることで改善している。しかしながら Si 基板が導電性のため、ドレイン電極 (D) と Si 基板との間の耐压が問題となる。下地の GaN 層を厚くすれば耐压は高くできるが、異種基板に結晶成長しているため結晶欠陥が多く GaN の物性値よりも低い耐压となっている。さらに、下地の GaN 層を厚膜化していくことは高度な技術を必要とし、GaN の結晶成長中に Si 基板が歪むことによる基板の割れや、結晶にクラックが入る問題などがあるため下地 GaN 層の厚膜化には限界があり、一般的には 650V 前後の耐压となっている。

また、一般的な GaN-HEMT には電流コラプスと呼ばれる、スイッチング動作 (オフ状態からオン状態) により電流が流れにくくなる現象が起きる問題がある。FP を持たない素子構造の場合、オフ状態でゲート端に強い電界集中が起こることで、ゲート付近に電子が捕獲される。捕獲された電子はゲートに負電圧を印加したような振る舞いをし、仮想ゲートを作り出す。結果として仮想ゲートがチャネル層を空乏化しソース・ドレイン間に流れる電流を絞る形となり、電流が流れにくくなる。電流コラプスの抑制には電界集中を緩和すれ

ばよい。そのため一般的には FP を用いて、電界集中を緩和して電流コラプスを抑制するが、完全に解消することは難しい。一方、PSJ GaN-FET 構造では電界集中する領域がないため、一般的な GaN-HEMT の実用耐圧よりもはるかに高い 6000V を超えるような電圧印加でも電流コラプスの発生が抑制される特徴を有する。

試作した新規構造の PSJ GaN-FET 素子の断面模式図、外観写真を 図-4 に示す。今回は PSJ 領域の幅 (PSJ 長) を $10\mu\text{m}$ 、 $20\mu\text{m}$ 、 $35\mu\text{m}$ 、 $100\mu\text{m}$ と変化させた素子を試作した。また素子のサイズは $4 \times 6\text{mm}$ とした。

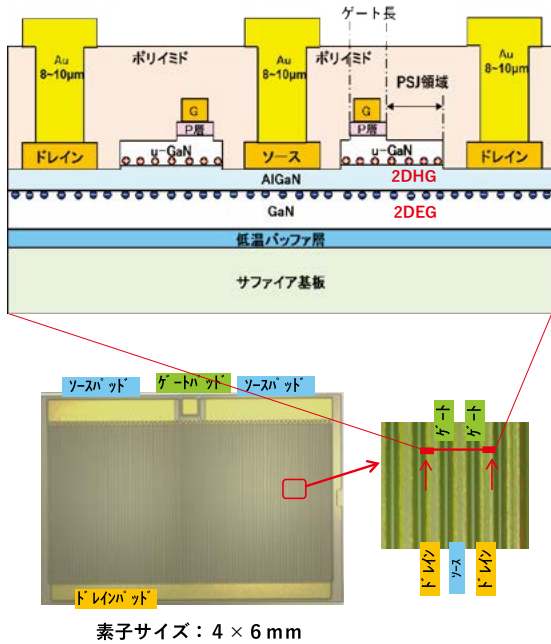


図-4 素子断面模式図, 外観写真

4. 特性紹介

3章で説明した PSJ GaN-FET 素子を試作し、静特性・動特性評価を実施した結果を紹介する。試作した素子は京セラ製 Cu (銅) リード基板パッケージへ簡易的に実装して測定を行った (図-5)。



図-5 特性評価実装形態

4-1. 静特性

典型的な例として、PSJ 長が $20\mu\text{m}$ の I-V 特性を 図-6 に示す。図には (a) IdVd, (b) IdVg, (c) オフ状態の IdVd 特性を示している。このデバイスはゲート閾値電圧 V_{th} が -5.0V でありノーマリオンタイプ (ゲート電圧 0V 時に出力電流がオン) の特性である。また、 $V_g+2\text{V}$ 時のドレイン電流の傾きから求めたオン抵抗は $82\text{m}\Omega$ であった。オフ状態の IdVd 特性から素子耐圧は 1300V 以上であることを確認した。

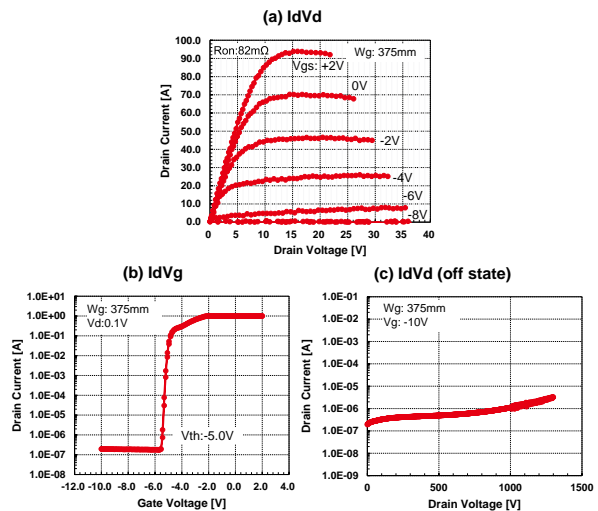


図-6 PSJ GaN-FET (PSJ 長 $20\mu\text{m}$) の I-V 特性

図-7 は、PSJ 長と耐圧の関係を示している。PSJ 長に比例して耐圧が増加する傾向にあり、PSJ 長が $20\mu\text{m}$ 以上で耐圧 1000V、 $100\mu\text{m}$ では耐圧 6000V 以上が得られており、PSJ 長の設計を変えることで高耐圧化が可能であることを確認した。

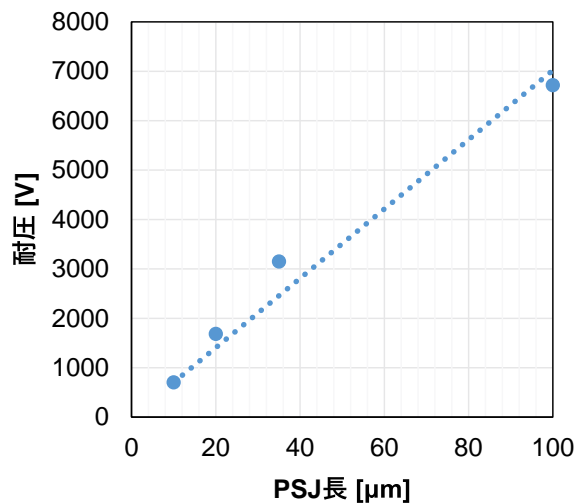


図-7 PSJ 長と耐圧の関係

4-2. 動特性

図-8はPSJ長 $20\mu\text{m}$ 素子の 300V スイッチング特性である。スイッチング評価は図-9に示す回路にて行った。評価は、ゲート入力 $-10\text{V}/+5\text{V}$ 、OnTime $1\mu\text{sec}$ 、Off Time 10sec の条件で実施した。

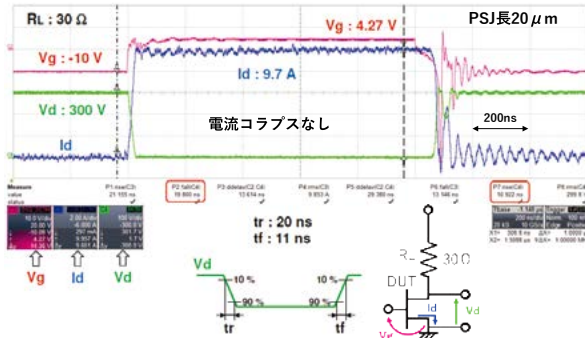


図-8 300V スwitching特性(PSJ長 $20\mu\text{m}$)

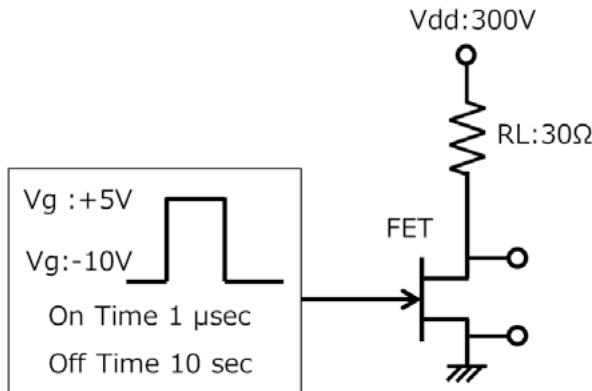


図-9 スwitching特性評価回路

図-8に示すPSJ長 $20\mu\text{m}$ 素子の結果においては、立ち上がり時間(t_r)は 20ns 、立ち下がり時間(t_f)は 11ns であった。また、図-8に示す波形から、オフ状態で 300V であったドレイン電圧(V_d)がオン状態で数V以下まで減少しており電流コラプス現象がないことを確認した。電流コラプスが抑制されていない素子では、スイッチング時に捕獲された電子の影響でオン抵抗が高くなるため、オン時の V_d の波形が下がりきらない。図-10はPSJ長と応答速度の関係を示している。 t_r に関してはPSJ長にあまり依存しない。また、 t_f に関してはPSJ長を長くすると緩やかに遅くなる傾向が認められたが急激な応答速度の低下は見られていない。すなわち、PSJ長を長くし 6000V 以上の高耐圧特性を確保した設計でも高速スイッチングが可能であることが確認できており、高耐圧領域でも電力変換ロスが低いデバイスの実現が期待できる。

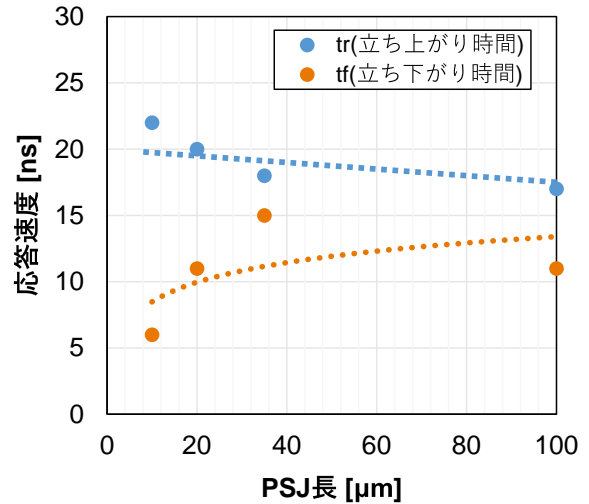


図-10 PSJ長と応答速度の関係

5. まとめ

本稿では、電力変換ロスの小さいデバイスが作製可能な材料であるGaNを用いた新規構造のパワーデバイスについて紹介した。このデバイスは、ノーマリオンで電流コラプスがなく、特に高耐圧用途に対して期待できる結果を得た。

今後は、ノーマリオフ化の実現に向けた開発、設計と性能の関係性の明確化を行うことによる更なる特性向上を図ると共に、信頼性、耐久性の確認を行い、実用化に向けた取り組みを進める。電力変換ロスの具体的な低減効果を評価するためには、実際のコンバータやインバータ回路に組み込む必要があり、今後こうした取り組みも進めていく。また、結晶欠陥を低減したPSJ GaN-FET構造での究極性能を確認するため、GaN基板を用いた開発にも取り組む予定である。

さらに、2020年度から環境省プロジェクトに参画しており、この新規構造のGaNパワーデバイスを搭載した動作電圧 800V 以上(耐圧 1500V 以上)・電力変換効率 98% 以上のコンバータと、高効率・小型・省エネ電力変換装置の開発、実用化を目指している。このプロジェクトを通して応用製品展開も進めていく。

本新規構造横型GaNパワーデバイスの事業化、実用化を達成することができれば、大幅なエネルギー消費量の低減、省 CO_2 社会の実現に貢献できるものと考えている。

謝辞

本稿に掲載された成果の一部は、環境省の「革新的な省 CO_2 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」の支援を受けて行った、プロジェクト運営をしていただいている環境省、共同実施者である東海国立大学機構 名古屋大学、株式会社アイケイエスの皆様に感謝いたします。

また、新規構造デバイスに関する共同開発を実施している株式会社パウデックの皆様に感謝いたします。

参考文献

- 1) 例えば, K. Shenai, Electrochem. Soc. Interface, vol. 22, no. 1, p. 47, (2013).
- 2) 西井ら, 豊田合成技報, Vol.60, p. 34 (2018).
- 3) 引田ら, パナソニック技報, Vol.55, p.21 (2009).
- 4) <https://www.mouser.com/applications/wide-bandgap-gan-transistor/>.
- 5) 八木ら, 第 65 回応用物理学会春季学術講演会講演予稿集, 17p-P12-1.

著 者



佐藤 壽朗



神谷 真央



竹中 靖博



荒添 直棋



井手 公康



中田 尚幸



西島 和樹



加藤 久東



篠田 大輔



上村 俊也

FCV 用高圧水素タンク

光田 崇^{*1}, 田代 康^{*1}, 成瀬知優^{*2}, 加賀弘晃^{*2}

High Pressure Hydrogen Tank for FCVs

Takashi Mitsuda^{*1}, Yasushi Tashiro^{*1}, Tomohiro Naruse^{*2}, Hiroaki Kaga^{*2}

1. はじめに

自動車は我々に様々な利便性を提供してくれている反面、燃料資源、環境問題の負の側面も持っている。HV/PHV/EV など、電動化技術を高めて、問題の拡大を抑止しているのが現状といえる。

こういった中で、2014年に燃料電池車「MIRAI」が世界初の量産車として発売された。燃料電池車（以下、FCV）は化石燃料を必要とせず、水素と酸素から発電し走行する究極のエコカーである。自動車の問題解決はもちろん、車の概念をも大きく変える車両として期待は大きい。

本稿では、2020年末発売の新型MIRAIに搭載された低コストで信頼性の高い高圧水素タンク（トヨタ自動車株式会社と協業で開発）について紹介する（図-1）。

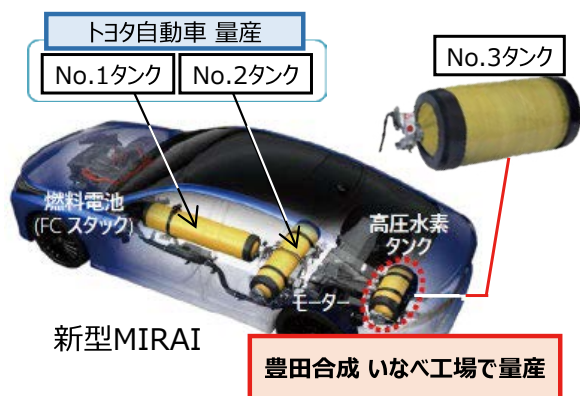


図-1 FCVユニット車両搭載図

2. 製品概要

図-2に、FCV「MIRAI」に搭載されているNo.3高圧水素タンクの構造を示す。

タンク本体は、樹脂ライナ、炭素繊維強化プラスチック（CFRP）、ガラス繊維強化プラスチック（GFRP）の3層構造で構成されている。

水素ガスのバリア機能を有する樹脂ライナは、左右半分ずつを射出成形した後、溶着成形されている。金属製ライナのタンクに比べ軽量かつ高耐久を実現している。

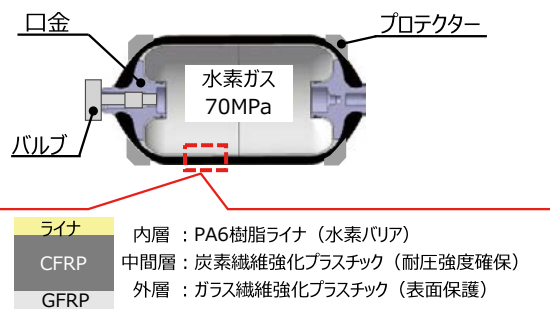


図-2 高圧水素タンクの構造と機能

3. 開発のポイント

3-1. 樹脂ライナ成形

樹脂ライナの射出成形において、従来の金型仕様では多点ゲートを採用しており、ウェルドラインの発生によるライナ強度低下が問題となっていた。

今回、ゲート仕様の見直しを実施し、ウェルドレス化を実現した。これにより、ライナ強度の低下を抑えることができた。

*1 FC 技術部 FC 第1技術室

*2 FCV 部品生技開発部 FCV 生技開発室

3-2. 樹脂ライナ溶着

樹脂ライナの溶着方法として新たな工法を採用した。これにより、加工時間が従来から約60%の大幅な短縮に成功した。また、従来工法に比べ、溶着部の残留異物によるライナ強度、伸びの低下を防止することができ、不良率低減と溶着品質の安定化を実現した（図-3）。

