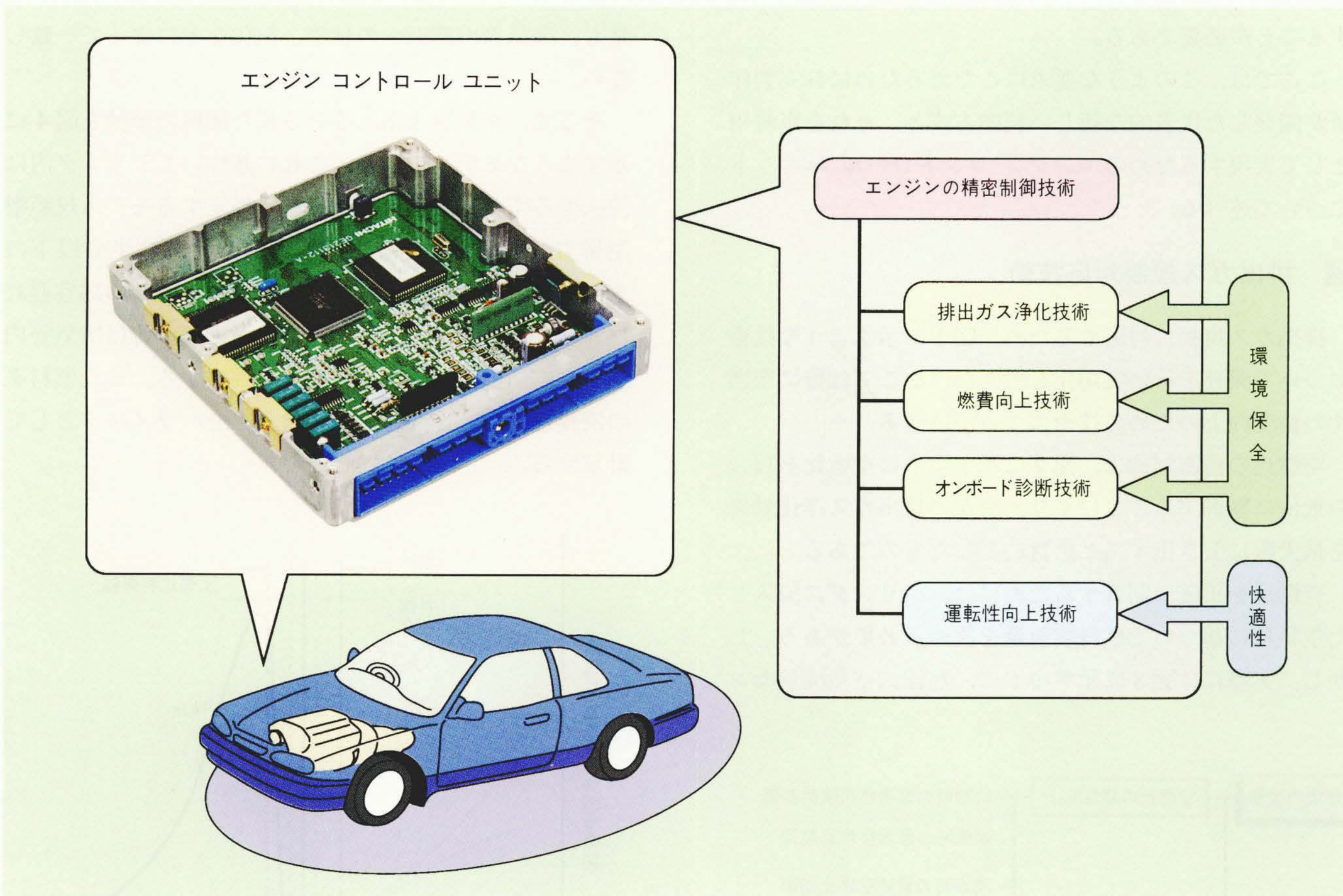
環境保全と運転性向上のための エンジン精密制御技術

Precision Control Technologies for Automotive Engines

藤澤正明* *Masaaki Fujisawa*　石井俊夫* *Toshio Ishii*
永野正美* *Masami Nagano*　藤下政克* *Masakatsu Fujishita*



エンジンの精密制御技術
精密なエンジン制御方式と小型・高性能なコントロールユニットを開発し，環境保全と自動車の性能向上の両立を図った。コントロールユニットは，狭い空間への装着を可能とするため，高密度実装技術によってダウンサイジングを進め，体積比で従来の45%(当社比)にした。

自動車のエンジン制御には，地球環境保全のための排出ガス浄化や燃費向上と，快適で安全な自動車のための動力性能や静粛性の向上などが同時に求められている。これらを両立させるためには，エンジンの挙動をより精密に解析し制御することが必要となる。

そのため，(1) 排出ガス浄化技術として，エンジンに供給される空気と燃料の挙動をモデル化し，それに基づいて空燃比を精密に制御するモデル規範型制御方式，(2) 燃費向上技術として，エンジンのノッキングの振動波形をリアルタイムで周波数分析して高精度に検出するディジタルノック検出方式，(3) 米国カリフォルニア州のOBD-Ⅱ (On Board Diagnostic System Phase-Ⅱ) 規制に対応するオンボード診断技術，(4) 運転性の向上をねらったアクティブ点火時期制御などの新しい制御方式を開発した。

また，これらの制御を車載用として実現するため，高性能ワンチップマイコン(マイクロコンピュータ)を搭載した高密度実装のエンジン コントロール ユニットを開発した。

* 日立製作所 自動車機器事業部

1 はじめに

地球環境保全のための排出ガス規制への対応と，より快適で安全な自動車とするための運転性や性能の向上を両立させるには，従来のエンジン制御方法に比べエンジンの挙動をより精密に解析し，その結果に基づいて制御することが必要である。

ここでは，このような要求にこたえるために日立製作所が開発した代表的な新しい制御方式と，それを車載用として実現するためのエンジン コントロール ユニットについて述べる。

