

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11日

評価委員：（敬称略、五十音順）

潮田浩作 新日鐵住金（株）技術開発本部 フェロー

落合庄治郎 京都大学構造材料元素戦略研究拠点 副拠点長

丸山公一 東北大学名誉教授

山本真人 （一財）電力中央研究所材料科学研究所 上席研究員

確定年月日：平成26年2月24日

プロジェクト名	元素戦略に基づく先進材料技術の研究
研究責任者の氏名・所属・役職	土谷浩一 元素戦略材料センター長
実施予定期間	平成23年度～平成27年度
研究目的と意義	<p>我が国の基幹産業を支える重要な部品材料の製造において、資源確保が困難になる可能性のあるDyやPtならびにNiなどの希少元素への依存を低減しても、同等またはそれ以上の特性を発現できる材料を開発する。具体的には自動車・エネルギー・環境産業での基幹材料として、鉄鋼・チタン合金・マグネシウム合金・アルミニウム合金等の構造材料、ネオジム磁石に代表される磁石材料、自動車排ガス用の触媒材料等を取り上げ、これらにおける希少元素の減量・代替・循環のための材料技術を開発する。</p> <p>レアメタルを出来るだけ使わずにユビキタス元素からなる材料によって優れた特性を具現することは、現在の材料科学・工学にとって最重要の課題であり本プロジェクトの意義は深い。材料特性の従来の壁を、ヘテロ微細構造の活用（構造材料）、元素機能の解明（磁性材料）、ナノフラワー材料（触媒）、メゾポーラス材料（資源回収）のトポロジーの活用で突破しようとするものであり、挑戦的である。ヘテロ構造組織の計測技術、組織形成と特性予測シミュレーション技術、組織制御技術などは学術的価値が高い。</p> <p>将来、レアメタルの需要や重要性は一層増大する。グリーンイノベーションの推進には、レアメタルを始めとする資源供給上の制約が大きい元素の安定確保やリサイクル、さらに使用量の低減技術の開発は極めて重要な課題であり、本プロジェクトの重要性は大きい。</p>
研究内容	<p>構造材料については、微視組織の不均質性（ヘテロ構造）を活用することによって希少元素使用量を低減した上で高比強度化などを達成するとともに、微細組織を精緻に解析・予測する計測・シミュレーション技術を開発する。磁性材料については、材料中における希少元素の存在位置を解明し、保磁力発現との関係を明らかにすること等を通じて、Dyフリーの高保磁力・高エネルギー積ネオジム磁石材料の開発に必要な微細組織制御法を確立する。触媒材料については、貴金属使用量の大幅削減のために、中空形状の形態を備えたメタリック・セルを担持材料に用いることによって従来触媒と比べて大幅に優れた熱凝集耐性を実現する。また、使用済み製品からの希少元素の高選択性高効率抽出を常温・常圧下で実現する新しい材料技術を確立する。</p>
ミッションステートメント（具体的な達成目標）	<p>本プロジェクトは元素戦略に基づく研究であり「希少元素を出来る限り使わずにユビキタス元素活用などによって要求特性を達成する」は当然の前提条件である。構造材料研究においても、中長期的視野に立った挑戦的課題を遂行する。すなわち、従来特性の壁を打ち破る夢のある材料、実用化につながる革新的シミュレーション、統一理論構築につながる革新的ナノ計測技術、インフラ老朽化やシステム革新への対応技術などを達成する。</p> <p>触媒材料の合成や希少元素の抽出は、これまで主に高温冶金プロセスであった。使用済み電子機器由来の都市鉱石からの希少元素の抽出循環を経済的に見合うものとするためには、この高温プロセスから脱却する新規なプロセスへ挑</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>戦する。また、都市鉱山からのレアメタル抽出から高付加価値材料への一貫した循環プロセスの構築という新しいレアメタルマネジメントの実現を目指す。</p> <p>1) 主な研究成果（アウトプット）： NIMSの強みである組織制御技術を生かし、ヘテロ組織活用による耐水素性に優れた高強度－高靱性低合金鋼の開発、βチタン合金の強度・延性バランス向上が実現した他、ユビキタス耐候性の溶接性についてボロン添加による強靱化効果を明らかにした。また、局所力学挙動解析技術によって、鉄合金中の固溶元素が力学挙動に及ぼす影響を明確化した。さらに複雑な実用材料の有限要素解析を可能にするために、ポロノイ分割法を拡張し複数の相が混在する多結晶や複相組織に対しても組織形態が抽出を可能にした。3DAP（3次元アトムプローブ）などを活用したマルチスケール組織解析により、ネオジム磁石の高保磁力機構の解明やマグネシウム合金の高強度化をユビキタス元素で達成した。触媒材料ではCuOナノフラワーが優れたNOx分解特性を示すことを発見し、白金を全く用いない触媒の実現に成功した。また高分子で修飾したメソポーラスシリカ材料（HOM, high-ordered mesoporous monolith）を用いたコバルトなどのレアメタルや白金などの貴金属の回収方法を実現した。</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）： 高強度低合金鋼、βチタン合金、ユビキタス耐候性鋼は橋梁、海洋構造物などの社会インフラ構造物の長寿命化に寄与すると期待される。CuOナノフラワーは世界に類のないNIMS発の独自材料であり、原料価格の面からも高い競争力を備えており自動車触媒などへの応用展開が期待される。HOMによる希少資源回収技術は今後、反応効率、抽出速度、再利用による非劣化率などを、さらに評価する事で、都市鉱山を活用した戦略的レアメタル単離抽出技術へと発展する可能性がある。</p>
