

令和元年度学術研究動向等に関する調査研究 報告概要(工学系科学専門調査班)

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 —テラヘルツ電磁波科学と光電子融合材料・ デバイス工学の新たな展開—

尾辻 泰一(東北大学電気通信研究所・教授)

学術研究動向に関しては、ラヘルツ電磁波科学および光電子融合材料・デバイス工学に関する分野の中で新たな研究領域、新たに生まれつつある分野横断的・融合的な研究分野、今後重要性を増すと思われる研究領域を対象として、当該分野に関連する国際研究集会での成果発表・聴講・海外研究者との討議を通して、調査研究を行った。凝集系固体光電子物性領域の理学的深化と新材料創製ならびにデバイス応用技術の工学的深化が継続して進展している。グラフェンの特異なバンド構造に起因して発現するディラックフェルミオンとしてのプラズモンでは、直流電流注入量の増大によってドリフト速度がプラズモン速度の2倍を超越すると、逆ドップラーシフト効果が生じることが話題になっている。また、半金属のグラフェンとバンドギャップが原子層数に依存する半導体の黒燐や黒色ヒ素燐をファンデルワールス積層してなる二次元原子薄膜ヘテロ積層構造において、電子(または正孔)を半導体層からグラフェンに垂直方向に注入し、正孔(または電子)をグラフェン面内の水平方向から注入するというダイアゴナルなキャリア注入によって、キャリアの熱化が大幅に抑止され、巨大利得増強作用が得られることが発見されている。いずれも新たな電流励起によるコヒーレントテラヘルツ発振素子の誕生に資する顕著な成果として、今後の展開が期待される。

学術振興方策に関しては、第一に、テラヘルツデバイス・技術の基礎・応用問題に関するロシアー日本ーUSAーヨーロッパシンポジウム RJUSE Tera-Tech 2019 を企画開催し、欧・米・露の各国・各地域の学術振興方策の現状とその特色ならびに将来の動向について、我が国の学術振興方策と対比して調査研究を行った。第二に、グラフェンを中心とする二次元材料の科学技術分野において Graphene Flagship をファンディングエージェンシーとする欧州と JSPS 及び JST をファンディングエージェンシーとする我が国との間で非公開の第5回目となる合同ワークショップ

を企画開催し、欧州における当該分野における学術振興方策の現状と将来動向を調査するとともに、我が国の学術振興施策と対比してその特徴・利害得失を研究した。これらの調査研究を通して、競争的資金制度としての課題選考・審査方法について、その多様性と利害得失を考察する一助となった。

工学(特に土木工学)分野に関する学術研究動向及 び学術振興方策—コンクリート構造のプレキャスト 化の現況について—

二羽 淳一郎(東京工業大学 環境・社会理工学院・教授)

①ドイツ、チェコ等欧州における PC 橋のプレキャスト化に関する調査、②台湾における MRT(高架鉄道)の整備に伴うプレキャスト化に関する調査、③オーストラリアにおける PC 橋のプレキャスト化に関する調査、などを行った。ドイツでは、フランクフルトの第2マイン橋、デュッセルドルフのフレーエ橋とラインクニー橋、ケルンのドイツアー橋などを視察した。いずれもコンクリートは場所打ちであった。次にコッハタール高架橋を視察した。本橋は高さ185mのコンクリート高橋脚で知られている。本橋では長く突き出た張出し床版を支持するため、プレキャストのコンクリートストラットが配置されていた。竣工は1979年であるが、プレキャスト部材を用いた構造形式が40年以上にわたって適切に維持管理され、供用されていることが確認された。チェコのオストラバ市に建設されたフラビンカ高架橋は2015年竣工の新しい自動車専用道路であり、コンクリート床版はプレキャスト部材である。広幅員のコンクリート床版には横締め用の PC 鋼材が配置され、横方向のプレストレスが与えられている。本橋は Strasky 氏の設計によるものであるが、コンパクトな断面構造でありながら、様々な工夫を凝らして、構造的に合理的な橋梁を実現している。

台湾の台中市で建設中の台中メトロは全長16.7kmのプロジェクトで、台中市内の18駅を結び、最終的に台湾新幹線の台中駅に接続する。高架橋はコンクリート製であり、多くは場所打ちのコンクリートが使用されていたが、高架

令和元年度学術研究動向等に関する調査研究 報告概要(工学系科学専門調査班)

の駅舎部などではプレキャスト部材が使用されていた。工期短縮と品質向上の点から、プレキャストコンクリートが採用されたものと思われる。

オーストラリアのブリスベン市内を流れるブリスベン川に架かるキャプテンクック橋は1972年に竣工した5径間連続PC桁橋である。その箱桁はプレキャストセグメント製であり、工期短縮の観点からプレキャストセグメント工法が適用されたものと推測される。本橋の他、最近のPC橋においてもプレキャストが多用されていた。わが国ではプレキャスト化は、工期短縮を図る際に適用されているが、プレキャスト化による省力化や省人化、さらには品質の向上も大いに期待できる点である。わが国においても今後、建設工事の従業者数の増加は、ほとんど望めないことから、できるだけ早く、プレキャスト化に向けての環境整備を進めておくことが肝要であると思われる。

