

声 明

「新分野の創成に資する光科学研究の強化と
その方策について」

平成17年8月31日

日 本 学 術 会 議

新分野の創成に資する光科学研究の強化とその方策について

〔平成17年8月31日〕
〔第145回総会〕

わが国は、先端光検出器、世界で最も普及している光ファイバー通信、独自の光触媒開発など、高度の光技術を多数有している。また、極低温原子を用いた超高精度の光時計や高性能セラミックレーザーなど、光に関して優れた基礎研究が活発に行われている。光科学の応用分野は極めて広範囲にわたり、波及効果の大きい新技術開発に重要な役割を果たしている。

この光科学は、領域横断的な研究分野であり、体系的・組織的な取り組みを必要とする。そのため、これらの優れた成果を活用し、新技術・新分野の開拓につなげるため、産業界も含め研究者が連携し、重要な研究課題に共同で取り組むシステムの構築が必要である。

基礎研究及び情報通信、ライフサイエンス等の重要な分野の研究開発の推進並びに新分野の創成に資するため、光科学の研究に関し、以下の提言を行う。

- 1 広い研究分野の基盤となる新しい概念や技術を創出するために、光に関する物理学、化学、生物学、工学における教育と基礎的研究を強化する。
- 2 情報通信分野における次世代技術開発を先導するため、その基盤となる光技術の基礎研究を強化する。
- 3 ライフサイエンス・医学と光科学研究分野との連携を推進し、光科学を応用した医療技術を開発する。
- 4 光科学に関する広範囲の研究機関や中核的研究グループの緩やかな連携体として構成する「光科学技術研究ネット機構（仮称）」を設置する。

目 次

第1章	はじめに	1
第2章	光科学研究の最前線	2
2.1	新分野の創成に資する光科学研究	3
2.2	次世代情報・通信技術開発における光の重要性	4
2.3	ナノテクノロジーへの取り組みと光科学	6
2.4	光化学による新しい材料の開発	6
2.5	生物学・医学の革新と光科学	7
2.6	より安全な社会の構築と光科学	8
2.7	ものづくり技術の革新と産業用レーザーの開発	9
第3章	光科学研究のあり方に関する検討	9
3.1	光科学研究の現状と問題点	9
3.1.1	学術分野としての確立	10
3.1.2	研究のダイナミックな展開	10
3.1.3	研究者間の連携	11
3.1.4	研究所・研究センターの確立と連携	11
3.1.5	教育	12
3.1.6	人材の流動性と育成	12
3.1.7	国際協力と学会間の連携	13
3.1.8	レーザー産業の強化	13
3.2	「光科学技術研究ネット機構」の提案	14
3.2.1	「光科学技術研究ネット機構」の目的	14
3.2.2	「光科学技術研究ネット機構」の形態	15
3.2.3	「光科学技術研究ネット機構」の機能	15
参考資料		16

第1章 はじめに

光は、生命の源である。約27億年前に光合成細菌から進化したシアノバクテリア（藍藻）が、太陽光のエネルギーを得て光合成により有機物と酸素を大量に生成し、地球環境を生命の存続に適した状態へと変え、生物の多様な進化と人類の誕生をもたらした。光で育まれた環境で生活する我々は、光で生体リズムを調整し、視覚を通して得た情報を脳で処理して行動している。人類は古代から太陽の動きをもとに暦を作り生活に役立ててきたが、17世紀にガリレイが望遠鏡を試作して天体観測を開始するに至り、光は未知の世界を探索する重要な方法となった。20世紀に入り、プランクによる空洞放射の理論、アインシュタインによる光電効果の理論、ボーアの原子構造などが構築され、光学を元として量子力学が大きく発展した。その結果、原子・分子分光が確立され、実験室や宇宙空間における物質の構造が解明されるなど、光科学は自然科学の基盤を形成してきた。

アインシュタインは、1905年に発表した光電効果の理論に次いで、光の吸収および放出過程の理論を1917年に発表した。ここで導入された光の誘導放出の概念を用い、反転分布を生成して光を増幅する方法がその約40年後に発明され、1955年にマイクロ波を増幅するメーザーが、1960年に可視光を増幅するレーザーが実現された。これにより大量情報の遠隔地点への高速伝送、物質との選択的な相互作用など、光が有する多くの優れた特徴を、レーザーにより積極的に活用することが可能になった。光ファイバーを用いた光通信技術の開発、物質科学の進歩による新しい光材料の開発、放射光によるX線域での光科学の開拓などにより、現代は「光の時代」とも呼ばれるほど光技術が多用されている。身近な例では、大容量・高速光通信、大画面テレビ、DVDなどの高度情報機器、健康診断や治療における内視鏡や遺伝子解析、大気汚染物質や病原菌を分解する光触媒など、最先端の光機器・光材料が日常生活で使用され、我が国の産業を支えてもいる。またノーベル賞を受賞した小柴昌俊氏や田中耕一氏の研究に見られるように、基礎研究においても広範囲に光科学・技術が駆使されている。

しかし、これらはまだ光の可能性の一部を利用しているのみであり、現在研究開発が進められている多くの新しい光科学・技術は、我が国の今後の学術・産業の発展に重要な貢献をするであろうと、多くの研究者は考えている。その具体例を次章に記すが、特徴的なこととして、光科学は物理学、化学、天文学、地球科学、さらには考古学など純粋の学術・文化分野の発展に大きな寄与をしていること、光科学の応用分野は産業、医療など極めて広範囲にわたること、光科学は波及効果の大きな新技術開発に重要な役割を果たしていること、光科学の生物学、医学分野への適用はまだ限られているが多くの可能性を秘めていること、などが挙げられる。

光科学は本来領域横断型の研究分野であり、学際的交流によって他分野に新しい研究手法を提供し、その発展を促進してきた。特に最近では、そのような活動により新たな研究領域を創成する程の影響を持つまでに発展している。このように光科学は多様な

研究を展開する上での基盤となる研究分野であり、光科学研究への本格的な取り組みは、我が国で新しい科学技術やコンセプトを生み出すための重要な方策であると考えられる。

光科学研究は広範囲の分野で実施されているが、大学における研究実施単位の多くは小規模であり、体系的・組織的な取り組みを必要とする研究として十分な体制とは言い難い。また、比較的大型のレーザー施設を用いる研究においては、これらの施設を産官学の研究者が活用して新領域を切り開く体制の整備が、欧米と比べ遅れているといえる。光科学研究は、欧米をはじめ最近では東南アジア諸国でも、活発に推進されている。このような国際競争下で研究を実施していくには、ダイナミックに研究を展開することが極めて重要であり、そのためのしっかりした研究体制の構築が必要である。本声明ではこのような学際的新興分野である光科学における研究体制のあり方に関し提言することを目的とする。

