

革新的省エネセラミックス製造技術開発 事後評価の概要

平成27年3月11日

製造産業局ファインセラミックス・
ナノテクノロジー・材料戦略室

目 次

1. プロジェクトの概要
2. 目的・政策的位置付け
3. 目標
4. 成果、目標の達成度
5. 事業化、波及効果
6. 研究開発マネジメント・体制等
7. 中間評価結果
8. 評価
9. 提言及び提言に対する対処方針

1. 事業の概要

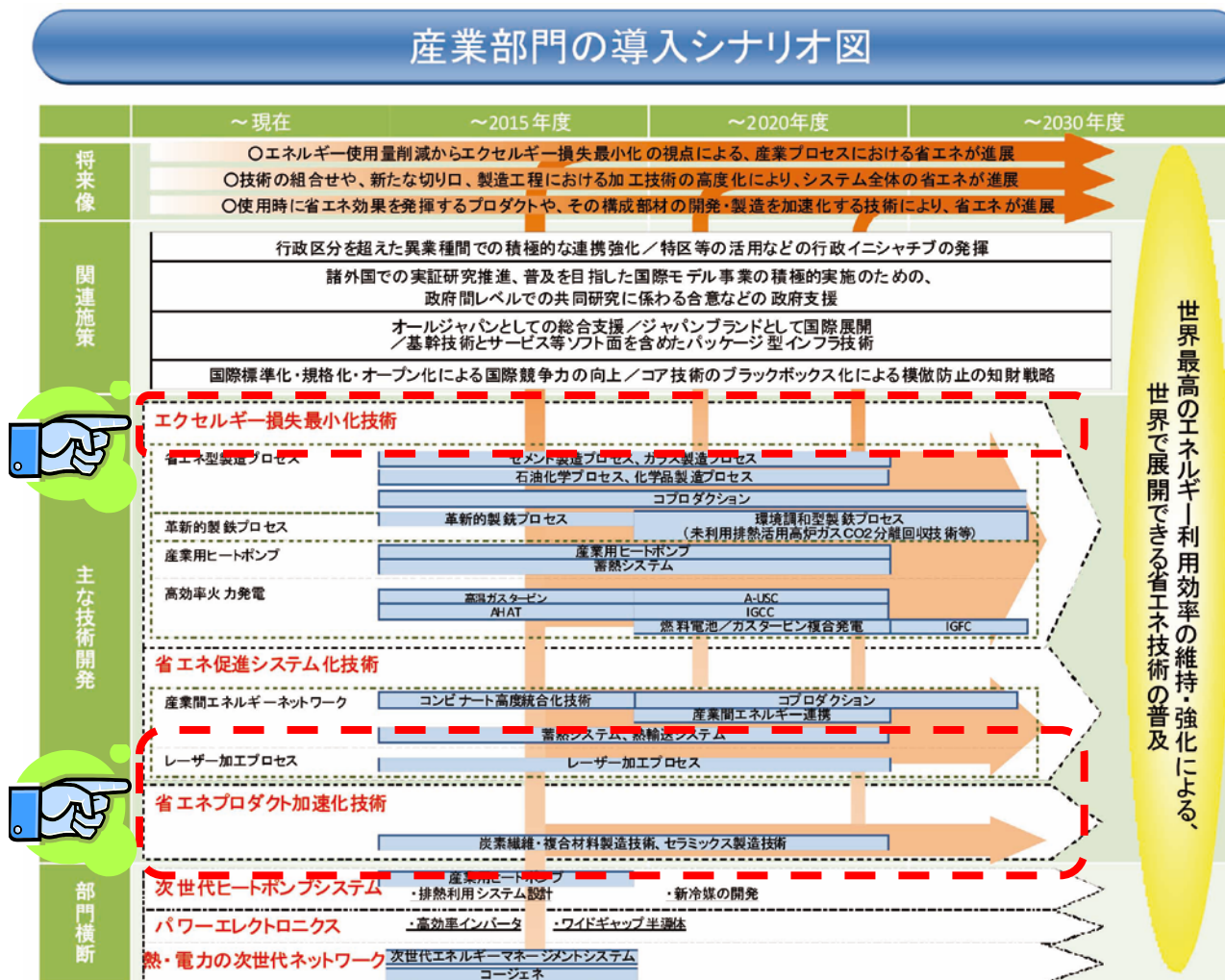
概 要	製造装置やシステムの省エネ化と製品の品質向上に貢献できる生産部材用大型複雑形状セラミックスの製造技術を確立する。具体的には従来作製が困難であった複雑形状や大型化を実現するため、高機能中空小型ユニットの一体化技術(ステレオフィブリック)を基軸に、要素技術となる①ニアネット成形・接合技術の開発、及び②ユニットの高機能化技術の開発を行う。 更に①②で得られた成果を活用して、③高耐性、高温断熱、及び高比剛性に関わる革新的部材の開発を実施する。 なお、本事業は、平成22年4月に行われた事業仕分けの結果「独立行政法人の事務・事業の見直し(平成22年12月7日閣議決定)」のうち、「本法人の研究開発マネジメント機能が生かせる事業への重点化」に照らし、平成23年度から経済産業省の直執行事業へ移管した。										
実施期間	平成 2 1 年度～平成 2 5 年度 (5年間)										
予算総額	9. 9億円(委託 + 補助(補助率: 1/2)の併用) (平成21年度: 2. 8億円 平成22年度: 2. 4億円 平成23年度: 3. 1億円 平成24年度: 0. 8億円) 平成25年度0. 8億円										
スキーム	<table><tr><td>【NEDO執行】 H21FY～H22FY</td><td>経済産業省</td><td>運営費交付金</td><td>→ (NEDO)</td><td>委託・1/2助成</td><td>→ 民間企業など</td></tr></table>					【NEDO執行】 H21FY～H22FY	経済産業省	運営費交付金	→ (NEDO)	委託・1/2助成	→ 民間企業など
	【NEDO執行】 H21FY～H22FY	経済産業省	運営費交付金	→ (NEDO)	委託・1/2助成	→ 民間企業など					
<table><tr><td>【直執行】 H23FY～H25FY</td><td>経済産業省</td><td>委託・1/2補助</td><td>→</td><td colspan="2">民間企業など</td></tr></table>					【直執行】 H23FY～H25FY	経済産業省	委託・1/2補助	→	民間企業など		
【直執行】 H23FY～H25FY	経済産業省	委託・1/2補助	→	民間企業など							

