

半導体応用特集

自動車における半導体の応用……………	53
電子式卓上計算機用半導体の進歩—これまでの歴史と今後のすう勢—……………	59
民生機器用リニアICの最近の進歩……………	65
家庭用電気品における半導体の応用……………	72
半導体ディスプレイの進歩と応用……………	78

自動車における半導体の応用

Recent Semiconductor Applications in the Field of Automotive Electronics

乾 知次* Tomoji Inui
 谷上隆彦* Takahiko Tanigami

Advanced semiconductor components of today are finding various new applications in the field of automotive electronic control partly due to the pressure of regulations governing exhaust gas and safety of driving.

Electronic devices using semiconductor components are discussed from the viewpoints of service condition, reliability and cost.

Packed diodes used in most Hitachi alternators have been proved highly reliable at high temperatures. Also, compact IC voltage regulators built in some of the Hitachi alternators have remarkably simplified the installation and inspection of the charging system.

Three different types of electronic ignition systems are in use. The first one has been developed as a maintenance-free car ignition system. The second plays an important part as racing engine ignitor, and the third is for the ignition of motor cycles, snow skis, and outboard engines.

Electronic anti-skid modules, transmission control systems, automatic car speed controllers, and various sensors are also described.

1 緒 言

ゲルマニウムトランジスタに始まる半導体技術の著しい進歩に刺激されて、自動車電装品にこれを応用しようとする試みは早くから行なわれ、すでに多くの成果を得たばかりでなく今後ますます広範な応用が予想されている。特に自動車が従来果たしてきた諸機能のほかに最近求められている排気や安全性に関する改良のためには、半導体による制御を用いなければ困難なものも多く、この面からも自動車への半導体応用が急速に進展しつつある。

自動車に半導体を応用する場合、自動車が輸送機械であるために機械量→電気量、電気量→機械量なる変換のためのトランスジューサやアクチュエータの役割もきわめて重要であり、システムとしての開発が必要であるが、ここでは主として電子装置について述べる。なお音響機器については別稿に譲ることとする。

2 自動車への半導体応用の経過

自動車への半導体応用は個々の分野で早くから始められており、2輪車の充電整流用セレン整流器やアメリカにおける4輪車用交流発電機の酸化銅整流器は昭和30年ごろから生産されているが、現在取り扱われているようなシリコンダイオードやトランジスタが生産されるようになったのは昭和40年ごろからである。

生産品として用いる時期や数量は、国別やメーカー別で異なるので一概に比較はできないが、一応本格的生産の行なわれた経過をおもな半導体応用品について示すと図1のようになる。

シリコンダイオードによる交流発電機の生産化は、当時最も困窮していた都市における自動車蓄電池の充電不足の問題を一挙に解決して今日の信頼できる充電システムをもたらしたも

のである。いずれにせよ一つ一つが大きな意義を持っているが、日立製作所は最近の開発品ではアメリカとほぼ同じ時期に生産には入っていることがわかる。

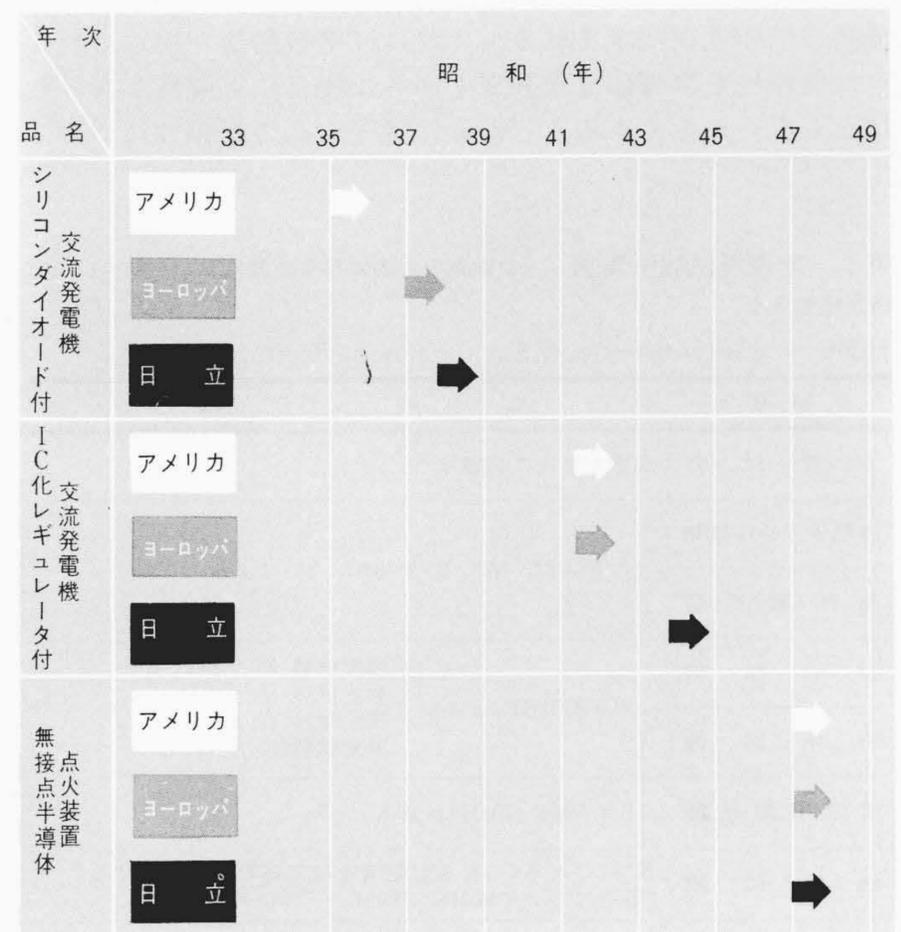


図1 半導体応用品の生産化経過 自動車に本格的に採用された半導体応用品の生産時期を示す。

Fig. 1 History of Production of Automotive Electronic Products

*日立製作所佐和工場

3 自動車における半導体応用上の諸問題

半導体電子装置を用いることにより、無接点固体化による信頼性の向上、小形軽量化、高精度制御など画期的な改良がもたらされるが、一方で自動車という適用対象の持つ特殊な条件に適合して使用できるよう半導体電子装置を十分検討することが必要なので、以下これについて若干述べることにする。

