

BEST 短時間放電検査装置

技術解説書

2021年4月1日

ビーベスト株式会社

前田 公雄

目 次

1.	概要	P4
2.	短時間放電検査装置の歴史	P5
3.	蓄電池内部の構成	P6
3-1	浮動充電電圧のバラツキ	P6
3-2	浮動充電中の端子電圧測定による劣化判断	P7
4.	BEST診断装置のアウトライン	P7
5.	BEST診断装置の放電グラフ	P8
6.	BEST1C放電の考え方	P9
7.	BEST1C放電と10時間率放電との相異	P10
8.	BEST容量検査とJIS容量検査との比較	P13
9.	起電圧・起電力・内部抵抗値の求め方	P15
10.	電解液濃度（比重値）の求め方	P16
11.	蓄電池の残存容量値の求め方	P17
12.	経年劣化に伴う起電圧と内部抵抗値の劣化比率	P17
12-1	放電電圧の経年変化	P18
12-2	起電圧の経年変化	P19
12-3	内部抵抗の経年変化	P20
12-4	起電圧と内部抵抗の劣化比率の分析	P21
13.	BEST診断装置の精度	P23
14.	BESTによる1C短時間放電の安全性	P25
15.	蓄電池の転極および発火	P26
16.	実容量試験結果とBEST診断結果との相関	P28
16-1	MSE型蓄電池（MSE150）	P28
16-2	CS型蓄電池（CS130）	P29
16-3	社内での評価試験とその相関係数	P30
17.	BEST診断による蓄電池経年特性	P32
18.	蓄電池の部分交換による蓄電池設備の延命とコスト削減	P33
19.	蓄電池設備の無停止交換	P36
20.	動的電気特性でわかる蓄電池の劣化について	P37
20-1	使用年数と内部抵抗値のグラフ	P37
20-2	Ω AHに数値変換したグラフ	P38

20-3	内部抵抗と起電圧・起電力のグラフ	P38
20-4	使用年数における内部抵抗・起電圧・起電力のグラフ	P39
21.	用途別蓄電池の劣化状況	P40
22.	蓄電池周囲温度と内部抵抗	P45
23.	BEST 診断装置の取り扱い	P47
23-1	放電プローブの接続方法	P47
23-2	測定中にアラームが鳴り止まらない	P47
23-3	新品蓄電池納入後の初期残存容量値は 100%以下	P48
23-4	DISCHARGE ボタンを押すと放電エラーの表示ができる	P49
23-5	PC にデータ転送中、通信エラーが表示される	P49
23-6	放電電流が設定値通りに流れない	P49
24.	おわりに	P50

短時間放電検査装置についての技術解説

1. 概要

今回ご紹介する弊社開発の短時間放電検査装置（BEST）は、無停電電源装置、直流電源装置、自家発電装置そして非常用照明等に使用される蓄電池に対し、オンライン状態で各セルの動的電気特性の劣化の有無を瞬時に識別できる検査装置であります。蓄電池設備の良否判定は、昔から放電検査を実施することが好ましいとされています。しかしながら昨今のオンライン設備では、負荷設備の停止を求めることは極めて難しく常に継続運転を強いられています。蓄電池負荷設備の重要性は年々増す一方、その信頼性維持の為の検証試験は反対にひ弱になっていると言っても過言ではありません。

産業用蓄電池では、その技術革新が進み液入り蓄電池（HS、CS型蓄電池）からメンテナンスフリーと呼ばれる制御弁式蓄電池が主流となっています。現在の一般的な検査方法は、液入り蓄電池では浮動電圧と比重測定、制御弁式では浮動電圧と内部抵抗測定であり、共に蓄電池を放電させる検査方法ではありません。蓄電池の良否を簡単に判断するには各セルの残存容量値を明確にすればよいと考えております。詳細については後述するが、BEST 診断装置では各セルに1Cの電流で0.5秒間放電させ、起電圧・起電力・内部抵抗値そして残存容量値を求めることのできる装置であります。（1C：200AHの場合、放電電流は200A）

寿命期手前でも電気特性の劣化している設備あるいは寿命期を超えても電気特性が正常に機能している設備等、短時間放電による動的電気特性の解析により蓄電池設備の信頼性維持に役立てることができ、設備に費やしていた保全コストを大幅に削減することを可能としました。現在多くの顧客で実施されている比重測定もしくは内部抵抗測定も劣化判断の一手法ではあるが、残念ながら残存容量値を求めることはできません。

弊社で既に11万個近くのセルの短時間放電による診断実績があり、劣化した蓄電池の早期発見によるシステム断を未然に防ぐと同時に寿命期を超えての継続使用にも寄与しています。

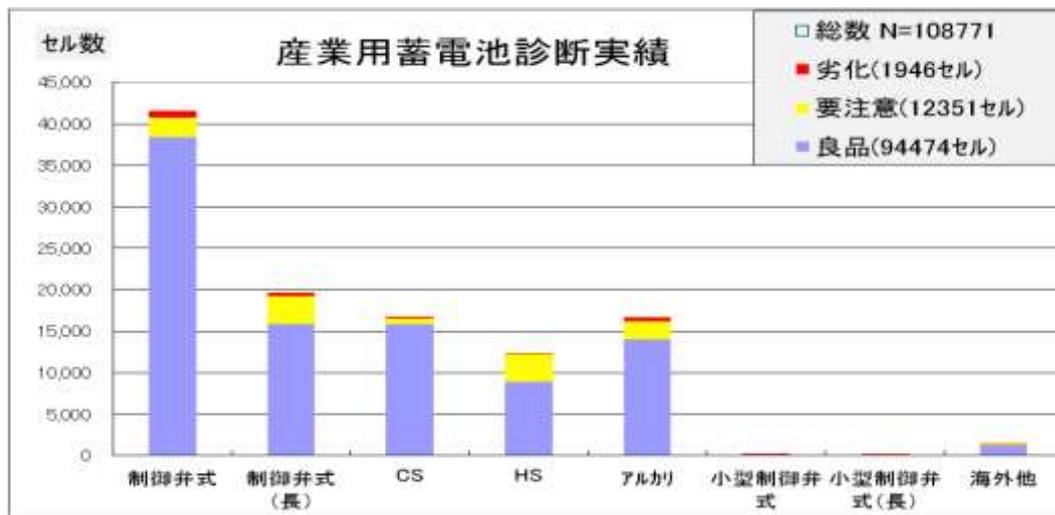


図-1_診断実績表

2. 短時間放電検査装置の歴史

某電機メーカーでUPS業務に約30年従事していた際、制御弁式蓄電池が業界にリリースされました。当時メンテナンスフリーという名目で、UPSメーカーがこぞってこの蓄電池の採用に踏み切りました。それがMSE型蓄電池である。しかしながら意に反し、蓄電池メーカーの製造品質不良により、電源系統の停電発生とともにUPSシステム等のシステム断が余儀なくされた時期がありました。当時は年1回の設備停止が可能な時期でもありました。水抵抗負荷装置を取り付け、放電試験（実容量試験）を実施した経緯があります。時代の変遷とともに、年1回の設備停止は極めて難しい時代へと移り変わりました。蓄電池自身も液入り蓄電池からメンテナンスフリーといわれる制御弁式に切り替わったことも設備停止を難しくした要因の一つと考えられます。当時は内部抵抗計も無く、蓄電池に対する検査手法をどうすべきか議論に明け暮れていました。蓄電池設備は浮動充電状態では何の問題もさらけ出すことなく、停電が発生すると顕著にその悪さ加減が露見（システム断）してしまう時代でした。

当時某蓄電池メーカー製のキャパチェッカーという製品が最初にリリースされました。内部に大きな電磁開閉器が実装されており、そのコンタクターをONさせた際の短絡電流により蓄電池の端子電圧降下を見極めるものでした。ディメリットとしては放電電流値を一定に制御できないため、各セルの電気特性を一律に比較することはできませんでした。

UPSのトップメーカーという自負心もあり、この問題解決に取り組む中、BSC（バッテリースパーチェッカ）というBEST装置の前身のデバイスを開発し特許取得に至りました。この装置は放電電流を一定に制御させるため半導体を利用し、1Cで短時間（450mS）の放電をさせています。各セルの電気放電特性を見極めることができ、フィールドで多数の不良セルを識別することができました。現在でもBSCは活用されているものと思われます。但し販売はされていません。（当時は会社として販売禁止であった。）1Cというと大きな放電電流と解釈されますが、UPSでは一般的に3C放電ですので1C放電は安全な放電ということが出来ます。この技術をさらに向上させ、フィールドで活性化させる目的で会社を去りました。また従来の放電電圧測定に対し改良を重ね、起電圧・動的内部抵抗値も測定可能といたしました。

BEST診断装置の特許はすでに取得済みです。現在会社設立より18年が経過し、多種多様の顧客様にて弊社診断装置が活用され、診断データを基に顧客様自身で蓄電池設備の更新時期を決定することが可能となっています。

短時間放電検査という点においては約20年以上の歴史があり、弊社独自でも18年の歴史となります。その間に20回ほどの装置改良を重ね今日に至っています。弊社の膨大な診断データ（約10万個以上）を詳細に解析することにより、蓄電池メーカー別・型式別・容量別に分けることよりその動的電気特性（起電圧・起電力・内部抵抗値・ Ω AH・残存容量値）の経年変化を見極めています。診断を通じ劣化セルの早期発見もしくは蓄電池設備の延命を含め保全コストの削減に寄与しています。

以上を踏まえ、この装置の基本原理と蓄電池設備の信頼性維持等につきご紹介いたします。

3. 蓄電池内部の構成

蓄電池設備では数十個から数百のセルが直列に接続され、常時スタンバイ状態にあります。直列接続のため、一つのセルに何らかの不具合があると蓄電池システムとしての機能を失うこととなります。1セルだから問題ないのでは？という話を時々耳にしますが、並列接続ではないので論外であります。

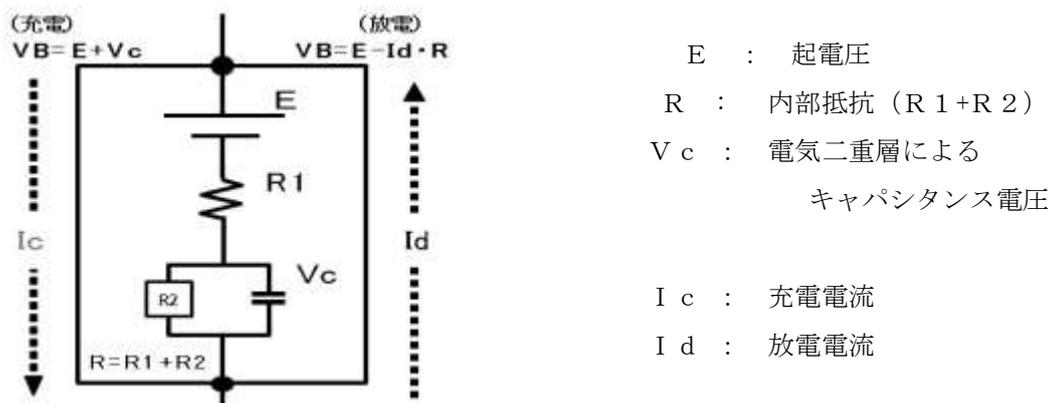


図-2 蓄電池内部構成

蓄電池点検時では誰でもが良否の判定のために浮動電圧測定を実施している。その電圧自身が蓄電池のパワー源と解釈されるケースが多いが、実際には以下のように考える必要がある。

即ち、充電中の蓄電池端子電圧 (VB) は以下のように表わすことができ、

$$VB = E + I_c \cdot R1 + V_c$$

一方、放電時の蓄電池端子電圧は

$$VB = E - I_d \cdot R1 \quad \text{となる。}$$

蓄電池本来のパワー源は、浮動電圧値ではなく起電圧値 (E) である。浮動充電状態における端子電圧 (Vb) は、電気二重層分の電圧 (Vc) を含んだ電圧でありパワー源ではない。したがって、浮動電圧値で蓄電池の良否判定をすることは極めて難しいといえる。

3-1. 浮動充電電圧のバラツキ

浮動電圧のバラツキにはいくつかの要因があります。一つめは、蓄電池内部の電気二重層によるキャパシタンス電圧 (Vc) の影響によるものがある。キャパシタンス電圧 (Vc) とは、電極の活物質と電解液との界面間に生じる電気二重層の容量である。セル毎にその数値は一律ではなく個別に決まるものであり、その結果バラツキとなって表れてきます。

二つめは、蓄電池の使用年数に応じ内部の化学的変化による内部抵抗値の増加や物理的な問題により起電圧が低下してしまい、結果的に浮動電圧も低下しバラツキとなって表れる。

制御弁式蓄電池の場合、充電器は常に一定の電圧を供給するだけであり、蓄電池間に浮動電圧のバラツキが生じてもそれを補正することはできない。化学的または物理的劣化により端子電圧が低くなったセルが含まれると、その差分の電圧を別のセルが補うことになり逆にセルの

端子電圧が高くなってしまい最悪過充電状態になってしまう恐れがある。(電気特性の二極化という)これを放置すると劣化セルはさらに悪化してしまうことになる。

一般的に浮動電圧が他のセルに比べ高いセルは良好なセルと曲解されるケースが多い。浮動充電中の端子電圧測定による数値では、電気特性の良否を判断することは極めて難しい。一般的にバラツキの傾向により劣化もしくは寿命と判断される場合があり、蓄電池更新を余儀なくされるケースも少なくない。本来は適切な容量診断により全セルの動的電気特性および残存容量値を把握し更新の有無を検討するのが望ましい。

3-2. 浮動充電中の端子電圧測定による劣化判断

一般的に浮動充電中の端子電圧測定で良否の判定をすることは極めて難しいが端子電圧値が2.1Vを下回っているセルはこの限りではない。何らかの原因で自己放電が進んだセルと言っても過言ではない。(ただし、2V系鉛蓄電池に限る。)

4. BEST 診断装置のアウトライン

今回ここに紹介するBEST診断装置(以降BESTと呼ぶ)では、0.5秒という短時間ではあるが各セルに1Cの定電流で放電させ(動的電気特性検査)、起電圧・起電力・内部抵抗・残存容量等を求めることができる。一方、比重測定もしくは市販の内部抵抗計は静的電気特性の検査であり残存容量値を求めることは難しい。更に内部抵抗計では交流法による測定のため直流分である起電圧値については測定することはできない。

図-3に示すように診断装置内部では半導体(MOSFET)を使用し、定電流放電回路を構成している。放電試験は1セル毎に全数のセルを検査する。BEST機種にもよるが放電電流値は最大1800Aまで可能である。放電電流値は蓄電池の容量に合わせて装置上で設定する。アルカリ型蓄電池の場合は、2.5秒放電モードが標準となり診断装置に装備されている。

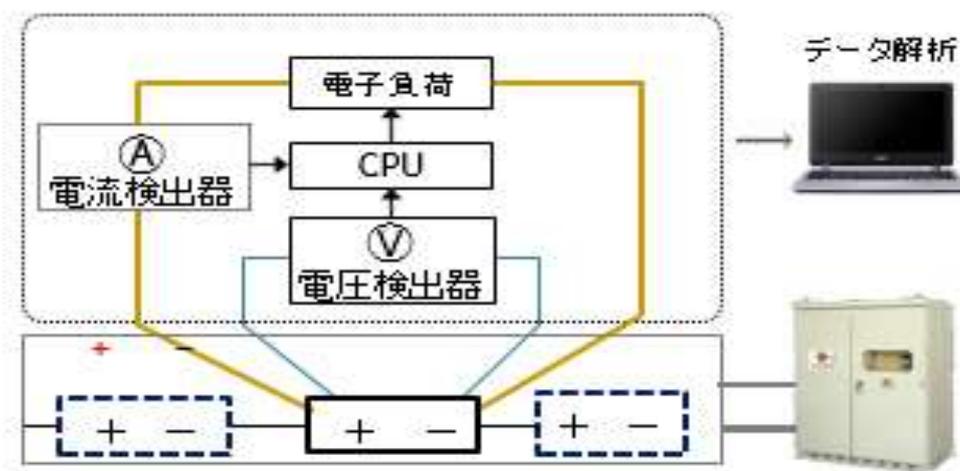


図-3 アウトライン

5. BEST 診断装置の放電グラフ

200AH の蓄電池の場合 BEST で 200A の放電をさせる。その放電グラフを以下に示す。内部に半導体 (MOSFET) を使用しているため、一定の放電電流 (200A) を流すことができる。放電時間は 0.5 秒もしくは 2.5 秒 (NiCad) とシステムで決まっており、すべて CPU で制御される。

すなわち、現場で測定する全てのセルに対しても同じ放電電流値で制御されるため、測定条件は変わることなく常に一定である。蓄電池は使用年数に応じ、内部の起電圧低下もしくは内部抵抗値の増加が生じてくる。この化学変化の量は周囲環境もしくは蓄電池単体で発生するものであり、すべての蓄電池が同一の化学変化となることはありえない。この化学変化量の相違をセル単位で識別しておくことが大切である。化学変化量とは、起電圧値・内部抵抗値・起電力値 (放電電圧値) に起因するものである。これらのファクターにより、各セルの動的電気特性が把握でき蓄電池単体の残存容量値を求めることができる。

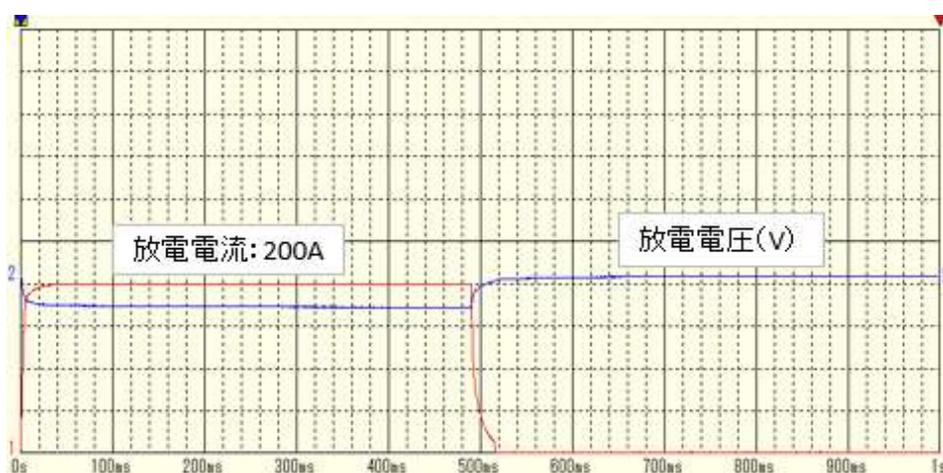


図-4 放電電圧・電流グラフ

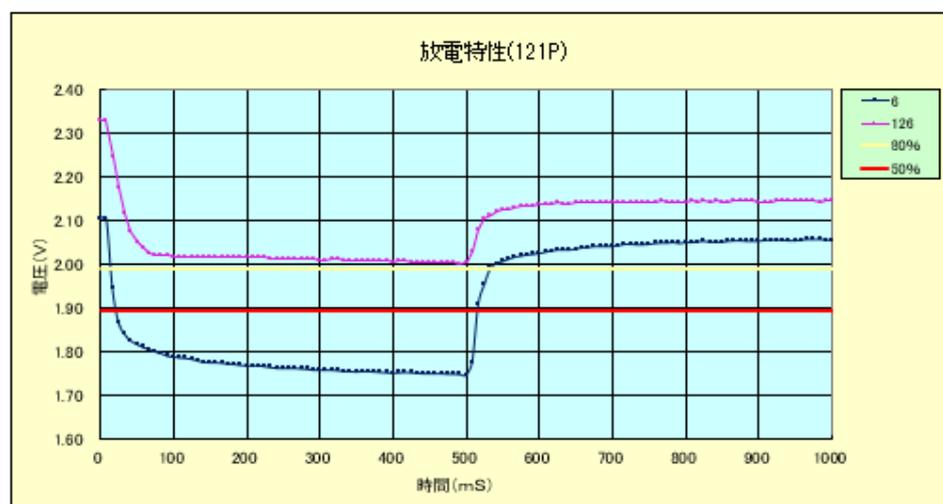


図-5 放電電圧グラフ

BEST では 1 秒間に 121 回の端子電圧をサンプリングし、上記のような放電電圧グラフを作成できる。グラフより良好もしくは劣化セルの放電特性 (起電力) の相違が明確となる。

