

高性能制御弁式据置鉛蓄電池（FMU-S形）の開発

Development of Valve-Regulated Stationary Lead Acid Batteries(FMU-S Type) of High Performance

大出康樹* 若尾将士* 河内英樹* 細谷俊明*
 Yasuki Ooide Masashi Wakao Hideki Kawauchi Toshiaki Hosoya

飯塚博幸*²
 Hiroyuki Iizuka

Abstract

The authors have developed a new valve-regulated stationary lead acid battery for telecommunications use—the FMU-S type battery—with long service life, lightweight, and small footprint. Conventionally, the MSE type with a service life of seven to nine years or the FMU type of unit construction with small footprint and long service life—a service life of 12 years—were mainly used for industrial applications.

The FMU-S battery has been improved through the reconsideration of the alloy composition of its positive grid together with the upgrading of its overcharging I-V characteristics, thereby achieving a service life of 15 years.

As for construction, single cells of the FMU-S battery are united in a steel case to make unit cells, which are subsequently stacked on a channel bar base to form a set cell. Since the floor load for battery installation is limited, it is essential to reduce the weight of the set cell so that a small footprint is realized. Through the weight reduction of single cell, steel case, and connecting parts, the mass and footprint of the FMU-S battery have been reduced to 86 % and 70 %, respectively, compared with the conventional FMU battery.

1. はじめに

産業用制御弁式据置鉛蓄電池は、非常用設備、制御用機器、通信機器及び医療機器などをはじめとする産業用機器のバックアップ用電源として幅広い分野で使用されている。

弊社では、1983年からHSE形制御弁式据置鉛蓄電池、1986年からMSE形制御弁式据置鉛蓄電池（以下、MSE形蓄電池と言う）の販売を開始し、1996年4月には横置き式ユニットタイプのFMU形制御弁式鉛蓄電池（以下、FMU形蓄電池と言う）の販売を開始し、省スペース、施工時間短縮、保守性向上などの理由から、広い分野で採用され、特に携帯電話の中継局や基地局では、多くのユーザーに採用されている。

近年、携帯電話の機能拡大（インターネットへの対応他）、加入台数の伸び並びにエリア拡大等に伴い基地局、中継局の増設が急ピッチで進められてい

る。このような状況から、蓄電池の更なる省スペース化、軽量化並びに長寿命化の要求が高まってきた。

弊社では、1997年からFMU形蓄電池の更なる省スペース化・軽量化並びに長寿命化に関する検討を行い2000年4月にFMU-S形制御弁式据置鉛蓄電池（以下、FMU-S形蓄電池と言う）を商品化した。その内容について報告する。

2. 開発目標

1) 寿命

寿命は、従来品（FMU形蓄電池）の12年（25℃）に対して、15年（25℃）を目標とした。

2) 設置面積

組電池の設置面積は、従来品（FMU-1000 * 24個組）の約30%減の0.48m²以下とした。

3) 質量

単電池質量は、従来品（FMU-A-500 × 2個）の約20%減の57kg/1000Ahとし、ユニット電池質量は従来品（FMU500-12V × 2個）の約10%減の390kg/6000Ahを目標とした。

* 電池事業部 産業電池技術部

*² 技術開発部

3. 目標達成の為の技術

3.1 長寿命化技術

制御弁式据置鉛蓄電池の寿命モードには、「正極格子の腐食」と「透湿による水分減少」がある。

制御弁式据置鉛蓄電池は、常に浮動充電（定電圧充電）された状態で使用される。その間、浮動充電電流によって正極格子が徐々に腐食し、寿命末期には格子の崩壊や活物質と格子の密着性低下により内部抵抗が増大し放電性能が低下する。

従って、長寿命化を図るためには、正極格子の耐食性向上と浮動充電電流の低減が有効である。

透湿による水分減少とは、使用中に蓄電池の電槽から水分が徐々に透過する現象で、これにより内部抵抗が増大し、放電性能が低下する。これは、電槽に水分の透過し難い材質を選定することで改善できる。

3.1.1 正極格子合金の耐食性向上

制御弁式据置鉛蓄電池では、正極格子に自己放電の少ないPb-Ca-Sn合金が使用されている。今回の開発に当たり、Pb-Ca-Sn合金のCa, Sn量を変化させ腐食試験を実施した。その結果を図1, 図2, 図3に示す。

