

大阪大学 接合科学研究所

中間評価報告書

(平成 22 年度～平成 24 年度)

平成 26 年 3 月

国立大学法人

大阪大学 接合科学研究所

目 次

はじめに	1
1. 中間評価に向けた実施体制並びに実施経過	2
2. 中間評価の方法	3
3. 研究所ならびに研究部門・附属研究施設に関する自己評価結果	4
3. 1 運営	4
3. 2 研究	18
3. 3 教育	24
3. 4 社会貢献	26
3. 5 共同利用・共同研究拠点	29
4. 分野別自己評価結果	34
4. 1 エネルギー制御学	34
4. 2 エネルギー変換機構学	39
4. 3 エネルギープロセス学	45
4. 4 環境調和プロセス学	50
4. 5 溶接機構学	56
4. 6 レーザ接合機構学	60
4. 7 複合化機構学	65
4. 8 数理解析学	69
4. 9 信頼性設計学	74
4. 10 機能性診断学	78
4. 11 スマートビームプロセス学	83
4. 12 スマートコーティングプロセス学	89
4. 13 ナノ・マイクロ構造制御プロセス学	93
4. 14 信頼性評価・予測システム学	98
4. 15 スマートグリーンプロセス学	103

はじめに

接合科学研究所は、全国の溶接工学関連の研究者、技術者の強い要望に応えた日本学術会議の勧告に基づいて、昭和44年に大阪大学工学部附属研究施設として設置された。その後、全国共同利用研究所として溶接工学に関する総合研究を目的として、昭和47年5月、学内の独立した部局である「溶接工学研究所」として設立された。

平成6年8月に研究所としての第1回外部評価を受け、その結果に基づき、平成8年5月に「接合科学研究所」に改組・改称した。その後、平成12年度に第2回外部評価を実施し、本研究所の活動を客観的に評価した。さらに、平成15年4月には附属研究施設の二つのセンターを改組・転換し、スマートプロセス研究センターが設立された。

平成16年4月の国立大学法人化に伴い、接合科学研究所は、国立大学法人大阪大学の附属研究所として新たなスタートを切ったが、我が国における溶接・接合に関する唯一専門の国立大学法人におけるユニークな研究所であることに変わりはなく、国内はもとより国際的規模で溶接・接合の科学技術に関するセンター・オブ・エクセレンス(COE)としての役割を担っている。国立大学法人化後、6年間の第I期中期計画期間中、2回の外部評価(平成18年度、平成20年度)を受けるとともに、それぞれの外部評価結果を踏まえた自己評価の形で中間評価(平成19年度)ならびに最終評価(平成22年度)を実施した。

以上の第I期中期計画期間における外部評価ならびに自己評価による評価結果を踏まえて、平成22年度より新たな第II期中期計画のもとに接合科学研究所の活動が進められている。一方、平成20年7月に文部科学省は、科学技術・学術審議会学術分科会研究環境基盤部会の報告を踏まえ、学校教育法施行規則を改正し、国公私立大学を通じたシステムとして、新たに文部科学大臣による共同利用・共同研究拠点の認定制度を設けた。これに対して、接合科学研究所は国内外の多くの学協会からの強い要望を受け、拠点認定申請を行い、平成21年度に「接合科学共同利用・共同研究拠点」として認定され、平成22年度より同拠点としての活動もスタートしている。

これら第II期中期計画の活動において、その前半の活動成果ならびに接合科学共同利用・共同研究拠点前半の活動成果を、平成25年度からの同計画後半の活動ならびに同拠点後半の活動へそれぞれ反映させるとともに、第III期中期計画の指針を策定するために、当初平成25年度に実施予定であった外部評価を1年前倒して平成24年度に実施した。

今回の中間評価では、この外部評価における評価結果ならびに指摘事項を十分に踏まえ、その改善策と進捗状況について記載するとともに、第II期中期計画期間の前半(平成22～24年度)に対する接合科学研究所の研究所としての評価と、研究所活動の基礎となる各分野における活動成果の評価を、自己評価による形で実施した。

本年度は、第II期中期計画後半の4年目になるが、中間評価結果を踏まえ、本研究所の中期計画の達成と、さらなる発展に向けて全所員一丸となって活動を行う所存である。関係者各位におかれては、本中間評価報告書に対して忌憚のないご意見を頂くとともに、本研究所の発展に向けて多大なるご指導、ご支援をお願いする次第である。

大阪大学接合科学研究所
所長 片山 聖二

1. 中間評価に向けた実施体制並びに実施経過

第 II 期中間評価に向けた実施経過を以下に示す。

- 平成24年8月10日 外部評価委員会
- 平成25年3月1日 外部評価報告書の発刊・公開
- 平成25年11月21日 教授会
 - ・中間評価を自己評価の形式で実施する提案について承認
- 平成25年11月25日 平成25年度第1回自己評価委員会
 - ・中間評価の概要、方法、日程等実施案について検討
 - ・中間評価実行委員会および同ワーキングを設置し、人選と役割分担を決定
 - ・分野別自己評価書のフォーマットについて検討
- 平成25年11月25日
 - ・各分野へ分野別自己評価書の作成依頼
- 平成25年12月9日 第1回中間評価実行委員会ワーキング
 - ・中間評価用資料の内容について検討
 - ・研究所評価の内容について検討
- 平成26年1月9日 第2回中間評価実行委員会ワーキング
 - ・中間評価用資料（案）の作成
 - ・研究所評価（案）の作成
- 平成26年1月14日
 - ・分野別自己評価の提出
- 平成26年1月21日 第1回中間評価実行委員会
 - ・中間評価報告書（案）の作成
- 平成26年1月23日～1月31日 教員会議（電子メールによる審議）
 - ・中間評価報告書（案）の内容について審議
- 平成26年2月10日 第2回中間評価実行委員会
 - ・追記・修正事項を盛り込んだ中間評価報告書（最終案）について検討・作成
- 平成26年2月20日 教員会議
 - ・中間評価報告書（最終案）について審議のうえ承認
- 平成26年2月24日 第3回中間評価実行委員会ワーキング
 - ・中間評価報告書の最終チェック
- 平成26年2月28日
 - ・中間評価報告書の完成
- 平成26年3月初旬
 - ・中間評価報告書を印刷
- 平成26年3月中旬
 - ・中間評価報告書を関係機関に送付

2. 中間評価の方法

中間評価は、本研究所の研究所としての評価（研究所ならびに研究部門・附属研究施設評価）と、研究所の基礎となる各分野における研究成果の評価（分野別評価）により行われた。両評価いずれにおいても、第 II 期中期計画前半の平成 22～24 年度の 3 年間における活動を自己評価した。特に、研究所ならびに研究部門・附属研究施設評価については、平成 22～23 年度の 2 年間の活動成果に対する外部評価を受けている。外部評価結果は外部評価報告書として取り纏められており、研究所のホームページにおいても公開されている。

この中間評価では、上述の外部評価結果を踏まえ、評価項目ごとに平成 22～24 年度の 3 年間における活動を自己評価した上で、外部評価委員（国内 10 名、海外 10 名）から頂戴した「評価される点」と「改善が望まれる点」を整理し、『外部評価結果』として記した。さらに、この外部評価結果の指摘事項に対する『改善策とその進捗状況』（平成 26 年 2 月現在）についても記載した。

中間評価報告書の取り纏めは、自己評価委員会のメンバーによる中間評価実行委員会が行い、平成 26 年 2 月 20 日に開催された教員会議において報告書の最終検討を行った。その結果を踏まえ、さらに加筆修正を加えて、平成 26 年 3 月に中間評価報告書として公表するに至った。

中間評価に使用した基礎資料を下記に記載する。

- ①中間評価用資料（平成 22～24 年度）
- ②外部評価報告書（平成 24 年度実施）
- ③年次報告 2012 年度（平成 24 年度）
- ④年次報告 2011 年度（平成 23 年度）
- ⑤年次報告 2010 年度（平成 22 年度）
- ⑥大阪大学接合科学研究所要覧（2012 年度）
- ⑦国立大学における共同利用・共同研究拠点の中間評価結果（文部科学省平成 25 年 8 月）

3. 研究所ならびに研究部門・附属研究施設に関する自己評価結果

3. 1 運営

3. 1. 1 研究所の使命と特徴

(1) 使命

本研究所の使命は、接合科学の基盤である三研究部門と接合科学の新しい展開を図る附属研究施設を陣容とした、溶接・接合技術に関する我が国唯一の総合研究所として、「ものづくり」の基盤技術である溶接・接合に関する研究を通じて、人類社会のニーズに応える接合科学の学問構築を図ることである。さらに、接合科学共同利用・共同研究拠点として多くの共同研究員を受け入れ、溶接・接合に関する研究者コミュニティの研究および人材育成のための中核拠点としての役割を果たし、世界のセンター・オブ・エクセレンス (COE) として国内外の先端的研究機関との国際研究ネットワークを構築して、溶接・接合技術に関する最新の研究開発を実施することである。以上の研究使命は、大阪大学の第 II 期中期計画「研究に関する目標を達成するための措置」の中で位置づけられている。

(2) 特徴

① 溶接・接合に関する研究拠点

接合科学研究所は、昭和47年5月に溶接工学研究所として設立され、平成8年5月に接合科学研究所に改組・改称し、現在に至っている。本研究所は、加工システム、接合機構、機能評価の三研究部門により溶接・接合に関わる総合的研究を推進しており、素材の製造技術で世界の最先端を走る我が国の材料の加工・組み立てに不可欠な溶接・接合技術の開発・発展に貢献している。さらに平成15年4月には、附属研究施設である超高エネルギー密度熱源センターと再帰循環システム研究センターの二つのセンターを改組・転換し、スマートプロセス研究センターを設立した。このセンターは、接合を中心とする材料加工技術をナノ・メゾの視点で制御する先進プロセス科学の構築を目指しており、接合科学の新たな展開と「次世代ものづくり」に貢献している。

接合科学の基盤である三研究部門と、接合を中心とする先進プロセス科学を探究する研究センターが両輪となって、溶接・接合技術に関する最新の研究開発を推進するとともに、本研究所が誇る世界トップクラスの溶接・接合に関する設備、分析・評価装置、ソフトウェア、蔵書及び所員の学識・知識を共同研究に供することにより、溶接・接合に関わる研究者コミュニティに開かれた、接合科学の学問構築を目的とする我が国唯一、かつ、学術研究の質量ともに世界第一の研究拠点としての役割を担っている。

また、学内においても接合科学の視点から、工学研究科が推進している21世紀 COE プログラム「構造・機能先進材料デザイン研究拠点の形成」やグローバル COE プログラム「構造・機能先進材料デザイン教育研究拠点」において、本研究所の教員を積極的に参画させ、拠点形成に貢献してきた。同様に、全学を挙げて推進しているナノサイエンス・ナノテクノロジー研究推進機構やサステナビリティ・サイエンス研究機構に本研究所の教員を参画させ、材料、情報、生体、エネルギー、環境などの研究分野の枠を超えた部局間協力による本学の研究・教育プロジェクトにも貢献してきた。

② 共同利用・共同研究拠点の形成

本研究所は、全国共同利用研究所として、溶接・接合に関わる多くの共同研究員を、全国の国公立大学、公立研究機関、工業高等専門学校などから受け入れ、共同研究を推進してきた。

平成20年7月に文部科学省では、学校教育法施行規則を改正し、国公立大学を通じた新しいシステムとして、文部科学大臣による共同利用・共同研究拠点の認定制度を設けた。これに対して接合科学研究所は国内外の研究者コミュニティ（国際溶接学会、溶接学会、日本溶接協会、日本金属学会、日本鉄鋼協会、軽金属溶接構造協会、粉体工学会、日本セラミックス協会、粉体粉末冶金協会）からの強い要望を受け、拠点認定申請を行い、平成21年度に「接合科学共同利用・共同研究拠点」として認定された。多種多様な接合を基礎とする接合科学の構築には、プラズマなど各種熱源の科学、各種材料の科学、粉体や微粒子を含む各種界面の科学、さらには接合部の安心・安全を保障する信頼性評価の科学など幅広い学問分野との連携・コミュニティ形成が不可欠である。全国共同利用研究所としての活動を基礎として、今後、接合科学全般に関するより深化・発展させた共同利用・共同研究拠点の形成が必要である。

接合科学共同利用・共同研究拠点として多くの共同研究員を受け入れるとともに、共同研究成果の発表や研究集会等を通じ、溶接・接合に関する研究者コミュニティの研究および人材育成のための中核拠点としての役割を果たしている。

本拠点は平成25年8月に文部科学省による中間評価によって「総合評価A」を受けた。溶接と接合という工学的視点から国内外の研究者と活発な共同研究や研究交流が行われており、研究者コミュニティの発展に貢献している点が高く評価された。

③ 産学連携の推進

本研究所は、「ものづくり」の基盤となる溶接・接合の基礎から応用に至るまでの研究を実施し、幅広い産業界と活発な連携を行っている。民間企業との共同研究、受託研究などを活発に推進するとともに、産学連携の研究会や寄附研究部門あるいは共同研究部門の受け入れ等を通じて、溶接・接合に関わる産学連携の研究拠点を形成している。

④ 溶接・接合における世界のネットワーク形成

本研究所は、英国の The Welding Institute (TWI)、米国の Edison Welding Institute (EWI) と共に溶接・接合の世界三大拠点としてグローバルに知られている。一方、TWI と EWI が共に、産業界を意識した技術開発に重点をおいた研究所であるため、本研究所は接合科学の学問構築を目的とする我が国唯一、かつ、学術研究の質量ともに世界第一の総合研究所として、溶接・接合における世界の COE を目指している。その実現に向けて、具体的には、本研究所が中核となり、溶接・接合に関する国際シンポジウムを毎年開催するとともに、各国の関連機関と学術交流協定を結ぶこと等により、溶接・接合分野における活発な学術研究の交流を推進している。平成25年11月には、本研究所が中心になって TWI と EWI との三者による国際会議 (IJS-JW2013) を共催し、世界15ヶ国から研究者が集い、溶接・接合分野の世界最先端の科学技術について議論を交わした。

一方、本研究所は、溶接現象を解明するための手法として理論に基づく数値計算シミュレーションを1970年代に提案しており、この分野では世界の先駆けとなった。現在においても、溶接計算科学の分野では、本研究所が世界の中核的研究拠点の役割を担っており、本

研究所で学んだ留学生や研究員が世界各地に拡がって活躍している。この世界のネットワークを基礎として、経験や熟練技能者に頼らない新しいものづくりが現在の産業界における重要なニーズになっているが、それに応え、理論的予測に基づく溶接技術の確立を果たすため、平成19年度に所内組織として「国際連携溶接計算科学研究拠点」を設立している。

⑤ 溶接・接合に関わる人材育成

本研究所の教員が所属する工学研究科や専攻の協力講座・協力領域として大学院教育に関わり、学生が工学に関して幅広い興味・知識を持てるように努めている。また、グローバルに活躍できる溶接・接合に関わる高度専門技術者の育成を目指して、平成21年度に、国際標準化機構（ISO）に準拠した正規のATB（Approved Training Body）として国際溶接学会（IIW）資格日本認証機構による認定を受けて、「接合科学研究所国際溶接技術者（IWE）コース」が設置された。これにより、本コース修了者が、別途IIWが実施する資格試験に合格すればIIW国際溶接技術者（IWE）という、世界で通用するディプロマ資格を取得できることになった。実績として、平成21年度末に第一期生4名、平成22年度末に第二期生6名、平成23年度末に第三期生13名、平成24年度末に第四期生17名がそれぞれ合格してディプロマ資格であるIWEを取得し、また修士の学位も併せて取得して、本研究所を巣立った。特に、平成24年度については、本コース修了者全員が資格試験に合格してディプロマ資格を取得した。世界的にみれば、本資格試験の合格率は20～30%程度であり、本コース修了者のずば抜けた合格率に世界中が注目している。本研究所の充実した教育環境の下で得られた成果である。

一方、本研究所は、留学生を含む大学院生支援の独自の取り組みとして、「所内奨学金制度」を平成14年度に発足させた。本制度の予算は、運営費交付金ではなく、企業や個人からの研究所への寄附によりまかなわれている。

・外部評価結果

以上の「研究所の使命と特徴」に関して、平成22～23年度の2年間の活動に対する外部評価結果では、国内および海外評価委員による評価点として、5点満点中それぞれ4.8および4.7ポイントであり、高い評価を受けた。主に評価される点としては、「ものづくり」の基盤を支える要素技術の一つである、溶接・接合の分野において我が国唯一かつ世界第一の研究機関といえる本研究所の使命を強く意識し、関係コミュニティの期待に充分応える活動および成果を出している点が挙げられた。一方、主に改善が望まれる点としては、外部資金増額等のために研究対象を安易に広げすぎることなく、さらなる質的向上に留意すべきである点が挙げられた。

加えて、外部評価結果のまとめとして、以下の指摘事項を頂戴した。すなわち、研究所運営の今後の将来戦略として、「溶接工学」と「接合科学」のバランスを考えていただきたい。溶接が実用化されて凡そ100年が経過しているものの、技術として未だ完成されていない。産業界からの技術開発の要望が極めて大きく、「溶接工学」を基盤研究として推進する必要がある。一方、文部科学省に属する大学附置研究所の立場としては、未知を切り拓き、人類の未来社会を豊にする「接合科学」の追求が必須である。したがって、「溶接工学」と「接合科学」のエフォート比率が7割と3割など、溶接と接合のバランスを戦略的に考えていただきたい。他方、研究部門・附属研究施設に対しては、機能評価研究部門の中に分野名と研究内容が合致していない研究分野が見られるため、組織・構成に違和感のないように改善していただきたい。また、スマートプロセス研究センターの研究内容と研究所の三研究部門における研究内容との切り分けが明確になってお

らず、附属研究施設としての本センターのミッションが分かり難い。現状の活動内容は、少し多岐に広がりすぎている印象もあるため、附属研究施設の使命と目標を再検討し、研究所全体でシナジー効果が発揮できるような改組を検討していただきたい。

・改善策とその進捗状況

これらの外部評価結果を踏まえて、本研究所では、平成28年度の第III期中期計画期間の開始に併せた研究所の改組を目指し、平成25年度から教授会で議論をスタートしている。産業界からの要望に応え、かつ、人類社会の発展に資するため、安易に研究対象を広げることなく研究所の強みを引き出し、溶接と接合のバランスを戦略的に考察しているところである。

3. 1. 2 組織・運営形態

平成20年度～平成24年度の組織として、図1～5（付録：大阪大学接合科学研究所 中間評価用資料。以下、評価用資料）を参照されたい。全体組織に関する主な留意点は、以下の通りである。

①研究所の運営にあたり、教授会、教員会議および所員会を開催している。以下に、それぞれの会議の役割を示す。

教授会：研究所全体の運営と予算、人事に関する議案を審議決定する。専任教授で構成。月に1回開催

教員会議：教育、研究に係る諸事項と各種委員会、規程及び中期目標・中期計画に関する議案を審議決定する。専任・特任教員、共同研究部門教員で構成。月に1回開催。

所員会：新職員の紹介、研究所の各種行事の周知及び所内委員会委員を審議決定する。教員、非常勤研究員、技術職員、事務職員で構成。月に1回開催。

②平成16年度より、所長の補佐として副所長を置き、さらに教授1名と事務長の4名から成る「執行部」を設置し、日常的な研究所運営に当たる体制をとっている。教授の執行部員は、平成16年度より、スマートプロセス研究センター長が担当している。

③所長の諮問に応じ研究所の運営に関する重要事項を審議する「運営委員会」、全国共同利用研究所として実施されるテーマの妥当性に関して審議する「専門委員会」を設置し、それぞれの役割を果たしている。運営委員会は年2回、専門委員会は年1回開催している。なお、平成22年度より全国共同利用研究所から接合科学共同利用・共同研究拠点へ移行するのに伴って、平成21年度より「専門委員会」を「共同研究運営委員会」へ改称している。

④研究組織は、加工システム、接合機構、機能評価の三研究部門、ならびに附属研究施設であるスマートプロセス研究センターを基礎としている。なお、平成19～21年度の3年間の時限で（株）栗本鐵工所の寄附研究部門「多元ハイブリッドプロセス技術寄附研究部門」、平成20年から5年間の時限で東洋炭素（株）の共同研究部門「先進カーボンデザイン共同研究部門」、平成22年から2年間の時限で富士電機（株）の共同研究部門「富士電機パワー

デバイス・スマート接合共同研究部門」、平成23年から2年3ヶ月の時限で日立造船（株）の共同研究部門「日立造船先進溶接共同研究部門」をそれぞれ設置している。なお、平成22年度からは、共同研究部門を組織として附属研究施設から独立させた。

平成17年度より、本研究所が中核となり、東北大学金属材料研究所および東京工業大学応用セラミックス研究所が有機的に連携した文部科学省全国共同利用附置研究所連携事業「金属ガラス・無機材料接合技術開発拠点」がスタートしたため、これを所内で中核的に推進する「大阪大学接合科学研究所内金属ガラス・無機材料接合技術開発拠点」を設置した。設置期間は、平成17年度～21年度である。なお、本連携事業で蓄えた基盤的研究成果をさらに深化・発展させ、その実用化を促進するため、次期研究推進（大学間連携研究）事業として、先行3大学に新たに名古屋大学エコトピア科学研究所、東京医科歯科大学生体材料工学研究所、早稲田大学ナノ理工学研究機構の3大学を加えた6大学連携研究事業の構築に向けて準備を進めた結果、平成22年度から「特異構造金属・無機融合高機能材料開発共同研究プロジェクト」が発展的にスタートした。これに伴い、本プロジェクトを所内で中核的に推進する「大阪大学接合科学研究所内特異構造金属・無機融合高機能材料開発共同研究プロジェクト拠点」を設置した。設置期間は、平成22年度～27年度である。

さらに、世界における溶接・接合技術の主要な研究拠点を構築するために、全国共同利用研究所としての機能を活用した拠点のケーススタディーとして、平成19年度に、溶接・接合における種々の理論予測の基盤となる大規模・高速計算技術開発と人材育成を目指す「国際連携溶接計算科学研究拠点」を設置した。

また、平成21年度に国際標準化機構（ISO）に準拠した正規のATB（Approved Training Body）として国際溶接学会（IIW）資格日本認証機構による認定を受けて、「接合科学研究所国際溶接技術者（IWE）コース」が設置された。グローバルに活躍できる溶接・接合に関わる高度専門技術者の育成を目指したものである。さらに、平成22年度には、接合界面微細構造解析室を設置した。本解析室は、透過型電子顕微鏡（TEM）による接合界面や継手部における材料組織の微細構造観察を行い、また異材継手など接合界面特有の加工が困難な材料のTEM用薄膜試料を集束イオンビーム加工装置（FIB）やイオンミリング装置によって作製する技術の提供を行うことにより、本研究所における研究活動、ならびに接合科学共同利用・共同研究拠点としての共同研究員の研究活動を側面からサポートするものである。

⑤法人化後も平成2年7月に組織された「技術部」を存続し、常勤の技術専門職員および非常勤の技術補佐員が、利用者に対する技術的支援を行っている。なお技術部長は、平成9年7月より配置されており、平成16年度から副所長が兼務している。技術専門職員は、高度の専門的な知識、技術等に基づく指定された業務を処理するとともに専門的分野に関する技術的な指導助言等を必要に応じ行うことを主な業務としている。また積極的に学術論文の執筆や特許出願等にも携わっており、平成20～23年度にかけて22件の査読付学術論文を掲載している。平成20年度には溶接アーク物理研究賞（溶接学会）、直近では平成25年度に国際学術雑誌「Welding in the World」論文賞（国際溶接学会）を受賞するなど、関連学協会から高く評価されている。技術専門職員の業務内容と年齢を表1（評価用資料）に、論文数や特許数を表2（評価用資料）にまとめて示す。それぞれの職員が様々な特技、資格を有しており、5名が有効に配置されていることがわかる。一方で、全員が53歳以上58歳以下と他大学・他部局と同様に年齢構成に極端な偏りがみられる。

一方、技術補佐員制度は、平成8年に文部科学省による『卓越した研究拠点（COE）の形成

に係る「中核的研究機関支援プログラム」に基づき要求が行われ、同年に大阪大学として最初の1名が接合科学研究所で認められた。これは研究等の遂行に必要な技術・技能面での支援を目的に実施されており、平成20年度以降では7～8名の体制をとっている。さらに、接合科学共同利用・共同研究拠点として、共同研究員の研究活動に対して技術部として十分な支援を行う一環として、研究所ホームページ上に実験装置、設備の稼動状況を表示し、装置利用の予約、さらには必要な技術情報を技術部担当者と交換できるシステムの構築を目指し、平成21年度に準備を開始した。平成22年度には、実験機器名と外観写真のリストをホームページ上で閲覧できるシステムの基盤を整備するとともに、平成23年度には、共同利用可能な実験機器予約システムの一般公開を前に、セキュリティを確保するための当該システムの仕様を決定した。さらに、平成24年度には、プロトタイプ型の予約システムを構築し、研究所内での利用準備を整えた。今後も共同研究員の利便性を考慮し、システムの構築と改善を進めていく予定である。一方、共同利用・共同研究の運営・支援のさらなる向上を目指し、技術専門職員及び技術補佐員の自らの技能向上のための自主的な講習会・研修等への積極的な参加を推奨している。その結果、平成21年度には、1名の技術専門職員が第一種衛生管理者試験に合格するとともに、毎年、関連する技能講習へ参加している。

・外部評価結果

以上の「組織・運営形態」に関する外部評価結果では、国内および海外評価委員による評価点として、いずれも4.6ポイントであり、高い評価を受けた。主に評価される点としては、基本的な研究部門を堅持した上で、共同研究部門やプロジェクトなど時代のニーズを反映した柔軟な組織拡充を行っているとともに、所長のリーダーシップを発揮できるような工夫が組織の中に組み込まれており、スピード感をもって部局判断ができる体制を整えている点が挙げられた。一方、主に改善が望まれる点としては、技術専門職員の高齢化の解消と有効な技術伝承を推進して、技術支援体制を維持充実させる点が挙げられた。

・改善策とその進捗状況

技術専門職員の高齢化に伴う職員の補充は、研究所の職員雇用枠の中で進める必要があり、時間を必要とする。しかし、技術補佐員については、広く求人活動を行うことによって、新規技術者を獲得し、共同利用・共同研究拠点の活動や研究所内の研究活動の支援向上などタイムリーなニーズに合わせて流動的な人事を行い、「技術部」全体として利用者に対する技術的支援体制の向上に努めたい。加えて、前述のとおり、本研究所では、平成28年度の第III期中期計画期間の開始に併せた研究所の改組を目指している。

今回いただいた外部評価結果を踏まえて、技術専門職員の有効な技術伝承を図る工夫について教授会で議論をスタートしている。

3. 1. 3 教員および研究員構成

(1) 教員組織

平成24年4月1日現在の教員組織を以下に示す。

なお、氏名の前に付された*印は、専任教員のうち任期あり教員を示している。

加工システム研究部門

エネルギー制御学分野

教授	工学博士	*田中 学
助教	工学博士	*田代 真一

エネルギー変換機構学分野

教授	工学博士	*節原 裕一
助教	工学博士	*竹中 弘祐

エネルギープロセス学分野

教授	工学博士	中田 一博
助教	工学博士	津村 卓也
特任研究員	工学博士	張 迪
特任研究員	工学博士	申 玫孝
特任研究員	工学博士	周 利

環境調和プロセス学分野

教授	工学博士	*高橋 康夫
助教	工学博士	*前田 将克

先端基礎科学分野 (国内客員)

招へい教授	工学博士	柳本 潤
-------	------	------

接合機構研究部門

溶接機構学分野

准教授	工学博士	*伊藤 和博
講師 (兼)	工学博士	*高橋 誠

レーザ接合機構学分野

教授	工学博士	片山 聖二
准教授	工学博士	*川人 洋介
特任研究員	工学学士	吉田 悟

複合化機構学分野

教授	工学博士	*近藤 勝義
客員教授	工学博士	梅田 高照
特任講師	工学博士	今井 久志
助教	工学博士	*梅田 純子
特任研究員		村木 義徳
特任研究員	工学博士	李 樹豊

機能評価研究部門

数理解析学分野

教授	工学博士	村川 英一
特任教授	工学博士	Rashed Sherif M.H
特任教授	工学博士	奥本 泰久
准教授	工学博士	中長 啓治
准教授	工学博士	芹澤 久
特任研究員	工芸学士	河原 充

	特任研究員	工学修士	森 下 誠
	特任研究員	工学学士	林 田 守 弘
信頼性設計学分野			
	准教授	工学博士	*堤 成一郎
	講師	工学博士	*崎野 良比呂
機能性診断学分野			
	教授	工学博士	*藤 井 英 俊
	特任講師	工学博士	孫 玉 峰
	助教	工学博士	*森 貞 好 昭
スマートプロセス研究センター			
スマートビームプロセス学分野			
	准教授	工学博士	阿 部 信 行
	准教授	工学博士	*塚 本 雅 裕
	特任研究員	工学修士	升野 振一郎
	特任研究員	工学博士	高橋 謙次郎
スマートコーティングプロセス学分野			
	教授	工学博士	*内 藤 牧 男
	准教授	工学博士	*阿 部 浩 也
	特任講師	工学博士	奥宮 正太郎
	特任研究員	工学博士	近 藤 光
ナノ・マイクロ構造制御プロセス学分野			
	准教授	工学博士	*桐 原 聡 秀
	特任研究員	工学博士	田 崎 智 子
信頼性評価・予測システム学分野			
	教授	工学博士	*小 溝 裕 一
	准教授	工学博士	*寺 崎 秀 紀
	特任研究員	工学博士	張 新 房
スマートグリーンプロセス学分野			
	准教授	工学博士	*西 川 宏
	特任研究員	工学博士	Mokhtari Omid
東洋炭素（先進カーボンデザイン）共同研究部門			
	招へい教授	工学博士	宮 本 欽 生
	特任准教授	工学博士	陳 衛 武
	招へい教員	工学修士	大 國 友 行
	招へい研究員	工学博士	中 村 文 滋
富士電機パワーデバイス・スマート接合共同研究部門			
	招へい教授	工学博士	海 田 英 俊
	特任教授	工学博士	竹 本 正
	特任助教	工学修士	下 田 将 義
	特任助教	工学博士	山 川 智 弘

	招へい教員	工学学士	塩川国夫
	招へい教員	工学博士	日高昇
	招へい研究員	工学博士	渡邊裕彦
日立造船先進溶接技術共同研究部門			
	招へい教授	工学博士	北側彰一
	特任准教授	工学博士	中谷光良
	特任助教	工学修士	山崎洋輔
	招へい研究員	工学修士	山田順也
	招へい研究員	工学修士	阿部洋平
	招へい研究員	工学修士	山里久仁彦
	招へい研究員		日置幸男

特異構造金属・無機融合高機能材料開発共同研究プロジェクト拠点

	拠点リーダー	工学博士	*節原裕一
	准教授	工学博士	小林明
	特任准教授	工学博士	大原智
	特任助教	工学博士	寺島岳史
	招へい教員	理学博士	譚振権
	特任研究員	工学博士	橋新剛
	特任研究員	工学博士	山本和広

接合界面微細構造解析室

	講師	工学博士	*高橋誠
--	----	------	------

客員教授

	客員教授	工学博士	志賀千晃
	客員教授	工学博士	平岡和雄
	客員教授	工学修士	多田英昭

招へい教員

	招へい教授	工学博士	百合岡信孝
	招へい教授	工学博士	富井洋一
	招へい教授	工学博士	寺崎俊夫
	招へい教授	工学博士	川端文丸
	招へい教授	工学博士	馬玲
	招へい教授	工学博士	菅哲男
	招へい教授	工学博士	安田功一
	招へい教授	工学博士	豊田政男
	招へい教授	工学博士	山田猛
	招へい教授	工学博士	杜文博
	招へい教授	工学博士	左海哲夫
	招へい教授	工学博士	山本雅彦

招へい教授	工学博士	碓 井 建 夫
招へい准教授	工学博士	麻 寧 緒
招へい准教授	学術博士	平 木 博 久
招へい准教授	工学博士	柴 原 正 和
招へい研究員		谷 勇 毅

(2) 専任教員の年齢構成ならびに出身大学および任期

教授、准教授・講師、助教の各層について年齢構成、及び出身大学を図6（評価用資料）に示す。教授層に関しては、退職した教授の後任として若手の登用を進めた結果、55歳未満が5割を占めるようになった。ただし、大阪大学出身者は6割を占めている。准教授・講師層に関しては、60歳以上が3名、45～49歳が3名、40～44歳が4名、35歳～39歳が4名となり、比較的バランスのとれた構成となっている。なお、大阪大学出身者は6割弱を占めている。助教層に関しては、40～44歳が4名に対して35歳～39歳が2名であり、高年齢化しつつある。大阪大学出身者は5割に止まっている。

各教員の任期の有無について、任期なし教員と任期あり教員の数を年齢構成とともに図7（評価用資料）に示す。任期制については、平成15年4月2日より導入しており、学内の他部局と比べて早期から実施している。任期あり教員は、全体の7割強を占めており、任期なし教員の8割弱が60歳以上である。大阪大学における教員の定年が64歳（なお、平成24年度以降は65歳）となっていることから、今後、任期あり教員の占める割合が急速に増加することが予想され、研究所内の活性化に繋がるものと思われる。

・外部評価結果

以上の「教員および研究員構成」に関する外部評価結果では、国内および海外評価委員による評価点として、それぞれ4.1および4.4ポイントであり、全ての評価項目の中で最も低い評価を受けた。主に評価される点としては、任期制を導入して教員年齢構成のバランス改善に努力がみられるとともに、自助努力で専任教員・研究員などを採用し、目的遂行に必要な教員・研究員数を確保している点が挙げられた。一方、主に改善が望まれる点としては、専任でない教員数が非常に多いものの、専任教員に限れば職務の質を考慮すると十分ではないという点と、分野によって教員、研究員の数に偏りがみられるとともに、特に若手の専任教員の数が不足している点が挙げられた。加えて、外部評価結果のまとめとして、接合機構研究部門に対して、溶接・接合研究の中心的役割を担っているという重要度を鑑み、専任教員を優先的に配置すべきであると考えられるが、現状、専任教員の数が十分ではなく、早急に改善するように指摘をいただいた。

・改善策とその進捗状況

これらの外部評価結果を踏まえて、早速、平成25年度に接合機構研究部門 溶接機構学分野の教授を公募した。その結果、平成25年12月1日付で新しく教授（満45歳）を採用した。さらに、平成26年1月に同分野の助教を公募し、接合機構研究部門の充実を図った。加えて、平成25年8月1日付で新しく加工システム研究部門 エネルギー制御学分野の准教授（満37歳）、ならびに同部門 エネルギー変換機構学分野の准教授（満39歳）を採用した。さらに、平成26年1月にスマートプロセス研究センターの助教を公募し、若手の専任教員数の改善を図った。

3. 1. 4 研究環境

(1) 研究予算

平成20～24年度の予算状況を表5（評価用資料）に示す。予算の総額は、年々増加傾向にある。物件費および人件費は横ばいの状況にあるものの、外部資金の増加は顕著であり、平成24年度の外部資金は平成20年度に比べて約1.8倍に達しており、また、平成21年度～24年度の実績を見ると予算総額の50%以上を外部資金で占めている。

大阪大学における本研究所の第II期中期計画（計画番号20-1-1）「外部資金の獲得については、第I期中期計画で目標に掲げた水準（230,000千円〔平成9年度から14年度の平均〕の30%増）を維持するよう努める。」を、本研究所の研究資金獲得目標としてきた。その目標に対する達成度をみると、平成20～24年度では各年度ともに目標（230,000千円の30%増）を大幅に上回っており（達成率192%以上）、平成24年度では達成率353%に達し、目標を大幅に超えて達成されている（評価用資料表6）。また、教員一人当たりの外部資金受入れ額は、各年度ともに16,000千円以上であり、平成24年度では教員一人当たり36,000千円以上に達している。科学研究費補助金の獲得は、教員一人当たり年間1,600千円以上を維持しており、また平成21年度からは、受け入れ額および受け入れ件数ともに明らかに年々増加している（評価用資料表7）。これは、本研究所の第II期中期計画（計画番号20-1-1）「科研費獲得実績が豊富な教員が科研費申請前に各教員のテーマ、申請内容についてアドバイスする。」を実践した効果の現れであると考えている。

その他の外部資金の内訳を表8（評価用資料）に、その内、受託研究の主要プロジェクトの内訳を表9（評価用資料）に、寄附研究部門・共同研究部門の受け入れ状況を表10（評価用資料）に示す。奨学寄附金は、近年の経済状況の悪化に伴う企業の寄附金に対する考え方の見直しを反映して、年々減少傾向にあったが、平成24年度には大幅な増加に転じている。しかしながら、受託研究は年々増加傾向にあったが、平成24年度には減少している。共同研究については、横ばいの状況であるが、平成23年度以降において明らかな増加が見られる。その他補助金も含めると、外部資金の獲得は総じて良好である。

(2) 研究環境

本研究所の第II期中期計画（計画番号8-1）「長期的な視野にたち、『ものづくり』の高度化・発展に資する接合科学の基礎及び応用に関する基盤的研究を継続的に推進する。」に基づき、平成20～24年度に実施した主な研究環境整備は、次のとおりである。

①設備、機器の充実として、平成20年には、文部科学省全国共同利用附置研究所連携事業の予算で「接合部信頼性多元評価システム（多方向超高感度高速度デジタル可視化システム、高速度ビデオカメラ）」ならびに「実用小型溶接ヘッド」を導入した。平成21年度には、国立大学法人施設整備費補助金にて「界面微細構造解析システム」を導入した。その他、顕微レーザーラマン分光装置、薄膜試料作成装置、鋳物表面硬化装置、傾斜プラズマ生成・解析チャンバー、大荷重摩擦攪拌接合装置、微細組織構造・方位解析システム、カラー3Dレーザー顕微鏡、リアルサーフェイスビュー顕微鏡などを設置した。さらに、NEDOプロジェクト「鉄鋼材料の革新的高強度・高機能化基盤研究開発プロジェクト」の予算で、平成21年度に「水素分析装置」を導入した。平成22年には、大阪大学教育研究等重点推進経費により「高輝

