

リチウムイオン電池用IC化セルコントローラの開発

Cell Controller for Lithium Ion Battery Using ASIC

工藤彰彦* Akihiko Kudo 長岡正樹* Masaki Nagaoka
堀場達雄* Tatsuo Horiba 江守昭彦** Akihiko Emori

リチウムイオン電池の監視と制御を行うセルコントローラ用の専用IC (ASIC) を開発した。現行のセルコントローラではマイクロコンピュータと多数のディスクリート素子を用いている。開発したICを用いたセルコントローラではIC間の通信の接続を直結として絶縁素子数を最小限とし、さらにマイクロコンピュータの機能の大半をロジック回路に分担させることによりその廃止を可能にしたので、部品数、コスト、基板寸法、信頼性が大幅に改善された。

We have developed an ASIC for lithium ion battery and the cell controller using it.

Direct coupling communication between IC's in daisy chain enabled us to minimize the number of opto-couplers. Besides, we could delete the micro controller with the help of logic circuit which shared the main function of the micro controller.

The number of parts, cost, size, and reliability of the cell controller are substantially improved owing to the results mentioned above.

〔1〕 緒 言

近年、環境・エネルギー問題の関心が高まり、ハイブリッド電気自動車（以下、HEVと記す）が注目されてきている。このHEVの電池にはニッケル水素電池が主に使用されているが、HEVとしての要求を満足するためにはさらに高性能の二次電池が必要である。

新神戸電機(株)と(株)日立製作所は、共同でこのHEV用の電池としてリチウムイオン電池を開発し、2000年には日産自動車殿のティーノハイブリッドに採用された（第一世代）^{1) 2)}。その後、電池特性に更なる改良を加え、性能を向上させた第二世代のリチウムイオン電池を開発した^{3) 4)}。一方、2004年6月には、日立マクセル(株)を加えた3社で日立ビークルエナ

ジー(株)を設立し、HEV用等のリチウムイオン電池の開発・製造業務を移管した。

リチウムイオン電池には、セルの電圧とバッテリーモジュール（以下、モジュールと記す）の温度を計測して作動状態を監視すると共にセル間の容量調整を制御するセルコントローラ（以下、セルコンと記す）が必要である。第一世代のリチウムイオン電池には、マイクロコンピュータ（以下、マイコンと記す）を用いたセルコンを開発して採用した⁵⁾。しかし、このセルコンには、寸法、電気特性、コストの面で改良すべき点が多々存在した。本報告は、専用IC（ASIC＝Application Specific Integrated Circuits：特定用途向け集積回路）を使用したIC化セルコンの開発結果についてまとめたものである。

*日立ビークルエナジー(株) ** (株)日立製作所日立研究所

〔2〕セルコンの概要

HEVシステムの基本構成を図1に示す。図から明らかのように、車の作動に応じて電池と駆動系（モータ／発電機）との間で頻繁なエネルギーのやりとりがある。このエネルギーの出入りを制御するのはバッテリーコントローラであり、セルコンは各セルの状態とモジュール内の温度を測定して作動状態をバッテリーコントローラに伝達する機能を担っている。また、全セルの充電レベルを均等化するための容量調整機能も担っている。セルコンの位置と役割を図2に示す。セルコンは単電池を直列接続した組電池と共にモジュール内に配置される。

セルコンの機能は次の二つに大別される。

①セル電圧検出機能

常時、全セルの電圧を計測して、正常状態あるいは過放電／過充電などの異常状態をバッテリーコントローラへ信号出力する。以前の報告にもあるように電圧検出精度は0～45℃で±50mVが必要である⁵⁾。

②容量調整機能

各セル間の残容量のバラツキを小さくするように、各セルと並列に配置されたバイパス抵抗に流れる電流をオンオフ制御し、セルの充電レベルを合わせる。

図3に現行のセルコンの基本構成を示す。1セル毎に電圧を検出し、それぞれにバイパス抵抗が並列に設けてある。セ

ル電圧情報はマイコンに集められ、バッテリーコントローラとの通信により、監視・制御動作が進行する。

〔3〕セルコンIC化の検討

これまでさまざまな電子機器でICが進められ、電子回路が小型になると共にコストも下げられてきた。ICには、ロジック機能だけを備えたデジタルIC、アナログ回路を備えたアナログIC、あるいは両者が混在したICがある。セルコンにはセル電圧を検出するアナログ回路とデータ処理及び通信をするデジタル回路が必要であるので、アナログ・デジタル混在型のICが必要となる。

