

# 状態検知機能付自動車用バッテリーの開発

## New Designed Automotive AI Battery

大越哲郎\* Tetsuro Okoshi 山田佳史\* Yoshifumi Yamada 山田恵造\*\* Keizo Yamada  
曾根原理仁\*\*\* Masahito Sonehara 江守昭彦\*\*\*\* Akihiko Emori

実車モニタによりAIバッテリーの状態検知精度を検証した。AIバッテリー4年間の実車モニタの結果、電池形式や車種によらず、高い精度でバッテリー劣化判定が出来るという事がわかった。要交換までの平均使用期間は3年以上であり、当初想定していたバッテリー平均寿命と一致した。

部品点数の削減による電子回路部分の小型化を目的としてAIバッテリー専用ICを開発した。本ICは高信頼性の40V耐圧CMOSプロセスを採用し、AIバッテリーの特徴的な仕様である自動起動回路の安定化と静電気・ノイズ耐性を実現した車載用バッテリー状態判定用ICである。

It passed four years after introduction of original AI (Artificial Intelligence) batteries to the market and has inspected its precision of battery monitoring accuracy. According to field monitoring, it showed the AI battery can diagnose its state of health with high accuracy regardless sizes of battery and varieties of car. Average life diagnosed of monitoring batteries from selling to exchange accorded with the life of batteries calculated beforehand.

Another subject was down sizing with cost down. For the purpose of diminishing number of electric parts of devise, we have developed custom IC. 40-voltage with finer-pitch CMOS technology was applied. Automatic wake up function that is unique functions of the AI battery was stabilized considering its durability under static electricity and EMC conditions.

### 〔1〕 緒 言

充電量低下や劣化などによるバッテリートラブルは、JAF（社団法人日本自動車連盟）のロードサービス出動件数全体の約40%を占めている（2007年データ）。バッテリートラブルは、ユーザに不都合をもたらす。自動車メーカ、バッテリーメーカおよび自動車整備業者は認識を共有し、バッテリートラブルの対策に取り組む必要がある。

ユーザが充電量低下や劣化などのバッテリー状態を知ることができれば、バッテリートラブルの前にメンテナンスや交換といった対策をとることができる。この問題に対応するために当社は、状態検知機能付自動車用バッテリー、AIバッテリー《CYBOX》（以下、AIバッテリーと呼ぶ）を2004年に発売開

始した<sup>1)</sup>。

図1はAIバッテリーの外観写真を示す。AIバッテリーは、バッテリー状態を検知する状態判定装置を上面部に内蔵する。ユーザは上面に備え付けられたLED表示とブザーにより、バッテリー状態を知る事ができる。

AIバッテリー普及に向けては、状態検知精度が高く、誤診断がなく信頼性に優れるという実績の確保が必要である。この課題について、AIバッテリーの4年間の実車モニタ調査を実施し、状態検知精度を検証をした。

もう一つの課題は、低コスト、使いやすさといった普及性の達成である。AIバッテリー専用ICを開発し、状態判定装置の部品点数低減による小型化、低コスト化を検討した。

\*埼玉事業所 \*\*電池研究開発センター \*\*\*(株)日立製作所 日立研究所 \*\*\*\*(株)日立製作所 オートモーティブシステムグループ

〔2〕AIバッテリー状態検知精度について

2.1 AIバッテリー状態検知技術の概要<sup>1) 2) 3)</sup>

AIバッテリーは、充電状態を2段階（良好、要充電）、劣化状態を3段階（良好、要注意、要交換）で検知する。劣化状態の検知は、エンジン起動時の簡易等価回路を仮定し実施している。

図2はエンジン始動時の簡易等価回路を示す。エンジン始動ピーク電圧Vstは図中の式(3)で示している下記式で表される。

$$V_{st} = OCV \cdot R / (r + R)$$

ここで、OCV：バッテリー起電力、r：バッテリー内部抵抗、R：車両電気抵抗である。r、Rはそれぞれバッテリー形式、車両毎に異なる値をとるため、バッテリー搭載時のVstを測定し、バッテリー形式、車両毎のOCV-Vstマップを定義し判定している。

