

B-14 地球温暖化防止対策技術の総合評価に関する研究

(3) 交通分野における重点対策の普及に当たっての技術的評価

② コミュータ交通分野に適する電気自動車の電池管理に関する研究

研究代表者 通商産業省 工業技術院 機械技術研究所
エネルギー部 エネルギー利用技術研究室 清水健一

通商産業省 工業技術院 機械技術研究所
エネルギー部 甲田壽男
エネルギー部 エネルギー利用技術研究室 白井信正・岩月 徹・清水健一

平成6-8年度合計見積予算額 19,867千円
(平成8年度予算額 6,792千円)

[要旨] 地球温暖化対策の一つとして、二酸化炭素排出量への寄与率の高い運輸部門、その中でもとりわけ寄与度率の高い自動車の排出量低減が急務となっている。現時点でこれに即応できるのは電気自動車のみであり、これの実用化が米国加州の ZEV 法の追い風を受けて世界的な関心事になっている。しかし、実用時の電気自動車は、組電池の利用技術の未熟さに起因する性能低下が著しく、電池の能力を100%使い切る手法の確立が急務となっている。

この問題を解決する目的で、本研究では実使用中の電気自動車の組電池内の各セル毎の特性を任意のタイミングで監視できるシステムを構築し、これと平成3~5年度の研究成果である充放電管理システムを一体化することにより組電池の利用効率を向上することを、最終目標としている。本研究では、鉛電池を対象に、実用電気自動車の組電池内のモジュール電池に発生するアンバランス現象の実態を調査し、電池の特性上のアンバランスが、電池を構成するセル間のアンバランスに依ることを明らかにした。さらにこのセル間アンバランスが、電池や、セル毎の温度等の差によって容易に発生し、一度発生すると偏差拡大的にアンバランスが拡大することから、これを抑制できるセル毎の電池管理システムを構築した。

また、このシステムの有用性を確認する目的で、実用に供されている電気自動車の都市内模擬走行実験を電気自動車シャーシダイナモメータ上で実施し、本システムの有用性を確認した。その結果、運用上必要不可欠とされている残存容量計の機能についても実用に供しうる性能が確保できることが確認できた。

[キーワード] 電気自動車、電池管理、一充電走行距離残存容量

1. 序

個々の自動車の排気ガス対策の努力にもかかわらず、自動車の絶対数の大幅な増加により自動車排気ガス公害は再び深刻な問題となっている。また、地球温暖化の原因である二酸化炭素排出量の低減や、有限な化石エネルギーからの脱却も重要な課題となってきている。これらの背景から

低公害で省エネルギーの可能性が高く、一次エネルギーの多様化が可能な電気自動車（EV）が注目されている。

しかし、現実の実用EVでは、電池の能力が公称値を大幅に下回る例が少なくない。このため、高性能電池の開発だけでなく、電池の利用技術の確立によって、現在実用に供されている電池の能力を100%使いきることも重要な課題となっている。本報では、実用EVの駆動用電池として永い実績のある鉛電池を中心に、組電池内の各電池に発生する特性のアンバランスのモニタリング手法と、このアンバランスを防止する手法を確立する。

2. 実走行中のEVの組電池の問題点

実際に使用中のEVの組電池に発生する各モジュール電池間のアンバランス特性の発生メカニズムを知るため、業務に使用した配送用の電気トラック（走行距離：12000km）を用いてシャシーダイナモメータ上でパターン走行試験を行い、各モジュール電池の挙動を調べた。搭載されている組電池は6V 160Ah（5時間率）のバルブレギュレティド鉛酸電池を18個直列にした組電池を、さらに2組並列に接続したものであるが、並列接続による電池の複雑さを回避する目的で実験は1組の組電池で行った。そのため、シャシーダイナモメータには、慣性・走行抵抗とも実車両の半分の値をセットして、電池の負担を本来の値に近づけて実験を行った（電動機の効率等の関係で電池に対する負荷は本来の値より増大している）。10モード走行試験中のEVの各電池の端子電圧の変化を打点式記録計で記録したものを図1に示す。図には18個のモジュールのうち、半分の9モジュールの端子電圧のみを示してある。

(a)は放電初期の状態（15サイクル目）で、低負荷時の電圧も充分高く、加速時の大電流負荷に対しても電池の内部抵抗による電圧ドロップも少ない。電圧変化の電池間でのばらつきも少ない。

(b)は58サイクル目のデータで、一つの電池の出力（図中の○印）が電池の放電終止電圧（放電中の電池の端子電圧がこの電圧以下に低下した場合、放電を強制的に停止すべき値）以下に低下した例である。本来はこの時点で走行を停止すべきであるが、組電池としてのトータルの電圧は100V近くあり、組電池としての放電終止電圧より充分高い。そのため車両側のインターロックによる走行停止動作は行われてない。

(c)は62サイクル目のデータで、実際に供試車両の速度偏差が大きくなって試験機側で試験を中断する寸前のものであるが、やはり組電池としての電圧が充分であるため、この状態でも車両側のインターロックは動作していない。その結果、複数の電池が放電終止電圧を大幅に下回った状態で放電を継続しており、電池に致命的な影響を与えている可能性が高い。この結果から、一部の電池の極端な性能低下が走行不能を決定しており、実際に追従不能な状態まで走行させると一部の電池は極端な過放電状態となることがわかる。

何らかの原因（初期の製品ばらつきによる容量差や、電池の環境温度の差など）で組電池内の個々の電池容量に差が生じた場合、容量が小さな電池は早く満充電状態になり、その後は他の電池が満充電状態になるまで、過充電状態が継続し、シール型電池（バルブ制御型電池）の場合には電解液がガス化してバルブから放出されるため、さらに容量低下が促進される。放電時も容量の小さな電池が早めに過放電状態となる。この繰り返しによって容量が低下した電池が、加速度的に容量低下を起こすという偏差拡大的な動作を繰り返す。従って、電池の劣化を防ぐには個々

