

**光科学技術の推進に関する懇談会
中間報告書
今後の光科学技術施策の進め方**

平成19年7月

光科学技術の推進に関する懇談会

目 次

はじめに	1
1. 光科学技術の研究推進の必要性	2
2. 諸外国における光科学技術の研究動向	4
(1) 米国	
(2) 欧州(EU、英国、フランス、ドイツ)	
(3) 中国	
3. 日本の現状と課題	7
(1) 大学・公的研究機関等における研究の現状	
(2) これまでの研究成果	
(3) 今後の課題	
(4) 産業界における現状と課題	
(5) 人材育成における現状と課題	
4. 先進的な光科学技術の研究	12
(1) 今後の研究開発における重点化の考え方	
(2) 「新しい光」の開拓とその利用研究の推進	
5. 光科学技術の研究を推進するための新たな取組	22
(1) 研究者、研究機関、産業界等のポテンシャルの結集	
(2) 光科学技術の研究を推進するための強力なプログラム	
(3) プログラムの推進運営体制	
光科学技術の推進に関する懇談会委員名簿	27
審議の経過	28
参考資料1 ノーベル賞等の革新をもたらす研究例	29
参考資料2 光源開発を中心とした光科学技術の研究を実施の主な研究機関	30
参考資料3 日本国内の光科学技術の研究ポテンシャルマップ	31
参考資料4 用語解説	41

はじめに

諸分野における極めて困難な課題を解決する技術を「実現技術 (Enabling Technology) 」と呼ぶ。19世紀の実現技術は、18世紀後半に興った産業革命を進展させる原動力となった「蒸気機関」であり、19世紀は「蒸気の世紀」と呼ぶことができる。20世紀に入り、社会生活の利便性を飛躍的に向上させる実現技術となったのはトランジスターに代表される「電子技術」であり、20世紀は「電子の世紀」と呼ばれるに至った。

一方、1960年にレーザーが発明されて以来、「光」が有する多くの優れた特長を積極的に活用することが可能になった。大容量・高速光通信、内視鏡診断、光触媒など現代の社会生活の隅々にまで「光」の特長を活用した技術が浸透している。超高速、超高精度、非接触、高度エネルギー集中等の特長を有する「光科学技術」は、従来技術を超える新たな実現技術として世界的に研究開発が急速に進められており、21世紀は「光の世紀」となりつつある。

我が国では、光情報通信技術の研究開発、レーザー核融合研究、大型放射光施設の建設、X線自由電子レーザーの開発、戦略的創造研究推進事業などの施策により、光科学技術の基盤が構築されてきた。光科学技術の特長は、基礎研究から生まれる独創的な成果が、科学技術や産業の革新に直接的に結びつくことである。我が国では、光科学技術に関する研究において、青色半導体レーザーや光触媒材料の開発をはじめ、多くの独創的な成果が生まれている。しかし、必ずしもこれらの成果が十分に科学技術や産業の発展に生かされておらず、我が国の有する優れた研究開発力が十分に活用されているとは言い難い。国と産業界の投資が効果的に組み合わせられ、光科学技術の推進が急速に図られている欧米諸国に対し、我が国の対応の遅れが懸念されている。

文部科学省研究振興局は平成19年2月に「光科学技術の推進に関する懇談会」を設置し、我が国における光科学技術の基盤構築に関し検討を進めてきた。特に、光科学技術を利用する諸分野との緊密な連携による独自の先進的な光源の開発と新しい利用分野の開拓、大学及び産業界における人材育成、光科学の学問分野としての確立の必要性などに関し、検討を重ねた。この間、欧米の研究機関を訪問し、これら諸国における光科学技術分野の研究開発への取組方を詳細に調査した。

本報告書はこの懇談会の成果をまとめたもので、我が国で光科学技術の研究開発に本格的に取り組むための諸施策を提案している。科学技術基本計画、イノベーション25など我が国の諸施策の策定と実現に資することができれば幸いである。

1. 光科学技術の研究推進の必要性

「最初に光あれ」は、現在の最先端の研究開発や産業現場における常識となっている。

情報通信、ナノテクノロジー・材料、ライフサイエンス、環境、エネルギー等といった科学技術政策の重点分野の進展も、レーザー、放射光といった最先端の光がなくては立ち行かない。現に、1960年代にレーザーが発明されて以来、様々な特長をもった光を利用した精密計測・精密加工等が可能になるなど、各分野の研究や産業が格段に進展した。また、光によるブロードバンドインターネットやブルーレイディスクなど新しい技術が我々の生活にも深く入り込んでいる。一方、輝度の高い放射光を利用した、物質の組成及び構造の精密な解析が可能になるなど、先進的な光が、ナノテクノロジー・材料、ライフサイエンス等の先端分野の研究を牽引し、その発展の原動力となっている。

このように、光科学技術は、各科学技術分野から産業分野まで幅広く浸透しており、各分野に不可欠な基盤的技術として位置付けられている。

ここで取り上げる光とは、電波に近いテラヘルツ光から、可視光はもとより、X線、ガンマ線にわたる広い波長領域の電磁波を指す。光の領域では、電波のように強度や特性を自由に制御できる技術が確立したのは20世紀後半のことである。光の制御においては、広い波長領域にわたり、波長のみならず、出力、パルス特性、コヒーレンス(光が波として伝わる時の波面が揃うこと:波の位相が揃うこと)、偏光などを自在に制御できる、新技術の開拓が求められている。これが可能となり、これまでにない様々な波長領域で、より高度化された新しい光が得られれば、光の潜在力を存分に活かした画期的な利用法の開拓や未知の現象の発見につながると期待できる。現在建設中のX線自由電子レーザー(XFEL)を例にとると、これまで得られなかったX線領域におけるコヒーレント光の利用により、X線領域の複雑な現象の解明(非線形現象等)や、たんぱく質等の高分子を結晶化することなく構造解析ができるなど、画期的な研究が可能となる。さらに、光科学技術は、環境汚染等の状態や星の生成など宇宙創生の手がかりを「知る」こと、新物質やエネルギー等を「創る」こと、質の高い大量の情報を安全に「伝える」ことなど、重要分野全般の科学技術を刺激、誘起、誘導し、新たな時代を拓くイノベティブなキーテクノロジーとして極めて重要である(図1.参照)。

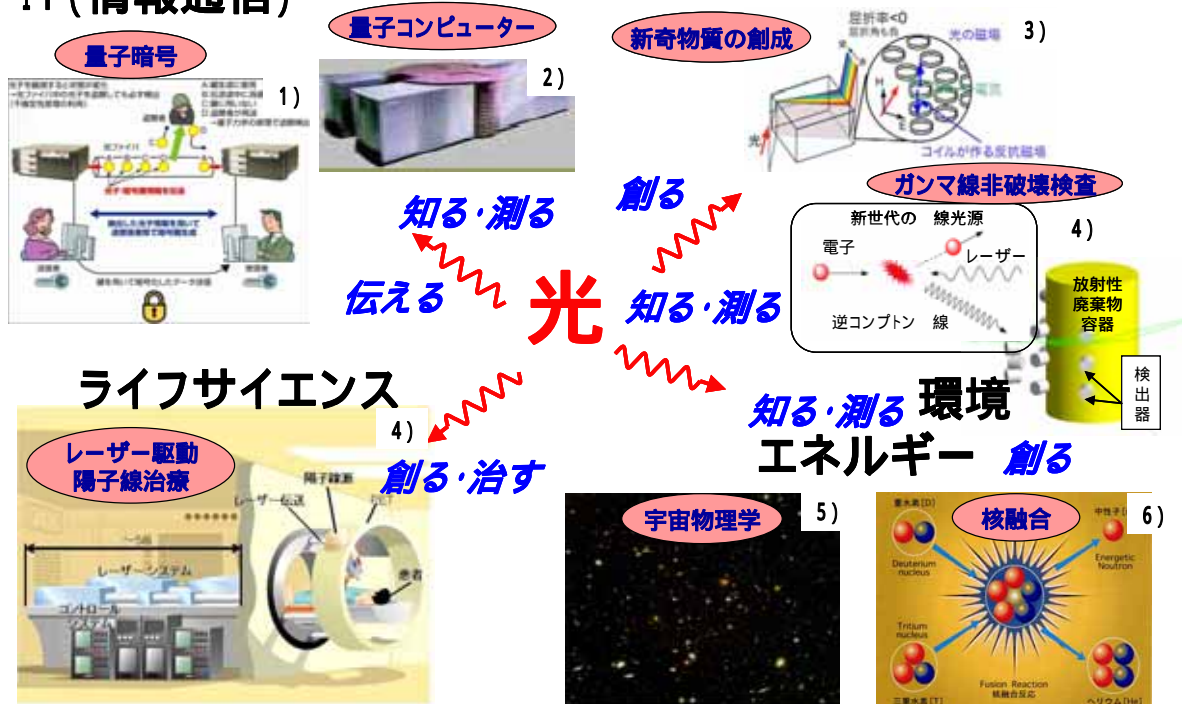
このため、次世代放射光や最先端レーザーなどの「新しい光」の本質を理解することや、物質との相互作用におけるメカニズムを解明すること自体が、物質科学、生命科学、宇宙科学などの基礎科学をさらに深化させ、発展させる原動力となる。光科学技術分野は、最先端の科学技術全体を先導する重要な分野であることから、単にインフラ、基盤的技術としての利用だけではなく、新しい科学・学問領域として体系化することによってその基盤を確立するなど、総合的視点に立ち、重点的に推進する必要がある。

