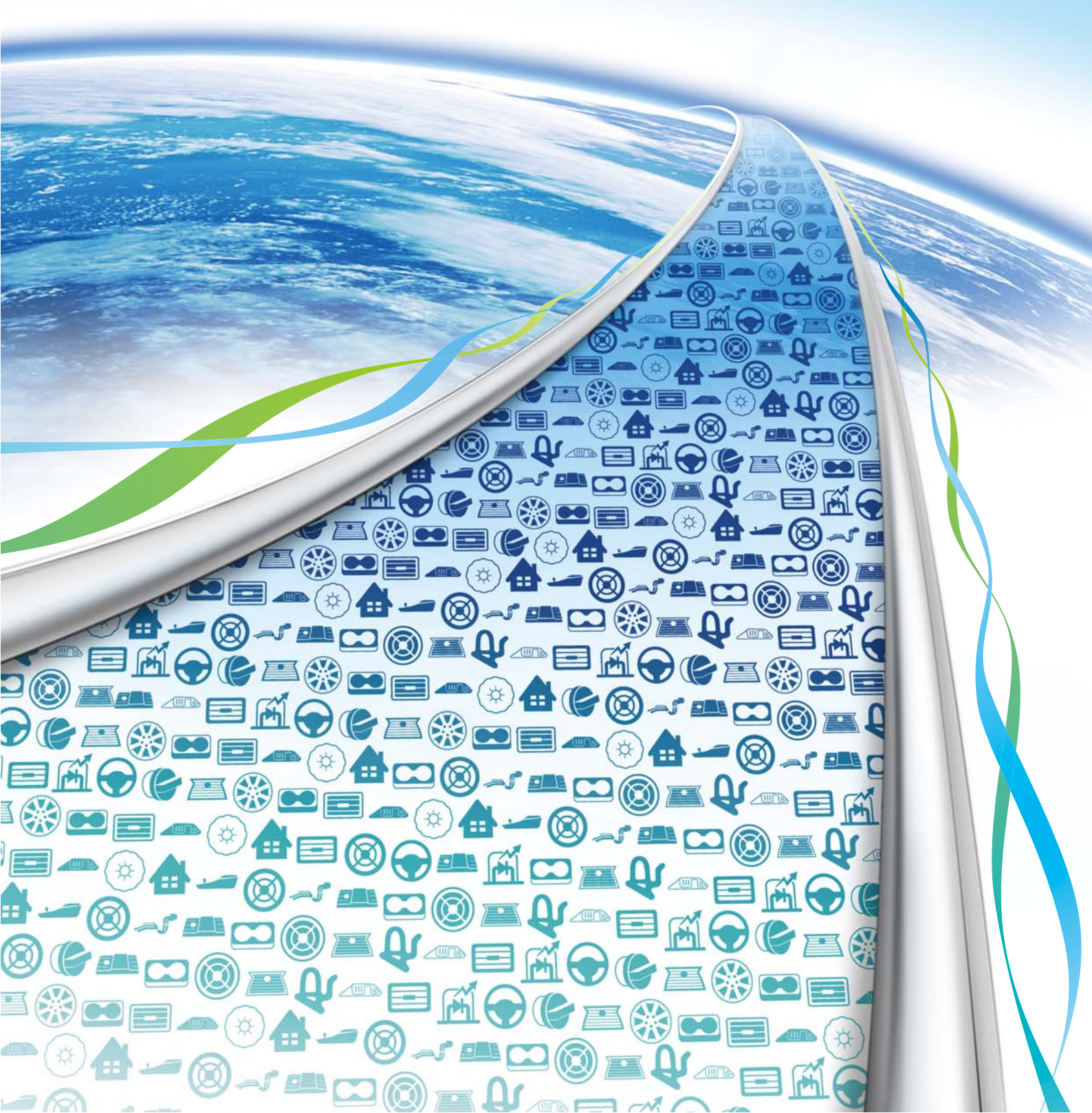




# TECHNICAL REVIEW

Vol.56 2014

特集:いい車づくりを支える製品開発



# 目次

巻頭言	[私達の目指すもの]	石川 卓 1
特集	[いい車づくりを支える製品開発]	
特別寄稿	「もっといいクルマづくり」に向けた トヨタのデザイン企画	トヨタ自動車株式会社 澤 良宏 2
総説	デザインと商品企画	駒田 一彦 6
	将来を支える商品企画・開発	栗山 雄治 9
論文	マテリアルとトレンドの変遷	大松 直樹 佐古亜沙美 小澤 悦雄 13
	内装製品に求められる質感調査	野倉 邦裕 亀井 俊輔 久保 千穂 広瀬 吉一 18
	照明を使ったインテリアの演出について	佐藤 絢香 久保 千穂 23
	ハンドルを中心としたインテリアの高機能化	佐藤 貴彦 28
	ステアリングホイール振動と 車体振動音を模擬した刺激による ドライバーの眠気遅延効果検証	梅村 紀夫 愛知県立大学 河中 治樹 愛知県立大学 小栗 宏次 33
	環境対応に向けた軽量化取り組み	藪谷 茂 43
	燃料電池車を支える高圧水素タンク	内田 安則 49
	新興国への取り組み	志賀 一三 53
新技術紹介	スライドドアオープニングトリムの シール性向上に関する要素技術の確立	大塚 洋史 59

一 般	論文	Na フラックス法で成長した 自立 GaN 基板の構造的・電氣的評価	守山 実希 久米川尚平 薬師 康英 佐藤 峻之 山崎 史郎 永井 誠二	61
	新技術紹介	光学シミュレーションによる見栄え評価	山田 和通 三宅 史恵	71
		切削抵抗抑制による金型切削加工の効率化	坂本 憲治	74
		真空成形機コンパクト化	伊藤 法信 後藤 成明	77
		水溶性被膜と精密鍛造による切削レス技術	松浦 淳 森田 敏弘	80
		青色 LED の効率解析	牛田 泰久	83
	新製品紹介	高意匠透明ラジエーターグリル	渋谷 育男	87
		助手席エアバッグ (自立バッグ)	渡邊 翔太 中倉 暢哉	89
		低コスト・軽量 光意匠フィルムアウター W/S	高瀬 智宏	92
		インタークーラー冷却用樹脂ウォーターパイプ	久保田徳道 木野 等	94
		液晶パネル用 2 in 1 タイプ白色サイドビュー	左合 玄紀	97
	特許紹介	特許紹介		100

# CONTENTS

<b>Preface</b>		Our Future Target	Takashi Ishikawa	1
<b>Feature</b>	<b>“Product Development which Supports to Product Better Cars”</b>			
	<b>Contribution</b>	Toyota's Design Planning for “Building Always Better Cars”	Toyota Motor Corporation Yoshihiro Sawa	2
	<b>Review</b>	Product Design & Product Planning	Kazuhiko Komada	6
		Product Planning & Development in Future	Yuji Kuriyama	9
	<b>Technical Paper</b>	The Transition of Materials and Trends	Naoki Omatsu Asami Sako Etsuo Ozawa	13
		Investigation of Quality Feeling Required in Car Interior Products	Kunihiro Nokura Shunsuke Kamei Chiho Kubo Yoshikazu Hirose	18
		Effective Illumination for Vehicle Interior	Ayaka Sato Chiho Kubo	23
		Advanced Function of Interior Parts and Steering Wheel	Takahiko Sato	28
		Sleepiness Delay Effect Inspection of the Driver by the Stimulation that Simulated Steering Wheel Vibration and a Body Vibration Sound	Aichi Prefectural University Aichi Prefectural University Norio Umemura Haruki Kawanaka Koji Oguri	33
		Lightweighting Action for the Environmental Correspondence	Shigeru Yabuya	43
		The High Pressure Hydrogen Tank which Supports a Fuel Cell-Powered Vehicle	Yasunori Uchida	49
		Business Plan for the Developing Country	Ichizo Shiga	53
	<b>New Technology</b>	Establishment of Elemental Technology related to Improving Sealing Performance of Sliding Door Openingtrim	Hirofumi Otsuka	59



General Article	Technical Paper	Structural and Electrical Characterization of Free-standing GaN Substrates Grown by Sodium Flux Method	Miki Moriyama Shohei Kumegawa Yasuhide Yakushi Takayuki Sato Shiro Yamasaki Seiji Nagai	61
	New Technology	Evaluation of Appearance using Optical Simulation	Kazumichi Yamada Fumie Miyake	71
		Efficiency of the Mold Machining by Cutting Resistance Reduction	Kenji Sakamoto	74
		Vacuum Forming Machine Compactification	Norinobu Ito Nariaki Goto	77
		Cutting less technology by Water-soluble membrane and Precision forging	Jun Matsuura Toshihiro Morita	80
		Energy Efficiency Analysis of Blue LED	Yasuhisa Ushida	83
	New Products	High Design Transparency Radiator Grille	Yasuo Shibuya	87
		Passenger Side Air Bag (Self Stability Bag)	Shota Watanabe Nobuya Nakakura	89
		Low-Cost & Lighter Metallic Design OuterW/S by Metallic Film	Tomohiro Takase	92
		Plastic Water Pipe for Intercooler Cooling	Norimichi Kubota Hitoshi Kino	94
		2 in 1 type White Side View LED for LCD	Genki Sago	97
	Patents	Patents		100



執行役員 石川 卓

## 「私達の目指すもの」

「もっといいクルマをつくろうよ」これは、トヨタ自動車㈱の豊田章男社長が、社長就任以来、社員に向けて投げかけてきた言葉です。今では、この抽象的な言葉が、トヨタという会社を、そして、トヨタグループの枠さえも超えて、日本のものづくり復活に向けた旗頭のようになりつつあると感じているのは、私だけではないのではないのでしょうか。

会社をリードしていく上での数値目標の重要性は、語るまでもありませんが、規模の大きな会社になればなる程、いくつかの数値目標だけでは、社員の気持ちを一つにまとめることが難しい。と同時に、日本人固有のメンタリティ、一人がヒーローになるのではなく、チームワークで戦う。その為には、数字ではない、もっと漠とした理念というか概念のようなもの・・・

これが、ものづくりに携わる者にとって、非常に心地よく、かつ全社員が各々の目先の利害を超え、最終目標に向かう大事な道標なのだと感じています。

さて、振り返ると我々にも、TG 2020 VisionとTG Spirit, そして「One team, One TG.」というスローガンが示され、価値観の共有がグローバルに行われつつあります。

また、事業部制から本部制に戻り、技術部門は開発本部として一枚岩になるべく、多様な施策を打ちつつ、再出発しています。幸いなことに、豊田合成の事業領域は、オートモーティブシーリング (AS) 領域、機能部品 (FC) 領域、内外装 (IE) 領域、セーフティシステム (SS) 領域、オプトエレクトロニクス領域、特機領域と非常に多種多様で、幅広い技術を有しています。

このような多様な知識・技術を融合し、「もっといいクルマづくり」を念頭に置いた上で、TG 2020 Visionを達成していくには、何が必要か？ 技術トレンドの先を読み、お客様の立場に立って、開発提案をし続けていくためには何が必要なのか？ どうやって新製品・新商品を産み出していくのか？ 大変難しい問いではあると思いますが、その指針が、今回の技報に織り込まれていると期待しています。

今を知る・・・ベンチマーク、トレンド調査等をした上で、自分達の立ち位置を知る

先を読む・・・上記を理解した上で、求められているものを予測・推測する

これらを組織として、「労を惜しまず、継続」し、更には全員が「高い目標に向かって愚直に開発に邁進」し、「付加価値を付ける」ことを意識、徹底していきたいと思っています。

今回の技報では、冒頭、デザインと設計の両方の観点から各々の取組みについて記載しています。その心は、「デザインを実現させる技術」と「技術を活かすデザイン」、この2つがお互いを尊重し、付加価値を付けあいながら、いい商品企画・開発を進めて行きたいとの思いからです。

自動車を取り巻く環境は大きく変化しています。お客様の価値観も多様化しています。

この中で存在感のある商品を産み出していく為には、仕事のプロセスも変革していく必要があると感じています。従来の開発手法から脱し、自ら変化を感じ、新しい成長曲線を描くことを目標に「もっといい商品づくり」に取り組ましましょう。

今回は、特別寄稿として、トヨタ自動車㈱のデザイン領域長である澤常務理事に執筆をお願いしています。「もっといいクルマづくり」と「TNGA」に向けたデザイン領域の取組みの一旦を知ることが出来ると思います。私達が仕事を進めていく中で、大変関係深い内容だと思っておりますので、興味を持って読んで頂きたいと思っております。

## 「もっといいクルマづくり」に向けたトヨタのデザイン企画

### Toyota's Design Planning for "Building Always Better Cars"

澤 良宏 \*1

トヨタ自動車（株）の澤でございます。いつもお世話になっております。今回御社の技報においてデザイントレンドを踏まえた企画がテーマのひとつになる事から、僭越ではございますが、デザイン担当の私からも寄稿させていただくことになりました。

さて、弊社では社長の豊田が「もっといいクルマをつくろうよ」のスローガンを掲げ、お客様の期待を超える商品やサービスをお届けし、一人でも多くのお客様が笑顔になれるさまざまな活動を実施しています。リーマンショック後、円高、震災等多くの困難がありました。当社では各部門立ち直りに向け活動する中、デザインでは「デザインの力で会社を変える」意気込みで攻めの姿勢をメッセージとして発信を始めました。

その皮切りが「新型クラウン」でした（図-1）。思い切った特徴あるフロントマスクは最初「えっ！」と感ずるものだったと思います。



図-1 新型クラウン

それが見慣れると何時しか良い特徴になり、やがては定番になる事を目指したのです。その後、ピンククラウンのキャンペーンや新型ハリアーの圧倒的な内装の高級感、レクサスNXのアグレッシブなスタイル等お客様の期待を超えるべくチャレンジを続けて来ました。

図-2の概念図はその目標としての「飛びしろ」を示したものです。円の中心を「コンサバティブ」とし、外側へ行く程その度合いが増し、一番外側を「飛ばしすぎ」「論外」とした場合、本来お客様の期待というのは「期待以上」あたりにあるのではないのでしょうか。それを踏まえ、期待を超えて意外性を感じるくらいの領域を目指してデザイン開発を推進しています。

また、お客様の価値観も多様化し続けています。お客様は購買時、様々な情報を比較し納得の上購入に踏み切られます。その過程を分析していきますと、アルファードを購入検討されている方は同時にクラウンやランドクルーザーと比較されていることが分かりました。



図-2 デザイン飛びしろの概念図

\*1 Yoshihiro Sawa トヨタ自動車株式会社 デザイン本部 常務理事

しかしながら、企業側の車両企画はこれまで個車単独企画がメインで、競合車想定もあくまで同一カテゴリとの比較が通例です。今後はお客様の価値観でニーズや期待値を判断することが重要となります（図-3）。

そこでデザインでは「トヨタエモーショナルパレット」という概念を構築し企画をして行くべく活動を始めています。購買時の様々な情報から、お客様の価値観は大きく以下の4つに分類できることから、企画の軸足を明確化できるのではと考えました。これによりブレないデザイン企画～開発を目指します。

- 1) 「Curiosity／探求」；「自己の向上のためにお金や時間を使う」といった価値が高く、ハリアーなどに代表される先進性や未来を予感させるエモーション。
- 2) 「Proud／自信」；クラウンなどに代表されるステータス性重視のエモーション。
- 3) 「Exciting／興奮」；メリハリの車造りで、瞬時に五感を揺さ振る感動を追求。
- 4) 「Smart／賢明」；「車にはお金をかけたくない」などが特徴となる生活重視のエモーション。 潔い割り切りとセンスが重要（図-4）。

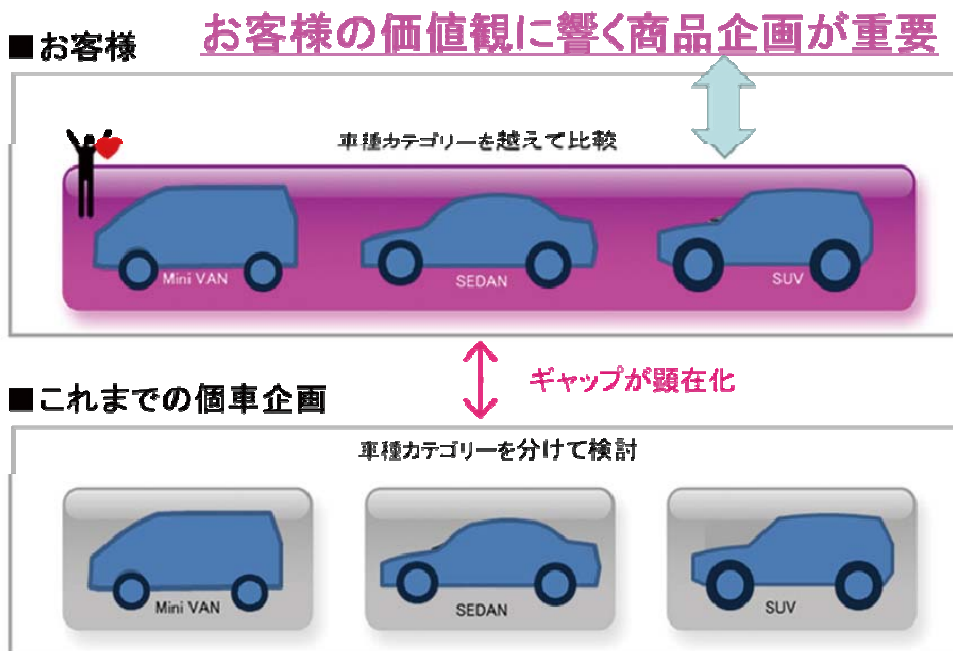


図-3 お客様の価値観に響く商品企画

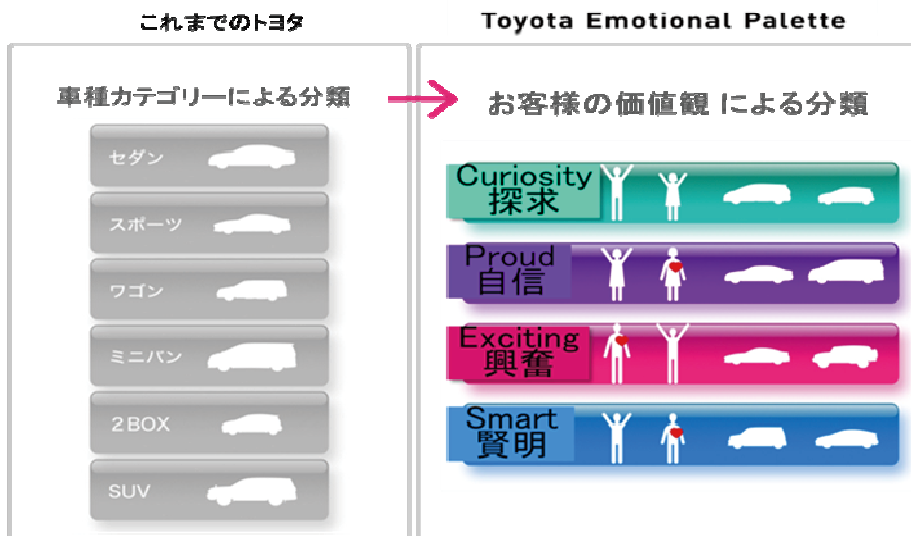


図-4 トヨタエモーショナルパレット





図-5 トヨタブランドの位置づけ

この企画手法を基に、造形に於いてはデザインフィロソフィーを掲げトヨタのブランドとしてのDNAを担保して行きます。デザインフィロソフィーの詳細は深いお話になりますのでまたの機会とさせていただきます。

このように、初期企画からデザインを戦略的に構築して造形にまで結び付ける活動を強化することで、トヨタブランドの位置付けを百貨店からセレクトショップへと底上げを図ることが目的です(図-5)。

以上のごとく、まずお客様の目に触れるところを中心に変革を始めてきましたが、本当の意味での変革の為には、クルマは骨格からかっこ良くなる必要があります(プロポーション美人は何着てもかっこいいですよ)。従って、TNGA (Toyota New Global Architecture) 開発では初期からデザインもプラットフォーム開発に参画しています(図-6)。

TNGAの心は「もっといい」「かっこいい」を実現する良い構成良い部品を開発し、それを皆で使うことで量をまとめ、効率化を図るものです。それで得られた原資を次の開発や、

お客様の期待を超えるものに再配分することを目指しています。一方この心を理解していても、いざ開発が進むと、個々の部品開発に於いては領域目標や軽量化・コスト共通化を達成することが目標になってしまいます。確かに目標なのですが、最終目標は出来上がった商品がより良くなる事でなければなりません。優れた良い部品の集合体が必ずしも良い商品とイコールではありません(図-7)。

個々の部品が取りつけられた部位、周辺との関係、さらにはそれが1台の商品にどのような影響を与えているか、多岐に渡って思いを巡らせなければ本当のTNGA開発は達成できないという事です。

この様な思いで開発が続けられれば、当初の計画の目標・形状・機能は最終的には違ったものになるかも知れません。

それがエボリューションにつながると信じています。その為にも商品目線で様々な課題提起が必要です。よって、比較的全体を捉えることができるデザインの役割も重要だと言えます。



図-6 TNGA開発



図-7 「もっといいクルマづくり」のサイクル

しかしながらデザインだけではカッコいい商品は実現しません。エンジニアの皆さんと「もっといい」「欲しい」というお客様視点を共有した共同作業が不可欠です。

活動を通して感じることは、開発者個々人が垣根・自領域を超え、一回り大きい活動ができるかがとても大切だということです。商品はそのに関わるすべての人・組織の活動の「結果」なのです。

だから魅力ある商品ができれば皆で喜びを分かち合えます。反対にできなかった場合に、〇〇が良くないからだとのせいにするのは簡単です。

しかし、それでは自領域に閉じ籠ったままとなり、革新につながらない衰退の芽を育ててしまうことになるでしょう。このように、TNGA推進には意識改革が重要とも言えるのです。

最後に商品を支えていただいている御社に感謝致しますと共に、将来の「もっといいクルマづくり」に向け、忌憚のないご意見具申やご提案を基に、今後とも一層密なご協力を頂きます様改めてお願い申し上げます。

著 者



澤 良宏

## デザインと商品企画

### Product Design & Product Planning

駒田 一彦\*1

#### 1. はじめに

豊田合成の体制が事業部制から本部制に移行して2年目を迎える。

本部制の移行の主旨は、

- 1) 事業／領域の壁を無くして情報の共有を図る。
- 2) 技術の各領域で、観点を広めて開発の独自性を向上させる。

・・・であると理解している。

また、開発本部を製品開発と商品企画に分けて、フェーズで管理し更に材料・工法開発を横串で機能させる。その中で、商品企画センターではデザイン企画と商品開発をプロジェクト軸で組織の壁を無くして活動している。

開発本部発足の際、本部長自ら「デザインが大切だ」と宣言があり、その実現に向けて活動している一部を紹介する。

#### 2. 価値観と感性品質

クルマを買っていただくエンドユーザー（以下ユーザー）にとって「魅力」とは何か？

商品を企画するものにとって、常に念頭におくべきテーマの一つだ。身の周りの変化は著しい・・・消費の傾向も明らかに多様化している。

「コンランショップ」などに代表される「セレクトショップ」や「ユニクロ」などに代表される「ファストショップ」など消費者はこだわりを持ちたいところにこだわる。（バッグは「Louis Vuitton」でもウェアは「UNIQLO」・・・）

そういった新しい価値観が市場の成熟に伴い生まれている。世代を超え、ライフスタイルやライフステージによって構築される価値観の多様化に対応した商品企画が必須となっている（図-1）。

＜特集テーマ・・・マテリアルとトレンドの変遷参照＞



図-1 ライフスタイルと価値観

\*1 Kazuhiko Komada デザイン企画部

マーケティングの第1ステップとしてユーザー分類がある。これまでの多くは年齢・性別・職業などによるものであった。

われわれはこの〈価値観〉に着目し、ユーザーがどういう観点を持って、どう判断しているのか？・・・それらはまた、ある判断基準でセグメントできるのか？を考察することにした。

〈特集テーマ・・・内装製品に求められる  
質感調査参照〉

調査を進めて解析をしていると、人があるモノを見て判断する際にそのモノだけでは判断せず、周りにあるものを含めて総合的に判断していることが解った（質感を構成する〈形・色・素材〉はモノを構成する重要な要素）。

更に、その総合的判断のもとになっているのは感性であり、人は五感を駆使して好むか？好まざるか？を決めている。

仕様が拮抗している場合、ユーザーにとっての魅力はこの〈感性品質〉が選択の重要なポイントとなる。

いかにユーザーの感性に訴えて〈欲しい！〉と思わせることが出来るか・・・という品質である。

先に述べたように、ユーザーの価値観は多様化しており、感性品質はそれぞれのユーザーセグメントに応じた仕様にする事で〈欲しい！〉を獲得できると考えられる。

如何にしてその趣向を探り、効果的な部位で、有効な手法を用いて対応できるかがカギとなる。

### 3. デザイナーの視点とユーザーの目線

例えば女性は〈好き〉〈嫌い〉で判断すると言われることが多い。確かに言われてみれば〈カワイイ〉=好き、〈キモい〉=嫌いという表現が多いような・・・

だが、その判断プロセスはかなり複雑。つまり総合的である。

対して、男性の場合あまり明確に判断しない（気にならない）ことが多い。・・・つまり日常が無頓着である。

われわれデザイナーという職種は人の趣向に敏感でなければならない。従って、前述の女性目線には大いに影響を受ける（女性の〈気づき〉を大切にすることが、総合的な判断に結びつくことが多い）。

女性の視点は多種多様である。それはファッション・ライフスタイルの雑誌の発刊数をみても明らかである。

### 4. デザインと商品企画

デザイナーが商品を企画する意味は、

- ・ユーザーとしての目線を常に持って仕事を俯瞰できること。すなわち、製品ではなく商品として見れることである。

デザイナーが商品企画することでエンジニアの仕事のプロセスが変わりつつある。

以前のエンジニアはカーメーカーからの性能の要求値を目標にして達成することがミッションだった。しかし、その仕事では新たなビジネスの創出は難しく、また、独自の要素技術も開発・蓄積しにくい。

デザイナーが市場調査やトレンドの先読みを行い、商品を〈モックアップ〉という形で〈見える化〉することでエンジニアが自分たちの技術をどう特化すべきかの方向性が明らかになった。

また、今無い技術をどのようなプロセスで育成するかという技術のロードマップも描けるようになってきた。

現在では、新しく開発された要素技術を商品として最適化するためにデザイン・特性はどうあるべきかを議論している（図-2）。





図-2 プロセスフローチャート

## 5. おわりに

われわれサプライヤーが提供するものは、あくまで全体の一部に過ぎない。個々のパーツが主張し出すと全体にまとまりが無くなる。

ユーザーが心惹かれるクルマを見ると個々の部位がどうのではなく、全体がハーモナイズされて一つの雰囲気を作り出している。

そのハーモニーを乱すことなく、またより良い協和音とするために今後も部品の魅力を向上させたい。

著 者



駒田一彦

## 将来を支える商品企画・開発

### Product Planning & Development in Future

栗山雄治\*

#### 1. はじめに

商品企画センター（デザイン企画部／商品開発部）が発足して2年が経過する。

当部、商品開発部のミッションは、豊田合成の将来を支える新商品及び要素技術の開発であり、「もっといい車、もっといい商品づくり」のためには、デザイナーの意図するデザインを商品として実現すること、開発する商品、要素技術の将来を予測し、その時代に合ったものを企画・開発していくことが必要である。

今現在、自動車は次世代に向けて大きく変わろうとしている。本報告では、豊田合成がその変化点を捉え、企画・開発化する取組みの紹介と指針を示したい。

#### 2. 次世代自動車と対応

##### 2-1 次世代自動車

今後飛躍的に普及していくのは、ハイブリッド車・電気自動車・燃料電池車などのガソリンに代わる動力源を搭載した自動車であることは言うまでもない。

また、2008年に搭載された「Eye Sight」を契機に予防安全として「運転支援システム」搭載車が急増し、今後徐々に「自動運転」へと進化していくだろう。これら、誰もが認知している自動車の変化に対し、豊田合成製品への影響を考えた開発が必要なのは明らかであり、先行開発をミッションとしている商品開発部は、特に重点で取組んでいる。

##### 2-2 対応すべき内容

前節で述べた動向に加え、通信インフラのハー

ド面の強化、電子技術の進化、今や先進国を上回る市場になった新興国市場への対応など、以下に対応すべき内容を記述する。

＜対応すべき内容＞

- 1) 更なる安全性向上（運転支援・自動運転などによる事故低減や高齢ドライバー援助）
- 2) ビッグデータの活用推進
- 3) 環境対策（2020年に向って世界各地で強化される燃費規制への対応）
- 4) 石油以外のエネルギー利用
- 5) グローバル各市場ニーズのよりの確な吸上げと対応

次章では、これらの対応の豊田合成としての取組みについて述べる。

#### 3. 豊田合成の取組み

##### 3-1 商品企画センターの仕事の流れ

巻頭言で述べられている、「デザインを実現させる技術」と「技術を活かすデザイン」、この両面を両者（商品開発部／デザイン企画部）が尊重し合い、付加価値をつけられる商品企画～開発の仕事の流れが重要で、本年度年初にその仕組を定め、視える化した。この仕事の流れについては、総説「デザインと商品企画」（図-2 プロセスフローチャート）に示されているので、ここでは省略する。

この仕事の流れに沿って当センターでは、領域毎に「ロードマップ」を策定（図-1・・・機密が含まれているため具体的なテーマ名は削除）、センター全体で行っている活動（図-2）にて、毎年改訂し、商品開発の方向性を示している。そして毎年、年度毎のターゲット車系、デザイントレンド、

\* Yuji Kuriyama 商品開発部

技術トレンド等のベンチマークから予測される内容を折込んだ「モック」を作成し、トップを含む社内関係者の意見、顧客プレゼンにより吸上げたコ

メントを基に「モック」の修正と商品化テーマへの展開を図っている。

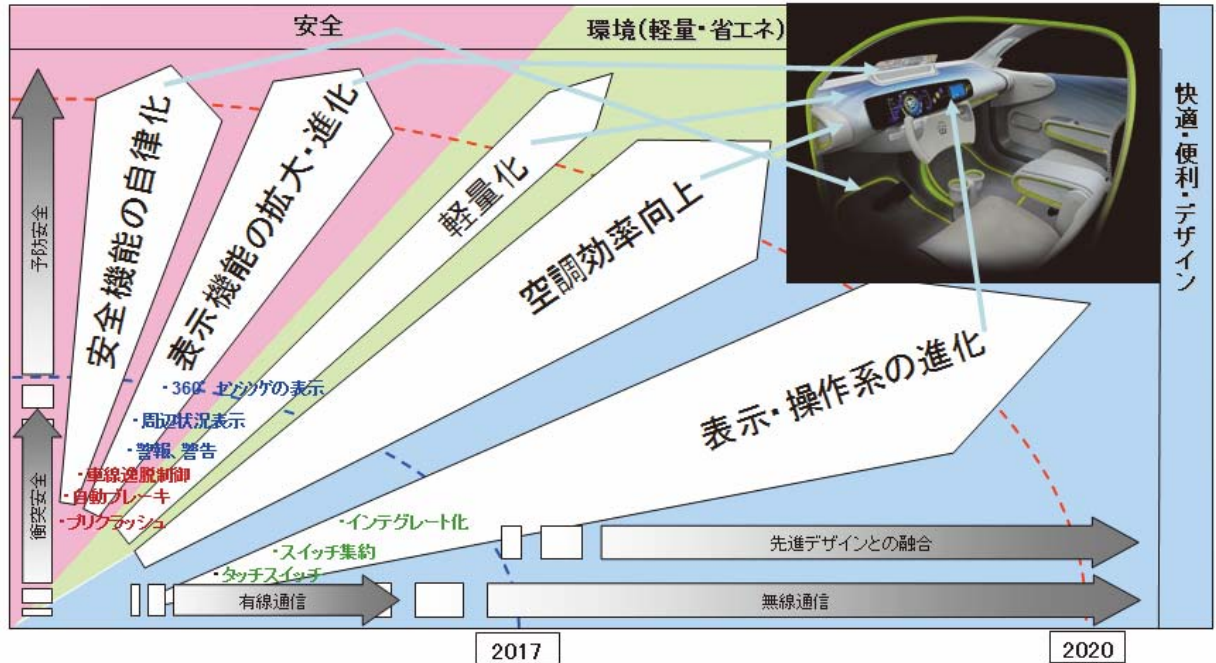


図-1 ロードマップ事例（ハンドルを中心としたインテリアの高機能化）

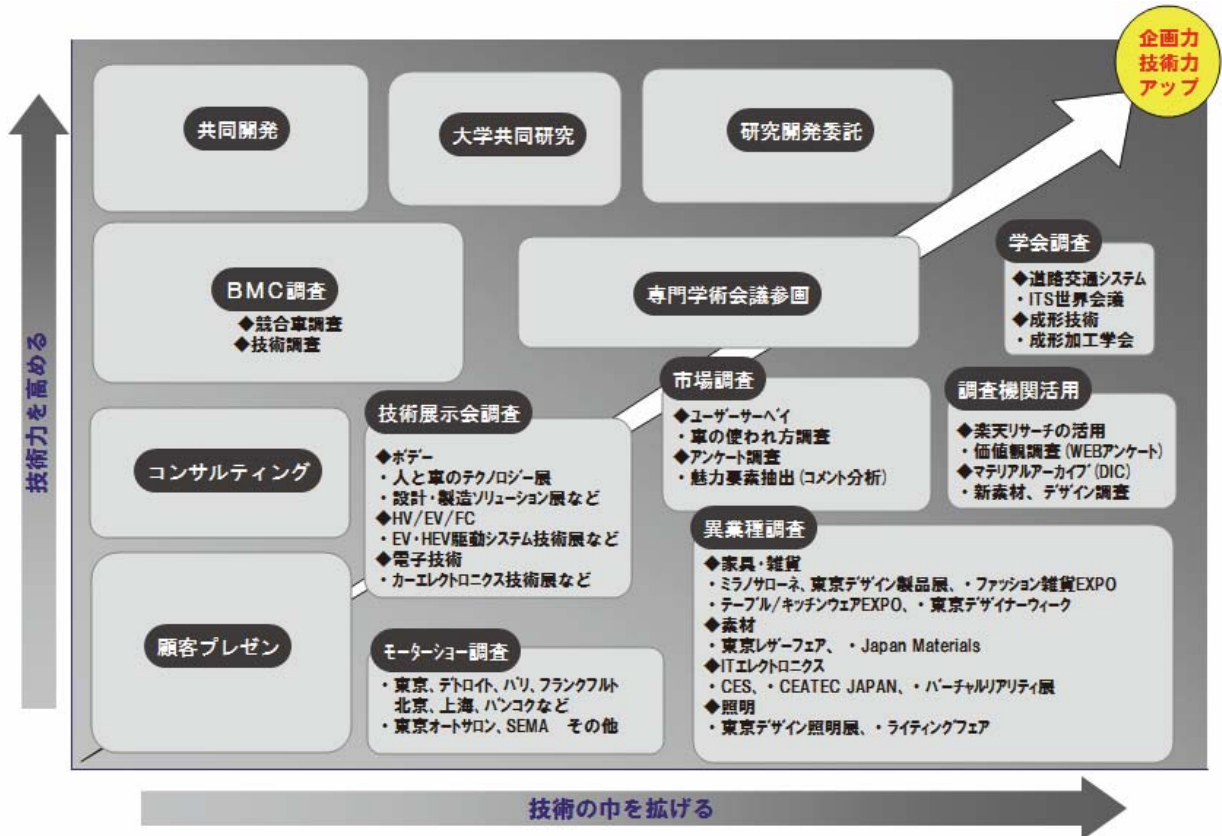


図-2 技術力を高める活動／技術の中を拡げる活動

### 3-2 更なる安全性向上

2章で述べたように、予防安全としては、「運転支援システム」の高度化から「自動運転」へと進化していくだろうが、そこに至るには様々な課題があり、実現は簡単ではない。

ここでは、本報告の主旨ではないので、その課題についての議論は控え、「高度運転支援」の観点で、豊田合成開発商品の指針について述べる。

運転支援システムは、現在でもある条件下では自動運転可能な技術レベルに達しつつあるものの、急な人や車の飛出し、機能自体の異常が生じたとき等の対処が出来るような状態になっていないといけない。豊田合成の主要商品であるハンドルでは、ハンドルを握っていないドライバーへの警告を出す機能を付与したい。更には、ドライバーの体調をモニターし、それを使った運転支援システムの提案、これまでに開発してきたヒーター機能や、タッチスイッチ機能等と合わせて、ハンドルを単なる操舵としてではなく、高機能化しながら、より快適で使いやすく、デザインにも優れたハンドルを提供していくことである。

また、「運転支援システム」の高度化には、内装品でも貢献していきたい。当社のLEDを使って、外部情報をドライバーに知らせる機能、緊急時の警告機能等を、将来のトレンドを予測したデザインと融合した商品化が重要である。

また、表示・操作機能についても、ドライバーが視線をずらさないで使える、ブラインド操作できる等を考慮した商品企画が重要である。

### 3-3 環境対策

豊田合成としては、軽量化を最重点に取組んでいく。高分子商品のメーカーである豊田合成は、その特徴を活かし、材料・工法・設計の三位一体による軽量化に取り組んでいる。低比重・高剛性材、発泡材開発等に、それらを活かす工法開発、設計面では、構成部品、機能のインテグレート化、小型化を前記材料・工法を組合せて軽量化していきたい。

欧米では、マルチマテリアル化による軽量化企画が、質量の重い骨格、外板に適用検討されているが、生産技術やコスト等課題が多く、量産化にはまだまだ時間がかかりそうである。豊田合成は外板の樹脂化にこだわり、樹脂製品ならではの彫りの深いデザインにて、ユーザーの感性に訴える商品の早期実現に向け、課題に取り組んでいきたい。

### 3-4 石油以外のエネルギー利用

日本のカーメーカーが世界をリードして普及してきているハイブリッド車・電気自動車・燃料電池車、いわゆる「次世代自動車」は、環境対策としての意義に加え、石油を産出しない国におけるモータリゼーション進行において多用な動力源を提供できるという点においても意義がある。豊田合成にとっても、今後売上げ・利益の柱となっていく新興国市場において、従来の事業領域・商品に加え、次世代自動車用の新規領域参入へのチャンスであり、開発の意義も大である。豊田合成の高分子材料、樹脂×金属結合技術等を活かし、高压タンク、電池モジュールの部品の樹脂化・インテグレート化等が開発指針になってくる。

### 3-5 グローバル各市場ニーズの よりの確な吸上げと対応

グローバル市場を考える上で、今後モータリゼーションが高まる新興国の動きを的確に掴むことが、豊田合成の将来において重要な活動のひとつになってくる。

現地で売れる為には、現地人の嗜好にあったもの提供することが今後必要不可欠で、本年度から、新興国にある当社拠点のエンジニアと、モーターショー調査、市場ニーズの調査と分析及び現地エンジニアのアイデア提案を中心とした商品企画活動を始めた。この活動で期待していることは、現地嗜好に合った商品企画の実現とともに、現地エンジニアのモチベーションをあげ、成長につなげることであり、既に変化が始めている。その成長の証として、現地エンジニア企画の商品を現地展示会、モーターショーへの出展に結びつけるよう支援していきたい。



## 4. おわりに

本報告では、「もっといい商品づくり」の視点で、様々な切口の一部ではあるが、将来動向と先行開発の指針、取組みについて述べてきた。これを受けて各領域の取組みの事例を論文、新技術紹介として報告するので、今後の活動の参考にしていただきたい。

また、それを刺激にして、更に「もっといい商品づくり」に「One Team, One TG.」につながれば幸いだ。

### 筆者紹介



栗山雄治

## マテリアルとトレンドの変遷

大松直樹<sup>\*1</sup>, 佐古亜沙美<sup>\*2</sup>, 小澤悦雄<sup>\*3</sup>

### The Transition of Materials and Trends

Naoki Omatsu<sup>\*1</sup>, Asami Sako<sup>\*2</sup>, Etsuo Ozawa<sup>\*3</sup>

#### 要旨

自動車のデザインは時の流れと共に変化し続けている。そのデザインのカッコいいカッコ悪い、好き嫌いといったエンドユーザーの評価には、形だけではない様々な要因があると考えられる。特に、多種多様な部品の集合体であるインテリアデザインにおいては、それぞれの部品の質感と、それらが織成するハーモニーにより形成される「質感」が重要と考えている。

ここでは、その「質感」を司るマテリアル（素材）に着目、自動車のみならず様々な市場の中でデザイン性が高くトレンドに影響を与えた、与えている家電、インテリア、ファッション等様々なプロダクトの調査、分析から将来のトレンドを予測、自動車インテリアの質感向上に向けた開発をリードする、商品企画の取り組み、マテリアルアーカイブの事例について報告する。

#### Abstract

Car design changes continually with the times. When end users evaluate a design as stylish or ugly, or as something they like or dislike, they consider many factors other than form. We believe that the “feeling of quality” imparted by each part and the harmony created when they are put together is especially important in interior design, which consists of a wide variety of parts.