本試験の結果を基に高耐食性Pb-Ca-Sn合金を設定し採用した。その結果、従来合金と比較して耐食性が30%向上した。

3.1.2 格子デザイン

蓄電池の寿命及び放電性能は、格子のデザインによって大きく影響を受ける。

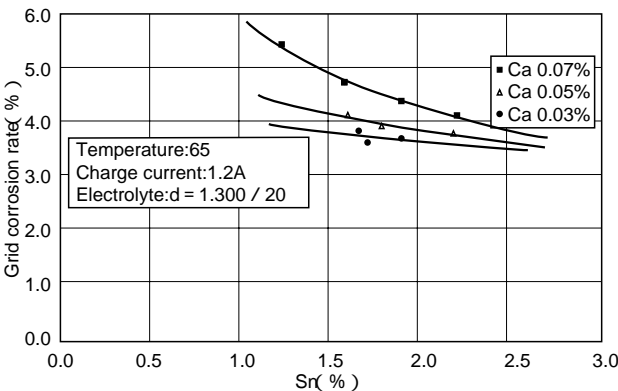


図1 Sn量と腐食率の関係
Fig.1 Relationship between Sn and grid corrosion rate.

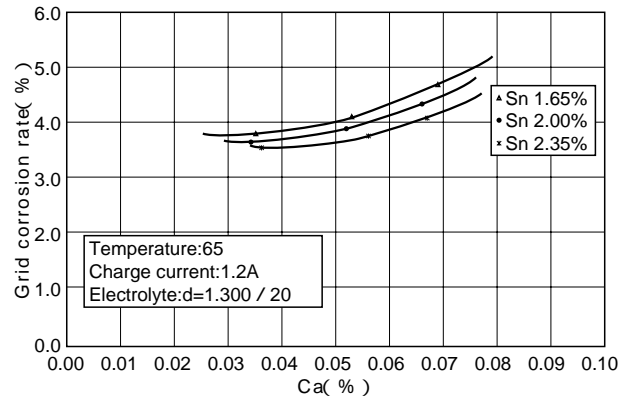


図2 Ca量と腐食率の関係
Fig.2 Relationship between Ca and grid corrosion rate.

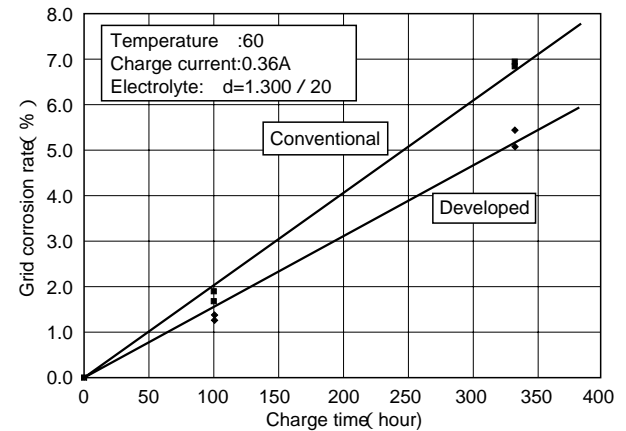


図3 従来合金と開発合金の腐食率比較
Fig.3 Comparison of grid corrosion conventional alloy and developed alloy.

スタンバイユースの蓄電池寿命は、正極板の格子鉛量にほぼ比例する。

また、放電特性は、極板内の電圧降下の差を極力小さくすることで、活物質の持つ性能を十分に引き出すことが可能となる。

本開発品では、高耐食性Pb-Ca-Sn合金を採用し、限られた鉛量を縦横の格子にどのように配分したら極板の電圧ドロップを小さく出来るかを計算し、格子のデザインを決定した。

3.1.3 過充電I-V特性改善

浮動充電電流値を低減させるために、正/負極活物質質量比と浮動充電電流との関係を求めるため、下記試験を行った。

試験方法は、正極活物質量を一定とし負極活物質量を減らして正/負極活物質質量比を大きくした時の

浮動充電電流の傾向について調査を実施した。本調査結果を図4に示す。

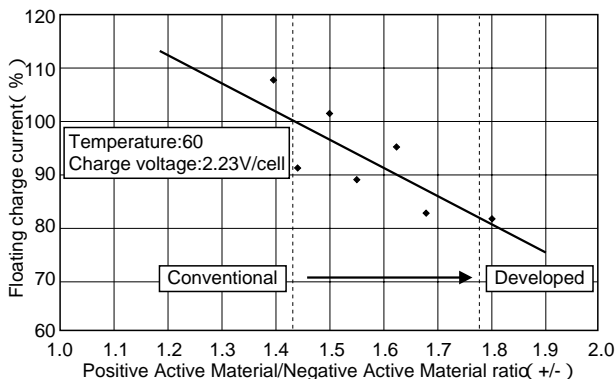


図4 正極活物質質量比と浮動充電電流の関係
Fig.4 Relationship between PAM/NAM ratio and floating charge current.

