

自動車用 AI バッテリー 《CYBOX®》 の開発

Automotive AI Battery 《CYBOX®》

山田 恵造* Keizo Yamada 町山 美昭* Yoshiaki Machiyama 大津 公二** Koji Otsu
黒田 泰介** Yasusuke Kuroda 小西 真*** Makoto Konishi 匂坂 彰秀**** Akihide Sagisaka

自動車用鉛蓄電池（以下“バッテリー”と記す）の状態を常に監視し、異常を検知すると警告音で知らせ、異常の内容を表示するAI（Artificial Intelligence, 人工知能）バッテリー《CYBOX®》を開発した。

当社の持っているバッテリーの状態検知技術をベースに、エンジン始動時の瞬間的な電圧低下をパラメータとする新しい状態検知の手法を開発し、高信頼性の小型状態判定装置にそのアルゴリズムを組込んだ。さらに、小型状態判定装置を、蒸発した水分が還流する構造を電槽蓋部に持つ無補水タイプのバッテリーに搭載した。

本開発品を使用することによって、点検装置などによる特別な点検が不要となり、使用者はバッテリーを原因とする突然のエンジン始動不能を気にせずに自動車を使用できる。

We developed automotive AI (Artificial Intelligence) battery CYBOX®. This battery diagnoses by itself all the time and alarms to users at the time of detecting a problem with display the state of battery. New concept battery monitoring method was developed using the parameter of voltage drop which may occur immediately after engine start. This method is based on the battery state monitoring technique which we have had developed. This new algorithm is put in the method in high reliability and compact battery diagnosis unit. And as this battery has special lid structure, troublesome water addition is unnecessary. Using this battery, normal battery test will be no necessary and user can enjoy driving without care about no-start troubles by sudden battery failure.

〔1〕 緒 言

現在、自動車においては、地球環境の保護、快適性、安全性を考えた様々なシステムが開発されている。アイドリングストップ、マイルドハイブリッド、X-By-Wire（補機類の電動化）などのシステムはその一例である。これらの新しいシステムに搭載するために、バッテリーにおいても大幅な改良が精力的に行なわれている。また、搭載されるバッテリーは、エンジンの始動だけでなくアイドリングストップ中の電力供給、制動時のエネルギー回生などの様々な充放電が行なわれるため、バッテリーの充電状態、劣化状態を正確に検知する技術^{1)~5)}の開発が必要とされている。当社では、このニーズに応えるために早い時期からバッテリーの状態検知技術の開発、製品化に取り組んできて⁶⁾いる。一方、現在走行している自動車においても、快適性を考えた各種電装品の増加によってバッテリーに対する負荷は増大してきており⁷⁾、バッテリーの重要性はますます高まってきている。しかし、その一方で

JAF出動件数の四分の一以上がバッテリートラブルによる原因となってきたことなどからも、状態検知技術の市場への早期展開が望まれている。今回製品化した自動車用AIバッテリー《CYBOX®》は、当社の持っているバッテリー状態検知技術をベースにしてあらたに開発した小型状態判定装置を内蔵している補修用のバッテリーであり、上述した市場のニーズに応えるかたちで開発したものである。以下に、開発内容、製品概要について報告する。

〔2〕 開発品のコンセプトと課題

開発品の第一番目のコンセプトは、バッテリーは自動車に搭載されたときから常に自己の状態を診断し、異常が発生したときには自動的にブザーで知らせ、使用者は簡単なチェックによってどのような異常が発生したのか判る、いわゆる自己診断機能を持たせることである。第二番目のコンセプトは、自己診断機能のアルゴリズムを組込んだ状態判定装置を小型

*電池技術開発所 **埼玉工場 ***名張工場 ****東莞工場

化し、バッテリーに内蔵させることである。これらのコンセプトを具体化するための主な課題は、以下に示す通りである。

- (1) 当社の持っているバッテリー状態検知技術をベースにした、あらたな状態検知技術とアルゴリズムの開発
- (2) バッテリーに内蔵できる小型の高精度、高信頼性状態判定装置の開発

