

日本学術会議シンポジウム

「物性物理学・一般物理学分野の大型施設の現状と将来」

日時： 平成22年1月27日(水) 9:45—18:00

場所： 日本学術会議講堂 (港区六本木 7-22-34 東京メトロ千代田線「乃木坂」駅下車)

主催： 日本学術会議物理学委員会・物性物理学・一般物理学分科会

開催趣旨： 第20期の物理学委員会 物性物理学・一般物理学分科会では、「物性物理学・一般物理学分野の研究基盤整備に関するアンケート」を実施し、その分析等をもとに「物性物理学・一般物理学分野における学術研究の質と量の向上のために」を取りまとめ、学術会議からの提言として表出することができました。第21期(今期)の物理学委員会の主な活動としては、(1)日本学術会議が総力を挙げて取り組んでいる「日本の展望」に物理学の立場からのインプットを行なうとともに「物理学分野の長期展望」を取りまとめること、(2)科学者委員会の下での学術の大型研究計画検討分科会の調査検討活動に呼応して物理学分野における大型計画の調査検討を進めること、などがあります。本シンポジウムでは、物性物理学・一般物理学分野における大型施設や大規模研究計画についてその現状と将来展望を議論いたします。

プログラム

- 9:45－ 9:55 開会挨拶／趣旨説明 伊藤 早苗（九州大学応用力学研究所）
9:55－10:00 挨拶（物理学委員会委員長） 永宮 正治（J-PARC センター）
- 【座長： 伊藤 早苗】
10:00－10:30 文科省からのメッセージ 磯田 文雄（文部科学省研究振興局）
- 【座長： 土井 正男】
10:30－11:00 磁場閉じ込め核融合とプラズマ物理 伊藤 公孝（核融合科学研究所）
11:00－11:30 レーザーによる高エネルギー密度科学 兒玉 了祐（大阪大学工学研究科）
11:30－12:00 計算科学をめぐる状況 寺倉 清之（北陸先端大学/産業技術総合研究所）
12:00－12:20 コメント及び自由討論
- 12:20－13:30 — 昼食休憩 —
- 【座長： 田島 節子】
13:30－14:00 中性子科学が目指すもの 金谷 利治（京都大学化学研究所）
14:00－14:20 J-PARC 超低速ミュオンによる物質生命科学の革新
西田 信彦（東京工業大学理工学研究科）
14:20－14:50 放射光科学の現状と将来計画 雨宮 慶幸（東京大学新領域創成科学研究科）
14:50－15:10 次世代光源が物質科学に果たす役割 腰原 伸也（東京工業大学理工学研究科）
15:10－15:40 コメント及び自由討論
- 15:40－16:00 — 休憩 —
- 【座長： 家 泰弘】
16:00－16:30 強磁場科学の最新動向と強磁場コラボラトリ戦略
野尻 浩之（東北大学金属材料研究所）
16:30－17:00 物質開発研究と大型実験施設 十倉 好紀（東京大学工学系研究科）
17:00－17:20 大型施設におけるスモールサイエンスと人材育成
山田 和芳（東北大学WP I）
17:20－18:00 コメント及び総合討論
18:00 まとめ／閉会挨拶 家 泰弘（東京大学物性研究所）

はじめに

九州大学応用力学研究所 日本学術会議会員

伊藤 早苗

第 21 期の物理学委員会物性物理学・一般物理学分科会では、(1)日本学術会議の「日本の展望」に物理学の立場からのインプットを行ない「物理学分野の展望」を取りまとめ、(2)「学術の大型研究計画検討分科会」の活動に呼応して物理学分野における大型計画の調査検討を進めています。

学術研究に於ける大型研究計画・大規模研究計画の重要性が広く認識され、数多くの提案がなされています。また、国策型の大型プロジェクトと学術プロジェクトとの関連の明確化も求められるようになってきています。物性物理学・一般物理学は、その活動の基盤はスモールサイエンスにあります。近年は大型装置を用いた研究の重要性も増大しています。大型装置による研究計画のみならず大規模研究計画の企画実現に関し、物一分野でもコミュニティ全体で意見を集約する努力が重要になっています。このシンポジウムでは、物性物理学・一般物理学分野における大型装置や大規模研究計画についてその現状と将来展望を議論いたします。

第 20 期の物理学委員会物性物理学・一般物理学分科会では「物性物理学・一般物理学分野における学術研究の質と量の向上のために」を取りまとめ、学術会議からの提言として表出しました。そこでも、「デュアル・サポート（基盤的経費と競争的資金）の充実」にならんで、「共同研究および連携研究を促進する新しい支援制度の構築」と「中・大規模研究施設の整備計画策定の仕組みの構築」の重要性を訴え、法人の枠組みを超えた共同研究・連携研究を促進する新しい企画を奨励しそれを実施しうる仕組みを構築すること、有効活用の仕組みを検討する体制を強化し、施策として具体化する仕組みとその受け皿を整備する事、を提言しています。

