

# プロジェクト事後評価報告書

評価委員会開催日：平成29年1月20日

評価委員：（敬称略、五十音順）

中島 章 東京工業大学 物質理工学院 材料系 教授

宮山 勝 東京大学 大学院工学系研究科 応用化学専攻 教授

山口真史 豊田工業大学 スマートエネルギー技術研究センター シニア研究スカラ

確定年月日：平成29年4月7日

プロジェクト名	高性能発電・蓄電用材料の研究開発
研究責任者の所属・役職・氏名	エネルギー・環境材料研究拠点・副拠点長・西村睦
実施期間	平成23年度～平成27年度
研究目的と意義	<p>研究目的と意義：</p> <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>研究内容：</p> <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。さらにその効果を最大化、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>ミッションステートメント（具体的な達成目標）：</p> <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目指す。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、150mW/cm<sup>2</sup>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</p>

	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。
平成23年度～平成27年度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>1) 主な研究成果(アウトプット) :</p> <p>【サブテーマ1】 : 正極材料の性能実証を行い、欠陥構造の入らない成長条件を採用することで <math>137\text{Ahkg}^{-1}</math> の容量が確認され、<math>\alpha\text{-Si}</math> 負極と組み合わせた全固体電池のエネルギー密度を算出した結果、活物質重量当たりで <math>460\text{Wh kg}^{-1}</math> となった。またゾルーゲル法により作製した <math>\text{LiCoO}_2</math> においても同様の試算を行ったところ、目標値達成が可能な <math>320\text{Wh kg}^{-1}</math> の値となった。</p> <p>【サブテーマ2】 : 高温型燃料電池用ポリマー電解質膜に電極の界面抵抗を小さくすることで、セル温度 <math>150^\circ\text{C}</math> で <math>161\text{mW/cm}^2</math> で目標を達成した。</p> <p>【サブテーマ3】 : 開発した Ni 基ハニカム構造触媒でメタンの水蒸気改質を行い、実用に近い条件で <math>800^\circ\text{C}</math>、8000 時間以上の長期間実験で 100%に近いメタン転化率を達成した。水素分離膜においては、<math>500^\circ\text{C}</math> で長時間安定な水素分離を行うことは困難であったが、水素分離用バナジウム合金膜を組み込んだ水素透過モジュールにて <math>400^\circ\text{C}</math> で <math>2.3\text{L/min}</math> の精製処理速度を達成した。</p> <p>【サブテーマ4】 : <math>\text{MgSi}</math> 系熱電材料の合成方法として、<math>\text{Si}</math> 粉末中に <math>\text{Mg}</math> を熱拡散させて所定の <math>\text{MgSi}</math> 系化合物を合成する“液固相法”を新たに開発し、この方法を用いて有効最大出力 <math>150\text{W/m}</math> 以上の高性能 <math>\text{MgSi}</math> 系熱電材料を開発すると共に、その材料に対する金属電極の接合技術も併せて見出した。</p> <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> <p>【サブテーマ1】 : エネルギー密度 <math>460\text{Wh kg}^{-1}</math> はケースなどの部材重量を加味した場合においても、高性能プラグインハイブリッド自動車のために十分なエネルギー密度である <math>200\text{Wh kg}^{-1}</math> を実現するのに十分なものと判断することができ、<u>全固体電池の実用化を見据えた成果</u>である。</p> <p>【サブテーマ2】 : <u>白金量の低減化が期待でき、高温用燃料電池の実用化を通して水素エネルギー社会の加速も期待される。</u></p> <p>【サブテーマ3】 : <u>高効率な水素製造用一体型触媒装置の実現を見据える成果。水素分離モジュールにて家庭用燃料電池への水素供給を見据える流量</u>を達成。低温反応系への応用が期待され、JST-CRESTで研究代表として研究開始(H.26)。</p> <p>【サブテーマ4】 : 所定の組成およびサイズで <math>\text{MgSi}</math> 高純度粉末を安価に合成できるプロセスとして実用化されている。</p>
プロジェクトの目標の達成度合い及び自己点検・評価	<p>プロジェクトの目標の達成度合い : 順調に進展しほぼ目標を達成した。</p> <p>自己点検・評価 : サブテーマ1においては、電池内の活物質質量を 50%と低く見積もっても5年間の目標である <math>200\text{Wh kg}^{-1}</math> を超える正極材料を開発することができ、目標以上の成果を得た。サブテーマ2では、高温型燃料電池用ポリマー電解質膜に電極の界面抵抗を小さくすることで、セル温度 <math>150^\circ\text{C}</math> で目標の <math>150\text{mW/cm}^2</math> を超える <math>161\text{mW/cm}^2</math> を達成した。長寿命化が今後の鍵である。サブテーマ3では開発した Ni 基ハニカム構造触媒にて <math>800^\circ\text{C}</math> で 8000 時間に渡って 100%近いメタンの転換率を達成した。水素分離膜では <math>500^\circ\text{C}</math> での長時間運転はできなかったが、低温で有望な大流量デバイスを得ることができ、ほぼ目標を達成した。サブテーマ4では所定の組成およびサイズで <math>\text{MgSi}</math> 高純度粉末を安価に合成できる液固相法を開発し、目標の有効最大出力 <math>150\text{W/m}</math> を超えた。</p>
【評価項目】	コメント
①研究計画、実施体制、マネージメント、連携(事前・中間評価の結果を	・独自シーズを基に、材料特性の解析・改善、デバイス化に向けたプロセス開発、および各種評価を行うロードマップに問題はなく、 $\text{CO}_2$ 削減に寄与するエネルギー貯蔵・変換デバイスの開発が進められた。

