

**研究成果展開事業  
産学共創基礎基盤研究プログラム**

**技術テーマ「革新的構造用金属材料創製を目指した  
ヘテロ構造制御に基づく新指導原理の構築」**

**技術テーマ事後評価用資料**

令和2（2020）年5月

（Ver. 1.1）

## 目 次

1. 技術テーマ	3
2. プログラムオフィサー (P0)	3
3. 採択課題	4
4. 技術テーマのねらい (目標)	6
(1) 技術課題解決に向けた考え方	6
(2) P0 の目標	6
(3) 「産学共創の場」の活用方針	6
5. 研究課題の選考について	7
(1) 選考の方針	7
(2) 採択課題の構成	9
6. アドバイザーの構成について	11
7. 技術テーマのマネジメントについて	12
(1) P0 の運営方針	12
(2) 技術テーマの進捗状況の把握	12
(3) 技術テーマの研究計画の見直しの有無、概要	13
(4) 研究課題の評価と指導	13
(5) 課題中間評価における評価基準 (研究計画の見直し、研究中止、研究継続の根拠)	13
(6) 研究費の配分	14
(7) 「産学共創の場」の推進と活用	14
(8) アウトリーチ活動	15
8. 技術テーマとしての産業競争力強化につながる技術の確立状況	16
(1) 課題評価結果を踏まえた最終目標の達成状況 (産業界で共通する技術的課題「技術テーマ」の解決に資する成果創出)	16
(2) 産業競争力強化につながる技術の確立に資する成果 (特に、技術のブレークスルー (新指導原理、開発技術)、社会・経済の発展に繋がる重要な成果、派生して生まれた技術、等)	21
(3) 個別の産学共同研究への発展状況	26
(4) 技術テーマとしての成果を産業化に繋げるための方策・課題等	27
(5) 今後のプログラム運営への提言	27
9. 技術テーマ中間評価時の指摘事項に対する対応状況	30
10. 総合所見	33

## 1. 技術テーマ

「革新的構造用金属材料創製を目指したヘテロ構造制御に基づく新指導原理の構築」(平成22年度(2010年度)～令和元年度(2019年度))

革新的な構造用金属材料の創製のための基盤技術と指導原理の構築のための基礎基盤研究を行い、今後数十年～百年にわたる我が国の社会基盤の強化と、製造業の国際競争力の維持・強化に資する成果を得ることを目指している。

本技術テーマでは、金属材料中の様々な不均一性(ヘテロ構造)を積極的に利用することを考える。そして、強度、延性、靱性、加工性、耐環境性など、構造用金属材料に要請される諸性質の飛躍的な改善、さらには、従来は両立が困難であった複数の機能を同時に向上させるような革新的な材料設計・開発思想を確立することを目指す。今までの金属学、材料工学の知識の延長線上での取り組みを超えた新たな学術的、技術的な指導原理を構築できる独創的な基礎基盤研究を推進する。また、これらの成果が将来的に材料の実用化に貢献できるよう、産業界と研究者との意見交換(「産学共創の場」)の結果を基礎基盤研究の推進方針に積極的に反映していく。

## 2. プログラムオフィサー (PO)

加藤 雅治 (日本製鉄(株) 顧問、東京工業大学 名誉教授)

### 3. 採択課題

表1 採択課題 (※所属 役職は課題採択時点)

採択年度	終了年度	項番	研究代表者 (所属 役職)	研究課題名
H22	H27	1	飴山 恵 (立命館大学 理工学部 教授)	調和組織制御による革新的力学特性を有する金属材料の創製とその特性発現機構の解明
H22	H24	2	木村 勇次 (物質・材料研究機構 構造材料研究拠点 主幹研究員)	フェールセーフ機能を付与した強くて壊れにくい超微細繊維状結晶粒鋼の力学特性解明
H22	H25	3	里 達雄 (東京工業大学 教授)	鉄を活用した新規ナノヘテロ構造アルミニウム合金の創製と3D構造解析
H22	H27	4	下川 智嗣 (金沢大学 理工研究域 准教授)	材料科学と固体力学の融合によるヘテロナノ構造金属における高強度・高靱性両立の指導原理確立
H22	H24	5	瀬沼 武秀 (岡山大学 自然科学研究科 教授)	超微細マルテンサイト相を母相としたヘテロ組織の創成とその特性の解明 (相反する複数特性を満足する超高強度鉄鋼部材製造の基礎基盤研究)
H22	H24	6	土山 聡宏 (九州大学 工学研究院 准教授)	高強度鋼板の塑性変形に伴う軟質分散粒子のヘテロ→ホモ構造変化の有用性評価
H22	H27	7	藤井 英俊 (大阪大学 接合科学研究所 教授)	摩擦攪拌現象を用いたインプロセス組織制御によるマクロヘテロ構造体化技術の確立
H22	H25	8	毛利 哲夫 (東北大学 金属材料研究所 教授)	ハミルトニアンからの材料強度設計
H22	H25	9	柳本 潤 (東京大学 工学系研究科 教授)	幅拘束大圧下制御圧延による易成形高強度バイモーダル薄鋼板の製造基盤研究
H23	H27	10	鳥塚 史郎 (物質・材料研究機構 材料創製・加工ステーション ステーション長)	10000G Pa% J 高強度・高延性・高靱性鋼を実現できる 5% Mn 組成を利用した超微細ヘテロ変態組織の生成とその機構解明
H23	H28	11	廣澤 渉一 (横浜国立大学 工学研究院 准教授)	超微細粒強化と時効析出強化を並立させる新規アルミニウム合金展伸材の開発とその合金設計指導原理の確立
H23	H27	12	武藤 泉 (東北大学 工学研究科 准教授)	鋼/介在物ヘテロ界面のマイクロ電気化学特性解明と界面ナノ構造制御による高耐食化原理の導出

H26	R1	13	津崎 兼彰（九州大学 工学研究院 教授）	鉄鋼における水素/マルテンサイト 変態相互作用の定量的・理論的解明 と水素利用材料の創製 ～利用可能 な新固溶元素獲得を目指して～
H26	R1	14	戸田 裕之（九州大学 工学研究院 主幹教授）	水素分配制御によるアルミニウム合 金の力学特性最適化
H26	R1	15	三浦 博己（豊橋技術科学大学 機械工学系 教授）	オーステナイト鋼への単純強圧延に よるヘテロナノ構造の付与と超高強 度化の実現
H27	H29	16	佐藤 英一（宇宙航空研究開発 機構 宇宙科学研究所 教授）	協調的粒界すべりのすべり群サイズ の決定機構（超塑性変形速度向上の 指導原理）の解明
H27	R1	17	戸高 義一（豊橋技術科学大学 機械工学系 准教授）	「鋼材／潤滑油」界面における機能 性ヘテロナノ構造制御に基づく転動 疲労高特性化のための指導原理の確 立
H27	H30	18	安田 秀幸（京都大学 工学研究科 教授）	鉄鋼材料の凝固過程におけるマッシ ブ的変態の解明と新しい凝固・鑄造 原理の構築
H28	H30	19	近藤 勝義（大阪大学 接合科学研究所 教授）	固溶原子と相変態を利用したマルチ スケールでのヘテロ構造化によるチ タン焼結材の高強度・高延性同時発 現機構の解明と高次機能化
H28	R1	20	芹澤 愛（芝浦工業大学 工学部 助教）	階層的マルチヘテロ構造の創出によ るアルミニウム合金の多機能化とそ の指導原理の解明
H28	R1	21	中田 伸生（東京工業大学 物質理工学院 准教授）	ミクロな内部応力の不均一分布形成 機構の理解とその制御技術の確立
H28	R1	22	宮本 吾郎（東北大学 金属材料研究所 准教授）	ナノクラスタリング・ナノ析出の学 理に基づく鉄鋼材料の表面硬度分布 制御と摩擦摩耗特性向上の指導原理 確立
H28	R1	23	渡辺 義見（名古屋工業大学 工学研究科 教授）	ヘテロ凝固機構により高造形性・高 強度を実現する積層造形用金属粉末 の開発

## 4. 技術テーマのねらい（目標）

### （1）技術課題解決に向けた考え方

本技術テーマ（以下、「ヘテロ構造制御」ともいう）では、革新的な構造用金属材料の創製のための基盤技術と指導原理の構築のための基礎基盤研究を行い、我が国の社会基盤の強化と、製造業の国際競争力の維持・強化に資する成果を得ることを目指してきた。

構造用金属材料に関する開発および製造技術では、我が国が世界的に見て最先端を走っているが、新興国の追い上げは極めて急速である。もし我が国の優位性が失われるようなことがあれば、材料産業のみならず、材料産業がベースとなっている製造業の衰退が進み、日本経済が危機的な状況を迎えることにもなりかねない。このような事態を避けるためには、革新的な材料の開発と製造技術に、産学の英知を結集して戦略的に取り組む必要がある。

近年の構造用材料の開発においては、単一かつ均一な相や組織を持った材料を対象にすることは非常に稀で、高度の性能や性質を得るために複数かつ不均一の相や組織で構成されている材料を考えることが圧倒的に多い。たとえば、材料の表面近傍と内部で構成相や化学組成を意図的に変化させた傾斜機能化によって、優れた耐環境性と力学特性の両立が図られている。また、軟質相と硬質相の2相からなる DP (Dual Phase) 鋼や相変態を利用した TRIP (Transformation Induced Plasticity) 鋼など、強度と延性の双方に優れた性能を持つ材料の開発も進んでいる。一方、種々の高密度な格子欠陥を不均一に含む超微細結晶粒材料は、常識を超えた特異な力学的性質を示すことが明らかになってきている。さらには、鉄とアルミニウムのような異種金属の接合が、新しい溶接・接合技術によって可能になってきており、構造用金属材料に限っても、今までにはなかった新規材料の創製、開発が期待されている。

### （2）P0 の目標

以上のような現状を鑑みて、本「ヘテロ構造制御」技術テーマでは、金属材料中の様々な不均一性（ヘテロ構造）を取り扱い、それを積極的に利用することを考えた。そして、強度、延性、靱性、加工性、耐環境性など、構造用金属材料に要請される諸性質の飛躍的な改善、さらには、従来は両立が困難であった複数の機能を同時に向上させるような革新的な材料設計・開発思想の確立を目指すことにした。すなわち、今までの金属学、材料工学の知識の延長線上での取り組みを超えた新たな学術的、技術的な指導原理を構築できる独創的な基礎基盤研究を推進した。

### （3）「産学共創の場」の活用方針

対象とする研究は、大学などのアカデミアによる基礎基盤研究であり、応用研究・製品化研究ではないが、将来的には研究成果を産業界が活用できるように、研究の遂行中に「産」と「学」とが密接に意見交換を行える「産学共創の場」というプラットフォームを設置し、各研究者には、「産」からの要請を取り入れながら研究を進めていただいた。

本技術テーマでは各種の「産学共創の場」を実行した。本技術テーマの提案者は日本鉄鋼協会、日本アルミニウム協会、日本チタン協会に属する企業の技術者・研究者であるが、彼らと全ての研究課題の研究者が一堂に会して、研究発表や意見交換を行う大規模かつ事前登録者のみによる閉じた産学共創の場、個々の研究課題に対して産業界との情報交換や意見交換を随時行う小規模の産学共創の場、学会の講演大会時を利用したオープンで誰でもが参加できるシンポジウム形式の産学共創の場、アドバイザーと P0 のみで各研究現場を訪問して研

究進捗状況を知り、設備等の見学も行うミニ産学共創の場（サイトビジット）を行った。これらを有効に活用しながら技術テーマを推進した。

なお、本プログラムでは、研究を通じての人材育成にも力を入れてきた。次世代を担う優秀な中堅・若手が構造用金属材料分野で順調に育たない限り、この分野の将来にわたる大きな発展は望めない。中堅・若手研究者にとって、本技術テーマでの研究が飛躍の契機となってほしいと願いつつサポートを継続してきた。

## 5. 研究課題の選考について

### (1) 選考の方針

平成 22 年度（2010 年度）の本プログラムの開始以来、合計 5 回の研究課題の公募・選考を行った。それぞれについての選考方針および採択課題の構成は以下の通りである。