図3はバッテリーの各状態（要交換、要充電、要注意、良好）を区分するOCV-Vst線図を示す。Vst、OCVデータを測定し、温度補正した後、OCV-Vst線図を参照することでバッテリー状態を検知する。図3のOCV-Vst線図における要注意、要交換の境界線はバッテリー内部抵抗増加率r/r0（r0：初期内部抵抗）により計算される。要交換に相当するr/r0は1.32であり、市場でのバッテリーの平均的な劣化曲線から決

定している。バッテリー平均寿命は3年以上であるため、平均使用期間3年以上で要交換判定となる想定になっている。

2.2 市場モニタによるAIバッテリー状態検知精度の確認結果

AIバッテリー発売から4年が経過した。この間社員をモニタとして、搭載時からのバッテリー状態を経時的に追跡し、以下に示すバッテリー状態検知精度を確認した。

(1) エンジン起動時の簡易等価回路による劣化状態検知の妥当性・・・図2、図3に示すように、AIバッテリーではVstをr/r0の代用特性として用いている。Vstから求められるr/r0演算値とr/r0実測値の整合性を確認し、図2の簡易等価回路の妥当性を検証する。

(2) 要交換に相当するr/r0演算値で警報が出ているかどうかを確認する。

(3) バッテリー形式、車種によらない汎用性のあるアルゴリズムであるかどうかを確認する。

検証には履歴読み出し装置を使った。図4は履歴読み出し装置の外観写真を示す<sup>2) 3) 4)</sup>。履歴読み出し装置は、AIバッテリー内部の不揮発性メモリ（EEPROM）に蓄えられた履歴情報をLEDの点滅信号を介し、特殊センサで読み取る装置である。EEPROMに蓄えられる情報としては、Vst、OCV、最高温度、最低温度、平均温度、使用時間、稼働時間、エンジン始動回数、過放電時間がある。これらのデータは2週間毎に更新される。Vst、OCVは3ヶ月毎にEEPROMに追加、格



図1 AIバッテリーの外観  
Fig.1 Appearance of AI battery "CYBOX".

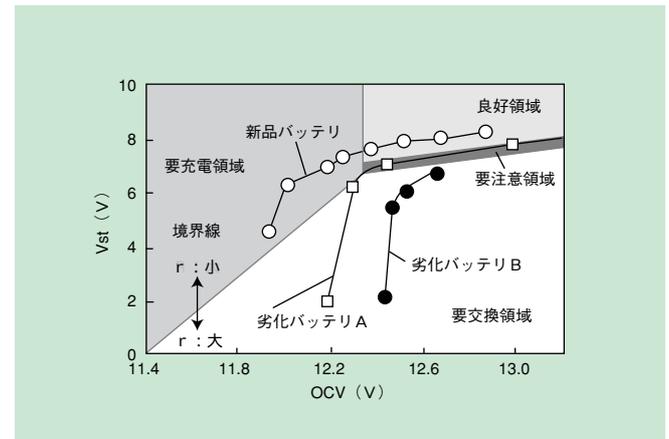


図3 バッテリーの各状態を区分するOCV-Vst線図  
Fig.3 Relationship between OCV and Vst.

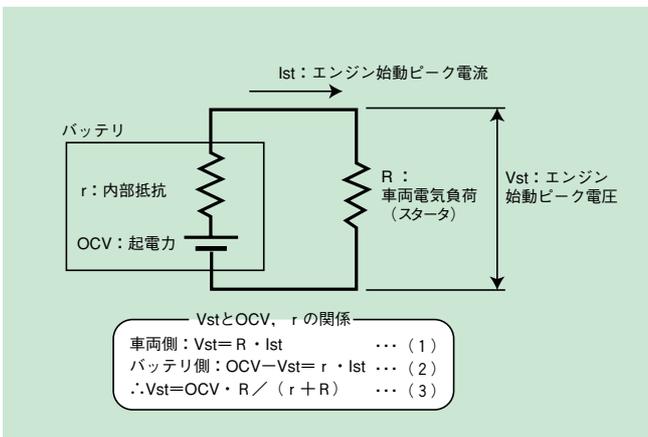


図2 エンジン始動時の簡易等価回路  
Fig.2 Equivalent circuit at engine cranking.



図4 履歴読み出し装置の外観写真  
Fig.4 Appearance of memory read device.

