

コンテナ一体型ナトリウム・硫黄電池

日本ガイシ株式会社
NAS 技術部 大坂 伸一郎

1. はじめに

ナトリウム・硫黄電池（以下 NaS 電池）は、電解質にベータアルミナを使用した高温動作型の二次電池である。この電池の原理は、1967年に米国 Ford 社が自動車用電池として提案した。日本ガイシ（以下 NGK）では1984年から東京電力㈱と共同で開発を開始し、2002年に事業化、これまで世界中で約45万 kW の導入実績があり、大電力・大容量貯蔵用の定置型蓄電池として注目されている。従来の NaS 電池システムは、単電池を集積化したモジュール電池を工場から現場へ1台ずつ輸送し、現場でパッケージに格納していく「パッケージ一体型ナトリウム・硫黄電池設備」方式だった。この方式は、パッケージを現場で組み立てる必要があるため工事期間が長くなり、その分お客様の工事費用が高むという点が課題だった。

今回、このような課題を解決するため、工場にてモジュール電池をコンテナへ積載し、現場

へ輸送・据付を行う「コンテナ一体型ナトリウム・硫黄電池設備」を開発した。ここでは、コンテナ一体型ナトリウム・硫黄電池設備の特徴と安全性について紹介する。

2. NaS 電池とは

NaS 電池は、電解質にベータアルミナというセラミックス、負極にナトリウム、正極に硫黄を使用した二次電池である。ベータアルミナはナトリウムイオン (Na^+) を透過する特殊なセラミックであり、放電時はベータアルミナを通ったナトリウムイオンが正極で硫黄と結合し、多硫化ナトリウムを生成する。充電時はその逆で、多硫化ナトリウムが分解しナトリウムと硫黄になる。(図1)

放電時に生成する多硫化ナトリウムの融点は 250°C 以上であるため、NaS 電池は約 300°C で運転する高温動作型の二次電池である。

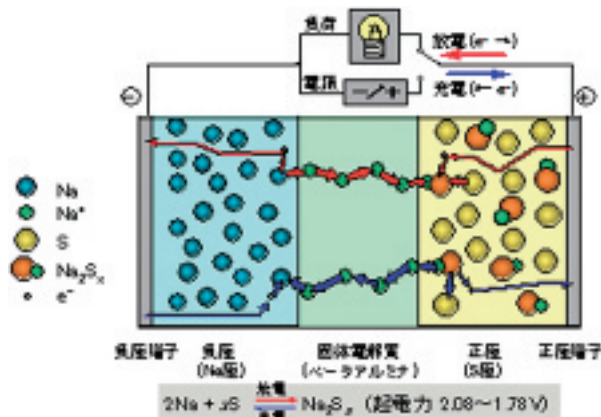


図1 NaS 電池の原理

3. 単電池の構造と特性

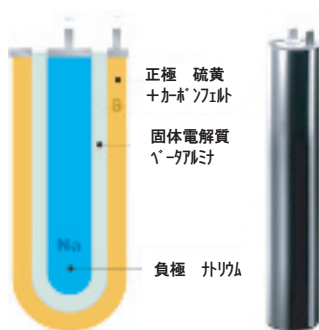
NaS 電池の基本構成単位である単電池は、管状のベータアルミナの内側に負極：ナトリウム、外側に正極：硫黄を配した構造である。硫黄は絶縁体であるため、硫黄への電子授受のため正極にカーボンのフェルトを使用している（図2）。単電池の仕様を表1に示す。

NaS 電池をシステムとして運用する場合の効率、電池の充放電効率だけではなく、交直変換装置（以下 PCS）の変換効率やシステムを維持する補機電力も考慮する必要がある。特に、NaS 電池は高温動作型電池であるため、電池温度を維持するためのヒータ電力量が重要となる。

