

〔論 文〕

政府主導技術開発プロジェクトの代替物

— 電力貯蔵用電池の開発

福 島 英 史

1. はじめに

本論文では、電力会社とメーカーによる電力貯蔵電池事業の共同開発を事例として、公益企業がメーカーと行う共同開発事業について考察する。日本ではこれまで政府が開発テーマを設定し一定の資金を供しながら企業等が集って行く、共同技術開発プロジェクトが多数行われてきた。旧通産省工業技術院が1980年代にすすめた「ムーンライト計画」下の電力貯蔵用電池開発もそのような政府主導プロジェクトの1つである。この政府プロジェクトで開発が進んだ電力貯蔵用電池のうち、実用化したのは、レドックスフロー電池とNaS電池¹⁾の2つであった。興味深いことに、政府プロジェクトでこれらの開発を担当した企業群はその開発からやがて撤退し、代わって実用化を行ったのは政府プロジェクトに参加せず、同時期に独自の開発活動を行った企業群である。

ここでは、特に量産規模で本格的な事業化にいたった後者のNaS電池に主な焦点をあて、その技術・事業開発のプロセスを考察する²⁾。この電池の事業化を行ったのは、東京電力と日本ガイシの共同開発プロジェクトであった。本論文では、彼らのプロジェクトを題材として公益企業とメーカーによる大規模技術の共同開発について考察をすすめる。このような形態での開発活動が民間企業の活動でありながら、政府支援下の活動に類似した特性も持ち、その代替物として機能していたことを明らかにする。以下では、政府主導の技術開発プロジェクトに関わるレビューから議論の位置づけを行い、電力貯蔵電池について政府支援下での開発と、東京電力・日本ガイシによる開発の事例を見る。次にディスカッションで考察をすすめ、

結論と若干の留意点を述べる。

2. 政府主導の技術開発プロジェクト

日本ではこれまでに、政府が支援する多数の技術開発が行われたことが知られている³⁾。このような技術開発は多くの場合、政府が開発テーマを設定し、複数の企業が参加する共同研究開発として行われ、1961年に鉱工業技術研究組合制度が制定されて以降、活発化していった⁴⁾。日本では政府が支援する共同技術開発プロジェクトは、1959年から92年までの34年間に237件行われ、のべ1,171の企業が参加をしている (Sakakibara (1997))⁵⁾。各プロジェクトの開発テーマは技術的課題ごとに設定される傾向にあったため、個別の技術ではさらに多数の開発が試みられたと思われる。研究開発費は政府が一部を補助する場合と全額を出資する場合がありますが、90年代までプロジェクト数は増加したものの、プロジェクト一件あたりの政府予算は80年代以降低下していった。また、当初は欧米の技術水準に追いつくべく事業化段階に近いテーマが少なくなかったものの、80年代は技術的不確実性が高い基礎分野のテーマが選ばれるようになっていった (後藤 (1993))。国が開発テーマを設定し、支援を行うのは、リスクが高く民間だけでは開発に難があるものの、国家あるいは社会的に重要性が認められるプロジェクトである。

技術開発を政府が支援することが合理的であると考えられる主たる理由は、技術という情報財の開発活動について市場の失敗が生じ、民間だけでは過小投資になる可能性が高いことにあると、Arrow (1962) をはじめ様々な論者が論じてきた (Nelson (1959); 後藤・若杉 (1984); Katz (1986);

Peck (1986))。彼らによれば、市場の失敗は主に3つの理由から生じる。第1に、研究開発にはその水準以下では行えない最小規模があり、これが分割不可能であるならば、一定の規模を持つ企業しか開発を行うことがかなわない。第2に、開発成果の専有不可能性である。成果が技術のような情報である場合、複数の主体が同時に利用可能なために開発者がこれを専有できないとすれば、開発のインセンティブが低くなる。特許による保護などこれを回避する仕組みもあるものの、その効力は限定的である。最後に、技術開発は高い不確実性とそれにとまう高い開発リスクを有する場合がある。目標達成が困難であると考えられれば、開発のインセンティブは低下する。そこで、政府支援によって過小になりがちな技術開発投資を増加させ、規模の制約を克服し、リスクを分散することに妥当性が見いだされる。また、特定の技術領域に関連する企業の共同開発体制をとれば、グループとして専有可能性を確保できる。

一方、技術開発活動について市場メカニズムが有効に働かないからといって、政府が望ましい供給者であるとは限らないと議論されることもある(Demsetz (1969))。政治的な要因や情報の不足、効率化への努力不足といった要因から、政府が特定の開発テーマへの支援を通じて民間の技術開発活動に関与しても、市場同様に適切な資源配分に失敗することがあると指摘されている(Keck (1988); Cohen & Noll (1991); Mowery (1995); 伊藤 (2005))。政府が民間へ支援を行うことによって主導する技術開発活動の成果あるいは有効性についてはこれまでに様々な研究が行われてきたものの、一般的な評価に到達していない。日本の超 LSI 技術研究組合のように多くの文献で成功事例として評されるものもある一方、大多数がほとんど経済的あるいは社会的成果を生んでおらず、ごく一部の成果が他をカバーする、といった主張がしばしばなされる(Scherer & Harhoff (2000); National Research Council (2001); 木村他 (2007))。ただし政府が行うこの種のプロジェクトが、技術者の教育や交流にポジティブな影響を与えているという見解もみられる。政府が特定の技術分野に研究開発費を支出することが民間の同支出を増加させるのか減少させるのかについて、多数の実証研究が行われ

てきたものの、互いに矛盾する結果がでており、一般化はされていない(David et al., (2000))。既存研究の多くは、民間企業の技術開発活動に対する政府支援の正当性あるいは有効性を考察するために、民間と政府という二分法を暗黙的に想定しながら考察をすすめてきたように思われる。

本論文では民間企業による共同技術開発の中でも、公益企業が自らを見込み顧客としてメーカーと行う共同開発事業に注目する。公益企業は他の民間企業同様に、政府のプロジェクトに参加をして共同開発の一端を担うこともあるが、ここでは政府支援下でないプロジェクトについて事例研究を行い、考察する。公益企業は、公益を担うという点で政府に近い観点を持ち、また多くの場合比較的大きな予算規模を持ちながら、民間企業に分類されるため、状況によっては民間のプロジェクトゆえの運営の柔軟性をもちうる経済主体だと考えられる⁶⁾。民間企業の私的研究開発と公的支援といった枠組みではなく、その中間的とも言える色彩を持った開発体制について考える。以下では、電力貯蔵電池について政府支援下での開発と、独自に展開された共同開発の事例を見ていこう。

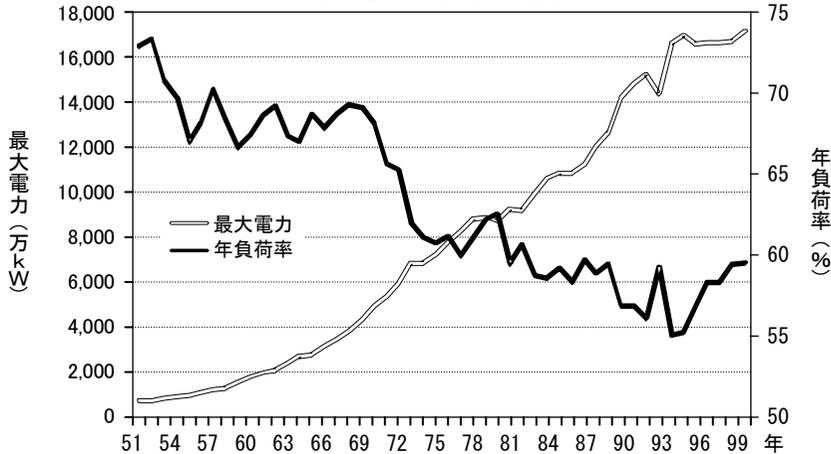
3. 技術開発の目的と政府プロジェクトの実施

3-1. 電力負荷平準化と揚水発電の代替

電力貯蔵電池は、日本では揚水発電所に代わって電力負荷を平準化(Load Leveling)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、戦後の産業発展にもなつて電力の最大需要量が増加する一方で、昼夜間・季節間での電力需要格差が拡大し、発電設備の利用率が低下していたという事情があった。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1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。

これに対して、かつて唯一の電力負荷平準化手段と考えられた揚水発電は、様々な点で限界があると考えられていた。まず、建造に適した立地が限られている上、建造に莫大な費用がかかる。需要地近傍に建造できないため、輸送に伴って相応の電力損失が生じる。さらに、キャパシティを小刻みに増やすことができず、建造に10年程度の時