図4から正/負極活物質質量比を大きくすると（負極活物質質量を少なくすると）浮動充電電流値が小さくなっていくことがわかる。これは、負極活物質質量を少なくすることにより、負極の電位が上昇しやすくなり、負極過電圧が大きくなったことによる。

本開発品では従来品よりも正/負極活物質質量比を大きくすることにより浮動充電電流の低減を図った。

充電電圧2.23V/セル，雰囲気温度25 の一般的な使用条件下において，浮動充電電流値は約20%低減できた。

3.1.4 透湿

一般的に制御弁式鉛蓄電池の電槽には，ABS樹脂やPP樹脂などが使用される。これらの合成樹脂は，内側と外側の水蒸気圧に差がある場合，水蒸気圧の高い方から低い方へと水蒸気が透過する。

ABS樹脂とPP樹脂の水蒸気透過率を図5に示す。この図から明らかとなりPP樹脂は，ABS樹脂と比較し水蒸気が透過し難く，開発品の電槽材料にはPP樹脂を採用した。また，蓄電池の水分減少量と容量には相関があり，水分減少率が5%以下であれば容量には影響しない。水分減少量と容量の関係を図6に示す。

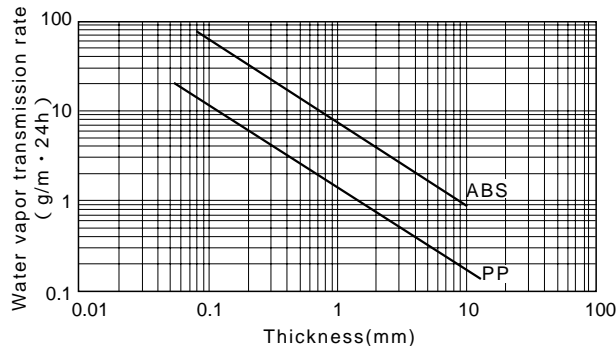


図5 フィルム厚みと水蒸気透過量の関係
JIS Z 0208 防湿包装材料の透過度試験方法（カップ法 40 * 90% RH）
Fig.5 The relationship between thickness and water vapor transmission rate JIS Z 0208 Testing methods for determination of the water vapor transmission rate of moisture-proof packaging materials (dish method 40 * 90%RH)

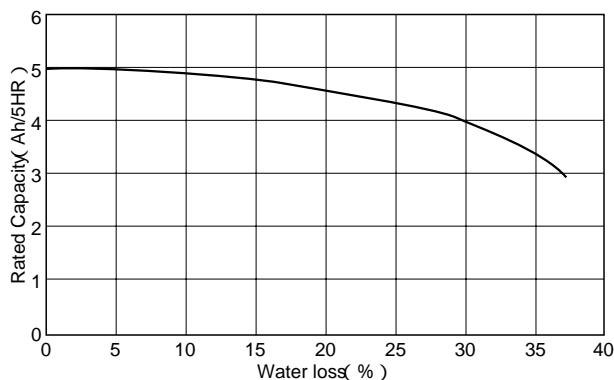


図6 減液量と容量の関係
Fig.6 The relationship between water loss and rated capacity

電槽壁の厚さは電槽の必要強度から最終的には3mmとし，下記の計算式から15年使用した場合の減液率を計算した。その結果，減液率（25 ，湿度30%）は，最大0.7%で寿命には影響しないことが確認できた。

計算結果を表-1に示す。

表 1 15年間使用した時の減液率
Table 1 Electrolyte decrease rate after 15 years

Relative humidity Temperature	FMU-S-500			FMU-S-1000		
	20%	30%	40%	20%	30%	40%
15	0.2%	0.2%	0.1%	0.2%	0.2%	0.1%
25	0.4%	0.3%	0.3%	0.4%	0.3%	0.3%
35	0.7%	0.7%	0.6%	0.7%	0.6%	0.5%

減液量： $Q=D \times P \times S$

D：水蒸気透過係数 (g/m²/24h)

S：蓄電池の表面積 (m²)

