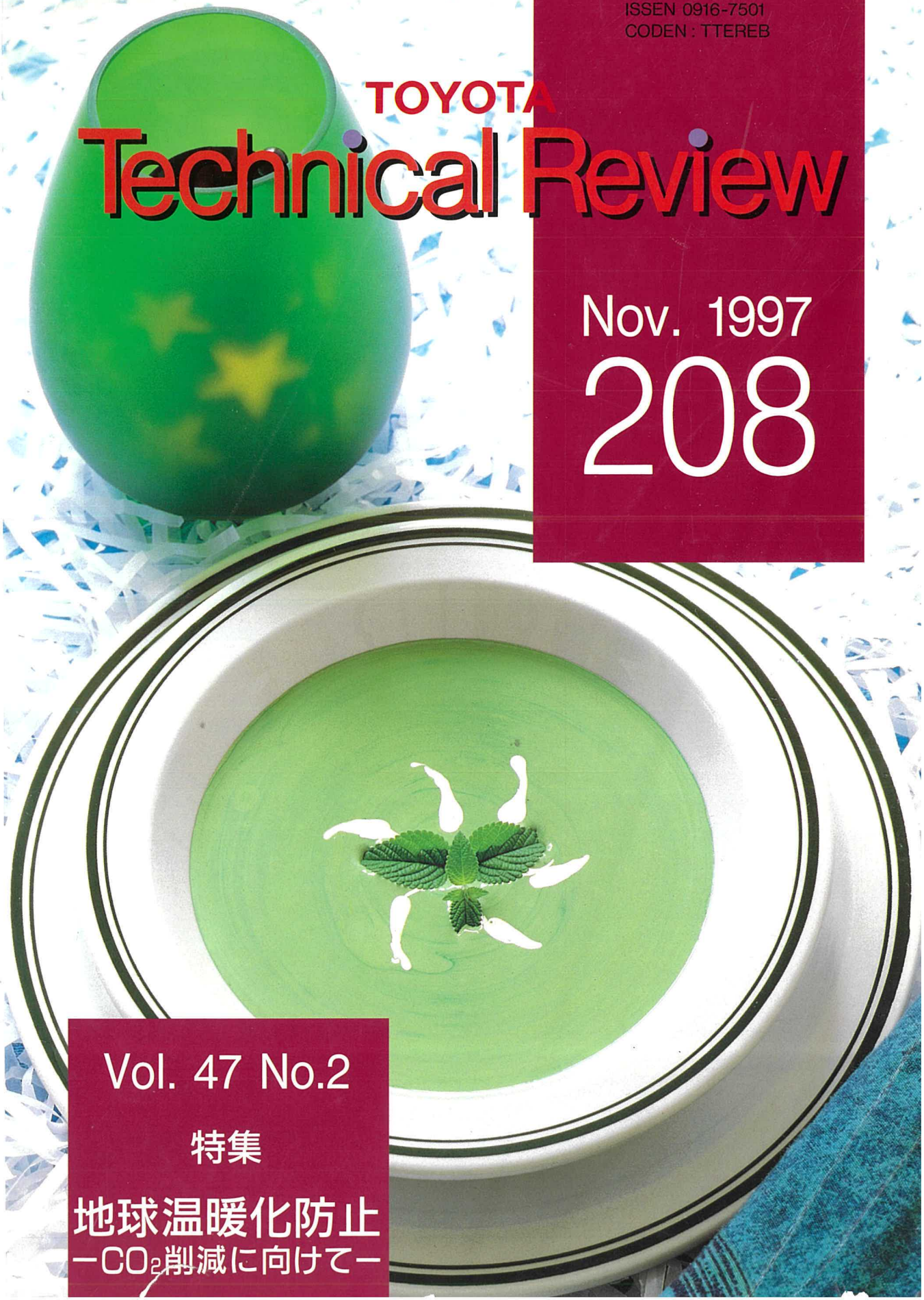
ISSEN 0916-7501
CODEN : TTEREB

TOYOTA Technical Review

Nov. 1997
208



Vol. 47 No.2

特集

地球温暖化防止
−CO_2削減に向けて−

表紙デザイン　デザイン部：望月誠人
あるときは酸性雨から、あるときはホコリやキズから、ボディーを守りやさしくつつみこむ。
そして何より車の印象をいろいろ変えることができる。そんな「塗料」が今回のスープの材料です。
環境にやさしいイメージのグリーンを基調に白いワンポイントとハーブをそえて・・・
おいしそうに見えるでしょうか？

TOYOTA Technical Review
208
Vol.47 No.2 Nov. 1997

トヨタのECOカー

電気自動車
RAV4 L V ファイブ EV
ELECTRIC VEHICLE



ハイブリッドカー
PRIUS



e.com



FCEV

Fuel Cell Electric Vehicle



目　次

▷特集『地球温暖化防止－CO_2削減に向けて－』

・市民として　企業人として ..... 松原　彰雄 6

・製品開発におけるCO_2削減への取り組み ..... 櫛　直人 8
・ガソリンエンジンにおける燃費向上技術 ..... 森光　信孝 14
・低燃費5W-20ガソリンエンジン油の開発 ..... 秋山　健優／河合　博美／杉山　真一 20
・自動変速機(AT)における燃費向上技術 ..... 中村　信也／小嶋　昌洋／河野　克己 26
・D-4エンジンの開発 ..... 益城　善一郎／松下　宗一／郷野　武 32
・電気自動車「RAV4 EV」について ..... 木下　雅夫／木村　貞博 38
・EVコミュータ“e-com”の紹介 ..... 山田　真／小垣　圭司／関森　俊幸／石川　哲浩 46
・トヨタ ハイブリッド システムの開発 ..... 阿部　眞一／小谷　武史／茨木　隆次／戸島　和夫／社本　純和／酒井　朗 50
・トヨタハイブリッドシステム用高膨張比ガソリンエンジン ..... 高岡　俊文／広瀬　雄彦／上田　建仁／能野　靖／多田　博／金井　弘 56
・EV，HVユニットの生産技術開発 ..... 田上　健／宮崎　寛／川端　康己／山本　俊彰／広瀬　隆雄／中川　元 64
・燃料電池による電気自動車の開発 ..... 野々部　康宏／木村　良雄 70
・燃料電池用小型高効率メタノール改質器の開発 ..... 滝　正佳／根岸　良昌／小林　信夫 76
・CO_2低減への取り組み(生産工程) ..... 大野　英弘／森　隆司／中垣　友樹／酒井　健男 82

▷論文

・板裏形状の一括創成法の開発 ..... 川畑　弘幸／藤谷　幸孝／石田　順二／森崎　浩実 88
・BEAMS 1UZ-FEエンジンの開発 ..... 渡辺　健司／旭　哲治／岩室　稔／佐藤　邦彦／日吉　力／樵　茂男 94
・イージーコラムシフトの開発 ..... 佐藤　義隆／蓑島　晴美／牧口　実 102
・ディーゼルエンジン用触媒の開発 ..... 植野　秀章／古谷　寿伸／永見　哲夫／青野　紀彦／五嶋　秀之／笠原　光一 108
・塗膜劣化に及ぼす水の挙動に関する分子レベル解析 ..... 高澤　信明／山村　宜弘／島崎　龍司 114
・有害化学物質の自主管理手法の開発と展開 ..... 安藤　健吾／中川　佳久／清野　雄二／小倉　近志 120

▷トピックス 126

▷受賞技術概要 134

▷講演および寄稿（'97年１月～６月） 138

▷社外受賞実績（'97年１月～６月） 151

Contents

▷Special Edition for Prevention of Global Warming —CO_2 Reduction—

- Not Only as a Businessman, but as a Citizen
  ..... By Akio Matsubara 6
- CO_2 Reduction in Automotive Development
  ..... By Naoto Kushi 8
- Fuel Efficiency Improvement with Gasoline Engine
  ..... By Nobutaka Morimitsu 14
- Development of Fuel Economy 5W-20 Gasoline Engine Oil
  ..... By Kenyu Akiyama/Hiromi Kawai/Shinichi Sugiyama 20
- The Key Technology of Automatic Transmission Contributing to Fuel Economy
  ..... By Sinya Nakamura/Masahiro Kojima/Katsumi Kohno 26
- Development of D-4 Engine
  ..... By Zenichiro Mashiki/Souichi Matsushita/Takeshi Gouno 32
- Electric Vehicle "RAV4 EV"
  ..... By Masao Kinoshita/Sadahiro Kimura 38
- Introduction of EV Commuter "e-com"
  ..... By Makoto Yamada/Keiji Kogaki/Toshiyuki Sekimori/Tetsuhiro Ishikawa 46
- A Development of Toyota Hybrid System
  ..... By Shinichi Abe/Takeshi Kotani/Ryuji Ibaraki/Kazuo Tojima/Sumikazu Shamoto/Akira Sakai 50
- A High Expansion Ratio Gasoline Engine for the TOYOTA Hybrid System
  ..... By Toshifumi Takaoka/Katsuhiko Hirose/Tatehito Ueda/Yasushi Nouno/Hiroshi Tada/Hiroshi Kanai 56
- Production Engineering Development for EV, HV Units
  ..... By Ken Tanoue/Hiroshi Miyazaki/Yasutomo Kawabata/Toshiaki Yamamoto/Takao Hirose/Hajime Nakagawa 64
- Development of Electric Vehicle Powered by Fuel Cell
  ..... By Yasuhiro Nonobe/Yoshio Kimura 70
- High Efficient and Compact Methanol Reformer for Fuel Cells
  ..... By Masayoshi Taki/Yoshimasa Negishi/Nobuo Kobayashi 76
- CO_2 Reduction Activities in Production Process of TMC
  ..... By Hidehiro Ono/Takashi Mori/Tomoki Nakagaki/Takeo Sakai 82

▷Technical Papers

- An Automatic Offsetting Method of Composite Surfaces
  ..... By Hiroyuki Kawabata/Yukitaka Fujitani/Junji Ishida/Hiromi Morisaki 88
- Development of TOYOTA New BEAMS 1UZ-FE Engine
  ..... By Kenji Watanabe/Tetsuji Asahi/Minoru Iwamuro/Kunihiko Satou/Tsutomu Hiyoshi/Shigeo Kikori 94
- A Development of Easy-Column Shift
  ..... By Yoshitaka Sato/Harumi Minoshima/Minoru Makiguchi 102
- Development of Catalyst for Diesel Engine
  ..... By Hideaki Ueno/Toshinobu Furutani/Tetsuo Nagami/Norihiko Aono/Hideyuki Goshima/Kouichi Kasahara 108
- Molecular - Level-Analysis on Water Behavior concerned to Degradation of Paint Film
  ..... By Nobuaki Takazawa/Yoshihiro Yamamura/Ryuji Shimazaki 114
- Construction and Implementation of Internal Management System for Hazardous Substances
  ..... By Kengo Ando/Yoshihisa Nakagawa/Yuji Kiyono/Chikashi Ogura 120

▷Topics 126

▷Technical Award News 134

▷Recent Publications by TOYOTA Authors (January-June, 1997) 138

▷Awards (January-June, 1997) 151

市民として 企業人として

Not Only as a Businessman, but as a Citizen

取締役

松永彰雄



前号の巻頭言「環境立国・立社」で常務の斎藤さんが環境問題を総括しておられました.

今回の特集の内容はそれを承けた形になった訳ですが，それにしても「地球温暖化問題」特にその中心になる「CO_2低減問題」は人類に課せられた未体験の難問と言わざるを得ません.

我々自動車メーカーは1960年代半ばに始まる排出ガス対策問題に取り組み，最大限の努力をしてそのクリーン化を図ってきました．その努力は熄むこともなく続けられていますし，また続けられて行くべきものですが，これにさらに重なる形でCO_2の問題が重要になっています.

都市域を中心に問題となった排出ガスの成分であるHC，CO，NOx，黒煙は色々な論議はあるにせよ，高い濃度になれば健康面で好ましいものではありません．一方CO_2は燃料を完全燃焼させた際の生成物であり，それ自体は無害なものですが，増加すると地球を温暖化させ，海面上昇をはじめとする地上の生体系の存続を脅かす気候変動に結びつく惧れがあります.

ブラックユーモアの様ですが，海面が上昇する現象は「ノアの方舟」を生んだ創世記の洪水を思い起こさせます.

人間は，天上からプロメテウスがもたらした「火」を利用することによって高度の文明を作り上げてきました．この火の文明のツケのひとつがCO_2問題なのです.

さらに言えば人間自身が食物という燃料を身体という機関で燃焼させて活動しCO_2を呼気として出して暮らしている訳ですから，文明社会に生きることはすべてCO_2排出に結びつくのです.

もうすぐ，京都で開かれる第３回「地球気候変動枠組み条約締結国会議」（通称COP３）では，各国がどんなCO_2低減努力を考えているかその計画を提出し，世界全体の進むべき方向を議論する事になっています．

発展途上国の人口爆発を抜本的な原因として抱えながら，経済とのバランスを保ちつつ，CO_2排出の増大を抑制したいとのジレンマを抱えながら，各国がどのような努力をすべきかという問題です．

当然のことですが，この努力は各国が「公平に」行なうのでなければなりません．ここに実際には大変な難しさがあります．

環境対策は煎じ詰めていけば「公平に」実行できるものかどうかで効果が決まるものだと思います．よく総論賛成，各論反対になり勝ちなのは，やり方が公平ではないからです．

こういう人類の試練を乗り越える手段のひとつは，なんといっても技術革新です．

これによって歴史は幾度か明るい未来を開いてきました．

私は技術開発の分野に席を置き，また環境問題のとりまとめ役も担当させていただいています．会社としての環境対応努力の一端を担っているつもりです．環境に対する具体的な努力内容については本誌の各論で述べられてますからそれに譲ります．

しかし，一方，私は個人としても努力が求められていると思います．

先程来CO_2問題は根源的なものだと述べました．根源的ということは，私が企業人としてだけでなく地球に生きる市民としても建設的な努力をすべきであるという事です．

これも前号で「環境家計簿」の話がありました．自分自身市民としての車のムダのない使い方をはじめ，隣人にも同様なささやかな努力を促す話や行動をして行くことも必要になって来ていることを感じます．



製品開発におけるCO_2削減への取り組み

CO_2 Reduction in Automotive Development

櫛　直人*
Naoto Kushi

要旨

地球温暖化防止の観点から，自動車に関しても，従来以上の燃費向上やCO_2排出量の少ない燃料への転換，円滑な交通流の実現などが求められている．エンジンおよび駆動系の効率向上や軽量化等の燃費向上のための技術開発ばかりでなく，ハイブリッド自動車，電気自動車，燃料電池自動車といった新しいパワートレーンの実用化，普及にむけての技術開発も加速している．さらに，使用する燃料が製造，輸送される際のエネルギー効率やCO_2排出量まで考慮した，真に「地球環境の保全」に貢献するクリーンで使い勝手のよい自動車の実現にむけて，様々な分野の英知の結集が必要である．

Abstract

With regard to global warming, it is necessary to improve fuel efficiency, and to use low CO_2 emission alternative fuels. The creation of smooth traffic flow also effectively reduces CO_2 levels. The improvement of conventional engine and transmission efficiency, and vehicle weight reduction are the main approaches to improve fuel efficiency. Concern about global warming has also accelerated the development of new powertrain systems such as hybrid vehicles, electric vehicles and fuel cell electric vehicles.

From the viewpoint of the best use of resources and global CO_2 reduction, we do our utmost to develop genuinely clean and available automobiles.

キーワード　地球温暖化防止，CO_2排出量削減，燃費向上，エネルギー効率，パワートレーン

1　はじめに

1.1　地球温暖化防止への世界的取り組み

大気中には，二酸化炭素(以下CO_2)，メタン，フロン，水蒸気などの温室効果ガスが含まれており，これらの作用により，人間や動植物にとって住み良い大気温度が保たれてきた．ところが近年，人間活動に伴うCO_2やメタン等の温室効果ガスが大量に大気中に排出されるようになった(図１)．

1995年12月に採択された「気候変動に関する政府間パネル」(IPCC)の第二次評価報告書において，人間活動の影響による地球温暖化が確実に進行していることが科学的に確認された．報告書によれば，過去100年間で地球の平均気温は0.3～0.6℃上昇し，さらに温室効果ガスが現在の増加率で増え続けた場合，21世紀末までに平均気温が約２℃上昇し，海面水位は約50cm上昇することが予測されている．このような変化に伴い，人類の生活環境や生物の生息環境に広範で深刻な影響が生じるおそれがある．さらに報告書によれば，大気

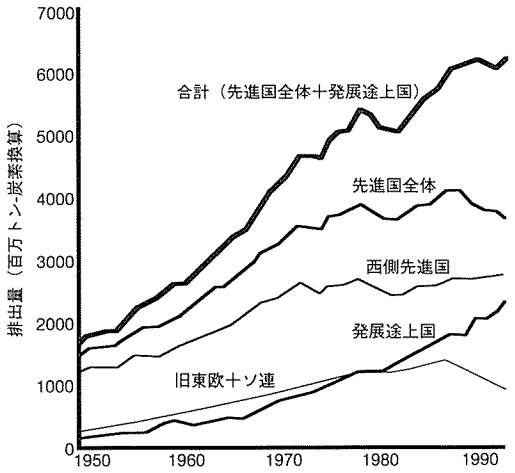


図１　世界の二酸化炭素排出量の推移

（備考）オークリッジ国立研究所
二酸化炭素情報センター推計値

* 開発企画部

中の温室効果ガスの濃度を安定化させるためには，途上国を含めた世界全体の排出量を，将来的には少なくとも1990年を大幅に下回るレベルまで削減する必要があると示唆している．

地球温暖化防止への世界的取り組みとして，1992年6月の「環境と開発に関する国連会議（地球サミット）」において，CO_2の排出量を1990年代の終わりまでに1990年レベルに戻すことを目指した「気候変動に関する枠組み条約」に155か国が署名し，1994年3月に発効した．これをうけて1995年3月のベルリンの第1回締約国会議（COP1）に引き続き，1996年7月には第2回締約国会議（COP2）がジュネーブで開催された．しかし，2000年までに1990年レベルを達成することはもはや絶望的であり，2000年以降のCO_2の排出量削減に関しても，科学的不確実性や参加国の経済成長への影響の問題もあり，具体的な削減量を盛り込んだ議定書の採択は本年12月に京都で開催される第3回締約国会議（COP3）まで先送りされた．わが国は議長国として，実効ある提案を期待されている．

1.2 自動車に関する各国のCO_2削減の動向

このような背景の下，自動車に関してもCO_2の排出量削減が求められている．わが国では，2000年にむけたガソリン乗用車燃費規制，2003年にむけたガソリン貨物車燃費規制や，新エネルギー導入大綱の閣議決定に基づいた，CO_2排出量が少ない代替燃料車の普及促進などの政策がとられている．さらに，炭素税の導入や，自動車税の税額区分を排気量別から燃費効率を考慮した区分に再編成することなども検討されている．

米国においては，官民をあげたPNGV(Partnership for a New Generation of Vehicles) プロジェクトでカムリクラスの車で現状の3倍の燃費達成を目指している．欧州では，超低燃費車（3ℓ／100kmカー）への免税措置などがある．

2 自動車におけるCO_2の削減

2.1 CO_2削減へのアプローチ

図2に示すように，温室効果の約5割はCO_2が原因であり，そのうち約8割程度が化石燃料の消費により発生するといわれている．図3は，わが国のCO_2排出量の推移であるが，排出総量が昭和40年から平成5年の間に約2.7倍に増加する中

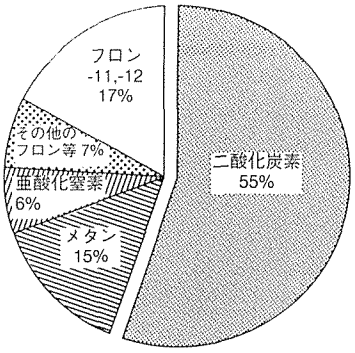


図2 1980年代における人間活動の地球温暖化への温室効果ガス別寄与度

（備考）IPCC報告書より

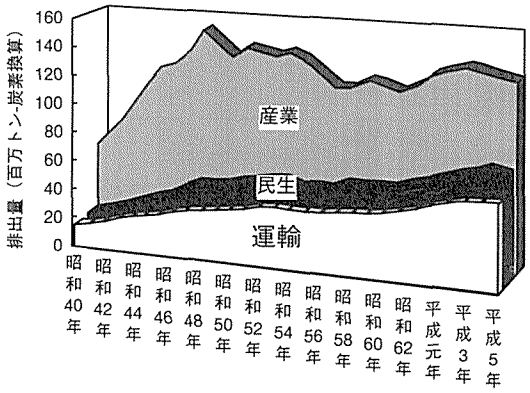


図3 わが国の二酸化炭素排出量の部門別推移

（備考）環境庁試算より

で，運輸部門の占める割合も13.9%から19.4%へと増加している．

また，自動車の製造，走行，廃棄までを全て考慮して車の一生の間にどの程度のCO_2を排出するかを見積もる（ライフサイクルアセスメント）検討によると，走行時の排出が約80%を占める．従って自動車からのCO_2排出量を削減するには，走行時の排出量を減らすことがまず必要である．

走行時のCO_2排出量の削減には次の3つの方法がある．

まず第一は，自動車の燃費を向上させることである．ガソリン自動車の場合もディーゼル自動車の場合も，燃費向上により走行時に消費する燃料量を減らすことで，CO_2の排出量を確実に削減できる．

第二に，CO_2排出量の少ない燃料を使う自動車

を普及させることである．例えば天然ガスを燃料とした場合，CO_2の排出量を約2割削減することができる．

第三は，交通環境を改善し，円滑な交通流を実現させ，交通の過度な集中や渋滞を解消することである．平均車速が上がると図4のように，CO_2の排出量は削減される．交通の円滑化のために，道路交通情報通信システム(VICS：Vehicle Information & Communication System）に対応したナビゲーションシステムや，自動運転システム，ノンストップ自動料金収受システムなどのインテリジェント交通システム(ITS：Intelligent Transport Systems）が研究開発されている．

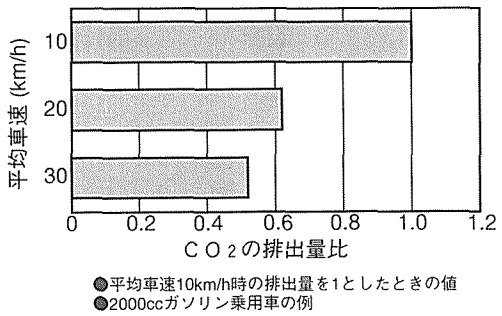


図4　交通円滑化によるCO_2の削減効果
（備考）日本自動車工業会より

2.2　燃費向上およびCO_2削減への自動車技術

燃費向上および走行に関わるCO_2排出量の削減に対して，自動車側で織り込むべき技術には次の5つがある．

2.2.1　車両側の燃費向上策

車両の軽量化やころがり抵抗の低減，空気抵抗の低減といった，車両側での燃費向上策はパワートレーンの種類によらず，普遍的に有効なCO_2削減手段である．

従来のガソリン自動車やディーゼル自動車の場合は，加速に要したエネルギーを回収することができないので，燃費向上に対する車両の軽量化の寄与度は大きい．一方，電気自動車やハイブリッド自動車の場合は，回生ブレーキによって加速に要したエネルギーを減速時に回収することが可能なので，ころがり抵抗や空気抵抗の寄与度が大きくなる．

さらにエアコンの効率向上なども実用燃費の向上には有効である．

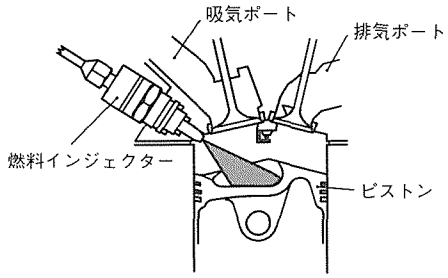
しかし，車両側の燃費向上策は，車両の衝突安全性や操縦安定性，快適性などとの両立が不可欠である．

2.2.2　駆動系の燃費向上策

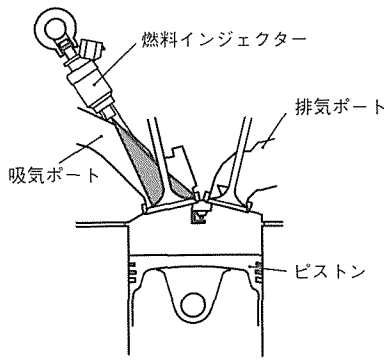
次に普遍的に効果があるのは駆動系による燃費向上である．組み合わせるエンジンによらず，トランスミッションの効率が向上すれば，CO_2の排出量を削減することができる．オートマチックトランスミッションのロックアップ制御などがその例である．

2.2.3　エンジンの燃費向上策

最も注目されるのはエンジン本体の燃費向上である．燃焼改善による高圧縮比化や摩擦損失の低減のほか，ガソリンエンジンでは，連続可変バルブタイミング機構（VVT-i：Variable Valve Timing-intelligent）の採用や，リーンバーン（希薄燃焼）エンジン，図5に示す直噴（筒内直接燃料噴射）エンジン「トヨタD-4」などの技術がある．ディーゼルエンジンでは，従来の副室式(IDI：Indirect



(a) トヨタD-4



(b) 従来エンジン

図5　直噴ガソリンエンジン

Injection）ディーゼルエンジンにかわって，より熱効率の高い直噴（DI：Direct Injection）ディーゼルエンジンが小排気量のエンジンまで展開されつつある．

2.2.4 エンジンと駆動系の組み合わせによる燃費向上策

これまでに述べた技術は，おのおの単独で燃費向上を図る技術であった．これからは，車両全体としてより一層の燃費向上とCO_2の削減を実現する技術が注目される．

例えば，無段変速機（CVT：Continuously Variable Transmission）と専用エンジンとの組み合わせによる低燃費パッケージ技術がある．無段変速機の場合，ギヤ比を任意に選択できるので，走行中のエンジンの運転領域（エンジン負荷やエンジン回転数）をある範囲内に収束させることが可能になる．従ってその運転領域に特化して熱効率を向上させたエンジンと組み合わせることにより，画期的な燃費向上が期待できる．

2.2.5 新パワートレーンによる燃費向上・CO_2排出量の低減

燃費向上をさらに追求した，新しいパワートレーンも実用化段階にある．例えば，図6に示すガソリン自動車と電気自動車の両方の長所を併せ持つハイブリッド自動車「トヨタハイブリッドシステム」がある．エンジンの動力とモーターの駆動力を組み合わせて走行し，車両停止時にはエンジンを自動的に停止したり，減速時にはエネルギーを回生するなど，エネルギーロスを大幅に削減することで飛躍的に燃費を向上させる技術である．

一方，CO_2排出量の少ない燃料を使うパワートレーンも既に実用化され普及の段階にある．例えばガソリンの代わりに天然ガスを燃焼させる天然ガス自動車は，CO_2排出量の削減効果ばかりでなく，石油代替燃料の有力な候補のひとつとして近年注目されている．

また，電気自動車も走行時にはCO_2を排出しないので，車両のみで見ると理想的なCO_2削減手段である（図7）．

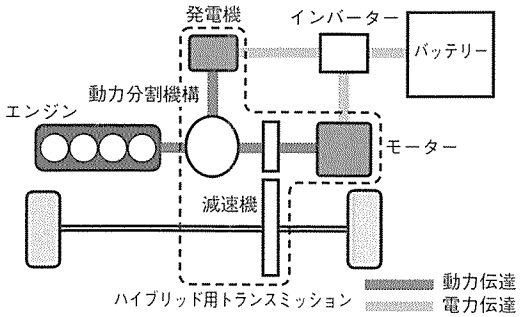


図6　トヨタハイブリッドシステム

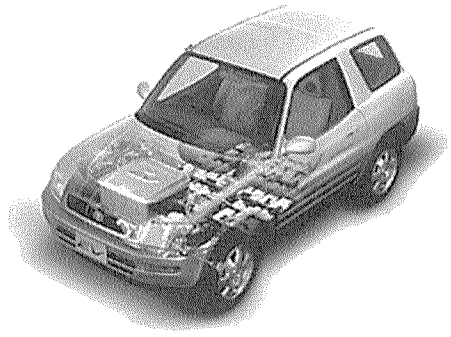


図7　電気自動車（RAV4L EV）

将来有望なパワートレーンとして燃料電池（FC：Fuel Cell）自動車も研究開発が進んでいる．水素と大気中の酸素を化学的に反応させて発生する電気で走行する電気自動車であり，排出物は水のみという極めてクリーンな自動車である（図8）．



図8　燃料電池自動車（研究実験車）

しかしCO_2は，局所的な大気汚染の問題とは異なり，地球規模でグローバルに削減しなければ地球温暖化防止の効果がない．従って，電気自動車を含めて，自動車の走行に関わるCO_2排出量の削減を議論する際は，車両からのCO_2排出量に着目するだけではなく，その車両が用いる燃料を製

造，輸送する際に発生するCO_2まで考慮する必要がある．

従って，電気自動車の場合も，フランスやわが国のように，原子力発電，水力発電などの比率が高く，発電時のCO_2の発生が少ない国の場合には，資源までさかのぼって見てもCO_2排出量の削減効果は大きい．しかし，ドイツのように石炭による火力発電の比率が高い国の場合には，発電時のCO_2排出量が多く，バッテリーへの充電時のロス等も考慮すると，ガソリン自動車と比較してCO_2の削減効果はあまり期待できないという報告もある．[6]

2.3　各パワートレーンの燃費・CO_2排出量の比較

前章では燃費向上とCO_2排出量の削減に有効なパワートレーンを紹介したが，その効果を図9～11に示す．走行モードは10・15モードを想定し，車両重量の影響も考慮した．さらに，ハイブリッド自動車と電気自動車，燃料電池自動車に関しては，回生ブレーキによって減速時にエネルギーを回収するものとした．電気自動車に関しては，わが国の発電比率に基づきCO_2排出量を算出した．

図9は，車両におけるエネルギー消費量(燃費)を理論空燃比エンジンのガソリン自動車と比較したものである．エネルギーに換算して，電気自動車はガソリン自動車の消費するガソリンの約1/4の電力しか消費せず，車両自体の効率が高いことがわかる．またガソリンエンジンを用いたハイブリッド自動車も，従来のガソリン自動車の約1/2のガソリンしか消費せず，効率の高いシステムである．

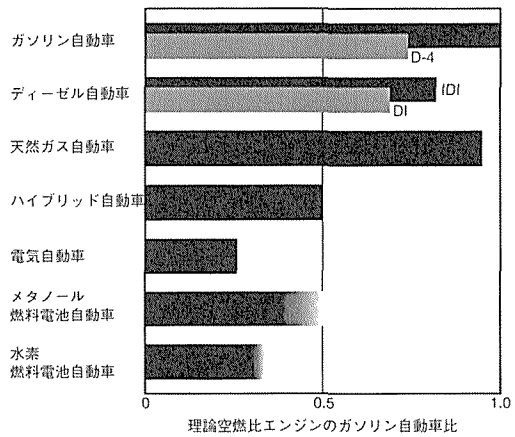


図9　車両におけるエネルギー消費量の比較

図10は，資源までさかのぼったエネルギー消費量（燃費）を理論空燃比エンジンのガソリン自動車と比較したものである．電気自動車の優位性は薄れ，ハイブリッド自動車と同程度の値となっている．これは，発電の効率が低く，石油，天然ガスなどの資源の持つエネルギーの35～40%しか電力として利用できないのに対して，ガソリンは採掘や精製，タンクローリーによる輸送等のロスを考慮しても，原油の持つエネルギーの約85%を利用できるためである．

エネルギー・資源問題に関しては，単に車両の効率を議論するのみでなく，資源の持つエネルギーをいかに無駄なく利用できるか，という視点も重要である．

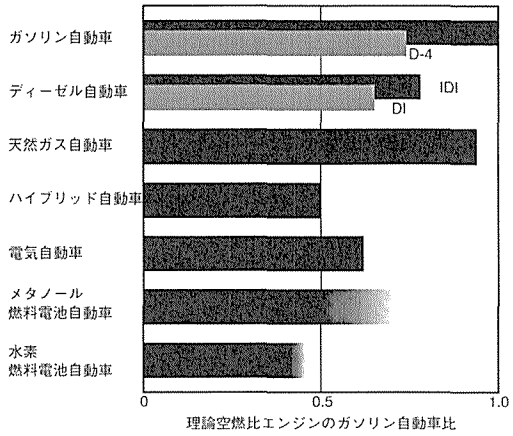


図10　資源までさかのぼったエネルギー消費量の比較

図11は，資源までさかのぼったCO_2の排出量を理論空燃比エンジンのガソリン自動車と比較したものである．ガソリン自動車，ディーゼル自動車とも，D-4，DIによるエネルギー消費量の低減（燃費向上）に相応してCO_2の排出量が削減される．ハイブリッド自動車も同様にCO_2の排出量を約1/2に削減できる．既存の燃料供給インフラを使用できるという点で，ガソリン自動車，ディーゼル自動車の燃費向上とハイブリッド自動車は早急な普及が期待できる技術である．

天然ガス自動車はエネルギー消費量の低減（燃費向上）はほとんどないが，燃焼時にCO_2の発生が少ない燃料であるので，2割強のCO_2の削減効果がある．しかし，本格的な普及には，車両への天然ガスの搭載方法の改善と低コスト化，天然ガス供給インフラの整備が必要である．

電気自動車はわが国の発電比率では，CO_2の削減効果は大きい．排気ガスを出さないというメリットを活かした普及が期待される．

燃料電池自動車もCO_2の削減効果が大きく，特に水素燃料電池には期待がかかるが，水素供給のインフラ整備の問題，車両への水素の搭載方法など実用化には解決すべき課題も多い．

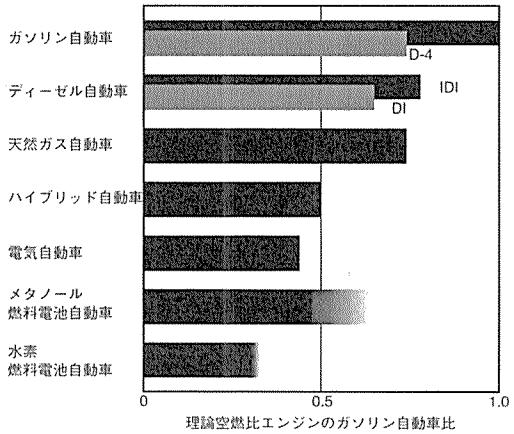


図11　資源までさかのぼったCO_2排出量の比較

3　まとめ

1970年代の局所的な大気汚染の問題に端を発し，騒音，リサイクル問題と，自動車は常に新しい環境問題と直面してきた．そして今日，地球温暖化防止というグローバルな視点からCO_2排出量の削減という新たな課題が与えられた．

従来から燃費向上に関しては努力を続けてきたが，どちらかと言えば「お客様の負担する燃料代（車両のランニングコスト）の低減」という商品魅力として，燃費向上技術を製品化してきた．しかし，これからは「地球環境の保全」というより高い見地から，燃費向上技術，新パワートレーン技術を捉え，様々な分野の英知を結集して，高い目標にむかって果敢に挑戦しなければならない．

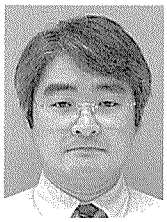
図11では各パワートレーンをCO_2排出量の観点から比較したが，それ以外にも排気エミッションや信頼性，耐久性，低コスト化など両立させなければならない項目も多い．また，航続距離や動力性能，室内スペースといったお客様にとっての使い勝手を左右する車両性能も考慮しなければ普及は望めない．また燃料供給インフラの整備や燃料価格，さらには円滑な交通システムの実現といった社会の動向への働きかけ，協調も重要である．

今回，地球温暖化防止特集として，エンジン，駆動系の燃費向上技術，ハイブリッド，燃料電池，電気自動車といった新パワートレーンの論文が掲載されるが，お互いの優れた点を見て，より一層切磋琢磨の努力を行って，「地球環境の保全」に貢献する使い勝手のよい自動車を世界中のお客様に提供できるように技術開発を推進していきたい．

■参考文献

(1) 環境庁編：環境白書　平成9年度版．大蔵省印刷局，1997
(2) 環境庁編：環境白書　平成8年度版．大蔵省印刷局，1996
(3) 資源エネルギー庁監修：資源エネルギー年鑑1995/96年版．通産資料調査会，1995
(4) 伊藤純雄：環境にやさしいエンジン技術の展望．自動車技術会中部支部報．No. 2, P. 52-55 (1997)
(5) 小林伸行：21世紀に向けてのエンジン開発．TOYOTA Technical Review. Vol. 47, No. 1, P. 8-9 (1997)
(6) Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF): Erprobung von Elektrofahrzeugen der neuesten Generation auf der Insel Rügen. DAUG, 1996

■著者



櫛　直人

ガソリンエンジンにおける燃費向上技術

Fuel Efficiency Improvement with Gasoline Engine

森光　信孝*
Nobutaka Morimitsu

要旨

自動車の燃費向上は地球環境問題への対応の観点から近年ますます重要な課題となってきた．ここでは自動車におけるエネルギー変換のプロセスとその消費効率の観点から燃費を考察し，最近のガソリンエンジン改良の技術動向について紹介する．ガソリンエンジンの正味熱効率はここ数十年で飛躍的に向上してきた．今後車両として，さらなる効率向上を目指すには，駆動系を考慮してガソリンエンジンを高効率領域で使うという観点が重要である．

Abstract

Improvement of fuel efficiency is one of the most important subject for the automobile. The efficiency of gasoline engine has been improved in recent decades, and being improving. In this paper, the process of energy conversion in the automotive powertrain and related new technology are described. The important view point for further improvement is cooperation with drivetrain system.

キーワード　ガソリンエンジン，燃費，理論熱効率，図示熱効率，正味熱効率

1　はじめに

近年，地球環境問題へ対応が強く求められており，自動車の燃費向上（CO_2排出量の低減）が重要な課題となっている．これまでもリーンバーン，ガソリン直噴エンジン，VVTなどの低燃費技術が本誌に紹介されているが，今回は少し視点を変えて，自動車の走行におけるエネルギー消費のプロセスとその効率という観点から燃費について述べる．

燃費とは，車両を走らせるためにどれだけの燃料が必要か，あるいは，一定の燃料でどこまで走れるかという指標である．その内容を吟味するには，燃料の化学エネルギーが，機械エネルギーに変換され，伝達され，車両を走らせる，そのプロセスをたどってみるのが良い．図1は代表的な車両での国内の燃費試験法（10・15モード）における各プロセスの代表的な効率を示している．

今回のテーマの燃費向上とは，まず要求される仕事量を減らすことであり，次に各プロセスの効率を向上させることであり，さらに付随する無駄なエネルギー消費をできるだけ少なくすることである．

(1) 出発点は燃料の化学エネルギーで，これを気筒内で燃焼させ，燃焼ガスの圧力に変換する．この時，圧縮比と燃焼ガスの比熱比が高いほど理論熱効率が高くなる．

(2) 燃焼圧力をピストンで受けて機械エネルギーに変換する．膨張行程での壁面からの放熱も少ないほうが効率は良く，上死点後できるだけ短時間で燃焼が完全に完了することが望ましい．さらに排気行程の排気ガスの押し出し圧力と吸気行程の混合気の吸い込み圧力の差でポンピング損失が発生する．

　これらの燃焼サイクルを一回りした時の，燃料エネルギーに対応するガス圧力仕事の効率が図示熱効率である．

(3) ピストンで受けた力を出力軸に伝えるまでに，部品の摺動摩擦や回転軸受けの摩擦，動弁系やオイルポンプなどの補機駆動による損失が発生する．それらが機械損失であり，その効率が機械効率である．図示熱効率に機械効率をかけたものが，燃料の化学エネルギーに対する正味の軸出力の割合であり，これが正味熱効率である．

　エンジンの運転条件により，正味熱効率は

* 第1エンジン技術部

変化する．車両としての燃費を考える時は，走行中に使用する領域の正味熱効率を改善するか，正味熱効率のよい運転領域を使うようにしなければならない．

(4) さらに，アイドリングや減速時のエネルギー消費も燃費に影響する．

以下に，プロセスを順次追って，燃費向上技術の意味あいと効果を確認していく．

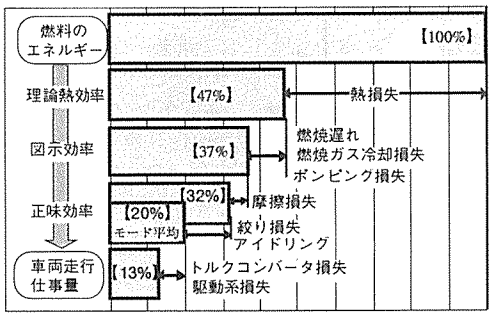


図1　エンジン効率の構成

2　理論熱効率の向上

理論熱効率は圧縮比 ε と比熱比 κ の関数である．理論的には圧縮比は高いほうが良いが，ガソリンはノッキング・プレイグニッション等の異常燃焼発生のためあまり高くできず10前後に設定されている．ガソリンエンジンはノック検知センサーの普及と燃焼の改善により徐々に圧縮比を向上しつつあるが現状ではプレミアムガソリンを使用しても11程度までである．ノッキング・プレイグニッションはガソリンエンジンの永遠の課題といわれるぐらい，昔からの課題であるが，なかなか改善が進まない領域である．最近の技術としては，2系統冷却によるシリンダヘッド冷却の改善，燃焼室内のエンドガスを残さない構造設計などがある．

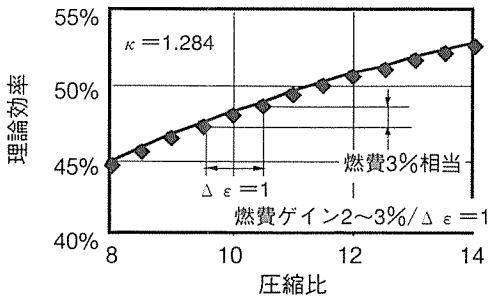


図2　圧縮比と理論熱効率

また圧縮比は通常のエンジン並であるが膨張比を大きく取り熱効率を上げる高膨張比エンジンという発想がある．アトキンソンサイクルが良く知られているが，図3のアトキンソンの1887年の第2機関は複雑巧妙なリンク機構で低圧縮比かつ，高膨張比を実現するもので，当時としては破格の高効率であった．ハイブリッドシステムTHSに採用されたエンジンは，アトキンソンのサイクルをバルブタイミングの操作で実現するもので，膨張比（機械的な圧縮比）を14ぐらいとして燃焼ガスのエネルギーは十分回収し，一方，圧縮行程では吸気弁の閉じ時期を遅くすることで実圧縮比を10程度に抑え，ノッキングを抑制するものである．この方式は効率は高いが，実質排気量が少なくなり，出力が低下するため，通常の車のエンジンとしては商品性が低下する．高出力と高効率高膨張比を両立させるには可変圧縮比という技術が必要になる．ここは先人に負けない智恵が期待される分野である．

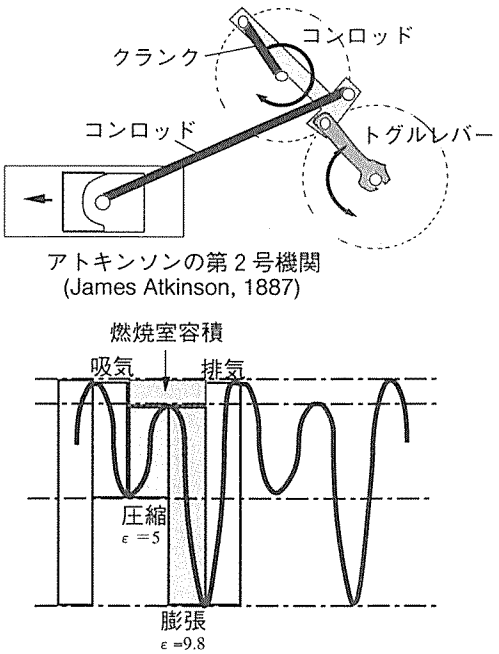


図3　アトキンソンサイクル

理論熱効率を上げるもう一つは比熱比 κ を上げる方法である．理論的には空気（2原子分子）の比熱比 κ ＝1.4が最大であり，いかにそれに近づけるかということである．リーンバーンエンジンや筒内ガソリン直噴エンジンなどの希薄燃焼は空気の割合が多く，比熱比 κ を高める有効な手法である．

3　図示熱効率の向上

よい燃焼は，よい混合気，よい圧縮，よい火花で実現するといわれている．

よい混合気については，電子燃料噴射技術(EFI)の精密空燃比制御と4弁燃焼室の混合気形成技術により実現している．よい火花については，確実な点火と点火ノイズ低減，搭載性向上を狙ってディストリビュータレス化が進んでいる．図4はトヨタにおけるTDI(Toyota Direct Ignition)の普及状況を示す．

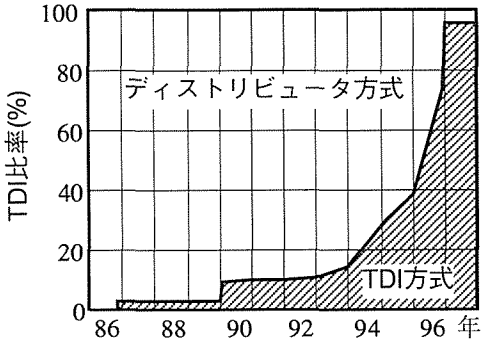


図4　TDIの普及

点火時期は，上死点付近で最大圧力を得られるように少し早めに点火しているが，あまり早く点火すると圧縮行程の圧力が高くなり，取り出せる出力が少なくなる．一般には点火時期はノッキング，プレイグに対しある程度の余裕を見込んだ値とする．実際には，ノッキングのため最大トルクを取り出せる最小進角(MBT)まで進角できないことがある．

図示効率を高めるには，ノッキングの起こりにくい燃焼室の設計，適切な燃焼室の冷却，燃焼速度を上げる混合気の形成などが必要で，最も根元的な領域でも改良の余地が残されている．

図示熱効率を高めるには，ポンピング損失を低減するのも有効である．図5は4サイクルガソリンエンジンのPV線図であるが，圧縮～膨張の行程が右回りのループで出力を取り出すサイクルを構成しているのに対し，排気～吸気の行程は左回りのループでエネルギーを消費している．ポンピング損失はマクロに見れば，吸気側のマニホルド負圧状態から混合気を吸い上げて，排気側の排気系の背圧の中にガスを吐き出すという仕事である．これを低減するには，(a)吸気側の絞り損失を小さくするか，(b)排気系の抵抗を下げて背圧を小さくすればよい．ミクロには，(c)ガスがエンジンに出入りする際のポート，バルブなどの管路抵抗の低減も配慮する必要がある．

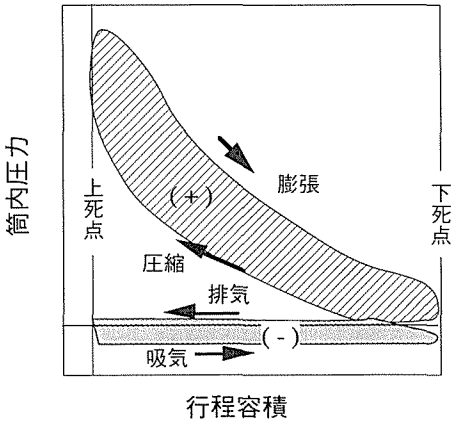


図5　PV線図（模式図）

市街地走行のような比較的低負荷では(a)の対策が効果的で，リーンバーンやD-4のような希薄燃焼，可変バルブタイミング(VVT)が有効である．高速走行時には(b)の背圧低減が効果的で，出力向上と騒音対策とが両立する可変マフラーシステム等の開発が進んでいる．VVTは，吸気系のみならず，排気系も制御するようになり，究極はエンジンの回転数や負荷に応じて最適のバルブタイミングを選択するカムレス動弁系へと期待が膨らむ．

4　機械効率の向上

エンジンの各部の摩擦損失の低減も重要である．摩擦損失は(a)ピストン，ピストンリング，ピストンピン等の摺動抵抗，(b)ピストン，連接棒の往復運動による慣性仕事，(c)ベアリング部の摩擦損失，(d)動弁系の往復運動による慣性仕事，(e)カムとカムフォロワの摩擦損失，(f)バルブスプリング荷重などがある．(a)については，ピストン側面の樹脂コーティング，ピストンリング張力低減，(b)(d)についてはスケルトン型ピストンによる軽量化，4弁化による弁の小型化，カムによりバルブを直接駆動する直打方式化等，それぞれに地道な改善努力がなされている．(e)のカムとフォロワについてはバルブリフタの窒化チタンコートシムの開発で，ローラーフォロワ並み

の低フリクションが実現できている．（図6）

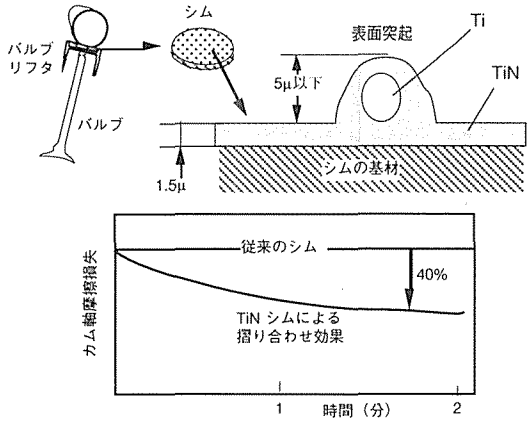


図6　TiNシムによる摩擦低減

軸受けのフリクション低減に関してはベアリングの幅を狭くして細径化することが有効である．しかし，振動騒音対策上あるいは信頼性の観点からは逆に軸を太く剛性を挙げることが求められる．大変難しいが材料の改善と設計上の地道な改善が進められている．

潤滑に関しては，オイルのレベルアップが進んでいる．今後は高速側では抵抗が少なく，低速側の境界潤滑域でも油膜の切れないような，さらにメンテナンスフリーとなる潤滑油設計が期待される．

日常の走行におけるエンジン使用領域ではこれらの摩擦損失のエネルギー消費に対する寄与度は比較的大きく，改善効果も大きい．

5　正味熱効率の向上

消費した燃料エネルギーに対し，エンジン出力軸から実際に取り出せる仕事の割合を正味熱効率という．一般的には燃費率（g/kWh）で表されるが，ここでは他の効率との比較のしやすさから%で取り扱う．

正味熱効率はエンジンの運転領域により異なり，図7に示すように等高線状の効率マップあるいは燃費率マップで表すことができる．最も効率のよい領域は中速，中負荷にある．これは低負荷では吸気を絞るためポンピング損失が増加し，高速ではフリクション損失が増加するためである．この最も効率の良い領域を燃費マップの目玉などと称するが，このエンジンの最大正味熱効率は図8に示すように，年々着実に向上を続けている．

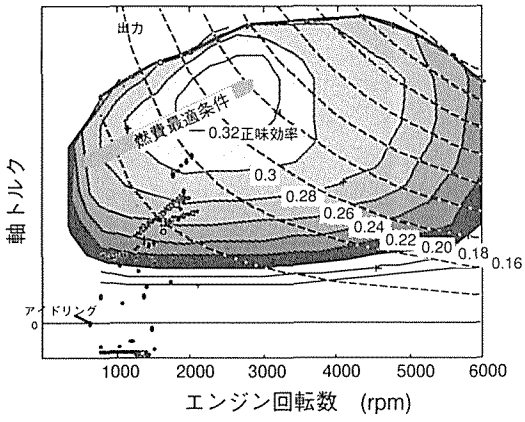


図7　エンジン正味熱効率マップ

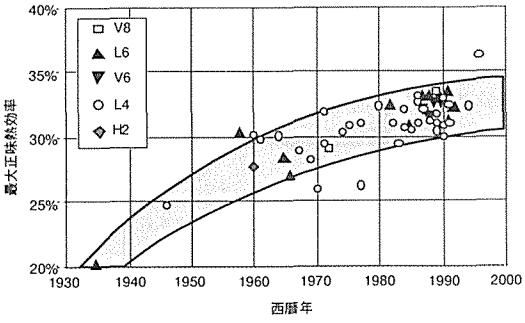


図8　ガソリンエンジンの正味熱効率の推移

これには理論熱効率，図示熱効率の向上が大きく寄与している．将来的には35%を超えるディーゼルに肉薄するガソリンエンジンも夢ではない．

ガソリンエンジンは吸入空気を絞って出力を調整するので，低負荷ではポンピング損失が大きくなる．リーンバーンやガソリン筒内直噴エンジンは低負荷領域でも空気を絞らず，大変希薄な空燃比で運転する技術であり，効率のよい領域（いわゆる燃費マップの目玉）が広く低負荷域まで広がっている．そのため通常の市街地走行においては飛躍的に燃費が向上する．特に，ガソリン直噴エンジンは出力の増加と効率の向上を両立できる技術であり，次世代の主流となる技術である．今後，各社のガソリン直噴エンジンが続々市場に投入されてくる．しかし，高圧噴射系部品・リーンNOx触媒など新規部品も多く，信頼性の一層の向上・低コスト化・一層の低排出ガス化など普及にむけての課題も多い．

6　アイドリングの改善

アイドリングは市街地走行ではかなりの割合を占めている．10・15モードの燃料消費量ではMT車で10%程度，AT車では15%程度にもなる．アイドリングではエンジンをある回転数で自律運転させる必要最小限の燃料が使われる．従って，摩擦損失の低減等が有効であるが，最も効果的なのはアイドル回転数そのものの低減である．ひと昔前は800rpmぐらいであったのが最近では500rpm～600rpmとなっている．図9にはアイドリング回転数の低減量と燃費効果を示す．排気量の大きなエンジンほど効果が大きいことがわかる．

しかし，アイドリング回転数を下げることは，エンジンの振動の問題が厳しくなるとか，エンジンに粘りがなくなりエンストしやすくなるとか，オルタネータの発電能力が不足し充放電収支が成立しなくなるといった問題を伴うので，十分な注意が必要である．

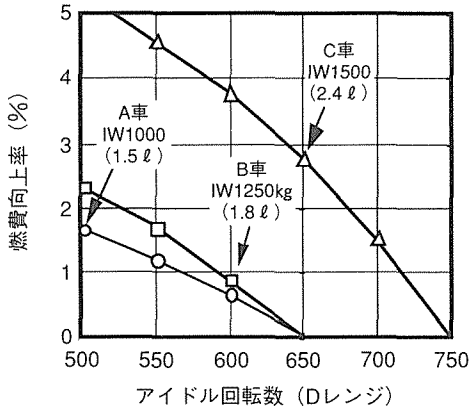


図9　アイドリング回転数の低減と燃費効果
（10・15モード）

いっそ，アイドリングなどやめて車両停止時にはエンジンは止めてしまえという意見もあるが，現在の車両ではそう簡単には実現できない．信号停止の度にエンジンを止めることは心理上の大変な負担となり，エンジンを自動停止する，いわゆるエコランシステムは結局普及しなかった．さらに，エンジンで駆動するパワーステアリング，エアコンなど様々な部品があり，振動・騒音の問題もある．そう簡単には，エンジンは止められない．

次世代のエコランシステムはそれらの問題を解決し，エネルギー回生と組み合わせた簡易ハイブリッドシステムとして登場することになるだろう．

7　車両としての燃費改善

7.1　パワートレーン効率

高速道路を一定速度で走行した時は，市街地でのゴーストップ運転時よりかなり燃費が良くなる．これは前者がエンジン単体の正味熱効率のよい領域を使うのに対し，後者は(1)加速時の慣性仕事量が大きい，(2)低速低負荷のエンジン正味熱効率の悪い領域を多用している，という二つの理由による．

普通の乗用車では，動力性能上の要求を満足させるようにエンジン排気量が決められることから，通常の市街地モードでは効率のよい燃費マップの目玉の領域は使われていないということである．図1のエンジンの最大正味熱効率は30%以上であるのに，モード平均の正味熱効率は約20%まで低下している．

ここで，エンジンをどれだけ効率良く使っているかという指標として，モード走行において消費した燃料エネルギーに対する車両の走行に必要なエネルギーの割合を求め，パワートレーン効率と定義する．図1の車両走行仕事で表されるパワートレーン効率はAT車の場合平均13%程度しかない．これはトルコンのスリップ損失，駆動系の摩擦損失による効率低下であり，これらの低下代の大きいところが燃費改善の着眼点である．

7.2　車両の走行抵抗と最適排気量，可変排気量

車両のエネルギー消費を低減するには軽い小さなくるまを作り，根本的にエネルギー消費を低減し，同時にパワートレーン効率を高めることが必要である．ここで注意すべきは，燃費と動力性能のトレードオフである．エネルギー消費を低減してもエンジン排気量を変えないと，余裕動力は増加して動力性能は向上するが，エンジンの効率の悪い低負荷側の領域を多用することになる．逆にエンジンを小排気量化すれば市街地走行でのパワートレーン効率を上げることはできるが，動力性能の低下をもたらし，高速では駆動力不足で変速機をシフトダウンするなど燃費を悪化させることもある．従って，車両企画時に車両の要求特性を見極め，最適排気量を選定することが大変重要である．

車両の使用条件に応じてより適した排気量を実現するものとして可変排気量がある．これまでには気筒休止によるものが市販されているが，振動

騒音や排気等にも課題含みであることからあまり普及はしていない．商品企画上は難しいと思われる．将来的には可変ストローク，可変圧縮比等のユニークな機構が期待される．

7.3　駆動系によるパワートレーン効率改良

駆動系を単なる動力伝達装置ではなく，もっと能動的に車が要求する出力に応じてエンジンの運転条件を選択するシステムと捉えることが燃費向上の可能性を広げる上で重要である．

トルクコンバータのスリップ損失は大変大きいので，トルク変動の少ない高速域ではトルクコンバータをロックアップする方式が現在の主流である．ところが，低速時にロックアップするとトルク変動がボデーに伝わり，こもり音の問題が発生するので市街地走行のような運転条件ではロックアップできない．従って，市街地走行時のスリップ損失はそのままであるし，エンジン使用域を低速高負荷の効率の高い領域に変えようとしてファイナルギヤをハイギヤード化してもトルクコンバータのスリップ量が変化するだけでエンジン使用域は変わらない．低速までロックアップできる領域を拡大するにはエンジンのトルク変動を抑えるダンパー機構が必要となる．

フレックスロックアップ方式は，最先端の制御理論によりロックアップクラッチを少し滑らせこもり音低減とエンジン使用域の改善を低速域でも両立させるもので，今後の主流となると思われる．

7.4　新駆動系への期待

商品的なコンセプトはかなり異なってくるが，連続可変変速機(CVT)も期待される技術である．図10に従来の4ATのエンジン使用域とCVTで燃費最小線に適合した場合の使用域を示している．CVTは要求出力に対応して変速比の選択自由度が高くエンジン正味熱効率の最も高い運転条件を選択できる理想的な動力伝達機構である．運転条件がコンピュータで算出され，その条件にスロットルを調整する必要があるため，エンジンとしては電子制御スロットルの採用が望ましい．

CVTは，エンジン回転数が車速ではなく要求出力に対応している点で，試乗した人からは違和感が指摘されることもあったが，電子制御スロットルと最新の制御理論でドライバーの意図に的確に反応する応答性の高い制御ができる可能性がある．

今は伝達トルクの制約から小さな車両に限定して実用化されているが，将来，高トルクに対応するものが登場すれば普及に拍車がかかると考えられる．エンジン側としての課題は，今後主流となると思われる新駆動システムの特性にあったエンジン性能向上を行うことである．

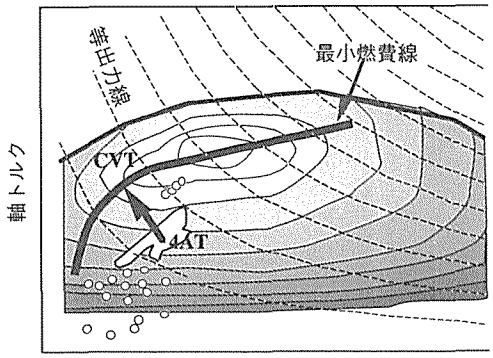


図10　CVTによる燃費向上の概念

8　むすび

内燃機関は100年の歴史を持って進歩してきた．やるべき事はやり尽くし，内燃機関の時代ももう終わるのではないかという向きもある．しかし，燃料の供給体制，車両のサービス体制の充実，内燃機関の完成度の高さと扱い易さなどを考慮すれば，代替できるほどの動力源は他には見あたらない．さらに，ここで述べたように，まだ発展しつつある技術である．今後も相当の長きにわたり，内燃機関は動力源の主流で有り続けると思われる．だからこそ，地球環境問題，都市環境問題，資源問題への真摯な取り組みが求められている．我々は車としての本来の機能をさらに進化させるとともに，よりよい環境の実現を目指し，ここで取り上げた多くの項目を通じ，不断の努力を継続していく．

■著者



森光　信孝

低燃費5W-20ガソリンエンジン油の開発

Development of Fuel Economy 5W-20 Gasoline Engine Oil

秋山　健優*　　河合　博美**　　杉山　真一***
Kenyu Akiyama　Hiromi Kawai　Shinichi Sugiyama

要旨

従来の5W-30ガソリンエンジン油に比較して車両燃費を1.5%以上改善できる低燃費5W-20ガソリンエンジン油を開発した．この低燃費5W-20ガソリンエンジン油の燃費改善効果は10,000kmまで持続する事ができる．開発に当っては燃費改善効果およびエンジンの摩耗の観点から最適な粘度に設定した．

また，摩擦調整剤のMoDTCにチアジアゾールを組合せる事により燃費改善効果を持続できた．

Abstract

A 5W-20 gasoline engine oil which improves vehicle fuel efficiency by more than 1.5% relative to a conventional 5W-30 gasoline engine oil was newly developed. Its high fuel economy performance lasts 10,000 km. The viscosity was optimized to satisfy both the fuel economy and antiwear performances. Thiadiazole was used to retain the initial fuel economy performance provided by MoDTC.