3.1 耐環境性

自動車部品は、その周囲温度、湿度、降雨、降雪、浸水、振動などのさまざまな、きびしい条件に初期のみならず、長時間にわたり十分耐えねばならない。特に自動車が国際的商品として広く海外で使われることになるときわめて幅広い環境条件に耐えねばならない。半導体電子装置の遭遇する環境条件は、その取り付けられる場所により変化するばかりでなく、たとえば、自動車の排気対策のためにエンジン室にサーマルリアクタを取り付けたりすると、エンジン室の最高温度は従来の110°Cからさらに高くなると予想されている。なお耐環境性の試験条件としては表1の規格が用いられている。

一方、自動車の電子装置に関して無視できない問題として耐ノイズ性がある。これは自動車の電気系統が点火装置からの火花ノイズやホン、マグネットスイッチなどから発生する開閉サージを受けるため、この電気系統に接続される電子装置にこれが印加され、誤動作や素子破壊を起こす場合があるからである。耐ノイズ性の客観的な試験法を確立することはむずかしいが、一般的にはコンデンサを一定電圧で充電し、その電荷を電子装置の端子に印加する方法がとられている。

3.2 信頼性

自動車に用いるためには、半導体電子装置に対してきわめて高い信頼性が要求される。これは従来自動車が用いられていた信頼性を半導体電子装置を用いた場合にも確保しなければならないからである。しかるに電子部品の信頼性について

表1 耐環境試験一覧表 自動車用半導体電子装置に用いられている試験規格を示す。

試験項目	試験方法	
温度試験	周温を変えて試験する。	
冷熱サイクル試験	たとえば、MIL-STD202D, 883による。	
熱衝撃試験		
耐湿試験	JIS D0203による。 湿度試験 M ₁ , M ₂ 散水試験 R ₁ , R ₂ 噴水試験 S ₁ , S ₂ 浸水試験 D ₁ , D ₂ , D ₃	
耐水試験		
塩水噴霧試験		JIS C5028, Z2371による。
耐塵試験		塵埃(じんあい)を含む気流中にて運転して試験する。(塵埃についてはJIS Z8901)
振動試験	JIS D1601による。(1~4類 A, B, C, D種)	
落下試験	たとえば1mの高さからカエデ板上に自然落下させて試験する。	
耐候試験	紫外線に暴露して試験する。	
腐食ガス試験	腐食性ガスに暴露して試験する。	
耐久試験	温度、振動、製品の動作などを組み合わせ、プログラム耐久試験する場合が多い。	

故障率を計算すると意外に高くなる場合が多い。そのため一方においてシステムとしての信頼性向上の基本的検討を図るとともに、他方において故障モードの検討、部品のデレーティング(De-rating)その他のきめ細かい信頼性向上策をとらねばならない。

自動車の場合いわゆる環境係数としていかなる数値を用いるかはなお議論を要するが、われわれは自動車を想定したプログラム耐久試験装置により、実車にほぼ近い使用環境での耐久試験を机上で行ない、その故障率から環境係数の推定に努力しつつあるのが現状である。

3.3 コスト

半導体電子装置が従来の機械的システムの代替として用いられる場合は、後者が比較的長い間努力して低減されたコストになっている場合が多いので、半導体電子装置についても材料、製造両面からのコスト低減の努力が必要である。そればかりでなく、半導体電子装置により新しいすぐれた機能もたらされる場合でも、自動車という特異な需要に対応して新たなコスト検討が必要な場合がある。

以上述べた自動車用の半導体電子装置に課される条件は、いずれもきわめてむずかしいものである。しかし半導体およびその関連技術の進歩も著しく、結局上述の条件を満たしつついくつかの半導体電子装置が実用化されている。

4 自動車における半導体応用の現状

4.1 パック形シリコンダイオードとIC化レギュレータ

自動車の充電発電機がシリコンダイオードの出現により交流発電機方式に切り替わり始めてすでに10年を経過し、今や国内の車は大部分がシリコンダイオード付の交流発電機に切り替わっている。この切替へを促進させたものはパック形ダイオードであると言えよう。図2はパック形ダイオードの構造を従来形ダイオードと比較して示すものである。従来1個ずつ銅のケースに収容された後、馬蹄(てい)形の放熱フィンに圧入されていたダイオードは、パック形では3個ずつ単に1枚の放熱板の凹(おう)部に置かれて樹脂でコートされた後、2枚1組で組立配線されており、充電発電機組立作業にも取り扱いやすく改善されている。ダイオードチップはパッシベーションにより浸水に対しても良好な動作と耐久性を保つばかりでなく⁽¹⁾、パック品として放熱能力が向上している。パック形ダイオードは、充電発電機部品としてエンジンの激しい振動を受けるが、図3に示すような解析を重ねた結果十分な耐振性が付与されている。

エンジン回転数が大幅に変動しても充電発電機が一定電圧でバッテリーを充電するよう働く電圧調整器についても従来の接点式に代わり半導体応用のIC化レギュレータの開発によ

