

B-55 低環境負荷型都市内交通手段に関する研究

(4) 電気自動車の運用効率の改善とその評価に関する研究

研究代表者 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

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

エネルギー利用技術研究室 白井信正

エネルギー利用技術研究室 岩月 徹

平成 9～11 年度合計予算額 21,207 千円

(平成 11 年度予算額 6,700 千円)

[要旨]

排ガス公害及び地球温暖化の防止、エネルギー源の多様化等を目的に、EV の実用化が検討されて久しい。しかし、現実に EV を使用した際に、電池の能力が公称値を大幅に下廻る例が少なくない。この主な原因は、充電の方法によって充電時の効率に大幅な差が出ることと、組電池内に生じる個々の電池特性のアンバランスによって組電池の特性が大幅に悪化する事にあるとの見方が一般的となってきた。そこで、EV の実用上のエネルギー効率を左右する大きな要素である電池の充放電管理の効率を向上させる方策について検討した。

まず、国内外のフリートテストの結果等、報告書等として入手できる資料を基に、EV の一般的な使用状況下での充放電効率の実態について調査した。その結果、充放電効率（商用電源からの入力電力に対する電池出力電力の比）が、現実には 83～58%と、大きくばらついていることが明らかになった。これに対し、単セル電池の理想状態での必要充電量は、取り出せる電気量の 104～105%であることを実験により確認できたため、運用時の運用方法に依存する充放電効率の改善が、EV そのものの効率改善よりも急務であり、見込める改善率も高いことが判明した。

そこで、当所で開発した簡易型の電池管理システムを用いて、電池管理システムの運用によって得られる電気自動車の運用効率の改善の可能性、すなわち充放電効率の改善度と、電池寿命の延伸度について、小規模な組電池を用いたベンチでの充放電試験を実施した。

寿命の延伸度の確認と同時に、効果的な均等充電方法についても検討を重ねた。その結果、各セル電圧が充電終止電圧をオーバーしないように充電電流を制御する方法が、ゲル式密閉鉛電池の均等充電法として有効であることを確認した。国内で多く利用されているガラスマツトを用いたリチウム式密閉型鉛電池については、試験用に改造した際の電池そのものの構造上の欠陥が判明し、急速このトラブルに対処した電池を試作し再試験を行った。その結果、ゲル式に比べて管理が難しいものの、セルの温度の上昇に注意を払えば同様の管理で良好な状態が維持できることを確認した。

一方、実使用時に使用者に表示すべき重要な情報の一つである残存容量について、シャシーダイナモメータ上での実車モード走行中に、簡易電池管理システムを用いてセル毎の残存容量を推測する方法の実用性の確認を行った。その結果、前述のアンバランスが生じて性能が低下したセ

ルが存在している状態を通常のモード走行中に把握でき、セルレベルでの残存容量が検出できることを確認した。これによって単に平均的な残存容量の表示でなく、セルレベルで過放電状態を発生させない様に運転者(又は車両の制御装置)に指示できることが確認できた。更に、温度変化や電池寿命等、実用時に補正すべき要件について検討した。

[キーワード] 電気自動車、電池管理、エネルギー効率

1. 序

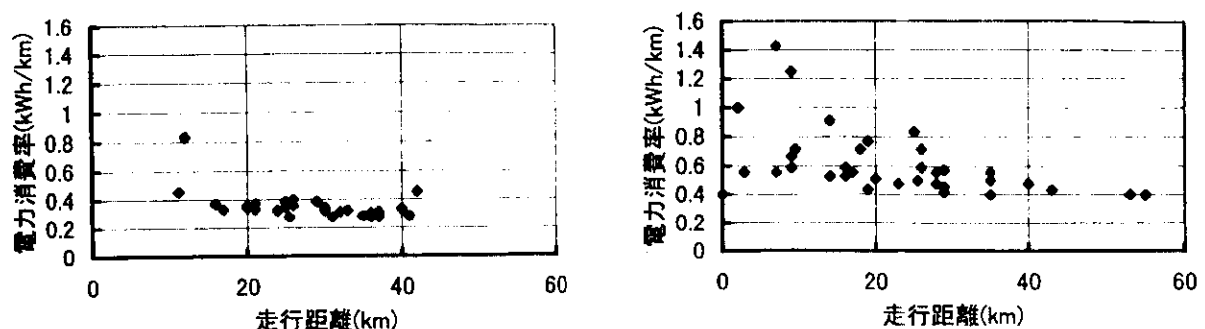
実用中の電気自動車のエネルギー効率や組電池としての寿命は、電池単体のエネルギー効率や電池寿命と比べて大幅に低いのが一般的である。組電池としての充放電効率の低下も寿命の短縮も、組電池内に発生する電池相互の特性アンバランスが原因で、これによって特定の電池が過放電状態と過充電状態をくり返すため、その電池が加速度的に劣化することが、組電池の寿命を短縮する一因とされてきた。しかし、詳細な調査によって、この原因が各電池を構成するセル間の特性アンバランスであることが明らかになり、充放電効率の改善や寿命の延伸には、セルレベルでのアンバランスの抑制が不可欠であることがあきらかになった。

一般的な組電池に容易に応用でき、将来、標準化が可能な簡易的なセル電圧/セル温度モニタリングモジュールを考案し、その実用試作機を試作した。昨年度は、モジュール取り付け用に試作した電池とそのモジュールを組み合わせて、充放電管理の実際の運用手法について、少数モジュール電池によるベンチでの充放電試験を繰り返し、本運用方法による寿命の改善度合の確認と、セル間のアンバランスを修正するための、均等充電方法の検討を行った

また、実使用時に使用者に表示すべき重要な情報の一つである残存容量について、シャシーダイナモメータ上での実車モード走行中に、簡易電池管理システムを用いてセル毎の残存容量を推測する方法の実用性の確認を行った。

2. 実用電気自動車のエネルギー効率

国内外のフリートテストの結果等、報告書等として入手できる資料を基に、EVの一般的な使用状況下での充放電効率の実態について調査した。



操作者：A (タイマーセット良好)

操作者：B (タイマーセット無視)

