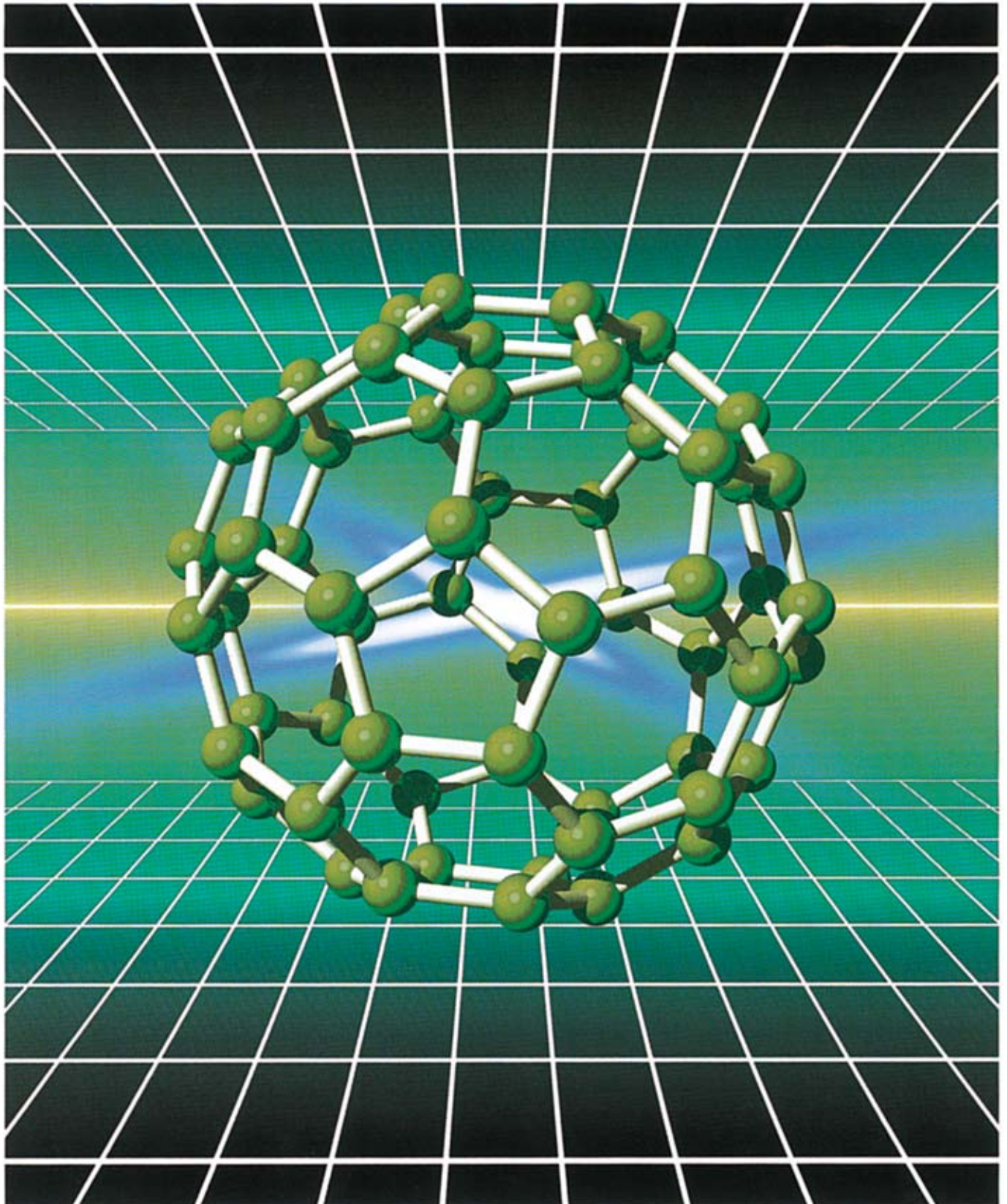


# 豊田合成技報

 TOYODA GOSEI TECHNICAL REVIEW

VOL.45 NO.2 2003



<b>総説</b>	GaN系LEDの概要と最新動向	上村 俊也	41
<b>報告</b>	新ゴムリサイクル技術 (ゴム端材を原料とする熱可塑性エラストマーの開発)	田中 靖昭 沖田 智昭 渡辺 有	53
	無反射ダクトの吸気騒音予測手法の開発	猿渡 智之 小笠原 豊 木野 等	60
<b>新技術紹介</b>	ステアリングホイール芯金の反共振周波数予測	青木 雅司 志賀 一三	65
<b>新製品紹介</b>	メカ式ドア開閉コンソールボックス	山内 明 市川 英仁	67
	ミリ派レーダシステム対応グリルガーニッシュ	藤井 哲也 日向 博実 大庭 達也	69
	ティントメタリック塗装	井土 尚泰 度会 弘志	71
	サテン調塗装	荻巢 康彦 服部 弘樹 度会 弘志	73
	ハードトップ専用テープ装着ルーフウェザストリップ	玉置 清隆	75
	樹脂製ウォータパイプ	渡邊 徳雄 三井 研一	77
	SRS T&P サイドエアバッグ	棚瀬 利則 佐藤 栄治	79
	TG PURPLE LED 光源	酒井 和宏	81
	LED テール&ストップランプユニット	高橋 利典 三沢 明弘	83
	フロントコンソールイルミネーション	佐野 良男 市川 忠沖	85
	住宅用ダイナミックダンパ	笹田 有	87
	社外発表文献一覧表		89

## CONTENTS

### Technical Review

- Brief Overview and Recent Trend  
of GaN Based Light Emitting Diode.....Toshiya Uemura.....41

### Technical Reports

- New Rubber Recycling Technology .....Yasuaki Tanaka.....53  
“Development of Thermoplastic Elastomer Based on Waste Rubber” Tomoaki Okita  
Tamotsu Watanabe  
Development of Prediction Method for Intake Noise Level  
of Un-reflective Duct.....Tomoyuki Sawatari.....60  
Yutaka Ogasawara  
Hitoshi Kino

### New Technologies

- Prediction of Antiresonance Frequency  
for Steering Wheel Armature.....Masashi Aoki.....65  
Ichizo Shiga

### New Products

- Mechanical structure of a console box that is opened and closed  
by pushing a button without electric power.....Akira Yamauchi.....67  
Hidehito Ichikawa  
Garnish Grille Radiator  
for Millimeter-Wave Radar Sensor Systems.....Tetsuya Fujii.....69  
Hiromi Hyuga  
Tatsuya Oba  
Tint Metallic Paint.....Takayasu Ido.....71  
Hiroshi Watarai  
Yasuhiko Ogisu  
Satin-like Paint.....Hiroki Hattori.....73  
Hiroshi Watarai  
Roof Weather-Strip with adhesive tape on H/T vehicle.....Kiyotaka Tamaoki.....75  
Plastic Water Pipe.....Norio Watanabe.....77  
Kenichi Mitsui  
SRS T&P Side Impact Airbag(Thorax & Pelvis Protection Type).....Toshinori Tanase.....79  
Eiji Sato  
Short-Wavelength LED Lamp.....Kazuhiro Sakai.....81  
LED Tail & Stop Lamp Unit.....Toshinori Takahashi.....83  
Akihiro Misawa  
Illumination for Front Console.....Yoshio Sano.....85  
Tadaaki Ichikawa  
Dynamic Damper for House.....Tamotsu Sasada.....87  
List of Published Papers.....89

# 総 説

## GaN系LEDの概要と最新動向

### Brief Overview and Recent Trend of GaN Based Light Emitting Diode

上村俊也\*

#### 1. はじめに

20世紀には実現不可能、あるいは夢の発光ダイオード[LED]と言われていた青色発光LEDがGaN系化合物半導体によって実現し、この世に出回るようになってからはや8年以上の月日が流れ、今日では街中の至る所に、あるいは身の回りのあちらこちらにGaN系LEDを見ることが出来る。当初、青色発光のみであったGaN系発光素子であるが、現在では緑色領域から近紫外領域までのLEDがこのGaN系化合物半導体で実現されている。また、蛍光体との組み合わせにより実現した白色LED、そして今まさに実用化されようとしている短波長レーザー[LD]と、多種多様な発光素子が開発／実用化されている。

今日においても、産官学を問わず性能向上や用途開発あるいは新機能発現に向けた飽く無き追求が盛んになされ、世界中で頻繁に開催される関連conference、無数に創設されるベンチャー企業と、その波及効果、経済効果には目を見張るものがある。このようなめざましい発展を遂げたGaN系LEDについて、その概要と最新動向を紹介する。

#### 2. GaN系LEDの概要

##### 2-1. LEDの発光原理

まず始めにGaN系化合物半導体がどうして青色に光るのかを簡単に説明する。詳しくは専門書籍を参考にさせていただきたい。

電流を流す担い手（キャリア）がマイナスの電子であるn型半導体と、キャリアがプラスの正孔で

あるp型半導体を接合（pn接合）し電流が流れる方向に電圧をかける（順方向電圧）と、図1に示すように電子はp側へ、正孔はn側方向へ移動しpn接合部でぶつかって消滅する（再結合）。この際、電子の持っていたエネルギーと正孔の持っていたエネルギーの差に相当するエネルギーを光として放出する。

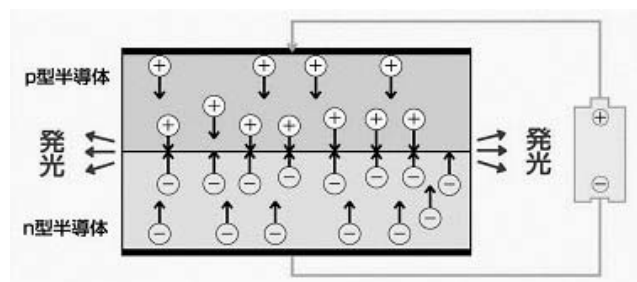


図1 pn接合時のキャリアの様子

従って電子の持つエネルギーと正孔の持つエネルギーの差（エネルギーバンドギャップ： $E_g$ ）によって発光波長が決まることになる。参考として関係式を以下に示す。

$$\langle \text{発光波長 } \lambda [\text{nm}] = 1240 / E_g [\text{eV}] \rangle$$

この $E_g$ は物質固有の値であり、Ⅲ族窒化物半導体であるGaNは、同じⅢ族窒化物半導体であるInNやAlNとの混晶を作ることによって、原理的にはおよそ200nmから600nm（最近になってInNの $E_g$ は1.0eV未満であるとの報告<sup>2)</sup>もあり、この場合には赤外発光LEDも可能ということになる）の発光波長を得ることが出来る。

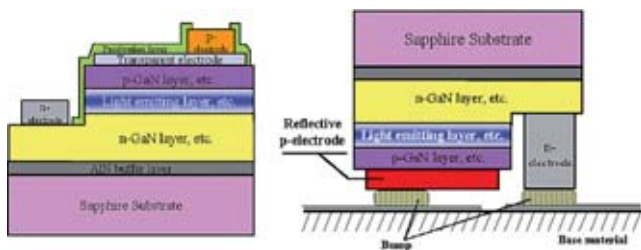
\* Toshiya Uemura オプトE事業部 第1技術部 第3技術室



2-2. 基本構造と特性

図2に現在、我々が量産化しているGaN系LED発光素子の断面構造図を示す。p型のGaN層とn型のGaN層を、発光層を介して積層した構造となっている。このようにp型層とn型層を直接接合せず、間に別の層を導入することにより、電子や正孔といったキャリアをこの層の中に集中させることができ、効率よく再結合（発光）させることが可能となる。更なる高効率化に向け世界に先駆け我々は、数原子層からなる井戸層と障壁層とを周期的に積層させた多重量子井戸構造（MQW構造）を発光層として採用した<sup>3)</sup>。今日ではGaN系発光素子の殆ど全てが発光層としてこのMQW構造を採用している。

発光層から放出された光は、図2(a)に示す一般的な構造（フェイスアップタイプ）をしたLED素子では、その殆どが透光性を有する薄膜p電極を通して外部に取り出される。図2(b)に示すフリップチップタイプのLED素子は、一般構造のLED素子では透光性p電極での光吸収による損失分があるため、サファイア基板側から光を取り出すように開発されたものであり、我々はいち早く1999年より量産化を実現している<sup>3)</sup>。

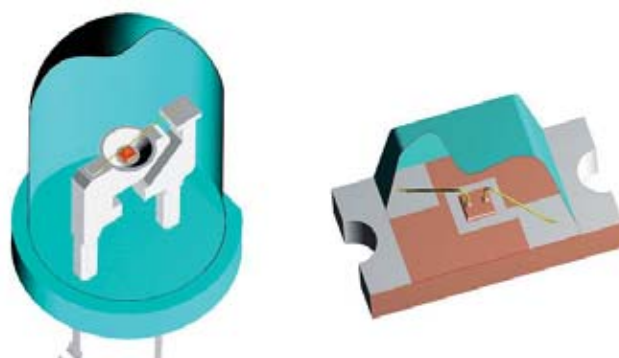


(a)フェイスアップタイプ (b)フリップチップタイプ

図2 LED素子の断面構造図

我々が身の回りや街中で見かけるGaN系LEDは、このような発光素子を図3に示すランプ成形体に組み込んだ形で用いられている（いずれもフェイスアップタイプのLED素子を組み込んだ図）。挿入実装タイプのランプは、一般的に砲弾型ランプと呼ばれており、ディスプレイパネルや交通信号等の比較的高光度が要求される場合に用いられ、一方、表面実装タイプのLEDランプはSMDと呼ばれ、携帯電話等の電子機器、各種インジケータ等の小型・小電力用途に用いられている。

図4に現在、我々が量産中の各色LEDの代表的



(a)挿入実装タイプ (b)表面実装タイプ

図3 LEDランプ

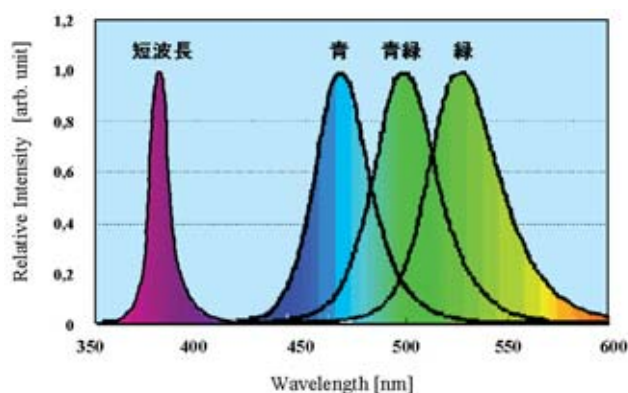


図4 各色LEDの発光スペクトル

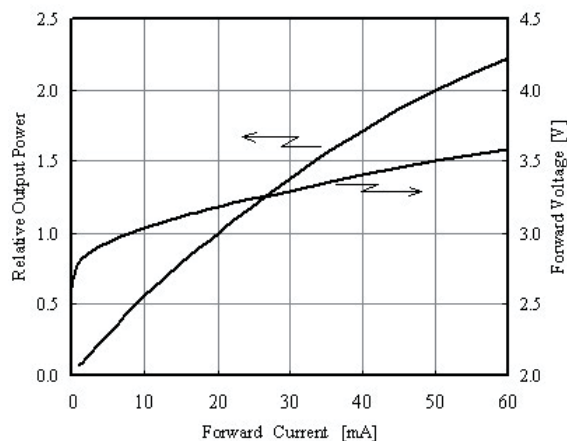


図5 青色LEDの電流-電圧-光出力特性

な発光スペクトルを示す。また代表的なLEDの特性である電流-電圧-光出力特性を青色LEDを例として図5に示す。LEDの特徴としては、①寿命が

長い, ②消費電力が少ない, ③発熱量が少ない, ④応答性が速い, ⑤環境に優しい, 等々数多くの長所があり, 色純度の高い固有の色を自発光するデバイスとして, 今もなお用途展開が図られている.

2-3. 白色LEDの紹介

高輝度の青色・緑色LEDが開発され, 従来からある赤色LEDと組み合わせることによって, 光の3原色を混色させた白色LEDが実現できるようになった. しかしながらこのタイプの白色LEDは, 各色のLED素子をひとつにパッケージングする(3色のLED素子を1つのランプに組み込む[3in1]) 必要があり, 現在では主に調色(各LEDの明るさを制御して任意の発光色を出す)を必要とする用途に使用されている.

1996年末に日亜化学工業㈱からLED素子を1個しか使用しない白色LEDが発表された<sup>4)</sup>. これは青色LEDの光を, YAGと呼ばれる蛍光体に照射することにより黄色の発光色を得て, これをLEDの発光色である青色と混色させることにより白色発光を実現するものである. 今日では, このように

補色関係にある2色(青+黄, 青緑+オレンジ)を混色させるタイプのもの, RGBの3原色の混色を基本とするタイプのもの, さらにはそれぞれのタイプに対しLED素子と蛍光体の組み合わせがいくつか考えられ, 多種多様な白色LEDが開発されている. 一方, 発光層にEu, Teといった発光中心となる希土類元素をドープ<sup>5)</sup>することによって, LED素子単独で白色発光を実現させる試みもなされている.

青色LEDと黄色系蛍光体を組み合わせた白色LED(以後, [B+Y白色LED])のランプ構造と発光スペクトルをそれぞれ図6, 図7に示す. 発光スペクトルを見ても分かるように, このタイプの白色LEDでは緑成分および赤成分の光が乏しいため, 色再現性(物体を照らした際に, どれくらいその物体の本来の色を再現するか)が不十分であるものの, 非常に効率が高いために現在では白色LEDを代表する存在となっている.

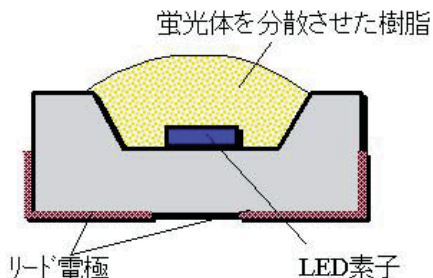


図6 白色LEDの構造

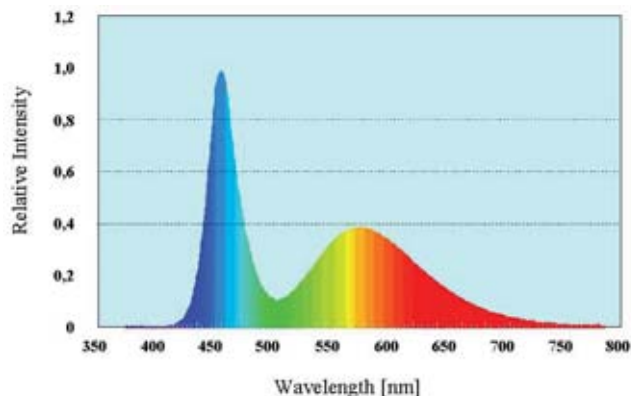


図7 青色LEDと黄色蛍光体を組み合わせた白色LEDの発光スペクトル例

表1 代表的な白色LEDの比較

		Type 1	Type 2	Type 3	Type x
組合せ	LED + 蛍光体	赤, 緑, 青 + なし	青 + 黄	短波長 + 赤, 緑, 青	? + ?
特徴	色再現性	△	△	×~△	○
	色安定性	△	△	○	○
	調色性	○	△	○	○
	明るさ	○	○	×	○
	コスト	×	○	○	○

表1に代表的な白色LED, 3タイプの特徴をまとめる. いずれのタイプも充分満足できる特性を有しているとは言えず, 比較的バランスの取れている[B+Y白色LED]でも, 上述した色再現性以外にも色安定性が劣る(使用電流, 環境温度, あるいは経時的に色度に変化する)といった欠点がある. この様子を図8に色度図で示す. では“Type x”を実現するにはどうすればよいか.

我々は, 発光波長380-400nmの短波長LED素子と特殊な数種類の蛍光体を組み合わせることにより, 非常に良好な特性を有した新規白色LED「TG TRUE WHITE HI」を開発することに成功した<sup>6)</sup>. 図9に発光スペクトルを示す. 蛍光体からの発光色のみで白色を実現しているため色安定性に優れ,

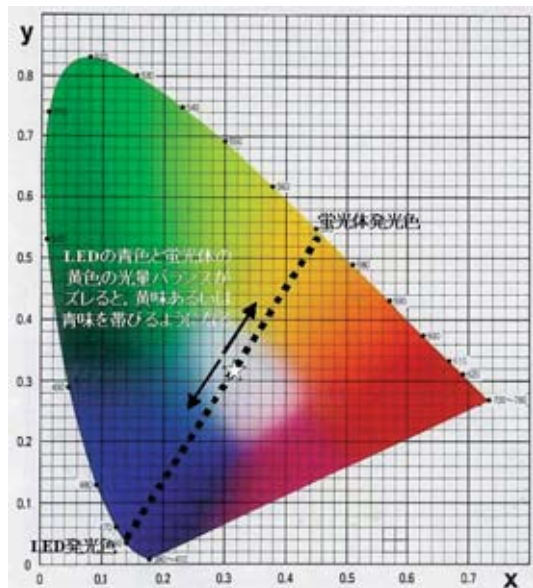


図8 CIE色度図上の[B+Y白色LED]

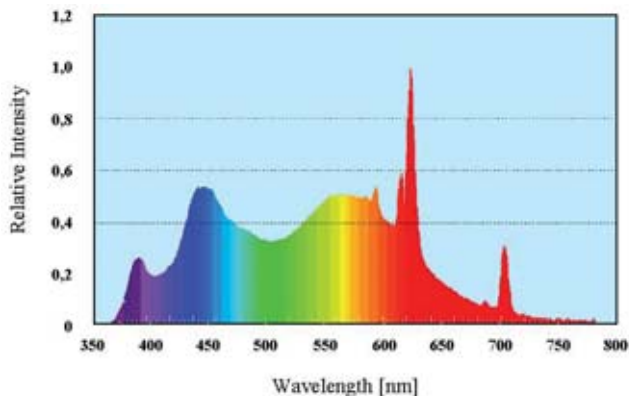


図9 TG TRUE WHITE HI の発光スペクトル例

短波長域から長波長域までブロードな発光を有するために良好な色再現性を発揮する。また、配合する数種類の蛍光体の配合比を変えることにより、任意の発光色を得ることも可能となる。

さらに、従来の[B+Y白色LED]で実際に使用の際にしばしば問題となっている、色度の視野角依存性（見る角度によって色目が変わる性質）についても「TG TRUE WHITE HI」では非常に良好な特性を有している。[B+Y白色LED]では、青色LEDの漏れ光と励起された蛍光体からの黄色光とのバランスによって色度が決まるが、あらゆる光路パスでこのバランスを一定に保つことができないため、見る角度によって色度が変化してしまう。これに対し「TG TRUE WHITE HI」では、色度は蛍光体の配合バランスによって一義的に決まるため、一定の色度を保つことが可能となる。

このように数々の優れた特徴を有している「TG TRUE WHITE HI」は、発光効率的にも[B+Y白色LED]に近いレベルを確保しており、我々はこの「TG TRUE WHITE HI」が将来の照明用光源として最も適した白色LEDであると考えている。

### 2-4. LEDの製造フロー

GaN系LEDの一般的な製造フローを図10に示す。GaN系半導体結晶を成長するための基板としては、一般的に2インチサイズのサファイア基板が用いられ、MOCVD（有機金属化学気相成長：Metal-Organic Chemical Vapor Deposition）法