の電池（本来は個々のセル）の電圧が、放電終止電圧と充電終止電圧から逸脱しないように調整することが必要となる。

無負荷状態では、これらのアンバランスによる現象が検出し難いことを考慮すると、走行状態で電池管理を行うことがモジュール電池の劣化防止のために必要不可欠であるといえる。

3. EV用実用組電池内のセル間アンバランスの実態

実際に電気自動車を使用することによって、市販の実用EVの組電池内にどの程度のアンバランスが生じるのかを、二台の軽ライトバンEV（150Ahの開放型鉛電池を8個搭載）で調査した。電池は概ね2年の使用限度に達したもので、2台分、計16個の電池の中から、性能の低下したものから8個を選んで、各電池のセル毎の実質的な容量（以下、実効容量と略記する）を確認した。試験用電池には、セル毎の実効容量を検出するためにセル間導体に検出用電極を接触させる加工を行い、この電池を用いて30℃一定の水槽内で充・放電試験を行った。充・放電の方法はつぎのとおりである。

- 1) 試験電池を通常の使用状態に近づけるために、通常の充・放電試験（充電終始電圧／放電終始電圧はモジュール単位で管理する）を、電池の実効容量が安定するまで繰り返した。
- 2) 試験用の充・放電は5時間率（0.2C）の定電流充・放電で行った。
- 3) 放電時はすべてのセル電圧が放電終止電圧を下回るまでおこない、その際の各セルの電圧変化を測定した（セルによっては過放電状態になるため、実効容量の小さなセルから順次逆極性状態になるが、そのまま放電を継続した）。

図2の測定例で、特定の一、二のセルの特性が極端に低下しており、セル毎の特性のアンバランスが生じていることがわかる。この一部のセルの特性が極端に低下していることが、モジュール電池全体としての性能を低下させているものと考えられる。

この試験結果で、各セル毎の放電終止電圧に達するまでの放電時間と放電電流の積がそのセルの実効的な容量と見ることが出来る。この方法で求めた各電池のセル毎の実効容量を、図3に示す。図中の電池モジュール番号は、組電池の低電圧側から1, 2, … 8の順で付与したもので、「1」が付与されたものと付与されていないものは、各々別の車両に搭載されていたことを示す（「1」の無いものの方が規則的に使用されていたものである）。

この図から、実効容量が均一に低下しているモジュール電池はまれであること、さらに中央部付近の、陰極側から4番目のセルの特性が極端に低下しているものが多いことが判る。したがって、組電池に発生するモジュール電池の性能のアンバランスはモジュール電池に生ずるセル間アンバランスが原因で、このセル間アンバランスを抑制する事が重要であることが判る。

4. 充放電試験によるアンバランス

前節の結果は、車両に使用された電池に関するもので、ユーザーの不適切な使用方法が原因であることも否定できない。そこで、電池メーカーが推奨する使用条件下で充放電試験を行い、前節の現象が発生するか否かを確認した。

一般に、電池の性能は電解液温度に大きく影響され、推奨動作温度範囲を逸脱した使用は寿命や特性の極端な低下を招く。蓄電池工業会の技術基準、SBA 8502は、電気自動車用電池の実用可能な電解液温度範囲を15～50℃と定めている。多数の電池を使用する電気自動車では、各

電池の搭載位置によって伝熱や冷却の条件が異なっていることが多く、組電池内の電池温度差を皆無にすることは不可能であるといっても過言でない。

ここでは、通常の電気自動車の使用で発生する温度差を想定して、電池の最適動作温度である35℃を中心に、±5℃の温度差を与えた状態での充放電試験によって、アンバランス現象の発生の有無とその推移を調べた。

試験は公称容量35Ahのサイクルサービス用開放型鉛蓄電池2個を直列に接続し、各電池は30℃と40℃の恒温水槽に入れ温度の管理を行った。充電は、試験に使用した電池の専用充電器の充電特性を模擬した充電方法で行い、3時間率容量試験に準じた試験を実施した（放電電流：10.5A）。また、理想的な運用状態を実現するために、充放電、10サイクル毎に供試電池の専用充電器で均等充電を実施し、アンバランスの発生を極力抑制する様努力した。

試験の結果、概ね285サイクルで、組電池としての容量が公称容量の85%まで低下し、その後急速に低下した。温度差がある状態では、慎重な使用方法をしても組電池としての寿命はモジュール電池としてのサイクル寿命の公称値、500サイクルの約57%と、極端に低下することが確認できた。図4は、放電時に組電池としての放電終止電圧に達して、放電を停止した際の各モジュール電池の電圧の変化である。温度が高い方が電池の特性が高いため、当初は40℃側の電池の方が高い電圧を維持しているが、約250サイクルから低下し、逆に30℃側が高くなっている。これは、充電時に高温側にかかる電圧が低いため高温側が充電不足になる傾向があるためと考える。

組電池の特性が大幅に低下したタイミングで、供試電池に、セル毎の電圧をモニターするための加工を行い、更に充放電試験を継続してセル毎の電圧の挙動を確認した。291サイクル目のセル毎の電圧変化を図5(a)に、温度の変化を図5(b)に示す。図5(a)から40℃側の電池の特定のセルが充電不足であることと、そのセルが放電時に過放電状態になっていることが判る。更に興味深いのは、そのセルが陰極側から数えて4番目のセルで、使用課程車の結果と一致していることである。また、温度の変化に関しても、低温側の電池はセル毎の温度の高低の順位に変化がないのに対し、高温側の電池はその順位も変わるほど温度変化が大きいたことが判る。したがってこれらのアンバランスの発生の原因がセル毎の温度の差による可能性が非常に高いことが判る。