1. 事業の概要(続き)

実施者等	プロジェクトリーダー: 北英紀(産総研-研究グループ長、現在: 名古屋大学教授)
	●委託事業: ①ニアネット成形・接合技術の開発 ②ユニットの高機能化技術の開発 ステレオファブリック技術研究組合 (NGKアドレック、京セラ、TOTO、三井金属鉱業、美濃窯業、JFCC、産総研) +横浜国大、東工大
	●補助事業: ③革新的省エネセラミックスの部材化技術開発 ・三井金属鉱業 : ③-a 高耐性部材開発 ・NGKアドレック : ③-b 高温断熱部材開発 ・TOTO : ③-c-1 高比剛性部材開発 ・美濃窯業 : ③-c-2 高比剛性部材開発

2. 事業の目的及び政策的位置付け

省エネルギー技術戦略2011において、産業部門の重要技術「エクセルギー損失最小化技術」、「省エネ促進システム化技術(熱輸送)」、「省エネプロダクト加速化技術(セラミックス製造技術)」が該当



2. 事業の目的及び政策的位置付け

省エネプロダクト加速化技術 技術シート

技術概要

その製造プロセス自体では大きな省エネルギー効果は期待できないものの、使用される際に大きな省エネルギー効果を発揮するプロダクトやそれ構成する部材の、開発や製造を加速化する手法の開発。具体的には、産業部門に幅広い応用が期待されている基盤技術としてセラミックス製造技術や炭素繊維・複合材料製造技術が挙げられる。

ここでは、主な応用先が産業部門と想定されているものや、部門横断的に広範囲にわたるもののうち他の部門に取り上げられていないもの、又は、現在基礎研究段階であって応用先が未確定だが、特定の製造プロセスとして記述できるものを取り上げている。また、最終的に家庭・業務又は運輸部門の重要技術として、直接あるいは包含されて記載されている種々の機能性化学品や中間素材等については、産業部門では省略している。

技術開発の進め方

- セラミックス製造技術、炭素繊維・複合材料製造技術
応用品が使用され省エネルギー効果を生む際の、素材としての貢献度の定量化(エネルギー版のLCAともいえる)は現状では一般化される形で整備されていないため、省エネ効果を容易に判定するための調査研究が待たれる。

