

革新的省エネセラミックス製造技術開発
事後評価報告書（案）

平成27年3月
産業構造審議会産業技術環境分科会
研究開発・評価小委員会評価ワーキンググループ

事後評価報告書概要

目標・指標及び成果・達成度

(1) 全体目標に対する成果・達成度

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。	① B_4C 接合において断面積が 2500mm^2 の大型試料を用い、接合強度が 200MPa 以上を得た。 ②断面積 2500mm^2 、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
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 $100\mu\text{m}$ 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
研究開発項目② ユニットの高性能化技術		
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、実質的に反応が認められない接合部材を開発する。	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 Al_2O_3 繊維シート介して接合した。 ・上記接合部材上に $\text{MgAl}_2\text{O}_4/\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ／非晶質 SiO_2 からなる多層コーティングを実施した結果、 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、 900°C にて、鋼板相当の鉄と転がり摺動させたとき	高温相反応実験を行い、 YAG と $\beta\text{-SiAlON}$ が鉄に含まれている成分と反応しないことを確認し	一部達成

<p>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。</p>	<p>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°C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°C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なかった。</p>	
<p>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。</p>	<p>・$Y_2Ti_2O_7/MgAl_2O_4$複合材料単体については、700°Cの輻射熱エネルギーが最大となる波長3μm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。</p> <p>・接合部を有する部材上に上記複合材をゾルゲル法にて成膜したが、ポーラスかつ微細結晶からなる均一混合層であったため、波長3μmにおいて大きな反射率を得ることはできなかった。この知見を参考に、現在、緻密質膜の形成が可能なエアロゾルデポジション法を用いて、周期積層構造を有する膜を形成し、高温において優れた環境遮蔽性と輻射熱反射性を同時に発現するコーティング技術を開発中である。</p>	<p>一部達成</p>
<p>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</p>		
<p>a) 高耐性部材</p>		
<p>900°C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。</p>	<p>長さ1000mmL、直径160mmのアルミナ管状接合部材を試作し、接合面に剥離及びクラックは生じていないことを確認した。</p> <p>900°Cのサイクルテストでも剥離及びクラックが生じていないことを確認した。</p>	<p>達成</p>
<p>b) 高温断熱部材</p>		
<p>700°C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。</p>	<p>・1/4球状容器にて中空部材で構成された耐火物は、現行キャストブルより重量65%減、断熱性51%減を確認した。実スケールは未実施</p> <p>・実用的な従来型円筒容器にて缶体鉄皮の肉薄化で軽量化かつ、リブ構造化で強度維持し落</p>	<p>一部達成</p> <p>達成</p>

	<p>下時の湯漏れ解消、内壁耐火物をSINSIC中空部材化で38%軽量化</p> <p>・SINSIC中空部材化および解放部形状、中空部内の熱伝達制御で断熱性37%改善</p>	達成
<p>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。</p>	<p>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。</p>	達成
c) 高比剛性部材		
<p>長さ（奥行き）が400mm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。</p>	<p>・接合ペースト組成の改良により母材と同等レベルの接合強度（300MPa）を達成し、500mmの盤状部材を試作した。</p> <p>・接合部材の応力変形シミュレーション解析より撓み量は69%となり、70%以下を達成できることを確認した。</p> <p>・長さ500mmのB₄C盤状部材の試作に成功した。その撓み量が60%以下となった。</p>	達成

(2) 目標及び計画の変更の有無 無

<共通指標>

論文数	特許等件数 (出願を含む)
40	52

評価概要

1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性

従来のセラミックス材料成形技術では、複雑形状付与や大型化が困難であったが、当該事業により、高機能化された小型精密ブロックを立体的に組み上げ、高効率で接合・一体化することにより所望の大型・精密・複雑な部材を作製する革新的なプロセス技術が開発された。これは、極めて科学的・技術的意義のあるプロジェクトである。本事業は、大型セラミックス部材等の製造プロセスを根本から変える、リスクを伴う材料開発であった。このため事業体制については単独の企業ではなく、複数の関係企業と公的な研究機関が協同することにより、革新的な研究技術開発を行うことができたものと評価する。本事業のような先行開発に国が関与することは、「技術の基礎」を底上げする上で意義があり、日本のセラミックス技術が世界における先進性を維持、発展させることに加え、環境と経済の両立への取り組みを加速する点でも意義がある。エネルギーの多くを輸入に依存している我が国において、「省エネ」を「エ

クセルギー」の概念でとらえ、セラミックスの製造プロセスに適用したアプローチは非常に有意義でありユニークである。特に大型の構造用セラミックス製造プロセスは、一部の量産部品を除き非常に大きな「無駄」を抱えた状態で製造されており、その課題に対応した革新的テーマ設定である。

開発されたセラミックスの接合技術は革新性が高く、我が国の製造業の競争力強化への波及効果も大きい。また、今後の技術移転効果が期待される。本事業は、我が国の省エネルギー戦略 2011、科学技術基本計画、そして経済産業省が策定した技術戦略マップに沿って推進されたものであり、政策的な位置付けは妥当である。