図1 運用方法による電力消費率の違い

国内で販売台数の多い代表的な改造電気自動車の実用時の電力消費率データ例を、図1に示す。一回の充電で走行した距離と、その際の電力消費率の平均値を示したものである。短走行距離での充放電効率が悪化するが、これは均等充電のために消費される電力の占める割合が大きくなるためと、充電末期の小出力での充電器そのものの効率が低いことに起因する。しかし、図の a) と b) では電力消費率が大幅に異なる。a), b)とも同一形式の車両を同一事業所で使用した例であるが、両者の差は運転者（管理者を兼ねる）が異なる点で、取り扱い説明に忠実に使用したか否か効率が3左右している。他の車両に関してもこれに類似した現象がみられた。これらのフリーテスト等のデータの整理結果から、充放電効率（商用電源からの入力電力に対する電池出力電力の比）が、現実には83～58%と、大きくばらついていることが明らかになり、EVを運用する上で電池の充放電管理の改善が重要であることが明らかになった。

3. 試作システムの概要

試作したシステムの概要を図2に示す。各モジュール電池には、各セルの電圧と温度を計測するモジュールが設置されている。このモジュールは図3に示すとおり、AD変換器とマイコン、通信系で構成されており、通信系から送られてきたコマンドを解釈して定められた動作を行う。

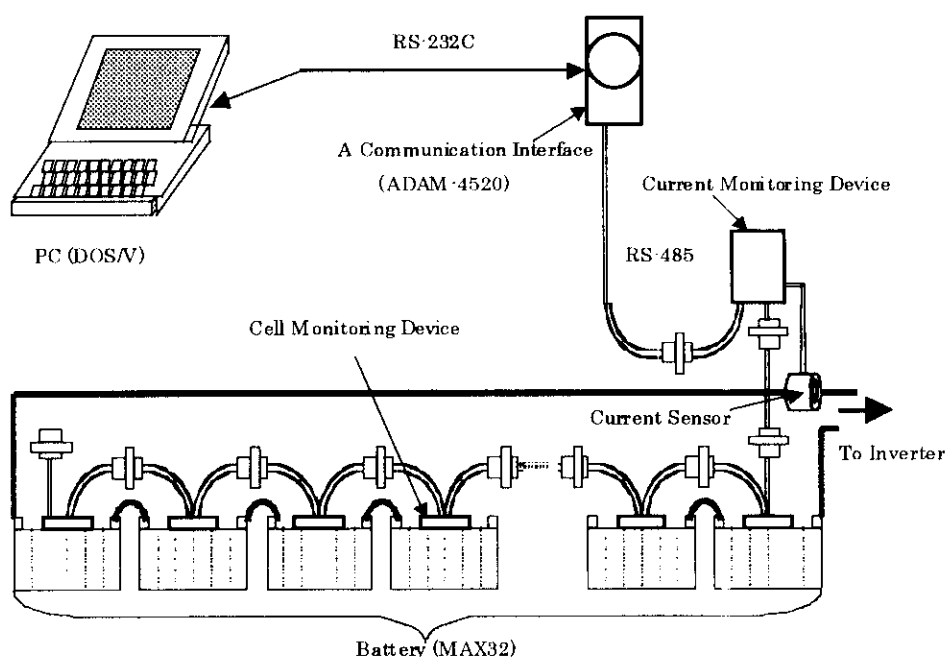


図2 開発した電池管理システムのブロック図

主な性能は、

- i) 計測方法等をあらかじめプリセットする。
- ii) GO コマンドを受けて、すべてのチャンネルのデータを同時計測しモジュール内に保持する。
- iii) 通信系からの要求コマンドに対し、保持していたデータを送出する。

このモジュールの電源は各供試電池から供給されている。各モジュールは通信系によってカス

ケードに接続されているが、通信系が絶縁式であるため、各モジュールは絶縁されている。従って、100V ~ 300V と高圧の EV 用組電池の電圧の中から、セル電圧の微小な変化、 $2.2V \pm \Delta V$ を安価な構成の回路で十分な精度で計測することが可能であることが特徴である。通信系の一端には電池管理システム用の計算機(将来の実用時には車両のコントローラー)が結ばれており、これからのコマンドに応じた動作を行う。モジュールと供試電池の写真を図 4 に示す。

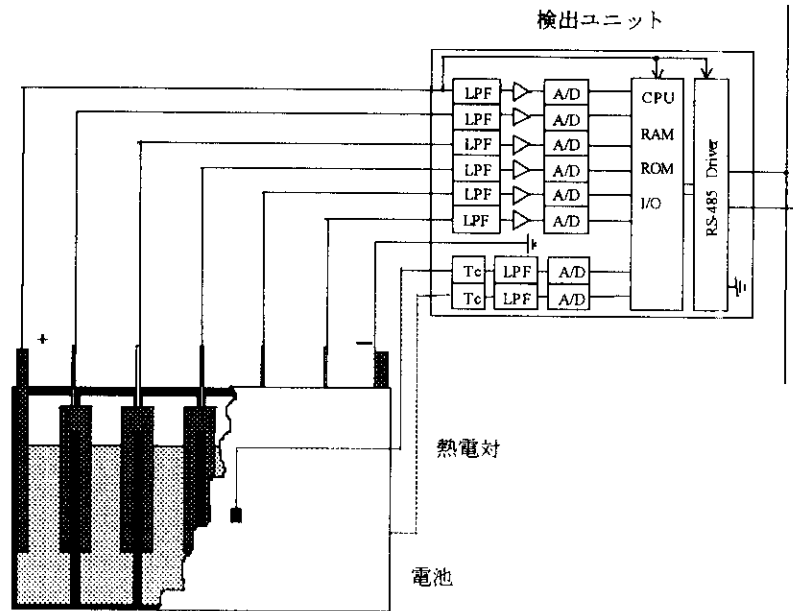


図 3 電池管理モジュールと供試電池の概要

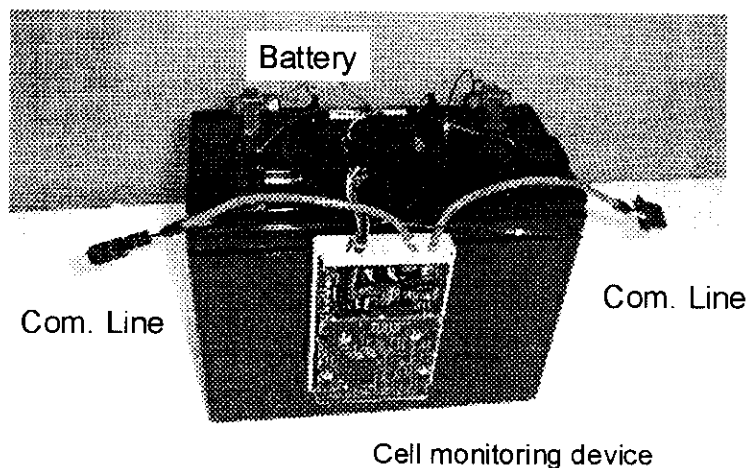


図 4 供試電池と電池管理モジュール

4. システムの運用方法の概要

表1 モニタリングユニットの仕様

電圧入力(6ch)	入力範囲	: 0~18V
	繰り返し精度	: 1%以内
	周波数特性	: DC~10Hz
温度入力(2ch)	T型熱電対	(0~70°C)
通信系	RS-485	、9600~19200bps
	パーティライン	(マルチドロップ)
	最大接続可能ユニット数	: 32
測定モード	シングル/バースト	