図1. 最大電力と年負荷率の推移



注) 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。
出所) 日本経営史研究所 (2004) を参考に作成。

間がかかるため、負荷平準化の手段として柔軟性を欠いている。このような理由から、揚水発電に代わる電力負荷平準化手段として、電力貯蔵用電池の開発が模索されることになる。

揚水代替の手段として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⁷⁾。当時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。

3-2. 各国政府支援下の技術開発

電力貯蔵用電池の本格的な開発が行われたのは2度のオイルショックを経験した1970年代からであった。各国政府の支援下で、日米欧を中心に電力負荷平準化(揚水発電の代替)と、電気自動車(ガソリンエンジンの代替)に利用するための開発が活発化していった。たとえば NaS 電池は、1967年に米フォード社が基本原理を発見し、発表したことをきっかけに、その高い理論エネルギー密度に注目が集まり、競うように開発が行われた⁸⁾。

米国では、エネルギー省 (DOE: Department of Energy) などが実施する政府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。しかし、これら米企業の開発活動は、政府支援の縮小などを理由に1980年代に中止されていった⁹⁾。

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新型電池の開発が進められ、もっとも精力的に NaS 電池開発を進めたのは英 CSPL 社 (Chloride Silent Power Limited)¹⁰⁾および独 BBC 社 (Brown Boveri & Cie)¹¹⁾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¹²⁾。しかし、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¹³⁾。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、同社と東京電力による電池開発プロジェクトの進展に大きな影響を与えることになる。

日本では、同じ1970年代にいくつかの企業において新型電池の基礎研究が開始されるとともに¹⁴⁾、まず政府が主導した「電気自動車の研究開発大型プロジェクト」において開発がすすめられた。電気自動車の研究開発大型プロジェクトは、1966年から日本政府がすすめた「大型研究技術開発制度」にもとづいて、5年間で約50億円を投じ、電気自動車用の新型電池と車体、制御装置、充電方式等利用システムを開発することが計画された¹⁵⁾。公害の抑制やエネルギー需給のコントロールが目

指されていた。プロジェクトには自動車メーカー、材料メーカーのほか、湯浅電池、日本電池、新神戸電機などの電池メーカーが参加している¹⁶⁾。このプロジェクトでは、従来の鉛蓄電池の改良と、亜鉛空気電池、鉄空気電池、鉄ニッケル電池、NaS電池という4種の新型電池の開発が行われた。プロジェクトの成果として、新型電池を搭載した実験車の走行試験が行われたものの、新型電池もこれを搭載した電気自動車も広く流通することはなかった¹⁷⁾。

3-3. ムーンライト計画における新型電池電力貯蔵システムの開発

電気自動車の大型プロジェクトに代わって、新型電池開発の大きな推進母体になったのが、ムーンライト計画の名称で知られる「大型省エネルギー技術研究開発制度」であった¹⁸⁾。2度のオイルショックを背景として、ムーンライト計画ではエネルギーの転換効率・利用効率の向上が目指されていた¹⁹⁾。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²⁰⁾。

新型電池電力貯蔵システムのプロジェクトの目標は、1980年度から90年度までの11年間に170億円を投じ、新型電池によって負荷平準化を行う電力貯蔵システムの開発であった²¹⁾。システムの目標到達性能は、揚水発電と同等と考えられる総合エネルギー効率70%以上、および耐用年数10年間を満たすことである。これはシステムの「実用化のめどになる」水準で、実用にあたっては揚水発電と同等以上の経済性を持つことが前提とされた。

プロジェクトでは、NaS電池と亜鉛臭素電池の2つについてのみ、最終的に1000kW級プラントの実証試験が行われた²²⁾。開発を湯浅電池が担当するNaS電池は関西電力の協力の下で異電力貯蔵試験所に、古河電気工業が担当する亜鉛臭素電池は九州電力の協力の下で今宿電力貯蔵試験所において、実証試験が行われた。しかし経済性・耐久性・安全性が課題として残され、実用化までに時

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²³⁾。電力業界の共同研究は1995年まで続けられたものの、当時通産省工業技術院が描いたシナリオとは違って²⁴⁾、電力業界は信頼性や需要量に関する不安から、ムーンライト計画で開発された電池電力貯蔵システムの導入に消極的であった²⁵⁾。

このような事情を背景に、続く1990年代に行われた政府プロジェクト「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、新たに次世代電池として期待されるリチウム・イオン電池を、家庭向け電力負荷平準化および電気自動車用に開発することになる²⁶⁾。

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、引き続き同計画で開発の対象となった電池について積極的な技術・事業開発活動を続けたのは、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NaS電池の共同プロジェクトおよび、関西電力・住友電気工業のレドックスフロー電池の共同プロジェクトであった²⁷⁾。NaS電池については、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つの政府プロジェクトを通じて同電池の開発に挑んだ湯浅電池は、1980年代半ばに将来の量産計画を発表したこともあったが²⁸⁾、90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²⁹⁾。これに対して、東京電力・日本ガイシのNaS電池および、関西電力・住友電気工業のレドックスフロー電池の両開発プロジェクトは、その後も事業化に向けた活動を継続させており、前者はすでに量産規模での事業化を果たしている。

多くの企業において新型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点が一般に指摘されている³⁰⁾。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電池について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。

ムーンライト計画下で行われた新型電池開発は2つの電池について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。代わって事業化を試みたのは、政府の計画とは同時期に、別に技術開発を行った東京電力・日本ガイシおよび、関西電力・住友電気工業らのグループであった。以下では、量産規模の事業化をすでに実現している前者のNaS電池開発プロジェクトに焦点をあてる。東京電力と日本ガイシのプロジェクトは、政府の支援下で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異なって、いったいなぜ、どのように事業化にいたったのであろうか。

4. 東京電力と日本ガイシによるNaS電池開発プロジェクト³¹⁾

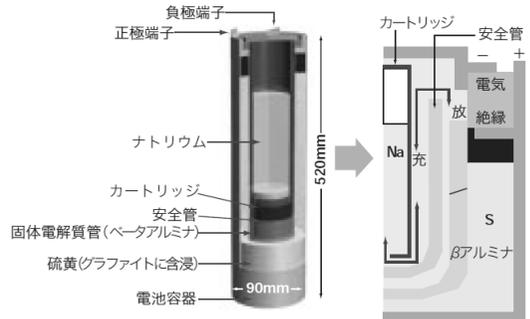
4-1. 共同体制による技術開発プロジェクトの始動

東京電力と日本ガイシのプロジェクトが開始される端緒は、東京電力で電力貯蔵用の新型電池を開発するという意思決定がなされたことであった。東京電力において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。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確立する必要があると考えられたことであった³²⁾。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、その後直面した苦難を乗り越え、プロジェクトの存続を支えた力でもあった。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。

経営層の指示で始まったプロジェクトは、まず1982年にいくつかの代替技術を評価し、NaS電池を開発の対象に選ぶことになる。NaS電池の基本になるのは、図2にみられるような単電池である³³⁾。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ーターを設けた断熱容器に収納される。

図2. 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から引用。

東京電力では、開発対象の選択にあたって、ムーンライト計画で開発候補にあった他の新型電池との比較検討がなされた。NaS電池は、従来の鉛蓄電池の4倍程度の理論エネルギーを持つため、都市近郊におく分散型電源として比較的小さなスペースに設置ができると考えられた。また、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と考えられた³⁴⁾。逆に、運転温度が高温であることやナトリウムと硫黄の化学的活性度が高いこと、電解質のセラミックス・βアルミナが破損しやすいことから、入念な安全対策が必要であった³⁵⁾。実際、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った。

NaS電池の実用化にあたって克服すべき技術的課題の難度は高く、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。同様の事情から、国のムーンライト計画でも4つの新型電池開発が並行にすすめられていた。

開発対象の選択を経て、東京電力は開発パートナーの選定に移った。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。最初に開発パートナーとなったのは、日立

製作所であった。日立は日本で有数の重電企業であり、原子力発電設備をはじめとする取引実績があり、大規模技術の開発パートナーとしてその資源能力に信頼がおけると考えられた³⁶⁾。

1983年に、東京電力と日立の2社で共同開発が開始されたものの、セラミックス技術に長けたメーカーの開発協力が不可欠であると考えられたため、日本ガイシをはじめとするセラミックス・メーカーに開発への参画が打診された。当初 NaS 電池の技術的難度を理由に全メーカーが応諾せず、東京電力は日本ガイシを改めて説得することになる。日本ガイシが最終的に応諾した背景には、東京電力が碍子を中心とする電力事業の重要な顧客で、それまでに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あった。同社はこのような関係を梃子に、主力とする碍子事業の成熟化を見据えて、やがて電力貯蔵用電池事業に多角化しようとするようになる³⁷⁾。相応の研究開発投資を行うことによって新規事業を開発し、多角化をすすめるようとする政策は日本ガイシの代々の経営者に受け継がれていた³⁸⁾。

