

「原子力発電所の非常用電源システムの蓄電池の劣化加速」 に関する調査

令和5年7月27日
技術基盤課

1. はじめに

第53回技術情報検討会¹において、原子力発電所における蓄電池の劣化に関する国際調査結果を報告し、事業者に蓄電池の腐食劣化や品質管理、急速充電の実態、蓄電池の劣化監視、蓄電池交換及び蓄電池の能力確認の実態等について確認することとなった。その後、第57回技術情報検討会において、事業者による実態調査結果を報告した。その結果、蓄電池が必要な容量を有することを確認する方法の妥当性、その手法を適切に事業者が運用しているか等について、引き続き調査することとなった。

今般、原子力エネルギー協議会（ATENA）よりこれらに関する資料（参考参照）を受領したことから、その概要及び今後の対応（案）について報告する。

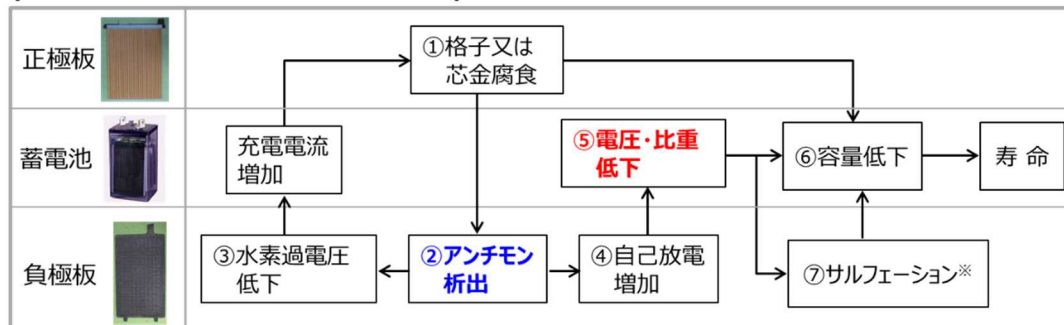
2. 事業者の蓄電池管理

2. 1 蓄電池の劣化メカニズム

（1）ベント式鉛蓄電池

①正極板の格子又は芯金（鉛－アンチモン系合金）が徐々に腐食、②アンチモンが負極板に析出、③負極版の水素過電圧が低下、これにより充電電流が増加して①の正極板の腐食が促進される。また、②により④負極板の自己放電が増加し、⑤電圧・電解液比重が低下し、⑥容量低下が起こる。また、⑦負極板でサルフェーション²が起こる。

（SBA G0606 蓄電池設備の劣化診断指針より）



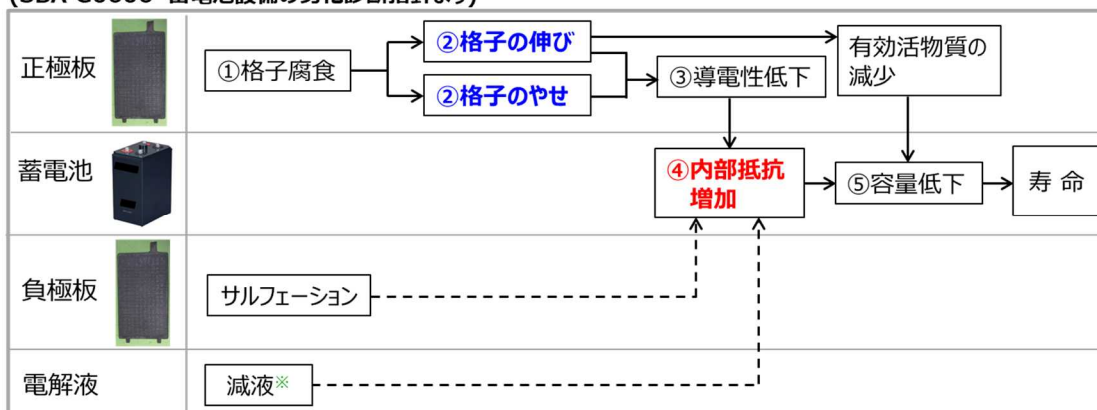
¹ 令和4年5月26日

² 負極では放電によって鉛から硫酸鉛に変化するが、過放電又は長期の充電不足などの原因により、安定した結晶構造に変化し、充電しても鉛に戻らなくなる現象

(2) 制御弁式鉛蓄電池

①正極格子が徐々に腐食し、②格子の導電部分の減少・やせにより、③導電性が低下、④内部抵抗が増加し、⑤容量が低下する。

(SBA G0606 蓄電池設備の劣化診断指針より)



※ 上図点線のパターンはまれに起こる故障モード

2. 2 蓄電池の品質管理・保守管理（ベント式、制御弁式共通）

(1) 製造条件

○国内メーカーの厳しい品質管理のもと、工場における出荷試験として、構造検査、電解液比重測定（ベント式）、内部抵抗測定（制御弁式）、電圧測定、容量試験（全セル）³、想定負荷放電試験などを実施している。

(2) 蓄電池の容量設計

蓄電池の定格容量は、以下の①②③の流れに基づき選定しており、③で決定した蓄電池の容量が 80%まで低下しても、余裕があり①の必要容量を下回らない。

- ①蓄電池システムの負荷に対する必要容量を算定する。
- ②寿命末期までに容量が 80%まで低下することを想定しても①の必要容量を満たせるように初期容量を算出する。
- ③②の容量に対して、余裕のある定格容量の蓄電池を選定する。

(3) 設置環境と使用条件

①使用温度

○温度が高いと正極格子等の腐食が促進され、温度が低いと化学反応が緩慢になり蓄電池の容量が低下する。

○発電所の蓄電池室は、建屋空調により年間を通じて温度管理を行っている。

②充電状況

³ 容量試験装置の放電容量に応じて数セル単位で組み合わせて実施する試験を全セルに対して行う試験。この試験により、蓄電池セルの容量が規定値以上であることを確認している。

- 充電電圧が低すぎると充電不足となり、長時間継続すると負極板の自己放電による活物質の劣化等が起こり、充電電圧が高すぎると過充電となり、正極格子又は芯金の腐食が進行する。
- 浮動充電中の総電圧を1回/日確認し、適正な充電電圧が保たれていることを確認している。

③使用状況

- 蓄電池の充放電を繰り返すと蓄電池の寿命に影響を与える。
 - 通常、直流負荷は充電器から供給され、蓄電池は充放電を繰り返す使用状況にないため劣化しにくい。
- 以上より、蓄電池の寿命・性能に影響を与える使用条件（使用温度、充電状況、使用状況）はいずれも適切に維持されており、良好な状況である。

(4) 保守管理の方法

①劣化診断(SBA G0606⁴を参考に実施)

- 外観点検(全セル)、総電圧測定等(一次劣化診断、1回/日)を実施している。
- 全セルを対象に容量と相関の高い電圧・電解液比重(ベント式)、電圧・内部抵抗(制御弁式)を測定(二次劣化診断、1回/1~6ヶ月)し、劣化傾向を把握している。

②容量試験

- ベント式については、過去の単セルでの容量試験の結果(劣化診断の結果最も劣化兆候が見られたセルの試験結果を含む)から、図1、2に示すとおり、劣化診断項目(電圧及び電解液比重)により、蓄電池の容量管理はできていると考える。
- 制御弁式については、データ数はベント式と比較して少ないものの、過去の単セルでの容量試験の結果から、図3、4に示すとおり、劣化診断項目(電圧及び内部抵抗)により、蓄電池の容量管理はできていると考える。

⁴ 一般社団法人電池工業会「蓄電池設備—劣化診断の技術指針」(SBA G0606)

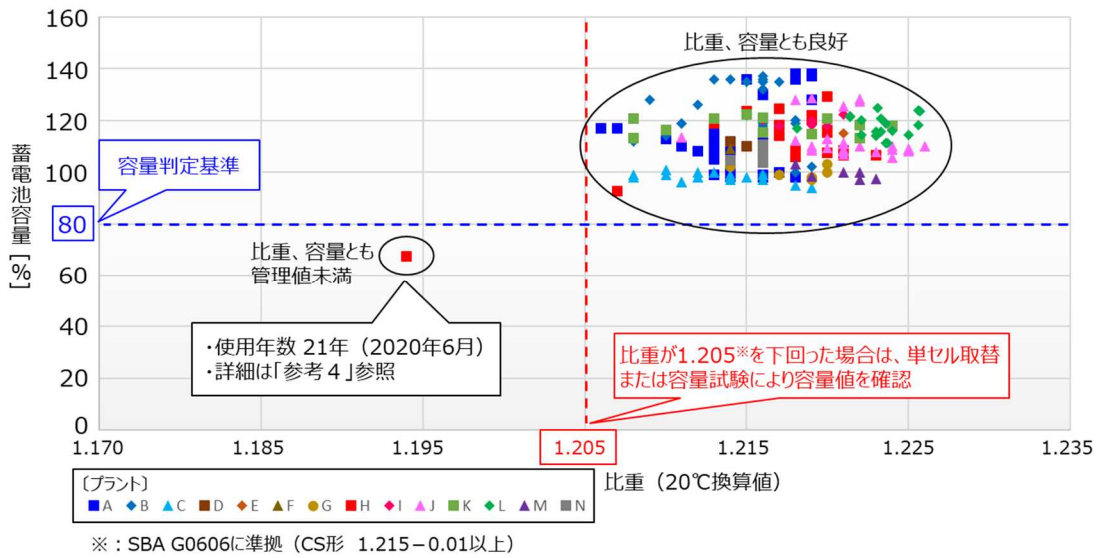


図1 過去に実施した単セルでの容量試験の結果 (ベント式 (容量と電解液比重の関係))

