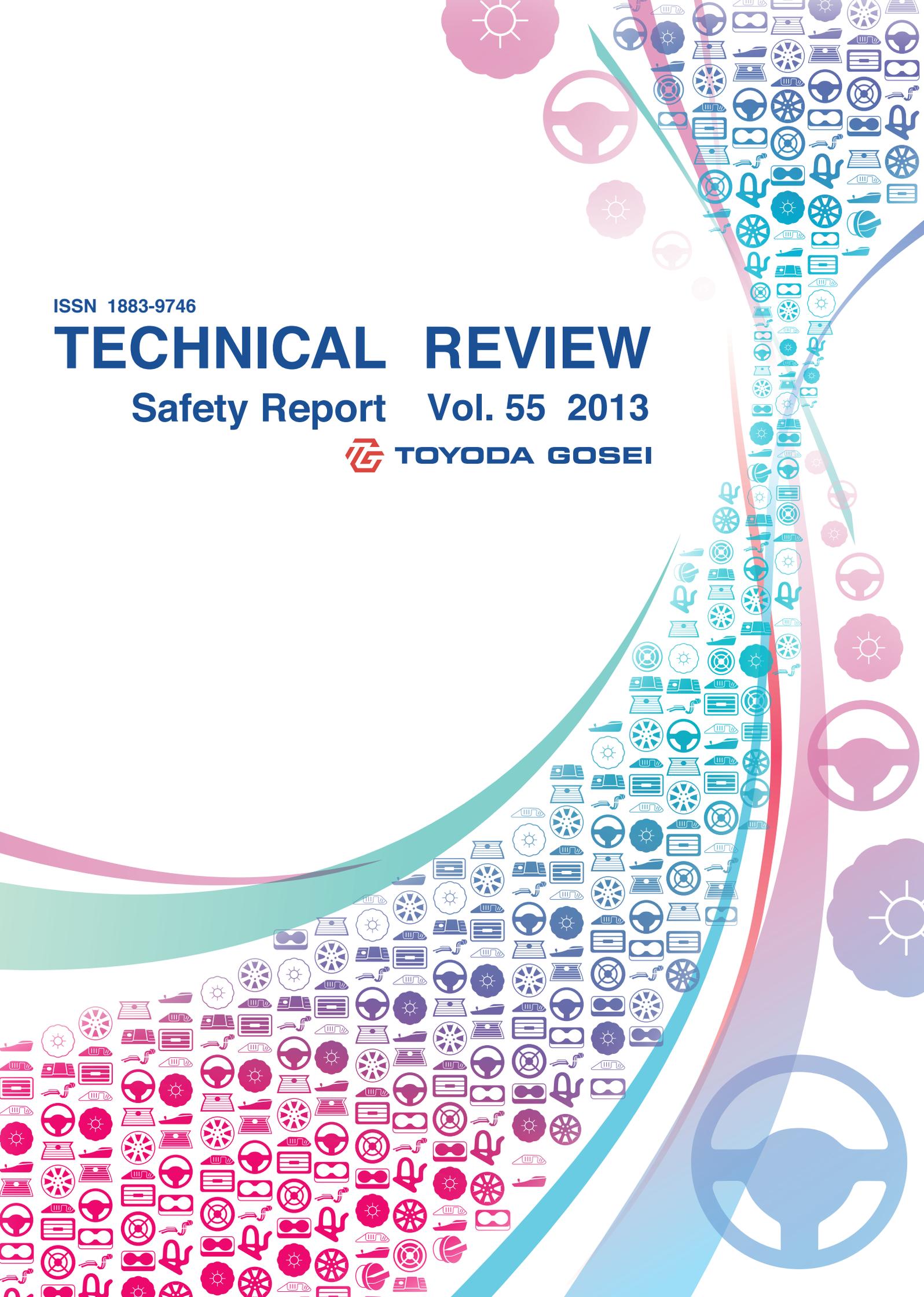


ISSN 1883-9746

TECHNICAL REVIEW

Safety Report Vol. 55 2013

 TOYODA GOSEI



巻頭言	安全の追求……………	橋本 正一……………	1
特集	自動車の安全性向上をめざして		
特別寄稿	交通事故死傷者を低減するための新たな対策……………		2
	- 体調変化に起因した事故を防ぐ -	獨協医科大学 法医学講座 准教授 一杉 正仁	
総説	自動車の安全技術の今後の展望……………	栗山 雄治……………	11
論文	豊田合成オリジナルインフレーター開発……………	森 圭介……………	17
	軽自動車向けサイドエアバッグの開発……………	本田 健作……………	24
新技術紹介	カーテンエアバッグのロールオーバー対応技術……………	河村 功士……………	28
	エアバッグ展開シミュレーション技術……………	青木 雅司…………… 井田 等	30
新製品紹介	ポップアップフードアクチュエータ……………	切手 肇…………… 角野 哲也	32
一般論文	CO2 活用技術……………	中川 博之……………	34
	画像解析ソフト ImageJ を用いたポリマーアロイの モルフォロジー定量化……………	松浦 元司…………… 渡辺 健市	41
	ドライバー監視ステアリングホイールの開発……………	志賀 一三…………… 鈴木 滋幸 坂川 雄祐	46
	a 面, c 面サファイア基板上 AlN バッファ層の 島密度と GaN 層の結晶品質……………	奥野 浩司……………	51
新技術紹介	リザーバタンク冷却液の流動音簡易予測……………	丸田 康博……………	58
	金属積層技術の最新動向と適用……………	吉田 瑞生……………	60
	低エアー流量塗装技術……………	神谷 正人…………… 佐藤 敦仁	63

新製品紹介	小型燃料カットバルブ	関 敏訓	65
		金子健一郎	
	新機構コンソールボックス	谷川 達也	67
	高意匠ミリ波カバー	前田 英登	69
	プリント加飾オープニングトリム	高橋 和宏	71
		木下 靖之	
		葛谷 弘志	
	除加湿空気清浄機	山口 秀明	73
特許紹介		知的財産部	75

CONTENTS

Preface

Pursuit of Safety..... Masakazu Hashimoto..... 1

Feature: Toward Safety Improvement of Automobile

Contribution

Strategy for Preventing Vehicle Collision due to Drivers' Health Problems..... 2
Masahito Hitosugi, Associate Professor, Dokkyo Medical University

Review

Automotive Safety Technology Outlook..... Yuji Kuriyama..... 11

Technical Paper

Development of Toyoda Gosei Original Inflator..... Keisuke Mori..... 17

Development of Side Airbag for “Kei” car..... Kensaku Honda..... 24

New Technology

Technology for Rollover of Curtain Airbag..... Koji Kawamura..... 28

Simulation Technology for Airbag Deployment..... Masashi Aoki..... 30
Hitoshi Ida

New Products

Pop-Up Hood Actuator..... Hajime Kitte..... 32
Tetsuya Kadono

General Article

Technical Paper

CO2 Utilization Technology..... Hiroyuki Nakagawa..... 34

Digital Image Analysis for Morphology of Polymer Alloy
with the Software “ImageJ” Motoshi Matsuura..... 41
Kenichi Watanabe

Development of Driver Monitoring Steering Wheel..... Ichizo Shiga..... 46
Shigeyuki Suzuki
Yusuke Sakagawa

Crystal Quality of GaN Films and Island Density of AlN
Buffer Layer Grown on a- and c-Sapphire Substrate..... Koji Okuno..... 51

New Technology

Flow Sound Simplicity Forecast of Reservoir Tank Coolant..... Yasuhiro Maruta.....58

The Leading-Edge Trend of Metal Laminate Technology,
and Application..... Mizuo Yoshida..... 60

Low Air Volume Painting..... Masato Kamiya..... 63
Atsuhito Sato

New Products

Small Size Fuel Cut-off Valve..... Toshinori Seki..... 65
Kenichiro Kaneko

Console Box with New Mechanisms.....Tatsuya Tanikawa..... 67

High Design Milliwave Transmission Cover..... Hideto Maeda..... 69

Printed Non-Woven Fabric Opening Trim Weatherstrip..... Kazuhiro Takahashi.....71
Yasuyuki Kinoshita
Hiroshi Kuzuya

Air Purifier with Dehumidification and
Humidifying Function..... Hideaki Yamaguchi..... 73

Patents Intellectual Property Division... 75

巻 頭 言



執行役員 橋本 正一

「安全の追求」

安全という言葉は昨今新聞で見ない日はないほど社会で最も関心の高い価値のひとつです。「安全」をWikipediaで調べると「危険がないこと、被害（有形，無形を問わず）を受ける可能性のないこと」となっています。言わば「否定形の定義」であり、どういう状態を安全と判断するのか、その具体的なレベルは非常に曖昧なコンセプトであるとも言えます。食の安全、原子力の安全、国の安全など百家争鳴の原因もそこにあるのではと思います。弊社が直接的に携わっている自動車の安全も地域、国別にさまざまな法規で取り決められており、一部地域特有の要件も求められています。これは社会の歴史、成熟度、地域特有の交通環境により求められる「合理的な安全」が異なり、それが法規に反映されてきた結果と言えます。法規の国際統一の動きはあるもののその実現にはいくつもの課題が残され道半ばといったのが現状で、どの地域、国も最終ゴールである「交通事故の死傷者ゼロ」は同じでも現在の重点とその達成に向けてのスピード感は、整備されたインフラと成熟した交通環境の先進国とモーターレーションが急速に進む新興国で異なってくるのは当然ともいえるのではないのでしょうか。この要求にタイムリーかつ的確にこたえ貢献できる実力と技術力がグローバルサプライヤーである弊社に求められていると考えます。

世界の交通事故死傷者は年間130万人を超えるといわれています。欧米、日本などの先進国市場での死傷者は合わせても約8万人であり、新興国がそのほとんどを占めており、対策のスピードアップが求められています。新興国ではインフラ整備と国民の教育、安全意識の向上などを進めるとともに、自動車メーカー、サプライヤーは業界を挙げてエンドユーザーが賄えるコストで現在の先進国の車に標準装備されている「基本的な安全装備」をすべての車に搭載することが当面の課題であります。「基本的な安全装備」の実現は新興国でも始まった安全性能のアセスメントで今後急速に加速されると期待されています。一方、先進国は自動車の衝突安全性能の向上により過去20年で着実に死傷者低減の成果を上げてきたものの、歩行者、高齢者、子供といった交通弱者の死傷者低減が課題となってきています。その対策として事故そのものを回避する、もしくは被害を軽減する技術として予防安全に注目が集まってきました。予防安全を現状課題の唯一の打開策として期待するのではなく、衝突安全の一層の向上と合わせた「死傷者ゼロ」に向けた新たな取り組みが始まっていると考えています。

これまで安全は社会の進化とともに求められるレベルが上がり、その範囲も拡大し、その対応に向けた取り組みが始まり展開されるといったサイクルが繰り返されてきました。今後は我々が社会の要求に先駆け安全を追求し、お客様に安心を提供できるサイクルを実現していきたいと思えます。

今回、安全の特集にあたり、獨協医科大学の一杉正仁先生に特別寄稿をお願いしました。ご一読いただき、安全の追求には自動車のハードだけでなく、人、環境を含めたソフトが重要であることを改めて学びましょう。

交通事故死傷者を低減するための新たな対策 - 体調変化に起因した事故を防ぐ -

Strategy for Preventing Vehicle Collision due to Drivers' Health Problems

一杉正仁*¹

1. ある事故が気付かせた

道路交通事故は大きな社会問題の一つである。世界全体では毎年約130万人が交通事故で死亡し、約5000万人が負傷している。2004年に世界保健機構（WHO）は、世界の総死亡原因のうち交通事故が第9位を占めることを明らかにした。そして、発展途上国のモータリゼーションなどによって、2030年には交通事故が死因順位の第5位になると予測した。「道路交通傷害は、重大であるにもかかわらずなおざりにされてきた公衆衛生の問題」と位置づけ、「効果的かつ持続可能な防止策に向けて共同の努力が必要」と指摘している。このような状況を受けて、国際連合は10年間で交通事故死亡者数を500万人低減することを目標とし、“Decade of Action for Road Safety”と、世界的な運動を開始することを宣言した。すなわち、2011年から2020年が、交通安全に向けて世界が共同して行動する10年間なのである。

わが国では2012年の交通事故死者（事故後24時間以内の死亡）が4411人と、1960年以降最低の数字を記録した。この背景には、エアバッグの装着や車体構造の工夫といった自動車安全性能の進歩、飲酒運転の厳罰化などの法律改正、ドクターヘリの配備に代表される救急医療体制の整備などが挙げられる。しかし、依然として年間に82万人以上が交通事故で負傷している。政府は、「平成30年を目処に、交通事故死者を半減させ、これを2500人以下とし、世界一安全な道路交通の実現を目指す」という目標を掲げた。したがって、さらなる死傷者低減のためには、新たな視点で適切な対策が要求される。

さて、わが国では自動車運転者の体調変化に起因した重大事故が散見される。2011年の4月に栃木県鹿沼市で登校中の小学生6人がクレーン車にはねられて死亡するという事故が起きた。運転者はてんかん発作で意識を失い事故に至ったという。後の捜査では、運転者がてんかんに罹患していたことを隠して免許の更新を行っていたこと、医師の指示を遵守せず、内服薬のアドヒアランスも不十分であったこと、事故の前日に十分な睡眠をとっていなかったことなどが明らかになった。また、このような健康状態を十分に把握せずに運転に従事させていた就労環境も明らかになった。さらに、運転者はてんかん発作が原因と考えられる事故を過去に頻回に起こしていたという。この事故に類似した事例は過去になかったのであろうか？類い希な事故であり、これまでに予防対策を講じることは不可能であったのか？答えはいずれもNOである。個々の例を挙げればきりが無いが、2008年3月に横浜市内で発生した事故を例にする。トラックを運転していた男性がでんかん発作をおこして意識を消失し、交差点で信号待ちをしていた中学生と男性会社員をはねて死傷させた。この運転者はてんかんの診断を受けて抗てんかん薬を処方されていたが、服用を怠って物損事故を起こした経緯もあったという。翌年にこの事故についての刑事裁判が開かれ、裁判長は、「偶発的に起きた事故とは全く違う、過失は誠に大きい」と断じた。そして、自動車の運転者は自らの体調を管理する責任を負っていることが改めて強調された。このように、同様の原因による事故が多発していたにもかかわらず、その原因究明と予防対策がとられず、そして悲惨な死

*¹ Masahito Hitosugi 獨協医科大学法医学講座准教授

亡事故が生じてしまったことは悔しい限りである。何の罪もなく、未来ある多くの小学生の生命を奪ってしまったことには、社会全体が反省すべきではないだろうか。このような、運転者の体調変化による事故は少なからず存在しているのである。しかし、その現状が社会的に注目されず、さらに、効果的予防対策が講じられてこなかったことは事実である。残念ながら、2012年4月にも京都の祇園で、てんかんの持病を持つ男性が車を暴走させ、8人が死亡するという事故が起きている。もう、これ以上悲惨な事故が生じないように、対策を講じなければならない。したがって、運転者の健康状態に注目すべきことは喫緊の課題なのである¹⁾。

2. この問題が表面化しなかった理由

運転中の体調変化について、最近まで具体的な施策が講じられてこなかったことは事実である。しかし、重大な問題が軽視された背景には、交通事故の取り扱いに関するわが国の問題点がある。個々の問題点について具体的に概説する。

2-1. 包括的な事故分析システムの欠陥

一般に、事故予防対策は正確な調査に基づいて立案されるべきである。わが国では、一般の交通事故に対して、事故原因、被害者の損傷程度、車両の損傷程度、現場周囲の環境などは、扱った警察官が調査して報告する。私は法医学の実務をとおして交通警察官と接することが多いが、事故現場の調査（詳細な計測に基づく図面の作成や車両損傷程度の把握）については、その緻密さに脱帽したい。しかし一方で、事故原因が運転中の体調変化なのか前方不注意などのヒューマンエラーなのかについて、限られた情報から正確に判断することは困難である。また、交通統計に収載される、「損傷主部位」についても、決してAIS値が高い部位が正確に選ばれているわけではなく、担当者が聞き取りによって得た情報などから「主な損傷がある」と判断した部位が記載されているのである。したがって、科学的信頼性は低いと言わざるを得ない。わが国では、個々の事故例に対して専門の調査員が現場へ赴き、事故当時者の人的側面、道路交通環境、車両、救急・救助、医療の観点から関連データを収集して事故を科学的に分析

する、いわゆる「マイクロ調査」は、つくば地区を中心とした一部の地域でしか実施されていない。したがって、このような体制、すなわち、交通事故の原因究明について専門家が集う包括的調査が全国で実施されていないことが、まず、運転中の体調変化による事故を過小評価した最大の原因であろう。

2-2. 死亡例に対する取り扱いの問題

わが国では交通事故死者に対して、警察官と医師が外表から観察して、死因などを決定する。死因が明らかでない場合や事故状況が不明な場合には法医解剖が行われる。わが国では、事故死や急死などの異状死に対する剖検率が低く、2010年には11.2%であった²⁾。また、1994年に日本法医学会が行った調査では、交通事故死関連の剖検率は5.8%とさらに低かった³⁾。交通事故死の場合、剖検の意義は単に死因を決定するためでなく、事故状況や受傷機転を明らかにする必要がある。例えば、CTや単純エックス線などの画像検査では、軽微な臓器損傷の有無や肋骨骨折の位置などが正確に明らかにならないことが多い、剖検は診断のゴールドスタンダードである故、これらの情報が明らかになり、そして死亡者の事故直前における挙動も解明できる。剖検は積極的に行われるべきであるが、わが国では警察が実質的な裁量権をもつため、前記のような低い剖検率になっている。このような状況では、心筋梗塞や肺動脈血栓塞栓症などの内因性疾患を正確に診断することはできず、したがって、運転中の体調変化が見逃される結果となる。ここで栃木県での例を挙げる。1996年に栃木県内の交通事故死者数は196人であった。うち法医解剖に賦されたのは11人で、解剖の結果2人の死因は病死（運転中に発症した病気で死亡）と診断された。筆者が当局に剖検の必要性を訴え続け、2003年には交通事故死者194人のうち、36人が剖検された。その結果、8人が病死と診断されたのである。日本全国で、全ての交通事故関連死者に対して剖検が行われたとすれば、この数をはるかに増加することは言うまでもない。運転者が死亡している例では、病死か事故死かを診断するうえで剖検が必須であるため、今後は、交通事故関連死に対する剖検率向上が求められる。

2-3. 関係者（専門家）における認識の甘さ

前記のとおり、交通事故の調査や分析には多くのスタッフが携わることになる。しかしすべてのスタッフが、「事故原因が運転者の体調変化なのかもしれない」と積極的に疑いながら実務を遂行しているとは言えない。単独事故で運転者が死亡しているような例では、運転者のヒューマンエラーとして処理されている例も少なからずあるだろう。もちろん、事故調査に加わるスタッフだけではない。交通事故負傷者の治療や死因の究明にあたる医師も、内因性疾患が関与していなかを念頭において、積極的に疑わなければ正確な原因が究明できない。医療現場において、運転中の体調変化による事故がどのように診断されるかを図-1に示す。囲みで示した例が、正しく診断された場合であり、その他の場合には見逃されている例がある。例えば、非死亡例では、担当医が運転者から事故直前の体調変化について聞き取り、さらに、既往歴や事故状況（回避行動がとられていなかった、蛇行運転の末に事故にいたったなど）をあわせて、まず、疑う。さらに、その後の診察や諸検査結果で詳細な診断を下すことになる。一方、医療機関搬送時に患者の意識がないような重症例では、事故時における運転者本人の体調変化について聞き取れず、さらに既往歴も不明なことが多い。したがって、その診断は困難である結果

的に交通外傷と診断された患者の中には、運転中の体調変化に起因した例が潜在的に多く含まれると考えられる。「傷が治ったから」、「死因が分かったから」などの理由で、原因究明が軽視されることは、将来の事故予防対策に寄与しない。筆者は医師である故、あえて身内に厳しく言及するが、医師法第一条には、「医師は、医療及び保健指導を掌ることによって公衆衛生の向上及び増進に寄与し、もって国民の健康な生活を確保するものとする」と規定されている。したがって、われわれ医師は、国民の健康を守るために、事故原因の正確な究明と予防に努めなければならないと考えている。

2-4. 連携の欠如

事故データの収集過程から積極的に医師が介入することが望ましいと考える。自動車安全に係わる多くの人の共通した目標は、交通事故死者の低減及び負傷者の重症度軽減が目的であるからである。例えばドイツのハノーバでは、ハノーバ医科大学とドレスデンにおいて年間1000件以上の詳細な事故調査が行われている⁴⁾。事実上リーダーシップを取っているのは医師（Dr. Otte）である。また、米国のCIRENでは米国内の多施設の事故例が調査されるが、医師が積極的に関与して多くの臨床データが蓄積されている。

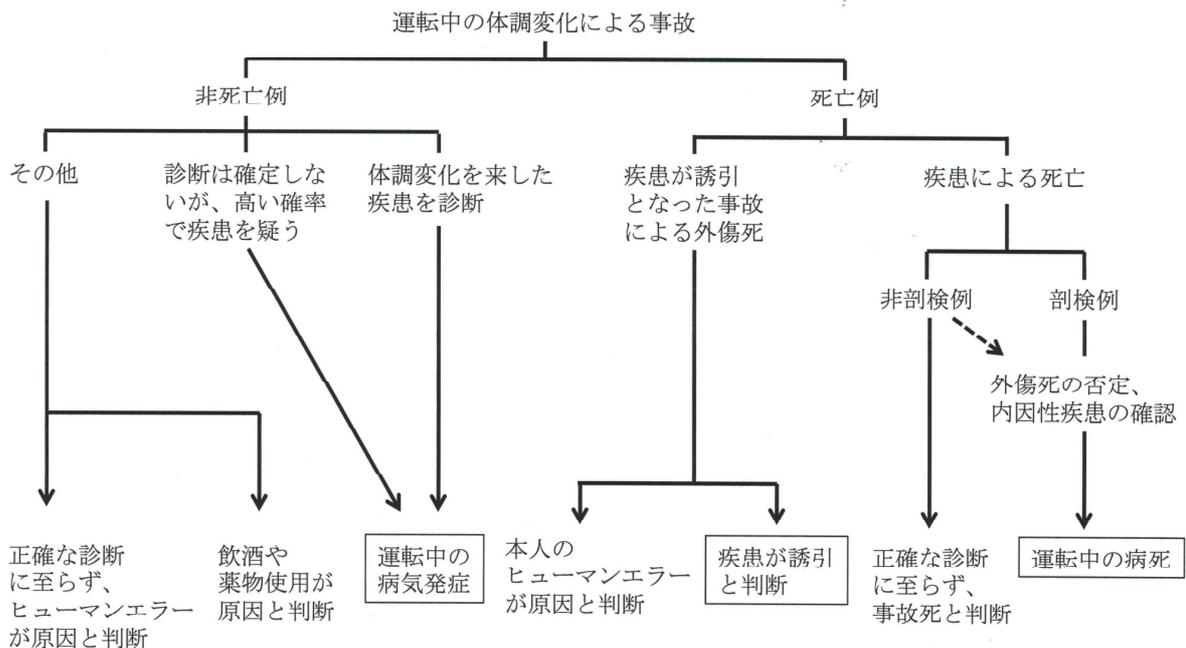


図-1 運転中の体調変化で事故に至った例の診断過程

残念ながら、前記で紹介したわが国のシステムでは、医師が積極的に関与しているとは言い難い。むしろ、必要なときに利用されている程度ではないだろうか。データ収集時点から医師が積極的に介入し、効果的な分析につながるよう絶えず助言を行うことが必要と考える。また、事故分析だけではない。反対に工学系の分析者が事故情報をいち早く医療者に伝えることによって、診断の助けになることがある。例えば、運転中の病気発症については、故直前の車両の挙動が大きなヒントになる。「衝突していたがブレーキ痕がない、ハンドルをきった跡がない」、「目撃情報では、運転手が衝突前からハンドル上で臥していた」などは、事故直前に意識が消失していたことを疑う情報である。残念ながらこのような情報が必ずしも医療者に伝わっていない。それ故、運転中の病気発症を疑う根拠が薄れてしまうのである。したがって、事故の分析を行うスタッフと医師が密に連携すれば、多くの利点が生まれるのである。

2-5. 社会的認識の低さ

前記のように、運転中の病気発症について専門家ですら十分な認識が備わっていない。同時に、一般市民にも、「運転中の体調変化が事故につながる」という事実と、「決して希なことではない」という実態が十分に認識されてい

ないのである。一般市民の情報源として、新聞、テレビ、一般雑誌の影響は大きい。以前は、このような事故が新聞やテレビ番で取り上げられることは少なかったが、前記のクレーン車事故直後から、体調変化に起因した事故についての報道が増加した。悲惨な事故が、一般の人に対して、注目されてこなかった大きな問題を気付かせたのである。このような認識が社会に浸透すれば、体調が悪いときには運転を控えようという抑止効果を生み出す。さらに事業者、健康管理を担う医療者、安全運転管理者などが行う事故予防活動でも重点がおかれるようになる。したがって、社会の認識が低かったことも、本問題が軽視された一因である。筆者を含めて、交通事故の予防安全に取り組む人は、「運転中の体調変化が事故につながる」ことを、今後も社会に啓発していく必要がある。

3. 事故予防対策として引かれた道筋

一般に、事故防止策の立案では、データの収集や分析によって事故発生パターンを理解し、特定事故に対する危険因子を明らかにする⁵⁾。もちろん、事故防止に導くには一般集団に対する教育、行動変容のすすめ、自動車の設備や機能の変更、法律の制定や改正などが必要である。これまでわが国では、飲酒運転による事故や高

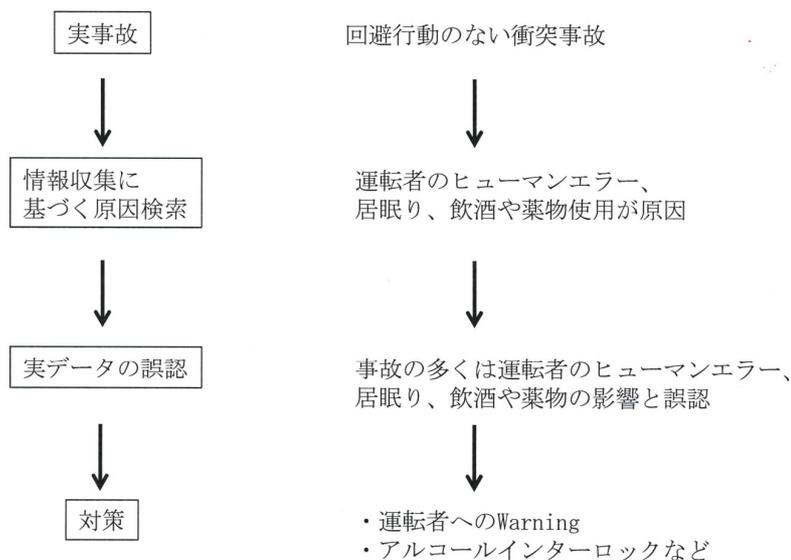


図-2 事故原因の調査から予防対策まで
運転者の体調変化による事故が軽視された実態

高齢認知症患者が起こす事故については注目され、法律の改正や該当者への教育が実施されてきた。いずれも、彼らの起こす事故によって、一般交通社会参加者を危険にさらすことを防ぐためである。しかし、運転中の体調変化による事故は、飲酒者や認知症患者といった特定の集団ではなく、あらゆる運転者に起き得ることである。したがって、より優先的に対策が講じられるべきではないだろうか。

この問題への対応が遅々とした原因は前述のとおりであるが、それによって誤ったロードマップがひかれたと考える(図-2)。すなわち、事故原因の多くはヒューマンエラーや居眠りであり、大きな影響を及ぼすのはアルコールや薬物または認知症であること、そして、これらの事故を予防するために、先進技術を利用して安全運転を支援する、という考えである。事実、この考えはASV推進計画となって実行に移されている。しかし、同計画に明示されているような、ドライバーの意思や意図に沿った支援を行うことやドライバーがシステムの作動内容を確認できること、などの考え方は、運転中の体調変化時の対応として不十分であることは自明である。意識が消失している人にwarningを行っても無駄である。また、warningに対するresponseを待つ間に自動車は走行して事故につながってしまう。実事故を正確に把握できなければ、その後の対応にも支障が出ることを強調したい。

4. 明らかにされてきた事実

4-1. 実態

諸外国では交通事故予防を前提としたさまざまな調査が行われている。フィンランドでは2003年～2004年に発生した交通死亡事故例を対象に、事故状況や人体損傷などが包括的に検討されて原因が調べられた。その結果、死亡事故の10.3%は運転者の体調変化に起因していたという⁶⁾。また、カナダで2002年～2006年に行われた交通事故死剖検例を対象にした検討では、全例の9%で運転者の冠動脈疾患が事故原因となった⁷⁾。このように、交通事故死の1割以上で、運転者の体調変化が事故原因となっている。わが国では包括的な調査がないものの、最近の救急医療施設からの報告で、同様傾向であること

が確認された。2011年～2012年に栃木県で行われた前向き研究では、自動車運転者の事故のうち意識消失が先行したのは7.5%であった⁸⁾。また、2012年に神奈川県内で搬送されてきた自動車、二輪車、自転車運転者を対象にした調査では、アルコールや薬物使用も含めて意識消失が先行した事故例は9.7%であったという⁹⁾。したがって、事故の約1割が運転者の体調変化によって引き起こされていると考えることは妥当であろう。そうであるならば、約66万件発生している交通事故低減に向けて、運転者の体調管理を推進することが喫緊の課題と考える。

4-2. 原因疾患について

体調変化の原因について考える。まずは、救急医療施設からの報告を紹介する。1998年～2001年に神奈川県内で救急搬送された交通事故患者2560例を検討した報告では、原因疾患として不整脈、てんかん、脳血管障害などが挙げられた¹⁰⁾。また、1995年～2002年に福島県内で救急搬送された交通事故患者5333例を検討した報告では、運転中の意識障害の原因として症候性てんかんが最も多く、以下、脳血管障害、不整脈と続いた¹¹⁾。前記の栃木県における前向き研究結果では、原因として糖尿病患者の低血糖症、運転直前の向精神薬服用が、2012年に神奈川県内で行われた調査では、急性アルコール中毒が、てんかん、失神、急性薬物中毒が挙げられた。

次に、剖検例を対象にした報告である。筆者らが行った、運転中の突然死例を対象とした検討では、その原因として虚血性心疾患が最も多く、脳血管疾患、大動脈疾患が続いた¹²⁾。

ところで本邦では、職業運転者(バス、トラック、ハイヤー・タクシー運転者)のみを対象に、疾病によって運転を継続できなくなった例に対しての報告義務がある。すなわち、「運転者の疾病により、事業用自動車の運転を継続できなくなった」場合には、「自動車事故報告規則」に基づいて、その旨を国土交通省に届け出ることになっている。これは、省庁が把握している運転中の病気発症についての唯一の報告である。もちろん、この届け出は事業主に課せられている自主的な報告であること、届け出なかった際の罰則がないことから、全ての例が把握されてはいない。著者らは、情報開示請求を通してこの詳細を分析した¹³⁾。すると、原因疾患

では、脳卒中が最も多く、心疾患、失神、消化器疾患と続いた。

以上のように、原因疾患としては心疾患、脳血管疾患、てんかんが多いことは共通していたが、その頻度については報告された施設によってさまざまである。すなわち、前記の図-1で示したように、死亡例、重症例、軽症例と対象例の背景が異なるためである。いずれにせよ、生命を脅かす心疾患及び脳血管疾患はもちろんのこと、失神、消化器疾患、てんかんといった、比較的軽微な疾患も正常な運転を妨げる原因となる。したがって、自動車を運転する人では、すべての疾患に対して、そのコントロールを良好に行う必要がある。

4-3. 体調変化の直後には

ひとたび、運転中に大きな発作や重篤な体調変化が生じると、事故を回避することは困難である。かつて、運転中に心疾患が発症した場合には回避行動がとれるが、脳血管疾患では不可能である、ということが言われていた。これは、心疾患では、発症後短時間の脳血流は維持されるため、意識が清明であるとの学説による。われわれは、自動車運転中の突然死例を対象に、事故現場の状況から車両の軌跡を調査し、ハンドルあるいはブレーキ操作があったかを検討した¹²⁾。その結果、事故直前に回避行動が認められたのは僅か26.5%であり、多くの例で回避行動は認められなかった。また、虚血性心疾患で死亡した例のうち、86.4%では、事故直前に回避行動がとられていなかった。決して、心疾患の場合に回避行動がとれるということはない。また、前記の職業運転者を対象にした調査でも、回避行動の有無について確認した¹³⁾。運転中に体調変化が生じた人のうち、直後にハンドル操作や制動を行って事故を回避できたのは対象例の35.3%であり、64.7%では十分な回避動作がとられずに事故につながった。そして、1事故当たり平均して、トラックの事故では5.6人、バスでは5.2人、タクシーでは1.7人の死傷者が出ていた。運転中の体調変化では、このように一般交通社会参加者を危険な状態にする実態が明らかになっている。

5. 明らかにされてきた事実

5-1. 運転者への教育

筆者は、運転中に脳血管障害を発症した人の自動車運転復帰をお手伝いしている。その方々と話をする過程で、体調変化が起きた時の状況、あるいはその直前の状況についての情報を得た。ある人は、「左手でギアを操作していたが、ギアが上手く入らないと思っていた、しかし操作は可能であるので運転は続けた」、またある人は、「当日朝から左肩に違和感があった、しかし運転に従事した」と話していた。これらはまさに、前駆症状である。突然の変化と思われがちであるが、多くの人では、発症前に何らかの異変が感じ取られているのである。症状は本人しか自覚できないこと、人の感覚には個人差があることから、一概に基準を設定することは困難である。しかし、運転中あるいは運転直前に異変を感じたら無理に運転をしない、ということは今一度徹底した方が良いと考える。これについては、科学的にも検証されている。米国における検討では、自動車運転中に失神発作をおこした人の87.4%が、発作前になんらかの前駆症状を自覚したという¹⁴⁾。前駆症状を自覚した際に運転を中止していれば、意識消失による事故も予防できたであろう。

無理に運転を続けるとどうなるか、これについては前述のとおりであり、職業運転者を対象にした検討でも明らかにされた¹³⁾。職業運転者の職種別に体調変化時の状況を比較したところ、バス運転者は業務開始から平均3.3時間で運転中止に至っており、タクシー運転者やトラック運転者（それぞれ7.7時間および7.2時間）に比べて有意に短かかった。その結果、事故を回避できた割合もバス運転者で56.8%と、タクシー運転者の17.6%やトラック運転者の14.6%に比べて有意に高かった。さらに、体調変化の原因となった疾患で運転者がそのまま死亡する割合は、バス運転者で6.8%であったが、タクシー運転者では51.4%、トラック運転者では64.2%と有意に高かった（表-1）。体調変化を自覚してからも無理に運転を続ければ、高率に事故につながることであり、みずからの生命をも危険にさらすことが分かった。無理に運転を続けても決して良いことなない。タクシーやトラック運転者で体調