4-2. 共同開発体制とその変化

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。この体制では、2つの日立製電池が成果を競う形でプロジェクトが進められた。電池本体と部品のβアルミナ管の両方について日立が一貫製造する電池と、βアルミナ管については日本ガイシが製造する電池である。東京電力は、開発目標や仕様を設定し、変電所等のフィールドで性能を評価、検証する「ユーザー」として、研究の全体を管理していた。

プロジェクトでは表1に示される開発目標が設定され、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。当時のNaS電池は、数百サイクルの充放電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考えられていた。そこで1980年代には原料粉の組成まで踏み込んで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焦点が当てられた³⁹⁾。

表1. 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 ³ 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

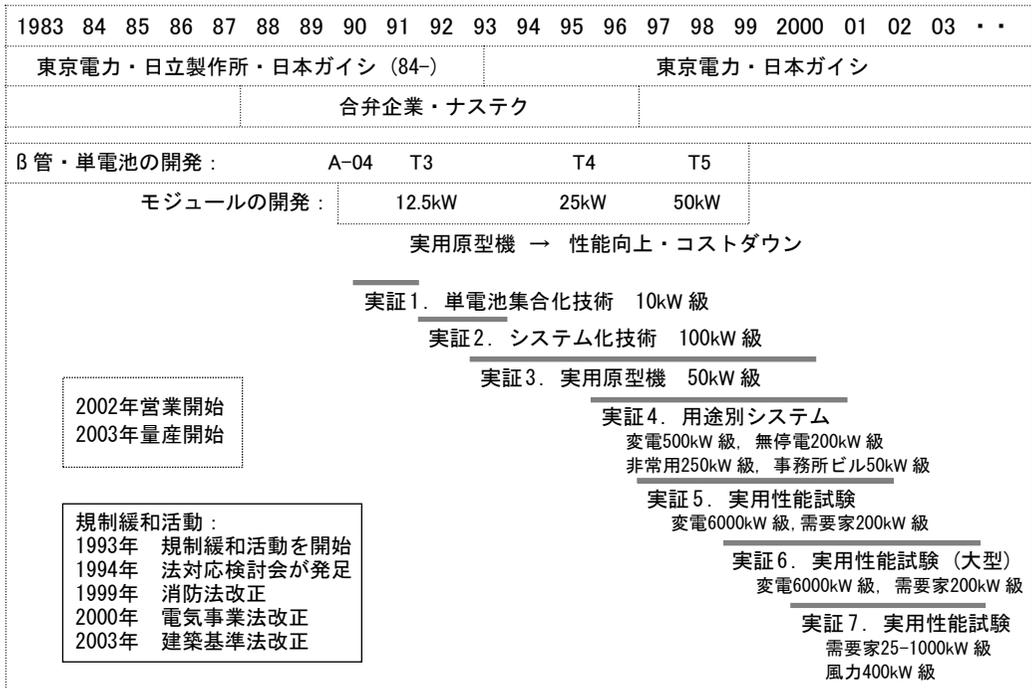
出所）奥野（1993）および原田（1993）を参考に作成。

1990年前後から、プロジェクトは開発体制を変化させていくことになる。1989年に日本ガイシがβアルミナのみならず電池本体についても自ら開発製造することを提案し、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。日本ガイシの提案にもとづく体制の変化は、主として2つの事情を背景としていた。

第一に、日立と日本ガイシの協業において摩擦が生じていたことである。たとえば、試作電池の運転中に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。しかし、電池製作上は協業関係にありながら、βアルミナ管の供給を巡っては競合関係にあったため、ガイシ製βアルミナ管を搭載した電池が破損した場合、電池をβアルミナ管とそれ以外に分け、日本ガイシが前者を、日立が後者をもちかえてそれぞれ別個に原因究明にあたるが行われていた。部品供給についての競合関係が、その技術的な相互依存関係にも関わらず、二社による円滑な協業を妨げていたという。

第二に、開発体制の変化は、日本ガイシによる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のプロジェクト内での明示化であった。先だって、プロジェクト参加の2年後、1986年には電池の技術面および事業面のノウハウを導入するため、湯浅電池をはじめとする電池メーカーから数人の技術者が招き入れられていた。続く87年には、独BBC社とNaS電池の技術提携が行われている⁴⁰⁾。翌88年、この技術提携は、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した。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が目的であった⁴¹⁾。

図3. 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3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。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⁴²⁾。

4-3. 共同開発体制の維持と駆動

プロジェクトが実証試験段階にはいと、実際にNaS 電池を運転させるユーザーとして東京電力

の役割が増していった。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。碍子など電力関連製品において長期的な取引関係にある二社が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。

高温で作動するNaS 電池は、試作システムの運転に際して、設計・製造段階では予想がつかない要因によって、活物質の漏れやβ アルミナ管の破損が起き、問題の分析と対策の立案が繰り返された。トラブルへの対応過程において、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。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

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 電池システムの大型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。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。

一方、この時期には将来の電力自由化を背景に、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。1995年に電力自由化の第一歩として、独立系発電事業者（IPP: Independent Power Producer）による発電事業への参加が認められた。東京電力では、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り、発注・調達方式の改善や新工法の導入によって揚水発電を含む発電所の建設・運営コスト低下が実現されていった⁴³⁾。研究開発費も1993年度の750億円をピークとして2000年代初頭まで減額が続いた⁴⁴⁾。

揚水発電のコスト低下に伴う代替難度の上昇と予算の縮小、開発期間の長期化にともなう、東京電力社内ではプロジェクトへの資源動員を疑問視する声があがった。プロジェクトへの研究開発投資が続けられたのは、東京電力の経営層がこれを一貫して支持し「設備投資を抑制する効果をもつ主要テーマの1つ」に位置づけたからであった⁴⁵⁾。

経営層の方針は、NaS電池の用途の多様化と付随する実証試験のあり方にも及んだ。NaS電池は、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。電力のユーザーが電力負荷平準化手段を持つ可能性と需要家設置用システムの検討を指示したのは、この時点で会長になっていた平岩外四であった。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、背景にあったのかもしれない⁴⁶⁾。プロジェクトは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。翌96年には、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⁴⁷⁾。この決定は、後に電池の事業化が行われる際の重要な布石になっていた。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。

実証試験の対象が多様化したことをうけて、東京電力の開発部隊は20人超まで増員され、日本ガイシの開発部隊も、本格的に事業化を見据えたものに変った。開発部隊の本籍が置かれていたNaS開発部は1995年にNaS事業推進部になり、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事業部に昇格した。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。ABB社の撤退を機に、日本ガイシは極東に限らずNaS電池事業を海外展開できるようになった。

実証試験は、事業化をみすえたものであったため、硫黄やナトリウムのような危険物を含有するNaS電池の設置について、消防法と建築基準法の緩和を訴える活動もこの90年代半ばから他社との協力の下にすすめられた。新型電池の電力業界共同研究を背景として、日本の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（Load Leveling）法対応検討会」が1994年に発足し、規制緩和活動が進められた。結果、1999年に消防法、2003年に建築基準法の改正が認められた。

また、技術開発面では、1990年代半ばに訪れたコスト削減要求の増大に対して、部品点数の削減につながる単電池の大容量化技術の開発を目指すことになった。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ため、この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る。

4-4. 用途市場の再定義

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だ。T5型は電池容量を従来の2.5倍、エネルギー密度を2割高めたため、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、技術的な実用性能と大きなコストダウンが達成された⁴⁸⁾。

ところが、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。この時期までに、揚水発電所の整備が進み、技術進歩によって立地やコストの制約が緩和されていた。揚水発電所は90年代末に過剰設備を抱えるようになり、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。揚水発電の代替が主用途では、大きな需要が見込めないため、2つの新たな位置づけが考えられた。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型電源であった。東京電力において経営層の指揮の下、全社的な用途検討が行われた結果でてきた位置づけであった。電力自由化が進展し、1999年に大規模工場やスーパーマーケットなど大口需要家を顧客とする小売事業への新規参入が認められることになっていた。NaS 電池を導入した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。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。このような軸足の転換は、1990年代半ばから需要家設置システムの実証試験をすすめていたことから、円滑に進めることが可能になっていた。