6. BEST1C 放電の考え方

電池工業会規格(SBA S 0601)より

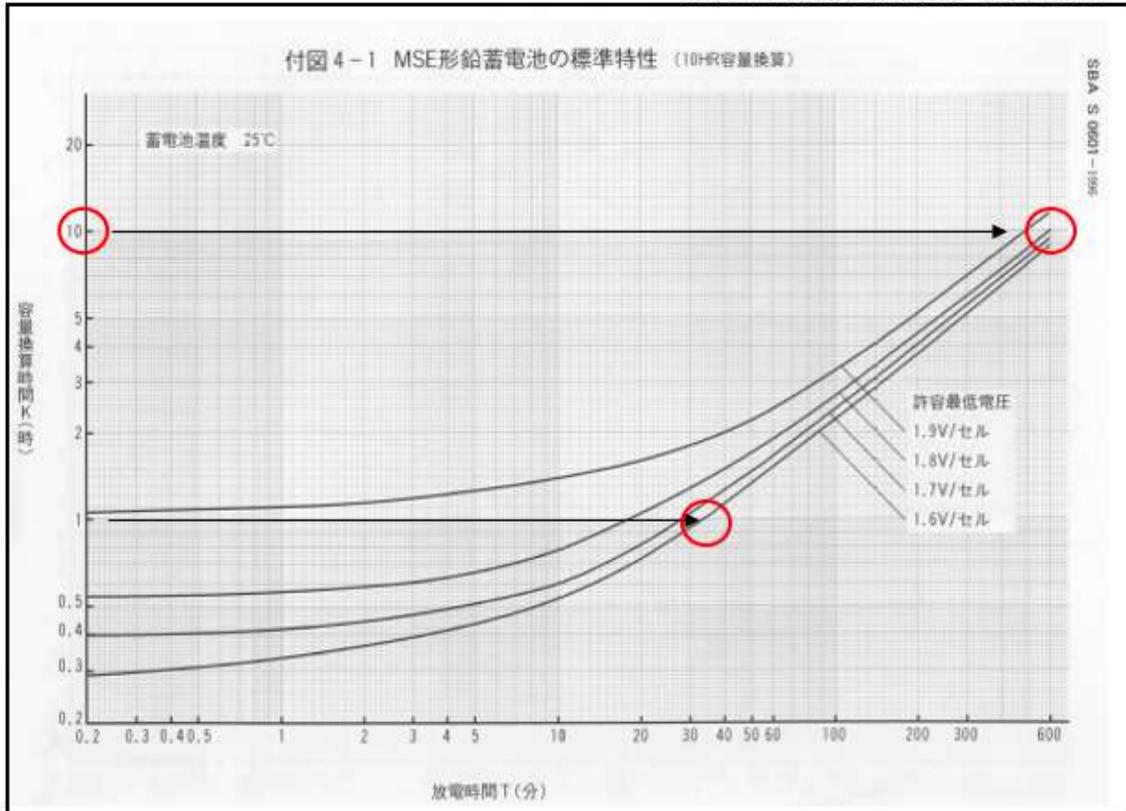


図-6 MSE 型蓄電池の標準特性

一般的な蓄電池の容量試験は図-6 グラフに示すように JIS に基づく 10 時間率放電である。容量換算時間 K についての説明となるが、放電電流が一定の場合以下の算式となる。

$$C = \frac{1}{L} \times KI$$

C : 蓄電池容量
K : 容量換算時間
I : 放電電流
L : 保守率

この式は負荷設備容量 (放電電流) から蓄電池容量を求める場合に使用される算式であり、このときの保守率は 0.8 とされ、蓄電池容量を高め、算出し安全度を高めている。すでにフィールドで使用されている蓄電池の特性評価試験では、その保守率を 1 として考える。

すなわち

$$C = KI$$

$$K = \frac{C}{I} \quad \begin{array}{l} \text{(蓄電池容量)} \\ \text{(放電電流)} \end{array} \quad \text{となります。}$$

10 時間率放電 (緩放電) の場合、放電電流は蓄電池容量の 1/10 となりますので、容量換算

時間 Kの値は10となる。10時間率放電は緩放電となるため、放電終始電圧は1.8V/セルとなる。この場合、先の標準特性グラフより100%の残存容量を保持する蓄電池は、放電時間が約600分すなわち10時間の放電が可能である。ということを示している。

一方、この蓄電池を蓄電池容量と同じ値で連続放電させた場合、先の容量換算時間のKの値はK=1となる。(1C放電)

1Cで放電させる場合は急放電となりますので、この場合の放電終止電圧は1.6V/セルとします。この場合の放電可能時間は先のグラフより約34分となる。すなわち100%の残存容量を保持する蓄電池は、10時間率放電では600分(10時間)の放電が可能だが、1Cで放電させた場合は34分の放電が可能となる。すなわち1C連続放電で34分間の放電が可能な蓄電池は100%の残存容量がある。ということがわかる。

この考え方を基にして、蓄電池の残存容量を算出する方法が弊社の短時間放電である。

7. BEST1C 放電と10時間率放電との相異

一般的には10時間率放電で100%以上の残存容量を示した蓄電池の信頼性は極めて高い。と判断されている。しかしながら今回ご紹介する一例はまさにこの考え方を覆す結果となっております。(某蓄電池メーカーにて検証した事例です。)

項目 蓄電池	外観	現地データ		容量試験 (10時間率放電試験)		1CA放電試験 新品約35分 (分・秒)	総合判定 ○:良 △:注意 ×:不可
		0.5秒目 電圧 (V)	内部抵抗 (mΩ)	引取状態 (時・分)	完全充電状態 (時・分)		
A-7(中間品)	異常なし	1.9454	0.315	11-32	11-56	27-02(77%)	△②
A-9(劣化品)	異常なし	1.882	0.325	10-48	11-19	22-28(64%)	△④
A-11(劣化品)	異常なし	1.918	0.389	11-32	11-33	23-40(68%)	△③
C-21(良品)	異常なし	1.956	0.32	11-52	11-37	27-16(78%)	△①

10時間率については4個とも10時間以上の容量が確認できました。しかし、1CAの放電時間は新品と比較すると64~78%に低下しており、特に0.5秒目電圧が低かったA-9およびA-11の容量が低下していました。

表-1 MSE型蓄電池の実容量試験結果

某データセンタに設置されているMSE型蓄電池の容量検査結果です。まず市販の内部抵抗計を使用し、良品・中間品・劣化品の4セルを選定した。その4セルに対し、BEST診断装置にて0.5秒の放電試験を実施した。(表1内の0.5秒目電圧)さらに10時間率の容量試験を実施し4セルの放電時間を計測した。(表1内の容量試験__引き取り状態・完全充電状態)引き取り時と完全充電状態での放電カーブを次頁に示す。

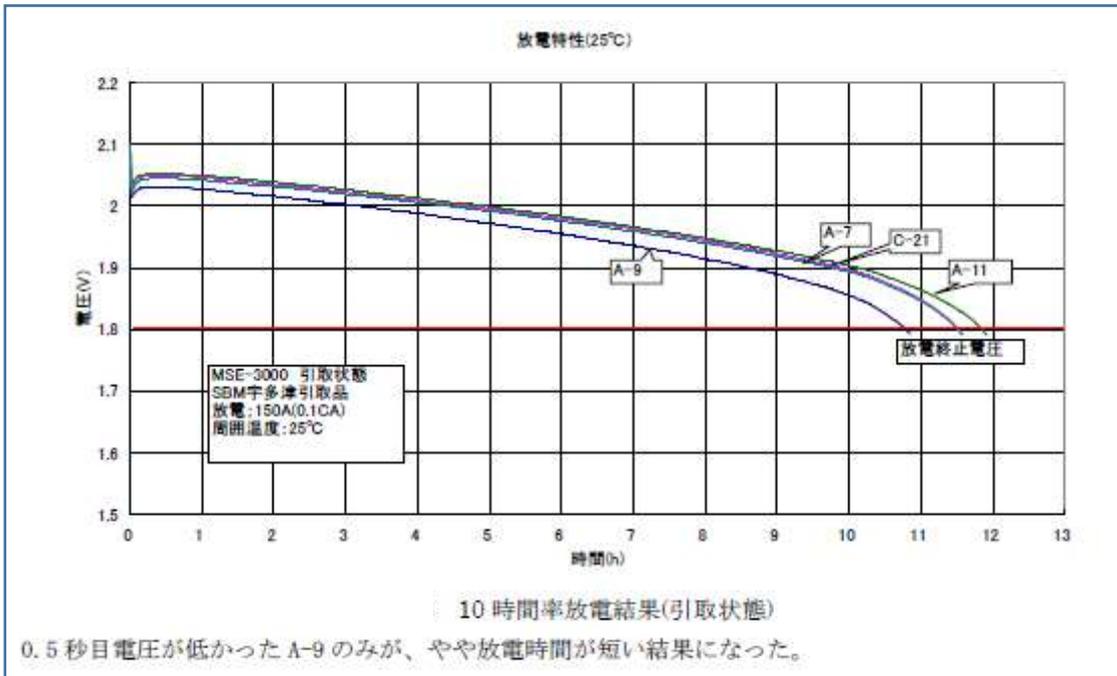


図-7 MSE 型蓄電池の引き取り時放電試験

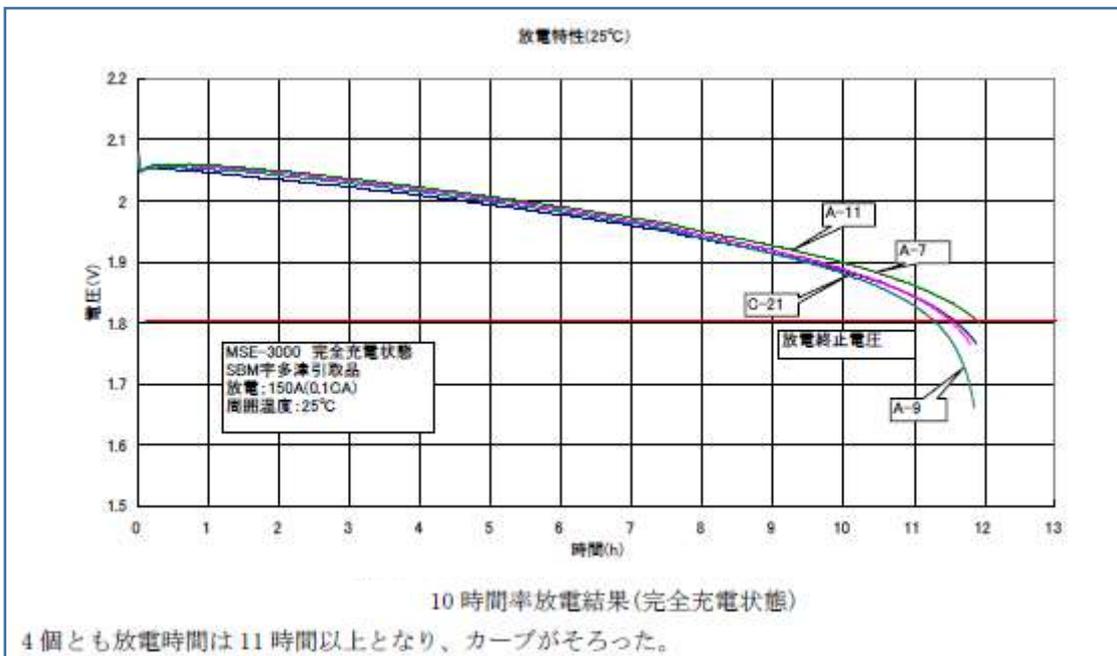


図-8 MSE 型蓄電池の完全充電後の放電試験

引き取り時放電試験及び完全充電後放電試験では、4 セルともに 10 時間以上の放電を継続しており、すべて良品と判断された。

次に、1Cによる放電カーブを以下に示す。

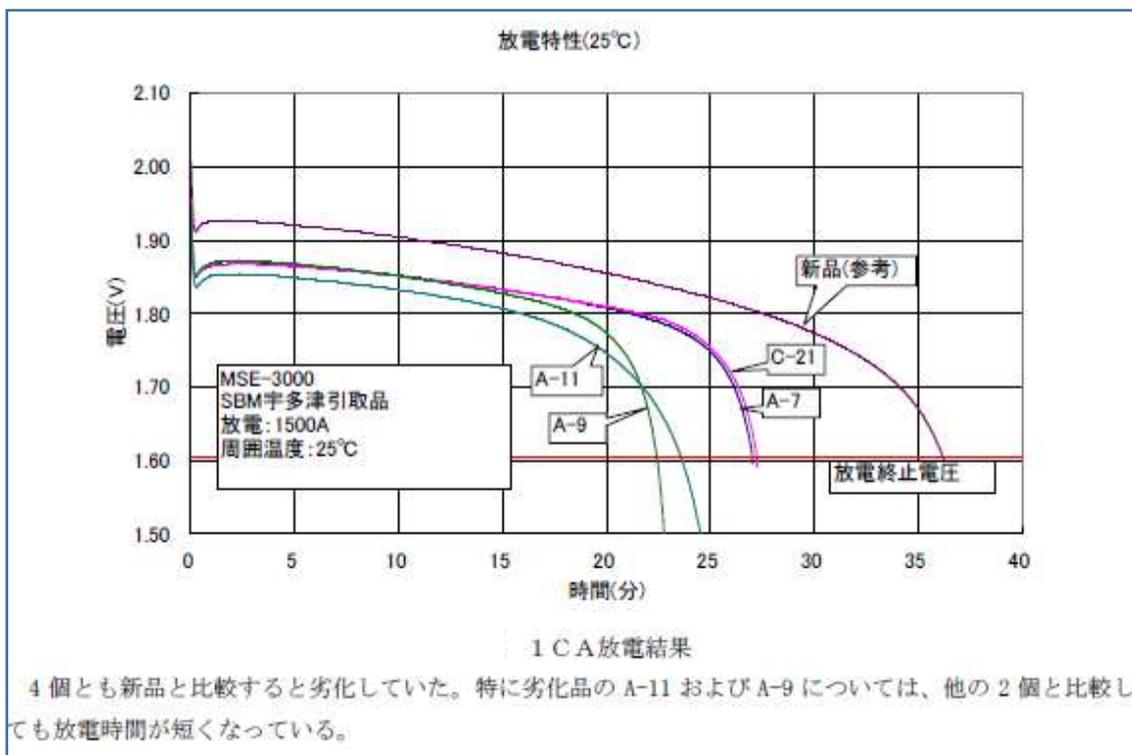


図-9 MSE型蓄電池の1C放電試験

10時間率放電試験では良品と判断されたが、1C連続放電では22分から27分の放電時間となり、4セル共に劣化品と判定された。新品の蓄電池では35分の放電時間を示していた。解体調査の結果、正極格子が約2%伸びていたことが判明した。

次にBEST放電電圧値より求まる残存容量値と実容量試験による残存容量値を以下に示す。

BEST 0.5S電圧	BESTでの 容量(%)	実容量 検査(%)
1.945	79	77
1.882	66	64
1.918	73	68
1.956	81	78

表-2 残存容量比較表

表-2より、二つの異なる測定手法の誤差はわずか数%であった。4セルの評価ではあるが、BEST診断装置の有効性が蓄電池メーカーにより確認された。それぞれの解析時間を比較するとBEST診断装置は0.5秒放電であるが実容量試験では10時間放電であった。

検査に必要な時間及び発生コストを比較した場合、全数検査を主とするBEST診断方式の優位性が高いと考える。

8. BEST 容量検査と JIS 容量検査との比較

	短時間放電試験		JIS 容量試験	
仮設電源の準備	不要	○	必要	×
放電電流	1C	○	0.1C(制御弁式)、0.2C(OS)	○
蓄電池への影響	短時間の放電の為、影響は極小	○	長時間放電のため、影響が大きい	×
放電時間	500ms/セル	○	1~10時間/セル	×
検査蓄電池	全数	○	抜き取り(1~2セル)	×
容量との相関	90%以上	△	100%	○
設備の切り離し	無し	○	有り	×
設備全体の信頼性	90%	○	検査対象外の蓄電池の残存容量が不明の為 信頼性を評価することはできない。	×
検査費用	安い	○	高い(仮設電源費用を含む)	×

表-3 短時間放電と JIS 容量検査との比較

表3に短時間放電試験と JIS 容量検査の比較を示したが、大きな違いは放電電流値にある。使用年数や使用環境等により蓄電池内部で極板腐食もしくは極柱部亀裂が生じる場合がある。当然抵抗値は増加しているが、検査に必要な放電電流値を10時間率すなわち0.1Cのような低率放電をした場合、その不具合を見つけることは極めて難しいと判断できる。

蓄電池内部の極柱部断面積の抵抗値は

$$R = \rho \times L / S \quad \text{で表される。}$$

腐食もしくは亀裂等により極柱部断面積が小さくなってしまうと逆に抵抗値は増大するが、その断面積が0.1Cの放電電流を許容できる場合はその不具合を見つけることはできない。逆に1C放電ではその不具合を容易に見つけることができる。また JIS 容量検査は抜き取り検査が多く(時間及び検査コスト削減のため)、未実施蓄電池の電気特性を把握することは一切できない。信頼性維持の観点では全数検査が必要となる。

300AH 蓄電池を例にして両者を比較すると以下のように表すことができる。

- 1) 10H率放電 30A 放電 * 10時間 300AH 放電 (完全放電)
- 2) 1C放電 300A 放電 * 34/60分 170AH 放電 となる。

1C容量による高効率連続放電では蓄電池内部の発熱等を考慮する必要がある、安全率を含め34分(周囲温度:25℃)という放電時間を図-6に示すように規定している。裏を返すと34分の放電を実施しても新品の蓄電池では更に130AHの容量分が使用可能であるといえる。一般的にこのような使用法はあり得ないが、実際にはこの容量につき弊社で検証済である。蓄電池の動的電気特性が新品に近い場合は、図-6に示した標準電気特性グラフに合致する。しかしながら劣化の進んだ蓄電池はこの限りではない。ではどのような判断をすべきかにつき次頁に説明する。

一般的に蓄電池の残存容量値が 80%以下となると更新というコストのかかる作業が待ち受けている。本当に更新が必要なのか？と誰でもが疑心暗鬼となるが、BEST 診断装置を活用することにより以下のように考えることができる。

例：200AH の蓄電池の場合

BEST 診断装置で残存容量値が 70%と表示された場合、発想の転換をすることによりその蓄電池をどのように考えるかが大事なポイントとなる。すなわち、 $200\text{AH} \times 70\% = 140\text{AH}$ という残存容量を保有しているという発想である。

但し、条件としては BEST 診断による以下の 2 項目をクリアしていることが必要である。

- 1) 動的内部抵抗値 : 初期値の 1.5 倍以下
- 2) 起電圧値 : 2.1V 以上

この条件を満たしている場合、140A の連続放電を実施すると弊社の検証結果では 30 分以上の放電が可能となっている。UPS 設備以外の一般的なフィールドで使用されている負荷率は 30%~40%ほどである。すなわち、電流換算すると最大 80A 前後の放電電流となる。

これに対し、140AH の容量を維持していることより突発的な停電が発生しても蓄電池システムとしての健全性は維持できることになる。140AH を維持している蓄電池に対し、80A で放電させるとその放電時間はどのくらいになるの？という疑問が生じてくるはずですが。ここで P9 の図-6 のグラフを参考にして解析してみます。

容量換算時間 (K) を求めると

$$\begin{aligned} K &= 140 \div 80 \\ &= 1.75 \quad \text{となります。} \end{aligned}$$

これを図-6 のグラフにあてはめると、25℃条件下において約 70 分の放電が可能となります。更に周囲温度条件による安全率を 30%考慮しても約 50 分の放電が可能となります。

BEST 診断では動的電気特性のトレンド管理が必須であります。動的電気特性の劣化傾向が無ければ寿命期を問わず継続使用することができます。更に劣化傾向にはあるが上記 2 条件をクリアする蓄電池では、この概念を利用することにより放電可能時間が明確となり、最終的にコスト削減につながるものと考えます。

また、劣化している蓄電池の実容量検査での注意事項として、BEST 診断から算出される残存容量と実容量検査による残存容量を比較される場合があります。BEST 診断で 70%の残存容量値を示した場合、その容量値は 140AH となります。しかしながら実容量検査時では放電電流値を 200A として実施されるため過放電となります。容量換算時間 (K) を求めると、

$$\begin{aligned} K &= 140 \div 200 \\ &= 0.7 \quad \text{となります。} \end{aligned}$$

すなわち。図-6 を参考にいたしますと、その際の放電時間は 19 分となり、この数値に対して実容量放電検査から求まる放電時間を比較することが適切と考えます。

9. 起電圧・起電力・内部抵抗値の求め方

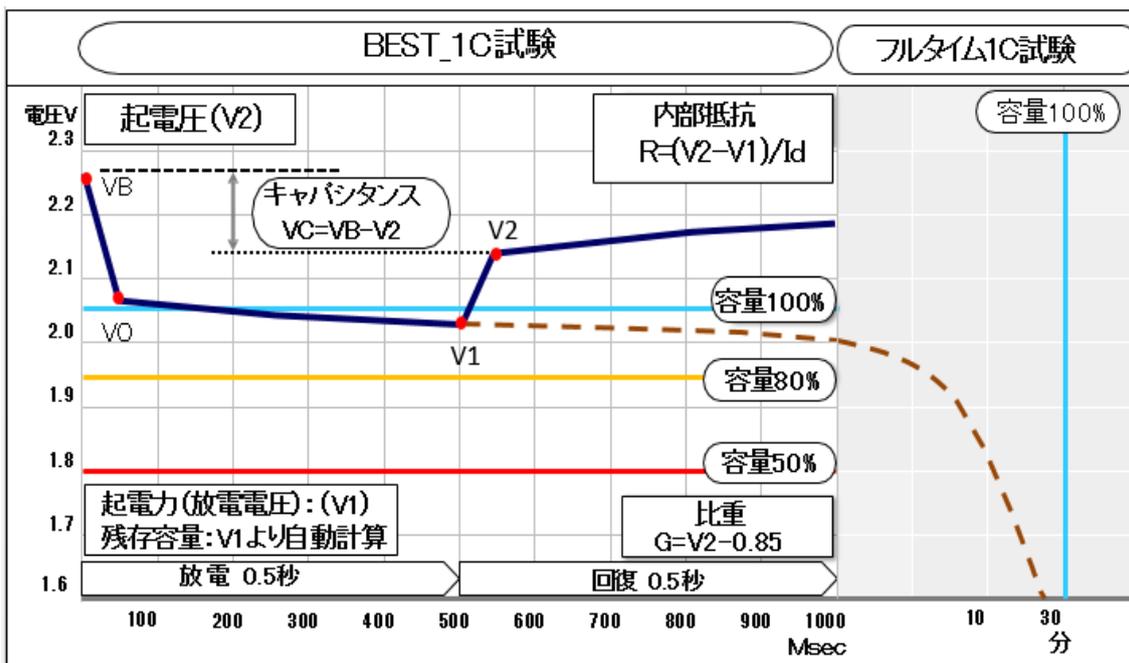


図-10 制御弁式蓄電池の放電曲線

一般的に1Cの連続放電では、図-10に示すように約34分の放電で100%の残存容量となる。(SBA-S-0601:電池工業会規格による)一方BESTでは、その時間を0.5秒に圧縮し解析をする。放電時間は0.5秒、さらに回復時間を0.5秒計測し合計1秒間に121回の端子電圧を計測する。