技術開発動向

 現在、非鉄鑄造、工業炉、鉄鋼、半導体などの産業プロセス応用を意図し、大型、軽量、高剛性、複雑形状などの特長を有するセラミック材料の開発は官民共同で行われている。

また、軽くて強いという特性を有する炭素繊維複合材料(CFRP)やそれを構成する機能性材料である炭素繊維は、航空機等で燃費向上のため既に用いられており、今後、自動車の車体に用いられることにより自動車の軽量化による燃費効率向上が期待できることから、近い将来、自動車分野等において大量需要が見込まれるが、製造エネルギーの大幅削減と生産性の大幅向上を図る必要があり、従来と全く異なる炭素繊維・複合材料製造技術の開発が民間を主体として行われている。

波及効果

 基盤技術として、各種製造プロセスに広範な適用が期待される。熱化学、液晶、半導体製造等の生産部材にセラミックスを応用することで、軽量化、熱を逃がさない、製品への不純物混入減少など製造効率の向上が期待される。具体的には非鉄鑄造、工業炉、液晶、半導体プロセス、化学プラント、鉄鋼など幅広い産業において、従来実現できなかった大型・複雑な部材の製作等が可能になり製造プラントの省エネ化と製造効率向上に貢献できる。また、セラミックス自身の製造工程においても成形・焼成設備が小型化すると共に接合設備も簡素化されることが期待される。

エネルギー消費量の高い耐炎化工程を不要とする製造プロセスの確立によって、炭素繊維製造エネルギーの半減及び生産性の大幅向上(約10倍の生産量)が可能となり、CFRTP技術の確立と相まって自動車分野への大量供給が可能となり、自動車分野での省エネ化が図られる。

2. 事業の目的及び政策的位置付け①

省エネ促進システム化技術 技術シート

技術概要

技術の組み合わせや新たな切り口による仕組み等(蓄熱や熱輸送を用いた熱利用の柔軟化等)により、大きな省エネを促進すると想定される技術や製造工程における加工技術の高度化によりプロセス全体の手順削減や高歩留まり化を図ることで全体の省エネルギーを実現する技術。従来は部分的な製造プロセス改善により、効を奏してきたものの、更なる改善には限界があるため、さらにシステム全体としての省エネルギーと捉えることで、更なる改善を期待するものである。

具体的には、コンビナート内での産業間連携(高度統合化)を蓄熱や熱輸送を用いて行うことでエネルギーの有効利用や物質とエネルギーの併産(コプロダクション)等の技術や、後加工工程の省略が可能となるレーザー加工技術の高度化などがある。

技術開発の進め方

技術開発を推進すべきエネルギー技術としては、産業間エネルギーネットワーク、レーザー加工プロセスがある。個別技術との対応関係は以下の通り。

- 産業間エネルギーネットワーク
 - ・コプロダクション、産業間エネルギー連携、コンビナート高度統合化技術
 - 熱輸送システム、蓄熱システム
- レーザー加工プロセス
 - ・レーザー加工プロセス

技術開発動向

産業間エネルギーネットワークを構成する構成要素としての電力制御、蓄熱、熱輸送システム、蓄熱システム、コプロダクションなどについては、従来から技術開発が実施されているが、エネルギーネットワークとして進めるには技術は、各技術を統合する制御技術を含んだ技術の集合体となる。これら蓄熱、熱輸送システムなどの熱融通、および物質融通を組み合わせたシステム化技術については、実証研究などが国により進められている。また、民間企業も技術開発に参画している。

レーザー加工技術としては、国内の大学・研究所は世界トップレベルの技術開発を行っているが、産業応用については、成熟大規模市場では国内メーカーが健闘しているものの、成長が見込まれる小規模市場で独米が先行している。光源開発と共に加工技術開発を並行して進めることが重要である。

波及効果

エネルギーネットワークは多くの技術により構成され、幅広い国内産業活性化に貢献できる他、特に熱需要の大きい寒冷地での将来の海外展開も期待される。

コンビナートの構成はもともとエネルギーや物質の融通を念頭においたものであった。廃棄物処理等の熱供給可能施設との連携も含め、さらなる連携を図ることにより、広い国内産業の活性化に貢献できる。日本で培われたコンビナートにおける産業間エネルギーネットワークは、パッケージ型インフラ輸出につながる可能性がある。