モニタリングユニットの仕様の概要を表1に示す。システムの基本的な運用方法は次の通りである。最初にユニットの計測モードを設定したのち、計測実行コマンドを出しては電流値データのみの収集を繰り返す（電池データは無視する）。電池電流については、実走行時にとり得る値の範囲に対して5レベル程度の範囲をあらかじめ決めておき、各範囲の電流値のデータが新たに測定された時のみ、性能が低下している電池（あらかじめチェックしてテーブルに登録しておく）の電圧、温度データのみを読みとる。この繰り返しによって広範な電流値に対する、性能が低下している電池のセル毎の電圧のみを収集する。これによって得られたデータの組から、各セルの起電力と内部抵抗を推測する。アルゴリズムの概要を図5に示す。

この方法で得られた4モード走行試験時の各電池の起電力と内部抵抗の推測例を図6に示す。この方法で得られた起電力の値は、走行距離とともにほぼ直線的に低下しており、走行可能距離の推測に有用である。また、内部抵抗の増加は、使用可能範囲の末期の検出に有効である。

あらかじめ決めておいたデータ収集回数毎に残りの電池に関しても少グループ毎に電圧データを収集し、大幅な性能低下がないかチェックする。起電力と内部抵抗の推測値が要チェック領域にかかった場合は、要チェック電池のグループのテーブルに追加登録し、短いサイクルのチェックを可能にする。この様に広範な電流値に対応する代表データのみを収集して計測の負荷をへらすことと、性能低下した要注意の電池のみを高い頻度でモニタリングし、他の電池のモニタリング頻度を低くすることによって計測の負荷を低減した。これらの工夫によって低速のデータ収集系で十分な効果を上げることができることを確認した。

ただ、全電流範囲に最初に落ち込むデータのみを採用する本方法では、1組のデータ内に時間的に古いデータが残る確率が高くなり、起電力と内部抵抗の推測演算時の精度を低下させているので、今後は、一定時間を経過したデータを破棄したり、適度に移動平均処理を行って最新のデータを取り込む改良が必要と思われる。