度X線透過型溶接接合機構4次元可視化システム」を導入した。その他、主要装置については、接合科学研究所要覧（2012年度）を参照されたい。

②平成17年度に建設した連携研究棟の有効活用については、その一部を、文部科学省全国共同利用附置研究所連携事業「金属ガラス・無機材料接合技術開発拠点」の使用スペースとして活用した。また、平成22年度からは、その後継事業である「特異構造金属・無機融合高機能材料開発共同研究プロジェクト」の使用スペースとして活用した。他方、寄附研究部門および共同研究部門の使用スペースとしても活用している。すなわち、平成19年度から21年度までの3年間、「多元ハイブリッドプロセス技術（栗本鐵工所）寄附研究部門」の使用スペースとして、平成20年度からは「東洋炭素（先進カーボンデザイン）共同研究部門」の使用スペースとして、さらに平成22年からは「富士電機パワーデバイス・スマート接合共同研究部門」の使用スペースとして、それぞれ活用している。

上記の共同研究部門の設置数の増加、大型プロジェクト用研究室の必要性、海外からの共同研究員用の居室環境の改善等による研究スペースのさらなる確保の必要性に対応するため、平成23年に所内委員会である、建物委員会と有効利用委員会を合同化させ、新たに建物検討委員会としてその対策を検討した。その結果、平成25年度に1,500平方メートル程度のプレハブ建築による建物（2階建て）を新たに設置することに決定し、現在、年度内の完成を目指して工事が行われている。

本研究所の第II期中期計画（計画番号5-1）「学生および教職員が自由に学習・懇談できるオープンなコモンスペースを整備する。」に基づき、平成22年度には、学生および教職員が自由に学習・懇談できるオープンなコモンスペースを実験研究棟に整備した。また、平成23年度には、研究所の図書室に隣接する形で自習室を設置し、溶接・接合に関する豊かな蔵書を利用しながら学生が自主的に学習できる環境を構築した。

③バリアフリー環境の整備のため、平成20年度には荒田記念館のトイレ改修を行い、平成21年度には荒田記念館男女トイレの照明を自動感知式に改修した。本研究所の第II期中期計画（計画番号6-2）「学習することに困難や障害を持つ学生を支援する支援委員会を設置するとともに、バリアフリー環境等の整備に努める。」に基づき、平成22年度には障害学生支援委員会を新たに設置し、バリアフリー環境等の整備を検討した結果、実験棟のトイレを改修し、新たに身障者トイレを整備した。さらに、平成23年度には実験研究棟玄関にスロープを整備し、また、平成24年度には幹線道路から研究所まで安全にアプローチできるように研究所本館前道路に歩道を整備した。

なお、研究環境整備における以下の中長期的課題に対しても、下記の対応を行っている。

④新規設備の導入や産学連携研究棟の有効活用、バリアフリー環境の整備など上記のように随時対応し、努力しているが、溶接・接合関係の基本的な設備（大部分が40,000千円～100,000千円の範囲）の老朽化が大きな問題となっている。平成元年以前のものが約45%を占めており、我が国の溶接・接合の中核研究機関としての役割を今後も担っていくためには、老朽化した設備の更新が急務であり、大阪大学からの概算要求として、必要な設備を要求している。

⑤本研究所の実験研究棟（旧館）は昭和50年に、実験研究棟（新館）は昭和55年に、それぞれ建築され、築後30年以上経過しており、経年劣化および老朽化が著しく、耐震補強を含め今後の重要な課題となっている。これに対しては、大学本部を通じて文部科学省へ概算要求（施設設備費補助金）を平成25年度から継続して行っており、実験研究棟の改修準備を進めている。

・外部評価結果

以上の「研究環境」に関する外部評価結果では、国内および海外評価委員による評価点として、それぞれ4.7および4.4ポイントと高い評価を受けた。主に評価される点としては、研究予算における外部資金の獲得額が多いことや、様々な資金を利用して最先端・独創的設備・機器が拡充している点が挙げられた。一方、主に改善が望まれる点としては、老朽化した施設建物・設備の改修・更新のための継続的努力や研究室スペースの有効活用を期待する点が挙げられた。

・改善策とその進捗状況

これらの外部評価結果を踏まえ、平成27年度の文部科学省概算要求にて、引き続き研究所の耐震補強に関する予算を申請する予定である。その一方で、研究所内の有効利用委員会の活動を通じて、各研究分野の居室、実験室等の研究スペースを継続的に調査している。その結果に基づいて、使用実績のない設備の廃棄処分等の具体案を策定・実施し、研究の内容や進捗状況に応じた研究スペース等の重点配分および有効活用を図っている。加えて、これら抜本的な解決を図るため、平成25年度内での新規プレハブ建屋（1,500平方メートル程度）の設置に向けて工事を進めている。

3. 1. 5 広報・評価活動

（1）広報活動

迅速な情報発信を行うため積極的にホームページを活用しており、随時、シンポジウムや研究集会の案内を行っている。また各教員の研究業績データベースともリンクしており、各分野の最新の研究業績を公開している。研究所の活動内容を紹介するため、接合研ニュースレターやスマートプロセス研究センターニュースレター、欧文紀要のTransactions of JWRIをホームページ上からpdf形式でダウンロードできるようにしている。平成21年8月には、より情報を得やすくするため全面リニューアルを行った。これにより、研究成果に関する報道実績、外部資金の獲得、学術交流協定締結、受賞等がホームページトップに表示されるようになり、速報性の高い広報活動が可能となった。平成20年度には24件、平成21年度には27件、平成22年度には37件、平成23年度および24年度にはそれぞれ28件のトピックスが速報され、活発な広報活動が維持されている。さらに、国際的な広報活動の一環として、ホームページの英語化も積極的に進めている。その結果、平成21年度のアクセス数は約5万件、平成22年度および23年度には約6万件、平成24年度には約6万5千件に達した。

研究所発行の定期刊行物をまとめて表11（評価用資料）に示す。研究成果発信用に欧文紀要のTransactions of JWRIを年2回発行しており、毎回約650部を溶接・接合などに関連する国内外の主要な大学・研究所及び企業に配布している。また毎年の研究業績や共同研

究成果についても、年1回、大阪大学接合科学研究所年次報告、大阪大学接合科学共同利用・共同研究拠点共同研究報告書の形に取りまとめ、関連機関に配布している。また研究所内の新しいトピックスやシンポジウムの開催案内、国際会議出席報告などの話題を取りまとめた接合研ニュースレターを年2回（各回約1,500部）、スマートプロセス研究センターニュースレターを年2回（各回約1,000部）発行し、関連機関に配布している。先に述べた「特異構造金属・無機融合高機能材料開発共同研究プロジェクト拠点」に関しては、最新トピックスや研究の進捗状況について、Webニュースとして年2回情報発信を行っている。

主要新聞等への掲載件数をまとめて表12（評価用資料）に示す。平成20～24年度において日刊工業新聞を中心に毎年20件以上が掲載されている。また、溶接・接合に関する研究者コミュニティから依頼される解説・総説記事についても、平成20～24年度において毎年30件以上（評価用資料表13）が学術雑誌に掲載されており、社会への情報発信も積極的に行われている。さらに、テレビメディアにおいても、平成23年度にはNHK総合テレビ「NHKスペシャル 東京スカイツリー 世界最難関への挑戦」において、本研究所が撮影協力を行い、600メートルを超える前人未踏の高所建築物における溶接技術の難しさとその科学的背景について説明指導を行い、高い評価を得ている。

（2）評価活動

研究所内の自己評価委員会により、部局の自己評価、分野別評価、ならびに教員の自己評価のための資料の整備を行うとともに、全学のデータ整備に対する協力、年度計画の立案などを担当している。また、自己評価委員会の活動を、事務部、ならびに広報・データ管理室員がサポートしている。平成17年度には、「教員自己評価システム」を確立し、分野別、ならびに教員の自己点検・評価を目的として、平成18年度より、本システムによる教員評価、ならびに分野評価を開始している。研究・教育・社会貢献・運営に分類された評価項目に対して、詳細な項目が設けられ、例えば、査読付き学術論文1件あたり1.0点を基準として、査読なし国際会議論文では1件あたり0.2点、外部資金1,000千円あたり0.1点、特許出願1件あたり0.5点、博士論文主査1件あたり0.5点、学会役員1件あたり0.2点のように評価点が与えられる。これら評価点にそれぞれの職層ごとの重みが掛けられ、合計した総得点（合計評価点）を所属する職層において比較することで、自己点検が可能となるシステムになっている。参考までに、各職層の評価項目の重みは、教授（研究50%、教育20%、社会貢献20%、運営10%）、准教授・講師（研究50%、教育30%、社会貢献10%、運営10%）、助教（研究70%、教育15%、社会貢献5%、運営10%）になっており、全職層を纏めて平均すると合計評価点は10点～20点の範囲である（ただし、時宜に合わせた研究活動の奨励のため、査読付き学術論文など個々の業績ごとに別途重みを与えている）。さらに評価の高い教員に対しては、業績手当などをアップすることによりインセンティブの向上を図るとともに、評価の低かった教員に対しては、執行部から改善を指導するなど、評価結果の有効活用を行なっている。

平成20年度には、外部の有識者8名から構成される外部評価委員会を10月に開催し、外部評価報告書を平成21年1月に発行した。さらに平成22年度には、平成20～21年度の活動に対する自己点検評価を加えた第I期中期計画6年間全体の自己評価を最終評価として実施し、平成22年11月に最終評価報告書を発行した。また、第II期中期計画期間においても、国内の有識者10名、海外の有識者10名から構成される外部評価委員会を平成24年8月に開催し、外部評価報告書を平成25年3月に発行した。なお、これらの外部評価報告書、ならびに最終評価報告書は研究所のホームページにおいても公開している。

・外部評価結果

以上の「広報・評価活動」に関する外部評価結果では、国内および海外評価委員による評価点として、それぞれ4.8および4.5ポイントと高い評価を受けた。主に評価される点としては、ホームページの充実、多数の定期行物の発行、新聞・テレビなどを通しての積極的な広報発信などが挙げられた。一方、改善が望まれる点としては、社会一般や若年層に対する広報活動が少ない点や、「教員自己評価システム」の点数に影響を受けることなく、査読のない解説記事への執筆の重要性を認識すべき点、などが挙げられた。加えて、外部評価結果のまとめとして、過去において非常に重要な役割を果たしてきたと思われる欧文紀要の「Transactions of JWRI」の今後の在り方に対する再検討を指摘いただいた。これは、論文のオリジナリティの保証と高いインパクトファクターを有する国際雑誌への掲載が世界の学術界における潮流になっている中、国際雑誌への掲載を控えて、あるいは国際雑誌への二重投稿を避けながら「Transactions of JWRI」にオリジナル論文を掲載することは、困難、かつ、厳しい取り組みであろう、という観点からであった。

・改善策とその進捗状況

本研究所では、毎年、本学学生部入試課の依頼に応じて本研究所の教員を出身高等学校に派遣し、本学のPR活動と共に、高校生にも解りやすく接合科学に関する講義を行っている。また、「産学連携シンポジウム（大阪開催）」や「大阪大学接合科学研究所 東京セミナー（東京開催）」を開催し、一般向けの公開講座等の企画・運営に努力している。

今回の外部評価結果を踏まえ、(一社)日本溶接協会との協力によって、動画を効果的に活用した紙芝居型デジタル教材「浪速博士の溶接がっつん！」を制作し、インターネット上で公開している。加えて、近隣の高等学校（大阪府立豊中高等学校）と連携して、高校生を対象とした接合科学に関するファーストコンタクト・セミナーを平成26年3月に開始する。今後も近隣の小中学校や高等学校等と連携しながら、社会一般や若年層に向けた接合科学の広報発信に努めていく所存である。一方、「Transactions of JWRI」の今後の在り方に関しては、研究所内のトランザクションズ編集委員会において、見直しの議論を平成25年度に開始した。

3. 2 研究

3. 2. 1 研究成果

①平成20～24年度における査読付学術論文、解説・総説、著書の発表件数、ならびに教員一人当たりのこれらの発表件数、さらには国際会議発表論文、接合研欧文紀要の発表件数を表13（評価用資料）に示す。査読付き学術論文、解説・総説および著書の合計は平成20～24年度平均で、年あたり243件となり高い水準を維持している。教員一人当たりの査読付学術論文等の発表件数は、平成20年度～24年度で毎年約7件以上を維持しており、個々の教員が積極的に研究活動に取り組んでいることがわかる。表14（評価用資料）は、世界の溶接・接合に関する研究所を対象に、抄録・引用文献データベース“Scopus”を利用して、平成20年～平成24年の5年間に公開された論文数を検索した結果である。検索の詳細は、“Scopus”の「Affiliation」検索で「welding institute」をキーワードに選定し、その後、「Document Search」において「検索期間：2008～Present, Document type: ALL」の条

件で過去5年間に公開された論文数を検索した。本研究所は、英国の The Welding Institute (TWI)、米国の Edison Welding Institute (EWI) と共に溶接・接合の世界三大拠点としてグローバルに知られている。両研究所を含めた世界の溶接・接合に関する研究所の中で、本研究所による公開論文数は圧倒的に多く、本研究所は我が国唯一、かつ、学術研究の活動において世界第一の総合研究所と言える。

一方、研究成果の質の評価指数にインパクトファクターがあるが、インパクトファクター付きの論文数の割合は、表15（評価用資料）に示すように平成20年度～24年度において、平均して約48%であり高い水準を維持している。インパクトファクター上位50論文の平均インパクトファクターは平成20年度～24年度において、2.189～2.717と安定して高い水準を示している。これらには材料科学分野でトップクラスのインパクトファクターをもつ *Acta materialia* 誌 (3.781) や *Scripta Materialia* 誌 (2.806) が含まれ、特に本研究所の教員が執筆した摩擦攪拌接合に関する査読付き学術論文 (*Scripta Materialia* 誌) が平成23年4～6月期の Hottest paper (論文のダウンロード数で評価) の第4位に選定されている。また、大阪大学では、毎年、全部局を対象として優れた研究論文を上位100論文まで選定し、大阪大学の年次レポートとして報告している。この年次レポートに本研究所の教員の執筆した論文が、平成20～23年度において5件選定されている。特に、平成22年度には上位10論文に1件の論文が選定された。表16（評価用資料）は招待講演の状況を示したものであるが、国内ならびに国際会議における招待講演数の合計は、年度毎に若干変動はあるが、平均して年137件であり、平成16～19年度(116件)に比して大幅に増加した。受賞の状況は、表17（評価用資料）にみるように、平均して年25件であり、研究成果に対する国内および海外の関連学界からの評価は極めて高いものと考えられる。

②本研究所の溶接・接合分野における研究活動の特徴を示す一例として、表18（評価用資料）に溶接学会全国大会において研究発表された件数の一覧を示す。表より、本研究所の発表が占める件数の割合は平成20年～平成24年度において大会あたり19～34%と大きな割合を占めている。このことは、本研究所が溶接分野において研究者コミュニティの中核的位置を占めていることを示している。また、国際的な研究活動状況を示す例として、表19（評価用資料）に外国人との共著査読付学術論文数の占める割合を示す。本研究所の全論文中、平成21年から継続して40%以上を占めていることから、国際的な研究展開も活発に行われているものと考えられる。

・外部評価結果

以上の「研究成果」に関する外部評価結果では、国内および海外評価委員による評価点として、それぞれ4.8および4.9ポイントであり、全ての評価項目の中で最も高い評価を受けた。主に評価される点としては、本研究所の特徴である溶接・接合に関する研究拠点として、国内外の関連学会に対する寄与が大きく、研究活動が活発である点が挙げられた。一方、改善が望まれる点としては、もっとインパクトファクターの高い国際学術雑誌への投稿率を高めるべき点が挙げられた。

・改善策とその進捗状況

今後も活発な研究活動を継続しながら、外部評価結果を踏まえて、「教員自己評価システム」の評価基準の見直しなど自己評価委員会が中心になって、よりインパクトファクターの高い

国際学術雑誌への投稿を促すような仕組みを検討する予定である。

3. 2. 2 連携研究

①平成20～24年度の特許件数を表20（評価用資料）にまとめて示す。毎年22～55件の特許出願が行われており、そのうち6～28件が海外出願となっている。教員一人当たり平均して約1.7件の特許出願・取得件数であることから、研究成果は産業界に貢献できていると考えられる。特に、平成20～23年度に取得された特許の中で、実際に産業応用されている活用例の概要を以下に記載する。

●<特許第4823715号> 眼鏡用金属部材のレーザ光溶接方法 微細レーザ接合技術が株式会社シャルマンの眼鏡製造に使用される基本特許の一つであり、複数のアーチを組み合わせたテンプル構造をもつ眼鏡の開発等を可能としている。これら成果を基に、第4回ものづくり日本大賞特別賞として表彰されている。

●<特許4153218号> レーザとアークのハイブリッド溶接技術が株式会社ダイヘンのレーザ・アークハイブリッド溶接システム機器に使用される基本特許の一つであり、製品化されるとともに、アルミニウム合金の高速溶接を実現する一つのソリューションとして、産業界へ販売されている。交流パルスによる溶接ワイヤの溶着量増加とレーザによる溶込みの確保を達成している。

●<特許第4367612号、特許第4386411号、特許第443990号>ニチアス株式会社の高性能断熱材の製造に使用されている基本並びに関連特許であり、この技術はNEDO省エネ事業などの助成を受けて開発されたものである。高性能断熱材は『ロスリム®ボード』として平成23年度より商品化されている。

●<特許第4418818号>国内4社に溶接変形に関する、本特許に基づく著作として開発されたコンピュータプログラムと共に使用許諾しており、その内2社がこれらをベースに商用ソフトを開発している。

●<特許第4215126号>国内粉末メーカーにてMg合金粉末を製造し、米国押出メーカーに輸出開始。米軍向けヘルメット用素材の試作・評価を実施している。

●<US7998448>国内エンジニアリング企業2社において、中国およびタイでのみ殻固形化、燃料棒のプラント試作を開始している。一部は、現地の電力公社に供給し、排出シリカを肥料として利用している。

●<EP1752249>、<台湾特許 I304007>、<Canada 2555426>TIG溶接中のシールドガスに微量の酸素を添加することにより、熔融池の対流を反転させ、溶け込み深さを従来の5倍にすることを可能にした基本特許であり、当該ガスが国内メーカーから販売され、種々の産業分野で実用化されている。尚、日経産業新聞や日刊工業新聞にその成果が掲載され、関連の内容に対して溶接学会から論文奨励賞が授与された。

●<特許第4375665号>WCを主体とした、摩擦攪拌接合用のツールに関する基本特許で、該当するツールが国内メーカーから販売されている。今後、鉄鋼材料の摩擦攪拌接合の用途拡大に伴い、よりその重要性が増すと考えられる。また、これを用いた継手に関する論文が、Elsevier 2010 Hottest Articles TOP25 や Scripta Materialia 2008-2012 Most Cited Articles に選定された。

●<特許第4909187号>摩擦攪拌接合用のツール及裏板部材に関する基本特許で、主に鉄鋼材料用のツールおよび裏板材として、国内メーカーから販売されている。また、2012年に日本溶接協会技術賞（開発奨励賞）が授与された。

●<GB2449210>、<US12/282510>、<特許第 4873404 号>

摩擦攪拌接合後にアーク溶接をする際に発生する組織の粗大化を抑制する技術で、関連の内容が日刊工業新聞に取り上げられた。

②グローバル COE(平成 19 年度～23 年度)

グローバル COE プログラム“構造・機能先進材料デザイン教育研究拠点(拠点リーダー: 掛下知行工学研究科教授)”に 4 名の教員(野城清教授[平成 21 年定年退職]、節原裕一教授、藤井英俊教授、桐原聡秀准教授)が参画している。本プログラムは、「使われてこそ材料」の材料研究の原点に立ち、競争意識と自立心を具備し、国際感覚と独創性に富む若手教育研究者を、独自の教育プログラムを通じて恒常的に育成して、国内外で材料科学・工学分野の最前線を担う人材を輩出するグローバルセンターとなることを目的としている。節原裕一教授は「ナノ複合機能材形成のためのハイブリッドプラズマ製膜法の開発」を、藤井英俊教授は「鉄鋼材料の摩擦攪拌接合技術の確立」を、桐原聡秀准教授は「レーザスキャン液相結晶析出法を用いたナノ構造を有するフォトニックフラクタルの開発」を、それぞれ担当している。

③金属ガラス・無機材料接合技術開発拠点

平成 17 年度より平成 21 年度までの 5 ヶ年、本研究所が中核となり、東北大学金属材料研究所および東京工業大学応用セラミックス研究所とが有機的に連携した、文部科学省全国共同利用附置研究所連携事業「金属ガラス・無機材料接合技術開発拠点」を実施した。本事業は 3 つの全国共同利用附置研究所が連携して行う我が国初の連携事業として特筆されるものであり、本研究所では研究拠点として教員 15 名(うち特任 3 名、兼任 12 名)を配置し、連携研究棟に研究室を設置した。本研究所として合計 16 研究課題(平成 21 年度実績)を実施し、これまでに学術論文 198 件、国際会議発表論文 138 件を発表した。また連携研究の成果としてこれまでに 3 研究所連名の特許 3 件を出願した。さらに、3 研究所共催国際会議を 4 回(平成 18 年 9 月、平成 19 年 5 月、平成 20 年 12 月、平成 21 年 9 月)と、3 研究所連携研究成果公開シンポジウムを 4 回(平成 19 年 3 月阪大、平成 20 年 3 月東工大、平成 21 年 3 月東北大、平成 21 年 8 月阪大)開催した。研究成果を含むこれらの情報はニュースレターとして研究拠点ホームページに掲載し、広く国内外に発信した。

最終年度にあたる平成 21 年度には、本開発拠点事業で蓄えた基盤的研究成果をさらに深化・発展させ、その実用化を促進するため、現行 3 大学に新たに名古屋大学エコトピア科学研究所、東京医科歯科大学生体材料工学研究所、早稲田大学ナノ理工学研究機構の 3 大学を加えた 6 大学連携研究事業「特異構造金属・無機融合高機能材料開発共同研究プロジェクト」の構築に向けて準備を進め、本共同研究プロジェクトの採択、ならびに平成 22 年度のスタートに結びつけた。

④特異構造金属・無機融合高機能材料開発共同研究プロジェクト拠点

平成 22 年に研究推進(大学間連携研究)事業による「特異構造金属・無機融合高機能材料開発共同研究プロジェクト」(6 大学連携プロジェクト)を発足させた。大阪大学接合科学研究所、東北大学金属材料研究所、東京工業大学応用セラミックス研究所、名古屋大学エコトピア科学研究所、早稲田大学ナノ理工学研究機構、東京医科歯科大学生体材料工学研究所の有機的な連携をはかりながら、特異構造金属・無機材料の融合による高機能材料科学から

接合科学、応用技術にわたる総合的な新学問体系の構築を目指すと共に、環境・エネルギー、エレクトロニクス、生体・医療分野での実用化に不可欠な新技術開発研究を推進中である。

本研究所では研究拠点として教員28名（うち特任3名、兼任25名）を配置し、連携研究棟に研究室を設置した。本研究所として合計19研究課題（平成23年度実績）を実施した。また、本プロジェクトに関する国際会議を平成22年11月（Visual-JW2010, AMDI1）、平成23年6月（STAC5, AMDI2）、および平成24年11月（ISAEM-2012, AMDI3）に開催した。さらに公開討論会を3回開催（平成23年3月東京、平成24年3月大阪、平成25年3月名古屋）した。研究成果を含むこれらの情報は、6大学連携プロジェクトニュースとして研究拠点ホームページに掲載し、広く国内外に発信した。

⑤寄附研究部門および共同研究部門の設置

平成19年度より21年度までの3年間、株式会社栗本鐵工所からの寄附により、金属、無機材料の接合に加えて、有機、生体分子材料の接合までも研究対象とした接合科学に関する新部門「多元ハイブリッドプロセス技術寄附研究部門」が設置され、スマートプロセス研究センターと連携して活動を進めた。

平成20～22年の3年間、東洋炭素株式会社の共同研究部門である、「東洋炭素（先進カーボンデザイン）共同研究部門」が設置された。同部門には接合科学研究所の2名の教員が兼任教員として参加している。接合科学研究所が有する異種材料の接合やナノ・マイクロ複合化技術および界面評価技術と、東洋炭素が有するカーボンのプロセス技術とデバイス化技術の融合とそのシナジー効果が発揮され、多くの研究成果が実ったため、平成25年まで同部門の設置が延長された。

平成22年には、富士電機株式会社の共同研究部門である、「富士電機パワーデバイス・スマート接合共同研究部門」が設置され、接合科学研究所が有する各種微細接合および継手部の評価・解析技術と富士電機株式会社が有する実装技術を融合し、環境調和型製品創出のための研究に取り組むとともに、スマートプロセス研究センターと連携して活動を進めている。同部門には接合科学研究所の1名の教員が兼任教員として参加している。

さらに平成23年には、日立造船株式会社の共同研究部門である、「日立造船先進溶接技術共同研究部門」が設置され、接合科学研究所が有するレーザー溶接技術や数理解析技術などの先進溶接技術と日立造船株式会社が有する製造技術を融合し、レーザー溶接技術などの先進溶接技術を広範な厚板構造物の製造に適用するための技術の開発を目指す。同部門には接合科学研究所の4名の教員が兼任教員として参加している。

以上の平成20～24年度の5年間において、1つの寄附研究部門および3つの共同研究部門の活動が推進されたことは、接合科学の学理構築に対する産業界の高い期待を反映しているものと評価される。

⑥鉄鋼材料の革新的高強度・高機能化基盤研究開発プロジェクト

本研究所は、我が国唯一の溶接・接合に関する研究所として、産学連携の中心的な存在になることをコミュニティから要請されている。そのための一つの方策として、本研究所が設立した産学連携研究会の参加企業を中核とする産業界及び公的機関（JRCM）の協力を得て、溶接・接合に係る国家プロジェクトの企画、立案を推進した結果、平成19年度～平成23年度、NEDOよりの受託事業として下記のプロジェクトを実施した。

プロジェクト名：「鉄鋼材料の革新的高強度・高機能化基盤研究開発」

研究開発の概要：高級鋼材の革新的溶接接合技術の基盤開発と先端的制御鍛造技術の基盤開発に分かれているが、本研究所は高級鋼材の革新的溶接接合技術の基盤開発を担当し、野城教授をプロジェクトリーダーとし、産官学の連携体制を構築することによって、プロジェクトを推進した。

実施期間：平成19年度～平成23年度

5年間予算総額：5,850,000千円

本研究所の10名の教員が参加するとともに、物質・材料研究機構、大阪大学工学研究科、材料民間企業6社など産学官連携のもとに、研究開発を推進した。その結果、高強度鋼用の予熱・後熱フリーの次世代新溶接材料開発に関する顕著な研究成果が得られ、これまでの成果を、関連分野の研究者やユーザーに広く公開するシンポジウム（鉄鋼材料の革新的高強度・高機能化基盤研究開発プロジェクトシンポジウム）が2回（平成21年4月、平成24年1月）開催された。

⑦高出力多波長複合レーザー加工基盤技術開発プロジェクト

本研究所におけるこれまでの研究成果を基に、省エネルギーに必要な軽量化材料である炭素繊維強化プラスチック等の高速・高品質レーザー加工技術開発（次世代レーザー加工技術開発）の必要性を明示し、企画、立案を推進した結果、NEDOよりの受託事業として下記のプロジェクトを平成22年度より実施している。

プロジェクト名：高出力多波長複合レーザー加工基盤技術開発プロジェクト（平成24年度より、「次世代素材等レーザー加工技術開発プロジェクト」に名称変更）

研究開発の概要：省エネルギーのための軽量化材料として需要が拡大している炭素繊維強化プラスチックのような難加工材の高速、高品質加工技術開発が急務である。本プロジェクトで開発するパルスファイバーレーザーの特徴を生かした加工システムを構築することで当加工を実現する。

実施期間：平成22年度～平成26年度

5年間予定総額：約4,000,000千円

大阪大学レーザーエネルギー学研究センター、産業技術総合研究所、古河電気工業（株）、浜松ホトニクス（株）をはじめとする8企業、2機関と連携し、産業用高品質・高出力パルスファイバーレーザーおよび炭素繊維強化プラスチックに代表される次世代素材等のレーザー加工技術開発を推進した。平成25年度以降も引き続き推進する。本プロジェクトで得られた成果を基に、産学連携研究会参加企業を中心とする産業界との連携が期待できる。

⑧国際連携溶接計算科学研究拠点

本研究所は、溶接現象を解明するための手法として理論に基づくシミュレーションを1970年代に提案しており、この分野ではまさに世界の先駆であり、1996年には”Theoretical Prediction in Joining and Welding”をテーマとした国際シンポジウムを開催している。その後、溶接における計算科学の展開をひとつの目的として、“溶接技術の高度化による高効

率・高信頼性溶接技術の開発”をテーマとしたNEDOプロジェクトが当研究所を中心として実施され、その成果がさらに発展し現在に至っている。一方、日本のものづくりは経済・社会のグローバル化の中で大きな変革期を迎えており、経験や熟練技能者に頼らない新しいものづくり、すなわち理論的予測に基づく生産技術が求められている。このようなニーズに応えるとともに接合科学研究所の世界的な地位を維持するためには、基礎研究のさらなる充実と人材の育成が不可欠であり、この目的を果たすために平成19年に所内組織として本研究拠点が設立された。平成21年度には「実用を目指した溶接シミュレーション技術の開発」という主題で講演会を開催し、全国各地から85名の参加を得た。さらに、第3回 International Seminar on Welding Science and Engineering (WSE 2009)を上海(中国)において上海交通大学などと共催し、51名の参加を得た。平成22年度には溶接に関わる技術者を対象に「溶接変形と残留応力のシミュレーション実習セミナー」を開催し(参加者23名)、本拠点が開発してきたシミュレーション・ソフト「JWRIAN(ジュリアン)」の体験コーナーを設けるなど、産業界への最新のものづくり技術移転に配慮した。さらに、国際会議「Visual-JW2010」を主催し(参加者270名、発表件数202件、共催学会学術雑誌への掲載論文数34件)、国際的な共同研究を推進した。平成23年度には「日本発の独自シミュレーション技術の開発と世界への展開」をテーマにした講演会(参加者110名)および溶接に関わる技術者を対象にした「溶接変形と残留応力のシミュレーション実習セミナー」(参加者25名)を開催した。さらに、第4回目となる国際会議「WSE 2011」を主催(平成23年11月17日～18日、外国人43名を含む参加者81名)した。平成24年度には、第2回目となる国際会議「Visual-JW2012」を主催し(参加者255名、発表件数224件、共催学会学術雑誌への掲載論文数45件)、溶接・接合分野において「Visual」というキーワードを世界的に定着させた。

・外部評価結果

以上の「連携研究」に関する外部評価結果では、国内および海外評価委員による評価点として、それぞれ4.7および4.5ポイントと高い評価を受けた。主に評価される点としては、共同研究プロジェクトや共同研究部門などを通じた活発な連携研究の推進や、知的財産権の出願・取得状況から産業界への高い貢献などが挙げられた。一方、改善が望まれる点としては、特許の利用状況の調査など、産業界への具体的な貢献度の評価が挙げられた。

・改善策とその進捗状況

ご指摘いただいた件に関しては、産学連携の研究拠点の形成において、民間企業との間でシーズ・ニーズに関して情報交換を進めることが重要である。その窓口として、研究所内に産学連携室を設置している。また、毎年度に産学連携シンポジウムを主催し、研究所の有するシーズと民間企業が有するニーズを交流させる場を用意している。加えて、産学連携研究会が存在しており、大企業のみならず中小企業も含めて構成され、溶接・接合の基礎から応用に至るまでの連携研究への起点として機能している。外部評価結果を踏まえて、民間企業の声を十分に聞きながら産学連携研究をより一層推進する。

3.3 教育

①研究所は独自の大学院専攻を有していないため、本学工学研究科の各専攻に協力講座・協力領域として参画し、大学院生(および学部生)の研究指導ならびに講義を担当している。平成20～24年度の大学院生、学部生の受け入れ状況をまとめて、表21(評価用資料)

に示す。参画している専攻は、機械工学、マテリアル生産科学（マテリアル科学コース、生産科学コース）、地球総合工学（船舶海洋工学コース、社会基盤工学コース）、環境・エネルギー工学と多様性に富んでおり、各専攻において専門分野、溶接・接合科学およびこれらの境界領域における学術・研究を担当している。

学部・大学院生の数は、機械工学専攻では、平成20年度22人、21年度16人、22年度18人、23年度19人、24年度17人、と過去に比べて高い水準を維持している。マテリアル生産科学専攻では、62人、63人、61人、63人、61人と高い水準を維持している。また、地球総合工学専攻では24人、26人、30人、27人、16人と推移している。環境・エネルギー工学専攻では17人、20人、18人、16人、8人と推移している。なお、全体では125人、125人、127人、125人、113人と高い水準を維持しており、協力講座・協力領域として十分に機能していると考えられる。

②研究所は、留学生を含む大学院生支援の独自の取り組みとして、「所内奨学金制度」を平成14年度に発足させた。平成20～24年度の奨学金予算額と奨学金支払い状況、受給学生数を表22（評価用資料）にまとめて示す。これらの奨学金予算は、企業、個人から研究所への寄附によりまかなわれている。

総支給額は平成20年度5,995千円、平成21年度6,180千円、平成22年度7,050千円、平成23年度7,007千円、平成24年度5,472千円と高い水準にあり、特に第II期中期計画が始まった平成22年度にはその増加率は前年比14%増の高い伸びを示しており、本制度は順調に維持され留学生を含む大学院生の支援に貢献している。

③接合科学研究所の特徴を活かした主な教育活動として、以下の3点が挙げられる。

- 1) 教養教育に対する本研究所独自の取り組みとして、前期基礎セミナー「ものづくりフロンティアーつよく・やさしく・美しくー」を実施するとともに、後期特別科目として「ものづくりにおける接合の科学と工学」を実施することにより、接合科学の教育を行っている。
- 2) 教育用パーソナルコンピュータに溶接ロボットオフライン・システムを導入し、コンピュータ化された生産技術をバーチャルに体験できる環境を構築した。また、自習教材システム構築の一環として、教育・訓練用の溶接変形シミュレーション・ソフトを開発し、これに関する情報をホームページに公開するとともに、溶接変形に関する学習や設計の支援を目的とした溶接変形データの整備を行っている。
- 3) 国際溶接学会(IIW)国際溶接技術資格は、国際標準化機構(ISO)に準拠した世界で通用するディプロマ資格である。本研究所が有する溶接・接合に関する豊かな教育環境下で高度溶接専門技術者および管理技術者を育成するための教育カリキュラムの在り方について、IIW 国際溶接技術者教育用シラバス、ならびに工学部応用理工学科および工学研究科マテリアル生産科学専攻のそれぞれのシラバスを参考にして検討を行った。その結果、工学研究科マテリアル生産科学専攻の協力の下、平成21年に IIW 規定に準拠した正規のATB(Approved Training Body)として IIW 資格日本認証機構による認定を受けて、「接合科学研究所 国際溶接技術者(IWE)コース」が正式に設置された。これにより、本コース修了者が、別途 IIW が実施する資格試験に合格すれば IIW 国際溶接技術者(IWE)のディプロマ資格を取得できることになった。本コースにおいては、平成21年には7名がコースを修了し、4名が IWE 資格試験に合格してディプロマ資格である IWE を取得した。

IWE 資格と修士学位の両方を取得して大学院を修了したことになり、これは我が国で初めての事例となった。平成22年には8名がコース修了、6名が資格試験合格、平成23年度には、15名がコース修了、13名が資格試験合格、平成24年度には、17名がコース修了、17名が資格試験に合格している。特に、平成24年度については、本コース修了者全員が資格試験に合格してディプロマ資格を取得したことになる。世界的にみれば、本資格試験の合格率は20～30%程度であり、本コース修了者のずば抜けた合格率に世界中が注目している。本研究所の充実した教育環境の下で得られた成果である。

・外部評価結果

以上の「教育」に関する外部評価結果では、国内および海外評価委員による評価点として、いずれも4.4ポイントであり、その他の評価項目と比べて低い評価になった。主に評価される点としては、協力講座としての学生の受け入れや IWE コースの修了生を数多く輩出することにより、人材育成に大きく貢献している点が挙げられた。一方、改善が望まれる点としては、研究所内の学生間交流の機会を増やすことや、博士後期課程の充足率向上に対する継続的な努力を望む点などが挙げられた。加えて、外部評価結果のまとめとして、教育の観点において、大学の附置研究所の立場として人材育成の役割は必須であり、研究所のOB・OGのデータを整理するなど、研究所の人材育成の取り組みと成果を見える形で表現すべき、との指摘をいただいた。

・改善策とその進捗状況

これらの外部評価結果を踏まえ、研究所内の事務部と連携を図りながら研究所の卒業生ならびに教職員等OB・OGのネットワークを構築するための準備を開始し、平成25年度にOB・OG名簿を完成した。今後、これを活用して、様々な業界で活躍している研究所のOB・OGとの交流を促進し、研究所の人材育成事業としての大きなPRに繋げたい。一方、博士後期課程の充足率向上に関しては、上述のOB・OGとの交流を通じて、社会人学生の勧誘を実施することに加えて、現役の博士前期課程学生に対しては、各教員がより魅力的な研究に取り込む努力を継続することはもとより、JSPS 特別研究員の資格取得や所内奨学金制度などを通じて、経済面での支援を強化する予定である。また、研究所内の学生間交流については、毎年度7月に JWRI フェスタ（ジュライフェスタ）を開催しており、各研究室の学生が中心になって企画・運営を行い、学生間だけに留まらず、教職員との交流も行われている。今後、より一層の充実を図りたい。

3. 4 社会貢献

3. 4. 1 学会・産業界などへの貢献

(1) 学会への貢献

平成20～24年度に教員が国内外での学会等役員として参画した件数を表23（評価用資料）に示す。教員一人あたりの参画件数は10件を超えている。

(2) 産業界への貢献

①本研究所は平成20～23年度に二つの産学連携に関する研究会を組織した。それぞれの

研究会の活動概要と参加機関数を表24（評価用資料）に示す。参加機関数は毎年度延べ約40社に達した。また、産業界からの研究資金の獲得状況を表25（評価用資料）に示す。研究資金の総額は、平成21年度に我が国の経済事情の悪化を反映して減少したものの、平成22年度以降は増加傾向にあり、平成24年度の総額は300,000千円を超えた。第Ⅱ期中期計画期間に入ってから、特に共同研究費（対等の立場で共通の課題について共同で研究する制度）が急増しており、平成23～24年度は共同研究費だけで200,000千円を超えた。共同研究部門については、表10（評価用資料）に説明したように、第Ⅱ期中期計画期間に入ってから、新たに2部門を受け入れている（計3部門）。さらに、表20（評価用資料）で説明したように、教員一人当たりの特許出願・取得件数が年間約1件以上であるだけでなく、取得した特許が実用化に結びついた例も多数ある。