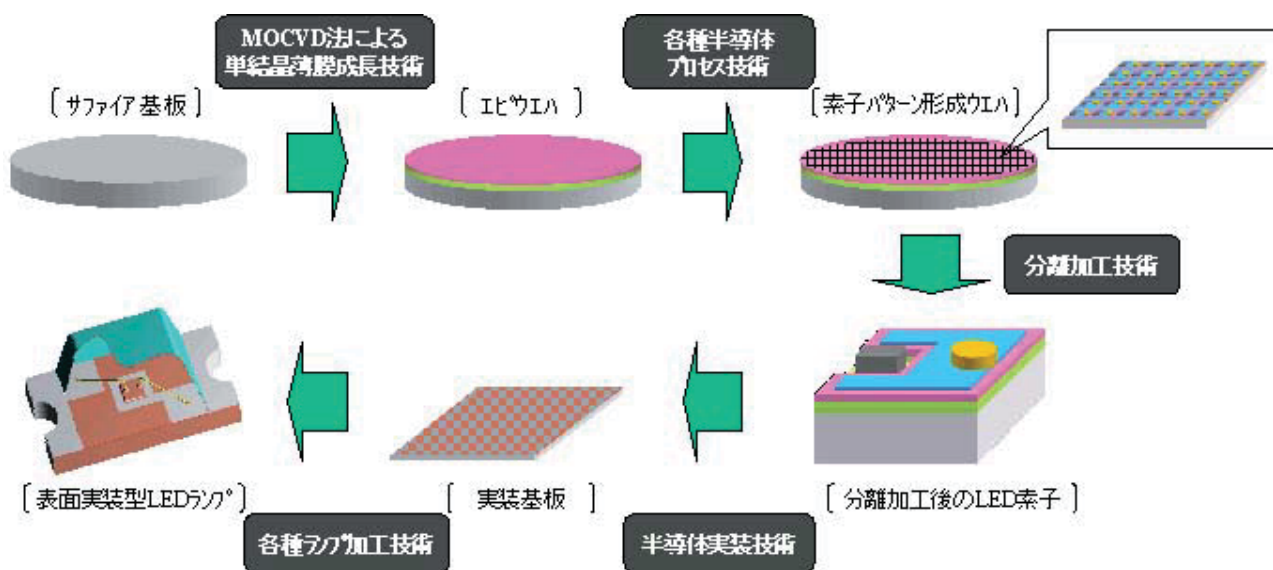


図10 GaN系LEDの製造工程フロー



により良質のGa<sub>2</sub>N系半導体単結晶を何層にも成長、積層した後、PVD/CVDといった薄膜形成技術、各種ウェット/ドライ処理技術やリソグラフィ技術等の半導体プロセス技術を駆使することによって、最終的に300 μm角程度のGa<sub>2</sub>N系LED素子が集積されたウエハを得る。この後、分離加工技術により個々の素子に分割され、特性チェックがなされた後にランプ加工される。

ランプ加工工程ではLED素子を、湿式メッキ法等により配線パターンが形成済みの樹脂等の実装基板上に、また砲弾型ランプの場合はリードフレームと呼ばれる金属製部材上に搭載し、ワイヤーボンディング技術等を用いて電氣的導通を確保した後に樹脂モールドング工程を経て最終のランプ形態となる。

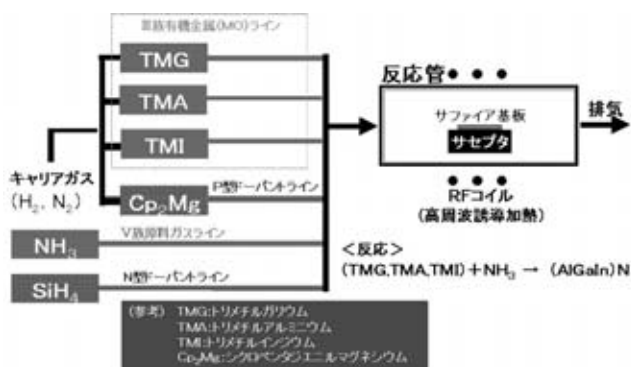


図 1 1 MOCVD法による結晶成長

全工程を通じて最終製品の特性に最も影響を及ぼす工程は、最初の結晶成長工程である。図 1 1 にMOCVDによる結晶成長の概要を示す。成長する結晶の品質は、成長温度、成長圧力、成長速度、ガス流量、ガス分圧等の成長条件に大きく左右される。どのような層構成にするか、といった層設計技術もさることながら、結晶成長工程はLEDの明るさ、駆動電圧、寿命、その他半導体特性等LED品質をつかさどる重要な工程と言える。

### 3. Ga<sub>2</sub>N系LEDの最新動向

#### 3-1. 開発トレンド

当初、世界を見渡してもGa<sub>2</sub>N系LED素子の製造メーカーは2~3社しか存在しなかったが、今日でははるく10社を超えるまでになっており、熾烈な開発競争が繰り広げられている。また、白色

LEDも含めて、実用化当初に比べ飛躍的に明るさの向上が実現されているにも拘わらず、未だ技術的に特性向上が見込まれており、また一方では未解明の技術領域が多々あるため、産学官を問わず世界中で精力的な技術開発、研究開発が行われている。現在のGa<sub>2</sub>N系LED素子全体の開発の方向性、大きな流れとしては、①高効率化、②大電流化、③短波長化、の3つに集約できると考えられる。

#### 3-1-1. 高効率化

高効率化については言うまでもなく、未来永劫に渡って取り組まれる開発目標であり、3-2項で若干詳しく述べたいと思う。

#### 3-1-2. 大電流化

近年、大電流を流すことができ、1個で大光量を得ることができるLEDランプ開発の動きが盛んである。通常の300 μm角程度のLED素子を組み込んだランプの場合、最大30mA程度までの電流値により駆動させるが、この10倍以上の大電流をひとつのLED素子に通電する。LED素子サイズとしては専ら1mm角程度のものが開発、採用され、電流値としては350~500mAをターゲットとしている。駆動電圧は3.数Vであるので、1Wを超える電力が1mm角のエリアに投入されることになり、高発光効率のGa<sub>2</sub>N系LEDと言えども、発光色にも依るが投入電力の概ね3/4程度は光に変換されず熱となってしまうため、LED素子は高熱を発生する熱源となる。LED素子はその基本特性として温度の上昇に伴い発光効率が低下するため、大量に発生する熱を如何に効率的に逃がしてやるか、といった放熱設計技術がキーテクノロジーとなる。そのためLED素子を熱伝導率が高く、熱容量を大きくした部材に実装する必要がある、ある程度のボリュームのある金属成形体の実装基材として用いられることが多い。

#### 3-1-3. 短波長化

青色から始まったGa<sub>2</sub>N系LEDは、すぐさま高輝度緑色LEDの開発を達成し、当初は長波長化の開発動向もあったものの、InNの混晶比が高くなると結晶性が悪化してしまうことが分かり、現在ではその動きは一段落ついた感がある。一方、短波長化の開発については、現状のレーザーの代用光源など新規用途展開が図れることもあり活発に行われている。最近では研究室レベルではあるが、



発光波長292nmのLED発光<sup>7)</sup>が確認されるまでになっている。

およそ380nmより短波長化する場合には、通常の可視域のLED素子構造のままでは実現不可能、あるいは低出力となってしまったため、以下のような対応が取られている。

- ・発光層の変更

通常の可視域LEDで採用されているGaInNではなく、よりEgの大きなAlGaInあるいはAlGaInNを用いる。

- ・光吸収損失の回避

GaNやGaInN層が存在すると、自身で光を吸収してしまい外部に光を取り出せないため、AlGaIn層で全体層を構成する。あるいは下地層となるn型層を一旦は良質のGaN層で形成し、発光層以降を成長した後にサファイア基板も含めてn型GaN層を除去する<sup>8)</sup>、といったユニークな工法も検討されている。

- ・結晶欠陥の低減

短波長LED素子では結晶欠陥密度が出力あるいは寿命に大きく影響するため、低欠陥化が必須技術となっている。内容については次項で紹介する。



図12 開発トレンドの向かう先には

以上、3つの開発トレンドについて紹介してきたが、これらが目指す先に何があるかを改めて考えてみると、一般照明というキーワードが見えてくる。既にGaN系白色LEDの効率は白熱電球のそれ(15lm/W)を上回っており、圧倒的大光量を誇る一般照明の代表格である蛍光灯(効率は50lm/W以上)に取って代わっていくためには、更なる大幅

な高効率化と素子当たりの光量の飛躍的増加が必須条件となる。また、蛍光灯並の光源特性を持たせるためには蛍光体の発光色のみでの混色による白色化が必要であり、LED素子の効率を落とすことなく短波長化できれば励起光の高エネルギー化によって蛍光体の発光効率を大きく向上させ得る。ある意味、現在業界で何かと取り沙汰されている一般照明用光源のLED化の潮流が、LED素子開発のDriving Forceとなっている。

### 3-2. 高光度化技術動向

#### 3-2-1. 内部量子効率の向上

内部量子効率とは、注入したキャリアのうち光に変換される割合を意味し、LEDの心臓部の発光効率とすることができる。

#### 【結晶欠陥の低減】

まず最初に、短波長化開発に伴い現在盛んに検討されている、結晶欠陥の低減方策について紹介する。GaNの結晶成長時、基板に用いるサファイア基板とGaN単結晶との間の格子定数差、熱膨張係数差に起因して、結晶の成長方向に伝搬する欠陥(貫通転位)が非常に高密度に発生する。一般的にその発生密度(転位密度)は $10^9\text{cm}^{-2}$ 以上と言われており、特に短波長のLEDやレーザーダイオードを開発する場合には致命傷となる。この転位密度を低減するための方法には大別すると2種類あり、それは転位を成長方向に貫通させないようにする方法と、転位自体を発生させないようにする方法である。前者では、パターンニング加工した基板を用い、直上の成長時に横方向への成長促進を図ることにより欠陥を成長界面近傍で横方向に曲げ、上方向に貫通する転位を低減させる<sup>9)10)</sup>。概ね $10^7\text{cm}^{-2}$ 以下の低転位が実現できるものの、実際に量産展開するに当たっては、成長面内で均一な品質を如何に実現させるかが鍵となる。後者の方法は、結晶欠陥密度の低いIII族窒化物系基板、または低欠陥のIII族窒化物系結晶層が既に成膜されている基板(テンプレート基板と言う)を用いる方法である。

元々、III族窒化物系では単結晶のバルク材料が存在しなかったために、サファイア基板を用いてヘテロエピタキシャル成長をしてきた訳であるが、転位の高密度発生の根源はこの異種基板の採用にあり、バルク基板の採用は当然の解決策となる。そのため種々の工法での開発・量産化検討が活発

に行われており、一部サンプルベースではあるが上市も始まっている<sup>11)12)</sup>。一方、究極の基板であるバルク基板に対し、これを擬似的に実現させようと言うのがテンプレート基板<sup>13)</sup>である。いくつかのメーカーから製品化がなされているが、バルク基板程ではないにしてもそれなりのコスト高となり、コストアップ分と性能面での効果を勘案すると、その採用はレーザーや電子デバイス、UV LED等に限定されるものと考えられる。

**[発光メカニズム]**

結晶欠陥が非常に多いにも拘わらず、何故GaN系LED素子は高光度発光するのか。どうして急速に劣化しないのか。それまでの発光デバイスの常識からは想像し難い特性について製品化当初より議論がなされてきた。種々のメカニズムが提唱され現在も活発な研究がなされているが、未だ完成された理論形成にまでは至っていない。寿命特性や電極とのコンタクト特性など、LEDとしての諸特性を全て把握するためには、転位のみならず点欠陥の挙動、影響まで解明していく必要がある。特性向上目的のみならず学術的にも非常に興味深いこともあり、関連する大学、研究機関では一様にGaN系の物性研究に取り組んでいるようである。多くの機関から多種多様な報告がなされているが、当然のことながら評価対象ワークの成長条件、層構成等は異なっており、結果の普遍性をどう見極めていくかが重要となる。

GaN系の持つポテンシャルを最大限に引き出す

ためには、確立された発光メカニズムに基づく理想の層構成・構造設計をしていくことが必要である。GaN系発光素子の発光起源という根本的な領域であるため、本質的な部分での高光度化と言える。

**[結晶成長技術]**

製造フローの項で述べたように結晶成長は製造にとっても肝となる工程・技術であるが、高光度化開発の観点においても、その根幹をなす技術である。いくら良い層構成設計をしても、あるいは物性理論面での解明が進み理想的な層設計・層構造が描けたとしても、それを具現化できなくては高光度化には結びつかない。

成長させるための種々のパラメータ設定を検討する成長プロセス設計技術に重点が置かれがちであるが、高品質化を追求して行くには限界がある。結晶成長反応はCVDという化学反応を伴うため、その反応素過程を解析し、AlGaInN系にとっての理想の反応系を構築、これを具現化する成長装置を設計していくことが重要である。しかしながら非常に反応活性なガスを高温下で多用するため、気相中での反応は複雑この上なく、また成長温度は1000℃以上の高温下での析出反応となるため、その解析/検証技術を磨きながら結晶成長技術を培っていくことは極めて難易度が高い。

現在、市販のGaN系の専用成長装置としては、数種類しか存在しておらず、バルク基板同様、この分野での新規参入を目指すベンチャー事業も繰

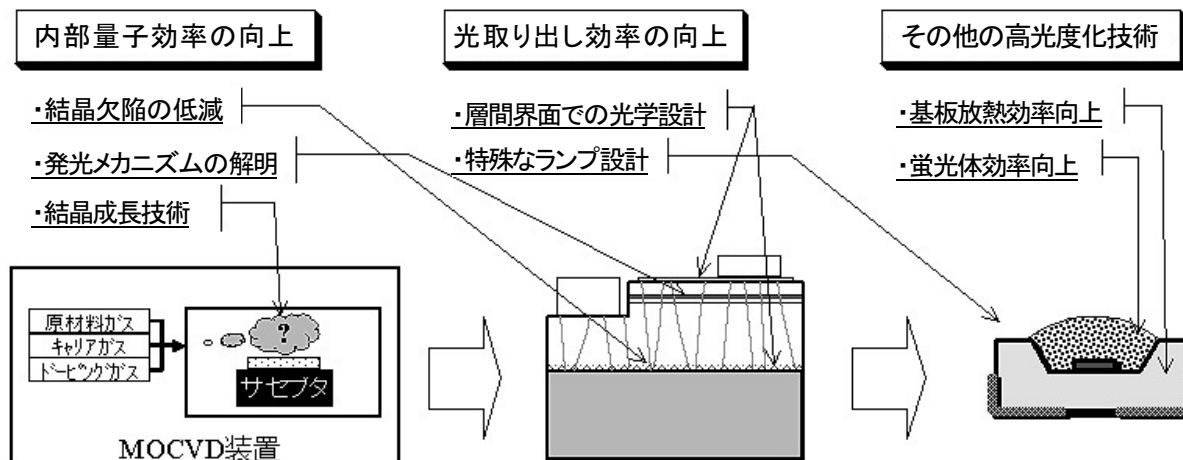


図 1 3 GaN系LEDの開発動向

り広げられようとしている。装置設計に対し各々独自のコンセプトを打ち出しているものの、理想の反応系が見えていない状況にあるため、素子製造メーカーの多くは複数種の装置導入を図った上で詳細な成長検討を実施後、要求を満たす装置メーカーのリピーターになっているようである。

一方、反応解析に主眼を置いた研究<sup>14)15)</sup>も一部ではあるが着手されている。発光素子という半導体分野だけあって残念ながら精力的に取り組まれている状況にはなく、シミュレーション的解析に基づく、あるいは装置メーカーを主導とした研究がなされている。

青色LED実現当初とは異なり種々の研究開発成果がオープンになっている環境の中、特性面での差別化を実現していくためには、上述したように地道な結晶成長反応機構の解明とそれに続く理想の反応設計の構築、それを具現化する装置設計により、GaN系発光素子としての結晶品質向上を図っていく必要があると考えられる。

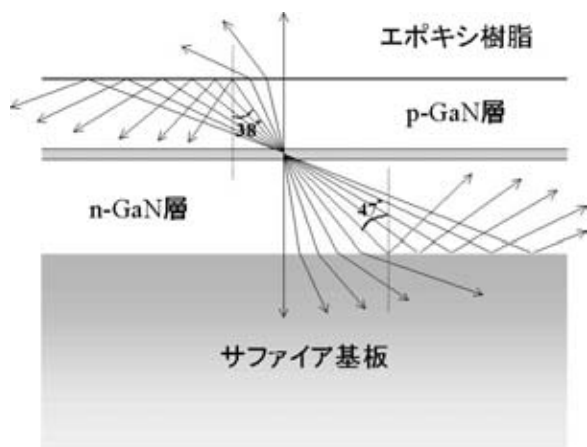


図14 層間界面での全反射

### 3-2-2. 光取り出し効率の向上

GaN系結晶は屈折率が高いために、LED素子結晶内部で発光した光のうち、外部に取り出されることなく結晶内部で迷走し、ついには吸収消失してしまう成分がかなり存在する。図14に示すように、例えばn-GaN層/サファイア基板界面での臨界角（臨界角以上の入射角で界面に入射した光は反射してしまう）は47°、p-GaN層/モールド材料であるエポキシ樹脂界面での臨界角は38°であり、何の工夫もしない一般的なLED素子の光取りし

効率は30~40%と言われている。つまり発光層で発光した光を全て取り出すことができれば、LEDの明るさは2倍以上になる。LED素子構造が固定化、定着してきたこともあり、ここ1~2年、この観点での開発検討が活発化している。対象部位として最も効果が期待できるのは、n-GaN層/サファイア基板界面、およびp-GaN層表面である。

n-GaN層/サファイア基板界面の代表的な手法は、界面加工により光学的な凹凸を作製<sup>16)</sup>するものである。この手法では上述したように結晶成長初期過程で横方向成長を促進させる必要があり、結晶欠陥の低減という効果も期待できる。また短波長化の項で述べたような、サファイア基板上に通常に成長した後にサファイア基板を除去してしまうプロセスも開発されている。独OSRAM Opto Semiconductors社では、通常結晶成長後に反射性のpコンタクト電極を形成し、このpコンタクト電極上にバルクの担体を接合、その後にレーザーリフトオフ法によりサファイア基板を除去し、露出したn-GaN層にnコンタクト電極を形成する<sup>17)</sup>、という斬新な工法を開発している。一方、これまで触れなかったが米Cree社では、基板としてGaNと格子定数のフィッティングがよいSiC基板を用いてGaN系LED素子を製造しており、この場合、基板/n-GaN層間界面ではなく基板/モールドエポキシ樹脂間界面での臨界角が34°と非常に小さくなるため、基板の外形形状加工により取り出し効率の大幅な向上を実現している。

p-GaN層表面については、層自身の形状加工処理により電極/p-GaN間のコンタクト抵抗の悪化を招くため、大幅な利得を実現した素子は未だ製品化されていない。最も実現性が高い手法は、透光性の薄膜p電極の保護膜材料として、適切な特性を有する光学材料を採用することが考えられる。また最近では、p-GaN層表面にフォトニック結晶を応用することによって光取り出し効率を50%アップさせた報告<sup>18)</sup>もなされている。

一方、ランプ設計面での開発も一部で進められており、光学設計技術に基づく独自のランプ設計により大幅な利得を実現<sup>19)</sup>している例もある。ただしランプ設計で十分な効果を引き出すにはLEDランプの大型化が必至となるため、市場・用途が限定されてしまいがちである。しかしながら、現在、照明用光源向けとして大型の大電流ランプ開発が盛んであるし、また蛍光体分散レジンを使用

づく構造設計がなされているとは言えず、ランプ設計面からの一層の精力的な開発検討が望まれる。

### 3-2-3. その他の高光度化技術

開発トレンドの項で挙げた大電流化も高光度化技術に含まれるが、素子サイズを大型化し大電流仕様とすることによって高光度を実現するというのは効率の向上にはならない。しかし素子に対する熱負荷を低減することにより発光効率を高める、あるいはより高電流で使用できるようにする、というのは高光度化技術の範疇に入ると考えられる。大型素子ばかりではなく通常サイズの素子についても、実装基板に熱伝導性の良好な材料<sup>20)</sup>を採用することにより、高光度化を図る試みもなされている。特に表面実装型のランプでは通常、実装基板に樹脂製材料が用いられており、ランプ市場全体の砲弾ランプからSMDランプを志向するトレンドと相まって、ランプ設計での放熱効率向上による高光度化開発検討は、この先加速していく可能性がある。

白色ランプの流動に伴い、蛍光体開発が脚光を浴びるようになってきた。これまで、どちらかという斜陽的な分野であった蛍光体産業であるが、現在では世界中で蛍光体に特化したconferenceが開催され、大勢のLED業界関係者が参集するまでになっている。白色ランプにとって蛍光体の効率アップはダイレクトにランプの高光度化につながるため、LED素子の効率アップと同等に重要視されている。量子ドット蛍光体<sup>21)</sup>という、最近流行りのナノテクノロジーを用いた研究開発もなされている。

その他の高光度化技術として特にカテゴリー分類するものは見当たらないが、当然のことながらLED製造メーカーでは、日々の地道な細部にわたる開発検討が繰り返されている。

### 3-3. 市場展望

実用化以来、順調に推移してきたGaN系LED市場は、現在ではLED市場全体を席卷するにまで至っている。ここ数年の市場の牽引役は携帯電話であり、2001年については携帯電話市場の落ち込みにより伸びが鈍化したものの翌年以降持ち直し、今後も堅調に推移していくものと予測されている。

図15に米Strategies Limited社による2007年までの市場規模予測を示す。InGaN系赤色LEDを含めた高輝度LED市場全体での予測となってい

るが、内訳としてはGaN系LEDが7割程度(2002年までの実績ベース)を占めているものである。近年のGaN系LEDの価格破壊には目を見張るところがあり、赤色LED並に近づくのもそう遠くはないはずであり、数量ベースでの伸び率は相当たるものと考えられる。実際、身の回りを見渡しても電化製品のインジケータ、街中で見かけるディスプレイ・サインボード等、GaN系LEDの採用が急速に広がっている。また我々の自動車産業を見ても、新型車では車内のあちらこちらにLEDが採用されており、環境にやさしいGaN系LEDを採用するこうした動きはさらに活発化していくものと考えられる。

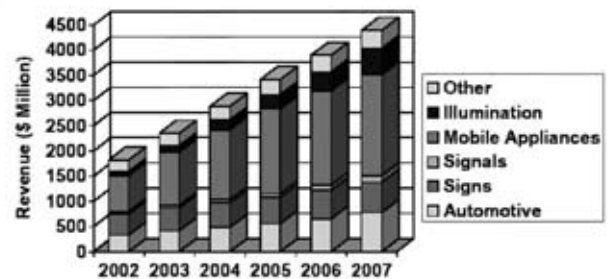


図15 高輝度LED Market Forecast  
(出典: Strategies In Light 2003)

携帯電話について言えば、カラー液晶画面のバックライトとして白色LEDが用いられており、インジケータやボタン部イルミネーションとしても数多く適用されている。国内では既にほぼ全ての機種でこのように多用されているものの、海外に目を向けるとまだまだ大きな市場が待ち構えている。ただ、カラー液晶画面については、現在、同じ自発光素子である有機ELの開発が盛んで、既に具体的な採用検討が始まっており、その動向が気になるところである。

一方、現時点では見出されていない新たな市場が開拓される可能性もある。特に短波長発光のLEDは、これまでの水銀灯にはない小型、軽量、Hgレス、特定波長のみを発光できる、といった数々の利点を有しており、医療分野での応用、各種センシング技術への応用、蛍光物質・光触媒の励起光源等々、UV光源としての潜在市場は計り知れない。また他の機能デバイスとの複合デバイスの創造により機能の集積化、高付加価値化が図られれば、全く新規の未開拓市場が切り開かれてい



く可能性もある。

期待される照明市場であるが、少なくともここ数年の間はそれほど大きな市場は見込まれていない。照明市場に確実に参入していくためには、効率面 (lm/W) もさることながら、当然、コスト (lm/円) 的な面でもある程度の折り合いがつかなければならないし、さらに、5年先以降についても、照明市場で開花していくためには様々な課題が山積している。ただ、こうしたハードルを乗り越えて照明市場への展開が本格化すれば、その市場規模は莫大なものとなり、将来的にはGaN系LED全体で数兆円規模を優に超えるマーケットにまで成長すると見込まれている。

### 3-4. 次世代照明用光源に向けて

次世代照明用光源として何かと持てはやされている白色LEDであるが、ごく最近になってようやく関連conference, seminarや雑誌等でシビアな意見が飛び交うようになってきた。ここではそうした実際のところ、現実をまとめてみたいと思う。

一般的な照明用光源の発光効率と寿命を表2に示す。白色LEDの発光効率は、研究室レベルでは50lm/Wを超えるところまで来ているが、量産性を加味した実用レベルとしては20~30lm/W程度であり、まだまだ一般照明用光源の代表格である蛍光灯とは比較対象にならないレベルではある。しかしながら確かに白熱電球やハロゲンランプの効率を上回っており、寿命としてもLEDの方が勝っているため、これまでのGaN系LEDの光度アップの歴史を考慮すると、一般照明光源への適用を期待する声上がるのも頷ける。では仮に発光効率が今の3倍になれば蛍光灯に取って代わっていくことができるのであろうか。

#### [寿命]

LEDの寿命は半永久的、という言葉をよく耳にするが、これはLED素子の寿命のことを表現しているものであり、モールド樹脂を始めとする使用部材の劣化を考慮するとLEDランプとしてはせいぜい数万時間レベル、それも一般的な単色LEDの場合である。照明用光源として期待されている短波長LED素子を用いた白色LEDでは、発光する光のエネルギーが高いために周囲の部材の光劣化が激しく、数万時間の寿命を確保するには特別なランプ設計が必須となる。また、実は寿命の定義も照明業界とLED業界では異なっており、照明分野

では初期光度の70%に達する時間で定義するのに対して、LED業界では50%の時間を寿命時間とするのが通例であり、この大きな差が受け入れられるかといった問題もある。さらに、学会・論文等で発表される寿命時間は、チャンピオンではないにしても選び抜かれたデータであり、具体的な数字を明言するのは難しいが、Mass Productionというフェーズで蛍光灯並の10,000時間という寿命を達成することは非常にハードルが高いことには違いない。

表2 一般照明光源の特性

光源の種類	効率[lm/W]	寿命[hr]
白熱電球 	15	1,000
ハロゲン電球 	20	2,000
蛍光灯 	50~80	10,000
HIDランプ 	100	10,000
白色LED 	20~30	?