IC化において、大容量の抵抗、コンデンサなどはIC化が不可能であり、大容量のトランジスタ・FET等の半導体素子をIC内に入れると、チップ面積とコストが高くなるためメリットが無くなってしまう。セルコンの回路を全てIC化するのは不可能であり、その回路構成により実現性とともにもコストも大きく変わってくる。IC化セルコンの開発にあたり、まずIC化に適したセルコンの構成を検討した。

3.1 マイコンの削除

現行のセルコンではマイコンを用いてセルコンの主機能を実現している。その主機能とは、セル電圧と温度の測定と演算、通信処理、バイパス制御シーケンス、故障診断である。このマイコンが電子部品のコストに占める割合は27%であり、発振回路、リセット／ウォッチドッグタイマなど付属部品を含めるとさらに高い割合を占めている。

民生用ではマイコンコアを内蔵した市販のICも存在するが、マイコンコアを内蔵するだけでIC内のチップ面積が増加しコストは高くなる。検討の結果、現行のセルコンと同等のマイコンコアをICに内蔵するのはコストなどの面から現実的ではないと判断した。よって、マイコンを削除し、マイコンの機能をデジタルロジック回路のみで実現する構成を検討した。

その結果、セル電圧測定値の演算、通信処理、故障診断の一部はロジック回路のみで実現し、温度測定、バイパス制御シーケンス、故障診断の一部はバッテリーコントローラで実現する構成とした。

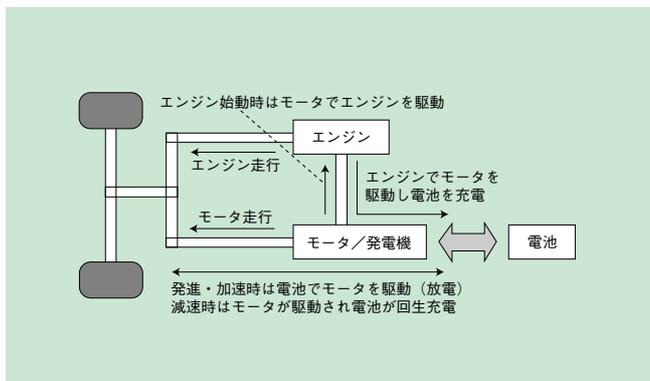


図1 HEVシステムの基本構成

Fig.1 Basic Configuration of HEV.

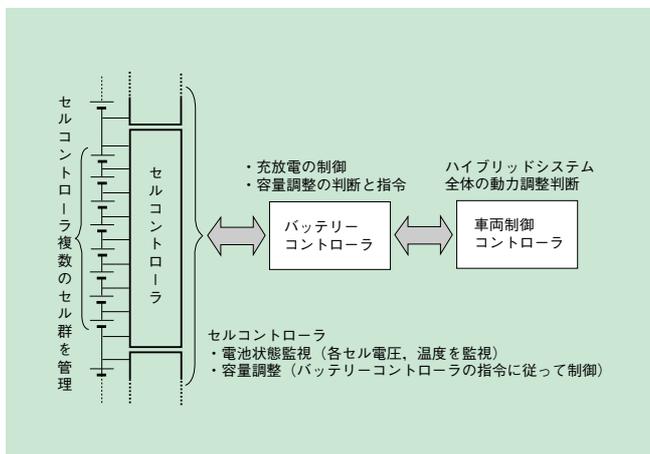


図2 HEV制御システムと機能分解

Fig.2 Function of HEV Control System.