②株式会社神戸製鋼所と連携推進協定を平成15年10月に締結し、これを基盤とした共同研究を、毎年度推進している。

③JFEスチール株式会社と連携推進協定を平成20年10月に締結し、これを基盤とした共同研究を、毎年度推進している。

④平成17年5月に立ち上げた「産学連携研究会」の経費の一部を充当して、平成18年2月に建設した連携研究棟（床面積600㎡）を利用して、産学連携研究会に関わる研究を推進している。また、この研究棟は、共同研究部門ならびに第Ⅱ期中期計画期間よりスタートした6大学連携プロジェクトなどの推進にも幅広く活用されている。

⑤教員の企業への兼業状況を表26（評価用資料）に示す。兼業による社会貢献も活発である。

⑥産業界に向けた研究成果の普及の場として、平成16年度から毎年1回、「産学連携シンポジウム」を開催しており、毎年80名以上が参加している（評価用資料表27）。

（3）学術講演会、研究集会

本研究所は、全国の研究者と溶接・接合に関する研究及び情報交換、ならびに優れた研究者との学術交流のため溶接・接合に関するシンポジウム形式の講演会である研究集会、溶接・接合に関する著名な研究者による特別講演会、接合科学共同利用・共同研究拠点の研究成果を発表する共同研究成果発表会を実施している。また、産業界に向けた研究成果の普及の場として、産学連携シンポジウムを開催している。これらの発表会の開催状況と参加者の一覧を、表27（評価用資料）に示す。これらの企画には、毎年延べ600名以上が参加しており、接合科学共同利用・共同研究拠点に関する研究員を含め、全国の溶接・接合に関わる研究者、技術者等のネットワーク形成に貢献している。

・外部評価結果

以上の「学会・産業界などへの貢献」に関する外部評価結果では、国内および海外評価委員による評価点として、それぞれ4.6および4.5ポイントであり、高い評価を受けた。主に評価される点としては、「学会への十分な貢献」、「社会への情報発信としての研究集会や

共同利用研究発表会等の開催」、「産学連携研究などの適切な実施」などが挙げられた。

一方、主に改善が望まれる点としては、「産学連携の強化手段として、共同研究や産学連携研究会への参画の他にも、溶接接合・生産技術の課題解決をサポートする組織・仕組みづくり」が挙げられた。

・改善策とその進捗状況

これらの外部評価結果を踏まえ、「産学連携シンポジウム（大阪開催）」や「大阪大学接合科学研究所 東京セミナー（東京開催）」等の充実をより一層図るとともに、産学連携室を窓口として産業界の様々なニーズに応えられるように努める。

3. 4. 2 国際貢献

本研究所は、諸外国の大学、研究機関と積極的に溶接・接合科学に関する国際学術交流を推進している。平成20～24年度における海外からの留学生、ならびに研究員の受け入れ状況を、表28（評価用資料）に示す。また、本研究所が国際学術交流協定を締結している大学・研究機関の数もあわせて示す。平成22年度以降、15人以上の外国人招へい研究員および20人以上の外国人研究留学生をコンスタントに受け入れている。

協定大学・研究機関は平成20年度から年々増加し、平成24年度には41機関に達した。平成22年度には協定大学を中心に若手研究者4名（清華大学、北京工業大学、パナマ工科大学、重慶大学）を招き国際共同研究を実施し、また平成23年度には協定大学とのジョイント・ワークショップを3回開催した。

平成20～24年度の主な国際会議開催状況を参加者数と合わせて、表29（評価用資料）に示す。国立大学法人化後は、中期計画に記載されている毎年度1回の開催目標を上回る2回以上の国際会議を主催しており、外国人参加者の割合も高い。なお、この中には協定大学・研究機関とのジョイント・ワークショップも含まれる。国際会議においては、若手研究者等の研究成果の公表機会を積極的に提供するとともに、溶接・接合科学に関する情報交換、国際交流の場を提供できるように努めている。このような国際連携を基盤として、活発な国際共同研究展開が行われた結果、表19（評価用資料）において説明したように、毎年度50件以上(全査読付論文数の1/3以上)の査読付論文が、外国人との共著として発表されている。

本研究所の教員は海外での教育、技術指導も積極的に行っている。村川英一教授は協定大学である中国の清華大学（平成21年度）とハルピン工業大学（平成22年度）の招へいにより、大学院性を対象とした集中講義（数値溶接力学）を実施した。また、田中学教授は国際協力機構（JICA）との連携により、「溶接技術向上プロジェクト」に参画し、インドネシア溶接技術者に対して技術指導を行った。さらに、平成21年度には田中学教授が中国・山東大学から博士共同指導教授の称号を、また内藤牧男教授と桐原聡秀准教授が中国・上海交通大学から招へい教授の称号を、平成22年度には内藤牧男教授が米国セラミックス学会からフェローの称号を、平成23年度には中田一博教授が協定大学である中国・西安交通大学から客座教授の称号を、小溝裕一教授が協定大学である中国・東北大学から招へい教授の称号を授与されるなど、国際貢献への役割を果たしている。

・外部評価結果

以上の「国際貢献」に関する外部評価結果では、国内および海外評価委員による評価点は

それぞれ4.5および4.3ポイントであり、高い評価を受けた。主に評価される点としては、「活発な国際活動・国際交流」、「国際会議、ワークショップの定期的な開催」などが挙げられた。一方、主に改善が望まれる点としては、「研究活動の活発さに比較して、外国人研究者の受け入れが少ない分野がある。」が挙げられた。また、海外評価委員から頂戴したコメントは次のように取り纏められた。すなわち、本研究所は、明確な使命を持ち、接合科学の分野における世界的中核拠点として国際的に広く認知された研究所である。本研究所は、国際溶接学会 IIW の中でも最も活発に活動している機関の一つである。今後、より強固な国際研究拠点として発展するためには、外国人研究者や博士後期課程の大学院生の受け入れを増やすことが強く望まれる。その一つとして、研究所内での使用言語を英語に変えていくことが大きなアドバンテージになるものと考えられる。ヨーロッパやアジアの主要な大学では英語を使用する傾向が強くなっており、そうすることにより、外国人研究者や留学生が集まりやすくなっている。

・改善策とその進捗状況

本研究所は、平成24年度より、本学戦略的経費「東アジア接合研究連携拠点ネットワーク形成事業」をスタートさせた。本学のバンコク教育研究センターを活用しながら、アジア各国の大学・研究機関との学術交流協定の締結を推進するとともに、外国人研究者の受け入れも行い、より活発な国際共同研究等を実施している。加えて、本学言語文化研究科・工学研究科等と連携し、「広域アジアものづくり技術・人材高度化拠点形成事業－カップリング・インターンシップによる実践型グローバル人材育成－」プロジェクトを文部科学省に提案した結果、平成25年度のスタートで採択された。アジアを中心に、世界から優秀な学生や研究者を集め、文理融合による高度な専門性と調和的多様性を有する実践型国際人材育成を行い、世界で活躍できる研究者・技術者の人材育成に努めている。

今後は、外部評価結果を踏まえ、このような国際ネットワーク形成事業の推進により、「より活きた国際貢献」を行っていく予定である。

3. 5 共同利用・共同研究拠点

本研究所は全国共同利用研究所として、溶接・接合に関わる多くの共同研究員を、全国の国公立大学、公立研究機関、工業高等専門学校などから受け入れ、共同研究を推進してきた。平成20年7月に文部科学省が学校教育法施行規則を改正し、国公立大学を通じた新しいシステムとして共同利用・共同研究拠点の認定制度を設けたことを受けて、本研究所は国内外の研究者コミュニティ（国際溶接学会、溶接学会、日本溶接協会、日本金属学会、日本鉄鋼協会、軽金属溶接構造協会、粉体工学会、日本セラミックス協会、粉体粉末冶金協会）からの強い要望に基づいて、拠点認定申請を行った。その結果、平成21年度に「接合科学共同利用・共同研究拠点」として認定されるに至り、第II期中期計画期間（平成22年度～平成27年度）に合わせて、全国共同利用研究所から接合科学共同利用・共同研究拠点としての新たなスタートをきった。平成22年度以降、接合科学共同利用・共同研究拠点としてさらに多くの共同研究員を受け入れるとともに、共同研究成果の発表や研究集会等を通じ、溶接・接合に関する研究者コミュニティの研究および人材育成のための中核拠点としての役割を果たしている。

3. 5. 1 運営および活動

毎年、全国の国公立大学、公立研究機関、工業高等専門学校などから、溶接・接合に関わる共同研究員を公募している。応募資格は、国内の大学又はその他研究機関の研究者で、接合科学に関係する研究に従事している方であり、大学院生を含んでいる。応募者は教員会議での審議に基づいて、共同研究運営委員会が共同研究員としての採択を行う。なお、この共同研究運営委員会は、国立大学法人の教授、産業界の有識者および学識経験者等で構成されている。

接合科学共同利用・共同研究拠点の公募には、一般公募研究課題と先導的重点課題の2種類を用意している。一般公募研究課題は従来型の公募課題であり、本研究所の各研究分野の研究課題に対して参加する共同研究員を募集するものである。先導的重点課題は総合的な観点から特定の研究課題に取り組むものであり、多様な学術領域との連携を通じて、接合科学共同利用・共同研究拠点の発展に資することを目的としている。この先導的重点課題は、本研究所の共同利用・共同研究企画委員会が所員からの応募を審議し、教授会の承認を経て決定される。また、先導的重点課題を以下の三つのカテゴリーに分けて推進している。

役割分担型：特定の研究課題を想定し、その課題に対して独自のアプローチ方法(アイデア)を持ち寄り、新しい研究領域の構築やその高度化をおこなう。

フィージビリティスタディ(FS)型：主に研究集会やシンポジウムなどの開催を通じて多様な学術領域との連携を行い、新しい研究課題や研究領域の創出の可能性やその方向性の検証をおこなう。

その他：自由な発想に基づく提案

平成22年度は、初めての先導的重点課題として、「直接観察ならびにシミュレーションによる溶接・接合機構の可視化とその展開(新規：役割分担型)を公募・実施した。平成23年度には「直接観察ならびにシミュレーションによる溶接・接合機構の可視化とその展開(継続：役割分担型)」、「摩擦発熱現象を利用した低温プロセスによる接合/改質技術の高度化(新規：役割分担型)」、「異質相界面制御を基盤としたスマート可逆接合プロセスの確立(新規：FS型)」を公募・実施した。平成24年度には「直接観察ならびにシミュレーションによる溶接・接合機構の可視化とその展開(継続：役割分担型)」、「摩擦発熱現象を利用した低温プロセスによる接合/改質技術の高度化(継続：役割分担型)」、「可逆的な接合ならびに被覆技術の開発(新規：役割分担型)」を公募・実施した。また、平成25年度に向けて、「摩擦発熱現象を利用した低温プロセスによる接合/改質技術の高度化(継続：役割分担型)」、「可逆的な接合ならびに被覆技術の開発(継続：役割分担型)」、「異種材料接合におけるマルチスケール界面の科学と物性(新規：役割分担型)」を公募した。

平成23年度に、共同利用・共同研究企画委員会での審議を経て、「接合科学共同利用・共同研究賞」を設立し、平成24年度より優れた共同研究成果を創出した研究課題を表彰している。

表30(評価用資料)に、平成20～24年度の共同研究員の受け入れ状況を示す。国公立大学を中心に公的研究機関や工業高等専門学校など、全国から幅広く共同研究員を受け入れている。接合科学共同利用・共同研究拠点としてスタートした平成22年以降、一般公

募研究課題と先導的重点課題を合わせて、全国から共同利用・共同研究者を募集した結果、共同研究員の受け入れ人数は200名以上と高い水準を維持し、平成21年度（全国共同利用研究所）に比べて約20%以上の増加となっている。共同研究員は、研究所に一定期間滞在し、共同研究を実施している。このため、大学キャンパス内に共同研究員専用の宿泊所を有している。

共同研究員への研究活動支援として、平成22年度に接合界面微細構造解析室を設置するなど、設備・機器の拡充も積極的に進めている。また、平成22年度には、実験機器名と外観写真のリストをホームページ上で閲覧できるシステムの基盤整備も進めた。さらに、共同利用・共同研究の運営・支援のさらなる向上を目指し、技術専門職員及び技術補佐員の自らの技能向上のための自主的な講習会・研修等への積極的な参加を推奨している。

共同研究成果は年度ごとに研究成果報告書としてまとめられ、また毎年度の秋に本研究所にて実施している共同研究成果発表会で一般に公開される。平成22年度および平成24年度には、本研究所が主催した国際会議（Visual-JW2010 および Visual-JW2012）と共催して、英語による共同研究成果発表会を実施し、接合科学共同利用・共同研究拠点の国際化の一環として世界に向けた情報発信を行っている。さらに、平成22年度以降毎年、「大阪大学接合科学研究所 東京セミナー」を溶接学会と共催し、接合科学共同利用・共同研究拠点で得られた成果を溶接・接合分野の研究者コミュニティに対して東京から幅広く発信している。

共同研究員との共著論文数（査読付学術論文、国際会議発表論文、欧文紀要、解説・総説）を表31（評価用資料）に示す。査読付学術論文を中心として毎年ほぼコンスタントに共同発表がなされており、教員一人当たりの共著論文数は毎年約2件である。

・外部評価結果

「接合科学共同利用・共同研究拠点」に対し、文部科学省（科学技術・学術審議会 学術分科会 研究環境基盤部会 共同利用・共同研究拠点に関する作業部会）が平成25年度に実施した中間評価において、「総合評価A」を受けた。拠点としての活動は概ね順調に行われており、今後、共同利用・共同研究を通じた成果や効果が期待され、関連コミュニティへ貢献していると判断された。主に評価された点は、「共同利用・共同研究拠点として、溶接と接合という工学的視点から国内外の研究者と活発な共同研究や研究交流が行われており、研究者コミュニティの発展に貢献している点」である。一方、「今後は、共同利用・共同研究への参加に関する情報提供や一般向けの公開講座等を通じた広報活動の充実が望まれる。」との指摘を受けた。

他方、「共同利用・共同研究拠点の運用および活動」に関する外部評価結果では、国内および海外評価委員による評価点はそれぞれ4.8および4.6ポイントであり、高い評価を受けた。主に評価された点は、「活発な共同研究の実施」、「先導的研究課題を取り上げるなどの適切な運営」、「地方大学・公的研究機関からの共同利用者の高い評価」などであった。

・改善策とその進捗状況

「産学連携シンポジウム（大阪開催）」や「大阪大学接合科学研究所 東京セミナー（東京開催）」を開催し、一般向けの公開講座等の企画・運営に努力している。加えて、文部科学省による本拠点中間評価の指摘を受けて、近隣の高等学校（大阪府立豊中高等学校）と連携して、高校生を対象とした接合科学に関するファーストコンタクト・セミナーを平成26年3月に開始する。今後も近隣の小中学校や高等学校と連携しながら、一般向けの公開講座等の

開催を企画する予定である。また、(一社)日本溶接協会との協力によって、動画を効果的に活用した紙芝居型デジタル教材「浪速博士の溶接がってん!」を制作し、インターネット上で公開するなど、ネット媒体を利用した情報提供も行っている。今後も、一般向けの広報活動の充実を図っていく予定である。

3. 5. 2 コミュニティへの貢献

接合科学共同利用・共同研究拠点の特徴は、従来の一般公募研究課題に加えて、本研究所が重点的に取り組むプロジェクト型の公募研究課題(先導的重点課題)の推進である。本研究制度は、先導的重点課題に対して複数の共同研究員と研究所教員がチームとして参加することにより、総合的な観点から特定の研究課題に取り組むものであり、多様な学術領域との連携を通じて、新たな研究ネットワークの構築、新研究分野の創出を目指している。表30(評価用資料)に示したように、平成22年度は23名、平成23年度は40名、平成24年度は44名の共同研究員が先導的重点課題に取り組んでおり、これらの共同研究活動は将来の接合科学をリーディングする研究者コミュニティの形成につながるものと期待される。

また、接合科学共同利用・共同研究拠点は人材育成のための中核拠点としての役割も果たしている。共同研究員として受け入れた大学院生の割合は、表32(評価用資料)に示すように平成22年度~24年度において、全体の約20%である。また、平成20~24年度において、共同研究員としての共同研究成果を基に取得した博士学位の数は10件であった。このように、共同研究を通じた高度な教育・研究指導が行われている。

これらの取り組みの結果、他の研究機関とも連携した新たな国際ネットワークとして、「特異構造金属・無機融合高機能材料開発共同研究プロジェクト拠点」や「国際連携溶接計算科学研究拠点」のプロジェクトを推進している。また、平成22年度より開始した先導的重点課題の共同研究活動は共同研究拠点の国際的発展も目指している。さらに、平成23年度に大阪大学の戦略的経費「東アジア接合研究連携拠点ネットワーク形成事業」が採択され、平成24年度から、本学のバンコク教育研究センターを活用しながら、溶接・接合に関する国際的な活動を推進している。加えて、本学言語文化研究科・工学研究科等と連携し、「広域アジアものづくり技術・人材高度化拠点形成事業-カップリング・インターンシップによる実践型グローバル人材育成-」プロジェクトを文部科学省に提案した結果、平成25年度のスタートで採択された。アジアを中心に、世界から優秀な学生や研究者を集め、文理融合による高度な専門性と調和的多様性を有する実践型国際人材育成を行い、世界で活躍できる研究者・技術者の人材育成に努めている。

以上より、溶接・接合に関する我が国唯一、かつ、学術研究の質量ともに世界第一の研究所として、研究者コミュニティの中核となる溶接・接合に関する拠点形成を着実に進めている。

・外部評価結果

以上の「コミュニティの貢献」に対し、前述したように、文部科学省が平成25年度に実施した共同利用・共同研究拠点の中間評価において高く評価された。また、外部評価結果では、国内および海外評価委員による評価点はそれぞれ4.8および4.5ポイントであり、高い評価を受けた。主に評価される点は、「充実した研究設備の利用機会の提供」、「世界3大拠点としての接合研の存在」、「人材育成面での貢献」などであった。一方、主に改善が望ま

れる点として、「より活きた産学連携コミュニティの形成」が挙げられた。

・ **改善策とその進捗状況**

本研究所では技術相談の窓口として産学連携室を設置するとともに、国際連携溶接計算科学拠点による実習セミナーなどを開催している。今後、「産学連携シンポジウム（大阪開催）」や「大阪大学接合科学研究所 東京セミナー（東京開催）」等の充実を含めて、産学連携コミュニティの形成も視野に入れていく予定である。

4. 分野別自己評価結果

4. 1 エネルギー制御学

年度	平成 2 2	平成 2 3	平成 2 4
教授	田中 学	田中 学	田中 学
准教授	—	—	—
助教	田代 真一	田代 真一	田代 真一

1. 研究概要

本研究分野では、集中性および分散性のエネルギー源の特性とその高度制御、すなわちエネルギー輸送の最適化、さらにはそれらのエネルギー源と材料との相互作用について基礎的研究を行うことにより、高精度・高機能材料加工のための新しいエネルギー制御の手法を探索している。特に、溶接、切断、加熱、高温反応、表面被覆、表面改質、物質合成などにおいて代表的エネルギー源として幅広く応用され、新しく熱プラズマによる材料プロセスという概念を生み出しつつあるアークプラズマの発生、制御および熱輸送現象に関して基礎的検討を加えている。

2. 研究課題

1. 溶接アーク現象、溶融池現象、および溶接輸送現象解析
2. アーク溶接における環境技術の開発
3. 熱プラズマの発生と制御、および新しい溶接プロセスの開発
4. 熱プラズマ材料プロセスの数値計算シミュレーション

3. 研究成果と研究に対する自己評価

(1) 研究成果

1. 溶接アーク現象、溶融池現象、および溶接輸送現象解析

アーク溶接プロセスにおいては、高温となった溶接ワイヤの溶滴や溶融池の表面から発生する多量の金属蒸気の混入によって、電気伝導度等のアークの物性値が著しく変化するため、これがアークの温度低下等を引き起こし、更には母材への入熱を低下させる可能性が考えられる。したがって、アーク溶接プロセスにおける熱輸送現象を正しく理解する為には、金属蒸気が溶接プロセスに及ぼす影響の解明が不可欠となる。

本研究分野では、高速度画像分光法による実験観察と数値解析の両面から本現象の解明に取り組んでいる。実験観察では、ガスメタルアークにおけるアークプラズマの動的な温度分布及び金属蒸気濃度分布を測定し、金属蒸気の影響により、プラズマ中は低温中心部の金属蒸気プラズマ領域と高温周辺部のシールドガスプラズマ領域の二重構造になることが示された。また、数値解析を通じて、金属蒸気が混入することによるプラズマ温度の低下は、プラズマからの放射損失が増大し、金属蒸気が存在する中心部において「放射冷却」が生じることが原因と判明した。

2. アーク溶接における環境技術の開発

アーク溶接プロセスにおいては、ヒュームの発生メカニズム解明とその低減化が重要な課題の一つとされている。本研究では、金属蒸気の混入を考慮に入れて「電極-アークプラズマ-熔融池-母材」を一体化して計算するアーク溶接プロセスの数値シミュレーションモデルと、均一核生成・不均一凝縮・凝集プロセスを考慮したヒューム生成モデルの連成モデルを構築し、アークの運転条件の設定からヒュームの発生・成長に至る一連のプロセスの総合的な数値解析を行い、ヒューム生成メカニズムの理論的な解明を試みている。

本モデルを用いた解析の結果、ヒューム生成が生じる金属蒸気混入プラズマにおいては、低温で不活性ガスプラズマと比較して数桁電子密度が高くなるため、帯電による粒子間の静電気力が凝集過程に影響すること、またこの温度域では電子-ガス粒子間の衝突周波数が低く熱的に非平衡なプラズマとなるため、電子密度ならびに電子温度は局所熱平衡 (LTE) 近似を仮定したものより大幅に高い値となり、これらも帯電を促す要素となり得ることが明らかとなった。さらに、ヒュームの生成過程におけるプラズマ温度と粒子温度の熱的非平衡性についても検討し、溶接アークのように非常に冷却速度の速いプラズマ中においては、粒子温度が周囲のプラズマ温度の変化に追従できずに、プラズマ温度よりも高温となることが示された。

3. 熱プラズマの発生と制御、および新しい溶接プロセスの開発

従来の純アルゴンによるミグ溶接では、完全な不活性雰囲気下で溶接が行われるため、熔融池の表面張力が高く、ぬれの悪い凸型ビード形成が問題となる。これは溶接電流を増加し熔融池の表面温度を上昇させることによって改善されるものの、ワイヤ溶融量も同時に増加するため溶着量過多となる。そこでこの問題点の解決のため、本研究ではワイヤへの給電点を二箇所(コンタクトチップでの第一給電点及びワイヤ先端付近での第二給電点)に分けることにより、溶接電流とワイヤ溶融量の独立制御を可能とした新たな二段給電式ミグ溶接プロセスを開発した。

本プロセスと従来式ミグ溶接プロセスとのビード形成の違いについて基礎的な検討を行った結果、従来式ミグ溶接の場合と比較して、二段給電方式では溶け込みが深くぬれ性が格段に向上し、ビード形成が大幅に改善されることが明らかとなった。二段給電式では従来式と比較して第二電流の分だけ電流値が増加する。両プロセスを比較する際、ワイヤ送給速度、すなわちワイヤ溶融速度を一定としていることから、 $Halm\phi y$ の式より電流値の上昇分だけ溶滴の保有熱量が増加しているものと考えられる。この時の両者の溶滴温度の測定により、二段給電式では溶滴の平均温度が 300 度程度上昇していることが確認されていることから、第二電流は主として溶滴の温度上昇に寄与しており、保有熱量の高い溶滴の移行に伴う熱輸送により、熔融池温度が上昇していることが明らかとなった。

4. 熱プラズマ材料プロセスの数値計算シミュレーション

本研究分野では、様々な熱プラズマ材料プロセスの現象解明のため、数値計算シミュレーションを駆使した解析を行っている。平成 22 年度から平成 24 年度は特に以下の 3 件について解析を行った。

アルミニウムのアーク溶接を行う場合、酸化膜の除去の為に交流ティグ溶接が用いられている。タングステン電極が陽極となる時、陰極点による酸化膜の除去が可能となるが、同時にタングステン電極の温度が上昇し電極損耗が激しくなるため、溶接機構の解明やそれに基

づいた溶接条件の精密な制御が求められる。そこで、陰極点挙動とこれによる酸化膜の除去を考慮した交流アーク溶接の統合数値解析モデルを開発し、アークと電極及び溶融池間の熱輸送現象や酸化膜の除去プロセスについて明らかにした。

溶接施工時のシールド不良によって溶接金属に窒素が混入した場合、ブローホールの発生や溶接金属の靱性低下といった溶接品質の低下が生じる。そこで本研究では、窒素大気中におけるティグ溶接の数値解析モデルを構築し、アークプラズマに混入する窒素の挙動を解析した。数値解析にてアルゴンシールドとヘリウムシールドの比較を行った結果、経験的に知られているヘリウムによるシールド性の低下現象を再現でき、溶接時のシールドガス気流には、電磁ピンチ力によってシールドガスをアーク中央部に引き込むタングステン電極近傍の流れと大気への侵入を遮断するノズル径付近の流れが存在することが明らかとなった。

クリーンミグ(MIG)溶接法の実現手段のひとつとして TIG-MIG 複合溶接法を開発している。本溶接では、純 Ar シールドでも MIG アークの陰極点が不安定化することなく、安定した溶接が可能となる。本研究では TIG-MIG 複合溶接の三次元数値解析モデルを構築し、基本条件におけるアーク現象の諸特性について検討を行った。その結果、アーク反発および温度分布について立体的な挙動を見積もることが可能となり、溶融池流動を考慮した計算結果において、溶込み深さの計算値は、実験値と良く一致した。また、TIG-MIG 電極間で発生する高温のアークプラズマ領域を経由して、TIG 電極から MIG ワイヤ間の直接の電流経路が形成されることが明らかとなった。

(2) 研究に対する自己評価

本研究分野は、溶接・接合を中心とした材料加工プロセスのためのエネルギー制御に焦点を合わせ、特にエネルギー源として世界に浸透しているアーク放電を取り上げ、高精度制御を目指してアークプラズマと材料との相互作用の解明に注力してきた。大気圧アークプラズマと材料との相互作用の解明を実験観察と数値計算シミュレーションの両面から攻める本研究分野の研究アプローチは世界的に見てもユニークであり、また、その研究レベルは、国際溶接学会 (IIW) 年次大会の Study Group 212 (溶接物理研究委員会) においてチェアマンから発表論文を IIW 機関誌「Welding in the World」に 6 年連続で掲載推薦された他、(一社) 溶接学会より溶接アーク物理研究賞を受賞し、世界のトップレベルであると考えている。また、平成 22 年度から平成 24 年度までの 3 年間に雑誌掲載された査読付き論文数は 50 件であり、国立大学法人化後の過去 7 年間の合計が 104 件、平均して毎年 15 件程度の査読付き論文を掲載したことになり、限られた研究員数の中で努力したと考えている。

一方、研究成果の社会への貢献については、平成 22 年度に最終年度を迎え完了した経済産業省による戦略的基盤技術高度化事業「小物部品のバレル式プラズマ浸炭・窒化大量処理システムの開発研究」及び現在も継続中の補完研究をプロジェクト・リーダーとして指揮・指導し、小物部品の低温プラズマ浸炭・窒化大量処理操業システムの開発ならびに木造耐震補強システム構造用ねじの製品化を学術的側面からサポートした。

研究予算については、二人の教員がそれぞれ科学研究費補助金等に採用されるとともに、民間企業との共同研究を幅広く展開し、外部資金の獲得にも積極的に取り組んできたと考えている。

4. 教育に対する自己評価

本研究分野は、世界レベルの研究活動を通じて大学院教育を実施し、溶接・接合に関する

高度な知識と研究推進能力を有する研究者・技術者の育成に努力している。また、国内会議での研究発表はもちろんのこと、国際会議での研究発表も積極的に行わせ、研究成果の総括力と表現力ならびにコミュニケーション力の発現に努力している。

具体的には、大学院生が著者または共著者となった発表件数は、平成 22 年度から平成 24 年度までの 3 年間に、査読付き雑誌論文 30 件、国際会議が 43 件、国内学会が 44 件あり、このうち、優れた研究発表に対して贈られる国内学会のポスター発表賞 2 件を受賞している。

一方、工学研究科マテリアル生産科学専攻の協力講座として大学院講義を担当し、大学院修士学生の座学教育についても努力している。また、学部学生（2 年生，3 年生）の講義も担当し、溶接・接合プロセスに必要な機器システムの専門知識習得に貢献している。

その他、ISO に準拠した IIW 溶接技術者資格認証制度に基づく、大学院修士学生向け教育課程「接合科学研究所国際溶接技術者（IWE）コース」の運営に尽力し、コースの第 2 期生～第 4 期生 40 名の修了、さらに内 36 名の IWE 資格取得に大きく貢献した。

5. 社会貢献に対する自己評価

本研究分野は、国内外を問わず溶接・接合に関わる多くの学協会の運営に関わり、溶接・接合の学術・技術の幅広い振興と普及、ならびに溶接技術者の育成に貢献している。特に、ISO に準拠した IIW 溶接技術者資格認証制度の社会人向け特認コースの国内整備を通じて溶接技術者教育に貢献している。

また、二人の教員ともに、それぞれ平成 22 年 11 月、平成 24 年 11 月及び平成 25 年 11 月に開催された本研究所主催国際シンポジウム「Visual-JW2010」、「Visual-JW2012」及び「IJS-JW2013」の論文委員会委員として開催の準備に貢献した。また、平成 24 年 11 月に本研究所との学術交流協定校である山東大学材料連携技術研究所との二国間ワークショップを開催し、学術交流を推進した。

田中教授は、国際協力機構（JICA）との連携により「溶接技術向上プロジェクト」に参画し、インドネシア工業省に講師として派遣され、インドネシア溶接技術者に対して技術指導を行った。さらに、海外技術者研修協会を通じて経済産業省の海外研修事業に参画し、フィリピン科学技術省に講師として派遣され、フィリピン溶接技術者に対して技術指導を行った。同様に、マレーシアに講師として派遣され、マレーシア溶接技術者に対して技術指導を行い、積極的な国際交流活動を通じて国際貢献を果たした。さらに、平成 23 年 11 月に山東大学を訪問し、平成 22 年度より就任している山東大学（中国，済南市）の博士共同指導教授として山東大学の大学院生に対してアーク溶接物理に関する集中講義を行い、国際的な人材育生に貢献した。また、本学総長裁量経費による「東アジア接合研究連携拠点ネットワーク形成事業」プロジェクトの中心的な役割を果たし、インド工科大学ハイデラバード校、国立インド研究所、モンクット王ノースバンコク工科大学、インドネシア大学など、アジア各国地域を訪問して学術交流協定の締結を行い、溶接・接合分野における研究者コミュニティのネットワーク拡大に貢献した。平成 24 年 9 月に（一社）溶接学会主催で行われた「日中韓/溶接・接合技術シンポジウム The 2nd EAST-WJ」の Secretary General として事務局を一手に引き受け、シンポジウムの成功、ならびに政治的に厳しい局面であった日中韓三カ国の学術交流の実現に大きく貢献した。さらに、平成 24 年 10 月には（一社）軽金属溶接協会創立 50 周年記念式典において記念講演を行い、溶接技術の変遷・現状と今後の展望について、広く研究者コミュニティへ発信した。その他、田中教授は経済産業省近畿経済産業局の各種委員に就任し、国のものづくり基盤技術の高度化施策に貢献している。

一方，田代助教は溶接学会若手会員の会運営委員会委員およびプラズマ・核融合学会編集委員会主査として活動し，当該分野の活性化に貢献した。

6. 接合科学共同利用・共同研究拠点に関する研究成果に対する自己評価

本研究分野では，平成 22 年度から平成 24 年度までの 3 年間に，他の研究機関より 22 名の共同研究員を迎えて共同研究を実施した。共同研究員との共著として，雑誌掲載された査読付き論文が 6 件，国内学会が 5 件あり，共同研究成果の積極的な公表に努めている。また，他大学から大学院生 9 名を共同研究員として受け入れ，全国共同利用による共同研究を通じて人材育成にも貢献した。

4. 2 エネルギー変換機構学

年度	平成 2 2	平成 2 3	平成 2 4
教授	節原 裕一	節原 裕一	節原 裕一
准教授	—	—	—
助教	竹中 弘祐	竹中 弘祐	竹中 弘祐

1. 研究概要

本研究分野では、材料加工プロセスにおける加工エネルギー源（プラズマ、粒子ビーム）と材料との相互作用機序ならびにエネルギー変換付与機構を基軸に据えて、材料表界面の高機能化と高度制御に向けた基礎学理を追求するとともに、先進的な加工エネルギー源ならびにプロセス制御法の創成と診断評価を通じて、接合科学の高度化に資する基礎研究および応用技術開発ならびに人材育成を行っている。特に、接合科学の高度化に資する基礎研究を通じて、次世代の科学・技術フロンティアを支える先進的表面加工プロセスの創成を目指し、1) 加工エネルギー源と材料との相互作用に関する機構解明を通じて、2) エネルギー変換・付与過程に着目した先進的材料加工プロセスの研究開発に加えて、3) プロセスの高精度制御に有効な新しい加工エネルギー源の開発と応用に関する研究を展開している。

具体的には、平面ディスプレイや薄膜太陽電池をはじめとする大面積プロセスへの応用に向けて、独自のプラズマ生成制御技術を活用したメートル級の超大面積・超長尺プラズマの生成とプロセス制御に加えて、低温かつ低ダメージでの高品位プロセスの実現と先進的な表界面制御プロセスの研究開発を推進している。

大型の研究プロジェクトでは、「戦略的創造研究推進事業 CREST（科学技術振興機構）平成 19～23 年度」に採択され、コンビナトリアルプラズマ解析装置を開発し、プラズマナノ科学の基盤構築とプロセスナビゲーション技術の創成に関する研究を実施した。さらに、科学研究費助成事業（科学研究費補助金）新学術領域研究（研究領域提案型）『プラズマ医療科学の創成』（平成 24 年度～）では、領域申請事務局ならびに計画研究の代表者として参画し、放電の高度時空間制御ならびに生体分子との相互作用の解明に基づく系統的研究により、生体適合性に優れた革新的医療用プラズマ源の開拓に向けた研究を展開している。

これらの一見多岐に亘る研究内容に共通するテーマは、「プロセスの低温化と高品位化」であり、熱平衡状態では高温を要する材料プロセスを低温の基材上で実現するための新しいエネルギー供給技術と制御手法の開拓に集約される。

2. 研究課題

1. 新しいプラズマ源、粒子ビーム源の開発と高度プロセス制御の研究
2. 大面積・低ダメージ・高密度プラズマ源の開発とナノ構造制御プラズマプロセスの研究
3. プラズマ-材料相互作用の解明と高度プロセス制御技術の開発
4. 無機/有機ハイブリッドデバイス創製に向けたプラズマソフトマテリアルプロセス科学の創成と先進的グリーンナノテクノロジーの開発
5. 非平衡なエネルギー変換・付与過程に着目した先進的ナノプロセスの開発
6. 生体適合性に優れた革新的医療用プラズマ源の開拓

3. 研究成果と研究に対する自己評価

(1) 研究成果

1. 低インダクタンスアンテナを用いた長尺基板対応ハイブリッド製膜技術の開発

平面ディスプレイや薄膜太陽電池をはじめとする大面積のエレクトロニクス分野でのメートルサイズを超える大面積での高速加工プロセス（製膜、エッチング、クリーニング）に加えて、ウェハープロセスの大口径化に向けて、従来のプロセス用プラズマの大面積化で避けられなかった不均一性（定在波）とプラズマダメージの問題（静電結合）を原理的に解決するため、インダクタンスを低減した独創的な構造の高周波誘導結合アンテナを用いたマルチアンテナ方式によるプラズマ生成制御技術を開発してきた。特に、新しいスパッタ製膜技術の開拓を目指して、スパッタ放電にマルチアンテナ方式の長尺かつ高密度の高周波誘導結合プラズマを重畳したハイブリッド製膜技術を開発した。

プラズマ流体シミュレーションによる数値解析をもとに、放電プラズマの分布制御性に関する詳細な検討を行い、アンテナ配置ならびに高周波電力分布の制御により、プラズマ密度分布の均一化と分布制御に向けた有効な手法を明らかにした。

開発したプラズマ支援スパッタ製膜系を用いて、シリコン薄膜形成に関する詳細な検討を行い、スパッタ粒子の運動エネルギーのみでは結晶化が困難であることを示すと共に、原子状水素による反応性プロセスと低ダメージの製膜プロセスにより、室温からの低温製膜でシリコン薄膜の結晶化に有効な手法を開発した。また、マルチアンテナに供給する高周波電力分布により、長尺方向の製膜速度の均一性の制御が可能であることを実証した。加えて、プラズマ支援プロセスによるスパッタプロセスの高効率化により、プラズマCVD製膜技術に匹敵する高速製膜を実現可能であることを示した。

尚、本研究の一部は、株式会社イー・エム・ディーとの共同による科学技術振興機構・研究成果最適展開支援事業本格研究開発 A-STEP 実用化挑戦タイプ（中小・ベンチャー開発）ならびに研究成果最適展開支援事業本格研究開発 A-STEP ハイリスク挑戦タイプ「超長尺基板対応大面積プラズマスパッタシステムの開発」の支援を受けて実施したものである。

2. 高密度プラズマ反応制御による酸化物半導体薄膜の低温・高品質形成法の開発

透明酸化物半導体 InGaZnOx (IGZO) は、高速動作が可能な薄膜トランジスタ (thin film transistor: TFT) 材料として期待されているが、現状の製造プロセスでは高温のアニールプロセスが不可欠であるためガラス上でのデバイス製造に限られており、次世代におけるフレキシブルデバイスをはじめ有機材料等の広範な基材上でのデバイス創成に向けて、高移動度の薄膜トランジスタを低温で形成するための新たなプロセス技術の開発が不可欠である。

そこで、本研究では、プラズマ支援スパッタ製膜における反応過程解明と製膜プロセス制御法の開発に主眼をおいて研究を推進し、低温製膜プロセスに向けた検討を行った。まず、プラズマ支援スパッタ製膜における反応過程について検討を行い、スパッタ製膜における反応性の制御により、トランジスタとして動作するプロセスウィンドウの広域化が可能であることを明らかにした。さらに、製膜プロセスの低温化に向けて、プラズマパラメータ制御により酸化物半導体薄膜の導電性制御が可能であることを示し、今後のさらなるプラズマパラメータ制御により、新しい低温製膜プロセスの開発に繋がることを期待される。

