

プロジェクト中間評価報告書

評価委員会開催日：平成25年12月24日

評価委員：（敬称略、五十音順）

小長井 誠 東京工業大学大学院理工学研究科 教授
 重里有三 青山学院大学大学院理工学研究科 教授
 西方 篤 東京工業大学大学院理工学研究科 教授

確定年月日：平成26年2月26日

プロジェクト名	高性能発電・蓄電用材料の研究開発
研究責任者の氏名・所属・役職	西村睦 水素利用材料ユニット長
実施予定期間	平成23年度～平成27年度
研究目的と意義	<p>ゼロエミッション電源の中核と目されていた原子力エネルギーに頼ることが極めて困難な状況の中で、以前にも増してエネルギーの有効利用に関する抜本的対応が求められている。その対応に直接的に資すると期待される材料の中から、新型二次電池、水素・燃料電池、未利用熱エネルギー回収用熱電材料、クリーン燃料など、蓄電・発電・エネルギー変換に関わる高性能新材料を開発する。成功の暁には、地球温暖化問題の解決に貢献し、経済効果が見込まれ、国際競争力向上に資することで、その意義は極めて大きい。4つのサブテーマの目的は以下のとおりである。</p> <p>サブテーマ1「全固体リチウム電池」では、界面を含めた固体中のイオン伝導に焦点を当て、イオン伝導機構を理解し制御して、全固体リチウム電池の高性能化技術を開発する。</p> <p>サブテーマ2「中低温用燃料電池材料」では、家庭用据置型燃料電池をターゲットとして、使いやすい温度で高い出力を安定的に保つ固体電解質および電極材料を開発する。</p> <p>サブテーマ3「水素製造材料」では、メタン改質反応の高効率化を目的として、金属間化合物触媒およびメンブレンリフォーミング用水素分離膜材料の開発を行う。</p> <p>サブテーマ4「廃熱回収用熱電材料」では、内燃機関やプラントで全く無駄に捨てられている廃熱を回収して、エネルギーの有効利用を可能にする発電デバイスの実現を目的とする。</p>
研究内容	<p>各サブテーマで対象とする物質・材料、すなわち全固体リチウム電池、燃料電池、メタン改質水素製造、熱電発電、クリーン燃料製造用触媒に関わる物質・材料について、先端的解析装置を活用して、物質内部、表面・界面のナノ構造、複合構造とイオン伝導度、熱伝導度、物質移動、反応特性等との関係を解析して、物質内部および界面において発生する効果の解明を図る。また、計算材料科学手法を併せ用いて、この効果を最大化、最適化するための組織・構造の制御方法を確立し、高効率発電・蓄電用の材料を開発する。</p>
ミッションステートメント (具体的な達成目標)	<p>各サブテーマとも平成27年度までに企業にサンプルの提供、またはそれに近いレベルの連携可能な段階まで到達することを旨とする。サブテーマ1では、全固体リチウム電池で現状最高レベルの出力性能を高い安全性を担保しつつ達成し、200Wh/kgを可能にする正極材料を開発する。サブテーマ2では、150℃において、200mW/cm²以上の安定な出力を得る燃料電池デバイスを開発する。サブテーマ3では、優れた耐熱性と熱伝導性を併せ持ち、反応効率が貴金属に匹敵するプレート型触媒を開発する。また、メタン改質メンブレンリアクターの動作温度である500℃で、熱的に安定な非Pd系複合水素分離膜を開発する。サブテーマ4では、中温域(500～800K)で有効最大出力150W/m相当の高出力型新規熱電材料を開発し、それに適合した電極形成技術も開発する。</p>