以下に、それぞれの開発の内容について述べる。

〔3〕状態検知技術とアルゴリズムの開発

バッテリーの状態として重要なものは、充電状態 (SOC : State of Charge) と劣化状態 (SOH : State of Health) である。SOCとSOHは以下のように定義される。

$$\text{SOC} (\%) = \frac{\text{残容量 (Ah)}}{\text{満充電容量 (Ah)}} \times 100$$

$$\text{SOH} (\%) = \frac{\text{劣化時の満充電容量 (Ah)}}{\text{初期の満充電容量 (Ah)}} \times 100$$

当社における検討結果から、SOCは十分に安定した開回路電圧 (OCV : Open Circuit Voltage) から推定可能であり、またSOHはエンジン始動時のバッテリーの直流内部抵抗からの推定が最も精度が高い。しかし、後者の直流内部抵抗を測定するために数百アンペア以上の電流を精度良く測定するシャントを用いることは状態判定装置をバッテリーに内蔵する場合の大きな障害となる。また、コスト的にも高価な部品を使用することになる。

したがって、直流内部抵抗と相関のあるパラメータの選定とその精度の高い測定が重要となる。

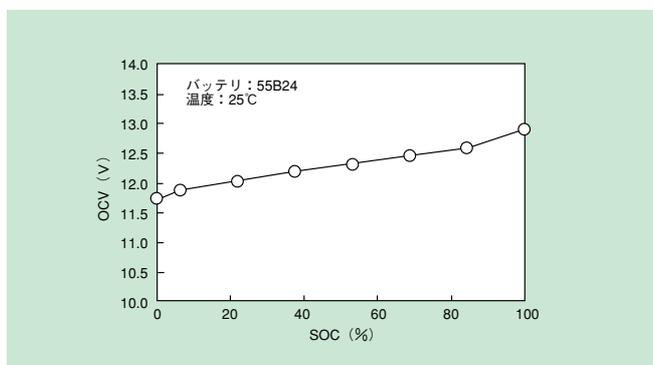


図1 SOCとOCVの関係
Fig.1 Relationship between OCV and SOC.

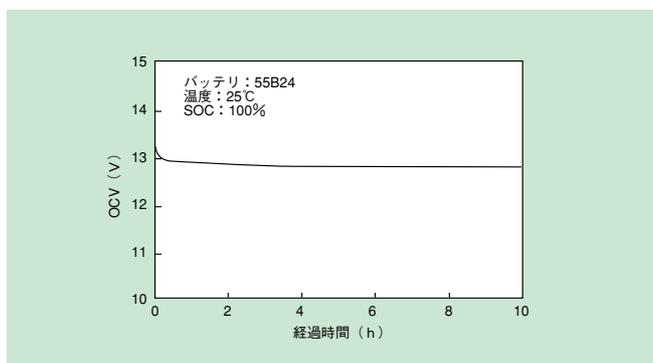


図2 過充電後のOCVの経時変化
Fig.2 OCV Characteristic after Overcharge.

3.1 充電状態 (SOC)

SOCとOCVの関係を図1に示す。SOCが100%から0%まで変化したときのOCVの変化量は約1.2Vである。したがって、SOC10%当たりの変化量は約120mVであるので、状態判定装置の開発においては、これを考慮したOCVの測定精度が要求される。また、充放電を行なった後OCVは安定するまでに時間を要するので、状態判定装置はエンジンが停止したことをまず認知し、かつOCVが十分に安定したことを確認して測定しなければならない。図2は、SOC100%のバッテリーを過充電した後のOCVの経時変化を示したものである。過充電したときにはOCVが安定するまでに最も時間がかかり、この例では約3時間を要している。

3.2 劣化状態 (SOH)