キーワード　エンジン油，燃費改善，5W-20，摩擦調整剤，ガソリンエンジン，トライボロジー

1　まえがき

自動車の燃費向上は資源枯渇・地球温暖化防止の観点から重要課題の一つである．車両の燃費向上の一手段として低燃費ガソリンエンジン油の採用が挙げられる．エンジン油の低燃費化技術としては低粘度化および摩擦調整剤の添加による低摩擦化が一般的である．低燃費ガソリンエンジン油による燃費向上はエンジン設計の改良に比べ燃費向上当りの費用の点でメリットが大きいため工場充填での採用が世界的に進んでいる．また市場においても10W-30より低粘度な5W-30の使用量が増加している．

しかしながら，5W-30よりも更に低粘度化した場合の燃費改善効果や機能上の問題点は明確となっていない．そこで最近のエンジンを用いて各種低粘度油を用いた燃費試験，摩耗試験，油消費試験を行い，摩耗や油消費を増加させずに燃費改善できる粘度を求めた．また各種添加剤は低摩擦効果や他材料との適合性を調査し選択した．最適粘度に設定し，かつMo系添加剤とS系添加剤を組合せた事により，燃費改善効果が従来の5W-30に比較して1.5%以上で，かつその効果が1万km以上持続できる5W-20が開発できた．

* 第1材料技術部
** 第1エンジン技術部
*** 第2エンジン技術部

2　粘度設定および摩擦調整剤選定

2.1　粘度の設定

粘度は燃費，エンジン摩耗および油消費との関係を調査して最適値を求めた．

2.1.1　燃費と粘度の関係

2.2Lエンジン搭載の車両で高温高せん断粘度（以降HTHS粘度と略す）と燃費改善率の関係を測定した結果を図1に示す．

HTHS粘度が3.3mPa·sから2.6mPa·sに低粘度化するに従って車両燃費が向上するが2.4mpa・sでは燃費が悪化する事が分かっている[1]．この悪化の理由はエンジンの摩擦部分における油膜切れによるものと考えられる．

2.1.2 エンジン摩耗と粘度の関係

ラジオアイソトープトレーサ手法を使ってピストントップリングの摩耗量と粘度の関係を測定した結果を図2に示す．HTHS粘度が2.6mPa·sまでは摩耗が増加しないが2.4mPa·sになると摩耗が増加する結果が得られた．なお，動弁系のカムおよびコンロッド軸受についても同様に検討したがほとんど粘度の影響がなかった[2]．

2.1.3 油消費と油粘度の関係

HTHS粘度とエンジン油の蒸発性（以降NOACK蒸発量と略す）を変化させた試作油の油消費量を測定した結果を図3に示す．油消費に対しては低粘度化の影響は少なくNOACK蒸発量の影響が大きいことが分かった．

これらの検討結果からエンジンの摩耗と油消費に悪影響を及ぼさずに燃費の向上が期待できるエンジン油の最適粘度はHTHS粘度が2.6mPa·sでありSAE粘度グレードは5W-20と言える．

2.2 摩擦調整剤の選定

エンジン油の低燃費化手法として低粘度化とともに低摩擦化が挙げられる[3]．ここではその一つの手法として摩擦調整剤の検討を行った．

2.2.1 供試添加剤

表1に検討した摩擦調整剤とそれに使用した油の試験結果を示す．低摩擦化のためにMoDTC：4種類，MoDTP：3種類を供試した．また低摩擦の持続性向上添加剤として5種類のS系添加剤を供試した[4][5]．TH-0はSJグレードの添加剤を加えたものでありMo系あるいはS系添加剤を添加していない．TH-1からTH-7はMo系添加剤がMo量で0.05mass%，TH-12からTH-16はS系添加剤がS量で0.1mass%添加した．

2.2.2 摩擦調整剤の選定方法（表1）

摩擦調整剤の選定はSRV摩擦試験機での100℃における摩擦係数（以降SRV μ と略す）の測定および他材料との適合性試験により行った．

Mo系添加剤はSRV μ を0.16(TH-0;無添加油)から0.05～0.08に下げる効果がある事が分かった．

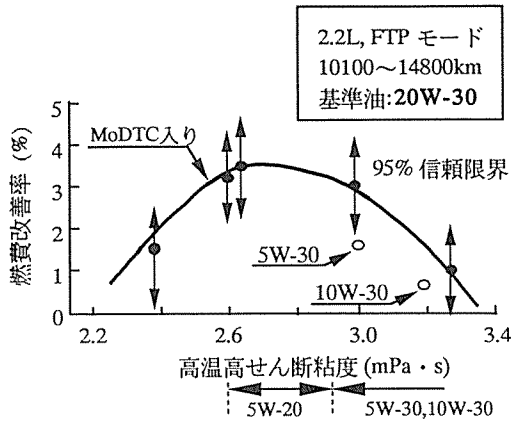


図1 高温高せん断粘度と燃費改善率との関係

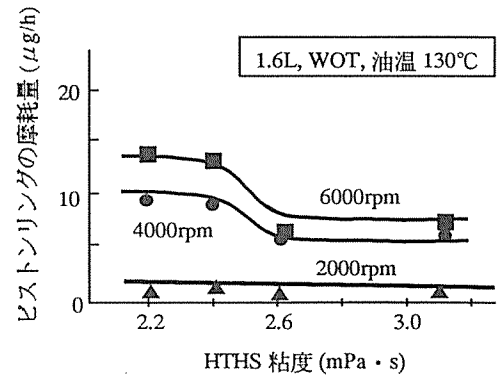


図2 ピストンリングの摩耗に及ぼすHTHS粘度の影響

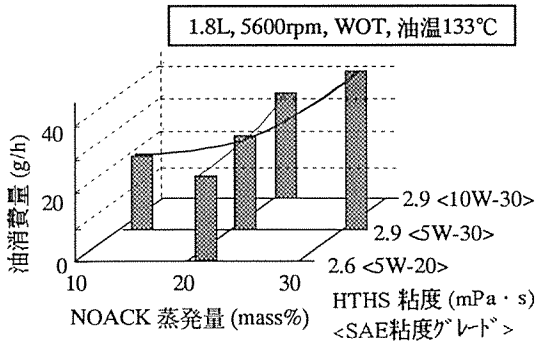


図3 油消費に及ぼすNOACK蒸発量とHTHS粘度の影響

またS系添加剤はSRV μ を下げない事を確認した．

一方，他材料との適合試験はオーバーレイ付ケルメットおよびアルミ軸受，アクリルゴム，ふっ素ゴム，6および6.6ナイロン，液状ガスケット（Formed in Place Gasket：以下FIPGと略す）を高油温で油中浸漬して軸受腐食，有機材料の物性変化，接着強度などの変化をTH-0（無添加油）と比較した．その結果ほとんどのMo系添加剤は他材料への影響が少ないが，TH-7；MoDTPはナイロンおよびFIPGに及ぼす影響が大きいことが分かった．また，各種のS系添加剤の中でTH-12および13；カーバメイトがふっ素ゴムに及ぼす影響が大きい事が分かった．現在原因と部品への影響度を調査中であるが使用に当っては充分に配慮が必要である[6]．

上記の結果を踏まえ低摩擦で他材料の適合性の良い摩擦調整剤を選択した．

3 開発油の組成

開発油の組成と品質を表2に示す．組成の特徴はNOACK蒸発量の少ない高粘度指数基油を使用した点と摩擦調整剤としてはTH-1およびTH-2；MoDTCおよびTH-16；チアジアゾールを用いた点が挙げられる．品質はAPI SJ, ILSAC GF-2, SAE 5W-20, HTHS粘度2.65mPa・sであり，低蒸発性と低い摩擦係数を有している．

4 開発油の燃費改善効果

開発油5W-20の燃費改善効果を実車で測定した．

4.1 初期燃費改善効果

6台の車両を用いて10.15モードならびにFTPモードで5W-30を基準として開発油5W-20の初期

表1 摩擦調整剤の他材料との適合性試験結果

油NO.	摩擦調整剤	SRV μ	軸受 *1	ｱｸﾘﾙｺﾞﾑ *2	ふっ素ｺﾞﾑ *3	ナイロン *4	FIPG *5
TH-0	無添加	0.16	基準	基準	基準	基準	基準
TH-1	MoDTC	0.06	○ 影響なし	○	○	○	○
TH-2	MoDTC	0.05	○	○	○	○	○
TH-3	MoDTC	0.06	○	○	○	○	○
TH-4	MoDTC	0.05	—	○	○	○	○
TH-5	MoDTP	0.07	○	○	○	○	○
TH-6	MoDTP	0.06	—	○	○	○	○
TH-7	MoDTP	0.08	○	○	○	▲ 影響大	▲
TH-12	ｶｰﾊﾞﾒｲﾄ	0.16	○	○	▲	○	○
TH-13	ｶｰﾊﾞﾒｲﾄ	0.16	○	○	▲	○	○
TH-14	ｼﾞｻﾙﾌｧｲﾄﾞ	0.16	○	○	○	○	○
TH-15	硫化ｵﾚﾌｨﾝ	0.16	—	○	○	○	○
TH-16	ﾁｱｼﾞｱｿﾞｰﾙ	0.16	○	○	○	○	○

*1; 油温 130℃×500h, *2; 油温 150℃×500h, *3; 油温 175℃×500h
*4; 油温 150℃×240h, *5; 油温 120℃×240h

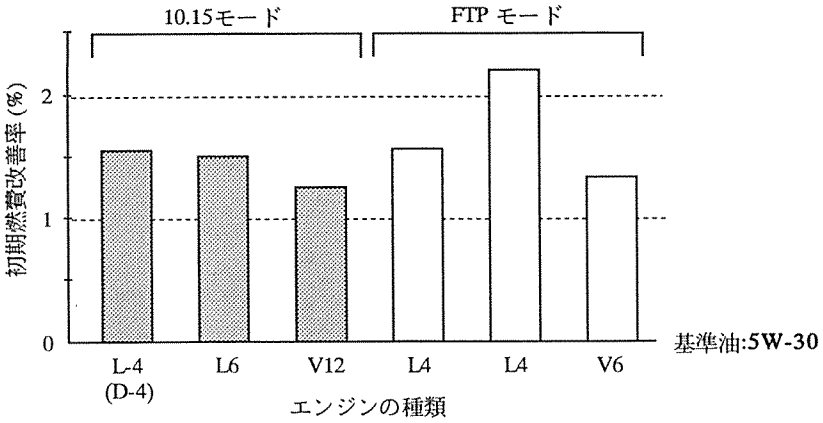


図 4　開発油5W-20の初期燃費改善率

表 2　開発油5W-20の組成と品質

組成	基油 摩擦調整剤 (mass%) DI ﾊﾟｯｹｰｼﾞ 添加剤	高粘度指数基油 MoDTC, Mo; 0.065 ﾁｱｼﾞｱｿﾞｰﾙ, S; 0.07 添加
品質	API ILSAC SAE	SJ GF-2 5W-20
	引火点 (℃) 動粘度 (mm2/s) 40℃ 100℃ 粘度指数 硫酸灰分 (mass%) HTHS 粘度 (mPa・s) NOACK 蒸発量(mass%) SRV μ ,100℃ 元素分析 (mass%) Mo S P	218 42.1 8.3 177 1.0 2.65 14 0.05 0.065 0.37 0.095

燃費改善効果を測定した結果を図 4 に示す.

開発油5W-20は5W-30と比較して1.2から2.2%の初期燃費改善効果があり, 6 車種の平均で約1.6%の初期燃費改善効果が有ることが明らかとなった.

4.2　燃費改善効果の持続性

新品エンジンを用い, 0 kmで燃費測定を実施した後, 11ラップ55モード走行で油を劣化させてから再び燃費測定をする試験を実施した[4].

4.2.1　供試油

開発油5W-20, MoDTCを添加しているがS系添加剤を使用しない試作油5W-20および市場で代表的な5W-30の 3 油種を供試した.

4.2.2　燃費改善効果の持続性

結果を図 5 に示す. 試作油5W-20ならびに開発油5W-20は走行初期で5W-30と比較して約3.5%の大きな効果が得られた. また走行とともに試作油5W-20は効果が減少するのに対して開発油5W-20は10,000kmまで効果が持続することが確認できた. この結果からMoDTCとチアジアゾールの組

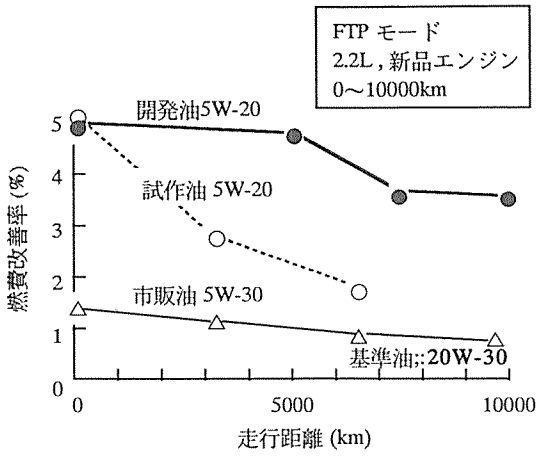


図 5　開発油5W-20の燃費改善効果の持続性

合せが燃費改善効果の持続性の点で有効であると言える．理由はチアジアゾールが摩擦表面に生成されるMoS$_2$低摩擦被膜のS供給剤として働いているためと考えている[4][5]．

4.2.3 使用油のHTHS粘度の変化（図6）

開発油5W-20のHTHS粘度は2.6mPa·sで安定している．5W-30は一度粘度低下しやや上昇の傾向にある．

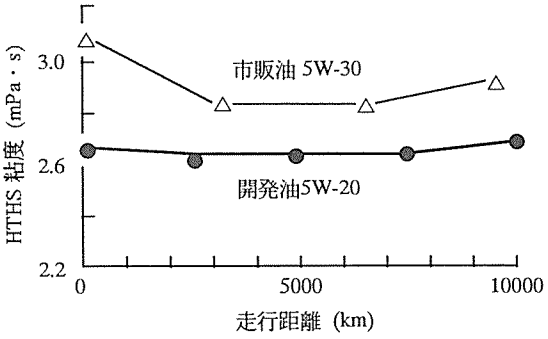


図6　HTHS粘度の変化

4.2.4 使用油のSRV μ 変化（図7）

開発油5W-20のSRV μ は約7,500kmまで低いことが確認できた．

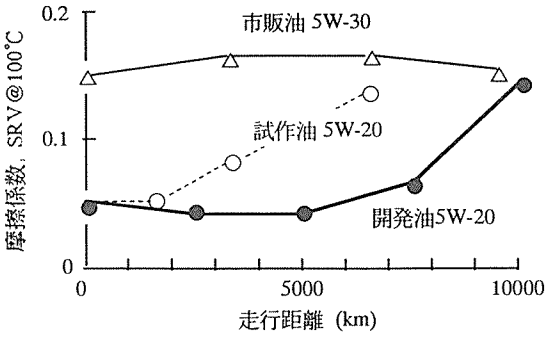


図7　摩擦係数の変化

5　むすび

最近のエンジンを用いて種々の検討を行った結果次の点が明らかになった．

(1) 開発油5W-20は6車種の初期燃費試験において5W-30に比較して平均で1.6%の燃費改善効果が得られた．

(2) 開発油5W-20は新品エンジンの10,000km燃費試験において，走行初期に5W-30に比較して3.5%の燃費改善効果が認められ，若干効果が減少するものの10,000Kmまで効果が持続する．

(3) 低摩擦効果はMoDTCにS系添加剤の一つであるチアジアゾールを組合せる事により持続させる事が出来る．これはチアジアゾールが低摩擦被膜であるMoS$_2$生成に必要なSの供給剤として働いているためと考える．

(4) エンジンの摩耗と油消費を増加させずに燃費向上できるエンジン油の最適粘度はHTHS粘度が2.6mPa・sおよび5W-20である．また，油消費に関しては油粘度よりも油蒸発量の抑制が重要である．

(5) 摩擦調整剤のMoDTCを添加する事により摩擦係数を0.16から0.05～0.06へ低摩擦化できる．

6　謝辞

この開発に御協力頂いた大豊工業株式会社，NOK株式会社，東レ株式会社，株式会社スリーボンド，信越化学工業株式会社の方々ならびに株式会社ジャパンエナジー，東燃株式会社，エッソ石油株式会社，日本石油株式会社，旭電化工業株式会社，日本ルブリゾール株式会社の方々および株式会社豊田中央研究所の方々に深く感謝致します．

■参考文献

(1) Kenyu Akiyama, F. Ueda, J. Miyake, K. Tasaka, S. Sugiyama : Fuel Economy Performance of the Highly Efficient Fuel Economy Oils Using Chassis Dynamometer Test. SAE Paper 932690 (1993)

(2) 遠山護，大森，山本，秋山，河合ほか：エンジン各部の摩耗に及ぼすエンジン油粘度および摩擦調整剤の影響．㈳日本トライボロジー学会トライボロジー会議予稿集(北九州)，P. 120 (1996)

(3) Kiyoshi Inoue, E. Tominaga, K. Akiyama, T. Ashida : Effects of Lubricant Composition on Fuel Efficiency in Modern Engines. SAE Paper 951037 (1995)

(4) 秋山健優，菊池，杉山，芦田，田中：エンジン油の燃費改善効果の持続性，㈳自動車技術会学術講演会前刷集，P. 207, JSAE 9535279 (1995)
(5) Katsuya Arai, M. Yamada, S. Asano, S. Yoshizawa, H. Ohira et al. : Lubricant Technology to Enhance the Durability of Low Friction Performance of Gasoline Engine Oil. SAE Paper 952533 (1995)
(6) 黒野晃一，大脇，鈴木，秋山，塩野谷：ふっ素ゴムに及ぼすエンジン油添加剤の影響調査，㈳自動車技術会学術講演会（広島）で発表予定（1997）

■著者


秋山　健優


河合　博美


杉山　真一

自動変速機(AT)における燃費向上技術

The Key Technology of Automatic Transmission Contributing to Fuel Economy

中村　信也*　Sinya Nakamura
小嶋　昌洋*　Masahiro Kojima
河野　克己*　Katsumi Kohno

要旨

近年，地球環境問題に対する社会的要請が高まる中，自動変速機（以下AT）においても動力伝達効率向上に向けた改善が実施されている．

ATの動力損失の大半はトルクコンバータが占めており，本報では以下の二つのトルクコンバータ部の損失低減技術について述べる．一つ目はロックアップスリップ制御でロックアップクラッチを定常的に滑らせてエンジンからの変動成分を減衰しつつ動力伝達効率の向上を狙うものである．二つ目はトルクコンバータの内部流れに三次元乱流解析を適用した流路形状最適化である．

こうした新技術を通してAT車の燃費向上に大幅に貢献することができた．

Abstract

In recent years, technologies for reducing fuel consumption are becoming more important than ever, due to the heightened global interest in protecting the environment. In line with this trend, various improvements are also being made to enhanse the transmission efficiency of automatic transmissions.

As a result of the research of the power loss in the automatic transmission, it is found that a torque converter incurs the largest loss. This paper mainly shows the new technologies of a torque converter. The first one is a torque converter lock-up clutch slip control. This system engages the lock-up clutch by applying a steady slip speed to prevent the torque fluctuation of the engine to be transmitted to the drivetrain while enhancing the transmission efficiency of the torque converter. The second one is a new design procedure of the flow passage through computational fluid dynamics. Three-dimensional incompressible turbulent flow within a flow passage is numerically analyzed.

These new technologies are now contributing to large-scale fuel economy.

キーワード　自動変速機，スリップ制御，トルクコンバータ性能，燃費向上

1　はじめに

近年，地球環境に対する社会的要請や化石燃料の枯渇などの問題を背景にクリーンで効率の良い製品の開発，自動車産業においては車両燃費向上が最も緊急を要する課題となっている．

乗用車における自動変速機（以下AT）の装着率は80%を超える状況にあり，これまでAT車の燃費向上（図1）については，多段化，電子制御化，ロックアップ機構採用等によりその一翼を担ってきた．しかし，依然としてAT車は手動変速機車と比較し一般的に10～15%程度モード燃費が悪く，AT車の燃費向上の重要性はますます高くなっている．ここでATの損失解析により燃費悪化の要因を探ってみた．図2に従来AT車の車速60 km/h緩加速状態での損失要因解析例を示す．トルクコンバータ（図3）部における損失低減が最重要課題であることが分かる．

以下にAT車の燃費向上への取り組みとして，メインとなるトルクコンバータ部の損失低減技術であるロックアップクラッチスリップ制御とスーパーコンピュータによる数値解析を駆使した流路形状設計について紹介する．

* ドライブトレーン技術部

2　ロックアップクラッチスリップ制御

AT車の特徴として，滑らかな加速フィーリング，スムーズな変速などが挙げられるが，これはトルクコンバータ部の流体を介した動力伝達により得られたメリットであり，相応の動力損失を前

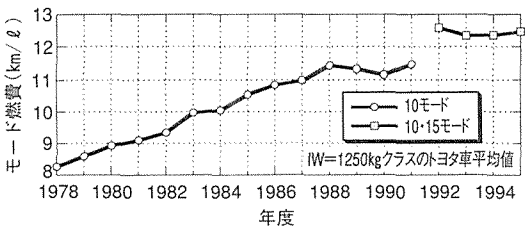


図1　AT車のモード燃費の変遷

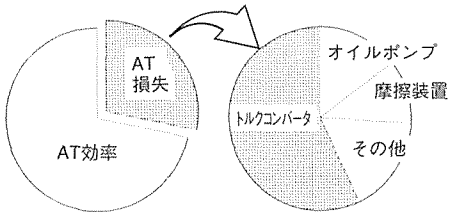


図2　ATの損失要因

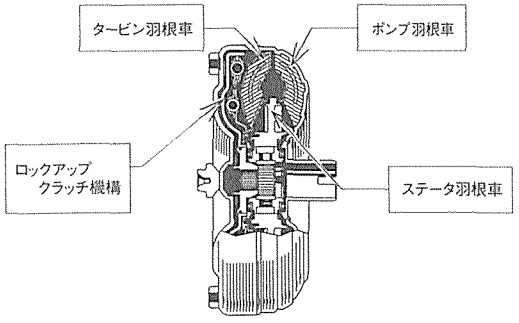


図3　トルクコンバータの構造

提としていた．そこで，前述のトルクコンバータのメリットを維持しつつ動力伝達効率を大幅に向上させることを狙ってロックアップクラッチスリップ制御（以下スリップ制御）システム[1]を開発した．

スリップ制御の製品化に際しては以下の大きな開発課題があった．

(1) 高応答かつロバスト性を有し，スリップ回転数を精度良くコントロールする制御システム
(2) 摩擦係合要素の一般的な用途と異なる滑り状態での使用を許容し安定した摩擦特性を提供するトライボロジ材料

以下にこうした課題への対応を含めスリップ制御について紹介する．

2.1　作動概念

従来からAT車燃費向上の観点でロックアップ機構は採用済である．ロックアップクラッチを係合させると，トルクコンバータの入力軸と出力軸が直結状態となり最大の伝達効率が得られる．

しかし，低車速域ではエンジンの燃焼に伴うトルク変動が大きく，内蔵のダンパ機構ではそうした変動成分を吸収できないため車両振動の面から市街地走行などの車速域ではロックアップの恩恵を受けられなかった．

スリップ制御は，所定のスリップ回転を定常的に与えた状態でロックアップクラッチを係合使用する技術である．図4にスリップ制御実行時のトルクコンバータ部のパワーフローを示す．図示した通り，動力はトルクコンバータ流体部（流体伝達）とクラッチ部（機械伝達）の両方を経由して伝達され，両者の分担割合はスリップ回転数が大きいほど機械伝達の割合が低下し流体伝達の割合が高まる．即ち，スリップ回転数の設定により任意の分担率を選択できる．図5に示すように流体伝達の分担率を高めるとトルク変動伝達レベルは低下するが，同時に流体損失により動力伝達効率が低下してしまう．そこで，車両振動に対する要求から変動レベルが問題にならない最小の流体分担率を狙ったスリップ制御を実行すれば車両振動を問題にすることなく動力伝達効率向上を実現できる．

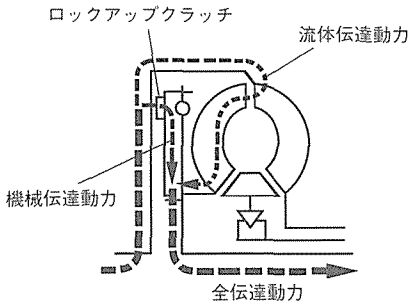


図4　スリップ制御時のパワーフロー

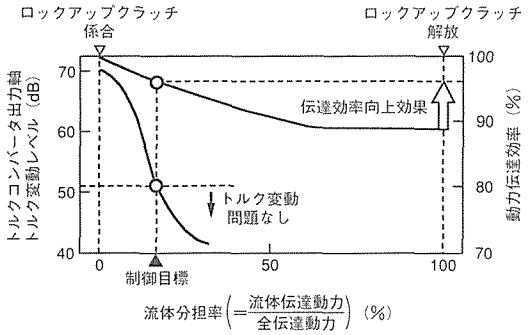


図5　スリップ制御による振動減衰と伝達効率

2.2　スリップ制御システム

スリップ量を所定値に制御するために図6に示すシステムを採用している．回転センサにて検出されたスリップ量と走行状態に応じた目標スリップ量を比較し，スリップ量が目標値に一致するよう油圧制御装置への司令値を操作量としたフィードバック制御することでクラッチ係合油圧を連続的に調整する形をとっている．

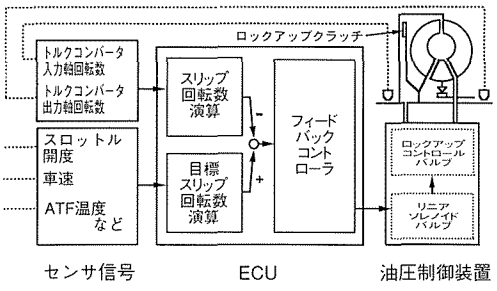


図6　スリップ制御システム

図7に油圧制御回路を示す．ロックアップクラッチの伝達トルク容量は係合側油圧と開放側油圧との差圧をリニアソレノイドバルブにて調整し制御する．リニアソレノイドバルブは電流に比例的な油圧を発生させるアクチュエータで，本システムへの適用に際し，高い応答性を得られるよう電磁部の磁路設計を最適化した．

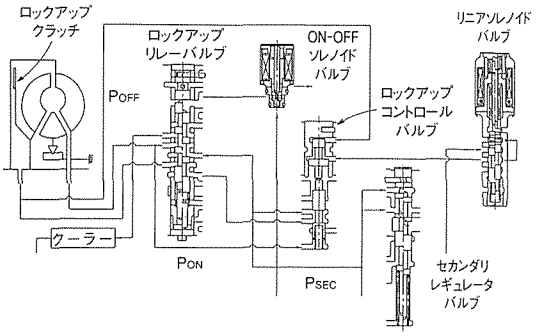


図7　油圧制御回路

図8にスリップ制御の実行領域を示す．従来ロックアップ機構を活用できなかった車速域（市街走行などでの常用域）まで制御を拡大した．またスロットル全閉時においてもスリップ制御を実施している．この場合スリップ制御によりエンジン回転数が引き上げられるため車両減速時のフューエルカット時間が延び燃料消費量を低減できる．

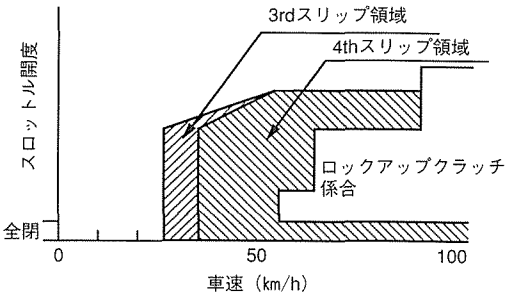


図8　スリップ制御領域

2.3　スリップ制御を支える技術

2.3.1　フィードバック制御システム

スリップ量を制御する心臓部であるフィードバック制御システムは運転状態の急な変化にも即応できる応答性を確保しつつ種々のバラツキ要素や経時変化に対応するロバスト性を保証するものにする必要がある．

こうした要求に応えるべくフィードバックコントローラに量産品では世界初となるH∞制御理論の適用[2]を図った．H∞制御理論は，周波数領域における整形の考え方を制御系設計に導入し，周波数応答のゲインの最大値であるH∞ノルムを評価関数として具体的な設計ができるようにしたものである．

H∞コントローラの効果として同等の応答性を有するPIDコントローラ（従来技術）との特性変動時のステップ応答特性の例を示す．

図9はクラッチ部の摩擦係数が変化した状況を想定し，人為的に制御対象の定常ゲインを2倍に操作したケースである．

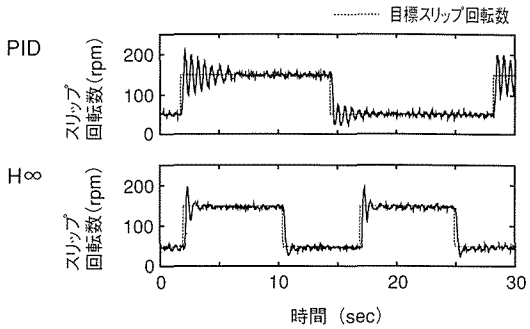


図9　摩擦係数変化時のステップ応答性

また，図10は耐久走行後の劣化ATF（Automatic Transmission Fluid）及び摩擦材における結果である．このようにシステムとして高い信頼性を確保している．

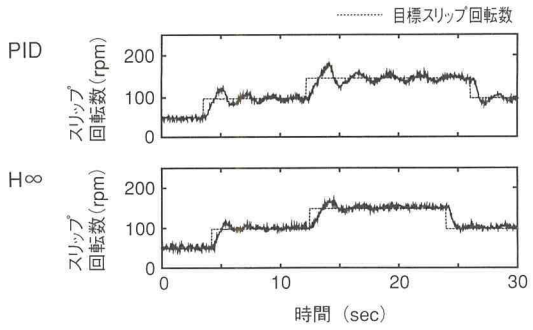


図10　ATF，摩擦材経時劣化時のステップ応答性

2.3.2　ATF，摩擦材

クラッチを定常的な滑り状態で使用するスリップ制御では，ATFや摩擦材には特に優れた耐久性が必要となる．また，高精度のスリップ制御を行うために摩擦特性の長期に渡る安定性も求められる．スリップ制御に適した摩擦特性としては摩擦係数－滑り速度特性（μ－V特性）における正勾配性（dμ／dV＞0）がひとつの判断基準となる．負勾配を呈すると自励振動(ジャダー)を発生しやすいことが知られている．更に，良好なμ－V特性と静的なクラッチ伝達トルク容量が背反する傾向にあり，これらの要件の両立も課題であった．

ATFの添加剤の処方の最適化[3]や摩擦材の組成を基本から見直した新材料の開発に並行した摩擦係合面の微視的な研究[4]を通して静的トルク容量を確保しつつ優れた摩擦特性を経時的に安定して確保する材料の開発に成功した．

図11に従来品とスリップ制御用の開発品との摩擦特性の耐久性の比較の一例を示す．

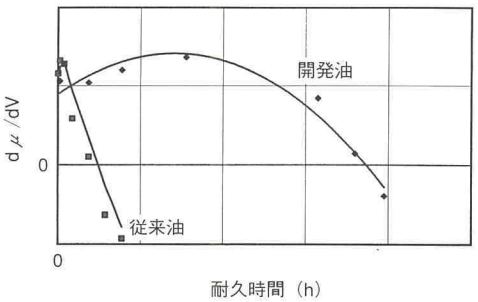


図11　ATF耐久性の測定例

2.4　スリップ制御の効果

図12に10・15モードにおけるロックアップクラッチの作動頻度と各ポイントにおけるトルクコンバータ部伝達効率を示す．スリップ制御により伝達効率が大幅に改善されている．

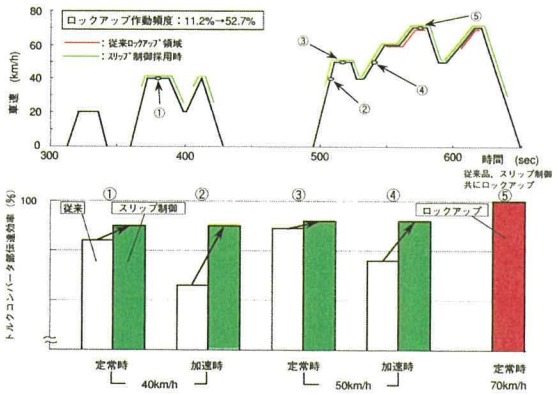


図12　10・15モード走行時の状況

3　高性能トルクコンバータ

トルクコンバータはATの良さを引き出す反面，流体による動力伝達のため損失が避けられないというデメリットを抱えている．ここでは流体駆動時の動力損失低減を狙ったトルクコンバータ内部流解析の活用による最新の設計について紹介する．

3.1　トルクコンバータの構成

トルクコンバータは前述の通り流体を介して動力を伝達する装置である．構成としては**図3**に示すように相対する位置に配置されたポンプとタービン及びその間に配置されるステータの3つの羽根車で構成される．

3つの羽根車はそれぞれ独立した回転数で，しかも運転状態により異なった回転条件にある．

また，流路形状的には複雑な3次元的形状を呈しており，個々の羽根車の羽根枚数も相互に異なるうえ作動時には3つの羽根車を巡る循環流を形成する圧力容器であるため，トルクコンバータ内部流れを把握して性能向上につなげることはたいへん困難であった．

3.2　トルクコンバータ設計支援システム

従来，トルクコンバータを構成する各羽根車の設計に関しては，内部流れを準1次元的に捕え，羽根車の角運動量に着目した設計手法に基づき経験則的な要素を加味して実施してきた．実機トル

クコンバータ内部流れの把握に向けた解析[5]も積極的に取り組まれてきたが，スーパーコンピュータに代表される強力な計算能力が確保されるようになってから内部流れ解析が本格化した．

トルクコンバータ流路内に理想的な流れを仮想した場合の圧力バランスに着目した流路形状設計法[6]とトルクコンバータ特性に影響の大きいステータ設計においてエネルギ損失に直結する剥離流を効果的に抑制する翼断面形状を逆問題解法的に導く設計法[7]とをベースに３つの羽根車を循環する流れを定量的に把握するための３次元粘性流計算[8]に剥離，再付着を伴う乱流場への適用を考慮した乱流モデルを組み込んだ計算ツールを組み合わせたトルクコンバータ設計支援システムを構築した．運用に際しては，実用的な計算時間（CPUタイムで十数時間）で５％程度の誤差精度での性能予測が可能である．

本システムを通して設計を実施したトルクコンバータの一例を図13に示す．これは，速度比0.8におけるタービン子午面断面における速度ベクトル図であるが，流路途中での流れの乱れが効果的に抑制されているのが分かる．

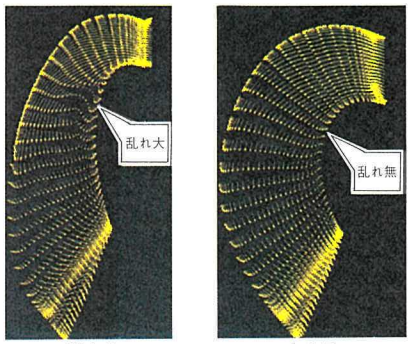


図13　タービン内速度ベクトル線図（速度比0.8）

また，トルクコンバータの流れの評価には散逸関数という局部的なエネルギロスの分布状態を表わすメジャーを採用し判断を容易にした．

複雑な内部流れの様相を捕えやすいようにグラフィクス面も工夫した．（図14参照）

また，図15に本設計支援システムを用いた流路設計例を示す．

こうした技術開発に並行して，計算結果及びその仮定の妥当性の確認や依然として残る経験則的な面をクリアにする目的で実験検討も実施した．

ステータ部では，X型熱膜センサを用いた流速

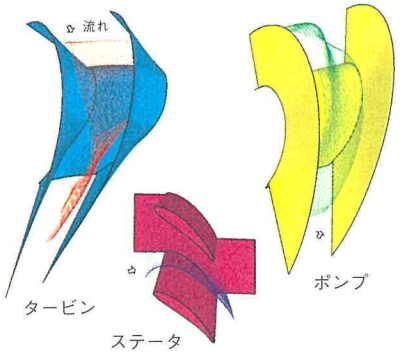


図14　トルクコンバータ内部流れ（流線図）

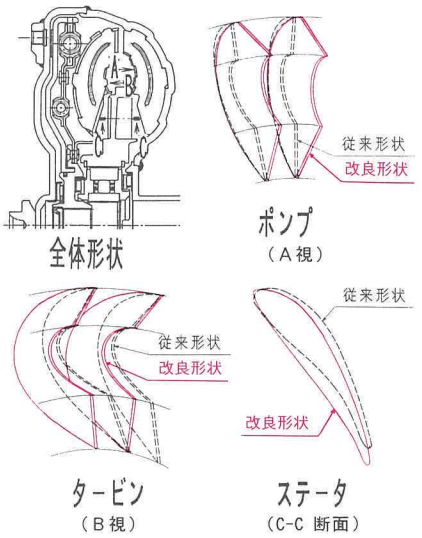


図15　トルクコンバータ流路の改良

測定や小型圧力センサを用いた翼面圧力分布測定，入出力軸の取り回しを工夫して実機状態の流れをステータ前後の自由流路を含めレーザー流速計を用いた計測[9]を行い，タービンやポンプ内の流れについても実験的なアプローチによる定量評価などの検討を通して設計支援システムをより実用的なものとすることに貢献した．

3.3　トルクコンバータ性能改良

トルクコンバータ性能改良としては図16に示すような観点で実施している．

(1) 内部流れのスムーズ化による流体損失抑制でトルクコンバータの伝達効率（η）の向上．
(2) 停止状態の引き摺りトルク低減のため速度比０における容量係数（C）抑制．

(3) 巡航時のトルクコンバータの滑り量を低減し高効率域の多用を狙う．高速度比における容量係数のアップにより滑り量の抑制を実現．
(4) 車両発進性を踏まえトルク比(t)を確保．

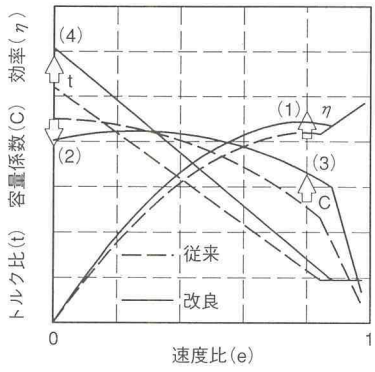


図16　トルクコンバータ性能改良

4　おわりに

ここに紹介した技術により10・15モードにて約10%の燃費向上効果が見込まれている．(図17)こうしたAT燃費向上技術は主要車種に既に展開され好評を博している．今後，更に多くの車種への展開を計画しており，車両燃費向上のキーテクノロジーのひとつとして大きく貢献していく．

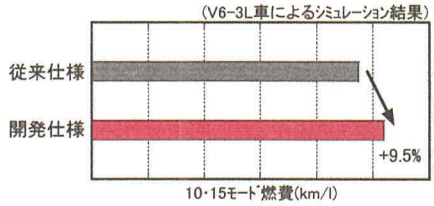


図17　10・15モード燃費向上効果

■参考文献

(1) K. Kono, H. Itoh, S. Nakamura, K. Yoshizawa, M. Osawa : Torque Converter Clutch Slip Control System. SAE Paper 950672 (1995)
(2) M. Osawa, R. Hibino, M. Yamada, K. Kono, Y. Kobiki : Application of H∞ Control Design to Slip Control System for Torque Converter Clutch. IFAC Advances in Automotive Control (1995)
(3) T. Kugimiya, J. Mitsui, N. Yoshimura, H. Kaneko, H. Akamatsu et al. : Development of Automatic Transmission Fluid for Slip-Controlled Lock-up Clutch Systems. SAE Paper 952348 (1995)
(4) A. Suzuki, K. Hayashi, Y. Kotani, Y. Nagasawa, S. Sanda : Mechanism of Friction of Wet Clutch with Paper Based Facing 2 The Effect of Surface Behavior for μ-v Characteristics. International Tribology Conference, Yokohama 1995 (1995)
(5) A. Numazawa, F. Ushijima, K. Fukumura, T. Ishihara : An Experimental Analysis of Fluid Flow in a Torque Converter. SAE Paper 830571 (1983)
(6) A. Hoshino, T. Goto, T. Akashi, T. Ishihara, I. Fujita : A Consideration on Performance Improvement of Hydraulic Torque Converter. ASME Fluid Eng. Div., Vol. 100 (1990)
(7) 近藤靖裕，山田，今井，伊藤，小嶋：逆問題解法によるトルクコンバータ・ステータ翼形状決定法．日本機械学会流体工学部門講演会講演論文集 No. 95-19 (1995)
(8) K. Abe, T. Kondoh, K. Fukumura, M. Kojima : Three Dimensional Simulation of the Flow in a Torque Converter. SAE Paper 910800 (1991)
(9) H. Watanabe, T. Kurahashi, M. Kojima : Flow Visualization and Measurement of Torque Converter Stator Blades Using a Laser Sheet Lighting Method and a Laser Doppler Velocimeter. SAE Paper 970680 (1997)

■著者


中村　信也

小嶋　昌洋

河野　克己

D-4エンジンの開発

Development of D-4 Engine

益城　善一郎*　松下　宗一**　郷野　武*
Zenichiro Mashiki　Souichi Matsushita　Takeshi Gouno

要旨

燃料を直接シリンダー内に噴射し，絞り損失，冷却損失がより少ない超希薄燃焼（成層燃焼）を可能にした直噴ガソリンエンジン（TOYOTA D-4）を開発，商品化した．成層燃焼を実現させる主要構成として，深いキャビティを持つピストン，高圧燃料噴射弁，SCV付独立ヘリカルポートをもつ．また，成層燃焼と均質燃焼をつなぐ部分に弱成層燃焼を用いることにより，トルクの連続性を確保している．EGRガスの導入，NOx吸蔵還元型触媒の採用により，NOxを削減している．電子制御スロットルバルブを用いることで様々な運転状態に応じた制御を可能としている．これらのシステムにより，エミッションの要求を満足しつつ燃費向上を果たした．

Abstract

A new direct-injection gasoline engine (Toyota D-4) has been developed which enables ultra lean-burn (stratified charge conbustion) by direct fuel injection into the cylinder for much less throttle and cooling losses. It features new technologies such as piston with a concaved cavity, high pressure fuel injection system, and swirl intake port to produce an optimum swirl in cylinder by variable controlled swirl control valve. A seamless output torque transition between stratified charge and homogeneous charge condition is achieved by using semi-stratified charge condition. NOx emission is reduced by using an electrically controlled EGR system and an NOx storage-reduction catalyst. Several controls are achieved by using an electronic throttle control system.

It has been confirmed that a vehicle with this system successfully improves fuel economy while satisfying emission requirements.

キーワード　筒内直接噴射，成層燃焼，スワール，燃料圧力，高圧燃料噴射弁，
電子制御スロットルバルブ

1　まえがき

近年，地球規模での環境問題がクローズアップされており，自動車においては特にCO_2削減，つまり省燃費が地球温暖化及び省資源の点で重要視されている．

ガソリンエンジンにおける低燃費化の有効な手段としてリーンバーンがあり，各自動車メーカーから商品化されている．また，更なる燃費向上手段として，燃料を筒内に直接噴射することによる成層燃焼が研究，報告されている．

筒内直接噴射成層燃焼エンジンは古くから研究されているが，その利点として，

(1) 絞り損失，冷却損失が少ない．

(2) 吸気温度が下がるため，対ノック性が良く，充填効率も高い．

(3) 応答性が良い．

などがある．しかし，下記のような課題もあり，商品化が困難であった．

表1　D-4エンジン主要諸元

排気量	1998（cc）
ボア×ストローク	86×86（mm）
気筒数	直列4気筒
吸排気バルブ数	4
圧縮比	10.0
燃焼室	ペントルーフ（深皿型ピストン）
吸気ポート	SCV付独立ヘリカルポート
燃料供給	筒内直接噴射
燃料圧力	8.0～13.0（MPa）
燃料	レギュラー

* 第1エンジン技術部
** 第2エンジン技術部

(1) 全運転領域で成層燃焼を行なうことが困難.
(2) 高負荷域でスモークが発生しやすい.
(3) 成層燃焼ではNOxが多い.
(4) 燃料噴射弁先端にデポジットが付きやすいため，安定した噴霧が得られにくい.

これらの課題を解決するためにD-4エンジンでは運転領域に応じて強成層燃焼，弱成層燃焼，均質燃焼を使い分けている．ここではその燃焼特性および，制御について述べる.

2 システム概要

表1にD-4エンジンの主要諸元，及び，図1に主要構成を示す．構成は主として下記の三つから成り立っている.

(1) 深いキャビティを持つピストン

成層燃焼時は，燃料が圧縮行程でピストンキャビティに入るように高圧で噴射される．スワールと噴霧の貫徹力により，燃料はキャビティ側壁に沿いながらプラグ方向へと流れる．その過程で燃料はピストン及び空間から受熱することにより蒸発し，可燃混合気を形成する．過半の混合気が点火プラグを通過した時点で点火が行われる．キャビティの形状は，点火プラグを通過した燃料が急速に拡散するように意図されており，スモークの発生を抑えている.

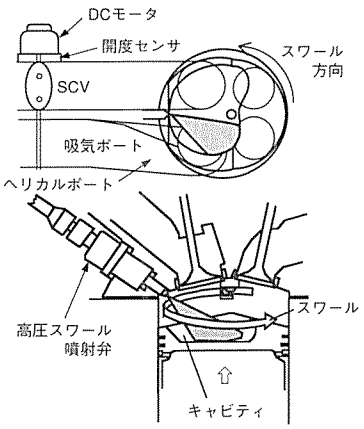


図1 成層燃焼実現の主要構成

(2) 高圧スワール燃料噴射弁

高圧噴射弁は，ノズル先端に旋回流(スワール)を与える構造になっており，燃料圧力を従来の約30～40倍（8～13MPa）とすることにより燃料を分散させることなく微粒化することで蒸発を促進し，混合気形成に必要な時間を短縮している.

図2に大気圧雰囲気下で12MPaで燃料を噴射したときの噴霧写真，図3に燃圧に対する平均噴霧粒径を示す．燃圧が高くなるにつれて噴霧粒径は小さくなり，12MPa付近でほぼサチュレートしてくる.

図4に燃料圧力に対する燃費改善効果を従来エンジン比で示す．低回転では燃料の集中を防ぐために低燃圧にして噴射時間を長くとり，高回転では燃料の過度の分散を抑制するために燃料圧力を高くして噴射時間を短くした方が燃費改善効果が大きい.

(3) SCV（スワールコントロールバルブ）付き独立ヘリカルポート

燃料がピストン表面と空間から受熱して蒸発しながら可燃混合気を形成するためにはシリンダ内に適度な気流が必要である．気流が弱いと燃焼後の火炎伝播速度が遅くなり，燃焼が不完全になり

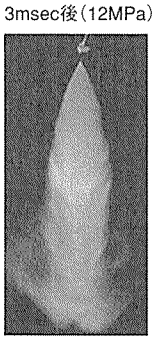


図2 噴霧写真

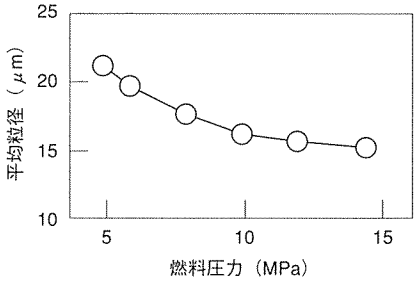


図3 燃圧が噴霧粒径に及ぼす影響

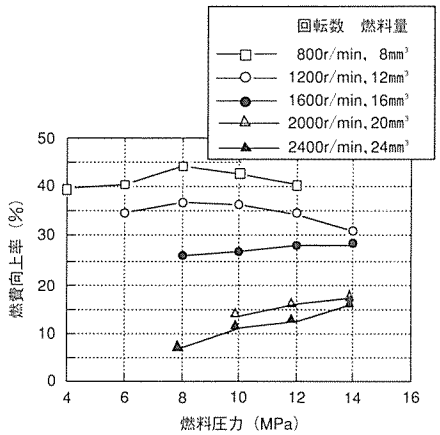


図4 燃費改善効果

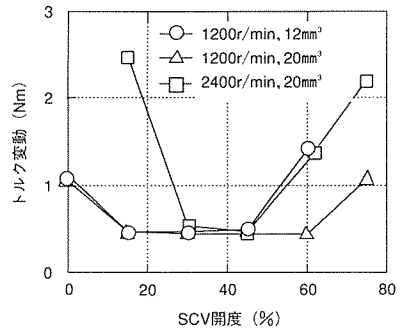


図5　SCV開度がトルク変動に与える影響

やすい．気流が強すぎると蒸発した燃料が分散してしまい，成層混合気が形成されにくい．一例として図5に成層燃焼時のSCV開度とトルク変動との関係を示す．SCVが閉じすぎても開きすぎてもトルク変動は悪化する．

成層混合気を形成するのに必要な気流の強さはエンジン負荷と回転数で変化する．その為，吸気ポートをストレートポートとヘリカルポートで構成し，ストレートポートには電子制御スワールコントロールバルブ（E-SCV）を設け，燃焼状態に応じた最適なスワール強度に制御している．スワール比はSCVを全閉にした状態で約2.1であり，均質燃焼ではSCVは全閉とすることで希薄燃焼を実現している．

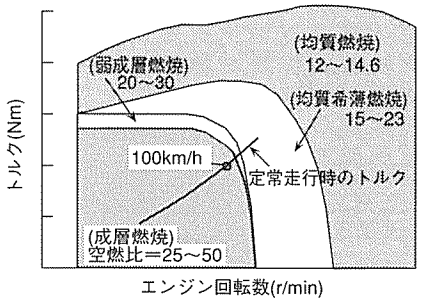


図6　運転域に対する燃焼方法

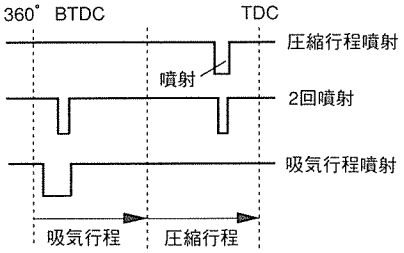


図7　燃料噴射制御パターン

3　D-4エンジンの燃焼コンセプト

図6に運転領域に対する燃焼方法を示す．中回転中負荷領域までは成層燃焼を行なう．高回転及び高負荷領域では吸気行程で燃料を噴射することにより，均質燃焼を行なう．また，この均質燃焼領域も希薄燃焼領域と，従来エンジンと同様に理論空燃比及びそれより濃い空燃比で運転を行う領域とに分けている．成層燃焼と均質燃焼とをつなぐ領域では，燃料を吸気行程と圧縮行程の2回に分けて噴射している．図7に燃料噴射制御のパターンを示す．このように負荷と回転数に応じた最適の燃焼形態をとることにより，最大限に燃費向上を図るとともに，トルクの連続性を確保している．

3　燃焼特性

3.1　軽負荷時（強成層燃焼）

図8に希薄燃焼限界とNOxの関係を示す．スロットルを全開にしてもエンジンは安定している．成層燃焼の場合，トータル空燃比としてはリーンでも点火栓近傍での空燃比は濃いため，NOxのピークは通常の均質燃焼エンジンよりもリーン側にずれる．EGRを徐々に増やしていくことによりNOxは低下し，この条件ではEGR率が35%の時NOxは約90%低減される．

3.2　中負荷時（弱成層燃焼）

図9に圧縮行程噴射，2回噴射，吸気行程噴射の燃焼特性を示す．成層燃焼のままで燃料を多くしていくとスロットルを全開にしても過濃空燃比領域が存在し，スモークが発生してくる．一方，吸気行程で噴射し均質混合気とした場合，成層燃

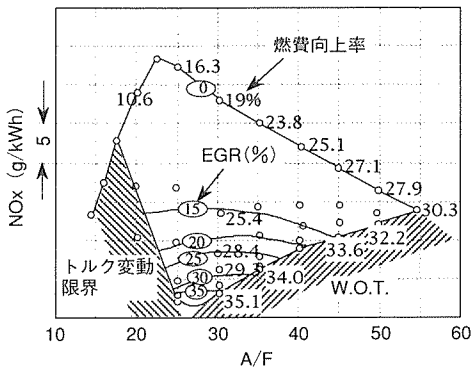


図8　EGR率とNOxの関係
（1200r/m，12mm³/st）

焼で要求されるスロットル開度のままでは，空気量が多すぎて失火してしまう．このスロットル開度の差は圧縮行程噴射と吸気行程噴射の間でのトルク不連続の原因となる．そこで，燃料を吸気行程と圧縮行程の2回に分けて噴射することにより弱い成層混合気を作り，スモークを発生することなく均質燃焼領域につなげている．

3.3 高負荷時（均質燃焼）

高負荷時には吸気行程で燃料を噴射することにより均質燃焼を行なう．先に示した通り，負荷に応じて希薄燃焼，理論空燃比での燃焼およびそれより濃い空燃比での燃焼を行う領域に分けている．

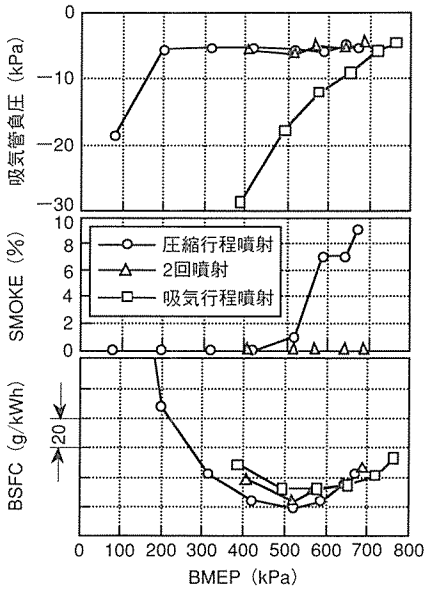


図9 中負荷での燃焼特性

4 D-4エンジンの制御

図10に制御システム構成図を示す．D-4エンジンのメリットを最大限に引き出すために，特有の制御をいくつか導入している．その代表的なものを示す．

4.1 基本噴射量制御

成層燃焼エンジンでは軽負荷領域でも空気量が多く，また，負荷が変化しても吸入空気量はあまり変化しない．そのため，吸入空気量で負荷の変化を判断することは困難である．そのためD-4エンジンでは低・中負荷領域ではアクセル開度と回転数から燃料噴射量を決めている．高負荷領域，及び冷間時には従来のエンジンと同様に，吸入空気量を吸気管負圧から算出し，それに基づいて燃料噴射量を決定している．

4.2 一弁式電子制御スロットルバルブの制御

理論的には成層燃焼ではスロットルバルブレスでの運転は可能であるが，主として以下の理由によりスロットルバルブが必要になる．

(1) NOxを減少させるために大量のEGRガスを導入する．そのため，ある程度の負圧を発生させる必要がある．

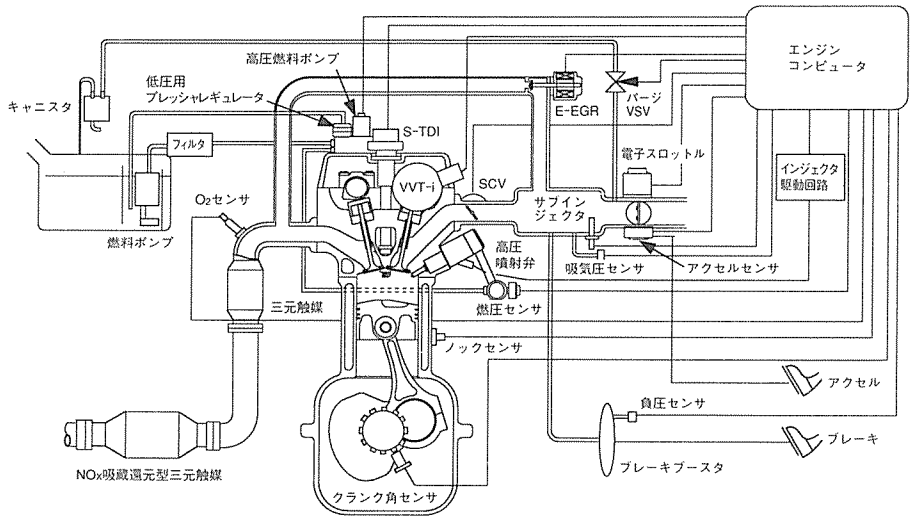


図10 システム図

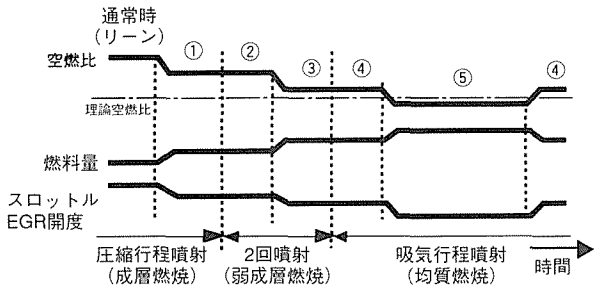


図11　リッチスパイク制御概略

(2) 冷間時には理論空燃比にするために吸気絞りが必要.

これらの要求を満たし，かつ，快適なドライバビリティを得るためにはメカニカルなリンク機構を持ったスロットルバルブでは困難であり，電子制御スロットルバルブを採用した.

また，電子制御スロットルバルブを用いることで以下の制御が可能となった.

(1) リッチスパイク制御

希薄燃焼時のNOxの浄化のためNOx吸蔵還元型三元触媒を用いている．NOx吸蔵還元型三元触媒は，希薄燃焼時にNOxを吸蔵し，極短時間，理論空燃比よりもリッチ化することにより吸蔵したNOxを還元する機能をもつ.

スロットル開度が同じままでの燃料増量によるリッチ化は，トルクが増加し，ドライバビリティの悪化原因となる．ポート噴射方式の希薄燃焼エンジンでは点火遅角を行うことで，等トルクのままでのリッチ化を行なう．しかし，成層燃焼の場合に燃料噴射量の増量を行うと点火プラグ周りが過濃となり燃焼が不安定となる．そのため，均質燃焼に切り替えてリッチ化する必要がある．成層燃焼と均質燃焼では等トルクのもとでは要求するスロットル，SCV，EGRの開度が大幅に異なるため，急激に均質燃焼へ切り替えると過渡的に燃焼が不安定となり，ドライバビリティの悪化が生じる．そこで，燃焼形態を成層燃焼→弱成層燃焼→均質燃焼と徐々に切り替え，最終的にリッチ状態へ移行する．この際，スロットルとEGRを閉じることによるポンプ損失の増加によって等トルクを実現し，燃費悪化を最小としている．**図11**に概略図を示す.

(2) ブレーキ負圧確保制御

一般的なブレーキシステムを持つ車の場合，吸気マニホールドの負圧によりアシストするが，成層燃焼では従来エンジンに比べて吸気絞りが小さいため，負圧が少ない．そのため，ブレーキの効きが悪くなることが懸念される．そこで，ブレーキブースタの負圧確保が必要な場合にスロットルを閉じることにより負圧を確保している.

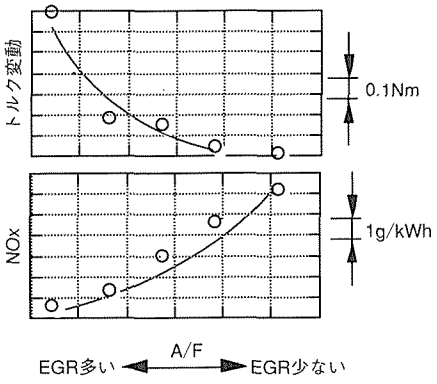


図12　成層燃焼でのトルク変動とNOxの関係

4.3　リーン及びEGRリミット制御

図12に成層燃焼でのA/Fとトルク変動，NOxの関係を示す．EGRを多くしていくとNOxは少なくなるがトルク変動も悪くなる．この様に，成層燃焼ではEGR量のバラツキがNOxやドライバビリティに大きく影響する．そこで，空気，EGR量のバラツキを補正する為に，クランク角センサを用いてトルク変動の代用値を算出し，それが目標値になるように成層・弱成層領域ではEGR及び空気量をフィードバックしている.

均質リーンバーン域では，燃料噴射量や空気量のバラツキが排気エミッション及びドライバビリティに大きく影響する．そこで，トルク変動代用値で燃料をフィードバックすることでリーン限界を探り，NOxを少なくしている.

4.4　高圧燃料ポンプ制御

図13に高圧ポンプの制御概略図を示す．燃料は低圧（フィード）ポンプで高圧ポンプに送られる．高圧ポンプ内のプランジャはカムシャフトに取りつけられたポンプ駆動用カムで駆動され，燃料を高圧デリバリパイプへ圧送する．燃料圧力をデリバリパイプに取り付けられた燃圧センサで読みとり，圧送量を補正している．先に示したように燃料圧力を運転条件に応じた最適値に制御する可変燃圧制御を採用している．また，必要な燃料量だけを圧送することにより，ポンプでの損失を最小にするようにしている．

5　性能

筒内に燃料を直接噴射することによる吸気の冷却効果により，レギュラーガソリンで10.0:1という高圧縮比を実現．更に，VVT-iと筒内噴射による吸気冷却により高体積効率を得て，従来エンジンに比べ約10%のトルク向上を果たした．(図14)

また，燃費性能としては等価慣性重量1250kgの4A/T車で10・15モードで約35%の燃費向上を果たした．(図15)

6　まとめ

(1) 燃焼形態を3パターンに分けることにより全域でスモークを抑制すると共に，トルクの連続性を確保した．
(2) 従来エンジンに比較し，トルクで約10%，燃費で約35%の向上を果たした．
(3) 直噴ガソリンエンジンの持つ高出力，省燃費の特徴を最大限に生かすために色々な制御を開発し，導入した．

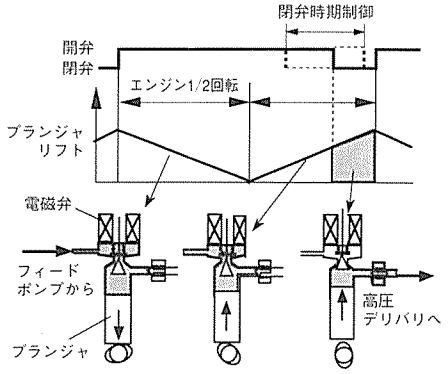


図13　高圧ポンプ制御

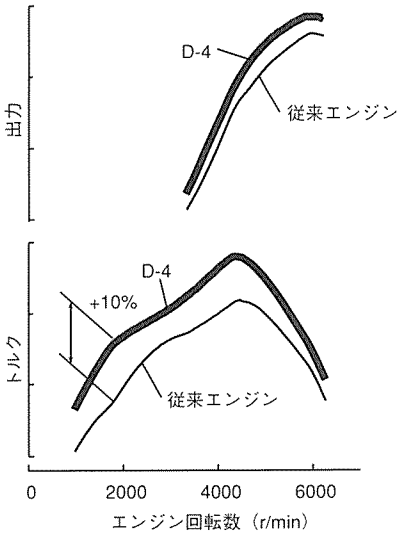


図14　出力性能

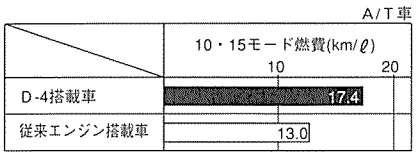


図15　燃費性能

最後に，D-4エンジンの開発に御協力頂いた関係各社の方々に感謝の意を表します．

■参考文献

(1) 松下宗一，中西清，郷野武，沢田大作：筒内ガソリンエンジンの燃焼特性．自動車技術会学術講演会前刷集965. 1996-10
(2) J. Harada, T. Tomita, H. Mizuno, Z. Mashiki, Y. Ito : Development of Direct Injection Gasoline Engine. SAE Paper 970540 (1997)

■著者


益城　善一郎


松下　宗一


郷野　武

電気自動車「RAV4 EV」について

Electric Vehicle "RAV4 EV"

木下　雅夫*　　木村　貞博*
Masao Kinoshita　　Sadahiro Kimura

要旨

近年人々の使う機器の種類や数の増加が著しい．個々の機器は，最新の技術を駆使して，省エネルギ化，排出ガス抑制や低騒音化を進めているが，全体としてはCO_2による地球温暖化，酸性雨や騒音公害等が問題になって来ている．更に，全体としてのエネルギ使用の増加と化石燃料の有限性から，エネルギ源の化石燃料からの脱却も大きな課題である．固定発生源はさておき，移動発生源として対応を迫られている自動車にとって，エネルギ源を化石燃料にとらわれず多様に求められ，排気が無く騒音の無い電気自動車は，これら諸問題への有力な対応策の一つである．

本報では，本年10月より日本国内及び米国で発売開始した，電気自動車"RAV4 EV"について紹介する．

Abstract

The types and numbers of devices in use have been increasing greatly in recent years. Though energy saving, exhaust emission control and noise reduction have been promoted by making use of most advanced technologies in individual devices, global warming by CO_2, acid rain and noise pollution have become the topics of dispute. Departure from dependence on fossil fuel is also an important task to cope with increasing energy consumption and limitation in the fossil fuel resource. With regard to vehicles requiring countermeasures as mobile sources of air pollutants generation aside from other fixed sources, electric vehicles without exhaust emission and noise while being capable of using various resources other than fossil fuel is one of promising solutions to the said problems.

This paper introduces electric vehicle "RAV4 EV" started to be sold in Japan and the United States from October this year.

