小特集 核融合炉システムに必要な電力変換・エネルギー蓄積技術

3 . ここまで来た大型電力設備の性能と将来展望

3.1 大容量二次電池 - ナトリウム-硫黄電池 -

中 林 喬

(日本ガイシ株式会社 NAS 事業部)

Performance of Large Electric Power Equipment and Future View Large Capacity Battery System - Sodium-Sulfur Battery -

NAKABAYASHI Takashi

NGK INSULATORS, LTD., Nagoya 467-8530, Japan

(Received 24 March 2004)

The Ford Motor Company proposed the principle of the sodium-sulfur battery based on a beta-alumina solid electrolyte in 1967. Accordingly, sodium-sulfur battery technology was initially developed primarily for electric vehicle applications. Later, the Tokyo Electric Power Company (TEPCO) selected the sodium-sulfur battery technology as the preferred system for a dispersed utility energy storage system to substitute for the pumped hydro energy storage system. NGK Insulators, Ltd. (NGK) and TEPCO have jointly carried out the development of the sodium-sulfur battery since 1984. In April 2002, TEPCO and NGK made the sodium-sulfur battery for use as an energy storage system commercially available.

Keywords:

sodium-sulfur battery, high temperature, energy storage, load leveling, application

3.1.1 はじめに

ナトリウム - 硫黄 (NAS) 電池は米フォード社が1967年に原理を発表した後、各研究機関で開発が開始された。海外では主に電気自動車用電源を目的に開発が進められたが、日本では電力貯蔵用に注目されてきた。日本では特に夏場における昼間の負荷が非常に大きくなる。夏場のピーク電力に合わせた電源計画が必要となるが、夜間負荷は少なく設備稼働率が低いという課題を抱えていた。この解決策として揚水発電所が利用されていたが、建設立地の制約もあり、新たな夜間電力貯蔵設備の開発が望まれていた。

NAS電池の国内における開発は、通産省の電気自動車開発プロジェクトで最初に手がけられた。その後、ムーンライトプロジェクトの中で電力貯蔵用のNAS電池開発が取り上げられた。一方、民間のNAS電池開発は電力貯蔵設備を必要としていた東京電力を主体として進められ、現在実用評価が終了し本格導入が開始されている。

3.1.2 NAS電池の構造と原理

(1) 構造

NAS電池は負極のナトリウム(Na)と正極の硫黄(S)をセラミックス固体電解質(ベータアルミナ)で区画し金属性の容器に密閉した単電池(Fig. 1 参照)から構成されている。この単電池を断熱性を持たせた金属製の容器内に多数

author's e-mail: nakarin@ngk.co.jp

収納し、電氣的に直並列に接続してモジュール電池(Fig. 2)を構成する。断熱容器を貫通する主極を通して充放電を行う。モジュール電池の内部には電気ヒーターが設けられており、運転開始時には外部から電気エネルギーをヒーターに供給して単電池を約300℃に温める。通常は夜

Fig. 1 Structure of NAS cell.

Fig. 2 Structure of NAS battery module.

間に充電し昼間に放電するので、通電時に電池内部抵抗により発生するエネルギー損失がモジュール電池内に熱として蓄えられ、ほとんど外部から熱供給しなくても約300を維持することができる。

(2) 動作原理

ナトリウム、硫黄および固体電解質で構成される単電池（セル）は約2ボルトの起電圧を示す。室温付近では正極および固体電解質の抵抗は非常に高く、微小な電流でも電圧が低下して電力を取り出すことができない。しかし、約300に付近に温めると電池内部の抵抗は非常に小さくなり、電圧の低下が小さい状態で電流を取り出すことができる。Fig. 3に反応原理を示す。300の状態では正極と負極の間に負荷を接続すると、2Vの電位差があるため放電電流が流れる。この電流（電子の流れ）は負極のナトリウムから流出する電子によるものであるが、負極内のナトリウムは電子を放出すると同時にナトリウムイオン(Na^+)となり

固体電解質中をイオン状態で通過して正極に移動する。放電を継続すると負極のナトリウムはナトリウムイオンの形で正極に移動し、放電末にはほとんどナトリウムは消費される。放電終了後、負荷の代わりに充電器を接続し正極から外部回路を通して電子を負極に移動（電流を放電方向と逆方向に流す）させ、同時に正極に移動したナトリウムイオンを固体電解質を通して負極に引き戻すことで可逆的に充電することができる。