<p>受けて、ロードマップに問題はなかったか、実施体制は十分だったか、マネージメントの是非、連携の範囲や連携課題、連携の成果はどうだったか)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 二次電池、水素・燃料電池、熱電材料など、発電・蓄電に関わる高性能新材料の研究開発の重要性は認められる。</li> <li>・ ロードマップに問題は無い。</li> <li>・ ロードマップ、良く考えられているが、状況の変化に合わせて、変更する必要があるだろう。</li> <li>・ 材料合成、材料評価が融合された研究計画で、研究成果からみても、高く評価できるが、理論研究が手薄に感じられる。</li> <li>・ サブテーマの選定は適切である。</li> <li>・ NIMS 内他ユニット、国内外の多くの企業や研究機関と連携して研究を実施し、成果を挙げている。</li> <li>・ NIMS 内部および外部の研究機関・企業との連携が積極的に実施され、実用的見地からの検討も行われている。</li> <li>・ サブテーマ間の連携も可能な限り実施できており、適切なマネージメントが行われている。</li> <li>・ 他機関との連携も活発で、評価できるが、企業との連携が少ないように見える。</li> <li>・ 各デバイスで、今後の開発のキーとなる重要なポイントを対象としたに研究開発を進めており、適切な実施体制と考えられる。</li> <li>・ 外部資金の獲得にも努力している。</li> <li>・ 実用化のシナリオが不明確である。</li> <li>・ 代替材料との比較や目標設定がなされているが、実用化を想定した場合、目標設定の見直しが必要であろう。</li> <li>・ 研究の完成度が不十分なものもあろう。</li> <li>・ 時には、研究テーマの重点化、リソースの集中も考える必要があるだろう。</li> </ul>
<p>②プロジェクトの具体的な達成度 (目標は達成されたか、学術的価値、社会的価値、経済的価値の創造につながったか、技術レベルの向上につながったか)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 各サブテーマで目標とした数値をほぼ満たす成果が得られ、材料・デバイスの開発という目標は達成されている。</li> <li>・ 全てのサブテーマで、ほぼ目標が達成されているが、個々の成果の完成度が不明確で、実用化に向けた道筋が不明確である。</li> <li>・ 一部に未達成のものが見られるが、概ね目標は達成している。</li> <li>・ 実用的なシステムとしての実現と評価はこれからであるが、十分に可能な価値ある性能が予測されており、当初の計画を達成していると評価できる。</li> <li>・ 本プロジェクトのタイプは目的志向型基礎研究から応用研究であり、経済的価値の創造に関しては、実用化を見据えた今後の検討に委ねられる。</li> <li>・ 基礎現象の解明、プロセス開発も確実に進んでおり、学術的意義をもつプロジェクト成果が得られている。</li> <li>・ 実際の研究成果の中にはモジュールへのインテグレート方法がイメージしにくい基礎的な内容もあるが、その学術的な水準・価値は高い。</li> <li>・ 開発した材料群の寿命やサイクル特性、それらの解析に関して報告が少なく、その点にやや物足りなさを感じる。</li> <li>・ a-Si 負極と組み合わせた高エネルギー密度の全固体リチウム電池、電解質膜と界面抵抗を抑えた高温固体高分子燃料電池、水素製造用 Ni 基ハニカム構造触媒、MgSi 系化合物熱電材料など、新材料の研究開発で、学術的にも高い成果が得られ、評価できる。</li> </ul>
<p>③研究開発の進捗状況 (研究により得られた成果は、世界レベルで比較して高いか、予算に見合った成果が得られたか、将来の新しい研究の芽が得られたか)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 全てのサブテーマで、ほぼ目標が達成されている。</li> <li>・ 多くの国際学術雑誌に論文を発表しており、高いレベルの研究が展開された。</li> <li>・ 学術論文数 231、招待講演数 332、特許出願 40 など、高い学術的研究成果が得られているが、論文被引用件数は不明確である。</li> <li>・ 自身のオリジナリティに立脚して研究を実施し、一定の成果を挙げている。</li> <li>・ プロジェクト代表者が、日本金属学会功績賞、研究員が、日本熱電学会学術賞を受賞するなど、高い評価を得ている。</li> <li>・ 得られた成果の特性数値は、いずれも世界レベルと同等あるいはそれを超え</li> </ul>