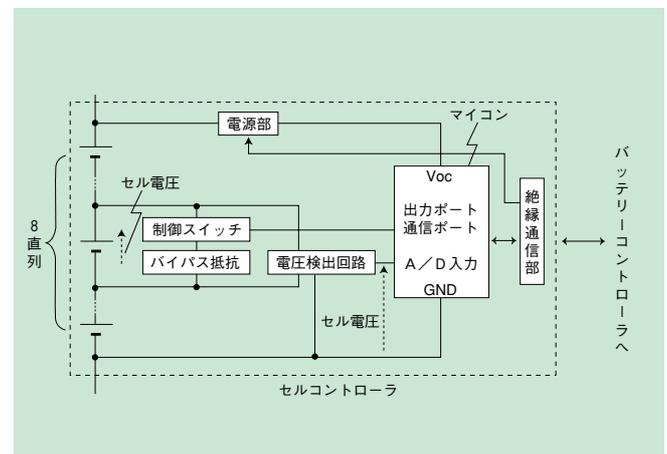


図3 現行セルコンの基本構成

Fig.3 Configuration of Present Cell Controller.

3.2 対応セル数

ICの動作電源はリチウムイオン電池から供給され、かつ全セルの電圧を測定する必要がある。そこではICの耐圧、つまり対応直列セル数が問題となる。直列数を多くするとセル電圧測定精度の確保も困難である。最近では高耐圧のICプロセスも存在するものの、高耐圧ほどコスト高になる。よって、対応セル数を多くすれば使用ICの数を減らすことが可能になるが、その最適数の選定には多くの制約が関わっている。検討の結果、1個のICで4直列のセルを計測および制御する構成とした。

3.3 絶縁素子

セルコンと通信をするバッテリーコントローラは、動作電源が12V系(24V系)の鉛電池であり、回路のグランドは車両のシャーシグランドに接続される。高電圧がシャーシグランドと接続されると危険なため、セルコンとバッテリーコントローラの間の通信ラインは電気的に絶縁されていなければならない。また、セルコンはモジュール内の直列セルに接続されるため、各セルコンは動作電源の電位が異なり、そのままセルコン間の通信ラインを直結はできない。そのため現行セルコンでは通信及び制御ラインにフォトカプラを用いて絶縁している。

このフォトカプラ(絶縁素子)は自動車用として広い作動温度範囲・高信頼性・長寿命を要求されるためコストが高く、現行セルコンの電子部品費のなかで比較的高い割合を占めている。

そこで、絶縁素子の個数を最小限にするために、IC間の通信制御ラインに絶縁素子を用いることなく直結できるような方式を開発した⁶⁾。その概念を図4に示す。図4において、上位のICは下位のIC基準で $2V_{cc} \sim V_{cc}$ の電圧幅のシリアル信号を送信し、下位のICは $2V_{cc} \sim V_{cc}$ 間に閾値を持つコンパレータで信号を検出する。この方法で多数のICを直列接続(デジチェーン)し、最上位ICの受信部と最下位ICの送信部のみに絶縁素子を用いるので絶縁素子の個数を最小限とすることができる。

なお、一般的なICでは動作電源より高い電圧を入力することは入力保護の関係からできないが、本開発品では、特殊な入力保護回路を内蔵し電源電圧より高い電圧の入力を可能とした。

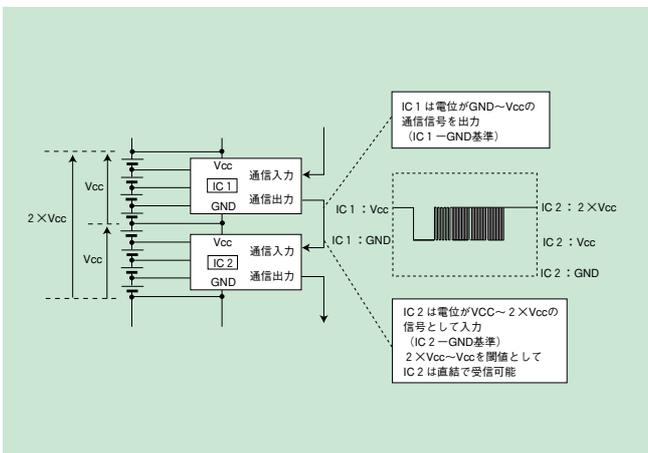


図4 ICの通信ラインの接続

Fig.4 Communication Line Connection between IC's.