尚、本研究は、主に科学研究費助成事業（科学研究費補助金）基盤研究（B）の支援を受けて実施したものである。

3. フレキシブルデバイス創製に向けた低ダメージ界面制御プロセス技術の開発

フレキシブルエレクトロニクス【軽量かつ柔軟な基材上に形成されたエレクトロニクスデバイス】は、電子ペーパー、ディスプレイ、高効率の太陽電池、さらにはバイオチップならびに医療用デバイスをはじめとする電子デバイスの多機能化と共に軽量化ならびに低コスト化にも資する技術として将来性が注目されている。特に、無機/有機ハイブリッド構造の形成プロセスでは、1) 有機材料の分子構造を損なうことなく無機材料を形成することが肝要であるため、2) 無機/有機界面ナノ領域におけるプロセスダメージに関する知見を蓄積し、3) 低ダメージかつ低温でのプロセスを構築していくことが極めて重要である。

このため、本研究では、プラズマを用いて反応の活性化をはかることにより、低温の状態で有機材料上に無機の機能材を形成するためのプラズマプロセス技術を開発することを目的に、無機/有機界面ナノ領域における分子構造（化学的結合状態）に与えるプロセスダメージに関する研究を行ってきた。特に、プラズマを用いた無機/有機積層におけるプロセス損傷の問題を、独自のプラズマ制御技術により克服することでブレイクスルーし、『ソフトなプラズマプロセス』に基づく新しい積層技術を開発することを目的としている。

まず、有機半導体での機能発現において重要な π 共役分子（フェニル基）に着目して表面ナノ領域での化学結合状態をX線光電子分光法により調べ、照射イオンエネルギーを6eVよりも低く抑制することで、プロセスダメージを低減することが可能であることを示した。

さらに、プラズマプロセスにおける荷電粒子・ラジカル・光による複合的な損傷生成過程を解明するため、プラズマからの発光と荷電粒子、ラジカルとを分離照射する実験を行い、プラズマからの発光（真空紫外～紫外域）については、表面での光化学反応による複合反応による官能基付与が認められた。加えて、イオン衝撃については、イオンエネルギーを制御することにより損傷形成を顕著に抑制可能であることに加えて、低エネルギーでの反応性エッチングでは、損傷を顕著に抑制したプロセスが可能であることを示した。

以上の成果を踏まえ、プラズマ支援堆積技術の最適化を目指し、有機半導体薄膜の上に積層した無機ナノ薄膜に酸素含有プラズマを照射する実験を行い、照射イオンエネルギーの制御により界面ナノ領域でのダメージ抑制が可能であることを示し、無機/有機積層に適用可能な新しい低ダメージプロセス技術として、今後の発展が期待される。

尚、研究成果の一部は、科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）挑戦的萌芽研究の支援を受けて実施したものであり、大阪大学グローバル COE プログラム「構造・機能先進材料デザイン教育研究拠点」の支援を受け、成均館大学（韓国）の Prof. Jeon G. Han 教授の研究グループとの共同研究としても実施したものである。さらに、本研究での HXPES 測定は、高輝度光科学研究センター（SPring-8）における長期利用課題としても実施したものである。

4. デスクトップ型コンビナトリアルプラズマ解析装置の開発

本研究は、名古屋大学・堀 勝 教授ならびに九州大学・白谷 正治 教授と共同して立案申請し、平成19年度に採択された「戦略的創造研究推進事業 CREST（科学技術振興機構）平成19～23年度」の一環として実施したものである。本研究では、デスクトップ型コンビナトリアルプラズマ解析装置（基板ホルダー上でプラズマ密度の傾斜分布を形成し、試料を多数配置することで複数のプラズマ照射条件を一括して調べることが可能な装置）を開発し、本装置を活用することでプラズマナノ科学の基盤を構築するとともに、プロセスナビゲーション技術を創成することを目的としている。さらに、本研究では、有機・無機ハイブリッド

製膜技術へ適用することで、革新的プラズマナノ加工基盤技術の確立を目指している。

初年度に開発したコンビナトリアルプラズマ解析装置を用いて、プラズマ照射が有機材料ナノ表面領域の化学結合状態に及ぼす影響と酸化物ナノ薄膜の化学状態の変化を調べ、当該解析装置の有効性を明らかにした。さらに、プラズマとソフト材料との相互作用の解明に資するため、コンビナトリアルプラズマ解析装置を用いて、プラズマ照射が有機材料ナノ表面領域の化学結合状態に及ぼす影響と酸化物ナノ薄膜の化学状態の変化を明らかにした。

5. 高度時空間制御による生体適合放電生成の基盤確立と革新的医療プラズマ源の創成

本研究は、領域申請時の事務局として立案にも参画し、平成24年度に採択された科学研究費助成事業（科学研究費補助金）新学術領域研究（研究領域提案型）『プラズマ医療科学の創成』（領域代表者：名古屋大学教授・堀 勝）」の計画研究として実施しているものである。本研究では、プラズマ生成・制御ならびに相互作用に関する研究成果を礎に、放電制御と気相活性粒子計測に基づく研究により、生体適合性と時空間制御性に優れた放電生成の基盤確立を通じて、革新的な医療用プラズマ源を開発することを目的としており、以下の課題を設定して、東京大学の研究グループを共同研究者として加え、研究を推進している。[1] 生体高分子との相互作用解明、[2] 放電構造・活性種分布の時空間計測・評価、[3] 放電励起の高度時空間制御による生体適合放電の基盤確立、[4] 革新的医療プラズマ源の開発。

初年度に当たる平成24年度は、生体高分子との相互作用解明ならびに放電励起の高度時空間制御について研究を実施した。まず、生体高分子との相互作用解明について、プラズマを直接照射した場合と荷電粒子・ラジカル・光を分離して照射した場合について、分子損傷の観点から分析を行い、アミノ酸に対する分子損傷を生じる効果は、荷電粒子>真空紫外光>紫外光~ラジカルの順に顕著となることを明らかにした。さらに、高電圧（直流、パルス）ならびに高周波を印加した際の放電開始電圧に着目して、放電ガスの流れと励起周波数に対する依存性に関する実験と共に、流体シミュレーションによる解析と比較検討を行い、放電ガスの流れと励起周波数の制御が放電開始電圧の低減に有効であることを示した。

6. ミストプラズマCVDプロセスによる酸化物透明導電膜形成プロセスの開発

酸化物透明導電膜の低温形成プロセスの開発を目指して、高周波誘導結合による高圧力領域での高密度プラズマを利用したミストプラズマCVD技術の開発を進めてきた。特に、これまでに開発を行ってきた気相へのミスト供給系を用いて、ミストプラズマCVD技術の開発と改良により、良好な酸化物透明導電膜の形成には、プラズマ気相へのミスト供給系の最適化とプラズマの高密度化が有効であることを示した。さらに、プラズマ気相でのプラズマの高密度化により、良好な酸化物透明導電膜を低温で形成可能であることを示した。

尚、本研究の一部は、金属ガラス・無機材料接合技術開発拠点ならびに科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）若手研究(B)の支援を受けて実施したものである。

(2) 研究に対する自己評価

①研究の独自性 本研究分野は、材料加工プロセスにおける加工エネルギー源（プラズマ、粒子ビーム）と材料との相互作用機序ならびにエネルギー変換付与機構を基軸に据えて、材料表界面の高機能化と高度制御に向けた基礎学理を追求するとともに、先進的な加工エネルギー源ならびにプロセス制御法の創成と診断評価を通じて、接合科学の高度化に資する基礎研究および応用技術開発ならびに人材育成を行っている。

特に、接合科学の高度化に資する基礎研究を通じて、次世代の科学・技術フロンティアを支える先進的表面加工プロセスの創成を目指し、1) 加工エネルギー源と材料との相互作用に関する機構解明の研究を通じて、2) 材料へのエネルギー変換・付与過程に着目した先進的材料加工プロセスの研究開発に加えて、3) プロセスの高精度制御に有効な新しい加工エネルギー源の開発と応用に関する研究を展開している。

本研究分野でのアプローチは、既製の従来装置を用いた材料開発あるいはプロセス開発ではなく、独創的な加工エネルギー源の生成・制御技術を基に、プロセスを決定する本質である粒子種ならびにエネルギー状態に基づく高度なプロセス制御法の開発に加えて、新規な材料開発に主眼を置いており、独自性を有すると考えている。さらに、装置で決まる従来プロセスでの境界条件（限界）を打破し、従来装置では実現できないプロセス条件や新たな制御性を究明することを志向しており、意義があるものと考えている。

特に、内外において従来提案されていないオリジナリティーを重視した研究アプローチを採っており、先述のように成果を上げてきている。さらに、独自の高品位プラズマの生成・制御技術に関する研究では、従来よりも格段にダメージを低減したプロセスを実現するとともに、名古屋大学の堀教授らと共同で申請した「戦略的創造研究推進事業 CREST（科学技術振興機構）」を実施し、当該研究の独自性を反映した結果が得られている。加えて、科学研究費助成事業（科学研究費補助金）新学術領域研究（研究領域提案型）『プラズマ医療科学の創成』では、放電の高度時空間制御ならびに生体分子との相互作用の解明に基づく系統的研究により、生体適合性に優れた革新的医療用プラズマ源の開拓に向けた研究を展開している。

②研究レベル 研究成果については、各年度とも国際会議等での数々の招待講演を依頼され、内外において高く評価されているものとする。さらに、学術誌への成果発表では、当該分野では国際的にも比較的高いインパクト・ファクターを有する学術誌への掲載を行ってきた。さらに、研究成果は国内ならびに国際特許として出願・登録されている。

③研究成果の社会への貢献 研究成果の内、プラズマならびに半導体プロセス関連の研究については、企業との共同研究、受託研究ならびに技術移転兼業を通じて、研究成果の実用化に向けた研究開発や製品開発へと結実しており、産学連携による社会貢献が効果的に図られているものとする。

④研究予算

【平成22年度】 民間との共同研究（節原）に加えて、平成19年度に採択され本年度も継続実施している戦略的創造研究推進事業 CREST（科学技術振興機構）（節原）ならびに研究成果最適展開支援事業本格研究開発 A-STEP [節原] をはじめとする受託研究、さらにグローバル COE プログラム「構造・機能先進材料デザイン教育研究拠点」の事業推進担当者（節原）として研究経費を受けた。また、科学研究費補助金 [若手研究（B）（竹中）] とグローバル COE プログラム（竹中）の研究経費を受けた。

【平成23年度】 科学研究費補助金 [基盤研究（B）、挑戦的萌芽研究]（節原）に加えて、平成19年度に採択され本年度も継続実施している科学技術振興機構・戦略的創造研究推進事業 CREST（節原）ならびに研究成果最適展開支援事業本格研究開発 A-STEP（節原）をはじめとする受託研究、さらにグローバル COE プログラム「構造・機能先進材料デザイン教育研究拠点」における「事業推進担当者研究提案課題」（節原）ならびに「連携・融合・国際型研究

重点経費研究課題」(節原)として、2件の研究経費を受けている。

【平成24年度】 科学研究費助成事業(科学研究費補助金)基盤研究(B)(節原)、科学研究費助成事業(学術研究助成基金助成金)挑戦的萌芽研究(節原)に加えて、平成24年度に採択された科学研究費助成事業(科学研究費補助金)新学術領域研究の計画研究(節原)、科学技術振興機構・研究成果最適展開支援事業本格研究開発 A-STEP 実用化挑戦タイプ(中小・ベンチャー開発)(節原)、さらに大阪大学「卓越した大学院拠点形成支援プログラム」(節原)からの研究経費を受けている。また、科学研究費助成事業(学術研究助成基金助成金)若手研究(B)(竹中)を受けている。

4. 教育に対する自己評価

本研究分野は、本学大学院工学研究科マテリアル生産科学専攻における大学院教育を兼担しており、「材料電磁プロセス学」(節原)の講義を担当すると共に、博士前期課程ならびに博士後期課程の学生の研究指導を行っており、平成23年度には、指導してきた博士後期課程学生の学位申請・審査の主査を務めた。さらに、大阪大学ナノサイエンスデザイン教育研究センターならびに工学研究科附属構造・機能先進材料デザイン教育研究センターの兼任教授(節原)として、学内での多彩な教育活動にも貢献している。

5. 社会貢献に対する自己評価

①国内外での学会等活動：学協会での理事、評議員、幹事長等を歴任している。

②産学連携：民間企業との共同研究、民間企業と共同で実施している JST 受託研究ならびに技術移転兼業を通じて、産学連携を推進している。

③国際貢献：複数の国際会議において、組織委員、チェア等を歴任している。さらに、Asian Joint Committee for Applied Plasma Science and Engineering (AJC/APSE)ならびに Flexible Electronics Research Institute International Committee の委員に就任し、国際連携に関わる中長期的な戦略企画にも携わっている。

④その他社会貢献：日本学術振興会の産学協力研究委員会(プラズマ材料科学第153委員会、水の先進理工学第183委員会)ならびに大学評価・学位授与機構の学位審査会専門委員を歴任し、社会貢献を図っている。

6. 接合科学共同利用・共同研究拠点に関する研究成果に対する自己評価

プラズマプロセスに関わる共同研究では、大面積プラズマ制御に関する要素技術の開発、高密度プラズマの応用技術開発とプロセス制御に不可欠なラジカル計測技術の開発と新しいプロセスパラダイム創出を目指して精力的な共同研究を実施している。特に、当研究所の共同研究員に就任いただいている先生方と共同して、新しいプロセスパラダイム創出を目指して申請し採択された戦略的創造研究推進事業 CREST (科学技術振興機構)を継続して実施し、共著の論文発表を通じて、共同利用としての実を挙げることができた。

さらに、平成24年度には、当研究所の共同研究員に就任いただいている先生方と共同して立案してきた科学研究費助成事業(科学研究費補助金)新学術領域研究「プラズマ医療科学の創成」が採択され、共同利用としての実を挙げることができた。

4. 3 エネルギープロセス学分野

年度	平成 2 2	平成 2 3	平成 2 4
教授	中田 一博	中田 一博	中田 一博
准教授	—	—	—
助教	津村 卓也	津村 卓也	津村 卓也

1. 研究概要

本研究分野では、種々のエネルギーを用いた溶接・接合、表面改質などの材料加工過程の機構解明とそのモデル化、シミュレーション、およびその成果に基づくプロセス制御と最適化システムの構築を目指している。

構造体や部材・部品の溶接・接合を対象として、摩擦攪拌接合 (FSW)、摩擦攪拌点接合 (FSJ) やレーザ溶接、ブレード溶接などの先進プロセス、これらとアーク溶接、プラズマ溶接などの従来溶接プロセスとのハイブリッド化・タンデム化などによる高能率・高効率プロセスの開発とそのシステムの最適化、ならびに接合部の材料科学的特性の最適化を行うとともに、Al 合金、Mg 合金や Ti 合金などの軽量構造材料や高強度金属材料、あるいはこれら金属材料の異種材料接合への適用性評価などを進めてきた。

また、金属ガラス、発泡金属、超微細粒金属、ナノ複合材料、チクソモーディング材料など次々と開発される新機能材料の溶接・接合問題の解決、既存材料との異材接合の可能性評価などを行い、これらの材料に適した新たな溶接・接合プロセスの開発と新機能材料の構造材料としての実用化を目指した研究を進めた。

さらに近年の構造部材のマルチマテリアル化構想に伴なう構造部材の多様化に対応する為に、金属材料／高分子材料／セラミックス間の異種材料接合に関する接合プロセス開発、並びにその接合性や接合機構に関する基礎的な研究を展開している。

一方、材料の実用化のために必要不可欠な表面機能を付与するための表面改質プロセスに対しても、溶射、肉盛、浸炭窒化法などの厚膜プロセスを対象に、省エネルギー化・高品質化の観点から新しいエネルギーであるプラズマ、レーザなどの適用研究を進めた。

2. 研究課題

1. 摩擦発熱を利用した樹脂・CFRP と金属との直接異材接合法の開発と接合特性評価
2. ダイヤモンド・セラミックスと超硬合金の異材レーザブレイジング
3. 各種金属材料 (Mg 合金、Ti 合金、Cu 合金、鉄鋼、Ni 基耐熱合金など) の FSW による異材接合特性評価
4. 難接合材料 (ステンレス鋼、Ni 基耐熱合金) の FSW 接合特性評価
5. 各種金属材料の摩擦攪拌点接合 (FSJ/FSSW) 特性評価
6. 高能率・高効率ファイバーレーザ／ミグ・マグアークハイブリッド溶接システムによる金属材料厚板の溶接特性評価
7. 溶射や低温プラズマ浸炭窒化処理などによる金属材料の表面改質

3. 研究成果と研究に対する自己評価

(1) 研究成果

以下に主な研究成果について述べる。

1. 摩擦発熱を利用した樹脂・CFRP と金属との直接異材接合法の開発と接合特性評価

摩擦発熱を利用し、接着剤を用いずに樹脂板と金属板とを直接接合する新しい重ね摩擦接合法を開発し、金属板として Al 合金、Mg 合金、Cu 合金および炭素鋼板との重ね異材接合継手形成の可能性を明らかにした。接合条件（ツール荷重、回転速度、接合速度）の影響について、接合部の温度履歴計測などを検討するとともに、接合界面のマイクロ組織、元素分析等、TEM 微細構造解析を行い、引張せん断試験では樹脂側母材破断を示す良好な継手の形成機構について検討を行い、接合が可能な樹脂と金属の種類のご組合せとその接合機構、ならびに接合強度に及ぼす樹脂および金属の表面処理の効果などを明らかにした。さらに CFRP 板と Al 合金板との重ね異材接合に対しても同様の検討を行い、引張せん断試験では一部で CFRP 母材破断部を含む良好な接合継手が得られることを明らかにした。

2. ダイヤモンドやセラミックスと超硬合金との異材レーザブレイジング

局所的かつ短時間での加熱が可能で、母材の材質劣化抑制に優れたレーザブレイジング法を開発し、ダイヤモンド・黒鉛や各種セラミックス（窒化珪素、炭化珪素、サイアロン、アルミナ）と超硬合金(WC-Co)とのろう付に対して、Ti 量を 0 から 2.8mass%まで変化させた試作活性金属ろう材 (Ag-Cu-Ti 合金) を用いて、短時間加熱に適用可能な合金組成を確定した。Ti 無添加のろう材では濡れ性が悪く継手は形成されなかったが、Ti 量 0.4%以上ではいずれの材料でもろう付継手が形成された。ろう付継手の引張せん断試験において、破断強度は Ti 量と共に増加し、いずれのセラミックス材でも Ti 量 1.7~2.3%で最大値を示す傾向を示した。破断は、ろう付界面の反応層および隣接したセラミックス母材部で発生した。特にダイヤモンドや黒鉛ではそれぞれの母材部破断を呈する良好な接合特性を示した。また TEM 微細構造解析により接合界面においてはそれぞれのセラミックス材の主成分元素とろう材中の Ti との反応生成化合物相からなる厚さ 100nm 程度の極薄い反応生成層が確認され、この反応層の形成が両者の良好な接合性に寄与していることを示した。例えば単結晶ダイヤモンドと超硬合金とのレーザブレイジングでは、TEM 微細構造解析により界面には TiC 炭化物/Cu-Ti 金属間化合物からなる 2 層の反応層が存在し、これらの存在が良好なろう付け継手形成に大きく寄与し、ダイヤモンド母材部での破断を呈する良好な継手が得られることを明らかにした。さらに、最適レーザ照射条件や継手における残留応力状態を明らかにするためのシミュレーション解析を行ない、ろう材厚さと残留応力分布との関係を明示した。

3. ステンレス鋼および Ni 基耐熱合金の FSW 接合部の特性評価

FSW の適用が困難であるステンレス鋼、インコネル合金 (600, 625, 718) に対し、FSW ツール材質、FSW 接合条件などの検討を行い、板厚 2mm 材に対して、摩擦攪拌部は結晶粒微細化により硬さが増加し継手引張試験において母材部破断を呈する条件を明示した。さらに、316L ステンレス鋼では厚板に対して接合厚さ 5mm を達成し、その継手は母材破断を呈する優れた継手引張特性を有することを示した。また、最終ツール穴を消耗式ツールおよび非消耗式ツールを用いて穴埋め補修する技術開発も行った。

4. Mg 合金と Ti 合金との FSW による異材突合せ接合継手の特性評価

合金元素である Al 量が種々異なる AZ 系 Mg 合金 AZ31、AZ61 および AZ91D と Ti 合金の FSW 突合せ異材接合において、ツール挿入位置 (オフセット量) を最適化して接合界面構造を制御することにより良好な継手が得られることを明らかにし、継手強度には Mg 合金中の合金元

素である Al と相手材の Ti が接合界面で反応して極薄い Al-Ti 系金属間化合物 (TiAl₃) 層を形成することが大きく関係していることを示した。また Ca 添加難燃性 Mg 合金 AMCa602 と Ti 合金との異材接合も同様の接合機構によりに接合可能なことを明らかにした。

5. 各種非鉄材料と鉄鋼材料との FSW による異材重ね接合継手の特性評価

鉄鋼材料表面の耐食性及び耐熱性向上のために、FSW によるインコネル 600 およびインバー42 薄板と鉄鋼材料との異材重ね接合形成とその接合特性に関する基礎研究を行った。適正な接合条件においては接合欠陥の無い良好な重ね接合が得られ、攪拌部は結晶粒微細化により硬さ増加を示し、継手引張試験ではインコネル 600 およびインバー42 母材部破断を呈した。

さらに鉄鋼材料表面の摺動性向上のために、FSW による黄銅合金と鉄鋼材料との異材重ね接合を検討し、適正な接合条件においては継手引張試験で黄銅合金母材部破断を呈する良好な異材重ね接合が得られることを示し、接合界面の微細構造を明らかにした。

6. 摩擦攪拌点接合 FSJ/FSSW による Ti/鉄鋼材料の異材重ね接合特性評価

鉄鋼材料表面の耐食性向上の為に工業用純 Ti および Ti-6Al-4V 合金と冷間圧延鋼板 SPCC との異材重ね接合継手形成に関する基礎的検討を行い、ツール荷重、回転速度および接合時間をパラメータとして、継手強度との関係を明らかにした。良好な継手は上板 SPCC/下板純 Ti もしくは Ti 合金の継手配置で得られ、継手界面は金属間化合物層 TiFe₂ と Fe との微細層状組織が形成されていること示すとともに、その接合機構を明らかにした。

7. 厚板金属部材 (Ti 合金、Ni 合金及び HT980MPa 級高張力鋼) のファイバーレーザ/ミグ・マグアークハイブリッド溶接部の特性評価

高能率・高効率溶接システムに関する検討の一環として、10kW 級高出力ファイバーレーザ溶接とミグ・マグアーク溶接を組み合わせたハイブリッド溶接システムを構築し、厚さ 12mm のこれら金属厚板の突合せ溶接および T 形隅肉溶接に対してハイブリッドプロセスパラメータと溶接継手形成との関係を詳細に検討し、溶接欠陥の無い良好な継手が得られることを明示し、ハイブリッド溶接法の特長を明示した。その結果、HT980MPa 級高張力鋼に対して、予熱なしの条件でも低温割れの無い良好な継手が得られ、突合せ継手では溶接方向に対しアーク先行の場合は広い溶接条件範囲でアンダカットが無い良好な 1 パス貫通ビードが得られることを明らかにした。また T 形隅肉溶接では、溶接方向に対しレーザ先行の場合にアンダカットが無い良好な深溶け込みビードが得られるが、いわゆる梨型溶接ビード割れが発生しやすく、この防止のために溶接速度とアーク電流の最適化が必要であることを示した。

次に、工業用純 Ti 及び Ti-6Al-4V 合金のファイバーレーザ/ミグアークハイブリッド溶接における突合せ継手では、特殊表面処理を施した溶接ワイヤを用い、またトレーラーシールドノズルを適用することにより、板厚 5~6 mm では安定した 1 パス貫通溶接が可能であった。一方、板厚 12mm では溶接金属の溶け落ち現象により 1 パス貫通溶接は困難であったが、両面 1 パス溶接により溶接欠陥の無い良好な継手が得られることを示した。

また Ni 合金インコネル 600 では、板厚 4mm では 1 パス貫通溶接が可能であったが、板厚 12mm では溶接金属の溶け落ち現象により 1 パス貫通溶接は困難であったが、両面 1 パス溶接継手の形成は可能であった。

8. Ti-Nb 合金のプラズマ窒化処理による耐摩耗性の改善

振動減衰性に優れたマルテンサイト系 Ti-15Nb 合金に対してプラズマ窒化処理を行い、表面窒化層の形成組織と硬化特性に及ぼす窒化温度と窒化時間の影響を純 Ti と比較して検討するとともに、窒化処理が振動減衰性に及ぼす影響に関する基礎的検討を進めた。

(2) 研究に対する自己評価

本研究分野は、高効率・高能率・高品質溶接プロセスの開発と、新たに開発された新しい機能材料の溶接・接合技術の開発、およびマルチマテリアル化に向けた異種材料接合特性評価などを主たる研究テーマとしている。すなわち、取り扱うプロセスあるいは対象材料のいずれかは新規性のあるものであり、さらに新規材料や異材接合に対しては既存プロセスの適用が困難な場合が多いため、新しい溶接・接合プロセスを適用し、その解決を図るなど、常に先導的な取組により当該学術分野をリードしてきた。これは、溶接・接合研究分野のみならず、表面改質分野でも同様である。この間の研究成果は査読付き学术论文44報(うち英文31報)、国際会議発表論文11件であり、高い研究活動ならびに研究レベルを維持している。また国際会議講演8件や国内会議講演10件、国内学会発表35件、解説・総説9報などを通じた研究成果の公開や、民間との共同研究・受託研究により研究成果の社会への貢献を行っている。また外部獲得資金は総計93,968千円である。所属教員はいずれも科研費を獲得しており、また民間との共同研究、受託研究および奨学寄附金を獲得している。

4. 教育に対する自己評価

本研究分野は、マテリアル生産科学専攻生産科学コースの協力講座として大学院教育を行った。この間の年度毎の受入大学院生の総数は、博士後期課程12名(うち社会人7名、留学生1名)、前期課程14名(M2が8名、M1が6名)であり、教育研究指導を行い、研究成果の積極的な発表を推奨し、大学院生を共著者に含む査読付論文は20報、国際会議発表11件、国内学会発表17件を行った。また博士後期課程学生3名(うち、社会人学生2名)が課程を修了し、博士(工学)の学位を取得した。さらに教授ならびに助教とともに大学院講義を担当し、また学部1年生に対する全学共通教育ならびに学部3年生に対する生産創成工学を担当した。

5. 社会貢献に対する自己評価

当該教授は、学協会関係では、(社)溶接学会理事、同溶接法研究委員会幹事、同関西支部幹事、(社)日本溶接協会理事、同表面改質技術研究委員会委員長、同溶接棒研究部会技術研究委員会副委員長、同関西地区溶接技術検定委員会委員・評価員、(社)軽金属溶接構造協会異材接合研究委員会委員長、同要員認証管理委員会委員長など溶接関係における主要な研究委員会の委員長などや、また(社)高温学会理事(副会長)などを務めるとともに、さらに経済産業省日本工業標準調査会臨時委員、(財)近畿高エネルギー加工技術研究所理事、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構技術委員、(独)原子力安全基盤機構原子力設備技術基準溶接特認調査専門検討委員会委員などの公益法人を通じた社会貢献も積極的に行った。また企業からの要請による技術顧問や、民間向けの講演会の講師などを通じて、社会人教育を行った。当該助教は、(社)溶接学会および(社)日本溶接協会において委員(溶接学会若手会員の会運営委員会委員、溶接協会溶接情報センター運営委員会 FSW データベース小委員会幹事)を務めた。

また当該教授は、産学連携として民間との共同研究を進め、民間との共同研究3件と受託研究員3名を受け入れるとともに、当該助教とともに文部科学省「原子力システム研究開発事業」の再委託研究を受けることにより産学連携を推進した。

6. 接合科学共同利用・共同研究拠点に関する研究成果に対する自己評価

当該研究分野の共同研究員は各年度10～12名であり、3カ年の総員数は33名である。所属共同研究員との共著の査読付学術論文は9報であり、これを含む論文総数は11報、解説1報である。また国際会議発表5件、国内学会発表9件の共同発表を行っており、さらに共同研究員2名が共同研究の成果に基づき、大阪大学より博士(工学)の学位を取得するなど、着実に共同研究の成果は挙げられている。

4. 4 環境調和プロセス学

年度	平成 2 2	平成 2 3	平成 2 4
教授	—	高橋 康夫	高橋 康夫
准教授	—	—	—
助教	—	前田 将克	前田 将克

1. 研究概要

本研究分野では、省資源・省エネルギー・環境調和をキーワードとして環境配慮型設計（エコデザイン）および環境低負荷生産接合加工プロセスの機構解析とその最適化に関する研究と教育を行っている。特に、微細接合機構解析とその最適化条件に照らしたエコデザインと資源再利用・ゼロエミッションを目指して研究を遂行している。

エネルギー利用効率を革新的に向上させる炭化ケイ素や窒化ガリウムに代表される広禁制帯幅次世代化合物半導体を用いたパワーエレクトロニクス素子に必要なコンタクト電極の形成プロセス開発とコンタクト界面構造解析ならびに特性評価を通して、その学理探求を進めている。

また、これらのパワーエレクトロニクス素子を外部配線に実装接続する技術として、超音波接合に代表される固相接合技術の開発と接合機構解明を進め、はんだ等の低融点金属を用いないロバストな実装界面形成技術の確立に取り組んでいる。

その他にも、環境負荷を低減する製品・部品に使用される先進機能性材料に対する固相接合技術の応用にも取り組んでいる。

2. 研究課題

1. 高負荷パワーエレクトロニクスデバイスの高信頼性配線接合
2. 広禁制帯幅次世代化合物半導体コンタクト形成
3. 固相接合機構解析
4. 有害物質フリー接合
5. 環境調和製品製造への固相接合の応用

3. 研究成果と研究に対する自己評価

(1) 研究成果

1. 炭化ケイ素に対するコンタクト形成プロセス制御

炭化ケイ素(SiC)は広い禁制帯幅、高い熱的・化学的安定性および熱伝導特性を有するため、次世代パワーエレクトロニクスデバイス用材料として世界中で活発に研究開発が進められている。n型およびp型SiCは、このようなSiCパワーエレクトロニクスデバイスに不可欠な構成要素であり、コンタクト層を介して金属製外部配線と接続せねばならない。このコンタクト層は、SiCとの界面電子構造を制御して低抵抗オーミック電気伝導特性を実現する機能が求められる。幸い、n型およびp型SiCはそれぞれNiSiおよびTi₃SiC₂をSiCとの界面反応によって形成することで低抵抗オーミック電極となることが知られている。しかし、例えばn型SiCとNiの界面反応ではNiSiとカーボン相の複合組織が形成するため、電極が非常

に脆弱な機械的特性を示すことが問題となっている。その一方、p型SiC上への Ti_3SiC_2 形成には、SiC上にTi, Alの順に積層膜を形成し、これを熱処理する方法がとられるが、熱処理中の Ti_3SiC_2 の成長には強い異方性が見られ、大面積の電極全面で一様な界面組織を得ることが難しい。従って、両者とも界面反応を適切に制御することが重要となる。当分野はこれらの課題に取り組み、大きな成果を挙げている。以下にその概略を述べる。

n型SiCのオーミック電極では、脆弱な機械的特性の原因となっているカーボン相の生成を抑制した界面反応制御・電極形成プロセスを考案・実証した。すなわち、Tiを含むNi合金を成膜して界面反応させた。TiはTiCを安定相として形成するだけでなく、TiCの仕事関数が低いことから界面のショットキー障壁を低く抑えることが可能である。一方、TiはSiとも反応して Ti_3SiC_2 , $Ti_5Si_3C_x$, $TiSi_2$ などの副産物を形成しうるため、TiがCのみと反応するように界面反応制御する必要がある。NiとTiの膜の積層順序と膜厚を適切に設定することでこの界面反応を制御した。この技術を適用して形成した界面の電気伝導特性および機械的特性をそれぞれ直流電気伝導試験およびスクラッチ試験により調べた。SiCにTiC電極を形成したサンプルは最も優れた機械的特性を示すが、電気伝導度がNiSiを含む電極よりも劣る。一方、Tiを含有しないNiSi基電極は電気的特性に優れるが、スクラッチ試験により電極膜が完全に剥離し、SiC基板が露出するほど脆弱である。Ni, Tiの順に積層して熱処理したNi/TiサンプルはTiを含有しない電極とほぼ同等の優れた電気的特性を示しながら、機械的特性が大きく向上した。このように、NiとTiの膜の積層順序と膜厚を制御することで高い界面電気伝導特性と機械的特性を両立させることができる。

p型SiCのオーミック電極では、SiC/Ti/Al界面反応を熱分析により調べ、これが2つの独立した素反応で構成されていることを明らかにした。すなわち、TiとAlの層間反応により $TiAl_3$ を形成する素反応と、 $TiAl_3$ とSiCの界面反応により Ti_3SiC_2 が形成される素反応である。これらの素反応は反応開始温度が異なっており、前者が959 K、後者が1270 Kと求めた。この性質を利用し、パワーエレクトロニクスデバイスの広い電極のコンタクト界面に Ti_3SiC_2 を一様に形成する技術として、均温化ステップ、 $TiAl_3$ 形成ステップ、 Ti_3SiC_2 形成ステップの3段階の温度保持時間を設けた昇温プログラムを適用することで、界面全域において各素反応をシーケンシャルに進行させる多段階昇温熱処理法を開発した。この技術を適用して形成した界面の直流電気伝導特性を調べた。成膜したままおよび均温化ステップまで熱処理した界面は高抵抗で非線形な電流-電圧プロファイルを示す。これは、均温化ステップまでの熱処理ではSiCに接する相がTiのまま変化していないことを示している。 $TiAl_3$ 形成ステップまで熱処理した界面は抵抗が著しく減少するが低電圧域で電流が抑圧される非線形電流-電圧プロファイルを示す。これはSiCに接する相が $TiAl_3$ に変化したことに対応している。この界面構造変化は透過電子顕微鏡による界面ナノ構造解析結果とも合致している。さらに、 Ti_3SiC_2 形成ステップまで熱処理した界面は線形な電流-電圧プロファイルを示し、低抵抗オーミック電気伝導特性が得られる。このとき、SiCに接して形成されている相は Ti_3SiC_2 となっている。このように、多段階昇温熱処理法を用いることで界面反応を適切に制御できることが証明された。

2. 窒化ガリウムに対するコンタクト形成プロセス制御

窒化ガリウム (GaN) は発光ダイオード (LED) 用半導体材料として広く実用化されているだけでなく、広禁制帯幅、高熱伝導性、高電子移動度等の特性を有することから、高速動作パワーエレクトロニクスデバイス用材料として開発が進められている。LEDの高輝度化およ

びパワーエレクトロニクスデバイスのエネルギー効率向上には電極とのコンタクトにおける電圧降下を抑制せねばならない。すなわち、電極との界面電子構造を制御して低抵抗オーミック特性を実現することが求められる。

n型 GaN に対しては、Ti との界面反応により TiN を GaN に接して形成した界面構造が良好なオーミック特性を示すことが知られている。TiN 形成による n 型 GaN の低抵抗オーミック特性発現には2つの機構が提唱されている。ひとつは n 型 GaN よりも TiN のフェルミ準位が高いためにショットキー=モットモデルで予測されるショットキー障壁高が負の値となることであり、もうひとつは Ti と GaN の界面反応によってコンタクト部直下の GaN 内に生成する N 空孔がドナーとして作用することによってショットキー障壁を薄化することである。しかし、これらのうちいずれがオーミック特性発現に支配的に寄与するかは未解明であった。この問題に対し、GaN との界面反応を抑制しながら GaN に接して TiN を直接形成し、GaN との反応を促進するように GaN に接して Ti を形成したサンプルと通電特性を比較した。その結果、TiN を形成したサンプルでは線形な電流-電圧プロファイルが得られない一方、Ti を形成したサンプルでは熱処理を施さなくても線形な電流-電圧プロファイルが得られることが明らかとなった。これは、TiN が GaN に隣接して形成されることがオーミック特性発現の必要条件とはならないことを示している。さらに、Ti を形成したサンプルでは、GaN に接して Ti_2N が形成されていることが明らかとなっている。 Ti_2N は TiN よりも仕事関数が約 2 eV も大きい。しかし、コンタクト部直下の GaN 内での N 空孔生成に伴う障壁薄化によって、オーミック特性が発現したと考えられる。すなわち、オーミック特性発現に支配的に寄与する機構がコンタクト部直下の GaN 内に N 空孔が生成する界面反応であることを解明した。

この知見を基に、界面反応によらずに電極直下の GaN 中に N 空孔を生成して、それによる電気伝導特性変化と界面組織を調べた。界面反応によらずに電極直下の GaN 中に N 空孔を生成する方法として、GaN 表面スパッタクリーニング工程での Ar イオン照射を利用した。スパッタクリーニング工程での Ar イオン照射により、酸化膜をはじめとする GaN 表面層が除去されるが、さらに引き続いて Ar イオンを照射することにより GaN 表面から N 原子が選択的に除去され、GaN 表面近傍には N 空孔が生成される。高周波マグネトロンスパッタ蒸着装置を用いて高周波出力 200 W にて GaN 基板のスパッタクリーニング時間を 300~5400 s の範囲で変化させ、その後直ちに Ti を成膜した。スパッタクリーニング時間 2400 s までは電気伝導度がスパッタクリーニング時間に対してほぼ直線的に増加するが、それ以上に長いスパッタクリーニング時間では電気伝導度が急激に低下した後、一定値を保つ。この結果は、2400 s までのスパッタクリーニングでは Ar イオン照射によって GaN 表面近傍の N 空孔濃度が上昇することによって電極/半導体界面のショットキー障壁が薄化し、それに伴って電子が障壁をトンネル伝導する確率が上昇して電気伝導度が向上すると考えられる。一方、それ以上の長時間スパッタクリーニングでは GaN 中の N 空孔濃度が限界に達して Ga を生じ、これと Ti が電極成膜過程において反応することで GaN に隣接する電極相が Ga_5Ti_3 となって、電気伝導度が一定値に固定されると考えられる。

3. パワーエレクトロニクス超音波配線接合機構解析

パワーエレクトロニクスデバイスを外部回路に配線接続する技術として、超音波接合が利用される。超音波接合部は、はんだ接合のような低融点金属や脆性金属間化合物が介在する接合部を形成しないため、適切に接合すれば高い耐熱性および信頼性が得られる。超音波接合を適切に制御するには接合現象を正確に理解せねばならない。本研究分野では超音波接合