一般的に電池の充放電だけの効率は以下で示される。

$$\text{効率} = \text{放電電力量} / \text{充電電力量}$$

これに対し NaS 電池の場合は、以下で定義する。



a. 模式図 b. 外観

図2 単電池の構造

表1 単電池仕様

寸法	φ90x510mmH
フル放電容量（初期）	745Ah
電圧	2.08V～1.83V
定格電流	79A
定格放電容量	632Ah(定格×8h)
定格出力	153W

$$\text{効率} = \text{放電電力量} / (\text{充電電力量} + \text{ヒータ電力量})$$

電池は放電時の反応熱で発熱し、温度が上昇する。日々の運転では内部温度が上昇し過ぎないように、放電により上昇した温度を1日かけて（次の放電までに）元の温度に戻るよう放熱量を設定する。このことにより、放電時の発熱を内部保温に利用でき、ヒータ保温電力を低減し最適な効率で運用頂ける設計としている。

単電池の定格充放電時の特性を図3に示す。開路電圧に対して放電、充電した場合には定格電流×内部抵抗分の電圧低下、電圧上昇があるため、これを利用して放電の停止や充電の停止を行う。

このような充放電の特性は経年使用によって劣化していくため、長期性能の評価を行うことが重要である。電池の性能劣化には、主に抵抗増加と容量低下がある。

(1) 抵抗増加

NaS 電池の経年使用に伴う抵抗増加により放電時の電圧下降や充電時の電圧上昇が大きくなり、電池性能の低下を招く。抵抗増加の原因は、単電池容器の内表面に金属硫化物が形成することである。このような金属硫化物の形成を抑制するため、耐食性の高い材料を内表面に用い抵抗増加を抑えている。

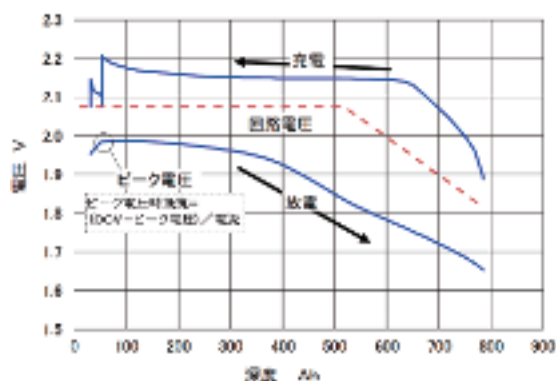


図3 単電池の電圧特性

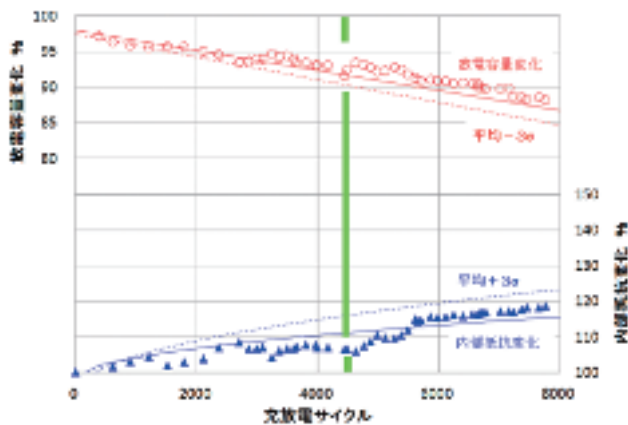


図4 単電池の耐久性検証

(2) 容量低下

NaS 電池は、メモリー効果等の放電できなくなる容量低下は起こらないが、充電時に負極へ戻るナトリウム量が減少することで容量が低下する。容量低下の主要因は、単電池容器内表面の金属元素が一部溶出して分解しにくい化合物を形成することにより、充電できるナトリウムが減少することである。この現象に対しては、正極電極材の構造や充電方法の改善により対策を行っている。

このような改善により、NaS 電池の設計寿命15年（300回/年、定格充放電）、充放電回数4500サイクルに対し、約8000サイクルまでの検証試験において長期性能に大きな変化はないことを確認している（図4）。

4. モジュール電池およびシステム

モジュール電池の構成を図5、仕様を表2に示す。

モジュール電池は、断熱容器に多数の単電池を集積化し、動作温度に維持するための電気ヒータが配置されている。単電池の直列接続内には過電流保護用のヒューズが配置され、単電池間の空隙には乾燥砂が充填されている。断熱容器は真空断熱構造として熱損失を低減している。コンテナ一体型ナトリウム・硫黄電池設備