	<p>るものであり、残された課題が解決できれば、近い将来、実用化される可能性が高い。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 今後は、実用化に向けた展開が必要であり、産学連携を含めて、課題の明確化と実用化計画の策定が必要であろう。</li> <li>・ 金属間化合物触媒は新たな研究の芽となるのではないか。</li> </ul>
<p>④見込まれる直接の成果(アウトプット)、効果・効用(アウトカム)や波及効果(インパクト)</p> <p>(質の高い論文・特許が多く出たか、新技術や実用材料につながるか、思いがけない成果があったか、他分野への波及効果はあるか)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 多くの研究論文の発表によりエネルギー関連学術を深化させているだけでなく、多くの講演・解説により、一般人向けに将来のエネルギー利用を考える機会を与えている。</li> <li>・ 論文、発表とも一定の量・質は確保されている。</li> <li>・ 開発されつつある各種新規材料が、今後、どう実用化されるかが、重要である。</li> <li>・ 実用化に向けた研究計画の見直しと研究開発テーマの重点化が必要であろう。</li> <li>・ エネルギー貯蔵・変換に有効なデバイスあるいは部材が開発されており、今後の継続した研究開発や産業界との総合評価により実際的な利用に至ると考えられる。</li> <li>・ エネルギー利用の効率化により、将来の分散型エネルギー社会の構築に貢献するであろう。</li> <li>・ 内容的には材料製造プロセス開発やデバイス特性の改善が多く、それぞれのデバイスに対して一定の成果を上げているが、従前の技術的問題点を根本的に打破し、開発ステージを一段押し上げるような内容は限定的である。潜在的なポテンシャルは十分あると思われるので、今後はその点での成果も期待する。</li> <li>・ 全固体リチウム電池、燃料電池、熱電材料などは、世の中との競争であり、社会基盤のシナリオや産業界のロードマップを考慮した研究テーマの見直しと重点化が必要と考えられる。</li> <li>・ 産学連携の強化が必要である。</li> <li>・ 水素製造触媒に関しては、500℃での長時間運転は実現しなかったが、エネルギーキャリアからの水素抽出へ展開できると興味深い。</li> <li>・ 熱電材料を例にとると、ZT(無次元性能指数)が1程度では、従来材料と何ら変わりはなく、ZT&gt;10のブレースクルーを目指した研究展開も期待したい。</li> </ul>
<p>総合評価点平均 (10点満点)</p>	<p>8.3点 (小数第二位四捨五入)</p>
<p>その他 研究全体に対する総合的な所見、①~④に入らない所見、問題点、あるいはプロジェクトに対する印象など自由にご記入ください</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 研究全体としては、目標を達成し、優れた学術的成果も得られ、高く評価できる。</li> <li>・ 開発されつつある各種新規材料が、今後、どう実用化されるかが、重要である。</li> <li>・ 今後の実用化には産業界との連携が不可欠で、どのように展開を進めるか方針を定めておくことが必要であろう。</li> <li>・ 実用化に向けた研究計画の見直しと研究開発テーマの重点化が必要であろう。</li> <li>・ ただし、NIMSの目的は実用化ではなく、重要なポイントの研究開発であることを忘れずに進めて頂きたい。</li> <li>・ ブレースクルーを目指した研究展開も期待したい。</li> </ul>

### 第3期中長期計画プロジェクトの事後評価基準

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た。 多くの点において模範的に優れていた。
9		
8	A	総合的に優れていた。 顕著な成果が出た優れたプロジェクトであった。
7		
6		
5	B	平均的なプロジェクトであった。 一部の計画の見直しが必要であった。
4		
3		
2	C	期待されたほどではなかった。 計画を大幅に見直して実施すべきであった。
1		