これにより起電圧・起電力と動的内部抵抗を求めることができる。

放電時の端子電圧は $V1 = E - I_d \cdot R$ ①となる。(I_d = 放電電流)

放電を停止すると、 $I_d = 0$ となるため、

放電停止後の電圧は、 $V2 = E$ ②となり、この $V2$ を起電圧と呼ぶ。

先の①②式から、 $(V2 - V1) = I_d \cdot R$ となる。

これより $R = (V2 - V1) / I_d$ となり、動的電気特性の内部抵抗値が求められる。この数値はSBA-R-0602に記載された数値に準拠している。

また、 $(V2 - V1)$ については、 $(V2 - V1) = R \cdot I_d = \Omega \cdot AH$ (電圧降下分) と表すことができる。 $V0 \rightarrow V1$ への傾斜角度が大きいセルは0.5秒の放電中であっても内部抵抗が増加している劣化セルと判断することができる。この場合、静的電気特性として計測される市販の内部抵抗計の数値とは大きく異なる場合がある。

一方電気二重層でもあるキャパシタンス電圧 (V_c) は、図-10より $V_c = (V_B - V_2)$ と表すことができる。この値 (V_c) は、1C放電では100ms前後で消滅するパワーであり、0.5秒放電に影響を与えることは皆無である。一方通常の浮動充電中では、常にこのキャパシタンス電圧 (V_c) は各セルの浮動電圧値の一部として含まれている。

10. 電解液濃度(比重値)の求め方

制御弁式蓄電池は密閉型のため、比重値を求めることはできない。一般的には液入り蓄電池で計測するものであるが、BEST ではこの電解液濃度を求めることができる。起電圧と電解液濃度には、以下の算式が成立する。

すなわち、 20°C の電解液濃度 = $E - 0.85$ となる。

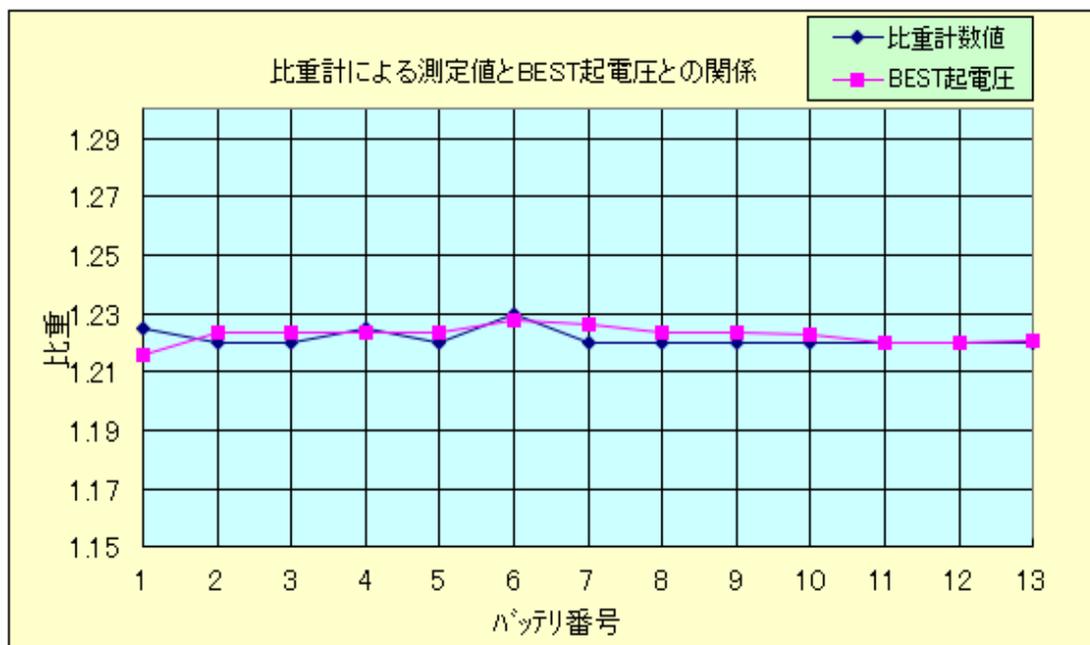


図-11 BEST起電圧と比重計との誤差

このグラフは、某電力会社様と共同で研究した資料である。CS型蓄電池を使用し、その誤差について評価したデータである。BEST起電圧値より求まる比重値と比重計の数値には約2%の誤差が生じていた。BESTより求める数値の方が2%ほど高い数値となっていた。この理由として、一般的な比重計では蓄電池電槽の上部の電解液濃度の薄い場所を計測する。一方BESTでは放電をさせているため、蓄電池内部の電子イオンが移動している際の起電圧すなわち比重値測定となっており、その差が誤差として表れている。その偏差値は報告書ソフト内で補正している。

液入り蓄電池に対し、その比重値のみで劣化の判断をしているケースがある。使用年数及び使用環境にもよるが、蓄電池内部では極板の伸びによる電槽上部のコンパウンドのひび割れ、もしくは極板の亀裂・湾曲が発生するケースが多く散見されている。このような物理的問題があっても電解液濃度は一切変わらない。劣化の判定は難しいことが分かる。一方BEST診断では放電をさせるため、蓄電池内部に物理的な問題がある場合はその動的電気特性に表れてくる。したがって良否の判断が確実にできることとなる。

11. 蓄電池残存容量値の求め方

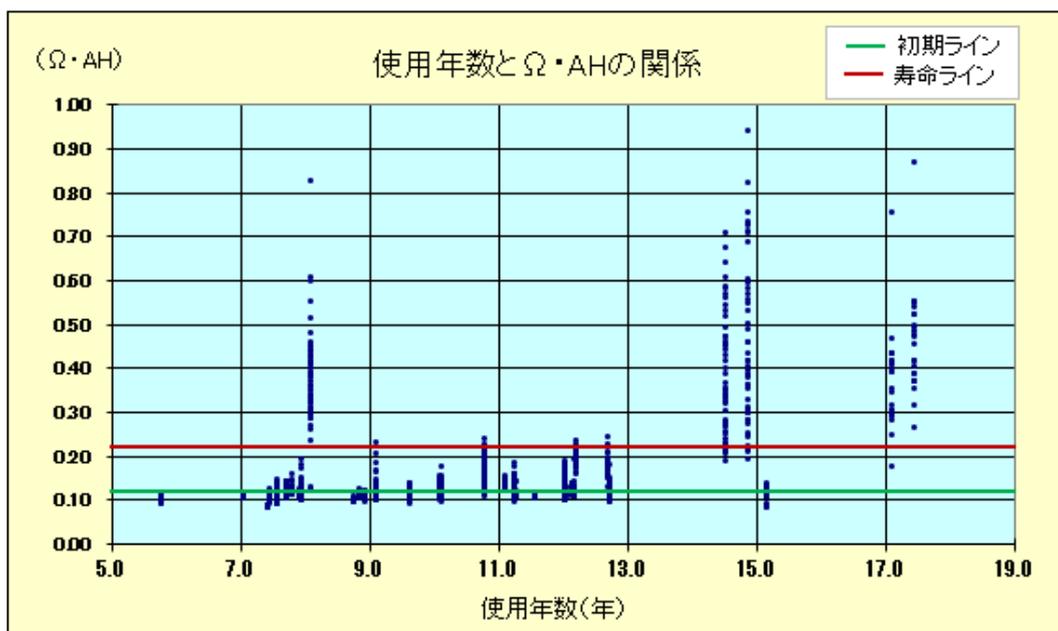


図-1 2 MSE型蓄電池のΩ・AHグラフ

一般的な新品の制御弁式蓄電池の場合、そのΩ・AHは約0.11とされている。

図-1 2は、弊社診断実績データより解析したグラフである。良好とされる蓄電池では、一般的な寿命年数（7年～9年）手前では、Ω・AH = 0.11 を示している。しかしながら使用年数がさらに進むにつれ、その数値が増加していることがわかる。すなわち放電時の電圧降下が大きくなったことを示している。（一般的には電気特性の劣化と判断）

1C放電では、 $I \cdot R = \Omega \cdot AH$ となるため、端子電圧（VB）は、 $VB = E - 0.11$ と表すことができる（100%容量値）。一方劣化が進んだ蓄電池の内部抵抗は、初期値の2倍とされている。したがって $VB = E - 0.11 \times 2$ と表される（80%容量値）。

弊社の診断報告書ではこの算式を利用し、各セルの残存容量を明記している。

12. 経年劣化に伴う起電圧と内部抵抗値の劣化比率

一般的に制御弁式蓄電池の電気特性が劣化する要因は、起電圧低下と内部抵抗値の増加にある。市販される一般的な内部抵抗計は交流測定法であるため、蓄電池内部の起電圧を計測することはできない。ここにBESTによる起電圧測定の重要性につき説明する。（図-1 3参照）

蓄電池は2007年に設置され2015年から2019年まで計5回診断したデータとなる。蓄電池の型式は、MSE200AH：52セルである。（一般的寿命は7～9年である）

弊社診断ソフト内のトレンドグラフを紹介する。放電特性・起電圧変化・内部抵抗変化のトレンドグラフである。寿命期を大幅に超えて継続使用しておりコスト削減ができています。このトレンドグラフより、劣化傾向が明確に示されている。（基本的には更新時期となる）

12-1) 放電電圧の経年変化

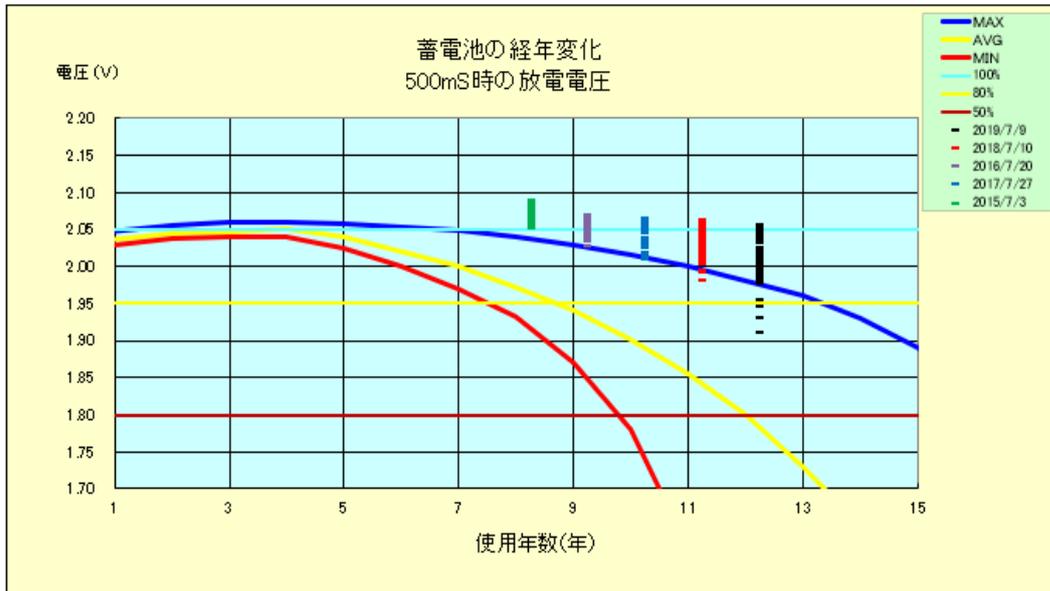


図-13 放電電圧トレンドグラフ

5年分の放電電圧特性変化（54セル）を図-13に示したが、年々低下している。2019年度（継続使用年数12年）では数セルが著しく低下していることが分かる。ただしこのグラフではどのセルが劣化しているかを識別することはできない。

逆に5年分の全セルの放電電圧変化を図-14のように表わすと劣化セルの識別ができる。

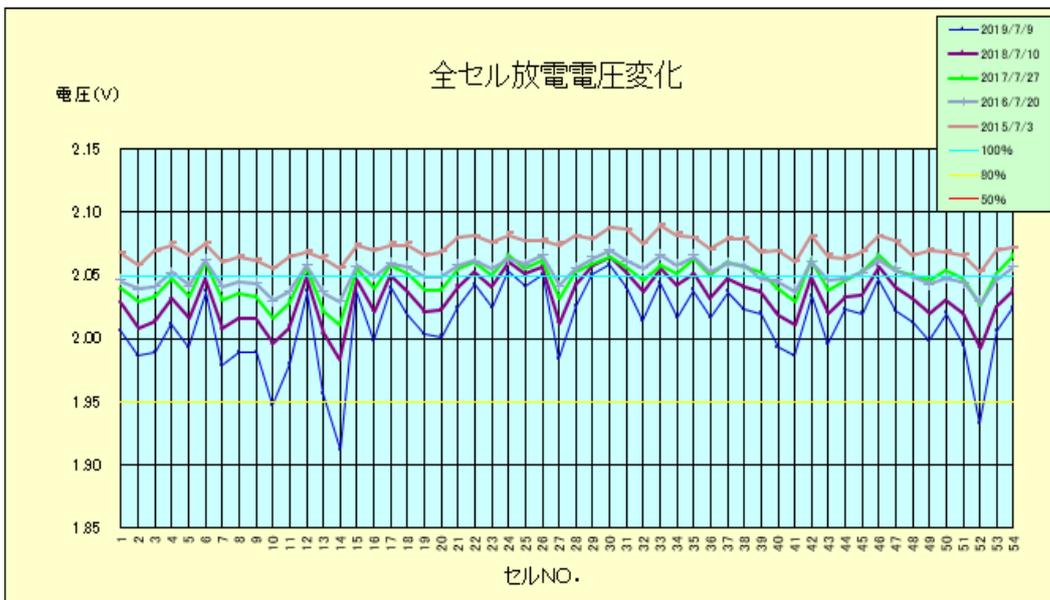


図-14 全セル放電電圧変化

2019年度の診断データを紺色で示しているが、劣化の進んだセル（No. 10, 14, 52）を考察すると年々放電電圧低下の変化量が増えていることが分かる。この要因は、起電圧低下及び内部抵抗値の増加に起因する。

12-2)起電圧の経年変化

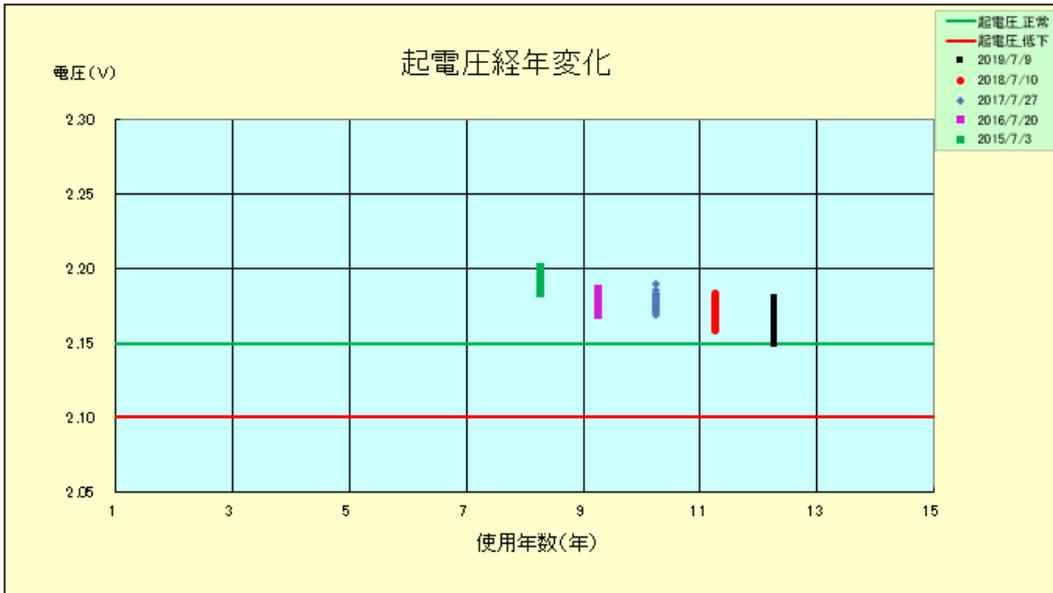


図-15 起電圧トレンドグラフ

5年分の電気特性（54セル分）の起電圧変化を表に示したものであるが、年々低下していることが分かる。2015年の測定データ（使用年数8年）と比較すると全体的に低下していることが分かる。

次は5年分の全セルの起電圧変化を表したものであり起電圧低下セルの識別ができる。

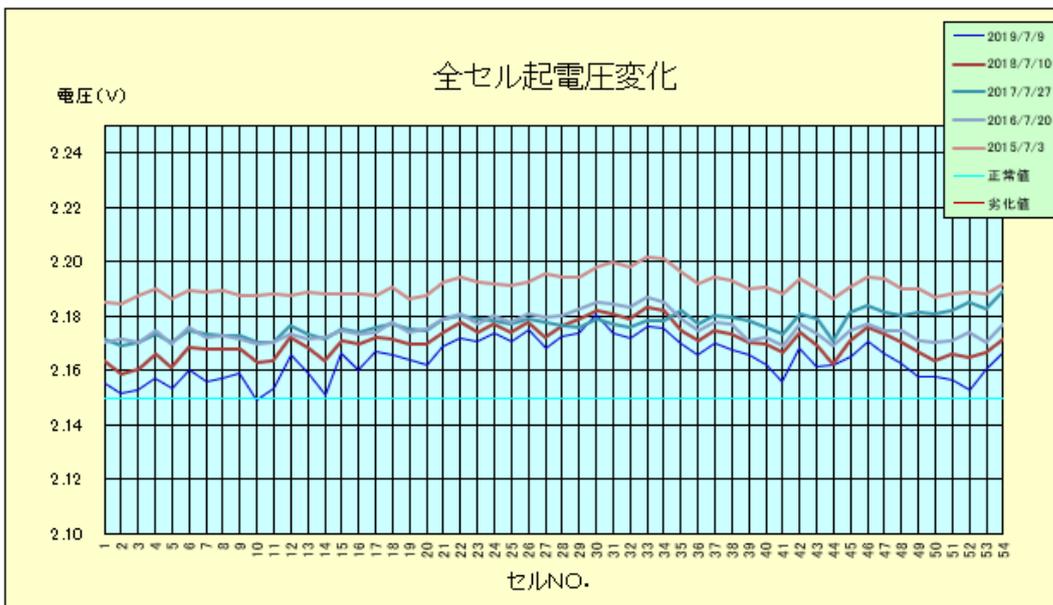


図-16 全セル起電圧変化

2015年の数値と比較すると、全体的に毎年起電圧が低下していることが分かる。放電特性で劣化と判定された蓄電池（No. 10、14、52）の起電圧値を他のセルと比較すると著しく低下していることが分かる。