シンポジウムを通じ、物性物理学・一般物理学分野での研究最前線の知識や理解を共有すること、大型研究計画や大規模研究計画の企画を議論すること、社会や行政との意思疎通を促し、それらの実現に道を開く事を期待しつつ、先端的な発表と活発な討議及び共通の認識が得られる事を期待しています。

磁場閉じ込め核融合とプラズマ物理

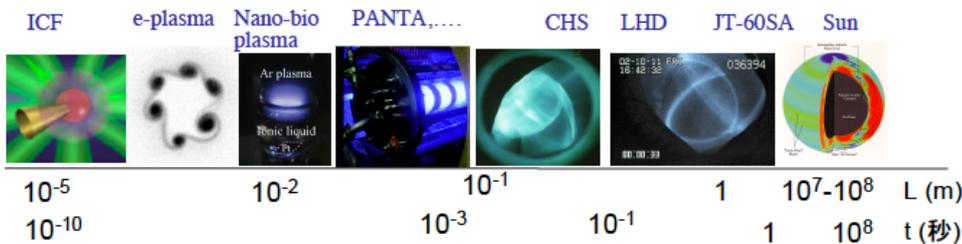
核融合科学研究所 日本学術会議連携会員
伊藤 公孝

制御核融合研究では、重水素・三重水素混合プラズマを温度1億度程度に加熱し保持する必要がある。磁力線の（入れ子状）トーラス面を作りプラズマとそのエネルギーが外に逃げるのを防ぐシステムが、トロイダル磁場閉じ込めである。エネルギー閉じ込め時間 (τ) が十分長ければプラズマが燃焼する。核融合燃焼を実証するトカマク装置、国際熱核融合実験炉(ITER)が建設されている。燃焼状態を定常に維持するための循環入力を最少化すべく、JT-60SA トカマクが建設されるとともにヘリカル型装置 LHD での先端科学研究がおこなわれその重水素実験が提案されている。水素同位体に依存して閉じ込め時間 τ が異なるという謎が知られており、現象論をのりこえプラズマ乱流やプラズマと物質の相互作用ダイナミックスの理解を通じた解明が待たれている。

核融合条件の達成のため大型実験装置を必要とする核融合研究であるが、それによって高温プラズマ物理が大きく進展し、またプラズマ物理研究が核融合のブレイクスルーをもたらすという互惠関係が実現している。自然界に関する知識が増すにつれ、自然界の生々流転に関する多くの知識がプラズマのダイナミックスを介在として地上に届き人類の理解が進んでいる。プラズマを知る事は自然を理解させ、シームレスに繋がる物質創成・物質加工の研究を飛躍的に高め、核融合条件の達成を加速する。

核融合プラズマの閉じ込め時間はプラズマ乱流が規定している。急峻な温度差が強い乱流を生み勾配を打ち消す一方、乱流は（巨視的・メゾスケールの）流れや磁場を作り、強い電場は揺動を排除し狭い層に勾配が集中する輸送障壁領域を形成する。観測される巨視的な構造とダイナミックスを含め、乱流構造という考え方で研究が展開している。熱平衡状態に比べ極端に強い揺動が励起されており、熱平衡状態からの乖離の度合いを示すパラメータを定式化し励起される運動の自由度により乱流構造の多重性が定式化出来るというような描像のもと、研究が展開している。揺動の非線形結合や、巨視的・メゾスケール構造の創成の因果関係等が定量的に観測できる。乱流構造の選択則や遷移の寿命等も議論され、熱平衡系を超える法則が今後得られていくだろう。（参考図）

プラズマ物理学と核融合研究の互惠関係を発展させてプラズマの法則を確立するためには、大型実験 LHD での重水素実験による定量的な因果関係解明の研究など既存計画を着実に進展させる必要がある。プラズマパラメータの拡張とともに、プラズマ物理の進展を統合した大規模研究計画「非平衡極限プラズマ連携研究ネットワーク」（プラズマ乱流と場の相互作用を制御し、高エネルギー密度プラズマ科学で培われた実験・計測法をプラズマ物質相互作用解明に活かし、非平衡過程を活用した物質創成研究を展開）を実現し、プラズマ物理と核融合の研究互惠関係を加速する。大型装置研究と大規模研究をあわせて実現する事で、「知の循環」を駆動し、研究者の創造力を高める機会を実現する。



