

一橋大学 21 世紀 COE プログラム
「知識・企業・イノベーションのダイナミクス」
大河内賞ケース研究プロジェクト

東京電力・日本ガイシ
電力貯蔵用ナトリウム―硫黄電池の開発と事業化

福島英史

2008 年 3 月

CASE#08-02

本ケースは、一橋大学 21 世紀 COE プログラム「知識・企業・イノベーションのダイナミクス」から経費の支給を受けて進められている、「大河内賞ケース研究プロジェクト」の研究成果のひとつである。このプロジェクトは、大河内賞を受賞した業績について事例分析を行うもので、(財)大河内記念会と受賞企業のご協力をえながら、技術革新の概要やその開発過程、事業化の経緯や成果などを分析している。事例研究を積み重ねて、日本の主要なイノベーションのケース・データを蓄積するとともに、ケース横断的な比較分析を行い、日本企業のイノベーション活動の特徴や課題を探り出すことを目指している(詳細は <http://www.iir.hit-u.ac.jp/research/21COE.html> を参照のこと)。本プロジェクトを進めるに際して、(財)大河内記念会より多大なご支援・ご協力をいただいております、心よりお礼を申し上げます。

※本ケースの著作権は、筆者もしくは一橋大学イノベーション研究センターに帰属しています。本ケースに含まれる情報を、個人利用の範囲を超えて転載、もしくはコピーを行う場合には、一橋大学イノベーション研究センターによる事前の承諾が必要となりますので、以下までご連絡ください。

【連絡先】 一橋大学イノベーション研究センター研究支援室

TEL:042-580-8423 e-mail:chosa@iir.hit-u.ac.jp

1. はじめに

本稿では、東京電力と日本ガイシによる「電力貯蔵用ナトリウム—硫黄電池」（以下 NAS 電池と記す）²の技術および事業開発についてみる。NAS 電池は、2007 年の現在において、事実上唯一商用に量産・販売されている電力貯蔵用の電池である³。1967 年に米フォード自動車（Ford Motor）社が NAS 電池の基本原則を発表して以来、日米欧の様々な企業が開発に取り組んだもののそのプロジェクトのほとんどが頓挫している。これら企業のうち、東京電力と日本ガイシは共同で開発を進め、世界で初めて NAS 電池を事業化した。両社の NAS 電池事業は 2002 年に販売を、翌 03 年に量産を開始している。

東京電力と日本ガイシによる NAS 電池の事業化は、次のような特徴を持ったプロジェクトであった。まず、最後発の開発主体であったにもかかわらず、世界で初めて NAS 電池の事業化にいたっている。量産規模での電力貯蔵用電池の事業化は他にほとんど例を見ない。第 2 に、開発の開始から事業化に至るまで約 20 年の期間を要した長期のプロジェクトであった。第 3 に、この間、電力貯蔵用電池開発を目的の 1 つとする国家プロジェクトが行われていたものの、両社はこれに参加をしていない。旧通産省工業技術院が 1980 年代にす

¹ 本稿は、一橋大学 21 世紀 COE プログラム「知識・企業・イノベーションのダイナミクス・大河内賞ケース研究プロジェクト」を構成する一ケースとして作成されている。作成にあたって、東京電力株式会社ならびに日本ガイシ株式会社の関係者の方々には講演・インタビュー・工場見学を通して多大なご支援をいただいた。心からの感謝を申し上げたい。（財）大河内記念会のご協力にも感謝を申し上げたい。ただし本稿の文責が筆者にあることは言うまでもない。

² 「NAS」電池は、東京電力と日本ガイシの登録商標である。一般に、ナトリウム—硫黄電池は、正極にナトリウム（natrium あるいは sodium）、負極に硫黄（sulfur）を用いることから、これら素材の頭文字をとって「NaS」（Natrium-Sulfur）電池と呼ばれる。混乱を避けるため、本稿では「NAS 電池」に表記を統一している。

³ 後にみるように、NAS 電池の主な用途市場において、顕在的あるいは潜在的な競合技術・製品が存在する。この中には、超伝導磁気エネルギー電力貯蔵装置のようにシステムの実証試験を目的としてユーザーに販売・設置されているものがあり、2007 年度以降に営業・量産体制の確立を目指している場合がある（日経産業新聞、2005 年 8 月 11 日）。また量産・販売が行われているわけではないものの、後述のムーンライト計画において建造されたパイロットプラントや、米独において建造された鉛蓄電池電力貯蔵システムなど、電池電力貯蔵システムの類がないわけではない（野村他、1993）。なお、2001 年の日経産業新聞によれば、英国の電力会社イノジー社（Innogy; 2007 年現在は独 RWE 傘下の npower 社）が、2002 年から「リジェネシス（Regenesis）」と呼ばれる独自の二次電池を採用した電力貯蔵施設を商用設備として稼働させ、同設備を外販する予定であったという（日経産業新聞、2001 年 8 月 29 日）。同計画の実施状況については確認できていない。

電力設備システムの「実証試験」（System Field-Evaluation）とは、試作製品システムを供給者あるいは特定ユーザーが実際の利用環境下で試用することによって、同システムの成果を評価し、得られた情報を後継の製品開発活動に役立てようとするものである。「パイロットプラント」は、実証試験のための装置群を示している。

めた「ムーンライト計画」下の電力貯蔵用電池開発には、様々な主体が参加し、一定の成果を上げたものの、未だ事業化までいたったものはない。第4に、一企業による内部開発ではなく、プロジェクト半ばまでは3社の、後半からは東京電力と日本ガイシ2社の共同開発であった。2社の関係は、碍子等の電力関連部材と同様に、基本的にはNAS電池の売り手と買い手である。他の電力部材製品取引およびNAS電池の将来の売り手―買い手関係を基本とし、異なる企業目的を持ちながら、共同開発体制を維持し、事業化が行われている。20年の歳月の間には、プロジェクトの進捗と両社に固有の事情、経済・社会情勢から生じるさまざまな事情の変化があった。東京電力と日本ガイシのプロジェクトは、同時期に電力貯蔵用電池の実用化を目指した企業群とは違って、国家による支援と調整が行われたわけでもない。東京電力と日本ガイシによるNAS電池の事業化はなぜ、どのように行われたのだろうか。以下、両社による技術開発と事業化の背景と歴史をおう。

2. 開発の背景

2-1. 電力負荷平準化と揚水発電の代替

NAS電池は、揚水発電所に代わって電力負荷を平準化する手段として注目され、開発が行われるようになった。その背景には、電力の最大需要量が増加する一方で、発電設備の利用率が低下していたことと、揚水発電が立地や費用、電力損失、建設期間などの点で制約を抱えていたという事情があった。

様々な企業によるNAS電池開発の端緒は、1967年にフォード社が基本原理を発見し、発表したことであった⁴。フォード社の発表は、それまで耐火材料と考えられていたセラミックス「βアルミナ」を電解質として、ナトリウムと硫黄を使う新型電池の基本原理に関わるものであった。後にNAS電池と呼ばれるようになるこの新型電池は、従来の鉛蓄電池に比べて4~5倍のエネルギー密度を達成できることを特徴としていた。フォード社の発見をうけて1970年代には、日米欧を中心にNAS電池の開発が活発に行われるようになった。NAS電池が注目された大きな理由の1つは、当時、電力会社が発電する大容量の電力を貯蔵する手段が、事実上「揚水発電」に限られていたことであった。

一般に、電力会社は電力の（たとえば1年間あるいは1日の）平均的な需要量ではなく、ピーク時の最大需要量をまかなう電力供給能力を備えることが求められる。たとえ、需要がピークに達する時間が短く、ピーク時の最大需要量が平均的な需要量から大きく乖離したとしても、最大需要量の供給能力を求められる。一定時間とはいえ、需要をまかなえなければ停電が発生し、個人・組織を問わず甚大な損失が発生する可能性があるからである。電力の安定的な供給は社会的・公共的な観点から要請され、供給の「品切れ」をおこさないことは電力会社の重要なミッションの1つだと考えられている。このため電力会社は、最大需要量に、不確実な需要変動に対応する予備発電量8~10%を加えた発電能力の設備を

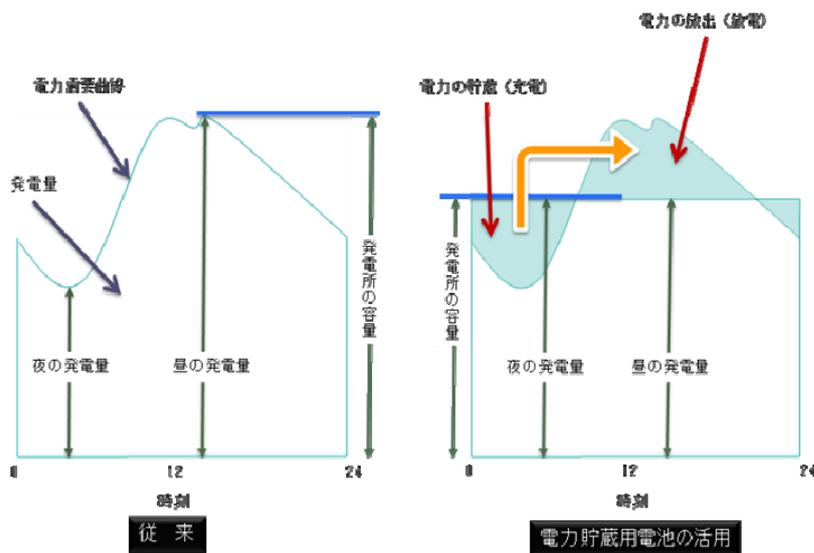
⁴ Yao and Kummer (1967)およびWeber and Kummer (1967), Kummer and Weber (1968).

もつことになる。その結果、年負荷率⁵で示されるような発電設備の平均稼働率は、最大需要量（および予備）と平均需要量の乖離が進むほど、低下する。

このような乖離が生じるのは、必ずしも特殊な状況ではない。典型的には、昼夜の時間帯で電力の需要量は大きく変動することが知られている。多くの人々が活動する昼間は、彼らが睡眠中の夜間に比べて電気機器の使用が多く、全体としてより大きな電力が必要になる。さらに、人々の活動量に基づく電力需要量は、人々が電気機器の使用を増やすほど、増えることになる。電機機器の使用が増えれば、平均電力も増える一方、最大電力と平均電力の乖離が進む。産業発展にともなって、事業所が情報機器の利用をすすめる、工場が産業用ロボットを導入し、家庭がエアコンに代表される家電製品を利用するようになると、増加した最大電力をまかなうための発電設備が建設されるとともに、最大電力と平均電力の乖離が進むことになる⁶。発電設備の平均稼働率が下がってくれば、電力供給の費用が上昇する。最大電力需要をまかなうために、電力会社は設備投資を増すことになり、消費者は割高な電力を購入することになる。

こうした事態に対処するには、（送電側あるいは受電側で）電力の「在庫」を持つ、つまり電力を貯蔵することが有効である。図 1 に示されるように、電力需要が小さい時間帯に発電した電力を貯蔵し、需要が大きい時間帯に貯蔵した電力を放出することができれば、電力会社が備えるべき最大電力は平均需要量に向かって平準化されることになる。このような考え方を、電力の「負荷平準化」（Load Leveling）という。

図 1. 電力の負荷平準化の概念図



出所) 磯崎他 (1998) を参考に作成。

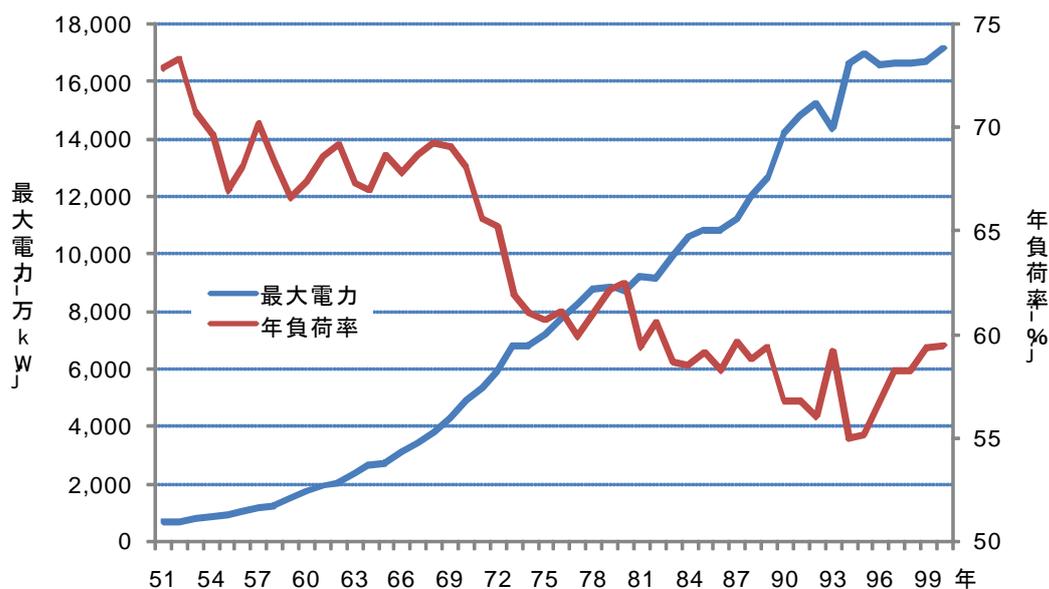
⁵ 年負荷率は、1年間の1日あたり平均電力を、同年の最大電力で除した比率 (%) である。最大電力値には、同年に最大電力を要した3日間の平均電力を用いることが一般的である。

⁶ エアコンが多く稼働する夏期には需要が急増するなど、電力の需要変動には時間帯による変動のみならず、季節変動もある。

負荷平準化ニーズをみだす電力貯蔵手段として伝統的に用いられてきたのが、揚水発電である。揚水発電は水力発電の一種で、高度が違う 2 つのダムを建造して利用する。夜間の余剰電力で水を上部ダムにくみ上げておき、電力需要が大きい昼間に下部ダムにこれを放流、水圧でタービンを回して発電する、というサイクルを繰り返す。つまり電力を「水の位置エネルギー」として貯蔵していることになる。

日本では揚水発電の整備を通じて電力の負荷平準化が行われてきたものの、図 2 に示されるように、最大電力は年々増加し、電力の年負荷率は長期低下傾向にあった。図に示される沖縄電力をのぞいた一般電気事業者 9 電力会社の合計・平均値でみると、最大電力は 1951 年に 667 万キロワット（以下 kW と記す）⁷であったのが、30 年後の 81 年には 9,245 万 kW へと大きく伸びている。この間の年平均成長率は 9.16%にもなる。対して同期間の年負荷率は、72.9%から 59.4%に低下している。

図 2. 最大電力と年負荷率の推移



出所) 日本経営史研究所 (2004) を参考に作成。

最大電力の増加および年負荷率の低下傾向に加えて、揚水発電が次のような問題点を持つと考えられていたことから、電力貯蔵の代替的な手段が模索されるようになる⁸。第 1 に、技術的な理由から揚水発電所の立地が山奥や海岸沿いなどに限られており、国内の立地に

⁷ 電力の単位を示す。1 キロワットは、1000 ワットに等しい。

⁸ 原子力発電の負荷追従が難しい、つまり発電量を調整する柔軟性が低いことを、電力貯蔵ニーズが生じる理由に加える見解もある (日経産業新聞, 1981 年 10 月 29 日)。

適した場所が少なくなっていくと考えられていた⁹。第 2 に、揚水発電所の建設や送電システムの構築などに多額の費用がかかる。発電所の建設費用自体が大きいという、山奥に発電所をつくと、電力の需要地まで長大な送電システムを構築することが必要になる。当時、揚水発電で電力を貯めるには、1kW あたり 30 万円の建設費用がかかると見積もられていた。第 3 に、相応の電力損失が生じる。送電の距離が増えればそれだけ送電に伴う電力損失があり、また電力を水の位置エネルギーという他の形態に変換し、さらにこれを電力に再変換するという過程でも損失が生じる。電源としての充放電効率で考えれば、65～70%と見積もられていた¹⁰。第 4 に、揚水発電所の建設によって広範囲の山間地が水没させられるならば、自然保護の観点からかならずしも望ましいと言えない。最後に、揚水発電所の建設には、着工から完成までおよそ 10 年間かかるため、負荷平準化の計画と実際の間はずれが生じるおそれがある。

後にみるように、以上のような事情は、東京電力と日本ガイシによって NAS 電池が事業化されるまでの 20 年間に変化し、その変化が同電池の事業化プロジェクトに影響を与えることになる。しかし、両社を含む多数の企業が NAS 電池の開発に向かった背景には、負荷平準化を目的とした、揚水に代わる代替的な電力貯蔵手段の探索という社会的ニーズがあった。ただし、揚水を代替する電力貯蔵技術は NAS 電池に限られたものではない。この点を確認した上で、なぜ東京電力と日本ガイシは NAS 電池の事業化に向かったのか、その選択理由となった NAS 電池の特徴をみておこう。

2-2. 電力貯蔵の代替技術

揚水代替の手段として NAS 電池を含む新型電池の開発が目指されたのは、他の電力貯蔵手段に比べて、電力の損失が低いことに加え、小型であるため需要地の近くに設置することが可能だったからであった。1980 年代に開発が目指された新型電池は、古くからある鉛蓄電池に比べて、単位あたり電力貯蔵能力の理論値が高く、経済性と耐久性の観点から、揚水代替を達成できると期待されていた。

揚水発電に代わる電力貯蔵技術は、大きく分ければ、古くからある鉛蓄電池や NAS 電池のように化学エネルギーに変換して電気をためる蓄電池と、揚水発電同様に他のエネルギーに変換してためるものがある¹¹。後者の、他のエネルギーに変換して電気を貯める技術には代表的なものとして、フライホイール、圧縮空気貯蔵 (CAES : Compressed Air Energy Storage)、超伝導磁気エネルギー貯蔵 (SMES : Superconducting Magnetic Energy Storage) などがある¹²。

⁹ このような立地の制約を克服する試みとして、下部ダムに海を利用する海水揚水発電の研究開発も行われている (田中, 1995)。

¹⁰ 日経産業新聞 (1987 年 4 月 3 日)。

¹¹ より「広義」の電池には、燃料と酸化剤を供給し続けることで発電を行う燃料電池や、太陽光エネルギーを供給し続けることで発電を行う太陽電池なども含まれる。

¹² 超伝導 (superconductivity) は、「超電導」ともいう (岩波書店『広辞苑第五版』, 1998)。

フライホイールは弾み車という名前でも知られ、古くから原理が知られるエネルギー保存技術である。余剰電力で円盤を回転させ、再び電力が必要なときはこの回転力で発電をする。電気エネルギーを回転という運動エネルギーに変換して貯蔵する。無停電電源装置や電車の補助電力など小電力の短期貯蔵向けに実用化されたものもあり、近年はより長期・大電力の貯蔵を目的に超伝導技術を応用した研究開発努力が行われている¹³。CAESは、余剰電力で圧縮空気をつくり、これを岩盤内に貯蔵、電力の必要時にとりだして天然ガスを燃焼させ、ガスタービンで発電を行う。圧縮空気の貯蔵に適した硬度を持つ岩塩層を利用してドイツでは1970年代末に、米国でも1991年に実用化されたものがある。岩塩層がない日本では様々な工夫が必要になるものの、廃坑を利用した研究開発活動が行われている¹⁴。SMESは、温度をある程度まで下げると電気抵抗がなくなる超伝導コイルに、電力を磁気エネルギーとして貯蔵する技術である。理論上電力が減衰しない「夢の技術」であり、大規模で高品質の電力貯蔵を見込むことができる。このため、装置の巨大さと経済的・技術的な難度にもかかわらず、高温超伝導現象が発見された1980年代から電力会社、電機・電線メーカーなどによって活発な研究開発活動が展開されてきた¹⁵。近年では事業化を見据えた実証試験が液晶パネル製造工場などで行われている¹⁶。

以上の電力貯蔵技術は、すべて電力をいったん化学エネルギー以外のエネルギーに変換して貯蔵する技術になっている。これらはそれぞれ見込まれる実用化の時期やそれまでの開発課題は違っていたものの、エネルギーの入力および出力の際、変換に伴う損失が生じる点は共通していた。東京電力と日本ガイシのプロジェクトでは、電力貯蔵装置の充放電効率が重視されたため、大きな変換損失を生じる装置を開発対象の選択肢から外すことになる¹⁷。また、CAESやSMESのような技術は1つの装置で大電力をまかなえる可能性が高いものの、基本的に装置が大型化してしまうため、電力の需要地近くにおくことが困難で、揚水発電同様、送電による損失が生じる可能性が高い。東京電力・日本ガイシのプロジェクトでも、ムーンライト計画のプロジェクトでも、揚水代替という開発目標の下で、変電所など需要地近傍に設置できるほど電池が小型であることが重視されていた¹⁸。

他方、東京電力と日本ガイシのプロジェクトがスタートした1980年代初頭に、多くの企

¹³ 日経産業新聞（1983年7月26日）および日本経済新聞（2005年6月15日）。

¹⁴ 日経産業新聞（1991年8月29日；1992年3月5日；1995年12月28日）。

¹⁵ 1986年には49社からなる「超伝導エネルギー貯蔵研究会」が結成されている（日経産業新聞、1995年12月27日）。

¹⁶ 日本経済新聞（2005年8月9日）および日経産業新聞（2007年7月27日）。

¹⁷ ただし、この点は変換に伴う損失を実用に耐える水準まで削減するような技術開発課題を示唆するものの、技術の絶対的な優劣およびこれにもとづく選択を決めるものではなかった。エネルギー形態の変換をとまなう貯蔵技術、たとえばSMESとこれからみる蓄電池の両方について開発活動を行う企業は電力会社をはじめとして何社か存在している。

¹⁸ ムーンライト計画の「新型電池電力貯蔵システム」プロジェクトは「将来の都市型電源」を開発するもので、「揚水式水力発電と同じ機能を備えながら、都市部など需要地に分散して配置することができる点が大きな特徴」であった（日経産業新聞、1982年1月19日；1983年2月16日）。

業あるいは国の計画において開発候補に挙げられた電力貯蔵用の蓄電池には、表 1 に示されるようなものがあつた。NAS 電池のほか、亜鉛塩素電池、亜鉛臭素電池、およびレドックスフロー電池など、鉛蓄電池の代替物として開発が目指された新型電池である。NAS 電池の代替技術となる 4 つの蓄電池について、その特徴を簡単にみておく。

表 1. 電力貯蔵用への応用が考えられた電池の主な特徴

項目/電池	ナトリウム-硫黄	亜鉛-塩素	亜鉛-臭素	レドックスフロー	鉛蓄電池
理論エネルギー密度 (Wh/kg)	780	828	428	103	167
開路電圧 (V)	2.1	2.1	1.8	1.0	2.1
反応物質	Na(液)/S(液)	Zn(固)/Cl ₂ (気)	Zn(固)/Br ₂ (液)	Cr ²⁺ (液)/Fe ³⁺ (液)	Pb(固)/PbO ₂ (固)
反応物質利用率	85%	100%	100%	80~90%	30%
電解質	固体電解質 (βアルミナ)	ZnCl ₂ 水溶液	ZnBr ₂ 水溶液 (KCl添加)	HCl水溶液	H ₂ SO ₄ 水溶液
運転温度	300~350°C	20~50°C	20~50°C	60~80°C	5~50°C
循環系	不要	必要	必要	必要	不要

出所) 小沢 (1983), p.14 から一部修正して引用.