5. 電池管理システム必要性と現状

上記の不都合をなくすために、組電池内の個々のモジュール電池の端子電圧をモニタする方法が提案されている¹⁾。この方法は、電池の端子ごとに検出用の配線が必要であるため、ハーネスが複雑になると同時に複雑化したハーネスの損傷による主回路の短絡対策などが必要となる。

また、充電時に個々のモジュールを過充電状態にさせないために、モジュールごとに独立した充電器で個別に充電する方法も提案されている。この方法は充電器のコストが高くなることと、構成上、充電器を車載せざるを得ないといった欠点がある。その反面、放電時には別に端子電圧をモニタする機能が必要で系が複雑になる。

一方、走行可能か否かの判断の基準として、電池の残存電力量を知ることは重要であるが、種々の方法が提案されてはいるものの、電池の劣化等にも対応した実用的なものはまだ存在しない。

実用EVの使用にあたっては、残存電力量の不安から短距離の走行後も通常の充電操作が行わ

れる機会が多い。図6は、前述の電気トラックを実際に使用した際の電力消費率を、充電前の走行距離で整理したものである（右端のデータは4点分）。走行ルート、運転者、気温等の環境条件など、電力消費率に大きな影響を与える要素が多いにもかかわらず、短距離での再充電が電力消費率を悪化させる傾向がよくわかる。とくに、極端な短距離走行での再充電は極端に充電効率を下げることが明らかになってきている²⁾。更に、この充電操作による過充電状態が電池間のアンバランスを助長する一因になっており、その結果として組電池の寿命が大幅に低下する。したがって、電池を最良の状態に維持するためには、実用時の電池の残存電力量を的確に把握する技術も不可欠である。

6. 電池管理システム

組電池内のモジュール電池に実質的な容量のアンバランスが生じることを述べたが、実際にはモジュール内のセルに生じたアンバランスが原因でモジュールとしての特性が低下し、この結果としてモジュールのアンバランスが生じる可能性が高いことを示した。したがって、アンバランスのモニタリングを行うには、セルごとのモニタリングが不可欠である。しかし、前述のシステムのようにリレー（または電子リレー）によって各端子電圧を順次計測する方法でセル単位の電圧を検出しようとした場合、測定点が多いために計測タイミングの同時性が満足できないと同時に、高電圧化するシステム電圧に対して測定系の絶縁耐圧や分解能の問題等、難しい課題が生じる。また、必要なハーネスの量や、安全性の確保に要す新たな付加的な処置も、無視できるレベルにはとどまらない。

ここでは、大量の電池を直列に接続した高システム電圧の組電池を対象に、走行中や充電中にすべてのセルの電圧とモジュールの温度、回路電流を任意のタイミングで、十分な同時性を確保して測定できる方法を提案する。この方法は、ハーネスの量や測定系の絶縁耐圧と分解能の問題も同時に解決しようとするものである。

図7の概念図に示すとおり、提案する電池管理システムはマイクロ・プロセサ・ベースの本体と、各モジュール電池に組み込まれた（または取り付けられた）検出ユニットから構成され、検出ユニットはシリアル方式の通信線で本体にデジチチェーン接続されている（通信系は従来のツイストペアや、光ファイバー、無線などのほか、組電池を構成する主回路に搬送波を重畳させる等、車両の条件に応じて種々の方法が適用できる）。

本体では、以下に挙げる電池の状態を把握するための計測と電池管理のほかに、後述する方法で電池の残存電力量を推測し表示する。

- ・状態計測タイミングの管理（通常/ヒストリーモード）
- ・検出部の制御（一括計測指令/順次データ収集）
- ・セルごとの電池状態の推測（起電力と内部抵抗による）
- ・電池管理情報の出力（充電/放電時の制限すべき電流値）
- ・電池の保守情報の出力（モジュール/セルの履歴情報）

システムの検出ユニットは、図8の概念図に示すように、モジュール内の各セルの電圧とモジュールの代表温度を検出するセンサとバッファメモリを持ったインテリジェント計測器に相当し、モジュール単位で電源が供給される。外部からの指令によって一巡の計測を実行しその結果をバッファにセーブし、通信ポートを介して、本体からの問い合わせに応じてバッファの内容を

本体に送信する。各検出ユニットには固有のアドレスが付与されており、本体は全部の検出ユニットと順次通信する（通常モード）ことも、チェックが必要な特定のグループ内で順次通信する（選択モード）ことも可能である。多数の検出部を結合して使用するため、各検出ユニット間の絶縁が必要であるが、前述のどの形式の通信系を採用しても通信系で容易に絶縁可能である。このため、検出ユニットの基本部分は標準化が可能で、大量生産によるコストメリットも期待できる。この方法は、最終的には専用のチップを電池に埋め込むことを想定したものであるが、本報告ではこの提案の妥当性をチェックする目的で行った実験とその結果を紹介する。

7. 小規模組電池での実験

提案している、セル毎の電圧をモジュール単位で収集するシステムの妥当性の確認を主目的に、汎用のネットワーク用計算モジュールとパソコンを使って前述のシステムのプロトタイプを構築した。組電池内に生じるモジュール電池間の特性のアンバランスは、実際にはモジュール内のセル間の特性のアンバランスによって生じているはずであるが、ここではその現象を把握することをおこなって、このプロトタイプシステムを用いた実験を行った。