一方、今後の光産業において、他に先駆けて実現した「新しい光」をいち早く活用してその有効性を実証し、新たな利用分野の開拓につなげることは、産業の創出・活性化に不可欠である。欧米の先進国では、「光の世紀」と呼ばれる21世紀において「新しい光」を中心とする

研究に既に着手し、しのぎを削って研究開発を進めている。特に、米国においては、国家ナノテクノロジー戦略(NNI: National Nanotechnology Initiative)の基幹技術として、また、ドイツにおいては「ドイツ・ハイテク戦略」の最先端17分野の一つの柱として、光科学技術を明確に位置付け、具体的施策を積極的に推進している。

我が国としても、この光によって生まれる新たな最先端の科学技術分野について、戦略的に推進すべき重点科学技術分野として位置付けるなどして、積極的に推進することが求められている。今が極めて重要な時期である。

IT (情報通信)



下記の資料より抜粋

- 1) <http://premium.nikkeibp.co.jp/itm/koza/14/>
- 2) http://www.soumu.go.jp/joho_tsusin/policyreports/chousa/21-century/pdf/050325_2_s2_2.pdf
- 3) <http://naps.riken.jp/tanaka/index-j.html>
- 4) (独) 日本原子力研究開発機構関西光科学研究所, “HIKARIセンター”
- 5) http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2f/Hubble_ultra_deep_field.jpg
- 6) <http://www.ile.osaka-u.ac.jp/zone3/explanation/what/index.html>

図1. 「新しい光」による最先端科学の先導の例

2. 諸外国における光科学技術の研究動向

これまでにない特長をもった「新しい光」を世界に先駆けて実現できれば、光科学技術分野のみならず、各重点科学技術分野においても世界トップを獲得することが出来る。このため、欧米諸国はもとより中国、韓国においても、競って光科学技術分野の研究開発を進めている。これらの各国に見られる共通点を列挙する。

戦略的に推進する重点科学技術分野の最も重要な基盤として光科学技術を明確に位置づけ、具体的施策を積極的に推進している。

米国では、国家ナノテクノロジー戦略(NNI)の基幹技術として光科学技術が掲げられるなど、各種プログラムにおける重要なサブテーマとして光科学技術を明示し、具体的施策ベースで強力に推進している。

ドイツでは、科学技術基本政策「ドイツ・ハイク戦略」(2006年開始)において、戦略的に投資すべき将来性の高い最先端17分野の1つの柱として、光科学技術を明確に位置付けている。

光科学技術分野の研究者、機器開発メーカー、ユーザー研究者が、一体となって「新しい光」を用いた研究開発を実施するために、複数の研究拠点を設置している。

様々な分野の研究者・技術者が有機的に連携・融合して一体となって研究を進めている。大型研究施設に関しても、設計段階から将来の利用に向けて、ユーザー研究者群が装置の仕様等に関してアイデアを提案している。

先進的な光源や計測器等のツール開発を産業界も一体となって実施しているため、産業界への技術移転がスムーズに行われている。

(1) 米国

米国では、これまで光関連の科学技術に特化した政策は見られないが、国家ナノテクノロジー戦略(NNI)の基幹技術として光科学技術が掲げられるなど、各種プログラムにおける重要なサブテーマとして光科学技術を明示し、具体的施策ベースで強力に推進している。

また、レーザー核融合用施設(NIF: National Ignition Facility)を含む大型研究施設については、エネルギー省(DOE: Department of Energy)が設置運営している。研究助成については、エネルギー省科学局、国立科学財団(NSF: National Science Foundation)が大学や公的研究機関の先端研究助成を、商務省国立標準技術研究所(NIST: National Institute of Standards and Technology)が民間企業の技術開発の実用化支援などを行っている。

この他、光科学技術を研究・教育の両面から推進する教育研究機関が複数存在し、イノベーションを生み出す源泉となっている。

- ロチェスター大学光学研究所
- アリゾナ大学光科学カレッジ(旧光科学センター)
- フロリダ中央大学光学・光量子カレッジ「タウンズレーザー研究所」など

特に米国が注目している光科学技術の研究開発分野として、超高速現象、テラヘルツ光学、膜たんぱく質の機能計測、超高精密計測技術、メタマテリアル、有機EL、セラミクスレーザー、パルスX線イメージング、逆コンプトンガンマ線発生、X線領域の光物理学、強光子場科学などが挙げられる。

(2) 欧州(EU、英国、フランス、ドイツ)

EU(欧州連合)

第7次フレームワークプログラム(FP7、2007年～2015年:予算総額505億ユーロ)では、サブプログラムのうちナノサイエンス・ナノテクノロジー等の中に光科学技術が明示され、将来のエネルギー戦略を見据えて戦略的に光科学技術を推進している。特に、ESFRI(European Strategy Forum on Research Infrastructures)では、10 - 20年後の将来にわたる研究計画を策定しているが、下記の通り、光科学技術の研究を推進するプログラムが35のうち5個を占めている(予算額30億ユーロ)。

- HiPER(8.5億ユーロ): 8年後の始動を目指したレーザー核融合用光源の開発
(High power long pulse laser for fast-ignition fusion)
- ELI(1.5億ユーロ): 100ペタワット出力を目指した高ピーク出力レーザー開発と利用研究
(Extreme light intensity short pulse laser)
- XFEL(10億ユーロ): 波長0.09nmの超伝導直線加速器型のXFEL開発と利用研究
(Hard X-ray free electron laser)
- FEL(7.6億ユーロ): 赤外～UV光・軟X線までの幅広いFEL光の発生と利用研究
(Infrared to soft X-ray complementary free electron laser)
- ESRF(2.3億ユーロ): 次世代放射光施設へのアップグレード
(Upgrade of the European synchrotron radiation facility)

また、光産業を中心に投資家も含めた全350の関連機関からなるフォーラム「フォトニクス21」(2005年結成)では、新産業の創成を目的に、以下のアジェンダを策定している。

- 欧州の光産業の研究開発投資を現在の年3.3億ユーロから年10%ずつ拡大する。
- FP7の光に関する協力研究費をFP6の2倍とする。
- 各国の光に関する共同研究費を向こう5年間で2倍にする。

英国

英国の光科学技術に関する研究は、CCLRC(the Council for the Central Laboratory of the Research Councils:1995年設立)を中心に、主としてラザフォード・アップルトン研究所における大出力レーザー及び放射光施設を用いて精力的に進められている。

また、これらと併せて英国のフォーサイトの光科学技術関連プロジェクト「EEMS: Exploiting the Electro Magnetic Spectrum」(2004年開始)において、光データ・ハンドリング、分子レベルのフォトニクス、非侵襲イメージング、近接場光学とメタマテリアルの創成を中心に研究開発を実施している。

フランス

フランスでは、ボルドー(アキテーヌ)地域においてレーザー核融合施設(LMJ: Laser Mega Joule)を建設し、イル＝ド＝フランス地域においてハイテク工業団地を形成するなどして、先端的な光科学技術に関して活発な研究開発が行われている。特に光通信技術については、EUから「欧州の研究基盤」として認識されており、研究所と産業界との連携による多くのプロジェクトが組まれている。また、量子カスケードレーザー、アト秒パルス、X線レーザー、自由電子レーザー、量子光学、非線形光学、フォトリフラクティブ効果、メタマテリアル、有機EL等についても研究がなされている。EUのESFRIに提案されているELIの一部をフランスで独自に開発する計画が承認され、諸研究機関が一体となって開発を開始している。

ドイツ

ドイツにおける光科学技術は、雇用創出並びに経済の根幹をなす重要な技術として、強く認識されている。連邦教育研究省(BMBF: Bundesministerium für Bildung und Forschung)による段階的な光施策の推進と、8つの地域を中心としたネットワーク産業集積クラスター(産学官の連携協力によって構成)における取組が、特徴的である。

メルケル現政権の策定した科学技術基本政策「ドイツ・ハイテク戦略」(2006年開始)において、戦略的に投資すべき将来性の高い最先端17分野の1つの柱として、光科学技術を明確に位置付けている。21世紀は「光の世紀」であり、光とそのあらゆる性質を統合して新規産業を創出し、2010年までに光産業関連企業1,000社の達成、約36,000人の新規雇用の創出と40%以上の成長率を掲げている。

現在の光科学技術に関する主な研究対象は、テラヘルツ光、フェムト秒レーザー、高効率のダイオードレーザー、生物光学(がん治療)、有機EL、メタマテリアルの6本柱である。