#### [色度バラツキ]

一般照明光源の色度バラツキは色温度にして±50K程度と、人の目で見ても違いが分からない程度しかなく、図16に色度図中に色温度を示すように、この±50Kという数字は白色LEDにとっては驚異的な数字である。この色バラツキの問題にしろ上述した寿命の問題にしろ、これまでのLED業界の常識を遙かに超えるレベルでの、品質の安定化・均一化を達成していく必要がある。

#### [コスト]

GaN系LEDの価格が将来下がると言えども、やはり蛍光灯と比べてしまうと大きなギャップがある。街の量販店に行けば蛍光灯は数100円程度で購入できるが、その明るさとは言うところ“1klm”を上回るのである。灯体・灯器の値段まで含めれば10,000円を超えることもあろうが、蛍光灯を交換する度に灯体・灯器まで交換する人は居ないはずである。仮に1W級の大電流白色LEDが効率

100lm/Wまで到達したとしても、1klmの光量を得るには10個必要となり、蛍光灯と同等のコストパフォーマンスとするためには、数10円/個という低価格となる。一般論としてのLEDの特徴である長寿命を加味して、メンテナンス費用まで含めた試算もなされているが、先に寿命のところでも述べたように、少なくとも蛍光灯を対象とした場合にはこの効果は期待できない。

明メーカーと半導体メーカーとのJVによる半導体照明メーカーの設立がなされており、このように関連メーカー間で密接なアライアンスを組んでいくことも重要と考えられる。また一方、近年クローズアップされている環境問題、あるいは補助金制度等の何らかの国の支援、といった外部環境の後押しを伴えば、急速に照明光源のLED化が加速する可能性もある。

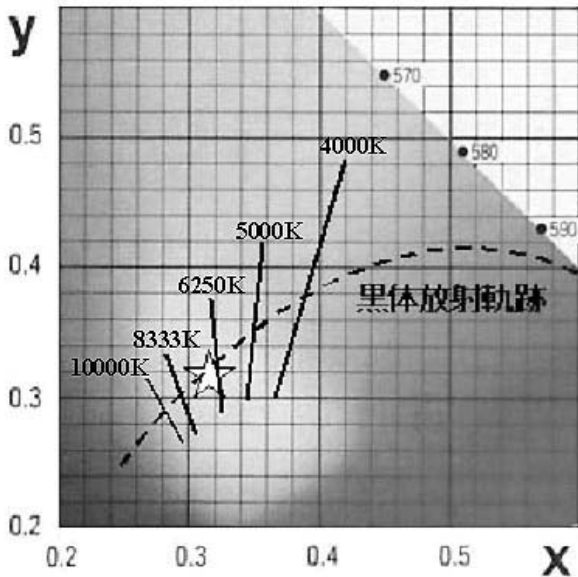


図16 色度図中に見る色温度

以上のように、一般照明分野に広く投入できるようになるまでには、明るさ以外にも超えなければならない高いハードルがいくつも存在している。確かに白熱電球やハロゲンランプ、あるいは特殊照明の市場ではLED化が徐々に進行していく可能性もあるが、着実に浸透させていくためにはLED照明全体をシステム設計していく必要がある。電気・光学的諸特性は無論であるが、形状、取り付け方に至るまで既存品とは全く異なる設計となることが想定され、また逆に言えばLEDだから具現化できる、LEDにしかできないデザイン、といったユーザー側にとってのLED照明のうれしさを前面に押し出すことができれば、種々のハードルの高さが低くなるはずである。米では既に数年前から Lumileds Lighting社 (Philips Lighting社と Agilent Technologies社のJV)、GELcore社 (GE Lighting社と EMCORE社のJV) といった大手照

#### 4. おわりに

今後もより一層の発展が見込まれているGa<sub>N</sub>系LED市場であるが、この他にもレーザー、電子デバイス等、Ga<sub>N</sub>系化合物半導体に期待されているデバイスは数多く存在する。これら他のデバイスについてもLED同様に広く実用化されていくためには、あるいは現有する他のデバイスを凌駕していくためには、LED内部量子効率の向上のところで述べた結晶欠陥の低減化技術、特性発現の機構解明・理論構築をしていく技術、そしてより一層の育成・発展が望まれる結晶成長技術、これら3点は共通のキーテクノロジーとなるものと考えられる。また当面の目標である照明光源に向けては、上記3つの技術以外にも蛍光体関連技術やランプ設計に関わる各種技術分野でのブレークスルーが必須となってくる。

LEDを始めとするGa<sub>N</sub>系化合物を応用した半導体デバイス技術・市場は、このように技術的にも、また製品開発というフェーズにおいても、画一的な単独遂行では成し得難い一大巨大分野となりつつある。躍進するこの波に乗り遅れず技術・市場を牽引していくためには、関連企業とのアライアンスも視野に入れながら多角的な技術取り組みを図り、これらを有機的に連携させながら開発推進していくことが肝要と考えられる。

## 参考文献

- 1) H.Amano, N.Sawaki I.Akasaki, and Y.Toyoda: Appl. Phys. Lett. 48(1986)353
- 2) T.Matsuoka, M.Nakao, H.Okamoto, H.Harima and E.Kurimoto: Jpn. J. Appl. Phys. 42(2003)2288
- 3) M.Koike, T.Uemura, M.Asai, K.Sawazaki, N.Kaneyama, T.Osio, A.Hirano, H.Kato, S.Yamasaki, Y.Tezen, S.Nagai, S.Iwayama, and A.Kojima: Proc. SPIE 3938(2000)24
- 4) S.Nakamura and G.Fasol: "The Blue Laser Diode" (Springer)1997
- 5) A.J.Steckl, J.C.Heikenfeld, D.-S. Lee, M.J.Garter, C.Baker, Y.Wang and R.Jones: IEEE Journal of selected topics in quantum electronics 8(2002)749
- 6) T.Uemura, N.Shibata, H.Yamaguchi and T.Yasukawa: Proc.SPIE 4996(2003)95
- 7) A.Hanlon, P.M.Pattison, J.F.Kaeding, R.Sharma, P.Fini and S.Nakamura: Jpn. J. Appl. Phys. 42(2003)L628
- 8) D.Morita, M.Sana, M.Yamamoto, T.Murakami, S.Nagahama and T.Mukai: Jpn. J. Appl. Phys. 41(2002)L1434
- 9) A.Usui, H.Sunakawa, A.Sakai and A.Yamaguchi, Jpn. J. Appl. Phys.41(2002)L1434
- 10) O.-H.Nam, M.D.Bremser, T.S.Zheleva and R.F.Davis: Appl. Phys. Lett. 71(1997)2638
- 11) K.Motoki, T.Okahisa, S.Nakahata, N.Matsumoto, H.Kimura, H.Kasai, K.Takemota, K.Uematsu, M.Ueno, Y.Kumagai, A.Koukitu and H.Seki: J. Crystal Growth 237-239(2002)912
- 12) V.A.Sukhoveyev, V.A.Ivantsov, I.P.Nikitina, A.I.Babanin, A.Y.Polyakov, A.V.Govorkov, N.B.Smirnov, M.G.Milvidskii and V.Dmitriev: J. Nitride Semicond. Res.5S1(2000)W6.6.
- 13) 田中,柴田,三宅,平松,江川,神保他: 電子情報通信学会技報 SDM2002-14(2002-05)
- 14) J.Sun, J.M.Redwing and T.F.Kuech: Phys. Stat. Sol. (a)176(1999)693
- 15) O.Makino, K.Nakamura, A.Tachibana, H.Tokunaga, N.Akutsu and K.Matsumoto: Appl. Surface Science 159-160(2000)374
- 16) K.Tadatomo, H.Okagawa, Y.Ohuchi, T.Tsunekawa, Y.Imada, M.Kata and T.Taguchi: Jpn. J. Appl. Phys. 40(2001)L583
- 17) V.Harle, B.Hahn, A.Weimar, D.Eisert, S.Bader, A.Plossl and F.Eberhard: Proc.SPIE 4996(2003)133
- 18) K.Orita, S.Tamura, T.Takizawa, T.Ueda, M.Yuri, S.Takigawa and D.Ueda: *International Conference on Solid State Devices and Materials, Tokyo*, F-8-3(2003)
- 19) 玉井,細川,松本,山下: 電子情報通信学会 ソサイエティ大会(2000)C-3-121
- 20) Lamina Ceramics: Microw. J. 45(2002-12)104
- 21) H.Peng, H.Song, J.Wang, S.Lu, X.Kong and J.Zhang: J. Chem. Phys. 118(2003)3277

# 報 告

## 新ゴムリサイクル技術 ゴム端材を原料とする熱可塑性エラストマーの開発

田中 靖昭\*<sup>1</sup>, 沖田 智昭\*<sup>2</sup>, 渡辺 有\*<sup>3</sup>

### New Rubber Recycling Technology: Development of Thermoplastic Elastomer Based on Waste Rubber

Yasuaki Tanaka\*<sup>1</sup>, Tomoaki Okita\*<sup>2</sup>, Tamotsu Watanabe\*<sup>3</sup>

#### 要 旨

EPDMゴム端材から熱可塑性エラストマー(TPE)を製造する新しいゴムリサイクル技術を開発した。本技術では、EPDM端材の脱硫、脱硫EPDMとポリプロピレン(PP)とのブレンド、ゴム成分の動的架橋が連続的に行われ、目的とするTPE(以下、Recycled Rubber based Thermoplastic Elastomer; RR-TPEと表記する)が得られる。

得られたRR-TPEは市販のオレフィン系熱可塑性エラストマー(TPO)と同等のゴム弾性、機械物性を示す。これらの特性は適切に形成された相構造に起因する。この新技術により製造されたRR-TPE材料を使って自動車用シール部品が開発中であり、製造される予定である。

本技術により、環境保全・省資源を推進することができる。

#### Abstract

A new rubber recycling technology to produce a thermoplastic elastomer (TPE) based on ethylene-propylene-diene rubber (EPDM) waste was developed. In this technology, the developed process consists of devulcanization of EPDM waste, blending of the devulcanized EPDM and polypropylene (PP), and dynamic vulcanization of the rubber component. All three are set up in as a continuous process in which the Recycled Rubber based Thermoplastic Elastomer (which is indicated as "RR-TPE" henceforth) is finally obtained.

The RR-TPE exhibits elasticity and mechanical properties similar to those of commercial Thermoplastic olefins (TPO). These properties may be due to a suitably formed phase structure. Automotive sealing parts are being developed and are going to be produced with the RR-TPE manufactured by this new technology.

This technology will contribute to both protecting the environment and saving resources.

\*1 材料技術部エラストマー材料技術室

\*2 材料技術部エラストマー材料技術室

\*3 ボディシーリング技術部ボディシーリング生技室



## 1. INTRODUCTION

Waste rubber generated from in-process or scrap products has now risen to more than 30 million tons in the world and more than one million tons in Japan. From the viewpoint of protecting the environment and saving resources, recycling of waste rubber has become an important issue in recent years.

Currently various rubber materials are applied to automotive parts due to their high elasticity. For example, tires, hoses, bodysealing parts, functional parts, etc., are produced with rubber materials. In Japan about 5 million vehicles are scrapped annually, causing a large amount of waste rubber.

When the rubber material is processed into a product, the three-dimensional network structure called “crosslinking” is constructed which contributes to rubbery elasticity. But due to the network structure, it is difficult to recycle as a raw material. In fact the method mainly used for recycling of rubber is incineration (energy recycling). Material recycling, which is thought to be the most desirable method, is used in only about 10% of all treatment of waste rubber<sup>1</sup>. As for material recycling of waste rubber, the application of powdered rubber that is produced by grinding is a mainstream in and out of Japan. It is extremely rare to devulcanize waste rubber (breaking of sulfur crosslinking bonds). In Japan the general production method of devulcanized or reclaimed rubber is called “pan reclaiming process”<sup>2</sup>. The reclaimed rubber according to this conventional method is poor in quality and its productivity is very low. Similar results were found in other various rubber reclaiming methods<sup>3, 4</sup>.

Recently, a continuous rubber recycling technology has been developed for EPDM waste<sup>5</sup>. In this process, the breakage of crosslinking bonds occurs selectively under the control of shear stress, reaction temperature and internal pressure. The devulcanized rubber exhibits excellent mechanical properties nearly equal to those of neat rubber. This recycling technology has been utilized industrially and the reclaimed

rubber has been used as materials for automotive parts since 1997 in TG.

Based on this technology, we have developed a new rubber recycling technology to produce a thermoplastic elastomer based on EPDM waste.

TPE's are polymers, which have plasticity at high temperature and rubbery elasticity at room temperature. TPE can be substituted for rubber and this demand has been increased. There are various types of TPE's such as styrenic based (SBC), olefinic based (TPO), polyurethane based (TPU), copolyesters (COPE), copolyamides (COPA), and so on. Thermoplastic olefin (TPO) is generally made by melt-blending of EPDM (70-80wt%) with thermoplastics (20-30wt%) such as PP or polyethylene (PE). It consists of the continuous thermoplastic matrix and dispersed EPDM domains that are usually vulcanized (TPO is also called “thermoplastic vulcanizate: TPV”). Therefore, though TPO has similar properties to those of EPDM, it also has reprocessability by heating like general thermoplastics. Due to these properties TPO has recently been applied to various products as substitute material for EPDM.

Using this new technology, it is possible to produce TPE with one continuous process that consists of devulcanizing waste rubber, blending with PP, and re-vulcanizing (dynamic vulcanizing) of the rubber component. Also, automotive parts are being developed and are going to be produced with the RR-TPE manufactured by this technology.

This paper outlines the developed production process for the RR-TPE, reports on the technical points of processing, and provides material properties and part performance results.

## 2. DEVELOPMENT OF AUTOMOTIVE PART WITH ENHANCED RECYCLING TECHNOLOGY

### DEVELOPMENT OF ENHANCED RECYCLING TECHNOLOGY

Rubber material to apply for development of the recycling technology

In the primary technology for rubber reclamation described previously, sulfur crosslinked EPDM was chosen for development. EPDM occupies more than 50% of rubber components that are used in vehicles except tires. Also in the development of this technology, on the extension of the basic technology, it was decided to apply EPDM rubber. It is one of the reasons that TPO is generally made of EPDM and PP. The EPDM waste was collected from in-process scrap weatherstrip generated in a manufacturing plant.

Principle and processing system for RR-TPE

The RR-TPE is produced with the “Shear Flow Reactor” based on a twin screw extruder. A schematic diagram is shown in Fig.1. This processing system consists of pulverizing zone, devulcanizing zone, blending zone, and dynamic vulcanizing zone, designed in appropriate screw configuration and position of side-feeders.

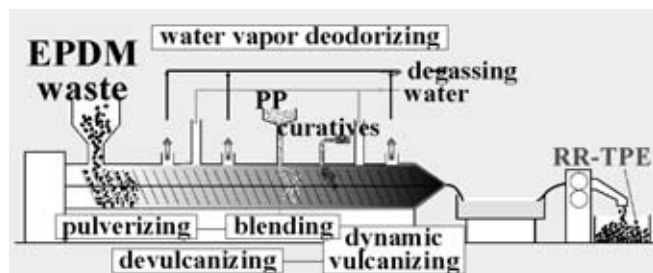


Fig.1 Outline of the processing system for RR-TPE based on waste EPDM

**Pulverizing zone**

In this zone, roughly crushed rubber fed from a hopper is pulverized into fine particles, and heated to devulcanizing reaction temperature quickly.

**Devulcanizing zone**

In this zone, due to addition of high shearing distortion and heat to the pulverized rubber, crosslinking bonds of the rubber are broken selectively and the sulfur crosslinked EPDM is

devulcanized.

The bond energies of the crosslinking bonds (S-S: 237kJ/mol, C-S: 269kJ/mol) are lower than that of the main chain (C-C: 354kJ/mol) in sulfur crosslinked EPDM. On the other hand, the elastic constant (approximately estimated on the basis of the values for crystals) for the S-S bonds can be evaluated to be about one thirtieth in comparison with that for the C-C bonds. High shearing distortion is added to the sulfur crosslinked EPDM in the extruder, and the energy induced by the distortion is concentrated to the crosslinking bonds whose elastic constants are lower. Consequently, only crosslinking bonds are highly elongated. By addition of heat to EPDM in this condition, crosslinking bonds are broken selectively (Fig.2). These are the primary procedures for rubber reclamation<sup>5-8</sup>.

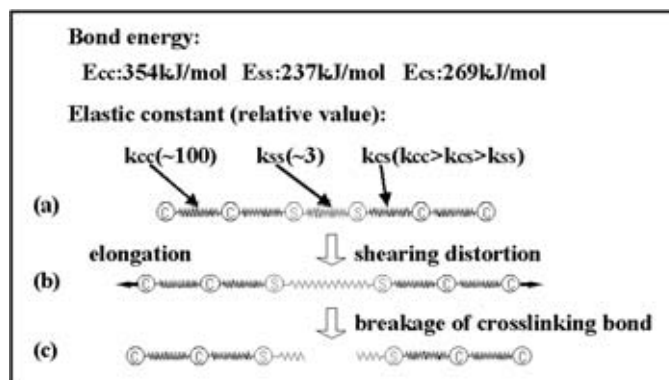


Fig.2 Breakage of the crosslinking bonds in high shear flow

- (a) Model for the network chain
- (b) Deformation of the network chain (particularly, S-S bonds) by shearing
- (c) Breakage of crosslinking bonds

**Blending zone**

In this zone, to convert devulcanized rubber into thermoplastic elastomer, blending the devulcanized rubber with thermoplastic resin (PP) and mixing are carried out. The PP is fed from side-feeder at a rate to attain 20wt% for the RR-TPE.

### Dynamic vulcanizing zone

In this zone, to assure its “rubbery” properties, the devulcanized rubber component is dynamically vulcanized by metering in curatives. Since the viscosity of rubber component becomes much higher than PP due to the dynamic vulcanization, the rubber component forms in a dispersed phase. Finally the targeted phase structure corresponding to the morphology of continuous PP matrix and dispersed EPDM domain can be attained.

In addition, a deodorizing treatment<sup>8</sup> is carried out within the reactor. During devulcanization of sulfur crosslinked EPDM, odor components are generated. In this deodorizing process a small amount of water is injected into the extruder, then the odor components are dissolved in vapor and removed from the compound by degassing with vapor.

After these processes in each zone in the extruder, the RR-TPE is extruded in the form of strands from the extruding head, cooled in the water bath, and pelletized continuously. The total time required for these processes is about seven minutes.

### Technical points

In order to obtain desirable RR-TPE continuously in a short time, there are some important parameters that need to be controlled. Those are shear stress and pressure in the extruder, reaction temperature of devulcanization and dynamic vulcanization, dwell time of material, and compound design. Factors that should be adjusted in practical process to control above parameters are corresponding to screw configuration, screw rotation speed, cylinder temperature, feed rate of material, and compounding ingredient and recipe. Particularly the screw configuration is the most important factor in the ability to produce RR-TPE continuously. Similarly to the primary technology, segment type screws are used for this technology, and the screw shape can be designed at the request of the application.

In order to pulverize, devulcanize, blend with PP, dynamically vulcanize, and construct morphology in each zone continuously, the screw shape and the position of side-feeders to feed PP and curatives were designed appropriately and suitable conditions (temperature, screw rotation speed, etc.) to obtain desirable RR-TPE were decided.

### Properties of the RR-TPE based on waste EPDM rubber

The RR-TPE obtained in this technology can be extrusion molded or injection molded similarly to commercial TPO. Properties of the RR-TPE depend on degree of devulcanization of the EPDM, degree of cure of the devulcanized rubber component in the RR-TPE, and its phase structure. Fig.3 shows the relationship between compression set or extruded surface roughness of the RR-TPE samples and the added amount of curatives during dynamic vulcanization process. Compression set is one of the tests to evaluate rubber-like elasticity. Sulfur is preferable to organic peroxide as vulcanizing agent, because sulfur has comparative higher reactivity with the devulcanized EPDM than organic peroxide. Compression set becomes lower with the increase in the added amount of sulfur. Accordingly rubbery elasticity of the RR-TPE depends on the degree of cure of the EPDM component. On the contrary, extruded surface roughness of the RR-TPE becomes rougher with the increase in the added amount of sulfur. It is thought that the surface roughness might depend on the phase structure. In case the degree of cure of the EPDM is low, the EPDM phase may form the matrix phase. As the degree of cure of the EPDM is increased and the viscosity of the EPDM phase becomes higher, phase inversion between EPDM and PP might occur and the PP might form the matrix phase. As the degree of cure of the EPDM is increased, the domain formation might be disturbed by higher viscosity of the EPDM.

The extruded surface roughness of the RR-

TPE after dynamic vulcanization became smoother with the decrease in Mooney viscosity of the devulcanized EPDM before blending with PP as shown in Fig.4. In other words, the degree of devulcanization of the EPDM may influence the phase formation of the RR-TPE. In case Mooney viscosity of the EPDM is too high, i.e., there are large amounts of crosslinking in the devulcanized EPDM, the phase inversion might not occur completely. In addition, the shear stress and pressure in blending and dynamic vulcanizing zone contributes to the phase formation, consequently to the extruded surface roughness as shown in Fig.5. In Fig.5, the shear pressure in dynamic vulcanizing zone could be changed by different screw configurations. By mixing with higher shear pressure in dynamic vulcanizing zone, surface roughness becomes smoother; the re-vulcanized EPDM phase may be finely dispersed.