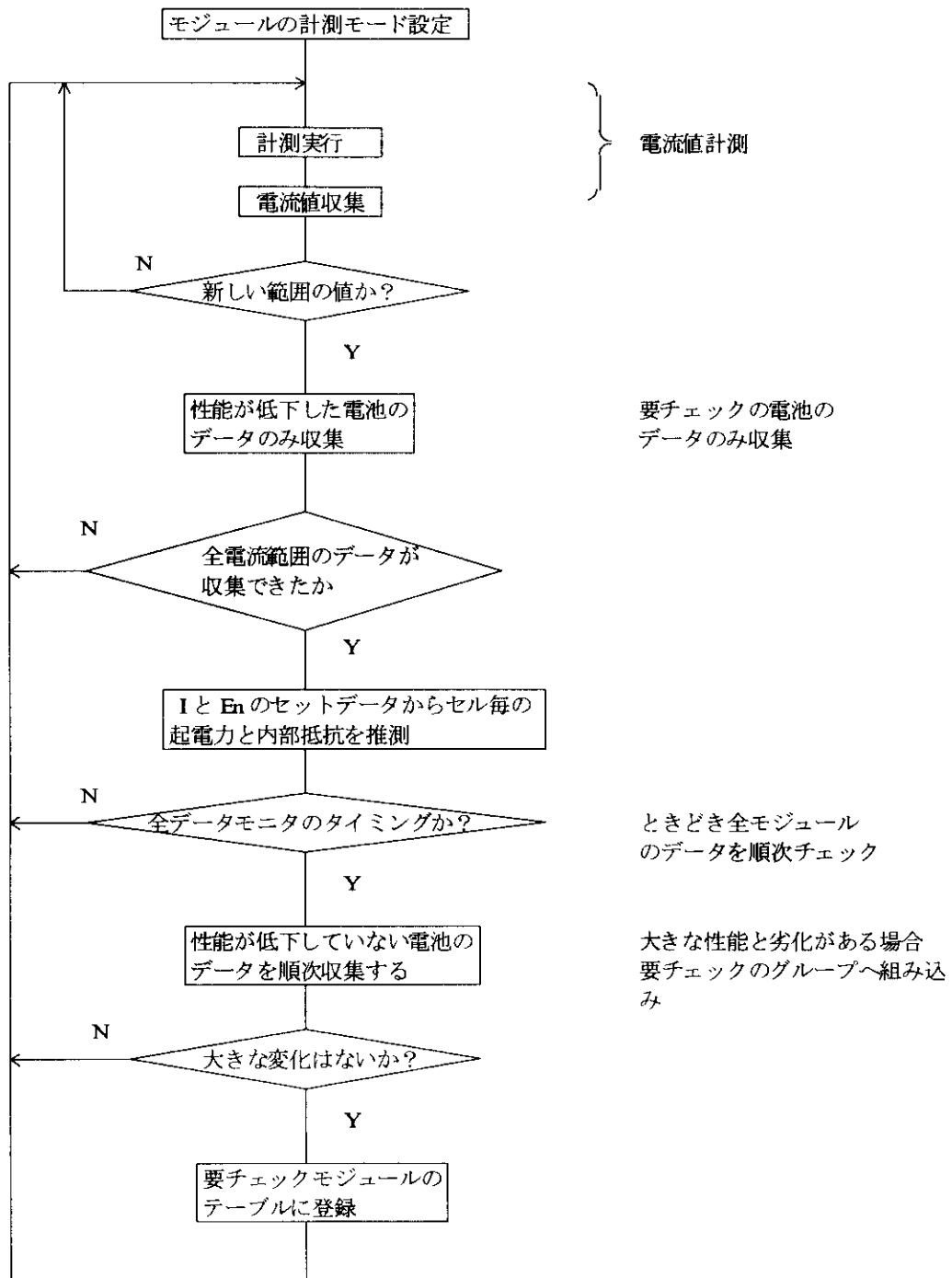


図5 走行中の電池管理のためのデータ収集アルゴリズムの概要

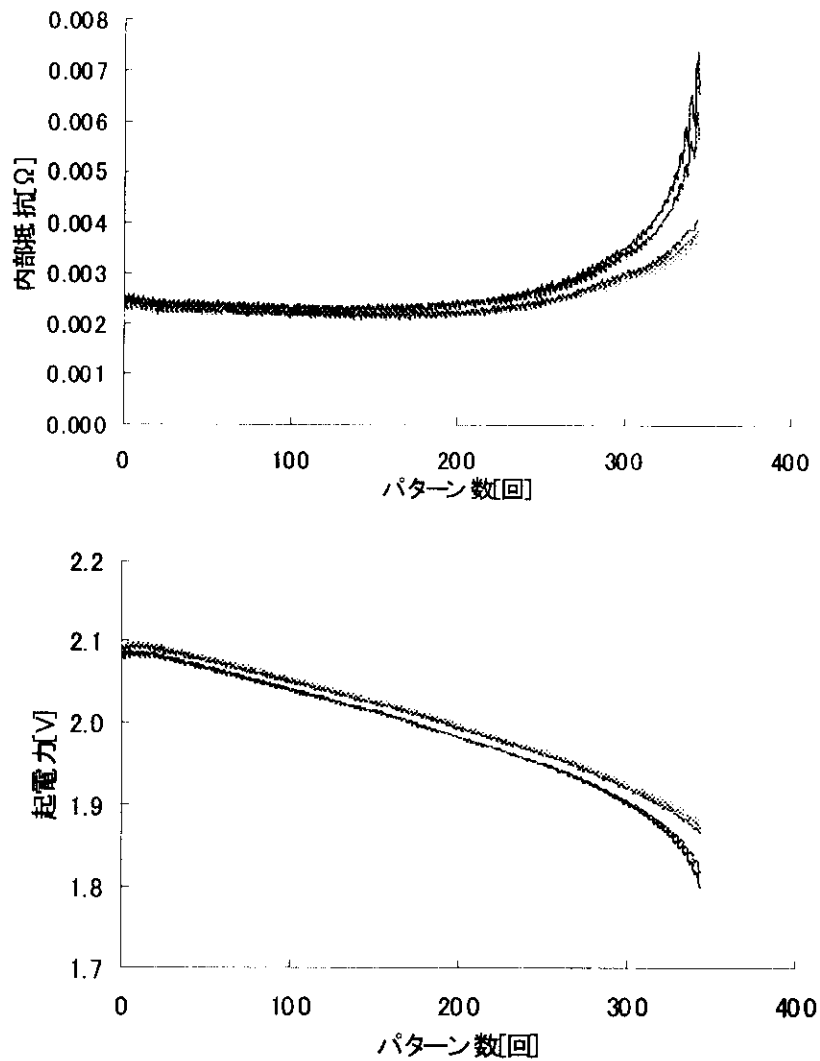


図6 起電力と内部抵抗の推測例

5. 均等充電方法

現在、一般に使用されている鉛電池は、メンテナンス性の点からいわゆる密閉型と呼ばれているバルブ制御型鉛電池であるが、内部に吸着しておけないほどのガス発生が起きた場合は安全弁から外部にガスが放出されるため、このような状況が起きた場合はガス放出によって電解液が減少し、減少量が多い場合は実効容量が減少する。この実効容量の低下がさらにガス放出の機会を増やし、この繰り返しによって電解液が極端に減少するドライアップに至り、加速度的な実効容量の低下を招き使用不能に至る。このため、電気自動車用電池の場合は、密閉型に移行してクレームが多くなった例も多い。

そのため、本電池管理システムでは好ましくない状態を常時監視して、この状態に陥る手前で電池の使用を停止して充電または放電の切り替えを行おうとするものであるが、電池間にアンバラ

ンスが生じた場合は実効容量の小さなセルに合わせた充放電しかできないため、アンバランスが生じないように各セルの容量を均等に維持することが必須となる。

密閉型電池には、欧州に多いゲル式と、国内で一般的なリテーナ式がある。そこで、双方の電池の均等充電手法について検討した。

(a) ゲル式密閉型鉛電池の均等充電

入手可能なゲル式電池が欧州製のものであるため、本電池管理用に改造することが困難である。そこで、定格 6 V のモジュール電池を組にした状態の組電池を用いて、6 V を制御の最小単位であるセルに見立てた実験を行った。図 7-1 は、一般に行われている、充電末期に組電池全体の端子電圧を充電終止電圧に一致するように充電電流を制御した際の各モジュール電圧の変化である。組電池全体としては一定電圧に維持しているにもかかわらず、各モジュール電池の電圧にはばらつきが多く、電池によっては充電終止電圧をオーバーして過充電状態になっていることがわかる。

図 7.2 は、本電池管理方法を想定して、充電初期は定電流で充電した後、充電末期に各モジュール電池の電圧が充電終止電圧をオーバーしないように制御したもので、図 7.1 で各モジュール電池の電圧の差が拡大する傾向にあったものが縮小しているのがわかる。したがって、個々の電池が動作可能範囲を逸脱しない様に制御した制御アルゴリズムが適当であったことが確認できた。

(b) リテーナ式密閉型鉛電池の均等充電

図 4 に示した電池と電池管理モジュールを用いて、ゲル式電池と同様の充電末期の充電電流の制御を行った。しかし、電池ケースの両端の二つのセルの容量が減少する結果となり、調査の結果、この電池の構造上の欠陥である可能性がきわめて高いことがわかった。

そこでハイブリッドバス用として、過酷な使用環境での使用実績のある電池を本管理システム用に改造して使用した。試験は供試電池 6 ヶで構成される小規模な試験用組電池を用いて、次の手順で、図 8 に示す様に電圧、電流を制御して充放電試験を実施した。すなわち、

