



技術戦略研究センターレポート

# TSC Foresight

Vol. **25**

## 構造材料分野の 技術戦略策定に向けて

2018年2月

<b>1</b> 章 構造材料技術の概要	2
<b>2</b> 章 構造材料技術の置かれた状況	5
2-1 市場規模	5
2-2 構造材料の技術動向	7
2-3 国内外の研究開発政策の状況	14
<b>3</b> 章 構造材料分野の技術課題	17
<b>4</b> 章 おわりに	19

TSCとはTechnology Strategy Center (技術戦略研究センター)の略称です。

# 構造材料分野の技術戦略策定に向けて

## 1章 構造材料技術の概要

### (1) 構造材料分野の俯瞰

構造材料は「力学的特性（強度・靱性・延性）」が主に要求される材料の総称である。構造材料の分類としては、「用途による分類」、「物質の種類による分類」、「原料由来による分類」がある。図1に各分類を示す。

「用途による分類」としては、輸送機器をはじめとする機械類の構造部を担う機器用途（具体例としては、自動車用途、鉄道車両用途、航空機用途、船舶用途など）と、インフラなどの建造物の構造部を担うインフラ用途（具体例としては、建材、橋梁用途、配管用途など）が挙げられる。

「物質の種類による分類」としては、金属材料、セラミック材料、樹脂（プラスチック）材料に大別されるが、同種材料（例えば金属同士であれば合金）、異種材料（例えば樹脂

と無機フィラーによるコンポジット）を混合することによって得られる複合材料も近年注目されている。

「原料由来による分類」としては、天然の原料に由来する土砂、石材、木材などの天然材料と、金属、合成樹脂などの人工材料に大別される。「原料由来による分類」においても、石材（天然）とモルタル（人工）を混ぜたコンクリート等の複合材料が存在する。

### (2) 構造材料分野の関連技術

構造材料が持つ力学的特性を高めることは、構造材料に求められる最も重要で共通的な課題である。構造材料は用途によらず機器、建造物等の外形を維持し、異物が衝突する等の外乱から機器、建造物等の損壊を防止する、あるいは機器、建造物等の内部に人間が活動する空間がある場合は、上記の外乱から人間を守る機能が求められる。

関連技術分野としては、用途に依存する技術及び材料の種類に依存する技術がある。

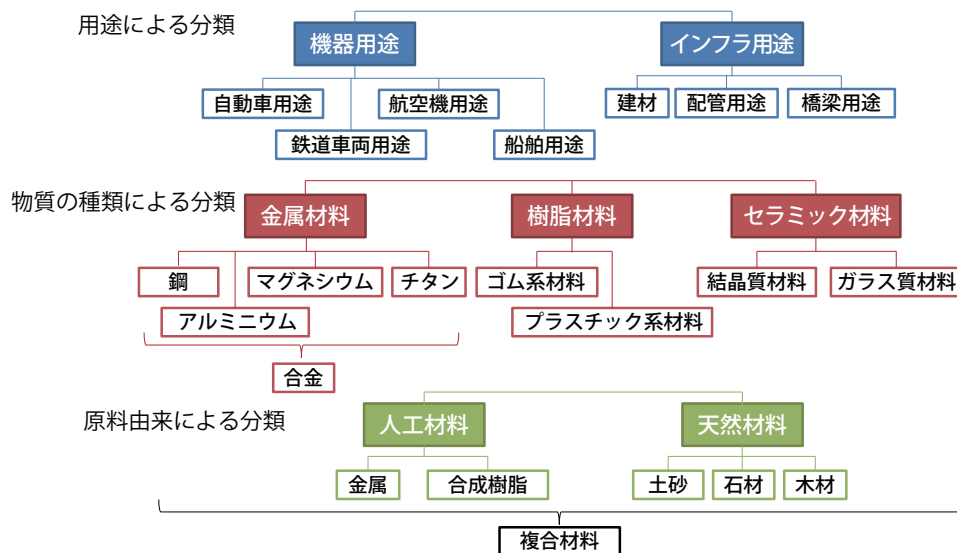


図1 構造材料分野の俯瞰  
出所：NEDO 技術戦略研究センター作成（2017）

# 構造材料分野の技術戦略策定に向けて

用途に依存する技術の例として、輸送機器用途の構造材料では、機器の環境性能向上の観点から材料の軽量化が重要であり、材料を軽量化するための技術（設計技術）が研究開発されている。また、インフラ用途では、長期間の使用に耐えることを目指し、耐久性向上技術が重要である。さらに、これらの技術には、材料の構造・組織・形状等を制御して材料特性を向上する技術に加え、特性を所定の条件で評価する、さらには評価に適した条件・方法を研究開発する、あるいはシミュレーションし予測する技術も含まれる。

材料の種類に依存する技術の例として、金属材料では、鍛造、熱間及び冷間圧延等、熱と機械的な変形を組み合わせた強化技術（加工技術）が用いられている。このような個々の材料を強化する技術には、それぞれの材料に固有の技術が存在し、現在も研究開発されている。一方、機器あるいは建造物が単一の材料で作られていることはほとんどなく、同種あるいは異種材料の接合・接着技術も材料

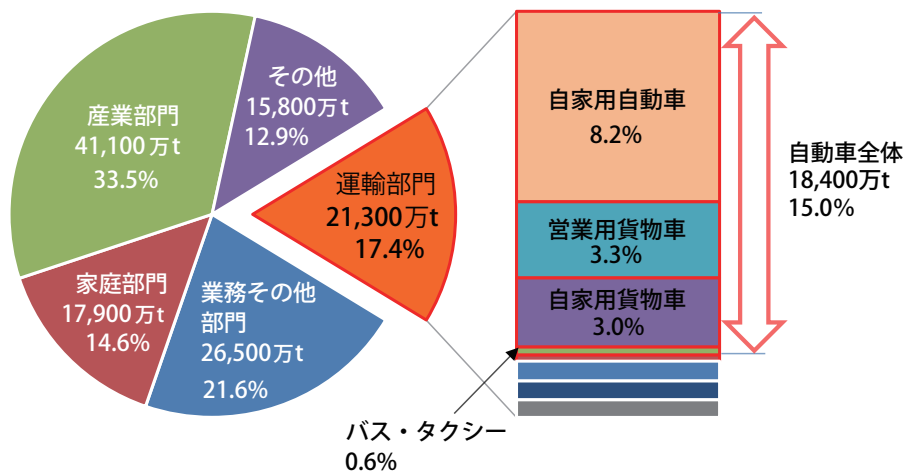
の種類に依存する技術として重要である。

このように構造材料分野にかかわる周辺技術としては、材料そのものの製造にかかわる技術に加え、設計、評価、解析の諸技術が必要であり、これらが一体となって構造材料の研究開発が進展すると考えられる。

### (3) 構造材料をめぐる社会課題

構造材料をめぐる社会課題としては、上述したとおり、輸送機器用途に用いられる構造材料の軽量化の問題がある。パリ協定の発効により温室効果ガス削減の取組が全地球的な課題となったことに伴い、運輸車両が排出するCO<sub>2</sub>の削減が地球規模で求められている。

図2に、我が国のCO<sub>2</sub>排出量の内訳を示す。国内のCO<sub>2</sub>排出量のうち、約17%が運輸部門から生じており、自動車に限ると約15%である。



※電気事業者の発電に伴う排出量、熱供給事業者の熱発生に伴う排出量はそれぞれの消費量に応じて最終需要部門に配分  
 ※端数処理の関係上、合計の数値が一致しない場合がある。  
 ※温室効果ガスインベントリオフィス「日本の温室効果ガス排出量データ (1990～2015年度) 確報値」より

図2 我が国の運輸部門におけるCO<sub>2</sub>排出量内訳

出所：国土交通省ホームページを基に NEDO 技術戦略研究センター作成 (2017)

# 構造材料分野の技術戦略策定に向けて

図3に市販の車両の重量とCO<sub>2</sub>排出量との関係を示す。市販車両の車体重量とCO<sub>2</sub>排出量は内燃機関の種類や車種による違いはあるものの、ほぼ比例関係にあり、車体重量が100kg増加するとCO<sub>2</sub>排出量は走行距離1kmあたり約10g増加する。