キーワード　電気自動車，ニッケル水素バッテリ，永久磁石式同期型モータ，回生ブレーキ

1　はじめに

電気自動車（以下EVと言う）の歴史は内燃機関自動車（以下ICE車と言う）の歴史より長い．しかし，ICE車が技術の長足な進歩とインフラの整備により市場を拡大していったのに対し，EVはバッテリの開発が思うように進まず，市場を獲得できなかった事は周知のことである．近年ICE車の大幅な市場拡大も一因として，地球温暖化等地球規模の問題から，都市での排気や騒音等地域レベルの問題までがクローズアップされて来ている．これらの問題と将来的化石燃料の枯渇問題への対応のため，自動車メーカーは各々独自にEVを開発して来た．当社も1982年以降本格的にEVの研究開発を開始し，1993年から国内向けにタウンエースEVを発売したが，既存の技術に立脚していたため，一充電走行距離，バッテリの維持管理や充電等に改良の余地を残していた．前後して，米国カリフォルニア州他で1998年からのゼロエミッション車規制案（その後，先進バッテリによるデモプログラムに変更）が出されると，各社EVの開発を一層強化した．

近年のバッテリと電子制御関係の技術進歩は目覚しく，当社は，ガソリン車のRAV4をベースに量産車として世界で初めて最新技術のニッケル水素バッテリと永久磁石式モータを搭載し，EV性能を飛躍的に向上させた３ドア車を昨年９月より国内で発売開始した．今年10月からさらに高性能化した５ドア車を，国内及び米国で発売開始した．

* 第３開発センター

2 狙いと特徴

RAV4 EVは，主として都市型Sport utility vehicleとして全世界で若者を中心に好評を博しているガソリン車のRAV4をEV化したものである．この車両は，従来のEVより飛躍的にEV性能を向上させているが，高性能化ユニットの採用と少量生産のため，国内での販売価格は高価に設定せざるを得ず，米国向けも同様である．そのため，当面の主たる想定ユーザーは，日米とも環境改善で指導的立場の官公庁及び企業とし，短中距離での業務連絡や軽量積載等を主要用途と想定している．

＜RAV4 EV車両開発の狙いと特徴＞

1) 一充電走行距離の伸長

ニッケル水素バッテリ及び永久磁石式モータの採用と，高効率回生ブレーキの採用等により，一充電走行距離が200km以上である．

2) 車両性能のトータルバランス

車両重量に対してバッテリの種類と搭載量がバランス良く，動力性能がバッテリの状態に関わらず一定で高性能である．又，重量物のバッテリが床下配置のため，重心が低く運動性能が安定している．

3) 車両パッケージングの確保

ベース車の床面が高いため，床下へのバッテリ搭載が容易で，室内を犠牲にする事無くEV化が出来た．そのため，ベース車の良い点である，後席の調整で客室と荷室の配分が可変であり，バックドアが横開きで荷室高さで開くため，荷物の出し入れが容易である．さらに，車高が乗用車より高く，又，Recreational vehicle車より低いため，短距離間での頻繁な乗降も楽である．想定ユーザーにとって，望ましいパッケージである．

4) 使用性・快適性の確保

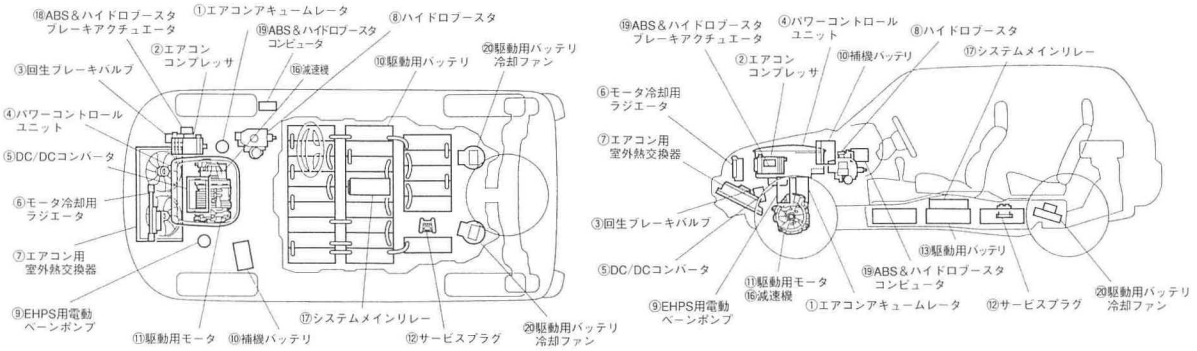
パワーステアリングやエアコン等快適装備を採用．又，スイッチ，操作系やメーターをガソリン車の感覚と違和感の無いものとし，車載式充電器とワンタッチ式コネクタの採用で普通電源での充電を容易にする等，使用性の良いEVとした．

5) 安全性の確保

各種使用条件とサービス時の電気関係安全性に対応した．

表1 主要諸元と性能

		TOYOTA RAV4 EV	HONDA EV PLUS	NISSAN PRAIRIE Joy EV	GM EV1	Peugeot 106 EV
車両タイプ		5ドア	3ドア	4ドアバン	2ドアクーペ	3ドア
全高	(mm)	3980	4045	4545	4309	3680
全幅	(mm)	1695	1750	1690	1766	1600
全高	(mm)	1675	1630	1695	1281	1380
空車重量	(kg)	1560	1620	1700	1350	1087
乗車定員	(名)	5	4	4	2	4
一充電走行距離市街地	(km)	230	220	>200	*113	80
最高速度	(km/h)	125	>130	120	129	90
バッテリ	種類	ニッケル・水素	ニッケル・水素	リチウムイオン	鉛酸	ニッケル・カドミ
	搭載個数 (個)	24	24	12	26	20
	総電圧 (V)	288	288	345	312	120
モータ	種類	永久磁石式同期	永久磁石式同期	永久磁石式同期	AC誘導	DC分巻
	最大出力 (kW)	50	49	62	102	20
	最大トルク (N・m)	190	275	159	—	127
充電器		車載式 別置式	車載式	別置式	別置式	車載式 別置式



平面視　　側面視

図２　EVコンポーネント配置

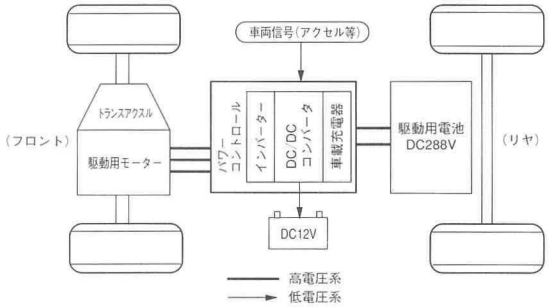


図１　EVシステム

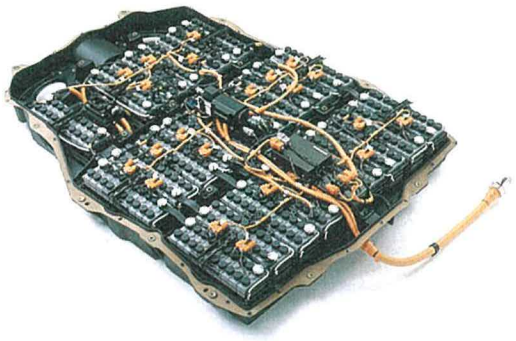


写真１　ニッケル水素バッテリ

3　EVシステム

RAV4 EVのEVシステムを図１に，EVユニット配置を図２に示す．3.1以降にEVユニットの詳細を記した．EVシステムの概要は，まず外部電源から駆動用バッテリに充電された直流電力をパワーコントロールユニットに導く．コントロールユニットでは，アクセル等の信号によりインバータを制御し交流電力を出力する．その制御された電力で，前輪に横置き配置されたモータを作動させ車両を駆動する．

3.1　バッテリ

現在EV用として考えられる主なバッテリについて，性能，寿命，コスト，安全性のトータルバランスより，ニッケル水素バッテリが，現時点で最もEVに適していると判断し，量産車として世界で初めて採用した．（写真１，表２）リチウム系バッテリは，性能的には有望だが，コストその他の点で解決すべき課題が残っている．

表２　各種バッテリ比較

	密閉鉛	ニッカド	ニッケル水素	リチウム
エネルギー密度	△	○	○	◎
パワー密度	◎	◎	◎	◎
寿　命	△	○	◎	○
安全性	○	○	◎	△
コスト	○	△	△	△

（トヨタ自動車調べ）

ニッケル水素バッテリは，従来EV用に供されてきた鉛バッテリに比較し，約２倍の性能と約３倍の寿命を有している．また，出力が安定しており，車両の要求出力を90%以上の領域で充たしている．（図３）さらに，シール形構造とし，補水等のメンテナンスを不要とした．RAV4 EVでは，24個，総重量約450kgのバッテリを，床下に配し

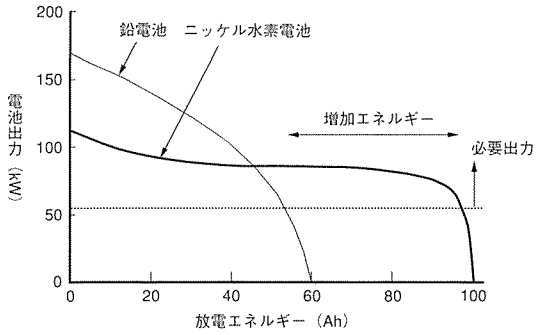


図3　バッテリ出力特性

たバッテリキャリア内に搭載した．バッテリキャリアは，軽量で腐食に強い樹脂製とした．

3.2　パワートレーン

モータには従来EVに使用されていた直流モータや交流モータに比べ，高効率で軽量・小型な永久磁石式同期型モータを量産車として世界で初めて採用した．（写真2）

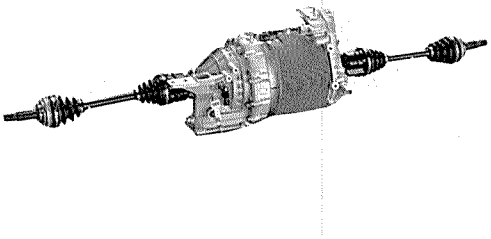


写真2　パワートレーン

ロータの永久磁石には，磁力密度が高い希土類磁石（ネオジウム鉄ボロン系）を採用し，耐熱・耐久性を高める磁気回路設計を行い，小型・高出力を達成した．従来このタイプのモータはロータに組み込まれた磁石が回転することによって発生する電圧（逆起電圧）が高回転域ほど高く，高回転化が困難であった．しかし，近年の制御技術の進展に伴い，電流の進角を早めることによって逆起電圧を小さくする“弱め界磁制御”が可能となり，高回転化を実現した．

モータは，ICEに比べ，トルクが低回転域から立ち上がる．そのため，EV用トランスアクスルは，一速の減速のみでよい．さらに，RAV4 EVで

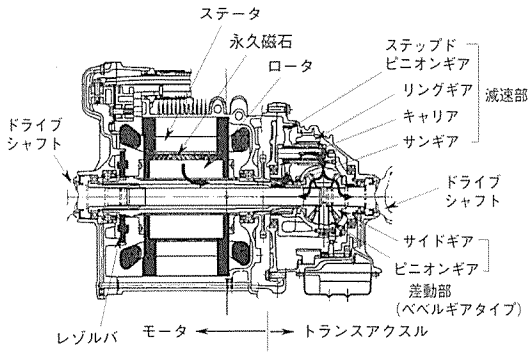


図4　パワートレーン断面

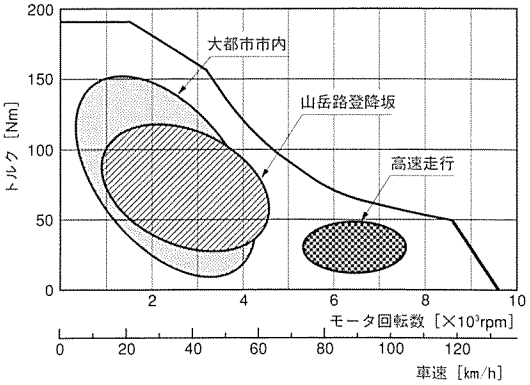


図5　モータ性能曲線図

は，従来の多軸式トランスアクスルに比べ小型・軽量で効率の良い，モータと同軸のステップドピニオン式プラネタリーギア方式を採用した．図4において，ロータに発生した駆動力は，ロータ中心軸を通してステップドピニオンに伝わり，デフを通じて左右輪に伝達される．

図5にモータの性能曲線を示した．走り方によって使用される領域は異なるが，モータの性能としては各領域に対して充分余裕がある．

3.3　パワーコントロールユニット

電気放射ノイズの効果的低減，高電圧に対する安全性の確保，等を狙いとして，下記の部品を一つのケース内に一括収納した．（写真3，図6）

1) EVコンピュータ
　モータと回生ブレーキを制御
2) バッテリコンピュータ



写真3　パワーコントロールユニット

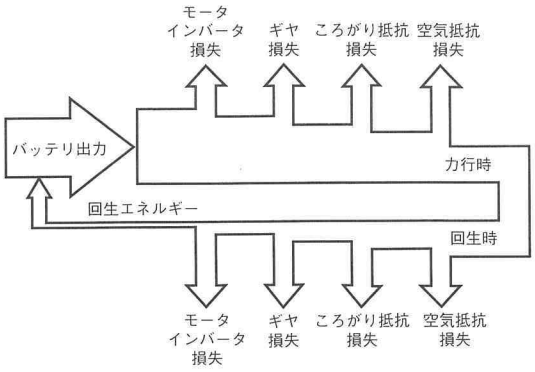
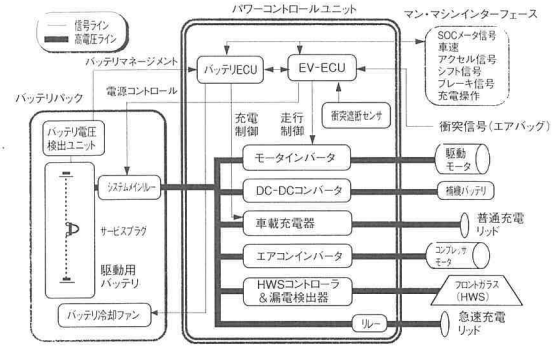


図7　EVエネルギフロー



EVシステム構成

図6　パワーコントロールシステム

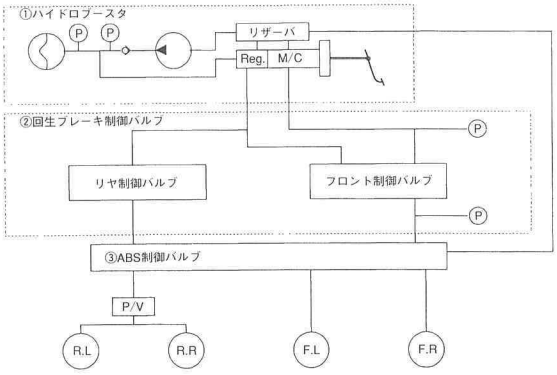


図8　回生ブレーキシステム

バッテリの充電・放電を総合的に管理・制御

3) インバータ

バッテリから供給される直流電力を交流に変換して，モータに供給

4) 車載充電器：3.7項参照

5) DC-DCコンバータ

駆動用バッテリ（288V）から電圧変換して，補機系作動用の電源（12V）を作る

6) 各種コンポーネントの制御機器

3.4　回生ブレーキシステム

回生ブレーキは，ICE車にはないEV・HV特有のエネルギを有効に活用するシステムで，減速時にモータを発電機として働かせ，車の運動エネルギを電気エネルギに変換し，エネルギをバッテリに回収すると同時に制動力を発生する．（図7）

特にEVでは，一回の充電当たりの走行距離を大きく伸ばすのに役立てている．RAV4 EVのブレーキシステムは図8のように構成されており，制動のためブレーキペダルを踏むと，発生するマスターシリンダの油圧を検知し，その油圧に応じた回生ブレーキをモータで発生させる．マスターシリンダの油圧が一定値以上になると，その油圧に応じ，前後のホイルシリンダに油圧を供給し，充分な制動力が確保される．

エネルギ回生率は，走行条件によって変動するが，例えば，一般平坦地走行時には25%にもなり（図9），その分一充電走行距離を伸ばすことができる．

3.5　低ころがり抵抗タイヤ

走行抵抗を低減し，走行時のエネルギ消費を押さえるため，専用の低ころがり抵抗タイヤを開発

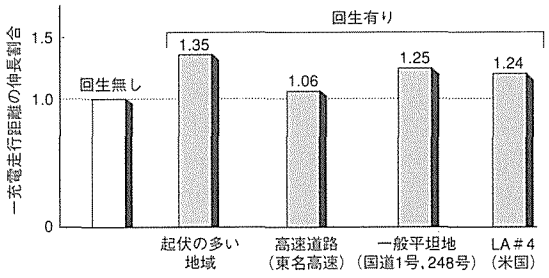


図９　エネルギ回生実測例

した．ころがり抵抗を従来の約35%低減し，一充電走行距離を約７%向上した．

3.6　省エネルギアイテム

ガソリンに比べ，重量・体積比ともエネルギが約100分の１のバッテリをエネルギ源とするEVにとって，走行用エネルギ以外のエネルギ消費の低減は，大きな課題である．そのため，RAV4 EVでは，以下の省エネルギアイテムを採用した

1) ヒートポンプ式エアコン

一般家庭で使われているのと同一方式のヒートポンプ式エアコンを採用した．(図10)

この方式は，電気モータでコンプレッサを駆動し，冷媒を車室内とコンデンサの間を循環させ，車室内と大気の熱エネルギの授受を行う．計器盤のヒータモードを冷房・暖房に切り替えると，冷媒循環回路内のバルブが切り替わり，冷媒の流れが逆転，冷房と暖房をする．

RAV4 EVでは，冷媒サイクルを２段階で廻すガスインジェクション方式の採用による効率の向上と，車室内気を有効に使う上下２層流ユニットの採用による車両換気損失の低減，等を行い，外気温が低い時でもICE車と同等の性能とした．(図11) なお，冷媒にはノンフロンタイプで環境に優しいHFC134aを用いた．

2) プレヒート・プレクールシステム

充電操作パネルでプレ空調開始時刻を設定することにより，普通充電終了時に，自動的に家庭用電源で冷暖房を行うシステムである．

3) 紫外線カット高熱吸収ガラス

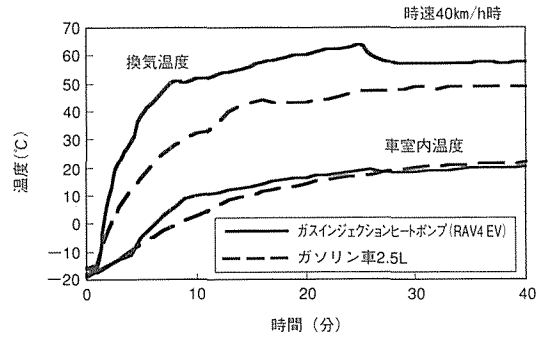


図11　暖房性能比較

3.7　充電システム

高効率な車載充電器とワンタッチ式充電コネクタの採用により，家庭用電源で容易に充電できるシステムとした．(図12) 通常は，200～240V単相30Aを使用し，この場合，充電時間は約６時間半となる．さらに，日本国内の場合，国が進めて

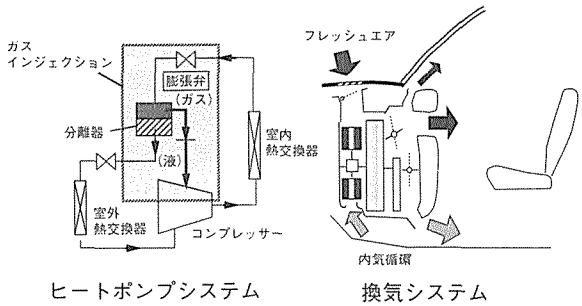
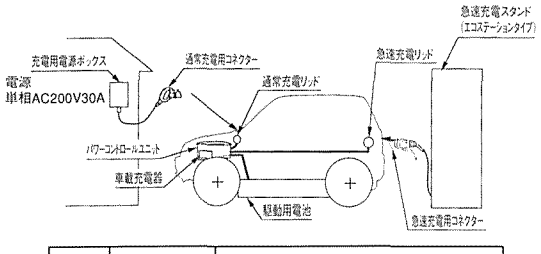


図10　ヒートポンプ式エアコンシステム



充電時間	通常充電	6.5時間（SOC20～100%）
	急速充電	最大30分（約3分の1充電）

図12　充電システム



写真４　エコステーション利用風景

いるエコステーション対応の急速充電（写真４）にも対応しており，30分で約３分の１の充電ができる．

3.8　安全システム

EVは高電圧，大電流を扱うため，電気関係の安全には特に配慮した．

室内に高電圧部品を搭載しないのはもちろんのこと，車体と高電圧系の隔離や高電圧端子を露出させない等，配慮するとともに，キーオフ時の電源遮断，漏電検出等も行っている．また，万一衝突した場合に自動的に電源を切る装置やサービス時の高電圧を遮断する装置を搭載している．さらに，水没時でもバッテリや電気系に問題ないことを確認している．

4　評価

EVを実用車として市場に導入するためには，ガソリン車と同様の評価と共に,EV特有の評価も必要である.その中で特に重要なのが以下である．

1) 実市場での，走行距離・動力性能適合性
2) 充電方法がバッテリ性能･寿命に与える影響
3) 実市場での走行がバッテリ・パワートレーンに与える影響
4) 使用環境条件（気候・道路・地理的）への適合性
5) EVシステムの信頼性・安全性

近年の評価方法・評価設備の急速な進歩により，評価条件が確定すれば，社内でのベンチ・実車評価でかなり評価出来るようになった．問題は，評価条件が確定できない多様な使われ方をいかにとりこむかである．例えば，充電はそれこそ人一人毎に毎回異なり，定量的評価のみでは評価しきれない．そのため当社では，RAV4 EVの，スカンジナビアEVラリー参加と日米各10台の官庁・電力会社へのモニター車からのデータと，93年に発売されたタウンエースEV約100台及び昨年から国内発売されたRAV4 EV３ドア車の市場評価を，今回の５ドア車に反映させた．

5　おわりに

EVも使用用途・条件・環境を或る程度限定した中で使えば，ガソリン車と同等の性能を有する様になって来た．勿論，EVの特徴である無排気・低騒音は魅力である．RAV4 EV５ドア車は，性能と車両使い勝手の良さから，この10月発売以後，官公庁・企業を中心に非常に好評である．

EVが今後どのように発展していくかを想定した時，RAV4 EV５ドア車で見ても，大きな課題が３つ残っている．

1) 価格が高い
2) 車両寿命の途中で，高価なバッテリの交換が必要
3) 充電用電源インフラが整備されてない

車両を開発した者として，課題の解決に自ら取り組み，周囲に働きかけ性能向上を図ってゆく事は当然の事であるが，「走行距離400㎞で，もっと動力性能を良く」と言う要望も多い．技術的にはチャレンジャブルであるが，充電設備の更なる大容量化も必要とされ，高価格化を伴い，更に現実的でなくなることが予想される．

今後のEV普及の為には，開発する側の者としては原点に戻って，より多くの人が「このEVの性能でこの価格なら使ってみよう」と思ってもらえる様なEVを考え出し，より多くの場所で様々な使い方についても提案していきたい．使う側の人には，環境対応への理解をより深めてもらえる様に期待したい．特に，将来の社会を担う若年の人には，より多くの体験の場を提供していき，EVをより身近なものとして感じてもらえる様にしていきたい．

■著者


木下　雅夫


木村　貞博

EVコミュータ“e-com”の紹介

Introduction of EV Commuter “e-com”

山田　真*　Makoto Yamada
小垣　圭司*　Keiji Kogaki
関森　俊幸**　Toshiyuki Sekimori
石川　哲浩**　Tetsuhiro Ishikawa

要旨

EV開発の歴史は長くおよそ一世紀に及ぶ．近年バッテリとパワーエレクトロニクスの進歩でEVの性能は飛躍的に向上した．しかし「自動車」としての実用性においては航続距離や価格の面で解決しなければならない問題は未だ多い．

一方，都市部を中心に自動車の環境，交通社会問題が顕在化し早急に何らかの対応が求められている．そこで最新のEV技術を採用した都市型のパーソナルモビリティーとして超小型EVコミュータを開発したのでその概要を紹介する．

Abstract

The history of EV development is as long as almost one century. The performance of EV has been improved remarkably in recent years thanks to the advancement in battery and power electronics fields. With regard to the practical performance as a vehicle, many problems still remains in the cruising range and cost for example.

On the other hand, social problems with the environment and traffic especially in urban areas have been brought to the fore, requiring some kind of remedial actions. This paper introduces a very small EV commuter as an urban type personal mobility based on the most advanced EV technologies.

キーワード　電気自動車，コミュータ，ニッケル水素バッテリ，永久磁石式同期型モータ

1　はじめに

トヨタ博物館に100年前にアメリカで実用化された電気自動車（以下EVと略）ベイカーエレクトリックが展示されている．このEVは１馬力のモータで40km/hの走行が可能だった．（**写真１**）この様に自動車の黎明期には内燃機関と肩を並べていたEVだがその後の内燃機関の飛躍的な進歩に大きく遅れを取り，ほぼ一世紀の間広く普及に至っていない．その間，1960年代の排気ガス規制や1970年代のオイルショックではその普及が待望されたが，主にバッテリの技術開発が伴わず近年に至るまで普及に至ってない．

そのEV普及の鍵を握るバッテリの技術開発は近年環境気運の高まりからEVバッテリの開発が促進され大きく進歩した．中でもニッケル水素バッテリは制御技術の開発もあいまってその性能は格段に向上し技術面ではほぼ実用域に達している．しかしながら「自動車」としての性能／価格を求める時その格差は依然として大きく，大量に搭載するには高価格が問題である．

そこで単に「自動車」に対抗出来る性能を追求するのではなく，発想を変えて都市部での近距離

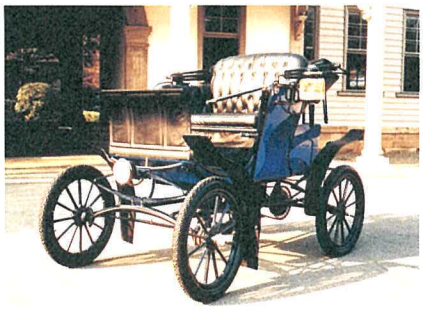


写真１　ベイカーエレクトリック

* 第３開発センター
** EHV技術部

移動を想定した超小型EVコミュータをコンセプトに，EV普及の近道を探った．

本稿では全く新しい乗り物，都市型超小型EV“e-com”を紹介する．

2　車両概要

①基本コンセプト

e-com開発の目標は「21世紀の新しいパーソナルモビリティーの創造」にあり，使い方を含めた実用EVの実現にある．

具体的なユーザー像としては，大都市やその周辺地区で走行距離が短くEVのメリットが生かせるユーザーを想定した．

・都市部やその近郊に住む自動車の複数保有ユーザーの2nd./3rd. car
・企業や自治体の近距離業務連絡車
・サービス業の配達車（フラワーショップ，クリーニング店，早朝・深夜の宅配車等）
・観光地，駅前等のレンタカー

等が考えられる．

②主要諸元・性能

表1にe-comの主要諸元を示す．車両サイズは都市部での短距離移動が便利に，快適に，そして安全に出来る最小な大きさにした．

キャビンサイズは大人2人に十分なドライビングスペースを確保．フロントにモータとパワーコントロールユニットを配置，加えてクラッシュストロークを確保して衝突時の安全に備えた．床下にバッテリを搭載し重心を低くしスペースの有効利用を図った．リヤには日常の買い物や業務用の用途も考え広いラッゲージスペースを備える．

性能は市街地での使用を前提にユーザーの利便性を優先，運転し易く且つ“Fun to Drive”な目標を設定した．最大走行距離は日常の走行距離には十分な値とした．充電は一般家庭電源の100Vで家電製品の様に手軽にいつでも出来る．又急いで充電が必要な時は200Vの電源で短時間に対応も出来，外出先で充電すれば更に距離を延ばす事が出来る．

表1　e-comの主要諸元

全長・全幅・全高	(mm)	2780・1475・1605
重量	(kg)	790
乗員	(人)	2
最高速度	(km/h)	100
最大走行距離	(km)	100（10・15モード）
駆動方式		前輪駆動

3　デザイン

①外形

・街で見掛けた時，遠くからでも直ぐe-comと分かり思わず乗ってみたくなる，かわいく，楽しい，フレンドリーな外形デザインとした．(**写真2，3**)
・ボデー全体のデザインテーマは，コンパクト＆ワンフォルムを強調するオーバル形状とし，ヘッドランプ・リヤコンビネーションランプ・サイドターン・ドアミラ・ドアハンドルもオーバル形状に統一，個性と楽しさを強くアピール．又超小型ながらも力強さと安心感を与える様，車両全周の大型プロテクションをイメージしたキャビンとアンダーボデーのツートンカラーが特徴．
・その他には，冷却性能を確保し充電口をスマートに配置したスポーティーなフロントグリル，トヨタシンボルマークをグラフィカルに使ったバックアップランプ等機能面をデザインで昇華させた．



写真2　e-com外形デザイン



写真3　e-com外形デザイン

②内装

・2シーターのミニマムスペースながら，日常のパーソナルモビリティーとして十分な居住性・乗降性と共に隅々まで手の届くマイルーム感覚のフレンドリーなインテリアとした．(**写真4，5**)

・インストルメントパネルは開放感のあるテーブル状で，ナビ収容可能なユニークな円盤状センタクラスタを特徴とし，シンプルで視認性の良いデジタルメータを搭載．

・ラッゲージは前倒しした助手席バックボートとラッゲージボックスとの組み合わせで出来る広いユーティリティースペースで様々な用途・収納に対応すると共に長尺物の収容も可能．

・シートは乗降し易い坐面高さ（ヒップポイントの地上高 650mm）で，ゆったり感を演出するセミベンチシートクッションとラッゲージへの手の届き易さを考慮したおしゃれなシートバック形状をデザインした．

4　EVシステム

①構成

EVシステムの構成を**図1**に示す．大きく分けて以下の3部品から構成されている．

・バッテリ（**写真6**）

・PCU（Power Control Unit）（**写真7**）

・モータ＆リダクションギヤ（**写真8**）

②特徴

各部品の特徴を以下に示す．

・バッテリ

1) 高エネルギー密度を有しているニッケル水素バッテリの採用．

2) 高圧安全性，室内スペース確保，走行安定性，組付・サービスの観点から車両床下に24個のバッテリを搭載．

3) 電動ファンにより外気を導入しバッテリを空気冷却する構成を採用．

・PCU

高圧部品を回路の共用化，部品の統合化を図りワンユニット化した．

1) 高圧回路の共用：モータ巻線を昇圧コイルとして利用，更にインバータのIGBTを制御素子としてチャージャ機能を実現．

2) ケース・ヒートシンクの統合：発熱部位を有する各コンポーネントを一体化させて，

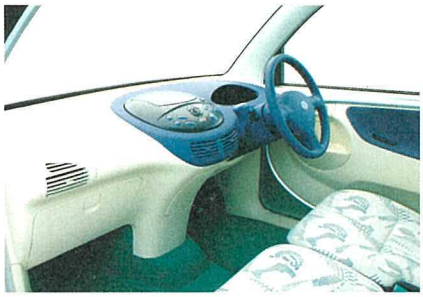


写真4　e-com内装デザイン



写真5　e-com内装デザイン

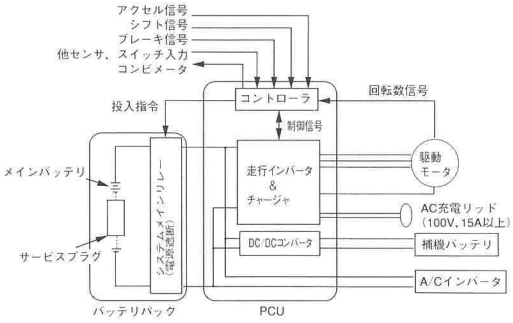


図1　EV電気システム概略図

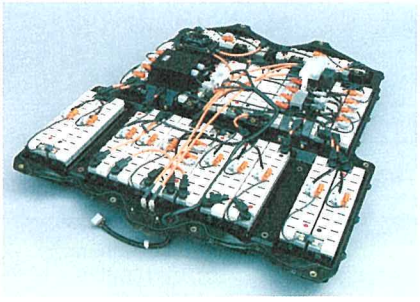


写真6　バッテリ

1つのヒートシンクで冷却系を構成，又高圧部品を一体ケーシングで構成する事により電磁シールド，防水機能部品及び高圧防水コネクタの部品点数削減を図った．

3) 制御系の共用：従来個別にあった車両制御，充電制御，バッテリ制御等の機能を統合し制御基板，マイコン等を大幅削減．

・モータ＆リダクションギヤ

1) モータからの入力軸とタイヤへ出力するデフ軸の間にカウンタ軸を設定した3軸式のシンプルな1速減速機を採用．
2) 高性能磁石を使用した小型，軽量，高効率な永久磁石式同期型モータ採用．
3) 減速機部の潤滑油を利用したモータ部のオイル冷却を採用する事で小型化を実現．

5 評価

e-comは現在先行評価の段階にあるが，「走る，曲がる，止まる」と言った基本性能については，ほぼ所期の目標の到達レベルにある．

小型ニッケル水素バッテリの充放電特性は，ベンチテスト結果で期待通りの特性が得られた．

車両としての走行性能は，一充電走行距離については10・15モードで目標の100km達成見込みである．市街地走行の為の動力性能は良好で“Fun to Drive”，車両企画通りの性能が実現出来つつある．

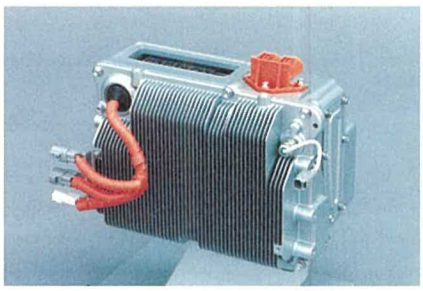


写真7　PCU

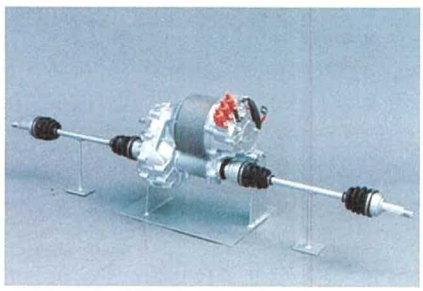


写真8　モータ＆リダクションギヤ

6 むすび

e-comは環境，エネルギー，駐車問題等を考える時，主として都市部やその周辺地域でその機能を果たせる大きな可能性を持っている．

しかし現状ではタウンカーとしての性能／価格を例えば軽自動車と比べる時その普及に多くは望めそうにない．アメリカでは既にEVの普及を目指し様々な試みがある．その一つにサンフランシスコやボストン，ニューヨーク等で試行されているステーションカープログラムがある．

鉄道の駅にEV専用の充電器付き駐車場を備え，EV通勤のパークアンドライドが試行されている．都心部の環境や交通渋滞，駐車場問題へ極めて有効な対応と言え，今後の発展が注目されている．この様にEVの使い方に見合ったインフラ整備やインセンティブが伴えば，21世紀の新しい乗り物“e-com”の活躍の時期はもっと早く訪れると言える．その一日も早い実現を目指して努力したい．

■著者



山田　真



小垣　圭司



関森　俊幸



石川　哲浩

トヨタ ハイブリッド システムの開発

A Development of Toyota Hybrid System

阿部 眞一* Shinichi Abe
小谷 武史* Takeshi Kotani
茨木 隆次** Ryuji Ibaraki
戸島 和夫* Kazuo Tojima
社本 純和* Sumikazu Shamoto
酒井 朗*** Akira Sakai

要旨

トヨタハイブリッドシステムは，ガソリンエンジンを主動力源として，エンジン動力を直接車輪に駆動力として伝えるとともに，モーターを併用する構成としている．

特長は，走行状況に応じてエンジン動力による直接駆動力と，エンジンで発電あるいは高電圧バッテリーからの電力供給によるモーター駆動力を組み合わせて走行し，効率を大きく向上させるとともに，車両停止時はエンジンを自動的に停止し，また減速時のエネルギーを回生するなど，エネルギーロスを大幅に削減することで飛躍的に燃費を向上できる事にある．

さらに，エミッションは，モーター併用による加速時の負荷軽減やVVT-iの採用などにより，従来の約1/10レベルのクリーンさを実現させている．

Abstract

The Toyota Hybrid System has two power sources which engage depending on driving conditions. An improved efficiency gasoline engine provides the main power to drive the wheels, as in conventional automobiles.

Drive power can also be supplied by an electric motor, which derives its electricity from a battery and a generator. Fuel efficiency is further boosted by other measures, such as automatically cutting the engine when the vehicle is at a stop and regenerating the energy accumulate during deceleration. Compared with conventional vehicles with a 1.5-liter engine running in 10・15 mode, the CO_2 emissions are reduced by half. Moreover, with the use of a motor to reduce engine load during acceleration, HC, CO, and NOx emissions are cut to about 1/10th of previous levels.

キーワード ハイブリッド，モーター，発電機，バッテリー，アトキンソンサイクル，VVT-i，低燃費，低エミッション，回生ブレーキ，遊星歯車

1 はじめに

今日，省エネルギと地球温暖化防止に資するためCO_2排出量の削減が国際的な課題となっている．自動車にとってのCO_2削減は燃費を改善，向上することであり，排出ガス清浄化や安全性確保とも両立することが必要である．

当社は燃費向上技術として，1984年に希薄燃焼方式のエンジンを，1996年には直噴ガソリンエンジン『Toyota D-4』を最新の変速機技術等との組み合わせで，市場導入している．

他方，エネルギ多様化の観点からCNG等の代替燃料車，あるいは電気自動車などを開発，実用化に結び付けている．また1996年には水素を利用した燃料電池電気自動車を開発し，長期的視野の研究も進めている．これらはインフラストラクチャの整備を含めた，社会システムの構築が必要な段階にあるといえる．

こうした流れの中で，乗用車用新パワートレイン『トヨタハイブリッドシステム（以下THSと略す）』を完成させた．これは電気自動車のような外部充電を必要とせず，従来のガソリンエンジン車の概ね2倍の燃費達成が可能なシステムとなっている．

ハイブリッドシステムは，エンジン動力で発電した電気エネルギーをモーター駆動に使用した

* EHV技術部
** ドライブトレーン技術部
*** 第2車両技術部

り，走行する場所や車速によってエンジン駆動とモーター駆動を使い分けることで，排出ガスや燃料消費を抑制することが可能となり，電気自動車の航続距離の制約を解決する手段として，近年注目を集めつつある．

ハイブリッドシステムの主なものとして，エンジンで発電機を駆動し，発電した電力によってモーターが車輪を駆動するシリーズハイブリッド方式と，エンジンとモーターが車輪を駆動し２つの駆動力を状況に応じて使い分けることのできるパラレルハイブリッド方式の２種類に分類される．以下に，THSについて述べる．

2　THSの概要

2.1　システム構成

THSは，パラレルハイブリッド方式にシリーズハイブリッド方式を組み合わせ，それらの長所を最大限に引き出すよう構成している．

動力源として，ガソリンエンジンと電気モーターを備えているが，基本となるのはエンジン動力である．エンジン動力は遊星歯車を使用した動力分割機構により，車輪の駆動力と発電駆動力に分割される．発電した電力は，モーター駆動に直接使用したり，インバーターで直流に変換され，高電圧バッテリーに蓄えられる．

なお，動力分割機構およびモーター，発電機，減速機から成るハイブリッド用トランスミッションは，乗用車用としてコンパクトに構成されている．

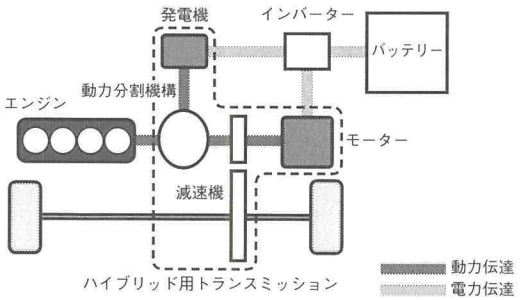


図１　THSシステム構成

2.2　燃費向上手段

2.2.1　エンジン単体の効率化

主動力源のエンジンは『アトキンソンサイクル』（エンジンの項参照）を応用し，排気損失および吸気損失を画期的に抑制するとともに，摩擦損失も低減した1.5L高効率エンジンを新開発した．

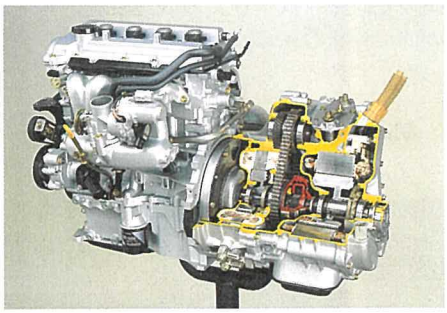
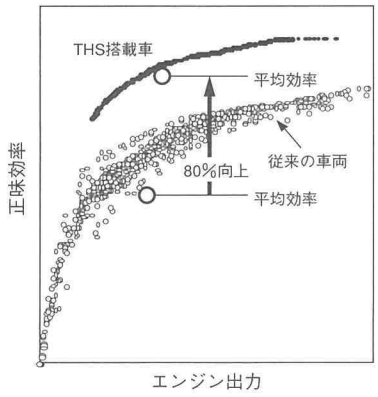
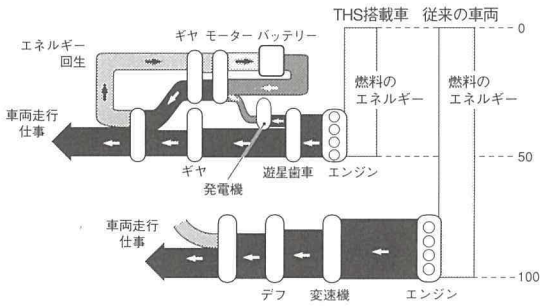


写真１　THSパワートレーン



ある市街地走行パターンでのTHS搭載車のエンジン正味効率を従来車両と比較したものである．高効率エンジンを燃費の良い領域で運転しているため，従来車両よりも80%という画期的な改善を達成している．

図２　エンジン効率と運転域の改善



THSの効率改善達成手段をエネルギーの流れで示したものである．THSは，従来車両よりも燃費２倍すなわち100%エネルギー効率を高めています．モーター駆動の流れを含むエンジン効率は80%改善し，さらに制動時のエネルギー回生によって20%効率を高めている．

図３　エネルギー収支イメージ

2.2.2　エンジン運転域の改善

走行状況に応じ，燃費率が良い高トルク域をできるだけ使用するよう，エンジンとモーターの分担を制御し，かつ運転域も燃費率が良くなるように回転数も一定域に制御し，低燃費化を図る．

2.2.3 停止時および走行中のエンジン停止

車両停止時や，低車速での減速時等にエンジンを自動的に停止しエネルギーロスを削減し，排出ガスの発生を防ぐ．

2.2.4 制動エネルギーの回収，再利用

モーターを発電機として作動させることにより，制動時に失われる運動エネルギーを電気エネルギーに変換しバッテリーに回収する．(回生ブレーキ)

2.3 なめらかな加減速特性の実現

エンジンとモーターの駆動力を新開発の動力分割機構を介して制御することにより，エンジンの最大効率を引き出すとともに，ハイブリッド用トランスミッションの持つ無段変速機能とモーターのパワーアシストによって，なめらかでレスポンスの良い加減速特性を実現している．

特に，発進時は低速トルクの高いモーターの特性を活用することでスムーズな加速を実現し，アクセルを全開する加速時は，エンジンの出力にバッテリーからの電力によるモーターの駆動力を加え，高い加速性能を確保している．

以下に，システムの作動状態を述べる．

2.3.1 発進時および軽負荷時

発進時や，ごく低速で走行あるいは，緩やかな坂を下るときなどエンジン効率の悪い領域は，燃料をカットしてモーターにより走行する．(A)

2.3.2 通常走行時

アクセル開度等の要求から，速やかにエンジンを始動後，エンジン動力を動力分割機構で2経路に分割し，一方は車輪を直接駆動する．(B)

もう一方は発電機を駆動して発電し，この電力でモーター駆動し，駆動力をアシストする．(C)

2.3.3 全開加速時

全開加速時には，バッテリーからもパワーが供給され，さらに駆動力を追加する．(A)

2.3.4 減速時・制動時

減速時・制動時には，車輪がモーターを駆動し発電機として作用し，回生発電を行う．回収したエネルギーはバッテリーに蓄えられる．(A)

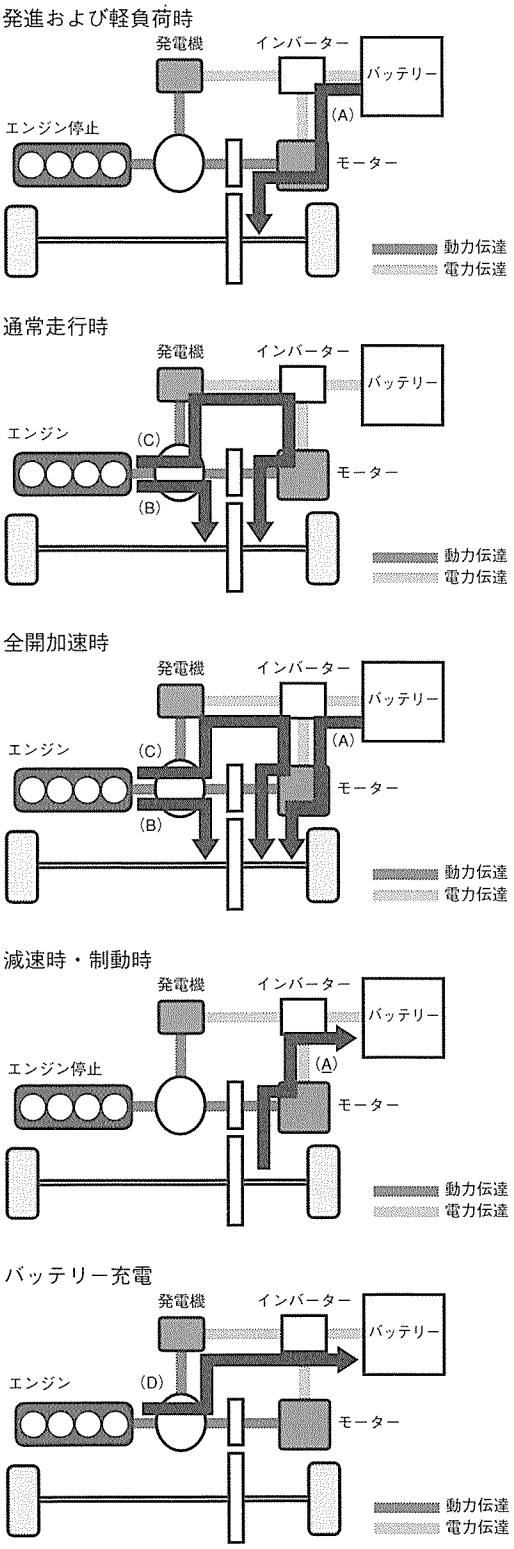


図4　システム作動状態

2.3.5 バッテリー充電

バッテリーは一定の充電状態を維持するよう制御しており，充電量が少なくなると発電機を駆動し充電を開始する．(D)

2.3.6 停止時

車両停止時は，自動的にエンジンを停止する．

2.4 ハイブリッド用トランスミッション

ハイブリッド用トランスミッションは，動力分割機構，発電機，モーターおよび減速機等で構成されている．エンジンからの動力は，動力分割機構により二分され，一方はモーターと車輪に，他方は発電機に連結されており機械的なものと電気的なものとの２つの経路により伝達される．

エンジン回転数と発電機およびモーターの回転数を無段階に変化させながら増速，減速できる電子制御式の無段変速機として機能する．

2.4.1 動力分割機構

動力分割機構には，遊星歯車を使用している．キャリヤの回転軸はエンジンと連結しており，ピニオンギヤを通じて外周のリングギヤおよび内側のサンギヤに動力を伝達する．このリングギヤ回転軸はモーターと直結しており，車輪に駆動力を伝達する．またサンギヤの回転軸は発電機に連結している．

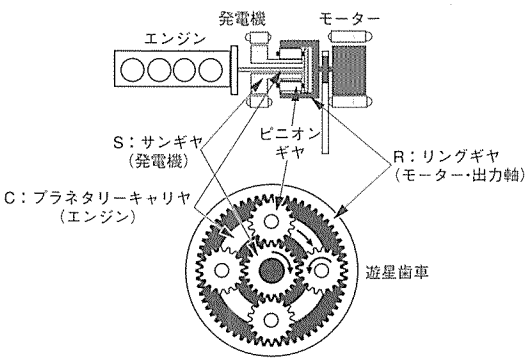


図５　動力分割機構

2.4.2 エンジン，発電機，モーターの動作

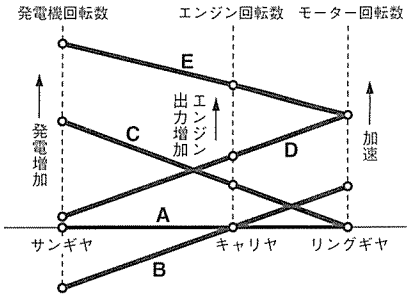
各走行状態での動作を共線図および表で示す．

2.5 回生ブレーキシステム

エンジンブレーキ時やフットブレーキによる制動時には，モーターを発電機として作動させることにより，車両の持っている運動エネルギーを電気エネルギーに変換してバッテリーに回収する回生ブレーキシステムを採用している．

これは，都市内などの加減速を繰り返す走行パターンで特にエネルギー回収の効果が高いことが特長である．

フットブレーキ時は，油圧ブレーキと回生ブレーキを協調制御し，回生ブレーキを優先的に使用することで，より多くのエネルギー回収を図っている．



遊星歯車の軸回転数を図示する手法として共線図を用いる．縦軸に示される回転数において共線図上では，それぞれのギヤ回転数が必ず直線で結ばれる関係となる．

図６　共線図

表１　動作状況

共線図	走行状態	発電機	エンジン	モーター
A	停車時	停止	停止	停止
B	EV発進時	・エンジン停止を維持する様回転	停止	・モーターの駆動力のみで発進
C	エンジン起動発進時	・スターターとしてエンジン始動 ・発電	・始動 ・出力	・発電した電力が供給され加速
D	定常走行時	・発電量少	・要求に応じて出力	・駆動力アシスト
E	加速時	・発電量大	・要求に応じて出力（大）	・駆動力アシスト（大）

2.6 要素部品

2.6.1 バッテリー

これまで電気自動車用として開発した高いパワー密度，軽量，長寿命等の優れた特長を有するシール型ニッケル水素バッテリーの技術をさらに進化させ，THSの特性にマッチした高性能バッテリーを新開発した．容積当たりの出力を大幅に向上させている．

バッテリーは一定の充電状態を維持するよう，発電機，モーターなどで充放電しているため，電気自動車のような外部からの充電は不要である．

2.6.2 モーター

小型軽量ながら，高効率の交流永久磁石式同期型モーターを採用している．エンジンの補助動力

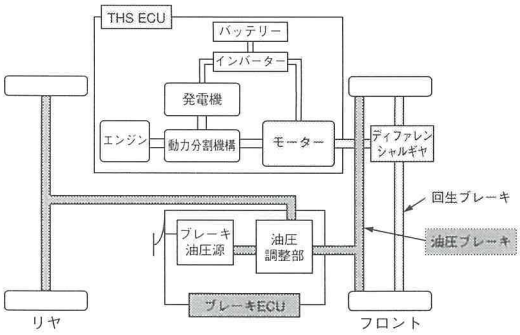


図 7　回生ブレーキシステム



写真 2　バッテリー

源として，必要に応じエンジンの出力をアシストし，スムーズな発進・加速など優れた動力性能を実現する．回生ブレーキ作動時は，車両の運動エネルギーを電気エネルギーに変換し，バッテリーに蓄える．

2.6.3　発電機

高効率の交流永久磁石式同期型モーターを採用している．バッテリーの充電やモーター駆動用の電力を発電する働きとともに，発電量を制御することで発電機回転数を変化させ，動力分割機構の無段変速の制御機能を持たせている．

エンジン始動用のスターター機能も担っている．

2.6.4　インバーター

バッテリーの直流をモーター駆動用の交流に変換する機能と，発電機の交流をバッテリ充電に必要な直流に変換するコンバーター機能などを備えたユニットである．その回路には，インテリジェントパワーモジュールを採用し，信頼性を高めている．

2.7　システム制御

THSは，エンジン，モーター，発電機，バッテリー等の各々のコンポーネントの要求値や現状値を確認し演算しながら，リアルタイムでの精密な

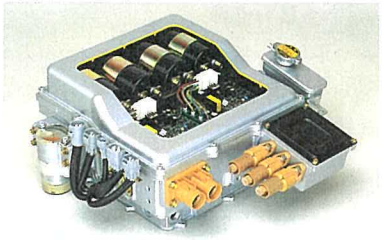


写真 3　インバーター

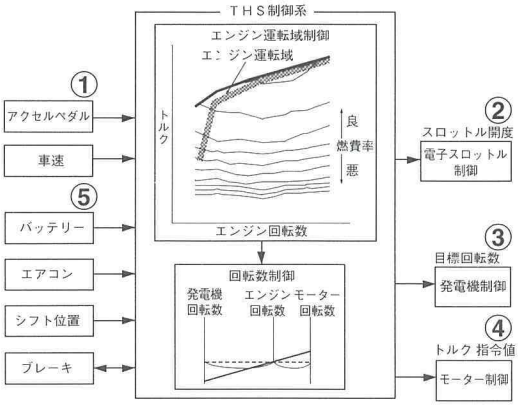


図 8　制御系構成

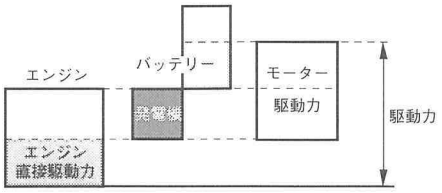


図 9　動力性能

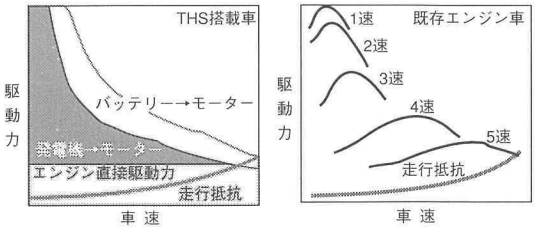


図10　動力性能比較

制御を高速で行っている．

2.7.1　エンジン運転域制御

燃費率の良い，あらかじめ設定された高トルク域で運転されるよう，走行条件に応じて，エンジン回転数および電子スロットル開度を自動制御している．

2.7.2 走行制御

ある走行条件において，ドライバーがアクセルペダルを踏むと①，その踏み込み量に応じエンジン運転領域制御に基づき電子スロットルを開く②とともに，エンジン回転数を制御③する．この時，エンジンの動力を，直接駆動分と発電によるモーター駆動分④とに分配する割合も同時に制御し，エンジンによる直接駆動力とモーターの駆動力を合わせ，車両の駆動力としている．またバッテリーが充電を必要とする場合は，発電電力を加える⑤方向でエンジン出力を増加させて運転する．

2.7.3 エンジンとモーターの駆動力制御

THS搭載車の動力性能は，エンジンによる直接駆動力と，同時に発電機を駆動して発電する電力およびバッテリーから供給される電力によるモーターの駆動力との合計で示される．その駆動力の構成は，低い車速ほどモーターの駆動力が多くを占めている．あわせて，無段変速機の機能により，既存のエンジン車に比べ，なめらかな加減速特性を実現している．

3 THS搭載車両の性能

3.1 燃費性能

従来エンジン搭載のオートマチック車に比べ，10・15モードの走行燃費をおよそ2倍の28km/L（社内試験値）に向上させている．

3.2 排出ガスレベル

現行のガソリンエンジン搭載乗用車と比べ，CO_2を半減するとともに，排出ガス中のCO，HC，NOxを規制値の約1/10のレベルに低減している．

3.3 加速性能

追い越し加速性能は，従来エンジン搭載のオートマチック車に比べ，同等以上とするとともに，キックダウン等のないなめらかな加速を実現している．

4 おわりに

1997年1月，当社は『トヨタ　エコプロジェクト』の推進を宣言した．この中で地球温暖化防止のためのCO_2排出低減という課題に対して，燃費2倍をめざしたハイブリッド自動車を開発することとしており，今回のTHSの完成は，この目標達成に大きく寄与するものと確信する．

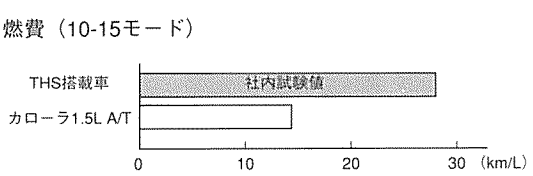


図11　10・15モード燃費

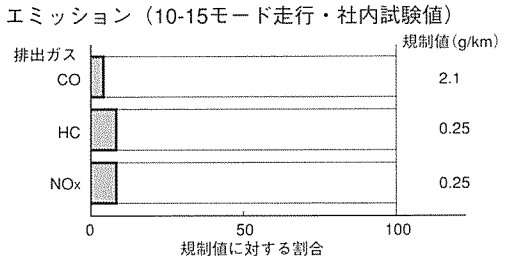


図12　10・15モードエミッション

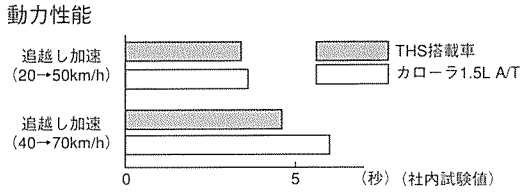


図13　追い越し加速性能

本文は，1997年春発行のプレスインフォメーションに沿って記述している．

■著者

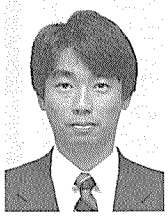

阿部　眞一


小谷　武史


茨木　隆次


戸島　和夫


社本　純和


酒井　朗

トヨタハイブリッドシステム用高膨張比ガソリンエンジン

A High Expansion Ratio Gasoline Engine for the TOYOTA Hybrid System

高岡　俊文**　Toshifumi Takaoka
広瀬　雄彦*　Katsuhiko Hirose
上田　建仁*　Tatehito Ueda
能野　靖**　Yasushi Nouno
多田　博**　Hiroshi Tada
金井　弘*　Hiroshi Kanai

要旨

内燃機関—電気ハイブリッド車用に，熱サイクル，排気量を最適化したエンジンを新たに開発し，ハイブリッドシステムの効果とあわせて，同一排気量のエンジンを搭載する車両に対して2倍の燃費，即ちCO_2排出量1/2を実現した(10・15モード)．このエンジンでは，吸気弁の閉じ時期を大幅に遅らせることで，実質的に圧縮比と膨張比を分離し，通常は9から10くらいに抑制される膨張比を13.5まで高めた．またハイブリッドシステムのモータ駆動力を利用することでエンジン最高回転数を低く抑え，摩擦損失を低減するとともに，クランク軸オフセットの採用などによって，最少燃費率230g/kWh以下を達成した．さらに，ハイブリッドシステムとの協調によって，国内53年排気ガス規制値の1/10レベルを実現した．

Abstract

50% reduction of CO_2 and fuel consumption in comparison with the same engine volume vehicle have been achieved with the newly developed gasoline engine for the Toyota Hybrid System. This is achieved due to the combination of electric motors and the internal combustion engine which is optimized in the size, swept volume and heat cycle. By delaying the intake valve close timing the compression ratio and expansion ratio can be practically separated, so that expansion ratio which is normally suppressed to 9 : 1 to 10 : 1 because of the knocking has been able to raise to 13.5 : 1. Electric motor assist enable to cut the maximum engine speed, then the friction loss has been minimized. Finally best fuel consumption figure better than 230 g/kWh has been achieved. Elimination of light load firing, motor assisted quick start and improvement of catalyst warm up makes to achieve the clean emission level such as 1/10 of Japanese '78 regulation limit.

キーワード　ハイブリッド，低燃費，低エミッション，低フリクション，VVT

1　はじめに

化石燃料の残存埋蔵量は，約2兆バレル，おおよそ50年分と言われている．電気自動車は，電気が持つエネルギー供給源の多様性とそれ自体が持つ排気ガスゼロの特徴から，将来の自動車として有望視されている．一方で車両搭載時のバッテリーエネルギーの限界，即ち化石燃料に対してエネルギー密度が劣ることから，依然として将来技術の一つに留っている．内燃機関—電気ハイブリッドシステムは，電気自動車のこの欠点を補うものとして位置付けられる一方で内燃機関の欠点を解消するシステムとしても注目されている．

ハイブリッドシステムにおいては，その駆動エネルギーは専ら主原動機である内燃機関による発電，または車軸の直接駆動によって得られるため，内燃機関の効率がシステム効率に大きく影響する．今回，THS（トヨタ ハイブリッド システム）の開発にあたり，比出力を抑制し，徹底的に熱効率向上に特化したガソリンエンジンを新規に開発した．このエンジンでは，システム総合効率を重視して，排気量と最高出力を選定するとともに，高膨張比サイクルの採用，摩擦損失低減を推し進めた．ここでは，その検討過程と得られた結果について述べる．

* 第2エンジン技術部
** 第2パワートレーン部

2　ハイブリッドシステムとエンジン仕様

2.1　ハイブリッドシステム

図1にTHSの構成を示す．このシステムはエンジン出力とモータ出力を遊星歯車機構で連結し動力配分を制御するものであり，駆動力はエンジンとモータの合力となるため，エンジン出力を相対的に低く設定できる特徴を持つ．

図2は出力と効率の関係を示すもので，A点の正味熱効率をB点まで高めることがエンジンに課せられた課題となる．

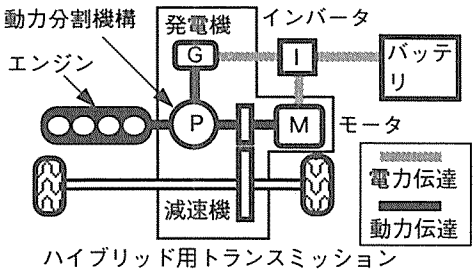


図1　トヨタハイブリッドシステムの構成

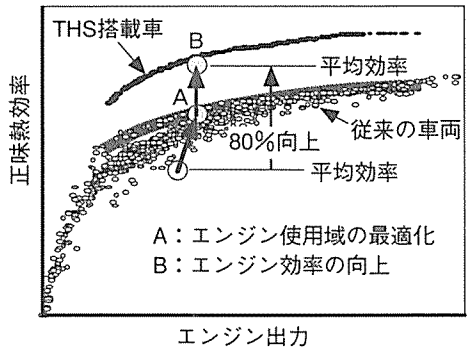


図2　車両使用域のエンジン出力と効率の関係

2.2　エンジン仕様

ハイブリッド車用エンジンは前節の狙いを実現するために以下の3点を念頭に計画された．

(1) エンジン要求出力，車両搭載条件を満たす範囲内で排気量の選定は自由とする．これによって，吸気弁遅閉じ高膨張比サイクルの採用，低回転化による摩擦損失低減が可能となった．

(2) 大幅な排気エミッションの低減，これを実現するために全域λ＝1運転で，排気系は3元触媒システムとする．

(3) 軽量化，高効率化手段を積極的に取り組む．

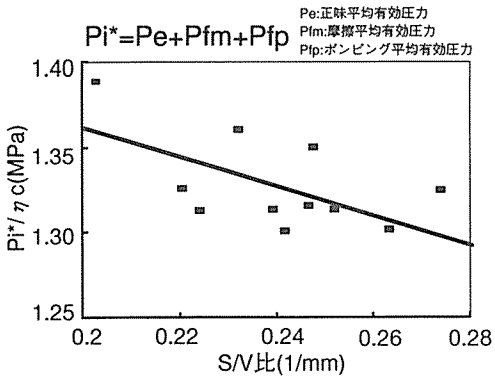


図3　S/V比と図示平均有効圧力の関係

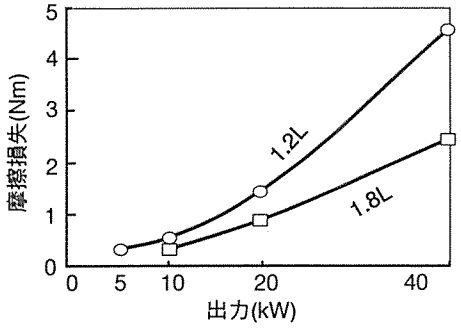


図4　排気量と摩擦の関係

図3にS/V比（燃焼室表面積／燃焼室容積）と図示平均有効圧力の関係を示す．S/V比が小さいほど，冷却水への熱放散が少なく図示有効圧力は高まる．また気筒当りの排気量は大きい程S/V比は小さくなる傾向にあり，図示平均有効圧力は高まる．

図4は同一出力でエンジンを設計した場合の排気量と摩擦損失の関係を示す．排気量が大きい程最高回転数は低く設定でき，動弁系バネ荷重の低減，ピストンリング張力の低減などによって，同一出力時の摩擦損失は小さくできる．

これらをもとに排気量と燃料消費の関係を計算した結果が図5と図6である．図5から出力の高い領域では，排気量が大きいほど熱効率は高く，逆に出力の低い領域では排気量が小さいほど熱効

率は高いことが解かる．図示熱効率，機械効率(摩擦損失）ともに排気量が大きいほど有利であるが，低出力域では部分負荷に移行するためポンプ損失の影響で排気量が小さいほど熱効率で有利となる結果となっている．

図6は，排気量と燃料消費の関係であるが，上記の理由で1500cc前後がTHS搭載車の車両重量での最適値となる．

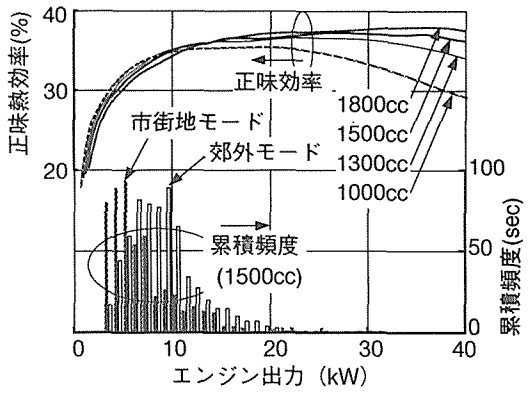


図5　排気量とエンジン効率

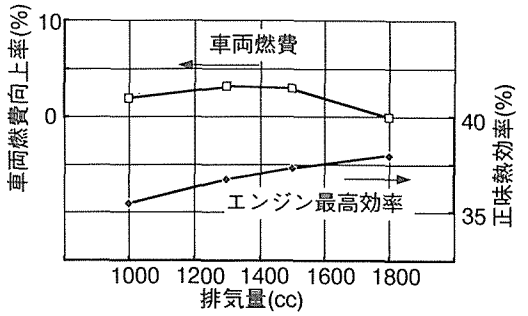


図6　排気量と燃費

3　高膨張比による効率向上

3.1　原理

等容サイクルの理論熱効率は圧縮比を高めることで向上する．ガソリン機関の場合，圧縮比を高めると圧縮端温度が上昇しノッキングが発生する．高膨張比エンジンでは，ノッキングを回避するために，吸気弁の閉じ時期を大幅に遅らせて実圧縮比を下げることで，実質的に熱効率を支配する膨張比を高めることにした．図7に充填効率を一定とした場合のPV線図の比較，図8に圧縮端圧力を同一とした場合のPV線図の比較を示す．同一充填効率で比較すると，吸気弁閉じ時期を遅くした方が最高圧力が高まり正の仕事が増大するとともに，ポンプ損失が低下する．また，同一圧縮端圧力で比較すると膨張比が大きくなることにより理論効率が高まる．[1][2][3][4][5][6][7][8][9]

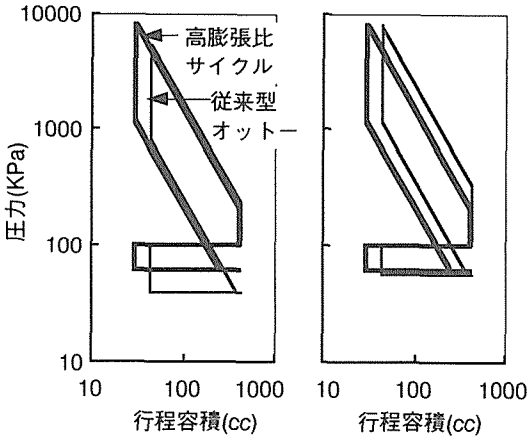


図7　同一充填効率でのPV線図の比較　　図8　同一圧縮端圧力でのPV線図比較

3.2　機械圧縮比，バルブタイミングと正味熱効率の関係

高膨張比エンジンの試作に先立ち，機械圧縮比とバルブタイミングが正味熱効率に与える影響を調べた．実験には直列4気筒2164ccトヨタ5S-FE型を用いた．

図9に膨張比とバルブタイミングを組み合せたときの熱効率の変化を示す．膨張比を高めて吸気

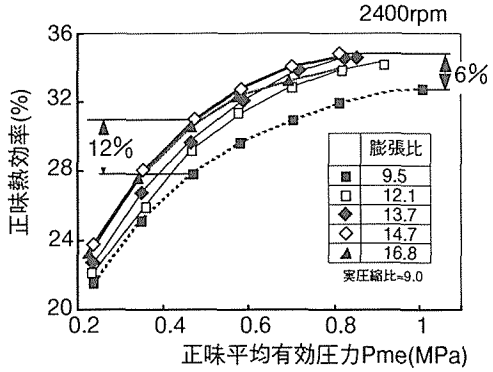


図9　膨張比による熱効率の変化

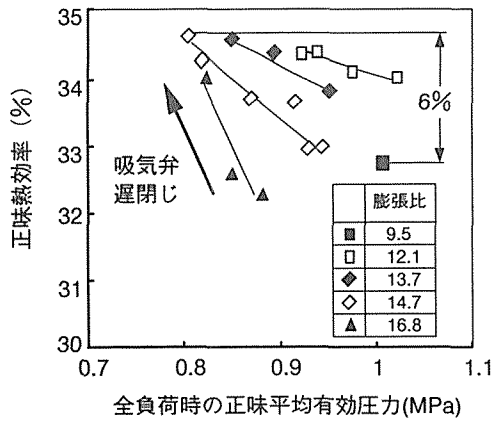


図10　膨張比と圧縮比を変えたときの
正味平均有効圧力と熱効率の関係

弁閉じ時期を遅らせると正味熱効率は高まるが，膨張比14.7で頭打ちになる．また吸気弁の閉じ時期が遅い程，正味平均有効圧力の最大値は低くなる．

図10に全負荷時の正味平均有効圧力と正味熱効率の関係を示す．膨張比を高めるとノッキングにより点火進角が遅くなり，正味効率は低下するが，同時に吸気弁閉じ時期を遅くしていくとノッキングが徐々に緩和され，熱効率は向上してゆく．従って，正味平均有効圧力の低下を許容すれば，高膨張比と吸気弁閉じ時期の遅角によって高い熱効率が実現する．図11は実測した指圧線図で，図7，図8に示した熱サイクルが実現されていることが解かる．

