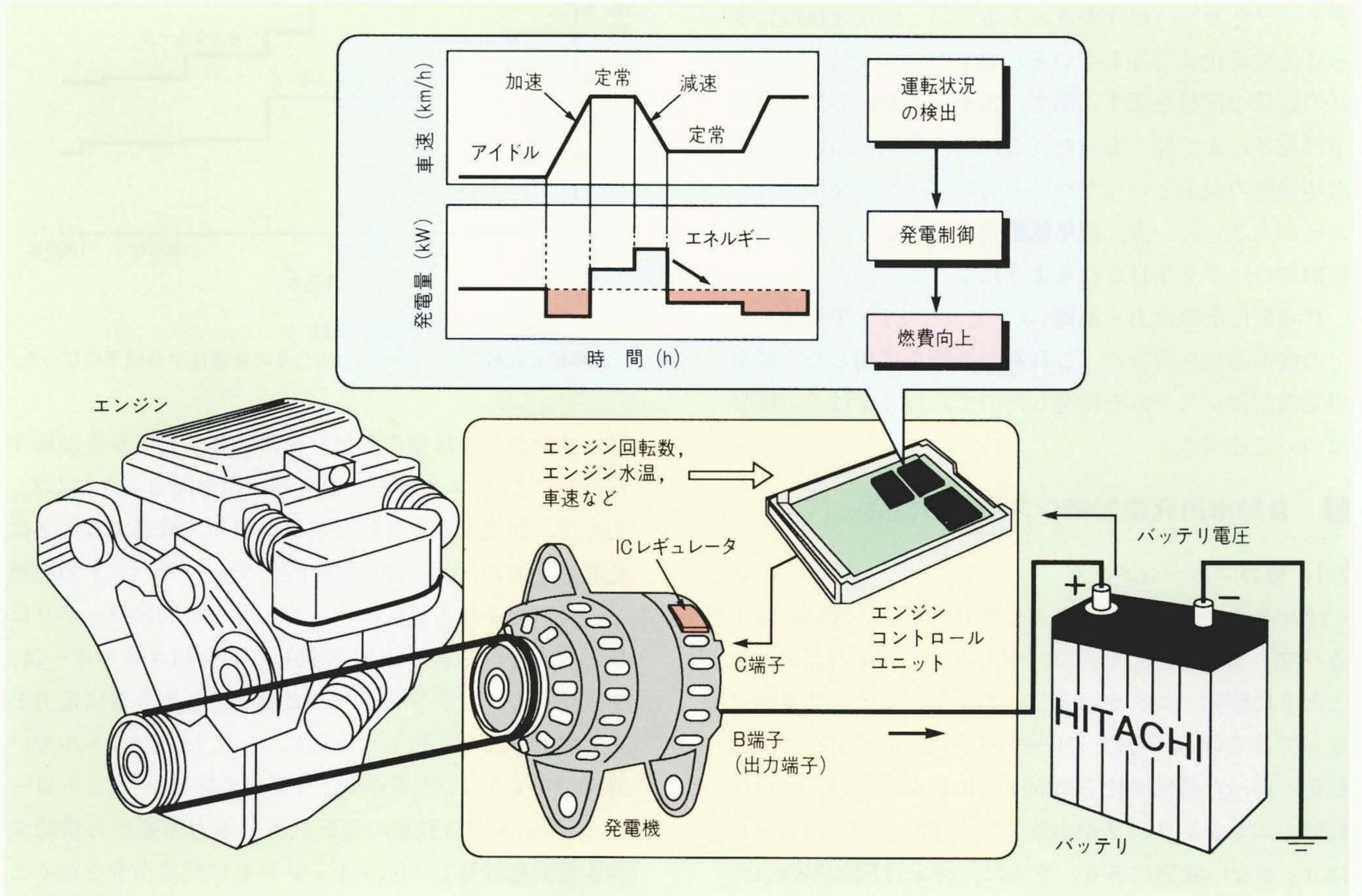


燃費向上を実現する自動車用発電制御システム

Automotive Generating Control System for Lower Fuel Consumption

増野敬一* Keiichi Mashino 丸本勝二*** Katsuji Marumoto
永井康夫** Yasuo Nagai 菅家 厚*** Atsushi Kanke