工学の分野に関する学術研究動向及び学術振興方策 —工学と計測および界面科学の境界領域における新展開—

幾原 雄一 (東京大学大学院工学系研究科・教授)

界面工学またはナノ計測分野、またはその周辺分野における国内外の研究内容、国際交流、プロジェクトなどに関する動向調査および学術振興方策の調査を行うために、以下に述べる国内外の学術会合へ参加して調査研究を行った。まず、PICO 2019 国際会議 (The Fifth Conference on Frontiers of Aberration Corrected Electron Microscopy : 5月6日～10日 (Aachen市、ドイツ) およびシャルマーズ工科大学電子顕微鏡センター記念セミナー (5月14日～16日 (ヨーテボリ市、スウェーデン))) に参加した。これらの会議は、電子顕微鏡を中心とする超高分解能ナノ計測の進展と材料科学への応用に関する国際会議であるが、収差補正装置を開発したウルム大学の Rose 教授と CEOS 社の Heider 氏の発表では、最近の収差補正措置の動向についての発表があった。収差補正装置は新たな展開を迎え、色収差の補正、高速カメラ、モノクロメーターとの融合が今後の課題であることが議論された。日本顕微鏡学会 (6月16日～19日 (名古屋市)) は、顕微鏡学全般

を取り扱う国内学会であり、最新の収差補正走査透過電子顕微鏡法、ナノプローブを用いたエネルギー分散型 X 線分光法や電子エネルギー損失分光法、その場観察手法、新しい画像解析手法の開発、サンプル調整の精密化、回折コントラストの定量的解析法、収束電子回折の定量的な議論、低電子密度観察法、高感度カメラの開発など多岐にわたる最新の結果が議論されていた。いずれの手法も材料・物質の界面・粒界解析に応用でき、材料開発や工学全般に有用であることが分かった。他に、iib2019 (界面・粒界国際会議) (6月30日～7月5日 (パリ市、フランス)) FEMMS2019 (材料科学顕微鏡国際会議 : 9月1日～5日 (オークリッジ、米国))、PACRIM13 国際会議 (環太平洋セラミックス国際会議) (10月27日～11月1日 (沖縄)) に参加して、工学と計測および界面科学の境界領域における最新の情報を調査した。

機械工学における数値流体力学分野、高性能計算アプリケーション分野の学術研究動向

青木 尊之 (東京工業大学 学術国際情報センター・教授)

機械工学の分野においても人工知能や機械学習かなり広まり、それらを単に導入した研究は新しい取り組みとは感じられなくなってきている。これまでの機械学習の手法の有効性が十分得られる対象と、そうでない対象が次第に明確になってきている。単に大量のデータから有意義なデータを抽出するだけではなく、参照するデータが存在しない領域での推論も行われているが、その検証には恣意性も含まれることが多くまだ十分とは言えない。機械工学分野でも完全なデータからだけではなく、物理モデルと融合する研究も始まりつつあり、まさに従来からの物理モデルによる数値シミュレーションとデータサイエンスの融合が始まりつつある。

数値流体力学の最近の動向としては、数値解析が他分野の研究ツールとして広く利用されるようになり、特に商用アプリケーションやオープンソースのアプリケーションを使った研究が増えている。数値流体力学自体の研究の中では、格子ボルツマン法に関する研究が増えている。

令和元年度学術研究動向等に関する調査研究 報告概要(工学系科学専門調査班)

計算科学の大規模数値シミュレーションなどに使われてきたスパコンがデータサイエンスの用途やシミュレーションとの融合分野にも使われるようになってきたため、新しいスパコンが機械学習も得意とする GPU をより多く搭載するようになってきている。スパコンの Top500 ランキングでは米国の NVIDIA GPU を搭載するスパコンが世界最速を継続し、米国ではエクサスケール・スパコンの開発計画が次々と発表されている。GPU コンピューティングなどの実績の少ない AMD の GPU を大量に使うことが決まったことは大変注目に値する。日本ではポスト京コンピュータとして ARM ベースの「富岳」が来年度には運用を開始する。アクセラレータ系のスパコンが主流となりつつある米国と従来型のプロセッサを継続する日本のスパコンとの比較が興味深い。今後は高性能計算を中心としたシミュレーション科学やデータサイエンスが一段上のレベルになり、さらなる発展が期待できる。

原子力学分野に関する学術研究動向—安全性向上に向けた研究の取り組み—

越塚 誠一（東京大学大学院工学系研究科・教授）

原子力学分野は、原子炉物理、原子力計測、熱流動、構造、放射線化学、燃料サイクル、ビーム科学、放射線の健康や環境への影響、社会科学など、非常に幅広い領域から構成されている。福島第一原子力発電所の事故の原因として、巨大複雑系システムである原子力発電プラントの安全性を確保するための俯瞰的な視点を有する人材および組織運営基盤が形成されていなかった、と指摘されており、総合工学的な取組が求められている。

