

TODAY

構造用金属材料研究について



京都大学 大学院工学研究科
材料工学専攻
教授 辻 伸泰

1994年に大学院を修了して以来、構造用金属材料の組織と力学特性に関する基礎的な研究を大学で26年間実施してきました。そうした機会を継続的に与えられていることは大変幸運であり、同僚・学生諸氏をはじめとする周囲の方々への感謝は尽きません。今回の巻頭言では、自分のやってきた唯一の事柄である構造用金属材料研究に関して考えることを書かせていただきます。

世の中の材料は、構造材料と機能材料に分類されることが多いと思います。機能材料というと、半導体、電池、触媒などテクノロジーの最先端と結びつく材料のイメージが思い浮かぶでしょう。一方、構造材料は目立たず地味であり、古臭いすでに出来上がった材料群と考えられることもしばしばです。では構造材料とは何かと考えると、ものの形を保ち重量を支えるといった力学的機能を最も重視する材料群と定義できます。ということは、構造材料は「力学的機能材料」とも言えます。また構造材料といっても力学特性さえ優れていれば良いというものではなく、機能材料においても力学機能は必要です。そのように考えると、構造材料と機能材料という二分法で材料を捉えることにあまり意味はなく、むしろ先入観に囚われて新しいアイデアや発見が邪魔されることもありそうです。

我々の周辺を見渡すと、量的にもまた経済上も、構造材料＝力学的機能材料の占める割合が極めて大きいことに気がつきます。社会における構造材料の重要性は今後も変わらないと考えられます。力学的機能材料たる構造材料にまず求められるのは強度でしょう。しかし、ものは全て所定の形に造り込む必要がありますし、予想以上の力が加わったときに脆く破壊してしまうのでは危険です。従って構造材料には強度だけでなく、延性と（広義の）靱性が常に求められます。三大工業材料（金属、セラミクス、ポリマー）の中で十分高い強度と延性・靱性を併せ

持つのは金属だけであり、これは原子間の結合様式に依拠するものなので変えることができません。また金属は、ナノ・ミクロ組織に応じて同じ化学組成でも幅広く特性が変わるという特徴を持ち、ここに大きな可能性が存在します。従って、安全な構造部材として金属は不可欠であり、構造材料の中でも最も重要な根幹的材料であると言えるでしょう。

例えば構造用金属材料の代表である鉄鋼材料は、我々が生まれる前からたくさん使われ、当たり前のように身の回りにあります。こうした当たり前さのために、構造材料は地味であり、先端材料ではないという印象が生まれるのでしょうか。しかし、構造材料に要求される特性は時代とともに厳しくなり、実現できる材料特性も大きく進歩しています。例えば、化石燃料の使用量削減と温暖化ガス排出量の削減のための燃費向上が強く求められ、自動車などの輸送機器の軽量化が重要な課題です。一方、衝突安全性基準が厳しくなり、高い延性・靱性も求められます。これらを満足するために、自動車用には引張強度1GPaを超える大変高い強度の鉄鋼材料が最近はいられるようになっており、さらなる超高強度化も模索されています。しかし金属材料といえども強度と延性・靱性の間にはトレード・オフの関係が成り立ち、両立は容易なことではありません。これまでの実用金属材料は、合金組成やプロセスを徐々に改良することによってより優れた特性を達成してきましたが、そうした経験知に頼った手法はもはや限界にきていると思われるかもしれません。これらの難題にブレークスルーを与えるには、基礎に立ち返るしかないという考えを強くしています。なぜ強度と延性との間にトレード・オフの関係が生じるのか、そもそも強度を決めているものは何か、延性・靱性は何に規定されるのか、といった基礎的な事柄を根本に立ち返ってじっくり考える必要があるでしょう。

翻って世の中の状況を見てみると、国立大学においては運営交付金が継続的に削減され、もはや体力的な限界を迎えつつあるように感じます。個々の教員が研究を行うためには外部研究資金を獲得する必要がありますが、採択審査時には「何の役に立つのですか？」と聞かれ、3~5年間のプロジェクトの終盤には実用化の見通しを要求されることがしばしばです。構造材料には安全性と信頼性が

求められるため、数年間での実用化ということはありません。私どもも毎回そうした説明を理を尽くして行いますが、賽の河原の石積みのように今のところ全体的な傾向が変わることはありません。ここには研究評価の実態における深刻な諸問題があると思いますが、目先の利益だけを求める社会の風潮、あるいは広い意味での貧困化の現れでもあると考えられます。本稿では基礎研究の重要性を指摘しましたが、現状はその実行には厳しい状況になっています。この状況は、次世代を担う若手人材の育成にも悪影響を及ぼすでしょう。日本は構造材料研究において世界的にも高い水準を有していましたが、先頭集団から明らかに脱落しつつあるの