我が国を含め、世界各国はCO<sub>2</sub>排出削減のための施策を実施しているが、特に欧州は2020年のCO<sub>2</sub>排出規制

95g/kmを打ち出している。各国の自動車メーカーは、車体の軽量化も含め車の燃費を向上することでCO<sub>2</sub>排出を削減しようとしている。現状の技術で欧州の排出規制をクリアするのは排気量の小さい一部のガソリン車とハイブリッド車(HV: Hybrid Vehicle)に限られており、抜本的な燃費改善が必要とされる。

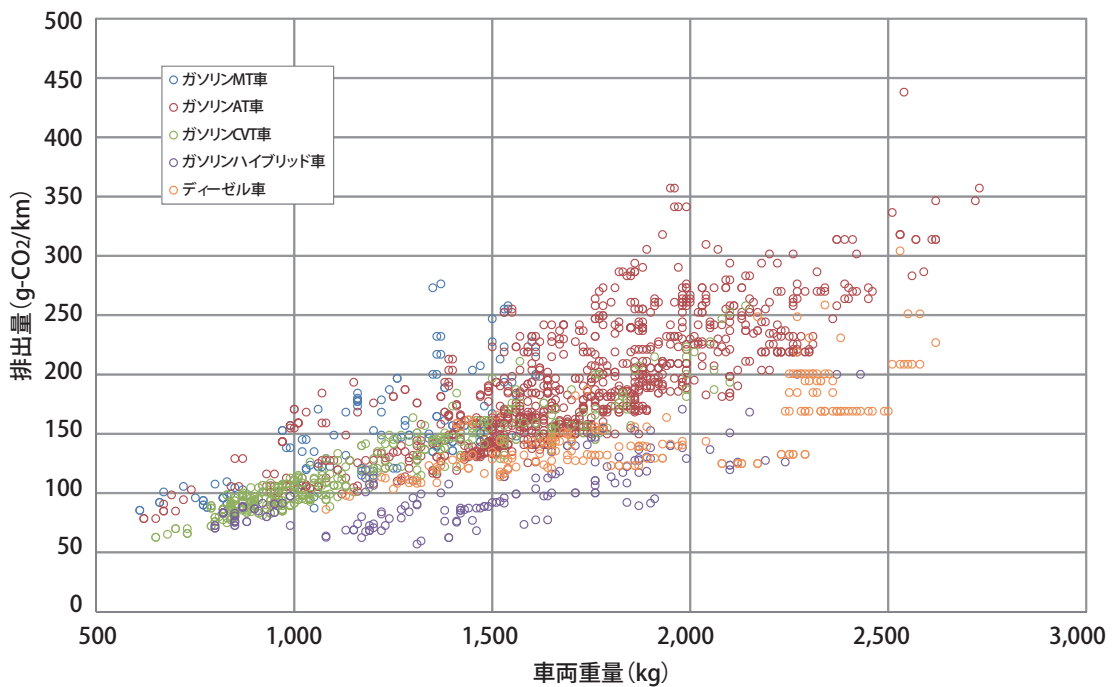


図3 CO<sub>2</sub>排出量と車両重量の関係

出所：「自動車燃費一覧(平成29年3月)」(国土交通省, 2017)

# 構造材料分野の技術戦略策定に向けて

## 2章 構造材料技術の置かれた状況

### 2-1 市場規模

#### (1) 構造材料の市場動向

構造材料を種類別にみると(図4)、市場規模が100兆円を超える炭素鋼から1,000億円に満たない自動車用途の炭素繊維強化プラスチック(CFRP: Carbon Fiber Reinforced Plastics)、市場規模は小さいもの

の我が国のシェアが60%に迫る炭素繊維(CF: Carbon Fiber)など、種類により市場環境は大きく異なることがわかる。

自動車に用いられる高張力鋼の市場規模は1兆円を超え、我が国のシェアは50%近くになる。自動車用途でも精錬を海外に頼っているアルミニウム、マグネシウムについての日系企業のシェアは低い。

輸送機器用途に用いられる構造材料について、輸送機器別の市場規模とその予測を示す(図5)。規模の小さい鉄道用途であっても現状1兆円規模であり、自動車用途では現状10兆円規模でさらに急速に拡大すると予想されている。

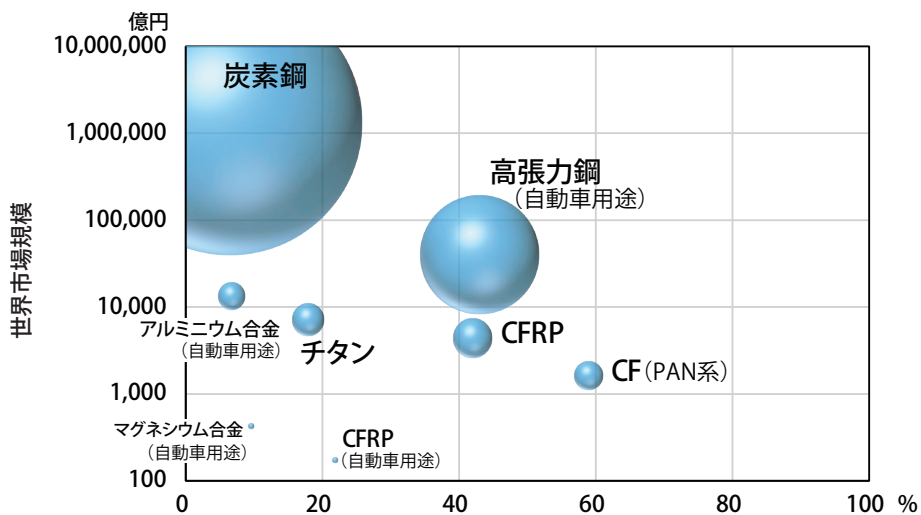


図4 各種構造材料の市場ポジション 日系シェア  
出所:「平成28年度日系企業のモノとサービス・ソフトウェアの国際競争ポジションに関する情報収集」(NEDO, 2017)

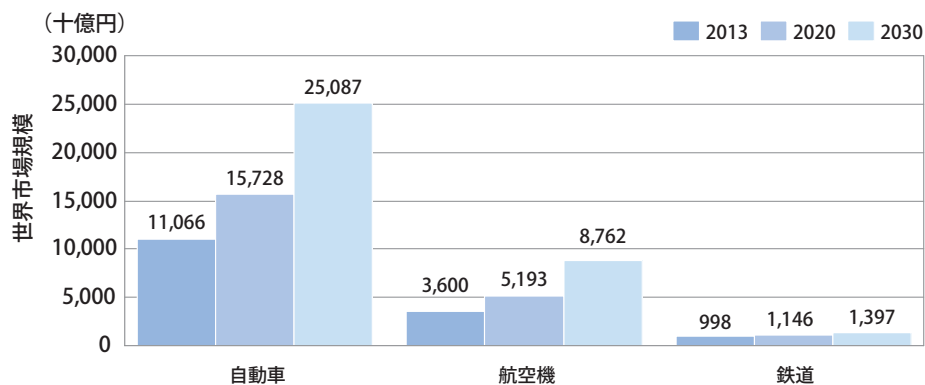


図5 構造材料の用途別世界市場予測(輸送機器)  
出所:平成25年度産業技術調査事業「重要技術分野に関する技術動向等調査」調査報告書(2014)

# 構造材料分野の技術戦略策定に向けて

自動車における構造材料の主要な用途としては、「フレーム」と呼ばれ車体の強度を維持するピラー系（センターピラー、フロントピラー）、リフォース系（バンパーリフォースやドアビーム）、フロントサイドメンバー、クロスメンバーなどの諸部品、「外板（板物）」と呼ばれ車の外形を形作るフェンダー、ボンネット、ルーフ、トランクリッド、サイドドア、バンパーなどがある。