図：様々な形と大きさのプラズマの非平衡構造とダイナミックスを統合し法則が確立される。

レーザーによる高エネルギー密度科学

兒玉 了祐

大阪大学大学院工学研究科

光は、位相をそろえることで時間的・空間的に極めて小さな領域にエネルギーを集中させることができ、人類が手にしたどの技術より効率的にエネルギー密度を上げることができる。高出力レーザー技術の進歩により、未開拓の高いエネルギー密度状態の環境が実現でき、これまで実現できなかった物質状態、材料、デバイスが生まれようとしている。高出力レーザーによる高エネルギー密度状態は、固体-プラズマ中間状態から相対論プラズマ、陽電子プラズマさらには、真空破壊といった様々な物理過程の複合状態や極限状態が含まれ、重相科学や実験室宇宙物理など学際的な学術展開が期待されている。また単に多くの物理過程を含んだ未開拓領域の探査だけではなく、超コンパクト荷電粒子加速器、テラヘルツから X 線に至る超広帯域高輝度パルス電磁波源、中性子、ガンマ線などの高輝度パルス放射線源、さらにレーザー核融合などこれらを利用した社会基盤にかかわる新技術の可能性を秘めている。このため世界中で精力的に研究が進められている。米国、仏国では高出力レーザーによる核融合点火が国家プロジェクトで進められ数年以内に人類史上初の制御核融合点火を実現する。また欧州連合においては、これらとは独立に 1000 億円規模の超高強度レーザー建設プロジェクトの初期段階（300 億円程度）がスタートしている。さらにこれら大型装置のみならず大規模な連携型プロジェクトも進められている。

我が国においても世界と競争できる大型レーザー装置の提案をはじめ、光科学やプラズマ科学をベースに産業応用から学術研究において幾つかの大規模連携研究が提案・実施されている。例えば、高出力レーザーを使用すると、テラパスカル以上の超高压力を比較的容易に発生させることができる。レーザーや高密度プラズマ制御により平衡・非平衡など様々超高压縮技術が可能となり固体状態で超高压下の相転移が可能となってきている。これに伴いダイヤモンドより硬い“スーパーダイヤ”や超良導性の金属ダイヤの状態を実現できる段階にきた。さらに夢の物質であり量子性の強い**固体金属水素**も視野に入る段階となってきている。レーザーによる非平衡圧縮により半導体シリコンを金属化し取り出すことができ、超高压準安定相凍結も実現しつつあることは、さらに高エネルギー密度物質の新材料実現の可能性を秘めており、今後、プラズマ科学、光科学、物質材料科学の**中規模装置群による大規模連携が必要不可欠**である。もう 1 つ新たな知のブレークスルーの可能性として、真空中の非線形光学が挙げられる。**大型レーザー装置として提案されているエグザワット級超高強度レーザー**が実現できれば、さらに新しい状態を実現できる。真空場と電磁場の非線形相互作用あるいは光による真空の分極場である。非対称性をもった極めて強い電磁場が真空中に存在することで真空破壊の前の段階として真空中に励起される分極による非線形光学効果が予測されている。強い光により物質が損傷する前の段階で現れる物質中の非線形光学と同様の現象である。真空中の非線形光学は、光の本質のみならず真空場を理解することにつながる**場の量子論**に関係する学問として新たな展開が期待できる。

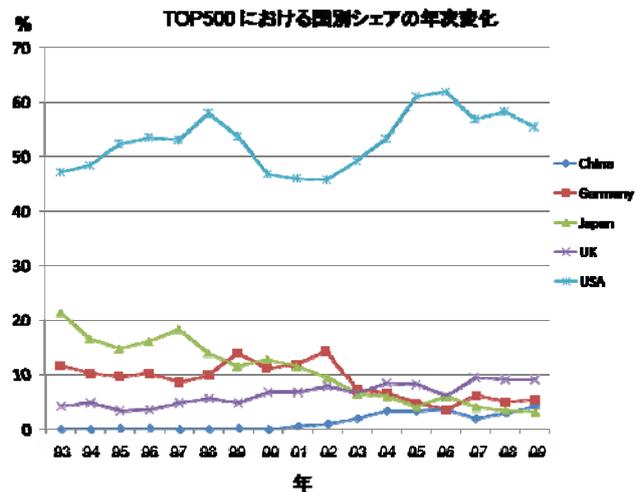
レーザーを利用した高エネルギー密度科学において、これまで我が国では、高速点火レーザー核融合、レーザー航跡場粒子加速など新技術として世界的競争力を持ったオリジナルな成果を出している。またレーザー宇宙物理、相対論工学、高エネルギープラズマフォトンクスなど学問へと体系が可能な新概念も独自に提案されてきた。さらに新たな展開として**世界と競合できる大型装置の整備**とともに核融合炉材料や宇宙船材料など極限状態下の材料物性から超高压新物質創生などを含む**高エネルギー密度物質・材料科学**や場の相互作用としての**真空非線形光学**などの幅広い分野連携に基づいた**大規模研究を可能とする環境**が必要である。