変化に対する自主的対応が遅れる背景には、さまざまな就労環境が影響したと思われる。これについては、別稿に譲ることとする。

もちろん、事故を防ぐために運転者がしっかりと健康管理を行う必要があることは法でも定められている。道路交通法第66条では、「何人も、過労、病気、薬物の影響その他の理由により、正常な運転ができないおそれがある状態で車両等を運転してはならない」と規定されており、第117条の2の2第5号では「3年以下の懲役又は50万円以下の罰金に処する」と記されている。したがって、自動車を運転する人に対しては、健康管理を適切に行うことが自己責任として求められている¹⁵⁾。しかし、このような事実を多くの運転者は正しく理解しているであろうか。冒頭で示したように国民への啓発活動が不十分である故、認識程度は低いだろう。交通の教則には、「自動車を運転する前の心得」の中で「体調を整えること」との見出しで注意が記載されているが、僅か4行半にすぎない。もちろん、本項で挙げたような、エビデンスに基づく情動的な教育は、交通教育を司る多くの部署で実施されていないだろう。今一度、運転中の体調変化が事故につながるという事態を国民に啓蒙し、自己責任のもとに疾患を良好にコントロールすべきことを周知させる必要がある。日常的に自動車を運転する人には、みずからの健康をしっかりと管理する義務があるのである。

5-2. 自動車に求められる技術

交通事故死傷者の低減に向けて、効果的な予防安全システムが求められている。前述のような教育を徹底して行い、運転者本人が厳格に健康管理を行っても、予期せぬ体調変化や病気の発作は起こり得る。この時に、対応するシステムがあれば続発する事故や運転者の生命危機が

予防できるだろう。続発する事故を防ぐには、異変時に直ちに減速するか停止することが最大の目標である。たとえ、完全に停止できなかったとしても、減速することで被衝突者（物）の損傷程度は軽減されるだろう。そのためには正常な運転ができない状態であることをいかにして検知するかが課題である。鷲野らは、実車試験に基づいて運転中の蛇行運転について調べた。しかし、正常に市街地走行をしている場合で蛇行運転率は1.3%であり、蛇行運転をもって、運転不能状態の検知には利用できない¹⁶⁾。そこで、運転者の体調変化を早期に発見するために様々な生体情報を計測する試みが行われている。すなわち、心拍数や眼球運動などである。どのような生体情報を計測するかについては、実際の体調変化による事故例を参考に考えるのが良いだろう。そこで、参考になる症例を2例挙げる。

症例1：70歳のタクシー運転手。某所で停車していたところ、車を動かすように指示された。しかし、指示に速やかに対応できず、その後の発進時に軽微な衝突事故を起こした。そのまま運転して立ち去ったが、所々で赤信号を無視して交差点を左折するなどの、明らかな異常行動が確認された。しかし、信号に正しくしたが比較的尋常に運転するという行動もみられた。この間、頭に何度も手をあてており、明らかに身体に異常があるようであった。最終的には停止したが、すでに朦朧状態であり、病院へ搬送後に脳血管疾患で死亡した。

症例2：58歳の男性。息切れと倦怠感を訴えて近医を訪れたところ、心不全であることを指摘され、総合病院受診を指示された。男性は、自ら乗用車を運転して総合病院へ向かったが、途中で道路脇の縁石に衝突して停車した。エアバッグは展開していなかった。通行人に発見された時には四肢の麻痺はなかったが、問いかけ

表-1 職業運転者における体調変化の実態¹³⁾

	バス	タクシー・ハイヤー	トラック
業務開始から 運転中止までの平均時間	3.3	7.7	7.2
事故を回避できた割合(%)	56.8	17.6	14.6
当該疾患で死亡する割合(%)	6.8	51.4	64.2

に対してちぐはぐな対応であったという。直ちに病院へ搬送されたが心不全の診断で翌日死亡した。

症例1では脳血管疾患を発症しながらも運転を続けていた。発症後に直ちに意識がなくなる、あるいは全く体の一部が動かなくなるということではなく、意識レベルが変動していることが明らかになった。心拍数や眼球運動に大きな異常はなかったようであり、四肢の麻痺もなかった。また、症例2では、重篤な心不全状態であったが、意識はほぼ保たれており、四肢の麻痺もなかった。これら2例から分かることは、疾病によって正常な運転ができない状態であることを正確に見出すのが困難ということである。予防安全への取り組みとして、例えば、眼瞼運動、四肢の動き、心拍数、呼吸数などの指標を非侵襲的にモニターすることは可能と考える。しかし、以上の事例からも明らかなように、何か一つの指標をもって、運転が不可能な体調変化を感度良く検出することは困難であろう。また、生体情報をモニターしても、生命に危機的な状況以外に、自動車を停車させる基準値（境界）を明確に設定することは困難であろう。今後、有効な指標を見出すべく、さらなる研究の推進が望まれる。

また、車両のエアバッグシステム内に搭載されているイベントデータレコーダのデータを活用し、先進事故通報システム（AACN）を推進する取り組みもある。しかし、前記症例2では、エアバッグが展開しない事故であった。このような事故では、運転者が重篤な状態であるにもかかわらず通報されないことになる。したがって、今後は、運転中の病気発症についての事例をもとに、新たな視点で事故予防技術を発展させて行く必要がある。

筆者は、現時点で有効な指標として、運転者の姿勢検知を提案したい^{17) 18)}。これまで、剖検で確認された人体損傷、当該車両や事故時の状況をもとに、運転者の挙動を再現する試みを行ってきた。すなわち、十分にvalidationされたコンピューターシミュレーションモデルを用い、事故直前における運転者の姿勢、そして事故時の挙動を明らかにした。その結果、一部の例では、事故直前に極端な前傾姿勢で、顔面をステアリング上に伏せているような状況あるいは上半身がシートバックにもたれるような状態で、体がシートから軽くずり落ちている状態なども確認された（図-3）。これは、意識消失状態を示唆する所見である。このような、運転者に認められる異常な姿勢を検知して制動をかければ、運転中の意識消失に続発する事故は予防できるのではないかと。

6. オールジャパンで事故予防を

前述した詳細な解析を行うためには、実事故に基づく正確な情報が明らかにされる必要がある。すなわち、詳細な事故データと当該運転者に関する医学的データである。もちろん、傷病者に対する限られた画像所見や外表所見のみでは、真の予防対策は講じられない。まず医師は、得られたデータを工学分野や安全対策を講じる方々にフィードバックすることで、予防安全対策の推進に協力する必要がある。また、技術関係の方は、より密接に医師と連携し、実態に即した技術開発を進めて頂きたい。自動車運転中に病気が発症して、正常な運転が継続できなくなっても、事故につながらないようなシステムが近い将来に実用化されることを願いたい。

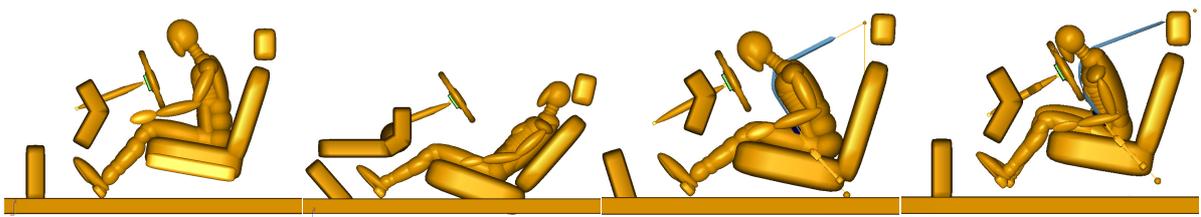


図-3 運転中の病気発症時における姿勢の再現^{17) 18)}

参考文献

- 1) 一杉正仁： 運転者の健康を考える. Prog Med 2012; 32: p1595-1599.
- 2) 中園一郎：我が国における死因究明制度の現状と課題. 法医学の実際と研 2011; 54: p1-10.
- 3) 日本法医学会企画調査委員会：日本法医学会課題調査報告，交通事故死剖検例調査. 日法医誌 1997; 51: p120-126.
- 4) 水野幸治，一杉正仁：交通傷害バイオメカニクス. 自動車技術会，2003.
- 5) 一杉正仁，福本正勝 編：事件・事故の原因を探るために. 臨床病理刊行会，2008.
- 6) Tervo TM, neira W, et al: Observation failure/distraction and disease attack/incapacity as cause(s) of fatal road crashes in Finland. Traffic Inj Prev 2008; 9: p211-216.
- 7) Oliva A, Flores J, et al: Autopsy investigation and Bayesian approach to coronary artery disease in victims of motor-vehicle accidents. Atherosclerosis 2011; 218: p28-32.
- 8) 岩田健司：意識消失による自動車事故症例の検討. Prog Med 2012; 32: p2271-2274.
- 9) 本多ゆみえ，中川儀英，猪口貞樹：意識消失による交通事故 -予防的観点から-. 交通科学研究資料 2013; 54: p64.
- 10) 田熊清継，堀 進悟，ほか：内因性疾患による交通外傷の検討，日救急医学会誌 2006; 17: p177-182.
- 11) 篠原一彰，松本昭憲：運転中の急病発症 -過去17年間に当院ERで経験した事例の紹介と総括-. Prog Med 2012; 32:p1601-1604.
- 12) Motozawa Y, Hitosugi M, et al. : Sudden death while driving a four-wheeled vehicle: an autopsy analysis. Med Sci Law 2008; 48: p64-68.
- 13) Hitosugi M, Gomei S, et al: Sudden illness while driving a four-wheeled vehicle: a retrospective analysis of commercial drivers in Japan. Scandinavian Journal of Work and Environmental Health 2012; 38: p84-87.
- 14) Sorajja D, Nesbitt GC, et al: Syncope while driving, clinical characteristics, causes and prognosis. Circulation 2009; 120: p928-934.
- 15) 一杉正仁，福本正勝：プライマリ・ケアにおける自動車乗員へのアドバイス. JIM 2010; 20: p348-350.
- 16) Washino S, Hitosugi M: Experimental studies on detecting syncope while automotive driving. Proceedings of First International Symposium on Future Active Safety Technology toward zero-traffic-accident, No. 20117320: p1-6, 2011.
- 17) 安川 淳，一杉正仁，ほか：剖検例に基づく自動車運転姿勢再現の試み，運転中の意識消失の可能性を考える. 日交通科協会誌2011; 11 (2): p25-31.
- 18) 河内茂紀，一杉正仁，ほか：意識消失時の自動車運転姿勢再現による事故防止対策について. 日職災医誌2013; 61: p144-147

≡ ≡ ≡ 総 説 ≡ ≡ ≡

自動車の安全技術の今後の展望

Automotive Safety Technology Outlook

栗山雄治*¹

1. はじめに

自動車の安全性能は「パッシブセーフティ（衝突安全）」から普及が進んだ。事故が起こった際の被害を最小に抑えるのが「パッシブセーフティ」なら、その逆に、事故を未然に防ぐ安全性能が「アクティブセーフティ（予防安全）」だ。

また、「プリクラッシュセーフティ」とは、衝突が避けられない状況になった場合に被害を最小限に抑えるための技術で、アクティブセーフティとパッシブセーフティの中間に位置する技術とも言える。これらの技術は、欧米を中心とした各国の法規や第三者機関による情報公開試験（アセスメント）の要求強化（評価基準の強化、試験の追加等）、また、乗員の傷害レベルを評価するための人体を模擬した計測装置（ダミー）の変遷とともに、進化、普及してきた。

今回は、これら法規・アセスメント、ダミーの変遷と社会環境の変化から、安全技術の今後の展望について述べたい。

2. 法規・アセスメント

2-1. 法規・アセスメントの変遷（概要）

自動車安全法規は、1971年に米国運輸省の道路交通安全局（NHTSA：National Highway Traffic Safety Administration）が FMVSS No. 208（Federal Motor Vehicle Safety Standards）として前面衝突（前突）に関する法規を世界で初めて制定した。アセスメントについても、同じく米国で1979年 NCAP（New Car Assessment Program）が初めて導入された。表—1に各国の法規・アセスメント変遷概要を示す。

米国の自動車安全法規変遷の歴史の中で特筆すべきことは、一つは、1996年のFMVSS No. 208改訂により、前突用エアバッグが標準装備化に向ったことである。その後、エアバッグ展開による乗員への加害性が問題になり、1997年に暫定処置としてインフレーター（ガス発生器）の出力を下げる法規改訂（デパワー化）が行われた後、2003年に、LRD（Low Risk Deployment）技術の進歩をねらってOOP（Out of Position）の評価が追加された。

FMVSS No. 208の最大の特徴は、シートベルト未装着乗員の安全保護性能を評価することであり、米国アセスメント及び米国以外の法規・アセスメントがいずれもシートベルト装着乗員の安全保護性能を評価するのと一線を画する。

これら、米国の異なる安全性能要求に応えるため前突用エアバッグにはデュアルインフレーター（2段出力）が開発され、更に様々なエアバッグ展開制御技術が開発された。このように、米国の法規・アセスメントの変遷はエアバッグをはじめ安全装置が飛躍的に進化してきた要因の一つと言える。

側面衝突（側突）も同様に、米国で1991年に側突に関する法規 FMVSS No. 214が制定され、アセスメントでは、1996年にNCAPに側突追加、2003年に米国道路安全保険協会IIHS（Insurance Institute for Highway Safety）が米国で広く普及しているSUV（Sports Utility Vehicle）との側突を模擬したSUV側突が制定され、側突エアバッグの普及と技術の進歩に大きく寄与している。

*¹Yuji Kuriyama SS第1技術部

表-1 各国の法規・アセスメント変遷の概要

年代	70年	80年	90年	00年	10年～	
北米	法規	●1971年 208(世界初)		●1996年 208改訂 エアバッグの標準化 ●1997年 208改訂(テ'ハ'リ) 加害性低減 ●1997年 214(側突DOT-SID)	●2003年 208(フェーズ'1) OOP評価追加 ●2006年 208(フェーズ'II) 【特徴】衝突速度77'3(30→35mph) ●2007年 新214(E'2,SID2s,ホ'ル側突)	●2013年 226 R/O ●2017年 THORダミーの採用
	レイティング	●1979年 NCAP 56kFRB(世界初)		●1995年 IIHS 64kODB ●1996年 NCAP 側突	●2003年 IIHS MDB側突	●2012年 IIHS SOL World-SIDダミーの採用 ●2017年 ●2018年 MDB斜突(THOR)後乗員保護
欧州	法規			●1997年 56kODB、側突(E'1) ●2005年 歩行者保護	●2013年 歩行者GTR ●2016年 50kFRB	
	レイティング (EURO-NCAP)			●1997年 64kODB、歩行者保護	●2013年 AEB加点点追加 ●2015年 斜めポール & World-SIDダミーの採用 ●2018年以降 THORダミー採用 AF05 FWRB	
日本	法規		●1994年 50kFRB ●1998年 50k側突	●2004年 歩行者保護、56kODB		
	レイティング (JNCAP)		●1996年 56kFRB ●1999年 側突	●2000年 64kODB ●2003年 歩行者保護		
中国	法規			●2003年 50kFRB ●2006年 側突		
	レイティング (CNCAP)			●2007年 56kODB	●2012年 56→64kODB	
ASEAN	レイティング				●2012年 64kODB	
LATIN	レイティング				●2010年 64kODB	

2-2. 今後の法規・アセスメント動向

安全法規の各国動向は、欧州法規を主体とした国連法規が米国以外で採用推進、米国は一部国連法規を採用するものの基本は米国法規の継続である。すなわち、無拘束乗員の安全保護性能評価が継続される。米国では、法規の要求強化とともにアセスメント強化も独自に進んでおり、より高度な技術が必要になる。例を以下に述べる。

法規では自動車横転（ロールオーバー）時の乗員の車外放出防止（FMVSS No. 226改訂、'13年フェーズイン）と'18年に導入が検討されているMDB（Moving Deformable Barrier）斜突評価があり、より人体に近いダミー（THOR：次頁で説明）の導入も計画されている。これらに対応する安全装置として、ロールオーバー対応カーテンエアバッグ（CAB）等のエアバッグの機能向上、新規エアバッグ開発、要素技術としては、可変技術（容量、排気等）、頭部の回転抑制等、より優しく乗員を保護する技術が必要になるであろう。

次にアセスメントでは、NCAPはMDB斜突評価+Thor ダミー、IIHSは側突の要求強化（乗員同士の衝突緩和：ファースイド乗員）、NCAPの斜突評価衝突形態は、衝突角度とラップ量が異なるOblique（斜め前突）とSOI（Small Overlap

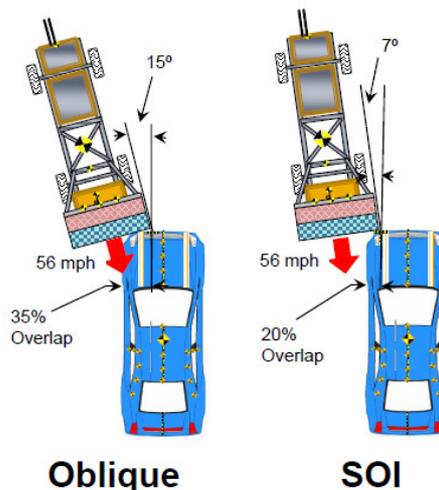


図-1 斜突形態

Impact) が検討されており、Obliqueの導入が有力である。

ObliqueとSOIの衝突形態を図-1に示す。いずれの要求も車両での対応が必要で、車両特性から来るエアバッグへの要求に適合かつ両者要求を同時に適合するエアバッグ開発が必要である。

欧州も米国同様、Euro-NCAPの要求強化、ダミーの進化による計測項目の追加・評価基準の強化が進んでいる。更に歩行者保護、AEB（Autonomous Emergency Braking）の加点点追加等、新たな安全

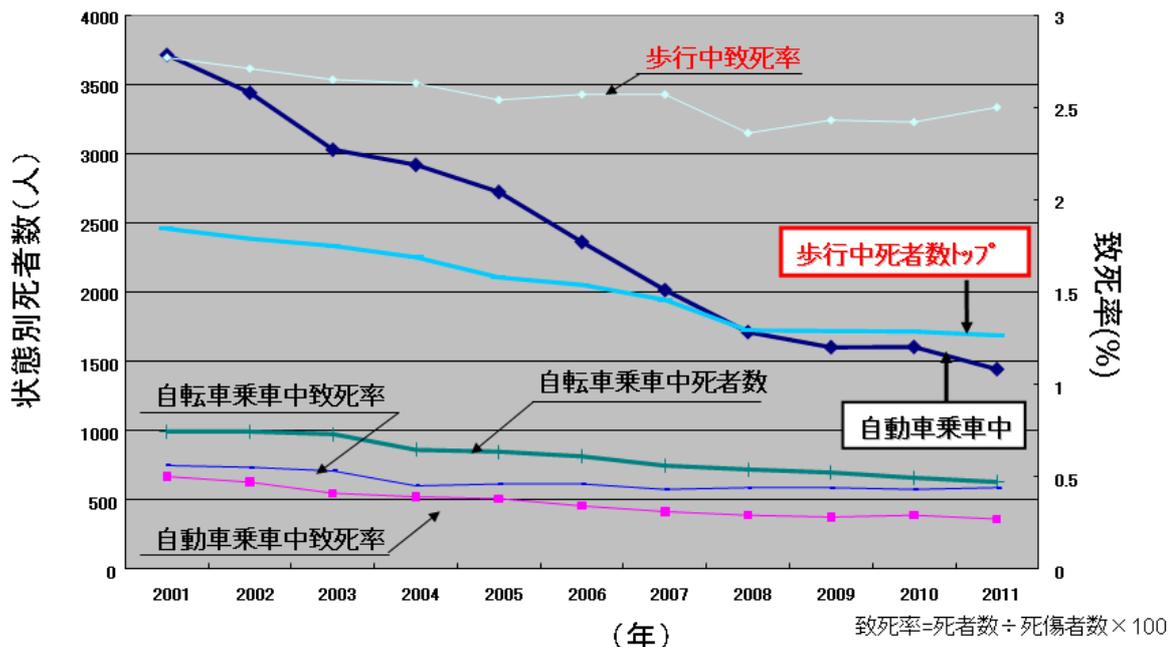


図-2 交通事故致死率

装置ニーズもでてきている。その背景には、先進国ではエアバッグの普及により交通事故時の乗員の死亡者数が激減したが、反面、図-2に示すように、歩行者の事故による死亡者比率が乗員死亡者比率を上回っている状況がある。新興国については国連の今後10年間の取組で、

- 1) 2020年までに新興国で自動車安全の国際法規採用の推奨
- 2) 新興国にグローバルNCAP制定（ベースはEuro - NCAP）

この国連の取組が後押しになり、今後前突エアバッグの普及に続き、側突評価のNCAP導入により側突エアバッグも急速に普及していくものと予測される。

3. ダミー変遷

3-1. 前突ダミー

前突試験用ダミーの歴史は古く、1950年代までさかのぼり、それ以前に実施されていた死体実験データを元に開発が進められた。しかし、ダミー計測データと人体傷害特性との整合性が取れていなかったため、改良が繰り返され、HYBRIDダミーが1970年代初頭に登場した。HYBRIDダミーもI→IIへと改良が進み、米国安全法規（FMVSS

No. 208）に適用された。その後、より多くの傷害値計測を行うことができるダミーとして1976年にはHYBRID-IIIへと進化を遂げた。

HYBRID-IIIダミーは、以降長年に渡り米国で使われ続け、1989年までに小柄女性体格（AF05）、大柄男性体格（AM95）とバリエーションを増やし、日欧にも展開された。また、人体忠実度を飛躍的に向上させた（首や胴部の柔軟性向上、脳傷害リスク判定のための計測項目追加）THORが近い将来完成される予定である。THORの出現により胴部の複合的な変形、頭部の回転角速度等を抑制するエアバッグ展開技術が必要になり各社開発競争になっている。

3-2. 側突ダミー

側突ダミーは、1979年前突試験用ダミーHYBRID-IIの部品の一部を用いて米国にてDOT-SIDが開発された。一方、欧州でも開発が進みAM50体格（米国男性の標準体格）のEuro SID⇒ES-2へと進化を遂げた。

また米国ではES-2の胸部変位特性をさらに改良したES-2 reが開発された。

上記及び2項で述べたように、米国、欧州では評価方法とダミーともに独自の考えで行ってきたが、近年 World-SIDダミーへの統一化の動きが

表-2 ダミー変遷

年代	70年	80年	90年	00年	10年
前突	<p>●1976年 HYBRID-II AM50 [特徴] センサー数:11(頭、胸、腰、大腿部) 北米にて開発、各国にて使用。</p>	<p>●1986年 HYBRID III AM50 [特徴] HYBRID IIに対して センサー数が大幅増加 11→50(頭、首、胸、腰、下肢) 北米にて開発、各国で使用。</p>  <p>●1988年 HYBRID-III AF5 (小柄女性ダミー) [特徴] 北米にて開発、各国で使用。</p>			<p>●2013年 THOR AM50 [特徴] 生体忠実度向上</p>  <p>●2014年 THOR AF5 (小柄女性ダミー)</p>
側突	<p>●1979年 DOT-SID AM50 [特徴] 北米にて開発し 北米にて使用。</p> 	<p>●1989年 EuroSID AM50 [特徴] 欧州にて開発した側突ダミー。 欧州、日本、他にて使用。</p>	<p>●1994年 SID II-s AF5 (小柄女性ダミー) [特徴] 北米にて開発、 北米、欧州、日本、他にて使用。</p> 	<p>●2000年 World SID AM50 [特徴] 国際統一ダミーとして開発 世界の人口データをもとに した中柄男性体格</p>  <p>●2000年 ES-2 AM50 [特徴] 欧州にて開発 欧州、日本、他にて使用。</p> <p>●2004年 ES-2re AM50 [特徴] ES-2の胸部を改良 入力に対する応答性 を向上。北米にて使用。</p>	

ある。World-SIDダミーは人体忠実度向上（リブ、関節の柔軟性向上等）から、ダミーに強接触する前にエアバッグを展開する技術が要求されてきている。

4. エアバッグシステム世界市場の動向

4-1. エアバッグモジュールの世界市場動向

図-3にエアバッグ世界生産量予測を示す。エアバッグモジュールの2012年世界市場は、約3億個であり、今後新興国向けの需要が拡大し、2017年には4億5千万個を超えることが予測される。エアバッグ生産量は、多くの機関が予測しており、各々の見方から多少の相違はあるが、いずれにしても2017年には2012年比、1.5~2倍の市場になる。

欧米市場については、アセスメントの強化により2015年までにサイドエアバッグ、カーテンエアバッグの側突系エアバッグがほぼ標準装備になるものと推定できる。日本市場は、欧米と同様にアセスメント強化は進むものの、軽・小型車が占め

る割合が高く、コスト面から側突系エアバッグの普及が進みにくい。更に欧米（特に北米）に比べ道路環境が良く、ガードレールも整備されており横転事故が起こりにくいため、道路環境面からみても軽・小型車への普及が進みやすい環境にある。

新興国市場も、運転席・助手席の前突系エアバッグの普及が優先的に進んでおり、側突系エアバッグの普及が拡大するのは早くとも2017年頃と予測される。しかしながら、側突系エアバッグは左右両方に装着されるため、市場規模としては、前突系とほぼ同じの1億5千万個前後になり、日本市場においても、軽・小型車の側突系エアバッグ装着も徐々に伸びていくと予測されるため、新興国向け前突系エアバッグとともに、魅力ある市場であり、ますます競争が激化していくものと思われる。

4-2. 市場・自動車メーカーのニーズ

エアバッグ市場が伸びる新興国で、エアバッグを普及拡大していくためには、第1に低コスト化である。先進国においても低コスト化はもちろん、2

項で述べた法規、アセスメントの要求強化に応える安全性能の向上との両立が必須である。

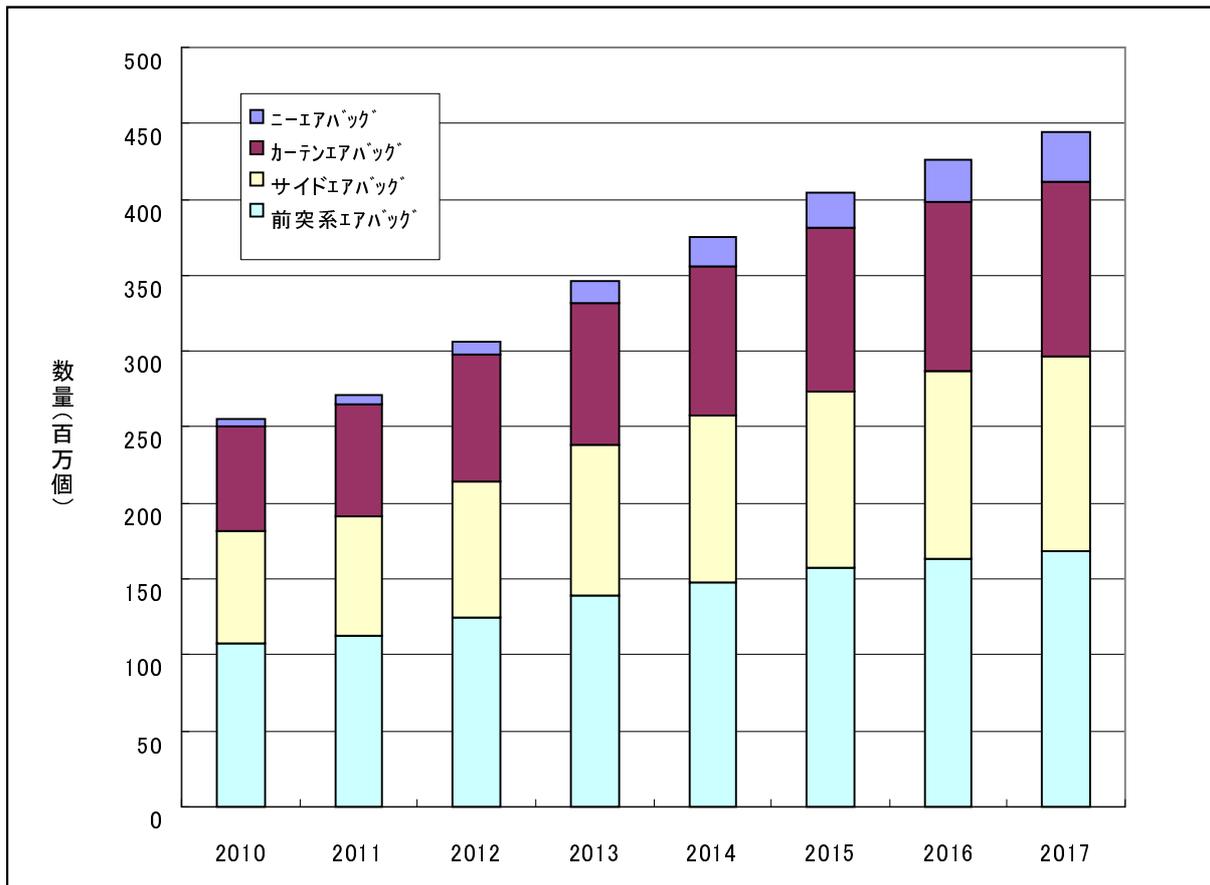
また現在のトレンドとして、製品・部品の共通化、ユニット化による組付易さ等による車両トータル及び製品・部品の低コスト化の取組が行われている。前述した安全性能向上と低コスト化の両立に加え共通化・ユニット化のニーズに応えた設計構造の開発も重要と考える。

性能面では、バッグが早く膨らみ、乗員拘束できる状態を早く形成することが要求されている。当社はそのニーズに応えるため、バッグの構造・折りたたみ方の開発とともに、当社オリジナルのインフレーターを開発した。詳細は、本技報の論文にて紹介するが、概要は、燃焼の早い火薬を開発し、インフレータの着火～ガスの吹出し完了までを早めたことである。

5. 安全技術の今後の展望

—次世代自動車に求められる安全技術—

ここまで、主にパッシブセーフティの変遷について述べてきたが、今後更に、環境保護のための車両軽量化、ダウンサイジングと様々な衝突形態での安全保護性能を両立させる技術が必要になってくるだろう。例えば、斜突形態では、車体の一部に集中的に力が加わるのが特徴だが、その際、キャビン（居室）変形抑制と車体前上部の効率的な衝撃吸収構造（変形構造）をダウンサイジングと軽量化の条件下で実現させなければならない。本年度のモーターショーでも展示発表されたアルミ骨格、樹脂ボデー等もその方法の一つであるが、その他では、他社開発の「Pressure Loaded Side Impact Protection Beam」のような高圧ガスでビ



図－3 エアバッグモジュール世界生産量（予測）

ームの剛性をあげる製品を応用し、質量アップを抑制しながらボデー補強する製品も考えられる。

エアバッグ製品では、前面フルラップ衝突以外の衝突の際に、乗員の動きを制御し、確実にエアバッグに当てる技術・製品も必要になるであろう。

次世代自動車の安全技術は、プリセーフティ・アクティブセーフティが主流になるが、ここではAEB（自律緊急ブレーキ）導入時のエアバッグについて考察する。現在導入されているAEBは、各社衝突回避できる速度は様々だが、いずれも衝突しない速度ではエアバッグ非展開であるので、エアバッグ技術として進歩が必要なのは、AEBが作動した状態での衝突に対してである。AEB作動時の乗員の挙動は、車両が衝突する前に既に、車両と相対的に慣性で車両前方に動き始め、車両衝突と同時に更に車両との相対速度が速まる。AEB作動初期の対応として既に、PSB（Pre-crush Seat-Belt等）、乗員の前方移動を制御する製品が出ているが、頭部の前方移動は胴体ほど制御が効かないため、その状態でエアバッグが展開した時の加害性に配慮した技術、すなわち、衝突形態、乗員の挙動に応じてエアバッグの展開を制御する技術が望まれる。

6. おわりに

「交通死傷者 0」を目指した研究開発は今後も進んでいくだろうが、これを実現するためには、ぶつからない車になることが必要で、遠い将来には実現できるかもしれないが、当面の間は、プリセーフティ・アクティブセーフティとパッシブセーフティの組合せで最適な技術・製品の開発が、各社競争しながら進んでいくだろう。本編で書いた内容はその一部にすぎず、パッシブセーフティだけを取上げて、歩行者を含めて衝突相手に応じて変形する硬さを変えるバンパー部のスマートストラクチャ、より少ない変形量で衝撃吸収する樹脂ボデー、より軽い構造で衝撃吸収するフェンダー部品・骨格部品等、エアバッグ以外の安全保護製品にまで、社会貢献・ビジネスチャンスが広がっている。これらのチャンスを逃さぬよう、アンテナを高くして、安全保護製品の企画・開発に力を注ぎたい。

参考文献

- 1) 豊田合成技報
 - ・ Vol. 46 No. 1(2004)
 - ・ Vol. 49 No. 1(2007)
- 2) 豊田合成社内報告資料データ引用

豊田合成オリジナルインフレーター開発

森 圭介 *1

Development of Toyoda Gosei Original Inflator

Keisuke Mori *1

要 旨

80年代に初めてエアバッグが市販車に搭載されて以降、急速に普及し、現在では日米欧でほぼ全ての車種に標準装備されるようになった。近年では各国の法規、レイティング整備が進み、サイドエアバッグ、カーテンエアバッグといった側突対応のエアバッグ搭載率も上がっており、エアバッグの高性能化が求められている。その性能に大きく寄与する最重要部品であるハイブリッドインフレーター（火薬と高圧ガスを内蔵したガス発生装置）を当社として初めて開発し、量産化した。

エアバッグ高性能化技術として最もニーズの高いものの一つがバッグ早期展開である。その手段として、高性能火薬の採用によりインフレータのガス噴出し時間（TTFG）を短縮することで、バッグ早期展開を達成した。

またインフレータを内製するにあたり同業他社とは異なり、その工程を既存エアバッグモジュール工程と同一建屋に設置できるよう火薬をユニット化し、法規適用除外とすることで対応した。その結果、工程が簡素化されコンパクトで生産性の高い工程とすることができた。

さらに豊田合成オリジナルの新ガス充填工法を開発することで、充填質量バラツキを抑えたインフレータを開発することができた。その結果出力バラツキが小さいインフレータとすることが可能となった。

Abstract

After the airbag was installed in a car on the market for the first time in the 80's, spread rapidly and all almost models have been equipped normally in Japan-U.S.-Euro. Regulations and rating revised of each country advance in recent years, the rate equipped with the airbag for the side impact such as the side airbags and the curtain airbag goes up, too and making the airbag efficient is requested. A hybrid inflator (gas generator consisting of pyrotechnic and high-pressure gas) that was the most important parts that greatly contributed to the performance was developed for the first time as Toyoda Gosei, and mass-produced.

The technology with the highest needs is developing the airbag at the early stage. By using high performance pyrotechnic the time to first gas was shortened, and make it possible to develop the airbag at the early stage.

