

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：永田 晴紀

所属・職：北海道大学大学院工学研究院・教授

区分：工学系科学専門調査班 主任研究員

調査研究題目：「工学系科学分野に関する学術研究動向及び学術振興方策 ー宇宙推進工学および関連分野における新たな潮流と展開ー」

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：宇宙輸送工学、ロケット、SDGs、商業宇宙利用

宇宙輸送工学および宇宙推進工学の動向を調査した。固体ロケットおよび液体ロケットの論文数は継続的に増加しているが、ハイブリッドロケットの増加傾向は2021年で止まっており、論文数の伸びに差が見られる。宇宙輸送工学研究の全体的な動向として商業宇宙利用の活発化が年々影響力を増しており、ベンチャー企業を始めとする民間分野での研究開発が活発化しているのに加えて、宇宙関連の競争的研究開発資金も増加傾向にあり、これらが産学を跨いで論文数の増加を牽引していると考えられる。一方でハイブリッドロケットは固体ロケットおよび液体ロケットと比較して技術的に成熟しておらず、実用化例が少ないため、特に民間分野において研究開発の牽引力が弱いと考えられる。

商業宇宙利用の活発化により、SDGsの意識の高まり、低価格化、および小型化への意識は引き続き強まっており、低毒/無毒推進系と3D印刷に関連する研究が、年毎に増減を繰り返しながらも傾向としては増加を続けている。低毒/無毒推進剤は安全管理コストの削減を通じて低価格化にも繋がる。

電気推進分野では300 km未満の超低高度で軌道を維持する手段として空気吸込式電気推進が注目されている。低軌道で吸い込んだ空気を推進剤として用いる方式なので、排気速度が第一宇宙速度(7.9 km/s)付近を超えないと推力が得られないが、一般的なイオンエンジンの排気速度は30 km/s程度であり、十分に推力発生が可能である。超低軌道を利用するための基盤技術として期待されている。

デトネーションエンジンは次世代の宇宙推進技術として引き続き注目されている。特に回転デトネーションエンジン(RDE)に関する研究が2024年も目立った。我が国では2024年11月にJAXAの観測ロケットS-520-34号機に液体燃料(エタノール)を用いる回転デトネーションエンジンが搭載され、宇宙でのフライト条件における作動実証に成功した。液体燃料による大気圏外での作動実証はこれが世界初であり、注目を集めた。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：渡部 平司

所属・職：大阪大学大学院工学研究科・教授

区分：工学系科学専門調査班 主任研究員

調査研究題目：「工学分野に関する学術研究動向及び学術振興方策

ー表面界面科学を基軸とした先進デバイス工学の新たな潮流と展開ー」

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：先端半導体、パワーエレクトロニクス、半導体人材育成

令和4年度以降、先端半導体デバイス分野を中心に学術研究動向調査を行ってきたが、コロナ禍を経て、大きなターニングポイントに直面した期間であった。生成AIやIoT、自動運転技術の発展には最先端の半導体集積回路が不可欠である。また、電気エネルギーの高効率利用では電力変換効率に優れた次世代パワーデバイスが必須であり、シリコンデバイスの性能を遥かに凌駕する炭化ケイ素(SiC)や窒化ガリウム(GaN)等のワイドバンドギャップ半導体を用いた次世代パワーデバイス普及への期待が高まっている。前者の集積回路分野では、数兆円にも及ぶ国費が投入され、2nm世代の最先端半導体の製造工場の本格稼働が近づいている。これまで、EUV露光機や様々な最先端製造装置の導入を進め、当該分野の最先端を走る台湾や欧米のキャッチアップを最優先に事業が展開されてきたが、当該分野の発展を支える人材が4万人以上不足するとの試算もあり、アカデミアに対しては高度半導体人材の育成が強く求められている。半導体分野の人材育成は、これまで特定の地域に偏っていたが、近年ではオールジャパンでの取り組みが加速している。さらに、九州地区に生産工場を建設した台湾TSMCでの半導体人材不足は深刻であり、高度人材の奪い合いが起きている。一方、新材料パワーデバイスの進展は目覚ましく、電気自動車へのSiCパワーモジュール導入が口火を切り、GaNや酸化ガリウム(Ga₂O₃)、ダイヤモンドと言った新技術の研究開発が加速している。新材料物性の理解や使いこなしは日本の得意分野であり、これらの新分野で世界をリードしてきたが、産業応用への明確な筋道が示されてからは、中国や韓国が集中的に研究開発を推進し、近年では当該分野の日本の優位性が揺らいでいる。既に、SiCウエハの生産技術では中国は世界の中心的な位置を占めており、半導体集積回路分野と同様にパワーデバイス分野においても、最先端研究の支援と人材育成の重要性が増している。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：小熊 久美子

所属・職：東京大学大学院工学系研究科・教授

区分：工学系科学専門調査班 主任研究員

調査研究題目：工学系科学分野に関する学術研究動向及び学術振興方策—分野融合を見据えた学術の動向と研究人材獲得の取り組み事例調査—

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：分野融合、国際人材、海外大学調査

工学およびその周辺分野における国内外の学会に参加し、当該分野の学術動向や分野融合の可能性を調査した。また、優秀人材の獲得と育成のために日本がなすべき改革を探るため、海外のトップレベル大学で教員や若手研究者に現在の研究環境等をヒアリングしたほか、海外での研究経験がある日本人研究者らに意見聴取を行った。

学術動向を調査した学会（国際学会3件、国内学会3件）は、いずれも各研究領域の重要テーマを理解し研究者の人脈を得るうえで大変有意義であった。このうちフォトニクス関連の国際学会には、応用物理学（発光デバイス関連）とそれを利用する多様な分野から産学の専門家が各国から参加しており、分野融合のポテンシャルが高く、また既に分野横断的アプローチが多数実施されていた。また、工学系の女性研究者に的を絞った国際ワークショップでは、大学院生からシニア教授まで幅広い世代の女性研究者が意見交換しており、若手研究者育成の観点で大変有意義な企画と思われた。