また、レーザー発振器の高効率化、既存装置の高効率レーザーへの置き換えで製造工程の省エネ効果が得られる。特に溶接工程への高効率レーザーの導入による効果は大きい。

2. 事業の目的及び政策的位置付け②

省エネプロダクト加速化技術サブシート（セラミックス製造技術）

技術概要

自動車部品や液晶・半導体等の製品を製造する際に使用される生産用部材は、製品の機能と生産性の向上の観点から、部材の大型化と機能向上が強く求められている。例えば、耐熱・耐食性にすぐれたセラミックスの開発によりエンジン casting ラインの大型配管や槽・容器等での熱損失を小さくすると共に、製品への不純物を軽減することができることが考えられるなど、今後の各種製造における製品の品質と生産性の向上には生産部材が鍵を握る。そのため、セラミックス部材も大型化以外に、軽量、高剛性など高い機能化が求められている。しかし、このような要望は従来の一体型のセラミックス成形技術では対応が困難であり、大型・複雑・精密性を兼ね備えた部材を作ることができる革新的なプロセス技術の開発が必要である。そこで、従来ファインセラミックス材料では作製が困難であった複雑形状付与や大型化を容易にし、製造プラントの省エネ化と製品の品質向上に貢献する革新的省エネセラミックスの製造技術の開発を行う。

技術開発の進め方

2010 年～

- ・産学連携ネットワークの構築を国が支援
（ステレオファブリック技術研究組合の設立）
基盤技術と限界のある従来製造プロセスではない新規製造プロセスを同時に開発

2013 年～

- ・国の支援により大学・研究機関の技術を民間に移転。
- ・開発成果の性能・経済性に関する優位性の実証を確認
- ・実証研究などは民間主導の開発に移行

技術開発動向

独立行政法人（産総研）と民間企業が共同で参加できることとなった技術研究組合（ステレオファブリック技術研究組合）を通じて、基盤技術と革新的な新規製造プロセスの同時開発を行い、構造用セラミックスの課題解決を行う。このためには、下記の技術開発を実施する。

- 
- ① ニアネット成形・接合技術の開発
 - ② ユニットの高性能化技術の開発
 - ③ 革新的省エネセラミックスの部材化技術開発

対象とする分野は多岐に渡り、非鉄鑄造分野では断熱軽量槽（溶湯搬送、濾過槽）、工業炉の分野では異形ラジアンチューブなど、鉄鋼分野では搬送ロールなど、半導体液晶分野では大型ステージ、ステージなどが上げられる。

波及効果

熱化学、液晶、半導体製造等の生産部材にセラミックスを応用することで、軽量化、熱を逃がさない、製品への不純物混入減少など製造効率の向上が期待される。具体的には非鉄鑄造、工業炉、液晶、半導体プロセス、化学プラント、鉄鋼など幅広い産業において、従来実現できなかった大型・複雑な部材の製作等が可能になり製造プラントの省エネ化と製造効率向上に貢献できる。また、セラミックス自身の製造工程においても成形・焼成設備が小型化すると共に接合設備も簡素化されることが期待される。

4. 技術開発の成果、目標の達成度（委託事業）

目標・指標	成 果	達成度
研究開発項目① ニアネット成形・接合技術の開発		
断面積が2500mm ² の試料を用い、接合強度が150MPa以上の接合部材を開発する。	①B₄C接合において断面積が2500mm²の大型試料を用い、接合強度が200MPa以上を得た。 ②断面積2500mm²、高さ20mmの窒化ケイ素ブロックを用いて、接合強度が622MPaの窒化ケイ素接合部材を開発した。得られた接合強度は窒化ケイ素母材の強度とほぼ同等で、またワイブル係数は14.1となり、窒化ケイ素母材とほぼ同等の高い値を示した。	達成
省エネ型接合法により、セラミックスを同種系統の材料で接合した系において断面積が12mm ² の試料を用いて接合強度300MPa以上の接合部材を開発する。	接合部近傍のみを加熱する省エネ型接合法により、窒化ケイ素母材とほぼ同等の組成からなる接合材を用いて外径28mm、内径18mm、長さ1000mm窒化ケイ素パイプ同士を接合することにより、窒化ケイ素母材相当の接合強度680MPaを有する窒化ケイ素接合部材を開発した。	達成

4. 技術開発の成果、目標の達成度(委託事業)

目標・指標	成 果	達成度
研究開発項目① ニアネット成形・接合技術の開発		
長さ500mm以上の接合部材を対象とした非破壊検査手法を確立する。	窒化ケイ素バルク内に人工的に欠陥を導入させた試験片を用いて、非破壊検査手法における欠陥検出能力を検討した。水中超音波画像化法によって、サイズ100 μ mの欠陥が検出可能であることを明らかとし、この非破壊検査手法を長さ500mm以上の接合部材に適用できることを確認した。	達成