(3) 中国

レーザーの開発・生産は、6つの主要都市(北京、長春、上海、深圳、天津、西安)と1つの開発特区(武漢東湖新技術開発区)周辺に集中している。大型高エネルギーレーザーの開発が国家ハイテク委員会の主導のもと国家戦略技術として上海光機所と綿陽の中国工学物理アカデミーで進められており、米国やフランスの超高強度レーザー開発を追いかけている。また、高出力の極短パルスレーザーや上海放射光施設の建設に重点投資が行われるなど、積極的に光科学技術の研究開発を進めている。優れた光学材料の作製技術を基に光産業への本格参入も見込まれ、近い将来、驚異的な急成長を遂げる可能性がある。

3. 日本の現状と課題

(1) 大学・公的研究機関等における研究の現状

光科学技術は、情報通信、ナノテクノロジー・材料、ライフサイエンス、環境、エネルギー等の重点的に推進すべき8分野を横断する基盤的分野であるため、光科学を冠した研究科専攻は希少であるものの、多くの大学・公的研究機関等において光科学技術に関連した研究が実施されている(参考資料3 参照)。光科学技術に関連した主要な研究開発プロジェクトや研究機関等の現状は、以下の通りである。

主要な研究開発プロジェクト

世界最高輝度の放射光を発生する大型放射光施設(SPring-8)を、ライフサイエンス、物質材料、環境、産業利用などの幅広い分野の研究者に共用している(平成19年度予算:93億円)ほか、理化学研究所、日本原子力研究開発機構等で光科学技術の研究開発が実施されている(平成19年度予算:24億円)

また、SPring-8の10億倍を上回る高輝度を持つ世界最高性能のX線自由電子レーザー(XFEL)を、平成22年度の完成を目指して整備しているところである(平成19年度予算:75億円)。

さらに、X線から硬X線領域の放射光を発生するSPring-8以外にも、真空紫外線領域を中心とするUVSOR(自然科学研究機構分子科学研究所)や、軟X線からX線領域を中心とするPF(高エネルギー加速器研究機構)などが引き続き重要な役割を担っているとともに、それぞれの目的や用途に応じた幾つかの大型放射光施設が既に運用されている(SPring-8以外の大型放射光施設の運営経費:年間約45億円)。

この他、戦略的創造研究推進事業では、国の科学技術政策や社会的・経済的ニーズを踏まえて、国が設定した戦略目標の達成に向けて目的指向型の基礎研究が実施されているが、平成19年度予算額で、約28億円が光科学技術に関連した研究に配分されている。また、経済活性化を目指して実施されているリーディングプロジェクトにおいても、光科学技術に関連した研究開発プロジェクトが実施されている(平成19年度終了予定)。

一方、科学研究費補助金では、研究者の自由な発想に基づく独創的・先駆的な学術研究が実施されており、採択されている個々の課題の中には光科学関連の研究も含まれているが、数物系科学や工学等の研究分野に分散されて研究領域の細目が設定されているに過ぎない。

また、多くの理工系の大学において、運営費交付金等を活用して光科学技術分野の萌芽的、基盤的研究が実施されているほか、情報通信研究機構や産業技術総合研究所等の公的研究機関においても、光情報通信、レーザーデバイス開発等の研究開発が実施されており、我が国全体では、少なく見積もっても、年間約400~500億円程度の投資規模になると思われる。

光科学技術分野の主な研究機関(参考資料2参照)

光科学技術の研究を実施している主要な大学及び大学共同利用機関には、東京大学、電気通信大学レーザー新世代研究センター、大阪大学レーザーエネルギー学研究センター、自然科学研究機構分子科学研究所などがある。独立行政法人等では、理化学研究所の播磨研究所においてS Pring - 8の共用を、中央研究所においてエクストリームフォトニクス研究等を行っており、日本原子力研究開発機構関西光科学研究所において光量子科学研究、放射光利用研究を行っている。これらの研究所規模のもので25ヶ所の研究拠点があるほか、研究室単位での活動は、多くの科学技術系の研究機関や理工系の大学に及んでいる。

我が国の主要な大型放射光施設及びレーザー施設は、次の通りである(表1.)。

表1. 主な大型放射光とレーザー施設

主な大型放射光施設	研究機関
S Pring - 8	理化学研究所播磨研究所 高輝度光科学研究センター
New SUBARU	兵庫県立大学
Photon Factory PFリング	高エネルギー加速器研究機構
Photon Factory PF-ARリング	高エネルギー加速器研究機構
UVSOR	自然科学研究機構分子科学研究所
SR Center	立命館大学
HiSOR	広島大学放射光科学研究センター
SAGA LS	佐賀県地域産業支援センター
主なレーザー施設	研究機関
超短パルス高出力レーザー	東京大学物性研究所
サブフェムト秒レーザー	理化学研究所中央研究所
高出力ファイバーレーザー・セラミクスレーザー	電気通信大学レーザー新世代研究センター
ベタワット級チタンサファイアレーザー	日本原子力研究開発機構関西光科学研究所
マルチビーム核融合爆縮用レーザー・高速点火用レーザー	大阪大学レーザーエネルギー学研究センター
自由電子レーザー	理化学研究所播磨研究所 日本原子力研究開発機構関西光科学研究所 東京理科大学 大阪大学大学院工学研究科

一方、光科学技術分野の研究者数については、我が国では光科学が専攻の教育分野として確立されておらず、独立の研究科もほとんど存在しないことから、統計的に正確に把握することは困難である。しかし、光物理学、光化学、光生物学などの基礎光科学から、電子工学、通信工学、計測工学、化学工学や医療応用、農業応用等の光利用技術までを考えれば、光科学技術を推進している主要な研究機関における当該分野の研究者数は、数万人程度と推計される。

(2) これまでの研究成果

我が国でも、S Pring - 8、X線自由電子レーザー(XFEL)など世界最高性能の大型研究施設の整備・開発が集中的に進められ、主に X 線領域の光を活用した多彩な利用研究が実施されている。

S Pring - 8

S Pring - 8を活用した利用研究では、肝臓がん原因たんぱく質等の立体構造の解明や、DNAの遺伝情報を伝達するメカニズムの解明等に関するライフサイエンス研究や、超伝導、強磁性の機構解明等に関する幅広い物質科学研究などで、めざましい成果が得られている。また、自動車排気ガス用インテリジェント触媒の実用化への貢献、高密度半導体や燃料電池の性能向上を目的とした研究開発など、産業利用も活発に行われている。さらに、過渡現象の測定や微小な集光が可能な極短パルスの次世代放射光への高度化等が現在検討されている。

X線自由電子レーザー(XFEL)

XFELについては、平成18年6月にレーザー発振に成功したプロトタイプ機をベースとし、平成22年度中の完成を目指して実機の製作が進められている。フェムト秒パルスの高輝度X線レーザー光により、たんぱく質の結晶化を要さない単分子構造解析をはじめ、原子レベルの超微細構造、化学反応の超高速動態・変化の瞬時計測・分析など、ライフサイエンス分野やナノテクノロジー・材料分野等の様々な科学技術分野に新たな研究領域を開拓するものと期待されている。

その他

これらの大型プロジェクトに加え、公的研究機関や大学の附属研究センターにおいて、高強度レーザーの研究開発及びその応用で世界をリードする先端研究が進められているほか、光の性質(波長、コヒーレンス、出力、パルス幅、繰返し数等)に特徴のある様々な光源の開発とその利用研究が幅広く行われている(参考資料3参照)。

特に日本で独自に開発された研究成果のうち世界を先導する例について以下に記す。

- 面発光型半導体レーザー
- フォトニクス結晶
- セラミクスレーザー素子
- レーザー加速
- 光触媒
- 光反応・光分子機能の研究
- ナノ構造体・超分子系等の光物性研究
- 光格子時計
- 量子テレポーテーション技術
- X線非線形光学

さらに、極短パルスレーザーを利用した化学反応の制御、新機能性材料の探索などの先駆的な基礎研究も行われており、我が国の光科学技術分野の基礎研究は、国際的に高い評価を得ているものもある。

(3) 今後の課題

これまで見てきたとおり、我が国では、SPring-8等を利用した世界最先端の研究成果が得られているほか、我が国独自の開発による面発光型半導体レーザーやセラミクスレーザー素子などの先進的な光の要素技術に関しては世界トップに立つものもあり、これらを用いたオリジナリティのある画期的な光源を開発するポテンシャルを持っている。

しかしながら、米国、ドイツ等の欧米先進国とは異なり、我が国では、光科学技術分野は政策的な柱とされておらず、SPring-8やXFEL等の整備・開発といった特定領域を除いてはこれを強力に推進するためのプロジェクトは存在しない。また、光科学分野は、幅広い分野に共通する重要分野でありながら、独立した学問領域として確立されているとは言い難く、光科学を標榜した教育研究科も希少である。

現状を見ると、日本全国に多くの光科学技術に関する研究者や研究機関が散在している状況であり、ネットワークの形成によるポテンシャルの結集が必ずしも十分に図られているとは言えない。さらに、既存の欧米製の光源を利用した研究は各重点分野で数多くなされているが、光の本質を熟知した上で最先端の光を十分に活用している研究者(ユーザー研究者)の数は決して多くはない。最先端の光を造り出す光科学技術分野の研究者とユーザー研究者との協力も多いとは言えず、結果として、関連分野のニーズが十分に反映されずに、光源開発や光の基盤的研究が個別になされている。