#### 第 1 回公募・選考（平成 22 年 11 月～平成 23 年 2 月）：平成 22 年度採択課題

初回ということで、東京（平成 22 年 12 月 8 日）および大阪（同 12 月 9 日）で公募説明会を開催した。JST からは産学共創基礎基盤研究の特徴や仕組みについて、また P0 からは「ヘテロ構造制御」プログラムの目的と期待する研究課題の内容や例について説明した。構造用金属材料において、原子（ナノ）スケールからミクロ、マクロスケールに至るまで、さらには、物理的から化学的までを含むさまざまな相、格子欠陥、構成元素などの不均一性（ヘテロ構造）を研究対象にすることを述べ、公募要領には以下のような説明も加えた。

「本技術テーマは構造用金属材料を対象にしておりますので、力学特性の研究は必須です。また、将来的な実用化を目指すために、耐熱性、耐食性などの耐環境性の向上、塑性加工や接合、材料評価など、力学特性発現の周辺を支える基礎基盤研究も同時に進めることが大切です。さらには、放射光、中性子線やアトムプローブなどの最先端の解析機器を用いた現象解明も有効な手段になると考えています。実験的・理論的な研究が困難な場合には、各種の計算シミュレーション手法も力を発揮するでしょう。」

さらに、中堅・若手からの応募も期待する旨を述べるとともに、下記の 5 つの代表的な研究分野を公募要領に例示した。

- (1) ヘテロ構造と物性・特性との関連の基礎的・系統的理解
- (2) ヘテロ構造を実現するためのプロセス開発とそこで生じる金属学現象の原理的理解
- (3) ヘテロ構造・組成を定量化する解析技術
- (4) 塑性加工、溶接・接合など、実用化に不可欠なヘテロ構造金属材料の加工技術
- (5) 上記項目のそれぞれに寄与する計算科学・工学技術

以上の結果、80 件の課題応募があり、アドバイザー（後述）と P0 での慎重な審査（書面審査および面接審査）を経て、9 件の課題を採択した。採択課題の構成は、上記の (1) から (5) のうちの複数の分野にまたがるものもあるが、敢えて分類すれば、(1) 3 件、(2) 3 件、(4) 2 件、(5) 1 件であった。なお、対象とする材料は鉄鋼、アルミニウム、チタンが中心であった。

#### 第 2 回公募・選考（平成 23 年 6 月～9 月）：平成 23 年度採択課題

アドバイザーと相談し、平成 22 年度採択課題とのバランスを考えて、この年度では、特に以下のような内容の課題を歓迎する旨を公募要領に記載した。選考方針そのものは第 1 回公募と変わらない。

- (1) 力学特性（強度、靱性、破壊、軽量化、長寿命化、など）
- (2) 耐環境性（耐熱性、耐食性、水素脆性、など）

その結果、34 件の応募があり、3 件を採択した。(1) 2 件、(2) 1 件であった。材料は鉄鋼とアルミニウム合金であった。

### 第3回公募・選考（平成26年6月～8月）：平成26年度採択課題

産学共創基礎基盤研究プログラムでは、予算的に、年間10件程度の研究課題の進行が基本となっている。前2回の課題採択の結果、平成24年度には12件、平成25年度には9件の課題が進行していたので、これらの年度には新規課題の公募・選考は行わなかった。平成25年度末に3件の課題が終了したことを受けて、平成26年度に第3回の公募・選考を行った。

今回は、前回までの選考方針を継続するとともに、下記2点の観点を公募要領に付した。

- (1) 産学共創の趣旨を十分に理解し、参加研究者間で、効率良い有機的・相補的な連携が計画されている研究体制が望ましい。
- (2) 以下のようなキーワードが含まれる課題（これらに限るという意味ではありません）：  
水素と金属、組織と力学特性、実験・理論・計算の融合、鉄鋼、チタン合金、アルミニウム合金、複合材料、最先端解析技術、大型共同研究施設（加速器、放射光、中性子、スーパーコンピュータなど）の利用。

1点目(1)は、今までの応募課題の中には、科学研究費補助金の申請に類似した研究提案も含まれ、必ずしも委託研究である本プログラムの特長の「産学共創」が応募者に十分理解されていないと感じたことによって加えたものである。さらに、前2回の研究課題に対するミニ共創の場（サイトビジット）や研究進捗状況の把握を通じて、所属や専門の異なる複数の研究者（研究グループ）からなるチーム構成で研究を推進することの重要性をP0とアドバイザーが実感したことにもよる。2点目(2)は、重要であるが今までの採択課題ではカバーできていなかった望ましい研究内容の具体的なキーワードを加えたものである。

その結果、18件の応募があり、3件を採択した。期待通り、今回初めて「水素と金属」関係の研究課題を2件採択することができた。また、今回の採択課題には、「組織と力学特性」、「実験・理論・計算の融合」、「鉄鋼」、「アルミニウム合金」、「最先端解析技術」、「大型共同研究施設の利用」などのキーワードが含まれていた。

### 第4回公募・選考（平成27年6月～8月）：平成27年度採択課題

産学共創基礎基盤研究プログラムは平成22年度に開始され、平成31年度まで継続される予定である。したがって、最長の研究期間である5年間をフルに使える研究は平成27年度採択課題までであり、平成28年度以降の採択課題は、4年間かそれ以下の研究期間しか使えない。「ヘテロ構造制御」では、平成27年度末に5課題が終了予定なので、平成27年度後半には一時的に10課題より少し多い課題が進行する可能性があるが、5年間の研究期間が使える最後の年度として、是非とも平成27年度も新規課題を採択したいと考えた。幸い、JSTの承認も得られたので、公募・選考を行うことにした。

今回は、下記3点を公募要領に付した。

- (1) 産学共創の趣旨を理解し、参加研究者間で、効率良い有機的・相補的な連携が組み込まれた研究計画が望まれます。
- (2) 若手、中堅クラスの研究者からの積極的な応募も期待します。
- (3) 産業界からのニーズを満たし、産業競争力の強化に向けて、既存の採択課題では十分にカバーされていない分野及び材料の研究課題で、以下のようなキーワードが複数含まれる課題の提案を期待します（ただし、これらに限るという意味ではありません）。  
「ヘテロ組織と力学特性の関係」、「新しい組織制御（第二相、格子欠陥）」、「高信頼性・高寿命化（耐食性、耐熱性など）」、「実験・理論・計算の融合」、「最先端解析技術」、「チタン合金」、「鉄鋼材料」、「アルミニウム合金」、「複合材料」

これらの3点は本質的には前回までと同様であるが、アドバイザーやP0が予想もしない分野や材料の研究提案を期待して(3)を加えることにした。キーワードについては、今までの採択課題で、我々が考える重要研究分野の大半がカバーできたとの認識から、たとえば「水素と金属」などのやや分野限定的なキーワードを除いて、より広汎なキーワードを並べたものである。

その結果、32件の応募があり、3件を採択した。今回の採択課題にも、「ヘテロ組織と力学特性の関係」、「新しい組織制御」、「高信頼性・高寿命化」、「実験・理論・計算の融合」、「最先端解析技術」、「鉄鋼材料」、「アルミニウム合金」など、多くのキーワードが含ま



れている。さらに、液相からの凝固過程や超塑性・高温変形など、既存の採択課題にはない新規分野の研究課題を採択することもできた。

#### 第5回公募・選考（平成28年6月～8月）：平成28年度採択課題

本技術テーマは令和元年度（平成31年度、2019年度）末で終了するため、平成28年度の採択課題は研究期間が4年またはそれ以下となる。今回の選考では、前回までの採択課題とのバランスを考えて、「チタン合金、鉄鋼材料、マグネシウム合金、複合材料、ヘテロ組織と力学特性の関係、新しい組織制御（第二相、格子欠陥）、高信頼性・高寿命化（耐食性、耐熱性など）、実験・理論・計算の融合、評価・解析技術」というキーワードが複数含まれる課題提案を期待した。また、参加研究者間で効率良い有機的・相補的な連携が組み込まれた研究計画が望まれる旨や、若手、中堅クラスの研究者からの積極的な応募を歓迎する旨などを公募要領に記載した。その結果、19件の応募があり、5件を採択した。採択された研究課題には、チタン合金、鉄鋼材料、ヘテロ組織と力学特性の関係、新しい組織制御（第二相、格子欠陥）、高信頼性・高寿命化（耐食性、耐熱性など）、実験・理論・計算の融合、評価・解析技術などのキーワードを含み、今まで採択された研究課題ではカバーされない新しい研究分野を含んでいた。いずれの課題も、異なる大学や機関に所属する複数の研究者によるチームワークを組んだ研究計画になっており、若手研究者が活躍できる場が提供されていた。こうした裾野の広がりとともに、「産学共創の場」を利用した産業界との積極的な意見交換によって、産業界との共同研究への進展、ならびに革新的な構造用金属材料創製に対する指導原理の構築が大きく期待され、日本の国際競争力の維持・強化につながることで期待できた。

#### （2）採択課題の構成

各課題の主な要素技術を4つ（「設計・製造」、「構造・組織」、「環境・水素」、「解析・計算」）のいずれかに分類すると次表のようになった。しかし、実際には、複数の要素技術が含まれる課題が大多数であった。

表2 要素技術による採択課題の分類（※所属・役職は終了時点）

項番	採択年度	要素技術	研究代表者	所属 役職	研究課題名
1	H22	構造組織	飴山 恵	立命館大学 工学部 教授	調和組織制御による革新的力学特性を有する金属材料の創製とその特性発現機構の解明
2	H22	構造組織	木村 勇次	物質材料研究機構 元素戦略材料センター 主幹研究員	フェールセーフ機能を付与した強くて壊れにくい超微細繊維状結晶粒鋼の力学特性解明
3	H22	構造組織	里 達雄	東京工業大学 理工学研究科 教授	鉄を活用した新規ナノヘテロ構造アルミニウム合金の創製と3D構造解析
4	H22	解析計算	下川 智嗣	金沢大学 理工研究域 教授	材料科学と固体力学の融合によるヘテロナノ構造金属における高強度・高靱性両立の指導原理確立
5	H22	設計製造	瀬沼 武秀	岡山大学 自然科学研究科 教授	超微細マルテンサイト相を母相としたヘテロ組織の創成とその特性の解明（相反する複数特性を満

					足する超高強度鉄鋼部材製造の基礎基盤研究)
6	H22	構造組織	土山 聡宏	九州大学 工学研究院 准教授	高強度鋼板の塑性変形に伴う軟質分散粒子のヘテロ→ホモ構造変化の有用性評価
7	H22	設計製造	藤井 英俊	大阪大学 接合科学研究所 教授	摩擦攪拌現象を用いたインプロセス組織制御によるマクロヘテロ構造体化技術の確立
8	H22	解析計算	毛利 哲夫	東北大学 金属材料研究所 教授	ハミルトニアンからの材料強度設計
9	H22	設計製造	柳本 潤	東京大学 生産技術研究所 教授	幅拘束大圧下制御圧延による易成形高強度バイモータル薄鋼板の製造基盤研究
10	H23	構造組織	鳥塚 史郎	兵庫県立大学 工学研究科 教授	10000GPa%J高強度・高延性・高靱性鋼を実現できる5%Mn組成を利用した超微細ヘテロ変態組織の生成とその機構解明
11	H23	設計製造	廣澤 渉一	横浜国立大学 工学研究院 教授	超微細粒強化と時効析出強化を並立させる新規アルミニウム合金展伸材の開発とその合金設計指導原理の確立
12	H23	環境水素	武藤 泉	東北大学 教授 工学研究科 教授	鋼/介在物ヘテロ界面のマイクロ電気化学特性解明と界面ナノ構造制御による高耐食化原理の導出
13	H26	環境水素	津崎 兼彰	九州大学 工学研究院 主幹教授	鉄鋼における水素/マルテンサイト変態相互作用の定量的・理論的解明と水素利用材料の創製 ~利用可能な新固溶元素獲得を目指して~
14	H26	環境水素	戸田 裕之	九州大学 工学研究院 主幹教授	水素分配制御によるアルミニウム合金の力学特性最適化
15	H26	設計製造	三浦 博己	豊橋技術科学大学 工学研究科 教授	オーステナイト鋼への単純強圧延によるヘテロナノ構造の付与と超高強度化の実現
16	H27	構造組織	佐藤 英一	宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所 教授	協調的粒界すべりのすべり群サイズの決定機構(超塑性変形速度向上の指導原理)の解明
17	H27	構造組織	戸高 義一	豊橋技術科学大学 工学研究科 教授	「鋼材/潤滑油」界面における機能性ヘテロナノ構造制御に基づく転動疲労高特性化のための指導原理の確立
18	H27	設計製造	安田 秀幸	京都大学 工学研究科 教授	鉄鋼材料の凝固過程におけるマッシュ的変態の解明と新しい凝固・鑄造原理の構築
19	H28	設計製造	近藤 勝義	大阪大学 接合科学研究所 教授	固溶原子と相変態を利用したマルチスケールでの