用に開発したモジュール電池は、従来型に比べて断熱容器の高断熱化を図ると共に、内部に空冷用のダクトを設け、充放電にともなう内部発熱に応じた放熱の制御機能を追加した。この高断熱と放熱制御により、電池温度の保持に使用してきた保温エネルギーを極力少なくし、充放電効率を上昇させる。

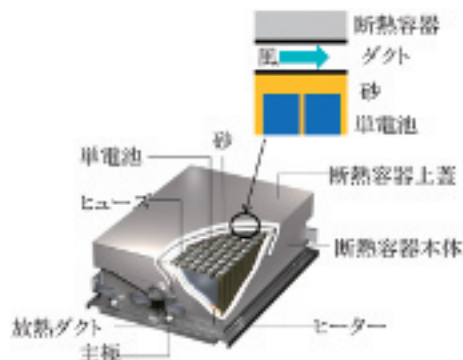


図5 モジュール電池の構成

表2 モジュール電池の仕様

寸法、重量	W1.5×L2.0×H0.8m、2.3ton
定格放電電力	33kW
定格充電電力	33kW
定格容量	200kWh
構成	8直列×12並列×2ブロック

コンテナ一体型ナトリウム・硫黄電池設備の仕様を表3に、設備外形を図6に示す。コンテナ一体型ナトリウム・硫黄電池設備は、20ftコンテナにモジュール電池を6台積載し、側面内部に制御装置を配置する。

NaS電池のシステムとして構成する場合、1台200kWのコンテナ一体型ナトリウム・硫黄電池設備をさらに直列接続し、PCSに接続して電気的な基本単位とする(図7)。

具体的には、コンテナ3直列構成に対しPCS

表3 コンテナ一体型ナトリウム・硫黄電池設備の仕様

200kW コンテナ型 NaS 電池システム仕様	
寸法、重量	W6.1× L2.4× H2.6m、21ton
定格放電電力	200kW
定格充電電力	200kW
定格容量	1200kWh
構成	33kW モジュール電池× 6台

※ PCS の片側効率を96%とする

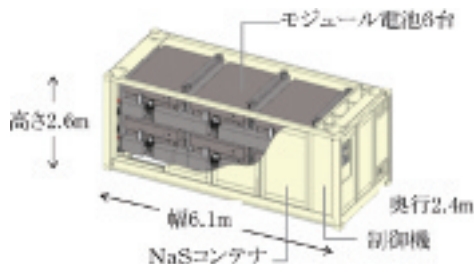


図6 コンテナ一体型ナトリウム・硫黄電池設備の外形

を接続した600kWサブユニット(図8)、あるいは4直列構成に対し別設置したPCSを接続した800kWサブユニット(図9)が基本構成となる。そして、このサブユニットを水平方向に4式配置したものを一ユニットとして、危険物の一般取扱所として取り扱う。さらに大規模電池設備とする場合には、このユニットを複数組み合わせ数MW~数10MW規模で設置する。

5. NaS電池の安全性について

NaS電池は、内部に第二類の危険物である硫黄と第三類の危険物であるナトリウムを大量に収容しており、取り扱う危険物の数量が指定数量以上となるため危険物の一般取扱所に該当する。NGKのNaS電池は、NaS電池の安全基準が規定された消防危53号通知や、NGKが独自に定めた安全基準を満たすことによって、高い安全性能を有した製品となっている。