- ① 10 分間待機
- ② 12A で何れかのセルが 1.8V を下回るまで放電
- ③ 10 分間待機
- ④ 12A で何れかのセルが 2.4V を上回るまで充電
- ⑤ 充電電流を逡減して、2.4V を上回るまで充電
- ⑥ 10 分間待機

ただし①～⑥は図中の各ステップに対応。

先のゲル式電池の充電方法は、このアルゴリズムの⑤のステップの逡減する電流値をできるだけ小さく抑さえたものに相当する。リテーナ式電池にこの方法を適応したところ、各セルのばらつきが増加するだけでなく、セルの容量にも悪影響がみられるものがあった。セル温度ははっきりした差がでるほどではないがセルによっては、一時的ではあるが温度変化率が高い部分があったため、リテーナ式の熱容量の小ささを考慮して温度上昇を抑制すべく、逡減する電流値の大きさを大きくした。すなわち、充電電圧の上限に達した場合、大幅に電流値を小さくすることによって充電の休止時間に相当する効果を持たせた。

その試験結果の例を図 9 に示す。

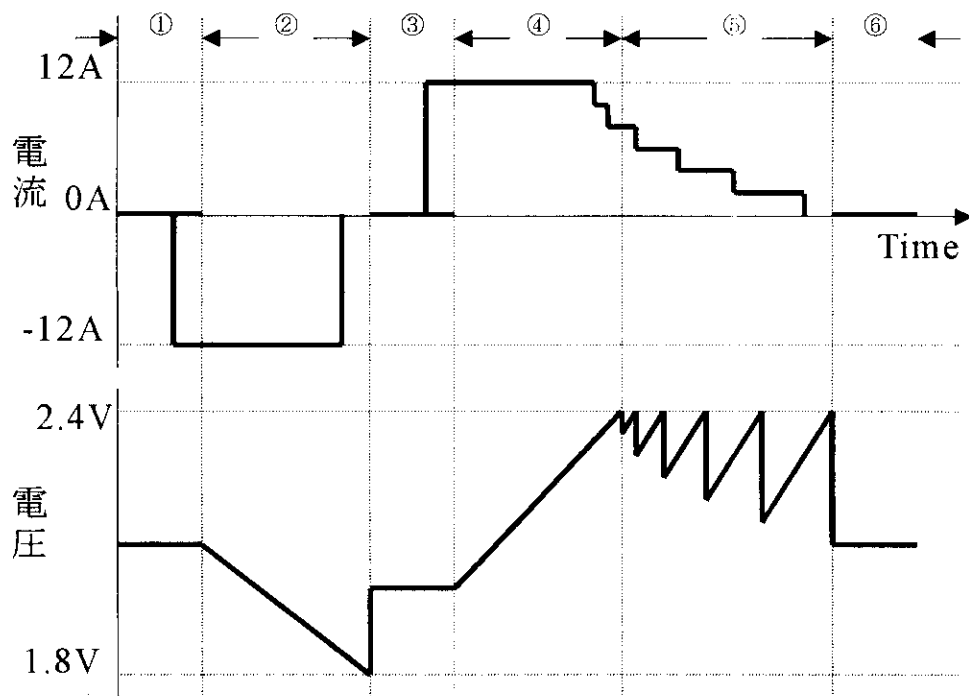


図8 充放電試験の電流制限方法

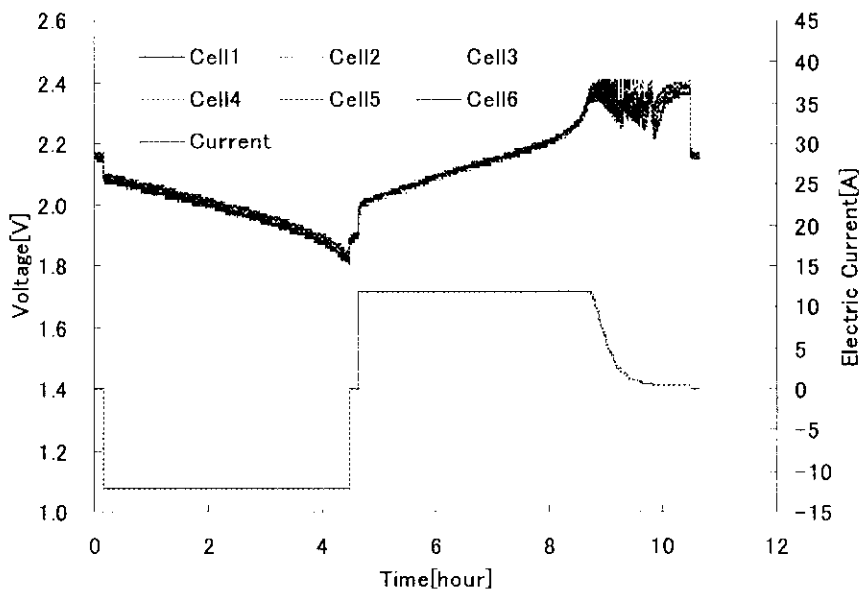


図9 リチウムイオン電池の充放電試験の例

環境温度の問題や放電深さなど充電時の状態を決定するパラメータが多いため、最適な選定ステップを明確に決定するまでには至っていない。今後運用していく際に経験的に決定されるもの

と考える。最適値を模索しながら実施した充放電試験における、実効容量の変化、充放電効率の変化を図 10 に示す。ここで、充放電効率は従来から電池メーカーの間で一般的に使われてきた Ah 効率のほかに、使用者として現実的な意味のある Wh 効率についても検討した。

その結果、注意深く充電する本方法では従来云われてきた平均的な Ah 効率の「85%」より遙かに高い 97% が達成できた。ただ、実際のエネルギー効率を示す Wh 効率は 90% にとどまった。