もう1つの用途市場は、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。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つとされており、NaS 電池を組み合わせれば電力供給を安定化させることが可能になる。

日本ガイシでは1998年の経営計画において「次

世代の電力分野の主力商品」としてNaS 電池の量産を2002年から開始し、「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⁴⁹⁾。98年頃までは、電力会社を主たる顧客にとりてピーク電力の抑制を訴求してきたものの、2000年以降は非常用電源などの付加機能を需要家に訴求するとともに、電力品質の低下が問題視されはじめたり、自然エネルギーの利用が拡大しはじめたりした欧米を中心とする海外市場への展開を視野に入れることが決められた⁵⁰⁾。

4-5. NaS 電池の事業化

NaS 電池の事業化にあたって最大のボトルネックは、プロジェクトの大きな課題であり続けた、顧客が支払う初期費用にあたる電池の導入コストであった⁵¹⁾。電力自由化の進展は、事業化を後押しした一方、顧客の要求単価水準をいっそう厳しいものにしていった⁵²⁾。導入コストの低減のために、単電池の大型化とエネルギー効率の向上に関わる多数の技術開発と、原材料の見直しや部品の標準化、工程の短縮と自動化が徹底的に行われた。日本ガイシによる製品・生産技術開発努力に加え、パートナーである東京電力の需要家への営業活動が、生産量の拡大を通じて、コスト削減に大きく寄与することになった。

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。東京電力では2001年にNaS 電池の営業体制が構築され、まず工場など主として電力の大口需要家向けに翌02年度から、本格的な営業活動が開始された⁵³⁾。販売は顧客の導入コスト低減のために、リースを通じても行われた⁵⁴⁾。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っただけ、これら付随業務の分を含むリース料を顧客からうけとる仕組みである。営業初年度の売上目標は、1.5万 kW の受注による売上高30億円であった。

東京電力における営業体制の確立を機に、東京電力と日本ガイシの間で販売に関する協定が結ばれた。まず、東京電力管内については、同社が日本ガイシ製NaS 電池の営業窓口になり、他の電力機器を加えたシステムとして販売する。東京電力は販売後の運転監視業務や保守業務も請け負う。

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、東京電力管外は、日本ガイシが営業まで行き、東京電力は一定のロイヤリティ収入を得る。NaS電池の便益が電気料金に関わるため、全国的に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ものの、結果として2006年頃までは東京電力管内の販売量が全体の8割前後を占めていた。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た。

一方、日本ガイシは、50億円を投じて愛知県小牧市に年産6.5万kWの生産能力を持つ専用工場を建設し、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まで生産能力を拡張することが計画された⁵⁵⁾。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。2006年9月時点では、電池は電力需要家を中心に納められ、半数が非常用電源等の付加機能を持つ兼用型であった⁵⁶⁾。顧客は、リース方式や国が実施する助成制度を利用しながら導入コストを低減し、購入に踏み切っていると思われた。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電池も一部とはいえその恩恵を受けていた⁵⁷⁾。

ただし、NaS電池の普及を拡大させるためには、一層のコストダウン努力が必要とされ、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。

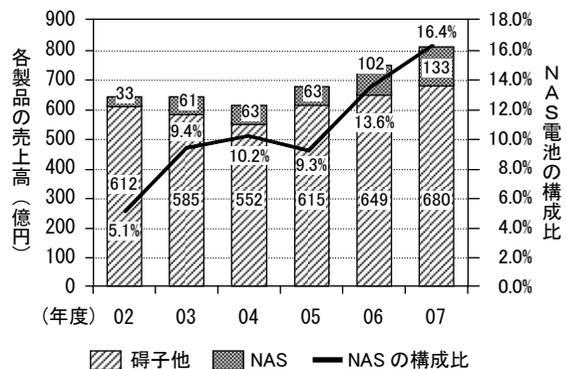
NaS事業の収益を改善し、売上の増加を促したのは、海外電力会社の設備投資抑制や、国内外の風力発電需要の増加であった。米国を典型とする広大な大陸において送電・配電システムを整備するには、巨額の設備投資が必要になるうえ、景観面での規制をクリアする必要があると考えられた⁵⁸⁾。海外電力会社が送電・配電システムへの設備投資抑制にNaS電池を利用するようになれば、同電池の海外市場における大きな需要先になる。

風力発電補完装置としての需要も、国内外において増加をはじめている。各国の政府が自然エネルギー導入を促していることを背景に⁵⁹⁾、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ている⁶⁰⁾。実際、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」を追い風に、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、34MWという大容量のNaS電池が採用されている⁶¹⁾。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まで助成することが決められたのであった⁶²⁾。

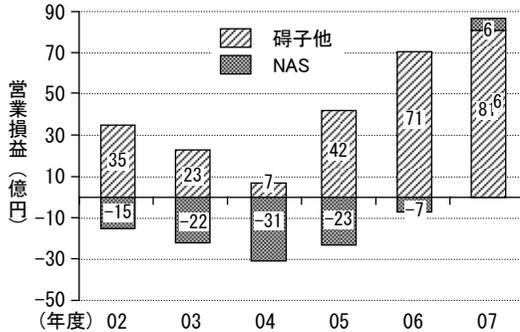
このような需要を背景に、NaS事業は2006年度から収益を改善し、売上高についても翌年度に電力関連事業の16%強を占めるようになった⁶³⁾。日本ガイシにおけるNaS電池事業の売上高をみると、図4に示されるように、営業体制の確立によって本格的な販売が開始された2002年度は33億円で、量産が開始された翌03年度に61億円に倍増するものの、05年度まで同水準が続いていた。しかし生産工程の合理化とともに、海外市場への販売や、風力発電との組み合わせ需要増を背景として、売上高は、2006年度には事業化当初目標としていた100億円を超え、翌07年度は133億円になった⁶⁴⁾。2006年度からの事業成果の改善傾向は、売上高のみならず、営業損益にも及んでいる。図5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年度には黒字転換を果たすことになった。

図4. 日本ガイシ電力関連事業における製品別売上高推移



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; 2008年10月30日) を参考に作成。

図5. 日本ガイシ電力関連事業における製品別営業損益推移



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; 2008年10月30日) を参考に作成。

5. ディスカッション

東京電力と日本ガイシのNaS電池開発プロジェクトは、いったいなぜ、ムーンライト計画という政府プロジェクトの下で電力貯蔵電池の開発にあたった企業群がなしえなかった事業化を行うことができたのだろうか。ムーンライト計画下の電力貯蔵電池開発プロジェクトそれ自体は確かに実用化を見据えたものであったものの、事業化を目指すものではなかった。しかし、この国家プロジェクトに参加した企業が、プロジェクトの成果を応用して同種の電池を事業化したものはこれまでにない。湯浅電池に協力してNaS電池の実証試験を行っていた関西電力を例外と考えることもできないではないが、東京電力らと同様に国のプロジェクトとは別に住友電気工業とレドックスフロー電池の事業化を目指している。

本稿では、東京電力と日本ガイシ2社の共同開発体制およびこれを支えた背景を持つ性質が、20年間の長期におよぶ技術及び事業開発活動を継続させ、170億円を投じた国の計画と同等あるいはこれを凌駕する投資を可能にしたと考える。市場の失敗から過小投資になりがちな民間の開発活動において、いかにしてそれが可能であっただろうか。東京電力という公益企業と日本ガイシという私企業のプロジェクトが、彼らのプロジェクトが持ついくつかの特質を背景として、一方で政府プロジェクトに匹敵するほどのリスク耐性と開発規模、継続性を発揮し、他方で民間のプロジェクトゆえの柔軟性を持ち得たと考えられる。国が行う

プロジェクトと、民間が行うプロジェクトの中間的な色彩を持つことによって、彼らのプロジェクトは1980年代初頭からの20年間にわたって、電力貯蔵用電池の実用化に関わる政府プロジェクトの代替物として機能していた。

2社のプロジェクトの大きな特徴の一つは、公益企業である東京電力を見込み顧客として、従来からの長期的取引関係にもとづいて、これが遂行されたことであつた。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つた。