<p>平成23年度～平成25年度中間評価時までの主な研究成果（アウトプット）及び研究成果から生み出された（生み出される）効果・効用（アウトカム）、波及効果（インパクト）</p>	<p>1) 主な研究成果（アウトプット）：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・全固体リチウム電池では高い容量を持つ負極を探索した結果、気相合成法により非晶質化したケイ素酸化物が固体電解質中において0.5V以下の電極電位と1500 Ah/kgにも及ぶ容量密度を示し、充放電の繰り返しに対しても安定に作動することを見出した。この材料を正極と組み合わせた場合の理論エネルギー密度は現行の黒鉛負極を使用した場合に比べて3倍に達する。 ・燃料電池では150℃での応用のためリン酸を添加したハイブリッド膜を開発し、膜・電極集合体（MEA）を作製し、電池評価により、無加湿150℃（0.02 S/cm）で64 mW/cm²の出力を得、3年目の目標成果（60mW/cm²）を達成した。 ・水素分離膜に関してはV合金膜（箔）を用いてモジュール化を進め、約14cm²の面積を持つ試料で、理想的な水素透過度・水素フラックスを達成できた。 ・Mg-Si系熱電材料について、化合物粉末の新たな合成法として液固相法を開発し（プレス発表）、n型では有効最大出力190W/mを達成した。 ・電子の有効質量が大きな新籠形構造物質を発見した（プレス紹介）。 <p>2) 研究成果から生み出された（生み出される）効果・効用（アウトカム）、波及効果（インパクト）：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・上記よりさらに高い容量を示す合金系負極の開発にも成功しており、固体界面におけるイオン伝導を研究することで、高い安全性を有する全固体リチウム電池の実現に資する。 ・膜と電極の最適化により高温でさらなる性能向上を図ることで高温用燃料電池の実用化も期待される。 ・p型Mg-Siは現状で有効最大出力80W/mで、pn平均で135W/mを実現しており、出力密度3W/cm²級の実用発電素子の目途を付けた。
<p>中間評価時の進捗状況及び自己点検・評価</p>	<p>中間評価時の進捗：</p> <p>予定通りの進捗で目標を達成できる。</p> <p>自己点検・評価：</p> <p>燃料電池サブテーマのように、年度毎に達成すべき出力の具体値を挙げてクリアーしているサブテーマもある。他のサブテーマは年度ごとにそういう進捗管理をしていないが、各サブテーマとも基礎的な解析や組成探索などをほぼ順調にこなし、5年間の目標であるデバイスとしての性能達成に向けて、中間点の現時点としては問題なく進捗している。全体として反省すべき点は、サブテーマ相互の連携・シナジー効果が明確でないことである。デバイス化に当たって共通課題が生じて来ると予想されるので、サブテーマ間で密に連携することでシナジー効果を生み出し、課題を解決して最終目標を達成したい。</p>
<p>【評価項目】</p>	<p>コメント</p>
<p>①研究計画、実施体制、マネジメント、連携 （研究開発の方向性・目的・目標の見直し、計画・ロードマップの問題点、実施体制・マネジメントの改善、連携のあり方、ほか）</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・温室効果ガスの削減に向けて、NIMSに相応しいサブテーマが展開されている。目標設定も妥当である。 ・4つのサブテーマの設定は、いずれも最先端をいくものであり、欠くことができないものである。 ・サブテーマごとに数値目標を掲げて研究開発を実施しており、課題が明確になっている。 ・CO₂排出量に関して数値目標が明確に掲げられており、目標設定としてはリーズナブルであると判断できる。 ・ロードマップも熟慮されて作成されていると判断できる。 ・研究計画・実施体制、マネジメントは問題ない。 ・他機関との連携については必要に応じて行っていくことが望ましい。 ・国際連携に関しても十分に配慮された研究開発体制であると評価できる。 ・資金面、研究者リソースを眺めてみると、全固体リチウム電池、燃料電池サブテーマへの参加者が少ないのが気になる。将来の市場サイズの予