12-3) 内部抵抗の経年変化

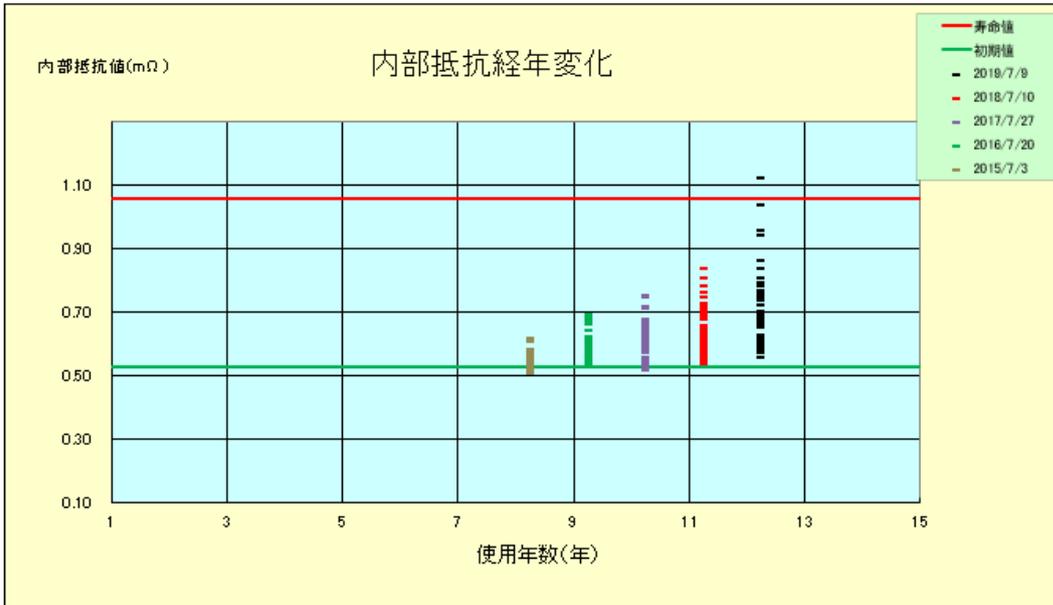


図-17 内部抵抗トレンドグラフ

グラフが示すように、年々数値が増加している。使用年数 11 年から 12 年にかけて大きく増加していることが分かる。

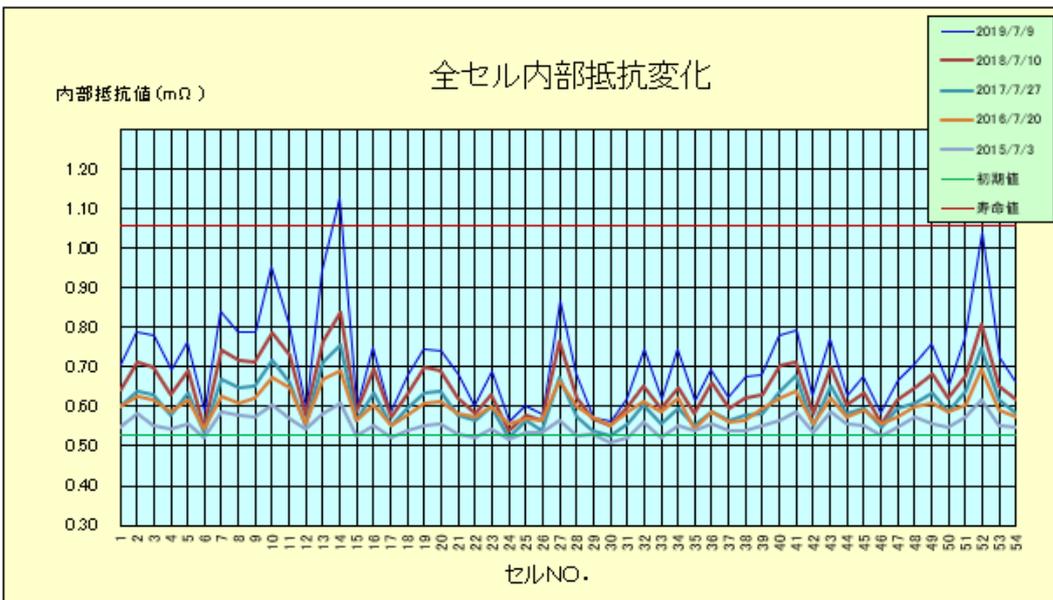


図-18 全セル内部抵抗変化

各セルの内部抵抗変化を示したグラフであるが、劣化と判定された蓄電池 (No. 10、14、52) の内部抵抗値を他のセルと比較すると著しく増加していることが分かる。

12-4) 起電圧と内部抵抗の劣化比率の分析

以上より、蓄電池の劣化要因は内部抵抗値の増加だけではなく、起電圧低下も考慮しなければならぬことが分かる。

次に参考として No. 1 から No. 14 のセルの電気特性の変化について以下に纏めてみた。

	A	B	C	D	劣化比率		残存容量 (%)
	R 増加分(mΩ)	R変化による電圧分	放電電圧降下分	起電圧降下分	抵抗	起電圧	
	(2015年～2019年)	(200A * A) / 1000	(2015年～2019年)	(C - B)	(%)	(%)	
1	0.156	0.031	0.061	0.030	51.3	48.7	91
2	0.206	0.041	0.072	0.031	57.0	43.0	87
3	0.226	0.045	0.080	0.035	56.5	43.5	87
4	0.151	0.030	0.063	0.032	48.2	51.8	92
5	0.206	0.041	0.073	0.032	56.4	43.6	88
6	0.065	0.013	0.038	0.025	34.4	65.6	97
7	0.251	0.050	0.083	0.032	60.9	39.1	85
8	0.211	0.042	0.075	0.033	56.1	43.9	87
9	0.216	0.043	0.073	0.030	58.8	41.2	87
10	0.350	0.070	0.108	0.038	64.8	35.2	79
11	0.239	0.048	0.084	0.036	56.9	43.1	86
12	0.048	0.010	0.033	0.023	29.1	70.9	97
13	0.365	0.073	0.107	0.034	68.0	32.0	81
14	0.516	0.103	0.144	0.041	71.6	28.4	72

表-4 起電圧・内部抵抗の劣化比率

- 1) A : 2015年度から2019年度に増加した内部抵抗数値 (mΩ)
- 2) B : 内部抵抗増加数値分を電圧値に変換した数値 (V)
- 3) C : 2015年度から2019年度に低下した放電電圧値 (V)
算式として、 $C = B + D$ となる。
- 4) D : 起電圧成分として2015年度より2019年度に低下した数値 (V)

蓄電池電気特性の経年劣化(抵抗値増加・起電圧低下)につき分析してみたが、残存容量値が80%以上の蓄電池では起電圧による電圧低下分が約40~50%含まれていることがわかる。したがって一般的に市販されている内部抵抗計で蓄電池の良否を判断することは極めて難しいという事につながる。『内部抵抗計による数値では未だ健全であるが、BESTで診断すると容量が低い。』との話しを聞く場合がある。この理由として、内部抵抗値が初期値の2倍近くになるまでは蓄電池内部の化学変化により抵抗値の増加と起電圧の低下が起き、その結果残存容量値が低下することになる。したがって、内部抵抗値のみでは本来の劣化を識別することには無理があると考えられる。

P6に記載しているが、蓄電池の内部では起電圧と内部抵抗値とが共存しているため、両方のファクターを管理する必要ことが大切である。またBEST診断により残存容量値が80%以下と特定された蓄電池では、内部の化学変化がさらに進む傾向にある。蓄電池内部正極板の伸びによる内部抵抗値の増加が起きるため、劣化比率は起電圧分よりも内部抵抗分が大きくなる傾向がある。

13. BEST 診断装置の精度

BEST 診断装置の精度は弊社校正試験にて保証されており、電圧：1%、電流：2%以内に収まるように設計しています。ある顧客で診断装置のデータ比較をしたいとの依頼があり顧客設備を利用して検証した経緯がある。1台は弊社、もう1台は顧客購入品で検証した。

(蓄電池は MSE300AH、2001 年製造。検査日：2012 年 7 月)

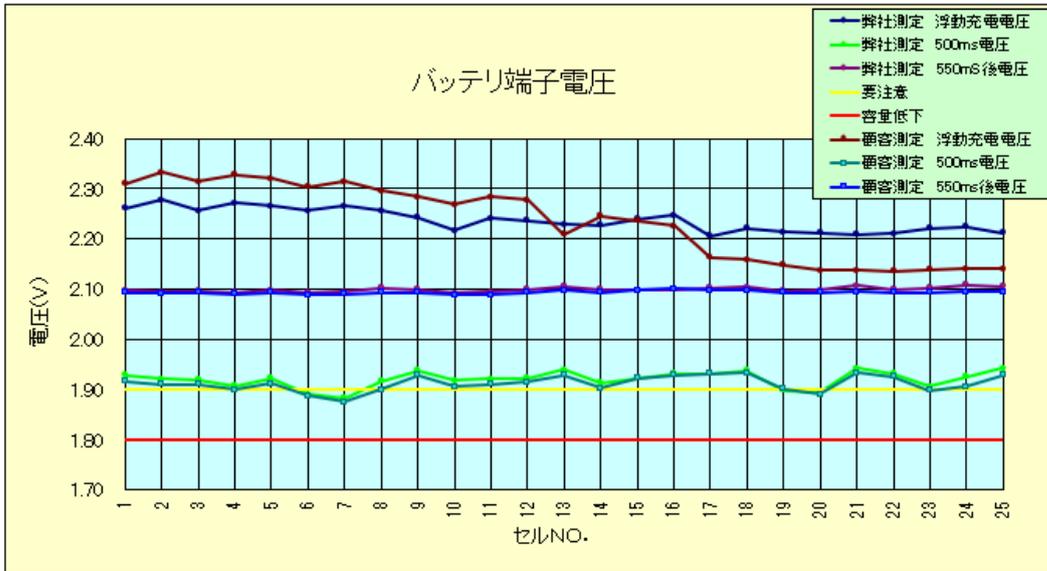


図-21 全セルの動的電気特性

最初に弊社診断装置で測定をし、次に顧客購入品で同じ測定を実施し動的電気特性の差異を検証した。浮動電圧の青色は弊社データで茶色は顧客データとなる。2回目の浮動電圧測定では既に一度放電をさせているため、電気二重層のキャパシタンス電圧による影響で差異が生じている。一方、起電圧・起電力（放電電圧）についてはほとんど同じデータが計測された。

次に内部抵抗値の測定データについて比較してみる。

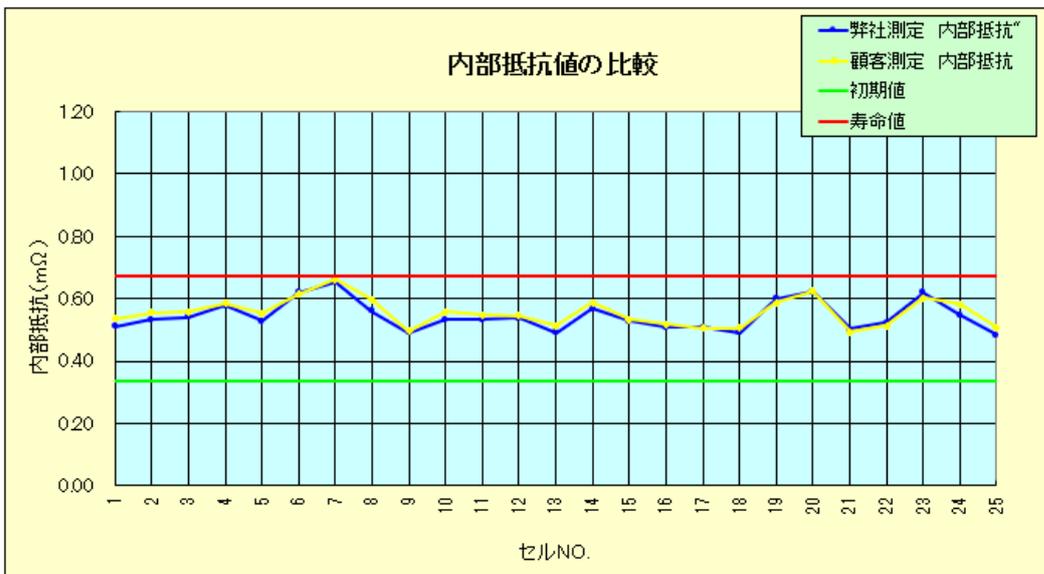


図-22 全セルの内部抵抗比較

2台のBEST 診断装置で内部抵抗値を計測しグラフにした（図-23）。ほとんど同じ数値が計測されている。今回は同じ蓄電池設備に対し2台のBEST 診断装置で計測し動的電気特性を比較している。1回の放電で消費されるエネルギー量はわずか1/4000程である。したがって2回の放電を実施してもその動的電気特性に大きな差が生じることはない。BEST 診断装置の精度が高ければ同じようなデータが計測されることになる。

年1回の校正試験を実施しており、データの一部を下記に示す。

直流電圧

試験点	下限値	測定値(V)	上限値	表示値(V)	結果
1.900 V	1.870 V	1.901	1.930 V	1.90	合格
2.000 V	1.970 V	2.004	2.030 V	2.00	合格
2.100 V	2.070 V	2.104	2.130 V	2.10	合格
0.900 V	0.870 V	0.901	0.930 V	0.90	合格
1.000 V	0.970 V	1.000	1.030 V	1.00	合格
1.100 V	1.070 V	1.100	1.130 V	1.10	合格

fs 3V 1%

直流電流

試験点	下限値	測定値(A)	上限値	表示値(A)	結果
50 A	38.0 A	50.2	62.0 A	50	合格
100 A	88.0 A	99.8	112.0 A	100	合格
200 A	188.0 A	199.7	212.0 A	200	合格
300 A	288.0 A	300.0	312.0 A	300	合格
400 A	388.0 A	399.4	412.0 A	400	合格
500 A	488.0 A	499.7	512.0 A	500	合格
600 A	588.0 A	600.0	612.0 A	600	合格

fs 600A 2%

表-5 校正データの一部

電圧・電流共に試験点を定め計測する。試験結果より極めて精度の高い数値を示していることが分かる。参考として、校正試験で検証する600Aの放電電流波形を以下に示す。

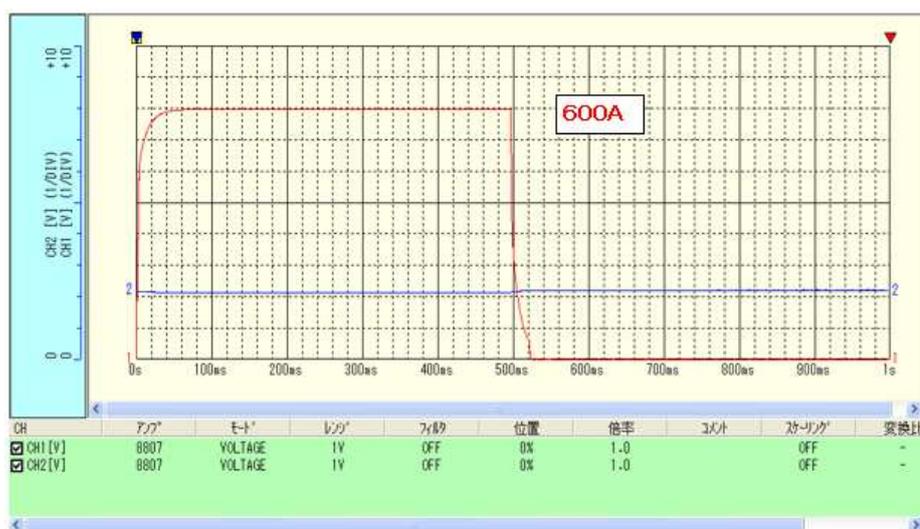


図-23 600A 放電電流波形

BEST 診断装置では半導体による定電流放電回路を設けており、常に一定の電流で放電させることができる。この電流精度を高めることにより BEST 診断装置の精度及び信頼性を維持させている。

14. BESTによる1C短時間放電の安全性

BESTにて放電を実施すると、その大きな放電電流により蓄電池を悪化させる。という話を聞く場合がありますが、蓄電池を悪化させることは一切ありません。

最初にBESTによる放電エネルギー量について説明します。診断装置による放電試験では各セルに対し、1Cの放電電流で0.5秒間の放電を行います。新品の蓄電池における電気性能は1C連続放電で約34分間の連続放電が可能です。その際の放電終止電圧は1.6Vと定義されています。34分間の連続放電ができる蓄電池に対し、0.5秒という極めて短時間の放電のためその消費エネルギーは、 $1 / (34 \times 60 \times 2) = 1 / 4080$ となり、蓄電池の容量を低下させることは有りません。

(参考ですが、UPS設備では1Cよりさらに大きい3C放電が標準となっています。)

次に劣化した蓄電池にBESTで放電させた際の安全性について説明する。図にありますように、BESTでは半導体を使用し定電流回路を構成している。

BEST診断装置では、内部MOSFETによる主回路ユニット部及び放電ケーブルを含んだ全抵抗値は約3mΩと設計している。

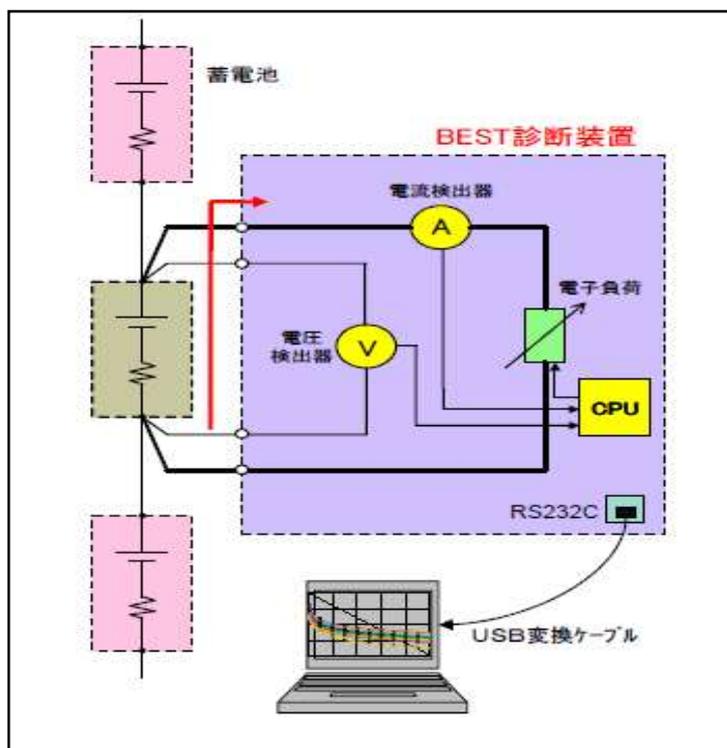


図-24 BEST構成図

例：劣化品蓄電池（200AH）の内部抵抗値が以下のような場合

蓄電池の起電圧	:	2.1V
内部抵抗値は	:	100mΩ
診断装置内部抵抗	:	3mΩ

この条件下においてBESTで放電させた時の放電可能電流を求めると

$$\begin{aligned} I &= 2.1 / (103 \text{ m}\Omega) \\ &= 20.4 \text{ (A)} \end{aligned} \quad \text{となる。}$$

蓄電池の容量は200AHのため、放電電流値を200Aに設定します。しかしながらBESTでは蓄電池の起電圧(2.1V)をベースとして放電電流を制御するため、200Aではなく20Aに制御されてしまいます。すなわち20Aまでしか放電できない蓄電池であることが分かります。半導体による電流制御のメリットが活かされますので蓄電池を悪化させることは有りません。

一方良品の蓄電池ではその内部抵抗値が以下のようなになる。

蓄電池の起電力	:	2.1 V
内部抵抗値は	:	0.5 m Ω
診断装置内部抵抗	:	3 m Ω

この条件下における放電可能電流を求めると

$$\begin{aligned} I &= 2.1 / (3.5 \text{ m}\Omega) \\ &= 600 \text{ (A)} \end{aligned} \quad \text{となる。}$$

すなわち、良品の蓄電池の場合、最大600A近くの放電が可能ですが、実際には200AHの蓄電池のため、放電電流値は200Aに制御され安全に放電ができることとなります。

15. 蓄電池の転極および発火

一般的に蓄電池の転極という言葉を知る人は少ない。蓄電池設備がすべて良品の場合にはこのような転極は存在しない。ではどのような蓄電池設備で発生するのか？詳しく説明する。

一般的にシステムの停電が少なく過去に問題が発生していないユーザーにとっては蓄電池設備の点検を疎かにしているケースが伺える。蓄電池設備に電気特性の大きく劣化した蓄電池がそのまま使用されている場合が問題となる。停電が発生した場合、この電気特性の大きく劣化したセルはその端子電圧の極性が反転する場合がある。これを転極と言う。転極するか否かは、その蓄電池の劣化状態と蓄電池に流れる負荷電流値の大小によって決まる。

蓄電池設備では、直流電源装置で50数個、UPS装置では数百のセルが直列に接続され使用されている。多くの需要家様においては、1セルが不具合となってもその端子電圧が0Vになるだけで、残りが健全なセルであるからシステム断にはならないと解釈される場合がほとんどです。この考え方には大きな間違いがある。

なぜ1セルの不良品でシステム断になってしまうのか、不思議と思われませんか。

ここに転極という事象を理解していただく必要があります。

蓄電池は直列に接続されていますので、その中に劣化度の大きいセルが含まれますと、停電発生時にシステム断を余儀なくされ、場合によっては蓄電池の発火につながる恐れがある。図を用いて蓄電池が転極する理由および最悪発火に至る要因について説明する。