In this study we focused on materials, which have a large impact on feeling of quality. We are forecasting future trends based on research and product analysis not only of cars but also other markets that influence design trends, including consumer electronics, architectural interior products, fashion, and others. In this report, we introduce some case examples of our “material archive”, a product planning initiative that guides our development to improve the feeling of quality of car interiors.

\*1 デザイン部 企画開発室

\*2 デザイン部 企画開発室

\*3 デザイン部 企画開発室

## 1. はじめに

自動車のインテリア、特に豊田合成が携わるインストルメントパネルとその周辺部品には多種多様な素材が使われているように見られるが、一部の超高級車を除き、その素材の多くが合成樹脂、いわゆるプラスチック、もしくはプラスチックに二次的加工を施したもので構成されている（図-1）。自動車のインテリア以外にも、家電製品やスマートフォン等のモバイル製品、化粧品のパッケージ、スポーツ用品等々、我々の身近なプロダクトの多くに使われている。もちろんアップル社の製品のように、アルミの削り出し等といった本物素材で作られたものもあるが（図-2）、昨今プラスチックは安物の代名詞とされ「プラスチックキー」と粗悪な質感を比喻する表現として自動車雑誌等の記事にも使われているのを度々目にするがある。このプラスチックの「質感」を高めることが、自動車インテリアデザインの向上には欠かせないものとする。

我々はトレンドを牽引するデザイン性が高い製品に使われている素材と、その素材の使い方から得られる「質感」、更には、その製品の変化の変遷をも調査し、次に来るトレンドを予測、カーメーカーに提案する取り組みをマテリアルアーカイブと銘打って進めている。その取り組みの一部について報告する。



図-1 プラスチック製のインテリア部品



図-2 アップル社のアルミ素材の活用事例

## 2. マテリアル アーカイブの概要

Material（素材）とArchives（情報の保管場所）、この二つの名詞からなる造語は本取り組みのテーマ名にして取り組みの起点である。

市場調査から得られる情報をデータベース化し、デザイナーやエンジニアがいつでも活用できるアーカイブの作成ではあるが、目指したのは単なる収集や整理では無く、トレンドを分析し開発テーマにまで落とし込めるアーカイブ（図-3）とすることである。

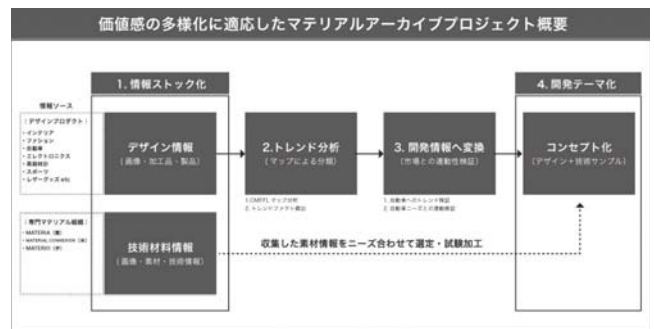


図-3 マテリアルアーカイブの概要

### 2-1. 情報のストック化

アーカイブとして一番重要なのは、情報の量とその網羅性である。自前での情報収集だけでは情報量も限られる。また偏ったものにならないよう外部のコンサルタントに協力を依頼、グローバルのあらゆる情報を収集しストック化（図-4）することから始めた。



図-4 素材情報のストックカタログ

インターネットによる画像情報はもとより、デザインに影響を及ぼすイベントのトレンド情報、毎年カラートレンドを発信する団体やプロダクトに関連する素材の収集を専門に行っている団体（図-5）等からのトレンド情報等、出来る限り幅広く実施した。



図-5 世界の素材ライブラリー

## 2-2. トレンド分析

収集した情報は大きく二つの方向で分析している。一つ目は自動車とそれを取り巻く環境からどのようなニーズが求められているかをキーワード化、その各キーワードに相当する情報を層別、また、時系列に整理することでその変遷を辿り、来たるトレンドの予測を実施している(図-6)。



図-6 自動車の未来予測

二つ目は、デザインの変革に深く関わる新たな技術開発とトレンドとの関係性についてである。

こちらについても時系列で変遷を辿っている。ある製品の出現がその後のトレンドに大きく影響を及ぼすことが多々ある。アップル社の事例は言うまでもないだろう。

ここでは、単に変化を見るのではなく変化の原因を見出すことを主な目的としている。例えば、新たな材料技術、加工技術、またはIT等電子デバイス等の進化がどのように影響しているのか等の調査を実施した(図-7)。



図-7 プロダクトの変遷

また、自動車のトレンドと自動車以外の関係性についても調査を実施した結果、一定の周期で関係性があることを導いている(図-8)。



図-8 自動車と他のプロダクトの関係性

このように、単なる情報の収集整理に留まらず、トレンドの変遷までに落とし込むことにより、市場の変化の兆候をいち早くキャッチすることに注力している。

## 2-3. 開発情報への変換

得られた情報を活用し、開発にどう活かすかは、このような取り組みの大きな課題である。単なる情報整理だけでは、これら情報が筆筒の肥やしとなってしまうことは、幾度と無く経験済みである。

我々は、キーワード毎に層別した四つのグループのコンセプトを創出、開発テーマへの落とし込みを実施している。

- 1) 量から質の追求(細部にまでこだわった高品質デザイン)

主にファッション業界でのファストファッションの台頭は、老舗高級ブランドに新たな質への変化をもたらした。希少な素材や手の込んだ巧みの技による微細な細工を最新のデジタル加工技術との組み合わせで具現化(図-9)。



図-9 量から質の追求



2) 機能起点のデザイン

(利便性を追求した機能起点デザイン)

素材そのものの機能性を取り込んだデザイン。ウエットスーツのラバー素材や縫製ではなくマル網で出来たスニーカー等のような、素材や工法ならではのテクスチャーを具現化(図-10)。



図-10 機能起点のデザイン

3) エレクトロニクスとの融合 (コンピューティングシステムによる光の設計)

ONとOFFだけではないアルゴリズム設計によるライティングパターンや素材と光のコンビネーション等新たな光のデザインを具現化(図-11)。



図-11 エレクトロニクスとの融合

4) インテリジェント技術

(スマートマテリアル)

近未来に出現するであろう、ウェアラブルやその先のIT先端技術に対応した電子マテリアルの模索(図-12)。

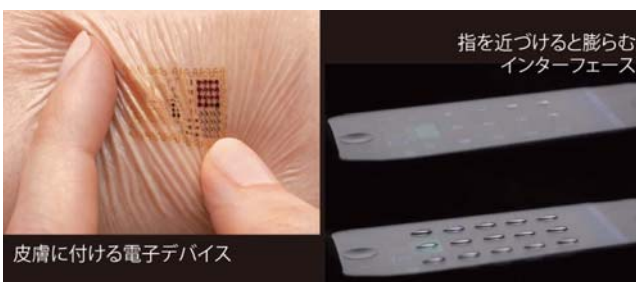


図-12 インテリジェント技術

3. マテリアル アーカイブの活用

3-1. 社内展開

前述したように本取り組みは単なる情報の収集と整理に留まらず、開発テーマに直結する。それ故にこの取り組みはエンジニアと共有し商品企画と技術開発の両面を同時に進める必要がある。

各コンセプト毎にキーワードと画像、技術キーワードをパネルにまとめ、実物のサンプルと一緒に、豊田合成の商品企画センター共有スペースに随時展示し、いつでもデザイナー、エンジニア共に閲覧可能な環境を整えた(図-13)。



図-13 実物サンプルとコンセプトパネルの展示

また、取り組み結果について、会社トップ報告会を必ず実施し開発方向の確認と商品企画活動の認識合わせに活用している。

3-2. デザイン開発モック

我々の取り組み結果の集大成は、商品企画をデザインモック化し社内外への提案活動を推進することである。マテリアルアーカイブで得られた素材表現をいち早く搭載し自動車部品としての可能性の検証を実施している(図-14)。



図-14 インテリアモック

## 4. まとめ

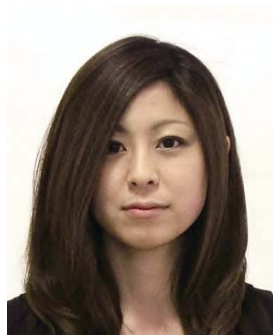
この取り組みを始めてから3年が経つ。最初の1年は膨大な情報の整理に終始し、2年目はトレンドの変遷を可視化することが出来、少し手ごたえを得られた。3年目の今年、いくつかの変化の兆候から開発テーマ化、例えば機能を取り込んだ加飾部品、素材とイルミネーションの組み合わせによる新たな付加価値やデジタルテクスチャーの活用等、デザインモックによる具現化と顧客提案を実施した。比較的ポジティブな反響はあるが、その成否は更に2年後3年後、製品化か否かの結果を見なければ分からない。

最も重要なことは、この取り組みが一過性に終わらないことだ。常に変化点を捉えテーマ化と検証のサイクルを廻し、一つでも多くの魅力的な製品を生み出せるよう取り組みそのものも日々進化させながら愚直に続けていく。

著 者



大松直樹



佐古亜沙美



小澤悦雄

## 内装製品に求められる質感調査

野倉邦裕\*1, 亀井俊輔\*2, 久保千穂\*3, 広瀬吉一\*4

### Investigation of Quality Feeling Required in Car Interior Products

Kunihiro Nokura\*1, Shunsuke Kamei\*2, Chiho Kubo\*3, Yoshikazu Hirose\*4

#### 要旨

顧客に魅力ある製品提案を行う商品企画において、ユーザーニーズを捉えることは重要である。更に、“魅力的”・“欲しい”と思っただけには、機能や価格だけでなくユーザーの感性に訴えかける感性品質が重要となってくる。この感性品質を向上させるには、ユーザーが「何をもって“魅力”と感じているのか」という魅力の判断基準、モノサシを知ることが必要である。

また、時代とともに常に新しい価値観が創出され、価値観はますます多様化している。これらの価値観に対応するには、単に商品のラインナップを増やしユーザーに選ばせるのではなく、ユーザーの価値観を的確に捉え、各々に対応した商品提案をする必要がある。

今回我々は、「質感」に着目し、車両ベンチマークにより質感の評価軸を抽出した。また、被験者実験からユーザーの嗜好傾向や価値観を分類し、各グループの内装製品に求めるイメージを調査した。本報告ではその事例について紹介する。

#### Abstract

To propose products that are attractive to customers, it is important to grasp user needs. However, attracting users is not only a matter of function and price. “Kansei” quality, which appeals to users’ feelings and needs holistically, is also important. To improve kansei quality, we need to understand the criteria users employ in determining attractiveness.

New values are created constantly with the times, and these values are becoming increasingly more diverse. In meeting these values it is not enough to merely increase our product lineup and have customers choose from among them, but to propose products that fit each user’s values based on a precise understanding of them.

In this study we focused on the “feeling of quality,” one aspect of kansei quality, and devised an evaluation axis for it based on vehicle bench-marking. We also researched preferred images for car interior products within groups that had been classified by preference tendencies and values in subjective experiments. In this report we introduce some case examples.

\*1 デザイン企画部 企画開発室

\*2 商品開発部 ボデー開発室

\*3 デザイン企画部 企画開発室

\*4 デザイン企画部 企画開発室

## 1. はじめに

近年、走行性能・安全性・利便性に加え、ユーザーの価値観・感性に訴える商品の企画開発が重要となってきている。特に自動車の内装は直接ユーザーが触れる機会が多く、その重要性は更に高まっていくと考えられる。

先の総説でも述べられているように人の価値観は多様であり、更に時代とともに常に新しい価値観が生まれている。我々部品メーカーもユーザーの価値観に応じた感性に訴える仕様を製品に折り込み、魅力ある商品を提供することが求められてきている。特に、軽自動車、コンパクトクラスの自動車内装の質感は非常に高まってきているが、ユーザーの求める質感や、どういった視点で質感を評価しているのかは明らかになっていない。

今回、自動車の内装から受ける質感について感性工学手法を用いて解析し、ユーザーが“質感が高い”と感じる判断基準＝評価軸を抽出し、更に価値観に基づいたユーザーの層別とそれぞれの嗜好イメージを抽出したので報告する。

## 2. “質感” の評価軸

質感の評価軸を抽出するため、質感が高いと言われていたコンパクトカー（欧州車、国産車）についてアンケートを実施した。

### 2-1. 調査車種

調査対象として欧州車4台と国産車4台を選定した（図-1）。



図-1 調査車両

### 2-2. 評価軸の抽出

社内のデザイナーに車両に乗ってもらい、質感が高く感じる、低く感じる部位とその理由の聞き取り調査を実施した。更に抽出されたワードを層別し、以下の4つのキーワード（評価軸）を導き出した。

#### 1) メリハリ（コントラストを付ける）

色、ツヤ、素材など、隣り合う部品にコントラストを付けることにより個々の部品の特徴が際立ち、質感がより高く感じられる（図-2）。



図-2 メリハリ（コントラストを付ける）

#### 2) 素材と造り

（フォルムとテクスチャのイメージを合わせる）

見た目が軟らかそうな素材（テクスチャ）は軟らかそうな断面形状にするなど、フォルムとテクスチャのイメージを合わせることで、“本物感”を連想し、質感が高く感じる（図-3）。



図-3 素材と造り

#### 3) 素材の魅せ方

（素材の良さを最大限に発揮させる）

ピアノブラックやメッキ加飾などツヤを特徴とした加飾は、光の当たり方や反射を考慮した形状、配置にすることで、その特徴を最大限に活かすことができ、質感が高く感じる（図-4）。





図-4 素材の魅せ方

4) 加飾の使い方 (機能・操作部を強調する)  
 ステアリングやレジスターなど、機能を有している部品にはアクセントとなる加飾を施すことで、その機能性が強調され、全体の質感が高く感じる。特に操作部位は見たり、手が触れたりする機会が多いため、効果的であると考えられる (表-1)。

表-1 加飾の使い方

	Citroen C3	Fiat 500	Mini Cooper
ステアリングホイール			
レジスター			
スイッチ周り			
ドアノブ			

### 3. 価値観によるユーザー分類

第2章で述べた質感の評価軸を考慮したインテリアデザインを行うことで魅力的な商品を提供できると考えられる。しかしユーザーの価値観・嗜好は多様化してきており、4つの評価軸の方向性や重要度は異なることが考えられる。

ここでは抽出された評価軸の中から、「メリハリ」について注目し、ユーザーの価値観・嗜好の違いによる「メリハリ」の感じ方の違いについて調査したのでその内容について述べる。

#### 3-1. 評価サンプル

実験用サンプルとして、インストルメントパネルをイメージした革シボ部+モール+パネルの3部品構成のサンプルを作製した (図-5)。評価のため、隣り合う部品の色、ツヤの組み合わせを変えたものを8水準作製した。サンプル水準を表-2に示す。

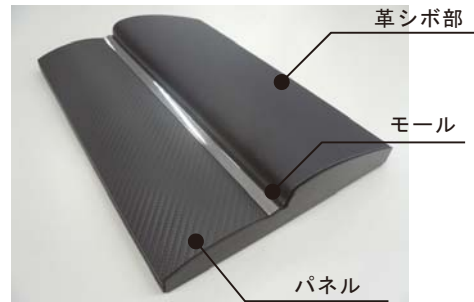


図-5 実験サンプル

表-2 サンプル水準

サンプル番号	モール		パネル グロス
	グロス	色	
#1	高	シルバー	低
#2	低	シルバー	
#3	高	ダーク色	
#4	低	ダーク色	
#5	高	シルバー	高
#6	低	シルバー	
#7	高	ダーク色	
#8	低	ダーク色	

#### 3-2. 嗜好によるグループ分け

被験者に対して8種類のサンプルを一つずつ提示し、それぞれについて「質感の高さ」について0~100点で評価してもらった (図-6)。サンプルに付けられた点数からクラスター分析を行い、被験者のグループ分けを行った。被験者数は18歳~86歳の男女合わせて136人である。



図-6 評価風景

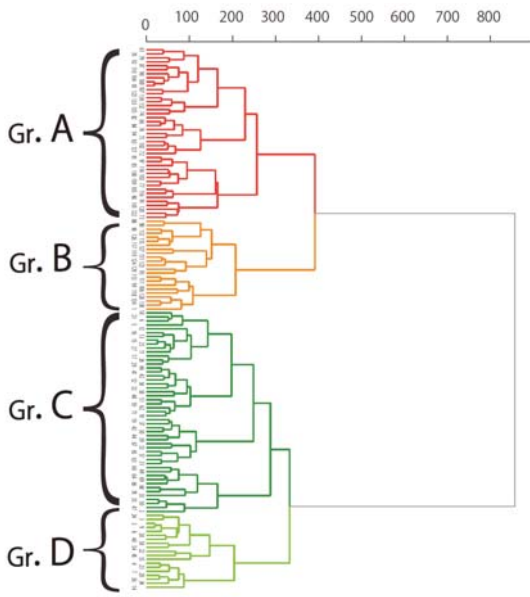


図-7 クラスタ分析結果

クラスタ分析の結果，サンプルの質感に対する感じ方が4つのグループに分けられることがわかった(図-7)．グループA, Bは隣り合う部品のコントラストがあることを好む傾向にあるのに対し，グループC, Dはコントラストがあまりないことを好む傾向にあった．

3-3. 質感に求めるイメージ

質感の感じ方で分類されたユーザー層が求めるイメージを調査するため，各サンプルから受けるイメージをアンケートにて抽出した．使用したアンケート用紙の一部を図-8に示す．

	1	2	3	4	5
落ち着きがある	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
フォーマル	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
上品・女性的・エレガント	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
伝統的・クラシカル	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
豪華・装飾的・ゴージャス	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

図-8 アンケート用紙

アンケート結果を数量化Ⅲ類で分析し，質感に求めるイメージを図-9のように可視化した．例として図-9にグループCの結果を示す．グラフの軸は付置された形容詞から，縦軸を重厚-軽快，横軸を静的-動的とした．各サンプルの付置から，

どのサンプルにどのようなイメージを感じたかがわかる．この結果から，被験者グループCはメリハリが少なく，比較的落ち着いた静的イメージの対象を好むことが分かった．

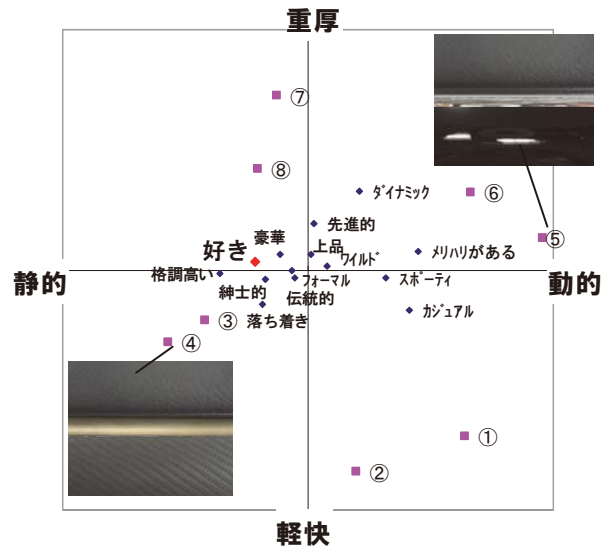


図-9 数量化Ⅲ類分析結果

その他グループも同様に分析を実施し，嗜好イメージを抽出した．さらに，被験者属性から，グループの中心となるユーザー層を割り出し，各ユーザー層と質感に求めるイメージを表-3にまとめた．

表-3 結果まとめ

	group-A	group-B	group-C	group-D
グループの中心となるユーザー層	中年以下の男性 こだわりは様々	子育て世代 車は道具	質感にこだわりのある女性	良いものを知る シニア層
質感に求めるイメージ	質感高 = 重厚感高			
	動的イメージ		静的イメージ	
	豪華・装飾的・ゴージャス感		落ち着き・フォーマル・格調	

## 4. まとめ

今回、「メリハリ」に着目してユーザーの質感の感じ方による分類とそれぞれの好むイメージを抽出した。本結果からユーザーの価値観別に部品間のコントラストの仕様を変えることで、よりユーザーの嗜好に合った商品仕様の一部を提案できると考えている。

本結果はコンパクトカーの内装を対象にした、一部の結果であり、その他の車系、部位、残った評価軸についても調査を続け、より魅力ある商品開発に繋げていきたいと考えている。

### 著 者



野倉邦裕



亀井俊輔



久保千穂



広瀬吉一

## 照明を使ったインテリアの演出について

佐藤 絢香<sup>\*1</sup>, 久保 千穂<sup>\*2</sup>

### Effective Illumination for Vehicle Interior

Ayaka Sato<sup>\*1</sup>, Chiho Kubo<sup>\*2</sup>

#### 要旨

照明のLED化が進み、光の表現の自由度が高まったことにより、インテリアをより魅力的に表現するためのアイテムの一つとして照明を検討することができるようになってきた。

本報告では照明の使い方によってインテリアの素材や形を引き立て、より魅力的な車室空間を創り出すアプローチについて紹介する。

#### Abstract

Technology innovations with LED lighting have made lighting one of the key elements of vehicle interior design strategy and brand identity. This report shows how effective use of lighting enhances material and form to make vehicle interiors more attractive.

### 1. はじめに

従来車両の室内照明は必要時に室内の明るさを確保するための機能照明でしかなかったが、15年ほど前からLEDが使用されるようになり、図-1に示すような直接的に光を見せて雰囲気を作るための演出照明もみられるようになった。LED化により使用位置や光の表現の自由度が増し、様々な使い方が可能になってきている。

昨今のLEDの発光効率向上と低価格化により、主にハイグレードやオプションでしかみられなかった機能以外の照明の使用がスタンダード化されはじめている。さらに図-2で示すように、その使われ方もただ空いた隙間に光をいれるのではなく、色や形、動き等を使って演出をする物も多くみられる。特に欧州車においてはその車種のキャ

ラクター性やブランドイメージを強調するために照明を効果的に使うといった手法も使われるようになってきている。



図-1 LEDを使った演出照明の例  
(トヨタbB)

\*1 デザイン企画部 企画開発室

\*2 デザイン企画部 企画開発室





図-2 車室内外を演出する照明の例

## 2. 車室内照明の効果的な表現手法の提案

これからは照明をインテリア要素の一部ととらえ、車室空間の快適性を向上させる要素の一つとして考えることができるのではないだろうか。照明の位置、光色、配光などで車の内装は大きく表情を変える。建築業界では照明デザインは快適性を確保するためには必須のものであり、手法や効果については多くのノウハウが培われている。車室内においても同様に、より快適な照明のあり方について系統立てて整理できるのではないかと考え、コンセプト段階とそこからどのように具現化させるのかについて整理してみた。図-3は照明のコンセプトを考えるための材料として、どれだけの要素があるかを整理したものである。

考えられる要素には光源の仕様、照明される側の素材の仕様、照明方法の仕様（位置、強さ、色、拡散性、動き）などがある。

例えば、図-4に示すように素材の反射の違いは照明によって様々な表情をみせるし、照明の強さや位置によって見え方は大きく変わる。図-5に示すように全く同じサンプルに異なる光を当てたとき、光の色成分は物体を反射する時に異なる色になって人間の目に届く。

また、光の配置は図-6に示すように空間全体の広さ感などにも大きく影響することがわかっている<sup>1)~6)</sup>。照明と心理は深く関わっており、ここで紹介しているのは建築インテリア業界では一般的に語られている部分である。

車室内の照明のあり方としてのアプローチの仕方は大きく二つと考える。一つは素材や設計の良さを最大に引き出す光の使い方であり、もう一つは素材や造形と照明を全体でコーディネートして考えていくアプローチである。次章では一つの手がかりとして、素材と造形と照明の関係性について検討した結果を紹介する。



図-4 マテリアルの反射の違い

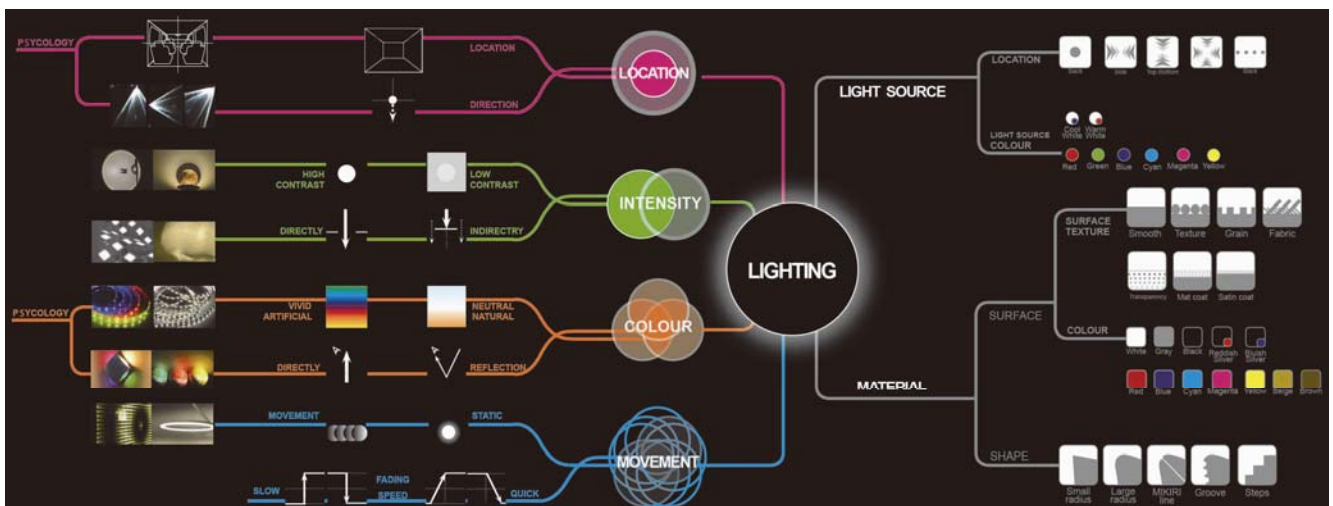


図-3 照明コンセプト構築要素

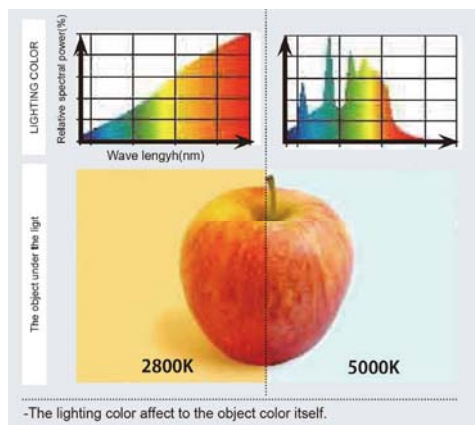


図-5 分光反射による物体色への影響

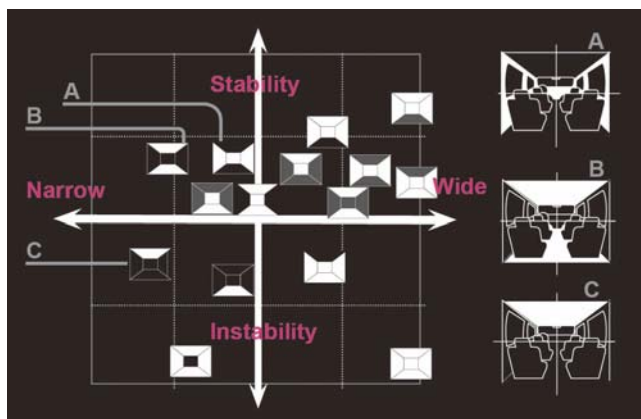


図-6 空間の明るさの分布とイメージ

### 3. マテリアルと形状と照明の関係に対する検討

自動車の内装表面は革や樹脂、ファブリックなどの様々なテクスチャーで覆われ、造形も直線的であったり、曲線的であったり様々である。そのようなマテリアルと造形の違いは照明によって様々な表情の違いを与えるであろうことは想像できる。

しかし実際にどの程度異なるのかについては肉眼で見ないと確認できない。何故ならどのようなシミュレーションも様々な条件には対応できないためだ。

本検討では、図-7に示したようなライトボックスを作製し、マテリアルと造形が光によってどのような表情の違いをみせるか、またその表情がどう変化をするかについて、実際に目で見て体験できるようにし、多くの人に観察してもらう企画を行った。W400×H400×D330の箱の中に常に4つの素材や形の異なるモジュールを配置し、光源

(LED) を中心に配置したものを基本モデルとして、みせたいテーマに沿って計10ヶのライトボックスを作製した。常に同じ光源の条件下で隣り合う4つのモジュールを比較することで、光によるマテリアルと造形の視覚的な変化をみせるものとした。テーマとその仕様を表-1に示す。

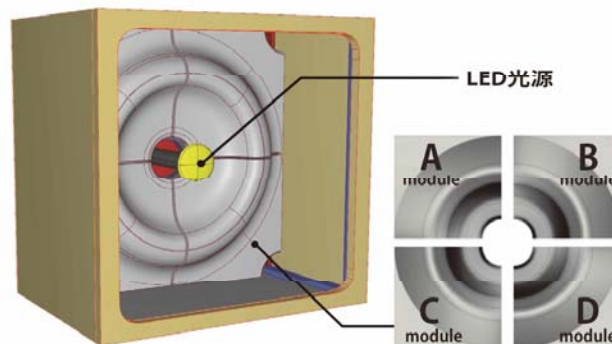


図-7 ライトボックス基本構成

表-1 ライトボックスのテーマ

テーマ	No.	仕様
造形の変化	1	光源の照射角度
	2	光源の点灯スピード
	3	物体色の光反射率
テクスチャーの変化	4	造形
	5	光源の照射角度
	6	ビデオプロジェクション
色の変化	7	物体色と光源色①
	8	物体色と光源色②
	9	カラーシャドウ
	10	透過マテリアル

例えば、テーマ3では、図-8及び図-9に示したような造形の視覚的な変化が現れる。左右2つのモジュール断面は同じである。しかしながら、物体色の光の吸収、反射、拡散率の違いが、図-9のように左は柔らかな造形、右はシャープな造形であるかのようにみせる。このように、光は造形の印象に大きな変化を与えることができる。



図-8 仕様の考え方

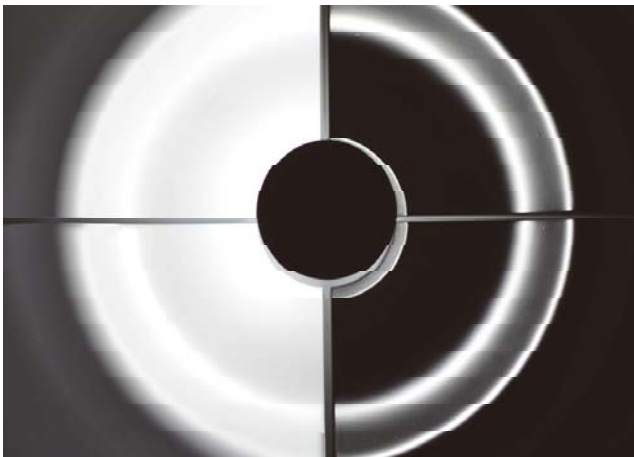


図-9 モック光源下でのみえ方

また、テーマ5では図-10のようにマテリアルのテクスチャー感が光の角度によって現れ方が異なる。同じマテリアルでも、光のあたる角度によりマテリアルのシボの深さが異なってみえる。このように、光はマテリアルのテクスチャー感を強調する事も、弱めることもできる。



図-10 シボのみえ方

またテーマ7では、マテリアルの表面の色は照明の色によって現れ方が異なる。図-11から図-14の写真は全く同じサンプルに異なる光を当てたときのものである。前章図-5に示す内容を応用すれば、照明の分光分布は対象物の色のみえ方を図-12 module Aのように強調したり、図-12 module Bのように抑えたりする。

さらに、図-13、図-14のように光色と物体色の作用により、新たな物体色を生み出すこともできる。このように、光はマテリアルの物体色のみえ方に大きく影響を与えることができる。

紹介したようなマテリアル、造形、光の関係性を用いることで、マテリアルと造形を忠実にみせるような光の使い方だけでなく、マテリアルや造形の印象に変化を与える、より効果的な光の演出が考えられる。

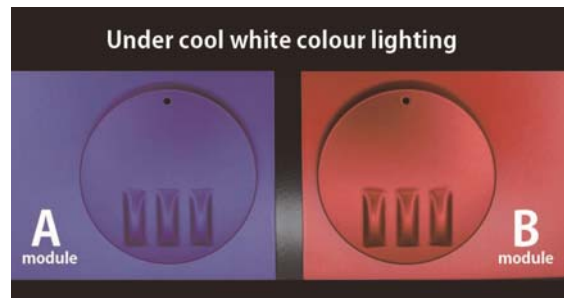


図-11 白色光源下での物体色



図-12 青色光源下での物体色

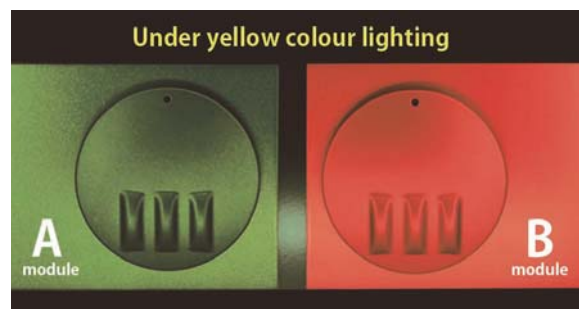


図-13 黄色光源下での物体色



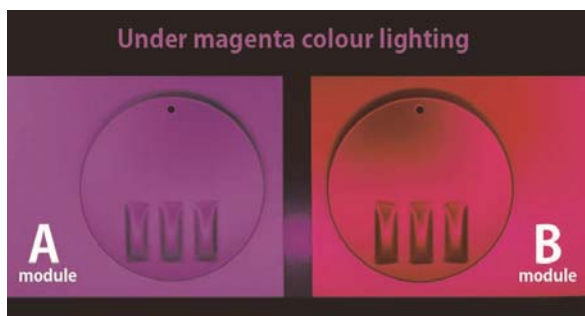


図-14 マゼンタ色光源下での物体色

## 参考文献

- 1) 照明用語辞典 オーム社
- 2) カラー図解照明のことがわかる本 日本実業出版 中島龍興
- 3) よくわかる最新照明の基本と仕組み 松下進秀和システム
- 4) ライティングデザイン辞典 産業調査会
- 5) ヤマギワライティングマニュアル ヤマギワ研究所 企画開発室
- 6) ERCO Lighting design guide ERCO社

## 4. おわりに

本報告では照明に焦点を当て、より快適なインテリアを実現するための試みの第一歩について記した。照明はインテリアデザインにおいて非常に効果的な要素の一つだと考えている。照明を効果的に用いるためには、マテリアルと形状と光の関係性が密接であることを理解すると同時に、この基本的な関係性を応用して用いる必要があると考えている。

今後は本取組みで実施した内容を発展させ、より快適なインテリアの創出に取り組んでいく。

著 者



佐藤 絢香



久保 千穂

## 5. 謝辞

この取組みは著者佐藤絢香がTOYOTA MOTER EUROPE NV/SA Kansei Design Department におけるインターン研修中に行ったものです。

本取組みにご賛同賜り、このような貴重な機会と数々のサポートを賜ったCarole Favart General Manager, Yann Jolly Manager, また最後まで共に頑張って下さったKansei Design メンバーご一同に心からの感謝の気持ちを申し上げたく、謝辞にかえさせていただきます。



## ハンドルを中心としたインテリアの高機能化

佐藤 貴彦 \*1

### Advanced Function of Interior Parts and Steering Wheel

Takahiko Sato\*<sup>1</sup>

#### 要旨

情報通信機器などのエレクトロニクス商品の急速な進化と共に人間生活は快適となった。同時に車の運転環境においても同様な快適性を求められる。車の安全、快適面からハンドル、インパネ部品の高機能化について、今後の開発方向性を報告する。

#### Abstract

The rapid evolution of information and telecommunications equipment and other electronics goods has made human life more comfortable. Comfort is also needed in driving vehicle. I report in the advanced functions of interior parts and steering wheels the future developmental directions for next-generation vehicles, from the perspectives of safety and comfort.