3.4 通信方法

現行セルコンでは、一般的な非同期のシリアル通信をしている。しかし、この方式をICに適用した場合にはIC内動作クロックの精度が問題となる。IC外に発振子を設ける方法、あるいはIC内のクロック精度を高める方法が考えられるが、いずれも外部素子が必要でありコスト高になる。

そこで、動作クロックの精度が比較的求められない通信方式を検討した。その結果、LIN(Local Interconnect Network)を用いることにした。この方式では、伝送フレームに通信速度を決める同期フィールドがあり、この同期フィールドの周期に合わせてデータを送受信すればよく、通信クロックの絶対精度は要求されない。このLINは、近年自動車のプロトコルとして採用実績が増えてきており、LIN対応のICも各種開発されつつあり、カスタムIC内蔵には最適の方式と判断した。

なお、本来のLINは受信と送信が同一ラインの並列接続型であるが、本ICではデジチェーン接続を実現するため、送信と受信ラインが別々の特殊な方式となっている。

3.5 暗電流の削減

現行セルコンでは、セルと電圧検出回路が直結のため未使用時にも最大で数百 μA 程度のリーク電流(暗電流)が流れ、その電流による電池容量の減少すなわちセル電圧の低下は無視できない。現行セルコンを用いた場合の暗電流による電圧降下例を図5に示す。図5に示されるようにセルコン内のセルの位置により電圧降下が異なり、上位セルに比べて下位セルほど電圧降下が大きくなる。その理由は、現行セルコンでは分圧抵抗が最下位セルの一端と各セルの端子間に接続されるため、下位セルになるほど上位セル分圧抵抗の消費電流の重畳分が多くなるためである。

このセル電圧ばらつきが大きくなると、充放電中に電圧の上限あるいは下限に早期に達する可能性が大きくなり、使用できるSOC(充電率)の範囲が狭くなり、電池の性能を十分に発揮できなくなる。また、この暗電流による電圧降下は電池自体の自己放電による電圧降下よりも大きいため、比較的大きな電流でバイパス放電が必要な要因の一つとなっていた。

そこで、長期放置をしてもセル電圧のばらつきが大きくなるように、かつ電圧降下の絶対値も少なくして長期放置が可能となるように、セル電圧入力回路に遮断回路を設ける

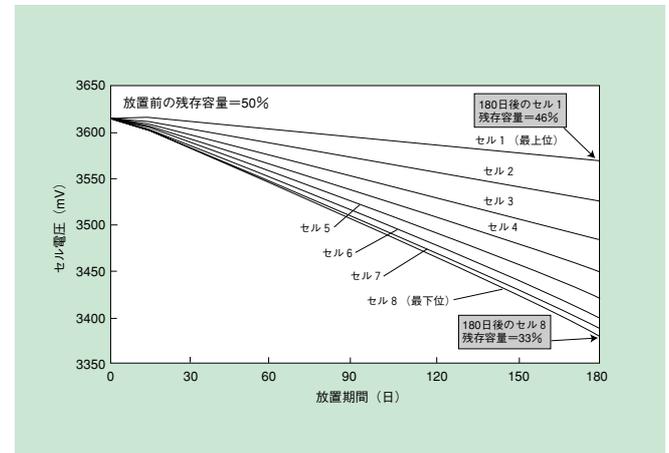


図5 暗電流による電池電圧の電圧降下

Fig.5 Cell Voltage Change by Leakage Current of Present Cell Controller.