試験は最小の構成であるネットワーク計算モジュール2組とパソコンとの組み合わせ（図9参照）で実施した。試験電池には12 V、50 A hのサイクルサービス用の電池を2個直列接続したものをを用い、アンバランスが生じ易いように、各々の電池は30℃と40℃の異なった温度の恒温水槽内に設置した。この状態で充放電試験を繰り返し、充放電試験中の各セルの電圧の変化をモニタした。各セルの電圧を検出するために電池ケースの壁に細い穴を開け、セル間の電圧を測定するためのリード線（金線）をセル間の接続導体に挿入した。また、電池温度は各モジュールにつき4点ずつ、計8点のデータを収集した。

充電はこの電池の専用充電器の充電アルゴリズム（準定電圧方式：規定電圧に達した後、タイマで定めた時間充電を継続する）を調査し、これに準じた方法を採用した。放電は0.2 Cに相当する10 A一定とし、組電池全体の電圧が30℃、0.2 Cでの放電終止電圧の20.4 V（1.7 V/セル）を切った時点で停止した。充電と放電の間には30分の休止時間を設けた。また、充放電の5～6サイクルごとに電解液の補水を実施し、補水の影響が大きくなることを防止した。

充放電試験は4象限動作が可能なバイポーラ電源を用いて、充電電流又は放電電流値が設定した目標電流値に一致するように、バイポーラ電源の電圧を制御する方法で実施した。この制御と充放電の管理は別のパソコンによって実施し、この部分を車両側または充電器側として扱った。測定は1分間隔の定時モードで行った。

30℃に保たれた電池の60サイクル目の各セルの電圧変化を図10(a)に示す。セルによって放電末期の電圧が極端に低下していることがわかる。これに対して、同サイクルにおける40℃に保たれた電池はどのセルも1.8 V付近までの低下にとどまり（図10(b)参照）、モジュールの電圧としては各々9.5 V（30℃）と10.9 V（40℃）と、1 V以上の差が生じている。しかし、その原因となっているのは、一つのセルが0.8 Vまで低下していることで、他のセルはほぼ同一の電圧となっていることから、セル間に生じるアンバランスが問題の根源であることが推測できる。この放電末期の各セルの電圧の放電サイクルによる変化を、各々図11(a)、(b)に示す。30℃側(a)では、充放電の初期にいくつかあった容量不足のセルのうち、特定の一つのセルの容量不足が充放電の回数にしたがって極端に進むことがわかる。これに対し、40℃側(b)ではアンバラン

スが生じ難い。

充電時の充電終了時の各セル電圧の充電サイクルによる変化を、各々図 12(a),(b)に示す。電池の温度の違いによって、充電終止電圧に差が出ており、30℃側(a)が電圧は高いものの過充電気味になっているのに対し、40℃側(b)は電圧は低いものの40℃としては充電不足気味になっている。

これらのことから、電池管理に関しては、モジュールごとのチェックよりセルごとのチェックの方が本質的であるといえる。また、恒温水槽内の試験であることもあって電池の温度は、同一モジュール内では差がなく、1モジュールに1ヶ所の測定で充分であることも確認した。

8. 車両を用いた実用性の確認実験

以上は、ほぼ定電流の充放電による結果であったが、次に実際の走行状態での状況を想定して、パターン走行試験を行った際の効果を確認する。本報の趣旨からは、本来はセルごとに検出できるシステムで試験することが望ましいが、セル電圧検出用の電池加工とスペースの制約から、車載電池ではモジュールごとのチェックにとどめた。

試験車両には、ダイハツ製ハイゼットEV(V-S 82V)を用い、電気自動車用シャシーダイナモメータ上で運転ロボットを用いた4モード走行試験を実施した。JEVS(日本電動車両協会規格)で定められた4モードの加速部分は等加速度であるため、速度の上昇にしたがって必要な出力が増大し、加速末期では大きな出力が必要となる。しかし、実際のEVは加速期間中ほぼ一定の出力状態で走行しており、等加速度での加速は実状に合わないばかりか、パワー/重量比の小さいEVにとっては加速末期の速度追従が大きな負担となる³⁾。また、手動変速機のある当該試験車両では、変速時の追従などに問題が生じる。このため、図13に示すように1パターンの走行距離と定速走行時の車速を変えない範囲で加速部分を大幅に修正した試験用モードを作り、これを用いた。プロトタイプシステムのデータ収集機能としては、2秒ごとの一定周期でのデータ収集や、加速時を密にデータ収集するモードがあるが、今回は単純な前者を採用した。

ここでは、収集したデータをもとに、実時間で電池のV-I特性を表示することを試みた。図14中の各直線は、収集したデータをパターンごとに処理して、1パターンごとのデータから最少二乗法で求めた各電池のV-I特性であり、Y接片が開放電圧を表し、直線の傾きが電池の内部抵抗に相当する。この図から、走行不能な状態になるまで走行させると、性能が低下している電池では極端に端子電圧が低下していることがわかる。その原因は、内部抵抗の極端な増大によるもので、端子電圧を放電終止電圧以上にとどめるには、電池の出力電流を制限することが有効となる。

図15は、走行パターン数による起電力および内部抵抗の変化を示したものである。電池の特性が良好な範囲では、電池の残存電力量の変化と起電力の変化に相関が高いことが判る。これに対し、特性が良好でない電池の場合は起電力よりも内部抵抗の変化の方が感度が高いことが、使用経過後の組電池を用いた実験から明らかになった。北川等は、電流積算方式と電池の内部抵抗を検出する方法を併用した“残存容量計”を開発し、放電末期では内部抵抗による推測が信頼できることを確認している⁴⁾。本システムは、起電力と内部抵抗の双方を、電池を動的に使用している状態で推測できるうえ、容量が低下しているモジュール(またはセル)だけの特性を検出することができるため、従来の組電池の平均値で推測する場合より高い感度が得られることが明らか