### 1. はじめに

自動車が発明され、人々の移動手段として使われるようになって約100年が経過した。好きな時に好きな所へ、思いのままに操って移動できる車は人間の社会生活において無くてはならない存在となっている。

将来的にも思いのままに操ることのできる車が存在することは間違いないが、2020年の東京オリンピックを契機に車の自動運転への流れが加速すると予測される。これは環境（渋滞緩和によるCO2削減）、安全（交通事故死傷者削減）面から今後、車が進化する核として重要であり、今後様々な技術開発が必要となってくる。

ここではハンドルおよびインストルメントパネル周辺部品（以下、インパネ）が、生活の進化、車の進化と共に高機能化していく今後の開発方向性について報告する。

### 2. 高機能化

近年、テレビ、スマートフォン（以下、スマホ）、タブレット端末など情報通信機器の進化とインターネット、デジタル放送など通信技術の整備、進化に伴い、人間生活は益々快適便利になってきた。この進歩により、距離的な隔たりをほとんど感じさせることなく、正確で膨大な情報伝達が可能となった。

\*1 商品開発部

同時に情報を表示するディスプレイも液晶、LED技術の進歩と共に薄型化し、画質も4Kから更に8Kのように高精細化が進んでいる。操作方法もゲーム機器が先導役となり、従来のボタン、ダイヤルからタッチパネル、音声、ジェスチャーなどで操作することも一般生活の中で珍しくなくなり、最近では映画の世界のようにGoogle Glassのようなウェアラブル端末(図-1)で操作する技術も現実の商品として現れてきた。



図-1 Google Glass

特にスマホには目をみはるヒューマンマシンインターフェース(以下、HMI)技術が満載している。片手で持てるサイズの中に本来の通話だけでなくWi-Fiなど無線通信装置、カメラ、各種センサ、タッチディスプレイ、音声認識などの機能を搭載しており、将来スマホを軸とした人間の生活環境構築が進んでもおかしくない状況にある。そしてこのようなHMI技術は一般生活から車室内へ確実に展開が進むと予測される。

車の進化の中でも特に進んだ技術の一つが安全である。これまでに、ぶつかっても乗員の被害軽減ができるボディ構造(衝撃エネルギー吸収、高強度化など)、乗員拘束装置(シートベルト、エアバッグ)など衝突安全技術が普及してきた。しかし今後は事故自体を未然に防ぐ予防安全技術が広がる。この技術は、周辺監視(認知)、事故回避支援(判断)、車両運動制御(操作)によって、人が中心であった運転操作を車両が高度支援し安全性を向上させるものである。将来的にはこの技術が更に進み自動運転につながると予測する。

通信技術が進んできた現在、人は車を通じて外部と情報のやりとりを頻繁に行う。膨大な情報の中から必要な情報を必要な時に選択できる新たなHMIに対応したハンドル、インパネの開発が必要である。

## 2-1. ハンドル

自動車のハンドル(図-2)に要求される基本機能は車の操舵であるが、車とドライバーが最も身近で接点になる部品であることから、既にハンドルには安全の為に緊急警報用ホーンスイッチ、利便性向上の為にオーディオなどのスイッチも装着されている。

国内における交通事故死亡者数は年々減少しているものの、まだ4000人/年近くの人が命を落している。車が起因とした交通事故の多くは、ドライバーによる認知→判断→操作を繰り返す運転操作のいずれかによるものとされている。

将来、自動運転技術が進んでもドライバーは存在するため、ドライバーは視線を前方から逸らさず、常にハンドルを握り、車とインターフェースしていることが基本である。手を離すとハンドルが音などで注意喚起する。車が危険時・異常時にはLEDの光の色、点灯エリアが変化、光が動くことなどで視覚的に知らせる。以上のような警告機能はドライバーに確実に知らせる為にも、ドライバーに最も近いハンドルに装着されることが望ましい。

事故を未然に防ぐ技術としては、人の健康状態を知り、対応するシステムが考えられる。人の健康、疲労、精神状態などを判断するため、心拍や血圧、体温など人の状態を定量的に測定出来るセンサの活用が考えられる。このようなセンサを直接人体に取り付けて計測するのではなく、ハンドルに組み込み、握ることで生体情報を自動計測し、ドライバーの生体状態を把握することで事故防止に役立つことができる。



図-2 ハンドル

また快適・利便性を向上する為にもハンドルの役割は大きい。これまで車室内の温度コントロールはエアコンだけに頼っていたが、車に乗り込んで最初に触れるハンドルが真夏は熱く、真冬は冷たいと非常に不快であるが、真夏に冷たく、真冬に暖かいとドライバーはそれだけで快適に感じる。ハンドル表面の温度コントロール機能を付与するなど快適に関したアイデアも同時にハンドルシステムに組込んでいく。

以上のような新しい機能開発と同時にハンドルにコストを安く抑えて搭載する技術開発が課題である。

## 2-2. インパネ

現在インパネは図-3で示すようにメーター、ナビなどの表示、オーディオ、ヒーターコントロールなどの操作、杢目や金属調などの加飾のついたパネル、エアコン風の吹き出し口であるレジスタ、ドリンク類を保持するカップホルダ、物を収納するグラブ、コンソールボックス類といった快適・利便性向上を狙った部品から構成されている。

運転中は視線を前方に向けたまま、基本はハンドルに装備したスイッチをブラインド操作するが、できない場合は手元操作できる範囲、例えばパネルやコンソール上に配置されたスイッチをブラインド操作できることが望ましい。既に一部の車種ではタッチパネルが採用されており今後普及が予測されるが、指先だけでは任意の位置把握、コントロールの微調整などが操作しにくいという声もあり、今後操作性の向上が課題となっている。タッチパネル以外の音声、ジェスチャーなど新たな操作デバイス技術の開発も進んでいる為、操作の目的、状況によって安全・快適に操作できる手段を選択する。

表示系は視線移動量を少なくする為、車両前方



図-3 インパネ (例. トヨタ クラウン)

へ移動するなどしてインパネ全体の形態が大きく変化すると予想される。既に一部の車種では速度表示などをインパネ上部のディスプレイやフロントガラスに設けるヘッドアップディスプレイ(以下、HUD 図-4)がある。より多くの情報をドライバーへ安全に提供する為にはフロントガラス全面を使うことが考えられる。例えば、未来をイメージしたコンセプトカーのHUDでは速度以外に進行方向を示す矢印、注意すべき信号、看板表示などや歩行者の存在をマーキングして知らせる(図-5)。

外部情報をHUDで表示するとメーター類がなくなりインパネのセンターからコンソールのデザインがすっきりとした印象となる。同時に加飾についても本革、本杢など本物素材、透明樹脂や射出成形でしかできない形状、透明樹脂体にLEDの光を使った危険警告など樹脂材料ならではのデザインが広がると思われる。

今後は視線移動量などを考慮した手元操作、見やすい表示と共にデザイントレンドに対応した新しいインパネ形態に変化していく。そこでは感性工学、人間工学面から評価・解析した結果を商品開発に反映していく。



図-4 HUD (例. マツダ デミオ)



図-5 未来のHUD (例. トヨタ FV-2)

### 3. まとめ

ドライバーがより安全かつ快適に車を操作する為にはハンドル、インパネが高機能化していくことを述べてきた。今後のそれぞれの開発方向性をまとめると次のようである。

ハンドルは、①人と車をつなぐインターフェースであり、常にドライバーの視線を正面に向けた状態で操作する。高度運転支援下ではハンドルを握っていることが条件である為、ハンドルから手を離すと音などで警告機能が作動する、②ドライバーの生体状態を感知、フィードバックすることで事故防止に役立つ、③ハンドルを握った状態がドライバーにとって常に快適（夏は冷たく、冬は暖かく）である。

インパネは、①視線移動しなくともブラインド操作を可能とする操作系を人間工学的見地から選定、配置する、②メーター類が車両前方に移動し、すっきりすることでインパネの形態、デザインが大きく変化する、③LEDと透明樹脂、本物加飾素材などの組合せでデザインと機能が融合する。

以上のように将来の自動車に向けて先進的な表示・操作機能と素材、デザインを融合した新しいハンドル、インパネへ進化する。また今後も安全、快適性向上に対するユーザー要望は高く続くと考えられ、更なる開発を続けていく。

### <解説：高度運転支援の今後の動向>

2012年地球上には乗用車、バス、トラックを含め、およそ11億台の車が保有されている。しかも将来的な世界人口の増加（図-6）と共に自動車販売台数も右肩上がりに増加することが予測される（図-7）。しかしながら日本だけは人口、車両販売台数共に減少してしまう。現在、日本の国内産業を牽引する自動車販売が衰退することは国力そのものが衰退することに等しい。

そこで政府主導の総合科学技術・イノベーション会議では日本の技術立国再生を目指した産学連携による様々な技術開発に対する支援に力を注いでいる。その中には車に関する開発テーマも多く、自動走行システムもその一つである。今後の動向について解説する。

高度運転支援は、自動運転システムにおいて表-1中のレベル2と3を意味する。ドライバー操作を前提とした上で、車両の加速・操舵・制動の内、複数の操作を車が判断、行うシステムで準自動走行システム状態と定義する<sup>2)</sup>。実現の為には、多くの課題が残されているが、その一つは先読みした情報、ドライバーと車両側の制御装置の三位一体による協調である。

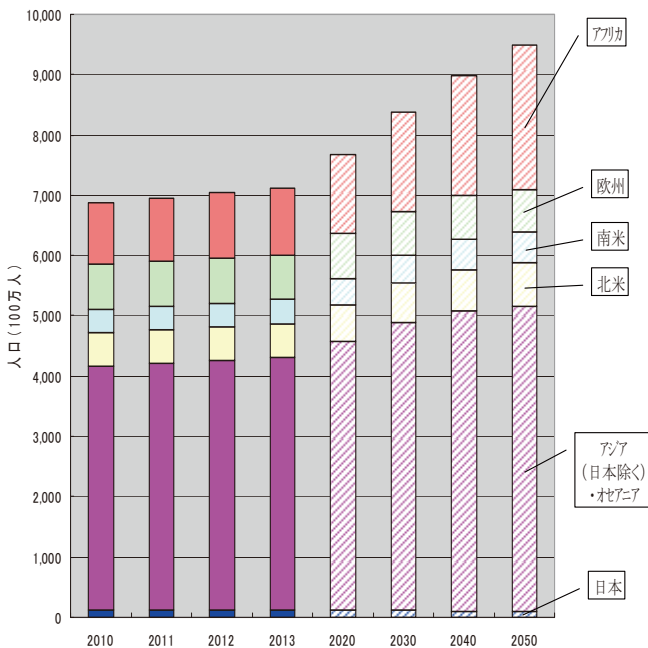


図-6 世界地位別人口推移<sup>1)</sup>

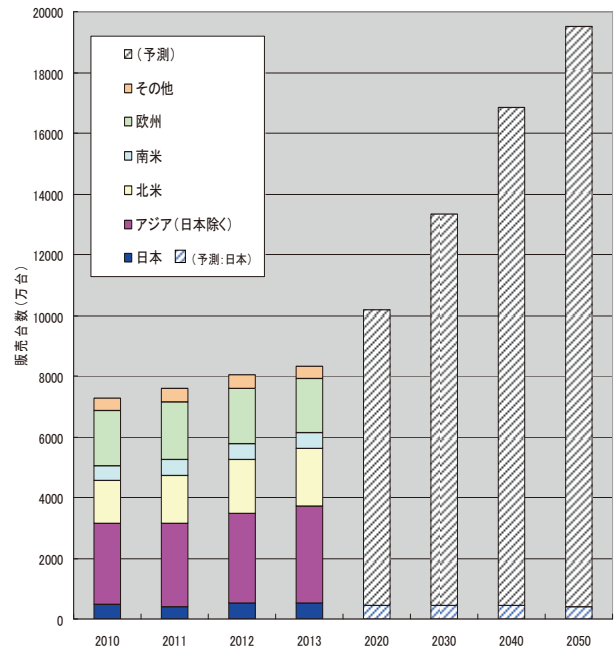


図-7 世界地域別自動車販売台数推移<sup>3)</sup>



表-1 自動走行レベルの定義

自動化レベル	概要	左記を実現するシステム
レベル1	加速・操舵・制動のいずれかを自動車が行う状態	安全運転支援システム
レベル2	加速・操舵・制動のうち複数の操作を同時に自動車が行う状態	準自動走行システム
レベル3	加速・操舵・制動を全て自動車が行い、緊急時のみドライバーが対応する状態	
レベル4	加速・操舵・制動を全てドライバー以外が行い、ドライバーが全く関与しない状態	完全自動走行システム <sup>4)</sup>

車両に装備したカメラ、センサー（レーダー、レーザー、ソナーなど）によって自車周辺を監視し、更に外部とは車-車間（図-8）、路-車間（図-9）などの通信で得た多くの先読み情報を表示系や光、警報音を使ってドライバーに知らせる。

車両側ではレーンキープアシスト（図-10）や車両逸脱警報装置などが装備され、車両を安全な状態に制御保持する。緊急時は衝突被害軽減ブレーキ（図-11）などによってドライバーを支援し、システム的に制御して事故回避（被害低減）する。

これらの技術は今後更に高機能、自律化し、高度運転支援の先にある完全自動走行につながるものである。

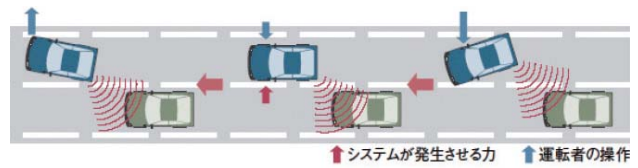


図-10 レーンキープアシストのイメージ<sup>4)</sup>

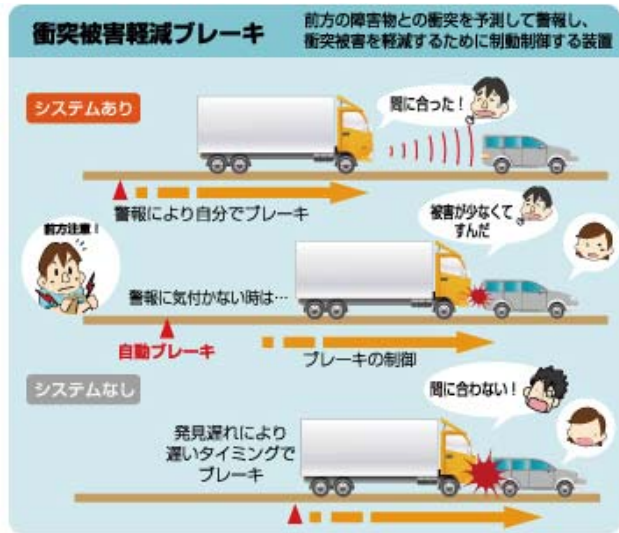


図-11 衝突被害軽減ブレーキのイメージ<sup>5)</sup>

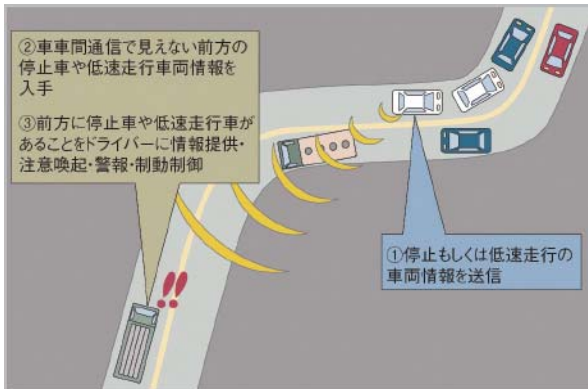


図-8 車-車間通信のイメージ<sup>4)</sup>

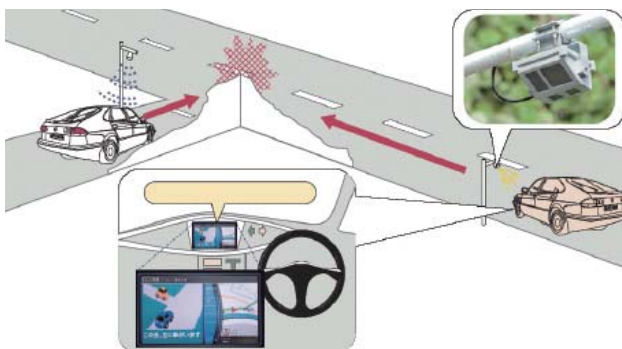


図-9 路-車間通信のイメージ<sup>4)</sup>

参考文献・資料

- 1) 総務省ホームページ資料，統計データ
- 2) 内閣府，SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）自動走行システム研究開発計画（2014）
- 3) （社）日本自動車工業会ホームページ資料
- 4) 日経 Automotive Technology (2008) 3月号
- 5) 国土交通省 ASV推進検討会事務局，人とクルマの調和による安全安心な交通社会を目指して

著者



佐藤貴彦

## ステアリングホイール振動と車体振動音を模擬した刺激による ドライバーの眠気遅延効果検証

梅村紀夫<sup>\*1</sup>, 河中治樹<sup>\*2</sup>, 小栗宏次<sup>\*3</sup>

### Sleepiness Delay Effect Inspection of the Driver by the Stimulation that Simulated Steering Wheel Vibration and a Body Vibration Sound

Norio Umemura<sup>\*1</sup>, Haruki Kawanaka<sup>\*2</sup>, Koji Oguri<sup>\*3</sup>

#### 要旨

最近の交通事故原因の中で居眠りを含む漫然運転は、ドライバーの意識レベルが低いため重大な事故に繋がりがやすい。このような事故を防ぐために、ドライバーの居眠り検知システムが開発され、ディスプレイ表示や警報音による注意喚起をするシステムが採用され始めているが、覚醒維持や覚醒促進を行うためには十分でない。

今回、覚醒作用向上の一手段として、ステアリングホイールによる振動刺激と車体振動音を模擬した刺激による研究結果について報告する。

#### Abstract

Among the causes of traffic accidents in recent years, inattentive driving including dozing tends to lead to more serious accidents because of the low level of consciousness of the driver. Driver doze detection systems are being developed to prevent such accidents, and systems that warn drivers by display indications or warning sounds are being adopted. However, these systems are still insufficient in terms of maintaining and facilitating alertness.

We report the results of a study using vibratory stimulation from the steering wheel and stimulation that simulates vehicle body vibration sounds as means of increasing alertness effect.

\*1 商品企画センター 商品開発部 ユニット開発室

\*2 愛知県立大学 情報科学部 情報システム学科 准教授

\*3 愛知県立大学 情報科学部 情報システム学科 教授

## 1. はじめに

日本国内の交通事故による死者数は年々減少しているものの、その減少幅は頭打ち傾向にある（図-1）。その原因のうち日本国内の交通事故死者数を法令違反別に見ると（図-2）居眠りを含む漫然運転がもっとも多く17.8%となっている。またそのドライバーの意識レベルは非常に低いため重大な事故に繋がりがやすい。

これらの人に起因する事故を予防する手段として、運転支援システムの技術進化、普及が急激に進んでいる。ステアリングホイールについても、ドライバーとのインターフェイスとしての新たな機能が必要と考え開発に取り組んでいる。

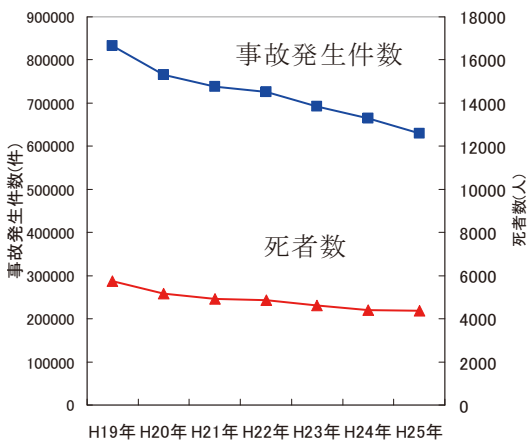


図-1 交通事故死者数

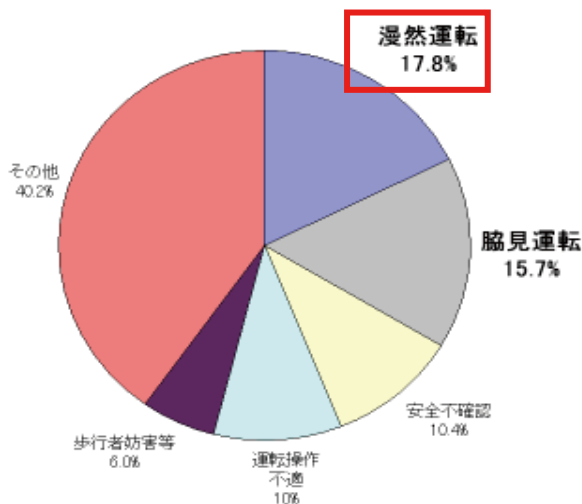


図-2 法令違反割合

## 2. 本研究の目的

本研究ではグルーピング（図-3）によって生じる刺激を仮想的に車輛からドライバーへ提示する事でドライバーの眠気の高まりに対して適応的に警告を提示することを考える。これはグルーピングと同じ効果が得られる刺激を任意のタイミングで与えるヴァーチャルグルーピングである。



図-3 グルーピング工法が施された路面

ドライバーに提示する刺激としては、ステアリングホイールによる振動刺激とカーオーディオ用スピーカによる車体振動の模擬音とからなる複合刺激を利用する。音や振動のそれぞれ単一の刺激ではなく、これらの複合刺激を同時に同じリズムで提示する事で聴覚と触覚から同時に刺激を受容し、あたかもグルーピングの上を走行したような感覚を得ることが覚醒の維持に高い効果を与えると考えている。

本論文では、ヴァーチャルグルーピング用の複合刺激の与え方を提案するとともに、眠気を帯びたドライバーに対して複合刺激を提示した際の覚醒維持効果について、ドライビングシミュレータを用いた模擬走行実験を行い、下記の3つの評価方法にて検証し、それぞれの評価において覚醒刺激としての複合刺激の有効性が示されたので、各評価方法を含め、3章以降より、その研究の詳細内容を報告する。

- 1) 顔表情
- 2) 走行位置ずれ量
- 3) 脳波

## 3. 覚醒度評価法

自動車のドライバーを対象とした運転時の眠気評価方法を選定する際には、運転環境での計測の可否を考慮する事が非常に重要である。そうした観点から、アンケート、PET（生体中陽電子による生体反応測定）、fMRI（脳内神経活動のMRI測定）などによる指標は、運転中の眠気評価を行う

手法としては適していない。それに対し、ビデオカメラで撮影する眠気表情評定値やドライビングシミュレータのログデータから取得可能な走行位置横偏位、電気信号に由来する生体信号（ECG：心電図， EEG：脳波， EOG：眼球電位図）による指標は、シミュレータ環境であれば問題なく計測することが可能である。また、刺激による覚醒度の変化を見るためには時間分解能も高くなければいけない。






以上より、本研究ではドライバーの顔表情から算出する覚醒維持時間、生体信号である脳波（EEG）から算出するα波含有率、車両挙動から算出する走行位置ずれ量の3つの方法により覚醒維持効果の検証を行う。本章ではまずこれらの覚醒度評価方法について述べる。

### 3-1. 顔表情による評価

第三者の主観による眠気・覚醒度の評価方法として、ドライバーの瞼の開度、瞬目および視線移動などの顔表情からドライバーの眠気を5段階に評価する方法が北島らやZilbergらによって考案されている。北島らにより考案された顔表情からの眠気評定値の評定基準を表-1に示す。なお、表-1には評定基準と共に目安となるドライバーの顔表情の一例を併せて記す。ドライバーの顔表情から眠気評定値を評定する方法には、ドライバーに運転動作以外の動作を行わせる事なく、眠気の評定が可能という利点がある。その為、ドライバーの覚醒度評価および居眠り検知や覚醒刺激に対する覚醒効果の評価を行う際に頻繁に用いられている。ドライバーの顔表情からの眠気評定は、ドライバーの主観による眠気とR=0.80の高い相関がある事が報告されている。沼田らによる事故直前の眠気表情値調査によると、事故発生直前のドライバーの眠気表情値は4.56であり、事故発生直前60秒間の平均眠気表情値は3.20であったと報告されている。この結果から、覚醒刺激を提示するタイミングとして眠気表情値が3に到達した際が適切であるとしている。

北島らによる手法は、2名以上の検査者により20秒以下の間隔で眠気表情値の評定を行う事を推奨しているため、本研究では熟練した2名の検査者により10秒毎に眠気表情値の評定を行い、2名の検査者の眠気表情値の平均を眠気レベルとして定義した。

表-1 顔表情からの眠気評定基準

Level	状態	表情の例
1：眠くなさそう	視線移動が速い 視線移動が頻発 瞬目周期が安定	
2：少し眠そう	唇が開いている 視線の動きが速い	
3：眠そう	瞬目がゆっくりと頻発 口の動きがある 顔に手をやる	
4：かなり眠そう	意識的な瞬目がある 無用な体の動き あくびの頻発	
5：非常に眠そう	頭が前に傾く 頭が後ろに倒れる マイクロスリープの発生	

### 3-2. 走行位置ずれ量による評価

眠気が増加すると車輛の横偏位が増加する事が知られている。そこで、通常時の走行位置からのずれ量を算出して覚醒度の評価を行う。まず、コースの形状による影響を受けない事と眠気の発生による横偏位の増加の影響を受けない事を考慮して、被験者毎に実験開始から一定時間における横偏位の平均値を算出し、それを走行基準位置として定義する。その際、算出する時間幅が短いとコースの形状による影響を大きく受ける事が予想される。

実際に数人の被験者で算出時間と走行基準位置の変化を見たところ、図-4のように時間幅が増加するにつれて徐々に走行基準位置の変動が安定し、時間幅が50秒以上あれば安定する事がわかった。一方、本研究における実験環境では、実験開始から眠気レベルが2に上昇するまでの時間は110±50秒程度であった。以上より、走行基準位置を算出する時間幅を60秒とした。刺激提示による車輛挙動の変化を評価するために、刺激提示の前後10秒間の走行位置ずれ量の平均を算出し、刺激提示前後での値を比較する事で各刺激が走行位置ずれ量に与える影響について検証する。走行位置ずれ量の減少量が大きい刺激であるほど、覚醒維持効果が高い刺激となる。



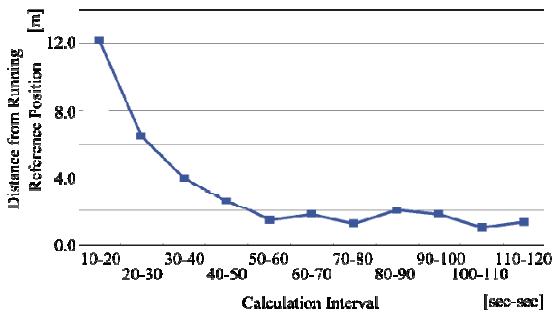


図-4 走行基準位置と算出窓幅の関係

### 3-3. 脳波による評価

人間の覚醒度が低下すると、脳の活動が低下し脳波の周波数が低下する事が知られている。覚醒状態が高い時には、13~40[Hz]の周波数帯（β波）が脳波の多くを占めるのに対し、覚醒度が低下すると8~13[Hz]の周波数帯（α波）の割合が増加する。実際にドライバーを計測対象とした多くの先行研究においても、眠気の増加に伴うα波の増加が報告されている。

生体信号（EEG：脳波）の計測には、TEAC社製のPolymateを用い、サンプリング周波数1000[Hz]で計測する。計測箇所は国際10-20法（電極の配置位置基準 図-5に示す）に基づきPZとし、A2を基準電極とした単極誘導法により導出した。EEG波形に対して、解析区間長10秒、シフト長10秒で短時間フーリエ変換を用いた時間一周波数解析を行い、10秒毎のEEG全体（4~30[Hz]）に占めるα波（8~13[Hz]）の割合（α-Ratio）を算出する。刺激提示によるα-Ratioの変化を評価する為に刺激提示の前後10秒間のα-Ratioの平均を算出し、刺激提示前後での値を比較する事で各刺激がα-Ratioに与える影響について検証する。α-Ratioの減少量が大きい刺激であるほど、覚醒維持効果が高い刺激と言える。

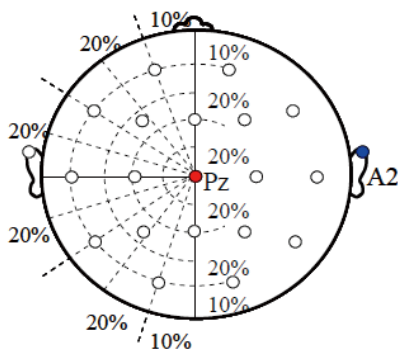


図-5 国際10-20法に基づく計測箇所

## 4. グルーピングを模擬した振動および音の複合刺激

### 4-1. ステアリングホイールの振動パターン

我々が実験に用いたステアリングホイールは、図-6のような左右の握り手部分にコイン型振動モーターが内蔵されており、このモーターを振動させることでドライバーに振動刺激を提示することができる。仕様として、振動提示を開始してから振動量が最大になるまでに200[ms]の時間を要する。ここから、振動ONの最小時間は200[ms]となる。また、ステアリングホイールに内蔵されたモーターの回転周波数は200[Hz]であるが、これは手のひらに存在する振動刺激の受容体（パチニ小体）の感度が最も良い周波数帯（200~300[Hz]）に含まれる。



図-6 ステアリングホイール振動箇所とコイン型振動モーター

まず、この振動機能付きステアリングホイールを用いて振動刺激を与えるに際して、どのような振動パターンが適しているかを調査した。覚醒刺激として用いるステアリングホイールの振動パターンの候補として、表-2に示すようなパターンA~Eの5つとした。パターンAは、振動ON時間を振動パワーが最大となるために必要となる最小時間（200[ms]）とし、振動OFF時間もその時間に合わせた。パターンB~Eはそれよりも少しずつ長い周期であり、パターンDが携帯電話での目覚ましアラームの振動に類似している。

表-2 ステアリング振動パターン

パターン	ON OFF		5 秒間
	単位:ms		
A	200	200	
B	400	300	
C	400	600	
D	600	400	
E	800	200	

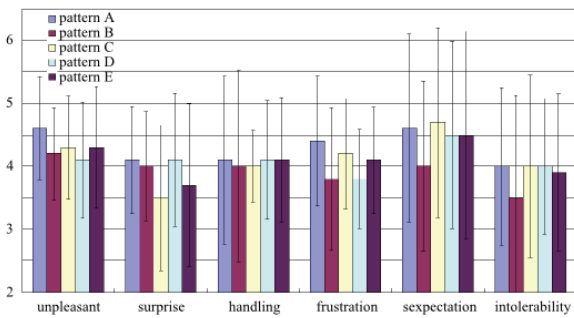


図-7 振動体験アンケート結果

21～24歳の男性7名と女性3名に対して、様々な振動パターンを体験してもらい、一つの振動を提示する毎にアンケートに回答させた。振動の提示は着座安静状態で行い、ステアリングの握り方は普段自動車を運転するときと同様に把持することを指示した。アンケートの内容は快適／不快、冷静／驚き、リラックス／イライラ、運転しやすそう／しにくそう、覚醒効果がありそう／なさそう、気にならない／耐えがたいの6項目を7段階評価で行った。アンケートの結果（平均±標準偏差）を図-7に示す。7段階評価の4.0は「どちらでもない」といった評価であり、この結果から、いずれの振動パターンもあまり差はなく、ドライバーの運転操作に支障をきたすことはないと考えられる。

その中でもイライラに着目すると、パターンBとDが最低値（3.8）であり、パターンAが最大値（4.4）となった。また、覚醒効果については、相対的にパターンBが最も効果が得られるという結果となった。さらに、耐えがたさについては、パターンBが最も振動が気にならないという結果となった。以上の結果からは、パターンBが覚醒刺激として最も適した振動であると判断した。

#### 4-2. 振動と音の複合刺激

振動刺激のリズムは、4-1節で選出されたパターンBを採用し、図-8に示すように、400[ms]連続してモーターを振動させた後、次の振動まで300[ms]間隔を開け、このリズムを4900[ms]（7回）繰り返す。このステアリングホイールの振動による提示刺激を振動刺激と呼ぶ。

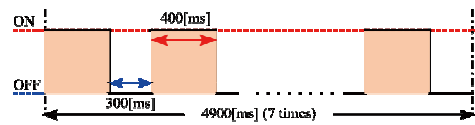


図-8 刺激の提示リズム

グルーピングが施工された路面上を走行した際に発生した音を録音して、周波数成分を調査した結果が公開されている。この調査結果によると、発生した振動音は160[Hz]の基本周波数とその倍音成分によって構成されている。そこで被験者へ提示する聴覚刺激として、160[Hz]の基本周波数とその倍音（ただし上限は1120[Hz]）からなるsin波の合成波を作成した。提示する際の音圧は乗用車の車内の騒音が60[dB]程度であるため、車内でも十分に聞える音圧である65[dB]に設定した。また音刺激のリズムは図-8と同様とした。この提示刺激を音刺激と呼ぶ。

グルーピングによる刺激は車体の振動とそれにより発生する音が同時にドライバーに伝達され、これによりドライバーの覚醒維持が行われる。そこで振動刺激と音刺激とをタイミングを揃えて同時に提示する事で、模擬的なグルーピング刺激を作成する。この提示刺激を複合刺激と呼ぶ。

複合刺激の覚醒維持効果を検証する為に、振動刺激と音刺激の提示するタイミングをずらした刺激を作成した。具体的には、音刺激を提示した後およそ400[ms]後にステアリングホイールによる振動刺激の提示を行う。この提示刺激を非同期刺激と呼ぶ。複合刺激および非同期刺激における振動刺激と音刺激の提示リズムを図-9に示す。

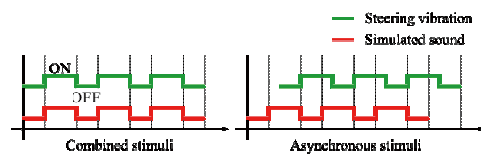


図-9 複合刺激（同期）と非同期刺激の提示リズム

#### 4-3. 刺激提示タイミング

シミュレータを用いた走行実験において、事故発生直前から60秒前までの眠気表情値の平均値が3.2であった事が報告されている。その為、居眠り運転による事故の発生を防止する為には眠気表情値を3より増加させない事が重要となると考えられる。そこで我々は、図-10のように覚醒維持刺激をドライバーへ提示するタイミングを眠気レベルが3以上と評定された場合とした。

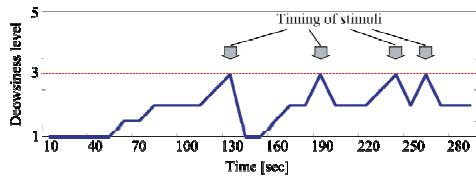


図-10 刺激の提示タイミング



図-12 走行コース映像とコース概形

## 5. 複合刺激による覚醒維持効果の検証

### 5-1. 計測方法と実験条件

走行実験は、HONDA社製の6軸搭載型ドライビングシミュレータ（DS）を利用して行った。DSの外観を図-11に示す。実験では、ゆるやかなカーブが存在する片側二車線の単調な高速道路を模擬したコースを利用した。被験者に眠気を誘発させるために、実験室の電気を消灯し夜間を想定した暗いコースを用いて実験を行った。また、提示刺激以外の外的刺激による被験者への覚醒効果を排除する為に、走行車両を自車両のみとし、被験者に与える外的刺激を出来る限り排除した。実験で利用したコースの画面とコースの概形を図-12に示す。被験者に左側の車線を80[km/h]を目安として走行させ、車線変更を行わないよう指示した。計測を開始するタイミングは、車両の速度が80[km/h]程度で安定した時点とした。尚、被験者には実験を行う前に十分な慣らし運転を行わせ、DSの操作を十分に習熟させた上で検証実験を行った。



図-11 ドライビングシミュレータ

刺激走行において被験者へ刺激を提示するタイミングを決定する為に、実験を行いながら被験者の眠気レベルを評定する必要がある。そこで、ダッシュボードの上にネットワークカメラを設置し、DSに据付のコンピュータを経由して被験者の顔表情をモニターに表示する事で眠気レベルを評定した。加えて車輛挙動としてDSの走行ログデータから車輛の中心とセンターラインとの距離をサンプリング周波数10[Hz]で取得した。

健全な被験者6名（男性4名、女性2名、 $22.2 \pm 0.8$ 歳）に対して、十分に実験の趣旨を説明し実験実施の承諾を得た上で、各刺激の提示による覚醒効果の検証実験を行った。

検証実験は、被験者に刺激を提示する走行（刺激走行）と刺激を提示しない走行（無刺激走行）とを行った。尚、刺激走行で提示する刺激は振動刺激、音刺激、複合刺激、非同期刺激の計4種類とした。それぞれの被験者に対して各刺激毎に1試行、計4試行の刺激走行と、1試行の無刺激走行との合計5試行の検証実験を行った。

また、検証実験の終了条件を次のように定めた。下記1)～3)の条件の内、無刺激走行では1)もしくは2)のどちらか一方を、刺激走行では1)～3)のいずれかひとつを満たした時点で検証実験を終了した。

- 1) 壁や中央分離帯に衝突する事故が発生
- 2) 検証実験を開始してから20分経過
- 3) 眠気レベルが4以上と評価された

### 5-2. 実験結果

被験者6名による合計30回の走行実験のうち28試行において、20分以内に被験者の眠気レベルが4以上に達した。この結果から、本実験環境は被験者に眠気を誘発させるのに十分な環境である事が確認された。

#### 5-2-1. 覚醒維持時間の増加

先行研究の事故発生直前の眠気表情値の調査結果から、我々は眠気レベルが3以上になると事故の発生する可能性が高まると考えた。そこで本研



究では、眠気レベルが最初に3以上と評定されてから4以上と評定されるまでの時間を“覚醒維持時間”として定義した(図-13)。覚醒維持時間が長い刺激であるほど、覚醒維持効果が高い刺激と言える。

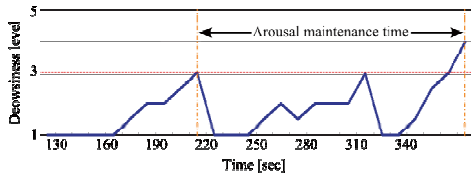


図-13 覚醒維持時間の定義

実験を開始してから20分が経過するまでに一度も眠気レベルが4に達しなかった1名(被験者F)を除いた5名における無刺激走行及び刺激走行毎の被験者毎の覚醒維持時間を表-3に示す。平均覚醒維持時間は、眠気が増加した際であっても刺激を提示しない走行の際には平均156秒であったのに対して、振動刺激を提示した場合には114秒、音刺激では240秒、複合刺激では264秒、非同期刺激では188秒であった(図-14)。

表-3 覚醒維持時間

被験者	無刺激	振動	音	複合	非同期
A	80	110	400	440	270
B	360	70	120	240	150
C	70	200	210	230	120
D	30	90	280	230	210
E	240	100	190	180	190
平均	156	114	240	264	188

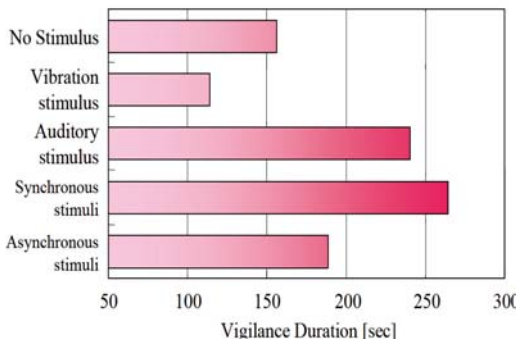


図-14 刺激毎の平均覚醒維持時間

眠気レベルから算出した覚醒維持時間は複合刺激を提示した場合が最長であり、次いで音刺激、非同期刺激、無刺激走行、振動刺激の順となった。音刺激と併用して、提示するタイミングとリズム

を揃えて提示する事により覚醒維持時間が音刺激を単独で提示した際と比較してより増加する結果となった。この事から、複合刺激の提示による覚醒維持時間の増加は振動刺激が持つ覚醒維持効果と音刺激が持つ覚醒維持効果の単純な足し合わせによる結果ではない事が分かった。また、複合刺激及び非同期刺激を提示した際の覚醒維持時間を比較すると複合刺激の方がより覚醒維持時間が長くなる結果となった。以上の2点から複合刺激には効果的に覚醒維持時間を増加させる効果がある事が示された。

