

戦略イニシアティブ

「次々世代二次電池・ 蓄電デバイス基盤技術」

～低炭素社会・分散型エネルギー社会実現のキーデバイス～

STRATEGIC INITIATIVE

Next-Next-Generation Rechargeable Batteries and Electric Storage Device Technologies

"Key Devices for Low Carbon Society and Decentralized Energy Systems"

研究開発戦略センターでは、国として重点的に推進すべき研究領域や課題を選び、以下３種類いずれかの戦略プロポーザルとして発行している。

戦略イニシアティブ

国として大々的に推進すべき研究で、社会ビジョンの実現に貢献し、科学技術の促進に寄与する

戦略プログラム

研究分野を設定し、各チームが協調、競争的に研究することによって、その分野を発展させる

戦略プロジェクト

共通目的を設定し、各チームがこれに向かって研究することによって、その分野を発展させると同時に共通の目的を達成する

エグゼクティブサマリー

本提言は、グリーンイノベーションの中心課題のひとつと考えられる電気エネルギー貯蔵技術を取り上げ、2030年以降を見据えた長期的観点に立って、現在研究が進められている各種二次電池の性能、機能、コスト等を大幅に凌駕する「次々世代二次電池・蓄電デバイス基盤技術（※）」創出の研究開発戦略を提案するものである。

2011年3月11日の東日本大震災並びに福島第一原子力発電所事故の影響により、今後のわが国のエネルギー政策およびそれに伴うエネルギー研究開発戦略は、今大きな見直しを迫られている。独立行政法人科学技術振興機構（JST）研究開発戦略センター（CRDS）では、震災の起こる約1年前から、産学官の第一線の研究者を交え将来に求められる電気エネルギー貯蔵技術に関する研究開発戦略の議論・検討を進めてきたが、現下の状況を踏まえ、今後の研究開発課題と推進上の諸課題に関わる提言を取り纏めた。本提言では、自動車等運輸部門に用いられる化石エネルギーの抜本的削減と、新エネルギーの効果的利用ならびに緊急時における電源確保等を狙った分散型エネルギー社会実現においてキーデバイスの一つとされる、二次電池・蓄電デバイス技術に焦点を当てている。用途としては、①自動車・輸送機器用（大容量×移動型）、②分散エネルギーシステム・定置用（大～超大容量×定置型）、③モバイル機器用（小容量×移動型）のうち、本提言では主に①②を取り上げた。尚、革新的な電気エネルギー貯蔵形態としては、現行の二次電池の形を取るとは限らないため、それとは異なる新たな「蓄電デバイス」創出の可能性についても検討に含めている。

電池技術は今、関連する学界・産業界・そして社会をとりまく周辺状況が激変している。もともとわが国はこの分野では、技術と産業の総合力では国際的な優位を保ってきたが、社会の電池に対するニーズの増大と市場拡大に伴い、コスト競争力のあるアジア勢の激しい追い上げを受けている。その結果、日本の電池メーカーおよび関連の部材・素材メーカーの世界市場シェアは、トップレベルを維持するも徐々に低下傾向にある。また、諸外国では戦略的に研究開発施策を展開しており、関連する学術分野での論文数等においても、日本の地位は相対的に低下している。現在わが国でも、経済産業省、（独）新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）を始めとした積極的な施策展開によって、次世代型の二次電池開発に臨んでいるが、技術の新陳代謝が加速する中で、さらにその先を見据えた次々世代技術への備えは必ずしも十分とはいえない状況にある。

今後は強い市場ニーズを受けて電気自動車用の電池開発が産業界を中心に進められていくと考えられるが、その技術成果は太陽光発電や風力発電といった出力の不安定な自然エネルギーを導入した際に必要となる電力供給安定用の定置用蓄電池の開発につながることも期待されている。現在、本格的な電気自動車の普及を目指した目標値として、エネルギー密度 700Wh/kg が示されている（経済産業省 2006 年 [1]）。この目標値は、現行のリチウムイオン電池の延長線上の技術では達成不可能とされている（現行タイプのリチウムイオン電池におけるエネルギー密度の限界は $250\text{-}300\text{Wh/kg}$ 程度とされている）。またこうした小口分散電源は、非常用電源として安全・安心な社会システムの重要な要素となり得る。いずれもコンパクトで大容量であることと大幅なコストダウンが求められる。現在の各種開発プロジェクトでは、安全性の向上も含め、こうした目標を実現できる見通しは立っ

ていない。当面の現実的な目標に向けた研究開発と平行して、基礎的な現象の解明と理論モデルの構築、それらに基づく新しい概念の創出といった基礎的研究活動を強化する必要がある。また、電池は総合技術・総合システムであり、基礎から実用化の各ステージによって、材料、デバイス、回路理論、系統連系・電力運用等の多分野にまたがる広範な技術開発が必要であり、産学官の各セクターが担う技術課題解決の役割連結が重要となる。

現在研究開発が進められている次世代型電池のさらに次の技術としては、金属空気二次電池や s-ブロック金属二次電池、多価カチオン二次電池、等が考案されているが、その他の新構造・新概念による蓄電デバイスを含む将来に求められる基盤技術創出には、以下の研究開発課題が想定される。これらの課題を解決し次々世代の革新的二次電池・蓄電デバイスの実用化を実現するためには、総合的な研究体制を構築しオールジャパンとして戦略的に推進することが不可欠である。特に、現時点での想定を遥かに超えるシーズの発見、着想には、現象解明のための基礎・基盤研究体制の充実、異分野融合研究の促進、継続的なリソース投入と関連研究人材の長期的な育成、基礎・基盤研究と応用開発研究の役割連結が、それぞれ関連をし合って重要な意味を持つ。

今後の重要研究開発課題は大きく次の 3 項目である。

1. 新材料開発（新電極材料開発、電極材料界面近傍のナノレベルの三次元構造の最適設計・制御、安全性と高電圧化の両方のバランスを実現する新電解質材料開発、新セパレーター材料開発）
2. 蓄電デバイスシステム新技術開発（新材料の組合せ技術開発、ナノ現象の解明に基づくマクロシステム設計・製造技術開発、安全システム技術開発）
3. 電池反応の現象解明と理論モデル構築（電池反応の直接観察・計測技術開発、性能低下・劣化機構の解明、反応理論のモデル化、計算科学による予測・シミュレーション技術開発）

そして本イニシアティブの実行により、低炭素社会・分散型エネルギー社会実現のキーデバイスとしての低コストで安全な超コンパクト蓄電デバイスの実用化が期待される。その過程で、わが国の電池および関連部素材メーカー、並びにスマートグリッド等の電池システム関連産業の国際競争力の強化、さらに基礎科学における学術分野間の融合促進と研究人材の中長期的な育成を図ることが可能となる。これまでわが国における電池研究は、主として電気化学の分野において進展してきたが、本提言では物理学、特に理論面や固体物理の専門家と、合成化学者や分子設計の専門家との融合研究を取り上げている。加えて上述の高い目標を実現するためにはさらに近年進展の著しい計測技術や計算科学との協働が必須であり、これらの学問領域の融合促進が期待される。

東日本大震災と福島原発事故に伴う影響によってわが国は、エネルギー供給に制限を受けることを経験した。このことは、国民生活や産業界にとって大きな打撃となった。分散型エネルギー社会はそれ以前からも将来の省エネルギー社会を実現する形態の一つとして構想されてきたが、ここに至ってその重要性は急速に高まり、国民・社会からは早期の実現が期待されている。そのためには、「次々世代」と目されるレベルの超高容量・高密度

の蓄電デバイスが必須である。わが国産業が国際的な強みを発揮してきた分野として、電池関連産業への期待も非常に高く、また、エネルギー安全保障および低炭素化・地球温暖化対策の意味においても社会的効果は極めて大きい。今、震災を契機にして、家庭やオフィス・工場用途では非常時電源として、さらに企業のサーバー等のバックアップ電源確保を目的として、そして言うまでもなく自動車等運輸部門において、蓄電池に対する関心は大きく高まっている。厳しい国際競争にさらされている産業界は、次世代製品の研究開発に集中投資しているが、次々世代へとつながる基礎・基盤技術創出の戦略投資は不足している。特に長期間のかかる電池・蓄電研究開発では、大学・公的研究機関を軸に産業界も加わって、長期的視点を持った戦略的な研究開発を推進することが求められる。

※「次々世代二次電池・蓄電デバイス」

本提言では、現行のリチウムイオン電池の3～5倍程度のエネルギー密度を持つ電池を「次世代二次電池」と捉え、それをさらに凌駕する可能性を持つような、将来2030年以降の実用化が期待される電池を「次々世代二次電池・蓄電デバイス技術」と定義して用いている。リチウム（金属）-空気二次電池、全固体型電池、s-ブロック金属二次電池、多価カチオン二次電池、その他の「新型・新概念」による二次電池・及びキャパシター等の蓄電デバイスも含むものとしている。

Executive Summary

One of the central challenges in green innovation is the development of technologies for storing electric energy. Focusing on such technologies and taking a long-term view for 2030 and beyond, this proposal advocates an R&D strategy for creating next-next-generation rechargeable batteries and electric storage device technologies, which will be significantly superior in terms of performance, functionality, and cost effectiveness to the various types of rechargeable batteries that are currently being researched.*

Following the Great East Japan Earthquake on March 11, 2011 and the accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, it is imperative to comprehensively re-examine Japan's future energy policy as well as the relevant strategies for energy R&D. From around 1 year before the earthquake, the Center for Research and Development Strategy (CRDS) of the Japan Science and Technology Agency (JST) has been considering and discussing the R&D strategies for power storage technologies of the future, with the participation of top researchers and engineers from both academia and industry. Taking the current situation into consideration, the Center has now summarized this work into a proposal on future challenges in R&D and issues in promoting R&D. This proposal focuses on rechargeable batteries and electric storage device technologies, which are considered key in drastically reducing fossil energy use in the transportation sector and in realizing decentralized energy systems aimed at the efficient use of new energies and the securing of emergency power sources. Such batteries and device technologies can be used in the following: (1) automobiles, other types of vehicles, and transportation machines (large capacity, transportable); (2) stationary decentralized energy systems (large/super-large, stationary); and (3) mobile devices (small capacity, portable). This proposal mainly discusses the first two areas. As future innovative electric energy storage will not necessarily take the form of current rechargeable batteries, this proposal also considers the possibility of creating new and different storage devices.

Conditions surrounding society and the industries and academia involved in battery technologies are drastically changing. Japan has traditionally maintained an internationally advantageous position in the field in terms of comprehensive technological and industrial competitiveness, but with increased demand for batteries and an expansion of the market, this position is being threatened by intense competition from Asian countries that have cost advantages. As a result, the share in the international market of Japanese manufacturers of batteries and related parts and materials has gradually declined, despite being still at a top level. Also, in terms of the number of research papers published in relevant academic fields, Japan's position has been falling as other countries are strategically implementing R&D policies. Although Japan is currently promoting the development of next-generation

rechargeable batteries through active implementation of policies by the Ministry of Economy, Trade and Industry (METI) and New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO), the country cannot be said to be sufficiently prepared for the development of next-next-generation technologies further into the future.

Industry is continuing to lead the development of batteries for electric automobiles in response to strong demand in the market. It is hoped that the results of such efforts will lead to the development of stationary storage batteries that afford a stable electric power supply. This will be crucial when natural energy generation, such as photovoltaic generation and wind power generation which have unstable output, is introduced. Moreover, such small decentralized power sources acting as emergency power sources can play an important role in maintaining a safe and reliable social system. In any event, such batteries must be safe and small, have high capacity, and be of significantly low cost. At present, an energy density of 700 Wh/kg is the goal set in order to achieve widespread adoption of electric automobiles (METI 2006). This goal cannot be achieved with an extension of the current lithium-ion battery technology (which is said to have an upper limit of energy density of 250–300 Wh/kg). As there is no prospect of achieving such a goal, including the need for safety improvement, through the work currently being undertaken in various development projects, we must strengthen basic research activities, such as those focusing on clarifying basic phenomena, constructing theoretical models, and creating new concepts based on them, as well as strengthen R&D activities aimed at achieving realistic goals of the moment. The battery is a comprehensive system consisting of various technologies and, at each stage from basic research through to practical application, it requires technological development in a wide range of areas, encompassing materials, devices, circuits theory, system interconnection, and power management. It is important, therefore, to connect the roles played by industry, academia, and government in solving the technological issues involved.

The metal-air rechargeable battery, s-block metal rechargeable battery, and polyvalent cation rechargeable battery are the types of batteries we believe will emerge after the advent of the next-generation batteries currently being researched and developed. Shown below are the challenges in R&D that must be met in order to create core technologies for the future, including electric storage device technologies based on new structures and new concepts. To meet these challenges and achieve practical application of next-next-generation, innovative (ubiquitous) rechargeable batteries and electric storage devices, it is necessary for Japan as a nation to create a comprehensive system for research and promote it strategically. In particular, the following activities will be significant in discovering the seeds of innovations that will far surpass current expectations: improving the systems of basic/core research for understanding various

phenomena, promoting cross-field integrative research, providing a continuous investment of resources, engaging in long-term training of researchers, and connecting the roles of basic/core research with application development research.

The important future challenges in R&D will be divided into three fields.

1. Development of new materials (development of new electrode materials; optimal design and control of nanoscale, three-dimensional structures near the interface of electrode materials; development of new electrolyte materials that achieve a balance between safety and high voltage; development of new separator materials)
2. Development of new technologies for storage device systems (development of technologies for combining new materials; development of design and manufacturing technologies for macrosystems based on an understanding of nanoscale phenomena; development of technologies for safety systems)
3. Understanding of cell reactions and development of theories and models (direct observation of cell reactions and development of measurement technologies; understanding of performance decline and degradation mechanisms; development of models of cell reaction theories; research on the application of computational science)

Battery research in Japan has traditionally made progress mainly in the field of electrochemistry. In contrast, this proposal emphasizes the field of physics, especially integrative research conducted by specialists in theoretical physics and solid-state physics, synthesis chemists, and experts in molecular design. Moreover, the collaboration of researchers specialized in measurement technology and computational science is required, as remarkable progress has been seen in both fields in recent years. It is hoped that the integration of these fields will be actively promoted.

Following the Great East Japan Earthquake and accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, Japan has experienced limited energy supply. This has dealt a serious blow to industry and to people's lives. Decentralized energy systems were planned before the earthquake disaster as a way of contributing to the realization of an energy-saving society in the future. Today, the importance of these systems is even more pronounced and there are high expectations for their early realization. It is essential, therefore, to develop high-capacity, high-density electric storage devices that are so advanced that they are noted as 'next-next-generation'. Although industries facing severe international competition are making investments in R&D activities for next-generation products, there is a lack of strategic investment in the creation of basic/core technologies that will lead us into the next-next-generation. In battery R&D especially, which takes time, strategic R&D with a long-term perspective should be promoted by universities, public research institutes, and industry, with the first two

types of organizations playing a central role.

* Next-next-generation rechargeable batteries and electric storage devices

This proposal regards batteries with an energy density 3 to 5 times higher than that of the current lithium-ion batteries as “next-generation rechargeable batteries” and batteries that have greater potentials and are expected to be realized for practical use in 2030 or later as “next-next generation rechargeable batteries and electric storage devices” . The latter includes the lithium (metal) air rechargeable battery, all-solid-state lithium rechargeable battery, s-block metal rechargeable battery, polyvalent cation rechargeable battery, new types of rechargeable batteries, batteries based on new concepts, and electric storage devices such as capacitors.