今後は、我が国の光科学技術及び関連分野の研究者が、各重点科学技術分野におけるニーズなどを十分に反映させつつ、光源開発を軸に光計測開発、ものづくり等を統合する柔軟な組織作りを行い、優秀な人材を集結して世界のトップを目指すことが求められている。

(4) 産業界における現状と課題

光産業の全世界市場規模を見ると、2002年に29兆円だったものが、2010年に60兆円、2015年に107兆円と拡大することが見込まれている。一方、日本国内の生産規模は、2002年に6兆円、2010年に13兆円、2015年に23兆円と拡大すると見込まれており、世界市場の20%強のシェア獲得が期待されている(財団法人光産業技術振興協会「光産業の将来ビジョン(2004年度)」より)。

また、国内の光産業の2006年度時点での雇用創出規模は、約14万人であると考えられる(同財団「光産業の動向(2006年度版)」をもとに推計)。

このように、産業界においては、光科学技術の導入が新しい産業を牽引するとの認識から、主力産業として光産業分野の振興を図ってきている。現に、光情報通信や太陽電池等の分野では、日本企業の国際競争力は極めて高い。また、日本の電機電子メーカーを見ても、炭酸ガスレーザーやエキシマーレーザー、発光ダイオード、通信用半導体レーザー等については、高い生産能力を維持している。

しかしながら、世界市場の動向を見ると、近い将来、より高効率・長寿命の高出力半導体レ

レーザーやこれを使ったファイバーレーザーが、炭酸ガスレーザー等に代わって主流を占めてくると予想されているが、我が国はこれらのレーザーについて世界市場で遅れを取っている。高出力半導体レーザーは、固体レーザー励起に最も適した光源であるため、産業用途のみでなく、光科学技術分野全般における光源開発にも不可欠である。多くの日本企業が、現時点では需要が低い将来性の高い先進的光源の開発について消極的であるため、将来的には、日本の光産業は世界市場における競争力を失ってしまいかねない。

先進的な光の要素技術に関してポテンシャルを持っている今、従来 of 取組に加えて、需要は低いが開発要素が多い先端研究用機器についても積極的な研究開発を推進すれば、長期的には、付加価値の高い先進的な光源や計測機器の開発における国際競争力の向上につながり、イノベーションを生み出す可能性が格段に向上する。

(5) 人材育成における現状と課題

光科学技術は、古典的な光学から分光学、量子力学、量子化学、更には量子エレクトロニクス、レーザー工学等へと展開し、物理学、化学、材料学、生物学、医学等を巻き込みつつ発展する、複合的かつ学際的な学問領域である。これを踏まえた知識の再整理や教育モデルの再構築が求められているが、多くの大学では、物理学、化学、電気・電子工学など既存の学問分野の一部として、光科学技術に関する教育がばらばらに行われている状況である。

これに対して、例えば米国では、アリゾナ大学光科学カレッジ等の教育研究拠点において、単に最先端の光科学技術の研究を推進するのみならず、これを系統的・体系的に学ぶための教育カリキュラムを充実させ、若手人材の育成にも注力している。

最近、我が国においても、東京大学、電気通信大学及び慶應義塾大学により、平成19年度から「先端レーザー教育研究コンソーシアム」が形成され、最先端の光科学技術を体系的に学ぶための教育モデルの構築が進められることとなったが、まだ一般化するに至っていない。

第3期科学技術基本計画では「モノから人へ」と人材育成に力点が置かれているが、大学理工系を見ると、工学系志願者数が10年間で半減するなど、若手人材の質と量の維持が極めて困難な状況となっている。そのような中で、光科学技術は、日常生活の中でもなじみ深い光を対象としているため、多くの若者を惹き付ける可能性のある魅力的な分野の一つである。このため、将来の科学技術人材の養成・確保という観点からも、その積極的推進が求められる。

今後、我が国でも、光科学技術の研究の推進とともに、大学及び大学院において、系統的・体系的な光科学技術の教育の実践を通じた若手人材の育成が求められている。

4. 先進的な光科学技術の研究

(1) 今後の研究開発における重点化の考え方

光科学技術研究を推進するにあたっては、研究開発体制を整備し、限られた財源の効果的・効率的な活用の観点から、研究開発課題の重点化が不可欠である。重点化にあたって、以下の点を考慮する必要がある。

- 我が国が、学術面または産業技術面で世界最先端レベルにあり、さらに強化を図るべき科学技術
- 我が国が、必ずしも強くはないが、その分野が特に重要と考えられるため、強化して国際競争力を確保すべき科学技術
- 今後、10年から20年後の学術的あるいは産業技術的に重要になると見込まれる科学技術

また、光科学技術が数少ない若手人材を惹き付ける可能性のある分野であることからすると、これらの研究開発課題の選定・実施にあたっては、若手人材の牽引力となるチャレンジの場を用意することが重要である。

この上で、重点的に取り組むべき課題を選定し、効率的に研究開発資金を投入することが必要である。

(2) 「新しい光」の開拓とその利用研究の推進

現在の光科学技術を更に進展させ、各重点科学技術分野における新たなイノベーションにつなげるためには、光の性質を今まで以上に高度化させた先進的な「新しい光」の開発と、これによって拓かれる利用研究等を積極的に推進することが必要である。これらの研究を推進するにあたり、計算機科学、理論解析を光科学技術の分野で十分活用する事も重要である。特に、スーパーコンピュータを活用して、光と物質との相互作用を包括的に模擬する計算モデルの構築を積極的に進め、光源設計や利用研究を支援する事が不可欠である。

以下に、「新しい光」によって実現が期待されるイノベーションの例を示す。

化学反応過程の解明と制御

小型・安価ながん治療装置、高輝度ガンマ線による非破壊イメージング・核廃棄物管理や核融合による新たなエネルギー

細胞レベルの診断や被曝することなく鮮明な透視画像で異物(危険物・腫瘍)が発見できる技術

様々な分野で利用可能なクリーンかつ省エネの光による加工技術

解読不可能な光暗号や超大容量・超高速の光情報処理技術

ライフサイエンス・光産業等に必要新たな結晶成長・ナノ粒子化の製法や光計測技術

以下に、これらのイノベーションの実現に向けた研究開発課題を示す。

「化学反応過程の解明と制御」に向けた研究

振幅や波形を整形した極短パルス光を物質に照射すると、光の状態(情報)が電子に移される。光によって電子状態を制御することで、原子間の結合状態を変化させ、特定の原子あるいは分子を解離させたり、新たな結合状態を起こしたりすることができる。これにより、従来の熱による化学反応では生じない、特定の化学反応や全く新しい化学反応を光で実現できることが期待される。このような方法が可能になると、光による新しい物質の創成という、広大な新分野が生まれる。

【研究の現状】

- エタノールなどの低分子の解離・結合過程の制御や、特定の電子状態の選択等について基礎的な研究が行われている。

【研究開発上の課題】

- 様々な状態(気体中、液体中、固体中、表面、界面等)における分子のエネルギー緩和現象の解明と化学反応の制御 等

【実現が期待される新たな技術等】

- 超分子系、生体系における複雑な反応の制御
- 有害な副産物の生成過程の解明・制御
- 光による新しい化学反応に関する概念の構築とこれに基づく新たな同位体分離法

【必要となる「新しい光」の開発】(図2・参照)

化学反応を司る電子の時間変化を調べるには、アト(10^{-18})秒領域の極めて短いパルス幅の光が必要である。周波数、位相、振幅、偏光が完全に制御された光を用いることにより、初めて化学反応の制御が可能になる。現在は、サブフェムト(10^{-16})秒のパルス幅を持つレーザー光が得られている。希ガス及び非線形光学結晶による非線形効果や、光速飛翔鏡(高密度プラズマでの反射)等によって、アト秒領域のコヒーレント光パルスに変換する方法が有望である。この光の波長は0.3~30nmのX線領域に相当するため、高性能なX線ミラーやX線回折格子、X線偏光子など、特殊なX線用光学素子についての開発を併せて行うことが重要である。

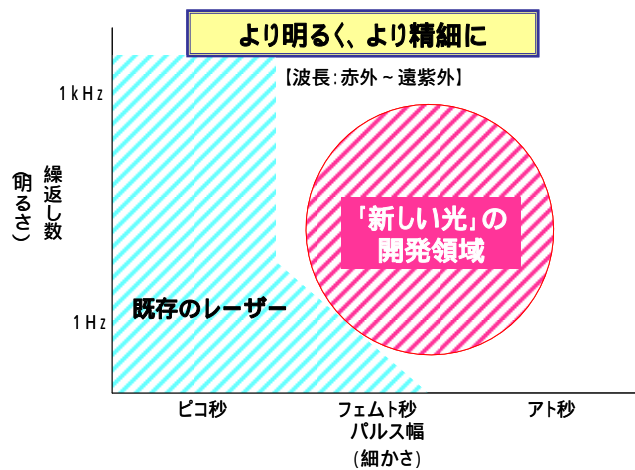


図2. 「新しい光」の開発領域 -

「小型・安価ながん治療装置、高輝度ガンマ線による非破壊イメージング・核廃棄物管理や核融合による新たなエネルギー」に向けた研究

高強度・短パルスのレーザー光を低密度の気体に集光すると、通常の加速器の加速限界 (10 MeV/m) を4～5桁も上回る極めて強い加速電場を生成できる。このため、加速器を大幅に小型化でき、従来の大型施設を用いることなく、小さな装置で電子・イオンの加速やX線、ガンマ線の発生が可能になる。これらの量子ビームは、高輝度、極短パルス、低エミッタンスなど、従来の放射線にない特徴を持っており、様々な分野における新たな活用が期待される。また、エネルギーの揃った高強度のレーザー光を集光することによって作り出される超高压・超高温の極限状態は、新たなエネルギーを生み出す核融合の開発に重要である。

