

経済産業省製造産業局製造産業技術戦略室 御中

**平成28年度 製造基盤技術実態等調査
セラミックス関連技術の国際競争力強化に向けた調査検討**

報告書

2017 年 3 月

 株式会社三菱総合研究所

目次案

1. はじめに	6
1.1.1 背景と目的.....	6
1.1.2 調査概要	6
(1) 技術分野の実態把握・分析	7
(2) 政策提言	7
2. 技術分野の把握・評価・分析	8
2.1 技術の俯瞰（基本情報の整理）	8
2.1.1 セラミックス技術の全体像調査.....	8
2.1.2 米国訪問調査	12
2.2 重要技術の優先順位付け	15
2.2.1 経済的価値	16
(1) 市場規模.....	16
(2) 国内プレイヤー	17
2.2.2 技術的価値	18
(1) 国家プロジェクト.....	18
(2) 論文件数推移.....	20
(3) 特許分析.....	22
2.2.3 簡易評価	25
2.2.4 重要技術の抽出.....	26
2.3 技術的・経済的価値の検証	29
2.3.1 CMC	29
(1) 技術的・経済的価値.....	29
(2) プレイヤーならびにサプライチェーン	36
3. 政策検討	37
3.1 CMC に関する政策検討	37
(1) 継続的な研究開発.....	37
(2) 航空機エンジン以外の分野への展開	38
(3) 情報共有・研究開発・人材育成基盤の構築	38
3.2 重要技術マネジメントについて	39
4. 付属資料 委員会の設置について	42
5. 付属資料 セラミックス関連の国家プロジェクト	44

図目次

図 2-1	NSF のセラミックス分野に関するワークショップ	13
図 2-2	民間を中心とする米国の CMC 研究の体制.....	14
図 2-3	米国のファンディング機関の特徴	14
図 2-4	各技術の論文件数推移(2006-2016 年)	21
図 2-5	各技術の過去 10 年間における発表論文件数の伸び(2006-2016 年).....	21
図 2-6	特許分析のプロセス	22
図 2-8	SiC 系 CMC の開発経緯	30
図 2-9	CMC の多用途への展開可能性.....	34
図 3-1	セラミックス関連技術を対象とする重要技術マネジメントの取り組み.....	39

表 目 次

表 2-1	技術の整理軸	8
表 2-2	情報ソース一覧	10
表 2-3	代表的な技術への集約	11
表 2-4	米国現地調査概要	12
表 2-5	重要技術の評価軸	15
表 2-6	各部材の将来市場評価	16
表 2-7	各部材に関する国内プレイヤーの有無	17
表 2-8	国プロによる評価結果	19
表 2-9	論文調査で用いた検索キーワード	20
表 2-10	ステップ①・②のアウトプットイメージ	23
表 2-11	ステップ③・④のアウトプットイメージ	23
表 2-12	特許分析の評価結果	24
表 2-13	本調査で用いた技術の評価軸とそれぞれの情報源	25
表 2-14	簡易評価結果	26
表 2-15	FC Roadmap2050 で取り上げられている注目市場・技術	27
表 2-16	CMC に関する最近のプロジェクト	31
表 2-17	CMC の技術的価値	35
表 2-18	CMC の経済的価値	36
表 3-1	CMC に関する課題と解決の方向性	37
表 3-2	技術マネジメントに関する課題と改善の方向性	40
表 4-1	セラミックス関連技術の競争力強化検討委員会 メンバー（敬称略）	42
表 4-2	セラミックス関連技術の競争力強化検討委員会 開催スケジュール	43
表 5-1	セラミックス関連の国家プロジェクトまとめ	44
表 5-2	CMC : NEDO「戦略的省エネルギー技術革新プログラム」	45
表 5-3	CMC : METI「次世代構造部材・システム技術に関する開発」	45
表 5-4	CMC : SIP「革新的構造材料」	46
表 5-5	CMC : METI「発電用原子炉等安全対策高度化技術開発費補助金」	46
表 5-6	CMC : MEXT「原子力システム研究開発事業」	47
表 5-7	CMC : JAXA「高効率軽量ファン・タービン技術実証（aFJR: Advanced Fan Jet Research）」	47
表 5-8	CMC : METI,NEDO「次世代構造部材創製・加工技術開発」（全体概要）（1/3）	48
表 5-9	CMC : NEDO「次世代構造部材創製・加工技術開発」（基盤技術開発）（2/3）	48
表 5-10	CMC : NEDO「次世代構造部材創製・加工技術開発」（高性能材料開発）（3/3）	49
表 5-11	CMC : JST「ALCA（先端的低炭素化技術開発）（自己治癒機能を有する革新的セラミックスタービン材料の開発）」	49
表 5-12	生体材料 : AMED「未来医療を実現する医療機器・システム研究開発事業」	50

表 5-13	生体材料：SIP 「革新的設計生産技術（フルイディック材料創製と3Dプリンティングによる構造化機能材料・デバイスの迅速開発）」	50
表 5-14	生体材料・その他：SIP 「革新的設計生産技術（高付加価値セラミックス造形技術の開発）」	51
表 5-15	磁性材料：NEDO「次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発」（1/2）	51
表 5-16	磁性材料：NEDO「次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発」（2/2）	52
表 5-17	パッケージ材料：SIP「次世代パワーエレクトロニクス」	52
表 5-18	電解質材料：NEDO「革新型蓄電池先端科学基礎研究事業」	53
表 5-19	誘電材料：JST「ALCA（先端的低炭素化技術開発）」	53
表 5-20	EBC, TBC：JST「ALCA（先端的低炭素化技術開発）（輻射熱反射コーティングによる革新的遮熱技術）」	54
表 5-21	その他：JST A-STEP「セラミックスの高機能化と製造プロセス革新」	54
表 5-22	その他：JST「ERATO（彌田超集積材料プロジェクト）」	55
表 5-23	その他：JST「CREST（セラミックスヘテロ層における界面電磁場制御と熱エネルギー利用）」	55
表 5-24	その他 JST のセラミックス関連プロジェクト（1/3）	56
表 5-25	その他 JST のセラミックス関連プロジェクト（2/3）	56
表 5-26	その他 JST のセラミックス関連プロジェクト（3/3）	57

1. はじめに

本調査では以下の背景と目的のもと、セラミックス分野において我が国の産業競争力を支える重要技術を選定し、これをモデルケースとして現在の我が国の競争力や市場環境等について把握・評価・分析し、政策手段の検討までを行い、重要技術マネジメントの在り方を検討した。

1.1.1 背景と目的

我が国企業の技術力は、世界でも高く評価されてきたが、新興国が経済成長を遂げつつあり、グローバル競争環境が一層の厳しさを増す中、我が国の技術が産業競争力の源泉となるためには、個々の技術を磨くだけではなく、生産・研究開発基盤の確立や市場競争力の強化が必要とされている。企業の中には、グローバルビジネス環境の変化を捉えて、新たな市場ニーズを予測し、新たな技術開発やビジネス領域に挑戦している企業もあるが、産業競争力は国内のサプライチェーンを通じて構築されるものであり、個別企業の努力だけでは限界がある。さらに、技術開発の先に市場がなければ、せっかく磨かれた技術が死に絶えてしまう恐れがあるため、出口を見据えた投資が重要である。

このような問題意識の下、政府側では、個別技術の確立を目的とせず、技術が様々なアプリケーションとして経済社会において利用されていくまでの道筋を描き、必要な政策手段を講じる仕組みを構築しようとしている。具体的には、我が国にとって重要な技術やそれを取り巻く生産・研究開発基盤の現状を把握した上で、現在の課題や状況に応じて、研究開発や設備投資、知財化・標準化戦略、さらには市場機会の創出、人材育成まで含めた一体的な産業政策が展開されるような仕組みを検討している。さらに、我が国にとって重要な技術は、技術的価値が高いほど安全保障の観点を持って適切に管理・活用されるべきであることにも留意が必要である。

こうした総合的かつ一体的な政策展開を実効的なものとするため、我が国の産業競争力を支える重要な技術の中からひとつモデルケースを選定し、重要技術の情報収集から政策出口の提案までを行う“重要技術マネジメント”の検証を行った。具体的には、「セラミックス関連技術」をモデルケースとし、現在の我が国の競争力や市場環境等について把握・評価・分析しながら、政策手段の検討までを一連の取り組みとして実施し、“重要技術マネジメント”の在り方を検討した。

1.1.2 調査概要

調査は、①セラミックス関連技術の俯瞰、②“重要技術”候補の簡易評価・優先順位付け、ならびに重要技術の抽出、③“重要技術”の詳細調査（経済的価値と技術的価値の評価、サプライチェーン調査）、④重要技術に関する課題整理・分析、⑤政策出口の検討までのステップで実施し、一連のプロセスを有識者検討委員会にて評価・検討・提言を受けながら進めた。各項目の実施方法と結果は各章で個別に記載しているため、ここでは概要のみ述べる。

(1) 技術分野の実態把握・分析

① セラミックス関連技術の俯瞰

セラミックス関連技術の全体像を把握するため、技術、産業分野、技術類型、主用途、技術概要、材料形態、機能、要素技術、技術の成熟度をリスト化し、結果として用途ごとに約120の技術を整理した。

② 重要技術候補の評価・優先順位付け

整理した技術から、特に我が国の産業競争力に資するものであり、かつ国際市場においても競争力を維持するポテンシャルを持つ重要技術の優先順位付けをするための調査を行った。優先順位は、経済的価値、技術的価値の観点で基礎情報を収集し、簡易評価をすることで検討した。技術的価値の国際競争力の検証を行う上では、米国を訪問して有識者からの情報収集を行った。

文献・ヒアリング情報の分析に基づく技術の簡易評価の結果、ならびにこの結果を踏まえた有識者検討委員会における議論により、重要技術としてセラミックス基繊維複合材料 (Ceramic Matrix Composites; CMC)が抽出された。

③ 重要技術の実態把握

CMCに関する国際的な研究開発状況、国内外プレイヤー、市場規模、将来の可能性を踏まえた用途、技術の詳細、開発経緯、サプライチェーンについて文献や有識者からの情報に基づき整理を行った。

(2) 政策提言

①課題整理・分析

CMCに関する国内プレイヤーへのヒアリングにより、我が国の産業競争力強化のための課題を検討した。この結果として、継続的な研究開発プロジェクトの実施、未着手の開発課題の実施、試験機関の能力拡大、人材育成、用途開発等の対応が求められることが分かった。

②政策出口の検討

有識者検討委員会における総合的な議論の結果、今後はCMCの拠点を国内に設立して関係企業や研究機関とのネットワークを構築し、海外技術の導入、情報共有、人材育成、評価試験方法の開発に中長期的に取り組むべきとの提言をとりまとめた。

2. 技術分野の把握・評価・分析

2.1 技術の俯瞰（基本情報の整理）

2.1.1 セラミックス技術の全体像調査

本節ではセラミックス技術の全体像調査の方法と結果を示す。

本調査ではセラミックスのうち特にファインセラミックス¹を対象とした。セラミックスは一般的にガラス、セメント、耐火物、陶磁器、ファインセラミックスが含まれるが、高付加価値製品であり、今後の技術的発展が特に見込まれ、我が国の技術マネジメント上重要となると考えられることから、ファインセラミックスを対象とした。

技術の整理は表 2-1 に記載した観点で行った。

なお、今回の技術の俯瞰調査では、「材料そのもの」を対象として抽出を行った。製造技術、試験・評価技術などの材料横断的に適用される技術については、重要技術抽出後の詳細調査の中で課題や重要性について検討することとした。

表 2-1 技術の整理軸

整理軸	概要	例
産業分野	当該技術が使用される出口の産業分野を記載した	航空宇宙、エネルギー発電、蓄電、自動車、電子・光学部品、製造（金属）、精密加工、機械部品、バイオ・医療、その他
技術類型	当該技術を後述する機能によって一定程度集約・類型化を行った	CMC、生体材料、摺動材料、超高硬材料、耐熱セラミックス、磁性材料、フィルター材料、パッケージ材料、圧電材料、電解質材料、キャパシタ・誘電材料、EBC, TBC、摺動コーティング
主用途	当該技術が用いられる個別具体的な用途について主なものを記載した。用途は基本的に前述の産業分野に含まれる	航空機エンジン、航空機タービン翼、ジェットエンジン用ガスタービン、排気ガスノズル など
技術概要	技術の特徴を記載した	—
技術形態	バルクとしてのセラミックスだけでなく、近年はコンポジット化やセラミックス被覆の技術開発が盛んであることを鑑み、技術形態を記載した	セラミックス、コンポジット、コーティング

¹ 機械的特性、その他の機能を十分に発現させるため、化学組成、鉱物(結晶)組成、微細組織、形状及び製造工程を精密に制御して製造したセラミックス（出典：一般社団法人日本ファインセラミックス協会 <http://www.jfca-net.or.jp/contents/index/46>）

整理軸	概要	例
機能	いくつかの機能類型ごとに、セラミックス材料が当該用途にもたらす機能を記載した	電磁氣的（硬磁性、イオン伝導性、圧電性など）、光学的（透明性など）、機械的（耐衝撃性、摩擦係数安定性など）、熱的（耐熱衝撃性、耐熱性、放熱性など）、生化学的（生体親和性、触媒など）、その他
要素技術	主に材料組成を記載した	—
技術成熟度	異なる技術成熟度の技術を混合して比較しないよう技術成熟度についても記載した	研究、実証、実用

次に、本調査に用いた情報ソースは表 2-2 にて一覧で示す。

情報ソースの選定にあたっては、幅広い技術成熟度の技術が含まれるよう留意した。具体的には、実用化済みのセラミックス技術を取り扱っている市場レポートだけでなく、基礎研究の動向が記載されている技術資料やロードマップも参考とした。なお、文献情報に加え、別途設置した有識者検討委員会メンバー²からの助言や有識者へのヒアリング調査などで得られた情報も情報ソースとして活用していることを注記する。

² 有識者検討委員会の詳細は 4 章「付属資料 委員会の設置について」参照

表 2-2 情報ソース一覧

文献番号	文献名	発行年	調査主体	技術成熟度（イメージ）		
				基礎	実証	実用
1	平成 25 年度製造基盤技術実態等調査（ファインセラミックス産業技術戦略策定基盤調査）」	2013 年	経済産業省 （委託先：矢野経済研究所）	○	○	
2	我が国企業の国際競争ポジションの 定量的調査	2014 年	経済産業省 （委託先：富士キメラ総研）			○
3	日本セラミックス協会 夢ロードマップ	2014 年	日本セラミックス協会	○	○	○
4	2016 年版 ファインセラミックス製品の現状と将来性	2016 年	総合技研			○
5	国立科学博物館技術の系統化調査報告 「多孔質ファインセラミックス」の産業技術の系統化	2008 年	金野 正幸 （国立科学博物館産業技術史資料情報センター主任調査員）			○
6	日本ファインセラミックス協会ご提供資料	—	日本ファインセラミックス協会	○	○	○
7	日本ファインセラミックス協会「ファインセラミックス産業動向調査 2016 年版」	2016 年 12 月	日本ファインセラミックス協会			○
8	日本ファインセラミックス協会「ファインセラミックス産業の将来展望（Roadmap2050）」	2016 年 11 月	日本ファインセラミックス協会	○	○	
9	特許出願技術動向調査報告書（概要） 航空機・宇宙機器関連技術	2016 年 3 月	特許庁		○	○

技術俯瞰によって幅広い産業分野、用途で 120 程度の技術が抽出された。ファインセラミックスが多種多様な機能性を具備し、幅広い出口産業で貢献・活用されていることが改めて認識される。また、現在も基礎研究段階で上市を目指して日夜研究に取り組まれている次世代の技術も多数存在することが分かった。

2.2 章で後述するように、本事業では技術の簡易評価の方法として経済的価値（市場規模・プレイヤー）を指標の一つに用いている。このため、技術俯瞰では技術的に類似性を有するものであっても、用途が異なるものは別の技術として整理した。

前述の用途をベースとした技術抽出を踏まえ、主機能を基に要素技術を集約して、一連の技術の群として捉え、技術類型化を行った（表 2-3）。これにより、重要技術抽出のための簡易評価にあたって、他産業・用途波及まで捉えた俯瞰的・広範的な整理が可能となる。

表 2-3 代表的な技術への集約

	類型	主機能	代表的な技術	主用途
バルク	構造	耐熱・軽量・高強度	CMC	航空機エンジン・ブレーキ、火力発電タービン、自動車ブレーキ、原発炉心、軍事セキュリティ
		高強度・軽量・生体親和性	生体材料	人工骨・関節、DDS 用基板
		耐摩耗・軽量	摺動材料	各種ボールベアリング（車、風車等）
		高硬度	超高硬材料	各種切削工具
		耐熱・遮熱	耐熱セラミックス	各種炉材
	機能	磁気特性	磁性材料	各種硬磁性・軟磁性材料
		粒子集塵	フィルター材料	DPF、水浄化
		放熱・絶縁（・光学特性）	パッケージ材料	パワエレ・LED 用放熱基板、透明材料等
		圧電性	圧電材料	スピーカ、インクジェットヘッド、E.H.、圧電センサー等
		イオン伝導性	電解質材料	全固体電池 等
		誘電特性	キャパシタ・誘電材料	各種キャパシタ・コンデンサ、基板材料
薄膜	コーティング	耐熱	EBC, TBC	航空機エンジン、火力発電ブレード
		耐摩耗	摺動コーティング	自動車摺動部

以上のように、技術の俯瞰と整理の方法について、本年度は材料そのものに注目してリストアップした上で、機能ごとに分類する方法を選択した。次項以降では、整理した技術に対して簡易評価を実施し、重要技術として抽出されるものに対して、詳細調査を実施した上で課題を整理し、政策提言を検討する取組を試みた。この取組を行う上で起点となる表 2-3 の集約に関して、有識者委員からは、製造プロセスやシミュレーションがリストアップの対象とならないが、多分野への波及がある基盤的な技術領域が重要とする考え方もあるという指摘があった。これらの基盤的な技術領域に対しては、後で述べる経済的価値評価を行うことは難しいため、他技術と横並びで比較できないが、多用途への展開が見込める技術的価値の高い分野として、次年度以降、重要技術の候補に含めていく方向性を検討することが望ましい。

2.1.2 米国訪問調査

本節ではセラミックス分野の研究開発が活発な米国での最先端動向を把握するために実施した、米国訪問調査の内容と結果を示す。

米国におけるセラミックス関連技術の重点領域、CMC の研究開発状況、重要技術マネジメントの方針を把握することを目的に、現地調査を実施した。訪問先については表 2-4 に整理した。

カリフォルニア大学サンタバーバラ校 (University of California, Santa Barbara, UCSB) では、米エネルギー省 (DoE) や米国防総省 (DoD) 等の政府機関や民間企業から、CMC を含む高温部材に関する委託研究を実施しており、公的な CMC 開発の拠点として機能している。特に、今回訪問した Prof. Frank Zok や Prof. Carlos Levi は CMC および TBC/EBC の研究開発に長年携わっており、米国での研究開発動向に精通している。また、米国での CMC 研究開発動向および政府機関の技術マネジメントにも関与しており、米国政府の動向について知見を有している。

カリフォルニア大学ロサンゼルス校 (University of California, Los Angeles, UCLA) の Prof. Jenn-Ming Yang は高温複合材の試験方法や加工方法に関する研究を行っている。

カリフォルニア工科大学 (California Institute of Technology, Caltech) の Prof. Katherine Faber は米国立科学財団 (National Science Foundation, NSF) の主催で開催したセラミックス分野のワークショップで議長を務め、米国内のアカデミアが関心を持つセラミックス関連技術について明るい。

表 2-4 米国現地調査概要

訪問日	対象者	所属機関	対象者概要
2016 年 12 月 20 日	Prof. Carlos Levi	University of California, Santa Barbara (UCSB)	✓ 複合材の TBC・EBC に関する研究を実施 ✓ National Science Foundation (米国立科学財団) が 2016 年に開催した、セラミックス分野のワークショップに参加
	Prof. Frank Zok	University of California, Santa Barbara (UCSB)	✓ CMC を中心として構造部材の機械的特性に関する研究を実施 ✓ 米空軍研究所の CMC 関連ワークショップの議長を務めるなど、軍用を含めた政府の動きに詳しい
	Assistant Prof. Samantha Daly	University of California, Santa Barbara (UCSB)	✓ ミシガン大学にて、金属材料や複合材 (CMC 含む) のマイクロクラック解析に関する委託調査を実施
2016 年 12 月 21 日	Prof. Jenn-Ming Yang	University of California, Los Angeles (UCLA)	✓ 高温複合材の微細構造と特性、加工方法について研究しており、過去に CMC の研究を実施 ✓ 米国内での繊維開発状況に詳しい
	Prof. Katherine Faber	California Institute of Technology (Caltech)	✓ 複合材の TBC・EBC やフィルター等の多孔質素材の特性に関する研究を実施 ✓ National Science Foundation (米国立科学財団) が 2016 年に開催した、セラミックス分野のワークショップに議長として参加

米国訪問調査により、米国の動向として主に以下の 3 点を把握することが出来た。

1. CMC 等の Extreme Material および電解質材料が米国のセラミックス関連技術重点分野
NSF が 2016 年に開催したワークショップでは、研究者を中心とした参加者へのアンケート調査によりセラミックス関連技術における重点分野を 5 つ抽出している。重点分野は、新しい製造方法(積層造形(Additive Manufacturing)や 3D プリンター、冷間焼結(cold-sintering))、欠陥の現象(特に電気的特性に影響する欠陥)、グラフェン等の 2 次元素材、CMC 等の極限環境で用いられる材料(Extreme Material)、ガラス等のアモルファスとなっている。グラフェンは蓄電池用途で使用されており、米国では研究が盛んに実施されている(図 2-1)。