目 次

Executive Summary

1. 提案の内容	1
2. 研究投資する意義	5
3. 具体的な研究開発課題	8
4. 研究開発の推進方法	16
5. 科学技術上の効果	20
6. 社会・経済的效果	22
7. 時間軸に関する考察	25
8. 検討の経緯	28
9. 国内外の状況	31
10. 専門用語説明	35
参考資料.....	36
参考文献.....	39

1 提案の内容

本提言は、グリーンイノベーションの中心課題のひとつと考えられる電気エネルギー貯蔵技術を取り上げ、2030年以降を見据えた長期的観点に立って、現在研究が進められている各種二次電池の性能、機能、コスト等を大幅に凌駕する「次々世代二次電池・蓄電デバイス基盤技術（※）」創出の研究開発戦略を提案するものである。

2011年3月11日の東日本大震災並びに福島原子力発電所事故の影響により、今後のわが国のエネルギー政策およびそれに伴うエネルギー研究開発戦略は今、大きな見直しを迫られている。独立行政法人科学技術振興機構（JST）研究開発戦略センター（CRDS）では、震災の起こる1年ほど前から、将来に求められる電力貯蔵技術に関する具体的な研究開発戦略の検討を進めてきた。本提言では、自動車等運輸部門に用いられる化石エネルギーの抜本的削減と、新エネルギーの効果的利用並びに緊急時における電源確保等を狙った分散型エネルギー社会実現において、キーデバイスの一つとされる二次電池・蓄電デバイス技術に焦点を当てている。わが国では既に、経済産業省・（独）新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）を始めとした蓄電技術に関する国家プロジェクト・公的研究開発プログラムが複数推進されているが、現下の状況を踏まえ、今後の研究開発課題と推進上の諸課題、さらに各種の施策や関連する研究グループが互いの相乗効果を得る方策について、産学官の第一線の研究者・技術者を交えた議論・検討を通じて、CRDSにおいて提言を取り纏めた。

（二次電池・蓄電デバイス技術の関連産業を取り巻く現状）

電池技術は今、関連する学界・産業界・そして社会をとりまく周辺状況が激変している。もともとわが国は技術と産業の総合力では国際的な優位を保ってきたが、社会の電池に対するニーズの増大と市場拡大に伴い、コスト競争力のあるアジア勢の激しい追い上げを受けている。その結果、日本の電池メーカー及び関連の部材・素材メーカーの世界市場シェアはトップレベルを維持するも徐々に低下傾向にある。また、蓄電技術開発での再出発をもくろむ米国や、産業競争力強化策を背景とする中国・韓国では研究開発投資の増大が加速化しており、関連する学術分野の論文数等においても、過去の学術・技術蓄積に一日の長がある日本の地位は相対的に低下している。次世代、そして将来明らかに必要とされる次々世代技術への備えは必ずしも十分とはいえない状況にある。

（将来へ向けた技術開発ニーズ）

二次電池等の蓄電デバイスの用途は大きく3つの方向性に分類される。①自動車・輸送機器用（大容量×移動型）、②分散エネルギーシステム・定置用（大～超大容量×定置型）、③モバイル機器用（小容量×移動型）である。それぞれに求められる性能・機能は異なり、目的に応じた設計思想が重要となる。本提言では主に①②を取り上げた。

※「次々世代二次電池・蓄電デバイス」

本提言では、現行のリチウムイオン電池の3～5倍程度のエネルギー密度を持つ電池を「次世代二次電池」と捉え、それをさらに凌駕する可能性を持つような、将来2030年以降の実用化が期待される電池を「次々世代二次電池・蓄電デバイス技術」と定義して用いている。リチウム（金属）-空気二次電池、全固体型電池、s-ブロック金属二次電池、多価カチオン二次電池、その他の「新型・新概念」による二次電池・及びキャパシター等の蓄電デバイスも含むものとしている。

今後は強い市場ニーズを受けて電気自動車用の電池開発が産業界を中心に進められていくと考えられるが、その技術成果が太陽光発電や風力発電といった出力の不安定な自然エネルギーを導入した際に必要となる定置用蓄電池の開発につながることも期待されている。現在、本格的な電気自動車の普及を目指した目標値として、エネルギー密度 700Wh/kg が示されている（経済産業省 2006 年「次世代自動車用電池の将来に向けた提言」[1]）。この目標値は従来のおよそ 7 倍程度のエネルギー密度向上が必要であることを示すものであり、現行のリチウムイオン電池の延長線上の技術では原理的に達成不可能とされている。現状の性能・機能・コストでは真に実用に耐えるレベルを実現できる見通しはまだ立っていない。自動車用・定置用のいずれにおいても電池が広く普及するためには、現行技術で見えている極限を超える高容量化・高密度化の新しいアイデアが要請されている。電池は総合技術・総合システムであり、研究開発のステージ（基礎、応用・開発、実用化）によって、材料、デバイス技術、回路理論、系統連系・電力運用等の各分野にまたがる広範な技術開発が必要になることに留意しなければならず、産学官の各セクターが担う技術課題解決の役割連結が重要となる。

（今後重要となる基盤的研究開発課題と推進の方策）

現在研究開発が進められている次世代型電池のさらに次の技術としては、金属空気二次電池や s-ブロック金属二次電池、多価カチオン二次電池、等が考案されているが、その他の新構造・新概念による蓄電デバイスを含む将来に求められる基盤技術創出には、以下の研究開発課題が想定される。これらの課題を解決し次々世代の革新的二次電池・蓄電デバイスの実用化を実現するためには、総合的な研究体制を構築しオールジャパンとして戦略的に推進することが不可欠である。特に、現時点での想定を遥かに超えるシーズの発見、着想には、現象解明のための基礎・基盤研究体制の充実、異分野融合研究の促進、継続的なリソース投入と関連研究人材の長期的な育成、基礎・基盤研究と応用開発研究の役割連結、がそれぞれ関連をし合って重要な意味を持つ。

今後の重要研究開発課題は大きく次の 3 項目である。

1. 新材料開発（新電極材料開発、電極材料界面近傍のナノレベルの三次元構造の最適設計・制御、安全性と高電圧化の両方のバランスを実現する新電解質材料開発、新セパレーター材料開発）
2. 蓄電デバイスシステム新技術開発（新材料の組合せ技術開発、ナノ現象の解明に基づくマクロシステム設計・製造技術開発、安全システム技術開発）
3. 電池反応の現象解明と理論モデル構築（電池反応の直接観察・計測技術開発、性能低下・劣化機構の解明、反応理論のモデル化、計算科学による予測・シミュレーション技術開発）

次々世代二次電池・蓄電デバイス創出の鍵は材料技術、特にナノテクノロジーにあり、新材料の機能発現と、材料の組合せ、界面制御技術等が重要となる。電池の特性を決める因子であるエネルギー密度を向上させるには、如何に高い電圧が得られるような両極の材料を使うか、如何に内部抵抗を小さくして電流を取り出すかが問題であり、特に電流を取り出す部分の界面や、電極と電解質／セパレータとの界面制御が重要となる。また、安全

性と高電圧化のバランスをとるためには電解質が重要な鍵を握っており、有機材料や固体電解質材料などを適用した新材料の創出が重要と考えられる。加えて、まず「最先端の実験手法、計測手法、理論・計算科学等の要素技術の駆使による電池反応の原子・分子レベルでの現象解明と理論モデル構築」を行い、「これまでの研究開発によって蓄積されたナノテクノロジーの集積の活用による、目的実現に向けた現象の制御」につなげる、といった段階的なアプローチも求められる。すなわち、原子・分子レベルの個々の現象をシミュレーションし、それらの結果をナノからメソレベルへ、よりマクロなスケール・上位階層のシミュレーションにつなげていく手法の開発が必要である。計測技術に関しても、材料を構成する元素の位置同定や、電池反応の直接観察を可能とする新手法の開発が求められる。マルチスケール・マルチフィジクスを徹底活用しなければならず、電池の実験専門家と計測技術、さらに理論・計算科学の専門家が連携していかなければならない。

革新的な成果を生むためには、それらの過程においてこれまで電池の研究の経験がない研究者との協働（異分野融合）が重要と考えられる。次々世代の蓄電デバイスを実用化するためには、現時点での想定を遥かに超えるシーズの発見、着想が不可欠であり、ある段階からはおそらく数百人規模での基礎から実用化に至る研究者が連携できる体制を組むことが必要となる。従って、研究開発の推進方法がより重要な意味を持つ（第4章に詳述）。

研究基盤の強化には人材の育成が必須であるが、その際、グローバル人材を日本に集積することと同時に、若手研究者が海外へ修行に出る仕組みの構築が求められる。それには、海外の有力研究機関との連携策が必要であり、ハブになれる研究者を如何に育てるかが、一つの重要なファクターである。

また、異分野からの研究者を如何にして増やすかも肝要である。物理学分野には、理論面や計測技術などで強力なツールや技能を持つ多くの専門家が存在する。CRDSの調査によれば、扱う問題や対象が電気化学分野の研究者と類似しているのにも拘らず、専門家間で使用する基礎概念や言語に相当の違いがあり、それが異分野参入の障壁を高くしている側面がある。基礎研究者は、学術的難問の解決や、概念の新規性を求める特性を持っているので、まず何よりも、蓄電池研究の根源的諸課題を学術的な課題に翻訳して彼等に提示する必要がある。特に、企業にはそのような未解決の課題や学術的に未解決の問題が山積している筈であり、それらを系統的に理解したかたちで異分野の基礎研究者（物理学者など）に提供することが重要である。異分野融合と産学間連携の重要性は、このような文脈で強調されるべきであり、行政側は、各ステークホルダーに対してこうした認識の共有化と対応策の実行を促進するよう、政策的に誘導する責務を負っていると考えられる。

蓄電池・蓄電研究人材の裾野を広げるためには、短期的な成果を求め過ぎず、継続的・安定的な研究費によって長期的に人材を育成していくことが肝要である。一定期間の研究自由度の確保、当初の目的とは異なる予想外の研究成果への評価、柔軟な研究リソースの投入枠の確保などが求められる。そのためには、大学等研究機関内の研究費の運用の工夫に加えて、政策目的の基礎・基盤研究のリソースの確保が必須である。そのような場として、蓄電池・蓄電デバイス技術の基礎研究拠点を構築し、様々なスキームの適用を試みることも一つの方策である。研究における異分野融合は容易に進むものではなく、長期的且つ多面的な評価や検証が必要となる。それがあって初めて、異分野の研究者も積極的な挑戦が可能となるのであり、異分野の研究者が加わることで新しい視点が導入され、新物質・

新材料や新システムの創出につながる可能性が期待される。



図 1-1 次々世代二次電池・蓄電デバイス技術の創出

2 研究投資する意義

本研究開発に投資する意義は、以下の3点に集約される。

1. 自動車等運輸部門に用いられる化石エネルギーの抜本的削減と、新エネルギーの有効活用・分散型エネルギー社会の実現に必要な低コストで安全な超コンパクト蓄電デバイスの実用化
2. わが国の蓄電池および関連部素材メーカー、並びにスマートグリッド・システム等に供される電池システム関連産業の国際競争力の強化
3. 基礎科学における蓄電池研究開発に資する学術分野間の融合促進と本分野で不足する研究人材の中長期的な育成

第一の意義は、自動車等運輸部門で消費される化石エネルギーの量の抜本的削減と、わが国の安全・安定な電力エネルギー供給にとって最も重要な形態の一つとされる、分散型エネルギー社会の実現への直接的な貢献である。

東日本大震災と福島第一原発事故に伴う影響によって、わが国はエネルギー供給に制限を受けることを経験した。このことは国民生活そして経済活動の根幹を成す産業界にとって、大きな打撃となった。分散型エネルギー社会はそれ以前からも将来の省エネルギー社会を実現する現実的且つ理想的な形態の一つとして掲げられてきたが、ここへきてその重要性はさらに高まり、国民・社会はより一層早期の実現を期待している。

現在、わが国ではスマートグリッド構想の詳細化や、それを実現する準備段階としての地域レベルの実証試験が内外で推進されている。しかし、それらは大電力系統（火力発電、原子力発電、水力発電等）から分岐した電力網を前提とした上で、地域レベルでの再生可能エネルギーを含む小規模発電設備や蓄電設備を部分的に導入して安定化させることを検討している段階に過ぎない。本格的なスマートグリッドによる分散型エネルギー社会実現に向けては、多種多様な構成のエネルギー網の構築、さらには再生可能エネルギーを導入した際の各家庭の電力消費の負荷変動や余剰電力等へ柔軟に対応するために、定置用蓄電設備の導入が必須となる。しかしながら、現在実用化されているナトリウム・硫黄電池(NaS電池)等の大型の蓄電設備や、近年のリチウムイオン電池、電気自動車やハイブリッド自動車向けに開発されている各種電池では容量や体積の面で必要十分な電力を蓄えることができず、分散型エネルギー社会の実現には、“次々世代”と目されるレベルの超高容量・高密度の蓄電デバイスが必須となる。

また、わが国産業が国際的な強みを発揮してきた分野として、モバイル機器や自動車用途を始めとする電池関連産業への期待も非常に高い。特に自動車等運輸部門への電池の適用に関しては、化石燃料使用量の大幅な削減をもたらし、エネルギー安全保障および低炭素化・地球温暖化対策の意味においても社会的効果は極めて大きい。また大震災を契機にして、家庭やオフィス・工場用途では非常時電源として、さらに企業のサーバー等のバックアップ電源として、自動車用蓄電池に対する関心は大きく高まっている。

第二に、蓄電池・蓄電デバイス製品は多岐にわたる産業製品の基盤であり、蓄電池および関連部素材メーカー、並びにスマートグリッド等の電池システム関連産業の興隆は、当該分野のみならず、わが国の産業全体の国際競争力を将来にわたって維持・強化していく

ために必須である。

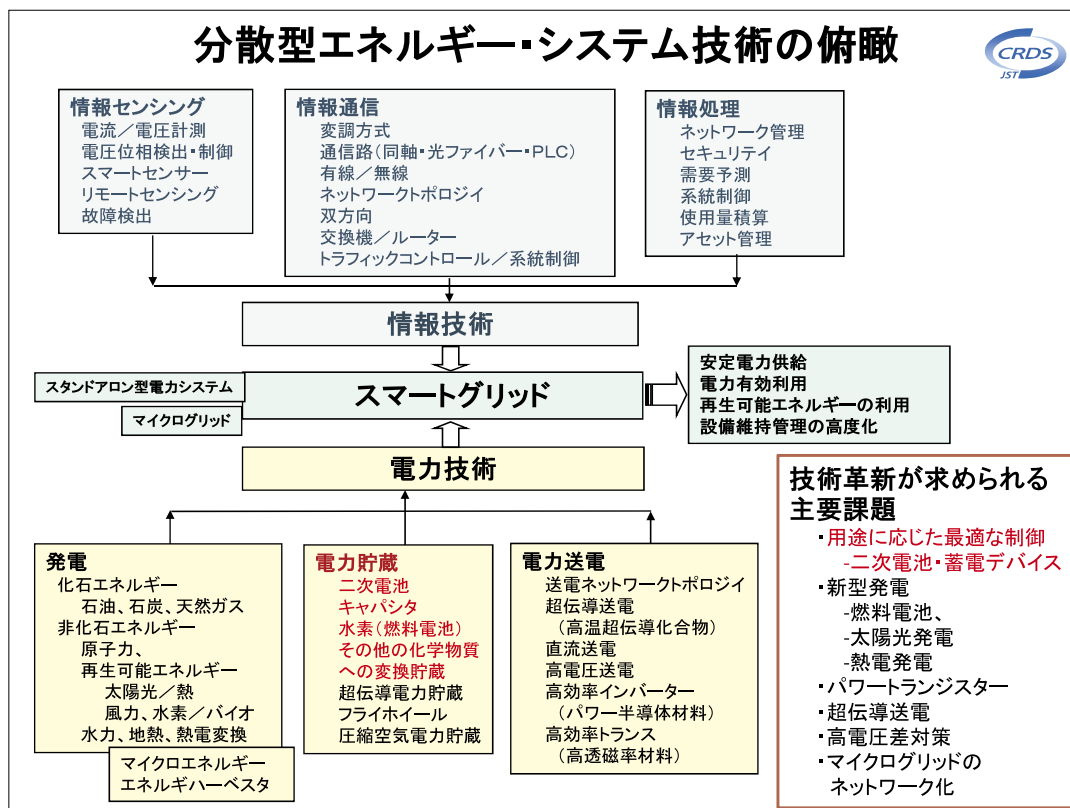


図 2-1 分散型エネルギー・システム技術の俯瞰

わが国の蓄電池・蓄電デバイス関連産業は、これまで極めて高い技術的優位性とそれに裏付けられた国際競争力を有し、電池製品そのものおよび蓄電池・蓄電デバイスを構成する各種材料の国際的なシェアは圧倒的であった。しかしながら近年、中国・韓国を始めとする新興国の大胆な投資とコスト競争力に押され、シェアは徐々に低下傾向にある(図2-2)。これに対して現在わが国でも、経済産業省・NEDO等の積極的な施策展開によって次世代型の蓄電池開発ではオールジャパン体制を構築して臨んでおり、国際的な研究開発競争でも善戦している。しかしながら経済産業省・NEDOによる長期的なロードマップでは、本格的な電気自動車の普及を狙う2030年以降には「革新的電池が必要」とされ、その目標値はリチウムイオン電池の理論的限界を遥かに超える高密度・高容量化(700Wh/kg)であり、現行研究開発プロジェクトで現実的に見据えることのできるレベルを超えるものである。各企業は上述のオールジャパン体制によって次世代品の研究開発に集中投資しているものの、その状況を踏まえて不足していると考えられるのが、次々世代へとつながる基盤技術創出の戦略投資である。なお、現在の電池関連産業は、今後いつ国際的地位が逆転してもおかしくない厳しい競争環境下にあり、各社とも眼前の競争に対応すべく必死の状況である。そのため、次々世代への備えは決して十分とはいえず、特に時間のかかる二次電池・蓄電デバイス研究開発では、大学・公的研究機関を軸に産業界も加わって、広く研究開発することが求められる。