計算科学をめぐる状況

北陸先端大 / 産総研 寺倉清之

計算機の急激な進歩と、アルゴリズムの発展によって、計算機シミュレーションはこの 50 年ほどの間に急激な進歩を遂げた。計算機シミュレーションは単なる理論計算の補助手段ではなく、科学技術研究における実験と理論に並ぶ新しい研究の進め方であるとして、計算科学という概念が 1980 年代に確立したが、それからすでに 20 年以上が経過している。この間、計算機は一方でパソコンやワークステーションの高性能化による分散化の傾向と、極限的な高性能化を目指す集中化の両方が進められてきた。後者に関連の我が国にける最近の動きとしては、地球シミュレータに引き続き、現在進められている次世代スパコンプロジェクトがある。当該プロジェクトの総額は 1,000 億円を超えており、これは SPring-8 や J-PARC と比肩できるほどになっている。

次世代スパコンプロジェクトを理解するには、世界の状況を見る必要がある。過去 10 数年間を振り返ると、我が国におけるスパコン資源が急激にその相対的重みを減らしてきている。この様子は、昨年 11 月に発表された TOP 500 のホームページのデータに如実に示されている。データの一部を借用してプロットしたのが、右図である。次世代スパコンプロジェクトはこのような状況を背景として進められているのである。



次世代スパコンプロジェクトについては、ハードウェアの開発の側面が注目される傾向があるが、開発予定のハードウェアを有効活用するための取り組みも精力的に行われている。すでに 2006 年度から、ナノサイエンスと生命科学分野では、大規模超並列計算を目指してのソフトウェア開発が進められてきている。また、それらの活動に加えて、次世代スパコンを戦略的に活用するための 5 つの戦略分野の設定と、それぞれの戦略分野における戦略機関の公募と選定が昨年秋に行われた。

物性物理は分野 2 「新物質・エネルギー創成」に関わる。物質科学にエネルギーが加わっているのは、昨今の地球規模での深刻な問題を反映しており、エネルギーに関する課題においても、物質科学が重要な貢献をすると期待されるからである。その戦略機関は物性研を拠点とした物性物理が中核となり、更に、分子研を中心とした分子科学と、金研を中心とした材料科学が加わって運営されることになっている。現在、その体制作りが進められている。

中性子科学が目指すもの

京都大学化学研究所 金谷利治

大強度陽子加速器 (J-PARC) /物質・生命実験施設 (MLF)において平成 20 年 5 月 30 日に初の中性子発生に成功し、本格的運転に入ろうとするこの時期は中性子科学分野にとり大きな変革の始まりである。世界的に見ても米国 SNS、英国 ISIS の第 2 ターゲットステーションが稼働を始め、欧州 ESS 計画が本格的にスタートし、新たな中性子研究の幕が上がる。この時期に中性子コミュニティーを代表する日本中性子科学会を中心に、J-PARC/MLF の中性子利用について今後 10-20 年の将来ビジョンをハード・ソフト両面から議論を重ねてきた。

中性子は高い物質透過性を有し、軽元素から強い散乱を示すなど X 線とは相補的なプローブであり、広範な物質科学研究に適している。J-PARC/MLF のハード的将来ビジョンである装置グランドデザイン策定において、広範な各科学分野・産業利用分野はそれぞれの新しい方向性を示しているが [1]、各分野に特化した画一的な議論は不適切である。広い科学分野と産業利用分野の裾野を広げるために、まず立ち上げ期においては汎用的な高性能測定装置建設が重要である。同時に、世界最高性能の J-PARC/MLF としては科学分野および産業利用分野において世界をリードする画期的成果の創出も必要である。すなわち、立ち上げ期においては、広い分野をカバーできる汎用的高性能装置の建設が優先されるべきであるが、予期しない新発見が起こる物質科学分野では、汎用装置からもインパクトの高い成果の創出も予想される。時間経過に従いビーム強度と装置数が増大し、分野間の境界が埋められ、予想もできないインパクトの高い成果が期待できる。この時期までに、科学分野や産業利用分野でピークを立てることのできる特殊性の高い装置の建設が必要である。基本的にはこのような考えをベースに装置グランドデザインの提言を行った [2]。

どのような装置の建設が重要であるかを考えるときに、各科学分野や産業利用分野の状況を精査することは大切であるが、そのみならず世界の中性子科学の動向や中性子と放射光 X 線やミュオンなど他の量子ビームとの相補利用は十分に考慮される必要がある。同時に、東海村に既に存在する定常中性子源である 3 号炉 (JRR-3) との特性の相違を考慮した相補利用の観点も、人材育成も含め、中性子分野としての効率的、創造的成果の創出に欠かせない。

装置に代表されるハードのグランドデザインに加え、成果創出に向けてソフトの整備が重要である。ユーザーにとって等しく使いやすい制度の確立を目指している。このためには、装置設置者機関の制度や利害を超えた利用窓口 1 本化、J-PARC の一体的運用、研究環境整備、国際標準化等が、共同利用や施設供用などの利用には必要である。さらにインパクトの高い研究成果の創出に向けては、J-PARC を構成する各機関が独自のミッションとして行う研究や適切な大学連携を含むプロジェクト研究の推進も鍵となる。