光科学研究の推進は、新しい知の創造、人材育成、基礎科学研究と産業・医療分野の連携、アジア等諸外国との連携などをめざすものであり、日本学術会議声明「日本の科学技術政策の要諦」（平成17年4月）^[注1]で述べられている「環境と経済の両立めざす品格あるモデル国家」の構築に寄与するものである。

光科学研究の推進に関しては、文部科学省研究振興局「光・光量子科学技術の推進方策に関する検討会報告書」（平成17年1月）において、広範囲の検討が行われている。また、研究体制に関し、財団法人松尾学術振興財団「新たな全国共同利用研究体制の確立に期待する 国立大学法人化後の学際的・融合的な基礎的研究の展開のために」^[注2]において、共同利用研究体制のあり方に関して検討が行われている。これらの報告書も参照しつつ、本声明では光科学研究体制のあり方について検討する。

外国では、全米研究評議会(National Research Council)「光を統御する：21世紀のための光科学、光工学」(1998年)^[注3]、ドイツ工学者協会「21世紀のための光技術：ドイツの計画」(2000年)^[注4]などの報告書に見られるように、光科学技術を21世紀における科学技術の原動力と位置づけ、戦略的に研究開発を展開している^[注5]。

なお「光科学」は、「光科学技術」など、光技術と対比して使われる場合が多い。本声明では「光科学」を、光技術と対比する通常の「光科学」として使用するとともに、特に混同が生じない範囲において、光技術を含め光に関する研究分野全体を包含する「広義の光科学」を表す言葉としても使用するものとする。

第2章 光科学研究の最前線

可視光を中心としてX線からテラヘルツ（周波数 10^{12} ヘルツ、波長300ミクロンの電磁波）に及ぶ光領域において、光源・光伝播制御・光材料などに関する研究が近年大きく進歩し、これらを基盤として生み出された多様な光利用技術が、多くの分野で大きな波

及効果をもたらしている。基礎科学分野では、科学技術の革新に光科学が大きな役割を果たしており、小柴昌俊氏、田中耕一氏を始め最近の多くのノーベル物理学賞・化学賞が光を用いた研究に対して与えられている。また応用分野では特に、情報・通信分野で、電子・材料・ソフトウェアと融合した最先端の光技術が開発され、社会生活全般にわたり革新をもたらしている。また最先端の科学技術を駆使して極めて大きな変革を遂げつつある生命科学・医療分野においても、光技術の重要性が大きくなっている。これらの分野の研究・開発で我が国は世界的に高い競争力を有しているが、今後のさらなる発展には画期的なコンセプトの創出が重要であり、その源泉となる基礎研究に今まで以上に本格的に取り組む必要がある。

本章では、多くの分野において光科学技術が果たしている役割と、最先端の技術開発の一端を展望する。

2.1 新分野の創成に資する光科学研究

近年、あらゆる分野において研究対象となる現象や物質が精緻化・複合化・多様化しており、未知の現象や物質を解明するための新測定法の開発や、微細構造や物質状態を人工的に生成して新しい機能を創り出すことが、重要となっている。光科学は、超高精度の測定に基づく現象の解明や、新しい物質状態の生成などに極めて有効であり、新しい研究分野の創成につながる基盤研究として重要な方法となっている。

光科学に関する基礎的な研究は、原子・分子科学と表裏一体となって発展してきた。以下の例に見られるように、原子・分子・光科学に関する基礎研究の成果は最先端の応用に密接につながっており、新しいコンセプトを生み出す上で極めて重要な研究分野である。原子・分子・光科学研究で最近最も注目されているのは「原子光学」である。レーザーを用いて原子を極低温に冷却すると、原子の波動的性質が顕著に表れ、回折や干渉など光と同様な現象を観測できるようになり、超高感度のジャイロスコープの開発につながる技術として期待されている。さらに、多数の原子が最低のエネルギー状態に集合し、原子集団全体が一つの物質の波として振る舞うボーズ・アインシュタイン凝縮状態 (BEC: Bose-Einstein Condensation)^[注6] が生成され、原子波の増幅など多様な量子現象を直接観測することが可能になった。また、冷却原子の無数にある内部状態を多量の「情報」として演算に利用する量子演算の研究が進められている^[注7]。

レーザー光の干渉で形成した3次元格子(光格子)の各格子点に原子を閉じ込め冷却し、極低温原子の原子遷移を周波数標準として用いる「光格子時計」は我が国で開発され、国際時間標準を定めている原子時計の精度である15桁を大きく上まわり、18桁の精度で光の周波数を安定化できる見通しが得られた^[注8]。超高精度の光時計は、物理定数の変化の有無の検証、時間反転対称性の破れの測定など、基本的な物理課題への取り組みをはじめ、光周波数標準を基準として用いる国際単位系の一元化^[注9]、全地球測位システム(GPS)の精度向上、大容量高速通信ネットワークのタイミング制御など、広範

困の分野に大きな変革をもたらす可能性を有している。

近年、生体物質、ナノ材料の構造や機能の解明、単一分子検出など、新たなニーズに対応した新しい技術開発が求められている。近接場顕微鏡など多くの新しい光学測定法が開発され、サブミクロン空間分解、フェムト秒（ 10^{-15} 秒）時間分解測定が可能となっており、更なる分解能や測定感度の向上へ向けて技術開発が進められている。最近開発されたテラヘルツ光源は、プラスチックなど従来識別が困難であった物質の可視化や、生体高分子の構造変化の観測などに有用であり、実用化に近づいている。

一方、大型放射光施設 SPring-8（<http://www.spring8.or.jp/j/>）等の利用により、放射光を用いた物質研究が飛躍的に進歩した。タンパク質の結晶構造解析では、微小試料による短時間の解析が可能になり、タンパク3000プロジェクト（<http://www.mext-life.jp/protein/>）の推進に大きな力を発揮している。また、電子状態、磁性に加え、格子振動も測定可能となり、超電導や強磁性の機構解明など物質科学の研究に不可欠の手段となっている。放射光による測定をもとに、高密度半導体、小型電池、自動車排気ガス分解触媒などの性能向上が実現され、放射光の産業利用が本格化している。これらの研究を踏まえ、微小試料、長時間分解の測定が可能な、発散角の小さい超短パルス次世代X線源の開発が重要となっている。物質は、原子や電子の状態の変化を通じて機能を発現しているので、次世代光源による動的変化の直接観測は、物質の機能解明に不可欠の情報を提供するであろう。