2 排出ガス規制対応技術

排出ガス規制に対応するため，**図1**に示すような技術について開発を行い実用化してきた。ここでは特に空燃比の精度向上のための技術について述べる。

空燃比の精密制御は，**図2**に示すように空燃比を14.7の近傍に制御することにより，触媒の排出ガス浄化効果を最大限に引き出すことを目的としたものである。

空燃比を正確に制御するためには，シリンダに流入した空気量に基づいて燃料噴射量を決める必要がある。しかし，実際には**図3**に示すように，熱線式空気流量センサ(以下，エアフローセンサと言う。)の応答遅れ，行程遅れ(センサで流量を検出してから実際に空気がシリンダに流入するまでの時間)，吸気管を流れる空気の慣性による過給効果などにより，センサで検出した空気量とシリンダに流入した空気量とは一致しない。また，インジェクタが噴射した燃料量と実際にシリンダへ流入する燃料量も，吸気管内壁面への付着，気化などによって一致しない。

そこで，空気吸入系と噴射された燃料の挙動を**図4**に示すようなモデルで表し，これに基づいてシリンダ内に流入する空気量と燃料量を正しく推定するモデル規範型制御方式を開発し，空燃比制御幅を従来の半分以下の±0.5以内に制御できた[1]。エアフローセンサの応答遅れに対しては進み補償を行い，慣性過給の影響は吸気管内圧力推定値とエンジン回転数から推定する。また燃料系の液膜補償は，蒸発時定数と付着率をパラメータとして計算する。