P：蓄電池内部と周囲の水蒸気圧の差圧

$P=P1/101300-H \times Ew/100$

P1：各温度における電解液の飽和水蒸気分圧 (Pa)

(安全を見て水の飽和水蒸気分圧Ewを用いた。)

Ew：各温度における水の飽和水蒸気分圧 (Pa)

($Ew = 1.70/at15$, $3.17/at25$, $5.62/at35$)

H：相対湿度 (%)

3.2 小形・軽量化技術

3.2.1 正極活物質の利用効率向上

厚い極板の中心付近は、放電が連続して行われると電解液の供給が追いつかなくなり、放電末期には十分な電流を取り出すことが困難になる。これは、中心部分に効率よく電解液を保持拡散することで改善することが出来る。正極活物質密度と利用率の関係について図7に示す。

そこで活物質を低密度化することで、活物質中により多くの微細な空間を形成して、電解液の保持拡散性能を改善することが出来る。

しかし、製造時に低密度ペーストを基板へ充填しようとする粘度が低く充填が困難となる。そのため、本開発品では、正極のペーストに添加剤を加えることにより、充填性を損なわずに極板活物質の利

用率UPを実現した。

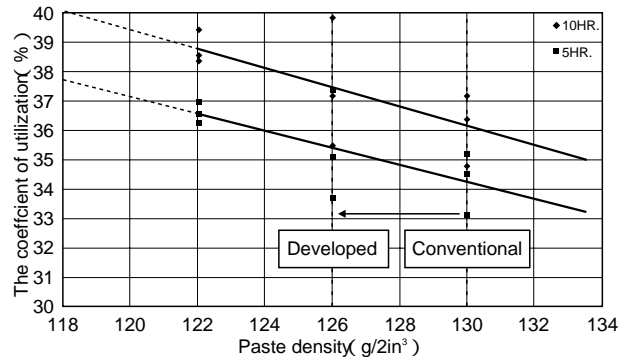


図7 ペースト密度と正極活物質利用率の関係
Fig.7 The relationship between paste density and the coefficient of utilization

3.2.2 極柱及びストラップの軽量化

極柱及びストラップは、蓄電池から電気を取り出す重要な役割を果たす部分で、大電流放電や輸送・地震の振動により破損を起こしてはならない。そのため、ストラップ及び極柱を細分化して、大電流や振動に対して必要な断面積や強度を計算し、過剰に設計されている部分について改善を行い、蓄電池部品の軽量化を図った。

また、設計の妥当性確認として大電流放電試験及び振動試験を実施し、異常の認められないことを確認した。

4. 構造

4.1 単電池

今回開発したFMU-S-1000形蓄電池の外観を写真1に、FMU-S-600形蓄電池の外観を写真2に、諸元を表2に示す。

本開発品は、従来のFMU形蓄電池に比べ、FMU-Sは質量エネルギー密度が13.2～15.8%向上した。極柱端子には、従来のFMU形蓄電池と同様に黄銅ナットインサート方式を採用し、施工性の確保をした。さらにFMU-S-1000,800では極柱の断面積を大きくすることで、極柱本数を正・負極各1本とし、施工性向上を図った。

4.2 ユニット電池

ユニット電池（FMU-S-1000-12）の外観を写真3

に、諸元を表3に示す。

ユニット電池は1ユニット当たり6セル入りを標準とし、従来のFMU形蓄電池の構造を踏まえ更なる軽量化の為に、設計段階からCAE解析を行い構



写真1 FMU-S-1000形電池外観
Photo.1 Overview of FMU-S-1000battery



写真2 FMU-S-600形電池外観
Photo2 Overview of FMU-S-600battery



写真3 FMU-S-1000-12形ユニット電池外観
Photo.3 Overview of FMU-S-1000-12modular unit

表2 単電池諸元
Table 2 Specifications of single cell

Item		FMU-S-500 (Developed)	FMU-S-600 (Developed)	FMU-S-1000 (Developed)	FMU-A-500 (Conventional)
Rated capacity [10hr](Ah)		500	600	1000	500
Nominal voltage (V)		2	2	2	2
Dimensions (mm)	Height	167	167	316	157
	Width	160	160	160	124
	Length	399.5	459.5	399.5	548
Weight (kg)		29	35	57	33
Energy Density [10hr]	Wh/kg	34.5	34.3	35.1	30.3