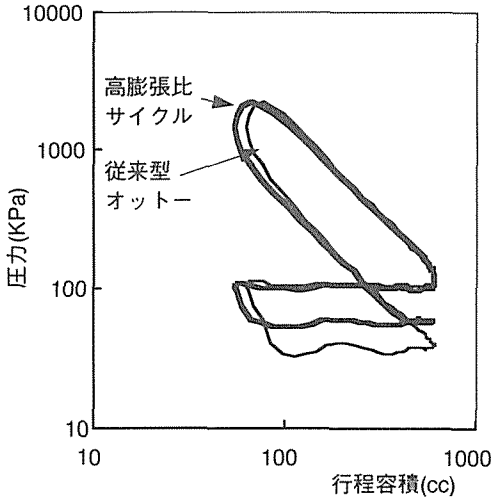


図11　実測指圧線図

4　THS用高膨張比エンジン

4.1　基本諸元

表1に高膨張比エンジンの主要諸元を示す．機械圧縮比を13.5に設定し，吸気弁閉時期をVVT-iを用いて80～120°ABDCの間に制御することで，実圧縮比を4.8～9.3に抑えた．実圧縮比4.8はVVT-iの最遅角状態で得られ，後述するエンジン再起動時の振動対策に用いた．

表1　設計諸元

エンジン名	1NZ-FXE
排気量　cc	1497
ボア　×　ストローク	φ75 × 84.7
最高出力	43kW/4,000rpm
燃焼室容積	30cc
機械圧縮比	13.5
実圧縮比	4.8～9.3
吸気弁閉時期	80～120°　ABDC
排気弁開時期	32°　BBDC

4.2　エンジン構造

図12に高膨張比エンジンの横断面図を示す．アルミ合金製シリンダブロック，クランク軸オセット[10]，ラダーフレーム構造の採用，クランク軸の細径化，動弁系バネ荷重の低減，ピストンリン

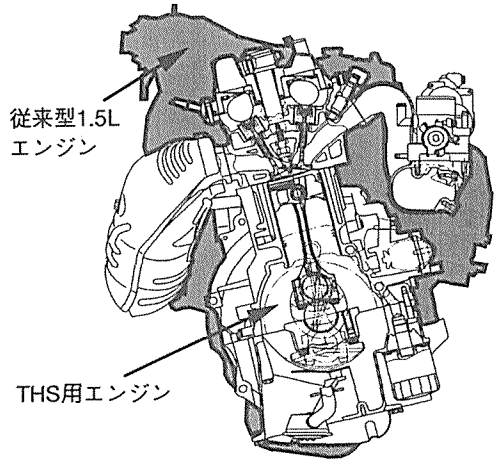


図12　高膨張比エンジンの横断面図

グ張力の低減，連桿比の増大，小型吸気マニホールドによる吸気慣性効果の削減，斜めスキッシュ型燃焼室の採用などにより，軽量化，低摩擦化，燃焼改善を図っている．

5　実験結果と考察

以下に1.5L高膨比エンジンの実験結果と考察をまとめる．

5.1　膨張比と正味熱効率の関係

図13に点火時期とトルク，BSFCの関係を示す．膨張比13，14，15の比較を行ったが，膨張比が高まるにつれてトレースノック点火時期が遅れてゆく．膨張比15ではMBT点での効率は向上するが，実圧縮比が高い事からノッキングにより制限される．膨張比14でトルク，BSFCが最も良い結果となった．

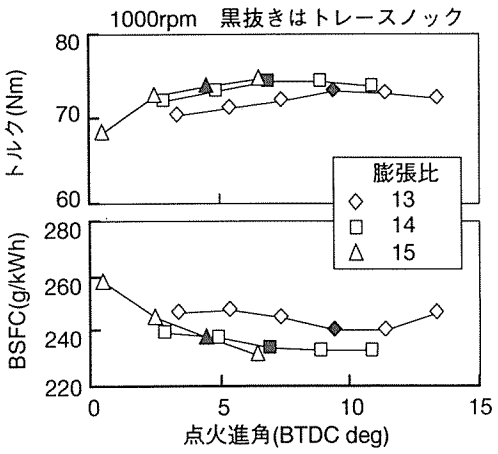


図13　膨張比による点火時期とBSFCの関係

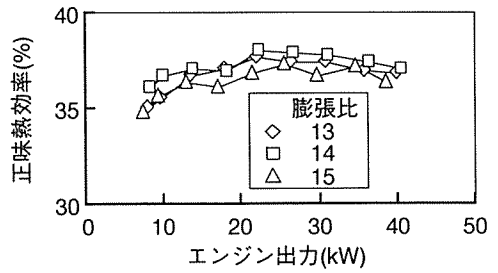


図14　膨張比による正味熱効率の変化

図14はエンジン出力に対する熱効率を調べた結果である．全出力域で膨張比14が最良値を示している．最終的には，燃焼室容積バラツキ，燃焼室へのデポジット付着，プレイグニッション余裕度などを考慮し膨張比13.5を選定した．

5.2　VVT-iによるトルクの向上

VVT-iを用いて全負荷トルクの調整を行った．**図15**はその結果である．吸気弁閉時期を10°進めることで10%以上のトルク向上が可能である．THSにおいては負荷要求の高い場合に吸気弁閉時期を早めるように制御している．

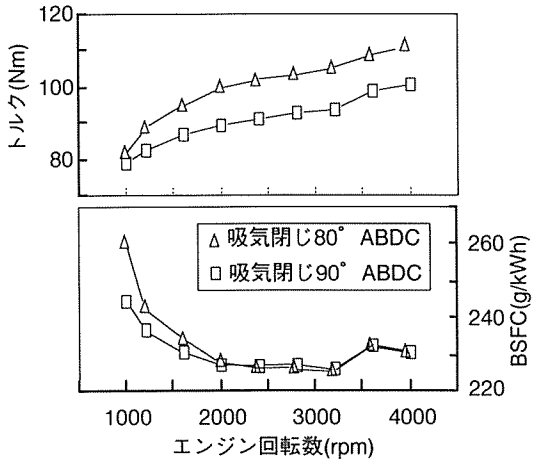


図15　VVT-iのトルク向上効果

5.3　摩擦損失

前述のように低回転化を軸に摩擦損失の低減を図った．**図16**に測定結果を示す．従来型エンジ

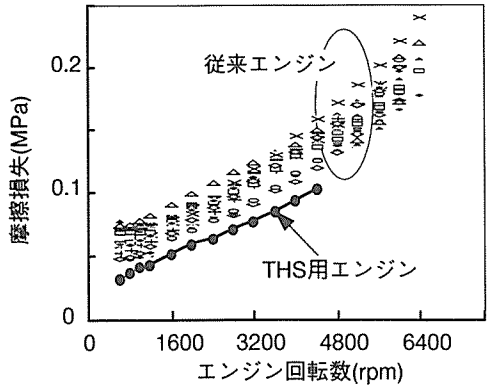


図16　摩擦損失の比較

ン群のプロットに対し，高膨張比エンジンは一段低いレベルを示しており，狙い通りの摩擦損失の低減が実現できた．

5.4　排出ガスの低減

排出ガス浄化の面からハイブリッド車の得失を以下にまとめる．

利点

(1) 排気温度が低くHC排出濃度も高い軽負荷域をモータ走行の助けによって回避できる．

(2) モータとの負荷分担によって，急加減速のようなエンジン負荷変動を小さくできる．
これによりエンジンの過渡増減量を少なくできA／Fを安定的に制御できる．

欠点

(1) エンジンの高効率域を使用するため，従来車に比べ排気温度は相対的に低下する．

(2) エンジン停止，起動回数の増加にともなう未燃燃料の排出，触媒温度の低下が懸念される．

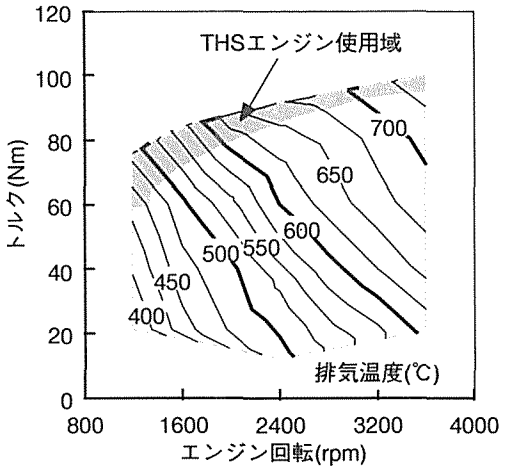


図17　排気温度マップ

図17は高膨張比エンジンの排気温度の分布を示す．従来型エンジンに対して排気温度は低くなるが，図に示すエンジン使用域においては，400℃以上が確保されている．これは触媒の活性を維持できる温度である．

図18は車両停止後の触媒床温度の推移を示す．従来型車両においてはアイドリングの継続によって徐々に触媒床温度が低下する．一方THSの

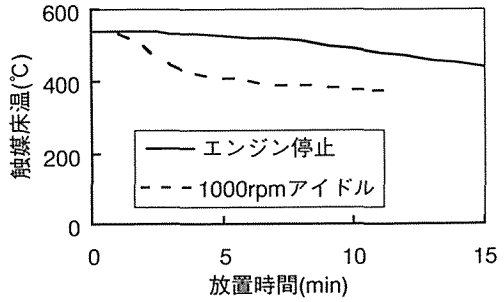


図18　停止中の触媒床温度の推移

場合はエンジンを停止させることによって低温の排気ガスの流入を回避することができ，比較的緩やかな温度低下に留めることが可能となる．

図19は触媒入口での排出ガスレベルを示している．HCは従来車と同一レベルであるが，これは燃焼室容積が小さく，S/V比が大きくなったことによると考えられる．前述のように触媒の活性状態が十分に維持されており，高い触媒浄化率が得られている．

これらの結果をもとに，利点(1)，(2)を引き出すことで，53年規制値の1/10を自主目標としてシステムの最適化を図った．

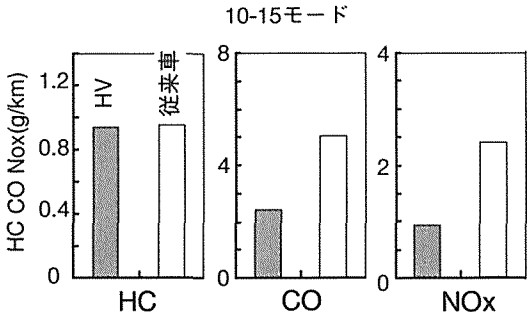


図19　触媒入口でのエミッション比較

5.5　常温起動停止と振動対策

車両停止時にエンジンを停止することは，燃費に大きく寄与し，10-15モードにおいては，20%燃費向上が得られている．背反事象として，ドライブトレーン共振点通過にともなう振動，エンジンモータリング時の圧縮反力による振動問題が挙げられる．ドライブトレーン共振は，モータによ

ってエンジン回転数を短時間に引き上げることで解決できる．圧縮反力についてはモータリング時の空気量を削減することが対策として考えられる．本エンジンにおいてはVVT-iの機能を活用し空気量の削減を試みた．

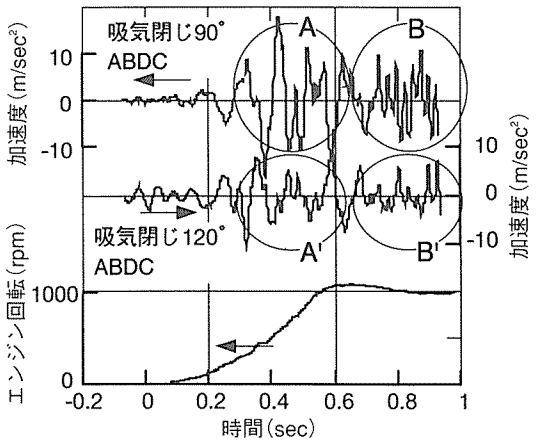


図20　エンジン起動時の振動

図20にエンジン起動時のフロア加速度を示す．図中のA部に見られる加速度の変動が圧縮反力によるものである．図中のA'部に示す吸気弁閉じ時期120°ABDCはVVT-iにより実現でき，フロア加速度変動を大幅に削減している．また，B部に見られる振動はエンジンがファイアリングを開始した後の急激なエンジントルクの発生に起因している．これは点火時期の遅角制御によって，図中B'に示すように解消された．

5.6　低温始動

THSでは，発電機をモーターとして用いエンジン回転を引き上げる．このモータは大容量ニッケル水素バッテリを電源としているが，温度が低下するにつれ出力密度が低下するため，クランキング回転数が低下する．一方，高膨張比エンジンでは吸気弁閉じ時期を大幅に送らせるためにクランキング時の圧縮端圧力（筒内最高圧力）は低下する．筒内圧力と回転数の関係を吸気弁閉じタイミングをパラメータに調べた結果を図21に示す．本エンジンの燃焼特性から着火可能な筒内最高圧力の限界は約0.85MPaである．THSでは低温条件下においてもこの圧力を維持するように，エンジン回転数と吸気弁閉じタイミングを適合し，始動性を確保した．

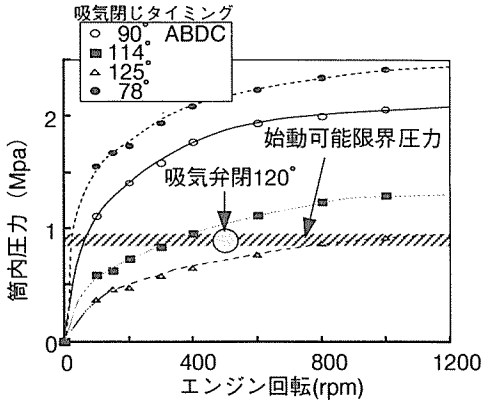


図21　回転数と筒内圧力の関係

5.7　車両燃費

今回開発した高膨張比エンジンとTHSを組み合わせ10-15モードで走行させた時のエンジン効率分布を図22に示す．低出力域ではエンジンを停止し高効率領域のみを使用している．図23にモード走行前後のバッテリ積算電流値と車両燃費の関係を示す．ハイブリッド車ではバッテリの充放電状態により燃費が変化するため，積算電流ゼロの値を燃費値とした．

さらに回生ブレーキを含めた車両統合制御の最適化により，同一クラスの車両に比べほぼ2倍の10-15モード燃費を達成した．

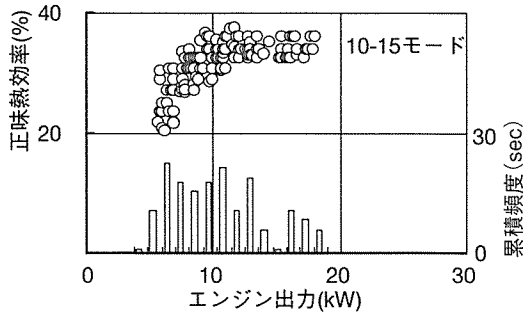


図22　10-15モード走行時のエンジン使用域と効率

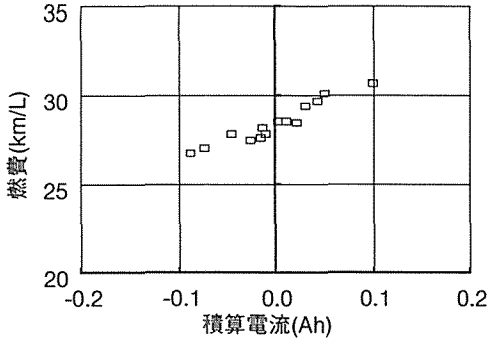


図23　充放電電流収支と燃費

6　むすび

内燃機関ー電気ハイブリッド車用として軽量,コンパクトな高膨張比ガソリンエンジンを開発した.

(1) 車両重量と動力性能要求値からエンジンの必要出力を求め高膨張比化を前提に車両燃費を最良とするエンジン排気量を選定した.

(2) 主原動機として1.5Lの高膨張比ガソリンエンジンを開発,狙いどおりの燃料消費率230g/kWh以下を達成した.

(3) モータ，エンジンの最適制御により53年規制値レベルを大幅に下回る低エミッションを達成した.

(4) エンジン起動停止の振動をVVT-iをもちいて大幅に低減した.

(5) ハイブリッドシステムとして車両燃費を同クラス車両の2倍，CO_2排出量1/2を達成した.

終わりに本システムの開発に協力いただいた関係者各位に謹んで感謝の意を表する．特に故二宮正仁氏には，無事顧客の皆様に本エンジンを提供できるようになったことを報告し謝意とする.

■参考文献

(1) 藤吉美広，浦田，鈴木，福尾：吸気弁早閉じ機構を用いたノンスロットリングエンジンの研究　第一報．自技会前刷り集924006, 924 1992-10

(2) 南雲慎一，原：吸気弁閉時期制御による燃料消費率の改善．自技会論文集9540921 Vol. 26 No. 4, Oct. 1995

(3) Richard Stone and eric Kwan : Variable Valve Actuation Mechanisms and the Potential for their Application, SAE 890673

(4) T. Ahmad, M. A. Theobald (GMR) : A Survey of Variable-Valve-Actuation Technology SAE 891674

(5) T. W. Asmus : Valve Events and Engine Operation, SAE820749

(6) Mitsuo Hitomi, Sasaki, et al., : Mechanism of Improving Fuel Efficiency by Miller Cycle and its Future Prospects, SAE950974

(7) James H. Tuttle:Controlling Engine Load by Means of Early Intake-Valve Closing, SAE 820408

(8) R. A. Stein, K. M. Galietti, T. G. Leone:Dual Equal VCT-A Variable Comshaft Timing Strategy for Improved Fuel Economy and Emissions, SAE 95975

(9) 上田直治，一丸，酒井，兼坂：吸気管制回転弁を用いた高膨張比ガソリン機関，第3報．自技会前刷り集　946 1994-10, 9437458

(10) 佐野真一，神山，上田：シリンダボアとクランク軸中心オフセットによる熱効率の改善．自技会学術講演会前刷集　966 1996-10

■著者


高岡　俊文


広瀬　雄彦


上田　建仁


能野　靖


多田　博


金井　弘

EV，HVユニットの生産技術開発

Production Engineering Development for EV, HV Units

田上　健*　Ken Tanoue
宮崎　寛**　Hiroshi Miyazaki
川端　康己**　Yasutomo Kawabata
山本　俊彰*　Toshiaki Yamamoto
広瀬　隆雄*　Takao Hirose
中川　元*　Hajime Nakagawa

要旨

'97年末に発売されるプリウスは画期的な「トヨタハイブリッドシステム」を搭載しており，従来にはないモーターおよび発電機，インバーター，電気パワーステアリング，回生ブレーキなどの新しいユニットが採用されている．この新ユニットに対して生産技術部門として新しい取り組みが必要であった．生技・工機部門のスタッフを技術部門に派遣することでこれら新分野での車両システムの理解を図るとともに，設備用モーターの設計部署を核としてEV，HVモーター関係の人材を結集することで，EV，HVの主要ユニットおよびシステムの設計から製造・評価の技術を社内に蓄積し，早期にこれら新分野の生産技術を確立することができた．

Abstract

The Prius to be introduced to the market by the end of '97 is installed with an epoch-making Toyota Hybrid System which consists of new components (motor, generator, inverter, electric power streering, regenerative brake etc.).

The new system gave greater challenges than ever to both the Product Development Divisions and Production Engineering Divisions.

Through intensive simultaneous engineering by the intra-company task force teamed up with specialists from relevant divisions including machine-tool-motor specialists, the system has gotten ready to make a debut in a very short lead time and the fundamental manufacturing processes have been established.

キーワード　EV，HV，モーター，生産技術，試作

1　はじめに

当社はエコプロジェクトの一環として，電気自動車RAV 4 L-EV，コースターハイブリッド-EVに続き，'97年末に画期的な「トヨタハイブリッドシステム」のパワートレーン（**写真１**）[1]を搭載したプリウスを発売する．これは動力源としてガソリンエンジンと電気モーターを備えているハイブリッドシステムである．特にシステムの要となっているモーター，発電機と減速機等から成るトランスミッションは開発技術課題が多岐にわたっており，社内の小回りのきく体制の中で，開発から試作，評価，生産までを行うことにより，早期に立ち上げることができた．

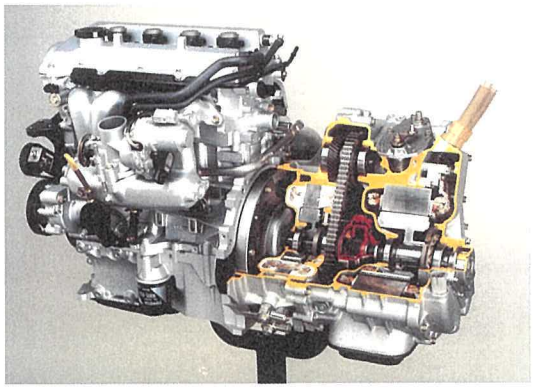


写真１　トヨタハイブリッドシステム外観

* ユニット生技部
** ITエンジニアリング部

2　EV, HV用ユニットの生産技術蓄積の経緯

当社は他に先駆けてハイブリッドシステム用ユニットの積極的な開発をし，実用化を進めてきた．

表1　プリウスの主なHV用ユニット

コンポーネント	構成ユニット
パワーユニット	エンジン モーター，発電機 トランスアクスル
パワー コントロール ユニット	インバーター モーター-ECU HV-ECU
バッテリー	バッテリー バッテリー-ECU
シャシー	電気パワーステアリング 回生ブレーキ ABS

プリウスには従来の内燃機関だけで動く車には無いモーター，発電機を含むパワーユニット，モーターを制御するインバーターを含むパワーコントロールユニット，モーターの動力源としてのバッテリー，電気パワーステアリング，回生ブレーキなどの新コンポーネントや新技術が多く採用されている．

図1にプリウスで採用したハイブリッドシステム構成を示す．

生技・工機部門ではEVや本ハイブリッドシステムを将来の基幹システムの一つと考えて，表2に示す流れで生産技術の開発と技術・ノウハウの蓄積をしてきた．

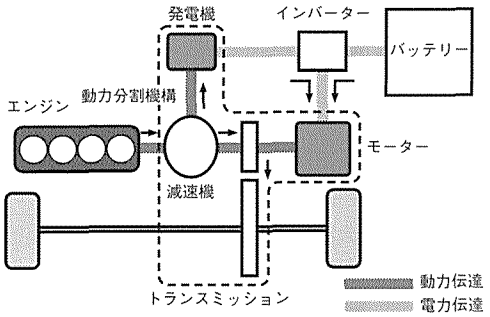


図1　ハイブリッドシステム構成

工機部門では，設備の設計部署が'85年頃からメカトロ要素技術として設備用モーターの開発・評価を行ってきた．この設備用モーターの開発技術を活かして，'91年からEV用モーターの先行開発を開始，'94年には試作を行った．

生技部門では'95年にHV用ユニットの試作を開始，'97年には量産に向けた生産準備を行った．

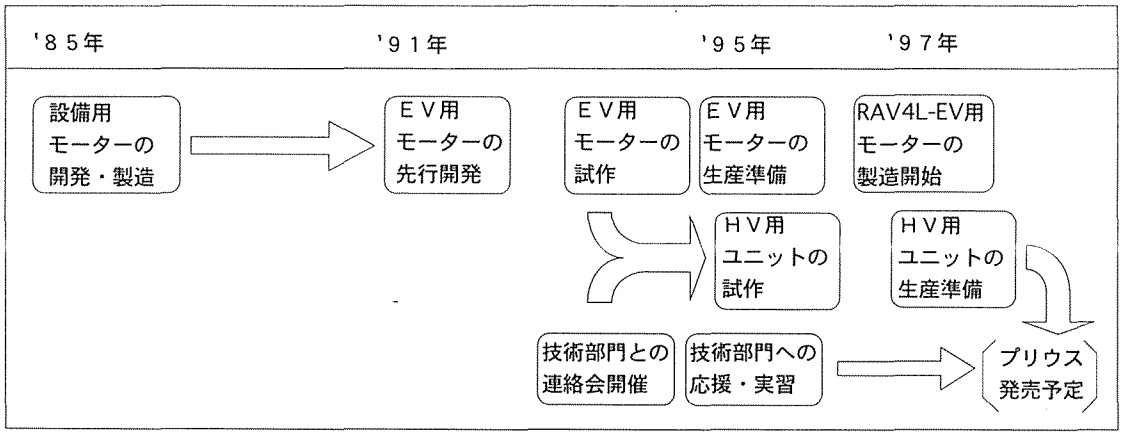
また企画段階における開発を効率的に推進するため，'93年には技術部門と生技・工機部門との連絡会を設置するとともに，生技・工機部門の技術スタッフを技術部門へ派遣するなどをして，新分野技術における両者の連携強化，迅速な情報伝達を行い，早期立ち上げを可能にしてきた．

3　モーターの生産技術開発

3.1　EV，HV用モーターの開発

EV，HVの新規ユニットの生産にあたり，新し

表2　生技・工機部門の取り組み



い課題が発生した．以下新規ユニットの例としてモーター，発電機の生産技術開発について述べる．

設備用モーターと較べてEV，HV用モーターは高効率，高出力が，また過酷な環境下における使用を考えると高信頼性が要求される．量産対応を考えると生産性向上も重要な課題である．この課題に対して工機部門と生技部門において積極的に試作・生産技術開発・評価を行った．

3.2　モーター組付けの生産技術開発

モーター，発電機の組付け関係でも多くの生産技術開発が行われた．図2に組付け工程の概要を示す．

モーター，発電機の組付け工程は，設備用の永久磁石型ACサーボモーターの試作で実施してきた基本技術に製品要求性能，量産性，製造品質の面から改良を加えたもので，以下はその主な事例である．

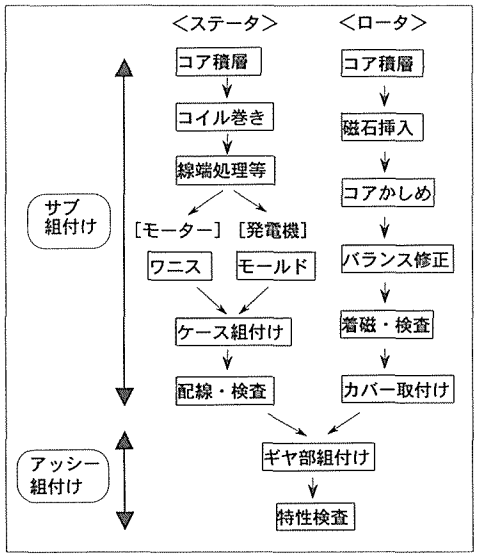


図2　モーター，発電機の組付け工程概要

3.3　ステータのコイル巻き

EV，HV用モーターのコイルは量産されている産業用誘導モーターと同じ重ね巻きタイプである．コイルの体格に対する指標である占積率（図3参照）では産業用誘導モーターが50%程度であったのに対し，本モーターは約70%と従来にない高い値となっている点が特徴である．

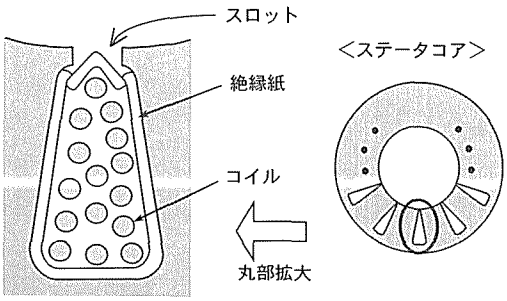


図3　占積率の定義

これは，手作業でもかなりの熟練と時間を要する難作業であり，コイル巻きの機械化は必須である．当社として初めての経験であるが，産業用誘導モーターで行われているコイル巻きの量産技術であるコイルインサート方式（図4）を採用することにした．

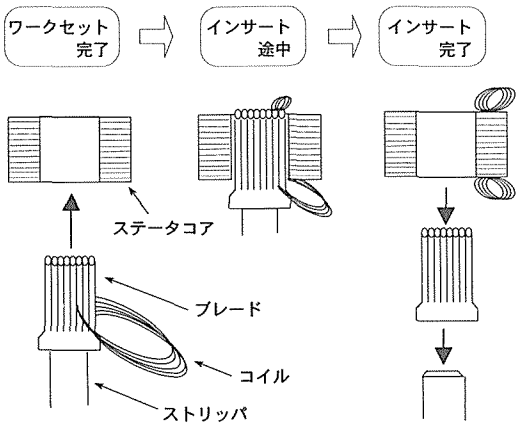


図4　コイルインサートの工程概要

ステータのスロット開口寸法とコイル寸法，本数との関係を解析することにより，インサート方式により占積率70%の確保が可能となった．

その他既知の知見を最大限活用するとともに，高占積率に起因して発生する新たな課題への対応策を織り込むことで，HV用モーターでのコイル巻きの機械化を可能にした．

また，インサート方式に関する従来の知見で，

そのまま通用する部分としない部分についても明らかになった．

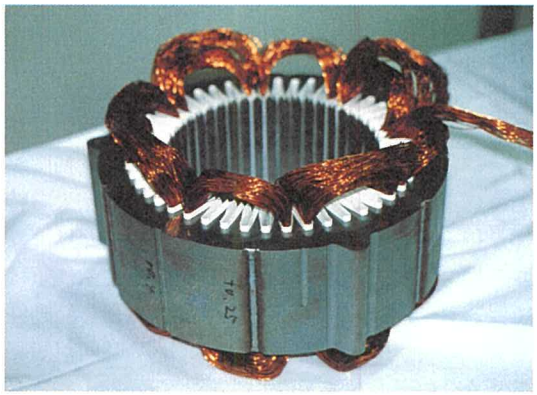


写真２　コイル巻き後（１相のみ）

3.4　コイルの皮膜除去と端子かしめ

コイル線と端子の電気的結合はコイル線の絶縁被膜除去方法が課題であった．

この程度の大型モーターでは従来はカッターによる機械的なはくり法や化学的なはくり法が主流であるが，前者は加工時間，後者は作業環境に難点があり，小型モーターで主流になっている通電かしめ法を拡大適用した．（図５）

小型モーターでは１端子当りのコイル線は１から２本，最大でも５本程度であるが，本モーターでは１端子あたり数十本と多いため，コイル線が直接ターミナルに接触せずコイル線どうしで接触している状態が圧倒的に多く，入熱の安定性，加圧力の均一化がもとめられた．

発熱はタングステン電極の通電発熱が主でありターミナルを経由してコイル線の絶縁被膜に伝熱される．加熱されて軟化した絶縁被膜をその後の加圧により外部へ押し出して被膜除去をおこない電気的結合をおこなう．

加圧は電極と接触していない側面部の圧力が低くなりがちなので均一に圧力が加わるように電極の形状を工夫した．

コイル線の何％がターミナルと電気的に導通しているかを示す通電率はある加工条件以上では安定して100％であり，またこの加工条件は機械的強度を示す引張り強度とも両立している。（図６参照）

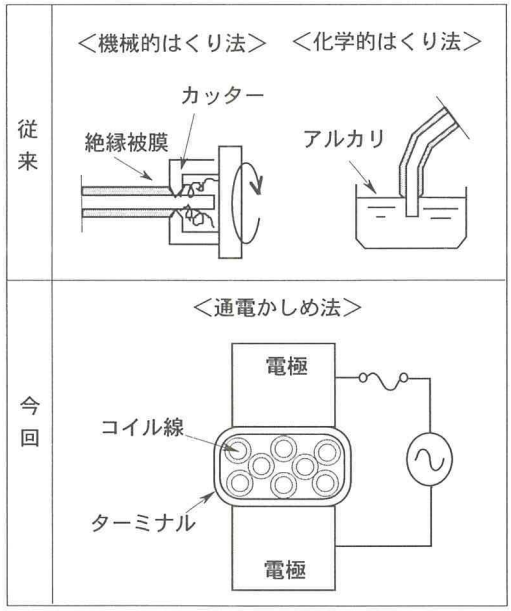


図５　絶縁被膜の除去方法

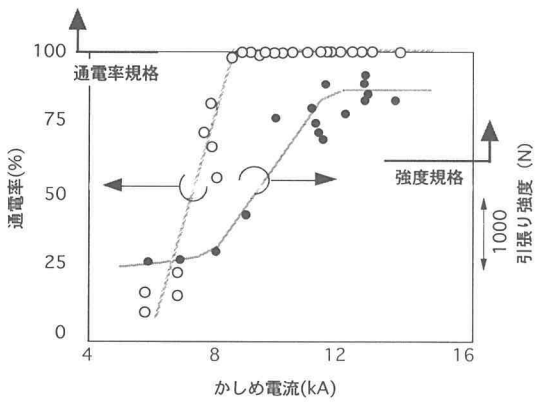


図６　かしめ電流と通電率，引張り強度

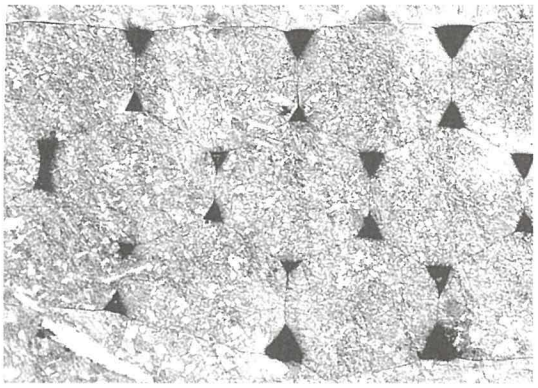


写真３　端子の断面

当初懸念されたコイル線間の接合状態も良好であり（**写真3**），本加工法により被膜除去とターミナル接合時間の大幅短縮が達成された．

3.5　ステータコイルのワニス滴下含浸

ステータコイルのワニス含浸については滴下含浸方式を採用した．**図7**に示すように従来多用されてきたディッピング含浸方式に較べ，コイル固定能力，処理時間，ワニス歩留まり，作業環境いずれをとっても大幅に向上する．

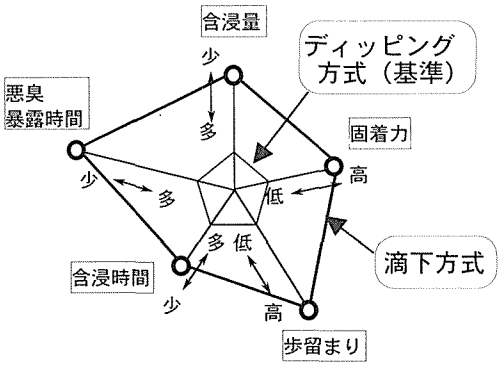


図7　滴下含浸のメリット（社内比較）

滴下含浸方式は**図8**に示すように，ステータを回転させながらステータ端面より突出しているコイルエンド部にワニス溶液を垂らしかけ，毛細管現象によりコイル線間の隙間にくまなくワニスを充填するものである．

線間の空隙を出来るだけ埋めるという観点からは，ステータを回転させておくことにより含浸量の確保と均一性を確保することが出来る．滴下処理時間はワニスがコイルからこぼれずに滴下出来る流量，即ち浸透速度によって決まる．従って一気に多量に滴下するのではなく，浸透時間を十分確保しながら何回かに分けて滴下するのがよい．

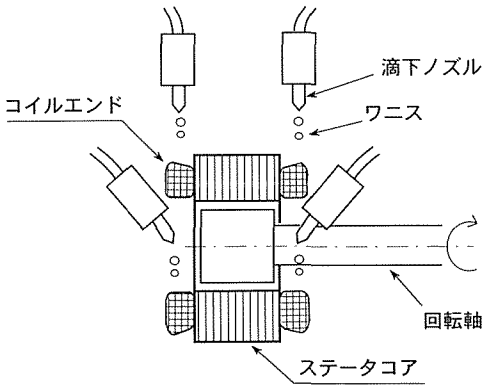


図8　滴下含浸方式

図9に浸透速度とワニス粘度の関係を示す．ワニスは常温で調合後，温度を上げると一旦粘度が急激に下がったあと，暫くして急激に硬化する特性を持っている．予めコイルを予熱しておけばワニスはコイルに触れた瞬間から粘度を急激に下げて浸透し，浸透後まもなく一気にゲル化し流動性を失うので，コイルを回転させておく時間が短くて済み，好都合である．

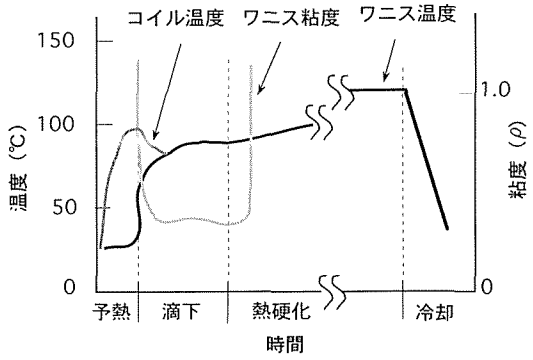


図9　ワニス温度と粘度

3.6　ステータコイルの樹脂モールド

発電機は冷却能力をアップする必要からコイルエンドとステータケースとの空間を樹脂モールドし，コイルエンドの表面温度で約20度の低減効果を得た．**図10**に樹脂モールド工程を示す．

ワークおよび金型を予熱しておき，減圧した空間に加温した樹脂を加圧押し出しにて充填する．

樹脂は単にコイルエンドとステータケースとの空間のみならず，コイル線間の空隙，絶縁紙との空隙等にも万遍なく行き渡る．

使用樹脂はベース材料の不飽和ポリエステル系熱硬化性樹脂にアルミナ，シリカ等のフィラーを添加し，熱伝導率改善（**図11**参照），過酷なヒートサイクルへの耐久性，モールド時の流動性のバランスを取ったものを新たに開発した．

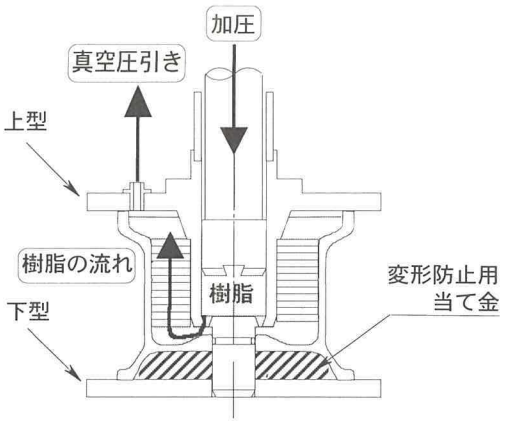


図10　樹脂モールド法

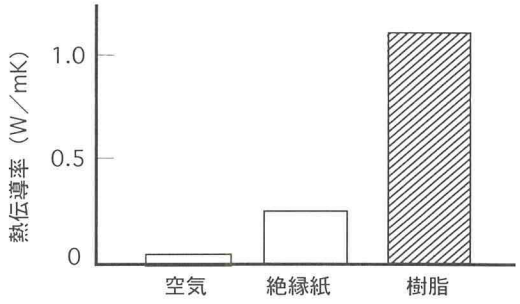


図11　熱伝導率の比較

流動中の樹脂は流動時に接触する相手に粘性摩擦力や流動圧力を及ぼすので，出来るだけ低圧で，緩やかに，バランス良く充填する必要がある．またケースの膨張，コアの浮き上がり，コイル線の流れ抑制対策も必要である．

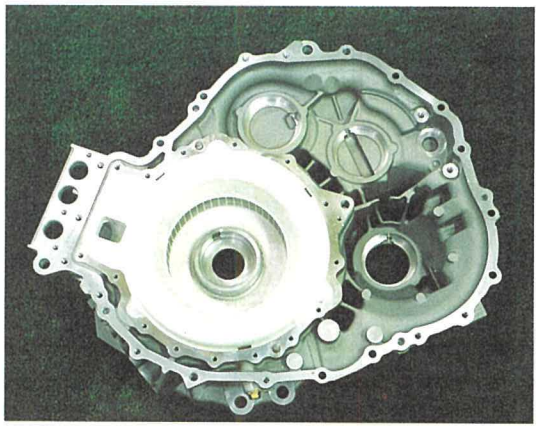


写真4　樹脂モールド後

4　おわりに

エコプロジェクトの主役であるHVシステムは開発，生産準備のリードタイムの短縮を図るため，ユニットの開発と生産技術の開発が同時進行の方法をとった．これにより技術部門と生技・工機部門との間の連携強化を可能にし，EV，HV用ユニットの多くの生産技術課題の早期解決を実現し，その技術・ノウハウを蓄積することができた．

今後これらの新分野での生産技術を基にして，さらにレベルアップを図り，これから発展するであろうEV，HVの生産技術への要求に積極的に応えていきたい．

■参考文献

(1) トヨタ自動車株式会社　広報部：TOYOTA PRESS INFORMATION '97. March. 25. 1997

■著者


田上　健


宮崎　寛


川端　康己


山本　俊彰


広瀬　隆雄


中川　元

燃料電池による電気自動車の開発

Development of Electric Vehicle Powered by Fuel Cell

野々部　康宏*　　木村　良雄*
Yasuhiro Nonobe　　Yoshio Kimura

要旨

近年，環境問題に対応して，各自動車メーカとも低公害車の開発が盛んであり，電気自動車も機能的にはガソリン車レベルまで向上しているが，使用性に劣る点が一般ユーザへの普及において高い障壁となっている．今回は，使用性および効率の面で飛躍的な向上が期待できる，燃料電池を動力源とする燃料電池電気自動車を試作した．その結果，燃料電池が電気自動車の動力源としての十分なポテンシャルを有することや，低エミッション，高効率といったメリットも実証できた．

Abstract

Recently, manufactures have been developing low-emission vehicle to solve environmental problems. Electric vehicle is expected to be one of the alternative low emission vehicle and has made great progress in driving performance and ride comfort. However, long time to recharge battery, limited driving range due to low battery energy density and high product cost are barriers for electric vehicle to be popular to general customer. This time we have developed the experimental vehicle installing fuel cell as a power source. Fuel cell is expected to give electric vehicle a high energy efficiency and easiness to use. As a result, it was verified that the fuel cell has enough potential as a power source of electric vehicle, and that the advantage in low emission and high efficiency.

キーワード　固体高分子型燃料電池，水素吸蔵合金

1　はじめに

近年，環境問題に対応して，各自動車メーカとも低公害車の開発が盛んである．特に，米国カリフォルニア州のZEV規制により，これまで研究開発段階にあった電気自動車も一般ユーザへの普及に向けて開発が加速されている．しかし，現状では，主としてバッテリーに関わる問題により，ガソリン車に比べ使用性に劣る点が普及への大きな障壁となっている．

そして，これらの問題を抜本的に解決する一つの手段として期待されるのが，燃料電池を動力源とする電気自動車（Fuel Cell Electric Vehicle：以下FCEV）である．これは，水素もしくは水素源となる燃料を搭載し，この燃料を燃料電池により電気エネルギーに変換し，電気自動車を駆動させる動力を発生させるものである．この方式によるFCEVでは，航続距離，燃料補給等の使用性がガソリンエンジン車と同等レベルとなるメリットに加え，エネルギー効率に優れているシステムであるので，大幅な燃費向上，低エミッションといった特長も有し，次世代電気自動車としての期待は大きい．

そこで現在は，実際にRAV4L Vをベースに FCEVを試作し，燃料電池の電気自動車の動力源としての可能性，および上記メリットの検証を行っており，今回はその内容について報告する．

* EHV技術部

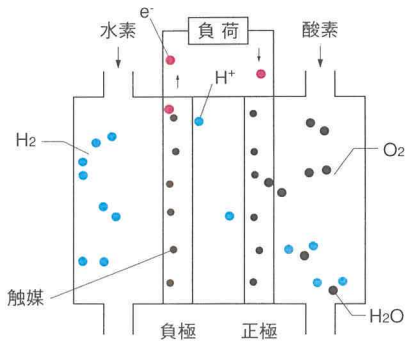
2　燃料電池とは[1]

2.1　燃料電池の原理

燃料電池とは，外部から電池活物質を，気体または液体の形で連続的に供給することで，電池容量に関係なく，原理的には永久に電気エネルギーを取り出すことができる電池である．

典型的な燃料電池では，正極活物質として酸素（空気），負極活物質として水素を用いている．図1に発電の原理を，以下に反応式を示す．負極に供

給された水素が触媒上でプロトンに解離され，電解質中を移動して正極の酸素と反応し水を生成する．その時，負極で放出された電子が，外部回路を通じて正極に達することで発電し，その標準起電力は1.23Vである（図１）．



〔負極〕$H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$
〔正極〕$1/2O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$
〔全体〕$H_2 + 1/2O_2 \rightarrow H_2O$

図１　燃料電池の発電原理

2.2　燃料電池の特長

この発電原理から期待される特長が２点ある．一つは，上記の反応に伴う化学的エネルギー変化を他のエネルギーを経由することなく，直接電気エネルギーに変換できるため，他の発電方式に比べて極めて高い発電効率が期待できる点である（図２）．

もう一点は，反応が水素と酸素からの水の生成反応であり，高温を必要としないことから，窒素酸化物等の排出がほとんど無いことである．燃料に水素を用いれば，排ガスは水蒸気だけとなり，メタノール等の燃料を改質してもHC，NOx等の排出物は極めて少ない（図３）．

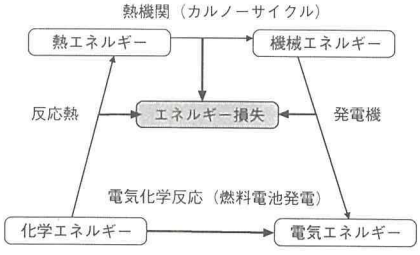


図２　エネルギー変換経路

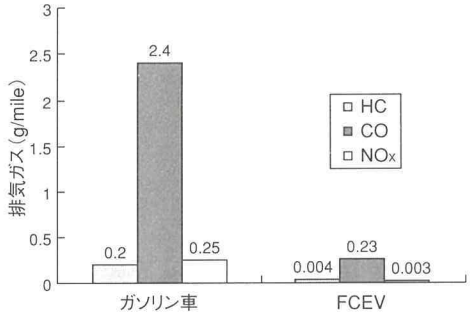


図３　自動車におけるエミッション比較

3　FCEV用燃料電池

FCEVに用いられる燃料電池に要求される条件としては，

・低温作動が可能で，起動時間が短い
・出力密度が高く，小型・軽量であること．
・アルコール等の炭化水素系燃料を改質した粗製水素が使用可能なこと．

といった点が挙げられる．表１に電解質の種類によって分類した各種燃料電池の特徴[1]を示すが，この中で上記の条件を満たすものは固体高分子型になる．固体高分子型とは，電解質がプロトン交換膜と呼ばれるポリマーからなっており，湿潤状態で良好なプロトン伝導性を示すものである．近年プロトン伝導性に優れるプロトン交換膜が開発されたことで，急速に開発が進んでいる．

従って，今回のFCEVには上記観点より固体高分子型燃料電池を選択し，開発を進めた．図４に固体高分子型燃料電池のセルの基本構成を示す．

通常，燃料ガスの流路を形成した１対のガス不透過性のコネクタ（集電体）の間に，電極接合体を挟み込んだ構成をとる．電極接合体は，白金等

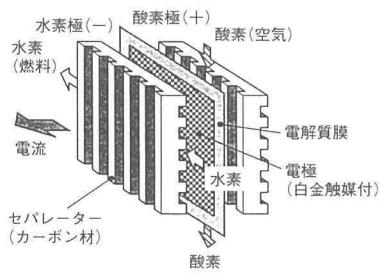


図４　固体高分子型燃料電池のセル構成

表１　燃料電池の種類と特徴

	アルカリ型	固体高分子型	りん酸型	溶融炭酸塩型	固体酸化物型
電解質	KOH水溶液	プロトン交換膜	りん酸	K_2CO_3 Li_2CO_3	ZrO_2 $+Y_2O_3$
導電種	OH^-	H＋	H＋	CO_3^{2-}	O^{2-}
触媒	Ni，Ag	Pt	Pt	—	—
作動温度	～120℃	～80℃	180～250℃	500～750℃	800～1000℃
起動時間	数秒	数秒	10数分	数時間	10時間以上
燃料	純水素	水素 （炭酸ガス可）	水素 （炭酸ガス可）	水素 一酸化炭素	水素 一酸化炭素
燃料源	電解，水分解	天然ガス メタノール	天然ガス メタノール	天然ガス メタノール 石炭　石油	天然ガス メタノール 石炭　石油
開発用途	宇宙用 潜水艦 EV	宇宙用 EV	分散型発電所 オンサイト EV	集中発電所	集中発電所

の触媒層が形成された１対の導電性多孔質体（カーボンペーパ等）の間に，プロトン交換膜を圧着したものである．

今回の燃料電池には，プロトン交換膜にDuPont製のNafion膜，触媒は正極にはPt，負極にはPt-Ru合金を用いた．

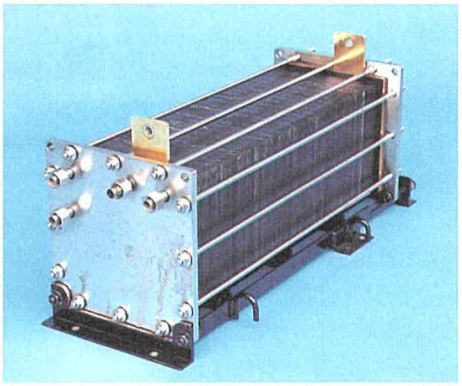


写真１　５kw級燃料電池スタック

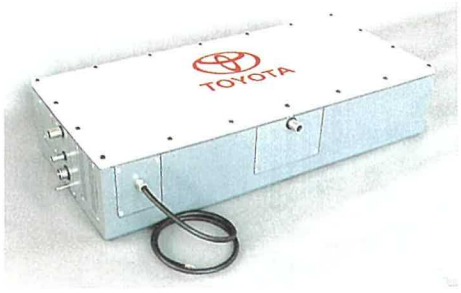


写真２　20kw級燃料電池ユニット

この単位セルを，必要な電圧分（電気自動車では約300V）直列に積層し，２～３セルに１枚の割合で冷却板を挿入し，締結したものが燃料電池スタックと呼ばれる．**写真１**に示したものが５kw級の燃料電池スタックで，FCEVにはこの４倍の20kwスタックを配管部分とともに収納したユニット（**写真２**）を搭載した．

4　水素燃料

4.1　水素燃料の供給方法

燃料電池に活物質として供給される水素源には，何らかの形で貯蔵した水素を用いる方式と，炭化水素系燃料を原燃料として水素を製造する方式がある．

前者では，高圧ガスボンベ，液体水素ボンベ，水素吸蔵合金タンクがある．この中で，水素吸蔵合金とは[3]，金属格子中に水素分子を吸蔵する性質を持ち，一般的には，冷却により水素の吸蔵，加熱により水素の放出を繰り返し行えるものである．また後者では，原燃料としてメタノール，天然ガス等の炭化水素系燃料を用い，改質器により水蒸気改質させる方法が一般的である[4]．以下にその反応をメタノールを例にして示す．

$CH_3OH + H_2O \rightarrow 3H_2 + CO_2 + (CO)$

$CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$

この方法では，CO_2とともに微量のCOが発生し，これが燃料電池のPt触媒を被毒し，出力を低下させるという問題がある．先に述べた燃料電池の負極触媒にPt-Ru合金を用いるのは，この耐CO被毒性を大幅に改善するためのものである．

今回の，FCEVではゼロエミッションの観点，および燃料電池システムの実証という目的から，水素を貯蔵する方式を選択した．

4.2　水素吸蔵合金タンク

水素を貯蔵する方式での課題は，その容器の大きさと，燃料の再充填にある．従って，他の貯蔵方式に比べ容積が小さくて良く（図7），合金の加熱により容易に水素を再充填できる特徴をもつ水素吸蔵合金タンクを選択した．

また新たに，従来の2倍の水素吸蔵が可能な合金を開発したことにより，写真3に示すようなタンク3本で（体格：700＊450＊170＊，重量：100 kg），一回の水素充填で約250kmの航続距離が確保できた．

5　燃料電池システム

先の燃料電池，水素吸蔵合金タンクを用いた燃料電池システムを図5に示す．このシステムは大きく分けて，燃料供給系，空気供給系，冷却系から構成されている．

燃料供給系は，水素吸蔵合金タンクから水素を加湿して（プロトン交換膜の湿潤状態を保つため）燃料電池に供給するシステムで，燃料電池で消費された分，新たに水素が供給されるように圧力が調整されている．また，燃料電池で消費されなかった水素は循環して再利用され，一層の燃費向上を図っている．

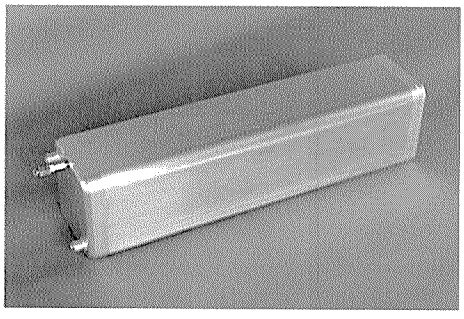


写真3　水素吸蔵合金タンク

空気供給システムは，空気を加湿して燃料電池に供給するシステムでエアポンプ，コンプレッサ等が用いられる．

冷却システムは，燃料電池の発電に伴い発生する熱を，スタック中に数セルに1枚の割合で挿入された冷却板により回収し，外部熱交換器により放熱するシステムである．今回のシステムでは回収した熱を，水素吸蔵合金タンクから水素を放出するのに必要な熱量，および加湿に必要な熱量に用いシステム効率の向上を図っている．

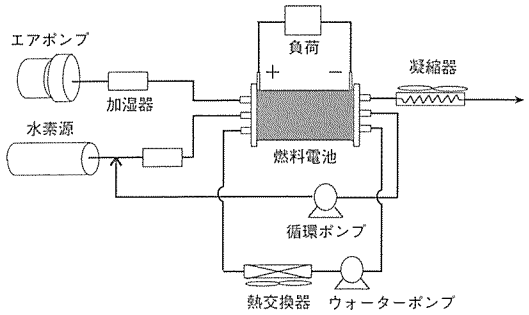


図5　固体高分子型燃料電池システム

6　FCEVシステム

今回のFCEVの車両システムは，前述の固体高分子型燃料電池のシステムに，電気自動車のシステムを結合したものであり，動力源としては燃料電池と2次電池のハイブリッドの構成をとっている（図6）．

この2次電池は，通常の走行で発生する10～30%の制動エネルギーを回収し，電池に蓄え再利用するために搭載されたもので，一層のエネルギー効率，燃費の向上を図るものである．

高負荷走行時には，燃料電池出力に加えて2次電池からも出力するという考え方であり，燃料電池出力を小さく設計することが可能となる．従って，出力20kwの燃料電池により，100km/h以上の最高速度，市街地走行での十分な加速が確保できた．

一方，巡航時等の低負荷走行時には，燃料電池から2次電池への充電が行われ，高負荷時に消費した分を補うように設計されている．

また，搭載については個々のコンポーネントの大幅な小型化を進め，燃料電池，水素吸蔵合金タンク，およびその他の主要部品は全て車両床下に搭載することが可能となり，従来の客室，荷室スペースには一切の制限を受けない．（図7）

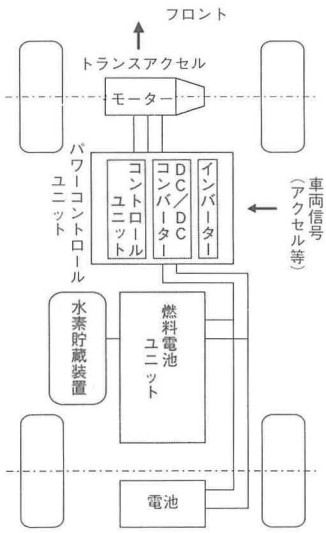


図6　FCEVシステム図

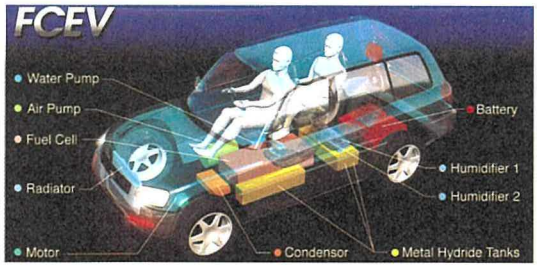


図7　FCEV搭載図

7　FCEVの車両諸元

表2に今回のFCEVの主要諸元，写真4に車両外観を示す．動力性能では，最高速度は100km/hを超え，加速性能では従来のRAV4EVには劣るものの，市街地走行相当での十分な加速も確認できた．

燃料については，水素吸蔵合金タンクからの水素によりゼロエミッションの実現，および十数分程度の迅速な燃料の再充填の実現性をも確認した．

また，燃料電池，水素吸蔵合金タンク等，小型・高性能化を図り，システム全てを小型乗用車に搭載することが可能であることを実証できた．



写真4　FCEV外観

8　おわりに

今回のFCEVの開発を通し，燃料電池システムが電気自動車の動力源として，動力性能，ゼロエミッション，搭載性の点で十分なポテンシャルを有することが実証できた．しかし，現状は研究開発段階から製品開発段階への過渡期であると言え，製品化への課題は多い．

まず燃料電池の課題から言うと，出力密度の向上（小型・軽量化），コスト低減，車両搭載環境下での信頼性確保，水分管理の取り扱い性等が挙げられる．

次に，燃料源については今回は水素吸蔵合金タンクからの水素を用いたが，ゼロエミッション，高効率といったメリットはあるものの水素供給のインフラが整備される見通しは明るくない．従って，当面は炭化水素系燃料による改質が主流になると考えられ，その燃料選択および改質器の開発が重要な課題である．

また，制御面では，燃料供給側との応答性が重要であり，急激な負荷変動に対していかに迅速に燃料ガスを燃料電池に供給するかといった点が鍵となる．特に改質ガスを用いる際には，制御が複雑になることから，コンパクト且つ応答性の良い制御システムの構築が必要とされる．

■参考文献

(1) 電気学会 燃料電池運転性調査専門委員会編：燃料電池発電，p. 6, 11　コロナ社（1994）
(2) 燃料電池発電システム編集委員会編：燃料電

表2　FCEVの車両諸元

車両諸元	ベース車両	RAV4 L V
	全長＊全幅＊全高　(mm)	3,975＊1,695＊1,635＊
動力性能	最高速度　(km/h)	100以上
	水素一充填走行距離　(km)	250（目標値）
駆動方式		FF
駆動用モータ	種類	永久磁石式・同期型
	最高出力　(kw)	45
	最大トルク　(Nm)	165
燃料電池	種類	固体高分子型
	全長＊全幅＊全高　(mm)	1,050＊500＊230
	重量　(kg)	120
	定格出力　(kw)	20
水素貯蔵装置	種類	水素吸蔵合金型
	全長＊全幅＊全高　(mm)	700＊450＊170
	水素吸蔵合重量　(kg)	約100
	水素貯蔵量　(kg)	約2

池発電システム，p. 11，オーム社（1993）
(3) 大角：水素吸蔵合金の話，p. 61，アグネ技術センター（1990）
(4) 燃料電池発電システム編集委員会編：燃料電池発電システム，p. 14，オーム社（1993）

■著者



野々部　康宏



木村　良雄

燃料電池用小型高効率メタノール改質器の開発

High Efficient and Compact Methanol Reformer for Fuel Cells

滝　正佳*　Masayoshi Taki
根岸　良昌*　Yoshimasa Negishi
小林　信夫*　Nobuo Kobayashi

要旨

近年，環境資源問題から，クリーンでエネルギ変換効率の高い燃料電池が注目され，車への展開が期待されている．この車載用燃料電池への水素供給源として，現在メタノール改質器を開発中である．水素生成効率の高いメタノールの水蒸気改質法は，吸熱反応のため熱源が必要であり，高効率でコンパクトな熱供給法が課題である．例えば，燃料電池の発電電力を用いたヒータ加熱は，コンパクトであるが効率上望ましくない．そこで筆者らは，吸熱反応を起こす触媒上で，発熱反応である部分酸化を同時に起こし熱供給する「部分酸化併用水蒸気改質法」を新たに開発した．これにより高効率とコンパクト化の両立が可能となった．

Abstract

From a point of environment and conservation of natural resources, practical application to automobiles of fuel cells, which have high energy conversion efficiency and emit no air pollutants, is expected. A methanol reformer has been developing to supply hydrogen for fuel cells. As methanol steam reforming is endothermic reaction, a heat source is necessary. Since a panel heater is relatively small, it has been commonly used as the heat source. However, the overall efficiency of the fuel cell system with a panel heater was low due to the use of energy generated by fuel cells.

We have developed a Partial Oxidation Steam Reform Method. With this method, a part of methanol is oxidized on the same catalyst and heat of the exothermic reaction is used for methanol reforming. The fuel cell system has been optimized for producing high purity hydrogen. As a result, the overall efficiency has been improved and the system has become compact.