が現状であると、私自身は痛切に感じています。

一方、構造用金属材料にはまだまだ未知の部分が多く残っており、大きな可能性を秘めていることを、私自身の経験から確信しています。研究においては、物事の根本・基礎をじっくりと継続的に考え続ける先にのみ新しい発見があり、それを見つけた時には大きな喜びを得ることができます。科学・学術における真理の探求には自由があり、付度など必要ありません。学問に国境はなく、科学者・研究者の活躍の場は世界中にあります。若い世代の方々には是非そうした基礎研究に志を立ててほしいと思いますし、微力ながらその助力を行いたいと考えています。

JRCM REPORT

令和3年度金属技術開発関連概算要求の概要について

経済産業省 製造産業局 金属課 金属技術室長 大竹 真貴

1. はじめに

経済産業省は、9月30日に、一般会計・特別会計を合わせて1.4兆円、今年度の予算に比べて13%増となる令和3年度概算要求を財務省に提出しました。概算要求には4つの柱があり、ひとつ目の柱である「『新たな日常』の先取りによる成長戦略」では、デジタル、グリーン、健康・医療の3つの取組を掲げています。

簡単に紹介しますと、デジタルについては、「デジタルを活用した産業の転換」として、企業経営のデジタル・トランスフォーメーションを加速化するための予算などを要求しています。

グリーンについては、「脱炭素化に向けたエネルギー転換」として、水素社会、CCUS・カーボンリサイクルの推進など、「ビヨンド・ゼロ」を目指す非連続な革新的エネルギー・環境技術の研究開発・実証や国際研究拠点の強化のための予算などを要求しています。

本稿では、経済産業省関係の概算要求の中から金属技術開発関連部分について紹介させていただきます。

2. 金属技術開発関連概算要求の全体像

金属技術開発関連の令和3年度概算要求は、総額約98億円となり、令和2年度予算と比べて16億円の増額要求となっています。これは、今年度新たに、「アルミニウム素材高度資源循環システム構築事業」（令和3年度概算要求額7.5億円）と「航空機エンジン向け材料開発・評価システム基盤整備事業」（同7.0億円）を要求することとなったためです。継続事業である「環境調和型プロセス技術の開発事業」（同45億円（対令和2年度予算3億円増額要求））、「輸送機器の抜本的な軽量化に資する新構造材料等の技術開発事業」（同33億円（同0.5億円増額要求））、「資源循環システム高度化促進事業」（同5.7億円（同1.7億円減額要求））と合わせて、金属技術開発関連は5事業での要求となりました。

3. 新規要求事業

(1) アルミニウム素材高度資源循環システム構築事業について（図1）

アルミニウムの再生材は、生産時のCO₂排出量が製錬と比較して96%削減されますが、不純物が含ま

令和3年度金属課技術開発関連概算要求の概要

令和2年10月
(単位：億円)

事業名	令和2年度 予算額	令和3年度 概算要求額	対前年度 増▲減
アルミニウム素材高度資源循環システム構築事業	—	7.5	新規
航空機エンジン向け材料開発・評価システム基盤整備事業	—	7.0	新規
環境調和型プロセス技術の開発事業	42.0	45.0	3.0
輸送機器の抜本的な軽量化に資する新構造材料等の技術開発事業	32.5	33.0	0.5
資源循環システム高度化促進事業	7.4	5.7	▲1.7
合計	81.9	98.2	16.3

れるため現状では用途が限られており、自動車の車体等には利用できないことが課題となっています。

そこで、アルミスクラップを、自動車の車体等にも使用可能な素材（展伸材）へとアップグレードする基盤技術（①選別の高度化、②不純物の軽減、③不純物の無害化）を開発し、アルミニウムの高度な循環利用を実現します。令和3年度から7年度までの事業で、その後、リサイクル由来の展伸材を量産することにより、令和22年度には1年あたりのCO₂排出量を968万トン、令和32年度には1年あたり1,914万トン削減することを目指しています。

具体的な研究課題は、以下のとおりです。

①選別の高度化：レーザー分光法による元素分析技術やAI画像認識技術を用いることにより、アルミスクラップから高品位なアルミスクラップを選択的に回収するための高精度・高速選別技術を開発します。

②不純物の軽減：溶けたアルミニウムが冷えて固まる際、純度の高い固体が先に現れる現象を利用して不純物を除去する技術を開発します。その際、電磁力を用いた攪拌技術を使うことにより、純度の高いアルミニウムの回収効率の向上を図ります。

③不純物の無害化：微量の不純物を含有するアルミニウムの品質を向上（高延性化、高強度化）させるため、微量の不純物を含有していても鋳造することができる技術や加工熱処理技術の開発を行うと