原理的に電力貯蔵が可能な既存技術として古くから知られているのは、19 世紀から現在まで長く使われてきた鉛蓄電池である。鉛蓄電池は、極板に二酸化鉛と海綿状鉛、電解液に希硫酸を用いる。電解液中の硫酸が極板に移動すると放電し、極板から電解液中に硫酸が移動すると充電する。鉛蓄電池は材料が鉛のため安価に製造でき、発火しにくいなど安全性も高いため広く使われてきた。しかし、体積当たりの蓄電能力が低いため、発電所で発電したような大電力の貯蔵をするのに使うとすれば広い設置場所が必要になるうえ、相対的に多数の単電池をつないで容量を確保することになるのでコスト面で揚水発電に劣るとされていた¹⁹。また、鉛蓄電池を電力貯蔵に用いた場合、およそ 2.7 年と寿命が短く、耐

¹⁹ 日経産業新聞 (1989 年 7 月 18 日 ; 1991 年 7 月 17 日 ; 1992 年 1 月 16 日)。鉛蓄電池およびその改良型の電力 1kW あたりコストについては、筆者が参照した記事 (とその時期) に応じて 50 万円~150 万円と様々であるものの、揚水発電の同コスト 20~30 万円を上回っている (日本経済新聞, 1983 年 2 月 28 日 ; 日経産業新聞, 1985 年 9 月 27 日 ; 1988 年 6 月 18 日)。なお同電池の充放電効率についても 67~87%と、記事によって様々である (日経産業新聞, 1983 年 7 月 25 日 ; 1988 年 6 月 18 日 ; 1989 年 11 月 8 日)。

久性に難があることも指摘されている²⁰。

当時、開発候補に挙げられた新型電池は、揚水発電の代替とともに、既存の鉛蓄電池では到達し難い特性を求められていた。すなわち、経済性、安全性の確保に加えて、体積当たりの電力貯蔵能力が高く、耐久性が高いことである。

亜鉛塩素電池は、文字通り極板に亜鉛と塩素、電解質に塩化亜鉛の水溶液を用いる²¹。充電時には電気分解によって塩素を発生し、放電時に塩素が吸収されることで電池として機能する。同電池の重量あたり理論エネルギー密度は、1キログラムあたり828Wh²²である。このエネルギー密度は、ここでみている4つの新型蓄電池のうち、最も高い²³。高エネルギー密度に加え、充放電時の電圧変化が少ないため電力品質が高いこと、および高出力・高負荷に耐えられること、材料コストが低いことが長所であったという。ただし、充電時に発生する塩素は安全対策が必要であり、またその貯蔵を水和物とよばれる液体で行っていたため、エネルギー効率が大幅に低下するとともに、外部に貯蔵タンクが必要な構造であった²⁴。これからみる亜鉛臭素電池およびレドックスフロー電池と同様、電解液を循環させることで充放電を行う電池である。

亜鉛臭素電池は、極板に亜鉛と臭素を使い、電解液に臭化亜鉛の水溶液を用いる。電解液はポンプで、電池槽と、臭素イオンを選択的に通過させる微細多孔質膜で隔離された2つのタンクの間を循環する。臭化亜鉛水溶液を化学反応させることで生じる電気の充放電性を利用した電池である。同電池の重量あたり理論エネルギー密度は、4つの新型蓄電池のうち3番目となる、1キログラムあたり428Whであった。亜鉛臭素電池の長所は、常温で動作するため温度調節装置が不要で安全性が高いことと、容器や電極板の材料に安価なプラスチックが使えることであったという。ただし、臭素の安全対策が必要であり、電解液を循環させるポンプ等の装置も必要な構造であった。

レドックスフロー電池は、イオン交換膜で仕切られた2種類のレドックス水溶液（クロム・イオン、鉄・イオン）を電解液とし、この間で電子のやりとりをすることによって充放電を行う電池である²⁵。炭素繊維の電極間で電気化学反応が起る電解槽と、電解槽にレド

²⁰ 日経産業新聞（1999年3月11日）。

²¹ 電池の技術的な説明については、資源エネルギー庁（1995）および、日本経済新聞（1983年2月28日および1989年12月5日）、日経産業新聞（1983年5月10日；1983年7月12日；1983年7月25日；1984年4月23日；1986年4月18日；1990年11月30日；2000年1月13日；2003年11月2日）、アルバック・コーポレートセンター（2005）を参照。

²² 電力量の単位「ワット時」を示す。828Whであれば、828ワットの電力を1時間、あるいは1ワットの電力を828時間、出力できる。

²³ 4電池の体積あたり理論エネルギー密度については、論者によってその数字が異なる。ここでは、新聞発表等で用いられた重量あたり理論エネルギー密度について、通産省工業技術院電子技術総合研究所（当時）の小沢（1983）にもとづいて記述している。

²⁴ 日経産業新聞（1983年5月10日；1986年1月14日；1986年7月22日）。エネルギー効率については、従来の「水和物法」に代わる「溶剤法」が開発されることで後に70%以上まで向上が図られている。

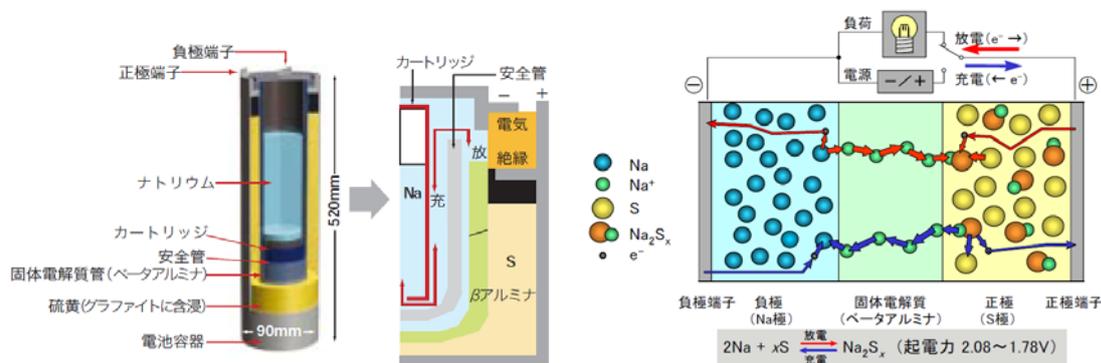
²⁵ 後に、バナジウムイオンを溶解させた硫酸水溶液を電解液にすることで、電池の小型化と高出力化が行われている（日経産業新聞、1996年12月5日；2000年1月13日）。

ックス水溶液を供給するタンクを分けた構造になっており、ポンプで同水溶液を循環させて充放電を行う。電解槽を大きくすれば電気の出力を大きくすることができ、タンクの容量（電解液の量）を増やせば長時間電気を流すことができる。大容量化と長時間使用が達成可能なこと、および常温で使えるため安全管理が容易なこと、電池内部の化学変化が少ないため寿命が長いこと等が長所であったという。ただし、同電池の重量あたり理論エネルギー密度は、1 キログラムあたり 103Wh と 4つの新型蓄電池で最小であり、また大容量化には大量の電解液を循環させる必要があるため、電池が化学プラントのように大型化する傾向にあった。

2-3. 開発対象としての NAS 電池

東京電力と日本ガイシが、新型電池の中から NAS 電池を開発対象として選択する決め手となったのは、同電池が高い理論エネルギー密度をもつことと、ポンプ等の可動部分がないことであった。ただし、NAS 電池の実用化は技術的難度が高く、他の新型電池よりも実用化の可能性が高いと判断できるものではなかった。

図 3. NAS 単電池の構造と動作原理



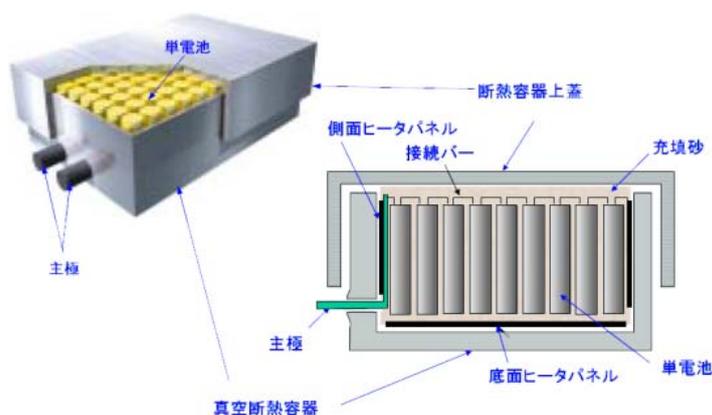
出所) 東京電力・日本ガイシ (2006), p.7 およびアルバック (2005), p.12 から引用。

NAS 電池の基本になるのは、図 3 にみられるような単電池である²⁶。負極にナトリウム、正極に硫黄、電解質には「β アルミナ」と呼ばれるイオン伝導性セラミックスを用いる。β アルミナの円筒内部にナトリウムを、外部に硫黄を入れて、全体を金属筒に収納した構造になっている。単電池を摂氏 300 度前後に加熱すると、β アルミナがナトリウム・イオンを通すようになる。放電時には、負極のナトリウムがイオン化して β アルミナを通過、正極の硫黄と反応して多硫化ナトリウムになる。充電時には、正極の多硫化ナトリウムが分解してナトリウム・イオンが負極に戻る。単電池の起電力は電力貯蔵用としては低く、容量も小さいため、運用にあたっては図 4 にみられるようなモジュール電池として複数の単電池を集合化させる。動作温度が約 300 度であるため、モジュール電池は昇温に使う電気ヒ

²⁶ ここでの NAS 電池の技術的な説明は、東京電力・日本ガイシ (2004 ; 2006) に基づく。

ーターを設けた断熱容器に収納される。容器が断熱性と密閉性を持つため保温効果が高く、ヒーターは主に運転開始時に使われる。

図 4. NAS モジュール電池の構造



出所) 日本ガイシ (2006), p.9 から引用.

NAS 電池の第 1 の長所は、鉛蓄電池の 4~5 倍に当たる理論エネルギー密度の高さにあった。単位面積あたり理論エネルギー密度が大きければ、比較的小さなスペースに設置ができる²⁷。次に、他の新型蓄電池のように電解液を循環させるポンプや弁など可動部品が不要なため、電池の保守が容易であることも大きな長所であった。また、他の新型電池が電解質として液体を採用していたのに対して、固体の β アルミナを採用していたため自己放電が起こらず、高い充放電効率が達成できそうであった。加えて、電池の構造が乾電池などと同じ完全密閉になっており、他の新型電池のようなガスの発生がない。さらに、材料となるナトリウムや硫黄は資源として豊富であり、他に高価な部材が必要ないため、量産に耐え安価な供給を見込むことができる。

ただし、NAS 電池にも他の蓄電池同様、いくつか短所と考えられる特徴があった。第 1 に、 β アルミナのイオン伝導性を高め、多硫化ナトリウムを分解するために、摂氏 300 度での運転が必要なので、補機としてヒーターが必要になる。第 2 に、活物質となるナトリウムと硫黄は化学的活性度が高い。第 3 に、固体電解質である β アルミナは、セラミックスの一種であるため、割れやすい。 β アルミナには、約 300 度という高い運転温度の下で熱的・機械的なさまざまな応力が加わるため破損が起こりやすく、破損すればナトリウムと硫黄が直接反応するため危険である²⁸。このため、入念な安全対策が必要であった。実際、後に見るように、多くの開発主体が β アルミナの破損による火災事故の頻発を経験し、NAS 電池の実用化を断念していくことになる。

²⁷ 単位体積あたりの比較では、鉛蓄電池の 4 倍の理論エネルギー密度であったという (日経産業新聞, 1986 年 2 月 10 日)。

²⁸ 日経産業新聞 (1989 年 12 月 16 日)。

NAS 電池の実用化にあたって克服すべき課題の技術的難度は高かった。このため、開発プロジェクトが始まった 1980 年代初頭の時点では、他の新型電池にたいして、絶対的な優位性が確認されたわけではなかった。当時、技術上の絶対的な優劣をつけることが困難であったことは、国のムーンライト計画において 4 つの新型電池開発が並行にすすめられた事実からもみてとれるであろう。

2-4. NAS 電池の開発主体

NAS 電池をふくむ新型電池の開発は、各国政府の支援下で、日米欧を中心に 1970 年代から活発化していった。新型電池の開発において想定されていた主用途は、電力負荷平準化（揚水発電の代替）と、電気自動車（ガソリンエンジンの代替）であった。

米国では、エネルギー省（DOE: Department of Energy）などが実施する国家プロジェクトの下で、フォード社や、GE 社（General Electric）、ダウ・ケミカル社（DOW Chemical）等が電力負荷平準化と電気自動車向けの NAS 電池開発に挑んでいる²⁹。しかし、これら米企業の開発活動は、1980 年代に中止されていくことになる。NAS 電池の先駆者であったフォード社は当時としては最高水準の開発成果を達成していたものの、他の 2 社とともに、政府支援の縮小などを理由に 1980 年代後半には同電池の開発から撤退した³⁰。

欧州では、電力負荷率が相対的に高かったため、主に電気自動車用に NAS 電池の開発が進められた³¹。欧州でもっとも精力的に NAS 電池開発を進めたのが英 CSPL 社（Chloride Silent Power Limited）³²および独 BBC 社（Brown Boveri & Cie）³³であった。両社は英独米政府支援の下に 1990 年代後半まで開発活動を継続し、相応の成果を達成している³⁴。し

²⁹ DOE は、1970 年代から国家プロジェクト「電気化学エネルギー研究プロジェクト」(Research Project for Electrochemistry Energy Storage) の下で、電力負荷平準化と電気自動車用に新型電池の開発をすすめており、80 年代には米電力研究所（EPRI: Electric Power Research Institute）と共同で同電池の実証試験をすすめていた（中原，1983；日経産業新聞，1983 年 5 月 10 日）。

³⁰ 二又・高橋（1986）。ただし、フォード社と GE 社の開発成果は英 CSPL 社に継承されていたと思われる。フォード社は同社にβアルミナ管を供給するセラマテック社（Ceramatec）と共同で電力負荷平準化用 NAS 電池の開発を行うベータ・パワー社（Beta Power）を設立していたものの、ベータ・パワー社は後に CSPL 社に買収されている。また、GE 社は 1980 年、CSPL 社との共同開発体制に移行している。

³¹ 岩淵・木村（1980）、中原（1983）。

³² 1992 年から独 RWE 傘下に入り、SPL 社（Silent Power Limited）になる。

³³ 1988 年にスウェーデンの重電企業アセア社（Asea）と合併し、ABB 社（Asea Brown Boveri）になる。以後、時期に応じて BBC 社および ABB 社という呼称を互換的に用いる。

³⁴ CSPL 社は、英政府機関の電力協議会研究所（ECRC: Electricity Council Research Center）から補助金を受けて電気自動車用 NAS 電池の開発をすすめ、1985 年からは米 DOE が実施する「バッテリー技術の開発試験調査」(ETD: Exploratory Battery Technology Development and Testing) プロジェクトおよび「ナトリウム硫黄電池技術による定置型エネルギー貯蔵プログラム」(Sodium Sulfur Battery Engineering for Stationary Energy Storage Program) において電力貯蔵用 NAS 電池の開発を受託している（Koenig and Rasmussen, 1996; Braithwaite and Koenig, 1993）。また、BBC 社は西独連邦政府の支援を受けて NAS 電池の開発をすすめ、

かし、CSPL社は英国電力自由化に伴う政府補助金削減と独RWEへの売却を、BBC社はABB社になった後の事業合理化を背景として、NAS電池開発から撤退していった³⁵。ただし、BBC社の開発成果は合弁企業ナステク（Nastech Corporation）を通じて日本ガイシに移転され、東京電力と日本ガイシのプロジェクト進展に大きな影響を与えることになる。

日本でも、1970年代から2つの国家プロジェクトを通じてNAS電池を含む新型電池の開発がすすめられた。1970年代前半に電気自動車およびその電源の開発をすすめた「電気自動車の研究開発大型プロジェクト」と³⁶、1970年代末から電力貯蔵用電池をはじめ省エネルギー技術開発をすすめた「ムーンライト計画」である。国が複数の企業に開発を委託することですすめられた2つのプロジェクトは、それぞれ電気自動車の走行試験と1000kW級パイロットプラントの実証試験という成果をあげたものの、参加企業がこれを事業化することはなかった。

1971年度から76年度にかけて行われた電気自動車の大型プロジェクトでは、NAS電池を含む4種の新型電池と3種の改良型鉛蓄電池が開発され³⁷、NAS電池の開発は湯浅電池が担当した³⁸。同プロジェクトで開発された電気自動車用および電池は、技術的難度に加え、保守の問題と、石油価格の安定が実用化の障害になっていた³⁹。

ムーンライト計画下で1980年度から91年度まで行われた「新型電池電力貯蔵システム」開発プロジェクトでは、都市近傍の変電所に設置する新型電池によって揚水発電の代替をすすめることが意図され、開発対象にNAS電池、レドックスフロー電池、亜鉛塩素電池、亜鉛臭素電池の4つが選ばれた⁴⁰。到達目標は、揚水発電と同等以上のエネルギー効率と経済性、および耐用年数10年間を満たす「実用水準」であった。NAS電池の開発は、湯浅電池が担当し、日本特殊陶業がβアルミナ管を、関西電力が実証試験場を提供することで

1992年には量産の開始と事業計画を発表している（日本経済新聞、1991年6月20日；1992年6月13日）。ただし、この計画は実現していない。

³⁵ Hamer (1996).

³⁶ 同プロジェクトに参加した湯浅電池はこれに先んじて1968年から基礎研究を始めているほか、豊田中央研究所や日本電池においても同プロジェクトとは別に基礎研究が行われている（Chiku et al., 1975；岩淵・木村, 1980）。また、日本特殊陶業では1970年代にβアルミナの大型成型を試みている（日経産業新聞、1978年10月3日）。

³⁷ 3種の改良型鉛蓄電池についてはおのおの、多層正極型、多孔シート電極型、循環式薄型多層構造鉛電池であった。開発対象となった新型電池は、鉛蓄電池よりも理論エネルギー密度が高く、安価な材料で製作可能な電池であった。開発対象の新型電池は、NAS電池のほか、電解液固定式および電解液循環式の亜鉛-空気電池、鉄-空気電池、鉄-ニッケル電池であった（工業技術院、1974；石川、1998）。

³⁸ 湯浅電池は1992年にユアサコーポレーションに社名を変更、2004年には日本電池と合併し、2007年現在はジーエス・ユアサになっている。混乱を避けるため、以下では湯浅電池と記述する。

³⁹ 石川（1998）。保守の問題は、NAS電池をのぞく新型電池が密閉型ではなく開放型であったことから生じていた。ただし、旧来の鉛蓄電池などを使った電気自動車は、工場や配達用途などに数千台供されたという（日経産業新聞、1993年5月7日）。

⁴⁰ 新エネルギー・産業技術総合開発機構（1992）および大高（1987）、日本経済新聞（1983年9月19日）。

すすめられた。最終的に、NAS 電池と亜鉛臭素電池の 2 つについて 1000kW 級プラントの実証試験が行われたものの⁴¹、経済性および耐久性・安全性が課題として残され、実用化にはまだ時間がかかると認識されたため、後継共同研究を行うことが電力業界に要請された⁴²。

続く 1990 年代に行われた国家プロジェクト「ニューサンシャイン計画」（エネルギー・環境領域総合技術開発推進計画の通称）の「分散型電池電力貯蔵技術開発」プロジェクトでは、NAS 電池の代わりに、次世代電池として期待されるリチウム・イオン電池が、家庭向け電力負荷平準化および電気自動車用に開発されることになった⁴³。

ムーンライト計画の新型電池電力貯蔵システム開発が終了した 1990 年代に、引き続き積極的な NAS 電池活発を続けたのは、同計画に参加せず独自開発をすすめた東京電力・日本ガイシのプロジェクトであった⁴⁴。欧米では CSPL 社や ABB 社が開発を続け、国内でも電力業界がムーンライト計画の後継研究を行ったものの、どちらも 90 年代半ばに事実上終了している。2 つの国家プロジェクトを通じて NAS 電池の開発に挑んだ湯浅電池は、量産計画を発表するなど熱心な活動を続けていたものの⁴⁵、1990 年代のニューサンシャイン計画からはリチウム・イオン電池に注力している⁴⁶。

多くの企業において NAS 電池開発の継続が困難になった理由として、各社固有の事情のほかに次のようなものがあげられている⁴⁷。第 1 に、導入コストを普及水準まで低減できると見込むことが困難であった。第 2 に、NAS 電池は振動や衝撃によって発火事故を起こしやすいため安全性の確保に時間がかかると考えられた。すなわち経済性と耐久性・安全性の観点から、実用化にはまだ時間がかかると考えられたのであった。このような事情を背景とすれば、政府補助の縮小や、業績の変動に伴う資源配分の変更、有望な代替技術の登場などを契機に、長期にわたる開発の継続は困難になるであろう。

⁴¹ 日経産業新聞（1989 年 6 月 14 日）、日本経済新聞（1987 年 5 月 22 日）。

⁴² 日経産業新聞（1992 年 3 月 9 日；1992 年 4 月 3 日；1992 年 5 月 11 日）。電力業界の共同研究は 1992 年から 95 年まで続けられた。

⁴³ 新エネルギー・産業技術総合開発機構・産業技術総合研究所（2002）および日経産業新聞（1992 年 4 月 7 日；1992 年 12 月 18 日；1996 年 5 月 9 日）。

⁴⁴ レドックスフロー電池についても、長期にわたって開発が継続されたのは、ムーンライト計画下でこれを担当した三井造船ではなく、同計画と離れて独自に開発することを選んだ関西電力・住友電気工業の共同研究体制であった（徳田，1995）。

⁴⁵ 岩淵・木村（1980）および日経産業新聞（1985 年 10 月 1 日；1986 年 3 月 18 日；1989 年 11 月 17 日）。

⁴⁶ 湯浅電池の NAS 電池開発・事業化からの撤退は事実として明確ではない。ムーンライト計画の「新型電池電力貯蔵システム」プロジェクト終了後、同社の NAS 電池開発について触れた新聞雑誌記事はほとんどみることがなかった。ただし日経産業新聞（2000 年 2 月 29 日）によれば、同社は NAS 電池を風力・太陽光発電と組み合わせて非常用電源や夜間の照明などに使うハイブリッド型電源システムを同年に開発している。したがって少なくとも 2000 年までは、規模が縮小されたとしても、同社において何らかの形で NAS 電池の開発が継続されていたと考えることはできる。

⁴⁷ 日経産業新聞（1991 年 7 月 17 日；1994 年 9 月 30 日；2001 年 8 月 29 日）。

3. 東京電力と日本ガイシによる NAS 電池の開発と実用化⁴⁸

開発活動の長期化に伴って NAS 電池にとりくんだ多くの企業が困難に直面し、その困難が開発活動の存続に影響を与えていた。東京電力・日本ガイシのプロジェクトも 20 年の間に開発体制を変え、困難に遭遇するものの、開発を継続し、事業化を行っている。両社が遂行した NAS 電池事業開発の過程について、みていくことにしよう。

3-1. プロジェクトの開始

東京電力において NAS 電池の開発が目指されたのは、揚水発電に代わる電力貯蔵手段を確保したいという電力会社としてのニーズからであった。揚水発電の様々な制約と電力需要の急増が背景にあった。技術の実用化までを見据えれば、国ではなく、電力会社自らが開発にあたる必要があると考えられた。開発パートナーには、高い開発意欲と豊富な資源能力を持つ日立製作所が選ばれたものの、さらにセラミックス技術に長けたメーカーの協力が不可欠であると考えられた。ところが、NAS 電池の技術的難度からセラミックス・メーカーは協力依頼を受諾しなかった。最終的に、日本ガイシが東京電力の協力依頼を受けたのは、同社が電力部材の長期取引で培ってきた東京電力との関係を梃子に、やがて電力貯蔵用電池事業に多角化しようと考えたからであった。日本ガイシは、来るべき碍子事業の成熟化を見据えて、新規事業による多角化をすすめようとしていた。

東京電力と日本ガイシのプロジェクトが開始されたのは、1980 年代初頭のことであった。プロジェクト開始の端緒は 1982 年、東京電力においてムーンライト計画とは別に、NAS 電池の事業化をこころざすことが決められたことであった。同社ではムーンライト計画への参加も考えられたものの⁴⁹、結果としてメーカーと共同で独自開発を行うことになった⁵⁰。

東京電力において NAS 電池の開発が開始された主因は、ムーンライト計画同様に、揚水発電所に代わる電力貯蔵手段を得ることができるという期待であった。電力会社が揚水発電に代わる電力貯蔵手段をもつことは、設備投資の抑制や費用低減の観点から、明確なニーズとして認識されていた。揚水発電所は、立地の制約や投資規模の大きさという点で容易に増やすことはできず、需要地との乖離から送電ロスが生じてしまうと考えられていた。加えて、プロジェクトが開始された 1980 年代初頭は電力需要が急成長している時期であったことが、代替的な貯蔵手段の開発欲求を高めていた。この点について、東京電力で主任研究員として初期段階からプロジェクトにかかわり、後に電力貯蔵研究室長、技術開発研究所長になる立花慶治⁵¹は次のように述べている。