3.1.3 NAS 電池の特徴と用途

(1) 特徴

高エネルギー密度

理論エネルギー密度が他の蓄電池に比較して高く、軽量・コンパクトで省スペース化が図れる。（鉛蓄電池に比較して約1/3のスペース）

高効率

内部抵抗が小さく充放電時のロスが少なく、充放電に伴う副次反応もない。NAS電池は保温が必要であるが、保温に必要な熱エネルギーは充放電により発生するエネルギーロス分で補うことができる。

メンテナンスフリー

単電池は完全密閉タイプなのでメンテナンスの必要はない。NAS電池をシステムとして運用する場合には、制御装置や交直変換装置など電気設備のメンテナンスは必要である。

長寿命

NAS電池の活物質であるナトリウムと硫黄は運転中には液体状態であり、電解質はセラミックスで固体である。活物質が液体であるため固体活物質のように充放電により劣化することがない。NAS電池の寿命は正極活物質による単電池容器の内面腐食に起因する容量の減少と抵抗増加が

Fig. 3 NAS battery electrochemistry.

主要因である。

(2) 用途

電力平準化

電力貯蔵用 NAS 電池は電力平準化用途を目的に開発、設計されている。したがって、項以降に述べる用途は電力平準化を主用途とし、兼用的に使用することが経済的である。

Fig. 4 には夜間電力を貯蔵し、昼間に貯蔵電力を消費する電力平準化の概念を示した。電力会社の変電所などに設置する場合 (Fig. 5) は発電設備、電力流通設備の負荷平準化に役立つ。夜間電力を昼間に利用できることから、昼間のピークに対応する電源開発が遅延でき、設備利用率 (負荷率) を高めることが可能である。変電所等に設置される場合は負荷平準化に必要な出力容量としてバンク容量の 10 ~ 20% (数 MW ~ 10 MW) 程度、供給時間は約 8 時間程度が想定されている。

現状では、電力会社の供給能力に対して需要が大きく伸びていないために供給設備上の問題は大きく取り上げられていない。一方、電力需要家は電気料金の削減を望んでおり、夜間電力の利用が一方策として取り上げられている。

Fig. 4 Concept of load leveling.

Fig. 5 6MW NaS battery system at TEPCO substation.

夜間電力は昼間に比較して割安であり、夜間に貯蔵した電力を昼間に使用すれば契約電力量 (昼間のピーク電力) の削減にもつながる。今後の動向としては、電力需要家が電力貯蔵設備を導入するケースが増えると予想される。

非常電源兼用

非常電源は非常時にのみ稼動し、常時は待機状態である。電力貯蔵用 NAS 電池の容量の一部を非常用に確保しておけば、非常時に電力を必要とする負荷に電力を供給することができる。設備は常用しているの、非常時に稼動しないというリスクは軽減できる。

常時は系統 (商用配電線など) と連系して夜間電力を昼間に利用するが、非常時には系統と切り離して電力貯蔵設備を自立運転することで特定負荷に電力を供給する。

停電時に系統と切り離すスイッチの遮断動作を短時間にすると、瞬時電圧低下時にも特定負荷に電力を供給し電圧を維持することが可能であり、10 ms 以下の変動に対応した実績もある。

このような非常用電源兼用システムにおいては、負荷によっては電力供給開始時に多大な突入電流が生じる場合があるためシステムの設計には十分な配慮が必要である。

直流負荷 (電源バックアップ) 用

直流負荷用に NAS 電池を使用することはできるが工夫を要する。一般に直流負荷 (制御用電源や通信用電源) の非常時のバックアップとして鉛蓄電池が使用されている。常時は充電状態にしておくためにフロート充電方式がとられている。フロート充電方式は鉛蓄電池の自己放電対策と、無瞬断の電力供給を行うためのものである。NAS 電池は自己放電がないためにフロート充電する必要はない。充電完了した NAS 電池は過充電を防止するためにダイオードを介して直流回路に接続する。商用電源が停止した場合にはダイオードを通して電力を供給し、停電が回復した時点で充電用のバイパススイッチで完全充電状態にもどしておく。NAS 電池を利用すると鉛蓄電池に比較して、長寿命でコンパクトなシステムが構築できる。

その他

電力平準化に加え、電力品質を向上させる機器として無効電力供給などによる電圧安定化、周波数変動抑制などの機能を付加することができる。これらの付加機能は常時作動するものではなく、イベントが発生した短時間のみ必要となる場合が多い。効率的なシステムを構成するには、必要とする容量を必要とする時間だけ供給できる、即ち、短時間でも高出力が供給できるシステムが望ましい。NAS モジュール電池の高出力特性を Fig. 6 に示す。高出力の場合には電池温度の上限を設定しているため放電時間に制約が生じる。また、電力品質向上の出力制御は交直変換装置で行うので制御機能を持たせた特別な変換装置を準備する必要がある。

電力品質を向上させる事例として、NAS 電池を併設して風力発電設備の出力を安定化させる試験が実施された。運転事例を Fig. 7 に示す。風力発電装置から系統へ出力する電力値を設定しておき、設定値に対する風力発電出力の増減と逆の電力を NAS 電池システムにより入出力して系統

Fig. 6 Pulse power vs duration (battery module).

