

研究成果最適展開支援プログラム (A-STEP)
ステージ I : 戦略テーマ重点タイプ
研究開発テーマ「エネルギーの有効利用を支える次世代定置用蓄電技術の創出」
中間評価報告書

総合評価 A

総合所見

本研究開発テーマのねらいは、二酸化炭素排出削減に資する技術の創出と、それによる産業の活性化に資する技術の創出である。ねらいとして非常に重要であり、かつ、妥当な選定である。

各研究課題の成果に関し、研究課題「カリウムイオン電池およびカリウムイオンキャパシタの基本技術開発」(以下、「カリウムイオン電池」)については、試作されたラミネートセルを用いて動作を確認し 100 サイクル以上の充放電を達成した。最終的な目標値は作動電圧 3.6 ~ 3.8 V、100 Wh kg⁻¹、安全性の確保、充放電効率 90~95 %、3000 ~ 5000 サイクルである。中間評価までに達成すべき 100 サイクル以上の充放電は達成されたが、最終目標の 3000 ~ 5000 サイクルでの達成に向けて、残された 3 年を有効に利用されることを期待する。また、当初、材料研究へのリソースの割り当てが多く、セルの作製の実施に至らない可能性があるため、セル作製に向けて最適な材料に多くのリソースを割くことをプログラムオフィサー(以下、PO)が指示した。適切な指示であると評価する。

研究課題「太陽光発電の高効率化を可能とする新型キャパシタの開発」(以下、「太陽電池向けキャパシタ」)に関しては、2 年間の実証試験を行い、総発電量のキャパシタ回収率について、1 年目平均 11.13%および 2 年目平均 17.18%を得た。本テーマのねらいが正しかったことを示す重要な結果であるが、回収率をさらに高めるには、キャパシタの改良が必要である。今後、キャパシタの研究で、0.1 C で 120 mAh g⁻¹、60 C で 90 mAh g⁻¹を達成し、サイクル数 10000 回以上を実現する必要がある。材料の大量合成も含めて残された 3 年で達成されるものと期待する。

研究課題「超高エネルギー密度、本質安全および長寿命な鉄-空気二次電池 Shuttle Battery の開発」(以下、「鉄-空気電池」)に関しては、平成 30 年度までの目標に対する到達度が 40 %から 100 %であり、実デバイスによる性能評価・量産化検証の到達度が 40 %と遅れている。また、負極内に発生する水素の気体の圧力が高いこと、水素脆性が生じる可能性があることが判明しており、この点の解決が最大の課題となっている。さらに、鉄の焼結は少なからず生じるので、鉄燃料を交換する必要も考えられ、蓄電デバイスのメンテナンスに関する課題も顕著になってきている。この点についても、早急に解決策を提出するように PO が指導しており、これは適切な指導であると評価する。多くの問題点が明らかとなったが、まだ 3 年の研究期間が残されており、有効な対策をし、目標が達成されることを期待する。

1. 研究開発テーマのねらい（目標）について

本研究開発テーマの目標は、二酸化炭素排出削減に資する技術の創出と、その技術による産業の活性化に資することである。この目標は非常に重要であり、妥当な選定である。

二酸化炭素排出削減に向けて本テーマでは、電気化学的なエネルギー変換技術を用いた二酸化炭素排出削減に貢献する 3 つの研究課題を選定している。それは、太陽光発電、風力発電などの自然エネルギー導入のための支援エネルギーデバイスとしてカリウムイオン電池、スーパーキャパシタに関する研究と触媒反応を用いた燃料電池タイプの蓄電池に関するデバイス開発である。これらの研究課題は他に類を見ない優れた成果が期待できる。

第一の研究課題は東京理科大学と昭和電工によるもので、資源的な問題のないカリウムイオンを用いた電池やキャパシタの開発を実施するものである。また、カリウムイオンを用いることで、より速いイオン拡散を実現することができる。問題点としては、競合するリチウムイオン電池に対して圧倒的に有利な特性がカリウムイオン電池に見いだせない点であり、今後の研究開発で長所を明らかにして行くことが、カリウムイオン電池の実用化を実現する上で重要である。