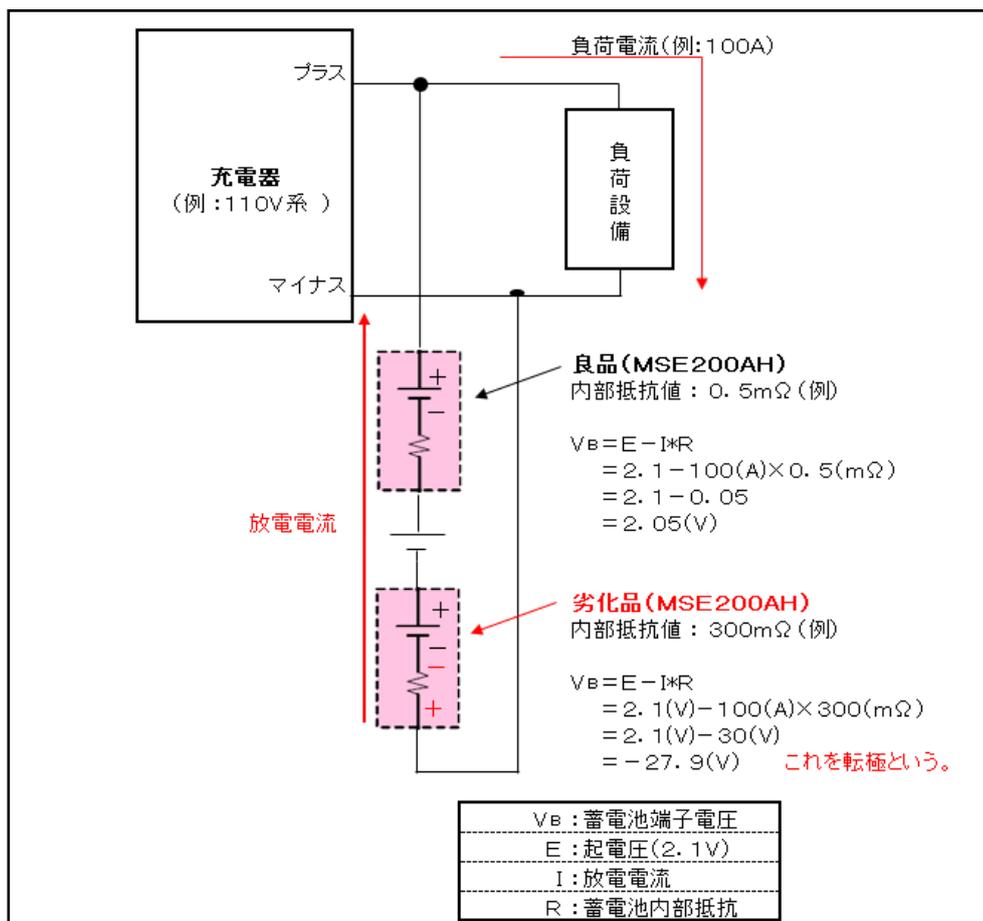


図-25 蓄電池転極の原理

劣化品のセルに着目しますが、通常の浮動充電状態では放電をしているわけではないので常に正常極性になっている。しかしながら一旦停電が発生すると、このセルの内部抵抗値と放電電流値の積により逆電圧 (例: -30V) が発生しその結果端子電圧の極性が反転してしまう。起電圧値が2Vであれば、-28Vの逆電圧に変わってしまう。(これを転極という) 当初の蓄電池全電圧は110Vであるが、劣化セルの電圧降下分28Vを差し引くと全電圧は82Vとなり充電器盤内の直流電圧監視Ry (80B, 80BL) が動作し、直流回路を切り離してしまう。すなわち、システム断となる。

次にこのように劣化したセルをBESTで診断すると以下ようになる。

蓄電池の起電力 : 2.1V
 内部抵抗値は : 300mΩ
 診断装置内部抵抗 : 3mΩ です。

本来この蓄電池に流せる電流値を求めると

$$I = 2.1 / (303\text{m}\Omega)$$

$$= 6.9(\text{A}) \quad \text{しか流すことができないことになる。}$$

このセルは本来約7Aしか電流を流すことができないのですが、他のセルが健全なため全電圧は100Vを維持しています。したがってこの劣化セルに大きな負荷電流（例：100A）を流すことができてしまいます。すると蓄電池内部の構造不良の場合には、直流電流が蓄電池内部で切断されますので大きなアークが生じ、**最悪焼損事故に至るケース**となります。

BEST 診断でも同様に大電流（1C）を流します。実際の停電と大きく異なる点は、BEST では1セル放電です。起電圧は常に2V前後であり半導体による放電電流値を制御するため、劣化したセルでは約7Aの放電電流しか流れませんので破損又は焼損等に至る事はありません。これがBEST 診断の大きなメリットといえます。いかに早く劣化した蓄電池をBEST で識別し、予防保全処置をとることが蓄電池システムの安全性につながるものと考えます。

16. 実容量試験結果とBEST 診断結果との相関

蓄電池負荷設備の連続稼働に伴い、従来実施していた抜き取りによる容量検査もできない昨今である。技術革新とともに新しい測定器等が年々開発されている。BEST 診断装置もその一つであるが、その精度につき某高速道路様で相関係数を検証した事例を紹介する。

16-1) MSE型蓄電池(MSE150)

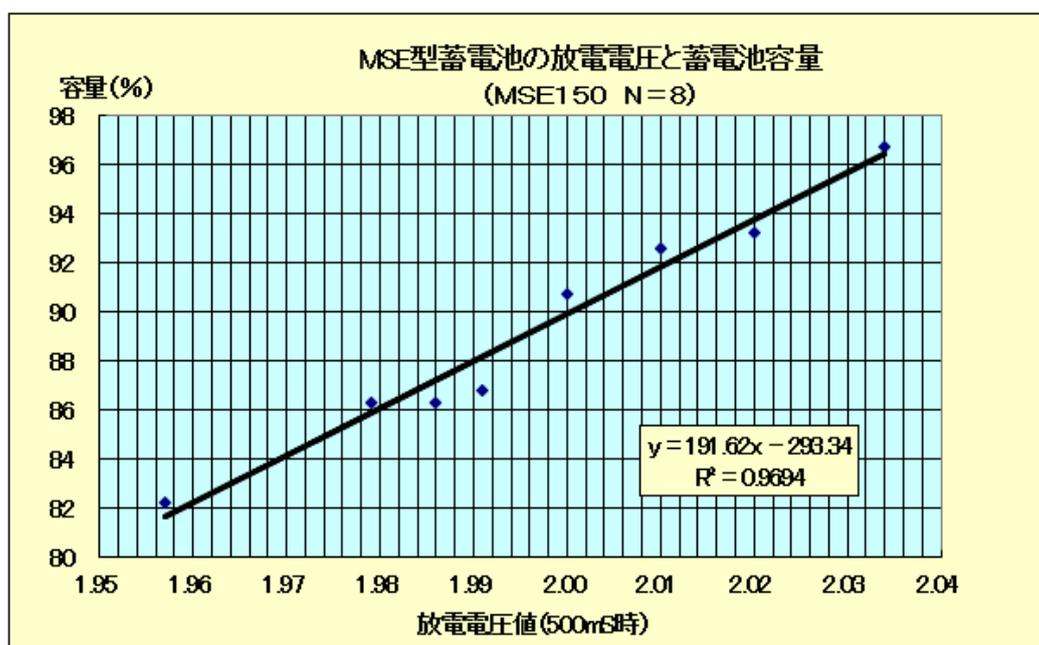


図-26 MSE150AH 相関グラフ

10時間率放電と短時間（0.5秒）放電との相関グラフを示すが、かなり高い相関係数となっていることがわかる。制御弁式蓄電池の場合、BEST 診断で70%を下回るセルでは急激に劣化する場面もあるので注意が必要となる。

16-2)CS型蓄電池 (CS130)

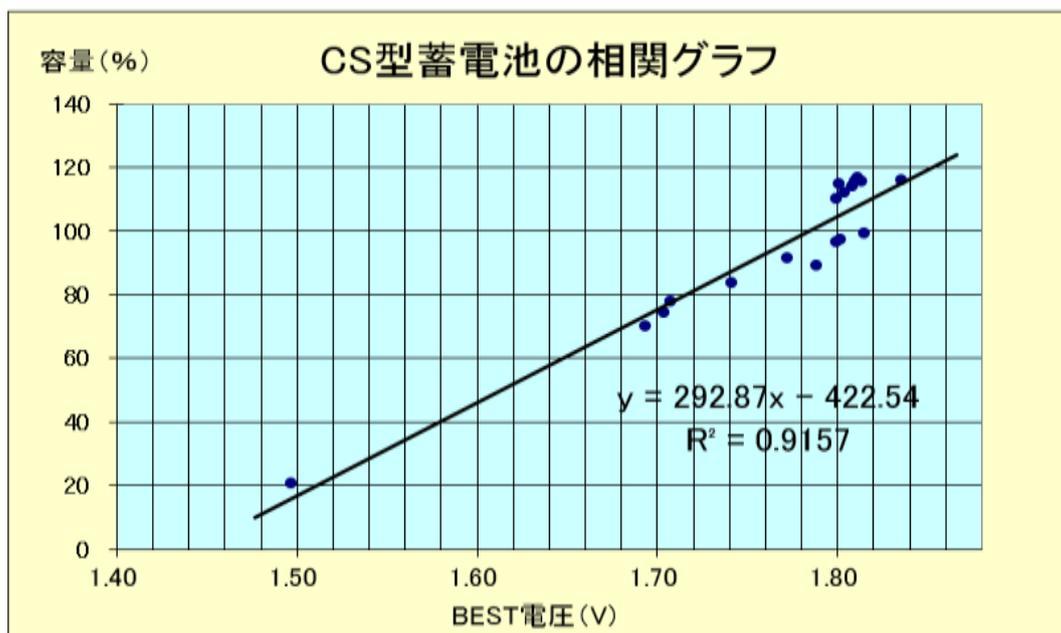


図-27 CS130AH 相関グラフ

上記の評価試験は、某電力会社様と共同で実施したものです。

従来の10時間率放電による残存容量値と比較してみたが、BEST放電電圧との相関係数は高い。それは電池工業会(SBA-S-0601)の1C・34分曲線上に1C・0.5秒の放電曲線に重なるためである。

従来の実容量試験では数セルの抜き取り検査をし、その結果で全体を考察する手法である。しかしながら設備を一旦停止しなければならないという点や、フィールドに残されたセルの電気特性を明確にできない等のデメリットがある。一方BEST診断では蓄電池設備の停止は不要で1セルの動的電気特性を瞬時に把握できる。一般的な直流電源装置(110V系)では、約50数個の蓄電池が使用されている。BEST診断による全数検査に必要な時間はおよそ1時間程である。

全セルの動的電気特性(起電圧・起電力・内部抵抗・残存容量値)を明確にすることができる。寿命年数を超えている場合でも1C放電によって良品と検証された蓄電池は、その内部の極板不具合や極柱等の亀裂といった不具合が無いという判断ができる。これが1C放電による最大のメリットである。

BEST診断は蓄電池設備の動的電気特性のトレンド管理ができるため、メーカ推奨更新時期を超えた場合でもその動的電気特性に変化がなければ継続して蓄電池の運用が可能となり、結果的に保全コストの削減に寄与できる。

蓄電池設備の本来の寿命とは、一般的な期待寿命年数も考慮するが、蓄電池の動的電気特性が劣化し始める兆候が確認できた時点をいう。

16-3) 社内での評価試験とその相関係数

弊社で開発した実容量試験装置を用い、BEST 放電電圧とその相関結果につき紹介する。
装置外観を以下に示すが、最大 500A の連続放電を 60 分可能とした容量試験装置である。



写真-1 実容量試験装置

		BEST_0.5秒電圧	放電時間	残存容量(%)
1	1_MSE200_6	2.012	37.5	104
2	2_MSE200_1	1.996	38.5	107
3	3_MSE200_4	1.978	41.5	115
4	4_MSE200_7	1.940	34.5	96
5	5_MSE150_2	1.920	34.5	96
6	6_MSE200_3	1.865	27.5	76
7	7_MSE150_1	1.836	23.5	65
8	8_MSE200_2	1.821	18.5	51
9	9_MSE300_2	1.809	18.5	51
10	10_MSE300_1	1.759	14.5	40
11	11_MSE200_5	1.666	9.0	25

表-6 検査データ

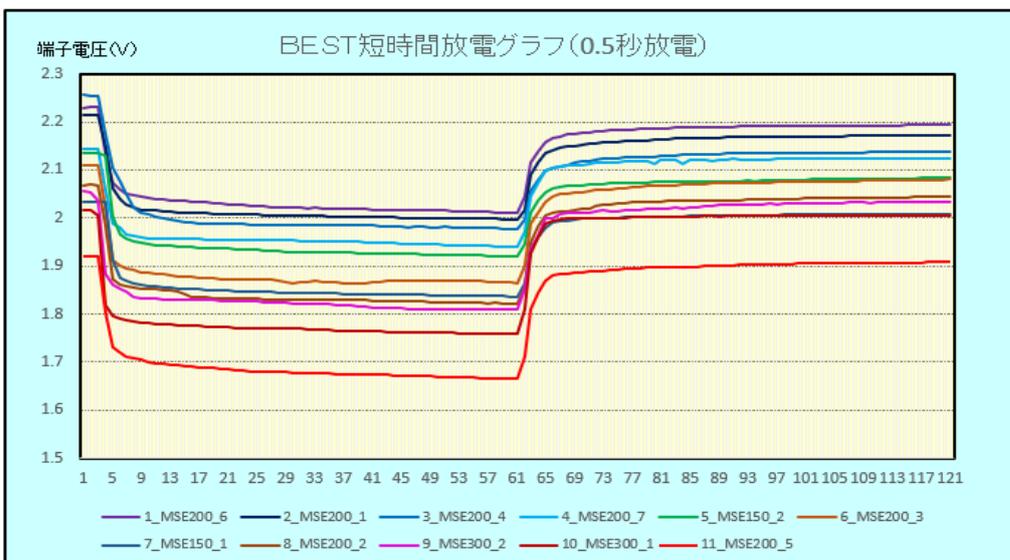


図-28 BEST 放電グラフ

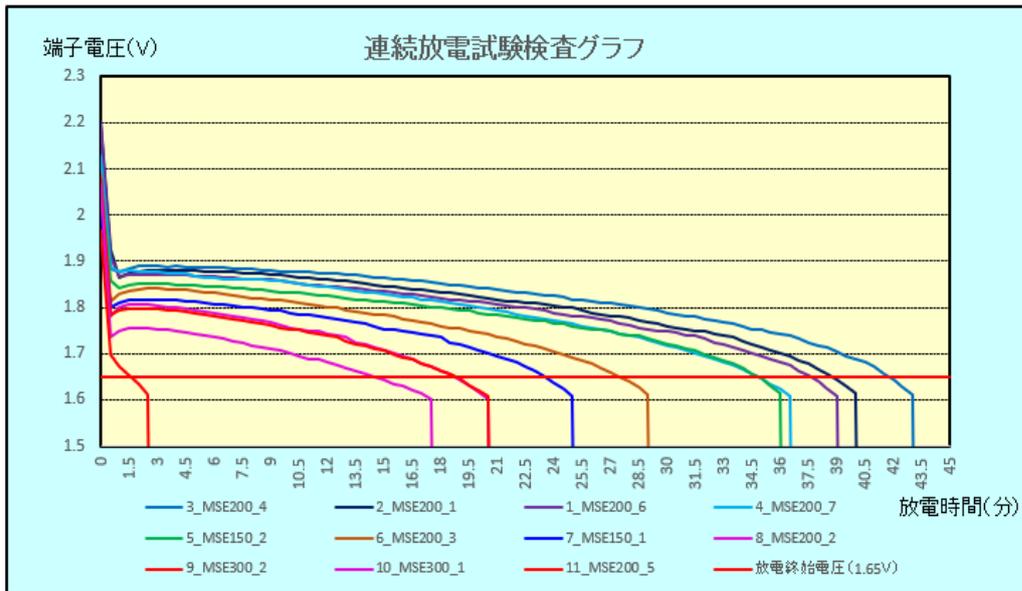


図-29 実容量試験放電グラフ

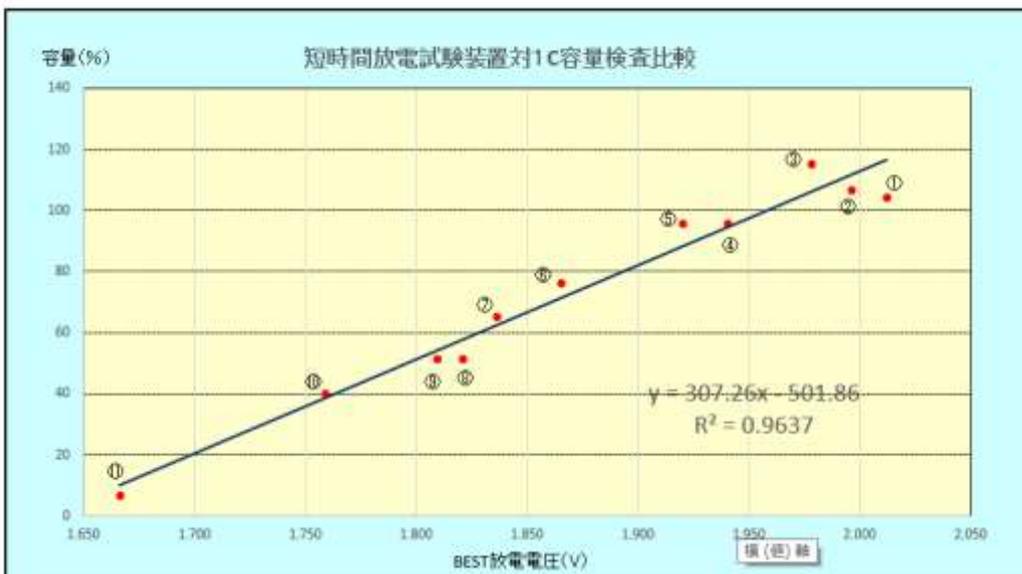


図-30 相関グラフ

3種類の制御弁式蓄電池（計11セル）に対し、BEST放電（1C放電）と実容量試験を実施し、その相関を求めグラフ化したものである。実容量試験検査結果とBEST試験検査結果では、その相関係数も0.96と極めて高い数値を示している。

17. BEST 診断による蓄電池経年特性

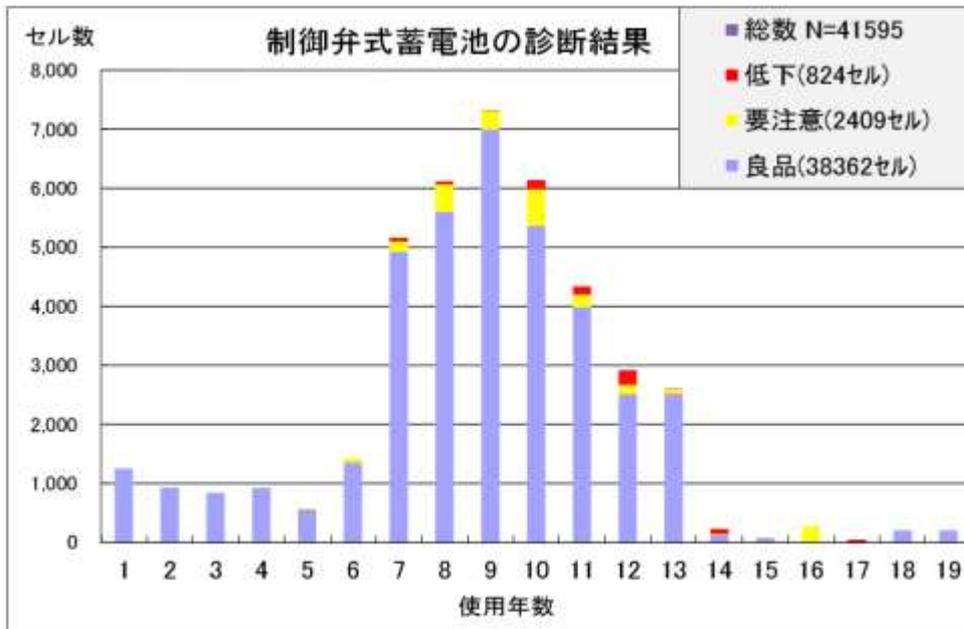


図-3 1 制御弁式蓄電池診断結果

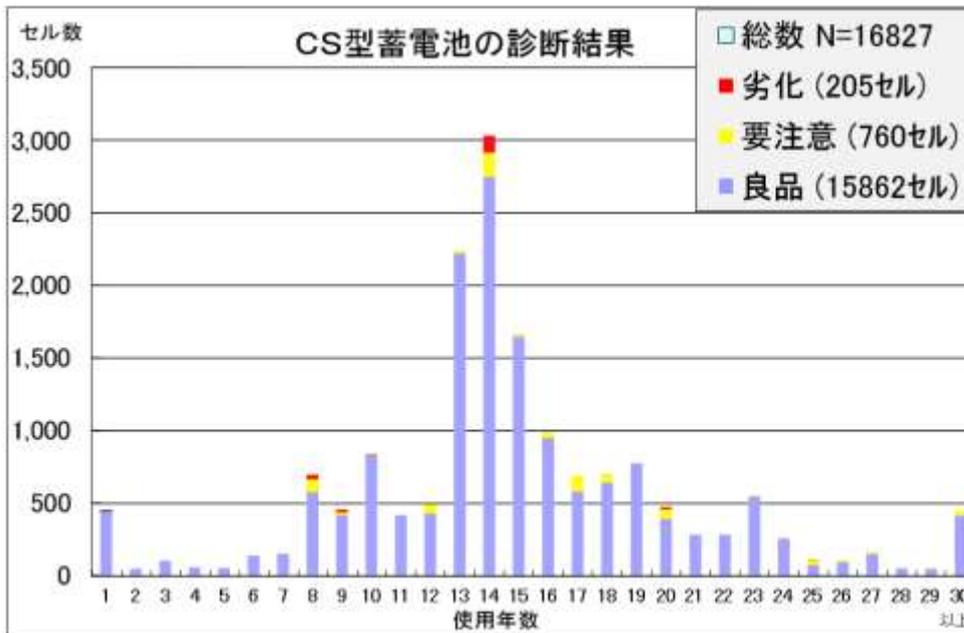


図-3 2 CS型蓄電池診断結果

ここに弊社で診断した制御弁式蓄電池とCS型蓄電池のフィールドデータ表を紹介する。制御弁式及びCS型蓄電池のメーカー推奨更新時期は7～9年及び12～14年といわれている。