Fig. 7 Stabilization of wind power generation.

への出力を安定化する．自然エネルギー発電の年間稼働率はあまり高くなく，停止している時間が長い．NAS 電池システムは充放電しない場合は保温電力が必要になるため事前に考慮する必要がある．

3.1.4 NAS 電池システムの事例

NAS 電池システムの実証試験は1990年から逐次開始されており，2003年度末までの累積量は約5万kW(50MW)程度に至っている．電力会社での大規模電力貯蔵を狙いに開発を推進した関係で，電力会社での運転が先行していたが，近年は電力需要家での使用実績が急増している．

(1) システム構成

NAS 電池システムの構成は電力貯蔵用電池規程 2 に

従っている．現在導入されているシステムの基本構成を Fig. 8 に示す．

NAS 電池システムは商用電力系統に連系して運転するので，系統連系技術要件ガイドライン[3]に従ってシステムを構成している．一般の電力需要家に設置する場合は，夜間に貯蔵した電力は需要家ですべて消費するものとし，系統への逆潮流は行わないシステムとしている．システムの運転制御は自動で行うが，2種類の方式が選定できる．通常は充電と放電の電力パターンをカレンダーに設定し，スケジュール運転する．一方，電力の需要が増大する夏季などには商用電力の受電状態を監視し，契約電力を超えないように NAS 電池システムから電力を調整供給（負荷追従）する運転も可能である．

Fig. 8 NAS battery system configuration.

Table 1 Specification of 1MW NAS battery system.

Item			Specification
Output Power / System			1,000 kW
Capacity / System			7,200 kWh
Recharging			< 10Hrs (night time)
Power Conversion System	Max Power		1,200 kVA
	Voltage (AC)		6,600 V
	Frequency		60 or 50 Hz
	Efficiency		~ 95% (one way)
Battery System	Number of module battery		20 modules
	Module Battery	Voltage	120 V(DC)
		Efficiency	~ 87%(Discharge/Charge)
		Life	15 years 2,500 cycles (Maintain nominal capacity)

(2) システム仕様

NAS 電池システムの概要を Table 1 に示す。貯蔵した電力は需要家内で消費するため、構内全体に供給できるように 6,600 V で連系する場合が多いが、連系変圧器の電圧を選定することにより低圧連系も可能である。NAS 電池システムの交流端入出力効率は運転のモードにより変動するが、標準的な運転 (Fig. 9) では約 75% 程度である。25% のロス は電池本体および交直変換装置の抵抗分が主たる要因である。連続的に充放電を繰り返す場合は、電池抵抗による発熱を保温エネルギーとして利用することができる。

Table 1 に示した 1 MW 級システムの設置概要を Fig. 10 に示す。電池部分、交直変換装置、変圧器は場所に応じてレイアウトの変更は可能である。

Fig. 9 Nominal operating profiles.

Fig. 10 Plane & elevation view of 1MW NAS battery system.

3.15 まとめ

NAS 電池システムに夜間電力を貯蔵し、昼間に利用することで比較的安価な電力の利用と契約量の削減が期待できる。経済的な効果金額は電力の需要パターンや電力会社との契約条件によって個性が大きい。

2004年度には 1,000 kW 級の標準システムで 20 万円/kW 程度の価格が見込まれるが、将来は 20 万円/kW 以下の価格を目指している。

NAS 電池は消防法で危険物扱いになっているため、設置する場合には許可が必要である。但し、危険物保安技術協会で安全性能に関する試験確認を受けた製品は設置の技術要件に関する特例 (規制緩和) 措置が 1999 年から認められている。また、普及に向けて阻害要因となっていた建築基準法の用途地域規制に関しても 2003 年末に規制が緩和された。

2003 年の策定された国のエネルギー基本計画の中では、電力貯蔵などによる負荷平準化は重要な施策として位置づけられており今後の普及が期待される。

参考文献

- [1] 電気協同研究 第 58 巻第 2 号。
- [2] 電力貯蔵用電池規格 JEAC5006-2000。
- [3] 電力系統連系技術要件ガイドライン。