					ヘテロ構造化によるチタン焼結材の高強度・高延性同時発現機構の解明と高次機能化
20	H28	環境水素	芹澤 愛	芝浦工業大学 工学部 准教授	階層的マルチヘテロ構造の創出によるアルミニウム合金の多機能化とその指導原理の解明
21	H28	構造組織	中田 伸生	東京工業大学 物質理工学院 准教授	ミクロな内部応力の不均一分布形成機構の理解とその制御技術の確立
22	H28	構造組織	宮本 吾郎	東北大学 金属材料研究所 准教授	ナノクラスターリング・ナノ析出の学理に基づく鉄鋼材料の表面硬度分布制御と摩擦摩耗特性向上の指導原理確立
23	H28	設計製造	渡邊 義見	名古屋工業大学 大学院工学研究科 教授	ヘテロ凝固機構により高造形性・高強度を実現する積層造形用金属粉末の開発

## 6. アドバイザーの構成について

表3 アドバイザー (※所属・役職は技術テーマ終了の2019年度末時点)

氏名	所属 役職	任期
相浦 直	一般社団法人軽金属溶接協会 専務理事	平成23年1月～令和2年3月
稲積 透	JFEテクノリサーチ株式会社 フェロー	平成25年4月～令和2年3月
潮田 浩作	日鉄総研株式会社 シニアアドバイザー	平成23年1月～令和2年3月
落合 庄治郎	京都大学 名誉教授	平成23年1月～令和2年3月
小野寺 秀博	元 国立研究開発法人物質・材料研究機構 特別研究員	平成23年1月～令和2年3月
粉川 博之	東北大学 名誉教授	平成23年1月～令和2年3月
辻 伸泰	京都大学 大学院工学研究科 教授	平成23年1月～令和2年3月
細谷 佳弘	JFEスチール株式会社 主席研究員 (退任時)	平成23年1月～平成25年3月

### (1) 人選にあたっての考え方

#### アドバイザー人選にあたっての考え方

誰がアドバイザーであるかは、外部から見た本技術テーマの世評と信頼にも大きな影響を与える。そのため、下記のような点に注意して、産業界と研究者の双方から、多くの人に納得いただけるようなアドバイザーを人選した。

- ・本技術テーマが産学連携基礎基盤研究であることや、産学共創の場を持つという特長を考慮し、産業界と学官界のバランスをとった。
- ・少数精鋭かつ効率良いプログラム運営を目指すため、POを加えて8人体制とし、アドバイザーとしては産業界3名、学官界4名とした。
- ・鉄鋼材料、非鉄金属材料をカバーすると共に、力学特性、計算科学、溶接・接合の4分野の専門家を含むようにした。
- ・各分野で第一人者の技術者・研究者の中から、本技術テーマの運営に積極的に協力してい

ただける方を選んだ。

・本技術テーマが10年間継続することを考慮して、人選時点で65歳以上の方は対象外とした。

・産業界からのアドバイザーには、素材メーカーを代表した的確なアドバイスが得られる人選とし、特定のユーザー企業の研究ディマンドに対しては、課題研究者からの共同研究先等の可能性に対するアドバイスを、産業界からのアドバイザーにお願いした。

## 7. 技術テーマのマネジメントについて

### (1) P0の運営方針

P0の最も重要な職務は、各研究者が快適に研究活動に集中できるようにサポートすることにあると考えている。特に産学共創を特長としている「ヘテロ構造制御」プログラムでは、産業界と研究者の間の対話がスムーズに行えるように、適宜、両者の橋渡しを行うことが大切である。

上述のように、本「ヘテロ構造制御」には7人のアドバイザー（産3人、学官4人）がおられるが、当初からP0の発案により、個々の研究課題に対して、一人の産のアドバイザーを「担当アドバイザー」として配置する制度を設けた。そして、種々の橋渡し役（仲介役）を担当アドバイザーを窓口として行っていただくようにした。実例としては、たとえば研究者から産業界に研究用の試料提供の要請があった場合、担当アドバイザーが仲介して、企業に必要な試料を作製していただく、あるいは企業に所属する専門技術者を研究者に紹介して、研究遂行上の問題点の抽出を行う、などが繰り返して行われた。単なる産学連携と異なる点は、これらの仲介を全アドバイザーおよびJSTが了解した上で行うことであった。

産業界同士の連携も重要である。本プログラムを運営してわかったことに、鉄鋼、アルミニウム、チタン分野のそれぞれの研究者・技術者の間に、横断的な交流が今までほとんどなかったことがある。金属材料という共通点はあるものの、異種金属材料を扱う技術者・研究者同士が互いに互いをよく知らないことは非常に勿体ないことであると感じた。なぜなら、異なる金属材料であっても、原理、原則の本質は共通していることが多いからである。さらに、異種金属材料のことを知れば、専門の金属材料の知識も深化するはずである。したがって、産学共創の場においても、全体会合を多く開催して、異なる分野の研究者・技術者が意見交換や質疑応答に参加する機会を増やすように心がけてきた。たとえばキックオフ産学共創の場でも、新規採択課題に加えて現在遂行中の課題の研究者の発表時間を設け、産業界の方々にできる限り多くの採択研究の内容を知っていただけるように配慮した。

研究を通じての人材育成も、本技術テーマの重視するところであった。前述のように、今までの公募・選考においても、中堅・若手からの提案を歓迎する旨を公募要領に記述した。最近の構造用金属材料分野での研究手法（実験機器、解析装置）の発達には目覚ましいものがあるが、中堅・若手にはそれらを難なく使いこなす能力がある。優秀な中堅・若手が継続的に出現しない限り、この分野の将来が明るくはならない。シニアからの応募課題を軽視するわけでは決してなかったが、中堅・若手からの提案を嬉しく思い、できれば採択したいと思いながらこのプログラムを運営した。

### (2) 技術テーマの進捗状況の把握

上記の「担当アドバイザー」には、ご自分の担当の研究課題の研究者と、日頃密接に連絡をとりあって、研究の進捗状況の把握をお願いした。さらに、前述のような各種の産学共創の場（クローズドな全体会合、個別会合、材料別会合、オープンなシンポジウム、個々の研

究者へのサイトビジット)、あるいは学会の講演大会や国際会議の際の研究者の発表、研究者との対話を通じて、個々の研究課題の進捗状況を日常的に把握していただいた。これらの情報を総合的に判断し、「ヘテロ構造制御」の技術テーマとしての進捗状況を判断してきた。

### (3) 技術テーマの研究計画の見直しの有無、概要

技術テーマそのものの研究計画を見直すことは今までになかった。それまでの採択課題の内容から判断して、新たに加えることが望ましい研究分野や課題例を、その都度公募要領に示してきたことは、前述の通りである。

個々の課題についての研究計画の追加・修正は時々あるが、これは研究進捗に伴うもので、研究者とP0との意見交換や討論によって、研究計画を変更することが必要と判断されれば適宜柔軟に対応することとした。さらに、各種の産学共創の場などを通じて、産業界からの要請を受けて、研究者がそれまでになかった研究計画や共同研究者を新たに追加することも多かった。それは歓迎すべきことであるが、産業界の期待が大きく研究者が過度の負担を感じる恐れがある場合、あるいは実用面よりも基礎的な理解を深化してほしいと考えた場合などは、P0とアドバイザーの判断で、産業界の要請とは若干異なる要請を個々の研究者にお願いしたこともあった。

### (4) 研究課題の評価と指導

前述の通り担当アドバイザー制度の導入により、各研究課題の研究代表者が個別に相談・支援・指導を受けやすい体制とした。また、各課題に対して適宜サイトビジットを実施し、担当アドバイザーと他のアドバイザーにも参加いただき、研究課題チームの研究進捗状況を調査して研究の方向性に対しての提案を行った。さらに、毎年度実施した「産学共創の場」を活用して、産業界からの研究者への意見や要望も各課題の研究者が直接聞くことで、研究の方向性の確認が進められた。

その上で、各研究課題に対して課題中間評価（2年間で終了の課題については、中間評価はしなかった）と課題事後評価を行った。課題中間評価の結果（アドバイスを含む）を受け、各課題の研究者は必要に応じて研究の軌道修正を行った。

### (5) 課題中間評価における評価基準（研究計画の見直し、研究中止、研究継続の根拠）

研究開始から2年が経過したときの中間評価（提出された報告書の書面審査とヒアリングによる面接審査の双方による）によって、研究計画に記述されている研究のマイルストーンが計画通りに達成されているかどうかをアドバイザーとともに判断して、研究の中止または継続を決めた。

当初計画より早期に研究の中止または期間短縮を決めた課題は全23研究課題中に3件あった。そのうちの2件は、2年間の研究成果を見て、「ヘテロ構造制御」プログラムの基礎基盤研究として研究を継続するより、産業界との共同研究に移行した方がより適切と判断されたものである。これらの研究課題は、その後、企業が興味を持ち、産学協同研究が進展していると聞いている。もう1件は、研究計画の遂行に必須の大型装置の開発・導入が計画より大幅に遅れたため、中間評価時まで実施予定の実験ができず、継続の可否を判断するだけの成果があがらなかったためであった。この課題は大型装置の導入予算の関係で1年の期間延長を認めた後に中止とした。この終了課題も、大型装置の導入後、当初予定研究が開始できるようになり、特殊な設備であるが故に広く有効活用され、平成27年度からの新規プロジェクトの実施に繋がったと聞いている。

## (6) 研究費の配分

全ての採択課題に対して、申請された額にほぼ等しい研究費を実際に配分した。このことは、たとえば科研費（平均して、申請額の7割から8割程度の配分額と聞いている）に比べてはるかに高効率で、採択された研究者にとっては満足できるものであったであろう。

さらに、研究加速予算と称して、来年度の予算を1年早めて使っていただくような仕組みもJST事務局と相談の上で行ったことがある。これも研究者の間で非常に好評であった。ただし、これはJST側の予算の有無に依存するので、いつでも自由にできる仕組みではない。

5回の新規課題公募を行ったが、採択可能課題数の数倍から十倍の応募があった。そのため、採択不可になった課題の中にも、非常に魅力的なものが毎回多く含まれていた。それらの課題についても、一つ一つに対して、かなり詳細な「不採択理由」を書かなければならないことは、正直申し上げて、P0として大変つらい仕事であった。この産学共創基礎基盤研究では、一つの技術テーマについて毎年10件の研究課題を進行させることが標準になっているが、上記の理由から、個々の課題に対する研究費配分を若干少なくしても、より多くの課題を採択した方が、本技術テーマにとって有益ではないか、と思うこともあった。多くの同時進行課題を管理運営することには制度上の制約や別の苦勞を伴うとは思いますが、年間総予算は決まっても、このように、より柔軟性を持った運営が望ましい場合もあるように感じていた。