尚、今回の結果では振動刺激のみを提示した際の覚醒維持時間が無刺激時と比べてより短くなる結果となった。覚醒維持時間が短くなった明確な原因は定かではないが、原因の一つに本研究で用いた振動刺激の強度が考えられる。今回使用したステアリングホイールは、振動を提示した際に操舵に悪影響を与えないために振動強度を弱く設計している。実際に、実験終了後に、「振動が気持ちよく感じて眠くなった」と述べた被験者がいた。この事から、振動刺激の強度が原因で覚醒維持時間が減少した可能性が考えられる。

### 5-2-2. α波含有率の減少

アーチファクトの混入によりEEGの解析が行えなかった2名の被験者(被験者CおよびD)を除いた4名における各刺激提示時のα波含有率の変化率を表-4に示す。α-Ratioの変化の割合は、振動刺激を提示した場合には $2.14 \pm 3.33[\%]$ 、音刺激では $-6.16 \pm 3.57[\%]$ 、複合刺激では $-8.32 \pm 0.65[\%]$ 、非同期刺激では $-4.77 \pm 3.53[\%]$ であった。

表-4 α波含有率の変化

被験者	振動	音	複合	非同期
A	-0.88	-0.88	-0.85	-0.94
B	7.77	-2.72	-9.17	-5.56
E	0.60	-2.57	-7.36	-4.66
F	1.05	-10.5	-8.26	-0.53
平均	2.14	-6.16	-8.32	-4.77



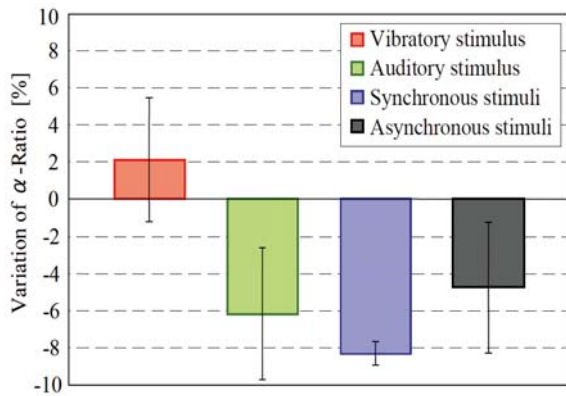


図-15 刺激毎の平均 $\alpha$ -Ratioの変化率

各刺激の提示によるEEGから得られる $\alpha$ -Ratioの変化率は振動刺激提示時のみ増加が見られ、それ以外の刺激を提示した際には減少が見られた。この結果から振動刺激を除く3種類の刺激には $\alpha$ -Ratioを減少させる効果がある事が示された。

音刺激、複合刺激、非同期刺激による $\alpha$ -Ratioの減少量を比較すると、平均値は複合刺激が一番減少量が多く、次いで音刺激、非同期刺激の順であった。また標準偏差は複合刺激が一番小さく、次いで非同期刺激、音刺激の順であった。 $\alpha$ -Ratioの平均減少量は複合刺激を提示した際が一番多く、また標準偏差も複合刺激が一番小さい。この事から、複合刺激の $\alpha$ -Ratio減少効果は他の刺激と比較して高く、またその効果も個人差が他の刺激と比較して少ない事が示された(図-15)。

### 5-2-3. 走行位置ずれ量の減少

6名の被験者における各刺激提示時の走行位置ずれ量の変化率を表-5に示す(図-16)。

表-5 走行位置ずれ量の変化率

被験者	振動	音	複合	非同期
A	0.00	30.00	-26.67	-5.56
B	-2.86	-12.20	-13.33	11.11
C	18.75	4.00	0.00	11.11
D	15.79	7.69	-23.81	16.67
E	5.88	3.13	0.00	20.00
F	10.87	17.39	-10.64	-17.24
平均	8.07	8.34	-12.41	13.14

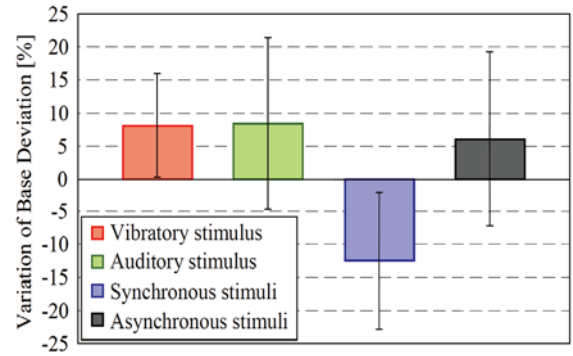


図-16 刺激毎の平均車線逸脱量の変化率

走行位置ずれ量は、振動刺激を提示した場合には $8.07 \pm 7.86[\%]$ 、音刺激では $8.34 \pm 13.03[\%]$ 、複合刺激では $-12.41 \pm 10.37[\%]$ 、非同期刺激では $6.02 \pm 13.14[\%]$ であった。

各刺激の提示による車線挙動から得られる走行位置ずれ量の変化率は複合刺激を除く3種類の刺激を提示した際には増加が見られた。一方で複合刺激を提示した際には約12[%]の減少が見られた。各刺激毎に刺激提示後の走行位置ずれ量がそれぞれ増加、減少、変化なしであった人数を表-6に記す。

表-6 走行位置ずれ量増減の被験者数

	振動	音	複合	非同期
増加	4	5	0	4
減少	1	1	4	2
変化なし	1	0	2	0

表-6より、複合刺激以外の刺激では、半数以上の被験者が刺激提示後に走行位置ずれ量が増加している事が分かる。一方で、複合刺激のみ半数以上の被験者において走行位置ずれ量に減少が見られる。また、複合刺激では走行位置ずれ量が増加した被験者はいなかった。この結果から、複合刺激には他の刺激と比較してより走行位置ずれ量を減少させる効果が高い事が示された。

### 5-3. 触覚刺激と聴覚刺激の複合効果の可能性

覚醒維持時間、 $\alpha$ -Ratioの変化、走行位置ずれ量の変化のいずれの評価方法においても、複合刺激による覚醒維持効果がステアリングホイールによる振動および車体振動模擬音を単一で提示するよりも高い効果が得られる事が示された。また、振

動刺激と音刺激の提示するタイミングを揃えた複合刺激とずらした非同期刺激による覚醒維持効果を比較すると、複合刺激の方がいずれの評価方法においても、より高い覚醒維持効果が得られる事が示された。

振動刺激と音刺激による複合刺激を提示する事でより高い覚醒維持効果が得られた生理学的な原因は明確には分かっていない。しかし原因の一つに、ヒトが外部から与えられた刺激を“どのように捉えるか”が影響している可能性が考えられる。複合刺激を提示する走行を行った際に、実験終了後に被験者から「聞こえてきた音が、ステアリングホイールの振動によって発生しているのだと思った」との感想が得られた。つまり、振動刺激と音刺激の個々の刺激が独立して提示されたのではなく、一つの刺激として提示されると被験者が錯覚した事が推測される。このような錯覚が起こったがために、複合刺激を提示する事で振動刺激や音刺激を単独で提示した場合や提示するタイミングをずらして提示した場合よりも高い覚醒維持効果が得られた可能性が考えられる。

また、非同期刺激を提示する刺激走行を行った際に、実験終了後に「刺激のリズムがずれていて気持ちが悪かった」との感想を述べる被験者がいた。この事からも、複合刺激が単に複数の刺激を被験者に提示した場合とは異なっている可能性が考えられる。

## 6. まとめ

本研究では、重大な交通事故の原因となり、かつ非常に身近な事故原因でもある居眠り運転を防止する為の手法として、ヴァーチャルグルーピングを提案した。現在、グルーピングはインフラとして提供されており、その設置により事故の発生件数が減少したことが報告されているが、ヴァーチャルグルーピングではそれをステアリングホイールの振動（触覚刺激）と振動音（聴覚刺激）という車両に搭載した装置のみで模擬する。本論文では、その際の覚醒刺激の提案と、ドライビングシミュレータを用いた模擬走行実験による複合刺激の覚醒維持効果の検証を行った。

検証は、ステアリングホイールの振動と振動模擬音との複合刺激と、それぞれを単独で提示した場合、及び両刺激を提示するタイミングをずらし

た刺激とで覚醒維持効果を比較した。また、それは、覚醒維持時間、 $\alpha$ 波含有率、走行位置ずれ量の3つの評価方法を用いて実施した。その結果、覚醒維持時間は複合刺激を提示した際に最大となり、顔表情評価から覚醒刺激としての複合刺激の有効性が示された。また $\alpha$ 波含有率は、複合刺激を提示した際に他の刺激を提示した場合よりも高い減少率が見られ、生体信号の側面からも覚醒刺激としての複合刺激の有効性が示された。走行位置ずれ量は、複合刺激を提示した際に他の刺激を提示した場合よりも高い減少率が見られ、車輛挙動の側面からも覚醒刺激としての複合刺激の有効性が示された。尚、ステアリング振動と振動音のリズムをずらして提示した場合、提案刺激と比較していずれの検証方法においても覚醒効果に低下が見られた。この結果から、ヴァーチャルグルーピングは錯覚を有効に利用していると考えられる。

## 7. おわりに

今後の課題は、振動強度による覚醒維持時間の違いや、覚醒維持により効果のある振動パターンの検討である。また、事象関連電位などの脳波（EEG）の詳細な検証や近赤外光脳機能計測装置（NIRS）などで計測した脳活動をさらに解析して、複合刺激による脳活性効果を調査することである。クルマの予防安全として「運転支援システム」が急速に普及し、「自動運転」へ向けて進化していくと予測される。その進化に求められる「ドライバーの運転を支援する」機能を付与した更なる高機能なステアリングホイールを開発し提供していきたい。

## 参考文献

- 1) 警視庁 交通事故統計（平成25年9月）
- 2) 平成25年度 交通安全白書
- 3) 前野隆司, “ヒトの指腹部と触覚受容器の構造と機能,” 日本ロボット学会誌, vol.18, no.6, pp.772-775, 2000.

- 4) 八尋勇次, 川口孝太郎, 藤田栄三, 小川康夫, “グルーピングによる高速道路の交通安全対策,” 第19回日本道路会議論文集, pp.596–597, 1991.
- 5) 北島洋樹, 沼田仲穂, 山本恵一, 五井美博, “自動車運転時の眠気の予測手法についての研究: 第1報 眠気表情の評定法と眠気変動の予測に有効な指標について,” 日本機械学会論文集 (C編), vol.63, no.613, pp.1059–1066, 1997.
- 6) E. Zilberg, Z.M. Xu, D. Burton, M. Karrar, and S.Lal, “Methodology and initial analysis results for development of non-invasive and hybrid driver drowsiness detection systems,” The 2nd International Conference on Wireless Broadband and Ultra Wideband Communications, p.16, 2007.
- 7) A. Tsuchida, M.S. Bhuiyan, and K. Oguri, “Estimation of drowsiness level based on eyelid closure and heart rate variability,” International IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, pp.2543–2546, 2009.
- 8) 中野泰彦, 宮川あゆ, 佐野 聡, “ドライバの覚醒度検知技術,” FUJITSU, vol.59, no.4, pp.416–420, 2008.
- 9) 横山真由, 小栗宏次, “ドライバに対する音楽の聴取音圧の覚醒維持効果,” 第7回ITSシンポジウム2008, pp.141–145, 2008.
- 10) M. Yokoyama and K. Oguri, “Effect of sound pressure levels of music on driver’s drowsiness,” 15th ITS World Congress, 2008.
- 11) S. Arimitsu, “Seat belt vibration as a stimulating device for awakening drivers,” IEEE/ASME transactions on mechatronics, vol.12, no.5, pp.511–518, 2007.
- 12) 沼田仲穂, 北島洋樹, 五井美博, 山本恵一, “自動車運転時の眠気の予測手法についての研究: 第2報, 眠気変動の予測と居眠り警報タイミングの決定,” 日本機械学会論文集 (C編), vol.63, no.613, pp.3067–3074, 1997.
- 13) 福井勝彦, “連続運転時における操舵機能低下の評価法,” 豊田中央研究所R&Dレビュー, vol.30, no.3, pp.57–65, 1995.
- 14) 萩原啓荒, 木和 典, 道盛章弘, 斎藤正己, “覚醒度の定量的評価方法とその応用に関する研究,” 精神神経学雑誌, vol.99, no.1, pp.23–34, 1997.
- 15) Y. Liu, T. Yuasa, A. Maeda, and Y. Motohashi, “Diurnal variations in alpha power density and subjective sleepiness while performing repeated vigilance tasks,” Clinical Neurophysiology, vol.112, pp.997–1000, 2001. Issue 6.
- 16) S.J. Bolanowski Jr, G.A. Gescheider, R.T. Verrillo, and C.M. Checkowsky, “Four channels mediate the mechanical aspects of touch,” Journal of the Acoustic Society of America, vol.84, no.5, pp.1680–1694, 1988.
- 17) 田矢晃一, “音の出る舗装について,” (財)小林理学研究所, 小林理研ニュース, no.34, 1991.  
<http://www.kobayasiriken.or.jp/news/No34/343.htm>, 参照Apr. 1, 2012
- 18) 河村亮太, 河中治樹, Md. Shoaib Bhuiyan, 小栗宏次: ステアリング振動と車体振動模擬音の組み合わせによるドライバ覚醒維持効果の多角的検証, 第8回情報学ワークショップ (WiNF2010), pp.17–22, 名古屋工業大学, 2010/12

著者



梅村 紀夫



河中 治樹



小栗 宏次

## 環境対応に向けた軽量化取り組み

藪谷 茂\*<sup>1</sup>

### Lightweighting Action for the Environmental Correspondence

Shigeru Yabuya\*<sup>1</sup>

#### 要旨

将来、クルマの主流はガソリン車から環境負荷の少ないハイブリッド車（HV）や電気自動車（EV）、燃料電池車（FCV）へと大きく変化しようとしている。この市場の動向を背景に豊田合成では2009年6月、将来の豊田合成商品を発掘する為に豊田合成製EVの開発プロジェクトを立ち上げた。テーマは「ミニマム駆動力で走行性能を満たすクルマ（EV）」を造る事。

なぜ高分子系自動車部品メーカーである豊田合成がEVに挑戦したのか。そのカギは豊田合成の基盤技術にある。車両の燃費（電費）を向上させるには、部品の軽量化、省エネがキーワードになる。豊田合成が得意とするのはゴムやプラスチックなど樹脂製部品の開発・量産に関わる技術。ボディ、シャーシなど主要部品の多くは金属系素材だが、これを樹脂化する事で、大幅に車両重量を軽くする事ができる。また、豊田合成は省電力・高寿命が特徴のLED製品を数多く手がけており、環境保護対応に技術力を発揮できる利点がある。この一連の「車一台物造り」取り組み状況を、第1ステージ（物造り）、第2ステージ（試走検証）、第3ステージ（具現化；新領域である樹脂外板の開発）の順で、市場動向も含め報告する。

#### Abstract

Mainstream of vehicles is about to undergo a great change from current gasoline-powered vehicles to more environmentally-friendly hybrid vehicles (HV), electric vehicles (EV), and fuel cell vehicles (FCV). Eyeing this market trend, Toyota Gosei started an EV development project in June 2009 to discover Toyota Gosei products for the future. The project theme is to make a “car (EV) with satisfying running performance using minimum motive force.”

Why did Toyota Gosei, a manufacturer of polymer automobile parts, take up this challenge of making an EV? The key is Toyota Gosei’s fundamental technology. Lighter-weight, and energy-saving parts are critical to improving the fuel efficiency (electricity costs) of vehicles. Toyota Gosei’s expertise is in technology related to the development and mass production of rubber, plastic, and other resin parts. Metal materials are used in vehicle bodies, chassis and many other main components, and vehicle weight could be reduced dramatically by making these components with plastics. Toyota Gosei also produces many LED products, which are characterized by low energy consumption and long life. These advantages can be put to use as technical strengths for environmental protection. I report, in order, the status of this series of efforts “to make a compete vehicle” in three stages: first stage (production), second stage (verifying driving performance), and third stage (realization; developing plastic outer panels, a new field). Market trends are also reported.

\*1 商品開発部



## 1. はじめに

19世紀末に発明された自動車は、20世紀の100年間で一大発展を遂げ、現在では自動車なくして我々の生活は成り立たない状況に至っている。

一方で近未来の自動車に対しては「温暖化防止などの地球環境保護対策」と「枯渇資源保護・延命化対策」が緊急の課題となっている。

ところで、自動車を構成する材料に関しては、自動車の発明当初から1940年代までは鉄を主体とする金属材料が採用されていた。その後、種々のプラスチックが発明・製品化されるたびに、その優れた軽量性と成形性を活かして自動車部品に適用する開発努力がなされ、現在の国産車では重量にして9~10%の採用レベルにまで成長した。<sup>1)</sup>


2013年、BMW i3は工場エネルギー低減も含め環境保護を目的にボディ骨格、外板を樹脂化した。今後は樹脂の優れた特性を活かした軽量化と走行抵抗を低減した高意匠でかつ安全な「もっといいクルマ」が期待されている。

## 2. 自動車の樹脂化動向

日本における自動車部品のプラスチック化は、PPなどの汎用プラスチックの本格生産が始まった1960年代の内外装部品からであったが、本格的なプラスチック化は、乗用車のバンパーにRIMポリウレタンが搭載され始めた1977年ごろからである。

国内では、プラスチック製外板は1957年ごろよりFRPが試験的に採用され始め、その後熱硬化性プラスチックが、さらに成形性に優れた熱可塑性プラスチックであるABSやPPE・PAなどのアロイが採用されてきた。21世紀になってから、複数の自動車メーカーが、プラスチック製バックドアパネルを装着し始めて、一つのトレンドになってきている(表-1)。<sup>1)</sup>

表-1 バックパネル樹脂化動向

年度	2005		2012	
カーメーカー	日産	マツダ	トヨタ	ダイハツ
車種	ムラーノ	プレマシー	カローラフィールダー	タント
製品				
アウター 材質	PA/GTX(フラー20%)	PC/ABS(9/15%)	PPタルク	TSOP-6相当
インナー 材質	GMT(GF40%)	PP(LGF40%)	PPタルク	PP-GF2%~3%

2013年に国内市場において一部の車両では、前述のバックドアパネルも含め、フェンダー、エンジンフードも熱可塑性樹脂(PP複合材)を採用している(表-2, 3)。

表-2 フェンダー樹脂化動向


年度	2007		2013	
カーメーカー	三菱	BMW	BMW	ダイハツ
車種	デリカD5	X5	i3	タント
製品				
材質	PA/GTX(PA+PPE)	PP+EPDM+TD30	PP+EPDM+TX30	PP+EPDM+T35

表-3 フードの樹脂化動向

年度	2007	2013	
カーメーカー	ダイムラー・クライスラー	BMW	ダイハツ
車種	SMART	i3 (EV)	タント
製品			
アウター 材質	PP	PP+E/P+TX30	PP+E/P+T35
インナー 材質	PP	PP+E/P+TX30	熱硬化材(GF40%)

海外では国内より早い1950年代より、自動車外板のプラスチック化が始まり、1953年のGMシボレー・コルベットがFRPで外板を量産化している。また、PP複合材採用の外板は2007年にはスマートがエンジンフード、フェンダーを、BMW X5は大型フェンダーを市場投入している。2013年にはBMW i3はエンジンフード、フェンダー、ドアアウターにPP複合材を採用している(表-2, 3)。

## 3. 第1ステージ； 「車一台物造り」取り組み状況

「これからの部品メーカーはベンチ検証から自ら車に載せて自ら走る実証」というカーメーカーからの助言もあり、高分子・LED部品メーカーとしての豊田合成の強みを活かせる「車一台物造り」プロジェクトを2009年6月に結成して「現地現物」「商品が主人公」を合言葉に軽量化・省エネ化に対応した豊田合成の将来を支える商品の発掘を目指した。

### 3-1. 開発プロジェクト開始

開発プロジェクトには当時の開発部門、自動車部品関連の4事業部を中心にデザイン、材料開発、電気・電子系、生産技術、製造、CAE評価など幅広い分野から20代～50代までの技術者が参加し、総勢30名のチームが発足した。開発は4年計画で、従来の部品を軸にした発想から、車両全体を軸とした発想へと切り替えて着手した。第一段階ではオール樹脂製ボディーを採用した走れる試作車の完成が目標であった(図-1)。経営トップからは「失敗を恐れずに、チーム一丸で、将来の飯の種を発掘して欲しい」と指示があった。

・ チーム目標 下記4年計画を立案

- 1) 2010年；車1台開発の年，1年後展示会へ出品
- 2) 2011年；開発テーマの発掘
- 3) 2012年；開発テーマ具現化の初年度
- 4) 2013年；刈り取りの初年度

### 3-2. オール樹脂ボディーに向けて

・ チーム目標 車両重量半減

軽量化でポイントとなったのは次の通りである。

- 1) シャーシの強度と安全性・操安性
- 2) 外板の強度・耐久性(温度依存性)

車体の基礎となるシャーシフレームはCFRPパイプを採用した。豊田合成の特徴は各パイプを繋ぐ継ぎ手構造にある。このフレームに各パーツ接合するときは、メンバー総出の手作業で一声に組み立てた。ところが実走テストでフレームが撓み、強度の改良を実施し、樹脂外板の内部は強度と軽量化の両立ができるハニカム(蜂の巣)構造とした。この構造はエネルギー吸収にも有利であり、フロントウィンドーはアクリル製樹脂を深絞り意匠構造にして剛性と軽量を確保した。2009年6月着手から2010年3月までの9ヵ月で完成した(図-1)。



図-1 TGEV車検前(車両重量680kg)

### 3-3. 省エネ化に向けて

・ チーム目標

ミニマム駆動力で航続距離500km以上  
省エネ化でポイントとなったのは次の通りである。

- 1) 走行抵抗の低減(Cd値0.3以下)
- 2) 室内空調，表示，照明類のエネルギー低減

ボディの空気抵抗低減に向け、Frウィンドーは樹脂の成形性を活かした流線形意匠でランプカバーを一体化し、ボディーエッジライン、電子ミラー化など整流化・剥離防止の工夫とCAEを駆使してCd値0.224を達成した(トップクラス；図-2)。

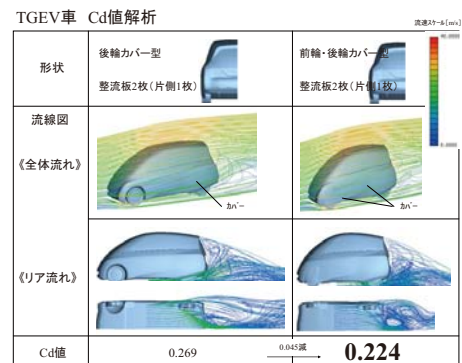


図-2 Cd値解析結果(TGEV)

内装部品では表示モニターに豊田合成製高輝度LEDを採用し、軽量かつ省スペースなヘッドアップディスプレイ構造を搭載した。

省エネ空調設計などにも工夫をした高意匠・高アスペクトエアフローを提案した(図-3)。

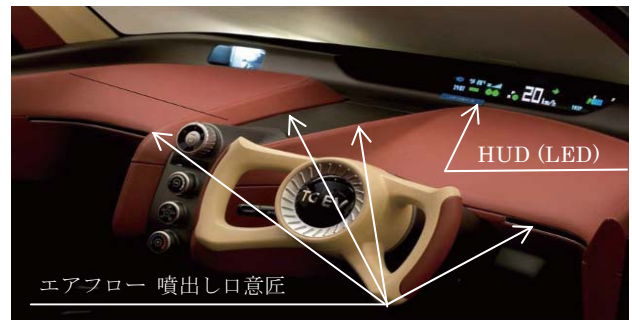


図-3 省エネLED表示とエアフロー構造

外装部品では法規をクリアしたヘッドランプ、テールランプに豊田合成製LED光源モジュールを搭載（図-4）するなど要所に豊田合成技術を活用しカタチにした。



図-4 LED光源モジュール

### 3-4. 結果

車両および部品の性能評価も幅広い分野におよんだ。車の静的な性能評価はCAEを駆使し、動的な評価は実車（テストコース）データを収集して分析した。部品造りの豊富な経験を活かしながら、2010年3月に自社技術によるオール樹脂製ボディのTGEV（原理モデル）は誕生。さらに、2011年春には原理モデルの改良とともに一般走行向けの装備を加え、同年6月に車検取得（組立車）する事が出来た（図-5）。



図-5 TGEV車検後（車両重量800kg）

車両重量は約800kg、モーター定格10kw仕様で、走行性能は最高速度100km/h、航続距離139km（10Kwh）、Cd値0.3以下を達成した。加速性も当時の国内EVに匹敵する性能を実現した。但し操安性に関してはさすがに未熟である事を痛感できた。

## 4. 第2ステージ； 「車一台試走検証」取り組み状況

環境に優しいTGEV初代とその技術は、社外でも高く評価された。ミニマム駆動力で航続距離を稼ぐコンセプトは中部国際空港の対環境方針にも合致し、ヴィッツの車両本体を使ったコンバージョンEVを開発する事となった。同車はエンジンや燃料タンクをモーターと、2次電池に交換したEV仕様である（TGEV 2号）。またボディ外板のフード、フェンダーを樹脂製にして長期実証検証も兼ねた。フードは具現化に向けて射出成形したオレフィン材・ハニカム製品を搭載した（図-6、7）。

また、自社製LED光源モジュールの省エネ効果の実証をした（図-8）。

2011年夏より空港内の誘導車として2013年春まで実証試験を実施した。中部国際空港は強風もあり、樹脂製品にとっては不利な夏の炎天下での検証ができた。樹脂外板製品の破損、亀裂、熱変形等の問題はなく、カーメーカーからも軽量化効果の大きい大型樹脂外板での開発を要望され2012年11月より豊田合成の自主開発として具現化に向けスタートした。

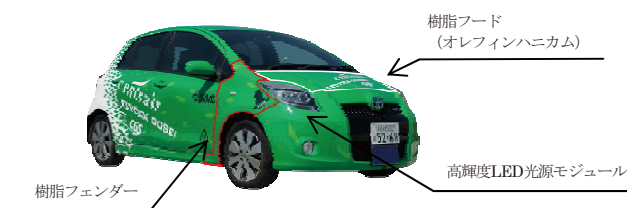


図-6 中部国際空港で試走したTGEV 2号

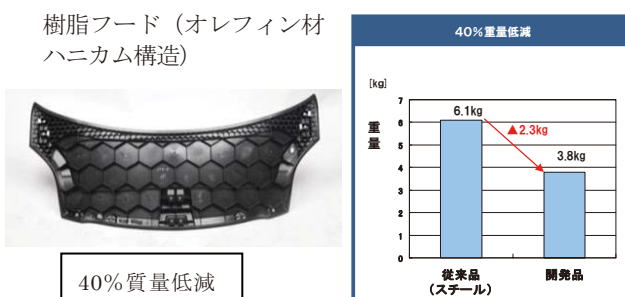
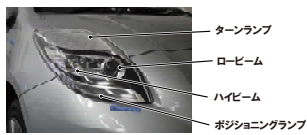


図-7 樹脂フード軽量化効果



高輝度LED光源モジュール



1.5% 電費向上

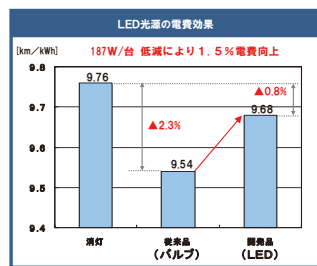


図-8 LED光源省エネ効果

### 5. 第3ステージ； 具現化に向けた取り組み状況

第1ステージでは車両重量半減を目指したが、車検をクリアする為には安全、操縦安定性に必要な剛性が不足であった。強度が必要な部位は樹脂と金属のハイブリッド構造、接合技術が大事である。第2ステージでは夏冬2年間の貴重なデータ収集と社外へのアピールが出来た。

前述した大型樹脂外板製品の具現化に向けた開発プロジェクトを2012年11月に発足した。開発目標は第1ステージ、第2ステージから得た実証データ、技術課題より設定した。

- 1) 樹脂の特性を活かした高意匠化の実現と軽量化の両立および重点性能の確保
  - ①高意匠化, ②軽量化率, ③低重心化,
  - ④重点性能 (剛性, 耐熱, 歩行者, 正突)
 上記重点項目の目標値を定量化。
- 2) コスト競争力の確保
  - ①大型成形機のクラスダウン
  - ②樹脂の成形性を活かした機能統合
  - ③機能に適応した材料の自前配合技術

デザイン, 設計, CAE, 材料, 成形, 金型, 塗装, 原価企画の各チームが一貫工程で活動できる全社プロジェクト体制で活動をスタートした。

本報告では重点性能の1つである歩行者保護について取り組み状況を報告する。

#### 5-1. 樹脂外板の歩行者保護

前述のTGEV 2号 (ヴィッツ) は2012年1月東京ビッグサイトの軽量化技術展へ出品した。この時の歩行者保護評価結果は、法規の目標であるHIC

値1000以下に対しては満足しているが、レイティングの目標であるHIC値650以下は大幅未達となり (図-9), また成形性にも課題があった。

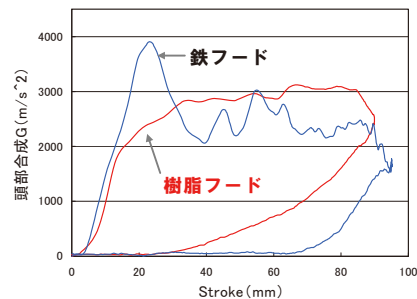


図-9 TGEV 2号の歩行者保護  
インパクター社内評価結果  
HICの目標: 1000以下達成 (実力値 940)

今回の開発品は設計, 材料, 工法の三位一体活動により豊田合成独自のハニカムクラッシュブル構造を改良し, 材料の工夫と構造解析, 流動解析を駆使して成形性の良いスライドコアレス金型構造を開発した。この開発品の評価結果はHIC目標値の650以下をクリアした (図-10)。

またこの構造は低周波領域の吸音にも寄与している。もちろん本来の目的である軽量化と3次元意匠曲面にも対応可能であり, 成形性も問題ないものである。

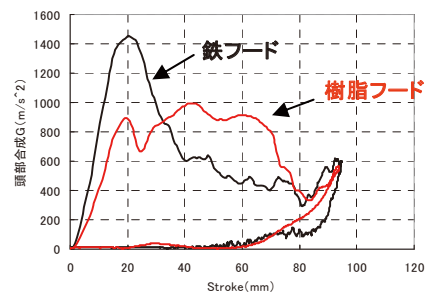


図-10 改良品の歩行者保護  
インパクター社内評価結果  
HICの目標: 650以下達成 (実力値 585)

なお, 図-9, 図-10の豊田合成で開発した樹脂フードの製品の外郭, 製品の厚みは現行スチールフードと同サイズである。



## 6. おわりに

TGEV初代の開発開始から5年半を振り返ると、部品メーカーが車両開発することは、豊田合成社内はもちろん社外の反響が予想以上に大きく、具現化に向けた引き合いを頂き、貴重な体験ができた事に対し、あらためまして関係方々に深く感謝いたします。

当初は事業部制であり各々考え方に異なる面があり社内に戸惑いがあったが、開発が進むにつれ結束ができ、チーム力の強さが改めて感じられた。

また豊田合成初の車一台造りに挑戦し成功体験ができた事は各メンバーの大きな自信となった。

今後もこの成功体験を次なる世代へ展開できるよう「車一台造り」を継続して、誰もが目を輝かせる喜びのシーンを分かちあっていきたい。

ここ5年半で構築した開発技術を活用して「もっといいクルマ、もっといい商品造り」を目指して地球環境保護に貢献していく。

### 参考文献

- 1) プラスチックの自動車部品への展開 日本工業出版(株) 2011年 p1, p2, p80, p82

著 者



藪谷 茂

## 燃料電池車を支える高圧水素タンク

内田 安則 \*1

### The High Pressure Hydrogen Tank which Supports a Fuel Cell-Powered Vehicle

Yasunori Uchida\*1

#### 要旨

燃料、環境問題を抱える自動車にとって、燃料電池車は画期的な車両である。水素と酸素を燃料とするシステムにおける、基幹ユニットである高圧水素タンクの動向と開発概要について報告する。

#### Abstract

Fuel cell vehicles are revolutionary vehicles that do not entail the same fuel and environmental problems as traditional vehicles. I report trends and summary of developments in high pressure hydrogen tanks, a critical unit in systems that use hydrogen and oxygen for fuel.

#### 1. はじめに

自動車は我々に様々な利便性を提供し続けながらも、燃料資源、環境問題の負の側面も持ち続けている。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年末、トヨタ自動車より燃料電池車「ミライ」が世界初の量産車として発売される。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、くるまの概念をも大きく変える車両として期待は大きい。

#### 2. FCVのしくみ

まず、FCVのしくみについて概要を示す（図-1）。

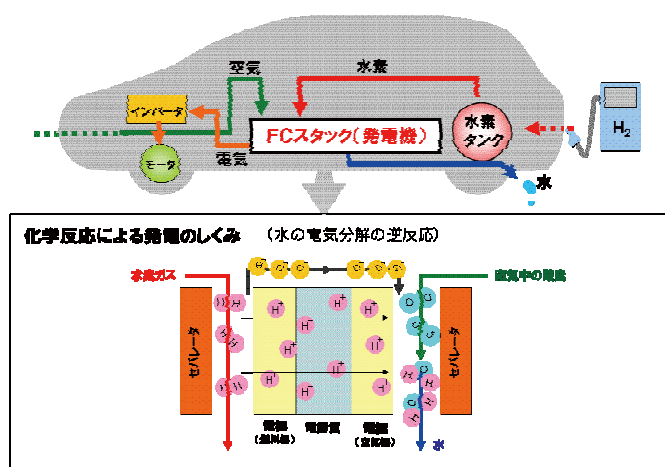


図-1 FCVのしくみ

\*1 商品開発部 ユニット開発室

FCVは外部から水素と酸素を取り入れ、FCスタックと呼ばれる発電機にて電気を作り出し、電気自動車として走行可能となる。FCスタックの発電は、酸素は外気から取り入れ、水素は水素ステーションなどのインフラから供給され、発電後は水のみが排出される。これは水の電気分解の逆反応を実現したものである。

ここで、ガソリン車、EV、FCVの比較を示す(表-1)。

表-1 車両比較

	EV:電気自動車	FCV:燃料電池車	ガソリン車
車両			
環境性とエネルギー	<ul style="list-style-type: none"> <li>走行時のCO2排出量"ゼロ" (Well to Wheel 0.94MJ/km)</li> <li>石油以外の多様なエネルギー源からの製造が可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>走行時のCO2排出量"ゼロ" (Well to Wheel 0.90MJ/km)</li> <li>水素は無尽蔵な資源</li> <li>電気可換、石油以外のエネルギー利用可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>CO2発生量 130g/km (2.7MJ/km)</li> <li>石油は有限資源</li> </ul>
利便性	<ul style="list-style-type: none"> <li>充電時間が長い (普通充電: 8h, 急速充電: 30min)</li> <li>航続距離が短い (200km)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>短い燃料充填時間 (3分)</li> <li>ガソリン車同等の航続距離 (600km以上)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>給油時間短</li> <li>航続距離長</li> </ul>

EVとの決定的な差は、ガソリン車並みの走行持続距離であり、燃料充填時間も3分程度と短いことである。ただし、水素供給に必要なインフラと、水素貯蔵技術に代表される技術の進展が課題となっている。

### 3. インフラ整備とFCVの進化

FCVの普及に不可欠なのはインフラ整備であることはいうまでもない。2002年に国内自動車各社がモニターを目的とするリース販売を実施し、インフラ開発も進めてきている(表-2)。

今後はFCV普及とインフラ整備を連動させ、2025年には自立的に拡大できるように、国策と連動したシナリオが策定されている(図-2)。

2014年度に国内設置35基とまだまだ少数であるが、着実な計画遂行を望みたい。

表-2 インフラと車両技術

		2005年	2014年
水素インフラ整備	水素ステーション 〔ガソリンスタンド〕 38,000ヶ所	0基 2002年:国内初の水素S開設 2005年:「東・地球水素S」開設	35基 2014年2月:17ヶ所、 2014年中に18ヶ所の 水素S設置計画あり。
	水素価格 ガソリン価格 (80円/L(税別))	120円/Nm3 ※水素S1Nm3の貯蔵距離は約10km	80円/Nm3 目処 大型水素供給基地の15建設。
	水素ステーション 建設費	6億円	2億円 目処 水素生産実用化開始。
車両技術	低温始動性	不可(寒冷地の中で使用)	-30℃始動OK
	航続距離	380km	830km
	車両価格	1~2億円	1千万円以下



FCVと水素ステーションの普及に向けたシナリオ  
出典:燃料電池実用化推進協議会(FCVJ)2010年3月 ※2013年7月継続

図-2 インフラ整備のシナリオ<sup>1)</sup>

### 4. FCV高圧水素タンクの動向

水素貯蔵方式として、これまで様々な技術が検討されてきている(表-3)。

表-3 水素貯蔵技術

	技術	課題	技術検討レベル 概算コスト	研究機関 開発企業
貯蔵	高圧貯蔵 (35~70MPa)	・炭素繊維コスト低減 ・PW加工高コスト化	量産化 40万円/本	リンカーン トヨタ etc
	液化貯蔵 (-253℃)	・ボイルオフによる損失 ・極低温エネルギー消費	実用化 400万円/本	岩谷産業 リンデ etc
	吸蔵合金 ハイブリッドタンク	・容器重量重い ・吸放出寿命	実証実験レベル	サムテック トヨタ etc
改良	有機ハイドライド	・反応熱多い ・吸蔵器の搭載	実証実験レベル (大規模貯蔵)	千代田化工 建設
	水添加ラジアン	・燃料供給性	研究レベル	ダイハツ

吸蔵、液化技術は車両にとって魅力ある方式であるが、現状では市販できるレベルには至っていない。自動車各社が高圧タンク方式を採用する期間は今後も続くと考えられる。

この高圧タンクにも種類が存在する（図-3）。

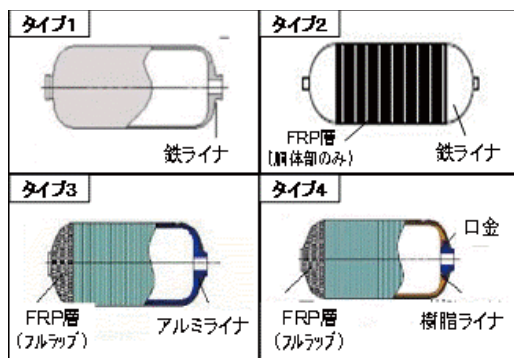


図-3 高圧タンクの種類

水素貯蔵に対して世界的な統一規格は制定されていないが、国内においてはタイプ3、4だけが認可の対象となっている。タイプ1、2が適用外となっているのは、耐圧を担う金属の水素脆化が問題となっているためである。当面はタイプ3、4を軸に普及が進むであろうが、安価な金属タンクの動向も注視していきたい。