⁴⁸ 本節の記述は主に以下に基づいている。東京電力・日本ガイシ（2006）および両社への筆者のインタビュー（2007 年 2 月 9 日；2007 年 2 月 21 日）、中林喬（2004a；2004b）。

⁴⁹ 日経産業新聞（1982 年 4 月 2 日；1986 年 2 月 10 日）。

⁵⁰ ただし、東京電力は、ムーンライト計画の下で 1978～87 年度に行われた「高効率ガスタービン」開発プロジェクトには参加をしている。

⁵¹ 2007 年 2 月現在は、東京電力フェロー。2006 年 6 月まで、執行役員技術開発研究所長。以下引用文は、インタビュー記録（2007 年 2 月 9 日）から引用。

電池、電力貯蔵の手段を開発したいというのは、これは電力会社にとってはずっと事業上の必要事項でございまして、とぎれることなく続いてきたニーズです。それで、1つの大きなきっかけというのが、貯蔵手段としては揚水発電所という手段を持っているわけですが、揚水というのは山奥の場所を見つけて、それで水をポンプアップするわけですけれども、当時、揚水発電所というのがそうそうつくれないだろうという予想があったんですね。実はこの予想は間違っていたことが、後になってこう出てくるんですけども。その当時はそういう深刻な予想があった。それとプラスして、電力需要が急速に伸びていった時代ですので、そのこととセットになって、揚水発電に代わる電力貯蔵手段が是非欲しい、と。こういうニーズがあったわけですね⁵²。

国の計画と別の開発体制をとった大きな理由は、要素技術開発のみならず、将来の実用化までを考えれば、電力会社が自ら開発を行って技術を確立する必要があると考えられたことであった⁵³。平岩外四社長を中心に当時の東京電力経営層がもつこのような見解は、プロジェクトの存続を支えた力でもあった。立花は次のように述べている⁵⁴。

これは非常に大事な技術なので、是非とも成功させなくてはならないから、自分たち、つまり電力会社が自ら開発しないとこれはものにならないだろうという判断が当時の経営陣にあったと聞いております（中略）その後の経緯を見るとですね、ずっと経営層の強い支持、特に平岩さん・・・始めたとき社長でおられたと記憶しています。その後、会長におなりになって、いま相談役でおられます。その平岩さんをはじめとする経営層の、こう一貫した支持というものが、このプロジェクトを継続させる大きな力だったんだろうという風に推測しています⁵⁵。

経営層の指示で始まったプロジェクトは、1982年の代替技術評価とNAS電池選択を経て、開発パートナーの選定に移る。当時の東京電力では、協力メーカーを見つけて開発資金を折半し、共同開発を進めることが技術開発活動の基本的な姿勢であった。電池メーカ

⁵² インタビュー記録（2007年2月9日）から引用。

⁵³ 日経産業新聞（1986年2月10日）。同記事によれば、この時点では「昭和60年代後半」の実用化が期待されていたという。

⁵⁴ 平岩は、1976年から84年まで東京電力の社長を、93年まで会長をつとめ、その後2007年まで相談役についている。平岩の後、同社の社長をつとめたのは、那須翔（1984年～93年）、荒木浩（1993年～99年）、南直哉（1999年～2002年）、勝俣恒久（2002年～07年現在）である。

⁵⁵ インタビュー記録（2007年2月9日）から引用。中略は筆者による。同インタビューによれば、ムーンライト計画は「国がメーカーに開発を直接依頼し、電力会社が実証試験の場所を提供する」枠組みになっていたため、国からの依頼がなければ同計画には参加できなかったという。

一としてパートナーに選ばれたのは、日立製作所である。フォードによる NAS 電池の原理発表以来 18 年間を経てなお開発意欲を失っておらず、国のプロジェクトにも入っていないメーカーであることを基準に考えれば、選択肢は自ずと絞られた。有数の重電会社であるため、その資源能力にも信頼がおけると考えられた。結果、日立において原子力発電設備を担当する日立工場に NAS 電池の開発部隊がつくられることになる。原子力部門が NAS 電池を担当した背景には、同部門が高速増殖炉の研究を手がけていたため、原料のナトリウムの扱いに慣れている上、比較的大きな研究予算を持っていたので、多少の開発リスクに耐えうると考えられたことがあったという。1983 年に、東京電力と日立の 2 社で NAS 電池の共同開発が開始された。

日立との共同開発が開始されたにもかかわらず、東京電力では開発パートナーとしてセラミックス・メーカーの探索を続けて行うことになる。東京電力の副社長であった藤森和雄から、NAS 電池は電解質にセラミックスを使うため、その開発にはセラミックス専門メーカーの協力が不可欠であるという指摘があったためである。そこで、日本ガイシ、その他複数のメーカーに協力が打診されたものの、これら全てから協力できない旨の回答を得ることになった。NAS 電池の技術的難度に起因する開発リスクの大きさが、背後にあったという。日本ガイシでは、東京電力からの共同開発提案とは別に、1979 年に NAS 電池の事業化可能性を調査していた。この時点での結論は、実用化は困難であるというものであった。

難色を示していた日本ガイシが、結果として東京電力との共同開発プロジェクトに乗り出したのには、3つの要因があった。第1に、東京電力の取締役技術開発研究所長であった三井恒夫が、日本ガイシの専務開発本部研究所長であった山本登のもとを訪れ、熱心にこれを口説いたことである⁵⁶。日本ガイシの碍子を中心とする電力事業において、東京電力が重要な顧客であったこと、および長期的な取引関係のもとで信頼関係の構築や知識の共有がなされていたことが、このエピソードには含意されていると思われる。

第2に、日本ガイシではプロジェクトに参加するにあたって、NAS 電池の実用化可能性を改めて計るため、当時の技術水準について欧米企業を中心に調査を行っている。東京電力から共同開発の提案があった後、電力事業本部技術開発部長であった鬼頭国二が技術水準の視察を目的に欧米へ派遣された。同調査の結果は、日本ガイシがプロジェクトへの参加を決めた判断材料の1つである。

最後に、当時の日本ガイシが新規事業開発を通じた多角化に熱心であったことが、同社の判断に大きく影響していた。当初、日本ガイシは NAS 電池の基幹部品であるβアルミナ管の開発主体としてプロジェクトに参加をしていた。しかし後にみるように、日本ガイシは 1987 年に ABB 社と NAS 電池の技術提携を行い、翌年には同社と NAS 電池の研究開発

⁵⁶ 東京電力の三井は、1986年に常務技術開発本部長に就き、91年に最高顧問に就くまで同社の技術開発活動をリードしていくことになる。日本ガイシの開発本部研究所長兼専務であった山本登は、1987年に ABB 社との NAS 電池合弁企業ナステクの初代社長に、翌 88 年に日本ガイシの技術顧問に就任している。

合併企業ナステクを設立している。すなわち、プロジェクト参加 3 年後より前に、部品メーカーではなく、「電池メーカー」としてプロジェクトに参加するという判断が行われていることになる。

1994 年から 2002 年まで日本ガイシの社長をつとめた柴田昌治によれば、同社では 1950 年代から主力とする碍子事業の成熟化を見据えて「多角化による変身」を社是としてきた⁵⁷。碍子を使う高圧電線はいずれ国内に行き渡るであろうし、碍子は耐久性が高いため取り替え需要が小さいと考えられていたのである。同社はその後、排気ガス・フィルタ等の自動車向けセラミックス部材、焼却プラント、プリンタ用圧電セラミックス、半導体製造装置向け部材、SAW フィルタやベリリウム銅コネクタ等携帯電話向け部材と、製品事業を拡大している。新規事業開発を通じた多角化とこれをすすめるための相対的に大きな研究開発投資という政策は、事業の再編成に直面することもあったものの⁵⁸、日本ガイシの代々の経営者に受け継がれている。1986 年から 94 年まで社長をつとめた小原敏人は、96 年までに売上高の 3 分の 1 を就任後の新規事業によって稼ぎ出すことを目標にしていた⁵⁹。1977 年から 86 年まで社長をつとめ、NAS 電池プロジェクトへの参加を決めた竹見淳一も、自動車向け部材や下水道向け焼却炉を事業化するなど、日本ガイシの多角化に積極的であったことが知られている。竹見は同社の多角化と NAS 電池事業開発について、次のように述べている。

自動車向けのハニセラム⁶⁰事業が立ち上がり、不採算部門からの撤退に伴う余剰人員を吸収してくれたことで「新事業開発による経営効率化」効果の大きさを改めて実感した。開発の推進、特に得意とする市場技術分野での開発は私にとっても社長時代の大きな課題だった。電力貯蔵用のナトリウム・硫黄 (NaS) 電池の研究開発に着手したことは、いい決断だったと今になって思っている。(中略) 開発にかかる時間の長さ、費用の大きさ、投入する人材の点からためらう声があった。しかし、将来有望な事業であり、当社が強い電力の市場で、電力業界から得ている信頼のもとに東電の支援も得られれば研究開発に耐えられる潜在能力はあると判断した。(中略) NaS 電池も開発を始めて十年たった。実用化もそう遠いことではない。十年でまだモノにならないのかと言われそうだが、当社の場合は開発期間が長いものが多く、研究開発はやるが、事業化は次の世代に託すというケースがほとんどだ。経営判断として研究開発の優先順位を決めるのは、なかなか難しく決断には勇気がいった。これは、技術畑出身なら判断しやすいというものではないと思う⁶¹。

⁵⁷ 日経産業新聞 (2001 年 12 月 18 日) に掲載の同氏インタビューにもとづく。

⁵⁸ 日経産業新聞 (1993 年 9 月 28 日)。

⁵⁹ 日本経済新聞 (1986 年 1 月 27 日)。

⁶⁰ 同社の排気ガス・フィルタ製品。

⁶¹ 日本経済新聞 (1994 年 6 月 22 日) に掲載の同氏による『私の履歴書』から引用。中略は筆

プロジェクトが開始された 1980 年代も、日本ガイシが熱心に多角化を進めようとした時期であった⁶²。主力事業の重要顧客からの提案を背景としながらも、NAS 電池は多角化のための新規事業開発という流れの中に位置づけられていた。

3-2. 3 社による共同開発

東京電力、日立、日本ガイシの 3 社による共同プロジェクトでは、2 つの日立製 NAS 電池がつけられていた。日立が一貫製造したものと、日本ガイシ製 β アルミナ管を利用したものである。東京電力は電池の開発目標を設定し、その性能を評価していた。プロジェクトでは、揚水発電の代替と、電力の需要地近くへ電池を設置することを前提として開発目標が定められた。特に、多くの開発主体が苦しんだ β アルミナ管の耐久性向上に力が注がれた。日立と日本ガイシの開発部隊がおのおの持つものづくりの思想は対照的であった。

1983 年に 2 社で始まった NAS 電池のプロジェクトは、翌 84 年に東京電力と日本ガイシの「固体電解質管の開発・共同研究」が開始されることで、3 社の共同開発体制になった。NAS 電池の開発主体として、最後発のグループであった。東京電力では技術開発本部技術研究所において立花を主任研究員とする 3 人の技術者が、他の開発テーマと兼任する形で NAS 電池のプロジェクトを担当していた。日本ガイシでは山本が長をつとめる開発本部研究所において、開発部長の磯崎孝が、材料研究、セラミックス、機能評価の専門家 8 人を率いて、同プロジェクトを担当していた。

3 社による共同開発体制は、次のような形で始まった。東京電力が、開発目標や仕様をつくるとともに、変電所等のフィールドで性能を検証して、研究の全体を管理する。ただし、開発のラインは 2 つつくり、この 2 ラインが競争する形でプロジェクトが進むことになる。第 1 のラインは、電池とこれを構成する β アルミナ管という部品の両方について日立がつくる。第 2 のラインは、日本ガイシが β アルミナ管をつくり、日立がこれを使って電池をつくる。2 つのラインの成果について東京電力が評価を行うという体制である。

プロジェクトではムーンライト計画の新型電池開発と同様、需要地近傍に電池を設置することによる「揚水代替」が意図されていた。開発目標は、表 2 に示されるように、10 年間の耐久性に相当する 1500 回の充放電サイクルの実現と、1kW あたり 30 万円という揚水発電のコストを下回ること、およびコンパクト性と安全性を確保することであった。ただし、NAS 電池は「充放電を繰り返すとたかだか数百サイクルでベータアルミナが破損してしまい、耐久性に難があるとされていた」ため、1980 年代にはこの耐久性問題の克服に焦点が当てられた⁶³。

者による。

⁶² 日本経済新聞（1985 年 2 月 8 日）によれば、日本ガイシが東京電力とのプロジェクトを開始する 1984 年には、専務開発本部研究所長の山本登の下に「新事業領域検討チーム」が組織され、「新しい収益源を探す」ことをそのミッションにしている。

⁶³ 奥野（1993）。

表 2. 東京電力・日本ガイシの NAS 電池開発目標

項目	目標
耐久性	1500サイクル（10年）以上
エネルギー効率	75%以上（8時間毎充放電・AC端）
経済性	揚水発電所と同等以上
コンパクト性	首都圏の狭い土地に設置できる （70kWh/m ² 以上，175kWh/m ² 以上）
安全性	外的・内的異常時に破損が拡大しない

出所) 奥野（1993）および原田（1993）を参考に作成.

1984年当時もっとも高品質のβアルミナ管を販売していたのが米セラマテック社であったため、日本ガイシではこれと同等の性能を実現することが目指された。まずβアルミナの特性を調査することから着手し、破損メカニズムを解明するとともに、原料粉の組成まで踏み込んだ対策技術の研究が徹底的に行われた。

βアルミナ管の改良にあたっては、碇子をはじめとするセラミックス製品の製造に関わる同社のノウハウが活用された。日本ガイシでは、「工場の裏に不良品の山ができるくらい」試作品をつくっては壊し、再びつくっては壊す、というサイクルを経ながら、βアルミナ管の性能を向上させていった。本来的に性能のばらつきが大きいセラミックスを、事故が起きれば惨事になりかねない電力用途に高品質で安定供給するには、このような経験主義的なアプローチによる最適化が不可欠であると考えられていた。他方、日立によるNAS電池開発のアプローチは、日本ガイシとは対照的であったという。原子炉の場合、碇子のようにつくっては壊すことが適わない。原子炉は、徹底的にコンピュータ解析を重ねて最適化を図り、これにもとづいて1回限りの製造を行う。NAS電池の開発部隊を原子力部門においた日立では、NAS電池についても原子炉と同様のアプローチで開発に臨んでいたという。

3-3. ナステクの設定と開発体制の変化

日本ガイシによる電池本体の開発提案を機に、プロジェクトは日立製および日本ガイシ製の2つのNAS電池が性能を競い合う体制に変化した。日本ガイシは、独BBC社とNAS電池の研究開発合弁企業ナステクを設立し、電力貯蔵用電池事業に多角化することを明らかにしたのであった。日本ガイシでは、全社を挙げて優秀な技術者がNAS電池の開発部隊に集められ、部隊の規模は拡大していった。ナステクを通じた独BBC社との技術交流は、NAS電池の性能を大幅に向上させ、プロジェクトを次の段階へすすめることになった。1992年には、「実用原型機」として50kW級システムが完成し、以後プロジェクトはシステムの大型化に取り組むことになったのであった。翌年、日立はプロジェクトから退出し、

自社開発をすすめることになった。

3社による共同開発体制は、東京電力と日本ガイシの「固体電解質管の開発・共同研究」が1989年に終了するのを機に、変化を迎えることになる。同年、日本ガイシは「単電池の開発・共同研究」の開始と「モジュール電池とその制御技術開発」の並行実施を東京電力に提案したのであった。東京電力はこの提案を受けて、日立と日本ガイシの両方が、βアルミナ管および電池まで製作し、成果を競いながらNAS電池の実用化を促進する方針を決定した⁶⁴。日本ガイシからの提案と開発体制の変化は、同社がβアルミナ管というセラミックス部品の供給メーカーではなく、電池メーカーとして電力貯蔵用電池事業そのものへ参入、多角化しようとする意図が明示化されたことを意味していた。また日本ガイシの提案の背景には、βアルミナ管と電池の技術的な相互依存性もあったという。運転中にβアルミナ管が破損した場合、その原因究明には電池の構造も検討する必要がある、これを円滑にすすめるには企業間分業よりも内製化が望ましいとする考え方である。

ただし、NAS電池を通じた日本ガイシの電池事業への参入は、実際にはこれよりも数年早くから準備がすすめられていたと考えられる。まず、プロジェクト参加の2年後、1986年には湯浅電池をはじめとする電池メーカーから3人の技術者が招き入れられている。これまで馴染みがなかった電池について、技術面および事業面のノウハウを導入するためであった。続く1987年には、NAS電池について独BBC社と技術提携が行われている⁶⁵。翌88年、この技術提携は、本プロジェクトの成否に大きな影響を与えることになる、日本ガイシとBBC社の研究開発合弁企業ナステクの設立に発展する。

BBC社と技術提携が行われる以前、日本ガイシでは試験的にNAS電池を製作していたものの、製品化・事業化をすすめるのに十分な技術水準にないと考えられた。このため、海外を中心にNAS電池の研究開発状況を調査した後、最高水準の技術を持つBBC社との技術提携が決断された。技術提携およびナステクの設立は、日本ガイシが持つ機能性セラミックスの材料技術をBBC社に導入し、BBC社が持つNAS電池の製造技術を日本ガイシに導入することを目的として行われた⁶⁶。日本ガイシはナステクの資本金3億2千万円のうち60%を出資している⁶⁷。BBC社との契約において、日本ガイシによるNAS電池の販売権は極東に限られることが定められたものの⁶⁸、ナステクを通じた技術交流は日本ガイシの電池製造技術の大幅な向上をもたらし、プロジェクトを大きく前進させることになる。

ナステクの設立を機に、日本ガイシのNAS電池開発活動は本格化することになる。ナステク本社は、日本ガイシ本社内に置かれ⁶⁹、約40人の開発部隊がナステクに出向する形で、

⁶⁴ 日経産業新聞（1989年8月28日；1990年1月6日）によれば、1989年8月の時点においてすでにプロジェクト内の電池開発主体は日本ガイシと日立に二分されており、1990年3月の東京電力における10kWシステム評価はこの2社がおのおのの開発したものを対象としている。

⁶⁵ 磯崎他（1998）。

⁶⁶ 日本経済新聞（1991年12月23日）。

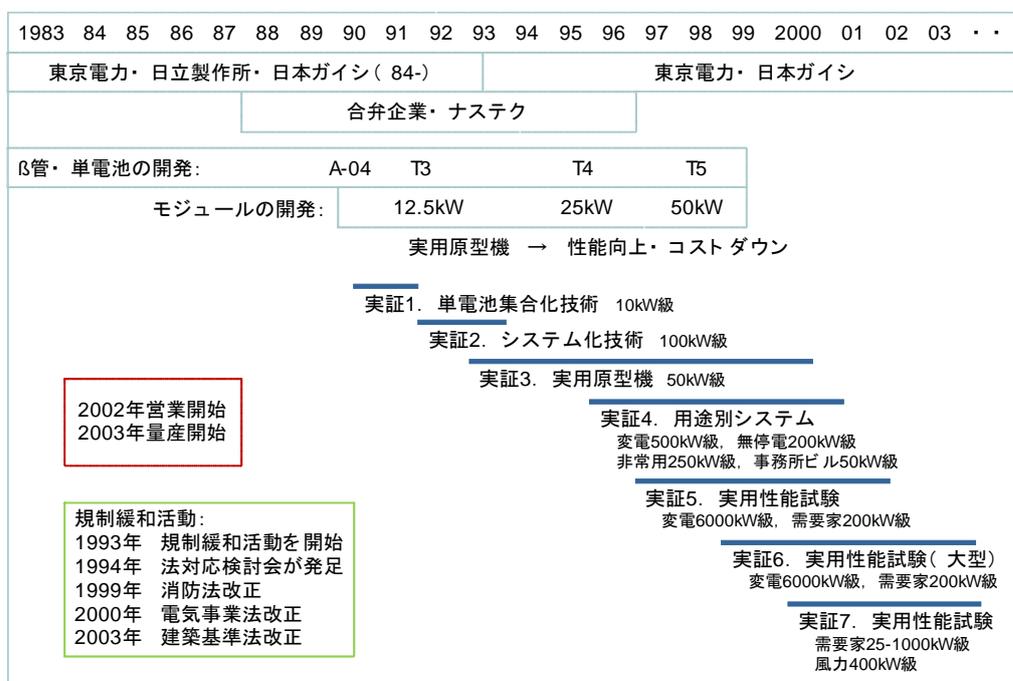
⁶⁷ NGK Insulators（1997）。

⁶⁸ 高山（2004）。

⁶⁹ 日本経済新聞（1988年1月12日）。

NAS 電池開発に従事することになる。ナステクでは、日本ガイシにおいて研究所長として技術の総帥を務めた山本登が初代社長に就任し、1991 年からは電力事業本部副本部長に就いた鬼頭国二がこれを引き継いでいる⁷⁰。同年に量産技術の開発が決定されると、全社を挙げた優先人事のもとで優秀な技術者が集められ、1997 年のナステク解散までに開発部隊は約 100 人まで増員されることになる。ナステクは、事実上日本ガイシの NAS 電池開発本拠地であった⁷¹。他方、東京電力もセラミックス・メーカーから技術者を招き入れ、1989 年には開発部隊の組織的な位置づけを変えている。NAS 電池は、技術研究所・電力研究室の研究テーマの 1 つに過ぎず、3~4 人がこれを担当していた。それが 1989 年に行われた技術研究所の改組に伴い、「電力貯蔵研究室」として独立した。電力貯蔵研究室は当初 4~5 人で発足したものの、後の 50kW 原型機開発の頃には 7 人程度まで増員されることになる。

図 5. 東京電力・日本ガイシのプロジェクトの主なスケジュール



出所) 東京電力 (2007), 東京電力・日本ガイシ (2006) および両社へのインタビュー記録を参考に作成。

ナステクにおいて日本ガイシ開発部隊に課せられたミッションは、BBC 社が開発した電気自動車用 NAS 電池技術を、電力負荷平準化用に応用することであった。図 5 に示されるように、βアルミナ管の開発とオーバーラップする形で単電池の開発が進められ、1990 年代にはいと単電池の集合化によるモジュール製作およびシステムの実証試験が始められ

⁷⁰ 日本経済新聞 (1988 年 1 月 12 日) および日経産業新聞 (1991 年 7 月 2 日)。

⁷¹ 1990 年 7 月におこなわれた電力事業本部の組織再編にともなって、同本部内に NAS 開発部が設置され、初代の NAS 開発部長に磯崎孝が就任している (日経産業新聞, 1990 年 7 月 3 日)。ナステクの NAS 電池開発部隊は、この電力事業本部 NAS 開発部にも籍をおいていた。

た。当初は BBC 社の設計にもとづいて日本ガイシが製造した電池を利用してモジュール・システムが組み立てられていたものの、電力負荷平準化用の電池は電気自動車用とは仕様が異なるため、並行して容量の大型化と負荷平準化用への設計の最適化がすすめられた。

まず BBC 社設計の「A-04 型」単電池を使用した 10kW モジュール電池が試作された。1990 年 3 月から同モジュールを使った 10kW 級システムが、東京電力・川崎変電所内の電力貯蔵試験場において評価された⁷²。1320 本の単電池を使った日本ガイシ製 10kW システムは、日立製システムと競う形で、単電池の接続方式についての実証試験にかけられた。翌 1991 年には、A-04 型単電池と BBC 社設計の断熱容器「B11 型」を利用した 4kW モジュールを 25 台接続した、100kW 級システムが試作され、10 月から実証試験が開始されている⁷³。モジュールを集合した際の制御方式を検証することが目的であった。

この 1991 年には、日本ガイシ製の電力貯蔵用 NAS 単電池「T3 型」およびこれを集合させた 12.5kW モジュールが完成する。12.5kW モジュールを 4 台接続した 50kW 級システムは、同年 12 月から日本ガイシ本社において運転試験が行われ、1 年後の 1992 年 12 月からは東京電力の変電所において電力系統に接続した実証試験が開始された⁷⁴。50kW 級システムは、コストやメンテナンスの容易さ、トラックによる輸送効率などの観点から、電力系統に接続する NAS 電池システムの最小単位として最適であると考えられていた。また、日本ガイシにおける β アルミナ管の製造技術開発が進み、BBC 社の電池基本構造が導入されたことによって、NAS 電池の寿命は飛躍的に高まっていた。このため、1992 年末から実証試験に移された 50kW システムは、基本的な要素技術が確立された「実用原型機」として位置づけられた。以後の開発では、システムの大型化とこれにともなう技術課題の克服に重点がおかれていくことになる。東京電力において、1988 年から一貫して NAS 電池の開発に携わり、2007 年の現在は電力貯蔵に関する研究グループのマネージャーである奥野晃康は、次のように述べている。