[1] 「J-PARC における研究の展望」 J-PARC 利用者懇談会答申 (2009 年 5 月)

[2] 「J-PARC グランドデザイン策定にむけて」 日本中性子科学会大型施設共用問題特別委員会 (2008 年 10 月)

J-PARC 超低速ミュオンによる物質生命科学の革新

東京工業大学

西田信彦

スピン偏極ミュオンを用いた物質科学研究は、ミュオンを大量に発生できる「中間子工場」と呼ばれる加速器施設建設により 1970 年中頃本格的に始まり、現在では、ミュオンスピン回転緩和法 (μ SR) と呼ばれ、NMR、中性子散乱とならぶ物性物理、化学、生物研究の微視的研究手段として広く使われている。J-PARC ミュオン施設で、さらに大強度ミュオンビームが得られるので、日本が独自に開発した、従来の μ SR を全く新しくする新手法「超低速ミュオンスピン回転緩和法」による物質科学研究が可能となる。この新手法について話す。

今まで物質科学研究に使われてきたミュオンは、主に、約 4 MeV のエネルギーの 100% スピン偏極した正ミュオン (μ^+) で、厚さ約 100 mg/cm² 試料内を一樣にプローブできるものである。(1) 高感度かつ広い測定時間スケールをもつ静的・動的な磁気プローブ、(2) 物質中で水素の同位体である、(3) 測定感度が温度によらない、(4) 試料全体を一樣な感度でプローブする、等の特徴を持つ強力な微視的プローブである。「超低速ミュオンスピン回転緩和法」は、この μ^+ のエネルギーを、7 桁下げて約 0.2 eV と超低速にし、それを再加速して試料に打ち込む。試料表面近くでは、深さ方向 1 nm の空間分解能で、加速したミュオンのエネルギーを 20-30 keV にし、表面から約 100-200 nm の深さにミュオンを打ち込める。すなわち、従来の μ^+ SR に顕微機能が付け加わり、表面から 100-200 nm 以上離れたバルクの性質を持つ領域から表面まで、高空間分解能、特に表面近辺では深さ方向に 1 nm の空間分解能で、その局所磁場を数 T から 10⁻⁴ T の広い領域にわたり測定し、電子状態を調べることができる。このような物質研究の微視的プローブは存在しない。さらに、ビームの大きさが、1 mm × 1 mm 以下にすることができ (従来の μ SR では、ビーム径は、20 mm 程度である)、数 100 μ グラムの微小試料で実験が可能となる。物質科学に使われて 30 年の歴史を持つ μ^+ SR 法をまったく革新する新手法である。我々は、「ナノメータースケール μ^+ SR」と名づけ、 μ^+ SR 法の革新を行いたいと考えている。この新手法は、物質表面・界面・薄膜の新プローブとして、今まで微視的研究手段がほとんどなかった表面・サブサーフェイスの水素の研究 (水素拡散等の動的運動、水素の電子状態、水素が関係する触媒化学反応) や、スピントロニクス基礎研究として強磁性金属/絶縁体・半導体界面の電子スピン偏極、異方的超伝導体の境界効果等、表面・界面・薄膜の電子状態の研究に新しい研究領域を拓くと期待される。さらに、次のような重要な特徴を持つ。近年、走査トンネル分光顕微鏡法 (STM/STS) は、物質表面で電子状態を実空間測定により物質の性質を解明することに用いられ、銅酸化物高温超伝導体研究に大きな貢献をしている。また、角度分解光電子分光法 (ARPES) の手法は、電子のバンド構造を直接測定することができるので、物質理解の強力な方法となっている。しかし、STM/STS は表面電子状態をプローブするものであり、ARPES も表面電子状態が測定にどれだけ寄与するかを判定するのは困難を伴う。「ナノメータースケール μ^+ SR」は、バルクから表面までの物質の状態をナノメーター空間分解能で分けて測定できる、特に、表面近傍では深さ方 1 nm 空間分解能であるので、前述の手法と互いに補いあい、物質の理解に新しい貢献をすると考えられる。

放射光科学の現状と将来計画

雨宮慶幸 (東大・新領域)

1. 放射光科学の現状

真空紫外から硬X線にわたる放射光は物質中の電子との相互作用と通して、物質構造・電子構造およびその動的構造を測定することができるため、物質科学およびそれに基づく生命科学、医学、環境・エネルギー分野で幅広くその威力を発揮している。特に、弛まず進化する光源の性能向上(特に高輝度化、安定化)とそれに伴うX線光学系、検出器系の高度化と相まって、測定における空間分解能、時間分解能、エネルギー分解能の向上、さらには、測定精度の向上、測定検出限界の向上等、それまで困難または不可能であった測定が可能になり、放射光科学における先端性は常に進化してきた。それに比例して放射光科学の裾野も広がり、放射光を利用する研究者数は各分野で同心円状に拡大し、その数は国内で2万人以上に達している。放射光を用いて行ったリボゾーム(Ribosome)の構造解明に対して今年のノーベル化学賞が与えられたことは記憶に新しい。