構成にした。この構成によりセル電圧のばらつきが抑えられるのでバイパス放電量を少なく、つまりバイパス抵抗の寸法を小さくして基板の小型化に寄与できた。

[4] IC化セルコンの構成

開発したICの内部構成を図6に示す。データ処理と通信を行うロジック回路のほかにはセル電圧測定回路、発振回路、電源部等のアナログ部がある。開発したICはデジタル/アナログ混在のASICと呼ばれるタイプのものである。なお、バイパス通電制御用のFETもIC内に内蔵し、極力外部素子数の削減を図った。

図7にIC化したセルコンの構成を示す。現行セルコンと同じく、過充電のみは独立した系でも検出する冗長系を採用した。試作品は48セルで1枚の構成とし、24個のカスタムICを使用している。

[5] 現行品とIC化セルコンの比較

表1に現行セルコンとIC化セルコンの比較を示す。また、図8に現行のセルコン基板とIC化セルコン基板を示す。比較した項目は電子部品の寸法、部品点数、故障率、コストで、48セルモジュールに搭載した場合を想定した。

表に示されるように、48セル用IC化セルコンと8セル用現行セルコンの寸法の差はわずかである。カスタムICを採用することで、基板面積は現行品の約20%とすることができ、電池モジュールとして小型化することが可能となった。また、

部品点数は同じく約10%とすることができた。各部品の故障率から全体の故障率を計算した結果 (FIT=10⁻⁷/hで計算)、FIT値は現行セルコンの約4%となり、大幅な信頼性向上が期待できる。さらに、量産時の電子部品のコストは現行品の約16%とすることができている。

図9にセル電圧測定精度の温度依存性を示す。図に示されるように、0~45℃の温度範囲での目標仕様精度の±50mVが十分に確保できている。

図10に暗電流特性を示す。試作基板の暗電流は10μA未満であり、現行品の暗電流250μAに比べて非常に小さく、かつセルによる電流の差も小さい。したがって、長期間放置しても暗電流による電圧低下の絶対値は小さくかつセル電圧のばらつきも少なくできる。

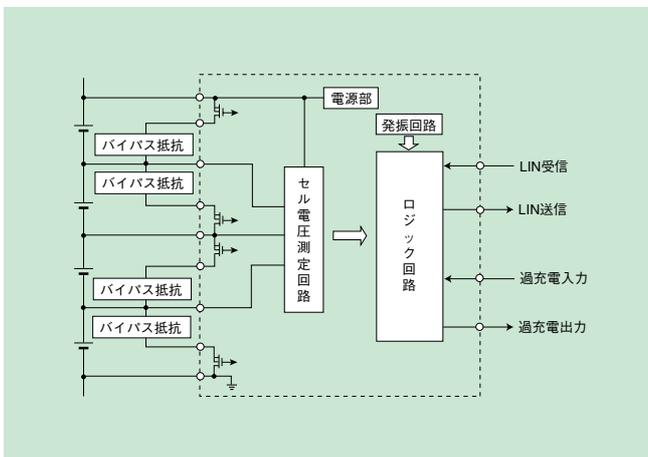


図6 開発したICの内部構成
Fig.6 Internal Configuration of Developed IC.