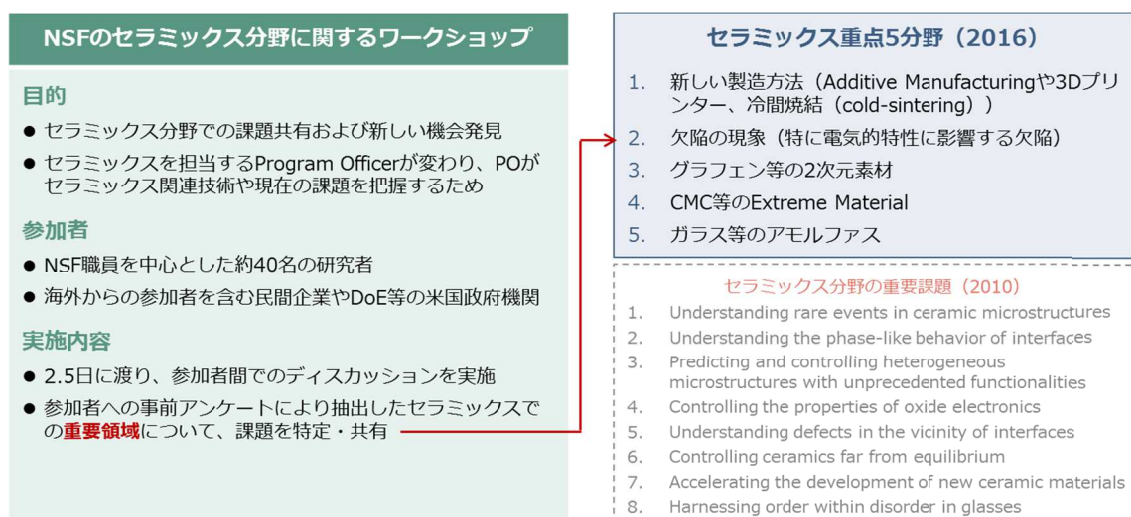


図 2-1 NSF のセラミックス分野に関するワークショップ

出所) ヒアリングを基に三菱総合研究所作成

2. 米国における CMC の研究開発は民間企業が中心

米国ではエンジンメーカーや発電用タービンメーカー等の民間企業が CMC の量産化に関わる研究開発を実施している(図 2-2)。繊維の開発は政府機関からの助成を受けた民間企業が進めている。大学では、民間企業や政府系研究機関からの委託研究を含め、機械的な特性や疲労解析を研究しており、棲み分けができています。米国政府では米空軍を中心に、極超音速機(Hypersonic)等の防衛用途に使用することを目的として、大学や民間企業での CMC 研究開発を助成している。

3. 米国政府は目標志向(ミッション・オリエンテッド)型で重要技術を抽出

DoE や DoD では目標志向(ミッション・オリエンテッド)型の重要技術マネジメントを実施しており、技術の用途や必要となる要件を検討して、対象となる重要技術を抽出している。また、NSF のように基礎研究を重視している助成機関も存在しており、潜在市場規模等の金銭的な面は考慮せず、課題解決を含めてどれだけ複数の用途に適用できる技術であるかを考慮した助成が行われている(図 2-3)。

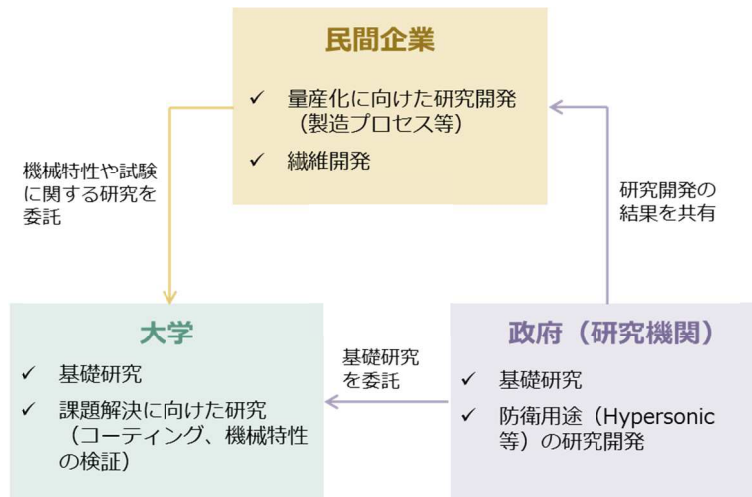


図 2-2 民間を中心とする米国の CMC 研究の体制

出所) ヒアリングを基に三菱総合研究所作成

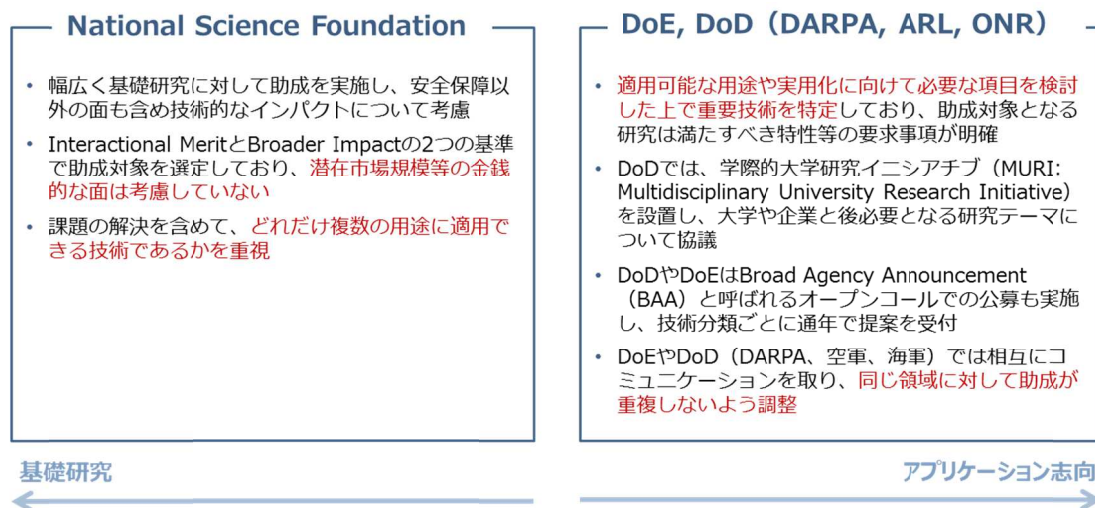


図 2-3 米国のファンディング機関の特徴

出所) ヒアリングを基に三菱総合研究所作成

2.2 重要技術の優先順位付け

我が国にとって重要な技術を選定する上で、セラミックスの技術分野全体を機能と用途に応じて集約した上で、経済的価値と技術的価値でスコアリングし、これらの基礎情報を基に有識者検討委員会で意見をいただいた。その後、客観的な分析情報と有識者の見解を踏まえて、重要技術を選定した。

スコアリングの評価項目には、表 2-5 に示す重要技術に関する指標を用いた。次年度以降、他分野にも適用していけるよう、客観的なデータを基礎情報として用いる再現性の高い方法を試行し、その有効性を検討した。

表 2-5 重要技術の評価軸

経済的価値			
評価項目		意図	評価基準例
市場規模		評価時点の市場価値	・ 対象技術または対象技術を含む製品の近年の世界市場規模はどのくらいか。
市場予測		将来にわたって投資する価値	・ 「発展性」で評価された内容を踏まえた市場拡大可能性はどのくらいか。 ・ 「独自性」で評価された内容を踏まえて、海外におけるニーズがあるか。
日本のシェア		国際市場における市場独占性	・ 日本企業の国際競争ポジション調査 ・ 「発展性」で評価された内容を踏まえた市場拡大可能性はどのくらいか。
技術的価値			
評価項目		意図	評価基準例
技術的優位性	独自性	日本企業にしか作れない、真似できない技術であるかどうか（ニッチさ）を知り、市場優位性のポテンシャルを図る指標	・ ある企業/大学/人等しか有していない独自の技術か。 ・ 海外から一部技術を手し、組み合わせているか。（構成に独自性があるのか。） ・ （一定水準以上に限定した場合）日本国内でしか生産されていないものか。 ・ 海外で生産されている場合でも、生産拠点は先進国のみか。 ・ 海外で生産されている場合でも、輸出規制により入手できないものであるか。
	先進性	特に先進国の開発状況と比較して国際的にリードしているかを知る指標	・ 特許件数 ・ 学会、論文発表動向 ・ 日本企業の国際競争ポジション調査 ・ 国の政策支援（研究開発予算、○○計画への位置づけ等） ・ ライバル企業等と比較した技術レベル
発展性		将来にわたって技術優位性を持てるかを図る指標	【研究開発段階の場合】 ・ 現行の類似技術に比べた改良点は何か。 ・ 実用化された場合の市場予測、応用分野の拡大可能性が大きいのか。 ・ 多用途への転用可能性が見込めるか。 【実用化段階の場合】 ・ 更なる性能向上やブレイクスルーが見込めるか。 ・ 代替技術があるか。代替技術と比較して技術的発展が見込めるか。 ・ 多用途への転用可能性が見込めるか。
諸外国政府・企業からの関心		日本側が気付いていない価値を知る指標	・ 展示会等を通じて日本企業へのアプローチがあった（多い）か。 ・ 技術者の引き抜きや技術流出事例があったか。

出所）経済産業省技術戦略室殿

2.2.1 経済的価値

経済的価値を検討する上で、セラミックス材料が使用される製品の世界市場規模、ならびに国内のセラミックス部材に関する主要プレイヤーの有無を調査した。

(1) 市場規模

機能ごとに分類したセラミックス関連技術について、想定される用途での 2025 年における部材レベルでの世界市場規模の予測を行った³。2025 年時点の世界市場規模が 100 億ドル未満を△、100 億ドル以上 500 億未満を○、それ以上を◎として評価した結果を表 2-6 に示す。

表 2-6 各部材の将来市場評価

代表的な技術	市場情報	2025 年の市場予測 (億ドル)	評価
CMC	CMC の世界市場は 2016-2026 年の間に CAGR9.65%で成長し、2026 年には 75.1 億ドルに達する見通し (MarketsandMarkets) ⁴ 参考) 出口となる航空機エンジンの世界市場は 2013 年に 796 億ドル (日本航空宇宙工業会)、自動車用ブレーキの市場規模は 2014 年に 219 億ドルだった (MarketsandMarkets)	69	△
生体材料	バイオセラミックスの世界市場は、2015 年以降 6.2%の年平均成長率で発展し、2022 年には 190.5 億ドル規模に達する (Global Information)	228	○
摺動材料	2015 年の国内の耐摩耗セラミック材の出荷額は 468.85 億円 (JFCA)。世界のベアリング市場の成長率は 7.6% (Global Market Insights)、日本のベアリング需要は世界の 15%と仮定した	58	△
超高硬材料	2014 年のセラミックス関連の工具・高硬度材の国内生産額は 2526.5 億円 (JFCA)、2014 年の機械工具製造業の製造品出荷額 (国内) は、7800 億円 (経済産業省「工業統計 (産業編)」)。2019 年の Machine Tool の世界市場予測 1810 億ドル、5.5%の成長率 (The Freedonia Group) より推計	808	◎
耐熱セラミックス	世界の耐火物の市場は 2015 年から 2020 年にかけて 3.9%の CAGR で推移し、2020 年には 337 億ドルの規模に成長する見通し (Global Information)	408	○
磁性材料	世界の磁性材料市場は、2015 年から 2020 年にかけて、9.6%の CAGR で推移し、2014 年の 555.2 億ドルから 2020 年までに、960 億ドルに達する見通し (MarketsandMarkets)	1,518	◎
フィルター材料	セラミックフィルター材料市場は 2015 年に 10 億ドル、年率 11.8%で成長する見通し (Global Information)	31	△

³ 為替レートは\$1=112 円としている

⁴ MarketsandMarkets “Ceramic Matrix Composites Market worth 7.51 Billion USD by 2026”
<http://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/ceramic-matrix-composites.asp>

代表的な技術	市場情報	2025 年の 市場予測 (億ドル)	評価
パッケージ材料	放熱基板の 2013 年の世界市場は 699 億円。チップの高出力化に伴い放熱基板の需要が増加している。2018 年は 1,025 億円と予測される（富士経済）	16	△
圧電材料	世界の圧電素子の市場は、2015 年から 2020 年にかけて 6.01% の CAGR で推移し、2015 年の 203.5 億ドルから、2020 年には 272.4 億ドルの規模に成長すると予測 (Global Information)	365	○
電解質材料	世界の電池材料市場は 2012 年に 51 億ドルで、2018 年には 113 億ドルに達し、2013 年から 2018 年にかけて 13.0% の CAGR で成長すると予測されている (MarketsandMarkets) 。さらに、電解質材料の 1/3 の市場が固体電解質であると仮定	89	△
キャパシタ・誘電材料	世界の誘電体材料市場の総売上高は 2012 年から 2020 年にかけて 5.29% の CAGR で推移し、2020 年までに総誘電体材料市場が 506.3 億ドルに達すると予測 (MarketsandMarkets) 。	655	◎
EBC, TBC	CMC 市場と同様の評価とした	—	△
摺動コーティング	摺動材料の市場と同様の評価とした	—	△

出所) 企業・業界データベース (SPEEDA)、ならびに表中記載の工業統計、市場レポートより作成

(2) 国内プレイヤー

各セラミックス関連技術について、想定される用途での国内部材メーカーの有無を調査した。国内にプレイヤーが存在し、なおかつ日本企業の国際競争力が高い場合は◎、国内にプレイヤーが複数存在するが必ずしも国際競争力が高いと判断できない場合は○、国内にプレイヤーが少なく国際競争力が高いと判断できない場合は△として評価した結果を表 2-7 に示す。

表 2-7 各部材に関する国内プレイヤーの有無

代表的な技術	国内プレイヤー情報	評価
CMC	SiC 系繊維は世界で宇部興産、NGS アドバンスファイバーのみが量産している。SiC 系 CMC は GE (米)、国内では IHI、川崎重工、イビデン、東芝が開発中	○
生体材料	バイオセラミックスに関する国内プレイヤーとしては日本特殊窯業、三菱マテリアルがある。医療機器関連分野では、日本より欧米企業の市場シェアが高い	△
摺動材料	日本精工、NTN、ジェイテクト、東芝マテリアルがセラミックベアリングを製造。ジェイテクト、NTN、日本精工はベアリングで世界でも主要プレイヤー	◎
超高硬材料	日本タングステン、京セラ、AGC セラミックスが主な国内プレイヤー。一般的な機械工具では、森精機、ヤマザキマザック、コマツ、ジェイテクト、ファナックが世界の主要プレイヤーであるが、材料の競争力は不明。	○
耐熱セラミックス	黒崎播磨、ロザイ工業、日本ガイシが耐火セラミックスを製造している	○
磁性材料	磁石メーカーとしては日立金属、大同特殊鋼、信越化学工業、TDK があり、世界でも日本企業のシェアが高い	◎

代表的な技術	国内プレイヤー情報	評価
フィルター材料	排ガス、水処理分野のセラミックフィルターを日本ガイシ、日本濾水機工、ノリタケ、メタウォーターが製造している	○
パッケージ材料	アライドマテリアル、東芝マテリアル、デンカ、三菱マテリアル、日本タングステン、京セラがセラミックの放熱基板を製造している。	○
圧電材料	本多電子、村田製作所、富士セラミックス、FDK、タムラ製作所が国内プレイヤーとして存在する	○
電解質材料	トヨタ、出光興産、パナソニック、オハラ、ナミックスが固体電解質の開発を行っている	○
キャパシタ・誘電材料	村田製作所、TDK、太陽誘電は世界市場における有力プレイヤーである	◎
EBC, TBC	CMC 市場と同様の評価とした	○
摺動コーティング	摺動材料の市場と同様の評価とした	◎

出所) 企業・業界データベース (SPEEDA)、ならびに有識者ヒアリングより作成

2.2.2 技術的価値

技術的価値は国家プロジェクトの規模（予算規模）、学術論文の件数推移、特許出願件数における日本国籍の件数の割合で評価を行った。

(1) 国家プロジェクト

ファインセラミックスに関連した国家プロジェクトおよびそれぞれの予算規模を調査した。これは、一定の市場調査・技術調査を経て開始されている国家プロジェクトの投資額は、政策的な重要性を反映していると考えられること、またプロジェクト遂行を通して我が国に技術の蓄積・発展が進められるとの考えに基づくものである。

評価結果を次表に示す。また、各国家プロジェクトの概要は、5章 付属資料 セラミックス関連の国家プロジェクトを参照されたい。

表 2-8 国プロによる評価結果

代表的な技術	国家プロジェクト（過去 5 年間ほど）	総額※2	評価
CMC	NEDO「戦略的省エネルギー技術革新プログラム」	531 億円	◎
	METI「次世代構造部材システム技術開発」		
	SIP「革新的構造材料」		
	METI「発電用原子炉等安全対策高度化技術開発費補助金」		
	MEXT「原子カシステム研究開発事業」		
	JAXA「高効率軽量ファン・タービン技術実証（aFJR）」		
	METI・NEDO「次世代構造部材創製・加工技術開発（軽量耐熱複合材 CMC 技術開発）」		
	JST「ALCA（先端的低炭素化技術開発）（自己治癒機能を有する革新的セラミックスタービン材料の開発）」		
生体材料	AMED「未来医療を実現する医療機器・システム研究開発事業（高機能足場素材とバイオ 3D プリントを用いた再生組織・臓器の製造技術の開発）」	51 億円	○
	SIP「革新的設計生産技術（フルディック材料創製と 3D プリンティングによる構造化機能材料・デバイスの迅速開発）」		
	SIP「革新的設計生産技術（高付加価値セラミックス造形技術の開発）」		
摺動材料	特になし	0 億円	×
超高硬材料		0 億円	×
耐熱セラミックス	特になし	0 億円	×
磁性材料	METI・NEDO「次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発」	96 億円	○
フィルター材料	特になし	0 億円	×
パッケージ材料	SIP「次世代パワーエレクトロニクス」	70 億円	○
圧電材料	JST A-STEP「セラミックスの高機能化と製造プロセス革新（非鉛圧電配向体の焼結しない低温作製法の確立 ～ I o T センサーおよびエネルギーハーベスター応用に向けて～）」※1	1 億円	×
電解質材料	NEDO「革新型蓄電池先端科学基礎研究事業」	226 億円	◎
キャパシタ・誘電材料	JST「ALCA（先端的低炭素化技術開発）（単結晶ナノキューブのボトムアップによる高性能小型デバイス開発）」	3 億円	△
	JST「ALCA（先端的低炭素化技術開発）（次世代蓄電デバイス用特異構造ナノクリスタルテーマ）」		
EBC, TBC	SIP「革新的構造材料」	14 億円	△
	JST「ALCA（先端的低炭素化技術開発）（輻射熱反射コーティングによる革新的遮熱技術）」		
摺動コーティング	特になし	0 億円	×
その他	JST A-STEP「セラミックスの高機能化と製造プロセス革新」※1	21 億円	－
	JST「ERATO（彌田超集積材料プロジェクト）」		
	JST「CREST（セラミックスヘテロ層における界面電磁場制御と熱エネルギー利用）」		

【評価基準】◎：100 億円以上、○：50 億円以上、△：10 億円以上、×：10 億円未満・未確認

※1 JST A-STEP は特定の用途に非限定の基盤的研究開発であるが、圧電材料は用途が明示的に読み取れたため記載

※2 要求額ベースもしくは見込み額。JST 関連 PJ は JST 規定の最大金額から推算

国プロジェクトの調査に関連して、有識者委員からは、過去に日米で実施されたプロジェクトの投資総額を比較することで技術の蓄積を判断できるというアイデアが出された。ただし、その場合、30 年以上過去に遡った国内外のプロジェクト記録の調査を要し、非常に難易度が高い。電子的な資料が残っていない過去のプロジェクトは、通常、所管官庁に保存されている事後報告書の調査やプロジェクト関係者へのヒアリングを通じて明らかにされる。特に、海外の過去のプロジェクト調査の実現可能性、実施方法、費用対効果については慎重に検討する必要がある。効率性、有効性の観点から、今後も、本年度実施したように各ファンディング機関のプロジェクトを調査し、件数ではなく金額を比較する方法を採用することが望ましいと考えられる。

(2) 論文件数推移

続いて、研究開発の活発度を比較検討するため、論文発表件数の推移を調査した。具体的には、表 2-9 に示す各技術領域の検索キーワードにより、学術論文データベースとして Elsevier 社の Science Direct を用いて 2006~2016 年の 10 年間における論文件数の推移を調査した（2016 年 12 月 25 日時点）。

表 2-9 論文調査で用いた検索キーワード

代表的な技術	検索キーワード	伸び	評価
CMC	ceramic matrix composite	2.47	△
生体材料	(biomaterial OR bone OR DDS) AND ceramics	2.38	△
摺動材料	(sliding OR bearing) and ceramics	2.08	△
超高硬材料	(high hardness) and ceramics	2.17	△
耐熱セラミックス	(heat resistant) and ceramics	2.28	△
磁性材料	magnetic and ceramics	2.13	△
フィルター材料	filter and ceramics	2.20	△
パッケージ材料	("power electronics" OR laser OR transparent) and ceramics	2.35	△
圧電材料	piezoelectric and ceramics	1.92	×
電解質材料	(solid batteries) and ceramics	3.00	◎
キャパシタ・誘電材料	(capacitor OR condenser) and ceramics	2.12	△
EBC, TBC	(EBC OR TBC) and ceramics	1.72	×
摺動コーティング	(sliding OR bearing) and (coating AND ceramics)	2.05	△

2016 年における論文発表件数が多いのはパッケージ材料、CMC、フィルター材料、摺動

材料、磁性材料の順となったが（図 2-4）、過去 10 年間に於ける論文件数の伸びが高いのは電解質材料、CMC、生体材料、パッケージ材料、耐熱セラミックスであった（図 2-5）。この結果より、論文件数の伸びについて、過去 10 年間の伸びが 3 倍以上である場合を◎、2.5-3 未満を○、2.0 以上 2.5 未満を△、2.0 未満を×として評価した（表 2-9）。