化学反応など複雑な分子過程の解明と制御は、学術的にも実用上も重要である。レーザー光と物質とのコヒーレントな相互作用により、制御された光の状態を物質に移して特定の物質状態を生成する量子制御法により、分子過程を制御する新しい方法が開かれた。フェムト秒レーザーパルスの波形を最適制御することにより、分子の解離・結合過程の制御、特定の電子状態の選択、あるいは遺伝子にマーカーとして結合した蛍光たんぱく質の退色の抑制など、多くの成果が得られており、溶液、固体など凝縮系における反応制御へと進展することが期待される。

田島俊樹氏とJ.Dawson氏が1979年に提案したプラズマ航跡波加速による高エネルギー単色電子の生成が昨年実現され^[注10]、レーザー粒子加速への取り組みが世界的に本格化している。レーザーによる加速器の小型化、特に粒子線がん治療装置の小型化への期待が大きい。また、高エネルギー加速器の高度化に伴い、低エミッタンス化・小型化への新規技術の必要性が強まっており、光科学と加速器科学の連携・融合が重要な研究領域になりつつある。一方、高エネルギーレーザーを用いるレーザー核融合研究においては、その関連分野である高エネルギー密度科学への展開が図られており、多くの研究者の参加が求められている。

2.2 次世代情報・通信技術開発における光の重要性

日本の情報・通信産業は、2003年の国内総生産額が126兆円（対前年度比6.3%増）、

全産業の総額に占める割合が12.7%^[注11]と、大きく成長している国内最大規模の産業である。しかし国際競争も極めて激しく、特に東アジア企業の台頭が著しい。情報・通信を最大の応用分野とする光産業の国内生産額は2005年度で約9.3兆円（光機器・装置5.1兆円、光部品4.2兆円）で、対前年度10.4%増と予測されている^[注12]。光機器・装置では、入出力装置(37%)、ディスプレイ装置(29%)、光ディスク(19%)の比率が大きく、光部品では、ディスプレイ素子(60%)、発光素子(13%)、受光素子(11%)が大きな割合を占めている。光通信分野の生産額は、大容量光通信の急速な普及に伴う激しい価格競争でしばらく低迷していたが、2005年度から再びプラスの成長率に転じると予測されている。我が国は光産業分野で世界最先端の技術が相次いで開発され、高精細フラットパネルディスプレイ、高密度光ディスク、デジタルカメラ、青色発光ダイオード、高感度受光素子など多くの分野で強い国際競争力を有している。しかし、外国の追い上げも激しく、新技術開発のより強力な推進が求められている。

ディスプレイは、大量の情報を見やすく表示する装置であり、大画面・高画質、低消費電力、軽量・薄型・フレキシブル、低コストなどが求められている。我が国ではデジタル放送とハイビジョンディスプレイの実用化が世界に先導して進められ、更に、走査線4000本級（ハイビジョンの約4倍）の大画面・超高精細映像システム（スーパーハイビジョン）の研究が進められている。ディスプレイ装置として、プラズマディスプレイ、液晶ディスプレイに次いで、冷陰極ディスプレイ、大画面無機EL（電子ルミネッセンス）ディスプレイが実用化を迎えている。更に、薄型・軽量の有機ELディスプレイの大画面化、レーザーを光源とする超大画面ディスプレイ（愛知万博で公開）、立体映像ディスプレイなど、高性能化・ユビキタス化を目指した次世代技術の開発が進められている。

我が国は、波長多重伝送によるテラビット級ネットワークが日本全域をカバーし、さらに100メガビット級光ファイバー網の家庭への接続が急速に進むなど、光ファイバー通信が世界で最も普及している。さらに超高速・大容量情報の通信と利用を可能とするため、多様な技術開発が進められており、これらの諸技術を組み合わせ、2010年頃に現在の約1000倍の高度化・超高速化を実現することが、目標とされている。超々大容量伝送を必要とするスーパーハイビジョンなどの実用化に対応しうる次世代光ネットワークの構築のために、抜本的な大容量化と画期的なコンセプトの出現が望まれている。

情報化社会の実現に伴い、通信の安全性の確保が重要になっている。次世代のセキュリティ大容量通信技術として、量子暗号の研究が進められている。これは送信者が光子に生成した量子状態を符号化して送信し、受信者が符号から情報を復元するもので、量子情報は壊さずにコピーすることができないので、偽造や盗聴を防ぐことができる。さらに高度な量子情報技術として、量子計算の研究も開始されている。これらは科学と技術が直結した分野で、日本独自の新規技術の開発と短期間の実用化が必要であり、その基底をなす高度な基礎研究が不可欠である。これらを実現するには、光源、原子系、光伝播、検出器、情報理論などに関する総合的な取り組みが必要である。

2.3 ナノテクノロジーへの取り組みと光科学

半導体メモリーなどの集積回路の集積密度は、1.5年でほぼ2倍になるとのムーアの法則（経験則）にしたがって、進歩を続けている。これを支えているのが光リソグラフィーであり、波長193nmのエキシマーレーザーを光源とするリソグラフィー装置が使用されている。日本の高度な光学・精密機械工業を基盤とするリソグラフィー装置は、世界市場で大きな割合を占めてきたが、最近外国の追い上げも激しくなっており、次世代技術の開発が必要となっている。欧米および日本でレーザーあるいは放電プラズマを光源とする極紫外線(EUV)リソグラフィー装置の開発が進められており、EUV発生効率の向上など、実用化に必要な中核技術の開発に重点がおかれている。なお、光学分野では、技術者の果たす役割が極めて大きいと、熟練技術者が外国企業へ引き抜かれる例も見られ、技術の継承と向上に関する施策の構築が必要となっている。

他方、近接場光学（光が反射するとき反射面の外に染み出す光を利用する方法）により波長限界を超える分解能が得られることが実証され、1テラバイト級の光メモリーや、加工寸法50nmの光リソグラフィー装置などの開発が我が国で進められている。近接場に基づく新しいデバイスの開発も構想されており、世界を先導する日本発の技術として、今後の展開が期待される。