海外大学の調査では、ケンブリッジ大学およびシドニー近郊4大学を訪問し、教員および若手研究者（博士研究員、大学院生）に対面でインタビューを行った。総じて、海外の大学教員は日本の学術界に対する評価が高かった一方、若手研究者のほとんどは日本への留学や就職を一度も検討しておらず、その主な理由として、日本が非英語圏であること、身近に経験者がいないこと、日本の各種奨学金が他国に比べて見劣りすること（採択率が低い、金額が十分でない、確定するタイミングが遅い、申請手続きが煩雑でわかりにくいなど）などの意見が複数あった。また海外で研究経験のある日本人研究者からは、海外の大学では事務系職員の専門性が高く、研究者が研究に集中できるような組織的な配慮を感じたとの意見が複数あった。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：秋山充良

所属・職：早稲田大学理工学術院・教授

区分：工学系科学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：防災工学関連分野に関する学術研究動向 ―複合災害への備え―

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：マルチハザード、防災、減災、リスク、レジリエンス

2024年度に開催された複数の防災関連国際会議に参加し、地震、津波、海面上昇、液状化、地滑り、火災、塩害などの複合災害が同時あるいは連続して発生するマルチハザード環境下における、沿岸都市の社会インフラに対するリスク軽減策およびレジリエンス向上策に関する国際的研究動向を幅広く調査した。特に、これらの研究を先導する Frangopol 教授（米国）、Biondini 教授（イタリア）、Casas 教授（スペイン）、Ruan 教授（中国）の最新成果を直接確認しつつ、IABMAS2024（デンマーク）、18WCEE（イタリア）、ISRERM2024（中国）において Mini Symposium を企画・主催し、国際的な議論を通じて多角的な知見を得た。IABMAS では、沿岸橋梁における塩害や疲労劣化の進行とライフサイクル評価、維持管理方針の最適化などが議論され、また多国の実務者・研究者が共通課題として認識していることが確認された。18WCEE では、筆者が基調講演を担当し、日本における南海トラフ巨大地震・津波に対する対策や、津波・液状化・斜面崩壊などが複合的に構造物へ与える影響を時空間相関を通して評価する数理モデルの重要性を提示した。ISRERM では、バイズ推論や機械学習を活用し、マルチハザード下での信頼性・リスク・レジリエンスを一体的に評価する次世代の枠組みについて、国際共同研究の可能性を含めて議論した。

近年の大規模災害、すなわち 2011 年の東日本大震災、2016 年の熊本地震、2024 年の能登半島地震等では、強震動に加えて津波、液状化、地すべり、火災などが複合的に構造物へ甚大な被害を与えた事例が多数報告されている。特に、補強された橋梁であっても津波や斜面崩壊によって被害を受けたことは、従来の単一ハザードを前提とした設計の限界を示しており、支配的ハザードを特定し、複合的に作用する災害を考慮した信頼性評価モデルの必要性が高まっている。この点において、Cornell 教授らによる地震信頼性評価の基礎理論は重要な出発点となるが、近年はフラジリティ解析や影響度評価などを組み合わせ、構造物レベルだけでなく、ネットワーク全体の機能保持や地域全体のレジリエンスの観点からの評価に発展しつつある。海外でもマルチハザードに関する研究が増加しており、災害種間の時空間相関を考慮したモデル化は、国際的にも今後の重要課題として位置付けられている。我が国においても、構造物単体ではなく、その背後にある社会的・経済的機能を含めたレベルでのリスクマネジメントが求められており、数理モデルと現場知見を融合させた総合的な研究枠組みの確立が急務である。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：新井 豊子

所属・職：金沢大学 理工研究域 数物科学系・教授

区分：工学系科学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：ナノサイエンス・ナノテクノロジー分野に関する学術研究動向

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：走査型プローブ顕微鏡 (SPM)、顕微鏡法・分光法複合装置、原子分解能、産学連携

本研究では、ナノサイエンス・ナノテクノロジー分野に関する学術研究動向を調査研究し、次世代に向けて要求される科学・技術を展望する。ナノテクノロジーは、2001年に米国で国家ナノテクノロジー・イニシアティブ (National Nanotechnology Initiative) が創設されたことを皮切りに、その基礎となるナノサイエンスとともに、この四半世紀に渡り、日本を含め世界中、科学技術の重点研究分野であり続けている。1 ナノメートルの距離スケールは、ちょうど「量子力学効果」が目立ち始める距離である。ナノサイエンス・ナノテクノロジーは、近年急速に注目が集まっている「量子コンピュータ」など量子力学現象を扱う科学技術の基礎でもあり、実用段階に入った数ナノメートルサイズのナノスケールデバイスの基盤技術でもある。走査型プローブ顕微鏡 (SPM) は、原子スケールから、ミクロンサイズに至るまで、試料表面の形状を観察できる顕微鏡であり、そのスケールで物性を解析できる、まさにナノサイエンス・ナノテクノロジー分野に欠かせないツールである。本研究では、特に SPM による顕微鏡法と、光による振動分光法の複合装置の開発状況を中心に調査した。非常に特殊な光源、低温・超高真空環境など、限られた先端研究レベルでは、原子分解能の表面画像および元素同定が実現しているが、市販されている大気環境下で駆動する AFM-IR 等は、10 nm 程度の空間分解能である。