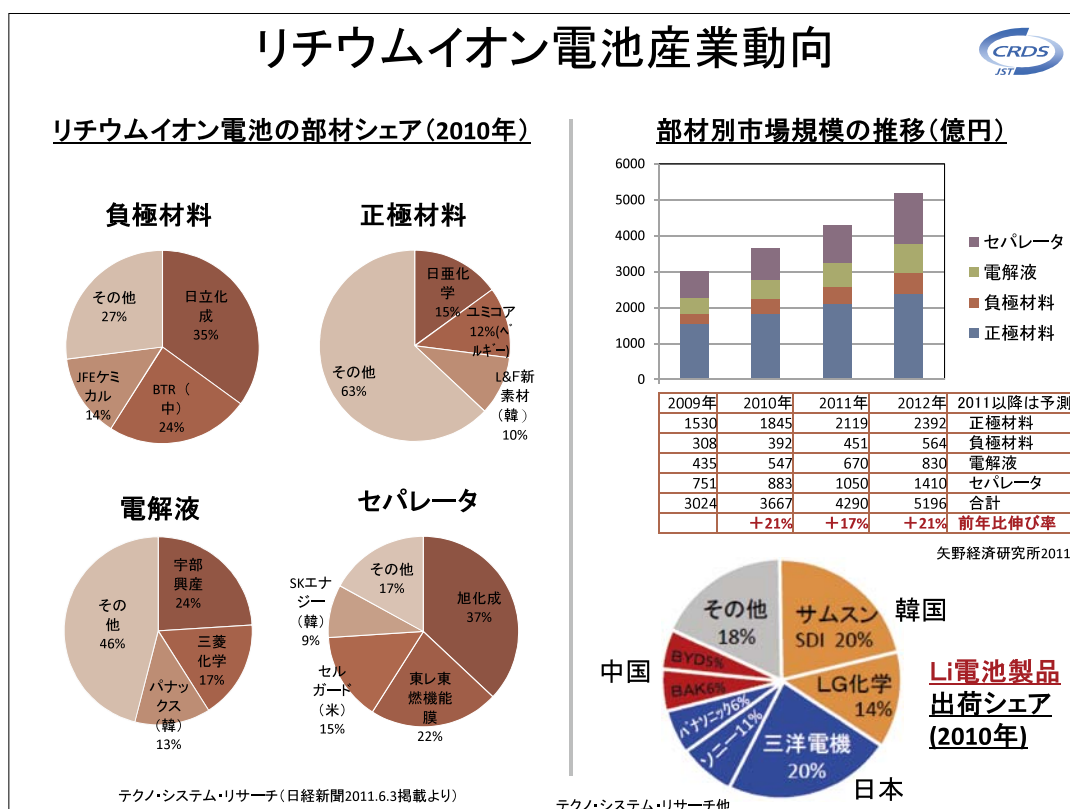


図 2-2 リチウムイオン電池産業動向

第三の意義として、基礎科学における学術分野間の融合促進と人材育成が挙げられる。電池研究の諸課題には、今後新しいサイエンスが生まれる可能性が含まれており、理論的な新概念が得られれば研究が別次元へと進展する期待が大きい。これまで電池開発の主役であった産業界には、学術的に未解明の問題が数多く残されていると考えられ、それらをアカデミアへフィードバックして精緻な分析を行えば、新しい展開が生まれる可能性がある。これまでわが国における電池・蓄電研究は、主として電気化学の分野において進展してきたが、上記の新しい展開を生むためには、今後物理学、特に固体物理の理論家、実験家と、合成化学や分子設計の専門家との融合研究が不可欠である（第5章に詳述）。次々世代電池としての高い目標値を実現するためには、さらに近年進展の著しい計測技術や計算科学との協働も必須であり、そうした学際融合の研究から、新たな研究領域や、取り組みが生まれるものと期待される。

3 具体的な研究開発課題

本イニシアティブは、リチウムイオン電池等の現行の蓄電池が原理的に持つ限界や、キャパシタに関する技術の極限を超える次々世代の蓄電技術開発を促進すべきことを提案するものである。現在研究開発が進められている次世代型電池のさらに次の技術としては、金属空気二次電池やs-ブロック金属二次電池、多価カチオン二次電池、等が考案されている。その他の新構造・新概念による二次電池や大容量キャパシタ等の蓄電デバイスを含む、将来に求められる基盤技術創出も本提案の目指すものである。

(1) 将来の蓄電デバイス技術への期待と目標

ここでは、単一のデバイスで電氣的エネルギーの貯蔵と取出しが可能な蓄電デバイスとして、二次電池とキャパシタを取り上げる。

電力貯蔵技術としてはフライホイールやSMES（超電導電力貯蔵システム）もあるが、容量や経済性等の問題で技術開発が進展しておらず、また揚水発電は既に実用技術が確立している。化学エネルギーとして蓄積する方式は、例えば電気分解により水素等の化学物質として蓄え、これを再び燃料電池等によって電力へ変換することも可能であるが、エネルギー変換効率及び変換速度・生産性の点で当面は競争力を見通せない状況と考えられる。ただし将来、資源価格の高騰等により化学物質への変換が結果的に競争力を持つようになる可能性がある。その場合、電力貯蔵と化学物質の製造および電力への変換や、熱等の各種エネルギー変換を組合せて、コンビナート等を含めた地域での総合的なエネルギー効率の最適化を図ることも考えられるが、本提案では対象としていない。

電力貯蔵技術の種類と開発可能性

記号の意味

◎: 実用実績もあり向いている

○: 向いている

△: 現状ではそれほど向いていない

×: 向いていない

? : 不明

電力貯蔵技術										貯蔵形態	方式	
化学エネルギー／化学物質				電気エネルギー	位置エネルギー	回転エネルギー	磁気エネルギー					
二次電池	(燃料電池)	(化学物質)	キャパシタ	揚水式水力発電	フライホイール	超電導電力貯蔵(SMES)					特徴	
電力と化学エネルギーとの相互変換デバイス	貯蔵ではなく化学物質の電力変換デバイス	電力相互変換デバイスとの組合せが前提	電気エネルギーとして貯蔵、応答が速い	電力需給調整技術として確立され実用化	容量、経済性等で、競争力不透明	容量、経済性等で、競争力不透明						

適用分野	移動型	小型	モバイル機器用	高エネルギー密度	◎	(△)	(○)	○	×	×	×
		大型	自動車・輸送機器用(家庭用との併用も)	高出力+高エネルギー密度	◎	(○)	(○)	○/△	×	×	×
	定置型	中～大型	家庭用・業務用	高容量+低コスト	◎	(◎)	(△)	△	×	△?	△?
		大～超大型	工場用・系統用	高容量+低コスト	○	(○)	(○)	×	◎	△?	△?
	移動／定置	サイズ	用途	主開発ニーズ	括弧(): 電力貯蔵そのものではないものも含むため、括弧書きとした						

CRDS作成

CRDS作成

図 3-1 電力貯蔵技術の種類と開発可能性

2030 年頃以降に実用化が目される次々世代二次電池・蓄電デバイスへの期待と目標は、代表的な性能指標である出力密度とエネルギー密度との関係で、たとえば図 3-2 のように整理される [14]。

定置用は瞬時停電対策と負荷平準化のための高出力化が求められると同時に、余剰電力対策としての高容量化が期待される。移動用は単位重量または容積あたり超高容量化が期待されている。家庭用及び自動車・輸送機器用の蓄電池については、最終的には図中の点線に示すレベルが目標であるが [1]、現在の各種プロジェクトでは、その実現に至る道筋を見出せていない。

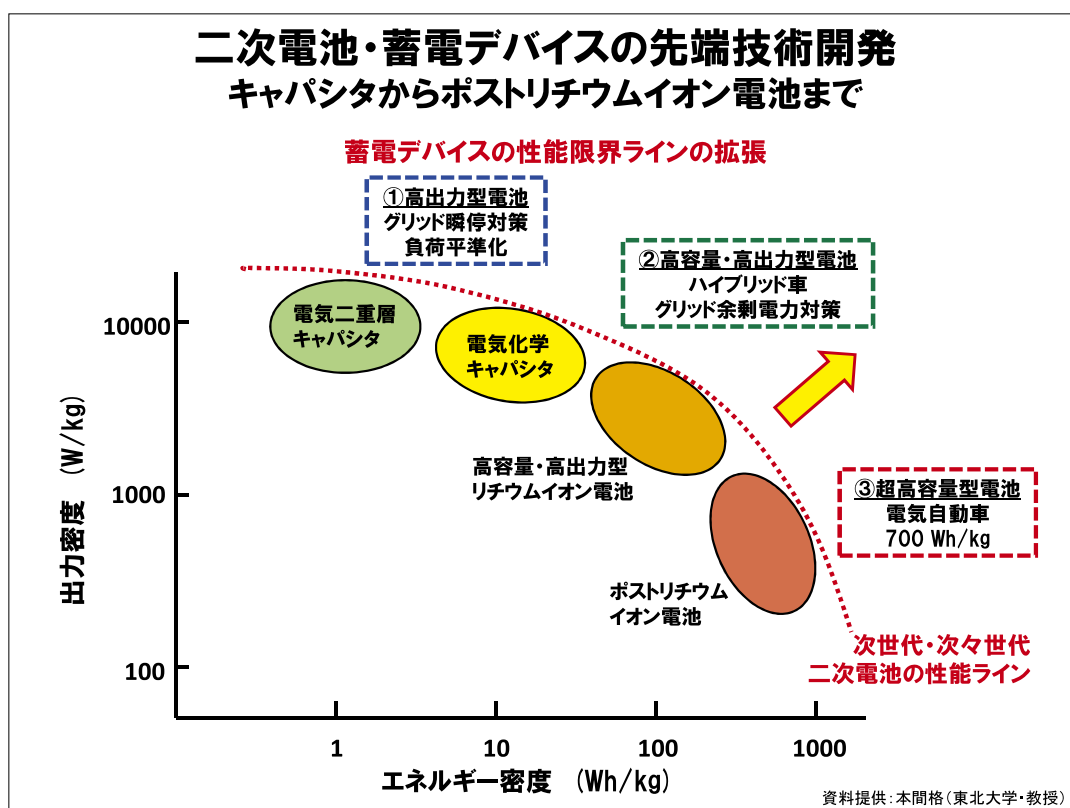


図 3-2 二次電池・蓄電デバイスの先端技術開発 [14]

尚、電力系統制御や工場向けの大型～超大型定置用蓄電デバイスに求められる性能は、こうした重量あたりの特性に加えて、経済性や信頼性の理由から単電池の大型化が必須となる。移動用(数十 kWh)に比べると単機容量としては数千倍から数万倍のレベル(数万～数十万 kWh)となるが、高温(200℃)で作動するなど方式が異なる NaS 電池が既に実用化のレベルに到達しており、工場施設、商業ビルなど全国 100 箇所で、合計 130 万 kWh が個別の需給調整または非常用電源として用いられ始めている。系統調整への適用に関しては NEDO プロジェクトで技術開発および標準化の検討が進められている。上述の家庭用(中型)および自動車等移動用の蓄電デバイスは、単体または集合体として、こうした系統制御の末端調整機能が期待されている。

移動用蓄電デバイスに関しては、何を描いても超コンパクト化(超コンパクト化では重

量エネルギー密度 (Wh/kg) と体積エネルギー密度 (Wh/L) の両方が重要となる) が必須条件であり、NEDO の RISING プロジェクト [5] では、2030 年に重量エネルギー密度 500Wh/kg の蓄電池開発に結びつく基礎的な知見とその開発指針を得ることを目指す、としている。この場合、技術確立と普及に 10~20 年かかるすると、本格的実用化は 2040 - 2050 年頃となる。現在のガソリンエンジン自動車の場合、40 リットルのタンクで燃費が 15km/l と仮定すると一回の給油で航続距離が 600km となるが、現状の電気自動車では 100Wh/kg の蓄電池を 80kg 積載して、走行性能が 10km/kWh とすると航続距離は 80 km となる。経済性も含めガソリン自動車と同等の実用的性能である航続距離 500km のレベルを実現しようとする、自動車用蓄電池のエネルギー密度は現状の 7 倍程度の 700Wh/kg、価格は 40 分の 1 にまで下げる必要があるとの見方があり（産学官の有識者の共通認識）[1]、その場合には現在高性能化を進めているリチウムイオン電池とは全く異なる原理の電池を開発する必要があるとしている [14]。

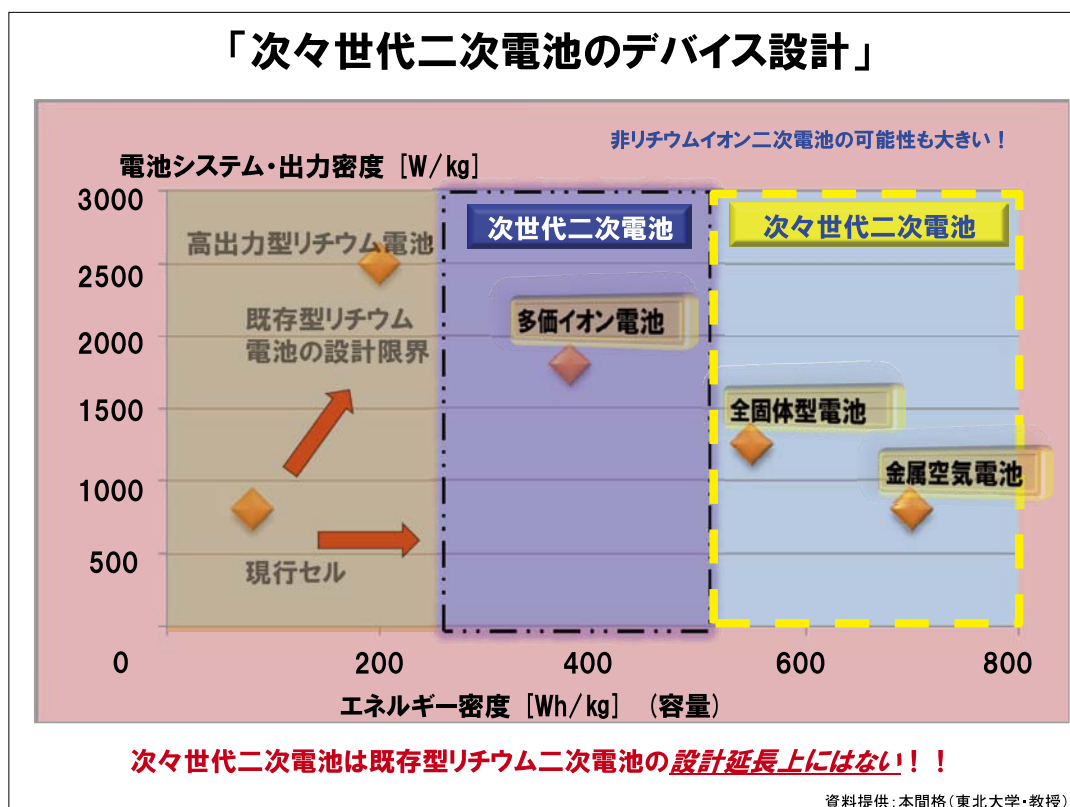


図 3-3 次々世代二次電池のデバイス設計 [14]

こうした超コンパクト化が実現すると、移動用電源のみならず、小規模分散システムにおける定置用の負荷調整ならびに非常用電源として大量に普及する可能性がある。たとえば、家庭用の数 kW (太陽電池は 3kW が標準) の電源を非常用として最低 1 日 = 24hr 稼働することを考えると、50 - 100kWh の容量が必要であり、もし 700Wh/kg 程度までコンパクト化できていれば、100kg ≒ 50L 程度のシステムとなり現実的な重量・容積に収まる。コンビニエンスストアや小規模事業用であればその 10 倍の容量となるが、やはり現実的な重量・容積である。

定置用も移動用も、高性能化（高容量、高出力、長寿命化）に加えて安全性・信頼性の確保が実用化の大前提となる。その場合には、酸素不活性な材料の採用や固体電解質の適用など、様々な方式の探索も必要となる。

以上から本イニシアティブでは、出力密度で現状と同等以上、エネルギー密度で700Wh/kg レベル以上の容量を持つ、安全で超コンパクトな蓄電池の研究開発課題と、研究開発を加速する推進方法を検討する。このように、輸送用の化石エネルギー利用量の大幅削減と同時に新エネルギーの最大限利用を可能とし、かつ非常時の対策手段を提供し得る性能目標といえる。

尚、キャパシタについては、1980年代から1990年代にかけて画期的な大容量化の進展があり、蓄電池の急速な充放電負荷を緩和するものとして初期の電気自動車やハイブリッド自動車等で実用化が進んだ。その後、制御技術の進展と電池性能の向上から高性能蓄電池のみで電源を確保する方向に進みつつある。一方で、図3-2にあるように、リチウムイオンキャパシタなど、物理的な電気エネルギー貯蔵機能と化学的エネルギー貯蔵機能とを併せ持つデバイスの研究も進み始めており、将来的な研究開発については両者を区別する必要はなくなると考えられる。