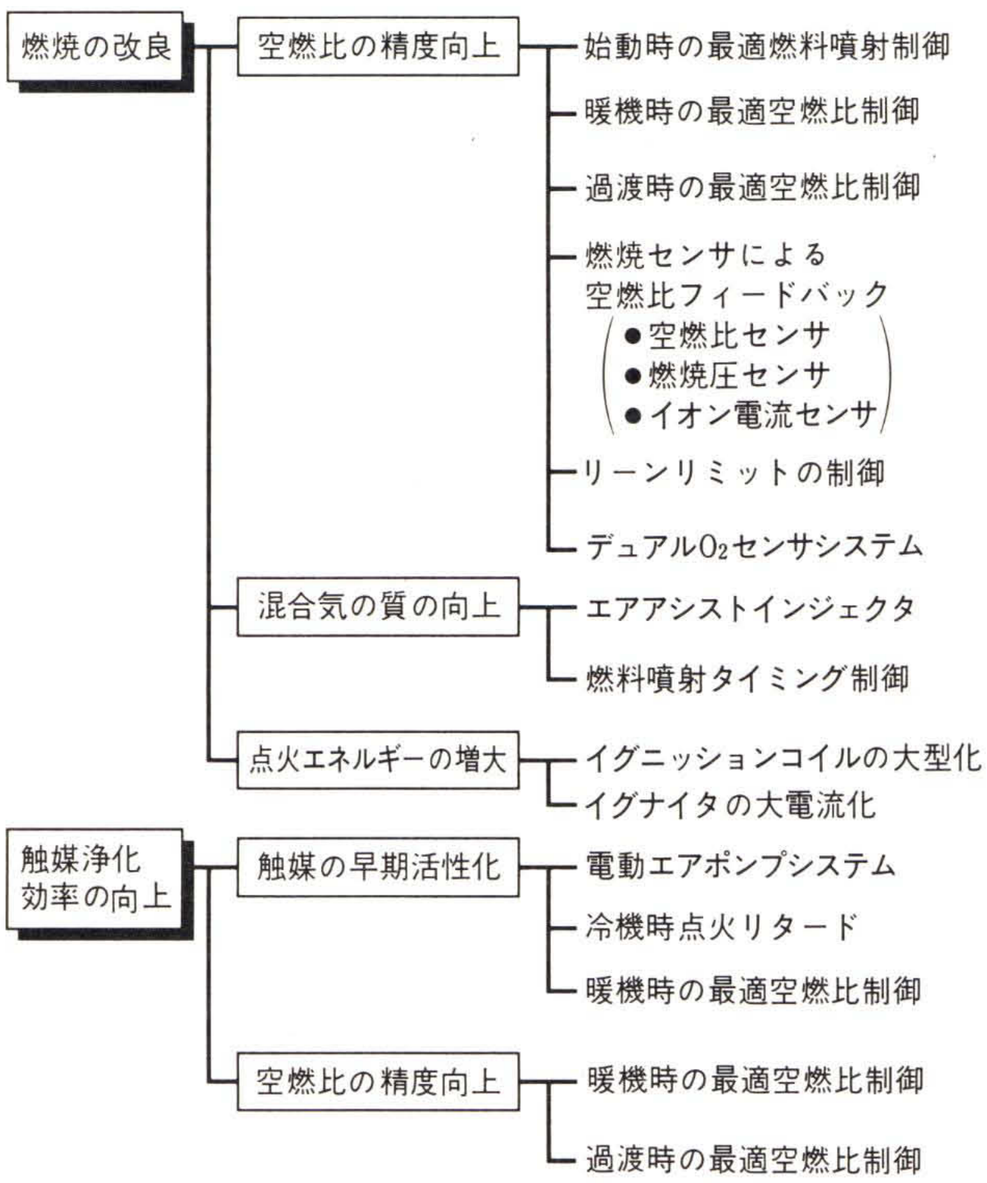


図1 排出ガス規制対応技術
排出ガス規制に対応するための制御技術の体系を示す。

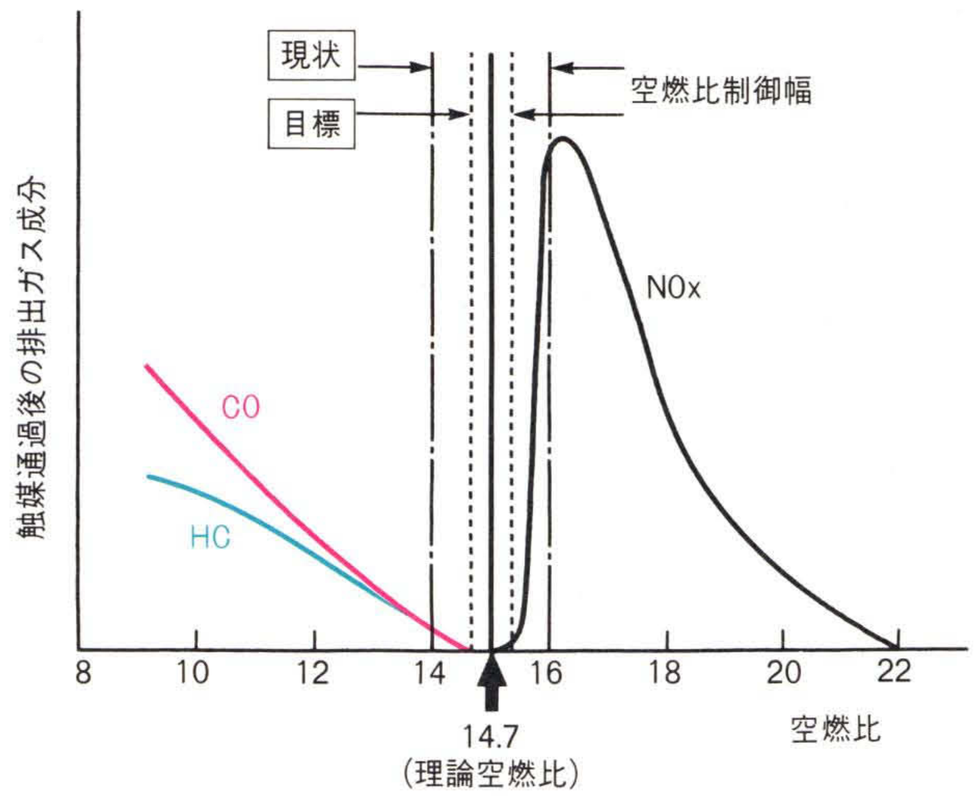


図2 三元触媒の浄化効率
空燃比が14.7近傍で触媒の排出ガス浄化効率は最大となる。

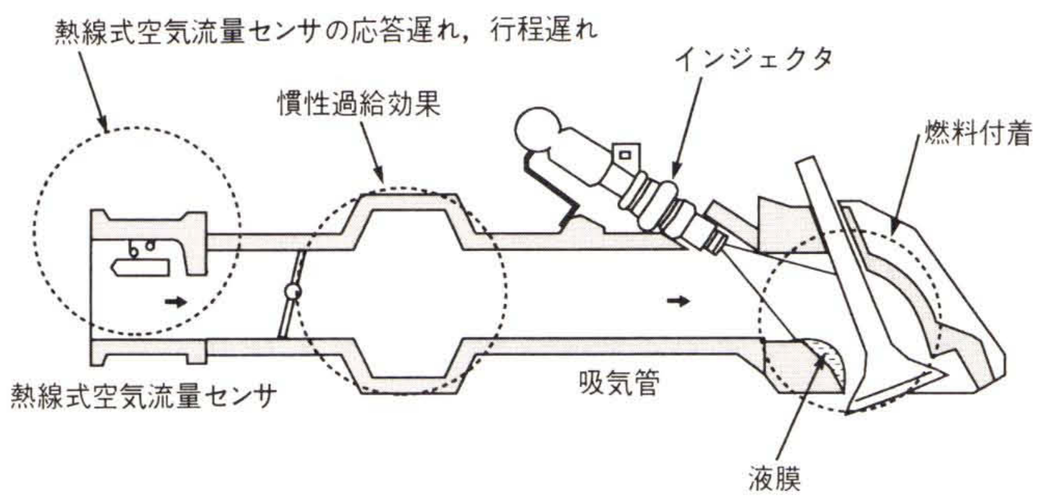


図3 燃料噴射系の模式図
空燃比を精密に制御するためには，空気の流入遅れや燃料の吸気管への付着などの影響を正確に把握することが必要である。

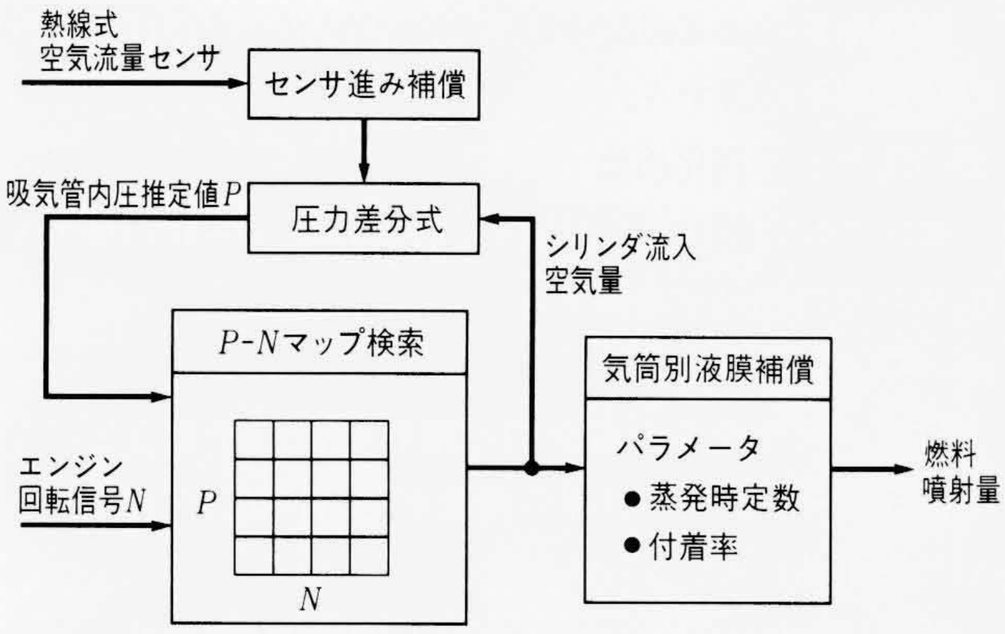


図4　燃料噴射系の制御モデル
空気系と燃料系をモデル化して，真の空気量と燃料量を推定する。

この結果，**図5**に示すようにFTP(Federal Test Procedure)モードでCOを13%，HCを25%それぞれ改善することができた。

燃料噴射系の動特性をモデル化したことにより，実験は基礎データの採取だけでよく，最適なパラメータの設定はコンピュータ上で行えるため開発工数を低減する効果もある。

3　燃費向上技術

3.1　ディジタルノック検出方式

エンジンの点火時期を最適に制御することにより，燃焼効率と燃費の向上が図れる。そのため，異常着火であるノッキングを検知して，点火時期を最適に制御するノック制御が従来行われている。今回ノッキングをより正確に検知する方法として，ディジタルノック検出方式を開発した[2),3)]。