第二の研究課題は東京農工大学と日本ケミコンによるもので、太陽光発電において捨てられてきた低い出力範囲のエネルギーを、スーパーキャパシタを用いて回収するものである。出力が低い場合には内部抵抗が適切でない電池に充電すると、放電で電池電圧が低くなりすぎてエネルギーを回収することができない。しかし内部抵抗の小さなスーパーキャパシタに充電すると出力電圧が低い場合でも放電電圧が太陽電池の電圧とほとんど変わらないため、低い出力範囲のエネルギーでも、スーパーキャパシタを用いて回収できる。開発のポイントは内部抵抗の小さな高エネルギー密度のキャパシタの開発である。しかし、スーパーキャパシタを用いて効率が非常に低い DC-DC コンバータの使用を回避する方法や、自己放電の大きなキャパシタの欠点の回避方法、システムの設置面積に制限があるのか、などのシステムとしての柔軟な対応や解決法の探索もこのシステムの実用化にとって重要となろう。

第三の研究課題は京都大学と CONNEX SYSTEMS によるもので、この研究では、鉄と酸化鉄の酸化還元反応を利用して H_2O から水素を発生させて負極反応を形成し、正極反応には燃料電池と同じ酸素還元反応を用いて電池を構成するものである。忘れてはならないのは、鉄と酸化鉄の酸化還元反応の他に、燃料電池の特性向上が高いハードルとなっている点である。燃料電池の特性に特化した評価が必要である。また、水素を用いるので安全な電池であるとの実証が実用化にとって重要である。このような問題点もあるが、新しい原理に基づく電池であり、優れた特性が期待できるので、その特性を早期に明確にしてほしい。

アドバイザーの構成は、産業界、アカデミックから人選を行っており、定置用蓄電池の電力系統網への応用、蓄電池に関する技術アドバイス、基礎的な反応解析手法の利用、などが可能な人選を行っており、問題ない。技術面のみでなく、事業性なども含めて議論できる体制となっている。

2. 研究開発テーマのマネジメントについて

本研究開発の研究期間は平成 28(2016)年 12 月から令和 4(2022)年 3 月までの 5 年 4 か月であり、年度でいえば現在は第 3 年度の終わりに近く、研究期間のおよそ半分が過ぎた時点である。本報告書は中間評価のためのものである。

PO は研究開発の方針を明確に示し、円滑な運営を行っている。定期的な研究開発テーマ推進会議の開催、サイトビジットの実施、開発実施報告書の作成で、研究開発の進捗状況の正確な把握に努め、適切な研究方向の指導や、研究成果の評価、計画の見直しを行っている。

PO の運営方針として、当初から、材料に関する研究で終わりがちな電池研究に対して、最終的なセル作製までを実施するように指導したのは適切であった。1 次試作の電池の性能によって、各チームの評価を行うのは実用化に重点を置いた本テーマにとって優れた判断である。

「カリウムイオン電池」に関しては、材料研究へのリソースの割り当てが多く、セルの作製の実施に至らない可能性があるため、セル作製に向けて最適な材料に多くのリソースを割くことを PO が指示した。適切な指示であると評価する。また、キャパシタよりイオン電池に重きを置いて研究を進めるようにとの指示があった。その後、材料研究が実施され、PO は早期に材料を一次選定することを求め、その結果、第一候補材料が選択され、研究も第一候補材料に多くのリソースが割かれるようになった。これらも、適切な指示であると評価する。

「太陽電池向けキャパシタ」に関しては、太陽光発電との組み合わせでインバーターが回収できない領域のエネルギーを回収できることのメリットをより明確にするように PO から指示があった。太陽光発電においてパワーコンディショナーでは回収できない電力分を、本キャパシタを用いたシステムにより回収することを想定したフィールド試験を実施し、改善が可能であることが判明した。指示は適切であったと評価する。また、研究課題の候補材料が多すぎたので絞り込みをするよう指導が行われ、その結果、大量生産も可能となり、ラミネートセルでの試験が行われた。また、パワーコンディショナーに関する企業と十分なコミュニケーションをとることを指摘するなど、PO は十分なマネジメントを実施した。

「鉄—空気電池」に関しては、水素脆性が生じる可能性があることが判明したため、その解決策を優先し、研究計画を変更するよう PO から指示があった。また、本テーマの期間内に最終的に商品化することを想定して、必要となる要素を議論しておくとの方針を示し、接続するセル数、目標の電力量や電圧を低くしてセル作製を実施するように助言があった。更に、鉄の焼結は少なからず生じるので、鉄燃料を交換する必要も考えられ、蓄電デバイスのメンテナンスに関する課題も顕著になってきている。この点についても、早急に解決策を提出するように指導が行われている。このように新たに発生した課題に対しても PO として適切に対処したと評価する。