これらの部材にはもともと鋼材が用いられていたが、現在は鋼材だけでなく、アルミニウムに種々の金属を少量混合した合金が用いられているほか、マグネシウム合金やガラス繊維－樹脂複合材料（GFRP：Glass Fiber Reinforced Plastics）、炭素繊維－樹脂複合材料（CFRP）の開発が進められている。

また、上記のフレームや外板以外の部材、例えばサス

表1 輸送機器用構造材料の産業動向

種類	産業動向	主要な企業・研究機関
高張力鋼	日本は、欧州とシェア40～50%で市場を分け合っているが、中国・韓国の市場競争力も向上しつつあり、競争力低下が懸念。添加レアメタルの需要逼迫も懸念材料。現地生産化に伴う新興国企業の参入により、国内企業の競争力は微減傾向。	新日鐵住金、JFEスチール、神戸製鋼所、ARCELORMITTAL（ルクセンブルク）、POSCO（韓国）、宝山鋼鉄（中国）、東北大学、オークリッジ国立研究所（米国）、インド工科大学（インド）
アルミニウム合金	米国が先行。日本は精錬に大きな電力を必要とするため、新地金は海外からの輸入に頼っている。一方、自動車向けについては、大半が自動車会社によるリサイクル内製となっている。日系企業は精錬から加工まで垂直統合している海外メジャーと比較して生産性が劣る。自動車メーカーと連携して海外進出する動き。ボーイングは航空機の主要系材となるアルミニウムを安定確保するため、最大10億ドルでアルコアと調達契約を締結（2014年9月）。	神戸製鋼所、ALCOA（米国）、新日鐵住金、UACJ、ALERIS ALUMINUM（米国）、産総研、東北大学、ロシア科学アカデミー（ロシア）、中国科学院（中国）
マグネシウム合金	地金供給を中国に依存。米国・中国が先行。普及には難燃性が鍵だが、日本や韓国にて性能改善の成果が出ている。電気消費量の少ない新規精錬技術の開発や、加工コストの削減が必要。他の金属への添加成分としても用いられており、他の材料の需給に影響を受ける。	日本金属、戸畑製作所、住友電気工業、三協立山、中国科学院（中国）、シンガポール国立大学（シンガポール）、ライアソン大学（カナダ）
チタン・チタン合金	日本は、航空機等の高品位重要部材では優位を保っているが、高いエネルギーコストと複雑な生産工程が課題。中国の安価品による価格攻勢を受けてきたが、中国における環境負荷の高い精錬法が規制の対象となったことから市況が緩和。	東邦チタニウム、大阪チタニウムテクノロジーズ、神戸製鋼所、新日鐵住金、BHP BILLITON（オーストラリア）、TITANIUM METALS CORPORATION（米国）、ロシア科学アカデミー（ロシア）、中国科学院（中国）
CFRP	航空機、産業機器、スポーツ用品業界等では熱硬化性CFRPの需要が多く、加工技術も欧州が先行。熱可塑性CFRPは、我が国でも基盤技術ができた段階で、材料も成形加工技術は、世界中がまだこれからの状況。独BMWは2013年から発売した電気自動車「i3」にCFRPを全面的に採用。さらに炭素繊維の生産能力を3倍にするため、200億円投資することを発表（2014年5月）。	東レ、東邦テナックス、三菱ケミカル、帝人、DU PONT（米国）、TENCATE（オランダ）、東京大学、名古屋大学、デルフト工科大学（ドイツ）、フラウンフォーファー研究所（ドイツ）
炭素繊維	日本の材料開発技術力は極めて高く、世界の主要生産企業7社中、我が国の企業3社で市場シェアの60%を占めており、外国企業の追随を許さない状況下にある。ただし、従来製法は消費エネルギー及びCO <sub>2</sub> 排出量が多く、高コストは共通の課題。	東レ、東邦テナックス、三菱ケミカル、帝人、HEXCEL（米国）、CYTEC（米国）、SGL CARBON（ドイツ）、東京大学
接合	マルチマテリアル化は欧州が先行。自動車の軽量化に向けて日米欧で開発が激化。欧米では異業種が連携したコンソーシアム型の国家プロジェクトが立ち上がっている。	三菱重工業、川崎重工業、大阪大学、産総研、TWI（英国）、EWI（米国）

出所：NEDO技術戦略研究センター作成（2017）

# 構造材料分野の技術戦略策定に向けて

ペンション部材の一部やステアリングシャフト、ギアボックスやエンジンにおけるシリンダーブロックなども構造材料が用いられる部材であり、鋼材やアルミニウム合金（铸造等）のほか一部チタン合金等も検討されている。

## (2) 輸送機器用構造材料の産業動向

表1に自動車用途をはじめとする輸送機器用構造材料及び関係技術の産業動向を示す。諸外国は材料の開発に関し、鉱石等資源を保有する強みや安価電力を利用できる強みを活用しようとしている。一方我が国は高度な製造プロセスなど生産技術を強みとするが、一部の材料分野では諸外国に追い上げられている。

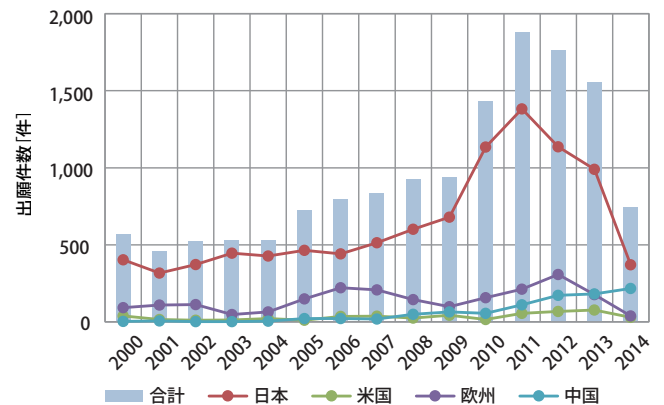


図6 特許出願の年次推移（高張力鋼）

出所：NEDO 技術戦略研究センター作成（2017）

表2 主要な出願人（高張力鋼）

出願人	国籍・地域	出願数
新日鐵住金	日本	3949
JFEスチール	日本	3569
神戸製鋼所	日本	1008
ARCELORMITTAL	欧州	607
POSCO	韓国	457
THYSSENKRUPP STEEL EUROPE AG	欧州	363
BAOSHAN IRON & STEEL	中国	235
日立金属	日本	128
TATA STEEL IJMUIDEN BV	インド	118
SALZGITTER FLACHSTAHL GMBH	欧州	90
WUHAN IRON & STEEL GROUP CORP	中国	80
BENTELER AUTOMOBILTECHNIK GMBH	欧州	79
本田技研工業	日本	71
NTN	日本	69
現代自動車	韓国	67

出所：NEDO 技術戦略研究センター作成（2017）

## 2-2 構造材料の技術動向

### (1) 特許出願動向

車両用途<sup>※1</sup>の構造材料について、種類別の分類により特許出願の動向を示す（2000～2014年）。鋼については我が国の市場シェアが大きい高張力鋼について調査した。なお、2014年出願数は未確定値である。

#### ① 高張力鋼

出願件数の年次推移を図6に示す。全体の出願のほとんどが日本国籍の出願によって占められており、現状では、本分野が我が国の独壇場であることがわかる。それに対し米国籍の出願がほとんどないことが注目される。中国籍についてはまだ数的には我が国に遠く及ばないものの、他のカテゴリ同様、近年増加の傾向にある。

主要な出願人の一覧を表2に示す。トップ15<sup>※2</sup>の半数近くを日本企業が占め、件数的にも日本の上位2社がずば抜けて多くの出願をしていることがわかる（件数ベース）。本田技研、現代自動車など鉄鋼メーカーでないメーカーもトップ15にランクインしているが、高張力鋼の場合10位以下の出願人の出願件数が少なく、出願人（企業）が世界的に寡占化していることが背景といえる。

※1 自動車、鉄道車両など（航空機を除く）

※2 2000～2014年の出願数の合計によるランク付けによる。

# 構造材料分野の技術戦略策定に向けて

## ②アルミニウム合金

出願件数の年次推移を図7に示す。我が国は2000年初頭までは欧米とデッドヒート状態であったが、2010年頃には出願数において欧米を引き離した。しかし、その後、中国が猛追してきている。