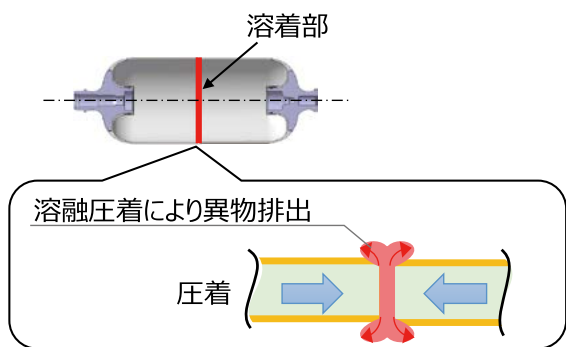


図-3 ライナ溶着

3-3. FRP

CFRP, GFRP のFW^{*1}加工では高速化による加工時間短縮を実現した。またFRPに使用されているエポキシ樹脂は、材料開発により、図-4に示すようにエポキシ硬化時間の短縮に成功した。

さらにCFRPは、炭素繊維変更と最適積層設計により材料使用量を低減した。耐圧強度を保ちつつ厚みを極小化することで内容積を増やし、水素の質量効率^{*2}を従来より高めた。

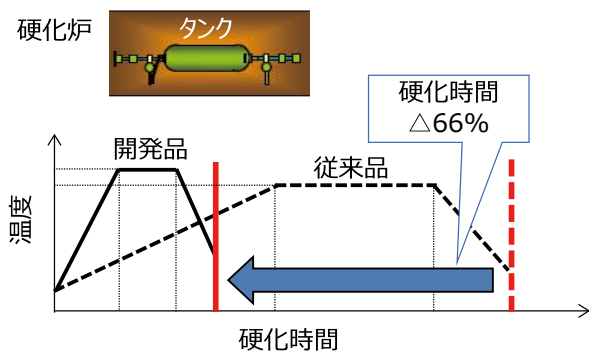


図-4 エポキシ硬化時間と温度

※1 フィラメント 와인ディング

※2 タンク重量に対する水素貯蔵量の割合
(水素質量 / タンク質量)

4. おわりに

環境問題に大きな関心が寄せられている現代社会において、化石燃料を使用せず、水しか排出しないFCVへの期待は極めて高い。引き続き環境にやさしい水素社会の実現に向けて、FCVの普及に貢献していく。

謝辞

本製品の開発に際しご支援、ご指導いただいたトヨタ自動車株式会社、および社内関係部署の皆様へ厚く御礼申し上げます。

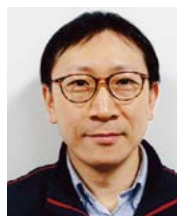
著者



光田 崇



田代 康



成瀬知優



加賀弘晃

様々な自動車乗員の前突事故における腹部傷害の分析について

井田 等, 浅岡道久, 青木雅司^{*1}, 一杉正仁^{*2}

Analysis of Abdominal Injuries of Various Occupants in Frontal Collisions

Hitoshi Ida, Michihisa Asaoka, Masashi Aoki^{*1}, Masahito Hitosugi^{*2}

要旨

交通外傷治療において腹部傷害は発見が難しく、処置の遅れで重篤になる場合がある。

近年、体型の肥満化が進んでいるが、肥満体型乗員の腹部傷害について拘束装置がどのような効果を及ぼすか十分にわかっていない。よって交通外傷データベースによる傷害傾向の分析と、人体モデル THUMS のスケーリングモデルによるシミュレーションにより乗員の体型が腹部傷害に及ぼす影響を明らかにした。その結果、衝突時の腰移動を抑制する拘束装置が腹部傷害を低減することを確認した。

Abstract

Abdominal injuries are difficult to detect when treating traffic injuries and can become severe if treatment is delayed. In recent years body shapes has become more obese, but it is not fully understood what kind of effect restraint devices have on abdominal injuries of occupants with an obese body type. Therefore, the effect of occupants' body shape on abdominal injuries was clarified by analyzing injury tendencies using the traffic trauma database and conducting simulations with a scaling model of the THUMS human body model. The results confirmed that restraint devices that suppress the movement of the waist during collisions reduce abdominal injuries.

1. はじめに

近年、交通外傷の研究として腹部傷害やサブマリン現象が注目されており、交通外傷研究の場で腹部のベルト傷害に関する市場事故の研究報告がいくつかなされている¹⁾。

しかし現在、前突用の Hybrid III ダミーでは腹部荷重の測定ができないため、シートベルト、エアバッグ等の拘束装置が腹部傷害にどのような効果を及ぼすかは十分に分かっておらず、頭部や胸部、下肢傷害に対する腹部傷害の社会的な位置付けも明確になっていない。

また年々肥満化が進んでいるが、肥満体型が腹部傷害に及ぼす影響も十分に研究が進んでいない。

よって本研究では、北米自動車事故データベースを用いて腹部傷害低減の現状と課題を明確にするとともに、腹部傷害の受傷要因、受傷臓器の分布を、助手席乗員の前突事故を対象に分析した。

さらに、肥満体型が腹部傷害の分布に及ぼす影

響について事故調査と人体モデルを用いた CAE 解析により分析を行ったので報告する。

2. 対象および方法

NHTSA の統計管理センター NCSA が公開している北米自動車事故データベース (NASS/CDS) を用いた。すなわち 1995 年～2011 年の 16 年間における前突事故における普通乗用車及び商用車の助手席乗員 5280 人を対象に傷害の分析を行った。(なお、NASS/CDS のデータセットは毎年全米で約一万人の交通事故死傷者を扱っており、これは全米の事故死傷者 320 万人 (99 年度)²⁾ の約 0.3% に相当する)。

また、本報告での前突とは 11 時～1 時の衝突方向、車両前面の損傷事例を指し、一般成人の傾向を評価するため身長 140cm 以上の乗員を対象に傷害傾向の分析を行った。

*1 性能実験部

*2 滋賀医科大学社会医学講座法医学部門

3. 助手席乗員の前突腹部傷害の分析

3-1. 助手席乗員の前突時傷害部位と重傷度

前突時、腹部傷害が外傷全体に占めるウェイトを明確にするため、上記 5280 人に生じた外傷を、傷害発生部位と重症度 (AIS) の両面から分析した。なお、AIS1 (軽症) には軽度の擦過傷も全て含まれるため、より精度の高い解析を実施するべく AIS2 (中等症) 以上の傷害 4365 件について分析を行った。

まず、部位別、重症度別の腹部傷害の発生頻度を示す (図-1)。下肢 (889 件) 頭部 (804 件) 胸部 (783 件) 上肢 (658 件) よりも腹部 (401 件) は少なくなるが、AIS4 (重篤な傷害) 以上の傷害は頭部、胸部、腹部の 3 箇所には発生していないことが分かった。

また、これらの傷害のうち、直接死因となった傷害部位は、胸部 (132 件) 頭部 (98 件) 腹部 (28 件) に対し、下肢 (2 件) 上肢 (0 件) であった。

以上より、助手席前突において腹部は傷害発生数では上位に位置しないものの、乗員救命の観点では決して軽視できないことがわかる。

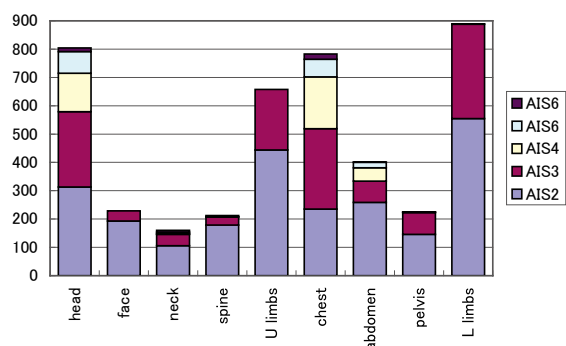


図-1 Distribution of injuries by AIS

3-2. 腹部傷害と乗員拘束装置の効果

次に乗員拘束装置の効果を確認するため、シートベルト有無による助手席前突傷害の変動について分析した。

なお前述の 5280 人中、ベルト非着用乗員 1185 人、着用乗員 3596 人 (拘束不明 499 人) であり、母数が異なるため AIS2 以上の各傷害発生数を対象乗員数で割り、一人当たりの各部位の傷害発生率で分析を行った。

その結果、ベルト着用乗員では全ての傷害について非着用乗員にくらべ傷害発生率の低減効果が見られ、特に頭部で 79% 減、顔面で 84% 減、頸部で 71% 減、骨盤で 76% 減、下肢で 65% 減と、頭頸部と下半身に大きな効果が見られた (図-2)。一方、腹部はベルト拘束による傷害低減率が 53% であり、頭頸部や下半身ほど顕著な効果は現れない。

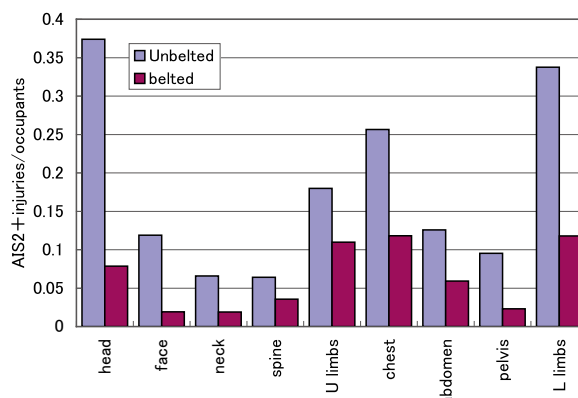


図-2 Incidence of AIS2+ Injuries by seatbelt

AIS3 (重症) 以上の発生数ではさらに顕著にこの傾向が現れ、頭部で 81% 減、顔面で 86% 減、頸部で 83% 減、骨盤で 81% 減、下肢で 73% 減のシートベルトによる傷害低減効果があるのに対し腹部は 43% の低減にとどまった (図-3)。

これらの結果は、助手席前突事故においてシートベルト、前突エアバッグ使用による腹部傷害の低減が、他の部位よりも難しいことを示唆している。

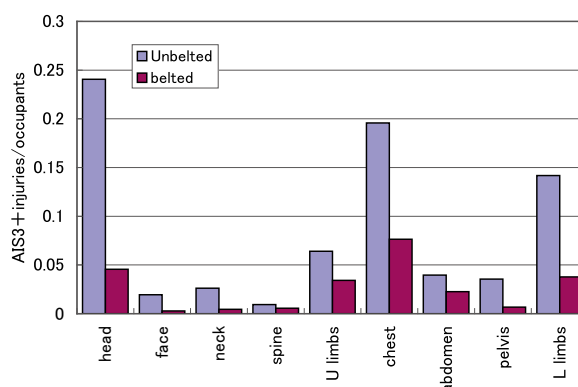


図-3 Incidence of AIS3+ Injuries by seatbelt

前突助手席乗員の各傷害の死亡事例を、事故後死亡に至るまでの時間で分析すると、頭部では一時間以内の死亡が 37%、胸部では 40% を占めており、多くは短時間で死亡していた (図-4, 図-5)。

一方、腹部傷害では一時間以内が 24%、4~6 時間以内が 19% と、事故後数時間後に死亡している例が多い (図-6)。

また死因となった傷害の平均 AIS を比較すると、頭部が 4.3、胸部が 4.4 であるのに対し、腹部は 3.8 と重症度が低い傾向にある。

以上より、腹部傷害は頭部や胸部と比較すると早期に適切な治療を行うことで救命の可能性が高まると推測される。

よって腹部傷害の要因と傾向、発生部位を明確にすることは、前突事故の死亡者を低減する上で重要であると考えられる。

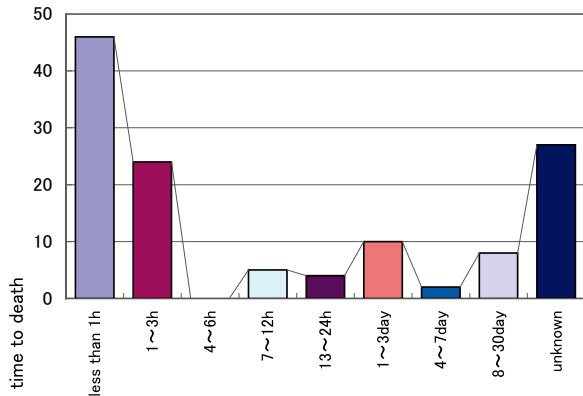


図-4 Distribution of survival time (The cause of death was head injuries)

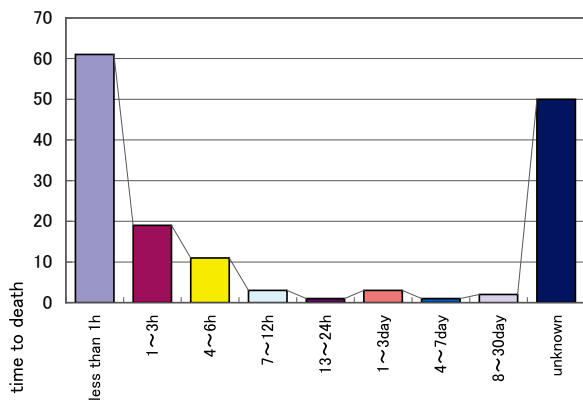


図-5 Distribution of survival time (The cause of death was chest injuries)

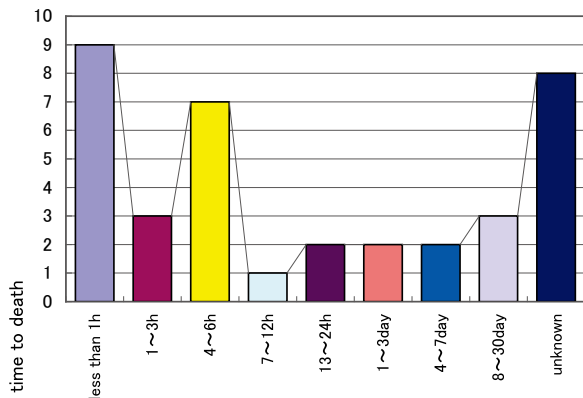


図-6 Distribution of survival time (The cause of death was abdominal injuries)

3-3. ベルト装着乗員の腹部傷害の受傷要因

3-1項で報告したベルト拘束乗員の腹部傷害213例について、その成傷器を調査した結果、シートベルトによる圧迫が6割以上を占めていた(図-7)。

ベルト以外の成傷器としてはドアトリムやコンソールなど、斜め前方や横に投げ出されたと思われる事例が含まれているが、本研究では前面衝突の傷害を分析するため、6割以上を占めるベルト傷害に絞ってその傾向を分析した。

この腹部ベルト傷害131例を損傷臓器別に分類すると、肝臓29例(21%)、脾臓40例(29%)、腸(小腸、大腸、腸間膜等)43例(31%)であり、肝臓、脾臓、腸の3臓器で腹部ベルト傷害の82%を占める(図-8)。

また、腹部ベルト傷害には腎臓が8%、横隔膜が6%含まれているが、腎臓は後腹膜臓器であること、横隔膜は胸部圧迫でも受傷しうるため、以上の検討対象からは除外し典型的なベルト腹部傷害として肝臓、脾臓、腸の3臓器112例の発生傾向を分析することとした。

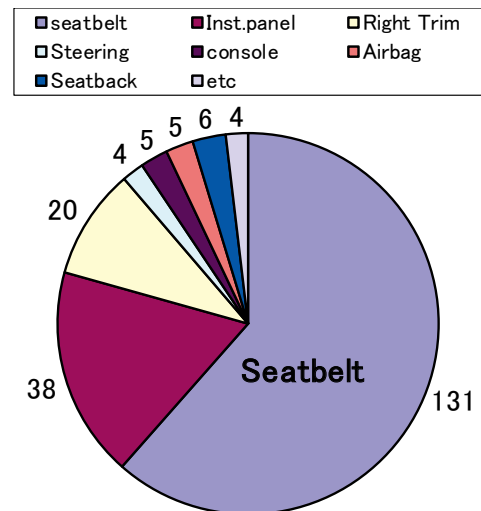


図-7 The source of abdomen AIS2+ Injuries (Belt used)

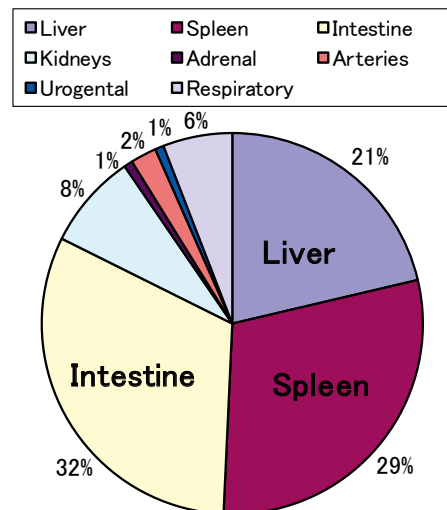


図-8 Distribution of abdomen AIS2+ Injury with seatbelt

3-4. 体型と腹部ベルト傷害

腹部傷害と肥満体型の関係を分析するため、3-3項の腹部ベルト傷害112件(体重不明の1件除く)について、肥満度の指標である Body Mass Index (以後 BMI と呼称)により分析を実施した。