3. 研究開発テーマとしての産業創出の核となる技術の確立に向けた状況

各研究課題の達成状況に関し、「カリウムイオン電池」については、当初、材料研究が中心に実施されており、特に、大学での研究は材料研究の枠を超えない可能性があった。しかし、研究課題の中間評価時期になり正極材料を 1 種類、負極を 2 種類に絞り、想定した容量密度の達成に至った。また、電解液に関しては添加剤の開発を行い、不可逆容量を低減する成果を出した。これらの絞り込んだ材料研究の成果を基に、ラミネートセルの作製に至り、試作されたラミネートセルを用いて動作を確認し 100 サイクル以上の充放電を確認した。残る課題の解決により、カリウムイオン電池の実現に期待が持てる。PO が想定した通りの達成状況と言える。定置用電池への展開を考えるとコスト面で優位になる必要がある。稀少金属フリーな活物質や集電体の実現は見込まれるが、電解質が問題になると考えられる。安価な電解質の開発が成功し、サイクル特性がリチウムイオン電池並みになれば、市場で十分に戦える電池になり得る。

「太陽電池向けキャパシタ」に関しては、2 年間の実証試験を行い、総発電量のキャパシタ回収率について、1 年目平均 11.13%および 2 年目平均 17.18%を得た。エネルギー回収量と蓄電デバイスの大きさを考えると既存のキャパシタでは容量不足であり、このシステムには新型のキャパシタなどのデバイスが必要と考えられる。キャパシタの開発は多くの研究者や企業が行っているが、本研究提案では新しい技術を用いてリチウムイオン電池用の活物質をキャパシタ用に展開している。カーボンナノチューブとの複合化において特徴ある研究であり、それを用いた太陽光発電システムの提案である。キャパシタから出口までをカバーしており、新しいビジネス展開が可能な要素を含んでいる。激しい競争が予想されるが、本システムの優位性が実証されれば市場への参入が可能となるであろう。キャパシタを利用するため、その分コストがかかるが、効率が向上している点を考慮すると、結果的にシステム全体としては低コスト化できる可能性がある。最終的なシステムによりこの点を実証できれば、市場参入が期待できる。

「鉄—空気電池」に関しては、いくつかの課題が残っている。それは、装置内に生成する水素の漏れ、セルのシールの問題と充放電に伴う鉄の焼結である。加えて、水素の漏れを 100%防止することは困難であるため、セルのメンテナンスをどのように実施するのかに対する計画も必要となる。セルの特性評価まではできており研究開発の達成度としてはほぼ達成できたと言える。今後、課題に対する解決策を可能な限り早く見出すことが重要である。コイン型の電池による充放電試験を行ったところ 300 回以上の充放電が可能であり、このような成果はこの電池系では初めてであり、注目される成果である。このセルが完成すれば、定置用の電池への展開は可能であり、コストや寿命が優れていれば、市場に受け入れられるものと思われる。解決すべき課題に対して早く見通しを立て、コスト試算ができる状況にすることが求められる。また、セルのメンテナンスに対して十分な計画が必要で、これらを総合して市場性が判断されるものと思われる。

4. その他

基礎的なことを行いつつ、応用まで考えて研究開発を進めている。方向性やマネジメントに関しては、きちんと把握されて、細部に至るまで助言指導されている。研究開発だから思うようにいかないこともあるが、課題に対する解決策の方向性は示されている。3 研究課題とも方向性や進展度が異なるので、最終的な着地点を見ながら進めてほしい。知的財産は、市場導入を考えた場合、重要であるため、企業側で継続して適切な知的財産の確保を進めていただきたい。

3 研究課題は今までに無い新しいデバイスを目指しており、チャレンジングで良い研究課題である。研究としては非常に優れた成果が出ているが、最後はデバイスにしなければならず、この目標にはまだまだ課題が多い。

研究開発を成功させるには、その電池やキャパシタで無いとできないことを示すことが必要で、そのキラーアプリケーションをしっかりと見据えていただくことが望ましい。電池関連のマーケットの動きは速いため、あらゆる方法で常に新しい情報を取り入れてほしい。

以上