1991 年までに、技術的な確立、要素技術の確立をしたと。その翌 1992 年に、初めてそれを実フィールド、われわれの変電所の実フィールドで連系、初連系をしたんですね。それが実用原型 50 キロというやつなんですけども。そこまでが、基本的な要素技術の開発ステージだったと思います⁷⁵。

また、BBC 社の技術導入による開発の進展と開発段階の移行について、立花は次のように述べている。

⁷² 日経産業新聞（1991 年 7 月 30 日）。

⁷³ 日経産業新聞（1992 年 1 月 27 日）。

⁷⁴ 日本経済新聞（1991 年 12 月 23 日；1992 年 12 月 22 日）。

⁷⁵ インタビュー記録（2007 年 2 月 9 日）から引用。奥野は、1993 年時点で開発研究所電力貯蔵研究室主管研究員、2007 年時点で技術開発本部技術開発研究所電力貯蔵ソリューショングループマネージャーをつとめている。

ABBの技術を入れるようになって、とたんにサイクル数が向上しました。NAS電池の技術開発の歴史を示すときに、最初は100サイクル以下で壊れていたのが、あるところから突然、ガクンと上がるんです。ガクンと上がるのは、日ガイさん⁷⁶がABBの技術を導入してからです。電池の構造が全く日立の構造とは違うんです。湯浅の構造とも違うんです。ABBの独自の構造です。このABBの独自の構造というのが、これがなかったらNAS電池という技術は世の中に出なかったと思います。(中略)それは後になってわかったことですが、日立さんと湯浅さんをご苦労されているのを見ていくうちに、なるほど日ガイさんは時間をお買いになったんだなということがよくわかりました。それほどABBの基本構造は優れていました。ところがABBはABBで、セラミックス技術に限界を感じていて、熱圧接技術もそうだったかな。これは金属とセラミックスをくっつける技術のことです。(中略)当時はそういうギブ&テイクの関係で日ガイさんと手を組んで、日ガイさんはABBの基本構造をもとに、電力貯蔵用に大きな電池を開発していった。以降の開発は、いかに大きくしても壊れないようにするか、性能を落とさないようにするかということの戦いです⁷⁷。

一方、共同開発プロジェクトの中で日本ガイシと電池の供給について競争関係にあった日立は、単電池を200本集合させた10kWモジュールの充放電試験を1992年3月に開始している⁷⁸。しかし翌年度をもって、日立と東京電力の共同開発体制は解消され、以後は自主研究とすることが決められている。日立では、1997年に電力事業部内に電力系統事業を拡充するためのエンジニアリングセンターが設立され、同センターがNAS電池の開発を担当するとともに、これに重点投資を行って、100万kW級のシステムを開発する方針が発表されている⁷⁹。風力発電と太陽光発電に12.5kWのNAS電池を組み合わせた電力供給システムを開発し、1998年3月から日立市の電力・電機開発本部において実証試験を開始する計画であった。

3-4. 2社による共同開発の進展と困難

プロジェクトが実証試験段階にはいると、実際にNAS電池を運転させるユーザーとして東京電力の役割が増すことになった。日本ガイシと東京電力の開発部隊は、実証試験に伴う様々なやりとりを通じて、両社が持つ電力機器の品質管理・品質向上ノウハウをぶつけあい、NAS電池の性能を向上させていった。一方、この時期には将来の電力自由化を背景

⁷⁶ 日本ガイシの呼称。

⁷⁷ インタビュー記録(2007年2月9日)から引用。中略は筆者による。

⁷⁸ 日経産業新聞(1992年3月23日)。同記事によれば、この1992年時点での電池寿命は約2年間、システムの建設コストは揚水発電の約100倍であったという。

⁷⁹ 日経産業新聞(1997年8月22日)および日本経済新聞(1997年12月25日)。

に、揚水発電の導入コストが大幅に低下し、その代替を目指す NAS 電池プロジェクトの存続を危うくしていた。東京電力の研究開発予算縮小方針の下で NAS 電池へ投資が続けられた背景には、同社経営層の支持があった。プロジェクトは、部品点数の削減につながる単電池の大容量化技術を開発することでコストダウンを目指した。実証試験は、NAS 電池の事業化を念頭においたものであったため、NAS 電池の設置を制約しうる規制の緩和を訴える活動も他社との協力の下にすすめられた。また、NAS 電池の設置先としてこれまでの変電所に加え、需要家を念頭において実証試験をすすめることが決められた。この決定は、後に NAS 電池の事業化が行われる際の重要な布石になっていた。

日本ガイシと東京電力では、50kW 原型機の完成後、1993 年頃から単電池の大容量化とモジュールの改良が行われた。電力系統に接続した実証試験を行いながら、システムの大規模化を目指すことになった。50kW 原型機において基本的な要素技術が確立されたとはいえ、2003 年の量産開始までに 11 年を要することになる。システムの実証試験を行いながら開発がすすめられたこの 11 年間は、メーカー（日本ガイシ）とユーザー（東京電力）による共同開発体制をとっていたことが、開発活動の進展に大きな影響を与えていたという。

NAS 電池による電力貯蔵は、単電池を集合させてモジュール化し、このモジュールを組み合わせて、電力系統に接続するシステムをつくることで行われる。開発の過程では、単電池として正常に動作したとしても、モジュール段階での試験や、システムの実証試験段階で、様々なトラブルが発生していた。高温で作動する NAS 電池は、実際に運転してみると、設計・製造段階では予想がつかなかった要因によって、活物質の漏れやβアルミナ管の破損が起きることになるため、その都度、問題の分析と対策の立案が必要であった。東京電力と日本ガイシ両社の開発チームはトラブル発生時に集まるのみならず、月に 1 度の「連絡会」を持つことを慣例にしていた。連絡会では、品質管理の基礎に立ち戻って遭遇したトラブルの確認と問題の分析、および実験・検査など問題解決につながる次月までの課題が話し合われ、決められていた。

このようなトラブルへの対応過程において、東京電力・日本ガイシ両社がもつ電力機器の品質管理および品質向上に関するノウハウが結合されたことが、開発活動の進展をささえた大きな要因の 1 つであったという。東京電力が電力会社としてもつノウハウの 1 つは、電力機器がおこす事故についてメーカーとともに原因を分析し、追求して、対策をたてることにある。日本の需要家は電力品質の要求が諸外国よりも厳しいと考えられているため、電力会社の技術者は、電力機器の品質管理と、事故原因の追求、品質向上について、日常業務を通じて徹底的に訓練されるのだという。同様に、電力用碍子を供給し続けてきた日本ガイシは徹底して品質にこだわるノウハウと社風を持っていた上、長期にわたる取引関係から電力会社の品質管理のあり方に慣れていた。ユーザーとメーカーが一緒になって、NAS 電池システムの大規模化にともなう問題点の克服と改良に知恵を絞ったことが、やがて商品として達成すべき品質の確保に有効であった。

実用機の開発には、3つの大きな課題があった⁸⁰。NAS電池の導入コストと、国の規制への対応、用途、である。特に導入コストは、揚水代替を目指したほとんどの電池電力貯蔵システム開発において大きな課題になっていた。東京電力と日本ガイシのプロジェクトにおいても、コストの問題は事業化後までつきまとうことになる。プロジェクトが、1990年代にその存続という観点から直面した2つの大きな困難の1つであった。

NAS電池は、ほかの電池電力貯蔵システムと同様に、都市近傍の変電所に設置することで、揚水発電を代替することを想定して開発がすすめられていた。このため、1kWあたり30万円という揚水発電の導入コストを下回ることが、重要な開発目標の1つであった。ところが、プロジェクトの開始から10年を経て、揚水発電所の建設運営コストは低下を続け、1990年代後半には1kWあたり20万円前後になる。プロジェクトの「競争相手」である目標コストの低下は、その達成を難しくしていた。しかも、仮に達成できなくなれば、プロジェクトそのものの必要性に疑問が生じてしまう。

元来、揚水発電は導入コストが高く、コスト削減が課題とされていた。電池電力貯蔵システムの開発が構想された所以である。これに加えて、1990年代には国内外の電気料金格差が問題視されるとともに、欧米で先行した電力事業の規制緩和が類似した形で日本でも進むと議論されるようになっていた。電力自由化と称される規制緩和の第一歩として、1995年には31年ぶりに電気事業法が改正され、独立系発電事業者（IPP：Independent Power Producer）による発電事業への参入が認められた。東京電力では、1993年から1999年まで社長をつとめた荒木浩社長のもとで、電力自由化の進展を見据えて、全社的なコスト削減が徹底されることになった⁸¹。全社的なコスト削減方針のもとで、発電所の建設・運営方法が再検討され、分離発注方式の導入や資材の海外調達を拡大することによって、大幅なコスト削減が図られた⁸²。揚水発電所では、急勾配水路掘削やダム表面処理に作業工程を短縮する新しい工法が導入された結果、150億円の工事費削減が可能になり、夜間電力調整の新技术を導入することでいっそうのコスト低下が図られた⁸³。

1995年頃、揚水発電のコスト低下に伴う達成の難度上昇と開発期間の長期化を背景として、東京電力の社内ではNAS電池プロジェクトへの資源動員を疑問視する声があがるようになる。曰く「いったいどこまでカネをつぎ込めばモノになる」のか、「カネを無駄に使ってモノにならないなら趣味でやっているようなものだ」といった声であった。東京電力ではNAS電池と並行して、1980年代初頭から燃料電池開発の大型プロジェクトがすすめられていたものの、目標とする成果を上げることができず「うまくいかなかった」事例として認識されていた⁸⁴。燃料電池の事例は、NAS電池のような大型プロジェクトへの不信感

⁸⁰ 奥野（1993）および市東（1995）、立花（1996）にもとづく。

⁸¹ 日経産業新聞（1994年4月7日；1995年6月15日；1996年12月17日）。

⁸² 日本経済新聞（1995年1月7日；1996年3月5日）。

⁸³ 日経産業新聞（1994年6月30日；1994年1月17日；1995年2月7日）。

⁸⁴ 燃料電池は、大気汚染の問題が生じにくいことに加えて、設置面積が小さく、排熱を暖房に利用できることから、NAS電池同様に、需要地近傍に置かれる「分散型の都市発電所」とし

につながり、資源動員の際に引き合いに出されていたという。

NAS 電池のコスト削減という課題に対しては、単電池の大容量化を軸とした開発が進められることになった。ナステクでは電気自動車用に開発された単電池を電力負荷平準化用に応用するため、単電池の大容量化が行われていた。1991年に160AhのT3型、1996年に320AhのT4型単電池が開発された⁸⁵。しかし、この時点のNAS電池の導入コストは、1kWあたり約300万円であった。1990年代半ばに訪れたコスト削減要求の増大によって、この後、単電池のいっそうの大容量化が目指されることになる。単電池は、電力貯蔵システムを構成するモジュールの基幹部品にあたる。単電池の大容量化は、モジュールおよびシステムの部品点数を削減することから、コストダウンに有効な手段であった。ただし、単電池の大容量化は、そのエネルギー効率を下げってしまうというトレードオフがあった。このため、単電池の大容量化とエネルギー効率の向上というトレードオフの上を行ったり来たりする新たな技術開発が繰り返されることになった。

揚水発電のコスト低下とプロジェクトの長期化を背景とする困難、および経営層の支持について、東京電力の立花は、次のように述べている。

揚水も安くなりました。これは電力自由化の影響が大きいんです。どんどんコストダウンをして競争に勝ち抜かなくちゃいけないということで。すべての発電所のコストダウンが至上課題になりまして、揚水発電所がキロワット30万円していたのかな、今は十数万円。揚水というのは土木工事が中心なので、土木部門が必死の努力をしてコストダウンしました。30万円の揚水をターゲットにして、それよりも安ければ使えるなと思ってがんばってきたのに、揚水がどんどん安くなってしまった。(中略)これに対抗するには電池を大きくするしかなかった。電池を大きくするというのは、それだけ開発のリスクを背負うということなので、日ガイさんにとっても大きな決断がいったと思いますけれども。使い道もさることながら、経済的なコストの目標がどんどん下がって行って、厳しくなって行って、いつになったら実用化になるのか見えないという時期が、苦しかったですね。あのとき経営層が、引き続きサポートしてくれなかったら、つぶれていたと思います⁸⁶。

東京電力では全社的なコスト削減方針の下で、研究開発費も1993年度の750億円をピ

て開発が進められていたという(日経産業新聞、1983年3月17日)。

⁸⁵ Ahは、電池容量を表す単位のアンペアアワー(Ampere-hour)を示す。160Ahの電池は、160アンペアを1時間、あるいは1アンペアを160時間供給することができる。アンペアは、電流の単位。ワット(W)を単位とする電力は、アンペア(A)を単位とする電流と、ボルト(V)を単位とする電圧の積で表すことができる。

⁸⁶ インタビュー記録(2007年2月9日)から引用。中略は筆者による。

ークとして 2000 年代初頭まで減額が続くことになる⁸⁷。縮小する予算の中で、NAS 電池への研究開発投資が続けられたのは、同電池が東京電力において「設備投資を抑制する効果をもつ主要テーマの 1 つ」に位置づけられたからであった⁸⁸。研究開発費の抑制は、「設備投資の抑制に効果がある技術」への重点投資という形をとることが決められていた⁸⁹。

この時期に第 2 の課題とされたのは、NAS 電池の設置を可能にするための規制緩和であった。NAS 電池の原材料である硫黄とナトリウムは、消防法において危険物として取り扱われていたため、NAS 電池を設置するたびに、消防法と建築基準法にもとづく認可を得ることが必要であった。設置に当たって法令による手続きを必要とすることは、NAS 電池の需要に関する制約になりかねないと考えられた。そこで、1993 年から国に対して法令の規制緩和を要望することになる。

設置の規制緩和活動に生きてきたのが、ムーンライト計画の NAS 電池開発を引き継ぎ 1995 年まで続けられた電力業界共同研究と、湯浅電池や日立のような競合メーカーの存在であった。特定の開発主体が独自に提出した要望によって、規制緩和が行われることは国の原則に反しており困難であると考えられた。このため、東京電力を幹事とする 9 電力会社に、日本ガイシ・湯浅電池・日立の 3 メーカー、ユーザーとして NTT を加えた「LL 法対応検討会」が 1994 年 1 月に発足した⁹⁰。LL 法対応検討会は、NAS 電池の関係主体がその安全性を訴えることによって、消防庁や国土交通省に規制緩和を求める活動であった。結果として、1999 年 6 月に消防法改正の規制緩和通知が発行されることになる。消防法が規制緩和の条件とする安全性についても、翌 2000 年に危険物保安技術協会によって日本ガイシ製 NAS 電池が認定された。また、2003 年 12 月には建築基準法の改正が認められ、NAS 電池の設置にあたって義務づけられていた公聴会の実施に関する制約が大幅に緩和された。このような規制緩和の実現には、東京電力と日本ガイシのみならず、他の電力会社や電池メーカーとの協力が不可欠であった。

3 つめの課題である NAS 電池の用途については、これまでの変電所設置用に加えて、需要家設置用を開発し、試験することが、1994 年に決められた。この時点まで、NAS 電池は変電所という電力の供給業者内におくことが考えられてきた。これに加えて、電力のユーザーが電力負荷平準化手段を持つ可能性が検討され、開発の対象になったのであった。需要家設置用システムの考慮を指示したのは、プロジェクトの開始を決定し、当時会長になっていた平岩外四であった。50kW 原型機の完成後、NAS 電池の開発部隊は、より大型の変電所設置用システムについて実証試験を開始したいと考えた。そこで、1000kW 分の変電所設置を東京電力の経営層に提案したところ、平岩は「これからは分散の時代だ」と、半分を需要家におくシステムとすることを指示したという。当時、国のニューサンシャイン計画において分散型電池電力貯蔵技術の開発が行われたり、電力自由化の流れのもとで

⁸⁷ 日本経済新聞（2000 年 5 月 31 日）。

⁸⁸ 日経産業新聞（1996 年 4 月 24 日）。

⁸⁹ 日経産業新聞（1995 年 4 月 19 日）。

⁹⁰ 「LL」は、Load Leveling（負荷平準化）の略称である。

分散型電源として都市ガスや石油を燃料とするコージェネレーション（熱電併給）機器の普及が見込まれていたりしたことが、平岩の意思決定に影響を与えたのかもしれない⁹¹。

プロジェクトは平岩の提案を受け、T3型単電池から構成される12.5kWモジュールを使って、1995年から500kW級変電所用システムと、需要家用の250kW級非常用電源兼用システムおよび50kW級事務所ビル用システムの実証試験を開始した⁹²。この実証試験の費用は電池の建設コストを含め約30億円であった⁹³。翌96年には、T4型単電池による25kWモジュールの完成に伴って、需要家用に200kW級無停電電源兼用システムを設置、電力会社以外のユーザーとして初めてNTTに50kWシステムを納入し、実証試験を行っている⁹⁴。1998年には同じ25kWモジュールを使って需要家設置用200kW級システムの実証試験を始め、需要家仕様を考慮した運転パターンを模して、実際の負荷平準化効果や、運転・保守性能の検証が行われた⁹⁵。ただし、この時点では未だ変電所用システムが中心的用途として考えられていた。1997年には変電所設置用の実用規模と考えられる6000kW級システムについて、長期信頼性や、施工方法、運転、保守に関する試験が行われている。

実証試験の対象として、変電所設置用システムに需要家設置用システムが加えられたことによって、1994年10月に技術開発センターへ居を移していた東京電力の開発部隊は大きく増員することになる。50kW原型機が開発された頃は7人の部隊であったのが、実証試験の場所が増えたことで人手が足りなくなり、20数人まで増加していた。他方、日本ガイシの開発部隊も、組織的な位置づけが変わることになる。開発部隊の本籍が置かれていたNAS開発部はNAS開発本部に名称を変え、1995年にはNAS事業推進部になっていた。さらに、1996年にABB社（BBC社の継続会社）がNAS電池開発から撤退するのに伴って、NAS事業推進部はNAS事業部に昇格し、約100人までふくらんでいた開発部隊は、同事業部へ異動することになった。初代NAS事業部長は、プロジェクトの開始から開発部隊を率いた磯崎孝がつとめ、翌1997年にはNAS事業推進部長であった蔵島吉彦がこれを継いで、2001年まで同部隊を率いている⁹⁶。また、ABB社のNAS電池撤退を機に、日本ガイシによるNAS電池の海外展開に関する制約は解消されることになった。

1994年の需要家設置用システムに関する意思決定とこれに続く実証試験は、後にNAS電池が事業化を迎えるにあたって、重要な布石になる。

⁹¹ 日経産業新聞（1994年5月5日）では、コージェネレーション機器の普及見込みに加え、需要家用システムが、変電所設置用の数十分の一の電力容量ですむため、当時の技術水準でも対応できることが、検討理由としてあげられている。

⁹² 西本・寺澤（1996）。

⁹³ 日本経済新聞（1995年3月8日）。

⁹⁴ 日本経済新聞（1996年8月17日）および日経産業新聞（1996年11月18日）。

⁹⁵ 佐藤（1998）。

⁹⁶ 日経産業新聞（1996年7月1日；1997年6月30日；2001年3月26日）。2001年からはNAS事業部製造部長であった十時孝夫が、2004年からは同技術部長であった大島卓が事業部長を務めている（日経産業新聞、2001年3月26日；2004年3月24日）。

3-5. 2度目の困難と用途の再定義

T5 型単電池と 50kW モジュールの完成によって、NAS 電池は技術的な実用性能に到達し、導入コストが大幅に低減した。しかし、1990 年代末に揚水発電所が過剰設備を抱えるようになっていたため、NAS 電池には揚水代替に代わる 2 つの新たな位置づけが与えられた。1 つは、安価な電気料金と安定した電力品質によって、自由化後も電力会社に顧客をつなぎとめる需要家設置の分散電源であった。電力会社が従来から営む電力一貫供給事業を補完し、これを守ることが NAS 電池に期待されていた。もう 1 つは、社会的要請が高まるクリーン・エネルギー発電の出力を安定化させるための併用電源であった。日本ガイシは、NAS 電池の事業計画を発表し、同電池の付加機能を需要家に訴求するとともに、海外市場への展開を視野に入れることを決めた。

1990 年代半ばにプロジェクトが遭遇した、揚水発電の建設運営コスト低下に伴う目標導入コスト低下という課題は、1998 年の「T5 型」単電池完成によって解決の糸口をつかんでいくことになる。T5 型は電池容量を従来の 2.5 倍にあたる 632Ah まで高めることに成功し、これを集合させた 50kW モジュールおよびシステムにおいて、大きなコストダウンが達成された。NAS 電池システムの導入コストは、従来の 1kW あたり 300 万円から、同 120 万円まで削減されたのであった⁹⁷。T5 型は従来の T4 型に比べて大容量化したのみならず、エネルギー密度が 2 割向上し、設置面積も 4 分の 3 に縮小された。大容量化によってシステムに必要な単電池の数を削減するとともに、付随するエネルギー効率の低下を補う開発活動が繰り返された成果であった。

翌 1999 年には、T5 型からなる 50kW モジュールを利用して、変電所設置用 6000kW システムと需要家設置用 200kW システムがつくられ、実証試験に供された。変電所設置用および需要家設置用システムとして、「実用化段階」にあたる実証試験であった。プロジェクトでは、これ以降も量産技術の確立や設計の合理化、低廉な原材料への代替を通じたコストダウンが図られることになる。しかし、この時点で「技術的には実用化の域」に達しており、基本技術は完成したと考えられた⁹⁸。

ところが、この 1990 年代末にプロジェクトは、2 度目の大きな困難に直面していた。この時期になると、揚水発電所は過剰設備を抱えるようになっていたため、これを代替する設備の必要性が疑問視されはじめていたのである。揚水発電の代替というプロジェクト当初から考えられていた主用途では、大きな需要が見込めないと考えられるようになっていた。1970 年代から 90 年代を通じて、電力会社は電力需要の増加を背景として揚水発電所の整備を進めていた。この 20 年間に揚水発電所の建設・探査技術が進歩したため、立地の制約が緩和され、建設コストも低下していた。また、最大電力需要の伸び率が鈍化していた。結果として、電力の年負荷率は、[図 2](#)に示されるように 1994 年をボトムとして改善傾

⁹⁷ 「大型 NAS 電池の実用化にメド」『公研』36 巻 6 号，1998 年 6 月。

⁹⁸ 日経産業新聞（1998 年 5 月 27 日）。

向が続いていた⁹⁹。そこで、電力の最大需要については「いまの揚水で十分対応できるじゃないか」といった声が聞かれるようになったのである。

この危機を超えて NAS 電池を事業化するためには、揚水代替に代わる新たな用途開拓が必要であった。東京電力では経営層の指示によって「NAS 電池実用化方策検討委員会」が組織され、全社的な用途開拓がすすめられた。結果として、NAS 電池を事業化するための用途先に設定されたのは、分散型電源の 1 つとして電力需要家に設置することであった。

電力自由化が進展し、1995 年の発電事業に続いて、1999 年には大規模工場やスーパーマーケットなど電力の大口需要家を顧客とする小売事業への新規参入が、電気事業法の改正によって認められることになっていた。かつて電力会社から電力を購入していた顧客は、これ以外から電力を購入することも、自家発電により需要を賄うことも可能になっていた。より安価な電力料金を求めて、顧客が電力会社から離れていくことが見込まれていた。電力自由化という規制緩和が、東京電力において、他事業者あるいは顧客自身による電力供給への対抗策の確保という真剣なニーズを生じさせていたのであった。

NAS 電池を設置することによって顧客は自身で電力負荷平準化を行い、安価な夜間電力を有効に利用することができる。また、NAS 電池は電力のバックアップ・システムとして、非常用電源や無停電電源、瞬低対策電源の役割を持たせることができるので、安定した電力品質を得ることができる。NAS 電池は、「電力会社がこれまで営んできた発電・送電・配電の電力一貫供給事業を補完しながら、より安価な電力料金や安定した電力品質を顧客に提供する装置」として位置づけられたのであった。