挙動を実験により調べるとともに、数値解析に基づいた接合機構解明に取り組んでいる。

実験においては、配線材として最近実用され始めたアルミニウムリボンや実用化が強く望まれている銅リボンを対象として、超音波接合中のウェッジツール先端部の振動挙動、配線材変形挙動、接合界面温度変化、界面せん断力推移および凝着面積拡大挙動を種々の高速計測・観察系を接合装置に組み込んで計測・観察するとともに、接合後の界面組織解析を通して接合現象を調べている。アルミニウムリボン配線接合では、界面せん断力とツール先端の振動振幅を同時計測し、適切な接合条件下では界面の摩擦係数が 6.4 と非常に大きな値となることを明らかにした。これは過去に当分野で実施した数値解析研究から予測されていたが、それを初めて実証した成果である。アルミニウムパッドの有無による界面温度変化の差異も計測し、パッドがない場合は超音波印加開始後 50 ms 以内に急速に界面温度が上昇するのに対し、パッドがあると界面温度は緩やかに上昇するようになり、ピーク温度値も 20 K 程度低くなる。適切な接合プロセスは①振動振幅が大きく、界面せん断力が急速に増加する初期段階、②振動振幅が減少し、界面せん断力の増加が緩やかとなる中間段階、そして③振動振幅と界面せん断力が定常状態となる最終段階の 3 段階に分けられる。一方、不適切な接合条件では、超音波エネルギーが配線材の過剰な塑性変形などに費やされてしまい、界面摺動による接合阻害層除去と密着面積拡大に効果的に結びつかないことも明らかにした。銅リボンと Ni めっきを施した銅基板の接合では、銅基板を 150° C まで予熱することで、室温での接合よりも低い超音波出力と広い接合荷重範囲で接合が可能となることを明らかにした。さらに、接合界面組織を解析し、Ni めっき膜が引き裂かれて銅リボンと銅基板が直接接合している領域や Ni めっき膜が局所的に折り畳まれるように変形している領域が形成されることから、超音波接合過程での界面近傍の材料変形が一様均質なものではなく、局所的に複雑な変形が誘起されることを明らかにした。

数値解析では、アルミニウムリボンとアルミニウムパッドを界面での超音波振動方向のせん断力と接合荷重方向の変位速度が一致する境界条件の下で二体問題として扱う粘塑性有限要素数値演算モデルを構築した。解析の結果、パッド表面の超音波振動方向への変位速度はリボン底面のその 10⁶ 倍よりも低い値であり、ほとんど変位しないことが明らかとなった。また、リボン上面と底面の振幅比と界面での摩擦仕事の関係も求め、振幅比 0.9 近傍で摩擦仕事は極大値をとり、それよりも界面拘束が強くても弱くても界面での摩擦発熱量が減少することが明らかとなった。また、実測されたツール先端の振幅変化と界面温度履歴と照合することにより、リボン上面と底面の振幅比が接合時間とともに刻々と変化することが明らかとなった。

4. 環境調和低温微細接合

電子実装に応用される様々な微細接合は、低温で行われるがその接合状態は液相、固相に大別される。様々な微細接合の発展動向を調査した。ワイヤボンディング、リボンボンディング、テープキャリアボンディング、フリップチップボンディング(FCB)の動向に関して調査した。高密度、積層化に対応した FCB の動向に関して詳細に調査し、Trans. JWRI に報告した。超音波 FCB における接合機構(スリップ・フォールド機構)を明らかにした。

(2) 研究に対する自己評価

本研究分野は、固相状態での接合をはじめとする異相界面創出プロセスの開発と制御および界面機能発現を主たる研究テーマとし、特にパワーエレクトロニクスに立脚した環境調和

製品製造プロセスを対象としてその技術を応用展開する活動を推進している。広禁制帯幅次世代化合物半導体コンタクト形成に関しては、他者の研究の多くが従来の半導体に適用されている技術の延長であるのに対し、本研究分野ではそれらの技術には拘泥せず、材料科学に立脚した新たなプロセスの提案と実証を続け、複数の国際特許として結実しつつある。高負荷パワーエレクトロニクスデバイスの超音波配線接合に関しては、実験計測と数値解析を両輪として、非常に短時間に進行する複雑な材料挙動の解明を進めている。

2011年度の研究成果は査読付き学術論文5件（うち英文2件）、国際会議発表論文6件、著書1件である。2012年度の研究成果は査読付き学術論文7件（うち英文5件）、国際会議発表論文6件である。研究予算については、両年度とも科学研究費補助金各1件、計2件が採択された他、民間との共同研究を幅広く進めている。更に、学内では、多部局（環境イノベーションデザインセンター等）と協力して、研究教育に貢献している。

4. 教育に対する自己評価

本研究分野では、工学研究科マテリアル生産科学専攻生産科学コースの協力講座として大学院生および学部学生を受け入れ、教育を行っている。2011年度は博士前期課程7名（2年生3名、1年生4名、外国人留学生1名を含む）、学部学生2名の研究指導を実施した。研究成果の発表機会も積極的に与え、大学院生を共著者に含む査読付き論文は2件、大学院生が発表者である国際会議発表3件、国内学会発表1件を行った。このうち、国際会議において優れた発表に対して授与される賞を1件受賞している。2012年度は博士前期課程7名（2年生4名、1年生3名、外国人留学生1名を含む）の研究指導を行った。研究成果の発表機会も積極的に与え、大学院生を共著者に含む査読付き論文は5件、大学院生が発表者した国際会議発表2件、国内学会発表4件を行った。

また、工学研究科マテリアル生産科学専攻生産科学コースの大学院講義を1科目、高度副プログラム2科目を担当した他、学部学生に対する専門教育4科目の講義・演習も担当した。全学共通教育においても、基礎セミナーを1科目担当し、先端教養科目を1科目分担した。

5. 社会貢献に対する自己評価

本研究分野では、2011年度に環境調和技術と持続性社会に向けた国際会議 ECO-MATES 2011を主催し、口頭およびポスター発表が計320件に及ぶ盛大な国際会議を成功に導いた。この国際会議には国内外の幅広い学術分野の研究者が集まり、異分野の研究者・技術者の交流を促進する貴重な場を提供しただけでなく、発表内容の一部を専門分野に応じて Journal of Physics: Conference Series, Vol. 379, 2012, Science and Technology of Welding and Joining, Vol. 18, No. 2, 2013, Waste and Biomass Valorization, Vol. 3, No. 4, 2012の3学術誌にそれぞれ55件、5件、8件の論文を収載し、参加されなかった研究者・技術者が同国際会議の成果に接することができる環境を整えた。その他にも、国内外の学術組織運営に携わり、環境調和機能性材料プロセッシングに関する科学技術の発展に寄与している。

学会活動としては、溶接学会では、界面接合研究委員会の運営を行い、マイクロ接合研究委員会のシンポジウム MATE の組織／実行委員会メンバーとして、開催に協力している。溶接学会、金属学会、エレクトロニクス実装学会の論文誌の査読委員として査読／編集に貢献している。

民間事業者に対しては、共同研究を進めているほか、技術相談を多数受けるなどしており、これらの活動を通じて、研究成果の実業への応用普及を進めている。

6. 接合科学共同利用・共同研究拠点に関する研究成果に対する自己評価

2012年度の全国共同利用研究としては7件実施し、それぞれ、環境調和プロセスに関する研究実施と討論を行った。今度さらに活発化させていく所存である。

4. 5 溶接機構学

年度	平成 2 2	平成 2 3	平成 2 4
教授	—	—	—
准教授	柴柳 敏哉	柴柳 敏哉	伊藤 和博
講師(兼)	高橋 誠	高橋 誠	高橋 誠

1. 研究概要

溶接継ぎ手の機械的性質改善機構や、摩擦攪拌接合などの新規接合法を詳細な微細組織観察を通じて、材料科学的にその機構を解明していく取組を行っている。高級鋼材の低温割れ抑止のための残留 γ の分布や、溶接部に摩擦攪拌接合を施すことで疲労強度を改善できる機構(組織微細化)を解明した。また、摩擦攪拌接合や圧延接合を用いた変形抵抗の異なる異材を接合する技術と、作製された板材の機械的性質を発現している機構を材料科学的に明らかにした。また、電子デバイスの接合プロセスを省電力化する試みとして、合金元素を用いた材料科学的なアプローチにも取組み、その接合機構を解明した。本分野では、溶接・接合界面の詳細な組織観察や、種々の深さ方向元素濃度分布測定、化学結合の同定など、幅広い材料学的な研究手段と学理を用い、院生がそれら手法と評価方法の理解、材料研究への応用を学ぶと同時に、研究成果発表とその発表スキル向上を獲得する機会を与える研究環境を提供してきた。

2. 研究課題

1. 高級鋼の溶接部における組織と低温割れ抑止法の策定
2. 摩擦攪拌接合における塑性流動機構の解明
3. 圧延接合による高比強度クラッド材の創生とその機械的特性の解明
4. 鋼溶接部への摩擦攪拌適用による機械的特性向上効果の検討
5. ガラス基板への高密着接合 Cu 配線形成のための低温プロセス開発とその機構解明

3. 研究成果と研究に対する自己評価

(1) 研究成果

1. 高級鋼の溶接金属の微細組織と水素脆化

980 MPa級高張力鋼や低温用鋼等の高級鋼の溶接において、水素割れ等の欠陥の発生を防ぎ、かつ高い生産能率を持ち得るクリーンMIG溶接法の開発が進められている。本研究では、980 MPa級鋼用溶接金属(Ni-Cr系合金)のクリーンMIG溶接後の微細組織と機械的性質との関係を明らかにすること、また、高級鋼で問題となる水素割れに対して残留 γ による水素のトラップ効果を明らかにすることを目的とした。

溶接ビードを含む試験片を一軸引張試験すると、母材の降伏応力以下で破断する水素含有量の限界値は、残留 γ を含まない場合2 ppmであるのに対し、残留 γ を含む場合4 ppmまで増加し、残留 γ が低温割れ防止に効果的であることを実証した。残留 γ はマルテンサイトラス境界に数十nm程度の厚みで断片的にかつ広範に分布していた。これら残留 γ はマルテンサイ

ト変態に伴い放出される水素の吸収サイトとなり、その分布形態により、少ない体積率であっても低温割れ抑止に効果的であると考えられる。

2. 摩擦攪拌接合における塑性流動機構の解明

A2024-T3と4Nクラス高純度アルミニウムの突き合わせ摩擦攪拌スポット接合を実施し、変形抵抗が大きく異なる場合にこれまで知られている攪拌部組織が形成されず、相対的に硬質側の金属が軟質側へ向かって侵入するという新たな塑性流動モードが発現することを見出した。更に、変形抵抗が異なる2つの素材の変形抵抗を同レベルにするように、軟質側を冷却することで2つの板材に温度勾配を与えて接合を試みた。その結果、従来法では大きな欠陥を生じ、オニオンリングが十分に発達しない接合部組織で、欠陥サイズと量が大きく減少し、出発材料が交互に分布した層状オニオンリングが形成されることを明らかにした。本結果は、今後の異材摩擦攪拌接合技術の発展に有効な示唆を与えるものである。

3. 圧延接合による高比強度クラッド材の創生とその機械的特性の解明

AZ31板材の耐食性と圧延後の低い変形能を補う目的で、耐食性に優れたA6061板材で挟んだ3層構造のA6061/AZ31/A6061クラッド材を圧延接合により作製した。これまで、圧延前に350℃以上で予熱すると良好な接合強度が得られ、高比強度クラッド材が得られた。500℃予熱後の圧延クラッド材では、予熱温度による引張強さと伸びの変化は小さく、A6061板厚が0.5 mmの時は1.0 mmの時と比較して引張強さが強く、伸びが小さい結果となり、曲げ変形はA6061板厚が1.0 mmの時は0.5 mmの時と比較して高いことを明らかにした。これら引張強さと曲げ変形能はA6061板厚により支配され、この傾向がA6061板の厚さの違いによるAZ31板の微細組織の違いに起因していることを系統的な微細組織観察より明らかにした。また、その違いが、圧延変形時のAZ31板の変形速度の違いによることを、圧延途中のA6061板やAZ31板の板厚変化の系統的な観察より明らかにした。これら成果を、金属学会・溶接学会・国際シンポジウムにて院生および教員により発表した。

4. 鋼溶接部への摩擦攪拌適用による機械的特性向上効果の検討

構造用圧延鋼材の溶融溶接部やその周辺の機械的特性改善のため、例えば引張残留応力の低減のため、ピーニングなどを用いた改善がなされている。我々は最近、摩擦攪拌プロセス(FSP)をSS400板材のTIG溶接部に施すことで、表層部に均一な微細組織を形成し、曲げ疲労強度などの機械的特性を増加(改善)できることを明らかにした。曲げ最大強度は1.4 GPaと30%増加し、曲げ疲労では応力振幅270 MPaの時に破断寿命が 5.6×10^5 サイクルと170%増加した。FSPを施した表層部には、約1.5 μ m微細粒が形成し、高硬度化、高剛性化、高靱性化に寄与したと考えられる。FSP後に溶接部の引張残留応力に変化はなく、機械的特性改善は組織の微細化によるものであり、ピーニングによる引張残留応力の低減とは異なった機構による溶接部の機械特性改善が可能なことを明らかにした。

5. ガラス基板への高密着接合 Cu 配線形成のための低温プロセス開発とその機構解明

液晶ディスプレイでは依然として Al 配線が適用されている。Cu 配線への代替ができない主な原因は、ガラス基板と Cu 配線との低密着性と、Cu 配線が耐酸化性に乏しいためと考えられ、これらを克服するプロセス技術の開発が必須である。この技術課題の解決手法として、Cu 過飽和合金膜を熱処理し、界面と表面に合金元素の反応酸化物層を形成し、極薄反応層に

よる密着性向上と耐酸化性向上を両立させる技術を開発している。本研究では、合金元素として Mg を選択し、適切な合金添加量と、プロセス温度の低温化と短時間化を検討した。Cu(0.5at%Mg)合金膜を用いて、300℃、30 分の熱処理で抵抗率低減・密着性向上が可能なことを明らかにし、Ti や Mn などを用いた時より 100℃の低温化を成功させ、その接合機構を解明した。更に 250℃、30 分でも抵抗率低減・密着性向上が可能で、機構が 300℃の時と異なることも明らかにし、密着性発現とプロセス温度の関係を機構別に整理することに成功した。これら成果を、金属学会・溶接学会・国際シンポジウムにて院生および教員により発表した。

(2) 研究に対する自己評価

本研究分野の研究対象は、材料としては鉄鋼、非鉄金属、金属ガラス、ガラス、およびセラミックスであり、また溶接法についても熔融溶接から各種固相接合法まで含み、材料およびプロセスとも研究対象は広範囲に及んでいる。その中で、接合界面の微細組織の詳細観察、各元素の深さ方向の濃度分布、X 線・電子線回折を用いた構造解析など材料学的手法・学理を中心に据え、新規接合プロセスの開発、その機構解明を行った。単なる観察結果の羅列など総花的研究でなく、接合機構・関連する機械的特性・界面伝導機構などの解明を通じ、その接合プロセスに開発指針を発信することを目的とし、体系的な研究取りまとめを行い、他研究者との差別化を意識して研究を行っている。国内・国際学会での研究成果発表には院生教育も含め結果を残せたが、高いインパクトファクターを有する論文への投稿には課題を残した。今後、得られた成果を迅速に国際学術誌へ投稿していく予定である。

研究予算について、何れの研究者も基盤研究(B)や挑戦的萌芽研究などの科学研究被獲得に成功している。また、複数の民間企業からの技術指導要請より、熔融溶接が不可能な材料の接合に挑戦し、材料節約・プロセス簡略化に資する新規プロセス開発の芽を育てている。これらは挑戦的で難易度が高く実現していない接合法への取り組みであり、実用技術を意識した新規接合法開発で社会に貢献している。

4. 教育に対する自己評価

生産科学専攻の博士前期課程の学生に機能材料学の講義を行い、高い受講率を得た。生産科学の学生に欠落気味である材料工学的な知識の再獲得と、特に組織制御による高強度化を機能付加として講義の中心に据え、溶接時の材料組織変化が強度などの機能にどのような影響を及ぼすか想像できる講義とした。全学共通科目の分担講義の一つを担当し、学部 1 年生にもものづくり・接合への関心の醸成と重要性を広報した。

後期課程在籍数の充足率はゼロであり、優秀な前期課程院生に対する後期課程進学への勧誘に課題がある。平成 22、23 年度は 4 名の前期課程学生を配属されていたが平成 24 年度は 3 名の配属と減少し、教授不在の影響を拭えない。研究室の移行時期に重なり、今後優秀な前期課程院生獲得に改善が必要である。在籍した博士前期課程の学生においては、十分な指導を行い、研究成果を溶接学会、日本金属学会や他大学との連携プロジェクトの国際シンポジウムなどにて複数発表を行い、研究・成果発表の基盤を養うことを成功させた。

平成 24 年度は、京都大学にて非常勤講師として、前期課程院生 3 名の修了研究を指導し、修士(工学)の学位取得に結実した。彼らにおいても、研究指導と日本金属学会・国際シンポジウムでの成果発表につなげ、当研究室の前期課程院生同様に研究・成果発表の基盤を養うことを成功させた。

今後も、院生の居室環境ならびに実験室の機能性・安全性向上を高める措置を講じ、院生

の研究素養向上と成果発表スキル養成を維持できるよう教育・研究の水準と環境の一層の向上に努める。

5. 社会貢献に対する自己評価

国内の複数学界で、評議員、委員会幹事・委員などを務め、国際的にも米国材料学会の部会委員や、専門誌の編集委員、国際会議委員を務めている。特に、平成 22、23 年などは摩擦接合技術協会の理事として協会の一般社団法人化の準備委員長として注力し、平成 24 年度法人化を実現した。平成 24 年度は、国内の複数学会にて分科会や欧文誌・会誌委員会委員などを務め学会の運営・発展に貢献した。

平成 24 年度は、京都大学にて非常勤講師として、本学以外の学生 3 名の修士学位研究指導を行い、公益財団法人の本多記念会にて本多記念研究奨励賞の選考委員を務め、40 歳以下の優秀な若手研究者の選考を行い、また、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構の事前書面審査員として複数回事前書面審査を行い、また技術委員として開発技術の審査を行い、これら大学・法人・機構の業務に貢献した。

当研究所主催の国際シンポジウムにおいても論文委員などとしてシンポジウム成功に貢献した。平成 24 年度は、12th International Workshop on Stress-Induced Phenomena in Microelectronics 開催委員として、会場準備・HP 整備・論文選考など主要な役割を担いワークショップを成功させた。

複数の民間企業からの技術指導要請についても真摯に対応し、技術課題解決への助言を行い、そのうちのいくつかについては、今後の共同研究への発展が期待される。韓国金属材料学会の会員との交流を 2 回ほど行い、共同研究や学生受入について検討を行った。

6. 接合科学共同利用・共同研究拠点に関する研究成果に対する自己評価

共同利用研究の成果に基づく論文発表・学会発表としての成果充実に努めてきている。エンジニアプラスチックの接合など新規性・発展性のある研究課題に貢献している。また、透過電子顕微鏡を用いた微細組織観察を中心に、構造材料の接合・表面改質および薄膜接合界面における異材接合機構の解明への協力を行った。電子・電気分野など他分野との融合により、新たな発見・領域拡大や新規共同研究への発展を試みた。その結果、高いインパクトファクターの学術論文(Applied Physics Express)に研究成果が掲載され、今後の共同研究の発展にも寄与している。

4. 6 レーザ接合機構学

年度	平成 2 2	平成 2 3	平成 2 4
教授	片山 聖二	片山 聖二	片山 聖二
准教授	川人 洋介	川人 洋介	川人 洋介
助教	—	—	—

1. 研究概要

本研究分野は、レーザを高度に活用した溶接・接合加工法、表面改質加工法、除去加工法などの材料加工法の開発と溶接・接合機構の解明に関する基礎研究を行うことを目的に設立された。

現在、レーザ溶接・接合現象について光学的手法、X線透視法等により高速度に観察・計測し、レーザ誘起プルーム挙動、レーザと物質との相互作用、熔融溶接現象および溶接欠陥発生機構の解明に関する研究を行っている。また、金属材料において高品質・高機能なレーザ接合部を常時作製するための基礎知見を得るため、溶接時のセンシング、モニタリングおよび適応制御法に関する研究を行っている。さらに、リモート溶接、レーザ・アークハイブリッド溶接、金属とプラスチックやCFRPとのレーザ異材接合、金属やCFRPのレーザ切断機構の解明と切断法の開発、水中レーザ補修溶接などに関する研究も行っている。

2. 研究課題

1. 高輝度・高出力レーザによる深溶込み溶接現象と熔融池内の湯流れ
2. 高パワーディスクレーザによる深溶込み溶接部の作製
3. 低真空・減圧雰囲気における高パワーレーザ溶接特性
4. 低真空中における高張力鋼厚板のレーザ貫通溶接
5. 高張力鋼厚板のレーザ・アークハイブリッド溶接性
6. 亜鉛めっき鋼薄板3枚重ね継手のレーザ溶接とその溶接時のインプロセスモニタリング
7. 各種金属材料とプラスチックのレーザ直接接合（LAMP接合）法の開発
8. チタンとプラスチックのレーザ直接接合時のモニタリングと適応制御
9. マグネシウム合金と鋼または亜鉛めっき鋼とのレーザ異材接合
10. CFRPの高品質レーザによる高速度切断
11. 金属材料とCFRPのレーザ直接接合（LAMP接合）
12. レーザ溶接時におけるスパッタ発生機構の解明

3. 研究成果と研究に対する自己評価

(1) 研究成果

1. 高輝度・高出力レーザによる深溶込み溶接現象と熔融池内の湯流れ

金属材料の厚板に対して、最大パワー16 kW の高輝度ディスクレーザを用いて、種々のパワーと溶接速度においてレーザ溶接を行い、溶接中のキーホール挙動、気泡の発生状況、熔融池内の湯流れなどを高速度ビデオと3次元高輝度X線透視法により観察した。特に、キーホール先端部から発生した気泡がポロシティとなることが確認され、湯流れは、キーホール口後方およびキーホール底部において強く、溶接条件によっては1 m/s 流速で熔融池後方に

起こった。また、レーザ出力、溶接速度、焦点位置等を変えた溶接条件でも、湯流れを観測した。レーザ溶接で溶融池内の湯流れを3次元計測した結果は世界初である。

2. 高パワーディスクレーザによる深溶込み溶接部の作製

ステンレス鋼厚板に対して、10 kW および 16 kW の2台のディスクレーザ装置を用いて、ファイバカップリングにより高パワー化した 26 kW において、溶込み特性と溶接欠陥の生成機構について検討した。2ビームスポットの直列配列と並列配列により融液の噴出状況が異なっておりスパッタの生成傾向が異なること、溶込み深さが異なること、2ビームスポットによる溶込み深さは1つのビームスポットにより得られるものの8割程度に相当することなどを明らかにした。

3. 低真空・減圧雰囲気における高パワーレーザ溶接特性

低真空において、レーザ溶接時の蒸発物の窓への付着が防止でき、溶接が長距離可能な装置を開発した。金属材料に対して、長焦点の集光光学系を用いて、真空度、溶接速度および焦点はずし距離を変化させてレーザ溶接を行った結果、10 kPa、16 および 26 kW、0.3 m/min、-40 mm の条件で、それぞれ溶込みが 50 mm および 70 mm 以上に深く、溶接欠陥のない良好な溶接部を得た。

4. 低真空中における高張力鋼厚板のレーザ貫通溶接

板厚 23 mm の高張力鋼 HT980 に対して、低真空中において 16 kW 高出力ディスクレーザにより種々の条件で貫通溶接を試みた結果、0.1 kPa の低真空中では、溶接速度 1~1.2 m/min で、溶接欠陥（割れやアンダフィル）のない外観も良好な貫通溶接部を裏当てを用いずに作製できた。溶接欠陥としては、部分溶込みの溶接部に凝固割れが発生しやすいこと、低速度ではアンダフィルの貫通溶接ビードとなり、高速度では上板表面にハンピングが形成することを明らかにした。

5. 高張力鋼厚板のレーザ・アークハイブリッド溶接性

高張力鋼板 HT980 に対し、16 kW ディスクレーザと MAG 溶接機（ワイヤ：MGS-80）を用いて、ハイブリッド溶接を行い、良好な貫通溶接部が得られる条件の最適化を行った。23 mm の厚板では2パスのハイブリッド溶接を試み、1パス目の凝固割れを2パス目の溶接で再溶融させ、低減もしくは防止でき、良好な貫通溶接部が作製できることを明らかにした。

6. 亜鉛めっき鋼薄板3枚重ね継手のレーザ溶接とその溶接時のインプロセスモニタリング

板厚 0.7~2.4 mm の亜鉛めっき鋼薄板3枚重ねのレーザ溶接を 0~0.6 mm のギャップの下で行った。その結果、ギャップに従って、良好な溶接部が得られる条件、および表面か裏面がアンダフィルとなりやすい条件を明らかにした。アンダフィルの原因は融液が上表面または裏面からスパッタとして飛散するためであり、モニタリング結果としてもスパッタからの熱放射が増えて熱放射光信号が高くなることなどから判別が可能であることが示唆された。

7. 各種金属材料とプラスチックのレーザ直接接合（LAMP接合）法の開発

板厚 3 mm のマグネシウム合金 AZ91 と熱可塑性プラスチック PET との接合をディスクレーザにより行った。その結果、AZ91 合金板表面にポロシティによる凹みを作製した場合、LAMP接合法では、PET が溶融し、凹みの中に入り込み、アンカー効果が認められた。また、レーザを AZ91 合金側から照射した方が高強度の接合部が作製できることがわかった。

純銅と PET の接合を半導体レーザで検討した結果、レーザを PET 側から照射した場合、気泡はレーザ照射部から遅れた箇所に生成し、レーザ接合はできなかった。一方、レーザを銅板に照射した場合、下板の PET を溶融接合させることができ、銅と PET の高強度接合継手が

作製できた。

8. チタンとプラスチックのレーザー直接接合時のモニタリングと適応制御

チタンと PET のファイバレーザ直接接合において、別の He-Ne レーザをレーザー照射部近傍に照射して利用する反射光と熱放射光をモニタリングした。熱放射光はレーザー照射開始時に低く、終了時に高くなることが判明した。一方、反射光は気泡が生成すると低くなった。そこで、レーザー照射開始時のビームの移動開始と接合部終端でのレーザー終了をレーザー反射光のモニタリング結果から決定し、主なレーザー接合中は、レーザー出力を熱放射信号により制御することにより、接合部幅が一定の良好な高強度 LAMP 接合継手を作製することに成功した。

9. マグネシウム合金と鋼または亜鉛めっき鋼とのレーザー異材接合

マグネシウム合金 AZ31B と裸鋼または合金化亜鉛めっき鋼とのレーザー重ね溶接を行った。その結果、裸鋼板ではレーザー異材接合ができなかった。一方、亜鉛めっき鋼板の場合、スパッタが激しくて表面がアンダフィルとなり、接合部幅も狭いため、良好な溶接部の作製が困難であると判断された。一方、亜鉛めっき鋼板に対して熱伝導型の溶融部を作製した場合、亜鉛が溶融してマグネシウム合金と反応して薄い Mg-Zn 金属間化合物が生成するが、Fe との界面は極めて薄い Fe_3Al の生成を通して、高強度接合部の作製が可能であることを明らかにした。

10. CFRPの高品質レーザーによる高速度切断

短繊維または長繊維の C を含有する PA 基のパン系および炭素繊維含有量が異なる PC 基のピッチ系の CFRP に対して、シングルモードファイバレーザまたは高輝度ディスクレーザにより、超高速度でリモート切断を試みた。その結果、低パワーで数 10 パスの繰返しにより熱影響部の少ないレーザー貫通切断部が得られることが確認された。短繊維の方が切断品質は良好であった。

11. 金属材料と CFRP のレーザー直接接合 (LAMP 接合)

SUS 304 と PA 基または PC 基の CFRP とのレーザー直接接合について、レーザー照射を SUS 304 側から行うことにより検討した。レーザー接合継手を引張せん断試験法で評価した結果、破断は CFRP 内部で発生し、高強度継手が得られた。この場合、SUS 304 での溶込み深さは板厚の半分程度であり、板裏面が溶融していないが、その近傍の CFRP が溶融して接合していることが確認された。また、アルミニウム合金 A5052 (板厚: 1 mm) または亜鉛めっき鋼板 (板厚: 1 mm) と PA 基のパン系 CFRP とのレーザー直接接合を試みた結果、レーザー照射によりいずれも金属表面を溶融させない条件で高強度継手の作製が可能であった。

12. レーザ溶接時におけるスパッタ発生機構の解明

溶接速度が増加すると、スパッタの発生が増加する。高輝度 X 線透過型溶接接合機構四次元可視化システムを用いて、溶融池内部の湯流れからスパッタ発生 (溶融池表面現象) への過渡現象を調査した結果、溶接速度の増加で、キーホール口の湯流れ速度が増加すること、特に、スパッタ発生条件では、キーホール口付近で加速し、1.5 m/s 流速に達するとスパッタとして飛散することを明らかにした。溶接速度が速くなると、キーホール口付近の融液がプルームに伴って吹き上がり、融液として飛散してスパッタとなる発生機構の解明をより一歩深めることができた。

(2) 研究に対する自己評価

低真空において、高パワー (26 kW) レーザにより金属材料の溶接を行い、70 mm 以上の深

溶込みが可能であることを明らかにした。レーザー溶接では1パスで最も深い溶込みの溶接部の作製例を示したことになり、世界的な注目を集めた(研究予算は分野研究費と委任経理金、科研の一部)。

最近、軽量・高強度材として注目されているCFRPについて、レーザー切断ならびに金属との直接接合法について検討した。その結果、連続発振のレーザーでも低入熱・超高速切断法では、数10回繰返し照射処理により、従来予想されてこなかった良好な品質の切断部を短時間で得ることができ、今後の展開が期待される。また、金属とCFRPとのレーザー直接接合も可能であることを明らかにでき、高強度継手が作製できた。この成果は、未来開拓プロジェクトに繋がっており、産業界で注目されることが期待される(研究予算は、分野研究費とプロジェクト受託研究費およびNEDO産業技術助成事業(若手研究 Grant))。

金属とプラスチックのレーザー直接接合法の開発では、軽量のマグネシウム合金やアルミニウム合金、高熱伝導率の銅等においても高強度継手の作製が可能であることを明示した。その成果は、ジャーナルに掲載され、学会などで報告し、新聞でも報道され、社会貢献は大である(研究予算は、分野研究費と委任経理金の一部およびNEDO産業技術助成事業(若手研究 Grant))。

薄鋼板3枚重ねのレーザー溶接法の確立は、自動車業界で注目されているが、日本では実用化されていない。そこで、良好な溶接部を作製するための適正な条件を明らかにし、レーザー溶接現象も解明した。今後の自動車業界におけるレーザー溶接法の展開の基礎となることが期待される。

以上のような成果は、日本だけでなく、外国でも認められ、国際会議での招待講演、海外雑誌用記事や新聞社からのインタビューの依頼があり、また、諸外国から、研究室所属の教員の研究指導の下に研究を行いたいという院生、ポスドク研究者や共同研究を行いたいという研究機関からの要望も多い。研究成果は、分野構成の教員数が2人と少ないにもかかわらず、着実に得られている。今後も現状に満足することなく、同様の研究成果を上げ、社会に貢献していく。

4. 教育に対する自己評価

大学院の講義としては、レーザープロセス学を教えている。授業中の質問とそれに対する回答、小テストとその解答の説明などを通じて、レーザープロセス学の理解を深めさせている。

配属の大学院生に対しては、輪講、研究室発表練習会、実験・研究などを通じて、実験・研究の仕方や発表・講演の仕方を教えている。特に、大学院生に対しては、溶接学会、レーザー加工学会、米国レーザー協会などによる全国大会や国際会議への出席を支援し、論文発表の仕方や日本語論文および英語論文の書き方を指導している。今後も同様に指導をしていく所存である。

5. 社会貢献に対する自己評価

片山は、レーザー加工学会では会長と査読委員会委員長を務め、溶接学会では高エネルギービーム加工研究委員会委員長、日本溶接協会ではレーザー加工技術研究委員会副委員長、軽金属溶接構造協会ではレーザー溶接委員会委員長を務め、さらに、国内外のレーザー加工関連の会議に出席し、情報を学会誌の記事に紹介し、社会貢献をしている。川人は、溶接学会で軽構造接合加工研究委員会・高エネルギービーム加工研究委員会・溶接法委員会の幹事や軽金属溶接構造協会レーザー溶接委員会の幹事を務め、社会貢献をしている。両者は、特に、学会の

研究委員会やセミナーの講演を通じて、また、新聞報道やインタビューなどを通じて研究成果を公表し、社会貢献をしている。最近、金属とプラスチックまたはCFRPのレーザ直接接合法の開発が注目された。さらに、種々の会社や研究機関、企業研究者からの技術相談にも応じ、問題解決に協力して、社会の発展に貢献している。特に、日本では、めがねの接合にレーザ溶接法が初めて適用され、その接合法の開発に貢献してきている。そして、眼鏡新製造法の開発により第四回ものづくり日本大賞特別賞を受賞した。社会人を博士課程の学生として受け入れ、実用化を念頭に置いたレーザ溶接・接合技術・補修溶接技術の開発・普及に努めている。今後も、同様に、社会貢献をしていく所存である。

6. 接合科学共同利用・共同研究拠点に関する研究成果に対する自己評価

本研究分野では、レーザ異材接合関連で共同研究の成果が論文として発表され、発表賞を授賞した。共同研究の成果について、常に、公表できるレベルにもっていく努力をするつもりである。

今後は、共同研究員数をさらに増やし、成果発表の件数もさらに増やす努力をする。

4. 7 複合化機構学

年度	平成 2 2	平成 2 3	平成 2 4
教授	近藤 勝義	近藤 勝義	近藤 勝義
准教授	—	—	—
助教	梅田 純子	梅田 純子	梅田 純子

1. 研究概要

本研究分野では、材料の組織構造・界面制御と多機能化に着目し、エネルギーの効率的利用と環境低負荷エネルギーの創出（省・創エネルギー）と低炭素化を主題に、材料・加工プロセスの観点からナノ・ミクロン・ミリ単位での階層的マルチスケール微細構造設計による材料の複合化・高機能化に関する基礎学理の構築と工学的応用研究を遂行する。さらに、これらの成果を活用し、省エネ化・低炭素化に有効な材料・加工技術の確立を目指す。

2. 研究課題

1. 単分散CNTの真の機能発現に向けた固相结合プロセスによる複合化材料設計
2. 固相焼結法による完全鉛フリー・高強度快削性黄銅粉末合金の創製
3. ユビキタス軽元素を用いたレアメタルフリー・高強度高延性チタンの創製
4. 走査型ケルビンプローブ原子間力顕微鏡による界面構造解析と局部腐食機構の解明
5. 原子配列・ナノ構造制御によるTiNi系超弾性・形状記憶合金の高強度化
6. 非食部バイオマスの高度再資源化に関する実証研究

3. 研究成果と研究に対する自己評価

(1) 研究成果

1. 単分散CNTの真の機能発現に向けた固相结合プロセスによる複合化材料設計

湿式プロセスによるCNTの単分散化手法を開発し、金属粉末へのコーティングプロセスとその複合粉末の固相焼結による複合化材料設計を構築した。最軽量工業用金属であるマグネシウムでは、Mg-C間の濡れ性に劣るため、微量のアルミニウムをMg中にドーピングし、30～50nm程度のMg₂AlC₂の安定化合物を応力伝達媒体としてMg-C界面に形成することでCNT単分散による高強度化に成功した。またチタンの高強度化に関しては、既往研究では合金元素添加が主たる強化手法であったが、昨今のレアメタル規制のもと、強化元素であるバナジウムやニオブなどに代わり、本研究ではユビキタス元素に着目し、CNTの単分散による強化と同時に、炭素原子固溶強化、TiC生成によるPinning効果に関して調査・解析を行い、純チタンに対して僅か0.1mass%のCNT添加によって耐力値は432MPaから916MPaへと2倍以上に増加することを検証した。これらの研究成果は、Comp. Sci & Tech (Impact Factor;3.14), Acta Mater (IF;3.941), Corrosion Sci (IF;3.615), Scripta Mater. (IF;2.821), Mater. Sci & Eng A (IF;2.108), Mater. Chem & Phys (IF;2.072), Mater. Lett (IF; 2.224)などの学術誌に15報の学術論文が掲載された。またドイツ政府主催国際会議Nanodays2010/2011や天津大学、北京工業大学での招待講演をはじめ、国際会議・国内学会等で計34件の講演を行った。

た。さらに、国際会議・国内学会にて合計 5 件の賞を受けた。

2. 固相焼結法による完全鉛フリー・高強度快削性黄銅粉末合金の創製

急冷凝固法により Fe, Cr, Ti, Sn 等の遷移系金属元素を過飽和固溶した黄銅合金粉末を出発原料とし、成形・焼結・熱間押出といった加工・熱処理工程において組織・相制御を行うことで、結晶粒の微細化による可動転位の固着、粒界・粒内ナノ析出、 α/β 相中への固溶強化、強化 β 相の生成比増加といった複数の強化機構を同時に実現するような合金設計・プロセス設計を提案し、その有効性を実証した。その結果、既存の鉛入り黄銅合金に比べて約 2 倍の引張強さである 760~790MPa を達成し、しかもこの特性はステンレス鋼 SUS316L に匹敵する値であり、世界最高強度を有する快削性・黄銅合金の創製に成功した。さらに本合金設計を展開し、より安価な黄銅合金として Mg を黄銅合金に微量添加することで 600MPa を超える高強度を発現することを実証した。本研究は、JST・地域イノベーション創出総合支援事業にて実施し、国際会議・国内学会等で計 23 件の講演（招待講演 5 件）を行うと共に、Comp. Part A (IF;2.744), Mater. Sci & Eng A (IF;2.108), J. Mater. Sci (IF;2.163)などに計 17 報の学術論文が掲載された。さらに、第 43 回市村学術賞・貢献賞をはじめ、国内外での受賞数は計 6 件（うち大学院生の受賞数; 2）、また特許出願件数は 8 件である。