4. 技術開発の成果、目標の達成度(委託事業)

目標・指標	成 果	達成度
研究開発項目② ユニットの高機能化技術研究開発項目		
接合部を有する部材を用いて、900℃にて、鋼板相当の鉄と転がり摺動させたときに、鉄に含まれていた成分と実質的に反応しない接合部材を開発する。	高温相反応実験を行い、YAGとβ-SiAlONが鉄に含まれている成分と反応しないことを確認した。そこで、YAGとβ-SiAlONからなる複合体の作製を試みた。冷却時に1600℃でアニールすることでYAG／β-SiAlON複合体の作製に成功した。これと高張力鋼板を900℃で接触させながら焼成した結果、両者に反応相の生成は認められず、本材料系が高いポテンシャルを有することを明らかにした。実験はテストピースを用いて行ったが、実部材での評価を行っていないため一部達成となった。	一部達成

4. 技術開発の成果、目標の達成度(委託事業)

目標・指標	成 果	達成度
研究開発項目② ユニットの高性能化技術研究開発項目		
接合部を有する部材を用いて、アルミ溶湯中に100時間浸漬した後に実質的に反応が認められない接合部材を開発する。	①接合部材の作製については、反応焼結Si_3N_4結合SiCブロック同士を$\text{Y}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$前駆体水溶液を含浸させた$\text{Al}_2\text{O}_3$繊維シート介して接合した。 ②上記接合部材上に$\text{MgAl}_2\text{O}_4/\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$/非晶質$\text{SiO}_2$からなる多層コーティングを実施した結果、$\text{Al}$合金溶湯中に100時間浸漬させた場合も、接合材は合金から容易に剥離し、実質的に反応していないことを確認した。	達成
接合部を有する部材を用いて、 700°C 以上の温度域の反射率が80%以上の接合部材を開発する。	①$\text{Y}_2\text{Ti}_2\text{O}_7/\text{MgAl}_2\text{O}_4$複合材料単体については、$700^\circ\text{C}$の輻射熱エネルギーが最大となる波長$3\mu\text{m}$において、反射率が80%以上となり、本材料系が高いポテンシャルを有することを明らかにした。実験はテストピースを用いて行ったが、実部材に当要素技術を反映した評価を行っていないため一部達成となった。	一部達成

4. 技術開発の成果、目標の達成度(補助事業)

目標・指標	成 果	達成度
研究開発項目③ 革新的省エネセラミックスの部材化技術開発		
a) 高耐性部材		
900℃の環境下に曝した後において、接合面に剥離、クラックが生じない長さ500mm以上、直径100mm以上の管状接合部材を試作する。	900℃の環境下に曝した後において、接合面に剥離、クラックが生じない長さ500mm以上、直径100mm以上の管状接合部材を試作した。	達成
b) 高温断熱部材		
①700℃以上のアルミ溶湯を内部に入れた状態で湯漏れがなく、同等の搬送容積をもつ従来部材に比べて、断熱性が2倍、空状態とした部材単体の重量は1/2以下である、直径が500mm程度の槽状部材を試作する。	①700℃以上のアルミ溶湯を内部に入れた状態で湯漏れがなく、同等の搬送容積をもつ従来部材に比べて、断熱性が2倍、空状態とした部材単体の重量は1/2以下である槽状部材を試作した(1/4スケール)。	一部達成
②本件を代表事例として、製造、使用、廃棄過程を含めた省資源・省エネ効果を定量化する。	②搬送容器の製造、使用、廃棄に関してエクセルギー解析を実施し、省資源・省エネ効果において優位性を付与できる条件を明らかにした。	達成
c) 高比剛性部材		
長さ(奥行き)が200mmで、従来相当の部材に比べて、撓み量が70%以下である盤状部材を試作する。	長さ(奥行き)が200mmで、従来相当の部材に比べて、撓み量が70%以下である盤状部材を試作した。	達成

5. 研究成果の事業化、波及効果等その他成果

1) 技術成果概要

- 委託事業では、スケールアップに伴う課題抽出と対策を実施し、大型部材としての適用可能性を示し、所定の目標値をほぼ達成した。
- また試作した大型接合部材の非破壊検査技術を実施し可能性と課題を明らかにした。
- 大型搬送容器を題材として、エクセルギー解析を実施し、ライフサイクルでの省エネの効果を定量化する手法を提案した。