## (7) 「産学共創の場」の推進と活用

新規研究課題の募集・採択を行った平成28年度までは、採択後の速やかなタイミングに、この技術テーマの発案者である日本鉄鋼協会、日本アルミニウム協会、日本チタン協会に所属する企業の研究者・技術者と新規課題の研究遂行者（研究代表者と共同研究者）からなる全体の「産学共創の場」（キックオフ産学共創の場）を開催した。予め登録された者のみが参加可能ないわゆるクローズドな場である。キックオフ開催前に、応募時の研究計画書を上記3協会を通じて産業界に配布し、予め産業界からの意見を徴集し、研究遂行者にフィードバックした。したがって、キックオフ共創の場の当日は、研究代表者は産業界からの要請を取り込んだ発表を行うことになる。数十名の出席によって、研究遂行者と産業界との質疑応答や意見交換を行い、研究遂行者の今後の研究遂行に役立てていただいた。研究代表者には、キックオフ後に、産業界の意見を取り込んだ研究計画書を改めて提出してもらった。なお、このキックオフ共創の場には、新規採択課題の研究者のみならず、現在進行中の既存課題の研究者にも短時間ではあるが研究進捗状況を発表いただいた。これは産業界との意見交換の意味のみならず、研究者同士の互いの研究課題の理解のためにも非常に有益であったと考えている。

研究課題のうち、たとえば鉄鋼またはアルミニウムに関連する課題のみを抽出した「分野別産学共創の場」については、日本鉄鋼協会や日本アルミニウム協会の協力を得て、個別に開催した。これらキックオフ共創の場や分野別共創の場の活動では、会場の手配まで含めて、各協会の協力に負うところが大きかった。

また、日本鉄鋼協会が開催する秋季講演大会の場をお借りして、公開シンポジウム形式の「産学共創の場」を、平成24年9月（愛媛大学）、平成26年9月（名古屋大学）、平成28年9月（大阪大学）、平成30年9月（東北大学）の4回にわたって開催した。多くの産学の関係者の集う場で、本技術テーマ「ヘテロ構造制御」の進行中の課題の研究代表者による発表と質疑応答を通じて、研究者たちは研究開発の方向性に対するヒントと刺激を受けたであろう。

令和元年10月には、「産学共創の場」の最終回を開催した。ここでは、進行中8課題の研究代表者からの研究進捗の報告のみならず、すでに終了した全課題の研究チームにもボラン

ティアとしてポスターセッションへの参加を勧誘した。その結果、前述の3協会からの出席者および「ヘテロ構造制御」に関わった現在・過去の研究代表者のほぼ全員が一同に会して、各研究課題の進捗やその後の進展について情報交換を行って、交流する場を設けた。この産学共創の場の最終回は、「ヘテロ構造制御」プログラムとして思い出に残る貴重なイベントになった。

上記の種々の「産学共創の場」は、参加した企業側研究者・技術者からも高い評価を受けた。現在、各学会における定例講演大会では多数の研究発表が行われているが、2~3日間の期間で平行セッションを設けて実施されるため、必ずしも興味のある講演を全て聴講することができない。また講演後の質疑応答の時間も短くなっており、必ずしも満足のゆく議論を行えてはいない。それに対して本プログラムの「産学共創の場」では、選りすぐられた採択課題に関する最先端の研究発表を、先端的な実験・解析手法などとともに知ることができ、また大学研究者や他種金属を扱う企業研究者など研究者間のネットワークも構築できるという点に、企業側の研究者・技術者が大きなメリットを感じたようである。

#### (8) アウトリーチ活動

本技術テーマの各研究課題チームからのプレス発表、各種受賞情報の内容については、適宜、JSTの産学共創のホームページにて公開を行った。研究内容については非公開としているため、各研究課題チームからのプレス発表などで公開された内容の紹介に留まる。また、オープンな公開方法としては、先の日本鉄鋼協会の秋季講演大会の場をお借りした公開シンポジウム形式の「産学共創の場」があげられる。

さらに、日本鉄鋼協会会報「ふえらむ」では特集「ヘテロ構造制御」を企画いただき、当時進行中の12研究課題の紹介記事を掲載いただいた(17巻(2012)No.11, No.12)。さらに、同協会論文誌「鉄と鋼」(ヘテロ構造制御特集号)では、本技術テーマの課題から積極的に論文や解説記事を勧誘いただき、査読付き論文等計24編を掲載いただいた(105巻(2019)No.2)。この特集号には、通常は「鉄と鋼」誌の範疇外であるアルミニウム合金に関する論文も特別に掲載していただいた。このことは特筆すべきことであり、日本鉄鋼協会のご厚意に感謝したい。

## 8. 技術テーマとしての産業競争力強化につながる技術の確立状況

### (1) 課題評価結果を踏まえた最終目標の達成状況（産業界で共通する技術的課題「技術テーマ」の解決に資する成果創出）

本技術テーマの大目標として、①産業競争力の基盤強化、および②若手研究者の育成を掲げた。「産学共創の場」、「キックオフ共創の場」にて学協会・産業界からの要望事項、期待内容を各課題の研究者に提示していただき、研究目標の設定とその進捗について学協会・産業界から定期的にフォローしていただく機会を設定した。こうした観点から、本テーマ終了直後（令和2年4月）にアンケートを実施し、学協会（2団体）・産業界（4企業）、ならびに各課題の研究代表（21課題）から回答を得たので、それらのうちの主だったものを以下に記載する。

#### ①産業競争力の基盤強化について

##### （一社）日本鉄鋼協会

- ・学協会の立場から述べると、鉄鋼に係わる基盤的な研究が進展し、得られた成果も大きい。これらの研究成果が、今後鉄鋼業にも応用され、競争力の強化につながることを期待している。
- ・産学共創の場などにおいて、各研究テーマの進捗を共有し、産業界と大学研究者の意見交換・討議を通じ、産業界のニーズを伝え、研究の進め方の軌道修正の機会があったこと。鉄鋼の技術者、研究者にとっては、日ごろ非鉄の研究について詳しく聞く機会が少ないと思われるが、今回、アルミなどの非鉄の事例についても併せて聞くことができ有意義であったと思われる。

##### （一社）日本アルミニウム協会

- ・産業界における協調領域について、基礎研究とともに実用性・展開性を意識した研究開発を行っており、期待に応えるものであったと思います。
- ・アルミニウム協会では合宿形式で、アルミニウム関係の研究に絞って（「アルミ共創の場」）、2テーマ/半日の時間をとって研究内容の紹介/質疑を行いました。この程度の時間をかけると産学連携が進むと感じました。それに比べると JST 主催の産学共創の場は有効でしたが、内容を十分に理解する時間が不足している、あるいは質疑の時間が不足しているとも感じます。

##### 日本製鉄（株）

- ・産業競争力の基盤強化については、テーマとして取り上げられた基盤研究はいずれも従来にない発想を背景とした課題であり大変有意義なものであった。その観点から、プロジェクト終了後も継続した研究が必要と考えられる。そのことが順次産業側の技術への利用、活用が実現するものと考えられる。
- ・大目的として、複数の目的を達成することは、意外と難しい場合が多い。いずれかに集中して必要な目的を達成するための課題設定とすることも一案であったかもしれない。一方で、各課題については、企業ではリソース的にも能力的にも困難である、基礎基盤的な重要な知見が得られており、この応用について社内でもより一層の議論を深めていきたい。
- ・研究成果を効率的に習得するために絶好の機会であり、一定の効果はあったと思う。しかしながら、産業側が、課題認識が不十分であると（自らの課題を解決する手段方法を必死に求めていないと）、せっかくの研究成果が理解されないことになる。そのような課題認識を持つ産業側の研究者、技術者を「産学共創の場」に呼び込むための、公開レベルのシンポジウム等をもっと多く開催してもよかったのではないかと考える。

##### JFE スチール（株）

- ・ヘテロ構造制御による新機能の創出は、従来の構造材料の組織制御学の枠を超えた非常



に斬新なアプローチであり、組織形成と力学特性の発現に関して新たなメカニズムや指導原理を導くもので、非常に刺激的な研究プログラムと思います。産業界としては、特に構造材料に関して新興国の追い上げや競争激化の厳しい環境下で、ブレークスルーのための新たな指導原理を提示していただいたものとも考えられ、それらの成果を革新的材料開発に活用することが責務と考えます。

・本プログラムの成果には興味深いものが多く、従来の視点にとらわれない新たな材料開発につながる可能性が高いと思いますが、研究の遂行は大学間、または大学-国研での連携によるもので、共創の場での意見交換を受けて、これから「産学連携」に移行するものと理解しております。「産学共創の場」や関連学会での研究発表や論文投稿等は大学・国研研究者の知名度を上げることで企業との連携につながる可能性は高くなるかと思いますが、具体的な材料開発などでの「産学連携」につなげるためには、企業側のニーズとのマッチングが重要と思われます。また、研究成果の中には、直接の材料開発につながらなくとも、マルチスケールの解析手法や、ナノマイクロ領域の物理解析技術、またはシミュレーション技術などの新しい実験・解析手法は企業研究にも活用できるものと思われます。研究成果をプロモーションし、また優秀な大学国研研究者と企業との連携をコーディネートするところまで本プログラムに含まれていれば良いのではないかと考えます。

・「産学共創の場」での研究報告は企業の材料研究者にとっては、材料研究に関する最先端でかつ非常に刺激的な情報・知識が得られる場であり、自らの研究への展開や新たな連携につながる極めて有益な場と思われます。しかし、実際には企業からの参加者は多いものの、管理職が多く次の連携につながる議論が十分だったかは疑問に思います。マネジメント層の参加は必要ですが、報告テーマに興味を持って積極的に議論できる若手研究者も参加しても良いと思います。参加者を選別して議論を活発化すべきだと思います

#### (株)神戸製鋼所

・産学共創の場にて、産側の技術課題を製造する立場から参画させていただきました。将来に向けて必要となる①メカニズムの解明、②新たな研究（考え方）ならびに③評価法を確立については、非常に興味深く、勉強させていただきました。数年間研究を重ね、新たな評価法や知見により、目指す目標が高度化することはとても良いことと思います。一方で、新たな発見により、軸となる研究目的が若干変わってしまった残念な研究テーマがあり、産側としても、必要としている課題を十分に議論、ご理解いただけなかったことについては、反省すべき点と思っております。

・アルミニウムが主となったテーマにつきましては、日本アルミニウム協会が年に一回の宿泊研究会を実施されたので、ディスカッションの場が産学共創の場のみでなく、数回実施されたことは研究の理解を深めるうえで非常に良かったと思います。また、軽圧メーカーが日本アルミニウム協会と連携し、先生方に研究開発について協力（サンプル提供、産側の量産課題の議論）させていただきました。このことは、産学が一体となり将来に向けた研究開発を進められてことは非常に有効であり、今後の財産になると思います。

・我々、産側の意見がどれだけ、先生方に受け入れていただけるかが重要と思っています。実際の操業の中で、ラボでは製造可能な（メカニズムが解明できる）ものが、大型量産では非常に困難で理想的な特性を得ることができない製品が多数あります。「産学共創の場」は、まさに、大学の研究を進めていただくうえで、メカニズムの解明や新たに知見から、それが実ラインを想定した実用化への応用性を議論する場となり、将来に向けた材料開発を行うことができるものと思います。

#### 昭和電工（株）

・産業界の期待に応えるものであったと感じております。  
・多くの研究チームで、実験や解析のほかに、第一原理計算などの理論的なアプローチが取り入れられており、企業ではなかなか取り組めない、融合的なレベルの高い研究であったと思います。また、その研究成果もさることながら、導入された先端的な解析手や計算科学的アプローチが材料研究においてここまで有効な手段であるという、ポテンシャルというか手本を示していただいたことに非常に価値を感じます。

一例をあげれば、廣澤教授グループの研究テーマにおける富山大の組織手法、戸田教授グループの研究テーマにおける原研の第一原理計算によるアルミ合金中の金属間化合物および固溶水素挙動の解明などです。これらは企業の研究に対しても大きな影響を与えたと思います。このような異なる専門分野から成る融合的な研究を可能にしたのは、豊富な研究資金を用意した政策面での成功もあると思いますが、それに加え、指導原理を重視したプロジェクト運営、サイトビジットでの指導などが果たした役割が大きいと考えています。

- ・産学共創の場では、企業側から研究テーマの方向修正の希望が出る場面もあり、このような仕組みを設けたことは効果的であったと感じています。学会の講演大会などではこのような議論は起こり得ませんので、意義のある取り組みとっております。