原子力学の 2019 年度における学術動向をまとめる。まず第 1 に、外的事象に関わる研究が引き続き活発である。耐震では、これまでの決定論的な手法と確率論的な手法を統合するような研究が行われている。第 2 にリスク評価に関わる研究がある。検査制度の見直しについては、2020 年度の本格運用に向けて、学協会規格の策定が活発になっている。第 3 に過酷事故時の安全性の研究が継続している。過酷事故を起こした福島第一原子力発電所の格納容器内

の調査によって溶融炉心が凝固したデブリの状況が判明しつつあり、今後は 2 号機よりデブリ取り出し作業が開始される。また、溶融炉心を格納容器の床上に受け止めるコアキャッチャーの研究開発などが行われている。

新しい動きとして、脱炭素社会に向けて原子力技術を将来に向けて活用するために、民間のイノベーションを主体として研究開発を行う事業が経済産業省資源エネルギー庁により開始された。過去に米国ではスリーマイル島の原発事故があり、その教訓を踏まえて安全性を向上させた原子炉として AP1000 や ESBWR が開発された。欧州では旧ソ連のチェルノブイリ原発事故の教訓を踏まえた原子炉として EPR が開発された。日本においても、外的事象である津波によって過酷事故を起こしてしまった福島原発事故の教訓を踏まえ、安全性の高い独自の原子炉を開発すべき時期に来ているのではないかと思われる。

結晶工学、応用物理学一般分野に関する学術研究動向 —ワイドギャップ半導体および物性計測の新たな潮流と展開—

福山 博之（東北大学・多元物質科学研究所・教授）

ワイドギャップ半導体分野

次世代パワー半導体として、酸化ガリウム (Ga₂O₃) が注目されている。近く 4 インチサイズの β -Ga₂O₃ のエピウェハが実現する予定で、ショットキーバリアダイオードおよび縦型パワーデバイスが試作されている。準安定相 α -Ga₂O₃ は、サファイア基板上に成長させ、低転位化や Ge ドーピングによる高導電性付与が行われている。次世代の高精細ディスプレイ、スマートフォン、AR/VR、光通信、車載用として、量子ドット、マイクロ LED、垂直共振器面発光レーザー (VCSEL) 技術が注目を集めている。光通信分野においては、可視光を利用した光通信に加えて、深紫外 LED を利用した光通信技術が開発されている。可視光は水中での減衰が小さいため、水中での光無線通信用の光源として可視光レーザーダイオードが実証されている。深紫外 LED は、ギガビット級の光無線通信用光源として期待されている。電力を供給する給電分野でも光無線の応用が検討され

令和元年度学術研究動向等に関する調査研究 報告概要(工学系科学専門調査班)

ている。医療分野では、波長 275 nm の深紫外 LED モジュールが開発され、新型コロナウイルスに対応している医療現場の殺菌灯などの用途に期待が高まっている。

物性計測分野

マテリアルズインフォマティクス分野では、JST や NEDO 等の大型プロジェクトが展開しており、材料データベースにおける希少データの充足とデータの高精度化の重要性が指摘されている。航空宇宙・エネルギー分野では、超高温環境下における熱物性計測の重要性が高まりつつある。また、地上では計測が困難な物性に対して、宇宙環境を利用した物性計測が計画されている。無容器法の一つであるガスジェット浮遊法において、音波を利用した液滴表面振動の励起手法が開発され、これまで電磁浮遊法が適用できなかったガラスやセラミックスなどのような無機材料においても表面張力や粘度が測定できるようになったことは特筆すべきである。熱物性データの標準化と適切な不確かさ評価の重要性が指摘されている。新たな材料としてハイエントロピー合金が注目されている。ハイエントロピー合金は、従来の合金設計思想にはない多成分濃厚溶液で、新たな物性が発現する可能性があり、今後の展開が期待されている。ナトリウム冷却高速炉の炉心損傷事故対応として、制御棒材とステンレス鋼の共晶熔融反応及び移動挙動を実機解析の中で模擬することを目的とする日本原子力研究開発機構のプロジェクトが進行しており、共晶熔融物の熱物性取得が重要な役割を果たしている。

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

—光工学・光科学における新たな潮流と展開—

笹木 敬司（北海道大学電子科学研究所・教授）

本調査研究では、光圧ナノ物質操作に関する新たな研究領域について、1) 特定の性質を示すナノ物質を選択的に分離、配置する研究、2) 高濃度溶液における粒子の配向や粒子間の相互作用を光圧により制御し、会合、結晶化等の自己組織化過程を人為的に操る研究、3) 分子種を選択的により分け、自然には集まらない異種分子を液-液界面