(2) 次々世代二次電池・蓄電デバイスの研究開発課題

現在研究開発が進められている次世代型電池のさらに次の技術としては、金属空気二次電池やs-ブロック金属二次電池、多価カチオン二次電池、等が考案されているが、その他の新構造・新概念による二次電池・蓄電デバイスを含む将来に求められる基盤技術創出には、以下に述べるような研究開発課題が想定される。これらは、JST-CRDSが開催した、科学技術未来戦略ワークショップ「次々世代二次電池・蓄電デバイス技術」にて開示された多くの専門家の意見[14]や、関係者へのヒアリング結果をとりまとめたものである。

電池・蓄電技術の鍵は材料技術、特にナノテクノロジーにあり、新材料の機能発現と、材料の組合せ、界面制御技術等が重要となる。蓄電池の特性を決める因子であるエネルギー密度は、高い電圧が得られるような材料を両極に用い、内部抵抗を如何に小さくして電流を取り出すかにより決まる。特に電流を取り出す部分の界面や、電極と電解質／セパレータとの界面制御が重要となる。また、安全性と高電圧化の両方のバランスをとるためには電解質が重要な鍵を握っており、有機材料や固体電解質材料の適用による新材料の創出が必要となる。求められるアプローチとしては、最先端の実験手法、計測手法、理論・計算科学等の要素技術の駆使による電池反応の原子・分子レベルでの現象解明と理論モデル化、これまでの研究開発によって蓄積してきた様々なナノテクノロジーの集積を活用した、目的実現に向けた現象の制御、といったステップが必要となる。革新的な成果を生むためには、それらの過程においてこれまで直接電池の研究の経験がない研究者との協働（異分野融合）が重要と考えられる[14]。

一方で、実用的な電池システムとしては単一セルを数百から数千重ね合わせる必要がある。直列配置の場合にはセルがひとつ破綻してもシステム全体が機能しなくなるという難しさがあり、並列配置では起電力の不均一も避けなければならない。しかしながら、単一セルの内部抵抗を減らし電流密度を上げれば上げるほど、各構成部材は激しい局部反応に曝され、その断面均一性を確保することは極めて難しい。こうしたシステムとしての要求

特性からくる、単一セル内の各部材ならびに界面の現象制御も必要となる。しかも、経時劣化するなかでの現象を把握または推定し、予め制御手段を織り込まねばならない。充電・放電の寿命を数千サイクルと考えると、1 サイクルあたり 0.01% ～ 0.02% 程度の劣化を制御する必要があることになる。マルチスケール・マルチフィジクスを徹底活用しなければならず、電池の実験専門家と計測技術の専門家、さらに理論・計算科学の専門家が連携していかなければならない。ある段階からは、おそらく数百人規模での基礎から実用化までに至る研究者・開発者が連携できる体制を組むことが必要となる。

以下、現状に加え、一層強化すべき取り組みを例示する。これらは、ワークショップ [14] での議論の他、専門家へのインタビュー結果をもとに CRDS が取り纏めたものである。未解決の課題とは、逆にいえば可能性が集積されているということである。ただし、これらの課題を解決し次々世代の革新的（ユビキタス：広く社会に普及し得る）蓄電デバイスの実用化を実現するためには、総合的な研究体制の構築が不可欠であると同時に、現時点での想定を遥かに超えるシーズの発見、着想が不可欠である。従って、次章に述べる研究開発の推進方法が、より重要な意味を持つ。

(i) 新材料開発

新電極材料開発、電極材料界面近傍のナノレベルの三次元構造の最適設計・制御、安全性と高電圧化の両方のバランスを実現する新電解質材料開発、新セパレーター及びバインダー材料開発。セラミックスなどに加えて特に新有機材料の開発が期待される。

①電極材料設計・探索・合成

- －高容量電極反応の設計と探索（複数電子反応系活物質、コンバージョン反応、ラジカル反応、ナノサイズ活物質、高比表面積の擬似容量の利用、他）
- －負極材料の開発（多孔質・ナノ空隙構造の導入による容量拡大。メソポーラス構造および 3 次元電極、非炭素系材料／Sn・Si 等の合金系活物質、リチウム金属負極の利用、電解液との反応性制御（界面修飾材料／空隙・密着性・電導性）、デンドライト制御、ナノ薄膜コーティングや低次元材料の導入による電子伝導性の確保、多元系・合金系の新材料開発、バインダー材料開発、他）
- －正極材料の開発（微粒子化・3 次元構造化、ナノチューブ物質、フッ化物、硫黄材料、有機レドックス物質、多元系新材料、空気極、他）
- －体積膨張の緩和（安全性）、不可逆容量の低減

②新規電解質材料の開発

- －新有機および無機材料探索・合成
- －新規固体電解質材料開発（多価カチオン伝導性固体電解質、新規ポリマー電解質材料開発、硫化物系材料、ハイブリッド型電解質、耐酸化性／耐還元性等の化学的安定性、高イオン伝導体、他）
- －新イオン液体、無機系溶融塩、ハイブリッド材料等の高イオン伝導物質開発
- －難燃性・耐高電圧電解液開発

③セパレータ材料開発

- －高イオン伝導率材料開発、多孔度・孔径分布制御技術開発
- －高強度・耐熱性向上（耐引張り・突刺し、伸縮性、低熱収縮率）
- －難燃性材料

「次々世代二次電池のエネルギー密度」

（革新的二次電池の目標値 = 700Wh/kg）

- ・コスト・安全性の観点からリチウム以外の金属を用いた二次電池が注目されている
- ・体積エネルギー密度の大きさから、マグネシウム(2価)やアルミニウム(3価)が特に注目され、次々世代二次電池としてのポテンシャルがある

負極	電気化学当量 (Ah/kg)	標準電極電位 (V vs. SHE)	重量エネルギー密度 (Wh/kg)	密度 (kg/L)	体積エネルギー密度 (Wh/L)
Li	3861	- 3.05	11757	0.534	6278
Al	2980	- 1.68	5006	2.699	13512
Mg	2205	- 2.36	5204	1.738	9044
Ca	1337	- 2.84	3797	1.550	5885
Fe	960	- 0.44	422	7.874	3226
Zn	820	- 0.76	623	7.130	4443

資料提供：本間格（東北大学・教授）

図 3-4 次々世代二次電池のエネルギー密度 [14]

(ii) 蓄電デバイスシステム新技術開発

単一セルとしての正極、負極、電解質、セパレーター、バインダーの材料選択と組合せ・構造最適化、モジュール化、パッケージシステム化、操作条件の最適化。

- －セル内各構成材料の相互反応最適化（高電圧化・高エネルギー密度化と長寿命化・安全性向上とのバランス、熱暴走防止、他）
- －セル総内部低抵抗最小化技術（界面抵抗低減化）
- －充放電サイクル特性、急速充電・大電流放電条件最適化
- －広い充放電深度におけるセル出力密度安定化
- －自己放電率低減化
- －断面方向反応均一化
- －動作可能温度範囲の拡大実現
- －設計・シミュレーション技術
- －非有害元素・環境低負荷材料による構成
- －資源制約を受けない素材活用
- －低コスト・リサイクル性確保

(iii) 電池反応の現象解明と理論モデル構築

上記の開発指針を得るために必要な電池反応の直接観察・計測技術開発、性能低下・劣化機構の解明、反応理論のモデル化、計算科学による予測・シミュレーション技術開発

- －電気化学物性の理論的予測にもとづく劣化機構解明
- －新しい電極反応メカニズムの探索・創出
- －新しいイオン伝導メカニズムの探索・創出
- －界面電荷移動の基礎メカニズム解明
- －その場観察技術を利用した電極反応のダイナミクス解明
- －劣化診断技術・残存寿命の評価手法開発（サイクル劣化、保存状態での劣化、電極活物質の構造変化評価、電極生成物分析、電解液劣化物の同定、バインダーの形態・分布・構造解析）
- －溶液中その場、実時間での界面電子・分子構造測定法開発
- －計算・シミュレーション連動技術開発
- －大規模計算を利用した革新的電極・電解質の設計と計算機実験
- －モデル電極を利用した加速試験、動的観察、新しいナノ計測手法の開発
- －大型化の際の化学工学的検討（電位分布、物質分布、溶液物性等）

以下に、将来実現が期待される具体的な電池の例としてリチウム空気二次電池と全固体電池の現時点で想定される研究開発課題例を示す。基礎から実用化まで総合的な取り組みが必要と考えられるが、非水電気化学や酸素化学の再構築が必要とされるなど、中長期に亘る基盤研究の強化がその前提として重要である。

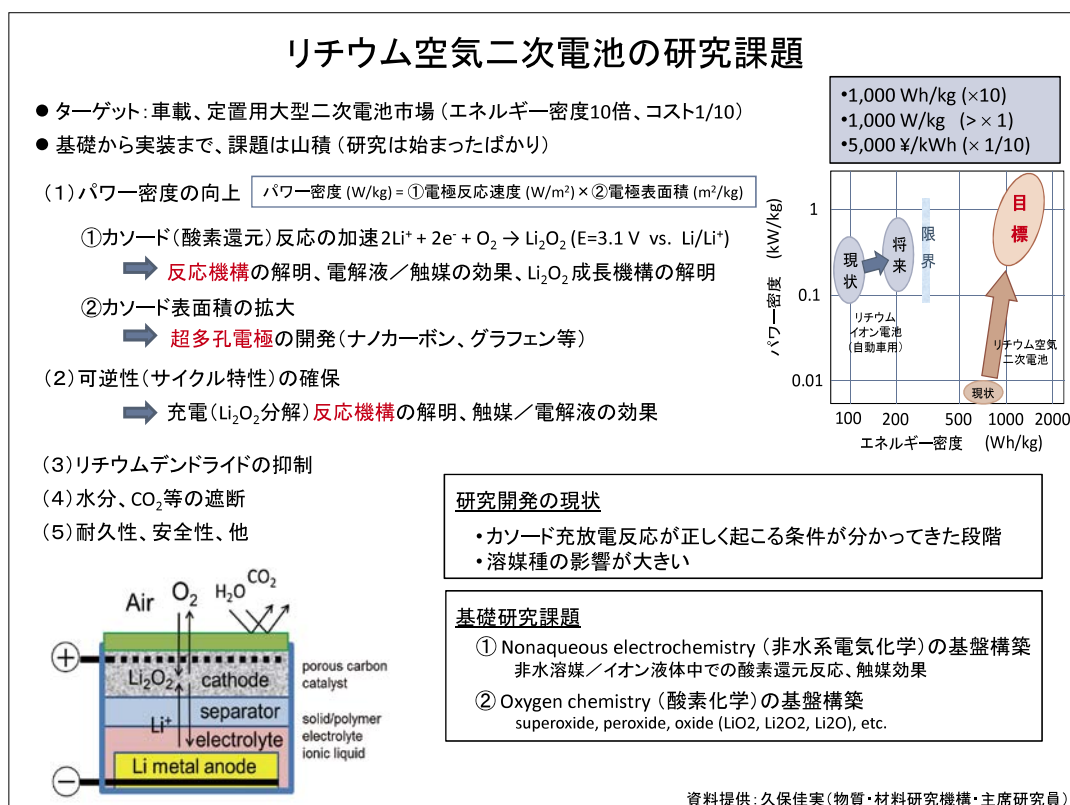


図 3-5 リチウム空気二次電池の研究課題

全固体電池の特徴

無機系	硫化物系	ハンドリングに特別な配慮が必要 水に対する安定性が低い バルク電池が可能だが、接触を高めるための外圧が必要
	酸化物系	スパッタリング等による薄膜電池としてしか動かない (固体固体の接触性が低く、電極界面抵抗が大きい) 電極自身の膨張収縮による界面の破壊 還元性の強い負極を適用できない(最近のLLZは例外) 固体電解質内の粒界抵抗が大きい
有機系	ポリマー電解質	室温で実用的導電率のポリマー電解質がない 酸化に弱く、高電位正極が適用できない 炭素材料負極との相性がよくない セパレータとしての機械的強度が十分でない 電極との界面抵抗が大きい(大きな活性化エネルギー)
どの固体電池も液体電解質を使用しないので、ラミネートの外装が適用可能。しかし、捲回ができないのでセル形状は平板型のみ		

資料提供: 今西誠之(三重大学・准教授)

図 3-6 全固体電池の特徴

全固体電池の研究課題

全固体電池の構成は原子を一つずつ積み上げてゆくのに似ている。従って、電池の高性能化には原子レベルでの機構解析とマクロな材料やその組み合わせに関する最適化と、スケールが異なる2つのアプローチが必要である。

原子スケールでの課題

- ①解析の対象となり得る理想的で単純な界面の構築
- ②界面を“見る”手法の開拓
- ③界面の結晶構造、界面の電氣的構造(空間電荷層)の検討
- ④電気化学的な手法による界面の解析(律速段階と物質輸送)

マクロスケールでの課題

- ①電解質と電極のイオン導電性と界面抵抗の関連の解明
- ②電極と電解質の格子定数、化学結合の整合性と界面抵抗との関連の解明
- ③電極／電解質の材料組み合わせによる電極反応場の拡大(界面の自己形成)
- ④電極反応場の三次元化(深さ方向への反応場の拡大)

資料提供: 今西誠之(三重大学・准教授)

図 3-7 全固体電池の研究課題

4 研究開発の推進方法

前章に示す次々世代に向けた基礎研究開発課題の解決に取り組むには、新しい発想が不可欠であり、そのきっかけを生む研究開発の推進方法として、現象の徹底的解明と異分野融合研究の促進、基礎・基盤研究と応用研究開発との役割連結の促進、それらを担う人材育成の強化が必要であり、そのための継続的な研究開発投資と基礎・基盤研究拠点の整備などが重要となる。こうした出発点（ファンディング制度の拡充と基礎・基盤研究拠点）が確保され新しいアイデアが生まれ始めれば、将来の課題解決に向けた革新的な材料・システム等の研究開発は急速に進むものと考えられる。

（現象解明促進のための政策目的基礎・基盤研究体制の充実）

極めてハードルが高い非連続型の技術革新が必須と考えられる次々世代二次電池・蓄電デバイス技術の研究には、まずは現象解明のための基礎・基盤研究体制の充実が不可欠である。たとえば前章の「具体的な研究開発課題例」に示すように、原子・分子レベルまで掘り下げた解析やシミュレーションとそれらに基づく理論モデルの構築と検証などが必要となる。

現在鋭意研究開発が進められているリチウムイオン電池の高性能化については、容量の飛躍的拡大や性能劣化抑制に向けて、未解明部分の多い材料の内部構造や界面現象の経時的変化の調査・解析にも重点が置かれるようになってきた（NEDO・革新型蓄電池先端科学基礎研究事業（RISING プロジェクト）や内閣府・FIRST「高性能蓄電デバイス創製に向けた革新的基盤研究」等）。しかしながら、革新的なブレークスルーのきっかけを生み出すための基礎・基盤研究は、短・中期的な出口を明確にした時限的プロジェクトによる取り組みのみならず、本来中長期に亘って継続的に進めるべきものである。基礎・基盤研究では想定外の現象に遭遇する可能性が高いが、そうした現象を見逃さず、どのような形で実用化に繋がるかが必ずしも明確でなくとも、徹底した解明と思い切った発想の転換に基づく試行錯誤の繰り返しが重要であり、そのためには時間に縛られない腰を落着けた研究が必要となる。次項に提案する異分野融合研究では、まさに何が出てくるか分からない研究に取り組むことになる。そうした不確実性への対応のためには、リソース、即ち人材・研究費・研究インフラを、中長期に亘って継続的に確保する必要がある。このような研究活動の多くは、本来ならば大学等の研究機関における自主研究によって基本的には担保されるはずであるが、国立大学法人化の運営のなかで研究者は短期的成果に追われ、中長期的研究の環境は整っていないと危惧されている。電池関係の研究者へのインタビューやワークショップにおける議論でも、特に若手の研究者がハードルの高い新しい研究テーマに取り組みにくい状況が報告されている（参考文献：「JST-CRDS ワークショップ次々世代二次電池・蓄電デバイス技術」報告書（CRDS-FY2010-WR-08 2011年3月）[14]）。

また、自主研究は、リソースの厳しい制限がある上に、課題の選択は研究者の自由意思に任されることから、政策的に重要と考えられる研究課題の重点的推進が必ずしも担保されとは限らない。基礎・基盤研究の一部にも、政策目的の中長期戦略的リソース投入が必要と考えられるが、わが国ではそのような体制が整備されていない。一方、欧米では、国家戦略あるいは地域戦略に基づく、目的基礎研究への投資が強化される傾向にあり、中国を始め経済発展期にあるアジア諸国においても、国家戦略に基づく基盤投資は格段に強