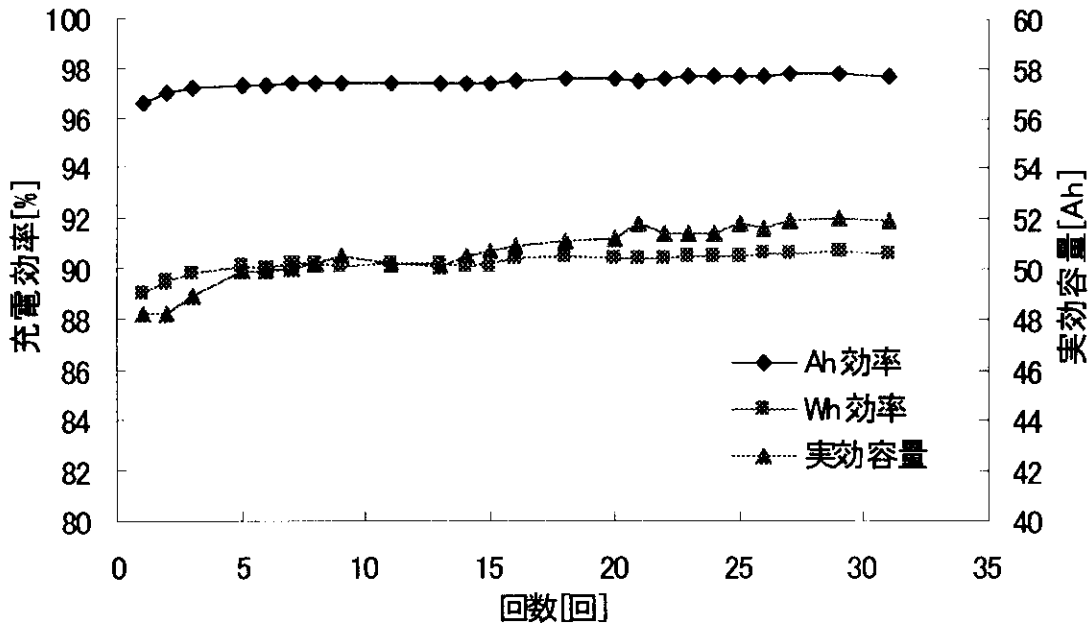


図 10 リチウムイオン電池の充放電効率

6. 残存容量推定機能の確認

本システムは、どのセルも動作推奨範囲から逸脱しない様に制限して使用するものであるため、最も残存容量が小さい電池によって全体の使用できる容量が制限を受ける。そのため、極力均一な状態になる様に均等充電を行うことと、車両の使用者(運転者)に走行中の車両内で利用可能な容量又は走行距離を実時間で知らせることが重要な要件となる。

このため、実 EV を用いたシャシーダイナモメータ上でのモード走行試験を行い、モード走行中のはげしく変動する電池電流と各セル電圧データから、セル毎の起電力と内部抵抗のデータが求められるかを確認した。試験車両としてはダイハツ製のハイゼットEV (150Ah、96V) を用い、走行モードは運輸省の新型車両の審査基準で定められた 10・15 モードを使用した。車両の運転は車両運転用ロボットによる自動運転を採用した。

電池モニタリングモジュールが組み込まれた試験用電池の容量が 60Ah と小さいため、シャシーダイナモメータの吸収負荷を、 $60/150$ に修正して試験電池の電流負荷が妥当な値になるように配慮した。試験の様子を図 11 に示す (シャシーダイナモメータは、四輪駆動車用シャシーダイナモメータを改造して回生制動を忠実に模擬できる電気自動車専用のものである)。



図 11 シャシーダイナモメータ上での走行試験

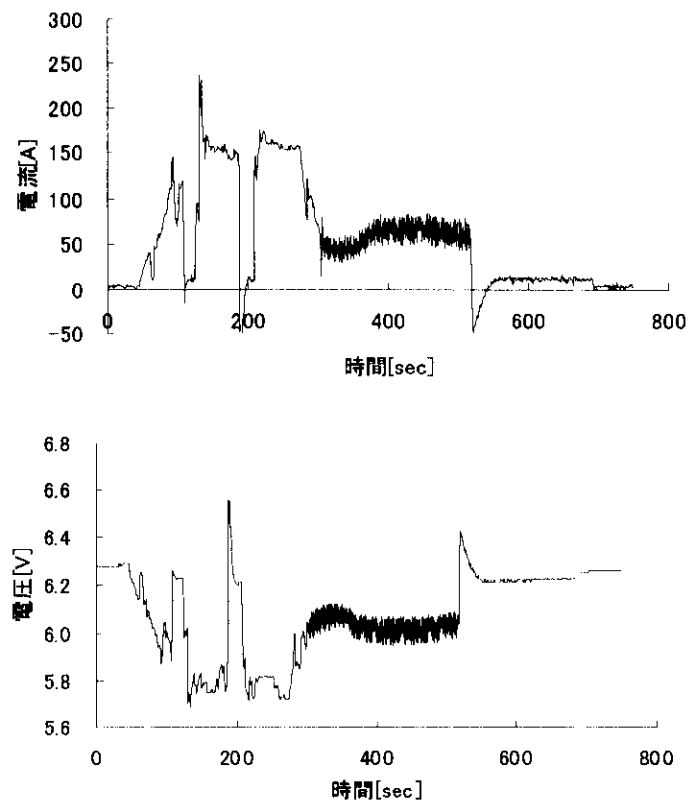


図 1 2 加速途中の電池電圧と電池電流の変動例

加速時の電池電流と電池電圧の変化を図12に示す。車両が手動変速機付きのものであるため、電流値が大きく変動し、これに対応して電池電圧も大きく変動している。電池の各セルの電圧も

当然これに対応して変動する。

電池をブラックボックスとみた場合、電池は純粋な起電力源と電池の内部抵抗の合成したものと仮定できる（図13参照）。回路の電流 I と各セルの端子電圧 E_n が測定できれば、

$$E_n = E_{0n} + I \cdot R_n$$

が成り立つ。ここに E_{0n} は n 番目のセルの起動力、 R_n は n 番目のセルの内部抵抗である。

ここで、種々の電流値 I に対する端子電圧の変化 E_n を測定できれば、この I と E_n の関係から、 E_0 は図14の y 軸の切片、 R は $\tan \theta$ として求められることがわかる。