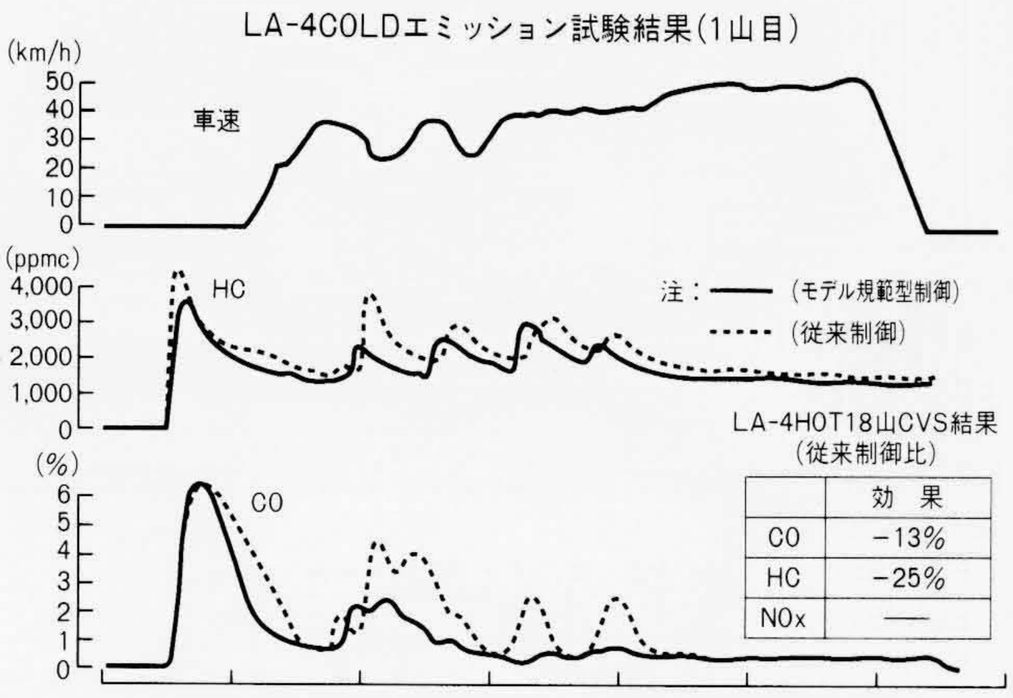


図5　空燃比精密制御の効果
FTPモードでCOを13%，HCを25%それぞれ改善できた。

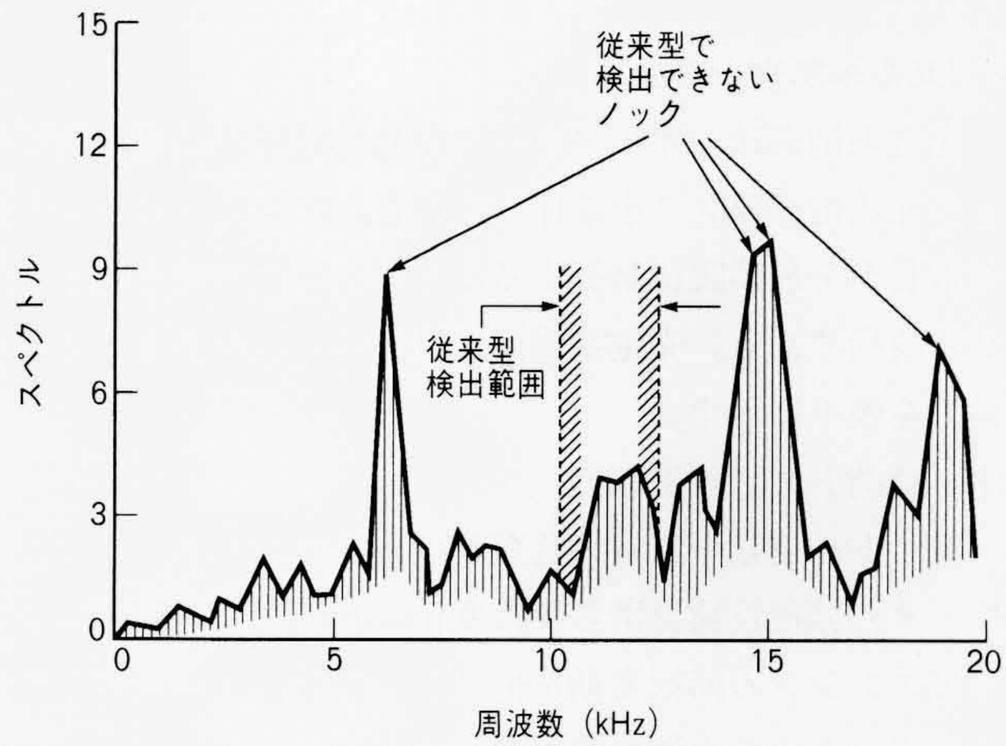


図6　ノックの周波数分析と従来のノック検出の問題点
従来のノック検出方式は，複数のノック周波数成分のうち特定周波数しか検出できなかった。

ノッキング発生時のシリンダブロックの振動には，複数の共鳴周波数成分があるが，従来はそのうちの特定周波数成分だけを用いてノッキングを検出していた(**図6**参照)。