【研究の現状】

電子の加速

- 長さ3 cmのレーザー加速で、1 GeVのエネルギーを持つ電子が生成されている。

量子ビームの発生

- 0.1 keV域の質の高いコヒーレントX線や、数10 eV～MeV域の広範囲における短パルスのX線が生成されている。
- 数10 MeVのエネルギーをもつ陽子線が生成されている。

極限状態の形成

- 地球内部の圧力の千倍・1億 の高圧・高温状態がレーザー核融合で生成されている。

【研究開発上の課題】

電子の加速

- 数10 cmの加速電場による10 GeV級の高エネルギー電子加速の実現 等

量子ビームの発生

- 通常見えないものや見た目では区別がつかないものを判別する高感度の光計測として、コヒーレントX線による高精細イメージング、従来に比べて数桁高い時間分解能を持つ EXAFS(Extended X-ray Absorption Fine Structure)高感度分析法、陽子線を用いたナノメートル領域の微小空間での高感度 PIXE(Particle Induced X-ray Emission)分析法の研究
- 原子炉を必要としない非破壊検査用の逆コンプトンガンマ線の発生技術の研究 等

極限状態の形成

- ペタパスカル(地球内部の圧力の一万倍)や10億 超の極限状態の形成、物質の改質、新たな状態の発現や新物質の創成の研究
- 惑星や星の生成・消滅に関する実験室での模擬実験による宇宙現象の解明 等

[実現が期待される新たな技術等]

電子・イオンの加速

- 数mの加速電場によるTeV級の高エネルギー電子加速や、GeV級イオン加速の実現

量子ビームの発生

- がん治療用重粒子線の実現
- 高輝度X線のがん治療等への応用や高輝度ガンマ線の核廃棄物管理への活用
- 量子ビームによる新規材料創成や微細加工技術の高度化

極限状態の形成

- 集光による強光子場の発生に伴う新しい現象の解明と制御
- 核融合エネルギー開発における高速点火方式の高度化の展開

[必要となる「新しい光」の開発](図3.参照)

この研究には、極めて高いピーク出力をもつ高い発生頻度(高繰返し)の超高強度レーザー光が必要である。現在は、チタンサファイアレーザーによりペタ(10^{15})ワット(世界の平均消費電力の数百倍)級のレーザー光が得られている。この場合、パルス光の繰返しは、数10秒に1回程度であり、また、電気からレーザー光への変換効率は、0.1%以下と小さい。利用研究の進展には、パルス光を10Hz(10回/秒)以上の高い繰返しで、10%程度の高い効率で発生できるペタワット超級の光源が不可欠であり、イッテルビウム(Yb^{3+})セラミクスを高効率の高出力半導体レーザーで直接励起したシステムが有望である。高出力半導体レーザーを用いた高い励起効率により、発振効率が向上できるとともに、我が国で開発されたレーザーセラミクスはレーザー結晶同様の優れた冷却特性をもつことから、高繰返し化が期待できる。

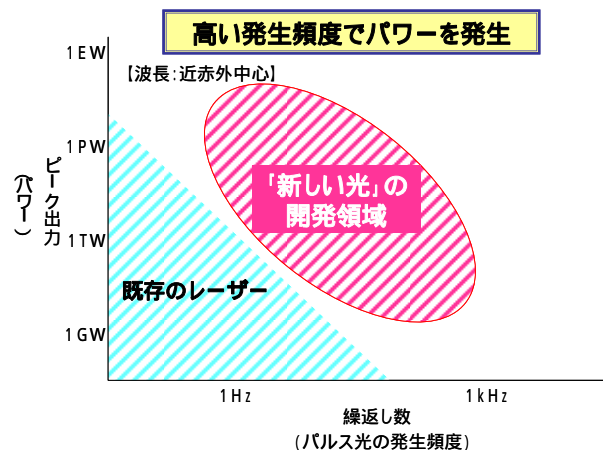


図3. 「新しい光」の開発領域 -

「細胞レベルの診断や被曝することなく鮮明な透視画像で異物が発見できる技術」に向けた研究

軟X線及びテラヘルツの遠赤外線の光が、現在の未踏波長の領域である。波長2～4nmの軟X線は「水の窓」とよばれ、微細な生体細胞の直接観察に適した波長領域である。使いやすい光源が実現されると、たんぱく質が合成される様子を直接観測するなど、生命科学に革新をもたらすと期待される。一方、テラヘルツ光は、生体高分子の構造解析や被曝のない安全な非破壊検査に用いられ始めており、小型装置で容易に発生できるので、その用途は大きく広がると予測される。

【研究の現状】

- X線レーザーによる結晶の構造変化が観測されているが、コヒーレント軟X線の利用はまだ限られている。
- 0.5～3THzの光が、郵便物の非破壊検査など、安全・安心に関わる分析装置用光源として利用されている。

【研究開発上の課題】

- 「水の窓」領域のコヒーレント軟X線の発生とこれを用いた生体細胞の動的観察
- 高強度のコヒーレントテラヘルツ光の発生
- 火災・漂流・雪山遭難時に早期に人物を捕捉できる救難センサーの開発 等

【実現が期待される新たな技術等】

- 分子の振動・回転状態計測に基づく、たんぱく質の構造解析や工業材料・医薬品の分析
- ダイオキシンなどの汚染物質や環境ホルモンを高感度に計測できる環境測定技術
- 細胞レベルの診断や光CT測定法等による病巣部の高感度イメージング

【必要となる「新しい光」の開発】(図4. 参照)

現在、約10nmの軟X線領域においてコヒーレントX線レーザーが、また、0.1~40THzの遠赤外のテラヘルツ光が得られている。

軟X線については、プラズマX線レーザーの短波長化と高繰返し化、高次高調波光の短波長化及び高出力化が必要である。テラヘルツ光については、実用に適した小型光源、量子カスケードレーザー、加速器等によるコヒーレントテラヘルツ光の生成など、多様な発生研究が期待される。

これとともに、がんの病巣部等だけを区別して示す選択的な蛍光標識の開発、さらに、高感度センサーや高精細の画像を得るために必要な補償光学系や画像処理法等の開発が重要である。

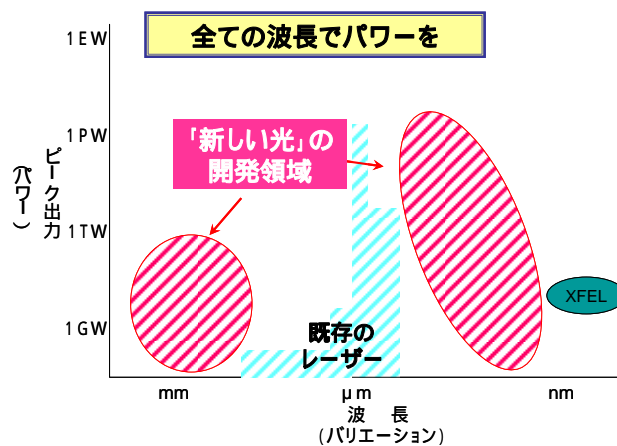


図4. 「新しい光」の開発領域 -

「様々な分野で利用可能なクリーンかつ省エネの光による加工技術」に向けた研究

レーザー光を集光し加工物を高温にして溶融加工する発熱加工技術の高度化とともに、極短パルスレーザー光による熱を伴わない非熱加工技術の確立が重要である。これらのレーザー加工技術は、従来の接触型の切断機や溶接機とは異なる非接触法であるため、消耗部分がなく粉塵等を最小限に抑えられるとともに、複雑形状や異種材料の加工に広く対応できる。さらに、高速の加工と加工時の消費エネルギーを低く抑えられることから、生産技術のイノベーションに不可欠な方法になりつつある。

【研究の現状】

- 発熱加工技術による金属の溶接、切断、表面改質、新材料の形成等が行われている。
- 極短パルスレーザー光による金属や半導体の非熱微細加工や応力ひずみ層の除去が行われている。
- 極短パルスレーザー光による透明材料中の非熱微細加工や新たな光学材料であるメタマテリアルの作製等に関する基礎研究が行われている。

【研究開発上の課題】

- 高効率・高指向性・高出力の半導体レーザーの開発
- 高出力の半導体レーザー励起ファイバーレーザーや固体レーザーなど、新たな小型・高効率・高出力レーザーの開発
- 極短パルスレーザー光と生体との相互作用など、新しい利用分野のための基礎研究 等