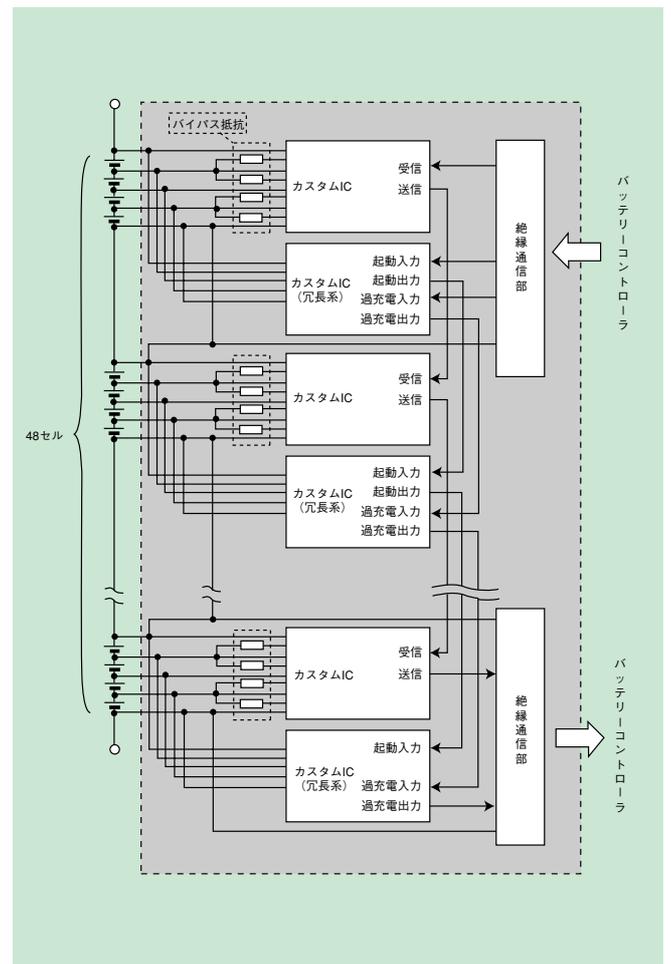


図7 IC化セルコンの構成
Fig.7 Configuration of Cell Controller Using Custom IC.

表1 現行セルコンとIC化セルコンの比較

Table 1 Comparison Between Present Cell Controller and Developed Cell Controller.

種類		開発品	現行品
対応セル数		48セル	8セル
構成		カスタム IC 使用	マイコン+ディスクリート
寸法		217×65mm	200×60mm
モジュール当り	面積比	20%	100%
	電子部品数	433	2502 (=417×6)
	電子部品数比	10.1%	100%
	総部品故障率 (FIT値の相対比)	3.8%	100%
電子部品コスト (／セル：相対比)		15.9%	100%

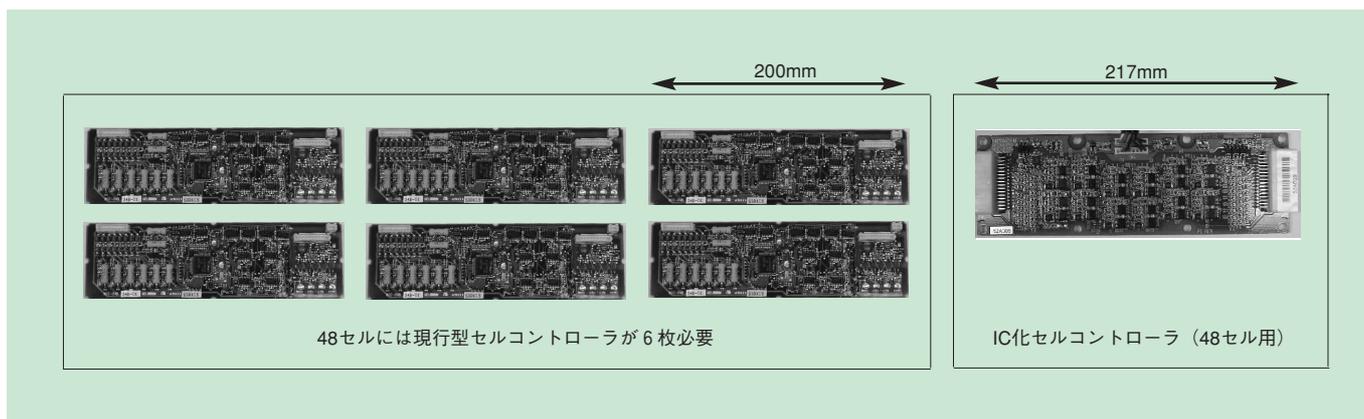


図8 現行型セルコン基板とIC化セルコン基板
Fig.8 Present Cell Controller PCB and Developed Cell Controller PCB.