前述したように、SOHを推定するためには直流内部抵抗に替わるパラメータを選定する必要がある。本開発で着目したのはエンジン始動時のバッテリーの電圧低下である。すなわち、バッテリーの劣化が進行して直流内部抵抗が大きくなった場合、エンジン始動時のバッテリーの電圧低下も大きいという経験的に知られている関係である。図3に、エンジン始動時のバッテリーの電圧とバッテリーの放電電流の経時変化を示す。エンジンを始動させると、ほとんど瞬間的に大きな電圧低下が起こり、その後振動を繰り返しながら回復していることが判る。電流の変化は、電圧の変化に同期している。この間の時間は1秒以内である。図中の最低電圧をVst、これに対応する電流をIstと定義することにする。図4は、ほとんど瞬間的に電圧と電流が変化したタイミングを拡大したものである。データのサンプリング間隔は1ミリ秒である。図から、約4ミリ秒でVst、Istが現れていることが判る。

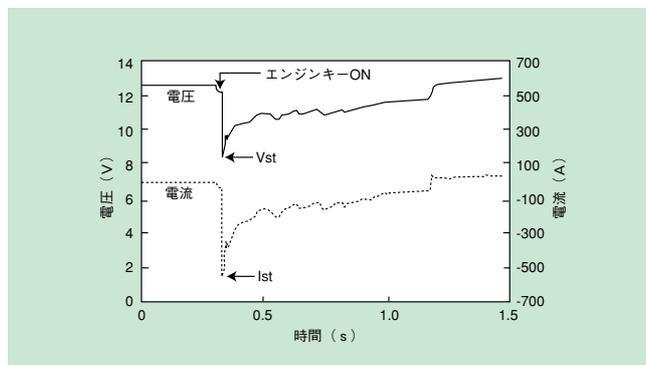


図3 エンジン始動時のバッテリーの電圧と放電電流
Fig.3 Battery Voltage and Discharge Current at Engine Start.

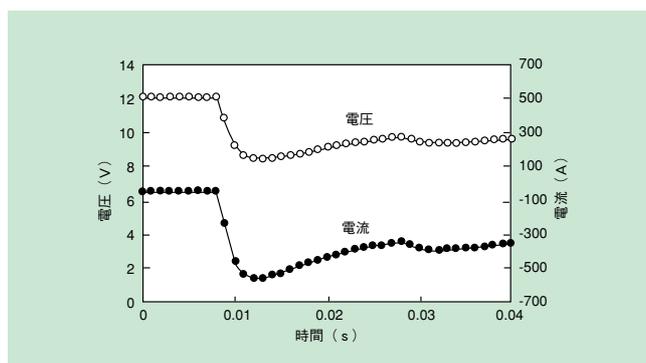


図4 Vst, Istの測定例 (データサンプリング間隔1.0ms)
Fig.4 Measurement Example of Vst and Ist. (Data Sampling Interval : 1.0ms)

ここで、Vstの電気回路的な意味を考えてみる。図5は、エンジン始動時の等価回路、VstとOCV、Rの関係を示したものである。図中の(3)式から判るように、自動車の電気負荷rが一定であれば、エンジン始動時の電圧低下VstはバッテリーのOCVと直流内部抵抗Rに依存する。図6は、SOHの異なる8種類のバッテリーを用意し、それぞれのバッテリーのOCVすなわちSOCを変えて自動車に搭載し、Vst、Istを測定して、(1)式によって電気負荷rを求めた結果である。図より、バッテリーの状態に係わらず電気負荷rは一定であり、エンジン始動時の電圧低下VstはバッテリーのOCVと直流内部抵抗Rに依存すると見なしてよいことが判る。OCVと直流内部抵抗Rは、それぞれSOCとSOHに関係付けられることから、Vstはバッテリーの状態を表しているパラメータであることが判る。なお、Vstは直流内部抵抗Rを反映しているパラメータであると同時に、自動車のエンジン始動性であるスタータへの出力(W=Vst×Ist)に直接関係している値である。そこで、本開発ではSOHの推定をするために直流内部抵抗Rを(3)式から算出せず、Vstをそのままエンジンの始動性を判定するパラメータとして用いた。