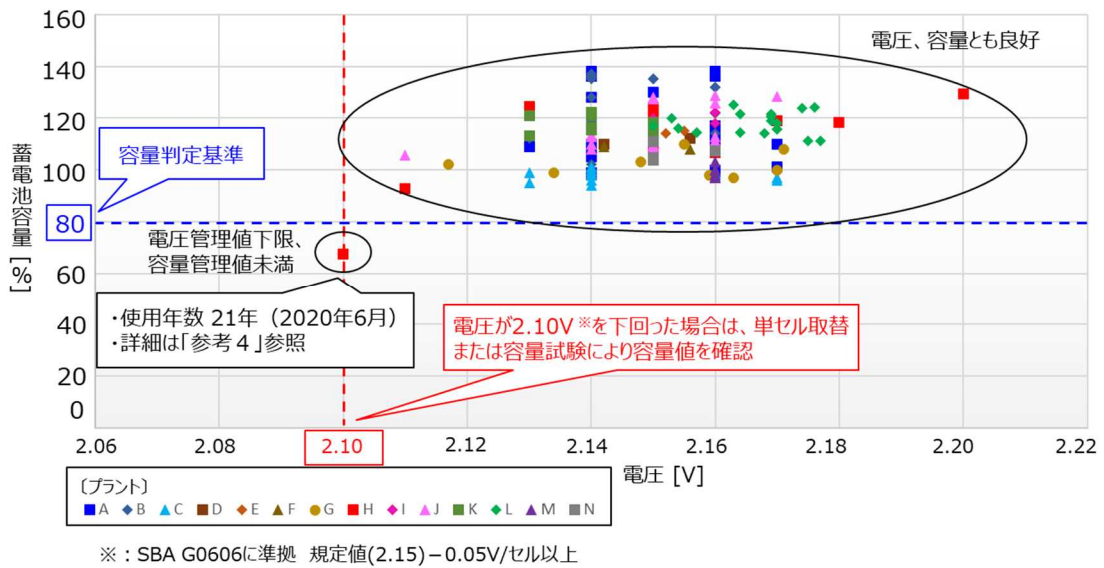


図2 過去に実施した単セルでの容量試験の結果 (ベント式 (容量と電圧の関係))

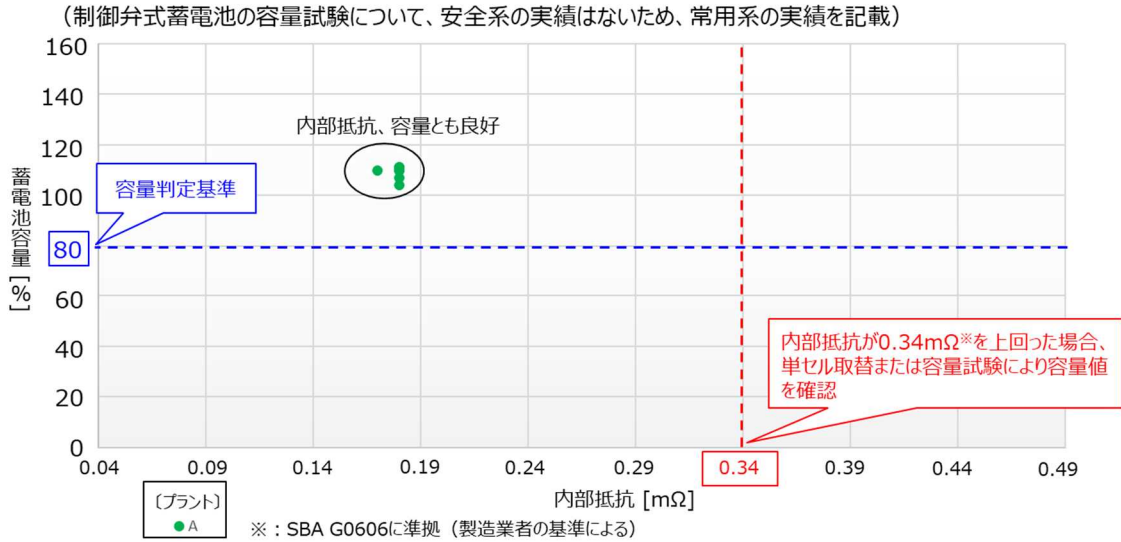


図3 過去に実施した単セルでの容量試験の結果 (制御弁式 (容量と内部抵抗の関係))

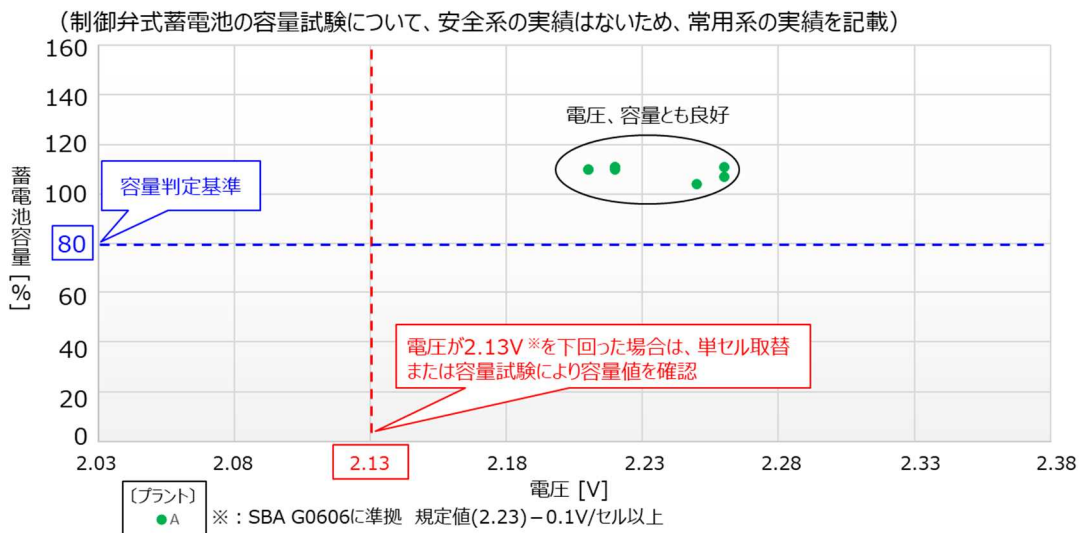


図4 過去に実施した単セルでの容量試験の結果 (制御弁式 (容量と電圧の関係))

③各社の保守管理

- 定期的に交換している会社は、メーカ推奨の頻度を参考に、劣化兆候が見られる前段階で保守的に取替えを実施。
- 容量管理を行って交換している会社は、電解液比重・電圧の測定結果を踏まえ、必要により容量試験(単セル)も実施することで、容量の減少が加速(容量80%未満)する前段階で取替を実施。
- 以上については、いずれも急激に劣化(容量80%未満)する前段階で取替を実施していることから劣化管理上の問題とはならない。

(5) まとめ

- これまでの容量試験において容量の低下が見られた安全系蓄電池はほとんどなく⁵、火災・過熱事象の発生もなく、定期的な容量試験(全セル)を実施せずとも適切に維持管理できていると考える。
- 国内外の取り組み状況、運転経験を踏まえて、より適切と考えられる蓄電池保守管理の方法を検討していく。

3. 今後の対応 (案)

原子力発電所の非常用電源系統の蓄電池の管理について、ATENA より事業者の管理状況と蓄電池の管理の技術根拠について説明を受けた。その結果、日本においては、組電池の全セルを接続しての容量試験や、容量試験装置の放電容量に応じて数セル単位で組み合わせて実施する試験を全セルに対して行う試験を定期的に行っているわけではないが、過去に実施した単セルでの容量試験結果をもとに、劣化診断項目(電圧、電解液比重、内部抵抗)と判定基準を設定し、これらにより劣化診断を行っていることを確認することができた。また、このような劣化診断を行うとともにメーカー推奨の交換頻度を参考に定期的に取り替えを行う、又は定期/不定期で代表セルに対する容量試験を実施して容量が80%に至る前に取り替えを行う、といった方法により、蓄電池の容量管理はできているとの説明があった。

ATENA は、今回の蓄電池の管理方法の調査結果から、各社で保守管理の考え方に違いが見られたことを踏まえて、今後、海外事例も参考にしながら事業者共通的に適用できるより適切と考えられる安全系蓄電池の保守管理方法を検討していくとしている。海外には、組電池の全セルを接続しての容量試験が規定された規格があることから、海外規格との対比も含め、今後、ATENA より検討結果について聴取し、報告することとしたい。

参考 蓄電池劣化管理に係る対応状況について(令和5年7月20日面談資料)

