

プロジェクト事後評価報告書

評価委員会開催日：平成24年1月23日

評価委員：（敬称略、五十音順）

神谷信行（株）KMラボ 社長

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24年3月15日

プロジェクト名	ナノ構造化燃料電池用材料研究
研究責任者の所属・役職・氏名	環境・エネルギー材料部門 水素利用材料ユニット長（元燃料電池材料センター長） 西村 睦
実施期間	平成18年度～平成22年度
研究目的と意義	<p>これまで燃料電池の材料研究においては、既存の電解質と電極をベースにして耐久性改善、高出力化および低コスト化を図るという取り組みが主流であった。しかし既存技術の改良では、燃料電池の抱える問題を根本的に解決できず、燃料電池システムおよび水素の製造などに関わる材料のブレークスルーに基づく、新技術の開発が不可欠とされている。本プロジェクトは、将来における燃料電池の普及に資することを見据え、性能劣化の問題が生じにくい温度域（中低温）で作動する燃料電池を実現するための新材料開発を目的とした。その目的を果たすため、革新的な特性・効率、安定性を有する、ナノ構造化燃料電池用材料（固体電解質・電極材料およびスタック用金属系セパレータ材料）、水素製造用材料（燃料改質用触媒材料、水素精製用合金膜）を開発し、提示することを目指した。</p> <p>燃料電池・水素関連材料分野において、世界に先駆けて材料中のナノ組織・ナノ構造の理解と制御により、中低温作動用燃料電池を実現するための材料開発に取り組んだことは、本研究の大きな科学的・技術的意義といえる。材料制約が少ない中低温作動用燃料電池・水素製造材料の開発を加速させる本プロジェクトが成功し、将来的に燃料電池が広く普及して水素エネルギー社会が訪れた暁には、燃料電池・水素エネルギーシステムの利点と経済効果がそのまま社会的・経済的意義となる。すなわち、大幅なエネルギー効率の向上がもたらす省エネルギー効果、化石資源の大幅な節約、二酸化炭素排出低減、燃料電池自動車や家庭用燃料電池システムの普及など、極めて大きなインパクトを持つ。</p>
研究内容	<p>NIMSが保有する高度解析装置群などを活用して、対象とする物質内部、表面・界面のナノ構造と特性との関係を解析して、ナノ領域において発生する効果の解明を図る。研究を効率的に推進するべく、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。併せて特性の長期安定性を確保するためのナノ構造の制御方法を確立して、できるだけ白金(Pt)やルテニウム(Ru)、パラジウム(Pd)などの希少資源に頼らずに優れた性能と使用寿命を持つ中低温（200～500℃）用固体電解質・電極材料、Niフリーステンレス鋼系セパレータ、水素製造用燃料改質触媒、水素分離膜材料の開発を行う。</p>
ミッションステートメント（具体的な達成目標）	<ol style="list-style-type: none"> 1) Ni₃Al 箔のメタノール・メタン改質反応に対する触媒特性を大幅に向上させ、マイクロリアクター組立に必要な要素技術を確立する。 2) 既存の Pd-Ag 合金を超える性能の金属系水素分離膜を開発し、大表面積のモジュールを作製して特性評価を行う。 3) ステンレス鋼等が利用可能な、200～500℃において使用可能な燃料電池材料（固体電解質、電極材料）を開発する。中低温域で使用する材料の問題を十分に解析し、その問題点を解決する方法を提案する。 4) 通常の使用条件で金属イオン溶出量がSUS316L鋼よりも低い金属系セパレータ素材を開発し、プレス加工等でセパレータを作製して発電試験を行う。