日本では Photon Factory (つくば)、UVSOR (岡崎)、SPring-8 (兵庫)をはじめ HiSOR (広島)、立命館大学 SR 光源 (滋賀)、佐賀 LS、ニュースバル (兵庫) が稼働している。最近ではアジア・オセアニア地域での放射光科学の進展が目覚ましく、中国、オーストラリア、台湾、韓国において新しい高輝度放射光源が建設(または建設が決定)され、放射光科学において日本に期待されるリーダーシップの重要性が更に高まっている。

2. 将来計画

SR 科学の特徴は大きな実験施設 (Big facility) を必要とするものの、そこで行われるサイエンスは比較的小規模 (Small Science) な多様な研究分野に跨るため、新しい光源計画の立案は様々な角度から多くの議論を必要とする。その議論では、特に、今まで見えなかったものが見えるようになる光源とは何か、という視点で議論を進めている。そのために必要とされる光源は、空間コヒーレンス (回折限界) と時間コヒーレンス (フーリエ限界) が高く、ナノサイズに絞れた超短パルス性 (サブピコ秒) を有する高輝度かつ安定な光源である。

現在建設が進められている線形加速器を用いる X線自由電子レーザー (XFEL) は、その条件の多くを満たすことが期待されていて放射光科学の先端性は更に高まることが期待できる。しかしながら、それと同時にその先端性に比例した裾野を拡大するためには線形型光源に加えてリング型の次世代放射光源が必要不可欠である。その実現のためのロードマップに関して、現在、放射光学会を核として関連する他研究分野と連携を取りながら議論を進めている。現時点での将来計画の関する議論を紹介する。

次世代光源が物質科学に果たす役割

腰原 伸也(東京工業大学理工学研究科)

新しい物性の開拓とその微視的内部機構の解明にあたって、大型施設によって初めて可能となった、種々の研究手法がもたらした恩恵の大きさは、議論するまでもないであろう。構造と電子状態の関連の解明(「構造(物性)科学」や「構造化学」と呼ばれる事が多い)や、電子物性(スピン、電子分極、エネルギー変換も含む)のデバイス応用に限ってみても、放射光・加速器施設や各種最新レーザー技術による新光源無くしては、今日の物質科学の進展は困難とさえ言えよう。極微小結晶でも可能となったX線構造解析や、軟 X 線を利用したバンド構造等の電子状態や素励起の精密解析、レーザー振動分光による精密構造解析等、物理、化学、分野を問わず極めて広範な実例は枚挙にいとまがないほどである。

一方でこれら「従来の物質科学の枠組みに貢献する光源科学」を乗り越え、新しい物質科学への道標を見つけることが、今まさに次世代の光源科学に希求されている。特に時間軸を物質科学に取り入れることで、安定した構造と平衡状態を基盤とする物質科学から、動的に揺らぐ構造を積極的に利用する「非平衡状態の物質科学」への転換を目指す試みが、近年積極的に行われるようになって来た。これは、各種コンパクト超短パルスレーザー光源とその制御技術の発達、並びに放射光・加速器光源とこの種の新レーザーの組み合わせ技術の進展によるところが大きい。本講演では、時間が許す限り、以下の 4 点に関して報告を行う。

- (1)「放射光」「超短パルスレーザーを中心とする光科学」「加速器」の3分野が手を結んで進行中の「動的構造科学」へ向けた、物質設計指針のフィードバック。
- (2) 3分野が強く結びついてスモールサイエンスである「物質科学」への応用の飛躍を始めたアメリカとドイツ、フランス、スイスでの技術現状、特に硬 X 線から軟 X 線領域にわたる広範なスペクトル領域でのパルス光源の開発による凝縮系の研究の進展と、物質科学へのフィードバック。
- (3) 加えてアメリカ、ドイツ、スイス、日本で始まったレーザーと電顕分野・放射光が協力した動的電子線(動的電子顕微鏡技術)観測による凝縮系物理と化学。
- (4) X 線レーザー発振装置への光機能物質開発の視点での期待、特に日本の ERL テスト機におけるレーザー・X 線組み合わせ実験による動的構造科学の展開。