<p>中間評価時の進捗状況及び自己点検・評価</p>	<p>中間評価時の進捗状況： ほぼ計画通りに進捗している。</p> <p>自己点検・評価： NIMS 構造材料研究の材料シーズと組織制御技術を活用し、低合金鋼の高強度－高靱性化、耐候性鋼、マグネシウム合金、チタン合金などで優れた材料と、構造部材化のための溶接技術、被覆技術が開発されつつある。一方高機能TEM（透過電子顕微鏡）、3DAP やナノインデンテーション法などのナノ解析技術を活用し、固溶強化機構や保磁力発現機構などの材料特性の本質に迫る研究が行われている。触媒、希少資源回収はNIMSとしては比較的新しいチャレンジと言えるが、いずれも世界に比類のないNIMSオリジナルの技術が確立されつつある。</p> <p>今後、上記の個別材料課題に元素機能解明という体系的な現象の理解を進める事も必要であり、サブテーマ間の連携のさらなる強化と、計算科学との連携強化が必須であるが、これらの分野の有能な研究者補充がされつつあり、今後の展開が大いに期待できる。</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"> ・資源や希少元素（レアメタル）の枯渇が、大きな経済・社会問題となっている。ユビキタス元素の利用とヘテロ構造制御で材料機能を確保する指導原理を構築し、希少元素の使用を減らすという社会的要請の高い研究である。 ・構造材料を対象とする4サブテーマ、機能材料を対象とする2サブテーマ、構造材料・機能材料の両方を対象とし原子の存在位置・組織形成で全サブテーマに助言する1サブテーマ、合計7サブテーマに、有力研究者と若手を配置し、内外の研究機関と連携をとりながら、研究を進めている。 ・元素戦略を切り口に、7つのサブテーマからなる大きなチームである。リーダーシップを発揮して、多くのメンバーをまとめている点は評価できる。 ・研究計画の対象は広く、4つの分野毎に目標を共有化し、適切なマネジメントを行っている点も良い。 ・希少元素の使用低減のみならず組織制御技術を活かした新たな構造材料、機能材料の創造、またこれに必要な分析技術、計算技術の確立が適切に盛り込まれた計画となっている。 ・ヘテロ構造制御およびこれに関連した各種ツールの開発も行っている。 ・計画・ロードマップ・体制・マネジメントに特に問題はない。 ・高い目標に向かってそれぞれのサブテーマの研究が推進され、中堅の登用・若手の育成も実行されている。 ・若手をサブテーマリーダーに登用し、次世代指導者の育成にも努めている。 ・今後の継続研究では、各サブテーマの特徴ある研究の進展とともに、サブテーマ間での情報・手法の共有や内外の研究機関との連携・相互作用効果による、研究の加速あるいは新たな展開にも期待する。
<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"> ・元素戦略研究の目標は基礎学理の構築とその応用に関する基盤的研究で社会に貢献することであり、各研究主題の学理・技術の進展状況に応じて、いずれに主眼を置いてもよい。計画通りに(ただし、研究状況に応じて臨機応変に)、研究にまい進してほしい。 ・サブテーマにより進捗は異なるが、ほぼ計画通りに進捗している。構造材料においては多くの貴重な新知見を獲得している。機能材料においても、貴金属フリーの触媒材料や画期的なHOM センサーに関する進捗があった。 ・研究は計画どおり、順調に行われている。 ・有名雑誌掲載論文、会議収録、招待講演、特許のリストやトピックス的成果紹介から、目標値が高いなか、研究はほぼ計画通りに進んだと判断される。また若手育成にも寄与している。研究責任者の自己点検・評価は妥当である。今後もこのペースで研究・若手育成を進展させてほしい。 ・各サブテーマとも、短期間に予定された装置開発、材料開発を終えるのみならず、研究目標に合致した良好な結果を得ている。 ・次の点に関して高く評価される成果を得ている。— 低合金鋼で高強度と高延性を達成。希土類元素なしで高強度・高延性なマグネシウム合金を開発。ナノインデンテーションによる微視領域での力学特性の解明。焼結磁石の保持力メカニズムを解明。白金を使わない排ガス触媒を実現。NIMSオリジナルなシーズを発展させ、貴金属回収技術を開発。 ・新規性のある特性を持つ構造材料、あるいは新たな機能の発現が研究中期の早い段階で確認されていることが高く評価できる。 ・構造材料では、研究目的において注目した特性のみを比較するのは危険と思われる。たとえばサブテーマ3の強靱鋼は強い方位依存性を有する