2) 事業化に至る期間

- 平成26年度を目処に順次製品を販売していく予定である。

3) 波及効果

- 各種製造システムの省エネ化、効率の向上
- 製造システム以外の各種部材、例えば太陽熱発電プラントにおけるレシーバー、熱媒体配管、蓄熱システム等への展開が可能

5. 研究成果の事業化、波及効果等その他成果（続き）

4) その他成果

➤ 研究発表、論文、特許その他の発表件数は以下の通り。

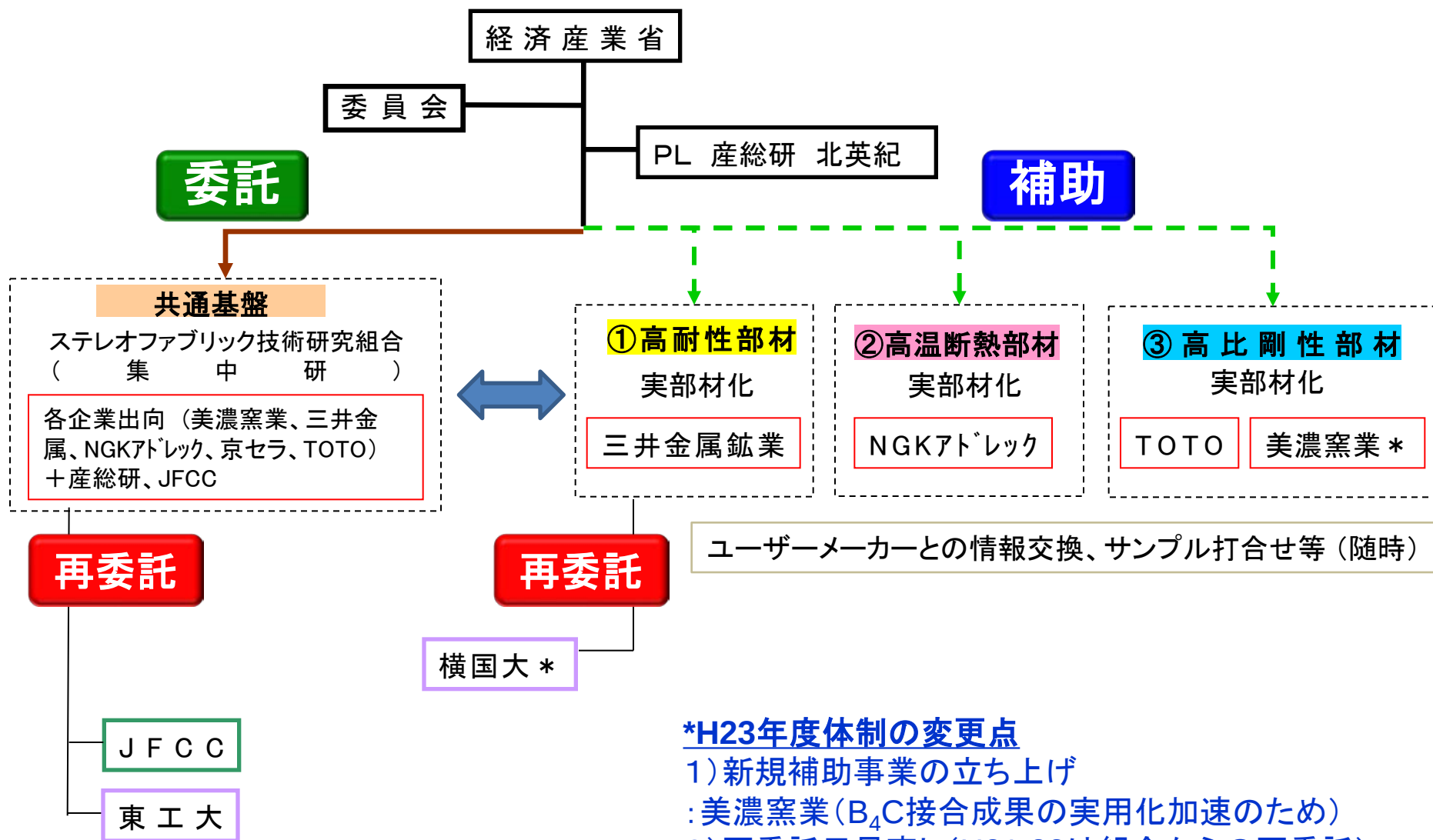
分類	件数
研究発表	65
論文等	35
特許	18
新聞・雑誌記事等	3

書籍 3(いずれも共著)