キーワード　燃料電池，電気自動車，メタノール，改質器，部分酸化，水蒸気改質，高効率

1　まえがき

環境・資源問題からクリーンでエネルギ変換効率の高い燃料電池電気自動車[1]~[3]が注目されている．燃料電池（Fuel Cells：FCと略す）とは図1に示すように，水の電気分解の逆反応で水素と酸素から直接起電力を得る発電システムであり，理論効率が83%と高いのが特徴である．酸素は空気から得られるが，水素を安価に高密度化することが難しく，水素の運搬手段が課題[4]である．

筆者らは，液体燃料から水素を生成する「メタノール改質」が車載用に適していると考え，小型・高効率の改質器を開発中である．

本報では，新たに開発した「部分酸化併用水蒸気改質法」についてその内容を述べると共に，反応経路，反応速度の検討結果から小型かつ高効率の改質器が構成できることを報告する．

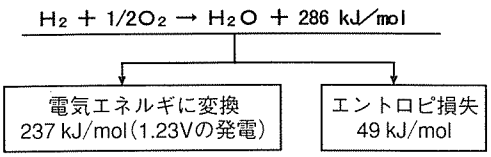


図1　燃料電池発電

2　メタノール改質器の概要

2.1　メタノールの優位性

図2に各種の水素運搬手段のポテンシャルを示す．メタノール改質は軽量で長距離走行を得る可能性が最も高いことがわかる．更に，メタノールは以下のメリットを持ち現実性が高い燃料と考える．

* 生技開発部

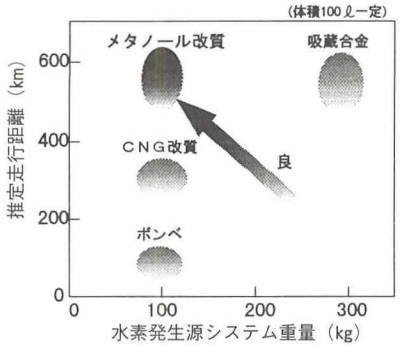


図２　各種水素燃料源の比較

①常温で液体のため液体水素や水素ガスと比べて安全性，取り扱い性が良い．
②天然ガス，石炭から容易に生成できる非原油燃料である．

2.2　メタノール改質器の構成と目標性能

メタノール改質器（Methanol Reformer：MRと略す）は，(1)式に従う“水蒸気改質反応”

$$CH_3OH+H_2O\rightarrow 3H_2+CO_2-49.5kJ/mol\cdots\cdots(1)$$

を起こすもので，メタノール1モルから水素３モルを得る装置である．反応促進の触媒には最も選択性が良く活性も高い銅系触媒が用いられる．**写真１**に１次試作MRの外観，**図３**に各部の役割を示す．改質原料のメタノール・水は蒸発部（熱交換器）で300℃の蒸気に加熱されて改質部に送られる．改質部では触媒の活性が得られる200～300℃の温度範囲で反応を進めるが，0.5～1%程度の有害副生成物であるCOも発生する．このためCO浄化部で酸化触媒によりCOを選択的に酸化させて，FC電極に害を及ぼさないレベルまで濃度を低減する．尚，改質反応は(1)式のように吸熱反応のため，反応には熱供給が必要であり，その熱源はFCの発電電力によっている．**表１**にFC要求の改質ガスの品質レベルを示す．

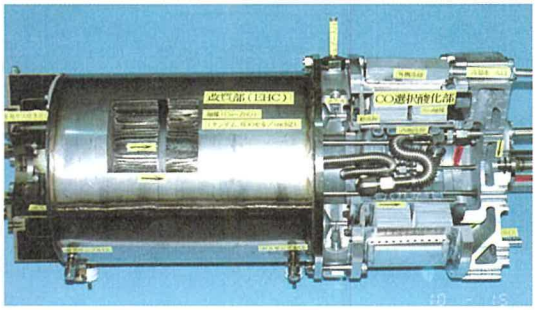


写真１　メタノール改質器外観

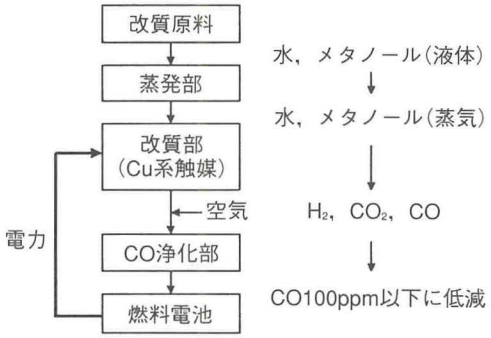


図３　メタノール改質器構成（１次試作MR）

表１　改質ガスの目標値

改質率*	95%以上
ＣＯ濃度	100ppm 以下

$$*改質率=\left(1-\frac{未反応メタノール}{改質原料メタノール}\right)\times 100$$

2.3　メタノール改質器の課題

化学反応ユニットであるMRを車載するには多くの課題があるが，最優先課題は改質エネルギ効率の向上とコンパクト化である．

2.3.1　改質エネルギ効率向上

図４に示す様に，FC電力を使う1次試作MRでは発電損失が大きく，FC-MRシステム全体の効率を約５％も低下させる大きな量である．このため電気に代わる熱供給法を開発し，改質エネルギ効率を向上する必要がある．

$$*改質エネルギ効率=\frac{生成水素エネルギ}{改質原料エネルギ+改質エネルギ}\times 100$$

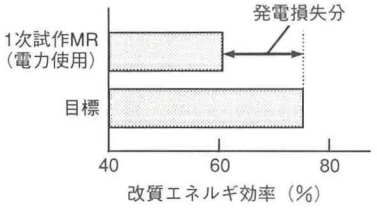


図４　１次試作MRの改質エネルギ効率*

2.3.2 コンパクト化

図5に1次試作MRの体積内訳を示す．MRの搭載性から大幅な小型化が必要であり，改質部体積の大幅削減が重要である．このためには触媒体積の低減につながる改質反応速度の向上が必要である．

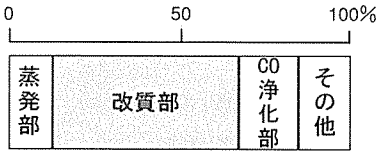


図5　1次試作MRの体積内訳

3　改質エネルギ効率向上の検討

3.1　電気加熱に代わる熱供給法

表2に電気加熱以外の熱供給法の調査結果を示す．化学プラントで実績の多い熱交換式はCO発生も少ないが，改質器構造が複雑となり体積の増加が予測される．また，白金系触媒によるメタノールの“部分酸化”は(2)式に示す反応であり，

$$CH_3OH+1/2O_2 \rightarrow 2H_2+CO_2+189.5kJ/mol \cdots\cdots (2)$$

発熱反応のため加熱不要で改質器構造もシンプルとなる．しかし，有害副生成物のCOが多く（約15%）発生し[5]，CO浄化部が大型化すると予測される．そこで，筆者らは水蒸気改質反応の改質エネルギを得る方法として，部分酸化反応を加熱手段と見なす「部分酸化併用水蒸気改質法」（以下併用改質法）を考えた．同じ容器内の触媒上でメタノール量の79%を水蒸気改質反応，残りの21%を部分酸化反応させることができれば，理論上は吸熱・発熱量がつり合うことになる．しかし，この方式に対する報告はなく，両反応が同時並行で起こり得る可能性，有効な触媒や生成ガス組成も不明なため，水蒸気改質，部分酸化と比較する実験を行い併用改質の可能性を検討した．

表2　電気加熱以外の熱供給法及び性能予測

方式	内容	CO濃度	サイズ		改質効率（ポテンシャル）	総合
			改質部	CO浄化部		
熱交換式	水蒸気改質((1)式)（外部加熱）	○ 約1%	× 大型化	○	△ 73%	△
部分酸化	部分酸化　((2)式)（自己発熱）	× 約15%	○ シンプル	× 大型化	× 71%	×
併用改質	水蒸気改質((1)式)＋部分酸化　((2)式)（自己発熱）	△ 不明	○ シンプル	△ CO次第	○ 75%	○？

3.2　併用改質実験および考察

3.2.1　実験装置・方法

図6に実験装置・条件を示す．触媒は市販の銅系（Cu-ZnO），白金系（Pt）ペレット及びその混合品を用いた．図示寸法の触媒管にペレットを詰め，一定流量の改質原料（300℃）を供給して改質実験を行った．改質原料の変化過程を明確にするため入口から出口までを15等分し，各位置の温度及びガス組成を測定した．また，比較のための水蒸気改質実験だけはヒータの外部加熱により，触媒管壁全体を300℃に制御した．

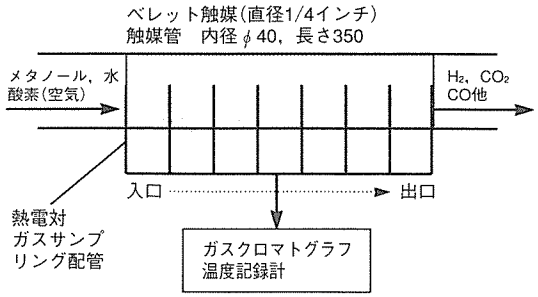


図6　実験装置・条件

3.2.2　実験結果

①生成ガス組成

図7に銅系触媒による水蒸気改質の実験結果，図8に同一触媒による併用改質の実験結果を示す．反応経緯が分かる様に横軸に測定位置（入口

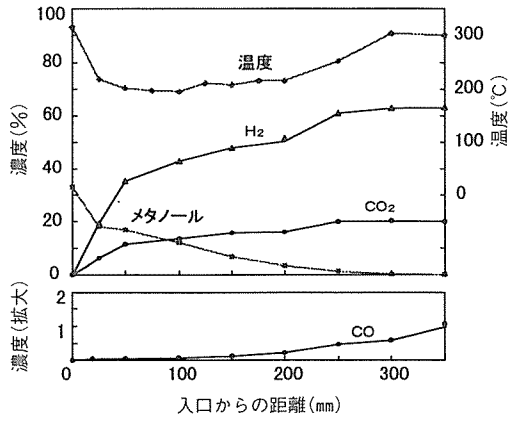


図7　水蒸気改質実験結果（銅系触媒）

表3　各触媒による改質実験の出口ガス組成

改質法		水蒸気改質	併用改質			部分酸化	
触媒		銅系	銅系	混合*	白金系	銅系	白金系
改質率(%)		96.0	99.0	98.0	70.0	95.0	95.0
ガス組成	水素(%)	59.5	51.9	49.0	25.1	47.1	42.5
	CO(%)	0.9	0.4	1.2	7.8	12.1	16.5
	CO_2(%)	19.7	17.5	16.2	4.5	11.8	1.7

＊銅系80%，白金系20%の混合触媒

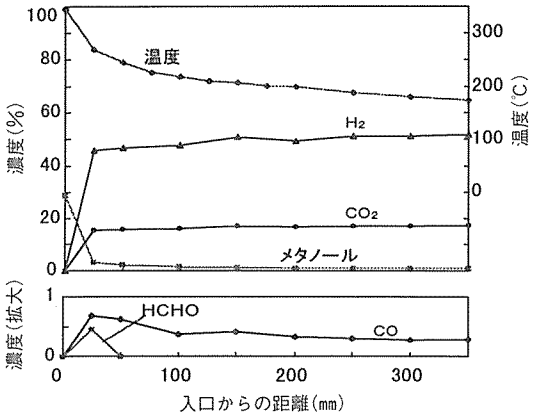


図8　併用改質実験結果（銅系触媒）

からの距離）を取り，縦軸に温度および各ガスの濃度変化を示す．また，白金系触媒，混合触媒を含めた併用改質，部分酸化実験の最終ガス組成のまとめを表3に示す．表3から，部分酸化では触媒に関係なくCO濃度が高いことがわかる．また，併用改質では銅系触媒，ついで混合触媒のガス組成が良好で，白金系触媒では改質率が低く，CO濃度も高いことが分かる．次に銅系触媒による併用改質と水蒸気改質を比較する．併用改質は水蒸気改質よりも改質率が高く（反応速度向上），CO濃度も低い．なお，水素濃度は主にN_2の影響で8%程度低くなるが，FC運転上全く問題ないレベルである．図7，8の両者の反応経緯を見ると，温度分布に大きな差がでていることが分かる．水蒸気改質では入口付近で熱供給不足による温度低下が起こるのに対し，併用改質では発熱反応が吸熱反応を上回って温度上昇を起こしていると考えられる．この温度分布に対応してメタノール，COの反応経路が異なっていると思われる．この相違については以下で詳細に論ずる．

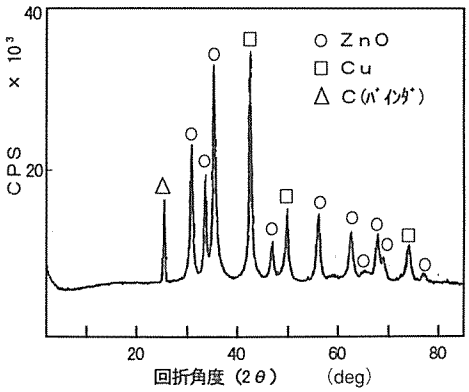


図9　実験後の銅系触媒のX線回折結果

②銅系触媒の耐酸化性

酸化反応に銅系触媒を用いると銅の酸化劣化が懸念されるが，

(1) 酸化自由エネルギ差から，銅よりもメタノールの方が酸化し易い．

(2) 酸化銅はメタノールによって銅に還元できる．（確認済み）

の2点により酸化劣化は起きないと予測した．事実，図9に示す実験後の触媒のX線回折測定から酸化銅が存在しないことを確認でき，酸化劣化は起きていないことがわかった．

①，②の結果から，銅系触媒による部分酸化併用水蒸気改質は触媒の酸化劣化もなく，良好なガス組成を得ることができる．従って，電気に代わる熱供給法として改質エネルギ効率を向上できる有効な方法であることが明確となった．

3.2.3　反応経路考察

併用改質では銅系触媒単独の場合のみ低CO，高改質率の良好なガスが得られた．その反応過程について考察する．銅系触媒の水蒸気改質反応（メタノール＋水）は竹澤らにより図10のように解析されている[6][7]．メタノールから先ず(3)式が起こり，次いでHCHO（ホルムアルデヒド）と水により(4)式が起こるとしている．なお，(4)式の反応は(3)式に比べ迅速に進行するとされており，前述の水蒸気改質実験（図7）においてHCHOが検出されないという事実も，HCHOの消費が迅速に進んだためと考えられる．また，水が存在しない場合には(5)式の反応になるとされている．

一方，銅系触媒による部分酸化反応（メタノー

〔銅系触媒の作用(竹澤らによる)〕

水蒸気改質反応

$CH_3OH \rightarrow H_2 + HCHO$ ・・・(3)

$HCHO + H_2O \rightarrow 2H_2 + CO_2$ ・・・(4)

水の存在あり

$HCHO \rightarrow H_2 + CO$ ・・・(5)

水の存在なし

〔銅系触媒による部分酸化反応の推定〕

$CH_3OH + 1/2O_2 \rightarrow H_2O + HCHO$ ・・・(6)

＊水性ガス転換反応

$CO + H_2O \leftrightarrows CO_2 + H_2$ ・・・(7)

図10　銅系触媒の水蒸気改質及び部分酸化の推定

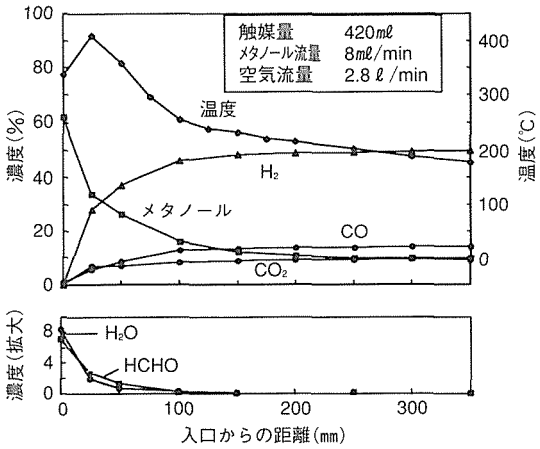


図11　銅系触媒による部分酸化実験結果

ル＋酸素（空気））については報告例がないため実験結果から推定する．図11に反応過程を示すが，入口付近で水，HCHOが検出されていることから，先ず(6)式が起きていると考えられる．その後HCHOが消失して行くのは(4)，(5)式によって反応が進むためと思われる．前述の併用改質実験（図8）で少量のHCHOが検出されたのは，併用改質でも先ず(6)式が起きているためと考えられ，次いで(4)式に従いH_2，CO_2に変換していると思われる．従って，併用改質はメタノールの21%が(6)式で，79%が(3)式で同時に進行し，その後水が存在するため(4)式によってH_2，CO_2に変換するというCOを経由しない反応過程であると推定される．

逆にCOを経由する反応と仮定すると，一旦大量に生成されたCOは(7)式によってCO_2に転換されるため，(7)式の平衡CO濃度以下にはなり得ないはずである．例えば300℃での平衡CO濃度は約1.5%である．しかし，図8の結果では最高CO濃度で約0.7%と平衡CO濃度以下になっている．従ってこの仮定は棄却され，上記の推定を裏付けている．より直接的な検証として，今後改質原料にCOを共存させた実験等を行い，推定を確かなものとする．

これに対し，白金系触媒は水の存在下でも(5)式が優先すると言われており，CO濃度の高さがこれを裏付けている．

4　反応速度向上によるコンパクト化の検討

4.1　反応速度の考察

図7，図8の温度とメタノールの分布を図12に合わせて示すが，各部位の温度が異なるため反応速度を比較できない．一般に化学反応の速度定数kはアレニウスの式

$$k = A \cdot \exp(-E_A/RT) \quad \cdots\cdots(8)$$

ここで，A：頻度因子（定数）

E_A：見かけの活性化エネルギ（定数）

で表される．そこで，これらの反応速度比較のため，図13に示すように触媒層を細分化し，セグメント別で反応速度を考え，各セグメントの温度を一定と見なして，各温度での速度定数kを算出した．この様にして整理したアレニウスプロット

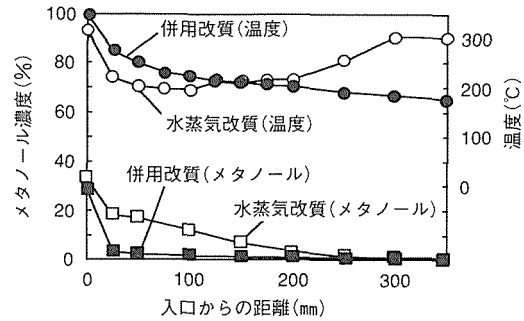


図12　各改質反応の温度・反応分布

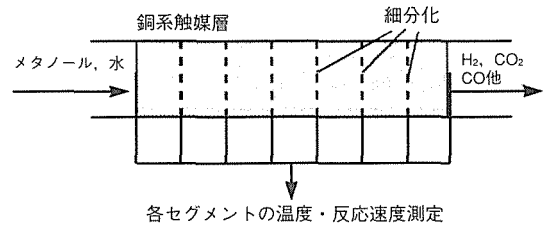


図13　セグメント別反応速度計算概念図

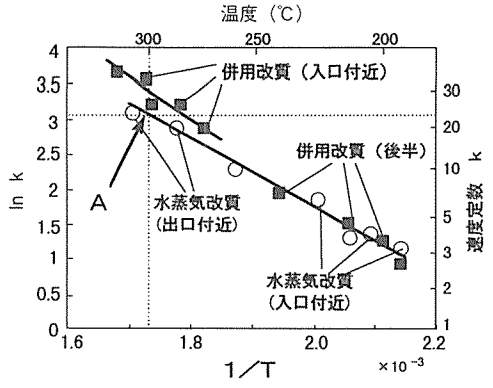


図14　反応速度計算結果

を図14に示す．図より，温度の逆数1/Tとln kに良い直線関係があることから解析は妥当と思われる．銅系触媒による水蒸気改質の反応速度ポテンシャルは，触媒耐熱温度の300℃を考えるとA点と考えられる．外部加熱の水蒸気改質では反応量の多い入口付近で温度が低下し，反応速度がポテンシャルの1/5～1/7となっていることが分かる．一方，併用改質は反応量の多い入口付近で十分な熱供給ができており，高い反応速度を示している．水蒸気改質でも伝熱面積の拡大で入口付近をA点に近づけることは可能であるが，大幅な体積増加が予想されるため，併用改質の方が小型化に有利と考えられる．

なお，併用改質では入口付近のプロットから得た直線が水蒸気改質とは異なり反応速度が高くなっている．これは，銅触媒上に吸着して活性化された酸素がメタノールと直ちに反応するためとも考えられるが，詳細は不明であり，今後解析を実施していく．

4.2　反応速度向上の可能性

図15に今回得られた併用改質のアレニウスプロットを基にした反応速度向上の方向性を示す．図示①～③の実施により，反応速度を向上させて大幅な小型化を達成できる可能性がある．

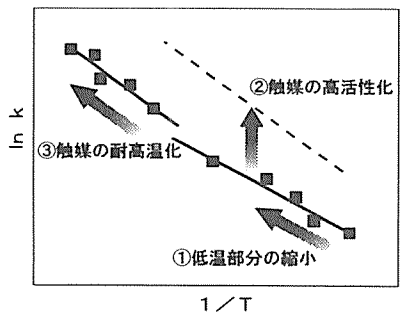


図15　併用改質の反応速度向上法

5　むすび

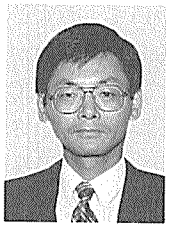
今回の報告はペレット触媒での実験結果であるが，この結果を生かしメタルハニカムへの触媒コートを実施したMRユニットでは，併用改質により改質エネルギ効率は約15%向上し，出力密度も2倍にできた．しかし，銅系触媒の耐久性確保は今後の課題であり，コンパクト化のための触媒の高活性化を含めてさらなる検討を実施していく．

本研究にあたり，御協力頂いた豊田中央研究所に深謝の意を表します．

■参考文献

(1) Pandit Patil, P. Zegers : An Option for a Clean Global Society. Journal of Power sources. Vol. 49, P. 169-184 (1994)
(2) 岡野一清：燃料電池自動車の現状．クリーンエネルギー．Vol. '95, No. 9, P. 42-45
(3) James R. Huff : Fuel Cell Power Plants for Transportation Applications. Proc. 7th Annu Battery Conf. Appl Adv. 1992 p. 333-339
(4) U. S. Department of Energy Office of Transportation Technologies : Multi-Fuel Reformers for Fuel Cells Used in Transportation. Under DOE Contract No. DE-AC02-92-CE50343. (1994)
(5) S. Ahmed and R. Kummar : Quick-Start Catalyzed Methanol Partial Oxidation Reformer. Under DOE Contract No. W-31-109-ENG-38. (1995)
(6) 竹澤暢恒：メタノール水蒸気改質触媒．Vol. 37, No. 5, P. 320-326 (1995)
(7) 触媒学会編：触媒講座第9巻．講談社，1985, P. 130-134

■著者


滝　正佳

根岸　良昌

小林　信夫

CO_2低減への取り組み（生産工程）

CO_2 Reduction Activities in Production Process of TMC

大野　英弘*　森　隆司*　中垣　友樹**
Hidehiro Ono　Takashi Mori　Tomoki Nakagaki
酒井　健男***
Takeo Sakai

要旨

当社の生産工程では，過去25年に渡り省資源・低コストの観点より，エネルギー低減活動を精力的に推進している．また，近年は温暖化問題の顕在化による地球環境保全の立場から，CO_2低減（エネルギー低減）の重要性がますます増しており，大きな自主活動目標を掲げ積極的な活動を展開している．

今回は，当社における近年のCO_2低減（エネルギー低減）活動についての取り組み状況と，工場における地道な改善活動の優秀事例について紹介する．また，改善事例については昨年度全社共通改善テーマであった「圧縮エアの低減」を取り上げた．

Abstract

Energy reduction activities have energetically been promoted for more than 25 years in our production processes for the purpose of energy saving and cost reduction. In recent years, environmental preservation by alleviating the global warming problem has been adding to the importance of CO_2 reduction (energy saving), resulting in further acceleration of the activities under autonomous slogans.

This paper introduces some examples of our recent CO_2 reduction activities and an excellent case of steady improvement activities in our plants. Reduction of compressed air consumption as the common company wide improvement theme is selected as the latter.

キーワード　エネルギー，低減活動，温暖化

1　はじめに

当社では，地球環境保全の立場から温暖化の原因とされているCO_2排出量を低減するために，現在積極的にCO_2発生の主要因であるエネルギー使用量の低減活動を推進している．そこで，その取り組み状況について紹介する．

2　社会情勢概要

CO_2等排出に伴う地球温暖化について，およそ100年後には地球上の平均温度が約2℃，海面が約50cm上昇するとの分析がなされており（IPCC 2次報告），地球上の生態系への悪影響が懸念されることから早期の世界的対応が望まれている．

'97年12月京都にて「第3回気候変動枠組条約締約国会議（以下COP 3）」が開催され，2000年以後の温暖化対応（CO_2削減）について議論されることになっている．

次に，現在の日本におけるCO_2削減状況は，近年の産業活動の回復・情報化の進展・ライフスタイルの変化によりエネルギー消費は一貫して増加傾向にあることから，政府が国際的な場で約束した2000年時点のCO_2排出抑制目標の達成は厳しい状況である．政府は今後2000年に向けて省エネルギーの推進に最大限の努力をはらうため，現行「省エネ法」を改正し（'97年2月）施策の強化を打ち出した．（**表1**）このような状況から工場にお

* プラント・エンジニアリング部
** 田原工場工務部
*** 元町工場工務部

けるエネルギー低減努力を従来に増し促す方向に向かっている．

表1　施策の主な内容

産業部門抜粋	・工場ごとの努力目標の導入（エネルギー効率を毎年1％以上改善） ・省エネ法に基づくエネルギー多消費工場への指導強化

3　トヨタの取り組み

3.1　トヨタの対応

当社では環境問題への対応を重点課題として，'92年に「トヨタ環境憲章」を制定，'93年（'96年改定）には「トヨタ環境取り組みプラン」を公表し，より高い目標を掲げ自主的な取り組みを全社一丸となって展開している．

生産工程における温暖化対応については，2000年度末までにCO_2総排出量と売上高当り排出量を'90年レベルに安定化させるという，非常に高い目標を掲げ活動を推進している．

3.2　最近の活動状況

社内における活動も年々活発化し，従業員一人一人の意識も確実に向上し，さらに技術開発，設備対策も計画的に進めており効果も着実に上がってきている．

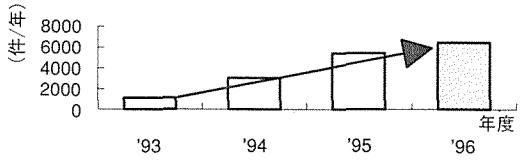


図1　社内エネルギー低減実施実績

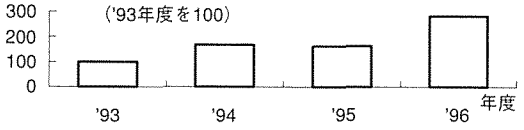


図2　対策投資実績

3.3　エネルギー低減実績

'96年度時点では，図3に示すようにピーク時に比べエネルギー使用量，売上高当りエネルギー使用量とも確実に改善傾向にある．

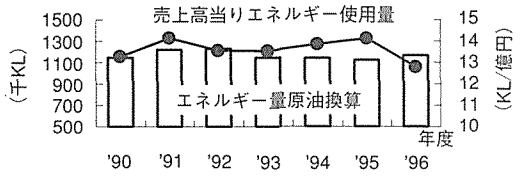


図3　エネルギー使用量

表2　比較表

	'90年度	ピーク時	'96年度
エネルギー使用量	100	108	102
原単位	100	107	96

4　エネルギー使用量低減事例の紹介

ここでは，'96年度に省エネルギーセンター主催の全国省エネ事例発表会にて当社より発表した5件の内，工場で使用する圧縮エア使用量低減についての優秀事例2件を取り上げ，その要点について紹介する．

圧縮エアは主にホコリや水滴を除去するためのエアブローや設備工具の作動用エアシリンダとエアモータに使用されている．また，圧縮エアのほとんどはコンプレッサにより製造され，そこで消費される電力は全社で消費する電力の約1割と大きな割合を占めている．（図4）

今回は，この圧縮エアに注目し，①圧縮エアの製造，送気における改善に取り組んだ田原工場と，②消費設備側の改善に取り組んだ元町工場の

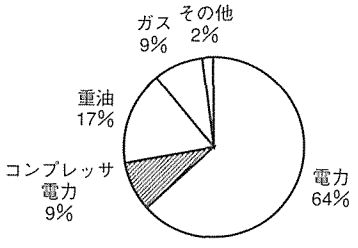


図4　'95年度エネルギー使用割合

エネルギー低減活動事例を紹介する．

また，これらの事例は工場が一丸となって取り組んだ内容である．

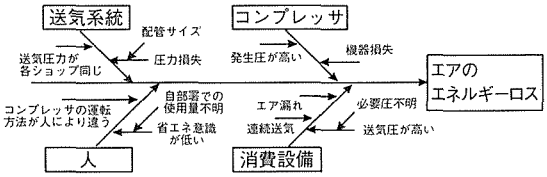


図5　エアエネルギーロス特性要因図

4.1　田原工場の取り組み

テーマ「圧縮エアの省エネルギー対策」

4.1.1　対策内容と効果

表3　対策効果まとめ（MWH／年）

	項目	実施事項	効果
1	稼働中の使用量低減	エア漏れの低減	2,830
		送気圧力の適正化	1,410
2	非稼働時の使用量低減	月曜朝送気開始時の改善	280
3	コンプレッサの効率向上	コンプレッサ発生圧力の低下	140
		コンプレッサ台数制御の導入	140
4	その他	搬送機での使用量低減	40

4.1.2　具体的な事例

(1) エア漏れの低減

現在，田原工場工務部では，図6に示すようにエア漏れ測定を行い，製造部に対し情報提供による対策支援を行っているが，改善前では，ショップへのエア配管主弁を「開」にし測定していた．この為，測定毎に昇圧し，測定に時間がかかっていた．改善後では，エア漏れ測定用流量計を設置し，主弁と計測弁を切り替え測定することにより，測定時間の低減と測定精度の向上を図った．これにより測定頻度を1回／月とし，各部へのデータ提供を円滑に行い対策成果が目にみえて実感できるようにした．

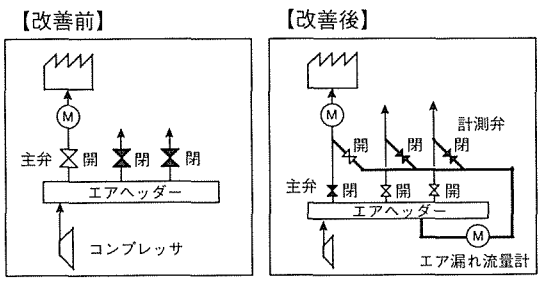


図6　エア漏れ測定改善事例

以上のような活動により，最近のエア漏れ量は図7のように推移しており'96年度は，平日使用量の16%まで低減でき，'94年度と比較し，2,830 MWH／年の省エネ効果を得ることができた．

しかし，'95年度に比べ，'96年度は増加している．エア漏れ低減活動は気をぬくとすぐに増加するため，今後後戻りの無いような活動を実施していく．

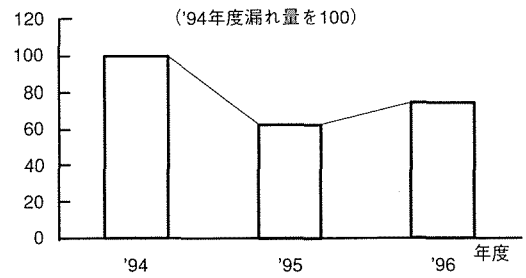


図7　最近のエア漏れ量

(2) エア送気圧の適正化

当社他工場と田原工場のエア送気圧を比較すると，表4のようになっており，田原工場は自動化が高いことにより他工場よりも，送気圧が高い．

そこで，他工場並みの送気圧力を目標に活動を実施した．

表4　エア送気圧力比較（kg/cm²）

	田原工場	A工場	B工場	C工場	D工場
高圧系	8.5	7.8	7.8	8.0	—
中圧系	5.5	5.5	5.5	5.0	5.0
低圧系	5.0	5.0	—	3.7	4.0

・末端圧力制御の導入

エアの送気圧力は，図8に示すようにエアヘッダーの圧力を一定にするようになっており，1部のショップでは末端圧力制御を行っていたが，全ショップの末端圧力制御は行っていなかった．

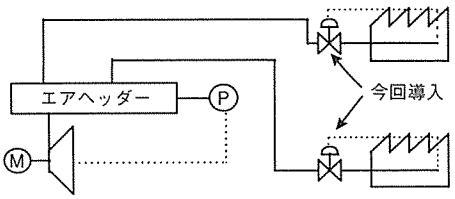


図8　エア系統図

(3) コンプレッサ発生圧力の低圧化

4.1.2(2)項で各ショップの末端圧力制御の導入によって，送気圧力を低下出来たことにより，発生側すなわちコンプレッサでの発生圧力を低下させ，コンプレッサでの電力使用量を低減できないか検討した．

田原工場のコンプレッサはすべてターボ型であり，コンプレッサの圧力・風量・軸動力の関係は，図9のようになっている．

コンプレッサの発生圧力を①から②へ低下すると，軸動力すなわち消費電力も①から②へ低下することが分かる．そこで，表5のように高圧系，低圧系の設定圧力を低下し，990MWH／年の省エネを図ることが出来た．

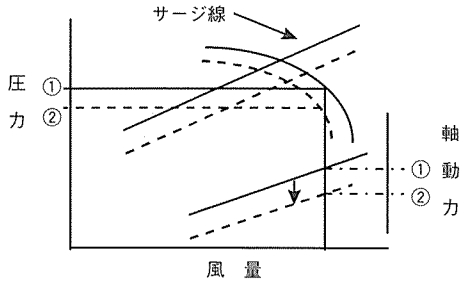


図9　コンプレッサ特性

表5　コンプレッサ発生圧力

(kg/cm²)

	高圧系	低圧系
改善前	8.55	5.3
改善後	8.25	4.4

(4) コンプレッサ台数制御の導入

従来，コンプレッサの起動・停止・運転号機の選択等は，運転マンにより手動で行っていた．この為，図10に示すように，直間等で負荷が急激に変化するような時間帯においては，必要運転台数の把握が困難となる．

また，コンプレッサの頻繁な運転・停止は電動機への悪影響がある為，必要以上にコンプレッサを運転していた．コンプレッサは，設定圧力以上になると無負荷運転となるが，無負荷時においても約300kwの電力を消費しており，大きな無駄が発生していた．そこで，TECSの更新に合わせ第1ステップとし，低圧系コンプレッサの台数制御を導入した．これにより，140MWH／年の省エネを図ることが出来た．

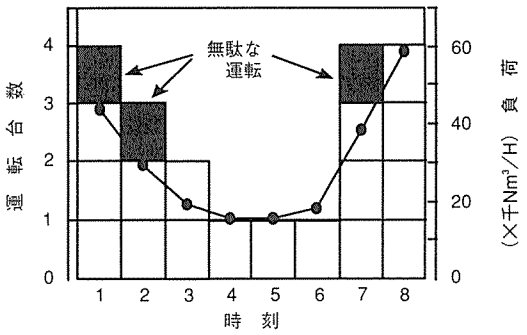


図10　コンプレッサ運転状況

4.2　元町工場の取り組み

テーマ「エアブローの高効率化による省エネ改善」

4.2.1　エアブロー理論の構築

エアブローは，生産工程の中で日常的に多くの場所で使用されているものの，その設備仕様については理論的に明確でなく，感覚的な使われ方が多く，無駄にエネルギーが使われているケースが多いことが分かった．そこでまず，エアブローの最適条件について調査を行った．

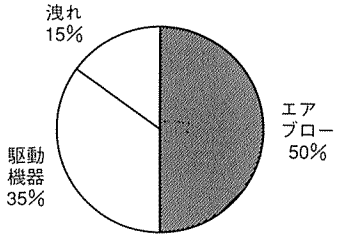


図11　エアの目的別使用割合

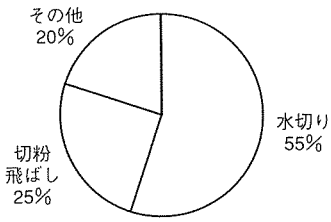


図12　エアブロー使用目的

エアブローは吹出し口の圧力が高いほどブロー力が大きい性質をもっている．現場でのブロー力管理はノズル吹出し口圧力の計測が難しいため，エア元圧で管理が実施されている．そこで現状のエアブロー設備についてノズル吹き出し口圧力とエア元圧に着目し調査を実施したところ，**図13**のように圧力比（吹出し口圧力／エア元圧）が70%未満の設備が約8割と多いことが分かった．

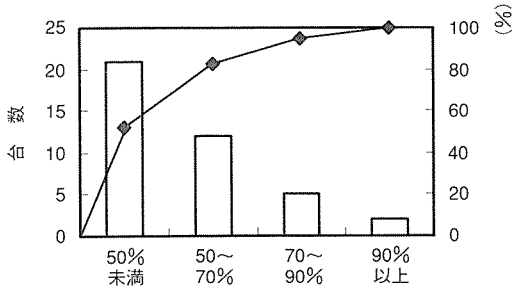


図13　現状設備の圧力比調査

先にあげた**図13**のように圧力比が小さくなる圧力損失の要因を考察すると，

①上流側の配管部品に有効断面積の小さいものが存在する

②ノズルが多数あるために配管の有効断面積よりノズルの合成有効断面積の方が大きくなる

という2つの要因が考えられる．さらに，これを理論式にて整理すると吹き出し口と配管上流部との連続の関係より，圧力比（Pb／Pa）と有効断面積比（S_i／Sn）の関係をグラフにすると**図14**のように表されることが分かる．

- Pa：元圧
- Pb：吹出し口の圧力
- S_i：配管側合成有効断面積
- Sn：ノズル合成有効断面積

これより，ノズルと配管の有効断面積比を1.0以上にすることで，圧力比が70%以上になることが分かる．

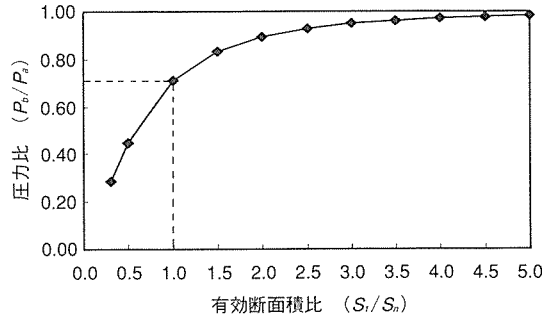


図14　有効断面積比と圧力比の関係

・モデル機による検証

表6　同一流量でのブロー力比較（g）

		有効断面積比（吹出し口：配管側）			
		1：3	1：1	1：0.5	1：0.3
元圧	4kg/cm²	175	155	125	70
	3kg/cm²	130	110	80	45
	2kg/cm²	90	70	45	25

表7　同一ブロー力での流量比較

		有効断面積比（吹出し口：配管側）			
		1：3	1：1	1：0.5	1：0.3
ブロー力70gの時	流量(NL/min)	64	77	99	137
	元圧(kg/cm²)	1.5	2.0	2.7	4.0
	流量比(%)	65	78	100(基準)	138

有効断面積比を大きくすると同一流量において大きなブロー力を得ることができ，また，必要なブロー力が一定であれば有効断面積比を大きくすることでエア消費量の削減（＝省エネ）ができることが分かった．

4.2.2　改善手順の立案

主として，ノズル径（＝有効断面積）をどのように改善すればよいかの指針を出せるようになった．また，その際の改善の考え方の流れ図を**図16**に示す．

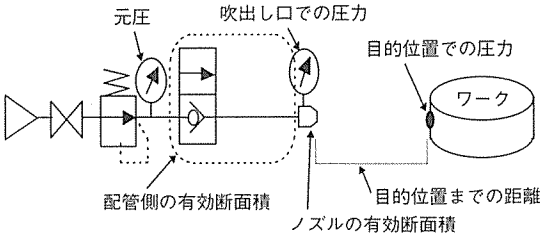


図15　実験概略

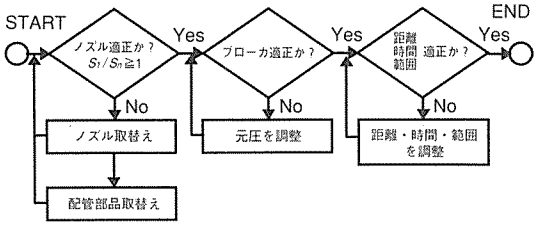


図16　改善の検討流れ図

4.2.3　対策の例

改善の代表事例として，塗装工場下塗りハンガー水切りエアブローの例を表8に示す．

［実施項目］：ノズルϕ3取付（24個）
つぶれ配管の取替え

表8　代表事例の改善前後比較

		改善前	改善後
レギュレータ圧力（設定時）	[kg/cm²]	7.8	7.5
〃　（ブロー時）	[kg/cm²]	6.2	7.2
吹出し口での圧力	[kg/cm²]	3.1	6.8
有効断面積比	—	0.7	3.0
目的位置での圧力	[kg/cm²]	0.06	0.08
目的位置までの距離	[mm]	200	200
ノズル径	[mm]	6.5	3.0
ノズル個数	[個]	24	24
瞬時の流量	[Nm³/h]	1903	839
削減率	[%]	—	56

4.2.4　対策後の効果

この対策により，表9のような効果が計算値により求められた．また，塗装工場入口に取付けてある流量計にて確認した際もほぼ計算値に近い効果が確認できた．

（実測低減量：1,560×10^3Nm³／年）

表9　代表事例の効果

	改善前	改善後
1回当りのブロー時間［秒］	55	
日当りのブロー回数　［回］	430	
年当りの稼働日数　［日/年］	244	
年間流量　［×10^3Nm³/年］	①3040	②1340
年間削減流量（①−②）［×10^3Nm³/年］	1700	

同様にして合計150台の設備に対して対策を実施し効果として，3,490MWH／年の効果を得ることが出来た．

また，この改善の付随効果として以下が確認できた．

①複数個のノズルがある場合のブロー力均一化による騒音の低減

②元圧変動率の減少

5　今後の取り組み

当社においては，良き企業市民を目指し，自社目標達成に向けて全社一丸となった活動を地道に展開している．温暖化問題は2000年が終着点ではなく永続的な対応が必要であることから，今年12月京都で開催されるCOP3の動向を踏まえ更なるエネルギー低減活動（含む新技術開発・燃料転換等）を積極的に推進し，世界に誇れる低環境負荷の工場を目指したい．

■著者


大野　英弘


森　隆司


中垣　友樹


酒井　健男

論　文

板裏形状の一括創成法の開発

An Automatic Offsetting Method of Composite Surfaces

川畑　弘幸*　藤谷　幸孝**　石田　順二***
Hiroyuki Kawabata　Yukitaka Fujitani　Junji Ishida
森崎　浩実****
Hiromi Morisaki

要旨

バンパーのように複雑な裏形状のモデリングは従来から未解決の課題である．これまでは，表形状の構成曲面を一面ずつオフセットし，形状整合は人がCAD操作で確保する手法が用いられ，多大な工数を要してきた．

原理的には，単面のオフセットを繰り返すだけでは面と面が剥がれてしまうことから，表形状の構造を位相情報により認識し，全体を一気にオフセットする方法が最も有効と考えられ，幾つかの市販CADシステムが実装を表明している．しかし，いずれも実務に活用出来るレベルに達していない．

そこで，大局変形，位相変化の認識などの独自の手法を開発し，この問題の解決に挑戦した．現状では一部の部品について実用レベルに到達したと考える．

Abstract

In the process of modeling the inner surface of resin parts for an automobile, we have usually offset component surfaces of the outer model and relied on tedious joining operations to guarantee the integrity of the result. Consequently, considerable amount of manpower has been required for this process.

It is well known that conventional methods based on repetitive offset of component surfaces have weakness of causing geometric deviation from neighboring surfaces. We believe that the technique of offsetting a whole composite surface, which consists of geometric surfaces representing the object shape and their topological relationship, is highly effective to overcome the weakness. Our investigation, however, shows that no commercial CAD system using this technique has reached a practically satisfactory level in view of numerical stability.

This report presents our own technique which we have developed to overcome the problem and meet the practical requirements. It includes global modification and recognition of topological changes in the offset composite surface. We believe that it has realized automatic modeling of inner surface for specific parts.

キーワード　オフセット，複合面，大局変形，交線計算，位相変化

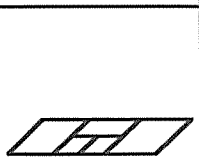
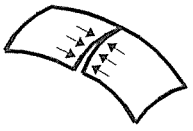
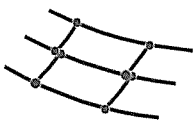
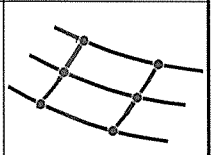
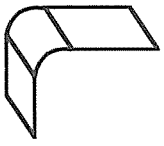
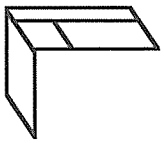
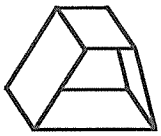
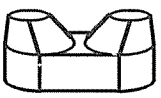
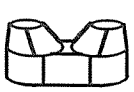
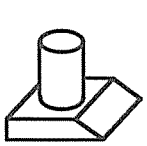
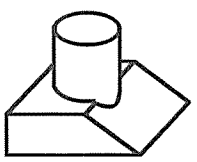
1　はじめに

バンパーのように複雑な裏形状を持つ自動車部品のモデリングは従来から未解決の課題であり，単面のオフセットを繰り返した後，全体の形状整合を人がCAD操作で確保するなど，多大／苦痛な操作を余儀なくされてきた．特にバンパーなどの樹脂部品では，取り付け部や開口部の強度向上，材料コスト低減，湯流れ性向上などの観点で徐変オフセットが重要要件であるが，これまで有効な手段がなく，CAD操作工数の集中を招いていた．

原理的には，単面のオフセットの繰り返しではオフセット後に面同士の剥がれの調整に多大な工数を要する為，表形状の構造を幾何情報と位相情報（点・線・面の結合関係）で表現（以下複合面と呼ぶ）し，一括オフセットする方法が有効と考えられる．この方法に関する基礎的な研究[1][2]を踏まえ，近年，市販CADシステムが実装を開始している．ところが，市販CADには以下のような問題点（表1参照）があり，実用レベルには達していない．

* 第1システム部　　**** ㈱アイヴィス
** 工機管理部
*** ㈱トヨタソフトエンジニアリング

表1　一括オフセットの問題点と対応策

#	問題点	理　由	対応策	具体例	
				元　面	オフセット面
1	徐変オフセットが扱えない.	元面同士が接平面連続であっても面の接続に誤差があればオフセット面同士に剥がれが生じる. 面を延長してもほぼ接触状態にある為, 交線計算は困難である.	面を大局的に変形することにより, 剥がれを補正する.		
2	元面同士が接平面連続なとき, オフセット面同士に剥がれが生じても回避／修復出来ない.				
3	オフセットの前／後で位相が変わるケースが十分扱えない.	元面同士が微小にズレた位相をオフセット後に再現することは困難である.	面を大局的に変形することにより, 微小ズレを吸い寄せる.		
		オフセットによって不要になる面や隣接関係の変わる面を事前に予測することは困難である.	虚像面（オフセット量が面の曲率半径を越えたもの）を抹消し, 隣接面同士を結合する.		
			埋没面（オフセットによる移動が面幅を越えたもの）を抹消し, 隣接面同士を結合する.		
			反転面（オフセットにより面の表裏が逆になるもの）を抹消し, 隣接面同士を結合する.		
			交点の分離に対応する. (Ex. 五面交点 → 三面交点×3)		
			ループ干渉に対応する. (Ex. 内周ループが外周ループを越える)		

(1) 徐変オフセットが扱えない.
(2) 元面同士が接平面連続（一次微分連続）なとき，オフセット面同士に剥がれが生じても回避／修復出来ない.
(3) オフセットの前／後で位相が変わるケースが十分扱えない.

(1)は樹脂部品のモデリングでは必須機能であり，(2)は元面の接続に誤差がある限り避けられない問題である.(3)は面の曲率半径や幅を越えるようなオフセットをしたときに起きる問題で，バンパーなどの樹脂部品形状では必ず起きるといってよい.

そこで，これら従来法の欠点を大幅に解消し，裏形状モデリング工数の低減，リードタイムの短縮を可能にする独自の一括オフセット・アルゴリズムを考案し，実装したので以下に報告する.

2 問題点と対応策

市販CADにみられる従来法の欠点を解消する為の対応策を**表1**のように整理した.

3 アルゴリズム

表1で示した対応策を全て講じた処理の流れを**図1**のように考案した.

以下に主要な機能を説明する.

3.1 元面の幾何認識／位相認識

元面の幾何構造及びオフセット方向から構成面同士の折れ角を検出し,凸結合,凹結合及びAF結合を判定する．ここでAF(Almost Flat)結合とは，ほぼ接平面連続とみなせる結合で,オフセット基底面が大局変形の対象となる．基底面とは幾何情報のみで表現される曲面で，この基底面と境界情報で表現される曲面を構成面(トリム面)と呼ぶ.

凸結合と判定された場合，折れ角，オフセット量及び構成面境界から基底面境界までの距離により，オフセット基底面の延長量を計算する.

元面の位相構造からは面の大局変形の順序認識や境界経路の順序認識をおこなう.

3.2 徐変配置計算

図2のように$d_1 \rightarrow d_0$徐変複合面がレイアウトされているとき，徐変領域の元面の頂点Vのd_0及びd_1一定境界線に対する距離r_0及びr_1を求める．このとき徐変配置関数$\delta(r)$を3次式で定義してオフセット頂点OVのオフセット量$d_0+\delta(r)$を求める．この頂点OVのオフセット量を面毎に平均し，元面の一定オフセット量を決める.

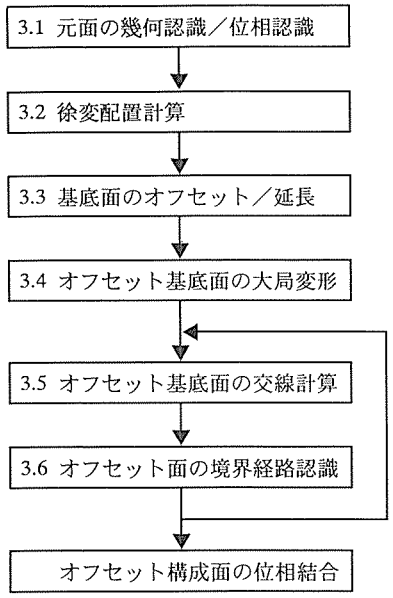


図1 処理の流れ

3.3 基底面のオフセット／延長

基底面を一定オフセットし，虚像になるものを抹消する．更に，前述**3.1**で求めた延長量に従い，オフセット基底面を延長する.

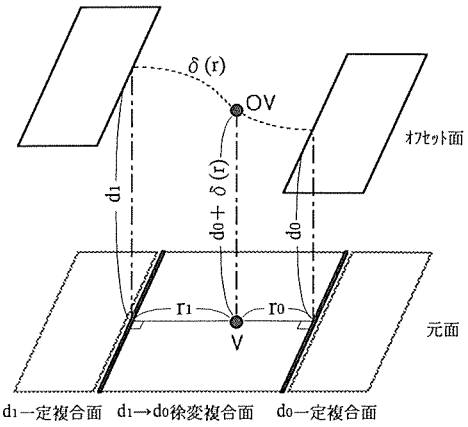


図2 頂点の徐変配置

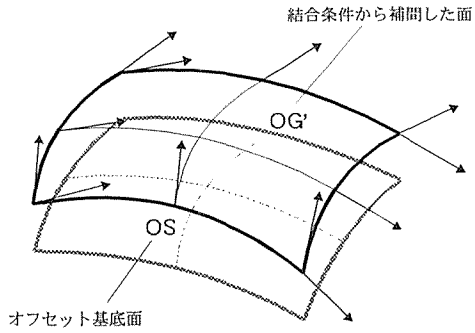


図3　大局変形の拘束条件

3.4　オフセット基底面の大局変形

前述3.1で検出した元面のAF結合境界に対応するオフセット面を大局変形する．

大局変形とは，図3のようなオフセット基底面OS(u,v)を変形して結合相手面の境界線及び境界横断導関数を拘束条件とするOS'(u,v)を以下のように求めるものである．

$$OS'(u,v)=OS(u,v)+(OG'(u,v)-OG(u,v))$$

ここで，OG(u,v)，OG'(u,v)は，それぞれOS(u,v)，OS'(u,v)の境界線及び境界横断導関数のみから補間されるGordon曲面を表している．

この大局変形によって一定／徐変オフセット面同士の剥がれやズレを補正するわけだが，図4 (a)のように変形順序が適切でないと，一度結合したところが再び剥がれてしまうことになる．これを防止するには，図4 (b)のように結合相手面が二度と変形しないという条件を満たす変形順序を求めておかなければならない．これが大局変形の順序認識である．

3.5　オフセット基底面の交線計算

前述3.4の処理でAF結合境界線が生成されるわけだが，AF結合と凸／凹結合が混在しているようなオフセット面同士の場合，一般的な交線計算では交線が得られなかったり，交線が得られたとしてもAF境界線と微妙にズレて構成面の境界ループが閉じないことがある．なぜなら，AF結合部分は接触状態にあり，交線計算が，この特異点近傍で不安定となるからである．

この問題を解決するのが挟み打ち交線計算法である．これは，図5のような元面S_0，S_1の交線の構成点Pにおける面法線N_0，N_1からオフセット面

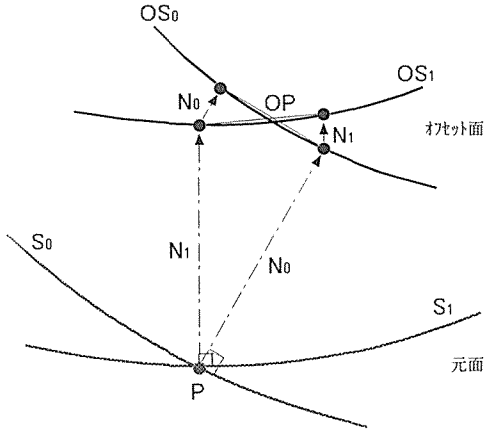
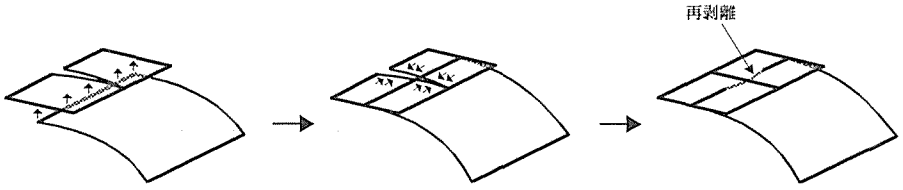
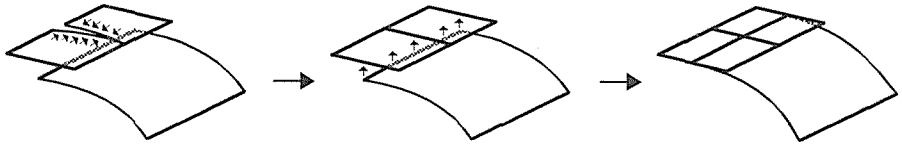


図5　挟み打ち交線計算法

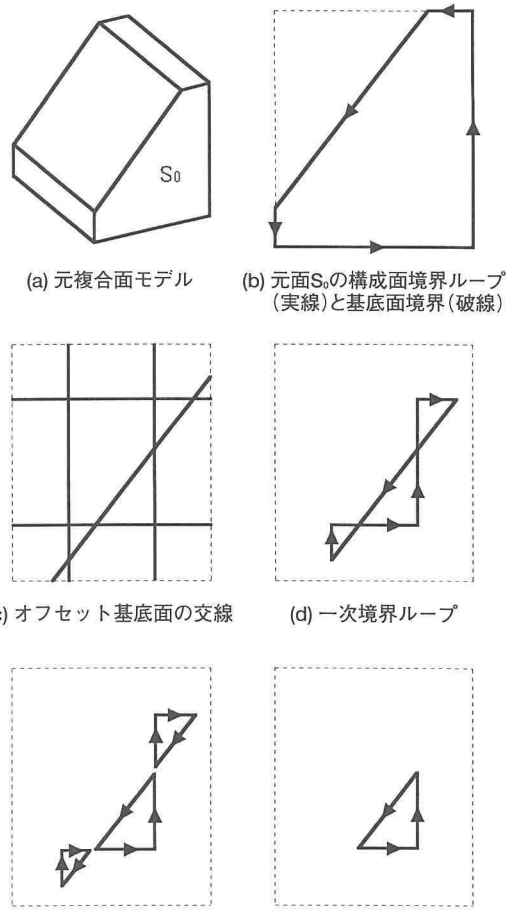


(a) 大局変形の順序が適切でない例



(b) 大局変形の順序が適切な例

図4　大局変形の順序による結合状態の違い



(a) 元複合面モデル　(b) 元面S_0の構成面境界ループ（実線）と基底面境界（破線）

(c) オフセット基底面の交線　(d) 一次境界ループ

(e) 一次境界ループの交差分離　(f) 二次境界ループ

図 6　境界経路の認識プロセス

OS_0，OS_1の交線の構成点OPを挟み打ち収束により特定するもので，オフセット固有の頑健な交線計算法といえる．

3.6　オフセット面の境界経路認識

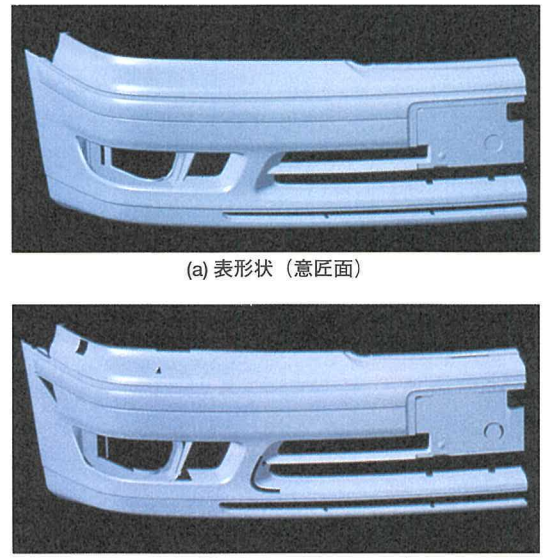
オフセット面のAF結合部の位相構造は，基本的に元面と変えない（但し微小なズレは吸い寄せる）．ところが，凸／凹結合部の位相構造は変化しかつ変化後の位相構造を事前に予測することは難しい．

そこで，まず元面について前述3.1で認識された構成面境界の経路順序（図 6 (b)）に従って，自面（オフセット基底面）の隣接面との交線同士の交点計算を順次おこなうことにより一次境界ループを作成する（図 6 (c)(d)）．ここで隣接面が虚像面，埋没面あるいは反転面のときは既に抹消されているので，更に隣りの面との交線を求め，一次境界ループに追加する．また，隣接面が存在しているにもかかわらず交線が出ないとき，あるいは交線同士の交点が出ないときも同様に更に隣りの面との交線を求め，一次境界ループに追加する．そして，一次境界ループが閉ループにならない面を埋没面とみなし抹消する．

次に，自面の一次境界ループ上の交差を検出してループを分離していく（図 6 (e)）．その結果，元面の境界ループの向きと等しいものを二次境界ループとして残し，それ以外の逆向きのループを抹消する（図 6 (f)）．この二次境界ループが自面の構成面境界ループとなる．ここで全てのループが逆向きとなる面を反転面とみなし抹消する．

4　適用結果

本アルゴリズムを実装し，フロントバンパーに適用した結果を写真 1 に示す．大局変形によってオフセット面同士が剥がれることなく，滑らかに徐変していることがわかる．更に，元面数に対して実に71%ものオフセット面が位相の変化を起こしているが，境界経路認識が位相の変化を正しく検出し，オフセット複合面の一括創成を可能にしている．



(a) 表形状（意匠面）

(b) 裏形状（一括オフセット面）
3.0→3.3mm徐変オフセット

写真 1　フロントバンパー適用結果

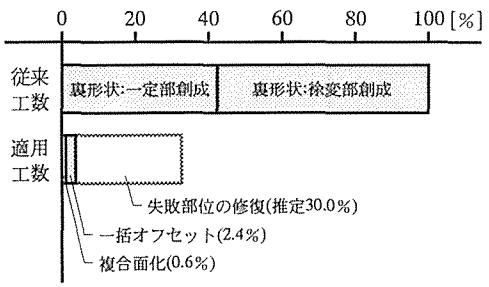


図7　フロントバンパーのモデリング工数比較

図7より，従来工数に比べ適用工数がはるかに少ないことがわかる．但し，現段階では，創成に失敗する面が元面数に対して6%程度あり，失敗部位の修復工数を見込んでおく必要がある．

失敗の主な原因として以下が挙げられる．

(1) 元面同士が剥がれている．

(2) 微細な元面がオフセット出来ない．

これらの元面は何れも複雑な部位を構成する面であり，元面の精度の問題だけでは片付けられない．今後の複合面利用技術の問題としてとらえていかなければならない．

尚，市販CADを評価したが，このバンパーを一括してオフセット出来るものは皆無であった．

5　おわりに

複合面の一括オフセット・アルゴリズムを考案し，実用展開を開始した．当初目標である裏形状のモデリング工数の低減とリードタイムの短縮に大いに貢献出来ることを確信する．

今後は以下の課題に取り組んでいく．

(1) 大局変形技術を応用して複合面の剥がれを縫合する．
（元複合面モデルの剥がれや設計変更時の部分的な修復）

(2) 徐変オフセット面の品質を向上する．
（面内のうねりや面間の折れの撲滅）

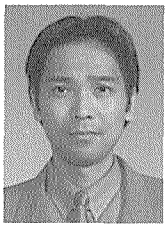
本アルゴリズムは，㈱トヨタソフトエンジニアリング，㈱アイヴィスの努力により実装することが出来た．厚く感謝したい．

■参考文献

(1) R. Farouki : Exact offset procedures for simple solids. Computer Aided Geometric Design. Vol. 2, No. 4, P. 257-279 (1985)

(2) J. Rossignac, A. Requicha : Offsetting operations in solid modeling. Computer Aided Geometric Design. Vol. 3, No. 2, P. 129-148 (1986)

■著者


川畑　弘幸


藤谷　幸孝


石田　順二


森崎　浩実

論　文

BEAMS 1UZ-FEエンジンの開発

Development of TOYOTA New BEAMS 1UZ-FE Engine

渡辺　健司*　Kenji Watanabe
旭　哲治*　Tetsuji Asahi
岩室　稔*　Minoru Iwamuro
佐藤　邦彦*　Kunihiko Satou
日吉　力**　Tsutomu Hiyoshi
樵　茂男**　Shigeo Kikori

要旨

1997年7月に販売開始した新型セルシオおよびクラウンに搭載されたV8 4ℓエンジンは，パーソナルユースの高級車用エンジンとして頂点に立つ1UZ-FE型エンジンをベースに大改良を加えたものである．連続可変バルブタイミング機構(VVT-i : Variable Valve Timing-intelligent)，斜めスキッシュ燃焼室，可変吸気システム（ACIS : Acoustic Controlled Induction System)，エアアシストインジェクタ，電子制御スロットル等をはじめとする最新の技術で磨きをかけ，ゆとりのパワーと滑らかな加速感を達成しながら世界最高レベルの低燃費と静粛性を確保することで，ユーザーニーズと社会的要請を高次元で両立させた新世代エンジンである．本稿では，このエンジンの改良内容と主な採用技術の概要について紹介する．

Abstract

The 4-liter, V-type, 8-cylinder engine installed on the new CELSIOR and CROWN released in July 1997 is an improved version of the renowned 1UZ-FE engine mounted on high luxury vehicles. Including Intelligent Variable Valve Timing (VVT-i) system, slant squish combustion chamber, Acoustic Controlled Induction System (ACIS), air-assisted fuel injector, Intelligent Electric Throttle Control System (ETCS-i), many new items were adopted. Through these features this new 1UZ-FE has achieved overwhelming acceleration and smoothness, and yet highest level of fuel consumption and quietness among the same displacement engines. This paper reports on the newly developed 1UZ-FE engine.