Moreover, considering to product inflator in house, in order to set up in the same to existing airbag module process building, pyrotechnic parts ware made a unit and made it outside the regulations application.

In addition, as the new gas filling method was developed, the inflator with a small mass variance was able to be developed. It became possible to make the inflator with a small variance of output as a result.

*1 Keisuke Mori SS第1技術部 SS要素技術室

1. はじめに

米国でのエアバッグ装備義務化以降、各国の法規、レイティング整備が進み、エアバッグに求められる性能も多種多様化している。エアバッグモジュールで最重要部品に位置付けされるインフレーターを当社は自社生産しておらず、他社から購入していた。

特に近年は側面衝突の法規アセスメントも各国整備が加速され、今後市場が拡大すると予想されるカーテンエアバッグ（CAB）、サイドエアバッグ（SAB）の性能、コスト競争力が急務であった。そのためCAB、SABで使用されるハイブリッドインフレーター開発に着手、2010年より量産化するに至った。

本稿では豊田合成オリジナルインフレーターの特徴を紹介する。

製品事例として座席シート内に搭載されるサイドエアバッグ（SAB）の搭載位置を図 - 1 に示す。またSABモジュール構成を図 - 2 に、SABのバッグ展開事例を図 - 3 に示す。

ハイブリッドインフレーターはリテーナに固定された状態で折畳まれたバッグ内に格納されSABモジュールとして座席シート背もたれの側面に搭載される。本事例のSABでは衝突時の車両からの信号により8msの短時間で展開が完了する。

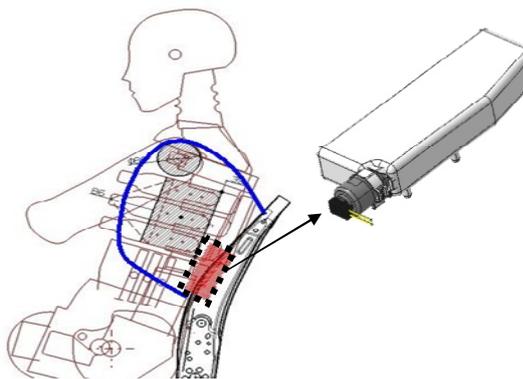


図 - 1 SAB搭載位置

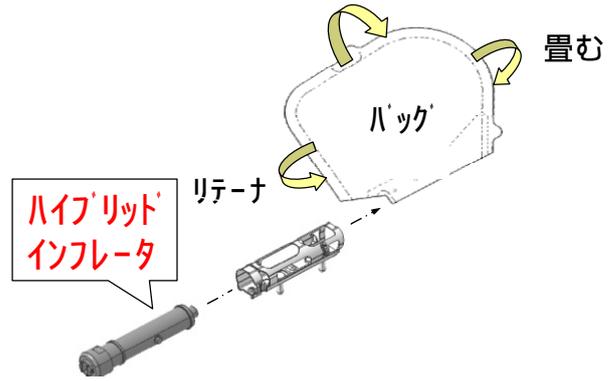


図 - 2 SABモジュール構成

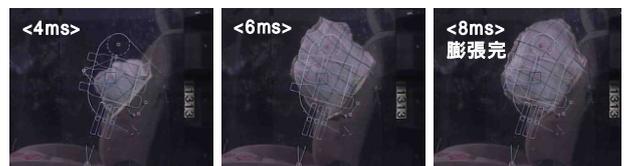


図 - 3 SAB展開写真

2. 法規・レイティング動向

近年法規・レイティング強化による試験条件改定やダミーサイズ大型化により、車両衝突後からダミーがドアトリムに当たるまでの時間が短くなっている。このためエアバッグにはバッグの展開スピード向上が求められるようになっている。

サイドインパクト試験の例を図 - 4 に示す。



図 - 4 サイドインパクト試験

3. ハイブリッドインフレータとは

3-1. 基本構造と作動プロセス

ハイブリッドインフレータ（以降インフレータと称す）とは火薬と高压ガスの両方を用いたガス発生装置であり、図-5に示すよう火薬装填室と高压ガス充填室で構成され、主に側突用エアバッグに使用される。

高压ガス充填室は溶接により密閉された压力容器となっており、アルゴンを代表とする不活性ガスが約50MPa（500気圧）に圧縮された状態で充填されている。

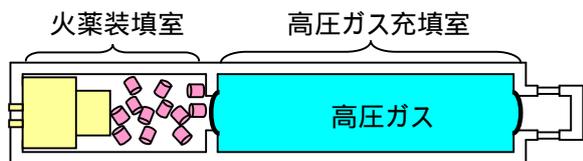


図-5 ハイブリッドインフレータ構造

インフレータ作動プロセス図を図-6に示す。作動プロセス詳細を下記～に示す。

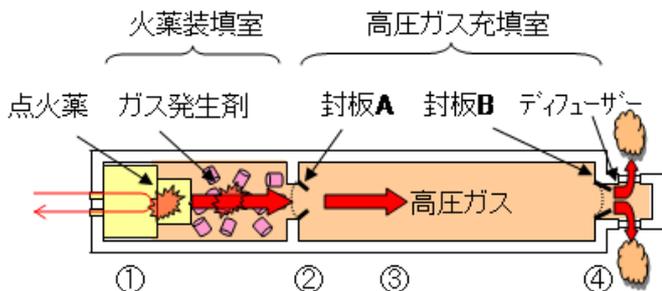


図-6 インフレータ作動プロセス

車両衝突時のECUからの信号（着火電流）により最初にインフレータ内の火薬装填室の点火薬に着火、続いてその発生熱によりガス発生剤が着火する。

ガス発生剤の燃焼で発生するガスと熱により火薬装填室の圧力が上昇し封板Aが破れる。

火薬装填室からの熱が高压ガス充填室内の高压ガスが暖められる。

高压ガス充填室の圧力上昇により封板Bが破れ、高压ガスがディフューザの穴より放出され、バッグを膨張させる。

3-2. インフレータに求められる性能

インフレータ性能は図-7に示すような28.3Lタンク内でインフレータを着火し、内部圧力を計測することにより得られる図-8に示すようなタンクカーブ（圧力 時間曲線）により示される。

インフレータに求められる性能の一つにガス噴出し開始時間：TTFG（Time To First Gas）があげられる。TTFGはインフレータに着火電流が流れてからガスが放出されるまでの時間であり、図-8の左側に示すタンクカーブの圧力が立ち上がるまでの時間として表すことができる。エアバッグを早期展開するために最もニーズの高い性能である。

また図-8のタンクカーブの最大圧力を出力と呼び乗員拘束に必要なバッグ内圧を得るために重要な特性となる。そのためこの出力バラツキの低減がもう一つの重要な性能となっている。



図-7 28.3Lタンク

ガス噴出し開始時間: TTFG (Time To First Gas)
出力バラツキ

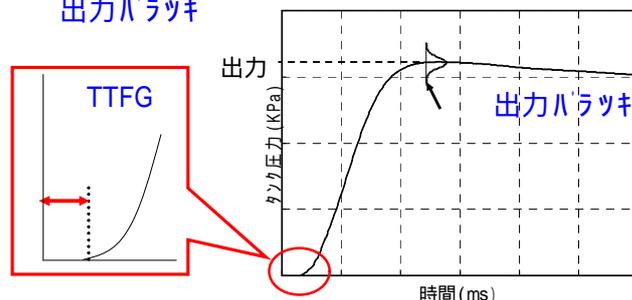


図-8 タンクカーブ（圧力 時間曲線）とインフレータに求められる性能

4. 豊田合成インフレータの特徴

豊田合成インフレータ構造の特徴として図 - 9 に示すように以下の2つが挙げられる。

- 1) 火薬のユニット化
- 2) 金属部品の形状簡素化

火薬をユニット化 (MGG; Micro Gas Generator) することにより、火薬に関する法規の適用が除外となるため、火薬取扱い認可のない当社工場でもインフレータの製造が可能となる。

このためインフレータ製造ラインを、エアバッグモジュール組付け工程と同一工場内に設置でき、生産リードタイム短縮を図ることができた。また組付け部品点数が削減でき、コンパクトで生産性の高いインフレータ組付け工程としている。

金属部品簡素化についてはガス充填室の溶接にYAGレーザー溶接を採用、接合部形状の自由度を向上させることで鍛造部品 (ハウジング、ディフューザ) の切削レス化、縮管加工のないストレートボトル採用を可能とした。

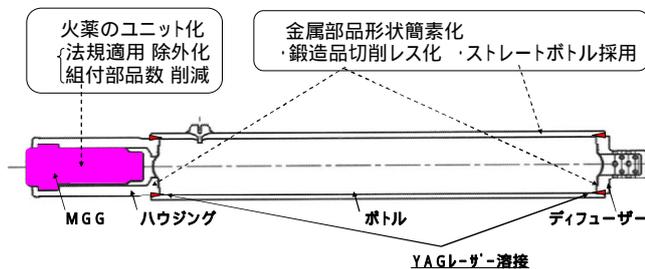


図 - 9 豊田合成インフレータの特徴

前述のインフレータに求められる性能を向上させるため次の開発に取組んだ内容を次項で紹介する。

- 1) TTFG早期化 高性能火薬の開発
- 2) 出力バラツキ低減 新ガス充填工法開発 (図 10)

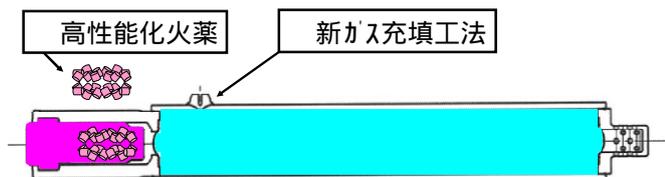


図 - 10 性能向上の取組み

5. 高性能火薬の開発 (当社初の取組み)

5 - 1. 開発コンセプト

本インフレータの開発目標の一つとして、TTFG開発目標を2ms以下と設定(他社比 20%)。

この目標を達成するために、新火薬開発に着手し、火薬のコンセプトを次のように考えた。

- 1) 高燃速火薬：火薬燃焼速度を上げる
火薬着火から燃焼完了にかかる時間を短縮する
- 2) 高発熱火薬：燃焼時の単位時間あたりの発熱量を増やす
発熱量を上げ、より早く高压ガスを暖め封版を破る圧力に達するまでの時間を短縮する

次に火薬の燃焼速度を上げる方法については次のように考えた。

$$\begin{aligned} \text{火薬反応速度} &: V = S \cdot t \quad [\text{mm}^3] \\ \text{線燃焼速度} &: v = A \cdot P^n \quad [\text{mm/s}] \end{aligned}$$

S: 表面積

A: 定数(火薬配合に依存)

n: 圧力指数(火薬配合に依存)

P: 圧力

上記の式より火薬の燃焼速度を上げるためには圧力指数: n及び火薬表面積: Sを大きくすることが有効と考え、圧力指数は火薬配合を見直すことで、表面積は火薬形状の工夫により対応。

また火薬の配合設定は燃焼速度の他、その発熱量が高くなるよう図 11に示すコンセプトと目標に基づき検討を進めた。

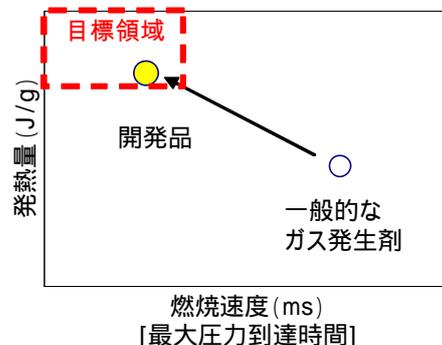


図 - 11 新火薬コンセプトと目標

5 - 2 . 結果

前述の開発コンセプトに基づく、高燃速、高発熱火薬の開発を実施し、火薬の開発が完了した。

図 - 12に27ccの容器内で一定熱量の火薬単品を燃焼させた圧力カーブ（圧力 - 時間曲線）を示す。

配合、形状を見直した新火薬は一般的なガス発生剤に比べ燃焼速度が約4倍となっていることがわかる。また発熱量は一般的な火薬の約1.8倍の発熱量を得ることができた。

図 - 13に開発した火薬を用いたインフレータのタンクカーブを示す。

他社品に比べTTFGが0.7ms短縮され、目標の2msを達成できた。

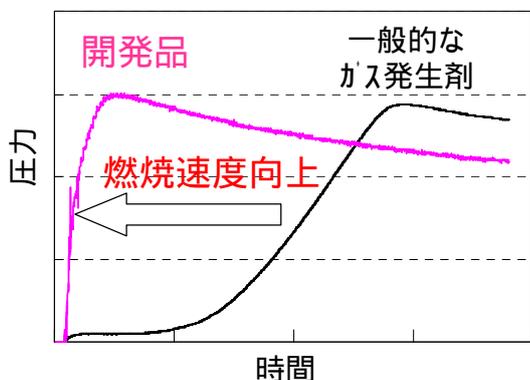


図 - 12 27ccタンクカーブ

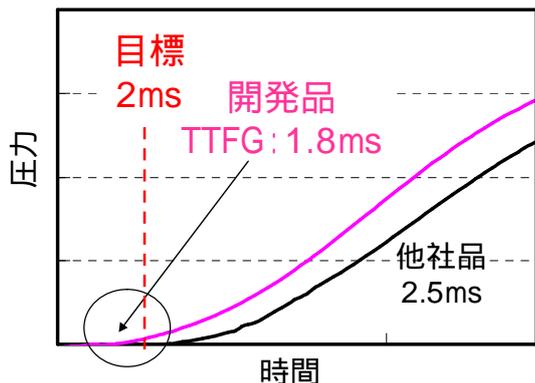


図 - 13 28.3Lタンクカーブ

このインフレータをサイドエアバッグモジュールで評価した結果を図 - 14に示す。

同じバッグを用いてインフレータのみを他社品、と本開発品と入替え評価したものである。

展開時間	0ms	5ms	展開完了
他社品			
開発品			

図 - 14 エアバッグモジュール展開試験結果

図 - 14の5ms時のバッグが他社品と比較して早く膨張していることがわかる。

これはTTFGが短縮されたことにより、着火後5ms時点でバッグに噴出されたガスが多いためであり、その結果として豊田合成オリジナルインフレータを採用することでバッグ展開完了時間が1.0ms短縮された。

6. 大気圧下ガス充填工法の開発

6-1. ガス充填工法の概要

インフレータに求められる性能として、前述のタンク出力のバラツキ低減がある。タンク出力バラツキ低減の方策として、高圧ガス充填室に充填されるガスの質量バラツキを低減させることが必要である。

理想気体の状態方程式よりガス質量(モル数)を一定するためにはP：圧力 T：温度を工程内で制御する必要があることがわかる。

$$PV = nRT$$

$$n = PV / RT \quad \text{容器体積} V = \text{const.} \quad \text{として}$$

$$n = *P / T \quad (; \text{定数})$$

本報告では充填中の圧力：Pのバラツキ低減に着目した豊田合成オリジナル新ガス充填工法について報告する。

6-2. 従来工法の課題(ベンチマーク)

従来のガス充填工法の作動フローを図-15に示す。作動プロセス詳細を下記 ~ に示す。

充填準備：曲面シールをボトルに突き当てる

ガス充填：高圧ガスが曲面シールを通り、ボトルに充填される。

封止(溶接)：封止体と電極が曲面シール内の高圧雰囲気内をストロークし抵抗溶接により高圧ガスを封止する。

完了：曲面シールがボトルから離れ、ガス充填のサイクルが完了。

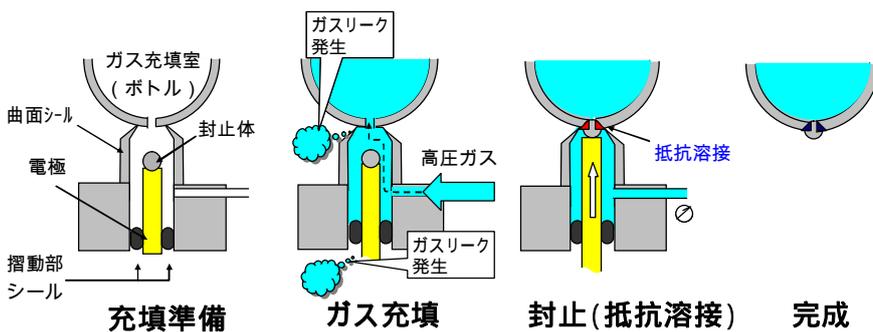


図-15 従来工法

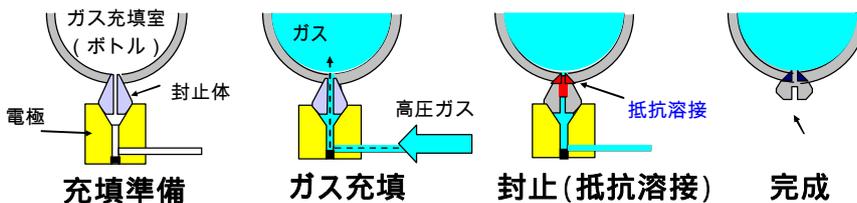


図-18 新ガス充填工法

従来工法のベンチマークよりわかったガス充填バラツキ要因を以下に示す。

- 1) 設備シールからのリークによる圧力変動
- 2) 電極のストロークによる圧力変動

従来工法において曲面シール(図-16)、摺動部シール(図-17)の2つの設備シールが使用される。曲面シールは鋼鉄製でボトルの曲面に合った鋭利な先端形状をボトルに突き当てることで高圧ガスをシールするもので、その形状と使われ方から磨耗しやすく高圧ガスがリークする。

摺動部シールも同様に電極の摺動により磨耗しやすくリークが発生することがわかった。さらに電極が曲面シール内部をストロークすることで圧力変動が発生、ガス質量のバラツキの要因になっていることがわかった。

高圧ガスを充填、封止するため曲面シールにより高圧力の空間(チャンバー)を造り、その内部で封止(溶接)している。この設備構造上の高圧力チャンバーが圧力バラツキの原因となっている。

6-3. 大気圧下ガス充填工法

前述の従来工法ベンチマークの結果よりガスリーク原因となる高圧力チャンバーを必要とせず、大気圧下で封止(溶接)が可能な新工法(大気圧下ガス充填工法)を図-18に示す。

作動プロセス詳細を下記 ~ に示す。



図-16 曲面シール



図-17 摺動部シール

- 充填準備：封止体をボトルに溶接の加圧力で押し付ける。
- ガス充填：高圧ガスが封止体の穴を通りボトルに充填される。
- 封止(溶接)：電極がストロークすることなく通電し、ガスを封止する。
- 完了：電極が封止体から離れ、サイクル完了。

本工法の特徴は封止体に穴加工し、その穴を通し高圧ガスを充填することで、大気圧下での封止を可能としており、従来工法で必要であった曲面シール、摺動部シールを廃止することができた。

ガス充填時に封止体を溶接に必要な加圧力で押し付けておくことにより、封止体自体にガスケットの役割をさせることで高圧ガスのシールが可能であり、本開発工法においてガスリークを撤廃することができた。

6 - 4 . 新工法の課題解決方法

本開発工法において高圧ガスを封止するには、封止体に高圧ガスを通すため追加した穴を溶接時にその熱により閉じる必要がある。

封止には抵抗溶接が採用されているが、その原理は封止体とボトルの接触部の抵抗発熱を利用し溶融、接合するものである。

そのため接触部と離れた部位にある穴を抵抗溶接と同時に閉じるためには抵抗発熱により発生した熱を穴に伝え溶融させると同時に、抵抗溶接の加圧力（垂直方向）を穴を閉じる方向（水平方向）に応力変換することが必要となる。

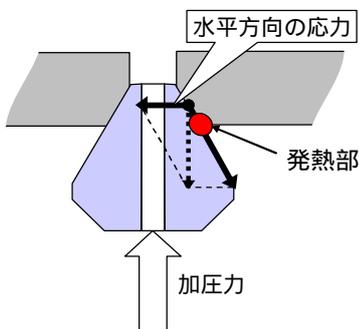


図 - 19 溶接部の形状

この課題を解決するため、図 - 19に示すように抵抗発熱部位の上部にテーパ形状を設け、抵抗発熱で溶融した金属を水平方向の応力で圧接することで、穴を閉じる構造とした。

抵抗溶接条件の3大要素（電流値、通電時間、加圧力）の他、テーパ形状、溶接径の寸法をパラメータスタディーした結果、圧接に必要な応力が発生する最適な寸法、溶接条件を設定できた。

その断面形状を図 - 20に示す。穴を閉じた境界は見えなく結晶粒で埋められていることから、狙い通り抵抗溶接の熱と加圧力を利用しガス充填穴が圧接できていることがわかる。

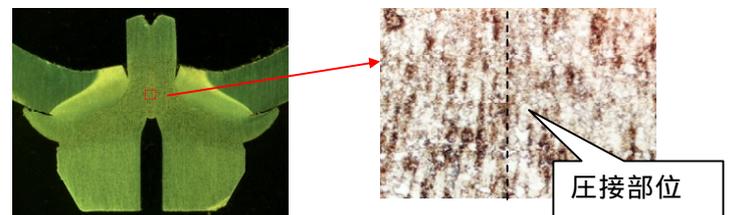


図 - 20 溶接断面

6 - 5 . 結果

新工法でガス充填バラツキを評価した結果、従来工法に比べガス充填質量 が25%縮小することができ、その結果インフレーター出力バラツキが9%改善できた。

7 . まとめ

上記結果よりガス噴出し開始時間（TTFG）が短く、出力バラツキの小さいハイブリッドインフレーターが開発でき、エアバッグ高性能化に貢献できた。

またガス噴出し開始F時間が短縮できることによりインフレーター構造で出力（タンクカーブ）調整代が増え、多種多様なニーズに対応できるチューナビリティの高いインフレーターを開発することができた。

軽自動車向けサイドエアバッグの開発

本田 健作 *1

Development of Side Airbag for “Kei” car

Kensaku Honda *1

要 旨

今後、日本の自動車安全法規において側面衝突事故形態の厳しいテスト要件が導入されると予測され、安全性向上の要求が高まっており、特に軽自動車にとっても厳しくなると考えられる。

なぜなら、軽自動車は乗用車に比べて側面衝突事故時に、乗員を保護するサイドエアバッグを介在させてエネルギーを吸収させる空間が狭い。

そこで今回、軽自動車の側面衝突事故の安全性を向上させるポイントである「素早く展開」させる事と、「高いエネルギー吸収量」を持ったサイドエアバッグを開発した。

構造は、サイドエアバッグの車両前後方向を2つの室に分け、中間にからくりを設けた仕様だが、布を縫い合せただけのシンプルな構造で開発することができた。

本内容では、この構造におけるエネルギー吸収のメカニズムと効果について報告する。

Abstract

It is forecast that the test requirement with which the side collision form is severe is introduced in the car safety regulations of Japan, the demand of the enhanced safety rises, and it will be thought that it especially becomes severe for the “Kei” car (=light motor vehicle) in the future.

Because the “Kei” car has the narrow space to put the side airbag that protects the crew compared with the passenger car at the side collision and to absorb energy.

Then, the side airbag with thing that was the point that improved the safety of the side collision of the “Kei” car to make "Quick deployment" and "High amount of the energy absorption" was developed this time.

The side airbag that had front and rear chambers and was set Karakuri on the middle with simple structure sewed with the cloth was developed .

In this content, it reports on the mechanism and the effect of the energy absorption in this structure.

*1 Kensaku Honda SS第2技術部 SS第4技術室

1. はじめに

1-1. 背景

自動車の側面衝突事故時において、サイドエアバッグはシート側面から瞬時に乗員とドアの隙間(図-1)に展開する必要がある。しかし、軽自動車は乗用車と比較して衝突時にサイドエアバッグを展開させる隙間が狭くなる傾向にある。

よって、この狭い隙間に展開させるための手段の一つとして「速い展開時間」が求められる。さらに、その狭い隙間で衝突エネルギーを吸収するため「高いエネルギー吸収量」も求められる。

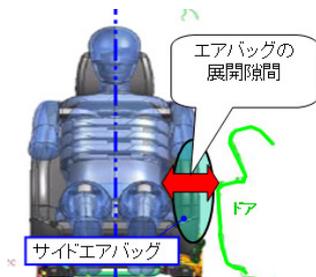


図-1 乗員とドアの隙間(正面視)

1-2. 製品構想

これらを満足させるサイドエアバッグとして「早く展開させる＝膨張させるバッグ容量を小さくする」「エネルギー吸収量を高める＝乗員拘束の前後でバッグ容量を可変させる」という構想を試みた。

具体的には図-2のように布でエアバッグを車両前後方向を2つの室に仕切ること従来品よりバッグ容量を小さくし、その仕切り布の中間に『可変容量機構 (VVC : Variable Volume Control)』を設けて車両後方側の室(1stチャンバー)から車両前方側の室(2ndチャンバー)にガスを流してバッグ容量を可変させるようにした。

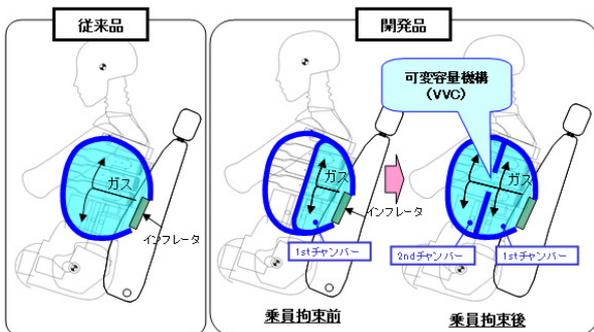


図-2 可変容量機構のイメージ

2. 理論

2-1. 狙う効果

エアバッグを効率的に仕事をさせるため、早く展開させて衝突エネルギーを多く吸収させたい。しかし、従来のエアバッグでは図-3のようにエアバッグの単体反力性能であるF-S(荷重-ストローク)特性が三角波形になりやすい。そこで、VVC仕様では矩形波形にしてエネルギー吸収効率を高めることを狙う。つまり初期反力を高めてピーク荷重を抑える波形を狙い、乗員を素早く優しく受け止める。

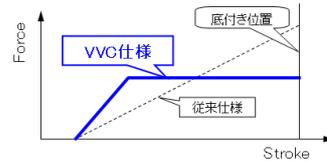


図-3 F-S特性の狙うイメージ

2-2. 作動フロー

作動フローの概要とF-S特性の相関は図-4のようになる。

- 1) インフレーターからガスが流れて1stチャンバーが膨張し始める。
- 2) エアバッグが膨張した張力により中の仕切り布が引張られ、仕切り布に設けた排出口が塞がる。
- 3) 乗員とドアによってバッグが挟まれる。(この際バッグ容量が小さく内圧が高いため初期反力が高くなる。)
- 4) 乗員とドアの隙間が狭くなり、エアバッグが潰れる。これにより仕切り布がたわみ、張力変化が生じる事で、排出口が開き2ndチャンバーにガスが流れる。(内圧が下がるが乗員との接触面積が増えるので荷重が一定となる)
- 5) エアバッグ全体が膨らむ。

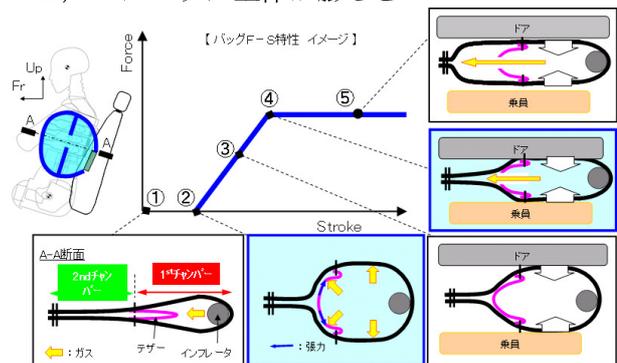


図-4 作動フローとF-S特性の相関図

2-3. 構造

従来のサイドエアバッグが1つの室であるのに対し、図-5のように仕切り布（以下テザー）で2つの室に仕切る構造である。また、そのテザーは2枚の布を折り返して縫い合わせるが、中央部のガス排出口のみ縫製しない構造とする。

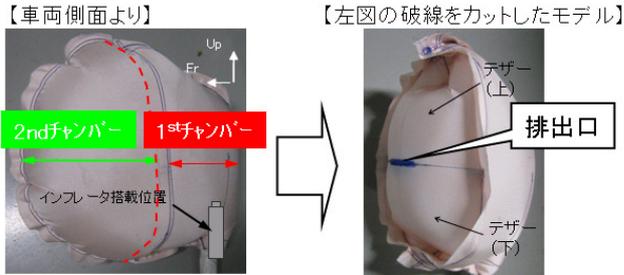


図-5 VVCバッグの膨張写真と縫製構造

2-4. 作動メカニズム

2-2で説明した作動フローが「なぜガス排出口が塞がり、後に開放するのか」を次に示す。

1) 膨張時の塞がり

まず、インフレーターからガスが流れて1stチャンバーが膨張した際の形状を楕円体に見立て、図-6のようなシミュレーションモデルを作成し、テザー部の張力の大小を表した。

張力の大小関係は、回転対称殻の『膜理論』より圧力と張力の関係で成り立っており、これをグラフに示すと図-7のような。楕円体中央部を原点とし、A方向に測定点を移動させたA方向距離ではX方向とY方向の張力はそれぞれ一定となっておりX方向の張力が大きくなる。またB方向距離では頂点に向かうにつれてX方向とY方向の張力差が縮まり、頂点では同じ値となる。（頂点では球体に限りなく近いので張力は各方向一定となる）

この結果、テザー部の張力は楕円体中央部のX方向が最も大きいということになる。つまり、この部分にX方向と平行な排出口を設定すれば、膨張時に排出口は塞がった状態になる。

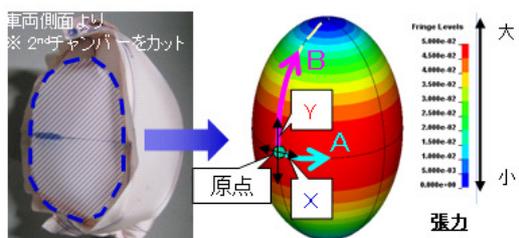


図-6 バッグ張力のシミュレーションモデル

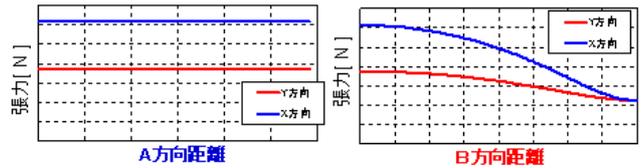


図-7 楕円体のX-Y方向張力

2) 排出口の開放

次に先ほどの楕円体モデルを平板で外力を与えて変位させる。つまりドアが進入（乗員拘束）してきたモードをシミュレーションする。楕円体から円盤形に変化させるにつれて図-8のように張力の変化が生じることが分かる。この円盤形では表面張力の『ラプラスの式』を適用させる。つまり、楕円体→円盤形に変形するにつれて理論式も膜理論→ラプラスの式へと変化していく。

これを排出口の部分に相当するポイントを測定点として張力の変化量をグラフに示すと図-9のようになる。楕円体では測定点のX方向張力が大きい結果となったが形状変化させることによってXとY方向の張力差が縮まり逆転していく。

この結果より、排出口の張力はドアの進入（乗員拘束）前後でX方向（塞がり）からY方向（開放）へ変化することが分った。

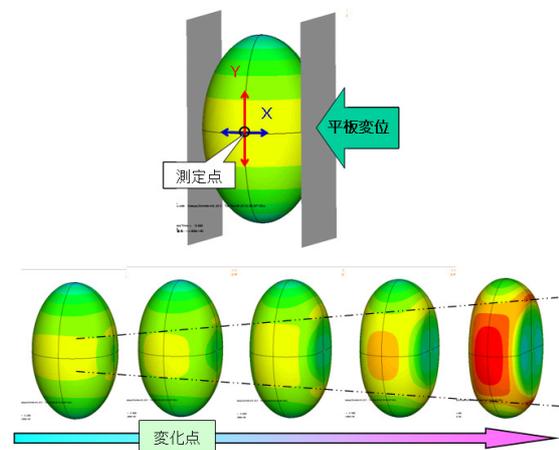


図-8 楕円体の強制変位による張力の変化

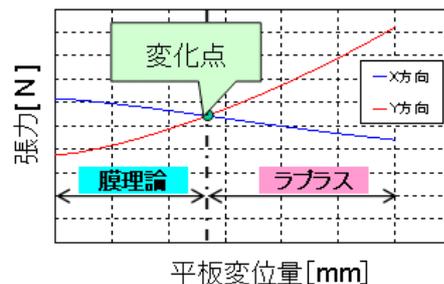


図-9 X-Y方向の張力（測定点固定）

3. 開発品での実験・結果

3-1. 展開時間

サイドエアバッグの静展開試験において、従来品に対し初期段階で膨張させるバッグ容量が約半分（1stチャンバーのみ）で良いため展開時間も約半分とすることができた。

3-2. エネルギー吸収量

バッグの反力特性を確認するためインパクト試験を実施した。また、目標ピーク荷重が従来品と同等（乗員の胸リブを強く押さない）になるようにガス排出口のチューニングを実施した。結果、**図-10**のようにほぼ狙い通りの矩形波形となり従来品に対しエネルギー吸収量が約1.5倍となった。

またVVCについても**図-11**のように拘束前では排出口が塞がっており、拘束後は張力変化が発生し排出口が開放していることを確認し、狙い通りにガスを排出することができた。

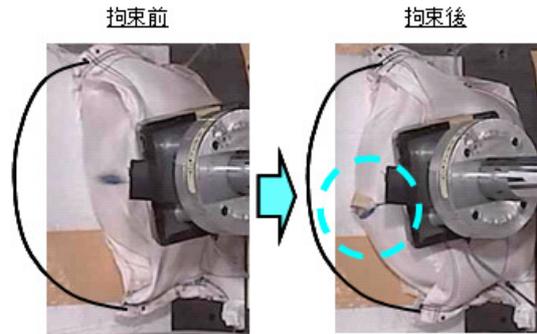


図-11 カットモデルによるインパクト試験（1stチャンバーのみ）

4. おわりに

本内容にて、軽自動車向けの高性能サイドエアバッグ（エネルギー吸収量の高効率化）の技術開発の目処付けをすることが出来た。また、本技術を乗用車向けにも有効と考えられるため、対応可能となる技術開発を推進していきたい。

参考文献

- 1) 日本機械学会編，機械工学便覧，基礎編α，材料力学，P.89

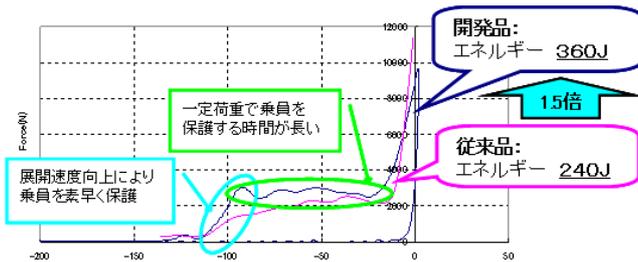


図-10 インパクト試験での胸部F-S波形

新技術紹介

カーテンエアバッグのロールオーバー対応技術

Technology for Rollover of Curtain Airbag

河村 功士*1

1. はじめに

北米においてはロールオーバー事故（横転事故：以下R/O）による死傷者は年間10,000人以上発生し，致死率も他事故形態（前面衝突事故，側面衝突事故）と比べ14倍と非常に高い．その原因としては，R/O時に乗員が車外へ飛び出し，路面等により受傷するためと考えられている（図-1）．

それらを背景として北米では，車両への乗員車外放出防止を求める法規（FMVSS226）が'13年9月より導入された．

本編ではその法規に対応する為のカーテンエアバッグ（以下CAB）によるR/O対応技術について紹介する．

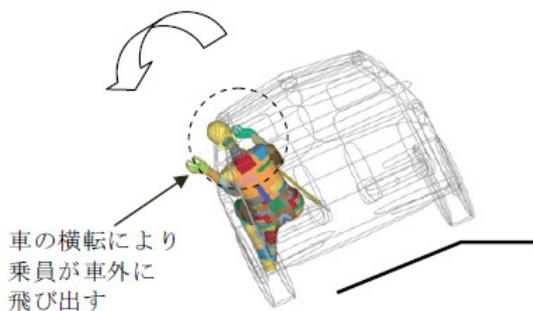


図 - 1 R/O事故形態

2. 法規概要

法規の評価はインパクト試験で行われる．

その概要は，乗員頭部を模擬した衝撃子をCAB作動後，所定タイミングで車室外へ向けて所定速度で打ち出し，衝撃子の車室外への放出量が100mm以下であることを求めている（図-2，表-1）．

また，打点位置は窓枠形状に応じて定められている（図-3）．

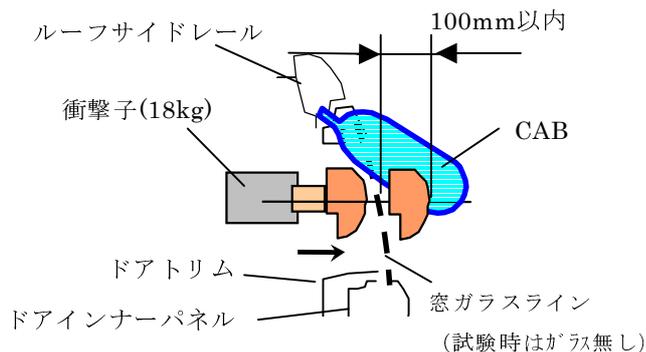


図-2 インパクト試験概要（車両断面視）

表-1 試験条件

	条件1	条件2
インパクト時間	1.5秒後	6.0秒後
衝突速度	24km/h	16km/h

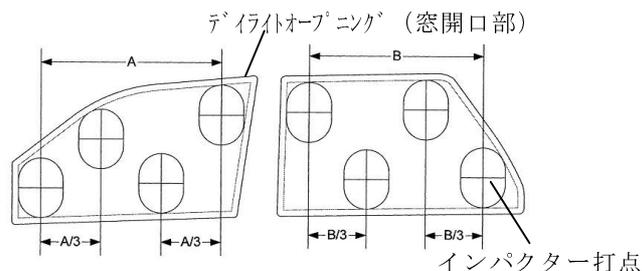


図-3 インパクト打点配置（例）

3. 求められる性能と課題

従来CABは側面衝突における頭部保護を目的として，乗員の着座や体格に合わせ，エアバッグ形状を設定しており，衝突時の頭部への衝撃を緩和している．

今回のR/O対応ではそれに加え，車外放出防止

*1 Koji Kawamura SS第2技術部 SS第5技術室

のための「エアバッグの反力確保」, 「長時間の内圧保持」が求められている.