この点は、プロジェクトにとって第1に、相対的に明確で安定的な需要が存在したことを意味しており、長い年月の中で様々に事情が変化した場合に新たな需要の探索を促すことにもつながっていた。一般に、リスクが高く開発が長期にわたる技術に対して行われる、政府の直接的な開発支援が当該技術の普及につながるには、需要面での施策が必要であり、その欠如が政府支援の実効性を削いでいると論じられる (今井 (1984); Kemp (1997); Loiter & Nohberg-Bohm (1999))。逆に、政府調達のように政府自身が顧客である場合、明確なニーズの理解の下で技術開発支援が実効性につながりやすいという (Nelson & Langlois (1983))。プロジェクトは揚水発電の代替という東京電力の明確なニーズの下に始まり、時間の経過に伴って当初のニーズが疑問視されるようになると、電力事業への新規参入業者に対抗する武器として開発対象を位置づけるようになった。出力が安定しない自然エネルギー発電の補完装置としての需要や海外市場については、日本ガイシの需要開拓活動の成果としての側面を見ることができものの、事業化にいたる期間のほとんどについて、東京電力という見込み顧客の明確で安定的な需要の存在がプロジェクトの継続を支えていた。これは海外を含むほかの開発主体の多くにみられなかった特徴であつた。

2社の長期的な取引関係にもとづいてプロジェクトが遂行されたことは、第2に両者の円滑な協働を促していた。一般に、日本企業は長期的かつ協力的な取引関係をその特徴としていることが知られており、自動車産業を典型としてこのような

取引慣行のもとで円滑な協働作業が行われていると論じられる(今井他(1984); Asanuma(1989); Nishiguchi(1994); Dyer(1996))。共同技術開発のような異なる経済主体の共同作業では、パートナーが自社の技術的知識を出し惜しみして、一方的に相手の技術的知識を吸収しようとするなど、機会主義的行動が生じうる(Hamel et al.(1989); Sakakibara(1997))。機会主義的行動を抑制するためには、各主体の役割や責任、罰則、成果の分配などについて、交渉し、公式の契約書で定め、相手の行動をモニターするといった取引コストが生じる(Williamson(1975; 1985))。

これに対して、長期的な取引慣行は、取引相手の機会主義的行動を減じ、協調的行動を促進することが知られている。ゲーム理論では、長期的な取引関係のように繰り返し取引(ゲーム)が行われる状況では、将来の取引から排除されるといったしっぺ返しあるいは報復が行われる恐れから、協調的な行動が生じると主張される(Axelrod(1984); Baumal(1993))。また、既存事業における取引関係をもとに新たな事業の取引を行うような、複数の事業において取引がある状況では協調が維持されやすい(Bernheim & Whinston(1990))。さらに、長期的な関係の下で密接なコミュニケーションが行われると、パートナー相互に強い信頼が醸成され、取引コストが減じられるとともに、互惠性の規範が生じるなど協力関係が促進されることが知られている(Barney & Hansen(1994); Mayer & Schoorman(1995); Dyer & Singh(1998); Nootboom(2002))。この種の協力関係の下では、知識の共有と交換が促進されるという(Doz & Hamel(1998); Dyer & Singh(1998))。

日本の電力産業は、長期にわたって東京電力に代表される地域ごとの一般電気事業者によって運営され、電力部材メーカーは市場が成熟化し、寡占化していくにしたがって顧客であるこれら電力会社と長期安定的な取引関係を構築していた。東京電力は、開発費を折半してメーカーと密接なコミュニケーションを行いながら技術開発を行うことを慣行としており、東京電力と日本ガイシ、東京電力と日立も、このような長期安定的な「顔が見える」関係を基盤として、NaS電池のプロジェクトを開始している。日本企業の長期的取引関係

を論じる諸研究が示唆するように、NaS電池のプロジェクトにおいても、従来の取引関係に根ざして協調行動をとりながら、メーカー間に一定の競争状態をつくることが行われていた⁶⁵⁾。このプロジェクトでは、日本ガイシと日立が相互依存的な作業を分担していたにも関わらず競合関係にあったことからこの2社の間では円滑な協働、知識の交換が進まず、日本ガイシの電池事業への多角化の意思決定を機に日立は袂を別っていった。したがって、長期的取引関係がプロジェクトの成果を高めるといってほど単純な関係を想定するものではない。しかし、東京電力と日本ガイシの2社について、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ことが、その後のプロジェクトの進捗に大きな影響を与えていた。

なぜ、高いリスクをともなったプロジェクトに日本ガイシが参加をし、コミットを続けたのだろうか。2社の取引関係から考え得る説明の1つは、従来の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、というものである。取引の集中度と支配性に注目した産業組織論やこれにもとづく競争戦略論からは、このような考え方が示唆される⁶⁶⁾。しかし、プロジェクト開始の3年後にはABB社との技術提携が行われていることを考えると、電池事業への多角化の意思決定が日本ガイシのコミットメントにより大きな影響を与えていた。

2社の取引関係はむしろ、将来の顧客としての信頼感や、高い技術能力とまじめな企業文化を持つメーカーとしての信頼感につながっていた。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。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が、プロジェクトの成否に影響を与えていた。

東京電力は日本ガイシにとって重要な見込み顧客であるとともに、共同での事業化を目指すビジ

ネス・パートナーであった。国の計画に参加する企業群が多くの場合、テンポラリな協力関係をつくるのとは対照的な関係であった。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、高い難度を持つ事業開発のリスクを低減させるものであった。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多額の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、機会主義的な行動が介在する余地はきわめて小さかった。また開発期間の長期化が互いのコミットメントを一層強化していった。

さらに、政府主導ではなく民間のプロジェクトとして行われたことは、開発体制の柔軟性の確保に繋がっていた。政府主導のプロジェクトにおいて、運営体制の硬直性がしばしば効率的な進展を阻むことが一般に指摘される (Genus (1997); 船橋他 (2001))。東京電力と日本ガイシのプロジェクトでは、計画の途上で分業体制の変更が行われるとともに、外部からの技術導入が決められ、実施されている。政府主導のプロジェクトでは、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と考えられる。

他方、民間のプロジェクトであることから生じるデメリットも当然考え得る。既存研究が論ずるように、リスクが高く開発が長期に及ぶ技術開発活動に政府が直接的な支援をすることが合理的だと考えられるのは、民間まかせでは投資が過小になると考えられるからであった。民間企業がその一事業として開発活動を行う限り、その私的収益性が問題になる。東京電力と日本ガイシのプロジェクトにおいて、20年間の長期にわたって累計で数百億円ともいわれる投資の継続を支えたのは、2社の相対的に良好な経営状態に加えて、それぞれがもつ組織的特徴とプロジェクトの組織的位置づけであった。

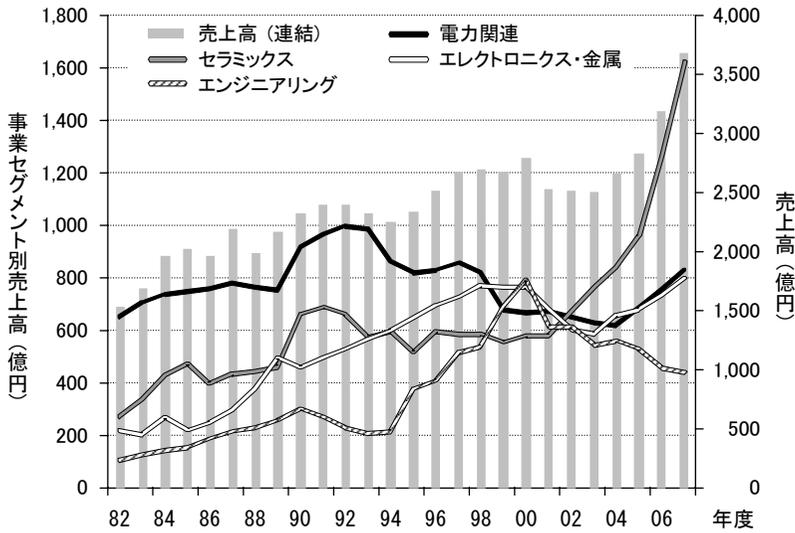
まず、NaS 電池のプロジェクトは、2社において一貫して経営層の強いコミットメントがあった。両社の経営層は、20年間の長期に及ぶプロジェク

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。日本ガイシでは、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。NaS 電池のプロジェクトは、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。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。

また、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、[図6](#)にみられるように、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。

日本ガイシでは、NaS 事業部設立の頃まで経営層が自ら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。プロジェクトが置かれた組織的な位置づけは、その資源投入および継続性の点で大きな力になっていた。

図6. 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。

さらに、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と思われる。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。

東京電力においても、NaS 電池の事業化には経営層の一貫した支持があった。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発電に代わる電力貯蔵手段の開発というニーズが明白であり、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を経営層が持っていた。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。また、年月の経過に伴って事情が変化したときに、同社において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、経営層のコミットメントと組織内での位置づけが、プロジェクトへの資源配分と継続を支えていた。