2024年8月5日～9日にマギル大学 (モントリオール, カナダ) で開催された非接触原子間力顕微鏡国際会議 (the International Conference on non-contact atomic force microscopy (nc-AFM2024)) に参加し、研究成果を発表した。FM-AFM は、原子分解能で、表面を観察でき、力学的に表面物性を解析することも可能である。本会議では、原子操作による反応制御に関する発表も多く、その種類や精度において進展しており、量子分子デバイスなどへの応用も視野に入ってきた。

日本学術振興会産学協力研究委員会「ナノプローブテクノロジー第167委員会」を継承する形で、一般財団法人青葉工学振興会内に「次世代ナノプローブ技術委員会」を2023年に発足させ、著者は運営委員の一人として、次世代ナノプローブ技術に関連する産官学の連携に務めている。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：北川 尚美

所属・職：東北大学大学院工学研究科・教授

区分：工学系科学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：反応工学およびプロセスシステム工学関連分野に関する学術研究動向

－資源循環やカーボンニュートラルに関するプロセスシステムの新たな潮流と展開－

主な調査方針：3. 若手研究者の育成・キャリアパス、男女共同参画、オープンサイエンス等に関する動向調査

キーワード：反応工学、プロセス工学、バイオマス資源循環

動向調査では、国内では「carbon neutral」を実現するための技術として、「水素」に加え、CO₂の回収・貯留・有効活用技術である「Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage; CCUS」への注目が高まっている。また、バイオ液体燃料として、11月にはガソリンへのバイオエタノール混合率を現在の1%から数十%に増大させるという施策が発表され、持続可能な航空機燃料（Sustainable Aviation Fuel; SAF）に関しても、国内での量産化のための複数のプロジェクトが始まった。一方、国外では、「Decarbonization」や「Sustainable」に加え、「Innovation in Process」や「Process Intensification」も重要視されている。また、EUでのアカデミアによる技術開発は、1トン/dayといったかなり大きな規模を目指して行われており、実用化を推進する意識自体が我々とは異なっていると強く感じた。当該分野における若手研究者の研究動向調査では、JSTの「さきがけ」「ACT-X」「創発的研究支援事業」、環境省の「環境研究総合推進費（若手枠）」をはじめ、多くの事業が継続されていることを確認した。ただし、「プラスチック」「材料開発」「CO₂変換」など、様々な事業で類似テーマでの募集が行われており、特定分野の研究者に予算が集中していることへの懸念は変わらない。

女子学生の理系進学については、入試での女子枠の設置が進んでおり、徐々に増加が見られているが、世界の状況からは大きく遅れている。女子中高生の周囲の人々（保護者や教員など）の理解が得られないことも大きな因子であると言われており、工学部への進学と卒業後のキャリアパスの見える化が重要である。所属研究科では、オンラインのリケジョ会議を開催し、全国の女子中高生に加え、保護者や教員にも参加してもらう環境を創っている。こういった無意識のバイアスを払拭する活動を、様々な機関で実施していく必要があると考える。

自身が関与した当該分野における国際シンポジウム、セミナー、講演会等の企画・開催状況などについては、バイオマス資源循環やカーボンニュートラルに関わるシンポジウムを6件、小・中・高校生向けのセミナーを4件、DEI（Diversity, Equity & Inclusion）関係の講演やセミナーを5件、インドネシア、マレーシア、タイの研究者とセミナーを3件、実施した。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：末益 崇

所属・職：筑波大学数理物質系・教授

区分：工学系科学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：結晶工学関連分野に関する学術研究動向—創エネルギー材料および省エネルギー材料の新展開—

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：結晶成長、太陽電池、データサイエンス

世界各国でカーボンニュートラルの実現に貢献する研究開発（風力発電、太陽電池用の新規材料や新規構造、蓄電技術、熱電発電、省エネに貢献するパワーエレクトロニクスなど）が、盛んに行われている。脱炭素化のため、太陽光発電をはじめとする再生可能エネルギーへの期待が、益々高まっている。2024年現在、太陽光発電で得られる電力は、火力等に比べても世界各地で最も安価な電源となっており、累積導入量が1テラワット(TW)に達した。国際エネルギー機関によると、2050年には14TWの導入が必要とされている。このため、今後も、太陽光発電の役割は拡大を続けると考えられる。2024年現在、市場に新たに投入される太陽電池の発電能力で比べると、その9割以上が単結晶シリコン太陽電池であり、10年前は多結晶シリコン太陽電池が6割以上を占めていたことを考えると、様変わりしたといえる。単結晶Si太陽電池の殆どが特定国の企業から供給されているが、化石燃料による安価な電力を使って製造した直径200mmφのインゴットから、152mm角のセルを作製するため、高純度Siの50%以上を廃棄する非常に無駄の多いプロセスであり、問題が多い。また、シリコン太陽電池では、エネルギー変換効率の飛躍的な向上を目指し、禁制帯幅の大きな材料と組み合わせるタンデム化の検討がなされており、薄膜太陽電池の新材料として注目を集めているペロブスカイトと組み合わせようとする動きが引き続き盛んである。異種材料との組み合わせでは、界面の制御が不可欠であり、この分野の研究も始まっている。一方、無機系元素からなる新規太陽電池材料(Sb_2Se_3 , SnS , $CZTS$, Cu_2O , $ZnSnP_2$, $BaSi_2$ など)の研究も、活発に行われている。シリコン太陽電池は光吸収層の厚みが $180\mu m$ 程度であり、基板ベースであるため柔軟性に欠けるのに対し、これらの新材料では、光吸収層の厚さがシリコン太陽電池の30分の1以下になるため、建物の壁面、車載などへの応用を考えた、軽量で柔軟な太陽電池の研究が進展しつつあるといえる。上記の薄膜太陽電池材料に加え、新しい太陽電池材料を含めて、薄膜太陽電池の研究開発が求められる。