納されるため、使用開始からの経時変化を知る事ができる。また、Vst、OCVの初期値を元に $r/r_0$ 演算値を求めることができる。表1に各項目の測定方法を示す。これらは、バッテリー使用状況把握とバッテリー劣化モード解析に対し有用な情報となる。

モニタの一例として、表2はモニタ車両21台の走行期間、走行距離とEEPROMに格納された種々情報の一覧表を示す。日本の主要メーカをほぼ網羅するように車種を選定した。平均走行期間は37.3ヶ月、総走行距離は平均40,205km、最大151,351km、最小14,811kmであった。使用形態は、走行期間、走行距離が小さいオーナー車から、走行期間、走行距離が大きい業務車まで多岐に渡っていた。最低温度は外気温の最低値と一致する傾向で、車両に依存しない。最高温度、平均温度は、それぞれ60~85℃、19~33℃の範囲で車両毎にばらついていて、バッテリー搭載の熱環境が車両毎に異なっているためと考えられる。

モニタ車両におけるバッテリー特性の経時変化を測定した。実際のバッテリー内部抵抗を測定し診断結果との比較ができる代表例No.3, 16, 20, 21について述べる。No.3, 20はB24

サイズ、No.16はD31サイズ、No.21はD23サイズであり、各形式で調査した。図5(a)~(d)は、Vstと、Vstから求めた $r/r_0$ 演算値、ならびに1kHz交流法により測定した $r/r_0$ 実測値の経時変化を示す。これらの例で、Vstは走行期間の増大とともに低下した。Vstから求めた $r/r_0$ 演算値は、走行期間とともに増大するが、いずれの場合でも $r/r_0$ 実測値とよく一致した。この結果は、図2のエンジン始動時の簡易等価回路により $r/r_0$ を精度良く演算出来ていることを示している。いずれのバッテリー形式、搭載車種においても $r/r_0$ の演算値と実測値が良く一致していることから、汎用性のある劣化判定手法であることがわかった。

図6は表1に示すモニタ車両での走行期間と $r/r_0$ 演算値の関係を示す。 $r/r_0$ の増加速度が各モニタ車両で異なった。これは、走行距離、温度環境や使用頻度といった使用環境が各車両で異なったためと思われる。要交換に相当する $r/r_0$ は1.32であるが、 $r/r_0$ が1.32より大きいものはすべて要交換判定をしていた。誤判定をしているものはなく精度良くバッテリー劣化状態検知できることがわかった。

表1 EEPROMデータの内容

Table 1 Contents of data accumulated in EEPROM.

項目	内容	
温度	最高温度	使用中のバッテリー温度最高値
	最低温度	使用中のバッテリー温度最低値
	平均温度	使用中のバッテリー温度平均値
走行期間	車両にバッテリーが取り付けられ、最初のエンジン始動からの時間 マイコン内蔵のクロックにより時間を計測	
稼働時間	車両が走行している時間の計測結果 エンジン始動は、キー差込みまわし、イグニッションONのときの電圧変動でエンジン始動を検知 エンジン停止は、オルタネータが発するリップル電圧変動の消滅により検知	
過放電時間	キーOFF後エンジン停止時にライトなどの電気負荷を動作させた状態で放置し、充電状態が大きく低下した状態の時間を計測した結果	
エンジン始動回数	エンジン始動時の電圧変動を検知した回数	

表2 モニタ車両の一例

Table 2 List of AI batteries for field monitoring.