⁵ 長期停止中に試験的に21年間供用した蓄電池で1件事例がある

蓄電池劣化管理に係る対応状況について

2023年7月20日

原子力エネルギー協議会

1. はじめに

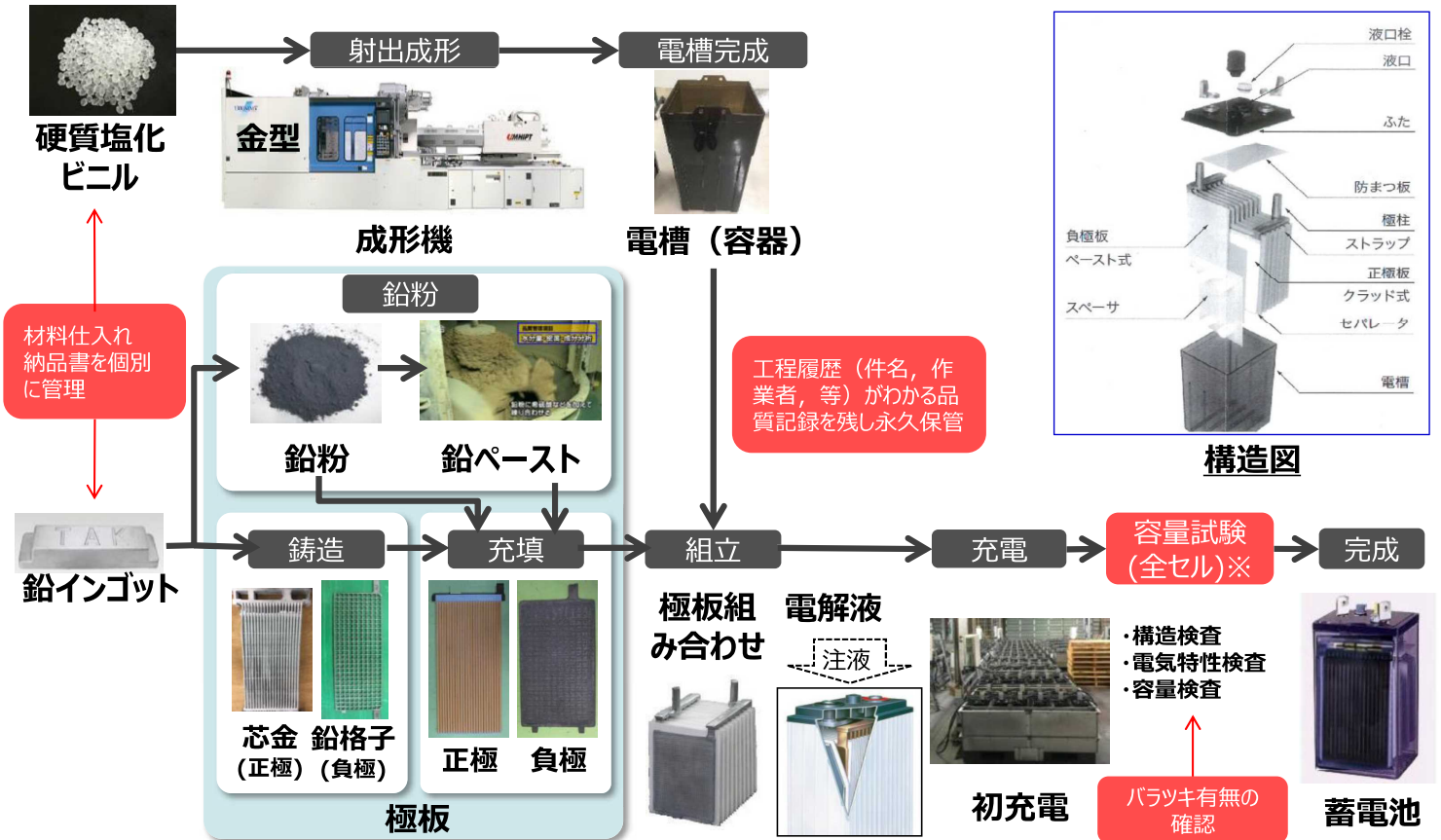
■ 概要

第53回技術情報検討会（令和4年5月26日）にて報告された、「原子力発電所における蓄電池の劣化に関する国際調査結果」に基づき、国内の事業者に対して安全系蓄電池の保守管理の実態調査の依頼があったことから、安全系蓄電池に係る以下の項目について報告する。

	項目	内容
1	蓄電池の構造・原理	・蓄電池の構造及び製造の流れについて ・蓄電池の原理について
2	蓄電池の劣化メカニズム	・ベント式、制御弁式蓄電池の基本劣化パターン
3	蓄電池の品質管理、 保守管理	・工場（メーカー）での実施状況 ・発電所（事業者）での実施状況
4	ベント式蓄電池の容量管理	・各社の容量試験(単セル)の実績 ・「容量-比重」、「容量-電圧」の相関について
5	各社の保守管理状況	・蓄電池の取替頻度等
6	まとめ	—
—	参考	・各社で採用している蓄電池メーカーについて ・単セルの容量低下事象について ・蓄電池保守管理の基本的な考え方について

1. 蓄電池の構造・原理 (1/2)

安全系ベント式鉛蓄電池の構造と製造の流れは以下の通り (■ は国内A社における原子力QC例)



※ 容量試験(全セル)は、容量試験装置の放電容量に応じて数セル単位で組み合わせて実施

1. 蓄電池の構造・原理 (2/2)

■ 蓄電池の原理

鉛蓄電池の基本反応は下式の通り

(電池工業会指針 SBA G0303「ベント形据置鉛蓄電池－保守・取扱いの技術指針」より)

<鉛蓄電池の電気化学反応>

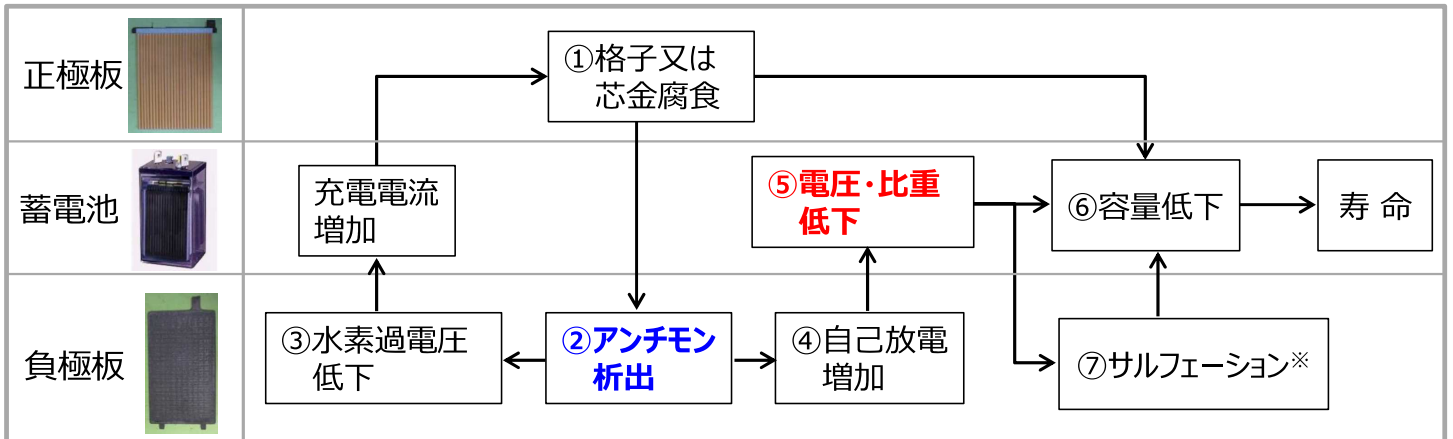


- ✓ 鉛蓄電池は、正極に二酸化鉛 (PbO_2) を、負極に海綿状の鉛 (Pb) を使用している。また、電解液に希硫酸 (H_2SO_4) を使用し、正極、負極と反応して起電反応に関与するほか、正極－負極間の電気伝導の回路の役目をしている。
- ✓ **放電**すると、正極と負極が硫酸鉛になり、希硫酸が水に変化する。
- ✓ **充電**すると、放電時とは逆の反応となり、正極が二酸化鉛に、負極が鉛になり、水が希硫酸に変化する。
- ✓ **放電**すると、電解液の硫酸分が消費されて比重がほぼ直線的に低下し水に近づき、蓄電池電圧が低下する。よって、**鉛蓄電池の保守管理として、蓄電池の電圧及び比重を定期的に確認**している。

2. 蓄電池の劣化メカニズム（ベント式）

■ ベント式蓄電池の基本劣化パターン

（電池工業会指針 SBA G0606「蓄電池設備－劣化診断の技術指針」より）



<ベント式鉛蓄電池の容量低下に至るメカニズム>

- ①正極板の格子又は芯金（鉛－アンチモン系合金）が徐々に腐食
- ②アンチモンが負極板に析出（電圧・比重低下の要因）
- ③水素過電圧が低下し、鉛より水の電気分解が促進
- ④負極板の自己放電増加
- ⑤電圧・比重低下
- ⑥容量低下
- ⑦負極表面で硫酸鉛が結晶化
（頻繁な充放電や充電されずに放電されると起きやすい）