表3 ユニット電池諸元
Table 3 Specifications of modular unit

Item		FMU-S-500-12 (Developed)	FMU-S-600-12 (Developed)	FMU-S-1000-12 (Developed)	FMU-A-500-12 (Conventional)
Dimensions (mm)	Height	200	200	349	193
	Width	1067	1067	1067	849
	Length	444	504	444	577
Weight (kg)		200	238	380	218
Energy Density [10hr]	Wh/kg	30.0	30.3	31.6	27.5

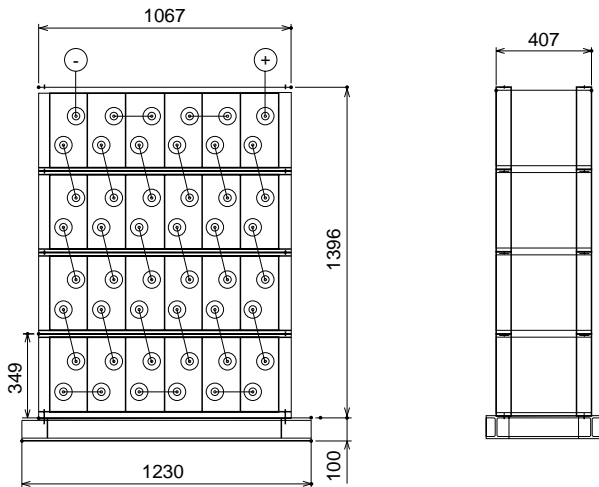


図8 FMU-S-1000, 48V系組電池
Fig.8 48V, FMU-S-1000 battery group

することによる施工時の作業性改善の要望が多いため、FMU-S形蓄電池用ユニットは、ユニット間連結部の構造見直しを行い、座金を使用せずに同等の強度を確保した。このことにより、設置時の施工ミス及び施工性が改善された。

4.3 組電池

一例として、FMU-S-1000の48V系組電池を図8に、諸元を表4に示す。

組電池は、床面にアンカーボルトでチャンネルベースを固定し、その上に数段のユニットを積み重ねユニット及びチャンネルベースをボルトで固定し一体化する従来のFMU形蓄電池で定評のある方式を採用した。

従来のFMU形蓄電池に比べ、FMU-S形蓄電池は設置スペース(床面積)で68.5%と省スペース化を実現した。

4.3.1 チャンネルベース

従来のFMU形蓄電池は、H鋼単独で数本並べた形状を標準としていたが、FMU-S形蓄電池では、チャンネルベースの強度UP及び施工性向上の為に一体構造とした。

4.3.2 ユニット形キュービクル

蓄電池設備は原則として、不燃専用室に設けるよう消防法等で規定されているが、構造基準に適合したキュービクルに収納した場合は、機械室、屋上、屋外などに設置することが可能となる。

そのためFMU-S形蓄電池は、前面以外を鉄板で覆われている特徴を活かし、ユニットの組上げ後、前面に扉をつけるだけで構造基準に適合したキュービクルとして設置することが可能なユニット形キュービクル

表4 48V系組電池諸元
Table 4 Specifications for a battery group

Item		FMU-S-1000-12-24S	FMU-A-1000-4-24S
Arrangement		6 x 4	4 x 6 x 2
Dimensions (mm)	Height	1496	1283
	Width	1067	1199
	Length	444	577
Weight (kg)		1550	1850
Floor space (m ²)		0.474	0.692
Floor load (t/m ²)		3.27	2.67

造物の強度を確保しながら軽量化を行った。その結果、FMU-S形蓄電池は質量エネルギー密度が9.0 ~ 14.9%向上した。さらに、従来のFMU形蓄電池は、ユニット間連結部(応力集中する部分)に座金を用いて組電池の強度UPを図っていたが、座金を使用

