

# プロジェクト中間評価報告書

評価委員会開催日：2019年12月17日

評価委員氏名（敬称略，五十音順）

黒田 一幸 早稲田大学 応用化学科 教授  
 柴田 直哉 東京大学 工学系研究科 教授  
 原 正彦 東京工業大学 総合理工学研究科 教授

確定年月日：令和2年3月24日

プロジェクト名	エネルギー変換・貯蔵システム用材料の基盤研究
研究責任者の氏名・所属・役職	高田和典 エネルギー・環境材料研究拠点 拠点長
実施予定期間	平成28年度～令和4年度
研究目的と意義	<p>本プロジェクトは、クリーンで経済的なエネルギーシステムを実現するために取り組むべき課題において、材料科学が大きな役割を担う分野に関する研究を行う。太陽光発電は環境調和社会で期待されるエネルギーフローの出発点であるクリーンな一次エネルギーの利用を可能とするものであり、二次エネルギーを高効率で利用するためには、高い性能を持つ蓄電デバイスが不可欠である。また、水素製造・利用技術はエネルギー貯蔵や運搬を可能とし、水素社会の実現に資するものである。さらに、これらのエネルギーは最終的には排熱となるが、それを再利用するものが熱電変換技術である。本プロジェクトはこれらのデバイスを実現する材料を研究開発の対象とし、さらに水素製造・利用やリチウム空気電池における共通課題である触媒材料と本プロジェクト全般に関わる理論計算をサブテーマ化し、研究基盤の確立を図る。</p>
研究内容	<p>太陽光発電では、低コスト化を目指したペロブスカイト系材料、高効率化を目指した量子ドットなどを利用した化合物半導体に取り組む。水素製造・利用では、水素製造用触媒、水素分離膜材料、固体高分子形水電解用電解質膜材料を対象とする。蓄電池に関しては、長寿命・高信頼性を目指した全固体電池、高エネルギー密度化を目指すリチウム空気二次電池、高出力化を指向するキャパシタをテーマとして取り上げる。熱電変換の分野では、未利用熱エネルギーの90%を占める300℃以下の排熱の有効利用を可能にするユビキタス元素系発電デバイスの実現を目的とする。電極触媒に関しては非貴金属化を主たるターゲットとし、計算科学の分野ではエネルギー変換・貯蔵に対する基盤的理論計算技術の開発と、各サブテーマと連携した材料・反応機構に関する応用計算を行う。</p>
ミッションステートメント（具体的な達成目標）	<p>本プロジェクトが網羅する太陽光発電、水素利用、エネルギー貯蔵、熱電発電に関わる材料の研究を通じ、材料系の機能実証を行う。太陽光発電ではペロブスカイト材料による低コスト化を見極め、水素利用では水素製造触媒の開発などを通じてシステム化の可能性を明確なものとする。蓄電デバイスでは、全固体電池、リチウム空気電池の機能実証を行うとともに、大面積キャパシタでの実用性能を達成する。また、熱電変換ではユビキタス元素系材料の開発と素子化を行う。さらに、水素製造、リチウム空気電池などに利用可能な触媒を開発するとともに、これら材料開発を加速するための大規模計算を可能とする。</p>