主要な出願人の一覧を表3に示す。トップ15のうち日本企業が半分近くを占めており、出願数が突出している上位4社のうち3社までを日本企業が占めている。高張力鋼と同様に自動車メーカーの名前も散見される。

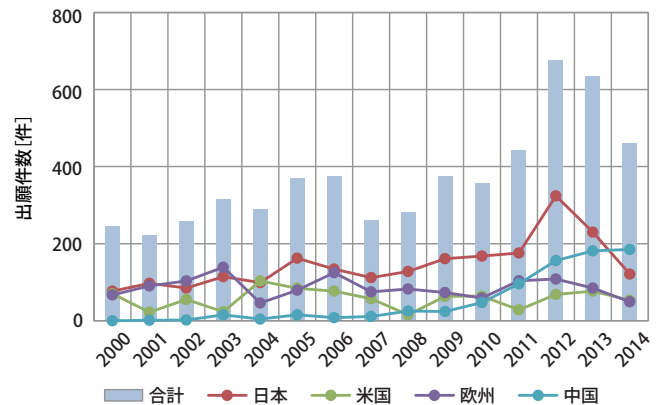


図7 特許出願の年次推移 (アルミニウム合金)

出所：NEDO 技術戦略研究センター作成 (2017)

## ③マグネシウム合金

出願件数の年次推移を図8に示す。我が国は2010年ごろまで旺盛な出願を示していたが、2010年以降出願数が低下し、代わって中国籍の出願が増加し、他を凌駕している。

主要な出願人の一覧を表4に示す。トップの日本企業が他を大きく引き離している。また、トップ15のうち日本企業が半分を占めている。

表3 主要な出願人 (アルミニウム合金)

出願人	国籍・地域	出願数
神戸製鋼所	日本	514
ALCOA INC	米国	360
新日鐵住金	日本	248
UACJ	日本	246
ALERIS ALUMINUM KOBLENTS GMBH + ALERIS ALUMINUM DUFFEL BVBA	欧州	192
CORUS ALUMINIUM WALZPROD GMBH	欧州	151
日本軽金属	日本	137
HYDRO ALUMINIUM	欧州	103
現代自動車	韓国	101
日産自動車	日本	97
ARCELORMITTAL	欧州	97
古河電気工業	日本	90
NOVELIS INC	欧州・米国	90
ALCAN RHENALU	欧州	80
昭和電工	日本	72

出所：NEDO 技術戦略研究センター作成 (2017)

## ④チタン合金 (純チタン含む)

出願件数の年次推移を図9に示す。我が国は欧米と同レベルにあるが、最近数年だけ見ると中国籍の出願数が他を凌駕している。

主要な出願人の一覧を表5に示す。オーストラリア、南アフリカなど、鉱石を算出する企業がトップ15の上位にランクインしていることが特徴である。我が国の企業も上位を占めているが、出願人の数は他のカテゴリと比べて少ない。



# 構造材料分野の技術戦略策定に向けて

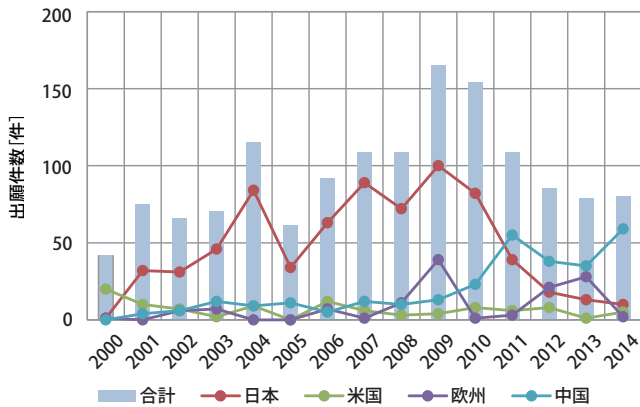


図8 特許出願の年次推移 (マグネシウム合金)

出所：NEDO 技術戦略研究センター作成 (2017)

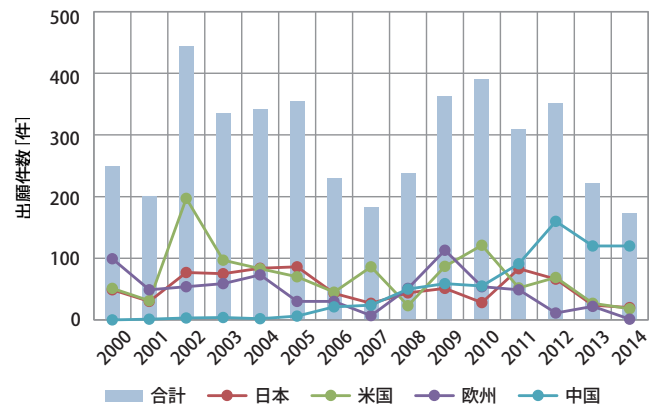


図9 特許出願の年次推移 (チタン合金 (純チタン含む))

出所：NEDO 技術戦略研究センター作成 (2017)

表4 主要な出願人 (マグネシウム合金)

出願人	国籍・地域	出願数
住友電気工業	日本	278
新日鐵住金	日本	61
熊本大学(河村能人)	日本	41
GM GLOBAL TECH OPERATIONS	米国	33
神戸製鋼所	日本	31
豊田自動織機	日本	31
BAYER INTERNAT SA	欧州	28
CAST CENTRE PTY LTD	豪州	24
BRUHNKE ULRICH	欧州	24
トヨタ自動車	日本	23
SHANGHAI JIAOTONG UNIV	中国	23
ENERGY CONVERSION DEVICES INC	米国	20
KOREA IND TECH INST	韓国	19
産業技術総合研究所	日本	18
本田技研工業	日本	18

出所：NEDO 技術戦略研究センター作成 (2017)

表5 主要な出願人 (チタン合金 (純チタン含む))

出願人	国籍・地域	出願数
BHP BILLITON INNOVATION PTY	豪州	207
大阪チタニウムテクノロジーズ	日本	156
ATI PROPERTIES INC	米国	146
東邦チタニウム	日本	117
新日鐵住金	日本	113
神戸製鋼所	日本	111
METALYSIS LTD	欧州	104
GENERAL ELECTRIC	米国	98
DU PONT	米国	78
INT TITANIUM POWDER LLC	米国	75
TRONOX LLC	米国	74
COMMW SCIENT IND RES ORG	豪州	67
PERUKE PROPRIETARY LTD	南ア	56
ZUNYI TITANIUM	中国	55
SHENZHEN SUNXING LIGHT ALLOYS MATERIALS CO LTD	中国	53

出所：NEDO 技術戦略研究センター作成 (2017)

# 構造材料分野の技術戦略策定に向けて

## ⑤炭素繊維 (CF)

出願件数の年次推移を図10に示す。欧米は年ごとの出願件数にばらつきがあるが、我が国はコンスタントに多く出願している。他のカテゴリと比較し、中国籍の出願増加の傾向は見られない。

主要な出願人の一覧を表6に示す。炭素繊維においては出願数が少ないため、上位10位までを示した。日本企業が上位を占めており、炭素繊維に関しても我が国の独壇場といえる。

## ⑥炭素繊維強化プラスチック

(熱硬化性CFRP及び熱可塑性CFRP)

出願件数の年次推移を図11(熱硬化性CFRP)、及び図12(熱可塑性CFRP)に示す。熱硬化性CFRPについては、我が国の特許出願は他国に先駆けており、安定して多数の出願を行っている。ただし、炭素繊維ではあまり出願のなかった中国の出願増加傾向が見られ、複合材料にターゲットを絞っている可能性がある。

熱可塑性CFRPについては、我が国は欧米と競合状態にあり、年によっては欧米の方が出願件数で上回っていることがある。中国も2010年以降出願件数の増加が見られる。

表7に熱硬化性CFRP、表8に熱可塑性CFRPの主要な出願人の一覧を示す。炭素繊維のメーカーだけでなく、樹脂メーカーが出願人に多いことがわかる。また日本の企業がトップ15の半数近くを占めているが、トップ5には欧米の企業もランクインしており、日米欧で研究開発競争が行われているといえる。