したがって, 解決すべき課題としては

- 1) 車外放出防止のエアバッグ形状の設定
- 2) 乗員保護性能との両立
- 3) 長時間のバッグ内圧の確保

の3点が挙げられる.

4. 解決手段

4-1. エアバッグの形状設定

従来の側面衝突における頭部保護部(以下主室)に加え追加膨張部(以下副室)を設け, その下端はドアとラップさせ, 反力を確保した(図-4).

4-2. 乗員保護性能との両立

主室と副室との間に仕切りを設け, その流路幅(オリフィス)の最適化を図り, 膨張するタイミングをコントロールする技術を導入した. そのオリフィスにより, 従来と同等の乗員を保護するためのバッグ内圧を可能とした(図-4).

4-3. 長時間のバッグ内圧の確保

内圧保持性能向上のため, バッグは表面のコーティングにより気密性を確保した. また, インフレーター(ガス発生装置)においても, 低温ガス化を実現することにより, 熱の放出による圧力低下を抑制し, 長時間の内圧保持性能を確保している(図-5).

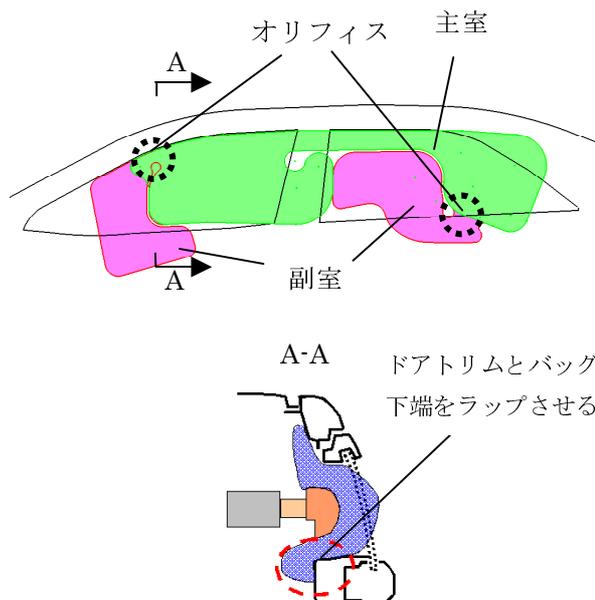


図-4 R/O仕様CABバッグ概要

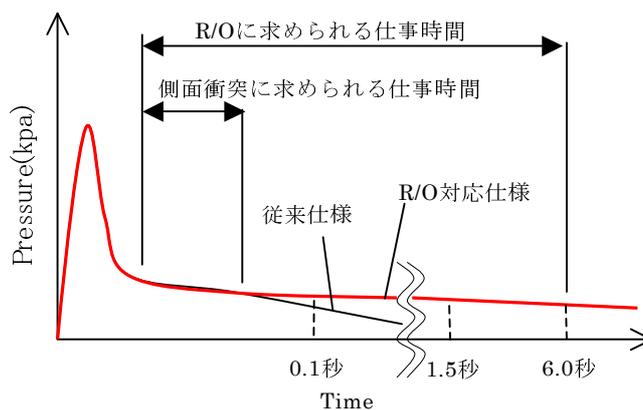


図-5 内圧特性比較

5. おわりに

今回FMVSS226に対応するためのCAB技術開発を実施できた. 本技術開発に携わっていただいた関係者の方々に厚く謝意を示します.

新技術紹介

エアバッグ展開シミュレーション技術

Simulation Technology for Airbag Deployment

青木 雅司*1, 井田 等*2

1. はじめに

自動車乗員保護システムのエアバッグ開発では、展開性能を評価するために展開試験を行う。展開は一瞬の現象であり、そして複雑な製品構成のため、その試験だけでは、観察できない内部挙動や計測できない物理量がある。また、試作品の設計、作製および試験の試行錯誤のみでは、効率的かつ原理・原則に基づく開発が困難である。そのため、エアバッグ展開のシミュレーション技術が必要である。

ここでは、エアバッグの開発や設計に適用している展開シミュレーション技術の変遷と適用事例について紹介する。

2. 従来技術

2-1. 均一圧法

均一圧法はエアバッグを膨張させるガス圧力を逐次的にエアバッグ内面に均一に負荷し、エアバッグの挙動を求める方法である。この方法によって、エアバッグ展開完了時の形状やタイミングを実機相当に再現できる。しかし、エアバッグ内のガス流れや圧力分布を考慮していないため、展開途中の挙動は実機と異なるという課題がある。

2-2. ALE法*

均一圧法の課題を解決するためにALE法を試行した。ALE法は流体構造連成法の1つで、ここでは、流体であるエアバッグ内のガスの流れを求めるEuler法とエアバッグの挙動を求めるLagrange法の混成方法である。

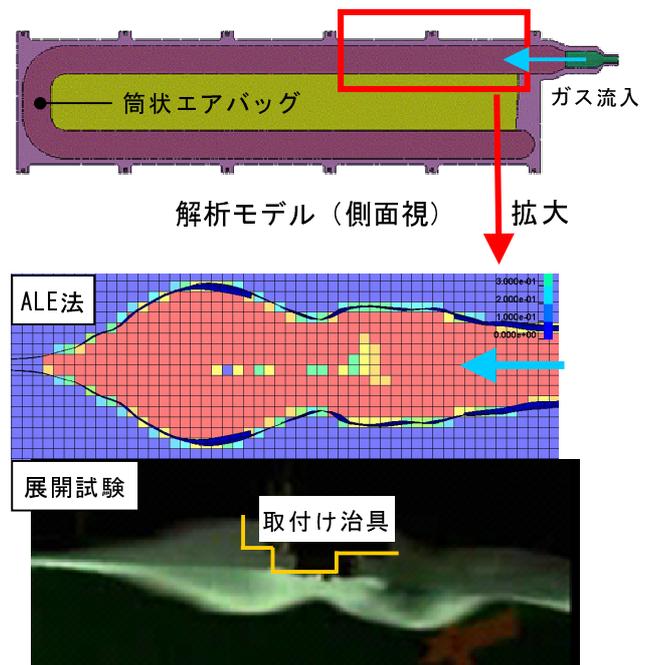


図-1 筒状エアバッグの解析モデルと展開挙動再現

この方法を使って、折りたたんでいない筒状のエアバッグがガスの流入にしたがって徐々に展開していく途中の挙動が再現できた(図-1)。

この方法を実製品に適用するには、複数の内部構成部品や幾重にも折りたたまれた状態にも対応しなければならず、折りたたまれた布の間隔に相当するEulerメッシュ間隔が必要となる。その細密なメッシュを作成した場合、計算に膨大な時間を要し実用的とは言えない¹⁾。

*ALE法: Arbitrary Lagrangian-Eulerian Method

*1 Masashi Aoki SS第1技術部 SS実験室

*2 Hitoshi Ida SS第1技術部 SS実験室

3. 現行技術

3-1. 粒子法

シミュレーションソフトウェアのLS-DYNAには、エアバッグ展開解析機能として粒子法(Corpuscular Particle Method)が実装されている。この機能ではエアバッグ内のガスを連続体として扱わず、気体分子運動論に基づきながら、気体分子を全てモデル化するかわりに、全体の並進運動エネルギーが等価になるように比較的少数の粒子に置き換えている(図-2)²⁾。

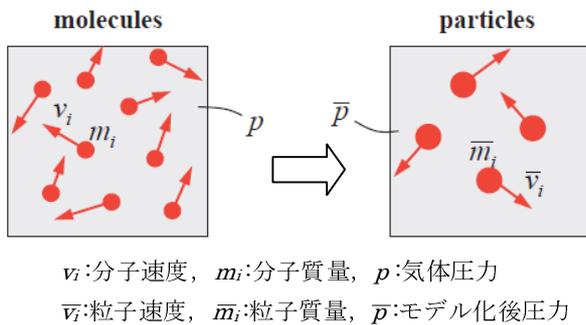


図-2 気体分子から粒子へのモデル化

気体分子からモデル化した球状の粒子は、エアバッグの中でエアバッグの布や粒子同士の衝突によって圧力が生じ、エアバッグを膨張させる。粒子は内部構成部品とも衝突し、圧力が生じたり、ガスの流れる方向が変化したりする。

粒子法ではEulerメッシュを必要としないためALE法での問題が生じることなく、実製品の内部構成部品にも対応し、実用的な計算時間で展開挙動を再現することができる。

3-2. 適用事例

カーテンエアバッグにおいて、粒子の流入によって展開する過程を図-3に示す。インナーチューブなどの内部構成部品が展開挙動へどのように影響するか観察できる。

4. おわりに

粒子法による展開シミュレーション技術を各種エアバッグ製品の開発や設計に適用している。

今後は、展開挙動だけでなく、エアバッグのエネルギー吸収特性および乗員傷害値の予測へ活用する。

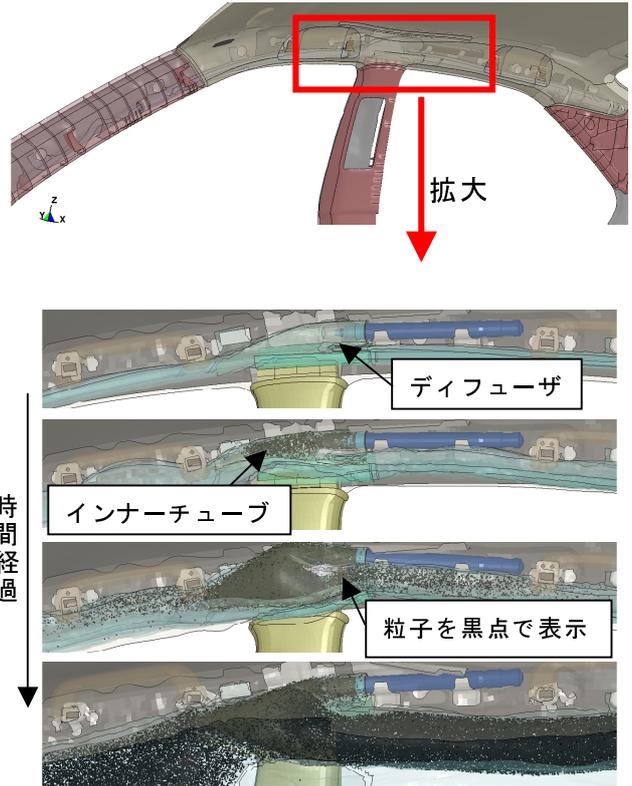


図-3 粒子の流入および展開過程(カーテンエアバッグ)

参考文献

- 1) Ning, Z. et al.: "Issues on Gas-Fabric Interaction in Airbag Simulation Using LS-DYNA ALE", 9th International LS-DYNA Users Conference, 2006
- 2) Olovsson, L.: "Corpuscular method for airbag deployment simulations in LS-DYNA", ISBN 978-82-997587-0-3, 2007

LS-DYNA: Livermore Software Technology Corporationの登録商標

新製品紹介

ポップアップフードアクチュエータ

Pop-Up Hood Actuator

切手肇^{*1} , 角野哲也^{*2}

1. はじめに

近年国内の自動車事故の死亡者数は法規制や安全装備などにより減少傾向であるものの、その内訳では乗員の死亡者が減る一方で歩行者はほぼ同じ傾向となっている¹⁾(図-1)。

現在では、交通死亡事故死亡者数の中で歩行者事故の占める割合が最も多くなっており、自動車における歩行者保護性能の向上が重要となっている。歩行者事故における死亡原因の約半分は歩行者の頭部損傷が原因であり¹⁾(図-2)、さらにその中の約半分はフード下のエンジンなどの剛性の高い部位との衝突となっている。

今回、その衝突を緩和するため、瞬時にフードを持ち上げ頭部と剛性の高い部位との隙間を広げるためのポップアップフードアクチュエータを開発した。その概要を紹介する。

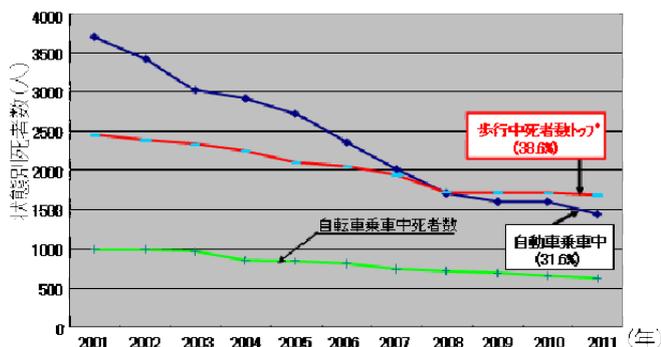
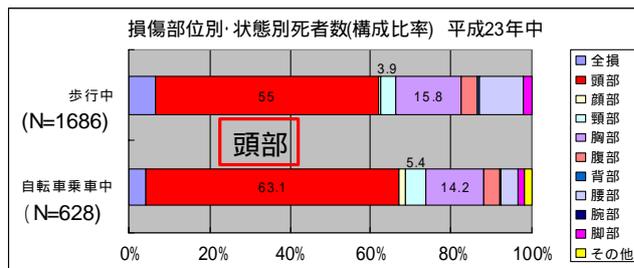


図-1. 国内交通事故死亡者数¹⁾



*「全損」とは、損傷が多数あり

図-2. 歩行者死亡者損傷部位内訳¹⁾

2. 製品の概要

ポップアップフードアクチュエータはエンジンルーム内のフードヒンジ近傍、車両左右に設置されており、作動は歩行者の衝突を検知する車両側センサからの信号により行われフード後端を持ち上げ、保持することでフード下の隙間を拡大させる(図-3)。

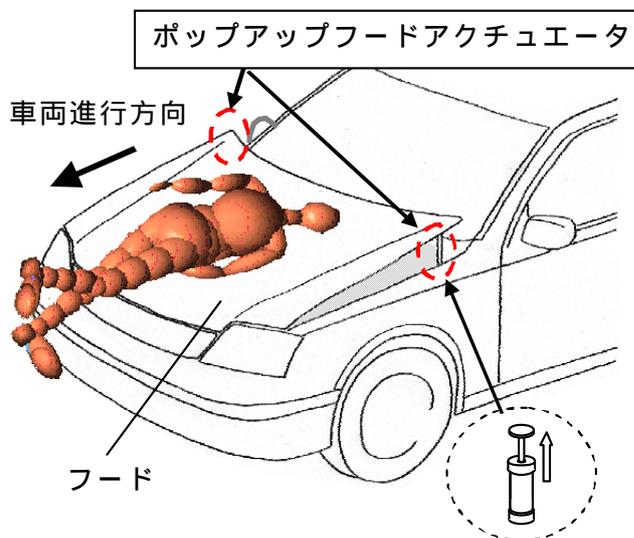


図-3 歩行者保護概要

^{*1} Hajime Kitte SS第1技術部 SS開発企画室

^{*2} Tetsuya Kadono SS第1技術部 SS実験室

3. 製品の特徴

製品構成は主にピストン，シリンダ，ピストンを作動させるためのガスジェネレータ，ハーネスからなっている．ピストンには持ち上げたフードを保持するためのロック機構が組み込まれ，シリンダには車体と固定するためのブラケットが一体となっている．また，車室外で搭載されるためアクチュエータ内部に水がはいらないようシリンダ本体，ハーネスコネクタ部は防水仕様となっている（図 - 4）．

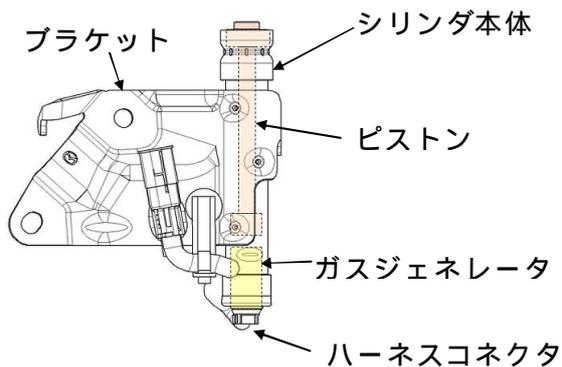


図 - 4 製品構成

作動状況を図 - 5 に示す．センサからの信号を受けたガスジェネレータはガスを発生させ，そのガス圧でピストンが上昇し，フードを持ち上げる．ピストン上昇後，フードとピストンが下降しないようロック機構により固定する．

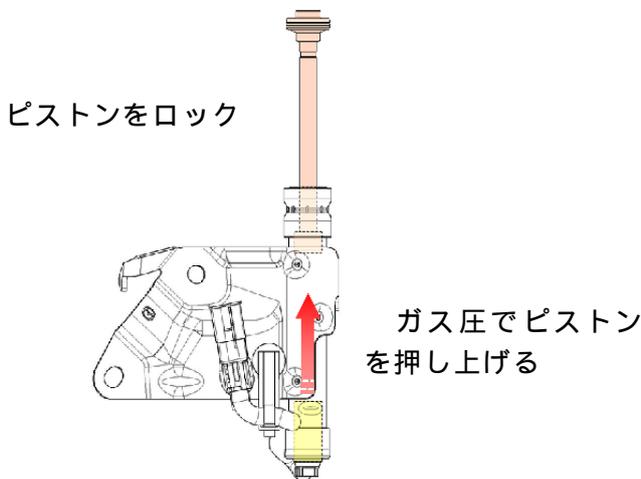


図 - 5 アクチュエータ作動状況

歩行者がフードに衝突した際には，ピストンはフードを保持しつづけるが，歩行者頭部がフードを保持しているピストンの位置に衝突した場合には，ピストンが曲がることで歩行者との衝突を緩和するよう配慮されている（図 - 6）．

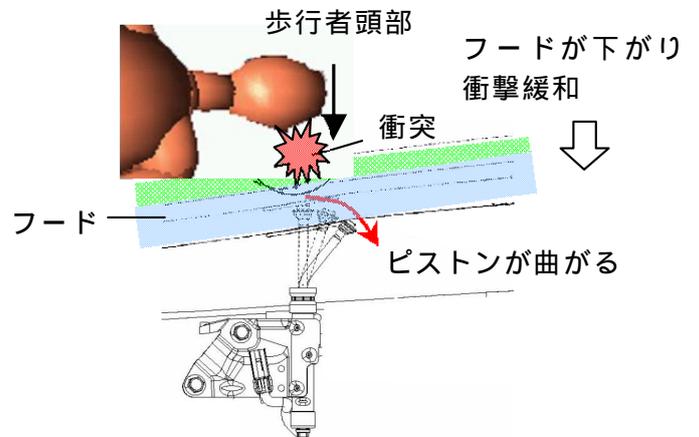


図 - 6 ピストン曲げによる衝撃吸収

4. 効果

実車でのフード作動試験において，ポップアップアクチュエータのフードの持ち上げは，歩行者がフードに衝突するタイミングより十分前に完了することを確認できた．また，歩行者の頭部保護性能を評価するインパクト試験において，頭部への衝撃が緩和されることが確認できた．

5. おわりに

本製品は12年よりマツダ株式会社「ロードスター」，トヨタ自動車株式会社「クラウン」，「レクサス IS」に採用され，量産化できた．今後，順次他車種へ展開される予定である．

本開発・量産化に際し，ご指導，ご協力いただきましたマツダ株式会社，トヨタ自動車株式会社及び関係会社の方々に深く謝意を表します．

参考文献

- 1) 警視庁交通局 交通事故統計 2011年

CO₂活用技術

中川 博之*¹

CO₂ Utilization Technology

Hiroyuki Nakagawa*¹

要 旨

CO₂はドライアイスや炭酸水など日常生活でよく見かける化学物質であるが、温室効果ガスとしても知られている。この温室効果ガスにより地球温暖化が進むと言われている。地球全体のCO₂は増加を続けており、CO₂削減に向けた取組みが国内外で行われている。

しかしCO₂を資源としてみた場合、自然界に豊富に存在し、安価で毒性もないことから、非石油系資源として貴重な存在と考える。そのため世の中ではCO₂活用技術の研究が盛んに行われている。

そこで今回、世の中のCO₂活用技術の概要と最近の技術動向について紹介する。

CO₂は既に様々な用途に活用され、その活用先も広がっている。従来の活用先以外に、化学品・樹脂への変換による活用の検討が進められている。

CO₂を化学品・樹脂へ変換した場合、CO₂の化学的固定化という意味だけではなく、従来の合成法では必要であった有毒な化学物質が不要になる例もある。この点でも環境に優しい取り組みであると考えられる。

Abstract

CO₂ is a chemical compound which is well known as used in soda and dry ice. On the other hand, CO₂ is famous for greenhouse gas. Generally, it is said that CO₂ is a contributor of global warming. The amount of CO₂ in the whole world is continuing to increase, and the efforts to reduce greenhouse gas emission have been carried out in the world.

However, if we look on the bright side of CO₂, it is a valuable resource as non-petroleum-based material because CO₂ is in abundant supply, affordable and have no toxicity. Therefore, CO₂ utilization technology is studied intently.

In this report, we will introduce CO₂ utilization technology trends in the world.

CO₂ has already been utilized for various products and is spreading for other applications, such as reactant.

When resin or raw material is synthesized from CO₂, we can reduce the amount of CO₂ by chemical immobilization and also realize non-toxic-synthesizing methods. In this regard, we consider that CO₂ utilization technology is an environmentally-friendly approach.

*¹ Hiroyuki Nakagawa 研究開発部

1. はじめに

CO2はドライアイスや炭酸水など日常生活でよく見かける化学物質であり、温室効果ガスとしても知られている。この温室効果ガスにより地球温暖化が進むと言われている。図-1に示すように、地球全体のCO2は増加を続けている。世界気象機関によれば過去80万年で最も高い水準にあり、CO2の排出量も2012年も増加のペースが加速し、産業革命前の濃度の141%に達しているという。そこで、温室効果ガスであるCO2を減らすための活動が国内外で行われている¹⁾。

しかしCO2を資源と見た場合、大気中に約0.037%程度存在し、総量で3兆トンになる。これは全世界でのプラスチック生産量である2億トン強を基準とすると、CO2は限りある石油資源に代わる豊富な資源として考えることができる。そのため世の中ではCO2活用技術の研究が盛んに行われている。

そこで今回、世の中のCO2活用技術の概要と最近の技術動向について紹介する。

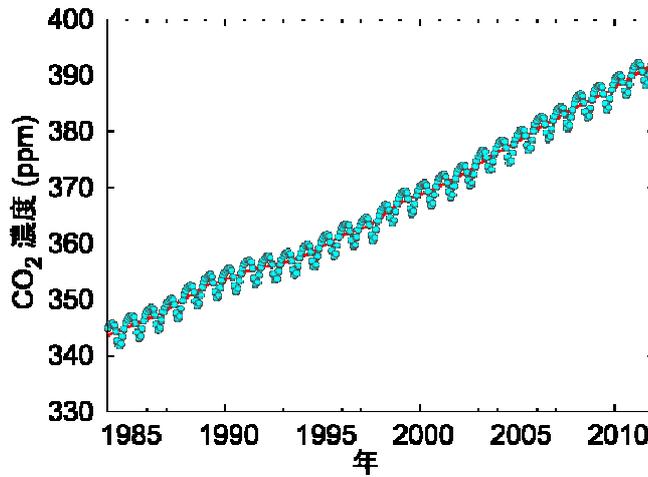


図-1 地球全体のCO2の経年変化¹⁾

2. CO2の特徴

CO2は常温常圧では無色無臭の気体で、水に比較的よく溶け水溶液は弱酸性を示す。CO2の三重点(-56.6℃、0.5MPa)以上の温度、圧力条件下ではCO2は液化する。さらに温度と圧力が臨界点(31.0℃、7.3MPa)を超えると超臨界状態となり、気体と液体の特徴を兼ね備えるようになる。

また、温室効果について説明する。大気中に含まれるCO2や水蒸気、メタン、フロンなどは太陽の可視光をよく通す一方、地表から宇宙空間に向かって放出される赤外線を吸収し、再び地表に向かって放射するため、地表付近の大気が暖められる作用がある。この作用を温室効果という。

図-2に横浜桜陽高校が赤外線電球とペットボトルを使って、CO2による温室効果を確認した実験結果を示す。20%CO2を充填させた方が大気(図-2では空気と表示)より冷えにくいことが分かる³⁾。

表-1 CO2の物性表²⁾

モル重量	44.01 g/mol
比重	1.53(気体)、
	1.10(液体)
	1.56(固体)
昇華点	-78.5℃(0.1MPa)
三重点	-56.5℃(0.5MPa)
臨界温度	31.0℃
臨界圧	7.3MPa
水への溶解度	0.145 g/100cm ³ (25℃)

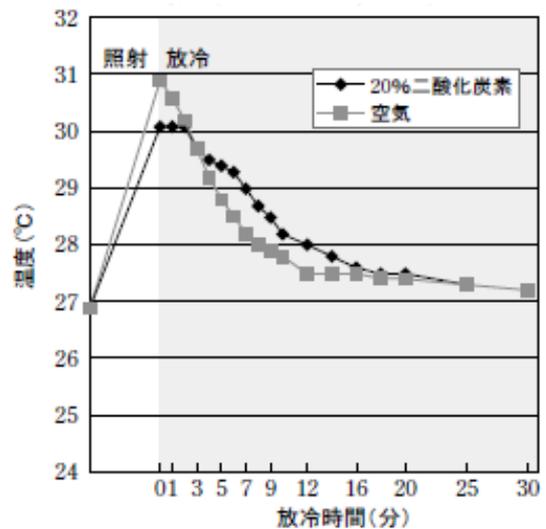


図-2 CO2の温室効果実験³⁾

3. CO2活用技術

一般生活におけるCO2の活用の中で、最も思い浮かびやすい例は、ビールの泡やドライアイスなどで、他に消火器の充填剤や溶接時のシールドガスとしての活用などもある。これらの用途は、CO2の状態に応じたもので、不燃性、毒性のないガスとしての気体状態での活用、冷却剤として固体状態（ドライアイス）での活用、そして溶剤として超臨界流体での活用である。CO2は既に多方面で使われている物質であり、しかも徐々に利用範囲が広がっている。

しかし、冷却剤としてドライアイスを活用する場合などでは、CO2を活用後に大気中にCO2を放出するため、CO2の固定化・削減には繋がり難い。

今回、CO2を別の化学品・樹脂へ変換してCO2を固定化する技術に着目し、その概要を表-2に示した。

3-1. 化学品との反応技術（有機合成）

CO2と化学品との反応は工業規模でも広く行われている。比較的規模が大きいのは、アンモニアとの反応による尿素の合成やフェノールとの反応によるサリチル酸の合成で、尿素の場合、世界で約8億トン/年製造されている。

最近の研究では、生成物としてこれまでの化学品だけではなく、樹脂や樹脂原料を生成物とする研究が進められている。

これらの合成技術のうち、エポキシやアルコールと反応させ、脂肪族ポリカーボネートやポリウレタンを合成する技術について説明する。

3-1-1. エポキシとの反応技術

まず、CO2とエポキシとの反応のうちポリプロピレンカーボネート（PPC）を始めとする脂肪族ポリカーボネートの合成技術について説明する。

本反応自体は今から40年以上前に井上祥平教授（現東京理科大学）が発見した反応で、ジエチル亜鉛-水系触媒を用いた反応であるが、昨今、地球温暖化対策としてCO2を固定化・削減する材料及び技術として注目されている。現在PPCの技術開発に関しては、国内では基礎研究レベルに留まっているが、中国では国家予算を投入して各地にPPC製造のパイロットプラントが作られ、既に工業化のレベルでPPCの大量生産が始まっている。中国中海石油化学では2008年6月から3千トン/年の生産を行っている。

表-2 CO2活用技術

化学品・樹脂への変換	①化学品との反応技術（有機合成） ・反応相手：エポキシ、アルコールなど ・樹脂：脂肪族ポリカーボネート、ポリウレタンなど
	②還元技術 ・水素還元 ・光化学還元 ・電気化学還元
	③生物活用技術 ・光合成藻類、細菌類による変換 ・非光合成細菌による変換

脂肪族ポリカーボネートの用途としては、柔らかく熱分解しやすい特性を活かした電子部品用のバインダ、酸素バリア性を活かしたフィルム（食品包装材）、生分解性を活かした薬品徐放剤などがある^{4),5)}。

更に力学的性能を向上させ構造部材などへの用途拡大に向けた開発も進んでいる。産業技術総合研究所では、PPCに脂肪族ポリエステルを30%程度ブレンドさせることで、従来のPPCの24倍の弾性率(2.4GPa)を得た。この弾性率は一般的な樹脂であるポリプロピレンの弾性率の2倍以上になる。

また東京大学では、脂肪族カーボネートを高分子量化する検討が進められている⁶⁾。

課題は耐熱性の向上で、現状では200°Cで熱分解する⁷⁾。

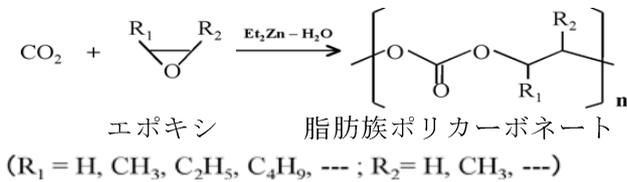


図-3 エポキシとの反応⁴⁾

次に、CO₂とジエポキシとの反応によりポリウレタン（ヒドロキシウレタン）を合成する反応技術について説明する。

本反応は、CO₂とジエポキシとの反応により、まず環状カーボネートを合成し、その環状カーボネートとジアミン類を反応させることでヒドロキシウレタンの合成が可能となる。従来のポリウレタンの合成法では原料として必要だった有毒なホスゲンが不要になる。

課題はヒドロキシウレタンの収率向上で、現状では70%程度である⁸⁾。

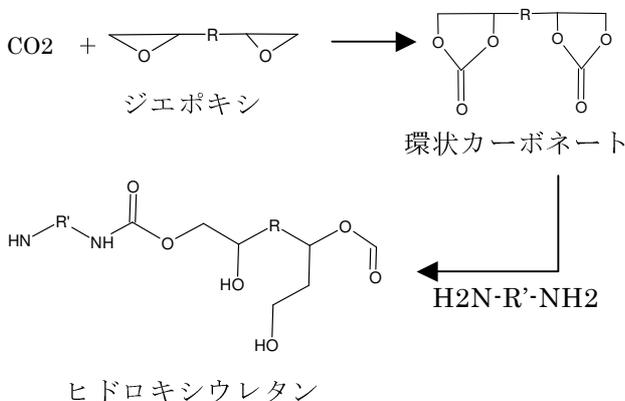


図-4 ジエポキシとの反応⁸⁾

3-1-2. アルコールとの反応技術

CO₂とメタノールなどのアルコール類をアルコキシスズ錯体の存在下で反応させることにより炭酸ジメチルなどの炭酸エステル類が合成できる。

炭酸エステルの用途としては、DVDやCDの基材であるポリカーボネートの原料、リチウムイオン電池の電解液などがある。また、ガソリンやディーゼルなどの液体燃料への添加剤としての利用も期待されている。

特に、ポリカーボネート合成にCO₂を原料とした炭酸エステルを用いる場合は、毒性の高いホスゲンが不要である。旭化成においては2002年に商業運転を開始し、2012年に世界で70万トン/年のポリカーボネートを生産している^{9),10)}。

以前は収率向上が課題であったが、最近の研究では、CeO₂-ZrO₂などの固体酸化物触媒を用いて副生成物である水を除去することで、99.9%以上の収率で炭酸エステルを合成する研究なども進められている¹¹⁾。

