

プロジェクト事前評価報告書

評価委員会開催日：平成20年7月23日

評価委員：(敬称略、五十音順)

小野田雅重 筑波大学 大学院数理物質科学研究科 准教授

河本邦仁 名古屋大学 大学院工学研究科 教授 (書面評価)

堀尾裕磨 ヤマハ株式会社 プロダクティブテクノロジー事業戦略推進部 マネジャー

確定年月日：平成20年8月26日

プロジェクト名	高温廃熱利用を可能にする高効率新規熱電材料の開発 (「未利用熱エネルギー回収のための高温用新規熱電材料」に改題)
研究責任者の所属・役職・氏名	材料ラボ エコエネルギーグループリーダー 篠原嘉一
実施予定期間	平成21年度～平成25年度 {但し、平成22年度 (第二期中期計画終了年) にプロジェクトの後半のあり方を見直す}
研究の目的と意義	<p>2008年4月に京都議定書が発効した。日本の温室効果ガスの削減目標は5年後に1990年比で6%削減であるが、既に7%以上増加している。これには2050年に50～70%削減という国際公約を踏まえて、抜本的な対応が求められる。日本が発生する温室効果ガスの約90%はCO₂であり、その大半が石油・石炭・ガスなどの化石燃料の燃焼によるものである。温室効果ガス削減のためには、再生可能エネルギーへの転換と共に、エネルギーを最後の一滴まで有効に利用する技術の開発が必須となっている。</p> <p>固体のゼーベック効果を利用した熱電発電素子は、熱を電気エネルギーに直接変換することが可能で、世界中で放出される膨大かつ分散された排熱を効率的に電力に変換できる技術として極めて重要である。熱電材料におけるフロンティアは複合構造と言える。熱電発電はバルクアプリケーション故に、高性能バルク熱電材料の開発が必須である。結晶構造の中に複合構造を元々含有する物質の探索・創製、プロセスによるマイクロ組織の複合構造制御がブレークスルーの鍵になると考える。</p> <p>そこで本研究では、結晶内および結晶粒・析出物における複合構造が熱電特性に与える影響を明らかにして中高温域 (500～1500K) で利用可能な高性能熱電材料を創製すること、およびそれに適応する電極形成技術を新たに開発することにより、高温廃熱利用を可能にする発電デバイス実用化の道を新たに拓くことを目的とする。これにより、エネルギーの有効利用による温室効果ガス削減という強い社会ニーズに応える。</p>
研究の概要	<p>本プロジェクトのサブテーマ1「異常熱起電力物質の探索と熱電特性制御」では結晶構造内における鎖状構造の効果を明らかにすることで、高い熱起電力と導電率を両立させる物理的機構の理解を深め、その制御要因を明らかにする。サブテーマ2「原子ネットワーク物質の創製と熱伝導率の制御」では結晶構造内におけるクラスター構造の効果を明らかにすることで、新規な高温用 (800～1500K) 材料の開発を行う。サブテーマ3「実用材料プロセスと電極形成技術」ではマイクロ組織における複合構造の効果を明らかにすることで、中温用 (500～800K) の金属ケイ化物を対象とした材料開発を実施するとともに電極形成技術開発も図り、熱電発電素子実現の道を拓く。</p>
ミッションステートメント (具体的達成目標)	<p>トレードオフの関係にある熱起電力と導電率の両立および格子熱伝導率の自在制御を可能にする物理学的・材料科学的知見を見出して制御手法を明らかにする。材料創製を通して制御手法の有効性を実証し、さらに既存の材料の熱電特性を上回</p>

この事前評価は課題提案の最初の段階で行ったものです。特に事前評価では厳しく評価をしてもらっています。この結果を基に研究内容・計画等をブラッシュアップして、研究は実施されます。