受賞 2(1)日本セラミックス協会優秀論文賞，日本セラミックス協会，2013年6月
(2)若林論文賞，耐火物技術協会，2013年2月

* H26年11月末時点でのデータ
補助事業分は除く

6. 技術開発のマネジメント・体制等



*H23年度体制の変更点

1) 新規補助事業の立ち上げ

: 美濃窯業 (B₄C接合成果の実用化加速のため)

2) 再委託元見直し (H21,22は組合からの再委託):

横浜国大 (YAG複合材の実用化加速のため)

7. 中間評価結果

評価小委員会のコメント及び 対処方針	(コメント) ・要素技術開発の目標設定等は妥当であり、要素技術開発(委託事業)と委託事業で得られた成果を活用した実用化開発(補助事業)を並行して実施する体制で取り組んでいることも、妥当と考える。今後のプロジェクトフォーメーションの参考になるよう、マネジメントの記録等を残すべき。
	(対処方針) ・本プロジェクトは、委託事業において集中研で部材化のための基礎的技術である接合工程の研究を実施した。接合工程の研究で得られる要素技術は、逐次補助事業における成形工程に取り組むことで実業化までの期間短縮など効率化を図っている。また、補助事業において企業が保有するノウハウを開示しなくてすむなどのメリットもあり、委託による基盤研究と補助による実用化応用研究を一体化し同時並行的に実施した。 この体制のマネジメントについては後続の研究事業の参考となるよう、記録に残している。

8. 評価

8-1. 評価検討会

評価検討会名称

革新的省エネセラミックス製造技術開発事後評価検討会

評価検討会委員

座長

目 義雄 (独)物質・材料機構先端の共通技術部門先端材料プロセスユニット ユニット長

委員

岩本 雄二 名古屋工業大学つくり領域大学院工学研究科未来材料創成工学専攻 教授

後藤 孝 東北大学金属材料研究所複合機能材科学研究部門 教授

藤森 俊郎 株式会社IHI技術開発本部インキュベーションセンター 副所長

丸山 正明 技術ジャーナリスト

山口 宏 株式会社クボタ素形材事業部 主査

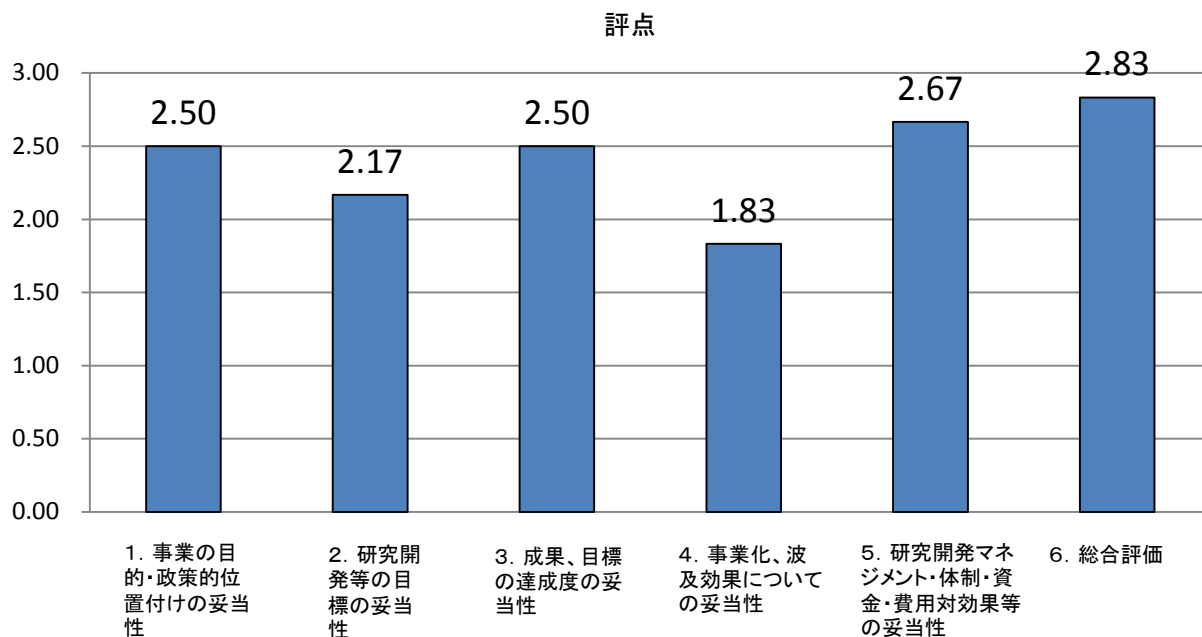
8-2. 総合評価(コメント)