3. ユビキタス軽元素を用いたレアメタルフリー・高強度高延性チタンの創製

酸素・窒素・水素・炭素などのユビキタス軽元素に着目し、古典強化理論（固溶・析出・分散強化・結晶粒微細化など）に基づく純チタン粉末固化材の高強靱性化を目指し、汎用チタン合金の特性を凌駕する完全レアメタルフリー・高強度高延性純チタン材の創製に成功した。溶解製法では実現し得ない引張強さ 1150MPa、破断伸び 22%を達成すると共に、その強化量については、Labusch モデルを用いて溶質原子である酸素原子濃度の 2/3 乗に比例することを実証した。本研究は、科研費・基盤 A によるものであり、本成果を活用して廉価な TiH_2 粉末の直接原料化による高強度・高延性チタンの創製プロセスの構築を環境省・環境研究総合推進研究事業にて採択された。Carbon (IF;5.868), Comp. Sci. & Tech (IF;3.14), Comp. Part A (IF;2.744), Mater. Sci. & Eng A (IF;2.108)などの学術誌に合計 6 報の論文を掲載した。また学協会より本成果に対して計 4 件の賞を受けた。

4. 走査型ケルビンプローブ原子間力顕微鏡による界面構造解析と局部腐食機構の解明

異種材料接合界面に生じる表面電位差に起因するガルバニック腐食現象に関して、構成相の標準電極電位（仕事関数）に基づいて定量的に解析する方法を構築すべく、ケルビンプローブ原子間力顕微鏡 SKPFM を用いたマイクロ・ナノオーダーの異材界面における局所表面電位差の計測技術を開発した。ここでは、紫外光電分光法（UPS）により計測した仕事関数から算出した金属間化合物の電極電位と計測結果との比較を通じて、本測定が高い信頼性のもとで電位差計測が可能であることを明らかにした。さらに、本システムを用いて電子線照射による金属最表面のフェルミ準位制御によるガルバニック腐食の抑制機構を解明した。なお、本成果は Adv. Powder Tech (IF;1.65)や日本機械学会誌などに計 4 報の学術論文を掲載すると共に、学協会より合計 2 件の賞を受けた。

5. 原子配列・ナノ構造制御による TiNi 系超弾性・形状記憶合金の高強度化

低侵襲・高度医療用デバイスである自己拡張型ステントに用いる超弾性 TiNi 系超弾性・形状記憶合金の組織構造を固相プロセスである粉末冶金法により原子・ナノレベルで制御し、溶解製法では実現し得なかった超高強度（従来材の 3 倍以上）と高回復率（100%回復）を兼ね備えた革新的な TiNi 系合金を創製する。これによりステントの薄肉・細径化と疲労耐久性

の向上を可能とする次世代デバイスの開発を目指す。薄肉化に寄与するプラトー応力の向上に関して、①解離酸素原子の固相反応による Ni 固溶量（マルテンサイト Ms 相変態）制御、②Co/Fe 等の遷移系金属原子の固溶による Ms 相変態制御を適用し、他方、形状回復率の向上に対しては、③形状記憶熱処理過程での高温短時間時効処理による 10~50nm 程度の超微細 Ti_3Ni_4 ナノ析出（粒界すべり変形の抑制による回復率の向上）の有効性を検証した。その結果、1050~1130MPa の高プラトー応力（既存 TiNi 合金のプラトー応力：380~420MPa）と 95~98% の高回復率の発現に成功した。本研究は、JST・戦略的イノベーション創出推進プログラムにて H24 年度より 10 年間の計画で実施しており、現在、国際会議・国内学会で計 3 件の講演を行うと共に、特許 1 件を出願した。

6. 非食部バイオマスの高度再資源化に関する実証研究

農業廃棄物である籾殻を非食部バイオマスとして利活用し、熱エネルギー抽出とそのバイオマスカスケードからの高純度アモルファスシリカの生成といった省エネ化・再資源化に貢献する相乗便益（コベネフィット）技術の実用化を目指し、国内外での実証研究を進めている。特に、高純度・非晶質シリカは、セメントとのポゾラン反応性に富むために短時間で強度向上効果を発現すると共に、急冷凝固法により球状化シリカ粒子が得られ、半導体用封止材として現行の鉱物シリカ（市場規模 2 兆円）との代替が可能であることが判明した。現在、民間企業 3 社との実用化研究を実施すると共に、農水省連携研究事業（5 年間）を H26 年度より開始する予定である。本成果は、学術論文として *Industrial Crops & Prod.* (IF:2.468) に掲載され、また国際会議・国内学会で計 3 件の発表を行うと共に、受賞 1 件の実績がある。

(2) 研究に対する自己評価

省・創エネルギー技術と低炭素化材料・プロセスの構築を目指し、材料・加工プロセスの観点からナノ・ミクロン・ミリ単位での階層的マルチスケール微細構造設計による材料の複合化・高機能化に関する研究を進め、上述したような材料学分野において国際的にも優れた IF 付き英文学術誌を中心に計 33 報の論文が掲載され、同分野では国内外で高い研究水準にある。これらの研究成果に対して、国内外の学協会からの受賞ならびに招待講演の機会を得ており、また、特許・著書・新聞発表など研究成果の外部発信による知の社会還元も十分に果たしている。なお、研究活動に要する外部資金獲得総額（H22~H24 年度）は 461 百万円であり、研究環境も十分に整備できたと考える。

4. 教育に対する自己評価

機械系博士課程前期 1 年生を対象に「機械材料学」を、同 2 年生に「ナノ界面設計学」の講義を行い、機械材料の設計に不可欠な破壊力学・構造力学に加え、加工・熱処理による金属材料の高強靱性化機構、さらにはナノ構造化に関する特異機能発現などの解説を行った。機械系専攻にて、博士後期課程学生 4 名の学位審査委員（主査；2 名、副査；2 名）を担当し、また博士後期課程学生 2 名、前期課程学生 7 名、学部 4 年生 5 名の研究指導を行った。さらに、H22~H24 年度において上記学生が国際会議・国内学会等で受賞した件数は計 13 件である。また学外教育活動として、夏季休暇期間を利用して大学間学術協定校である天津大学および上海交通大学にて大学院生を対象とした材料科学（ナノ構造複合材料）に関する集中講義を、武庫川女子大学にて前期共通教育科目「持続可能な新エネルギー」の講義を担当した。

5. 社会貢献に対する自己評価

①国内外での学会等活動：材料系学協会において理事・幹事・各種委員を継続するなか、新たに経済産業省・希土類磁石リサイクル調査研究会委員，NEDO・素形材技術開発動向調査委員，NEDO・異種材料接合技術開発動向調査有識者委員，民間企業7社の技術顧問に就任するなど，産官学連携の効率的推進に向けた活動に積極的に携わった。

②産学連携：民間との共同研究13件を実施する他，中小企業と共同で真空加熱炉の開発に関して戦略的基盤技術高度化支援事業（サポイン事業）や上述したJST・地域イノベーション創出総合支援事業を企業2社と連携して実施した。また経済産業省・新規産業創造技術開発費補助金事業を中小企業と共同で実施し，次世代石炭火力発電（IGCC）プラント用SUS316L薄板鋼板のシーム溶接およびその塑性加工に係る基盤技術に関する研究を行った。

③国際貢献：Journal of Bio Resources, Journal of Composite Materials, Composite Science and Technology, Journal of Encapsulation and Adsorption Sciences, World Journal of Nano Science and Engineering, Green and Sustainable Chemistry, Journal of Powder Technology, Journal of Powder MetallurgyなどのジャーナルにてCo-Editorを務めた。またドイツFraunhofer IPA研究所のInternational Advisory Boardメンバーに就任すると共に，接合研との部局間学術交流協定の締結を実現した。外国人招聘研究員6名が中国・タイ・台湾から来訪・滞在し，共同研究を実施した。その成果としてScripta Mater.にて学術論文1報が掲載された。

④社会貢献：NPO 法人環境・エネルギー・農林業ネットワークでは理事を継続就任し，カンボジアやマダガスカル，ミャンマーなどでの当地バイオマス利活用の方策提言を行った。

6. 接合科学共同利用・共同研究拠点に関する研究成果に対する自己評価

共同利用研究員として計53名を受け入れ，得られた研究成果は，日本金属学会，軽金属学会，日本機械学会，TMS2011/2012/2013，MS&T2010/2011，Titanium 2011，MSE2012，American Academy of Periodontology等で講演発表し，またChem. Comm. (IF: 5.787)，Acta Mater, Corrosion Sci, Comp. Sci. Tech, Mater. Sci. Eng. Aなど国内外で高い評価を受けている英文ジャーナルに10件を超える学術論文が掲載された。

4. 8 数理解析学分野

年度	平成 2 2	平成 2 3	平成 2 4
教授	村川 英一	村川 英一	村川 英一
准教授	中長 啓治 芹澤 久	中長 啓治 芹澤 久	中長 啓治 芹澤 久

1. 研究概要

本研究分野では、溶接・接合科学における、熱源・材料・プロセス・力学が連成した諸現象の数学的モデル化と数値シミュレーションの工学問題への展開に関する教育および研究を行っている。前者は未解明現象のモデリングに必要な数値計算技術に関する基礎研究であり、研究のシーズに相当し、後者はこうしたシーズの各種接合構造体の製作時に発生する溶接変形、残留応力、割れの予測、製品の機能および信頼性評価という実用的ニーズに向けての展開である。また、溶接・接合技術を用いて作製される製品に対する溶接変形・残留応力などの影響、および異種材料で作製される不均質構造体の強度についても研究を行っている。さらに、数理解析学分野は溶接における計算科学に関する基礎研究の推進と人材の育成を目的とし、所内組織として設立された国際連携溶接計算科学研究拠点において溶接力学分野を担当している。

2. 研究課題

1. 大規模熱弾塑性問題の高速解析法の開発
2. 薄板構造および厚板多層溶接大型構造を対象とした溶接変形予測
3. 異材の抵抗スポット溶接における溶接性予測
4. 複雑厚板溶接継手部の残留応力の測定と非破壊ハイブリッド測定法の開発
5. 低放射化構造材料の接合性評価
6. 金属結晶モデルの変形および破壊挙動に関する基礎的検討
7. 粒子法-有限要素法連成による摩擦攪拌接合プロセス解析

3. 研究成果と研究に対する自己評価

(1) 研究成果

1. 大規模熱弾塑性問題の高速解析法の開発

平成 22 年度は、当分野が開発した高速溶接シミュレーションコードである JWRIAN の適用範囲を拡大するため、拡散型の固相変態が解析できる機能を追加し、溶接に低変態温度溶接材料(LTT 溶接材料)を用いた際の溶接残留応力の低減効果に注目した解析を行い、中性子回折による応力測定結果との良好な対応を確認した。平成 23・24 年度は角回し溶接に LTT 溶接材料を適用することにより残留応力低減および疲労強度が大幅に改善されることを確認した。同じく溶接材料の相変態に関しては、変態開始温度に対する応力および塑性ひずみの影響、さらに変態誘起塑性が考慮できるように解析コードの改良を行った。また、米国の Nuclear Regulatory Commission が主催するラウンドロビンに参加し、合計 95 パス多層溶接の計算を行い、結果を平成 22 年度および 23 年度に報告した。

2. 薄板および厚板大型構造を対象とした溶接変形予測

溶接変形は構造物が薄板構造であるか厚板構造であるかによって異なり、薄板構造では溶接残留応力による座屈変形が工作上の問題となる。平成 22 年度および平成 23 年度は自動車運搬船の車両甲板や上部構造（5 階建ビル相当）などの薄板構造物の建造時に見られる座屈型の変形を含めた溶接変形を対象に、一連の溶接組立変形解析を当研究室が開発した溶接組立変形予測プログラム JWRIAN を用いて解析し、歪取を含めた変形抑制対策について検討した。さらに大規模な構造物を視野に、平成 24 年度は挑戦的萌芽研究の課題として溶接組立変形シミュレーションのための「理想化構造要素法」を開発し計算速度の飛躍的向上とモデル作成における効率化を実現した。

水力・火力などの発電機器の製造においては、狭開先 TIG 溶接による開先の閉口が問題となっている。そこで、平成 23 年度および 24 年度は、熱弾塑性 FEM 解析により開先の閉口変形予測を行い、実験結果と定量的に良い一致を得た。また、車両などのアルミニウム合金部材の MIG 溶接については MIG プロセスのシミュレーションと熱弾塑性解析を組合せた解析によりルートギャップや溶接条件などの諸因子が固有変形に及ぼす影響を解明した。

3. 異材の抵抗スポット溶接における溶接性予測

健全なスポット溶接継手を得るためには、電流、加圧力、通電時間、電極形状などの施工パラメータの適正な設定が重要であり、特に 1000MPa 級の高張力鋼と従来鋼の間での異材接合などにおいて問題となっている。そこで当研究室では、適正条件範囲が狭く難度の高い異材接合に対応したシミュレーション手法の開発に平成 22 年度より取り組んでいる。平成 23 年度は、分流のナゲット形成に及ぼす影響をシミュレーションにより明らかにするとともに、難度の高い異材接合における有効性を確認した。平成 24 年度は、超高張力鋼のスポット溶接に対する多段通電の効果や電極と板材の間に薄い金属シートを挟み込んだ溶接法のアルミ合金の接合における金属シートの物性値とナゲット形成の関係を明らかにした。

4. 複雑厚板溶接継手部の残留応力の測定と非破壊ハイブリッド測定法の開発

複雑厚板溶接継手である原子炉本体・管台貫通溶接部（異材非軸対称円周溶接継手部）、および配管・管台溶接部（非軸対称円周溶接継手部）、さらに冷却材配管突合せ溶接部（円周溶接継手部）などを対象として、3次元残留応力分布の推定法である固有ひずみ法（固有ひずみを媒介とした有限要素法と実験を融合した測定法）に関する研究を進展させた。特に推定の精度および安定性を大幅に向上させる方法として固有ひずみ法にロバスト推定法（カット付き最小二乗法）および M 推定法を導入した推定法を開発した。また、実験の手間や費用を大幅に削減できる残留応力分布の簡易測定法を開発した。これらの手法を用いて口径の違いが残留応力分布特性に及ぼす影響、周方向の変化も含めた 3次元残留応力分布を明らかにした。さらに、中性子回折法と固有ひずみ法を融合させた非破壊ハイブリッド測定法を提案するとともに高精度な測定が可能な条件を解明しハイブリッド測定法の基礎を確立した。

5. 低放射化構造材料の接合性評価

核融合炉におけるブランケット構造部材の第一候補材料である低放射化フェライト鋼 F82H やオーステナイト系ステンレス鋼 SUS316L およびそれらの間の異材接合を目的として、純アルゴン雰囲気中で新型プラズマ GMA トーチを用いる溶接法、部分真空中でのディスク・レーザ溶接装置を開発した。またファイバー・レーザを用いた異材接合では、レーザ照射位置を SUS316L

側に移動することで溶接金属部のマルテンサイト化を防ぐことができることを明らかにした。一方、箱型構造のブランケット・モジュールの溶接については、弾塑性クリープ解析を行い接合部の位置および溶接後熱処理条件が溶接残留応力の緩和に及ぼす効果を明らかにした。さらにF82Hと同じく低放射化フェライト鋼の一つである酸化物分散強化鋼 ODS 鋼については、摩擦攪拌接合法 (FSW) の適用性について検討し、ツールの回転速度を遅くすることで攪拌部の軟化を抑制することが可能であることなどを明らかにした。

6. 金属結晶モデルの変形および破壊挙動に関する基礎的検討

先進の高強度鋼や低放射化金属材料は材料に含まれる組成分布に加え、様々な熱加工処理を適用して、その結晶分布形態を高度に制御することにより作製されるため、その破壊様式は古典的な破壊力学では十分には説明できない。そこで平成 22 年度には金属の結晶分布形態を考慮した材料の変形や破壊様式を解明することを目的に、結晶粒内を通常の有限要素により、また結晶粒界を界面要素によりモデル化し、多結晶体の変形および破壊挙動の解析を行った。粒界でのすべり強度とはく離強度の関係を調整することにより、実験結果と良い一致が得られた。さらに、ミクロレベルの検討を行うため結晶塑性理論を導入した解析法を開発し、結晶方位差を起因として結晶三重点に生じる応力集中などを再現することができた。

7. 粒子法—有限要素法連成による摩擦攪拌接合プロセス解析

摩擦攪拌接合法は材料の塑性流動をとまなう接合法であるため、接合後の変形や残留応力を溶融溶接法の場合に用いられている熱弾塑性 FEM 解析のみで予測することは困難である。そこで、ツール近傍の攪拌現象を粒子法の一つである MPS 法を用いて解析し、MPS 法で算出した攪拌による発熱を入熱として FEM 温度場解析を実施することにより、ツール近傍も含めた摩擦攪拌接合における過渡温度履歴を詳細に予測する解析法を開発した。

(2) 研究に対する自己評価

本研究分野は、溶接接合技術に関連した力学現象の数値シミュレーションに関する研究を主として実施しており、実構造物への適用を視野に入れた大規模かつ高速な熱弾塑性解析法の開発、抵抗スポット溶接における溶接性予測、固有ひずみを用いた溶接残留応力・変形解析はそれぞれユニークな研究であり着実に成果を挙げている。研究成果は、輸送機器や発電機器などの各種溶接構造物の安全性、健全性の信頼性向上に貢献している。3 年間で査読付き学術論文 19 件、国際会議発表論文 15 件（査読有り：8 件、査読無し：7 件）、国内学会発表論文（査読無し）18 件、Trans. JWRI 論文 15 件、国際会議発表 25 件、国内学会発表 12 件、国際会議講演 2 件、国内会議講演 8 件、解説 5 件、特許 1 件を執筆あるいは講演した。外部資金については、科研 2 件（総額 2,060,000 円）、民間との共同研究 32 件（総額 47,336,000 円）、受託研究 8 件（総額 25,553,000 円）、奨学寄附金（総額 15,900,000）を受入れた。また研究成果が認められ IHIMU と共同開発した全自動曲げ加工システムに対して第 40 回日本産業技術大賞の審査委員会特別賞を受賞した。

4. 教育に対する自己評価

本研究分野は、主として工学研究科地球総合工学専攻（船舶海洋工学コース）および工学部地球総合学科（船舶海洋工学）の学生を対象として教育を行っており、講義においては、『弾塑性学』（大学院）、『数値構造解析』（大学院）、『船舶海洋工学ゼミナール I』（大学院）、

『船舶海洋工学ゼミナールⅡ』(大学院), 『基礎構造解析学』(学部3年), 『数値構造解析学』(学部3年), 『海洋構造物製図』(学部3年), 『先端教養科目』(全学共通教育), 『基礎セミナー』(全学共通教育)を担当している。研究においては, 平成22年度から3年の各年度において博士後期課程2、3、5名, 博士前期課程12、11、11名の指導を行った。また, 学部学生の卒業研究の指導も行っており, 学部学生数は各年度6、6、7名である。その成果のひとつとして博士後期課程の学生1名が国際海洋極地工学会(ISOPE2011)において学生最優秀論文賞を受賞した。平成24年度は, 清華大学より博士課程の学生を研究生として受入れ6ヶ月研究指導を行った。さらに, 学位審査については, 3年間の通算で主査2件, 副査7件を担当し, 教育・研究指導の両面において貢献している。学外では平成24年度に愛媛大学および九州大学の大学院生を対象に「溶接組立変形の発生メカニズムと予測」に関する特別講義を実施した。また, 溶接学会が主催する溶接工学夏季大学において講義を行った。海外ではハルビン工業大学から客座教授の称号を授与された。

5. 社会貢献に対する自己評価

本研究分野は, 以下の役職などを通して社会貢献において期待される役割を果たしている。

- ① 国内外での学会等活動: 溶接構造研究委員会委員長および幹事, 軽構造接合加工研究委員会幹事, 溶接学会誌会員モニター, 日本溶接協会個人会員, 日本溶接協会溶接情報センター運営委員会委員, 同システム検討委員会委員長, 高温学会評議員, 日本船舶海洋工学会関西支部商議員, Computer Modeling in Engineering & Science の編集委員を務めた。
- ② 産学連携: 住友金属, 小松製作所などとの包括提携企業との共同研究を含め平成22年度9件、平成23年度12件、平成24年度11件の民間との共同研究および(独)日本原子力研究開発機構との共同研究, 経済産業省の“革新的実用原子力技術開発提案公募事業”など平成22年度3件、平成23年度3件、平成24年度2件の受託研究を通して産業界に貢献している。
- ③ 国際貢献: 国際連携溶接計算科学研究拠点(CCWS)の事業として, ハルビン工業大学、西安交通大学、北京工業大学において「数値溶接力学」に関する集中講義を実施した。また, CCWSが重慶大学、パナマ工業大学、清華大学、北京工業大学等から平成22年度4名、平成23年度6名、平成24年度3名の外国人招聘研究員を受入れ共同研究を実施した。当研究所が主催した国際シンポジウムVisual-JW2010およびWelding Science and Engineering 2011において, ChairmanおよびChairman of Executive Committeeを務め研究所の国際化に貢献した。
- ④ その他社会貢献: 公的委員会の主査: 人口バリア特性体系化調査検討委員会((財)原子力環境整備促進・資金管理センター), 委員: 材料評価技術検討会((独)原子力安全基盤機構), (独)日本学術振興会第133委員会委員, (独)日本原子力研究開発機構核融合炉工学研究委員会専門委員, 核融合科学研究所共同研究員, 室蘭工業大学FEEMA研究課題選定委員会委員, また学協会などが主催する講習会において年数回、講師を務めた。

6. 接合科学共同利用・共同研究拠点に関する研究成果に対する自己評価

本研究分野は, 全国共同利用の制度を活用して, 平成22年度8名、平成23年度20名、平成24年度は19名(先導的重点課題を含む)の共同研究員を受入れ, 共同研究の成果を通算6件の共著論文として発表している。主要な共同研究として, 大阪府立大学とは, 溶接高温割れに関する力学モデルの構築およびGPUを用いた並列化理想化陽解法の開発に関して継続

的な共同研究を実施，愛媛大学とは大型溶接構造物の溶接変形予測に関する共同研究を実施し，工学研究科とは溶接プロセス中の相変態挙動を考慮した溶接力学解析に関する共同研究ならびに核融合炉用低放射化金属に関する冶金学的共同研究を行い成果を挙げている．また，東北大学とは核融合炉用低放射化金属材料を用いた異材接合体に関する研究の実施している．なお，先導的重点課題では東京理科大，大阪府立大学，広島大学などと“溶接プロセスから経年化構造までの一貫シミュレーションの実現”を目指した共同研究を実施している．

4. 9 信頼性設計学

年度	平成 2 2	平成 2 3	平成 2 4
教授	金 裕 哲	金 裕 哲	—
准教授	—	堤 成一郎	堤 成一郎
講師	—	—	崎野良比呂
助教	崎野 良比呂	崎野 良比呂	—
特任助教	廣畑 幹人		—

1. 研究概要

本分野は、各種構造物の信頼性（安全性、耐久性）評価手法の高度化、維持管理・補修補強の最適化、さらに高機能を有する材料および構造体の創出を目指し、先進の計測技術を用いた実験的研究と数値シミュレーションを用いた解析的研究をマルチスケール（マイクロからマクロレベル）に実施する。さらに、寿命を迎えたものは安全に解体し、廃棄、あるいは、利用可能なものは再利用する循環ループの具現化を目指した『頼りになる設計学』の確立に向けた基礎研究を行う。このため「ものづくり」における素材の切断、加工、組立てといった個々の高精度化・高品質化の達成と維持管理、補修補強および余寿命評価を包括する循環ループにおける頼りになる設計学の構築を目指す。

2. 研究課題

1. 構造部材および接合部の信頼性評価
2. 材料変形挙動のモデリング技術の高精度化
3. 疲労（き裂発生・進展）寿命評価手法の高度化
4. 変形・き裂計測技術の高精度化
5. 鋼構造物の長寿命化技術の開発
6. 高張力鋼や高経年鋼材の溶接性および継手性能評価

3. 研究成果と研究に対する自己評価

(1) 研究成果

多くの溶接構造体が社会インフラとして活用されているが、現在でも多くの疲労損傷が報告されている。社会インフラの疲労損傷は大規模死亡事故を誘発する事もあり、溶接構造物における疲労損傷事故を防止することは、豊かにかつ安全な社会活動を営むために極めて重要な課題である。しかし従来法に則って、一定荷重振幅下で得られる疲労設計曲線（S-N 曲線）を用いて疲労強度設計をする場合、個々の機械・構造物が受ける荷重履歴の影響を評価できない、また疲労事例の多くは繰返し応力に伴う疲労き裂の発生とその後の伝播挙動に支配されているにもかかわらず、そのプロセスが全く考慮されていない、という二つの大きな問題が挙げられる。つまり、疲労設計の高度化には、疲労き裂の発生メカニズムを解明し、荷重履歴の影響も含めて、“疲労き裂の発生から、伝播までの寿命を定量的に評価可能なシステムの確立”が極めて重要である。そこで、巨視的には弾性に見なせるような小さな応力（以

降、“巨視的弾性応力”と称する) 振幅一定・準静的繰返し試験を行ない、①低回数繰返しに対しては弾性応答を示すが、その後②突如、塑性ひずみ(ヒステリシスループ)が発生する現象を計測すると共に、本現象を対象とした弾塑性モデルの定式化および実験結果との照査を行った。その結果、巨視的弾性条件の一定荷重振幅条件下における繰返し軟化挙動を再現可能であることが明らかになった。

さらに、疲労設計の高度化には、疲労き裂の発生メカニズムを解明し、多軸・変動荷重の影響も含めて、疲労き裂の発生から伝播までの寿命を定量的に評価可能なシステムを確立する必要がある。そこで、巨視的弾性の繰返し応力による、①巨視的弾性応答から②塑性ひずみ急増までの一連の挙動を予測可能な材料モデルを提案している。さらに、本モデルにより計算される繰返し損傷カウントパラメータをもとにした、③き裂発生規準を提案し、その応答特性の検証を行った。その結果、巨視的弾性・繰返し応力下での繰返し硬・軟化挙動の再現および過去に得られた寿命曲線との良い一致を確認することが出来た。また、変動荷重下への適用を見据えた改良も行い、その応答特性を詳細に把握した。

一方、巨視的弾性応力でも、それを繰返し加えると、何れ非弾性ひずみが確認されようになる。本現象は、繰返し軟化挙動として認識され、各種金属材料で計測されている。巨視的弾性状態にある繰返し荷重初期段階においても材料組織レベルでは、微視的な非弾性ひずみが発生していると思われるが、本現象の素過程全般を実験的に計測することは容易ではない。そこで巨視的弾性条件下で発生する塑性ひずみとその後の繰返し荷重に伴う累積・顕在化など、繰返し荷重に伴う軟化挙動のメカニズム解明およびそれら変形挙動に対する介在物の影響に関する基礎的検討を行うことを目的として結晶塑性モデルを導入した有限要素シミュレーションを行なった。

他方、各種強度傾斜鋼板の開発が進められる中、板厚方向に対して材料強度を連続的に変化させることの有効性について検討を行った。本研究では、ステンレス鋼中の窒素の濃度分布を変化させることによって、鋼板の表面を最大強度に調整した材料、および中心部を最大強度に調整した材料(強度傾斜鋼板)を製造し、有限要素解析技術を用いてその力学特性評価を行った。その結果、同一の引張強さを有する鋼板であっても強度傾斜によって曲げ強度が顕著に変化することが明らかとなり、本手法によりプレス成形用薄鋼板の力学特性を改善できる可能性が示唆された。

更に、鋼橋やクレーンガーダ等の溶接部に疲労き裂が生じることが報告され、社会問題となっている。この種の疲労き裂の発生をレーザーピーニングの適用により、引張応力場を圧縮応力場に変えることで、長寿命化する、あるいは、防止する研究を行っている。そこで、パルスエネルギーを小さくしたレーザーピーニング条件が、生成される残留応力と疲労寿命に及ぼす影響について検討した。その結果、パルスエネルギーが小さくても表面および最大圧縮残留応力の低下は小さいが、圧縮残留応力の生成深さは急激に浅くなり、疲労寿命も短くなることが明らかになった。

また、高強度鋼を中高層建築物に使用した場合の、柱梁溶接接合部の合理的な設計やディテール等の改善を行うための研究を行っている。建築構造用高張力鋼 H-SA700 を用いた実大柱梁溶接供試体 3 体を製作し、繰返し曲げ試験に供した。梁端の形状を、通常のスレートとしたもの、拡幅ハンチとしたものおよび溶接でハンチを取り付けたものの 3 種類とした。実験の結果、スレートのままではエネルギーをほとんど吸収せずに脆性破壊するが、ハンチを用いればエネルギー吸収が期待できることがわかった。これにより、H-SA700 の溶接接合の可能性が示唆された。

(2) 研究に対する自己評価

本研究分野は、火災、地震などにより被災した社会基盤鋼構造物の早期復旧・回復における溶接接合の可能性探求、構造健全性診断、さらには、過積載車の運行により、社会問題化してきている鋼橋に生じる疲労き裂の発生と進展の監視および長寿命化、地震防災など、さらには新材料の開発を目指した研究などを対象として、先進の計測技術を用いた実験的研究と数値シミュレーションを用いた解析的研究をマルチスケール（マイクロからマクロレベル）に実施している。また、日本鉄鋼協会の「高強度鋼の破壊靱性」研究会および「計算工学による組織と特性予測技術 II」研究会に委員として参画し、産学による共同研究を行い、得られた知見は新材料開発や材料強度評価手法の高精度化に寄与するなど、国民の安全安心を担保する研究を積極的に行っている。

平成 22 年度は査読付き研究論文 23 件（内：国際会議 1 件）、査読なし国際会議発表論文 2 件、国際会議発表 6 件が掲載されると共に、国際会議講演 3 件、国内会議講演 2 件および国内学会発表 19 件を行った。特許 1 件を取得および解説 3 件が掲載された。研究予算は、運営費交付金を除き、平成 22 年度は 21,240 千円であった。

平成 23 年度は査読付き研究論文 11 件、査読なし国際会議発表論文 11 件、査読なし国内会議発表論文 10 件（内：招待講演 1 件）、Trans. of JWRI 1 件、国際会議発表 5 件および解説 1 件が掲載されると共に、国内学会発表 14 件、国内会議講演 5 件を行った。また、海外からの受賞 1 件と国内からの受賞 2 件があった。研究予算は、運営費交付金を除き、平成 23 年度は 33,581 千円であった。

平成 24 年度は査読付き研究論文 4 件、査読付き国際会議発表論文 2 件、査読なし国際会議発表論文 1 件、査読なし国内会議発表論文 4 件、Trans. of JWRI 2 件、国際会議発表 4 件が掲載されると共に、国内学会発表 5 件、国際会議講演 4 件、国内会議講演 4 件を行った。また、著書 1 件、その他資料 2 件があった。研究予算は、運営費交付金を除き、平成 24 年度は 8,113 千円であった。

4. 教育に対する自己評価

本研究分野は、工学研究科地球総合工学専攻（社会基盤工学部門）の協力講座として、大学院生および学部の教育研究を行っている。大学院前・後期課程において、社会基盤工学ゼミナール（通年）を行っている。また、学部では 2 科目の講義などを行っている。

平成 22 年度は前期課程 5 名および後期課程 3 名（社会人 1 名を含む）の研究指導を行うと共に、博士論文審査において、主査 2 件を担当した。一方、前期課程および後期課程学生と共著論文として、査読付論文 9 件、国際会議発表論文 2 件、Trans. of JWRI 1 件が掲載された。また、国内において 7 件の研究発表および国際会議発表 2 件を経験させた。他方、韓国朝鮮大学と本研究所間に国際学術交流協定が締結されている。その一環として、平成 22 年度は、朝鮮大学から教授 2 名、2 回の訪問を受け、研究発表会の運営方法など意見交換を行った。

平成 23 年度は前期課程 5 名、後期課程（社会人）1 名および社会人（論文博士）の研究指導を行うと共に、博士論文審査において、主査 2 件を担当した。一方、前期課程および後期課程学生と共著論文として、査読付学術論文 5 件、査読なし国際学会発表論文 5 件および国内学会発表論文 4 件を掲載および国際会議発表 1 件、国内学会発表 7 件を経験させた。他

方、韓国朝鮮大学と本研究所間に国際学術交流協定が締結されている。その一環として、平成 23 年度は、朝鮮大学から教授 2 名、2 回の訪問を受け、共同研究に関する打合せおよび意見交換を行った。

平成 24 年度は前期課程 3 名の研究指導を行なった。一方、前期課程学生と共著論文として、査読付学術論文 1 件、国内学会発表論文 3 件を掲載および国際会議発表 1 件、国内学会発表 3 件を経験させた。他方、インドの IIT ハイデラバード校および BHEL トリチェラパリを往訪し、平成 24 年度から国際学術交流協定を締結した。その際、現地で講演を行うとともに、それら内容が新聞 5 紙に掲載された。さらに、フランス・パリ鉱業大学校およびサウジアラビア・キングサウド大学と本研究所間の国際学術交流協定の締結においてコンタクトパーソンを務めた。また、その一環としてフランス・パリ鉱業大学校材料センターの Esteban Busso 教授の訪問を受けると共に、共同研究に関する打合せおよび意見交換を行った。また、往訪したサウジアラビア・キングサウド大学において協定調印式および講演を行い、合わせて共同研究に関する打合せおよび意見交換を行った。

5. 社会貢献に対する自己評価

国内における主な所属学協会は、溶接学会、溶接協会、土木学会、日本船舶海洋工学会、建築学会、鋼構造協会、鉄鋼協会、日本材料学会、日本機械学会および圧接協会である。

溶接学会では溶接構造委員会に所属し、委嘱委員として活動している。また、平成 24 年度溶接学会秋季全国大会実行委員会を務めた。国際貢献としては、International Institute of Welding (IIW) 委員会において発表を行なうとともに、International Journal of Plasticity に関連する数多くの論文査読者として貢献している。一方、日本船舶海洋工学会の溶接構造研究委員会や日本材料学会の疲労部門委員会などの各種委員会に参画するとともに、同学会の塑性工学部門委員会企画事業委員として、材料及び塑性力学分野の発展に寄与している。また、超高速衝撃試験機などの実験設備の公開、見学受け入れを積極的に行うとともに、平成 24 年度企画された中学生 120 名による接合研見学においては、企画・運営を担当した。以上述べたように、本研究分野は新材料の開発、各種強度評価手法の高精度化や社会基盤の維持管理といった観点から、国民の安全安心を担保するため社会に貢献している。

6. 接合科学共同利用・共同研究拠点に関する研究成果に対する自己評価

平成 22 年度は国内から共同研究員 11 名を受け入れた。研究成果として、査読付論文 1 編、Trans. of JWRI に 3 編を掲載および学会発表 6 件を行った。平成 23 年度は国内から共同研究員 12 名を受け入れた。研究成果として、査読付学術論文 6 件、査読なし国際学会発表論文 6 件および国内学会発表論文 10 件、Trans. of JWRI に 1 件を掲載および国際会議発表 1 件、国内学会発表 10 件を行った。平成 24 年度は国内から共同研究員 20 名を受け入れた。研究成果として、査読付学術論文 1 件、査読なし国際学会発表論文 2 件および国内学会発表論文 1 件、著書 1 件を掲載するとともに、国際会議発表 2 件、国内学会発表 2 件を行った。

4. 10 機能性診断学

年度	平成 2 2	平成 2 3	平成 2 4
教授	藤井 英俊	藤井 英俊	藤井 英俊
准教授	—	—	上路 林太郎
助教	—	森貞 好昭	森貞 好昭

1. 研究概要

構造体はその用途に応じた機能性を要求される。たとえば大型構造物では強度、靱性などの機械的特性、化学プラント機器では機械的特性以外に化学的特性、小型のものでは用途に応じて、電気的特性、熱的特性、光学的特性、化学的特性、生体機能的特性などが求められる。

本研究分野では、最終的により高機能な構造体（接合体）を得るという目的を達成するために、(1) 素材の機能評価、最適化 (2) 接合プロセスの機能評価、最適化 (3) 構造体（接合体）の機能評価、高機能化を 3 つの柱とした総合的な研究を行い、構造体の安全性および機能性を総合的に評価するための学問体系の確立ならびに合理的な補修、補強、延命対策のための基礎研究を行う。

2. 研究課題

1. 高温融液の熱物性値の測定
2. 摩擦攪拌接合法の開発および接合部の特性評価技術の確立
3. 高効率・高品質 TIG 溶接技術の開発
4. 構造体および部材の高機能化、長寿命化に関する研究
5. ニューラルネットワークシステム等を用いた接合部機能の多変量解析

3. 研究成果と研究に対する自己評価

(1) 研究成果

1. 高温融液の熱物性値の測定

測定精度を向上させた静滴法および浮遊液滴振動法を用いて、種々の熔融金属の物性値を測定した。例えば、蒸気圧の高い熔融 Mg 合金による純 Ti、多結晶および単結晶 MgO、Al₂O₃ の濡れ性や熔融純 Fe、SUS304、純 Cu、純 Al による各種硬質皮膜の濡れ性の測定を行った。後者の結果により、被加工材の切削抵抗を併せて測定することで、各種切削工具の性能と濡れ性の関係に強い相関があることを明確にした。また、熔融 Al 合金や熔融 Ag-Cu-W 合金による BN の濡れ性を測定し、特に、熔融 Al 合金において 0° と極めて小さい接触角が得られる現象をを明確にした。

濡れ性の測定においては、後退接触角は値が小さく、前進接触角は値が大きくなるのが一般的であるが、測定中に超音波振動を付与することで、これらの値が一つに収束し、真の接触角を評価する手法を確立した。また、Sn-Ag 合金の表面張力を低酸素分圧下において、低温領域では正の温度依存性、高温領域では負の温度依存性となる、いわゆる、弓なりの温度依存性を示すことを明らかにした。単純 2 元金属系でこのような結果を示したのは、世界で

初めてである。これは、高精度表面張力評価システムの確立によって達成された。

2. 摩擦攪拌接合法の開発および接合部の特性評価技術の確立

接合が困難とされた鋼の摩擦攪拌接合技術を確立し、高張力鋼、原子炉用材料、ODS 鋼などの難接合材の摩擦攪拌接合に成功するとともに、12mmの厚板鋼板の接合に関しても取り組んだ。組織の不均一性、非対象性および変態に伴う組織の変化に着目し、溶接部の破壊挙動を解明するとともに、強度、耐食性、疲労特性ならびに水素脆化特性の向上のための手法を提案した。例えば、接合組織の解析結果を基に開発した、炭素鋼をA₁点(723℃)以下で接合する手法は、炭素量に関係なく用いることが可能であり、0.85%CのSK5鋼継手においては、従来法より3倍以上の衝撃吸収エネルギーを示すことを明らかにした。