	<p>る新規高温用 (800~1500K) 材料の開発を行う。これらの研究で得られる知見を生かしながら中温用 (500~800K) 金属ケイ化物の高性能化を達成するとともに、電極形成技術の開発を実施する。</p>
【評価項目】	コメントおよび評価点
①目的・ミッションステートメント (具体的達成目標)	<ul style="list-style-type: none"> ・熱電材料は、高温廃熱利用を可能にする発電デバイスであり、環境にやさしいエネルギー源でもある。20世紀末にこの種のテーマが特に注目されるようになり、現在は、より高性能な熱電材料開発が囑望されている。本プロジェクトは、物質創製から実用化までを視野に入れて研究する体制をとっており、期待がもてる。 ・5年の期間のプロジェクトを想定しているが、物材機構の第二期中期計画の残り2年間の具体的研究内容・計画の記述があるだけなので、その期間でやるという観点からすると、目的、内容、計画をもう少し見直してブラッシュアップする必要がある。具体的な指摘は④項に示す。 ・バルクでZT (無次元性能指数) ~2という目標値は、社会的に意義があると考えられる。ただし、この目標達成のためのプロセス、手段が、現時点では不十分であると感じられ、このためには、サブテーマ1と2の連携を明確にした方がよい。 ・本プロジェクトの開発材料と、世の中に報告されている薄膜でZTが非常に高い物質との差別ポイントを明確にした方がよい。
評価基準	<p>評価点 (1~10の10点満点) :</p> <p>9 : 大変魅力的で高いレベルを目指しており、説得力がある。</p> <p>7 : 目的・達成目標がよく考えられている。</p> <p>5 : 妥当である。</p> <p>3 : もう少し考慮の余地がある。</p> <p>1 : 重要性が感じられず、魅力を感じない。説得力が無い。</p>
各委員の評価点	7、7、7 (順不同)
平均評価点	7.0
②学術的側面での意義・独創性	<ul style="list-style-type: none"> ・高効率熱電材料の学術的基礎 (特に電子相関性と熱電能の関係) には、まだ不明な点が多く、今後の基礎研究の進展に期待するところが大きい。研究対象物質はより広げた方がよいと思われる。 ・研究責任者らはn型ボロン化合物の発見、n型シリサイドの開発などをすでに行ってきており、学術的には高いレベルの能力を有している。また、過去にモジュール開発なども手がけ、技術的にも優れた実績を持っている。これまでの成果等をベースに計画している本研究は独創性が高く、独自の研究開発分野を切り開く可能性を持っているといえる。 ・サブテーマ1の「高いS (ゼーベック係数) とσ (電気伝導率) の両立、要因の解明」という表現そのものは独創的とはいえないので、この解明を具体的にどのように行うかの点について、説明がほしい。CaCo₂O₄の一次元特性を詰める方針は良い。 ・サブテーマ2も、サブテーマ1と同様に目的が「解明」というように受けとれる。解明することがどう生きるのか (例えばサブテーマ3の研究への寄与) について、具体的な例を挙げた説明が欲しい。

この事前評価は課題提案の最初の段階で行ったものです。特に事前評価では厳しく評価をしてもらっています。この結果を基に研究内容・計画等をブラッシュアップして、研究は実施されます。

	<p>評価点（1～10の10点満点）：</p> <p>9：高い独創性で大変意義があり、この点において国費を投入する価値がある。</p> <p>7：科学的・技術的に大変意義がある。</p> <p>5：平均的である。</p> <p>3：学術的意義が低い。</p> <p>1：全く感じられず、この点において国費は投入すべきではない。</p>
評価基準	
各委員の評価点	7、5、8（順不同）
平均評価点	6.7（小数第二位以下四捨五入）
③社会的・経済的側面での意義	<ul style="list-style-type: none"> ・地球温暖化問題への認識が世界的に高まり、温暖化ガスの排出削減が大きな課題となってきた国際的、社会的状況のもとで、産業界の取り組みが極めて重要になっている。熱電変換技術は廃熱回収・電力変換を通してエネルギー利用効率を高め、間接的にCO₂排出抑制に資することができるため、産業界でもこれに注目し、技術開発に力を入れ始めている。国としても、将来のエネルギー・環境技術の中で重要な位置を占めることが期待されている熱電変換材料・システム技術を着実に開発して行かなければならない。その意味でも本プロジェクトの社会的・経済的な意義は極めて大きい。 ・現時点の研究成果ではまだ不明であるが、今後の進展によっては実用材料になる可能性はある。高効率熱電材料が開発されれば、エネルギー産業界にとって重要な貢献を果たすだろう。 ・サブテーマ1と2の知見が、サブテーマ3にできるだけ早くフィードバックできるのであれば、全体として社会的意義は大きい。 ・Mg-Si材料の高性能化、素子化の意義は非常に大きい。ポイントは毒性元素を含まないことと、資源が豊富なことである。サブテーマ1のコバルトはレアメタルなので、どちらかというとなマイナスイメージである。 ・製造プロセスの低コスト化意識が欲しい、例えば、2度溶解プロセスはコスト面から好ましくない。
評価基準	<p>評価点（1～10の10点満点）：</p> <p>9：大変意義があり、この点において国費を投入する価値がある。</p> <p>7：意義は大きい。</p> <p>5：平均的である。</p> <p>3：社会的・経済的意義は小さい。</p> <p>1：意義が全く感じられず、この点において国費は投入すべきではない。</p>
各委員の評価点	9、7、7（順不同）
平均評価点	7.7（小数第二位以下四捨五入）

この事前評価は課題提案の最初の段階で行ったものです。特に事前評価では厳しく評価をしてもらっています。この結果を基に研究内容・計画等をブラッシュアップして、研究は実施されます。