新製品開発に関する議論ではしばしば、社長直轄プロジェクトなどを典型として経営層の関与や認知が、製品開発活動への資源動員を促し時としてその成果を高めると論じられる（野中，1990；武石他，2008）。NaS電池のプロジェクトのように、20年間に及ぶような長期の事業開発プロジェクトの場合、事態はもう少し複雑である。時間の経過とともに、多くの場合、経営者が代替わりしていくからである。

組織行動論あるいは意思決定論の分野では、コミットメントのエスカレーションという現象が知られている（Staw（1976）；Bazerman（1998））。意思決定に伴う投資の増加とともに、この投資が埋没コスト（sunk cost）になることを恐れるなどの理由で、過去の意思決定に対するコミットメントが合理性を逸脱してエスカレートしていくという現象で、意思決定に現状維持のバイアスを生じさせる。同様の現象は、政府が主導するような大規模投資を必要とする技術開発においても生じるといふ（Walker（2000））。

長期のプロジェクトにおいて経営者が交代していくことは、過去の意思決定の見直しにつながる可能性があるため、一見、コミットメントのエスカレーションのような現象を回避させるように思われる。しかし、典型的な日本企業において、経営者は先代経営者の下で評価され、内部昇進を通じて就任していくこと、および先代が社長退任後も、会長や顧問、相談役として一定の（場合によっては暗示的な）影響力をもつことがあるとすれば、過去の意思決定の見直しが行われやすいとは言いがたいかもしれない。重要な取引先に甚大な影響を与える意思決定となれば、なおのことであろう。ただし、コミットメントのエスカレーションが前提とする合理性からの逸脱には、特に不確実性が高い技術開発活動の場合、一定の留保が必要であると考えられる。プロジェクト途上における将来性評価は、高い不確実性の下では、際だって限定された知識に基づいて行うより他はないからである。限られた知識に基づいて考える事前あるいは途上の合理性が、成否の決着を見た後での事

後的な合理性とは異なることが考えられる（加護野（2002））。

東京電力と日本ガイシのプロジェクトが、多くの開発主体の撤退や事情の変化を背景として、プロジェクトの途上でどこまで合理的であったのかについては議論の余地があるように思われるものの、2社の組織的要因は電力貯蔵用電池の事業化にとって重要な影響を与えていた。歴代の経営層は、企業のミッションの1つとして開発努力を行い、事情の変化に合わせて開発目標を変えながら、資源動員を正当化しうる合理性の確保に努めていた。長期の技術・事業開発プロジェクトにとっては、様々に事情を変化させる時間の経過そのものが障害になりうる。このようなプロジェクトの成否には、当初の目的や計画が定める合理性を超える駆動力が必要になるのではないだろうか⁶⁷⁾。

6. おわりに

本論文では、東京電力と日本ガイシによる電力貯蔵電池の共同開発プロジェクトを事例として、公益企業とメーカーによる大規模技術開発について考えてきた。公益企業とメーカーによる長期の共同開発活動はこれまであまり注目されることがなかったものの、国が行うプロジェクトと、民間が行うプロジェクトの中間的な色彩を持つことによって、電力貯蔵用電池の実用化に関わる政府プロジェクトの代替物として機能していた。本事例では、公益企業の社会的使命感とメーカーの多角化への強い意志に加えて、日本企業に特徴的とされる長期的取引関係や統治構造がプロジェクトへの資源配分と継続性に大きな影響を与えていた。両社のプロジェクトは、ムーンライト計画下の電力貯蔵電池開発とほぼ並行して行われていたものの、独力での事業化をなしてはなかった。

ただし、以下の点については注意が必要であろう。第1に、リスクが高く長期にわたる大規模技術開発について、政府が失敗すると指摘されると同様に、公益企業も民間企業も失敗しうる。東京電力と日本ガイシのプロジェクトが平均的というよりは極端な事例であるとすれば、顕著に表出された変数間の関係を考えるには適していたとしても、平均像を描くものではない可能性がある。

多くの日本企業が本事例で見られたような長期的取引関係や統治構造をもつものの、技術的可能性や固有の事情に応じて、必ずしも同様の成果が見込めるとはいえないであろう。事例中の日立はプロジェクトを退出し、関西電力と住友電工のレドックスフロー電池は実用化にいたっているものの量産規模の事業化を行っているわけではない。また、経営の説明責任が強く求められる昨今のような状況では、この種の成果が出るまでに長期を要する大規模開発事業を民間企業が継続することは、かつてよりも困難であるといえるかも知れない。ただし、東京電力と日本ガイシのプロジェクトに類似の例がないわけではない。たとえばムーンプライト計画下の高効率ガスタービン開発に参加した三菱重工は、この計画とは別に、独自の共同研究開発プロジェクトを東北電力と並行して実施している。国の計画で開発されたものと異なるガスタービンを実用化するにあたって、東北電力が100万kWを超える発注を通じ、導入期の顧客としてあったことが、三菱重工に赤字の中での開発投資を継続させたのだという⁶⁸⁾。

第2に、公益企業とメーカーによる大規模技術開発が一定の成果をあげるという事実は、政府の支援による大規模技術の開発あるいはその普及促進を否定するものではない。従来議論が民間による開発と政府による開発の両極について主に論じているのに対して、中間的ともいえる色彩を持った開発体制について本論文は論じている。特に、環境関連技術などに対して社会的な観点からなされる政府の普及促進事業は、導入段階のためコスト削減などの課題を抱える製品技術の普及に一定の意味を持つと考えられる。日本政府は電力貯蔵用電池のみならず、燃料電池や太陽電池の普及促進事業を行っており、一定の成果を上げている。政府には、民間企業にはなしえない政策努力を期待することができる。長期にわたり官民一体となって育て、相応の国際競争力を持つようになったと言われる太陽電池でさえ、2008年の現在において未だ導入期にあり、その普及が政策支援によって大きな影響を受ける状況にある。

この点に関連して第3に、NaS電池という電力貯蔵用電池も、量産規模での事業化が行われているものの未だ導入期にあると考えられ、事業とし

て「成功を収めた」と論ずるものではない。NaS電池の供給者は事実上日本ガイシだけであり、顧客の導入コスト削減が課題であることも指摘されている⁶⁹⁾。風力発電や太陽光発電に併置することで電力品質の向上に高い成果を上げていることが報道される一方⁷⁰⁾、レドックスフロー電池のほか、コージェネレーション機器や超伝導磁気エネルギー貯蔵装置⁷¹⁾、燃料電池⁷²⁾、リチウム・イオン電池⁷³⁾、キャパシタ（コンデンサ）⁷⁴⁾といった様々な製品技術と将来的に競合することが考えられている。技術開発成果の評価は、国のプロジェクトであれ、民間のそれであれ、どのような時間軸で行うのかが常に問題になる。本論文では、政府主導の技術開発と並行して行われたプロジェクトの、量産規模での事業化までを射程に収めている。

【注】

- 1) ナトリウム硫黄電池. 素材の頭文字をとって「NaS」(Natrium-Sulfur)電池と呼ばれる。
- 2) 政府主導プロジェクトにおける電力貯蔵用電池開発とこれを担当した企業群がなぜ実用化までいかなかったのかについての詳細な論考は、別の機会を持ちたい。
- 3) 技術研究組合を中心とする日本の政府主導・支援による技術開発の歴史については、以下が詳しい。後藤・若杉(1984)および後藤(1993), Sakakibara(1997)。
- 4) 政府による技術開発活動の促進には、政府が主導する共同研究開発プロジェクト以外にも、大学や国立研究所の設置とそれらへの資源配分という直接的な経路がある。また、外国為替管理法や環境規制など他の政策措置も民間の技術開発活動に影響を与えるものの、どちらも本論文では議論の対象ではない。
- 5) Sakakibara(1997)は日本で行われた同種のプロジェクトの包括的なデータベースを構築している。ただし、単なる政府調達や既存技術の実行を行うプロジェクトは含まれていない。
- 6) 公益企業は民間企業でありながら官僚制組織の弊害が強く非効率的であるとか、他の民間企業の事業運営を圧迫するといった批判が一般にありうる。ここではこのような一般的信念を無批判に反復するよ