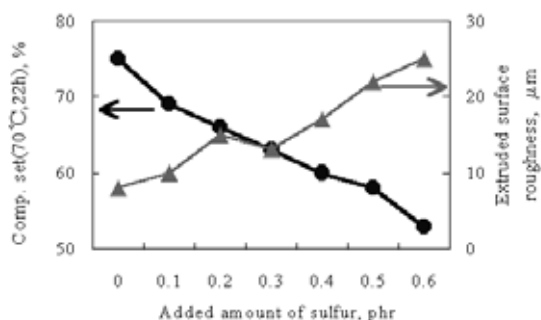


Fig.3 Relationship between compression set or extruded surface roughness of RR-TPE samples and added amount of sulfur

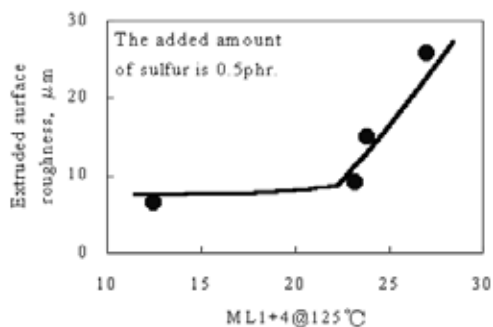


Fig.4 Relationship between extruded surface roughness of RR-TPE and Mooney Viscosity of devulcanized EPDM

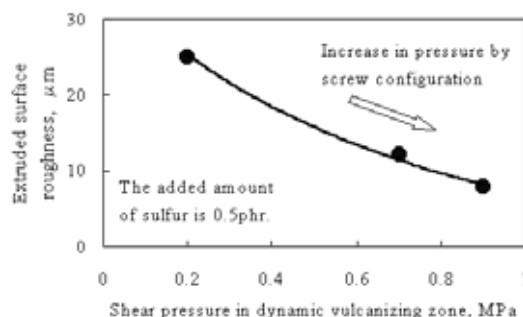


Fig.5 Influence of shear pressure in dynamic vulcanizing zone on extruded surface roughness

Fig.6 shows transmission electron microscope (TEM) images of the RR-TPE obtained by this technology in comparison with that of the commercial TPO (TPV) applied for weatherstrip part of automobile. In the RR-TPE obtained under optimized conditions, EPDM phase was dispersed with a size of 1-micrometer order in the continuous PP phase. On the contrary under inappropriate conditions, EPDM formed a continuous phase. It is shown that the appropriate controls of the devulcanization and dynamic vulcanization reaction for EPDM and of the mixing conditions in the blending and dynamic vulcanizing zone are important to form the suitable morphology for the RR-TPE. As shown in Table 1, the RR-TPE obtained under optimized condition exhibits rubber-like mechanical properties comparable to the commercial TPO described above. It is thought that suitable control of the phase structure contributes to the production of the RR-TPE showing good properties.

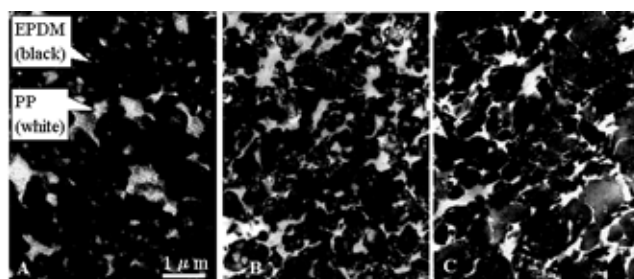


Fig.6 TEM images of RR-TPE's(A, B) and commercial TPO(C)

- A: RR-TPE obtained under inappropriate conditions
- B: RR-TPE obtained under optimized conditions (EPDM/PP=80/20wt%)
- C: Commercial TPO



Table 1. Mechanical properties of RR-TPE in comparison with commercial TPO

Property	unit	RR-TPE	Commercial
Specific gravity		1.10	0.90
Hardness (IRHD)		80	76
Tensile strength	MPa	6.7	6.9
Modulus at 100%	MPa	3.9	4.3
Elongation at break	%	380	440
Tear strength	N/cm	430	420
Compression set 70°C*22h,25%comp.	%	53	50

## DEVELOPMENT OF AUTOMOTIVE PARTS WITH RR-TPE

To study the development of automotive parts, parts were selected which do not require higher function or excellent quality appearance. The produced amount of the RR-TPE, the material characteristics, and the processability of parts are used to determine the process condition and ratio of the RR-TPE.

### Weatherstrip door glass run (channel portion)

Fig.7 shows the cross-section of weatherstrip door glass run. The roles of door glass run are to seal door glass against wind or rain and to guide the ups and downs of door glass. The compression set performance is required of the lip portion in order to seal glass. On the other hand, the function of the channel portion is to fix itself on window sash therefore higher compression set performance is not as critical as compared with the lip portion. Therefore, the application of the RR-TPE was investigated for the channel portion. In this case, possibilities were confirmed that the RR-TPE could be substituted for virgin TPO and that the part's performance is similar to the part using virgin TPO. However, in consideration of the performance of glass run and the produced amount of the RR-TPE, the application of the RR-TPE in the way of blending with the current TPO is being investigated.

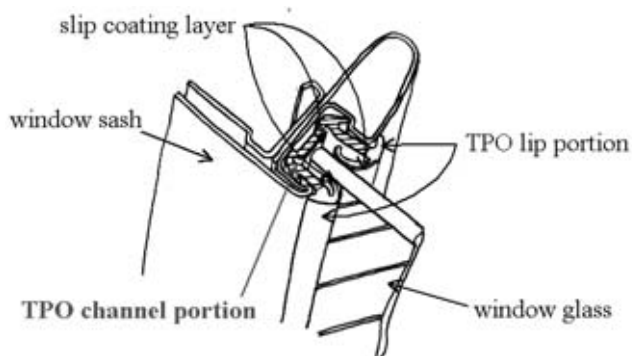


Fig.7 Schematic cross section of weatherstrip door glass run

### Others

Other applications of the RR-TPE to replace virgin TPO parts will be investigated in the near future (Fig.8). The properties such as compression set, hardness, extruded surface roughness, etc. are important in most cases, so that the compounding recipes of the RR-TPE and added ratios to virgin TPO must be examined.

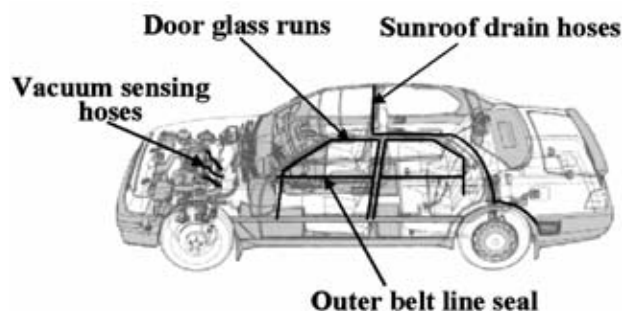


Fig.8 Applications of the RR-TPE to automotive parts

## 3. CONCLUSION

A new rubber recycling technology to produce a thermoplastic elastomer based on sulfur crosslinked EPDM waste was developed using a shear flow stage reactor. Automotive parts are being developed and are going to be produced with the RR-TPE by this new technology.

1. It is possible to produce TPE based on sulfur crosslinked EPDM waste by continuous devulcanizing, blending with PP, and dynamic vulcanizing processes in a short time.

2. The RR-TPE obtained under optimized conditions exhibits good material properties comparable to those of the commercial TPO. These properties are due to a suitably formed phase structure (i.e., re-vulcanized EPDM domains dispersed in PP matrix).
3. The RR-TPE can be applied to automotive parts similarly to virgin TPO, and part performance requirements are achieved.
4. This recycling technology is very useful in point of converting waste rubber with a limited range of uses into general-purpose materials such as thermoplastic elastomer or rubber toughened plastics. Little profit can be made on this technology in the present situation, but this technology can contribute to both protecting environment and saving resources toward zero emission society forecasted in the near future.

Areas for future improvement of the RR-TPE based on sulfur crosslinked EPDM are the following.

1. Further improvement of mechanical properties. (Aim at high flow characteristics, lower hardness, lower compression set, and so on)
2. Further improvement of surface appearance and application to design surfaces. (Solution of surface spots caused by roughly dispersion of EPDM and PP or material degradation)

Further expansion of applications to investigate use of this recycling technology includes the following.

1. Production of RR-TPE or rubber toughened thermoplastics from various types of vulcanized rubbers has been confirmed experimentally other than EPDM including sulfur crosslinked natural rubber (NR), styrene-butadiene rubber (SBR), and acrylonitrile-butadiene rubber (NBR). Modification of the RR-TPE 's for applying to products should be investigated.

2. Application to waste thermoplastics: sprue or runner waste can be blended with rubber to produce RR-TPE's.
3. Application to materials removed from end-of life vehicles (ELV).

#### 4. ACKNOWLEDGMENTS

This work was partly carried out by joint research and development with Toyota Central Research and Development Labs. Inc., Toyota Motor Corp., and International Center for Environmental Technology Transfer in 1999-2001, commissioned by the Ministry of Economy, Trade and Industry of Japan.

#### 5. REFERENCE

1. Tire Industry of Japan, JATMA, 1999.
2. S. Yamashita: Gomu-ko Narabini Saisei-Gomu (in Japanese), Journal of the Society of Rubber Industry, Japan, **54**(No.6), 357 (1981).
3. A. I. Isayev et al: Novel Ultrasonic Technology for Devulcanization of Waste Rubber, Rubber Chemical Technol., **68**(No.2), 267 (1995).
4. M. Loeffler et al: Microbial Surface Desulfurization Scrap Rubber Crumb – A Contribution Towards Material Recycling of Scrap Rubber, Kautsch Gummi Kunstst, **48**(No.6), 454 (1995).
5. K. Fukumori et al: Gummi Fasern Kunststoffe, **54**, 48(2001).
6. M. Mouri et al: New Continuous Recycling Technology for Vulcanized Rubbers, The 155<sup>th</sup> Meeting of the Rubber Division American Chemical Society, No.84 (1999).
7. S. Otsuka et al: SAE Paper No.2000-01-0015, 2000.
8. K. Fukumori et al: JSAE Review, **23**, 259 (2002).

報 告

無反射ダクトの吸気騒音予測手法の開発

猿渡智之<sup>\*1</sup>, 小笠原豊<sup>\*2</sup>, 木野等<sup>\*3</sup>

Development of Prediction Method for Intake Noise Level of Un-reflective Duct

Tomoyuki Sawatari<sup>\*1</sup>, Yutaka Ogasawara<sup>\*2</sup>, Hitoshi Kino<sup>\*3</sup>

要 旨

吸気騒音を低減する消音デバイスのひとつとして、エアダクト内の共鳴を抑制するために、多孔質材をエアダクト壁面に配設する無反射ダクトがある。

無反射ダクトの吸気騒音レベルを予測するためには、吸気口音と多孔質部からの透過音を予測する必要がある。今回、吸気口音と多孔質部からの透過音を予測する手法を開発したので、その手法と適用事例を報告する。

Abstract

The Un-reflective duct is one of the devices to reduce the air intake noise, which has porous materials on the wall of air duct to reduce air resonance in the air intake duct. It's necessary to estimate the sound level of duct opening and outside the porous part in order to predict the intake noise level of un-reflective duct. In this report we describe the method to estimate sound level of duct opening and outside of the porous part.

\*1 開発部開発室

\*2 機能部品技術部PV部品技術室

\*3 機能部品技術部PV部品技術室

## 1. はじめに

近年の車両開発期間の短縮，開発効率の向上のため，開発の初期段階からCAEが活用されるようになってきた．吸気系システムへの適用として，共鳴型の消音器を有する吸気系システムの適用が武井ら<sup>(1)</sup>により報告されている．今回，エアダクト内の共鳴を抑制する無反射ダクトを有する吸気系システムの吸気騒音予測手法を開発した．また，本手法を直列4気筒エンジンの吸気系システムに適用した例について報告する．

## 2. 無反射ダクトとは<sup>(2)(3)</sup>

エアダクト内部にはダクトの長さに応じた気柱共鳴が発生し，吸気口から騒音として放射される．従来は共鳴型レゾネータ，拡張室などを配設し，騒音を低減してきた．それに対し，無反射ダクト(図1)はダクト壁面の一部に多孔質素材を配設し，ダクト内の圧力脈動を減衰・透過することで，気柱共鳴の発生を抑制する．吸気系システムに適用することにより，レゾネータを廃止し，システム

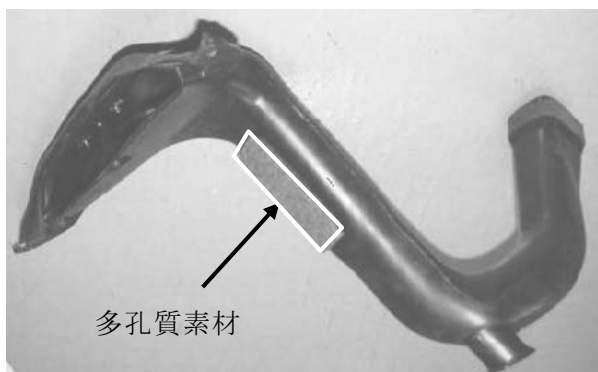


図1. 無反射ダクト

の軽量・簡素化を可能とした．

無反射ダクトは多孔質部からの音の透過によって，気柱共鳴を抑制することで吸気口音を低減する効果が生じる．透過音は増加するが気柱共鳴抑制効果による消音効果が大きく，トータルとして吸気騒音を抑制する．吸気騒音をより効果的に低減するためには，多孔質素材の配設位置や寸法などで吸気口音と透過音を適切に設定する必要がある．

## 3. 無反射ダクトを適用した吸気系システムのモデル化

### 3-1 予測対象

共鳴型消音器が配設された吸気系システムでは吸気口音のみ予測すればよいが，無反射ダクトが適用される場合には吸気口音の予測に加え，多孔質部からの透過音の予測も必要となる．

予測対象

- ・共鳴型消音器： 1)吸気口音
- ・無反射ダクト： 1)吸気口音  
2)多孔質部透過音

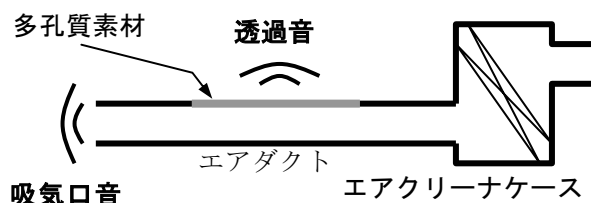


図2. 予測対象

### 3-2 無反射ダクトのモデル化

吸気系システムのモデル化は，吸気バルブから吸気口までを対象とする．多孔質部以外は空気に接する面の形状をそのままモデル化する．

多孔質部のモデル化において，本手法では多孔質素材内部での減衰・透過のメカニズムをモデル化することはせず，内外壁面の音圧・粒子速度入出力関係のみに着目し，モデル化を行う．

多孔質素材で音が減衰・透過するという現象をモデル化するため，モデルの壁面から音が透過するよう多孔質部の内外壁面の音圧，粒子速度の関係(以降では透過特性と表記)を設定する．

内壁，外壁間の音圧・粒子速度の関係式を以下に示す．

$$\begin{bmatrix} P_{out} \\ V_{out} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} \\ t_{21} & t_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{in} \\ V_{in} \end{bmatrix}$$

外壁面 透過特性 内壁面

$P_{in}$  : 内壁面側音圧

$V_{in}$  : 内壁面側粒子速度

$P_{out}$  : 外壁面側音圧

$V_{out}$  : 外壁面側粒子速度

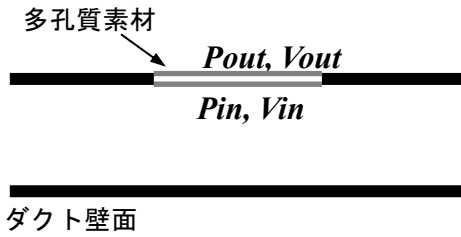


図3. 多孔質素材内外面の音圧・粒子速度の関係

無反射ダクトの吸気騒音の予測には、透過特性を設定する必要がある。t11からt22までの4つの伝達パラメータを周波数ごとに設定する。

### 3-3. 透過特性の設定

透過特性は垂直入射における実測値を元に決定している。図4のような計測装置において管内の音圧を計測し、管内を平面波状態と仮定し、透過特性を算出している(4)(5)。

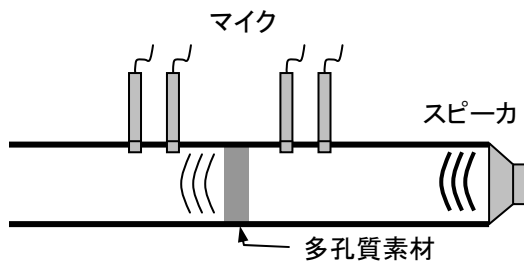


図4. 透過特性計測装置

決定した透過特性の妥当性検証を、図5のようなダクトの一方の端面にスピーカーを設置し、もう一方の端面に多孔質材を設置した垂直入射特性検証モデルにおいて実施した。

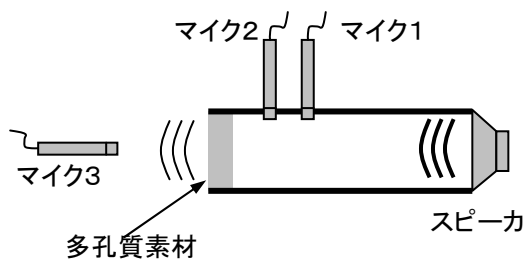


図5. 実験装置

ダクト内部のマイク1,2間の伝達特性、マイク1と多孔質材からの透過音を計測するマイク3間の伝達特性の予測値と実測値の比較を図6,7に示す。ゲイン、位相共によく一致している。

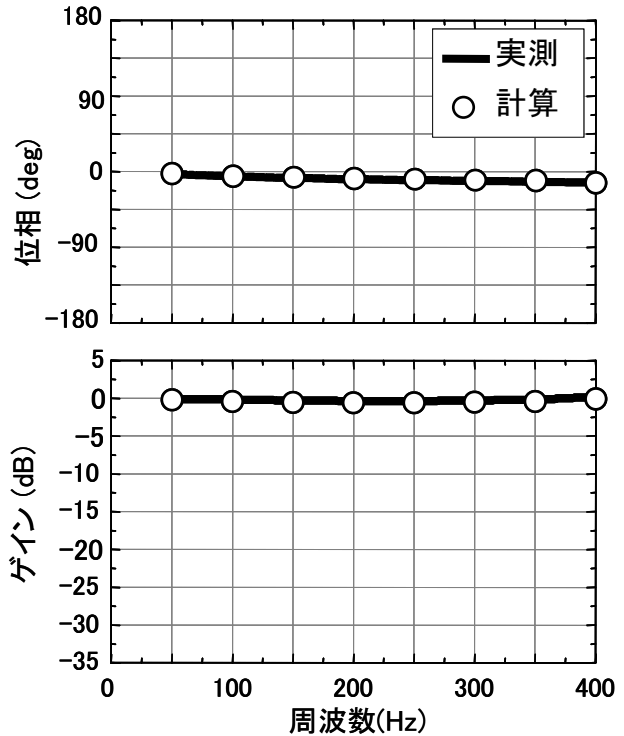


図6. マイク1から2への伝達特性

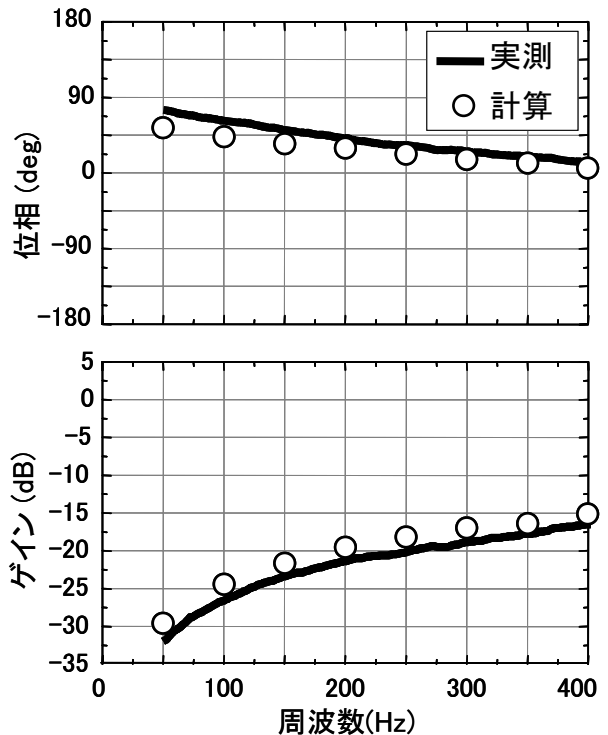


図7. マイク1から3への伝達特性

## 4. 音響加振による検証

吸気騒音の周波数帯域においてダクト内部ではダクト長手方向の圧力変動が主に生じていると考えられる。透過特性は垂直入射における特性を使

用しているが、実際の吸気系システムにおいて多孔質素材はダクト壁面に配設されており、音の入射方向は圧力変動方向に対し平行に近く垂直入射ではないと考えられる。そこで、垂直入射によって求めた透過特性が吸気騒音の予測に使用可能か否かの検証を行った。検証はダクト壁面に多孔質素材を取り付けた吸気系システム（エアクリーナホースからエアダクトまで）をスピーカー加振装置に取り付けて行った。検証に使用した試験装置を図8に示す。

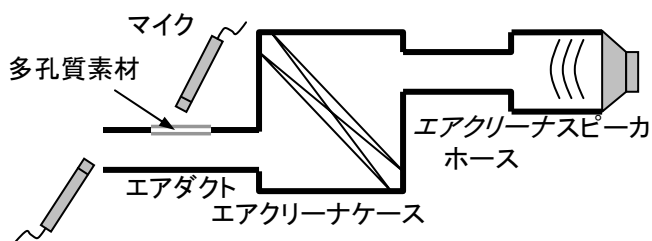


図8. 試験モデル

検証は吸気口音と透過音の音圧レベルの予測値と実測値との比較にて実施した。なお、音圧レベルの予測に際し、スピーカー位置での加振力には無反射ダクトが配設されていない吸気系システムを取り付けて同定したものを使用し、吸気系は剛体とし構造系との連成は考慮していない。吸気口音と透過音の予測、計測結果を図9, 10に示す。結果からわかるように吸気口音、透過音共によく一致している。以上のことから吸気系システムでの多孔質部の透過特性に垂直入射にて計測した透過特性が使用可能なことが確認できた。