電力会社の変電所設置による揚水代替から、電力自由化後の顧客確保へという軸足の転換には、1990 年代半ばに行われた実証試験の意思決定が生きていた。早期から需要家設置システムの実証試験をすすめていたため、5 年後に軸足の転換が必要になったときに、これを円滑に進めることが可能になっていたのであった。

さらに、1990 年代から 2000 年代にかけて、クリーン・エネルギーの利用による二酸化炭素 (CO₂) ガス削減が社会的要請として活発化したことが、NAS 電池普及の追い風になると考えられた。太陽光発電や風力発電といったクリーン・エネルギーは、天候によって出力が大きく変動するため、電源として不安定であることが大きな課題の 1 つとされていた。これらに NAS 電池を組み合わせれば、低負荷時の電力貯蔵を通じて、電力供給を安定化させることが可能になる。需要が高まる「クリーン・エネルギー発電の出力を安定化させる補完装置」として NAS 電池が位置づけられたのであった。

1996 年に NAS 事業部が設置された日本ガイシにおいても、電池の技術を社内に残すという観点と、パートナーの東京電力が継続の意思を示していたことを背景として、工場などの需要家設置を主軸にプロジェクトを継続していくことが確認された。揚水発電所の整備に伴って電力会社の変電所に NAS 電池を設置する必要性が薄れた一方、電力需要家にお

⁹⁹ 年負荷率はその後 2001 年に再び下がっている。ただし年負荷率を 2005 年までみると、長期的な改善傾向にあるように思われる。

ける安価・安定的な電力の需要が増していると考えられたのであった¹⁰⁰。

日本ガイシでは 1997 年の 5 カ年中期経営計画「EXCEL-01」発表とともに、1999 年度に NAS 電池の量産工場を稼働させ、5 年後に 300 億円規模の事業を目指す計画が発表された¹⁰¹。同計画は翌年修正され、「次世代の電力分野の主力商品」として 2002 年に NAS 電池の量産を開始し、「一般企業向け」に年間 300 億円の売上を目指すことが発表された¹⁰²。日本ガイシにおいて、NAS 電池の事業化が急がれた背景には、電力自由化の影響で電力会社が設備投資を抑制したため、主力製品の碍子が国内販売を減少させていたことがあるのかもしれない¹⁰³。碍子を中心とする日本ガイシの電力関連事業売上高は、1993 年 3 月期の 995 億円をピークに減少傾向が続き、2000 年 3 月期には 676 億円になっている¹⁰⁴。

表 3. 日本ガイシ製 NAS 電池の主な実証試験

年	設置容量 (kW)	機関名	設置場所	主用途	備考
1990	10	東京電力	川崎電力貯蔵連系試験場	変電所	A-04型
1991	100	東京電力	川崎電力貯蔵連系試験場	変電所	
1992	50	東京電力	川崎電力貯蔵連系試験場	変電所	T3型/12.5kW
1995	500	東京電力	川崎電力貯蔵連系試験場	変電所	
	100	中部電力	技術開発センター	変電所	
	50	東京電力	TEPCO新エネルギーパーク	需要家(事務所ビル)	
	250	東京電力	川崎電力貯蔵連系試験場	需要家(非常用電源)	
1996	200	東京電力	川崎電力貯蔵連系試験場	需要家(無停電電源)	T4型/25kW
	100	東北電力	研究開発センター	屋外設置・寒冷地設置	
	50	NTT	鈴鹿研修センター	需要家	初の需要家設置
1997	6,000	東京電力	網島変電所	変電所	変電所用標準技術確立
1998	200	東京電力	鬼怒川変電所	需要家	需要家用高出力運転評価
	100	北陸電力	地域総合研究所	変電所・需要家	
	25	関電工	技術研究所	需要家	
	50	中国電力	技術研究センター	変電所・需要家	
	500	日本ガイシ	本社	需要家	T5型/50kW
	210	沖縄電力	宮古島太陽光発電研究施設	太陽光発電補完	
1999	6,000	東京電力	大仁変電所	需要家	
	200	東京電力	技術開発センター	需要家	
2000	1,000	中部電力	大高変電所	変電所	
	100	北陸電力	山田村牛岳温泉健康センター	需要家	
2001	13	AEP	ドーラン研究所	変電所	初の海外設置
	400	東京電力	八丈島風力発電所	風力発電補完	2002年度の商品化目標
	1,000	アサヒビール	神奈川工場	需要家	
	200	東北電力	通研電気工業本社	需要家	東北電力の事業化前提
2002	150	福岡県	福岡市水道局乙金浄水場	需要家	九州電力の事業化前提
	200	東京都	都立つばさ総合高校	需要家	初の住宅地内試験
	100	AEP	ドーラン研究所	変電所	DOE, EPRIとモニター契約
2003	13	Tenaga Nasional Berhad	TNB Research Sdn	変電所	アジア諸国への展開
2007	500	日本風力開発	三浦ウィンドパーク	風力発電補完	二又風力発電所建設準備

出所) 2次資料を参考に作成。

日本ガイシは、表 3 に示されるように、1995 年 10 月の中部電力を皮切りとして、東北電力、北陸電力、中国電力など東京電力以外の電力会社にも、実証試験の名目で NAS 電池

¹⁰⁰ 中林 (2004a)。

¹⁰¹ 日経産業新聞 (1997 年 4 月 11 日)。

¹⁰² 日経産業新聞 (1998 年 7 月 15 日)。

¹⁰³ 日経産業新聞 (2000 年 12 月 8 日)。

¹⁰⁴ 同社有価証券報告書にもとづく。

を納入していた。1998年頃までは、電力会社を主たる顧客にしていたのであった¹⁰⁵。しかし、T5型単電池の完成によって実用化のための基本技術が確立されたと考えられると、自社を需要家に見立てて500kWシステムを導入し、実証試験を経て大口需要家に販売する計画を発表している¹⁰⁶。

ところが、1999年のNAS電池販売は不振であったため¹⁰⁷、翌2000年には国内外の需要開拓活動を本格化することになる¹⁰⁸。まず、これまで企業などの需要家に対してはピーク電力の抑制を訴求してきたものの、今後は非常用電源や無停電電源機能も併せて訴求することが決められた。次に、海外市場への展開が視野に入れられるようになる。ABB社のNAS電池撤退に伴う制約の解消からより積極的な海外展開が可能になっていた。この2000年には、米国の大手電力会社American Electric Power (AEP)社から実証試験用にNAS電池を受注し、米国市場における事業展開の可能性が考えられるようになった¹⁰⁹。米国ではカリフォルニア州で起きた電力危機に象徴されるような、電力自由化を背景とした合理化による電力品質の低下が問題視されるとともに、情報化の進展などで無停電装置の需要が増えていた。また、欧米では環境意識の高まりとともに自然エネルギーの利用が拡大していた。どちらの事情も、NAS電池の事業機会につながると考えられたのであった。

このような用途の再定義の下で、2000年前後から需要家設置用および風力発電併設用として最後の実証試験が開始され、プロジェクトは事業化へと前進していくことになる。東京電力では2001年度に、NAS電池の実証試験投資が減少したことを理由として、人件費を除く社内研究開発費を60億円減の360億円としている¹¹⁰。一方、「顧客向けサービスとしてNAS電池の使い勝手を高める研究」等には52億円が割り当てられている。

3-6. 技術開発活動による導入コストの低減

1992年の50kW原型機完成以降、NAS電池の導入コスト低減は、耐久性・安全性の確保とともにプロジェクトの大きな課題であり続けた¹¹¹。NAS電池の事業化にあたって、一貫してプロジェクトを苦しめたのが、顧客が支払う初期費用にあたるこの導入コストであった。電力自由化の進展は、NAS電池に事業化の機会を与えることになった一方、顧客が要求する単価の水準をいっそう厳しいものにしてきた¹¹²。揚水代替のために大幅な導入コスト低減が必要であったのと同様に、最終顧客に設置する分散電源としても大幅な導入コ

¹⁰⁵ 中林 (2001) および日本経済新聞 (1998年11月23日)。

¹⁰⁶ 日経産業新聞 (1998年7月15日)。

¹⁰⁷ 日本経済新聞 (1999年10月27日)。

¹⁰⁸ 日本経済新聞 (2000年12月7日)。

¹⁰⁹ 高山 (2004)。

¹¹⁰ 日経産業新聞 (2001年4月20日)。

¹¹¹ 1986年に竹見から日本ガイシ社長を引き継いだ小原も、日本経済新聞 (1991年12月8日) 紙上において「机上作戦では下がっても実際のコストダウンは難しい」とNAS電池の導入コスト削減が困難であったことを語っている。

¹¹² 日本経済新聞 (2005年1月13日) 掲載の日本ガイシ社長松下篤の発言にもとづく。

コスト低減が必要であった。量産化によるコスト低減も見込まれたものの、事業化までに様々な技術開発が行われている。コスト低減を目標とした単電池の大型化はエネルギー効率を低下させるため、エネルギー効率の向上に力が注がれた。

まずβアルミナ管については、ナトリウム・イオン伝導抵抗を低下させることでエネルギー効率の向上が行われるとともに、大型化した電池運転時の昇降温過程で破損しない強度を実現することが目指された。そのために、原材料の組成や結晶組織の制御技術と、不純物や微小欠陥を検出する検査技術が開発された¹¹³。

単電池についても、βアルミナ管とあわせて電池抵抗の86%を占める正極の抵抗低減によってエネルギー効率向上が図られ、電池容量の減少を小さくするための防食技術が開発された。電池運転時の昇降温過程で部品の熱膨張・収縮率の差が応力となって電池を破損させるため、βアルミナ管のみならずガラス・熱圧接合部の強度を上げた上、応力を緩和する設計が採用された¹¹⁴。また、電池の温度低下によって運転温度を維持するヒーターが作動すると、モジュールのエネルギー効率が低下するため、真空断熱設計と断熱マットを採用することで断熱容器からの放熱が減らされた。

安全性の確保については、「多重防護」の考え方が採用された。単電池を破損させず、破損しても活物質が漏れず、漏れても他の電池に連鎖せず、モジュール内で完結する、といった考え方である。単電池には活物質の漏れを防ぐ安全管や過剰電流を防止するヒューズが配置された。モジュールは、単電池間に乾燥砂を充填することで酸素量・反応熱を制限したうえ、外的なストレスの緩和に配慮がなされた¹¹⁵。

量産のための製造技術開発では、「単一製品としては当社（日本ガイシ）が扱ってきた製品群の中でもっとも複雑な工程からなって」いたため、安価な原材料の利用および部品の簡素化と標準化に加えて、工程の短縮と自動化が徹底的に行われた¹¹⁶。βアルミナ管の製造工程では、1977年にフォードが開発した30工程の粉体調整を4工程に大きく短縮する直接合成法や、接合時間を6分の1以下に短縮する連続接合炉などが開発された。電池及びモジュールについても製造工程の見直しが繰り返され、ナトリウム自動充填装置や、硫黄モールド自動成型装置、自動配線接続装置が開発されるとともに、組み立て・検査工程にいたるまでロボットの導入による自動化が行われた。

システムの開発では、電力負荷平準化をこなすNAS電池に、非常用電源機能、瞬停対策用電源機能、無停電電源機能などを付加するための開発と、一般需要家が操作しやすく危

¹¹³ 磯村・梶田（2004）。

¹¹⁴ 古田他（2004）。

¹¹⁵ 日本ガイシでは、2005年2月7日に愛知県小牧市のNAS電池工場において、耐電圧試験中に1台のモジュール電池から出火を経験している（日本ガイシニュースリリース、2005年2月10日）。しかし、多重防護の考え方にもとづく安全策がとられていたため大事にいたらず、翌月には一部の検査設備を除いて操業が再開されている（日本ガイシニュースリリース、2005年3月24日）。

¹¹⁶ 横井他（2004）。括弧内は、筆者による補足。

険が生じにくいインタフェースの開発が行われた¹¹⁷。また、一般需要家に納入する電池パッケージに電池制御機能を収納したり、同パッケージをプレハブ一体構造にしたりすることで、機器および導入工事のコストが削減された。

導入コストの低減には、このような技術開発に加えて、生産量の増大が寄与することになる。NAS 電池の生産量が増える足がかりになったのは、東京電力による需要家への営業活動の開始であった。

3-7. 営業体制の確立から事業化へ

NAS 電池は、電力需要家が環境に配慮しながら電気料金の削減と電力品質の安定化に利用できることと、自然エネルギー発電の出力安定化に利用できることを中心に、用途が明確化され、事業化が行われた。事業化は、東京電力による営業活動の開始と、日本ガイシによる量産の開始を通じてすすんだ。東京電力は、NAS 電池のリース販売をてがけて顧客の導入コスト低減に努め、運転の監視や保守業務を請け負った。東京電力管外では、他の電力会社も NAS 電池の販売活動を開始した。その結果、NAS 電池は下水道処理施設や研究施設、工場、小売施設、病院などへ納入されはじめた。東京電力を中心とする営業活動と、日本ガイシによる量産の開始によって、NAS 電池の生産量は増え、導入コストは低下していった。ただし、コストダウンには工程の自動化や部品の標準化などいっそうの努力が必要であったため、2005 年度まで NAS 電池の普及の遅れがたびたび指摘されていた。2006 年度にはいと、状況は改善の兆しを見せ始めた。

2000 年前後に行われた用途・ターゲット顧客の再検討を経て、NAS 電池のプロジェクトは事業化段階へとすすんでいった。NAS 電池の販売は、以下の諸点を訴求することですすめられた。まず、電力の需要家に対する訴求点は大きく分ければ 3 点である。第 1 に、電力の需要家は、自家発電を始めたり電力会社以外の小売り業者と新規の取引を開始したりせずとも、電力料金を節約することが NAS 電池の設置によって可能になる。第 2 に、NAS 電池の設置には相応の導入コストが必要になるものの、基本になる負荷平準化機能に加えて、非常用電源機能や瞬低対策機能、無停電電源機能を搭載することが可能になるため、需要家は別途これを用意する必要がなくなる。第 3 に、NAS 電池は完全密閉構造のため、ほかの発電機器と違って CO₂ をはじめとするガスが発生せず環境への負荷が低い。したがって、社会的な要請が高まる環境問題に配慮しながら、安価な電気料金と高い電力品質を確保できる。NAS 電池は、電力会社が既存の送電線による電力一貫供給事業を維持し、自由化による顧客離れを食い止める一助になると考えられていた。

一方、風力などの自然エネルギーは、その出力の不安定性が普及を阻むボトルネック（隘路）になっていたため、NAS 電池を併設することによって、これを克服することが可能になる。自然エネルギーは各国で電力会社に一定割合の利用が義務づけられるようになってきているため、これを補完する装置としての認識が高まれば、NAS 電池には相応の需要が

¹¹⁷ 阿部 (2004)。

見込めるはずであった。

このような用途先と訴求点の明確化にもとづく事業化は、2つの活動を通じて展開を始めることになる。東京電力による営業部隊の編成と、日本ガイシによる量産工場の建設・稼働である。東京電力では、2001年9月頃までに翌02年からNAS電池を一般需要家に販売することが決定された¹¹⁸。NAS電池のプロジェクトはそれまで営業部との接点がなかったため、営業部は同電池の実用性について半信半疑であったものの、やがてこれを認め、電力需要家へ積極的な販売を行うようになった。プロジェクトと営業部の接点になったのが、技術開発本部開発計画部開発計画グループマネージャーを務めた矢部邦明であった。開発計画部グループは、技術開発の成果を商品あるいは現場の技術として利用できるようにすることをミッションの1つにしており、NAS電池についても代々のグループマネージャーがその用途先について知恵を絞っていた。

2001年10月、開発計画部の積極的な働きかけを背景として、東京電力法人営業部に田中晃司をグループマネージャーとする10人のNAS電池営業部隊が組織された。営業部隊の半数に当たる5人は、開発部隊から異動していた。営業部隊は、2007年までに25人程度まで増員されていく。東京電力は500kW以上の電力を利用する半導体工場等大口需要家を対象に、翌02年4月から1kWあたり約20万円でNAS電池を販売することを発表した¹¹⁹。需要家が1000kWのNAS電池を導入する初期費用は、約2億円であった。営業初年度の売上目標は、1.5万kWの受注による売上高30億円である。東京電力では、NAS電池を販売するのみならず、販売後の電池運転監視や保守業務を請け負うことが計画された。

また、営業開始3ヶ月前の2002年1月には、NAS電池のリース事業を開始することが決められている¹²⁰。同電池の初期費用の高さが購入の障害となることを避けるための措置であった。東京電力が日本ガイシからNAS電池を買いとって、顧客にリースし、電池運転監視や保守業務まで行う。顧客は10年程度のリース契約を東京電力と締結すれば、月々のリース料金を支払うだけでNAS電池を利用できる仕組みであった。このリース事業は、NAS電池や氷蓄熱式空調システム「エコアイス」¹²¹等を電気料金が最小になるように組み合わせたエネルギー供給システムの、顧客への一括リース事業に発展している¹²²。さらに、東京電力は、同社が商社とともに子会社を通じて展開する総合エネルギー供給事業を通じて、NAS電池の提供を図っている¹²³。

東京電力における営業体制の確立を機に、共同開発体制をとってきた東京電力と日本ガ

¹¹⁸ 日本経済新聞（2001年9月2日）。

¹¹⁹ 日本経済新聞（2001年10月20日）。

¹²⁰ 日経産業新聞（2002年1月18日）。

¹²¹ エコアイスは、日本の電力会社とダイキン工業、日立製作所、三菱電機、東芝などが開発した蓄熱機器で、料金が安価な夜間電力で氷をつくり、昼間の冷房などに活用することができる。

¹²² 日本経済新聞（2002年12月5日）。

¹²³ 東京電力と三菱商事が出資する日本ファシリティ・ソリューションは、受電から保守点検までの一貫システム運営会社を顧客ごとにプロジェクト会社として設立する省エネ支援事業を行っており、同事業にNAS電池を組み込んでいる（日経産業新聞、2003年5月7日）。

イシの間で、販売に関する協定が結ばれることになった。まず、東京電力の電力供給管内については、日本ガイシが製造した NAS 電池を、東京電力が営業の窓口として販売し、他の電力機器を加えたシステムとして供給する。また、東京電力は NAS 電池販売後の運転監視業務や保守業務を請け負う。この場合、日本ガイシは NAS 電池の販売収入を得る一方、東京電力はシステムの販売収入と運転・保守業務の収入を得た上、電力需要家の顧客としての維持が期待できる。他方、東京電力の管外については、日本ガイシが NAS 電池の製造のみならず営業まで行う。ただし、共同体制による事業化であったことから、東京電力は自社管外における NAS 電池販売について、一定のロイヤリティ収入を得る。また、東京電力以外の電力会社管内においても、NAS 電池の便益が電気料金に関わるため、電力会社が需要家サービスとして提供するケースが大半であった¹²⁴。

結果として東京電力を通じた販売が大多数を占めることになるものの、東京電力以外の電力会社も 2001 年頃から NAS 電池の販売準備を開始した。たとえば、他の電力会社同様にこの頃からコージェネレーション機器等の分散型電源事業をすすめていた東北電力は、同事業における NAS 電池の活用を念頭に、需要家設置用の実証試験をグループ会社と始めている¹²⁵。また、2001 年末には九州電力が、日本ガイシ製 NAS 電池の大口需要家向け販売を発表している¹²⁶。電力自由化を機に九州電力との取引を停止しはじめた大口需要家を、同社につなぎ止める「ソリューション（問題解決策）営業の柱として育てる」計画であった。九州電力は、2002 年に NAS 電池の事業化を前提とした実証試験を福岡市水道局において開始し、翌 03 年には東京電力の後を追うように NAS 電池のリース事業を始め、年間 4000kW の受注を見込んでいる¹²⁷。

東京電力を中心とした営業活動の開始は、NAS 電池の出荷量を大きく伸ばしていくことになる。本格的な営業活動の開始は 2002 年度からであったものの、2001 年度中にも顧客への納入が行われた。2001 年 7 月にアサヒビール神奈川工場へ 1000kW の NAS 電池が試験導入されたのに続いて、同年末には東京都葛西水再生センターへ初めて「完成品」として納入された¹²⁸。導入費用 4 億円の半分を国が負担する取引であったものの、実証試験ではなく、商品としての実動が保証された販売であった。東京都では、下水道関連施設に NAS 電池を継続導入する計画が立てられ、プロジェクトの NAS 事業にとって重要な顧客の 1 つになっていった。表 4 に示されるように、2003 年から 2007 年にかけて、新町給水所、江東給水所、森ヶ崎水処理センター、砂町水再生センター、みやぎ水再生センター、北多摩 1 号水再生センターと継続的に東京都へ納品が行われている。特に森ヶ崎水処理センターへは、8000kW という大容量の NAS 電池が納入されている。都市部の下水道関連施設は雨量によって電気使用量が激しく変動するため電力負荷平準化のニーズが高く、23 区の下水

¹²⁴ 中林（2004b）。

¹²⁵ 日本経済新聞（2001 年 2 月 14 日；2001 年 11 月 2 日）。

¹²⁶ 日本経済新聞（2001 年 12 月 26 日；2002 年 1 月 30 日）。

¹²⁷ 日本経済新聞（2003 年 2 月 7 日）。

¹²⁸ 日本経済新聞（2001 年 7 月 27 日）。

道処理のみで東京都全体の1%にあたる電気を消費していた。東京都は、電気料金の節約とCO₂排出量の削減を目的に、NAS電池の継続導入を決めたのであった¹²⁹。続く2002年度からは、東京電力管内を中心に研究施設や工場、小売り施設、大学、病院などへNAS電池が販売された。