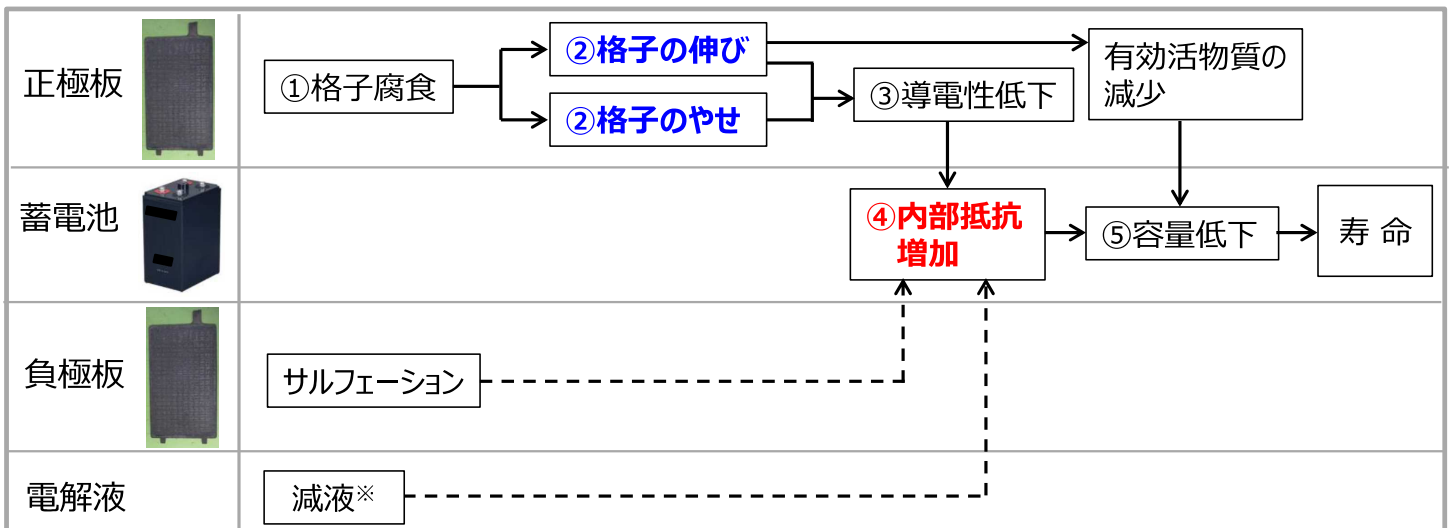
※サルフェーションとは

負極では放電によって鉛から硫酸鉛に変化するが、過放電又は長期の充電不足などの原因により、安定した結晶構造に変化し、充電しても鉛に戻らなくなる現象のこと。これが負極表面に付着することで、電極と電解液の反応面積が小さくなり（内部抵抗増加）、電解液中の硫酸イオンも硫酸鉛から元に戻れない（電解液の濃度低下）ことから、電池電圧が低下し、充電しても初期の電圧に戻らなくなる。

2. 蓄電池の劣化メカニズム（制御弁式）

■ 制御弁式蓄電池の基本劣化パターン

（電池工業会指針 SBA G0606「蓄電池設備－劣化診断の技術指針」より）



<制御弁式鉛蓄電池の容量低下に至るメカニズム>

※ 上図点線のパターンはまれに起こる故障モード

- ①正極板の格子（鉛－カルシウム系合金）が徐々に腐食
- ②格子の導電部の減少・やせ（内部抵抗増加の要因）
- ③有効活物質の減少に伴う導電性低下
- ④内部抵抗増加
- ⑤容量低下

※減液とは

温度が高くなると、過充電により電解液中の水の電気分解が促進され、電池内部で吸収しきれないガスが外部に放出されることで、必要な電解液量が低下する現象。

3. 蓄電池の品質管理、保守管理について（1/3）

蓄電池の寿命は、外部要因である**製造条件**、**使用条件**、**保守条件**によって、大きく左右されることが知られており、規格「SBA G0606」にも明記されている。

■ 製造条件：工場（メーカー）での実施事項

- ✓ 安全系蓄電池は、国内メーカーの厳しい品質管理（原子力QC）のもと、**工場での出荷試験として容量試験(全セル)を実施し規定値以上あることを確認している。**
- ✓ したがって、**出荷時に容量は担保されており、かつ製品品質のバラつきも少ない。**

（工場試験項目の例）

試験項目	内容
構造検査	外観：ひび・割れ・著しい変形がないことを確認 寸法：総高さ、電槽高さ、幅及び長さの最大箇所を測定
電解液測定(ベント式)	純度測定、比重確認、液面位確認
内部抵抗測定(制御弁式)	内部抵抗を測定する
電圧測定	電圧の計測
容量試験	容量試験(全セル)の実施
想定負荷放電試験	運用中の負荷条件に等しい放電パターンで放電を行い、設計上決定された蓄電池電圧以上であることを確認

製造条件は蓄電池の寿命・性能に対し良好な状況である。

3. 蓄電池の品質管理、保守管理について（2/3）

■ 使用条件：発電所（事業者）での設置環境等

①**使用温度**：蓄電池使用環境温度が蓄電池の寿命・性能に影響を与える。

- ・**温度が高いと**、正極格子または芯金の腐食が促進され、**寿命が短くなる。**
- ・**温度が低いと**、化学反応が緩慢になり、蓄電池の**容量が低下**する。

発電所の蓄電池室は、建屋空調にて**年間を通じて温度管理を行っている。**

②**充電状況**：通常使用状態（浮動充電時）における充電電圧値が寿命に影響を与える。

- ・**充電電圧が低すぎると充電不足**となり、長期間継続すると、正極板格子または芯金の腐食および負極板の自己放電で活物質が劣化し、**寿命が短くなる。**
- ・**充電電圧が高すぎると過充電**となり、正極格子または芯金の腐食による劣化で**寿命が短くなる。**

蓄電池浮動充電中の総電圧を1回/日確認し、充電電圧を確認し**適正な充電電圧が保たれている。**

③**使用状況**：蓄電池の充放電を繰り返すと蓄電池の寿命に影響を与える。

発電所において直流負荷は**通常は充電器から供給**されており、**蓄電池の放電は極めて少ない**ため、**充放電を繰り返す使用状況になく、劣化しにくい。**

蓄電池の寿命・性能に影響を与える**使用条件（使用温度、充電状況、使用状況）**はいずれも適切に維持されており、**良好な状況**である。

3. 蓄電池の品質管理、保守管理について (3/3)

■ 保守条件：発電所（事業者）での保守内容

- ✓ 安全系蓄電池に対する保守管理として、SBA G0606の劣化診断手法を参考に、**日々の巡視点検（一次劣化診断）**を実施しつつ、**容量と相関の高い電圧・比重について全セル定期的に測定（二次劣化診断）**することで劣化傾向を把握しており、**不具合が極めて少ない状態を維持**している。

全セルの巡視点検（一次劣化診断） 【実施頻度：1回/日】	全セルの比重・電圧測定（二次劣化診断） 【実施頻度：1回/1ヵ月～6ヵ月※】
【外観点検】 ・全セルの外観の損傷、漏液等の異常がないことを確認 ・全セルの電解液面を確認（ベント式） 【電圧】 ・浮動充電中の総電圧 【その他】 ・架台の外観点検、他	【蓄電池温度】 ・蓄電池の各セル温度 【蓄電池電圧】 ・蓄電池の各セル電圧 【蓄電池比重】 ・蓄電池の各セル比重（ベント式） 【蓄電池内部抵抗】 ・蓄電池の各セル内部抵抗（制御弁式） 【その他】 ・蓄電池部品（液栓、接続ボルト等）の外観点検、他

※ 一次劣化診断で劣化傾向が確認されれば、点検周期に関わらず二次劣化診断を実施。

適切に保守管理されており、**保守条件**は蓄電池の寿命・性能に対して良好な状況である。

4. ベント式蓄電池の容量管理について (1/4)

- **容量試験(全セル)**については、メーカー工場において**納入時に実施**している。
- **メーカー取替推奨期間や過去の運転実績を超えて使用する場合の交換時期検討**のために、**定期又は不定期で供用中に容量試験(単セル)を実施**している会社もある。なお、容量試験(単セル)を実施していない会社※1は、メーカー取替推奨期間※2をベースに各社設定した取替頻度で取替を実施している。

実施状況	会社名	実施頻度（目安）	適用規格基準
定期的に実施	東京HD	8,10,12,14年及び15年以降毎年実施※3	JEM1431 JIS C 8704-1
	中部	10年以降、蓄電池の点検周期に合わせて実施※4	JIS C 8704-2 ※5

実施状況	会社名	実施時期（目安）	適用規格基準
不定期に実施 (又は計画)	北海道	8年以降に実施（実績あり）	JEM1431 JIS C 8704-1 JIS C 8704-2 ※5
	東北	13年を目途に実施（実績あり）	
	北陸	13年目に実施（実績あり）	
	関西	13年目に実施（実績あり）	
	四国	9年を目途に実施（実績なし）	
	原電	10～14年を目途に実施（実績あり）	
	九州	10～14年を目途に実施（実績あり）	

※1 中国、原燃

※2 一定の使用頻度において容量80%以上を満足するとメーカーが想定する期間

※3 6ヵ月に1回の頻度で実施する電圧測定、内部抵抗測定、比重測定により劣化傾向が確認されない場合はSBA G 0606に基づき、容量試験(単セル)の対象外としている蓄電池あり。