強磁場科学の最新動向と強磁場コラボトリ戦略

東北大学金属材料研究所 野尻浩之

強磁場は物質の電子のもつスピンと軌道運動に直接作用する極めて制御性の良い場として物質科学の研究に欠くことに出来ない環境となっている。その利用は、磁性学、超伝導、半導体は元より、化学、生物、医学など、科学の広い領域に及んでいる。磁場発生法で分類すると超伝導や水冷磁石などの定常磁場と瞬間的に強いパルス磁場とがあり、特に後者は日本のお家芸強い分野で、近年の計測技術に進歩により、その適用も広がっている。また超伝導磁石のような小規模装置の広い裾野を基盤に東大、東北大、物材機構、阪大などの大型拠点があるのも組織上の特徴である。

この中で、国際的動向としては、大型施設への集約が進んでいる現状がある。アメリカは MIT の定常磁場を廃止してフロリダ国立強磁場研究所を新設、ロスアラモスにパルス磁場施設を建設して、1 組織 2 拠点とした。ヨーロッパでは、フランスグルノーブルとツールーズの定常およびパルス磁場が合同して国立強磁場研究所を形成し、オランダナイメーヘンに定常磁場施設、ドイツドレスデンにパルス強磁場施設が整備され、その上で EUROMAG という全ヨーロッパ連携組織を形成している。近隣の中国では国家 10 大科学技術プロジェクトとして、武漢にパルス磁場、合肥に定常強磁場施設を建設中である。

日本では、6 年前より強磁場フォーラムを形成し、各施設の相互連携を進める強磁場コラボトリを推進してきた。これはネットワーク型の強磁場施設のプロトタイプであり、この中で次世代の超伝導磁石線材の共同開発プログラムや放射光 X 線や中性子施設におけるパルス強磁場装置の利用など、国際的にも認知される特色ある研究が進んでいる。また、60 テスラ級の NMR などが推進可能な、超長時間パルス磁場装置が物性研究所に設置されたのも強磁場コラボトリの一環である。現在、この構想をさらに一段と進め、本格的な連携組織を形成する段階に来ており、1 組織に定常とパルスの 2 拠点を整備し、さらに地域性と大型施設との連携を考慮したサブ拠点を設ける構想を準備している。

今後の強磁場研究のターゲットとしては、(1)エネルギー・環境問題に対応する超伝導磁石・線材開発、(2)NMR や ESR などによる無機材料および生体物質の高度分析、(3)X 線・中性子など量子ビームと強磁場を組み合わせた磁気・誘電材料の研究、(4)スピン自由度を利用する半導体等の開発のための強磁場物質解析、(5)超強磁場中の極限量子状態の研究、(6)ナノ物質・材料の評価および非接触制御、(7)磁気力・疑似無重力を利用した材料プロセスなど、応用から基礎までの多くの分野での利用が求められており、これに応えるためには、強磁場コラボトリの機能の抜本的強化が求められている。

物質開発と大型実験施設

東京大学工学系研究科 十倉 好紀

人類の福祉向上に革新的に役立つ技術や材料には、その背後に深遠で知的興奮にみちたサイエンスが常に存在してきた。しかし、物性科学として興味ある「物質」が産業に有用な新しい「材料」「デバイス」に昇華するには（しないものも多くあるが）20年以上かかるとも言われている。材料開発には、物性・機能・安全・資源・製造コストなどの多方面にわたる視点と総合的あるいは計画的な研究開発が必要であることは自明だが、本来、学術的興味の赴くままに進められた[物質]開発も、データベース、物性評価、構造評価、電子状態計算など開発手段の汎用化・高度化・迅速化を背景に、現在は大きな変革期にある。これは、物性科学全般にも言えることであり、研究手法の戦略化・協同作業化 (Allied collective research) が「よい仕事」をするための必要条件となりつつあり、物性物理学分野の研究体制自体に大きなパラダイムシフトが起きつつあるように見える。すなわち、(1) 新しい物理概念を切り口とした戦略的な物質開発研究とリーダーシップ、(2) 幾重にも実験的・理論的手法を重畳させて、総合的・戦略的・協同的に評価と合成と概念創成をリンクさせる研究、が重要となりつつある。

物質開発研究における大型実験施設の重要性は、このような研究の流れでは必然である。物質開発研究と直接に関係する大型実験施設としては、たとえば(1)放射光、(2)中性子、(3)ミュオン、(4)電子顕微鏡、(5)レーザー、関連の施設群があげられる。また、現実的には、高度で迅速な物性測定の必要性から、(6)「汎用の（しかし高価な）輸送特性・磁性評価装置・極低温物性評価装置群を集積した施設」も効率的な共同利用化がなされれば、きわめて有用なものとなろう（実現しているとは言い難いが）。(1) - (3) に対応して、Spring-8, J-PARC などの共同利用施設、また(4)やナノ加工ファクトリーに対しては、文科省のナノ・ネット事業などが、研究者コミュニティの熱意と関係機関・役所の多大な努力により整備されてきた。物性科学の立場からもその重要性は十分に認識され、各施設、ネットワークの広報活動も精力的に行われている。従って、「物質開発と大型実験施設」の課題は、現在では、箱物の整備以上に、「物質開発研究者の意識」と「大型実験施設側の人的資源」の問題に集約されつつある。大型実験施設側に最先端機器開発を実施し、かつ物質開発研究の広い共用サービスに人員を割ける人的資源の余裕があれば申し分ない。しかし、これを研究人材・研究支援人材のゼロサムゲームととれば、その再配分（大型設備機関内あるいは大型設備機関への）によって研究イノベーションのバランスシートはどうかをケースごとに考える必要がある。