かになった。

9. まとめと今後の課題

セル毎の端子電圧と主回路の電流を同時計測できる実用的なシステムを提案し、基本動作を確認した。その結果、アンバランスを初期の段階で検出し、過放電状態が発生するセルを無くすことが可能であることを示した、又、容量の低下したセル（又はモジュール）の容量に着目することにより、より実用的なSOCを推測できる可能性を示した。

今後、電池温度による補正に加えて、使用頻度や日常の一回の充電に対して走行する距離の大小などによって左右される実効的な容量を推測する手法の開発が不可欠であると考える。

参考文献

- (1) W. Retzlaff: On Board Battery Diagnostic and Charge Equalizing System (BADICHQ), Proc. of EVS-11, 20.03(1992)
- (2) P. Mauracher: Data Acquisition on Board of Electric Passenger Car and Suggestions to Reduce the Energy Consumption, Proc. of EVS-11,11.06(1992)
- (3) 矢田恒二ほか：電気自動車の加速時のエネルギー効率，自動車技術会論文集 No. 19 (1979)
- (4) M. Kitagawa et al. : Development of Battery State of Charge indicator for Electric Vehicles, EVS-12, vol. 1, p.293-302(1994)

研究発表

(論文)

- 充電状態推定機能を持った車載型電池管理システム，白井信正，二瓶光弥，清水健一，自動車技術会論文集 Vol. 28, No. 3 (掲載決定)

(学会等)

- (1) A Few Remarks on the Range Test of EVs - On the Effect of Test Procedure in Acceleration/Deceleration, K Shimizu, M Nihei, Proc. of EVT,95 2,471-479,7.11
- (2) 電気自動車用シャシーダイナモメータ，清水健一，白井，二瓶，自動車技術 50(3)40-45,8.3
- (3) 電気自動車のレンジ（一充電走行距離）に関する一考察 一組電池内のアンバランスの影響について一清水健一，白井，二瓶，自動車技術会学術講演会前刷り集(956)97-100,7.9
- (4) Current Status of Electric Vehicle Standardization Activities in Japan by K. Shimizu, Y. Kimura and H.Suzuki Proc. 13th Int. Electric Vehicle Symp. (1996-10),pp 353 ~ 360
- (5) On-Board Battery Management System with SOC Indicator by K. Shimizu, N. Shirai and M. Nihei Proc. 13th Int. Electric Vehicle Symp. (1996-10), pp. 99 ~ 104

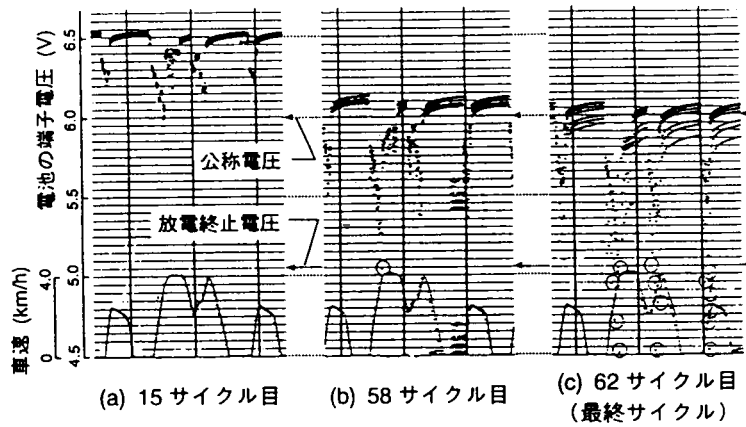


図1 10モード試験走行時の各電池の端子電圧の変化

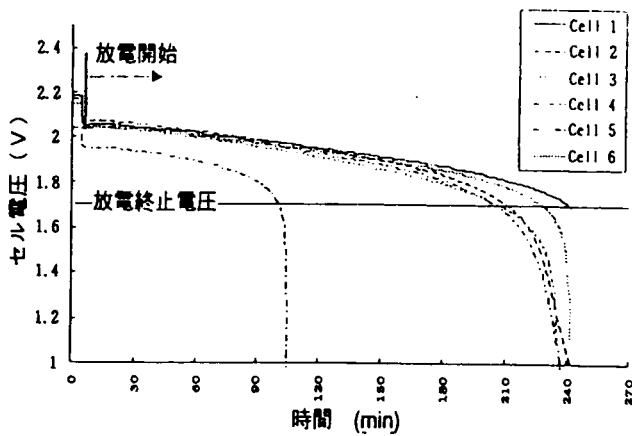


図2 モジュール電池の放電特性(セル毎)