これに対しディジタルノック検出方式は，シリンダブロックの振動をリアルタイムで周波数分析し，その結果から複数の周波数成分に基づいてノッキングを判定するものである。高度な演算処理は高性能マイコン(日立H8/330)の採用によって実用化した。

ディジタルノック検出方式によってノック検出能力は従来に比べ1.5倍に向上し，燃費低減が図れた(**図7**参照)。

また，これに用いられるノックセンサは筒内圧センサでなく，従来使用されてきた圧電式ノックセンサを用い

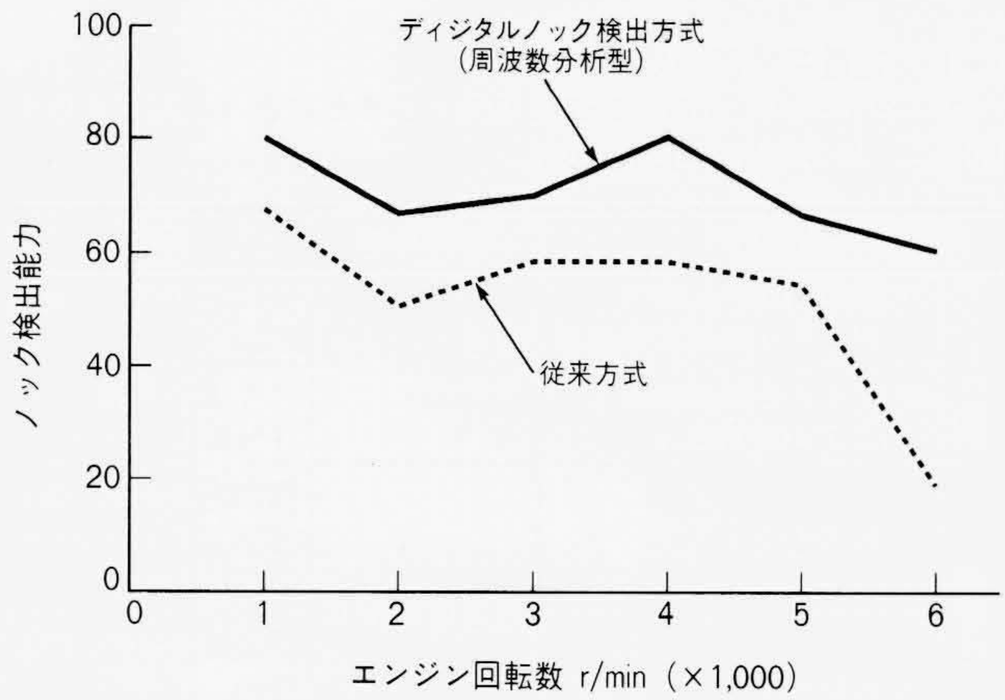


図7　ノック検出率の比較
従来方式とディジタルノック方式のノック検出能力の比較を示す。複数の周波数成分を用いる後者のほうが優れた検出能力を示す。

ている。

3.2充電系制御システム

充電系制御は，オルタネータの発電電圧を最適に調整して充放電バランスを確保しながら，エンジンに与える発電負荷を最小限に制御することによって燃費を向上させる技術である。充電系制御には次の二つがある。その効果を**表1**に示す。

(1) 負荷トルク漸増制御

アイドル運転中に電気負荷が投入されたとき，オルタネータの発電負荷を滑らかに変化させる。この制御によってエンジンの回転変動を抑制し，アイドル回転数を低く設定できるため燃費向上が図れる。

(2) 可変電圧制御

運転条件に応じて発電電圧を最適に制御する。この制御により，バッテリの化学反応熱として損失となる余剰発電を防止し，燃費向上が図れる。

4 オンボード診断技術

米国カリフォルニア州のCARB(California Air Resources Board)は，従来診断内容を大幅に強化したOBD-Ⅱ規制を1994年型車から実施した。日立製作所は1994年型車での規制内容を満足したシステムを開発し，1994年1月から製品化した。

OBD-Ⅱ対応エンジン制御システムを**図8**に示す。診断方法の概要について以下に述べる。

(1) エンジンの失火状態検出

エンジンの回転角速度変化を評価し，エンジンの失火状態を検出する。

(2) 触媒劣化検出

触媒前後の酸素濃度を評価し，排出ガスを浄化する触媒の機能を診断する。

(3) O_2センサ劣化検出

センサの応答特性を評価し，空燃比フィードバック用O_2センサの機能を診断する。

(4) エバポフロー診断

キャニスタからの混合気の流量を評価することにより，キャニスタパージ系の機能を診断する。

(5) 燃料系システム診断

空燃比学習値を評価し，燃料系の機能を診断する。

(6) 排出ガス関連部品の診断

電気的な接続状態を評価することにより，排出ガスに影響を与える関連部品の診断を行う。

(7) MIL(Malfunction Indicator Light)

検出された故障の状態によってMILを点灯する。

(8) GST(Generic Scan Tool)