スピントロニクス分野では、新しい物理現象に係わる基礎研究から、単体デバイス、さらに、集積回路まで、非常にレンジの広い研究が行われている。スピントロニクス材料を記録媒体とし

用いる場合、磁化の方向を電流またはスピン流で制御する必要があり、この方面の研究が盛んに行われている。スピン移行トルクやスピン軌道トルクによる磁化の制御の他に、電流を流さず電圧による磁化の制御で省電力化を達成しようとする研究が活発に行われている。

太陽電池やスピントロニクスに限らず、あらゆるデバイス形成の根幹は結晶成長による製膜である。その分野において、結晶成長条件の最適化のために、種々のデータを利活用して機械学習からより短期間に最適解を得ようとする取り組みが、広範に行われるようになってきている。データサイエンスを利用することで、結晶成長が進化している。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：平田 晃正

所属・職：名古屋工業大学大学院工学研究科・教授

区分：工学系科学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：電力工学、生体医工学分野（生体電磁工学）に関する学術研究動向 ―生体電磁工学を基軸とした学際領域における新展開―

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：電磁界の安全性、国際標準化動向、熱中症、公衆衛生工学

非電離放射線、すなわち電離放射線を除く波動領域は、電波や超音波を含み、医療、通信、エネルギー、環境など多様な分野で応用が急速に拡大している。特に、無線通信の高度化やワイヤレス給電の普及に伴い、人体近傍で使用される電子機器から発生する漏洩電磁界の影響評価と、それに対応する国際的な安全基準やガイドラインの整備が重要な課題となっている。こうした技術の進展に伴い、生体物理、電磁界解析、生理応答モデル、熱的影響、さらには行動・環境要因を組み合わせた多角的かつ学際的な視点による検討が求められている。

このような背景のもと、ICNIRP（国際非電離放射線防護委員会）および IEEE（米国電気電子学会）の関連会合・Web 会議に出席し、電磁界の生体影響およびその防護に関する国際ガイドラインの最新動向について、専門家との意見交換および技術情報の収集を行った。特に、周波数帯域によって区切られた現行基準における境界周波数（たとえば、300GHz 帯）の取扱いや、それに伴う実用機器への適用課題、今後の技術革新を見据えた研究開発の方向性について調査した。さらに、欧州各国の公募型研究制度や、EU が主導する大型研究資金の配分方針、研究者のダイバーシティ確保に向けた取り組みの実態についても情報収集を行った。

また、APEMC、BioEM、Brain Stimulation、日本生気象学会などの国際・国内学会に参加し、生体電磁工学における医療応用、安全性評価、製品開発、環境物理因子の影響などに関する最新の研究動向と国際的な議論を幅広く把握した。特に日本生気象学会では、暑熱環境下での微気象条件が人体温熱応答に与える影響や、熱中症リスク評価の高度化、非電離放射線に関する生体影響評価のさらなる精緻化に資する知見を得た。さらに、紫外線曝露と眼疾患リスクの関連性について、疫学調査の様子を見学するなど、多角的な情報を得た。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：倉爪 亮

所属・職：九州大学大学院システム情報科学研究所・教授

区分：工学系科学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：知能ロボティクス関連分野に関する学術研究動向

ー環境知能化に基づくサービスロボットの新たな潮流ー

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：空間知能化、地図生成、Tightly-Coupled SLAM、Radar、Radar SLAM

ロボットの活動領域を工場などの限定された整備空間から、家庭や道路などの非整備空間へ広げるための、環境情報構造化に関する研究動向について調査した。非整備空間で移動を伴う作業を行うロボットにとって最も重要な機能は位置同定と経路計画であり、この両方を高精度に実現する SLAM は極めて重要な技術である。当初、SLAM は 2D LiDAR を用いた平面地図が対象であったが、その後、安価な Multi-line 3D LiDAR の開発や IMU との密な統合などにより、高精度な立体地図の生成や 3 次元位置同定などへ拡張されている。また近年では、雨天や粉塵などの耐環境性能が高く、さらに計測対象の速度情報も得ることができる Radar が注目されている。Radar は従来、角度分解能の低さが課題であったが、近年では数十ラインの Radar が開発され、これを用いた SLAM も提案されている。例えば ICRA2024 では、Radar を用いた Odometry、Localization、Place Recognition、Object Detection に関する研究が多く発表された。特に会議初日には、Radar の利用に関するワークショップが開催され、Radar の特徴（例えば Doppler 速度など）を生かした AI 構築や、効率的な学習データ構築のためのシミュレータ、他のセンサとの情報融合、基盤モデル構築などが今後重要になると指摘された。その後の会議でも、Radar のみによる Odometry 手法や IMU との統合手法など、特に Doppler 速度を積極的に用いた手法が多く提案された。また IROS2024 でも、Radar の利用に関する多くの論文が発表され、例えば新たな対応付け手法である CFEAR-4 を用いた Radar のみによる SLAM の実装、Radar と IMU を組み合わせた 4D FMCW Radar-Inertial Odometry、FMCW Radar を用いた Localization 手法である RaNDT などが提案された。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：鈴木 勉

所属・職：筑波大学・システム情報系・教授

区分：工学系科学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：建築計画および都市計画関連分野（主に都市計画分野）に関する学術研究動向ー都市計画分野とその周辺分野における新たな潮流と展開ー

キーワード：都市計画、建築学、オペレーションズ・リサーチ、地理情報科学

建築計画および都市計画関連分野に関する話題は、大きな広がりとは他分野との関連性の新たな展開を見せている。ここでは同分野の研究動向について、主要な学会大会の発表を基に報告する。