キーワード　V8エンジン，VVT-i，斜めスキッシュ燃焼室，ACIS，エアアシストインジェクタ，電子制御スロットル

1　はじめに

近年，地球環境対策の一環として，省資源やCO_2排出量の低減による地球温暖化防止への取り組みは，猶予を許されない社会的な最重要課題のひとつである．自動車では燃費改善がこれにつながる．

当社も「エコ・プロジェクト」という総称のもとで様々な環境保全活動に取り組んでいる．また一方では，高級車にふさわしいゆとりある滑らかな加速と静粛性の確保は，ユーザーニーズの観点から，エンジン開発の普遍のテーマである．これらの要求に対応すべく，従来からその総合性能の高さに定評のある1UZ-FE型エンジンをベースに，連続可変バルブタイミング機構（VVT-i)，斜めスキッシュ燃焼室，可変吸気システム(ACIS)，電子制御スロットル等の最新技術の投入を含め，構成部品のほぼ全点におよぶ大改良を加え，その基本性能を大幅に向上させた．このエンジンを搭載した新型セルシオおよびクラウンではクラス世界トップの低燃費を図りながら，同時に高級車にふさわしい走りと静粛性を実現した．以下に，このエンジンの改良内容と主な採用技術の概要について紹介する．

* 第1パワートレーン部
** 第1エンジン技術部

2　排気量の選択

世界的に高級車用V8エンジンの排気量は，4.0～4.5ℓが主流であり，その中で拡大される傾向も見られる．これは，求められる出力性能向上を排気量拡大で達成しようとするものに他ならず，背反として摩擦損失増大による燃費悪化を招くものである．今回，新型1UZ-FE型エンジンの改良に際しては，燃費改善を主眼に置いて排気量は競合車中の下限のまま変更せず，ゆとりの走りを実現するためのトルク向上は，基本性能の大幅向上で達成するという考え方を基本とした．

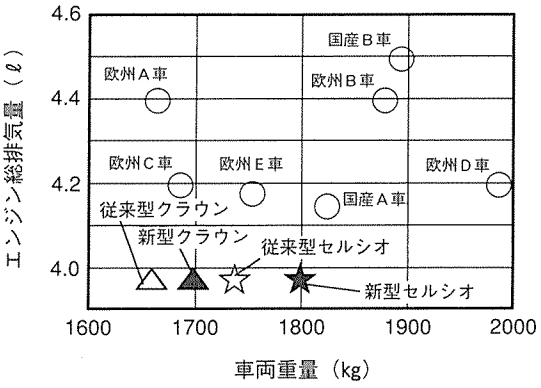


図1　車両重量とエンジン排気量の競合車比較

3　開発の狙い

次の3点に主眼を置いて開発した．

(1) 群を抜く低燃費

環境保全への最大限の配慮と経済性の両面からクラストップの画期的な低燃費を実現する．

(2) ゆとりのパワーと滑らかな加速感

高級車にふさわしい，圧倒的なゆとりのパワーと滑らかな加速感を達成する．

(3) 世界最高レベルの静粛性の維持

既に世界基準と言える，最高レベルの静粛性を(1)(2)と高次元で両立させる．

4　主要諸元とエンジン性能

表1に主要諸元，図2にエンジン性能曲線，図3にエンジン断面図を示す．

表1　エンジン主要諸元

	新　型	従来型
配列，シリンダ数	90°V型　8気筒	⇐
弁機構	DOHC 4弁，ベルト&ギヤ駆動	⇐
総排気量（cc）	3968	⇐
内径×行程（mm）	87.5×82.5	⇐
圧縮比	10.5	10.4
可変機構	VVT-i, ACIS	なし
最高出力（PS{kW}/rpm）	280{206}/6000	265{195}/5400
最大トルク（kgfm{Nm}/rpm）	41{402}/4000	37{363}/4800
全負荷最小燃費率（g/PS{kW}h/rpm）	190{258}/2400	190{258}/2600
燃料供給方式	EFI	⇐
使用燃料	無鉛プレミアム	⇐

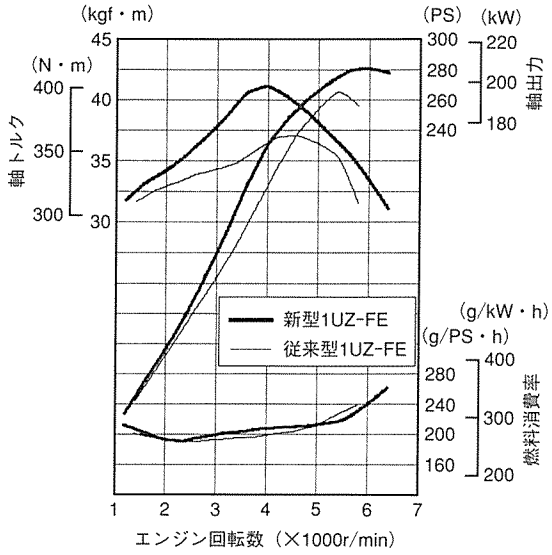
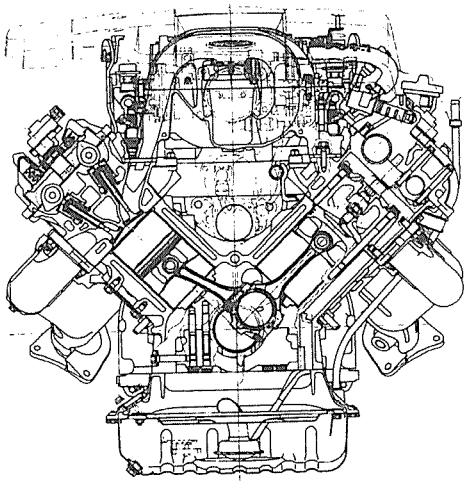
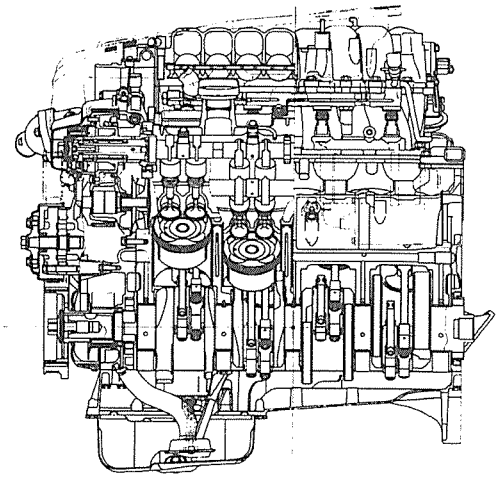


図2　性能曲線



横断面



縦断面

図3　新型1UZ−FEエンジン断面図

5　技術的特徴

5.1　群を抜く低燃費

5.1.1　VVT-iの採用

既に直6シリーズ等で採用し，好評を博しているVVT-iを採用した．ただし，新型1UZ-FEではタイミングベルトによる吸気カムシャフト駆動とシザーズギヤによる排気カムシャフト駆動の組み合わせにおいて，吸気カムシャフトの位相を可変させるため，図4に示す構造のVVT-iコントローラーを新たに開発した．これにより，エンジンの運転条件に応じて最適なバルブオーバーラップを設定でき，部分負荷時に内部EGR（排気ガス再循環）を増加させることで吸気管負圧を緩和してポンピングロスを低減できるとともに，吸気弁早閉じにより実圧縮比を上昇させることで燃焼効率を高め，燃費を向上させることができた．またアイドリング時はオーバーラップをなくし，内部EGRを減少させることで燃焼の安定化を図り，アイドル設定回転を下げることにより，アイドル燃費を向上させた．

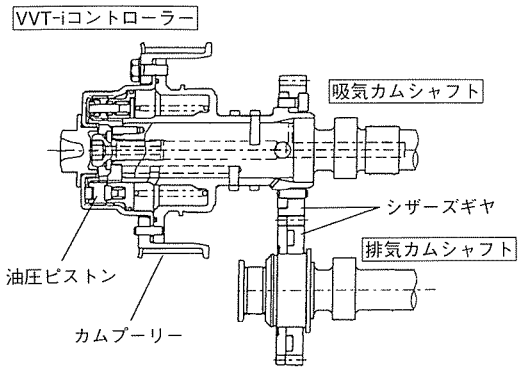


図4　VVT-iプーリ構造図

5.1.2　斜めスキッシュ燃焼室の採用

図5に示すように燃焼室形状を変更し，S/V比を3.46から3.20へ改善した．さらに，既にV12の1GZ-FEエンジンで世界初採用した斜めスキッシュ燃焼室を採用し，ボア壁面近くまで強いスキッシ

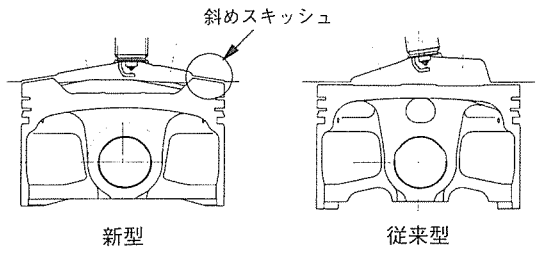


図5　燃焼室形状

ュ流を発生させることで燃焼を安定させるとともに，耐ノック性を改善した．これにより，低アイドル回転化と高圧縮比化を図り燃費を向上させた．

5.1.3 エアアシスト型インジェクタの採用

吸気ポート内に発生する負圧を補助空気として利用し，吸気ポート内に噴射する燃料を高微粒化するエアアシスト型インジェクタを採用した．高微粒化の決め手となるインジェクタ先端のアダプタ形状を新開発した(図6)．これにより噴霧平均粒径(SMD)を，アイドル時で従来型の240μm程度から40μm程度と微粒化し，とくに冷間時における燃料の壁面付着を低減して，燃費を向上させた．

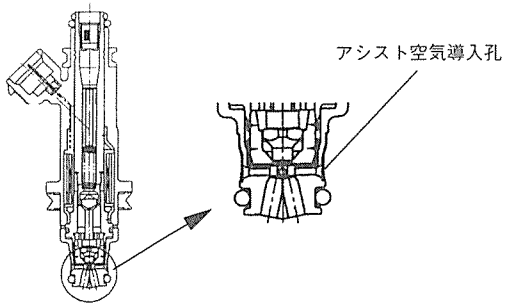


図6　エアアシスト型インジェクタ構造図

5.1.4 たる型バルブリフターの採用

図7に示すように，バルブリフターの側面にクラウニング加工を施し，たる型形状とした．これにより，シリンダヘッドとの間の衝撃力の緩和と潤滑性向上を図り，フリクションを低減して燃費を向上させた．また，たる型バルブリフターは動弁系騒音の低減にも有効である．

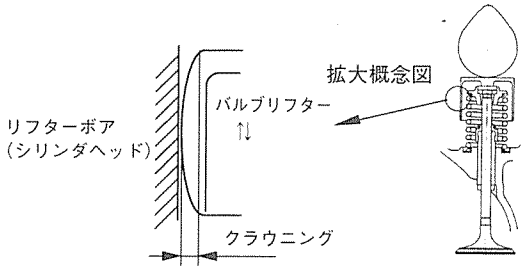


図7　たる型バルブリフター

前述した低燃費設計を含め，表2に示す数多くの最新技術を投入した．これらにより，低フリクション化はもちろん，低アイドル回転化・燃焼改善等を図り，図8に示すように同排気量クラス世界トップの，群を抜く低燃費を実現した．

表2　新型1UZ-FEで採用した低燃費技術

採　用　技　術	狙　　い
VVT-i	・アイドル安定性向上→低アイドル回転化 ・部分負荷運転時のポンピングロス低減
斜めスキッシュ燃焼室	・アイドル安定性向上→低アイドル回転化 ・耐ノック性（燃焼）改善→高圧縮比化
高圧縮比化	・燃焼改善
メタル製 シリンダヘッドガスケット	・ボア変形抑制→フリクション低減
樹脂コートピストン	・フリクション低減
たる型バルブリフタ	・フリクション低減
インローレスオイルポンプ	・フリクション低減
エアアシストインジェクタ	・燃料噴霧の高微粒化→壁面付着量の低減
イリジウム電極点火プラグ	・アイドル安定性向上→低アイドル回転化

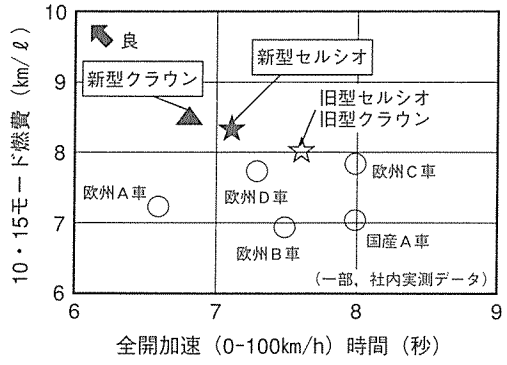


図8　車両性能比較（動力性能，燃費）

5.2 ゆとりのパワーと滑らかな加速感

5.2.1 大幅なトルク向上

(1) VVT-iの採用

高負荷時は，エンジン回転数に応じてトルク最大になるようなバルブタイミングに連続的に制御する．低回転時はVVT-iコントローラーを進角させ，インテークバルブ閉じタイミングを下死点付

近に設定し，高回転では吸気慣性効果を得るため閉じタイミングを遅角側に設定でき，出力性能が向上する．

(2) ACISの採用

吸気マニホールド内に設けた8個の吸気制御バルブを，エンジン回転数および負荷に応じて開閉する可変吸気システム（ACIS）を採用した．低中速回転時は，**図9**に示す吸気制御バルブを閉じ，開口部Aから吸気する．このときの吸気管長は約600mmとなり吸気脈動効果により低中速域の吸入効率が向上し，そこでのトルクが向上する．また高回転時は吸気制御バルブを開き，主に開口部Bから吸気する．このときの吸気管長は実質上約350mmと短くなり，高速域のトルクが向上する．開口部A・Bともファンネル形状とし，吸気抵抗を低減した．

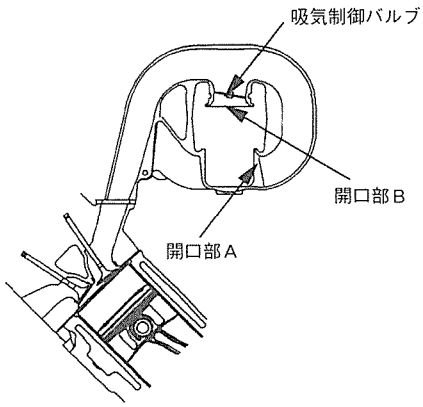


図9　ACIS構造図

(3) 斜めスキッシュ燃焼室の採用

前述した耐ノック性改善による高圧縮比化に加えて，吸・排気バルブが開いた時に開口部が広くなるため，吸入空気量が増加しトルクが向上する．

(4) 吸気系の改良

図10に示すように，スロットルボデーの搭載位置をエンジン横から前側に変更するとともに，各部の形状を最適化することにより，エアクリーナーインレット～スロットルボデー間の吸気抵抗を大幅に低減し，トルクを向上させた．

また，以下に示す改良により吸入空気温度の上昇を抑制し，吸気密度の低下，すなわちエンジン出力低下を抑えた．

①スロットルボデー搭載位置をエンジン前側としたことにより，エキゾーストマニホールドの熱の影響を受けにくくした．

②インテークマニホールド断熱ガスケットの採用

③スロットルボデー温水制御バルブの採用

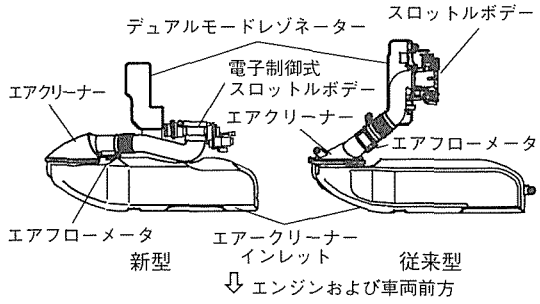


図10　吸気レイアウト図

前述した性能向上設計を含め，**表3**に示す数多くの技術を織り込み，**図11**に示すように，クラストップの正味平均有効圧（排気量当りのトルクに比例）を確保した．このトルク向上により，車両として大幅なハイギヤード化（デフ比：3.916→3.266）が可能となり，燃費も向上した．

表3　新型1UZ-FEで採用したトルク向上技術

採　用　技　術	狙　　い
VVT-i	・吸入空気量の増加
斜めスキッシュ燃焼室	・燃焼改善 ・吸入空気量の増加
高圧縮比化	・燃焼改善
縦型インテークポート	・吸入空気量の増加
バルブ傘径拡大＆軸径縮小	・吸入空気量の増加
インナーシム	・バルブリフト量増加→吸入空気量の増加
前側吸気＆吸気抵抗低減	・吸入空気量の増加
ACIS	・吸入空気量の増加
断熱ガスケット	・吸入空気温度の上昇抑制→出力低下の抑制
温水制御バルブ	・吸入空気温度の上昇抑制→出力低下の抑制

5.2.2　快適なドライバビリティの実現

運転のしやすさ・快適性の向上，およびトルク向上に見合った車両安定性の確保を狙い，電子制

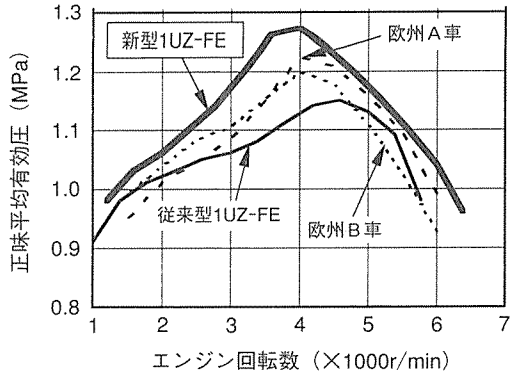


図11　競合車との正味平均有効圧比較

御スロットルシステム（ETCS-i：Electric Throttle Control System-intelligent）を採用した．またETCS-iは電子部品（CPU，センサー，電源）を2重系とするとともに，万が一の故障時でも走行が可能な構造とすることで高い信頼性を確保した．（図12）

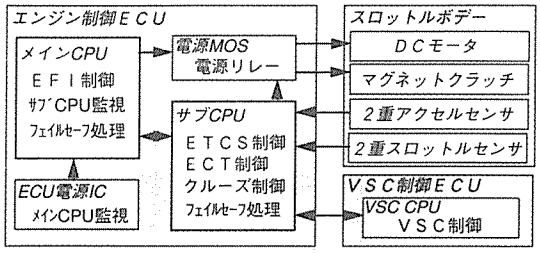


図12　システム構成

(1) スロットルボデー（図13）

①全運転領域で制御可能な1弁式とした．

②応答性と効率の良いDCモータを採用した．

③万が一の異常時でも，退避走行レバーにより走行が可能となる構造とした．

(2) パワートレーン系(EFI･ECT･ETCS)統合制御

運転者のアクセルペダル操作の反映を基本に，様々な運転状況に応じた最適な駆動力が得られるようEFI・ECTとも協調し，スロットルバルブを制御することで，圧倒的な加速感と滑らかな走りを両立させた．

(3) 車両安定性の確保

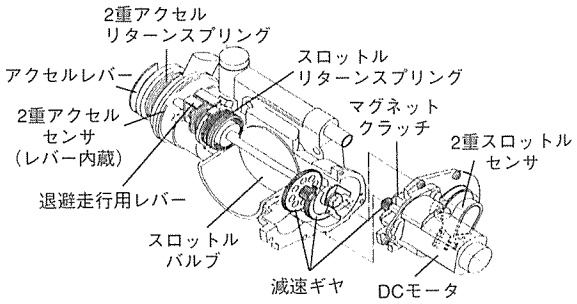


図13　スロットルボデー構造図

①スノーモード制御（図14）

アクセルペダル操作に対するスロットルバルブの動きをノーマルモード時と変え，滑りやすい路面での良好なアクセルコントロール性を実現することで，タイヤのスリップを起こしにくくした．

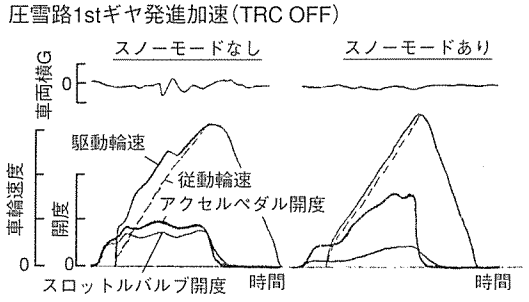


図14　スノーモード制御の効果

②VSCとの協調制御

エンジン出力をVSCシステムと協調しつつきめ細かく制御し，車両安定性を確保した．

5.3　世界最高レベルの静粛性の維持

5.3.1　パワープラント振動の低減

新型車では，出力アップと静粛性確保を両立させるため，パワープラントの振動モード解析（図

15）により，弱点のねじれ構造を改善し，重量効率の高いパワープラントの高剛性化を実現できた．アルミオイルパンの改良（図16）は，その一例である．

図17に，エンジンマウント部振動の比較を示す．

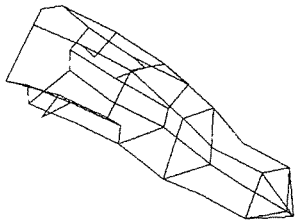


図15　パワープラント振動モード

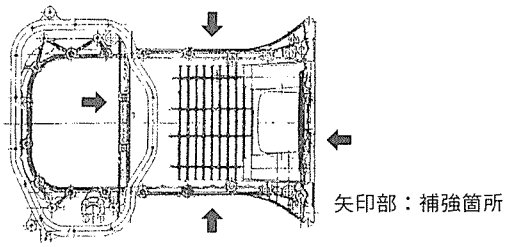


図16　高剛性オイルパン形状

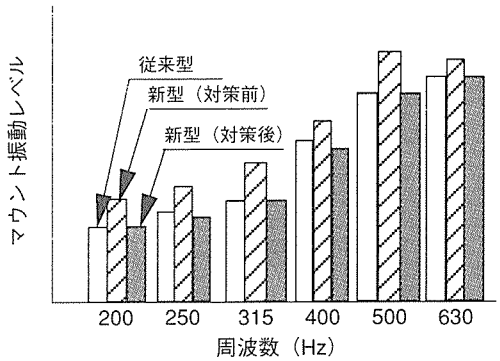


図17　マウント振動レベルの比較

5.3.2　異音の徹底的排除

エンジン騒音が低いほどレベルの小さな異音に注意を払う必要がある．最上級エンジンとして，異音に対して徹底した検出と表4に示すような対策を施し，高級車にふさわしい品質を確保した．

表4　異音低減対策

項　目	低　減　方　法
カムベアリング打音	・アルミ製タイミングベルトカバー ・カムキャップの選択かん合
動弁系騒音	・カムプロフィールの最適化 ・たる型バルブリフター ・シリンダーヘッドの面剛性アップ
燃料系騒音	・デリバリパイプの剛性アップ ・大型意匠カバーの吸音性能向上

6　おわりに

以上，新型セルシオ及びクラウンに搭載したBEAMS 1UZ-FE型エンジンの概要を紹介した．

省資源やCO_2排出量の低減による地球温暖化防止に対する十分な配慮を加えながら，圧倒的なゆとりのパワーと滑らかな加速感，およびふさわしい静粛性を確保し，高級車用エンジンとして，ひとつの回答が示せたものと思う．またその結果として，お客様にも十分満足していただけるものと確信している．

最後に，本エンジンの開発及び製品化にあたり多大な御協力をいただいた社内外の皆様に，厚く感謝の意を表したいと思います．

■参考文献

(1) 川村博，中窪，旭，遠藤，河合，奥村：新型1GZ-FEエンジンの開発，TOYOTA Technical Review. Vol. 47, No. 1, P. 10-17 (1997)

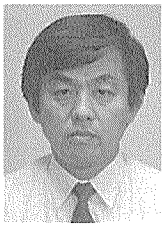
(2) 守谷嘉人，斎藤，川竹，吉岡：VVT-iシステムについて，TOYOTA Technical Review. Vol. 47, No. 1, P. 48-53 (1997)

■著者


渡辺　健司


旭　哲治


岩室　稔


佐藤　邦彦


日吉　力


樵　茂男

論　文

イージーコラムシフトの開発

A Development of Easy-Column Shift

佐藤　義隆*　　蓑島　晴美*　　牧口　実**
Yoshitaka Sato　　Harumi Minoshima　　Minoru Makiguchi

要旨

近年のMPV車の増加・AT比率増加により，変速操作のタイプにコラムATシフトレバーを採用する車種が増加している．従来のコラムATシフトレバーを乗用車ユーザーにとってなじみやすくするため，今回タウンエースノア・ライトエースノアにおいて，乗用車感覚で操作できるイージーコラムシフトを開発した．

Abstract

By the recent trends of MPV (Multi-Purpose Vehicle) increase and AT (Automatic Transmission) increase, vehicles which have mounted column AT shift levers are increasing as transmission operation. To be more familiar with column AT shift levers for passenger car users on the development of Town-Ace Noah and Lite-Ace Noah, we have developed Easy-Column Shift which can be operated as passenger car feeling.

キーワード　シフトレバー，操作性，MPV，AT，軽量化，コスト

1　はじめに

近年，AT（Automatic Transmission）車の割合が増えているのは言うまでもない．その中でも，コラムATシフトレバーのタイプを採用する車種が，いわゆるRV（Recreational Vehicle）やMPV（Multi-Purpose Vehicle）の中で増えている．

それは，コラムATシフトレバーが通常のフロアATシフトレバーなどと違って前席ステアリングコラム部に搭載されるため，室内スペース拡大（いわゆるウォークスルーしやすさの確保）のメリットを狙って採用されることが多いからである．またMPV・RV車市場拡大に伴って，コラムATシフトレバーそのものの台数も急激な伸びを示している（図1）．一方，MPV・RV車の市場拡大は乗用車からの乗り換えユーザーに支えられているためその比率が高くなっている．一般に乗用車と言えばフロア式ATシフトレバーが主流であるため，乗用車ユーザーにとってコラムATシフトレバーはなじみが薄かったため，乗用車ユーザーにもなじみやすいコラムATシフトレバーの開発が急務であった．（図2）

今回タウンエースノア・ライトエースノアの開発では車両コンセプトの重要アイテムの一つとし

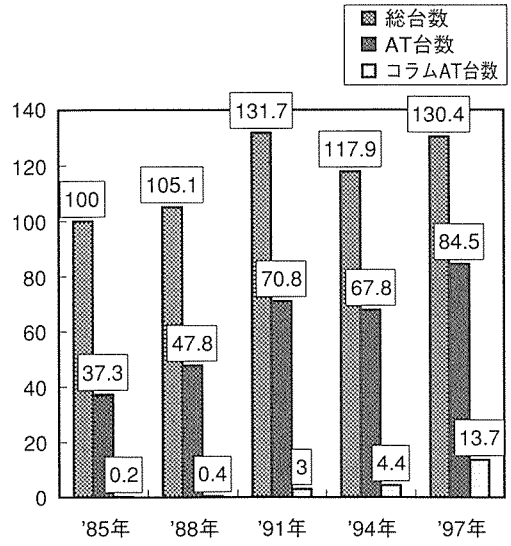
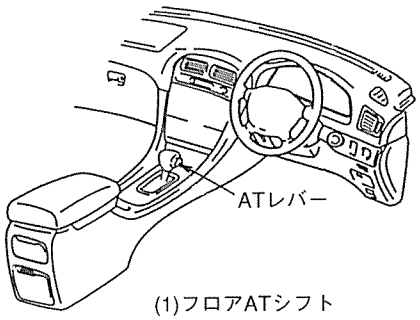
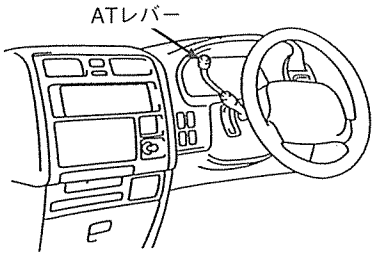


図1　'85年のトヨタ車総生産台数に対する各々，総生産台数比
AT車総台数比
コラムAT車総台数比

* 第3シャシー設計部
** 第3実験部



(1)フロアATシフト



(2)コラムATシフト

図2　ATシフトのタイプ

て，「乗用車感覚の訴求」を掲げて開発を進めてきた．その一つとして乗用車ユーザーにもなじみやすく，乗用車感覚で操作できるイージーコラムシフトを開発したのでその概要について紹介する．

2　コラムATシフトの概要（図3）

コラムATシフトレバーとは，室内スペースの拡大に伴う，いわゆるウォークスルー（運転席と助手席の間より後席へ移動する機能）をしやすくする為，シフトレバーをステアリングコラム部へ搭載したものである．室内側のシフトレバーはAT側レバーとプッシュプルケーブル（又はリンク）で連結され，各ポジション（P, R, N, D, 2, L）に確実に操作可能にするものである．

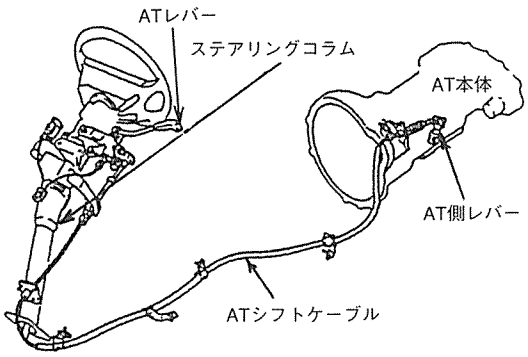


図3　コラムATシフトの概要

2.1　従来のコラムATシフトの操作方向

シフトレバーをステアリングホイールの円周方向にシフト操作し，手前方向はセレクト操作とする（図4）のが一般的である．（1つのレバーを2方向の異なる動きにより操作する）

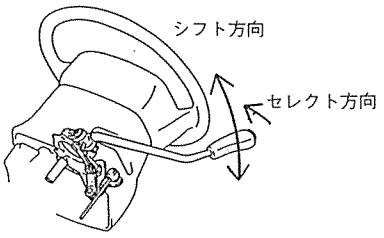


図4　従来のコラムATシフト

2.2　イージーコラムシフトの狙い

ノアの車両コンセプトの1つ「乗用車感覚の訴求」を目指して，フロアATシフトレバーと同様な操作方法となる様な構造，つまり，ボタンを押してセレクト操作とし，シフトは車両前後方向に動かす（図5）ことをコラム搭載で成立させる機構を検討した．

3　イージーコラムシフトの構造と作用

3.1　概要

シフトノブはフロアAT用ノブと良く似たセレ

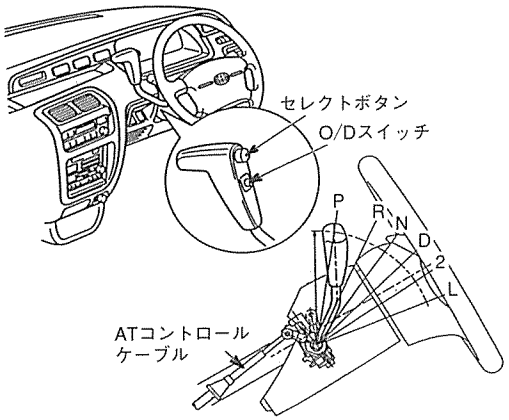


図5　イージーコラムシフト

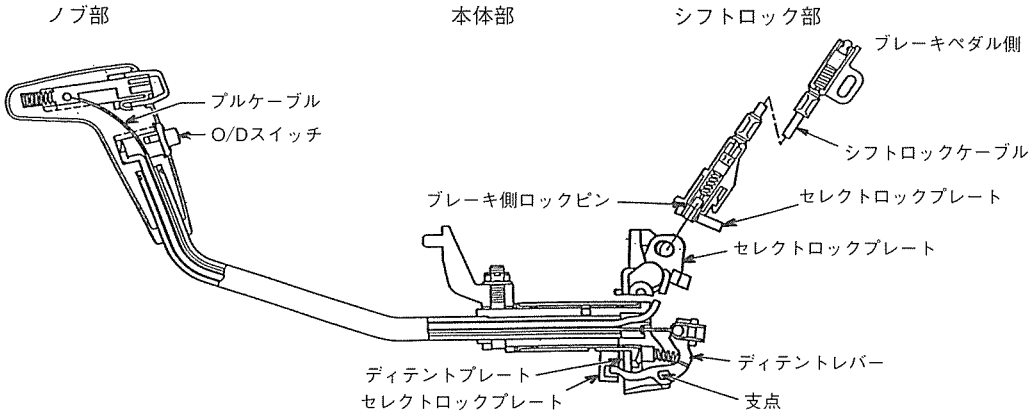


図6　イージーコラムシフト断面図

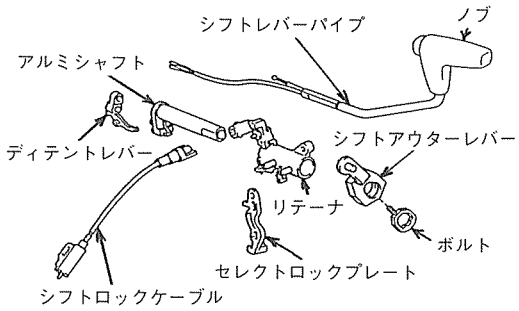


図7　イージーコラムシフトの主要構成部品

クトボタンタイプとし，本体部とシフトレバーパイプにて連結され，シフト方向が前後方向となる様に支持した．

本体部はステアリングコラム下面に取り付けられ，シフトロック，キーインターロックは機械式を採用している．

具体的には，本体部よりブレーキペダルへシフトロックケーブルを配索し，シフトロックを行なう構成となっている．キーインターロックはリンク式にて行なう（図6）にシフトレバー全体の断面図，（図7）に主要構成部品を示す．

3.2　シフトノブ部

ノブ本体にセレクトボタンとO/D (Over Drive) スイッチをコンパクトにまとめて取り付けた．

セレクトボタンを押す事により，シフトレバーパイプ内を通しているプルケーブルにて本体部のディテントレバーをセレクト状態にする．

O/Dスイッチ操作性を考慮し，セレクトボタンの下側にO/Dスイッチを取付け，ワイヤーハーネスはシフトレバーパイプ内より本体部へ通し，車両側ハーネスと連結される．

ノブ本体は内部をポリアセタール樹脂（POM）で成形し，表面は軟質塩ビで成形する2層成形として手触り感を良くする為の配慮を行なった．

3.3　本体部

3.3.1　リテーナ

リテーナはアルミ製でステアリングコラム取付部，アルミシャフト支持部，シフトロック取付部，ディテントプレート取付部等を一体で成形し，軽量，小型コンパクトな構造とした．

3.3.2　アルミシャフト

アルミシャフトはリテーナにシフト方向回転可能に支持され，内部にシフトレバーパイプ挿入部を有する．アルミシャフトは，その一端にシフトアウタレバー固定部，他端にディテントレバーの支持部を一体で成形されている．

3.3.3　シフトアウタレバー

シフトアウタレバーはATシフトケーブルの接続部であるが，シフトレバーパイプとアルミシャフトの回転方向の固定とアルミシャフトの軸方向の固定を兼ね，一本のボルトで固定できる様にアルミ一体で成形した．

3.3.4　ディテントプレート

ディテントプレートは，シフト時の各ポジショ

ン（P, R, N, D, 2, L）を確実に選択できる様凹凸を設け，プレスにて成形し，リテーナにビス取めされている．

3.3.5 ディテントレバー

ディテントレバーはノブ上のセレクトボタンを押す事により，プルケーブルにて回転し，ディテントプレートの凹凸から外れ，シフト可能にする物で，精度の要求される部品であるが，機械加工なしで，ロストワックス鋳造にて一体成形している．

3.4 シフトロック，キーインターロック部

シフトロック，キーインターロックの作動を制御するセレクトロックプレートはリテーナにスライド可能な状態で取り付けられている．

セレクトロックプレートはガラス繊維強化ポリ

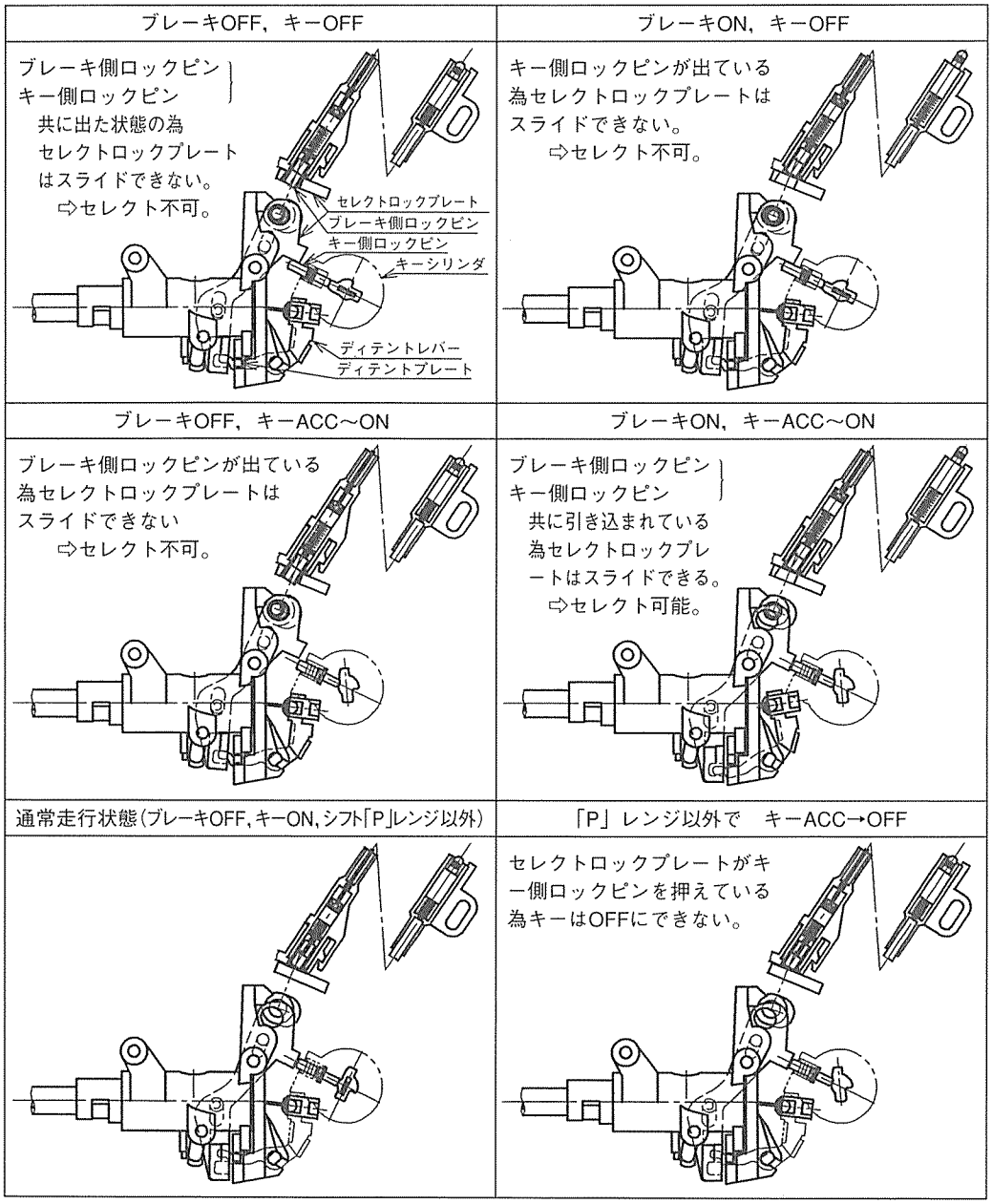


図8　シフトロック，キーインターロック作動説明図

アセタール樹脂（POM）製で下方部にディテントレバー，上方部にシフトロックケーブルピン，中間部にキーインターロックピンのそれぞれの動きを規制する部位を一体成形している．

シフトロック，キーインターロックの作動については（図8）に示すとおりである．

4　イージーコラムシフトの効果

4.1　操作性向上

4.1.1　リーチ

イージーコラムシフトと他車のコラムATシフトレバーとで比較を行った．標準的な日本人のショルダーポイントからシフトレバーノブの先端までの距離を表に示す．これを見ると特にDレンジの位置が他に比べて近く届きやすいことがわかる．ステアリングホイールからの移動距離で表すとさらに近く（表1），とっさのシフトダウンなどに有効であることがわかる．

表1　ATシフトタイプ別比較表

シフトレバータイプ	Dレンジのリーチ(mm)	ステアリングホイールからの移動距離(mm)
イージーコラムシフト	561	96.5
他車コラムATシフト	637	130
他フロアATシフト	573	281.4

4.1.2　操作時間の比較

シフトレバーをタイプ別にa.フロアシフト（図2－1参照）b.手前引きコラムシフト（図4参照）c.イージーコラムシフト（図5参照）の3種に類別して比較を行った．

〈方法〉ATシフトレバータイプの異なる車両3台を用いて，12名の社内パネルによりシフト動作解析を実施した．各パネルに，口頭でシフトポジションを指定して，早く正確に指定したシフトポジションへ操作させる課題を与えて，その時のシフト操作をVTRにより記録し，解析を行った．1人1台当たり操作回数は60回である．

〈結果〉操作時間ではイージーコラムシフトはシフトノブに触るまでが短く，また手前引きコラムシフトはストロークやセレクト回数が多いため特にシフト完了までの操作時間が長くなっている（図9）イージーコラムシフトはフロアシフトタイプと同等かやや有利と考えられる．

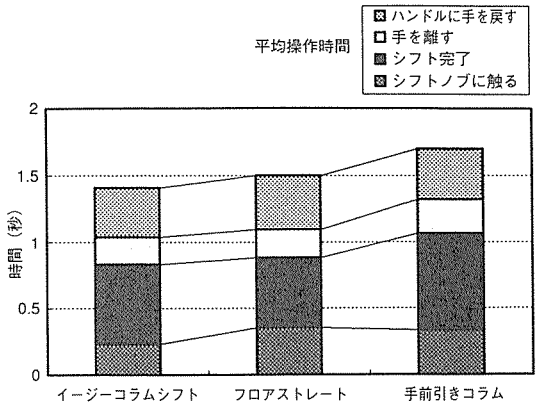


図9　ATシフトタイプ別操作時間比較表

4.2　軽量化，小型化

ステアリングコラムの下側へA/Tシフトレバーを取り付ける事により，リテーナを小型化し，軽量化した．シフト方向を車両前後方向に変更する事により，ベルクランクを廃止した．更に上記により，コラムカバーの断面積を小型化し，できた．

4.3　部品点数削減

リテーナ，シャフト，レバー等アルミ鍛造一体化することにより，機能を集約させ，部品点数を削減した．さらにシフト方向変更により，ベルクランクを廃止した．

シフトロック，キーインターロック機構の簡素化により，部品点数を削減した．

4.4　原価低減

上記4.2（軽量化，小型化），4.3（部品点数削減）及びアルミ精密鋳造等による機械加工廃止．シフトロック，キーインターロックの簡素化（1本ケーブル＋リンク式）により原価低減を図った．

表2に他のトヨタ車MPVとの比較表を示す．

表2　コスト，重量，総部品点数比較表

		イージーシフト	A車	B車
コスト指数（B車100）		73	80	100
質量(ATレバー＋シフトロックケーブル)		800g（−36%）	1000g（−20%）	1250g（基準）
総部品点数	ATレバー本体	28	29	36
	シフトロックケーブル	12	25	26
	合　　計	40（−35%）	54（−13%）	62（基準）

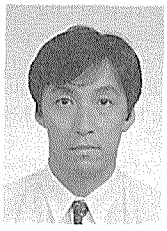
5　おわりに

今回タウンエースノア・ライトエースノアの開発において，乗用車感覚で操作できるイージーコラムシフトを開発した．今回の開発に当たり，万能工業㈱殿の御協力に謝意を表します．

■著者


佐藤　義隆


蓑島　晴美


牧口　実

論　文

ディーゼルエンジン用触媒の開発

Development of Catalyst for Diesel Engine

植野　秀章*　古谷　寿伸*　永見　哲夫*
Hideaki Ueno　Toshinobu Furutani　Tetsuo Nagami
青野　紀彦**　五嶋　秀之**　笠原　光一**
Norihiko Aono　Hideyuki Goshima　Kouichi Kasahara

要旨

従来の触媒の貴金属量で低温活性を出現させるという概念と異なり，『吸着材によって低排気温下でのSOF，HCを捕集し，昇温時に脱離・浄化する』という新しいコンセプトのディーゼルエンジン用触媒を開発した．本触媒開発の過程でコート材が触媒性能を左右する重要な要因であること，200℃以下の低温においてもコート材がSOF成分を酸化していること，高温でのサルフェート生成はSO_2を吸着しにくいコート材を用いることで抑制できること，吸着材特性を巧く活用することで酸化雰囲気下でNOxを還元・浄化できる可能性があることを明らかにした．

Abstract

The new concept catalyst for diesel engine has been developed. When the exhaust temperature is low, SOF and HC are temporarily adsorbed by the adsorbent within the catalyst and are oxidized as the temperature rise. The process of this development have manifested as follows. 1) The coating material is important factor to govern the oxidation activity. 2) SOF is reduced by the coating material in low temperature less than 200℃. 3) The coating material, which has low SO_2 adsorbing rate suppress the sulfate formation at high temperature.

キーワード　触媒，ディーゼルエンジン，酸化，HC，パティキュレート

1　まえがき

ディーゼルエンジンは二酸化炭素(CO_2)の排出量が少ないために，地球温暖化防止の観点から注目されている．しかし，反面 固体微粒子（煤，サルフェート，SOF〈Soluble Organic Fraction〉から構成されている：以下PM〈Particurate Matter〉という）とNOxの排出量が多く，排ガス対策については燃焼改善，EGR等の改良を中心に進められてきた．EGR量を増加させてNOxを減らすとPMやHC，COが増加するので両者をエンジンの改良のみで低減するには限界があり，今後さらなるディーゼル排ガスのクリーン化を図るためには排ガス浄化触媒の装着が不可欠である．しかし，ディーゼルエンジンは排気温が低くて触媒が活性化しにくい，燃料中に硫黄(S)が多いので排ガス中の硫黄酸化物により触媒が劣化しやすい，エンジンが常時酸素過剰雰囲気で運転されるためにNOxを還元し浄化することができないなど克服すべき課題が多く，新しい技術の開発が待望されていた．我々は，低排気温下でSOF，HCの排出低減を図ると共に，触媒耐久性を向上させた新コンセプトに基づくディーゼル触媒を開発した．この新コンセプトディーゼル触媒は他社に先駆け

表1　ディーゼル排ガスの特徴と触媒の開発課題

排ガスの特徴	開発課題
1) 排ガス温度が低い	① ２００℃以下の低い温度からＨＣ，ＳＯＦを浄化する触媒開発
2) 排ガス中に硫黄酸化物が多い	② ＳＯ２の酸化を抑え、サルフェートを生成しにくい触媒開発 ③ サルフェートと反応し難いコート材の開発・選定
3) 酸素過剰雰囲気で運転される	④ 酸素過剰雰囲気中で、ＮＯｘを還元浄化する触媒開発
4) 排ガス中のＨＣ，ＣＯが少ない	⑤ ＨＣを有効にＮＯｘの還元に利用できる触媒開発

* 第１材料技術部
** キャタラー工業㈱

て今夏発売の新型車に搭載され，国内長期規制をクリヤするとともに，今後欧州向けなどにも採用拡大を予定している．

2 開発課題

ディーゼル触媒がかかえる開発課題を表1に示す．表1中の①と②の課題に関する反応は酸化反応で，触媒貴金属上で起きていると考えられている．

そこで触媒の低温活性向上を狙って貴金属の担持量を増やすと，①の課題解決には好都合であるが②の課題，すなわち(1)(2)式で示される反応によって硫酸ミスト，及び硫酸塩（以下サルフェート）を生成し，排ガス中のPMが増加するので不都合である．HC，SOFの酸化は促進し，サルフェートの生成を抑制するという背反要求を満足させて，触媒が有効にはたらく温度域（温度ウィンドウ）を拡大することが大きな課題である．

$$S+O_2 \rightarrow SO_2 \quad \cdots\cdots(1)$$

$$SO_2+1/2O_2+H_2O \rightarrow H_2SO_4 \quad \cdots\cdots(2)$$

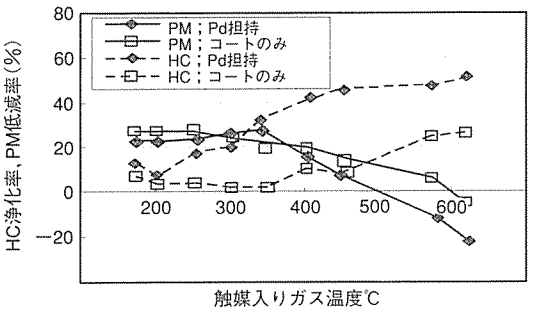
また，③は排ガス中のSO_2が酸化することで生成するサルフェートと反応して比表面積の低下を起こさないコート材の開発・選定が課題となる．ここで，②と③の課題に対してはコート材へのSO_2吸着を少なくし，サルフェートを生成し難くすることが重要となる．一方，④と⑤の課題は，酸素過剰雰囲気下（酸化雰囲気）でHCとO_2の反応を抑制しつつ，少ないHCとNOxをいかに反応させるかが今後解決すべき大きな技術的な課題である．

3 新コンセプト触媒の狙い

3.1 コート材のSOF低減効果

図1にSiO_2-Al_2O_3コート材にPdを担持した触媒と，コート材のみの2種類の触媒のHC，PM浄化特性を示す．300℃以下の低温でのPM低減率は同等であるが，300℃以上ではPd担持触媒が高いPM低減率を示す．しかし，500℃以上になるとサルフェートの増加により悪化する．

一方，コート材のみのHC浄化率は，500℃以下では10%以下である．これに対してPd担持触媒

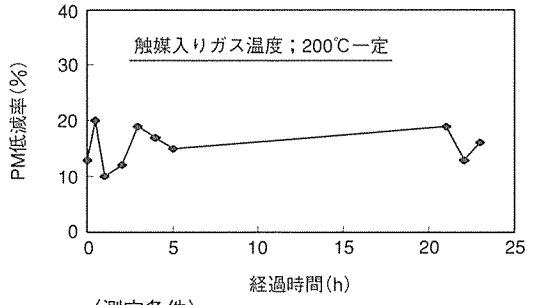


〈測定条件〉
・エンジン；IDI, 2.4L
・燃料；0.05wt%S軽油
・触媒容量；1.7L
・貴金属担持量；Pd:0.5g/L

図1 貴金属の有無による浄化特性の違い

では250℃以上になるとHC浄化率が高くなる．この両触媒の違いは次のことが考えられる．すなわち，SOF成分のほとんどが液状の低温ではコート材の作用によりSOFが低減され，SOF成分がガス化する高温下では担持したPdによって酸化されている．

図2は貴金属を担持していないコート材のPM低減効果の経時変化を示したものである．PM低減率は23時間まで10〜20%の低減率を維持している．この結果は，低温でのPM低減が単なるコート材への付着等によるものではなく，SOF成分がコート材により酸化，あるいは部分酸化されていることを示している．以上の結果から，SOFの酸化に貴金属が必要であるという従来の考え方とは異なり，低温でのSOF低減にコート材が重要な役割を果たしているという新しい知見が得られた．



〈測定条件〉
・エンジン；IDI, 3.6L
・燃料；0.05wt%S軽油
・触媒容量；1.7L
・貴金属担持量；なし(コートのみ)

図2 コート材のPM低減効果

3.2　新コンセプト触媒開発の狙い

コート材は貴金属による酸化反応を促進するだけではなく，低排ガス温下でのSOF低減に寄与していることが明らかになった．これにより，低排ガス温下でのSOF低減はコート材で，HC，CO，NOxの浄化は貴金属で行うという，機能を分離した触媒設計が可能になった．そこで，本開発ではコート材の機能をさらに向上させることとSO_2の多い排ガス中でも十分な耐久性をもつコート材開発を狙いに以下の項目を検討した．

1) 耐久性向上
　①SO_2を吸着しにくいコート材料（硫酸塩を生成しにくい材料）の開発・選定
　②700℃以上（ディーゼル排ガスの最高温度）の耐熱性があるコート材料の開発・選定
2) 機能向上
　①貴金属の活性化が困難な低排ガス温下でHC，SOF捕集機能を強化するために，ゼオライト（HC吸着材）を添加

4　コート材の検討結果

4.1　各種コート材のサルフェート吸着特性

図3に各種コート材のサルフェート吸着特性を示す．この図から，SiO_2，TiO_2のサルフェート吸着量は，従来のコート材に使用していたアルミナに対して1/4以下であり，サルフェートを吸着しにくい材料であることがわかる．図4は，SiO_2とTiO_2にPt=0.5g/Lを担持した触媒のHC50%浄化温度を示したものであるが，TiO_2はSiO_2に比べて低温活性が優れている．排気ガス中にSO_2が多く，しかも排ガス温が低いディーゼル用触媒のコート材としては，TiO_2が適していると考え，本開発触媒はTiO_2を主コート材とした．

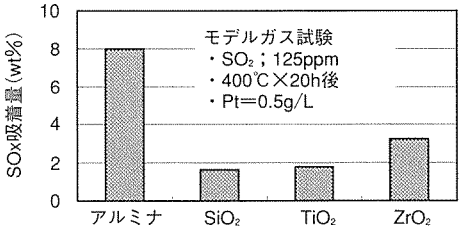


図3　各種コート材のSO_2吸着特性

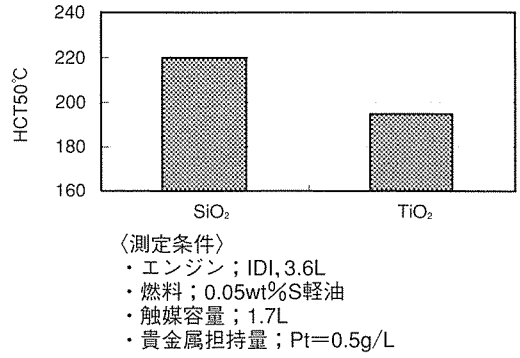
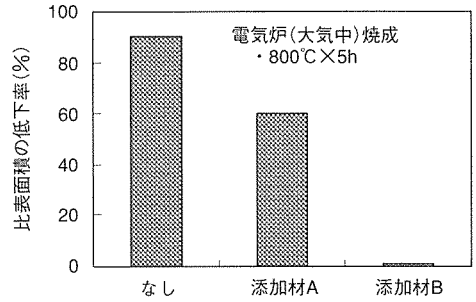


図4　コート材のHC浄化性能の違い

4.2　TiO_2の耐熱性改良

TiO_2は，600℃を超えるとアナターゼ型からルチル型に結晶構造変化，または粒成長により比表面積が著しく低下する．従って，コート材に使用するには耐熱性向上が不可欠であり，添加材による耐熱性向上を検討した．図5にTiO_2の耐熱性に与える添加材の効果を示す．



＊比表面積(S.A)の低下率[%]
＝[(初期のS.A−焼成後S.A)/初期のS.A]×100

図5　TiO_2の耐熱性に与える添加材の効果

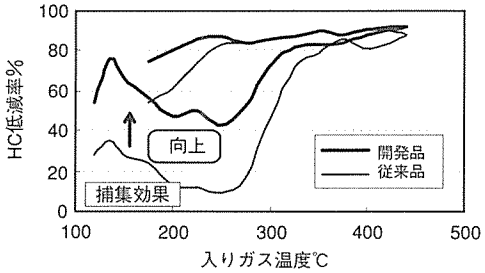
4.4.3　ゼオライトの選定

本触媒に使用するゼオライトは，①HC，SOFの捕集能が高いこと，②捕集HC，SOFの脱離温度は触媒貴金属の活性温度領域にあること，③耐熱性が良いこと，が求められる．SiO_2/Al_2O_3比が高いゼオライトは疎水性を示し，有機分子を選択的に吸着すること[2]，SiO_2/Al_2O_3比が高いほど脱Alを生じ難く耐熱性が良い事から，本開発ではSiO_2/Al_2O_3比が高いゼオライトを選定した．

5 開発触媒の基本特性

5.1 HC捕集特性

図6にPtを0.5g/L担持した開発触媒のHC捕集特性を従来触媒と対比して示した．この図は，エンジンベンチ試験で排気温度を連続的に昇降温した時のHC低減率を示したものである．開発触媒はゼオライト添加効果により，低温でのHC捕集能が従来触媒より大幅に向上している．

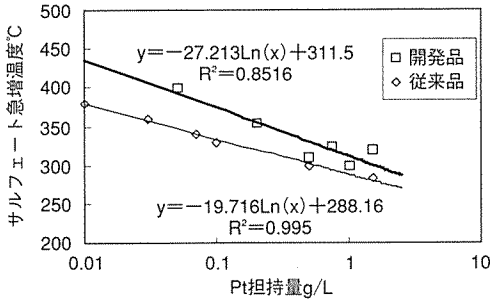


〈測定条件〉
・エンジン；IDI, 3.6L　・燃料；0.05wt%S軽油
・触媒容量；1.7L　・貴金属担持量；Pt=0.5g/L
・昇降温速度；40℃/min

図6　開発触媒のHC捕集効果

5.2 サルフェート生成の抑制能

図7に開発触媒のPt担持量とサルフェート急増温度の関係を示した．開発触媒のサルフェート急増温度は従来触媒よりも高くなっていることがわかる．これは，4.1項で述べたようにコート材がサルフェートを吸着しにくいことによると考えられ，コート材がサルフェート生成を左右する重要な要因であることを示している．

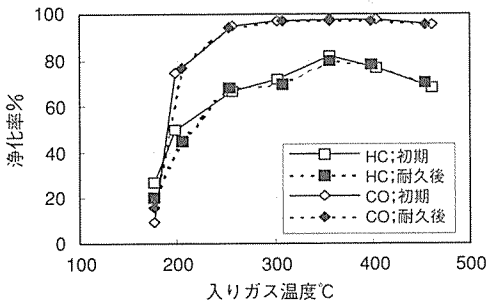


＊サルフェート急増温度；PM低減率が0%になる温度
〈測定条件〉
・エンジン；IDI, 2.4L　・燃料；0.05wt%S軽油
・触媒容量；1.7L　・定常降温評価

図7　開発触媒のサルフェート抑制能

5.3 開発触媒の耐久性

図8に高温耐久（650℃×50h）前後のHC，CO浄化率の温度特性を示した．この図から，開発触媒の浄化性能は耐久前後でほとんど変化しておらず，優れた耐久性を有することがわかる．

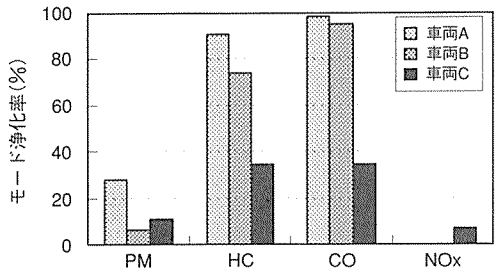


〈測定条件〉
・エンジン；IDI, 2.4L　・燃料；0.05wt%S軽油
・触媒容量；1.7L　・貴金属担持量：Pt=0.5g/L
・定常降温評価

図8　開発触媒の高温耐久性（650℃×50h）

6 車両での触媒性能

図9にエンジン排気量と排気温度の異なる車両における本開発触媒の浄化性能を示す．各モード内排ガス温が触媒の高活性温度領域にどれだけ入っているかで浄化性能が左右される．一方，本開発触媒はPt担持量によって温度ウィンドウが異なるので，触媒に高浄化性能を発揮させるためには，適用する車両に合わせたPt担持量の最適化が必要である．また，エンジンを含めて排気システムとして排気温度を最適化すれば，さらに高い浄



車両	エンジン	触媒	評価モード
A	IDI, 3.0L	Pt=0.1g/L	10-15
B	IDI, 2.2L	Pt=1.5g/L	10-15
C	IDI, 2.0L	Pt=1.5g/L	新EC

図9　開発触媒の車両エミッション

化性能を引き出すことができるものと思われる．

7　考察

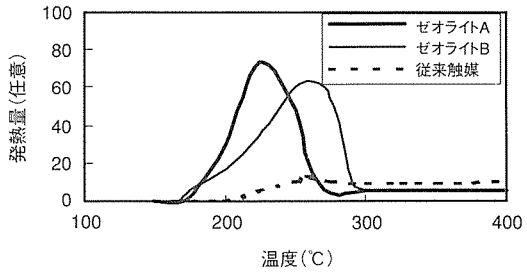
7.1　ゼオライトのSOF低減効果について

図10はPtを0.2g/L担持したゼオライトAとB，および従来触媒に擬似SOF成分としてn-ヘキサデカン（C16H34）を混合して昇温時の発熱量をDTAにより調べた結果であるが，従来触媒に比べてゼオライトに吸着したSOFは低温から酸化しはじめその発熱量も多い．これは，Ptで酸化されにくい大きい分子のSOF成分が，ゼオライトにより燃焼性のよい低C数のHCに改質されていることによるものと考えられる．図11は150℃のエンジン排ガスを触媒に導入して，コート材に捕集されたSOF成分を分析した結果である．従来触媒に捕集したSOFのC数分布は，触媒で捕集する前（入りガス）のC数分布とほぼ同様であり，SOF成分に対する改質効果はみられないが，ゼオライトAに捕集したSOFは，C数分布が低C数側にシフトしており，SOF成分が改質されていることがわかる．

以上のことから，ゼオライトは低温で一旦SOFを捕集し，温度上昇時に燃焼性の良いガス状HCに改質して脱離していると考えられ，ゼオライトAはその効果が大きい．

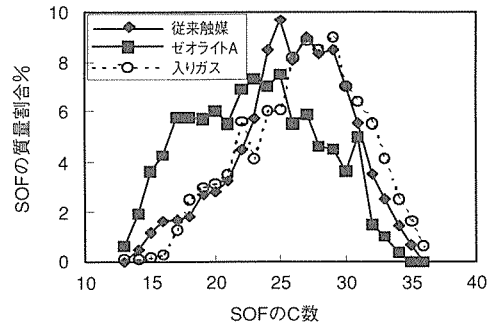
7.2　NOx浄化の可能性について

図9に示す車両Cでは，わずかにNOxの浄化がみられる．このエミッション測定時のNOx濃度変化を図12に示す．この図からNOxは触媒入りガス温度が170～240℃に昇温する過程で浄化さ



〈供試試料〉
・C16H34吸着量；5wt%一定　・Pt担持量；0.2g/L一定
〈DTA測定条件〉
・雰囲気；10%O_2/N_2バランス　・昇温速度；20℃/min

図10　ゼオライトのSOF燃焼性



〈SOF捕集条件〉
・エンジン；IDI, 2.4L
・捕集条件；150℃×3h

図11　捕集SOFのC数分布

れていることがわかる．通常運転中のディーゼルエンジンではその排ガス中に存在するHCだけではNOxを還元することは難しく，ある程度以上のHC濃度が必要なので本車両のNOx浄化メカニズムについては，次のことが考えれる．すなわち，低排ガス温下で捕集したHC，SOF成分が加速時の排ガス昇温時に脱離し，触媒近傍のHC濃度が一時的に濃い状態になることによって，NOxを還元しているものと思われる．以上のことは，本開発触媒のもつHC捕集，脱離特性をうまく活用すれば，NOxを浄化できる可能性があることを示唆している．

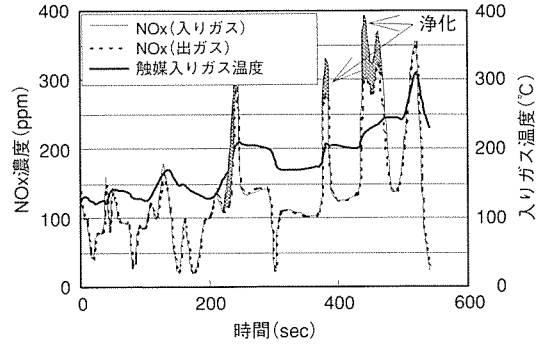


図12　車両Cの試験モード中のNOx濃度変化

8　まとめ

低排ガス温でのHC，SOF浄化性能向上と高排ガス温でのサルフェート生成抑制にすぐれた新コンセプトのディーゼルエンジン用触媒を開発し

た．また，本触媒開発の過程で以下のことを明らかにした．

1) 200℃以下の低排ガス温ではコート材がSOF成分を酸化あるいは部分酸化している．
2) コート材へのHC吸着材添加により，低排ガス温でのHC，SOF浄化性能を大幅に向上できる．
3) 高排ガス温でのサルフェート生成はSO_2吸着の少ないコート材を用いることで抑制できる．
4) ゼオライトはSOF成分を低C数のHCに改質する効果がある．
5) HC吸着材を添加した本開発触媒は，使用条件の最適化によりNOxを浄化できる可能性がある．

9 おわりに

本触媒の開発にあたって，解析で協力を頂いた㈱豊田中央研究所触媒部，分析・計測部の方々に感謝の意を表する．

■参考文献

(1) Yoshitsugu Ogura et al. : Development of Oxidation Catalyst for Diesel Engine. SAE Paper No. 940240 (1994)
(2) 福島利久ほか：HSZシリーズの性状，東ソー研究報告　Vol. 33, No. 2 (1989)

■著者


植野　秀章

古谷　寿伸

永見　哲夫

青野　紀彦

五嶋　秀之

笠原　光一

論　文

塗膜劣化に及ぼす水の挙動に関する分子レベル解析

Molecular-Level-Analysis on Water Behavior concerned to Degradation of Paint Film

高澤　信明*　　山村　宜弘*　　島崎　龍司*
Nobuaki Takazawa　Yoshihiro Yamamura　Ryuji Shimazaki

要旨

近年，酸性雨，花粉などの降下物が原因と思われる塗膜被害が幾つか報告されている．その発生要因は，降下物そのものである主要因と，水，大気，熱，光などの環境要因に分けられる．このうち，環境要因に対する対策は，数多い主要因全般への対策に繋がる．本研究では，環境要因のうちの水に着目し，塗膜劣化の前駆段階における水の挙動を，原子間力顕微鏡（AFM）観察を主力として，分子レベル解析を行った．この結果，水分子が塗膜劣化に及ぼす影響の一端を解明することができた．

Abstract

In late years, some paint film damage cases have been reported that are considered to be caused by falling objects such as acid rain, pollen. The outbreak factor is classified into the main factor which is falling objects itself and environment factors such as water, air, heat, and light. The countermeasures for environment factors are effective to the main factors. In this study, we focused on water among environment factors, the water behavior in premonitory of paint film degradation was analyzed in molecular level by Atomic Force Microscopy (AFM). As the result, the water molecule influence on paint film degradation was partly clarified.

キーワード　塗膜劣化，水，原子間力顕微鏡（AFM），分子構造

1　はじめに

ここ数年間で，酸性雨，花粉などの降下物が原因と思われる塗膜被害が幾つか報告されている．その発生要因は，図1に示すように，降下物そのものである主要因と，水，大気，熱，光などの環境要因に分けられる．これまでの対策は，酸性雨等[1]，主要因である特定の降下物に着目したものが主体であった．しかし懸念される降下物は，他にも多数存在し[2]，それら全般にわたって対策を立てることは難しい．一方，環境要因は多数の降下物による被害に対して，反応を促進させるといったような関与がある．例えば表1に示すように，塗膜中に水分が含まれている場合，酸によるダメージを受けやすく，著しい塗膜分解を引き起こすことが知られている．このように，環境要因のうちでも水は特に重要と考える．

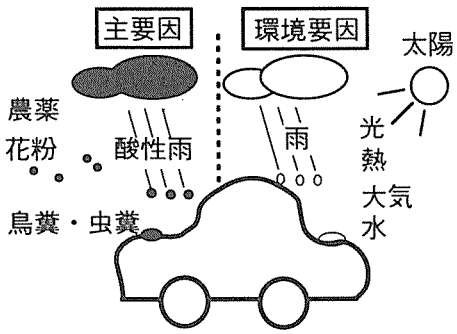


図1　塗膜シミ発生の要因

表1　塗膜中水分と酸ダメージの受けやすさ

塗膜	塗膜分解量（メラミン分解量）
乾燥塗膜	2%
吸水塗膜	52%

10%硫酸滴下・2時間乾燥後の塗膜分解量

2　目的

本研究では，塗膜劣化の環境要因のうち共通要因である水に着目し，塗膜劣化に及ぼす水の挙動を分子レベルで解析し，明らかにする．

* 第3材料技術部

3 着眼点

塗膜変化レベルと評価・解析手法の関係を図2に示す.

塗膜のダメージ評価・解析は，現状では目視的手法や分析的手法が用いられている．しかし，今回着目する水分子の挙動，およびそれに伴う塗膜変化，特に劣化に繋がる前駆段階を解析するには，従来のμmオーダーより一歩踏み込んだ分子レベル（=nmオーダー）での解析も必要であると考えた.

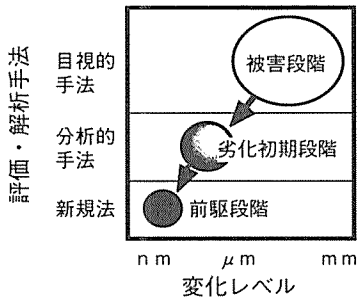


図2 塗膜変化レベルと評価・解析手法

ここでは，nmオーダー解析手法として，原子間力顕微鏡(AFM)を用いる．その概念図を図3に示す．AFMは，探針を試料表面にnmレベルまで接近させ，その際，両者間に働く原子間力が一定となるように探針を走査し，その挙動を3次元画像化するものである.

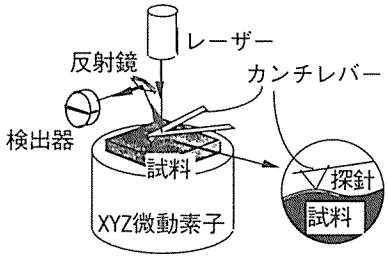


図3 原子間力顕微鏡の概念図
(AFM：Atomic Force Microscope)

ここでは，前駆段階から劣化初期にかけての塗膜変化に着目し，AFMを主体とした解析を行い，それをもとに，水分子の挙動に関する考察を行うものとした.

4 実験方法

4.1 供試塗膜

従来塗膜（メラミン架橋）および耐酸性塗膜（酸・エポキシ架橋）の2種類を用いた.

4.2 解析方法

(1) 塗膜の化学変化の解析

塗膜を2日間浸水後，加熱乾燥（60℃×100分）させた．この塗膜を赤外分光法（IR）により分析し，水のみの出入りによる塗膜変化を調べた.

(2) 塗膜の物理変化の解析

塗膜を4日間浸水し，その後2日間大気乾燥させた．その一連の過程での塗膜の重量，長さ，硬さ(ビッカース硬さ)の変化を調べた.

(3) 塗膜のnmオーダー表面形状変化の解析

塗膜を4日間浸水し，その後3日間大気乾燥させ，さらに4時間真空乾燥させた．その一連の過程での塗膜表面をAFM観察（5万倍）した.

5 実験結果

5.1 塗膜の化学変化の解析

初期及び浸水・乾燥塗膜(従来塗膜)のIRスペクトルを図4に示す．両者のスペクトルに違いは見られず(メラミンピーク等)，水のみの出入りは，塗膜に化学変化を与えないことが分かった．このことは，耐酸性塗膜についても同様であった.