検出した故障の状態を表示するためのツールに，故障の内容を出力する。

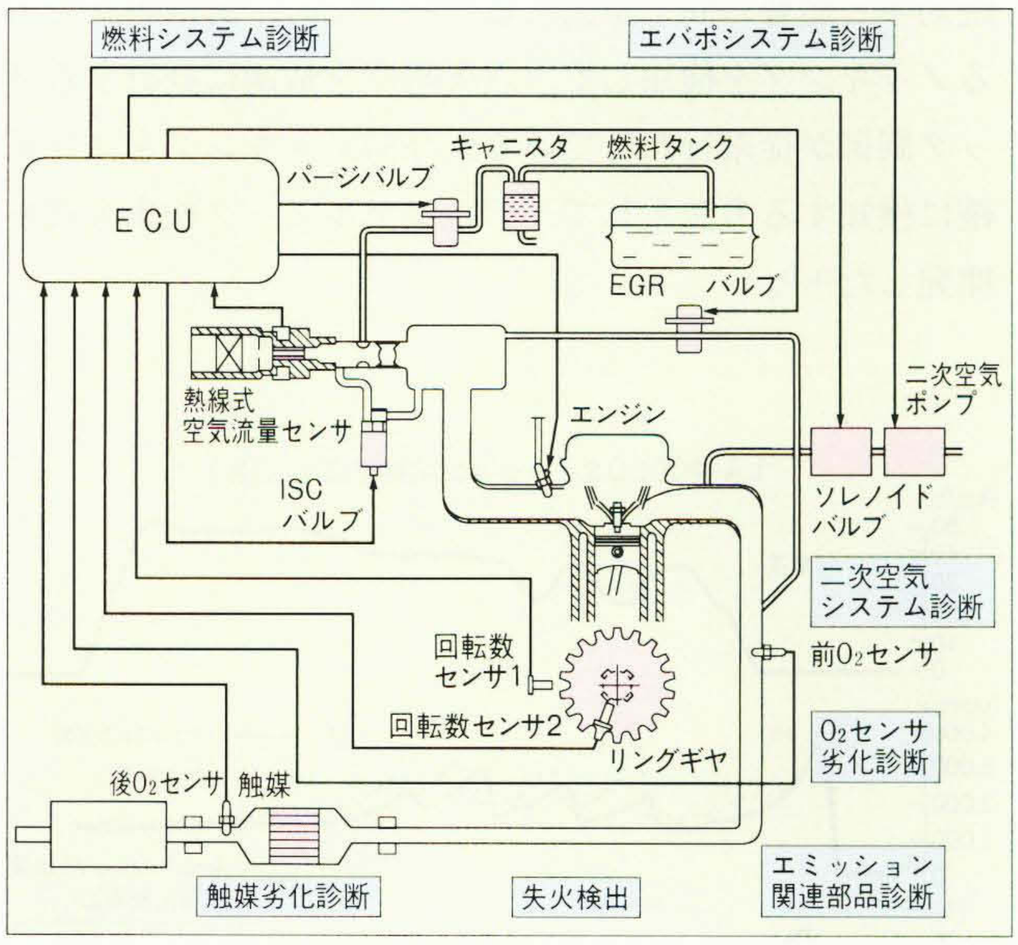
5 運転性向上技術

運転性は人間の感性に訴える部分であり，運転者や用途などで好みが異なる点に対応の難しさがあるが，運転性向上は車の商品性にとって重要である。このため，一

表1 充電系制御の効果

オルタネータの発電を最適に制御することによって回転変動を抑制し，かつ燃費の向上を図る。

制御目的		制御内容	効果
アイドル回転	(1) 電気負荷外乱時のアイドル回転変動低減	負荷トルク漸増制御	回転落ち75 r/min低減
	(2) アイドル回転数低下による燃費向上		アイドル燃費2～3%向上
運転性	(1) 加速性向上	可変電圧制御	回転応答時間0.09 s短縮(アイドル→4,000 r/min)
	(2) 始動性向上		回転応答時間0.07 s短縮(400→1,000 r/min)
燃費向上		可変電圧制御	燃費向上0.5～1.6%(LA-4CHモード)



注：略語説明

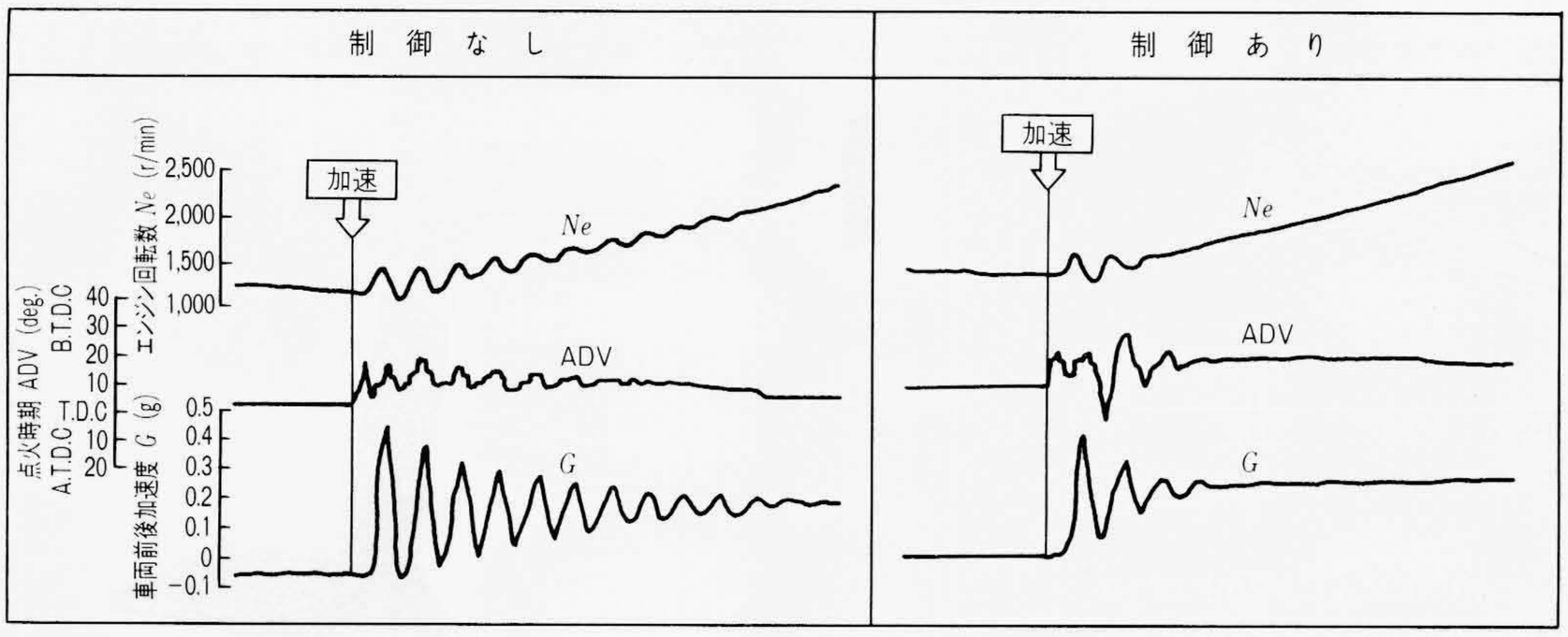
ECU (Engine Control Unit ; エンジン コントロール ユニット)