自動車用発電制御システム

発電機はカーエレクトロニクスに必要な不可欠なパワーソースであるが、その大容量化とともにエンジンへの負担が増えている。そこで、実用燃費向上を図った発電制御システムを開発した。

自動車の乗り心地や安全性向上のため、電気・電子機器などの電気負荷が増加している。このため、発電機を駆動するトルクは増大し、燃費への影響が無視できなくなっている。さらに、燃費向上のためエンジンのアイドル回転数が低く設定され、電気負荷の突入電流による過渡トルクによってエンジン停止などが発生しやすくなる。そこで、運転状態および電気負荷・バッテリーの状態に応じて発電制御を行い、燃費向上に有効なシステムが必要となっている。

日立製作所は、このようなニーズに対応する自動

車用発電制御システムの検討を行い、ハード面では発電機に内蔵するICレギュレータに高集積パワーLSIを搭載し、高度な制御仕様に対応できるシステムを開発した。またソフト面では、エンジン制御システムとの連携により、実用燃費を少なくとも0.5%以上(当社従来比)向上する技術を確立した。さらに、車両の走行条件を入力して、燃費効果や充電性能などを計算できるシミュレーションプログラムを開発し、車両の開発工数の低減に役立つようにした。

*日立製作所 自動車機器事業部

**日立製作所 半導体事業部

***日立製作所 日立研究所

1 はじめに

自動車の低燃費化のために、カーメーカーではエンジンの燃焼効率向上技術のほか、車両質量の低減に力を注いでいる。スタータモータ・自動車用発電機(以下、オルタネータと言う。)に代表される電装品も軽量化技術によって低燃費化に寄与している。電装品の出力1kW当たりの質量の推移を図1に示す。20年前と比較して半分以下の重さにまで軽くなった。これは、磁気回路の改良、冷却性能の向上といったハード面での技術開発によるところが大きい。一方、近年低燃費化に関して、発電制御技術についても注目されるようになってきた。

日立製作所は電力・制御(コンピュータ)・半導体分野での技術蓄積を背景に、これらの技術を応用した自動車用発電制御システムを開発したので、ここではその概要について述べる。

2 自動車用発電制御システムの概要

2.1 電力マネジメント

オルタネータにはさまざまな電気・電子装置に給電するパワーソースとしての役割があるが、近年の高出力化とともに駆動トルクが増大し、エンジンにとって重荷になってきている。特に、リーンバーン、アイドルの低回転化といった低燃費化を指向するエンジンでは、低速回転時のエンジントルクが小さくなる傾向、いわゆる「ねばり」がない状態にある。さらに、将来はEHC(Electrically Heated Catalyst:電熱触媒)などの環境保全のための新たな電気負荷も見込まれている。このような電力需要の増加は、燃費の悪化をもたらす。これらの問題を解決するために、自動車用発電機の電力マネジメント技術を確認し、オルタネータに適用した。

2.2 オルタネータの発電制御

オルタネータの構造を図2に示す。オルタネータはロータコイル(同図④)によって発生する回転磁界をステータコイル(同図⑦)でピックアップし、得られた交流電圧をダイオード(同図⑤)で直流に変換する。ICレギュレータ(同図⑧)はロータコイルに流れる界磁電流をデューティ制御して、出力電圧を一定に保つ動作を行う。オルタネータは現在では14V、100Aが一般的であり、駆動力は定格回転数(5,000r/min)で2.8kW(約4馬力)を必要とするので、アイドル運転時や加速時には、燃費や加速性に影響を与える¹⁾。