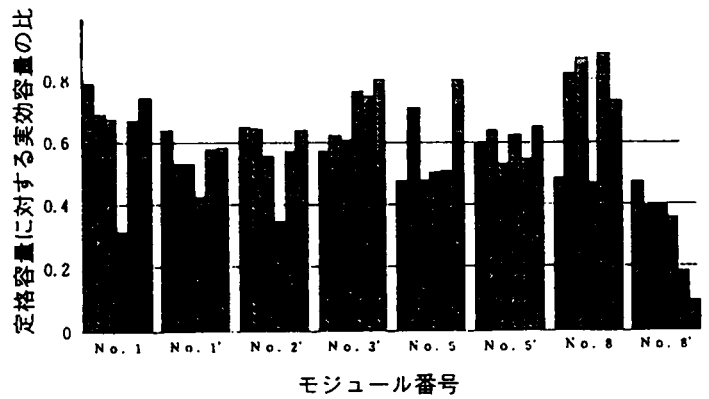


図3 モジュール電池毎のセルの実効容量

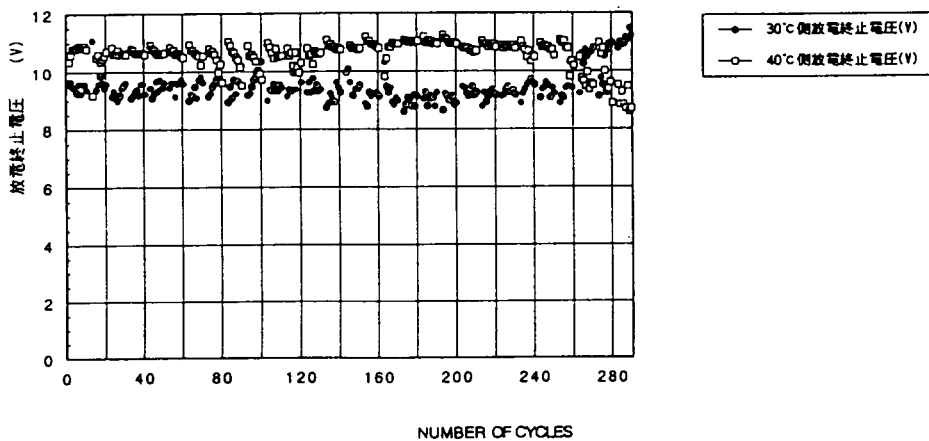
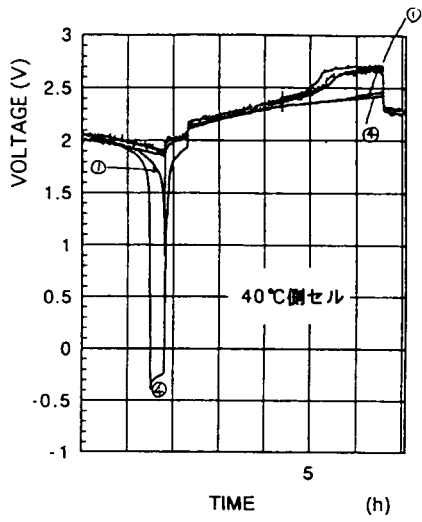
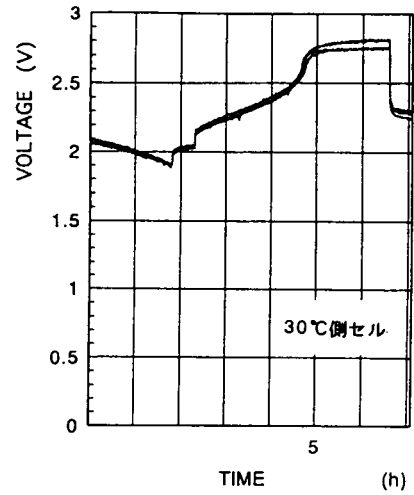


図4 放電末期の電圧の推移

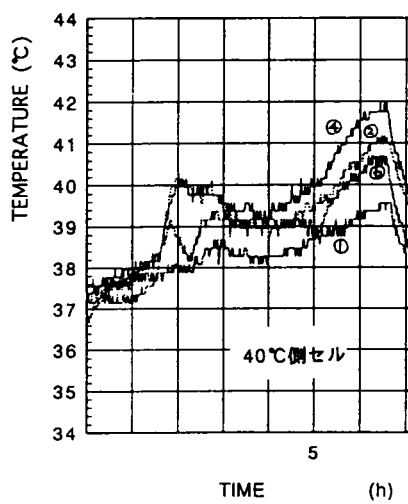


291th CYCLE

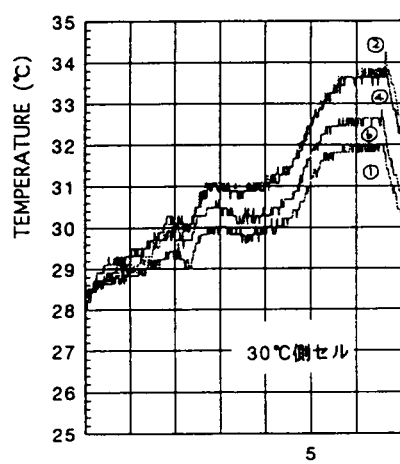


291th CYCLE

図5(a) 放電/充電時の各セル電圧の変化



291th CYCLE



291th CYCLE
TIME (h)