## 5. 高圧水素タンクの開発

豊田合成における高圧タンク開発は、タイプ4で推進している。車載において軽量化は重要な要素であり、内層部のアルミと樹脂の質量差は大きい。

タイプ4タンクの要素技術として、以下の3つを中心として取り組んでいる（図-4）。

- 1) 内層部（樹脂ライナ）の材料開発
- 2) FRP設計技術
- 3) FRPのFW（フィラメントワインディング）工法開発

今回は工法開発を除き、材料開発、設計技術について報告する。

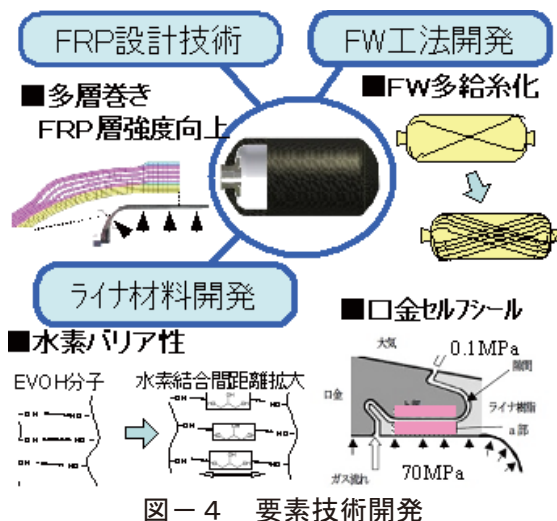


図-4 要素技術開発

### 5-1. 樹脂ライナの材料開発

樹脂タンクライナに要求されるものとして、水素透過の抑止性能があげられる。周知の通り、水素は最小原子であり、万物をもってしても透過をゼロにすることはできない。金属脆化を回避できる高分子材料で最大の透過抑止（バリア性能）を実現することが開発の目的である。豊田合成はこの取組みにより、樹脂製タンクライナとしては世界トップレベルのバリア性能を確保した樹脂材料を開発した（図-5）。

ガスバリア性に優れるEVOHを起点に、低温時の高圧クリープ耐性と射出成形を可能とする成形性を両立させた。これにより、法規はもちろん、薄肉で軽量のタンクライナを構成することができる。

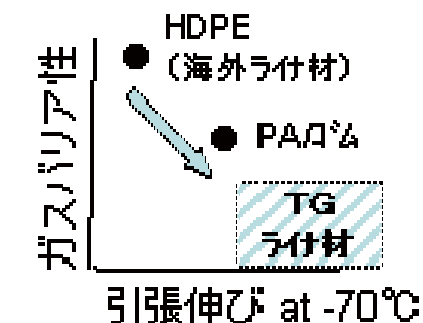


図-5 開発材料のバリア性能

### 5-2. FRP設計技術

高圧水素タンクは現在70MPaという高圧で貯蔵されることが主流となっている。この耐圧を担うのが外層を形成するFRP層である。FRPはカーボン繊維とエポキシ樹脂の複合体であり、3種類の巻き方を駆使し多層にて形成される。この巻き方、



巻き数による強度発現を予測する技術によって、最適化を可能とした。巻き方には3種類あり、CAEによって 限界破裂部位を円筒部に設定し、巻き数・巻き方の順番を決定していく（図-6, 7, 8）。このCAE予測と実験結果は整合しており、今後の開発に貢献できるものとなっている（図-9）。

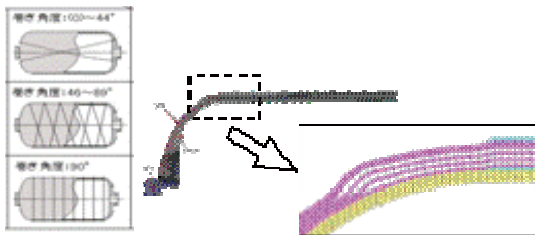


図-6 FRP設計CAE予測

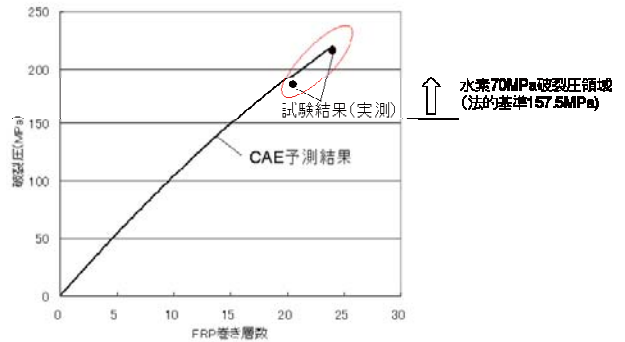


図-9 CAE予測と実験値

## 6. まとめ

高圧水素タンクの開発はまだスタート地点に過ぎない。高圧タンクに代わる貯蔵技術も進化していくだろう。しかし、将来、FCVが自動車の一翼を担う車両になるのは間違いない。豊田合成が培う水素バリア技術、軽量・高強度なFRP技術を更に高め、高圧タンクを起点に、FCVへ貢献していきたい。

### 参考文献・資料

- 1) 燃料電池実用化推進協議会 (FCCJ) 2010.3

著 者



内田安則

巻き順	巻き	角度(°)	
21	フープ <sup>*)</sup>	90	[インプレーン巻き] 軸方向補強
20	インプレーン	22	
19	インプレーン	22	
18	ヘリカル	70	
17	インプレーン	22	
16	ヘリカル	68	[ヘリカル巻き]
15	インプレーン	22	
14	ヘリカル	68	
13	インプレーン	22	
12	ヘリカル	68	
11	フープ	90	[フープ巻き] 周方向補強
10	インプレーン	22	
9	ヘリカル	64	
8	インプレーン	22	
7	ヘリカル	62	
6	インプレーン	22	
5	フープ	90	
4	インプレーン	22	
3	フープ	90	
2	インプレーン	22	
1	フープ	90	

図-7 巻き数・巻き方の設定

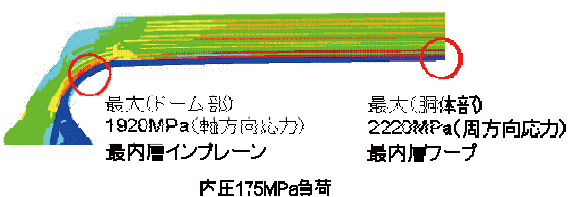


図-8 限界破裂部位の設定

## 新興国への取り組み

志賀 一三<sup>\*1</sup>

### Business Plan for the Developing Country

Ichizo Shiga<sup>\*1</sup>

#### 要旨

先進国での自動車需要が頭打ちの傾向であるのに対し、高い経済成長を維持するアジアの新興国は、その中間所得層、富裕層の拡大を背景に自動車ビジネスの大幅な成長が見込まれる。

この地域においてビジネスを拡大するには、地域の潜在ニーズを発掘し、市場にマッチした商品をタイムリーに提案することが何よりも重要なことである。この対応のため本年より新商品の企画をミッションとする企画戦略チームが商品開発部内に新設され、現地エンジニア、日本側デザイナーと共同で調査を開始した。

本報告では、既に世界一の自動車販売台数の中国及びアセアン地区で同1位、2位のタイ、インドネシアにおける自動車を取り巻く市場動向（モーターショー、市場調査など）を現地エンジニアと共同で調査・分析し、そこから読み取った技術・デザイントレンドより、新商品開発の方向性について報告する。

#### Abstract

Large growth in the automobile business is expected in developing countries as their middle-income and wealthy populations increase. On the other hand however, in developed countries, the growth in automobile demand has leveled off. To expand business in these emerging economies it will be crucial to uncover latent needs and propose products matched to the market. A team to plan new products was established this year and began investigations in cooperation with local engineers in developing countries to develop new products in those countries.

I report automobile market trends (motor shows, market surveys, etc.) and product development directions in China, Thailand and Indonesia, based on joint surveys and analyses with local engineers.

---

\*1 商品開発部

## 1. はじめに

新興国では急速な自動車の増加に、交通施策が追いつかず、交通事故による死亡事故（図-1）や渋滞による大気汚染（図-2）は各国とも日本の数倍のレベルである。交通インフラや安全教育の遅れに対し、スマートフォンなどの最新情報機器の普及は日本より進んでいるところもある。

交通事故や大気汚染は新興国共通の問題ではあるが、その他の自動車に対する考え方は、各国の文化、宗教などの背景によって様々である。

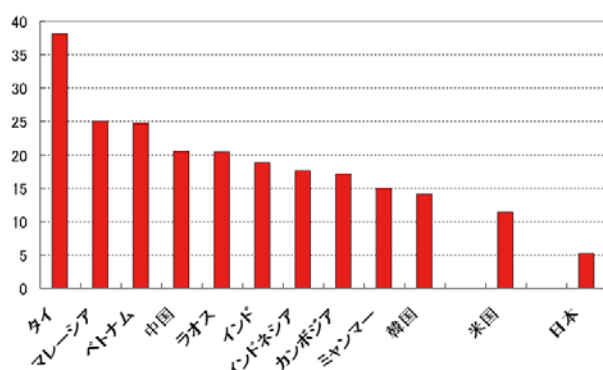


図-1 10万人当りの交通事故死者数<sup>1)</sup>



図-2 PM10\_年平均 (µg/m<sup>3</sup>)<sup>2)</sup>

これまでも各国地域ニーズを把握するため、各国のモーターショー調査や市場調査は各部で取り組んできたが、調査が担当製品の目線で実施されており、より広範な技術トレンド、現地エンジニアの意見の反映が不足していた。本年より商品開発部内に企画戦略チームを新設し、現地エンジニアを主体に、日本側デザイナーと共同でモーターショーや現地市場調査を通じて、技術トレンド、デザイントレンド及び現地人の嗜好を読み取り、地域ニーズに沿った新商品の企画をまずは中国、タイ、インドネシアにて開始した。

結果としては技術トレンドについては各国とも先進技術に関心が高いことは共通しているが、デザイン面では各国の嗜好が分かれた。これらの調査結果を現地エンジニア主体に具体的な商品提案に結びつけ、今後の各国モーターショーや新製品展示会にて展示し、現地顧客やユーザーの意見を確認していきたい。本報告ではこの活動の一部について紹介する。

## 2. 商品開発の方向性と調査結果

### 2-1. 中国

#### 2-1-1. 商品開発の方向性

外装部品ではメッキなど加飾技術の更なる低コスト化とデザイン自由度のある加飾工法の開発を継続するとともに、豊田合成の持っているLED技術などを活用し、外装部品に付加価値を向上させる開発が重要である。

内装部品の加飾についても低コスト化の開発が重要であり、加えて低価格車において軟質化、表皮張りなど高質感化が広がっており、この分野の低コスト化の開発も必要である。その他スマートフォン連携が当たり前となってきているが、豊田合成はステアリングホイールほか多種の内装部品を手がけており、これらの部品と連携させることにより、安全とHMIを両立したデザインが提案できると思われる。

#### 2-1-2. 調査結果

##### a) '14北京モーターショー

1) 富裕層の増加に伴いSUVの割合が増加（図-3）

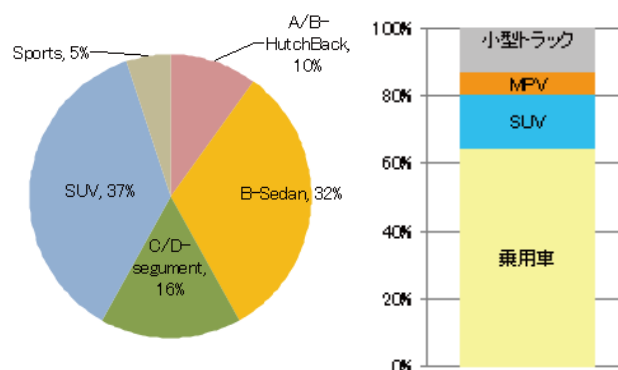


図-3 車種別割合  
モーターショー展示車両（左図） '13販売実績（右図）

## 2) デザイントレンド (外装)

欧州車をベースとした外形デザインが受け入れられており、更に中国人が好むメッキや派手な加飾が追加されている。民族系の建付け、外観品質が更に向上 (図-4)。



図-4 民族系の展示車両

## 3) デザイントレンド (内装)

日系、欧米系、民族系とも光物加飾が効果的に配置されている、また低価格車にもソフト化、表皮巻きがひろがっている (図-5, 6)。



図-5 Ford Escort (中国専用車)

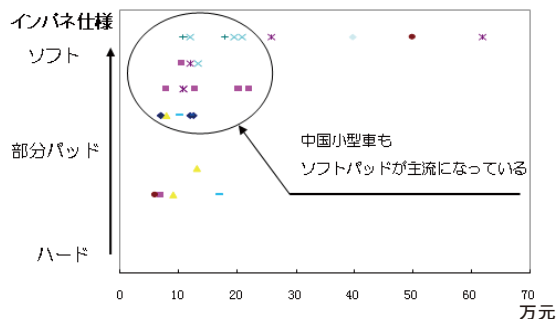


図-6 インパネ仕様と車両価格

## 4) スマートフォンとの連携

スマートフォンと連携した表示、操作系があたりまえのように使われている (特に中国民族系、韓国系) (図-7)。



図-7 スマートフォン連携の展示

## 5) 先進システム (ABS, エアバッグなど) はグローバルメーカーに依存 (民族系) (図-8, 9)



図-8 BOSCH製ABSシステム (BYD)



図-9 TRW製エアバッグ (观致汽车)

## 6) 低価格車でもサンルーフは必須アイテム

他人に自慢できるものはオプション価格が高価でも追加する傾向がある (現地スタッフの意見) (図-10)。

\*北京汽車, KIA, 長安汽車は展示車全て設定



図-10 長安汽車



## b) 市場調査

- 1) 都市部のスマートフォン保有率は日本より高い（確認ができた現地スタッフは全てスマホ）（図-11）。



図-11 北京市内のタクシー  
(約80%がスマホを装着)

- 2) 安全祈願のお守りを多くのドライバーが付けており、金製品などの高額なものが人気（現地スタッフはほぼ全員お守りを車に装着）（図-12）。



図-12 各種お守り（毛沢東、七福神）

- 3) ドライブレコーダーの装着率が高い（現地スタッフはほぼ全員ドライブレコーダーを装着）（図-13）。



図-13 ドライブレコーダー付インナミラー（用品）

## 2-2. タイ

### 2-2-1. 商品開発の方向性

タイ市場の特徴は日系メーカーのシェアが約90%と高く、コンペティターのほとんどが日系部品メーカーである。外観ではスポーティなデザインが人気を集めており、外装部品でビジネスを拡大するには標準仕様の部品に対し、スポーティな感じのデザインや加飾などグレードマネージメントに対応した開発が必要である。

内装部品については、タッチパネルなど先進的なものが人気で、今後電子部品メーカーと共同で電子部品を組入れた先進性を感じる部品開発が重要である。

その他タイ人は色にこだわりがあり（生まれた曜日ごとに自分の色がある）、自分の好きな内装色が選択できるなど、色に関する開発も有効である。

### 2-2-2. 調査結果

#### a) '14バンコクモーターショー

- 1) ピックアップの展示、販売比率が高い（図-14）。

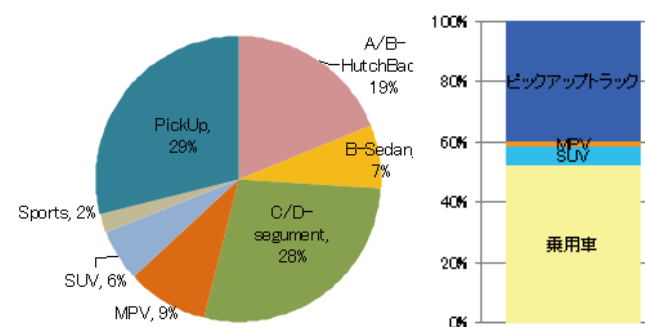


図-14 車種別割合  
モーターショー展示車両（左図） '13販売実績（右図）

- 2) デザイントレンド（外装）

スポーティ仕様の人気が高く、各社エアロパーツのオプションを準備（図-15）。



図-15 標準仕様 vs. スポーティグレード（ホンダCity）

- 3) デザイントレンド（内装）

外装ほど標準仕様とスポーティ仕様の差がない、タッチパネルなど先進性を感じる装備が人気（図-16）。



図-16 スポーティグレード（ホンダCity）  
インパネ全体（左図）、タッチパネル（右図）

**b) 市場調査**

1) エアロパーツを装着したカスタム化した車が多い (図-17) .



図-17 バンコク市内

2) バンコク市内ではスマートフォン, IT機器の浸透は日本より普及している様子, 家電などは日本と比べて色使いが豊富 (図-18) .



図-18 バンコク市内の様子

**2-3. インドネシア**

**2-3-1. 商品開発の方向性**

インドネシア市場の特徴としては車の所有層は大部分が富裕層で, MPVを多人数で利用することが多い.

外装部品については, あまり派手な加飾は好まれず低コスト化以外に差別化する項目は今回の調査では見つけられなかった.

内装部品については, 後席レジスタや後席カップホルダなど後席の居住性向上への要望が高く, また熱対策の商品 (触れても熱くない, 涼しく感じるなど) が低コストで実現できれば大きなビジネスになると思われる.

**2-3-2. 調査結果**

**a) '14ジャカルタモーターショー**

1) MPVに加え, SUVの展示が増加, 市場ではコンパクトSUVが人気 (図-19) .

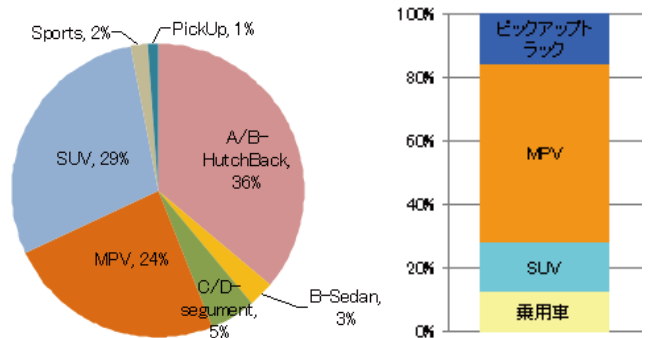


図-19 車種別割合  
モーターショー展示車両 (左図), '13販売実績 (右図)

**2) デザイントレンド (外装)**

メッキ, スポイラーなどが見られるがバンコクモーターショーに比べるとスポーティ仕様は少ない (図-20) .



図-20 トヨタ Azanza (左), ホンダ Mobilio (右)

**3) デザイントレンド (内装)**

派手な加飾はなく全体に落ち着いた印象 (図-21) .



図-21 トヨタ Azanza (左), ホンダ Mobilio (右)

**b) 市場調査**

1) 耐日光/耐熱対策商品が人気 (図-22)



図-22 耐光フィルム (左), 冷却機能付コンソールBOX (右)

2) 携帯端末の充電設備は必須（現地スタッフの意見）（図-23）



図-23 現地スタッフの自家用車

### 3. まとめ

中国ローカルメーカーは年々建付け、外観品質が向上しており、品質だけで優位性を維持するのは困難である。このため内外装部品ともLED技術などを活用した加飾部品の付加価値の向上が必要であり、また内装部品ではスマートフォンと連携する開発は必須と思われる。

タイ市場においては、外装部品ではグレードマネージメントに対応する部品の開発、内装部品では先進性をイメージできる商品開発が必要であり、カラー家電などが人気で自分の好きな内装色が選択できるなど、色に関する開発も有効と思われる。

インドネシアでは1台の車に多人数が乗ることが多く、後席の居住性向上に寄与する開発及び暑さを抑止するような部品の開発が有効である。

### 4. 今後の進め方

本年より開始した新興国の地域ニーズに関する現地エンジニア、日本側デザイナーとの共同調査について、少しではあるが成果が見え始めた。この活動を継続、調査地域を拡大していくとともに、地域ニーズを具体的な新商品に反映し、各国モーターショーや新製品展示会を通じてビジネスの拡大につなげていく。

### 参考文献

- 1) 警察庁交通局のホームページの2013年データより
- 2) WHO:WHO`s Ambient Air Pollution Database-Update 2014

著 者



志賀一三



## スライドドアオープニングトリムのシール性向上に関する要素技術の確立 Establishment of Elemental Technology related to Improving Sealing Performance of Sliding Door Openingtrim

大塚 洋史 \*1

### 1. はじめに

近年、スライドドアは電動化が進んでいる。また後席シートベルトの着用が義務化され、乗車してシートベルトを取ろうとした時に、運転手がスライドドアを操作し指を挟む恐れがある（図-1）。

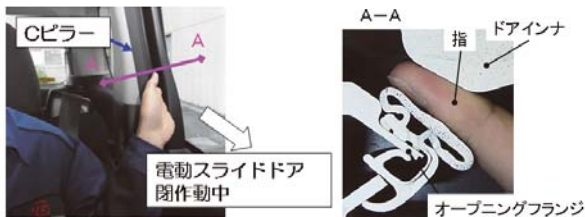


図-1 指はさみイメージ

お客様に対してより安全に、より快適に過ごして頂くために今後の車では、ドアインナ、オープニングフランジの面間を広げ、ウェザストリップ中空部の荷重を下げることで、指が挟まれても怪我をすることがないようにする必要があります。その背反として、シール性の悪化が予測され、実車で水漏れなどが起こる恐れがある。そのような背景の中でシール性に関する要素技術の確立は急務である。本報告は、自動車のドア開口部のボディ側に装着され、ボディとドアの間をシールしているスライドドアオープニングトリムでのシール性向上に関し、技術検討に取組んだ事例である。

### 2. メカニズムの推定

水漏れメカニズムについて考察する。水漏れには大きく分けて静的、動的の2種類がある。静的、水漏れとは車が静止している状態での水漏れを指

す。中空部スポンジ表面は発泡により微細な凹凸形状になっており、表面の粗度が粗い場合、シールする圧力が低いと、シール面との間に隙ができ、その隙間を水が通り抜けることによって水漏れが発生すると予測される（図-2）。

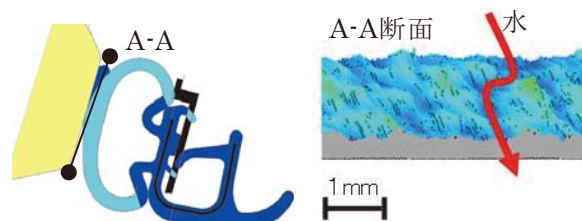


図-2 水漏れ予測図（静的）

動的な水漏れとは車が走行している状態での水漏れを指し、走行時の振幅・振動によりシール面の挙動が変化し、水漏れが発生すると予測される。

### 3. 要因解析と対策立案

静的、動的な水漏れに対し、ウェザストリップ要因、車体要因に層別し洗い出しをおこなった。

要因解析の結果、水漏れに対する重要因子として、ゴム材料、表面処理、断面形状を選定した。実車ででの現象をベンチ評価に落とし込む為、車両調査も実施し、相関を取り試験条件も設定した。

#### 3-1. ゴム材料での取組み

メカニズムの推定で述べたとおり、表面の粗度を平滑にするために、材料で加硫と発泡のバランスを調整するような検討を実施した。わかりやすくとえると、パンには蒸しパンのような耳がなく表面が粗いものから、バターロールのように薄皮があり表面が平滑なものまで材料の配合で作る

\*1 Hirofumi Otsuka WS技術部 WS開発室



ことができる。今回はこれと同じようなことをゴム材料で実施した。

### 3-2. 表面処理での取組み

表面処理においても塗料によって表面の凹凸、やわらかさなどを変えることができる。今回は表面が平滑で追従性のよい材料を選定した。

### 3-3. 断面形状での取組み

断面形状で水漏れに影響を与える部位の予測はつくが、それぞれの寄与度はよくわかっていない。そこで影響のある部位を特定するためにCAEシミュレーションと実験計画法を用いて寄与の明確化を実施した。図-3に示す設計因子をL8の直交表に割りつけ実験計画を実施し、特性はシール幅を選定した。解析した結果を図-4に示す。

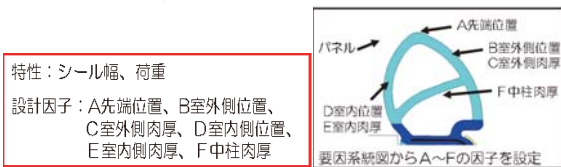


図-3 実験計画の各変数

要因	平方和	自由度	分散	Fo	確率	寄与率(%)	プーリング要因
①先端位置 A	0.606	1	0.606	7.12	0.076	17.36	
②背中側位置 B	1.125	1	1.125	13.24*	0.036	34.72	
③背中側肉厚 C	0.606	1	0.606	7.12	0.076	17.36	
④腹側位置 D	0.405	1	0.405	4.76	0.117	10.68	
e1	0.255	3	0.085			19.88	E,F
合計	2.995	7				100	

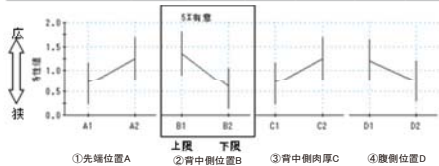


図-4 シール幅の解析結果

この結果より、背中側位置Bがシール幅に対し寄与が大きいことがわかった。

### 3-4. 応答曲面による多特性の最適化

ゴム材料、表面処理、断面形状それぞれでの対策で水漏れに対する各項目の効果は予測できるが、組合わされると水漏れ特性はどうなるのか、背反が起こるのかは明確になっていない。そこで応答曲面法を用いた多特性の同時最適を実施した。目的変数は静的、動的の水漏れ時間とし望大特性とした。

## 4. 解析結果と技術的考察

応答曲面解析の結果を図-5に示す。

ゴム材料については、a材の方が静的水漏れ性が向上する(図-5①囲み部分)。これは表面の状態と相関があり表面が平滑なa材の方が性能が向上する。また新たな知見として、静的と動的が背反関係を示した。これは表面を平滑にすることでゴム弾性が悪くなり追従性が低下することにより動的水漏れ性が悪化したと考えられる。断面形状に関しては、静的水漏れで2次の関係を示した(図-5②囲み部分)。これは面圧と比例関係にあり固有技術と一致する。表面処理に関しては対策した材料が効果を発揮し、膜厚が変化しても、塗布さえされていれば水漏れに対して効果を発揮するといえる。

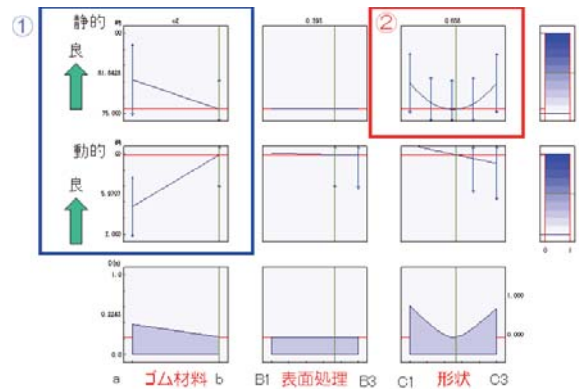


図-5 応答曲面法の最適化グラフ

## 5. おわりに

今回の結果を製品に反映し、指はさみ荷重と水漏れ性能の両立を実現することが出来た。また設計難易度の高い水漏れに対する要素技術も確立できたことで、新規製品の開発期間の短縮ができ、顧客からの信頼度も上がると考えられるため、今後の拡販にもつなげていきたい。

著者



大塚洋史

## Naフラックス法で成長した自立GaN基板の構造的・電氣的評価

守山実希<sup>\*1</sup>, 久米川尚平<sup>\*2</sup>, 薬師康英<sup>\*3</sup>, 佐藤峻之<sup>\*4</sup>,  
山崎史郎<sup>\*5</sup>, 永井誠二<sup>\*6</sup>

### Structural and Electrical Characterization of Free-standing GaN Substrates Grown by Sodium Flux Method

Miki Moriyama<sup>\*1</sup>, Shohei Kumegawa<sup>\*2</sup>, Yasuhide Yakushi<sup>\*3</sup>, Takayuki Sato<sup>\*4</sup>,  
Shiro Yamasaki<sup>\*5</sup>, Seiji Nagai<sup>\*6</sup>

#### 要旨

ナトリウム (Na) フラックス法を用いて成長した2インチ窒化ガリウム (GaN) 基板について、構造的・電氣的評価を行った。マクロステップ形成や異常結晶成長に起因すると考えられるマクロ欠陥にNaインクルージョンが観察された。マクロ欠陥と基板の電氣的特性の関係を調べるため、GaN基板表面に直接形成したショットキーバリアダイオード (SBD) の特性を評価した。SBDの逆方向耐圧は基板に含まれるマクロ欠陥に強く影響されることが示された。最も高い逆方向耐圧が得られたダイオードの特性は、理論予想と良く一致した。

#### Abstract

Structural and electrical properties of 2inch free-standing GaN substrates grown by sodium (Na) flux method have been evaluated. Two types of macroscopic defects with Na inclusions, which could be due to macrostep formation and abnormal crystal growth, were observed. To understand effects of the defects on electrical properties of the substrate, characteristics of Schottky barrier diodes (SBD) directly fabricated on the substrate surface were investigated. It was observed that breakdown voltages of the SBD were strongly influenced by the existence of the macroscopic defects in the substrates. A diode with the highest breakdown voltage has ideal characteristics, which correspond well to the theoretical predictions.

\*1 研究開発部 上席技師

\*2 研究開発部

\*3 研究開発部

\*4 研究開発部

\*5 研究開発部

\*6 研究開発部 主担当員

## 1. はじめに

### 1-1. 窒化ガリウム基板の現状

窒化ガリウム (GaN) に代表される III 族窒化物半導体を利用した半導体デバイスは、異種材料であるサファイア基板上への「ヘテロエピタキシャル成長技術」が確立されて以来、目覚ましい進歩を遂げてきた<sup>1)</sup>。ヘテロエピ成長技術開発のモチベーションは、「GaN 基板の不在」という技術的障壁の克服であった。もしも GaN 基板が早くに実現されていれば、ヘテロエピ技術への挑戦は不要となり、青色 LED の実用化はより早まっただろう。しかし、それと引き換えに低温堆積緩衝層を始めとする貴重な技術・知見が失われていたとすれば、その損失は計り知れない。我々は GaN がバルク結晶成長し難い物性（融液化に数万気圧が必要ななど）を持っていることに感謝しなければならない。

GaN 基板が実用化されて約十年が経過した今日では、もはやバルク成長の困難さを有り難がってはられない状況になっている。最近では縦型パワーデバイスの高性能化でも注目されているように<sup>2)</sup>、デバイス性能の向上という観点から高品質 GaN 基板への期待は大きい。基板の製造技術は着実に進歩し、サファイア上エピ層の数百分の一以下という低転位密度の 2 インチ GaN 基板が入手可能になっている。本来であれば、青色 LED を筆頭に GaN 基板上デバイスへの移行が進んで良いはずだが、実用化の動きは鈍く、青色 LED でも一部の特殊用途を除いて GaN 基板の適用は進んでいない。その原因の大半は品質の問題ではなく、サファイア基板の 10 倍～100 倍という価格にある。青色 LED においては、基板の価格差をデバイス性能で取り返すことが不可能なほど、サファイア基板上 LED の高出力化と低価格化が進んでいる。GaN 基板でなければ実現不可能で代替の利かないデバイス（高出力青色レーザーダイオードなど）を除けば、基板のコストを劇的に下げない限り、実用デバイスへの GaN 基板適用を進めることは非常に難しい状況にある。

### 1-2. Na フラックス法への期待

GaN 基板上デバイス開発において、現時点での基板コストが問題なのは言うまでもないが、中・長期的な低コスト化への見通しが提示されておらず、低コスト基板を想定したデバイス開発のロードマップを描きづらいことも、製品開発の現場で

は切実な問題である。これまでの主流である気相法による基板製造のコスト低減には限界が見え始めていることから、新規 GaN 成長技術による飛躍的な低コスト化への道筋を示す必要がある。

豊田合成では、次世代の III 族窒化物半導体デバイス実用化に向けた新規の GaN 基板製造技術として、「フラックス法」に着目している。ナトリウム (Na) をフラックスとして利用すると、GaN の液相成長に必要な圧力を、数万気圧から数十気圧へと大幅に低減できる<sup>3)</sup>。液相成長が実現できれば、従来の気相成長では成し得なかった高品質化・低コスト化の可能性が見えてくる。豊田合成は、2004 年から経済産業省/NEDO 主管の国家プロジェクトに参加し、大阪大学に設置された実験炉を用いて非極性面成長等の先端技術開発に取り組んできた。そこで得られた知見を生かし、2009 年からは独自に設計した小型高温高圧炉を用い、社内での成長実験を開始した。以来、国家プロジェクトでの先端的テーマと並行して、社内では Na フラックス法による量産実現を主眼とした技術開発に取り組んでいる。

### 1-3. Na フラックス法の課題

Na フラックス法は、GaN 基板の製造に利用できる様々な特徴を持つことが報告されており、要求される高い品質を実現し得るポテンシャルを持っている<sup>3)</sup>。しかし、量産半導体デバイス用基板は勿論、大型結晶の大量生産の実績がなく、実用化に対しては課題が多い。Na フラックス法をデバイス開発の立場から見た場合、実用化への最大の懸念は「Na による基板汚染」である。III 族窒化物半導体デバイスに対する Na の影響は明確にされていないが、Si デバイスプロセスにおいて Na の混入は禁忌とされ、徹底して排除すべき元素の一つとして知られている。その Na の高温溶液中で成長した結晶を半導体基板に使うとなれば、懸念を持って然るべきであろう。

Na フラックス法で成長した GaN（以下、NFx-GaN と略記する）に、Na インクルージョン\*が存在するとの記述は多くの文献に記されている。しかし、二次イオン質量分析 (SIMS) による分析結果が検出限界以下であったとの報告<sup>4)</sup>以外に、インクルージョンを始めとする Na 汚染の詳細を記した

\*一般に「インクルージョン」は、金属以外の成分も含めた結晶中の包含物・異物を指す



技術文献はほとんど無く、Na汚染がどのように問題となるのか、どこまで低減可能なのかは不明である。先に述べた懸念を払拭するには、NFx-GaNにおけるNa汚染の可能性について実験的に検証し、技術的裏付けのある対策によって安全性が実証されなければならない。

#### 1-4. 目的

本報告では、豊田合成で開発中のNFx-GaN基板を用いて、Na由来の欠陥や、それらが引き起こす問題を調査した結果について述べる。Na汚染の形態には、以下の四つが想定される。

- 1) 結晶内のインクルージョン
- 2) 結晶格子中への固溶成分
- 3) 転位等の欠陥への偏析・析出
- 4) 基板表面の汚染

これら全ての汚染形態についての詳細な議論は本稿の域を超える。そこで本報告では、1)に挙げたインクルージョンとしてのNaと、それに付随して形成される組織・微細構造に対する評価結果について述べる(3-1節)。他の汚染形態と比べ、インクルージョンはNaの汚染量が圧倒的に多く、Na特有の問題が顕在化しやすいと予想される。次に、デバイス開発への適用という観点から、インクルージョンを含むNFx-GaN基板の問題を検証することを目的として、基板に直接形成されたショットキーバリアダイオード(SBD)の特性評価(3-2節)、およびMOCVDによるGaN成長を試みた結果(3-3節)について述べる。以上の結果から、NFx-GaN基板開発の指針を得ることが、本報告の主目的である。

第4章では、豊田合成における最近のNFx-GaN基板開発およびデバイス検討の成果について簡単に紹介し、今後の展望を述べる。

## 2. 方法

### 2-1. Naフラックス法による結晶成長

成長炉には、豊田合成が所有する回転攪拌機構付き小型高温高圧炉を用いた。アルミナ坩堝内に、原料となるGa、フラックスであるNa、種結晶、および自発核生成の抑制効果などが報告されている炭素<sup>9)</sup>を収納した後、炉内に搬送した。これらの作業は全てAr雰囲気グローブボックス中で実施された。種結晶には、気相法で成長した2インチ

GaN結晶を使用した。成長条件は、Naフラックス法としては標準的な750℃~900℃、30~50気圧という温度、窒素圧力範囲とした。40時間~60時間の加熱処理後、100℃以下になるまで炉内で除冷した後、坩堝を炉外へ取り出した。エタノールを用いてNaを除去する等の工程を経て、as grown結晶を取り出した。成長厚さは最低でも約0.6mmとした。機械加工により表裏面を平坦化加工し、NFx-GaN結晶のみから成る厚さ約0.35mmの自立基板を作製した。加工の最終仕上げには化学的機械研磨(CMP)を用いた。

### 2-2. 結晶評価

種々の光学的観察法、X線回折(XRD)、カソードルミネッセンス(CL)、SIMSを用いてGaN結晶の構造的評価を実施した。光学的観察法は、低倍率のマクロ的観察と、光学顕微鏡による高倍率での観察に大別される。前者はデジタルカメラを用いた2インチ結晶全面の撮影であり、自然光下での外観撮影、基板の下側に設置された光源を利用した透過像撮影、および紫外線照射によるルミネッセンス像撮影を用いた。顕微鏡観察には、一般的な明視野・暗視野観察、蛍光顕微鏡観察などを用いた。XRD測定には、入射X線側にGe(220)4結晶、受光側にGe(220)アナライザ結晶を用いた。入射X線の照射幅は約0.25mmで一定であるが、長手方向(光軸と平行な方向)の幅は0.02mmから2mmのスリットを用いて調整した。

GaN結晶の電氣的特性評価には、ホール効果測定(van der Pauw法)とSBDの電気特性評価を用いた。SBDの評価方法は3-2節において説明する。

## 3. 結果および考察

### 3-1. 構造的評価

#### 3-1-1. 光学的マクロ観察

開発初期の2インチas grown結晶の一例を図-1(a)に示す。冷却時に表面に形成される再成長層により、白濁と着色が生じている<sup>4)</sup>。しかし、異常成長による欠損や突起はなく、クラックも見られない。再成長層と種結晶が除去された研磨後の結晶を図-1(b)に示す。透過性は良好であるが、1mm径以下の黒点が全面に分散していた。通常観察法では黒点の検出が難しいため、透過観察像(図-1(c))に画像処理



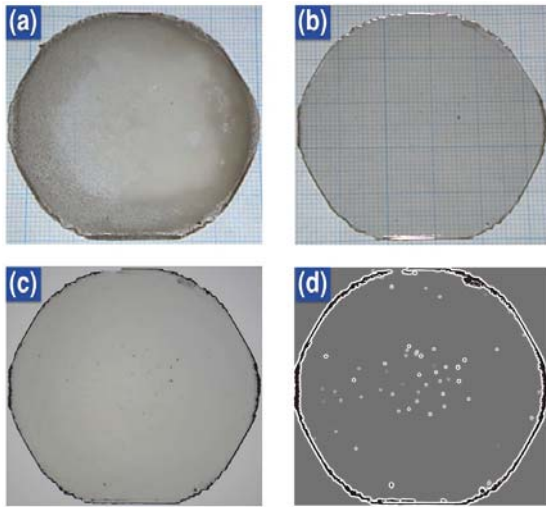


図-1  
開発初期の2インチNFX-GaN結晶の光学的マ  
クロ観察結果：(a) as grown結晶，(b) 研磨  
後結晶，(c) 研磨後結晶の透過像，(d)  
図-1(c)の画像処理像

を施し，黒点の分布を可視化した（図-1(d)）。黒点は中央部に集中する傾向はあるが，面内に広く分散していた。可視光によるマクロ観察では，黒点以外の組織の検出は困難であったが，紫外光を照射すると黄色の発光を伴う鱗状組織が広範囲に観察された（図-2(a)）。多い場合，鱗状組織は，2インチ面内の約40%の領域で観察された。