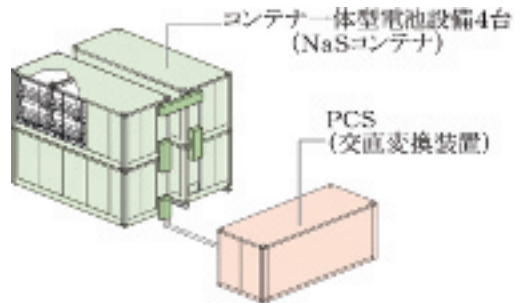


図7 NaS電池システムの設置例

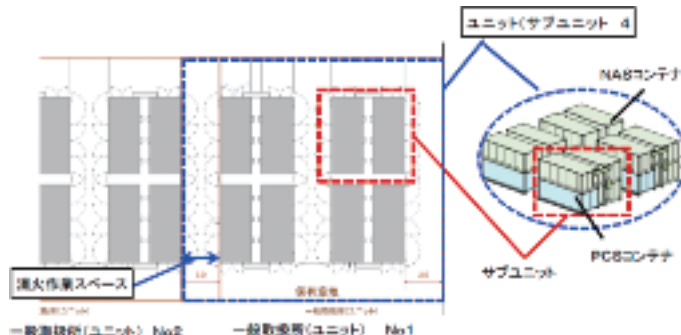


図8 600kWサブユニットを基本とした一般取扱所

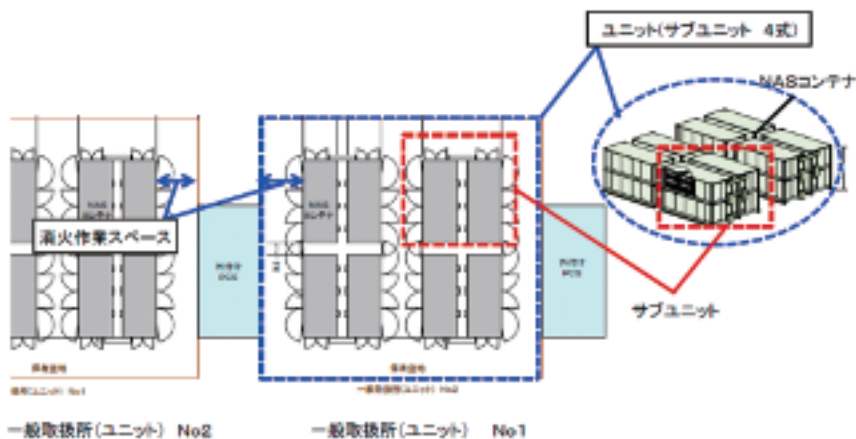


図9 800kW サブユニットを基本とした一般取扱所

5. 1 消防危53号通知

平成11年6月の「消防危53号通知」では、NaS電池の設置に係る安全基準が規定されており、定められた安全性能を満足することによって主に以下に示す規制緩和を受けることが出来る。

- ・ 保有空地の規制緩和
- ・ 監視、制御に関する規制緩和 など

NGKが製造するNaS電池は、53号通知に定められた安全性能を満たしていることを危険物保安技術協会殿に評価いただいている(表4)。

5. 1. 1 単電池に要求される安全性能

53号通知において単電池に要求される安全性能は以下である。

(1) 単電池の過充電に対する安全性

充電末(完全に充電した状態をいう。)の単電池をさらに充電し、過充電により電解質が破損した場合においても、危険物が単電池の外部へ漏えいしないこと。

(2) 単電池の短絡に対する安全性

単電池に短絡が発生し、過大な電流が流れた場合においても、単電池が破壊せず、危険物が単電池の外部へ漏えいしないこと。

(3) 単電池の昇降温に対する安全性

単電池を放電末(完全に放電した状態をいう。)の状態から室温まで降温し、再度運転温度まで昇温させた場合に危険物が単電池の外部へ漏えいしないこと。

表4 53号通知で規定されたNaS電池の安全性評価

	試験	目的
単電池	過充電	過充電が発生した場合の安全性確認
	外部短絡	外部で短絡が発生した際の安全性確認
	昇降温	昇降温を行った場合の安全性確認
モジュール電池	外部加熱	外部で火災が発生した場合の安全性確認
	水没放置	浸水した場合の安全性確認
	落下	落下等外的衝撃を受ける場合の安全性確認
	外部短絡	外部で短絡が発生した場合の安全性確認
	自己消火	内部単電池が燃焼した場合の安全性確認