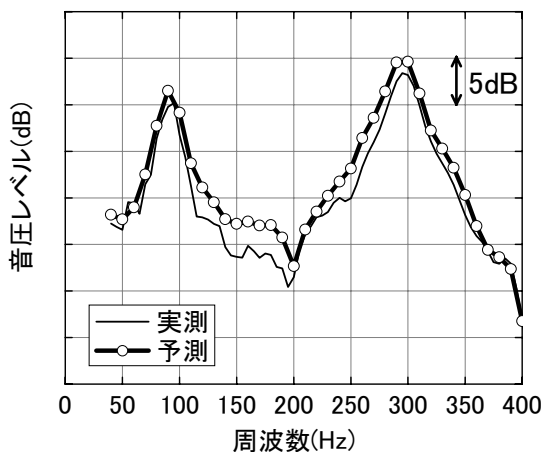


図9. 吸気口音の比較

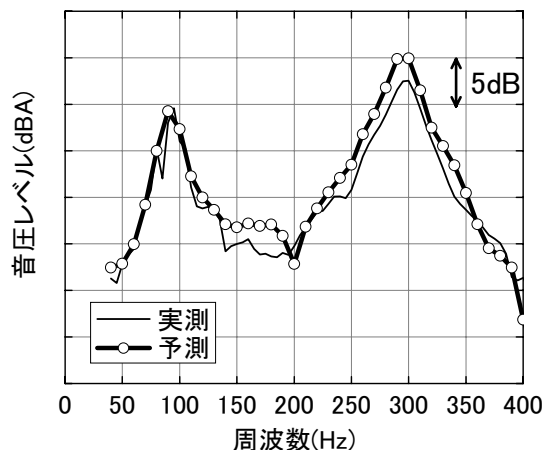


図10. 多孔質部透過音の比較

### 5. エンジン実機による検証

最後に直列4気筒エンジンの吸気系システムを用いて実機レベルの予測を行った。図11に解析で使用したモデルを示す。吸気バルブから吸気口までをモデル化しており、エアダクトが無反射ダクト仕様であるため、壁面の一部に多孔質部を設定した。

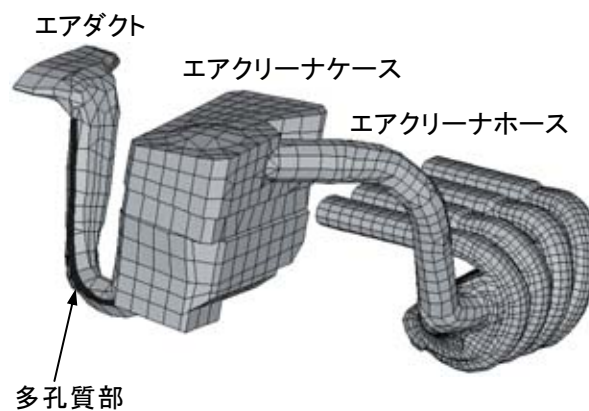


図11. 解析モデル

エンジン実機にて測定した吸気口音と多孔質部からの透過音とその予測結果を図12, 13に示す。騒音レベルの予測に際し、吸気バルブ位置での加振力（粒子速度）には、無反射ダクトが配設されていない吸気系システムにて同定したものを使用した。



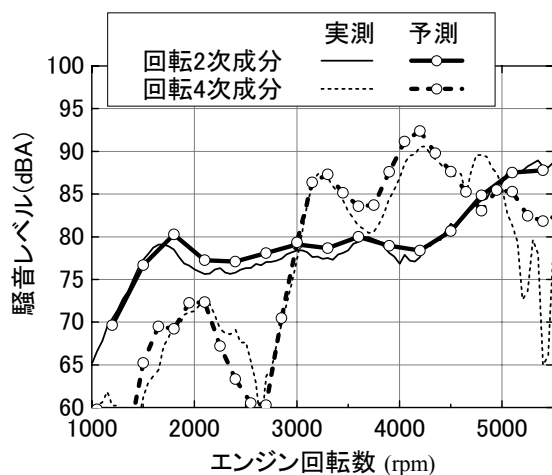


図12. 吸気口騒音レベル比較

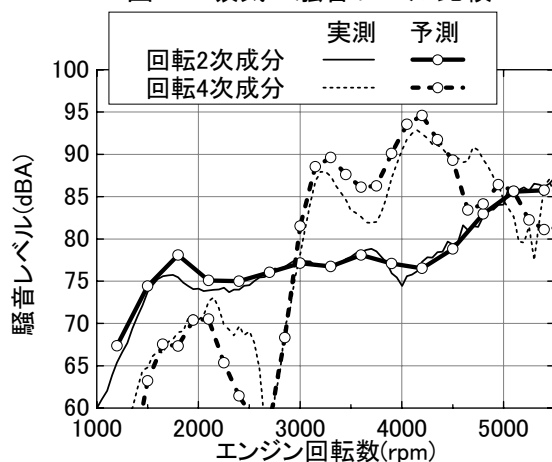


図13. 多孔質部透過音比較

回転2次成分，4次成分において吸気口音，透過音共に実測値とよく一致している．エンジン実機レベルでの予測ができ，本手法の有効性が確認できた．

## 6. まとめ

- 1) 無反射ダクトの多孔質部を透過素材として設定し，その特性を実測により求めることで，吸気口音と多孔質部からの透過音の予測が可能な手法を開発した．
- 2) その手法をエンジン実機に適用し，本手法が適用可能なことを確認した．

本技術開発を行うにあたり，適切にご指導を頂いたトヨタ自動車株式会社の武井雅行殿に深く感謝の意を表します．

## 参考文献

- (1)武井ほか，"三次元モデルによる吸気音予測手法の開発"，自動車技術会，学術講演会前刷集，No.85-00 p.19-24 (2000)
- (2)広瀬ほか，"無反射ダクトによる低騒音吸気系の開発(第2報)"，自動車技術会，学術講演会前刷集，No.10-00 p.5-8 (2000)
- (3)Y.Hirose,et.al，"Acoustic Analysis of Unreflective (non-resonant) Duct"，Society of Automotive Engineering，2002-01-0857，p.1-6
- (4)城戸健一，1次元の音波，音響工学，東京，コロナ社，1982，p.8-18
- (5)BK機器事業部，2マイクロホンインピーダンス測定管-4206型 Product Data，大阪，松質機器株式会社，p.2

# 新技術紹介

## ステアリングホイール芯金の反共振周波数予測

### Prediction of Antiresonance Frequency for Steering Wheel Armature

青木 雅司 \*1, 志賀 一三 \*2

#### 1. はじめに

自動車の走行時あるいはアイドリング時にステアリングホイールが振動する場合がある。NVH品質を向上させるためには、この振動を起こす強制力を低減すると共にステアリング系の共振周波数を高めることが有効である。ここでは、振動特性の推定を容易にするため、ステアリング系をステアリングコラムとステアリングホイールに分割して予測できるメカニカルインピーダンス法<sup>(1)</sup>を用いた。本報ではステアリングホイールの設計時に、共振周波数に影響する芯金の反共振周波数を有限要素解析により、精度良く予測する手法を具現化したので報告する。

#### 2. メカニカルインピーダンス法

ステアリング系は、図-1に示すようにステアリングコラムとステアリングホイールに分割できる。

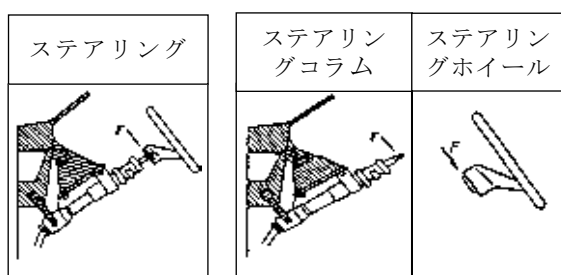


図-1. ステアリング系の分割

図-1の分割において、それぞれのイナータンス（単位強制力により発生する加速度）の間は次の関係になる。

$$\frac{1}{I_0} = \frac{1}{I_1} + \frac{1}{I_2} \rightarrow I_0 = \frac{I_1 I_2}{I_1 + I_2}$$

ここで、 $I_0$ 、 $I_1$ 、 $I_2$ はそれぞれステアリング系、

ステアリングホイール、ステアリングコラムのイナータンスを示す。上式において、 $I_1$ と $I_2$ が同じ大ききで位相が逆の時、すなわち、図-2の交点において、 $I_0$ は無限大となり、周波数 $f_0$ で共振が発生する。メカニカルインピーダンス法とは、このように系を個々のイナータンスに分解し、共振周波数を求める手法である。

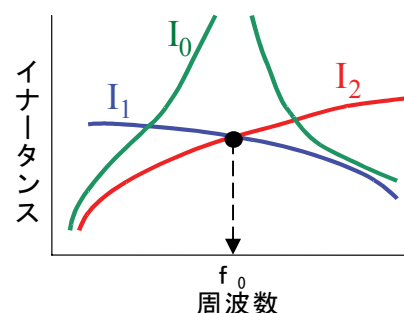


図-2. イナータンス曲線と共振周波数

ステアリングホイールに改善を行い、ステアリング系の共振周波数を高めるには、図-3に示すように、ステアリングホイールのイナータンス曲線の谷である反共振周波数を高めることにより、交点である共振周波数を高めればよい。ステアリングホイールの設計段階において、このイナータンス曲線の谷である反共振周波数の予測が重要となる。

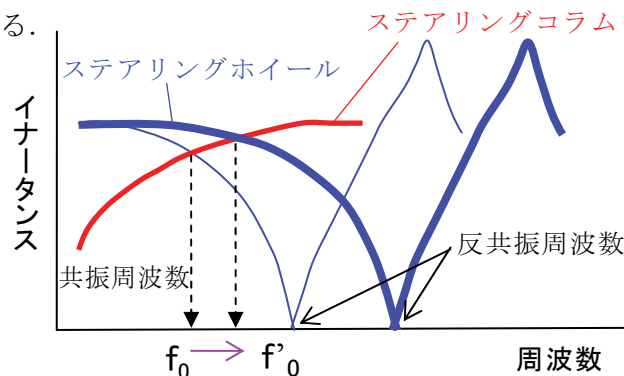


図-3. 共振周波数を高める方法

\*1 Masashi Aoki 技術企画部 技術電算室

\*2 Ichizo Shiga セーフティシステム第1技術部 セーフティシステム実験室

### 3. 反共振周波数の測定方法

ステアリングホイール芯金のイナータンス曲線から反共振周波数を測定するには、ボス部が直線運動のみを行うように加振する必要がある。よって、ボス部にスライドシャフトを取り付け、ベアリングで軸方向以外を拘束した状態でシャフト軸方向に加振力を加え、加振方向の加速度を測定することによりイナータンス曲線を得た。その測定方法を図-4に示す。

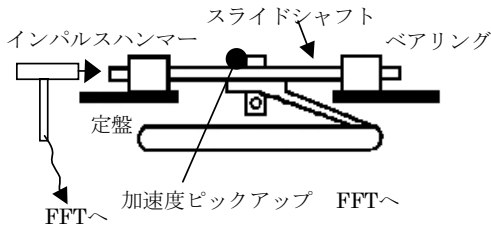


図-4. 反共振周波数の測定方法

### 4. 有限要素解析の手法

有限要素解析によりイナータンス曲線を求め、反共振周波数を予測する手法を具現化した。

解析のモデル化において、反共振周波数測定方法を参考にして、次の点を忠実に反映した。

- 1) スライドシャフトとその拘束条件
- 2) 加振位置
- 3) 加速度検出位置

その有限要素解析モデルを図-5に示す。

解析モデルでは、1/2対称モデルとし、3次元ソリッド要素で分割し、スライドシャフトは軸方向以外を拘束した。また、材料は弾性材料としてモデル化した。

イナータンス曲線を得るために、構造解析ソフトABAQUSの周波数応答解析機能を使用した。

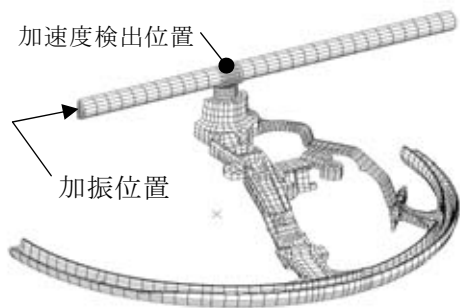


図-5. 解析モデル

### 5. 検証

反共振周波数の測定結果を図-6、有限要素解析の結果を図-7に示す。

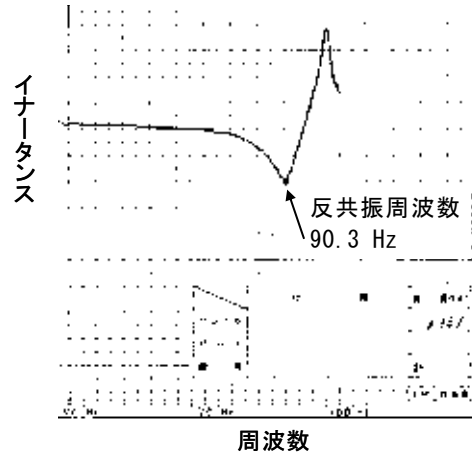


図-6. 反共振周波数測定結果

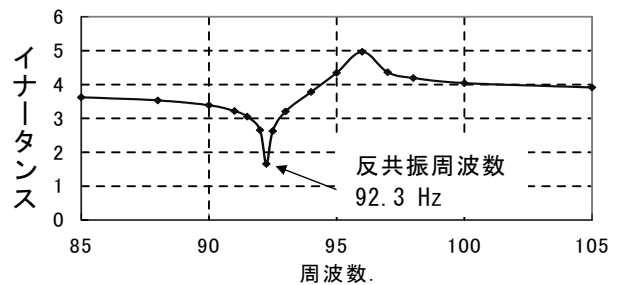


図-7. 有限要素解析結果

この解析手法を3種類の車両の芯金に適用して、反共振周波数の実測と解析の比較を行った結果を図-8に示す。3種類とも良い一致が見られる。

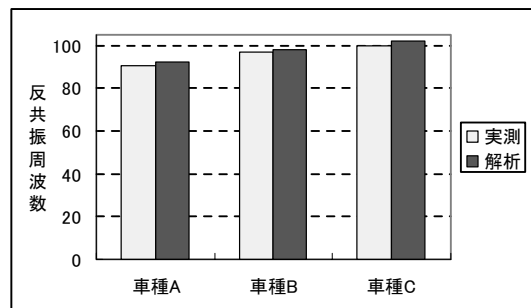


図-8. 反共振周波数 実測と解析の比較

### 6. まとめ

- 1) ステアリングホイール芯金の反共振周波数を有限要素解析により予測する手法を具現化した。
- 2) この予測手法を異なる車種の芯金に適用し、有効性を検証した。

### 参考文献

- 1) 杉田, 浅井, 自動車技術, 41(13), 1514(1987)

# ≡≡≡ 新製品紹介 ≡≡≡

## メカ式ドア開閉コンソールボックス

### Mechanical structure of a console box that is opened and closed by pushing a button without electric power

山内明\*1, 市川英仁\*2

#### 1. はじめに

近年のSUVやミニバンの内装製品において、ユーティリティ向上のニーズが高まっている。その中でもセンターコンソールにおいては利便性向上、操作性向上という魅力が求められており、それに対応すべく、各メーカーでは、新構造のコンソールの開発が進められている。

今回はトヨタハリヤーで採用されたコンソールの概要について紹介する。

#### 2. 製品の概要

SUVやミニバンのセンターコンソールはスペースユーティリティを考慮して観音ドア付コンソールが採用される傾向がある。従来の観音ドアは手動開閉(図-1)が一般的である。今回、開発したコンソールに設定の観音ドアは、開閉ボタンの操作により、メカ構造のリンクが作動して、自動でドアが開閉する構造(図-2)となっている。

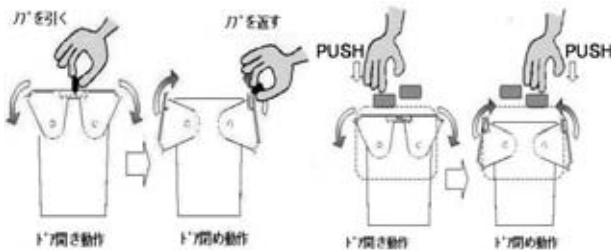


図-1. 従来品

図-2. 開発品

製品全体では、前部にはカップホルダがあり、意匠面には、木目ガーニッシュを使用する。後半分に観音ドア付の収納ボックスとレジスタを配置する(写真1)



写真1 製品概要

#### 3. 製品の特徴

##### 3-1. 基本構造

ボタン操作による観音ドアのメカ式自動開閉の構造については(図-3)に示す部品にて構成されている。

開ボタンを押しすることにより、アームがターンオーバースプリングの作用点を動かし、駆動ギヤにトルクを発生させる。そのトルクがドア側ギヤに伝達して、ドアを開く。ドアを閉じる場合も同様に、閉ボタンを押しすることにより、アームがターンオーバースプリングの作用点を動かし、駆動ギヤに回転トルクを発生させドア側ギヤに閉方向のトルクが伝わり、ドアを閉じる。

\*1 Akira Yamauchi 内外装システム技術部 モジュール設計室

\*2 Hidehito Ichikawa 内外装システム技術部 モジュール設計室

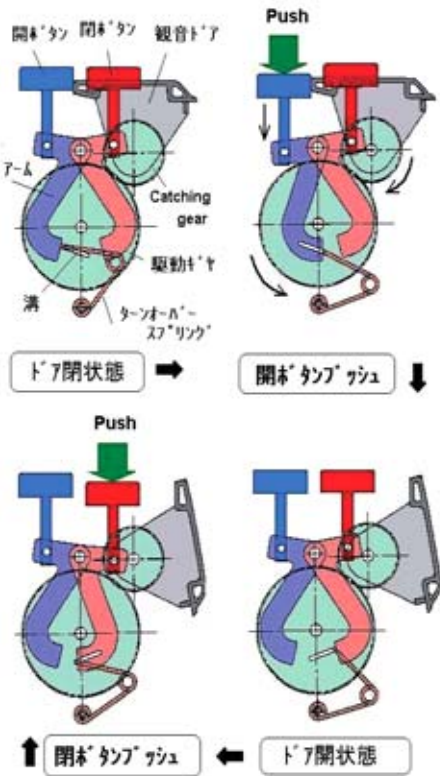


図-3. 基本構造

### 3-2. 工夫のポイント

#### 3-2-1. ボタン操作とドア作動の時間差

ボタン押し操作後に観音ドアがゆっくりと一定に作動するために、まず、ボタン押し操作によって、ターンオーバースプリングが駆動ギヤ内の溝をすべる。移動後にターンオーバースプリングがギヤを回転させ観音ドアが動き始めるため、時間差を発生する。回転速度は、オイルダンパ (写真2) の設定により、一定に調整される。



写真2 駆動品設定部位

#### 3-2-2. ドア開閉速度同一化

ドア開閉速度は、ドアの自重、ダンパー、スプリングトルクが影響する。今回の開スピードは、閉スピードよりもドア自重の影響で速くなるため、ドア自重を考慮することにより、開閉スピードを均一にできる。そこで、自重と反対方向に釣り合う様にコイルスプリングを設置 (図-4) し、ドア自重の影響を併殺することにより、開と閉のスピード同速度化を達成した。

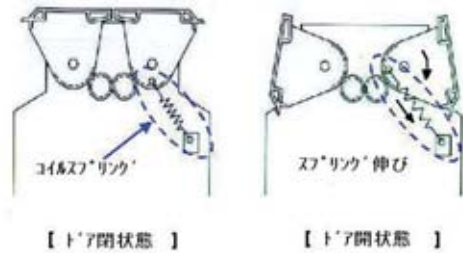


図-4. ドア自重の調整

#### 3-2-3. ボタン操作荷重の低減

ターンオーバースプリングの低トルク化、オイルダンパの低トルク品設定、駆動伝達部の摩擦抵抗の低減により、押し荷重を効率良くドア動作に伝達できるようになり、ボタン操作荷重を約20Nまで抑えた。

#### 3-3. 信頼性の確保

通常評価+αの限界評価も実施し、強度評価、耐久評価、温度依存性評価、NV評価、を実施し、性能の確保が出来ていることを確認した。

### 4. おわりに

今回紹介したメカ機構について、今後の内装機構製品への技術展開の可能性が大きく、更なる開発を進めて行きたい。

最後に、この製品開発に際し、御支援、ご指導いただいたトヨタ自動車株式会社の関係各部署の方々に厚く謝意を表します。

# 新製品紹介

## ミリ波レーダシステム対応グリルガーニッシュ

### Garnish Grille Radiator for Millimeter-Wave Radar Sensor Systems

藤井 哲也 \*1, 日向 博実 \*2, 大庭 達也 \*3

#### 1. はじめに

近年、自動車の安全性向上ニーズの高まりと、ITS技術の飛躍的進展にともない、ACC（アダプティブクルーズコントロール）による運転支援やプリクラッシュシステムによる衝突時の乗員ダメージ低減機能を有する新型車が出現してきた。

これらは主に車載レーダを用いて、車両前方の障害物を感知し、距離と速度を演算割り出しにより色々な作動（制動、警告等）を自動的にするシステムである。

車載レーダシステム方式は、光を用いるレーザーレーダと電波を用いるミリ波レーダが主流であるがミリ波レーダはレーザーレーダと比べて、天候の影響（雨、霧等）を受け難く、今後主流となってくると思われる。

#### 2. 製品の概要

ミリ波レーダシステムの場合、前方監視の効率性からセンサー設置位置をグリルラジエータの中央背面としている。そこで今回ご紹介する製品のニーズが生じてきた。

すなわち、電波を攪乱させるような障害物がセンサーの前面にあるとレーダとして作動させることができない為、電波の窓となる特別な部品が必要というわけである。

又、車両フロントの中央部に設置されるので意匠性の要求が高く、深み感やグリル意匠との連続性が求められ、めっき同等の金属光沢部やシルバー塗装調の処理をした高品位な外観に仕上げる必要がある。

#### 3. BMC状況

市販車ではダイムラークライスラー（S、Eシリーズ）、日産（シーマ）、本田（アコード、インスパイヤ）で搭載を確認している。（オプション、一部グレード標準）

いずれもグリルラジエータ中央部に設定されている。



図-1 ベンツ搭載事例

#### 4. 製品の要求性能と設計構成

要求性能は大きく以下の3項目である。

- 1) 電波透過性
- 2) 意匠性（光輝部含む立体感）
- 3) 車載耐久性

電波透過性はミリ波帯の76GHzの電力往復通過減衰量で定義され、通常数dB程度が要求される。

本体樹脂部分は素材の誘電特性に起因する肉厚依存性があり、減衰量極小値に応じた肉厚設計等が必要となる。

意匠性については、特にグリルラジエータ中央のめっきマークや格子模様の立体的連続意匠の現出が要求される。

電波透過性との背反事項として、光輝加飾部の処理がある。通常加飾品ではアルミ、クロム等の

\*1 Fujii Tetsuya 内外装部品技術部 外装技術室

\*2 Hyuga Hiromi 内外装部品技術部 外装技術室

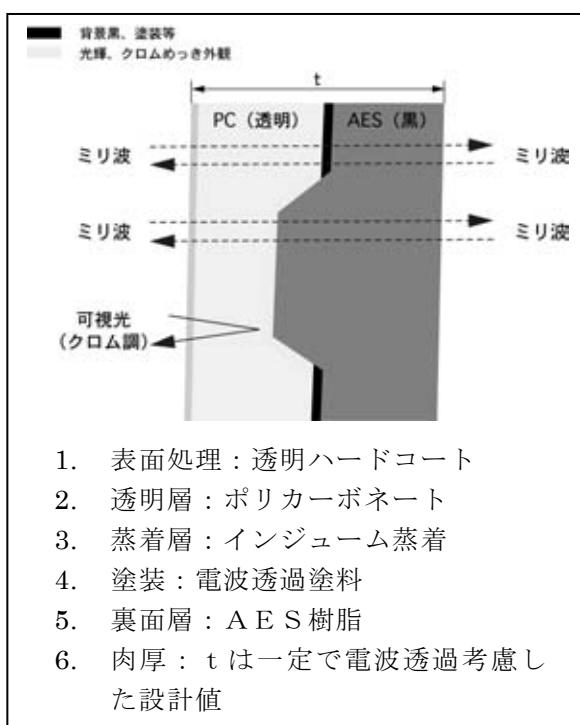
\*3 Oba Tatsuya 内外装部品技術部 外装技術室



めっき、蒸着、スパッタ処理法が採用されるが、これらの処理はいずれも電波透過性が低い為、採用できない。また、シルバー調の表面処理も通常用いられるアルミ粉末充填タイプでは、電波透過性が低いため、採用出来ない。