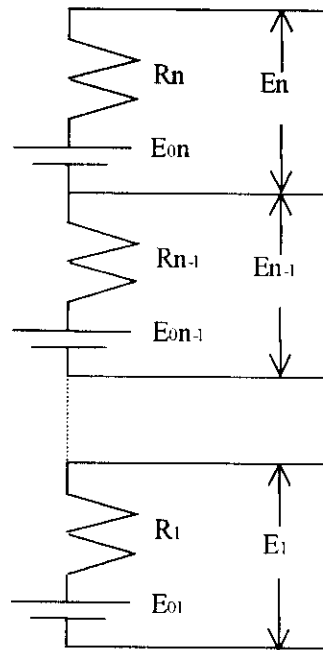


図 1 3 電池のモデル

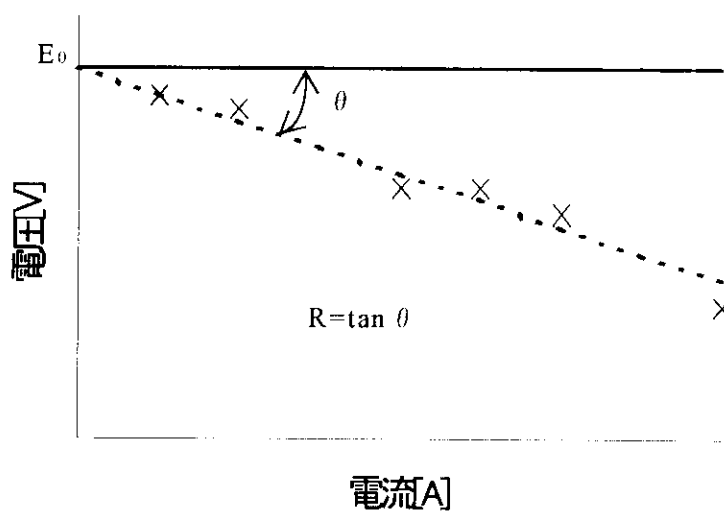


図 1 4 電池の起電力と内部抵抗の推測方法

本方法は、充電又は放電中の変化する I の値とその際の各セルの端子電圧 E_n を同時に測定すれば起電力 E_{on} と内部抵抗 R が求まるもので、ここで重要なのは I と E_n の計測の同時性である。

そのため、セルの端子電圧 E_n はすべて同時刻に測定されなければならない。一つのモジュールは一般的に6セル(12V)で構成されるが、例えば比較的低いシステム電圧の120Vのシステムでもセル数の合計は60セルになり、高性能車でよく採用される228Vのシステム電圧の場合は144個にもなり、これを同時に測定するには高性能のデータ収集システムが必要となる。そのため、車両上で車両の制御装置の一部として使用できるレベルにはコスト面でも耐雑音性等の面でも難しい。そこで、本システムでは図2に示した(実際のシステムの外観を図15に示す)様に、規格化可能な汎用の低レベルのマイコンベースのデータ収集モジュールを絶縁型の通信系で結んだもので構成し、外部からのコマンドで各モジュール電池に設けられたデータ収集モジュールの各AD変換器が同時にAD変換を開始し、測定結果を各モジュール内のメモリーに保持することによって、同時計測を達成している。この各モジュールのメモリーに保持されたデータを使用するには、制御装置から順次読み採らなければならないため、全データの収集には比較的長い時間を要する。

検出モジュールの計測は単一計測モードとバーストモードが可能である。単一計測モードは、一回の計測開始コマンドに対して一つのタイミング(計測回数は、1, 2, 3, 4, 8回の4種類が可能で、計測結果の加算平均値が内部メモリーに保持される。計測間隔は1mSおきで、たとえば計測回数を8にしたときは8mS間の八つのデータの平均値が保持される)で計測するものである。バーストモードは、測定時の直流測定精度を高めるために10回または100回の測定を行い、その加算平均値を内部メモリーに保持するもので、単一計測モードの計測間隔が1mS固定であるのに対し、バーストモードではその間隔がパラメーターとして設定可能である。測定回数と計測間隔の選択によって長い平均化時間の設定が可能であり、従ってバーストモードは、どちらかという、値の変動が少ない定常状態での測定を対象に、測定精度を向上させることを想定している。

本システムでは、EVのチョッパーやインバーターの電子スイッチによるスパイク状の信号を無視し、実効的な変動のみを計測する目的で、DC~10Hzが平坦でそれ以上の周波数で緩やかに減衰するローパスフィルターを用いて、測定精度を高めている。フィルターによる波形ひずみを避ける目的で遮断率の小さなフィルターを採用しており、実質的には50Hz程度の信号までをAD変換器に入力していることになる。バーストモードで、計測間隔を長くすれば、平均化の時間を大きくとれるため、AD変換する回数の指定や計測間隔の選択により、50Hzを上限に、準直流の範囲で扱う周波数を選択できる効果を期待している。しかしローパスフィルターの遮断周波数を勘案するとサンプリングの定理から下限は0.2Hz程度となる。

今回は、実際に都市内走行を模擬した走行試験で、このAD変換の回数を種々変化させて、最適な平均化の回数を求めた。評価は、測定結果中の誤差の大きさと、ダイナミックな変動を充分把握できているかの2点で行った。具体的には、測定誤差に関しては、前述の電池電流-電圧特性のデータのばらつき(標準偏差)で評価した。また、ダイナミックな計測の可否については、後述する電池電流の大きさをクラス分けするステップを利用して、電池電流の頻度分布の変化の様子で評価した。

その結果、100回の平均を採用した場合は大電流の発生頻度が低下する傾向がみられ、1,

2回では若干発生頻度が高くなる傾向があるが、4回(4mS)～10回(10mS)の範囲では大きな差がみられなかった。また、データのばらつきも1, 2回の場合は若干ばらつきがみられたが、4回以上では起電力、内部抵抗の推測値に大きな差がなく、十分な測定精度が確保できていると解釈できた。但し、平均化の時定数を大きくした場合、大電流に対応するデータが不足するために起電力と内部抵抗の推定精度が低下する傾向がある。これらの結果から、単一計測モードで、測定回数を4または8回に設定する方法を採用した。

データ収集は、前述したとおり次のステップで行った。

- a) M コマンド(計測条件設定)で各モジュールの計測モードを設定する。
- b) G コマンドですべてのモジュールの計測を実行させる。
- c) I コマンドで必要な番地のモジュールを指定し、このデータを収集する。また、必要に応じてモジュールの指定を順次変更してデータを収集する。

a) のコマンドは、使用時の最初に1回実行すればよい。これに対し、b) と c) のステップは組にして実行するが、読み取り(I コマンド)は、モジュール毎に指定するため、データの収集に時間を要する。したがって、実用時には、不必要なデータを極力収集しない様にアルゴリズムを組むことが必要となる。