2024年度日本建築学会大会は「建築と暮らす」をメインテーマに開催され、都市計画部門では空き家問題や空き地の利活用、ウォークラブルな街づくり、ウェルビーイング、コンパクトシティ政策や公共空間の活用、持続可能な都市構造、避難・避難所の安全性、水害対策、市民の防災力向上、グリーンインフラ導入・都市空間の再生、公共空間のデザインと活用などの研究が報告された。

日本都市計画学会全国大会（第59回論文発表会）では、廃校跡地の活用や高層住宅の開発、歴史的建築物の再利用、都市計画の制度的枠組み、AI オンデマンド交通など最新技術を活用した移動手段の可能性、歩行空間整備や道路空間再配分を通じた歩行者主体の都市設計、マンションの修繕積立金の課題、小学校跡地活用における住民参加、コミュニティビジネスによるまちづくりの可能性、水辺建築や田園景観保全、都市の自然環境と機能を両立させる手法、地震・洪水対策や防災指針の策定、住民の避難行動分析、多拠点生活の実態など、多様な研究が報告された。

日本、韓国、台湾、ベトナムの都市計画関連学会による国際会議 ICAPPS2024 では、都市・地域計画、交通、環境・災害管理など幅広い分野の研究が報告された。特に、都市再生や地域開発における公共交通の統合、歩行者中心の開発、歴史的資源の活用、都市デザインの最適化が注目を集めた。加えて、GIS 技術やビッグデータを活用した都市計画、交通安全のためのインフラ改善、LRT の導入とその社会的影響などが議論された。

この他、日本オペレーションズ・リサーチ学会研究発表会や地理情報システム学会研究発表大会、EURO2024 でも、都市計画分野への応用に関する研究が数多く報告され、特に、数理最適化や機械学習を活用した持続可能な都市の効率的運営に関する研究が進展しており、スマート・プランニングや全国擬似人流データの活用、都市計画におけるデジタル技術の応用など、新たな技術的アプローチが活発に議論された。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：飛龍 志津子

所属・職：同志社大学生命医科学部・教授

区分：工学系科学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：「計測工学分野に関する学術研究動向」－計測工学との融合研究が期待される生物系領域に関する動向調査

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：異分野融合, 学術変革領域研究 A, 計測工学, ナビゲーション研究

昨年度に引き続き、特に生物系テーマと工学分野における異分野融合研究の動向に着目し、調査した。具体的には担当者が参画する科研費プロジェクトを通じて、ヒトを含む様々な生物を対象としたナビゲーション研究を例に調査を行った。このプロジェクトでは工学にとどまらず、生態学、神経科学、情報科学といった幅広い分野に関する研究者らが若手からシニアまで集い、学際的な融合研究が遂行されており、現在の研究現場を知る良い機会となっている。

・科研費 学術変革領域研究 (A) 「サイバー・フィジカル空間を融合した階層的生物ナビゲーション (略称：階層的生物ナビ学)」での活動を通じた調査では、野外での様々な環境に堅牢なセンサデバイスやその長時間計測、また計測後の多次元の時系列データに関する分析手法などに関する生物学者らによるニーズが多いことなど、ここ数年と同様の傾向が見て取れた。一方、データサイエンス系の研究者らからは、機械学習などで得られたモデルやシミュレーション結果を、実空間に実装する挑戦的な課題も紹介があり、情報系研究者のみではハードルは高いものの、工学系研究者 (計測やロボットなど) との融合によって、機械学習系の分野において新しい潮流をもたらすように感じた。

・神経科学分野などモデル生物を扱う研究分野においては、情報系研究者や工学系研究者との異分野連携は、研究にオリジナリティを持たせ、大きく加速させるチャンスになっている。しかし学術変革領域研究 (A) のような大型の融合研究を推進する一部の研究課題を除き、生物系の研究者らが積極的に工学系の研究者らと交流する機会はまだまだ少ないと感じる。担当者は本年度、日本神経科学大会や日本音響学会など、生物から工学系に至る様々な学会にも参加したが、分野を超えたお互いのニーズやシーズを知ることでできる交流の場の少なさをやはり感じた。

・若手研究者らのキャリアパスに関して、工学系や生物系から情報系へは自然な流れになっている。生物系研究者はもともと女性も多いことから全体の人口も多く、また情報系研究者もここ数年、急激に増えている。一方、現在の異分野融合は、工学系への研究者参入には直接あまりつながっていないように感じることから、積極的な仕掛けが必要にも思う。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：安井 武史

所属・職：徳島大学ポストLED フォトニクス研究所・教授

区分：工学系科学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：光工学および光量子科学関連分野に関する学術研究動向 ―光計測における最先端研究動向―

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：光計測、光コム、テラヘルツ波

本調査研究では、多様な分野を横断する計測基盤として、先端かつ先導的な「光計測」に焦点を当て、最新の研究動向と共通課題を調査した。特に、新たな光計測を切り拓くと期待される「光コム」と「テラヘルツ (THz) 波」を中心に、海外の先端研究を探った。

【光コム】

今年マイクロ光コムの技術的進展が多く報告され、注目を集めた。薄膜リチウムナイオベートでは、ラマン散乱を抑えつつオクターブスパンの単一ソリトン生成と抽出を両立し、オンチップでの f_{ceo} と f_{rep} 安定化が進展。AlGaAs-on-insulator では、補助レーザーによる熱補償で室温動作が実現。懸架型 AlGaAs 共振器では Q 値 150 万超の低損失デバイスが開発され、4 mW 以下で Kerr 光コム生成が可能となった。Kerr 誘起同期により熱屈折雑音を抑え、タイミングジッターの指数関数的減衰も実証。さらに、SiN 基板上的光周波数分周では、基準レーザーの差周波によるパッシブ同期で、外部制御なしに 110 GHz の低位相雑音ミリ波信号の生成に成功。これらは次世代通信や高精度時刻標準への応用を広げる成果であり、今後の高性能化・集積化が期待される。