BMIは体重を身長²で割ったもので、日本では25以上を肥満と定義しているため⁵⁾、上記111件についてBMI25未満60件、BMI25以上51件に分けて、腹部臓器の傷害傾向を調べた(表-1)。

表-1 Abdomen AIS2+ Injury with seatbelt

	BMI<25	25 ≤ BMI
Liver	20	9
Spleen	26	13
Intestine	14	29
Total	60	51
Ave.height (cm)	164.5	162
Ave.weight (kg)	57.6	80.2
Ave.EBV (km/h)	45.1	51.5
Ave.BMI	21.3	30.6

その結果、標準～痩せ型であるBMI25未満の乗員の傷害分布では、肝臓33%、脾臓44%、腸23%、(図-9)、肥満体型であるBMI25以上の乗員については、肝臓18%、脾臓25%、消化管57%となり(図-10)、肥満体型では腸の受傷率が增大することが分かった。

Average~Leanness (BMI<25)

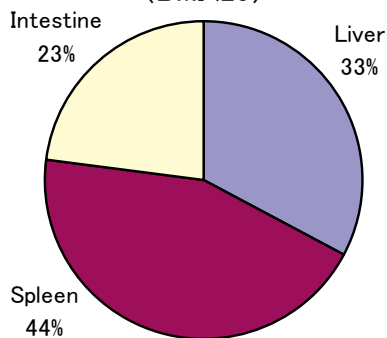


図-9 Abdomen AIS2+ Injury with seatbelt (BMI < 25)

Obesity (25 ≤ BMI)

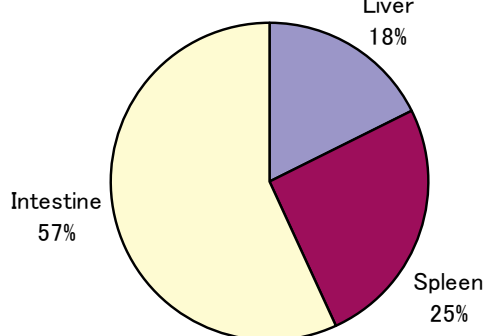


図-10 Abdomen AIS2+ Injury with seatbelt (25 ≤ BMI)

これを臓器の位置で見ると、肝臓と脾臓は上腹部に位置するが、消化管は主に下腹部に位置することがわかる(図-11)。

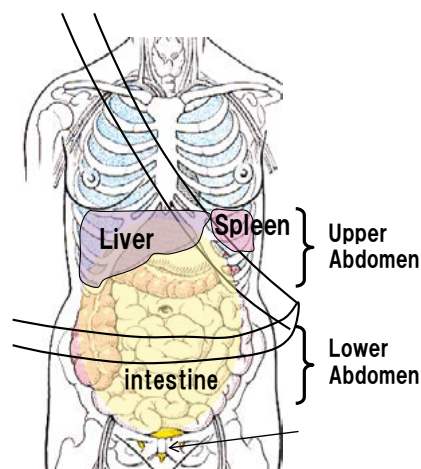


図-11 Abdominal Organs³⁾

よって本データを上腹部と下腹部に分けて分析すると、標準～痩せ型では上腹部が46件(77%)、下腹部が23件(23%)と上腹部に偏るのに対し(図-12)、肥満体型では上腹部が21件(43%)、下腹部が29件(57%)と下腹部で増大しており(図-13)、肥満化による下腹部の突出が有意に腹部傷害分布に影響を与えることが分かった(X2-test, P<0.0003)。

Average~Leanness (BMI<25)

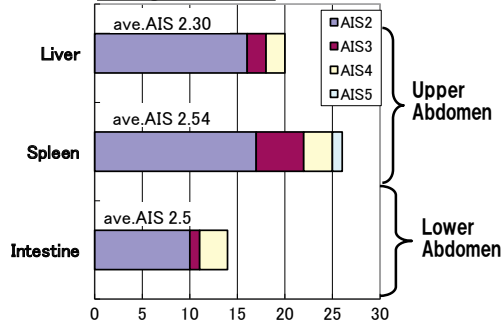


図-12 Abdomen AIS2+ Injury at Liver, Spleen, Intestine by seatbelt (BMI < 25)

Obesity (25 ≤ BMI)

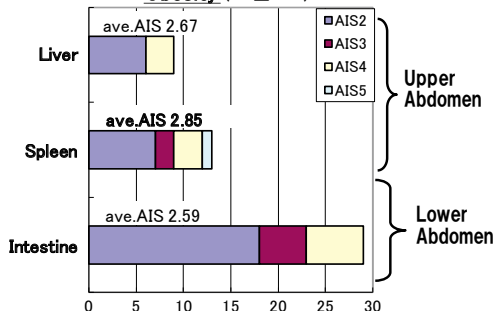


図-13 Abdomen AIS2+ Injury at Liver, Spleen, Intestine by seatbelt (25 ≤ BMI)

突き出した腹部にシートベルトがかかっているとシートベルトが腹部に食い込みやすくなると推測されることから、肥満体でも腹部下の腸骨に確実にシートベルトをかけることが望ましいと考えられる。

また、肥満体型の上腹部は傷害件数こそ減少しているものの、平均 AIS ではむしろ悪化しており、特に脾臓では平均 AIS が 2.85 に達する。

この結果から、肥満体形では標準～痩せ型の乗員とはシートベルトによる腹部への負荷の傾向が異なる可能性が推測される。

3-5. 人体モデルによる検証

肥満乗員の腹部傷害の傾向を検証するため、人体モデル THUMS をベースに、肥満体形の人体モデルを作成して CAE 解析による検証を行った。

ベースとなる AM50% の Thums は身長 175cm、体重 78kg (BMI25 相当) を想定してモデル化しているため、CIREN のレポート⁴⁾ (120lmiami) における 168cm、111kg の乗員の腹部 CT 断面の皮下脂肪の厚さを参考に Thums の体表をスケールリングし、事故調査での肥満と標準～痩せ型の BMI の平均値の差相当 (表-2) になるように体重 105kg、BMI34 の肥満 Thums を作成した。

表-2 weight ratio and seatbelt contact force ratio

	BMI25 Thums	BMI34 Thums
weight (kg)	78kg	105kg
Weight ratio	1.00	1.35
Shoulder belt force ratio	1.00	1.19
Lap belt force ratio	1.00	1.42

速度は肥満体型の腹部傷害データの平均 EBS (バリア換算速度) が 50km/h を超えていることから 56km/h (35mph) に設定した前突助手席スレッド試験の再現を実施した。

また、拘束装置は助手席前突エアバッグ展開、シートベルト装着条件で行い、正常使用時の傷害を評価するため、双方とも腸骨にかかる正規位置にベルトを設定して解析を実施した (図-14, 図-15)。

その結果、ベースの Thums と肥満 Thums の質量比は 1.35 倍であるのに対し、上腹部にかかる肩ベルトの接触力は 1.19 倍、下腹部にかかるラップベルトの接触力は 1.42 倍となり、ベルトにより生じる腹部への入力荷重は肥満体において下腹部により多く生じることが示唆された (表-2)。

さらに肩ベルトは肥満体形では腹部突出の影響から体側にずれやすく (図-16, 図-17) ずれた肩ベルトが脾臓を圧迫した場合に脾臓の AIS が悪化する可能性があることが分かった。

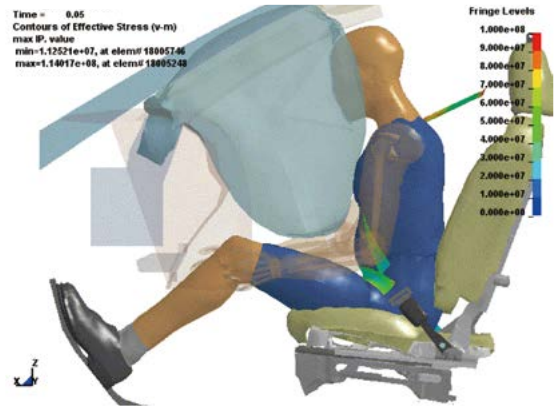


図-14 35mph .sled test (base model : BMI25)

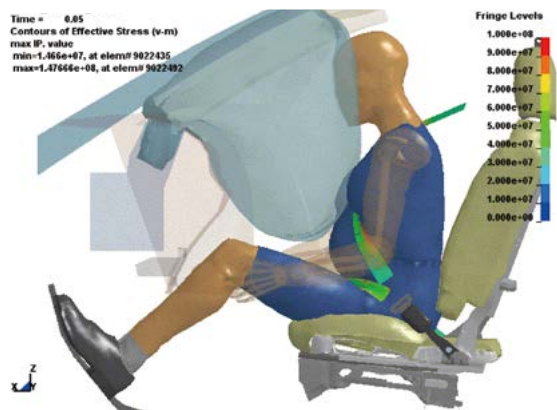


図-15 35mph .sled test (fat model : BMI34)

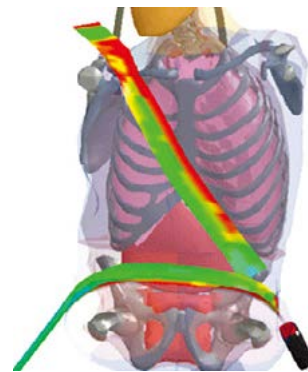


図-16 sled test seatbelt stress (base model : BMI25)

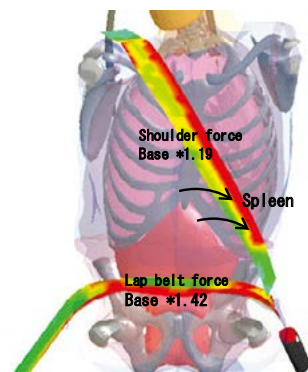


図-17 sled test seatbelt stress (fat model : BMI34)

また、肥満体において有意に増大するラップベルトの接触荷重を低減するデバイスとしてニーエアバッグ（KAB）の効果を同モデルで検証した。その結果、肩ベルト荷重には大きな変化が見られなかったが、ニーエアバッグを装備することでラップベルトは肥満体形でも標準体型と同等まで荷重を低減することができることがわかった（図-18、図-19）。

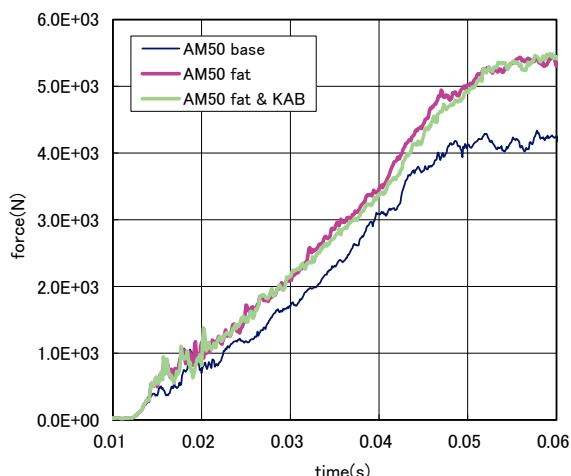


図-18 Shoulder belt contact force

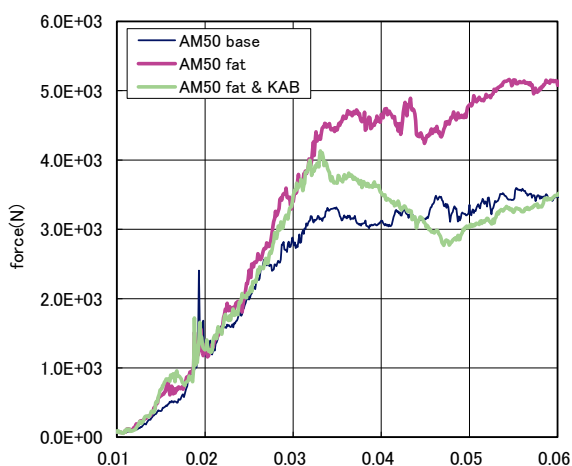


図-19 Lap belt contact forces

4. まとめ

NASS/CDSの助手席前突事故データの分析を行い、傷害部位と重症度、拘束装置の有無、損傷臓器分布をもとに医学・工学的知見を加えた。

- (1) 腹部傷害は頭部、胸部に次いで重度傷害の多い部位である。
- (2) 助手席拘束乗員の腹部傷害の6割以上はシートベルトで受けており、シートベルトによる腹部傷害を検討することは臨床医学上有用と思われる。
- (3) シートベルトによる傷害臓器は肝臓、脾臓、消化管が82%を占める。
- (4) 腹部ベルト傷害は体型に大きく依存し、痩せ型の乗員では上腹部の傷害が、肥満乗員については下腹部の傷害が有意に増大する傾向がある。
- (5) 人体モデルThumsの肥満モデル（BMI25から34にアップ）を作成し、ベルト入力荷重を比較したところ、下腹部へのベルト入力荷重が肥満体では有意に増大していることが分かった。
- (6) 肥満体の下腹部へのベルト入力荷重を低減する上でニーエアバッグが効果的であることが人体モデルの解析で示された。

参考文献

- 1) STAPP CAR CRASH JOURNAL, Vol.50, p.1-74, (2006)
- 2) NHTSA「Overview99」
- 3) 越智順三訳「分冊 解剖学アトラスⅡ」株式会社文光堂 p3
- 4) CIREN「1201miami」
- 5) 日本肥満学会「肥満研究」Vol.11 No.1 2005

著者



井田 等



浅岡道久



青木雅司



一杉正仁

組み込みソフトウェアによる LED 色度補正技術

杉山剛司^{*1}, 嶋崎知宏^{*1}, 田邊智之^{*1}, 堀 岳央^{*1}

LED Chromaticity Correction Technology Using Embedded Software

Takeshi Sugiyama^{*1}, Tomohiro Shimazaki^{*1}, Tomoyuki Tanabe^{*1}, Takao Hori^{*1}

1. はじめに

モビリティの多様化により、自動車の室内照明が持つ光の役割は「照らす」から「知らせる」、そして「演出する」へと変化しつつある。

この変化するニーズをとらえた製品として、新たな室内イルミユニットを企画・開発した。今回は組み込みソフトウェアを用いた LED 色度補正技術について紹介する。

2. 製品概要

新たなイルミユニットは組み込みソフトウェアを搭載することで LED 色度補正やフルカラー化など多様な用途に対応している (図-1)。

	短期 ~2020	中期 ~2025
自動運転化	LEVEL2【部分的】	LEVEL3【条件付】
用途	個人所有中心	多様化
車室内照明	ヒカリの役割 「照らす」 	「知らせる」 
	TG 内装照明 単色 	フルカラー+補正 
	LED点灯回路	マイコン+ソフトウェア

図-1 製品概要 (従来品と開発品)

LED は製造過程で明るさや色合い (以下、色度とする) のばらつきが発生する。

複数のイルミユニットを使用する際にこのばらつきがユーザーにとって目立つケースが懸念されるため、組み込みソフトウェアを使い、信号処理と演算処理で色度を補正する製品を開発した。

3. LED 色度補正技術の概要

3-1. 色度補正の原理

イルミユニットは、LED による色の 3 原色 (赤・青・緑) を混色する加法混色の技術により任意の色を再現する。

ユニット内部にはマイクロコンピュータを搭載しており、そこに LED の色度ばらつき情報を補正係数として記憶させ、入力情報と掛けあわせることで一定の色度範囲内に収まるようにしている (図-2)。