すなわち、最初にモジュールの計測モードとして単一計測モードを設定したのち、計測実行コマンドを出しては電流値データのみを収集するループを設ける。電流値については、実走行時にとり得る範囲の値に対して5レベル程度の範囲をあらかじめ決めておき、各範囲の電流値のデータが新たに得られた時のみ、性能が低下している電池(あらかじめチェックしてテーブルに登録しておく)の電圧、温度データのみ収集する。この繰り返しによって広範な電流値に対する、性能が低下している電池のセル毎の電圧を収集する。これによって得られたデータの組から、各セルの起電力と内部抵抗を推測する。

あらかじめ決めておいたデータ収集回数毎に残りの電池に関しても少グループ毎に電圧データを収集し、大幅な性能低下がないかチェックする。端子電圧と電流値から推測した起電力と内部抵抗値に大幅な差違がある場合は、要チェック電池のグループのテーブルに登録し、短いサイクルのチェックを可能にする。

この様に広範な電流値に対応する代表データのみを収集して計測の負荷をへらすことと、性能が低下した要注意の電池のみを高い頻度でモニタリングし、他の電池のモニタリング頻度を低くすることによって計測の負荷を低減した。これらの工夫によって低速のデータ収集系で十分な効果を上げることができることを確認した。

しかし、あらかじめ設定したクラス分けされた各電流範囲に最初に落ち込むデータのみを採用する方法は、1組のデータ内に時間的に古いデータが残る確率が高くなり、次の問題が発生する可能性が高いことが明らかになった。すなわち、

- 7) 電池の状態が大幅に変化するほど長い期間のデータを1組にした場合、電池の状態を推定する精度が低下し、内部抵抗や起電力を正しく把握できないことが判明した。

そこで、この対策として、次の各項を実施した。

- 1) 実質的なデータ収集時間を短くするために、要チェック電池の数をへらす。
- 2) クラス分けしたすべての電流範囲に対応するデータが満たされなくても一定の時間でデータ収集を完結する。

4) の方法を採用したことによって、電池の数が増加した場合も、要チェック電池のテーブルを更新する作業を規則正しく実行すれば、特に要チェック度の高い少数の電池のみのデータ収集に徹底することが可能になり、実用性が改善された。具体的には、少数の要チェック電池用のテーブルと、同量の一般電池チェック用のテーブルを複数組み用意し、要チェック電池に関しては常時チェックするのに対し、一般の電池に関しては一つのグループについて1トリップ相当の1データセットのデータを収集して電池状態に大幅な変化がないことを確認した後、次のステップでは別のグループの電池に対しての確認作業を行う。この方法によって、劣化度の小さな一般電池についても順次電池の状態をチェック出来る。一般電池グループ内で性能が低下した電池があって、その程度が要チェック電池の性能より低い場合は、要チェック電池テーブル内の性能低下度が一番低い電池とこの性能が低下した電池を交換し、常に性能が低下した電池をモニターするように組み替える。

5) の項目に関しては、次のようなアルゴリズムを採用することによって対応を試みた。すなわち、収集した電流値 I_n に関して、 $I_n \pm I_{no}$ の範囲をデータ収集操作をスキップする範囲とし、この I_{no} の値を電流計測命令の都度、漸減する方法を採用した。これによって連続して同様のレベルのデータを収集することを防ぎながら時間的に可能な範囲で発生比率の高い状態のデータを多数収集することを可能とした。

もう一つの課題として、起電力と内部抵抗を推測するためのデータセットをどのような基準で1グループとして採るかも、走行状態が不規則な現実の走行では大きな問題点としてあげられる。ここでは、実用的な精度を落とさない範囲で簡略化を図るために次の方法を採用した。

- ・基本的には停止状態から発進・加速して再び減速・停止するまでのいわゆる1トリップをデータ収集の1セットとした。
- ・トリップが長い場合は、前述したように、一定の時間で収集を完結し1データセットとして扱った。
- ・渋滞等によってトリップ時間が少ない場合はデータの質が低いことを考慮して収集したデータを放棄する方法を採用した。

この方法で収集したデータから求めた起電力の変化は図6に示したとおり、低SOC領域を除けばほぼ走行距離に比例する形で、SOCの推測に有効であることがわかる。また、起電力が低下する時点で内部抵抗が急激に大きくなることから、この現象を放電終止状態の検出に利用することが有効である。

7. まとめ

簡易電池管理システムを用いた電池管理の運用手順を検討し、その運用手順で電池を管理した際のエネルギー効率を、充放電試験で確認した。その結果、比較的簡易な方法によっても90%程度の充放電効率を実現できることを確認できた。

また、電池の残存容量の推測の可否をモード走行試験時のダイナミックな負荷状態で確認した結果、基本的な動作としては充分実用に耐える機能を発揮できることを確認した。

成果発表，特許等の状況

(1) 口頭発表

- ① 電池管理システムと均等充電に関する一考察，清水，電気自動車研究会第3回研究発表会概要集，1997年4月23日，p49～p50
- ② 電気自動車の電池管理(9832242)ーセル単位モニタリングの効果についてー，清水健一、白井信正、アブリティ・アブドラ，自動車技術会 1998年度学術講演会，，1998.5.
- ③ VRLA 電池用モニタリングシステム（セル基準モニタリングの効果の検証とプロトタイプシステムの概要），清水健一、白井信正、アブリティ・アブドラ，平成10年度J E V A電気自動車フォーラム，，1998.11.
- ④ 電気自動車電池管理システムの実用化研究(I)ー最適充電法の検法ー，アブリティ・アブドラ、清水健一、白井信正，機械技術研究所研究発表会，，1998.7.
- ⑤ Current Activities of Standardisation in Japan，清水健一、持田忠夫，16th International Electric Vehicle Symposium（世界電気自動車協会），中国，1999.10.

(2) 論文発表

- ① 充電状態推定機能を持った車載型電池管理システム，白井他，自動車技術会論文集，Vol.28,No.3,July 1997 p83～p88
- ② Monitoring System for VRLA Battery - Verification of Cell Base Monitoring Effectiveness and Outline of Prototype System -, 清水健一、白井信正、アブリティ・アブドラ，Proc. of the 15th International Electric Vehicle Symposium , , , p.paper No. 169 -(on CD-ROM) , 1998.9.
- ③ 実用電気自動車のエネルギー効率を左右するものーEV用組電池の簡易モニタリングー，清水健一，エネルギーフォーラム ，，524 ，p.113 -113 ，1998.8.