## ②若手研究者の育成について

### (一社) 日本鉄鋼協会

- ・鉄鋼協会に関連するテーマで見ると、採択案件 18 件中 3 件が若手（准教授）の提案案件であり、若手の採択率は 17%（全体でも  $4/23=17\%$ ）と必ずしも高くなく、さらに若手の奮起を期待する。ただ、ベテラン教授等の提案した素晴らしいテーマ案件の中で、ベテランが若手を指導・教育しながら研究を推進することにより、若手が育っているものと思われ、今回のヘテロ構造制御プロジェクトにおける研究の機会が与えられたことは大きな意味がある。

### (一社) 日本アルミニウム協会

- ・大学の若手研究者にとっては良い機会だったと思います。ただ、議論の場に、企業の若手研究者が少なかったため、議論の場に企業の若手研究者を出席させる工夫をすることでより幅広い人材育成になったと感じています。
- ・従来は個人もしくは研究室単位での研究助成が多かったが、複数大学のメンバーとチームを作って研究を進めるため、リーダーの先生には運営能力も要求されると感じます。このため、特に若手の先生の育成に役立ったと思います。

また複数の研究者でチームを作ったため、実験結果およびその解析以外に、理論的なアプローチが同時進行で可能になり、研究内容とともに研究スピード向上に役立ったと感じます。

アドバイザーの人選が鉄鋼・非鉄・大学と幅広く、異なる視点での質疑応答ができた点は今後のPJでも採用して欲しいと思います。

### 日本製鉄（株）

- ・若手研究者の育成については、期待した効果はある程度達せられたと思う。
- ・若手社員のレベルアップやモチベーション向上にも大いに効果があった。思い切って准教授、助教のみを対象とした支援制度としても良かったかもしれないと思う。

### JFE スチール（株）

- ・若手中堅の研究者がそれぞれのテーマにおいて広いネットワークを作り、複数の研究者で様々な手法を効率よく分担して研究成果につないでいる点は、企業研究にも応用できるものであり、非常に参考になるとともに、構造材料に興味をもつ大学・国研の研究者が多くいることを力強く感じています。これらの研究者のサポートをしていくことも産業界の役割と考えます。

### 昭和電工（株）

- ・特に若い先生方については、ヘテロ採択時に比べ成長された印象を持ちます。よい機会であったものと思っております。

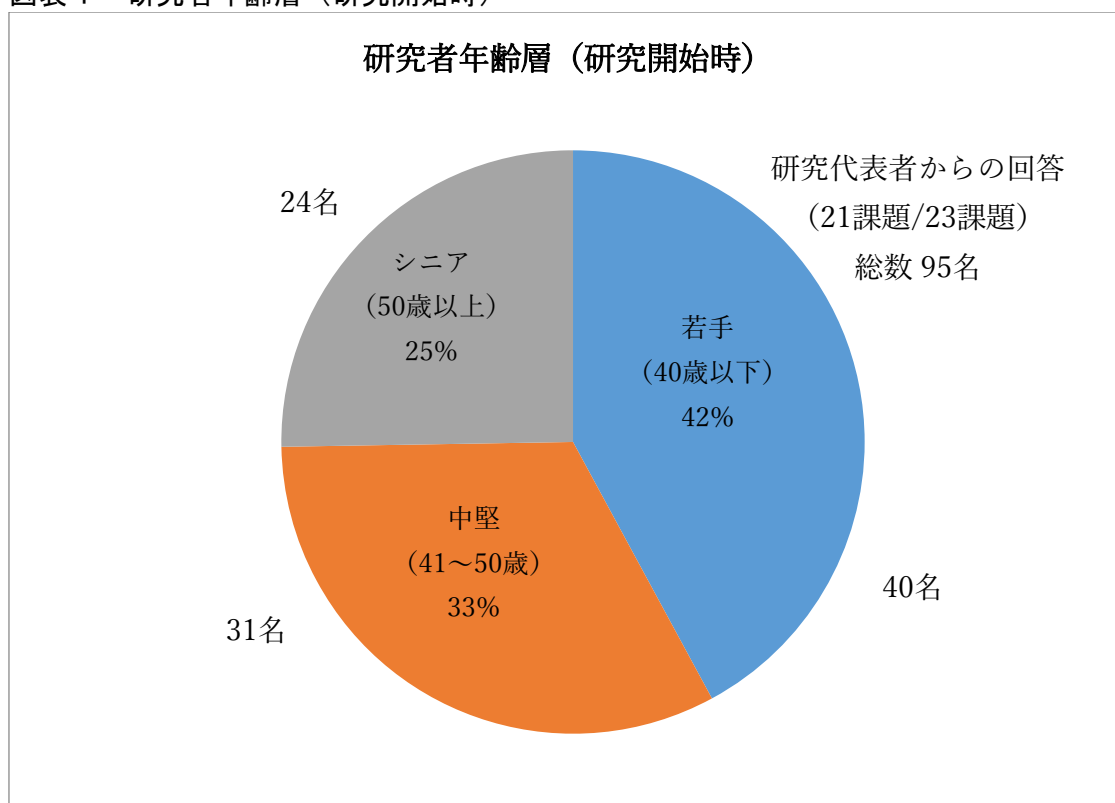
### 各課題の研究代表者へのアンケート調査から（21 課題からの回答）

人材育成の観点から、本技術テーマの採択後の研究開始時の研究者数、年齢別構成、課題終了時までの人事的な変化（教員採用、役職昇進、国研等採用など）について、調査した結果は以下の結果となった。（研究者の対象は、学部・修士課程学生を除外した。）

採択時の研究者の年齢層を若手（40 歳以下）、中堅（41 歳～50 歳）、シニア（50 歳以上）で図表 1 にて集計した。この結果から若手 42%、中堅 33%、シニア 25%であり、若手と中堅研究者が全体の約 4 分の 3 であり、若手研究者への本プログラムへの参加の場を提供したと言える。

なお、後述の表 5 での総研究参加者は、学部・修士課程を加えた総数は 285 名に達した。研究代表者に対してのアンケートでは、こうした修士課程の修了者が本技術テーマにより、博士課程に進むきっかけとなった事例も複数回答を得た。

図表 1 研究者年齢層（研究開始時）



次に、課題終了後の研究者の人事的な変化についての集計結果を図表 2 に示す。人事的な変化があったと回答のあった 19 課題の研究代表からの回答によれば、49 名の研究者に人事的な変化があった。

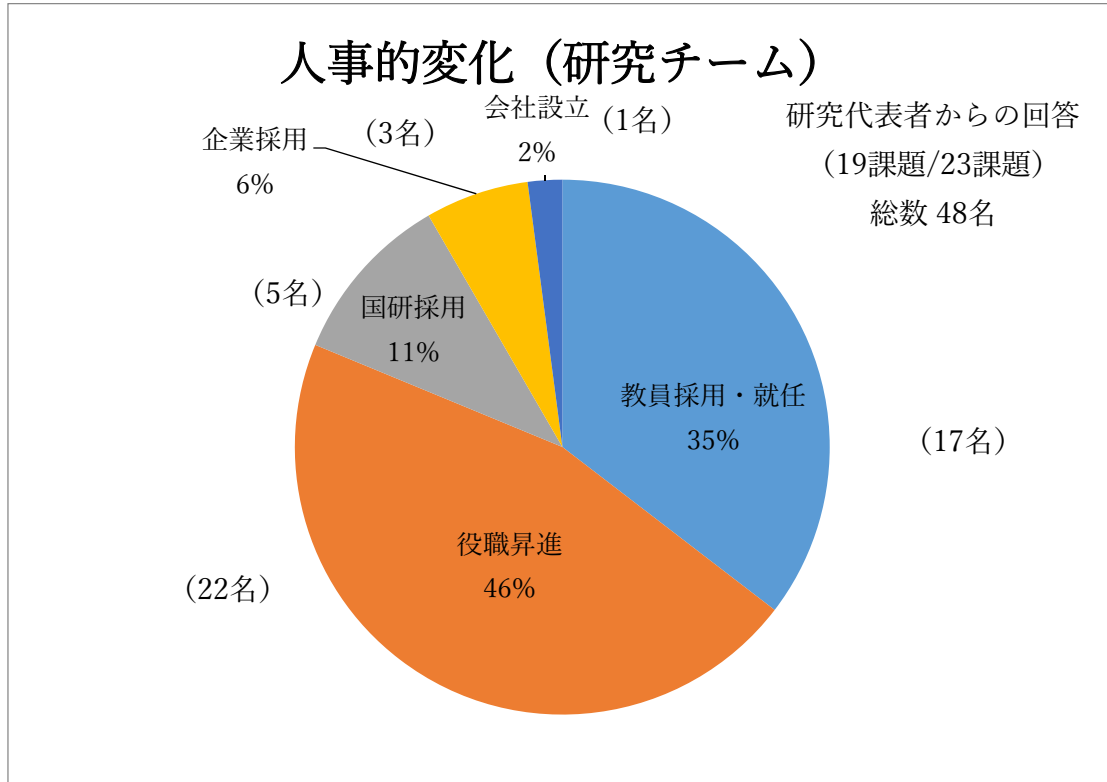
（人事的な変化の内訳）

- ・教員採用・就任：研究チーム内・別大学での教員として採用された研究者数。
- ・役職昇進：助教から准教授、准教授から教授などの大学での昇進の研究者数。
- ・国研採用：研究チームから、国立研究開発法人等の研究機関へ採用された研究者数。
- ・企業採用：研究チームから、企業の研究機関に採用された研究者数。
- ・会社設立：研究チームから、起業した研究者数

このアンケート結果から、本技術テーマでの研究経験・研究成果を通じて、新たなる教員への採用、国研への採用、役職の昇進（助教から准教授、准教授から教授等）が認められる。

なお、後述する表 5 「要素技術と社会・経済の発展につながる成果」に記載しておくが、本技術テーマの研究成果による研究者の主な受賞件数は 165 件に至り、若手・中堅の研究者の研究活動へのモチベーションの高揚に繋がった。

図表 2 : 研究者の人事的な変化 (課題終了時)



(2) 産業競争力強化につながる技術の確立に資する成果（特に、技術のブレークスルー（新指導原理、開発技術）、社会・経済の発展に繋がる重要な成果、派生して生まれた技術、等）

表4は採択された全23研究課題に関して、各研究課題を構成する主たる要素技術に分類し、主な技術のブレークスルーを示したものである。また、表5は「産業競争力強化に繋がる技術の確立に資する成果」として、要素技術別に、産業界各業種との共同研究件数、基盤技術とし公的資金（国プロ）への進展、人材育成として本技術テーマに関わった研究者数、査読付き論文数（国内、海外）、受賞数をまとめたものである。

表4 要素技術と技術のブレークスルー（新指導原理、開発技術）等

(※所属・役職は終了時点)

要素技術	項番	研究代表者 (所属 役職)	課題名称	技術のブレークスルー (新指導原理、開発技術)
(A) 設計・製造	5	瀬沼 武秀 (岡山大学 自然科学研究科 教授)	超微細マルテンサイト相を母相としたヘテロ組織の創成とその特性の解明(相反する複数特性を満足する超高強度鉄鋼部材製造の基礎基盤研究)	①靱性と耐水素脆化特性に優れる最高強度の2000MPa級鋼材をホットスタンププロセスで製造するための基本指針を提案 ②非整合な析出物が水素のトラップサイトとして有効であることを提示 ③ホットスタンププロセスにおける競合冶金現象のモデル化も構築
	7	藤井 英俊 (大阪大学 接合科学研究所 教授)	摩擦攪拌現象を用いたインプロセス組織制御によるマクロヘテロ構造体化技術の確立	①低温接合による高炭素鋼板の接合技術確立 ②接合ツールの寿命を拡大 ③強加工によりこれまでにないレベルのオーステナイトの安定化に成功 → 残留オーステナイト増による延性向上
	9	柳本 潤 (東京大学 生産技術研究所 教授)	幅拘束大圧下制御圧延による易成形高強度バイモーダル薄鋼板の製造基盤研究	①ユニークな幅拘束大圧下制御熱間圧延装置を立ち上げた ②本設備の有効活用でバイモーダル組織の形成機構と優れた特性発現機構に挑戦
	11	廣澤 渉一 (横浜国立大学 工学研究院 教授)	超微細粒強化と時効析出強化を並列させる新規アルミニウム合金線新材の開発とその合金設計指導原理の確立	①超微細粒強化と時効析出強化を並列させるためには、a)低温時効、b)マイクロアロイング(例えばCu)およびスピノーダル分解の利用が有効である原理を提案 ②TS>1GPaで高延性な超微細粒時効硬化型合金の実用化の構築
			三浦 博己 (豊橋技術科学大学 機械工学系 教授)	オーステナイト鋼への単純強圧延によるヘテロナノ構造の付与と超高強度化の実現