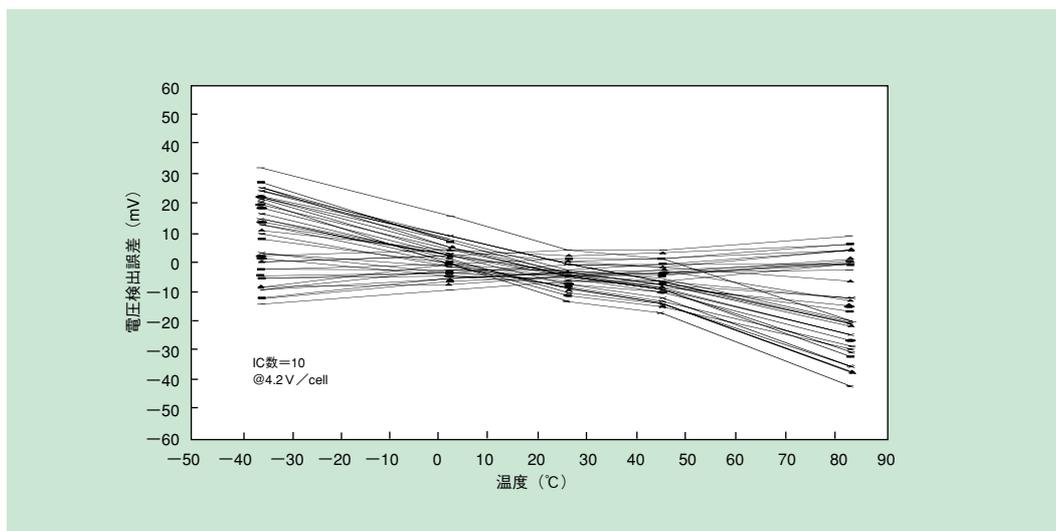


図9 電圧検出精度の温度依存性
Fig.9 Temperature Dependency of Cell Voltage Detection Accuracy.

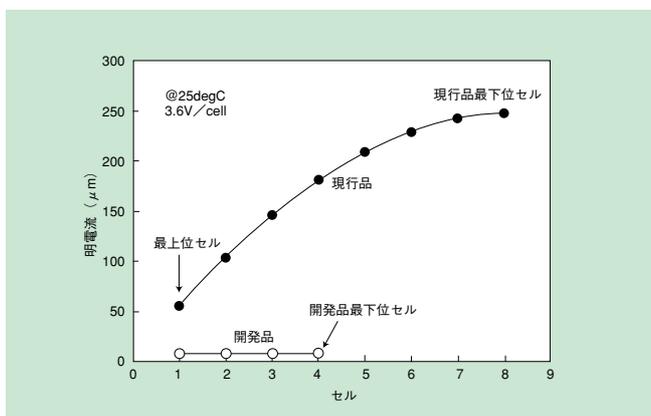


図10 現行セルコンと開発セルコンの暗電流の比較
Fig.10 Comparison of Leakage Current between Present Cell Controller and Developed Cell Controller.

〔6〕 結 言

カスタムICを採用したIC化セルコントローラを開発した。ICはマイコンレスのASICを用い、セルコントローラの機能を実現すると共に、サイズ、故障率、コストを大幅に改善した。また、暗電流を大幅に削減することでリチウムイオン電池モジュールとして長期放置が可能となった。

現在、このIC化セルコントローラを採用した新型モジュールをサンプル出荷しており、量産に採用されることを期待している。

〔7〕 謝 辞

本カスタムICの開発の一部は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構との共同研究として実施したものである。関係各位のご支援、ご指導に感謝申し上げます。

〔参考文献〕

- 1) 弘中健介 他：“電気自動車用マンガ系リチウムイオン電池”，新神戸テクニカルレポート，No.10，p.3 (2000) .
- 2) M. Origuchi et al：“Lithium-ion Battery Application to the Tino Hybrid”，Proc. 17th International Electric Vehicle Symposium, 3B-3, Montreal Canada, Oct. 15-18, 2000.
- 3) 前島敏和 他：“高出力、長寿命HEV用リチウムイオン電池の開発”，新神戸テクニカルレポート，No.14，p.3 (2004) .
- 4) T.Horiba et al：“Applications of high power density lithium ion batteries,” J. Power Sources, 146, p107 (2005) .
- 5) 工藤彰彦 他：電気自動車用リチウムイオン電池セルコントローラの開発，新神戸テクニカルレポート，No.11，p.15 (2001) .
- 6) A.Emori et al：“Li Ion Battery and its Control Technology for HEV Applications”, Proc. 5th Advanced Automotive Battery Conf., 2-5, Honolulu Hawaii, 2005.