※4 試験結果によっては次の定期点検での容量試験(単セル)は不要とする場合あり。

※5 日本電機工業会規格 JEM1431「原子力発電所用据置鉛蓄電池の試験方法」

日本産業規格 JIS C 8704-1「据置鉛蓄電池 一般的要求事項及び試験方法 第1部：ベント形」

日本産業規格 JIS C 8704-2「据置鉛蓄電池 第2-1部：制御弁式 試験方法」

4. ベント式蓄電池の容量管理について (2/4)

■ 過去に実施した、容量試験の実績（一例：ベント式（CS形））については以下のとおり。

会社名	発電所名	実施時期	使用年数	対象セル	対象セルの選定基準	試験方法	試験結果 (容量値※1)	判定基準 ※2	試験方法の適用規格基準
北海道	泊1号	2000年10月	13年	比重が最も低い2セルを選定	メーカーや施工業者と協議のうえ決定(工事要領書等)	満充電状態から放電を開始し、放電終了電圧に至るまでの放電時間から容量を算出	良 (113%,115%)	80%以上	JEM1431、JIS C 8704-1
東北	女川1号	1996年1月	13年	比重が最も低い1セルを選定			良 (102% ※3)		
東京HD	柏崎刈羽3号	2017年12月	11年	比重が最も低い2セルを選定			良 (114%,115%)		
中部	浜岡5号	2019年9月	14年	比重が最も低いセルと中間値のセルの2セルを選定			良 (109%,109%)		
九州	川内1号	2013年4月	14年	電圧・比重を測定し、測定値が劣っている3セルを選定			良 (116%,118%,119%)		

※1 定格容量100%に対する値

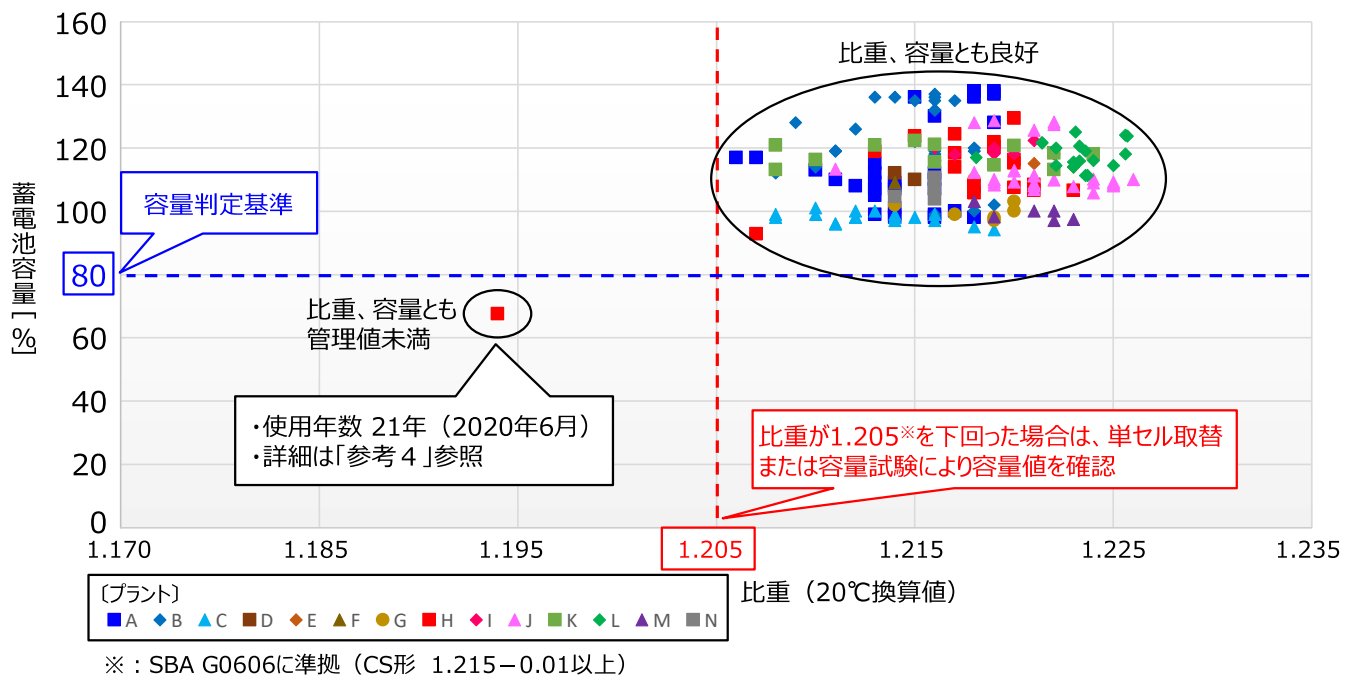
※2 SBA G 0606の4.1.1では、寿命は「容量の減少が加速する定格容量の80%未満」とされているため、据置蓄電池の寿命以上の値を目安として管理。

※3 更新時に、参考として既設蓄電池の容量確認を目的に実施しているため、試験結果は参考値

蓄電池の寿命（ベント式（CS形）：10年～14年）に達した蓄電池においても、容量が十分あることを確認。

4. ベント式蓄電池の容量管理について (3/4)

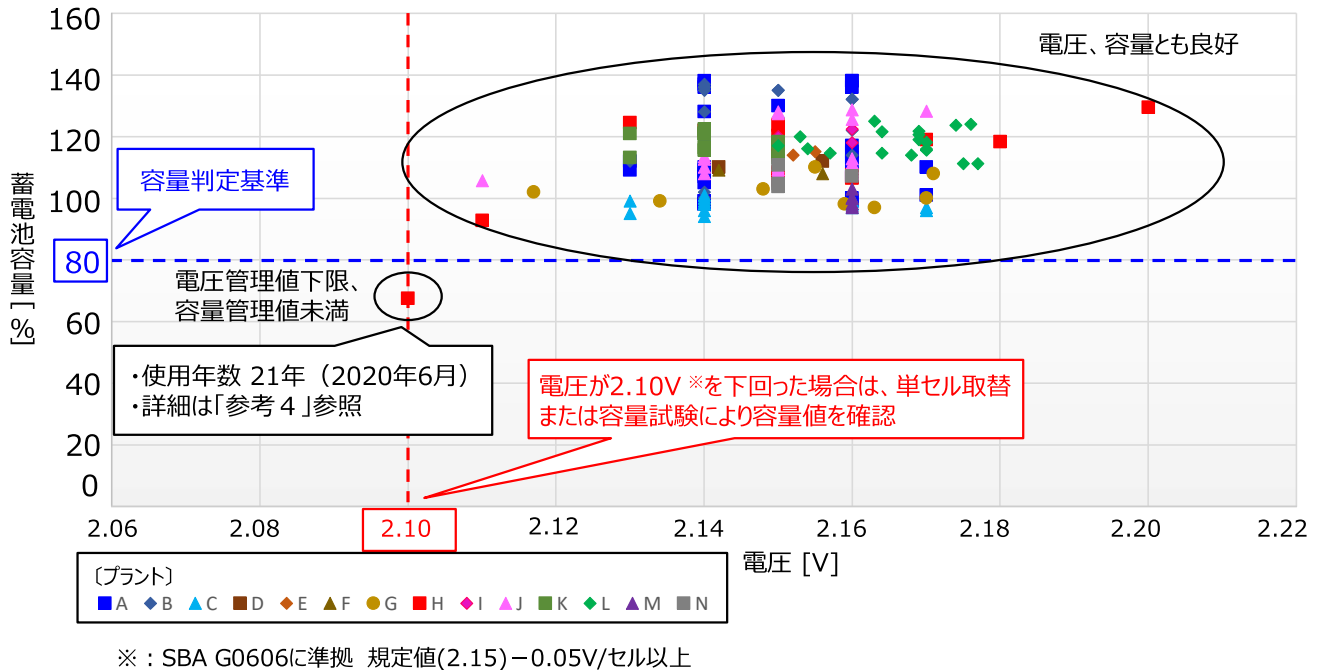
■ 過去に実施した単セルでの容量試験の結果（容量、比重の測定実績）を以下に示す。
〔 P9の測定実績の一例を含む 〕



過去に実施した容量試験において、蓄電池比重が判定基準（1.205）を上回ったものについては、蓄電池容量が判定基準（80%）を下回った事例はなく、現状の保守管理方法により、蓄電池の容量管理はできていると考える。

4. ベント式蓄電池の容量管理について (4/4)

- 過去に実施した単セルでの容量試験の結果（容量、電圧の測定実績）を以下に示す。
〔 P9の測定実績の一例を含む 〕



過去に実施した容量試験において、蓄電池電圧が判定基準（2.10V）を上回ったものについては、蓄電池容量が判定基準（80%）を下回った事例はなく、現状の保守管理方法により、蓄電池の容量管理はできていると考える。

5. 各社の保守管理状況 (1/3)

- 全社とも全セルに対して比重・電圧測定を定期的に行い保守管理を実施している。そのうえで、定期的に交換している会社、容量管理を行って交換している会社がある。
 - ✓ 定期的に交換している会社は、メーカー推奨の頻度を参考に、劣化兆候が見られる前段階で保守的に取替を実施。
 - ✓ 容量管理を行って交換している会社は、比重・電圧の測定結果を踏まえ、必要により容量試験(単セル)も実施することで、容量の減少が加速（容量80%未滿）する前段階で取替を実施。
- 以上については、いずれも容量の減少が加速（容量80%未滿）する前段階で取替を実施していることから劣化管理上の問題とはならない。