No.	車両	電池形式	走行期間 (月)	総走行距離 (km)	走行距離 (km/年)	最高温度 (℃)	最低温度 (℃)	平均温度 (℃)	稼働時間 (時間)	過放電時間 (分)	始動回数 (回)
1	レガシー	D23L	45.7	38,215	10,035	69	-2	29	1,124	0	3,946
2	デミオ	B24L	45.3	52,976	14,044	64	-2	28	1,342	0	3,850
3	ローレル	B24R	40.1	24,826	7,434	58	-3	22	906	0	4,713
4	カローラランクス	B24L	35.1	33,102	11,302	59	-3	21	1,162	740	4,875
5	ゼロクラウン	D23L	34.8	23,407	8,083	60	-1	30	808	10	2,334
6	ウィンダム	D23L	33.2	37,525	13,574	71	-2	33	1,368	0	5,560
7	エスティマ	B24L	46.5	30,115	7,766	62	-4	26	890	0	3,848
8	アルテッツァ	B24L	36.9	40,170	13,079	73	-1	23	1,056	0	3,037
9	プレマシー	D23L	30.5	14,811	5,825	61	0	27	656	0	2,952
10	トルネオ	B24L	39.8	38,278	11,541	70	-2	26	854	0	2,167
11	エスティマ	B24L	33.3	30,706	11,053	85	-2	27	1,648	320	5,406
12	ウィッシュ	B24R	34.4	28,933	10,106	67	-1	24	1,082	0	3,974
13	オデッセイ	B24L	37.5	33,106	10,581	69	-6	31	1,336	0	3,786
14	シエンタ	B24R	41.2	30,000	8,731	58	-2	23	858	0	3,289
15	グランディス	B24L	34.0	30,941	10,922	70	-2	27	1,026	0	3,731
16	タウンエース	D31R	43.5	83,598	23,044	69	-8	30	2,374	0	8,151
17	ステップワゴン	B24L	41.5	36,805	10,634	59	-2	24	1,192	0	4,526
18	インプレッサ	D23L	30.4	18,653	7,360	63	-7	19	518	0	1,362
19	セレナ	D26L	41.9	29,554	8,464	50	-2	20	1,022	0	4,882
20	カローラフィールダー	B24L	31.1	151,351	58,458	61	-3	26	4,254	0	8,898
21	エスティマ	D23L	46.3	40,957	10,608	84	-1	32	1,424	0	3,231
	平均		38.2	40,382	12,672	66	-3	26	1,281	51	4,215

図7は、各モニタ車の走行期間、走行距離におけるバッテリー劣化状態検知結果を示す。使用期間が30ヶ月（2.5年）を超えると、使用環境により劣化が進み要交換の警報が鳴るのが現れはじめる。走行距離が60,000kmを超える2ケースでは劣化により要交換判定になっていた。平均使用期間3年以上で要交換判定となる想定であるが、モニタ結果において

も要交換判定の出る平均使用期間は3年以上であった。要交換判定に用いた  $r / r_0$  は妥当であるといえる。

以上の結果から、AIバッテリー状態検知方法は精度が高く、車種、バッテリー形式によらない汎用性を有する事を検証できた。劣化状態検知に用いているエンジン始動時の簡易等価回路の妥当性を確認できた。