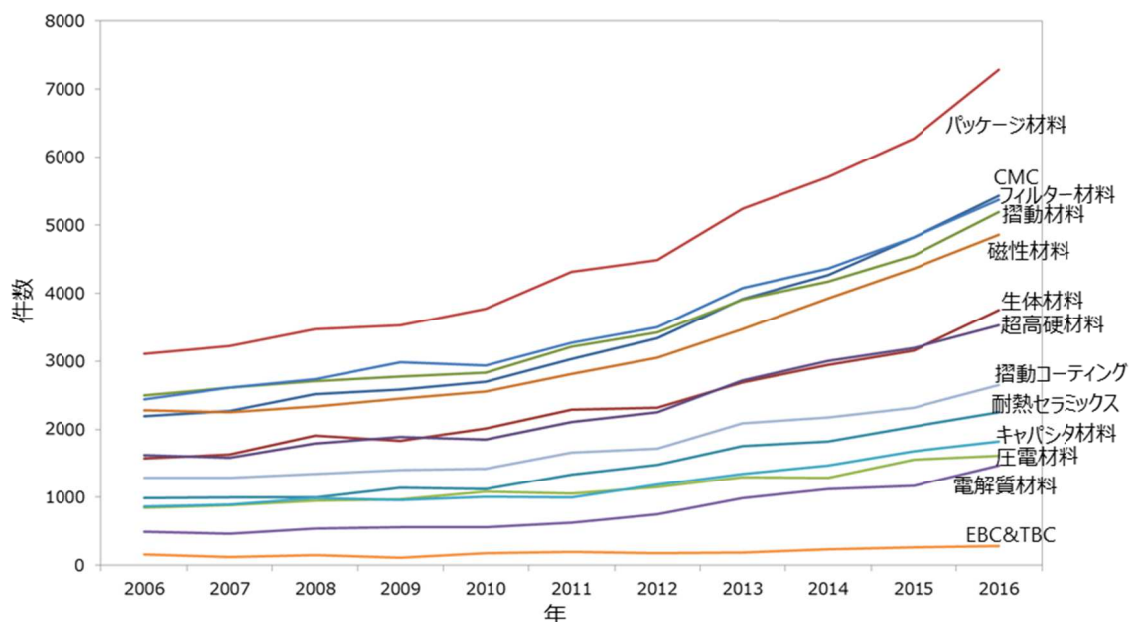


図 2-4 各技術の論文件数推移(2006-2016 年)

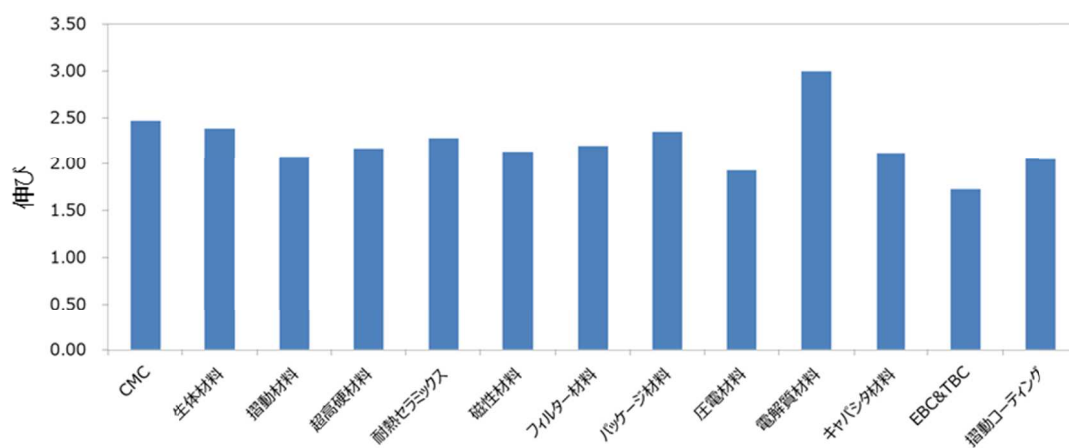


図 2-5 各技術の過去 10 年間に於ける発表論文件数の伸び(2006-2016 年)

本年度は、各技術の研究開発の活発度の指標として、論文発表件数の伸びを評価項目に含めたが、有識者検討委員会では、論文数は商用化が近づくにつれて減少する傾向がある点に留意が必要であるという意見や、論文発表件数の国別内訳を整理して各国の研究開発の競争力を比較できるのではないか、というアイデアが出た。また、特許出願件数は企業の戦略によって積極的に出願する場合とあえて出さない（クローズ戦略をとる）場合があるが、それと比べて論文件数は研究の活発度を図る指標として信頼性が高いとの意見があった。論文の

発表件数の推移を指標とすることは、技術的価値評価のスキームにおいて有用と考えられるが、次年度以降の調査では、論文発表件数推移の対象期間を 10 年以上に設定し、長期のトレンドの分析を検討していくことが望ましい。

(3) 特許分析

我が国が世界的に強みを有する技術かどうかを簡易的に評価するため特許分析を行った。

具体的には、米国、欧州、世界の三極の出願において出願人の国籍が日本である出願の割合を調査した。日本特許庁への出願はどの技術においても我が国企業の出願割合が非常に高く、技術による特徴が見られないため調査対象から除外した。また中国は市場規模としては大きい、法制度の整備状況が必ずしも十分とは言えず特殊性が高いため本調査から除外した。

特許分析のステップを図 2-6 に示す。最初に対象の技術分野に該当する特許文献を数件特定した後、該当特許に付与されている IPC⁵（International Patent Classification：国際特許分類）を抽出した（イメージは表 2-10）。さらに、この IPC が付与されている特許について米・欧・世界の三極の 20 年間分の出願件数を調査した。最後に、そのうち出願国コードが日本である出願件数の割合を算出した（イメージは表 2-11）。

特許検索にあたっては、一般的に、検索キーワードを設定して実施することが多いが、検索キーワードの設定は高度な専門性を要すること、ノイズを減らすにはキーワードの複雑な組み合わせを要すること、などの理由からここでは採用していない。本手法によって高度な専門性を要さなくとも、比較的簡便かつ再現性のある検索が可能である。

なお、今回抽出した IPC には組成特許のようなセラミックス材料そのものの特許が含まれるのみならず、用途特許や製法特許も広く含まれている。



図 2-6 特許分析のプロセス

⁵ 国際的に統一されて用いられている特許文献の技術内容による分類。世界知的所有権機関（WIPO）が管理する国際特許分類に関するストラスブール協定に基づいて作成されている。

表 2-10 ステップ①・②のアウトプットイメージ

CMC	特願2009-550857、表面積の縮小により磨耗可能なセラミックマトリックス複合材料、シーメンス エナジー インコーポレイテッド	C 0 4 B 35/80		C 0 4 B 35/80
		C 0 4 B 41/87		C 0 4 B 41/87
		F 0 1 D 5/28		
		F 0 2 C 7/00		
	特願2002-532190、炭化ホウ素をベースとしたセラミックマトリックス複合材料、グッドリッチ・コーポレーション	C 0 4 B 35/80		C 0 4 B 35/80
		F 1 6 D 65/12		
		C 0 4 B 35/80		
		F 0 1 D 5/28		
	特願2015-39749、セラミックマトリックス複合材料を生成する方法及びそれによって形成されるセラミックマトリックス複合材料、ゼネラル・エレクトリック・カンパニー	F 0 2 C 7/00		C 0 4 B 35/80
		F 2 3 R 3/42		
		F 0 1 D 25/00		
		C 0 4 B 41/91	C 0 4 B 41/91	
	特願2010-100456、セラミックマトリックス複合材料の製造方法、ゼネラル・エレクトリック・カンパニー	C 0 4 B 41/85	C 0 4 B 41/85	
		C 0 4 B 35/565	C 0 4 B 35/565	
		C 0 4 B 41/88	C 0 4 B 41/88	

表 2-11 ステップ③・④のアウトプットイメージ

技術	IPC分類	USの日本の出願人コードの出願数	USの全件	%	EPの日本の出願人コードの出願数	EPの全件	%	WOの日本の出願人コードの出願数	WCの全件	%
CMC	C04B41/87	28	96	29%	166	866	19%	129	360	36%
CMC	C 0 4 B 35/565	120	415	29%	221	459	48%	87	326	27%
CMC	C 0 4 B 41/85	20	72	28%	106	413	26%	113	235	48%
CMC	C 0 4 B 41/88	10	46	22%	66	380	17%	50	147	34%
CMC	C 0 4 B 35/80	61	317	19%	191	1392	14%	87	418	21%
CMC	C 0 4 B 41/91	9	50	18%	20	152	13%	27	78	35%
CMC	F 1 6 D 65/12	120	930	13%	134	1681	8%	78	662	12%
CMC	F 0 1 D 5/28	101	1,180	9%	196	2829	7%	97	868	11%
CMC	F02C7/00	69	1,139	6%	168	669	25%	253	836	30%
CMC	F 0 1 D 25/00	58	1,109	5%	206	853	24%	284	654	43%
CMC	F23R3/42	15	357	4%	54	235	23%	55	210	26%

特許分析の結果を表 2-12 に示す。磁性材料、圧電材料、キャパシタ・誘電材料の3つの技術において、米・欧・世界の三極全てで 30%以上を占めた。一方、CMC、生体材料は三極全てで 30%以下となった⁶。

有識者からは、企業は知財戦略上、積極的に出願する場合と防衛的になる場合があり、例えばプロセス特許は出願しないことが多いとの指摘があった。このため必ずしも特許出願件数によって競争力を分析できるわけではなく、慎重に扱うべきと言える。一方で、積極的に開発をし、出願しているプレイヤーの存在を推し量るという点では、出願件数の比較することに価値があると考えられることから、本事業では技術的価値評価の項目の一つとして知財分析の結果を含めている。今後は、特許件数の国別比較や論文件数の推移を基礎情報として分析した上で、技術の独自性、先進性、発展性に関して有識者との意見交換によって得られる情報を重視して評価することが望ましい。

⁶ 有識者検討委員会では、CMC 材料（特に繊維）は日本が長らく世界をリードしてきた分野であるため、日本のプレゼンスが低いことは直感的には違和感があるが、その解釈として、①ノウハウが重要な技術分野でありそもそも特許化されていないのではないか、②GE 社など海外勢が近年 CMC に関する用途特許を大量に出願しているためではないか、などの指摘があった。GE 社の最近の知財は、材料そのものではなく、部品に関する内容が多いとのこと指摘もあった。

表 2-12 特許分析の評価結果

代表的な技術	US	EP	WO	評価
CMC	4%-29% : 11% (5711件中)	7%-48% : 15% (9929件中)	11%-48% : 26% (4794件中)	△
生体材料	1%-27% : 5% (14158件中)	2%-18% : 9% (12639件中)	2%-39% : 14% (9174件中)	△
摺動材料	15%-45% : 27% (6353件中)	6%-48% : 23% (9438件中)	7%-65% : 32% (4740件中)	○
超高硬材料	26%-41% : 31% (3517件中)	10%-79% : 24% (5237件中)	20%-82% : 40% (2761件中)	○
耐熱セラミックス	12%-54% : 35% (7105件中)	9%-50% : 17% (9523件中)	19%-52% : 32% (4370件中)	○
磁性材料	5%-72% : 33% (5622件中)	6%-69% : 38% (4572件中)	15%-80% : 47% (3554件中)	◎
フィルター材料	11%-51% : 18% (9926件中)	21%-51% : 33% (10038件中)	20%-52% : 33% (7188件中)	○
ハーフセミア材料	7%-46% : 23% (44674件中)	7%-68% : 27% (16934件中)	14%-71% : 42% (14715件中)	○
圧電材料	13%-85% : 56% (16125件中)	11%-86% : 44% (11462件中)	19%-100% : 55% (7408件中)	◎
電解質材料	21%-49% : 29% (13445件中)	17%-78% : 39% (11934件中)	18%-83% : 45% (10796件中)	○
キャパシタ・誘電材料	35%-48% : 44% (3990件中)	22%-47% : 40% (1950件中)	22%-71% : 66% (1785件中)	◎
EBC, TBC	4%-29% : 12% (8610件中)	7%-39% : 18% (8597件中)	11%-63% : 34% (5652件中)	○
摺動コーティング	12%-40% : 31% (2598件中)	14%-30% : 26% (4164件中)	0%-55% : 44% (2819件中)	○

【評価類型】◎：三極全てで 30%以上、○：三極のうち少なくとも一極が 30%以上、

△：三極全てで 30%以下

※1 各セルの数値の意味：複数ある IPC の割合の下限～上限：割合の加重平均値（のべ件数）

※2 出願人国コードが日本の出願件数の割合を集計（過去 20 年間）、検索範囲：要約、検索対象：US, EP, WO の出願特許

2.2.3 簡易評価

以上のように経済的価値、技術的価値の観点から各技術の評価を行った。本調査でそれぞれの評価項目を検討する上で用いた基礎情報とその情報源を表 2-13 に整理した。

表 2-13 本調査で用いた技術の評価軸とそれぞれの情報源

評価項目		意図	今回の調査で活用した情報源
経済的価値	市場規模	評価時点の市場価値を図る。	・工業統計や業界レポート等の公表データ ・国内プレイヤー（主に企業）の有無
	市場予測	将来にわたって投資する価値があるかを図る。	
	日本のシェア	国際市場における市場独占性を知り、技術的価値も考慮した上での政策支援方法を検討する。	
技術的価値	技術優位性	独自性	【有識者からのヒアリング】
		先進性	・国プロの有無と事業規模（金額） ・論文件数推移 ・特許出願比率
	発展性		【有識者からのヒアリング】
	諸外国政府・企業からの関心		・米国有識者からのヒアリングにより得た、米政府・大学の関心の有無

表 2-13 に示す基礎情報を基に 2 つの観点から各技術の評価を総合した結果を表 2-14 に整理する。

①経済的価値（市場規模、国内プレイヤーで評価）は磁性材料、キャパシタ・誘電材料、超高硬材料が上位 3 つであった。②技術的価値（国家プロジェクト、論文件数推移、特許出願比率で評価）は電解質材料、磁性材料の次に CMC、パッケージ材料、キャパシタ・誘電材料が並んだ。

①経済的価値および②技術的価値の和による評価で見ると、磁性材料、キャパシタ・誘電材料、電解質材料の順番が上位となった。

なお、技術的価値の評価指標として用いた論文件数推移は、当該技術分野の活発度のバロメータとして用いたが、実用化が近づくと減る傾向にあるため、TRL があまりにも異なる技術同士で単純に適用することは一概に適切であるとは言えないことを注記しておく⁷。本調査においては、比較した各技術の TRL の幅が比較的重複しているとの前提の下、論文件数推移を用いている。また、特許出願比率も日本の研究開発活動の活発度や競争力のバロメータとして援用したが、クローズ戦略が適する技術分野（製法など）の競争力そのものを評価できるわけではないことに留意が必要である⁷。

⁷ 有識者委員ご指摘

表 2-14 簡易評価結果

代表的な 技術	①経済的価値			②技術的価値				評価 ① + ②
	市場 規模	国内 プレーヤ ー	評価 ①	国家 プロジェ クト	論文 件数 推移	特許 出願 比率	評価 ②	
CMC	△	○	1.5	◎	△	△	1.7	3.2
生体材料	○	△	1.5	○	△	△	1.3	2.8
摺動材料	△	◎	2.0	×	△	○	1.0	3.0
超高硬材料	◎	○	2.5	×	△	○	1.0	3.5
耐熱セラミックス	○	○	2.0	×	△	○	1.0	3.0
磁性材料	◎	◎	3.0	○	△	◎	2.0	5.0
フィルター材料	△	○	1.5	×	△	○	1.0	2.5
パッケージ材料	△	○	1.5	○	△	○	1.7	3.2
圧電材料	○	○	2.0	×	×	◎	1.0	3.0
電解質材料	△	○	1.5	◎	◎	○	2.7	4.2
キャパシタ・誘電材料	◎	◎	3.0	△	△	◎	1.7	4.7
EBC, TBC	△	○	1.5	△	×	○	1.0	2.5
摺動コーティング	△	◎	2.0	×	△	○	1.0	3.0

【採点基準】◎：3点、○：2点、△：1点、×：0点

※ ①経済的価値、②技術的価値の価値それぞれの評価が3点満点となるよう規格化

2.2.4 重要技術の抽出

簡易評価の結果と有識者の意見を踏まえて、特に着目すべき重要技術の抽出を試みた。

セラミックス分野の今後の重要技術に関連する参考情報として、日本ファインセラミックス協会が2016年に発表したFC Roadmap 2050がある。このロードマップは国内外専門家へのインタビュー、日米欧企業へのアンケート調査等を通じて策定され、2050年までのファインセラミックスの技術の発展、製品の開発・上市、社会への貢献を予測したものである。

表 2-15 FC Roadmap2050 で取り上げられている注目市場・技術

市場カテゴリ	注目の市場・技術
モビリティ分野	✓ 自動運転システム用セラミックス部材：各種セラミックスセンサー、ミリ波レーダーなど ✓ 電動化に伴う各種セラミックス部材：パワーデバイス、全固体型電池（硫化物、酸化物）、次世代 Li 電池用部材、無線給電用セラミックス部材など ✓ 燃料電池自動車（FCV）：水素製造触媒、MCH 化触媒用セラミックス ✓ その他：水分解光触媒
エレクトロニクス・ICT 分野	✓ センサー：五感センサー、化学物質セラミックスセンサーなど ✓ パワーデバイス：SiC、GaN、Ga₂O₃、ダイヤモンドなど ✓ ディスプレイ用デバイス：ヘッドマウント型用セラミックス部材、空間像再生型 3D デバイス用セラミックス部材 ✓ 半導体：MRAM、量子スピンメモリ
医療・ヘルスケア・福祉分野	✓ 再生医療：DNA チップ、印刷バイオチップなど ✓ 人工骨・人工関節：セラミック足場骨格材料、生体応答性・自己修復性材料など ✓ ロボット：介護機器、手術支援ロボットなど ✓ 健康モニター・予防機器：呼吸センサー、バイタルセンサー、DDS など
エネルギー分野	✓ 太陽電池：高変換率用セラミックス部材 ✓ 化石燃料：石炭ガス化複合発電用セラミックス部材 ✓ 水素プラント：水素製造触媒、MCH 化触媒用セラミックス ✓ パワーデバイス：SiC、GaN、Ga₂O₃、ダイヤモンドなど ✓ 電池：全固体型電池（硫化物、酸化物）、次世代 Li 電池用部材 ✓ その他：掘削セラミックス、SiC コンポジット耐熱用部材
建築・インフラ分野	✓ ゼロエネルギービル（ZEB）：燃料電池、LED 照明、マルチセラミックス膜断熱材料など ✓ 壁材・建材：電波吸収材料、自己修復セラミックス、セラミックスコーティングなど ✓ 宇宙エレベーター：CNT 等セラミックス複合材料ワイヤー、無線送電など
環境・水・食料分野	✓ 植物工場：LED 照明、土壌成分分析センサー、機能性セラミックス人工土、多孔質セラミックスなど ✓ 食料：エレクトライド触媒による窒素固定・アンモニア合成など ✓ 水：セラミックメンブレン、センサーなど ✓ 調理：ロボットキッチン、食味分析ロボット、味覚・嗅覚・化学センサーなど ✓ 地球環境：放射線吸収材料など

出所）一般社団法人日本ファインセラミックス協会「FC Roadmap 2050」より引用

FC Roadmap2050 では前述の表に示す市場・技術が注目技術として取り上げられている他、アプリケーションに依らない共通技術の重要性も指摘されている。具体的には以下のプロセス技術、シミュレーション、機能セラミックスが共通技術として取り上げられている。有識者からは、ここで取り上げられているようなセラミックス、あるいは材料技術全体に関わる基盤的なテーマや基礎研究に対して、長期的な視点での継続的な投資が必要だとの意見も聞かれた。

- ・コーティング技術
- ・焼成プロセス技術
- ・CMC 技術
- ・3D プリンティング技術
- ・低温焼結技術

- ・無焼成技術
- ・シミュレーション技術
- ・圧電アクチュエーター技術
- ・伸びるセラミックス技術
- ・希少元素フリー技術
- ・熱伝導制御技術
- ・透明セラミックス技術
- ・計算材料設計技術
- ・柔らかいセラミックス技術

また、表 2-14 に示す結果を基に議論を行った有識者検討委員会では、経済的価値、日本の優位性の維持、社会ニーズの観点から、有識者から様々なセラミックス技術を重要と考えるご意見をいただいたが、7名の有識者が一致して、国策として重要であると指摘したのは CMC であった。そこで本事業では CMC を重要技術として抽出し、次項で詳細な調査を行った。

重要技術の抽出方法そのものに関するご意見として、戦略性をふまえた抽出方法の検討が必要、複数企業と付き合いのある計測分析機器メーカーへのヒアリングにより動向をつかむことが有効、とのコメントもあった。

2.3 技術的・経済的価値の検証

2.3.1 CMC

(1) 技術的・経済的価値

1) 日本と世界の開発動向

① 日本における開発経緯

図 2-7 に示す通り、SiC 系 CMC で用いられる SiC 繊維は 1975 年に東北大学で開発され、その後、日本カーボンからニカロン繊維、宇部興産からチラノ繊維として商品化された。これまでに多くのメーカーが開発を検討したが、量産技術を有するのは日本メーカー 2 社のみである。SiC 繊維は SiC マトリックスと複合化される。SiC マトリックスの形成方法は大きく 3 種類存在し、ガスを原料とする CVI (Chemical Vapor Infiltration)、ポリマーを原料とする PIP (Polymer Impregnation and Pyrolysis)、および MI (Melt Infiltration) 法がある。