### 3-1-2. 光学顕微鏡による観察

光学顕微鏡を用いて鱗状組織を詳細に観察した。図-2(b)は，結晶内部にフォーカスを合わせて撮影された暗視野像である。特定の方向に並んだ直線状の界面（ファセット面）が形成されていることがわかる。断面観察により，ファセット面は表面に対して30度～40度の角度で傾斜していることがわかった。図-2(b)には金属光沢を持つ帯状組織が所々に観察される（同図の白枠内に例示）。これを高倍率で観察すると，帯状組織の内部には数 $\mu\text{m}$ 径の微細粒が層状に配列している様子が見られる（図-2(c)）。個々の微細粒は，Na-Ga原料が界面に取り残されて生じた金属包含物と考えられる。本報告では，個々の微細粒を金属包含物と呼び，金属包含物を含むマクロな組織や構造欠陥をインクルージョンと呼んで区別する<sup>\*</sup>。図-2に見られた「帯状インクルージョン」の形成量は，場所によって大きく異なる

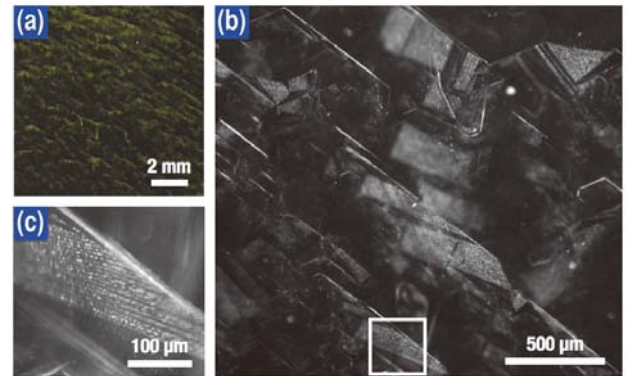


図-2  
(a) 紫外光が照射されたNFX-GaNに見られる  
鱗状組織，(b) 鱗状組織の暗視野光学顕微鏡  
像，(c) 図-2(b)中に示した白枠領域の高  
倍率観察像

っており，インクルージョンを一切含まないファセット面形成領域も観察された。ファセット面形成領域は紫外光励起による黄色発光が観察されたことから，この領域ではNa以外の不純物元素の取り込み量が増加している可能性がある。これらの組織はマクロステップの形成によって生じると考えられる。

図-1に見られた黒点を蛍光顕微鏡で観察すると，多角形の外形を持つ異常成長粒と呼ぶべき組織が観察された（図-3）。粒状組織の内部および母相との界面には，図-2に見られた金属包含物と酷似した微小粒が観察される。こうした「粒状インクルージョン」の大きさや形状は多岐にわたり，複数の形成メカニズム，原因の存在が示唆される。顕微鏡観察を用いることにより，マクロ観察では識別困難な微小な粒状インクルージョンも多数観察されたが，その内部の金属包含物は僅かであった。粒状インクルージョンのサイズが大きいくほど，内部に存在する金属包含物の総量が多くなる傾向が認められた。

<sup>\*</sup>このような区別の仕方は一般的ではなく，本報告独自のものであるので注意されたい

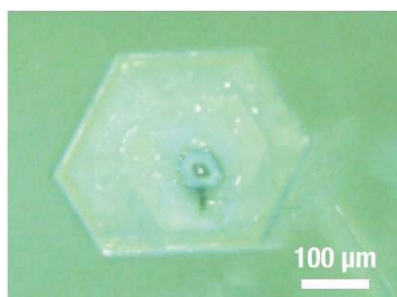


図-3 異常成長粒組織の蛍光顕微鏡像

### 3-1-3. XRDによる微細構造評価

前項の評価で鱗状組織が観察された領域Aと、鱗状組織が観察されなかった領域Bにおいて、XRDによる微細構造評価を行った。どちらの領域においても、入射X線側のスリットサイズを広げるほど半値幅 (FWHM) が増大し、スリットサイズ 0.5 mm以上では複数の分離した回折ピークが得られやすくなった。領域Aで測定されたGaN(002)のωスキャン回折プロファイルを図-4に示す (スリットサイズ: 2 mm)。プロファイルには少なくとも8個のピークが見られ、X線照射範囲内における複数の微細結晶 (ドメイン) の存在が示唆される。分離した回折ピークの数とプロファイル全体の幅には、領域A>領域Bとなる傾向が見られた。これは図-2に示したファセット組織が反映された結果と理解できる。同様のピーク分離は市販GaN基板でも観察されることから、ドメイン形成の主原因は、ヘテロエピ成長で作製された結晶品質の低い種結晶を利用していることにある (結晶核同士の方が厳密には揃っていない) と考えられる。

領域Bにおいてスリットサイズ0.05 mmで測定された一連のGaN(004)のωスキャン結果を図-5(a)に示す。同図は測定領域を光軸方向に0.4 mmずつ

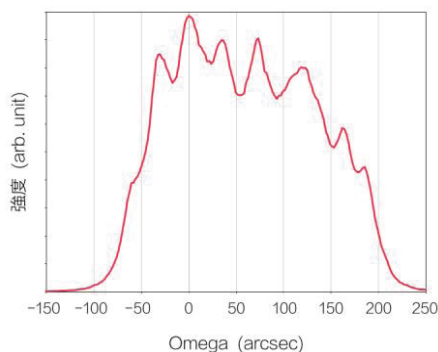


図-4 領域Aにおいてスリットサイズ2 mmで測定した(002)のωスキャン回折プロファイル

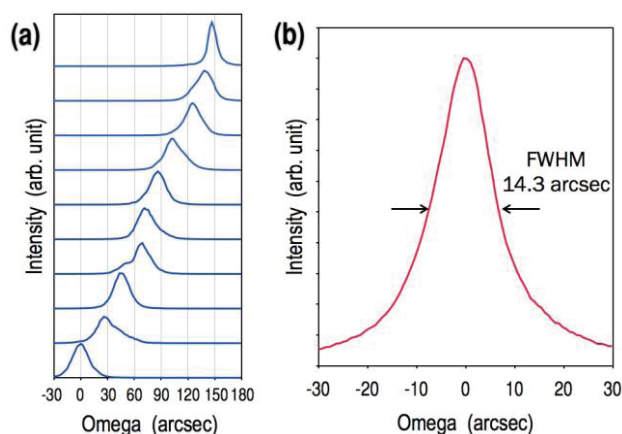


図-5 領域Bで測定されたωスキャン回折プロファイル: (a) 光軸方向に0.4 mm間隔で位置をずらして測定された(004)のωスキャン結果, (b) 最も狭い半値幅が得られた領域における(002)のωスキャン結果

移動させながら測定された回折プロファイルである。移動に伴うピーク位置のシフトは、基板の形状等に起因した格子面の反りによる。シフト量から算出された曲率半径は約5 mとなった。個々の回折プロファイルの形状は一定ではなく、半値幅も異なっていることがわかる。図-5(a)の測定では半値幅は12秒から30秒の範囲にあり、平均では約25秒となった。マクロ欠陥の少ない領域Bにおいても微細なドメインが形成されており、転位等の欠陥密度が数百μm周期で変化していることを示している。同図で最も半値幅の狭いプロファイルが得られた領域において、スリットサイズ0.1 mmを使用して測定されたGaN(002)のωスキャン結果を図-5(b)に示す。計算で求めたX線照射面積は0.67 mm×0.25 mmであり、半値幅は約14秒となった。これは気相法で成長された通常の自立GaN結晶の半値幅30~40秒に比べ非常に狭く、スリットサイズ0.1 mm×0.1 mmで測定されたアモルファスGaNの報告値16秒<sup>6)</sup>をも凌ぐ値である。

領域Aにおいても分離ピークの間隔は数十秒であり、結晶粒界と呼べるほどの明確な界面ではない。通常、この程度の方位差であれば面欠陥としてのデバイス特性に対する界面の影響は非常に小さいが、NFx-GaNにおいては界面に金属包含物が存在する場合があります。他の成長法とは異なる性質が発現する可能性は否定できない。

表－1 SIMS測定結果

元素	平均濃度 (cm <sup>-3</sup> )	定量下限 (cm <sup>-3</sup> )
Na	5E+14	3E+14
Mg	1E+15	2E+14
Si	< D.L.	5E+14
O	4E+16	1E+16
C	2E+16	1E+16

### 3-1-4. カソードルミネッセンスによる貫通転位密度評価

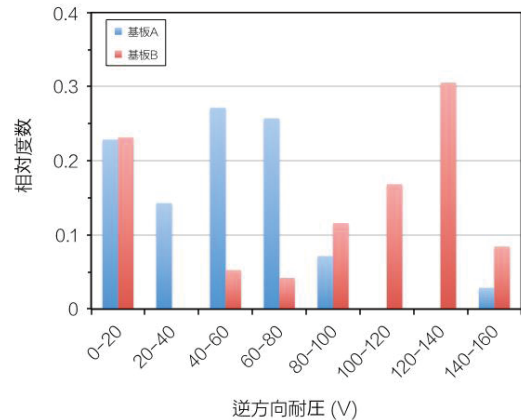
貫通転位密度を評価するため、カソードルミネッセンス (CL) 像のダークスポット密度 (DSD) を  $50 \mu\text{m}$  の領域ごとに測定した。DSDは測定場所によって大きく異なり、約  $1\text{E}+5 \text{ cm}^{-2}$  から  $7\text{E}+6 \text{ cm}^{-2}$  の値が得られた (平均すると  $10^6 \text{ cm}^{-2}$  前半程度)。これらは別途実施したエッチピット密度の測定結果と良く一致した。

### 3-1-5. SIMSによる不純物評価

研磨後の領域BにおけるSIMS分析結果を表-1に示す。Naの濃度は森らの報告値<sup>4)</sup>に比べて僅かに高い値となった。CL評価結果によると、本評価に供したNFx-GaNの転位密度は、森らのサンプルの10倍~100倍多い可能性があり、転位への元素偏析がSIMSの分析結果に影響した可能性がある。転位へのNa偏析の有無およびそのデバイス性能への影響については、長期的には重要な課題になり得るものの、今回の検出量はインクルージョンに比べれば極微量であり、現状では無視できるレベルと考えてよいだろう。

## 3-2. 電氣的評価

ホール効果測定によりNFx-GaNの電気特性を評価したところ、キャリア濃度  $5\text{E}+16 \text{ cm}^{-3}$  のn型半導体であり、SBDの耐圧評価が可能な範囲であることがわかった。そこで、3-1節で評価したNFx-GaNから二種類の評価用小片基板を切り出し、SBD特性を比較した。基板A (約7 mm角) はマクロ欠陥が多い領域Aから採取し、基板B (約10 mm角) はマクロ欠陥がほとんどない領域Bから採取した。どちらの基板にもエピ層は成長せず、メタルマスクを利用して真空蒸着法で直径約  $200 \mu\text{m}$  のNi電極を基板表面に直接形成した。基板裏面に形成した電極と表面の電極間でI-V測定およびC-V測定



図－6 逆方向耐圧の相対度数分布

を行った。逆方向I-V測定において電流密度が  $1 \text{ mA cm}^{-2}$  以上になる電圧を逆方向耐圧とした。

### 3-2-1. SBDの逆方向耐圧の分布

評価用基板AおよびB上に形成した全電極の逆方向耐圧のヒストグラム (相対度数分布) を図-6に示す。基板Bの耐圧は120 Vから140 V付近をピークとして高電圧側に分布しているが、基板Aは40 Vから80 V付近をピークとして低電圧側に分布しており、両者の分布は大きく異なっている。基板による耐圧分布の差は、基板品質の差に起因すると考えられ、マクロステップ界面や大量のインクルージョンは、デバイス特性に大きな影響を及ぼすことが示唆される。本測定における最大耐圧となる140 V強の分布は、基板Bでも10%弱であり、マクロ欠陥が少ないにも関わらず歩留まりは非常に悪かった。

耐圧20V以下の相対度数はどちらの基板でも2割程度であった。これらの電極では、数Vの電圧印加で  $1 \text{ mA cm}^{-2}$  を超える電流が流れるほどの激しいリークが生じていた。その原因は二つの基板で共通しており、前述の耐圧分布の違いを生み出す原因とは異なるものであると推定される。



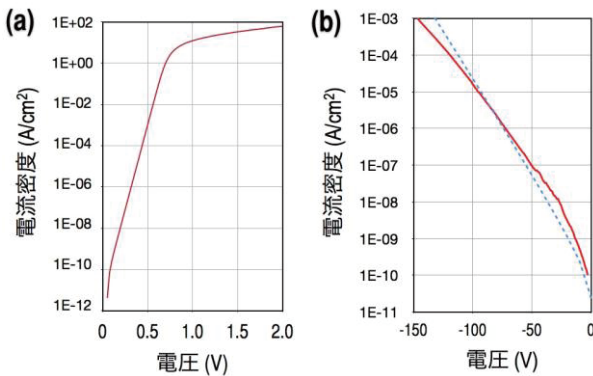


図-7 最も逆方向耐圧が高かった電極におけるI-V曲線：(a) 順方向，(b) 逆方向（青点線は理論計算値）

### 3-2-2. 高耐圧電極における電気特性と理論計算との比較

基板Bにおいて逆方向耐圧が140 V以上を示した電極の順方向I-V特性を図-7 (a)に示す。I-V曲線から算出した理想係数は1.02，バリア高さ  $\Phi_{B\_IV}$  は1.05 eVとなった。同電極のC-V測定結果から評価したドナー濃度は $3.8 \sim 4.0E+16 \text{ cm}^{-3}$ であり，ホール効果測定値に近い値となった。1/C<sup>2</sup>-Vプロットから拡散電位  $V_{\text{Diff}}$  およびバリア高さ  $\Phi_{B\_CV}$  を見積もった結果， $V_{\text{Diff}} = 0.96 \text{ V}$ ， $\Phi_{B\_CV} = 1.07 \text{ eV}$  となった。Schottky-Mottモデルによる金属/n型半導体界面のバリア高さ  $q\Phi_B = q\Phi_M - \chi_S$  をNi/GaN界面について計算すると， $\Phi_B = 1.04 \text{ eV}$  であり，測定結果から得られたバリア高さと良く一致した（Niの仕事関数  $\Phi_M = 5.15 \text{ V}$ ，GaNの電子親和力  $\chi_S = 4.11 \text{ eV}$  を用いた）。

これらの値を用いて逆方向I-V曲線を計算し，測定結果と比較した（図-7 (b)）。熱電子放出（TFE）モデルによるHVPE-GaN上SBD特性の解析法を用いて計算した結果<sup>7)</sup>（電子の有効質量  $m_n = 0.22m_0$ ，比誘電率  $\epsilon_S = 9.5$  とした）は，逆方向耐圧が140 V以上になった電極の逆方向I-V曲線と比較的良好一致を示した。

図-5に示したように，マクロ欠陥が含まれない領域Bでも数百 $\mu\text{m}$ 程度のエリアごとにドメインが存在し，回折プロファイルの半値幅も場所により異なっていた。今回のSBDの電極サイズはこれらのドメインと同程度であり，電極が結晶品質の高いドメイン上に形成された場合のみ，ほぼ理想的なデバイス特性が得られたと仮定すれば，領域Bで良好な回折プロファイルが得られる確率から，

図-6の分布の原因を説明することができる。すなわち，NFx-GaN上デバイス特性の歩留まり改善には，基板面内の $\omega$ スキャン回折プロファイル（ $\omega$ 結晶品質）の均一性向上およびドメインサイズの拡大が指針となる。

これ以外の歩留まり低下原因として，ドメインごとの不純物濃度の違い，微小な粒状インクルージョンや転位以外の格子欠陥の可能性もあり，研磨ダメージや表面汚染の影響も無視できない。特に今回はエピ層を成膜せずに電極を基板上に直接形成したため，研磨ダメージ等の影響が強く現れた可能性があり，耐圧20 V以下のリーク原因である疑いがある。デバイス特性と個々の欠陥との関係については，より詳細な調査・検証が必要である。

### 3-3. インクルージョンを含む基板の高温プロセス適応性の検証

前節では，NFx-GaN上に直接電極を形成したが，通常のデバイスはMOCVD装置などを用いた基板上へのエピ成長が不可欠である。高温プロセスにおけるNa汚染の問題を明らかにするため，インクルージョンを大量に含むNFx-GaN上にMOCVD法で3  $\mu\text{m}$ 厚のn-GaN層を成長した。図-8 (a)に示す成長前の基板には，点線で囲った領域に層状インクルージョンが集中して存在している。この基板の上に約1000 °Cでn-GaNを成長すると，インクルージョン領域に集中して着色のある多角形の異常組織が多数観察された（図-8 (b)）。これらは，結晶内部の金属包含物（主にNa）が加熱により気化し，内圧上昇によって基板が破壊された痕跡と考えられる。多角形組織の輪郭はクラックになっていた。破壊痕は基板裏面にも観察された。これ

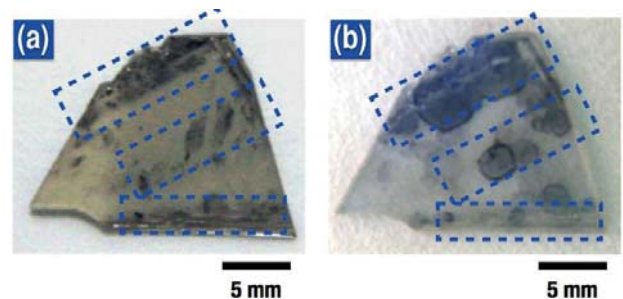


図-8 インクルージョンを大量に含むNFx-GaN結晶片上へのエピ成長試験例：(a) エピ成長前の研磨済み結晶片（画像処理によりコントラストを強調），(b) MOCVDによるGaNエピ成長後の結晶片



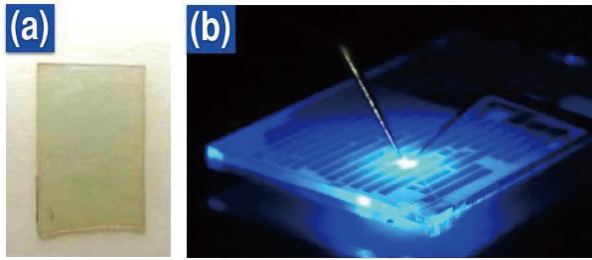


図-9  
インクルージョンフリーのNFx-GaN基板を用いた青色LED試作例：(a) MOCVDによるLEDデバイス構造成長後の基板，(b) 電極形成後，素子を発光させている様子

らの破壊が生じると、微量ではあるがNaが放出され、エピ膜やMOCVDチャンバー内の汚染が懸念される。このレベルの汚染を起こし得る基板では、検討に使用できる装置が著しく制限される。こうした観点から、豊田合成ではインクルージョンフリーを保証できるレベルの品質改善を最優先の開発課題として、Naフラックス成長技術開発を行ってきた。図-8の熱処理実験から、高温で破裂に至るインクルージョンの種類を特定し、発生メカニズムの理解に基づく本質的な解決手法の確立に取り組んできた。図-9はNFx-GaN基板にMOCVDで多重量子井戸構造を含む青色LEDデバイス構造を作製し、素子形成、特性評価まで実施した例である。エピ後の基板に破裂痕などは無い(図-9(a))。素子の軸上光度の面内バラツキも少なく、良好なLED特性が得られている。

本節の実験は極端な例ではあるが、NFx-GaN基板に含まれるNaが様々な不具合の原因となる可能性の一つを示すものである。たとえ微量なNaでも、場合によっては実用化を阻害する致命傷となる危険性があることを忘れてはならない。どの程度の汚染レベルまで許容されるのかにより難易度は左右されるが、本報告で示したインクルージョンに関して言えば、形成メカニズムを正しく理解した上で対処すれば、不具合の発生確率を実用可能なレベルに低減することは、決して不可能ではない。現在では、社内のNFx-GaN基板上デバイス検討において、図-8のような致命的な不具合は、一切起きていないことを強調しておきたい。

#### 4. 最近の成果と今後の展望

本章では、豊田合成におけるNFx-GaN基板開発の最近の取り組みについて、簡単に紹介する。

小型高温高圧炉の改良条件で成長された2インチ結晶を図-10に示す。図-1(d)と同様の画像処理による粒状インクルージョンの評価結果は、面内に4個であった。小型炉で得られた様々な知見やノウハウを大型炉に適用することにより、2インチ結晶の多数枚同時成長が実現された。図-11に示した9枚の基板は、多数枚同時成長されたNFx-GaN結晶であり、結晶成長から研磨、ベベリング、洗浄工程までを、全て社内の研究開発工程で実施した例である。現在は2インチ結晶の14枚同時成長が可能な環境が整備されており、as grown結晶におけるクラック、異常成長、雑晶による不良は、ほぼ解決されている。豊田合成に設置されている大型炉は、2インチ結晶約100枚を収納可能な大きさであり、将来的にはさらなる生産性の向上が見込める。



図-10  
小型高温高圧炉で成長された厚さ0.35 mmのノンドープ2インチNFx-GaN結晶(研磨後)



図-11  
大型高温高圧炉で多数枚同時成長した結晶に対して、研磨・ベベリングから洗浄までを社内の開発工程で実施し、作製されたGeドープ2インチNFx-GaN自立基板



図-12

大型高温高圧炉で6インチサファイア基板上に成長された厚さ0.6 mmのNFx-GaN結晶 (as grownのため表面再成長層による着色が見られる)

大型炉では、大口径化技術も検討されている。図-12は6インチサファイア基板上へ成長されたクラックフリーのNFx-GaN結晶 (as grown) である。着色は図-1(a)で説明した表面再成長層によるものである。GaN層の厚さは約0.6 mmであり、熱歪みによってサファイア基板ごと大きく反っているが、割れはもちろんクラックも発生していない。これは、NFx-GaN中に微小クラックやインクルージョンのような機械的強度の弱い部分が少ないことを示している。現在は、この結晶をサファイア基板から剥離/研磨し、大口径の自立GaN基板を製造する技術の開発が進められている。

デバイス用基板に要求される低抵抗化については、ゲルマニウム (Ge) ドーピングにより市販GaN基板と同等の抵抗率が得られている。低抵抗NFx-GaN上にエピ成長されたドナー濃度約 $1E+16\text{ cm}^{-3}$ のGaN層上で、市販GaN基板上と同等のSBDデバイス特性が得られているなど、2インチ基板の品質は、第3章に述べた開発初期の基板に比べて飛躍的に改善されている。

## 5. おわりに

本報告では、主にNaに着目してNFx-GaN結晶における構造的・電氣的特徴とデバイス成長時の問題について述べた。開発段階のNFx-GaNにおいては、Na由来の組織・欠陥が多く観察され、インクルージョンとしてのNa汚染が顕著であった。これらのマクロ欠陥を大量に含む基板では、基板上に直接形成したSBDの特性が著しく低下したが、

マクロ欠陥を含まない領域では、理論予想に近いSBD特性が得られ、X線回折測定の結果を考慮すると、局所的には極めて高い結晶品質が実現されていることが明らかとなった。インクルージョンを含む結晶は、高温プロセス中に基板の破裂を伴う致命的な問題を生じさせた。以上の結果から、Naインクルージョンの発生につながる欠陥・組織形成と、ドメイン形成による結晶品質の不均一性の二つを低減することが、NFx-GaN基板上デバイス開発の最優先課題にすべきであるという指針を得た。

社内製NFx-GaNの品質が向上していると言っても、現状の2インチ面内の結晶品質の均一性は市販基板には及ばない。実用化には、面内の品質バラツキの本質的な改善手法を確立し、図-5に示したような理想的な結晶品質が広範囲で得られる大口径NFx-GaN基板を実現しなければならない。それまでに解決すべき問題は山積しているが、Naフラックス法のGaN成長メカニズムに対する理解は、急速に進んでいる。一日も早く低コストGaN基板実用化の可能性を具体的に提示できるよう、基板開発とデバイス開発の両面から研究開発に邁進していく所存である。

なお、4章の成果の一部は、NEDOプロジェクト「次世代照明等の実現に向けた窒化物半導体等基盤技術開発 (次世代高効率・高品質照明の基盤技術開発)」による研究委託を受けて実施された。

## 参考文献

- 1) 天野浩, 赤崎勇, 応用物理 第68巻, 第7号 (1999) p768
- 2) T. Oka et al., Appl. Phys. Express, 7 (2014) p021002
- 3) 森勇介, 豊田合成技報 Vol.50, No.1 (2008) p2
- 4) 森勇介, 機能材料, Vol.32, No.7 (2012) p10
- 5) 森勇介ら, 「次世代パワー半導体」 p99
- 6) D. Ehrentraut et al., Technology of Gallium Nitride Crystal Growth, Springer (2010) p146
- 7) J. Suda et al., Appl. Phys. Express, 3 (2010) p101003

## 著 者



守山実希



久米川尚平



薬師康英



佐藤峻之



山崎史郎



永井誠二

## 光学シミュレーションによる見栄え評価

### Evaluation of Appearance using Optical Simulation

山田 和通 \*1, 三宅 史恵 \*2

#### 1. はじめに

コンピュータの進歩とともにシミュレーションの適用領域は拡大しているが、近年、見栄え評価領域においても大きな変化が出てきた。

従来はCADを活用することにより部品を組み付けたときの製品間隙などの見栄え評価ができるレベルであったが、製品の表面加飾、照明による陰影など、人間の視覚としてどう見えるかといった見栄え評価は物を作らずには評価できなかった。

この領域に対し、光学/見栄えシミュレーションソフトSPEOSを活用することにより、実際に物を作る前のCADデータの段階で見栄え評価ができるようになった。これによりLEDを使用した照明・イルミ製品の開発プロセスを変えることができたので、その技術を紹介する。

#### 2. 製品開発プロセス改革

照明・イルミ製品における従来とシミュレーションを活用した現在の製品開発プロセスを図-1に示す。従来は設計/試作/評価をトライ&エラーで数回繰り返していたが、現在は設計段階でシミュレーションによる光学設計/見栄え評価を実施し、設計案を絞り込み、実物で最終確認するというプロセスになった。ここで、SPEOSシミュレーション活用のねらいは次の通りである。

- 1) 光学/見栄えの目標を達成する導光体の形状パラメータの導出（開発期間の短縮）
- 2) シミュレーション結果で見栄えを確認し、試作一発合格

#### 3. SPEOSシミュレーションの流れ

設計者は製品形状データを作成し、そのデータに部材の光学特性、光源情報を与え、解析することにより、CAD端末上で見栄えを確認することができる（図-2）。

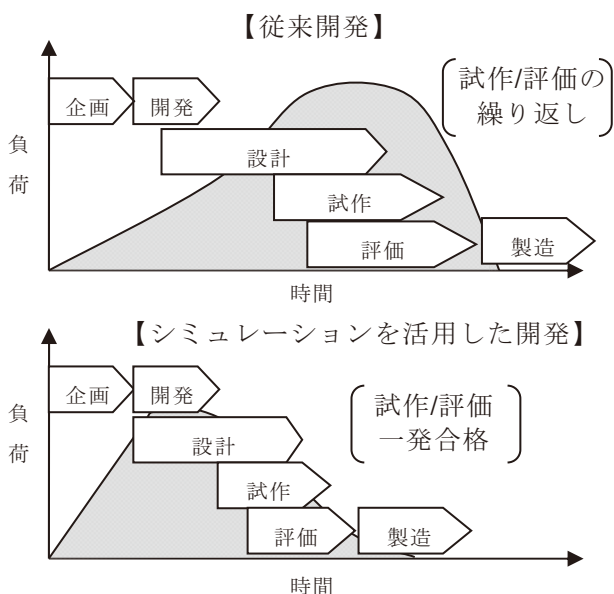


図-1 製品開発プロセス

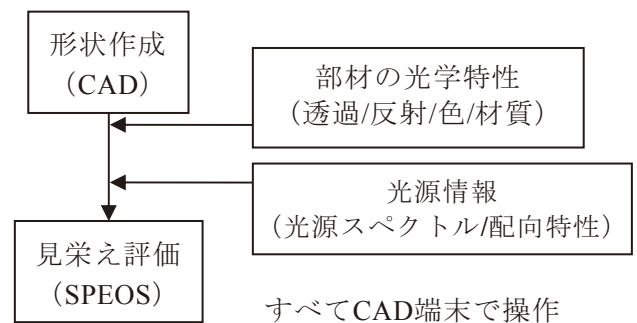


図-2 SPEOSシミュレーションの流れ

\*1 Kazumichi Yamada 実験部

\*2 Fumie Miyake 実験部 開発実験室



## 4. 適用例

### 4-1. インパネラインイルミ

インパネラインイルミはインパネ上部裏側からインパネ下部を照らす製品（図-3）で、性能としてLED光源1つで図-4に示す照度分布を出すことが求められる。

目標を達成する導光体の形状パラメータ（図-5）を導出するため、シミュレーションで照度分布を確認し、開発した。最終的に得られた形状パラメータでのシミュレーション結果と実測結果の照度分布は良い一致がみられた（図-6）。

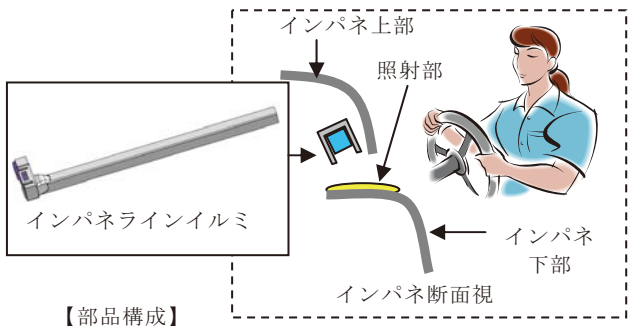


図-3 インパネラインイルミ



図-4 目標とする照度分布

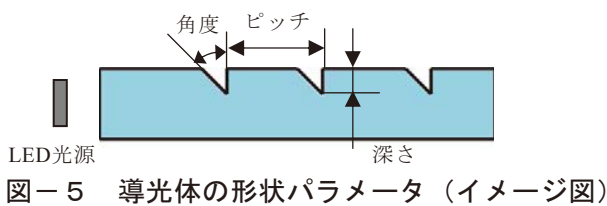
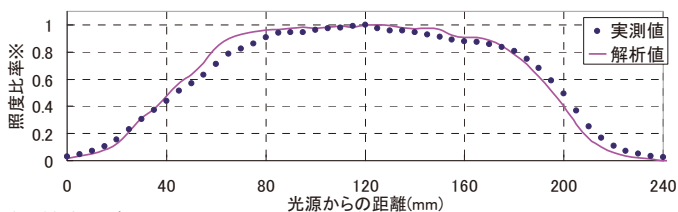


図-5 導光体の形状パラメータ（イメージ図）



(※最高照度を1としたときの比率)

図-6 シミュレーション結果と実測結果の比較

### 4-2. グリルイルミ

グリルイルミを図-7に示す。性能としてLED光源1つで様に光ることが求められるため、それを達成するインナーレンズ（導光体）のドットパターン（ピッチ、角度、深さ）の導出、および見栄えの確認を行った。

昼間/夜間の見栄えシミュレーションの結果および夜間点灯時の実機との比較、輝度の比較を図-8, 9に示す。見栄え、輝度（誤差7.8%）ともに良い一致がみられた。



図-7 グリルイルミ



図-8 昼間の見栄えシミュレーション結果

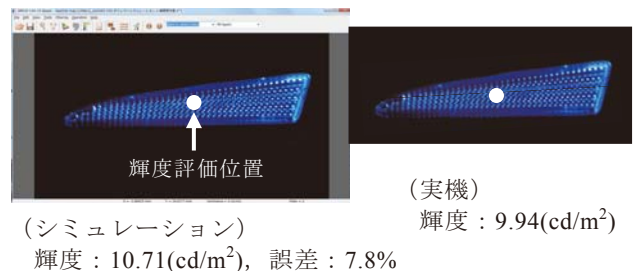


図-9 夜間のシミュレーション結果と実機との比較

## 5. おわりに

製品開発段階でSPEOSシミュレーションを活用することにより、導光体の設計パラメータの導出、シミュレーション結果での見栄えの確認ができ、開発期間の短縮、試作一発合格を達成することができた。

今後は車載用照明の光り方/意匠バリエーションの拡充、デザイン提案力の向上など、商品力の向上にもつなげていく。

著 者



山田和通



三宅史恵

## 切削抵抗抑制による金型切削加工の効率化

### Efficiency of the Mold Machining by Cutting Resistance Reduction

坂本 憲治 \*1

#### 1. はじめに

近年、金型製造のコスト低減を狙いに放電加工レスが高まり、切削加工時間の短縮が求められている。単位時間あたりの切削量を増やすことで、時間は短縮できるが、同時に切削抵抗も増加し、最悪は刃具破損を招く（図-1）。

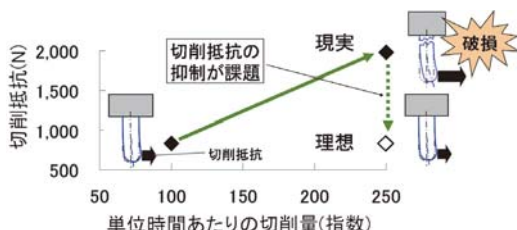
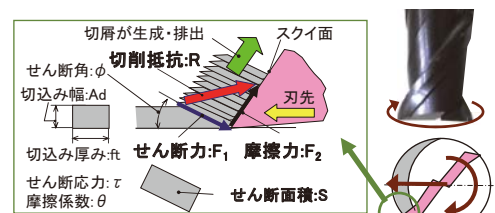


図-1 切削量と切削抵抗との関係

本報告では切削刃具のスキイ角と刃数を最適化することで、切削抵抗を大幅に抑制し、切削加工時間の短縮に繋げた事例について紹介する。

#### 2. スキイ角の最適化

理論式（図-2）より、切削抵抗はせん断力で決まり、せん断力はせん断面積に比例することから、抵抗抑制にはせん断面積を小さくすることが有効である。<sup>1)</sup> ここでスキイ角の影響を推測した。スキイを大きくすると、せん断角も大きくなり、せん断長さが短くなる＝せん断面積が小さくなり、抵抗が下がるというもの（図-3）。実際にこれを検証した（図-4）。ここではスキイ角を5段階に変化させ、切削抵抗の予測値と実測値を



【切削抵抗:R】

$$R=F_1+F_2$$

$$F_1=\tau \cdot S$$

$$= \tau \cdot ft \cdot Ad / \sin \phi$$

$$F_2=F_1 \cdot \sin \theta \cdot \sqrt{1+(\tan(\phi+\theta-\alpha))^2}$$

図-2 2次元切削抵抗理論式

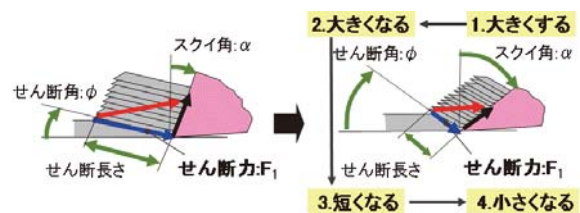


図-3 スキイ角とせん断力との関係

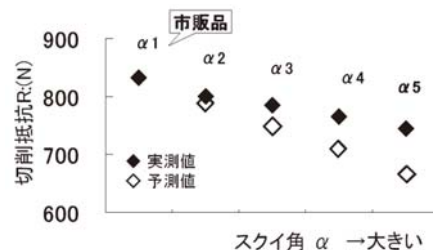


図-4 スキイ角と切削抵抗との関係

重ねると、スキイ角がα2を越えると予測値ほど下がらなかった。スキイ角α1とα5の刃先断面を比較すると（図-5）、α5は直線部長さが短く、その先は切り屑と同じ曲率の円弧形状を描いていた（図-5中央）。この結果から、切り屑が生成する際に、刃面と干渉し、予期せぬ抵抗が発生したと判断し、直線部を延長させ（図-5右）

\*1 Kenji Sakamoto 金型設備製造部 金型製造第1課

干渉を回避したところ、 $\alpha 5$ の抵抗値が予測値にほぼ一致した。しかし、 $\alpha 3$ を超えると刃先強度が限界に達したことから、スクイ角 $\alpha 3$ を最適値とした。

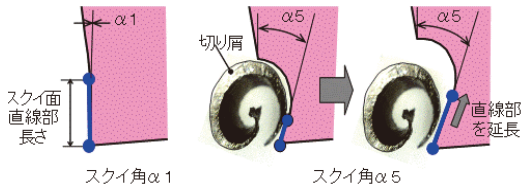


図-5 刃先断面観察結果と切り屑干渉回避策

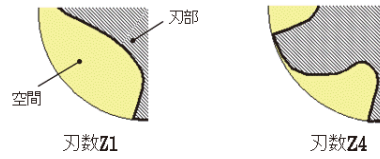


図-8 刃具断面観察結果

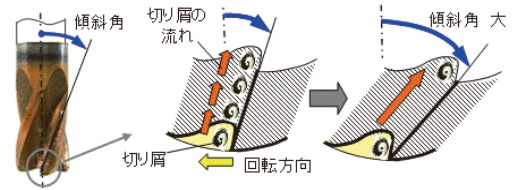


図-9 切り屑排出性向上対策

### 3. 刃数の最適化

せん断面積を小さくする手段として、切込み厚みを小さくする方法もあるが、切削効率も低下する(図-6)。しかし、刃数が効率に比例することから、刃数と切込み厚みの関係を一定とし、刃数を増やすと切削抵抗が抑制できると推測し、実際にこれを検証した(図-7)。ここでは刃数を4段階に変化させ、切削抵抗の予測値と実測値を重ねると、刃数Z3以上では予測値ほど下がらなかった。

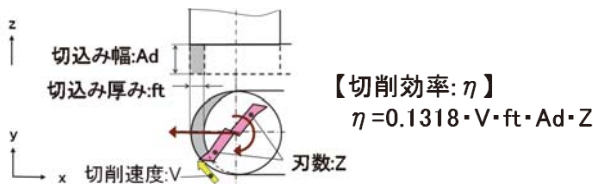


図-6 切削効率理論式

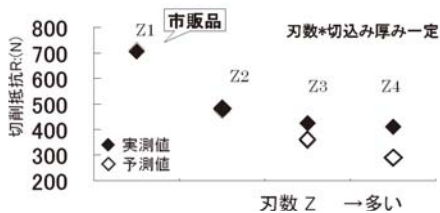


図-7 刃数と切削抵抗との関係

刃数Z1とZ4の刃具断面から、空間面積を比較すると(図-8)、Z4は面積が狭いことから、切り屑排出性の低下が原因と判断した。刃先強度上、面積は拡大できないため、軸からみた傾斜角を大きくし、切り屑排出性を向上させることで(図-9)、刃数Z3の抵抗値が予測値にほぼ一致した。しかしZ4では、刃具製作上の制約により実現できないため、刃数Z3を最適値とした。

### 4. まとめ

スクイ角および刃数を最適化し、切削抵抗を従来比60%抑制できたことで、単位時間あたりの切削量が2.5倍向上した(図-10)。



図-10 結果

### 5. おわりに

切り屑生成、排出といった現象が、切削抵抗に影響を及ぼすという理論にないものが発見できたことで、理想の加工が実現し、切削加工時間の短縮に繋がった。最後に理論についてご教示いただいた研究機関の方々に厚く謝意を表します。



## 参考文献

- 1) Krystof,J.,Grundlagen der Zerspanung,(1939),  
VDI-Verlag GmBH.