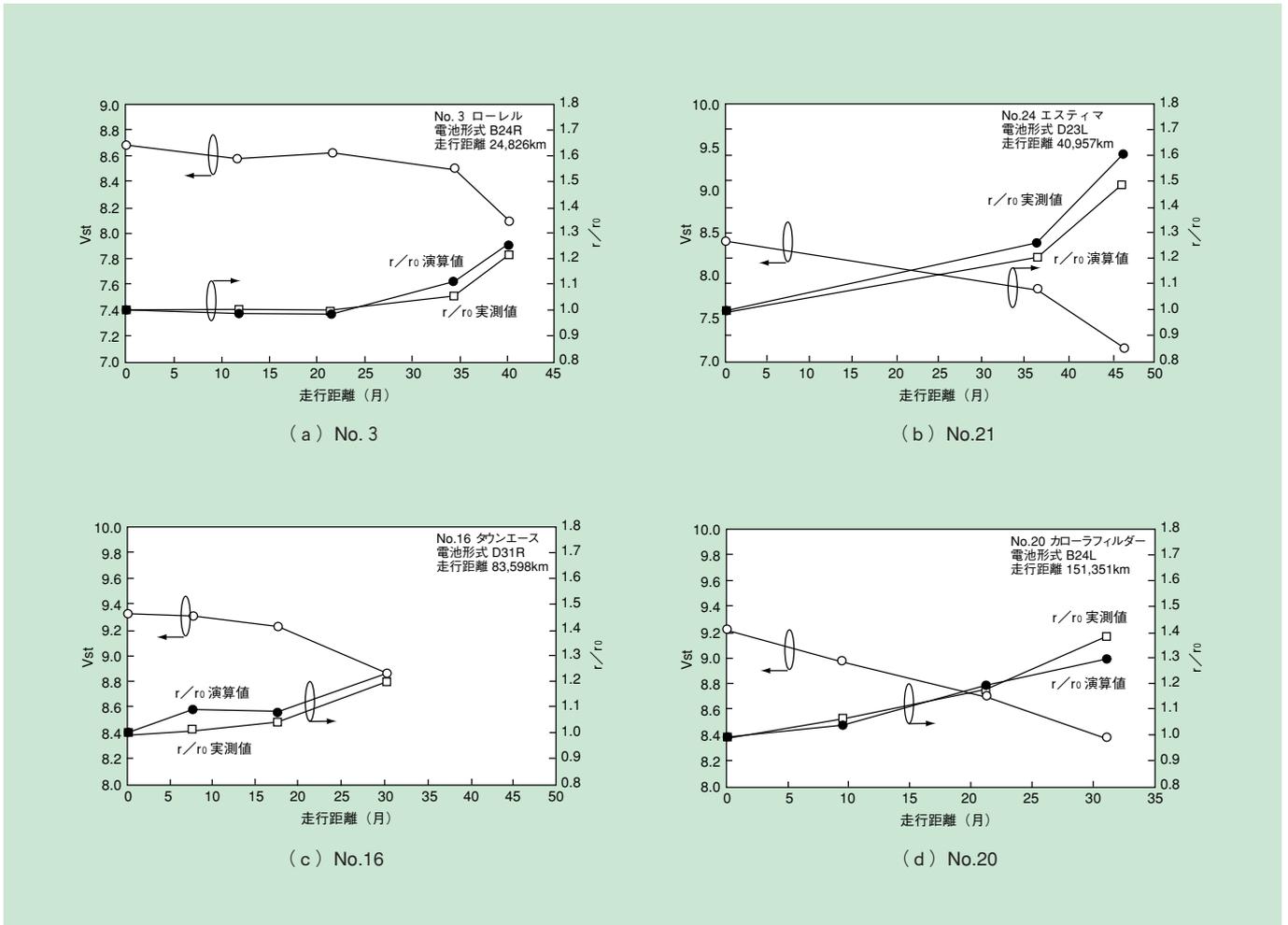


図5 電池特性の経時変化

Fig.5 Characteristic changes of battery in running period.

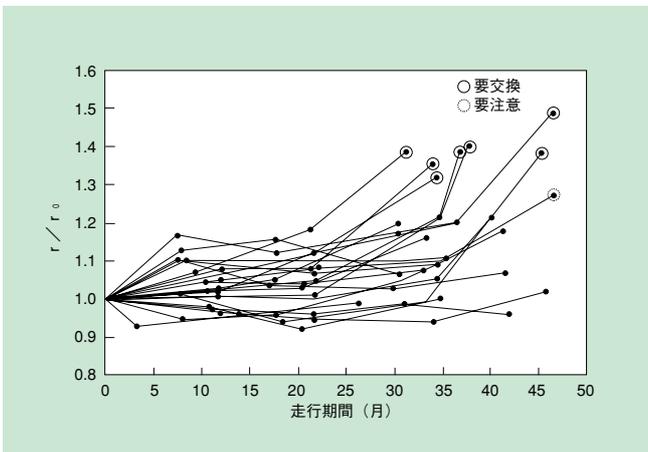


図6 走行期間と  $r / r_0$  演算値の関係

Fig.6 Relationship between running period and  $r/r_0$ .

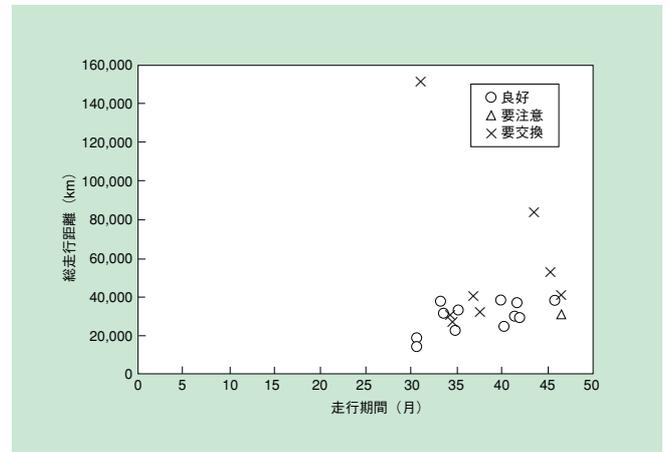


図7 走行期間、走行距離と劣化診断結果

Fig.7 Relationship between running periods, distance and results of diagnoses.