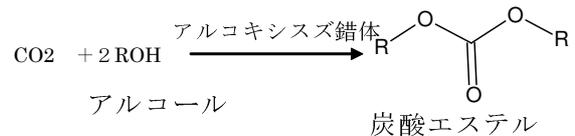


図-5 アルコールとの反応^{9),10)}

3-2. 還元技術

CO₂を還元するとメタノールやギ酸などになる。代表例としてCO₂からメタノールを合成する反応について説明する。

メタノールから様々な化学品・樹脂へ変換出来るため、世界各地で広く研究が進められている。例えばメタノールからエチレンやプロピレンなどのオレフィン類の合成も可能である。

三井化学では2009年2月より本反応でメタノールを100トン/年生産を開始している。課題は反応時に高温高圧が必要なため、多量のエネルギーを消費する点と水素源の確保と考える。現在のところ水素はエチレンプラントで発生する余剰の水素を利用している。将来は光触媒を活用した水分解による水素の生成を検討している。

CO₂の究極のリサイクルとして、CO₂から作ら

れた樹脂を使用後に燃焼させ、CO2を再び回収してメタノールを合成し、水素はメタノール合成時に出来た水を分解させる検討を進めている¹²⁾。

表-3 CO2還元技術^{12)~17)}

	化学式	研究機関
水素還元	$CO_2 + H_2 \xrightarrow{\text{金属系触媒 (Cu/Zn触媒)}} CH_3OH$	米Akron大 中国科学院 三井化学 他
	$CO_2 + H_2 \xrightarrow{\text{磁鉄鈹}} C + H_2O$	東京工業大
	$CO_2(\text{超臨界}) + H_2 \xrightarrow{\text{Ru触媒}} HCOOH(\text{ギ酸})$	名古屋大学
光化学還元	$CO_2 + H_2O \xrightarrow{\text{TiO}_2/\text{Ru触媒}} HCOOH(\text{ギ酸})$	豊田中央研究所

3-3. 生物活用技術

藻類や細菌類を用いて化学品・樹脂へ変換する検討も進められている。藻類や細菌類がCO2を取り込み細胞内で別物質に変換するものである。代表例として藻類による変換事例について紹介する。

微細藻類の中には単位面積あたり温帯域の森林の10倍のCO2を微細藻類の藻体に変換可能なものがある。これは森林と微細藻類の成長速度の違いが原因と考えられ、最適条件では2時間に1度細胞分裂を起こすものがある¹⁸⁾。

理化学研究所では、CO2雰囲気下で光合成により増殖する藻類を用いて作るバイオプラスチック（ポリヒドロキシ酪酸（PHB））の収率を代謝経路を制御することで、従来の約2.5倍に引き上げることに成功した¹⁹⁾。

米国マサチューセッツ大学では、米国西海岸から採取した層状微生物マットに含まれる紅色硫黄細菌が、CO2からPHBを生成することを見い出した。

更に、微生物マットからPHB合成酵素を単離したり、PHB合成に関与する遺伝子を大腸菌に組み込むことで、分子量 2.0×10^7 の高分子量PHBの合成を可能にした。これにより、従来のPHB（分子量 7.6×10^5 ）は固くて脆かったが、高分子量化により延性を持つ高強度な材料に変わることが分かった²⁰⁾。

生物活用技術の課題は、化学品・樹脂の収率の向上と藻類や細菌類の後処理である²¹⁾。



図-6 PHBの合成¹⁸⁾

5. まとめ

CO2は既に様々な用途に活用され、その活用先も広がっている。従来の活用先以外に、今回取り上げた化学品・樹脂への変換による活用の検討が進められている。

CO2を化学品・樹脂へ変換した場合、CO2の化学的固定化という意味だけではなく、従来の合成法では必要であった有毒な化学物質が不要になる例もある。この点でも環境に優しい取り組みであると考えられる。

今後は豊田合成保有の技術や設備を活かして、CO2を低エネルギーで有価物へ変換する研究開発を推進していく。

参考文献

- 1) 気象庁ホームページ, 二酸化炭素の経時変化 (2013)
- 2) 大木道則, 化学辞典, (1994) p1015
- 3) サイエンスリンクホームページ, 二酸化炭素の温室効果を確かめる (2003)
- 4) S. Inoue, J. Polym. Sci. 7, 287, (1969)
- 5) 杉本 裕, 二酸化炭素の直接利用最新技術, NTS, (2013) p231
- 6) 野崎京子, 第55回高分子学会年次大会, 5 (2006)
- 7) Yongjin Li, Applied Materials & Interfaces, 1, 1650, (2009)
- 8) B. Ochiai, J. Polym. Sci. 45, 3408 (2007)
- 9) 旭化成プレスリリース, 2003.02.28
- 10) 三宅信寿, 日本国特許公開番号 (特開2003-192644)
- 11) A. Dibenedetto, Chem. Eur. J. 18, 10324, (2012)
- 12) 三井化学プレスリリース, 2008.08.25
- 13) E. Bial, Biotechnol. Bioeng. 99, 3, 508, (2008)
- 14) W. Shen, Applied Catalyst. 225, (2001)
- 15) M. Tabata, J. Materials Science, 28, (1993)
- 16) P. Jessop, Chemical Reviews, 95, 2, 259, (1995)
- 17) T. Kajino, R&D Review of Toyota CRDL, 43, 2, 43, (2012)
- 18) 湯川 英明, CO2固定化・削減と有効利用, (2004) p160
- 19) 平井優美, DNA Research, 20, 5 (2013)
- 20) R. W. Lenz, J. Biotech. 143, 111, (2009)
- 21) 鈴木 伸昭, 微生物機能を活用した革新的生産技術の最前線, CMC出版, (2012) p88
- 22) 経済産業省ホームページ, 技術戦略マップ 2008 (2008)
- 23) 岩槻邦男, 科学, 岩波書店, 69, 9, 1999
- 24) 天満 則夫, 日本エネルギー学会誌, 88, 261, (2009)
- 25) 豊田合成レポート2013, (2013) p35

画像解析ソフトImageJを用いたポリマーアロイのモルフォロジー定量化

松浦元司*1 渡辺健市*2

Digital Image Analysis for Morphology of Polymer Alloy with the Software “ImageJ”

Motoshi Matsuura*1 Kenichi Watanabe*2

要 旨

画像解析ソフトImage J※を用いて、タルクを含んだオレフィン系ポリマーアロイの、ゴム平均粒子径、アスペクト比、粒子径分布について定量化を検討した。解析方法として、配合比にもとづいてしきい値を決めるという、解析者の任意性を排除した手法を採った。

この手法に基づき、異なる設備で練ったオレフィン系材料のゴム粒子径の定量化に活用した。その結果、ゴム粒子径が大きくなるにしたがい、耐衝撃性が低下する傾向が見られた。粒子径を定量化することで、目標とする耐衝撃性を達成するために、制御しなければならないゴム粒子径の目標を得ることができる。

※) ImageJ : アメリカ国立衛生研究所 (NIH) で科学研究用、特に顕微鏡画像処理のために開発された画像処理ソフト

Abstract

With digital image analysis software called “ImageJ”, we studied to estimate average diameter, aspect ratio, and distribution of the diameter, of the elastomer particles in the morphology formed by olefin-based polymer alloy including talc. The image analysis method we adopted is that the threshold is determined by referring to the composition of material. It excludes arbitrariness of the engineer.

We tried to apply this method to estimate the diameters of particles in the morphology of olefin-based polymer alloy materials extruded by each different machine. As a result, we could observe a tendency that the impact strength value of the molded article of those materials declines as the diameter of the elastomer particle in the morphology of the material is large. By digital image analysis, we can grasp the target value of the diameter of the particle in the morphology to ensure the minimum impact strength of the molded article of the material.

*1 Motoshi Matsuura 材料技術部 材料分析室

*2 Kenichi Watanabe 材料技術部 材料分析室

1. はじめに

近年、高分子の物性発現を予測しての配合設計、材料開発がなされるようになってきている。その中で目標とする物性を得るために、混練り、成型によってどのような高次構造が形成されているかを知ることが必要であり、電子顕微鏡による観察が盛んに行われている。

しかし、電子顕微鏡観察で得られたモルフォロジーと物性の関係を考えるとき、写真のままでは定性的な議論しかできない。

そこで画像を数値化し、物性との関係を分かりやすくすることが重要となる。

本報では、画像解析ソフトウェア『ImageJ』を用いて、オレフィン系ポリマーアロイ材料のモルフォロジー画像の定量化を行った。こうした画像の定量化を行うことにより、構造と物性の関係をより綿密に把握することができるはずである。そして、目標となる物性を発現させる条件を見つける手がかりにもなると考えられる。

『ImageJ』は、アメリカ国立衛生研究所(NIH)で開発されたオープンソースでパブリックドメインの画像処理ソフトである。もともと医療用に開発されたものであるが、特に顕微鏡で撮影した画像の処理を行うことを目的としてつくられており、科学研究者向けの特徴を持っている。

2. 実験

画像解析の主な手順として、

- 1) キャリブレーション
(1画素の寸法を決定)
- 2) 解析領域の指定
- 3) 濃度範囲しきい値の設定
- 4) カットオフ値の設定
(一定面積以下の微粒子を除去)
- 5) 解析実行

が挙げられる。

この中で、濃度範囲しきい値の設定に任意性があり、人によって設定の仕方が違う、あるいは、同じ人物が一連の実験に対して解析していても、時によって、設定の仕方が変わるという課題がある。^{1), 2)} 本材料系の画像解析をすすめるにあたり、この問題が起こらないよう、しきい値の設定の仕方を一様にするようにした。単純ではあるが、材

料の配合比に基づいてしきい値を決定する。詳細には、材料の配合と成分の比重から、各成分の体積分率を計算し、解析実行する。結果の対象成分の面積比率を見ながら、体積分率に最も近くなるように、しきい値を設定した。

解析対象領域における各成分が、常に平均の体積分率を保っているとは限らず、変動があると考えられる。よってこの手法により、画像の対象成分領域と抽出画像のフィッティングは多少犠牲となるが、解析者、解析時期によっての結果の変動をなくし、任意性を排除することができる利点を重視している。

PP/ゴム/タルクを配合したオレフィン系ポリマーアロイ材料が画像解析の対象である。これにルテニウム酸染色を施し、電子顕微鏡写真を撮影した。図-1はオレフィン系アロイ材料のSTEM観察像である。

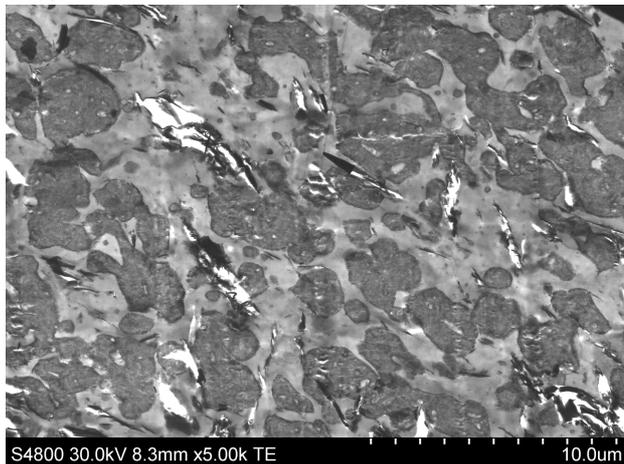


図-1 PP/ゴム/タルクアロイのSTEM観察像

図-1で最も黒い領域がタルク、ルテニウム酸によってグレーに染色された中間の濃度領域がゴム、マトリックスの白い領域がPPである。タルクを含んでいることによって複雑になっている。この写真よりゴム粒径の解析を行う。

配合情報から各成分の体積分率を計算によって、あらかじめ求めておく。

解析対象領域は写真全体とし、まず濃度が濃い側のタルクのしきい値を求める。結果としての面積率がタルクの配合体積分率となるように決める。次にゴムはタルクで決定した低濃度側のしきい値から始まり、同様に面積率がゴムの体積分率になるように設定する。図-2に設定の様子を示す。

上方に0~255階調のヒストグラムが示されており、ゴムとして中間の濃度の領域を抽出している。

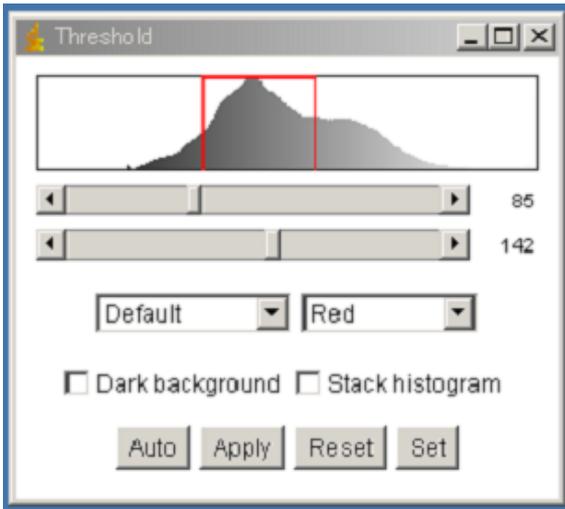


図-2 しきい値設定の画面

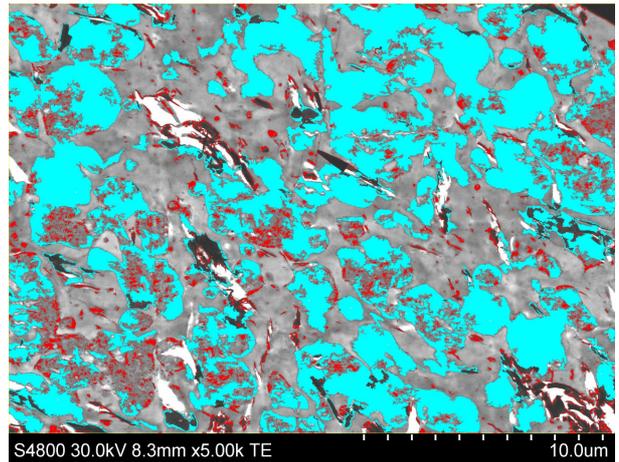


図-4 カットオフによって除かれた粒子（赤）

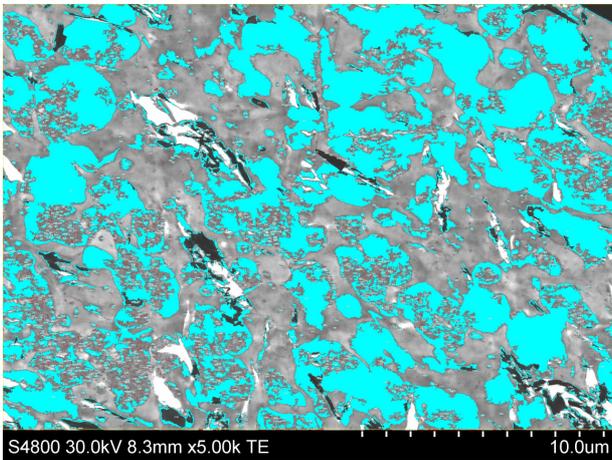


図-3 しきい値で抽出されたゴム領域

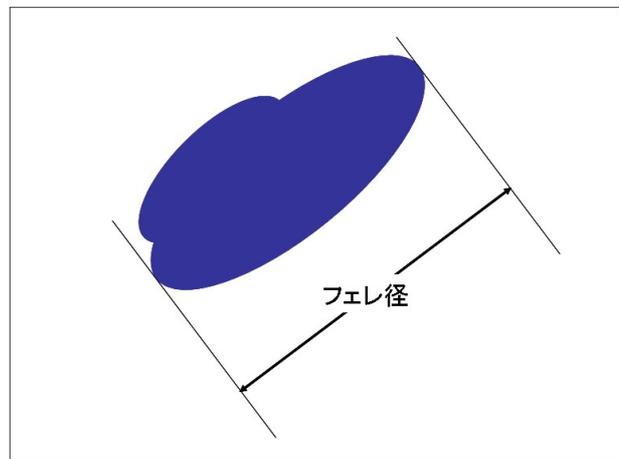


図-5 フェレ径

図-3では、前述のように決定されたしきい値で抽出されたゴムの領域を水色で示している。画像のノイズにより微粒子が発生したり、またゴム粒子中の微細構造によって細かい粒子が形成されることがある。これらの微粒子をそのままにして計算すると、平均粒子径を小さくしてしまう。そこで、カットオフと呼ばれる操作によって一定の面積以下の粒子を除く。ここでは、一様に $0.1 \mu\text{m}^2$ としてそのような粒子を除き、粒子径を求めることにした。図-4では除かれた粒子を赤で示している。

平均粒子径は、図-5のような（最大）フェレ径で出力している。ゴム内側で粒子の離脱が生じていても外形をある程度保持していれば、粒径への影響は小さいと考える。

3. 結果

図-4において画像解析した結果より、ゴム領域の粒子の分布は、図-6で示すような結果となった。フェレ径での平均粒子径は $2.12 \mu\text{m}$ 、アスペクト比は2.30であった。

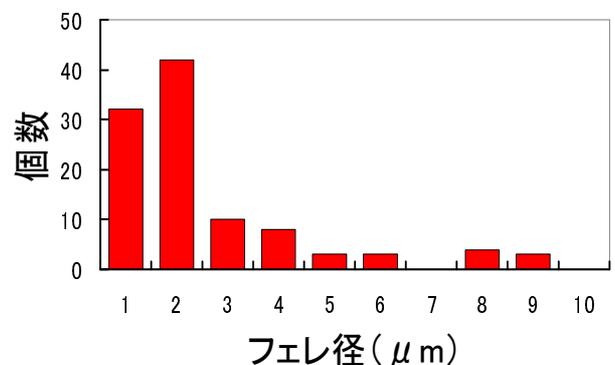


図-6 粒子径分布

解析の再現性を確認するために、同じ材料の顕微鏡写真を全部で5枚撮影し、同様に解析を行った。表-1に解析した粒子径、参考としてアスペクト比の結果を示す。

5回の解析検討で粒子径の標準偏差として0.12 μm程度、RSD（相対標準偏差百分率）として6.3%のばらつきで評価できることを確認した。

表-1 画像解析の再現性

n	フェレ径 (μm)	粒子径分布の標準偏差 (μm)	アスペクト比
1	2.12	1.92	2.30
2	1.98	1.77	2.29
3	1.93	2.15	2.24
4	1.78	2.03	2.08
5	2.02	1.83	2.21
平均	1.96	1.94	2.22
標準偏差	0.124	—	0.0909
RSD値(%)	6.3	—	4.1

4. 適用例

これまで述べたように、粒子が分散した系の平均粒径を求めることができるようになった。そこで、製品性能の中で重要な物性である耐衝撃性との関係について解析した。

PP/ゴム/タルク系のオレフィン系ポリマーアロイの同等配合材料を異なる設備で混練された材料がある。これらの材料を用いてテストピースを成型し、シャルピー衝撃試験を行ったところ、表-2に示す結果となった。

ラボ機A、量産機Bで練った材料の耐衝撃性が量産機C、量産機Dで練った材料より、相対的に

表-2 材料、使用設備と衝撃試験値

混練設備	シャルピー衝撃試験値 (kJ/m ²)	フェレ径 (μm)
ラボ機 A	27.5	1.51
量産機 B	25.8	1.56
量産機 C	15.7	2.15
量産機 D	15.0	2.05

低い値となっている。このように異なる押出機で練られた材料は、ゴムの分散状態が異なっている可能性が考えられる。開発途上の材料をラボスケールから量産機へスケールアップする時など、材料技術者が練りの状態の変化を注意しているところである。

この衝撃試験値の違いの原因を明らかにするため、同様のルテニウム酸染色を実施し、モルフォロジー観察を行ったところ、図-7(1)~(4)のSTEM観察像を得た。

これらの写真を比較して、ゴム分散状態に差があるように見られる。図-7に示したSTEM観察像から画像解析を行い、ゴム部の平均粒子径を求め、結果を同じ表-2に示す。またフェレ径とこれらの材料のシャルピー衝撃値の関係を図-8に示す。粒子径が大きくなるとともに、耐衝撃性が低下する傾向が見られる。

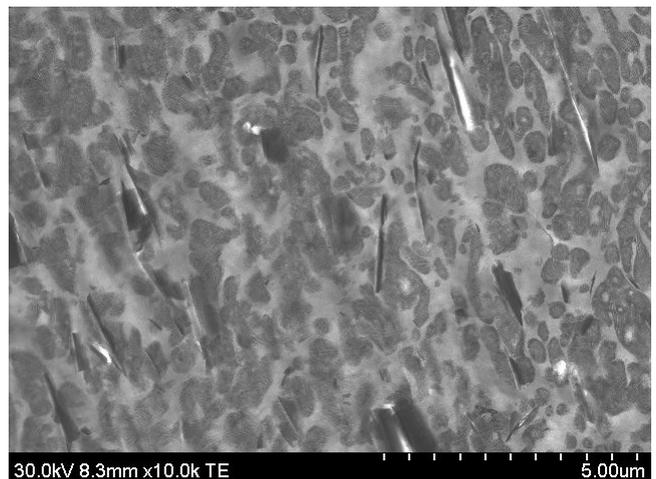


図-7(1) ラボ機A混練

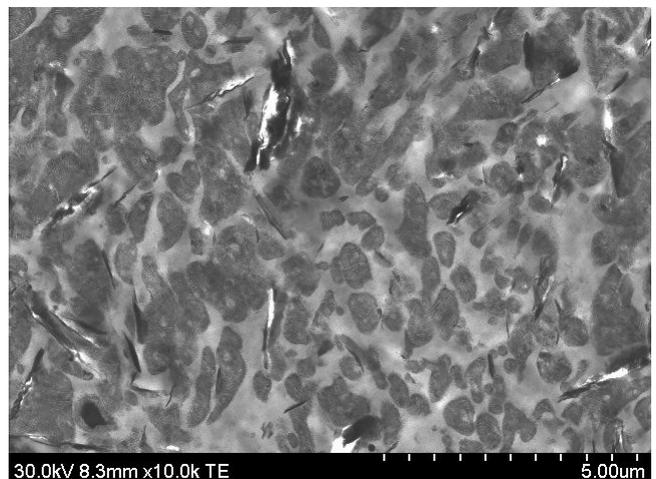


図-7(2) 量産機B混練

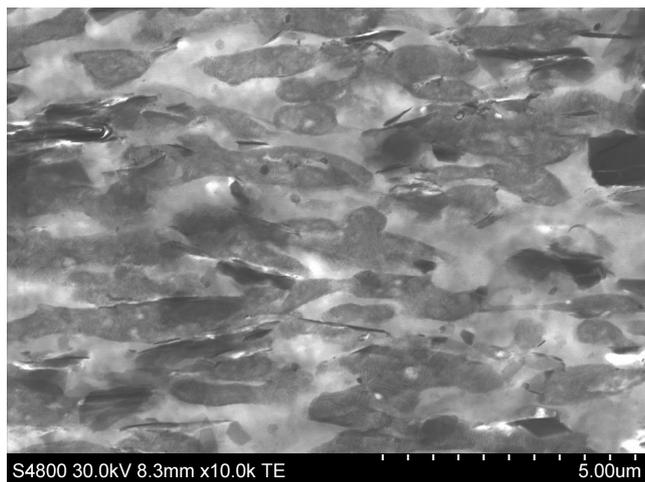


図-7 (3) 量産機 C 混練

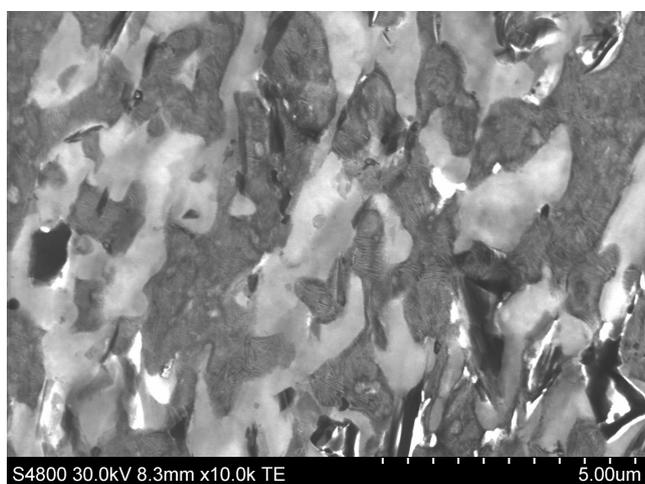


図-7 (4) 量産機 D 混練

図-8を描くことで、フェレ径と衝撃値の関係を定量的にイメージすることができる。たとえば図-8のようにある耐衝撃性の目標値を入れれば、確保しなければならない粒子径が明確となり、構造制御という観点で物性を管理することができる。電子顕微鏡写真の情報しかない場合には、数値的な感覚がないため、対応は難しい。

このほかにも、画像解析が必要とされる場面として、観察した試料間で粒子径に差があるかどうか、目視ではほとんど判断できないような場合、統計的な手法を用いて、有意差の有無を明確に判断するのに使うことができる。

あるいは、樹脂の流れにより、粒子形状が写真上で円形から楕円に変化するような場合においても、画像解析検討で述べたアスペクト比によって、粒子形状を定量的に比較する、など様々な場面で活用が考えられる。

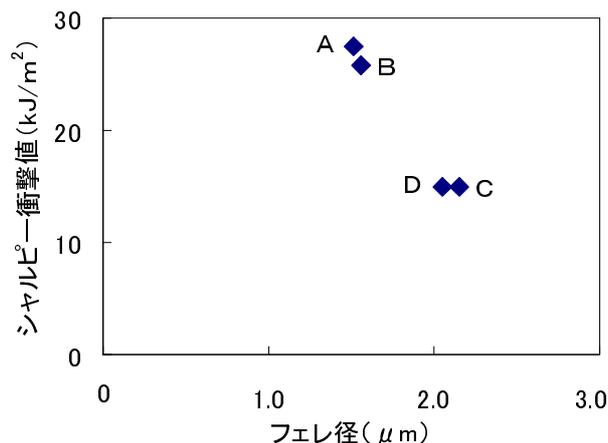


図-8 フェレ径とシャルピー衝撃値

5. まとめ

1) 『Image J』を用いて、タルクを含んだ複雑なオレフィン系ポリマーアロイの画像解析検討を実施し、平均ゴム粒子径、アスペクト比、粒子径分布などの結果を得た。解析手法として、配合比にもとづいてしきい値を決めるという、解析者の任意性を排除した手法を採ったが、粒子径においてn増し検討を行って、再現性のある結果が得られた。

2) 異なる設備で練った同等配合材による成型品にて、耐衝撃性の差が現れた。これらの材料について、モルフォロジー観察を行い、画像解析でゴム粒子系を求めた。同等配合材のゴム粒子径と耐衝撃性に関して、粒子径が大きくなるに従い、耐衝撃性が低下する傾向を数値の上で見ることができた。この手法によって、目標とする耐衝撃性を得るための目安となる粒子径も把握できる。

『Image J』を用いた本手法は、このような事例に限らず、構造と物性の関係を明らかにしていく際に、種々の適用が期待できることから、今後の材料開発に活用していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 西敏夫：日本ゴム協会誌 67, 736 (1994)
- 2) 西敏夫：日本ゴム協会誌 68, 834 (1995)

ドライバー監視ステアリングホイールの開発

志賀一三*¹, 鈴木滋幸*², 坂川雄祐*³

Development of Driver Monitoring Steering Wheel

Ichizo Shiga*¹, Shigeyuki Suzuki*², Yusuke Sakagawa*³

要 旨

最近の交通事故の原因のなかで、居眠りを含む漫然運転、脇見運転が大きな割合を占めている。このような事故を防ぐには、ドライバーの目の動きや顔の向きを監視し、居眠りや脇見を検知した場合、適宜ドライバーに警告することにより大幅に事故が減らせることが期待される。しかし、既に市場に出ている車両、特に居眠りや脇見による悲惨な事故が報告されている大型トラックや長距離バスに対し有効な手段がないのが現状である。

今回その対策として我々が開発中の、後付可能なドライバー監視ステアリングホイールについてその一部を報告する。

Abstract

In recent years, the number of accidents caused by desultory driving and inattentive driving occupies the large percentage. To prevent such accidents, these accidents will be expected to decrease by properly warning the driver when the doze and inattentive driving are detected. However, there is no effective method for the heavy-duty truck and the long-distance coach to prevent a miserable accident caused by the doze and inattentive driving.

As the measures, we report the driver monitor steering wheel that can be attached in the after market.

*¹ Ichizo Shiga 商品開発部 第1商品開発室

*² Shigeyuki Suzuki 商品開発部 第1商品開発室

*³ Yusuke Sakagawa 商品開発部 第1商品開発室

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の傾向にある(図-1)。その原因は色々あるが、日本国内の交通事故死を法令違反別に見ると(図-2)、居眠りを含む漫然運転が第1位、脇見運転が第2位となっており、合計すると33%以上になる。この2つの対策としては、ドライバーの状態を監視し、漫然状態や脇見の時にドライバーへ警告をすることにより事故を大幅に減少することが予想される。現在このシステムは、一部の高級車のオプションとなっており、市場に多く拡がってはいないのが現状である。今回、我々はドライバー監視システムを特に悲惨な事故の多い大型トラックや長距離バスに簡易に後付けできるシステムを目指し開発を進めており、その一部を紹介する。

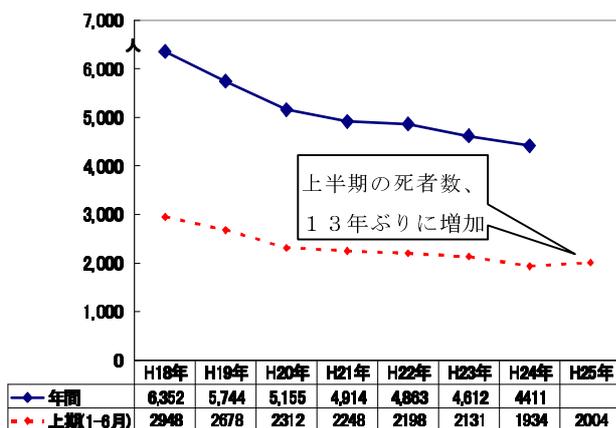


図-1 交通事故死者数

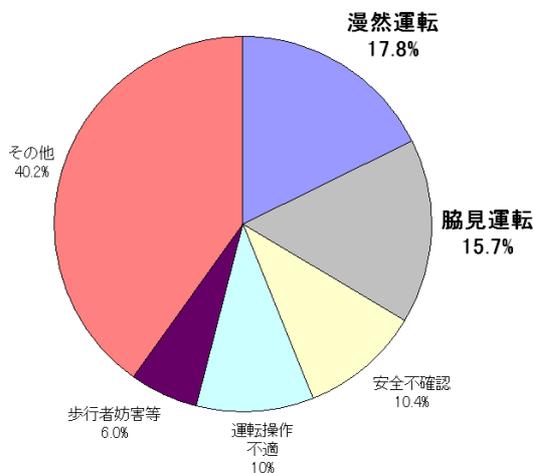


図-2 法令違反別割合

2. ドライバー監視システムについて

2-1. システム概要

システムのフローを以下に示す(図-3)。

- 1) ステアリングホイールのリング上に設置したX軸回りに回転自由なカメラを設置し、その画像をスマートフォンに送信する。
- 2) スマートフォン内で画像を処理し、「漫然・脇見」運転及び車両のふらつきを検知した場合に、ドライバーがステアリングホイール上の警報停止スイッチを押して警報を停止するまで警報音が鳴り続ける。
- 3) 一定時間内にドライバー警報を停止しない場合、ドライバーの画像と地図上の発生場所をメールにて管理者へ送信する。

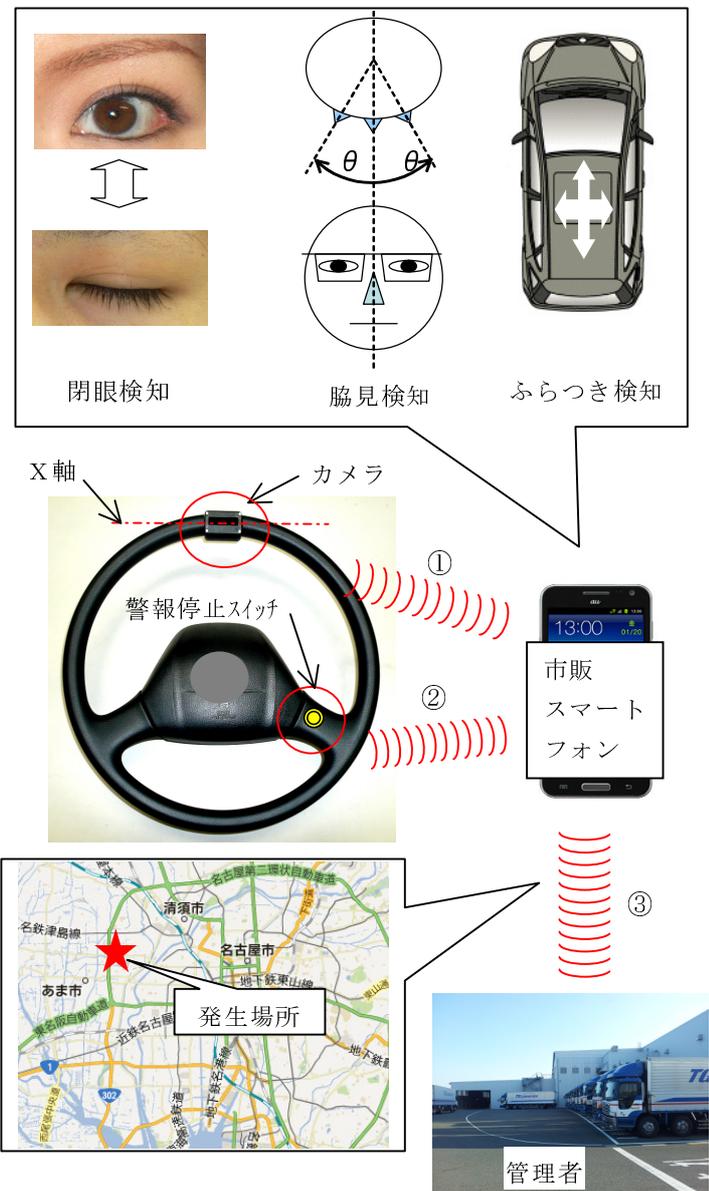


図-3 システムフロー

2-2. カメラ構造

カメラの構成を図-4に示す。夜間及びサンングラス装着時の対応のため、画像処理は図-5に示す近赤外領域で行なう。

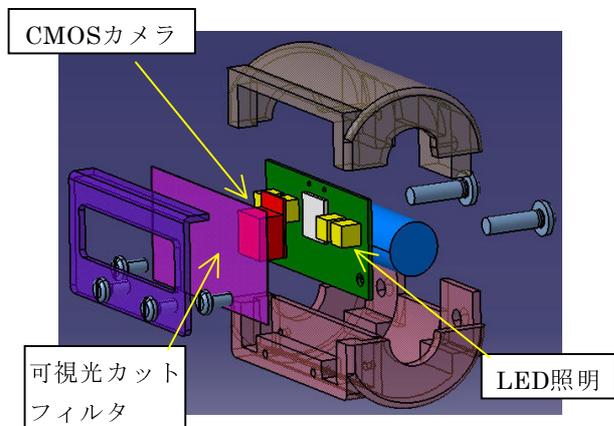


図-4 カメラ構成

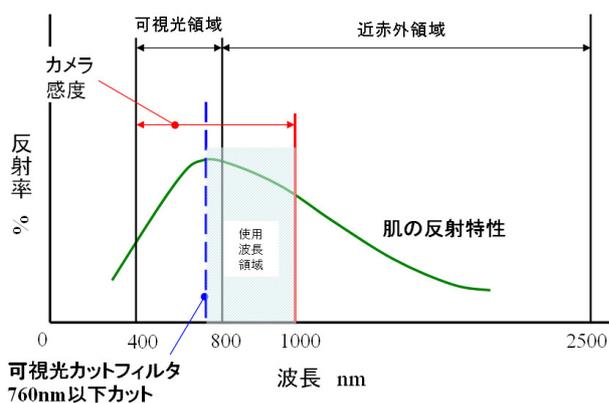


図-5 使用波長領域

2-3. 通信モジュール

通信モジュールを図-6に示す。カメラ画像のスマートフォンへの画像送信はIEEE802.11gとし、通信モジュールとスマートフォンの接続はテザリング機能によって行なう。