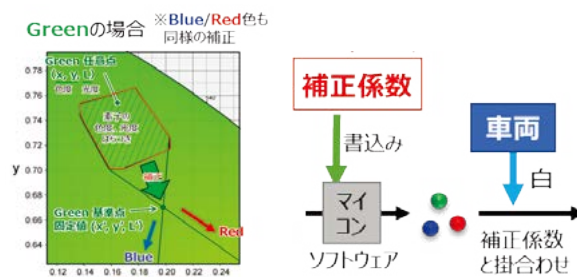


図-2 色度補正の原理イメージ

3-2. 開発課題

開発初期段階では、色度補正の原理を織り込んだソフトウェアを使用することで、理論的には LED 色度補正技術を実現できると思われた。

しかし、実際には LENS などの構成部品 (図-3) のばらつきを考慮すると、LED 色度補正の開発目標値を満足することはできなかった。

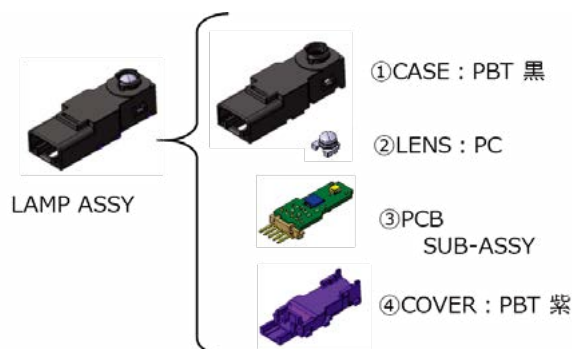


図-3 イルミユニット構造

*1 電子技術部 電子技術室

表-1 構成部品の色度ばらつき調査結果

ばらつき構成

構成部品	ばらつき内容	影響割合
① CASE	反射率ばらつき	2.8%
② LENS	透過率ばらつき	11.1%
③ PCB SUB-ASSY	組み込みソフトウェア	33.3%
	組み込みハードウェア	17.8%
④ COVER (受光機)	LED-光度, 位置ばらつき	22.2%
	単色測定ばらつき	12.8%
Total		100%

部品毎の色度ばらつき詳細を調査した結果(表-1), PCB SUB-ASSYによるばらつき影響割合が大きく, その中で組み込みソフトウェアによるばらつきが支配的であることが判明した。

3-3. 組み込みソフトウェア開発内容

今回の組み込みソフトウェアは, 図-4で示すように, アナログ(デジタル)信号をデジタル(アナログ)信号に変換する入出力モジュールと, デジタル信号にLEDの補正係数を掛け合わせる補正演算モジュールの2つで構成される。開発目標値を成立させるためには, この2つのモジュールのばらつきを最小限に抑える必要があった。



図-4 組み込みソフトウェアモジュール概要

開発当初は, マイコンの汎用機能を使いシンプルに1周期間隔で車両信号のパルス幅(ON)のみを取得する設計とした。しかし, この設計では1周期をカウントするために用いるクロックの(振動子の精度による)ずれ, 車両信号が非同期であることによる信号取得のずれが蓄積されることが明らかとなった(図-5)。

そこで, クロックのずれ, 非同期による信号取得ずれを改善するために, 車両信号をエッジ(信号立ち上がり/立ち下がり)の間隔で取得し, 車両信号の同期を確認できる設計に変更した(図-6)。

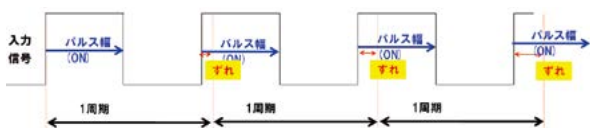


図-5 PWM取得方法(改善前)

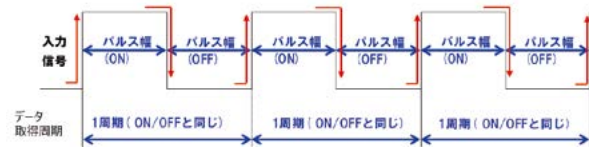


図-6 PWM取得方法(改善後)

この設計では, パルス幅(ON)とパルス幅(OFF)を双方取得することで, 1パルスあたりのON/OFF比を正しく演算できるようになり, ずれの蓄積が改善された。

また, 補正演算についても, 浮動小数点の計算による小数点以下の切り捨て値を再考することで演算精度を向上させた。

結果, 組み込みソフトウェアによるばらつきの影響割合を33.3%から20%に改善でき, LED色度補正の開発目標値を満足することができた。

4. 今後について

より多様な用途に対応するため, LINやCXPIなど車載通信技術を付加した製品開発を推進する。

5. おわりに

本技術の開発・量産化にあたり, 社内外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。

著者



杉山剛司



嶋崎知宏



田邊智之



堀岳央

ドアガラスラン 金型挿入時の挙動解析

土山明子^{*1}

Behavior Simulation of Door Glass Runs Being Inserted into Molds

Akiko Tsuchiyama^{*1}

1. はじめに

車両ドアのシール製品であるドアガラスランは、押出品を接続成形し、1本の製品となる(図-1)。

この接続工程での不良発生時には、過去の経験による対策の繰り返しで、生産準備のやり直しロスが発生していた。

そこで今回予測技術を確立するため、CAEによる金型挿入時の再現に取り組んだ事例を紹介する。

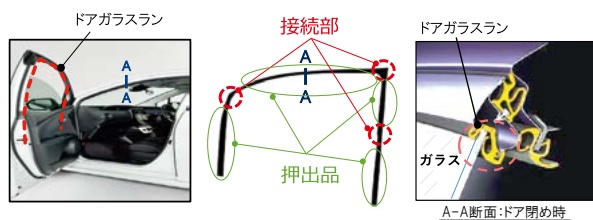


図-1 ドアガラスランの概要

2. 接続工程の成形不良の実態

接続工程は、金型に押出品を挿入後、型締めをし、樹脂を射出して成形と接続を同時に行う(図-2)。

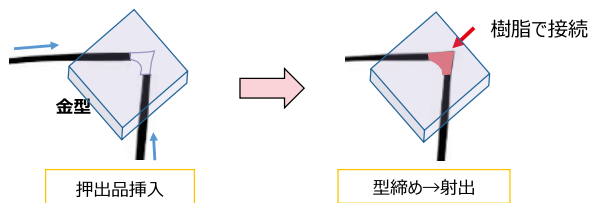


図-2 接続工程概略図

この時の不良には、①金型とのスキマが原因のタレコミ、②金型に挟まれる型カミ、などがある(図-3)。何れの不良も、挿入した押出品の挙動が不明であるため、対策に時間がかかっていた。

そこでCAEを活用し、挙動の再現を試みた。

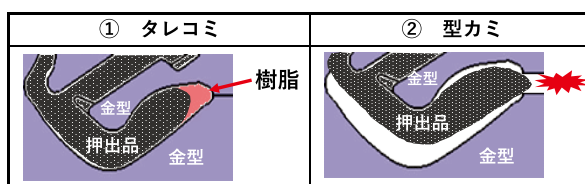


図-3 不良の一部概略図

3. CAEによる金型挿入の再現

近年CADの3Dモデル化の普及により、CAEも3Dデータを活用したフリーメッシュが増えてきている。

CAE用のモデル作成やメッシュ作成工数が大幅に削減されたが、大変形や計算速度を考慮すると、CAE用データの作成方法を検討することが重要である。

今回も3Dデータからフリーメッシュ作成可能であるが、1千万メッシュ以上になることが考えられ、計算時間・マシンスペックなどが課題となる。

またドアガラスランは大変複雑な構造であり、挿入時には刻々と接触部が変化していく。これは、計算の収束においても課題となる。

そのため、CAE実施時に考慮した内容の一部と結果について下記に示す。

3-1. 解析モデル

- 1) 金型モデル：シェル（表面のみ）の剛体
- 2) 製品モデル：1/2モデル（それぞれ計算）
対称モデルではないが、断面内でも硬く変形が小さい部位で分割
- 3) 製品部要素モデル：6面体1次要素

3-2. 解析条件

- 1) 幾何学的非線形
- 2) 接触部：挿入に沿って変化
- 3) 挿入条件：分割面に強制変位

*1 モールド事業統括部 金型技術室

- 4) 解析 STEP : ①挿入を細分化
 ②パーツ毎に型締め
 (リスタート機能使用)

3-3. 解析結果

金型への挿入から型締めまで実施し、押出品挿入時の挙動を再現した状態を図-4に示す。

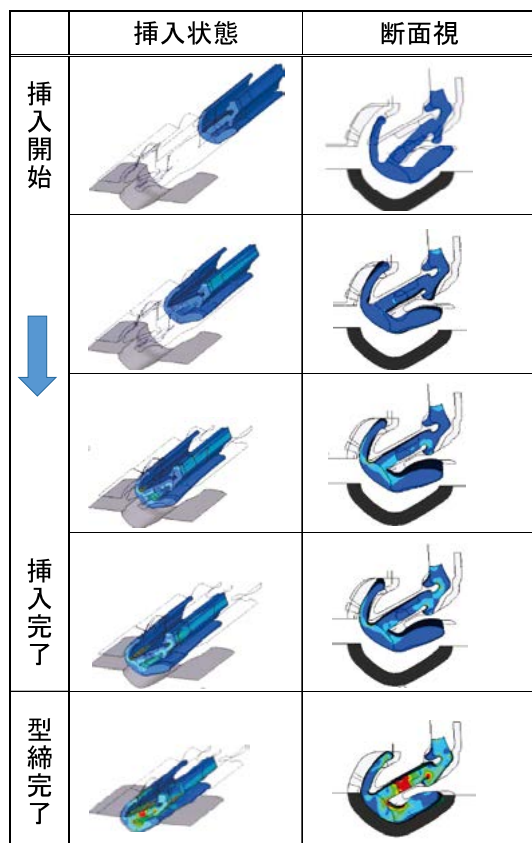


図-4 CAEによる金型挿入時の再現結果

4. 精度確認の取り組み

CAEの確からしさ、精度向上につなげるために再現治具を作製し、CAEの結果と比較した。

4-1. 再現治具の作製

実際の接続金型から同じ動作を保つよう一部取り出し、押出品の型内先端を可視化できるように作製した(図-5)。

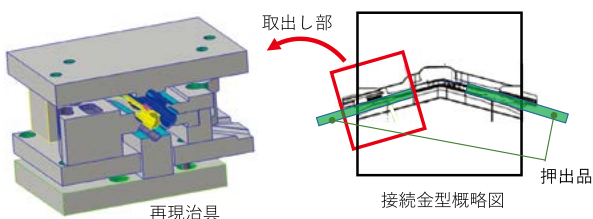


図-5 再現治具の作製

4-2. CAEと再現治具の比較

4-2-1. CAE初期結果との比較

初期の結果ではタレコミ・型カミ発生部のスキマ量が小さく、解析精度が低かった(図-6)。

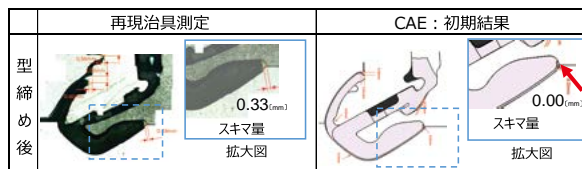


図-6 CAE初期結果と再現治具の比較

4-2-2. CAE条件変更後との比較

再現治具の作動状態をよく観察し、CAE側も条件を合わせることで、スキマ量の解析精度を10%以内にすることができた(図-7)。

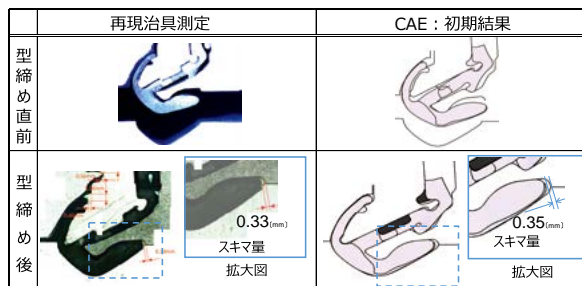


図-7 CAE条件変形後と再現治具の比較

5. おわりに

CAE活用と再現治具により、接続型の押出品挙動状態を再現することができた。今回の取り組みにおいて、金型の作動状態により押出品の挙動が変化することも分かり、生産準備工数の低減に効果が得られ始めている。

今後CAEにおいては、更なる計算時間の短縮や、検証検討数を増やすことが必要と考える。

最後に、本技術を確認させるにあたり、ご協力いただいた方々へ厚く謝意を表します。

著者



土山明子

AI 検査システムの開発

豊田 竜也^{*1}

Development of AI Inspection System

Tatsuya Toyoda^{*1}

1. はじめに

近年、少子高齢化の影響を受けて働き手が少なくなる中、製造業では工場の自動化に対する取り組みが盛んに行われている。中でも、人の目視検査に変わる検査機の需要が高まっており、社内でも内製開発に取り組んでいる。

また、技術の進歩に伴い検査機に AI (Deep Learning) を適用するケースが増えつつある。これは、従来の画像処理では困難であった検査が、AI を用いることで解決できる可能性があるためである。

本稿では、内製開発した AI 検査システムとその適用事例について紹介する。

2. 対象製品

豊田合成では、燃料タンクからエンジンに燃料を移送する部品として、燃料チューブ (図-1) を生産している。本製品は成型後にマーク、テープ、キャップを組み付け (図-2)、目視検査を経て出荷している。今回、人保証からハード保証 (検査の機械化) を目的に検査機の導入を図る。

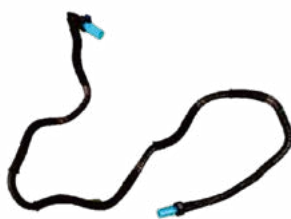


図-1 燃料チューブ



図-2 組付け部品

3. 検査機の導入課題

先ず初めに、一般的な画像処理による検査機の導入を検討した。しかし、製品形状やセットのばらつきによって製品の位置ズレや見え方の変化が大きく (図-3)、良品を不良品と判断する誤検出が多いことから、目標とする検出精度を得ることができなかった。

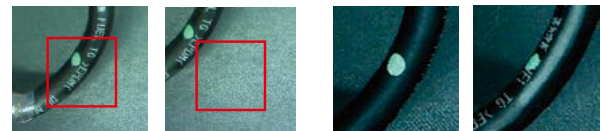


図-3 誤判定要因
(左:位置ズレ, 右:見え方変化)

検出精度を得るには製品の位置決め治具が必要であったが、製品の脱着時間や段替え時間、治具費、保管スペースに問題があり、検査の治具レス化が課題となっていた。

4. 対策方針

検査の治具レス化には上記ばらつきの方策が必要だが、一般的な画像処理での対策は困難である。そこで、近年画像認識の分野で検出精度の高い CNN (Convolutional Neural Network) を用いた検査システムの開発を試みた。CNN では、画像認識に重要でない対象物の位置や画像の見え方の変化などの情報を上手く取り除くことができるため、本課題に適用できると判断したためである。

図-4 に CNN を用いた画像検査の導入ステップを示す。ステップ1. モデルの作成では、良品と不良品の画像を AI モデルに学習させ、学習済モデルを作成する。本検討では AI モデルとして VGG16¹⁾ を利用した。ステップ2. 評価では、評価用の画像データを学習済モデルに入力し、その予測結果と実際の結果を比較評価する。そして、評価結果に問題がなければ、ステップ3. 導入にて学習済モデルを検査機として運用する。

*1 マシンエンジニアリング部 設備開発室

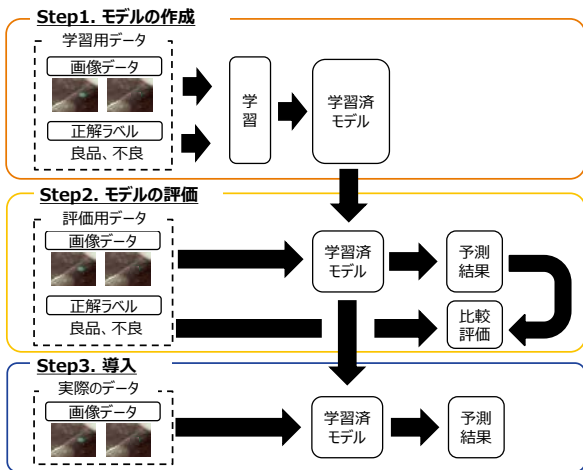


図-4 CNN を用いた検査機の導入ステップ

5. 対策実施

5-1. モデルの作成

CNN を用いた画像検査では大量の画像データが必要不可欠である。そのため、良品と不良品のサンプルを作成し、撮影することで画像データを集めた。また、撮影画像の中から検査対象（マーク、テープ、キャップ）の映る部位を切り取り、検査対象毎に AI モデルを作成する方法（図-5）を採用した。これにより、様々な視点の画像を AI モデルが学習することで汎化性能（未知の画像データへの対応力）の向上を狙っている。