【テラヘルツ波】

THz 波の応用と実用化に向け、さまざまな技術的取り組みが報告された。文化財保全では、量子カスケードレーザーのフィードバック型 THz イメージングにより、大理石象嵌の内部構造や損傷を高コントラスト・高分解能で可視化する手法が紹介され、繊細な対象への応用が期待される。また、THz 周波数の標準化に関しては、90 km の都市型ファイバーリンクを用いた 2×10^{-18} の不安定度での光キャリア転送が実現され、CMOS 互換のシリコンフォトニクス技術と連携したチップスケール THz 基準分配の可能性が示された。さらに、ptychography 手法により、複雑媒質中の屈折率分布を再構成する高分解能イメージング技術も紹介され、ビーム伝搬法と位相回復最適化の併用により、困難だった内部構造の可視化が可能となり、非破壊検査や材料評価への応用が期待される。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：山西 陽子

所属・職：九州大学大学院工学研究院・教授

区分：工学系科学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：ナノマイクロ工学関連分野に関する学術研究動向 - 異分野融合研究の新たな潮流と展開 -

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：ナノマイクロ工学、マイクロナノシステム、MEMS、DNA

ナノマイクロ工学関連分野は機械工学、電気工学、化学工学との融合領域、ナノマイクロとバイオの融合領域とも密接に関連し、それぞれの専門枠を超えた学際的研究として内容も多岐に亘っている。この分野においては MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) 技術を基盤としたマイクロ流体技術が発展し、この 10 年間で、さまざまなマイクロ流体技術が開発され、生物学研究の新時代を切り開いている。日本機械学会に関連する国内学会に目を向けてみると、2024 年 5 月 29 日(水)～6 月 1 日(土)に宇都宮で開催されたロボティクス・メカトロニクス部門が開催する Robomec2024 においてマイクロナノ工学関係の OS は 72 件中 6 件あった。今年度も分野横断研究関連の OS は 5 件あり、山西らは分野横断研究関連 OS として「機能性界面」OS を昨年度に引き続き企画した。機能性界面 OS はロボメカ部門、マイクロナノ工学部門、バイオエンジニアリング部門、IIP(情報・知能・精密機器)部門の 4 部門が連携しており各部門からの参加者による活発な議論がなされた。このような分野横断研究は増加傾向にある。例えば今年度は DNA に関する解析技術やセンサ技術の報告があった。

DNA 解析の工程で重要なサイズ分離において高効率・高速な大分子量 DNA のサイズ分離を実現するためにサイズ分析の高速化を目的として、チップ上の微小流路内にナノピラー、ナノスフィア、ナノウォールなどのナノ構造体を形成し、それらを分子ふるいとして利用するマイクロ電気泳動チップが多数提案されている中において、低コストかつ高度な加工技術が不要なポリマーブラシ膜を分子ふるいとして用いたマイクロ電気泳動チップの発表があった。

また DNA を用いたセンサ技術においては DNA 修飾ナノ粒子結晶を用いた高感度バイオセンシング技術を目指した報告もあつた。金ナノ粒子表面に一本鎖 DNA を修飾した DNA 修飾ナノ粒子 (DNA-NP) 同士を、Linker DNA を介して選択的に結合させた三次元構造体である結晶には金ナノ粒子を含むことから、局在表面プラズモン共鳴 (Localized Surface Plasmon Resonance (LSPR)) などを利用し高感度な光センシングにより生体内で長時間の測定を可能にすることを目指す報告があつた。今後さらなる分野横断研究の発展が期待される。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：伊賀 由佳

所属・職：東北大学流体科学研究所・教授

区分：工学系科学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：流体工学関連分野に関する学術研究動向—キャビテーション現象に関連した流体機械の諸問題—

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：流体工学、エネルギー、液体水素、キャビテーション

2050年カーボンニュートラル実現に向けて、液体水素の大量輸送技術に関心が高まっている。水素の低コスト化には、現状の液体水素の圧送手段である容積型による少流量輸送ではなく、ターボ型ポンプを用いた大量輸送技術の確立が必須である。ターボ型ポンプは一般的に、流量を上げるために高速で回転させると、発生したキャビテーションが羽根間を塞ぎ、ポンプの圧送能力が急激に低下する。よって、このキャビテーションを抑制する術があれば液体水素を大量に輸送でき、水素社会の実現に向けて大きく前進することができる。液体水素キャビテーションは、これまでは主に液体ロケットエンジンの分野で研究されてきた。特に、キャビテーションの抑制量の指標となるキャビティ内の温度低下量を液体水素において計測した事例は、1970年代にアメリカ NASA において計測された1例のみ、可視化事例は1970年前後の NASA の2例のみである。液体水素キャビテーションの研究はその後、報告が見当たらない状況であり、最近では、液体水素の熱力学的状態を、比較的取り扱いが容易で安全な液体窒素で模擬して行われているようである。一方、近年のカーボンニュートラルに関連して、そろそろ世界のどこかで液体水素キャビテーションの研究が再開されるのではと予想される。よって、本学術研究動向調査において、国際・国内会議に出向いて液体水素キャビテーションの研究動向調査を行った。調査の結果、世界的に見ても、液体水素キャビテーションの研究はまだ再開されていないことがわかった。液体水素関連と思われる研究がそれぞれ Washington State University と von Karman Institute for Fluid Dynamics から CAV2024 で紹介されていたが、いずれも、まだ液体水素を流すところまでは到達していなかった。引き続き、研究動向を調査したい。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：大野 宗一

所属・職：北海道大学大学院工学研究院・教授

区分：工学系科学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：「材料加工および組織制御関連分野に関する学術研究動向ー計算材料科学による材料開発の新たな潮流ー」