### 〔3〕AIバッテリー専用ICの開発

#### 3.1 状態判定装置の小型化およびコスト低減について

状態判定装置の小型化およびコスト低減は、AIバッテリー普及に向けて重要な課題である。状態判定装置のコスト内訳では、電子回路部分が最も大きな比率を占めている。既報<sup>2)</sup>では、主に多機能、低コストの汎用マイコンの採用による電子回路部分のコスト低減検討結果を報告した。2004年発売当初の状態判定装置のコスト、大きさを100とすると、2006年7月から切り替えた第2世代において、コスト及び大きさはそれぞれ約50%となり、小型機種B19サイズに搭載する事が出来た。

B19サイズは、1.0～2.0Lカーの幅広いクラスで搭載されるバッテリーの最汎用機種であり、全バッテリー売上げの50%強のシェアを占めている。B19サイズ発売開始により、自動車用AIバッテリー《CYBOX》は、B19、B24、D23、D26、D31全機種フルラインアップ化を完了した。

#### 3.2 専用ICの開発について

図8に現行電子回路のブロック図を示す<sup>2)</sup>。現行回路では、EEPROM、WDT（異常検知）、OSC（クロック生成）などがIC（マイコン部）の外付け部品として構成されている。最終的にカスタム化した専用ICを用いると、ブザー、LED、スイッチ、電解コンデンサー以外の部品を1チップに収めることで、さらにコストを低減できる見込みがある。そこでAIバッテリー専用ICを(株)日立製作所と共同開発した。

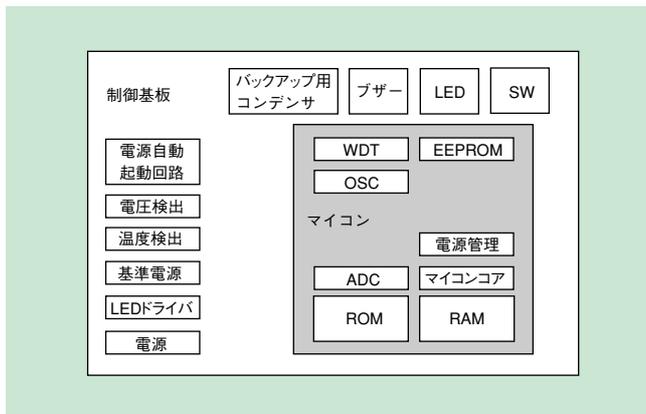


図8 現行回路のブロック図

Fig.8 Block diagram of updated type of AI battery.

表3 AIバッテリー専用ICの特長

Table 3 Characteristics of the custom IC for the AI battery.

項目	内容
1	バッテリー電圧低下または外部スイッチを感知して自動的に IC起動する自動起動機能
2	高分解能A/Dコンバータによるバッテリー電圧測定と周囲温度測定機能
3	低消費電力（アクティブ/スタンバイ/停止モードの3状態を有する）
4	基準電圧生成回路とオシレータ、電源レギュレータを内蔵
5	LEDドライバ端子×4とブザードライバ端子×1
6	8 bit CPU
7	内蔵 ROM/RAM
8	各種タイマ
9	シリアルEEPROMと接続可能な SPIインタフェース対応
10	ソフトデバッグ用 Flash ROMインタフェース対応
11	IEEE 1149.1に準拠した CPUデバッグ用 JTAGインタフェース対応
12	単一電源動作
13	電気的特性保証動作温度 -20～105℃
14	高信頼性中耐圧 CMOSプロセス
15	LQFP 64ピンパッケージ

本ICの主な技術課題は、低消費電力化、AIバッテリーの特長な仕様であるIC自動起動の安定化、ならびに静電気・ノイズ耐性向上が挙げられる。高信頼性の40V耐圧CMOSプロセスを採用し、POR（Power On Reset）信号を用いた新回路方式によって、IC自動起動の安定化及び静電気・ノイズ耐性向上を実現した。