日本では、1990 年代から 2000 年頃まで、過去に通商産業省（現、経済産業省）の支援の下、「超音速輸送機用推進システム研究開発（HYPR）」、「環境適合型次世代超音速機用推進システムの研究開発（ESPR）」⁸、「先進材料利用ガスジェネレータ技術開発（AMG）」、「シナジーセラミックス」⁹の各プロジェクトを実施し、航空機用エンジン基盤技術の整備に取り組んできた¹⁰。HYPR ではマッハ数 5 までをカバーする超・極超音速輸送機用エンジンの技術開発が行われ、ESPR では HYPR の成果を活用しつつ、マッハ数 2 までに対応する環境適合型の超音速輸送機用エンジンの基盤技術開発が検討された。CMC は AMG ではガスタービブリス、燃焼器ライナー、ファスナー、HYPR、ESPR プログラムではベーン、シュラウド、燃焼器ライナー、シナジーセラミックスでは小型ガスタービン用燃焼器への適用が研究された^{11,12}。また、自動車向けでは 100kW 級自動車用セラミックガスタービンの研究開発（H2～H8）が通商産業省の補助事業として、財団法人石油産業活性化センター（PEC）が実施したプロジェクトで推進された¹³。このプロジェクトの中では、材料特性評価方法もあわせて開発が行われ、PEC 規格としてまとめるところまで検討が行われた¹⁴。

ところが、これら 1990 年代～2000 年代初頭のプロジェクト以降、国としてこの分野への支援が細ったこと、事業として成立する規模の市場を見出すことができなかったことから、日本における CMC 開発は停滞した。この間、多くのプレイヤーが CMC 開発から撤退したが、日本カーボン、宇部興産、IHI は、継続的に開発を進め、現在技術的に他社をリードし

⁸ 予算総額は約 113 億円

<http://www.nedo.go.jp/content/100091197.pdf>

⁹ 予算総額は 5 年間で 71.6 億円

<http://www.nedo.go.jp/content/100091126.pdf>

¹⁰ 軽量耐熱複合材 CMC 技術開発（産学連携） 事業評価用資料

http://www.meti.go.jp/policy/tech_evaluation/c00/C0000000H24/121129_koukuuki/koukuu6-8-4.pdf

¹¹ 公益財団法人航空機国際共同開発促進基金「近年の民間航空機用エンジン開発、技術の動向」

<http://www.iadf.or.jp/document/pdf/16-4-6.pdf>

¹² 井頭賢一郎「Si-M-C-O 繊維強化 SiC 複合材料のガスタービン燃焼ライナへの適用に関する研究（2003）」

¹³ ガスタービン用低エミッション燃焼技術

http://www.tytlabs.com/japanese/review/rev323pdf/323_003ohkubo.pdf

¹⁴ 財団法人石油産業活性化センター「セラミックス基複合材料の特性評価 規格集（H9 年 3 月）」

ている。

2010年代に入ると、CMCは再び注目を集め、内閣府SIP「革新的構造材料」、NEDO/METI「次世代構造部材創製・加工技術開発」、国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構(JAXA)「aFJR(高効率軽量ファン・タービン技術実証)」事業の中で航空機エンジン部材としての開発が活発に進められている。また、2011年の東日本大震災後、原子力発電プラント向け事故耐性SiC炉心材料の開発を東芝とイビデンが共同で進めており¹⁵、経済産業省「発電用原子炉等安全対策高度化技術開発費補助金」において国の支援も行われている¹⁶。表2-16に示す通り、航空機向けCMCと原子炉向けSiC/SiCの開発プロジェクトが複数実施されているが、ほとんどのプロジェクトがSiC系のCMCを対象としている。

国	1970年代	1980年代	1990年代	2000年代	2010年代
日本	東北大学金属材料研究所 矢島教授グループがSiC繊維を発明	ニカロン(日本カーボン) → チラノ(宇部興産)	ハイニカロン → LoxM → ZMI NEDO AMG計画(1993-2002) 工技院のHYPER計画(1989-1998) NEDO ESPR計画(1999-2003)	ハイニカロンタイプS → チラノ/SA NEDO シナジーセラミックス(1999-2003) NEDO CFCCプロジェクト(2002-2006) EBC	(NGSアドバンスファイバー) IHI NEDO/METI(2015-2019)、SIP(2014-2018) JAXA「aFJR」
米国		ダウコーニングが開発をスタート	シルラミック(ダウコーニング→COIC) IHPTET(1987-2005) 軍用機向けエンジン CFCC(1995-2000)	GE 発電向け、 軍用機エンジンで実証	軍事予算によるMatechの開発 GE 2016年にLeapシリーズのシュワウド等に適用 PW UTAS傘下のGoodrich Corp.とサプライチェーンを構築
欧州		CVI法によるSiC/SiC(SEP)	SiC繊維(SGL Carbon) Sibramic(SiBNC繊維)(Bayer) Fiberamic(SiC繊維)(Rhoe Poulenc Chimie)		RR Hyper-Therm HTCを買収し、試験的な採用を進めている Safran 試験的な採用を進めている
中国				CeraFil(Saifei Gr.)	
備考		当初は高温ガスタービンとしてのセラミックスガスタービンが開発ターゲット	国プロは航空機のタービン部品や燃焼器ライナがターゲット	市場性の見込みが乏しかったことから、多くの企業が撤退	

図 2-7 SiC系CMCの開発経緯

¹⁵ 東芝プレスリリース(2014年07月03日) https://www.toshiba.co.jp/about/press/2014_07/pr_j0301.htm

¹⁶ 資源エネルギー庁 公募結果
http://www.enecho.meti.go.jp/appli/public_offer_result/1601/160105a/

表 2-16 CMC に関する最近のプロジェクト

	プロジェクト名	所管	予算（億円）	期間	概要	参画機関	SiC系	Ox系	C/SiC系
航空機	戦略的省エネルギー技術革新プログラム	NEDO	－	H25～H27	「CMCタービン翼の開発」 CMCのうちSiC繊維で強化されたSiC複合材は、従来の航空エンジン用耐熱材料であるニッケル超合金より200℃高い耐熱性を有し、密度が1/4程度と軽量である。本研究では、航空エンジンに搭載するCMCタービン翼を開発し、航空機の燃費改善を図る。	IHI シキボウ (再委託：東京大学、JAXA)	○		
	次世代構造部材創製・加工技術開発	METI/ NEDO	H27～H31間の事業総額（予定）：60	H23～H27	④－1「軽量耐熱複合材CMC技術開発（基盤技術開発）」 航空機エンジン用部材の新材料の候補として有望なCMCの研究を行う (1) CMC損傷許容評価技術開発 (2) CVI（化学的気相浸法）プロセス最適化 (a) CVI反応条件の最適化 (b) CVIシミュレーション技術開発 (3) コーティング技術開発	IHI (再委託：東京大学、東京理科大学等)	○		
				H27～H31	④－2「軽量耐熱複合材CMC技術開発（高性能材料開発）」 (1) CMC材料の開発 SiC繊維を安定的に供給できる生産技術の確立、CMC材料を開発 (2) 高性能SiC繊維の開発 高温クリープ特性に優れるSiC繊維の高生産焼結プロセスを開発とCMCへの適用	宇部興産（再委託：山口東京理科大学、群馬大学、特殊無機材料研） IHI（再委託：東京大学、東北大学、JAXA） 川崎重工業（再委託：豊田自動織機、イビデン、東京大学） シキボウ	○		
	SIP「革新的構造材料」耐環境性セラミックスコーティング	JST	H26：5.2 H27：3.3 H28：4.0（見込み） (領域全体の予算)	H26～H30	CMC耐温度1400℃の酸素・水蒸気を含む環境下において長時間曝露後も、EBC構造と界面制御コーティング構造を維持し、軽量セラミックス部材の力学特性（損傷許容性）を持続させるために、以下の技術を開発する。 (1) 熱・水蒸気・酸素遮断性に優れた多層セラミックスコーティング膜の最適材料設計。 (2) 最適多層セラミックスコーティング膜を具現化するEBC技術の開発 (3) 部材内部の基材となるSiC繊維表面への界面制御コーティング技術の開発 (4) EBC膜の使用限界の把握と、世界最高水準の部材特性の実証	JFCC 東北大学 横浜国立大学 東京工業大学 NIMS 東京大学 JAXA IHI JUTEM	○		

	プロジェクト名	所管	予算（億円）	期間	概要	参画機関	SiC系	Ox系	C/SiC系
航空機	SIP「革新的構造材料」 軽量耐熱高 靱性耐環境 コーティングの 開発				航空機用エンジンにおいて従来のコーティングは機能材として酸化防止や水蒸気透過抑止などの役割を担っていた。この研究開発では、コーティングを構造材として捉え、靱性の低いセラミックス材料の靱性向上を目的とする。 (1) 薄肉コーティング構造の製造プロセス設定 (2) 酸化物系セラミックス繊維の耐熱性向上 (3) 遮熱・アブレーダブル等の機能を有したコーティングの開発 (4) 材料・構造の設計・評価技術の確立	三菱重工航空エンジン NIMS アート科学 ニチビ		○	
	SIP「革新的構造材料」 MI セラミックスコーティング		MI 領域全体で H26：11 H27：12 H28：13（見込み）		理論、実験、解析、シミュレーション、データベースを融合して材料の研究開発を工学的な視点に立ち支援する総合的な材料技術ツール、MI を開発しており、対象材料の 1 つにセラミックスコーティングが含まれる。TBC で基本システムを設計し、EBC への適用を進める。	東北大学 NIMS AIST 九州工業大学	○		
	高効率軽量ファン・タービン技術実証（aFJR）	MEXT	H25：10.6 H26：18.1 H27：17.7（他 PJ との合算）	H25～H29	(2) ファン+低圧タービンの 10%軽量化のテーマにおいて、ファンの回転駆動力を発生する低圧タービンの重量増を抑制するため、過回転防止設計技術の開発や高信頼性評価により、耐熱複合材（セラミックス基複合材（CMC））を適用した超軽量低圧タービン技術の実現を目指す	JAXA IHI 東京大学 筑波大学 金沢工業大学	○		
原子力	発電用原子炉等安全対策高度化技術開発費補助金	METI	—	事業全体 H24～H30	「SiC 炉心材料の開発」 我が国の原子力発電所が世界最高水準の安全性を確保するために、安全対策高度化に資する開発課題（例：シビアアクシデント対策として、溶けた燃料を炉内に保持するためのシステム等の開発）に関する技術開発を支援	H27 年度採択 東芝 イビデン 原子燃料工業	○		
	原子力システム研究開発事業	MEXT	—	H24～H28	「高度の安全性を有する炉心用シリコンカーバイト燃料被覆管等の製造基盤技術に関する研究開発」 原子力施設の安全性向上に関する基盤技術の強化・充実のための、高性能 SiC に関する技術開発を行い、SiC/SiC 燃料被覆管の成立性を示す。これによりナノ含浸遷移共晶相法（NITE 法）を用いた燃料被覆管等炉心構造部材用 SiC/SiC の製造基盤技術を構築することを目的とする	室蘭工業大学 （再委託：北海道大学、東北大学、大阪大学、日本原子力研究機構）	○		

出所）各プロジェクト公開情報より作成

② 世界における開発状況

GE（米）は 2000 年に発電向けのタービンシュラウドに CMC を適用、一部軍用機エンジンで実証し、2016 年に民間航空機向けの新型エンジン Leap シリーズのシュラウド等に適用している。また、次期 Boeing777X 向けの GE9X エンジンの燃焼器にも CMC を適用する

計画を発表している。同時に生産能力拡大の投資も行っており、Safran（仏）、日本カーボンと共同で 2012 年に NGS アドバンストファイバーを設立、SiC 繊維を安定的に供給できる体制を構築した。NGS アドバンストファイバーは Leap 向けの CMC 製品の製造のため、日本国内に新工場を建設して生産能力を増強する¹⁷他、米国アラバマ州で GE が建設を予定している繊維の量産工場に製造ライセンスを供与することを発表している¹⁸。現状、実用化に向けては GE が CMC の開発において世界で最も進んでいる。現状、米国で CMC 開発が進んでいる背景には、政府の研究開発プロジェクトを通じた技術の蓄積があると言われる。米国では DoE の Advanced Gas Turbines Program¹⁹ (AGT: 1979-1987)からガスタービン高温部品向けセラミック材料の開発が本格的に始まり¹²、その後、the Advanced Turbine Technology Applications Program¹⁹ (ATTAP: 1988-1992)、Ceramic Stationary Gas Turbine Development Program²⁰ (CSGT: 1992-2000)の各プロジェクトに引き継がれ発展してきた。また、航空機用エンジン向けでは DoD、NASA による航空機エンジンの高性能化プログラム Integrated High Performance Turbine Engine Technology (IHPTET: 1988-2003)において、CMC を燃焼器に適用するための研究開発が行われた経緯がある。

他のエンジンメーカーの動向として、P&W は CMC の複合化の技術を有する UTAS 傘下の Goodrich Corporation とサプライチェーンを構築し、技術を確保するなど体制強化を図っているが、CMC のエンジンへの適用に関する計画は発表していない。Rolls-Royce は 2013 年に Hyper-Therm HTC を買収し、試験的な採用を進めている他、3 千万ドルを投じて研究所を拡張し、CMC の開発を加速させる計画を 2016 年に発表している²¹。

この他、NASA では燃焼器やタービン翼への CMC の適用や EBC に関する研究が進められている。また、Boeing は酸化物系 CMC のノズルを Rolls-Royce のエンジン Trent1000 に搭載し、CLEEN のプログラムで評価を実施するなど、航空機向け材料として各国・各機関の開発が活発化している。

2) 標準化動向

ISO では TC206 で Fine Ceramics（ファインセラミックス）について議論が行われており、CMC 関連の規格は TC206 の下に設置されている ISO/TC206/WG4 Composites で検討が進められている。TC206 は韓国が議長、日本が事務局を担当し、投票権を有する P (Participant) メンバー15 か国、投票権のない O (Observer)メンバー16 か国で構成されている²²。WG4 のコンビナーはフランスである。

日本は H25～27 年度の METI/NEDO 事業「次世代構造部材・システム技術開発（軽量耐

¹⁷ 日本カーボン株式会社「子会社 NGS アドバンストファイバーの生産能力増強に関するお知らせ」
https://www.carbon.co.jp/ir/upload_pdf/topic_140904.pdf

¹⁸ 日本カーボン株式会社「炭化ケイ素連続繊維事業の米国展開について」
https://www.carbon.co.jp/topics/upload_pdf/topic_151028_01.pdf

¹⁹ 木場 篤彦 「ファインセラミックス産業の成立に関する日本の技術政策の歴史的役割(2008)」
<https://dspace.jaist.ac.jp/dspace/bitstream/10119/7543/1/235.pdf>

²⁰ Solar Turbines, “Ceramic Stationary Gas Turbine Development Program (2009)”
<https://netl.doe.gov/publications/proceedings/99/99ats/4-8.pdf>

²¹ Rolls-Royce, “Rolls-Royce expands Aerospace research center in Southern California”,
<http://www.rolls-royce.com/media/press-releases/yr-2016/27-10-2016-rr-expands-aerospace-research-center.aspx>

²² ISO/TC 206 Fine ceramics,
http://www.iso.org/iso/iso_technical_committee.html%3Fcommid%3D54756

熱複合材技術開発)」において試験方法の開発を行い、その成果として得られた試験方法を ISO に提案している。また、コンビナーを務めるフランスからは原子力分野に関連する試験方法等の提案が積極的に行われている。

なお、米国は現在、TC206 には参加していない²²。米国では ASTM International の C28.07 (Ceramic Matrix Composites)委員会²³にて、CMC に関する規格策定が検討されている。

3) CMC の技術的価値・経済的価値

日本が有する CMC の技術開発状況を総括すると、SiC 系繊維の量産ができるのは日本企業のみであり、我が国技術の独自性は高いものの、CMC の複合化・実用化まで含めた先進性では米国に後れをとっている状況にある（表 2-17）。また、図 2-8 に示す通り、CMC は航空機エンジンに限らず、原子炉、ガスタービン、熱交換器、ブレーキ、衛星用の光学機器、軍用途として超音速機、耐熱タイル等にも展開が検討されるなど、多用途への転用が期待できる点で、技術波及が大きい技術と言える。

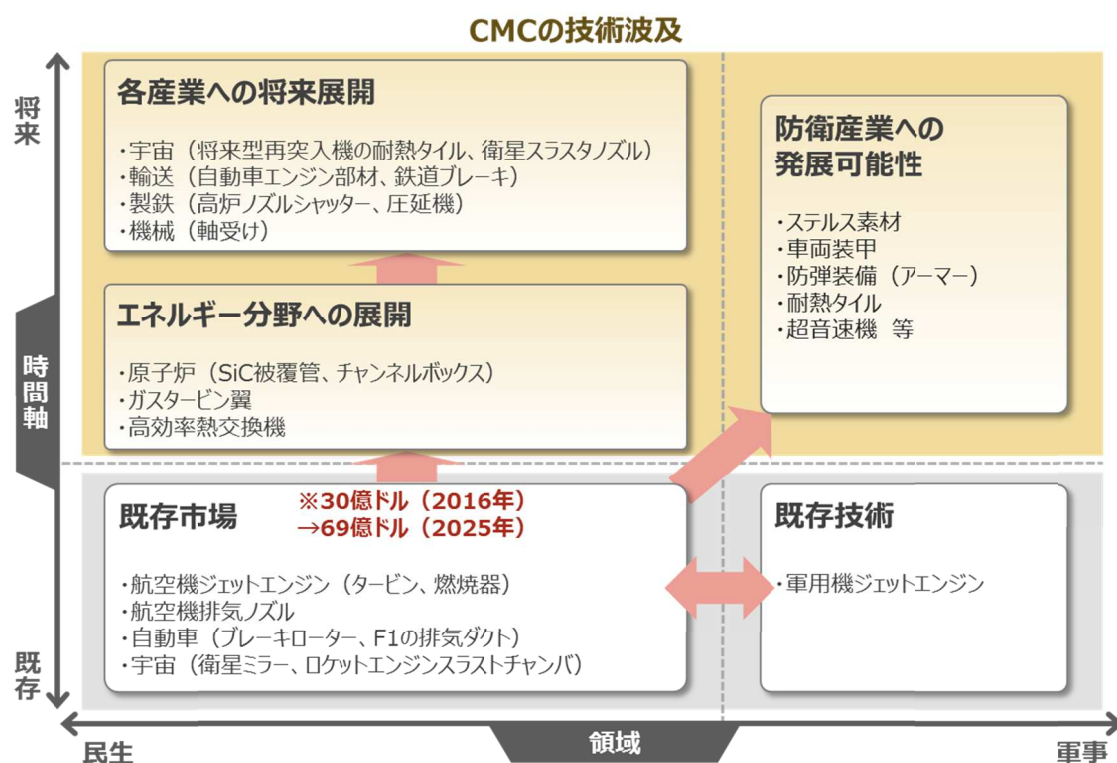


図 2-8 CMC の多用途への展開可能性

²³ ASTM Subcommittee C28.07 on Ceramic Matrix Composites,
<https://www.astm.org/COMMIT/SUBCOMMIT/C2807.htm>

表 2-17 CMC の技術的価値

評価項目		意図	評価基準例	評価結果
技術優位性	独自性	日本企業にしか作れない、真似できない技術であるかどうか（ニッチさ）を知り、市場優位性のポテンシャルを図る。	- ある企業/大学/人等しか有していない独自の技術か。 - 海外から一部技術を手し、組み合わせているか。（構成に独自性があるのか。） - 海外では生産されてなく、（一定水準以上に限定した場合）日本国内でしか生産されていないものか。 - 海外で生産されている場合でも、生産拠点は先進国のみか。 - 海外で生産されている場合でも、輸出規制により入手できないものであるか。	- 構成部材であるSiC繊維は日本に優位性があり、世界でも国内2社しか生産できない - ドイツや米国 Celanese、3M、Dow Corning、Du Pont が開発しようと試みたが、量産できるメーカーはまだ日本以外にない - 中国が繊維の生産を進めているが、技術的には遅れている - ただし、Ox/Ox 系や C/SiC 系 CMC は国内にプレイヤーが少なく、海外に遅れをとっている
	先進性	特に先進国の開発状況と比較して国際的にリードしているかを知る。	- 特許件数 - 学会、論文発表動向 - 日本企業の国際競争ポジション調査 - 国の政策支援（研究開発予算、〇〇計画への位置づけ等） - ライバル企業等と比較した技術レベル	- CMC に関する知財件数は日本企業より米国企業の出願が多い - 日本は 2000 年頃まで国プロの支援で開発が進められたが、その後停滞。近年、再び支援が活発化 - 米国では 2000 年頃まで行われた国プロの成果を GE が発展させてきた
発展性		将来にわたって技術優位性を持てるかを図る。	【研究開発段階の場合】 - 現行の類似技術に比べた改良点は何か。 - 実用化された場合の市場予測、応用分野の拡大可能性が大きいのか。 - 多用途への転用可能性が見込めるか。 【実用化段階の場合】 - 更なる性能向上やブレークスルーが見込めるか。 - 代替技術があるか。代替技術と比較して技術的発展が見込めるか。 - 多用途への転用可能性が見込めるか。	- 繊維は CMC の強度を左右する重要な素材であり、国プロで開発を継続している - 複合化技術に関して GE は生産性の高い MI 法に取り組んでいる一方、日本は耐熱性に優れた組織を作製できる CVI 法の開発を進めている
諸外国政府・企業からの関心		日本側が気付いていない価値を知り、市場優位性の損失・技術流出等のリスクを避ける。	友好国、懸念国に関わらず、政府、企業等からのアクセスがあったか。	- GE は日本カーボンと合併で NGS アドバンスファイバーを設立し、サプライチェーンを構築 - P&W、Rolls-Royce も、関連技術を有する海外の調達先と関係を構築