そこで今回の発電制御システムでは、自動車の運転状

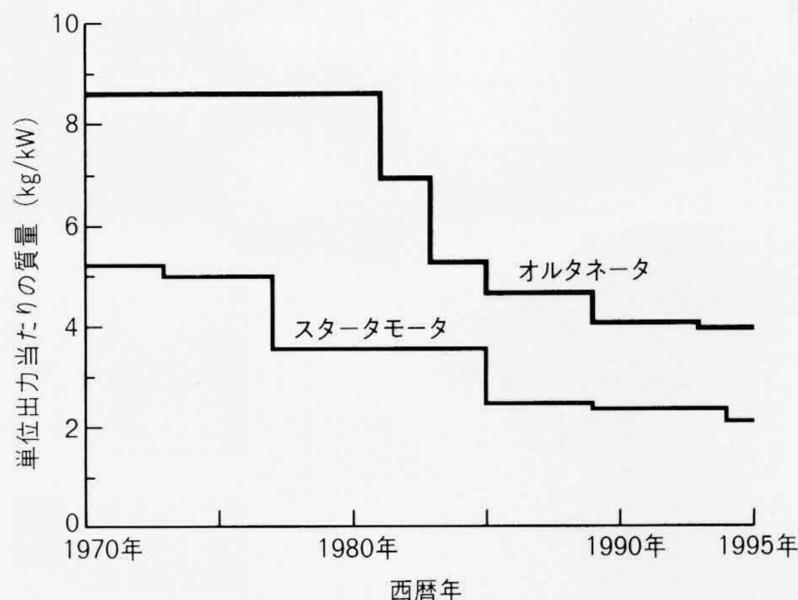


図1 主要電装品の軽量化推移

20年前と比較して、同一出力当たりの質量は半分以下になった。

況・エンジンの状態や電気負荷に応じて発電量を制御することにより、エネルギーの有効活用を図ることにした。例えば、加速するときに発電量を弱め、減速するときに発電量を強めれば、従来減速時にブレーキパッドの発熱として消費される運動エネルギーを一時的にバッテリーに蓄えることができる(回生制動)。この蓄積エネルギーは、加速などのエンジンパワーが必要とされるときに電力として供給される。以上の原理によってむだなエネルギー消費がなくなり、燃費が向上する。エンジンコントロールユニットが自動車の運転状況と電力需要から供給すべき電力を計算し、ICレギュレータに発電指令を送ることにより、電力の過不足をなくすことが可能になった。

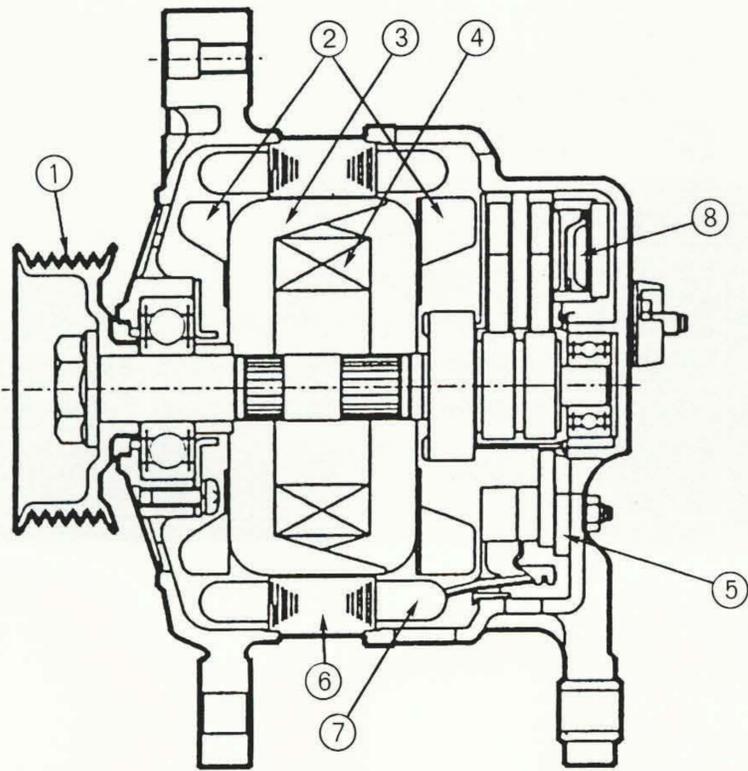
3 インテリジェントICレギュレータ

オルタネータは要求される電力を単に供給するだけでなく、下記の要件を備える必要がある。

- (1) エンジンの発生トルクに応じた最大発電量の制限
- (2) 信号線の断線などに対するフェイルセーフ機能
- (3) 異常診断および運転者への警報

このため、ICレギュレータの中にマイコン(マイクロコンピュータ)並みの判断機能を持つ制御回路を内蔵する必要が生じた。さらに、オルタネータへの装着条件と温度条件(周囲温度100℃)を考慮して、専用LSIを開発した。