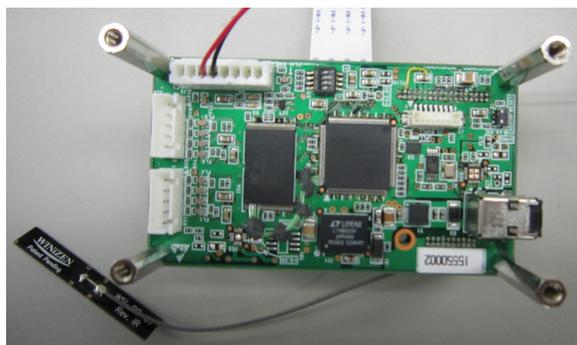


図-6 通信モジュール

2-4. 検知アルゴリズム

2-4-1. 脇見

脇見判定の大きな流れを示す(図-7)。まずカメラから取得した画像の中から顔を検出し、鼻の位置を特定、次に目と鼻より顔中心線を決め、最初に設定した顔中心線と移動後の顔中心線との変化量で脇見を特定する。

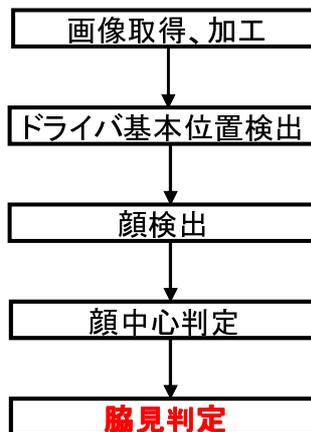


図-7 画像処理フロー

2-4-2. 閉眼

白目部分の面積(図-8斜線部)によって閉眼を判定する。

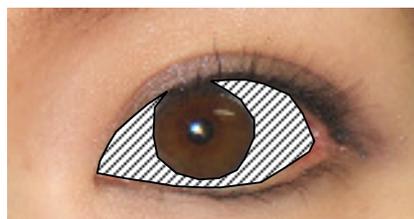


図-8 白目の面積(斜線部)

2-4-3. 漫然状態の推定

漫然状態については、瞳孔中心の動きと車両のふらつき具合によりを推測する。

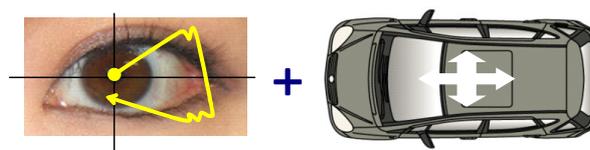


図-9 漫然状態の推定

2-5. スマートフォン

一般に市販されているアンドロイド端末にて評価確認を実施する。(今回は下記の3機種を使用)



- ①MEDIAS Tab UL N08D
- ②MEDIAS Tab N-06D
- ③ARROWS X F-10D

図-10 確認したスマートフォン

3. 評価結果

本開発は大型トラック、バス向けに開発を進めており、まず大型トラックのレイアウトでの脇見検知率について評価を行った。

3-1. レイアウトの違い

乗用車と大型トラックでは、ステアリングホイールに設置したカメラ～ドライバーまでの位置関係が大きく異なり(図-11)、ステアリングホイールのリング部にカメラを設置した場合、下から顔を見上げるような写り方となる(図-12)。



図-11 レイアウトの違い



図-12 カメラからの映像
(大型トラック)

3-2. 評価方法

評価者1名(身長173cm, 男性)で実際の大型トラック(11ton)相当位置で、顔～カメラまでの距離、角度の水準を振り(図-13)、脇見の検知率について検証を行なった。

シート位置	フロント	中央	リア
L (cm)	540	640	740
θ (°)	0~40		

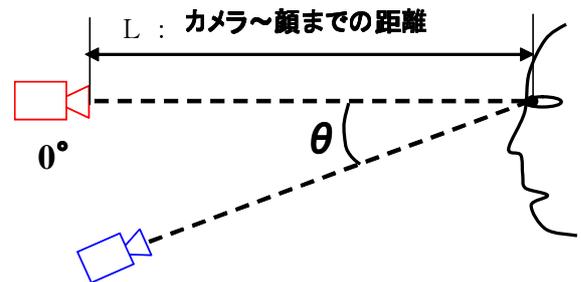


図-13 評価方法

3-3. 結果

評価の結果、カメラ～顔までの距離640cm、角度23°において、検知率90%以上を確保することが出来た(図-14)。

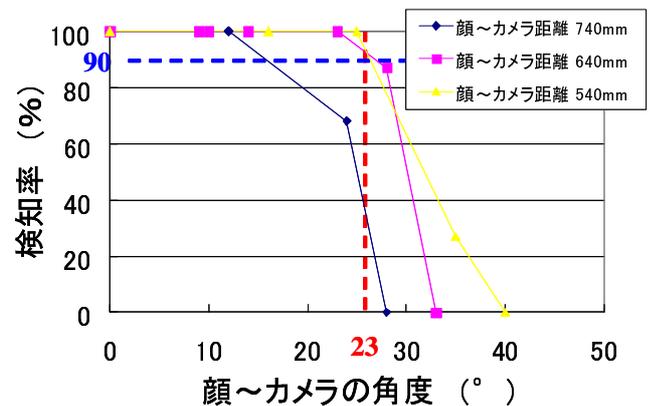


図-14 評価結果

4. 今後について

今回の検討でドライバーの顔とカメラとの位置関係により脇見の検知率に大きく差がでることが判明した。今後は実車を用い、今回明らかになった課題とその他にも予想される課題について開発を進め、早期の実用化を目指す。

4-1. カメラ位置による検知率低下について

検知ソフトの改良と平行し、自社運輸部門で3-2項、図-13のL長、 θ 角を実際に測定し、どの範囲までカバーするかを明確にする。

4-2. その他課題について

- 1) サイドミラーでの安全確認と脇見との識別
- 2) ふらつきと通常走行の識別 (Gの設定)
- 3) 漫然運転状態と通常状態の識別
- 4) 警報音の大きさ、種類
- 5) 光の影響による検知率低下の対策 (図-15)



図-15 評価結果

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) 「NECカシオモバイルコミュニケーションズ株式会社」のホームページより転載
www.nec-casio-mobile.co.jp/products/nec_mb.html
- 4) 「富士通のパーソナルユーザー向け製品の情報サイト」より転載
www.fmworld.net/product/phone/f-10d

a面, c面サファイア基板上AlNバッファ層の島密度とGaN層の結晶品質*1

奥野 浩司 *2

Crystal Quality of GaN Films and Island Density of AlN Buffer Layer Grown on a- and c-Sapphire Substrate*1

Koji Okuno*2

要 旨

現在のGaN系白色LEDは、1986年に開発された低温バッファ層によって格子不整合差16%となるサファイア基板上に高品質GaN成長層が実現したことによって発展してきた。GaN系LEDの光出力改善にはGaN結晶層の高品質化が求められる。サファイア基板上GaN層の結晶品質は低温バッファ層によって大きく改善したものの、GaN層中には未だに約 10^9cm^{-2} もの貫通転位と呼ばれる結晶欠陥が存在し、LEDの光出力向上を妨げている。その為、現在においても転位密度を如何に低減するのかが重要課題の一つとして注目されている。

本報告では、サファイア基板上に高品質GaN層を得る為の成長メカニズムを明らかとすることを目的に、(11-20)a面と(0001)c面サファイア基板上に成長したGaN成長層の結晶品質の違いに着眼し、a面とc面サファイア基板上のAlNバッファ層と成長初期のGaN層の成長モードについて比較検証を行った。その結果、サファイア基板上に高品質GaN薄膜を得る為には、AlNバッファ層の結晶島密度を小さくする必要があり、その為にはAlNバッファ層の固相成長をアニール条件によって制御し、AlN結晶島サイズを大きくすることが重要であることを明らかとした。

Abstract

Low temperature buffer layer technique have enabled high quality GaN films to be grown on a sapphire substrate, which have large (16%) lattice mismatch, and have led to the present development of GaN-based white light emitting diodes (LEDs). Increasing the light output power of LED requires improving crystal quality of GaN films. Although GaN films on sapphire substrate were greatly improved by the buffer layer technique, GaN films still contain threading dislocation density as high as 10^9cm^{-2} , which impede improvement of output power. Therefore, threading dislocation reduction in GaN films is still a major issue.

In this paper, to clarify growth mechanism to achieve high quality GaN films, AlN buffer layer and initial growth mode of GaN films grown on (11-20)a-plane and (0001)c-plane sapphire substrate have been investigated and compared. Results show that it is important to control the solid phase epitaxy of AlN buffer layers by annealing, and that increasing the size of AlN islands is essential for realization of high-quality GaN films.

*1 本論文内容は、Physica Status Solidi (C) 10 (2013) 369 に掲載された論文の内容である。

*2 Koji Okuno オプトE第1技術部 E1技術室

1. はじめに

GaN系白色LEDは低消費電力・長寿命という特徴から、液晶バックライトの光源に使用され、照明用の光源として開拓された。これは、デバイス構造作製可能な原子的に平坦なGaN結晶層が格子不整合差16%となるサファイア基板上に実現し、高い発光効率を持つLEDが実現したためである¹⁾。一般的に高品質な結晶を得るためには、格子整合する基板を用いることが原則である。それは、基板と結晶層の格子定数が異なると成長層には圧縮又は引張歪が生じ、蓄積された弾性歪エネルギーを開放する為に転位などの結晶欠陥を発生させ、結晶層の品質を低下させるからである。従って、AlGaAsやGaP、ZnSeなどの結晶はそれらのバルク基板、又は格子不整合差の小さいヘテロ(異種)基板を用いて結晶成長が行われる。しかし、GaNはNの解離蒸気圧が高くバルク基板の作製が困難であったこと、格子定数の似通ったヘテロ基板が存在しないことから、格子整合しない基板、すなわちサファイアやSiC、GaAs等のヘテロ基板を使用せざるを得なかった。その中でサファイア基板は、高温で原料のNH₃に対する耐性が良いこと、比較的安価・大口径が得られやすいことといった理由から一般的に用いられた。大きな格子不整合差により実現不可能と呼ばれていたサファイア基板上高品質GaN結晶層は、1986年赤崎勇教授を中心としたグループによって開発された低温堆積緩衝層技術(以後、「バッファ層」と呼ぶ)によって実現し、低温バッファ層は現在の青色LEDの成功を導いたブレイクスルー技術となった¹⁾。高品質GaN層の実現により、GaN層のp型化、InGaNを用いたダブルヘテロ構造といった青色LEDの実用化に必要な不可欠な技術が次々に成功し、豊田合成では1995年に高光度青色LEDの商品化が実現した。以後、青色LEDは目覚ましい発展を遂げ、現在に至っては我々の生活に必要な不可欠なデバイスとして浸透している。

GaN系LEDの高光度化にはGaN結晶層の高品質化が求められる。サファイア基板上GaN層の結晶品質は低温バッファ層によって大きく改善したものの、GaN層中には未だに約 $10^8 \sim 10^9 \text{ cm}^{-2}$ もの貫通転位と呼ばれる結晶欠陥が存在する。その為、現在においても転位密度を如何に低減するのかが中心的課題の一つとして議論が

続いている²⁾。

貫通転位を低減させる方法としては、ホモ(同種)基板であるGaN基板の使用が最も有望視されるが³⁻⁵⁾、コストや量産性の点で課題が多く、普及にはまだ時間を要する。大きな格子不整合差となるサファイア基板上への高光度LEDの実現はGaN系半導体以外に前例が無く、安価且つ大口径が得られるヘテロ基板上に高品質GaN層を実現させることはLEDの更なる普及において非常に重要である。従って、バッファ層はヘテロ基板上GaN成長に必須技術であり、貫通転位はヘテロ基板上に最初に堆積するバッファ層で形成されることから、貫通転位密度低減の為にバッファ層の高品質化がキーポイントの一つである。

低温バッファ層を用いて良質な(0001)c面GaN成長層を得られるサファイア基板の面方位には(11-20)a面、(0001)c面がある⁶⁾。一般的にGaN系LEDの製造にはc面サファイア基板が用いられるが、a面とc面サファイア基板上に同条件で成長させたGaN層の貫通転位密度は、a面サファイア基板上GaN層の方がc面サファイア基板上GaN層よりも少ないことが報告されている⁷⁾。しかし、そのメカニズムは未解明である。今回我々は、a面とc面サファイア基板上GaN層の貫通転位密度の差に着目し、このメカニズムを解明することがGaN層の貫通転位密度低減にとって重要であると考えた。本報告では、サファイア基板上に低転位密度GaN層を得る為の低温バッファ層の微細構造を明らかにすることを目的に、a面とc面サファイア基板上AlNバッファ層とGaN層の結晶品質について比較検証したので報告する。

2. a面, c面サファイア基板

a面とc面のサファイア、及びc面GaN層の原子配列をそれぞれ図-1(A)(B)(C)に示す。a面サファイアは2回対称性の長方形の結晶構造を持ち、c面サファイアはc面GaNと同様の3回対称性の六角形の結晶構造を持つ。a面、c面サファイア基板とc面GaN成長層とのエピタキシャル関係は図-1(C)のc面GaNの原子配列を図-1(A)(B)の各サファイア基板の原子配列に重ね合わせた関係となる。表-1に、各サファイア基板上GaNのエピタキシャル関係、格子不整合差、熱膨張係数差をまとめた一覧を示す。c面サファイア基板

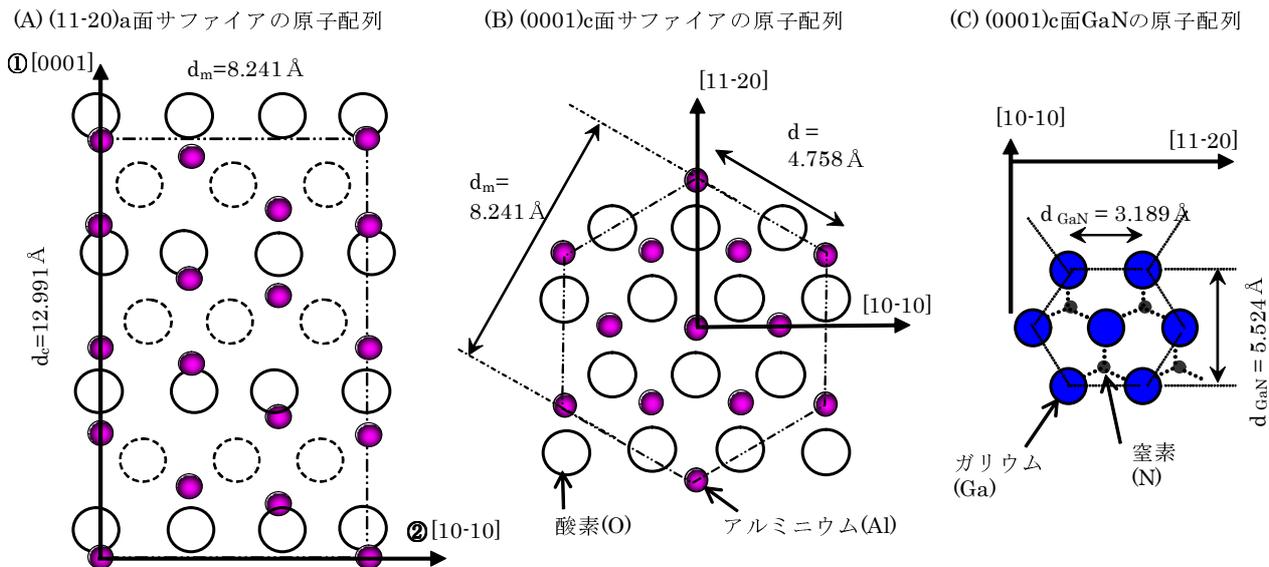


図 - 1 (11-20)a面, (0001)c面サファイア, 及び(0001)c面GaNの原子配列

上GaN層では, 格子不整合差, 熱膨張係数差それぞれ, 16%, 25%となる. 一方, a面サファイア基板上GaN層は結晶の対称性が異なる為, 図 - 1 (A)に示す様にサファイアの①[0001]と②[10-10]方向で格子不整合差, 熱膨張係数差が異なる. a面サファイアの②[10-10]方向では格子不整合差, 熱膨張係数差共にc面サファイア上GaNの関係と等しいが, サファイアの②[0001]方向では格子不整合差が6.3%と小さく, 熱膨張係数差は34.2%と大きい. 以後, これらの違いがAlNバッファ層の微細構造とGaN層の結晶品質にどのような違いをもたらすのか実験的に解析していく.

3. 実験方法

実験は, a面とc面サファイア基板を同時に反応炉にセットし, 有機金属気相成長法(MOCVD)

表 - 1 a面, c面サファイア基板上c面GaN層のエピタキシャル関係と格子不整合差, 熱膨張係数差

	エピタキシャル関係	格子不整合差	熱膨張係数差
a面サファイア 基板上 c面GaN	① [1-100] _{GaN} // [0001] _{Sap}	-6.3%	34.2%
	② [11-20] _{GaN} // [1-100] _{Sap}	-16.1%	25.5%
c面サファイア 基板上 c面GaN	[11-20] _{GaN} // [1-100] _{Sap}	-16.1%	25.5%

方を用いていった. Al, Ga, Nの原料としてTMAl, TMGa, NH₃, キャリアガスとしてH₂を用いた. 最初に, サファイア基板を1100°C以上のH₂中でサーマルクリーニングした. その後, 約400°Cまで降温させAlNバッファ層を約10nm堆積させた. そして, GaNの成長温度である1000°C以上まで昇温させてH₂とNH₃ガス中でAlN層のアニール処理を行った. その後, TMGaを導入してGaN層を成長させた. サンプルはa面及びc面サファイア基板上の堆積直後及びアニール後のAlNバッファ層, さらに膜厚が約40, 160, 640nmの成長初期段階のGaN層を用意した. 評価は, 表面形状, 成長モードの観察の為に原子間力顕微鏡(AFM)測定, 微細構造の観察の為に透過電子線顕微鏡(TEM)測定, 結晶層の結晶品質の解析の為にX線ロックングカーブ(XRC)測定を行った.

4. 結果

4-1. AlNバッファ層の表面観察

図 - 2に, 堆積直後とアニール後のa面, c面サファイア基板上AlNバッファ層のAFM像を示す. 堆積直後では, a面, c面サファイア基板上AlNバッファ層共に, 互いに隣接した約 $2.3 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ もの高密度のAlN結晶島が観察される. アニール前後でAlN結晶島を比較すると, アニールによってAlN結晶島が大きくなっていることが解る. これはAlN結晶島の固相成長が起きてい

ることを示している. 一方, a面とc面サファイア基板上のアニール後のAlNバッファ層を比較すると, a面サファイア基板上AlN結晶島の方がc面サファイア基板上よりも大きく, AlN結晶島密度はそれぞれ 5.6×10^{10} , $7.9 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ であった. 従って, a面, c面サファイア基板上では, アニールによるAlN結晶島の固相成長に違いがあることが解る.

4-2. AlNバッファ層中の貫通転位

図-3に, 堆積直後とアニール後のa面, c面サファイア基板上AlNバッファ層中の貫通転位密度を評価する為に, 平面TEM観察を行った結果を示す. 平面TEM像にはAlNとサファイアで反射した電子線の干渉縞(モアレフリンジ)を観察でき, AlNバッファ層中の貫通転位密度はこのモアレフリンジを解析することにより見積もることが可能である. AlNバッファ層中の貫通転位はモアレフリンジの終端点に存在することが解っており⁸⁾, この終端点は図-3(E)(F)に示すように画像処理(フーリエフィルタリング)することにより明確に確認することが出来る. モアレフリンジの終端点をカウントすることで, AlNバッファ層中の貫通転位密度を見積もった結果, 堆積直後ではa面, c面サファイア基板上AlNバッファ層共に非常に多いが, アニール後のサンプルでは減少し, その密度はa面, c面サファイア基板上でそれぞれ, 5.4×10^{11} , $7.9 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ であった. すなわち, a面サファイア基板上AlNバッファ層の方がc面サファイア上よりも貫通転位が少ない. AlNバッファ層中の貫通転位密度と4-1項で評価したAlN結晶島密度との関係をプロットすると図-4のようになる. AlN結晶島密度が少ない時, AlNバッファ層中の貫通転位密度も少ないことが解る.

4-3. a面, c面サファイア基板上AlNバッファ層の結晶島密度と転位密度の差

a面サファイア基板上AlNバッファ層のアニール後の結晶島密度と貫通転位密度がc面サファイア基板上に比べて少ない理由を, a面とc面サファイア基板上AlNバッファ層の残留歪と格子不整合差から考察を行った. 残留歪は, モアレフリンジの間隔からAlNバッファ層の格子定数を計算し, 見積もった⁸⁾. 表-2に, AlNとサファイアの格子不整合差, 残留歪の計算結果, 及び

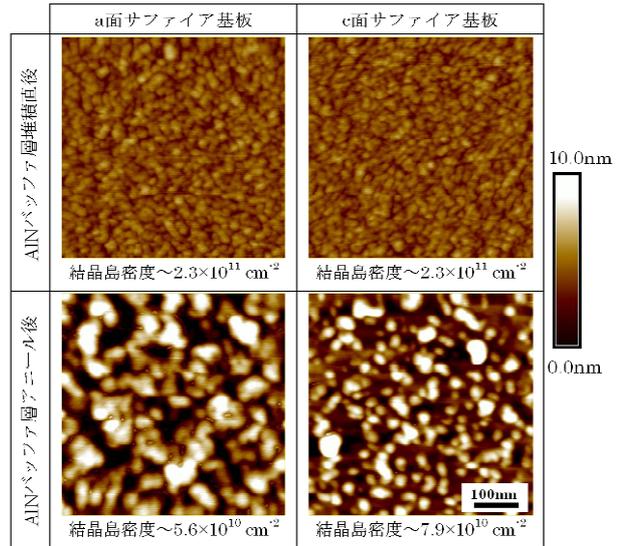


図-2 a面, c面サファイア上AlNバッファ層の堆積直後, アニール後のAFM像 (500nm \square)

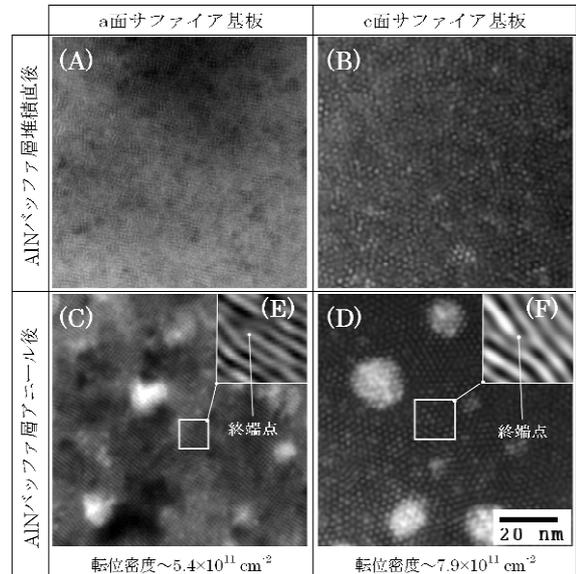


図-3 a面, c面サファイア上AlNバッファ層の堆積直後, アニール後の平面TEM像

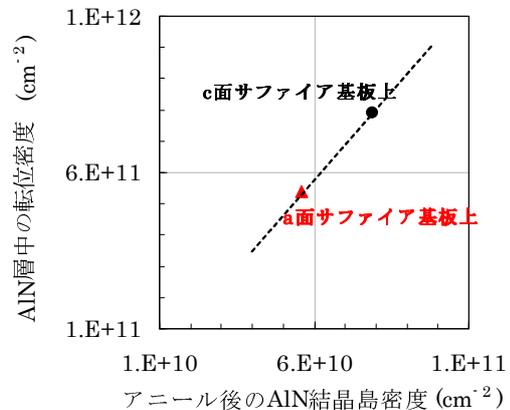


図-4 アニール後のAlN結晶島密度とAlNバッファ層中の貫通転位密度の関係

表 - 2 a面, c面サファイア基板上のアニール後のAlNバッファ層のエピタキシャル関係, 格子不整合差, 結晶島密度, 転位密度

	エピタキシャル関係	格子不整合差 (%)	残留歪 (-)	結晶島密度 (cm ⁻²)	転位密度 (cm ⁻²)
a面サファイア基板上AlNバッファ層	① [1-100] _{AlN} // [0001] _{Sap}	-3.7	-0.0192 (圧縮)	5.6×10 ¹⁰	5.4×10 ¹¹
	② [11-20] _{AlN} // [1-100] _{Sap}	-13.2	-0.0056 (圧縮)		
c面サファイア基板上AlNバッファ層	② [11-20] _{AlN} // [1-100] _{Sap}	-13.2	-0.0017 (圧縮)	7.9×10 ¹⁰	7.9×10 ¹¹

4-2, 4-2項で得られた結晶島密度と貫通転位密度を示す。残留歪の計算結果から, a面, c面サファイア基板上AlNバッファ層共に圧縮歪を受けており, 格子不整合差の計算結果と一致する。エピタキシャル関係が②[11-20]_{AlN} // [1-100]_{Sapphire}の時, a面とc面サファイア基板上AlNバッファ層の残留歪はほとんど同じである。これは表-2で示すように, ②の関係では格子不整合差が13.2%で等しいことに起因する。一方, a面サファイア基板上AlNバッファ層の①[1-100]_{AlN} // [0001]_{Sapphire}のエピタキシャル関係における残留歪は, ②のエピタキシャル関係よりも大きい。これはa面サファイア基板上AlNバッファ層の①のエピタキシャル関係における格子不整合差が②よりも小さいことに起因すると考えられる。格子不整合差が大きいほどエピタキシャル層の歪は大きくなり, 歪を開放させる為に基板とエピタキシャル層の界面にミスフィット転位が形成され易くなる。a面サファイア基板上AlNバッファ層は格子不整合差の小さい①のエピタキシャル関係を持つ為, c面サファイア上よりもミスフィット転位が形成されず, 残留歪が大きくなったと考えられる。従って, a面, c面サファイア基板上AlNバッファ層の結晶島密度及び転位密度の違いは格子不整合差の違いが起因していると考えられ, 格子不整合差が小さいa面サファイア基板では界面エネルギーが小さい為, c面サファイア基板上よりもアニールによるAlN結晶島の固層成長が促進し, サイズの大きい高品質のAlN結晶島が形成され, AlNバッファ層中の貫通転位密度が減少したと考えられる。

4-4. GaN層成長初期の表面観察

次に, a面, c面サファイア基板上AlNバッファ層上に成長させたGaN層の成長初期を観察した結果を示す。図-5, 膜厚40nm, 640nmのGaN層のAFM観察結果を示す。a面, c面サファ

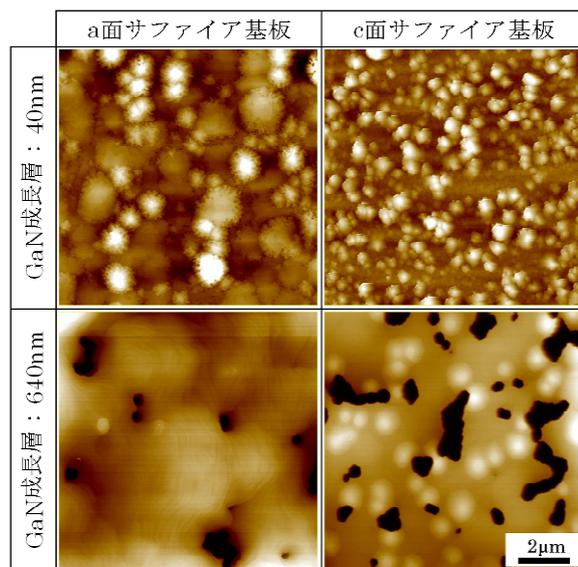


図 - 5 a面, c面サファイア基板上厚さ40nm, 640nmのGaN成長初期層のAFM像 (10µm□)

イア基板上のGaN成長層共にGaN結晶島が観察され, 膜厚の増加と共に, 結晶島が合体して大きくなるのが解る。いずれの膜厚においてもGaN結晶島のサイズはa面サファイア基板上の方がc面サファイア基板上よりも大きい。この関係は図-2で示したアニール後のa面, c面サファイア基板上AlNバッファ層の結晶島の大きさの関係と一致する。従って, GaN成長層はAlNバッファ層の結晶島を成長核として成長し, AlNバッファ層の結晶島が大きい時, GaN成長層の結晶島も大きくなるのが解る。

4-5. GaN成長層の貫通転位密度

図-6に, a面, c面サファイア基板上GaN成長層のGaN(10-10)XRC FWHMのGaN膜厚依存性を示す。a面, c面サファイア基板上GaN成長層共に膜厚が厚くなるに従ってXRC FWHMが小さくなっている。これは, GaNの結晶島同士が合体する時, 貫通転位が横方向に曲がり, 成長

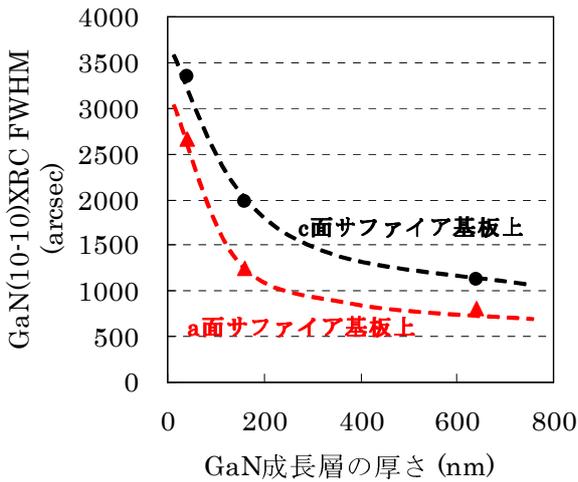


図 - 6 GaN(10-10)XRC FWHMのGaN成長層の膜厚依存性

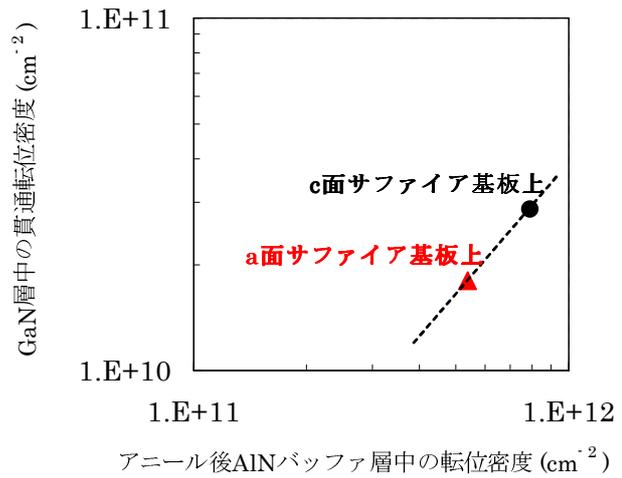


図 - 7 アニール後のAlNバッファ層中の転位密度と40nm厚GaN成長層の貫通転位密度の関係

方向へ伝播する貫通転位が減少する為と考えられる⁹⁾. XRC FWHMはa面サファイア基板上GaN成長層の方がc面サファイア基板上よりも小さい. この関係は, 4 - 2項のアニール後のa面, c面サファイア基板上AlNバッファ層の貫通転位密度の関係と一致する. すなわちGaN層中の貫通転位はAlNバッファ層中の貫通転位が起源であることを示唆している. 図 - 6に, a面, c面サファイア基板上のアニール後のAlNバッファ層中の転位密度と400Å厚GaN層中の貫通転位密度との関係を示す. GaN層中の貫通転位密度は(10-10)FWHMから次の式で見積もった¹⁰⁾.

$$\text{貫通転位密度} = F^2 / (9b^2)$$

ここで, Fとbはそれぞれ, (10-10)FWHM, バーガーズベクトルを示す. アニール後AlNバッファ層中の貫通転位密度が少ない時, GaN層中の貫通転位密度が少ないことが解る.

5. 考察

ここまでに解ったことをまとめると,

- a) 堆積直後のAlNバッファ層は高密度の六方晶AlN結晶島で形成され, 高密度の貫通転位を持つ(図 - 2, - 3)
- b) AlNバッファ層をアニールすることで固相成長が生じ, AlN結晶島同士の合体が促進して大きくなり, その結果, 結晶島密度が減少すると同時に, AlNバッファ層中の貫通転位密度も低減する(図 - 2, - 3)

- c) a面とc面サファイア基板上AlNバッファ層の比較から, アニール後のAlN結晶島サイズが大きくその密度が少ない時, AlNバッファ層中の貫通転位密度も少ない(図 - 4).
- d) GaN層成長初期に形成されるGaN結晶島の大きさは, アニール後のAlNバッファ層の結晶島の大きさと相関関係にある(図 - 5).
- e) GaN成長層の貫通転位密度はアニール後のAlNバッファ層中の貫通転位密度と相関関係にある(図 - 7).

以上の結果より, AlNバッファ層とGaN成長層の成長メカニズムについて考察した.

i) 堆積直後のAlNバッファ層

面内配向の揃っていない高密度の六方晶AlN結晶島の集合体であり, 貫通転位はAlN結晶島界面で形成されていると考えられる.

ii) アニール後のAlNバッファ層

アニールによってAlN結晶島の固相成長が促進され隣接する結晶島同士が合体し, 貫通転位を含まない大きなAlN結晶島になる. AlN結晶島が大きくなったことでAlN結晶島密度が減少し, その結果AlNバッファ層中の貫通転位も減少すると考えられる.

iii) GaN成長層

GaN成長層はAlN結晶島を成長核として成長し, AlN結晶島が大きいほどGaN層成長初期のGaN結晶島も大きくなる. 従って, GaN成長層中の貫通転位はAlNバッファ層の結晶島界面に形成された貫通転位が伝播することで形成されていると考えられる.