続いて、CMC の経済的価値について検討を行った（表 2-18）。CMC の 2016 年の部材レベルでの世界市場は 30 億ドルにすぎない²⁴が、今後、CMC の主たる用途として期待されて

²⁴ MarketsandMarkets, “Ceramic Matrix Composites Market worth 7.51 Billion USD by 2026”, <http://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/ceramic-matrix-composites.asp>

いる航空機エンジンの市場の拡大に伴って、年率約 10%の成長が見込まれている。さらに、CMC の軽量性、耐熱性に加えて、低熱膨張係数、大型化した際の高い材料強度等の特性により、航空機エンジンに限らずロケット、スペースシャトル、衛星等の宇宙分野、ガスタービン、原子炉等のエネルギー分野、モビリティ分野、軍事分野への活用も検討が行われている。現在国プロ等で進められている素材開発で高性能化が実現したり、生産効率の向上によってコストが低減できれば、現在想定されている以上の速度で市場が拡大する可能性もある。

表 2-18 CMC の経済的価値

評価項目	意図	評価基準例	評価結果
市場規模	評価時点の市場価値を図る	・ 対象技術または対象技術を含む製品の近年の世界市場規模はどのくらいか。	・ 2016 年の世界市場は 30 億ドル ※1 ・ 航空（航空機エンジン、排気ノズル、軍用機エンジン）、宇宙（ロケット、スペースシャトル、人工衛星）、エネルギー（軽水炉の被覆管とチャネルボックス、産業用ガスタービン翼）、自動車（ブレーキローター、排気ダクト）の用途がある 
市場予測	将来にわたって投資する価値があるかを図る	・ 「発展性」で評価した内容を踏まえた市場拡大可能性はどのくらいか。	・ 今後は年率 9.65%で成長し、2026 年には 75 億ドルに成長する見通し ※1 ・ 今後は航空機向けの市場の成長が期待されている ・ 現在、国プロで開発中の高性能繊維が実現すれば、さらなるエンジンの燃費改善が期待でき、市場をより拡大できる可能性がある 
日本のシェア	国際市場における市場独占性を知り、技術的価値も考慮した上での政策支援方法を検討する	・ 日本企業の国際競争ポジション調査 ・ 「発展性」で評価した内容を踏まえた市場拡大可能性はどのくらいか。	・ 繊維の量産は日本企業しか行っておらず、日本の独占状態にある ・ 複合材としては、日本はまだ開発段階だが、GE が量産体制を整えている 

※1 MarketsandMarkets

(2) プレイヤーならびにサプライチェーン

CMC のサプライチェーンは、大きく繊維、複合化、応用というプロセスで構成される。繊維は、NGS アドバンストファイバー（日）、宇部興産（日）、3M（米）、COI Ceramics（米）が製品を販売している。複合化から応用にかけては GE（米）、Boeing（米）、COI Ceramics（米）、Safran（仏）、Rolls-Royce（英）、IHI（日）、東芝（日）、川崎重工業（日）、イビデン（日）等の航空機エンジン・部品メーカー、航空機機体メーカー、原子力関連メーカー、素材メーカーが開発を進めている。

3. 政策検討

3.1 CMC に関する政策検討

2 章までの詳細調査の結果、CMC における日本の競争力を高め、産業に活用していく上では、表 3-1 に整理している通り、試験・認証、研究開発、人材、実用化という様々な課題を抱えていることが明らかになった。

表 3-1 CMC に関する課題と解決の方向性

課題		解決の方向性
試験・認証	高温での材料試験が可能な機関が非常に少ない	✓ 国プロによる継続的な信頼性評価技術の開発と試験環境の整備
	今後は高温環境下や複雑な試験が必要な評価法の検討が必要	
研究開発課題	未着手の研究開発課題の存在	✓ 国プロによる新規課題への取組 ✓ 酸化物系繊維・材料の開発 ✓ SiC 系 CMC の低コスト生産技術の開発 ✓ 性能予測シミュレーション、設計解析技術の開発
	持続的な研究開発	✓ 国プロによる継続的な技術開発（次世代 SiC 繊維、コーティング）の実施
人材	CMC の研究を行う人材不足	✓ 共通基盤による試験片の開発・配布 ✓ 海外の技術動向を把握し、最新設備を揃え、国内企業の技術導入を支援する共通基盤の設立 ✓ 日本人研究者の育成
	専門性を持つ人材の流出	✓ 受け皿となる研究・教育機関の設置
実用化	用途開拓の不足	✓ 海外エンジンメーカーとの連携による開発 ✓ 原子炉や産業用ガスタービン向け開発とともに、新規用途の開発を進めて市場を開拓し、国内にサプライチェーンを育てる

これらを踏まえて、（１）継続的な研究開発、（２）航空機エンジン以外の分野への展開、（３）情報共有・研究開発・人材育成基盤の構築、の論点について、解決の方向性を含めて有識者検討委員会で議論を実施した。それぞれに関する主な意見を以降に整理する。

(1) 継続的な研究開発

【問題意識】

日本が SiC および CMC の研究開発に投資していた 70～90 年代においては、日本の技術力は世界でも先行していたにも関わらず、景気の低迷等を背景に投資が中断されたことによって技術力および人材が失われたことを教訓とし、長期的に研究開発を支援する仕組みが作れないか。

【委員コメント】

- ✓ 継続的な研究開発は必要だが、「2030 年に国際競争力のある純国産の民生航空機用エンジンを開発する」、「数年後には GE のエンジンの日本企業による部品占有率を 70% に引き上げる」等の目標があり、それに沿ったロードマップで研究開発が行われるべきである。
- ✓ 現在の国プロは失敗を許さない雰囲気があり、リスクなチャレンジがしにくい。リスクを考えた投資の在り方をプロジェクト立ち上げ時に検討する必要がある。
- ✓ 本分野が我が国の産業競争力強化のために必要だと考えるならば、大学等へ FS 研究を投げかけて早めにシーズ開発に着手した方がよい。

(2) 航空機エンジン以外の分野への展開

【問題意識】

技術開発への投資を維持するためには、市場拡大の可能性があることが重要であるが、CMC の特性が求められる使用環境が特殊であることから、航空機エンジンや原子炉材料以外に、具体的な用途を見据えた研究開発が実施されていない。継続的な研究開発や生産基盤の育成のためには、何らかの方法で新規用途・市場の開拓が必要ではないか。

【委員コメント】

- ✓ 欧州では高級自動車向け、米国では航空機用途が CMC 市場を牽引している。日本として、どの分野で市場を牽引していくか検討する必要がある。
- ✓ 当面は航空機エンジン／発電タービンの分野、今後は高温・極限環境下での材料特性要求がさらに深まる分野（地熱発電等）などと分けて戦略を考えることが必要。低コスト化とも合わせて議論する必要がある。

(3) 情報共有・研究開発・人材育成基盤の構築

【問題意識】

現在 CMC の研究開発に携わっている企業や大学は少なく、継続的な研究開発および生産基盤強化のための新規参入企業の育成のためには、現在、CMC の研究開発をリードしてきた技術者の知見やノウハウを引継ぎ、新たな人材を育成する必要がある。競合する民間企業同士の連携を差配し、協調領域の研究開発をリードするとともに、情報共有や人材育成の拠点となるような中立的な基盤が必要ではないか。

【委員コメント】

- ✓ 今後は、次々世代の技術を対象として、比較的共有できそうなチャレンジングな基礎技術および材料を、複数の企業と協調して開発することで、情報共有と人材育成の方向付けをすることが必要ではないか。
- ✓ AI やシミュレーション等の技術を早めに検査技術や材料開発に取り入れることで、人材不足に対応可能な技術開発スタイルの構築を早期に検討するべきである。
- ✓ 原子炉や航空機等、どの分野に注力するべきかを明確にした上で、人材育成基盤となる

拠点を設置することが必要なのではないか。

3.2 重要技術マネジメントについて

本事業では、我が国の産業競争力を支える重要な技術としてセラミックス関連技術をモデルケースとして選定し、現在の我が国の競争力や市場環境等についての把握・評価・分析ならびに政策手段の検討までを一連の取り組みとして実施した。

具体的には図 3-1 に示す通り、①セラミックス関連技術の俯瞰、②“重要技術”候補の簡易評価・優先順位付け、ならびに重要技術の抽出、③“重要技術”の詳細調査（経済的価値と技術的価値の評価、サプライチェーン調査）、④重要技術に関する課題整理・分析、⑤政策出口の検討までを実施し、一連のプロセスを有識者検討委員会にて評価・検討・提言を受けながら進めた。

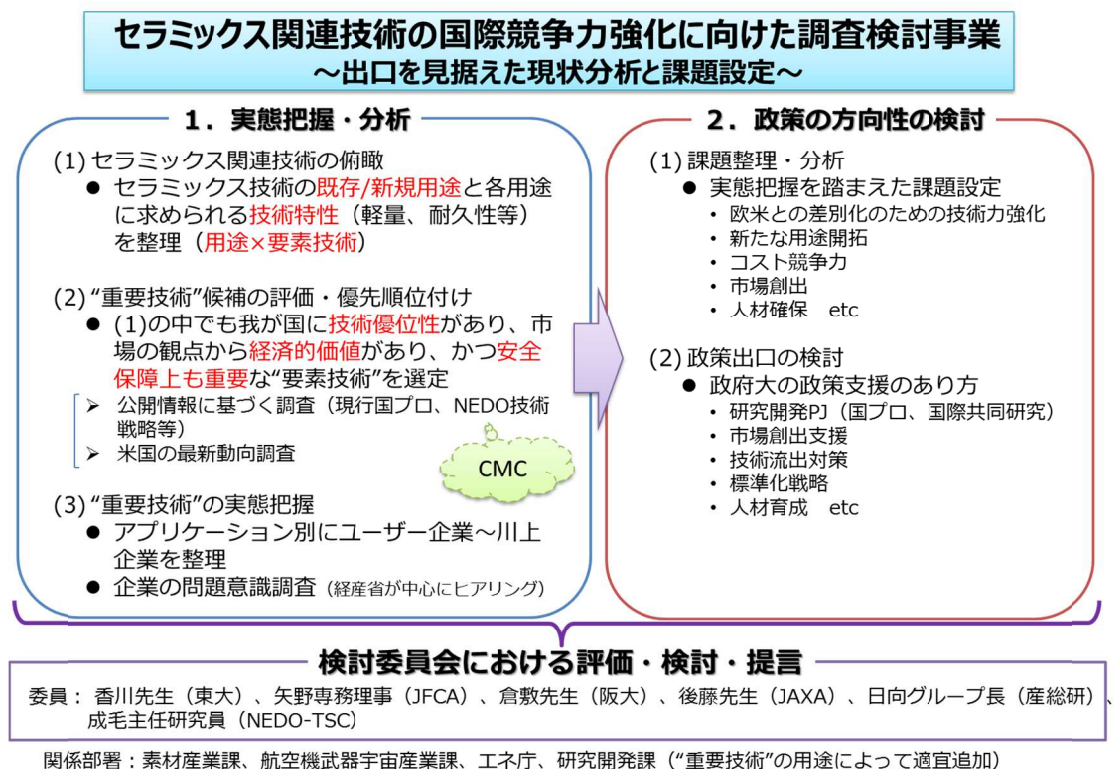


図 3-1 セラミックス関連技術を対象とする重要技術マネジメントの取り組み

出所）経済産業省殿

実態把握・分析の結果、セラミックス関連技術の中では、経済的価値、技術的価値の 2 つの評価軸で見れば「磁性材料」、「キャパシタ・誘電材料」が重要技術の候補となるが、有識者見解（技術の将来波及効果や我が国競争力に関する定性的な情報）も考慮した結果、「CMC」が我が国の政策上、最も重要な技術であるとの結論に至った。

以上、一連の取り組みとして実施した技術マネジメントについて、本事業全体を通じて見

えてきた課題と改善点を整理し、今後、本手法を他の技術分野に適用する際の在り方を表 3-2 に整理した。

表 3-2 技術マネジメントに関する課題と改善の方向性

	課題	改善の方向性
【技術の俯瞰】	対象分野に含まれる技術および用途が多岐にわたる場合、技術を網羅的に俯瞰するには膨大な手間がかかる	技術を俯瞰することも重要であるが、作業量を考慮し、簡易評価前に対象技術範囲を絞り込む
【簡易評価：重要技術選定のための評価】	- 俯瞰した技術を全て簡易評価することが量的に難しい場合、一定の基準で（セラミックスの場合は機能別）分類するのが適当であるが、分類の仕方によって網羅できない技術が生じるリスクがある - 公表情報を元に分析を試行。対象技術範囲が広いと、特許・論文、国プロの検索の仕方に工夫とノウハウが必要。 - 市場規模、特許、論文数については、時間軸を考慮する必要がある。 - 特許数や論文数から技術力、競争力を評価することには注意が必要 - プレイヤーの数で評価を行うことに違和感がある - 海外の情報収集はコストがかかる。（今回は米国出張込み。） - 定量的なデータに基づく評価結果により機械的に優先順位をつけるとしても、重要技術の選定にあたって、政府の戦略として何を重視するか（将来性なのか、独自性なのか、安全保障上の重要性なのか等）は決めておく必要がある。	- 市場性の評価が難しい基盤技術（セラミックスの場合は 3D プリンター等のプロセス技術や評価技術）も項目として整理し、定性的な評価を行う - 市場規模は将来予測を含める。特許、論文数は技術開発の経緯を踏まえ、調査対象期間の設定が必要 - 特許数や論文数の現状分析に加え、有識者見解に基づく定性的な競争力評価の観点を加える - プレイヤーは数ではなく、有無やシェアを基礎情報として用いる - 海外機関へのヒアリングはコストがかかるが価値が高い。NEDO の海外事務所との連携等による継続的な実施方法を検討する - 政府の戦略の方向性を決める上では、有識者や企業の意見など定性的な評価も必要。
【詳細評価】	そもそも、簡易評価と詳細評価を区別することが難しい（簡易評価の段階で既に相当の情報収集が必要）。	簡易評価前に対象技術範囲を絞り込み、詳細評価と一体的に実施する
【全体】	単年度だけ実施するのではなく、継続的に重要技術の状況を把握し、トレンドを追う必要がある	海外情報、市場環境の継続的な情報収集・分析、有識者との継続的な意見交換の場の設置により、状況変化に対応しながら技術マネジメントを行っていくべき

以上、技術分野の把握・評価・分析から政策検討までの一連の技術マネジメントの取り組みの中で、次年度以降にいくつかの検討課題を残すこととなったが、この取り組み自体が本質的で非常に貴重な活動であるとの意見が有識者検討委員会で複数あがった。

ただし、今回モデルケースとしたセラミックス関連技術分野については、CMC を中心とするセラミックス関連技術の有識者を検討委員会のメンバーとできたことが一連の取組の大きな後押しとなったことは間違いない。今回は、主に簡易評価結果の検証（重要技術の選定）及び政策出口の検討について検討委員会で議論していただいたが、膨大な公表データから必要な情報を収集・整理する段階から、対象技術の特性や開発経緯等に関する情報提供や

ご助言をいただいたおかげで比較的効率的に調査を進めることができた。

さらに、今後の検討項目のうち特に重要なのは、定量的なデータに基づく評価結果を、重要技術の抽出においていかに活用するかという点である。経済的価値及び技術的価値に加えて、政策的価値として何を位置付けるかといった政策判断が必要とされる。この点は継続的に思考する必要があるため、抽出された重要技術（CMC）の状況分析を本年度のみ行うのではなく、継続的にトレンドを把握し、状況変化に応じた政策支援をタイムリーに検討できる仕組みを整えることが求められる。そのためには、本調査で基礎情報として収集した各種データベース・文献情報の分析内容のアップデートに加えて、分析の妥当性を検証するため有識者との継続的な情報・意見交換の場を設けることが不可欠である。

本事業の結果が今後、CMC ならびに他分野における重要技術マネジメントに活用され、その活動を継続することにより、我が国の産業競争力強化のための基盤構築に貢献することを期待している。

4. 付属資料 委員会の設置について

セラミックス技術の俯瞰や簡易評価、米国訪問等の調査実施にあたっては、セラミックスや技術マネジメントの専門家による有識者検討委員会を構築して進め方のアドバイスをいただいた。また、調査結果全体を踏まえ、有識者検討委員会にて日本の課題と今後の方向性に関する政策提言の検討を行った。

具体的にはCMCに関する国プロジェクトに多く関わっておられる東京大学 香川教授を座長とし、表 4-1 に示すメンバーによる委員会を設置した。有識者検討委員会の開催スケジュールと議論内容を表 4-2 に示す。

表 4-1 セラミックス関連技術の競争力強化検討委員会 メンバー（敬称略）

	氏名	所属
座長	香川 豊 教授	東京大学大学院 工学系研究科マテリアル工学専攻／先端科学技術研究センター
委員	矢野 友三郎 専務理事	日本ファインセラミックス協会（JFCA）
	倉敷 哲生 准教授	大阪大学大学院 工学研究科ビジネスエンジニアリング専攻
	後藤 健 准教授	宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所宇宙飛翔工学研究系
	日向 秀樹 グループ長	産業技術総合研究所 構造材料研究部門セラミック組織制御グループ
	成毛 治朗 主任研究員	新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO） 技術戦略研究センター（TSC）ナノテクノロジー・材料ユニット
オブザーバー	山口 宗治 技術担当部長	日本ファインセラミックス協会（JFCA）
	永野 智己 ナノテク・材料ユニットリーダー	科学技術振興機構（JST） 研究開発戦略センター（CRDS）
アドバイザー	岸 輝雄 理事長	新構造材料技術研究組合（ISMA）

表 4-2 セラミックス関連技術の競争力強化検討委員会 開催スケジュール

	準備会合	第 1 回	第 2 回
日程	2016 年 11 月 2 日	2017 年 1 月 17 日	2017 年 3 月 16 日
議事	- 事業概要 - 目的・スケジュール - 技術俯瞰調査 - 進め方について - 有望技術に関するご意見 - 海外訪問調査について	- セラミックス関連技術の調査の進捗 - 技術領域の全体像と簡易評価 - 米国における研究開発動向 - CMC の詳細調査 - 重要技術について	- セラミックス関連技術の評価・分析方法 - 技術領域の全体像と簡易評価のリバイス - 重要技術抽出の考え方 - CMC に関する政策提言 - 重要技術マネジメント - 他分野への応用を見据えた重要技術マネジメントの在り方

5. 付属資料 セラミックス関連の国家プロジェクト

表 5-1 セラミックス関連の国家プロジェクトまとめ

代表的な技術	国プロ概要（過去5年間ほど）	期間・金額（億円）											総額 （億円）	国プロ 有無
		H22	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	H31	H32		
CMC	NEDO「戦略的小エネルギー技術革新プログラム」				80.9	65.4	112						531	◎
	METI「次世代構造部材システム技術開発」						12.0	13.8	31 ^{※1}	-	-			
	SIP「革新的構造材料」					5.2	3.3	4 ^{※2}	-	-				
	METI「発電用原子炉等安全対策高度化技術開発費補助金」			12.3	22 ^{※2}	25 ^{※2}	16 ^{※2}	-	-	-				
	MEXT「原子力システム研究開発事業」			-	-	-	-							
	JAXA「aFJR」				10.6	18.1	17.7							
	METI-NEDO「次世代構造部材創製・加工技術開発（軽量耐熱複合材 CMC 技術開発）」	1.1	1.8	8.9	8.9				60 ^{※2}					
	JST「ALCA（先進的炭素化技術開発）（自己治癒機能を有する革新的セラミックスタービン材料の開発）」						0.5~1.5 ^{※3}							
生体材料	AMED「未来医療を実現する医療機器・システム研究開発事業（高機能足場素材とバイオ3Dプリントを用いた再生組織・臓器の製造技術の開発）」					-	41.5	-	-	-			51	○
	SIP「革新的設計生産技術（フルディテック材料創製と3Dプリンティングによる構造化機能材料・デバイスの迅速開発）」					2.5	2.5	-	-	-				
	SIP「革新的設計生産技術（高付加価値セラミックス造形技術の開発）」					2.7	2.7	-	-	-				
摺動材料、超高硬材料、耐熱セラミックス	特になし												0	×
磁性材料	METI-NEDO「次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発」			20	30	25	21.5 ^{※2}	-	-	-	-	-	96	○
フィルター材料	特になし												0	×
代表的な技術	国プロ概要（過去5年間ほど）	期間・金額（億円）											総額 （億円）	国プロ 有無
		H22	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	H31	H32		
パワー材料	SIP「次世代パワーエレクトロニクス」					22.0	24.2	24.1	-	-			70	○
圧電材料	JST A-STEP「セラミックスの高機能化と製造プロセス革新（非鉛圧電型向きの焼結しない低温作製法の確立 ～IoTセンサーおよびエネルギーハーベスター応用に向けて～）」							~0.2 ^{※3}	~0.2 ^{※3}	~0.2 ^{※3}	~0.2 ^{※3}	~0.2 ^{※3}	1	×
電解質材料	NEDO「革新型蓄電池先端科学基礎研究事業」	60.3	28.4	38.6	30.9	37.1	31						226	○
キャパシタ・誘電材料	JST「ALCA（先進的炭素化技術開発）（単結晶ナノチューブのボトムアップによる高性能小型デバイス開発）」					0.5~1.5 ^{※3}							3	△
	JST「ALCA（先進的炭素化技術開発）（次世代蓄電デバイス用特異構造ナノリソシステム）」					0.5~1.5 ^{※3}								
EBC, TBC	SIP「革新的構造材料」					5.2	3.3	4 ^{※2}	-	-			14	△
	JST「ALCA（先進的炭素化技術開発）（輻射熱反射コーティングによる革新的遮熱技術）」					0.5~1.5 ^{※3}								
摺動コーティング	特になし												0	×
その他	JST A-STEP「セラミックスの高機能化と製造プロセス革新」 ^{※1}							~2.5 ^{※3}	~2.5 ^{※3}	~2.5 ^{※3}	~2.5 ^{※3}	~2.5 ^{※3}	21	△
	JST「ERATO（彌田超集積材料プロジェクト）」				15									
	JST「CREST（セラミックスヘテロ層における界面電磁場制御と熱エネルギー利用）」					1.5~5 ^{※3}								