新デバイスの開発には、優れた性能や新機能を有する材料が不可欠である。物性物理学分野で、高温超伝導や超巨大磁気抵抗など、電気伝導性、磁性、格子振動などが結合して新しい性質が生まれる強相関系物質に関する研究が近年飛躍的に進歩している。その過程で、光、電場、磁場などの外場により、強相関電子系の性質が劇的に変化することが見出された。電子系は格子系よりも高速（ 10^{-12} 秒以下の時間スケール）で変化するので、超高速光記憶素子、高速光スイッチング素子など、現在の光デバイスの限界を超える新しい光機能性材料の実現が期待される。

ナノテクノロジーの開発には、原子レベルで物質・材料の構造と機能を解明することが不可欠であり、放射光の活用が極めて重要となる。米国では放射光施設や中性子施設を中核として複数のナノテクノロジーセンターが構築されているが、我が国でもSPring-8やJ-PARC（<http://jkj.tokai.jaeri.go.jp/>、現在建設中の大強度陽子加速器施設）などの最先端施設とユーザーを一体化した研究センターの構築による、ナノテクノロジー開発への本格的な取り組みが必要である。

2.4 光化学による新しい材料の開発

新しい機能を有する材料は、既存材料の置き換えによる性能向上をもたらすだけでなく、しばしば新分野の開拓に決定的な役割を果たす。新材料は多様な方法で開発されているが、光化学法による新材料の開発と、光照射で独自の機能を発揮する光材料開発の

両面において、極めて活発な研究が我が国で行われている。

光化学の基礎研究では、気・液・固相、生体における電子・原子過程や化学反応機構の解明が、超短パルスレーザーや放射光の利用により大きく進歩した。例えば、光化学反応の初期過程、光励起後の振動位相緩和、周囲媒体へのエネルギー移動、固体表面における物性、表面化学反応ダイナミクスなどが明らかにされ、これらを利用する道が開けてきた。

新材料開発においては、光化学の手法により有機磁石が発明された^[注13]。最近では、光吸収により異性体が可逆的に変化するフォトクロミズムを始め、光誘起電子移動による超高速過渡吸収、単層カーボンナノチューブ、さらにはDNAなど、多様な物質が分子フォトニクス材料として研究されている。また、レーザー光を駆使し、顕微鏡下の微小領域で分光、反応、加工、機能発現を行うレーザーナノ化学と呼ばれる新しい分野が生まれ、今後は新規ナノ材料の作成が可能になると期待される。

光触媒の応用は我が国で大きく展開された重要な技術である。抗菌タイル、空気清浄機、鏡の曇り止めなど、生活に密着した技術として実用化されているが、自然エネルギーを用いる環境浄化技術として、さらに大きく発展すると期待され、日本において世界標準確立の努力がなされている。光触媒の機能解明、合成反応への応用、新機能材料開発など、基礎的な研究も実施されており、また最近、X線やガンマ線による光触媒機能も見出され、光触媒は今後も大きく発展すると期待される。

2.5 生物学・医学の革新と光科学

生命現象と光との関わりに関する研究は、生物学におけるもっとも基本的な課題である。光合成における光化学反応、視覚など光刺激により生じる情報伝達、生物が一日の周期を維持する生物（概日）時計、紫外光によるゲノムの損傷とその修復、あるいは発癌など、光生物学に関し多くの研究が実施されている。

これらの研究をもとに、新しい光デバイスを開発しようとする研究も活発である。自然界の光合成を模倣し、光ナノ素子を集積化した人工光合成デバイスの創製、効率良く光エネルギーを電気エネルギーに変換する太陽電池や、光エネルギーを利用した水素発生などのシステムの開発が進められており、化学・生物・物理・工学などの分野が共同する学際的な研究協力体制が不可欠となってきた。さらに、光の位相やコヒーレンスを利用する光情報伝達機構、光エネルギー変換機構など生物の多様な光との相互作用についての解明が進められている。

20世紀後半は、ゲノム科学が飛躍的に進歩した時代であった。我が国では、田中耕一氏（島津製作所）が、レーザーと質量分析を巧妙に結合させ、極めて複雑なタンパクや高分子を超高感度で分析する技術を開発し、ノーベル化学賞を受賞した。また、神原秀記氏（日立製作所）はDNAと特異な結合をする色素のレーザー励起蛍光とキャピラリー電気泳動を結合させ、高速DNAシーケンサーを開発した。これらのレーザー新応用法は、

創薬やヒトゲノム解明などを通じてテーラーメイド医療などに大きく役立っている。

21世紀に入り、生物学・医学は、全く新しい局面に入ろうとしている。2003年にヒトゲノムが完全に解読され、いよいよ遺伝子の機能を解明し、それに基づいて医薬品を開発するテーラーメイド医療へと研究が移りつつある。タンパク質の結晶構造解析に放射光が大きな役割を果たしているが、膜タンパクなど医療応用に重要なタンパク質の構造と機能を解明するため、次世代光源と利用技術の開発が必要になっている。

また、遺伝子にコードされたタンパク質の働きを、生きた細胞や生体内で明らかにする「機能ゲノム学」の研究において、単一分子検出と生体への非侵襲診断を可能とする光診断が、重要な役割を果たそうとしている。細胞内の所定の遺伝子に蛍光タンパク質の遺伝子を結合させることにより、蛍光顕微鏡を用いて遺伝子の活動状態を直接観察できるようになった。顕微鏡下で細胞の異常やがん化のメカニズムを解明する研究が行われており、エイズウイルスの早期検出などが可能になろうとしている。さらに、この方法を内視鏡を用いて体内細胞に適用することにより、1mm以下の超早期がんの診断も可能になると期待されている。脳における神経活動記録なども含めた「分子イメージング」の開発において、光技術はキーテクノロジーになろう。

光ファイバー、レーザーなど光エレクトロニクスを駆使した「鏡視下手術」の発展は著しく、患者への負担軽減と相まって、今世紀の医療の大きな流れとなろう。我が国は内視鏡で世界最先端の技術を有しており、光エレクトロニクス、ナノテクノロジー、ロボット工学などを駆使することにより、独自技術を開発しうると考えられる。

2.6 より安全な社会の構築と光科学

我々の日常生活から地球環境、さらには地震などの自然災害にいたるまで、多様な事故、災害、環境変動に対する安全・安心な社会の構築が、世界規模で益々重要になっている。近年深刻になっている地球環境問題へ対応するため、我が国は中国、韓国の協力により東アジア域にレーザーレーダー（ライダー）ネットワークを構築しており、黄砂と大気汚染の動態の把握が実時間で可能となっている。最近我が国で、気流の乱れを遠隔測定するコヒーレントライダーが開発され、高々度での乱気流や空港付近のダウンバーストなど航空安全に関わる現象や、地上や大気圏での気流や環境計測に利用されるようになっている。米国では人工衛星にライダーを搭載し、全球の雲やエアロゾルの観測データを得ている。地球環境問題に本格的に取り組むには、大気圏および成層圏環境の全体像を把握することが必要であり、大気圏の光化学反応の研究も含め、光科学技術の重要性が増している。