<p>平成23年度～平成25年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><b>1) 主な研究成果（アウトプット）</b>  太陽電池の研究では、ペロブスカイト太陽電池において新しい正孔輸送材料ならびに電子輸送材料の採用により、4000時間を超える耐久性の実現に成功した。また、非鉛系ペロブスカイト太陽電池においては、大面積セルで7%の変換効率を達成した。水素製造触媒に関しては、金属ニッケル（Ni）とイットリア（<math>Y_2O_3</math>）が組みひも状に絡みあうナノコンポジット触媒を創成し、従来の反応温度よりも300℃以上低い500℃以下における長期間（1000時間以上）の水素製造を可能とした。蓄電池の分野では、リチウム空気電池用電解質において金属リチウムの析出／溶解反応効率を95%以上とすることのできる複合添加剤、充電時の正極副反応を抑制する電解質溶媒の開発にも成功した。また、固体電池に関しては、簡便なスプレー塗工で作製したシリコン粉末電極が極めて高い負極性能を示すことを見出した。熱電変換に関しては、既存材料と比較して資源性の点で圧倒的な優位性を有するシリコン、アルミニウム、鉄のみからなる新規熱電材料を開発し、さらに小型化・量産化を可能とするモジュール化技術を構築した。電極触媒に関しては、理論予測に基づいて絶縁体である窒化ホウ素（BN）が酸素還元触媒および水素発生反応触媒として機能することを明らかにし、さらにBNを金微粒子で修飾することで白金に迫る性能を達成した。計算科学の分野では、密度汎関数理論とベイズ最適化を組み合わせた材料の高速探索法を開発し、固体電解質探索においてその有効性を実証した。また、高効率構造予測計算手法と密度汎関数理論計算を組み合わせることで、ヘテロ固固界面の高精度シミュレーションに成功した。</p> <p><b>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）</b>  ペロブスカイト太陽電池の長寿命化と非鉛化は、社会実装に向けた重要課題の解決に道筋をつけるものである。また、ナノコンポジット触媒の開発は、水素製造にともなう燃料消費と二酸化炭素放出の大幅削減につながるものである。リチウム空気電池用新規電解質の開発は電池実現の障害となる充放電繰り返し寿命の向上をもたらすものであり、固体電池におけるシリコン負極の実現は高信頼性の固体電池に高いエネルギー密度を付与するものである。また低コストかつ無害な熱電材料の発見とモジュール化は、熱電素子のIoT機器用自立電源としての応用につながるものである。さらに開発した窒化ホウ素触媒は水素製造・利用などにおけるコスト低減を可能とし、計算手法は材料開発を大きく加速するものと期待される。</p>
<p>中間評価時の進捗状況及び自己点検・評価</p>	<p><b>中間評価時の進捗状況</b>  ほぼ計画通りの進捗である。</p> <p><b>自己点検・評価</b>  ほぼすべてのサブテーマで計画に沿った進捗が得られている。さらに、ペロブスカイト太陽電池では実用的な寿命と非鉛化の可能性を実証し、熱電材料では室温付近で発電可能なユビキタス元素系材料の開発やそのモジュール化に成功するなどの顕著な進展がみられた。さらに、太陽電池、蓄電池、熱電変換素子に関してはIoT用電源としての実証も順調に進んでいる。</p>
<p>【評価項目】</p>	<p>コメント</p>

<p><b>①研究計画、実施体制、マネジメント、連携</b>  (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>	<p><b>【A】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・研究開発の方向性に全く問題はない。</li> <li>・サブテーマと達成目標も時に叶うもので、我が国の重要な研究開発の一翼を担っている。</li> <li>・定年制と任期制合わせて190名もの職員を擁し、豊富な外部資金も獲得するなど強力な推進体制がとられている。</li> <li>・ロードマップも適切かつ合理的な内容と判断する。</li> </ul> <p><b>【B】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・エネルギー材料開発の重要性はますます高まっており、重要なテーマである。</li> <li>・当初目標よりも進展しているテーマが多く、高く評価できる。</li> <li>・外部連携からも目立った成果が出ており、今後の発展が期待できる。</li> </ul> <p><b>【C】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・競争の厳しい分野で、その中で一定の成果を挙げている。</li> <li>・実用に向けた技術開発が盛んに行われているので、拠点としてのスタンス（開発や解析や機構解明が中心なのか）をより明らかにして、もし実用化を目標の一つにするようであれば、ロードマップのもう少し早い時期からスタートした方が良いと思われる。</li> </ul>
<p><b>②研究開発の進捗状況及び進め方</b>  (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>	<p><b>【A】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・各サブテーマにおいて有益な成果が多数出ており高く評価できる。</li> <li>・GREENの成果もプロジェクト推進に有効に働いていると評価できる。</li> <li>・ペロブスカイト太陽電池、リチウム空気電池、熱電材料などにおいて適切に資源配分がなされ、成果集積につながっている。</li> <li>・今年度プロセスサイエンス事業に採択されたのをうけて、固体電池系の計画についての見直しの必要はあるだろう。</li> </ul> <p><b>【B】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・各サブテーマ順調に研究が進展していると思える。</li> <li>・界面の理論計算に関しては、得られた新手法が材料開発側に積極的にフィードバックされるフェーズを期待する。</li> <li>・各テーマ、明確な実用化をイメージしたものが多く、今後とも最終的な実用化をイメージして頑張ってもらいたい。</li> </ul> <p><b>【C】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・総じて、自己点検・評価は妥当であると思われる。</li> <li>・GREENと内部連携しつつ進めていると思うが、その相乗効果を期待したい。</li> <li>・資金は少なくとも現状維持は必要と思われる。</li> </ul>
<p><b>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）</b>  (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)</p>	<p><b>【A】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・実績の高い構成員によるプロジェクトで、有益な世界レベルの成果が出ており、評価できる。</li> <li>・ただし、職員数に比して論文数は相対的に少ない。</li> <li>・ナノ材料分野の他の3件のプロジェクトの成果創出に比してやや見劣りすると言わざるを得ない。数よりは質であるのは勿論だが、戦略をもって情報発信を進めて頂きたい。</li> <li>・また、責任著者がNIMSではない場合の共著論文におけるNIMSの寄与については正確に評価し難い。</li> <li>・波及効果について評価するには時期尚早である。</li> </ul>