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：計算材料科学、データ科学、機械学習

材料加工および組織制御関連分野において、計算材料科学、データ科学・機械学習のアプローチ、さらにそれらを融合した新しいアプローチの発展に関する研究トレンドと新たな研究領域の動向調査を行った。電子論計算による物質の構造・物性解析、分子動力学法による加工・相変態の原子系シミュレーション、フェーズフィールド法やセルオートマトン法による組織形成シミュレーション、CALPHAD 法による実用金属材料の状態図計算など、従来から続く計算材料科学的研究が広く行われていることに加えて、金属材料の腐食現象や積層造形における急速凝固など、これまで十分に応用が進んでいない領域への展開も目立ってきた。さらに、材料製造プロセスにおいて重要となる熔融金属の流動予測のために、従来型のナビエ・ストークス方程式の数値解法を用いる代わりに GPU 並列計算と相性が良い高速な格子ボルツマン法を用いた研究などが報告されており、本分野においてもハイパフォーマンスコンピューティングの取り組みが確実に増えている。

データ科学・機械学習はその発展と応用が非常に急速に進んでいる。材料の Process-Structure-Property-Performance (PSPP) 関連の一部を機械学習で予測する試みから、機械学習による相安定性の予測、機械学習による原子間ポテンシャルの開発、データ同化による材料物性値の推定、潜在空間を利用した材料内部のダイナミックスの予測など、その試みは多岐にわたっている。また、機械学習手法も古くからある Neural Network に基づくものから最新の Transformer 系の手法を用いたものまで種々報告されている。特に、機械学習による予測をブラックボックスのままにしておかず、Class Activation Map (CAM) や Grad-CAM をはじめとする技術に基づき、機械学習予測の説明可能性や解釈可能性を追求する試みも目立ってきた。機械学習アプローチの応用拡大とともに、この傾向は今後も続くと予想される。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：進士 忠彦

所属・職：東京科学大学総合研究院・教授

区分：工学系科学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：「機械要素およびトライボロジー関連分野に関する学術研究動向 ―新しい医療機器にもとめられる機械要素研究・開発の新たな展開―

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：医療機器、機械要素、アクチュエータ、メカトロニクス

近年、製造技術に関する機械要素、アクチュエータ、メカトロニクスを扱う国内の学協会では、医療・福祉技術への応用研究に特化した学術セッションが増加している。令和7年度には、申請者が所属・運営に関与する精密工学会および日本機械学会などの学術講演会を中心に、新しい医療機器に求められる機械要素やアクチュエータ、メカトロニクスの研究動向について調査した。

精密工学会の春季・秋季大会では、政府による医工連携の推進や、中小製造業の医療機器分野への参入増加を背景に、「バイオ・医療への応用展開」および「マイクロニードル（作製法とアプリケーション）」に関連するセッションが設けられている。これらの発表は、低侵襲医療技術への関心の高まりを反映しており、薬物送達システムや診断技術の発展を目的として、精密加工技術を活用したマイクロニードル、MEMS プロセス技術を用いた薬物・遺伝子導入用の細胞操作デバイス、医療機器向けのソフトアクチュエータに関する研究が盛んに議論されている。

日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門の講演会では、「医療・福祉」および「ナノ・マイクロシステム」のオーガナイズドセッションにおいて、福祉ロボティクス、看護メカトロニクス、バイオマニピュレーションを中心に医療機器やロボットの高度化が進められている。具体的には、筋電義手やウェアラブル支援装置、微細操作ロボットなどの技術が多数提案されている。

日本機械学会と電気学会などの合同シンポジウムである電磁力関連のダイナミクスシンポジウムでは、機械と電気の境界領域において、体内埋込み型人工心臓向けの磁気浮上モータ、脈波解析による心拍再現技術、骨格筋モデルを用いたバイオアクチュエータ制御、上肢リハビリ用ロボットなど、幅広い医療分野での革新的な研究が行われている。

さらに、日本 AEM 学会が主催する MAGDA カンファレンスでも、磁気浮上型人工心臓や血液ポンプの制御、小型モータ駆動を用いた精密医療機器の開発、腹腔鏡手術鉗子の評価、超音波キャビテーションによる薬剤送達、腸換気用ソフトロボット、バイオ駆動型アクチュエータ、磁気誘導式カプセル内視鏡位置検出など、医療応用に関する先進的な研究が進展している。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：関口 康爾

所属・職：横浜国立大学大学院工学研究院・教授

区分：工学系科学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：応用物性関連分野に関する学術研究動向-スピンを活用するための新物質・新機能研究の新たな潮流-

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：スピントロニクス、新奇磁性体、ヘリシティ、軌道角運動量

近年、スピントロニクス分野では、電子のスピン自由度を活用した高機能・低消費電力デバイスの研究が急速に進展している。中でも Altermagnet をはじめとする新奇磁性体の登場や、軌道角運動量を介したトルク制御、さらにヘリシティ（光の回転方向）を用いた非接触制御技術の開発など、スピン機能の拡張に関するトピックが注目を集めている。本レポートでは、国際会議 MORIS 2024 (Magnetics and Optical Research International Symposium) にて報告された最新の研究成果に基づき、三つの代表的なトレンドと今後の展望について調査した。

Altermagnet は、スピンが結晶格子内で対称的に反平行に配置され、全体として磁化がゼロである一方で、時間反転対称性を破る特異な磁性状態を持つ。従来の強磁性体や反強磁性体と異なり、磁場による干渉を受けにくく、安定なスピン機能が得られることから、スピントロニクス素子の新しい材料候補として注目されている。MORIS 2024 では MnTe、RuO₂、Mn₅Si₃などの具体例が報告され、それぞれに異常ネルンスト効果 (ANE) や異常ホール効果 (AHE) の実験結果が示された。特に MnTe では、MOKE (磁気光学カー効果) を用いた可視化や、温度依存ヒステリシス測定などを通じて、ドメイン構造と磁気対称性の直接的観察が行われていた。