この他にも、2つのX線源からなる3次元可視化システムを用いて、世界に先駆けて摩擦攪拌接合中の塑性流動の可視化に成功し、欠陥の形成メカニズムの解明、ひずみ速度の評価に繋げた。これらの成果は、日本経済新聞(2012.10.02)、日刊工業新聞(2011.06.07、2011.12.05)に掲載されるとともに、2件の基調講演の国外からの依頼に繋がり、その後、その数はさらに増えている。

3. 高効率・高品質 TIG 溶接法の開発

通常60Hzで行う交流TIG溶接の周波数を15,000~40,000Hzとすることにより、溶接中に超音波を発生させ、気孔のない継手を得る新手法(超音波アーク溶接法)を開発した。この手法に関して、電源の安定性について評価・検討し、溶接電源メーカーとの協力関係のもと、新規溶接電源を作製するとともに、気泡低減効果に及ぼす周波数や素材の物性の影響を明確にすることで、本手法のメカニズムの解明を試みた。その結果、極めて静かな環境で溶接を可能とする超音波アーク溶接法を確立し、特に表面張力の小さく、キャビテーション閾値の低いMg合金やAl合金に有効であることを明確にした。

これまで高精度に測定したFe-O系の表面張力のデータをもとに開発した1パスで10mmの溶け込み深さが得られるAA-TIG(Advanced A-TIG)法が、日本を始め(特許5066683)世界8か国で権利化された。2重シールドトーチを用いることにより電極の酸化を抑制し、従来と全く同様な手法で高効率な溶接を達成できる。

4. 構造体および部材の高機能化、長寿命化に関する研究

従来法では焼入れが困難で、表面硬化できないフェライト系鋳鉄のFCD450、FC100の硬度を母材の200HVから4倍の800HVまで硬化させる手法を確立し、大越式耐摩耗試験機によって構造物の耐摩耗性が大幅に向上することを確認した。

また、摩擦攪拌プロセス中に異種の金属の粉末を混入させることで、構造物の一部を組織制御する摩擦攪拌粉末プロセス(FSPP)を確立し、通常のプロセスと比較して、原子の拡散速度や固溶度が増大することを明らかにし、その可能性の大きさを示した。

この他にも、原子炉用材料の補修、D2鋼の改質、溶射した超硬皮膜の表面改質、レーザーラッピングにより形成したCo基合金肉盛処理、低炭素鋼部分表面硬化などにも取り組んだ。Co基合金肉盛処理に関しては、溶接学会から優秀研究発表賞を授与された。

5. ニューラルネットワークシステム等を用いた接合部機能の多変量解析

産業界との共同研究により、関数の自由度の高いニューラルネットワークシステムと統計的概念を持つベイズ推定の組み合わせにより、種々の溶接継手の機械的特性に及ぼす溶接条件の影響を予測するシステムを構築、改良した。本システムにより、従来不可能であった誤差の評価が可能となり、任意の条件における特性を短時間で予測できるとともに、実験的には不可能な「独立した一つのファクターの影響」を調べることが可能となった。また、エラ

ーバーの大きさはトレーニングに使用したデータに依存し、データ量が不足している実験条件やバラ付きの大きい実験条件では大きく出力されるが、該当のデータを追加することにより、その精度を向上させた。このように、本システムはこれまでにない高い信頼性を有し、国内外から高い評価を得ている。

(2) 研究に対する自己評価

本研究分野は、高温融体の物性値の測定、高融点金属を含む種々の素材の摩擦攪拌接合、溶融池内の現象の解明とそれに基づく高効率・高品質溶接法の開発、各種プロセスを用いた表面改質とその評価、部分複合化技術の確立とその評価などを中心に多くの成果を挙げ、査読付き原著論文を、それぞれの年度において 15 報、15 報、18 報発表した。特に、高温融液の熱物性値の測定やニューラルネットワークシステム等を用いた接合部機能の多変量解析にも積極的に取り組むことで、機能性診断学分野の役割を果たすよう努力してきた。

上記論文の多くは Acta Mater. (3. 941), Mater. Design (2. 913), Scripta Mater. (2. 821), J. Alloys Comp. (2. 390), Mater. Lett. (2. 224), J. Mater. Sci. (2. 163), Mater. Sci. Eng. A (2. 108) などインパクトファクターが高く、国際的に認められた雑誌に掲載されており、いずれの研究テーマにおいても、世界をリードする立場にあると自負している。特に、2つの X 線源からなる 3 次元可視化システムを用いて、世界に先駆けて摩擦攪拌接合中の塑性流動の可視化を進めたことで、欠陥形成メカニズムを解明、ひずみ速度の評価を行ったことは特筆に値すると考えている。(日本経済新聞 (2012. 10. 02)、日刊工業新聞 (2011. 06. 07、2011. 12. 05))

これらの成果に対して、英国 Institute of Materials, Minerals and Mining (IOM3) より 2012 STWJ Best Paper Award (授賞式は平成 25 年)、大阪大学功績賞、(一社)溶接学会の田中亀久人賞、界面接合研究賞、日本溶接協会技術賞、粉体粉末冶金協会研究進歩賞、Visual-JW2012 Best Paper Award など各学協会から受賞をした。また、グローバル COE プログラム「構造・機能先進材料デザイン教育研究拠点」に推進委員として参加し、世界最先端の研究を行った。さらに、これらの成果によって、本学の大学案内において、4 研究室 (工学系では 1 研究室) の一つとして研究室紹介されるなど (掲載は 25 年度)、そのレベルの高さは国内外から評価されている。

研究予算に関しても、科学研究費補助金、JST 産学共創基礎基盤研究「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」、経済産業省戦略的基盤技術高度化支援事業、経済産業省「民間航空機基盤技術プログラム」、グローバル COE プログラムなどから外部資金を獲得するとともに、奨学寄付金を含めた企業との共同研究も積極的に推進している。

4. 教育に対する自己評価

大学院教育においては、マテリアル生産科学専攻の協力講座として、機能性評価学およびマテリアル生産科学ゼミナールの授業を担当した。また、接合研全体として担当している基礎セミナーおよび先端教養科目においても学生生活委員としての取りまとめ、授業を行い、学部生に対する教育を行った。さらに、グローバル COE プログラム「構造・機能先進材料デザイン教育研究拠点」の事業推進委員として、教育拠点の形成に協力し、引き続き構造・機能先進材料デザイン教育研究センターの教授を兼任している。

毎年度、概ね 15 名程度の学生 (博士後期課程、博士前期課程、学部の学生および研究生) に対して指導を行い、博士論文の主査、副査も毎年複数件担当している。世界に通用する知

識・技量を身につけるための十分な研究指導を行うことにより、学生自身による論文発表、学会発表等の多くの成果に結びついている。特に、博士後期課程の学生が Scripta Materialia に投稿した“Friction Stir Welding of a High Carbon Steel が 2007-2012 Most Cited Scripta Materialia Articles に、“Friction Stir Welding of High Carbon Steel with Excellent Toughness and Ductility” が平成 22 年度の Science Direct Top 25 Hottest Articles 4 位にランクインしたことや、“高温材料の接合に向けた Ir 系摩擦攪拌接合ツールの開発”が溶接学会論文奨励賞を受賞したこと、また、博士前期課程の学生 3 名が 3 年間で 3 件高温学会 学術奨励賞や溶接学会優秀ポスター賞を受賞したこと等は、このような教育研究活動が評価されたものと考えられる。

また、各年において中国、エジプト、イランからの研究員および中国、エジプトおよび韓国からの留学生を多数受け入れ、国際化も図るとともに、社会人ドクターも毎年受け入れており、社会人教育も積極的に進めた。

5. 社会貢献に対する自己評価

本研究分野は、社会貢献に対しても精力的に行っている。外部機関に対する貢献、すなわち、学会役員、国際会議委員、企業との連携、国・自治体・公益法人における種々の活動の委員等のいずれにおいても積極的に行っている。

学会においては、(一社)溶接学会、(一社)日本溶接協会、(公社)日本金属学会、(一社)スマートプロセス学会、(一社)軽金属溶接協会、(公社)日本鑄造工学会、(一社)日本マグネシウム協会および International Institute of Welding でそれぞれ各種委員等としてその責務を果たしてきた。また、FSW の ISO 化委員会の日本の代表として参加し、規格を成立させた。また、国・自治体・公益法人等に対しても、各種委員、審査委員を務めた。

さらに、民間企業との共同研究も着実に推進することにより、産学連携にも大きく貢献している。これにより、多くの特許や論文などの成果が得られ、また、平成 22 年度に日本経済新聞に 2 度、日本産業新聞に 1 度、日刊工業新聞に 6 度(一面に 2 度)、平成 23 年度に日本産業新聞に 1 度、日刊工業新聞に 4 度、平成 24 年度に日本経済新聞に 1 度、日経産業新聞に 1 度、日刊工業新聞に 3 度掲載されるなど、社会への情報発信も積極的に行っている。また、JST 産学共創基礎基盤研究「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」に採択され、「産学共創の場」を通じて産業界と連携して研究開発を行う枠組みを構築した。また、この 3 年間接合研主催の「東京セミナー」の開催を担当し、接合研のシーズの紹介に努めた。

6. 接合科学共同利用・共同研究拠点に関する研究成果に対する自己評価

本研究分野は、東北から沖縄に至る全国の研究機関とそれぞれの年度において、33 件、34 件、35 件の共同研究を行った。特に、種々の濡れ性の測定やそれを利用した応用技術、摩擦攪拌プロセスを用いた表面高機能化、ポーラス化、スーパーステンレス鋼、高窒素鋼、鋳鉄／鋼、アルミニウム／鋼の接合を始めとした異種材料の接合、継手の機能評価、プラズマ支援スパッタリング法による薄膜生成とその機能評価などのテーマにおいては積極的に研究を遂行し、当該期間においても多くの成果が輩出された。その結果、共同研究員との共著論文は、それぞれの年度で 2 件、4 件、8 件と着実に成果を公表し、Scripta Mater. (2. 821)、Mater. Sci. Eng. A (2. 108)などの国際的な一流誌にも掲載された。

また、平成 23 年度から先導的重点課題「摩擦発熱現象を利用した低温プロセスによる接合／改質技術の高度化（役割分担型）」が採択され、平成 23 年度、24 年度で 23 名、18 名の参加者を得た。

4. 1 1 スマートビームプロセス学

年度	平成 2 2	平成 2 3	平成 2 4
教授	—	—	—
准教授	阿部 信行	阿部 信行 塚本 雅裕	阿部 信行 塚本 雅裕
講師	塚本 雅裕	—	—

1. 研究概要

近年の地球環境問題の高まりとともに、自動車をはじめとしてロケットなどの宇宙構造体や微細エレクトロニクスを含む電子機器産業など多くの産業分野で、工業製品の小型軽量化、省エネ・省資源化の要求が激しさを増してきており、付加価値の高い微細な新機能材料がますます要求されると共に、それらの材料に対する高能率・高性能・高機能を効率的に付与することのできるスマート加工が必要とされている。

本研究分野においては、レーザービーム、超微粒子ビーム等を用い、機能的・エネルギー的に最適化したスマートビームシステムを開発するとともに、高次接合・加工プロセスに適用し、機能性金属構造体創成技術の開発をめざしている。現在は半導体レーザー、フェムト秒レーザー、ファイバーレーザー、YAGレーザー、超微粒子ビームなどを用いた研究を行っている。

2. 研究課題

- 超短パルスレーザーによる材料加工の基礎現象解明とその応用
 - フェムト秒レーザーと金属・セラミックスの相互作用の基礎的解明
 - フェムト秒レーザーによるアブレーション微細加工
 - ナノ秒レーザーを用いた炭素繊維強化プラスチックの切断加工
- 材料加工用スマート高出力半導体レーザーシステムの開発とその応用
 - 半導体レーザーによる表面精細加工技術の開発
 - 超小型半導体レーザー加工システムの開発
 - 半導体レーザーによる新機能創製技術の開発
- 超微粒子ビームの材料加工への応用
 - 超微粒子ビームによる機能性セラミックス薄膜の形成
 - 超微粒子ビームによる新機能材料の創製
- ファイバーレーザーによる超微細加工技術の開発
 - ファイバーレーザーによる微細組織制御
 - ファイバーレーザーによる新機能創製技術の開発
 - ファイバーレーザーによる微細溶接

3. 研究成果と研究に対する自己評価

(1) 研究成果

1. フェムト秒レーザー照射による可視光応答型酸化チタン膜の創製

フェムト秒レーザー照射による酸化チタン膜への機能性付与について検討を進めている。超微粒子ビームで作成した酸化チタン膜にレーザーフルエンスを変えてフェムト秒レーザーを照射

した後、アセトアルデヒドの分解試験を行ったところ、可視光照射下において黒色化した改質部の光触媒機能および電気抵抗の光応答特性が確認された。

2. フェムト秒レーザー誘起ナノ周期構造による酸化チタン膜の細胞伸展制御機能創製

チタン基板上的酸化チタン膜にフェムト秒レーザーを用い、ナノ周期構造を形成した。ナノ周期構造の溝方向に細胞を伸展させることに成功した。

3. ナノ秒ファイバーレーザー誘起周期構造による細胞伸展制御機能創製

チタン合金にナノ秒ファイバーレーザーを照射し、熱的なプロセスにより周期構造を形成させた。細胞試験により、細胞の伸展を溝方向に制御できることがわかった。

4. ナノ秒レーザーによる炭素繊維強化プラスチックの切断加工に関する研究

パルス幅10ナノ秒程度のパルスレーザーを用い、CFRPの切断実験を行った。雰囲気による切断品質の違いを調べるために、大気下、アルゴン雰囲気下、真空下においてナノ秒レーザー照射実験を行った。大気下では、炭素繊維が酸化することで熱的影響部が形成され、アルゴン雰囲気下および真空下では、炭素繊維の酸化を抑えることができ、熱的影響部が軽減された。

5. 積層造形装置用のパルスファイバーレーザー開発およびCWファイバーレーザーとの重畳ビーム開発

NEDOプロジェクトにおいてフォトニッククリスタル増幅の平均出力150W、繰り返し周波数1MHz、パルス幅100nsのパルスファイバーレーザー開発を行った。当レーザーとCWファイバーレーザーとの重畳ビームシステムを開発した。

6. 半導体レーザーによる超薄板の微細接合装置の開発

平成22年度に続き、平成23年度経済産業省戦略的基盤事業高度化支援事業の採択を受け、実用化装置の開発を継続して行った。

7. 半導体レーザーによる繊維への微細マーキング

平成22年度経済産業省戦略的基盤事業高度化支援事業の採択を受けて開発した実用化装置について、企業と共同してさらに補完研究を行った。

8. ファイバーレーザーによる材料組織制御の研究

シングルモードファイバーレーザーの高ビーム品質を利用して個々の金属結晶粒を単独に組織制御できる技術の開発を行っており、狙った領域内の結晶粒サイズを変化させることに成功した。

9. ファイバーレーザーによるセラミックスの改質

エアロゾルビームで形成したZnO膜にファイバーレーザーを照射することで、電気抵抗を減少させることに成功した。

10. 600W級半導体レーザーを用いた小型レーザークラディングシステムの開発

半導体レーザーをステンレス基板上にラインフォーカスし、掃引することで、ニッケル基自溶合金膜を形成することに成功した。

11. ファイバーレーザーによる酸化チタンバルク材内における電氣的導通路創製

透光性酸化チタンバルク材に対し、フェムト秒レーザーを集光照射することで、三次元的に電氣的導通路を創製することに成功した。

(2) 研究に対する自己評価

本研究分野は、主にフェムト秒レーザー、ナノ秒レーザー、半導体レーザー、超微粒子ビーム、ファイバーレーザーの5つのスマートビームを用いたスマート加工に関する研究を行っている。

1. 研究の独自性

フェムト秒レーザ加工の研究はガラスやプラスチックのような非金属が主流であったが、金属材料加工への応用性に早くから着目し、他機関との共同研究により基礎研究を進め、いち早く基礎データの蓄積を行ってきた。経済産業省の地域コンソーシアム事業により企業との共同研究の基盤を築くとともに、近年はさらに新しい分野へ研究を進め、金属ガラスやセラミックスの微細表面機能化や金属の微細ピーニングへの研究へと展開している。また文部科学省全国共同利用附置研究所連携事業（6大学連携プロジェクト「特異構造金属・無機融合高機能材料開発共同研究プロジェクト」）においては、金属ガラスおよびチタン合金の生体活性向上への展開を行った。

半導体レーザについては1990年代から基礎的研究を行ってきており、1999年に2kW半導体レーザシステムを日本で最初に開発して以来、半導体レーザによる10mmまでの厚板溶接から5・mまでの超薄板溶接、クラディング、焼き入れ、表面改質など、半導体レーザの特性を活かした応用分野を切り開いてきた。近年はさらに実用化へ向けて、半導体産業向け圧力センサーや精密ベローズの微細接合、大型部品の無歪精密クラディングなどを行っている。さらに、科学技術振興機構の平成20年度産学共同シーズイノベーション化事業「顕在化ステージ」の採択を受け、これまでの半導体レーザによる超薄板接合技術を実用化するための微細接合装置の開発に続き、地方自治体や経済産業省の支援を受け、企業と協力して実用化装置の開発を行っている。

超微粒子ビームによる皮膜形成についても早くから着目し、NEDOの「ナノレベル電子セラミックス低温成形・集積化技術プロジェクト」に参画した。近年は文部科学省全国共同利用附置研究所連携事業（6大学連携プロジェクト「特異構造金属・無機融合高機能材料開発共同研究プロジェクト」）に参画し、金属ガラスおよびチタン合金の生体適合性向上のために超微粒子ビームを用いた酸化チタン膜形成の研究を行っている。

ファイバーレーザについては、スマート加工の観点から大出力よりも小出力の微細加工に着目し、機能性金属構造体創製の要素技術の一つとして位置付け、選択的局所微細加熱システムを開発して材料組織制御の研究を行っている。さらに機器開発が目覚ましく進展しているシングルモードファイバーレーザについては、微細接合をターゲットとして基礎研究を開始し、実用化研究にも企業と協力して開発を進めている。

各種レーザ加工によって得られた知見を基に（独）新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の「次世代素材等レーザー加工技術開発プロジェクト、平成22年度—平成26年度（平成24年度より高出力多波長複合レーザ加工基盤技術開発プロジェクトから名称変更）」にて大阪大学接合科学研究所は受託先になり、研究開発拠点「光源技術開発センター」を設置した。粉末成形および炭素繊維強化プラスチックの加工技術開発に必要な平均出力数百W級のパルスファイバーレーザ開発を推進している。

2. 研究レベル

フェムト秒レーザの研究成果は国内では主に応用物理学会とレーザー学会で、国外では超短パルスレーザブレーションの中心的国際会議COLA(International Conference on Laser Ablation)やレーザ微細加工に関する国際会議LPM(International Symposium on Laser Precision Microfabrication)に発表を行っている。

半導体レーザの研究成果は国内では主に溶接学会で、国外ではレーザ加工の中心的国際会議ICALEO(International Congress on Applications of Lasers and Electro-Optics)に発表を行っている。

ファイバーレーザーの研究成果は主に国内でスマートプロセス学会、応用物理学会、レーザー学会及びレーザー加工学会、国外では、ICALEO(International Congress on Applications of Lasers and Electro-Optics)で発表を行っている。

3. 研究成果の社会への貢献

半導体レーザーによる超薄板接合の研究成果は、企業との共同研究として平成 21 年度(財)石川県産業創出機構研究補助事業および経済産業省ものづくり中小企業製品開発等支援事業採択に続き、平成 22・23・24 年度経済産業省戦略的基盤事業高度化支援事業に採択され、さらに実用機開発が進められている。

レーザー加工に関する成果を社会に還元するため、近畿経済産業局の支援を受けた近畿フロントランナープロジェクトのネオクラスター推進共同体に平成 20 年度からレーザープラットフォーム協議会を発足させ、近畿 2 府 4 県におけるレーザー加工の普及啓蒙活動を行っており、平成 22 年度からは一般社団法人レーザープラットフォーム協議会として、主としてものづくり中小企業に対する啓蒙、教育、開発支援事業を行っている。

経済産業省の平成 21・22 年度産業技術人材育成支援事業産学人材育成パートナーシップ等プログラム開発・実証(機械)「省エネ、省資源加工プロセス開発型人材育成プログラム」プロジェクトの成果をもとに、近畿大学、大阪産業大学、地方公設研究機関、企業等と協力してレーザー加工人材育成を行っている。

平成 22 年度から NEDO から受託したプロジェクト「次世代素材等レーザー加工技術開発プロジェクト、平成 22 年度—平成 26 年度(平成 24 年度より高出力多波長複合レーザー加工基盤技術開発プロジェクトから名称変更)」の大阪大学接合科学研究所研究開発拠点「光源技術開発センター」において粉末成形および炭素繊維強化プラスチックの加工技術開発に必要な平均出力数百 W 級のパルスファイバーレーザー開発を推進している。

4. 研究予算

フェムト秒レーザーによる新機能性酸化チタン創製研究は、科学研究費補助金基板研究(C)にて研究を行った。

半導体レーザーによる超薄板接合の研究は、平成 22-24 年度経済産業省戦略的基盤事業高度化支援事業の資金で行った。

その他の半導体レーザーに関する研究は実用レベルに達しており、現在は個々の企業からの共同研究費で研究を行った。

超微粒子ビーム及びフェムト秒レーザーによる細胞適合性向上に関する研究は文部科学省全国共同利用附置研究所連携事業(6 大学連携プロジェクト「特異構造金属・無機融合高機能材料開発共同研究プロジェクト」)の資金で行っている。

ファイバーレーザーによる微細溶接の研究は企業との共同研究費で行っている。NEDO プロジェクト「次世代素材等レーザー加工技術開発プロジェクト、平成 22 年度—平成 26 年度(平成 24 年度より高出力多波長複合レーザー加工基盤技術開発プロジェクトから名称変更)」における平均出力数百 W 級のパルスファイバーレーザー開発は、NEDO からの委託費で推進している。本プロジェクト受託により平成 24 年度大阪大学総長顕彰を受賞した。

4. 教育に対する自己評価

本研究分野は、大学院工学研究科マテリアル生産科学専攻の協力講座として大学院教育を

行い、全学共通教育機構には接合科学研究所として協力している。大学院教育では加工物理学Ⅰおよび加工物理学Ⅱでレーザや電子ビームなどによる材料加工プロセスの特徴とその熱・物質輸送現象の物理について講義を行っている。

平成 22 年度は、2 名の大学院博士前期課程学生の卒業研究指導を行った。また工学部生産科学専攻 4 年生の卒業研究指導と 3 年生の生産創成工学を分担した。本年度の学生の発表件数は、国内会議において、4 件、国際会議において、5 件である。大学院博士前期課程学生がレーザ加工の主要国際会議 ICALE02010 において優秀ポスター賞(一般の部、3 位)を受賞した。

平成 23 年度は、2 名の大学院博士前期課程学生の卒業研究指導を行った。また工学部生産科学専攻 4 年生の卒業研究指導と 3 年生の生産創成工学を分担した。本年度の学生の発表件数は、国内会議において、14 件、国際会議において、4 件である。大学院博士前期課程学生がレーザ加工の主要国際会議 ICALE02011 において優秀ポスター賞(一般の部、2 位)を受賞した。大学院博士後期課程学生が国際会議 ICTF-15 において Award for Encouragement of Research in Thin Films を受賞した。

平成 24 年度は、大学院博士後期課程学生 1 名、大学院前期課程学生 4 名の研究指導を行った。また工学部生産科学コース 3 年生の生産創成工学を分担した。本年度の学生の発表件数は、国内会議において、17 件、国際会議において、6 件である。大学院博士前期課程学生が高温学会学術奨励賞、レーザー学会学術講演会第 32 回年次大会優秀論文発表賞を受賞した。大学院博士後期課程学生がレーザ加工学会誌ベストオーサー賞、The 3rd International Symposium on Advanced Materials Development and Integration of Novel Structural Metallic and Inorganic Materials (AMDI-3)にて Best Poster Presentation を受賞した。

5. 社会貢献に対する自己評価

1. 国内外での学会活動

スマートプロセス学会評議員、学術企画運営委員会委員、電気学会パワー半導体レーザ・発光ダイオード調査専門委員会委員、溶接学会高エネルギービーム加工研究委員会副委員長、高エネルギービーム加工研究委員会幹事、レーザ加工学会レーザ加工学会誌査読委員会委員、レーザ加工学会誌編集委員、第 77 回レーザ加工学会講演会実行委員、レーザー学会次世代産業用レーザ専門委員会委員主査、次世代産業用レーザ専門委員会委員、研究員会委員、学術講演会第 33 回年次大会レーザープロセッシング部門主査として活動した。

2. 産学連携

半導体レーザによる微細溶接の研究成果は平成 18 年度から企業との共同研究に発展し半導体製造装置向け圧力センサー溶接への実用化がなされ、さらに平成 21 年度(財)石川県産業創出機構研究補助事業および経済産業省ものづくり中小企業製品開発等支援事業の支援に続き平成 22・23・24 年度経済産業省戦略的基盤事業高度化支援事業の支援を受けさらに実用機の開発に向けた共同研究開発を進めている。

ファイバーレーザによる微細溶接の研究は平成 20 年度から企業との共同研究を開始し、平成 24 年度も引き続き開発研究を行った。

NEDOプロジェクト「次世代素材等レーザー加工技術開発プロジェクト、平成 22 年度—平成 26 年度(平成 24 年度より高出力多波長複合レーザ加工基盤技

術開発プロジェクトから名称変更)」では、参画している企業と連携してパルスファイバーレーザ開発を推進した。

3. 国際貢献

国際会議である Optics & Photonics International Congress 2012 の運営委員を務めた。

4. その他社会貢献

経済産業省の平成 21・22 年度産業技術人材育成支援事業産学人材育成パートナーシップ等プログラム開発・実証(機械)「省エネ、省資源加工プロセス開発型人材育成プログラム」プロジェクトコーディネータ、カリキュラム・シラバス作成委員長、テキスト編集委員長、として事業を行った。

近畿経済産業局の支援を受けたネオクラスター推進共同体に平成 20 年度に設立したレーザプラットフォーム協議会を、平成 22 年度に一般社団法人として改組し、引き続き事業担当の副会長としてレーザ加工の普及啓発活動を企画・実施した。テキスト編集委員長、委員として、中小企業向けのレーザ加工入門書「レーザものづくり入門Ⅱー装置導入からプロセス開発までー」の執筆、編集を行い、産報出版株式会社から刊行した。

「次世代素材等レーザー加工技術開発プロジェクト、平成 22 年度ー平成 26 年度（平成 24 年度より高出力多波長複合レーザ加工基盤技術開発プロジェクトから名称変更）」の大阪大学拠点「光源技術開発センター」の業務管理者及び研究員として当プロジェクトを推進した。

6. 接合科学共同利用・共同研究拠点に関する研究成果に対する自己評価

平成 22 年度 10 名の共同研究員と共同研究を行い、4 編の共著論文を発表している。国内外の学会発表もほぼすべて連名発表となっている。

本研究分野は、平成 23 年度 10 名の共同研究員と共同研究を行い、4 編の共著論文を発表している。国内外の学会発表もほぼすべて連名発表となっている。

平成 24 年度 14 名の共同研究員と共同研究を行い、4 編の共著論文を発表している。国内外の学会発表もほぼすべて連名発表となっている。

4. 1 2 スマートコーティングプロセス学

年度	平成 2 2	平成 2 3	平成 2 4
教授	内藤 牧男	内藤 牧男	内藤 牧男
准教授	阿部 浩也	阿部 浩也	阿部 浩也
助教	—	—	—

1. 研究概要

本研究分野では、微粒子、粉体プロセスを基礎としたコーティングプロセスの開発により、我が国のものづくり技術の発展と安心、安全、環境、エネルギー問題等への貢献を通じて、スマートコーティングプロセス学の構築に寄与することを目指している。具体的には、機械的手法を基礎とした粉体プロセスである「ブレイクダウン法」と、気相法、液相法を基礎とした「ビルドアップ法」という二つのアプローチにより、スマートコーティングプロセスの開発を進めている。

前者においては、微粒子、粉体の持つ特異な性質を活かすことにより、大気圧下非加熱のワンステッププロセスにて粒子表面に微粒子等をコーティングするプロセス、微粒子複合化による粒子の構造制御プロセス、複合酸化物微粒子の直接合成プロセス、微粒子の直接合成と粒子複合化の融合による多孔質造粒体作製プロセス、さらには微粒子の基板表面への堆積による多孔質成膜プロセスの開発などを進めている。一方、後者においては、アークプラズマ法による金属微粒子の合成や、新規液相プロセスによる複合微粒子の構造制御などが行われている。これらの方法により構造制御された粒子を用いて、磁気粘性流体などの機能性流体、三次元直接描画技術、リチウムイオン二次電池や燃料電池などの電極材料、超低熱伝導材料、熱電デバイスなど、多様な形態の材料開発を進めている。

さらに、持続可能な社会実現のために、材料界面の接合と分離の制御を基礎として、難処理複合材料の新しい循環システムに関する研究開発も進めている。その他、ナノテクノロジーの重要課題のひとつであるナノリスク評価に関しても、CNT/樹脂コンポジット材料を対象として、材料利用に伴い飛散するナノ粒子の評価手法の開発を進めている。

2. 研究課題

1. 機能性流体としてのコロイド材料の開発
2. 特異反応場の創製による機能性微粒子の非加熱合成技術の開発
3. 複合構造制御によるリチウムイオン二次電池用電極材料の開発
4. 新規液相プロセスを用いた複合微粒子の合成プロセス開発と燃料電池への展開
5. 複合粒子を用いた燃料電池電極材料の開発
6. 複合粒子を用いた超低熱伝導材料の開発
7. 微粒子の3次元直接描画コーティング技術の開発
7. 熱電デバイスのためのコンポジット材料の開発
8. 材料界面の接合と分離の制御に基づく材料循環プロセスに関する研究
9. CNT等ナノ材料使用時のナノリスクに関する基盤的検討

3. 研究成果と研究に対する自己評価

(1) 研究成果

1. 機能性流体としてのコロイド材料の開発

アークプラズマ法で得られる鉄ナノ粒子への物理化学的な界面デザインにより、鉄ナノ粒子が高濃度に分散する磁性コロイドを作製した。このコロイド材料は、磁場強度に応じて、流動性の高い状態から大きな降伏応力を有するゲル状態に、急速且つ連続的、可逆的に変化する。このことより、機能性流体の一種である磁気粘性流体としての展開が期待できることを見出した。さらに、その応用に関する検討も進めた。

2. 特異反応場の創製による機能性微粒子の非加熱合成技術の開発

粉体原料表面にメカノケミカル的な作用を繰り返し与えることにより、大気圧下非加熱で、機能性微粒子を合成することができる。これまで、本法により、 LaMnO_3 、 BaTiO_3 、さらには LiMnPO_4 粒子などを合成できることを明らかにした。さらに、 LaMnO_3 の合成プロセスをモデル例として反応メカニズムを検討し、原料粉体の La_2O_3 と Mn_3O_4 を微細化することにより、短時間の処理で粒子の反応が開始することを明らかにした。さらに、両者の粉体の反応開始には、ある値以上の動力負荷条件が必要なことを示した。

3. 複合構造制御によるリチウムイオン二次電池用電極材料の開発

上記方法による微粒子合成プロセスと粒子同士の複合化プロセスを活用して、ワンポットによる微粒子の合成と、合成された微粒子集合体から形成される多孔質造粒体の直接合成に成功した。開発された本プロセスにより、三種類の原料粉体とカーボンナノ粒子から、 LiMnPO_4 造粒体の作製を試みたところ、数十ナノメートルの合成粒子とカーボンナノ粒子から構成される多孔質造粒体を作製できた。高い流動性を持つこの造粒体を電極に充填することにより、従来法と比較して高い電極密度が得られた。さらに、このプロセスを LiCoO_2 の合成にも応用した結果、二種類の原料粉体より数十ナノメートルの合成粒子が作製され、かつその多孔質造粒体を作製できた。

4. 新規液相プロセスを用いた複合微粒子の合成プロセス開発と燃料電池への展開

新規共沈法による複合微粒子合成の検討を進めており、その一環として、固体酸化物形燃料電池 (SOFC) の電極材料である NiO-YSZ 複合微粒子、並びに LSM-YSZ 複合微粒子の合成プロセスを開発した。特に前者においては、ほぼ 100%の収率で、組成、粒子径ともに均質な NiO-YSZ 複合微粒子の合成に成功した。さらに、得られた複合微粒子から作製された固体酸化物形燃料電池 (SOFC) は、従来法による場合と比べて良好な発電特性を示した。

5. 複合粒子を用いた燃料電池電極材料の開発

量産型の複合粒子作製に期待される機械的手法によるプロセスを応用して、SOFC のカソード、アノード材料を作製するとともに、実用化を想定した小型セルを作製した。その電池特性を評価した結果、良好な発電特性を示すことを明らかにした。

6. 複合粒子を用いた超低熱伝導材料の開発

ナノ粒子を直接接合する低環境負荷型の非加熱複合化プロセスにより、軽量多孔質材料を作製し、熱伝導率に及ぼす材料微構造の影響について検討を行った。その結果、炭化ケイ素微粒子の添加率がふく射伝熱に及ぼす影響や、ナノ粒子のサイズがナノ気孔の形成と対流伝熱に及ぼす影響を明らかにした。

7. 熱電デバイスのためのコンポジット材料の開発

熱電材料と金属を積層・チューブ化した新規熱電デバイスのプロセス技術の開発を進めた。放電プラズマ焼結法 (SPS) による両者の直接接合を実現するとともに、各層のコンポジット

化による熱電特性・熱伝導率特性に関する基礎的知見を得た。

8. 材料界面の接合と分離の制御に基づく材料循環プロセスに関する研究

リサイクル技術の開発が緊急な課題となっている繊維強化型複合材料の再資源化に関する検討を行った。その結果、浴槽に使用されるガラス繊維強化プラスチック材料(GFRP)の廃材、並びにモルタル材料表面に GFRP を複合化した FRP モルタル管廃材それぞれに対して、これらを 100%循環利用する新プロセスの開発に成功した。

9. CNT 等ナノ材料使用時のナノリスクに関する基盤的検討

CNT を用いた複合材料表面からの CNT の飛散、分離などを評価するための基礎研究を行い、CNT 材料のリスク管理に関する基盤データを取りまとめた。

(2) 研究に対する自己評価

本研究分野では、機械的手法を基礎とした「ブレイクダウン法」と、気相法、液相法を基礎とした「ビルドアップ法」という二つのアプローチにより、スマートコーティングプロセスに関する研究を進めている。前者に関しては内藤教授が中核となり、後者については阿部准教授が中核となり、それぞれ研究テーマを推進している。さらに両者の連携によるシナジー効果を有効に活かして、分野全体としての研究を進めている。このような分野運営の結果、分野全体において 3 年間で 43 報の査読付き学術論文を発表した。また 12 件の解説、9 件の著書を執筆した。主な受賞としては、平成 22 年度に内藤教授がアメリカセラミックス学会より Fellow を、24 年度に世界セラミックスアカデミー (World Academy of Ceramics) より Professional Member (Academician) を授与された。

また外部資金の獲得も積極的に進め、科学研究費補助金をはじめとして、企業との比較的大型の研究予算を獲得した。研究予算の大半は、現在世界的な課題となっている「環境・エネルギー分野」「材料・ナノテクノロジー分野」である。

4. 教育に対する自己評価

マテリアル生産科学担当分野として、大学院の授業を担当するとともに学生の研究指導を行った。3 年間で 6 名の博士後期課程学生を受け入れ、2 名の学生の学位審査を行い、内藤教授が主査を、阿部准教授が副査を担当した。その他平成 22 年度に、内藤教授がナノサイエンスデザイン教育研究センター主催のナノ社会人教育夜間講義において講義を担当した。なお、企業からは、受託研究員 5 名を受け入れ、研究指導を行った。

5. 社会貢献に対する自己評価

1. 国内外での学会等活動

本分野では、微粒子、粉体工学を基礎としたコーティングプロセスの開発とともに、これらのプロセス技術を応用して、様々な材料開発を進めている。したがって、粉体工学を中核としながら、多様な学問領域と連携して国内外の学会活動を進めている。

その結果、内藤教授は、平成 22, 23, 24 年度で、学会、公益法人等の委員は、それぞれ計 21, 20, 23 件、またそれぞれ 6, 8, 10 件の国際会議委員を担当し、国内外の学会等活動に寄与した。特に粉体工学会では、平成 23 年 2 月より副会長、並びに企画委員会委員長として、学会の運営に大きく貢献している。また国際会議においては、「材料界面の特性評価と制御に関する国際会議」(ICCCI2012) の議長として、平成 24 年 9 月に開催された会議の運営に寄与した。国際会議は 21 ヶ国から 178 名の参加があり、海外からの参加者は 67 名であった。発表

は全体で 147 件であった。発表された論文は、査読後に Advanced Powder Technology と J. Applied Ceramic Technology に、それぞれ ICCCI2012 特集号として編集され、平成 25 年に発行されている。また阿部准教授は、学会、公益法人等の委員を平成 22, 23, 24 年度で、それぞれ 3, 4, 3 件、また総計 4 件の国際会議委員を担当した。このように、委員等の参画に関しては、本分野は十分な活動を展開したものと自己評価できる。

2. 産学連携

本分野においては、企業への兼業が 1 件実施されており、開発された技術シーズを産業に展開する上で重要な役割を果たしている。また、3 年間で 5 名の受託研究員を企業から受け入れた。さらに企業との共同研究においては、トヨタ自動車㈱と全固体電池の開発に関する共同研究を、平成 24 年度より 5 年プロジェクトとして開始した。また、パナソニックと熱電デバイスに関する研究も平成 24 年度より開始した。その他、当分野が中核となり、産学連携の「粉体接合プロセス研究会」を進め、平成 22 年度には全国から 32 社が、23 年度には 28 社が参加して、粉体プロセスに関する情報交換を行った。本研究会は、平成 23 年度をもって、活動を終了した。以上より本分野は、技術シーズを十分に活かして、多面的かつ発展的な産学連携を推進しているものと自己評価される。

3. 国際貢献

本分野においては、上記に記載したように、多くの国際会議に委員として参加し国際貢献を進めた。学術交流協定に関しては、平成 24 年度に、内藤教授がドイツの材料技術研究所 (BAM) と当研究所との学術交流協定の締結に、また阿部准教授が国立台湾大学との学術交流協定締結に貢献した。