3.3 OCV-Vstマップによるバッテリーの状態判定

図7は新品のバッテリーと劣化状態の異なる2種類のバッテリーのOCVとVstの関係を測定し、OCV-Vstマップ上にプロットしたものである。

このマップはOCVとVstの関係を4つの領域、すなわち良好領域、要注意領域、要交換領域および要充電領域に分けてバッテリーの状態を判定している。領域を分けるに当たっては、市場から回収したSOHの異なる数多くのバッテリーのOCVとVstの関係を測定し、プロットの軌跡を詳細に検討して決定した。要交換領域にあるバッテリーはOCVが少し下がるとVstが急激に低下し、エンジンを始動できなくなるバッテリーであ

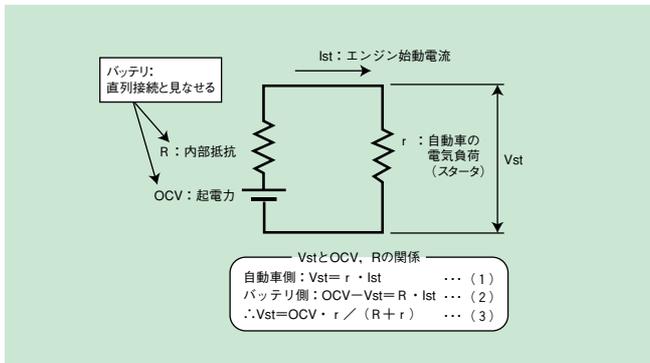


図5 エンジン始動時の等価回路
Fig.5 Equivalent Circuit at Engine Start.

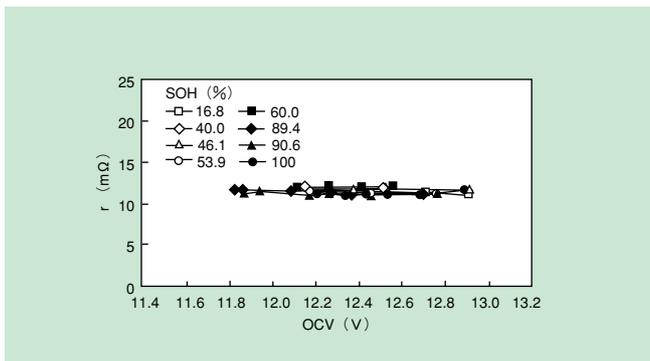


図6 OCVと自動車電気負荷rの関係
Fig.6 Relationship between r and OCV.

る。また、要充電領域にあるバッテリーは充電すればOCVが上がり良好領域に戻るバッテリーである。各領域の妥当性を検証したところ、市場から回収したバッテリーの97%は矛盾なく表現できていることが判った。残りの3%についてはプロットの軌跡の特徴を考慮して、妥当な状態判定となるように別の判定アルゴリズムを設定した。

また、OCV-Vstマップはバッテリーの温度とバッテリーが搭載される自動車による補正を行なっている。後者の補正を行なう理由は、電気負荷rは、バッテリーを搭載する自動車ごとに異なるためである。そのために、前述の(3)式から判るように、同一のバッテリーであってもVstの値が異なってくるからである。この自動車の電気負荷rを考慮した補正によって、搭載したバッテリーのエンジン始動性をより高い精度で判定できることになる。なお、電気負荷rは、バッテリーが自動車に搭載されたときに自動的に測定され、メモリに記憶されてOCV-Vstマップの補正が行なわれる。

〔4〕状態判定装置の開発

開発した状態判定装置の電子回路のブロックダイアグラムを図8に示す。電圧は、分解能20mV、サンプリング間隔1msの高精度、高速測定が行なわれ、OCV、Vstの正確な値とVstの確実な捕捉を実現している。演算部によって異常の判定がなされるとブザー、LEDへの出力がなされる。演算部にはバッテリーを自動車に搭載したときからの各種データが記憶されており、必要に応じてエンジンの始動回数など、多くのデータを読み出すことができる。また、バッテリーからの電子回路の消費電流を考慮し、バッテリーが自動車に搭載されるまでの消費電流は20μA以下にしてある。バッテリーが自動車に搭載されると、電圧の変化を検知して自動的に自動車に搭載され