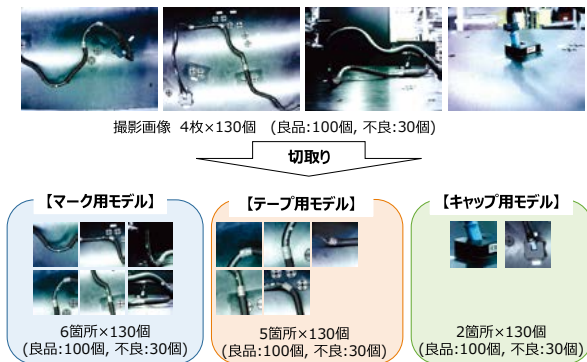


図-5 AI モデル作成方法

更に、今回モデル学習時にはデータ拡張（Data Augmentation）手法を取り入れた。本手法は、学習画像を平行移動や回転、反転させる（図-6）ことで、従来手法で課題となっていた位置ズレや見え方に変化のある画像を学習することができ、検出精度の向上が期待されるためである。



図-6 データ拡張（Date Augmentation）

5-2. モデルの評価

作成した各検査項目の学習済モデルに対する評価結果を表-1に示す。全モデルにて高い検出精度（精度 100%）が確認された。

表-1 各モデルの評価結果

【マーク用モデル】				【テープ用モデル】			
良品：1020 枚	予測			良品：850 枚	予測		
不良：180 枚	良品	不良		不良：150 枚	良品	不良	
実際	良品	1020	0	実際	良品	850	0
	不良	0	180		不良	0	150

【キャップ用モデル】			
良品：340 枚	予測		
不良：60 枚	良品	不良	
実際	良品	340	0
	不良	0	60

また、各モデルでの判定の確からしさを確認するため、Grad-CAM²⁾ による画像解析を行った。Grad-CAM は、学習済モデルが画像のどの部位を見て予測結果を出力したかを見える化する手法であり、赤色に近づくほど予測結果の影響度が強い部位を示している。本手法にて解析した結果を図-7に示す。各学習済モデルにて検査対象の部位を赤色で示しており、正しい部位で良品と予測していることが確認できた。

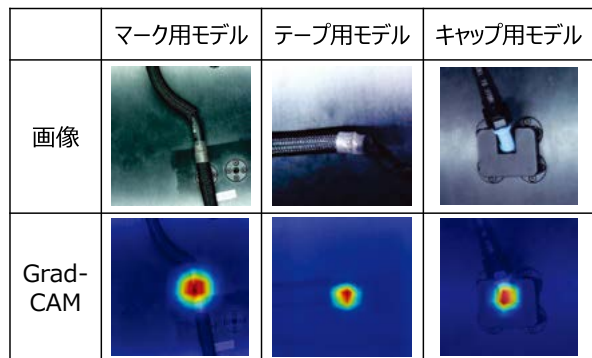


図-7 Grad-CAM による解析結果

5-3. 導入

今回作成した学習済モデルを検査機に導入するにあたって、過去に豊田合成が内製開発した欠品検査ソフト TG-Vision への組込みを行った。TG-Vision は世界各国での導入実績（約 800 台）を持つことから、今回開発した AI 検査システムを組込むことで開発 L/T を短縮し、早期横展に繋げることを目指した。

現在は、開発した AI 検査システムを量産運用しながら精度検証しており、'21/6 より不良検出率 100% を継続中である。

6. まとめ

本稿では、開発した AI 検査システムとその適用事例について紹介した。また、検査に AI 技術を用いることで高い検査精度（精度 100%）が得られることを示した。

今後は、開発した AI 検査システムを横展すると同時に、AI 技術の普及と AI 人材の育成に取り組んでいく。

参考文献

- 1) Karen Simonyan and Andrew Zisserman, Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition, International Conference on Learning Representations (ICLR2015), (2015)
- 2) Ramprasaath R. Selvaraju et al., Grad-CAM: Visual Explanations from Deep Networks via Gradient-based Localization, Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV 2017), P618-626, (2017)

著 者



豊田竜也

ガラスラン生産準備リードタイム短縮のための CAE 解析の活用

柳瀬圭佑^{*1}, 花田雅輝^{*2}

Optimization of Extrusion Production Preparation Using CAE

Keisuke Yanase^{*1}, Masateru Hanada^{*2}

1. はじめに

豊田合成のカーボンニュートラルに向けた取り組みとして CO₂ 排出量を 2025 年に 25% (2013 年比) 低減する目標を立てている。工場内 CO₂ 排出量削減に向けた取り組みの一つとして生産準備段階のロス、屑の低減が挙げられる。

本稿はウェザーストリップ主要製品であるガラスランの、生産準備段階のロス低減の取り組みについて紹介する。

2. 製品概要

2-1. ガラスランとは

ガラスランはガラスの摺動部に装着される。主な性能はドアとドアガラスの間からの水・音・埃の侵入防止、スムーズにドアガラスを昇降させるガイド機能、走行時やドア開閉時のガラスの保持（異音防止）である（図-1）。

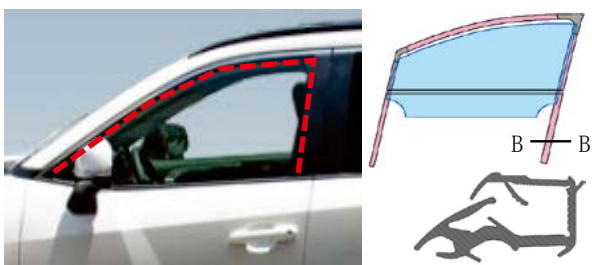


図-1 ガラスラン

2-2. ガラスランの製造方法

ガラスランの製造方法は押出機に取り付けた口金（ダイ）から複数の樹脂材料を狙った形状に押出する。その後、冷却することで形を固め、引取機により速度を一定に保ちながら引取り、最終的に裁断機にて適切な長さに裁断される（図-2）。

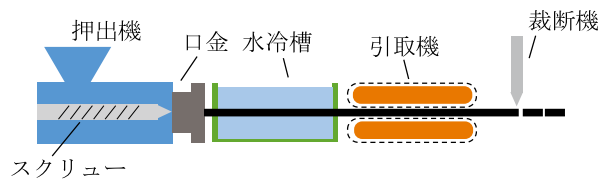


図-2 樹脂押出工程の生産プロセス

3. 取り組み内容

3-1. 課題

生産準備のロス低減として取り組む内容は口金設計における CAE 解析の活用である。

目的としては、従来の経験による形状・レベル UP を行ってきた生産準備プロセスを CAE 解析の活用により短縮するものである（図-3）。

CAE 解析の活用にあたり、異形で複雑な形状のため CAE 解析結果の妥当性を確認する必要がある。

実際の樹脂の流速と CAE 解析した流速が一致しているのか下記押出断面にて各部位ごとに流速調査を行った。

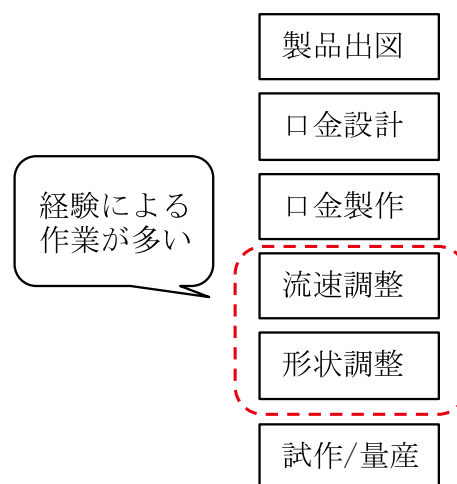


図-3 生産準備プロセス

*1 WS 生産技術部 WS 生技開発室

*2 実験部 予測技術室

CAE 解析の結果と実際の流速の測定結果が最大誤差 67.9% と大きく乖離していることが判明した。

図-5 の①～⑧の部位ごとの流速が CAE と実際の流速との差が大きいと CAE での運用は難しいため、その差をなくすことは急務となる。

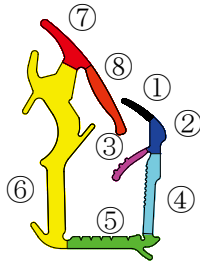


図-4 断面切り分け図

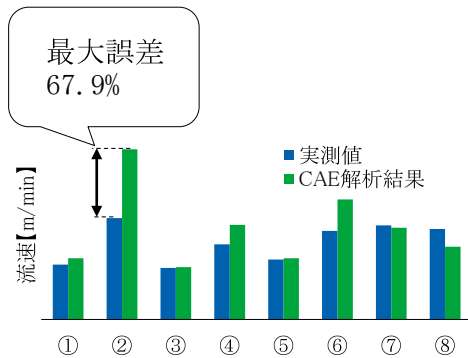


図-5 CAE 解析結果と実測の乖離

3-2. 壁面抵抗速度の導入

非ニュートン流体に対して材料のせん断応力を τ 、押出速度を V 、壁面抵抗速度を V_{wall} としたときの関係式は式-1 のようになる。

$$\tau = -k \cdot (V - V_{wall})^e \dots (\text{式-1}) \quad k, e: \text{定数}$$

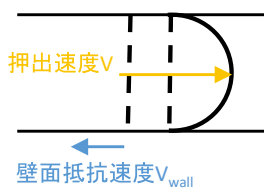


図-6 押出口金内の材料の流れ

式-1 を対数の関係とし、定数 e, k を求めることで τ と $(V - V_{wall})$ の関係式を構築することができる。

図-5 では壁面近傍の材料流速 (V_{wall}) を無視して解析を行った。

今回は、口金全体の壁面近傍の材料流速を考慮した解析を行った (図-7)。

すると、最大誤差を 14.9% まで下げることができた。

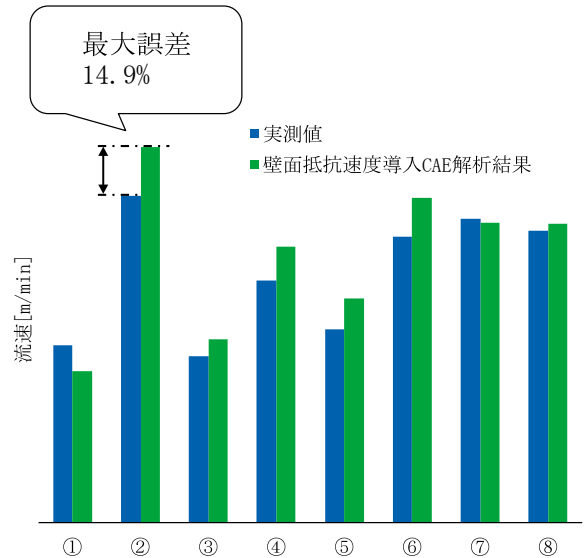


図-7 壁面抵抗速度導入 CAE 解析結果と実測

4. まとめ

異形で複雑な形状の CAE 解析を行うことができた。

流動解析の妥当性を上げることにより今後 CAE を活用した生産準備を行っていく。

グローバル含めた他の車種へ横展する予定である。

参考文献

- 1) 西澤仁：加工性を左右する未加硫ゴムの流動挙動日本ゴム協会誌第 85 巻 第 11 号 P361-367 (2012)

著者



柳瀬圭佑



花田雅輝

樹脂部品切削における切屑飛散防止技術

岡田 貴之^{*1}

Technology for the Prevention of Chip Scattering During the Cutting of Resin Parts

Takayuki Okada^{*1}

1. はじめに

近年の自動車では、燃費向上を目的として様々な部品を金属から樹脂へ置き換えて軽量化が進んでいる。樹脂成型において必要となる金型が一点一様で必要となるため、製品の生産終了にて廃棄となる場合が多い。製品全長のみ変更する製品設計とすることで樹脂部品を連結化し金型面数を低減できる。

樹脂部品を熱で溶融させ押し付けることで溶着しているが、溶着時に発生するビードと押し付けに使用するリップは、突起となり製品性能へ影響してしまうため、切削除去する必要がある(図-1)。

切削部(拡大)

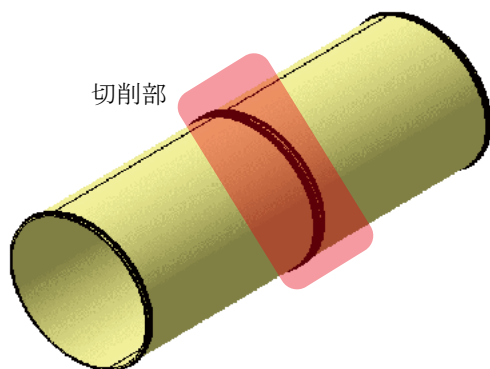
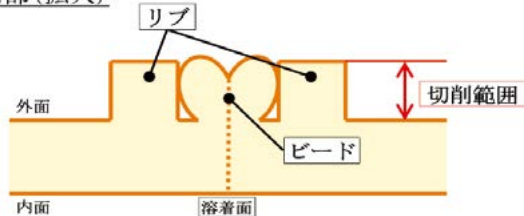


図-1 溶着後の部品と切削部

2. 樹脂部品切削に対する技術課題

2-1. 切削工程に要求される品質

切削工程では、溶着部のビードとリップを切削する(図-1)。切削後の加工面に切屑等の異物や削り残り・削り過ぎによる段差があると相手部品と干渉が発生する(図-2)。そのため本工程では、加工面への切屑等の異物付着を防止しながら段差のない滑らかな面に加工する必要がある。

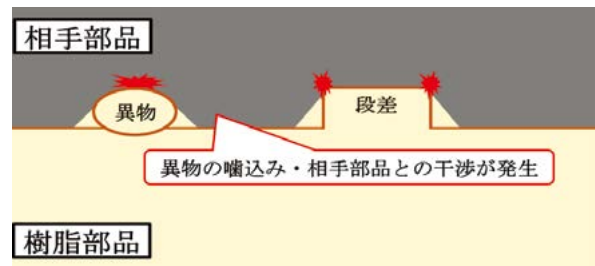


図-2 段差・異物の影響

2-2. 切削加工の課題

一般的な金属加工では切削速度や送り速度といった切削条件で切屑のサイズと排出方向をコントロールし、切屑の回収を容易にすることができると。しかし、今回の樹脂部品は真円でなく素材が柔らかいことから加工面にうねりが発生し、切削刃の押し付け力や切込み量の変動する。そのため、切屑のサイズや排出方向がコントロールできず四方に飛散してしまい回収が困難になる。また、飛散した切屑は加工中の摩擦により帯電し加工面や切削刃に付着して品質に影響を及ぼすことがあるため、切屑の飛散を防止し回収することが大きな課題である。

*1 FCV 部品生技開発部 FCV 生技開発室

3. 切屑回収方法の確立

先述(2-2項)したように、切屑は四方に飛散するため切削刃を覆うようにカバーを設け、集塵機と接続することで飛散防止を図った(図-3)。しかし、製品を回転させながら切削すること、切削刃の出代を確保することから、カバーはワークと密着できない。それにより大きな隙間が生じてしまい切屑が飛散してしまう。完全に切屑を回収するためにはこの隙間からの飛散を防止する必要がある。

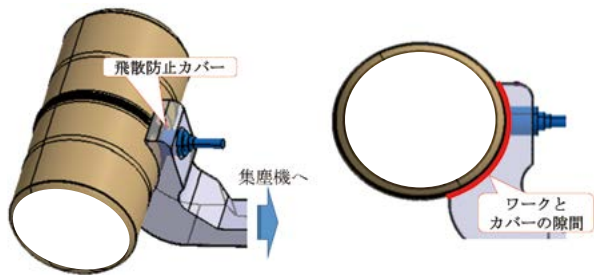


図-3 飛散防止カバー

3-1. 気流の必要風速

集塵機をONした時の隙間にはカバーの内側に向かって気流が生じる。この気流が切屑へ与える流体抗力 F_D と切屑の飛散方向に働く力(飛散力) F_g の関係が、 $F_D > F_g$ を満たすことができれば、気流で切屑をカバー内に引き込み回収が可能になる(図-4)。流体抗力 F_D については一般的な流体力学の式により算出した(式-1)。この式から、流体抗力 F_D は気流の風速 V_1 と切屑の飛散速度 V_0 に比例することから、 V_1 を増加させることで F_D も増加する。

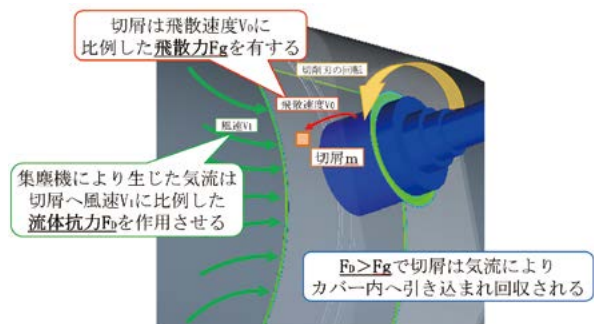


図-4 切屑へ作用する力の関係

$$F_D = \frac{C_D \times A \times \rho \times (V_1 - V_0)^2}{2}$$

C_D : 抗力係数
 ρ : 空気密度
 A : 切屑投影面積
 V_0 : 飛散速度
 V_1 : 気流の風速

式-1

切屑質量 m と飛散速度 V_0 によって切屑の飛散力 F_g を算出し、気流の風速 V_1 と流体抗力 F_D の関係を表すグラフへ F_g の線を引き、 $F_D > F_g$ の関係になる必要風速 V_1 を求めることができる(図-5)。