化されつつある（参考文献：「JST-CRDS 戦略提言エネルギー分野研究開発の戦略的強化」CRDS-FY2011-SP-03 2011年7月[16]）。

（異分野融合研究の促進による基礎・基盤研究の充実）

非連続型の技術革新にとって不可欠のもう一つのアプローチは、異分野融合による研究開発の戦略的推進である。異分野融合についてはこれまでに何度もその必要性が指摘されながらも、必ずしも十分には進んでいない。本提言検討における研究者へのヒアリングやワークショップでの議論から、以下の課題と対応の方向が明らかとなった。

全く異なる分野の研究者が加わることで新しい視点が導入され、新物質等を生み出すことにつながる可能性が期待される。物理分野には、第一原理計算、物質開発もしくは先端計測といった強力なツールや技能を持つ多くの専門家が存在する。扱う対象は電気化学分野の研究者と同じであることが多いにも拘らず、概念の構成方法や使用する言語に相当の違いがあり、言葉の違いが参入障壁を生み出しているという側面がある。研究プロジェクトや学会での議論を通じてお互いの概念や言葉が相手方に翻訳され、異分野間の橋渡しが可能になれば、研究に新しいアプローチが導入され、新鮮なアイデアの創出につながっていくと考えられる。例えば現在、物理学会には電気化学に近い分野としてイオン伝導のセッションがあるが、現在そこにイオン伝導に関する現実的課題に満ちた電池関連のセッションや研究会をドッキングさせれば、そこから新しい刺激・発展が見えてくることが期待される。そのような観点から、物理学会、応用物理学会、日本化学会、電気化学会、高分子学会、他の関連学会のそれぞれが、アカデミアの自主性を持って連携・融合に踏み出し、異分野の専門家同士で議論できる場を継続的に構築していくことが求められる。

また、その際、公的研究費の投入や、産業界の技術ニーズの研究者側への提示が形式的に行われるだけでは不十分であり、多くの研究者の学術的な興味を刺激する方策の工夫が重要である。電池の研究が理論的な新概念を生み新しいサイエンスにつながる可能性があるということを研究者が感じ取れるまで、相互の議論を密接に展開する必要がある。これが、もうひとつの「翻訳」である。企業には、学問的に未解明の問題が数多く存在するが、それを異分野のアカデミアが協働して取り組める課題に翻訳することが必要である。

次々世代の技術開発においては、以上のように産学官の連携が大前提であり、行政側は各ステークホルダーに対してこうした課題認識の共有化と対応策の実行を促進するように、政策的に誘導することが欠かせない。特に、異分野融合研究に参加する研究者にとって当初の3年間程度は論文が出にくいという状況があることに留意すべきである。融合研究への意欲や、リスクテイクへの挑戦努力を引き出すためにも、一定期間の研究自由度の確保、画一的な論文数による評価方法の排除などを含め、柔軟な研究リソースの投入枠を確保することが求められる。大学等研究機関内の研究費運用の工夫に加えて、政策目的の基礎・基盤研究のリソースを確保すべきと考えられる。

（関連研究人材の長期的な育成）

研究基盤の強化には、次の時代を先導する若手研究人材の育成が必須である。しかしながら、人材の問題はかなり深刻である。現在、金属空気電池や全固体電池などの新型電池の基礎研究に取り組んでいる研究者は、まだ数えるほどしかいない。実際に研究の実務を

担う博士課程の学生やポスドクについては、海外から留学・雇用せざるを得ないのが現状である。一方過去 40 年間にわたって、日本の大学は半導体、物性物理、エレクトロニクスの分野に大量の人材を送り出してきたが、関連産業の成熟とともに逆に彼らが活躍できる場が狭まっている。このように、グローバル化に伴う産業構造や社会の急激な変化に大学の学科も技術の体系化も追いついていない状況にある。今後は、超高真空から wet へ、物理から化学へと、人材、設備、拠点の大きなシフトが必要だと考えられる。電気化学は電荷移動の科学であり界面の科学であるため、物理との親和性は高い。電気化学の歴史は古い、熱力学的な位置付けが理論化されてきた以降は、実際には複雑な反応機構の解明などが充分に行われないまま現在に至っている。また、単なる材料間の電気化学ポテンシャル差に着目したものだけでなく、異なる原理に基づく蓄電デバイスの探求も充分になされてこなかったといえる。こうした課題に最新の計測と計算の手法で挑むことは、物理の専門家にとっても極めて興味深い研究課題になる可能性がある。そのためには、異分野の基礎研究に接触する機会を増やし、長期的な基礎研究環境を整える拠点などの「場」を継続的に維持していくことが不可欠である。電池関連産業で日本が未だトップ水準を保っている間に、産学官が協働してこうした人材育成に関わる総合戦略を確立することが喫緊の課題といえる。

(継続的な資金の投入)

上述のような基礎・基盤研究や異分野融合研究は簡単に進むものではなく、逆に当初に期待した成果の他に予期し得ない思わぬ成果が創出される場合もあり、短期間で評価することは困難である。長期的且つ多面的な評価が必要であり、それがあって初めて異分野の研究者も積極的な挑戦が可能となる。こうした次々世代二次電池・蓄電デバイス技術研究の裾野を広げるための活動には、基盤インフラの充実と短期的な成果を求め過ぎない研究費（例えば、比較的小規模な研究費を 5 年以上継続する等）が何よりも重要である。JST-ALCA のような、最長 10 年間の取り組みを可能とする工夫もみられるが、昨今の競争的研究資金は 3 年ないし 5 年で成果を求められるものが多い。競争的資金だけでは人材育成をおこなうには不十分であり、継続的・安定的な資金によって長期的に人材を育成していくことも今後検討すべきであろう。もちろん、中長期の継続的リソース確保の方針を明確にしたうえで、そのなかでの競争と節目での Go/Stop の判断基準を設定することが必要なことはいうまでもない。その判断基準の設定には、ファンディング機関側と研究開発実施者側での徹底した議論に基づく合意が前提となる。

(基礎・基盤研究と応用開発研究のネットワーク連携強化)

次々世代二次電池・蓄電デバイス技術の研究に必要なアプローチとしては、過去十数年間の研究開発によって蓄積してきたナノテクノロジー等の材料関連技術を集積して、実験、計測、理論・計算科学のサイクルを廻すことが必要である。イノベーションの加速のためには、異分野融合や基礎・基盤研究者どうしの協働のみならず、その知見をいち早く応用開発研究や実用化研究に結びつけることがさらに重要となる。そのためには、具体的な材料・デバイスの設計に向けて原子・分子レベルの個々の現象をシミュレーションし、それらの結果をナノからメソレベルへ、よりマクロなスケール・上位階層のシミュレーションにつなげていく手法の開発が必要となるが、留意すべきは、基礎研究成果を応用開発研究

に繋ぐというリニアモデルでなく、同時並行的に推進する仕組みが必要であるということである。

電池が総合技術であるということに留意し、基礎研究ではあっても電池という総合的な観点で見た場合にどういう位置付けになるのかということ、研究者自身が常に意識する必要がある。従って、仮に基礎研究の拠点を作るにしても、「〇〇電池開発」のような総合的な研究テーマのもとに、応用開発研究拠点、企業などの実用化研究拠点との連携が重要である。例えば、最先端の大型機器を備える研究基盤・インフラは、単に新たな基礎・基盤研究のために活用されるだけでなく、応用開発研究や実用化研究、さらには実用化の現場における課題解決に充分に活用されることが重要である。わが国でも、最近大型共用設備の充実が進むとともに、その共同利用システムの試行錯誤が始まっているが、その活動規模は欧米に比べるとまだまだ小さい。

こうした取り組みを戦略的に強化するには、それぞれの拠点の強化とそのネットワーク化が必須となる。そこでは産学官の連携が基本となるが、世界的な競争を視野に入れば、政策的な誘導策による促進を一層強化する必要がある。大学等研究機関や民間企業の自主的取り組みの推進と並行して、複数の政策目的の基礎研究拠点を整備し、それらを中心とするネットワーク・オブ・エクセレンスを構築することがひとつの方策と考えられる [16]。例えば、二次電池・蓄電デバイスの性能指標の本質的な決め手となるのは各構成材料であり、材料研究に特色と強みを持つ東北地域に新たな研究拠点を構築する可能性を検討することも一案である。わが国では、NEDOによる革新型蓄電池先端科学基礎研究事業(RISING プロジェクト)を推進中(2009-2015年)であり、電池関連産業が集積している関西地域(京都大学)に産学の連携拠点を形成しつつある。いくつかの地域拠点がネットワーク連携を行い、そうした取り組みとの協働・連携を図りつつ、今後の次々世代二次電池・蓄電デバイス技術に特に求められる材料の革新や新概念の発信・創出を担う総合的な研究開発を、政策として戦略的に推進すべきと考えられる。そのためには、まずは潜在的な社会的期待の発見研究に基づく政策目標を明らかにしたうえで、政策主導によりネットワーク・オブ・エクセレンスを構築し産学官連携プロジェクトを推進することが必要となる。また、知的財産権の権利化・保護・活用に関わるステークホルダー間での合理的なルール作りと運用方策の工夫が必要なことは言うまでもない。

5 科学技術上の効果

本提言の実施により、基礎科学における学術分野間の融合促進と、本分野で不足する研究人材の中長期的な育成が促進される。蓄電池・蓄電デバイスは、各種材料・部品が組み合わさった総合技術・総合システムであり、多くの研究開発の結果を最適に統合していかなくてはならない技術分野である。これまでわが国における蓄電池・蓄電技術に関する学術研究は、主として電気化学の分野（電気化学会や日本化学会の一部）において進展してきた。電気化学会の現在の会員数はおよそ 4,500 名（2010 年）と決して大きくはない規模であるものの、近年は増加傾向にあり、過去 15 年間で会員数は約 1000 名増加している。電気化学会は過去 20 数年来、アメリカ電気化学会との定期的な合同大会を開催するなど国際交流を着実に進めてきたことは、日本の電気化学の国際的なレベルの高さを示す一例でもある。しかしながら、現在の研究・技術開発ニーズを考えた場合には、全体として人材不足に悩まされ続けている状況にある。電気化学は主に化学（化学熱力学、反応速度論、エネルギー化学、生物電気化学など）の場で進展してきており、上述のような次々世代型の超大容量化・高密度化のためには、今後は基礎的な物理学の知見が必須になると考えられる。現在、物理学会や応用物理学会には、電池や電気化学に類するセッションや研究会は存在せず、研究者間の組織レベルでの交流はほとんど見られない。特に、上述の高い目標値を実現するためには、新材料開発が必須であり、原子・分子レベルでの運動法則に基づいた化学的方法論に加え、界面、分子間・分子内電荷移動プロセス、プラズマ・光プラズマプロセス、固体中のイオン移動と固体物理学、非晶質材料の電極プロセス、など、物理学分野の研究者が有する知見と技術、先端の測定機器を用いることで、新しい発見とパラダイムを切り拓いていく必要がある。また、今後特に研究が必要とされる電解質材料に関しては、合成化学者の参入・活躍が期待されている。例えば、最近脚光を浴びている非水溶液の電気化学については、新たなジャンルとして学術体系の構築が必要といっても過言ではないが、合成化学者の関心はこれまでほとんど蓄電池・蓄電技術分野へは向いてこなかった。このような観点は、人材育成の面で極めて重要であり、将来に求められる極めて高い共通目標のもとに、異分野の研究者が集い、連携・融合による基盤研究を今から進めることで、これまで不可能であった全く新しい電池設計の基礎理論や、超大容量化を実現する新構造材料の創出、高温や高負荷に強く安全性の高い新電解質材料など、日本が世界をリードする科学技術成果が創出されることが期待される。

本イニシアティブではこうした異分野の専門家による融合研究を提案している。すなわち物理学分野の理論面や計測技術などで強力なツールや技能を持つ多くの専門家と、化学分野における合成の専門家、分子設計の専門家等が協同することで、新しい蓄電技術のアイデアや電池理論の創出が期待される。また、その過程においては主要学会間（物理学会、応用物理学会、日本化学会、電気化学会、高分子学会、等）での連携・融合の促進、異分野の専門家間で共通の問題を翻訳し橋渡ししていくことが、固体物理学、電気化学、合成化学、計算科学等が融合する新しい科学技術領域を切り拓いていくことにつながると考えられる。現実には、材料分野における府省連携の元素戦略プロジェクトの研究者から、計算科学のプロジェクトチームに呼びかけがあり、協働して電池材料の研究開発の方法について議論する場が設けられる例なども見受けられるようになった。こうした研究者の自発的

な活動と並行して、それらを加速すべく政策的な誘導方策を検討する必要がある。第3章に記載したように、革新的二次電池の研究開発のハードルはあまりにも高く、ブレークスルーの突破口を研究者の自主的活動のみに委ねることは、将来の国際競争力確保を危うくすることになるだろう。

6 社会・経済的效果

本提言の実施により、低炭素社会の促進および関連する蓄電池・蓄電関連産業の国際的競争力の源泉となる技術基盤の維持・強化が期待される。社会的効果としては、①自動車等運輸部門に用いられる化石エネルギーの抜本的削減と、②分散型エネルギー社会の実現を目指した、大容量・高出力・長寿命の蓄電デバイスの実用化、が期待される。また、経済的効果としては、蓄電池および関連部素材メーカー並びにスマートグリッド等の電池システム関連産業の国際競争力の強化が期待される。

今、わが国では、過去に例を見ないほど蓄電技術への期待が高まっている。東日本大震災の発生と福島原発事故に伴う影響により、社会はエネルギー供給の不足という事態を身をもって経験し、特に非常時電源として蓄電設備の導入を願う声が大きくなっている。また、わが国産業が国際的な強みを発揮してきた分野として、モバイル機器や自動車用途を始めとする電池関連産業への期待も非常に高い。しかしながら、その期待に応えるためには技術・コストの面で現状との間にまだ相当のギャップがあり、真に求められる性能を実現できる見通しは立っていない。蓄電技術には、現行技術で見据えることができている極限をさらに超える大容量化・高密度化の新しいアイデアが要請されている。

(1) 自動車等運輸部門に用いられる化石エネルギーの抜本的削減

現在の経済産業省・NEDO プロジェクト等における長期的なロードマップ上の目標値では、2030 年における電気自動車（EV）およびプラグインハイブリッド自動車（PHEV）の普及率が国内全体需要の 30% となっているが、そのためにはリチウムイオン電池の次ステップ目標といわれる 250Wh/kg（現在実用化されている蓄電池の性能は 100Wh/kg 前後）を超えて、500Wh/kg 程度の新電池の開発が必要とされている。更に 2030 年以降に世界規模での本格的な EV の普及を考えた場合には、リチウムイオン電池の理論的限界を遥かに超える高密度・高容量化（700Wh/kg 程度）が必要とされる。これは現行研究開発プロジェクトで現実的に見据えることのできるレベルを超える目標値となっており、実現するための具体的方策は見えていない。このレベルまで技術が到達すると、車両の軽量化技術の進展も相まって、高出力化や長寿命化を含めた最適設計をおこなうための自由度が大幅に向上し、様々な輸送ニーズへの対応が可能となる。それを EV ユビキタス時代のフェーズ到来と予想する。CO₂ 排出量で見ると、現行のガソリン車に比べて EV で 1/4、PHEV で 1/3 程度と想定されており、使用する化石燃料の削減総量は極めて大きい。もちろん、乗用自動車だけでなく運送用トラック、船舶等にも応用され、輸送に用いられる化石資源の大幅削減に繋がる可能性を持っている。

さらに、高性能輸送用（モバイル）蓄電池は単体でも固定用電源の負荷調整に活用できるばかりでなく、束ねて系統末端の負荷調整機能を持たせることもでき、新エネルギーの有効利用による低炭素化に貢献し得る。また、自動車の主要構成要素は高性能電池本体のほかに直接駆動用モーターと全体の制御システムであるが、いずれも最先端技術が集約され、付加価値が高く、高性能電池の普及による経済的波及効果も極めて大きいと考えられる。