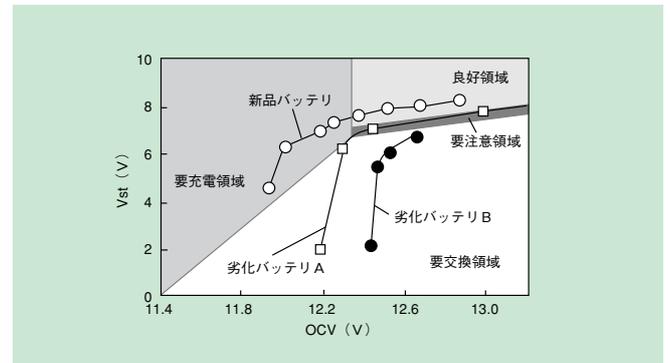


図7 OCVとVstの関係
Fig.7 Relationship between Vst and OCV.

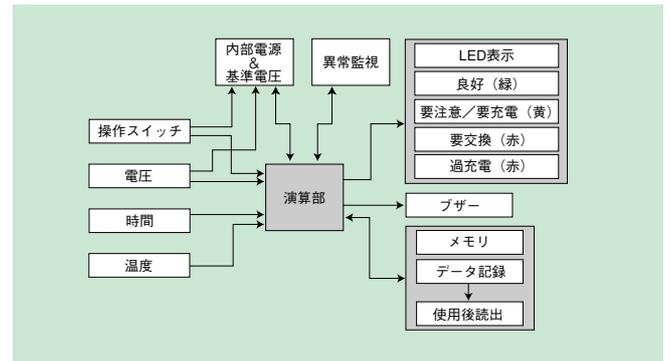


図8 状態判定装置電子回路のブロックダイアグラム
Fig.8 Block Diagram of Electronic Circuit.

たと判断し、電子回路が動作モードに入っている。

図9に電子回路の実装基板を組込んだ状態判定装置を示す。ケースの外形寸法は長さ100mm、幅40mm、高さは最大で20.5mmである。実装基板は耐水性、耐酸性、耐振動性をより向上させる目的でエポキシ樹脂によってモールドされている。バッテリーのプラス、マイナスの端子との接続部品は耐振動性などを考慮して一体成形のプスパーとした。状態判定装置は、これと嵌合させるための窪みを設けたバッテリーの電槽蓋に埋め込まれる。

開発した状態判定装置について、自動車技術会規格JASO D001（自動車用電子機器の環境試験方法通則）に準拠した試験を実施した。表1に試験項目を示す。いずれの試験においても問題のないことを確認した。

〔5〕開発品の概要

状態判定装置を搭載した自動車用AIバッテリー《CYBOX®》について概要を説明する。

5.1 状態判定動作

バッテリーの状態判定は、ブザーにより自動で使用者に知らせる「自己診断」と、使用者がボタンを押すことによって判

表1 状態判定装置の環境試験項目

Table 1 Environment Test Item of Battery Diagnosis Unit.

試験項目	内容
過渡電圧試験 *1	電源端子に過渡電圧（-80V, 1/30Hz）を印加
静電気試験 *2	±0.5～5 kVの静電圧を印加
伝導電磁気試験	30～50Hz, 0.1～10Vの干渉電磁気電圧を印加
放射電磁気試験	5～100V/mの干渉電磁波の影響評価
温度特性試験	-30, -5, 25, 100℃, 各1h
低温作動試験	-30℃, 70h
高温作動試験	105℃, 130h
温度サイクル試験	(-30→100→-30℃, 1サイクル8h) ×30
熱衝撃試験	(-40→120→-40℃, 1サイクル8h) ×6
温湿度サイクル試験	(23→55→-40→100→25℃, 1サイクル24h) ×10
定常湿度試験	85℃, 95%, 190h
結露試験	-5℃→35℃, 85%
耐水試験	JIS D 0203
塩水噴霧試験, 96h	JIS C 0023準拠の装置・塩溶液, 96h
振動試験	5～200Hz, 44.1m/s ² , 8h
高周波サージ試験	±300V および ±700V

*1:B-1, *2:A-1, B-1, C-1

表3 「マニュアル診断」での表示

Table 3 LED Display and Alarm at Manual Diagnosis.