車載耐久性については、当然の要求であるが、グリルラジエータ要求特性に加えて、耐表面傷付性が要求される。

以上の設計要件を考慮すると以下のような設計構成（概要）となる。



図－２．設計構成概要

## 5. 製品外観

実施例を図－３に示す。

クロムメッキ調のグリルセンターマークとグリル格子意匠をガーニッシュ内に形成している。

図－４にグリルラジエータアッシー状態を示す。

セルシオのように横格子タイプの意匠ではグリルとの連続性が要求され、特に寸法精度や組みつけ精度も考慮した設計、生産技術が必要である。



図－３．製品単品外観



図－４ グリルラジエータアッシー

## 6. おわりに

ここではハリヤー、及びセルシオでの事例を紹介したが、ユーザーオプションとして今後車種拡大していくと考えている。

国内全車にシステム装着された場合、交通事故死者数が年間100名減少するという試算もあり安全性向上に貢献できれば幸いである。

最後に、本製品開発に当たり、ご支援、ご指導頂きました、トヨタ自動車株式会社の関係各部署の方々に謝意を表します。

# 新製品紹介

## ティントメタリック塗装

### Tint Metallic Paint

井土尚泰<sup>\*1</sup>， 度会弘志<sup>\*2</sup>， 萩巣康彦<sup>\*3</sup>

#### 1. はじめに

近年，自動車内外装部品の加飾技術開発として，新規光輝材の開拓とこの塗料化により，これまでにない外観を有する塗料を開発していく流れがある．携帯電話，電化製品の加飾に始まり，ここ数年来継続したブームとなった光輝外観加飾（光輝材として高光輝アルミを適用）から，最近では新しいタイプの干渉パール材を用いたパール調外観の開発へと移行しつつある．今回，干渉パール顔料を用いることにより，ほのかなパール光沢を発現するティントメタリック塗装について紹介する．

#### 2. 製品の概要（塗膜構成）

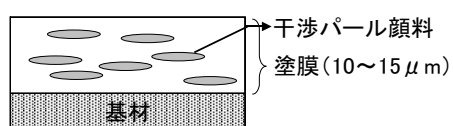


図-1 ティントメタリック塗装塗膜構成

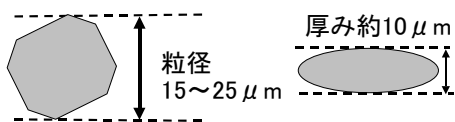


図-2 干渉パール顔料

ティントメタリック塗料は内装部品をターゲットとしたABS，PC/ABS系基材対象の1液ラッカー塗料であり，乾燥膜厚として10～15 $\mu\text{m}$ の設定である。（図-1）光輝材としては後述す

る新規パール顔料を使用した。（粒径：15～25 $\mu\text{m}$ ，厚み：約10 $\mu\text{m}$ ）（図-2）

#### 3. 技術の概要

##### 3-1. 干渉パール顔料

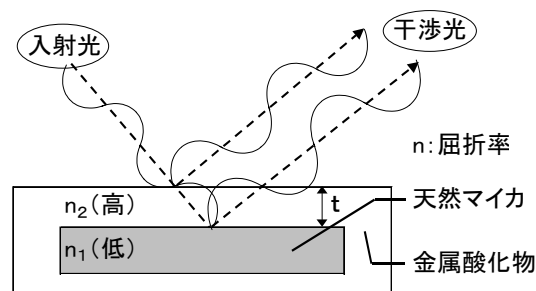


図-3 干渉パール顔料による光の反射

干渉パール顔料は屈折率の異なる2つの透明材料を用い，図-3に示されるように天然マイカ等比較的屈折率の低い物質を，高屈折率物質である金属酸化層等で被覆した無機顔料である。

その結果，ここに入射された光のうち主に金属酸化層表面での反射光と，2つの材料の界面での反射光により干渉光が発現する．今回報告する新規干渉パール顔料では，金属酸化層の厚み $t$ が均一化制御されており，この結果以下に記述するように特定の波長の光のみを強調した干渉光を発現するという特徴をもつ．

・ 光学的厚み $n \times t$ が波長の $1/4$ ，又はその奇数倍の時，上記2つの反射光の位相が同じになり，この波長の光は強調される．

\*1 Takayasu Ido 材料技術部 表面処理開発G

\*2 Hiroshi Watarai 材料技術部 表面処理開発G

\*3 Yasuhiko Ogisu 材料技術部 表面処理開発G

$n \times t$  が波長の  $1/2$ , 又はその偶数倍の時, 2つの反射光の位相は半波長分ずれるため相殺され, 結果としてこの補色が強調される.

また厚み  $t$  を変動させることにより, 表-1 に示す種々の色彩へのバリエーション対応が可能である.

表-1 干渉パール顔料の色彩バリエーション

t	色調	t	色調	t	色調
140nm	シルバー	270nm	レッド	400nm	グリーン
200nm	イエロー	330nm	ブルー		

### 3-2. 塗料への適用

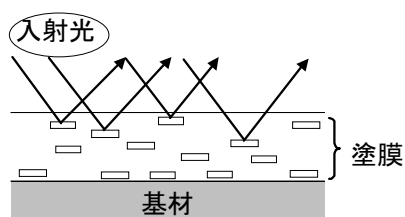


図-4 塗膜中の光輝材配向モデル①

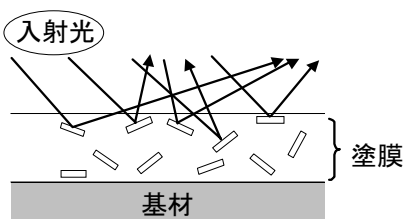


図-5 塗膜中の光輝材配向モデル②

干渉パール顔料を塗膜中, 基材面に対して平行に配列した場合, 顔料各粒子への入射光が一定方向に規則的に反射し, 理想的なパール光沢が得られる. (図-4) 一方配向が不規則である場合, 光の散乱が生じるため十分なパール光沢は得られない. (図-5) そこで今回ベースとなる塗料系として, 内装ABS基材製品に対して金属調塗料としての実績ある塗料を用いた. この塗料は以下1), 2)の特徴をもつ.

- 1) 塗装中の溶剤揮発による塗料樹脂の流動が引き起こす, 光輝材フィラー配向のみだれを防止する機能を有する.
- 2) 塗料中における光輝材の分散性に優れる.

この塗料は上記 1), 2) の効果によって, 塗膜中に扁平顔料を均一かつ, 基材面に対し平行に配向させることを狙いとして設計した塗料であり今回, 使用する光輝材をアルミフィラー (金属調塗

装) から干渉パール顔料 (ティントメタリック) に変更した場合においても, 同様の効果発現が期待される.

### 3-3. 効果の確認

図-6 は青色干渉パール (マイカ/酸化チタン, 酸化チタン層厚み: 330nm) を上記塗料ベース中に配合し, 塗装乾燥後撮影した塗膜の表面拡大写真である. ミクروسケールにおいて光輝材から干渉光が発現しており, 又光輝材自体が狙いどおりの青色を中心とした反射光を発現しているのが分かる. さらに各光輝材が基材面に対して, 一律に平行配列している. 一方マクロ的視野 (目視) での塗膜外観に関しても, 従来のブルーメタリック塗装と比較して, ティントメタリック塗装では, 商品力の高いほのかなパール光沢の発現が認められた.

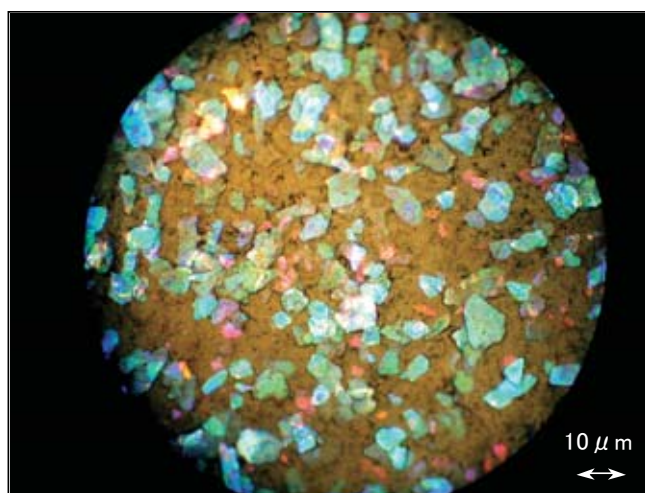


図-6 ティントメタリック塗膜表面拡大写真

## 5. おわりに

本紹介の開発塗料はデザインニーズ的にも認められ, トヨタ自動車 (株) の新規色ナンバーを得, トヨタカルディナ (Hiグレード) のセンタクラスター, コンソールアッパー, フロント・リアの灰皿に適用され, '02年09月より量産中である.

# 新製品紹介

## サテン調塗装

### Satin-like Paint

服部 弘樹\*1, 度会 弘志\*2

#### 1. はじめに

近年、自動車内装部品の加飾として、ウッド（木目調、本柵）、金属調塗装等が採用されているが、いずれも高光沢のため、防眩性の求められるインパネ本体には適用できず、周辺部品のワンポイント加飾にとどまっている。（表-1）

今回、ハイライト視（正面視）での光輝感とシェード視（斜視）での陰影感のコントラストを表現し、低光沢である「サテン調塗装」を開発し、広面積のインパネモジュール部品に適用したので、紹介する。

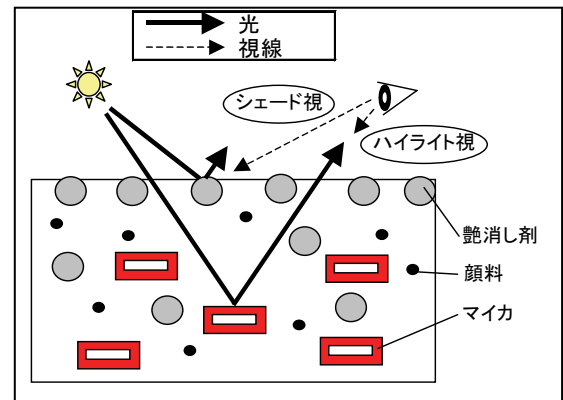


図-1. サテン調意匠発現メカニズム

表-1 主な内装部品塗装

塗装仕様	光沢(60°)	意匠性	防眩性
従来塗装	1.0~2.0	×	○
ウッド (木目調、本柵)	85~95	○	×
金属調	10~100	○	×

#### 2. 製品の概要

本塗料は、図-1に示すように、塗料樹脂中の添加剤として、色を出すための顔料だけでなく、「艶消し剤」および「マイカ」を配合することにより、ハイライト視での光輝感とシェード視での陰影感を表現しており、絹織物の「サテン生地」のように見えることから、「サテン調塗装」と呼んでいる。

#### 3. 開発のポイント

本塗料は、従来塗料に比べ、前述のとおり添加剤含有量（PWC\*）が高いため、以下の点を重点課題とし、開発を進めた。

\*PWC : Pigment Weight Contents

##### ①色落ち性

乾布摩擦試験において、塗膜の最表層にある添加剤が削り取られ、色落ちする恐れがある。

<解決方策>

- ・主樹脂、艶消し剤種の選定
- ・PWCの最適化

##### ②意匠安定性

塗装条件の変動によって、塗装直後の塗膜中での比重の異なる添加剤の浮き沈みが変わり、意匠（色・光沢）が変動する恐れがある。

\*1 Hiroki Hattori 材料技術部 表面処理開発G

\*2 Hiroshi Watarai 材料技術部 表面処理開発G

<解決方策>

- ・ 意匠変動要因検討および条件最適化

主な検討結果を図-2, 3に示す.

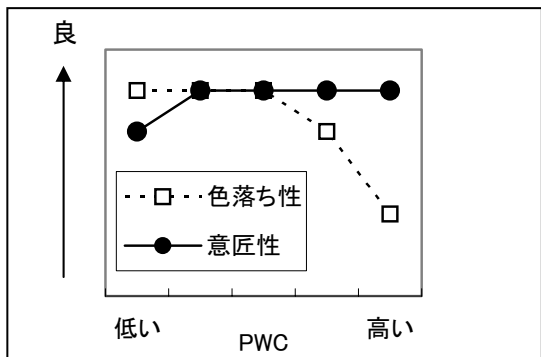


図-2 PWCと色落ち性

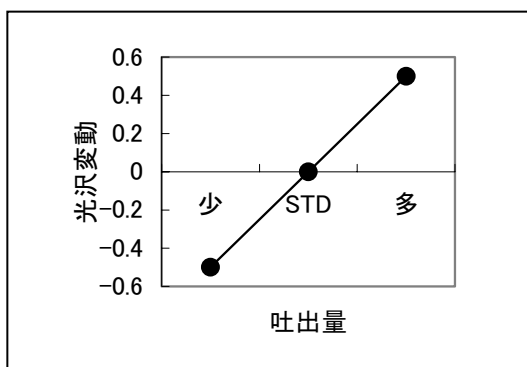


図-3 吐出量と光沢

### 4. 性能

前述のように塗料設計・塗装条件設定した開発品の外観を写真-1, 性能を表-2に示す.

低光沢でありながら, 優れた意匠性を付与し, 色落ち性を初めとする塗膜性能を満足することができた. (\*コントラスト値: ハイライト視/シェード視のコントラストを数値で表したもので, 大きいほど良い.)

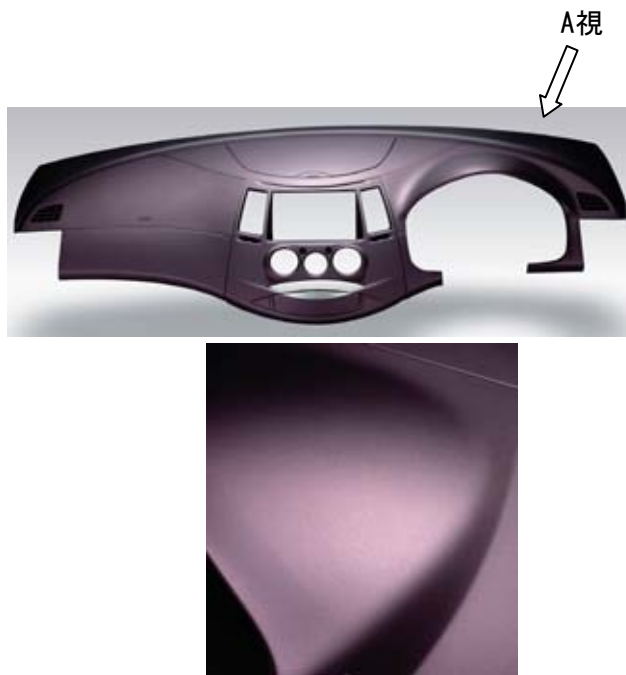


写真-1 開発品の外観

表-2 開発品の性能

評価項目	評価結果	
	従来品	開発品
意匠性 (コントラスト値*)	0.54	3.4
光沢(60°)安定性	1.0~2.0	1.0~2.0
色落ち性	4級	5級
付着性	0/100	0/100
耐湿付着性	0/100	0/100
耐油脂汚染性	○	○
耐光性	○	○

### 5. おわりに

今回紹介したサテン調塗装は, 三菱自動車工業株式会社「グランディス」のインパネモジュール部品に採用され, 現在量産中である.

最後に, 本製品の開発・量産化に際し, ご指導・ご協力いただいた関係部署の方々に厚く謝意を表します.

# 新製品紹介

## ハードトップ車用テープ装着ルーフウエザストリップ

### Roof Weather-Strip with adhesive tape on H/T vehicle

玉置 清隆 \*1

#### 1. はじめに

近年、自動車産業の動向としてデザイン性の向上が強く求められている。その1つとして、ドアガラスまわりまでボデーカラーと同一色にして、スッキリとした外観意匠にするニーズがある。

今回ハードトップ車用ルーフウエザストリップに対して、上記要求に基づき、製品開発・量産化したので、その概要について紹介する。従来品と開発品の仕様比較を、図-1、図-2に示す。

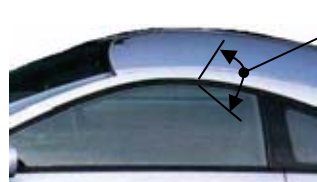


図-1 従来H/T車



図-2 モール部カラー化H/T車

#### 2. 製品の概要

本製品は、2ドアハードトップ車のドアガラス周辺部に取り付けられ、車外からの雨・風・音の進入を防止するためのシール部品である。

その装着部位を図-3に示す。



図-3 装着部位

従来品はセンターピラー部を両面テープとクリップで固定し、ルーフ部はモール付リテーナを介しボデーに装着されていたのに対し、今回開発したルーフウエザストリップでは、全周（ルーフ部、センターピラー部共）を両面テープとモールレスリテーナの併用で固定する事により、樹脂カラー

化モールの対応が可能となった。

従来品と開発品の仕様比較を、図-4、図-5に示す。

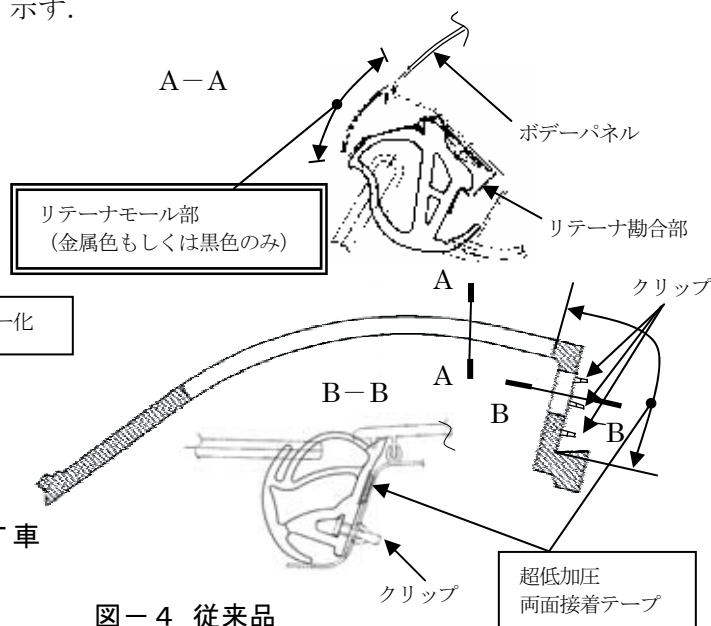


図-4 従来品

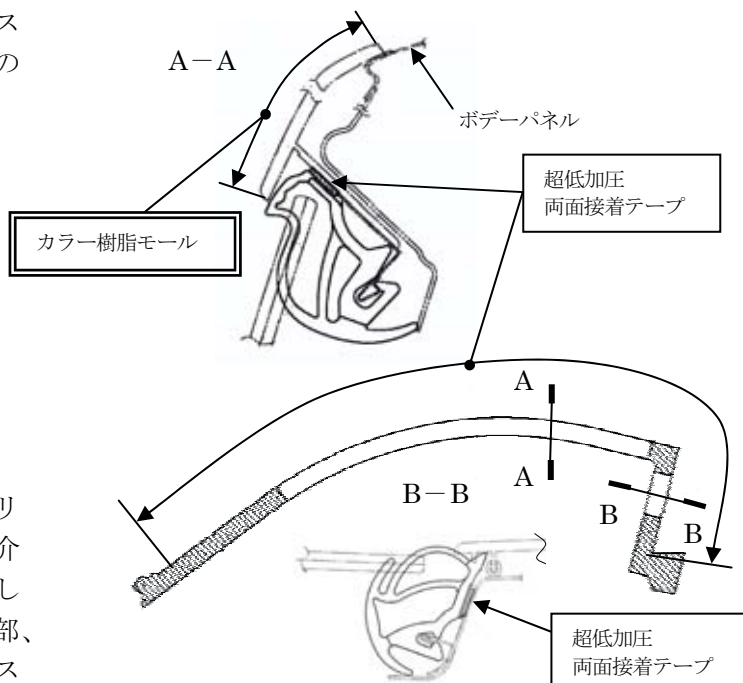


図-5 開発品

\*1 Kiyotaka Tamaoki ボディシーリング技術部 ボディシーリング技術室



### 3. 技術の概要

#### 3-1. 断面構造

従来のリテーナモールドは、材質が金属（SUS）であり意匠面は金属色（銀色）、または塩ビ被膜仕様の黒色となりカラー化は困難であった。

今回は、意匠性向上を図るため、モールドをカラー樹脂に変更するため、ルーフ部へのウエザストリップ装着方法を新たに開発した。モールド部をカラー樹脂にすることにより、ルーフ部の室外側ウエザストリップ固定部をリテーナで設定することが困難となる。

今回、室内側にL字リテーナを設定し、ソリッドゴム材にて勘合させることにより仮保持をさせ、ウエザストリップ装着時の位置ズレを防ぐことにより、両面テープとの併用でウエザストリップを固定させる事が可能となり、メーカーの要求を満足させるウエザストリップを提供することができた。開発品のルーフ部断面仕様を、図-6に示す。

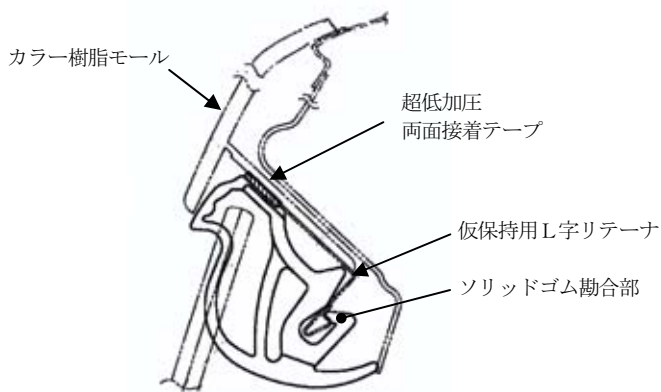


図-6 ルーフ部詳細断面

#### 3-2. その他効果

今回開発したテープ装着ウエザストリップにより組付時間の削減、両面テープによる確実な固定、リテーナ形状縮小による重量低減もあわせて可能になった。

##### (1) 組付時間短縮

リテーナ勘合組付からテープ装着により組付工数が低減された。

組付手順の比較を、下表及び図-7に示す。

効果	従来品	開発品
組付時間削減 (指数)	100	90

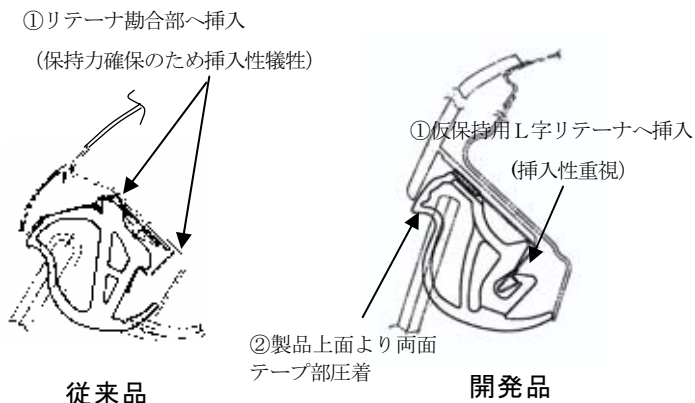


図-7 組付手順比較

##### (2) 保持力向上

両面テープの固定により初期、熱老化後とも保持力の向上を図った。

その効果を、図-8に示す。

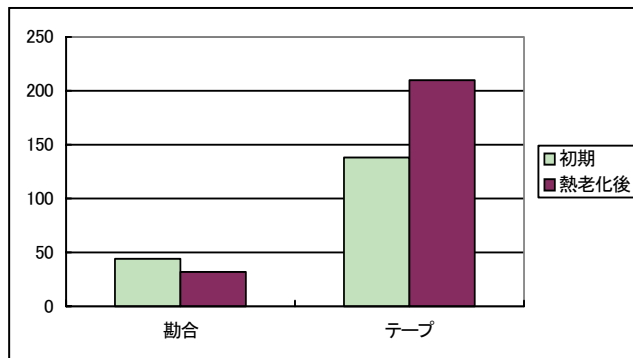


図-8 保持力比較

##### (3) 軽量化

モールドリテーナの廃止より車両として軽量化が図れた。その効果を下表に示す。

効果	従来品	開発品
車両軽量化 (指数)	100	98

### 4. おわりに

今回紹介した「ハードトップ車用テープ装着ルーフウエザストリップ」は、日産フェアレディZに採用され量産化した。今後この技術を他車に展開して行きたいと考えている。

最後に、この製品の開発、量産化に際しご支援、ご指導いただいた日産自動車株式会社の関係各部署の方々に厚く謝意を表します。

# 新製品紹介

## 樹脂製ウォーターパイプ

### Plastic Water Pipe

渡邊 徳雄\*1, 三井 研一\*2

#### 1. はじめに

エンジン周辺部品の軽量化，低コスト化を目的として，金属パイプやゴムホースの樹脂化を検討している。

ここでは，耐熱性，耐LLC性に優れたPPS樹脂（ポリフェニレンサルファイド樹脂）を使ったウォーターパイプを開発・量産化したので紹介する。

#### 2. 製品の概要

開発した樹脂製ウォーターパイプの構成を図-1に，樹脂パイプ断面構造を図-2に示す。

また，従来のウォーターパイプを図-3に示す。

構成は，押し出し曲げ加工した樹脂パイプと，エンジンやゴムホースに締結するための樹脂射出成形部品2個と，ゴムガスケットの4つの部品から成り立っている。

以下に開発品の特徴をしめす。

- 1) 樹脂パイプは，最内管層にPPS樹脂を使用することで，優れた耐熱・耐LLC性能を確保した。
- 2) 樹脂パイプは，任意の形状に曲げ加工できる。
- 3) 樹脂パイプは，両端の射出成形部品と圧入一体化することで，優れたシール締結力を確保した。
- 4) 金属製の間接ブラケットを廃止し，ガスケットもアッシー一体化設計となっているので，組付け作業性に優れ，軽量化と低コスト化が可能となった。