などに配列集合させ、化学過程を物理的に制御する研究について、最先端の研究状況を調査した。

光の運動量変化によって発生する力（光圧）を利用して微粒子を非接触に非破壊に操る光ピンセット技術は、発明者の Ashkin 氏が 2018 年のノーベル物理学を受賞したこともあり、様々な研究分野で注目を浴びている。近年、分子やナノ粒子など極微小物質の力学的運動を、量子力学的性質ごとに個別・選択的に、また直接に光圧で操作（捕捉・輸送・配置・配向）する手法を開発し、所望の秩序を創生したり、機能的現象を引き起こしたりする研究が進められている。我が国では、光化学、光物性、光エレクトロニクスなど様々な分野でナノ物質の光操作に対する挑戦が行われており、強集光ビームでの有機分子捕捉とその運動解析技術が独自に発達し、また、個々のナノ物質特有の共鳴吸収線を利用した、選択的ナノ光圧操作も提唱されている。さらに、光のスピンの軌道角運動量を用いて、ナノ物質の回転運動を誘起したり、相転移や自己組織化を人為操作してキラルナノ構造を創生する研究も、新規な物質・材料の作製手法として脚光を浴びている。このような流れを、分野を超えて結集し、次世代の物質制御技術をめざす新しい学術分野が確立されつつある。この光圧ナノ物質操作技術により、これまでの常識を打ち破る光物理現象や光反応プロセスが実現できれば、高機能光デバイス、光エネルギー変換材料、医療創薬の開発をはじめ様々な物質科学においてブレークスルーとなりうる新しい展開が期待される。

移動現象および単位操作分野に関する学術研究動向

—分離工学の新しい潮流—

都留 稔了（広島大学大学院工学研究科・教授）

化学工学とは学問としての化学をモノづくりとするための学問体系であり、分子を組み替える反応と反応生成物の分離が根幹である。各種分離プロセスの中でも、膜分離法はコンパクトな装置で省エネルギー分離が可能であることなどから、世界中で研究が活性化しており、化学工業プロセスのみならず、バイオ産業や半導体産業などすべての工業プロセス、さらに廃水処理・浄化のような環境問題

令和元年度学術研究動向等に関する調査研究 報告概要(工学系科学専門調査班)

に対しても、キーテクノロジーとなっている。まさに膜分離は、Sustainable Development Goals (SDGs)達成には必要不可欠な要素技術となっている。

膜材料としては高分子材料、さらにはパラジウムなどの金属膜、ゼオライト膜、アルミナやシリカなどのセラミック膜、炭素膜に代表される無機膜が用いられている。中でも無機膜は、その優れた耐熱性、機械的安定性、耐溶剤性のみならず、高い選択透過性により大きな注目を集めている。

新しいトレンドとして特に注目されるのが、二酸化炭素回収・貯留 (CCS ; Carbon capture and storage) および利用 (CCU ; Carbon capture and utilization) である。CCS 技術は、燃焼排ガスからの CO₂ 回収、天然ガス脱酸が大きな分離ターゲットとなっている。化学プロセスの根幹である反応と分離を組み合わせた膜反応器の開発が Process Intensification (プロセス強化) として大きな研究トレンドとなりつつあるが、CCU 反応の膜反応器として、CO₂ と水素からのメタン合成 (メタネーション) およびメタノール合成が耐熱性に優れる無機材料を中心として研究活性化している。さらに、膜分離は水処理技術として発達してきたが、近年は有機溶媒混合物が逆浸透法により超省エネルギー分離が可能であることが明らかとなった。今後の展開が注目される。

地球資源工学およびエネルギー学関連分野に関する学術研究動向 - 太陽熱利用の新たな展開

児玉 竜也 (新潟大学自然科学系 (工学部)・教授)

太陽エネルギーをコストの低い熱貯蔵によって貯蔵し、この熱をイブニングピーク以降に取り出して、水蒸気タービンで発電するコンセプトが海外で導入され始めている。例えば、近年開始されたアブダビの DEWAIV プロジェクトでは、昼間はコスト安の太陽電池を使用し、夜間は蓄熱による太陽熱発電を利用する方式がとられている。このような動向の中で、これまでの太陽熱発電プラントの蓄熱方式である熔融塩による 2 タンクシステムによる顕熱蓄熱よりも高温の蓄熱システムを開発し、水蒸気タービンよりも高効率発

電であるコンバインドサイクルや超臨界 CO₂ 発電と組み合わせることで発電コストを下げるコンセプトが研究開発のトレンドとなっている。開発中の主な蓄熱法としては、熔融塩セラミックカプセルや金属合金による潜熱蓄熱、固体粒子による顕熱蓄熱、アンモニア分解あるいは金属酸化物の酸化還元系による化学蓄熱が挙げられる。また、蓄熱システムまで太陽熱を輸送する新たな高温の熱輸送媒体も開発する必要があり、空気、液体ナトリウム、固体粒子 (ポークサイト粒子) が大型太陽集光システムによって実証試験されている。

一方、この太陽エネルギーの熱貯蔵の欠点は長期貯蔵に向きであり、シーズナブルな太陽エネルギーの貯蔵に限界がある。これを可能にするのは太陽エネルギーの水素等の化学燃料への転換である。今後のトレンドとしては、主に欧州で行われている、空気中から CO₂ を回収して H₂O と共に太陽熱で熱分解してソーラー液体燃料 (灯油、メタノール) を製造する研究開発が注目される。金属酸化物の酸化還元系を媒体とする 2 段階熱分解サイクルを利用する。技術が確立されれば地上反射鏡の価格の低下等で大きくコストダウンする可能性があり、今後、太陽熱利用分野で研究開発の大きなトレンドとなっていく可能性が高い。また、豪州では、豪州再生可能エネルギー庁の支援でアルミナ製造プロセスに太陽熱をプロセスヒートして導入する技術開発も行われている。