図9にAIバッテリー専用ICの外観写真を示す。本ICは、AIバッテリー向け64ピンカスタムICである。本ICは、8bit CPU、ROM、RAM、タイマ、SPIインタフェース、A/Dコンバータ、電源レギュレータ、基準電圧発生回路、OSC、LED駆動回路を1チップに内蔵している。ROMにはAIバッテリーの状態判定専用ソフトが書き込まれている。AIバッテリー専用ICは、Flash ROMインタフェースを備えており、外付けFlash ROMモードと内蔵ROMモードの両モードによる動作が可能である。表3に本ICの特長を示す。

以上の技術により、AIバッテリー向けカスタムICを実現し、従来品に比べ部品点数を大幅に削減することで、小型化およびコスト低減が可能になった。

### 〔4〕今後の展開

日本、欧州の自動車メーカーは環境対応車の市場投入を進めている。エンジン車のCO<sub>2</sub>排出量削減の手段としてオルタネータ回生制御やアイドリングストップシステムの採用拡大が始まっている。これらのシステムではバッテリーの充放電を効

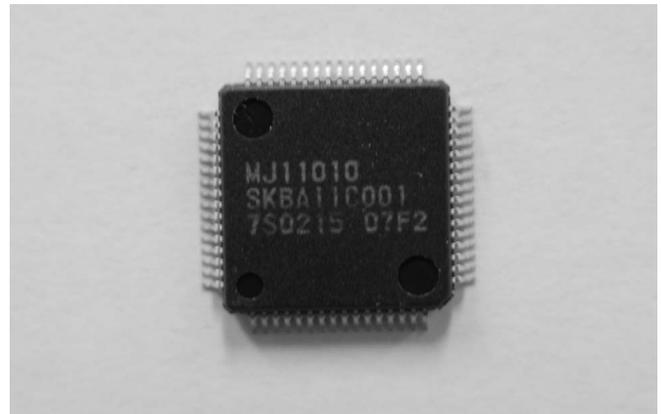


図9 AIバッテリー専用ICの外観写真

Fig.9 Appearance of custom IC for AI battery.

率よく行うために高精度のバッテリー状態検知技術が求められている。バッテリー状態検知技術、負荷制御、発電制御は自動車電源管理の基本要素である。AIバッテリーで培われた状態検知技術は上記環境対応システムの拡大に対し一翼を担うものとして期待される。

〔5〕 結 言

実車モニタによる状態検知精度の検証と専用IC開発による小型化および低コスト化について検討した結果、以下の結論を得た。

- (1) 4年間の実車モニタ調査を実施した。AIバッテリーはバッテリー型式や車種によらず  $r / r_0$  を精度良く演算し、 $r / r_0$  実測値に応じたバッテリーの劣化判定を実施できていることがわかった。また、採用したエンジン始動時の簡易等価回路は高精度な劣化判定を実現できる優れたモデルであることがわかった。
- (2) 要交換判定の平均使用期間は3年以上であった。バッテリーの劣化カーブが当初想定通りであり、要交換判定の閾値は妥当であると言える。
- (3) AIバッテリー専用ICを(株)日立製作所と共同開発した。状態判定専用ソフトを内蔵する。高信頼性の40V耐圧CMOSプロセスを採用し、POR信号を用いた新回路方式によって、AIバッテリー独自の機能であるIC自動起動回路の安定化と静電気・ノイズ耐性向上を実現した。

〔参考文献〕 .....

- 1) 山田恵造 他：“自動車用AIバッテリー《CYBOX》の開発”，新神戸テクニカルレポート，15, P18 (2005)。
- 2) 大越哲郎 他：“自動車用次期AIバッテリーの開発”，新神戸テクニカルレポート，16, P.22 (2006)。
- 3) Keizo Yamada : The intelligent Automotive Battery "CYBOX" 12th Asian Battery Conference, Shanghai, SEPTEMBER 2007.
- 4) Keizo Yamada et.al : The intelligent Automotive Battery, "CYBOX", Journal of Power Sources 185(6),pages 1478-1483(2008).