表5 モジュール電池での安全性評価

試験	目的	試験の様子	試験結果
外部加熱	外部で火災が発生した場合の安全性確認		<ul style="list-style-type: none"> ・35分間曝露（高温）し、容器内外の最高温度はそれぞれ、360℃、890℃ ・危険物の漏洩なく判定条件満足
水没放置	浸水した場合の安全性確認		<ul style="list-style-type: none"> ・約3日浸水させた（高温） ・単電池の破壊なし ・危険物の漏洩なく判定条件満足
落下	落下等外的衝撃を受ける場合の安全性確認	 落下後の様子	<ul style="list-style-type: none"> ・5 m 落下（高温） ・衝撃部は変形、単電池の破壊なし ・危険物の漏洩なく判定条件満足
外部短絡	外部で短絡が発生した場合の安全性確認		<ul style="list-style-type: none"> ・短絡電流は平均1000A × 0.3秒間 ・1秒以内で短絡回路を開放 ・危険物の漏洩なく判定条件満足
自己消火	内部単電池が燃焼した場合の安全性確認		<ul style="list-style-type: none"> ・内部単電池を強制的に燃焼させ、隣接単電池が延焼しないことを確認 ・隣接単電池の危険物漏洩なし

5. 1. 2 モジュール電池に要求される 安全性能

53号通知においてモジュール電池に要求される安全性能は以下である。

(1) モジュール電池の短絡に対する安全性

モジュール電池の外部で短絡が発生した場合に、モジュール電池内のヒューズが速やかに遮断され、短絡が安全に終了し、危険物がモジュール電池の外部へ漏えいしないこと。

(2) モジュール電池の防火性

モジュール電池の外部で火災が発生し、火炎にさらされた場合にあっても、危険物がモジュール電池の外部へ漏えいしないこと。

(3) モジュール電池の耐浸水性

運転温度のモジュール電池が浸水した場合にあっても、単電池が破損せず、危険物がモジュール電池の外部へ漏えいしないこと。

(4) モジュール電池の自己消火性

モジュール電池の内部で、単電池を強制的に破壊、発火させた場合、周囲の単電池に破壊が連鎖拡大せず、自己消火するとともに、危険物がモジュール電池の外部に漏えいしないこと。

(5) モジュール電池の構造的強度

モジュール電池が落下等の外的衝撃を受ける場合において、単電池が破壊せず、危険物がモジュール電池の外部へ漏えいしないこと。

5. 2 NGK 独自基準での安全対策

NGK では、53号通知に規定されている安全性能に対し、工業製品としてより確実に満足させるため、以下に示す NGK 独自基準の管理・設計を取り入れた NaS 電池を開発し、危険物保安技術協会殿に評価頂いている。

(1) 生産工程の管理

生産品に不良品が混入しないよう、生産工程における部品管理および検査頻度、項目の管理

(2) 単電池の安全性設計

万が一の燃焼時に単電池単位での自己消火性を実現するための、耐熱性、耐火性

(3) モジュール内の単電池配列設計

モジュール電池内において高電圧条件での単電池間短絡が発生しないための、単電池配列

(4) モジュール電池の安全性設計

万が一単電池が燃焼した場合においてモジュール容器が損傷しないよう、耐火構造のモジュール内蔵設計

(5) 電池システムの安全性設計

万が一の火災発生時に周囲に対し燃焼ガスが拡散しないよう、パッケージの吸排気口を自動で閉鎖させる機構

6. コンテナ体型ナトリウム・硫黄電池設備の安全管理

コンテナ体型ナトリウム・硫黄電池設備においても、5項で述べた NaS 電池の安全性能を踏襲した設計としている。しかし、今回はコンテナにモジュール電池を積載した状態で輸送・据付を行う点や、システムの最小単位が 200kW であることによってこれまでより現場での設置レイアウトを自由に設計できる点が従来と比較して新しい項目である。そのため、今回の性能評価ではコンテナ体型としての安全性確認試験に加え、工場での生産から客先設置までの安全管理方法や、客先においてコンテナを大規模設置する際の配置について定め、危険物保安技術協会殿に評価いただいた。