無機材料および物性関連、ナノ材料科学関連分野に関する学術研究動向 - 無機ナノ材料科学と他分野の融合および境界領域における新たな展開

関野 徹 (大阪大学産業科学研究所・教授)

本課題では、無機材料および物性関連分野やナノ材料科学関連分野などの無機系材料分野を中心とした最近の研究動向調査や、他の研究分野との融合や境界領域における新たな展開について調査を行った。分子化学的および材料学的手法を融合したナノマテリアル創成と環境・エネルギー応用に関する欧州を中心とした研究動向についてドイツおよびフランスにて調査を行った (2019 年 5 月 23 日~6

令和元年度学術研究動向等に関する調査研究 報告概要(工学系科学専門調査班)

月 1 日)。ドイツケルン大学では精密無機錯体・クラスターの合成および制御技術に立脚した物理的手法や化学的手法による多機能性ナノマテリアル、ナノセラミックス創成が行われているが、近年ではナノロッド・ナノワイヤーなど低次元ナノ構造化と制御、構造-機能相関解明により環境浄化ナノマテリアルとしての機能に加え、再生可能エネルギー利用をターゲットとした光電変換機構解明と特性向上を、従来とは異なる物質系を対象に推進し、制御パラメーター設定の自由度が高いことから多機能発現(例えば触媒と光電変換機能)に有効であることが実証されつつあり、広範な応用が期待された。The 2019 Spring Meeting of the European MRS では、環境・エネルギー応用を志向した研究成果について多数報告された。特に、化学的、光化学的、光電気化学的反応を基礎とした二酸化炭素の還元触媒材料や、光電変換材料について、半導体材料に異種材料を融合したハイブリッド型材料による機能の向上や機構解明に関する研究に注目が集まった。一方、米国におけるセラミックス・無機材料研究動向について The 44th International Conference and Exposition on Advanced Ceramics and Composites 国際会議(2020年1月26日-31日)で調査した。注目されたのは、従来から知られている物性を展開した新たな機能化や、動解明に関する研究報告であり、例えば焦電体の分極挙動を利用した表面化学反応を誘起し、触媒の水素生成について論じる研究や、酸化亜鉛ナノロッドの弾性歪現象による半導体物性の局所変化に伴うエネルギー移動現象を用いた光電変換材料への展開が示されるなど、従来の材料機能発現とは異なる学理構築や応用の可能性を示していると考えられた。

構造工学および地震工学関連分野に関する学術研究動向 —構造物の強靱化・長寿命化に向けた新たな潮流と展開—

館石 和雄(名古屋大学大学院工学研究科・教授)

ここ数年の構造工学分野の研究動向として、地震工学関連や維持管理関係の研究が活発であることが挙げられるが、本年度もその方向性に大きな変化はない。

2014年に義務化された5年に1度のインフラ点検の1周目が終了し、本年度から2巡目に入った。条件を満たせば遠隔操作による撮影なども点検手法として認められるようになったことから、ドローンやロボットなどの活用技術に加え、大量のデータ処理、健全度診断などに関する研究が盛んである。一方で、1巡目の点検で健全度が低いと診断された構造物のうち、既に補修が完了しているのは15%程度にとどまっていることも明らかとなり、既設構造物の補修・補強技術に対するニーズはますます高くなっている。現在でも新しい工法の開発が盛んに行われているが、さらなる充実が強く望まれる。

既設構造物の補修や耐震性向上のために、従来とは異なる性質を有する材料を組み合わせる技術が研究されているが、その場合、境界部の力学挙動が鍵となる。また、従来型の部材でも、高力ボルト継手部や、鉄筋のコンクリートへの定着部など、材料の境界部が重要な働きをしているものは多い。一般に境界部の力学挙動は非常に複雑なものとなるが、昨今の解析技術の進歩により、それを再現することができるようになりつつある。実験に頼らざるを得なかった境界部の力学挙動が解析的に追えるようになったことのインパクトは大きい。明確に分野立てられているわけではないが、各方面で行われている研究を眺めると、これに類することのできるものが多く、新たな潮流になりつつあるのかもしれない。

2019年は台風被害が目立った年であり、特に、各地で堤防の決壊が多発したことから、堤防構造の脆弱性に関する話題が多く聞かれた。また、2020年1月17日は阪神大震災から25年の節目であり、脆く崩れ落ちた当時の構造物を目にする機会も多かった。インフラがますます高齢化する中で、自然力に対する強靱さも担保しなければならないという使命から、今後とも防災と維持管理は重要なキーワードであり続けると考えられる。

ナノ材料科学関連、ナノバイオサイエンス関連分野に関する学術研究動向 —生体分子ナノ界面の高感度センシング及びイメージングにおける新たな潮流と展開—

令和元年度学術研究動向等に関する調査研究 報告概要(工学系科学専門調査班)

玉田 薫 (九州大学先導物質化学研究所・教授)