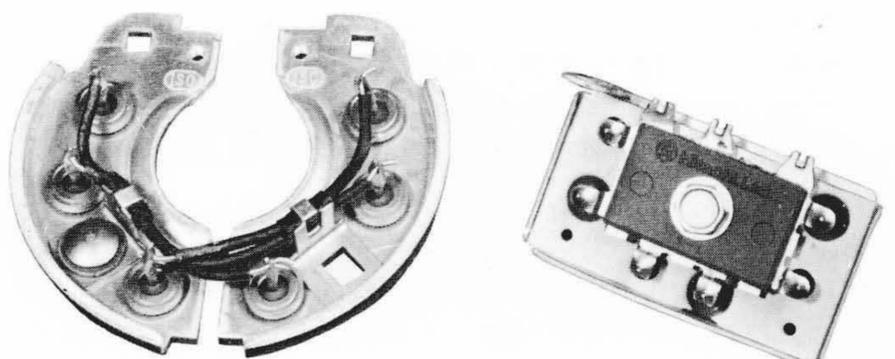


図2 従来形ダイオードとパック形ダイオード 従来形(左)、パック形(右)の構造の比較を示す。

Fig. 2 Conventional Type Diodes and Packed Diodes

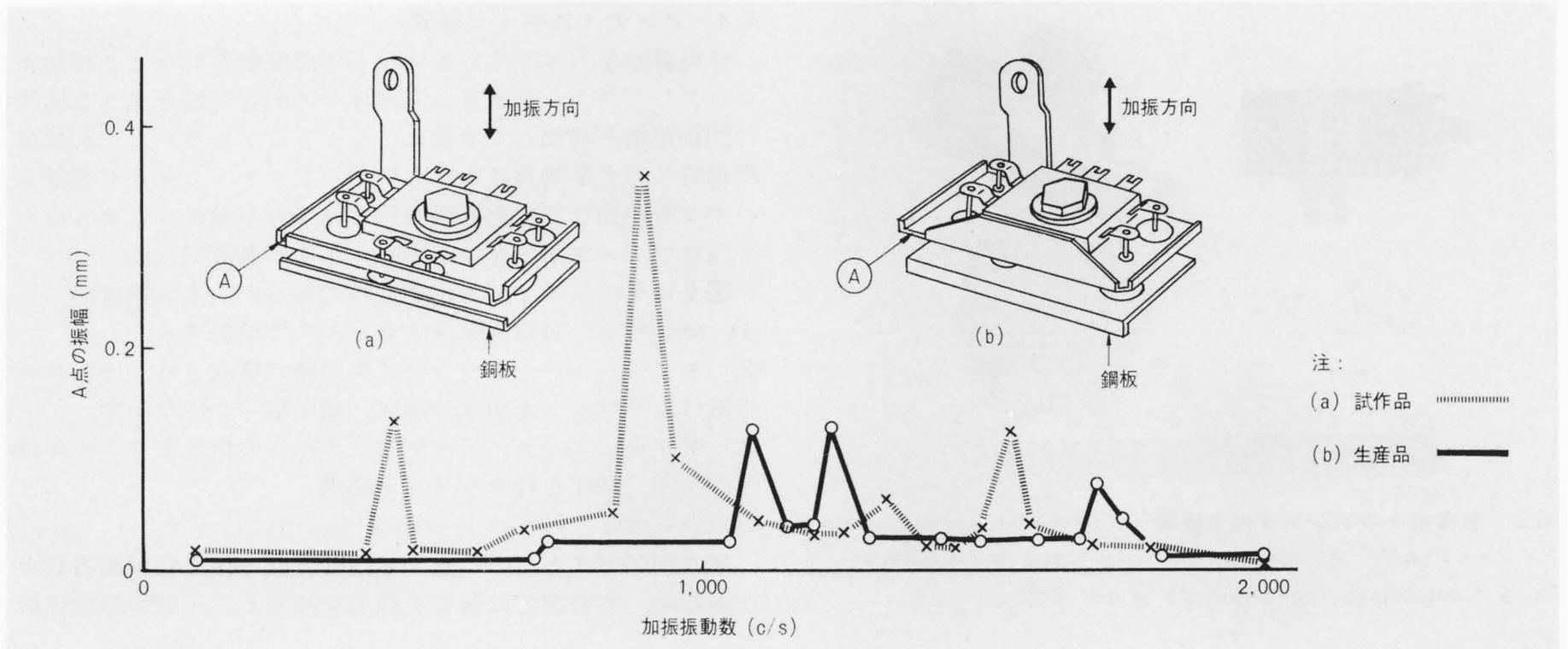


図3 パック形ダイオードの耐振性の改良 試作品(a)から生産品(b)では、加振時のフィンの振幅が低周波で大幅に低減された。

Fig. 3 Comparison of Rigidity between Prototype and Production Sample

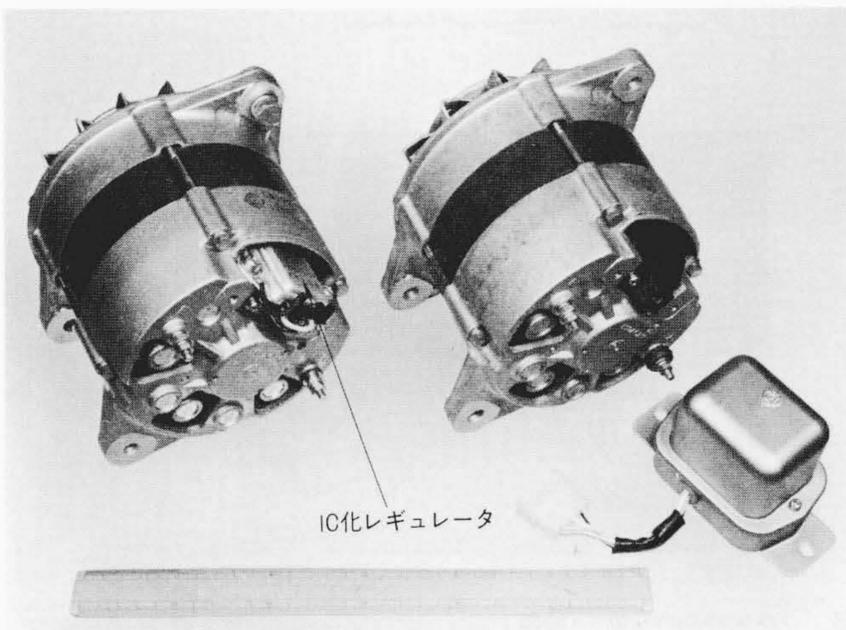


図4 従来の充電システムとIC化レギュレータ付交流発電機 従来の交流発電機と接点式レギュレータの組み合わせ(右側)が、IC化レギュレータ付交流発電機(左側)のように集約された。

Fig. 4 Comparison of IC Regulator built in Alternator with Conventional Charging Set

り大きな進歩が得られた。IC化レギュレータは電圧調整器を厚膜ハイブリッドICを利用して小形化したばかりでなく、図4に示すように充電発電機と一体化することにより車体配線の簡易化、誤配線の防止を図るとともに信頼性の向上、生産性の向上をねらったものである。日立IC化レギュレータは、交流発電機の整流出力電圧を検出し、内部のツェナーダイオードと比較し、その大小によりパワートランジスタを断続して界磁コイル電流を開閉し、一定出力電圧を得ている。本レギュレータは0~2,000Hz、20gの振動に耐え、-35~+110°Cの周温でも機能を失わぬ耐環境性を有しており、昭和44年から日立製作所が国内で初めて生産したものであり好評を得ている。(2)