			を目指した実験と理論計算を実施 ②圧延中に形成される変形双晶とせん断帯からなる目玉状組織および時効に伴う溶質原子の偏析が、力学的特性の向上に寄与することを明らかにした
18	安田 秀幸 (京都大学 工学 研究科 教授)	鉄鋼材料の凝固過程におけるマッシュブ的変態の解明と新しい凝固・ casting 原理の構築	① casting 時に包晶凝固が進行すると考えられてきた Fe-C 系などにおいて、BCC 相 (δ相) から FCC 相 (γ相) へのマッシュブ的変態の存在を確認と理論計算による裏付け ② casting プロセスでの放射光を用いたマッシュブ的変態のその場観察に成功
19	近藤 勝義 (大阪大学 接合科学研究所 教授)	固溶原子と相変態を利用したマルチスケールでのヘテロ構造化によるチタン焼結材の高強度・高延性同時発現機構の解明と高次機能化	①酸素や鉄を含むチタン焼結体を出発材とし、熱間加工・熱処理プロセスによる力学的特性を改善した、革新的チタン合金の材料創製に挑戦 ②飛躍した強度-延性バランスを有する Ti-O、Ti-Fe および Ti-Fe-O 合金を得るための新知見を得た
23	渡邊 義見 (名古屋工業大学 大学院工学研究科 教授)	ヘテロ凝固機構により高造形性・高強度を実現する積層造形用金属粉末の開発	①造形性と高強度を実現する積層造形 (3D プリンタ) 用金属粉末の開発を目指し、TiC 等をヘテロ凝固核とし Ti-6Al-4V 合金および純 Al について積層造形実験を行い造形性や強度特性向上を確認 ②ヘテロ凝固核の有効性を明らかにした

要素 技術	項 番	研究代表者 (所属 役職)	課題名称	技術のブレークスルー (新指導原理、開発技術)
(B) 構造・組織	1	飴山 恵 (立命館大学 工学部 教授)	調和組織制御による革新的力学特性を有する金属材料の創製とその特性発現機構の解明	①調和組織では、強度が高い部分 (Shell) が連結していることで全体の変形が拘束されて、その結果、加工硬化が継続し、変形の局在化が生じ難いため、組織全体が均一に変形することを解明 ②強度と延性が両立する調和組織材料を創製するためのプロセス原理の確立
	2	木村 勇次 (物質材料研究機)	フェールセーフ機能を付与した強くて壊れに	①焼戻しマルテンサイト鋼の温間加工により、高強度かつ高靱性な

	構 元素戦略材料 センター 主幹研究員)	くい超微細繊維状結晶 粒鋼の力学特性	超微細繊維状結晶粒鋼を開発 ②通常とは異なる逆温度依存性を 示し、水素脆化特性にも優れる飛 躍的な鋼材のシーズを提案 ③特徴ある組織を得るためのプロ セス条件や特性発現機構も提案
3	里 達雄 (東京工業大学 理工学研究科 教授)	鉄を活用した新規ナノ ヘテロ構造アルミニウ ム合金の創製と3D 構 造解析	①有害な鉄を数%含有する場合に おいても良好な延性が得られる加 工 - 半熔融プロセスを開発
6	土山 聡宏 (九州大学 工学研究院 准教授)	高強度鋼板の塑性変形 にともなう軟質分散粒 子のヘテロ→ホモ構造 変化の有用性評価	①軟質 (Cu) 粒子は塑性加工にと もなう溶解し、延性を向上するこ とを提案 ②軟質粒子と硬質粒子の複合化で 従来特性を凌駕 ③マルテンサイト鋼やパーライト 鋼への本コンセプトの横展開によ り特性に優れる高強度鋼を提案
10	鳥塚 史郎 (兵庫県立大学 工学研究科 教授)	10000GPa%J 高強度・高 延性・高靱性鋼を実現で きる5%Mn 組成を利用し た超微細ヘテロ変態組 織の生成とその機構解 明	①5%Mn 鋼の優れた力学特性を立証 ②オーステナイトからの空冷によ る微細マルテンサイト鋼、および 二相域での加工後の空冷による二 相超微細組織鋼を中 Mn で達成 ③機構を解明しつつあり、新指導 原理は今後期待
16	佐藤 英一 (宇宙航空研究開 発機構 宇宙科学 研究所 教授)	協調的粒界すべりのす べり群サイズの決定機 構(超塑性変形速度向上 の指導原理)の解明	①圧延後再結晶をおこさせた ODS モデル鋼を用い、二次元粒界すべ りの直接観察を行った ②ODS 鋼の低歪速度粒界、高歪速 度領域、中間歪速度領域に起こ る変形挙動と組織観察から、歪速 度感受性に依存する超塑性変形機 構の解明を行った
17	戸高 義一 (豊橋技術科学大 学 機械工学系 教授)	「鋼材/潤滑油」界面に おける機能性ヘテロナ ノ構造制御に基づく転 動疲労高特性化のため の指導原理の確立	①第一原理計算と実験を融合させ て潤滑油分子と鋼材表面との相互 作用を解析し、動的に形成される 機能性膜の転動疲労特性に対する 役割を詳細に調査 ②鋼材表層のナノ組織化と機能性 膜の形成により、表層摩擦の減少 と繰り返し平均応力の低下をもた らし、動的疲労特性が向上するこ とという新指導原理を確立
21	中田 伸生 (東京工業大学	ミクロな内部応力の不 均一分布形成機構の理	①鋼のパーライト変態時に発生す る内部応力の発生機構と緩和機構

		物質理工学院 准教授)	解とその制御技術の確立	を解明し、微細構造制御による力学特性の向上 ②パーライト変態にともなう内部応力（ミクロ、マクロ）の存在を実験により観察し、理論モデルの構築と計算・シミュレーション法を開拓
22		宮本 吾郎 (東北大学 金属材料研究所 准教授)	ナノクラスタリング・ナノ析出の学理に基づく鉄鋼材料の表面硬度分布制御と摩擦摩耗特性向上の指導原理確立	①鋼中の窒素-置換型添加元素間(N-s)相互作用を実験と理論から解明 ②ナノクラスタリング・ナノ析出の学理を構築し、フェライト低合金鋼の窒化の制御により、表面硬化と摩擦摩耗特性の顕著な向上を実現

要素技術	項番	研究代表者 (所属 役職)	課題名称	技術のブレークスルー (新指導原理、開発技術)
(C) 環境・水素	12	武藤 泉 (東北大学 工学 研究科 教授)	鋼/介在物ヘテロ界面のマイクロ電気化学特性解明と界面ナノ構造制御による高耐食化原理の導出	①微小領域の腐食挙動を解明するマイクロ電気化学計測技術を開発 ②ステンレス鋼の孔食発生機構を初めて解明 ③MnSの無害化、母材の高耐食化指針を導出
	13	津崎 兼彰 (九州大学 工学 研究院 主幹教授)	鉄鋼における水素/マルテンサイト変態相互作用の定量的・理論的解明と水素利用材料の創製	①水素の有効活用により、鉄鋼材料(FCC)の高強度化・高延性化(γ相安定化、変形双晶促進等による)が実現できることを検証 ②水素による鉄系形状記憶合金の高機能化(変形誘起マルテンサイト変態促進を提案)
	14	戸田 裕之 (九州大学 工学 研究院 主幹教授)	水素分配制御によるアルミニウム合金の力学特性最適化	①放射光による破壊挙動の3D/4D解析と第一原理計算による解析によって、Al合金中の転位や結晶粒界等全てのサイトの水素トラップエネルギーを導出 ②析出物/母相界面への水素のヘテロ分散制御による水素脆化の抑制・防止のための新指導原理を確立
	20	芹澤 愛(芝浦工業大学 工学部 准教授)	階層的マルチヘテロ構造の創出によるアルミニウム合金の多機能化とその指導原理の解明	①7000系Al合金の力学特性・耐食性向上について、酸素と水酸化物の皮膜が形成される水蒸気処理を新たに開発



				②形成される酸化被膜の状態図を作成
--	--	--	--	-------------------

要素技術	項番	研究代表者 (所属 役職)	課題名称	技術のブレークスルー (新指導原理、開発技術)
(D) 解析・計算	4	下川 智嗣 (金沢大学 理工研究域 教授)	材料科学と固体力学の融合によるヘテロナノ構造金属における高強度・高靱性両立の指導原理確立	①パーライト中のセメンタイトの塑性変形能がフェライトの加工硬化によるセメンタイトの局所変形抑制によることを発見 ②高強度・高延性両立の指導原理として、ラメラ組織の微細化と異相界面の構造最適化を、高強度・高靱性両立の指導原理として、ラメラ組織の微細化とセメンタイトの分解抑制を提案
	8	毛利 哲夫 (東北大学 金属材料研究所 教授)	ハミルトニアンからの材料強度設計	①Fe-Si 合金を例に計算材料科学を駆使したマルチスケール材料設計に挑戦し、一貫モデルを構築 ②構造材料分野における「京」や「ポスト京」での有益な活動に展開

ここで「社会・経済の発展に繋がる重要な成果、派生して生まれた技術」に関して、表 4 のみではわかりにくい点について、強調しておきたいことがある。それは、この 10 年間の間に構造用金属材料分野でも研究手法に顕著な進展があったことと関連している。すなわち、AI、マテリアルインテグレーション、各種シミュレーションなどを含む計算科学的手法の進展である。計算科学は今後、効率的な材料研究、材料開発にも不可欠となるが、社会実装してゆく上では材料開発における成功例が求められる。本「ヘテロ構造制御」プログラムは、この計算科学の分野の発展にも大きく貢献してきたと自負している。具体的には、以下のように、全 23 題中の 11 課題で、計算科学的な手法が研究を成功に導いている。

- (1) 飴山チーム (項番 1) : FEM 解析による調和組織構造の強度と延性発現機構の解明
- (2) 下川チーム (項番 4) : 分子動力学法から有限要素法、結晶塑性までのマルチスケール計算によるパーライト鋼の高強度、高延性、高靱性の発現機構解明
- (3) 毛利チーム (項番 8) : 第一原理計算、クラスター変分法、分子動力学法、有限要素法などのマルチスケール計算による材料設計手法の構築
- (4) 廣澤チーム (項番 11) : 副格子モデルを導入した状態図計算によるスピノーダル分解生成条件に関する熱力学解析
- (5) 津崎チーム (項番 13) : 第一原理計算からの相の自由エネルギーの決定と相安定性評価、ならびに積層欠陥エネルギー評価等の熱力学解析
- (6) 戸田チーム (項番 14) : 第一原理計算による水素トラップサイトと水素との結合エネルギーの解析
- (7) 三浦チーム (項番 15) : マルチスケール結晶塑性シミュレーションによる変形挙動解析
- (8) 戸高チーム (項番 17) : 第一原理計算、分子動力学法、有限要素法による格子欠陥と潤滑油の反応や摩擦現象の機構解明
- (9) 安田チーム (項番 18) : 分子動力学法とフェーズフィールド法による鉄鋼材用の凝固