高性能制御弁式据置鉛蓄電池（FMU-S形）の開発

ービクルも開発し、より多くの分野での使用を可能とした。FMU-S-1000の48V系組電池のキュービクルを写真4に示す。



写真4 FMU-S用簡易キュービクル外観
Photo.4 Overview of cubicle type FMU-S

5. 特性試験

5.1 初期性能

本開発品の特性試験を実施した結果を表5に示す。

いずれの試験においても良好な性能を有していることが確認できた。

5.2 寿命性能

本開発品の寿命性能評価のため、高温加速寿命試験を実施した。

試験方法としては、65 霽困気下で2.23V/セルの定電圧充電を行い、容量の推移を確認した。加速寿命試験中の容量の推移を図9に示す。

蓄電池の寿命は、温度が10 上昇すると半減す

表5 特性試験結果
Table 5 Characteristics of FMU-S battery

試験項目 Test item	判定基準 Judgment standard	試験結果 Results				判定 Judgment	
		FMU-S 500	FMU-S 600	FMU-S 800	FMU-S 1000		
10HR定格容量 Rated capacity	9.5h以上	10.24	10.30	10.27	10.22		
各率放電 容量 Various rated capacity	5HR (0.16CA)	4.75h以上	5.44	5.51	5.45	5.50	
	3HR (0.23CA)	2.97h以上	3.91	4.15	3.94	3.95	
	1HR (0.6CA)	1.03h以上	1.25	1.27	1.28	1.25	
	30MR (1.0CA)	0.48h以上	0.61	0.68	0.62	0.60	
最大放電電流試験 Max. current discharge test	3CA×1分、6CA×5 秒通電し、極柱の溶 断・外観上の異常が ないこと。	異常なし					
容量保存性能試験 Charge retention test	25 × 90日後10HR 容量が8h以上のこ と。	8.98	8.95	8.75	8.68h		
耐熱逸走特性試験 Thermal runaway test	熱逸走のないこと	熱逸走 せず					
端子部耐久性試験 Terminal endurance test	電解液のしみ上りの ないこと。	しみ上り なし					

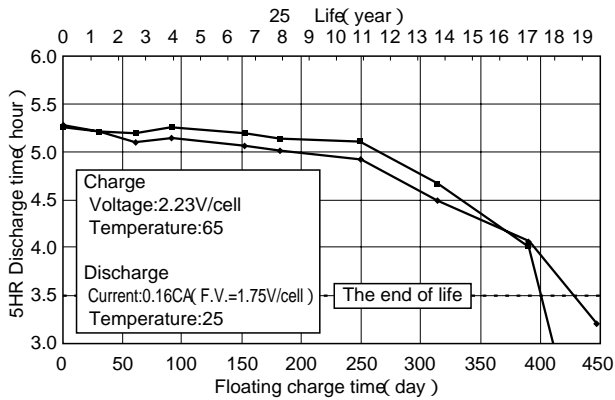


図9 65 加速寿命試験中の容量推移
Fig.9 Change of capacity during 65 accelerater floating charge life test

ることから、加速寿命試験の結果をもとに25 における寿命を推定できる。FMU-S形蓄電池の温度と寿命の関係を図10に示す。

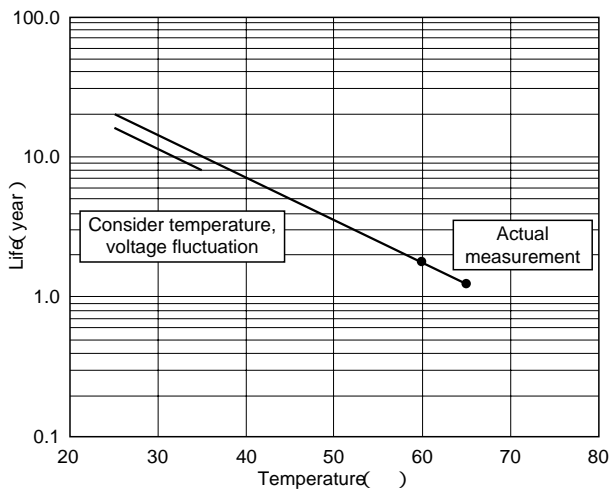


図10 温度と寿命の関係
Fig.10 Relationship between temperature and life

蓄電池の実用寿命は、環境温度の変動、浮動充電電圧の設定誤差や変動などの影響を受けるため、ベンチ試験（加速寿命試験）の結果よりも短くなることが推定される。ここで、温度変動が平均値 ± 10deg、電圧変動が2.23V ± 1%変動した場合、蓄電池寿命はベンチ試験からの推定結果よりも約10%短くなる。

本開発品では、実用上の温度や電圧の変動による寿命の低下を考慮しても25 換算で15年以上の寿命を有することが確認できた。

5.3 組電池の耐震性

FMU-S-1000の48V系組電池を用い耐震試験を行った。地震はどの方向からどのような地震波が来るか予想不可能な為、耐震試験にはランダムに3方向同時加振する人工地震波を用いて加速度5, 8, 10, 12 (m/S²)の4回、その後ユニット間の連結ボルトを増し締めし12 (m/S²)を1回、計5回の試験を行った。その試験体を写真5に示す。またそのときの条件を表6に、試験体の固有振動数測定結果を表7に示す。