【実現が期待される新たな技術等】

- 生産技術のイノベーションの実現
- 極短パルスレーザー光を活用した広範な利用技術の普及

【必要となる「新しい光」の開発】

現在、発熱加工においては、主に炭酸ガスレーザー（発振効率：～2%、発振波長：10.6 μm）が用いられている。電気-光変換効率が70%以上の高出力半導体レーザーや、これによって励起されるYb³⁺ファイバーレーザー及び固体レーザー等は、高い発振効率、高寿命、狭い加工幅が可能なことから、加工に必要なエネルギーの消費をさらに小さく抑えることができる。現在の半導体レーザーの集光性を改善し、さらに高効率・高出力のレーザー光源に高度化する方法として、面発光型半導体レーザーとフォトニクス結晶を組合せた新たな技術が期待できる。このような高出力半導体レーザー励起のファイバーレーザーや固体レーザーは、非熱加工用の極短パルスレーザー光の発生にも活用することができる。

「解読不可能な光暗号や超大容量・超高速の光情報処理技術」に向けた研究

レーザー光を用いて原子を極低温に冷却すると、原子集団全体が、1つの物質の波として振舞うボーズ・アインシュタイン凝縮（BEC）状態が形成される。研究対象を分子や固体へ展開することにより、同様のBEC状態に基づく超伝導や超流動現象の解明、自然界には存在しない新しい物質状態の発現など、物性物理学や化学にとって革命的な進歩をもたらすことが期待される。さらに、量子力学特有の複数の状態が同時に生じる現象を自由に操作する技術は、量子暗号や大量の情報通信を可能にする量子情報処理など、光の潜在力を引き出す画期的な技術となる。

【研究の現状】

- 希薄な原子を用いたBECや、15桁の周波数精度をもつ次元光格子時計、3者間の量子もつれ制御が実現されている。
- 温度がミリケルビン台の分子ガスの冷却、冷却原子を用いた準安定分子のBECの実現、コヒーレント光と電子との相互作用によって生じた秩序のある状態の研究が行われている。

【研究開発上の課題】

- 絶対周波数で17桁の高い周波数精度をもつ光格子時計の達成と周波数標準器としての実現及びこれを用いた精密計測
- 極低温高密度のBEC状態の実現 等

【実現が期待される新たな技術等】

- 強相関系(互いに強く相関しあいながら運動する系)の物理現象に関する俯瞰的な理解と、これに基づく高温超伝導の機構解明や強相関電子系の新たな物理現象の創出
- 極低温の分子の特徴を活用した科学の開拓
- 光による高密度情報記憶、処理、高速光情報処理技術(量子コンピューター)の確立

【必要となる「新しい光」の開発】

この研究には、高い周波数安定性や、パルス毎の出力変動が極めて小さな光源とともに、様々な波長における、位相、出力、パルス幅等を完全に制御した光源が必要である。極短パルスレーザーを用いた周波数光コム技術により、これが可能となりつつあるが、さらなる高度化が必要である。また、この方法を広い波長領域に展開することにより、各種物質の極微量分析や、将来の異なる通信帯での多重光通信用の周波数標準としても活用が期待できる。周波数光コム技術をモード同期型のファイバーレーザーに組み合わせた光源は、利用研究に適した光源として期待できる。

「ライフサイエンス・光産業等に必要な新たな結晶成長・ナノ粒子化の製法や光計測技術」に向けた研究

分子やイオンの高濃度溶液に極短パルスレーザー光を照射すると、局所的・過渡的に過飽和状態が形成されて、微小な結晶が生成し、これを核として結晶が成長する。この日本独自の画期的な結晶成長法は、従来、結晶化が極めて困難であった dendritic、高分子、膜たんぱく質の結晶化に道を拓き、ライフサイエンス、材料化学を始め、広範囲の分野に大きなインパクトを与えるものと期待される。

また、高強度パルスレーザー光の照射は、不溶材料を可溶材料へと改質させる。不溶な固体の分散溶液を光照射すると、固体のアブレーションが起こり、ナノ粒子が生成され、飛散したナノ粒子は安定なコロイドとして可溶化する。このコロイドは、他の方法に比べて、サイズが小さく均一化できるとともに、可溶化させるための添加物を含まないといった特長をもつ。そのため、コロイドに関係する科学技術、コロイドを使う産業等に広く貢献するものと考えられる。

【研究の現状】

- 結晶化については、たんぱく質の高品質の結晶作製と結晶化のメカニズムについて少数のグループにおいて研究が行われている。

- ナノ粒子化については、各種色素、芳香族炭化水素、ナノカーボンなどの研究が始まっている。特に色素では、世界最小サイズの13nmが得られており、カラーフィルター、インク等への適用が検討されている。

【研究開発上の課題】

- イオン化・強電場・大振幅運動等を引き起こす新開発光源による新結晶化法やナノ粒子化法の検討
- 試料の純度、溶媒、温度等の各条件における結晶化・ナノ粒子化の検討
- レーザーの諸パラメーターに関する系統的な実験(コンビナトリアル化学)の実施
- マイクロ化学プラント化の実現に向けた検討 等

【実現が期待される新たな技術等】

- 結晶化させた dendrimer、高分子、たんぱく質の実現と電子工学、材料工学、光工学などへの活用
- 高品質のたんぱく質結晶を用いた高度解析情報による創薬産業への貢献
- 低コストのナノ粒子化技術によるセンサー、太陽電池、デバイス、フィルター、ディスプレイなどへの適用
- ナノ粒子化技術による抗がん剤や免疫疾患、骨粗しょう症等の治療薬の実現

【必要となる「新しい光」の開発】

現在は、エキシマーレーザー、固体紫外レーザー、及びフェムト秒のチタンサファイアレーザーを用いて研究が行われている。結晶の品質やナノ粒子のサイズは、照射するレーザー光のパラメーター(波長、光出力、繰返し数、パルス幅等)に強く依存する。この研究は緒についたばかりであり、パラメーターの依存性について、十分な研究が行われていない。結晶成長・ナノ粒子化を初め、材料開発には、これらのパラメーターを容易に変更できるとともに、安定なレーザー性能をもつ堅牢な光源が強く求められている。また、新しい結晶やナノ粒子の作製等につながる、新たな性能をもつレーザー光源の開発も不可欠である。広範な利用や実用的な観点から、良い性能を長く保持できるコンパクトな光源を作製し、安価に供給することも重要である。

以上の「新しい光」の特徴及び各分野で期待される利用研究の例について、下表にまとめる。

表2. 利用研究に必要な「新しい光」の分類

<p>● 極短パルス幅のレーザー光 ピコ秒～フェムト秒～アト秒のパルス時間幅をもつレーザー光。</p>
<p>高速の大容量光通信や化学反応の制御、物質製造や光加工、定量分析や環境計測、ナノ医療などに必要となる光源。</p>
<p>● 大強度のレーザー光 ピコ秒～フェムト秒の短いパルス時間幅ではあるが、ペタワット超級の非常に高い光の強度をもつレーザー光。</p>
<p>物質製造や非侵襲診断及びがん治療、非破壊検査や核融合エネルギーなどに必要となる光源。</p>
<p>● 未踏波長領域のコヒーレント軟X線レーザー光及び遠赤外線的光 波長2～4nmの「水の窓」領域の軟X線及びテラヘルツの遠赤外線的光。</p>
<p>細胞レベルの診断や、被曝のない透視検査などに必要となる光源。</p>
<p>● 高精度のレーザー光 高い周波数安定性や出力変動の小さなパルスレーザー光や、高い精度で位相制御されたレーザー光。</p>
<p>量子暗号、大容量光通信や高速光情報処理技術(量子コンピューター)、化学反応制御や定量分析、汚染計測、ナノ医療などに必要となる光源。</p>

表3. 各分野で期待される「新しい光」の利用研究の例

領域	「新しい光」を用いた利用研究
情報通信	量子暗号、大容量光通信、高速光情報処理(量子コンピューター)、光格子時計 など
ナノテクノロジー・材料	化学反応制御、物質製造、光加工、定量分析、非破壊検査 など
ライフサイエンス ・安全安心	細胞レベルの診断、非侵襲診断、がん治療、被曝のない透視検査、ナノ医療 など
環境・エネルギー	環境(水中、大気、宇宙)計測、核融合エネルギー など

5. 光科学技術の研究を推進するための新たな取組

前記の通り、光科学技術は他分野と融合することで新領域を開拓し、画期的イノベーションを誘発するものであることから、諸外国においても戦略的に光科学技術施策を展開しており、産学官の組織を越えた多様な分野の研究者・技術者との有機的連携を推進している。

今後、日本が欧米に遅れることなく光の分野でリードするためには、従来から実施しているSPring-8、X線自由電子レーザー(XFEL)などの開発・共用を一層推進するとともに、光科学技術分野のシーズと他分野のニーズとを結合させ、産学官の多様な研究者が連携・融合できる仕組みを構築する必要がある。具体的には、

- (1) 研究者、研究機関、産業界等のポテンシャルの結集による「新しい光」の開拓とその利用研究を展開すること
- (2) 光科学技術の研究を推進するための強力なプログラムを実施することが必要である。