もに、微量の不純物を含む展伸材のプレス成形時等の成形性予測を短期間で可能とする高精度成形シミュレーション技術の開発を行います。

(2) 航空機エンジン向け材料開発・評価システム基盤整備事業について

航空機の省エネルギー化のためには、航空エンジン向けの材料の高度化が重要です。またサプライチェーン強靱化のためには国内でコア部素材を安定的に確保することが重要です。

本事業は、令和3年度から7年度までの5年間の事業であり、革新的エンジン部品製造プロセスを開発するとともに、人工知能（AI）やマテリアルインフォマティクス（MI）等の計算科学を利用した革新的合金探索手法の開発により、これまでにない高機能材料を開発し、更なる省エネルギー化を目指します。

図2に示す革新的合金探索手法の開発では、複数金属を組み合わせて、エンジン部材にも利用可能な新合金の開発を加速するため、試作サンプルを①高速・大量に自動合成し、②連続・迅速に自動解析できる基盤システムを創出します。これにより、新合金に係る材料開発期間1/10、開発コスト1/100を目指します。

4. 継続事業

(1) 環境調和型プロセス技術の開発事業について

鉄鋼業は、自動車や情報通信機器、産業機械など、他の産業の基盤となる基幹産業であり、製造業の上流工程にあたる重要な産業分野です。一方で、鉄鋼業は、日本の産業部門の中でもCO₂排出量の割合を多く占めています。現在、日本はパリ協定に基づき地球温暖化対策を進めていますが、日本において地球温暖化対策を着実に進めていくためには鉄鋼業における取組が大変重要な役割を担っています。

鉄鋼業の中でもCO₂排出量が多いのが、製鉄プロセスです。製鉄プロセスにおける省エネの推進とCO₂排出量の削減を行うため「環境調和型プロセス技術の開発事業」という取組を行っています。環境調和型プロセス技術の開発事業は、①水素を活用し、コークスの代替として鉄鉱石を還元する技術などの開発（水素還元活用製鉄プロセス技術の開発



図1 アルミニウム素材高度資源循環システム構築事業

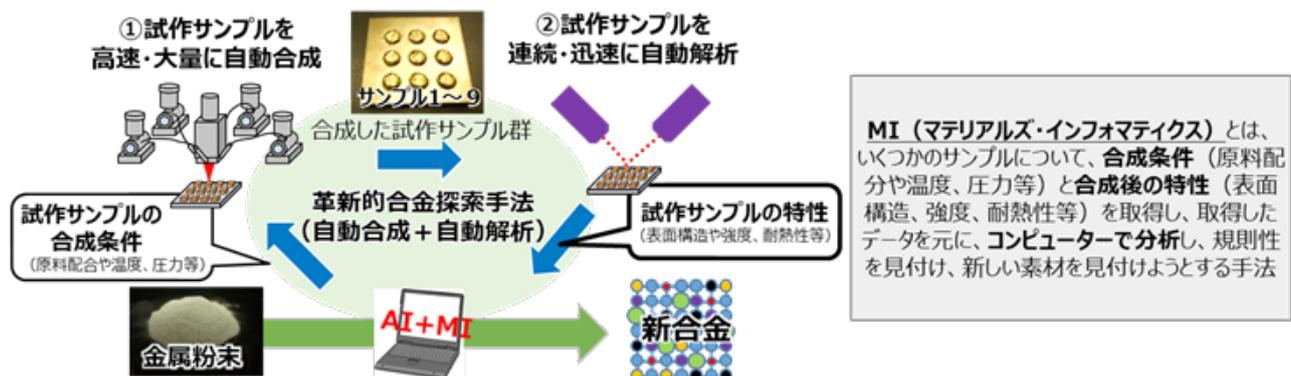


図2 航空機エンジン向け材料開発・評価システム基盤整備事業

(COURSE50))、②低品位の石炭と鉄鉱石を有効活用し、高炉内の反応を低温化・高効率化する技術の開発(フェロコクス活用製鉄プロセス技術の開発)の2つからなります。

①水素還元活用製鉄プロセス技術の開発(COURSE50)について(図3)

COURSE50は、平成20年度から令和7年度までの事業で、①水素を活用し、コークスの代替として鉄鉱石を還元する技術(高炉水素還元技術)、②製鉄所内で使われずに廃棄されている低温の熱エネルギーを利用し、高炉が排出するガスの中からCO₂を分離・回収する技術(CO₂分離回収技術)を開発することにより、製鉄所のCO₂排出量を3割以上削減することを目指しています。

②フェロコクス活用製鉄プロセス技術の開発について

フェロコクス活用製鉄プロセス技術の開発は、平成29年度から令和4年度までの事業で、従来の製鉄プロセスでは活用できない低品位の石炭と低品位の鉄鉱石を有効活用することによりフェロコクスを生成し、フェロコクス中に含まれる金属鉄の触媒効果で鉄鉱石の還元に必要なエネルギーを削減する技術の開発を行います。本技術により、製鉄プロセスのエネルギー消費量を約1割削減することを目指しています。