現在日本は Society5.0 を掲げ、IoT/AI をサービス、インフラ、医療・介護・ヘルスケア、製造・運輸などの広範な分野に展開する成長戦略を推進している。ナノ材料科学についてもこの潮流に乗り、次世代情報 IoT/AI との連携の中で新たな価値を見出す動きが顕著である。しかし、諸外国に比べるとその動きは未だ緩やかで、Society5.0 実現に向けた加速的対応がこれまで以上に期待される。今回重点的に調査を行った超解像度バイオイメージング分野では、2014 年ノーベル化学賞を受賞した誘導放出抑制顕微鏡法 (STED) や確率的光学再構築顕微鏡 (STORM) などの超解像度顕微鏡技術をライブセルイメージングに向けて改良する動きが顕著であった。超解像度顕微鏡の弱点である画像取得時間の短縮と細胞への光毒性を回避するための様々な試みがハイインパクトジャーナルに報告されていた。Widefield 型顕微鏡への回帰や、光源の開発、メタサーフェイスの利用などがその例である。本年度海外の動向調査は中国を中心に実施したが、超分解能イメージング技術に加えて光トラッピング、分子操作、微小光共振器、メタサーフェイスなどの先端技術がバイオ・医療応用研究に積極的に応用されていた。ディープラーニングなど AI の活用も顕著であった。

ダイバーシティ調査として、科研費の採択状況における性別分布の問題点について、公表データを元に解析を進めた。男女別採択率を見ると、合計では男女の採択率はほぼ同じであるものの、大型事業 (特別推進/基盤 S/基盤 A) では男女の採択数の差が極めて大きい。これは応募数によるものではなく、明らかに女性が採択されにくい状況があることを示唆するものである。当該解析結果について、アメリカ NSF や日米大学間の比較と合わせて、関連学会にて発表した。性別分布に関する情報を公開することは、男女間の格差を是正していく上で極めて重要であり、学振において情報公開を進めていることは高く評価される。しかし一方で、格差是正のための方策を講じることが急がれる。

薄膜および表面界面物性関連分野に関する学術研究動向 - 原子・分子レベルの表面・界面物性の解

析技術と応用 -

富取 正彦 (北陸先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科・教授)

近年発展が著しい“原子・分子レベルの表面・界面物性の解析技術”の現状を調査した。現在、電子デバイスの微細加工サイズがシングルナノ (10 nm 未満) に到達しつつある。シングルナノは原子 1 個の揺らぎがデバイス特性に影響を与える材料スケールである。従って、原子・分子レベルの空間分解能をもつ顕微鏡法・物性評価法が重要となっている。

原子・分子レベルの顕微鏡・物性評価法には、透過型電子顕微鏡 (TEM) とその派生である走査透過型電子顕微鏡 (STEM)、および、走査型トンネル顕微鏡 (STM) や原子間力顕微鏡 (AFM) などの総称である走査型プローブ顕微鏡 (SPM) がある。TEM/STEM では、収差補正技術の普及・検出器の高感度化が進み、AI 技術と融合しつつ大きな発展期を迎えている。SPM では、表面を原子・分子レベルで“見る、測る、操作する”技術が活用されている。多様な環境で動作できるという SPM の特色は他の手法と一線を画する。とくに液中の固体表面の研究の進展は著しい。純水に限らず、イオン液体や液体金属の中での固体表面の解析、湿度環境下で形成される固体表面の極薄水膜の解析に利用され始めている。SPM は、“原子レベルで鋭利な探針”の先端を試料表面に近づけ、その位置を原子レベルで制御する技術を基盤とする。特筆すべき探針として、極低温超高真空環境下では金属針先端に CO 分子を垂直に吸着させ、それを利用して有機分子の炭素骨格を描き出す手法が欧州を中心に広がっている。他に、高速パルス光照射、マイクロ波照射、他手法 (走査型電子顕微鏡 (SEM)、TEM、放射光など) との複合化による新規手法開発の動向も注目された。超高速パルス光の位相を制御してコヒーレントな極短超強力電磁場を作りだし、それを物質に照射して物性探索をする研究も進んでいる。SPM 法との融合により動的原子分子の物性研究が大きく展開される可能性がある。

「通信分野 (テラヘルツ波帯アンテナとその応用)

令和元年度学術研究動向等に関する調査研究 報告概要(工学系科学専門調査班)

に関する学術研究動向」

廣川 二郎 (東京工業大学工学院・教授)

周波数帯が 100GHz~10THz であるテラヘルツ帯の高利得平面アンテナに関して学術研究動向を調査した。代表的な 3 つについて以下に内容を説明する。

A. J. Alazemi らは、0.1THz~0.3THz と 0.2THz~0.6THz のそれぞれをカバーする指向性合成楕円シリコンレンズを集積した 2 層ボウタイアンテナを製作した。広帯域なインピーダンス整合を実現し、3:1 の周波数範囲において 78%~97% のガウシャン結合効率を得た。遅波技術を用いた広帯域コプレーナ線路低域通過フィルターを設計し、3:1 の周波数範囲において反射-25dB 以下を示している。