表4. 日本ガイシ製NAS電池の納入例

年	設置容量 (kW)	機関名	設置場所	主用途	参考資料
2001	1,000	東京都	葛西水再生センター	需要家	日本経済新聞(2001年7月27日; 2001年12月8日; 2002年4月8日; 2002年5月15日)
2002	1,000	富士通	あきる野テクノロジーセンター	需要家	日本経済新聞(2002年6月12日; 2002年7月17日)
	1,000	イトーヨーカ堂	関東の大型2店舗	需要家	日経MJ(2002年2月5日)
	1,000	富士ゼロックス	海老名事業所	需要家	日本ガイシプレスリリース(2002年12月16日)
	800	高岳製作所	小山事業所	需要家	日本ガイシプレスリリース(2002年12月16日)
	2,000	パシフィコ横浜	国際放送センター	需要家	日本ガイシプレスリリース(2002年12月16日)
	400	神奈川県横浜市	今井排水池	需要家	日本経済新聞(2002年6月28日); 横浜市web「環境保全の取り組み」 (http://www.city.yokohama.jp/me/suidou/kyoku/torikumi/kankyo-hozen/nas.html)
1,000	明星大学	日野キャンパス	需要家	明星大学(2007)	
1,000	東京電力	秩父変電所	変電所	日本ガイシプレスリリース(2006年7月21日)	
2003	200	東京都	新町給水所	需要家	日本経済新聞(2003年3月6日)
	300	東京都	江東給水所	需要家	日本経済新聞(2003年3月6日)
	1,000	東京ドーム	ラクーア	需要家	日本経済新聞(2003年5月17日)
2004	1,000	東京電力	上山変電所	変電所	日経産業新聞(2003年8月15日)
	1,000	東京電力	松尾変電所	変電所	日経産業新聞(2003年8月15日)
	8,000	東京都	森ヶ崎水処理センター	バイオマス発電補完	日経産業新聞(2003年3月27日)
	500	佐賀市	市役所庁舎	需要家	日本経済新聞(2003年6月11日)
	na	神奈川県横浜市	上永谷配水池	需要家	横浜市プレスリリース(2004年4月12日)
	500	大洋薬品工業	高山工場	需要家	日経産業新聞(2004年5月10日)
	4,000	日本たばこ産業	北関東工場	需要家	日経産業新聞(2004年8月3日); (財)省エネルギーセンターweb (http://www.eccj.or.jp/succase/07/c/kan07.html)
	8,000	日立製作所	オートモーティブシステムグループ	需要家	日本ガイシ2004年度事業報告書(2005年6月)
	1,400	東京都	葛西水再生センター	需要家	東京都「主要事業の進捗状況報告書(平成16年度前期)」(2004年10月29日)
	250	持田製薬	大田原工場	需要家	日経産業新聞(2004年5月28日)
	2,000	東海大学	医学部付属病院	需要家	日経産業新聞(2003年5月7日)
	1,000	キャノン	平塚事業所	需要家	(財)ヒートポンプ・蓄熱センター(2005)『COOL&HOT』, no.23
	2,000	キャノン	矢向事業所	需要家	同上
na	富士通	会津若松工場	需要家	日経産業新聞(2006年8月25日); 富士通「各工場環境経営報告書2005年度」 (http://jp.fujitsu.com/microelectronics/environment/factory/2005/index_p2.html)	
2005	na	三菱化学	筑波事業所	需要家	日経産業新聞(2005年1月13日)
	500	TOTO	大分工場	需要家	日経産業新聞(2005年2月21日)
	2,000	東京都	砂町水再生センター	需要家	東京都下水道局「下水道環境ガイド」 (http://www.gesui.metro.tokyo.jp/kanko/kankou/kankyou/guide03.htm)
	2,000	富士通	三重工場	需要家	中部電力プレスリリース(2005年平成4月27日)
	na	玉川学園	玉川大学キャンパス	需要家	玉川学園「2005自己点検・評価報告書」(2006年3月)
	500	神奈川県横浜市	中部水再生センター	需要家	横浜市web「ISOパイロット活動(優秀事例集)」 (http://www.city.yokohama.jp/me/kankyou/mamoru/iso/pilot/1708.html)
2,000	イトーヨーカ堂	Ario川口	需要家	(財)ヒートポンプ・蓄熱センター(2006)『COOL&HOT』, no.26	
2,000	三共	研究開発センター	需要家	(財)ヒートポンプ・蓄熱センター(2005)『COOL&HOT』, no.23	
2006	1,500	キリンビール	取手工場	需要家	日経産業新聞(2006年3月8日)
	1,000	徳島文理大学	徳島キャンパス	需要家	徳島文理大学ニュースリリース(2006年6月14日)
	750	伊藤忠テクノソリューションズ	データセンター	需要家	CTCデータセンターweb「環境への先進的取り組み」 (http://www.crc.ad.jp/datacenter/nas.html)
	1,000	AEP	ウエストバージニア州	変電所	東京電力プレスリリース(2006年7月21日); 日経産業新聞(2006年7月24日)
	1,000	富士通	三重工場	需要家	日経産業新聞(2006年8月25日)
	2,000	イトーヨーカ堂	Ario亀有	需要家	(財)ヒートポンプ・蓄熱センター(2006)『COOL&HOT』, no.26
	2,000	富士フィルム	先進研究所	非常用電源兼用	(財)ヒートポンプ・蓄熱センター(2006)『COOL&HOT』, no.26
	2,000	東京都	みやぎ水再生センター	需要家	東京都下水道局「下水道環境ガイド」 (http://www.gesui.metro.tokyo.jp/kanko/kankou/kankyou/guide03.htm)
2007~	na	東京都	北多摩1号水再生センター	需要家	東京都「主要事業の進捗状況報告書(平成16年度前期)」(2004年10月29日)
	12,000	ホンダ	四輪開発センター栃木	需要家	本田技研「HONDA環境年次レポート2007」(2007年6月26日)
	34,000	日本風力開発	二又風力発電所	風力発電補完	日本経済新聞(2007年1月30日; 2007年4月20日); 分散型発電新聞(2007年4月4日)
	6,000	AEP	ウエストバージニア州 オハイオ州	変電所・ 風力発電補完	日本経済新聞(2007年10月4日)

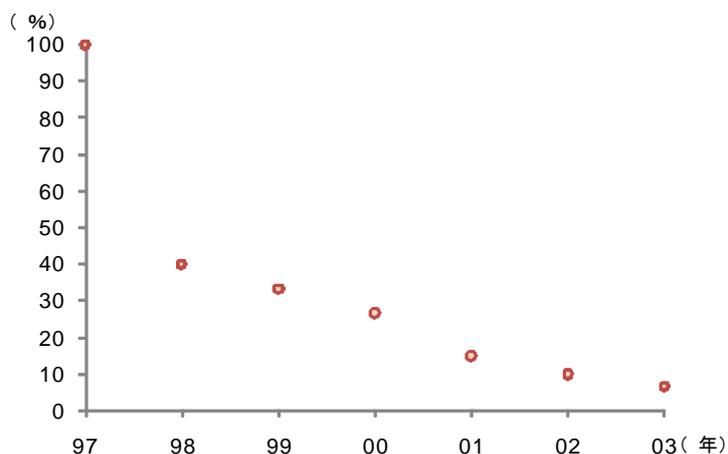
出所) 表中に示した参考資料にもとづいて筆者が作成。

東京電力による営業体制の確立とともにNAS電池の事業化を推し進めたのが、日本ガイシによる量産体制の確立であった。日本ガイシでは、50億円を投じて愛知県小牧市に年産6.5万kWの生産能力を持つNAS電池工場を建設し、2003年度からこれを稼働させた。年間90億円程度の売上高をあげることが目標とされ、数年後には年産20万kWまで生産能

¹²⁹ 日本経済新聞(2001年12月8日; 2002年4月8日)。

力を拡張することが計画された¹³⁰。量産の開始による生産量の増大は、図 6 に示されるような NAS 電池本体の導入コスト削減に寄与することが見込まれていた¹³¹。

図 6. NAS 電池本体（1000kW）の 1kW あたり推計導入コストの推移



注) 各年の値は、1997 年の値を 100 としたときの比率で示されている。また電池本体のみについての値で、電池と組み合わせる交直変換器や設置工事の費用を含まない。

出所) 中林 (2004b) および日経産業新聞 (1998 年 5 月 27 日 ; 1999 年 2 月 9 日 ; 2001 年 12 月 28 日 ; 2002 年 1 月 18 日) 参考で作成。

ただし、電力自由化に直面した顧客が要求する水準まで導入コストを削減することは容易ではなく、事業化後も生産工程の一層の自動化や部品の標準化などの努力が重ねられた¹³²。電池本体の導入コスト目標値は、揚水代替を目指していた頃よりも厳しい 1kW あたり 15 万円であった。導入コストの高さに起因する NAS 電池の普及の遅れは、2005 年頃までたびたび指摘されていた¹³³。2003 年 8 月に発表された、東京電力による同社変電所への本格的導入には、自社使用による増産を通じて NAS 電池の価格を引き下げる狙いもあったという¹³⁴。両社によるコスト削減努力と営業努力を通じて、2006 年度頃には需要の拡大が見込まれるようになった。

3-8. NAS 電池事業のこれまでの成果

およそ 20 年間かけて事業化された東京電力と日本ガイシの NAS 電池事業について、2007 年の現在における経営成果の観点からみておく。2006 年 9 月時点で、両社の NAS 電池は電力需要家を中心に約 8 割が東京電力管内に納められており、半数が非常用電源等の

¹³⁰ 日本経済新聞 (2001 年 12 月 8 日 ; 2003 年 5 月 17 日)。

¹³¹ 中林 (2004b)。

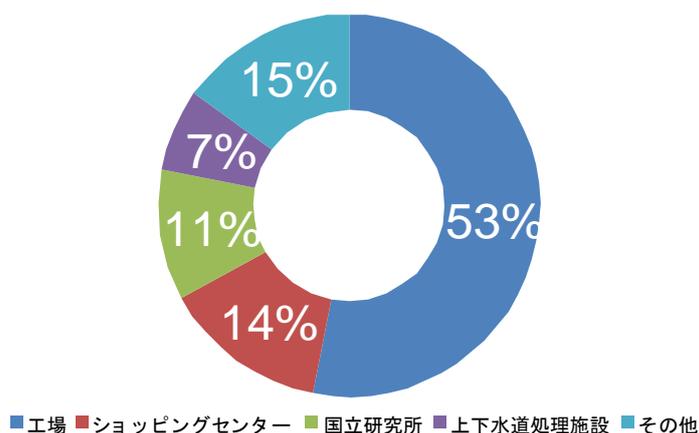
¹³² 日本経済新聞 (2005 年 1 月 13 日) 掲載の日本ガイシ社長松下篤の発言にもとづく。

¹³³ たとえば、日本経済新聞 (2003 年 2 月 7 日 ; 2004 年 12 月 16 日 ; 2005 年 1 月 13 日)。

¹³⁴ 日経産業新聞 (2003 年 8 月 15 日)。

付加機能を持つ兼用型であった。日本ガイシでは、プロジェクトが置かれた電力関連事業とともに、時期をずらしながら成長期を迎えた多角化事業が、長期化する NAS 電池の開発を支えていた。一時伸び悩んだ同社の NAS 事業は、海外電力会社の設備投資抑制や、国内外の風力発電需要を追い風に、2006 年度から収益を改善させており、同年度には電力関連事業売上高の 14%程を占めている。他方、東京電力は設備投資の抑制と値下げを通じて、電力自由化後の需要維持に努めてきたものの、近年では同社管内で 4%強の市場シェアを新規小売業者が獲得している。東京電力の経営成果に対する NAS 電池事業のインパクトは必ずしも明らかでない。ただし、思考枠組みを単純化すれば、同事業の収益とは別に、新規小売業者に切り替えた可能性がある同社顧客の 5%程をとどめたといえるかもしれない。両社の NAS 電池事業は、様々な製品技術と長期的に競合する可能性があるものの、量産規模で事業化された初めての電力貯蔵用電池として成長が期待されている。

図 7. NAS 電池の顧客カテゴリ別販売比率



注) 2006 年 9 月までの累計。納入容量ベース。

出所) 東京電力・日本ガイシ (2006)。

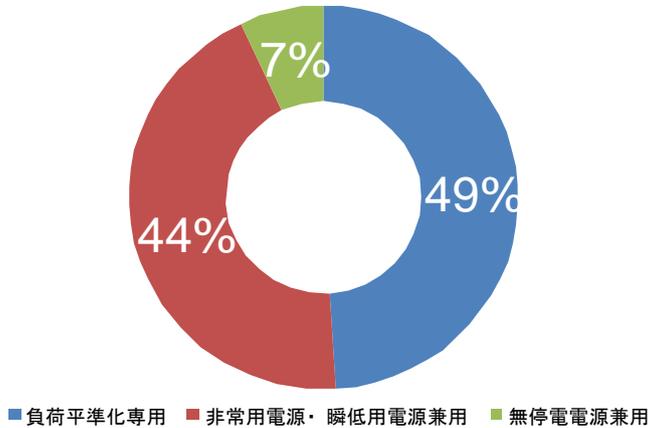
まず、NAS 電池の導入実績とその内訳からみていこう。NAS 電池は、表 4 に示されるような顧客に対して、2006 年 9 月までに国内 92 カ所、13.2 万 kW が納入されている¹³⁵。このうち東京電力管内への納入は 71 カ所、11.5 万 kW であるため、納入先数で 77%、納入容量で 87%を占めることになる。また、販売の 8 割が、買い取り方式ではなく、リース方式によるものであった。顧客は、リース方式や国の助成制度などを利用しながら NAS 電池の導入コストを低減し、購入に踏み切っていると思われる¹³⁶。関東への導入の集中とともに、東京電力による営業およびリース方式採用が NAS 電池の販売増に寄与していると考え

¹³⁵ ここで示す NAS 電池の納入実績は、東京電力・日本ガイシ (2006) にもとづいている。

¹³⁶ 国はエネルギー資源を有効活用する事業に対して、様々な助成制度を実施しており、NAS 電池の導入事業を助成対象の 1 つとするものには、経済産業省が実施する「先導的負荷平準化機器導入普及モデル事業」等がある。

られる。

図 8. NAS 電池の搭載機能別販売比率



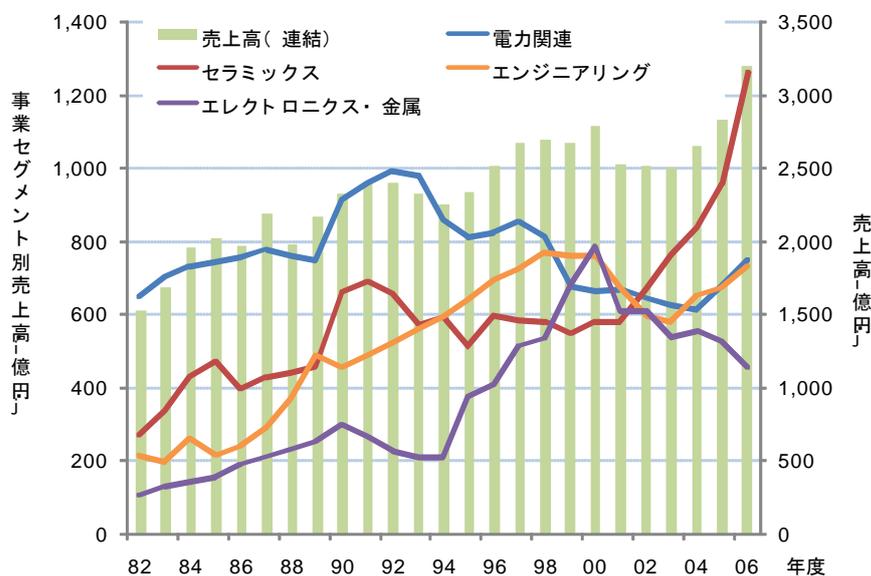
注) 2006 年 9 月までの累計。納入容量ベース。

出所) 東京電力・日本ガイシ (2006)。

NAS 電池の設置場所は、変電所よりも電力需要家が圧倒的に多かった。顧客の需要家を事業カテゴリ別にみると、図 7 に示されるように、納入容量ベースで工場が半分を占め、ショッピングセンター、国立研究所、上下水道関連施設がこれに続いている。東京電力と日本ガイシの調査によれば、顧客に応じて、NAS 電池の主な導入理由は異なっていた。スーパーマーケットや百貨店などのショッピングセンターでは、「電気料金の削減」が大きな理由としてあげられている。これに対して、上下水道処理施設や半導体・精密部品メーカーの工場、病院施設では、安定的に高品質の電力供給を得るための「電源の高信頼度化」と「メンテナンスの容易性」があげられている。環境問題対策に積極的な企業や学校では、「大気汚染対策が不要」であることが、あげられている。このようなニーズの差異は、導入された NAS 電池の搭載機能にも反映されていると思われる。図 8 に示されるように、納入容量ベースで、顧客の電気料金削減に資する負荷平準化専用型が 49%、残り 51%は非常用電源機能や瞬低対策機能、無停電電源機能をもつ兼用型であった。納入容量ベースで顧客の半分を占める工場において、電源の高信頼度化が重視されていることが背景にあると考えられる。

次に、日本ガイシにおける NAS 電池事業の経営成果へのインパクトをみておこう。まず、同社の売上高推移をみると、図 9 に示されるように過去 20 年余りの間に約 3200 億円へ倍増している。ただし、事業セグメント別に売上高の推移を見れば、同社の社名を冠した碍子製品を擁する電力関連事業は、近年復調しているものの、1992 年度をピークとして長期的な成熟傾向にあるように思われる。国内電力会社による設備投資の抑制が続いていることが同事業売上高減少の一因である。

図 9. 日本ガイシの売上高（連結）および事業セグメント別売上高の推移



注 1) 売上高変動の長期的な傾向を確認することを目的として、1999 年度から 2002 年度まで一時的に連結対象となった旭テックの売上高を、「売上高（連結）」から除いている。

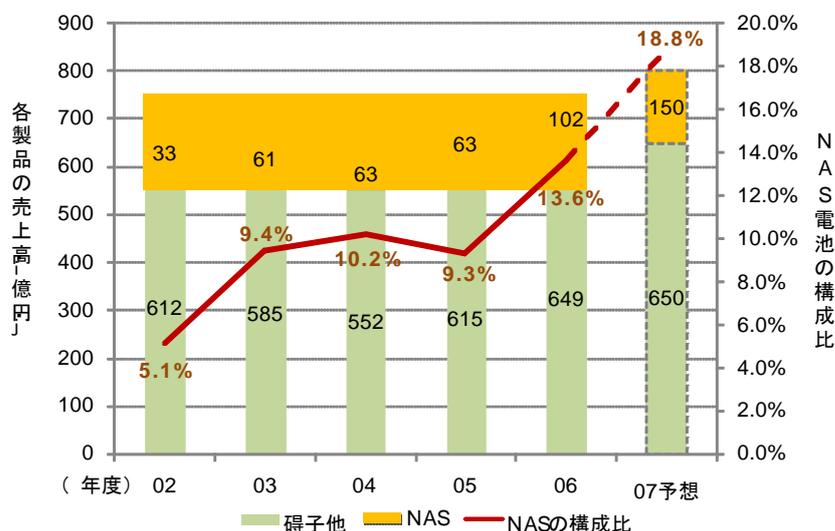
注 2) 「事業セグメント別売上高」については、日本ガイシの発表形式変更に伴い、1989 年度までは単独、翌 90 年度からは連結のデータにもとづいている。また、「エレクトロニクス・金属」事業については、1995 年度まで「金属」事業、翌 96 年度からは「エレクトロニクス」事業として、同社有価証券報告書に記載されている。プリンタ用セラミックス部品は 1995 年度まで「セラミックス」事業に、翌 96 年度から「エレクトロニクス」事業に算入されている。これ以外の製品についても、集計期間中に算入事業分野の変更があった可能性がある。

出所) 日本ガイシ有価証券報告書を参考に作成。

電力関連事業に代わって日本ガイシの成長を牽引したのは、この 20 年余りの間に急成長を遂げたセラミックス事業とエレクトロニクス事業、エンジニアリング事業であった。自動車向け排気ガス・フィルタに代表されるセラミックス事業は、1990 年代にいったん成長が止まるものの、2000 年代には世界的な排ガス規制強化を背景にディーゼル車向け製品を中心として急激な成長を遂げている。同社が 1950 年代頃から取り組んだベリリウム銅関連製品を中心とする金属事業は、1990 年代半ばから急速に立ち上がったプリンタ用圧電セラミックスや携帯電話向け部材などとともに、エレクトロニクス事業として再編され、2000 年頃まで急拡大している。また、下水処理装置や焼却プラントを展開するエンジニアリング事業も、1970 年代に立ち上がった後、2000 年代まで成長を続けている。これら各事業が時期をずらしながら成長期を迎えたことが、なかなか芽が出ない NAS 事業の開発を下支えする余力になっていたのかもしれない。1992 年以降縮小傾向にあった電力関連事業も、

1998 年頃までは 11%～15%の営業利益率を維持しており¹³⁷、同事業の一部に位置づけられる NAS 電池開発を支えたという。

図 10. 日本ガイシ電力関連事業における製品別売上高推移



注) 2007 年度は、中間決算 (2007 年 9 月期) における日本ガイシ予想値。

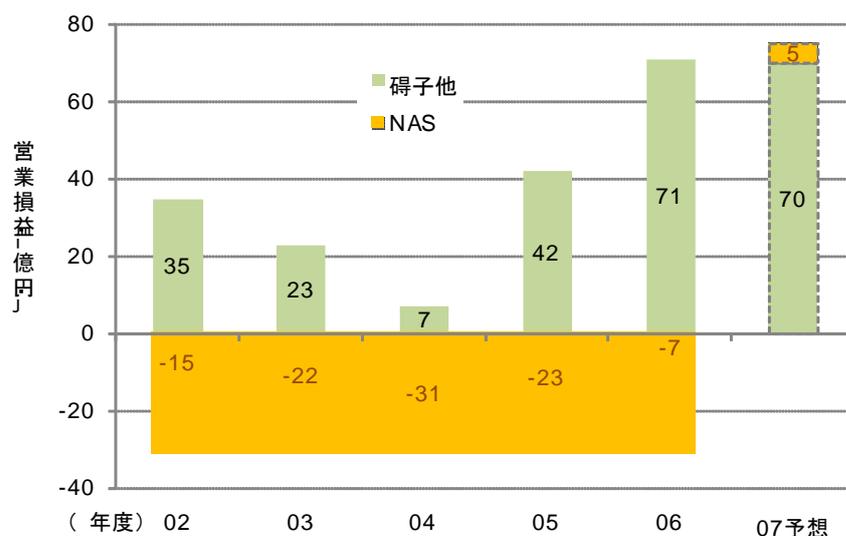
出所) 日本ガイシ決算説明会プレゼンテーション資料 (2006 年 5 月 12 日 ; 2007 年 10 月 30 日) を参考に作成。

一方、NAS 電池事業そのものの売上高をみると、図 10 に示されるように、営業体制の確立によって本格的な販売が開始された 2002 年度は 33 億円で、量産が開始された翌 03 年度に 61 億円に倍増するものの、05 年度まで同水準が続いていた。しかし NAS 電池事業の売上高は、2006 年度には事業化当初目標としていた 100 億円を超え、翌 07 年度は 150 億円を見込んでいる。2006 年度からの事業成果の改善傾向は、売上高のみならず、営業損益にも及んでいる。図 11 に示されるように、営業損失は 2004 年の 31 億円をピークに縮小し始めており、07 年度には黒字転換が見込まれている。NAS 電池事業の成果が改善しはじめた背景には、生産工程の合理化とともに、海外への販売と風力発電との組み合わせ需要の増加があるという¹³⁸。

図 11. 日本ガイシ電力関連事業における製品別営業損益推移

¹³⁷ 日本ガイシの有価証券報告書にもとづく。

¹³⁸ 日本ガイシの 2006 年度有価証券報告書および 2006 年度事業報告書、2007 年度中間報告書、決算説明会プレゼンテーション資料 (2007 年 5 月 8 日 ; 2007 年 10 月 30 日)。



注) 2007年度は、中間決算(2007年9月期)における日本ガイシ予想値。

出所) 日本ガイシ決算説明会プレゼンテーション資料(2006年5月12日; 2007年10月30日)を参考に作成。

日本ガイシは東京電力と協力して、米国の電力会社 AEP 社へ 2000 年に 12.5kW, 2002 年に 100kW の NAS 電池を実証試験用に納めており、米 DOE がこれをモニターする契約を結んでいた¹³⁹。このときの納入契約が、米国市場における NAS 電池事業展開の足がかりになった。2006 年に、AEP 社ウエストバージニア州の変電所へ、1000kW 級 NAS 電池が設置されたのであった。NAS 電池の AEP 社への納入は、DOE による「電力貯蔵プログラムモデル事業」の認定を受け、助成対象となっていた¹⁴⁰。海外市場への初めての販売であった。米国を典型とする広大な大陸において送電・配電システムを整備するには、巨額の設備投資が必要になるうえ、景観面での規制をクリアする必要があると考えられた¹⁴¹。海外電力会社が送電・配電システムへの設備投資抑制に NAS 電池を利用するようになれば、同電池の海外市場における大きな需要先になる。

こうした需要に応えるため、日本ガイシでは、北米と欧州、豪州に対して、営業活動を展開することが決められた。翌 2007 年には、仏大手電力会社 Électricité de France (EDF) 社から、マダガスカルにある仏領の離島向け 1000kW システムの引合いがあった。離島の脆弱な発電設備を NAS 電池によって補完することが目的であったという。同年、AEP 社から 6000kW の追加発注を約 15 億円で受けることになった。AEP 社では、2006 年に納入された 1000kW システムが「電力の安定化に効果が高いと判断」されたため、追加発注が

¹³⁹ Norris et al. (2007) および AEP 社ニュースリリース (614/223-1903, 2002 年 9 月 23 日)。

¹⁴⁰ 東京電力プレスリリース (2006 年 7 月 21 日)。

¹⁴¹ 日経産業新聞 (2006 年 7 月 24 日)。

行われたという¹⁴²。AEP社は6000kWのうち、2000kWを風力発電の出力安定化のために使うことを発表している。

風力発電補完装置としてのNAS電池需要も、国内外において増加すると考えられた。近年では、各国において自然エネルギー導入が政策として促され、日本でも電気事業者に一定割合の自然エネルギー利用を義務づける「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法」（通称RPS法：Renewable Portfolio Standard）が2003年から施行されている。しかし風力をはじめとする自然エネルギー発電は、天候などによって出力が変動するため、その安定化が普及の大きな課題であると考えられている。そこで、風力発電事業者等向けにNAS電池の需要が高まると考えられた¹⁴³。日本ガイシと東京電力は、2001年度から八丈島風力発電所において風力発電補完用NAS電池の実証試験を開始していた。これが功を奏し、2007年に風力発電事業者の日本風力開発から34MWという大容量を受注することになった。日本風力開発が青森県六ヶ所村に建設中の二又風力発電所に、NAS電池が採用されたのであった。風力発電事業者によるNAS電池の採用には、NEDOが2007年度から開始した「風力発電系統連系対策助成事業」が追い風になっていた¹⁴⁴。NEDOでは、2000kW以上の風力発電機を新たに建設する事業者に対して、NAS電池やレドックスフロー電池、鉛蓄電池、リチウム・イオン電池など電力貯蔵設備の設置費用を、2012年度まで最大3分の1助成することが決められたのであった¹⁴⁵。