一般的な寿命期を超えた後も数多くのセルが健全である事が分かる。またメーカー推奨更新時期よりも手前で劣化したセルを数%発見している。BEST診断以外の一般的な点検手法では実容量すなわち残存容量値を明確にすることは難しい。

したがってBESTを活用しない一般点検では、メーカ推奨更新時期において安全性重視の為に全面更新をすることはやむを得ない保全であると考え。一方フィールドデータが示すようにBESTを活用し動的電気特性が正常な蓄電池設備では、安心してその更新時期を先送りすることが可能となる。さらにトレンド管理により蓄電池設備の動的電気特性に変化がなければその運用をさらに伸ばすことができる。

本来の寿命とは、動的電気特性の劣化の兆候が表れた時点がその寿命と考える。蓄電池の寿命及び劣化は設置される環境条件等により大きく左右されるが、図-31及び32で示すように全て一律に劣化するわけではない。メーカ推奨更新時期であっても蓄電池の動的電気特性（起電圧・起電力・内部抵抗等）が良好であれば延命化が可能となり保全コストの削減につながる。項12（P17）に示した顧客の事例においても寿命期より5年の延命を実施し、保全コストの削減を実施したものである。

18. 蓄電池の部分交換による蓄電池設備の延命とコスト削減

使用年数9年が経過した某放送局の大容量UPS設備に対し年1回のBEST診断を開始し、使用年数15年まで延命した経緯について説明する。

（UPS設備に使用された蓄電池：MSE1000AH 324セル 3系統）

期待寿命期到達により蓄電池設備の全面更新をUPSメーカより提案され、その更新費用は約3億円かかるとのことであった。当時面識のあった主任技術者より相談を受け延命の可否につき検討を進めた。過去に該当設備の診断実績は皆無であり、初回診断の結果で延命の可否につき回答することで了承された。（初回診断の結果では継続使用が可能であるとの報告をした。）システム上は3系統あるが、ここでは1系統につき初回診断から5回分の動的電気特性トレンドグラフにつき以下に紹介する。

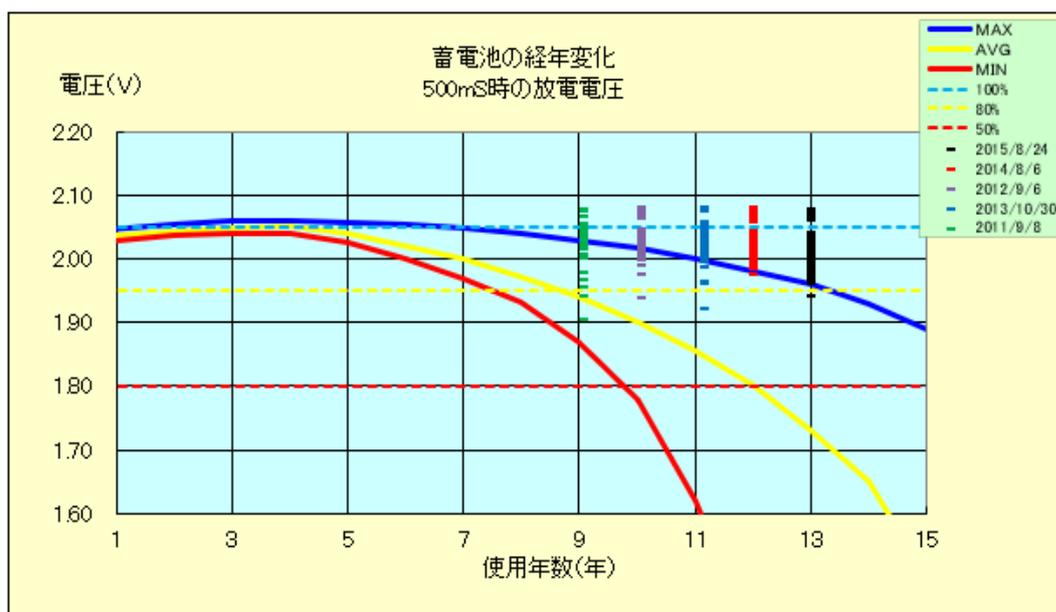


図-33 放電特性トレンドグラフ

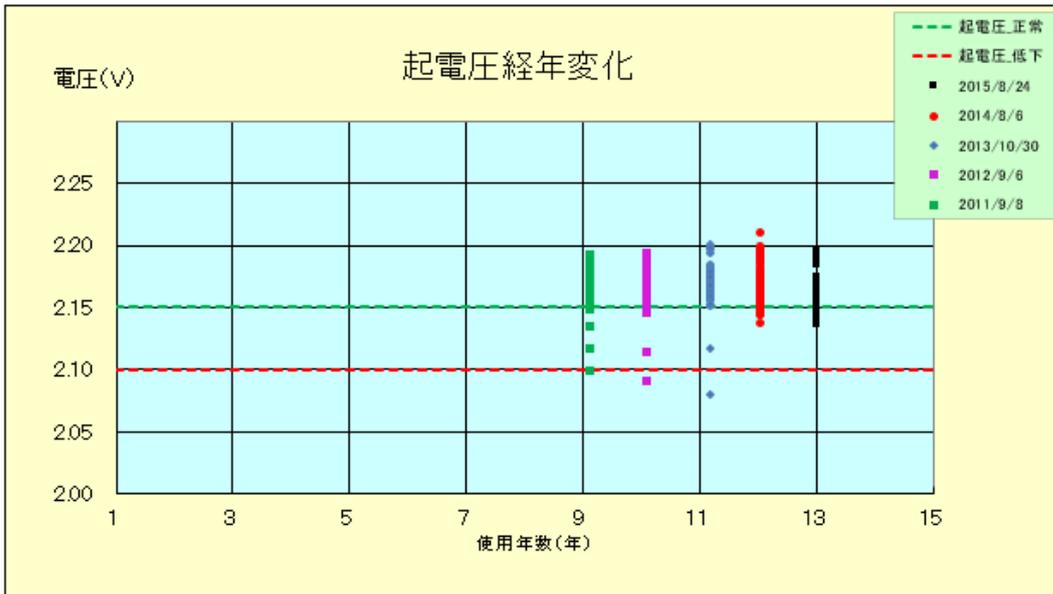


図-3 4 起電圧トレンドグラフ

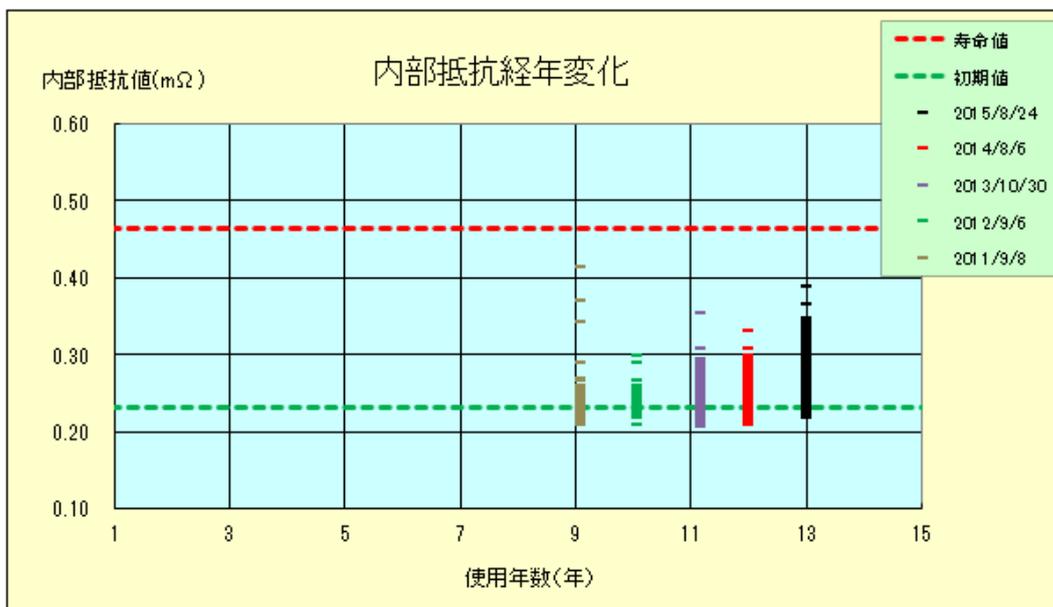


図-3 5 内部抵抗トレンドグラフ

1 系統 324 セルを使用する UPS 設備である。3 系統で合計 972 セルが使用されていた。15 年目の UPS 更新に併せ蓄電池全面更新の計画であった。その 5 年間で合計 27 セルの部分交換を実施し、蓄電池更新の延命を図ると同時に大幅なコスト削減に寄与した一例である。このように信頼性を維持した部分交換がなぜ安全に実施できたのかについて説明する。

蓄電池の部分交換に対し、新旧の蓄電池を混在させると新品のセルが悪くなり蓄電池システムの信頼性が更に悪化する等の話をよく聞かされる。本当にそうであろうか？ どのようにして劣化品を抽出できたのであろうか等疑問が残る。通常点検すなわち静的電気特性の検査（浮動電圧測定・内部抵抗測定・比重測定等）では劣化品を識別することは極めて難しい。

BEST 診断による結果で新旧混在させた蓄電池設備が悪化したという経験は過去皆無である。電池工業会発行の技術資料においても寿命期日前であれば 10%以内の電池交換を認めている。通常の一般点検では静的電気特性検査のため各セルの残存容量値を求めることはできない。即ちどのセルが劣化しているかの判断はできない。では、蓄電池の延命を可能にする条件とは何か？ これは動的電気特性の良好な使用中のセルに新品電池を混在させることで解決する。電気特性が揃うことにより蓄電池設備の延命化が可能となり、保全コストの削減につながる。確かに新旧の蓄電池を混在させると浮動電圧値に僅かの差異が生じてくる。この差異の電圧値を問題視するケースが多い。これは蓄電池内部の電気二重層の影響により生じるものである。蓄電池の本来のパワーとなるファクターは浮動電圧値ではなく、起電圧値であることを再度理解する必要がある。

すなわち以下の 3 点に注意を注ぎ実施することで新旧混在が可能となる。

- 1) BEST 診断で全セルの動的電気特性を把握する。
(寿命期日にある蓄電池でもその動的電気特性が新品と同様のセルが多数有る。)
- 2) 動的電気特性の劣化したセルを抽出し新品に入れ替える。
(全体の動的電気特性を合わせることができ、バラツキも減少する。)
- 3) 1 年後に BEST 診断を実施し動的電気特性の変化の有無をチェックする。
(動的電気特性の劣化セルが無ければ継続使用し、逆の場合には該当セルの交換を実施し、動的電気特性を合わせる。)

今回のケースは蓄電池の更新費用が莫大なものとなる為、コスト削減策の一つである部分更新を選択したい願望及び背景があった。BEST 診断で動的電気特性が良好であれば、継続使用は可能である。

逆に寿命期前においても蓄電池の劣化が散見されるケースもある。BEST 診断によりその蓄電池設備の健全性の有無を把握することが極めて重要である。一方寿命期後に BEST 診断の依頼を受ける場合も多々ある。検査結果で動的電気特性が全セル良好と判断された場合、次の更新予定時期までの安全性が確保できるという大きなメリットに変わる。

BEST 診断は放電電流が 1C という大電流放電の検査である。この大電流の意図とは蓄電池内部の構造を 1C 放電で検査することにある。蓄電池内部を見ることはできないが放電をさせることにより極板の伸び・極中またはストラップの亀裂等物理的不具合の状況を動的電気特性で評価できる検査装置である。寿命期を超えた蓄電池に対し、その動的電気特性が新品と同じレベルであれば物理的な不具合は発生してないと言える。したがって寿命期を超えていたとしても継続使用が可能となり、保全コストの削減につなげることができる。

蓄電池設備の延命を半永久的に実施することはできない。制御弁式蓄電池の場合、内部の電解液量は液入り蓄電池と異なりほんのわずかであり、極板間のリテイナーマットに浸透させている。使用年数や設置環境により蓄電池内部で格子の伸び・電解液の減少によるドライアップ等が発生し結果的に内部抵抗値が増加する。BEST 診断ではトレンドグラフ管理よりこれらの動的電気特性の劣化兆候を解析できるので本来の寿命年数を見出すことが可能となる。

別例としていくつかのコスト削減方法につき紹介する。

a) 蓄電池設備がA系（50セル）・B系（50セル）といったシステムについて

一般的に推奨更新時期に至った場合そのまま全面更新をするケースが多々ある。一般的な点検では蓄電池の良否判断が難しく使用年数による交換を余儀なくされている。全面更新により信頼性は確保できるが保全コストの削減にはならない。BEST 診断装置を活用される顧客では、全セルの動的電気特性を把握できるため、保全コストの削減が次のように可能となる。両系統の蓄電池がすべて良好であればそのまま継続使用することができる。逆に両系に劣化したセルが識別されると全面更新とする場合が多い。しかし両系併せて動的電気特性の良好なセル（残容量：90%以上）が50セル以上あれば片系に乗せ換えることができる。その蓄電池更新コストは1ユニット分で済む。但し寿命年数を大きく超えている場合はこの限りではない。

b) 蓄電池の全面更新費用について

一般的にメーカーの推奨更新時期に到達した蓄電池設備を当初の設計通りに更新するケースが多い。負荷側設備は近年の技術革新によりダウンサイジング化されており、設計当初の蓄電池容量を大きく下回ることが多い。一般的には負荷設備容量は当初の設計容量の半分以下となっている場合がほとんどである。蓄電池容量を設計通りに更新し、十分な蓄電池容量があるからといってもその容量の大小に関係なく使用年数に応じて劣化してしまうため安心はできない。

メリットとしては、すべて良好と確認された場合のみ、その長時間の蓄電池運転が可能になるという事だけである。蓄電池設備の全面更新ではこの点について再検討する必要がある。当初より負荷設備容量が低減している場合はその容量に見合った蓄電池に交換することで大きくコスト削減ができる。

19. 蓄電池設備の無停止交換

蓄電池設備を保有する場合必ず寿命期を迎えることになる。当然部分交換も含め蓄電池交換となるのだが、その作業に安全性が確保できない場合が多い。蓄電池設備の停止ができる場合は問題ないが、多くは仮設蓄電池を用意しシステム運用中すなわち無停止状態で仮設側への切り替を余儀なくされている実態がある。

交換時の安全性が確保できない理由とは、充電回路出力部に仮設用 NFB が装備されていないことにある。一般的に盤設計をする概念において、蓄電池交換用の NFB を最初から取り付ける考え方は皆無に近い。盤設計者はフィールドでの作業内容をほとんど理解していない。盤製造コストを下げるための手法が優先されているためである。

現場では、作業員が活線状態で仮設ケーブルを直接充電部のどこかに接続しなければならない。当然安全には配慮しているが間違いがあってはならない。顧客側責任者も不安な気持ちでこの作業を見守っているはずである。一つの蓄電池交換用の NFB が盤内に当初から準備されておればその作業の安全性は極めて高くなる。蓄電池の劣化に伴う部分更新もしくは全面更新時における作業の安全性配慮のため、この NFB は欠かすことのできない保全用回路となる。

20. 動的電気特性でわかる蓄電池の劣化について

弊社では蓄電池の診断実績セル数が10万セル以上に及ぶが、5万セル以上の実績がある御
 弁式蓄電池について紹介する。各セルの起電圧・起電力・内部抵抗・ Ω AHにつき製造メーカ
 の型式ごとに分類しフィールドにおける使用年数とその劣化につきグラフ化し検証している。
 一例として某蓄電池メーカのMSE300AHにつきそのグラフを紹介する。

20-1) 使用年数と内部抵抗値のグラフ

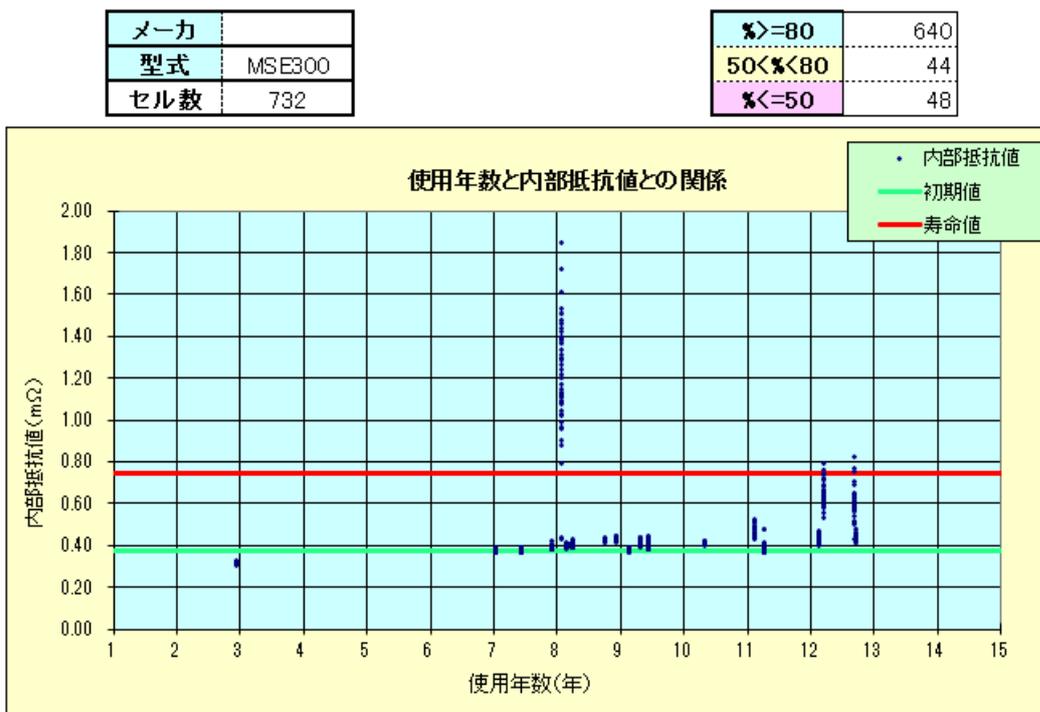


図-36 MSE300AH 内部抵抗グラフ

MSE300AHの内部抵抗初期値は約 $0.37\text{m}\Omega$ であり、その倍である $0.74\text{m}\Omega$ を寿命値と設定し
 ている。診断実績セル数は合計732個であり、それを使用年数軸上に表している。図-36は
 同一設備の蓄電池の追跡調査ではなく、過去に診断した顧客の全データを纏めたものである。
 右上にある残存容量値で示すセル数は、BESTによる動的電気特性より求めた数値である。
 グラフを考察すると、使用年数10年近くまで内部抵抗値の増加及びバラツキは無く、良好な
 状態であり製品が安定していることが分かる。8年目に数値が大きく増加している件は、顧客
 の設置環境に起因する問題であり蓄電池の原因ではないことも弊社の調査で判明している。1
 1年目以降では、バラツキが増えている設備の確認ができています。一般的な期待寿命年数は7
 年～9年という事もあり、この期間内では問題となる点は無く正常に機能していることが分か
 る。