2. 研究開発等の目標の妥当性

具体的な開発ニーズに基づいた研究開発項目を設定するとともに、その目標値の設定は、実用化（製品化）を充分意識しつつ世界最高水準が設定されている。特にセラミックスにおいて接合強度が150MPa以上は、実用レベルとしても十分に高い値である。

国費による事業であることを鑑みれば、技術的な目標のみならず、成果技術を活用した最終製品の競争優位性を示す経済的な目標についても示すべきだったのではないかと。なお、経済的な目標は、ある程度成果技術の波及先を想定して設定すべきであり、今後の国プロで考慮してほしい。委託事業と補助事業を1つの事業に取り入れ情報交換を密にして進めたのは評価できるが、普及を前提とした委託事業の目標設定については、より高い基盤的なものにしても良かったのではないかと。

3. 成果、目標の達成度の妥当性

数値目標は、全ての項目で達成あるいは達成見込みであり、世界水準を凌駕しているものもある。接合体の組み合わせによって、従来、想像もできなかった大型または複雑形状のセラミックス構造体が得られており、実用化に向けて大きく進展しつつある。接合部材のアルミ溶湯との反応性、鉄に含まれている成分と反応しない接合部材など十分な成果が得られている。また、半導体装置部材、管状材、溶湯搬送容器については、試作され、実用化の目途が得られおり、実用レベルの成果が出ていると評価できる。

接合部材を対象とした非破壊検査手法の確立については、水中超音波画像法によるサイズ100 μ mの欠陥の検出が可能となった程度で、手法が確立されたとは言いがたく今後の課題である。委託成果の普及促進のためにも、セラミックス部材を扱う企業に新技術が採用される事例や、新技術を使ってみての評価がほしい。セラミックス構造体の大型化、接合体の製造にとって、コストの検討は重要な要素。コストを考える上で欠陥や歩留まりの評価は重要であるが、欠陥に対する妥当な範囲のコストで作製できているのかが不明確である。

4. 事業化、波及効果についての妥当性

高度な部材接合技術と複雑形状大型部材化の技術を構築したことで、世界に先駆けて非酸化系セラミックスのより広範な分野での実用化が期待される。委託事業で得られた各種接合やニアネット成形技術を基に、補助事業においてモデル部材化に関する技術開発を行い、客先向けの試作、展示会への出展など事業化に向けた具体的な活動を進めている。これは、委託と補助を組み合わせた良い事例である。大型・複雑形状品を必要としている対象分野が明確であり、その対象に合わせて環境負荷低減、コストの低減を図り、事業化に向けた具体的な計画が立てられている。例えばB4Cの接合技術は、軽量で剛性が高く衝撃吸収性に優れた特徴を活かした防弾などの保護部材、ロボットアーム、安定性の高い電子部品への展開が期待される。事業化のためには、市場の大きさ、製品のコストについての検討も必要であり、総合的に経済性を検討する必要がある。環境と経済の両立に向け、優れた機能や付加価値を持つ大型製品を高効率に製造する技術開発は、多くの分野に波及可能である。

ニーズを粘り強く追及し、開発成果が幅広く実用化につながるよう努めてもらいたい。省エネ効果を試算している事例もあるが、総じて波及に関する考察が不十分と感じた。波及効果の検討については、多面的評価をするよう努めてもらいたい。

5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性

集中研の成果の実用化を加速するため、プロジェクト後半の新規補助事業の立ち上げや研究体制の見直しを実施して、開発技術の実用化、効率化をフレキシブルに図ったことは高く評価される。委託事業と補助事業を平行に走らせ、情報交換をしながら実施したことは評価できる。委託事業の完成を見極めて、早期に補助事業に移行した判断は、環境変化に対応した適切な対応であった。

補助事業において企業の研究成果は十分であるが、企業間での連携が取ればさらに新たな技術開発、応用展開に進展することが期待される。また、集中研方式での委託事業で築いた基盤技術を、技術研究組合に参加していない企業にどう移転していくかという普及の仕組みを積極的に作っていく必要があるのではないかと。技術研究組合を構成することで、基盤技術に関する企業間の横の連携は十分に図られたが、ユーザー側や原料メーカーを含めた垂直連携の姿が見えると、サプライチェーンを具体的に示せたのではないかと。研究経費は概ね適切であるが、最終的な費用対効果は開発部材の市場規模や開発コスト、省エネ効果等に関係することであり、実際に実用化、事業化がなされて費用対効果を検討する必要がある。委託事業と補助事業の棲み分けも概ね適切になされているが、高温接合技術を始め、本プロジェクトの内容は、各企業での技術の積み重ねによって達成された部分も多く、それらの技術を企業間でもできるだけ共有し、より高度な技術開発に繋げていくことが望まれる。

6. 総合評価

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。

7. 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く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と。

評点結果

評点法による評点結果 (革新的省エネセラミックス製造技術開発)

	評点	A 委員	B 委員	C 委員	D 委員	E 委員	F 委員
1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性	2.50	3	2	3	2	2	3
2. 研究開発等の目標の妥当性	2.17	3	2	2	2	2	2
3. 成果、目標の達成度の妥当性	2.50	3	2	3	2	2	3
4. 事業化、波及効果についての妥当性	1.83	2	2	2	2	1	2
5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性	2.67	3	2	3	3	2	3
6. 総合評価	2.83	3	3	3	3	2	3