このLSIの開発にあたっては日立製作所の半導体分野ですでに確立しているアナログ・デジタル・パワーの混成回路を1チップに集約したLSI技術(IPIC: Intelligent Power IC)を応用し、図3に示すチップを開発した²⁾。

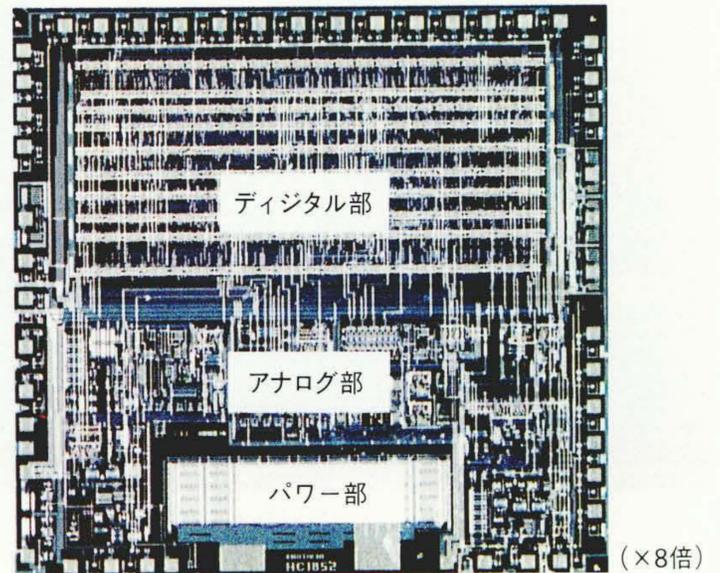


No.	名 称	No.	名 称
①	プーリ	⑤	ダイオード
②	ファン	⑥	ステータコア
③	ロータコア	⑦	ステータコイル
④	ロータコイル	⑧	ICレギュレータ