以上の考察により, 低温AlNバッファ層を用

いてサファイア基板上に高品質GaN層を得る為には, AINバッファ層中の貫通転位密度を低減させる必要があり, その為にはアニールによってAINバッファ層の固相成長を促進させ, AIN結晶島を大きくし, AIN結晶島密度を低減させることが重要である.

6. まとめ

高品質GaN層を得る為の成長メカニズムを明らかにする為に, a面, c面サファイア基板上のAINバッファ層と成長初期のGaN層の成長モードと結晶品質について比較検証した. AFMと平面TEM解析から, 堆積直後のAINバッファ層は面内配向の乱れた高密度の六方晶AIN結晶島の集まりであるが, アニールによって隣接するAIN結晶島が固相成長により合体し, 原子配列の揃った大きなAIN結晶粒になる. a面とc面サファイア基板上AINバッファ層の比較から, アニール後のAINバッファ層中のAIN結晶島密度が少ない時, AINバッファ層中の貫通転位密度も少ないことが明らかとなった. さらに, アニール後のAINバッファ層中の貫通転位密度が少ない時, GaN成長層中の貫通転位密度も少ないことが明らかとなった. 以上の結果から, ヘテロ基板上に低転位密度GaN成長層を得る為には, AINバッファ層中の貫通転位密度を少なくする必要があり, その為にはAINバッファ層の個相成長をアニール条件によって促進させ, AIN結晶島サイズを大きくし, その密度を低減させることが重要であることを明らかとした.

7. 謝辞

本研究を進めるにあたり, ご指導を頂いた名古屋大学 天野浩教授に感謝致します.

参考文献

- 1) H. Amano, N. Sawaki, I. Akasaki, and Y. Toyoda, *Appl. Phys. Lett.* **48**, 353 (1986)
- 2) Q. Dai, M. F. Schubert, M. H. Kim, J. K. Kim, E. F. Schubert, D. D. Koleske, M. H. Crawford, S. R. Lee, A. J. Fischer, G. Thaler, and M. A. Banas, *Appl. Phys. Lett.* **94**, 111109 (2009)
- 3) R. P. Vaudo, X. Xu, C. Loria, A. D. Salant, J. S. Flynn and G. R. Brandes, *Phys. Stat. Sol. A* **194**, 494 (2002)
- 4) R. Dwilinski, R. Doradzinski, J. Garczynski, L. P. Sierzputowski, A. Puchalski, Y. Kanbara, K. Yagi, H. Minakuchi and H. Hayashi, *J. Crystal Growth* **310**, 3911 (2008)
- 5) Y. Mori, Y. Kitaoka, M. Imade, N. Miyoshi, Y. Yoshimura and T. Sasaki, *Phys. Stat. Sol. C* **8**, 1445 (2011)
- 6) H. Amano, K. Hiramatsu, I. Akasaki, *Jpn. J. Appl. Phys.* **27**, L1384 (1988)
- 7) K. Doverspike, L. B. Rowland, D. K. Gaskill, and J. A. Freitas, Jr, *J. Electron. Mater.* **24**, 269 (1995)
- 8) Th. Kehagias, Ph. Komninou, G. Nouet, P. Ruterana, and Th. Karakostas, *Physical Review B* **64**, 195329 (2001)
- 9) H. Fujikura, K. Iizuka and S. Tanaka, *Jpn. J. Appl. Phys.* **42**, 2767 (2003)
- 10) A. Usui, H. Sunakawa, K. Kobayashi, H. Watanabe and M. Mizuta, *Mat. Res. Soc.* **639**, G5.6.1 (2001)

新技術紹介

リザーバタンク冷却液の流動音簡易予測

Flow Sound Simplicity Forecast of Reservoir Tank Coolant

丸田 康博*1

1. はじめに

近年、ハイブリッド車（HV）や電気自動車（EV）など次世代エコカーの普及が進んでおり、車内静粛性への対応が必要不可欠となっている。

弊社の機能部品製品にリザーバタンクがあり（図-1）、静粛性向上が必要な製品のひとつである。リザーバタンクでは、冷却液の貯留と気泡の分離を行っているが、液面が激しく動いているため、流動音が生じ易い。タンク設計時に流動音を考慮する必要があるが、現状は試作品で音の確認を行っている。そのため、規定値以上の流動音が発生すると、設計から試験までを繰り返す必要があり、製品開発リードタイムが長くなる。

そこで、製品開発リードタイム短縮に向けて、CFD（Computational Fluid Dynamics）解析による流動音の予測を確立した上で、タンク設計の一助となる簡易な流動音予測ツールを開発したので紹介する。

2. 流動音の予測

流体騒音にはLighthill理論等があるが、気液混合での圧力振動を厳密に解いて流動音の発生を捉えるには相当の計算リソースが必要となる。

今回は、流動音が発生する際の液面の動きに着目し、液面の乱れエネルギーから流動音の予測を行うため、関連の確認を行った。ここで、タンク内は気液二相が存在するため、解析手法としてVOF法（Volume-of-Fluid Method）を用い、乱れエネルギーはタンク内液面の平均値とした。また、試験での流動音は音圧レベルを測定し、暗騒音を減じ

た数値を用いた。

確認試験としてタンク製品を用い、水位の変更を行いながら流動音の測定を行った。解析も同様に実施した結果、実際の液面の動きを再現し、流動音と液面の乱れエネルギーに相関があることが確認出来た（図-2）。

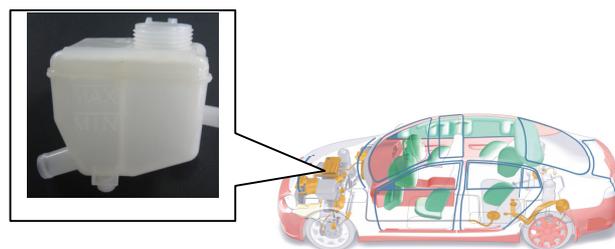


図-1 リザーバタンク

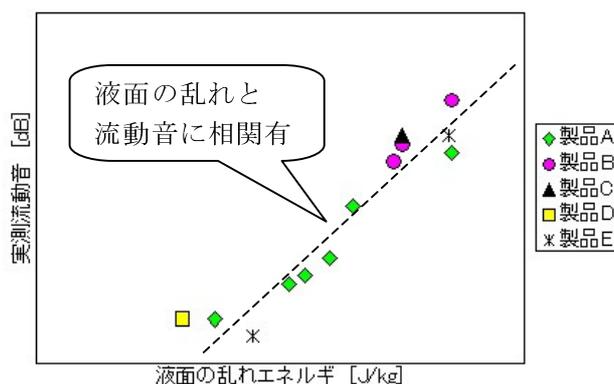


図-2 リザーバタンクの実測と解析の比較

*1 Yasuhiro Maruta デジタルエンジニアリング部

これはタンクに流入した流れが壁に衝突し、飛び跳ねた液が液面に落ちて気泡を巻き込むことで音が発生しているためと考えられる（図-3）。液の飛び跳ね現象は、タンク形状や水位に依存していると推測され、これらの設計パラメータから液面の乱れが予測できれば設計時に流水音が特定できることになる。

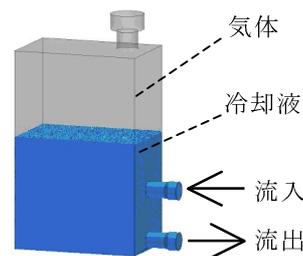


図-4 リザーバタンクの原理モデル

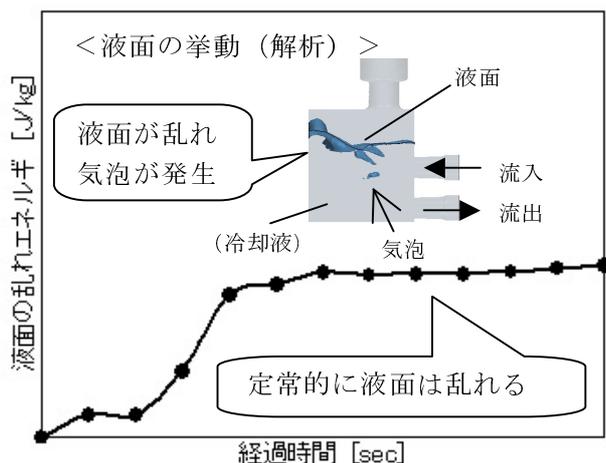


図-3 液面の挙動と乱れエネルギーの推移

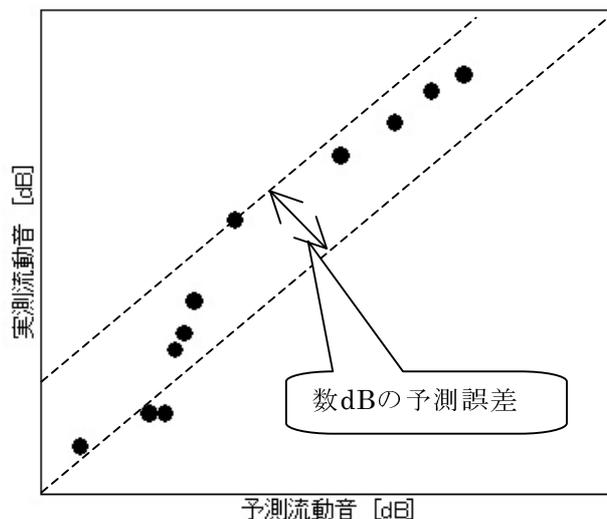


図-5 流動音の実測値と予測値の比較

3. 簡易予測ツールの開発

設計時に流動音を予測するため、タンクの原理モデル（図-4）に実験計画法の応答局面解析を適用したCFD解析を行い、得られた回帰係数から予測式作成を行った。因子としては、タンク設計時に既知となるパラメータを用いるように留意し、数値範囲としては既存のタンク形状を網羅するよう設定した。

得られた予測式の予測精度を確認するため、タンク製品において測定値と比較を行った。その結果、原理モデルより複雑な形状でも数dBの誤差で予測が出来ていることが確認出来た（図-5）。予測値が低く見積もられる傾向にあるが、音が発生している液面以外の乱れも平均化しているため、音が発生する局所的な範囲を的確に判断していくことで精度向上に繋がると考える。このように設計パラメータのみで流動音予測が出来ることが確認でき、設計者が数値入力を行うだけで流動音が表示されるツールを開発できた。

4. おわりに

圧力振動という観点からではなく、液面の乱れという観点で流動音を捉え、タンクの設計パラメータのみで流動音を予測する簡易ツールを開発した。

今後は、今回開発した流動音予測ツールを利用し、HVやEV用リザーバタンク設計への活用により、試作数の低減や開発リードタイム短縮への貢献を行っていく。また、更なる静粛性への要求に対応するために、予測精度の向上に向けた取り組みも行っていく。

≡≡≡ 新技術紹介 ≡≡≡

金属積層技術の最新動向と適用

The Leading-Edge Trend of Metal Laminate Technology, and Application

吉田 瑞生 *1

1. はじめに

近年、製品の短納期化，低コスト化の為，材料の無駄を省き迅速に製作する方法が求められており，それを解決する方法として3Dプリンタと呼ばれる3Dデータから直接立体を造形する方法が急速に発達してきている。

1980年初頭に開発され，用途が試作品に限られていた為，RP(Rapido Prototyping)と呼ばれ，後に最終製品への使用も可能になった為，RM(Rapido Manufacturing)とも呼ばれるようになったが，2009年にASTM（米国試験材料協会）にて切削などの除去製作に対して材料を添加する製造法と言う意味でAM(Additive Manufacturing)と言う総称を決定した。¹⁾

表 - 1 AM法の代表的種別

方法	材質	材料形態	固着方法
シート積層法【LOM】 (Laminated Object Manufacturing)	紙、樹脂、AL	シート	バインダ
光造形法【SLA】 (Stereo lithography Apparatus)	光硬化性樹脂 石膏	液体	光/熱硬化
インクジェット法 (Inkjet printer) ポリジェット法 (Polyjet printer)	光硬化性樹脂 石膏	液体 粉末	光/熱硬化
選択的レーザー焼結法【SLS】 (Selective Laser Sintering)	熱可塑性樹脂 金属 砂	粉末	焼結/バインダ
レーザー直接積層【LENS】 (Laser Engineered Net Shaping)	光硬化性樹脂 金属	粉末	光硬化/焼結
熔融物堆積法【FDM】 (Fused Deposition Modeling)	熱可塑性樹脂 金属 石膏	ワイヤ 粉末	固化/焼結

AM法は材料の形態や固着，供給方法の違いによりさらに細分化する事が出来る。素材は樹脂，砂，紙，石膏，及び金属と多岐にわたり，複数の材料を同時に使用出来る機種も出ている。

本稿では金属材料を使用するAM法（金属積層技術）の最新動向について紹介する。

2. 選択的レーザー焼結法(SLS)による金属積層

金属積層法ではテキサス大学(米)が研究しDMT社（現3Dシステムズ社に合併）が1992年に製品化したSLS法が，現在の基礎であり主流工法となっている²⁾。

（原理）リコータにより薄く敷き詰めた（15～50 μm）金属粉末層にCADデータの断面形状に基づき，ガルバノメーターミラーを介してレーザー光を照射し金属粉末を焼結する。この工程を繰り返す事で立体を造形する（図 - 1）。これにより，切削や他の製造方法で得られない複雑な形状を造形する事が出来る。

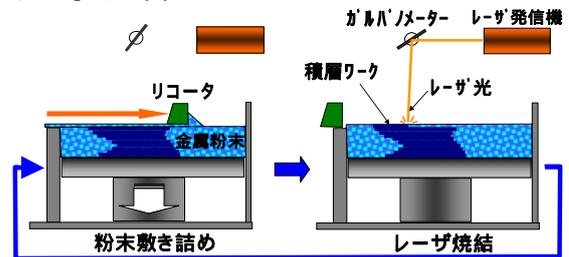


図 1 SLS法による金属積層の模式図

使用材料は専用の金属粉末で，Cu，Fe，SSなど，焼結密度がやや低く用途も厳密な強度を求めない物に限っていた。後に，粉末材料と熱源の開発（Co2レーザー YAGレーザー Ybファイバーレーザー/電子ビーム）により高出力，高精度，高密度化を実現，マルエージング鋼，コバルトクロム合金，Ti，Alの焼結も可能となり，最終製品への活用範囲が格段に広がっている。

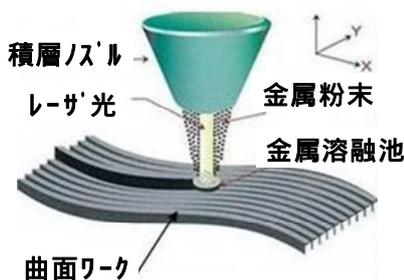
（課題）焼結時の熱収縮により残留応力が発生し，造形物の体積が大きいほどクラックが発生し易い。熱分散の為の幾つかの方法があるが，クラックを生じずに機械テーブルサイズ大の造形を実現出来ているメーカー，ユーザーは数少ない。又，

*1 Mizuo Yoshida 金型設備開発部

機械価格が数千万円～1億円オーバー，専用粉末材料が2～5万円/kgと高価な点であり，高付加価値製品にしか使用出来ない。

3. レーザ直接積層(LENS)による金属積層

レーザクラディング法或いはInssTek社(韓)がDMT(Direct Metal Tooling)と呼ぶ方法。レーザで加熱したワーク表面の溶融池に直接金属粉末を噴射し焼結する方式で，表面修理や表面処理に使用されていた方法だが，韓米2社で3D造形に使用出来る機種を製品化している。



DMT金属積層機

図 - 2 レーザ直接積層(LENS)の模式図³⁾

特徴はSLS法と比較し造形速度約4倍，一般工業用金属粉末が使用でき材料コストが1/2～1/4である点と，ヘッドを3軸に動かす事で3D面上の造形が可能なる点，加工機の大型化が容易な事である。難点としてオーバーハング形状を造形出来ない為，InssTek社では加工機の5軸化を図り補っている。

4. 溶融物堆積法(FDM)による金属積層

東京農工大学大学院にて溶融金属積層法と呼び研究中の溶接トーチを3軸制御機のヘッドに装着しアーク放電により溶接ワイヤを溶融する方法。



図 3 溶融金属積層法の模式図⁴⁾

この方法もSLSに比較し材料コストが低く造形速度も速い。オーバーハング形状の造形も可能だが，形状精度がかなり荒くなる為，後加工による仕上げ加工前提の加工法となる⁴⁾。

5. 金属積層造形品の用途

AM工法の特徴は製造ツールである金型などを必要とせず，短工期化，無人化が図れる点である。これにより投資と開発期間が大幅に抑えられる為，試作～少量生産品まで広く適用されている。又，従来工法では不可能な形状や難削材も対応出来ることから，航空宇宙分野や医療，芸術品へも使われている。さらにツールの性能向上や軽量化の目的で金型や治工具へも活用されている。金型では，温調性能のUP為，3D冷却配管部品を造形し組み込む事で，冷却サイクルを短縮している事例が多く紹介されている。

表 - 2 金属AM法(金属積層)の用途

使用目的		主 な 用 途
製 品	多量生産	-
	少量生産	航空/宇宙分野 表面消耗品の補修 医療品(インプラント 人工関節表面処理)
	単品生産	医療(人工骨) レース車輻部品 エネルギー(タービン) 芸術品
	試作 性能評価 形状評価	輸送/産業機器など
ツ ー ル	金 型	3D形状部品 通気性部品
	治工具	軽量化治工具

低コスト化事例としては，松浦機械が表面の後加工を同時に行い複雑なリブ形状の金型部品のトータル加工コスト低減に特化したCNC加工との複合加工機を市販している⁵⁾。

豊田合成でもSLS法での開発を2006年から開始し，現在，金型部品の実用化に至っている。

6. おわりに

現在，少量生産にまで適用されているが，一部の高付加価値品に限られる。ネックとなるのは材料の高コスト，生産性である。今後，材料の低コスト化と部品の製造方法・構造と絡めた積層方法の開発により生産性の飛躍的UPを実現できれば用途はさらに拡大すると考える。

参考文献

- 1) 近畿大学次世代基盤研究所報告
Vol.(2010)69-76
- 2) 日本機械学会誌2008.12 Vol.111 No1081
- 3) InssTek社カタログ
- 4) 2012年(溶融金属積層による汎用金属を用いた迅速な高強度造形)東京農工大学
大学院機械システム専攻
教授 笹原 博之
- 5) 松浦機械社カタログ

新技術紹介

低エア—流量塗装技術

Low Air Volume Painting

神谷正人*1, 佐藤敦仁*2

1. はじめに

豊田合成では内外装部品事業を中心に、射出成形を利用した樹脂製の自動車部品製造を多く行っている。その中でも加飾製品と呼ばれるラジエーターグリルやバックドアガーニッシュといった部品は、めっきや塗装などの表面処理が施され、ユーザーの目に直接触れるためお客様から高い外観品質が求められている。

表面処理の中で塗装はスプレーガンから噴出するエア—で塗料を微粒化し製品に吹き付ける工程であるが、噴出するエア—で微粒化した塗料を吹き付けるために塗料の飛散が多く、塗着効率の低下や機器が汚れ塗装中の製品上に落下するなどの不具合が発生していた。

しかし、飛散量を低減し不具合を解消するために噴出エア—の量を低減すると微粒化した塗料の粒子径が大きくなり塗装外観が低下する。

今回、飛散量を低減するために塗料粒子径を保持したまま噴出エア—量を低減するという相反する特性の両立を目指し、検討及び製品適用を行ったので紹介する。

2. 塗料の微粒化

一般的な塗装用のスプレーガンの構造を図-1に示す。

中心部から圧送された塗料が噴出し、その回りのスリットから圧縮エア—が噴出する。その時のせん断応力により塗料が引きちぎられ微粒化する。

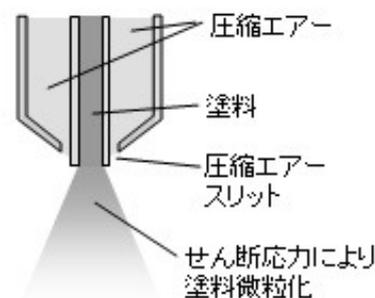


図-1 一般的なスプレーガンの構造

微粒化した塗料の粒子径は微粒化に使うエア—量が少なければ大粒になるがエア—量が多ければ多いほど、また噴出する塗料とエア—の相対速度が大きければ大きいほど微粒化しやすい。すなわち平均粒子径は塗料と噴出エア—の相対速度と体積によって決まり、一般に拔山・棚沢の式¹⁾として

$$d_{smd} = 585 \frac{\sqrt{\sigma}}{U \sqrt{\rho}} + 597 \left(\frac{\mu}{\sqrt{\sigma \rho}} \right)^{0.45} \times \left(1000 \frac{Ql}{Qa} \right)^{1.5}$$

d_{smd} : 平均粒子径 σ : 表面張力 ρ : 密度 U : 気液速度差
 μ : 液体粘度 Ql : 液体流量 Qa : 気体流量

で与えられる。

また、現状のスプレーガンも拔山・棚沢の式に則り、塗料を微粒化するエネルギーを主にエア—の流量で得る低圧ガンと呼ばれるものと、エア—の速度で得る高圧ガンにわけられる。図-2にそれぞれのガンのエア—速度とエア—量を示す。

*1 Masato Kamiya IE生産準備部 表面処理生技室

*2 Atsuhito Sato IE生産準備部 表面処理生技室

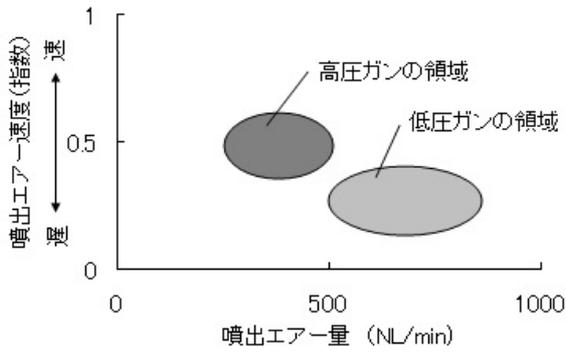


図-2 低圧ガンと高圧ガンの
噴出エアークロム速度と噴出エアークロム量比較

3. 技術概要

今回の開発では、塗料の飛散を抑制するために塗装外観に影響がある微粒化粒子径を変化させることなく、噴出エアークロム量を抑制するスプレーノズルの検討を行った。

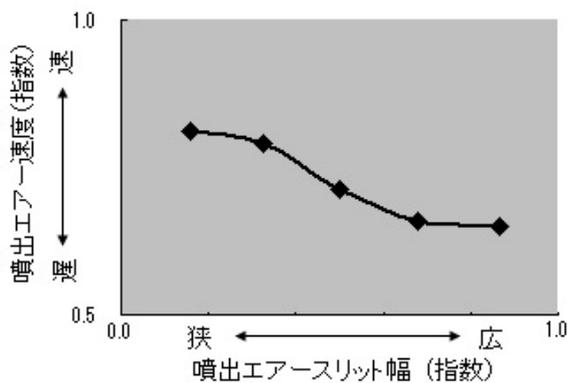


図-3 スリット幅と噴出エアークロム速度の関係

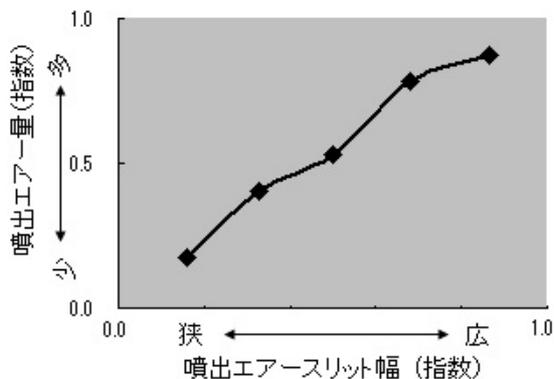


図-4 スリット幅と噴出エアークロム量の関係

抜山・棚沢の式によれば、粒子径に変化を与えずにエアークロム量を減らすにはエアークロム噴出速度を上げ

る必要がある。

図-2によるとエアークロム速度が速くさらにエアークロム量が少ないという現状のスプレーガンにない領域を狙うこととなる。

図-3にスリット面積と噴出エアークロム速度の関係、図-4にスリット面積と噴出エアークロム量の関係を示す。図-3に示すようにスリット面積が小さくなるとエアークロム噴出速度が上がり、噴出エアークロムが少なくなることがわかるが、ある程度面積が小さくなるとエアークロム速度は変化がなくなっていく。しかし、エアークロム量はスリット面積に依存して減少していくことがわかる。そこでエアークロム速度変化がなくなってきた領域で微粒化に必要なエネルギーを得られるエアークロム量を確保できるようにスリット面積の最適値を求めノズルに適用した。

4. 効果の確認

今回のノズルを製品に適用したところ、外観品質、塗膜性能ともに問題なく基準を満足した。また、噴出エアークロム量が少なくなったことで微粒化塗料の飛散が少なくなり機器の汚れの改善、塗着効率の向上が見られた。

噴出エアークロム量と塗料の飛散の指標として製品に到達するエアークロム風速、および塗着効率を測定した。その結果を図-5に示す。

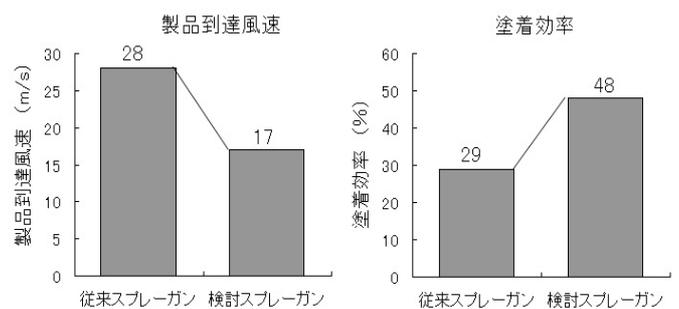


図-5. 製品到達風速と塗着効率

5. おわりに

今回製作したスプレーノズルはホイールキャップやグリルなどの塗装に適用され、現在量産適用されている。

参考文献

- 1) 抜山四郎, 棚沢泰, 日本機学会論文集, 5(18), 136-143(1939)

新製品紹介

小型燃料カットバルブ

Small Size Fuel Cut-off Valve

關 敏 訓 *1 , 金子 健 一 郎 *2

1. はじめに

近年、樹脂燃料タンクの普及に伴い、燃料タンク設計自由度の向上により小型のカットバルブ（以下COVと称す）開発ニーズが高まっている。今回、動的シール性（燃料漏れ）の向上および低コスト化を目的とした小型COVを開発したので紹介する。

2. 製品の概要

2-1. 燃料カットバルブの役割

図-1に示すように、COVは車両傾斜駐車時でも燃料タンク内との通気を保ち、燃料タンク上面に配置される。

COVは車両揺動時、転倒時に内蔵されたフロートの作動により閉弁し、エバポライン（大気側）への燃料漏れを防止している。

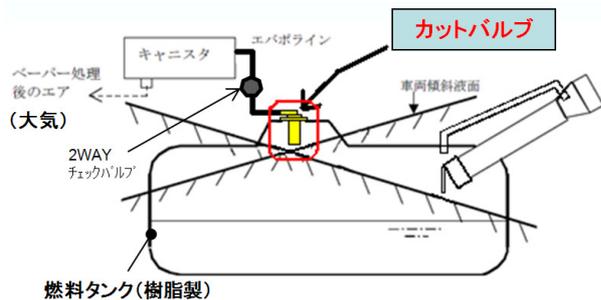


図-1 燃料カットオフバルブ搭載位置

2-2. 主な要求特性

COVの主な要求特性は、以下の点が挙げられる。COVは閉弁液位になるとフロートが浮上し、フロート先端部でシール部を塞ぐ構造である。

図-2に主な要求特性を示す。

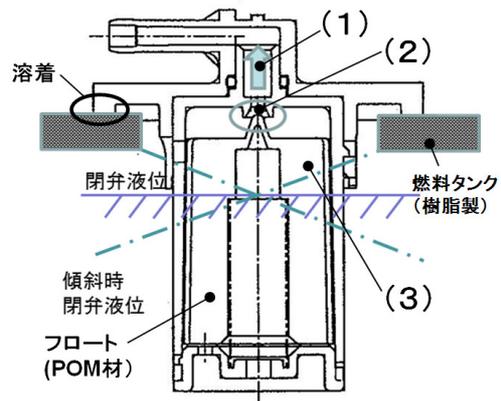


図-2 主な要求性能

- (1) 流量特性・・・燃料タンク内に発生する蒸気をスムーズに流す。
- (2) シール特性・・・車両揺動時、転倒時の燃料漏れを防止する。
- (3) フロート閉弁特性・・・車両傾斜駐車時において、通気を確保できる閉弁液位となっており、又、車両揺動時の液位上昇や転倒時に閉弁する。

2-3. 開発品の特徴

開発品および従来品の構成部品を図-3に、バルブ外寸諸元比較を表-1に示す。

*1 Toshinori Seki FC技術部 燃料部品技術室
*2 Kenichiro Kaneko FC技術部 燃料部品技術室

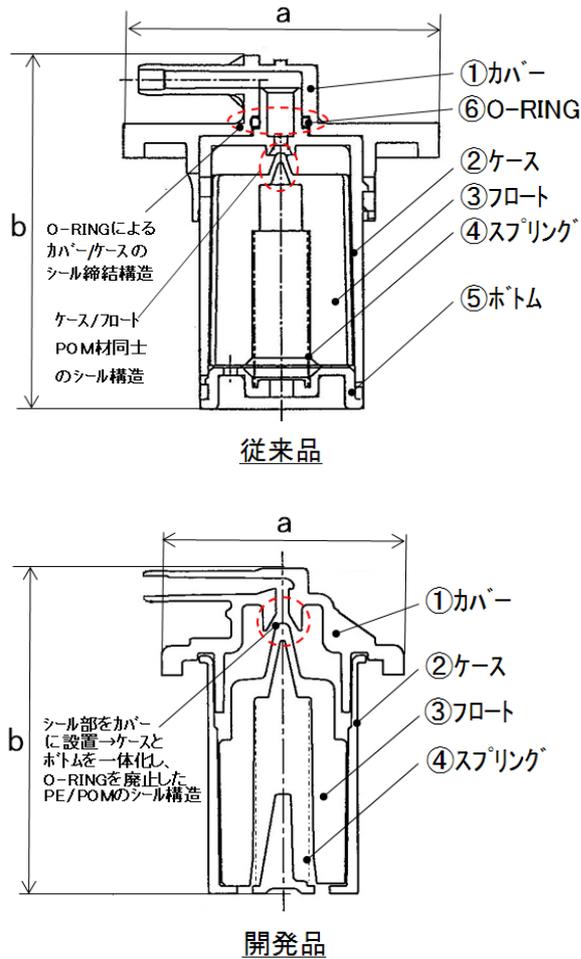


図-3 燃料カットバルブ構成部品

表-1 バルブ外寸諸元比較

部品名	従来品	開発品
a:溶着フランジ外径 (mm)	Φ60	Φ47
b:製品高さ (mm)	70	68
質量 (g)	53	44

開発品の変更点を以下に示す。

【変更点】

- 1) カバーにシール部を一体化
フロートのシールポイントをバルブ上方へ高く設ける事により、車両搭載時の動的シール性能を向上。
- 2) シール構造を変更
POM材同士からPE/POMの異材でのシール構造を採用。
- 3) 部品点数削減
O-RINGの廃止、ケースとボトム一体化により部品点数を6点から4点へ削減。

今回開発品のカバーは、燃料膨潤・変形CAE解析等を重ね、より形状変化の少ない構造を採用。従来品に比べて小型かつ、軽量で低コストなCOVの開発が実現できた。

3. 動的シール性能, 低コスト化

3-1. 動的シール性能

車両搭載時に重要となる動的シール性能（燃料漏れ量）に関し、開発品においては閉弁液位—シール部距離を大きくする事により、従来品に比べて著しく向上した。

結果を図-4に示す。

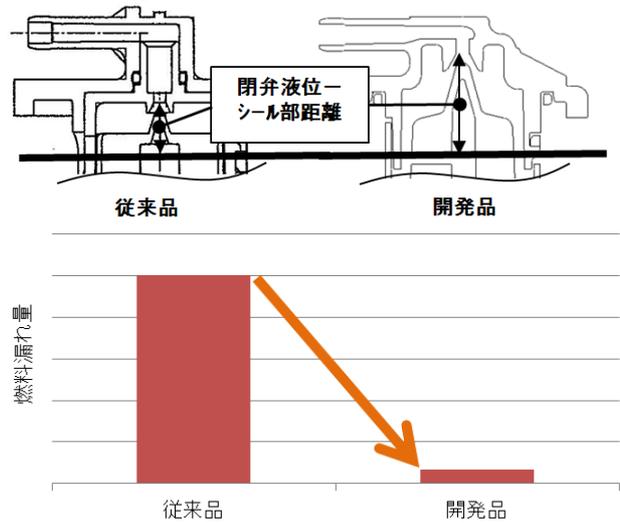


図-4 動的シール性能

3-2. 低コスト化

従来品のように、カバーとケースをO-RINGで締結する構造が一般的であったが、開発品はシール部をカバーに設置したことにより、部品費と組付工程を削減でき、競合他社に対して圧倒的な低コスト化を達成できた。

4. おわりに

今回の開発品は、2013年8月から量産化され、本車種以降は、順次に他車種への適用拡大を予定している。

本開発において御支援・御指導下さいました関係各部署の皆様へ厚く御礼申し上げます。

≡≡≡ 新製品紹介 ≡≡≡

新機構コンソールボックス

Console Box with New Mechanisms

谷川 達也 *1

1. はじめに

多くの自動車の運転席と助手席の間には、コンソールボックス（以下コンソールと称す）が設置され収納スペースとして使われている（図-1）。



図-1 自動車用コンソール

またそのほとんどに肘掛を兼ねた収納スペースの蓋が設定されており、近年はユーザーの利便性向上の為に、蓋の様々な動きが考案、実用化されている。

今回、左右両開きと前後スライドを共に採用した世界初機構のコンソールを開発したので、その概要を紹介する。

2. 従来品の問題点

従来の多くのコンソールの蓋は、ボックス後部の一軸ヒンジにより結合されている為、開閉には〈開時〉ロックを解除後蓋前部の上後方に回転させ、〈閉時〉それを戻すという操作が必要である（図-2）。