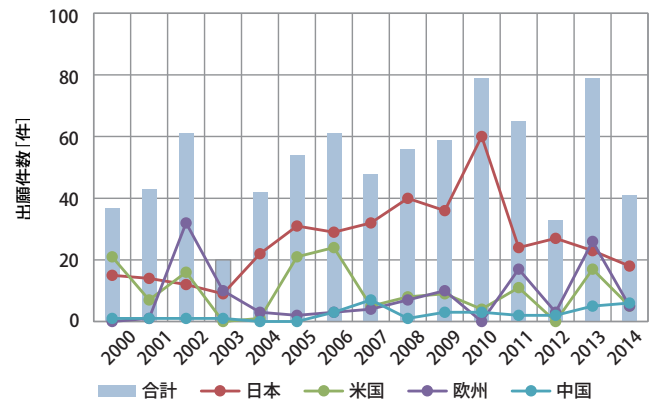


図10 特許出願の年次推移 (炭素繊維)

出所：NEDO 技術戦略研究センター作成 (2017)

表6 主要な出願人 (炭素繊維)

出願人	国籍・地域	出願数
東レ	日本	168
三菱レイヨン	日本	66
昭和電工	日本	40
STORA ENSO OYJ	欧州	22
GRAFTECH INT HOLDINGS INC + UCAR CARBON CO INC	米国	21
SGL CARBON AG+SE	欧州	20
東邦テナックス	日本	18
CABOT CORP	米国	18
帝人	日本	15
MESSIER BUGATTI	欧州	14
現代自動車	韓国	10
BAYERISCHE MOTOREN WERKE	欧州	10

出所：NEDO 技術戦略研究センター作成 (2017)

# 構造材料分野の技術戦略策定に向けて

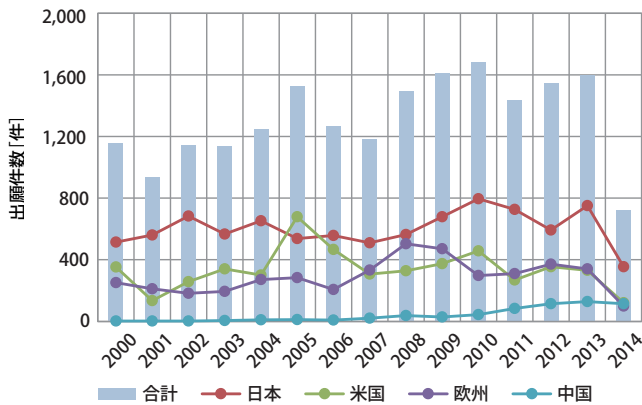


図11 特許出願の年次推移（熱硬化性CFRP）

出所：NEDO 技術戦略研究センター作成（2017）

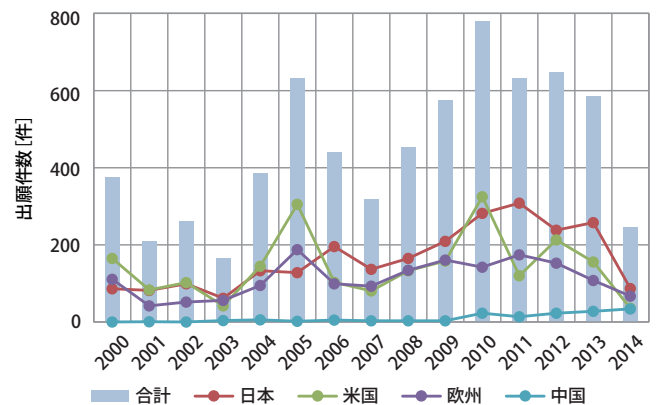


図12 特許出願の年次推移（熱可塑性CFRP）

出所：NEDO 技術戦略研究センター作成（2017）

表7 主要な出願人（熱硬化性CFRP）

出願人	国籍・地域	出願数
BAYER AG+BAYER MATERIALSCIENCE AG	欧州	1102
三菱瓦斯化学+三菱レイヨン+三菱エンジニアリングプラスチックス+三菱化学	日本	890
旭化成+旭化成ケミカルズ	日本	850
SABIC INNOVATIVE PLASTICS IP+SABIC GLOBAL TECHNOLOGIES	その他*	644
DOW GLOBAL TECHNOLOGIES INC	米国	644
東レ	日本	632
DU PONT	米国	552
BASF SE+BASF AG	欧州	531
GENERAL ELECTRIC	米国	513
カネカ	日本	444
帝人+帝人化成	日本	424
住友化学	日本	347
ADEKA	日本	274
三井化学	日本	266
クラレ	日本	242

\* 米国、欧州、アジアを含む

出所：NEDO 技術戦略研究センター作成（2017）

表8 主要な出願人（熱可塑性CFRP）

出願人	国籍・地域	出願数
東レ	日本	855
BASF SE+BASF AG	欧州	623
DOW GLOBAL TECHNOLOGIES INC	米国	458
DU PONT	米国	407
三菱化学+三菱瓦斯化学+三菱レイヨン+三菱エンジニアリングプラスチックス	日本	357
帝人+帝人化成	日本	184
SABIC INNOVATIVE PLASTICS IP+SABIC GLOBAL TECHNOLOGIES	その他*	141
LANXESS DEUTSCHLAND GMBH	欧州	139
KIMBERLY CLARK CO	米国	99
EMS PATENT AG	欧州	90
ARKEMA FRANCE	欧州	85
旭化成+旭化成ケミカルズ	日本	78
住友化学	日本	77
三井化学	日本	76
CHEIL IND INC	韓国	76

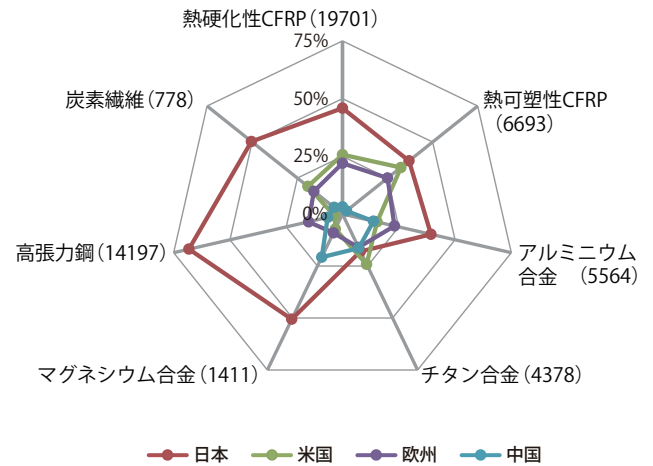
\* 米国、欧州、アジアを含む

出所：NEDO 技術戦略研究センター作成（2017）

# 構造材料分野の技術戦略策定に向けて

## ⑦国別の傾向

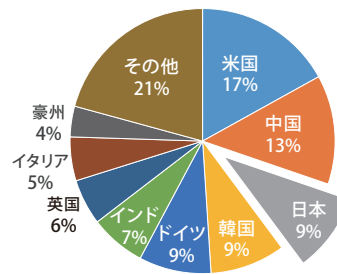
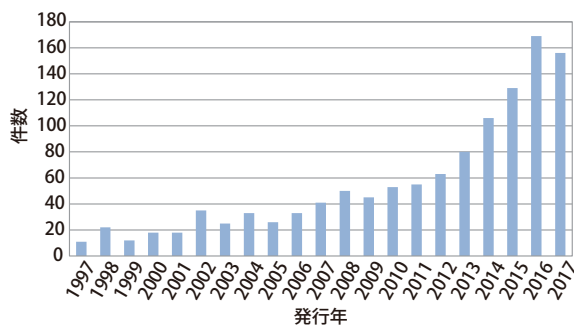
図13に材料間で国別に出願件数を相対比較した結果を示す。日本は高張力鋼、アルミニウム合金、マグネシウム合金、炭素繊維、熱硬化性CFRPで他国を圧倒しており、熱可塑性CFRPで他国とトップを争っている。チタン合金については、比較した米国、欧州、中国と競合状態にある。