会社名	型式	取替頻度 (目安)	メーカー推奨 (目安)	技術的妥当性
北海道	ベント式 (CS形)	17年	10~14年	<ul style="list-style-type: none"> 他部門の使用実績14年~20年の平均をとり17年に設定している。 13年使用した安全系蓄電池及び17年使用した同型式蓄電池の容量試験を実施した結果、設計容量以上あることを確認し、取替頻度が妥当であると評価している。 また、これまでの定期点検結果から、機能性能上問題ないことを確認している。
東北	ベント式 (CS形)	15年	10~14年	<ul style="list-style-type: none"> メーカー推奨の取替時期を参考に、日常点検等の結果を踏まえ、交換を計画している。
東京 HD	ベント式 (CS形)	14年 (容量低下が見受けられないときは延長可能としている)	10~14年	<ul style="list-style-type: none"> 社内交換基準ガイドに基づき、「使用年数が8年以上経過した電池群において全セルの8%以上を交換した場合」または「蓄電池の使用開始後14年以上経過した場合」のいずれかに該当する場合に交換。 全セル交換基準は、『2セル抜取りの容量試験（20%以上の低下）』、『比重測定（1.205未滿×セル数8%以上）』、『電圧測定（2.10V未滿×セル数8%以上）』。 上記社内ガイドはSBA（電池工業会指針）並びに工場試験データの分析結果をもとに策定。
	制御弁式 (長寿命 MSE形)		13~15年	

5. 各社の保守管理状況 (2/3)

会社名	型式	取替頻度 (目安)	メーカー推奨 (目安)	技術的妥当性
北陸	ベント式 (CS形)	15年	10～14年	・メーカー推奨の取替時期を踏まえ取替えることとしており、過去に一部の蓄電池に対して容量試験を行い、残存容量から取替時期・頻度は妥当であったと評価している。
中部	ベント式 (CS形)	10年以降、容量試験結果に応じて取替	10～14年	容量試験の結果に応じて、機能が確保できる期間内に交換する運用としている。
関西	ベント式 (CS形)	15年	10～14年	メーカー推奨の取替時期を考慮し、過去供用期間中に実施した容量試験の結果並びに火力部門及び他電力原子力プラントのベンチマーク結果を踏まえ、取替周期を設定している。
中国	ベント式 (CS形)	10～14年	10～14年	定期点検の結果を踏まえ、メーカー推奨の取替時期（目安）を考慮した時期で交換を実施している。
	制御弁式 (長寿命 MSE形)	13～15年	13～15年	
四国	ベント式 (CS形)	15年	10～14年	・同型式の経年使用後の容量試験を踏まえ、取替周期を設定している。 ・これまでの保全実績から、機能性能上問題ないことを確認している。

5. 各社の保守管理状況 (3/3)

会社名	型式	取替頻度 (目安)	メーカー推奨 (目安)	技術的妥当性
九州	ベント式 (CS形)	10～14年	10～14年	JEM1431に基づき、想定される寿命年数（メーカー取替推奨）の60%程度以降に実施する容量試験の結果を踏まえ、交換時期を決定することとしている。
原電	ベント式 (CS形)	10～14年	10～14年	設置後10年～14年の間に容量試験（放電試験）を行い、その結果についてメーカーと協議した結果を踏まえ交換時期を設定している。
	制御弁式 (長寿命 MSE形)	13～15年	13～15年	3か月に1回の頻度で電圧、内部抵抗測定を実施し、劣化兆候を把握するとともに、メーカー推奨の取替時期を考慮して交換を計画
電発	—	安全系蓄電池は未設置	—	—
原燃	ベント式 (CS形)	18年（A社製） 15年（B社製）	18年（A社製） 15年（B社製）	・取替頻度はメーカー推奨を参考に設定しており、社内マニュアルに定めている。更新までの期間においては、同マニュアルに基づき、日常点検、定期点検を実施し状態監視している。 ・メーカーとの協議において、蓄電池性能、環境影響を考慮したメーカーとしての更新推奨年に基づき交換を計画している。

6. まとめ

■ 高い製造品質

安全系蓄電池については、国内メーカーの原子力QCのもと、工場ですべての容量試験を実施し規定値以上あることおよび品質にバラツキがないことを確認している。

■ 劣化が進展しにくい使用状況

建屋空調にて年間を通じて温度管理されており、適正な電圧で充電され、繰り返し充放電による劣化はほぼなく、劣化が進展しにくい使用状況にある。

■ 適切な保守管理

過去の試験実績より、比重・電圧が低下すると容量が低下することを確認しており、電池工業会指針 SBA G0606「蓄電池設備-劣化診断の技術指針」の劣化診断手法を参考に、全社とも比重・電圧測定を含む保守管理を適切に実施している。

以上の結果より、これまでの容量試験(単セル)において1件を除き(※)容量の低下が見られた安全系蓄電池はなく、火災・過熱事象の発生もないことから、定期的な容量試験(全セル)を実施せずとも適切に維持管理できていると考えられるものの、国内外の取り組み状況、運転経験を踏まえて、より適切と考えられる蓄電池保守管理の方法を検討し、その検討状況については、適宜原子力規制庁へ報告する。