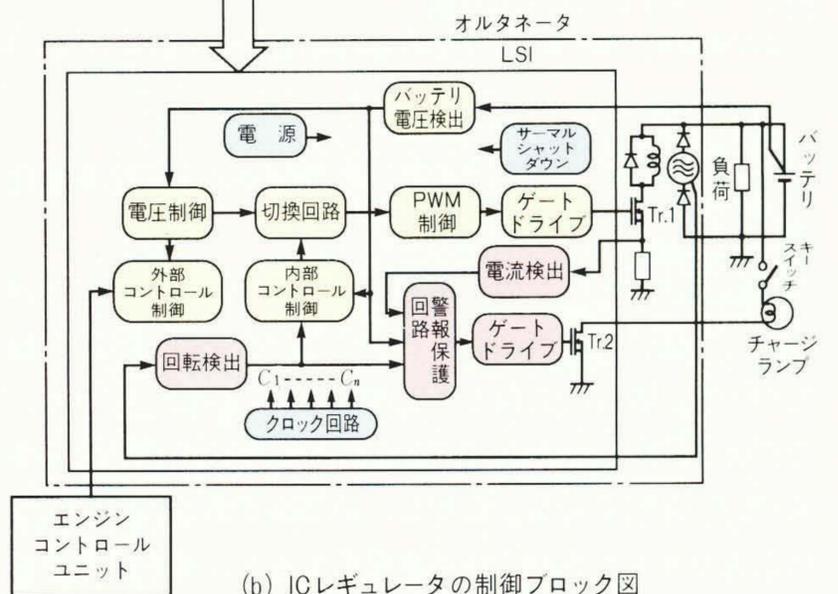
図2 オルタネータの構造

半導体部品が発電機に一体化され、エンジン取付性が容易である。

このLSIでは、アナログ700素子・デジタル1,200ゲートおよび1.4 Aパワー素子を1チップに収めた。ICレギュレータの制御ブロック図を図3(b)に示す。このLSIは500 kHzの内部クロック信号によって全回路が動作し、界磁制御用パワーMOSトランジスタ(Tr. 1)と診断警報用パワーMOSトランジスタ(Tr. 2)にPWM(パルス幅変調)制御信号を送る。IPIC製造プロセスでは、アナログ回路とデジタル回路の両方の長所を生かした設計が可能となる。例えば、診断警報用のチャージランプは突入電流によって定常時の4倍もの電流が流れる。このため、パワー素子の容量は4倍の定格で設計しなければならないが、デジタル回路によって過電流発生時に電流制限をかける回路を追加したことにより、パワー部の面積を $\frac{1}{4}$ に低減できた。さらに、リップル電圧や回転脈動などの自動車特有の環境下でも、デジタル回路を配置することによってノイズ信号が識別できるので、誤動作の排除や動作マージンの向上が可能となった。さらに、診断警報(過電圧発生時や、端子外れなどで充電が正常に行われていないときに警報する。)でもデジタル回路が使われている。



(a) LSIチップ



(b) ICレギュレータの制御ブロック図

図3 ICレギュレータ用IPICチップ

マイコンと同等の制御機能をパワーICに内蔵した。

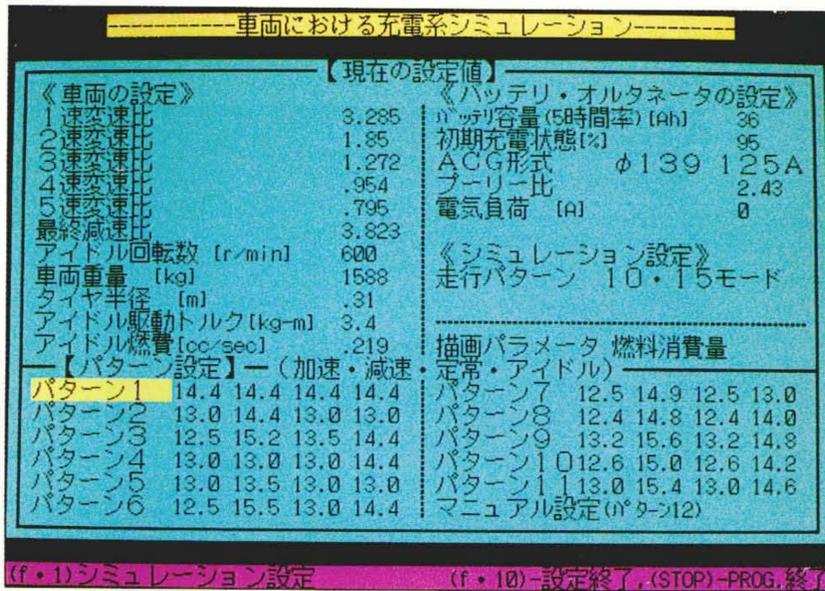
4 燃費効果シミュレーション技術

バッテリーを含む充電系は、バッテリーの化学的挙動の数値解析が困難であるため、机上でのシミュレーションが難しい。今回新しい充電システムを開発するにあたり、蓄積された実車での試験データをベースにしたシミュレーションプログラムを開発した³⁾。