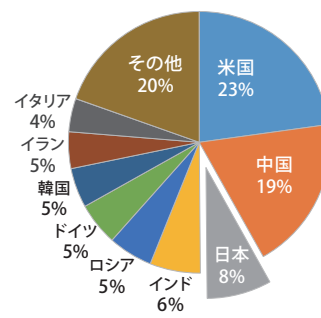
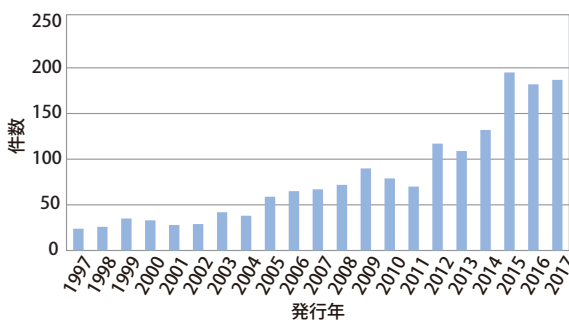
注：図中の（ ）内の数字は特許出願件数を示す。  
**図13 特許出願傾向の国別比較（2000～2014年）**  
 出所：NEDO技術戦略研究センター作成（2017）

## (2) 論文発表動向

高張力鋼やアルミニウムなどの種類別の分類による論文発表の動向を図14～図18に示す。なお、2017年は未確定値である。米国の論文数は高張力鋼、アルミニウム、CFRP（熱可塑性、熱硬化性）においてトップとなっている。一方、中国はマグネシウム及びチタンについてトップであり、両材料とも中国で地金を生産している関係で研究開発にも注力していると考えられる。日本は、高張力鋼及びアルミニウムで3位に位置している。



**図14 論文発表件数の年次推移と国別比較（高張力鋼）**  
 出所：NEDO技術戦略研究センター作成（2017）



**図15 論文発表件数の年次推移と国別比較（アルミニウム）**  
 出所：NEDO技術戦略研究センター作成（2017）

# 構造材料分野の技術戦略策定に向けて

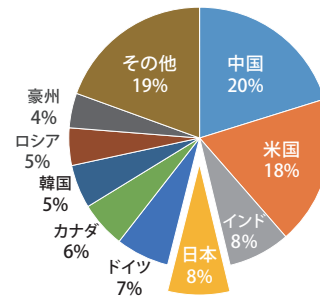
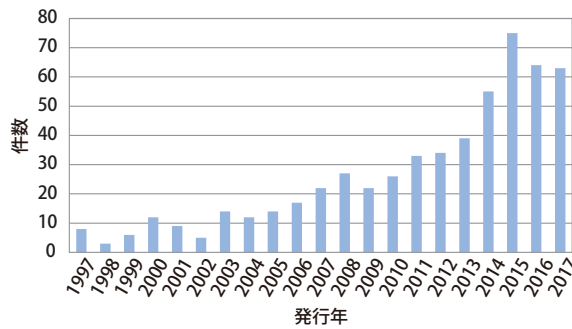


図16 論文発表件数の年次推移と国別比較 (マグネシウム)

出所：NEDO 技術戦略研究センター作成 (2017)

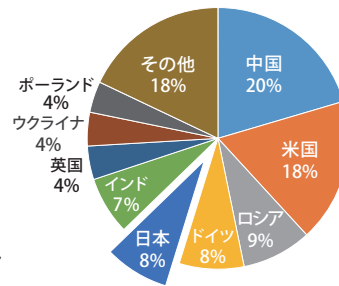
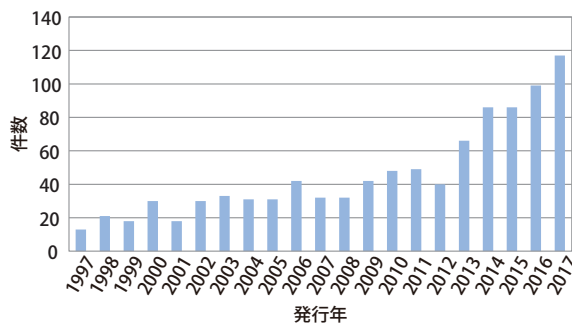


図17 論文発表件数の年次推移と国別比較 (チタン)

出所：NEDO 技術戦略研究センター作成 (2017)

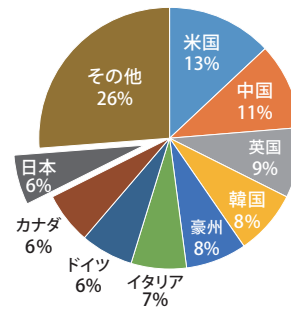
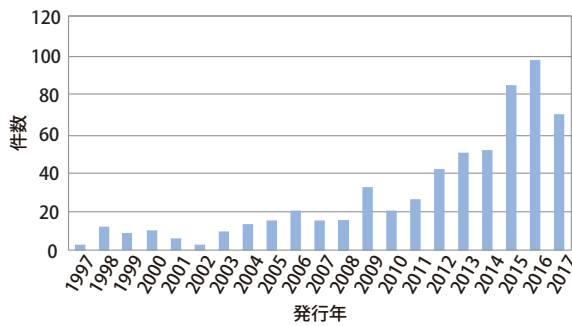


図18 論文発表件数の年次推移と国別比較 (CFRP)

出所：NEDO 技術戦略研究センター作成 (2017)

# 構造材料分野の技術戦略策定に向けて

## (3) 標準化の動向

構造材料は種類別に国際規格が議論されている。例えば鋼はISO/TC17、軽金属及び同合金はISO/TC79、CFRP及びCFはISO/TC61/SC13で議論されている。また規格化の対象は、種々の試験法、分析法、検査法などである。

接合技術のうち、金属の溶接に関してはISO/TC44で議論されている。溶接技術については、関連する技術分野としてISO/TC79（軽金属及び同合金）、ISO/TC135（非破壊試験）、ISO/TC261（積層造形）がある。溶接の標準化における特徴としては、溶接の状態を目視等で検査することが定められているため、溶接の技術者及び検査員に必要な資格等が詳細に定められている点が挙げられる（ISO/TC44/SC11）。

接着剤を含む接着技術のうち、プラスチック及び金属の接着に関してはISO/TC61/SC11/WG5が議論の場になっている。一方、セラミック系に関してはISO/TC189が議論の場となっている。また接着剤に関する標準化としては、接着性能の評価法を中心に議論が進められている。

国際規格以外のローカル規格に関しては、例えば鋼材は用途ごとの規格が決められている場合があり、自動車用の鋼材は「自動車用鋼板規格」として一般社団法人日本鉄鋼連盟が作成している。炭素繊維の規格については各生産者にゆだねられている。

航空機用途の構造材料、例えばアルミニウム合金に関しては、ボーイング社あるいはエアバス社の内部規格をクリアする必要がある。ボーイング社の規格は米国のローカル規格（AA、AMS、MMPDSなど）がベースとなっており、ボーイング社の採用を目指す場合は、米国の機関に合金の型式認証を得る必要がある。一方、エアバス社の規格は、ISOあるいはCENをベースとしており、ISOとCENは密接に関連している。

鉄道車両用途の材料に関しては、JISに定めた材料を採用することをJR各社が定めているため、鉄道車両用途のマグネシウム合金に関してもJISに規格を制定することが

一般社団法人日本マグネシウム協会によって進められている。JIS規格の制定後はISOへの提案も予定されているが、マグネシウム合金のTCには米国が参加しておらず、米国に材料を輸出する場合には米国のローカル規格をクリアする必要がある。

## 2 -3 国内外の研究開発政策の状況

### (1) 自動車用構造材料の諸外国の技術開発の状況

諸外国における自動車用構造材料の技術開発の状況を、表9に示す。

日本は、総じて、材料メーカーが高い技術力を有しており、材料自体の技術を競争力の源泉としているため、材料開発及び材料加工を対象とした国家プロジェクトが中心になる傾向がある。