4.2 半導体応用点火装置(3)

自動車において定期的に保守しなければならない部分として久しく考えられてきたディストリビュータの接点機構は、

高耐圧、高増幅率トランジスタの開発により無接点化、ソリッドステート化が可能となった。とりわけ排気公害改善のためには、接点機構の劣化により生ずる点火時期のわずかな変化や点火能力の多少の劣化も解消することが必要で、無接点化したトランジスタ点火装置がいつそそれらの要望にこたえている。

図5は、日立無接点トランジスタ点火装置のディストリビュータ、アンプリファイア、点火コイルなどを示すものである。ディストリビュータには永久磁石を用いた簡単なパルス発電機が内蔵されており、そのパルスで高耐圧パワートランジスタを制御し、点火コイルの一次コイル電流をしゃ断して過渡振動電圧を起こさせている。これを一種の昇圧変圧器である点火コイルで昇圧し、二次コイル電圧で火花を発生、点火する方式をとっている。無接点化することにより図6に示すように点火時期の微小な変動も少なくなり、点火用高電圧のサイクルごとの変動も減少し、点火装置の精度向上と排気の改善に役だっている。

一方、自動車の性能や耐久性を究極的に追求する分野としてレースやラリーがあるが、これは自動車電装品の技術的評価の面で重要な意味を有する。無接点ディストリビュータと組み合わせた日立コンデンサ放電形点火装置は、このレース、ラリー用として用いられ高性能とすぐれた耐久性により好評を得ている(4)(5)。図7に示すこのシステムは、急しゅんな立上りの高電圧を発生するばかりでなく、その波高値がエンジンの高速回転まで一定であり、低速から高速まで広範囲でエンジンの性能向上に有効である。

図8は、2サイクルエンジンを用いたオートバイ、雪上車、船外機用として最近広く使われ始めているフライホイールマグネットと組み合わせたコンデンサ放電形点火装置を示すものである。フライホイール効果を持った永久磁石発電機の発生する電圧を整流してコンデンサに充電し、これをサイリスタで点火コイルに印加して立上りの急しゅんな高電圧を発生させる方式であり、点火プラグがくすぶっても安定な火花を発生させる特長を有している。したがって、信頼性の高い点火システムを特に要望される雪上車や船外機では、本方式が好んで用いられている。

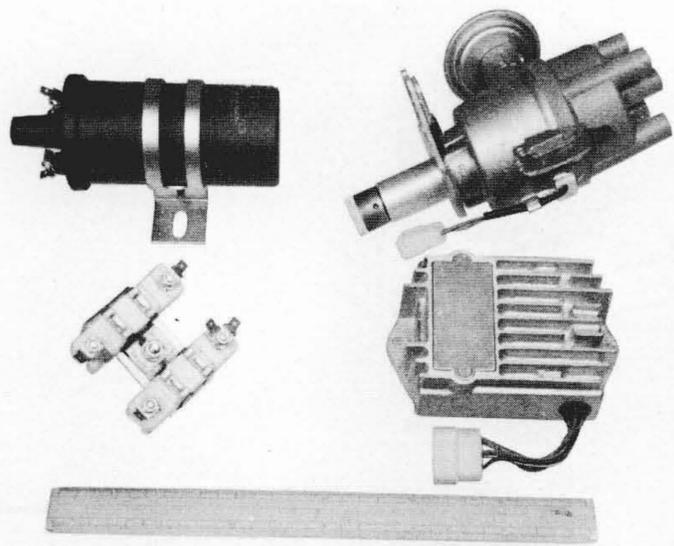


図5 無接点トランジスタ点火装置 ディストリビュータ(右上)アンプリファイア(右下), 点火コイル(左上), レジスタ(左下)をそれぞれ示す。
Fig. 5 Contactless Transistorized Ignitor Set

4.3 アンチ・スキッド装置

自動車がすべりやすい路面などで急制動を行なうと車輪がロックしてスリップを生じ、車体の方向安定性を失うと同時に制動距離が増加して事故につながることが多い。これは急制動時の過大制動力によるもので、アンチ・スキッド装置はいかなる路面状態で急制動を行なっても車輪がロックしないようにブレーキ油圧をコントロールする装置である。

図9はそのシステムを示すものであるが、本装置は、
(1) センサ……車輪回転速度をパルスで検出する。
(2) モジュール……トランジスタ回路で構成され、センサの情報によりブレーキ油圧の加圧、減圧信号を作り出す。
(3) アクチュエータ……モジュールからの信号でブレーキ油圧の加圧、減圧を行なうサーボ機構などから成る。