K. Sarabandi らは、Y 帯 (220GHz~325GHz) で動作する周波数ビーム走査アレーアンテナを設計、製作した。メアンダー方形導波管構造を有する進行波アンテナである。230GHz~245GHz の周波数変化により約 2.5 度のビーム幅のビームが±25 度走査できた。アンテナは 600 個を越えるパッチ素子からなり、大きさは 45mm×8.5mm×1.25mm であり重さは 4.5g 以下である。シリコンマイクロマシン技術で製作した。28.5dBi 以上の利得で 48 度のビーム走査範囲を測定により確認した。

A. Gomez-Torrent らは、ピルボックスにより給電された誘電体充填平行平板導波路漏れ波アンテナを設計した。ピルボックスは 2 層の平行平板導波路構造であり、平面波面を生成するパラボラ反射鏡を集積している。220GHz~300GHz の範囲で動作し、56 度のビーム走査ができる。マイクロマシン技術で製作された低損失平行平板導波路構造により、平均-1dB の放射効率、28.5dBi の利得、-10dB 以下の反射を実験により確認した。大きさは 24mm×24mm×0.9mm である。

2019 年 7 月にアメリカ・アトランタ市で開催されたアメリカ電気電子学会アンテナ伝搬国際会議 (IEEE APS) に出席し、調査研究活動を行った。本会議は、アンテナ分野において最も国際的と認知されている。特別セッションとしては、低コストフェイズドアレー技術、計算電磁気学における機械学習の応用、時空間変調メタマテリアル、光学的透明アンテナ、次世代通信用移動通信端末設計・集積技術、

特性可変・多機能アンテナアレー、アンテナ用多種材料接着製造技術、小型衛星搭載用アンテナ技術、レーダー用超広帯域アンテナ技術などが企画され、アンテナの昨今の研究動向を反映していると考えられる。

建築計画および都市計画関連分野に関する学術研究動向—持続可能な都市政策とデザイン手法の潮流—

鶴 心治 (山口大学大学院創成科学研究科・教授)

人口減少社会下における我が国の都市の持続可能性については、様々な議論がなされている。特に、2015 年に国連サミットで採択された SDGs (持続可能な開発目標) 17 の目標に向けた取り組みも活発化してきている。建築計画、都市計画分野においては、低密度で拡散的に広がった市街地を一定程度の密度で集約し、コンパクトな市街地構造を目指し、公共交通で拠点間を結ぶ「コンパクト・プラス・ネットワーク」の理念が志向されている。このような社会的、構造的課題を抱えてきたアメリカ、ヨーロッパの先進主要国では、既に、都市の持続可能性を追求しながら都市形態としてのコンパクト性や都市の成長管理に関する研究が進んでいる。都市を計画・デザインする手法の開発に留まらず、成熟都市社会においていかにマネジメントするかという課題に対応したものである。本調査研究では、このような背景から、都市の計画とデザイン、マネジメントの研究に関する動向調査を行った。

2019 年度日本建築学会大会では、都市計画部門から 538 題の研究発表がなされ、都市再生特別措置法に基づく立地適正化計画など、都市縮小時代における都市計画のあり方や、コンパクトシティ、都市再生の関するテーマが多くなっている。関連したテーマとして、駅空間、交通アクセス、健康や福祉のまちづくり、都市拠点、線引き制度、中心市街地活性化、リノベーション等の研究が多く発表されている。特筆すべきは、広場やストリート、低未利用地を暫定的に活用し、地域活性化やエリアマネジメント等へ発展させていながら都市再生を実現していこうとする動きに若手研究者の関心が大きいことである。また、研究集会においては、都市計画、建築計画、建築経済の各分野の専門家

令和元年度学術研究動向等に関する調査研究 報告概要(工学系科学専門調査班)

による『縮小社会における都市・建築の在り方特別研究委員会による研究協議会「2030年の都市・建築・くらしー縮小社会のゆくえと対応策』』が開催され、活発な議論がなされている。

日本都市計画学会学術発表会では178題の研究発表がなされ、海外事例によるエリアマネジメント手法、立地適正化計画の策定手法、都市の拠点形成論、公共交通計画と管理、住宅団地の再生等の研究論文が発表されている。また、都市計画法50年・100年記念シンポジウムとして、「都市計画法を展望するーなにを引き継ぎ、新たに創り出していくかー」が開催され、人々の生活環境を形づくり、秩序立てる「社会システム」として「都市」の根幹を担う都市計画制度について、活発な議論がなされた。

今後の建築計画、都市計画分野におけるSDGs, 17の目標に向けた研究に期待できそうである。

電子デバイスおよび電子機器関連分野に関する学術研究動向 - ナノエレクトロニクスと異分野融合に関する研究動向調査を中心に -

小野 行徳 (静岡大学学術院工学領域・教授)

シリコンMOSトランジスタの微細化も終焉を迎えつつあり、新たな情報処理技術確立に向けた新規材料、新規デバイスの研究が世界的に活発に進められている。新規材料に関しては、グラフェンをはじめとする2次元物質における量子物性が大きな進展を見せている。2枚のグラフェンを微小角度ずらして重ねた構造において、超伝導が発現することが見出された。また、ビスマス銅酸化物系における高温超伝導が本質的に2次元電子系に由来するものであることが示された。これらの結果は、従来型の超伝導機構とは異なる高温超伝導体の超伝導発現機構の解明に向けた大きな前進である。一方、MoSe₂-WSe₂系において、励起子(電子・正孔対)のボース・アインシュタイン凝縮が高温で観測されるなど、これまで原子物理でのみ観測されていた現象が固体材料においても観測されるようになってきた。これらの世界的な研究動向にあって、日本における2次元系の研究はグラフェンに特化される傾向