図5(b) 放電/充電時の各セルの温度変化

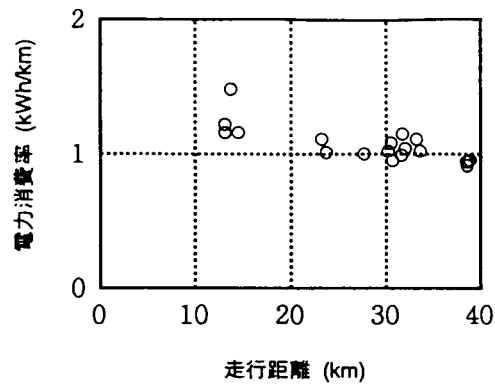


図6 一充電当たりの走行距離と電力消費率

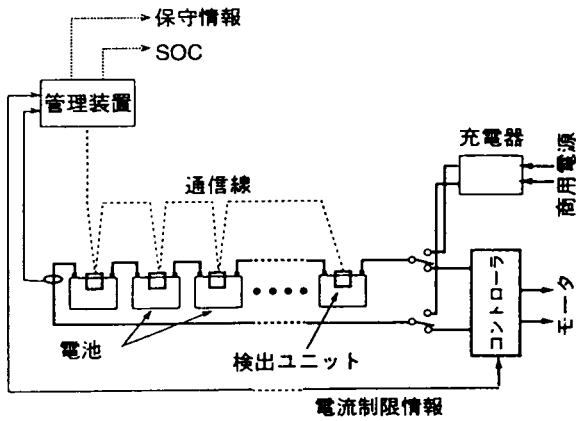


図7 電池管理システムの概念図

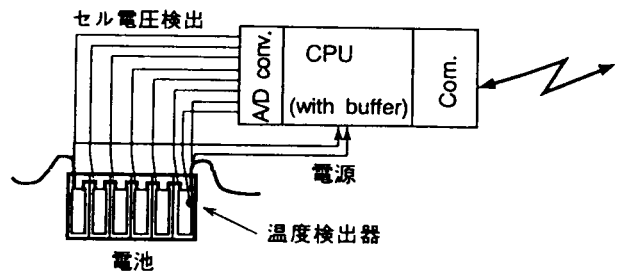


図8 検出ユニットの概念図

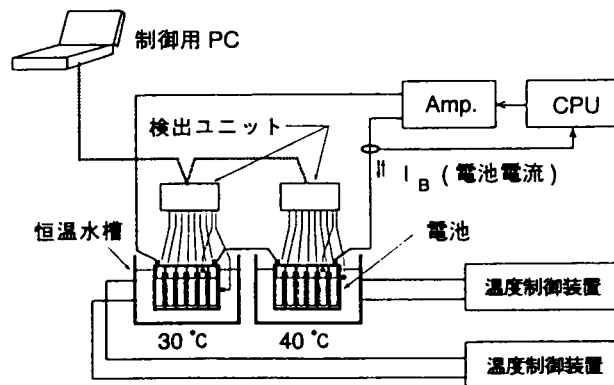


図9 試験装置のブロック図

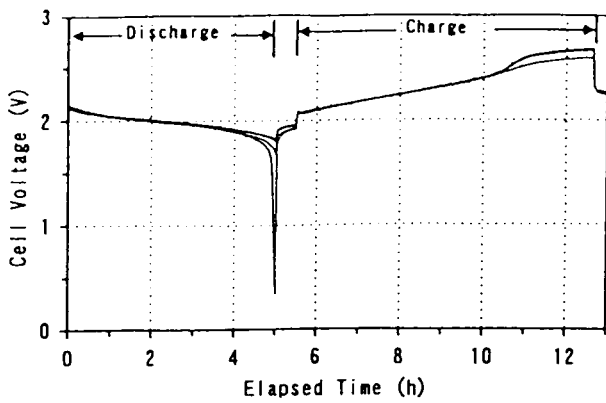


図10(a) 60 サイクル目の各セルの電圧変化 (30 °C)

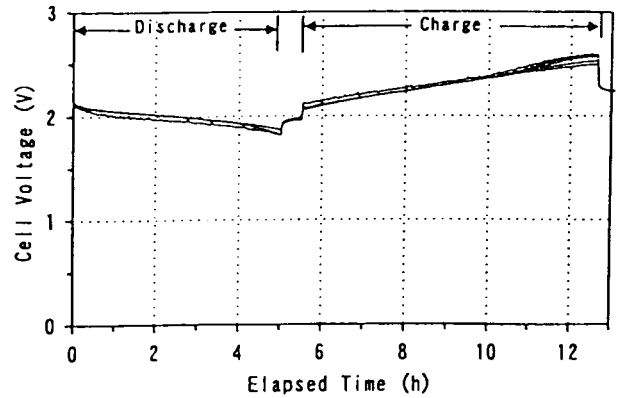


図10(b) 60 サイクル目の各セルの電圧変化 (40 °C)

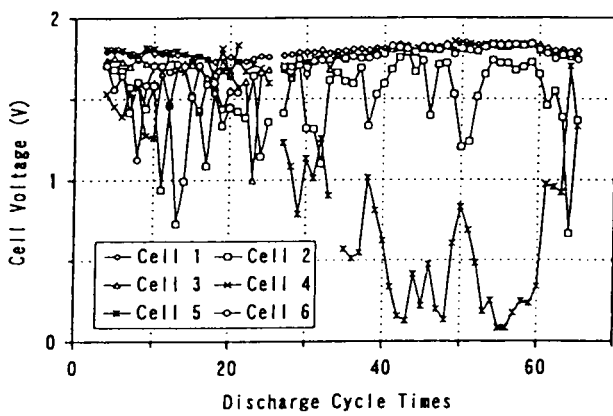


図11(a) 各セルの放電末期の電圧変化 (30 °C)

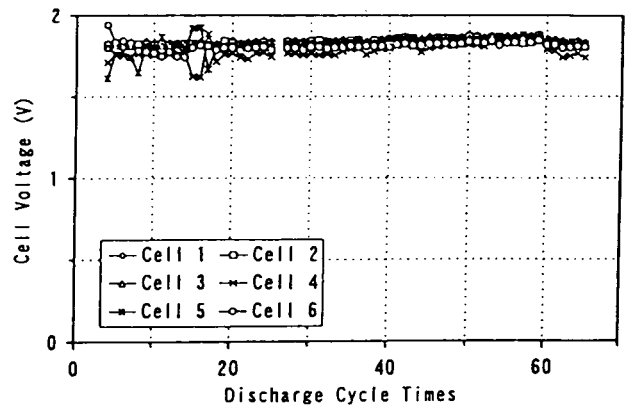


図11(b) 各セルの放電末期の電圧変化 (40 °C)