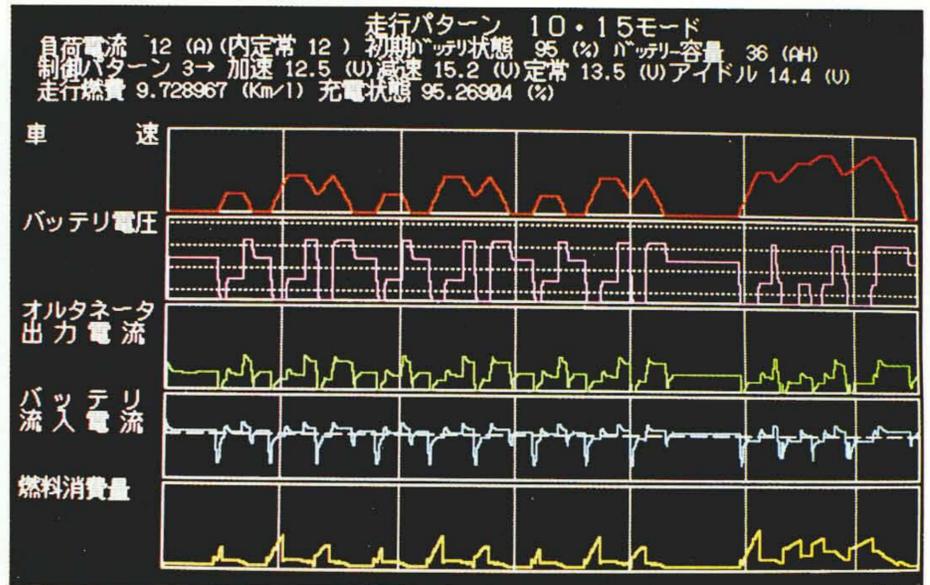
このプログラムは次のパラメータを入力し、発電量・燃費効果を計算するものである。

- (1) 走行パターン(例えば、10・15, LA 4 モード)
- (2) 電気負荷および使用頻度
- (3) 車両諸元(変速比・タイヤ径など)
- (4) オルタネータ・バッテリー仕様
- (5) エンジンの燃料消費特性
- (6) ICレギュレータの制御仕様

従来、燃費効果の算出のためには実車試験を行う必要があり、多大な労力を要した。しかし、コンピュータに



(a) 入力用パラメータ



(b) シミュレーション結果

図4 シミュレーション事例

充放電収支，10・15モードでの燃料消費量のシミュレーション結果の一例を示す。

よるシミュレーションにより，制御パラメータの最適化も容易にできるようになった。

シミュレーションの事例を図4に示す。この例では回生制動のほかに学習制御などの制御要素を織り込み，従来の一定電圧制御に対し1%の燃費向上が実現できた。車両の運転パターンや制御パラメータを変更すると，さらに燃費が良くなる。ただし，渋滞路での走行や運転者によるギヤシフトの癖などを考慮すると，充電不足を誘発しやすくなり，一概に燃費を最優先した制御を行うことが得策とは言えない。したがって，燃費効果を0.5%程度に抑え，従来と同等の充電性能を確保する制御パターンが実用的である。

このシミュレーションプログラムでは，先に述べたパラメータを容易に変えることができるので，車両の特性に応じた最適パラメータを選択することができるようになった。

5 発電制御システムの今後の展開

自動車用発電制御システムは以上に述べた技術以外に，近い将来次のようなバリエーションを持つことになると思われる。

- (1) 高電圧化：送電効率の良い24 Vまたは48 Vへの移行
- (2) 環境保全対応：EHCなど急速加熱時の高電圧が必要⁴⁾
- (3) レギュレータのAI化：AIによる燃費と充電性能の両立化

6 おわりに

ここでは，日立製作所が開発した自動車用発電制御システムについて述べた。

オルタネータをいっそう小型化するために，ICレギュレータに対しても低損失・界磁電流アップが要求されている。このために，低損失パワーMOSなどの半導体技術が重要な役割を演じると思われる。日立製作所はさまざまな分野での技術蓄積を活用し，次世代の発電制御システムの開発に取り組んでいる。

参考文献

- 1) 直井，外：電圧レギュレータ，カーエレクトロニクス/サブシステム，161～169，中日社(平5-4改訂版)
- 2) Nunogawa, et al.: Intelligent Power IC, Hitachi Review, Vol.38, No.4(1989)
- 3) 國分，外：自動車の充電制御における燃費向上効果，日本機械学会，茨城講演会論文集，No.103(1994)
- 4) Laing: "Development of an Alternator-Powered Electrically-Heated Catalyst System", SAE Technical Paper No.941042(1994)