6. 1 コンテナの安全性確認試験

コンテナ体型ナトリウム・硫黄電池設備において実施した安全性能の確認試験と結果を以下に示す。

(1) コンテナの耐火性（自己消火性）

コンテナ内にモジュール電池を 6 台セットし、モジュール内部の単電池を強制的に破壊し発火させる試験を行い、周囲の単電池に破壊が連鎖せず、自己消火するとともに、危険物がモジュール電池の外部に漏れいしないこと、及びモジュール電池の容器本体と蓋の隙間より漏れ出た火炎、溶融物（反応物）がコンテナ外部に漏れいしないことを確認した。

(2) コンテナの構造的強度

コンテナの運搬・据付やモジュール電池のコンテナへの積み込み、積降ろし時の落下事故、コンテナ搭載時の運搬車両における事故、事故の衝突や落下事故を想定し、充電末状態の単電池

を搭載したモジュール電池 6 台を常温でコンテナに搭載させ、据付高さに安全係数を乗じた高さから底部角が落下点となるよう落下させる試験を行い、単電池が破壊せず、危険物がコンテナの外部へ漏れいしないことを確認した。



(3) 輸送時に交通事故が発生した場合の安全性

交通事故などで車両から漏れいした燃料の引火などによる外部火災や、その消火時の泡消火に対する安全性を検証するため、常温のモジュール電池を反転した状態で据付高さに安全係数を乗じた高さから落下させた後、当該電池を火炎中に約 30 分暴露させる試験を実施した。また、別モジュールにおいて同高さで側面を落下点とし落下させた後、放水量 110L/分 で 30 分間放水する検証試験を行い、それぞれ単電池が破壊せず、モジュール電池外部に危険物の漏れいがないことを確認した。

(4) 輸送時の振動が安全性部品に与える影響について

コンテナ運搬時の振動に対する安全性を検証するため、モジュール電池に高速道路輸送を想定した振動を印加した検証試験を行い、モジュール電池に損傷がないことを確認した。

6. 2 コンテナの輸送、据付に対する安全管理

コンテナ体型ナトリウム・硫黄電池設備における NaS 電池設備製造工場から客先までの生産、輸送、据付、運転の工程を  に、イメージを  に示す。今回の性能評価では、輸送や据付工程において事故を防ぐための安全管理および万が一事故が発生した場合の緊急対応に関してルールを定めた。

NaS 電池の輸送においては、これまでにも危険物の輸送に関連する法令を遵守するとともにドライバーの安全教育とその記録保管、イエローカードの携帯などを行ってきた。コンテナの輸送にあたっては、これらの項目を定期性能調査の管理項目として明確化しチェックシート管理するこ