- 不明

※1 JST A-STEP は特定の用途に非限定の基盤的研究開発であるが、圧電材料は用途が明示的に読み取れたため記載

※2 要求額ベースもしくは見込み額

※3 JST 規定の最大金額を記載（実際の予算は不明）

表 5-2 CMC : NEDO「戦略的省エネルギー技術革新プログラム」

プロジェクト名	所管省庁	予算（プロジェクト全体）	期間	参画機関
戦略的小エネルギー技術革新プログラム	NEDO	H25:80.9億円 H26:65.4億円 H27:112億円	H25～H27	IHI、シキボウ、東京大学、JAXA
プロジェクト概要 ● 全体プロジェクト設立経緯：東日本大震災後の影響等を踏まえ、我が国のエネルギー政策の見直しを検討されているところですが、「省エネルギーの推進」は引き続き重要な課題であり、国のエネルギー・環境会議においても、重要な論点として、省エネルギーの可能性への挑戦が位置付けられている。そこで、我が国における省エネルギー型経済社会の構築及び産業競争力の強化に寄与することを目的とし、「省エネルギー技術戦略」で掲げる重要技術を中心として、2030年には高い省エネ効果（原油換算で年間10万kL以上の省エネ効果）が見込まれる省エネルギー技術について、事業化までシームレスに技術開発を支援するために設立。 ● テーマ：産業部門 航空エンジンの大幅な燃費改善に貢献するCMCタービン翼の開発 ● 事業概要：航空エンジンのタービン翼の耐熱性向上及び軽量化により航空機の燃費を削減できる。CMCのうちSiC繊維で強化されたSiC複合材は、従来の航空エンジン用耐熱材料であるニッケル超合金より200℃高い耐熱性を有し、密度が1/4程度と軽量である。本研究では、航空エンジンに搭載するCMCタービン翼を開発し、航空機の燃費改善を図る。 ● 成果：新材料であるCMCを航空エンジンに適用するために必要となる設計技術を確立した。 製造難易度の高いCMC部品を工業的に製造可能とする製造技術を確立した。 実用化に不可欠なデモンストラターによる技術実証を完了し、実機開発フェーズに移行する目処を得た。 ● 今後の展望：本研究成果を大型および小型エンジンに適用し、2025年、2030年の市場投入を目指す。				
事業概要図 CMCタービンプロジェクト説明図				

出所) NEDO「航空エンジンの大幅な燃費削減に貢献する CMC タービン翼の開発」

<http://www.nedo.go.jp/content/100803681.pdf>

<http://www.nedo.go.jp/content/100803707.pdf>

NEDO「戦略的省エネルギー技術革新プログラム」

http://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100039.html

<http://www.nedo.go.jp/content/100781341.pdf>

表 5-3 CMC : METI「次世代構造部材・システム技術に関する開発」

プロジェクト名	所管省庁	予算	期間	参画機関
次世代構造部材・システム技術に関する開発	METI NEDO	H27: 12億円 H28: 13.8億円 H29: 31億円	H27～H31	－（明記なし）
プロジェクト概要 ● 設立経緯：世界の航空機需要は2030年までに2倍になるとされており、航空機産業は我が国の長期的な成長を実現する重要な分野である一方、需要の増加に伴い増大するエネルギー消費への対応が必要不可欠となる。 ● 事業概要：本事業では、軽量で耐熱性のある構造部材に係る技術、航空機の電動化、熱制御効率化等のエネルギー・マネジメント関連技術など、平成32年以降に市場投入予定の次世代航空機に必要な先進基盤技術を世界に先駆けて開発を目指す。 これにより、航空機の軽量化・燃費改善・低炭素化により、省エネルギーの実現とCO2排出量の削減を目指す。 ● 成果目標：開発成果の次世代航空機への搭載により、平成42年度において次世代航空機一機あたり15%のCO2排出削減を目指す。 ● その他：経済産業省が5カ年計画で進めている「次世代構造部材・システム技術に関する開発事業」の一環として、IHIや宇部興産、シキボウなどは2017年度にCMCを活用した航空機エンジン用高圧タービン翼を試作すると発表。ニッケル合金より軽量で耐熱性が約2割優れるCMCは、航空機の省エネにつながる次世代材料として注目される。 川崎重工業や豊田自動織機、イビデンなども参画。17年度にCMCを採用した燃焼機部品を試作する見込みとしている。 （日刊工業新聞2016年10月12日付記事より）				
事業概要図 先進基盤技術の例 <次世代空調システム> 航空機に広く分布する機器を適応箇所に応じて冷却を行うファンなど、効率の良い空調システムを開発。航空機の軽量化を図り、省エネを実現。 <炭素繊維複合材切削加工> 航空機用難削材における高速・高品質な切削加工を可能とする。製造工程の省エネ化を図る。 <軽量耐熱複合材技術> 耐熱性に優れ、金属材料より軽量の耐熱複合材を開発。エンジンの軽量化を図り、省エネを実現。 <セパレートマトリックス・コンポジット(CMC)> (炭素繊維強化プラスチック)の活用により、航空機の軽量化を図る。				

出所) 経済産業省「次世代構造部材・システム技術に関する開発事業」

http://www.meti.go.jp/main/yosangaisan/fy2017/pr/e/e_sangi_taka_20.pdf

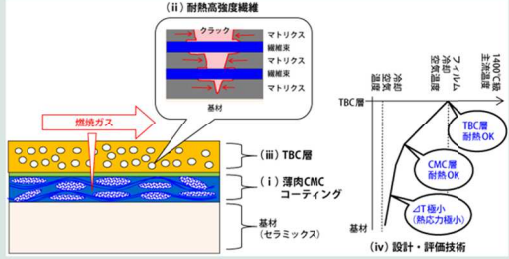
経済産業省「次世代構造部材・システム技術開発」

http://www.meti.go.jp/main/yosan/yosan_fy2016/pr/e/e_sangi_taka_27.pdf

日刊工業新聞（2016年10月12日）

<https://www.nikkan.co.jp/articles/view/00402706>

表 5-4 CMC : SIP「革新的構造材料」

プロジェクト名	所管省庁	予算	期間	参画機関
耐環境性セラミックスコーティングの開発	国立研究開発法人科学技術振興機構 (JST)	H26 : 5.2億円 H27 : 3.3億円 H28 : 4.0億円 (見込み)	H26~H30	東大、三菱重工航空エンジン、アート科学、ニチビ
プロジェクト概要				
テーマ2「軽量耐熱高靱性耐環境コーティングの開発」				
● 背景 : 航空機用エンジンにおいて従来のコーティングは機能材として酸化防止や水蒸気透過抑止などの役割を担っていた。この研究開発では、コーティングを構造材として捉え、靱性の低いセラミックス材料の靱性向上を目的とする。 ● 目標 : (1) 薄肉コーティング構造の製造プロセス設定 (2) 酸化物系セラミックス繊維の耐熱性向上 (3) 遮熱・アブレーダブル等の機能を有したコーティングの開発 (4) 材料・構造の設計・評価技術の確立 ● 成果 : (1) 低コスト高靱性化材料プロセス技術 耐熱性が改良されたAl₂O₃系繊維を用いたCMCを試作し、3点曲げ試験や引張試験で高強度を得た。 (2) 低コスト耐熱性繊維製造技術 既存品種に対して100℃耐熱性が向上した酸化物系繊維を得た。本繊維を用いた織物を試作。 (3) 耐環境コーティング技術 密着力の強いボンドおよびアブレーダブル性を持ったトップコート材料最適化。 (4) 材料・構造の設計・評価技術 セラミックス基材に対して薄肉CMCコーティング貼付により、破壊特性改善。				
				

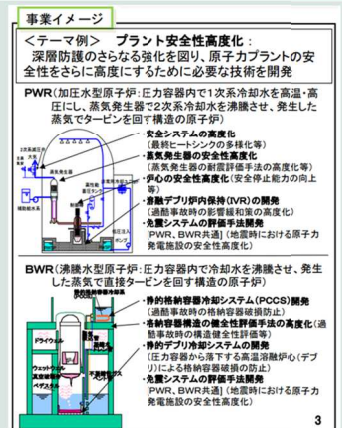
出所) 内閣府「戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 革新的構造材料研究開発計画」

http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/keikaku/3_zairyou.pdf

JST 戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 革新的構造材料

<http://www.jst.go.jp/sip/k03/sm4i/project/project-c.html>

表 5-5 CMC : METI「発電用原子炉等安全対策高度化技術開発費補助金」

プロジェクト名	所管省庁	予算	期間
発電用原子炉等安全対策高度化技術開発費補助金	METI	H24 : 12.3億円 H25 : 22億円 (要求額ベース) H26 : 25億円 (要求額ベース) H27 : 16億円 (要求額ベース)	H24-H30
プロジェクト概要			
● 概要 : エネルギー基本計画 (平成 26 年 4 月閣議決定) では、原子力について、「万が一の事故のリスクを下げていくため、過酷事故対策を含めた軽水炉の安全性向上に資する技術や信頼性・効率性を高める技術等の開発を進める」としています。 本事業では、我が国の原子力発電所が世界最高水準の安全性を確保するために、安全対策高度化に資する開発課題 (例 : 免震システムや、シビアアクシデント対策として、溶けた燃料を炉内に保持するためのシステム等の開発) に関する技術開発を支援します。 ● 採択事業者 平成27年度においては、下記の4事業者が採択された。 > 中部電力株式会社 > 株式会社東芝、化研株式会社、原子燃料工業株式会社 (共同提案) > 三菱重工業株式会社 > 株式会社東芝 ● 補助対象費用 人件費、設備費、消耗品費、旅費、外注費、諸経費、事業費 ● 補助金額 1,500万~1億5千万円程度			
			

出所) 資源エネルギー省「エネルギー研究開発拠点化計画への取組 平成 27 年度概算要求の概要」

http://www.werc.or.jp/base/kaigi/img/no10/g2_h27keisantokumi1.pdf

経済産業省「平成 25 年度 政策評価」

http://www.meti.go.jp/policy/policy_management/25fy-seisakuhyouka/03-01a.pdf#page=193

エネポ「H27 発電用原子炉等安全対策高度化技術開発費補助金」

<http://www.ene-po.com/subsidy/%E7%99%BA%E9%9B%BB%E7%94%A8%E5%8E%9F%E5%AD%90%E7%82%89%E7%AD%89%E5%AE%89%E5%85%A8%E5%AF%BE%E7%AD%96%E9%AB%98%E5%BA%A6%E5%8C%96%E6%8A%80%E8%A1%93%E9%96%8B%E7%99%BA%E8%B2%BB%E8%A3%9C%E5%8A%A9%E9%87%91/>

表 5-6 CMC : MEXT「原子力システム研究開発事業」

プロジェクト名	所管省庁	予算	期間	参画機関
原子力システム研究開発事業	MEXT	—	H24～H28	室蘭工業大学、北海道大学、東北大学、大阪大学、日本原子力研究機構
プロジェクト概要 ● 設立経緯：文部科学省は、原子力が将来直面する様々な課題に的確に対応できるようにするとともに、我が国の原子力分野における国際競争力を確保するため、多様な原子力システム（原子炉、再処理、燃料加工）に関し、革新的な技術開発を推進している。 ● テーマ：高度の安全性を有する炉心用シリコンカーバイト燃料被覆管等の製造基盤技術に関する研究開発 ● 事業概要：本研究は、東京電力福島第一原子力発電所での事故以来、より一層の安全性が求められている原子力施設の安全性向上に関する基盤技術の強化・充実のための、高性能のシリコンカーバイト（以下「SiC」という）に関する技術開発を行い、SiC 繊維強化 SiC 基複合材料（以下「SiC/SiC」という）燃料被覆管の成立性を示す。これによりナノ含浸遷移共晶相法（NITE 法）を用いた燃料被覆管等炉心構造部材用 SiC/SiC の製造基盤技術を構築することを目的とし、以下の研究開発を行う。 ① SiC/SiC 燃料被覆管の製造と性能評価 ② SiC/SiC 燃料被覆管のアクセソリ技術開発 ③ SiC/SiC 燃料被覆管の耐環境性影響評価 ④ 工学・安全設計 当初 SiC/SiC 燃料被覆管の中性子照射試験に材料試験炉を用いる予定であったが、事業期間内の材料試験炉の運転再開の見通しが立たないことが明らかとなり、より確実な成果の得られる1海外炉（ハルデン炉、BR2 炉）へ移行することとなった。そのため当初は4年間の予定であったが、5年間への計画変更が行われた。 ● 今後の展望（H25時点）： ➢ 特性評価用の燃料被覆管作製および燃料被覆管の長尺化製造技術開発を行う ➢ アクセソリ技術および評価技術開発を進める ➢ ハルデン炉での照射実験の準備として、照射キャプセルの設計、中性子束計算、照射試料の寸法決定を行う ➢ 耐環境試験用の試験装置試作および予備試験実施				

出所）公益財産法人原子力安全研究協会「平成 24 年度採択課題 中間評価結果」

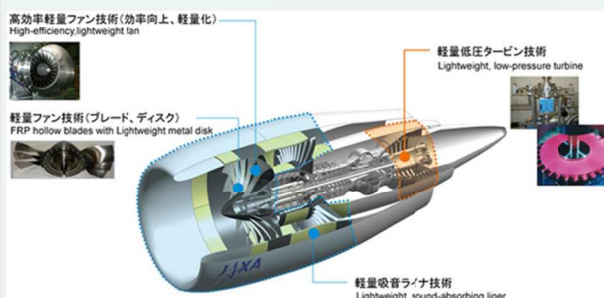
http://www.nsystemkoubo.jp/evaluation/file/m26_1_11.pdf

JST「平成 25 年度成果報告会開催」資料

http://www.jst.go.jp/nuclear/result/h25/pdf/sys_p16.pdf

表 5-7 CMC : JAXA「高効率軽量ファン・タービン技術実証（aFJR: Advanced Fan Jet Research）」

プロジェクト名	所管省庁	予算	期間	参画機関
高効率軽量ファン・タービン技術実証 (aFJR: Advanced Fan Jet Research)	文部科学省	H25 : 10.6億円 H26 : 18.1 億円 H27 : 17.7億円 (他PJと合算)	H25～ H29 (第三期)	JAXA IHI 東京大学、筑波大学、金沢工業大学
プロジェクト概要 ● 概要 国内のエンジンメーカーが実績豊富な「ファン」および「低圧タービン」について環境適合性を向上する技術を開発・実証し、次世代エンジンの国際共同開発において設計分担を担える技術レベルを目指す。 ● テーマ 「aFJR」では、ファン及び低圧タービンの要素モジュールにおいて、 (1) ファン空力効率1ポイント以上の向上と、(2) ファン＋低圧タービンの10%軽量化を可能とし、耐久性や信頼性で従来と同等となる高効率軽量ファン技術と軽量低圧タービン技術を開発し、実証試験によりその有効性を確認する計画。 ● (2) ファン＋低圧タービンの10%軽量化 ファンの回転駆動力を発生する低圧タービンの重量増を抑制するため、過回転防止設計技術の開発や高信頼性評価により、耐熱複合材（セラミックス基複合材（CMC））を適用した超軽量低圧タービン技術を実現。				



出所）JAXA aFJR（高効率軽量ファン・タービン技術実証）プロジェクト

<http://www.aero.jaxa.jp/research/ecat/afjr/>

文部科学省「航空科学技術に関する研究開発課題の中間・事後評価結果」

http://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/toushin/_icsFiles/afieldfile/2015/12/07/1364289_07.pdf

表 5-8 CMC : METI,NEDO「次世代構造部材創製・加工技術開発」(全体概要) (1/3)

プロジェクト名	所管省庁	予算(プロジェクト全体)	期間
次世代構造部材創製・加工技術開発	METI NEDO	H27-H31間の事業総額(予定):60億円 (H23:1.1億円,H24:1.8億円,H25:8.9億円,H26:8.9億円,H27年:17.1億円,H28年:12.8億円)	H23-26(METI) H27-31(NEDO)
プロジェクト概要			
● 全体プロジェクト設立経緯 航空機の燃費改善、環境適合性向上、整備性向上、安全性向上といった要請に応えるため、複合材料及び軽金属材料関連技術開発を両輪として、航空機に必要な信頼性・コスト等の課題を解決するための要素技術を開発する。これにより、航空機の燃費改善によるエネルギー消費量とCO₂排出量の削減、整備性向上、安全性の向上並びに我が国の部材産業及び川下となる加工・製造産業の国際競争力強化を目指すため設立。 ● プロジェクトテーマ概観 ✓ ①「次世代複合材料及び軽金属構造部材創製・加工技術開発」 ✓ ①-2「次世代複合材料及び軽金属構造部材創製・加工技術開発(第二期)」 ✓ ②「航空機用複合材料の複雑形状積層技術開発」 ✓ ②-2「航空機用複合材料の複雑形状積層技術開発(第二期)」 ✓ ③「航空機用難削材高速切削加工技術開発」 ✓ ③-2「航空機用難削材高速切削加工技術開発(第二期)」 ✓ ④-1「軽量耐熱複合材CMC技術開発(基盤技術開発)」 ✓ ④-2「軽量耐熱複合材CMC技術開発(高性能材料開発)」 ✓ ⑤「航空機用構造設計シミュレーション技術開発」 ● プロジェクトの管轄 H23-H26まではMETIの管轄であったが、H27-H31についてはNEDOへ移管が行われた。 ● 連携 NEDOが実施する「革新的新構造材料等研究開発」や内閣府が実施する「戦略的イノベーション創造プログラム:革新的構造材料」の実施体制と緊密に連携する。			
事業期間と管轄について 事業概要			

出所) NEDO「平成 27 年度実施方針」

<http://www.nedo.go.jp/content/100750044.pdf>

NEDO 次世代構造部材創製・加工技術開発

http://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100098.html

表 5-9 CMC : NEDO「次世代構造部材創製・加工技術開発」(基盤技術開発) (2/3)

プロジェクト名	所管省庁	期間	参画機関
次世代構造部材創製・加工技術開発	NEDO	H23-H27	IHI, 東京大学、東北大学、九州大学、東京理科大学、室蘭工業大学、JAXA、NIMS
プロジェクト概要			
● プロジェクトテーマ: 研究開発項目④-1 軽量耐熱複合材CMC技術開発(基盤技術開発) ● 設立経緯: 近年のエアラインの競争激化等を受け、コスト低減、省エネルギー化の要請が高まっていると同時に、特性上、安全性や信頼性についても航空機は引き続き最高水準の水準を満たす必要がある。そのため、運輸部門(航空機)でのエネルギー使用合理化の推進をしつつ、かつ、軽量・高強度な先進材料の構造体への導入を早期に、そして効率的に実現するため、航空機エンジンへの複合材料適用を可能とする革新的な部材創製・技術開発が求められている。特に、航空機エンジン用部材の使用温度がニッケル基合金の耐熱限界に近づいているが、今後その耐熱温度を大幅に上昇させることは困難なため、新しい材料の開発が喫緊の課題となっている。新材料の候補として有望なCMCは、軽量耐熱材であるとともに、基材のセラミックス繊維を日本が独占する等、炭素繊維複合材に続く日本の優位性を確保できる技術として期待できるが、欧米の航空エンジンメーカーでも積極的に研究開発が行われており、我が国でも一層の研究の加速が必要であることから設立。 ● 研究内容: (1) CMC損傷許容評価技術開発 (2) C V I (化学的気相浸法)プロセス最適化 (a) C V I 反応条件の最適化 (b) C V I シミュレーション技術開発 (3) コーティング技術開発 ● 成果: (1) CMC損傷許容評価技術開発 - グループ試験を実施し、損傷パラメータと非破壊検査結果の関係の把握及び試験片のき裂観察結果から破壊メカニズムを解明した。これに平成26年度に取得した疲労試験結果と合わせて非破壊検査の合格判定基準の設定手法を確立した。また、開発した設計ツールについて、部品を模擬した構造供試体を用いた試験を実施し、試験結果と予測を比較することにより妥当性を検証した。 (2) C V I (Chemical Vapor Infiltration: 化学的気相浸法)プロセス最適化 (a) C V I 反応条件の最適化 ➢ C V I 反応条件の最適値を設定し、工業的な構造の炉においても含浸効率50%向上を達成できることを実証した。また、繊維を用いたC V I実験を行い、総括反応モデルの精度を改善した。 ➢ 副生成物の組成を解析して、副生成物を半減できる方法を確認し、工業的な構造の炉において実証した。 (b) C V I シミュレーション技術開発 - 工業的な構造のC V I炉を対象として、改善した総括反応モデルを組み込んだシミュレーション予測の精度を確認し、シミュレーション手法の妥当性を確認した。 (3) コーティング技術開発 - 平成26年度に絞り込んだコーティング材料について、平板のサンドエロージョン試験による追加データを取得し、翼型におけるエロージョン量をシミュレーションで評価し、実機に適用可能であることを確認した。			

出所) NEDO「平成 28 年度実施方針」

<http://www.nedo.go.jp/content/100784097.pdf>

表 5-10 CMC : NEDO「次世代構造部材創製・加工技術開発」(高性能材料開発) (3/3)