(2) 輸送機器の抜本的な軽量化に資する新構造材料等の技術開発事業について

自動車や鉄道車両等の輸送機器の走行時のエネル

ギー使用量やCO₂排出量を削減するためには、輸送機器の軽量化が不可欠です。そこで、輸送機器の抜本的な軽量化に繋がる技術開発等を行っています。

具体的には、①複数の材料を適材適所に利用したマルチマテリアル化の最適設計手法、評価手法、マルチマテリアル部材のリサイクル技術等の開発、及びこれまでの研究開発成果の集約に向け、マルチマテリアルボディの試作や基盤の構築にむけた取組、②複数の材料を使うために必要な接合・接着技術の開発、③高強度の非鉄軽量合金材料や、小型・高効率モーターを実現する高性能磁石等の開発を行っています。

本事業は、平成26年度から令和4年度までの事業で、輸送機器の原材料を革新的新構造材料等に置き換えることで、抜本的な軽量化(自動車車体の場合50%軽量化)と令和12年度において約464万トン/年のCO₂排出量削減を目指しています。

(3) 資源循環システム高度化促進事業について

携帯電話、スマートフォン等の小型家電にはレアメタルが豊富に含まれています。そこで、小型家電からレアメタル等の金属資源を効率的にリサイクルするため、①廃製品・廃部品の自動選別技術、②高効率製錬技術の開発を行っています。

平成29年度から令和4年度までの事業で、本事業で開発された技術・システム導入することにより、我が国に多く存在する廃家電類由来の金属資源(都市鉱山)等の確保を通じた資源の安定供給・国内需給を目指しています。

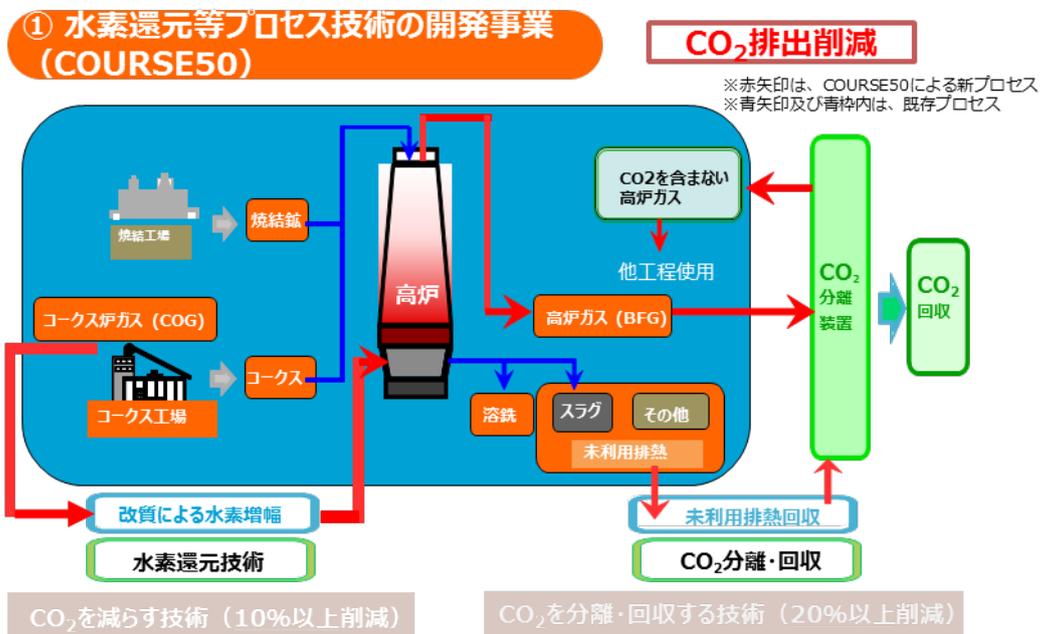


図3 環境調和型プロセス技術の開発事業 ①水素還元活用製鉄プロセス技術の開発

The Japan Research and Development Center for Metals
JRCM NEWS / 第409号

内容に関するご意見、ご質問は JRCM 総務企画部までお寄せください。
本書の内容を無断で複写・複製・転載することを禁じます。

発行 2020年11月1日
発行人 小紫正樹
発行所 一般財団法人 金属系材料研究開発センター
〒105-0003 東京都港区西新橋一丁目5番11号 第11 東洋海事ビル6階
TEL (03)3592-1282 (代) / FAX (03)3592-1285
ホームページ URL <http://www.jrcm.or.jp/>
E-mail jrcm@oak.ocn.ne.jp