物質開発の広い共用と大型実験施設側の世界トップレベルの研究成果はともに必要であり、かつ矛盾しない。この方面では、大型施設側に機器の汎用化整備や研究支援員の増員配置は、費用対効果で大きな効果がある。新しい物質・物性概念による研究領域全体の活性化には、上記に述べた戦略的共同研究が特に必要であり、それがさらなる大型施設側での先端機器開発に正のフィードバックとして帰ってくる。幅広い物性科学のユーザーに世界最先端計測装置群の門戸を開放するという、従来型の共同利用研究は、我が国の物性科学の水準を向上させる上で果たしてきた役割は大であるが、それだけを組織のレゾナートルとする時代はとうに過ぎた。国際的連携（頭脳循環）をふくむ大型設備共同利用はユーザー側・施設双方に互恵的でなければならず、協同的相互依存 (allied interdependence) による戦略性とそのリーダーシップによる研究発信が必要な段階に至っている。

大型施設におけるスモールサイエンスと人材育成

東北大学 WPI/金研 山田和芳

物質生命・材料科学の高度化に伴い、Small Sciences at Large Facilities（ここでは SSLF と呼ぶ）の重要性が高まってきている。物質生命・材料科学の多くは、比較的小規模集団による研究であり（スモールサイエンスと呼ばれるが、研究の重要さが低いということではない）、従来は研究室規模の手段を中心として研究を行ってきた。しかし近年、このような手段では得られない、機能性の起源に直結する情報を求めて、多くの分野でスモールサイエンスが大型施設へ参入している。

一方で、大型施設はその建設と運用には莫大な経費がかかり、投資に見合う成果を SSLF に期待している。つまり、大型施設と SSLF の相互依存の状況が、近年ますます強くなりつつある。これに伴いいくつかの課題が浮かび上がってきた。その中の一つが、大型施設における人材育成である。人材育成は SSLF だけでなく、大型施設の継続的発展にとっても重要な課題である。SSLF で育った人材が大型施設そのものを支える人材として期待されているからである（大型施設には SSLF の研究者と、大型施設を利用する SSLF に的確なアドバイスが出来るコーディネーターが必須である）。

現状ではわが国の大型施設における人材育成には多くの課題がある。例えば、研究室規模の装置を中心とした研究では、初心者には十分なトレーニングの時間がとれるが、大型施設では、現状では初心者に割ける時間はほとんどない。ハードとソフトの両面からこのための対策を講じる必要がある。ハード面としては、初心者のための専用装置を作り、失敗を通して学んでいける環境整備が必要である。ソフト面としては、初心者が、多くの装置を利用した研究に参加できる環境を作る必要がある。しかし激しい国際競争にさらされている世界最先端の大型施設で人材育成専用の装置をつくり運用することは容易ではない。また研究に比べて人材育成の成果と評価が明確でない現状では、現役研究者が積極的に人材育成に取り組むことも困難である。

研究室規模で装置を持たない中性子を例にとると、J-PARC の物質生命科学研究施設（MLF）のビーム利用日数が全利用者平均で年間 5 日に満たない状況では、このような人材育成は大変困難である。そこで J-PARC に隣接する 3 号炉の利用が重要となる。3 号炉では、複数の人材育成専用装置を、MLF の装置の 1/10 以下の経費で設置可能である。3 号炉は、MLF との相補的な特徴ある研究だけでなく、人材育成の面からも大きな貢献が期待されている。このように複数の大型施設をうまく利用し合うことは、研究だけでなく、人材育成にも今後考慮されるべきであろう。

大型施設の安定運転は人材育成の大前提として必須である。大型施設を利用している学生やポストドクには、計画外や長期間の運転停止は、将来を左右する大問題である。安定な運転ができなければ、多くの学生は SSLF を卒業研究として選択しなくなるであろう。もちろんこのような状況が起これば大型施設側にも大変深刻な事態を招くことになる。国際的な大型施設の連携プレー、例えば中性子ならアジア各国の原子炉が、連携をとった運転計画を作成し、一年中アジアのどこかで必ず中性子ビームが利用できる状況をつくることなども検討されるべきであろう。

いずれにせよ、大学の研究者と施設側が連携し、国が支援する国家プロジェクトとして、大型施設における人材育成の将来ビジョンを描き、課題を継続的に解決していく必要がある。