通常制御方式としては全4輪制御方式と後2輪制御方式とがあるが、本装置では後者を採用している。一般に摩擦係数

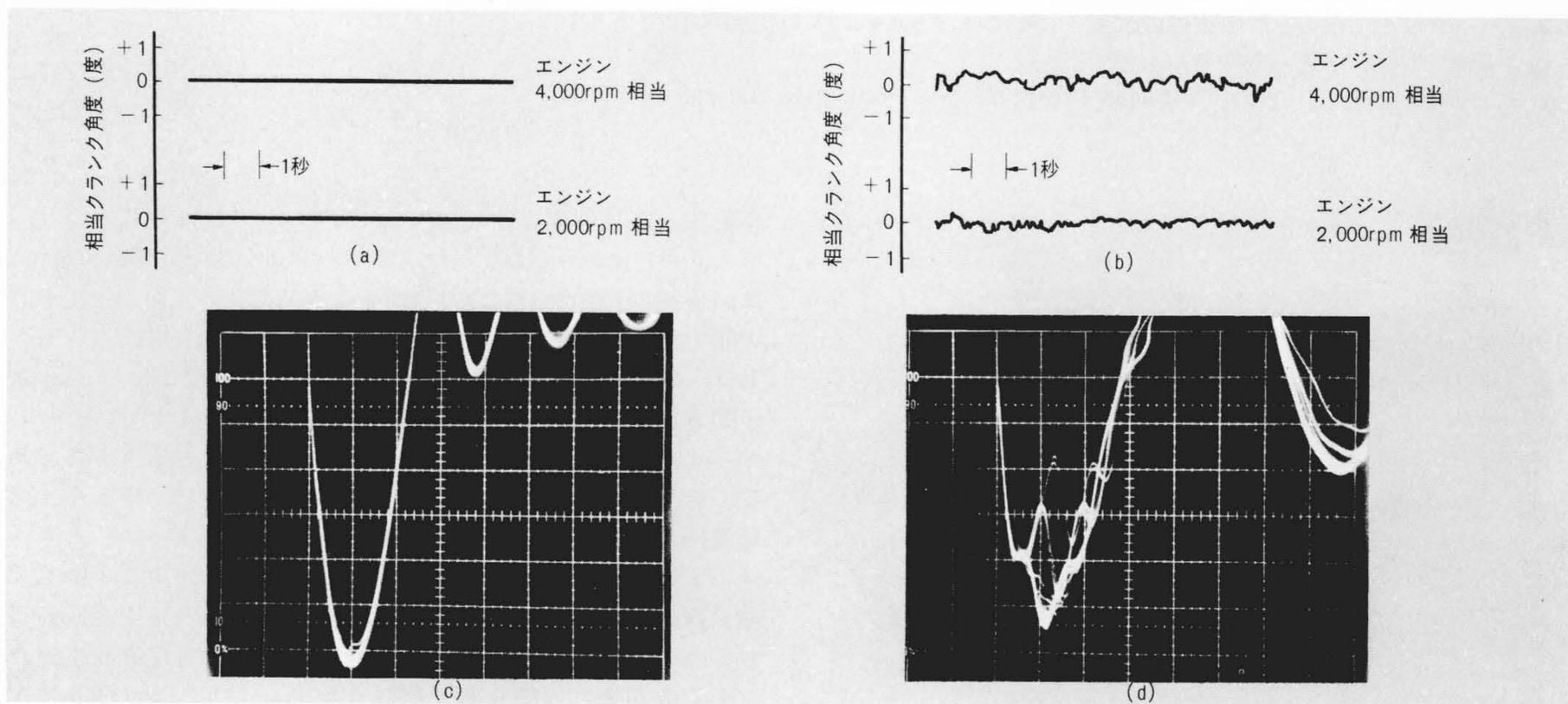


図6 無接点式, 接点式点火装置の点火時期変動および発生高電圧の比較 点火時期の変動:(a)無接点式, (b)接点式, 発生高電圧の変動:(c)無接点式, (d)接点式, 接点式ではサイクルごとの波形変化がある。

Fig. 6 Comparison of Timing Fluctuation and Wave Form Uniformity between Contact Type and Contactless Type Ignition System

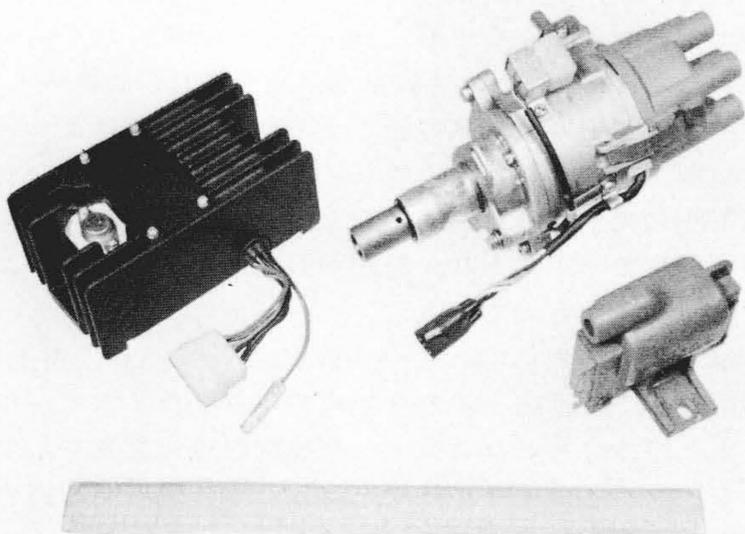


図7 無接点コンデンサ放電形点火装置 コンデンサ放電形点火装置(左), 無接点ディストリビュータ(中), 点火コイル(右)をそれぞれ示す。
Fig. 7 Contactless Capacitor Discharge Ignitor Set

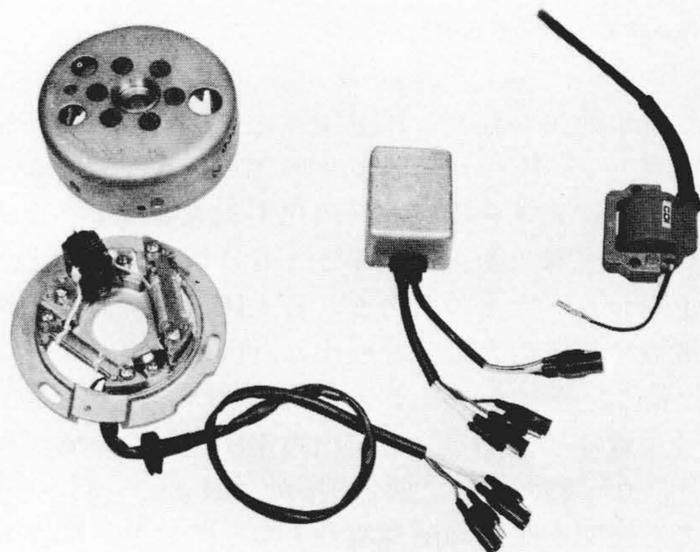


図8 無接点コンデンサ放電形点火装置付フライホイールマグネットセット 無接点フライホイールマグネット(左上, 左下)およびコンデンサ放電形点火装置(中), 点火コイル(右)をそれぞれ示す。
Fig. 8 Fly Wheel Generator With Contactless Capacitor Discharge Ignitor