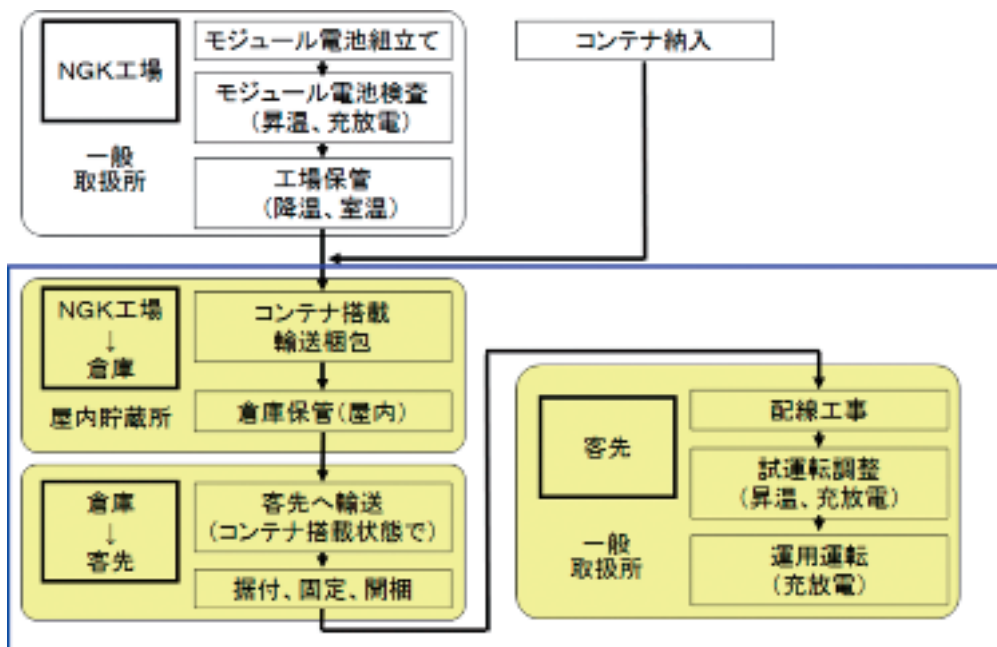


図10 工場から客先までの工程の流れ



図11 工場から客先までの工程のイメージ

とに加え、24時間対応可能な緊急対応の体制を整備した。輸送時の情報の流れを図12に示す。

据付時においても輸送時と同様、設置許可申請などの関連する法令を遵守するとともに据付マニュアルの作成や工事妥当性検査とその記録、イエローカードの配置と緊急連絡網の構築、

NaS電池を扱う上での安全教育などを実施し、安全管理を行ってきた。これらの項目についても定期性能調査の管理項目として明確化し、チェックシート管理を行うこととした。コンテナの据付・配線接続工事を行う際の情報の流れを図13に示す。