- りも、大規模・長期の開発活動にとってこの種の開
発体制が有効に働きうるポイントを論じたい。
- 7) フライホイール、圧縮空気貯蔵、超伝導磁気エネ
ルギー貯蔵など他の技術も開発が進んでいる。
 - 8) 岩淵・木村 (1980), 中原 (1983).
 - 9) 二又・高橋 (1986), 中原 (1983), 日経産業新聞
(1983年5月10日). DOE は、1970年代から政府プロ
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。
 - 10) 1992年から独 RWE 傘下に入り、SPL 社 (Silent Power
Limited) になる。
 - 11) 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。
 - 12) 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)). 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、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。
 - 13) Hamer (1996).
 - 14) 電気自動車の研究開発大型プロジェクトに参加し
た湯浅電池のほか、豊田中央研究所や日本電池にお
いて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 NaS 電池の原料になる β アルミナの大規模成
型を試みている (日経産業新聞 (1978年10月3日)).
 - 15) 工業技術院 (1974). 大型プロジェクト制度は、
研究開発に多額の資金と長期間、大きなリスクを要
するものの、国民経済にとって重要かつ緊急に必要
とされる大型工業技術について、国が資金負担と開
発体制の確立を担おうとする制度であった。
 - 16) 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、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。
 - 17) 石川 (1998).
 - 18) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (2005). ム
ーンライト計画の下では、高効率ガスタービンや、
スーパーヒートポンプなど8つの技術開発プロジェ
クトがすすめられた。
 - 19) オイルショックを背景とする国の技術開発計画に
は、1974年に発足した「サンシャイン計画」(新エネ
ルギー技術研究開発計画の通称) と、1978年に発足
したムーンライト計画がある。サンシャイン計画で
は石油代替エネルギーの開発が目指されていた。両計
画は通産省工業技術院が推進し、新エネルギー総合開
発機構 (NEDO: New Energy and Industrial Technology
Development Organization) を実施主体として、産学
組織に実際の開発が委託された。
 - 20) 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),
日経産業新聞 (1982年1月19日; 1983年2月16日).
 - 21) 大高 (1987) および日本経済新聞 (1983年9月19
日).
 - 22) 日経産業新聞 (1989年6月14日), 日本経済新聞
(1987年5月22日).
 - 23) 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。
 - 24) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (1992), 日
経産業新聞 (1992年5月11日).
 - 25) 日経産業新聞 (1992年4月3日).
 - 26) 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), 日経産業新聞 (1992年4月7
日; 1992年12月18日; 1996年5月9日).
 - 27) 徳田 (1995).
 - 28) 岩淵・木村 (1980), 日経産業新聞 (1985年10月1
日; 1986年3月18日; 1989年11月17日).
 - 29) 湯浅電池の NaS 電池開発・事業化からの撤退時期
は明確ではない。「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
- 30) 日経産業新聞 (1991年7月17日; 1994年9月30日; 2001年8月29日).
- 31) 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). なお, 両社による技術開発活動の詳細については, 福島 (2008) を参照.
- 32) 日経産業新聞 (1986年2月10). 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.
- 33) 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.
- 34) 加えて, 自己放電が起こらず, 高い充放電効率が達成できそうなこと, 完全密閉のためにガスの発生がないこと, 材料のナトリウムや硫黄が資源として豊富なため, 安価な供給を見込むことができると考えられたことも選択の理由になっていた.
- 35) 日経産業新聞 (1989年12月16日).
- 36) 他にも, 日立の開発意欲や, 日立内で開発部隊がおかれた日立工場の位置づけも影響していたという. 同工場は高速増殖炉の研究を手がけていたことからナトリウムの扱いに慣れており, 相対的に大きな研究予算規模が開発リスクに耐えうると考えられたという.
- 37) 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の発言にもとづく (日本経済新聞 (1994年6月22日)).
- 38) 1986年から94年まで日本ガイシの社長をつとめた小原敏人の発言 (日本経済新聞 (1986年1月27日)) および, 1994年から2002年まで社長をつとめた柴田昌治の発言 (日経産業新聞 (2001年12月18日)) もとづく.
- 39) 奥野 (1993).
- 40) 磯崎他 (1998).
- 41) 日本経済新聞 (1991年12月23日). NGK Insulators (1997) によれば, 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.
- 42) 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計画が発表されている (日本経済新聞 (1997年12月25日); 日経産業新聞 (1997年8月22日)). 同計画の実施については確認できていない.
- 43) 日経産業新聞 (1994年1月17日; 4月7日; 6月30日; 1995年1月7日; 2月7日; 6月15日; 3月5日; 1996年12月17日).
- 44) 日本経済新聞 (2000年5月31日).
- 45) 日経産業新聞 (1996年4月24日).
- 46) 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済むため, 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.
- 47) 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).
- 48) 「大型 NaS 電池の実用化にメド」『公研』36巻6号, 1998年6月.
- 49) 日経産業新聞 (1997年4月11日; 1998年7月15日).
- 50) 高山 (2004).
- 51) 1986年に竹見から日本ガイシ社長を引き継いだ小原の発言もコスト削減の困難を語っている (日本経済新聞 (1991年12月8日)).
- 52) 日本経済新聞 (2005年1月13日) 掲載の日本ガイシ社長松下雋の発言にもとづく.
- 53) 日本経済新聞 (2001年9月2日).
- 54) 日経産業新聞 (2002年1月18日).
- 55) 日本経済新聞 (2001年12月8日; 2003年5月17日).
- 56) 東京電力・日本ガイシ (2006).
- 57) 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.
- 58) 日経産業新聞 (2006年7月24日). NaS 電池の導入は, 米 DOE による「電力貯蔵プログラムモデル事業」の助成対象にもなっている (東京電力プレスリリース (2006年7月21日)).
- 59) 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) が2003年から施行されている.
- 60) 日本経済新聞 (2007年1月30日).
- 61) 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).
- 62) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (2007).
- 63) ここでは二次資料からアクセスが可能な日本ガイシの事業成果に注目している. 2008年の現在において

- て NaS 電池は同社が事実上独占供給しているため、日本ガイシ製品の売上高は市場全体の売上高にほぼ等しい。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ものの、電力の購入を特定規模電気事業者 (PPS: Power Producer and Supplier) に切り替えた可能性がある同社顧客のうち、5%前後をとどめたという試算もある (福島 (2008))。
- 64) 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; 2008年10月30日)。
- 65) 複数企業が行う共同研究開発事業において、参加企業の技術的知識開示の消極性を回避するために、協調関係をつくるのみならず、競争を意識させることが重要であるという論点、「競争のゲーム化」、「競争の可視化」などの概念で議論されている (榊原 (1981); 権 (1993))。
- 66) たとえば Porter (1980) が提唱する「five forces framework」にもとづく産業構造分析。
- 67) このような考察はかつて展開された、家電分野で米企業が撤退していく一方、日本企業が苦境に耐えて事業活動を継続したことが後の国際競争力につながった、という類の議論に類似しているように思われる。ただしこの種の主張は、後に日本企業が業績低迷に苦しんだ際に、日本企業は退出が苦手であるという論調に変わっていった。
- 68) 岩淵 (1986), 木村他 (2007)。
- 69) 日本経済新聞 (2008年1月17日)。
- 70) 日本経済新聞 (2008年11月14日); 日経産業新聞 (2008年1月1日; 2008年6月10日; 7月31日; 9月19日)。
- 71) 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)。
- 72) 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)。
- 73) 日本経済新聞 (2007年4月14日; 2007年6月6日)。
- 74) 日経産業新聞 (2006年1月23日; 2007年7月3日)
- of resources for invention”, in *The Rate and Direction of Inventive Activity*, Princeton University Press, pp. 609–625.
- Asanuma, B. (1989). “Manufacturer–supplier Relationships in Japan and the Concept of Relation–Specific Skill”, *Journal of the Japanese and International Economies*, vol. 3, pp. 1–30.
- Axelrod, Robert (1984), *The Evolution of Cooperation*, New York: Basic Books, 1984. (松田裕之翻訳『つき合い方の科学』ミネルヴァ書房, 1998年)。
- Barney, J. B. and Hansen M. H. (1994) “Trustworthiness as a Source of Competitive Advantage”, *Strategic Management Journal*, vol. 15, pp. 175–190.
- Bazerman, Max H. (1998) *Judgment in Managerial Decision Making*. 4th. Ed., Wiley, New York. (兼広崇明翻訳『バイアスを排除する経営意思決定』東洋経済新報社, 1999年)。
- Bernheim, Douglas and Michael Whinston (1990) “Multimarket Contact and Collusive Behavior”, *Rand Journal of Economics*, vol. 21, pp. 1–26.
- Baumol, W. J. (1993) “The Mechanisms of Technology Transfer, II: Technology Consortia in Complementary Innovations”, in *Entrepreneurship, Management, and the Structure of Payoffs*, MIT Press, Cambridge MA, pp. 193–222.
- 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.
- Cohen Linda R. and Roger G. Noll (1991) *The Technology Pork Barrel*, Brookings Institution, Washington, D. C.
- David, Paul A., Bronwyn H. Hall, and Andrew A. Toole (2000) “Is Public R&D a Complement or Substitute for Private R&D? A Review of the Econometric Evidence”, *Research Policy*, vol. 29, pp. 497–529.
- Demsetz, H. (1969) “Information and Efficiency: Another Viewpoint”, *Journal of Law and Economics*, vol. 12, April, pp. 1–22.
- Doz, Yves L. and Gary Hamel (1998) *Alliance Advantage: The Art of Creating Value through Partnering*, Harvard Business School Press. (志太勤一・柳孝一・和田正春訳『競争優位のアライアンス戦略』ダイヤモンド社, 2001年)。