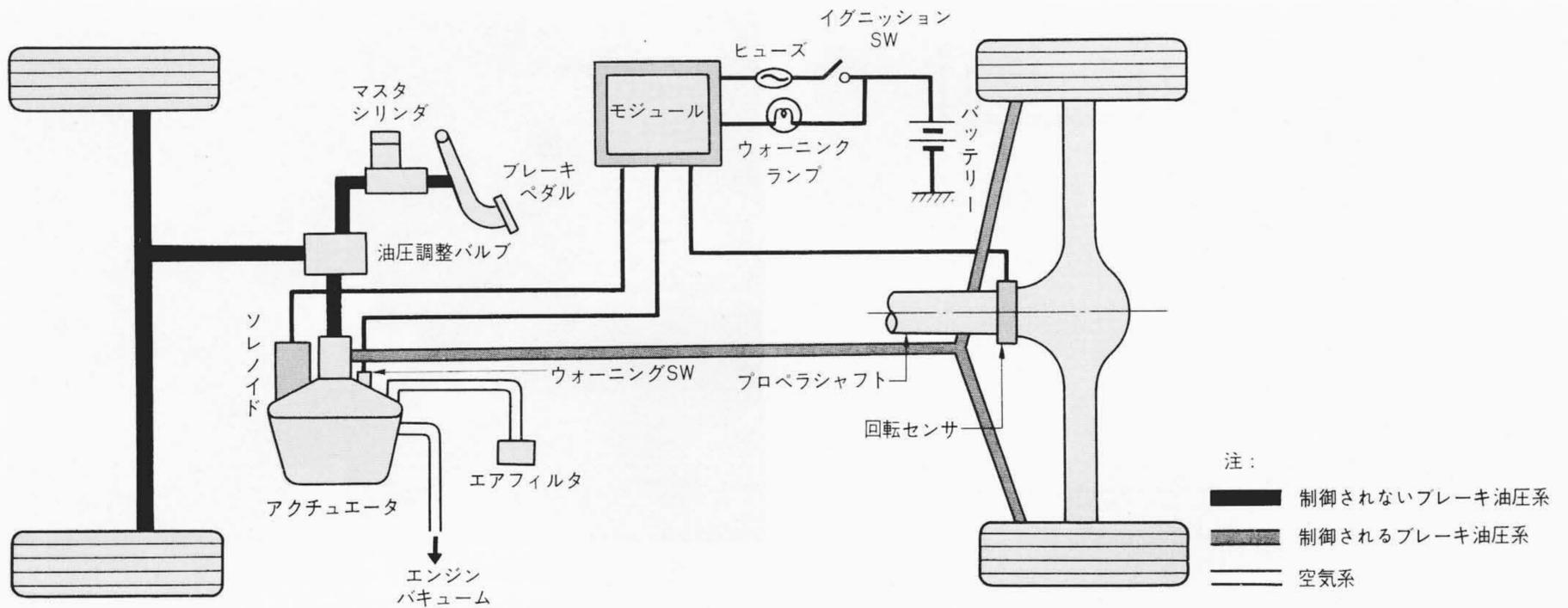


図9 アンチ・スキッド装置のシステム構成 電気系および油圧系より構成されている。

Fig. 9 System Diagram of Anti-Skid Control

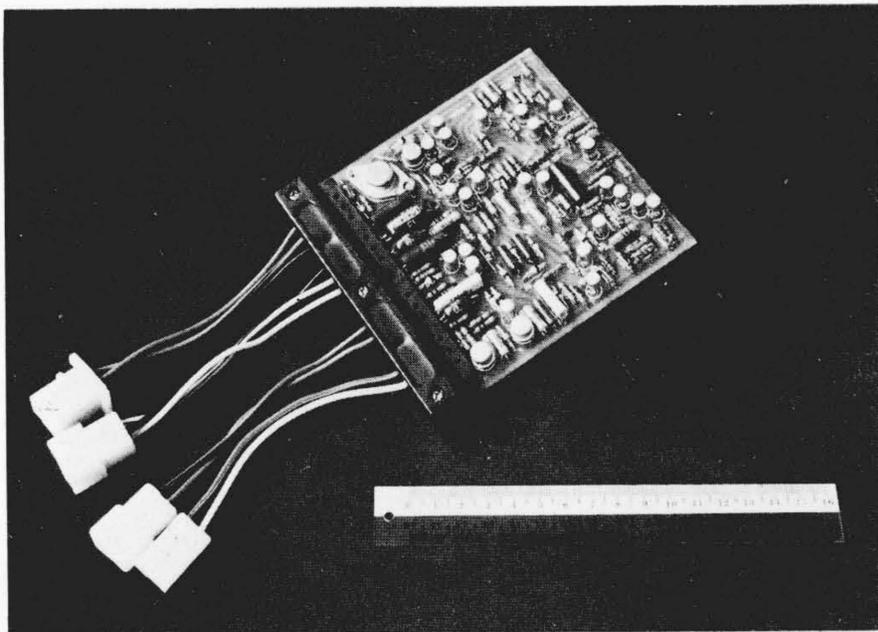


図10 アンチ・スキッドモジュール 約125個の電子部品より構成されている。

Fig.10 Anti-Skid Module

はスリップ率の関数として表わされ、進行方向の摩擦係数はスリップ率20%近辺で最大となり、また横方向はスリップ率が大きくなるに従って減少することが知られている。したがって本装置はスリップ率が約20%近辺になるようにモジュールよりON-OFF信号を出し、ブレーキ油圧を制御している。

さらに本装置は自動車の安全装置であるから、高信頼度が要求されることはもちろんであるが、万一故障したときのフェイル・セーフ機構として一定時間以上ON状態を続けると自動的に電源を切断し、機能を停止させるようにしてある。

図10は日立製作所で生産しているその制御装置を示すものである。

4.4 電子式自動変速制御装置

電子式自動変速装置は従来の油圧式自動変速機のうち、シフトポイントを決める機能を電子制御とするもので、次のような特長がある。

(1) エンジンの負荷状況、温度、あるいは道路の状況（平地か登坂路かなど）に応じてシフトポイントを適当に変えることができるので常に最適な状態で走行することができる。