一方、欧州は材料開発プロジェクトに加工や設計技術も加え、自動車メーカーがコンソーシアムを立ち上げて共同開発を進めている。米国はシミュレーション技術を中心に国家プロジェクトを実施している。マグネシウムやチタンなど自国で資源を保有する材料を中心に研究開発を進める中国、大型展伸材の製造設備を有するマグネシウム材料等の研究開発を進める韓国など、各国それぞれに特徴ある研究開発が進んでいる。

#### ①米国における自動車軽量化プロジェクト

米国では、DOE (United States Department of Energy: 米国エネルギー省) のもと Vehicle Technology Office (VTO) が自動車の軽量化技術の開発支援を行っている。

乗用車、小型トラック、バンの車体（ホワイトボディ、外板材等）、シャーシ、内装材を対象とし、2012年の車体重量をベースに2022年において構体重量30%削減（車体重量としては25%削減）を目指した技術開発を行っている。国家プロジェクトは2008年に始まり現在も継続中で、年間2,000万～3,000万ドルがコンスタントに投入されている（企業は50%

# 構造材料分野の技術戦略策定に向けて

補助)。

検討課題としては、いわゆるマルチマテリアル化による軽量化のための諸課題、すなわち、個々の材料の性能改善、同種・異種接合技術、耐食性をはじめとし、自動車に適用するための低コスト(原料・プロセス)化、生産性向上も含む。さらには、物性や破壊挙動のモデリング・シミュレーションによる予測、軽量化や製造コストの予測、部材の試作による軽量化実証など多岐にわたる。最近の傾向としてはエンジニアリングや材料開発のために計算科学や情報科学を積極的に活用することが進められており、米国が提唱しているMaterials Genome Initiative (MGI)の一環として材料開発が進められている点に特徴がある。

参加団体としては、米国の主だった自動車メーカー(GM、Ford、Fiat Chrysler)はもとより、部品メーカー、材料企業(ArcelorMittal USA、U. S. Steel、Alcoa、3M、DOW等)に加え、大学(Northwestern Univ.、Univ. of Michigan等)、国立研究開発法人(NIST、ORNL等)がある。また、鉄鋼や自動車に関する学会や協会(United States Automotive Materials Partnership等)なども

参加している\*3。

## ②欧州における自動車軽量化プロジェクト

欧州では、2020年頃の電気自動車(EV: Electric Vehicle)に用いられる軽量化技術を研究開発する目的で、複数のプロジェクト(SafeEV、ENLIGHT、ALIVE、MATISSE、合わせてSEAMクラスター)が連携しながら実施されている。各プロジェクトの目的を端的に示すと以下のとおりとなる。

SafeEV: 安全性試験に関するシミュレーション

ENLIGHT: 材料設計、特性評価、シミュレーション、  
材料開発(複合材料)、軽量化検証

ALIVE: 材料開発(金属系)

MATISSE: 破壊挙動シミュレーション

計算機を最大限に活用してシミュレーションの精度を高め、安全性を含む特性評価方法、評価基準の確立を図ることを主眼としながら、合わせて材料開発や接合技術、生産技術の開発も実施している。中でもENLIGHTプロジェクトはフラウンホーファー研究機構が中心となり、欧州の主な自動車会社(FIAT、Renault、Volkswagenな

表9 自動車用構造材料の諸外国の技術開発の状況

国・地域	状況
米国	「Materials Genome」研究は、基礎から応用へ移行しつつあり、実部材の製造を目指した展開がNorthwestern大などで開始されるとともに、Materials Genome手法を応用したベンチャーが活動。材料開発もMaterials Genomeとリンクして進んでいる。鉄鋼企業の研究開発活動は高くないものの、軽金属(特にアルミニウム)企業の組織微細化技術は高い。
EU	鉄鋼に関しては独マックスプランク鉄鋼研究所が日本と同等レベルの微細組織制御技術を展開。一方マルチマテリアル化に関する技術開発では欧州の主な自動車メーカーを含んだ国家プロジェクトとして進行中。プロジェクトの成果を取り入れた軽量車体をBMW等が発表。
中国	マグネシウム、チタンなど国内に資源を持つ材料に加え、アルミニウムなども政府による旺盛な研究開発投資がなされている。特に高価な分析装置を多数購入し解析に注力している点の特徴。国内の旧式の精錬・製造設備を廃棄し、供給過剰な状態を脱しようとする動きがあるが、企業自身の研究開発投資は低レベルに推移と見られる。
韓国	鉄鋼分野ではTRIP*4鋼などの独自開発が見られるなど技術水準の向上が顕著。輸送機器用のマグネシウム大型薄板材を世界に先駆けて開発するなど特徴のある取組を実施。

出所: CRDS「研究開発の俯瞰報告書 ナノテクノロジー・材料分野(2017年)」等を参考にNEDO技術戦略研究センター作成(2017)

\*3 国家プロジェクトの成果を広く社会に普及させるため、LightMATと呼ばれる産学官のコンソーシアムが結成され、40を超える団体が参加してキックオフミーティングが開かれた(2017年2月)。

\*4 Transformation Induced Plasticity (変態誘起塑性)

# 構造材料分野の技術戦略策定に向けて

ど)が参画して2012年から4年間実施されたプロジェクトで、1,100万ユーロの予算(うち公的資金は700万ユーロ)が使われた。

## (2) 我が国の技術開発支援の状況

### (輸送機関用途の構造材料関連)

日本では、輸送機関用途の構造材料の研究開発を目的に、経済産業省、内閣府、文部科学省が連携して取り組んでいる。

自動車関係では、2014年<sup>※5</sup>からNEDO「革新的新構造材料等研究開発」にて、輸送機器の抜本的な軽量に資する技術の開発を目的として各種構造材料及び関連技術の開発を実施している。主な研究開発項目は、ア) 接合技術、イ) チタン材、ウ) アルミニウム材、エ) マグネシウム材、オ) 革新鋼板、カ) 熱可塑性CFRP、キ) 炭素繊維、ク) 戦略・基盤技術、の8項目である。

航空機関係では、2015年<sup>※6</sup>からNEDO「次世代構造部材創製・加工技術開発」にて、航空機複合材構造の健全性モニタリング技術の開発、高機能・低コスト複合材料の開発、複合材料やチタン合金、アルミニウム合金の低コストで効率の良い構造部材加工プロセスの開発、航空機エンジン用の軽量耐熱複合材CMC技術の開発を実施している。また、マグネシウム合金については、航空機用途に適用し得る新合金の開発及び加工プロセスの開発を行っている。主な研究開発項目は、ア) 次世代複合材及び軽金属構造部材創製・加工技術開発、イ) 航空機用難削材高速切削加工技術、ウ) 航空機用複合材料の複雑形状積層技術開発、エ) 軽量耐熱複合材CMC技術開発、オ) 航空機用構造設計シミュレーション技術開発、の5項目である。

また、2014年から、内閣府SIP「革新的構造材料」にて、航空機用樹脂及びCFRPの開発や、ジェットエンジン・火力発電蒸気タービン用の耐熱合金・金属間化合物等の開発を実施している。主な研究開発項目は、ア) 航空機用樹脂の開発とCFRPの開発、イ) 耐熱合金・金属間化合物等の開発、ウ) セラミックス基複合材料の開発、エ) マテリアルズイ

ンテグレーション、の4項目である。

文部科学省は2012年に構造材料元素戦略研究拠点(ESISM)を京都大学に設置し、構造材料の物性を構成元素や電子のレベルまで遡って探求する基礎的な研究を実施している。

※5 2013年度は経済産業省の直執行で実施。

※6 2011～2014年度は経済産業省の直執行で実施。



### 3章 構造材料分野の技術課題

輸送機器が排出するCO<sub>2</sub>削減のために表10に示すような燃費改善技術が、自動車メーカーを中心に検討されている。いずれの技術に対しても構造材料の軽量化がプラスに作用することが知られており、部品の強度や剛性を保った上で部品を構成する材料の軽量化が達成できれば、燃費改善に関する最も有効な対策となる。このような軽量化課題はHV、PHEV、レンジエクステンダー付きのEVなど内燃機関を搭載する次世代車両にも程度の差こそあれ共通する課題となっている。