プロジェクト名	所管省庁	期間	参画機関
次世代構造部材創製・加工技術開発	NEDO	H27-H31	宇部興産(再委託先:山口東京理科大学、群馬大学、特殊無機材料研究所)、IHI(再委託先:東京大学、東北大学、JAXA)、川崎重工業(再委託先:豊田自動織機、イビデン、東京大学)、シキボウ、
プロジェクト概要			
● プロジェクトテーマ: 研究開発項目④-2 軽量耐熱複合材 CMC 技術開発 (高性能材料開発) ● 設立経緯: 低圧タービン向け CMC 部材では耐熱温度 1100℃ が達成されつつある。しかし、航空機エンジンの高圧系、特に高圧タービンは環境温度が非常に高くなるため、耐熱性や強度の観点から、CMC の適用が最も難しい部位である。一方、その厳しい環境下に晒されることから、交換頻度が高く、利益率の高い部材でもある。現在、高圧系部材は、欧米のエンジンメーカーに抑えられてしまっているが、我が国としては、強みを有する SiC 繊維の更なる高性能化と CMC 部材への適用を進めることで、更なる軽量化を実現し、当該分野での競争力を高めていく必要があることから設立された。 ● 研究内容: 中間目標(H29): (1) CMC 材料の開発 ➢ 第3世代 SiC 繊維の3次元織物を製造可能とする条件を設定し、繊維体積割合 30% 以上の織物を試作する。 ➢ 引張強度 2.0 GPa 以上、表面粗さ Ra 2-3 nm の SiC 繊維を安定的に供給できる生産技術を確立する。 ➢ CMC 用パフォーム製作技術を確立する。 (2) 高性能 SiC 繊維の開発 ➢ 引張強度 3.0 GPa 以上で高温クリープ特性に優れる SiC 繊維を開発する。 ● 最終目標(H31): (1) CMC 材料の開発 ➢ 引張強度 2.0 GPa 以上、1400℃×400Hr 暴露後強度低下 20% 以下を満足する SiC 繊維を安定的に 200 kg/年 供給できる生産技術を確立する。 ➢ 室温引張強度 200 MPa 以上、1400℃×400Hr 暴露後強度低下 20% 以下を満足する CMC 材料を開発する。 (2) 高性能 SiC 繊維の開発 ➢ 引張強度 3.0 GPa 以上で高温クリープ特性に優れる SiC 繊維の高生産焼結プロセスを開発する。 ➢ 開発した SiC 繊維が、CMC 材料に適用可能であることを確認する。			

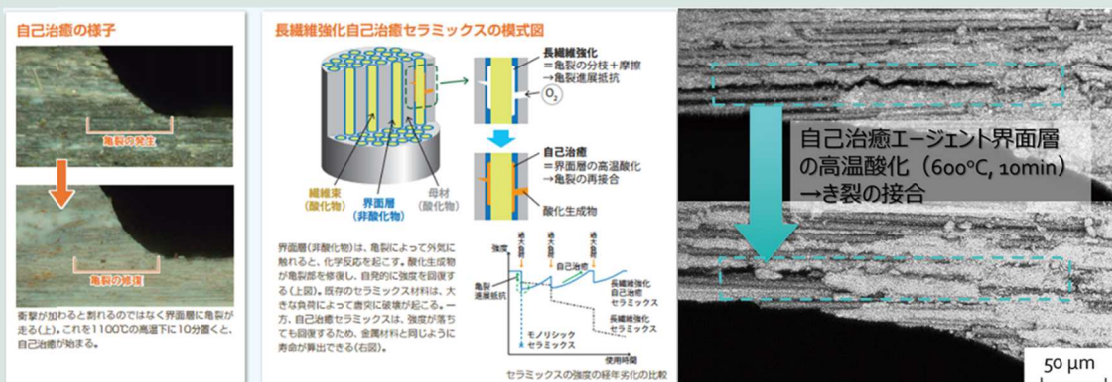
出所) NEDO「平成 28 年度実施方針」

<http://www.nedo.go.jp/content/100784097.pdf>

NEDO「「次世代構造部材創製・加工技術開発」基本計画」

<http://www.nedo.go.jp/content/100750043.pdf>

表 5-11 CMC : JST「ALCA(先端的低炭素化技術開発)(自己治癒機能を有する革新的セラミックスタービン材料の開発)」

プロジェクト名	所管省庁	予算	期間	参画機関
戦略的創造研究推進事業 ALCA(先端的低炭素化技術開発)	JST	各プロジェクト総額: 0.5億~1.5億円	2012年度~2016年度 (H.24~H.28)	運営総括: 原田 幸明 (物質・材料研究機構 特命研究員)
プロジェクト概要				
● テーマ: 自己治癒機能を有する革新的セラミックスタービン材料の開発 ● 分類: 省エネルギー社会に向けた革新的軽量材料の創製 ● テーマ担当: 中尾航(横浜国立大学 大学院工学研究院 准教授) ● 概要: 自己治癒機能により発現する高い機械的信頼性を有することで、ジェットエンジン部材として適用可能な自己治癒セラミックスを開発します。さらに、本材料の最大の特徴である自己治癒性により極限まで高められた損傷許容性を活用した新規設計基準を提案、確立します。 我が国独自の軽量・耐熱新素材開発を行うことで、世界の航空産業の約15%のCO2 排出削減に貢献します。				
				

出所) JST ALCA

<http://www.jst.go.jp/alca/kadai.html#BNK>

JST「明日へのトビラ Vol.9」

https://www.jst.go.jp/pr/jst-news/pdf/2013/2014_01_p12.pdf

表 5-12 生体材料：AMED「未来医療を実現する医療機器・システム研究開発事業」

プロジェクト名	所管省庁	期間	参画機関
未来医療を実現する医療機器・システム研究開発事業 「立体造形による機能的な生体組織製造技術の開発（高機能足場素材とバイオ3Dプリンタを用いた再生組織・臓器の製造技術の開発 など）」	AMED	H26-H30 (H27: 41.5億円)	国立大学法人東京大学、国立大学法人大阪大学、学校法人福田学園大阪保健医療大学、国立研究開発法人産業技術総合研究所、富士フイルム株式会社、シーメット株式会社、株式会社JMC、オリンパスヘルモバイオマテリアル株式会社 など
プロジェクト概要 ● 事業全体の内容 ➢ 高齢化の進展や、新興国における医療需要の増大を受け、世界の医療機器市場は今後も拡大が見込まれています。このような中、文部科学省、厚生労働省と連携し、日本が強みを有するロボット技術、ICT等を活用した日本発の革新的医療機器・システムの開発及び実用化を、日本医療研究開発機構を通じて推進。 ➢ 具体的には、我が国のロボット技術や内視鏡技術を活かした、より先端的な手術支援ロボット、低侵襲かつ高精度な診療を可能とする医療機器、損傷した組織を回復させるインプラント製品、等の開発・実用化を行う。 ● 立体造形による機能的な生体組織製造技術の開発 ➢ 日本が強みを有する細胞などを用いて立体造形する技術を利用して、移植用途の機能的な立体組織や立体臓器の製造技術を開発し、移植組織・臓器不足の解消、医療機器産業等の国際競争力強化に貢献。 ● 高機能足場素材とバイオ3Dプリンタを用いた再生組織・臓器の製造技術の開発 ➢ 日本が強みを有する細胞などを用いて立体造形する技術を利用して、移植用途の機能的な立体組織や立体臓器の製造技術を開発し、移植組織・臓器不足の解消、医療機器産業等の国際競争力強化に貢献。			

出所) AMED 未来医療を実現する医療機器・システム研究開発事業

<http://www.amed.go.jp/program/list/02/01/029.html>

表 5-13 生体材料：SIP 「革新的設計生産技術（フルイディック材料創製と3Dプリンティングによる構造化機能材料・デバイスの迅速開発）」

プロジェクト名	所管省庁	予算	期間	参画機関
フルイディック材料創製と3Dプリンティングによる構造化機能材料・デバイスの迅速開発	NEDO	2014年度：2.5億円 2015年度：2.5億円	2014年-2018年	東北大学、DIC(株)、日産自動車(株)、東芝テック(株)、パナソニック(株)、クレハタケデンタル(株)
プロジェクト概要 ● テーマ：フルイディック材料創製と3Dプリンティングによる構造化機能材料・デバイスの迅速開発 ● 取り組み内容： ➢ セラミックス複合機能材料のナノ材料化、その高濃度・高機能インク化(フルイディック材料)の開発 ➢ インクジェット方式 (IJ)によるフルイディック材料の3次元造形技術開発 ➢ 3Dプリンティング技術による構造化機能材料からなるデバイス（人工歯、3次元Li電池）の開発の迅速化と新たなイノベーションスタイルの確立 ● 具体的な課題と解決策：従来は高濃度にすると粘性が増大するため、インクジェットプリンティングによる3D造形が困難だったセラミック材料を、超臨界場水熱合成と有機修飾により高濃度充填が可能にすることを目指す。 ● 目標：セラミックス複合材料のインクジェット方式による3次元付加造形に係る基盤技術を確立する。オーダメイド人工歯については、高透明化高曲げ強度を実現する。3次元Li電池については、高エネルギー密度、高セルレートを実現する。 採択研究テーマ 技術俯瞰 ・高強度と高い審美性の人工歯 ⇒多層グラデーション ⇒人工歯のグローバル展開 電池性能 For HEV 3D電池 For EV 容量 ・充電性を6倍アップ ・小型、軽量化				

出所) <http://sip-cao.jp/subject/pdf/sip10.pdf>

NEDO「フルイディック材料創製と3Dプリンティングによる構造化機能材料・デバイスの迅速開発」

<http://www.sip-monozukuri.jp/theme/theme17.html>

内閣府「SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）革新的設計生産技術（新しいものづくり 2020計画）研究開発計画」

http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/keikaku/10_sekkei.pdf

表 5-14 生体材料・その他：SIP 「革新的設計生産技術（高付加価値セラミックス造形技術の開発）」

プロジェクト名	所管省庁	予算	期間	参画機関
高付加価値セラミックス造形技術の開発	NEDO	2014年度：2.7億円 2015年度：2.7億円	2014年-2018年	TOTO、日本ガイシ、日本特殊陶業、リタケカンパニーリミテド、産業技術総合研究所、大阪大学、ファインセラミックスセンター、九州大学、東北大学
プロジェクト概要 ● テーマ：高付加価値セラミックス造形技術の開発 ● 取り組み内容： ➢ 3D積層造形技術：複雑形状部材や中空部材の作製を可能とするセラミックスの粉末積層造形法やスラリー積層造形法、成形と焼結の同時実現可能な直接造形法を開発。 ➢ ハイブリッドコーティング技術：製品設計の自由度や機能の向上のために、3次元基材上への高密着な皮膜形成を可能とするハイブリッドA D法や微粒子スラリー溶射法を開発。 ➢ 基盤構築（部材化技術）：上記プラットフォーム技術を基に、各社の部材を題材に、革新的生産技術の基盤を築きます。 ● 目標：従来のセラミックス「製造プロセスの制約」を壊す。 ➢ 成形「型」を無くす3D造形 …形状設計の自由度向上、工程数削減 …開発期間の短縮、低コスト、省エネ、省資源 ➢ 3次元の樹脂や金属に高密着なセラミック膜を形成 …樹脂や金属の耐久性向上 …樹脂や金属に機能付与				

出所) 高付加価値セラミック技術の開発 http://www.hcmt.website/research_issue.html
内閣府「SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）革新的設計生産技術（新しいものづくり 2020 計画）研究開発計画」 http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/keikaku/10_sekkei.pdf
内閣府「高付加価値セラミックス造形技術の開発」 http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/iinkai/sekkei_ws/sekkeiseisan_15_koufuka.pdf

表 5-15 磁性材料：NEDO「次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発」（1/2）

プロジェクト名	所管省庁	予算	期間
次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発	METI(H24-H25) NEDO(H26-H33)	H24:20億円,H25:30億円,H26:30億円,H27:25億円,H28:21.5億円(予定)	H24-H33
プロジェクト概要 ● 設立経緯：本プロジェクトは、レアアースに依存しない革新的高性能磁石の開発、さらにはモーターを駆動するためのエネルギーの損失を少なくする高性能軟磁性材料の開発を行うと共に、新規磁石、新規軟磁性材料の性能を最大限に生かして更なる高効率を達成できるモーター設計の開発を行うことで次世代自動車や家電、産業機械の心臓部であるモーターの省エネ化を図り、競争力を確保し、我が国産業全体の活性化に寄与することを目指すため設立。 ● プロジェクトの管轄：H23-H25まではMETIの管轄であったが、H26-H33についてはNEDOへ移管が行われた。 ● H25-H28を第一期とし、H29-H33を第二期として実施する。第二期の研究開発項目等については、第一期の最終年度に策定する。			

出所) NEDO 次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発 http://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100078.html
NEDO「平成 28 年度実施方針」 <http://www.nedo.go.jp/content/100784395.pdf>

表 5-16 磁性材料：NEDO「次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発」（2/2）

プロジェクト名	所管省庁
次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発	METI(H24-H25)、NEDO(H26-H33)
プロジェクト概要	
● テーマ：新規高性能磁石の開発（Ⅰ）ジスプロシウムを使わないネオジム磁石の高性能化技術開発 ➢ 最終目標：現在の耐熱性ジスプロシウム含有ネオジム焼結磁石の1.5倍の最大エネルギー積「180℃において38MGOe」を持つジスプロシウムを使わないネオジム磁石の製造技術を確立する。 ● テーマ：新規高性能磁石の開発（Ⅱ）ネオジム焼結磁石を超えるレアースを使わない新磁石の開発 ➢ 最終目標：現在の耐熱性ジスプロシウム含有ネオジム焼結磁石の2倍の最大エネルギー積「180℃において50MGOe」を持つ「安定供給が不安視されているレアース元素」を使わない高性能新磁石となりうる磁石群の探索・可能性検討結果より、課題の抽出および基本材料設計の指針を示す。ただし、磁石使用温度に関しては、「③高効率モーターの開発」の解析・評価結果を反映させる。 ● テーマ：次世代高効率モーター用高性能軟磁性材料の開発 ➢ 最終目標：磁気特性が「Bs1.6T以上」「400Hz・1Tにおける損失3W/kg台」を両立する「Fe基ナノ結晶軟磁性材料」の実用化製造技術を確立する。また、モーター・磁性材料技術開発センターと連携してモーターを試作することにより省エネ化を実証する。 ● テーマ：高効率モーターの開発 ➢ 中間目標：高効率モーターの試作・評価を行い従来モーター比でエネルギー損失を25%削減する高効率モーター実現の見通しを得る。また、以下の各項目について要素技術を確立する。 ✓ 3次元磁石減磁評価試験技術 ✓ インバーターとモーターのトータルでの低損失化設計手法技術	

出所）NEDO 次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発

http://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100078.html

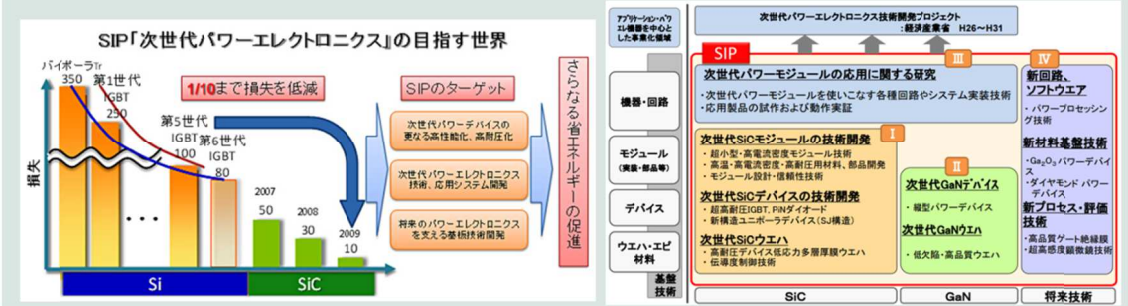
NEDO 「「次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発」基本計画」

<http://www.nedo.go.jp/content/100566603.pdf>

NEDO 「平成28年度実施方針」

<http://www.nedo.go.jp/content/100784395.pdf>

表 5-17 パッケージ材料：SIP「次世代パワーエレクトロニクス」

プロジェクト名	所管省庁	予算	期間	参画機関（多数存在のため責任者を担う機関のみ記載）
次世代パワーエレクトロニクス	SIP	H26：22億円 H27：24.21億円 H28：24.1億円	H26～H30	産業技術総合研究所、早稲田大学大学院、京都大学大学院、東京工業大学大学院、芝浦工業大学、情報通信研究機構 未来 ICT 研究所、東北大学、東京大学大学院、物質・材料研究機構
プロジェクト概要				
● 社会的目的：2020年までにパワーエレクトロニクス技術を駆使した超高効率なエネルギー利用により、かつてないほどの省エネ効果を達成する。また、同年、盛夏の中開催される東京オリンピック・パラリンピック等で、その省エネ効果や新たなエネルギー利用の形を世界にアピールする。 ● 技術的目的：本プロジェクトでは、次世代パワーエレクトロニクス技術のさらなる適用領域の拡大や普及促進を目指して取り組む。そのため、超高耐圧デバイス技術と次世代デバイスの特性・優位性を活かすためのモジュールや回路構成、制御や保護技術などの使いこなし技術と応用技術や周辺技術を含むシステム技術を強化し、高付加価値を生むことを目標とする。特に、次世代電力用や次世代自動車・産業用などのパワーエレクトロニクス機器実現に必要な高電圧・大電流電力変換機器や超小型・高電流密度・高速電力変換機器を実現するためのウエハ、デバイスから回路までの各技術を一貫通貫に連携させて研究開発する。				
事業概要図 				

出所）内閣府「戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）次世代パワーエレクトロニクス（どこでもパワエレ機器で豊かな省エネ社会）研究開発計画」

http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/keikaku/2_pawaere.pdf

NEDO 戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）／次世代パワーエレクトロニクス

http://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100090.html

表 5-18 電解質材料：NEDO「革新型蓄電池先端科学基礎研究事業」

プロジェクト名	所管省庁	予算	期間																																																																
革新型蓄電池先端科学基礎研究事業	NEDO	H21:28.5億円,H22:31.8億円,H23:28.4億円,H24:38.6億円,H25:30.9億円,H26:37.1億円,H27:31億円	H21～H27																																																																
プロジェクト概要																																																																			
● 背景 本事業は、資源に乏しい我が国が将来も持続的に発展するため、低環境負荷の革新的・効率的なエネルギー技術の開発、導入・普及により、他国に先んじて次世代型のエネルギー利用社会を構築することを目的として経済産業省が取りまとめた「エネルギーイノベーションプログラム」の一環として実施するものである。 ● 目標 ➢ 目標1：開発した分析手法を用いてリチウムイオン電池の不安定反応現象(寿命劣化、不安全)のメカニズムを解明し、現象の解決を図る。 ➢ 目標2：5倍以上のエネルギー密度(500Wh/kg)が期待できる革新型蓄電池について、小型電池による動作検証を行うなどして、現行技術水準の3倍以上のエネルギー密度及び初期のサイクル安定性を示す蓄電池の基礎技術を確立し、5倍以上のエネルギー密度を見通す。 ● 成果 ➢ 目標1 ✓ 主に量子ビームラインの建設・完成 ✓ 不安定性の解明を行い、得られた指針により材料革新に寄与 ✓ 得られた解析技術により現状のLIBおよび次世代LIB開発への活用による産業展開及び革新型蓄電池などの研究開発への応用を開始 ➢ 目標2 ✓ 亜鉛-空気電池 330Wh/kg相当の実電池動作確認 ✓ ナノ界面制御電池 最大398Wh/kg相当の実電池動作確認 ✓ Li/アモルファスFeS-4Li₂S系にて302Wh/kg相当の実電池動作確認																																																																			
研究開発の 役割分担図		<table><tr><th colspan="4">京都大学、産業技術総合研究所、各企業</th></tr><tr><th></th><th>高度解析技術 開発グループ</th><th>電池反応 解析グループ</th><th>材料革新 グループ</th><th>革新型蓄電池 開発グループ</th></tr><tr><td>東北大学</td><td>NMR、放射光 による解析</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>早稲田大学</td><td></td><td>交流インピーダンス法 FET利用 in situ測定</td><td></td><td></td></tr><tr><td>フラインセラムミクスセンター 名古屋大学</td><td></td><td>in situ TEMと電位分布 電位発生</td><td></td><td>各種の解析結果を 材料革新、革新型蓄電池の 開発へ展開</td></tr><tr><td>立命館大学</td><td>数X線による解析</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>高エネルギー加速器研究機構 茨城大学 日本原子力研究開発機構 北海道大学 東京理科大学</td><td>中性子による解析</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>東京工業大学</td><td></td><td></td><td>表面被膜効果 酸化形成と安定性 モデルセル</td><td></td></tr><tr><td>九州大学</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>北海道大学</td><td></td><td></td><td></td><td>金属空気電池</td></tr><tr><td>岩手大学</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>横浜国立大学</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>兵庫県立大学</td><td></td><td></td><td></td><td>界面制御</td></tr></table>		京都大学、産業技術総合研究所、各企業					高度解析技術 開発グループ	電池反応 解析グループ	材料革新 グループ	革新型蓄電池 開発グループ	東北大学	NMR、放射光 による解析				早稲田大学		交流インピーダンス法 FET利用 in situ測定			フラインセラムミクスセンター 名古屋大学		in situ TEMと電位分布 電位発生		各種の解析結果を 材料革新、革新型蓄電池の 開発へ展開	立命館大学	数X線による解析				高エネルギー加速器研究機構 茨城大学 日本原子力研究開発機構 北海道大学 東京理科大学	中性子による解析				東京工業大学			表面被膜効果 酸化形成と安定性 モデルセル		九州大学					北海道大学				金属空気電池	岩手大学					横浜国立大学					兵庫県立大学				界面制御
京都大学、産業技術総合研究所、各企業																																																																			
	高度解析技術 開発グループ	電池反応 解析グループ	材料革新 グループ	革新型蓄電池 開発グループ																																																															
東北大学	NMR、放射光 による解析																																																																		
早稲田大学		交流インピーダンス法 FET利用 in situ測定																																																																	
フラインセラムミクスセンター 名古屋大学		in situ TEMと電位分布 電位発生		各種の解析結果を 材料革新、革新型蓄電池の 開発へ展開																																																															
立命館大学	数X線による解析																																																																		
高エネルギー加速器研究機構 茨城大学 日本原子力研究開発機構 北海道大学 東京理科大学	中性子による解析																																																																		
東京工業大学			表面被膜効果 酸化形成と安定性 モデルセル																																																																
九州大学																																																																			
北海道大学				金属空気電池																																																															
岩手大学																																																																			
横浜国立大学																																																																			
兵庫県立大学				界面制御																																																															