著 者



坂本憲治

## 真空成形機コンパクト化

### Vacuum Forming Machine Compactification

伊藤 法信\*1, 後藤 成明\*2

#### 1. はじめに

豊田合成では内外装部品事業を中心に真空成形表皮を樹脂基材に被せた製品の生産を手掛けている。これらの部品は、ユーザーが直接触れるため外観品質はもとより触感品質が求められている。主な製品群としては、インストルメントパネル・コンソールボックス・グラブボックス・メータフードなどの自動車内装品であり製品の大きさ・形状も様々である。

一般的な真空成形工程は図-1のような工程の流れとなる。

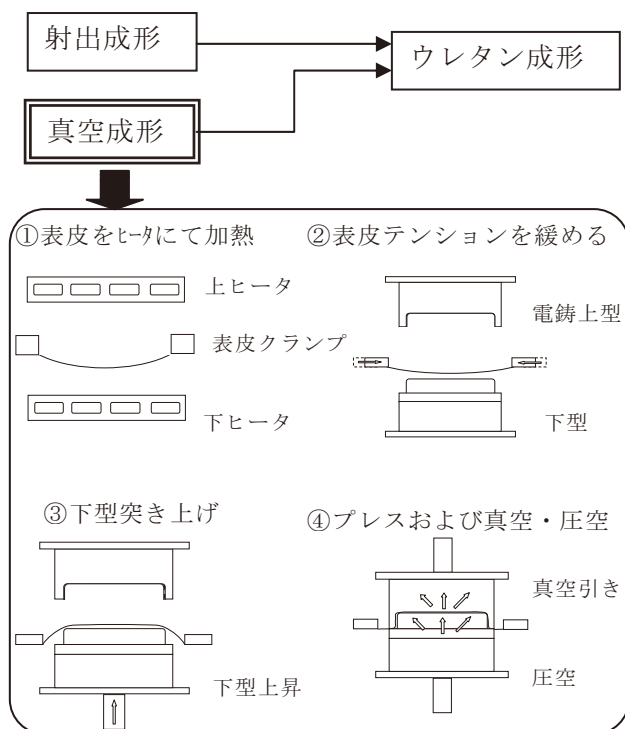


図-1 工程概要

この工程の中で真空成形機は市販化されており多様な製品を生産可能とするため高スペック・大型化傾向にある。今回、設備投資額・設置スペースの大幅削減を目指した内製化に取り組み、量産適用を行ったので紹介する。

#### 2. コンパクト化の阻害要因

従来真空成形機の概要(寸法)図は図-2に示す通りである。

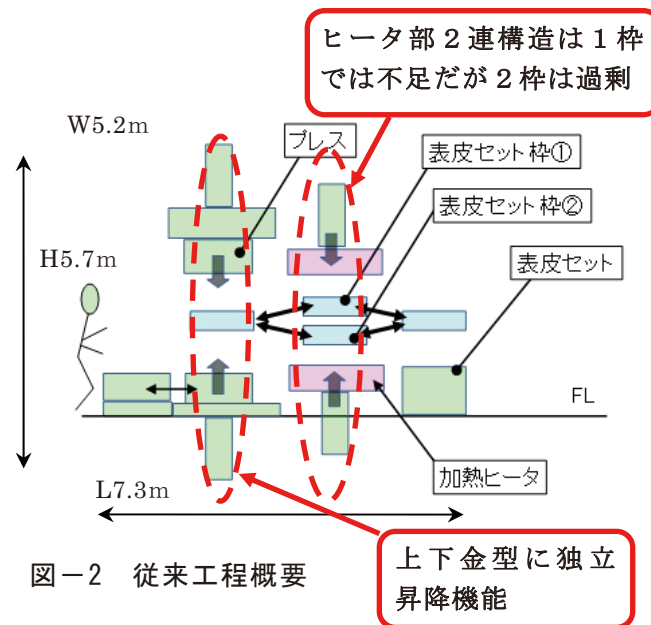


図-2 従来工程概要

コンパクト化の着眼点として、

- 1) 数を減らせないか
- 2) 機構・機能を減らせないか
- 3) 過剰スペック(精度)になっていないか

\*1 Norinobu Ito IE生産準備部 IE第2生技室

\*2 Nariaki Goto IE企画部 IE企画室

4) 構造体の安全率が高すぎないかなどを重点に進めた。今回、着眼点1), 2)によりスペースを削減した内容を報告する。

### 3. 技術概要

#### 3-1. 数を減らせないか

図-2の従来構造では表皮セット枠①・②が交互に加熱とプレス位置を移動し加熱時間を短縮している。しかし、これにより構造が複雑化し設備自体が大型化する。そこで図-3に示すように表皮セット枠L方向動作を廃止しヒータを移動する構造でL方向の寸法を短縮する構想を検討した。

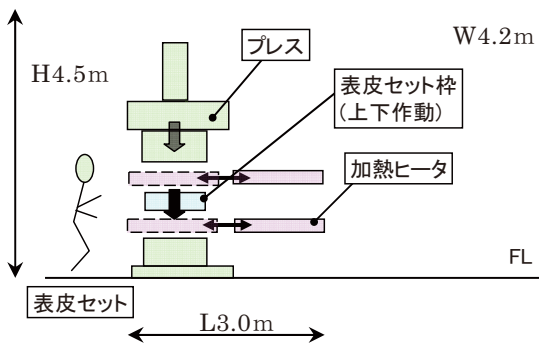


図-3 内製設備構想

課題は1ユニット内で従来設備と同等時間で均一加熱することである。図-4に示す立ち上がり時間の短いヒータを採用し、図-5に示すヒータ配列・被加工物までの距離を最適化することで温度分布の安定化を図れた。

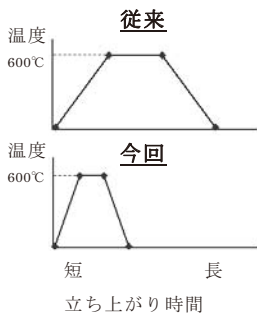


図-4 加熱時間

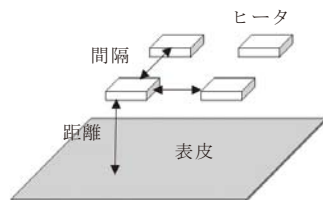


図-5 ヒータ配置

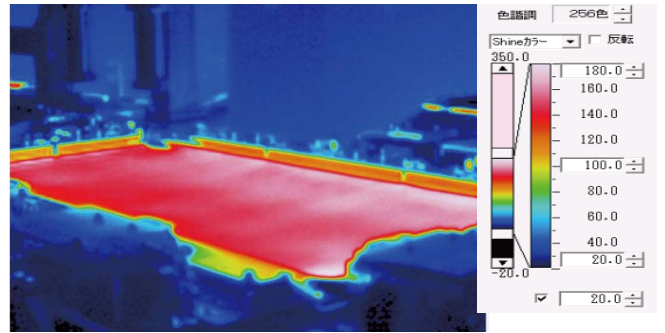


図-6 表皮温度分布

#### 3-2. 機構・機能を減らせないか

従来工法では表皮セット枠はL方向動作をするためプレス位置ではH方向の位置が固定され、上型・下型がそれぞれ昇降動作を行うため、FL下にピットを掘下げ昇降ユニット設置していた。

前述のように、表皮セット枠のL動作を廃止したことで昇降動作が可能となった。表皮セット枠が上型と必要位置まで昇降動作できるため下型の昇降動作を廃止できピットが不要となりH方向の寸法を短縮することができた(図-7)。

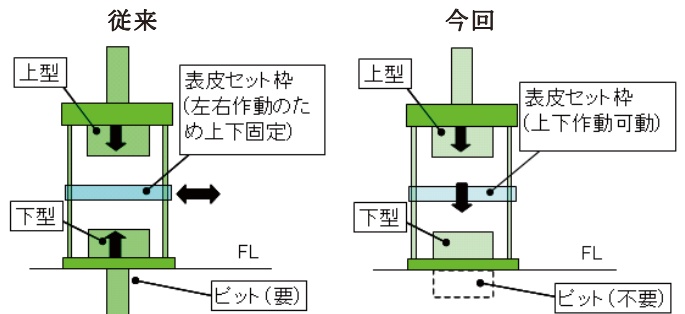


図-7 プレス内構想

### 4. 効果の確認

今回の内製化により設置面積は従来比52%削減、設備投資額で67%削減ができています(図-8, 9)。

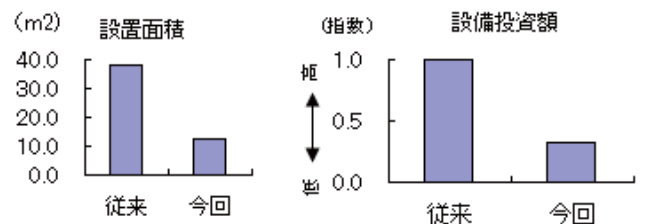


図-8 設備面積比較

図-9 投資額比較

## 5. おわりに

今回の内製化設備は現在量産適用されており実用化の中で次のメリットも得られている。

### 1) 内製化による改造の簡素化

サイクル短縮など改造を計画する場合、豊田合成の考えに沿った改造内容を忠実に再現でき内製で実施できる。構造強度計算についても豊田合成内構造解析結果を用いて最小限の安全率で設計できる。

### 2) 構成部品の簡素化

豊田合成内で設計する際に遊休部品や予備部品を活用。また安価で短納期入荷できる品を選定するなど保守性にも効果がある。

著 者



伊藤法信



後藤成明



## 水溶性被膜と精密鍛造による切削レス技術

### Cutting less technology by Water-soluble membrane and Precision forging

松浦 淳\*1, 森田 敏弘\*2

#### 1. はじめに

鍛造技術は、複雑形状の部品を大量生産する粗形材加工法として急成長を遂げてきた。

しかし近年では、材料歩留りの追求などの要求から、ネットシェイプ（切削レス）技術に注目が集まっている。

しかしながら、ネットシェイプを行う為には、金型技術のみならず、総合的な加工技術が必要となる為、ニヤ・ネットシェイプにとどまっていることが多い。

豊田合成でも、冷間鍛造で形状を成形したのち、切削加工により、冷間鍛造加工時の潤滑皮膜の除去と寸法精度の確保を行っている。

今回、水溶性被膜の適用と精密鍛造技術の開発により、ネットシェイプを行うことができたので紹介する。

#### 2. 工程の概要

豊田合成の鍛造製品の生産工程を、図-1に示す。

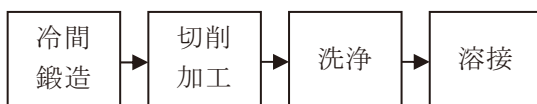


図-1 鍛造部品の生産工程

冷間鍛造で粗材成形後、切削加工にて仕上げ、洗浄、溶接を行っている。

#### 3. 技術の概要

切削の目的は以下の2点である。

- 1) 潤滑皮膜の除去
- 2) 寸法精度の確保

潤滑皮膜の除去は、溶接時に皮膜が不純物として残り、溶接不良の要因となる為に行っている。

また、寸法精度の確保は、鍛造工程での確保が困難なことから、やむを得ず切削している。

今回、上記の目的を満足させる要素技術開発を行い、ネットシェイプをすることができた為、次に紹介する。

##### 3-1. 潤滑皮膜の除去（皮膜技術）

潤滑皮膜の除去方法として、従来切削で行っていたものを、洗浄のみで行うこととした。

洗浄工程では、水溶性の洗浄剤を使用している為、それで落とすことができる皮膜を用いることとし、生産工程の開発を行った。

今回用いた水溶性被膜の特徴を図-2に示す。

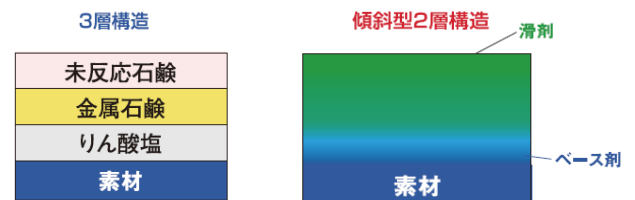


図-2 潤滑皮膜

\*1 Jun Matsuura SS生産準備部 SS第3生技室

\*2 Toshihiro Morita SS生産準備部 SS第3生技室

この水溶性皮膜は、もともと環境負荷の軽減を目的に生産されており、化学的に結合している従来の皮膜にくらべると、粗材に塗布されているだけの為、皮膜の潤滑性や密着性が低く、金型が焼付きやすい。

また、洗浄工程での剥離性を向上させようとする、皮膜の付着量を少なくする必要がある。

しかし、図-3に示すように、付着量を少なくしても、従来の皮膜は鍛造性（耐焼付き性）がほとんど落ちることはないが、水溶性皮膜は著しく低下する。

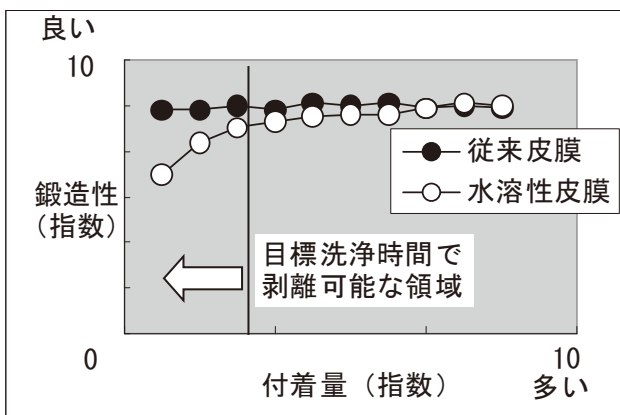


図-3 皮膜付着量と鍛造性（耐焼付き性）

そこで、水溶性皮膜の改良をするとともに、洗浄による剥離性能と、金型の耐焼付き性の確保をする生産技術開発に取り組むことで、鍛造性・溶接性の確保を行うことができた。

### 3-2. 寸法精度の確保（精密鍛造）

次に、金型の弾性変形量の抑制による、精密鍛造技術について紹介する。

精密な精度を要する製品を鍛造のみで仕上げる場合、製品寸法のバラツキを金型で吸収する必要がある。

冷間鍛造の金型は加工の性質上、絞りバメという構造をとっている（図-4）。

この絞りバメ構造は、ニブにかかる内圧を、ケースで与えた予圧により相殺するもので、①ニブを②ケースに圧入することにより予圧を与え、製品の変形と金型の破損を防ぐものである。

従って、内圧の変化によるニブの弾性変形量をいかに少なくできるかが、製品寸法のバラツキを抑える鍵となる。

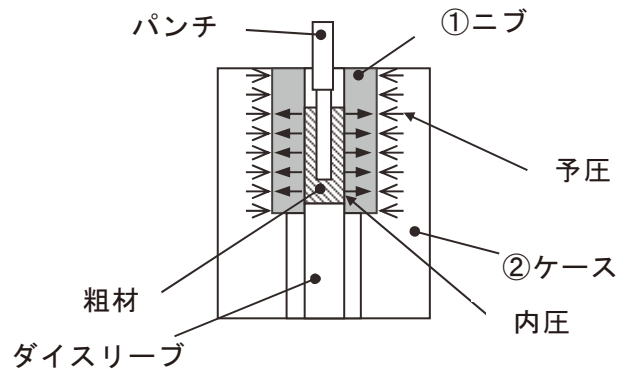


図-4 絞りバメ構造

そこで、このニブの弾性変形量を抑制する金型構造を開発することにより、外径寸法精度を確保できないかと考え、金型の開発を行った。

図-5に従来金型と今回開発した金型の外径寸法のバラツキを示す。

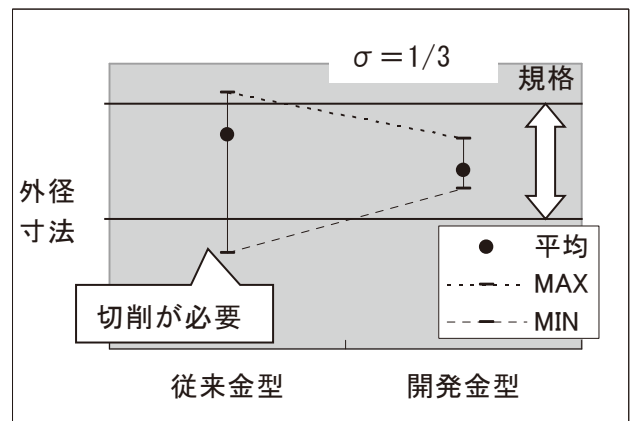


図-5 外径寸法バラツキ

このように、バラツキを約30%低減することで、寸法を確保することができた。

#### 4. まとめ，謝辞

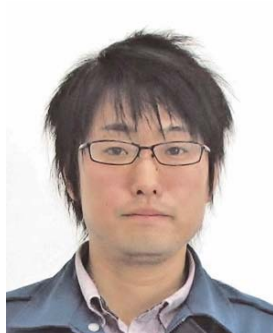
今回，開発した技術は，今後のネットシェイプ化に向けての基礎技術として，活用していただけるものであり，是非活用していきたいと考えている。

最後に，開発に協力いただいたメーカー関係者，関係部署の皆様に，厚く謝意を申し上げます。

著 者



松浦 淳



森田敏弘

## 青色LEDの効率解析

### Energy Efficiency Analysis of Blue LED

牛田 泰久 \*1

#### 1. はじめに

青色LEDは、液晶バックライトの光源として、大きな役割を果たし、爆発的に普及した。近年では、照明分野でも普及が進み、その重要性は高まる一方である。この普及の要因の一つは、発光効率の高さであった。LEDは電力を光に変換する素子である。入力された電力に対して得られる光の量の割合を発光効率と呼び、LEDの性能の指標としている。現在、一般的な青色LEDの発光効率は60%を超え、研究段階では80%以上の変換も可能となってきている。一方で、この効率を決定している青色LEDの発光・非発光のメカニズムは必ずしも明確にわかっておらず、更なる効率向上の為には、理論的な解釈が待たれている。

本報告では、豊田合成で実施してきた青色LEDの効率解析の手法を紹介する。

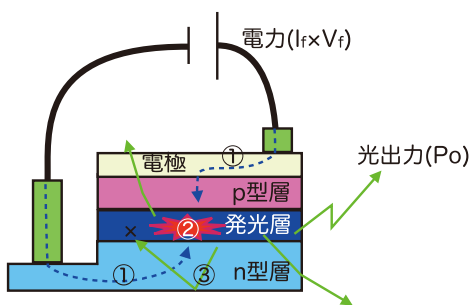


図-1 LEDの構成図

#### 2. LEDの効率

青色LEDの構造は、p型層、n型層に挟まれた発光層からなるGaN系半導体と、電流を流すための電極（金属・透明電極）からなる（図-1）。

LED内で電力を光に変換する過程には、キャリア輸送、発光、光伝播の3つのステップがある。

それぞれのステップにエネルギーを失う（ロス）要因が存在する。ゆえに、ステップ毎に効率が存在する。以下に簡単に紹介する（図-2）。

第1のキャリア輸送のステップは、電極から入力された電子を発光層へ輸送するステップである。その経路となる材料の抵抗などにより、無駄なエネルギー消費が発生する。このステップでのエネルギー効率を駆動効率（DE）と定義する。

第2の発光ステップは、発光層へたどり着いた電子の持つエネルギーが光へ変換されるステップである。結晶欠陥や電子間の相互作用、電子が発光層から漏れてしまうオーバーフローと呼ばれる現象など、発光につながらないエネルギーの消失（ロス）が存在する。ここでの効率は内部量子効率（IQE）と呼ばれている。

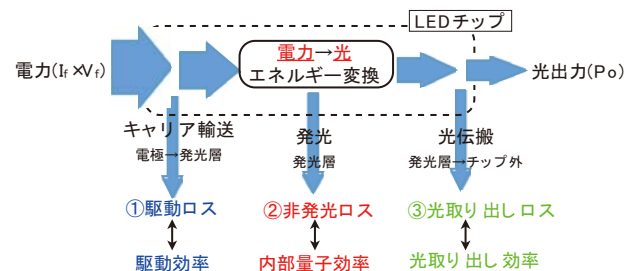


図-2 LEDのエネルギー変換過程

\*1 Yasuhisa Ushida オプトE第1技術部 オプトE開発室



最後の光伝播ステップは、発光層で変換された光が、チップの外へ伝播するステップである。このとき、光の伝播経路である材料（結晶自身や金属）で光吸収が発生する。この効率を光取り出し効率（ $C_{ext.}$ ）と呼んでいる。

理論的には、前述した、3ステップの各効率を用い、LEDに入力された電力に対して、LEDから出力される光の量の割合である発光効率（WPE）を次のように示す。

$$WPE = DE \times IQE \times C_{ext.} \quad \text{式-1}$$

また、一般的に使用される外部量子効率（EQE）は次式で定義される。

$$EQE = IQE \times C_{ext.} \quad \text{式-2}$$

実験的事実からの見積もり方法は、次の式で見積もることができる。それぞれ、電流値  $I_f$ 、電圧値  $V_f$ 、光出力  $P_o$ 、発光波長  $\lambda$  としたとき、次式で与えられる。

$$WPE = \frac{P_o}{I_f \times V_f} \quad \text{式-3}$$

$$EQE = \frac{P_o}{I_f \times hc/\lambda} \quad \text{式-4}$$

理論的、実験的双方からの見積もりの式からは、内部量子効率IQE及び光取り出し効率  $C_{ext.}$  の分解は不可能である。現在までに学術的知見から、様々なモデルが提案され、実験事実を解釈する試みがなされてきた。しかしながら、現在のところ、内部量子効率（IQE）、光取り出し効率（ $C_{ext.}$ ）の分解はできていない。従ってLEDの効率低下の根本原因に深く迫ることができず、技術開発は多方面に展開され、手当たり次第というような状況になる。

### 3. 目的

LEDの製造工程は、n型、発光層、p型の半導体を結晶成長するプロセスと、その半導体に電流を流すための電極を形成するプロセス、及び、その後ウエハを分離し、LEDにする分離プロセスで成り立っている。それぞれのプロセスにおける工夫や改善が、LEDの発光効率を向上させてきた。これら3つのプロセスに対する工夫・改善は、前述した3つの効率と深く関係している。結晶成長プ

ロセスは内部量子効率に、電極形成プロセスは駆動効率と光取り出し効率に、チップ分離プロセスは光取り出し効率と深い関係がある。それぞれの効率を分離し、解析することで、どのプロセスに力を入れて開発をすればよいか自明になる。市場・顧客のニーズにいち早く応えるために、最短・最大効率の開発を実行することが事業継続に重要となる。

我々は、LEDの効率を出来る限り単純に解析し、3つの効率を分離する手法の開発に取り組み、一定の結果を得たのでここに報告する。最も重要なキーワードは、測定サンプルの工夫である。

### 4. 試料作成

解析は可能なかぎり単純な考え方で実施したい。そのために必要な工夫は、LED内での発光分布の均一化である。例えば、LEDチップ内の発光に分布がある場合、電流を多く流している場所と少ない場所が混在していると考えられる。部位毎に電流密度の異なる非常に複雑な電流回路を考えなくてはならなくなる。実際のLEDの発光分布を図-3に示す。黒いところが、電極である。左図は、従来からある一般的なLEDの例である。LED内で明るい部位と暗い部位が共存している。これは部位毎に電流密度が異なることを示唆している。こうした試料を用いた解析には、少ない電流で駆動するダイオードと高い電流で駆動しているダイオードの並列回路を考える必要があり、さらに電流値を変化させた場合の発光分布の変化をも考慮する必要があり、解析は複雑となる。われわれは、この問題に対処する技術を確立しており、都度改善を繰り返してきた。図-3右図の様に、均一な発光をさせることができています。この技術に関するレビューは、豊田合成技報2011 Vol.53. p.16を参

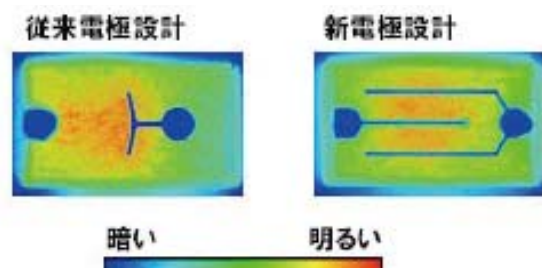


図-3 LEDの発光分布

照されたい。発光分布の均一化の工夫が、次に示すような解析の単純化に大きく貢献した。

## 5. 解析手法

前述した3つの効率を定量的に分解するため、LEDの電流 $I_f$ -電圧 $V_f$ 特性及び、光出力 $P_o$ と発光効率WPEの電流密度 $J$ 依存性の測定結果を解析した。以下に、簡単に示す。

### 5-1. 電流-電圧特性の解析

LEDは、ダイオードであり、電流密度 $J$ と電圧 $V$ の関係は、一般的に次式で示される。

$$J = J_0 \left( e^{\frac{eV}{\eta k_b T}} \right) \quad \text{式-5}$$

ここで、 $J_0$ ：飽和電流密度、 $e$ ：電気素量、 $\eta$ ：ダイオード理想係数、 $k_b$ ：ボルツマン係数、 $T$ ：温度 (K) である。実際のLEDは、**図-4左図**に示すような、ダイオードに直列 ( $R_1$ ) 及び並列 ( $R_2$ ) に抵抗が並んだ簡単な回路を仮定することで、電流 $I_f$ と電圧 $V_f$ の関係を説明する事が出来るはずである。しかしながら、従来のLEDチップでは、前述したような電流密度の分布によって複雑な回路となり、単純な回路では実験値を説明することができなかった。

LEDチップの電流・電圧特性を**図-4右**に示す。均一に発光していない場合 ( $\blacktriangle$ ) では、シミュレーション (点線青) とは一致しなかったが、均一な発光を得たチップ ( $\bullet$ ) は、シミュレーション (点線赤) と良い一致を示す。解析には**図-4左図**の単純な回路を仮定し、以下のパラメータを使用した。  $R_1 = 6\Omega$ ,  $R_2 > 6M\Omega$ 。

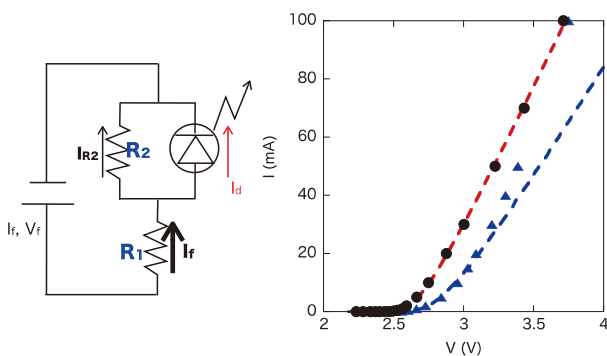


図-4 LEDの回路(左)と電流電圧特性(右)

### 5-2. 光出力、発光効率の電流密度依存性の解析

前述した、3つのステップでの効率を見積もるために、どのようなエネルギーロスを仮定するか重要である。

キャリア輸送ステップでは、電子の輸送 ( $R_1$ の経路) に必要なエネルギーや、リークパス ( $R_2$ の経路) を通過する電子は、光に変換されないエネルギーロスと考えられる。先ほどの電流-電圧特性の解析で見積もった $R_1$ ,  $R_2$ の値を利用し、その抵抗成分のエネルギーロスを次式の様に定義する。

$$R_1 \times I_f^2 + R_2 \times I_{R_2}^2 \quad \text{式-6}$$

発光ステップでは、発光層へ到達した電子のエネルギーの光への変換に関するエネルギーロスを考慮する必要がある。このエネルギーロスは電流依存性を示すことがわかっており、ロス量を  $f(I_d)$  と定義する。詳しく解析することで、発光メカニズムや、エネルギーロスのメカニズムが見えてくる。様々なメカニズムが提案されているが、現時点で実験を十分説明できるモデルはない。

光伝播ステップでは、発光層で変換された光が、チップ内の材料 (金属や結晶) に吸収されることによるエネルギーロスを考える。この場合、発光層で発生した光の一定の割合で減衰すると仮定し、係数 $C_{ext.} (\leq 1)$ との積で表す。

入力したエネルギーから、3種のエネルギーロス成分を差し引いた残りが、光出力として検出される。このモデルによると、光出力 $P_o$ は次式の様に定義される。

$$P_o(mW) = ((I_f \times V_f - (R_1 \times I_f^2 + R_2 \times I_{R_2}^2) - f(I_d)) \times C_{ext.}) \quad \text{式-7}$$

先に見積もった、 $R_1$ ,  $R_2$ の値を用い、式-3, 式-7をそれぞれ用い実験結果をフィッティングする事で  $f(I_d)$ ,  $C_{ext.}$  を求めた。結果を**図-5**に示す。実験結果 ( $\bullet$ ) とシミュレーション結果

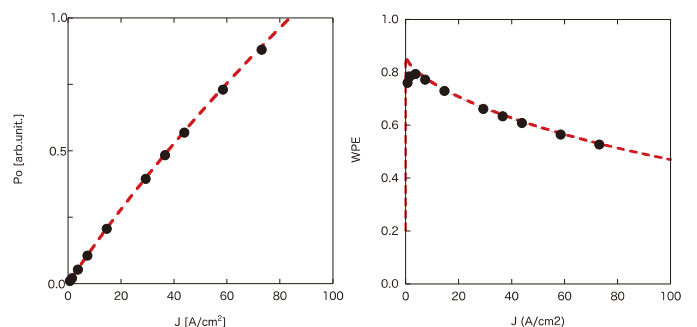


図-5 LEDの光出力(左)と発光効率(右)

(破線)は良い一致を示している。ここで、 $C_{ext.}=0.87$ が求められた。

フィッティングにより求められたパラメータ及び、式-1, 式-3, 式-7より所望の電流密度での3つの効率を分解する事が出来る。たとえば、 $20\text{A}/\text{cm}^2$ 駆動時の各効率を見積もると次の様になる。内部量子効率87%, 光取り出し効率87%, 駆動効率97%。それぞれの効率を分解し、数値化することに成功した。

LEDチップの電流-電圧特性および、光出力・発光効率の電流密度依存性の測定結果があれば、3つ効率を分離した解析ができるという簡単な解析手法を構築した。今回割愛したが、内部量子効率を低下させている要因  $f(I_d)$  に関して更なる解析をすすめており、効率低下メカニズムに関してノウハウが構築されつつある。この解析を基に、内部量子効率の向上を加速させている。

## 6. まとめ

LED内での電流の分布を均一化させる技術を用い、簡便にLEDチップのエネルギー収支を解析する手法を見いだした。解析を実施できるようになったことで、より緻密でピンポイントな開発を推進できる環境を整えた。

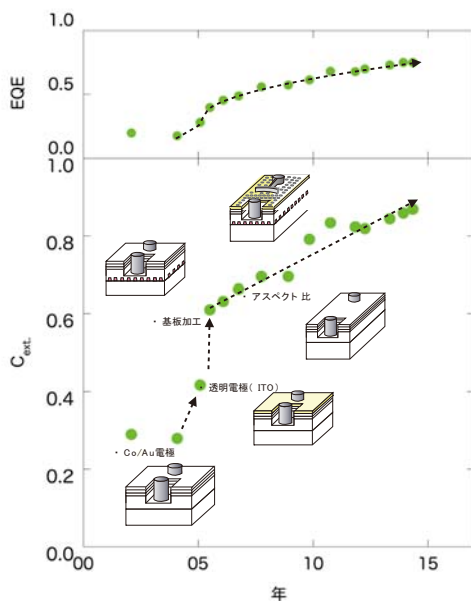


図-6 光取り出し効率の改善と外部量子効率

液晶バックライト向けLEDの光り取り出し効率の向上の例を図-6に示す。近年急速な改善を実施してきた。今後、照明などの市場拡大に伴いLEDに求められるニーズ(性能、使用電流、価格、販売時期)もますます広がり、開発はさらに困難で広い範囲に拡大することが予測される。今回紹介した解析を基に、更なる効率的な技術開発を推進し、ニーズにいち早く応えることで、LEDの発展に貢献していきたい。

著者



牛田泰久

## 高意匠透明ラジエーターグリル

### High Design Transparency Radiator Grille

渋谷 育男 \*1

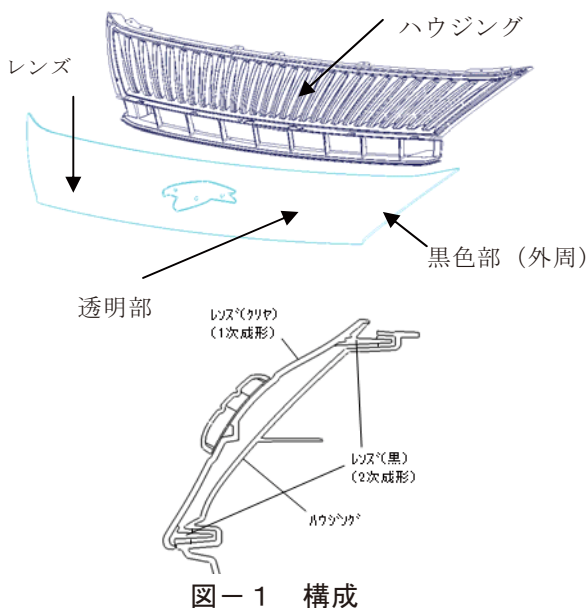
#### 1. はじめに

近年、自動車フロント部品は車両の“顔”として高い意匠性を求められており、その中でもラジエーターグリルはセンターに位置しており、重要な位置づけの部品である。

今回、外周シール部の見栄え品質と平滑意匠面を両立させた高意匠透明ラジエーターグリルを開発・量産化したのでその概要について紹介する。

#### 2. 製品の概要

ラジエーターグリルの構成図（図-1）を示す。



本製品は意匠造形を持ったハウジングと、それを透過させて見せることのできるレンズから構成されている。

ハウジングとレンズの間にはシール性の確保が必要であり、レンズにシール足が設定されている。

#### 3. 開発の狙いとポイント

従来、シール足は意匠面に面はずみ（ヒケ）が発生してしまうため、平滑面に設定することが困難であった。またシール足及び、外周部からハウジング側のシール構造が見えないようにセレーションや裏面塗装などの工夫が必要であった（図-2）。

セレーション（凹凸形状）/裏面塗装

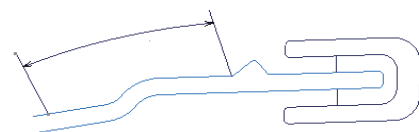


図-2 従来品の構成

\*1 Yasuo Shibuya IE技術部 外装技術室



今回の開発品はレンズに透明材と黒色材の2色成形工法を採用し、シール足と外周部を黒色材で形成することによりシール部の見えない構造を採用した（図-3、4）。

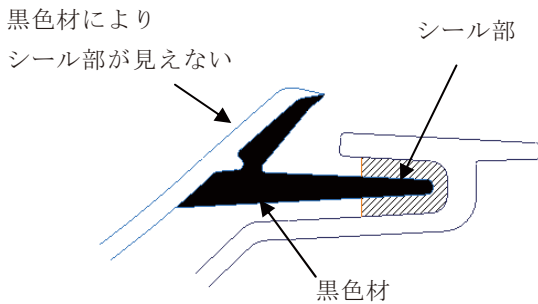


図-3 シール部

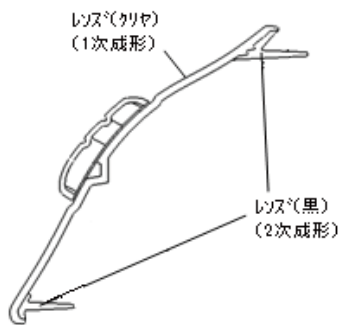


図-4 レンズの2色成形

レンズの2色成形は、1次成形として透明材、次に2次成形として黒色材を成形する。

開発の途中段階では、黒色材（2次成形）の成形収縮により、透明材の意匠面に面ひずみが発生したが、透明材と黒色材の接合部に断面形状の工夫と、生産技術（成形条件、金型構造）により、平滑意匠面であっても、ひずみの無い外観品質を確保することができた（図-5）。

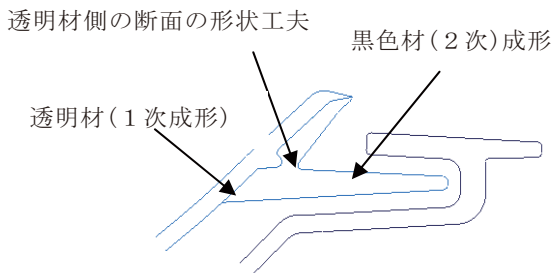


図-5 接合部の断面

これらの開発により、外周締結部の見栄え品質と平滑意匠面を両立させることで、高意匠な透明ラジエーターグリルを開発することが出来た。

#### 4. おわりに

今回紹介したラジエーターグリルはHARRIERに採用され、プロジェクト表彰をいただきました。



最後に、この製品の開発・量産化に際し、御支援を頂きましたトヨタ自動車株式会社、並びに株式会社豊田自動織機の各部署の皆様に厚くお礼を申し上げます。

著 者



渋谷育男

## 助手席エアバッグ（自立バッグ）

### Passenger Side Air Bag (Self Stability Bag)

渡邊翔太\*1, 中倉暢哉\*2

#### 1. はじめに

近年、各カーメーカーにおいて軽量化による低燃費車の開発に力が注がれており、助手席エアバッグにおいても軽量化が求められている。助手席エアバッグの軽量化の為に、ガス発生装置（インフレーター）やバッグを収容するケースの小型化が必要であり、その為にはバッグの低容量化（小型化）が必要不可欠である。

従来の助手席エアバッグは、車両前上部（トップ搭載）に搭載され、且つフロントガラスとバッグを接触させることでバッグの上下揺動を抑える仕様の為、乗員拘束には不要なバッグ上端部分に無駄なバッグ容量を割いていた。図-1に従来品のイメージ図を示す。

今回、搭載位置を乗員側へ近づけ（セミトップ搭載）、フロントガラスとバッグを接触させずにバッグの上下揺動を抑えた低容量助手席エアバッグ（以下開発品）を開発したので紹介する。

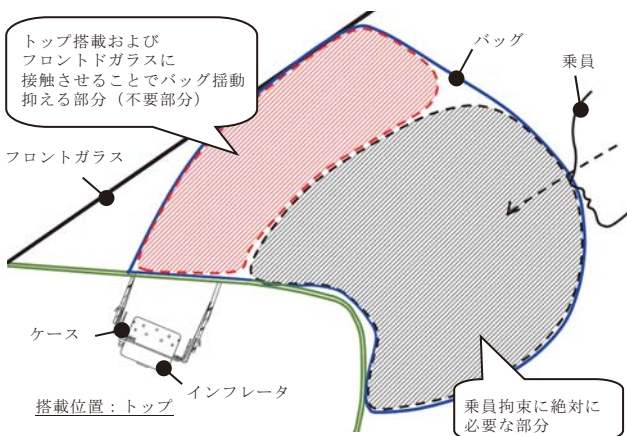


図-1 従来品のバッグ展開図

#### 2. 製品の概要

従来品から搭載位置をセミトップ搭載とし、更にフロントガラスとバッグの接触部分を削ってしまうとバッグが展開するにつれて起き上がってしまい、狙いの乗員拘束を行うことができない。バッグの起き上がりを抑える為には、車両衝突時に発生する力のモーメントとインパネからの反力を打ち消す必要がある。