参考文献

Arrow, K. J. (1962) “Economic Welfare and the Allocation

- Dyer, J. H. (1996). "Specialized Supplier Networks As a Source of Competitive Advantage: Evidence From the Auto Industry", *Strategic Management Journal*, vol. 17 (4), pp. 271-291.
- Dyer, Jeffrey H. and Harbir Singh (1998). "The Relational View: Cooperative Strategy and Sources of Interorganizational Competitive Advantage", *Academy of Management Review*, vol. 23 (4), pp. 660-679.
- 福島英史 (2008) 「電力貯蔵用ナトリウム—硫黄電池の開発と事業化」『IIR ケーススタディ』, vol. 08-02, pp. 1-58.
- 船橋晴俊・角一典・湯浅洋一・水澤弘光 (2001) 『政府の失敗の社会学—整備新幹線建設と旧国鉄長期債務問題』ハーベスト社.
- 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—硫黄電池」『大阪工業技術研究所季報』37巻3号, pp. 255-270.
- Genus, Audley (1997) "Managing Large-scale Technology and Inter-organizational Relations: The Case of the Channel Tunnel", *Research Policy*, vol. 26, pp. 169-189.
- 後藤晃 (1993) 『日本の技術革新と産業組織』東京大学出版会.
- 後藤晃・若杉隆平 (1984) 「技術政策」, 小宮隆太郎・奥野正寛・鈴木興太郎編『日本の産業政策』東京大学出版会, pp. 159-180.
- Hamel, Gary, Yves L. Doz, and C. K. Prahalad (1989) "Collaborate with Your Competitors and Win", *Harvard Business Review*, vol. 67 (1), pp. 125-132.
- Hamer, Mick (1996) "Germans Pull Plug on Britain's Batteries", *New Scientist*, vol. 2032, 01 June, p. 6.
- 原田英二 (1993) 「NaS (ナトリウム—硫黄) 電池による新電力貯蔵技術の開発状況」『動力』218号, pp. 21-28.
- 今井賢一 (1984) 「技術革新からみた最近の産業政策」, 小宮隆太郎・奥野正寛・鈴木興太郎編『日本の産業政策』東京大学出版会, pp. 181-204.
- 今井賢一・伊丹敬之・小池和男 (1982) 『内部組織の経済学』東洋経済新報社.
- 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, pp. 213-215.
- 伊藤康 (2005) 「環境技術開発に対する助成措置の役割」, 寺尾忠能・大塚健司編『アジアにおける環境政策と社会変動』アジア経済研究所, pp. 243-272.
- 磯崎孝・蔵島吉彦・川口敏幸・美馬敏之・渥美淳 (1998) 「ナトリウム—硫黄電池の開発」『NGK レビュー』57号, pp. 1-16.
- 岩淵明男 (1986) 『三菱重工急浮上戦略: ハイテク武装で変身する基幹企業の全容』TBSブリタニカ.
- 岩淵純允・木村修造 (1980) 「ナトリウム—硫黄電池の開発現状と将来」『硫酸と工業』33巻5号, pp. 91-103.
- 加護野忠男 (2002) 「合理性万能論の経営者をはまる罠」『プレジデント』40巻13号, pp. 157-159.
- Katz, Michael L. (1986) "An Analysis of Cooperative Research and Development", *RAND Journal of Economics*, vol. 17 (4), pp. 527-543.
- Keck O. (1988) "A Theory of White Elephants: Asymmetric Information in Government Support for Technology", *Research Policy*, vol. 17, pp. 187-201.
- Kemp, R. (1997) *Environmental Policy and Technical Change. A Comparison of the Technological Impact of Policy Instruments*, Edward Elgar.
- 木村宰・小澤由行・杉山大志 (2007) 「政府エネルギー技術開発プロジェクトの分析—サンシャイン, ムーンライト, ニューサンシャイン計画に対する費用効果分析と事例分析」『電力中央研究所報告』vol. Y06019, pp. 1-40.
- Koenig A. and J. Rasmussen (1996) *Sodium/Sulfur Battery Engineering for Stationary Energy Storage—Final Report (Sandia National Laboratory Contractor Report)*, SAND96-1062, April.
- 権奇哲 (1993) 「共同研究開発のマネジメント: 競争と協調による情報提示の促進」『一橋論叢』, 110巻5号, 11月, pp. 97-113.
- 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.
- Loiter, Jeffrey M. and Vicki Norberg-Bohm (1999) "Technology Policy and Renewable Energy: Public Roles in the Development of New Energy Technologies", *Energy Policy*, vol. 27, pp. 85-97.
- Mayer, Roger C., Davis, James H. and F. David Schoorman (1995) "An Integrative Model of Organizational Trust", *Academy of Management Review*, vol. 20, pp. 709-734.
- Mowery, David (1995) "The Practice of Technology Policy", in *Handbook of the Economics of Innovation and Technological Change*, P. Stoneman Ed., Blackwell, Oxford,

- pp. 513 - 557.
- 中林喬 (2004a) 「NaS 電池の開発経緯」『NGK レビュー』日本ガイシ, 60号, pp. 1-3.
- 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, pp. 38-40.
- 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, pp. 759-760.
- Nelson, R. (1959) “The Simple Economics of Basic Scientific Research”, *Journal of Political Economy*, vol. 67, pp. 297-306.
- Nelson, R. and R. N. Langlois (1983) “Industrial Innovation Policy: Lessons from American History”, *Science*, vol. 219, February, pp. 814-818.
- NGK Insulators (1997) *ANNUAL REPORT 1997*, NGK Insulators, Ltd., March.
- 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>.
- Nishiguchi, T. (1994). *Strategic Industrial Sourcing: The Japanese Advantage*, New York: Oxford University Press.
- 野中郁次郎 (1990) 『知識創造の経営』日本経済新聞社.
- Nooteboom, B. (2002) *Trust: Forms, Foundations, Functions, Failures and Figures*, Edward Elgar.
- National Research Council (2001) *Energy Research at DOE: Was It Worth It?*, National Academy Press, Washington, D. C.
- 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, pp. 914-920.
- 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, pp. 785-787.
- Peck, Merton J. (1986) “Joint R&D: The Case of Microelectronics and Computer Technology Corporation”, *Research Policy*, vol. 15 (5), pp. 219-231.
- Porter, M. E. (1980) *Competitive Strategy*, NY: Free Press.
- 榊原清則 (1981) 「組織とイノベーション: 事例研究・超 LSI 技術研究組合」『一橋論叢』, 86巻2号, pp. 160-175.
- Sakakibara (1997) “Evaluating Government-sponsored R&D Consortia in Japan: Who Benefits and How?”, *Research Policy*, vol. 26, pp. 447-473.
- Scherer, F. M. and Dietmar Harhoff (2000) “Technology Policy for a World of Skew-distributed Outcomes”, *Research Policy*, vol. 29, pp. 559-566.
- 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.
- 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.
- Staw, B. M. (1976) “Knee-deep in the Big Muddy: A Study of Escalating Commitment to a Chosen Course of Action”, *Organizational Behavior and Human Performance*, vol. 16, pp. 27-44.
- 高山豊雄 (2004) 「NaS 電池の海外展開」『NGK レビュー』60号, pp. 41-42.
- 武石彰・青島矢一・軽部大 (2008) 「イノベーションの理由」『一橋ビジネスレビュー』55巻4号, pp. 22-39.
- 徳田信幸 (1995) 「レドックスフロー (RF) 電池」『OHM』82巻7号, pp. 38-42.
- 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, pp. 18-19.

Walker, William (2000) “Entrapment in Large Technology Systems: Institutional Commitment and Power Relations”, *Research Policy*, vol. 29, pp. 833-846.

Williamson, O. (1975) *Market and Hierarchies*, New York: Free Press.

Williamson, O. (1985) *The Economic Intentions of Capitalism*, New York: Free Press.