20-2) ΩAH に数値変換したグラフ

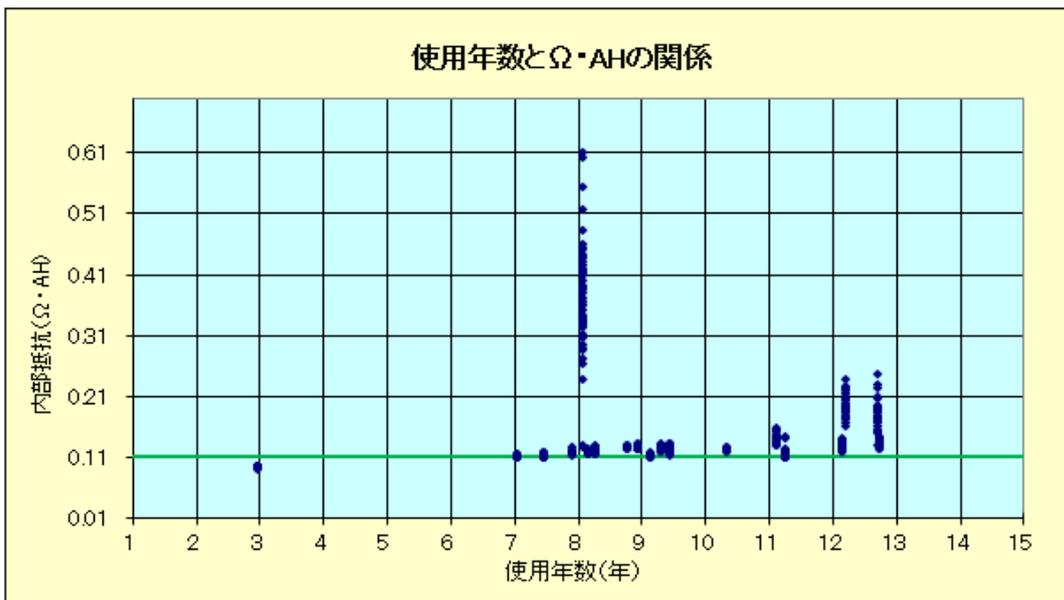


図-37 MSE300AH ΩAH グラフ

ΩAH は新品の蓄電池で 0.11 と表すことができる。内部抵抗値の増加したセルを放電させた際、どのくらいの電圧降下が発生するかを表したグラフである。

20-3) 内部抵抗と起電圧・起電力のグラフ

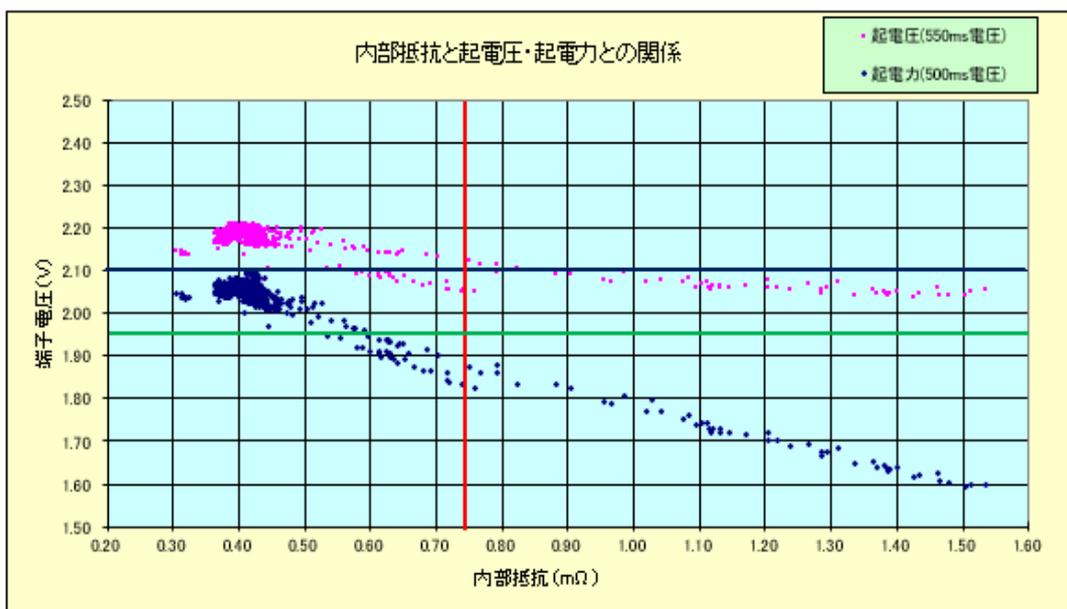


図-38 MSE300AH 電気特性グラフ

MSE300AH・732セルの動的電気特性を纏めたグラフである。

詳細については次頁で解説する。

- 1) 起電圧：起電圧の低下値を黒線（2.1V）で表し、そのラインより下側に位置する赤色のセルは劣化が進んでいると判断できる。
- 2) 起電力：1C放電による起電力（放電電圧）の80%レベル値を緑線（1.95V）で表し、そのラインより下側に位置する紺色のセルは劣化が進んでいると判断できる
- 3) 内部抵抗：内部抵抗の寿命値を赤線（0.74mΩ）で表し、その右側に位置するセルは劣化が進んでいると判断できる。

このグラフより以下のように考察することができる。

- A) 内部抵抗値が正常値（赤ラインより左側に位置するセル）を示すセルであってもその起電圧が2.1Vを下回るセル（赤色セル）が散見される。
- B) 内部抵抗値が正常値（赤ラインより左側に位置するセル）を示すセルであってもその起電力（放電電圧）が1.95Vを下回るセル（紺色セル）が散見される。
- C) 起電圧の低下しているセルは、起電力（放電電圧）も低下する傾向にある。

蓄電池内部を簡単に説明すると、主に起電圧と内部抵抗より構成されている。劣化の判断には内部抵抗値だけでは不備であり、BEST 診断より得られる動的電気特性の確認が必要である。

20-4) 使用年数における内部抵抗・起電圧・起電力のグラフ

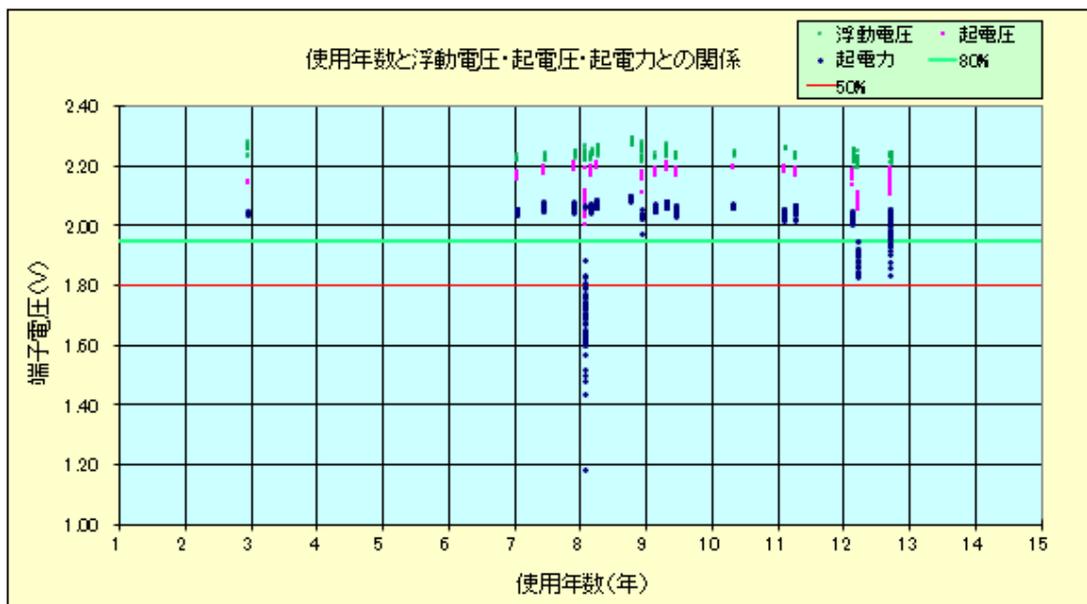


図-39 MSE300AH 年数に伴う電気特性グラフ

MSE300AHの蓄電池（732セル）を図-39のように表してみた。

診断年数ごとの浮動電圧・起電圧・起電力（放電電圧）である。浮動電圧はどの年数でも2.2V以上示しており正常と判断できる。しかしながら動的電気特性は正常といえるだろうか？

8年目のデータを見ていただきたい。浮動電圧は正常であっても動的電気特性は完全に劣化している。浮動電圧値は充電器出力電圧を使用されるセル数で分圧された電圧であり、本来の蓄電池の性能評価をすることは極めて難しいことが分かる。