<p>平成18年度～平成22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>	<p>1) 主な研究成果（アウトプット）： （サブテーマ1「金属間化合物触媒」） 新しい水素製造用Ni₃Al基金属間化合物触媒を開発した。Ni₃Al箔を用いて水素製造用マイクロリアクター組立に必要な要素技術を確認した。 （サブテーマ2「水素分離膜」） Pd-Ag合金を超える性能のV-15Ni合金膜を開発した。ステンレス鋼製支持体とメタルガスケットを用いて、透過面積14cm²の水素透過モジュールを作製し、100sccm (standard cc/min)を超える大流量での評価を行い、完全な不純物ガス分離を確認した。 （サブテーマ3「固体電解質」） Nafion-1, 2, 3-triazole膜を開発し、160℃まで安定なプロトン伝導を確認。高分子系材料で、200℃以上で安定な材料開発に目途をつけた。500℃以下の温度で高性能を有する酸化物形燃料電池用ドープドセリアにおいて、固体電解質内および固体電解質/電極（カソードおよびアノード）における界面の解析を行い、電極と電解質界面間の双方の成分の等距離拡散が高い抵抗を生む原因であることを解明した。このような電極・酸化物間の成分の拡散層を持ちながら、カソードやアノードとしても高い性能を持つ、電極・電解質界面の作製に成功した。高分子形燃料電池発電性能で、その有用性を実証した。 （サブテーマ4「スタック材料」） イオン溶出量が通常のスチンレス鋼に比べ1/100以下の高窒素鋼セパレータを開発した。そのセパレータを組み込んだ単セルによる発電試験で、1000時間の連続測定を行い、優れた長寿命性を確認した。</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）： （サブテーマ1「金属間化合物触媒」） 触媒特性と耐熱構造特性の2つの機能を備えたNi₃Al基金属間化合物箔を用いて、低コスト、小型、高効率の水素製造が期待できる。 （サブテーマ2「水素分離膜」） 燃料電池用高純度水素を従来のPSA（圧カスイング吸着）法よりもはるかにコンパクトなシステムで、省エネルギー、低コストで製造することが期待できる。 （サブテーマ3「固体電解質」） ステンレス鋼が使える温度である200～500℃において利用可能な燃料電池の開発が期待できる。 （サブテーマ4「スタック材料」） カーボンセパレータに代わり、ステンレス鋼セパレータが適用可能となり、固体高分子形燃料電池の低コスト化に貢献できる。</p>
<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>	<p>プロジェクトの目標の達成度合い： 全てのサブテーマについて研究が順調に進展し、目標をほぼ達成できたといえる。</p> <p>自己点検・評価： 目標としてあげた200～500℃での材料検討は、燃料電池分野では未踏領域であり、プロジェクト開始当時、世界に先駆けてこれに挑戦した。5年間で水素製造用材料、燃料電池用固体電解質・電極、セパレータ材料について、材料中の微細組織や界面などを解析して、特性の阻害要因を明らかにして、高性能化・長寿命化をほぼ達成し、またシステムに組み上げるために必要となる加工性を付与し、モジュール化にも目途をつけたので、当初の目標はほぼ達成したといえる。 既に開始している第三期中期計画（平成23年度～27年度）においても、実際のセルおよび改質システム・分離膜システムを明確に描きながら特性向上と長寿命化の努力を継続する。</p>
<p>【評価項目】</p>	<p>コメント</p>