地球深部ダイナミクスの解明を目指し、波長安定度13桁のレーザーを光源とする100 mスパンレーザー干渉計が2003年に神岡鉱山内に設置され、地球ひずみの測定が開始されており、地球の中心部を構成する核の流体運動や、地震計では検出できないほどゆっくりと断層面のすべりが拡大するサイレント地震の検出、さらには地球の内殻の固有振

動などに関する貴重なデータが得られると期待されている。光格子時計の18桁の精度（2.1節参照）は、1cmの高低差に対応する重力シフトを検出可能なレベルに相当するので、将来は地殻構造やその変動の測定にも使える可能性がある。これらの地球科学に関する研究は、地震の機構解明につながると期待される。

2.7 ものづくり技術の革新と産業用レーザーの開発

レーザーは、製造技術の革新にも重要な役割を果たす可能性を有している。自動車産業において、従来はCO₂レーザーが金属の切断、接合、表面改質などに用いられてきたが、最近半導体レーザーによる樹脂部品の溶着、ファイバー伝送YAGレーザー光によるボデー溶接などが実証され、生産ラインへの導入も進められている。また、製鉄においては、高速レーザー溶接を用いた鋼板全連続圧延の実用化による生産性と制御性の向上、レーザー照射電磁鋼板の鉄損失低減による変圧器の性能向上や、線材のレーザー照射熱処理による疲労強度の改善など、生産性や製品付加価値の向上に向けて適用範囲が広がっている。また、人工光を用いた野菜栽培や漁業など、生物資源開発への光利用も研究され、光農場は実用化の段階に入りつつある。

このようにレーザーの生産現場への導入が進みつつあるが、課題はレーザーの高信頼化、光ファイバーによる高出力レーザー光の伝送、メンテナンス体制、価格などである。高信頼性の産業用レーザーの開発と、即時メンテナンス可能な体制の構築により、真の「レーザー産業時代」が到来するといえよう。我が国では、可視・紫外域の高出力固体レーザー、高出力半導体レーザー、高出力ファイバーレーザー、高品質・高出力のセラミックレーザー、高品質の非線形光学結晶など、多くのオリジナル技術が大学、民間等で開発されており、レーザー産業を育成する基盤が構築されつつある。これらの基盤技術と利用技術を結合することにより、国際競争力のある製品の開発につなげることが可能になる。

第3章 光科学研究のあり方に関する検討

3.1 光科学研究の現状と問題点

我が国では、物理、化学、工学、生命科学、医学などの広範囲の分野で、光科学研究が活発に行われ、世界初の成果も多数得られている。近年、基礎研究の成果が産業・医療等の応用に展開される期間が短くなり、迅速な研究展開が求められている。このため、新しいコンセプトの構築に寄与する基礎研究の強化、基礎研究と応用分野との緊密な連

携、新技術開発のための分野間の連携の強化などが、重要になっている。光科学は、今後の我が国の科学技術において重要な役割を果たすと考えられるが、応用への迅速な研究展開に対応するため、研究体制の再検討が必要である。

我が国の主要産業である情報・通信分野においては、最先端光技術の開発が、電子技術、新材料、情報処理技術等と一体となって強力に進められている。しかし、極めて国際競争が激しい分野であり、現在の技術を大幅に超える次世代技術の開発へ向けて、研究開発のさらなる強化が求められている。また医療分野では、ロボット手術、テーラーメイド医療、分子イメージングなど、医療技術の革新へ向けた研究・開発が米国を中心に急速に進められており、我が国でも独自技術開発への本格的な取り組みが必要な段階に至っている。産業・医療をはじめ多くの分野で革新的技術を生み出すには、次世代技術の基盤となる新しいコンセプトの創出や新材料の開発が重要である。

光科学に関する研究は、国立大学法人、大学共同利用機関法人、私立大学、独立行政法人、企業などに属する多くの研究機関において、日本学術振興会、科学技術振興機構、新エネルギー・産業技術総合開発機構等の競争的研究資金を得て実施されている。これらを総体としてみると、我が国の光科学に関する研究・開発は極めて活発に行われ、研究費も重点的に配分され、欧米に伍した成果が得られているといえる。

しかし、価値ある新しい技術・コンセプトを基礎研究で生み出し、その成果を応用へと迅速に展開するには、検討すべき課題も多い。

3.1.1 学術分野としての確立

我が国では光科学が、科学技術の基盤となる分野横断的な学術分野として確立されていない。そのため、光科学研究を主体的に推進する機関が極めて限られている。特に光科学の基礎をなす原子・分子・光科学研究分野において、重要な課題を中・長期的に継続して実施する研究機関が確立されていない。また、科学研究費補助金においても、光科学に関連した項目は多数あるが、光科学・技術が独立した分科として設定されていない。光科学研究に本格的に取り組むには、光科学を学術分野として確立し、研究人口を増やし、底辺を大きくすることが必要である。

3.1.2 研究のダイナミックな展開

我が国の科学技術が世界において存在感を示していくには、我が国から革新的なアイデアが生まれ、それが実証・体系化され、新しいコンセプトとして世界標準になっていくことが重要である。厳しい国際競争にさらされている企業においても、現在すぐ役立つ技術より、5 - 10年後に重要となるであろう新しいアイデアの創出と体系化を、大学や公的な研究機関に求めている。このような革新的なアイデアを継続的に生み出し育てるダイナミックな環境を作ることが、研究コミュニティに求められている。

我が国では光科学分野で、原子線ホログラフィー、光格子時計、近接場光学、セラミックレーザー、超高強度レーザー、高速点火核融合、通信用光ファイバー、青色発光ダイオード・半導体レーザー、光触媒、高速DNAシーケンサー、内視鏡など、世界的にも高く評価される独創的な成果が多数生み出されている。独創的な成果が世界的に共有さ

れる概念として確立するには、そのコンセプトを実証し、周辺分野を含め体系化することが必要である。その段階まで発展させるには、研究の組織化と継続性が必要であり、個人単位で5年計画を基本とする通常の研究費制度では不十分な場合が多く、重要な研究をダイナミックに展開できる仕組みが必要とされている。