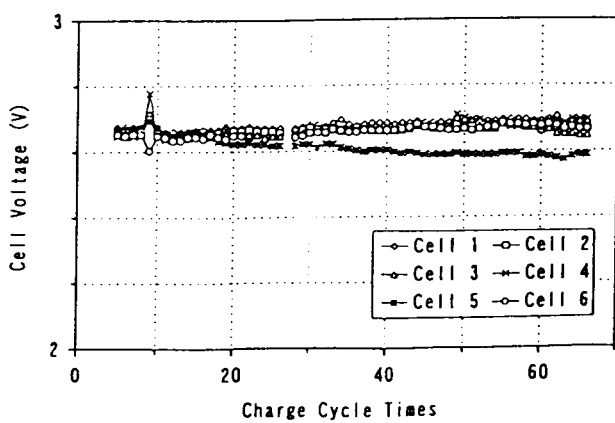


図12(a) 各セルの充電完了時の電圧変化 (30 °C)

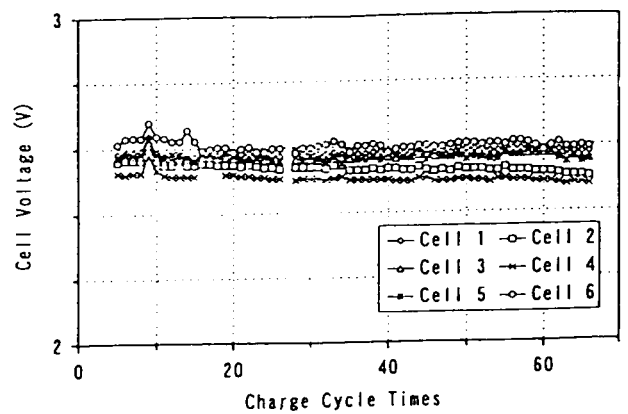


図12(b) 各セルの充電完了時の電圧変化 (40 °C)

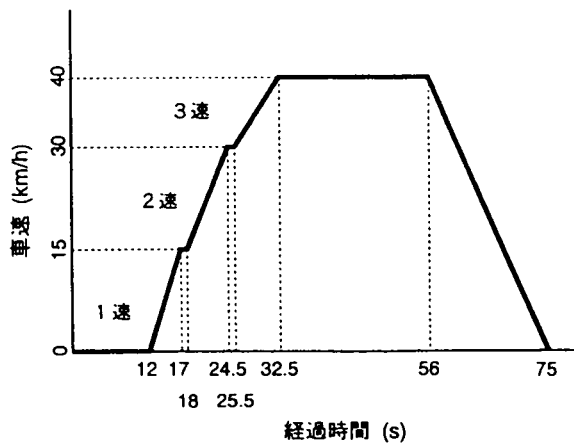


図13 修正された4モードパターン

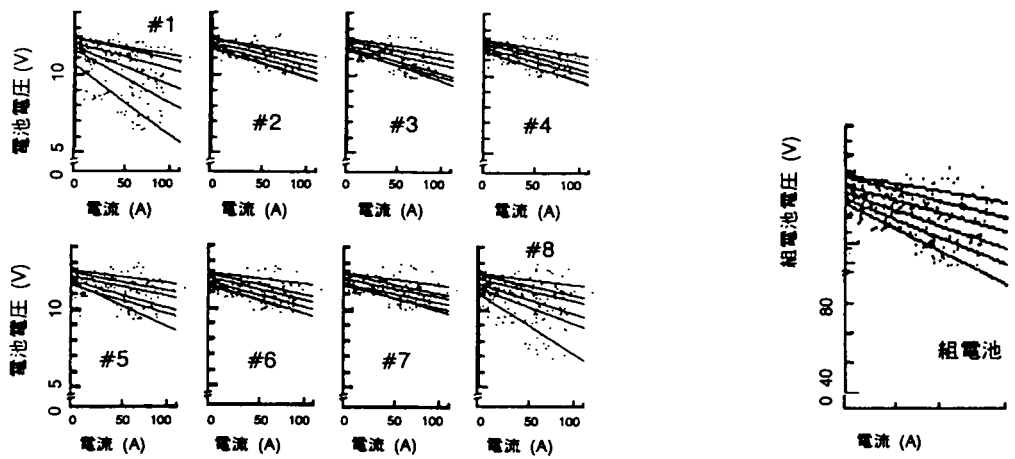


図14 各電池と組電池のV-I特性

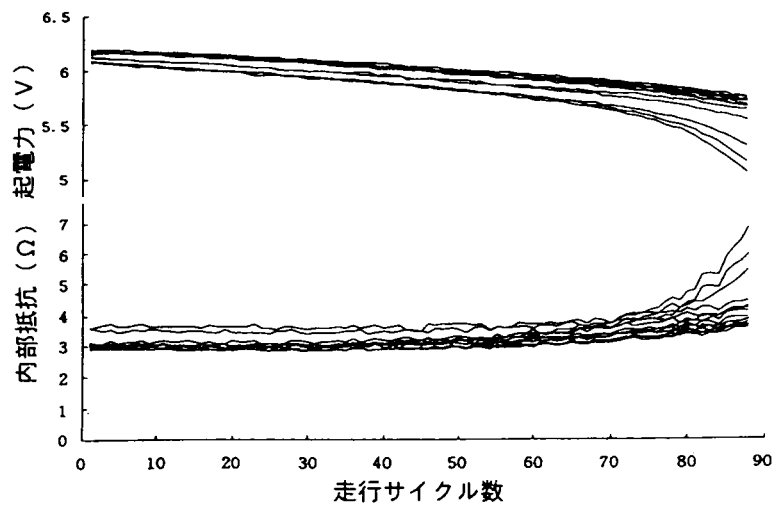


図15 4モード走行試験時の起電力と内部抵抗の変化