過程における $\delta \rightarrow \gamma$ マッシュ変態機構の解明

(10) 中田チーム (項番 21): 分子動力学法、フェーズフィールド法によるパーライト中の内部応力の不均一分布形成機構の理解

(11) 宮本チーム (項番 22): 第一原理計算、クラスター展開法、クラスター変分法、モンテカルロ法による表面窒化鋼におけるナノクラスタリング機構の解明

表 5 要素技術と社会・経済の発展につながる成果

要素技術	要素技術と社会・経済の発展につながる成果								
	産業界各業種との共同研究件数 (※1)				国プロ などへ 進展 (※2)	基礎研究強化 (※2、※3)			
	素材・ 材料	重工・ 機械	輸送 機器	精密・ 医療	基盤	(研究参加者数) 人材育成	論文 (国内・ 査読付)	論文 (海外・ 査読付)	受賞数
(A) 設計・製造	18	1	2	0	23	98	74	154	62
(B) 構造・組織	14	0	1	2	4	95	24	28	26
(C) 環境・水素	9	4	1	1	16	67	31	60	50
(D) 解析・計算	2	0	0	0	0	25	11	20	27
合計	43	5	4	3	43	285	140	262	165

※1: 産業界との共同研究件数: 令和2年3月実施の各課題の追跡調査情報による。

※2: 国プロなどへ進展、論文数(査読付き)、受賞者数は、各課題の終了年度の成果報告書に基づく。論文数については、研究課題項番01~12は、最終年度の成果報告書での査読付き・無しの区分けを求めていなかったのので便宜的に査読付きとしてカウントした。

※3: 人材育成(研究参加者数)は、各課題の最終年度の全体計画書に記載された登録研究情報の過去の履歴を含めて集計したものである。

### (3) 個別の産学共同研究への発展状況

表5の「要素技術と社会・経済の発展につながる成果」における「産業界各業種との共同研究件数」(令和元年3月に各課題に実施した追跡調査の結果から)から、計51件が主に企業との共同研究に進展した。具体的な共同研究先名、金額は守秘義務の観点から記述することは出来ないが、要素技術別では(A)設計・製造が29件、(C)環境・水素が13件と多い。業種別では、素材・材料が39件、重工・機械が7件に至っている。

#### (4) 技術テーマとしての成果を産業化に繋げるための方策・課題等

産業化に繋げるための方策として、第一に特許出願が考えられる。各課題の特色により要素技術として(A)設計・製造、(C)環境・水素にて戦略的に知財出願を行っている課題の研究代表者もいるが、各大学での特許出願に対しての考え方の相違により、特許出願料ならびに特許維持費用の観点から研究者の苦労は絶えない。また、産業界との共同研究先との共同での特許出願が行われているケースも見受けられる。日本の抱える特許出願件数の国際競争力の低下の傾向もあり、今後のアカデミアの研究者の特許出願を支援する仕組みを強化する必要性を感じる。これは本プログラムなどで個別に解決できる問題ではなく、大きな枠組みにおける重要課題であると認識している。

#### (5) 今後のプログラム運営への提言

このプログラムが始まった平成 22 年(2010 年) 当時は、構造用金属材料に関係する国のプロジェクトはほとんどなく、この分野のアカデミアに属する研究者たちは、主に科学研究費補助金や企業からの委託研究費によって研究を遂行していた。この「ヘテロ構造制御」プログラムが JST に採択されたことは構造用金属材料分野にとっては画期的なことで、研究者たちは純粋に喜び、このプログラムを大切に思ってくれた。それは、応募のたびの高い競争率に数字として表れている。また、採択された研究課題に関しても、すでに述べたように、研究者自身にも産業界にも概ね満足していただけたものであったと考えている。運営に関しても、学協会からの多大なご協力が得られた非常に幸運なプログラムであったと思う。

以上を基にして、今後のプログラム運営に対して提言と感想をまとめてみたい。

##### (8-5-1) 主人公は研究者である

決して正しいこととは思えないが、往々にして運営する側(P0、アドバイザー、事務局など)が研究者を支配しているような印象を受けるプログラムがあるように思う。もし「ヘテロ構造制御」プログラムでも、研究者にそのように思われたら、その段階でプログラムにとっての大きな痛手となる。研究者は研究以外に定期的に研究成果に関する報告や各種の産学共創の場におけるプレゼンテーションを要求され、本務の研究に使うエフォート時間も多。これはある程度は仕方がないことではあるが、研究者に大きな不平・不満が生じないように、運営する側はいわゆる「上から目線」にならないように、研究者に対する支援が第 1 であることに十分留意する必要がある。

特に産学共創の本プログラムの場合、運営する側のみならず、産業界からも研究者に対して種々の要請、要望、期待が寄せられる。P0 やアドバイザーは常に的確に判断して、産業界からの意見やコメントが研究者にとって過大な負荷になっていないかを注視する必要がある。「主人公は研究者」であること、これを今後への提言の第 1 としたい。

##### (8-5-2) 10 年間のプログラムと P0・アドバイザーの関与

個々の研究課題の研究期間は最長 5 年までしか認められないが、「ヘテロ構造制御」プログラムは 10 年間継続するものであった。これは非常に良かった。お陰で広汎な分野を扱うことができた。一方で、P0 やアドバイザーは 10 年間このプログラムに関わることになる。そのため就任時の年齢の問題で、少なくとも P0 には最適な人材が就任したかどうかは不明である。にも関わらず、大過なくこのプログラムを終えることができたのは、献身的にご協力くださった 7 人のアドバイザーのお陰である。特に産業界からのアドバイザーには、各研究課題に一人ずつ担当アドバイザーとして課題のお世話までしていただいた。この担当アドバイザーの設置は本プログラムの遂行に非常に有効に働いたと自負するが、実際に研究者からのアン

ケートでも、担当アドバイザーに感謝しているコメントが多かった。

ただし、10年間は短くはない。実際、P0とアドバイザー合計8人は、平成22年当初は8人全員が現役の研究者・技術者であったが、現在ではそのうちの7人が退職金を受ける身分になった。それでも最後まで献身的に頑張ってくださったアドバイザーの皆様に感謝申し上げたい。適切なアドバイザーを設置すること、これが今後への提言の第2である。

#### (8-5-3) 産学共創の場とサイトビジット

このプログラムの特長は、何と云っても「産学共創の場」における研究者と産業界との出会いである。ほとんどの研究課題において、産業界の意見を取り入れて、研究計画を変更したことがあった。研究者へのアンケートの結果、産学共創の場での発表のためには準備に時間がかかるが、それを差し引いても、研究に対する産業界からの視点を常に感じることができ非常に有意義なシステムであったと、概ね好評であった。

産業界からは多くの技術者・研究者に参加いただいたが、管理職の人達のみならず、若手の方々の参加も有り難かった。ただ、若手にとっては、その場で手を上げての発言やコメント等をしにくい雰囲気があったかもしれない。そのために、毎回の産学共創の場では紙面によるアンケートとコメントを参加者に書いていただくことを行った。

産業界へのアンケートによると、産学共創の場での各々の研究課題の発表や質疑応答にかかる時間が少なかったという意見もあった。さらに、より頻繁に産学共創の場を開催してほしかったという意見もあった。それだけ興味を持って下さっていることは有り難いことであるが、研究者のプレゼンテーションに係る準備時間などを考えると、我々が行ったように、年に1、2度の開催がちょうど良かったようにも思える。

各研究課題に対するサイトビジットは、研究期間が2年程度の課題については1回、それより長い課題については2回行った。P0とアドバイザーが研究代表者の職場に出向いて、研究進捗状況を知り、研究に対する示唆を行うことはもちろんであるが、研究室見学を通じて、研究環境を知ることもできる貴重な機会であった。

サイトビジット（我々はミニ産学共創の場とよぶこともあった）では、研究者の方々との対話の際に、実際に研究に携わっている学生等の参加も歓迎したが、研究者へのアンケートの結果、これが非常に効果的であったとのことである。学生にとっては、自分の研究テーマや指導教員が外部の専門家からどのように見られているかを知る機会は非常に少ない。しかし、サイトビジットを通じて、P0とアドバイザーは直接学生とも対話をし、時には学生を励ますこともできる。これは、P0やアドバイザーにとっては何気ないことであるかもしれないが、学生にとっては、非常に貴重な経験であり、自分の研究の自信になった学生も多かったとのことである。

産学共創基礎基盤研究プログラムで培った「産学共創の場」と「サイトビジット」の有効活用、これを今後への提言の第3とする。

#### (8-5-4) 学協会からの協力

産学共創の場を有意義に行うことができたのは、日本鉄鋼協会や日本アルミニウム協会からの強力なサポートを受けることができたお陰でもある。具体的には日本鉄鋼協会からは、産学共創の場での事務的な仕事に対する協力はもとより、シンポジウムの会場提供、「ふえらむ」誌および「鉄と鋼」誌での「ヘテロ構造制御」特集号の発行など、また、日本アルミニウム協会からは、産学共創の場に対する会場の提供、毎年4月に開催される「アルミニウム共創の場」への全面的なサポート、などである。

以上のように、学協会からの協力が得られればプログラムの運営に多大な力になることを謝意とともに申し述べて、今後の提言の第4としたい。

#### (8-5-5) 外部評価委員の設置

このプログラムの中間評価時に評価委員からお受けした指摘事項の一つに、この後で述べるように「必要に応じて第三者から意見を求める」ことがある。しかし、これは実現できなかった。制度上の制約や予算の制約もあるのだろうが、JSTからの許可が下りなかった。いくら能力あるアドバイザーであっても、必ずしも提案されてきた研究課題の全てに精通しているわけではない。たとえば、採択課題の審査や中間評価、事後評価のときなど、必要に応じて第三者を外部委員として加わっていただけるような柔軟な態勢が可能であれば、PO やアドバイザーにとっては非常に有難かったと思っている。必要に応じた第三者の参加を可能にするような柔軟な運営を今後の提言の第5としたい。

#### (8-5-6) 年度予算の柔軟な運用

年度予算に余裕がある場合は、研究者に翌年の予算を前倒しで使用してもらったこともあった。これは非常に良い取り組みであった。

7(6)で述べたように、5回の公募審査のいずれにおいても、採択不可になった課題の中にも非常に優れたものが多く含まれていた。この産学共創基礎基盤研究では、一つの技術テーマについて平均として毎年10件の研究課題を進行させることが標準になっているが、(科学研究費補助金のように)個々の課題で申請された研究費を若干減額しても採択する研究課題数を2、3割増やしたいと思うことが常であった。制度の面や管理の面で、このプログラムでは困難であったが、年度予算がより柔軟に運用できればプログラムにとって利するところが大きいと考える。これを提言の第6とする。

#### (8-5-7) 事務局の一貫性

10年間のプログラムであったので、「ヘテロ構造制御」を主担当とするJST事務局員は合計4名いた。それぞれが平均で2年半の担当であったことになる。もちろん、その上司である調査役や部長も何人か交代した。皆さん優秀であり、本プログラムの運営に献身的に参加したことは間違いがないが、やはり詳細な点で、それぞれの担当者が微妙に異なる意見を持っていたこともあったし、PO・アドバイザーとも意見が一致しないこともあった。これはJSTとしての組織の問題というより人間関係の問題でもあるので、解決は困難であろうが、PO・アドバイザーとJST事務局とで研究者や研究課題に対する考え方が異なって、POが調整に苦労したこともゼロではなかった。PO・アドバイザーは自身が研究者であり、しかも10年間一貫して本プログラムに参加しているのであるから、プログラムとして大きな脱線をしない限り、事務局はPO・アドバイザーを信じて運営を任せたい、これを今後の提言の第7としたい。

## 9. 技術テーマ中間評価時の指摘事項に対する対応状況

平成 27 年度のテーマ中間評価報告書でご指摘いただいた以下の 10 項目について、それぞれの対応状況を記述する。

指摘事項(1)：“学協会の積極的な関与も仰ぎながら、運営に関してPOの労力、研究者の事務的負担を軽減しつつ、成果を育てる持続的な仕組みを工夫していく必要がある。”