表10 エンジン車における主な燃費改善技術

課題	技術内容
エンジンの効率向上	燃費率の向上 <ul style="list-style-type: none"> <li>・直接筒内噴射</li> <li>・可変機構(可変気筒、可変バルブ等)</li> <li>・過給ダウンサイジング</li> </ul>
	摩擦損失の低減 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ピストン&amp;リングの摩擦低減</li> <li>・低摩擦エンジンオイル</li> <li>・可変補機駆動</li> </ul>
空気抵抗の低減	・ボディ形状の改良
車両の軽量化	・軽量材料の採用拡大 ・ボディ構造の改良
駆動系の改良	・ロックアップ域の拡大 ・シフト段数の増加 ・CVT
ころがり抵抗の低減	・低ころがり抵抗タイヤ
その他	・電動パワーステアリング ・アイドリングストップ

出所：一般社団法人日本自動車工業会ホームページ  
([http://www.jama.or.jp/eco/earth/earth\\_02\\_g02.html](http://www.jama.or.jp/eco/earth/earth_02_g02.html)) を  
基に NEDO 技術戦略研究センター作成 (2017)

一方、EV、燃料電池自動車(FCV:Fuel Cell Vehicle)など、蓄電池を搭載する次世代車、特にEVについて、ガソリン車並みの航続距離を得るための蓄電池の搭載は現状困難であり(現状フル充電で公証250～300km)、構造材料の軽量化はEVにとっても大きな課題である。さらに構造材料の軽量化は推進に関わるモーター等の小型化にも役立つため、EV、FCVのパワートレインを含めたさらなる重量削減にも寄与すると考えられる。

車両の軽量化問題を材料側からみると、課題解決には次の2つの方向性があることが知られている。

- 同種材料(例えば鋼材)を高強度化・高靱性化することにより材料を薄肉化し軽量化する。
- 異種材料への置き換え(例えば鋼材に代えてアルミニウム合金)により軽量化する。

鋼材の中でも高張力鋼は引張強さが従来の鋼材よりも強く、材料の薄肉化が期待できる。さらに研究開発を進め、より高強度な鋼板を開発し実用化することが課題である。

アルミニウム合金については、他の新材料に比べ材料コストが鋼材に近いこともあり、強度が比較的重要視されない外板材に板材が、パワートレインにおけるギアボックスやシリンダーブロックに鋳造部材が実用化されている。今後は、車両の強度確保に必要な部品に採用されることが課題と考えられる。

マグネシウム合金はアルミニウム合金よりさらに軽量であり、射出成形が可能なことからパソコンの外板等、小型の民生用途(薄物)に普及が始まった。ただし、マグネシウム合金には燃焼の問題があり、難燃性かつ高強度、高成形性の材料(大型の押出材、厚板、薄板用途)を開発することが課題となる。コストも他の金属に比べ高価であり、かつ地金の生産が中国に偏っている点も課題である。

炭素繊維は高強度かつ軽量という点では期待が大きい材料だが、成形方法が従来の金属系材料とは大きく異なる。また材料のコストが非常に高いため、炭素繊維の特性を充分発揮させ、かつ自動車の生産に見合った生産性及びコストを実現するプロセス開発が求められている。

# 構造材料分野の技術戦略策定に向けて

自動車の軽量化は、上述の2つの方向性をバランスしながら進め、新材料を適材適所に用いたいわゆる「マルチマテリアル化」が進行すると考えられる(図19)。

高強度化した材料同士を接合する場合、異種材料・同種材料の接合に従来のスポット溶接が使えない場合があ

る。また、特に異種金属を接合する場合は、界面において一方の金属に腐食が生じる、いわゆる電蝕の問題がある。

表11に自動車用構造材料に関する技術課題の一覧を示す。各材料固有の課題と、接合のように材料間にまたがる課題がある。

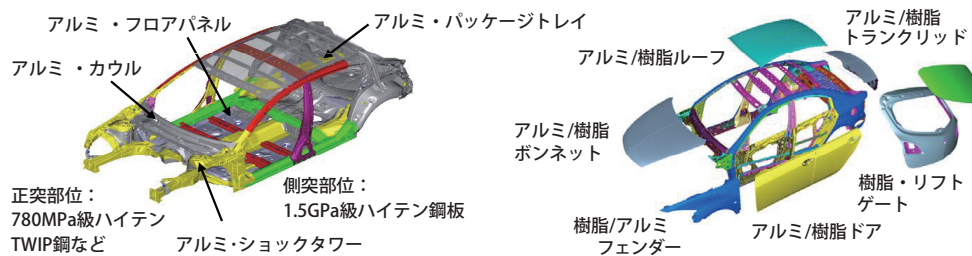


図19 マルチマテリアル化の例

出所：NEDO マルチマテリアルシンポジウム発表資料「革新的新構造材料等研究開発について」(2015)

表11 自動車用構造材料の技術課題

種類	技術課題
鋼材	薄肉軽量化と衝突エネルギー吸収の両立を可能にする高強度・高靱性化。
アルミニウム材	さらなる軽量化に向けた高強度化、既存材料とのコスト面での競争力確保。
マグネシウム材	難燃性、耐熱性と加工性に優れたマグネシウム合金をレアアースの添加によるコスト上昇を最小限にして開発する。
チタン材	製造コスト低減による用途の拡大。構造材料への普及。
CFRP	航空機用に開発された従来のCFRP製造法を抜本的に変更し、自動車の生産に見合ったコスト及び生産性を持つCFRP製造法の開発。CFRPと金属材料の接合時の熱変形や電蝕等の解決。
炭素繊維	炭素繊維製造時におけるエネルギー消費の削減等、ライフサイクル全体を見た上での省エネの実現。
接合	接合強度やコスト面で従来技術を凌駕する技術の確立。接合による高温加熱で材料が変性したり脆化したりしない工法の確立。

出所：各種公表資料を基にNEDO技術戦略研究センター作成(2017)

## 4章 おわりに

材料の種類によって、我が国の市場ポジションに差はあるが、技術面では諸外国に比べて幅広く研究開発が進められている。

研究開発課題に関しては、構造材料の力学的特性を向上させることが一番重要なことはゆるぎないが、軽量化を可能とする設計技術や省エネ・低コストな製造技術、接合技術などの諸課題を同時に解決することが重要である。また、従来は材料個別の性能向上に重点が置かれていたが、マルチマテリアル化の進展に伴い、材料横断的な研究開発の重要性が一層強く認識されてきた。

鉱物資源に乏しく、製造設備への大規模な投資が難しい中、広範な種類の材料を研究開発している我が国の強みを活かし、マルチマテリアル化を一層進展させ、我が国の構造材料分野での優位性を維持向上していく取組が求められている。

技術戦略研究センターレポート

# TSC Foresight Vol.25

構造材料分野の技術戦略策定に向けて

2018年2月2日発行

TSC Foresight Vol.25 構造材料分野 作成メンバー

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構  
技術戦略研究センター (TSC)

■ センター長 川合 知二

■ センター次長 矢島 秀浩

■ ナノテクノロジー・材料ユニット

・ユニット長 川合 知二(センター長兼任)

・主任研究員 成毛 治朗

・研究員 岡田 明彦

橋本 就吾 (平成29年5月まで)

松下 智子

井関 隆之

鶴田 修一

・フェロー 北岡 康夫 国立大学法人 大阪大学産学連携本部 副本部長

出村 雅彦 国立研究開発法人 物質・材料研究機構 副部門長

● 本書に関する問い合わせ先  
電話 044-520-5150 (技術戦略研究センター)

● 本書は以下URLよりダウンロードできます。  
<http://www.nedo.go.jp/library/foresight.html>

本資料は技術戦略研究センターの解釈によるものです。  
掲載されているコンテンツの無断複製、転送、改変、修正、追加などの行為を禁止します。  
引用を行う際は、必ず出典を明記願います。