<p>対効果はどうか、セレンディピティー、ほか)</p>	<p><b>【B】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・着実に論文成果を報告しており、今後の発展が期待できる。</li> <li>・蓄電池や触媒は世界競争の激しい分野であるが、現在のポテンシャルを活かして今後更に世界を先導する成果が得られることを期待する。</li> <li>・画期的な蓄電池や触媒技術は即社会に大きなインパクトを与える分野であるので、引き続き研究力を高め、若手研究者育成にも尽力すべきである。</li> <li>・費用対効果は十分である。</li> </ul> <p><b>【C】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・論文のリストからの評価が難しい。</li> <li>・共同研究を行うことは良いことであるが、著者名を見る限り、成果発表のどこまでがNIMSのオリジナルか、このプロジェクト主導で行われたかが分かりにくい。</li> <li>・評価や手法の部分で参画することでも、社会的な波及効果の根底技術として重要な位置にあると思うので、オリジナリティ問題とはまた別に、これからの社会貢献に期待したい。</li> </ul>
<p><u>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)</u>  (質の高い成果は期待できるか、論文・特許数は十分出そうか、新技術や実用材料につながるか、多くの外部資金獲得・共同研究につながるか、他分野への波及効果は、ほか)</p>	<p><b>【A】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・外部資金獲得は力強く進められており、評価できる。</li> <li>・共同研究も活発に進められており、今後新技術創出も十分期待できる。</li> <li>・中間評価説明資料に記載されているリチウム空気電池に関する特記事項は大いに注目するに値する。</li> <li>・今後のリチウム空気系発展の鍵を握る重要なプロジェクトとして期待できる。</li> </ul> <p><b>【B】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・実際の材料応用に繋がる研究を明確に目指しており、評価できる。</li> <li>・NIMS オリジナルな材料、システム、評価技術などを明確に打ち出して欲しい。現状では、何がNIMS オリジナルで強みなのか、若干わかりづらい。</li> <li>・実用化が明確である点では、産業界とのコラボレーションがもっと活発になると良い。</li> </ul> <p><b>【C】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・社会的な波及効果は大きいと期待されるので、第5期科学技術基本計画の中での位置付けを重視し、国内外を先導するような研究開発に期待したい。</li> <li>・より質の高い成果が期待されるだろう。日本の得意とする、基礎技術に裏付けされた実用化への展開を期待する。</li> </ul>
<p><u>⑤総合評価</u>  (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>	<p><b>【A】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本プロジェクトはエネルギー関連材料研究の我が国における重要拠点であり、今後も強力で推進すべきプロジェクトであると評価する。</li> <li>・一方外部から見たときの本プロジェクトが生み出す成果のビジビリティについては高いとは言えない。</li> <li>・NIMS ならではの特色ある点は何なのか、改めて振り返ることも有意義ではないかと思う。</li> <li>・情報発信については国民に分かりやすい形で示す工夫・努力を重ねて頂きたい。</li> </ul> <p><b>【B】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・このまま研究を発展させて、次世代の環境・エネルギー技術の礎となる研究開発を行って頂きたい。</li> <li>・更に、国際的にインパクトのある研究成果を精力的に出して欲しい。</li> </ul>

		<p>【C】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 中間評価としては、ほぼ計画通り進んでいる。</li> <li>・ 評価報告書が、定量的にも分かりやすい表現であるとより良かったと思う。</li> </ul>
委員の評価点 (10点満点)		9, 9, 9
総合評価点平均 (10点満点)		9.0点
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 平均的なプロジェクトである。 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。
7		
6		
5	B	期待されたほどではない。 計画を見直して継続すべきである。
4		
3		
2	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。
1		