海外市場および風力発電補完用途への需要を背景に、日本ガイシではNAS事業の2007年度黒字転換を見込むことになる。同社では、2008年度以降にNAS電池量産工場の増床を行い、生産能力を拡充することが計画されている¹⁴⁶。2007年の現在において、NAS事業が日本ガイシの電力関連事業に占める売上高の割合は、図10に示されるように13.6%、全社の売上高に占める割合は3.2%である。

一方、東京電力は売上高が5兆円を超える巨大企業である上、同社のNAS電池事業の業績が公表されていないため、同事業の東京電力の経営への影響を直接みることは困難である。そこで、電力自由化が同社の経営成果に与えた影響について簡単にみた後、NAS電池事業の貢献を単純化して推し量ってみよう。

東京電力の売上高は、図12に示されるように5兆円前後で推移しており、その9割程度を電力収入と電灯収入によって表される国内の電気事業から得ている。図中には明示されていないものの、2000年度頃まで97%を占めた電気事業の比率は近年、若干低下している。これは、同社が情報通信事業や液化天然ガス（LNG：Liquefied Natural Gas）に代表されるエネルギー・環境事業、オール電化住宅等の住環境・生活関連事業へ多角化を進めたこ

¹⁴² 日本経済新聞（2007年10月4日）。

¹⁴³ 日本経済新聞（2007年1月30日）。

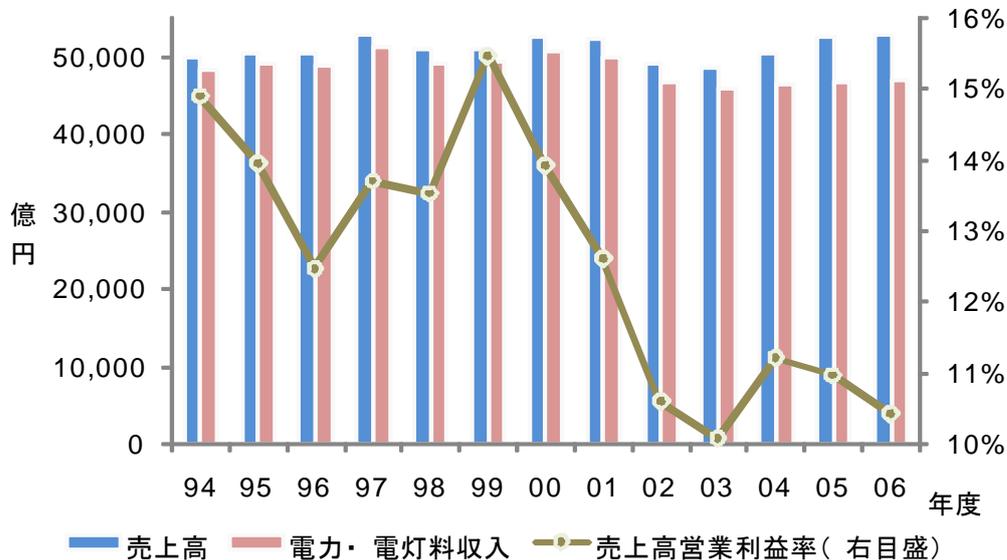
¹⁴⁴ 日本風力開発「平成19-22年度中期経営計画資料」（2007年9月26日）。

¹⁴⁵ 新エネルギー・産業技術総合開発機構（2007）。

¹⁴⁶ 日本経済新聞（2007年1月30日；2007年10月4日）。

とを反映している¹⁴⁷。

図 12. 東京電力の売上高と売上高営業利益率（連結）および電力・電灯料収入の推移



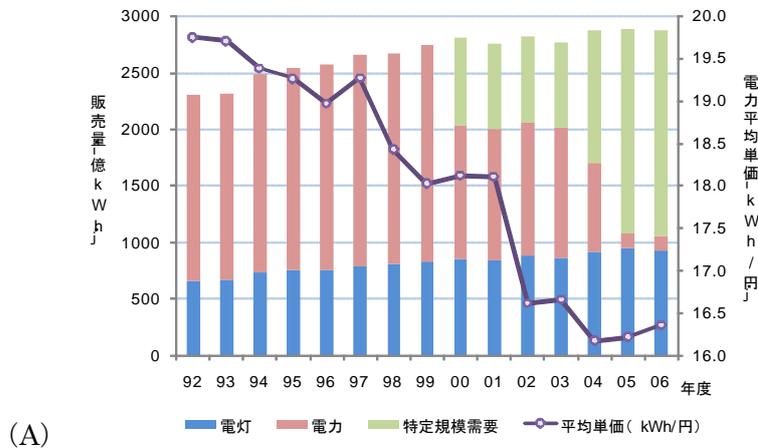
注) 電気の契約種別は一般家庭や小規模店舗等が利用する電灯と、オフィスビルや工場、大規模小売店等の大型施設が利用する電力（高圧）に大別される。ここでは両契約からの収入合計値を利用している。
出所) 東京電力ファクトブック（2007年4月）を参考に作成。

また、図 12 からは 2001 年度以降に電気事業の収入が若干減少していることをみてとることができる。2000 年度を基準にすれば、01 年度に 2%、02 年度からは約 8% の減少である。売上高営業利益率も、2000 年度以降あるいは 1990 年代半ばから低下傾向にあるように見える。電気事業収入や営業利益は、気候や経済社会情勢をはじめ様々な要因によって変動しうるものの、ここでは電力自由化の影響を考えておこう。

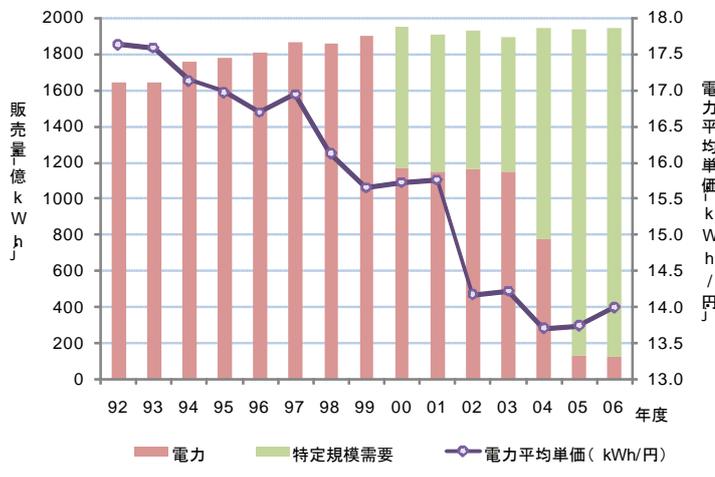
図 13 には、東京電力の電灯・電力販売量の推移と、収入を販売量で除して求めた電力平均単価の推移が示されている。日本の電力小売自由化は、2000kW 以上を受電する大口需要家を対象として 2000 年から開始され、04 年に 500kW 以上へ、翌 05 年に 50kW 以上へと対象が拡大されてすすんできた。1995 年の電力卸（発電）自由化で自家発電が可能になったのに続いて、2000 年以降は、特定規模電気事業者 (PPS: Power Producer and Supplier) と呼ばれる新規参入業者から需要家は電力を購入することが可能になった。図 13 (A) では、電力販売量のうち、電力小売自由化の対象となった顧客を特定規模需要として色分けしてある。

¹⁴⁷ 東京電力有価証券報告書および東京電力ファクトブック（2007年4月）。

図 13. 東京電力の電灯・電力販売量および平均単価の推移



(A)



(B)

注 1) 特定規模需要は、電力自由化の対象となった顧客。対象範囲は契約電力ごとに、2000年度から2000kW以上（特別高圧）、04年度から500kW以上（高圧）、05年度から50kW以上（高圧）。

注 2) (A) の平均単価は、電力収入と電灯収入の合計を、電力・電灯販売量（kWh）で除した値である。

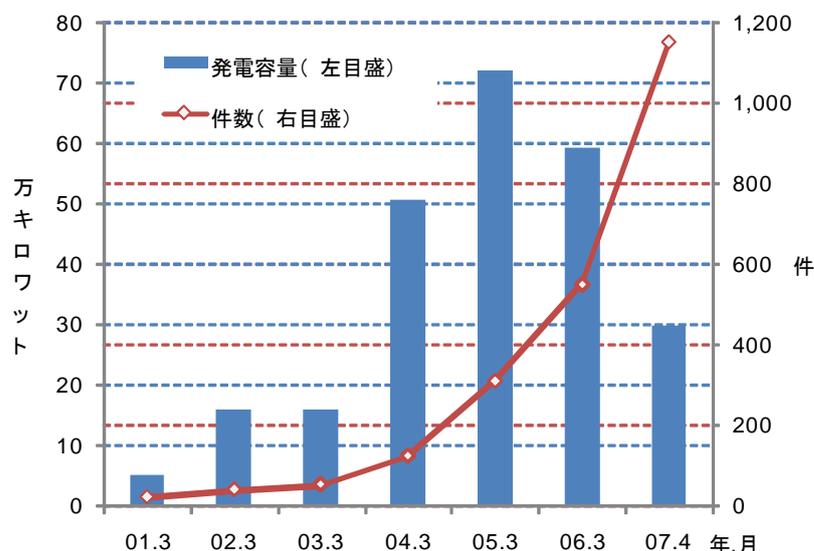
(B) の電力平均単価は、電力料収入を、特定規模需要を含む販売電力量（kWh）で除した値で、一般家庭や小規模店舗等で契約される電灯を含まない。

出所) 東京電力ファクトブック（2007年4月）を参考に作成。

図 13 (A) からは、東京電力の電力および電灯販売量の合計が、2000年度以降に減っておらず、むしろ微増傾向にあることと、1990年代から平均単価が低下しており、2000年度以降それが顕著であることがみてとれる。1992年度に1kWhあたり20円弱であった単価は、2006年度には16.4円まで下落している。電力小売自由化の対象ではない電灯をのぞく、電力の販売量と平均単価の推移は図 13 (B) に示されている。これをみると、やはり2000年度以降に電力販売量の大幅な減少は生じていないものの、電力平均単価は1992年度の1kWhあたり17円台後半から近年の13円台後半へ下落している。東京電力をはじめとす

る電力会社は、1990年代に電気料金の内外価格差を問題視する政府からの要請と電力自由化の進展への準備から値下げを開始し、2000年の小売自由化後には設備投資の抑制と度重なる値下げを通じた価格を武器に、需要の維持に努めたのであった¹⁴⁸。

図 14. 東京電力から PPS に切り替えた顧客件数および当該顧客向け発電容量の推移



出所) 日経産業新聞 (2006年2月16日; 2006年5月11日; 2007年5月10日) を参考に作成。

ただし、電力小売自由化によって、東京電力の顧客が減らなかったわけではない。2000年以降、電力会社は PPS に顧客を奪われ続けており、2006年4月1日時点では、累計で1943件、約345万kW分の顧客が電力購入を PPS に切り替えている¹⁴⁹。東京電力管内は PPS との競争が突出して激しく、同時点において PPS に切り替えた顧客の約7割が同管内に位置している。資源エネルギー庁によれば、2005年度の東京電力管内における PPS 販売量シェアは、4.14%であった¹⁵⁰。東京電力から PPS に切り替えた顧客は、2006年4月1日までの累計で、1400件、240万kW分である。図14に示されるように、電力小売自由化以降、この件数は増加し続けている。2005年度以降は、燃料価格の高騰やCO₂削減ニーズの高まりを背景として PPS の競争力が低下したため、発電容量で見れば顧客の流出率は減少傾向にある¹⁵¹。

以上のような電力小売自由化を背景とした顧客離れに対して、NAS 電池事業はどれほどのインパクトを持っていたらうか。同事業のインパクトは必ずしも明らかではない。しかし、状況を単純化して、1つの試算例を示しておく。いま、東京電力の管内において NAS

¹⁴⁸ 日本経済新聞 (1995年12月29日; 1998年2月9日; 2002年4月1日; 2006年8月10日; 2007年3月26日)。

¹⁴⁹ 日経産業新聞 (2006年5月11日)。

¹⁵⁰ 資源エネルギー庁総合資源エネルギー調査会電気事業分科会 (2006)。

¹⁵¹ 東京電力ファクトブック (2007年4月)。

電池が顧客に設置されることで、この顧客が PPS への購入切り替えをやめ、東京電力はこの顧客を維持できたとしよう。2006 年 9 月時点における NAS 電池の東電管内への設置は、71 カ所、11.5 万 kW である。また、2006 年 4 月時点までに東京電力から PPS へ購入を切り替えた顧客は、1400 件、240 万 kW である。仮に 4 月から 9 月までの間に購入の切り替えが進まなかったと仮定すると、NAS 電池の顧客維持への貢献比率は、件数および電力容量について 5%弱であったと試算することができる¹⁵²。ただし、この試算は顧客による自家発電・自家消費を含まない単純化された枠組みの下でなされている。また、東京電力の経営成果へのインパクトという観点からすれば、NAS 電池事業の収益そのものに加え、変電所への設置効果や、RPS 法への適応効果、同社の海外事業への影響といった要因についてみることができなかった。

2007 年の現在において、NAS 電池のほかに量産規模で事業化された電力貯蔵用電池はほとんどない。しかし、機能面からみれば様々な製品技術が NAS 電池と顕在的・潜在的な競合関係にある。まず、NAS 電池を分散型電源として考えれば、広く普及しているコージェネレーション機器が最大の競合製品である。あるいは、実証試験段階にある超伝導磁気エネルギー電力貯蔵装置¹⁵³やレドックスフロー電池¹⁵⁴は、導入コストや耐久性などの課題を克服して事業化されれば、NAS 電池の直接的なライバルになるであろう。また、燃料電池の開発も携帯電話やノートパソコン、自動車向けに進んでおり、英国では電力貯蔵設備としての利用が試みられている¹⁵⁵。さらに、容量の点で電力貯蔵用としては未だ活用が困難であるとされているものの、エレクトロニクス製品向けに利用が進んだニッケル水素電池やリチウム・イオン電池は、様々な主体によって電気自動車の電源として開発が行われている¹⁵⁶。蓄電機能を持つキャパシタ（コンデンサ）も、鉄道システムや電気自動車向けに開発が行われており、電力貯蔵装置あるいは自然エネルギー発電補完装置としての利用も考えられている¹⁵⁷。日本ガイシと東京電力が販売する NAS 電池は、将来的に様々な製品技術と競合する可能性があるものの、2007 年の現在において、量産規模で事業化された初めての電力貯蔵用電池として普及が期待されている。

4. おわりに

最後に、東京電力と日本ガイシによる NAS 電池の事業化がなぜ可能になったのか、若干

¹⁵² 件数は、 $71 \div (71+1400) \times 100 \div 4.83\%$ 。電力容量は、 $11.5 \text{ 万 kW} \div (11.5 \text{ 万 kW} + 240 \text{ 万 kW}) \times 100 \div 4.57\%$ 。

¹⁵³ 日本経済新聞（2005 年 8 月 9 日）および日経産業新聞（2007 年 7 月 27 日）。

¹⁵⁴ 上野（2005）。なお、レドックスフロー電池は、NAS 電池と同様に国が行う「先導的負荷平準化機器導入普及モデル事業費補助金制度」や「風力発電系統連系対策助成事業」の助成対象になっている。

¹⁵⁵ 日本経済新聞（2007 年 3 月 5 日；2007 年 4 月 13 日）および日経産業新聞（2001 年 8 月 29 日；2007 年 4 月 20 日）。

¹⁵⁶ 日本経済新聞（2007 年 4 月 14 日；2007 年 6 月 6 日）。

¹⁵⁷ 日経産業新聞（2006 年 1 月 23 日；2007 年 7 月 3 日）

の議論をして、本稿を締めくくりにしよう。技術の観点から見れば、NAS 電池の事業化には大きく分けて 3 つの要素が必要であった。まず、フォード社による基本原理の発見である。この基本原理の発見が、東京電力・日本ガイシを含む NAS 電池開発主体のスタート地点になっている。次に、ABB 社による安全で耐久性が高い基本構造の確立である。もとは電気自動車用につくられた基本構造であったものの、東京電力・日本ガイシによって電力貯蔵用に応用され、飛躍的に耐久性が高まることになる。3 つめは、東京電力・日本ガイシのプロジェクトによる電池の大型化と量産技術の開発である。これには、耐久性・安全性をさらにあげながら経済性を大きく向上させる様々な設計・製造技術の開発が含まれており、原型機の完成から量産の開始までに 11 年間に要している。両社による「コミットメントの継続」がこれを可能にしていた。また事業化には、これら技術的な要素のほかに、相応の需要と、設置のための規制緩和が必要であった。

東京電力・日本ガイシのプロジェクトがこれら要素を獲得していくことができたのは、幸運に恵まれたからであったといえるだろうか。ABB 社は 1996 年に NAS 電池開発から撤退しているから、これより前に同社が開発した基本構造を導入できたことは、結果的にタイミングとして適切であったといえるかもしれない。逆に、ABB 社が事業合理化の一環として NAS 電池から撤退したから、日本ガイシによる積極的な海外展開が可能になった。ABB 社の撤退がずっと早期に行われていれば、同社の NAS 電池技術は雲散霧消していたかもしれないし、撤退がなかったならば日本ガイシによる海外展開はより大きな制約を受けていたかもしれない。また、揚水発電の代替というシナリオの実現が困難になった頃に、電力自由化が進展したり、クリーン・エネルギーへの需要が増加したりした。タイミングが良かった、という見方も可能かもしれない。電力自由化の進展は、PPS や自家発電への対抗手段というニーズを日本の電力会社に生じさせ、海外においても電力会社は設備投資の抑制を目指すようになる。各国政府はクリーン・エネルギーの利用を促す規制を強化し、企業は CO₂ 排出量の削減を経営課題の 1 つにあげるようになる。このような情勢の変化が、NAS 電池の需要を生み出すことになった。さらに、設置規制の緩和には、競合他社が積極的な開発活動を行っていたことや、ムーンライト計画後の電力会社共同研究が、功を奏していた。規制緩和活動の開始が遅れていれば、これを他社と共同して行うことは難しかったかもしれない。

以上のような点に注目すれば、一見、タイミングが良かった、あるいは幸運だったから、NAS 電池の事業化が行われた、という考え方もありえないではない。しかし、その背後には単なる幸運や偶然ではとらえきれない因果があったと考えられる。日本ガイシにおいて電池事業進出の意思決定がなされたことが、同社の ABB 社との技術提携およびナステク設立につながっている。両社の経営層は、20 年間の長期に及ぶプロジェクトの継続を支持し続けた。プロジェクトの存立理由であった揚水代替シナリオの実現が困難になったときにも、必要な資金を配分し、用途開拓に力を貸していた。規制緩和の実現には、継続的な開発活動と実証試験によって得られた堅実なデータの裏づけが不可欠であった。量産技術の

開発には、11 年間におよぶ努力を要した。両社の継続的なコミットメントが、プロジェクトを事業化に導いていた。

一体なぜ、両社は NAS 電池の事業開発にコミットを続けることができたのであろうか。NAS 電池のように事業化の難度が高く開発が長期にわたるプロジェクトにとって、時間の経過そのものが潜在的に大きな障害になりうる。NAS 電池の優れた基本構造を確立した ABB 社は事業の合理化を理由に撤退し、英米政府の支援を受けながら長期の開発を続けた CSPL 社も英国の電力自由化を背景として解散している。2 つの国家プロジェクトに参加しながら積極的に NAS 電池開発を続けた湯浅電池は、ニューサンシャイン計画以降、リチウム・イオン電池に注力するようになる。これら企業のみならず、早期に NAS 電池開発に取り組んだ企業の撤退が相次いだのは、技術的な難度に加えて、開発期間の長期化に伴う様々な事情の変化を背景としている。経済情勢や社会情勢の変化、あるいは開発主体のおかれた状況の変化は、開発活動を支える論理と意義を変えてしまう可能性がある。

東京電力と日本ガイシのプロジェクトも、開発期間の長期化に伴って、様々な事情の変化を経験した。日本ガイシの電力事業において NAS 電池開発の資金源になっていた碍子の市場は 1993 年頃から縮小を始めた。この 1990 年代には、東京電力において電力自由化の進展を見据えた全社的なコスト削減が行われ、設備投資とともに研究開発予算が縮小されていった。揚水発電所は、その建設・運営コストが徐々に低下し、やがて年負荷率の上昇とともに余り始めたといわれるようになった。NAS 電池事業の開発がその意義を主張し続けるのには、揚水代替に代わる位置づけが必要になった。電力自由化の進展とクリーン・エネルギー需要の増加は、プロジェクトに新たな位置づけを与えてくれたけれども、到達すべきコスト目標をいっそう難しいものにした。開発期間の長期化によって生じる様々な事情の変化にもかかわらず、プロジェクトが事業化を目指して継続できたのは、一体なぜだろうか。その理由を考えてみよう。

東京電力・日本ガイシの両社にとって、プロジェクトの継続には互いに相手のコミットメントが不可欠であった。東京電力にとってみれば、結果的に日本ガイシによって ABB 社の電池基本構造が導入されることが不可欠であった上、量産技術の開発にあたって日本ガイシが持つセラミックス製造のノウハウが重要な役割を果たしていた。ではなぜ、日本ガイシはこのプロジェクトにコミットを続けたのであろうか。ありうる説明の 1 つは、従来取引において主要顧客であった東京電力が、その立場を利用してパワーを行使し、日本ガイシにコミットメントを強要した、というものであろう。理屈の上ではありうるかもしれないけれど、ここでは、これとは異なる説明を論じておきたい。確かに日本ガイシは、東京電力からのプロジェクト参加依頼に対して当初は拒絶の意思を示しており、東京電力の三井恒夫に口説かれる形で参加を決めている。しかし、プロジェクト開始のわずか 3 年後には、自ら ABB 社との技術提携に踏み切っており、事実上電池事業への参入が表明されている。東京電力からの依頼は日本ガイシが NAS 電池に関わるきっかけになったものの、プロジェクトの継続と方向転換には、日本ガイシの自発的な意思が強く反映されていると

考えられるのである。

日本ガイシが NAS 電池の事業開発プロジェクトを継続した最大の理由は、同社が多角化に熱心だったことにあると考えられる。同社は、碍子事業の成熟化を見込んで早くから事業の多角化を進めており、歴代の社長には新規事業開発がミッションの 1 つとして受け継がれていた。加えて、日本ガイシは、長期にわたるプロジェクトが事業化を迎えるまで、開発の原資を担保することができた。プロジェクトが置かれた電力事業本部は、1992 年頃までは成長を続け、増収基調にあった。電力事業が勢いを失うと、エンジニアリング事業、エレクトロニクス事業の成長がこれを補い、2000 年以降は自動車用排ガス・フィルタを擁するセラミックス事業が急速に成長した。多角化への強い意思とともに、長期の開発活動に耐え、これを実行する余力があった。

また、NAS 電池事業開発プロジェクトが置かれた組織的な位置づけが、日本ガイシにおいて積極的な開発活動とその継続に影響を及ぼしていた可能性がある。プロジェクトは、電力事業本部という同社のいわば「本流」に置かれていた。電力関連事業は、社名に冠される碍子製品を中心とする同社の源流事業で、収益の観点からも長い間主力事業であった。NAS 電池のプロジェクトは、碍子事業の成熟化を超克し、本流の電力関連事業を再生させる可能性を期待されていたのかもしれない。加えて、社長としてプロジェクトへの積極的な関与を決めた竹見淳一や小原敏人が、会長、相談役として見守っていたことも、プロジェクトにポジティブな影響を与えていたかもしれない。日本ガイシにおいて、1986 年まで社長をつとめた竹見は、93 年まで会長をつとめ、日本経営者団体連盟副会長や NHK 経営委員長に就任する傍ら、2002 年まで同社の相談役であった。竹見の跡を継いで 1994 年まで社長をつとめた小原も、2002 年まで会長をつとめ、その後は相談役になっている。