- エンジニアリングセラミックスの研究開発は日本が先導し続けて来た分野であり、日本の産業競争力の源の一つ。一方、本分野は昨今中国をはじめとする発展途上国でも研究が活発になり、欧州でもコンスタントに研究開発を続けている。このため日本が著しく技術的に優位とは言いがたくなっている。このような時期に本研究開発を実施することは、日本の産業技術の優位性の維持・発展には大変歓迎すべきことであり、今後も引き続き研究開発を推進してもらいたい。
- エンジニアリングセラミックスの構造用部材への応用を妨げているのは、靱性の向上と大型構造部材の製造の困難さなどが挙げられる。本事業では、世界に先駆けたセラミックスの接合技術の高度化と、構造用大型部材の実用化に向けた技術開発に取り組み、今後の実用化が期待される多くの開発成果が得られている。
- 日本でセラミックス事業を展開する企業のみならず、そのセラミックスを利用するユーザー企業に対しても、当該プロジェクトの優れた研究成果を活用した製品開発の機会を与えることができたといえる。
- 中空ユニットの組み合わせによる大型複雑形状の作製技術においては修復技術の開発も重要であり、今後の技術開発として考慮すべきと思われる。
- 補助事業では、実用化のための問題点の抽出、大型化の問題点を明らかにし、市場動向を見据え事業化をすべきである。

8-3. 評点結果

○「経済産業省技術評価指針」に基づき、事後評価において、評点法による評価を実施した。

○本事業では、世界に先駆けたセラミックスの接合技術の高度化と、構造用大型部材の実用化に向けた技術開発に取り組み、今後の実用化が期待される多くの開発成果が得られていること等が評価され、総合評価点が高くなっている。



【評価項目の判定基準】

評価項目1.～5.

3点:非常に重要又は非常によい

2点:重要又はよい

1点:概ね妥当

0点:妥当でない

6. 総合評価

(事後評価の場合)

3点:実施された事業は、優れていた。

2点:実施された事業は、良かった。

1点:実施された事業は、成果等が今一步のところがあつた。

0点:実施された事業は、成果等が極めて不十分であつた。

9. 提言及び提言に対する対処方針

今後の研究開発の方向等に関する提言

- 材料開発のプロジェクトでは、組成や組織に関する基盤技術の構築と、実用化のための技術開発の両面をバランスよく進めることが重要。得られた基盤研究成果の早期実用化や、より広範な分野での実用化を推進するためのプロジェクト運営・実施方法の一層の改善を望みたい。
- 事業の成果をより広く普及させるために、産総研が有する「研究開発を継続する体制」を一層強化し、製品、技術開発に興味ある企業を受け入れるしきみを整備すべきと考える。
- 成果の普及を促進するための研究成果報告会、展示会への参加等をさらに進めるとともに、早期に製品化をするための事業化支援が必要と考える。
- 接合技術は多くの分野において必要な技術であり、計測評価技術なども併せた基盤技術として、材料開発における技術の普及や信頼性の向上には必要不可欠である。そのため材料学的基礎研究を含めて公的研究機関などで継続して研究する必要があると考える。
- 事業後半では、補助事業により個別の実用化研究にシフトした。そのため委託事業で構築した材料技術のより広範な分野での実用化など、基盤技術の成果の普及を積極的に狙ってゆく体制が不十分となったのではないか。

提言に対する対処方針

- 本事業では、委託事業において基盤技術を行い、補助事業において実用化のための技術開発を行ってきており事業をバランス良く進めるよう工夫してきた。今後は、基盤研究成果のより広範な分野での実用化を推進するため、研究成果報告会の実施や展示会への出展を行う等普及活動を行うこととしたい。
- 産総研と協議し、技術支援や共同研究等により、事業の成果をより広く普及させるためのしきみの強化を考えたい。
- 早期の製品化を促すため、必要に応じて補助事業を紹介する等、事業化支援を行っていくことを考えたい。
- 基盤技術の内容により優先順位はあるものの、産総研の交付金を利用する等により基盤技術の継続的研究を進めていきたい。
- 委託事業での成果を分野を越えて普及させるべく、産総研及びプロジェクトへの参画企業に研究成果報告会や展示会への出展を促し普及活動を図っていく。