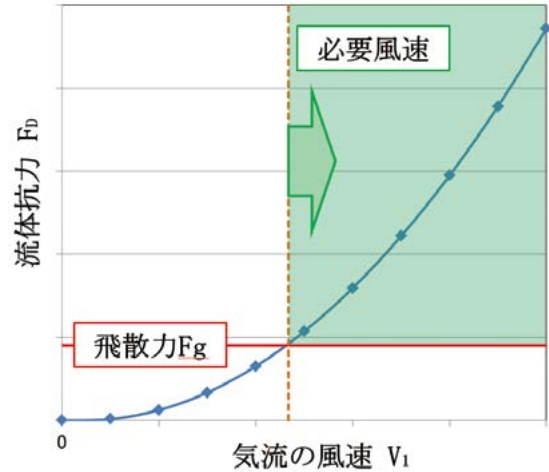


図-5 気流の必要風速算出

3-2. 隙間の最適化による必要風速の確保

切削するワークは真円でないため、カバーとワークの隙間が変動する。そこで隙間が変動した場合の風速について気流解析(図-6)を実施し、必要風速を確保してなおかつ風速が最大になるように隙間の変動範囲を設定した(図-7)。

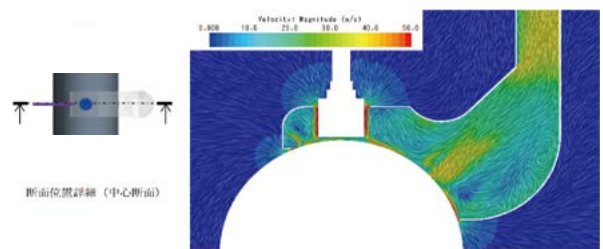


図-6 気流解析による隙間の風速

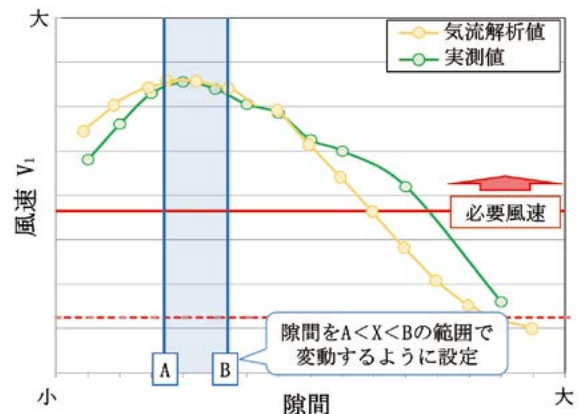


図-7 隙間と風速の関係

3-3. 結果

切屑を回収するための必要風速が確保できる隙間の変動範囲を設定することで、気流により切屑の飛散を防止することができた。生産開始から約8000本の加工に対し切屑の飛散ゼロを達成し現在も継続中である。

4. まとめ・謝辞

切屑質量や飛散速度、気流の風速といった限られたパラメータの調整のみで切屑の飛散防止が可能な技術の確立ができた。今後の樹脂部品の切削へ反映していく。

最後に本件の設備開発・立ち上げにあたり、社内外の多くの関係者の皆様からのご支援とご協力を賜り、厚く御礼を申し上げます。

著 者



岡田貴之

深紫外 LED による新型コロナウイルス (SARS-CoV-2) 不活化効果

和田 聡^{*1}

Novel Coronavirus (SARS-CoV-2) Inactivation with Deep Ultraviolet (UV-C) LEDs

Satoshi Wada^{*1}

1. はじめに

全世界的な新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) の広がりも影響し、ウイルスや細菌を不活化する深紫外 (UVC) 光源を用いた装置のニーズが高まっている。UVC 光を直接照射することで不活化効果を創出できるため、表面上、水中、空気中など適用範囲が非常に広い。

本稿では、新型コロナウイルスに対する不活化に必要な光照射エネルギー (積算線量) を実験的に導出した結果を報告する。

2. UV 光による不活化試験

2-1. 不活化のメカニズム

不活化作用は、生物中の核酸 (DNA, RNA) の紫外線吸収により発現します。核酸の光吸収のしやすさ (吸光度) は光の波長によって変化し、280nm 以下の UVC 領域で高まる (図-1)。ウイルス、細菌内部の核酸が紫外線吸収し、DNA や RNA が損傷することにより、不活化すると考えられている (図-2)。

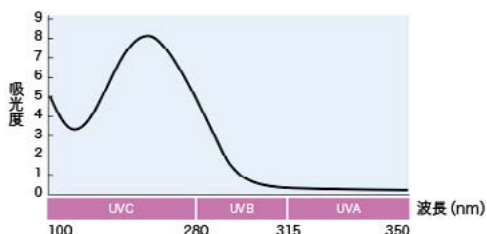


図-1 核酸 (DNA, RNA) の分光吸光度



図-2 核酸 (DNA, RNA) の損傷イメージ図

2-2. 不活化能力の算出

紫外線の不活化は、菌の種類、温度や湿度などの環境条件によって変わるが、積算線量 (mJ/cm^2) は、放射照度 E と照射時間 t の積 (式-1) によってあらわされる。

$$\begin{aligned} \text{積算線量 (mJ/cm}^2\text{)} \\ = \text{放射照度 } E \text{ (mW/cm}^2\text{)} \times \text{照射時間 } t \text{ (秒)} \end{aligned} \quad \text{(式-1)}$$

ウイルスの生存率 S (式-2)、不活化率を (式-3) であらわす。

$$S = P/P_0 = \exp(-Et/D) \quad \text{(式-2)}$$

$$1 - S = 1 - P/P_0 = \exp(-Et/D) \quad \text{(式-3)}$$

ここで、 P_0 と P は、光照射前後のウイルスの数、 Et が積算線量、 D が不活化速度係数である。

2-3. 試験装置

本試験で使用した試験形態を図-3、UVC モジュールを図-4に示す。本モジュールに搭載される LED は、350mA 出力 56mW、配光角は 35° 波長 275nm である。

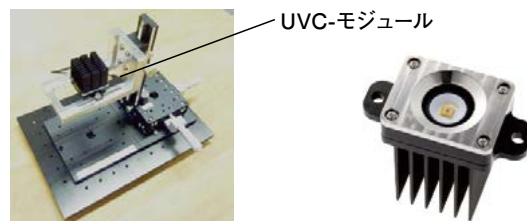


図-3 試験形態

図-4 UVC モジュール

2-4. 試験方法

新型コロナウイルス (SARS-CoV-2) は国立感染症研究所 (NIID) から提供された SARS-CoV-2 JPN/TY/WK-521 を使用した。ウイルス希釈液

*1 ライフソリューション第1技術部製品技術室

に UVC 光を一定時間照射し、ウイルス力価をプラーク法を使用して測定した。試験は以下の手順で実施した。

- ①試験装置を設置
- ②ウイルス希釈液 750 μ L (1.8 \times 10⁵ pfu/ml) を 24 ウェルプレート (Greiner CELLSTAR) の 1 ウェルへ配置
- ③UVC をウェル内の希釈液へ照射
- ④照射後の希釈液をプラーク法で評価
- ⑤試験前と後で比較し、不活性化を評価

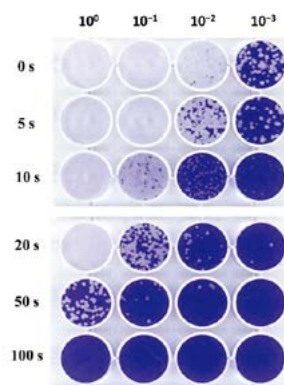


図-6 シャーレ写真

3. 試験結果

3-1. 試験水準

試験水準を表-1に示す。LEDの定格電流350mAでの不活化時間と、不活化定数Dを算出するための試験を実施した。

表-1 試験水準

	波長 [nm]	電流値 [mA]	照射距離 [mm]	放射照度 [mW cm ⁻²]
350mA 定格試験	275	350	50	2.58
不活化定数算出試験	275	30	100	0.05

3-2. 定格350mAでの試験結果

図-5に評価結果のシャーレ写真を示す。横軸は希釈倍率、縦軸は照射時間を表している。白色がウイルスが残存、青色が不活化していることを示している。5秒後では等倍希釈でも不活化されていることが分かった。これより、5秒以内に99.999%以上の不活化を確認した。

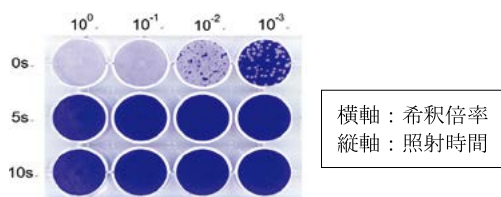


図-5 定格350mAでのシャーレ写真

3-3. 不活化定数Dの算出

照明時間と結果の写真を図-6、試験結果から得られた横軸積算線量と縦軸不活化率のグラフを図-7に示す。

本結果より275nmのLEDにおいて、不活化率99.9% (積算線量5.7mJ cm⁻²) 及び99.999% (積算線量9.4mJ cm⁻²) に必要な照射時間は2.2秒と3.7秒と推定する。SARS-CoV-2の不活化速度定数Dは式-2へのフィッティングにより、D=0.819と推定した。

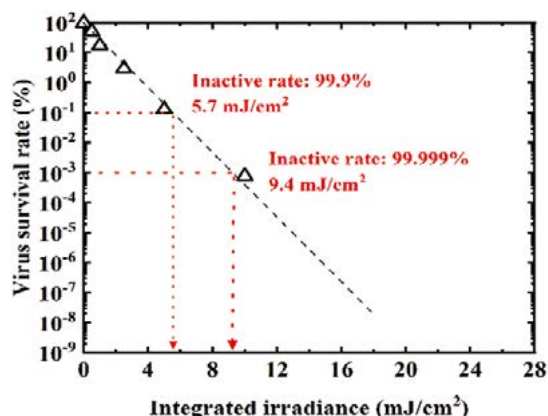


図-7 不活化率グラフ

4. まとめ

UVC-LEDを用いた新型コロナウイルス(SARS-CoV-2)の不活化検証に取り組み、5秒以内に99.999%以上の不活化を確認し、不活化に必要な照射線量も導出した。様々なウイルス、菌で基礎実験を実施し、豊田合成製品の効果検証を継続して推進する。

今後は、表面上、水中、空気中などに存在するウイルスや菌を効率よく不活化する製品開発に応用することを検討していく。

著者



和田 聡

新構造運転席エアバッグ開発（北米仕向け斜め衝突対応技術）

野々山裕貴^{*1}

Driver Airbag with a New Structure (Oblique Collision Technology for North America)

Yuki Nonoyama^{*1}

1. はじめに

エアバッグモジュールに求められる乗員拘束性能は、各国の衝突安全法規やアセスメント（NCAPに代表される第三者評価）に基づき年々更新されている。近年では、実際の事故事例に基づき、衝突速度アップ、衝突台車の重量増加など各国の要求性能は厳格化されている。

中でも北米の法規・アセスメントは最も厳しく、シートベルト非着用を想定した衝突形態を有する。また、従来より設定がある前面からの正面衝突・オフセット衝突に加え、実際に発生している事故形態の調査結果から、新たにオブリーク衝突（斜め衝突）を追加する検討をしているとNHTSA^{*1}が公表した（図-1）。

従来の衝突形態は、車両が壁面に衝突後、乗員は車両前方方向に移動する。今回追加されるオブリーク衝突形態では、台車が車両に衝突後、乗員は斜め方向に移動する（図-1、図-2）。

また、衝突試験時に使用するダミーも更新され、より人体に忠実な形で傷害値の測定が可能となり、頭部の回転に基づく脳の傷害値（BrIC^{*2}）も指標として追加された（図-3）。

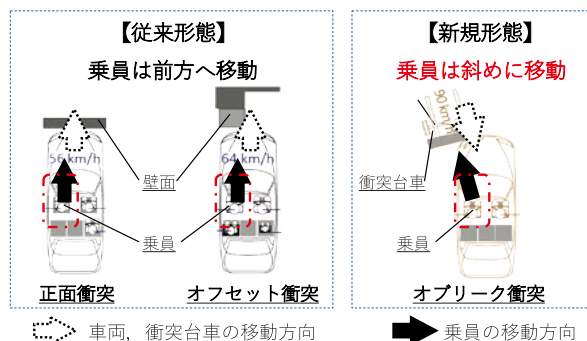


図-1 北米 NCAP の衝突形態

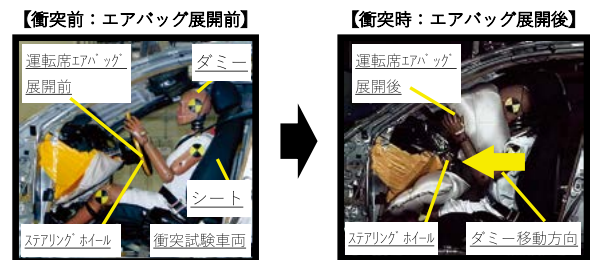


図-1の赤線部の衝突前後の様子を示す

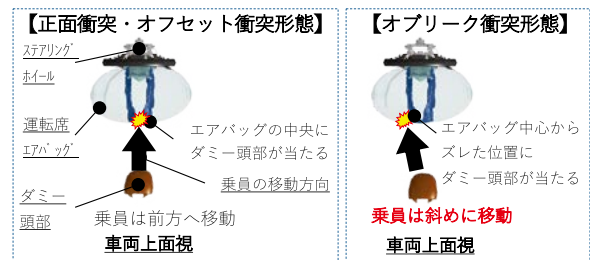


図-2 衝突試験時の車室内の様子



BrICとは、脳の傷害値^{*2}で、ジャイロセンサーで、ダミーの頭部にかかる回転（角速度 $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ ）を計測し算出。

図-3 衝突用ダミー（THOR）と脳傷害（BrIC）

今回は、新規追加されたオブリーク衝突形態に対応できる新規構造運転席エアバッグ（以下、

*1 NHTSA: National Highway Traffic Safety Administration/自動車や運転者の安全を監視する米国運輸省の部局

*2 BrIC: Brain Injury Criteria/頭部脳傷害の指標

*1 セーフティシステム第2技術部 セーフティシステム第5技術室

開発品）を開発したため、その概要について紹介する。

2. 製品の概要

開発品は、従来の衝突形態の拘束性能を維持しつつ、衝突後に斜めに移動する乗員の頭部の回転を抑制することを目的として開発した（図-5）。

3. 製品の特長

3-1. エアバッグ構造

従来品は、エアバッグの拘束面の形状が単一面となっている（図-4）。

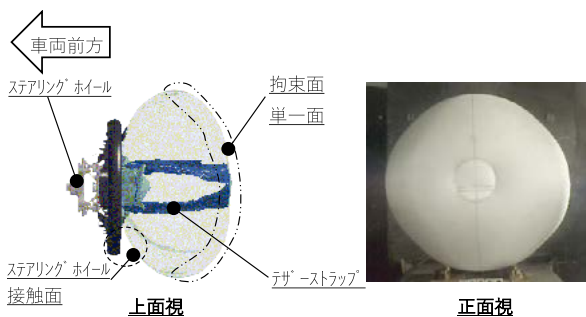
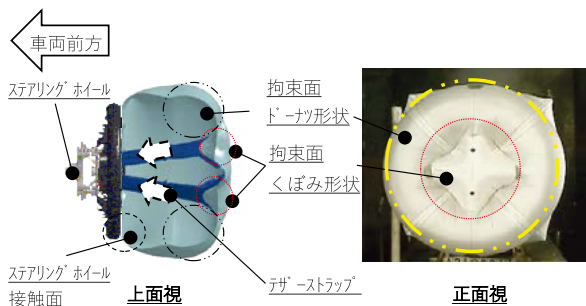


図-4 従来品構造

それに対し開発品は、拘束面がドーナツ形状で、その内側にくぼみ形状を設けている。このくぼみ形状で、斜め方向へ移動する乗員の頭部を挟み込み、頭部の回転を最小限に受け止めることを可能にした（図-5, 図-6）。

くぼみ形状は、テザーストラップで拘束面を強く車両前方へ引き込むことでチューニングしており、くぼみの位置・形状はテザーストラップで簡単にチューニングが可能な設定とした。