(2) 分散型エネルギー社会実現のための定置用蓄電デバイス本格的普及に必要な大容量・高出力・長寿命蓄電デバイスの実用化

大容量型の蓄電池・蓄電デバイスは、安全・安定なエネルギー供給にとって将来の理想的な形態の一つとされる分散型エネルギー社会の実現にとって必須のキーデバイスであり、国民・社会はより一層早期の実現を期待している。現在、わが国におけるスマートグリッドの構想や、内外でそれを実現する準備段階として地域レベルの実証試験が推進されているが、そこでは、大電力系統（火力発電、原子力発電、水力発電等）から分岐した電力網を、地域レベルでの再生可能エネルギーを含む小規模発電や蓄電設備を活用して安定化させることを検討している。スマートグリッドによる分散型エネルギー社会実現のためには、さまざまな範囲・規模が想定される各地域でのエネルギー網、さらには各家庭の電力使用において再生可能エネルギーを導入した際の電力負荷変動や、余剰発電の取り扱いに柔軟に対応していくことが必要であり、蓄電設備の導入が必須となる。再生可能エネルギーは単位面積あたりの発電量が小さく、また発電量も変動するものが多いため、最大限活用するには蓄電デバイスの利用と系統電力との相互融通が必要となる。この普及が進むと、系統側でも大型の蓄電デバイスが不可欠となる。家庭用等の小規模電源には上記の輸送用蓄電池が活用できるが、現在実用化されているナトリウム・硫黄電池等の大型の蓄電設備や、近年のリチウムイオン電池、EVやPHEV向けに開発されている各種蓄電池では容量や体積の面でまだ必要十分な電力を蓄えることができず、本当の意味でのスマートな分散型エネルギー社会を実現するには、“次々世代”と目されるレベルの超高容量・高密度の蓄電デバイスが必須となる。大容量のエネルギー蓄積媒体としては、液体燃料等の化学物質が考えられるが、これを蓄電システムの一部として取り込むためには、電気エネルギーとの相互変換に関わるエネルギーロスを小さくすること、応答速度を速くすることが必須となる。現在までのところ将来的に競争力のありそうな技術の可能性は見出されていない。

本提言で主に取り上げている高密度・大容量型の蓄電池・蓄電デバイスは、現在の世界市場が2010年で6,400億円と見積もられている（株式会社富士経済2011年5月）。今後2016年には2.1兆円規模まで成長すると予測されており、減速する世界経済のなかにあっても異例の成長分野でもある。世界的な需要は莫大であり、輸出や現地生産も含めたわが国の関連産業への経済的効果は極めて大きい（蓄電池だけでも、世界シェア30%として国内売り上げの数倍）。政府においても本分野は、日本企業が善戦しており且つ現在の地位を堅持しなければならない極めて重要な産業として位置付けている。これまで、わが国の蓄電池・蓄電デバイス関連産業は、高い技術的優位とそれに裏付けられた国際競争力を有し、電池そのものおよび蓄電池・蓄電デバイスを構成する各種材料の国際的なシェアは圧倒的であった。しかしながら近年、中国や韓国を始めとする新興国の大胆な投資とコスト競争力に押され、シェアは徐々に低下傾向にある（第2章図2-2参照）。今後10～20年間は“次世代”、そして2030年以降は“次々世代”の大容量二次電池・蓄電デバイスへと競争の場が移っていくと予想され、国際競争において先手を打ち続けて行くことは必須と考えられる。現在わが国は、経済産業省・NEDO等の積極的な施策展開によって次世代型の蓄電池開発ではオールジャパン体制を構築して臨んでいる。現在市販されている各種電池および関連材料は今後も引き続き厳しい国際競争が続くと予想され、さらに各企業は上述のオールジャパン体制によって次世代品の研究開発に集中投資しているが、その状

況を踏まえて効果的な投資と考えられるのが、次々世代へとつながる新しい基盤技術創出のアイデアへの戦略投資である。現在の電池関連産業は、今後いつ国際的地位の形成が逆転してもおかしくない厳しい競争環境下にあり、各社とも眼前の競争に対応すべく必死の状況である。特に時間のかかる蓄電池・蓄電研究開発では、大学・公的研究機関を軸に産業界も加わって、広く研究開発することにより、次なる国際競争において産業界が必要とする新技術・新概念の蓄電池・蓄電デバイス技術を提供することが可能となる。

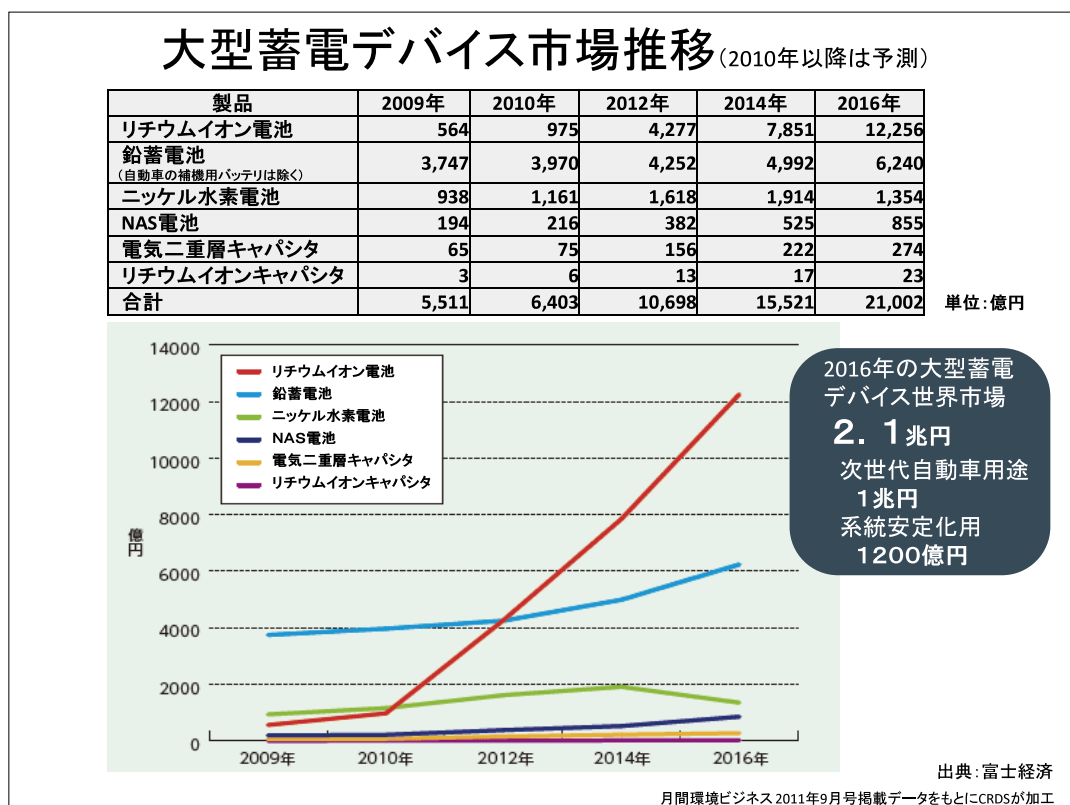


図 6-1 大型蓄電デバイス市場推移

7 時間軸に関する考察

次々世代二次電池・蓄電デバイス技術の研究開発には、中長期的な戦略投資が重要となる。強いニーズに主導される長期のロードマップ(図7-1)が経済産業省より示されており、NEDOを始めとする複数の国家プロジェクトが推進されているが、これらの開発状況・技術展開や、新たに発出される科学的に未解明の問題・技術上乗り越えなければならない課題に注目しながら、2030年以降の将来を見据えて本提言を実施する必要がある。図のロードマップは毎年ロールオーバーされており、国際競争においては目標と現状技術水準とのギャップを埋める施策を今後もスピーディに講じることがまずは最重要であるが、その一方で、JST-ALCA(先端的低炭素化技術開発事業)の拡充や研究拠点の活用による取り組みなど、次々世代への布石を打つことを忘れてはならない。本提言はまさに次々世代への布石としての実施を提案するものであり、以下のような研究開発の時間軸を考慮すべきである。

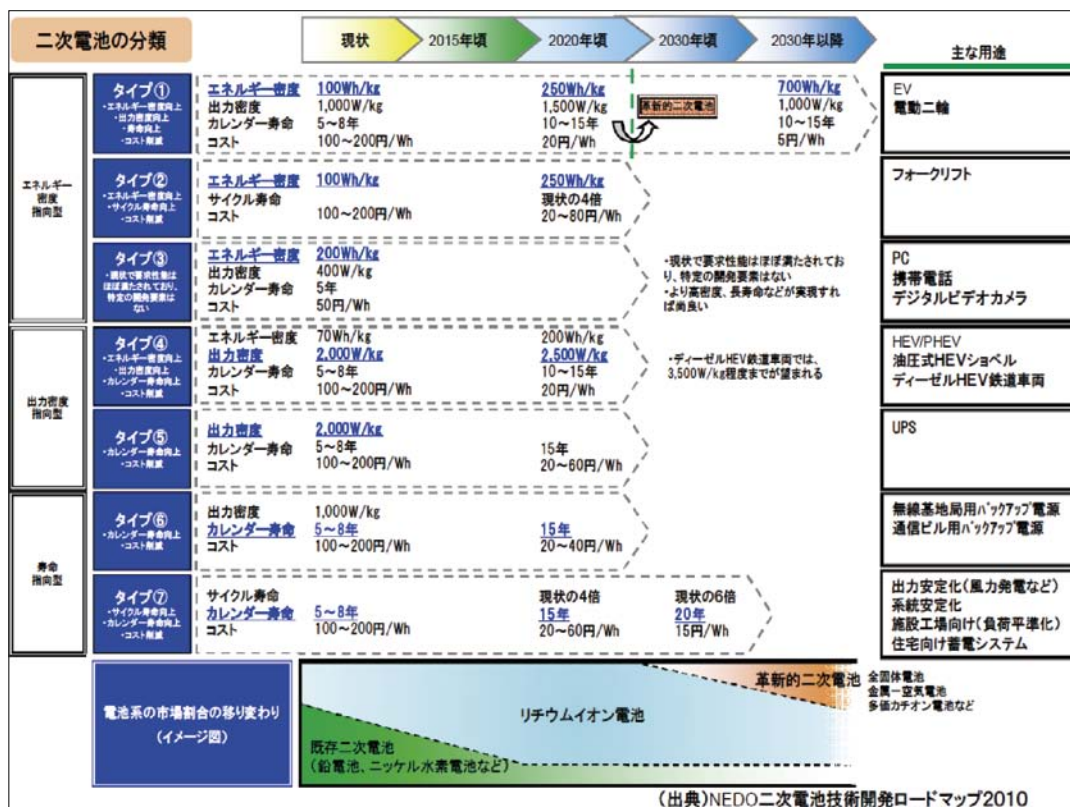


図7-1 NEDO 二次電池技術開発ロードマップ 2010 (概略)

(1) 二次電池の進化には長い時間が必要であり、柔軟な長期戦略による取り組みが必須

過去の歴史において、現在も使用される実用電池である鉛蓄電池が発明されたのは1858年であり、その後リチウムイオン電池が発明されたのは1979年である。電池の性能指標の一つであるエネルギー密度はこの間に約4倍向上しており、この向上に世界は実に120年間を要した。ロードマップに示される2030年以降の目標値を実現するには、今後さらに7~10倍のエネルギー密度の向上が求められ、今後約20年間でこれを達成することは、極めて高いハードルであること、長期間を要することを認識しなければなら

ない。もちろん、近年の集中的な開発投資や、ナノテクノロジー・材料科学技術の著しい発展によって、全く新しい材料・構造を実現できる可能性が出てきている。電子顕微鏡等の先端的な計測技術や計算機性能の進歩も相まって、研究開発に要する期間を短縮できる可能性は高い。関連する学術領域および周辺技術領域の融合・連携によって実現に要する期間の短縮を図ることが重要となる。また、産業界や上述の関連プロジェクトが現実的に見据えている次世代電池の開発戦略との連携や接続、それらから次々に生じる基礎科学的に未解明の問題について、大学研究が果たすべき役割が重要となる。このことは諸外国の戦略的な取り組みにも表れており、特に異分野の研究者を誘導することによって狙う全く新しいアイデアや、現行技術の極限を突破する基盤技術の創出が重要となる。このような観点から、長期（～2030年）および超長期（～2050年以降）の視点による重層的な戦略と取り組みが求められ、国際的な競争環境や技術の進展状況を見ながら実施することが必要である。長期および超長期の戦略には柔軟性を持たせ、環境変化によって変更を加えていくことが重要であるが、本分野でわが国が今後も優位でありつづけるためには、目標の根幹を揺るがすことなく国の戦略として堅持することが不可欠である。

（2）人材の養成が決め手となる

わが国における蓄電池・蓄電デバイス関連研究者は、産業界が主体的な役割を果たしてきた。CRDSにおけるワークショップの議論やインタビュー等の調査によれば、大学・公的研究機関における主要研究人材は他分野の研究者から“固定的”と見られている傾向があり、ファンディング制度活用の点においても異分野研究者にとって新規参入の障壁は高い。社会ニーズの高まりと産業界の大きな注目に比して、大学研究人材の長期的な育成・教育に課題がある。戦略的な大規模研究開発投資は、それを担う人材側の厚みを徐々に強化しながら行うことが必要であり、この点での整合を図らなくてはならない。しかしながら、人材育成には時間がかかり、10年後、20年後、30年後のこの分野に求められる人材状況を規模感とともに分析・予測することが必要であり、国の長期戦略遂行上、新たに参入してほしい異分野研究者のリソース創出を実現しなければならない。長期戦略という観点では、これから活躍の中心となる若手研究人材、そして将来の研究開発を担う学生等、その人材リソースの育成をアカデミア（大学、関連学会）と協力して促進することが必要である（関連学会の研究人材については第5章を参照）。

（3）拠点の活用—長期間を要する研究開発には安定的な研究インフラが重要—

次世代電池の研究開発から生じる基礎科学的な問題、そして次々世代二次電池を狙う新しい研究課題など、次々と生じる課題にはその解決に時間のかかるものが多い。わが国に蓄電池・蓄電デバイス技術の基盤的な研究拠点を設け、そうした様々な課題を拠点に持ち込んで取り組むことが方策の一つとして考えられる。現在、わが国ではNEDOプロジェクトによる京都大学を中心とする研究拠点があるが、将来の次々世代二次電池に特に求められる電池構成材料の革新という観点では、例えば新材料研究に特色のある地域や大学を拠点として活用することが考えられる。上述のような長期および超長期戦略による取り組みが重要な本分野の研究開発は、必要となる時間軸を画一的に設定することは必ずしも得策ではない。既に取り組まれているNEDOプロジェクトや、JST-ALCAのような競争的資金制度による公募研究には所定の研究開発期間が設定されており、こうした研究資金制

度の拡充とともに、長期間の研究開発を可能とする安定的な研究インフラとしての拠点の活用が考えられる。このことは、人材育成および国際的な研究人材の誘導の観点からも重要であり、5～10年程度のみの方策では、将来求められている効果を実現するには困難が伴う（拠点を活用する際の研究推進方法については第4章を参照）。

提案の内容

研究
投資する
意義具体的な
研究開発課題研究開発の
推進方法科学技術上の
効果社会・経済的
効果時間軸に
関する考察

検討の経緯

国内外の状況

専門用語説明

参考資料

参考文献

8 検討の経緯

JST 研究開発戦略センター（CRDS）では、本提言の策定に先立ち、平成 22 年度 4 月より検討チームとして「新型発電・電力貯蔵システム共通基盤技術チーム」を発足させ、調査・検討をおこなってきた。その過程において、平成 23 年 1 月 27 日に、『科学技術未来戦略ワークショップ「次々世代二次電池・蓄電デバイス技術」』を開催し、今後の社会ニーズを踏まえて必要となる研究開発の方向性と諸技術課題、そしてその推進方策について討議をおこなった。（ワークショップコーディネーター本間格東北大学教授）。「次々世代二次電池・蓄電デバイス技術」は、今後わが国が分散型エネルギー社会を実現する上でのキーデバイスであり、その可能性を専門家間の集中議論によって検証すると共に、今後の方向性や具体的な研究開発課題例を抽出した。その結果、以下の点が確認された。

- ・蓄電池・蓄電デバイス技術は、総合技術・総合システムであり、研究開発のステージによって、材料、デバイス技術、回路理論、系統連系・電力運用等の各分野にまたがる技術開発が必要になるものであり、このような総合技術・総合システムである蓄電池は、正極、負極、電解質、その他の部分を全て含めた上で最大のパフォーマンスが発揮されるようにしなければならない。
- ・そうしたシステム全体を見たときに、どのような材料を選択するかだけでなく、どのような組み合わせを考えるか、材料と界面を含めた 3 次元構造をどのように設計するか、そして各部のバランスをどう最適化するかが重要となる。