21. 用途別蓄電池の劣化状況

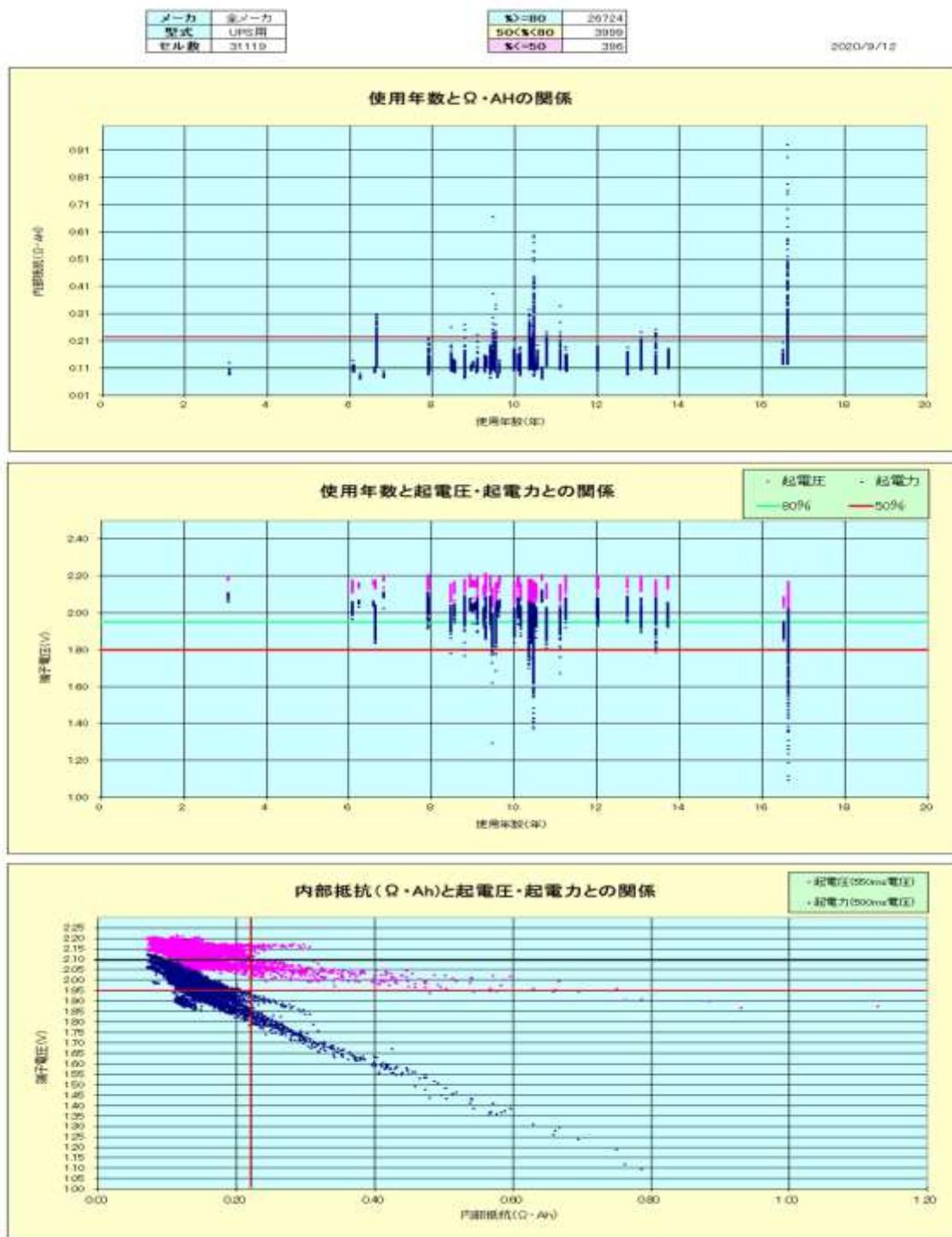


図-40 全メーカー UPS 用蓄電池の電気特性

兆候として8年過ぎた頃から急に電気特性の劣化が顕著になっている。

メーカー	全メーカー
型式	発電機用
セル数	1000

$\% > 80$	101.6
$50 < \% < 80$	33
$\% < 50$	28

2020/9/12

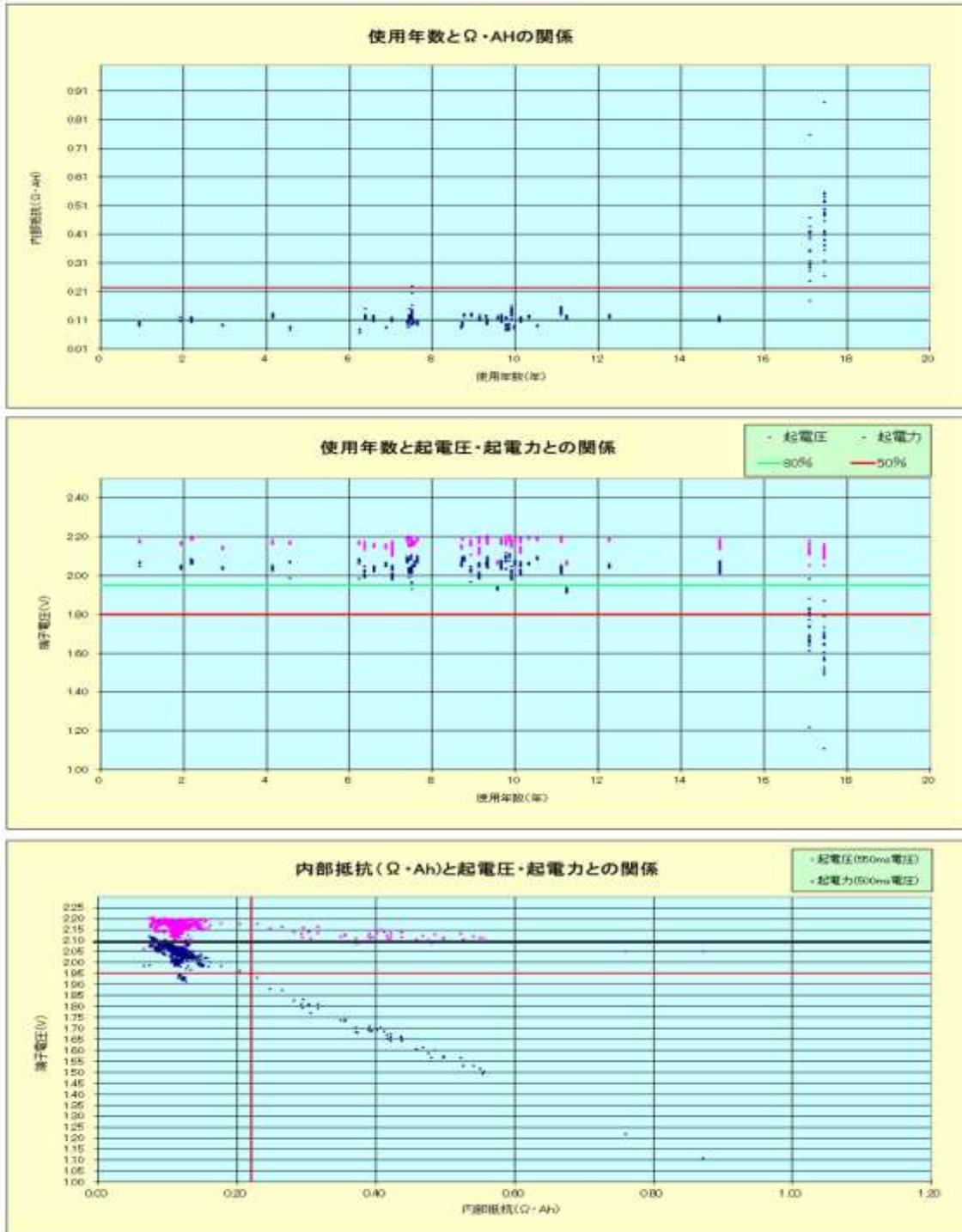


図-41 全メーカー発電機用蓄電池の電気特性

一般的な寿命は8年とされているが、15年位までは劣化の兆候がでていない。

メーカー	全メーカー
型式	通信用
セル数	6723

$\%>=80$	5717
$50\% \leq \% < 80$	985
$\% < 50$	41

2020/9/12

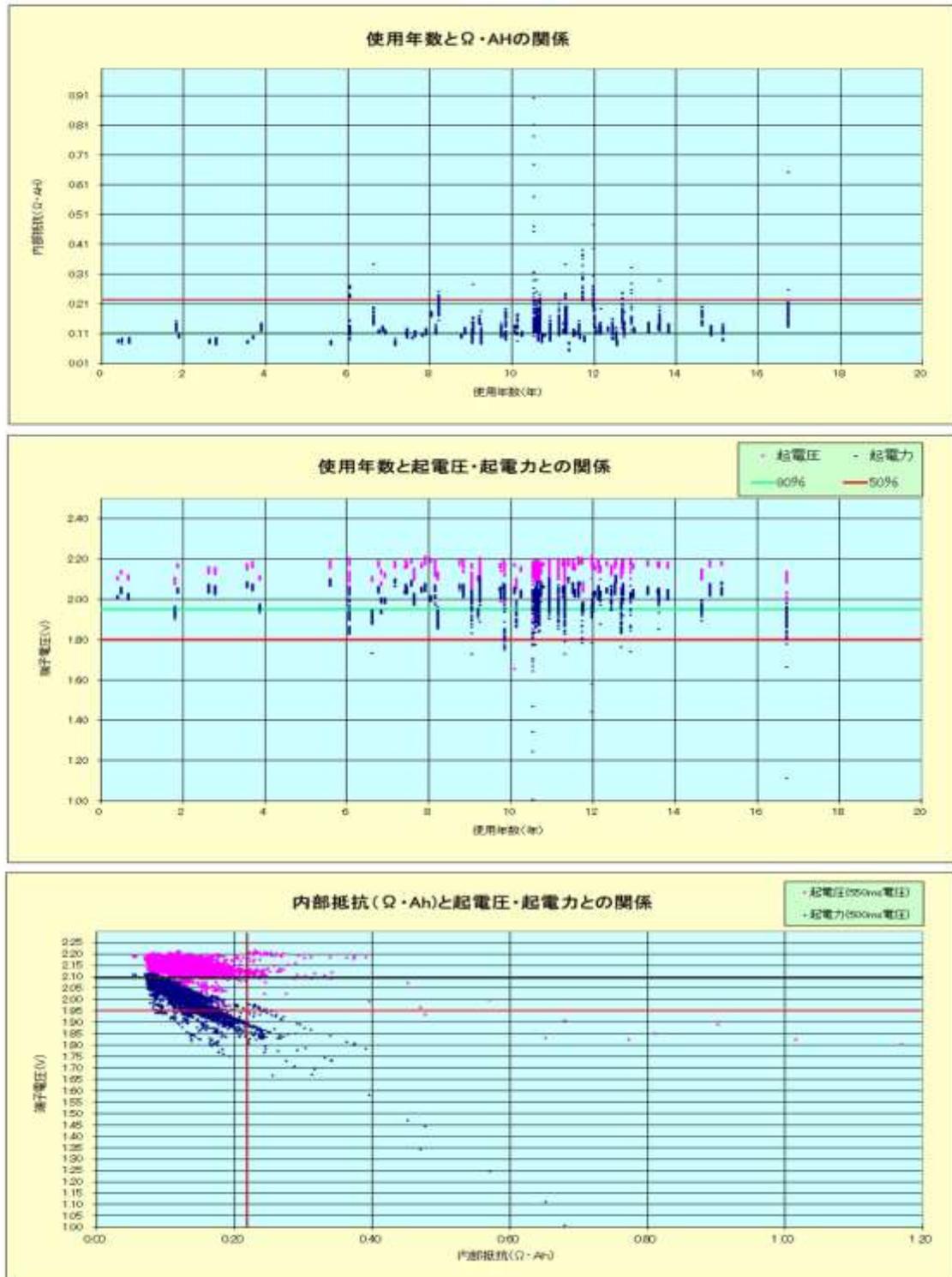


図-42 全メーカー通信用蓄電池の電気特性

通信用の蓄電池は温度環境の良い場所に設置されるケースが多いが、5年目くらいから劣化の兆候がでている。

メーカー	全メーカー
型式	直流電源用
セル数	13088

$\Omega \geq 80$	8946
$50 < \Omega < 80$	2556
$\Omega \leq 50$	586

2020/9/12

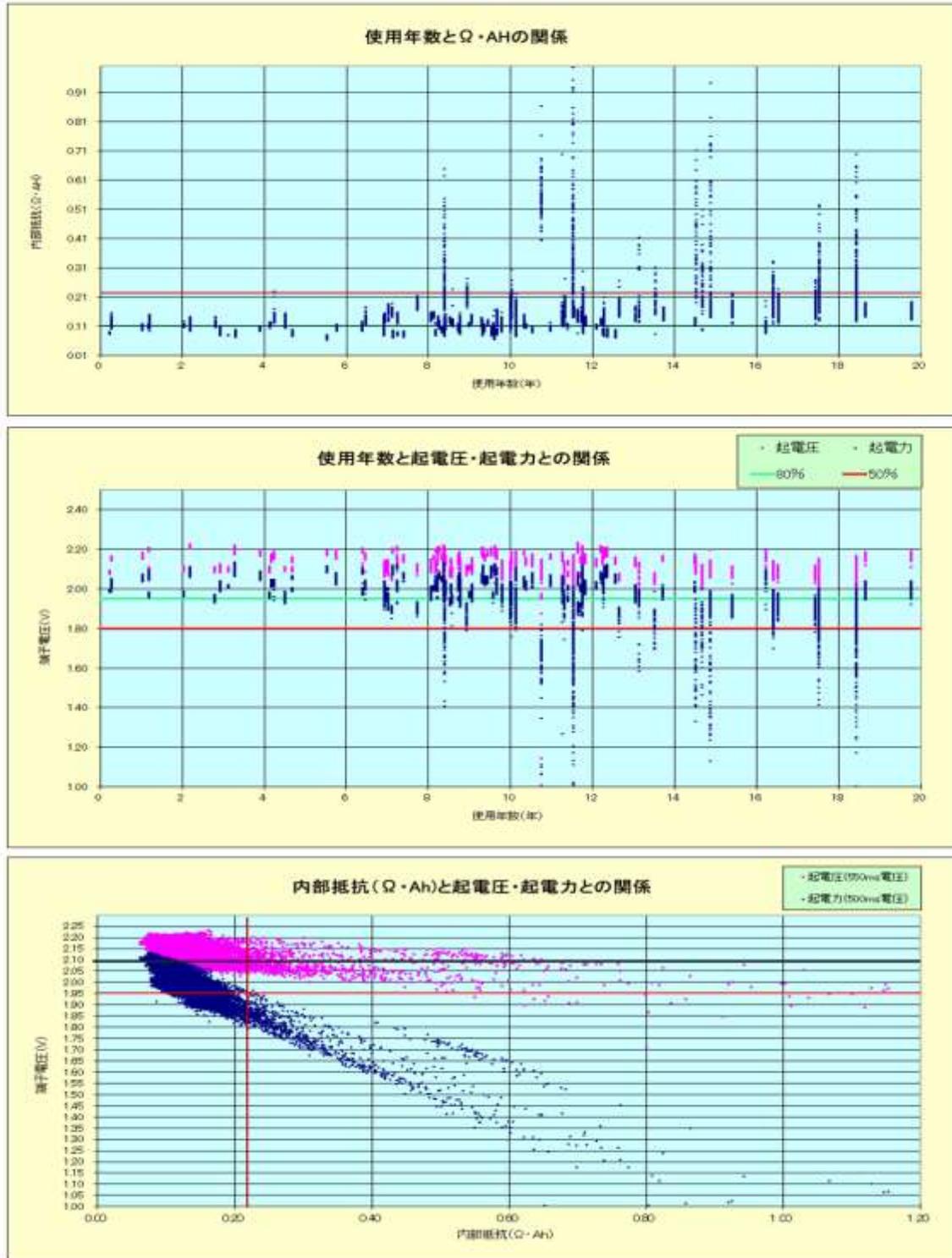


図-43 全メーカー直流電源用蓄電池の電気特性

直流電源用蓄電池の場合、劣悪な温度環境で使用されているケースが多い。7年すぎたころから劣化の兆候が出ている。

メーカー	
型式	非常照明用
セル数	1298

%>=80	882
50<%<80	382
%<=50	34

2020/9/17

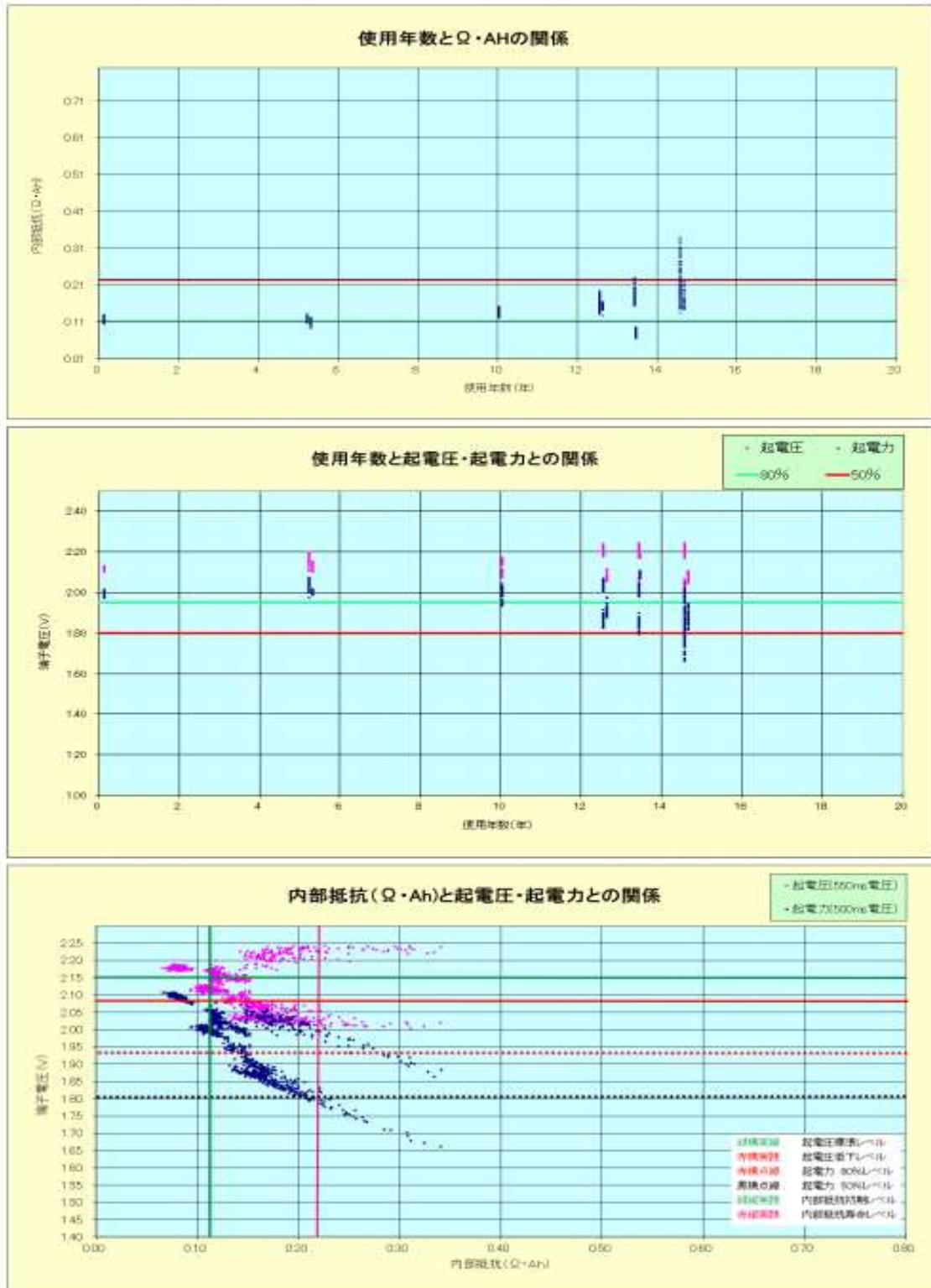


図-4-4 全メーカー非常照明用蓄電池の電気特性

診断セル数が少ないため、劣化兆候のコメントは難しい。

P 40より5ページに亘り、蓄電池の用途別の電気特性を参考として示してみた。このデータは弊社が顧客の設備診断で取りまとめたデータの一部である。

一般的に蓄電池は使用年数と共に劣化するものではあるが、それぞれを比較してみると発電機用で使用されている蓄電池の劣化が一番少ないことが分かる。発電機専用の特別な蓄電池が存在するわけでもない。大きな相違は、週一もしくは月一の発電機の始動運転を実施しており常に蓄電池の充放電を繰り返すことで極板の活性化につながっている。他の設備は一般的にスタンバイ蓄電池とされているため、放電試験等をすることはほとんどない。また、制御弁式蓄電池には従来の液入り蓄電池にあった均等充電モードというものがない。常に2.23V/セルの電圧を供給するのみである。一方液入り蓄電池は自己放電量が大きいから均等充電回路を取り入れ、極板の活性化を実施している。MSE型蓄電池の場合にはそのモードがシステム上不要となっている。自己放電量が極めて小さいからという理由かもしれないが、使用年数と共に浮動電圧値のバラツキが生じているケースが多々ある。浮動電圧値が2.23Vを下回っているセルが数年先に自己回復するという可能性は極めて低い。

充電器は総電圧を供給するのみであり、各セルの端子電圧を制御することは不可能である。蓄電池の延命を図るには適度な放電試験により極板の活性化をした方がよいのだが、実際には難しい状況下にある。

22. 蓄電池周囲温度と内部抵抗

蓄電池の動的電気特性は設置環境に左右される。空調機が室内に設置される場合、室内温度は一定の数値に制御されており問題はない。一方外気を導入している場合は夏場と冬場の温度差に注意が必要である。BEST診断の測定データはその時点のデータである。冬場に測定すれば蓄電池の内部抵抗によりその動的電気特性は低くなる。ある顧客先で、“この電気特性を25°C換算に変換し、その状態で蓄電池の能力を判断する必要がある。”と言われたことがある。

一見正しいように思われるが、実際は間違いである。発電機の月一運転時、夏場は問題ないが冬になると動作不安定になるような場合を想定してみよう。冬場にBEST診断すれば当然動的電気特性は下がっている。特性データを25°C換算するとデータは正常になってしまうが、発電機の動作は常に不安定のまま残る。データの換算ではなく動作を安定させるための処置・改善が急務となるケースである。

蓄電池にはパイロット的に数個の温度計がつけられている。昔経験した蓄電池の熱暴走は、現在皆無と言ってよいほど発生していない。そういう意味では数個でも問題ないといえる。BEST診断では、個々の蓄電池の表面温度を計測していない。キュービクルに収まった制御弁式蓄電池では計ることすらできない。4段構成の蓄電池盤があるが、上下では2度前後の温度差がある。当然上部に置かれた蓄電池の温度は高くなっている。BEST診断では、この温度差でも動的電気特性にその差が表れてくる。空調機が完備されていたとしても蓄電池個々の周囲温度は一定ではない。蓄電池室内の温度に誰もが敏感にはなるが、一般的な通常点検では電気特性にどの程度の影響を及ぼすかを検証することは極めて難しい。

蓄電池が4段等構成等キュービクルに収まっている場合、上部に設置されている蓄電池の劣化が下段よりも早く進んでいることを診断データより確認している。仮に空調機があっても、蓄電池盤全体を冷却しているわけではないので設置場所により温度差が生じている。当然上部の方が数度高くなっているのが一般的である。いくつかの顧客先では電気料金の削減のために室温を高めに行っているケースも散見されるが注意は必要である。

以下に鉛蓄電池に対する電解液温度と内部抵抗の変化グラフを示す。しかしながらこのデータはあくまで新品の蓄電池に対するものである。したがって使用年数が多く、物理的に内部抵抗値の大きく増加した劣化セルには適用できない。

液入り蓄電池と異なり制御弁式蓄電池では液量が極めて少ないため周囲温度に極めて敏感であり設置環境には十分な注意が必要となる。

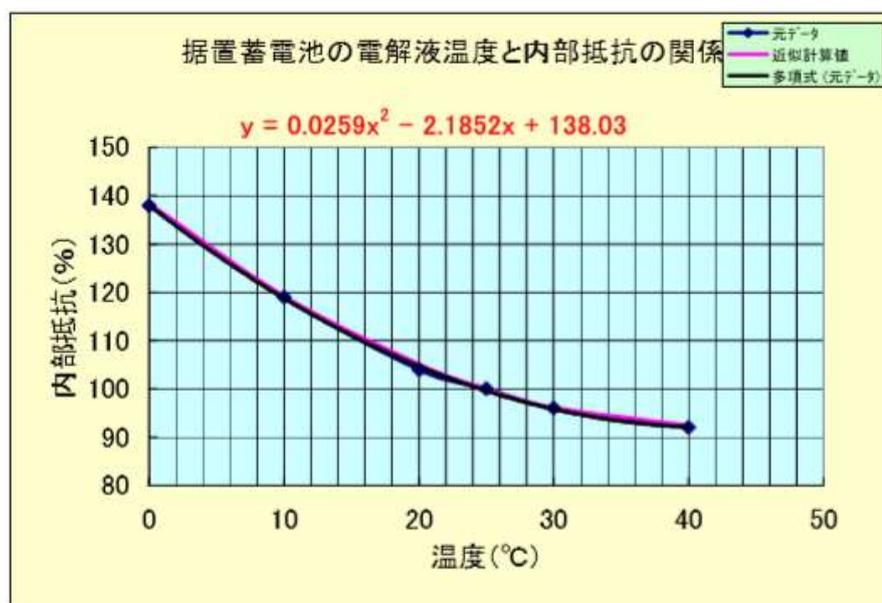


図-45 電解液温度と内部抵抗変化グラフ

23. BEST 診断装置の取り扱い

BEST 診断装置は単セル毎に一定の電流で放電させ、起電圧・起電力・内部抵抗・残存容量値を計測する装置である。使用するにあたり以下のようなお問い合わせがありましたので解説しておきます。

23-1) 放電プローブの接続方法

BEST による直流放電では、大電流小電圧という 4 端子法となっています。1C という放電電流を蓄電池より流すことができれば問題ありません。放電プローブを蓄電池端子部に接続する場合の角度を気になされる方がおられますが、角度は一切関係ありません。垂直・斜め・水平であっても放電電流は設定値通りに流すことができます。(ただし端子部に汚れまたは酸化被膜がある場合には注意が必要です。)

ケーブルには放電をさせる太いケーブルと電圧検出用クリップの二つから構成されています。基本的には放電開始セルの端子部に電圧検出クリップを挟み込み、その端子部へ放電プローブを押し当てて放電開始となります。

2 種類のケーブルが正常に端子部に接続されている場合のみ READY ボタンの操作が可能となります。片方のケーブルが外れている場合は、READY ボタンを押した時点でアラームが鳴ります。標準品では無極性タイプとなっていますので、蓄電池の極性を気にすることなく放電ができます。

一方市販の内部抵抗計も 4 端子法となっていますが、プローブ先端部に電流・電圧のセンサーがあり、蓄電池端子部に対し垂直に当てないと測定はできません。

本体から微弱の交流電流を蓄電池側に流すため、端子部に被膜がある場合は測定値に誤差が生じるため注意が必要です。

23-2) 測定中にアラームが鳴りとまらない。

a) 正常使用中のアラーム

浮動電圧測定中又は放電測定中にアラームが発生してしまうことがあります。いずれの操作に於いても各ケーブルを蓄電池端子部に接続してから READY→START とボタンを押して操作が完了します。

しかしながら READY ボタンを押した状態でケーブルを外してしまうとアラームが発生し継続します。

この場合は、再度ケーブルを蓄電池に接続することによりアラームは止まります。

b) 放電プローブ両端に過電圧を印加した場合

本体装置内部に放電ケーブル用の電圧監視として過電圧検出器を取り付けてあります。

主回路ユニット部には半導体 (M O S F E T) を使用し放電電流値を一定に制御しています。半導体の耐圧レベルは 5 0 V (実力 6 0 V) です。測定時、放電プローブを各セルのプラス及びマイナスの端子部に正常に押し当てている場合は、このような大きな電圧が放電プローブ両端にかかることは有りません。蓄電池盤ではセルの端子部とフレーム間に電圧が存在します。

測定時、誤って放電プローブの片側をフレーム等に触れてしまうとこの限りではありません。その印加電圧のレベルによりアラームが発生いたします。

- | | | |
|-----------------|--------|-------------|
| 1) 30V以下 | アラーム無 | 継続使用可 |
| 2) 30V<印可電圧<50V | アラームON | リセット後使用可 |
| 3) 50V以上 | アラームON | リセット不可で使用不可 |

放電プローブ先端部には誤操作防止用として保護チューブを取り付けてありますが、測定時は十分な注意を払って実施することが賢明です。

23-3) 新品蓄電池納入後の初期残存容量値は100%以下。

一般的に蓄電池メーカーより出荷され据え付けられた蓄電池の初期残存容量値は100%以下となっている場合がほとんどです。弊社の見解では、75~90%ほどとなっています。

以下に弊社診断装置で検証した蓄電池の初期電気特性（放電データ）を示しますので参考にしてください。

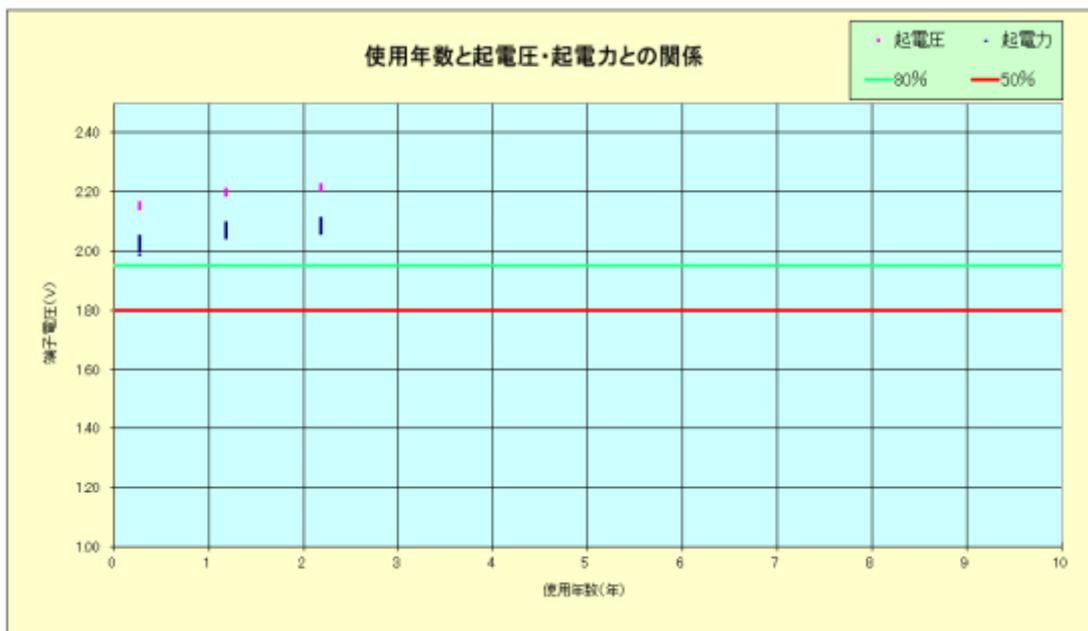


図-46 蓄電池納入後の初期特性

据え付け当初は100%以上あるものと想定しがちですが、据付け後の充電により数年後に定格容量値になる場合がほとんどです。

初回の診断データは起電力（放電電圧）が低下しています。しかしながら充電を継続しますと徐々に起電圧（蓄電池のパワー）と起電力が正常に戻ってきます。

一般的には据え付け後2~3年がかかります。

23-4) DISCHARGE ボタンを押すと放電エラーの表示が出てしまう。

診断を開始される前にはあらかじめ以下に記載した各設定値の入力が必要となります。

- | | |
|----------------|---------------|
| 1) DATE | 日付設定用 |
| 2) USER CODE | 顧客コード |
| 3) BATT GROUP | 蓄電池設備の分類用 |
| 4) BATT No. | 診断開始セルの番号入力用 |
| 5) BATT OF MFG | 蓄電池設備の製造年月入力用 |
| 6) CURRENT | 放電電流設定用 |

通常は上記 6 項目を入力後に測定開始となります。間違って CURRENT の設定値が 0 (A) の状態で、DISCHARGE ボタンを押してしまうと放電エラーの表示が発生してしまいます。CURRENT を再設定することで OK となります。

23-5) PC にデータ転送中、通信エラーが表示される。

診断装置のマニュアルに説明してありますが、PC 内に通信用ソフトをインストールした際に USB シリアルコンバータの通信速度変更を実施しなければなりません。

変更方法は以下となります。

- 1) コントロールパネル → ハードウェアとサウンド → デバイスマネージャー → USB Serial Port とクリックします。
- 2) USB Serial Port をクリックするとプロパティの画面表示となります。
- 3) 画面内で、**ポートの設定** → **詳細設定**をクリックします。
- 4) 画面内の **BMオプション**の数値をデフォルトの **16** から **5** に変更してください。

以上の操作により PC への通信が可能となります。

PC 本体が顧客様会社のセキュリティーで保護されている場合は、インストール及び変更等ができない場合もありますので注意してください。

通信を実施する場合は、**診断装置上面の全 LED が消灯**していることを確認してください。

23-6) 放電電流が設定値通りに流れない。

一般的に二つの要因が挙げられます。

- 1) 放電プローブのサイズを 14sq にて 500A を流そうとする場合。

放電プローブは付属品として 2 種類あります。上記の 14sq を使用する場合は 200AH 以下の蓄電池の診断に使用可能となります。300AH 以上の蓄電池の測定には、38sq もしくは 60sq の放電ケーブルを使用してください。14sq で 500A の放電はできません。

2) 放電プローブを装置に接続する際の問題点

放電プローブを本体に接続する際、本来は放電ケーブル、平ワッシャー、スプリングワッシャー、そしてナットの順番になるのですが、平ワッシャーを先に入れ、放電ケーブル、スプリングワッシャーそしてナットとされる顧客様が時々散見され、放電電流が正常に流れない！との電話連絡を受けたことがあります。

本体と放電ケーブルとの間に平ワッシャーを先に入れますと、平面接触による抵抗値が大きくなりますので結果的に正常な電流値は流れなくなります。

24. おわりに

BEST 診断は一般点検とは異なりオンライン時の動的電気特性を評価する装置であり実容量を測定することができる。診断報告書は、約 20 種類以上のグラフより構成され、セル全体及び個別セルの動的電気特性を表示し分かりやすくなっている。

毎年診断を継続するとトレンドグラフを活用でき、動的電気特性の劣化進捗状況が簡単に把握できる。不良セルの早期発見も含め、寿命期を超えている蓄電池設備では自分たちでその更新時期を決めることが可能となる。

年々蓄電池負荷設備の重要性は高まっている反面、その設備の信頼性維持に多大な労力を費やしている。いつ発生するかわからない停電に備え、予防保全・予知保全ができる BEST 短時間放電検査が役立つことと考える。

以上