なお、内藤教授は上海交通大学の招へい教授として、上海交通大学と当研究所との二国間ワークショップを開催 (22 年度) するとともに、特任研究員を 2 名受け入れることにより、相互の研究交流に貢献した。その他、ベルギーのフレミッシュ技術研究所とのワークショップ開催 (23 年度)、上海交通大学、電力中央研究所との連携によるクリーンエネルギー国際会議 (22, 23 年度の 2 回) も中核として進めた

博士後期課程の留学生として、JICA の支援を受けてエジプトより 1 名の学生を受け入れるとともに、中国の華南理工大学からも 1 名の学生を、後期課程に受け入れた。

その他、平成 24 年 9 月に開催された「材料界面の特性評価と制御に関する国際会議」(ICCCI2012) の開催に貢献した。本国際会議は、内藤教授が議長として、また阿部准教授が国内組織委員として会議開催に貢献した。

4. その他

社会への情報発信は、積極的に進められており、当分野で得られた研究成果に対して平成 22~24 年度の 3 年間に於いて、合計 8 件の記事が新聞に掲載された。

6. 接合科学共同利用・共同研究拠点に関する研究成果に対する自己評価

3 年間で本分野では、延べ 54 名の共同研究員を受け入れた。22, 23, 24 年度の内訳は、内藤教授担当がそれぞれ、11, 13, 12 名、阿部准教授担当 11, 4, 3 名であり、それぞれ活発な共同研究を進めた。その他、当分野では、研究集会を総計 5 回 (内 1 回は他分野と共同開催)、特別講演会を 2 回開催した。このように本分野では、積極的に全国共同利用に関する活動を推進しているものと自己評価される。

4. 13 ナノ・マイクロ構造制御プロセス学

年度	平成22	平成23	平成24
教授	—	—	—
准教授	桐原 聡秀	桐原 聡秀	桐原 聡秀
助教	—	—	—

1. 研究概要

本研究分野では、ナノ微粒子を分散した高粘度スラリーをプラズマなどの各種熱源に導入し、亀裂や空孔の発生を抑えて金属やセラミックスを高速コーティングする新しい溶射プロセスをはじめ、微粒子スラリーを電極下に自動供給し、アーク放電により特殊合金や化合物をパターンニングする特殊な溶接プロセスや、微粒子を光硬化性の液体樹脂に分散し、紫外線レーザー走査によりマイクロ構造を3Dプリントする光造形プロセスの確立を目指した。加工部材に付与される、組成・組織・形状のモロフォロジーを制御し、優れた機能を発現させるため、異なる物性の素材が等間隔に配列する周期構造や、組織が連続的に変化する傾斜構造に加えて、自己相似性を示すフラクタル構造や、無秩序な分布を有するランダム構造を対象に、基礎的な設計指針の検討を行った。力場や熱場ならびに電磁場や流体場に関する解析しながら、有限要素法を基盤とした計算機シミュレーションにより現象を動的に可視化し、構造制御による機能発現の理論構築と最適化を進めた。

2. 研究課題

1. 高温構造部材への極薄緻密コーティングによる熱物性制御
2. 軽金属材料の幾何学的多孔質パターンニングによる力学特性制御
3. 傾斜組織を有する新型超硬工具の開発
4. バイオセラミックスによる代謝型インプラントモデルの形成
5. マイクロ格子構造の精密造形とテラヘルツ波センサーの開発

3. 研究成果と研究に対する自己評価

(1) 研究成果

1. 高温構造部材への極薄緻密コーティングによる熱物性制御

ナノ微粒子スラリー溶射法は、金属や化合物粒子を分散した高分子ペースト素材を、高速のキャリアガス流によるブロー処理を経てマイクロミスト化し、ガスプラズマやガスフレーム中へ噴霧して材料表面へ衝突させることで、緻密皮膜を高速でコーティングするプロセスである。従来の溶射法では、平均粒径5～50 μm 程度の比較的粗大な粒子を使用し、成膜速度10～20 μm 毎秒で施工を行うのに対して、当該手法では50～200nm程度の微粒子を用いて、100～200 μm 毎秒の皮膜形成を実現できるのが特徴であり、亀裂や空孔の発生を抑えた緻密なコーティング層の超高速形成を実現させた。国内外において、同種のプロセス開発が進められているが、いずれもナノ粒子の体積割合が最大で10%程度であるのに対し、当該手法では高粘度液体の効率的なレオロジー制御により、40～60%の分散量を有する素材の導入が達成され、約100倍に達する高速の皮膜形成が達成された。従来の溶射プロセスに対しても、約10倍の成膜速度を実現している。

2. 軽金属材料の幾何学的多孔質パターンニングによる力学特性制御

ナノ微粒子スラリー溶接法は、金属微粒子を液体高分子に分散してペースト素材を調合し、精密ノズルを用いて基板上に細線状に塗出させながら、アーク放電による溶接と反応拡散を経ることで、高機能の化合物構造体をパターンニングしつつ自動造形する手法である。二種類の微粒子を成分調整しながら別個に供給できるため、化合物の合成と溶接を同時に実現可能であり、組成が連続的に傾斜する組織の精密形成にも十分に期待が持てる。チタン合金で構成される直径 $500\mu\text{m}$ の微細な円柱を空間展開し、幾何学的に制御された周期的な多孔質構造体の形成に成功した。効率的な応力分散により、相対的に強度を向上できる。また、純銅微粒子スラリーをアルミニウム合金の基板上へ細線状に供給し、共晶反応をとともなう連続的なアーク溶接により、硬質化合物のフラクタルパターンを精密に描画するプロセスも試みた。寸法 $400\sim 800\mu\text{m}$ の線幅および線間を実現し、数センチ四方のパターンを高速形成することに成功した。自己相似的な硬質化合物の分布が表面応力を分散し、基材を力学的に強化できることが示された。

3. 傾斜組織を有する新型超硬工具の開発

タングステンカーバイド／コバルト系のサーメット型超硬合金と、高靱性を有するステンレス鋼をマイクロ接合し、機械加工用ハイブリッドツールの開発を試みた。近年、タングステンの工業的な利用に関しては、資源枯渇を懸念した戦略物資化が問題視されている。先端部のみに貴重なタングステン合金を配置し、ステンレス鋼基材部との間に材料組成や金属組織が連続的に変化する傾斜構造を形成することで、超硬工具の新しい構造デザインを検討した。電流値としてサブアンペアの制御が可能なアークトーチを導入するとともに、数十ミクロンの金属ワイヤを高速で供給可能なシステムを構築し、サブミリレベルの熔融ビードの安定形成による、寸法精度の大幅な向上を達成した。さらに、パルス電流プロファイルの最適化とシールドガスの選定により、困難であったアルミニウムビードの形成にも成功しており、ステンレス鋼を基材として、硬質で耐摩耗性の金属間化合物の合成を実現した。

4. バイオセラミックスによる代謝型インプラントモデルの形成

微粒子スラリー光造形法は、金属やセラミックス微粒子を光硬化性樹脂に分散し、紫外線レーザー走査により連続的に接合することで、複合材料で構成される微細構造体を高速かつ精密に成形する3Dプリントプロセスである。得られた複合材料製の構造モデルを前駆体として、脱脂ならびに焼結処理を施すと、樹脂成分を焼失させ微粒子を結合させることが可能である。バイオスキャフォードとも呼ばれる海綿骨構造の光造形においては、人体内における自然代謝を経て生体骨に置き換わる β リン酸三カルシウムを素材として、人工骨インプラントを作製することに成功した。バイオセラミックスで構成される直径 $200\mu\text{m}$ の円柱格子を空間展開させ、幾何学的な多孔構造の精密配列を実現できた。格子の直径に対する長さの割合であるアスペクト比を制御し、構造体内で気孔率が $50\sim 80\%$ の範囲で変化する傾斜型インプラントの形成にも成功した。これらの気孔径や体積率の分布は、人体内の各所で海綿骨構造が示す値に匹敵しており、インプラントとして人体内に埋入した場合には、理想的な体液循環が達成されると考えられる。

5. マイクロ格子構造の精密造形とテラヘルツ波センサーの開発

微粒子スラリーを用いた光造形手法により、磁性体や誘電体で構成される電磁波制御デバイスの創製を進めた。マイクロ格子を空間展開させて、ダイヤモンド構造を有する周期配列を形成し、回折効果によるテラヘルツ領域の電磁波制御を試みた。フォトニック結晶として知られる人工構造体であり、誘電体や導電体を素材とする精密成型と電磁波制御は、これまでの研究において達成されている。高い透磁率を有する鉄系金属ガラスと、低温で熔融する酸化ガラスの微粒子を素材とし、マイクロ構造体の光造形を実現した。また、アルミナ微粒子を分散したスラリー素材を用いて、誘電体セラミックスで構成される、電磁波回折格子の形成にも成功した。テラヘルツ波はマイクロメータオーダーの波長を有し、遠赤外領域に属する超高周数の電磁波である。糖類やタンパク質などの分子振動と同期することが知られており、電磁波共鳴を利用した生体化学物質の合成や、精密分析に注目が集まっている。形成した磁性体ならびに誘電体のダイヤモンド格子により、構造に見合った波長の電磁波をブラッグ回折により完全反射することに成功した。板状サンプルの間にガラスセルおよびカテーテルを挿入し、多重共振によりエネルギーを強く集中させることにも成功した。

(2) 研究に対する自己評価

本研究分野では、優れた機能を発現する金属や化合物のナノ微粒子を、化学組成の制御された液体高分子に高濃度分散してスラリー化し、レオロジー特性を考慮しつつ、工業的に完成された、溶射ならびに溶接熱源に導入する手法を考案し実践した。構造部材の表面に、極薄のセラミックス被膜を形成し、耐食性と伝熱性の両立を迫るとともに、軽金属部材の幾何学パターンを形成し、応力分布の制御による機械的特性の向上を達成した。また、ナノ微粒子スラリーを用いた光造形3Dプリンティング法により、バイオセラミックスで構成される人工インプラントや、金属ガラス磁性体や誘電体セラミックスを用いたテラヘルツ波デバイスの試作にも成功した。期間内の研究成果について、査読付の学術論文として英文誌に20報および和文誌に8報が掲載され、内6報分の掲載誌にはインパクトファクターが付されている。当該准教授は、国内および国際会議でそれぞれ6件および19件の招待講演を受けており、研究成果に対する国内外の関心は高い。さらに国際会議への発表論文は15報が査読を経てプロシーディングに掲載された。国際および国内学会での講演発表もそれぞれ58件および45件を数え、その中で当該准教授が登壇した講演はそれぞれ34件および14件であり、学術知見の迅速な公開を果たしている。また、分野の構成員である特任研究員も、国際および国内学会それぞれにおいて15件および10件の講演発表を行った。研究成果に対する国内外の評価も高く、国際会議において1件の招待講演を受けるとともに、国内学会からの1件の受賞も果たした。その他にも分野として、学術団体が編纂する解説や著書への執筆協力をはじめとして、民間企業との共同研究や受諾研究を通じた特許出願など、学術知見の社会還元も果たしている。本年度の外部資金は総計19,838千円であり、科学研究費補助金をはじめ、本学工学研究科の進めるグローバルCOEならびにリーディング大学院プログラムなど、公的研究助成を含む競争的資金に加えて、民間企業との共同研究および受諾研究に応じた研究資金や、財団からの奨学寄附金などを含め、全体的に適度な金額とバランスで獲得した。

4. 教育に対する自己評価

本研究分野では、工学部環境エネルギー工学科ならびに工学研究科環境エネルギー工学専

攻に協力講座として参画し、学部生4名および大学院生8名の教育研究指導を行った。学部学生の4名については、本学大学院に全員合格するとともに、学士号を取得し卒業を果たした。博士前期課程の大学院生については、研究指導や就職活動への支援を積極的に行い、8名全員が修士号を取得し、卒業後に民間企業への就職を果たした。研究成果の積極的な発表を推奨し、学生が主著者である査読付論文は13件を数え、共著者に含む査読付論文は17件となった。学生本人が登壇した国際会議および国内会議発表はそれぞれ11件および45件であり、主著者の国際会議発表論文は6件であった。さらに大学院生3名は、国内および国際会議における発表に対してそれぞれ講演賞を授与された。当該准教授は同学科ならびに専攻において、前期および後期を通算して毎年8件の学部講義と2件の大学院講義を担当した。特に同学科が開講している、学部3年生に対する個別指導形式の学生実験においては、講座として6名を受け入れ、実験や結果の取り纏めについて、綿密な指導を行った。また、本学工学研究科の進めるリーディング大学院プログラムにおいては、大学院生への奨学金制度の適用あたって審査会委員を務め、より良い学習ならびに研究環境の整備に寄与した。

5. 社会貢献に対する自己評価

当該准教授は日本溶射学会や紛体粉末冶金協会をはじめ、スマートプロセス学会などその他2団体において、学術誌の編集委員や学術講演会の運営委員をはじめ、各賞審査委員をつとめ積極的な協力を行った。また、日本セラミックス協会においては、行事企画委員を務め学術事業へ参画するとともに、同協会関西支部においても行事企画委員を務め、地域から国内外におよぶ学会活動へ貢献を果たした。さらに、米国セラミックス学会の部会委員も勤め、国際的な学術連携に関する企画運営に携わった。本研究所や工学研究科グローバルCOEならびにリーディング大学院プログラムの主催行事を初めとして、国内外の学術団体への参画を通じ、組織委員として実質的な運営に参加した国内および国際シンポジウムは、それぞれ14件および32件を数えた。さらに、国際的な論文誌3件の編集委員を務めることで、学術コミュニティにおける知見の公表に関して貢献を果たした。民間企業合計7社と共同研究および受諾研究契約を結び、若手技術者への研究指導や技術相談などを通じた産学連携も推し進めた。さらに、連携研究の成果を特許として出願する準備も、産学共同で行った。私立大学の産学連携研究事業における委員としての活動を通じ、関西地域における材料創製プロジェクトへ参画するなど、社会貢献も積極的に行った。海外の研究機関とも積極的に研究交流を行い、招聘研究員として3名を受け入れた。

6. 接合科学共同利用・共同研究拠点に関する研究成果に対する自己評価

本研究分野では、ナノ微粒子プラズマ溶射ならびにアーク溶接システムをはじめ、光造形システムの利用を基盤として、実験主体の活発な研究連携を進めた。期間中において、全国の国公立大学ならびに公設研究機関より、共同研究員として合計14名を受け入れた。得られた学術知見は、国内外の学会において講演発表がなされ、学術論文として知見を公開するべく準備を進めた。特に、計算機支援の光造形プロセスと、水溶液中におけるナノ物質のアセンブリを組み合わせた一連の研究に関しては、共同研究員とともに、成果を英文学術書籍やインパクトファクターの付された学術論文誌において特集号にまとめた。各位からは、今後も継続して協力関係を進める方針に内諾を得ている。さらに、先導的重点課題として「可逆的な接合ならびに被覆技術の開発」を所内教員3名とともに提案し、全国から共同研究員として合計11名を受け入れた。当該課題は役割分担型であるため、本研究所の主催

する国際シンポジウムにおいて、新しい接合被覆プロセスのアイデア交換をテーマに、テクニカルセッションを開催した。得られた成果を基盤として、次年度以降も発展的に継続をする予定である。

4. 14 信頼性評価・予測システム学分野

年度	平成 2 2	平成 2 3	平成 2 4
教授	小溝 裕一	小溝 裕一	小溝 裕一
准教授	—	寺崎 秀紀	寺崎 秀紀
講師	寺崎 秀紀	—	—
助教	—	—	—
特任研究員	張 新房	張 新房	張 新房

1. 研究概要

本研究分野では、構造物の安心・安全を確保するための信頼性評価ならびにその予測システムの開発を目指している。材料のナノ構造を制御することにより、長寿命化対応材料や自動車などを対象とした超軽量高強度材料およびその接合技術を提案し、環境に優しい社会の実現を目指していきたいと考えている。現在は、特に、溶接部のマイクロ組織形成挙動を固相変態のみならず、液相－固相変態過程まで遡って、一貫して理解するために、溶接中その場観察技術の開発、ならびにその結果を用いた組織予測シミュレーションの開発に注力している。これまでに、溶接急冷サイクル下で、実空間、逆格子空間における組織形態、結晶構造をその場観察できるシステムを開発した。本システムを用いて、米国オハイオ州立大学材料工学科との国際共同研究プロジェクトなどを推進した。さらに、溶接の特徴である急速冷却と不均質核生成を利用した微細粒組織の創成を行っている。また、溶接時の電流・電圧波形の解析から溶接品質を判定するアルゴリズム開発も手がけている。

2. 研究課題

1. 放射光を用いた急凝固過程の in-situ 観察
2. 溶接時の凝固・変態挙動の解析とフェーズ・フィールド・シミュレーション(Phase-Field-Simulation)
3. ナノ粒子を活用した超微細粒組織の生成(微細粒鋼、微細粒チタン)
4. 耐熱鋼の溶接技術(国際共同研究プロジェクト)
5. バリエーション解析に基づくベイナイト・マルテンサイト変態カイネティクス
6. Cr-Mo 鋼溶接部の再熱割れ
7. デジタル信号処理による溶接品質判定法

3. 研究成果と研究に対する自己評価

(1)研究成果

①放射光を用いた急凝固過程の in-situ 観察

溶接凝固過程の速度論的情報を得る解析手法として、第3世代の放射光施設である SPring8 (JASRI) にあるアンジュレータビームラインを用いた溶接 in-situ 観察システムを世界に先駆けて開発した。相変態を一方向凝固下で in-situ 観察できる画期的なシステムである。空間分解能が 100 μm 幅、時間分解能 0.01 秒で二次元回折データが得られる。検出器も大面積化を図ることにより測定確度が大幅に向上し、一方向凝固に因る配向にも対応できるようになった。また、高温レーザ顕微鏡と放射光による X 線回折データを同時に測定できる「ハイブリッドその場観察」システムを構築し、これら「その場観察」技術を世界初の新溶接材料開発研究における評価技術として用いた。これらの成果は Science and Technology of

Welding and Joining や溶接学会論文集に掲載された。

②溶接時の凝固・変態挙動の解析とシミュレーション

超微細粒なアシキュラーフェライトの生成機構を、ナノ微細構造解析および結晶学的解析により検討し、アルミ添加量により、ボロンの存在場所が変化することを見いだした。アルミ量が少ないと、酸化物中にアモルファス相が形成されやすく、そのアモルファス相にボロンが吸収されることを電子エネルギー損失分光法 (EELS) により実証し、結果として粒界フェライト生成が促進され、アシキュラーフェライト形成量が減少することを示した。また、アシキュラーフェライトの核生成・成長挙動に関して、介在物と核生成フェライト間に Baker-Nutting の関係が、母相オーステナイト相との間に Kurdjumov-Sachs の結晶方位関係が成り立つことを見だし、両関係の両立という長年議論されてきた問題に対して、一つの方向を示した。これらの成果は溶接学会論文集および Science and Technology of Welding and Joining 誌に掲載された。

③耐熱鋼の溶接技術

東日本大震災以降の社会情勢に鑑み、火力発電の高効率化が期待されており、高温用鋼溶接部での安心・安全を担保するため、溶接部の組織変化に関する現象理解とそれに基づく熱処理方法の最適化が急務となっている。そこで、米国オハイオ州立大学との国際研究チームを結成し、大阪大学接合科学研究所が有する放射光を用いたその場観察技術を、Cr-Mo 鋼溶接部炭化物析出挙動の直接観察に適用することにより、溶接熱サイクル下の、炭化物の固溶・析出挙動を世界で初めて直接観察することに成功した。予・後熱処理を含めた、Cr-Mo 鋼溶接部炭化物析出挙動を Acta Materialia 誌に発表し、著者の一人は国際賞である国際溶接学会 Henry Granjon Prize を受賞した。高々0.2Vol%の炭化物の熱サイクル下の変化挙動を追跡・評価できる技術として、溶接凝固変態過程のその場観察システム活用された好例となった。また、高温での観察が可能な高温レーザー顕微鏡と温度・荷重・変位の検出・制御が可能な高温引張試験炉を組み合わせた再熱割れ感受性評価法を確立し、Cr-Mo 鋼溶接部の再熱割れ感受性を議論した。

④バリエーション解析によるベイナイト変態カイネティクス

高温レーザー顕微鏡による組織変化の観察と、観察後の試験片の電子線後方散乱 (EBSD) 解析により、ベイナイト組織の形成過程と、溶接部の靱性阻害因子として知られる島状マルテンサイト組織 (M-A 組織) の形成過程の関係を示した。その結果、小角粒界を有するブロックにおいて、塊状の M-A 組織が形成されやすいことを示した。さらに引張負荷による、応力状態の変化がベイナイト変態におけるバリエーション選択則へ与える影響について検討した。オーステナイト相における応力負荷により、パケットサイズおよびブロックサイズが小さくなることを示した。これらの成果は Metallurgical and Materials Transactions 誌や溶接学会論文集に掲載された。

⑤デジタル信号処理による溶接品質判定法

溶接プロセス中の電圧・電流を高サンプリング周波数で測定し、その微細な変化を解析・演算処理、参照データと比較することによってリアルタイムで溶接品質を高精度に判定可能なアルゴリズムを確立し、実験により判定精度を検討している。抵抗スポット溶接の実施工にも適用し、溶接施工中の電流・電圧・電極変位量を高サンプリング周波数で測定し、その微細な変化を解析・演算処理し、参照データとの比較によって、リアルタイムでの溶接品質を定量的に判定するアルゴリズムの提案をした。

(2)研究に対する自己評価

本研究分野は、溶接・接合の基盤研究拠点として認知され、世界に誇れる成果が生まれている。具体的には溶接急熱・急冷サイクル下で、時間分解能 0.01 秒、空間分解能 100 μm で、実空間、逆格子空間における組織形態、結晶構造を二次元でその場観察できるシステムを世界に先駆けて開発した。これにより、これまで直接目で見ることの出来なかった溶接中の組織変化を可視化することができ、新しい溶接材料学が生まれる可能性がある。これらの研究は Acta Materialia (IF:3.73) , Journal of Applied Physics (IF:2.2) , Metallurgical and Materials Transaction A (IF:1.389) , Microscopy Research and Technique (IF:1.64), Journal of Alloys and Compounds (IF:1.61), Science and Technology of Welding and Joining (IF: 1.426) など材料関係の世界的学術誌に多数掲載された (H22-24 年度で査読付掲載論文 36 件)。さらに学会発表 71 件など広く外部に発信した。

この研究の先進性が認められ、平成 19 年には溶接学会論文賞、日本金属学会論文賞ならびに日本鉄鋼協会俵論文賞をトリプル受賞したのをはじめ、新しい手法により明らかになった内容から平成 21 年文部科学大臣表彰を受けた。また日本熱処理技術協会より技術賞・粉生記念賞を授賞した。平成 22 年度には日本熱処理技術協会賞 論文賞および溶接接合工学振興会 木原賞を受賞した。

また、「サブマージアーク溶接用ボンドフラックスおよびワイヤ」など 2 件の特許を出願し、「リアルタイム溶接品質判定装置及び判定法」など 2 件の特許が登録された。

表 1 研究実績の推移 (H22-H24 の 3 年分)

	平成 22 年度	平成 23 年度	平成 24 年度
査読付掲載論文	10	14	12
国際会議発表論文	2	2	3
国内会議発表論文	0	0	0
Trans.JWRI	5	1	1
学会発表	25	10	36
講演	7	4	9
解説	1	5	3
著書	2	0	1
授賞	4	0	3

4. 教育に対する自己評価

本研究分野は、マテリアル生産科学専攻生産科学コースの「接合プロセスメタラジー論」、「生産創成工学」、「創成科目」を担当した。さらに、全学共通教育「先端教養科目」を分担した。

また、3年間で博士論文の主査 3 名、副査 3 名を務めた。平成 24 年度は博士後期課程 3 名、博士前期課程 5 名 (M2: 4 名、M1: 1 名)、学部 4 年生 1 名の学生を受け入れ指導した。また、多数の院生の査読付き論文、国際会議論文、国内学会発表の指導を行った。

さらに工学研究科高度副プログラムと連携した国際溶接技術者 IWE コース長をつとめ、H22-H24 年度 3 年間で 36 名が IWE-diploma を取得した。

さらに、3名の海外からの研究留学生を受け入れた。

表 2 指導学生数の推移 (H22-H24 の 3 年分)

	平成 22 年度	平成 23 年度	平成 24 年度
博士論文主査	1	1	1
博士論文副査	1	1	1
修士論文	3	0	4
卒業論文	0	2	0

5. 社会貢献に対する自己評価

本研究分野は、外部機関に対する貢献など積極的に社会貢献を行っている。

小溝は、溶接学会理事、溶接学会企画委員会委員長、日本鉄鋼協会接合結合フォーラム座長、日本溶接会議 (JIW) 研究戦略委員会幹事、日本熱処理技術協会理事を務めるなど、鉄鋼材料の溶接・接合研究の日本の中核として認知されている。さらに、H23 年度より工学系の 100 学協会の連合組織である日本工学会の理事を務めている。また、発電設備の溶接規格対応のため、日本電気技術規格委員会火力専門委員会委員長を務めている。さらに、原子力環境整備促進機構の委員も務めている。

国際貢献としては American Welding Society (AWS) D1.9 委員会日本代表委員、International Institute of Welding (IIW) 第 9 委員会日本代表、International Society of Offshore and Polar Engineering (ISOPE) の Technical Committee、2nd International Workshop on In-situ Studies with Photon, Neutron and Electron Scattering の Organizing Committee を努めた。

寺崎は溶接学会若手会員の会幹事、委員長をつとめ、日本における溶接の将来を担う若手研究者として活躍している。また、溶接学会の電子出版物である「溶接・接合プロセスのビジュアル化最前線」の製作・出版に幹事として貢献した。本出版物はアーク挙動や凝固割れ、レーザ溶接時のポロシティやアンダーフィルの発生過程を対象とした最新の高速カメラ画像による映像とその解説などが収録されている。「溶接ニュース」などでとりあげられ好評を博している。

6. 接合科学共同利用・共同研究拠点に関する研究成果に対する自己評価

H22-H24 年度 3 年間で、33 名の共同研究員を受け入れた。低炭素鋼溶接部の特性改善に関し、愛媛大学仲井研究室と共同研究を行い、ベイナイトの結晶学的特徴を検討するとともに、結晶粒微細化のために、オーステナイト粒界から変態を起こすのではなく、粒内から多数のベイニティックフェライトを生じさせるための手法を研究した。また、日本原子力研究開発機構との共同研究も実施し、レーザ溶接補修技術の標準化に関する研究を推進している。島根大学との共同研究では、ステップクエンチを施し初期組織を現出させた Fe-18Ni マルエージング鋼を用い、ラスマルテンサイトの生成初期組織を三次元的に観察した。そして組織形成におけるブロックおよびパケットにおけるバリエーション選択の解析を行い、その生成・成長の規則性の検証を推進した。

共同研究員との共著は査読付き学術論文計 7 件を数えた。

表3 全国共同利用実績の推移 (H22-H24の3年分)

	平成22年度	平成23年度	平成24年度
共同研究員	12	12	9
共著論文	2	4	1

4. 15 スマートグリーンプロセス学

年度	平成22	平成23	平成24
教授	—	—	—
准教授	西川 宏	西川 宏	西川 宏
助教	—	—	—

1. 研究概要

本研究分野では、ものづくり、廃棄とリサイクルにおける環境負荷低減に寄与できる先進的技術（スマートグリーンプロセス）開発を目的としてその基礎学術および要素技術の確立を行う。特に、エレクトロニクス製品及び輸送関連機器のものづくりにおいて、有害物質フリー・エコマテリアル等への材料代替、接合プロセスにおける環境低負荷物質の使用・省エネルギー化、微細高密度実装部の信頼性向上などを旨とする。このため、希少金属や貴金属からの汎用材料への接合材料の代替、ナノ材料や低融点材料を用いた新規接合プロセスの確立、接合界面制御による継手信頼性の向上などに資する環境面にも配慮した各種スマート接合プロセス及びその要素技術の研究開発を行う。

2. 研究課題

1. 電気・電子機器微細高密度実装における有害物質フリー化
2. 鉛フリーはんだ接合界面制御と実装機器の長寿命化
3. 低融点鉛フリーはんだの各種特性評価とその機械的特性の改善
4. レーザを用いた微細接合プロセス開発とその継手性能評価
5. 銅系フィラーを用いた導電性接着継手の高信頼性化
6. 金属ガラスなど先端材料の低温接合プロセス開発及び接合特性評価
7. ナノマテリアル援用スマートボンディング技術の確立

3. 研究成果と研究に対する自己評価

(1) 研究成果

本研究分野は、スマートグリーンプロセス開発を目的として、特にエレクトロニクス実装の分野で世界を牽引する研究成果を挙げている。特にエレクトロニクス実装における次世代微細接合技術の構築や鉛フリーはんだ特性に関係した各種問題点解消のための先駆的研究を推進している。具体的には、鉛フリーはんだ接合部界面微細組織解析、継手特性評価とその改善、導電性接着剤の各種特性評価とその向上、ナノマテリアルを利用した新規接合プロセスの確立を3本柱として研究を進めており、独自性の高い先進的研究成果を挙げている。ステンレス鋼の溶融鉛フリーはんだによる損傷（エロージョン）に関しては、平成22～24年度の3年間も国家プロジェクトを実施し、当該研究に関しては世界のトップランナーであると自負している。また国際標準化にも貢献しており、本研究分野の研究成果をもとに日本から提案された鉛フリーはんだ向け実装機器に関連する評価試験方法が、IEC（国際電気標準会議）/TC91 委員会で審議され、国際規格（IEC 62739-1）として制定されるに至っている。

(2) 研究に対する自己評価

本研究分野は、平成21年度に竹本正教授が退職し、平成22年度より西川宏准教授が分野長を担当している。研究テーマについても平成21年度までは鉛フリーはんだ中心のテーマであったが、平成22年度以降の3年間で鉛フリーはんだに加え、次世代微細接合技術に関するテーマを意図的に増やし、新しい視点にもとづくエレクトロニクス実装に関する研究を進めている。この3年間の基礎研究の成果により、平成25年度にはナノマテリアル等を利用した新規接合プロセス研究を加速させるための外部資金（科学研究費補助金・基盤研究（B）、科学技術振興機構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）ハイリスク挑戦タイプ）を獲得しており、着実に新たな研究基盤を築きつつある。

上記（1）の研究成果は、国内外の優れた学術論文誌を中心に掲載しており、研究論文は平成22年度、査読付学術論文7件、国際会議論文1件、査読付国内会議論文2件、平成23年度は、査読付学術論文5件、国際会議論文3件、査読付国内会議論文2件、平成24年度は、査読付学術論文5件、国際会議論文2件、査読付国内会議論文2件、査読無国内会議論文2件となっている。その他にも、平成22年度には国際会議発表5件、解説1件、著書2件、Trans. JWRI 2件、平成23年度には国際会議招待講演2件、国際会議発表4件、解説2件、Trans. JWRI 2件、平成24年度には国際会議招待講演4件、国際会議発表10件、解説1件、著書1件となっている。新たな研究テーマへの挑戦期間でもあったことから、決して多くはないが、常勤研究者1名による成果としては高く評価できる数値であると自負している。この3年間に掲載された主な欧文誌の最新のインパクトファクター（IF）は、1.635（J. Electronic. Mater.）、1.486（J. Mater. Sci. -Mater. Electron.）、0.857（J. Adhes.）、0.588（Mater. Trans.）等であり、IFを有する接合分野としては比較的レベルの高い学術誌に掲載されており、関連研究分野において高い研究水準であると自負している。

外部からの研究資金は、平成22年度は、科学研究費補助金1件（基盤研究（C））と受託研究2件（NEDO「戦略的国際標準化推進事業／標準化研究開発」、JSPS「研究成果最適展開支援事業（A-STEP）探索タイプ」）で合計11,903千円、平成23年度は、科学研究費補助金2件（基盤研究（C）、特別研究員奨励費（外国人））と受託研究1件（経済産業省「戦略的国際標準化推進事業／標準化研究開発」、奨学寄附金1件）で合計4,836千円、平成24年度は、科学研究費補助金2件（基盤研究（C）、特別研究員奨励費（外国人））と受託研究3件（経済産業省「戦略的国際標準化推進事業／標準化研究開発」、「平成23年度第3次補正予算戦略的基盤技術高度化支援事業」、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）」、民間等との共同研究1件、奨学寄附金1件）で合計13,565千円であった。科研費をはじめ確実に外部資金を獲得しているものの更なる拡大が可能であると考えており、特に大型プロジェクト採択が課題と位置づけている。得られた研究成果・技術シーズを産業界のニーズと連携させるような産学連携にも注力しながら、研究資金の獲得に努める所存である。

今後も研究面では、研究成果や論文投稿の質の向上、成果の社会還元、そのための研究費獲得に対して、現状に甘んじることなく、継続的な努力を行う所存である。

4. 教育に対する自己評価

本研究分野は、大学院工学研究科環境・エネルギー工学専攻（工学部環境・エネルギー工学科）の協力講座として、当該専攻大学院生ならびに当該学部生への教育・研究指導を分担

している。大学院教育では「先端環境材料・資源循環利用システム学特論」を担当すると共に、全教員担当の複数の講義（集中講義を含む）を分担している。また学部教育では3年生の「構造・材料力学」、「スマートグリーンプロセス学」、「環境・エネルギー工学コア演習・実験第2部」、「環境・エネルギー工学コア演習・実験第3部」を主に担当しており、大きな教育貢献と考える。学生は大学院生ならびに学部生が配属されており、平成22年度は大学院博士後期課程1名、前期課程10名、学部4年生2名、平成23年度は大学院博士後期課程1名、前期課程7名、学部4年生1名、平成24年度は大学院博士後期課程1名、前期課程4名、学部4年生2名の教育・研究指導を行った。協力講座としては平均以上の人数であり、こちらも貢献度が高いと自負している。また平成23年度には博士の学位を1名が取得した。外国人留学生も定期的に受け入れており、平成22年度には中国から3名、平成23年度は中国から1名、平成24年度は中国から1名、韓国から1名が在籍し、教育・研究指導を行った。また接合科学研究所が実施している共通教育機構の授業も分担しており、毎年、「基礎セミナー」を担当している。

今後も教育面では、日本人学生への刺激も考慮し、積極的に留学生を受け入れながら、学部生ならびに大学院生への教育・研究指導の質の向上と環境整備に努める所存である。

5. 社会貢献に対する自己評価

①国内外での学会等活動：溶接・接合、特にエレクトロニクス実装に関わる学協会を中心に活発な社会貢献を展開している。（一社）溶接学会、（一社）日本溶接協会、（一社）エレクトロニクス実装学会、（一社）スマートプロセス学会、（一社）電子情報技術産業協会、その他学協会などの研究委員会、部会、ワーキング等において幹事・主査・各種委員を務めるとともに、エレクトロニクス実装関係の国内2大シンポジウム（エレクトロニクスにおけるマイクロ接合・実装技術シンポジウム（MATE）、マイクロエレクトロニクスシンポジウム（MES））の実行委員を務めるなど、エレクトロニクス実装の進展、それに関連する評価試験方法の規格化（国際及び国内規格制定）、技術者教育に積極的に貢献している。

②産学連携：上述したように平成22年度は受託研究2件、平成23年度は受託研究1件、委任経理金1件、平成24年度は受託研究3件、共同研究1件、奨学寄附金1件と連携の件数は年々増加しており、この増加傾向を維持するとともに、研究により得られた成果・技術シーズを産業界のニーズと連携させ、新たな製品の実用化に貢献できるような実りある産学連携活動を今後も積極的に行っていく所存である。

③国際貢献：日本代表としてIEC/TC91 関連委員会とWGに参加し、受託研究の成果をもとにした日本発の評価試験方法の国際規格化提案をおこない、リーダーとして平成24年度末には1件の国際規格（IEC 62739-1）を制定するに至った。このようにエレクトロニクス実装関連の日本発のIEC国際規格制定に貢献している。

平成24年度に大阪大学・戦略的経費により研究所として実施した「東アジア接合研究連携拠点ネットワーク形成事業」では、サブリーダー的な役割を果たし、東アジア地域の11大学との部局間交流協定の締結や6回の2国間ワークショップの開催に大きく貢献した。

本研究分野への外国人の研究員、留学生の受け入れも積極的に行っており、日本学術振興会の外国人特別研究員制度により、平成23年11月から2年間の予定でマレーシアの研究者1名を受け入れるとともに、平成24年4月から半年間、招へい研究員として中国の江蘇科技大学からDr. Jianxin Wangを受け入れた。また上述したように毎年、留学生が複数名在

籍しており、毎年、大学院への入学を目的とした研究生も受け入れており、様々な形で国際貢献にも務めている。

その他、本研究所主催の国際シンポジウム Visual-JW2010, Eco-Mates, Visual-JW2012 では実行委員として企画段階からシンポジウムの円滑な実施・運営に貢献した。また海外欧文誌 J. Electronic Mater., J. alloy and compd. 等の査読を定期的に担当している。

今後も、上記のような実績を維持・向上できるように社会貢献を進めていく所存である。

6. 接合科学共同利用・共同研究拠点に関する研究成果に対する自己評価

本研究分野では、環境に優しいスマートグリーンプロセスの研究に関して共同研究員を募集しており、主としてエレクトロニクス実装に関わる研究者を受け入れている。平成22年度は11名、平成23年度は12名、平成24年度は15名を迎えて、共同研究を実施した。研究所の目標値（年間10名以上）をクリアーしているものの成果の共同発表は限られており、今後さらに研究員の研究領域と人数の拡大を目指すとともに、共同研究員との共同成果発表の拡大に務めていく所存である。

大阪大学接合科学研究所
中間評価実行委員会

委員長	教授	田中 学 (全学評価委員会委員)
委員	教授	片山 聖二 (所 長)
	教授	近藤 勝義 (副所長)
	教授	節原 裕一 (執行部)
	准教授	堤 成一郎
	准教授	阿部 浩也
	助教	前田 将克
	助教	梅田 純子
	事務長	戸田 博
	庶務係長	東尾 和司

中間評価実行委員会ワーキング

委員長	教授	田中 学
委員	准教授	堤 成一郎
	准教授	阿部 浩也
	庶務係長	東尾 和司
	会計係長	東堤 忠勝
	広報・データ管理室員	田中 喜隆

中間評価報告書 (平成22～24年度)

平成26年3月 発行

編集・発行 大阪大学接合科学研究所

住 所 〒567-0047 大阪府茨木市美穂ヶ丘11番1号

URL <http://www.jwri.osaka-u.ac.jp>