EGR (Exhaust Gas Recirculation ; 排気還流)

ISC (Idle Speed Control ; アイドル回転数制御)

図8 OBD-Ⅱ対応エンジン制御システム

最小限のセンサ追加によってOBD-Ⅱ機能を実現している。



注：略語説明
Ne〔エンジン回転数(r/min)〕
G〔車両前後加速度(g)〕
ADV〔点火時期(deg.)〕

図9　アクティブ点火時期制御の効果(1)
加速時の車両前後加速度を抑制することにより，滑らかな加速感が得られる。

定速走行時に車両が前後方向に振動するサージ，加速時のもたつき，息付き，アイドル運転時のエンジン回転変動などを解決することが重要である。

一定速走行および加速時のサージの原因は，燃焼の変動やトルクの急変によって引き起こされる駆動系のねじり振動である。前後方向の振動の主成分は，10 Hz以下の低周波振動であり，人間が最も敏感な振動域と重なる。

アイドル運転時のエンジン回転変動の原因は燃焼の変動に起因するものであり，車体やステアリングを振動させる。

そこで，一定速走行および加速時のサージや，アイドル運転時の回転変動を防止して静粛性を確保することを目的として，アクティブ点火時期制御方式を開発した。

これは，エンジン回転数の変動をきめ細かくとらえ，点火時期を回転上昇時は遅くし，下降時は早くすることによって回転変動を抑制するものであり，**図9**，**10**に示すように車両前後方向の振動(G)やエンジン回転数の変動幅を抑えることができた。

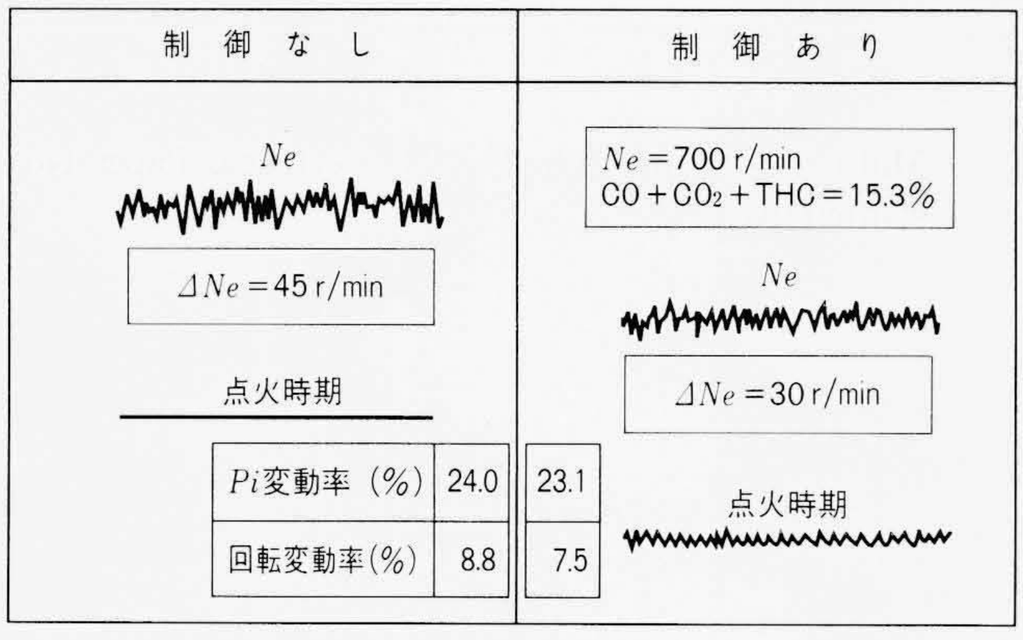


図10　アクティブ点火時期制御の効果(2)
アイドリング時の回転数変動を抑制することにより，安定したアイドリングが得られる。

6　エンジン コントロール ユニット

以上述べたような新しい制御方式をエンジン コントロール ユニットとして実現するためには，半導体技術，高密度実装技術，シミュレーション・解析技術などが必要である。また，コントロールユニットの製造工程そのものも環境保全を考慮したものにする必要がある。

6.1　マイコンの高性能化

日立製作所は1979年から8ビットマイコンを用いたエンジン コントロール ユニットを生産し，1992年から16ビットワンチップマイコン(日立H8/500シリーズ)を採用した。これにより，CPU，I/O，メモリの3 LSIがワンチップに集積化でき，また，演算処理能力も約10倍と飛躍的に向上して大規模かつ複雑な制御に対応できるようになった。

エンジン コントロール ユニットでのCPU，メモリ，および周辺I/Oの集積度は**図11**に示すように，およそ10年間で4～5倍になっている。今後もこの傾向は続き，要求機能・性能は増大してさらに高性能のマイコンシステムが必要になると思われる。そのため，現在の16ビットマイコンシステムに加え，さらに上位の32ビットRISC (Reduced Instruction Set Computer)のマイコン(日立SHシリーズ)を採用した次世代型システムの開発を推進中である。

6.2　高密度実装

コントロールユニットは機能・性能を拡大しながら，自動車の居住空間の拡大や，自動車1台当たりに使用されるコントロールユニットの台数の増加に応じて，サイズは小型化しなければならない。日立製作所は，表面実装を主体とする高密度実装技術により，エンジン コントロール ユニットのダウンサイジングを進め，1987年に体積比で従来の60%(当社比)，さらに1992年には同45%に