収納品の大小、乗員体格・運転姿勢に関わらず

この操作が必要であり、使い難さを感じる場面がある。

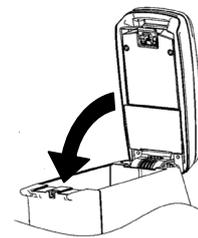


図-2 従来のコンソールの蓋構造

3. 開発品の概要

3-1. 蓋開閉動作

蓋の左右両開き構造を採用し、運転席、助手席の両方から簡単な操作でのアクセスを可能にした。

また蓋の前後スライド構造の採用により、簡単な操作でのコンソール内の小さな収納物の出し入れを容易にした（図-3、4）。

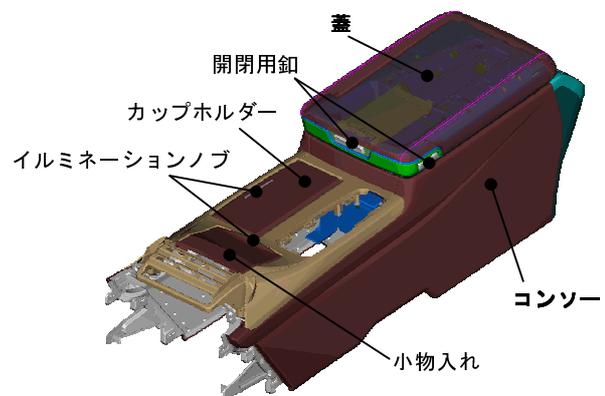


図-3 開発品の全景

*1 Tatsuya Tanikawa IE第1技術部 内装技術室

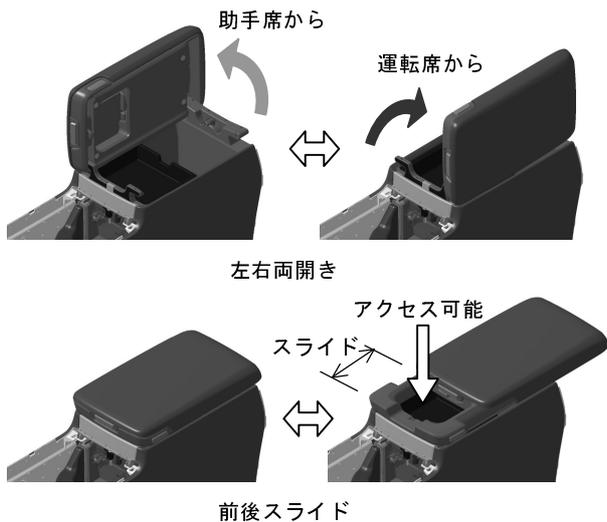


図-4 開発品の蓋開閉動作

左右両開き及び前後スライド各々単独でのコンソールへの設定は数車種において実績が有るが、両者の組み合わせ設定には、異なる動き2種の動きの機構を限られたスペースに組み込む必要が有り前例が無く、世界初の採用である。

3-2. 左右両開き構造

蓋の左右に配置された、ヒンジ軸兼門ロックピンを、蓋の左右側面の釦操作と連動して前後方向に動かす事によりロックが解除された状態となる。

右の釦を押せば右側のロックが、左の釦を押せば左側のロックが解除されることで、左右どちらからも蓋の開閉が可能となる(図-5)。

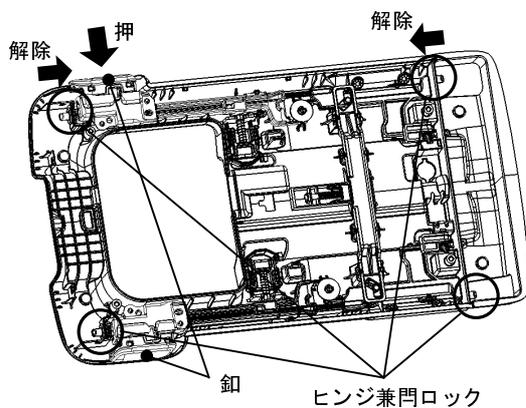


図-5 左右開きのヒンジ・ロック構造

3-3. 省スペース前後スライド構造

前記左右両開き蓋(以下リッドロアと称す)の上に、肘掛けを兼ねた上部蓋(以下リッドアップと称す)を配置し、リッドアップとリッドロアを金属製スライドレールで接合することにより、前後スライドを可能とした。

リッドアップ前面に配置された釦の操作によりロックが外れ、そのままリッドアップを後方にずらすことでスライド開状態となる。

この際、スライドレールを左右両端部に「ハ」の字状に配置することにより、省スペースを実現した(図-6)。

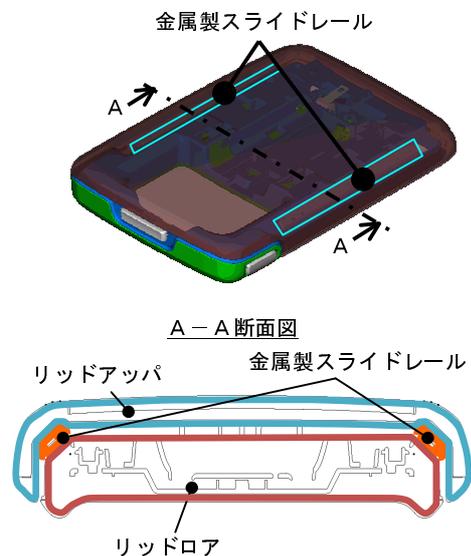


図-6 スライドレールの配置

また、ばねとダンパーを組み込むことにより、安全で高級感のある閉動作が可能な仕組みも採り入れた。

4. おわりに

今回紹介したコンソールは、ACURA RLXに採用された。

最後に、この製品の開発・量産化に際しご支援を頂いた、本田技研工業株式会社並びに株式会社本田技術研究所の関係各部署の皆様へ厚く謝意を表します。

≡≡≡ 新製品紹介 ≡≡≡

高意匠ミリ波カバー

High Design Milliwave Transmission Cover

前田 英登*1

1. はじめに

近年、レーダーやカメラを用いた予防安全システムが普及しており、欧州の自動車衝突安全テスト(Euro NCAP)では14年から自動ブレーキ、16年からは歩行者を検知する機能が評価項目に加わることが予定されている。そのシステムをカバーする技術として期待されているのが、自然環境の影響を受け難く、相対速度を精度良く測定できるミリ波レーダーである。そのレーダーの性能を最大限に発揮するためには、フロントグリル中央部、すなわちエンブレムの位置が最も適しているため、各カーメーカーがその搭載位置での検討をしている。

フロントグリルは車の「顔」であり、ミリ波を透過する機能だけでなく、高い意匠性が求められる(図-1)。今回、従来のミリ波カバーよりも意匠性を向上したミリ波カバーを紹介する。

2. 製品の概要

ミリ波カバーの構成を(図-2)に示す。ミリ波カバーは、ミリ波透過要件により透明材で形成された意匠部と取り付け部で構成される。意匠部の裏面にはデザインを表現するための形状、加飾層が形成されている。加飾層は主にクロム外観が求められるが、フロントグリルに使用されるクロムめっきではミリ波透過を悪化させるため使用できない。そのため、ミリ波を透過する特殊な金属膜で形成されている。また、加飾層はクロム外観だけでなく、デザインが求める

様々な外観が要求される。



ミリ波カバー
(意匠性と電波透過性を両立)

図-1 ミリ波カバー

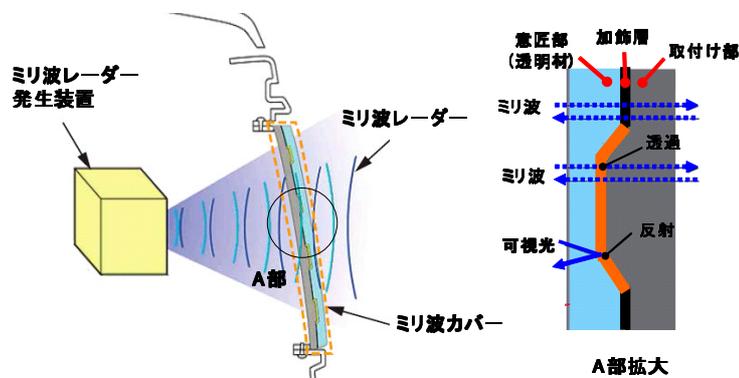


図-2 ミリ波カバー構成図

*1 Hideto Maeda IE第2技術部 外装開発室

3. 製品の特徴

3-1. シャープデザインへの対応

(ダイレクトミリ波透過金属薄膜技術)

従来は、ミリ波透過金属膜を形成するためにプライマー層が必要であり、シャープデザインがレベリングされるため微細な表現ができなかった(図-3)。今回、ダイレクトミリ波透過金属薄膜技術により、プライマー層による淀みのないシャープデザインを表現することを可能とした(図-4)。

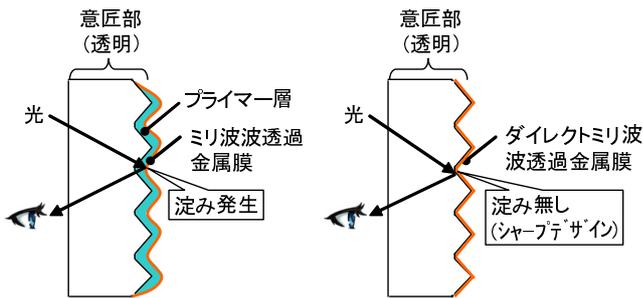


図-3 従来品と開発品の比較

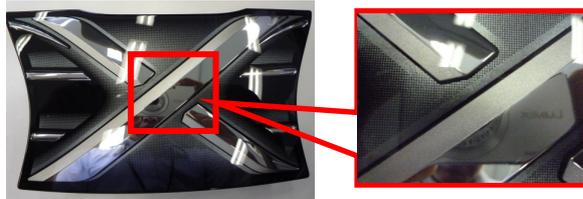


図-4 トヨタミリ波カバー

3-2. メタリック色への対応

(ミリ波透過メタリック塗料)

通常メタリック塗料は塗料に含まれるアルミがミリ波透過性を悪化させるためミリ波カバーには使用できない。今回、ミリ波透過メタリック塗料を開発することで、ミリ波を透過しつつメタリックの外観を表現することを可能とした(図-5)。

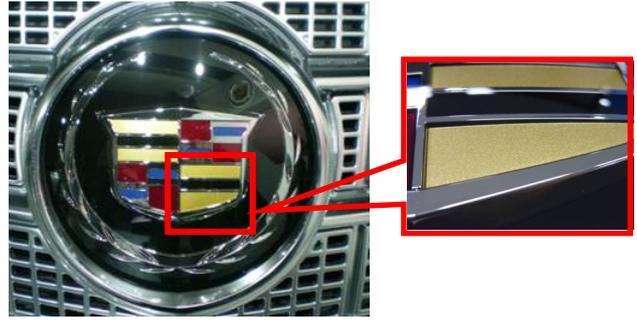


図-5 GMミリ波カバー

3-3. デザインリードタイムの短縮

(透明材に対応したCG解析技術)

ミリ波カバーは透明材の裏面加飾となるため、光の屈折を考慮した形状が必要となる。従来は、デザインモデルを数回作製していたため約3ヶ月のデザインリードタイムが必要であった。今回、透明材の解析ができるCG技術を活用することにより形状を最適化することでデザインリードタイムを1ヶ月に短縮した。

最後に開発品の特徴を表-1に示す。

○：従来品と同等

表-1 開発品の特徴 ◎：従来品より優れている

項目		開発品
外観	シャープデザイン	◎
	メタリック調	◎
性能	ミリ波透過性	○
	一般性能	○
納期	デザインリードタイム	◎ 1ヶ月

4. おわりに

今回紹介した「高意匠ミリ波カバー」は、トヨタ、ホンダ、マツダ、GM他に採用され、多くの自動車メーカーからも引合いがきております。

最後に今回の開発にご尽力頂きました関係部署の皆様へ厚くお礼を申し上げます。

≡≡≡ 新製品紹介 ≡≡≡

プリント加飾オープニングトリム

Printed Non-Woven Fabric Opening Trim Weatherstrip

高橋和宏^{*1}，木下靖之^{*2}，葛谷弘志^{*3}

1. はじめに

近年、自動車シール部品へのニーズも多様化してきており、シール機能に加えて、外観品質の向上や内装部品との合わせ品質向上が強く求められている。

今回はオープニングトリムウェザーストリップの外観品質を向上させた製品を開発・量産化したのでその概要について紹介する。

2. 製品の概要

オープニングトリムウェザーストリップとは自動車のボデー側ドア開口部に取付けられ、車外からの音・埃の進入を防止するシール部品である。その装着部位を図-1に示す。



図-1 装着部位

本製品はシール機能を有する中空部、ボデーへ取付け保持されるトリム部、及び、内装部品と色・質感を合わせる加飾部より構成される。その断面を図-2に示す。

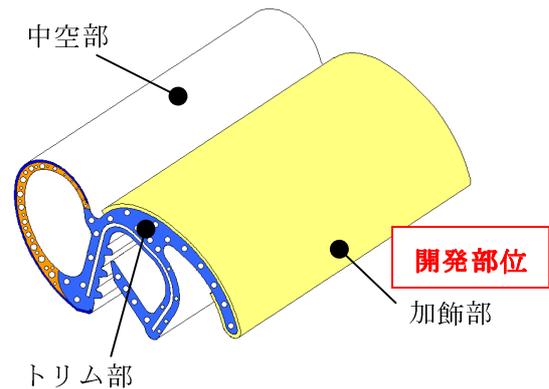


図-2 断面仕様

3. 開発の狙いとポイント

従来、加飾部材料にはカラーTPOやファブリック等が用いられてきたが、カラーTPOによる加飾では内装品との質感が異なり、ファブリックでは高価になってしまう。

今回の開発品では、材料にファブリック類似の高級感、表面のソフト感を持つ不織布を採用した。更に不織布の表面をペイントすることにより様々な色・柄の表現が可能となり、内装部品とのコー

*1 Kazuhiro Takahashi WS技術部 WS技術室

*2 Yasuyuki Kinoshita WS技術部 WS技術室

*3 Hiroshi Kuzuya WS技術部 WS技術室

プリント加飾オープニングトリム

ディネートが低コストで実現可能となった。
今回の開発品の位置付けを図-3に示す。

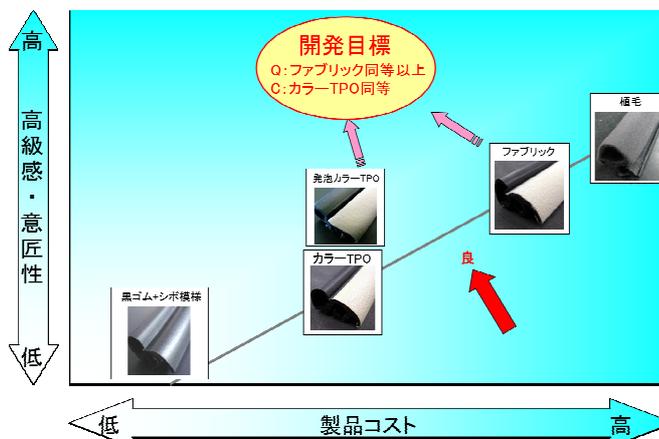


図-3 オープニングトリム加飾マップ

今回の開発品の概要を図-4に示す。

これらの開発によりユーザーのニーズに合わせて色・柄の表現が可能となり、内装品と同等の質感も再現可能なオープニングトリムウェザーストリップを開発することができた。

4. おわりに

今回紹介したウェザーストリップはトヨタハイランダーに採用され量産化した。

最後に、本製品の開発・量産化に際し多大な御支援、御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部署の方々に厚く謝意を表します。

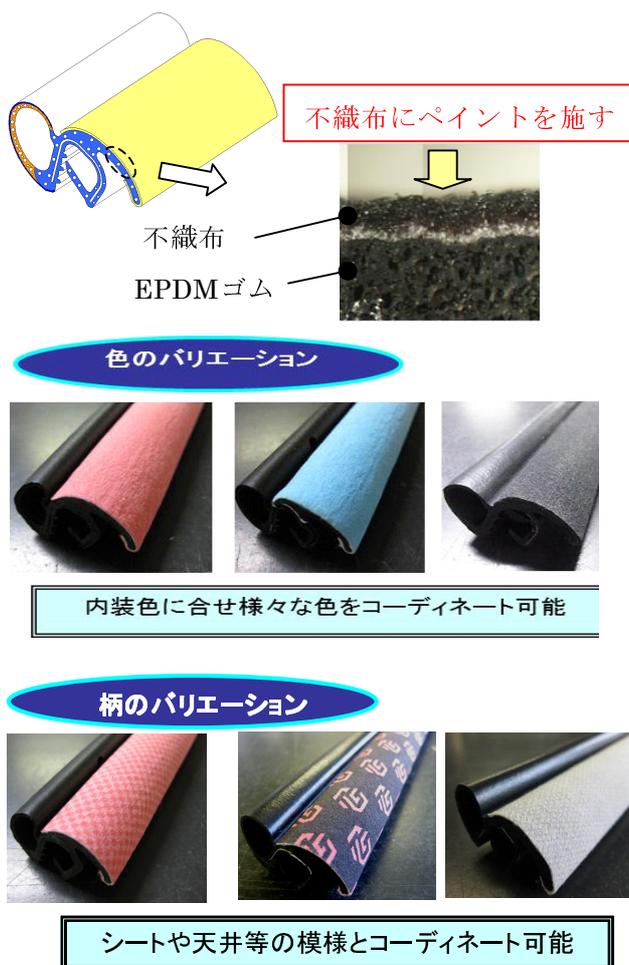


図-4 開発品の概要

新製品紹介

除加湿空気清浄機

Air Purifier with Dehumidification and Humidifying Function

山口 秀明 *1

1. はじめに

空気清浄機は現在国内出荷台数約300万台にもおよぶ市場を持つ家電製品である。

グローバル市場においても普及が進み、特に近年中国においてはPM2.5の影響もあり空気清浄機は注目されている。

日本の市場においては、各メーカーとも風邪を引いたり肌が乾燥したりするのを予防できる加湿機能が付いた空気清浄機が主流となっている。

十数年豊田合成が生産受注を頂いているダイキン工業殿は空気清浄機市場においても常に高いシェアを確保しており、長年エアコン製品で培った空気改質に関する知識と技術でダントツの性能を持った空気清浄機を開発していることで知られている。

今年度は、6年前に開発された除加湿空気清浄機の除湿部分を一新し、新除湿方式を採用した「クリアフォースZ」を開発され豊田合成が継続して受注を頂いたのでその製品を紹介する(図-1)。



図-1 除加湿空気清浄機
「クリアフォースZ」

2. 製品概要

2-1. 構造(図-2, 3, 4)

先にも記述したが、本製品はダイキン工業殿より「クリアフォースZ」の商品名で発売されている脱臭、集塵、除湿、加湿機能を持った多機能型空気清浄機である。

本体の前面部分に電気集塵、ストリーマユニット、高性能フィルター、脱臭触媒を有した集塵・脱臭を担う機能を搭載。

それ以降に、熱交換器等を有した除湿機能(但しコンプレッサーは製品後方部分に配置)、加湿フィルター等を有した加湿機能の順に配置されている。

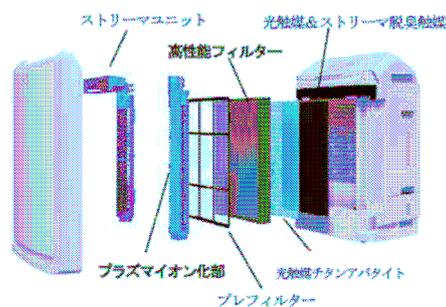


図-2 集塵・脱臭部

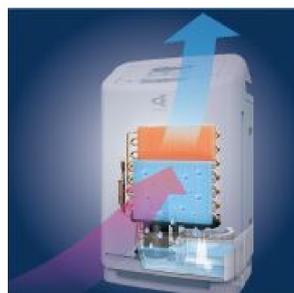


図-3 除湿部



図-4 加湿部

*1 Hideaki Yamaguchi 特機部 特機技術室

2-2. ヒートポンプ式除湿

「従来のクリアフォース」は「デシカント式」と呼ばれる除湿方法を採用していた。この方式は水分を吸着エレメントに吸着させヒータで再生することで除湿を行う方式である。その方式に対し「クリアフォースZ」はエアコンに採用されている「ヒートポンプ式（コンプレッサー）」を除湿機能に採用した。略図を下記に示す（図-5）。

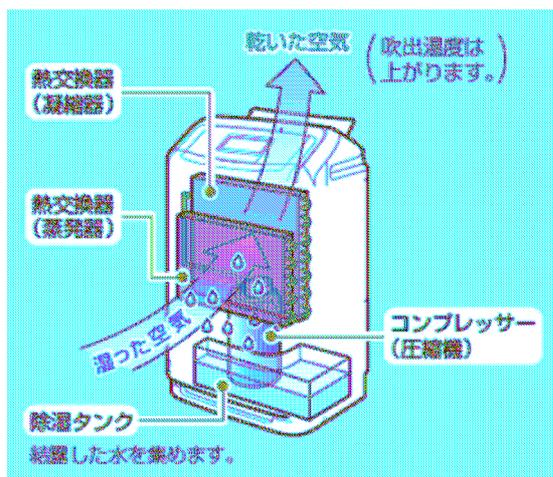


図-5 ヒートポンプ式の略図

3. 豊田合成初の挑戦

豊田合成は300点以上にも及ぶ部品を組立～検査～梱包～出荷し、直接日本の各家電量販店の店頭と並べられる製品を生産受注している。今回の機種は従来の生産に加え豊田合成初の試みとなる生産準備を実施してきたので下記に示す。

3-1. ロウ付け（図-6, 7）

ヒートポンプ式の除湿方式にはコンプレッサーと熱交換器が必要であり、その両部品は銅管にて連結される。銅管同士は「ロウ付け」により締結された気密空間を形成する必要がある。その作業には特殊技能と設備が必要であり、豊田合成初の「ロウ付け」作業員育成と設備導入を実施し生産に臨んだ。「ロウ付け」不良は除湿性能を著しく低下させ市場クレームとなる重要な工程である。そこで、作業員育成にはダイキン工業殿の全面的な支援をして頂いた。「ロウ付けマイスター（ロウ付けの指導者）」を現

地に招き徹底的に「ロウ付け」に関する知識と実技を作業員に教育し育成していった。

3-2. 冷媒系統生産設備の導入

ヒートポンプ式には熱交換器を冷やす為の冷媒を充填する必要がある。その冷媒を充填する為の各種装置が必要となる。

機械機密度を確認するための「気密検査装置」、冷媒充填をする前に冷媒系統内を真空状態にする「真空引き装置」、冷媒を充填する「冷媒充填装置」、冷媒の漏れを確認するための「冷媒漏れ検査装置」が代表的な4大設備であり、導入してから約4ヶ月で正常稼動を実現した。

また、何重にも検査工程を配置し冷媒の漏れを徹底的に検出することで市場クレームにつながる「冷媒漏れ品」の流出防止を図った。



図-6 「ロウ付け」風景



図-7 「ロウ付け」部位の一例

4. おわりに

本製品「クリアフォースZ」はダイキン工業殿のこれまで培ってきた技術を集結させた最高級モデルである。その製品の開発、製造に携われ無事に発売できたことを大変誇りに思い、今後もより良い製品づくりに努力していきたい。

最後に本製品の量産化にあたり多大なるご指導を頂いたダイキン工業株式会社殿及び、成形加工・組立部門の方々に深く感謝いたします。

参考文献

「クリアフォースZ」カタログ:2013.10ダイキン工業発行

特許紹介

ピラーガーニッシュ

特許No. 4427879

発明者 田嶋博幸, 佐久間純行, 戸谷千春, 細川武司

[発明の属する技術分野]

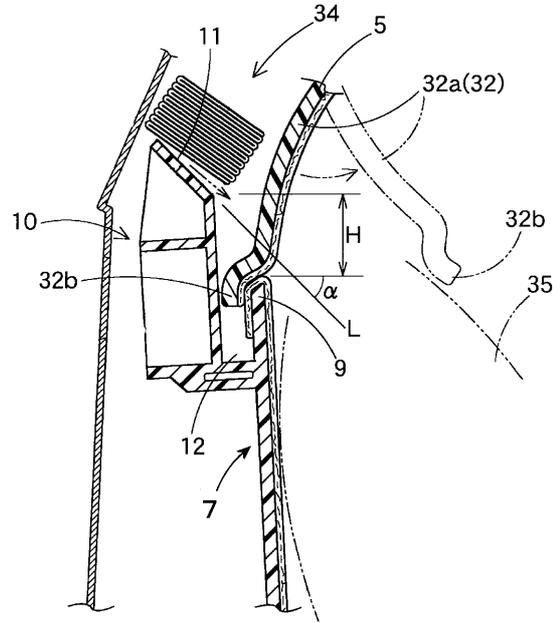
本発明は、頭部保護エアバッグの下方に配設されるピラーガーニッシュに関する。

[発明の概要]

案内部10の上部にエアバッグ34の突出を案内する案内面11が形成され、車内側の上端部位9が案内面11の延長線Lより下方に位置し、案内部10と上端部位9との間にルーフヘッドライニング5の下端32bを収納する凹部12が形成され、案内面11の水平方向からの角度 α が、 $45^\circ \sim 60^\circ$ の範囲とされることを特徴とするピラーガーニッシュ7。

[発明の効果]

エアバッグ34がピラーガーニッシュ7の車内側上端部位9と干渉せず、ピラーガーニッシュ7を外すことなく、円滑に車内側に突出する。



頭部保護エアバッグ装置

特許No. 5131133

発明者 末光 泰三, 落合 康雄

[発明の属する技術分野]

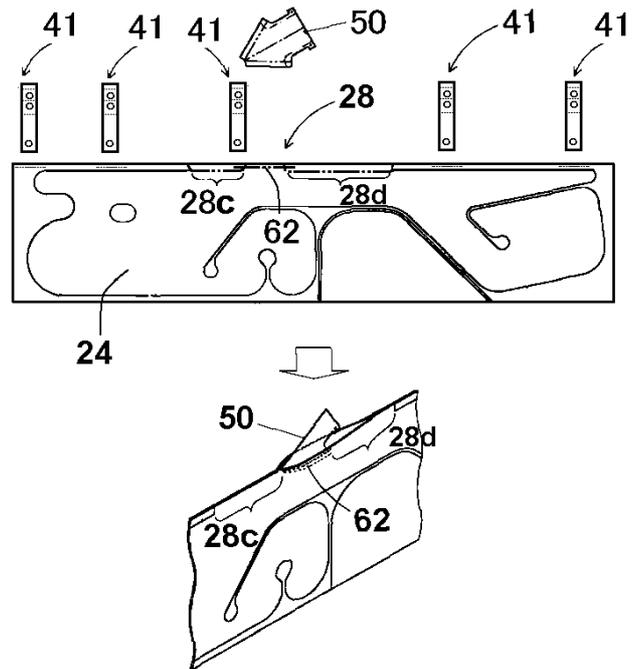
本発明は、窓の上縁側に折り畳まれて収納され、下方へ向けて展開膨張する頭部保護エアバッグ装置に関する。

[発明の概要]

頭部保護エアバッグ装置は、袋織された長方形のエアバッグ本体部24の上辺に車体への取付片41を連結し、更に、上辺の開口28にインフレーターに連結されるアウターチューブ50を挿入して縫製部62で連結後、開口残部28c、28dを閉じ縫いして形成することを特徴とする。

[発明の効果]

アウターチューブ50及び取付片41が、長方形のエアバッグ本体部24と別体とされている為、エアバッグ本体部24の歩留まりが向上し、裁断コストも抑えることができる。



キャップとこれを有する燃料給油装置

特許No. 4877167

発明者 榎本健太郎, 森栄心

[発明の属する技術分野]

本発明は、キャップとそれを利用した燃料給油装置に関する。

[発明の概要]

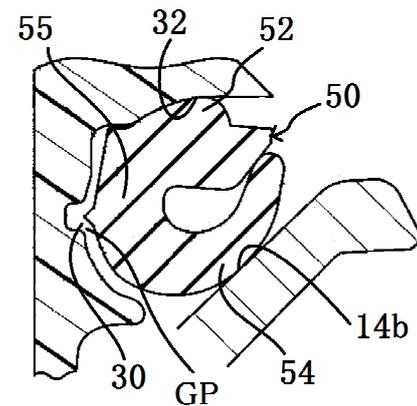
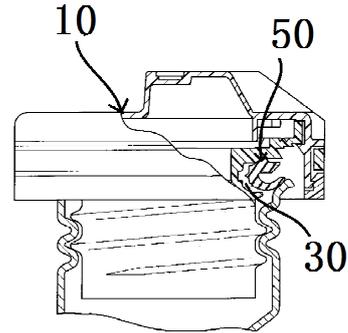
キャップ10は、ガスケット50と、ガスケット50を保持する保持凹部30を有する。

ガスケット50は、保持凹部30の天井側壁面32に接触する天井側リップ52と、シール面14bに接触するシール面側リップ54と、それらを連結する連結部55を有している。

キャップ10を装着時、圧縮されたガスケット50の連結部55と、保持凹部30の間には、ギャップGPが存在している。

[発明の効果]

ガスケット50と保持凹部30の接触面積を減らすことで、シール面14bへの面圧を大きくできる。



自動車用ウエザストリップ

特許No. 5152664

発明者 岩佐則正, 有竹祐則, 土岐智, 酒井高明

[発明の属する技術分野]

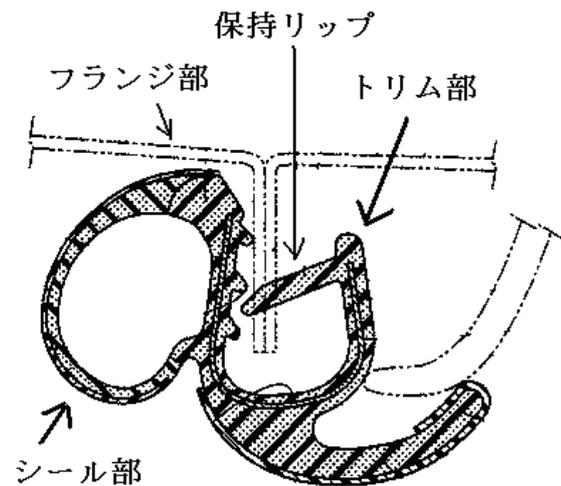
本発明は、ドア開口とドアの間をシールするトリム部を有するウエザストリップに関するものである。

[発明の概要]

保持リップを有するトリム部は、EPDMゴム100重量部とエチレン・オクテン樹脂12~20重量部のブレンド材で、比重が0.6~0.8、かつ、25%伸張応力が500KPa以上のスポンジゴムから形成されている。

[発明の効果]

トリム部の重量を軽減することができるとともに、保持リップが十分な剛性を有することができる。



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No. 5082672

発明者 奥野浩司, 齋藤義樹

[発明の属する技術分野]

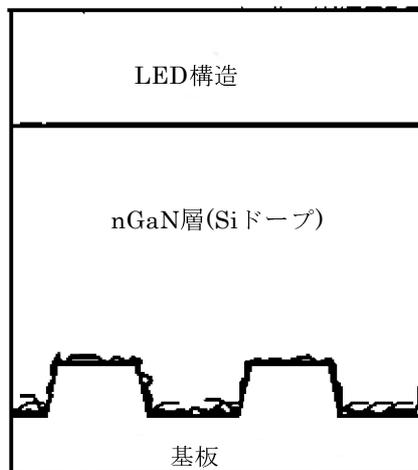
本発明は, III族窒化物系化合物半導体の製造方法及び発光素子に関する.

[発明の概要]

凹凸が形成された基板上に, バッファ層 (図示せず) が形成され, 更にその上にIII族窒化物系化合物半導体層 (nGaN層) がエピタキシャル成長により形成されており, 該半導体層に, $1\sim 8 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 以下のシリコン (Si) がドーピングされていることを特徴とする.

[発明の効果]

半導体層が膜厚方向へ成長していく際の, ボイドの発生, 及び, 半導体層の転位密度が不均一となることを, 抑制することが出来る.



編集後記

人と車が共生していくには、強い車から弱い人々の命を守るための安全の技術が必要不可欠です。国内の交通事故者数は10年以上連続で減少しているものの、未だ年間4000人以上にも及んでいます。

今号は、豊田合成が力を入れている取り組みの1つである「自動車の安全性向上をめざして」を特集テーマとして企画し、エアバッグに関する技術紹介や、歩行者保護のための製品紹介を掲載いたしました。

また豊田合成の技術開発の元気さ新しさをアピールしたいという思いを込め、14年ぶりに表紙デザインを一新しました。今号のテーマでもある安全をイメージした製品の、ハンドル・エアバッグをフォーカスし、先進性と技術の融合を、形の動きや流れで表現しております。

最後に、お忙しい中、原稿作成に尽力頂いた執筆者各位、ならびに編集に取り組んで頂いた委員各位にお礼を申し上げ、編集後記といたします。

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） 栗本 英一（材料技術部） 小滝 正宏（知的財産部） 富田 彰（商品開発部） 西郷 栄人（デジタルエンジニアリング部） 林 和之（WS技術部） 森 栄心（FC技術部） 高木 孝之（IE第1技術部） 曾木 秀仁（SS第1技術部） 杉原 洋（金型設備開発部） 三村 克彦（FC生産準備部） 佐藤 高宏（特機部） 神谷 正人（IE生産準備部） 千田 昌伸（オプトE第1技術部） 表紙デザイン デザイン企画部	豊田合成技報 Vol. 55 2013 (禁無断転載) 2013年12月25日発行 発行所 豊田合成株式会社 発行人 市川 昌好 Copyright(C) TOYODA GOSEI CO., LTD. All rights reserved.
---	---



本社	〒452-8564 愛知県清須市春日長畑1番地	Tel (052) 400-1055
北島技術センター	〒492-8540 愛知県稲沢市北島町西の町30番地	Tel (0587) 34-3303
美和技術センター	〒490-1207 愛知県あま市二ツ寺東高須賀1番地1	Tel (052) 449-5603
春日工場	〒452-8564 愛知県清須市春日長畑1番地	Tel (052) 400-5141
稲沢工場	〒492-8542 愛知県稲沢市北島町米屋境1番地	Tel (0587) 36-1111
森町工場	〒437-0213 静岡県周智郡森町睦実1310番地の128	Tel (0538) 85-2165
西溝口工場	〒492-8452 愛知県稲沢市西溝口町第二沼1番地1	Tel (0587) 36-5761
尾西工場	〒494-8502 愛知県一宮市明地字東下城40番地	Tel (0586) 69-1811
平和町工場	〒490-1312 愛知県稲沢市平和町下三宅折口710	Tel (0567) 46-2222
岩手工場	〒029-4503 岩手県胆沢郡金ヶ崎町西根森山1番地1	Tel (0197) 41-0661
北九州工場	〒805-0058 福岡県北九州市八幡東区前田北洞岡1番地2	Tel (093) 663-1820
神奈川工場	〒259-1146 神奈川県伊勢原市鈴川19番地5	Tel (0463) 91-0670
瀬戸工場	〒489-0843 愛知県瀬戸市惣作町141番地	Tel (0561) 97-3602
佐賀工場	〒843-0151 佐賀県武雄市若木町大字川古9966番地9	Tel (0954) 26-2678
福岡工場	〒823-0017 福岡県宮若市倉久2223番地1	Tel (0949) 34-7167
みよし物流センター	〒470-0207 愛知県みよし市福谷町根浦141番地	Tel (0561) 35-5399