出所) NEDO「平成 27 年度実施方針」

<http://www.nedo.go.jp/content/100751423.pdf>

RISING Battery Project

http://www.rising.saci.kyoto-u.ac.jp/pdf/RISING_Battery_Project.pdf

NEDO「「革新型蓄電池先端科学基礎研究事業」RISING 事後評価」

<http://www.nedo.go.jp/content/100759600.pdf>

表 5-19 誘電材料：JST「ALCA（先端的低炭素化技術開発）」

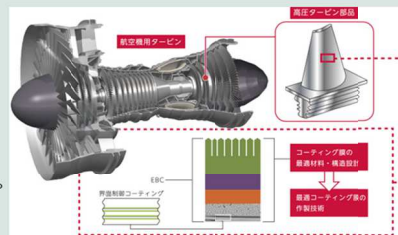
プロジェクト名	所管省庁	予算	参画機関
戦略的創造研究推進事業 ALCA(先端的低炭素化技術開発)	JST	各プロジェクト総額：0.5億～1.5億円	運営総括：逢坂 哲彌 (早稲田大学 総長室参与/特任研究教授/名誉教授)
プロジェクト概要			
● テーマ：単結晶ナノキューブのボトムアップによる高性能小型デバイス開発 ● 分類：蓄電デバイス ● テーマ担当：加藤 一実（産業技術総合研究所 無機機能材料研究部門 首席研究員） ● 期間：2011年度～2015年度（平成23～平成27） ● 概要：誘電体セラミックスの単結晶ナノキューブ化技術、単結晶ナノキューブの配置・配列・接合・界面制御技術を開発し、単結晶ナノキューブが2～3次元にボトムアップした高性能セラミックス小型部材を製造するための基盤技術確立します。これにより、高出力・高エネルギー密度の新スーパーキャパシタを開発します。			
● テーマ：次世代蓄電デバイス用特異構造ナノクリスタルテーマ ● 分類：蓄電デバイス ● テーマ担当：大原智（大阪大学 接合科学研究所 特任准教授） ● 期間：2011年度～2015年度(平成23年度～平成27年度) ● 概要：ナノテクノロジーを基盤として、セラミックス・金属・カーボン等の構造を原子レベルで精密に制御した蓄電デバイス用特異構造ナノクリスタルを合成します。さらに、ナノクリスタルを自己組織化機能等によりマイクロレベルへと高次構造化することにより、これまでの性能を凌駕する燃料電池、二次電池、キャパシタ等の開発を目指します。			

出所) JST ALCA

http://www.jst.go.jp/alca/end_detail.html#oohara

表 5-20 EBC, TBC : JST「ALCA（先進的低炭素化技術開発）（輻射熱反射コーティングによる革新的遮熱技術）」

プロジェクト名	所管省庁	予算	期間	参画機関
耐環境性セラミックスコーティングの開発	国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）	H26：5.2億円 H27：3.3億円 H28：4.0億円（見込み）	H26～H30	JFCC、NIMS、JUTEM、JAXA、東北大、横国大、東工大、東大、IHI
プロジェクト概要 テーマ1「耐環境セラミックスコーティングの構造最適化及び信頼性向上」 ● 背景：航空機エンジン部材の軽量化および耐熱性向上のためSiC強化繊維およびSiC複合材の導入が期待されている。これには約1100℃以上の高温水蒸気環境において酸化・減肉による部材の劣化問題を克服する必要がある。この研究はSiC部材を保護するための繊維耐温度1400℃の酸素・水素蒸気環境において長期使用可能な耐環境性コーティング（EBC）の開発を目指すものである。 ● 目標： (1) 熱・水蒸気・酸素遮断性に優れる多層セラミックスコーティング膜の最適材料設計 (2) 最適多層セラミックスコーティング膜を具現化するEBC技術の開発 (3) 部材内部の基材となるSiC繊維表面への界面制御コーティング技術の開発 (4) EBC膜の使用限界の把握と、世界最高水準の部材特性の実証 ● 成果： (1) コーティングプロセス技術 EBC：ダブル電子ビームPVD法でYbシリケート単層膜の形成に成功。 エロソルデポジション法で室温で酸素遮断効果が期待されるムライト膜形成に成功。 界面制御コーティング：レーザーCVD法においてSiC繊維上でのYbシリケート成膜に必要なデータを蓄積中であり、化学溶液堆積法においてSiC繊維上でのYbシリケート成膜に成功。 (2) コーティングの評価・解析 EBC：実機システムへの適用可能性評価、コーティング材の力学的特性・健全性評価解析を行い、熱機械的負荷損傷シミュレーションを実行。 界面制御コーティング：コーティング材の健全性評価解析、実機部材への適合性評価を実行。				



出所) JST ALCA

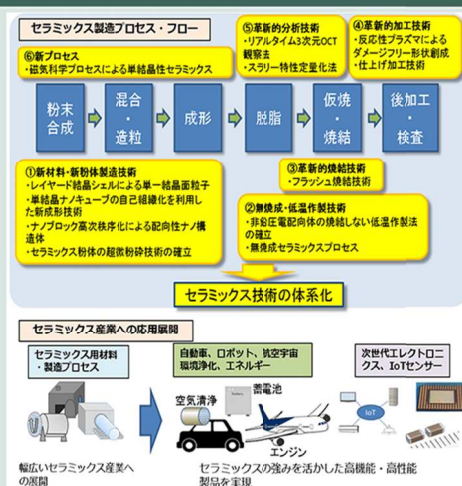
<http://www.jst.go.jp/alca/kadai.html#BNK>

新技術説明会「革新的輻射熱反射技術の開発」

https://shingi.jst.go.jp/past_abst/abst/p/14/1480/alca2_02.pdf

表 5-21 その他：JST A-STEP「セラミックスの高機能化と製造プロセス革新」

プロジェクト名	所管省庁	予算	期間	参画機関
セラミックスの高機能化と製造プロセス革新	国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）	A-STEP産業ニーズ対応の研究開発費は～2,500万円／年・課題と規定	H28-（2～5年間）	横国大、東北大、東工大、名古屋大、法政大、AIST、京都大、大阪大（ここまでは全て研究責任者）、など
プロジェクト概要 <<A-STEP 産業ニーズ対応タイプとは>> 日本の産業競争力の強化及び基礎研究の活性化を目指し、産業界で共通する技術的課題「技術テーマ」の解決に資する大学・公的研究機関等による基盤研究をJSTが推進するものです。 <<テーマの概要>> セラミックスは様々な優れた特性を持ちながら、高価であることや突然の破壊・割れが発生するため、更なる普及を妨げています。複雑な製造工程や高温焼成によるエネルギー多消費、製品の内部構造の不均一性に起因するこれらの課題の抜本的な解決と更なる高機能化が求められています。本技術テーマは、原料粉から後加工までセラミックス製造工程全体を見直して上記欠点を克服する基盤技術を基礎科学に立脚して確立し、製造プロセスのブレークスルーを目指します。 これにより、製品の競争力向上や従来品の機能を凌駕する様々な特性を実現すると共に、新たな用途の可能性を検討し、優れた特徴を持つセラミックスを社会に広めることを目指します。 企業での製造に直結することを念頭に、原料粉の製造・成形技術・焼結・後加工までの製造技術全体を見直し、目視と勘と職人芸に頼る部分を廃し、科学的な観点から生産性の向上と機能向上のための「技術の体系化」に挑戦します。				



出所) JST A-STEP

https://www.jst.go.jp/a-step/kadai/h28-s1/h28_sangyo01.html

JST「研究成果展開事業 研究成果最適展開支援プログラム A-STEP ステージ I 産業ニーズ対応タイプ」

https://www.jst.go.jp/a-step/koubo/files/h28-koubosetsumei_sangyo.pdf

表 5-22 その他：JST「ERATO（彌田超集積材料プロジェクト）」

プロジェクト名	所管省庁	予算	期間	参画機関
彌田超集積材料プロジェクト	JST	総額：15億円	2010年度～2014年度 (H.22～H.26)	東京工業大学資源化学研究所
プロジェクト概要 ● テーマ：彌田超集積材料プロジェクト ● 概要：新材料の発見・創製は、科学技術や産業上、極めて重要で、今日までに金属、セラミックス、プラスチック、半導体などさまざまな性質の新材料が開発されてきました。これまでの新材料の創製は、主に新しい性質が偶発的に発見された物質の周辺の探索・最適化で行われており、合理的な新機能の設計や新材料の探索は容易ではありませんでした。一方、ハイブリッド材料は成分の組み合わせだけでも無限の可能性のあるものの、個々の構成成分の性質を併せ持つ程度の複合機能に留まっていた。本プロジェクトは、ナノテンプレート(ナノスケールの鋳型)を利用することで、各構成成分の精密な配置・配列を実現し、各成分同士の相互作用を精密に制御することで、単なる成分の足し合わせ以上の性質をもつ材料(超集積材料)の創出を目指します。ここで用いるナノテンプレートは人工的なだけでなく、微生物がもつような複雑な構造も利用し、より高度な相互作用の制御を目指します。さらに、分子配線技術をナノテンプレートを利用して開発し、分子で回路を作ること、その回路自体が1つの新材料であるという概念も提唱します。このような新材料創出の新しい方法論を確立することで、合理的に新材料を探索することが可能となり、材料探索への大きなブレークスルーが期待されます。				

出所) JST プロジェクトデータベース 彌田超集積材料プロジェクト

<https://projectdb.jst.go.jp/grant/JST-PROJECT-10102833/>

東京工業大学フロンティア研究機構

<http://www.fcrc.titech.ac.jp/docs/iyoda.pdf>

表 5-23 その他：JST「CREST（セラミックスヘテロ層における界面電磁場制御と熱エネルギー利用）」

プロジェクト名	所管省庁	予算	期間	参画機関
セラミックスヘテロ層における界面電磁場制御と熱エネルギー利用	JST	総額：1.5億円 ～5億円	2013年度～2017年度 (H.25～H.29)	長尾 忠昭（物質・材料研究機構 国際ナノアーキテクトニクス研究拠点 グループリーダー） 生田目俊秀（物質・材料研究機構 MANA ファウンダリ） 梅澤直人（物質・材料研究機構 環境再生材料ユニット）
プロジェクト概要 ● テーマ：セラミックスヘテロ層における界面電磁場制御と熱エネルギー利用 ● 概要：赤外線放射吸収現象の理解とその制御技術の開発は、廃熱利用、地熱発電、産業用熱加工エネルギー、住宅冷暖房エネルギーの削減などと結び付き、地球規模での CO2削減と新エネルギー開発を推進する上での最重要課題のひとつです。そこで、本研究課題ではセラミックス・ガラスのナノ薄膜をベースに、高い熱線遮断特性や熱吸収特性を持つコーティング材料、高効率な赤外線フィルタリング特性や放射特性をもつ材料を開発するための学理・方法論を構築します。例えば、セラミックス、ガラス薄膜やその界面に発現するシートプラズモンと極性フォノンとの混成効果を利用し、これらが効率良く赤外線電磁場と相互作用するようナノ界面と微細構造とを内包させた赤外線電磁場応答材料を開発します。そして、これらを省エネ遮断窓材や高効率ヒーター、熱センサー、熱電変換デバイス等へと応用するための指針や、実用化のための基盤技術の確立を進めます。元素戦略的な観点からの材料探索も進め、それらを用いた赤外線長選択性と高効率な熱放射・吸収機能をもつ、新しい熱エネルギー変換材料・デバイスの創成に挑戦し、低炭素化社会実現に資するナノ材料工学の開拓を目指します。				

出所) JST CREST「エネルギー高効率利用のための相界面科学」

http://www.sssj.org/files/kyosan_20150330.pdf

表 5-24 その他 JST のセラミックス関連プロジェクト (1/3)

テーマ	主体	期間
構造用セラミックスの立体造形技術の開発	マッチングプランナープログラム	2015 - 2016(予定)
レーザ急速加熱環境下におけるセラミックスと低融点ろう材のぬれ挙動解明	マッチングプランナープログラム	2015 - 2016(予定)
微生物由来のセラミックスを用いたタンパク質生産法	マッチングプランナープログラム	2015 - 2016(予定)
ジオミメティック技術を用いた新規セラミックスブロックの開発	マッチングプランナープログラム	2015 - 2016(予定)
pHオシレーション法による単分散ナノセラミックスの合成	マッチングプランナープログラム	2015 - 2016(予定)
セラミックス多孔体を用いた水素と二酸化炭素の高温分離	マッチングプランナープログラム	2015 - 2016(予定)
低温焼結圧電セラミックス材料を用いたセンサモジュール開発	マッチングプランナープログラム	2015 - 2016(予定)
新規メタリアルデザインに基づくジルコニア強化高硬度アルミナセラミックスの開発	マッチングプランナープログラム	2015 - 2016(予定)
ポリマー含浸焼成法によるセラミックス基複合材料の小型衛星用スラスタへの応用	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) ハイリスク挑戦タイプ 復興促進型	2014 - (非公開)
微細ダイヤモンド工具再生のためのマイクロドロップ・リコンデショニング法の開発	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2013 - 2013
ニオブ系鉛フリー圧電セラミックス材料の電子デバイス実用化への検証	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2013 - 2013
傾斜電荷分布による自己分極処理機能を持つ自律型圧電材料の開発	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2013 - 2013
高強度マグネシウムシリサイド熱電複合材料の開発	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2013 - 2013
高エネルギーメカノ効果を利用したメカノ水熱ハイブリッドプロセスの開発と応用	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2013 - 2013
希土類添加セラミックスナノ蛍光体の生産プロセスと表面機能化プロセスの連続化に関する研究	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2013 - 2013
有機・無機ハイブリッド材料を用いた高放熱・高耐熱メタルコア基板の開発	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2013 - 2013
白色LED照明下におけるCe3+添加ガーネット残光蛍光体の開発	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2013 - 2013
低磁場配向プロセスによる軸配向Si3N4セラミックスの開発	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2013 - 2013
ランタン・シリケート酸化物イオン伝導体SOFC用電極材料の開発	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2013 - 2013
炭素繊維フィルターを用いた触媒フリーのナノ粒子浄化技術の開発	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2013 - 2013
エンジン吸排気バルブシートへの適用可能な高機能銅合金部材の開発	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2013 - 2013
世界初高温加熱用超長寿命・長尺セラミックロールの最適設計に関する研究	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2013 - 2013
液中プロセス法による機能性セラミックスナノ粒子の合成	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2013 - 2013
貯水池の持続的利用のための堆積物有効利用	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2013 - 2013
パワーデバイス用炭化珪素ウエハに対する低欠陥加工技術の開発	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2012 - 2013
多孔質球状粒子を用いた太陽電池用低光反射超撥水膜の開発	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2012 - 2013
高エネルギー・高出力密度の高性能蓄電材料としての誘電体/金属ナノ粒子集積体セラミックスの開発	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2012 - 2013
微小部応力センサ実用化用負荷ステージの開発	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2012 - 2013
低品位粘土を原料に用いた新規耐熱・断熱タイルの開発	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2012 - 2013

出所) JST プロジェクトデータベース

表 5-25 その他 JST のセラミックス関連プロジェクト (2/3)

テーマ	主体	期間
セラミックスの押出し加工における成形プロセス解析技術の確立	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2012 - 2013
非鉛圧電材料ハイパワー・特性計測システムの汎用制御ユニット実用化に向けた研究	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2012 - 2013
新しいキャリア注入法によるレアアースフリー非鉛高温PTCサーミスタの創製	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2012 - 2013
大容量・高速データ通信用低誘電率・高Qガラスセラミックス基板の研究開発	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2012 - 2013
複合アニオンセラミックス組成制御によるPt代替電極材料の開発	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2012 - 2013
非鉛系新規圧電材料の創生	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2012 - 2013
磁界励起活性化PVD法による水素透過防止膜の生成	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2012 - 2013
結晶性制御技術を用いたジルコニアセラミックスへのアパタイト薄膜成膜技術の開発	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2012 - 2013
高耐候性・高輝度長時間残光特性を利用した屋外用蓄光製品の製造技術	復興促進プログラム A-STEP 探索タイプ	2012 - 2013
被災地の環境回復を目的としたセシウム、細菌、ウイルス、においの除去機能を有したハイブリッドセラミックス材料の開発	復興促進プログラム A-STEP 探索タイプ	2012 - 2013
PTA法を用いた耐久性に優れた複合皮膜形成技術の開発	復興促進プログラム A-STEP 探索タイプ	2012 - 2013
世界初の「変形しやすく振動吸収性に優れた低摩擦・超耐摩耗ゴム系複合材料」の開発と応用	復興促進プログラム A-STEP 探索タイプ	2012 - 2013
薬剤徐放能付与によるがん治療用セラミック微小球の高機能化	復興促進プログラム A-STEP 探索タイプ	2012 - 2013
リチウムイオン電池電極材料のセラミックス二相境界における物質移動の動力学	戦略的創造研究推進事業 さきがけ	2012 - 2015
石膏型圧力鋳込みによる複雑形状セラミックス成形の実現	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2011 - 2012
結晶軸配向性Ba1-x(Bi0.5K0.5)xTiO3高性能鉛フリー圧電材料の開発	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2011 - 2012
ガスタービン翼材料として実用化を目指すためのAl2O3/SmAlO3二元系MGC材料組織の微細化技術の開発	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2011 - 2012
亀裂が加工中に修復する切削工具の開発	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2011 - 2012
酸化物イオン伝導体を用いた高効率二酸化炭素分離セラミック膜の開発	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2011 - 2012
Yb-ファイバーレーザーによるセラミックス上への導電パターン直接書き込み	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2011 - 2012
カーボンナノ材料分散高耐熱・強靱性複合セラミックスの開発	戦略的創造研究推進事業 ALCA(先端的低炭素化技術開発) 探索ステージ	2011 - 2012
SiO2ナノ多結晶・超高靱性高硬度を有する新材料の開発	戦略的創造研究推進事業 さきがけ	2011 - 2014
新規なフロートキャスト法によるナノセラミックス細胞足場材料の開発	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2011 - 2011
ミラ波・HIP複合焼結による完全緻密セラミックスの作製	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2011 - 2011
強磁性体-強誘電体多層積層体の作製によるチューナブルインピーダンス素子の研究開発	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2011 - 2011
固体の熱輸送性質を測定するための接触式スタンプ型センサの開発	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2011 - 2011

出所) JST プロジェクトデータベース

表 5-26 その他 JST のセラミックス関連プロジェクト (3/3)

テーマ	主体	期間
無機系電解質による中低温駆動可能な燃料電池の開発	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2011 - 2011
結晶成長方位制御した積層型圧電アクチュエータ用耐還元無鉛BaTiO ₃ 系セラミックスの開発	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2011 - 2011
非鉛系圧電セラミックスを用いた医療用超音波探触子の開発	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2011 - 2011
廃棄GFRPを用いた防災・環境調和型セラミック製造技術の開発とその応用	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2011 - 2011
マイクロ波を利用した陶磁器の新規加熱技術の探索	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2011 - 2011
電荷移動遷移を用いたTOF-PET用シンチレータの開発	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2011 - 2011
超音波振動を援用したダイヤモンド焼結工具の機上微細放電加工技術	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2011 - 2011
αマルテンサイト相を利用した航空機用Ti合金材の粉末鍛造加工成形法の開発	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2011 - 2011
自然な腐食反応を活用したアルミニウムアルコキシドの製造法の開発	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2011 - 2012
大面積電子ビーム照射によるセラミックスの新しい表面処理技術の開発	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2011 - 2011
低温焼結助剤と放電プラズマ焼結法を駆使した窒化アルミニウムセラミックスの低温・短時間焼結	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2011 - 2011
蒸発成分を含むアバタイト型単結晶の育成技術とその特性に関する研究	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2011 - 2011
製造業における動作分析のシステムに関する研究	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2011 - 2011
自家骨に代わりうる次世代型多孔質バイオセラミックスの開発	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2011 - 2011
曲がるセラミックス材料の開発	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2011 - 2011
反応焼結法によるSiC繊維強化多孔質SiCセラミックスの開発	知財活用支援事業 知財活用促進ハイウェイ 大学特許価値向上支援	2011 - 2011
低消耗形放電加工法を用いた絶縁性セラミックスの金型製造技術の実用化	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 起業検証タイプ	2010 - (非公開)
高感度遺伝子検出を実現する超分子電気化学センシングプローブ	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2010 - 2010
交流高電場印加によるセラミックス電極・電解質接合体の開発	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2010 - 2010
希土類窒化ケイ素系高耐久性白色LED用蛍光体の開発	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2010 - 2010
新規三元系セラミックス薄膜の低温合成技術の開発	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2010 - 2010
導電性を有する耐プラズマ性セラミックスの開発	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2010 - 2010
高効率水素分離・製造のためのサブリミナル細孔を有する多孔質セラミックス薄膜の開発	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2010 - 2010
高周波回路との一体化に適した多層基板集積化ミリ波アンテナに関する研究	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2010 - 2010
マイクロ波水和反応を利用したメートル級大型セラミックス部材成形技術の開発	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2010 - 2010
車載用NOxセンサの検知極材料の開発	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2010 - 2010
高性能メカニカルシール用多孔質炭化珪素素材の開発	研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 探索タイプ	2010 - 2010

出所) JST プロジェクトデータベース