	<p>想から判断すると、全固体化リチウム電池、高温固体高分子燃料電池へのヒューマンリソースが少なく感じる。なぜ熱電材料の研究者がこれほど多いのか。</p>
<p>②研究開発の進捗状況及び進め方 (進捗状況の把握、研究責任者の自己点検・評価の妥当性、進め方の見直し(継続・変更・中止等)、研究資源(資金・人材)の再配分、ほか)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・進捗状況は概ね順調である。このままの体制で研究を進めて問題はない。 ・安全性の高い固体電解質の開発において大きな成果が得られている。 ・200 Wh/kgを実現する正極材料の開発は評価できる。 ・サブテーマ1に関して、達成目標に200 Wh/kgを可能にする正極材料の開発とあるのに対し、平成25年度までの成果には負極材料に関する記述のみとなっている。目的をより明確にするべきである。 ・燃料電池開発においても、独自のハイブリッド膜の開発に成功している。 ・水素製造触媒として、新しいNi系金属間化合物の開発に成功している。 ・熱電材料開発については、ZT(無次元性能指数)が1以上に達するには、かなりの距離を感じる。また、応用分野が狭いように思える。 ・ロードマップに関しては、状況の変化に合わせて変更していくことも視野に入れて良いと考えられる。 ・民間企業との連携に積極的であり、実用化を視野に入れている点、評価できる。 ・企業との連携、そして国際的な連携がうまくとれており、実用化に重点を置いた研究開発が進展されている。 ・サブテーマ間の連携に関して明確でない。 ・全体として、競争的資金を得て活発に研究開発が展開されているが、競争が激しい全固体リチウム電池や燃料電池の分野で、ヒューマンリソースが不足しているように思える。
<p>③論文・特許等の直接の成果(アウトプット)、効果・効用(アウトカム)、波及効果(インパクト) (研究成果の質は世界レベルか、どのような効果・効用あるいは波及効果が出たか/期待されるか、研究タイプを考慮した費用対効果はどうか、セレンディピティー、ほか)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・オリジナリティーの高い研究成果が得られている。 ・研究成果は、権威ある欧文誌を含め多数の論文掲載(101篇)がなされており、国内外での学会発表も活発に行われていることから、十分な研究成果の発信も行われていると判断できる。 ・論文発表・特許ともに申し分ないが、サブテーマごとの整理が必要である。 ・現時点では、開発した材料の性能としては世界のトップレベルからはやや劣るが、ほぼロードマップ通りに進行しているため、今後の開発に期待したい。 ・特にセレンディピティーはないように思える。 ・ALCA(JST 先端的低炭素技術開発プロジェクト)等で異なる構造の二次電池、燃料電池、熱電材料等が研究されており、これらの多くのテーマの中での位置づけ、特徴、優位性などを議論してほしかった。
<p>④総合評価 (研究全体に対する総合的所見、及び上記評価項目①~③に含まれない、その他の評価ポイント、問題点等があれば追加してコメント)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・研究全体としては総合的・系統的に実用化に向けた機能性材料、蓄電デバイスが精力的に研究・開発されており、研究成果も多数発信されているので高く評価できる。 ・NIMSに相応しい材料開発が行われており、研究計画に沿った成果が得られつつある。 ・研究全体としては順調に進んでいる。今後、サブテーマの連携は勿論、外部機関との連携も進めて最終目標を達成してほしい。 ・サブテーマ間の連携はやや難しいかもしれないが、各サブテーマを担当する研究者数の見直しが必要と思われる。 ・熱電材料については、応用面、実用化時期等、長期ビジョンが必要である。 ・計画には記載されていないが、今後、開発した材料の耐久性についても評価すべきである。

各委員の総合評価点 (10点満点)		10、9、9 (順不同)
総合評価点平均 (10点満点)		9.3 (小数第二位四捨五入)
評価点	評価	評価基準
10	S	全ての点において模範的に優れている。 計画を変更することなく継続すべきである。
9		
8	A	総合的に優れている。 一部計画を見直し継続すればS評価になる可能性がある
7		
6		
5	B	継続は認めるが、継続する時に、一部計画を見直した方が良い点がある。
4		
3		
2		
1	C	プロジェクトの見直し、計画の抜本的な変更が必要である。 大きな問題があり、継続を中止すべきである。