(2) 電子回路で変速点を定めているので、正確な変速点が得られる。

(3) さらに多くの要素を情報として取り入れることにより理想的な自動変速機に近づけることができる。

自動変速制御はセレクトレバー“D”の位置で行なわれる。車速信号とスロットル開度信号がコントローラに加えられると、コントローラ内部では最適なギヤ位置を計算し、ソレノイドバルブ駆動論理回路により二つのソレノイドバルブを適当に組み合わせて必要なギヤ位置を選択する。シフトパターンはスイッチにより“LOW”、“MID”、“HI”のいずれかのパターンを道路の起伏、運転者の好みに応じて任意に選択することができる。図11はシフトパターンの一例を示しており、(a)は“LOW”パターン、(b)は“HI”パターンである。エンジン温度が低いときには、水温センサの信号により自動的に“HI”パターンがセットされる。その他、変速ショックを軽減するために油圧の切換えをしたり、車速とエンジン回転の同期をとるなどのコントロールも行なっている。

4.5 自動速度制御装置

自動速度制御装置は自動車を一定の速度で走行させる装置で、運転者の疲労軽減ひいては事故の防止に役立つもので次の特長がある。

- (1) 通常走行時オートセットボタンを押すことにより、そのときの走行速度で定速走行することができる。
- (2) セットボタンの操作により加速、減速が自由にできる。
- (3) 気化器への流入空気量が少ないのでエンジン性能への影響がない。

本装置の動作は、コントローラによりそのときの車速電圧と記憶された車速電圧との比較が行なわれ、その大小によりバキュームサーボのソレノイドを動作させ、アクセルを制御して車速を一定に保つものである。

4.6 各種センサ⁽⁷⁾

最後に自動車の制御用として開発しつつある半導体応用のセンサを図13に示す。図13(a)および(b)はサーミスタによる気温、水温センサである。同図(c)は高温用サーミスタセンサ、同図(d)は排気中の酸素濃度に応じた電圧を発生する酸素センサである。これらはいずれも排気制御システムの重要な部品として役だっている。

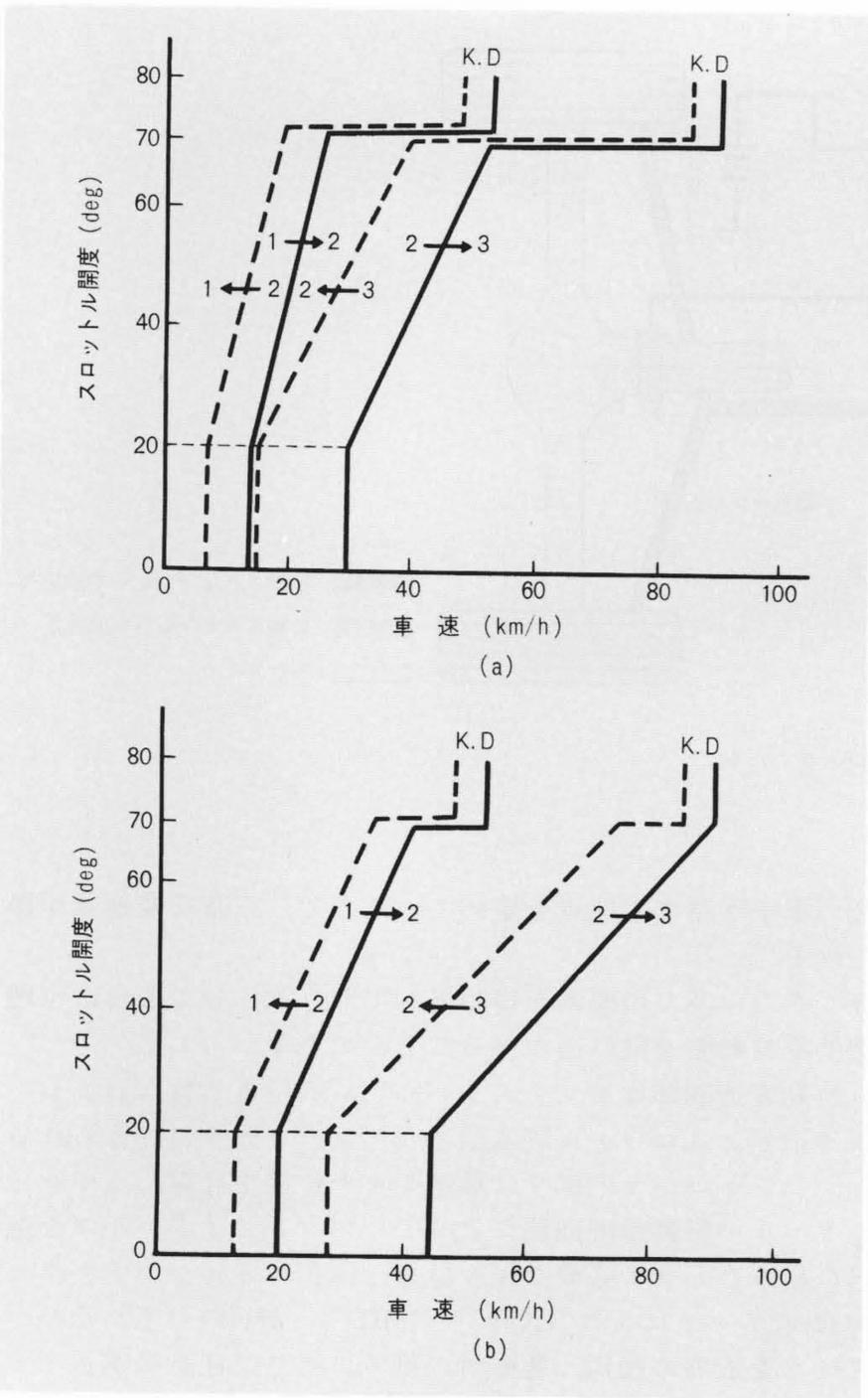


図11 シフトパターン シフトパターンの一例を示すもので、上が低速パターン、下が高速パターンである。(ニッサンサービスマガジンより抜粋)