にあり、多様性に欠けている点が懸念される。

新規デバイスに関しては、量子コンピュータの進展が顕著である。特に超伝導量子ビットについては、多ビット化が進むとともに、磁場の高感度センシング技術への応用も進み、医療、その他の分野への応用が期待されている。シリコンをベースとした量子ビットにおいても、1ケルビン以下の極低温(希釈冷凍機温度)から脱し高温化が進むなど着実な進展を見せている。この分野において、日本は一定のプレゼンスを示しているものの、若手研究者の不足が深刻化している。その他の新規デバイスとしては、トンネルトランジスタの性能向上に着実な進展が見られるが実用化レベルには至っていない。シリコンMOSに代わる、あるいはこれを補完するデバイスの開発には、まだまだ時間がかかることが予想される。

計測工学関連分野に関する学術研究動向ーレーザーを利用したプラズマ・ガス・流れ計測における新たな潮流と展開ー

佐々木 浩一 (北海道大学大学院工学研究院・教授)

レーザーを応用したプラズマ等の計測に関する研究分野では、大気圧プラズマ中の化学的活性種の密度測定の精度を高めるために、ピコ秒以下の短パルス波長可変レーザーを用いたレーザー誘起蛍光法の重要性が高まっているが、レーザー光源の整備に要する経費が膨大なため、我が国においては未だ導入の例が無い。欧州および米国においては数台の装置が導入され、米国ではサンディア国立研究所に整備された装置を全米の研究者の共用に供するプロジェクトが立ち上がっている。また、化学的活性種に加え、プラズマと電極等の間に存在する電場を実測するための計測技術において格段の進歩が得られている。特に、EFISH(Electric Field Induced Second Harmonics)と呼ばれる方法は、短パルスの赤外Nd:YAGレーザー光を電場のある領域に入射するとその2次高調波が発生するというシンプルな過程にもとづく電場計測法で、欧米において急速に広まっている。また、レーザートムソン散乱によるプラズマの電子温度・電子密度の測定では、従来は3重回折格子分

令和元年度学術研究動向等に関する調査研究 報告概要(工学系科学専門調査班)

光器という複雑で調整の難易度が高い光学装置を用いる必要があったが、最近、阻止波長幅が極めて狭いノッチフィルターが市販され、それを3重回折格子分光器の代替えに用いたシンプルな装置でトムソン散乱計測に成功する事例が増加してきた。

レーザーを応用した材料プロセッシングの分野では、依然として透明材料を対象とした微細加工においてフェムト秒レーザーを用いる研究などが主流である。ナノ粒子等の材料創製に関する研究では、液相環境におけるレーザーアブレーションが急速に研究者数を増したが、現在は一段落の感があり、生成された材料を分析していた研究フェーズから反応場の物理化学的特徴に踏み込んだ基礎研究に軸足を移す研究者が増加している傾向がある。

野においても重要な課題であり、関連分野においてもその認識が高いことを確認した。

・令和元年度は、トライボロジー分野でも比較的規模が大きい International Tribology Conference 2019 が仙台にて開催され、数十カ国からの参加登録がなされた。国外においても、Leeds-Lyon Conference、STLE frontier conference をはじめとする数多くの国際会議が開催された。また、マレーシアやセネガルでの国際会議案内が開始されるなど、新興国でのトライボロジー分野の勃興が目立った。

・「高分子材料のトライボロジー制御(技術情報協会)」をはじめとする複数の関連著書が発刊された。特に、ソフトマターの活用や最新の表面界面分析による新規取り組みへの関心が目立った。

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 — 機械要素およびトライボロジー関連分野を基軸とする学際領域における新展開 —

平山 朋子(京都大学大学院工学研究科・教授)

機械工学分野において、機械要素の更なる高効率化、高機能化への期待は留まるところを知らず、特に近年の省エネルギー社会の構築に向けた機械要素の最適設計に対する要望は一層声高になってきている。機械要素の性能向上を図る上で、部材間の摩擦およびそれに伴う摩耗の発生に関する諸問題の解決は特に重要な課題であり、それらはトライボロジー分野において研究が盛んに行われている。一方で、旧来の摩擦試験機を用いたアプローチのみでは限界があり、近年、他分野との学際的な融合による新規的な試みがいっつか提案されつつある。トライボロジーに関わる研究動向および展開として、令和元年度の動向事例を以下に記す。

・JST-CREST において「革新的力学機能材料の創出に向けたナノスケール動的挙動と力学特性機構の解明(代表:伊藤耕三)」、JST さきがけにおいて「力学機能のナノエンジニアリング(代表:北村隆行)」と題した領域が開始され、トライボロジー分野からも積極的な応募が推奨された。ナノからマクロへの力学現象の橋渡しはトライボロジー分