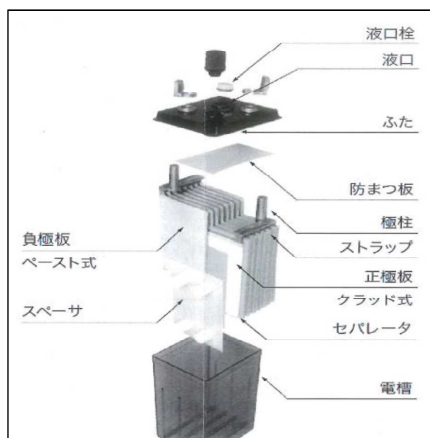
(※) 長期停止中に試験的に21年間供用した蓄電池

参考 1 蓄電池の外観及び構造

■ 鉛蓄電池の外観及び構造について

<ベント式 (CS形) 鉛蓄電池>

電気分解および蒸発による生成物を単電池から大気中に自由に放出できる開口部をふたに備えた蓄電池。



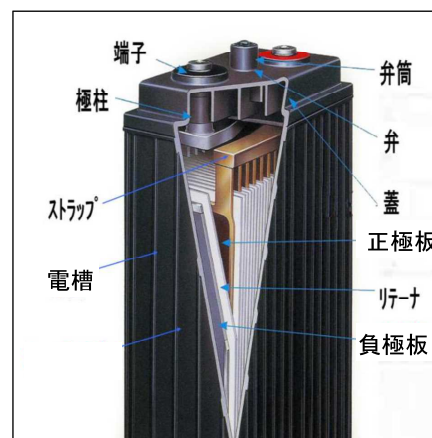
ベント式 (CS形) 鉛蓄電池の構造図

ベント式 (CS形) 鉛蓄電池の外形寸法※

	長さ	幅	高さ	重さ
2000Ah	390mm	300mm	800mm	約180kg
3000Ah	330mm	430mm	990mm	約300kg

<制御弁式 (長寿命MSE形) 鉛蓄電池>

内部圧力が規定値を超えるとガスを放出する制御弁を備えた鉛蓄電池。



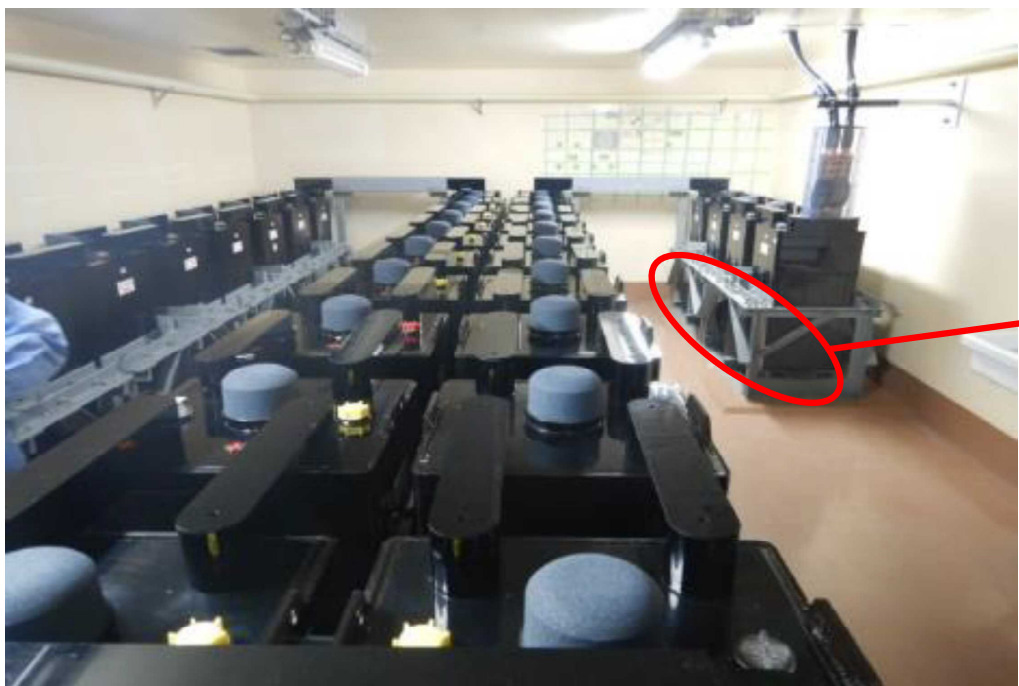
制御弁式 (長寿命MSE形) 鉛蓄電池の構造図

制御弁式 (長寿命MSE形) 鉛蓄電池の外形寸法※

	長さ	幅	高さ	重さ
2000Ah	480mm	340mm	380mm	約150kg
3000Ah	700mm	340mm	380mm	約220kg

※JIS C 8704-1/2-2より引用

■ **A社 125V (A) 系蓄電池室**



耐震架台

1セルあたり3000Ahの蓄電池が60セル設置されており、安全系蓄電池は耐震架台によって強固に固定されている。

参考3 国内原子力発電所に使用されている蓄電池について

■ 蓄電池メーカーについて

国内原子力発電所の安全系蓄電池に使用されているメーカーは、GSユアサ、エナジーウィズ、古河電池の3社となっている。

会社名	使用メーカー	会社名	使用メーカー
北海道	GSユアサ	中国	GSユアサ、エナジーウィズ
東北	GSユアサ	四国	GSユアサ
東京	GSユアサ、エナジーウィズ	九州	GSユアサ
北陸	GSユアサ、エナジーウィズ、古河電池	原電	GSユアサ、エナジーウィズ
中部	GSユアサ	電発	エナジーウィズ（予定）
関西	GSユアサ、エナジーウィズ	原燃	GSユアサ、エナジーウィズ

■ 安全系蓄電池の取替方法について

安全系蓄電池の計画的な取替については、1回で全セル取替を実施しており、部分的にローテーションで取替を行うなどはしていない。

■ 安全系蓄電池の容量低下事象

- 運転プラントにおいて、**安全系蓄電池に機能影響を与えるような容量劣化事象等のトラブルは確認されていない。**
- 一方、蓄電池としての機能は満足するものの、**単セルで容量低下が発生した事象**（1件）は確認されている。

発電所名	発生年月	対象設備	事象概要
浜岡3	2020年6月	B-125V蓄電池	使用開始10年以降、定期的な容量試験(単セル)を実施した結果、単セルの容量低下(蓄電池定格容量の80%未満)を確認した。当該セルは交換を実施。 なお、系統電圧は基準を満足しており、容量については他の全てのセルの比重と他の代表セルの容量試験結果により系統として十分確保されていることを確認している。

<補足>

- ✓ 容量低下セルは、容量試験対象選定時に比重が他セルと比較して低めであったため代表とした。容量試験(単セル)を継続する中で、容量低下傾向を把握し経過を注視していたもの。
- ✓ 長期停止中のため、維持点検にあわせて容量試験(単セル)を行っており、10年目、12年目、18年目、19年目と実施し、21年目の容量試験で80%を下回ったもの。
- ✓ 容量低下に至る原因として支配的なものは、SBA G 0606において「電圧低下」と「比重低下」とされていることから、二次劣化診断の中で、電圧・比重低下の傾向を監視し、不良セルが認められた場合は、当該セルの交換を実施した上で、他の全てのセルの電圧・比重が問題ないことをもって、系統全体の容量に問題がないことを確認している。



Copyright © Atomic Energy Association All Rights Reserved.

参考5 ベント型蓄電池容量試験について(JISC8704-1準拠)

蓄電池容量：満充電状態の蓄電池を規定する電流で放電させたとき、規定する蓄電池電圧（放電終始電圧）に低下するまでに放電できる電気量。

容量試験：満充電状態の蓄電池を放電し、規定する容量を満足することを確認する試験。（蓄電池の充放電を繰り返すと蓄電池の寿命に影響を与える）

<容量試験について>

$$\text{容量}[\%] = \frac{\text{放電量 } Ct[\text{Ah}]}{\text{蓄電池定格容量}[\text{Ah}]} \times 100$$

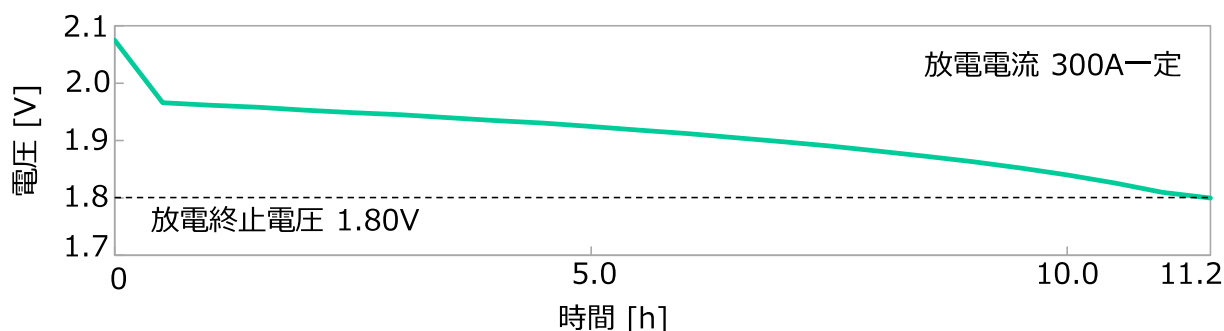
Ct[Ah]：放電電流[A](10時間率放電電流or5時間率放電電流)×放電時間※[h]

※放電終止電圧（10時間率の場合1.80V、5時間率の場合1.75V）までの時間

OA社 蓄電池定格容量3000Ahの容量試験結果（実例）

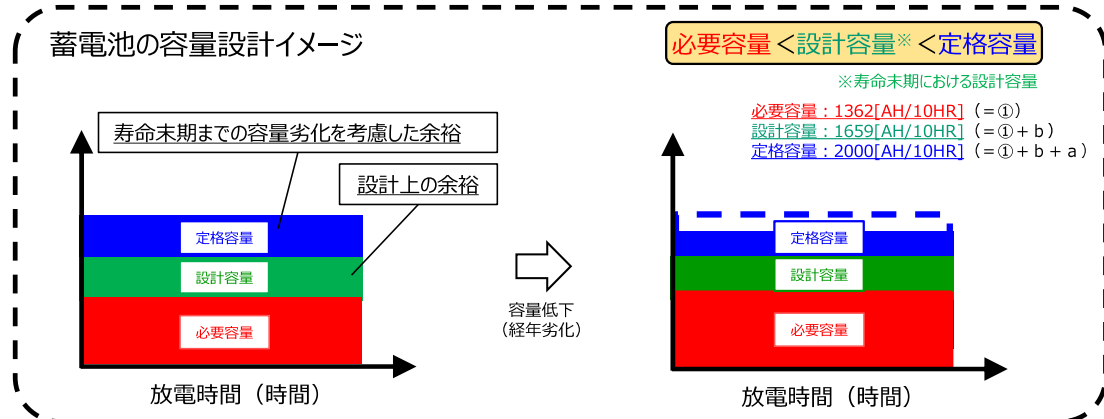
10時間放電電流（3000Ah/10=300A）で実施した場合の放電時間が11.2[h]

$$\text{放電量}(300[\text{A}] \times 11.2\text{h}) / \text{蓄電池定格容量}3000\text{Ah} \times 100 = \underline{112\%}$$



■ 蓄電池の容量設計（例）

- 蓄電池の定格容量は、①→②→③の順で選定している。
 - ① 蓄電池システムの負荷に対する必要容量 1362[AH/10HR]
 - ② ①の容量に対して、保守率(※1)を考慮して算出した必要容量 1703[AH/10HR]
 ※1 寿命末期までの容量劣化を考慮した補正值（ここでは容量の減少が加速する80%を使用）
 - ③ ②の容量に対して、上位の定格容量の蓄電池を選定 2000[AH/10HR]
- ③で選定した蓄電池の容量設計時に考慮している余裕は次のとおり。
 - a 寿命末期までの容量劣化を考慮した余裕 341[AH/10HR] (= ② - ①)
 - b 設計上の余裕 297[AH/10HR] (= ③ - ②)