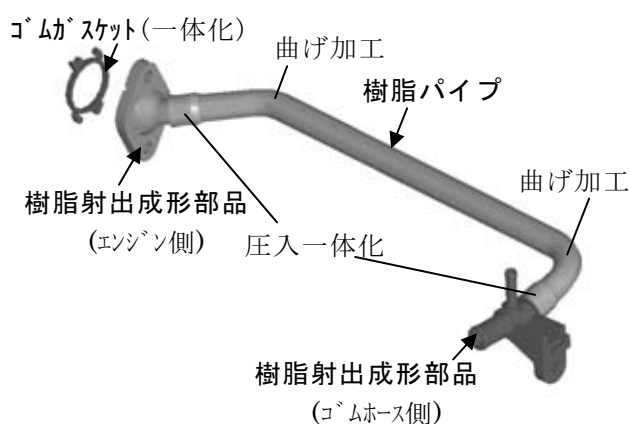


図-1. 開発品の構成

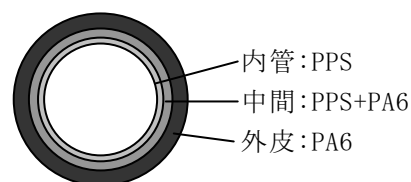


図-2. 樹脂パイプ断面構造

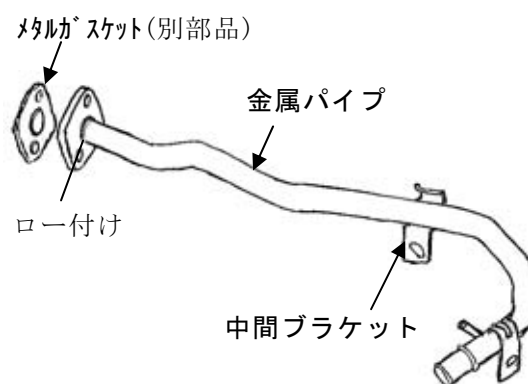


図-3. 従来品の構成

\*1 Norio Watanabe 機能部品技術部 ホース技術室

\*2 Kenichi Mitsui 機能部品技術部 ホース技術室

### 3. 製品の性能・特徴

#### 3-1. 耐熱・耐LLC性能

LLC長期封入老化後のパイプの高温破裂圧、圧入締結部の高温シール圧の測定結果を図-4に示す。

長期老化後も、使用圧に対して10倍以上の高温耐圧性能を保持している。

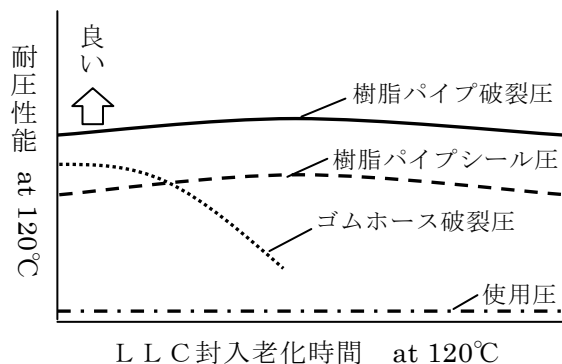


図-4. 耐LLC性

#### 3-2. 軽量化

従来品で使用する金属材料（SUS，STKM）の比重は約7.8であるのに対し、開発品の樹脂材料の比重は1.0～1.4であることと、中間ブラケットを廃止したことにより、開発品は、図-5に示すように大幅な軽量化（▲約60%）が達成できた。

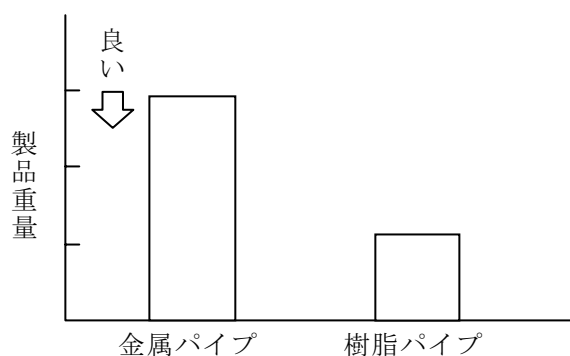


図-5. 製品重量

#### 3-3. 低コスト化

樹脂パイプを比較的安価なPA6材を外皮に用い、内管をPPS材の薄層構成としたことにより、材料費を低くおさえた。

また、長尺パイプの後曲げ加工を採用したことにより、他の工法よりも加工費を低くできた。

これらのことにより、開発品は低コスト化が達成できた。

### 4. おわりに

当開発により、軽量化、低コスト化とともに、耐熱性、耐LLC性に優れた樹脂製ウォーターパイプの開発ができました。

この樹脂パイプは、バイパス回路の金属配管部の代替に適用したのですが、ラジエータ回路などにも、今後採用拡大が期待できるものです。

さらに、適用拡大を図るため「顧客ニーズ」を念頭におき、製品開発を進めてゆきたいと考えております。

最後に、この製品の開発・量産化に際し御支援、御指導、御協力をいただきましたトヨタ自動車株式会社の関係各部署、及び成形加工・組立部門の方々に厚く感謝の意を表します。

## 新製品紹介

### SRS T&Pサイドエアバッグ（胸から腰部保護用）

### SRS T&P Side Impact Airbag (Thorax & Pelvis Protection Type)

棚瀬 利則\*1, 佐藤 栄治\*2

#### 1. はじめに

近年の自動車産業の動向として、安全の向上が強く求められ、「安全」は重要な性能の一つになっている。今回、大型SUVの側面衝突に対して、従来の乗員の胸部を保護するものから、胸部から腰部まで保護エリアを拡大したSRS T&Pサイドエアバッグ（以下SRSを省略）を開発したので、その概要について報告する。

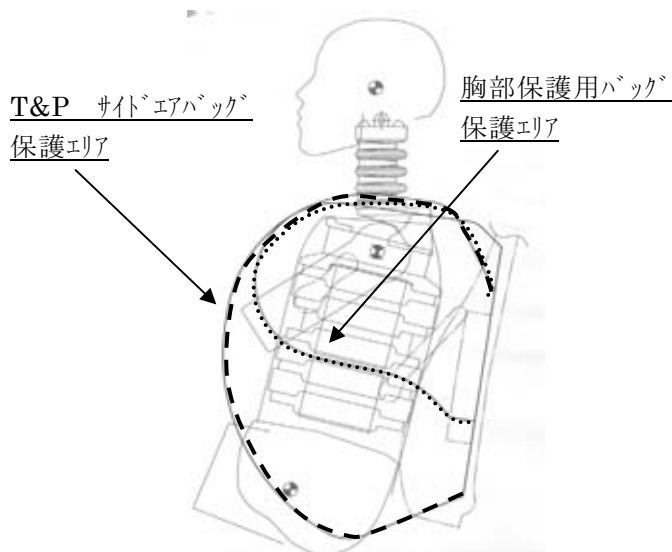


図-1 保護エリアの比較

#### 2. 製品の概要

##### 2-1 製品構成

エアバッグモジュールは、バッグ、インフレーター、インフレーターを固定する為のリテーナで構成される。バッグは略ジャバラ状にコンパクトに折り畳まれ、不織布によって収納される。

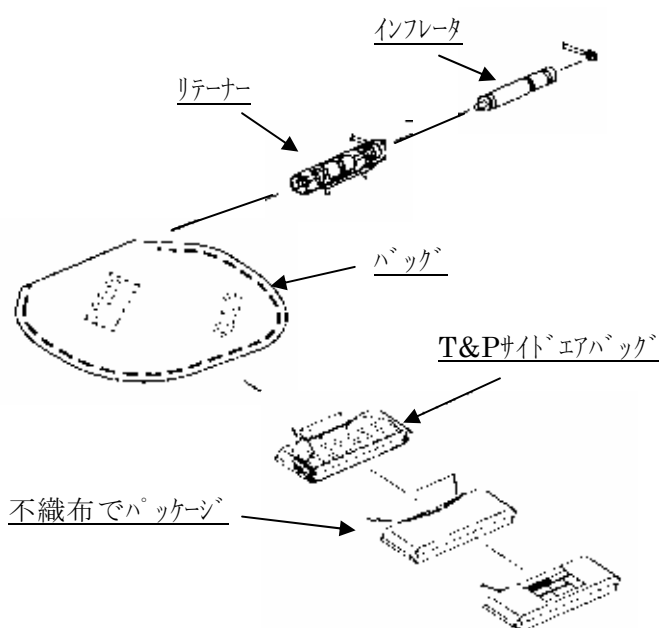


図-2 製品構成

##### 2-2 シート格納状態

T&Pサイドエアバッグはシートフレーム側面にボルト2個で組み付けられており、シート表皮の中に格納されている。

#### 3. 技術の概要

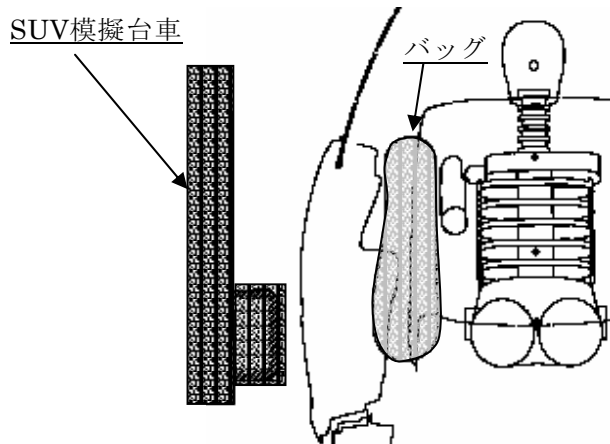
##### 3-1 エアバッグの展開ステップ

- 1) センサーが側面衝突の衝撃を感知すると、ECUからインフレーターに着火信号を送り、インフレーターが作動。
- 2) インフレータの発生ガスにより、バッグが膨張を開始。

\*1 Toshinori Tanase セーフティシステム事業部 第1技術部 第2セーフティシステム開発室

\*2 Eiji Sato セーフティシステム事業部 第1技術部 第4セーフティシステム技術室

3) バッグは、シート表皮縫製部を破断して膨張し、乗員の胸から腰までを瞬時にカバーする。



図—3 バッグ膨張イメージ

### 3-2 効果

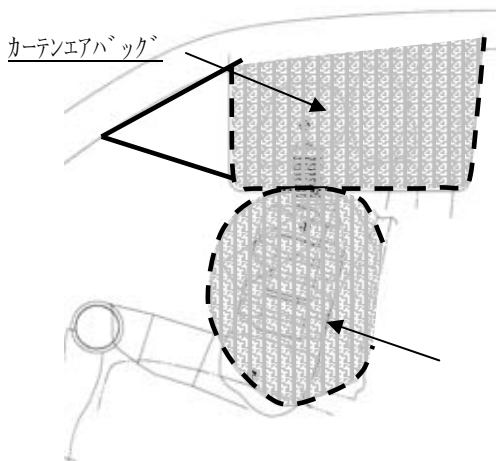
さまざまな側面衝突形態での実車評価を行い側面衝突時の乗員胸部から腰部の衝撃緩和性を確認した。効果の代表例として、側面からの大型SUVの衝突を模擬した側突試験において、傷害値の指標である胸・腹部のたわみ（RIB Compression）を低減することができた。



試験車 大型SUV SUV模擬台車

図—4 乗用車×大型SUV側面衝突イメージ

また、側面衝突時の乗員頭部を保護するカーテンエアバッグと併用する事により、側面衝突時の乗員頭部から腰部までの広い範囲を保護する事が可能になった。



図—5 側突エアバッグ保護エリア

## 4. おわりに

側面からの衝突において、乗員の胸部から腰部への衝撃を緩和する方法として、T&Pサイドエアバッグは現時点では最も有効な手段である。T&Pサイドエアバッグは、'03年8月に発売したセルシオに搭載された。

この製品の開発に際し、ご指導、ご協力をいただいたトヨタ自動車株式会社関係者の方々に厚く謝意を表します。

## ≡≡≡ 新製品紹介 ≡≡≡

### TG PURPLE LED 光源 Short-Wavelength LED Lamp

酒井 和宏\*1

#### 1. はじめに

アイシン・エイ・ダブリュ株式会社殿の【光清浄換気扇エアナビII】（トヨタホーム殿に採用）は、光触媒と常温触媒とを組合せた『光プラチナフィルター』にて、ホルムアルデヒド等のガスを分解・除去する空気清浄機である。

今回、光触媒の励起光源として、従来の冷陰極管ランプに変わるLED光源を開発したので紹介する。

#### 2. 製品の概要

LED光源のエアナビIIへの搭載状態（図-1）及び空気清浄概念（図-2）を示す。

LED光源は『光プラチナフィルター』に対向するように設置。フィルター表面に光を照射することにより、光触媒を励起させ、常温触媒と合わせてガスを分解・除去する。

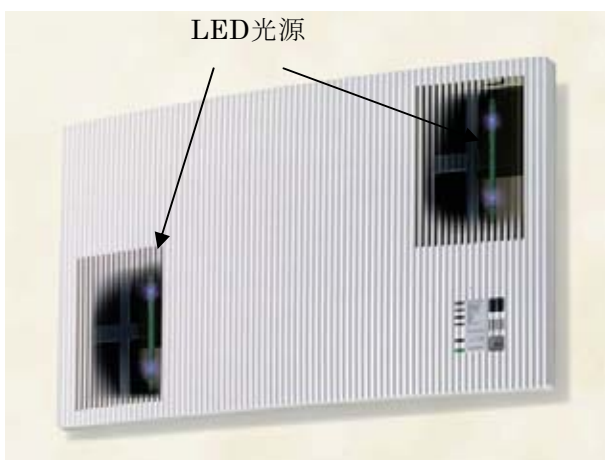


図-1 エアナビII 外観図



図-2 空気清浄機能概念図

LEDは短波長領域を発光する窒化ガリウム（GaN）系 PURPLE LEDを使用。ピーク波長は、約380nmを有する。発光スペクトル例を（図-3）に示す。

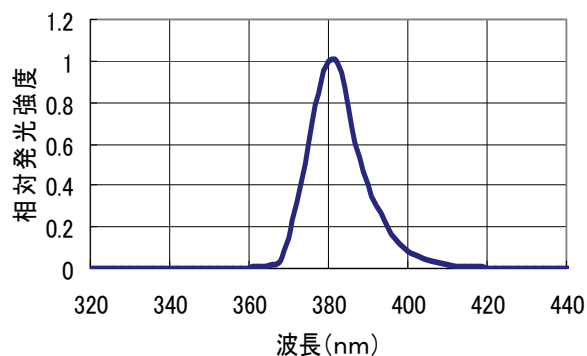
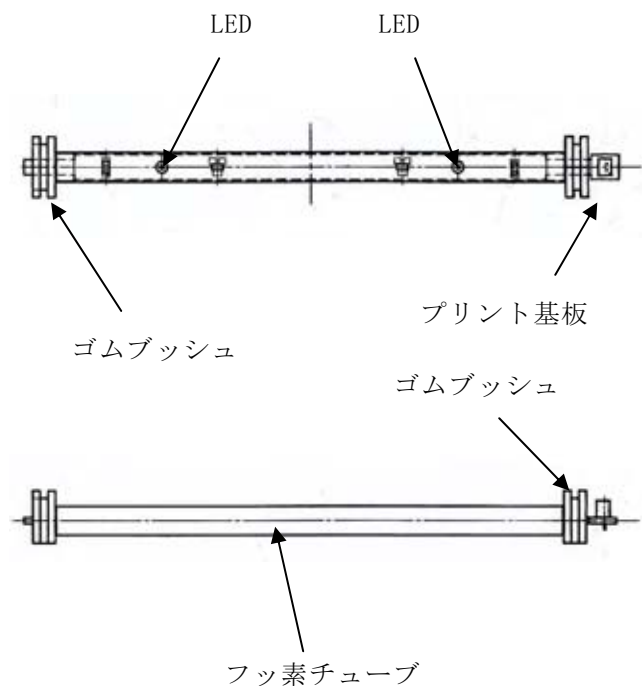


図-3 PURPLE LED 発光スペクトル。

\*3 Kazuhiro Sakai オプトE事業部 第2技術部

LEDチップ及び抵抗等の電子部品を、プリント基板へ実装し、短波長領域の透過性良好なフッ素チューブをアウターとし、ゴムブッシュにて基板と固定した。

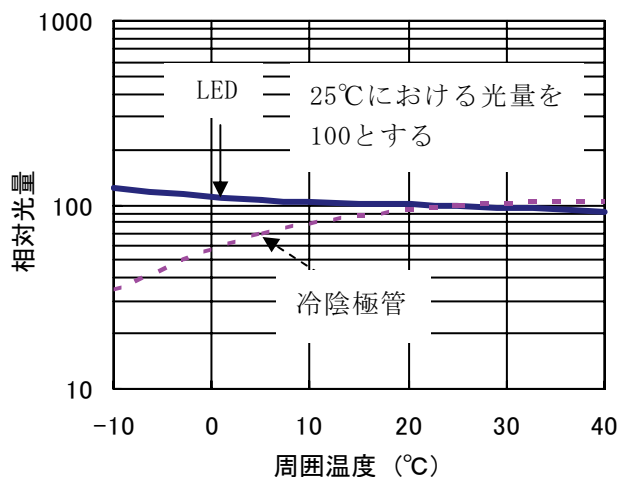


図—4 LED光源 主要構成部品

### 3. 製品の特徴

LED光源は冷陰極管ランプと比較して、高電圧回路が不要のためコンパクト化が可能であり、更に消費電力が少ない。また水銀を使用していないため低環境負荷及び、周囲温度に対する光量変化も少ないというメリットがある。相対光量—周囲温度特性を（図—5）、光源の特長比較を（表—1）に示す。

但し现阶段では、同等の光量を達成するには、複数個のLEDを使用する必要があるが、本製品では、常温触媒の働きにより、少数のLEDにて設定可能となった。



図—5 相対光量—温度特性

表—1 LEDと冷陰極管との比較

光源	LED	冷陰極管
メリット	<ul style="list-style-type: none"> <li>コンパクト化可能</li> <li>高電圧点灯回路不要</li> <li>水銀不使用</li> <li>光量—温度特性変化が少ない</li> <li>消費電量が少ない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>光量大きい</li> </ul>
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> <li>LED複数個必要(光量確保)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>水銀使用</li> <li>高電圧点灯回路必要(ノイズ対策必要)</li> </ul>

### 4. おわりに

本開発により、TG PURPLE LEDを応用した光触媒励起光源を具現化することができた。今後、更にLEDの特長を活かした光源開発・性能向上を検討する。

最後に、本製品の開発、量産化に際しご支援、ご指導を頂きましたアイシン・エイ・ダブリュ株式会社ならびに社内外関係部署の方々に厚く謝意を表します。



## 新製品紹介

### LEDテール&ストップランプユニット

### LED Tail & Stop Lamp Unit

高橋利典\*1, 三沢明弘\*2

#### 1. はじめに

リヤコンビネーションランプは、車両デザイン  
の決め手となるアイテムのひとつであり、常に新  
しい見栄えのランプが求められている。

また近年、車両の燃費低減のための方策として、  
消費電力の削減が求められている。

今回、これらのニーズに対応したLEDテール&  
ストップランプユニットを開発することが出来た  
(写真-1) ので本報でその概要を紹介する。



写真-1 ユニットの車両取付け状態

#### 2. 製品の概要

LEDテール&ストップランプユニットの構成を  
図-1に示す。

ユニットは、

- 1) 配光設計された複数の反射面を備えるリ  
フレクタ
- 2) LEDを抵抗溶接により3次元配置すると  
ともに、バスバーにより放熱設計された  
ボードユニット
- 3) 車両からの信号により、LEDをテール点  
灯とストップ点灯に制御する制御基板

より構成されており、リヤコンビネーションラン  
プにランプメーカーにて組み込まれる。

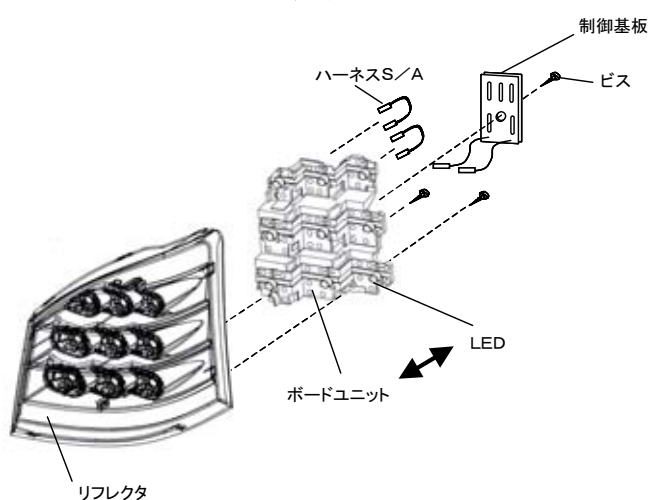


図-1 ユニットの構成

#### 3. 製品の特徴

LEDによるリヤコンビネーションランプは、従  
来より採用された例はあったが、

- 1) LED1個あたりの発光面積が小さいため、  
数多くの個数が必要であった。また、意  
匠的に粒々感のある意匠しか表現できな  
かった。(図-2)
- 2) 従来のLEDは中心が最も明るいため、レ  
ンズ等を用いて拡散させているが、どう  
しても明るさのムラが残ってしまう。  
(図-3)