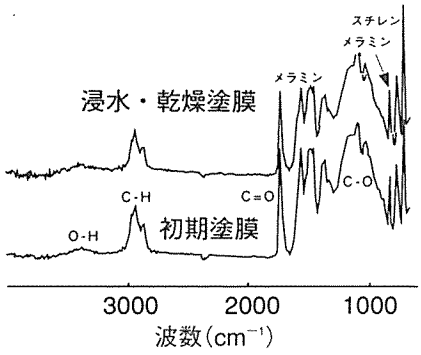


図4 初期および浸水乾燥塗膜（従来塗膜）のIRスペクトル

5.2　塗膜の物理変化の解析

浸水・乾燥過程における塗膜の重量，長さ，硬さの変化を図5に示す（従来塗膜）．浸水過程では，重量，長さ，硬さが直ちに変化し，乾燥過程では，それらが直ちに回復し始めた．乾燥2日目では，水は完全に脱離しきらないが，塗膜は収縮し，硬くなっていた．このことから，水は塗膜に容易に出入りし，塗膜に物理変化を与えることが分った．その変化挙動は従来塗膜，耐酸性塗膜ともに同様であった．

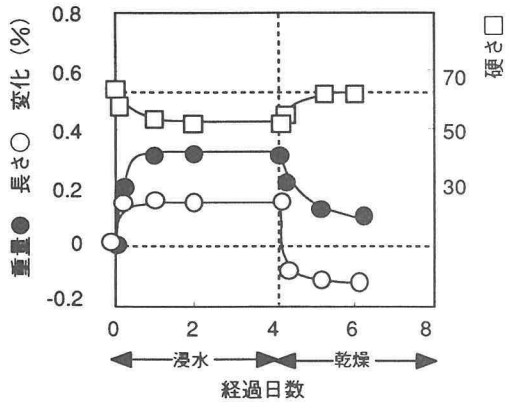


図5　浸水・乾燥日数と重量，長さ，硬さ変化の関係（従来塗膜）

5.3　nmオーダー表面形状の解析

浸水・乾燥過程における塗膜表面（従来塗膜）のAFM観察結果を図6に示す．明るく見える部位が盛り上がった部位であり，その起伏の大きさをnmオーダー表面粗さRzで示している．浸水前の塗膜表面はnmオーダーで滑らかであったが，浸水日数が経過するにつれ表面起伏が徐々に大きくなった．この時の起伏の幅や間隔は数十nmであった．次に，これを3日間大気乾燥させたところ，表面起伏はほとんど変化しなかった．しかし，さらに真空乾燥（0.2日間）させると，表面起伏は小さくなった．これらを整理し，図7に経過日数とnmオーダー表面粗さRzとの関係を示す．耐酸性塗膜でも，同様の表面変化挙動を示すが，従

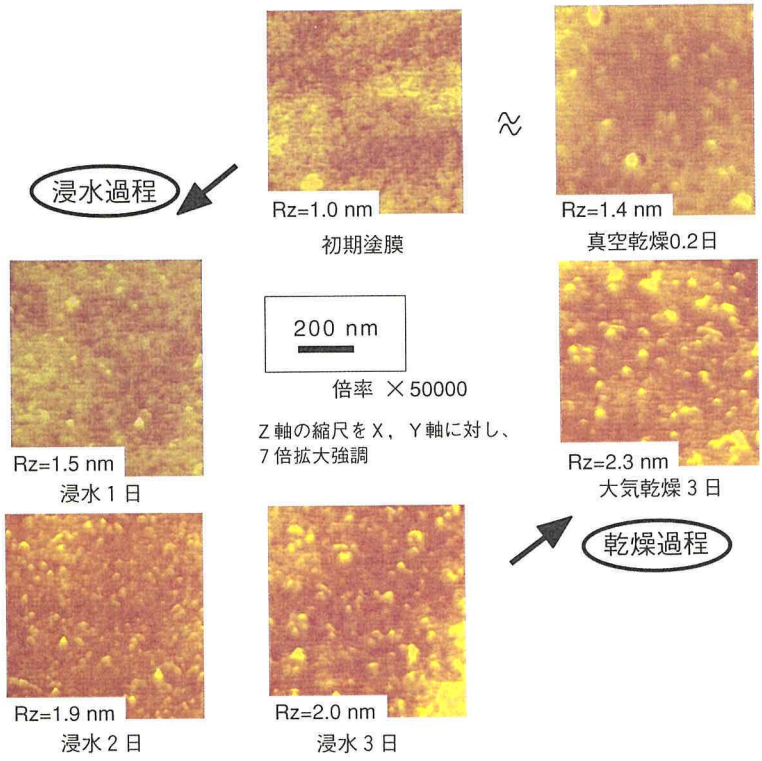


図6　連続浸水・乾燥過程における，塗膜表面のAFM観察結果

来塗膜に比べると，その変化はわずかであることが分かった．

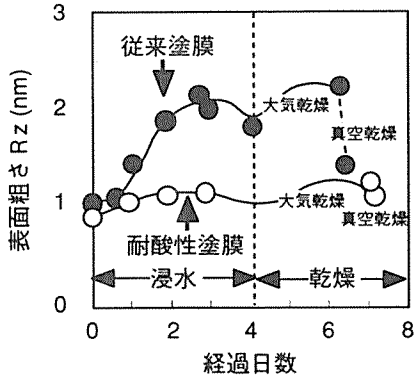


図7　浸水・乾燥日数と表面粗さRzの関係

6　考察

6.1　塗膜変化モデル

以上の実験結果をモデル化し図8に示す．モデル化にあたり，次の3点を前提とした．

①浸水・乾燥過程で生じる変化はマクロ的物理変化と表面起伏変化である．②AFM像において，表面起伏の変化が見られることから，塗膜は部位によって水の入りやすさに差がある，すなわち親水部と疎水部が存在すると考えた．③図5，7において，塗膜サイズ（長さ）が数時間で急激に変化するのに対し，表面粗さは数日間で緩慢に変化することから，親水部には2つのタイプが存在するものと考えた．1つはサイズが大きく，水の出入りが容易な親水部A，もう1つはサイズが小さく，水の出入りが困難な親水部Bとした．①は実験事実，②③は実験事実に基づく仮定である．

浸水過程の第1段階で，まず水分子が親水部Aに侵入する．この過程で塗膜はマクロ的に膨張し，その後親水部Aは飽和する．第2段階では親水部Bにも水分子が侵入し，これにより表面起伏の変化が生じる．

一方乾燥過程では，第1段階で親水部Aから水分子が脱離し，塗膜はマクロ的に収縮する．第2段階では親水部Bから水分子が脱離して表面起伏が小さくなると考える．このモデルにより，図5，7の一連の塗膜変化を説明できる．

上述したモデルを分子レベルで構築するため，塗膜・水分子モデルを考案し図9に示した（このモデルは上述の仮定②③そのものである）．塗膜は3次元の分子鎖網目構造をもつ．その網目には整然とした規則性がなく，大小の空隙を形成すると思われる．親水部Aとは大きな空隙であり，この空隙に多数の水分子群(クラスター)が出入りする．親水部Bとは小さな空隙であり，少数の水分子群（ダイマー，トリマーなど）が構造中の親水官能基に誘発され，この空隙を出入りすると思われる．疎水部とは分子鎖中のアルキル部や疎水基である．このモデルをスポンジに例えると，スポ

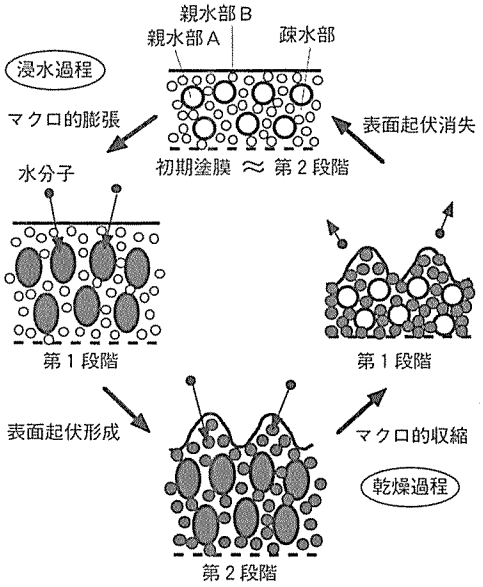


図8　塗膜変化モデル

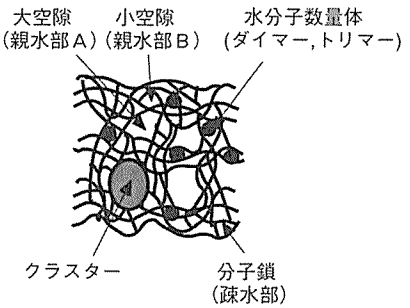


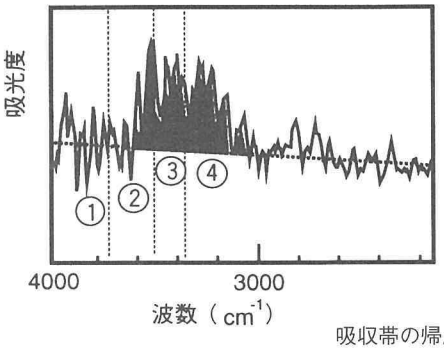
図9　塗膜・水分子モデル

ンジの孔が親水部A，スポンジ繊維中の小孔を親水部B，繊維そのものが疎水部となる訳である．これを図8のモデルに組み込めば，水の塗膜への影響を分子レベルで説明できる．そこで，この塗膜・水分子モデルの妥当性を以下で検証する．

6.2　塗膜・水分子モデルの検証

6.2.1　水分子の状態解析

塗膜中水分のIR分析結果を図10に示す．この結果および高岡らの説[3]を参考すると，塗膜中では，水は2～3量体水分子であるダイマー・トリマーから，さらに分子量の大きいクラスター水として存在することが分かる．このことから，親水部Aにはクラスターの形で，疎水部Bにはダイマーやトリマーの形で水分子が侵入することが説明できる．



吸収帯の帰属

吸収帯	帰　属
①	モノマー　水分子1個
②	ダイマー　水分子2個
③	トリマー　水分子3個
④	クラスター　水分子4個以上

図10　塗膜中の水のIRスペクトル
（浸水前後の差スペクトル）

6.2.2　塗膜分子構造の解析

塗料モノマー組成と，粘弾性測定で得た架橋間平均分子量（＝500）及びBauerのモデル[4]から，塗膜架橋構造を図11のように仮定した．これをもとに，分子計算シミュレーション（CAChe）により立体架橋構造を求め，図12に示した．この立体架橋構造中には，水分子数個が一度に出入りできるサイズの空隙が存在し，また分子鎖の幅や

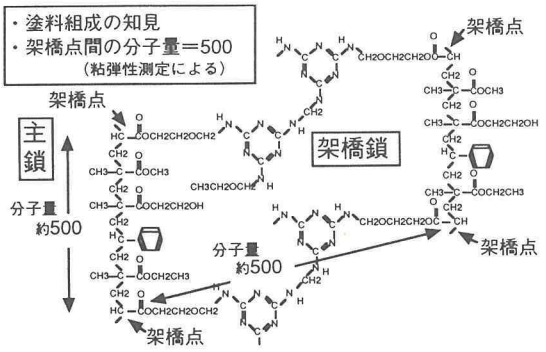


図11　塗膜の分子構造

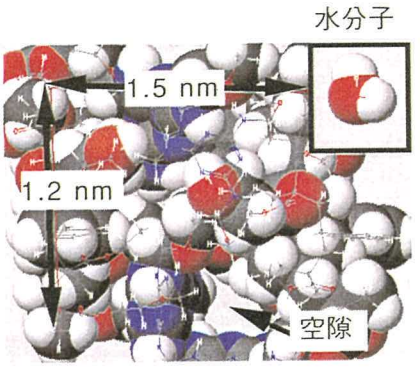


図12　塗膜立体架橋構造

架橋間隔は1～2nmであった．しかし，AFM像（図6）で見られる起伏の幅や間隔は数十nmであることから，この起伏は一本一本の分子鎖と整合しない．従って，起伏は多数の分子鎖網目で構成されていることが推察される．

このことを確認するため，さらに高倍率（300万倍）で塗膜表面をAFM観察した．その結果を図13に示す．このAFM像では，さらに細かいnmサイズの網目状起伏が見られた．この起伏間隔は1nm程度であり，塗膜分子の推定架橋間隔と一致する．つまり，分子架橋構造がnmサイズの網目として見えたものと判断する．これが親水部Bを形成している．親水部Aは，先のAFM像（図6）で見られる起伏間の凹部に相当する．以上より塗膜・水分子モデルの妥当性を検証できた．

6.3　塗膜・水分子挙動モデル

塗膜変化モデル（図8）に塗膜・水分子モデル（図9）を組み込んだ塗膜・水分子挙動モデルを

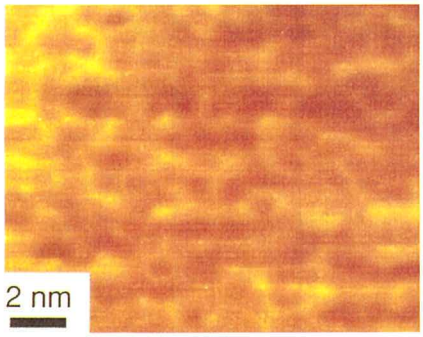


図13　塗膜の分子レベル観察（従来塗膜）

提案し，図14に示す．これにより，水の出入りによる塗膜変化を分子レベルで説明できた．

そしてこのモデルは，水分子の出入りや，それによる塗膜構造の膨張収縮が，降下物による塗膜劣化に関与することを示唆する．

つまり，構造中に残存した水分子は，降下物成分を付近に固定しやすいため，塗膜劣化を促進すると考える．また，水分子の出入りによる構造の膨張収縮により，内部応力が塗膜内に蓄積される．この時，降下物成分が存在すると，架橋切断により内部応力が開放される傾向が強くなると考える．

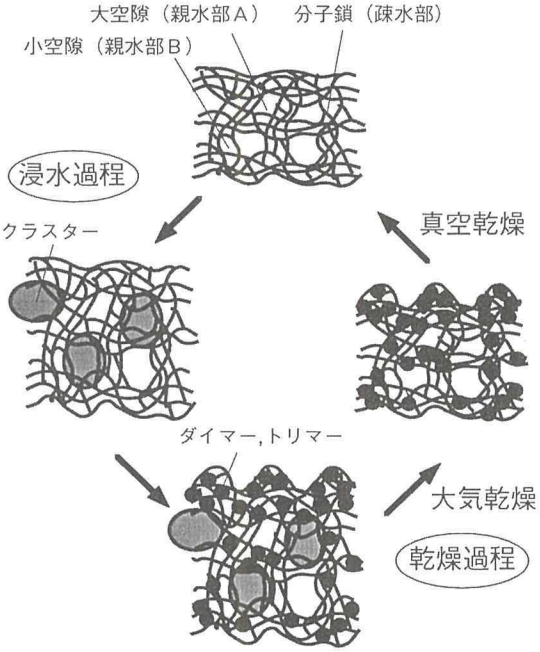


図14　塗膜・水分子挙動モデル

7　まとめ

▽水は塗膜中に出入りし，塗膜にマクロ的物理変化とともに，nmオーダー表面形状変化を与えることが分かった．

▽分子レベルでの解析より，塗膜・水分子挙動モデルを提案し，塗膜劣化に及ぼす水の挙動の一端を明らかにした．

8　今後の進め方

環境要因である水と，主要因である降下物が共存する環境下での挙動解析や，水分子の侵入・脱離や塗膜膨張収縮の抑制という観点からの分子レベル解析を行い，高耐久性塗膜の開発につながる基礎的知見を蓄積してゆく．

■参考文献

(1) 部田浩司：酸性雨による塗膜劣化メカニズムの解析．トヨタ技術会発表論文．1995

(2) 坪内隆浩，村松正隆，竹内久人：自然降下物による塗膜ダメージ発生メカニズムについて．第32回全豊田研究発表会講演要旨．1997

(3) 高岡京，多留康矩，荒井正義，小桧山国雄，三原一幸：漆塗膜内での水分子の挙動．塗料・塗装技術総合研究会発表要旨．1990

(4) David R. Bauer : Chemical Criteria for Durable Automotive Topcoats. Journal of Coatings Technology. Vol. 66, No835. 1994

■著者


高澤　信明


山村　宜弘


島崎　龍司

論　文

有害化学物質の自主管理手法の開発と展開

Construction and Implementation of Internal Management System for Hazardous Substances

安藤　健吾*　Kengo Ando
中川　佳久*　Yoshihisa Nakagawa
清野　雄二*　Yuji Kiyono
小倉　近志*　Chikashi Ogura

要旨

近年，多種多様な化学物質による環境問題が国内においても議論され，潜在的に有害な未規制化学物質の環境中への排出および移動を自主的に管理，軽減していくことが求められている．

当社における有害化学物質の自主管理手法は，化学物質の管理を入口・出口に分けて考えている．入口管理として，(1)管理すべき化学物質を国内外の環境法規等から抽出した「トヨタ化学物質管理リスト」の作成，(2)リスト該当物質および含有量の原材料仕入先からの報告制度の構築がある．出口管理として，(1)環境負荷候補物質選定のための「環境インパクトデータベース」の作成，(2)各工場使用部署毎の化学物質使用量把握のための「使用状況情報システム」の構築，(3)使用状況調査による環境媒体移行係数の把握，(4)気象観測等による拡散希釈倍率の把握がある．本報では，これらについて体系的に述べる．

Abstract

Environmental issues involving a great diversity of chemicals have been discussed both domestically and internationally in recent years, and internal management and voluntary reduction of the release and transference of potential hazardous chemicals, even though they are not regulated, in the environment have been required. This paper states the internal management system of hazardous chemicals at Toyota Motor Corporation.

The internal management system of hazardous chemicals should be considered at consumption and discharge phases. The main structures of the consumption phases are (1) The Toyota Hazardous Chemical List which were developed by a survey of domestic and overseas environmental laws and regulations and (2) the collection system of chemical content data from the suppliers of raw material.

The main structures of the discharge phase are (1) Data base of environmental potential impact chemicals and compounds, (2) Information system of raw materials consumption at each department, (3) Data base of transition factors between and in the manufacturing process, and (4) Data base of meteorology for dispersion model.

キーワード　有害化学物質，自主管理手法，環境保全事前検討制度，環境負荷軽減

1　はじめに

近年，多種多様な化学物質による環境問題が国内においても議論されている．有害化学物質による環境問題への対応の変遷は，表1に示すように，従来は，少数の個別化学物質による高濃度汚染に起因する人の健康影響を対象とした環境問題（公害問題）を中心に進められ，現在では，様々な法律により規制措置が講じられている．しかしながら，今日議論されている化学物質の環境問題（有害化学物質問題）は，多数の化学物質により低濃度で長期間暴露されることによる人の健康や生態系への影響が中心となっており，潜在的に有害な未規制化学物質の環境中への排出および移動を自主的に管理，軽減していくことが求められている．

表1　有害化学物質による環境問題の変遷

	公害問題	有害化学物質問題
物質数	少数	多数
汚染レベル	高濃度	低濃度
暴露期間	—	長期
影響	人の健康	人の健康，生態系
事業者の対応	法規制遵守	自主的な管理・軽減

* プラント・エンジニアリング部

2　環境保全事前検討制度

環境保全（未然防止）のためには，工場を新増設する場合や，新材料・新加工技術等を導入する際に，それらが及ぼす環境影響をあらかじめ評価し，適切な対応を図ることが重要である．トヨタ自動車（以下，「トヨタ」という）は，1984年に環境保全事前検討を制度化し，種々の計画について環境面（大気汚染，悪臭，水質汚濁，騒音・振動，廃棄物）および安全衛生面（作業環境）の事前評価・対応を全社的に実施してきた（表2参照）．さらに，化学物質の適正管理を主な目的として，1994年に制度を一部改正し，化学物質管理（入口管理）に対応可能な制度とした（図1参照）．

2.1　事前検討制度の概要

社内で使用される材料および補助材料（以下「副資材」という．表3参照）は，商品名称および荷姿毎に社内品番が設定されることにより，工場等の使用部署による購入，使用が可能となる仕組みとなっている．

事前検討制度では，品番設定部署を制度内に組み込むことにより，事前検討結果が添付されていない新規品番設定依頼書には品番を設定しない仕組みとなっており，これにより，未検討副資材および事前検討にて使用不可と評価された副資材が使用できないようになっている．

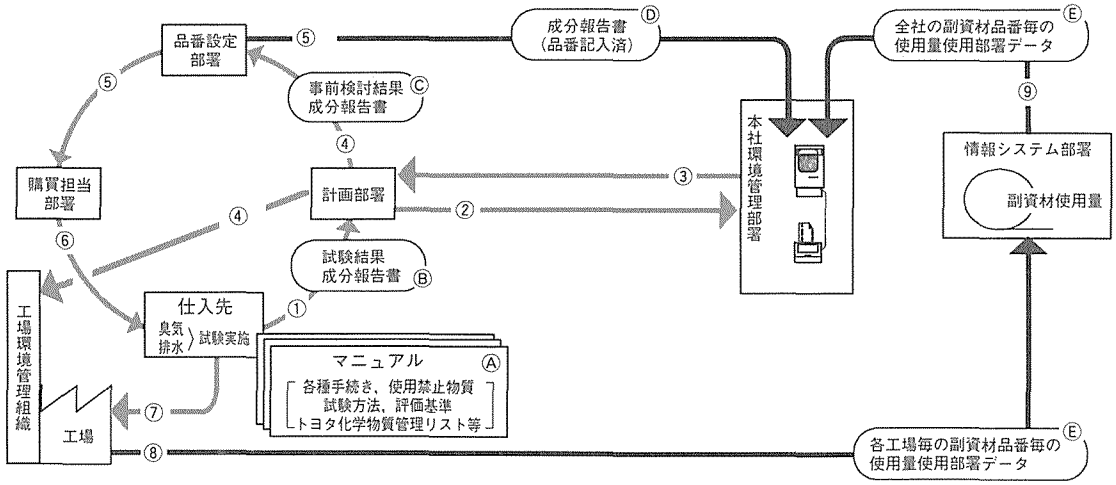
表2　事前検討制度の検討内容と項目

●：検討対象

項目＼計画	内容	工場建設 ・建物仕様 ・レイアウト	設備新設・変更・増設 ・設備仕様 ・後処理設備	材料等の新規採用・代替 ・使用可否 ・後処理方法
衛生	作業環境	●	●	●
環境	大　気	●	●	●
	悪　臭	●	●	●
	水　質		●	●
	騒音・振動	●	●	
	廃棄物		●	●

表3　副資材の分類一覧表

塗料	電着	防錆ワックス	洗浄・脱脂剤	樹脂原料
	中塗	塗装保護ワックス	防錆剤	排水処理剤
	中塗内板	シンナー	メッキ処理液	清缶剤
	ソリッド	粘池キラー剤	電解加工液	半導体
	メタリック	塗膜剥離剤	表面処理剤	試薬類
	ブラックアウト	潤滑・作動油	高圧ガス	鋳造用副資材
	耐チップ	切削・研削油	接着充填用剤	その他
	その他	プレス油	離型剤	
ボデーシーラー		焼入油	型潤滑剤	



Ⓐ試験方法，評価基準のマニュアル配布と仕入先での試験実施
Ⓑ仕入先からの試験結果，成分報告書の提出
Ⓒ事前検討結果，成分報告書を添付して副資材品番登録請求
Ⓓ成分報告書による副資材等の品番登録の連絡
Ⓔ副資材品番毎の使用量，使用部署データの入手

環境保全事前検討制度

副資材使用状況情報システム（データベース）

図1　副資材の環境保全事前検討制度の概要（含：副資材使用状況情報システム）

2.2　事前検討制度における化学物質管理（入口管理）

トヨタは，国内外の安全衛生および環境法規・条例等（表4参照）から，自主管理すべき化学物質を2,232物質抽出し，それらの一覧リストとして「トヨタ化学物質管理リスト」を作成し，該当化学物質が一定量以上含有される副資材については，仕入先から成分報告書を提出（含有しない場合も該当物質含有せずと記述して提出）頂いている（既存副資材は'94年7月から'95年12月に，新規副資材は'94年7月から提出頂いている）．

表4　トヨタ化学物質管理リストの出典

区分		出典元
国内	安全衛生	特化則、有機則、毒劇法等
		エポキシ樹脂の硬化剤による健康障害の防止指針
		IARC等において発がん性の疑いのある物質
		ACGIHの許容濃度が100ppmまたは100mg/㎥以下の物質
	環境	化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律
		環境基本法；水質／大気／悪臭
		廃棄物の処理及び清掃に関する法律
		トヨタおよび関連会社がある都道府県の条例，指針等
		環境庁化学物質環境安全性総点検調査プライオリティリスト
北米		Clean Water Act（水質清浄法；排出抑制）
		Clean Air Act（大気清浄法；排出抑制，異常流出防止）
		Proposition 65（California新環境規制；排出抑制）
		SARA Section 313 （地域住民の知る権利法；化学物質の情報公開＆流出時対応）

このようにして使用化学物質を登録することにより，「使用化学物質データベース」の作成が可能となり，どの化学物質が社内のどこで使用されているかを検索できる．また，新規副資材の成分報告書により，社内使用禁止物質含有副資材のチェックによる使用禁止措置の恒久対応が可能となっている．

3　環境負荷軽減への取り組み

本章以降では，安全衛生面は割愛し，環境面について述べる．

トヨタは，化学物質毎の環境影響を配慮した自主管理（出口管理）の強化を推進している．

現在のところ，規制物質については社内使用禁止措置または使用方法制限措置により，環境負荷軽減をほぼ完了した．未規制物質は，「化学物質環境インパクトデータベース」に基づいて選定した環境負荷候補物質の使用状況調査および環境目標濃度の算出を実施中である．また，並行して，管理指標となる排出管理目標量と環境目標濃度を関連付ける拡散希釈倍率を調査するため，モデル工場において，大気では，大気拡散シミュレーションに必要な風向・風速，大気安定度（日射量・示差放射量）の観測・記録を実施している．

3.1　基本的な考え方

トヨタは，有害化学物質に関する現行法規を考慮し，従来は規制化学物質を重点に取り組んできたが，現在は未規制化学物質を重点に取り組んでいる（表5参照）．

表5　環境負荷軽減の基本的な考え方

基本的な考え方		関係法規等	対象物質の一例
規制物質	製造禁止化学物質の社内使用禁止	オゾン層保護法 化審法 （第1種特定化学物質）	四塩化炭素 1,1,1-トリクロロエタン 特定フロン類 PCB等
	規制有害化学物質の無処理での社内使用禁止	水質汚濁防止法	カドミウム シアン，水銀 有機りん トリクロロエチレン ジクロロメタン等
未規制物質	化学物質毎の環境への影響を配慮した自主管理の強化	－	候補物質選定済み

規制化学物質は，製造禁止化学物質は勿論のこと，既に環境法規等で規制されている有害化学物質についても，後処理対策が困難な場合は，規制に至る経緯（環境リスク，自治体等によるモニタリング結果等）を考慮して，約150物質（含：化合物）について社内使用禁止措置をとり，既存副資材は代替化し，新規副資材は事前検討制度によってチェックしている．

一方，未規制化学物質は，環境リスク（環境影響），使用量，使用状況等から対象物質を選定し，現在，対応方策の検討を行っている．

3.2　取り組みステップの概要

表6に，3.1節の基本的な考え方に対応する取り組みステップを示す．対象となる化学物質により取り組みステップは異なるが，製造禁止化学物質は，即，使用禁止措置とし，環境法規で規制されている有害化学物質は，使用状況調査の中で後処理対策状況を把握して，対応方策を選定している．

一方，未規制化学物質は，環境負荷候補物質の選定～使用状況調査～対応要否の決定～対応方策の選定の全てのステップを経る．以下，特に未規制物質の取り組みステップについて述べる．

表6　環境負荷軽減の取り組みステップの概要

●：該当事項

取組ステップ ＼ 対象物質		規制物質		未規制物質
		製造禁止物質	規制有害化学物質	自主管理物質
環境負荷候補化学物質の選定			●	●
使用状況調査	後処理状況把握		●	●
	移行媒体と移行率把握			●
	気象観測等による拡散希釈倍率算出			●
軽減要否の決定		●	●	●
軽減実施	使用禁止措置	●	●	●
	使用量制限措置			●
	使用方法制限措置（後処理対策等）		●	●

3.3　未規制物質を対象とした環境負荷軽減の取り組みステップ

3.3.1　環境負荷候補物質の選定～暫定排出管理目標量の算出

環境負荷候補物質の選定に必要な，化学物質の

表7　環境インパクトデータベースの概要

環境インパクトの種類		指　標
地球環境	オゾン層破壊	オゾン層破壊係数
	温暖化	温暖化係数
地域環境	臭気（悪臭）	臭気閾値（当面，塗料溶剤成分を対象）
	ヒト［大気，水］	毒性（発がん性，催奇形性，吸入慢性毒性，経口慢性毒性）
	水生生物［水］	毒性（生態毒性）

環境インパクトの種類およびランク分けに用いた指標を表7に，採用した指標のデータの出典例を表8にそれぞれ示す．化学物質の環境インパクトの総合ランクは，環境インパクトの種類毎の最上位ランクとする（地球環境因子は別途追加予定）．なお，化学物質の環境インパクトの種類毎のランク分け（表9参照）は，その曝露性（気化性，生物濃縮性，生分解性）等も考慮しているが詳細は割愛する．このようなデータベースを活用し，総

表8　環境インパクトデータベースに採用した指標のデータの出典例（対象：ヒト，環境媒体：大気，水）

毒性	データの種類	データの出典
発がん性	IARC発がんランク	IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, International Agency for Research on Cancer (IARC) (1993)
	USEPA発がんランク	Integrated Risk Information System (IRIS), USEPA (1995)
	ACGIH発がんランク	1994-1995 Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices, ACGIH (1994)
	WHO欧州大気質ガイドライン値（ユニットリスク）	Air Quality Guidelines for Europe, World Health Organization Regional Office for Europe
	WHO飲料水水質ガイドライン値（濃度）	Guidelines for Drinking-Water Quality, World Health Organization (1993)
	USEPAユニットリスク	Integrated Risk Information System (IRIS), USEPA (1995)
	USEPA水質クライテリア（濃度）	Water Quality Criteria, U.S. Environmental Protection Agency (USEPA) (1984)
慢性毒性	WHO欧州大気質ガイドライン値（濃度）	Air Quality Guidelines for Europe, World Health Organization Regional Office for Europe
	WHO飲料水水質ガイドライン値（濃度）	Guidelines for Drinking-Water Quality, World Health Organization (1993)
	USEPA慢性毒性値および安全係数	Integrated Risk Information System (IRIS), USEPA (1995)
	USEPA水質クライテリア（濃度）	Water Quality Criteria, U.S. Environmental Protection Agency (USEPA) (1984)

表9　化学物質環境インパクトデータベースをもとにしたランク分け（ヒト，水生生物の一例）

［環境インパクト：(大) A>B>C>D (小)］

トヨタリストNo.	CAS No.	物質名	ヒト					水生生物				●、◆、▲
			発がん性等	大気慢性毒性	水慢性毒性	大気ランク●	水ランク◆	魚類急性毒性	ミジンコ遊泳阻害	藻類成長阻害	水生生物ランク▲	総合ランク
111111	1111-11-1	①	B	A	B	A	B	C	B	D	B	A

表10　使用状況データのアウトプット例

使用副資材				使用部署				使用量					
社内品番	製品名	仕入先	製造元	部署コード	工場	部	室・課	副資材使用量（KG/月）				物質A	
								96/1月	――――	12月	合計	含有率	使用量(KG/年)
Y861500001	□□－◇◇	○○通商	△△化学工業	KX354	◇◇	○○○○	□□□□	1,335	――――	1,357	11,608	5.3%	614

合ランクの高い化学物質を環境負荷候補物質として選定するほか，大気・水への環境負荷候補物質の暫定排出管理目標量を環境目標濃度と暫定拡散希釈倍率から算出する．

3.3.2　使用状況調査～対応要否の決定

トヨタは，2章の環境保全事前検討制度を拡大して，使用部署（使用場所）毎の副資材月間使用量を把握する「副資材使用状況情報システム」(図1参照）を構築しており，これと「使用化学物質データベース」をリンクさせることにより，環境負荷候補物質を含有する副資材の使用量，使用工場(使用部署)が把握可能となっている．使用状況データのアウトプット例を表10に示すが，これにより効率的な発生源対策が可能となっている．

大気・水への環境負荷排出量の軽減のステップを，図2のフローチャートに示す．大気リスクのケースでは，第1ステップとして，使用量の100%が一定の環境媒体に放出されるという仮定のもとで，先に算出した暫定排出管理目標量と該当工場全体の使用量との比較により評価を行う．使用量が暫定排出管理目標量を下回れば，軽減対象物質から当面削除される．

次に第2ステップとして，使用部署における使用状況調査（含：測定）から，影響する環境媒体への移行係数を把握し，使用量の環境媒体への振り分けを行う．例えば，使用状況調査から大気へ40%，排水（排水処理設備から大気，廃棄物等の環境媒体への移行を考慮）へ30%，廃棄物へ30%の場合，排出実態量として使用量の40%が大気リスクによる暫定排出管理目標量を下回れば，軽減対象物質から当面削除される．

最後に，第3ステップとして，該当工場での実測定による拡散希釈倍率から算出された排出管理目標量と使用状況調査結果による排出実態量との比較により，この場合も排出実態量＜排出管理目

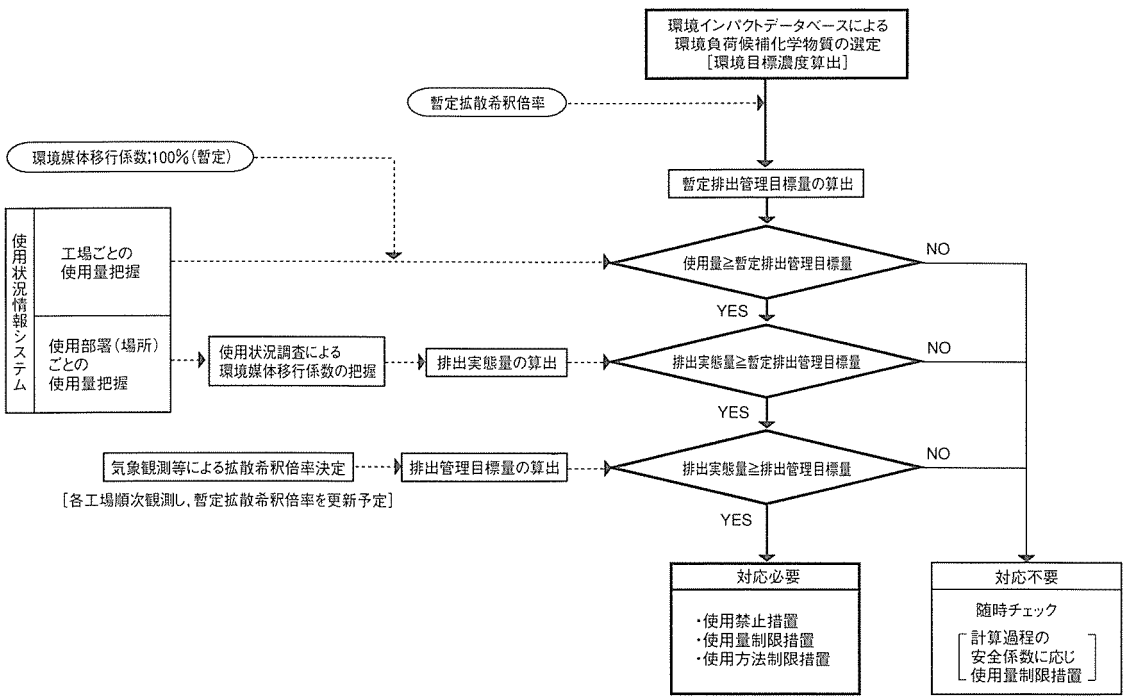


図2　未規制物質の環境負荷軽減の取り組みステップ

標量であれば,軽減対象物質から当面削除される.

以上のステップを経て，環境負荷候補物質に対する当面の対応要否が決定されるが，排出管理目標量に対する安全係数をどのくらいに定めるのかということも，対応要否の決定の大きな因子である．なお，水リスクの場合も，基本的には，大気リスクと同様のステップを経る．

一方，廃棄物については，大気・水の場合の排出管理目標量に相当する，環境負荷移動量軽減の判断基準値の設定が困難である．したがって，廃棄物の適正処理・処分（含：収集・運搬）を徹底することはいうまでもなく，自主的な軽減目標を掲げて質的・量的面から環境負荷の軽減を推進していく必要がある．

3.3.3 対応方策の選定

大気・水への環境負荷排出量の軽減は，使用禁止措置，使用量制限措置，使用方法制限措置（後処理対策等）の３つを基本とするが，現状の環境負荷レベル，対応すべき環境媒体，使用方法等により，早期に実効を上げるべく選択すべき方策は異なる．

例えば，現状の環境負荷レベル（対象化学物質の排出実態量／排出管理目標量）が，ほぼ１に近い場合には，使用量制限措置が第１優先であると考えられる．また，１を越える場合で，大気リスクの対象物質で使用場所が多く点在している時は，使用禁止措置が使用方法制限よりも優先される可能性が高いと考えられる．しかしながら，同じケースでも水リスクの場合，工場内での拡散を考慮する必要は小さいために，使用方法制限措置（後処理対策等）の優先順位が使用禁止措置よりも高いと考えられる．

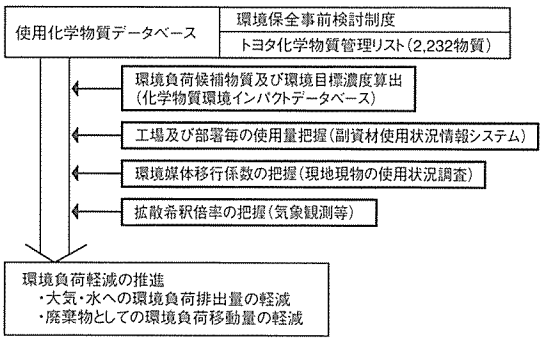


図３　環境負荷軽減での化学物質管理のまとめ

4　おわりに

トヨタは，図３に示すように２章で述べた「使用化学物質データベース」の他に，３章で述べた「化学物質環境インパクトデータベース」，「副資材使用状況情報システム」と現地現物の使用状況調査および気象観測等により化学物質の適正管理を行い環境負荷軽減に取り組んでいる．

今後は，仕入先への理解活動も含め，国内関連企業（全豊田環境保全研究会：20社，関連会社環境連絡会：112社），海外事業体においても効率的な展開を図っていく．

なお，「使用化学物質データベース」の作成に当たり，成分報告書の提出において御尽力頂いた関係仕入先，また，「化学物質環境インパクトデータベース」の作成に当たり御教示頂いた横浜国立大学工学部物質工学科環境安全工学研究室の浦野紘平教授および関係各位に，深く感謝の意を表します．

■参考文献

(1) 安藤健吾：トヨタ自動車における環境保全事前検討制度と化学物質管理．第７回環境化学講演会要旨集．P. 53-64 (1996)
(2) 岩井哲郎，安藤健吾：自動車生産工場における有害化学物質の自主管理．廃棄物学会誌．Vol. 8, No. 2, P. 128-138 (1997)

■著者


安藤　健吾


中川　佳久


清野　雄二


小倉　近志

仕上がり向上耐酸性雨メタリック塗料の開発

Development of Improved Appearance Acid-Resistant Metallic Paint

浅井　幹雄*　Mikio Asai
渡辺　晃宏*　Akihiro Watanabe
加藤　仁**　Hitoshi Kato
梅村　晋*　Susumu Umemura
村松　正隆*　Masataka Muramatsu

1　まえがき

市場での酸性雨による塗膜ダメージに対して，耐酸性雨塗料を開発し一部車種に展開しているが，良好な仕上がり外観が得られる管理幅が狭いという問題が指摘されている．このため，塗料の樹脂特性・粘性挙動等の解析を実施し，そのメカニズムを推定した．これに基づき，耐酸性雨性及び従来塗料と同等の仕上がり外観を両立させた画期的な仕上がり向上耐酸性雨メタリック塗料を開発した．

2　概要

従来塗料と耐酸性雨塗料の樹脂組成について比較したところ耐酸性雨塗料の場合，耐酸性雨性を付与させるため樹脂中の官能基量が多い材料設計となっている．この官能基量の差によって，メタリック塗料の塗装工程においてベース塗料とクリア塗料とが混ざりやすくなりクリア層からベース層への溶媒の移行が顕著となるため仕上がり外観に差が発生すると推定した．混ざり性を低減させるためには，クリア塗料に含まれる官能基量の減量が有効であるが，単純な減量では，耐酸性雨性及び他性能の低下が予想される．このため図1に示すような新規特殊樹脂成分を配合させることとした．

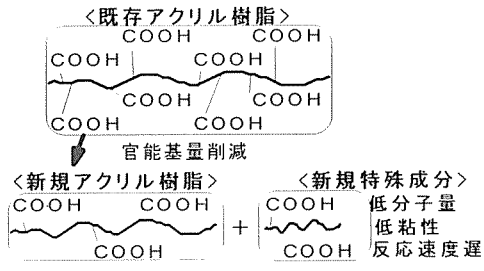


図1　新規樹脂成分の導入

その結果，図2に示されるように混ざり性の指標であるΔSP(Solubility Parameter)値は，従来塗料とほぼ同等まで確保できた．これにより混ざり性は大幅に低減し，仕上がり管理幅の拡大が達成できた．

開発塗料の塗膜の3次元粗度を測定した結果，その表面状態は，従来塗料に対し遜色ない仕上がり外観が得られていることを確認した（図3）．

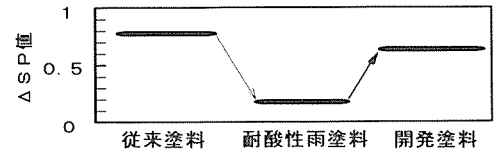


図2　各塗料系での混ざり性（ΔSP値比較）

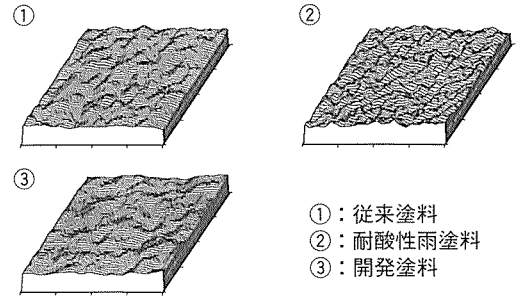


図3　塗膜表面粗度（垂直塗装面）

3　むすび

(1) 耐酸性雨塗料での仕上がり形成メカニズムを推定し，塗料特性との関係を明確にした．
(2) それに基づき，耐酸性雨性と仕上がり向上を両立させた画期的なメタリック塗料を開発した．

■参考文献

Charles M. Hansen, K. Skaarup ; Journal of Paint Technology. Vol, No. 511, P. 511～514, 1967

* 第2材料技術部
** 第7生技部

Liイオン二次電池用$LiMn_2O_4$正極材の研究

An Investigation of $LiMn_2O_4$ Cathode Materials For Lithium Ion Batteries

小浜　恵一*　　松本　恵明**
Keiichi Kohama　　Keimei Matsumoto

1　まえがき

電気自動車用電池としてリチウムイオン二次電池が期待されている．正極に使用されているコバルト酸リチウム（$LiCoO_2$）は資源上の制約が大きく，将来電気自動車が普及した場合に問題になることが予想されるため，資源的に豊富で低コスト化が計れるマンガン酸リチウム（$LiMn_2O_4$）が注目されている．本研究では，$LiMn_2O_4$の容量，サイクル特性に影響する要素を明らかにした．

2　概要

$LiMn_2O_4$の充放電特性を左右する因子としてMn価数，および比表面積について検討した．$LiMn_2O_4$の放電容量は，Mn価数の増加に伴い小さくなる傾向にあり，また，Mn価数が3.5のサンプルに比べて，価数が3.6と大きいサンプルでは，容量残存率が大幅に改善される（図1）．Mn価数が3.5のサンプルでは，充電時に2つの電圧平坦部が明瞭に確認でき，高電圧平坦部では2相共存になっている．一方，Mn価数が3.6のものでは，高電圧側の平坦部が不明瞭で（図2），全体として均一固相反応であるため，急激な格子の膨張収縮が抑制されて容量低下が抑えられると考えられる．また，$LiMn_2O_4$の比表面積と初期放電容量，容量残存率，抵抗値（電解液抵抗と電荷移動抵抗を合わせた抵抗）を図3に示す．比表面積が大きくなるほど，大きな放電容量を示し，容量残存率も良くなる傾向にある．これは，比表面積が大きいほど抵抗が小さくなり，過電圧による容量損失が小さくなっているため考えられる．

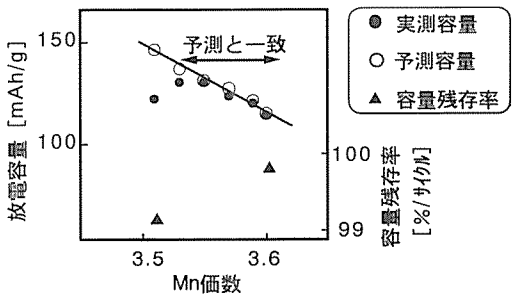


図1　Mn価数と容量の関係

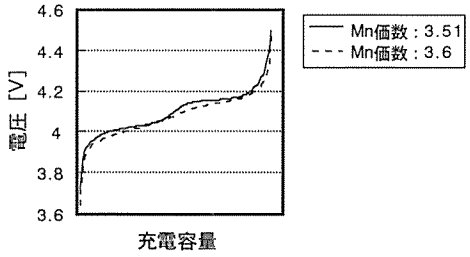


図2　$LiMn_2O_4$の充電曲線

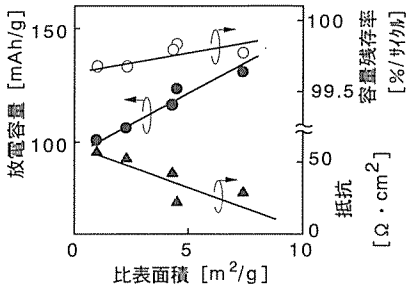


図3　比表面積の影響

また，容量低下したサンプルの内部抵抗を解析した結果，Ni集電箔の溶出，電解液分解，Mn溶出によって起こると考えられる$LiMn_2O_4$正極の組成不均一化により抵抗が大きくなっていることが判った．

3　むすび

(1) Mn価数が大きい程，容量は小さくなるがサイクル特性は向上する．
(2) 比表面積が大きい$LiMn_2O_4$は，容量が大きくサイクル特性も良い．
(3) $LiMn_2O_4$のMn溶出等による内部抵抗増加が容量低下の原因である．

■参考文献

(1) 芳尾真幸，小沢昭弥編：リチウムイオン二次電池－材料と応用－．1996. P. 39. 日刊工業新聞社
(2) G. Pistoia and D. Zane : 12 th International Seminar on Primary and Secondary Battery Technology and Application. P. 236. 1995

* 第3材料技術部
** 第1材料技術部

窒化ケイ素材料の粒子配向制御と機械的熱的特性に関する研究

Mechanical and Thermal Properties of Si3N4 with Oriented Microstructure

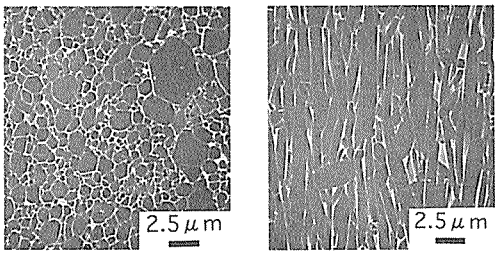
坂元　秀光*
Hidemitsu Sakamoto

1　まえがき

Si3N4材料はレシプロエンジン部品に採用されてきたが，摺動部材，多孔質体，ヒートシンク材等の新たな応用のために高強度，高靭性の両立，高熱伝導化といった新機能の発現が望まれている．本研究では，β-Si3N4柱状粒子を新たに合成し，柱状粒子が一軸方向で高度に配向した異方的組織を持つSi3N4焼結体の創製を試み，組織に異方性を付加することによる高強度，高靭性の両立および高熱伝導化を検討した．

2　概要

Si3N4原料粉末の熱処理による柱状粒子合成において焼結助剤とその添加量を検討し，均一で高アスペクト比の柱状粒子を得た．合成した柱状粒子を配向させる成形法として本実験では押し出し成形法を採用した．柱状粒子のみの成形では凝集した柱状粒子がそのまま押し出され配向しなかったため，柱状粒子の分散と潤滑効果を目的としてα-Si3N4球状粒子の添加を試みた．その結果，柱状粒子の凝集が緩和され，一軸方向に高度に配向した焼結体が得られた．**写真1**に配向焼結体組織のSEM写真を示す．



押し出し方向に垂直な面　　押し出し方向に平行な面

写真1　配向焼結体組織のSEM写真

図1に配向焼結体の焼結温度と強度，Kicの関係を示す．構成粒子により強化された方向では最大1310MPaの強度を発現した．特にKicは従来Si3N4の2倍に当る約13MPa$\sqrt{m}$を発現し，高強度と高靭性を合わせ持つSi3N4材料が得られた．また強度，Kicともに応力の付加方向により大きな違いが見られ，明らかな異方性を示した．

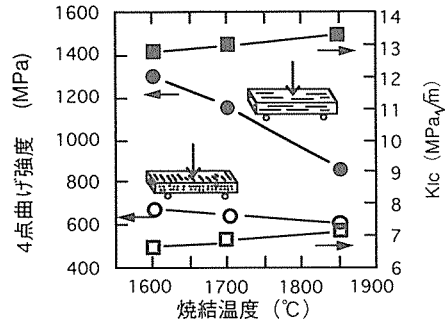


図1　焼結温度と強度およびKic

図2に配向焼結体の配向度と熱伝導率の関係を示す．柱状粒子に平行な方向の熱伝導率は従来Si3N4の約3倍の値を示し，さらに熱処理を施すことにより最大145W/mkを発現した．

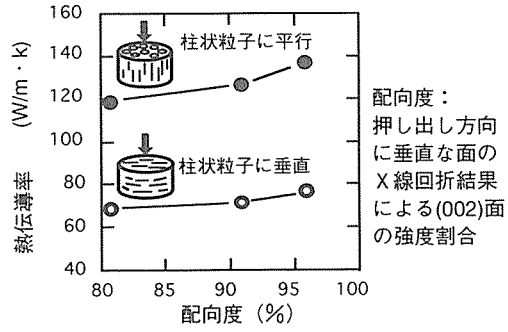


図2　配向度と熱伝導率

3　むすび

粒子配向制御されたSi3N4焼結体は高強度（1310MPa），高靭性（12.7MPa$\sqrt{m}$）を合わせ持ち，さらには金属にも匹敵する高熱伝導率（145W/mk)を発現することから，新たな応用の可能性がある．

* 第3材料技術部

ヨーレートセンサを用いた高精度レーンチェンジ法の開発

Development of Lane Change Control using Yaw Rate Sensor

土井　智之*　　橘　彰英*　　鈴木　敏彦*
Tomoyuki Doi　　Akihide Tachibana　　Toshihiko Suzuki

1　まえがき

レーンマーカを参照しつつレーントラッキングしているAHS（Automated Highway System）車両において，障害物回避等でのレーンチェンジ時，その過程でレーンマーカが参照できない区間が生じる．その区間での車両制御方法としてヨーレートセンサを用いたレーンチェンジ法を開発した．

2　概要

レーンチェンジ制御を(1)目標軌跡生成(2)車両位置推定(3)車両制御のステップにより実現することとした．

目標軌跡生成：レーンチェンジ軌跡は，障害物までの距離・発生横加速度・乗り心地によって決定される．回避動作の模式図を図1に示す．

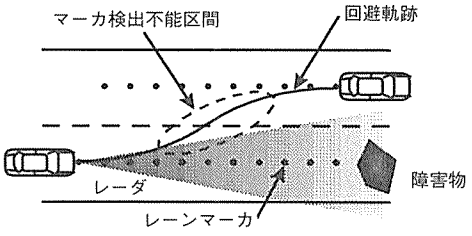


図1　レーンチェンジ模式図

車両位置推定：ヨーレートセンサの出力を用いて位置推定を行う場合[1]の誤差要因として，横滑り角による誤差・ヨーレート零点ずれγoff・初期ヨー角誤差θerrが挙げられる．横滑り角の影響は車両モデルにより推定補正可能である．図2に示すようにΔy・Δθによりヨーレート零点ずれと初期ヨー角誤差の補正を実施した．

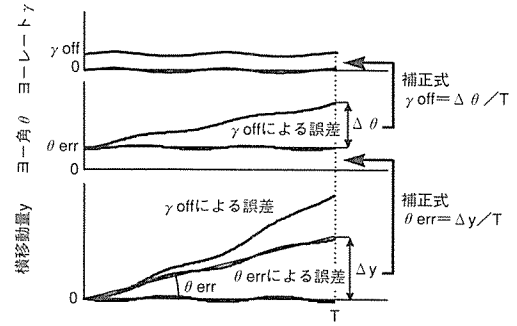


図2　位置推定誤差と補正

これらの補正によって車両位置推定精度が大幅に向上した．（図3）

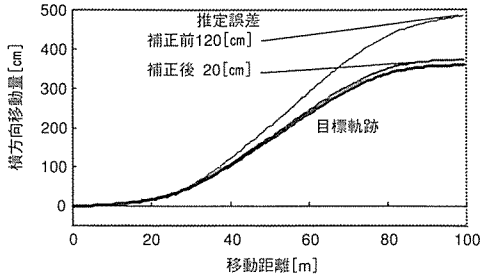


図3　位置推定シミュレーション結果

車両制御：目標軌跡に対応したフィードフォワード舵角とPID制御によるフィードバック舵角の和を指示操舵角とした車両制御を実施した．

結果：位置補正効果を評価するために補正実施前後のレーンチェンジ比較した．図4に結果を示す．横軸は位置推定の最大誤差要因である初期ヨー角をとり，縦軸はレーンチェンジ後の横偏差制御性能を評価した．この結果，補正により初期ヨー角に関わらず安定したレーンチェンジが可能となった．

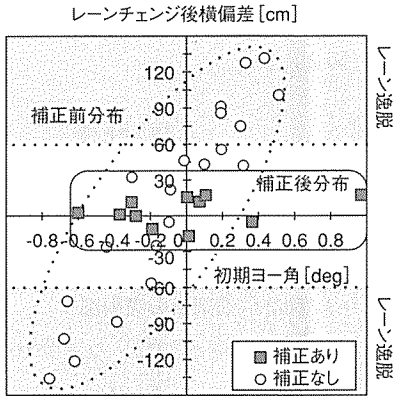


図4　制御実施結果

3　むすび

高精度位置推定法を開発し，安定したレーンチェンジ制御を達成した．

■参考文献

(1) 安部正人：車両の運動と制御，共立出版，1979, p. 37.

* 第1FP部

旋削における切粉吸引固めシステムの開発

Development of Chip-Absorbing & Compacting-System in Turning

田村　啓介*　　渋谷　健*　　木下　正次*
Keisuke Tamura　　Takeshi Shibuya　　Syoji Kinoshita

1　まえがき

従来の鋳物旋削では，切粉流し・清掃のために大量のクーラントが必要であり，工場内ミスト・廃液・臭気の原因となっている．また，クーラントで濡れた切粉は鋳造工程へリサイクルされるが(図1)，溶湯内での水蒸気爆発の回避と溶湯内での溶け込み性の確保のため，外注業者で切粉の乾燥固め処理がなされる．この乾燥の際，切粉表面が2～3割酸化され，それが溶湯内でノロとなり，金属としてのリサイクル率を低下させる．これらの問題を解決するには，クーラントを廃止し，切粉飛散のない加工法が必要となる．そこで，切削点で吸引し，固め処理まで加工機内で完結する，切粉吸引固めシステムを開発し実用化した．

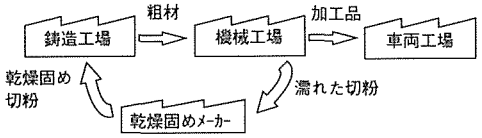


図1　切粉のリサイクルルート

2　概要

ポイントとなる切削点での吸引部は，バイトホルダに吸引フードを取付け，負圧で吸引するという構造である（図2）．

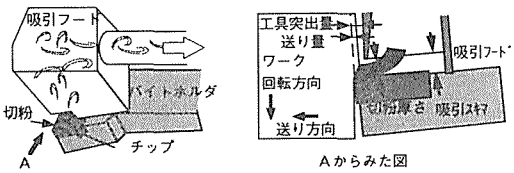


図2　切削点の吸引部

加工中に，吸引フードが切粉・ワークに干渉しないためには，

工具突出量＞送り量

吸引スキマ＞切粉厚さ（≒2～2.5×送り量）

としなければならない．

そこで，これら因子をふって切粉回収率がどの程度得られるか実験したところ，工具突出量が送り量に近い値であれば最高95%程度まで切粉回収できることがわかった（図3）．

更に回収率を上げるために，ビデオで現象解析を

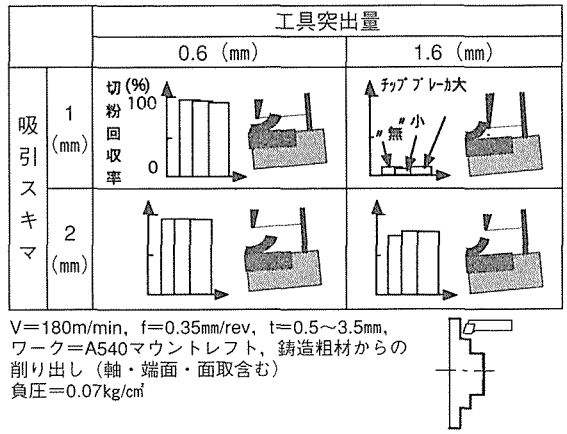


図3　切粉回収率に対する諸因子の影響

行ったところ，食い付き・逃げ時，面取り等の斜面削りの時，切粉排出方向がフード外へ向く事により数%の切粉が回収されないことがわかった．

回収率向上の方法として，例えば斜面削り専用の吸引フード・バイトを別に設ける手法もあるが，汎用性を失うことになる．そこで，負圧を上げて切粉回収率向上を試みた．実用上最も高い負圧が得られるバキュームを用いたところ，最高97%程度の切粉回収率に留まり100%の切粉回収は困難であった．

しかし，逆に負圧がそれほど大きくない0.07kg/cm²程度でも切粉飛散は充分抑えられると考え，コスト・スペースを考慮して小型のバキュームを採用したシステム構成とした．さらに設備として100%の切粉回収を実現するため2次吸引部を設け，切粉固め部と直結することにより，切粉吸引固めシステムとして完成した（図4）（97/10より稼働中）．

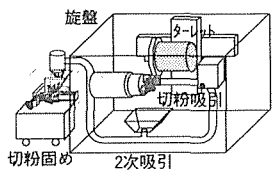


図4　切粉吸引固めシステム

3　むすび

(1) 鋳物について切粉吸引技術を確立し，切粉吸引固めシステムとして完成した．

(2) 開発のねらいである，工場環境改善・リサイクル性向上が可能となった．

(3) 今後，鋼・アルミについて切粉吸引固め技術を確立する．

本開発の実施にあたり，多大なご協力をいただいた三菱マテリアル㈱，富士機械製造㈱の関係者の方々に謹んで感謝します．

* 第1生技部

エンジン計量検査技術の開発

Development of quantitative engine measuring technology

丸田　直行*　　鈴木　延明*　　林　昭司*
Naoyuki Maruta　　Nobuaki Suzuki　　Akiji Hayashi

1　まえがき

現状のエンジン工場での出荷検査は最終工程にて燃料を用いたファイアリング運転で異音振動などの異常現象を検査員が判定しており，異常の原因解明に分解点検など時間を要していた．本開発は，正常燃焼する3つの要素，バルブタイミング・点火力・空燃比に着眼し，組付途中でそれぞれを計量値化して検査することで異常原因を早期に特定し，従来以上の出荷品質を確保したと共にファイアリング検査を廃止した．

2　概要

従来のファイアリング検査による検出不良を現象別に分類すると，排気ガス異常等の5項目に分類され，また正常燃焼しても発生する不良と正常燃焼しない不良にも分類できる（図1）．正常燃焼しても発生する不良は計量検査困難な為，エンジンをモータで回転させ官能検査で保証する．正常燃焼はバルブタイミング・点火力・空燃比で保証され，これらの計量検査に取り組んだ．

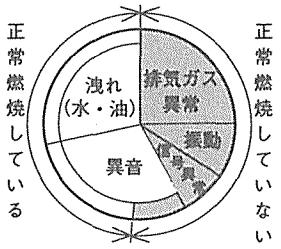


図1　不良の分類

①バルブタイミング：バルブの開閉で空気の流れが変化することに着眼し，エンジンをモータで回転させ，排気圧力変化を計測する（図2）．

②点火力：コイルのトランス作用で点火することからコイルの1次側電圧に着眼すると，プラグギャップつぶれなどの不良品は点火時間に差があることがわかった（図3）．更にコンプレッション圧などの外乱を排除する為，エンジン停止状態で測定することにより測定ばらつきを抑えられ，ファイアリング検査以上の検出力を確保できた．

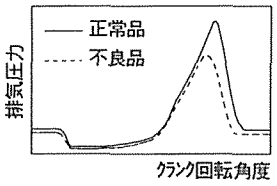


図2　バルブタイミング
正常品と不良品

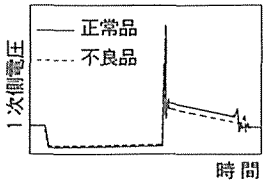


図3　点火力
正常品と不良品

③空燃比：燃料の代わりに圧縮エアーを測定媒体として噴射流量を計測する．

また①②については，エンジン外装品が未組付で検査可能な為，組付工程内に検査工程を配置した．

前記技術を基に過去発生した不良について従来のファイアリング検査と比較して検出力を評価した結果，本技術はファイアリング検査以上の検出力を確保することができ，ファイアリング検査を廃止することができた（図4）．

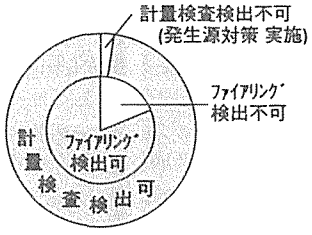


図4　不良品の検出力比較

3　むすび

①異常原因を特定できる計量検査技術を確立した．

②組付工程内に検査工程を配置し，不良の早期発見とフィードバックを可能とした．

③ファイアリング検査の廃止により，環境改善を図ることができた．

* 第1生技部（計測技術部技術派遣グループ）

プレス成形シミュレーションによるバーチャルトライアウト技術の開発

Development of Virtual Tryout Technique by Stamping Simulation

蔦森　秀夫*　　加藤　享*　　伊倉　真*
Hideo Tsutamori　　Toru Kato　　Shin Ikura

1　まえがき

生産準備リードタイムの短縮のため，製品形状のシンプル化を促進すると共に，精度の良いパネルを短期間で造り出す必要がある．今回は，プレス成形シミュレーションにより，離型後の変形を含めた全工程の解析を行い，コンピュータ上でトライアウト（バーチャルトライアウト）を実施した．本結果から，バーチャルトライアウトによって成形性，精度の不具合対策を金型製作前に織り込むことが十分可能であることを示す．

2　概要

まず，プレス成形の第一工程である絞工程シミュレーションを行った（図1左）．この結果では広い範囲で30%以上の板厚減少があり，広範囲で破断する危険が高い．また，A-A断面をとると，下死点前10mmの時，鞍形の部分に高さ7mmのしわが発生しており，ポンチ上面の素材にたるみが見られる．図2のような対策を行いながらバーチャルトライアウトを行った結果が図1右である．板厚減少の大きい領域はかなり少なくなった．しわ高さも4mmに減少し，ポンチ上面の素材のたるみも無くなった．これらの対策を織り込んで実型を製作した．

続いて，外形抜工程，曲工程のシミュレーションを行い，さらにそれぞれのスプリングバックを計算した．図3に外形抜後のスプリングバックの分布と実パネルと比較した結果を示す．

今回のバーチャルトライアウトを実施するために，絞成形のシミュレーション結果を実成形で再現することが重要な課題となった．シミュレーションと実成形で成形条件が大きく異なると，パネル内部の応力状態も異なるため後工程やスプリングバックも直接比較できなくなる．本方法では素材の流入量に着目し，流入量が一致するように実成形の成形条件を設定した．

3　まとめ

(1)実部品を用いてプレス金型をバーチャルトライアウトする技術を確立した．(2)絞工程のシミュレーションにより，成形性不具合を大幅に削減した．(実型修正工数換算で約160時間) (3)スプリングバックの計算結果は実パネルと定性的に一致した．(4)今後は成形性，精度に問題のある部品に順次適用していく．

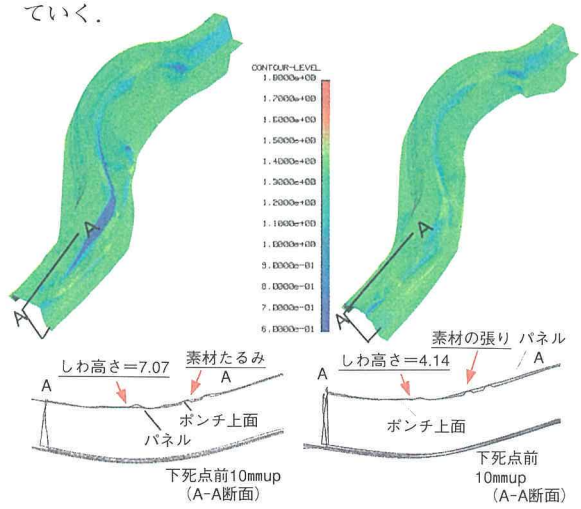


図1　対策前と対策後板厚および断面の比較

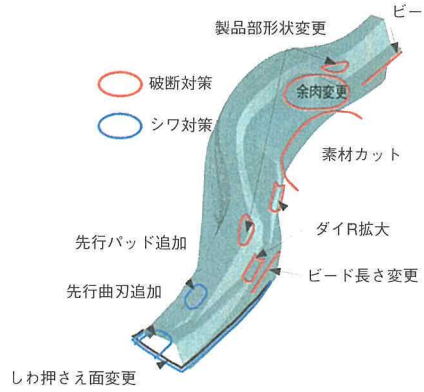


図2　バーチャルトライアウトによる対策

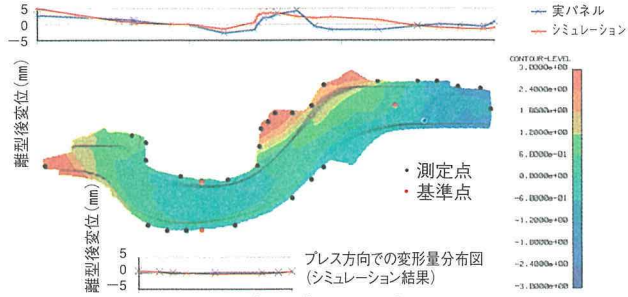


図3　外形抜後のスプリングバック分布と実パネルとの比較

* 第8生技部

RAV4-EV用モータの開発

Development of Motor for RAV4-EV

三浦　徹也*　　川端　康己*　　久保　馨**
Tetsuya Miura　　Yasutomo Kawabata　　Kaoru Kubo

1　まえがき

RAV4-EVはガソリン自動車に近い駆動性能を持つ本格的なEVとして，'96年9月に世界に先駆けて発売された．この駆動システムであるコンパクトかつ高効率な永久磁石型同期モータ（PMモータ）の開発における代表的な技術について紹介する．