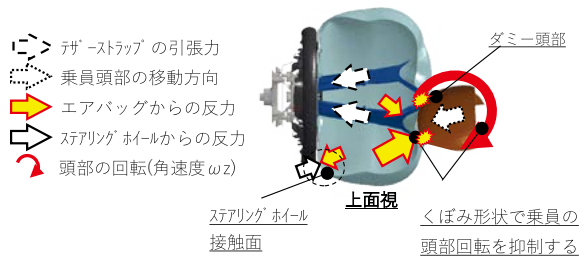
また開発品は、乗員が斜めに侵入してきてもエアバッグ自体が倒れこまないように自立性を持たせるため、ステアリングホイールとの接触面にしっかりと接地する形状とした（図-5, 図-6）。



テザーストラップを車両前方へ引き込むことで、くぼみ形状を作製

図-5 開発品構造

【オブリーク形態衝突時：頭部とエアバッグが接触】



ステアリングホイールとエアバッグの接触面をしっかり設置させ、自立性を持たせた

図-6 開発品でのオブリーク衝突形態

3-2. 効果

今回の開発品により、従来の衝突形態の性能満足はもちろんのこと、オブリーク衝突形態（斜め衝突）において、頭部の回転（角速度 ωz ）を大幅に低減することができ、BrICの開発目標値に対し十分なマージンを持つことができた。

2021年時点でオブリーク形態の新要求は正式に適応されなかったが、先行して新技術を市場に投入し、技術の確立ができた。

4. おわりに

今回紹介した開発品は、2021年3月より量産を開始した北米仕向けの新型CIVICに採用されています。

最後に、この製品の開発・量産化に対し、ご指導、ご協力いただいた本田技研工業株式会社関係部署各位に深く謝意を示します。

著者



野々山裕貴

遮音性向上ガラスラン

酒井大輔^{*1}, 野尻昌利^{*2}

Glass Runs with Improved Sound Insulation

Daisuke Sakai^{*1}, Masatoshi Nojiri^{*2}

1. はじめに

近年、EV/FCV化が進むことによりエンジン音がなくなり、ロードノイズ・風切り音が目立つため、車室内の静音性が強く求められている。音の侵入防止の役割を持つウェザーストリップ製品においても遮音性を向上させる必要がある。

ガラス周りの遮音性向上が車両の静音性への寄与率が高いことが判ったため、走行時の遮音性をガラスランにより向上させた製品を開発・量産化したのでその概要について紹介する。

2. 製品概要

ガラスランとは、自動車の窓枠に取り付けるシール部品で、その主な機能は、下記の通りである。

- 1) ドアサッシュとドアガラスとの間からの水・音・埃の侵入防止。
- 2) スムーズにドアガラスを昇降させるための保持機能。
- 3) 走行時やドア開閉時に起こるガラスの振動吸収（異音防止）。

図-1 に装着部位、図-2 に製品仕様を示す。



図-1 装着部位

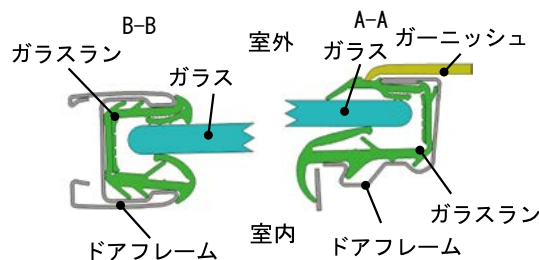


図-2 製品仕様

3. 製品の特徴

3-1. 開発の狙い

ガラスランによる遮音性向上の手段のうち、特に効果が得られると考えられるものを以下に示す。

- 1) 壁枚数を増やす（遮音リップ追加）
- 2) シールリップの短縮

上記の手法を用いて遮音性向上を達成するための断面形状を図-3に示す。従来の形状に対し、遮音リップの追加、シールリップ長さの短縮した断面形状を設計した。

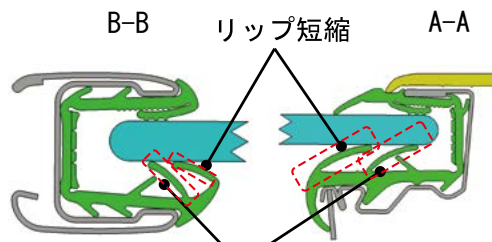


図-3 遮音性向上断面

*1 WS 技術部 WS 第2 技術室

*2 WS 技術部 WS 開発室

3-2. 設計のポイント

ガラスランの主な機能のひとつにガラスの昇降をスムーズに行うことがあるが、遮音リップを追加することで反力が増加することによる昇降性の悪化、及び断面形状が拡大することによる視界性の悪化（図-4、図-5）という背反要件を両立する必要がある。



図-4 運転席からの視界

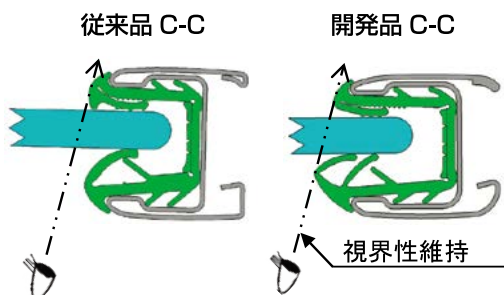


図-5 ガラスラン視界性

視界性を悪化させない狭い領域内でのシールリップの枚数を増加させるという要求項目を達成するために、薄肉による低反力リップの実現により、遮音リップを追加しつつガラス摺動性の目標の達成も実現した（図-6）。

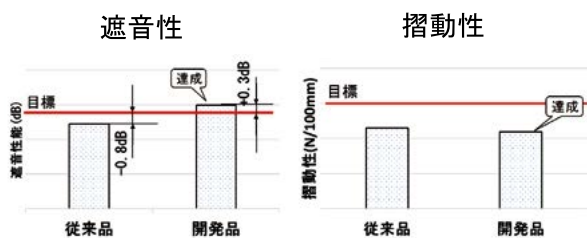


図-6 性能目標達成状況

4. おわりに

今回紹介したガラスランは、2021年11月に量産化されました。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、トヨタ自動車九州株式会社、並びに関係者の方々に厚く御礼申し上げます。

著 者



酒井大輔



野尻昌利

LiDAR 用ヒーターフィルムの開発

深川 鋼司^{*1}，橋本 守行^{*1}

Development of Heater Film for LiDAR Sensors

Koji Fukagawa^{*1}，Moriyuki Hashimoto^{*1}

1. はじめに

近年，自動運転化を見据え，自動車の安全性を高めるため予防安全システムを搭載する自動車が増加している。

車両周りの物体検知のため，各種センサーが取り付けられている。現在多く普及し始めている自動運転 Level 2 では，カメラ，ミリ波レーダー，ソナーなどが用いられているが，更に高度な自動運転 Level 3 以降では上記センサーに加え，LiDAR センサーが必要になると言われている（図-1）。

	Level1	Level2	Level3	Level4
センサ構成				
普及	'18年頃	'21年頃	'28年頃	'30年以降

▽: LiDAR ▼: ミリ波 ▽: カメラ ▾: ソナー

図-1 自動運転 Level 別センサー配置例

今回，LiDAR センサーの構成部品の一つである光学窓（近赤外線レーザーを透過する LiDAR センサーの前面に取り付けるカバー）の内側に貼り付けるタイプのヒーターフィルムを紹介する。

2. 製品概要

2-1. LiDAR とは

LiDAR とは light detection and ranging の略であり，近赤外線を利用した検知と測距を行うセンサーのことである。

従来からある，ミリ波センサーと比較して短い波長（800～2000nm）である近赤外線レーザーを使用することで高い精度で位置や形状を検出可能である。

ミリ波レーダー，カメラに加えて LiDAR を搭載することで車周の状態をより高精度に検出が可能となる。

2-2. LiDAR における課題と方策

LiDAR は近赤外線レーザーを利用するため，水分による光の吸収，散乱が課題となる。特に LiDAR 正面のカバー（光学窓）に雪が付着した場合，雪が LiDAR の近赤外線レーザー透過を阻害し，機能が停止する（図-2）。

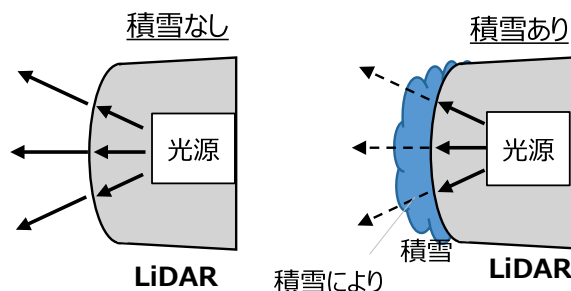


図-2 積雪による近赤外線レーザー光透過阻害

そのため，積雪の可能性がある低温下においては光学窓に積雪しないよう融雪機能が必要となる。

融雪機能としてヒーターが必要となるが，ヒーターは通常，金属電線による抵抗加熱を利用するため，その材質自体が近赤外線レーザー透過を阻害する。

今回，LiDAR の赤外線透過への影響を最小限に抑えつつ，ヒーター性能を満足するヒーターフィルムの製品化をしたので紹介する。

3. 製品の特長

3-1. 製品構成

本製品は LiDAR の光学窓の内側に貼り付け使用する（図-3）ヒーターフィルム（図-4）である。

*1 EM 技術部 EM 第 3 技術室

求められる性能として、①ヒーター昇温性能、②近赤外線透過性能がある。

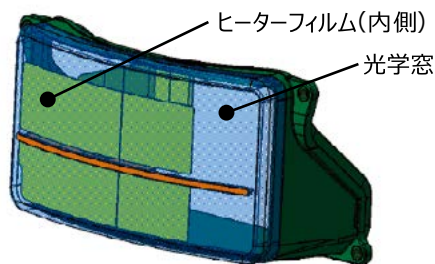


図-3 LiDAR 光学窓構成

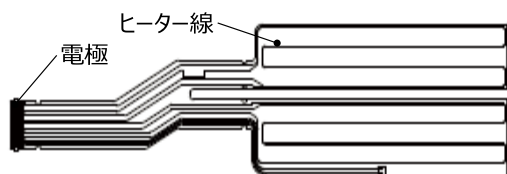


図-4 ヒーターフィルム

3-2. ヒーター特性

ヒーターフィルムは図-5の層構成をしており、光学窓前面に付着した雪を溶かす熱量を得られるようヒーター線の線幅と線厚を調整しており、発熱による断線を防ぐため、ヒーター線材料と樹脂フィルム材料の線膨張係数を調整している。その昇温特性は図-6のように十分な温度を得ることが可能である。

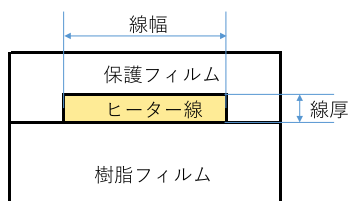


図-5 ヒーターフィルム層構成

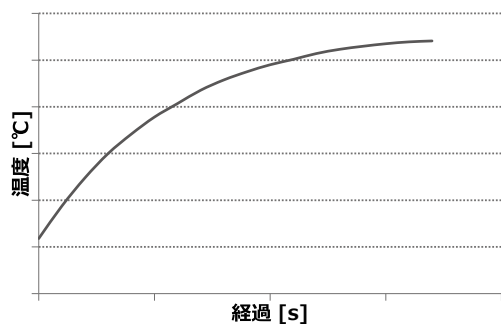


図-6 昇温特性

3-3. 近赤外線透過特性

ヒーターに使用する金属は一般的に近赤外線レーザーを透過しない。よって、近赤外線レーザーがヒーター線上に重なるとヒーター線の線幅分の透過光が減少し、物体を正しく認識できなくなる。

本ヒーターフィルムでは、LiDARに使われる近赤外線レーザーの径に対し、ヒーター線幅を充分狭くすることでこの問題を解決した(図-7)。

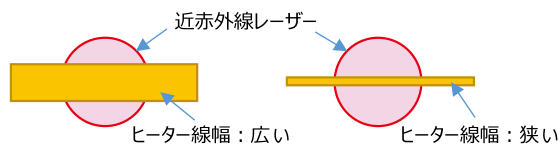


図-7 近赤外線レーザー光とヒーター線

3-2項で示したヒーター特性と近赤外線透過特性を同時に満たしたことで、雪の中でもLiDARセンサーを機能させることが可能となった。

4. まとめ

今回紹介の「LiDAR 用ヒーターフィルム」は2020年12月に量産化に成功した。

最後に今回の開発にご尽力いただきました社内外関係部署の皆様へ厚く御礼申し上げます。

著者



深川 鋼司



橋本 守行

e-Rubber を用いたゴルフ向けスマートインソール “FEELSOLE”

一柳星文^{*1}, 小森陽子^{*1}

“FEELSOLE” Smart Insole for Golf Training, Using e-Rubber

Hoshibumi Ichiyanagi^{*1}, Yoko Komori^{*1}

1. はじめに

各種スポーツ競技において、科学的トレーニングを受けた選手が成果を出している通り、スポーツ科学による運動の定量化は多くの分野で成果を出している。

ゴルフにおいても、プロ・アマ問わずその指導において、スイングを定量化し指導のツールとして使用するゴルフスクールが増えており、その中でも足圧が注目されている¹⁾。

今回、豊田合成で研究開発を進めてきた e-Rubber 技術を使い、ゴルフスクール向けスマートインソール “FEELSOLE” を開発したので紹介する。



図-1 スマートインソール “FEELSOLE”

“FEELSOLE” はゴルフスクールにて導入コストを低く抑えつつ、簡便にスクール生への指導効果を上げていただくツールをコンセプトに開発を進めてきた。

2. 製品概要

2-1. ゴルフ指導における課題

ゴルフ指導において、スイング時の足裏にかかる力（足圧）の分布とその変化を見ることでより納得性のある指導が実現する。例えば、インストラクターがスイング時のフォーム（外観）から「もう少し右足に力をかけて」や「左右のバランスを

均等にして」といった指導をしても、そもそも生徒が自身のバランスを把握できなければ、自身のスイングの直し方の度合いがわかりにくいといった課題があった。

“FEELSOLE” を使って指導することで、生徒は自身の足圧を目で具体的な目標を確認しながらスイングフォームを修正することができるようになり、納得性と効果を向上させることができる。

2-2. e-Rubber 技術

今回紹介する “FEELSOLE” は、豊田合成が研究開発を続けてきた e-Rubber 技術を用いた商品である。e-Rubber は図-2 のようにゴムを2枚の電極で挟んだ構造をした電気と力で機能する次世代ゴムである²⁾。

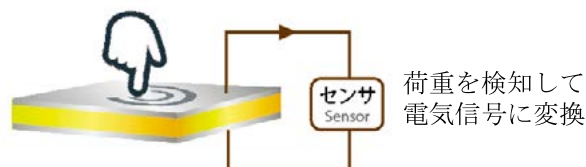


図-2 e-Rubber (センサ) 原理説明

e-Rubber は2枚の電極間に荷重をかけると電極間の静電容量が変化し荷重センサとして使用できる。今回、e-Rubber のゴムで構成されることによる柔らかさを活かし、履き心地と性能を両立する “FEELSOLE” 開発を行った。

2-3. 構成

“FEELSOLE” は、4つの e-Rubber センサを埋め込んだインソールである。e-Rubber センサで検知した荷重（足圧）は Bluetooth でタブレットに送信され、専用アプリを使ってリアルタイムで確認したり、動画と同期して保存/再生したりすることができる。

*1 ライフソリューション第2技術部 eR 技術室

3. 開発のポイント

3-1. 荷重検知性能

インソール開発において荷重検知性能を重視して開発を進めた。ゴルフスクールという性質上幅広い人に対応するため、微小な荷重変化の検知性能と、体重 120kg の人の使用も想定した広い荷重レンジを両立させるよう筐体設計を繰り返し調整した。

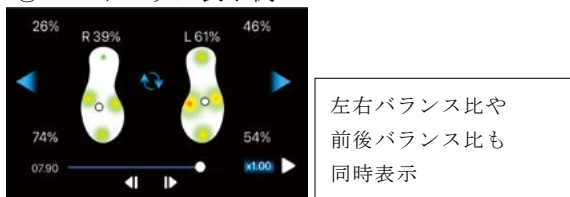
3-2. アプリケーション

実際に“FEELSOLE”を指導の現場で活用するにはアプリケーションの機能や操作性が重要である。ゴルフメーカとゴルフスクールのコーチを交え、備えるべき機能について、打合せを行い、開発中のアプリケーションを一般ユーザーにも使っていただきながら、改善を繰り返した。また、著者自身もスクールに入校し直接インソールを使った指導を受けることで把握した現場情報を商品完成度向上に反映した。