また、文部科学省における光科学技術関係予算を見ると、大型研究施設であるSPring-8の共用及びXFELの開発・共用に要する経費は、年間約200億円を超えるまでに至っている。これに各種競争的研究資金や研究機関の運営費交付金などを加えると、我が国全体では、年間500億円程度になると考えられる。今後、平成22年度中の完成を目指したXFELの実機製作やその共用が進むこと、SPring-8の高度化等も必要であることに加えて、上記の新しい仕組みを構築する必要があることなどから、XFEL完成後も、当面の間、少なくとも現在と同規模(年間500億円程度)の投資を継続することが必要である。これにより、光科学技術の基礎から応用にわたる一貫した積極的な研究開発が推進できるとともに、政府全体としても多角的な取組を行い、産業界におけるイノベーションに向けた新たな研究開発への取組を牽引することができる。

- (1) 研究者、研究機関、産業界等のポテンシャルの結集(図5.参照)

光科学技術分野と他分野とのポテンシャルの結集を図るためには、光科学技術を強力に推進している複数の研究機関を中核として、光を使って利用研究に取り組んでいる研究機関や研究者、更には産業界等も参画したネットワーク型研究拠点の構築が重要である。特に、大学との連携においては、研究教育の相互交流を活性化し、次世代を担う人材育成を効果的に進める。

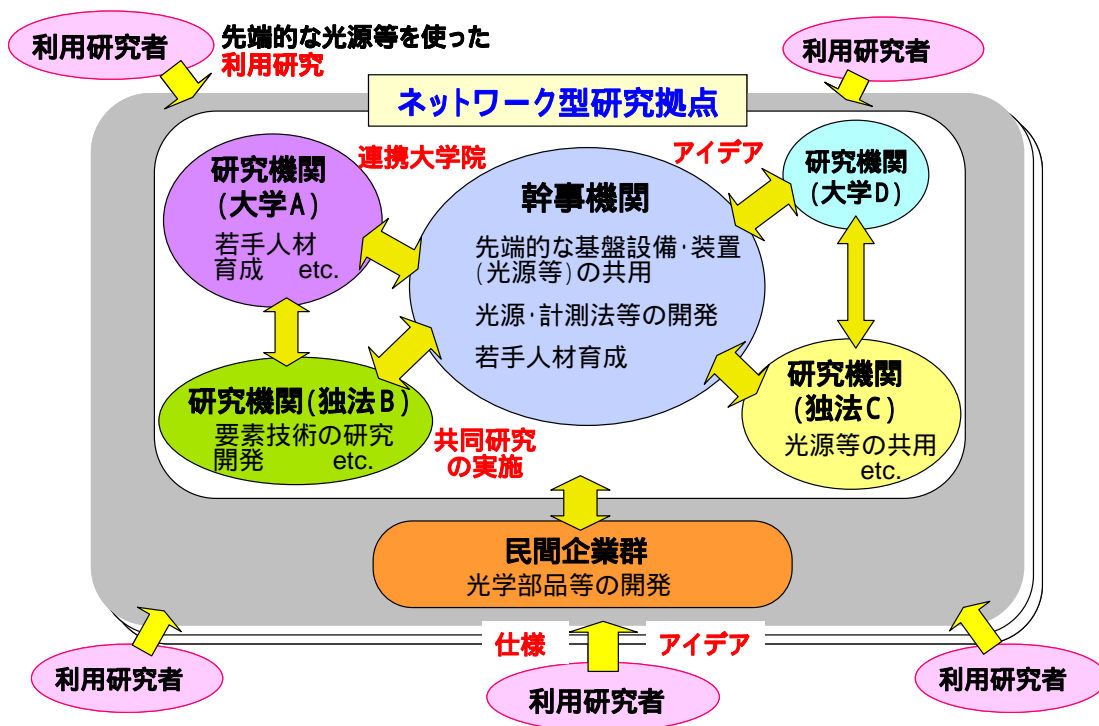


図5 . ネットワーク型研究拠点のモデル(案)

ネットワーク型研究拠点の目的

ネットワーク型研究拠点においては、大学、公的研究機関の光科学技術分野の研究者・技術者とともに、研究を支える光学メーカーや計測機器開発メーカー等の様々な分野の研究者・技術者が有機的に連携・融合し、オリジナリティのある光源を用いて先進的な制御・計測装置を開発し、利用研究に有用なツールの実現を目指す。

具体的には、光科学技術を強力に推進している複数の研究機関を中核として、

- 最先端の光を十分に活用できるユーザー研究者の開拓・養成
- これまでにない新しい光源・計測法等の研究開発を中心とした次世代の光科学技術研究の実施

を進めることとする。

ネットワーク型研究拠点における研究開発システム

ネットワーク型研究拠点では、最先端の光を十分に活用できるユーザー研究者群を開拓・養成することが重要であるため、基盤となる最先端光源等の設備や装置を整備・維持し、利用研究の用に供することとする。

また、「新しい光」を開拓するために行う、光源・計測法等の研究開発のフェーズに応じて、参画する研究機関や研究者を柔軟に変更できるような流動的研究システムを構築することにより、効率的な研究開発を行えるとともに、研究者の流動性や専門性の向上にも資することとなる。

人材育成及び新しい光科学という科学・学問領域の確立

ネットワーク型研究拠点では光科学技術分野及び光を利用する他分野のポテンシャルを結集した最先端の研究開発に取り組むため、これに参画する研究者にとっては、自己の研究能力を研鑽するまたとない機会となり得る。このため、ネットワーク型研究拠点では、特に、次代の光科学技術分野を担う若手研究者(ポストドクター、博士課程学生等)の積極的な育成が望まれる。

また、光源・計測法等の開発に不可欠となる光学素子作製技術を支えているのは、産業界で活躍する技術者や技能者である。このため、ネットワーク型研究拠点では、これらの技術者や技能者の技術の維持・高度化を図る。

さらに、これまで重点的に取り上げられなかった光科学について、光学、分光学、電磁気学、量子力学、量子化学、レーザー工学など、理学及び工学分野にまたがる新しい学問としての知識体系を系統的に整理するとともに、これを基に、標準的カリキュラム・モデルに基づく高等教育を展開することを目指す。これを基礎として、科学研究費補助金なども活用して、さらに裾野の幅広い応用分野への適用に必要な応用数学、計算機科学、光化学、光材料学、光物性学、光生物学、光医学、精密工学、制御工学等を含めた光科学・工学の新領域の確立をも目指す。

(2) 光科学技術の研究を推進するための強力なプログラム

前記のネットワーク型研究拠点の構築は、各研究機関や研究者の自助努力により進展することも重要であるが、このような自助努力によるネットワーク形成を一層促進し、他分野との連携・融合を強力に推進するためのスキームとして、以下の2つのプログラムに基づいた施策を提案する。

研究拠点の形成に必要な長期プログラム:「研究拠点公募型プログラム」及び現時点での光を使い尽くすプログラム:「研究テーマ公募型プログラム」の実施である。

「研究拠点公募型プログラム」

このプログラムの目的は、光科学技術分野の研究を推進している複数の研究機関を中核として、産業界、光の利用研究を実施している研究者・研究機関等も参画したネットワーク型の研究拠点を構築し、新しい光源・計測法等の研究開発や人材育成等を効果的・効率的に実施することにある。

本プログラムでは、自助努力によりネットワーク形成を進めてきた研究拠点による、以下の内容を含む提案を求める。

- a. 既存の光源等の最先端設備をユーザー研究者に提供するために整備・運営すること
- b. 欧米の機器・手法に追従することのない革新的な方法により、新しい光源・計測法等を研究開発すること
- c. 次代の光科学技術分野を担う若手人材の育成

特に、b.の新しい光源・計測法等の研究開発を進めるに当たっては、将来の設備完成に際し、直ちにこれらを有効活用して最先端の光の利用研究を実施できるようにするために、設計段階から、ユーザー研究者グループを巻き込んでおく必要がある。こうすることで、ユーザー研究者のニーズを十分に踏まえた光源等の研究開発に取り組むことができる。具体的には、以下のような視点を考慮した研究開発に取り組むこととする。

- 最先端の光科学技術を先導する「新しい光」を基礎から構築できる研究
- プロトタイプ機製作から本格装置開発に至る一貫したプロジェクト研究
- 「新しい光」の特性並びにこれによって発現する新現象の計測方法及び装置の開発を対象とした研究

また、新しい光源・計測法等を開発するに当たっては、既製品にはない性能をもった光学部品等の開発や、研究フェーズの光源や計測機器を、性能が安定した装置へと発展させる必要があるため、本プログラムへは民間企業の参画が不可欠である。民間企業との共同開発により、新産業創成などのイノベーションにもつながることが期待される。

さらに、本プログラムでは、革新的な方法や技術を導入した新しい光源・計測法等の研究開発に一から取り組むものであるため、5年を超える長期にわたる研究開発期間を要する。長期にわたるプロジェクトを発展的・効果的に推進するためには、研究開発期間を3段階に区分し、プロジェクトの途中段階であっても、随時、有効性の検証や研究の見直しを図ることとする。