といった課題があった。

\*1 Toshinori Takahashi オプトE事業部 第2技術部

\*2 Akihiro Misawa オプトE事業部 第2技術部

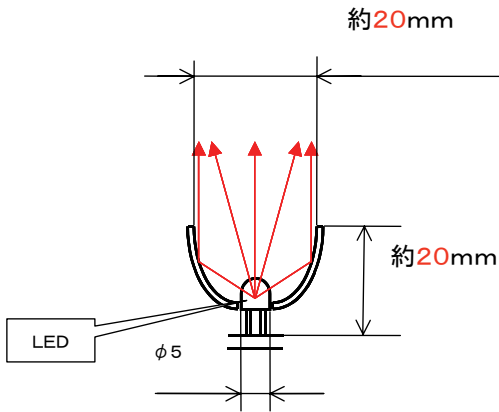


図-2 従来品の発光方式-1

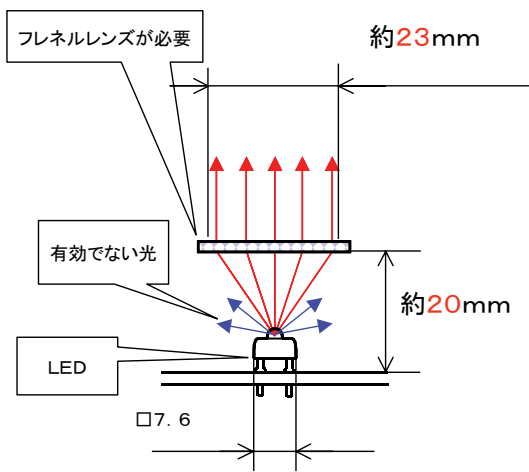


図-3 従来品の発光方式-2

本製品では、横方向に光を放射するLEDを開発し、LEDから放射された光を全てリフレクタにて反射させることにより（図-4）

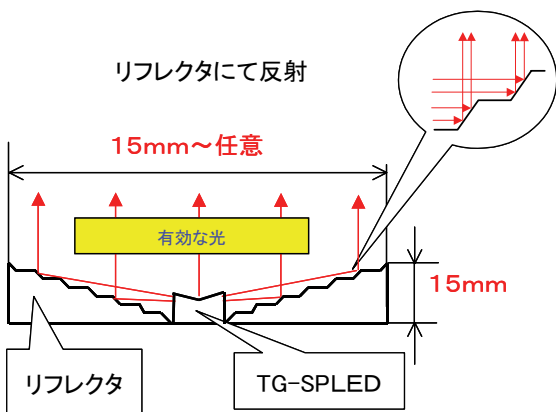


図-4 開発品の発光方式

- 1) 従来品よりも薄型化
- 2) LED 1個あたりの発光面積を大きくし、発光時の見栄えを向上
- 3) LEDから放射された光の有効効率を上げ、大電流高出力化とともにLEDの個数を低減
- 4) LEDからの直接光ではなく、リフレクタに反射させた間接光を発するため、明るさムラが少なく、キラキラ感のある光り方を行うことが出来た。

さらに、リフレクタ面の形状を変えることにより様々な意匠、光り方を演出することが出来る。

また消費電力についても、従来のバルブタイプの42Wに対し、6.6Wと約6分の1に低減することが出来た。（図-5）

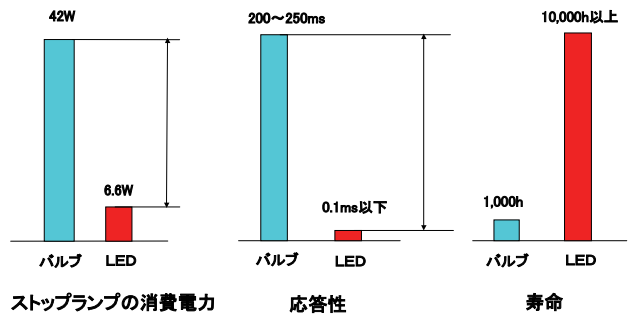


図-5 LEDの特徴

本仕様は、テール&ストップランプユニットだけでなく、ハイマウントストップランプユニットにも適用されている。

#### 4. おわりに

今回紹介した「LEDテール&ストップランプユニット」は、トヨタWISHに採用され、好評を得ている。今後、本製品仕様を他車種へも適用拡大していきたいと考えている。

最後に本製品の量産化に際しご支援、ご指導頂いたトヨタ自動車株式会社、トヨタ車体株式会社の関係各部署の方々に厚く謝意を表します。

## ≡≡≡ 新製品紹介 ≡≡≡

### フロントコンソールイルミネーション

### Illumination for Front Console

佐野 良男\*1, 市川 忠沖\*2

#### 1. はじめに

近年、夜間の車室内空間をLEDの光で演出する製品が量産化され始めている。今回、特殊レンズを用いた新規意匠で、夜間にはLED発光により、演出効果を高めるイルミネーション製品を量産化したので、その概要について紹介する。

#### 2. 製品の概要

従来、インパネ中央部にあるコンソールボックス上部は、小物入れ等に設定される場合が多い。本製品は、この場所に設定されたイルミネーション製品で、昼間は透明感のあるアクリル意匠パネルで、夜間になるとインパネ統一色である緑系色に点灯する。製品全体が特殊レンズ（リフレックスリフレクター）越しに、クリスタル調に発光することにより、夜間の演出効果を高めている。



図-1 装着部位

種類としては、シートヒータースイッチ有り／無しの二種類がある。



スイッチ有り



スイッチ無し

図-2 外観

製品の構成を図-3に示す。

- ①リフレックスリフレクター
- ②フィルム
- ③プリズム
- ④LED基板アッシー
- ⑤ケース

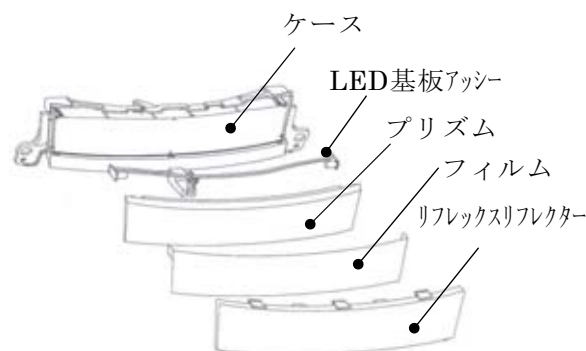


図-3 構成図

\*1 Yoshio Sano オプトE事業部 第2技術部

\*2 Tadaoki Ichikawa オプトE事業部 第2技術部

### 3. 製品の特徴

特殊レンズに採用しているリフレックスリフレクターのエレメント形状を図-4に示す。リフレックスリフレクターを用いることにより、見る角度で異なった見え方をすることが大きな特徴で、製品を正面から見た場合、リフレックスリフレクターのエッジ部が線状に光り、反射面が影になる。斜めから見た場合は、逆にエッジ部が影になり、反射面が光る見え方をする。この見え方の違いを図-5、6に示す。

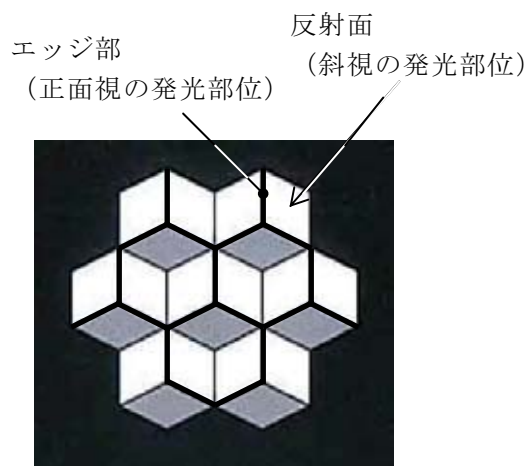


図-4 リフレックスリフレクターのエレメント形状

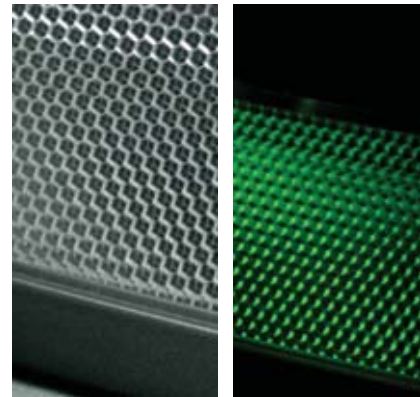


図-6 斜視での昼夜外観

### 4. おわりに

今回紹介したフロントコンソールイルミネーションは、トヨタ北米車両SOLARAに採用された。今回培ったレンズ導光技術を今後の製品開発に役立てたいと考えている。

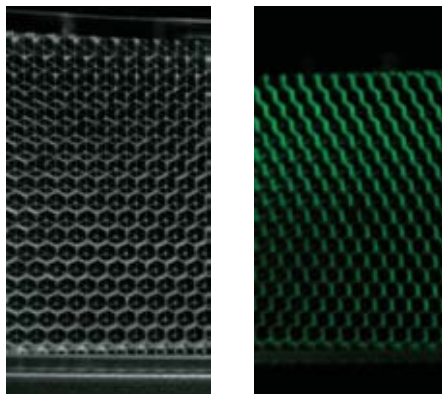


図-5 正面視での昼夜外観

# 新製品紹介

## 住宅用ダイナミックダンパ

笹田 有\*1

### 1. はじめに

近年、戸建て住宅の性能に求められるニーズとして、室内の静粛性向上が挙げられる。その中でも、日常的に発生する2階から階下へ響く子供の飛跳ねによる音(重量床衝撃音)や歩行音の性能向上が求められている。

更に、品質確保促進制度にて、共同住宅(マンション等)へ重量床衝撃音等級の表示が開始された事もあり、将来的には戸建て住宅も性能表示が開始される事が予想される。これにより、上記性能向上は各住宅メーカーの重要課題であった。

今回、重量床衝撃音、歩行音を低減できる『床小梁ダンパ』を開発し、トヨタホーム殿の鉄骨系ユニット住宅に採用して頂いたので紹介する。

### 2. 住宅メーカーの静粛性向上における動向

従来、住宅メーカー全般における動向として、重量床衝撃音、歩行音の対策は、2階床の全面にALC材等を敷き詰める方法が主流であった。しかし、ユニット工法に採用するには、工場生産率の低下や、コストUP等の恐れがある。そこで今回は、工場内にて組付けが容易で、かつ価格・性能面で圧倒的な優位性を確保できる製品仕様の開発に着手した。(性能：表1に示す)

表-1. 重量床衝撃音性能の指標

性能等級	レベル	床仕様 (戸建住宅)
1級 (L <sub>H</sub> -60)	性能上 好ましい	本開発の目標値
2級 (L <sub>H</sub> -65~70)	性能上 ほぼ満足	ALC床
3級 (L <sub>H</sub> -75)	性能上 最低限度	在来木造床

### 3. 取組み内容

#### 3-1. 住宅室内における音発生メカニズムの推測

住宅の構造より、音は以下2つのメカニズムで発生していると推測した。

##### ①振動伝播音

2階床への入力により発生した振動が、床構造部材等を伝わって、1階に音を発生させる。メカニズムの模式図を図-1に示す。

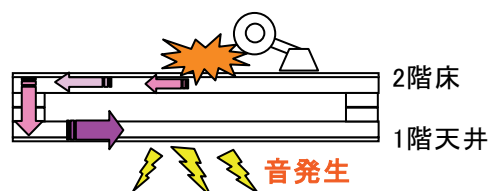


図-1. 振動伝播音メカニズムの模式図

##### ②太鼓音

2階への入力により床が変形する事で2階と1階間の空気層が押される。それにより更に1階の天井が振れて音が発生する。

メカニズムの模式図を図-2に示す。

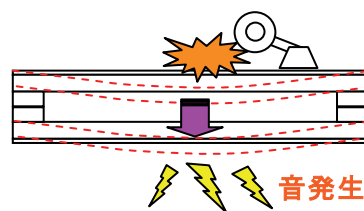


図-2. 太鼓音メカニズムの模式図

#### 3-2. 原因部位の特定

3-1の推測を基に、振動と音解析を実施した結果、2階床の振動ピークと1階室内の音圧ピークに相関が得られた。従って、音発生の原因は、入力源である2階床部材の振動と断定した。それぞれ、図-3、4に1階の音圧特性と2階床の振動特性を示す。

\*1 Tamotsu Sasada 特機事業部 技術部 技術室



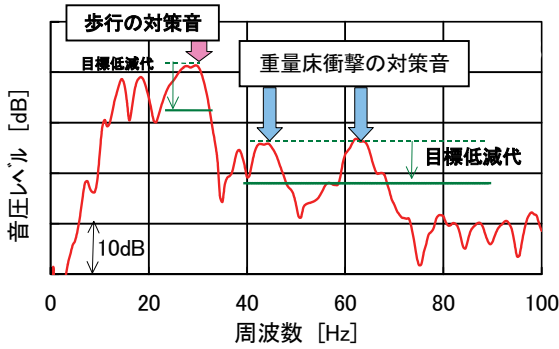


図-3. 1階室内の音圧特性

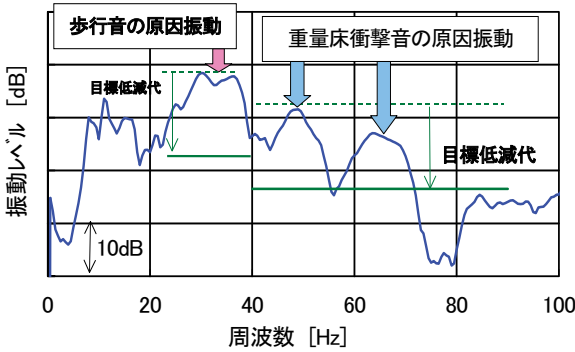


図-4. 2階床の振動特性

### 3-3. 音(振動)低減手段の選定

図-3の音圧特性より、30～70Hzのレベルが高い。そのため、周波数帯を特定して効果が得られるダイナミックダンパを手段として選定した。

### 3-4. ダイナミックダンパの仕様設定

ゴム材料は、幅広い周波数帯に効果を得るよう高減衰材料に設定。また、ダンパMASSはコスト低減の為、一般圧延鋼材の切断物に設定した。この仕様による、音低減効果を図-5に示す。

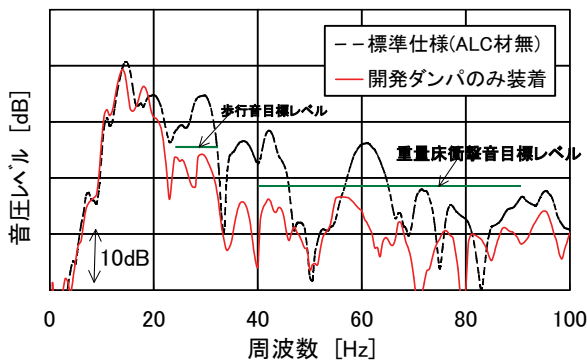


図-5. 1階室内音低減効果

## 4. 量産における製品仕様

製品の取付部位と構成部品を図-6に示す。

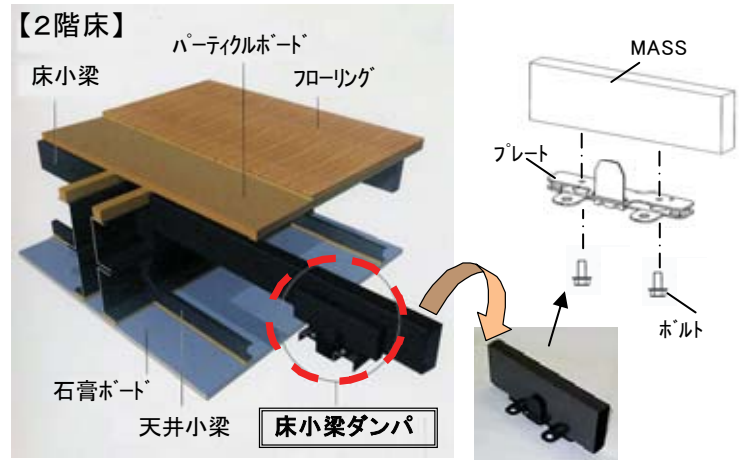


図-6. 取付け部位と構成部品

## 5. 従来品(ALC材)と開発品の比較

比較値を、表-2に示す。

表-2 従来品(ALC材)との比較

比較項目		従来品(ALC材)	開発品
性能	重量床衝撃音性能	L <sub>H</sub> -65	L <sub>H</sub> -60 (業界No.1)
	歩行音性能	効果有り	十分効果有り
床総重量		1 (とした場合)	0.5
施工性		一般的	大変良い
床トータルコスト		1 (とした場合)	0.5

## 6. おわりに

本製品は、クルマの快適な走行(制振性、静けさ)を確保する為の手段であるダイナミックダンパを住宅に応用した製品である。従来、トヨタホーム殿では、重量床衝撃音や歩行音が他社を上回る性能であったが、この製品開発により、更に他住宅メーカーの追従を許さない圧倒的優位な性能を確保した。現在も豊田合成では、トヨタホーム殿における別モデルにて性能向上を進めており、更に受注範囲を広げていきたいと考える。

最後に本製品の開発にあたり御協力頂いたトヨタホーム殿、及び生産工程部門の方々に深く感謝致します。

## 社外発表文献一覧表 (1)

## List of Published Papers (1)

(2002年11月～2003年10月発表分)

\*印：社外共同発表者

表 題	発表者	発 表 先
青色LEDの開発と製品	小池 正好	名古屋キワニスクラブ例会 (02.11.8)
LC/MSを用いた高分子添加剤の分析	鈴木 智子	日本ウォーターズLC/MS ユーザーズフォーラム (02.11.15)
熱重量分析によるNBR加硫ゴム中のカーボンブラックの定量精度向上検討	山田 隆男 渡辺 健市	第7回高分子分析討論会 (02.11.21～22)
LED光脱臭空気清浄機の開発	高橋 俊雄	自動車技術会秋季学術講演会 (02.11.28)
熱可塑性エラストマーにおける安定剤のブリードアウト性について	河村 有毅 水野 恒	第15回エラストマー討論会予稿集 (02.12.5)
白色LEDの構成、特性、技術課題と動向～照明光源として～	新谷 昭	情報機構講演会 (02.12.18)
射出材料温度の高温化に対する考え方	木村 洋治	日本ゴム成形加工技術分科会 (03.1.23)
Short wavelength III-V LEDs and its applications	上村 俊也	Photonics West 2003 (03.1.29)
The Technology to Produce Thermoplastic Elastomer Based on Waste Rubber	田中 靖昭	2003 SAE World Congress paper 2003 SAE World Congress (03.3.3～6)
Current status on GaN-based light emitting devices	S.Iwayama, H.kato S.Yamasaki Y.Tezen J.Minoura S.Nagai M.Asai H.Watanabe A.kojima N.Arazoe R.Nakamura T.Hatano M.Koike	CLEO (Conference on Laser and Electro Optics) (03.6.1～3)
Self-separation of Freestanding GaN from Sapphire Substrate with Stripe-shaped GaN seeds by HVPE	富田 一義* 加地 徹* 柴田 直樹 加藤 久喜 永井 誠二	International Workshop on Bulk Nitrides (03.6.2)



## 社外発表文献一覧表 (2)

## List of Published Papers (2)

(2002年11月～2003年10月発表分)

\*印：社外共同発表者

表 題	発表者	発 表 先
豊田合成の LED とそのビジネス展開	佐藤 純一 吉村 直樹	Electronic Journal Technical Symposium (03.7.29)
樹脂部品の触り心地に関する評価構造の解析	永田 雅典 仁科 健* 角田 良和*	品質管理学会 中部支部 (03.8.6)
A Light-Induced Self-Written optical waveguide fabricated in Photopolymerizing resin and its application to a POF WDM module	各務 学* 伊縫 幸利	POF Conference 2003 (03.9.14～17)
無反射ダクトの吸気騒音予測手法の開発	猿渡 智之 小笠原豊 木野 等 武井 雅行*	自動車技術会 2003 年秋季大会 学術講演会 (03. 9.18)
射出成形品のコーナー部内そり変形予測	山田 和慶	自動車技術会 2003 年秋季大会 学術講演会 (03.9.19)
GaN 系 LED を用いた白色 LED	千田 昌伸 柴田 直樹	電子情報通信学会 技術研究報告 LQE 研究会 (03.10.2)
短波長 LED とその応用	千田 昌伸 柴田 直樹	日本学術振興会 第 125 委員会 第 181 回研究会 (03.10.3)
LED 色光を利用した液晶表示画面の見やすさ	永田 雅典 山羽 和夫*	日本人間工学会東海支部 (03.10.18)

## 編集後記

最近出版の世界では電子ジャーナル化が話題になっています。欧米ではかなり進展しており日本でも印刷物から Web への動きは着々と進んでいるようです。印刷・製本費、配送費などの削減になりかなりのコストダウンが期待できます。

豊田合成技報も現在では原稿をすべて Word で作成していることから電子ジャーナル化は可能であり、今年から豊田合成ホームページ【URL】<http://www.toyoda-gosei.co.jp/> に 2000 Vol.42/No.1 以降の技報を PDF ファイルで公開しましたのでご覧下さい。

しかし、電子ジャーナルは目的を決めて記事を検索するには適していますが、軽くざっと見て興味のある記事を読むというのには向いていないように思えます。なるべく多くの方に気軽に見ていただきたいという趣旨から、Web 化の動向を見ながら、ホームページでの公開と共に従来通り製本・配布も続けさせていただきますのでよろしくお願い致します。

(Y)

(非 売 品)

<b>豊田合成技報編集委員会</b> 編集委員長 小澤功 (技術企画部) 編集委員 牛田洋子 (開発部) 小泉順二 (材料技術部) 馬場宣芳 (金型機械事業部) 磯村博恭 (施設環境部) 川島大一郎 (内外装部品事業部) 藤波京一 (機能部品事業部) 小林裕之 (セイフティシステム事業部) 野崎政博 (ホテ`ィーリンク`事業部) 高橋俊雄 (オプト E 事業部) 安井誠志 (特機事業部)	<b>豊田合成技報 第 4 5 巻 第 2 号</b> (禁無断転載)  2003 年 12 月 19 日印刷 2003 年 12 月 25 日発行 発行所 豊田合成株式会社 発行人 村田 篤則 印刷所 竹田印刷株式会社
--	---



# 豊田合成株式会社

本社・春日工場	〒452-8564 愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑 1 番地	Tel (052) 400-1055
技術センター	〒492-8540 愛知県稲沢市北島町西の町 30 番地	Tel (0587) 34-3303
稲沢工場	〒492-8542 愛知県稲沢市米屋境 1 番地	Tel (0587) 36-1111
西溝口工機工場	〒492-8452 愛知県稲沢市西溝口町第二沼 1 番地の 1	Tel (0587) 36-5761
森町工場	〒437-0213 静岡県周智郡森町睦美 1310 番地の 128	Tel (0538) 85-2165
尾西工場	〒494-8502 愛知県尾西市明地字東下城 40	Tel (0586) 69-1811
平和町工場	〒490-1312 愛知県中島郡平和町大字下三宅字折口 710	Tel (0567) 46-2222
東京営業所	〒100-0005 東京都千代田区丸の内二丁目 2 番 1 号岸本ビル 308 号	Tel (03) 3213-5681
大阪営業所	〒532-0003 大阪市淀川区宮原四丁目 1 番 45 号新大阪八千代ビル 3 階	Tel (06) 6391-2691
広島営業所	〒732-0805 広島市南区東荒神町 3 番 35 号広島オフィスセンタービル 3 階	Tel (082) 264-3887
宇都宮営業所	〒321-0953 栃木県宇都宮市東宿郷三丁目 1 番 9 号 USK 東宿郷ビル 7 階	Tel (028) 610-8846