バッテリー状態	診断結果表示	
	LED	警告音
良好	良好が点灯（5秒間）	点検ボタンを押した時に確認音が鳴る
要注意	要注意／要充電が点灯（5秒間）	
要交換	要交換が点灯（5秒間）	
要充電	要注意／要充電が点滅（5秒間）	
過充電	過充電が点灯（5秒間）	

表2 「自己診断」での表示

Table 2 LED Display and Alarm Information by CYBOX®.

バッテリー状態	診断結果表示（エンジン停止時に自動判定し、LED・警告音で知らせる）		
	LED	警告音	繰り返し設定
良好	点灯しない	警告音なし	—
要注意	要注意／要充電が点灯（5分間）	30秒	・ボタンを押すまでエンジン停止時に毎回警告音 ・押して点検後は知らせない
要交換	要交換が点灯（5分間）	30秒	・ボタンを押すまでエンジン停止時に毎回警告音 ・押した後は18時間以上間隔で警告音
要充電	要注意／要充電が点滅（5分間）	30秒	・エンジン停止時に毎回警告音
過充電	過充電が点灯（5分間）	30秒	・エンジン停止時に毎回警告音

定結果を知ることができる「マニュアル診断」の二つの機能を持っている。図10に、バッテリーに搭載されている状態判定装置の使用法を示す。また、表2および表3に、状態判定装置が診断結果に対してどのような動作をするかを示す。表2に示すように、「自己診断」では、「要注意」などのバッテリーの異常を検知すると、エンジン停止後に警告音を約30秒間鳴らす。「要注意」の判定は、バッテリーの劣化があるレベルに達したことを知らせ、使用者に注意を促すことが目的であるので、使用者が警告音に気づき、バッテリーの状態判定装置の診断結果“要注意”を自ら確認し、装置のボタンを押すことで警告音は鳴らなくなる。また、表3に示すように、「マニュアル診断」では、使用者が必要に応じて状態判定装置のボタンを押すことによってバッテリーの状態診断結果を随時確認することができる。この機能は「自己診断」の補助的なものである。

5.2 無補水タイプバッテリーへの搭載

状態判定装置を搭載しているバッテリーは本装置を搭載するために開発した無補水タイプのバッテリーである。液栓が無く、

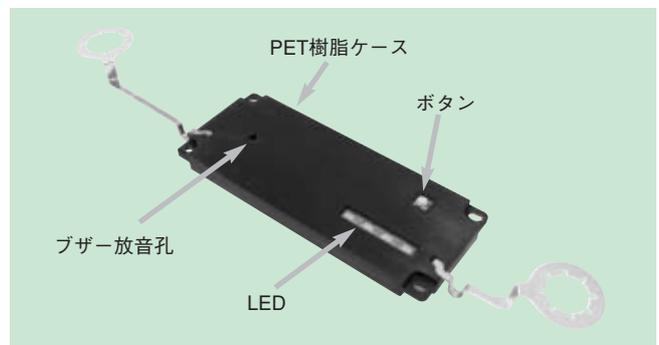


図9 状態判定装置の外観
Fig.9 Appearance of Battery Diagnosis Unit.

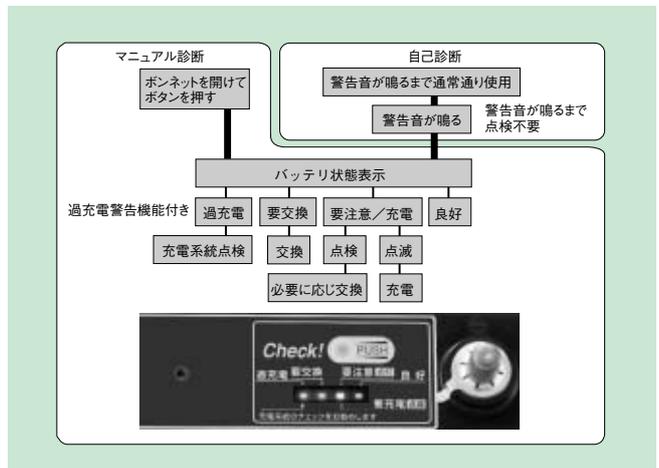


図10 使用方法
Fig.10 Diagnosis and Alarm Function.