試験終了後、目視にて構造物の材料破断・亀裂等の確認を行ったが異常は認められなかった。また、固有振動数は、構造物に損傷等の異常があった場合大きく数値が減少するが、今回の試験では、最大2.5Hzと僅かな減少であり使用上問題ないことが確



写真5 FMU-S-1000-12-24S耐震試験体外観
Photo.5 Overview of FMU-S-1000-12-24S battery group

表6 FMU-S-1000-12-24S 48V系組電池の耐震試験条件
Table 6 Conditions of earthquake proof test for 48V FMU-S-1000-12-24S battery group

Test order	Input acceleration (m/s ²)		
	Horizontal		Vertical
	Width	Depth	
1	5	5	2.5
2	8	8	4
3	10	10	5
4	12	12	6
5	12	12	6

表 7 FMU-S-1000-12-24S 48V系組電池の固有振動数測定結果
Table 7 Results of natural frequencies measurement for 48V FMU-S-1000-12-24S battery group

Test order	Natural frequencies (Hz)	
	Width	Depth
Before	14.1	12.0
1 (5m/s ²)	13.9	11.8
2 (8m/s ²)	13.4	11.3
3 (10m/s ²)	12.9	10.4
4 (12m/s ²)	12.1	9.6
5 (12m/s ²)	12.1	9.5
After fixed bolts again	12.8	10.0

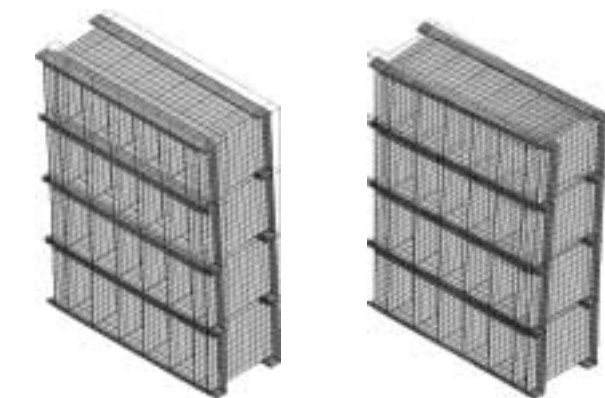
認できた。また、耐震試験終了後に容量試験、及び解体調査を行ったがいずれも異常が認められなかった。

以上の結果から、FMU-S形蓄電池（組電池）は水平方向12m/s²・鉛直方向6m/s²（震度7：阪神・淡路大震災を想定）の耐震性能を有していることが確認できた。

組電池の耐震試験と平行し、シミュレーションによる振動解析を行なった。解析には、有限要素法（FEM:Finite Element Method）による解析プログラムANSYS Multiphysicsを用い、モーダル解析、周波数応答解析並びに静解析を実施した。

解析結果は、概ね実験結果と一致した。その解析結果を以下に示す。

1) モーダル解析



1st. Mode(12.3Hz) 2nd. Mode(14.1Hz)

図 11 モーダル解析結果
Fig.11 Result of modal analysis

1次、2次のモード形状と周波数を図11に示す。奥行方向の固有振動数（1次モード）は、12.3Hz、幅方向（2次モード）は14.1Hzであり、耐震試験における固有振動数測定結果（加震前）の、奥行方向12.0Hz、幅方向14.1Hzとほぼ一致した。

2) 周波数応答解析

周波数伝達関数を求めた結果を図12、13に示す。幅方向、奥行方向とも特に0～30Hzの比較的low周波数側では、シミュレーション結果と、実測値は非常によく一致するのが確認された。30Hz以上の範囲では、接触・摩擦の影響によるものと思われる差が生じているが、共振ピークの大きさ等、全体の傾向は一致している。

3) 静解析

組電池の幅方向、奥行方向に静的な荷重を加えた時の、変形・応力解析結果を図14、15に示す。

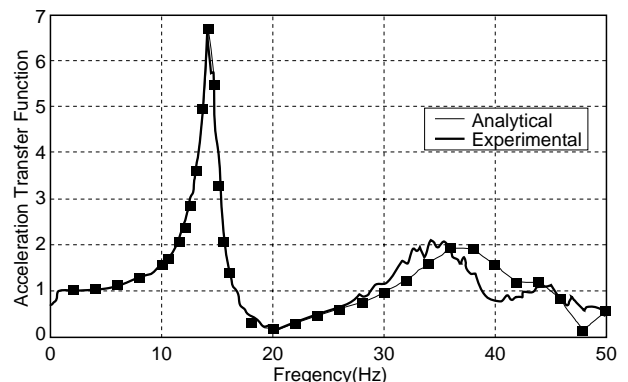


図 12 波数応答解析結果（幅方向）
Fig.12 Result of Frequency Response Analysis (Width)