軌道ホール効果 (OHE) は、電流によって誘導される軌道角運動量の流れが、スピンホール効果 (SHE) に類似した挙動を示す現象である。Ni/Ta などの二層系においては、SHE と逆符号のスピン軌道トルクが観測され、軌道電流の影響が顕著であることが示唆された。これにより、軌道自由度を活用した新しいスピントルク生成機構が提案されており、今後の低損失・高効率な磁化制御の基盤技術になると期待されている。

円偏光（ヘリシティ）を利用したスピン制御は、非接触・高速・非破壊といった特長を持ち、次世代の光スピントロニクスの鍵と期待されている。キラルフォノンとは、結晶中の格子振動が円運動を描きながら伝播する状態で、実効的な角運動量を有するため、スピンやマグノンに対してトルクを与えることができる。MORIS 2024 では、光励起により LiBO₂結晶で磁化と電気分極が同時に誘起される現象や、キラルフォノンの生成によって複雑なモーメントパターン（クローバ

一状など) が出現することが報告された。マグノン整流効果により、振動磁化を準静的磁化に変換する “スピんキャント” の実証も行われており、フォノニクスとスピントロニクスの融合が進展している。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：多湖 輝興

所属・職：東京科学大学物質理工学院応用化学系・教授

区分：工学系科学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：反応工学およびプロセスシステム工学関連分野に関する学術研究動向

ー炭素循環に関する触媒反応，および反応プロセス工学の動向ー

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：二酸化炭素、バイオマス、炭素循環、触媒反応工学

本調査では、炭素循環に関する触媒反応および反応プロセス工学に関する研究動向を調査した。対象とした“循環させるべき炭素”は、二酸化炭素、バイオマス、廃プラスチックであり、これらはカーボンニュートラル社会の実現に資する非化石系炭素源として注目されている。本年度は、二酸化炭素およびバイオマスの化学変換に焦点を当て、調査を進めた。

カナダは化石資源やバイオマス資源に恵まれ、エネルギー・物質変換に関する研究が盛んである。2024年度には、化学工学会反応工学部会とカナダ化学工学会、およびカナダ触媒学会とジョイントセッションを開催することができた。カナダ触媒会議では、約150件の口頭発表があり、そのうち二酸化炭素変換が21%、バイオマス変換が14.3%であった。電気化学触媒と光触媒、マイクロ波、プラズマなど、再生可能エネルギーを活用した触媒反応に関する研究(25.4%)が活発化している。今後もさらに再生可能エネルギーを活用した触媒反応の件数が増加していくと思われる。

一方、反応による生成物に着目すると、二酸化炭素変換で得られる生成物はメタンやメタノール、バイオマス変換では主に水素であった。バイオマス発酵で得られるエタノールの触媒転換に関する発表は数件であったが、文献調査により情報収集を進めた。2000年以降、特に2010年以降、エタノール由来の化成品合成に関する報告が急増し、2020年以降はエチレンや芳香族合成の報告が年間400報以上で推移している。また、バイオブタジエンやSAF(持続可能航空燃料)合成に関する研究も拡大しており、2024年のSAF関連論文数は約500報に達した。今後は、カーボンニュートラル実現に向けて、これらの反応系を統合したリファイナリープロセスの構築など、課題を明確にする必要がある。2025年には北京で国際化学工学会議が予定されており、引き続き国際連携と研究動向調査を進める予定である。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：谷口 綾子

所属・職：筑波大学・システム情報系・教授

区分：工学系科学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：土木計画学および交通工学関連分野に関する学術研究動向

キーワード：交通工学、交通計画、モビリティ、都市地域計画

土木計画学と交通工学関連分野の研究動向の特徴として、ほぼ全ての人々に関わる社会インフラや移動(交通)を対象とすることから、国内外の社会経済情勢からの影響が大きいことが挙げられる。例えば高齢ドライバーによる交通事故が社会問題になった際は高齢者の交通安全や運転免許返納などに関する研究が増加する。

2024 年度に開催された日本の土木計画学と交通工学の 2 学会においては、都市の新たな移動手段として自転車シェアリング、電動キックボードシェアリング、自動運転バスのインパクトや課題に関する研究、過疎地のモビリティ確保という深刻な社会問題を集合的公共交通ではなくデマンド型の移動手段で補う事例報告、能登半島地震による交通寸断がもたらした影響とその対策などのテーマが目立った。筆者が参加したセッションにおいては、各種シェアリングシステムの効率的運用や、来るべき自動運転社会に備えた社会システムの構築について議論がなされていた。

米国の TRB(Transportation Research Board)と欧州の ETC(European Transport Conference)の交通系学会の発表論文タイトルを形態素分析しワードクラウドを作成した。その結果、ETC は「public」「policy」「planning」「demand」など政策や施策に関わる語が、TRB においては「safety」「pavement」「operations」「intelligence」「artificial」など材料や運用、AI などの手法に関わる語が多い。これは ETC が EU という共同体の中で政策や事例を共有する場であるのに対し、TRB は世界各国のあらゆる交通運輸課題を対象としていることに起因していると考えられる。筆者が参加したセッションにおいては、欧州の「国をまたぐ鉄道移動」の利便性向上のためには、各国鉄道事業者の連携と、EU のサポートによる統一チケットシステムの構築が重要である旨議論されていた。また、都市内交通を担う担当部局が市民や顧客からの問い合わせ対応に AI を活用する可能性について、その留意点も含め議論されていた。