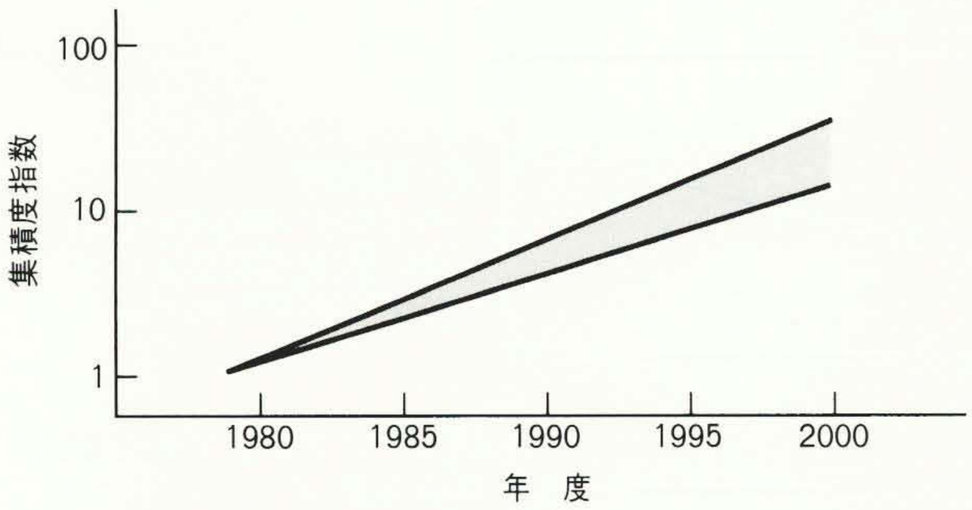


図11 半導体集積度の推移
エンジン コントロール ユニットに使われる主な半導体(LSI)の集積度(使用トランジスタ数)を，1979年を1として表したもので示す(1995年以降は予想値)。

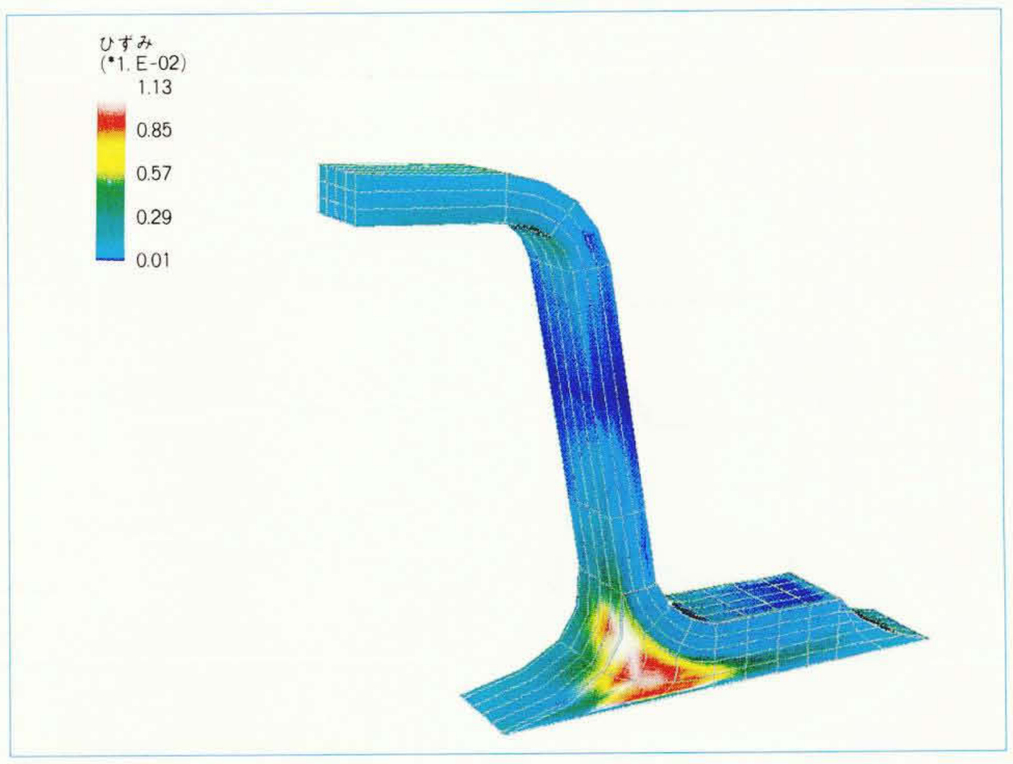


図12 CAE解析例
QFPをプリント基板にはんだ付けした場合の熱膨張による応力解析を行った例を示す。

小型化した製品を開発した(15ページの写真参照)。

将来はさらに小型化が促進されるとともに，エンジン室内への搭載も多くなると思われ，こうした要求に対応できる小型・高信頼性コントロールユニットの開発も進めている。

6.3 信頼性設計技術

コントロールユニットの小型・高密度実装設計でCAE解析などのシミュレーションは欠かせない技術である。日立製作所はパワー素子の発熱・放熱解析，電子部品のリード部やコントロールユニットの車体取付構造部の振動解析，はんだ付け部の応力解析および寿命推定などの各種シミュレーション・解析によってコントロールユニットの信頼性設計を実施している。QFP(Quad Flat Package)のはんだ付けの信頼性解析を行った例を**図12**に示す。

6.4 無洗浄技術

地球環境保全のためにはコントロールユニットの製造技術も環境保全に適合したものでなければならない。日立製作所はオゾン層保護のため脱フロン対応の無洗浄技術を確立し，エンジン コントロール ユニットのプリント基板実装工程での無洗浄化を1993年10月から実施した。

7 おわりに

ここでは，環境保全と自動車の性能向上との両立を図るエンジン制御技術とエンジン コントロール ユニットについて述べた。これらの技術は，排出ガス浄化，低燃費化，運転性向上などに大きく寄与している。

日立製作所は今後さらに，スロットルの電子制御やトランスミッション制御も含めたパワートレインの総合制御，リーンバーン(希薄燃焼)エンジン制御などのシステム開発と，それに対応した高性能・高信頼性コントロールユニットの開発を推進し，自動車の発展を通じて社会に貢献していく考えである。

参考文献

1) 日経メカニカル：pp.61～63(1992.3.30)
2) 日経メカニカル：pp.82～83(1991.5.27)
3) M. Kaneyasu, et al.：“Engine Knock Detection Using Multi-Spectrum Method” SAE Technical Paper No. 920702(1992)