そこで開発品では次の2つの対策を織り込むことでバッグの起き上がりを抑制し、低容量化を実現させた。開発品のバッグ仕様図を図-2に示す。

- 1) 燕尾部の設定
- 2) くびれ部の設定

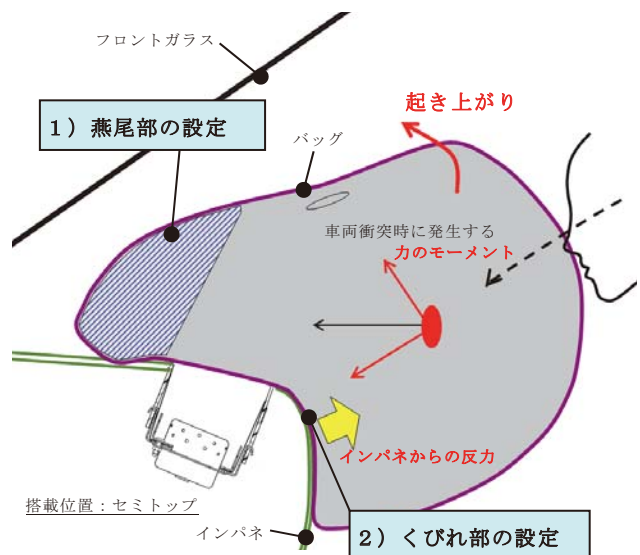


図-2 開発品のバッグ仕様図

\*1 Shota Watanabe SS技術部 SS第2技術室

\*2 Nobuya Nakakura SS技術部 SS第2技術室

### 3. 製品の特徴

#### 3-1. 燕尾部の設定

車両前方部に支え（燕尾部）を設けることにより、バッグが起き上がろうとした際に燕尾部がインパネに押しえつけられバッグの起き上がりを抑制させることができる。また燕尾部の押しえつけ効果を高める為に、整流布（バッグ内部のガス流れを規制する役割）と本体布を接触させ燕尾部を密閉構造とし、燕尾部の内圧を保持させる構造とした。燕尾部のイメージ図を図-3に示す。

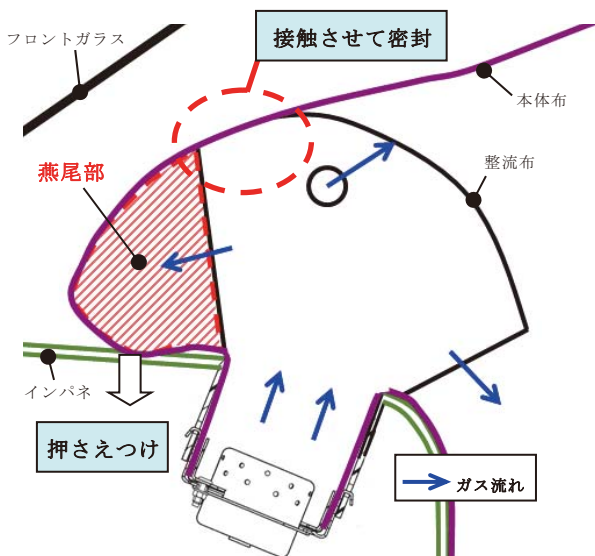


図-3 燕尾部構造

#### 3-2. くびれ部の設定

インパネと干渉するバッグ下端部の形状をインパネに沿うようにくびれさせることで干渉量を減らし、インパネからの反力を低減させる。くびれ部のイメージ図を図-4に示す。

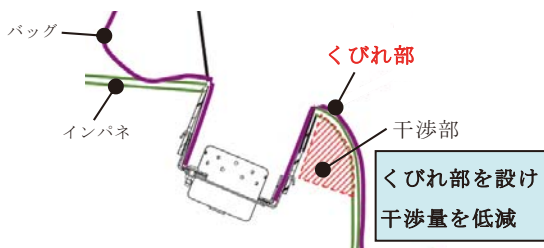


図-4 くびれ部構造

#### 3-3. 効果

燕尾部とくびれ部を設けることで、図-5のようにフロントガラスとバッグを接触させずにバッグの上下揺動を抑えることを可能とした。

これによりバッグ容量を従来の70Lから55L（▲15L）へ低容量化できたことで、インフレーターおよびケースの小型化が可能となり、図-6のように助手席エアバッグの総質量は従来品から▲13%の軽量化を実現した。

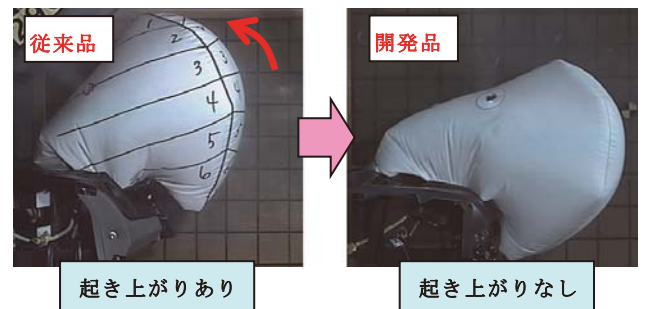


図-5 展開画像比較（着火後90ms時）

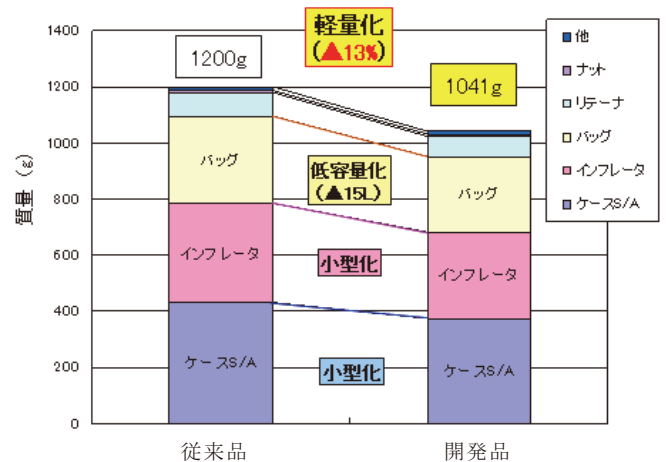


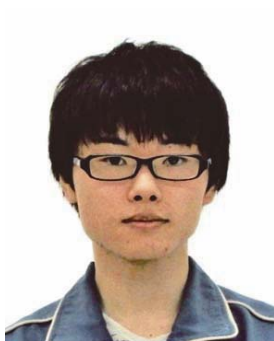
図-6 質量比較

#### 4. おわりに

今回紹介した助手席エアバッグは2013年10月より量産化され、他車種への展開も検討しています。

最後に、本開発において御支援、御指導頂きました関係各部署の方々に厚く謝意を表します。

著 者



渡邊翔太



中倉暢哉



## 低コスト・軽量 光意匠フィルムアウターW/S

### Low-Cost & Lighter Metallic Design OuterW/S by Metallic Film

高瀬 智宏 \*1

#### 1. はじめに

従来、高級車において、自動車ドアガラス周辺にSUSモールやアルミモールを使用した光意匠による高級感の演出がなされてきた。近年、特に欧州においてその光意匠が低グレード車まで拡大してきている(図-1)。

今回、軽量化を目的に、意匠部の金属や金属インサートを使わずに、樹脂で光輝フィルムを使用した光意匠アウターW/Sを量産化したので紹介する。



**Audi RS5**



アルミモール付き  
光意匠アウターW/S



**Citroen C1**



SUSモール付き  
光意匠アウターW/S

図-1 欧州車仕様

#### 2. 製品概要

アウターW/Sとは、自動車のドアに取り付ける部品で、その主な機能は、雨・ホコリ・音の車内への進入防止、ドアガラス面の水滴の拭き取り、ガラス昇降時のガラス保持等である。図-2に装着状態を示す。

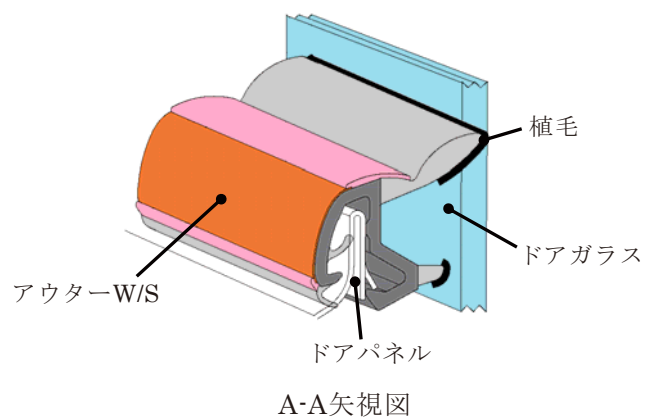
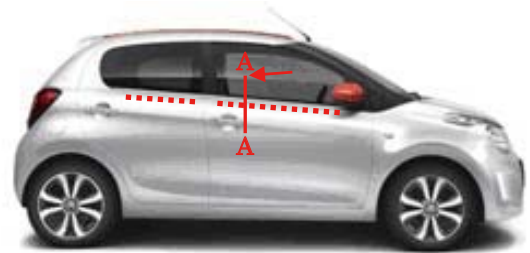


図-2 アウターW/S装着状態

#### 3. 従来製品との比較

従来、光意匠アウターW/Sは、トリム部にドアパネルとの嵌合力確保のためにSUSもしくは金属インサートを使用し、意匠部にはSUSを使ったも

\*1 Tomohiro Takase WS技術部 WS開発室

のが主流である。光輝フィルムを貼ったものも一部、量産化されているが、光輝フィルムの伸び防止のために金属インサートを設定している（図-3）。

今回、金属を使わずに樹脂アウターW/Sに光輝フィルムを貼り合わせる技術を確認することにより、軽量の光意匠アウターW/Sを提供する（図-4）。また、光輝フィルムの色を変えることにより、同じ断面形状で様々な意匠に対応可能となる（図-5）。軽量化の効果は、図-6に示す。

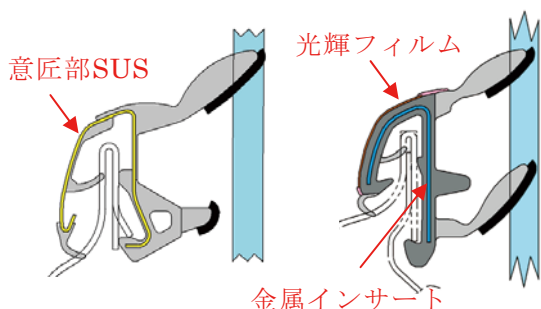


図-3 従来品

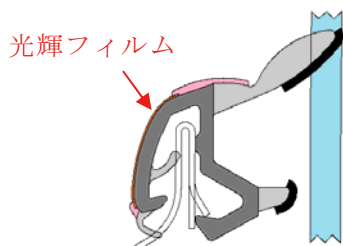
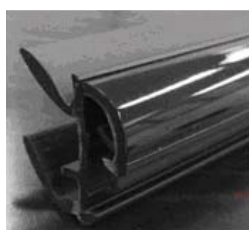


図-4 開発品



金属光沢調



ピアノブラック



サテンシルバー調

図-5 意匠バリエーション

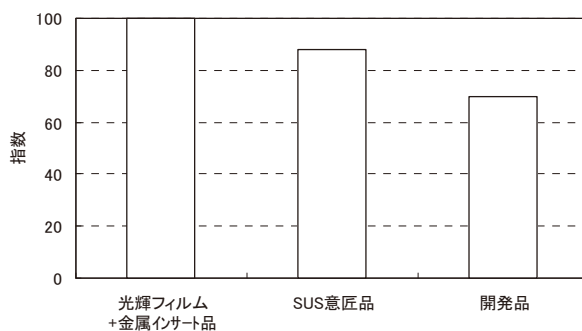


図-6 軽量化効果

#### 4. おわりに

今回の開発品は、2014年7月から量産化され、本製品の開発にご支援、ご指導いただいた関係者の方々に厚く御礼申し上げます。

著 者



高瀬 智宏

## インタークーラー冷却用樹脂ウォーターパイプ Plastic Water Pipe for Intercooler Cooling

久保田 徳道\*1, 木野 等\*2

### 1. はじめに

近年、環境対応意識の高まりから法的な燃費規制の強化を背景に、ハイブリッド車、電気自動車だけでなく、ターボ車が再び見直され始めている。

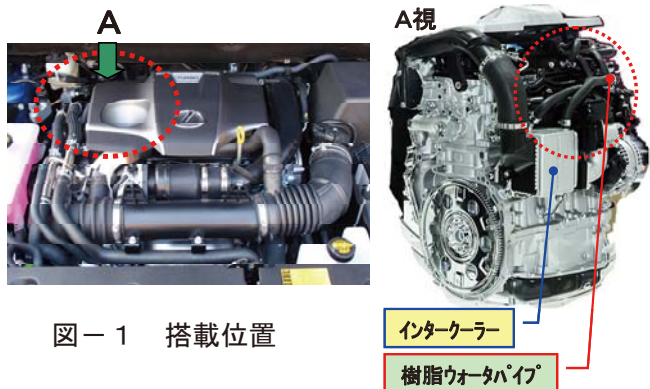
ガソリン乗用車では、直噴化とターボを組み合わせたエンジン小排気量化（ダウンサイジング）が燃費向上技術のトレンドとなっている。

エンジン小排気量化や低燃費仕様で、背反となりやすい動力性能の低下をターボ適用により補完・レベルアップさせるものである。

課題として、ターボ適用に伴い過給器やインタークーラーなどの部品が追加となり、エンジン質量及びコストが増加し、搭載スペースも減少する傾向にある。

レクサスNX向け水冷式インタークーラー冷却用配管(図-1)をウォーターアシストインジェクション工法(WAI工法)の適用にて樹脂化し、25%の軽量化を図った開発品(図-2)を紹介する。

WAI工法を適用し量産化した自動車用樹脂ウォーターパイプは、日本初の製品となる。



### 2. インタークーラー冷却用樹脂ウォーターパイプの概要

#### 2-1. 製品概要

本製品(図-2)は、ターボの吸気冷却用水冷式インタークーラーへ冷却水を供給・循環させる為の配管であり、WAI工法を適用し成形したものである。樹脂材料は、低吸水性・耐熱性を考慮しガラス強化ナイロン材料とした。

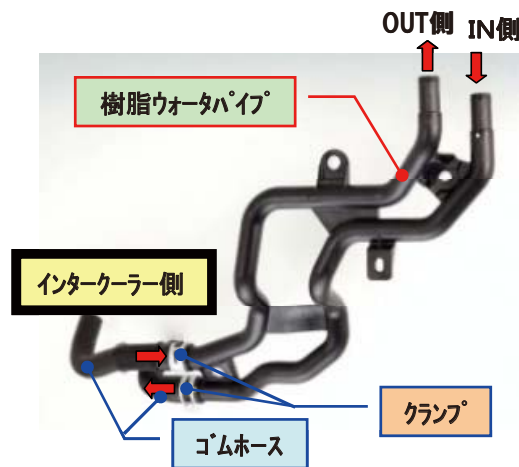


図-2 樹脂ウォーターパイプ

#### 2-2. 工程概要

WAI工法の概略を図-3に示す。初めに、一般的な樹脂射出成形機を用いて金型のキャビティー内に熔融樹脂を射出・充填する。次に、ウォーターアシスト制御装置にて金型内に設置されたバルブを開閉制御し、キャビティー内に高圧水を注入する事で、熔融樹脂の一部をオーバーフロー側へ押し出し製品部を中空状にする。最後に、キャビティーから成形品を取り出し、製

\*1 Norimichi Kubota FC技術部 エンコパ部品技術室

\*2 Hitoshi Kino FC技術部 エンコパ部品技術室

品以外の部分を切断し，製品部を形成させる。

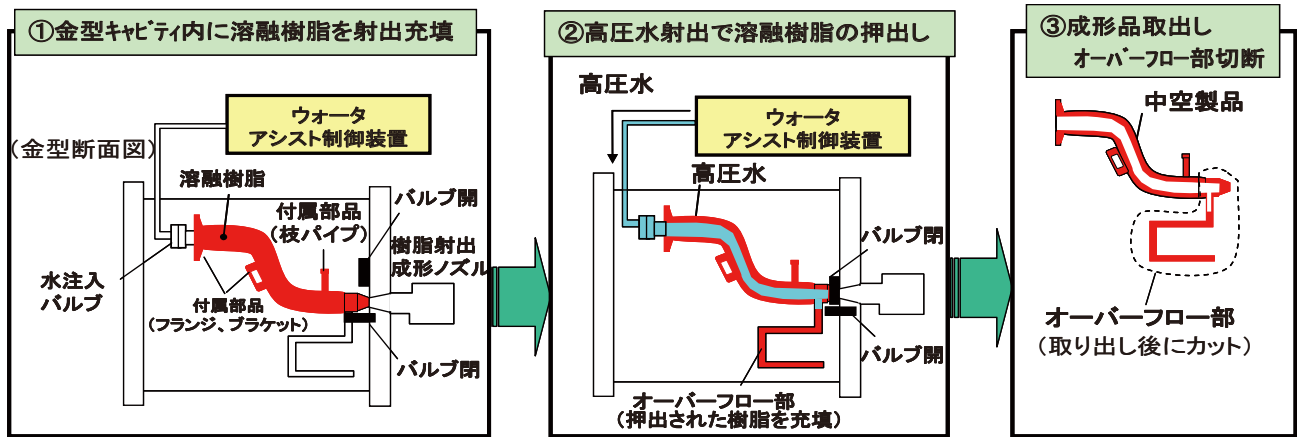


図-3 ウォータアシストインジェクション工法の工程概要

### 3. 技術の概要

#### 3-1. WAI工法のメリット

WAI工法の適用による樹脂化により，金属ウォーターパイプでは加工困難な複雑形状に成形する事が可能となり，エンジンルームの一層のコンパクト化に貢献出来る(図-4)。更にパイプ部やブラケット部などを同時に成形でき(図-4)，部品点数削減(12部品⇒9部品)・コストダウン・軽量化も図れる。

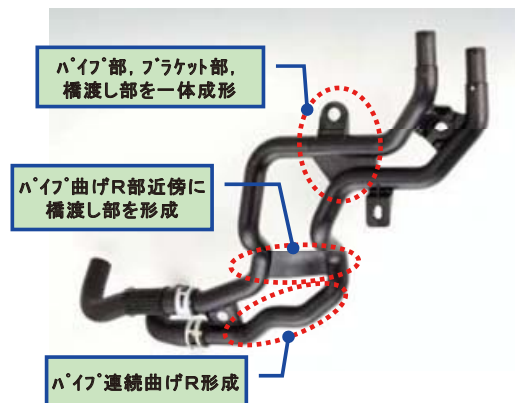


図-4 設計自由度向上

#### 3-2. 性能

インタークーラーの冷却性能に影響する流量特性を図-5に示す。樹脂ウォーターパイプの内径(肉厚)を制御する事で金属ウォーターパイプと同等レベルの流量性能を確保している。

強度面において，CAE解析しパイプ最小肉厚目標を設定し，製品での強度評価にて要求強度を満足する事を確認した。

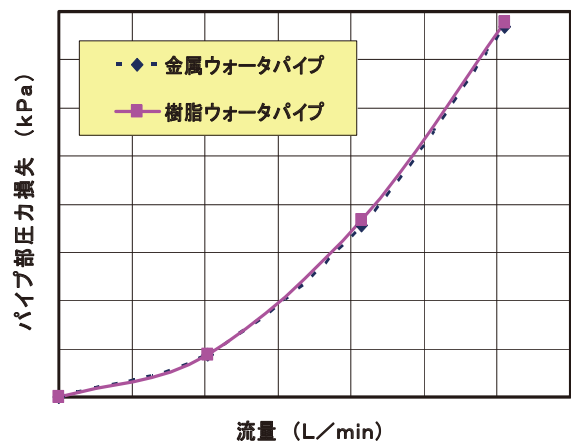


図-5 圧力損失特性



#### 4. おわりに

今回紹介したWAI工法樹脂ウォーターパイプは、レクサスNXで量産化する事が出来た。今後、他車種にも適用拡大して行く予定である。

最後に、本製品の開発、量産化に際し、御支援・御指導頂いたトヨタ自動車株式会社 エンジン設計部の皆様に、お礼を申し上げます。

著 者



久保田徳道



木野 等

## 液晶パネル用 2 in 1 タイプ白色サイドビュー 2 in 1 type White Side View LED for LCD

左合玄紀\*1

### 1. はじめに

近年、電子書籍やインターネットをどこでも手軽に閲覧できる機器として、タブレット型端末やスマートフォンが急速に普及してきている。

白色サイドビューLED（以下、白色サイドビューと略す）は、タブレット型端末やスマートフォンの液晶パネルのバックライト用光源として用いられており、画面表示機能の一端を担う重要な部品として必要不可欠となっている。今回、1つのパッケージに、2つのLEDチップが搭載された2 in 1 タイプの高光束白色サイドビューを開発したので紹介する（図-1）。

70%程度にしかならない。これに対し2 in 1 タイプは幅4.2mmで光束値は約2倍になる為、36個を実装する事で要求される輝度を達成する事ができる（図-2）。この開発にあたり顧客の要求する光束値、信頼性を達成する為、高光束化設計、放熱設計、耐応力設計を実施したので説明する。

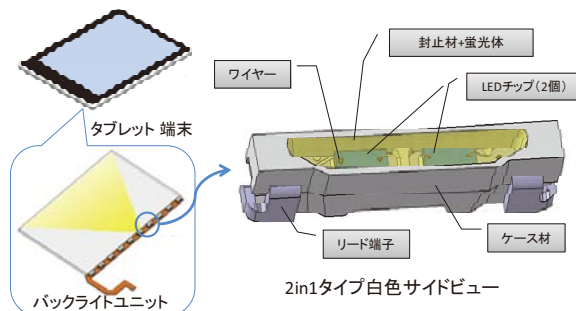


図-1 白色サイドビュー構成図

### 2. 製品概要

液晶パネルの高性能化（高精細、色再現性の向上）に伴い、光源部であるバックライトユニットに要求される輝度は年々高くなっている。バックライトユニットの輝度を向上させる為には端部に実装されている白色サイドビューの1個あたりの明るさ（光束値）を増加させるか、実装数を増やす事で対応する事ができる。しかし、液晶パネルのサイズと白色サイドビューの幅によって実装可能数は制限される為、近年は上記2つの対応を実施しても顧客の要求するバックライトユニット輝度の達成が厳しくなっている。

今回、2 in 1 タイプの白色サイドビューを開発する事で顧客要求に対応する事が可能となった。例えば、10インチの液晶パネルの設計を行う場合、長辺側の片端部に幅3.0mmの1 in 1 タイプは、48個まで実装可能だが、バックライトユニットの輝度は要求値の

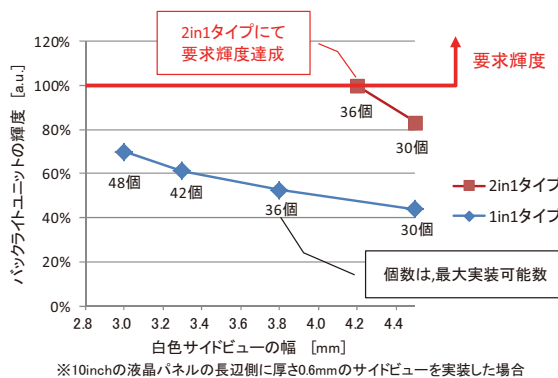
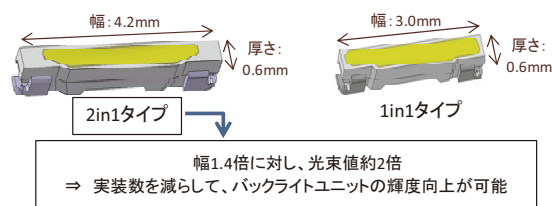


図-2 白色サイドビューの実装可能数

\*1 Genki Sago オプトE第2技術部 A1技術室

### 3. 高光束化設計

光束値は白色サイドビューに求められる重要な性能である。2 in 1 タイプとすることで、従来の 1 in 1 タイプに対して、約 2 倍の光束値になる事が期待される。しかし LED チップを 2 つ配置し、ワイヤーの配線が複雑化する事により、白色サイドビューのパッケージ内の遮蔽物が増え、光束値の損失が生じてしまう。この損失を最小限にするため、構造設計に光学シミュレーションを活用し、各設計値の最適化を行う事で、光束損失を 1% 低減できた（図-3）。同時に構成部材の見直しもを行い、光反射率の高い材料を適用することで、光束値を向上させた。

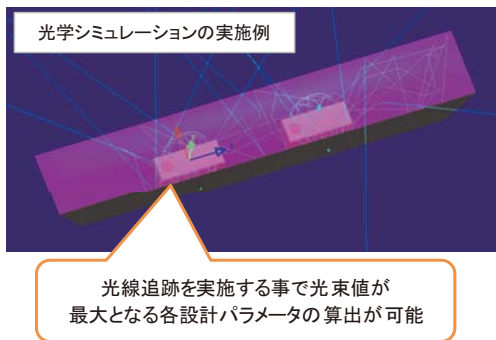


図-3 構造設計

### 4. 放熱設計

白色サイドビューの光束寿命において、放熱設計は重要である。2 in 1 タイプの白色サイドビューは 2 つの LED チップを搭載している為、1 in 1 タイプに比べて発熱量は大きくなり、構成部材の劣化を早めてしまう。要求される寿命を満足させる為に、放熱シミュレーションを活用して新規の放熱構造とした。白色サイドビューのリード端子部は放熱板の役割も担っており、2 つの端子から効率よく均等に放熱できる構造とする事で、従来の設計よりも熱抵抗値を 22% 低減し、顧客要求である寿命 15,000 時間を達成した（図-4）。

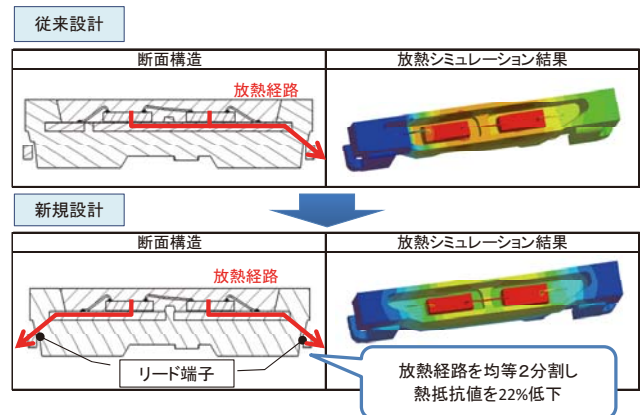


図-4 放熱設計

### 5. 耐応力設計

LED チップからの発熱や周囲温度の変化によって、白色サイドビューの封止材やケース材は膨張、収縮する。2 つの LED チップを配線する中央部のワイヤーはそれらの影響を受けやすい為、ワイヤーに加わる応力によって断線し、不点灯となる恐れがある。本製品は、ワイヤーの熱応力解析と実試作での検証を行い、ワイヤーのループ形状の最適値を導出した。ワイヤーに加わる応力を 10% 低減させることで耐応力性を向上させている（図-5）。

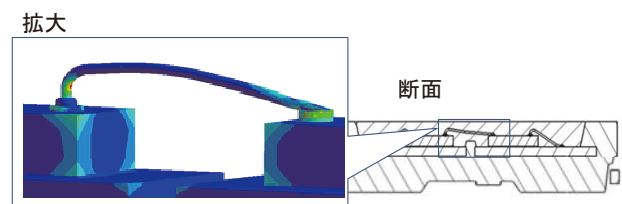


図-5 熱応力解析による応力分布

## 6. おわりに

最後に、本製品の開発、量産化に際し、ご尽力頂きました関係者の皆様に厚くお礼を申し上げます。

著 者



左合玄紀



## 摺動抵抗装置

特 許 № 4803621

発明者 柴田成徳, 藪谷 茂, 安江章一, 加藤静雄, 長坂春樹

[発明の属する技術分野]

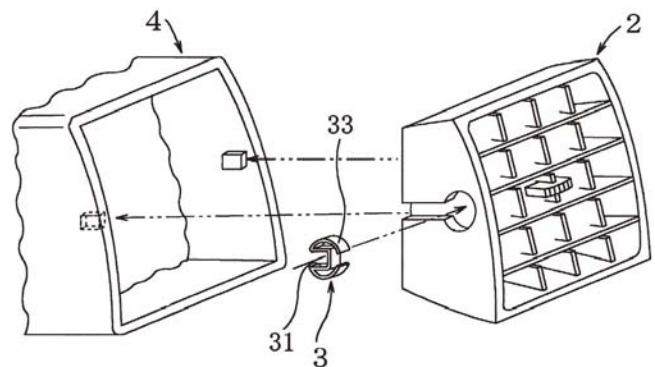
本発明は、カーエアコンの吹き出し口装置などに用いられる摺動抵抗装置に関する。

[発明の概要]

固定部材4と、揺動部材2と、弾接によって揺動部材2の揺動時に摺動抵抗を付与する抵抗部材3とからなる摺動抵抗装置であって、抵抗部材3は、保持部31と、保持部31から延び弾性変形可能な円弧部33とからなり、円弧部33は、金属平板を捲回するように弾性湾曲させたメタルシムであって、円弧部33の拡径力により抵抗部材3の外周表面が揺動部材2の摺動表面に弾接する摺動抵抗装置。

[発明の効果]

本発明の摺動抵抗装置によると、所定の摺動抵抗を長期間確保することができる。



## ウエザストリップ

特 許 № 5229694

発明者 大塚洋史, 堀田昌利

[発明の属する技術分野]

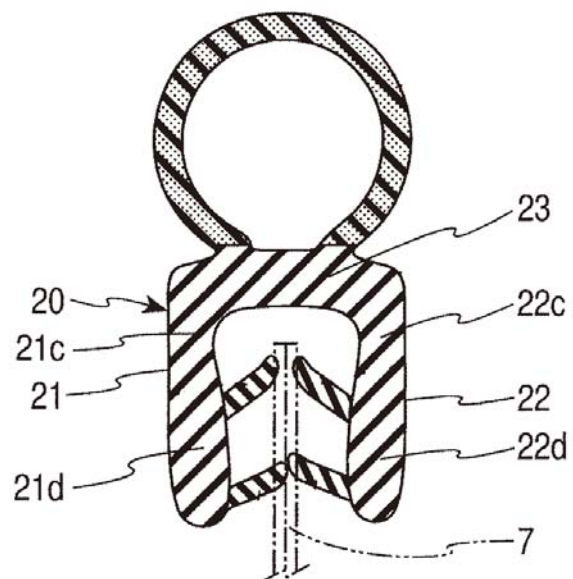
本発明は、車体開口部周縁のフランジに装着されるウエザストリップに関する。

[発明の概要]

トリム部20は、インサート部材が埋設されず、車外側側壁21と車内側側壁22の底壁23との近接する部分にノッチ又は薄肉部21c、22cを形成し、薄肉部21c、22cよりも先端側を厚肉部21d、22dに形成するとともに、両先端を互いに近づくように傾斜させている。

[発明の効果]

フランジ7への装着時においてトリム部20の剛性を確保するとともに、トリム部20の両側壁の先端が互いに近づく方向に変形するため、トリム部20がフランジ7から抜けにくくなる。



## 意匠カバー

特 許 №4696982

発明者 野々垣晴彦

[発明の属する技術分野]

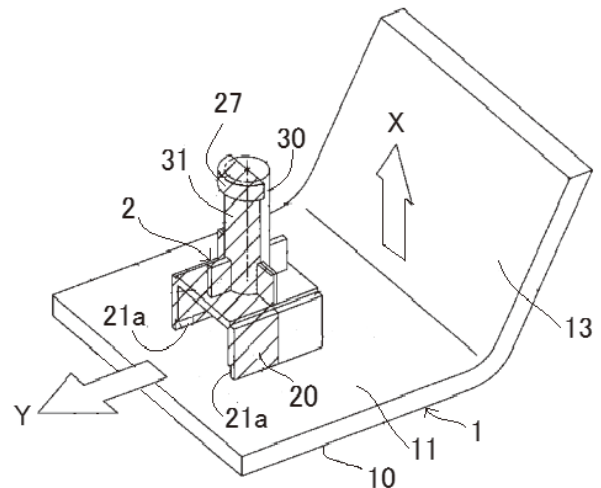
本発明は、エンジン等の相手部材を覆う意匠カバーに関する。

[発明の概要]

意匠カバーは、側壁である干涉部13を有するカバー本体1と、その意匠面10の裏面11に取付部2を有する。取付部2は、型抜き方向X、Yにそれぞれ非アンダーカット形状の干涉対向面30と干涉背向面31を有し、干涉背向面31には、ゴムブッシュと係合する頭部27が形成されている。さらに、取付部2の座部20のカバー本体1に隣接する部分21aは、カバー本体1より薄肉である。

[発明の効果]

スライドコアの数を減らすことで製造コストを低減し、座部20のカバー本体1の隣接する部分21aの薄肉化により意匠面10のヒケを防止する。



## エアバッグ装置

特 許 № 4807428

発明者 本田健作, 佐藤祐司, 柴山幸史, 永田 篤

[発明の属する技術分野]

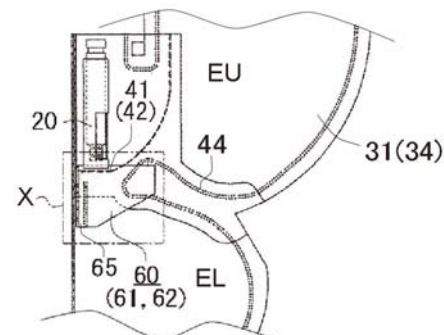
本発明は、2つの膨張部間に逆止弁を備えたエアバッグ装置に関する。

[発明の概要]

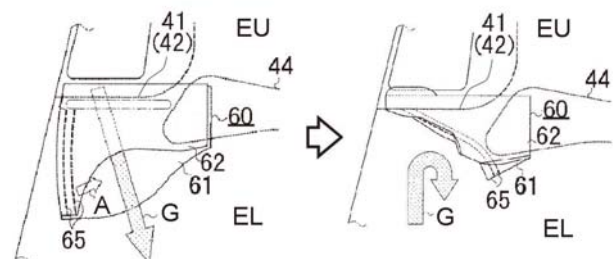
逆止弁60の一对の弁体部61, 62がエアバッグ外壁の基布31, 34と結合部41, 42でそれぞれ結合され、上・下膨張部EU, EL間の区画結合部44で基布31, 34と一体的に結合される。逆止弁60は弁体部61, 62が低剛性とされ、ガス流通方向に沿って延びる棒状の高剛性部65が設けられている。

[発明の効果]

インフレーター20からのガスGの下膨張部（高圧）ELへの流入時に、弁体部61, 62が筒状となって高剛性部65が矢印A方向に傾斜し、その後、高剛性部65は上膨張部（低圧）EU側に逆流するガスGに押圧されて上方に向けてさらに傾斜し、区画結合部44と当接して、逆流が抑制される。



エアバッグ装置側面視



X部拡大 (エアバッグ作動時)

## Ⅲ族窒化物系化合物半導体の製造方法及び発光素子

特 許 № 5332451

発明者 奥野浩司

[発明の属する技術分野]

本発明は、Ⅲ族窒化物系化合物半導体発光素子及びその製造方法に関する。

[発明の概要]

多重量子井戸構造を有するⅢ族窒化物系化合物半導体発光素子において、発光層 13 は、井戸層、第 1 の保護層、第 2 の保護層、障壁層の繰り返し構造であり、そのバンドギャップの大小関係が、

第 2 の保護層 > 障壁層 > 第 1 の保護層 > 井戸層  
である半導体発光素子及びその製造方法。

[発明の効果]

第 2 の保護層のバンドギャップを大きくしたことで、第 1 の保護層よりも井戸層の保護が強力になることから、従来よりも第 2 の保護層の膜厚を薄く出来るとともに、その表面の平坦性の悪化も抑制される。

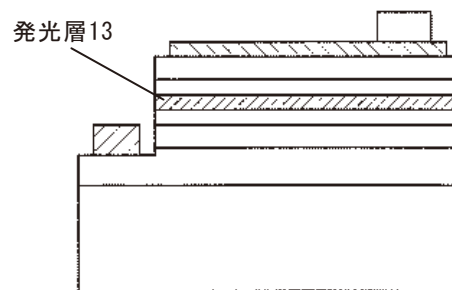


図 - 1

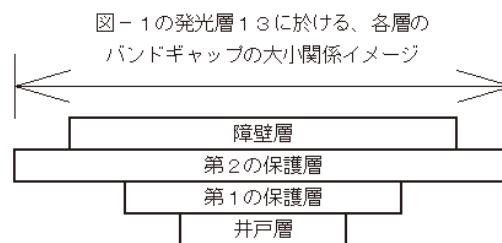


図 - 2

## 編集後記

「いい車をつくる、というミッションに対し、豊田合成の技術者達は、ユーザー目線に立った技術開発はもちろん、デザインや感性品質にもこだわりながら日々の研究開発に努めています。今号は特集テーマを「いい車づくりを支える製品開発」と題し、サプライヤーとして何が出来るのか、またどのような形で表現していくのかを紹介させて頂いています。是非一読して頂き、豊田合成の活動に興味を持っていただければと思います。

また、今年度、2009年から中断していた冊子化を復活させました。執筆者の功績を冊子として残せることは、事務局としても大変嬉しく思いますが、同時に責任も感じます。これから先も編集委員、執筆者の方々と共に豊田合成の取り組みを発信していきたいと思えます。

## 表紙デザインコンセプト

豊田合成の多岐にわたる製品群の更なるグローバル展開によって、世界中の車づくりを支えたいという思いをビジュアライズしました。

表紙と裏表紙を広げて見て頂ければ、よりそのスケールの大きさを感じていただけたと思います。

ピクトグラムが製品の多様性を、シルバーのレールが品質を、二重螺旋が要素技術を表し、安全でエコな社会を表現するためにクリーンで明るいトーンでまとめています。

### デザイン企画部



吉原 裕介



西岡 圭祐

## 豊田合成技報編集委員会

編集委員長	齊藤 克己	(技術管理部)
編集委員	竹澤 匡基	(研究開発部)
	大野 芳生	(材料技術部)
	佐々 道成	(知的財産部)
	広瀬 吉一	(デザイン企画部)
	冨田 彰	(商品開発部)
	曾木 秀仁	(IE・SS 開発部)
	横田 信彦	(IE 技術部)
	林 和之	(WS 技術部)
	太田 勝久	(FC 技術部)
	西郷 栄人	(実験部)
	杉原 洋	(金型設備開発部)
	伊藤 孝幸	(工法開発部)
	久保 嘉久	(AS 生産準備部準部)
	三村 克彦	(FC 生産準備部)
	中野 伸二	(特機部)
	伊藤 法信	(IE 生産準備部)
	酒井 政徳	(SS 生産準備部)
	長坂 尚久	(オプト E 第 1 技術部)
	並木 明生	(オプト E 第 1 技術部)
	千田 昌伸	(オプト E 第 1 技術部)
事務局	可児 雅康	(技術管理部)
	多田 幹世	(技術管理部)
	岩本 真由美	(技術管理部)

## TOYODA GOSEI TECHNICAL REVIEW

豊田合成技報 Vol. 56 2014 (禁無断転載)

2014年12月20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 市川 昌好

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の町30番地  
Tel 0587-34-3303  
Fax 0587-34-3309

印刷所 竹田印刷株式会社





**TOYODA GOSEI**

# **TECHNICAL REVIEW**

Vol.56 2014

<http://www.toyoda-gosei.co.jp/>