Fig.11 Shift Pattern of Electronically Controlled Automatic Transmission

5 半導体の進歩とその応用開発の方向

半導体に関する技術はたえず進歩し続けており、リニアIC、CMOS (Complementary Metal-Oxide Semiconductor)、パワーIC、化合物半導体、ガンダイオードなどの豊富な部品がそろいつつある。もちろん自動車に用いるためには前述の諸条件に適合するように十分な検討を要するが、それにしてもこれらのすぐれた半導体部品が今後次々と自動車に用いられるに違いない。特に現在、社会的に重要問題となっている「自動車の排気・安全対策」のため、これらの半導体を応用することが必要となりつつある。日立製作所では前述の諸装置のほか、たとえば燃料の混合比、点火進角、排気処理の電子制御、シートベルトのインターロック回路の試作を進めている。電子計算機を利用したCAD (Computer Aided Design) や試験の自動化についても現在努力を重ねているが、これらは間接的に電子制御装置の開発を促進するのに役だっている⁽⁶⁾。

6 結 言

自動車における半導体応用に関して対環境性、信頼性、コストについて求められている特殊な要求と具体的に最近開発生産されつつある半導体応用品について述べた。

顧みると、自動車への半導体応用に関しては十数年前から

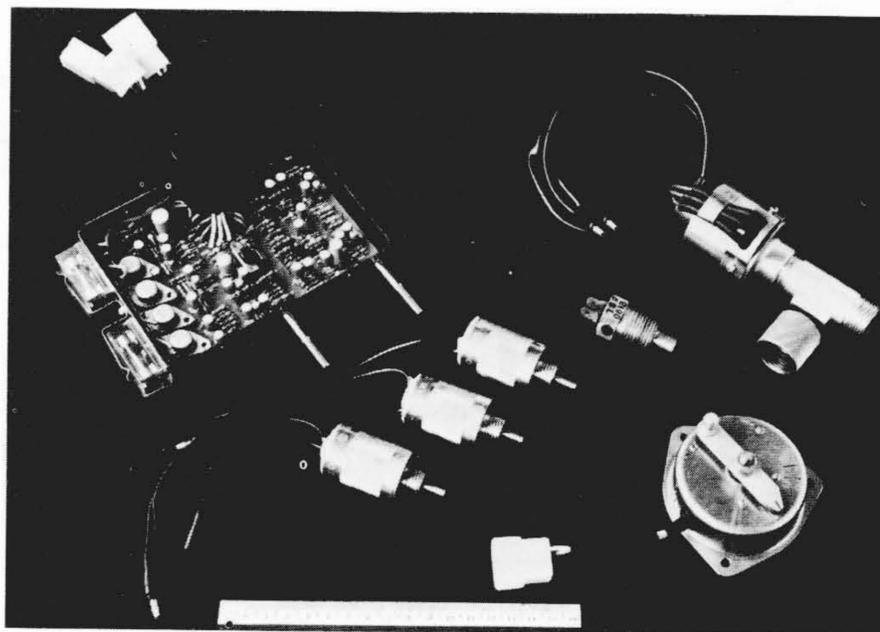


図12 電子式自動変速制御装置 左上コントローラ、左下ソレノイド、右上車速センサ、右中水温センサ、右下スロットルセンサから成る。

Fig.12 View of the Electronic Control Devices

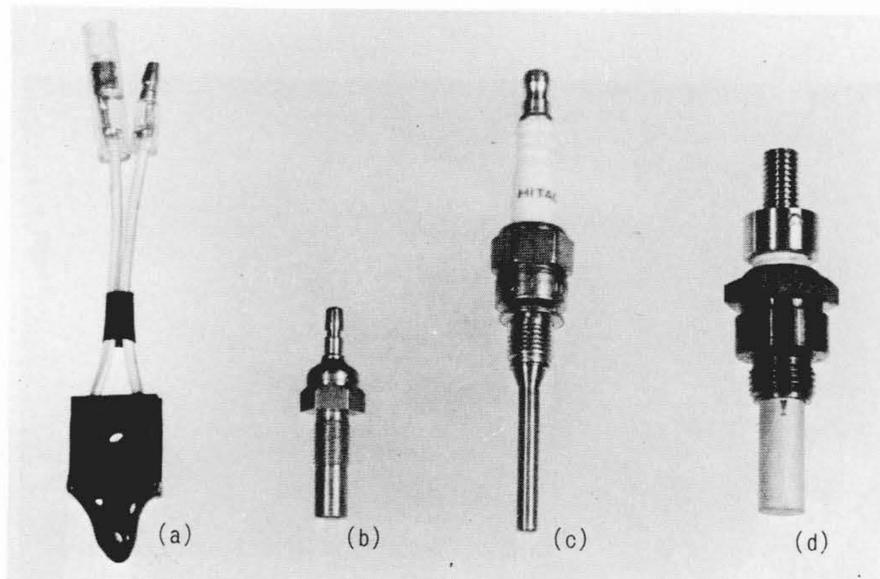


図13 自動車用センサ 自動車用センサの外観を示すもので、(a)気温センサ、(b)水温センサ、(c)高温センサ、(d)酸素センサの順である。

Fig.13 Sensor for Automobile

叫ばれており、シリコンダイオード、IC化レギュレータおよびコンデンサ放電形点火装置などに関しては一応の普及をみたが、より本格的な採用はなおこれからのように思われる。今後、日進月歩の半導体技術を吸収しつつ、たゆまず自動車への応用の可能性を追求してゆく所存である。

参考文献

- (1) 佐々木、池田、富田：「最近の汎用サイリスタ・ダイオードとその応用」日立評論 52, 275 (昭45-3)
- (2) 乾、直井：「自動車電装品用パワーIC」電子技術 p. 51 VOL.14, No. 1
- (3) 乾、須田、笹山：「電子技術のエンジンへの応用」自動車技術 p. 171 VOL.26 No. 2
- (4) 笹山：「新しいコンデンサ放電形内燃機関点火装置の開発」日立評論 54, 295 (昭47-4)
- (5) 峰岸、柿元：「ブルーバード1800レース用過給機付き機関」内燃機関 p.57 VOL.12 No.134
- (6) 中村：「安全、公害と自動車用エレクトロニクス」電気学会誌 92 818 (昭47-8)
- (7) 谷上：「自動車用各種センサ」自動車技術 VOL.25 No.11(1971)