3.1.3 研究者間の連携

科学技術の発展を支える源は、未知の現象に対する知的好奇心・探究心であり、知的好奇心は研究者個人の自由な発想から生まれる。研究者の知的活動から生まれた優れた発見や発明を、周囲の研究者が尊重し、協力してそれを大きく発展させることが重要である。そのために研究者間で情報交換、意見交換を日頃から行い、信頼関係を構築しておくことが大切である。また、専門分野の異なる研究者間の交流は、しばしば新しい着想を生み出すきっかけを作るとともに、研究成果を異なる視点で評価し、予想しなかった展開を生み出す貴重な機会を提供する。

光科学の研究では、応用分野の研究者がニーズを提供し、光科学の研究者が先端的な研究を通じてこれに応じる形で新たな展開が得られることが多い。多くの領域との相互作用により新しい発展を生み出すので、光科学は分野横断型であり、分野横断型の研究を促進することが、今後我が国で新分野を開拓するための重要な要因になると考えられる。したがって分野横断型の光科学研究において、自由な研究基盤の構築と、研究者間の連携は特に重要である。

新しい重要な研究分野、研究課題を効率よく立ち上げるには、新分野へ研究者が迅速に移動し共同して研究することが、競争的環境下では特に重要となる。国立大学、公的研究機関の法人化により、同一機関内では部門間を越えての連携が容易になっており、好ましい環境が生まれている。他方、異なる機関間においては、法人化により研究者の連携が困難になるとの懸念もある。新分野の立ち上げにおいて人事交流がなされることが望ましいが、所属機関を移動しなくても、異なる機関に属する研究者が共同で研究を実施できることが研究の迅速な展開には必要である。

3.1.4 研究所・研究センターの確立と連携

光科学、放射光科学に関する主たる研究所・研究センターを[注14]、[注15]に示す。また、米国、欧州における主たる光科学研究機関を、それぞれ[注16]、[注17]に示す。米国では光科学分野において、人材育成を含め基礎科学研究を重視しつつ応用研究も展開する、バランスのとれた研究システムを用いている。また欧州では、欧州レーザー機構(LASERLAB-Europe)^[注19]が設立され、[注17]の機関も含め、9カ国、17機関の中核的レーザー施設を欧州全域の研究者に供用する横断的な運用を実施し、これら施設の利用者に対するサービス向上と、欧州全域における研究の活性化に大きな効果を挙げている。

我が国の光科学研究の基盤を強化するために、原子・分子物理、量子エレクトロニクス、レーザー・光学技術など、光科学の基礎的な分野を支える教育・研究を担う研究所の設立が、極めて重要である。また、[注14]に挙げた研究所・研究センターには最先端のレーザー施設が設置されており、これらを最大限に活用することにより科学技術の

最先端を切り開くことが可能になる。光科学研究の展開において、大学研究者と研究所・研究センターとの連携は極めて重要で、例えばレーザーエネルギー学など大型施設を使用する研究においては、全国的な連携体制のもとで施設を共同利用して研究を実施することが不可欠である。我が国においても、LASERLAB-Europeに相当するLASERLAB-Japanを設立し、全国的な連携のもとで研究を推進することが望ましい。

また、光科学研究を多くの機関、分野の連携のもとに推進するには、複数の重点分野について、大学研究室、研究所・研究センターを含めた研究組織を形成し実施することが必要になる。例えば、重点分野の研究を研究所・センターの事業と位置づけ、大学の中核的研究者と共同して実施することは、新たな研究組織を立ち上げる困難を回避し、迅速に新しい研究を実施する有効な方法となろう。また、大学の研究室で始められた優れた研究が、研究室の規模では発展が限られる場合も多く、そのような場合にこの研究をより規模が大きい研究所・研究センターに移し、大学の研究者と一体となって体系的に研究を展開することも考えられる。このためには、研究所・研究センターが外部の研究者との密接な連携の下に運営されることが必要である。

3.1.5 教育

光科学に関する研究は、光の性質、生成・伝播、分光・検出、物質との相互作用などに関する基礎的で、且つ最先端の知見を必要とする大変精緻なものになっている。これらの知見・技術を用いて可能となる多様な応用技術は、高度な知識を必要とする分野であり、したがって、人材の育成はこの分野の発展にとって極めて重要である。大学人は、光自体に関する教育だけでなく、光の応用面での可能性・発展性を学生に教育することが重要であり、このような新しい視点から学部・大学院教育を充実させる必要がある。

光科学に関する教育は、大学の理学部、工学部の学部・大学院で講義の一部として行われているが、一貫したプログラムのもとに実施している大学は極めて少ない。体系的な学習を必要とする光科学および関連分野の教育を限られた時間で断片的に実施するのは適当とはいえず、より本格的な教育のあり方が模索されるべきである。また、生命・医学分野など従来光科学との関連が少ない分野では、光科学分野と交換授業を行うなど、新分野への取り組みに適した新たな方策が必要である。

3.1.6 人材の流動性と育成

学位取得後の若手研究者は、近年競争的資金の拡大により博士研究員等の機会は増えているが、常勤職員になる道が確保されておらず、大きな課題となっている。若手研究者は良い研究成果をあげることが最も重要であり、活発な研究環境を与えることが必要である。重点課題に関する大学間および大学と研究所・センターとの共同事業は、若手研究者の移動による迅速な研究の立ち上げと人事交流を促すことになろう。

研究者は若い間に基礎・応用を含む複数の分野・課題にわたる研究を経験し、広い視野をもつことが重要である。このような研究者を育成するため、外国も含め異なる機関で研究を行う機会を与える仕組みの構築が必要である。欧州では研究者交流プログラム（Human Resources and Mobility Activity）^[注19]が、14機関を連携した「時間分解応用極短極紫外パルス研究」において実施され、若手研究者の育成に大きな役割を果たして

いる。

3.1.7 国際協力と学会間の連携

国際会議や国際共同研究などの国際的な学会・研究活動は、当該分野の研究活動の国際的な向上をもたらす、同時に我が国の研究活動を発展させる上で、極めて重要である。日本での国際会議の運営は既に多数実施されているが、近年特に、我が国の研究成果のアジア諸国への還元など、アジアとの協力が重要になっている。

光科学に関する連携活動は、国内においては多くの学会に分かれて実施されている。しかし、学際的な活動を実施する場合、および国際会議を運営するには、学会間の連携が重要になる。以下に記すように学会間連携の基盤は構築されており、今後の学際的な研究の実施において、学会間連携の充実が重要になる。