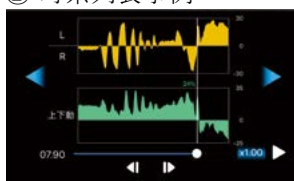
4. 活用方法

“FEELSOLE”は現場における様々な指導方法に対応した情報提示が可能である。具体的には①指導通りに体重をかけられているかを確認するためのヒートマップ、左右バランス比、前後バランス比表示 ②スイング時の体の動きを分析するための時系列表示 ③自己ベストショットや目標とするお手本との比較のための2画面表示と様々な情報を参照できるように作りこんでいる。情報提示方法例を図-3に示す。

① ヒートマップ表示例



② 時系列表示事例



③ 2画面表示例

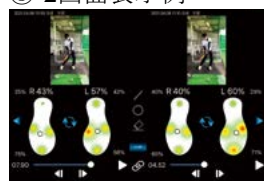


図-3 指導方法に応じた種々の情報提示方法

5. まとめ

豊田合成では長年培ってきた高分子材料技術をベースに社会課題の解決に貢献すべく、新規技術として e-Rubber の開発に取り組んできた。

ゴルフスクール用途インソールの開発に続き、他スポーツ展開、ヘルスケア用途としても開発を推進し、社会のニーズに応じていく。

謝辞

今回の商品開発はミズノ株式会社殿のご協力を得て進めてきました。ご支援いただきましたミズノゴルフスクールの皆様に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) Kwon's Bio, Golfer-Ground Interaction Moments, Dr. Kwon's Golf Biomechanics, URL:<http://drkwongolf.info/biom/fgmom.html>
- 2) 藤原武史, 竹内宏充, 豊田合成技報, 58, 11 (2017)

著 者



一柳星文



小森陽子

1. 知的財産活動の紹介

豊田合成グループは、「法律と契約を遵守することを前提に、豊田合成グループが協力しながら知的財産活動を通して、お客様へ「安心」「安全」「快適」をお届けする」をポリシーに、①長期視点に基づき、知的財産権の取得とその有効活用、管理を行う、②他社知的財産権の侵害を防止し、他社知的財産権を尊重する、③継続的にエンジニアの知財スキルを向上しイノベーションを活性化する、を行動指針としています。

2020年度には、日本で213件、日本以外で149件の特許が登録となりました。

また、IPランドスケープ[※]による知財情報・非知財情報の集約・分析を通じた事業の戦略へ向けた取り組みを開始しました。今後は新事業企画／新製品企画などの、経営戦略の立案へ寄与する活動に取り組みます。

同時に、継続的な取り組みとして、各事業や開発プロジェクトに即した出願活動・特許保証活動、社員教育を通じた人材の育成や知財意識の向上、などに取り組んでいます。

1-1. 2020年度までの登録件数

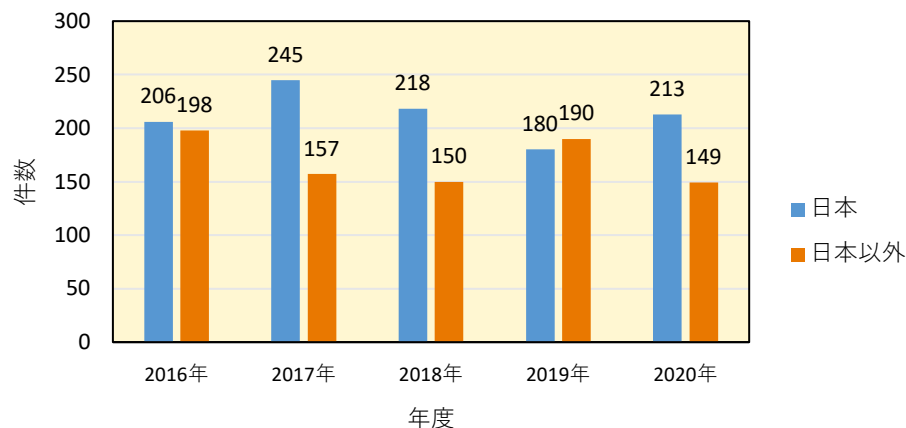


図-1 特許登録件数

1-2. 2020年度末までの各年度末時点での保有権利数

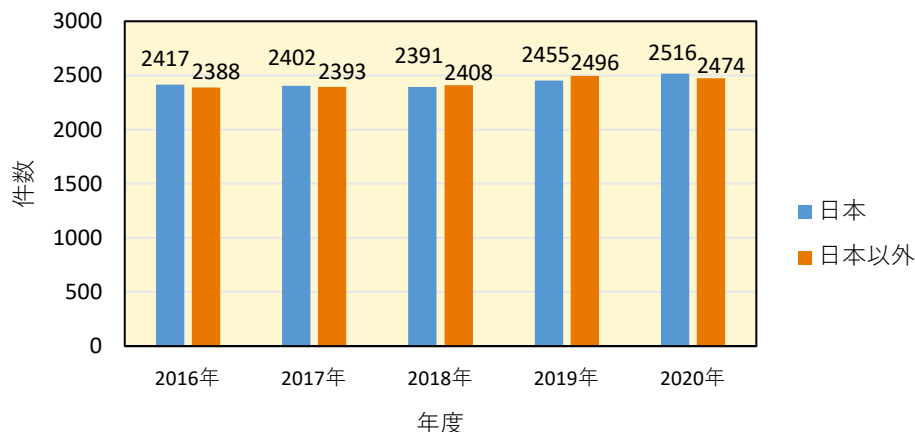


図-2 保有特許件数（年度末時点）

※ IP ランドスケープとは、経営戦略又は事業戦略の立案に際し、(1) 経営・事業情報に知財情報を取り込んだ分析を実施し、(2) その結果（現状の俯瞰・将来展望等）を経営者・事業責任者と共有すること。（IP ランドスケープ推進協議会の定義による）

2. 保有知財権の紹介

カーボンニュートラルに関係する豊田合成保有登録特許と商標からいくつかを紹介します。

2-1. 特許

[水素タンクに関するもの] 圧力容器

特許 No. 6575414

発明者 草場幸助, 光田 崇, 木村健二

[発明の属する技術分野]

本発明は、加圧物質を充填するための圧力容器に関する。

[発明の概要]

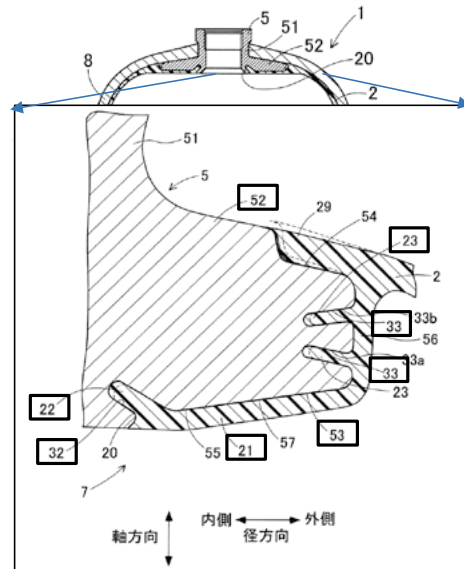
ライナー 2 は、口金 5 のフランジ部 52 の内側面 53 の全周にわたって内側面 53 を被覆する被覆部 21 を有する。

フランジ部 52 の内側面 53 の被覆対向部 57 は、保持溝 32 と、シール溝 33 とを有し、保持溝 32 は、溝開口から溝底に向けてフランジ部 52 の径方向内側に傾斜する方向に延設されており、シール溝 33 は、保持溝 32 の延設方向と異なる方向に延設されている。

被覆部 21 は、保持溝 32 内に嵌入され保持溝 32 内において進退可能な保持リップ 22 と、シール溝 33 内に嵌入されたシールリップ 23 とを有する。

[発明の効果]

部品点数を増加させることなく口金とライナーとの間のシール性を向上させた圧力容器を提供することができる。



[リサイクル可能なエアバッグに関するもの] エアバッグ

特許 No. 5201090

発明者 成瀬元章, 小林裕之, 上代昌道

[発明の属する技術分野]

本発明は、膨張用ガスを流入させて展開膨張するエアバッグに関する。

[発明の概要]

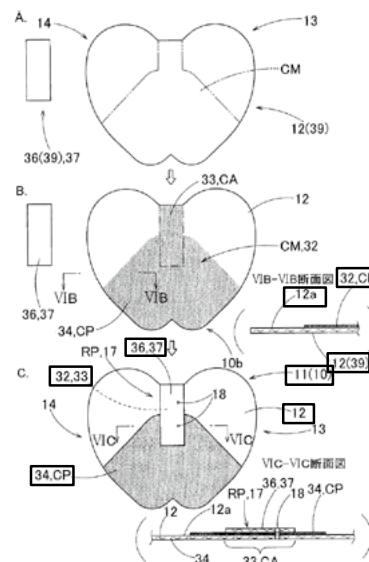
エアバッグ 10 は、周壁 11 が、本体布 12 と本体布の内周面 12a 側に部分的に重なって本体布に結合される補助布 36 を備える。

本体布と補助布とを構成する布帛 39 は、ポリアミド繊維から形成され、ポリアミド系エラストマーのエマルジョンを本体布に部分的に塗布して乾燥させてなるコーティング層 32 が、本体布における補助布を結合させる結合エリア 33 と、結合エリアを越える延設エリア 34 にわたって設けられる。

コーティング層は、結合エリアにおいて接着剤 CA として使用され、ヒートシールにより補助布 36 を本体布 12 に接着させ、延設エリアにおいて本体布のガス漏れ防止用の保護膜 CP として、膨張用ガスに曝されるように露出されて配設される。

[発明の効果]

ガス漏れ対策を施しても、極力、製造工数・コストや重量を低減させて、簡便に製造することができ、さらに、リサイクルにも支障のないエアバッグを提供することができる。



[生分解性樹脂に関するもの] ポリ乳酸系樹脂成型品

特 許 No. 5233105

発明者 中川博之, 伊藤克志

[発明の属する技術分野]

本発明は、生分解性樹脂であるポリ乳酸を含有するポリ乳酸系樹脂成型品に関する。

[発明の概要]

ポリ乳酸系樹脂成型品は、ポリ乳酸系樹脂と結晶化度 20 重量%以下のポリプロピレンと変性エチレン- α -オレフィン共重合体又は変性ポリオレフィンとを含むポリ乳酸系樹脂組成物で成形された成型品。ポリ乳酸系樹脂の結晶化を促進する処理が施されている。

ポリ乳酸系樹脂組成物はポリ乳酸系樹脂 90～10 重量部に対し結晶化度 20 重量%以下のポリプロピレンが 10～90 重量部配合されていて、ポリ乳酸系樹脂及び結晶化度 20 重量%以下のポリプロピレンの合計 100 重量部に対し変性エチレン- α -オレフィン共重合体又は変性ポリオレフィンが 1～20 重量部配合されている。

[発明の効果]

耐熱性及び柔軟性がともに高いポリ乳酸系樹脂成型品を提供することができる。

[低温架橋処理に関するもの（使用エネルギーの低減）] ポリマーアロイ及びゴム製品並びにそれらの製造方法

特 許 No. 5527253

発明者 岩瀬直生, 今井英幸, 瀬尾明繁,
近藤秀明, 上遠野雄介

[発明の属する技術分野]

本発明は、非共役二重結合を有する無極性ゴムを変性させた変性ゴムを含むポリマーアロイ及びそのポリマーアロイからなるゴム製品並びにそれらの製造方法に関する。

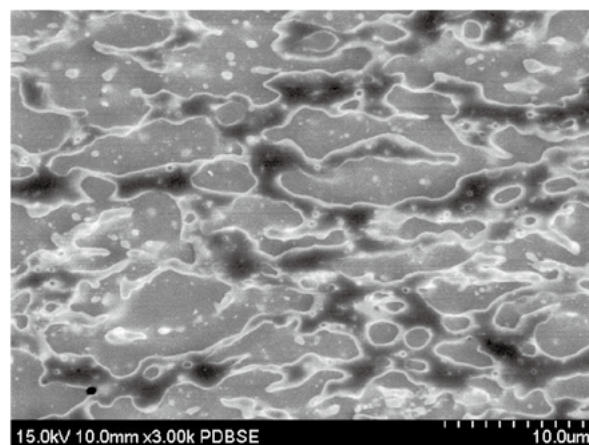
[発明の概要]

芳香環にニトリルオキシド基が結合した芳香族ニトリルオキシドのニトリルオキシド基のオルト位に置換基を有する芳香族ニトリルオキシド誘導体のニトリルオキシドで非共役二重結合を有する無極性ゴムが変性された変性ゴムと極性ゴムとからなるポリマーアロイ。

および、この無極性ゴムを変性ゴムに変性するステップは、0～180℃での反応であり、この変性ステップと変性ゴムと極性ゴムとを混練する混練ステップとを備えたポリマーアロイの製造方法。

[発明の効果]

耐油性を備え耐オゾン性（耐候性）が向上し、高い機械的強度（特に引張強度）を持つ、無極性ゴムと極性ゴムからなるポリマーアロイ及びゴム製品を製造・提供ができる。製造工程を従来よりも低温で実施することができる。



2-2. 商標

右図は、端材を再利用した製品に使用している商標（Re-S リーズ）です。（製品に関する詳細は、下記 URL をご覧ください。）

<https://www.toyoda-gosei.co.jp/csr/goods/>

登録商標 6399113 号：Re-S（文字商標）

登録商標 6399114 号：右図に示されるマーク（図形商標）



編集後記

今年カーボンニュートラル特集と題して、「特別寄稿」では環境とエネルギー分野に造詣が深い山家社外取締役役に国内外のエネルギー動向と豊田合成への期待について執筆いただきました。また昨年に引き続き座談会を企画し、各技術領域のリーダーにカーボンニュートラルに向けた思いを語っていただきました。本技報を通じて、カーボンニュートラル実現に向けた豊田合成の様々な取り組み（「工場CO₂排出量ゼロ」、「バイオ材料開発」など）を知っていただければ幸いです。

最後にお忙しい中、原稿の執筆に尽力いただいた執筆者の方、座談会参加者各位、編集委員各位にお礼申し上げます。

表紙デザインコンセプト

今回の特集テーマである「カーボンニュートラル」をキーワードとし、表紙には目指すべきエコでクリーンな社会、裏表紙には近年の環境問題を抱える社会を表現し、持続可能なイメージを表すために無限大∞に見立てたグラフィックで繋げました。

全体として色や明るさでシンプルに対比させ、細かく見ると「街」「クルマ」「自然」の違いがわかりやすく読み取れるようデザインしました。

二つの社会を見つめ、豊田合成の技術でカーボンニュートラルの実現に貢献していきたいという希望を表現しています。ぜひ見開きをご覧ください。

デザイン開発部



山田 拓音

豊田合成技報編集委員会

編集委員長	中村 正	(技術管理部)
編集委員	守山 実希	(先端材料開発部)
	稲垣 聡	(材料技術部)
	三木 久幸	(知的財産部)
	佐藤 貴彦	(技術企画部)
	荒川 哲也	(デザイン開発部)
	堀邊 隆介	(電子技術部)
	寺本 泰庸	(IE開発部)
	水野 喜夫	(SS開発部)
	金子 健一郎	(EV・FCV開発部)
	丸田 康博	(性能実験部)
	加藤 剛	(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)
	西川 洋明	(WS技術部)
	田口 誠人	(WS生産技術部)
	西 博	(FC技術部)
	田中 克巳	(FC生産技術部)
	亀田 宜暁	(FCV部品生技開発部)
	水野 雅規	(IM技術部)
	関谷 隆	(EM技術部)
	箕浦 健二	(IE生産技術部)
	日比野 伊久哉	(エンブレム部)
	田中 豊	(SS第1技術部)
	袋野 健一	(SS生産技術部)
	國分 英樹	(ライフソリューション第1技術部)
	杉山 勝哉	(ライフソリューション第2技術部)
	佐藤 壽朗	(ライフソリューション第3技術部)
	松永 直人	(ライフソリューション生準・品管部)
	田中 道人	(カーボンニュートラル・環境推進部)
事務局	三輪 聡彦	(技術管理部)
	岩本 真由美	(技術管理部)
	花木 真子	(技術管理部)
	家田 与一	(技術管理部)

TOYODA GOSEI TECHNICAL REVIEW

豊田合成技報 Vol. 63 2021 (禁無断転載)

2021年12月28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 石川 卓

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.



TOYODA GOSEI

TECHNICAL REVIEW Vol.63 2021
<https://www.toyoda-gosei.co.jp/>