これらを踏まえ、CRDS における調査および WS 参加識者との議論から浮かび上がってきた次々世代二次電池へ向けた研究開発課題を、下図のようにマッピングした。

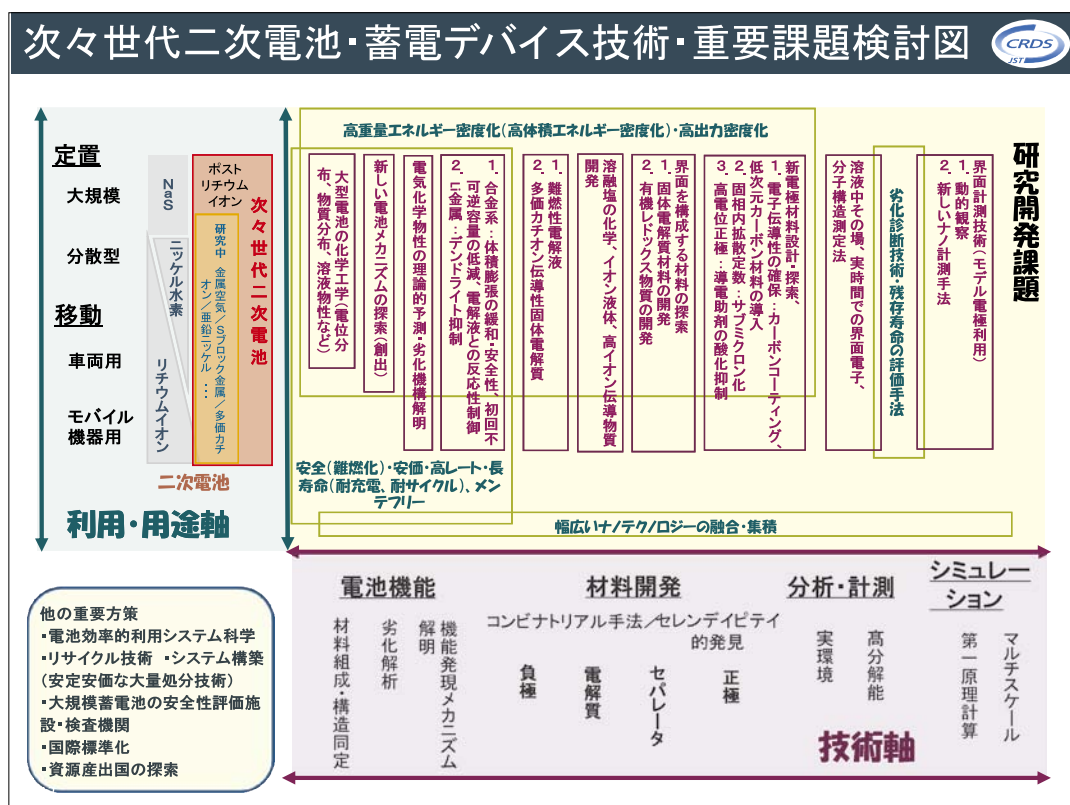


図 8-1 次々世代二次電池・蓄電デバイス技術重要課題検討図

CRDS ではワークショップにおける議論を踏まえ、今後重点的に推進すべき研究領域、課題等について検討し、本戦略プログラム「次々世代二次電池基盤技術の創出」をまとめた。

(ワークショップ開催日時、場所、プログラム)

- ・日時：平成 23 年 1 月 27 日（木）10：00～18：00
 - ・場所：科学技術振興機構（JST）研究開発戦略センター（CRDS）2 階大会議室
東京都千代田区二番町 3 番地 麹町スクエアビル
 - ・コーディネーター 本間 格 東北大学教授
 - ・オーガナイザー 田中一宜 JST-CRDS 上席フェロー
 - ・プログラム (敬称略)
- | | | |
|-------------|---|---|
| 10:00～10:30 | 主催者挨拶
趣旨説明
WS 課題設定 | 田中一宜 (JST-CRDS)
永野智己 (JST-CRDS)
本間 格 (東北大学) |
| セッション 1 | | |
| 10:30～10:55 | 将来の蓄電技術への期待 | 谷口治人 (東京大学) |
| 10:55～11:20 | 次々世代二次電池・蓄電デバイス技術
ーマグネシウム二次電池を例とした課題と展望ー | 安部武志 (京都大学) |
| 11:20～11:45 | 革新電池の研究課題と要望 | 岡島博司 (トヨタ自動車) |
| 11:45～12:10 | 定置型蓄電システム用二次電池への期待 | 田中晃司 (東京電力) |
| セッション 2 | | |
| 13:00～13:25 | 次々世代二次電池創出の課題 | 逢坂哲彌 (早稲田大学) |
| 13:25～13:50 | 新材料開発ー無機電極材料 | 宮山 勝 (東京大学) |
| 13:50～14:15 | 新有機材料開発ー合成の力をどのように生かすのかー | 吉田潤一 (京都大学) |
| 14:15～14:40 | 新材料開発ーナノ材料と熔融塩 | 島田敏宏 (北海道大学) |
| 14:40～15:00 | 休憩 | |
| 15:00～15:25 | 電極反応の物理化学と固液界面計測 | 魚崎浩平 (NIMS) |
| 15:25～15:50 | STEM による軽元素の直視と電池材料 | 幾原雄一 (東京大学) |
| 15:50～16:15 | 理論・計算科学・シミュレーション | 宮本 明 (東北大学) |
| 16:15～16:20 | 小休憩 | |
| 16:20～17:40 | 全体討論 「次々世代二次電池創出の基礎課題」 | |
| | 司会：本間 格 (東北大学) | |
| | コメンテーター：今西誠之 (三重大学) | |
| | 高木英典、谷口耕治 (東京大学) | |
| | 松田茂樹 (三洋電機) | |
| 17:40～17:45 | 閉会 | 田中一宜 (JST-CRDS) |

ワークショップ参加者一覧（敬称略、所属・役職は開催時点）

◎：コーディネーター ○：発表者 ＊：コメンテーター

氏名	所属	役職
◎本間 格	東北大学 多元物質科学研究所	教授
○谷口 治人	東京大学大学院工学系研究科	特任教授
○安部 武志	京都大学大学院工学研究科	教授
○岡島 博司	トヨタ自動車（株）技術統括部	主査・担当部長
○田中 晃司	東京電力（株）販売営業本部 兼技術部	部長
○逢坂 哲彌	早稲田大学理工学術院 ナノ理工学研究機構	教授・機構長
○宮山 勝	東京大学先端科学技術研究センター	教授
○吉田 潤一	京都大学大学院工学研究科	教授
○島田 敏宏	北海道大学大学院工学研究院	教授
○魚崎 浩平	（独）物質・材料研究機構 国際ナノアーキテクトゥクス研究拠点	主任研究者
○幾原 雄一	東京大学大学院工学系研究 科総合研究機構	教授
○宮本 明	東北大学大学院工学研究科 未来科学技術共同研究センター	教授 センター長
＊今西 誠之	三重大学大学院工学研究科	准教授
＊高木 英典	東京大学大学院新領域創成科学研究科	教授
＊谷口 耕治	東京大学大学院新領域創成科学研究科	講師
＊松田 茂樹	三洋電機（株）モバイルエナジーカンパニー エナジー研究所 第3開発部	部長

※ワークショップ参加者には、開催の前後でさらに詳細なインタビューを実施し、本提言に関連する助言や、最新の研究開発動向等についての知見をご提供いただいた。

ワークショップの詳細内容・結果は、下記の報告書にまとめている。

科学技術未来戦略ワークショップ「次々世代二次電池・蓄電デバイス技術」報告書
2011年3月発行 科学技術振興機構研究開発戦略センター
CRDS-FY2010-WR-08 下記 URL よりダウンロード可
<http://crds.jst.go.jp/output/pdf/10wr08.pdf>

また、ワークショップの他に個別インタビュー調査を実施し、以下の有識者より協力を得た。

<インタビュー>

（敬称略、所属・役職はインタビュー時点）

- ・金村 聖志 首都大学東京大学院都市環境科学研究科 教授
- ・久保 佳実 （独）物質・材料研究機構ナノ材料科学環境拠点 主席研究員
- ・永田 裕二 東芝燃料電池システム株式会社 技師長
- ・錦谷 禎範 新日本石油株式会社研究開発本部中央技術研究所 副所長
- ・森本 剛 森本技術士事務所 代表
- ・横山 明彦 東京大学大学院新領域創成科学研究科 教授

9 国内外の状況

日本・米国・欧州・アジアの各国・地域における近年の主要な政策的取り組み・動向について記載する。

日本

わが国では、「新成長戦略～『元気な日本』復活のシナリオ～」(2010年6月閣議決定)において、2020年に温室効果ガスを1990年比で25%削減することを目標として掲げ、現在は第4期科学技術基本計画で掲げたグリーンイノベーションを推進する科学技術・研究開発として蓄電技術に国策として取り組んでいる。また、東日本大震災の影響により、今後はわが国の環境・エネルギー政策が修正されるものと予想されるが、研究開発プロジェクトとしては経済産業省、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)を中心とし、内閣府、文部科学省、日本学術振興会(JSPS・科学研究費補助金)、JST(戦略的創造研究推進事業)の各競争的研究資金によって、蓄電技術に関する研究開発を実施してる。これらに関して、近年の主要プロジェクトを下図に整理して示す。また、蓄電池関連の主要な研究機関としては、NEDOプロジェクト等による拠点化が進む京都大学の他に、三重大学、早稲田大学、(独)産業技術総合研究所、(独)物質・材料研究機構、等があり、いずれも極めて活発な研究開発が行われている。

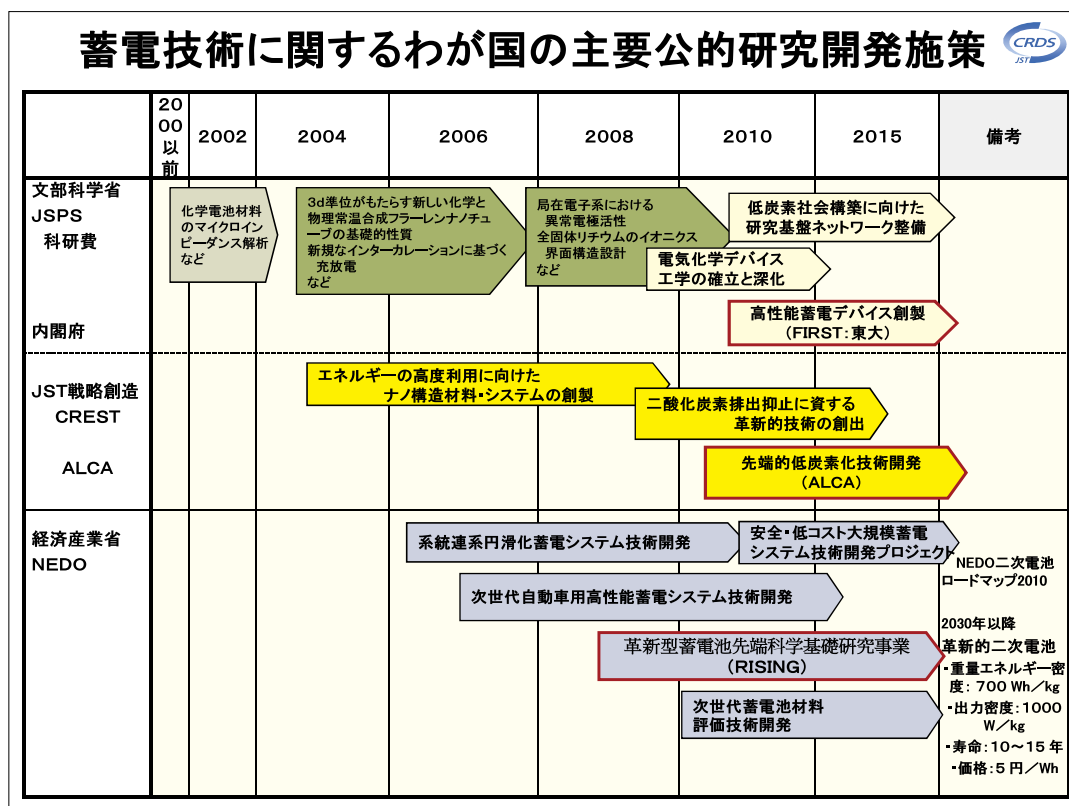


図 9-1 蓄電技術に関するわが国の主要公的研究開発施策

米国

米国は 2009 年以降、エネルギー省（DOE）を中心として矢継ぎ早に関連する研究開発施策を始動している。今後注目すべきは、2012 年度の開始を予定している Energy Innovation Hubs の一つ、Batteries and Energy Storage Innovation Hub である。

米国DOEの蓄電技術研究開発



- EFRC (Energy Frontier Research Centers)
 - 基礎研究。10-20人のグループ。幅広。5年(+5年)。約\$3M/年。
 - 蓄電技術のみを対象とするプロジェクト(・中心組織「研究センター名称」)
 - ・アルゴンヌ国立研究所「電気エネルギー貯蔵」
 - ・メリーランド大学「電気エネルギー貯蔵のための精密多機能ナノ構造の科学」
 - ・ストーニブルック大学「化学的エネルギー貯蔵」
 - 他に、UCLA、MIT等が中心となる5プロジェクトでも蓄電技術を研究開発
- ARPA - E
 - 目的指向ハイリスク研究。個人、小グループ。集中。1-3年。\$1-7M/年
 - 120余の現行プロジェクトのうち、BEESTプログラム(輸送用バッテリーが対象)の10プロジェクトを含む、少なくとも20プロジェクトは蓄電技術関連。
 - 例：・ミズーリ科学技術大学「Li空気電池用高性能カソード」・リキャッピング社「高エネルギー密度キャパシタ」・スタンフォード大学「全電子バッテリー」
- Energy Innovation Hubs
 - “Batteries and Energy Storage” Innovation Hub (約\$25M/年 + 初年度\$10M + 新規建築物): 2012年予定。基礎から実用[輸送、電力グリッド]まで。5年(+5年)

<http://crds.jst.go.jp/output/pdf/09cr01.pdf>
 <http://arpa-e.energy.gov/Home.aspx>
 <http://www.er.doe.gov/bes/Hubs.html>

図 9-2 米国 DOE の蓄電技術研究開発

米国EFRC(蓄電技術のみを対象する)プロジェクト

「電気エネルギー貯蔵」センター CEES
 アルゴンヌ国立研究所ほか2組織; 19Mドル/5年; Director: Michael Thackeray

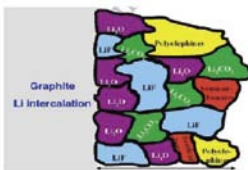
- *fundamental understanding of interfacial phenomena controlling electrochemical processes*
- *dramatic improvement in the performance of electrical energy storage devices*

「電気エネルギー貯蔵のための精密多機能ナノ構造の科学」センター NEES
 メリーランド大学ほか5組織; 14Mドル/5年; Director: Gary Rubloff

- *scientific underpinnings for a new generation of electrical energy storage devices*
- *dramatic improvements in power (10-100X) and energy density (10X)*

「化学的エネルギー貯蔵」北東センター NECCES
 ストーニブルック大学ほか8組織; 17Mドル/5年; Director: Clare P. Grey

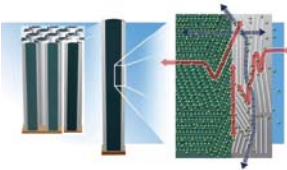
- *identify the key atomic-scale processes which govern electrode function in rechargeable batteries*
- *identify and design new battery systems*



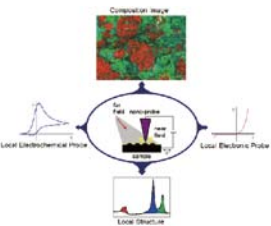
Graphite
Li intercalation

typically 30-50 nm

solid-electrolyte interface ("SEI" layer)



nanostructured heterogeneous electrode with separate ion storage and electron transport layers



multifunctional interfacial probe

http://www.sc.doe.gov/bes/EFRC/files/EFRC_technical_summaries_Jan_2010.pdf

図 9-3 米国 EFRC (蓄電技術のみを対象とする) プロジェクト

欧州



欧州の蓄電技術研究開発

EU:産学官連携による国家主導の蓄電池開発を開始

- European Green Car Initiative (EGCI)、持続可能な交通輸送システム開発。
- FP7 SUPERLION project 2008- €4.1M スウェーデン ウプサ大学
- 2010年、EU域内で官民一体の電気自動車開発計画
- アメリカとの連携:「米国－EUエネルギー評議会」を立ち上げ。政府、電力会社役員、他で構成。将来の電力網においてエネルギー貯蔵技術の要件を定め、最も可能性の高い技術を検討。物質科学研究をさらに進める必要があると結論。

ドイツ:

- 連邦教育研究省(BMBF)が4.2億ユーロでLiイオン電池2015プロジェクトを開始(2009-)
- メルケル首相主導によるエレクトロモビリティ国家プラットフォームを開始(2010-2020年) 100万台の電気自動車をドイツ国内に導入する目標を設定。

フランス:

- グルノーブルにエネルギー技術に特化した中核的研究拠点の創設を発表。
- 2009年、電気自動車とプラグインハイブリッド車の開発促進に向け「クリーンエネルギー自動車国家計画」。2020年までに200万台、25年までに450万台の市場投入を目標。世界のリーダーを目指す。

イギリス:

- 技術戦略委員会(TSB)の下に「低炭素自動車革新プラットフォーム(LCVIP)」 5年、TSB2,000万ポンド、運輸省1,000万ポンド、地域開発公社3,000万ポンドを拠出
- EPSRC 低炭素技術自動車大学主導型基礎研究 300万ポンド

図 9-4 欧州の蓄電技術研究開発

アジア (中国・韓国)



中国の蓄電技術研究開発

現状:

- － これまでの863計画10年間で、110Wh/kgレベルまで開発。973計画でも材料開発
- － 上海万博、深センEタクシーなどで、実用化デモも実施

今後:

- － 4省合同大規模EVデモプログラム(2009-12)
- － EV普及補助政策
- － 国家EVチーム(8月設立)による基幹技術開発と大量生産の促進
- － 863計画(2011-15) Liイオン電池改良技術、新材料、『先進電池/主要材料の新奇概念(novel concept of advance batteries as well as key materials)』、目標150Wh/kg以上

電気自動車・新エネ車の国家開発計画(2011-20)案を策定:

- － EVとPHEVの目標: 2015年に50万台[電池は150Wh/kg、2元/Wh]、2020年に500万台[電池は300Wh/kg、1.5元/Wh]
- － 中央政府は、中核的技術の開発や応用展開に1千億元以上を投入予定(EV・PHEV購入補助も含む)

Ciengwei XIA (Expert Panel for Efficient and New Energy Vehicles Project of 863 Program, MOST, China) et al, 第51回電池討論会 International Session, 1106 (2010年11月)

図 9-5 中国の蓄電技術研究開発

韓国の蓄電技術研究開発



現状：

Samsung SDI Co. Ltd. や LG Chemical Ltd など産業界が電池開発の中心を担っており、国もそれを政策的に後押ししている。これまでも、2004年から(-5年間) 国家プロジェクトにおいて、高容量型リチウム二次電池や電気二重層キャパシタの開発を行ってきた。李明博政権のもと低炭素緑色成長基本法を施行し、韓国版・グリーンニューディールを米国に先駆けて発動(2009.1)。科学技術基本計画(577イニシアティブ)(2008-12年)を策定、重点領域「グローバルイシュー関連研究開発推進」の重点育成技術の一つとして「次世代電池・エネルギー保存転換炉術」を指定している。

今後：

2010年、二次電池を次世代の基幹産業に育てる2020年までの長期計画を策定しており、知識経済部が、企画財政部や教育科学技術部、グリーン成長委員会と共に、「二次電池の競争力強化に向けた統合ロードマップ」をまとめた。中大型市場を狙った研究開発に、4～5兆ウォンを投資する予定としている。

今後10年間で、二次電池関連の修士・博士研究人材を1000人育成し、技術革新型中小・中堅企業に派遣するとしている。そして二次電池分野のグローバル素材企業を10社以上育成し、世界市場のシェアも50%へと引き上げることを掲げている。さらに、大学の課程拡大や専門大学院の新設を検討するとしており、リチウムイオン電池の正極材や負極材などの技術者を育成する計画。

図 9-6 韓国の蓄電技術研究開発

10 専門用語説明（本文中でアンダーラインした用語の説明）

[p.1]

次々世代二次電池：本報告書では、現行のリチウムイオン電池の3～5倍程度のエネルギー密度を持つ電池を「次世代二次電池」と捉え、それをさらに凌駕する可能性を持つような、将来2030年以降の実用化が期待される蓄電池を「次々世代二次電池・蓄電デバイス技術」と定義して用いている。リチウム（金属）－空気二次電池、全固体型電池、s-ブロック金属二次電池、多価カチオン二次電池、その他の「新型・新概念」による蓄電池・及びキャパシター等の蓄電デバイスも含むものとしている。

[p.1]

リチウムイオン電池：電解質中のリチウムイオンが電気伝導を担う二次電池で、高いエネルギー密度を有する。現在では、正極にリチウム金属酸化物を用い、負極にグラファイトなどの炭素材を用いるものが主流となっている。リチウムイオンバッテリー、Li-ion 電池、LIB、LiB ともいう。

[p.1]

多価カチオン電池：正極に酸化物材料等、負極にマグネシウム、カルシウム、アルミニウム等の金属を用いる。1つのイオンが動くことで2つの電子が移動し、高エネルギー密度化が図れる。

[p.1]

金属空気二次電池：負極に亜鉛、アルミニウム、リチウムなどの金属材料、正極に空気中の酸素を利用するための触媒材料を使用。正極部分に当たる材料の容積が小さくなるため、軽量化・コンパクト化が図れる。

[p.1]

s-ブロック金属二次電池：s-ブロック元素とは、第1族元素（水素、アルカリ金属）、第2族元素（ベリリウム、マグネシウム及びアルカリ土類金属）及びヘリウムのことで、ナトリウム等のアルカリ金属やマグネシウムなどを負極に使用した二次電池を指す。

[p.3、12]

マルチスケール・マルチフィジクス：複数の現象が相互に影響し合うような複雑な現象や系を指し、ここでは、超高速計算機や精緻なモデル化・統合化を行うことによって、現象の高精度且つ高分解能の解を求める研究のことを示している。

[p.19]

ネットワーク・オブ・エクセレンス（NOE）：社会的期待の実現に必要な最小限と考えられる関連または異分野の研究者が集積して領域統合を成すとともに、分析的基礎研究（科学）、構成的基礎研究（工学など）、開発研究（産業など）が役割連携を果たし、目標とする高度に複雑な課題解決型の統合研究を進めるための仕組みを云う。

提案の内容

意義
研究投資する具体的な
研究開発課題研究開発の
推進方法効果
科学技術上の効果
社会・経済的時間軸に
関する考察

検討の経緯

国内外の状況

専門用語説明

参考資料

参考文献

参考資料 戦略提言「エネルギー分野研究開発の戦略性強化」

CRDS ではさらに、本提言に関連する提言として『戦略提言「エネルギー分野研究開発の戦略性強化」(CRDS-FY2011-SP-03、平成 23 年 7 月)』を発行している。本提言の推進方法と密接に関連する内容であるため、以下にエグゼクティブサマリーの全文を掲載する。

戦略提言「エネルギー分野研究開発の戦略性強化」
2011 年 7 月発行 科学技術振興機構研究開発戦略センター
CRDS-FY2011-SP-03 下記 URL よりダウンロード可
<http://crds.jst.go.jp/output/pdf/11sp03.pdf>

エグゼクティブサマリー

本提言は、わが国のエネルギー分野研究開発の戦略性向上に向け、「府省横断的な総合計画の立案・推進機能の強化」ならびに「基礎・基盤研究機能の強化」の必要性を指摘し、その方策を提案するものである。

わが国のエネルギー分野研究開発については、政府の掲げる各種の国家計画、例えば 2010 年 6 月に第 2 次改定された「エネルギー基本計画」、2008 年 5 月に総合科学技術会議が発表した「環境エネルギー技術革新計画」、2010 年 12 月に総合科学技術会議が答申した「科学技術に関する基本政策について」などに、重点的に取り組むべき課題とその推進策として整理されている。本提言で取り上げた課題についても、その解決に向けての取り組みの必要性が指摘されているものの、具体的な方策の検討・実行はこれからである。

エネルギー計画は、あらゆる社会活動や個人生活の目標と期待を集約して策定される国家計画であるが、人口動態、産業構造、資源国際市場の影響などの不確かな要素を含む、極めて複雑な総合的政策でもある。わが国はエネルギー利用に関わる新技術開発を推進し、エネルギー安定供給と気候変動防止への国際的貢献を目指してきた。しかしながら、現在、国民各層に合意、共有されるエネルギー総合計画は見あたらず、それを基に立案されるエネルギー研究開発総合計画も存在しない。米国では 1970 年代に、英国では 3 年前に、単一の省としてエネルギーに関わる諸課題をすべて同じ土俵で総合的に議論し計画を作成する体制を整えている。わが国に相応しいエネルギー総合計画をいかに構築して行くかが、喫緊の課題となっている。

このような中、去る 2011 年 3 月の東日本大震災と福島原発事故は未曾有の広域災害をもたらし、わが国全体の社会・経済・行政システムの再構築を迫ることとなった。そして、その根幹には国のあらゆる活動を支えるエネルギーの問題があり、日本の安全・安定なエネルギー需給の姿を中長期にわたり総合的に描くことが国民的要請となっている。

こうした観点を踏まえ、以下を提言する。

【提言】 国家エネルギー総合計画ならびにエネルギー研究開発総合計画の立案・推進機能を強化すべきである。

- (1) エネルギー分野の研究開発を効果的に推進するために、中長期を視野に入れた国家エネルギー総合計画と課題探索（社会的期待発見研究）に駆動されるエネルギー研究開発総合計画を、府省横断的に立案し、産学官が協働して推進する体制と機能を強化すべきである。
- (2) エネルギー分野の研究・開発・実用化に関わる研究者、技術者、行政担当者の多様な知識や経験を活かし、研究開発総合計画の共有を図るために、計画策定過程を広く開かれたものとするべきである。
- (3) エネルギー分野の難度の高い研究開発課題への息の長い挑戦を奨励するため、基礎・基盤的な研究に関わる計画の基本方針を堅持すべきである。そして、エネルギー分野政策目的基礎研究拠点を整備し、それを核とした異分野の研究者による課題解決への協働、基礎研究と応用・開発研究との連携を促進すべきである。

「エネルギー研究開発総合計画」では、国民生活に関わる中長期的な観点からの国家目標実現に向け、化石資源、原子力、再生可能エネルギーの需給全般を科学的に吟味し、重点施策の優先順位や予算投入規模などをその根拠とともに示す必要がある。これは、研究実施者や事業実施者、そして利用者側の国民の共通の理解を得るために欠かせない。エネルギー政策について、これまで総合科学技術会議のイニシアティブの下に関係府省が努力してきたが、上述の点で充分とはいえない。

エネルギーは全ての社会活動の前提と位置付けられるので、科学者・技術者がこれまで以上に社会との対話を保ち、中立的立場から国家計画の立案に積極的に参画して行くことが一層重要となる。このためには、科学者自身（自然科学者のみでなく社会・人文科学者も含め）が課題探索（社会的期待発見研究）を主体的に進め、将来の潜在的な社会ニーズを先見的に把握し、科学技術の発展と結びつけて研究開発課題を社会へ提案して行くことが必要である。

さらに、国民各層の多様な意見を集約するためには、たとえば政府で検討中の「イノベーション戦略協議会」等の場を活用することも想定される。その際、開かれた場で議論の透明性を担保することの重要性から、アカデミアや産業界からの提案や見解を積極的に受け入れるため、事務局への科学技術の専門家の一定期間雇用を提案する。また、そうした多様な意見を集約しつつ府省横断的な立場から科学的に政策立案を進めるために、行政組織の意思決定者層に横断的視野を持つ専門家の登用、ならびにそうした人材の育成策を明確にすることを提案する。

エネルギー分野の基礎・基盤研究は主に大学の自由研究に委ねられているが、時間を要する基礎研究は研究者にとってリスクが高く、短期的に成果が求められがちな昨今では、特に若手研究者が取り組みにくいという声が多い。エネルギー分野の政策目的基礎研究拠点は、前述の社会的期待発見研究に加え、革新的課題に取り組む基礎研究、計測・解析やシミュレーション等の最先端の基盤研究を併せて、継続的に推進する必要がある。その具体的な姿は、前述のイノベーション戦略協議会等での産学官の議論を通じて、国として堅持すべき基本政策の中に描かれるべきである。

本提言では、東日本大震災ならびに福島原発事故からの復興策のひとつとして、エネ

ギー分野の政策目的基礎研究拠点のひとつを東北地域に設置することを提案している。こうした基盤研究拠点とそれらを核としたネットワーク型研究開発の推進は、わが国の科学技術イノベーションにとり重要な貢献を果たすものといえる。

参考文献

- [1] 経済産業省 「次世代自動車用電池の将来に向けた提言」（新世代自動車の基礎となる次世代電池技術に関する研究会）2006年8月
- [2] 経済産業省 「次世代自動車戦略2010」次世代自動車研究会 2010年4月
- [3] 経済産業省 「技術戦略マップ2010」 2010年6月
- [4] NEDO「技術戦略マップ2010 新エネルギー・産業技術開発の現状と将来」2010年12月
- [5] NEDO「革新型蓄電池先端科学基礎研究事業－事業原簿（公開版）」2011年4月
- [6] 社団法人電気化学会 第52回電池討論会講演予稿集 2011年10月
- [7] JST-CRDS WS「物質・材料分野」俯瞰ワークショップ報告書（CRDS-FY2008-WR-05）2008年12月
- [8] JST-CRDS 戦略イニシアティブ「産業競争力強化のための材料研究開発戦略」（CRDS-FY2009-SP-02）2009年7月
- [9] JST-CRDS WS 科学技術未来戦略ワークショップ「空間空隙制御・利用技術」報告書（CRDS-FY2009-WR-05）2010年2月
- [10] JST-CRDS WS「ナノテクノロジー分野」俯瞰ワークショップ報告書（CRDS-FY2009-WR-06）2010年3月
- [11] JST-CRDS 戦略プログラム「空間空隙制御材料の設計利用技術－異分野融合による持続可能社会への貢献－」（CRDS-FY2009-SP-05）2010年3月
- [12] JST-CRDS WS 科学技術未来戦略ワークショップ「ネットワーク型最先端エネルギー環境研究開発拠点」報告書（CRDS-FY2010-WR-05）2011年3月
- [13] JST-CRDS WS ナノテクノロジー・材料分野俯瞰ワークショップ「ナノテクノロジーの未来を展望する日米韓台ワークショップ」報告書（CRDS-FY2010-WR-06）2011年3月
- [14] JST-CRDS WS 科学技術未来戦略ワークショップ「次々世代二次電池・蓄電デバイス技術」報告書（CRDS-FY2010-WR-08）2011年3月
- [15] JST-CRDS 国際比較科学技術力比較 ナノテクノロジー・材料分野「科学技術・研究開発の国際比較2011年版」報告書（CRDS-FY2010-IC-04）2011年6月
- [16] JST-CRDS 戦略提言「エネルギー分野研究開発の戦略性強化」（CRDS-FY2011-SP-03）2011年7月

提案の内容

研究
投資する
意義具体的
な
研究
開発
課題研究
開発
の
推進
方法科学
技術
上の
効果社会
・
経済
的
効果時間
軸に
関
する
考
察検討
の
経
緯国内
外
の
状
況専門
用語
説明参考
資料参考
文
献

■戦略イニシアティブ作成メンバー■

田中 一宜	上席フェロー	(ナノテクノロジー・材料ユニット)
永野 智己	フェロー・リーダー	(ナノテクノロジー・材料ユニット)
河村誠一郎	フェロー	(ナノテクノロジー・材料ユニット)
宮下 永	フェロー	(環境・エネルギー兼ナノテクノロジー・材料ユニット)
石原 聡	特任フェロー	(ナノテクノロジー・材料ユニット)
魚崎 浩平	特任フェロー	(ナノテクノロジー・材料ユニット)

※お問い合わせ等は下記ユニットまでお願いします。

CRDS-FY2011-SP-04

戦略イニシアティブ

「次々世代二次電池・蓄電デバイス基盤技術」

～低炭素社会・分散型エネルギー社会実現のキーデバイス～

STRATEGIC INITIATIVE

Next-Next-Generation Rechargeable Batteries and Electric Storage Device Technologies

"Key Devices for Low Carbon Society and Decentralized Energy Systems"

平成 24 年 1 月 January 2012

独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター ナノテクノロジー・材料ユニット
Nanotechnology/Materials Unit, Center for Research and Development Strategy
Japan Science and Technology Agency

〒 102-0076 東京都千代田区五番町 7 K's 五番町

電 話 03-5214-7481

ファックス 03-5214-7385

<http://crds.jst.go.jp/>

© 2011 JST/CRDS

許可無く複写／複製することを禁じます。

引用を行う際は、必ず出典を記述願います。

No part of this publication may be reproduced, copied, transmitted or translated without written permission.

Application should be sent to crds@jst.go.jp. Any quotations must be appropriately acknowledged.

ATTAATC A AAGA C CTAAC T CTCAGACC
CT CTCGCC AATTAATA
TAA TAATC
TTGCAATTGGA CCCC
AATTCC AAAA GGCCTTAA CCTAC
ATAAGA CTCTAACT CTCGCC
AA TAATC
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT CTAAT A TCTAT
CTCGCC AATTAATA
ATTAATC A AAGA C CTAAC T CTCAGACC
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT
CTCGCC AATTAATA
TTAATC A AAGA C CTAAC T CTCAGACC
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT
ATTAATC A AAGA C CT
GA C CTAAC T CTCAGACC
0011 1110 000
00 11 001010 1
0011 1110 000
0100 11100 11100 101010000111
001100 110010
0001 0011 11110 000101