1959年に発足した量子エレクトロニクス国際会議（IQEC: International Quantum Electronics Conference）の運営に参画する組織として、レーザー関連学協会の代表が参加する量子エレクトロニクス合同日本委員会（JJCQE: Japanese Joint Council on Quantum Electronics）^[注20]が設立され、学術会議が共催するIQEC 2005の運営を担った。光通信分野では、光集積回路／光ファイバー国際会議（IOOC'89）や、アジアが中心の光エレクトロニクス国際会議(OECC)において、我が国は主導的な役割を果たしている。光化学の分野では「アジア光化学協会」（APA: The Asian and Oceanian Photochemistry Association）が設立され、4回の国際研究集会（3年毎）を実施した。同様に、14の学・協会から構成される日本光生物学協会^[注21]が推進役となって、「アジア・オセアニア光生物学協会」を設立し、2回の国際研究集会（2年毎）を実施している。また、高強度レーザー科学分野では、国際純粋物理・応用物理連合(IUPAP)ワーキンググループとして「超高強度レーザー国際委員会(ICUIL: International Committee on Ultra-intense Lasers）」^[注22]が2004年2月に発足し、その一環として「アジア高強度レーザーネットワーク」（AILN: Asian Intense Laser Network）^[注23]が組織され、アジア域における研究連携を開始している。

3.1.8 レーザー産業の強化

先進科学技術を開拓するには、分析機器の場合と同様、光科学分野においても我が国で独自技術を戦略的に開発するとともに、機能拡大のためのソフトの発展を含め、育成して産業化へとつなげ、国際競争力の核として利用することが重要である。我が国では研究開発で多数のレーザーが使用されているが、その多くは輸入品である。大企業を中心に、高度なレーザー技術が育成されてはいるが、研究開発及び計測用のレーザーは市場規模が数100億円と限られているため、大企業の参入は限られている。

研究開発の面から見ると、光源開発と光利用研究は一体のものであり、輸入品に頼っている場合は、利用研究で遅れをとることになる。産業分野においても、レーザーを製造現場に導入するには、非常に高い信頼性と即時のメンテナンスが必要であり、輸入製品では対応できない場合も多い。また医療の現場では、性能に対する信頼性こそが命脈を左右するので、独自の製造、管理システムを持つことが重要である。

我が国では最近、大学、公的機関等で独創的なレーザーや光学素子開発が行われ、一

部はベンチャー設立により事業化が図られている。大学等の法人化により今後我が国でもレーザー産業が立ち上がってくると期待され、研究開発、産業、医療等の分野でユーザーと連携したレーザー開発が可能な段階に入りつつある。最近我が国では自分で実験装置を作る機会が減っているとの懸念も聞かれるが、教育・研究において装置の独自開発の重要性を強調する必要がある。

なお、産業界の人材育成も重要な課題である。光産業は、長年にわたり支えてきた名人的な技術者の退職により人材不足が懸念されており、現代に適した方法で次世代を育成する必要がある。生産拠点はアジア、高度技術開発は日本との国際分業が進みつつあるが、このような流れの中で、最先端レーザーや結晶作成など、競争力の基盤となる技術の開発を、研究者が支援することが重要である。

3.2 「光科学技術研究ネット機構」の提案

光科学は、先導的課題に取り組んでいる研究者、研究機関が既存機関の枠を超えて連携し、機動力、弾力性を発揮して研究を進めることが必要な分野である。このような研究の推進に適した研究体制として「連携型研究所」について検討する。「連携型研究所」は、複数の研究実施体が連携して構成する分散型の研究組織である。光科学研究に重点的に取り組んでいくには、戦略的に重点課題を設定し、その実施に適した研究組織を形成し、関連他分野とも連携して機動的に実施する必要があり、「連携型研究所」は、機動的・弾力的な取り組みを可能にする組織である。

「連携型研究所」の考え方は、1953年に設置された国立大学研究所協議会において、吉田富三東京大学教授らから「目に見えない研究所」として提案されており、いくつかの研究機関や研究者のチームが比較的緩やかな連携体制を組みながら機動力、弾力性を発揮して研究を推進することに適した組織として提案された。これを受けて、まず「目に見えない研究所」が、がん、脳の2分野で開始され、科学研究費補助金も活用して実施され、大きな成果が挙げられた^[注2]。

光科学研究分野に関する連携型研究所として「光科学技術研究ネット機構（仮称）」を想定するとき、次のような目的、形態、機能が概観される。

3.2.1 「光科学技術研究ネット機構」の目的

「光科学技術研究ネット機構」は、光科学・技術に関する研究・開発を戦略的に実施することを目的とする。光科学研究においては、自由な発想に基づくイノベーション創出の源泉となること、ナノテクノロジー、情報、生命科学、環境などの共通の基盤技術として分野横断的に研究を推進すること、産業界との連携により我が国の産業基盤の強化に貢献すること、国際交流の活性化に資すること、などが主な活動目標になる。

特に、革新的な成果を生み出す基盤となる基礎研究の高度化に重点を置く。また、超々大容量伝送を可能とする次世代情報通信技術、世界的に開発研究が急速に進められてい

る次世代医療技術など、集中的な取り組みが必要な分野に関する研究内容と取り組み方について検討する。

3.2.2 「光科学技術研究ネット機構」の形態

「光科学技術研究ネット機構」は、光科学技術に関する基礎研究から応用分野にわたる広範囲の分野の研究機関、中核的研究拠点のゆるやかな連携体として構成する。既存の研究所・研究センターに加え、実質的に研究拠点として活動している研究組織、中核的研究者を核とする単独あるいは複数の研究グループの集合体を、研究拠点とする。各拠点は、それぞれ具体的な目標を持つ活動体とする。

光科学技術研究ネット機構の活動主体は各研究拠点であり、それぞれが新規の研究課題を提案し、研究費を確保する。これらの拠点を連携し、光科学研究全体の方向付け、分野間の連携、活動レベルの向上、新規分野の開拓等を一元的に行うため、中核機関を設ける。

また、研究所・研究センターと大学との連携を深め、重要課題に関し、共同して研究を実施する体制を構築する。大型 - 中型施設を用いる研究においては、欧州レーザー研究機構 (LASERLAB-Europe) も参考にし、全国の研究者との連携のもとに研究を実施する“LASERLAB-Japan”の構築を図る。これらの機関を連携し、競争的環境下で施設の共用を促進する。また、大学等で開始された優れた研究をさらに発展させるために、研究所・研究センターでプロジェクトとして実施する可能性を検討する。