さらに、日本ガイシでは、NAS 事業部設立の頃まで経営層が自ら NAS 電池のプロジェクトを率いる体制をとっていた。プロジェクトの開始時に研究所長であった山本登は当時、専務開発本部長の職にあった。1987 年に同職を退任すると、山本はナステクの初代社長および日本ガイシの技術顧問に就任している。山本の跡を継いで 1991 年にナステク社長になったのは、それまで取締役電力事業本部副本部長をつとめていた鬼頭国二である。鬼頭は、プロジェクトに日本ガイシが参加する決定をした際、海外を中心に NAS 電池の開発状況を調査した技術開発部長であった。プロジェクトの開始時から開発部隊を率い、1990 年から NAS 開発部長をつとめた磯崎孝は、翌年取締役に昇格した後もプロジェクトを統括し、1996 年には常務として初代 NAS 事業部長に就任している。NAS 電池事業開発プロジェクトが置かれた組織的な位置づけは、日本ガイシの同プロジェクトに対する積極性を反映しており、資源配分および継続性の点で大きな力になったと考えられる。

一方、日本ガイシにとっても、東京電力のコミットメントは不可欠であった。東京電力は日本ガイシの NAS 電池事業にとって重要な「見込み顧客」であるとともに、開発資金を分担してくれるパートナーであった。プロジェクトへの参加を決めた日本ガイシの竹見がいうように、それまでの電力部材取引において培われた東京電力との関係は、日本ガイシ

にとって高い難度を持つNAS電池事業の開発リスクを低減させるものであった。資金の負担ばかりでなく、東京電力による実証試験場の提供とそこでのやりとりも、開発活動の進展にとって有効であったであろう。

それでは、なぜ東京電力はNAS電池のプロジェクトにコミットを続けることができたのだろうか。プロジェクトの開始から1990年代後半までは、電力会社にとって揚水に代わる電力貯蔵手段の開発というニーズが明白であったこと、およびその実用化には電力会社自身による開発が不可欠であるというある種の使命感があったことが、その理由にあげられる。5兆円規模の売上高を持つ巨大企業であったため、難度が高い開発プロジェクトに対しても、メーカーとともに開発リスクを負担できると考えられたであろう。

ところが、1990年代に入ると電力の内外価格差問題が社会的に注目され、電力自由化が進展すると考えられるようになったため、東京電力では設備投資とともに研究開発予算を縮小し始めることになる。にもかかわらず、NAS電池のプロジェクトへ必要な資源配分がなされたのは、それが設備投資抑制に役立つ技術に位置づけられたからであった。さらに揚水代替シナリオの成立が困難になり、自由化が進展すると、新たな位置づけを新たに与えることでプロジェクトの事業化が行われた。それは、顧客を維持し、既存のビジネスを守る武器である。これらプロジェクトへの資源配分と位置づけの転換を支えたのは、平岩外四にはじまる経営層の一貫した支持であった。

東京電力においてNAS電池のプロジェクト開始を決定した平岩は、1984年に会長に就任し、93年にこれを退任した後、2007年まで同社の相談役であった。日本経済団体連合会会長など社外の職務を遂行する傍ら、東京電力の会長および相談役として、プロジェクトを見守っていたという。また、技術開発研究所担当取締役として日本ガイシをプロジェクトに参加するよう口説いた三井恒夫は、1986年から91年まで常務技術開発本部長をつとめ、その後東京電力の最高顧問に就いている。東京電力においても、NAS電池事業開発プロジェクトの組織内での位置づけが、資源配分および継続性の点で大きな力になっていたと思われる。

東京電力と日本ガイシの関係に注目すれば、NAS電池のプロジェクトは碍子を基本とする電力部材の売り手・買い手関係を背景として始められた、メーカーと見込み顧客の共同開発であった。したがって、東京電力の撤退は日本ガイシにとって見込み顧客の喪失と開発リスクの増大を意味し、日本ガイシの撤退は東京電力にとって数百億円におよぶ開発投資の埋没を意味していた。両社は、このプロジェクトにおいて一種の運命共同体関係にあり、開発期間の長期化がコミットメントを一層強化していった可能性もある。また、長期的取引関係を背景としていることから、企業間の共同開発活動を阻害しうる互いへの不信感やコミュニケーションの行き違いが生じなかったことも、プロジェクトの成否に影響を与えていたと考えられる。碍子を中心とする長期の電力部材取引を通じて、両社は互いの技術力やノウハウ、企業文化に関する理解と信頼感を醸成していた。このような関係にある2社の開発部隊が、長期にわたって実証試験を繰り返す過程で、トラブルの経緯と解決

策のやりとりを率直に行えたことは、開発活動の進展にとって重要な要素であった。

最後に、東京電力と日本ガイシのプロジェクトが長期の開発期間を経て事業化に結実した背景には、それが事業化を前提として開始され、日本ガイシによる電池事業への多角化の意思決定と、電力自由化の進展によって、事業化への意思がいつそう強化されたことがあると考えられる。両社の共同開発体制は、ムーンライト計画などの国家プロジェクトにおける複数企業間の共同開発体制とは対照的であったといえるかもしれない。東京電力と日本ガイシのプロジェクトにおいて行われたような、プロジェクト途上における外部からの技術導入や分業体制の変更は、国が定めた枠組みで行われる国家プロジェクトでは行うことが困難であったろう。国家プロジェクトでは、国の支援によって開発リスクの軽減ができる一方、東京電力と日本ガイシのプロジェクトがもっていたような柔軟性を確保するには、相応の枠組み設計が必要になる。

また、国家プロジェクトは一般に、実用水準の開発を目標にしていたとしても、参加企業による共同での事業化を目指すものではない。国の枠組みにおいて共同開発を行う企業は、基本的にはテンポラリな協力関係にあり、ビジネス・パートナーではない。ムーンライト計画の新型電池電力貯蔵システム開発プロジェクトにおいて、実証試験場を提供する電力会社と電池を納入するメーカーの間でどのようなやりとりがあったかを明らかにするには改めて調査が必要である。しかし基本的には、東京電力と日本ガイシのプロジェクトのように事業化後の関係をふまえた共同開発活動ではなかったと思われる。国家プロジェクトは事業化までを前提にするものではないため、何が何でもこれを達成するという姿勢をとることは難しいであろう。このように考えると、国家プロジェクトへの参加企業は、複数の代替的な技術の1つを開発する場として、そのプロジェクトに参加するということすらありえるのかもしれない¹⁵⁸。開発リスクの分散は、東京電力らのプロジェクトにおいても、日本ガイシと日立が成果を競うという形で途中まで行われていた。しかし、東京電

¹⁵⁸ この点について、ムーンライト計画の新型電池電力貯蔵システム開発プロジェクトにおいて、NAS電池の開発に関わった湯浅電池と関西電力の動きは興味深い。関西電力総合技術研究所新エネルギー研究室主任研究員（1995年当時）の徳田信幸によれば、関西電力ではムーンライト計画とは別に独自に各種新型電池の評価を行い、レドックスフロー電池が電力貯蔵用電池として揚水発電所に競合できる可能性があるかと判断した。このため、1985年からムーンライト計画とは別に、住友電気工業と同電池の共同研究開発を開始している（徳田、1995）。この共同開発は、上野（2005）によれば2005年時点においても実用化を目指して実証試験が継続されている。また、2つの国家プロジェクトを通じて早期からNAS電池開発を試みた湯浅電池は、1990年代にリチウム・イオン電池が電力貯蔵および電気自動車用電池として有望視され、ニューサンシャイン計画において国がこれを開発対象に選ぶと、一方でNAS電池の開発も継続しながら、リチウム・イオン電池開発に注力するようになる（日経産業新聞、1990年7月28日；1990年12月19日；1993年3月16日；1998年10月7日；2000年4月21日）。自動車用および産業用蓄電池を主力事業とする同社は、リチウム・イオン電池のほか、旧来技術である鉛蓄電池の改良や、ポリマー電池、燃料電池、ニッケル水素電池の開発にも積極的であった（日経産業新聞、1989年7月18日；1994年5月16日；1995年2月12日；1996年4月14日；1998年8月3日；1999年3月24日；2001年9月26日；2001年11月7日；2004年12月24日；2005年11月8日）。

力と日本ガイシのプロジェクトはNAS電池の事業化にこだわり続けた。両社は、様々な事情の変化を背景にほかの開発主体が撤退や開発規模の縮小を選択する一方で、開発努力を継続させていったのであった。

<参考文献>

- 阿部浩幸 (2004) 「システム開発」『NGK レビュー』60号, 3月.
- アルバック (2005) 「日本ガイシ株式会社 NAS 電池小牧工場」『ULVAC』vol.49.
- Binden, Peter J. (1993) “Conceptual Design of A Sodium Sulfur Cell for U.S. Electric Van Batteries,” *Sandia National Laboratory Contractor Report*, SAND92-7331, May.
- Birk, J.R., K. Klunder, and J.C. Smith (1979) “Super Batteries: A Progress Report,” *IEEE Spectrum*, vol. 16(3), March.
- Braithwaite, J.W. and Koenig, A.A. (1993) “Development of The Sodium/Sulfur Battery Technology for Utility Applications,” Technical Report Presented at *International Conference on Batteries for Energy Storage (Berlin, Germany, 29 Sep - 1 Oct)*, Sandia National Laboratory.
- Chiku, T., Kogiso, T., Kojima, K., and Yoshida, T., assignors to Toyota Central Research and Development Labs. (1975) “Sodium-Sulfur Storage Battery,” *United States Patent*, No. 3883367.
- Ford Aerospace & Communications (1985) “Sodium-Sulfur Battery Development: PhaseVB Final Report for The Period October 1, 1981 Through February 28, 1985,” *DOE Report*, DOE/ET/25102-T1.
- 藤井康次 (1983) 「新形電池電力貯蔵システム III. 新形電池の開発状況 第2章 亜鉛一塩素電池」『電気学会雑誌』103巻8号, 8月.
- 古田一人・尾藤章博・河村善文 (2004) 「NAS 電池およびモジュール電池の開発」『NGK レビュー』60号, 3月.
- 二又政之・高橋祥夫 (1986) 「電気自動車用電池の開発状況 6. ナトリウム一硫黄電池」『大阪工業技術研究所季報』37巻3号.
- Hamer, Mick (1996) “Germans Pull Plug on Britain's Batteries,” *New Scientist*, vol.2032, 01 June.
- 原田英二 (1993) 「NaS (ナトリウム一硫黄) 電池による新電力貯蔵技術の開発状況」『動力』218号, 9月.
- 石川博 (1998) 「総論: 開発が進む二次電池」『エネルギー・資源』19巻3号, 5月.
- 磯村直樹・梶田雅晴 (2004) 「固体電解質管の開発」『NGK レビュー』60号, 3月.
- 磯崎孝・蔵島吉彦・川口敏幸・美馬敏之・渥美淳 (1998) 「ナトリウム一硫黄電池の開発」『NGK レビュー』57号, 9月.
- 岩淵純允・木村修造 (1980) 「ナトリウム一硫黄電池の開発現状と将来」『硫酸と工業』33巻5号, 5月.

- 金指元憲 (1983) 「新形電池電力貯蔵システム III. 新形電池の開発状況 第3章 亜鉛—臭素電池」『電気学会雑誌』103巻8号, 8月.
- Kinoshita, Kim (1992) “Exploratory Technology Research Program for Electrochemical Energy Storage: Executive Summary Report for 1991,” *Lawrence Berkley Laboratory Contractor Report*, LBL-32211, June.
- Koenig A. and J. Rasmussen (1996) “Sodium/Sulfur Battery Engineering for Stationary Energy Storage—Final Report,” *Sandia National Laboratory Contractor Report*, SAND96-1062, April.
- 工業技術院 (1974) 『電気自動車の研究開発：大型プロジェクト制度による研究開発を中心として』日本産業技術振興協会.
- Kummer J.T. and N. Weber, assignors to Ford Motor Company (1968), “Battery Having a Molten Alkali Metal Anode and a Molten Sulfur Cathode,” *United States Patent*, No. 3413150.
- 明星大学 (2007) 「工学部伊庭研究室：NAS 電池による電力貯蔵技術」『研究室紹介パネル』 (<http://www.hino.meisei-u.ac.jp/rikouken/panel/ee/Iba-Kenji-A.pdf>).
- 中林喬 (2001) 「ナトリウム—硫黄電池の開発」『NGK レビュー』日本ガイシ, 57号.
- 中林喬 (2004a) 「NAS 電池の開発経緯」『NGK レビュー』日本ガイシ, 60号.
- 中林喬 (2004b) 「NAS 電池の市場導入と普及拡大」『NGK レビュー』日本ガイシ, 60号.
- 中原堅司 (1983) 「新形電池電力貯蔵システム I. 開発戦略と特性 第2章 開発の現況」『電気学会雑誌』103巻8号, 8月.
- NGK Insulators (1997) *ANNUAL REPORT 1997*, NGK Insulators, Ltd., March.
- Norris, Benjamin L., Jeff Newmiller, and Georgianne Peek (2007) “NAS Battery Demonstration at American Electric Power: A Study for the DOE Energy Storage Program,” *SANDIA REPORT*, SAND2006-6740, March.
- 日本ガイシ (2006) 「ナトリウム硫黄電池の現状について」『蓄電池技術と利用分野に関するワークショップ報告資料 (2006年2月1日)』新エネルギー・産業技術総合開発機構.
- 日本経営史研究所 (2004) 『日本電力業史データベース』 (<http://www.jbhi.or.jp/toukei.html>).
- 新村明 (1983) 「新形電池電力貯蔵システム I. 開発戦略と特性 第1章 ムーンライト計画における新型電池電力貯蔵システム」『電気学会雑誌』103巻8号, 8月.
- 西本亘・寺澤禎則 (1996) 「エネルギー貯蔵装置としての二次電池の可能性：電力貯蔵用ナトリウム・硫黄電池 (NAS 電池) の開発」『Ceramics Japan』31巻8号, 8月.
- 野村栄一・松井一郎・高島皓一郎・飯島繁・松尾康史 (1993) 「電力貯蔵用 1000kW ナトリウム—硫黄電池の開発」『電気化学および工業物理化学』61巻8号.
- 野々口正雄 (1983) 「新形電池電力貯蔵システム II. システムの開発 第3章 改良型鉛電池」『電気学会雑誌』103巻8号, 8月.

- 奥野晃康（1993）「ナトリウム－硫黄電池による新電力貯蔵技術の開発」『燃料及燃焼』60巻12号，12月．
- 大高英司（1987）「電力貯蔵用新型電池の開発の現状と今後の課題 I. 電力貯蔵用新型電池の研究開発計画」『電気学会雑誌』107巻8号，8月．
- 小沢丈夫（1983）「新形電池電力貯蔵システム I. 開発戦略と特性 第3章 電力貯蔵用電池の原理と特性」『電気学会雑誌』103巻8号，8月．
- 佐藤晃一（1998）「電力貯蔵用ナトリウム－硫黄電池」『エネルギー・資源』19巻3号，5月．
- 資源エネルギー庁（1995）『資源エネルギー年鑑』通産資料調査会．
- 資源エネルギー庁（2007）『先導的負荷平準化機器導入普及モデル事業費補助金制度公募要領』経済産業省資源エネルギー庁電力・ガス事業部電力基盤整備課．
- 資源エネルギー庁総合資源エネルギー調査会電気事業分科会（2006）『制度改革評価小委員会報告書参考資料集』資源エネルギー庁電力・ガス事業部，5月．
- 清水雅之・横田俊一（1983）「新形電池電力貯蔵システム II. システムの開発 第2章 システム構成とシステム試験」『電気学会雑誌』103巻8号，8月．
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構（1992）「新型電池電力貯蔵システム導入普及調査（エネルギー総合工学研究所委託）」『新エネルギー・産業技術総合開発機構平成2年度調査報告書』，NEDO-P9026，3月．
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構・産業技術総合研究所（2002）「分散型電池電力貯蔵技術開発」『事後評価報告書』新エネルギー・産業技術総合開発機構．
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構（2005）『新エネルギーガイドブック 2005』新エネルギー・産業技術総合開発機構．
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構（2007）『平成19年度風力発電系統連系対策助成事業公募要領』NEDO 技術開発機構．
- 市東利一（1995）「ナトリウム－硫黄（NAS）電池」『OHM』82巻7号，7月．
- 立花慶治（1996）「NAS電池—東京電力における電力負荷標準化用 NAS電池の開発」『化学と工業』49巻12号，12月．
- 高山豊雄（2004）「NAS電池の海外展開」『NGK レビュー』60号，3月．
- 田中邦典（1995）「海水揚水発電」『OHM』82巻7号，7月．
- 徳田信幸（1995）「レドックスフロー（RF）電池」『OHM』82巻7号，7月．
- 東京電力（2007）『電力貯蔵用 NAS電池システム（製品紹介パンフレット）』東京電力技術開発研究所電力貯蔵ソリューショングループ．
- 東京電力・日本ガイシ（2004）「電力貯蔵用ナトリウム－硫黄電池の開発と実用化」『大河内賞受賞業績報告書・第50回』大河内記念会．
- 東京電力・日本ガイシ（2006）「電力貯蔵用ナトリウム－硫黄電池の開発と実用化」『一橋大学イノベーション研究センター講演会資料（2006年9月12日）』東京電力・日本ガ

イシ.

上野清隆 (2005) 「小容量レドックスフロー電池の実証実験」『R&D News Kansai』関西電力, 424号, 1月.

Weber N. and J.T.Kummer (1967), “Sodium-Sulfur Secondary Batteries“, *Proceedings of the 21st Annual. Power Sources Conference*, 21.

Yao Y.F.Y., and J.T.Kummer (1967), “Ion Exchange Properties of and Rates of Ionic Diffusion in Beta-Alumina” *Journal of Inorganic Nuclear Chemistry*, 29.

横井真澄・磯村直樹・梶田雅晴 (2004) 「NAS 電池の製造技術開発」『NGK レビュー』60号, 3月.

※参考にした新聞記事および各社有価証券報告書, 事業報告書, 決算説明会プレゼンテーション資料, ファクトブック, ニュースリリースは, 注に記載.

IIR ケース・スタディ 一覧表／2004-2009

NO.	著 者	タ イ ト ル	発行年月
CASE#04-01	坂本雅明	「東芝のニッケル水素二次電池開発」	2003 年 2 月
CASE#04-02	高梨千賀子	「富士電機リテイルシステムズ(1): 自動販売機—自動販売機業界での成功要因」	2004 年 3 月
CASE#04-03	高梨千賀子	「富士電機リテイルシステムズ(2): 自動販売機—新たなる課題への挑戦」	2004 年 3 月
CASE#04-04	高梨千賀子	「富士電機リテイルシステムズ(3): 自動販売機—飲料自販機ビジネスの実態」	2004 年 3 月
CASE#04-05	伊東幸子 青島矢一	「ハウス食品: 玉葱催涙因子合成酵素の発見と研究成果の事業化」	2004 年 3 月
CASE#04-06	青島矢一	「オリンパス光学工業: デジタルカメラの事業化プロセスと業績 V 字回復への改革」	2004 年 3 月
CASE#04-07	堀川裕司	「東レ・ダウコーニング・シリコン: 半導体パッケージング用フィルム状シリコン接着剤の開発」	2004 年 3 月
CASE#04-08	田路則子	「日本開閉器工業: モノづくりから市場創造へ「インテリジェントスイッチ」」	2004 年 3 月
CASE#04-09	高永才	「京セラ: 温度補償水晶発振器市場における競争優位」	2004 年 3 月
CASE#04-10	坂本雅明	「二次電池業界: 有望市場をめぐる三洋、松下、東芝、ソニーの争い」	2004 年 3 月
CASE#04-11	三木朋乃	「前田建設工業: バルコニー手摺一体型ソーラー利用集合住宅換気空調システムの商品化」	2004 年 3 月
CASE#04-12	伊諒重 武石彰	「東洋製罐: タルク缶の開発」	2004 年 3 月
CASE#04-13	藤原雅俊 武石彰	「花王: 酵素入りコンパクト洗剤「アタック」の開発」	2004 年 10 月
CASE#04-14	軽部大 井森美穂	「オリンパス: 超音波内視鏡の構想・開発・事業化」	2004 年 10 月
CASE#04-15	軽部大 小林敦	「三菱電機: ポキポキモータ 新型鉄心構造と高速高密度巻線による高性能モーター製造法の開発」	2004 年 11 月

CASE#05-01	青島矢一 宮本圭介	「テルモ(1): 組織風土の改革プロセス」	2005年2月
CASE#05-02	青島矢一 宮本圭介	「テルモ(2): カテーテル事業の躍進と今後の課題」	2005年2月
CASE#05-03	青島矢一 河西壮夫	「東レ(1): 東レ炭素繊維複合材料“トレカ”の技術開発」	2005年2月
CASE#05-04	青島矢一 河西壮夫	「東レ(2): 東レ炭素繊維複合材料“トレカ”の事業戦略」	2005年2月
CASE#05-05	兒玉公一郎	「ヤマハ(1): 電子音源に関する技術蓄積」	2005年2月
CASE#05-06	兒玉公一郎	「ヤマハ(2): 携帯電話着信メロディ・ビジネスの技術開発、ビジネスモデル構築」	2005年2月
CASE#05-07	坂本雅明	「二次電池業界(改訂): 技術変革期における新規企業と既存企業の攻防」	2005年2月
CASE#05-08	高永才	「京セラ(改訂): 温度補償水晶発振器市場における競争優位」	2005年2月
CASE#05-10	坂本雅明	「東北パイオニア: 有機ELの開発と事業化」	2005年3月
CASE#05-11	名藤大樹	「ハイビジョンプラズマディスプレイの実用化 プラズマディスプレイ開発協議会の活動を中心に」	2005年7月
CASE#05-12	武石彰 金山維史 水野達哉	「セイコーエプソン: 自動巻きクォーツ・ウォッチの開発」	2005年7月
CASE#05-13	北澤謙 井上匡史 青島矢一	「トレセンティテクノロジーズによる新半導体生産システムの開発 —300mm ウェハ対応新半導体生産システムの開発と実用化—」	2005年10月
CASE#06-01	武石彰 高永才 古川健一 神津英明	「松下電子工業・電子総合研究所: 移動体通信端末用 GaAs パワーモジュールの開発」	2006年3月
CASE#06-02	平野創 軽部大	「川崎製鉄・川鉄マシナリー・山九: 革新的な大型高炉改修技術による超短期改修の実現 大ブロックリング工法の開発」	2006年8月

CASE#07-01	武石彰 宮原諄二 三木朋乃	「富士写真フイルム： デジタル式 X 線画像診断システムの開発」	2007 年 7 月
CASE#07-02	青島矢一 鈴木修	「ソニー： フェリカ(A)：事業の立ち上げと技術課題の克服」	2007 年 7 月
CASE#07-03	青島矢一 鈴木修	「ソニー： フェリカ(B)：事業モデルの開発」	2007 年 7 月
CASE#07-04	武石彰 伊藤誠悟	「東芝： 自動車エンジン制御用マイコンの開発」	2007 年 8 月
CASE#07-05	青島矢一 朱晋偉 吳淑儀	「無錫小天鵝株式会社： 中国家電企業の成長と落とし穴」	2007 年 8 月
CASE#07-06	青島矢一	「日立製作所： LSI オンチップ配線直接形成システムの開発」	2007 年 9 月
CASE#07-07	坂本雅明	「NEC： 大容量 DRAM 用 HSG-Si キャパシタの開発と実用化」	2007 年 9 月
CASE#08-01	小阪玄次郎 武石彰	「TDK： 積層セラミックコンデンサの開発」	2008 年 1 月
CASE#08-02	福島英史	「東京電力・日本ガイシ： 電力貯蔵用ナトリウム—硫黄電池の開発と事業化」	2008 年 3 月
CASE#08-03	青島矢一 北村真琴	「セイコーエプソン： 高精細インクジェット・プリンタの開発」	2008 年 5 月
CASE#08-04	高梨千賀子 武石彰 神津英明	「NEC： 砒化ガリウム電界効果トランジスタの開発」	2008 年 9 月
CASE#08-05	小阪玄次郎 武石彰	「伊勢電子工業： 蛍光表示管の開発・事業化」	2008 年 9 月
CASE#09-02	青島矢一 大倉健	「荏原製作所： 内部循環型流動層技術の開発」	2009 年 6 月

CASE#09-03	藤原雅俊 積田淳史	「木村鑄造所： IT を基軸とした革新的フルモールド鑄造システムの開発」	2009 年 7 月
------------	--------------	---	------------