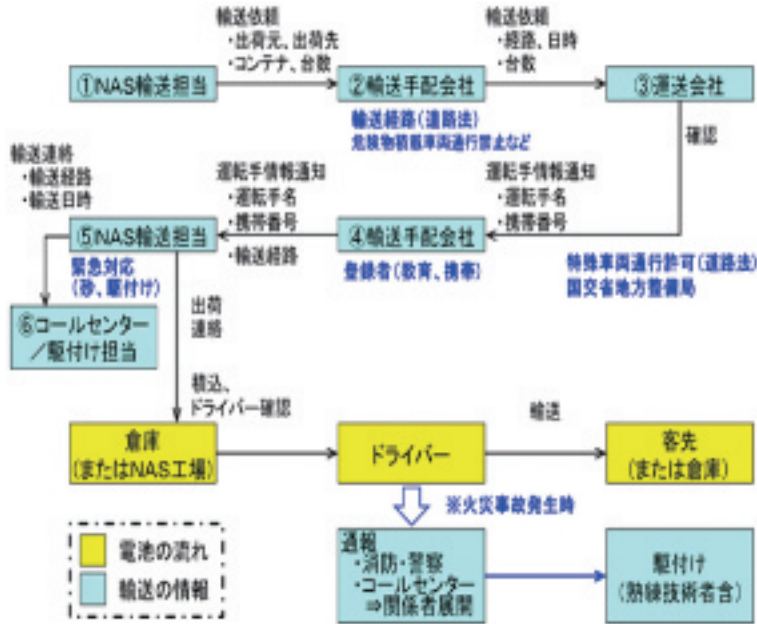


図12 コンテナ輸送工程における情報の流れ

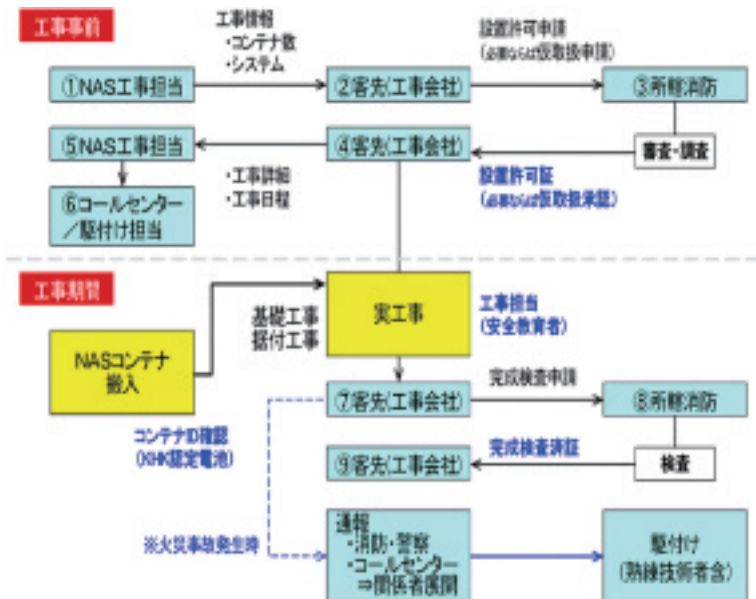


図13 コンテナの据付・配線接続工事における工程フロー

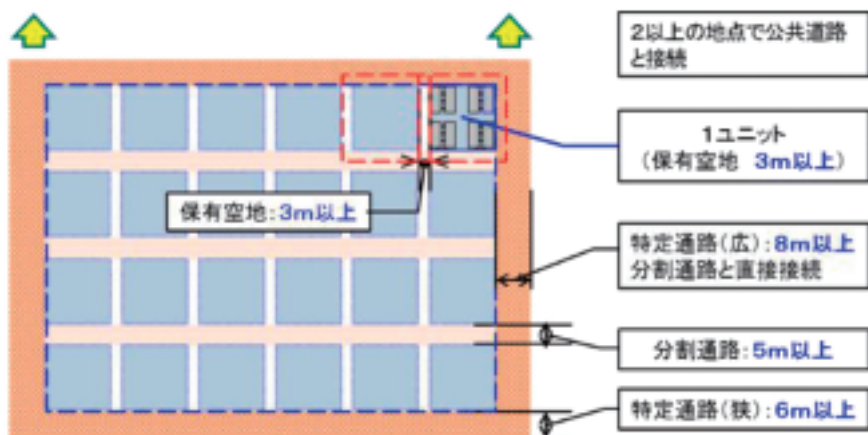


図14 コンテナの複数配置の考え方 (例)

6. 3 コンテナを大規模設置する場合のルール

縦横に複数台のユニットを設置した施設内において万が一発災した場合を考慮し、消火対応が可能であること、ならびに他コンテナへの延焼を防止することを主眼に、法令で定められた「保有空地 3 m 以上」よりも広く空地を設ける配置について定めた。

ユニットを敷地の水平方向に縦列と横列複数設置し一電池施設とした例を図14に示す。このとき、施設周囲には施設内に緊急車両が侵入できる幅を有した特定通路や、施設内部で追いつきやすい幅を有した分割通路によって、ユニットを区分するよう設定した。また、緊急時には、電池施設内のサブユニット毎に手動または自動で電氣的に一括遮断する機能を設けた。(図15)

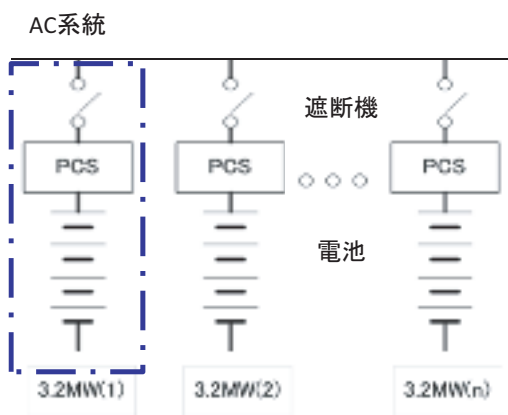


図15 電池設備の遮断機能

7. おわりに

今回、現場での工事期間を削減することを目的に、工場にてモジュール電池をコンテナへ積載し、現場へ輸送・据付を行う「コンテナ一体型ナトリウム・硫黄電池設備」に関する特性と安全性について述べた。万が一発災した場合に

おける安全性評価に加え、コンテナの輸送・据付時に発災させないための安全管理方法、およびコンテナを大規模設置する際の消火活動を主眼においたコンテナの配置を定めることによって、高い安全性を担保することができた。

謝辞

コンテナ一体型ナトリウム硫黄・電池設備の性能評価にあたっては危険物保安技術協会 業務課の皆様にご多大なご助言を頂戴しました。末筆ながら、ここに記して感謝の意を表します。