これと同時に、生物・医学系を含む分野横断型の光科学研究を促進するため、科学研究費補助金に「光科学・技術」に関する項目を設置することを提案する。

3.2.3 「光科学技術研究ネット機構」の機能

「光科学技術研究ネット機構」は、マネジメント機能と研究基盤育成機能を有する。これらの機能は中核機関と研究拠点が分担して実施する。

マネジメント機能は、光科学技術研究ネット機構全体の研究情報の集積、光科学技術研究ネット機構の内部評価の実施、機構内・外における研究連携の推進、内外動向調査と分析、研究戦略の立案、国際交流、広報活動、などが挙げられる。

研究基盤育成機能は、光科学に関する共通利用データベース構築、新規分野で必要とされる光源や方法論などの開発、人材育成（教育、人事交流、技術者養成）、ワークショップの開催、などが挙げられる。

参 考 資 料

- 注1 日本学術会議声明「日本の科学技術の要諦」(日本学術会議、平成17年4月2日)、
<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-19-s1024.pdf>
- 注2 松尾研究会報 VOL. 13, 2004「新たな全国共同利用研究体制の確立に期待する
国立大学法人化後の学際的・融合的な基礎的研究の展開のために」(松尾財団、
平成17年3月)、<http://www.matsuo-acad.or.jp/cyousa.html>
- 注3 National Research Council, “HARNESSING LIGHT: Optical Science and
Engineering for the 21st Century”, (National Academy Press, Washington. D.
C. 1998).
- 注4 “Deutsche Agenda; Optische Technologien für das 21. Jahrhundert”,
(VDI-Technologiezentrum, May 2000)
- 注5 多くの光科学技術が果たしている役割と現状については、光科学研究の最前線編
集委員会(編)「光科学研究の最前線」(強光子場科学研究懇談会(JILS)、平成17
年9月)に詳述されている。
- 注6 久我隆弘「量子光学」、朝倉書店(2003年5月)
- 注7 CREST「情報処理システムの実現を目指した新技術の創出」;「中性原子を使っ
た量子演算システムの開発」
<http://www.qis.crest.jst.go.jp/team/03shimizu.html>
- 注8 香取秀俊「光格子時計 - 18けたの周波数精度をめざして」応用物理 **74**, p.726,
2005 <http://www.jsap.or.jp/ap/2005/ob7406/cont7406.html>
- 注9 盛永篤朗「21世紀の国際単位と標準」、応用物理 **74**, p.718, 2005
<http://www.jsap.or.jp/ap/2005/ob7406/cont7406.html>
- 注10 T. Tajima and J. Dawson, Phys. Rev. Lett. **43**, 267 (1979);
S. P. D. Mangles, et al., Nature, **431**, 535 (2004); C. G. R. Geddes, et al.,
Nature **431**, 539 (2004); J. Faure, et al., Nature, **431**, 541 (2004).
- 注11 総務省「情報通信白書」平成17年版
<http://www.johotsusintokei.soumu.go.jp/whitepaper/ja/cover/index.htm>
- 注12 オプトニュース (2005) No.2, 通巻146号、(財)光産業技術振興協会
- 注13 岩村秀「有機磁性材料の基礎」、東京：シーエムシー、1999、10.
- 注14 光科学関係の主な研究所、研究センターとして、文部科学省では大阪大学レーザ
ーエネルギー学研究センター、電気通信大学レーザー新世代研究センター、東京大
学物性研究所、東京大学生産技術研究所、東京大学先端科学技術研究センター、東
京大学大学院工学系研究科量子相エレクトロニクス研究センター、東京工業大学量
子ナノエレクトロニクス研究センター、東京工業大学精密工学研究所、東北大学電
気通信研究所、自然科学研究機構分子科学研究所、日本原子力研究所関西研究所、
理化学研究所中央研究所など、また経済産業省では(独)産業技術総合研究所、総
務省では(独)情報通信研究機構が挙げられる。さらに自然科学研究機構核融合科

学研究所連携研究推進センターで、原子分子データ研究が行われている。

注15 放射光利用・研究機関として、高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所、自然科学研究機構分子科学研究所、(財)高輝度光科学研究センター、理化学研究所播磨研究所、日本原子力研究所関西研究所、兵庫県立大学高度産業科学技術研究所、立命館大学SRセンター、広島大学放射光科学研究センター、佐賀大学シンクロトロン光応用研究センターなどが挙げられる。

注16 米国では、ロチェスター大学光学研究所(Institute of Optics)とアリゾナ大学光学科学センター(Optical Science Center)で、光学科学・技術に関する教育と研究が実施され、人材育成に大きな役割を果たしている。また、JILA: Joint Institute for Laboratory Astrophysics (実験室天文学連携研究所)で原子分子光物理学、ミシガン大学CUOS: Center for Ultrafast Optical Scienceで超高速光科学研究、ロチェスター大学レーザーエネルギー学研究所でレーザー核融合研究など、重要分野ごとに中核的研究所が設立され、極めて高度な研究が実施されている。

注17 欧州では、英国ラザフォードアップルトン研究所、仏国LULI(共用レーザー施設)、LOA(応用光学研究所)、独国マックスプランク量子光学研究所、マックスボルン非線形光学研究所などを中核として、特に超短パルスレーザーの開発・利用研究が活発に行われている。

注18 欧州レーザー研究機構 LASERLAB-Europe, <http://laserlab-europe.net>

注19 研究者交流プログラム Human Resources and Mobility Activity:
<http://www.cordis.lu/fp6/mobility.htm>

注20 量子エレクトロニクス合同日本委員会(JJCQE)参加団体: 日本物理学会、応用物理学会、日本光学会、レーザー学会、電子情報通信学会、電気学会、日本化学会、米国光学会(OSA: Optical Society of America)東京支部、国際光工学会(SPIE: The International Society for Optical Engineering)日本支部、レーザー・電子光学会(IEEE/LEOS: Lasers & Electro-Optics Society)日本支部

注21 日本光生物学協会参加団体: 国際眼研究会議日本部会、社団法人照明学会 光放射の応用・関連計測研究専門部会、社団法人 日本植物学会、社団法人 日本化学会、社団法人 日本動物学会、社団法人 日本農芸化学会、日本光合成研究会、日本植物生理学会、日本生化学会、日本生物物理学会、日本比較生理生化学会、日本光医学・光生物学会、日本放射線影響学会、光化学協会

注22 超高強度レーザー国際委員会 ICUIL: International Committee on Ultra-intense Lasers, <http://www.icuil.org>

注23 アジア高強度レーザーネットワーク AILN: Asian Intense Laser Network, <http://www.asianlasernet.org>