<p>①研究計画、実施体制、マネージメント、連携 (計画はきめ細かったか、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、どこが問題なのか、ほか)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 研究計画、実施体制、ロードマップについては大きな問題はなく、妥当である。 ・ 中低温作動燃料電池は、エネルギー高効率化等の社会からのニーズに応えるためには重要な課題であり、テーマ設定としては的を射ている。 ・ 燃料電池の実用化への道筋は遠いようで、急がなくてはならない大きな課題である。本プロジェクトグループは燃料電池用の材料として開発が急がれている、水素製造、電解質、セパレータについてナノレベルでの基礎研究を計画し、実施してきた。限られた人数の研究員を動員して、それぞれのサブテーマ間の情報交換を行い素晴らしい成果を挙げている。 ・ 基礎研究ということでそれぞれのサブテーマを完全に融合することはできないが、それぞれのグループの成果を共有し、サブテーマごとの研究に生かすことは極めて有効である。 ・ NIMS内部のグループ間の連携は、中性子回折等の解析手法や、イメージングや薄板化等の開発においても、また発電評価システム設計でも行われており、連携は十分に図られている。また、外部との連携も、連携大学院、学独連携、そして産業界や海外の機関とも人的交流を含む形で行われている。プロジェクトとして高い評価ができる。 ・ 国内外との連携の成果に関しては、主要研究成果資料やプレゼンテーションを見る限りでは十分とはいえない。特に、海外の多くの機関との連携が書かれているが、役割分担がある連携ではなく、人材交流だけに終わっているように思われる。
<p>②研究開発の進捗状況及び具体的目標の達成度 (研究責任者の自己点検・評価を踏まえて、進み具合はどうだったか、目標は達成されたか、目標は具体的であったか、世界レベルで見ると目標は高かったか・低かったか、問題点は何か、ほか)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 全体的に見て当初の研究目標は達成している。 ・ 研究開発の進捗状況としては順調であり、多くの難しい目標がいくつか達成されている。 ・ V (バナジウム) 系水素分離精製膜等に関しては十分な進捗が見られ、この分野で世界をリードしていると言える。 ・ SOFC (固体酸化物燃料電池) の自動車への応用に関しては、日本が世界をリードしてきたが、本プロジェクトで開発されたセリアベースなら低温化による長寿命化や低コスト化が可能であり、近い将来における実用化が大きく期待できる。 ・ 研究成果は国際誌への論文の掲載数、被引用回数からも明らかであるが、国内だけでなく海外の研究機関との連携も有効に寄与している。世界レベルの研究であることが分かる。 ・ 今後この基礎研究で得られた結果を実用レベルまで引き上げることが必要である。 ・ 燃料電池に関しては、当初の中低温領域に絞って研究を進めるべきである。 ・ 各サブテーマで高性能のものはできているが、ナノ構造と特性の関係が必ずしも明確でないところがある。次プロジェクトでは、本プロジェクトの目的にもあるようにナノ構造を制御して特性を向上させることも試みてほしい。 ・ ほとんどのサブテーマで、材料の耐久性に関する評価がされていない。今後の研究の進捗を期待する。 ・ 次プロジェクトでは、具体的な数値目標を設定し、その特性と耐久性を同時に評価することが重要である。

<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）</p> <p>（世界レベルの質の成果が出たか、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、問題点は何か、ほか）</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・レベルの高い国際誌への論文の掲載は、研究のレベルの高さをはっきりと示している。 ・多くの研究成果が、高いレベルの雑誌に掲載されており、研究の質は高い。 ・多くの論文が公表されており、被引用回数が多い論文も出されているとのことで、アウトプットとしては十分である。 ・特許も多く出願されており、大きな波及効果が期待できる。 ・希少金属を代替する材料を提案するサブテーマが多く、燃料電池、水素精製の分野に強いインパクトを与えるプロジェクトであり、その成果も出つつある。 ・基礎研究が主であるので耐久性など長期にわたるデータはまだそれほど得られていないが、NIMSのこれまでの実績、ノウハウから今後さらに多くの材料が開発されると思うので、これらから実用化できる新規な材料の創製が期待される。 	
<p>④総合評価</p> <p>（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があれば追加してコメント）</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・総合的にすぐれたプロジェクトであったと判断できる。 ・研究の進捗、成果の報告などから総合的に判断して高く評価したい。 ・研究成果が多くの論文として発表され、また若手の研究員が国際会議で多くのAwardを受賞している。 ・限られた研究員数で高い研究を進めることは並大抵ではないと思うが、国内だけでなく国際的な連携からぜひトップを目指した研究を期待したい。 	
<p>各委員の総合評価点 （10点満点）</p>	<p style="text-align: center;">9、9、9</p>	
<p>総合評価点平均 （10点満点）</p>	<p style="text-align: center;">9.0</p>	
<p>総合評価点</p>	<p>評価</p>	<p style="text-align: center;">評価基準</p>
<p>10</p>	<p>S</p>	<p>全ての点において模範的に優れていた。</p>
<p>9</p>		<p>多くの点において非常に優れていた。</p>
<p>8</p>		<p>総合的に優れていた。</p>
<p>7</p>	<p>A</p>	<p>優れたプロジェクトであった。</p>
<p>6</p>		<p>平均的なプロジェクトであった。</p>
<p>5</p>		<p>一部の計画の見直しが必要であった。</p>
<p>4</p>	<p>B</p>	<p>期待されたほどではなかった。</p>
<p>3</p>		<p>計画を見直して継続すべきであった。</p>
<p>2</p>		<p>プロジェクトの見直し、計画の抜本的な変更が必要であった。</p>
<p>1</p>	<p>C</p>	<p>大きな問題があり、プロジェクトを中止すべきであった。</p>