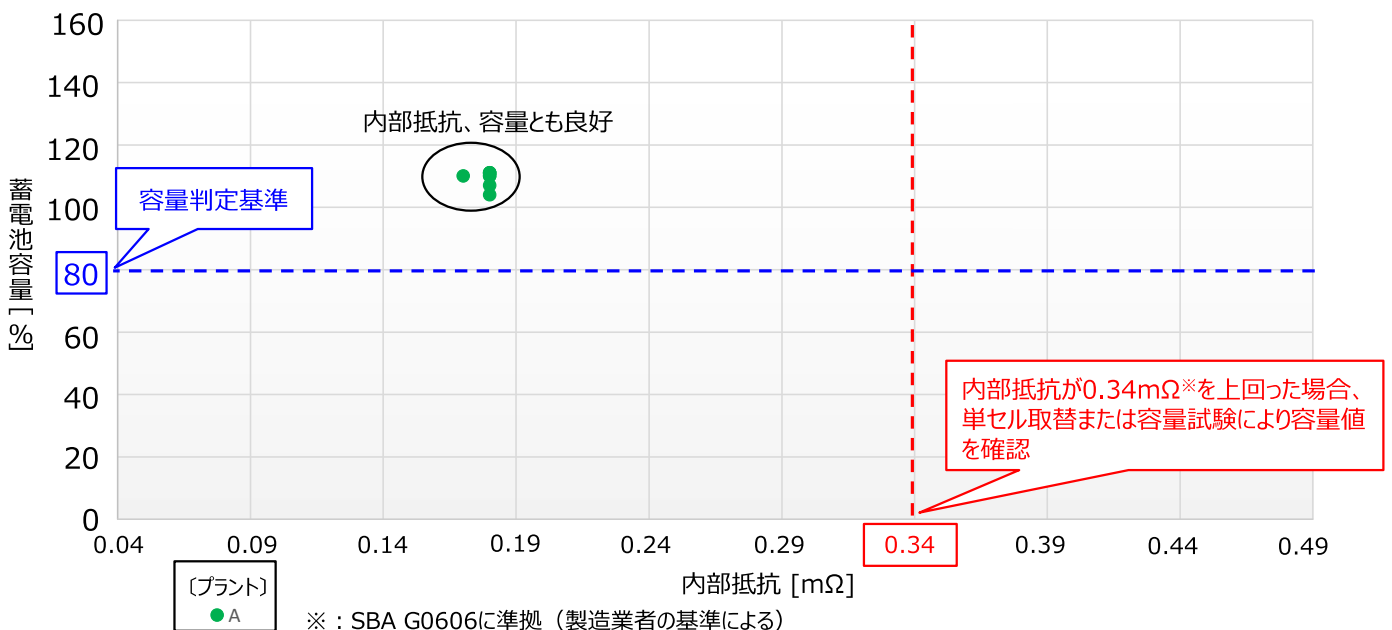


- ③で選定した蓄電池の容量が80%まで低下しても①の必要容量を下回らないように蓄電池の容量を選定しているため、全ての蓄電池が80%となった場合でも必要な機能を維持できる。
 $1600 [AH/10HR] (= ③ \times 80\%) > 1362 [AH/10HR] (= ①)$

参考7 制御弁式蓄電池の容量試験について（1/2）

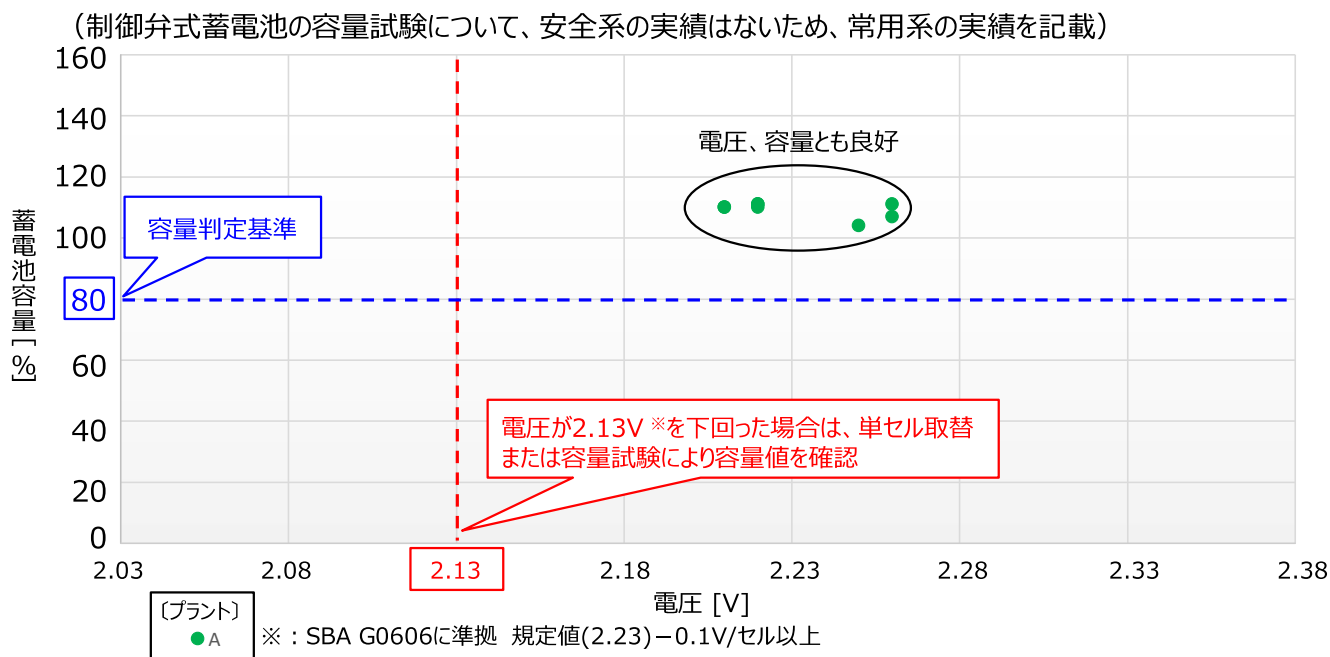
- 過去に事業者で実施した単セルでの容量試験の結果（容量値、内部抵抗の測定実績）を以下に示す。

（制御弁式蓄電池の容量試験について、安全系の実績はないため、常用系の実績を記載）



データ数はベント式と比較して少ないものの、過去に実施した容量試験において、蓄電池内部抵抗が判定基準（0.34mΩ）を下回ったものについては、蓄電池容量が判定基準（80%）を下回った事例はなく、現状の保守管理方法により、蓄電池の容量管理はできていると考える。

- 過去に事業者で実施した単セルでの容量試験の結果（容量値、電圧値の測定実績）を以下に示す。



データ数はベント式と比較して少ないものの、過去に実施した容量試験において、蓄電池電圧が判定基準（2.13V）を上回ったものについては、蓄電池容量が判定基準（80%）を下回った事例はなく、現状の保守管理方法により、蓄電池の容量管理はできていると考える。

参考8 14年超使用した蓄電池の容量試験実績

- 容量試験のうち、14年超使用したベント式（CS形）蓄電池の実績（一例）については以下のとおり。

(常用系の実績含む)

会社名	発電所名	実施時期	使用年数	対象セル	対象セルの選定基準	試験方法	試験結果 (容量値※1)	判定基準 ※2	試験方法の適用規格基準
北海道	泊1号	2004年8~9月	17年	比重が最も低い2セルを選定	メーカーや施工業者と協議のうえ決定 (工事要領書等)	満充電状態から放電を開始し、放電終了電圧に至るまでの放電時間から容量を算出	良 (130%,128%)	80%以上	JEM1431、JIS C 8704-1
北海道	泊2号	2005年8月	17年	比重が最も低い2セルを選定			良 (136%,135%)		
中部	浜岡3号	2017年3月	18年	比重が最も低いセルと中間値のセルの2セルを選定			良 (120%,118%)		
中部	浜岡4号	2021年3月	17年	比重が最も低いセルと中間値のセルの2セルを選定			良 (122%,118%)		
中部	浜岡5号	2019年10月	17年	比重が最も低いセルと中間値のセルの2セルを選定			良 (128%,127%)		

※1 定格容量100%に対する値

※2 SBA G 0606の4.1.1では、寿命は「容量の減少が加速する定格容量の80%未満」とされているため、据置蓄電池の寿命以上の値を目安として管理。

14年超使用した蓄電池においても、容量が十分あることを確認。

参考9 各社の安全系蓄電池保守管理の基本的な考え方について

- 安全系蓄電池の保守管理の実態調査を行った結果、P13～15に示す通りいずれも適切に管理されており、劣化管理上の問題とはならないが、**各社の保守管理の考え方（容量試験の実施状況、蓄電池一式の取替頻度）にバラつきが確認**された。
- 各社の保守管理内容については、**プラントの設置環境やこれまでの運転実績を踏まえ、メーカーと協議のうえ設定されたもの**であり、**過去に安全系蓄電池の機能・性能に影響を与えるトラブルは発生していない**ことから、保守管理上の問題とはならない。
- 各社の保守実績から、**期待寿命内であれば十分な容量が保たれている**ことは分かってきた一方、**長期使用の蓄電池に対する知見拡充の観点から、経年化した蓄電池に容量試験を実施することは重要**である。これらを踏まえて、**原子力発電所における安全系蓄電池の保守管理について、より適切と考えられる方法を検討**していく。

<安全系蓄電池保守管理の基本的な考え方（案）について>

- ✓ 原子力発電所でのこれまでの保守管理の実績では、蓄電池メーカーの期待寿命（例 ベント式（CS形）：～14年）内では必要容量を下回った実績はなく、適切に保全されている。そのため、この保守管理を継続し、**期待寿命の期間で使用する範囲においては、一次劣化診断、二次劣化診断により容量管理**を行う。特に、10年目以降については、管理値との比較だけでなく、過去データとの比較を行い、性能の低下傾向がないことを確認する。
- ✓ **メーカーの期待寿命を超えて使用する場合は、一次劣化診断、二次劣化診断に加えて容量試験を実施**し、取替時期を決定する。
- ✓ **容量試験の方法**は以下の通りとする。なお、対象セルの数については事業者の判断による。
 - 〔ベント式〕：**比重が最も低いセルを含む複数セル**に対して容量試験を行い、**80%以上**であることを確認する。
 - 〔制御弁式〕：**内部抵抗が最も高いセルを含む複数セル**に対して容量試験を行い、**80%以上**であることを確認する。
- ✓ **交換したセル数（不良セル数）が全セル数の10%を超えた場合は、SBA G0606に従い蓄電池一式の更新**を計画する。