<p>④研究内容・計画・ 予算計画 マネージメント・研究 推進体制</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・研究内容、計画をもう少し絞り込んで、目標をクリアにして研究推進する必要がある。 ・最初の2カ年分（物材機構の第二期中期計画の残り年数）の計画については特に問題はない。その後の計画が重要であろう。 ・計画や体制に関しては、ほとんど説明がなかった。計画を示すなら、もう少し細かい線表とマイルストーンを設定すべきである。 ・3つのサブテーマで開発材料が異なっている。中温～高温にわたる廃熱温度に対応するためであるが、それぞれがバラバラに研究開発するだけで、どう連携するのか見えない。モジュール化を考えると、例えば高温用途に対しては低・中・高温材料を組み合わせた構造を取らざるを得ないので、その点を想定していることも目標・計画に盛り込みたい。 ・高温廃熱発電をターゲットにするなら、開発材料（特にボロン化合物、シリサイド）の酸化防止をどのように講じるかのアイデアが欲しいし、それを実現するための具体的検討事項を明示して欲しい。 ・開発対象としているコバルト含有酸化物は、これまで日本を中心に精力的に開発されてきた層状コバルト酸化物の誘導物質と捉えることができる。この物質の熱電特性が、層状酸化物に比べて優れているならば物理的起源を調べる意義があると思う。しかし、性能向上の可能性がなければ、二次元 → 一次元化があったとしても基本的には二次元層状の場合のメカニズムと大差ないものが出てくるだけで、あまり学術的な成果は得られないであろう。仮に熱電特性以外の材料特性、安定性、易合成性等に優れていて、実用化への展望があるならば、それはそれで検討の余地はあると思う。その場合には、一次元構造を揃えて配向組織化するプロセスの開発をやらねばならないことを念頭においておく必要があろう。 ・サブテーマ3で、高性能なn型シリサイドをすでに開発しているのは評価される。しかし、今後2年間で集中的にやって欲しいのは、電極の開発ではなく、n型のパートナーになるべきp型シリサイドの開発である。まずはこれに専念すべきと思う。もしも2年以内に目処が立てば、電極の検討を始めてよいであろう。p型化ができなければ電極の検討は意味がない。類似組成系でp型化が可能になれば、高温電極を検討するよりもp-n直接接合を目指すほうが得策かもしれない。さらにいえば、オキサイド、ボロン化合物材料との組み合わせ次第では、金属電極の検討も不要になるかもしれない。 ・目的の実現可能性に対する説得力は低い。もう少し、具体的な道筋が欲しい。予算に関しては問題ないと思う。 ・申請研究費はちょっと多すぎる印象を受ける。例えば科研費、JST や JSPS の各種プロジェクトなどと比べて多い。
<p>評価基準</p>	<p>評価点（1～10の10点満点）： 9：よく練られた内容で、目的達成が期待できる。奥行きもある。 7：よくまとまっている。 5：平均的である。 3：内容の修正が必要である。 1：問題が多く、プロジェクトを実施すべきではない。</p>
<p>各委員の評価点</p>	<p>3、 6、 7（順不同）</p>
<p>平均評価点</p>	<p>5. 3（小数第二位以下四捨五入）</p>

この事前評価は課題提案の最初の段階で行ったものです。特に事前評価では厳しく評価をしてもらっています。この結果を基に研究内容・計画等をブラッシュアップして、研究は実施されます。

⑤総合評価	<ul style="list-style-type: none"> ・高効率熱電材料の創製・実用化は、社会的ニーズの高い研究テーマの一つである。 ・電子相関性と熱電能の関係を正しく解明するには、本プロジェクトで掲げられた研究内容を超える必要がある。他方、新たな熱電材料を探索する研究も進める必要がある。 ・テーマ、目的は優れているので、目標達成のためのプロセス、マイルストーン、時期、ブレークダウンした計画、をもっと詰めて説明するべきである。 	
	評価基準	<p>総合評価点（1～10の10点満点）：</p> <p>9：すべての点において模範的に優れている。</p> <p>7：総合的に優れている。</p> <p>5：平均的なプロジェクトである。</p> <p>3：期待されたほどではない。計画の見直しが必要である。</p> <p>1：上記評価項目①～④の評価結果に大きな問題があり、研究を実施すべきではない。</p>
	各委員の評価点	7、7、7（順不同）
	平均評価点	7.0
<p>その他</p> <ul style="list-style-type: none"> ・3つのサブテーマ間の連携に、もう一步詰めが必要である。 		

この事前評価は課題提案の最初の段階で行ったものです。特に事前評価では厳しく評価をしてもらっています。この結果を基に研究内容・計画等をブラッシュアップして、研究は実施されます。