⇒(対応状況)：前述のように本プログラムでは 10 年間変わらずに学協会から多大な支援をいただいた。また、担当アドバイザーによる協力を得て、各担当課題の研究代表からの研究の方向性、知財、産業界との連携の可能性の相談について、継続的に研究者への支援を行った。国プロの性格上、産学共創プログラムで規程された範囲での研究者への事務的負担が少なからずかかってしまう傾向があるが、事務局にも研究者への積極的な支援を行っていただいたと考えている。何より、多くの研究者が本プログラムに参加したことを非常に有意義であったとコメントされていること自体が、成果を育てる持続的な仕組みが円滑に作用したことを物語っていると考えられる。

指摘事項(2)：“残り 4 年余の運営に関しては、研究者の裾野の広がりそのものが産業競争力の基盤になるので、研究内容が適切であることを前提に若手研究者の採択を増やすことを提言する。”

⇒(対応状況)：テーマ中間評価後の平成 28 年度採択課題の考え方については、5.(1)「選考について」でも記載させていただいた。研究内容の適切さと、若手研究者の活躍の機会創出に繋がり研究者側も学・産の共同研究にも繋がる良い成果を生み出してくれたと考えている。

研究代表者や共同研究者が集まる「産学共創の場」は、若手研究者とシニア研究者が一堂に会する場でもある。同じ「ヘテロ構造制御」仲間として、シニア研究者による研究報告を聞き、研究内容はもちろんのこと、研究の進め方や共同研究者との連携の仕方等を若手研究者が学ぶことも非常に大切である。その意味では、本「ヘテロ構造制御」の研究課題の遂行者として、若手のみならず、ある程度の割合でシニア研究者が含まれていたことも、結果的には非常に良かったと考えている。

指摘事項(3)：“アドバイザーは産（鉄鋼 2 名、非鉄 1 名）・学（鉄鋼、非鉄、接合、計算各 1 名）からバランスよく構成されているが、反面“無難”の弊に陥ることが無いよう、課題採択審査と評価には必要に応じて第三者に厳正な意見を求めてもよいと思われる。”

⇒(対応状況)：採択と課題の評価については、プログラムで定められた評価項目に対して、事前に各アドバイザーが個別に評価を行い、評価会では事前の各評価結果について、PO、アドバイザー間での透明性に配慮し、項目毎に特異な評価結果についてはその内容について討議しながら最終的に評価を行った。

前述のように、「第三者」については、課題採択時の審査等で外部委員をお願いする可能性を検討はしたが、現制度では困難であるとのことで、見送った。審査はその分野に精通した人が行うのが理想的であり、外部委員をお願いすることはPOやアドバイザーにとっても助けになるので、国プロとしてのこのあたりの柔軟性は、今後検討していただきたい事項と考えている。

指摘事項(4)：“進捗状況の把握と助言において、採択された課題に対するケアは十分すぎるくらい良くなされている。しかし、POやアドバイザーに、また研究者にとっても過度な負担は避けるべきである。”

⇒（対応状況）：POやアドバイザーからの研究者に対しての過度の負担は避けて来た。また、各研究者の自主性を尊重し、研究者側から担当アドバイザー、POへの相談される場合には積極的に対応した。ただし、ここでも必要に応じて外部委員の助力が可能となれば、さらに効率が良くなったかもしれない。

指摘事項(5)：“研究を通じて得られた新しい知見がどのように産業競争力の強化につながるのか、今後どのような展開が期待できるのか、具体的な方向性が示されるとさらに有意義である。産業界はプロジェクトの終了後も研究を支援・活用して発展させるような具体性をもってプロジェクトの成功に寄与していただきたい。”

⇒（対応状況）：各研究課題が産業界との共同研究に繋がった項目については、各研究代表者から研究成果を受けている。また、終了済みの課題を含めて追跡調査を行い、産業競争力の強化の指標の一つである、産業界との共同研究についても報告を受けている。それら多くは、各企業との守秘契約がある為に具体的な会社名、研究内容詳細についての報告は求めている。ただし、ほぼ全ての研究課題が終了後あるいは課題遂行中に何らかの企業との接点を新しく開拓したことは、本プログラムの成功に寄与したと考えている。

指摘事項(6)：“最終的な目標達成については、新指導原理の件数だけでなく、産業界との共同研究等に発展させ、ぜひとも、近い将来、産業界で製品として世に出るものにつなげていただきたい。”

⇒（対応状況）：指摘事項(5)と同様であるが、産業界との共同研究への進展が認められるとともに、今後の製品化への進展を期待している。

指摘事項(7)：“最終的には、本技術テーマの趣旨から“何を見出したか”ではなく、“何が変わったか”で評価していくべきである。”

⇒（対応状況）：個々の課題の研究成果以外において、本技術テーマを遂行したことによって“何が変わったか？”をPOの感じるままにまとめる。

- ・産業界、学界を問わず、鉄・アルミ・チタンの構造用金属材料分野の研究者間の横の繋がりが初めて実現した。
- ・複数のアカデミアの研究者からなる研究チームが産業界の要請を取り入れながら研究を進めるという「産学共創」に相応しい研究手法・研究体制が構築できた。
- ・所属や専門が異なるシニア・中堅・若手の研究者が積極的にコミュニケーションする場を10年間、頻度多く定期的に提供できた。
- ・研究者が産との連携を意識した共同研究、知財出願の活動を積極化する場を提供した。
- ・構造用金属材料に関する国のプロジェクトのその後の発展の礎を築いた。

指摘事項(8)：“本プロジェクトで若手がどのように育っていったのか、その具体例などを示して成果をアピールしていただきたい。”

⇒（対応状況）：表5「要素技術と社会・経済の発展につながる成果」でも示したが、この中で多くの若手研究者の本テーマの研究に携わった他、アカデミア間だけでなく、産業界との共同研究にもチャレンジをしており、論文件数、受賞件数を含め中間評価からの進展が認められる。

本プログラムの公募の際には、若手研究者からの研究課題提案を積極的に期待する旨を常に公募要領等で強調した。その結果、全採択課題23件のうち9件の研究代表者が助教や准教授クラス、あるいは30代から40代前半であった。さらに、本研究遂行中に助教・准教授から准教授・教授へと昇進した研究代表者も6人いた。

もちろん、修士論文や博士論文のテーマとして本研究課題に関与した学生数は数多く、彼らにはサイトビジットや公開シンポジウム等への参加を推奨した。その結果、学生諸君は、産業界やPO・アドバイザーと研究室の先生とのやりとりを身近に見ることができ、時には学生自ら質疑応答に加わることもあった。

以上のように、本プログラムでは、若手研究者を歓迎し、研究を通じての若手研究者の成長を暖かく見守る姿勢を10年間貫いたつもりである。

指摘事項(9)：“基礎研究の段階でも特許化できる成果が見込まれることから、知的財産の確保については十分に注意を払った運営をお願いする。”

⇒(対応状況)：特許に関連するような研究成果に対しては、基礎研究の段階でも研究者に特許出願を常々お願いしてきた。また、JST事務局としても、特許出願に関する相談に乗ることを産学共創の場等で周知してきた。しかしながら、知的財産権は委託研究契約条件(バイ・ドール方式)で、研究成果により生み出される知的財産権はJSTではなく各大学に帰属するものの、各大学による特許出願・登録・維持の申請・費用を含めた負担も必要になってくる。このために、各大学で知的財産権の出願を厳選していく傾向があり、研究者の知財出願の希望に対しての障壁になっていると見受けられた。また、この打開策として大学の研究チームによっては、共同研究先の企業との共願により知財出願・維持を、企業の支援を得ながら行っている事例もあった。

指摘事項(10)：“プロジェクト終了後も何らかの形で継続することをお考えいただきたい。”

⇒(対応状況)：表5「要素技術と社会・経済の発展につながる成果」でも示した様に、次の公的資金によるプログラムへの進展も多く認められる。JSTの他のプログラムへの応募支援は、事務局を通じて継続している。他の公的資金への応募については、PO、アドバイザーとのネットワークも含め、各研究者が積極的にチャレンジしてくれている。



## 10. 総合所見

前述のように、構造用金属材料の研究分野は、産業界と密接に関連しているにも関わらず、「ヘテロ構造制御」プログラムが10年前に開始された当時は、国がサポートする大型プログラムはほとんどなく、研究者は科研費や個人的な産業界との繋がりによる委託研究等によって研究を遂行していた。そこで本プログラムは、開始当初からアカデミアと産業界の双方から非常に歓迎されてきた。その結果、優秀な研究者と優れた研究課題に恵まれ、人材育成の目的も果たすことができた。これには10年間という長期プログラムであった点も有利に働いた。

実際に、本プログラムを通じて多くの産業競争力強化につながる成果が得られ、順調に進行してきたと産業界から好意的な評価をいただいた。それは、研究遂行者の高い能力に加えて、産業界の協力、学協会のサポート、アドバイザーの献身的な貢献等のプラス要素が重畳した結果でもある。さらに、研究成果のみならず、マネジメントにおいても、有能なアドバイザーに恵まれて円滑に行われた。

各種の「産学共創の場」も、各学協会の支援を受けながら有意義に開催された。会場として学協会の会議室をお借りし、学協会の事務局の直接的な助力を得ることも多かった。研究者も産業界からの意見や要望を随時研究計画に取り込んで、産業界から歓迎される成果を着実にあげてきたと考える。その意味でも、産学共創の場を頻繁に開催することが好ましかったが、そのための準備や出張、さらには産業界からの多くの要望などで研究遂行者が過度のプレッシャーや義務感を感じるとしたら、本プログラムおよび産学共創の場の主旨としては本末転倒である。P0・アドバイザーは、この点に常に留意して「研究者第一」の運営を心がけてきたつもりである。とくに各研究課題に対して担当アドバイザーを設けたことは、研究の円滑な遂行に非常に効果的であった。また、サイトビジットは、研究者はもちろんのこと、実際に研究に携わる学生にとっても、自分の研究の意義や位置付けを明確にするために有意義であったようで、これは想定外の喜びでもある。

本技術テーマを設定して、同業他社のみならず、異業他社（たとえば鉄鋼会社とアルミニウム会社など、異種金属を対象とする各社）の間の対話が行える機会ができたとのコメントを産業界から聞いたときは嬉しく思った。研究者の成果としての技術要素の本質や原理・原則は異なる金属に対しても共通する部分が多いので、異業他社間の交流も非常に重要と考える。このことは研究者からの声にも反映されている。すなわち、種々の産業界からの意見や要請の中には、当初は研究者が視野に入れていなかったような斬新な内容も含まれていて、研究に広がりが出たとの声があり、アドバイザーやP0にも実感できることである。

本技術テーマでの研究課題の内容は、産業界から見ると前競争領域・非競争領域にあるものである。したがって、本プログラムでの研究期間の満了は、決してその研究の終わりを意味するものではなく、研究成果を基にして実用化・事業化に向けての産学連携研究の開始を意味するものと位置づけている。実際、本プログラムの研究が産学連携研究に進展したり、より実用を視野に入れた他のプログラムでの研究に繋がった研究課題も多いことは本資料および非公開資料に記した通りである。

一方では、本プログラムでの研究の遂行中に基礎的・学術的な観点からも新しい現象や独創的な研究手法に出会ったことも多々ある。研究手法の一例としては、8（2）に述べたような計算科学的手法の導入とその10年間における発展もあげられる。本技術テーマが目指す「新指導原理の構築」のためには、実用化研究のみならず、学術的な基礎研究を深化させることも必要である。したがって、個々の研究に対しては、「実用化」や「産業界との共同研究への展開」の視点のみならず、「基礎的・学術的」な視点からの示唆や助力も的確に行う必要があった。その意味では、中間評価時にコメントされたように、必要に応じた外部委員の参

加の可能性を検討することも今後の課題であろう。

P0 の運営方針でも述べたように、本技術テーマの目的には「人材育成」も含まれている。中堅・若手が伸びることが構造用金属材料分野の発展には欠かせない。実際、研究開始時に研究代表者が助教・准教授クラスや 30 代から 40 代前半であった採択課題も本技術テーマには多い（全 23 課題中 9 課題）。「ヘテロ構造制御プログラムによって研究も自分も大きく成長した」と研究者に思っていただけに、本技術テーマの運営を続けてきたつもりである。随所で説明したように、本プログラムでは人材育成の目的も十分に果たすことができたと自負している。