電槽蓋の内部に電解液から蒸発した水分を凝集させてバッテリー内に戻すための迷路状の還流部を備えている。図11に、還流部の構造を示す。バッテリーの排気口は電槽蓋の左右に二箇所あり、安全性を向上させるために防爆フィルターが取付けられている。図12に無補水タイプバッテリーの減液特性を示す。寿命時まで補水する必要の無いバッテリーである。

図13に、状態判定装置を搭載した無補水タイプバッテリーの概観を示す。本開発品は、自動車用AIバッテリー《CYBOX®》として、2004年8月より発売を開始した。

〔6〕 結 言

- (1) 小型の状態判定装置を実現するために、バッテリーの電圧を測定することによって、充電状態、劣化状態を検知する新しい手法を開発した。
- (2) OCV-Vstマップを用いるバッテリーの状態判定アルゴリズムを構築した。
- (3) 状態判定のアルゴリズムを実現する電子回路、それを組込んだ高信頼性、小型の状態判定装置を開発した。
- (4) 小型の状態判定装置を無補水タイプのバッテリーに搭載し、自動車用AIバッテリー《CYBOX®》として製品化した。今後、従来のバッテリーでは得られなかった大きな信頼を獲得し、全てのバッテリーがAIバッテリーになると期待している。

〔参考文献〕

- 1) D. Berndt : Maintenance-Free Batteries, Second Ed., John Willy & Sons, pp.86~93, p.438 (1997).
- 2) D.A.J. Rand et al (Eds) : Valve-Regulated Lead-Acid Batteries, Elsevier, p.207 (2004).
- 3) 菊地克英 他：“鉛バッテリー充電状態検知方法”，車輛技術会 学術講演会前刷集, No.77-99, p.12 (1999) .
- 4) S. Piller et al : Methods for state-of-charge determination and their applications, J. Power Sources, 96, 113 (2001).
- 5) D.O. Feder et al : Conductance testing compared to traditional methods of evaluating the capacity of valve-regulated lead/acid batteries and predicting state-of-health, J. Power Sources, 40, 235 (1992).
- 6) 大越哲郎 他：“鉛蓄電池状態検知技術の開発”，新神戸テクニカルレポート, No.14, p.7 (2004) .
- 7) 寺谷達夫：“自動車用電源の現状と展望”，電気化学, 122, p.356 (2002) .



図11 無補水タイプバッテリーの還流部の構造
Fig.11 Special Lid Structure having Space for Water Return.

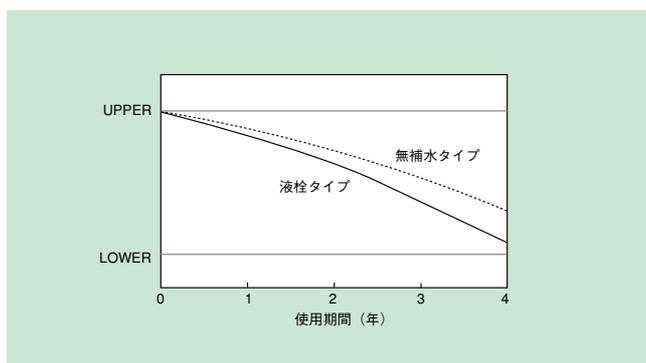


図12 無補水タイプバッテリーの減液特性 (当社比)
Fig.12 Water Loss Characteristics of New Type Battery.



図13 CYBOX®の外観
Fig.13 Appearance of CYBOX®.