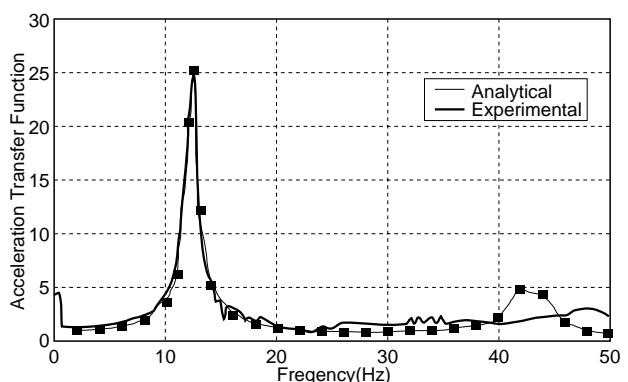


図 13 波数応答解析結果（奥行方向）
Fig.13 Result of Frequency Response Analysis (Depth)

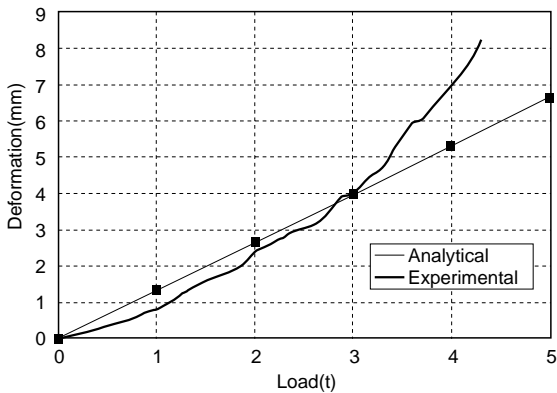


図14 静解析結果（幅方向）
Fig.14 Result of Static Analysis(Width)

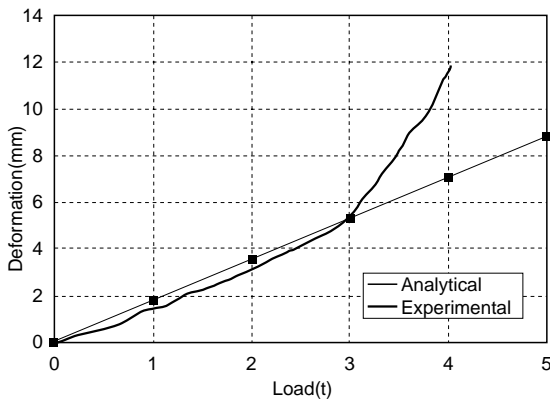


図15 静解析結果（奥行方向）
Fig.15 Result of Static Analysis(Depth)

なお解析モデルの材料物性は全て線形として扱った。荷重が3t以下の領域では、シミュレーション結果と実測の歪み量はよく一致している。荷重が3t以上になると実際には、塑性変形（材料の荷重-応力の非線形性）が始まるため、解析結果との間には、やや差が生じている。

また、最大応力は、いずれの場合もチャンネルベースとの連結部に生じていることが確認された。

6. むすび

今回開発したFMU-S形蓄電池は、単電池、ユニット電池（鉄ケース）、組電池部品及び接続部品に至るまで、省資源、省エネルギー、リサイクル等に関して十分配慮した設計を行った。

その結果、組電池質量は、1000Ah × 24個組で従来品が1850kgあるのに対し開発品は1550kgであり、300kgの原材料を削減する事ができた。

また、活物質の利用率向上により、製造過程の化成電気量の低減や、過充電I-V特性の改善による浮動充電電気量の20%低減、更には長寿命化によるライフサイクルコストの低減などを実現できた。

今回の開発を通じ、原材料・部品・製品設計・生産・流通・使用の全行程にわたり、省資源・省エネルギー・環境負荷の低減を配慮した製品開発の重要性を再認識した。

今後は、サイクル特性の改善、活物質の利用率向上及び劣化判定精度の向上等に取り組み、市場のニーズに合った商品の開発を進めていきたい。