	<p>ため、荷重方向によっては低い靱性を示すことが想定できる。健全性を保つために必要な特性は他にも多くあり、これらを開発研究の初期段階から評価し、幅広く材料特性を捉えることが重要と思われる。</p> <ul style="list-style-type: none"> 平成26年度からの計画では、学理構築・設計指針の創出を目指すグループと実応用に向けた材料創製や技術の構築を目指すグループがあるが、それぞれの社会的要請や研究の到達状況などから判断して、妥当と考える。 研究対象が広いので、今後は、分野毎の目標の共通認識化を再度行い、それに向かったシナリオを描き推進することが望まれる。
<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"> プロジェクト全体としては、実に多くの論文発表やプレス発表をしている点は良い。また、多くの基本特許の出願も評価できる。 著名雑誌での論文掲載、招待講演の多さは評価の高さを物語っている。 研究成果を論文、発表として発信しており、招待講演、受賞などでも評価されている。CuO ナノフラワーは期待を超える成果である。この様に、アウトプット、アウトカムでも評価できる。 構造・機能材料の組織形成、物性評価、メカニズムの検討、新規材料の実現、高機能達成など、希少元素に頼らない材料科学・技術の基盤となる先端的成果を生み出している。 希少元素を使わないあるいは減じた構造材料での強度とねばさの両立、高耐候性・高耐食性の実現、機能材料での高機能性（触媒、磁石）の実現など、安全・安心・快適社会に貢献するものと期待される。 実験および計算技術については、主要成果2の微細組織観察技術が優れており、広い研究分野での活用が期待される。 主要成果4～7の取り組みにより、NIMSの持つ結晶制御技術が新たな特性を有する材料の創製に役立つことが示され、インパクトが強い成果となっている。 今後は分野毎の戦略的な取り組みが重要であろう。また、要素技術を更に深化させるとともに、個別課題においては産業界と意識的に交流し連携を深め、具体的な課題でスピンアウトなどの発展を期待したい。 他国の研究も急進展している。設定した高い目標に向かってまい進してほしい。
<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"> 総合的に見て概ね計画通りに進捗している。 元素戦略課題に多面的に取り組む多くの新知見を獲得した点は評価できる。 ヘテロ構造制御による材料設計は、学理としても重要な学問分野である。独立行政法人の研究であり、学理への貢献も大いに期待したい。 社会的に要請されている課題に、高い研究能力を持つ研究者と若手からなるグループを構成して、高い目標に向かって研究を展開している。NIMSの持つシーズを活かしながら、順調に研究成果を挙げ、人材育成にも貢献したと評価される。 結晶制御技術を用いて構造材料の開発を行うことは、様々な特性のバランスを取り新たな材料を短時間に開発できる可能性のあるパワフルな技術であり、これを着実に推し進める研究として高く評価できる。 元素機能の基礎的解明と言う切り口で、出口を意識しながら解析と計算の融合も活用して基盤研究を推進している点も良い。 構造材料については研究の初期段階からより多くの機械的特性に注目し創製された材料の評価を行うことが重要と思われる。 ユビキタス元素の利用や希土類元素の代替という視点のアウトプットが明瞭でないように感じる。ユビキタス元素の利用には何が必要か、希土

		<p>類元素の代替はどのように進めるべきかなどのアウトプットも明確に打ち出すと良いと思う。それが無いと「ヘテロ構造制御」という JST 産学共創プログラムで行ったプロジェクトと似たものになるように思う。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 今後は個別課題毎に具体的に企業連携を行い実用化に向けた発展を図って欲しい。これに加え、元素機能に関して徹底的な基盤研究を期待したい。そのためにも、最終目標をプロジェクト全体、サブテーマ毎に再共有化し、シナリオを描き着実に推進することを期待したい。 ・ サブテーマ間の有機的な連携を通した新知見の獲得も期待する。 ・ 元素機能の基礎学理から見た国土強靱化への具体的な新提案を一つでも多く期待したい。
各委員の総合評価点 (10点満点)		8、8、9、9 (順不同)
総合評価点平均 (10点満点)		8.5
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。