2　概要

RAV4-EVの駆動システムは，その小型化のために変速機構がなく，モータには図1に示すような高トルクから高速までの広範囲な出力が要求される．高速運転の要求は弱め磁束制御の適用により満足できるが，高トルクの要求は従来の永久磁石の磁束によるトルクだけでは満足することができない．

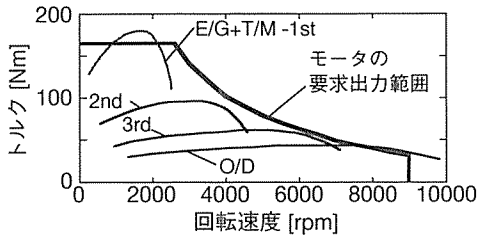


図1　モータに要求される出力範囲

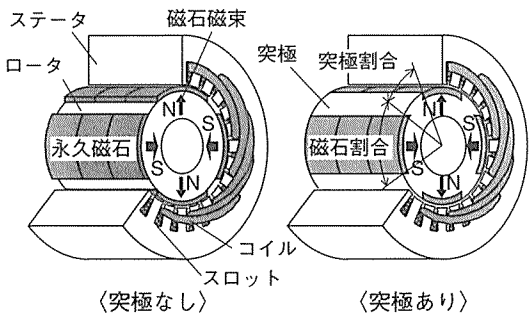


図2　モータの構造

そこで図2に示すように，従来は凹凸のない円筒形状であったロータの外周部の磁石と磁石との間に，突極と呼ばれる突出部を設けることにより発生するリラクタンストルクを利用し，モータの高トルク化を図った．さらに磁石および突極形状の検討を行った結果，両者の割合を半々にすることによりトルクを最大にすることができた．

しかしながらロータに突極を設けた結果，図3の(a)に示すように突極部に集中する磁束の変動によるロータ内渦電流が高速運転時に増大し，永久磁石の温度上昇によりその磁力が失われる減磁と呼ばれる現象が発生した．

そこで，先ずロータを電磁鋼板の積層構造にして導電率を下げ渦電流の低減を図ったところ，図3の(b)に示すように突極部の渦電流は低減されたが，逆に磁石部の渦電流が増大してしまい，温度上昇を許容値以下にすることはできなかった．さらに突極部の磁束変動を低減するため，その両端部を面取りした結果，図3(c)に示すように磁石内の渦電流は半分に，そして永久磁石の温度も許容値以下となり，永久磁石の減磁を防止することができた．

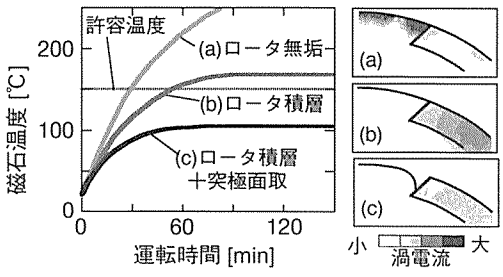


図3　ロータ内渦電流と磁石温度上昇

3　むすび

ロータ形状の最適化によりモータの高トルクかつ高速な出力を実現した．さらにロータの積層化および突極部両端形状の最適化により，ロータ内の渦電流による永久磁石の減磁を防止した．

* ITエンジニアリング部
** EHV技術部

日本機械学会賞（技術）

車両安定性制御システム（VSC）の開発

Development of Vehicle Stability Control system (VSC)

川口　裕*　Hiroshi Kawaguchi
来栖　俊郎**　Toshirou Kurusu
岡田　亜起夫*　Akio Okada
稲垣　匠二***　Shouji Inagaki
深田　善樹***　Yoshiki Fukada

1　まえがき

自動車の重大事故の要因を調べると，車の横すべりなどにより操縦不能に到るケースが1/4程度と多く，横すべりの原因には路面状況の変化の読み違いや，緊急回避時の急操舵などが多いことが分かった．また，実車での調査結果から，一般ドライバーが一旦発生した横すべりを抑えることは非常に難しいことなども確認された．既に実用化されているABSやトラクションコントロールが制動，駆動方向での限界ガード的機能であるのに対し，車両の横すべり防止のための旋回方向の限界ガードを設け，事故回避性能を向上させるのがVSCの狙いである．

2　概要

本システムの原理を図1に示す．車体のスピン時には，車速，ヨーレート，横Gなどのセンサ信号から推定した車体スリップ角β及びその微分値dβ/dtの位相平面から車両の不安定程度を算出し，これに応じて前輪の旋回外輪をアクティブに制動し，スピン抑止方向のモーメントを発生させる．

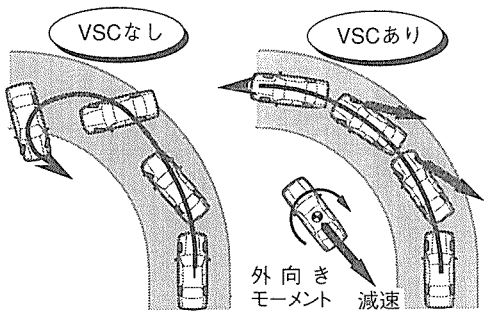


図1　VSCの作動（車体スピン抑止時）

また，ドリフトアウト時には，操舵角に対するヨーレートの出方に基づいて各輪を制動し，減速および回頭方向のモーメントを増加させる．なお，制御に先立ち，車両が限界に近づいたことをランプおよびブザーでドライバーに予知させるようにしている．

写真1は滑りやすい路面でのダブルレーンチェンジ試験時の，VSCのスピン抑止効果を示している．

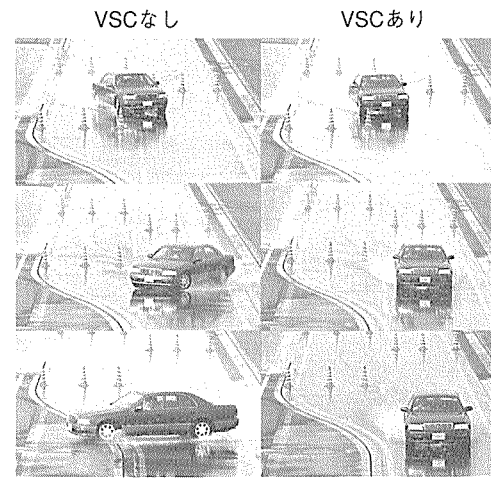


写真1　VSCのスピン抑止効果

3　むすび

事故の調査，解析に基づき，車体の横すべりを抑止するVSCシステムを開発し，クラウン系，マークⅡ系の一部の車種に採用した．この開発を通して新しい運動状態推定技術と位相平面を用いた安定化制御手法を開発した．

■参考文献

・山本：横すべり抑制のための車両安定性制御システム（VSC），自動車技術シンポジウム，「タイヤ－車両系の最新技術」，No. 9602 Symposium 1996

* 第1車両技術部
** ㈱ソミック石川
*** 技術部門付BRVC室

自動車技術会 技術開発賞

直噴ガソリンエンジン(トヨタD-4)の開発

Development of Direct Injection Gasoline Engine (TOYOTA D-4)

松下　宗一*　Souichi Matsushita
佐藤　充功*　Michikatsu Sato
郷野　武*　Takeshi Gouno
沢田　大作**　Daisaku Sawada
斎藤　昭則***　Akinori Saito

1　まえがき

世界的な課題であるCO_2の削減に自動車が応える1つの手法が燃費の向上である．トヨタD-4は従来は吸気ポートに噴射していた燃料を直接シリンダ内に噴射し，成層燃焼を行なうことによって画期的な低燃費を実現した．成層燃焼とは点火プラグの近傍にだけ着火可能な混合気を形成させることによって，従来の均質燃焼では不可能な超希薄燃焼を可能としたものである．トヨタD-4では燃焼室形状の工夫,燃料の微粒化,精密な噴射タイミング制御,吸気スワールの利用等によりこの成層燃焼を実現した．

2　概要

2.1　成層燃焼のコンセプト

圧縮行程の後半に，点火プラグから少し離れた方向に燃料を噴射し,スワールと,適切に設定された噴霧の貫徹力とにより，キャビティ側壁に沿ってプラグ方向に燃料を運ぶ．この時，燃料は空間とピストン壁面から受熱し,蒸発しながら可燃混合気となる．この混合気の回りは空気層となり，全体として極めて稀薄な混合気としながら安定燃焼させる．(図1)

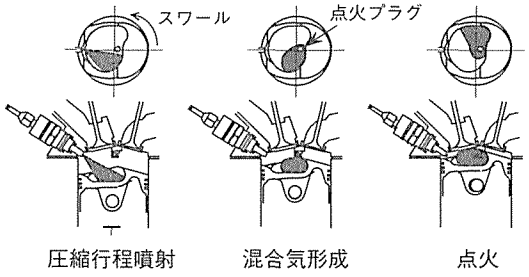


図1　成層燃焼のコンセプト

2.2　エンジンの構成

排気量2 ℓの直列4気筒の量産エンジンをベースにシリンダヘッドより上部を筒内直接燃料噴射用に設計変更し成層燃焼ができるようにした．成層燃焼を行なうための基本構成は

(1) 深いキャビティを持つピストン
(2) 高圧スワール燃料噴射弁
(3) SCV付き独立ヘリカルポート

等である．(図2)

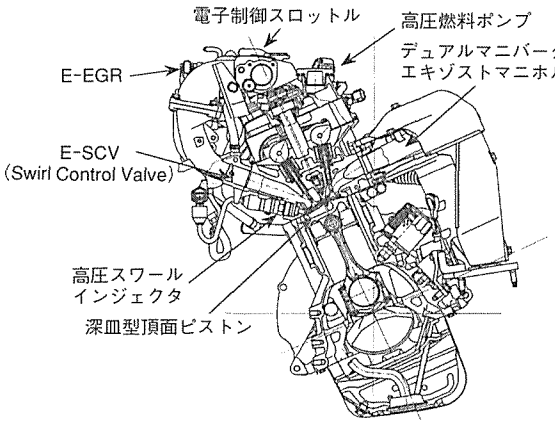


図2　トヨタD-4エンジン断面図

2.3　燃費向上効果

D-4エンジンを搭載したオートマチック車は，従来エンジンを搭載した車両に比較して，10.15モード走行燃費が約30%以上向上した．(図3)

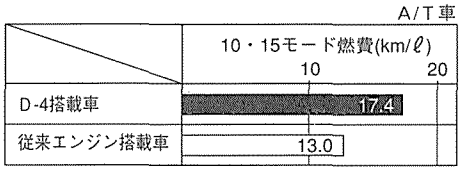


図3　燃費性能

3　むすび

D-4エンジンはコロナプレミオに搭載され好評を博している．今後更に拡大展開し，環境の改善にむけて貢献していく．

* 第1エンジン技術部
** 第3エンジン技術部
*** ㈱豊田中央研究所

(社)日本鋳造工学会 豊田賞

アルミサスペンションメンバ鋳造技術の開発

The Development of Casting Technology for Aluminum Suspension Cross-Member

林　芳郎*　　肌附　安明**　　坂本　定***
Yoshiro Hayashi　　Yasuaki Hadatsuki　　Sadamu Sakamoto

1　まえがき

自動車の軽量化・高級化指向により，アルミ部品が増加傾向にある．サスペンションメンバ（以下サスメン）は，従来は鉄板プレス品であったが，この部品をアルミ鋳造化することにより，軽量化に加えて，エンジン透過音の低減，高速安定性向上等のメリットが期待できる．

ところが，サスメンは長尺薄肉の難造品（図1）であり，①薄肉大物部品ゆえの湯回り不良　②局所厚肉部の内部欠陥　③鋳造金型の大型化に伴う金型の反り　④長尺部品ゆえの粗材の反り，といった製造上の問題点が予想された．

2　概要

本技術では，上記①～③の問題点を解決するために，専用の低圧鋳造用金型構造を開発した．（図2）

まず，安定的に金型の温度を高い状態で維持するため，製品部を構成する金型を薄肉入子構造とした．これは，金型全体の反りを減少させる効果もある．

次に，エンジンマウント部などの局所厚肉部の引け巣対策として，新構造押湯＋冷却入子構造を開発した．

また，薄肉入子構造の採用と金型の反りを拘束するタイボルトの採用により，低いレベルに金型の反りを押さえ込むことに成功している．

そして，上記④の粗材反りは，多変量解析を有効に活用し，どのようなメカニズムによって発生するかを明らかにし，対策している．

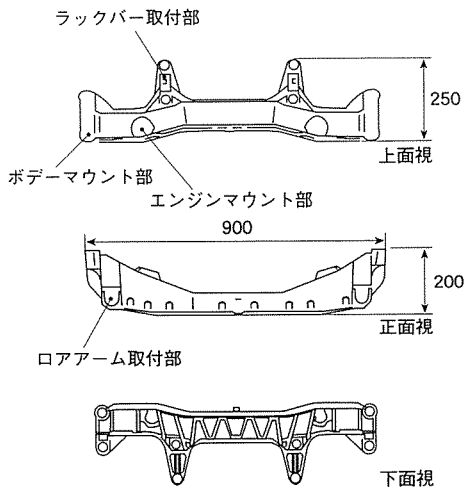


図1　サスペンションメンバの概要

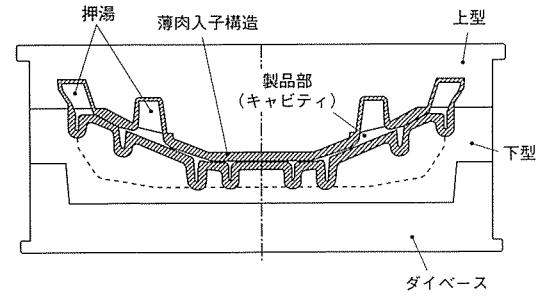


図2　開発金型構造

3　むすび

以上の技術開発により，サスメンの製造技術を確立し，現在トヨタではセルシオ，ソアラ，スープラなどにアルミサスメンを採用している．

今回，低圧鋳造法を用いた大物アルミ鋳物の量産技術を確立したことにより，将来の鋳物部品の拡大に寄与できるばかりか，低圧鋳造法自体のレベルアップによる，よりいっそうの品質向上，ニアネットシェイプ化も可能になり，鋳造技術の進歩に与える効果が非常に大きいと判断される．

* 明知工場 鋳造部
** 本社工場 工務部
*** 生技管理部

自動車技術会賞 論文賞

ガソリン予混合圧縮点火エンジンの研究

An Experimental Study of Premixed-Charge Compression Ignition Gasoline Engine

佐藤 康夫* Yasuo Sato　青山 太郎** Taro Aoyama　服部 義昭** Yoshiaki Hattori
水田 準一** Junichi Mizuta

1 まえがき

低燃費と低エミッションの両立が次世代エンジンの要件であり，実現の一つの方法として希薄予混合気の多点着火燃焼を検討した．吸気ポートへガソリンを噴射し，圧縮過程を経てガソリンの自己点火による燃焼（PCCI：Premixed-Charge Compression Ignition）を行い，直噴ディーゼル並みの低燃費と超低NOxを同時に実現できることを実験的に明らかにした．

2 概要

2.1 PCCIの性能

圧縮比17.4，排気量915ccの単気筒エンジンを用い，電磁噴射弁によりガソリンを吸気ポートに噴射した．通常の直噴ディーゼル（以下dieselと略記）と比較した性能を図1に示す．図中網かけのA/F33～44で安定なガソリン予混合気の圧縮多点点火燃焼ができる．この間の図示燃費率はdieselと同等，ないしは下回る．NOx濃度は極めて低く，dieselの約1/100以下である．HC濃度はdieselより一桁多い．図示しないが，スモークの排出はない．

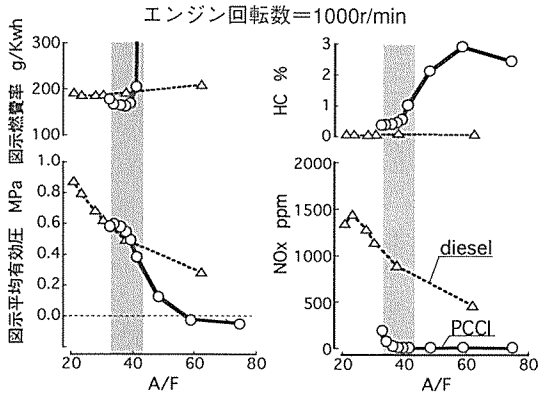


図1 PCCIの性能

2.2 PCCIの燃焼

ピストン燃焼室の底部を石英ガラスで形成し，ピストン下方よりシリンダ内の燃焼現象を観察した．高速度カメラによるシャドー像（図2）からは，火炎伝播の形跡は見られず，光電子像倍管を装着した高速シャッタカメラによる直接像（図3）からは，ランダムな点火開始とその後の安定な燃焼が観察できた．これらのことから，PCCIにおいては希薄予混合気の圧縮多点点火燃焼が実現されていることを確認した．

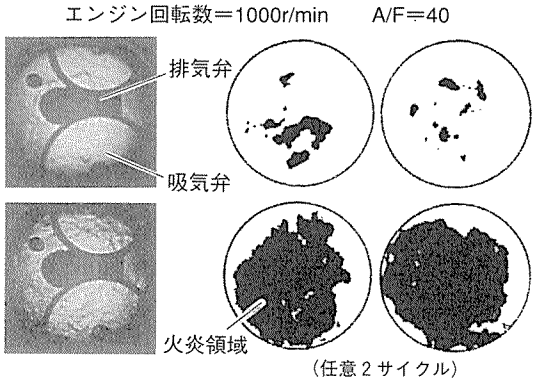


図2 シャドー像（上：上死点後2° 下：上死点後8°）　図3 直接像

3 むすび

本研究の発表を契機にクリーンディーゼル実現の有力候補として予混合圧縮着火燃焼が活発に採り上げられている．将来の燃焼技術のキーテクノロジーとなることを期待したい．

* 第3エンジン技術部
** ㈱豊田中央研究所

■国内会議

発表先	発表題目	発表者	所属	発表日
自動車技術会 ディーゼル機関の次世代排出ガス低減省エネルギ技術へのチャレンジ	均一・高拡散な混合気によるディーゼル燃焼	柳原　弘道 佐藤　康夫 水田　準一	第3エンジン技術部 〃 (株)豊田中央研究所	1/16
精密工学会 東海支部講習会	デザイン支援システムの現状と課題	大関　徹	デザイン部	1/17
自動車技術会 操安性と予防安全性のためのビークルダイナミクス	シャシー動特性試験機の開発とその応用	堀之内　克年 米川　隆 加納　民夫 内海　聖舟 長原　芳尚	第1車両技術部 〃 〃 技術管理部 〃	1/17
トロン協会 ハードリアルタイム研究会	制御プログラムへのスケジューリング手法の適用	菅沼　英明 佐藤　浩司	第3電子技術部 〃	1/20
名古屋市工業研究所 名古屋市中小企業技術者研修表面機能化技術研修コース	自動車における表面処理技術の動向	別所　毅	第2材料技術部	1/24
電子情報通信学会 PRMU研究会	オプティカルフローを用いたはんだ検査	今井　勝次	電子生技部	1/24
日本機械学会 講習会，モデル化，解析，そして最適化へのトータルデザイン	ベーシスベクトル，均質化法，近似化法に基づく線形並びに非線形の形状最適化	堀田　直文	技術管理部	1/28 ～1/29
日本化学会 資源の再利用とその課題	自動車産業におけるリサイクル活動 ―廃車シュレッダーダストの活用化技術開発―	梶原　拓治	生技開発部	1/28
軽金属協会 シンポジウム「これからの自動車，安全，環境への対応」	自動車の安全性の向上と軽量化技術	柴田　真志	第1材料技術部	1/31
未踏科学技術協会,エコマテリアル研究会 第24回ワークショップ	自動車樹脂部品のアセスメントとリサイクル技術	坂田　勲	第2材料技術部	1/31
日本非破壊検査協会 第4回超音波による非破壊シンポジウム	デジタルパルスエコー法によるボルト軸力測定	安井　一 川嶋　紘一朗 藤井　郁也 田中　宏和	計測技術部 名古屋工業大学 〃 〃	1/31
日本ダイカスト協会 第19回ダイカスト技術交流会	ダイカスト金型のコンパクト化	濱田　幸雄	ダイエンジニアリング部	1/31
ガス協会 天然ガス自動車フォーラム	トヨタ自動車(株)における天然ガス自動車への取組み	大坪　勝治	第3エンジン技術部	2/4
日本工業技術センター 技術講習会「車載電子システム開発の現状と展望」	車載電子システムの開発の現状と展望	河合　満雄	第2電子技術部	2/4
溶接学会 Mate '97	鉛フリーはんだの特性評価(3) ―電気化学的信頼性―	加納　教夫 梶　清金 中村　充男 高尾　尚史 勝岡　律 鵜殿　尚靖 三治　真佐樹	広瀬工場 電子生技部 〃 〃 (株)豊田中央研究所 富士通テン(株) 〃 (株)デンソー	2/6
	鉛フリーはんだの特性評価(1) ―溶融特性および濡れ性―	高尾　尚史 加納　教夫 杉本　義彦 山本　修之 長谷川　英雄 鵜殿　直靖 三治　真佐樹	(株)豊田中央研究所 広瀬工場 電子生技部 (株)豊田中央研究所 〃 〃 富士通テン(株) (株)デンソー	

発表先	発表題目	発表者	所属	発表日
溶接学会 Mate '97	鉛フリーはんだの特性評価(2) ー機械的特性ー	三治　真佐樹 加納　教夫 高尾　尚史 鵜殿　直靖 吉野　睦 石川　純次 竹中　修	(株)デンソー 広瀬工場 電子生技部 (株)豊田中央研究所 富士通テン(株) (株)デンソー 〃 〃	2/6
東京都自動車整備振興会 東京都自動車整備振興会研修会	電気自動車開発の現状と将来	大川　正尋	EHV技術部	2/8
MH利用開発研究会 平成8年度 第4回 研究会	新エネルギーキャリアとしての高容量水素吸蔵合金	杉本　繁利	第1材料技術部	2/17
日本溶接協会 第3回 表面改質技術研究委員会	レーザー焼入れによるボデー部品の軽量化技術	玉田　健二 佐藤　章仁 中嶋　裕樹 中村　真一郎	第8生技部 〃 第1ボデー設計部 生技管理部	2/18
水素エネルギー協会 水素エネルギー協会定例研究会	RAV4 L EVとモニタテストの概要	朝倉　吉隆	EHV技術部	2/25
素形材センター 鍛造技術専門講座	鍛造における検査の高度化・合理化	石原　貞男	第5生技部	2/28
日本金属学会・日本鉄鋼協会 第21回 若手材料研究会	環境負荷物質低減について	加藤　誠	第1材料技術部	3/4
ISS産業科学システム 自動車塗装における塗装工程の省エネルギー	自動車塗装工程におけるリサイクル技術	中島　光夫	プラント・エンジニアリング部	3/4
省エネルギーセンター エネルギー管理従事者研修会	2000年に向けてのエネルギー低減手法	大野　英弘	プラント・エンジニアリング部	3/5
日本溶接協会 第2回 エレクトロニクス実装における環境問題シンポジウム	鉛フリーはんだの電気化学的信頼性	加納　教夫 梶　清金 中村　充男	電子生技部 〃 〃	3/5
自動車技術会 No.9763 シンポジウム「新開発エンジン」	直噴ガソリンエンジン (D-4)	松下　宗一	第1エンジン技術部	3/6
プラントメンテナンス協会 パソコンを使った業務改善発表会	設備診断技術を取入れた保全システムの在り方	占部　英昭	堤工場 工務部	3/6
横浜国立大学共同研究推進センター 横浜国立大学協同研究発表会	有害化学物質の自主管理手法	小倉　近志 浦野　紘平 山本　隆文	プラント・エンジニアリング部 横浜国立大学 〃	3/7
高分子学会 高分子研修コース '96後期	自動車への高分子の応用	西尾　武純	第2材料技術部	3/13
エンプラ連絡会 第4回ISO/TC61(プラスチック)JISセミナー	自動車企業におけるISO/Compusのニーズ	河村　信也	第2材料技術部	3/17
日本機械学会 関西支部 講演会	フランジ付き六角ボルトによるねじ締付体の座面応力の解析	安井　一 沢　俊行	計測技術部 山梨大学	3/21
日本金属学会 1997年度 春季大会	ラーベス相に関連するBCC合金の組織と水素吸蔵特性	射場　英紀 毛利　敏洋	第1材料技術部 〃	3/26 〜3/28
電子情報通信学会 1997年 総合大会	デザイン支援システム構築のための仮想物体の奥行き知覚特製に関する一考察	吉田　俊介 星野　俊仁 大関　徹 宮崎　慎也 長谷川　純一 福村　晃夫	中京大学 デザイン部 〃 中京大学 〃 〃	3/26
日本能率協会 「生産ネットワーク」技術革新セミナー	自動車工場における次世代FAネットワーク要件まとめと実現に向けて	藤井　宣仁	ITエンジニアリング部	3/27
アジア留学生協力会 JASCAA-ASCOJA 東京会議	電気自動車開発の現状と課題	大川　正尋	EHV開発部	3/28

発表先	発表題目	発表者	所属	発表日
日本鉄鋼協会 第133回 春季講演大会	真空加熱還元法における電気炉ダスト中の亜鉛，鉛の挙動	原　敏勝 岡田　裕二 水田　均 鈴木　和弘	愛知製鋼(株) 第4生技部 (株)豊田中央研究所 トヨキン	3/28
応用物理学会 第44回 応用物理学関係連合講演会	ドープしたシリコンのレーザーアブレーション	劉　正新 英　貢 中村　直樹 長島　知理 長谷川　弘	豊橋技術科学大学 〃 第1FP部 〃 〃	3/28
日本機械学会 第74期 通常総会講演会	乗用車用エンジンの将来像	森光　信孝	第1エンジン技術部	3/29 〜4/1
	ガソリンエンジンにおけるプレイグニッションの解析と回避手法の研究	茂木　和久 橋爪　勝志 蟻澤　克彦 小林　日出夫	第2エンジン技術部 〃 〃 〃	
	自動車用湿式摩擦材の動的な滑り速度依存摩擦特性の検討（第2報：摩擦特性測定値の自励振動解析への適用）	山田　徳康 安藤　邦彦 長田　一司 長沢　裕二	ドライブトレーン技術部 〃 〃 (株)豊田中央研究所	
	自動車用湿式摩擦材の動的な滑り速度依存摩擦特性の検討（第1報：速度変動条件下での摩擦特性）	長沢　裕二 安藤　邦彦 山田　徳康	(株)豊田中央研究所 ドライブトレーン技術部 〃	
	モード減衰の増加量によるサイレント化の指針（円筒付軸一体円板への適用）	亢　恒 林　巌 岩附　信行	ドライブトレーン技術部 東京工業大学 〃	
	赤外線応力測定と解析を組合わせたスポット溶接部の応力解析	濱田　繁 仲保　俊弘 永井　茂夫 村上　敬宜	九州大学 第1実験部 〃 九州大学	
日本セラミックス協会 1997年 年会	LBA/ZrO_2焼結体中のLBA粒子形態の三次元立体構築に関する研究	野田　克敏 神谷　純生	第3材料技術部 〃	3/31 〜4/2
天津大学 天津大学 トヨタ講座	エンジン技術動向及び出力性能向上と燃費向上技術	斉藤　忠	第1エンジン技術部	4/2 〜4/4
日本林学会 第108回 日本林学会 大会	モミジバスズカケノキ（Platanus×acerifolia Willd）腋芽からの大量クローン増殖	近藤　聡 新村　あゆみ 服部　悦子 木谷　重和	第1FP部 〃 〃 〃	4/2
常盤大学 国際学部 講義	現地生産車に於ける部品調達への取り組み	西川　誠一	海外技術部	4/15
日本能率協会 '97バッテリー技術シンポジウム	EV用 Fuel Cellの開発	木村　良雄	EHV開発部	4/16
塑性加工学会 第39回 SMFセミナー	高速加工を実現するCAMシステム	牟田　芳喜	貞宝工場 工機管理部	4/16
整備管理学会 設備保全シンポジウム	生産保全活動の実態の見える化	岡本　渉 慶島　浩二	生技管理部 〃	4/17
設備管理学会 設備保全シンポジウム	実践的な保全局面へのダイナミックシミュレーションの応用研究	慶島　浩二 岡本　渉 植濃　幸秀 吉本　一穂 高　振宇	生技管理部 〃 〃 早稲田大学 国際情報科学研究所	4/17
日本能率協会 '97モーション・エンジニアリング・シンポジウム	転がり軸受の使用環境によるトラブル事例とその防止	近藤　宏一	ドライブトレーン技術部	4/18
日本能率協会 磁気応用シンポジウム	EV用PMモータ	三浦　徹也	ITエンジニアリング部	4/18
MH利用開発研究会，ニューマテリアルセンタ MH利用開発セミナー '97	Ni-MH電池 電気自動車	木村　良雄	EHV開発部	4/23

発表先	発表題目	発表者	所属	発表日
日本材料学会 第31回 東海・材料の力学談話会	熱可塑性エラストマーの自動車部品への応用について	清水　浩和	第1車両技術部	4/23
金属産業新聞社 平成9年 ねじ技術講演会	自動車設計の考え方とねじ部品への要望	酒井　智次	第1車両技術部	4/26
日本ゴム協会 第52回 ゴム技術進歩賞受賞講演	インジェクション成形による等速ジョイント(CVJ)用・熱可塑性ポリエステムエラストマーブーツの開発	清水　浩和 今中　弘 西田　和茂	第1車両技術部 東洋紡績(株) 東洋ゴム工業(株)	5/15
日本非破壊検査協会 春季大会	超音波による焼入れ深さ可視化技術の開発	田中　泰明 阪野　明 森永　泰彦	計測技術部 〃 〃	5/15
情報処理学会 分散処理システム運用技術研究会	企業における分散システムの運用管理における一考察	西野　正行 佐藤　敏郎 尾崎　貴司	システム企画部 〃 〃	5/16
日本人間工学会 第38回大会	自動車部品の組付作業における補助装置の使い易さの検討	福本　一成 小杉　敬彦 大杉　文男	車両生技部 TQM推進部 元町工場 総組立部	5/16 〜5/18
	自動車組立作業の特性に合った温熱環境の構築	朝治　恒二 木戸　俊行 鴻巣　仁司	プラント・エンジニアリング部 安全衛生推進部 車両生技部	
日本ゴム協会 1997年 年次大会	二軸押出機を用いた加硫NR/SBRゴムリサイクル	岡本　浩孝 鈴木　康之 大脇　雅夫 毛利　誠 松下　光正 佐藤　紀夫 本多　秀亘 中島　克己 竹内　勝政	(株)豊田中央研究所 第2材料技術部 〃 (株)豊田中央研究所 〃 〃 〃 〃 〃	5/16
	二軸押出機を用いた加硫EPDMリサイクルにおける再生反応機構	毛利　誠 鈴木　康之 大脇　雅夫 岡本　浩孝 松下　光正 佐藤　紀夫 本多　秀亘 中島　克己 竹内　勝政	(株)豊田中央研究所 第2材料技術部 〃 (株)豊田中央研究所 〃 〃 〃 〃 〃	
燃料電池開発情報センター 第4回 燃料電池シンポジウム	トヨタ自動車における固体高分子型燃料電池の開発状況	河津　成之	第1FP部	5/16 〜5/17
自動車技術会 1997年 春季学術講演会	自動車用材料50年の発展と今後の展望	近田　敏弘	第1材料技術部	5/21 〜5/23
	低周波ブレーキ鳴きのFEM解析	増茂　浩之 伊藤　聡 松島　徹 西脇　正明	第1シャシー設計部 〃 第2車両技術部 〃	
	ITS Human Factorの国際標準化動向	伊藤　肇	第2ボデー設計部	
	トヨタコースター ハイブリッドEVの開発	川島　由浩	EHV開発部	
	一般ドライバの緊急ブレーキ操作に対するアシストシステムの開発	山本　敦 木崎　二郎 吉田　浩朗 橋本　佳幸	開発企画部 第2車両技術部 〃 第3電子技術部	
	ボディー音響特性の解析による車外騒音の低減	西村　靖彦 野場　幹雄	第1車両技術部 〃	
	過渡的タイヤ発生力とそのモデリング ー第1報：スリップ角入力	樋口　明 H.B.パチェイカ	第1車両技術部 デルフト工科大学	

発表先	発表題目	発表者	所属	発表日
自動車技術会 1997年度 春季学術講演会	ガソリン直噴エンジンにおけるオイルダイリューション低減手法の研究	杉山　雅則 佐藤　充功 井坂　憲司 斎藤　公孝 今竹　信夫	第1エンジン技術部 〃 〃 (株)日本自動車部品総合研究所 〃	5/21 〜5/23
	V型12気筒エンジンの振動解析	竹内　信峯 宇野　達夫 寺田　昌弘	第1エンジン技術部 〃 第1企画部	
	IMACS '96(新計測制御システム)の実用展開	金子　計司 立入　芳樹 橋本　雄也 斉藤　達哉 戸館　順	第2エンジン技術部 〃 第1エンジン技術部 計測技術部 (株)トヨタテクノサービス	
	EGRがガソリン直噴エンジンの燃焼に及ぼす影響	佐々木　静夫 沢田　大作 植田　貴宣 佐味　弘之	第3エンジン技術部 〃 〃 豊田工業大学	
	ABS車輪速信号によるタイヤ空気圧警報システムの開発	小島　弘義 大橋　秀樹 梅野　孝治 藤原　健司	第2電子技術部 第2車両技術部 (株)豊田中央研究所 (株)デンソー	
	スリップ制御AT用自動変速機油規格の開発	植田　文雄 樋口　和男 中山　孟男	第1材料技術部 日産自動車(株) 三菱石油(株)	
	車室内のにおいの解析	松尾　美穂 大野　秀樹 佐藤　重幸	第2材料技術部 〃 (株)豊田中央研究所	
	未付着塗料のアンダーコートへのリサイクル	太田　稔久 横内　慶一 中島　光夫	第2材料技術部 〃 プラント・エンジニアリング部	
	高意匠・軽量ウレタンドアトリムの開発	佐々木　喜十三 平川　宏之 西村　秀雄	第6生技部 〃 第2材料技術部	
	重合格子法を用いた自動車の床下流れ解析	加藤　由博 鈴木　雅貴 堀之内　成明 科野　佐代子	(株)豊田中央研究所 第3実験部 (株)豊田中央研究所 〃	
	ステンレス鋼製 排気マニホールドの放射音解析	松岡　久永 山本　憲一	(株)日本自動車部品総合研究所 第1エンジン技術部	
自動車技術会 人とくるまのテクノロジー展	ブレーキ鳴き防止シム	矢野　邦彦 五味　三喜男 相原　哲夫 丹羽　隆弘	ニチアス(株) 第2車両技術部 〃 ニチアス(株)	5/21
型技術協会 第6回 多軸制御による高速高精度加工技術の開発研究会	曲線表現工具経路による金型の高速・高精度加工	牟田　芳喜	貞宝工場 工機管理部	5/23
日本塑性加工学会 平成9年度 塑性加工春季講演会	局部加圧による面ひずみ消去技術の検討	岩谷　二郎 佐野　和広 岡野　洋一郎	(株)神戸製鋼所 第8生技部 (株)神戸製鋼所	5/23 〜5/25
日本塑性加工学会 第173回 塑性加工シンポジウム	自動車車体成形におけるFLDの利用	玉田　健二	第8生技部	5/24
日本IFTOMM 日本IFTOMM会議	ハイポイドギヤ歯面の最適化	近藤　智彦 伊藤　利成 柴田　好克	ドライブトレーン技術部 〃 ユニット生技部	5/27
日本計算工学会 日本計算工学会 講演会	部品単位のシェル要素自動分割技術	三好　勝宏	第1システム部	5/28 〜5/30

発表先	発表題目	発表者	所属	発表日
応用科学学会 第24回 応用科学学会 春季講演会	電気自動車 RAV4 L EVの開発	朝倉　吉隆	EHV開発部	5/30
自動車技術会 自動車技術会 中部支部 研究発表会	直噴ガソリンエンジンの開発	郷野　武 佐藤　充功 松下　宗一 杉山　雅則	第1エンジン技術部 〃 〃 〃	5/30
	リップMMC強化ピストンの開発	新谷　良智 芹澤　義久 大河内　幸男 宮崎　雅生	第3材料技術部 〃 〃 第3パワートレーン部	
日本機械学会 伝動装置の現在技術の限界とその克服に関する調査・研究分科会	高能率ボブ切り加工	青山　昇	第1生技部	5/31
	シェービングによる要求歯面形状確保のための改善	岩坪　正隆	第1生技部	
電気学会 第15回「センサの基礎と応用」シンポジウム	振動型シリコン角速度センサ	長尾　勝 南　和幸 江刺　正喜	第4電子技術部 東北大学 〃	6/3
豊橋技術科学大学 特別講演	神経回路モデルによる人腕のモデル化とその応用	小池　康晴	第1FP部	6/5
日本機械学会 日本機械学会 講習会	自動車希薄燃焼エンジン用NOx吸蔵還元触媒	松本　伸一	第1材料技術部	6/10
自動車材料合同調査研究会 自動車材料合同調査研究会	鉛快削鋼から硫黄快削鋼へ トヨタ自動車の材料切替事例紹介	笹森　竹房	第1生技部	6/12
型技術協会 型技術会議 '97	もぐら放電加工による曲がり穴加工の試み（第1報）	竹内　昭伸 渡辺　一樹 後藤　昭弘 真柄　卓司	貞宝工場 工機管理部 〃 三菱電機(株) 〃	6/12
	YAGレーザによる局所焼入れ技術の一考察	太田　重成 一安　俊平	貞宝工場 工機管理部 〃	
	パラレルメカニズムを用いた工作機械の開発	鈴木　基之 渡辺　一樹 渋川　哲郎 遠山　退三 服部　和也	貞宝工場 工機管理部 〃 豊田工機(株) 〃 〃	
	プレス型回転カム特殊加工法の開発	榊原　美康 坂本　耕二	貞宝工場 工機管理部 スタンピングツール部	
	自動車用金型における超高速加工の課題	古谷　政典	貞宝工場 工機管理部	
	曲線表現工具経路による高速・高精度金型加工CAMシステム	牟田　芳喜 日笠山　晴久 窪田　充 東　正毅	貞宝工場 工機管理部 〃 第1システム部 豊田工業大学	
	鋳造型品質情報システム構築	永井　康裕 浅井　正幸	ダイエンジニアリング部 貞宝工場 工機管理部	
自動車技術会 材料・潤滑油部門委員会シンポジウム	自動車用燃料性状に関する欧米の研究動向	星　博彦	第1材料技術部	6/20
日本材料学会 高分子材料の耐久性評価に関する講習会	自動車工業における高分子材料の耐久性評価	松田　雅敏	第2材料技術部	6/27

■国際会議

発表先	発表題目	発表者	所属	発表日
Fuel & Lubes Asia International 3rd Annual Fuels & Lubes Asia Conference	Lubricity of Low Sulfur Diesel Fuel in Japan	岡田　正則 掛布　宣彦 星　博彦 中田　雅彦	第1エンジン技術部 〃 第1材料技術部 〃	1/21
IAVSD 2nd.Int.Colloquinm on Tyre Models for Vehicle Dynamic Analysis	The Relaxation Length Concept at Large Wheel Slip and Comber	樋口　明 H.B.Pacejka	第1車両技術部 デルフト工科大学	2/25
Society of Automotive Engineers, Inc. (SAE) International Congress & Exposition	Development of a Direct Injection Gasoline Engine	原田　淳 水野　宏幸 益城　善一郎 伊藤　泰志 冨田　務	第1エンジン技術部 〃 〃 第3エンジン技術部 取締役	2/24 ～2/27
	Key Technology of the Future Combustion	中西　清	第1エンジン技術部	
	A Study of CAM System for Super High Speed and Accuracy Machining of Dies For Body Panels	牟田　芳喜 松見　政彦 日笠山　晴久 窪田　充	貞宝工場 工機管理部 〃 〃 第1システム部	
	Design of the Gain-Scheduled Observer for the Semi-Active Suspension	中井　英雄 大作　覚 本園　貴一	(株)豊田中央研究所 第2車両技術部 生技開発部	
	Design Development of Energy Absorbing Ribs for Meeting FMVSS201 Extended Head Impact	Gajanan V. Gandhe 則武　義典 Luis Lorenzo	The Dow Chemical Company 第3材料技術部 The Dow Chemical Company	
	Precision Temperature Control of Ferrous Alloy Melt at Induction Furnace	山田　勝仁 天野　憲広 長谷川　保 早田　耕一 大嶋　満寿治	(株)豊田中央研究所 生技開発部 〃 第4生技部 (株)豊田中央研究所	
Enbedded System Programs Enbedded System Conference	Proposal of the On-Chip Debugging Resources for High-Speed Microcontroller	佐々木　茂 浅見　譲 中野　次郎 桜井　和明	第3電子技術部 〃 第1電子技術部 横河デジタル・コンピュータ	3/10
科学技術庁 マレーシア科学技術系人材育成に関するワークショップ	Current Situation of Securing Engineers in Manufacturing Industries in Japan	笹之内　雅幸	東京技術部	3/18
日本塑性加工学会 JSTP International Semminar on Precision Forging	Current Trends in Automotive Forging Industry	岩間　龍郎	第5生技部	4/1
Society of Automotive Engineers, Inc. (SAE) Total Life Cycle Conference and Exposition	Life Cycle Inventory Study of Automotive Fuel Tank	山戸　昌子 浅田　聡 光原　好人	設計管理部 〃 プラント・エンジニアリング部	4/7 ～4/9
	The Paint Sludge's Recycling to the Vinyl Chloride Plastisol Coating of Under-Floor	中島　光夫 西岡　孝一 坂野　昇一 児玉　敏 横内　慶一 太田　稔久	プラント・エンジニアリング部 〃 〃 第2材料技術部 〃 〃	
日本システムハウス協会 JASA Embedded Technical Seminar	Software Development Environment for Automotive Control	佐藤　浩司	第3電子技術部	4/10
オーストリア自動車技術会 18th International Vienna Motor Symposium	A Study of Stratified Mixture Formation of Direct Injection SI Engine	澤田　大作 友田　晃利 佐々木　静夫 斉藤　昭則	第3エンジン技術部 〃 〃 (株)豊田中央研究所	4/25
IEEE Electron Device Society ISPSP '97	A He-Irradiated IGBT with a Shallow p-Base and Shallow FLRs	櫛田　知義 間瀬　晃 川橋　憲 小野　賢士	第4電子技術部 〃 〃 豊田自動織機(株)	5/26

発表先	発表題目	発表者	所属	発表日
型技術協会 4th International Conference on Die & Mould Technology (ICDMT)	Machining Curved Tunnel for Coolant with Mole EDM	一安　俊平 竹内　昭伸 後藤　昭弘 真柄　卓司	貞宝工場 工機管理部 〃 三菱電機(株) 〃	6/5 ～6/6
	Development of a CAM System with Curvilinear Interpolation for High-Speed, High-Accuracy Machining of Dies	日笠山　晴久 牟田　芳喜 窪田　充 東　正毅	貞宝工場 工機管理部 〃 第1システム部 豊田工業大学	
Int'l Magnesium Assin 54th Annual World Magnesium Conference	The Future Prospect of Magnesium Usage in Asian Automotive Industry	森田　章義 近田　敏弘	取締役 第1材料技術部	6/9
SURFACES SURCAR XⅧ	Evaluation Method for Color-matching Between the Bumper and the Car-Body	永田　タカ子	第7生技部	6/12
International Symposium on Automotive Technology and Automation (ISATA) 30th ISATA	An Absolute Steering Sensor Using Switched Capacitance Technology	辻　公壽 川本　雅之 仲保　純一	第4電子技術部 第3電子技術部 (株)東海理化電機製作所	6/16 ～6/17
	Development of the Recycling Technology for the Painted Bumper Collected from the Market	高橋　直是 池田　貞雄 岩井　久幸 龍田　成人	生技開発部 〃 第2材料技術部 (株)豊田中央研究所	
	Development of Traffic Simulation and An Applied Example	中川　了爾 大鹿　裕幸	プラント・エンジニアリング部 〃	
	The Paint Sludge's Recycling to the Vinyl Chloride Plastisol Coating of Under-Floor	中島　光夫 西岡　孝一 坂野　昇一 児玉　敏 横内　慶一 太田　稔久	プラント・エンジニアリング部 〃 〃 第2材料技術部 〃 〃	

■国内寄稿

発表先	発表題目	発表者	所属	発表日
富士通テン(株) 富士通テン技報	乗用車用小型BS受信システム	稲村　重昭 近石　幸一 海谷　武 近藤　晴彦 森田　真 西川　訓利	富士通テン(株) 〃 〃 〃 第3電子技術部 (株)豊田中央研究所	97/1
日本ねじ研究会 日本ねじ研究会誌	ロジスティックカーブの魅力	吉村　達彦	第1車両技術部	97/1
自動車技術会 自動車技術会　論文集 Vol.28 No.1	限界付近での車両安定性向上のためのアクティブ制動力制御	山本　真規 鯉渕　健 深田　善樹 稲垣　匠二	第1車両技術部 技術部門付 〃 〃	97/1
	変動感を伴う空力騒音へのニューラルネットワークの適用	織田　和典 炭谷　圭二	第2車両技術部 第1車両技術部	
	ガソリン組成と排出個別HCの関係調査	田中　俊明 井口　哲 高岡　俊文 中田　雅彦 武井　泰典 久保　修一	第3エンジン技術部 〃 第2エンジン技術部 第1材料技術部 〃 (株)豊田中央研究所	
	非平坦路における車両直進制動性能解析	高橋　俊道 原口　哲之理 山田　芳久	(株)豊田中央研究所 第3実験部 技術部門付	

発表先	発表題目	発表者	所属	発表日
日本燃焼学会 燃焼研究	高拡散・急速燃焼(UNIBUS)によるNOxと煤の同時低減	柳原　弘道 佐藤　康夫 水田　準一	第3エンジン技術部 〃 (株)豊田中央研究所	97/1
日本ロボット学会 日本ロボット学会誌	ロボットの機械誤差キャブレーション技術と生産ラインにおける現状	中村　尚範	第2生技部	97/1
日本鋳鉄工学会 鋳造工学	トランスファレフトケースリーク不良の低減	杉野　幸博 三和　光晴 鳥居　靖彦 長坂　慎一 杉浦　良広 富田　正尚 杉浦　康晴	衣浦工場 鋳鍛造部 〃 〃 〃 〃 〃 〃	97/1
自動車技術会 自動車技術 Vol.51 No.1	高性能・低燃費2.5L V6ガソリンエンジンの開発	羽山　健二 伊藤　良秋 野口　敏春 中川　靖規 吉崎　正昭 鈴木　訓弘	第2パワートレーン部 〃 〃 〃 第1パワートレーン部 第1エンジン技術部	97/1
	LPG商用車（3トン）用エンジンの開発	太田　勇 村田　千岳 伊藤　英二 竹田　雅史 松原　祐司	第3パワートレーン部 〃 〃 〃 〃	
	外板色デザインツールの開発	大関　徹 星野　俊仁 杉浦　護 内山　祐司 石原　利員 辻　紘良 増田　豊	デザイン部 〃 第3材料技術部 (株)豊田中央研究所 〃 〃 関西ペイント(株)	
素形材センター 素形材	高強度低コストコネクティングロッドの開発	森　元秀	第1材料技術部	97/1
	鋳造の最適設計CAEシステム	大塚　幸男	第4生技部	
	新締結法を用いた低コストステアリング部品	鈴木　敏孝	第5生技部	
	異形後方押出し成形によるA/Tキャリアの切削代低減	大竹　秀和 生島　幸一 中根　統親	第5生技部 〃 〃	
日刊工業新聞社 プレス技術	プレス成形シミュレーションとCAD/CAM	伊倉　真	第8生技部	97/1
日本塑性加工学会 塑性と加工	テーラードブランクのプレス成形	夏見　文章 小原　昌弘	第8生技部 新日本製鉄(株)	97/1
工業調査会 自動車の強度保証と耐久性 K Books Series 119	自動車の強度保証と耐久性	酒井　敏光	第1車両技術部	97/1
日本風工学会 風工学会誌 第70号	自動車の横風空力特性	伊藤　晋吾	第1車両技術部	97/2
自動車技術会 中部支部報 第46巻	環境にやさしいエンジン技術の展望	伊藤　純雄	第1エンジン技術部	97/2
表面技術協会 表面技術	真空焼成による防錆板再利用技術の開発	岡田　裕二	第4生技部	97/2
特殊鋼倶楽部 特殊鋼 2月号	最近の金型加工	斉藤　康伸 古谷　政典	貞宝工場 工機管理部 〃	97/2
自動車技術会 自動車技術 Vol.51 No.2	乗用車用BS放送受信システムの開発	南　義明 青島　滋樹 森田　真 西川　訓利 稲村　重昭	第3電子技術部 〃 〃 (株)豊田中央研究所 富士通テン(株)	97/2

発表先	発表題目	発表者	所属	発表日
自動車技術会 自動車技術 Vol.51 No.2	部品工場における製造の生産準備支援システムの開発	脇山　春通 延時　正明 大友　政人 森田　光昭 内藤　正	ITエンジニアリング部 下山工場 品質管理部 田原工場 品質管理部 田原工場 機械部 ITエンジニアリング部	97/2
日本オペレーションズ・リサーチ学会 オペレーションズ・リサーチ	新しい自動車組立ラインの開発ー人を中心とした自律適応型組立ラインー	久田　修義 太田　一郎	車両生技部 〃	97/2
	組立ライン品質情報システム	中嶋　正直	計測技術部	
	自動車生産における部品（エンジン）工場生産管理システム	山本　浩史 内藤　正 脇山　春通 玉田　秀一	ITエンジニアリング部 〃 〃 〃	
自動車技術会 中部支部報	海外見聞録 トルコ共和国	杉山　正美	海生協力部	97/2
早稲田大学 学位論文	内燃機関用ピストンの潤滑特性に関する研究	村上　元一	第3エンジン技術部	97/3
協同油脂株式会社 協友	50周年にあたって	植田　文雄	第1材料技術部	97/3
東海化学工業会 会報 '97年3月号	リサイクル時代の自動車開発	櫻井　茂徳	第1材料技術部	97/3
日刊工業新聞社 工業材料	自動車材料をとりまく状況と環境	近田　敏弘	第1材料技術部	97/3
高分子学会 高分子論文集 Vol.54 No.7	イオウを含まないマクロモノマー合成法に関する研究	桑野　一幸 日比野　浩	第3材料技術部 東亜合成化学工業(株)	97/3
日本設計工学会 設計工学 1997年3月号	設計情報とネットワークのグローバライゼーション	森　守	設計管理部	97/3
計測自動制御学会 計測と制御 第36巻 3号 ミニ特集	居眠り運転警報技術	阿久津　英作 渥美　文治	第1FP部 〃	97/3
日本ガスタービン学会 日本ガスタービン学会誌	乗用車用過給エンジンの動向	佐々木　祥二 奥山　晃英	第2FP部 第1エンジン技術部	97/3
自動車技術会 自動車技術 Vol.51 No.3	パワープラント振動予測手法の開発	武井　雅行	第2エンジン技術部	97/3
	これからの自動車用半導体	福与　良二 東　正記 藤川　東馬 杉本　雅裕 櫛田　知義 大西　豊和	第4電子技術部 〃 〃 〃 〃 〃	
化学工学会 化学工学会誌 第61巻 3号	バンパー：新しい素材TSOP（Toyota Super Olefin Polymer)	野村　孝夫 西尾　武純 岩井　久幸	第2材料技術部 〃 〃	97/3
日本規格協会 新版 精密測定機器の使い方	寸法と形状の関係	桑田　浩志	設計管理部	97/3
廃棄物学会 廃棄物学会誌	自動車生産工場における有害化学物質の自主管理	安藤　健吾 岩井　哲郎	プラント・エンジニアリング部 〃	97/3
日本機械学会 日本機械学会 論文集	タイヤ摩耗寿命の評価手法に関する一検討	酒井　智次 大橋　義之 小早川　晋治 中村　秀之	第1車両技術部 第1実験部 第2実験部 第3実験部	97/3
日本エネルギ学会 日本エネルギ学会誌	代替エネルギー自動車（特徴と評価）	野平　英隆	第1エンジン技術部	97/4
日本金属学会 まてりあ Vol.36 No.4 (1997)	耐凝着性及び耐摩耗性に優れるアルミニウム合金基複合材料（ARSAC）の開発	額見　哲也 加藤　晃 大河内　幸男 杉山　雅彦	第3材料技術部 〃 〃 〃	97/4

発表先	発表題目	発表者	所属	発表日
日本金属学会 まてりあ Vol.36 No.6 (1997)	新エネルギーキャリアとしての高容量水素吸蔵合金	射場　英紀 毛利　敏洋 塩野谷　美和子 秋葉　悦男	第1材料技術部 〃 〃 工業技術院	97/4
	軽量化と低コスト化を両立する高強度コネクティングロッド用鋼の開発	岩間　直樹 矢野　正明 森　元秀 真部　豊久 野村　一衛	愛知製鋼(株) 第1エンジン技術部 第1材料技術部 本社工場 鍛造部 愛知製鋼(株)	
日本規格協会 標準化ジャーナル	ISO/TC 204 国内専門家会議を開催，同走行制御分科会活動状況	薦田　紀雄	デザイン部	97/4
日本鋳造工学会 日本鋳造工学会誌	電磁撹拌によるアルミ溶解炉スラグ除去法の開発	藤尾　俊一 三谷　和久 西山　智彦 沢田　利一	第4生技部 事業開発部 〃 田原工場 機械部	97/4
日本機械学会 日本機械学会 論文集 63巻	アクティブノイズ制御系への2自由度制御手法の適用	中井　英雄 木村　忠司 長野　誠 天野　也寸志	(株)豊田中央研究所 第1車両技術部 〃 (株)豊田中央研究所	97/4
自動車技術会 自動車技術 Vol.51 No.4	自動車開発におけるCFDの活用状況と今後の動向（車両周りの空力解析）	伊藤　晋吾	第1車両技術部	97/4
	自動車に関する空力研究ー現状と課題ー（空力研究の現状，CFDによる空力性能解析）	伊藤　晋吾	第1車両技術部	
触媒学会 触媒	リーンバーンエンジン排ガス浄化用NOx吸蔵還元型触媒	松本　伸一	第1材料技術部	97/4
型技術協会 型技術 5月号	トヨタ自動車にみるCAE導入法ープレス成形シミュレーション実用化の歩みー	伊倉　真 加藤　享	第8生技部 〃	97/4
日本機械学会 日本機械学会誌 創立100周年記念特集号	4章 先進車両制御システム（AVCS）	黒沢　隆一	開発企画部	97/5
高分子学会 高分子論文集	スーパーオレフィンポリマーのタフネス発現機構	野村　孝夫 西尾　武純 畑田　浩一 古嶋　修 杉本　昌高 儀間　真栄 石川　優	第2材料技術部 〃 チッソ(株) 〃 〃 〃 山形大学	97/5
クリーンジャパン・センター クリーンジャパン	トヨタの「環境マネジメントシステム」における廃棄物対策への対応について	岩井　哲郎	プラント・エンジニアリング部	97/5
溶接学会 溶接学会論文集 Vol.15 No.2	高速パルスMAG溶接におけるスパッタ発生量の低減	松井　仁志 鈴木　弘	第5生技部 メカトロシステム部	97/5
自動車技術会 自動車技術 Vol.51 No.5	燃料品質からの排出ガス低減可能性	星　博彦	第1材料技術部	97/5
	汚れ除去性の良い塗料の研究	則武　義幸 桑野　一幸 杉浦　護 小山　陽一	第3材料技術部 〃 〃 (株)豊田中央研究所	
	車室内の空気浄化材料について	酒井　武信 島崎　龍司 石切山　守 岡崎　俊宏	第3材料技術部 〃 〃 〃	

発表先	発表題目	発表者	所属	発表日
ばね技術研究会 ばね論文集	高疲労強度ばねの開発	内田　尚志 中野　修 安田　茂 子安　善郎 井澤　佳伸 近藤　覚 小野田　光芳 鎗田　博	新日本製鉄(株) 第1材料技術部 〃 新日本製鉄(株) (株)東郷製作所 〃 鈴木金属工業(株) 〃	97/5
映像情報メディア学会 画像情報工学と放送技術	より快適で安全な自動車のための画像技術	伊藤　肇	第2ボデー設計部	97/6
自動車技術会 自動車技術会　論文集 Vol.28 No.4	操舵応答とドライバフィーリングの関係について	久岡　雄二 山本　真規 藤波　宏明	第1車両技術部 〃 技術部門付	97/6
電気学会 ミリ波 通信・センシング技術 報告書	自動車レーダ	所　節夫	第3電子技術部	97/6
高分子学会 高分子論文集 Vol.54 No.8	塗料用樹脂の分子設計	桑野　一幸 村松　正隆 永澤　満 児野　智	第3材料技術部 第2材料技術部 豊田工業大学 〃	97/6
自動車技術会 自動車技術 Vol.51 No.6	トヨダAA型 乗用車の開発	小島　通弘	第3開発センター	97/6

■海外寄稿

発表先	発表題目	発表者	所属	発表日
自動車技術会 JSAE Review Vol.18 No.1	Basic Car Concept from Production Engineers	橋本　誠一 大河原　正喜 都筑　正世	第1生技部 富士重工業(株) (株)ホンダエンジニアリング	97/1
Perceptual and Motor Skills Perceptual and Motor Skills	Effects of Background Motion on Eye-Movement Information	中村　信次	第1FP部	97/2
The American Society for Biochemistry and Melecular Biology, Inc. The Journal of Biological and Molecular Biology, Inc.	Conversion from Archaeal Geranylgeranyl Diphosphate Synthase to Farnesyl Diphosphate Synthase	大音　徳 広岡　和史 大沼　信一 西野　徳三	第1FP部 東北大学 〃 〃	97/2
自動車技術会 JSAE Review Vol.18 No.2	The New Supercharged Engine, 2TZ-FZE, for Mini-van	鈴木　徹志 伊藤　英二 掛布　宣彦	第3パワートレーン部 〃 第1エンジン技術部	97/4
	Quick Sampling GC System for Analyzing Specific Hydrocarbons in Exhaust Gas	伊藤　宏 内田　謙一 渡辺　剛 國武　和久	(株)豊田中央研究所 第2エンジン技術部 〃 〃	
	Optimum Tooth Profile Design for Hypoid Gear	柴田　好克 近藤　智彦 伊藤　利成	ドライブトレーン技術部 〃 〃	
	Control Methods for Induction Machine Directly Coupled to Engine	日下　康 新居　良英	第3電子技術部 〃	
IEEE/ASME IEEE/ASME Transactions on Mediatronicson Human Friendly Mechatronics	Human / Robot Contact in the Safeguarding Space	吹田　和嗣 山田　陽滋 梅谷　陽二 平澤　康広 黄　声揚	第2生技部 豊田工業大学 〃 〃 〃	97/6



平成9年度環境保全功労者地球温暖化防止部門表彰記念　環境庁　平成9年6月5日
（前列右から5番目，当社松原取締役〔次頁参照〕）

社外受賞実績('97年1月～6月)

■国内受賞

賞名	受賞内容	受賞者	所属	年月	参照
新エネルギー財団					
21世紀型新エネルギー機器等表彰 通商産業大臣賞	高性能電気自動車 RAV4 L EV	トヨタ自動車株式会社		'97. 1	——
新製品賞 〈デザイン部門〉	VVT（Variable Valve Timing）用燃焼構成部品一式	中村　斎 相原　秀雄 桔梗　千明 新美　和輝 山口　登士也 中島　稔弘	第5生技部 〃 〃 〃 生技開発部 TMMNA*1	'97. 1	Vol. 46 No. 1 P. 162
日本機械学会					
技術賞	車両安定性制御システムの開発	川口　裕 岡田　亜起夫 稲垣　匠二 深田　善樹 栗栖　俊郎	第1車両技術部 〃 技術部門付 BRVC室 〃 ソミック石川	'97. 4	Vol. 47 No. 2 P. 134
技術功績賞	排ガス対策エンジンの信頼性向上技術の研究開発	中田　雅彦	第1材料技術部	'97. 4	——
自動車技術会					
技術開発賞	直噴ガソリンエンジンの開発	松下　宗一 佐藤　充功 郷野　武 沢田　大作 斎藤　昭則	第1エンジン技術部 〃 〃 第3エンジン技術部 ㈱豊田中央研究所	'97. 4	Vol. 47 No. 2 P. 135
日本ゴム協会					
第52回ゴム技術進歩賞	インジェクション成形による等速ジョイント用熱可塑性ポリエステルエラストマーブーツの開発	清水　浩和	第1車両技術部	'97. 5	Vol. 45 No. 2 P. 96
日本鋳造工学会					
豊田賞	アルミサスペンションメンバ鋳造技術の開発	林　芳郎 肌附　安明 坂本　定	明知鋳造部 本社工務部 生技管理部	'97. 5	Vol. 47 No. 2 P. 136
型技術協会					
技術賞	曲線表現工具経路による高速・高精度金型加工CAMシステム	牟田　芳喜 窪田　充 日笠山　晴久 東　正毅	工機管理部 〃 〃 豊田工業大学	'97. 6	Vol. 46 No. 2 P. 106
環境庁					
環境保全功労賞		トヨタ自動車株式会社 技術部門		'97. 6	Vol. 47 No. 2 P. 150

*1 TOYOTA MOTOR CORPORATE SERVICES OF NORTH AMERICA, INC.

夕風肌寒く身にしむ季節となりました．TOYOTA Technical Review Vol.47 No.2をお届けします．

年初から当社が積極的に取り組んでおります“TOYOTA ECO PROJECT”ですが，読者の皆様の中には「エコプロジェクトってなんだろう？」と思われる方も多いと思います．

今回のTTRの特集，“地球温暖化防止－CO_2削減に向けて－”を，“TOYOTA ECO PROJECT”の一環として読んでいただけたら幸いです．

技術の進歩は年々加速し，従来夢かと思われていた様な車が市場にどんどん出ている昨今です．業務においても，昨年の晩秋からPCが机に鎮座し，名刺にEメールアドレスを書き添える様になってから，社外の人とは連絡や打ち合わせ資料のやり取り等，社内の人より身近に感じながら，急激に情報化の波に一気に引きずり込まれています．先日も新幹線の中から添付資料付きメールを頂き驚いたところです．TTRの様な誌面も，著作権や複写の問題が解決され電子出版されるのももきっと直ぐ来る事になるのではと感じている今日この頃です．（阿久津）

私が，思いもかけずECOプロジェクトの技術開発に携わる様になって，早６ヶ月．今回の編集を通して本当に多岐に及ぶ分野に渡って環境対応の技術開発が進んでいることを改めて認識することになりました．

ライバルの活躍ぶりに大いに刺激され，私は「自分のできる事を精一杯やっていこう」と意を新たにしています．（金森）

今世紀も終わりに近づき，環境問題が新聞をにぎわせている．我々は地球と言う大切な資源を効率良く使っていく努力をしてきているが，使った後には色々な形の廃棄物が出てしまう．その為，自然に戻るように最後の形まで考えることがすべての分野でなされており，人間の知恵と工夫でこれからも進化していくであろう．

自動車についても同様の進化を遂げるための努力が日々なされてきており，そろそろ21世紀の車のイメージが見え始めてきている．（藤田）

1997年度 編集委員

阿久津　英作	第１FP部
金森　嘉晴	第１車両技術部
鈴木　訓弘	第１エンジン技術部
田中　宏明	第２車両技術部
守田　哲夫	第３実験部
青柳　光	第１材料技術部
古谷　昌之	第１電子技術部
藤田　信雄	EHV技術部
長瀬　高志	生技開発部
宮崎　司郎	プラント・エンジニアリング部
佐藤　幹夫	工機管理部
湯浅　真治	第１システム部

事務局

○仁木　千敏	技術管理部
岸本　範江	技術管理部
辻　久実子	技術管理部

○：編集委員長

TOYOTA Technical Review Vol.47 No.2

© 1997 TOYOTA MOTOR CORPORATION, Printed in Japan
（禁無断転載）

発行所　トヨタ自動車株式会社
技術管理部
〒471-71 愛知県豊田市トヨタ町１
(0565)28-2121(代表)
発行人　大野　栄嗣
編集人　仁木　千敏
印刷所　笹徳印刷株式会社
〒470-11 愛知県豊明市栄町大脇７番地
発行　1997年11月

人へ。社会へ。地球へ。



トヨタ自動車株式会社