「研究テーマ公募型プログラム」

このプログラムの目的は、各重点科学技術分野において光を利用している研究者が最先端の光源等を他に類のない方法で活用して、全く新しい研究の方向性や新領域の開拓にチャレンジすることにある。そのために、研究を推進するユーザー研究者が、最先端の光の発生原理や性能、計測法等に精通した光源開発者などの強力なサポートを得ながら、以下の視点を考慮して積極的な研究開発に取り組むこととする。

- 既存の光源等を独自に改良する、新しい利用法を考案するなどして、今ある最先端の光源等を徹底的に使い尽くしたユニークな研究。
- 光学素子の開発等の単なる要素技術開発に留まるのではなく、これらの要素技術を活用して新たなものを知る、創る、伝えるなどの具体的な研究。

従来のプログラムの推進では、シーズ側である光科学技術分野の研究開発者による光源・計測法等の研究開発プログラムとニーズ側である光のユーザー研究者による研究プログラムとが、それぞれ独立して実施されてきたケースが少なくない。しかしながら、これらのプログラムは、連携・融合して実施することによりもたらされるシナジー効果により、シーズ側及びニーズ側の双方にとって日本独自の革新的な研究成果をもたらすのみならず、産業技術面でも更なるイノベーションの創出につながると期待できる。

このため、上記提案の2つの異なるプログラムについても相互補完的に進めていく必要がある。また、「融合研究」を前提としたファンド条件の付加や、リスクの高いオリジナルな研究に我慢強く積極的にチャレンジできるような研究システムの実現を目指す。研究成果の継続的な創出のためにトライアル(芽だしと育成)型及びターゲット型研究を併せた柔軟な研究展開の対応ができるシステムについても考慮することが重要である。かかる観点から、従来とは異なるプログラムの推進運営体制を提案したい。

(3) プログラムの推進運営体制(図6.参照)

「研究拠点公募型プログラム」による光源・計測法等の研究開発と「研究テーマ公募型プログラム」による利用研究とを一貫してマネジメントするために、数名の研究総括(POs)を設置する。POsには、双方のプログラムのマネジメントに必要な強大な権限を付与する。POs(最大3名)は、ネットワーク型研究拠点の選定、ユーザー研究者による利用研究のテーマ選定、プロジェクト全体の運営を丹念に指導するとともに、各期におけるプロジェクトの中間評価も行う。このPOsの選定並びにプロジェクト終了時の事後評価については、産学官の外部専門家により組織されたプロジェクト評価委員会(仮称)が実施する。

また、プログラム評価に当たっても、光科学技術分野の研究機関及び研究開発者と他分野のユーザー研究者との連携・融合によりもたらされた、分野を越えた成果の波及や、社会経済へのインパクト等にも重点をおいてなされる必要がある。このため、単に論文数や特許出願数等といった既存の定量的評価項目に加えて、他分野への波及効果や社会経済へのインパクトなどをも考慮した新しい評価項目を検討する必要がある。

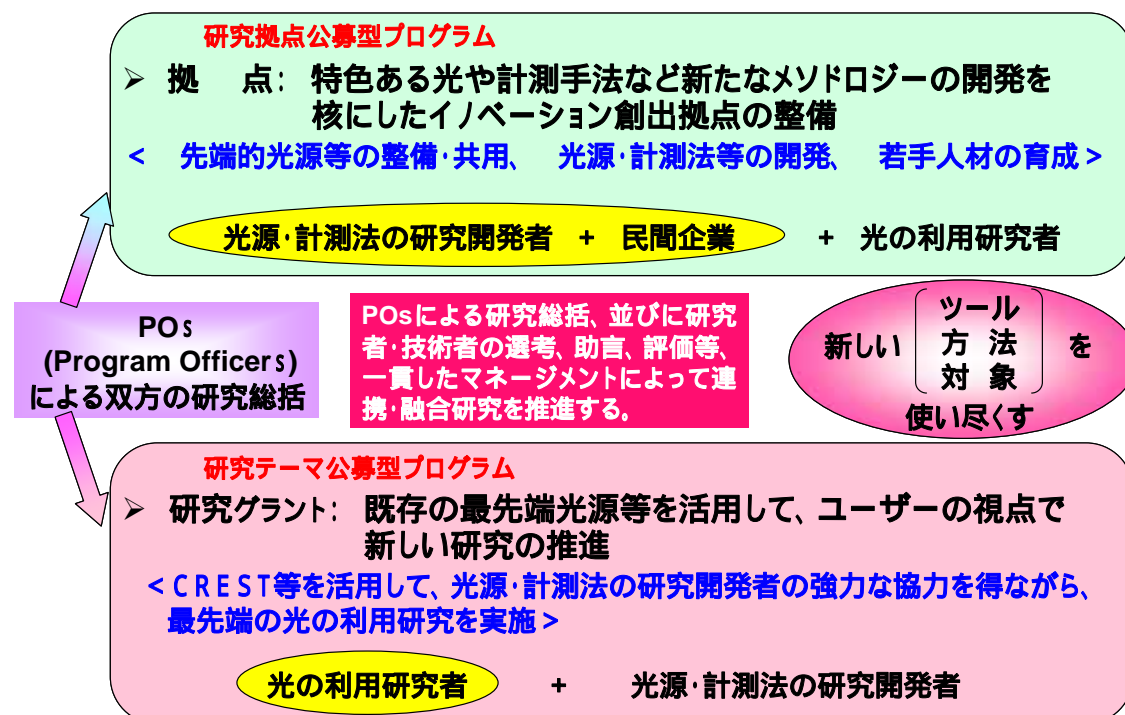


図6. 研究推進のスキーム(案)

光科学技術の推進に関する懇談会委員名簿

座長

加藤 義章 (独立行政法人日本原子力研究開発機構
量子ビーム応用研究部門長)

委員

伊藤 弘昌 (東北大学 大学院 工学研究科 客員教授)

植田 憲一 (電気通信大学 レーザー新世代研究センター長)

長我部信行 (株式会社日立製作所 基礎研究所長)

菅 博文 (浜松ホトニクス株式会社 中央研究所 取締役)

五神 真 (東京大学 大学院 工学系研究科 教授)

田中 一宜 (独立行政法人科学技術振興機構
研究開発戦略センター 上席フェロー)

増原 宏 (濱野生命科学研究所 21生命科学研究所
主席研究員)

緑川 克美 (独立行政法人理化学研究所 主任研究員)

三間 圀興 (大阪大学 レーザーエネルギー学研究センター長)

米倉 義晴 (独立行政法人放射線医学総合研究所 理事長)

(五十音順)

審議の経過

第1回 平成19年2月27日(火) 18:00～20:00

光科学技術の現状と今後について

その他

資料1 光科学の推進について(案)

第2回 平成19年3月14日(水) 18:00～20:00

今後の光科学技術施策の進め方について

その他

資料1 光科学技術の推進に関する御意見(案)

資料2 今後の光科学技術施策の進め方(案)

資料3 当面のスケジュール(案)

資料4 海外調査スケジュール

資料5 次回以降開催の御案内

第3回 平成19年4月9日(月) 16:00～18:00

今後の光科学技術施策の進め方について

その他

資料1 今後の光科学技術施策の進め方について(案)

資料2 諸外国の光科学技術研究の動向

第4回 平成19年4月26日(木) 16:00～18:00

今後の光科学技術施策の進め方について

その他

資料1 取りまとめ骨子案について

ノーベル賞等の革新をもたらす研究例

ノーベル物理学賞

2001年

受賞者: K・ワイマン(アメリカ)、W・ケターレ(ドイツ)、E・コーネル(アメリカ)

受賞理由: 希薄なアルカリ原子のガス中でのボーズ・アインシュタイン凝縮の実現と凝縮の性質の基礎的な研究

2002年

受賞者: 小柴昌俊(日本)、レイモンド・デービス(アメリカ)

受賞理由: 天体物理学、特にニュートリノの検出へのパイオニア的貢献

関連技術: 光電子増倍管

2005年

受賞者: ロイ・グラウバー(アメリカ)

受賞理由: 光のコヒーレンスの量子理論への貢献

受賞者: ジョン・ホール(アメリカ)、テオドール・ヘンシュ(ドイツ)

受賞理由: 光周波数コム技術を含めたレーザー光による精密分光技術の発展への貢献

2006年

受賞者: ジョン・マサー(アメリカ)、ジョージ・スムート(アメリカ)

受賞理由: 宇宙背景放射の黒体放射スペクトルと異方性の発見

ノーベル化学賞

1995年

受賞者: R・クルツェン(ドイツ)、M・モリーナ(アメリカ)、S・ローランド(アメリカ)

受賞理由: オゾン層が窒素酸化物やフロンガスによって破壊されることの発見

関連技術: 大気中の微量成分を計測するためのレーザー分光手法

1996年

受賞者: R・カール(アメリカ)、R・スモーリー(アメリカ)、H・クロート(イギリス)

受賞理由: サッカーボール型C₆₀フラーレンを発見、電子素材の可能性を開いた功績

関連技術: レーザー蒸着クラスター分子線装置

1999年

受賞者: A・H・ズベイル(アメリカ)

受賞理由: 化学反応の超短時間解析時間の開発(フェムト秒レーザー化学)

2002年

受賞者: 田中耕一(日本)、ジョン・B・フェン(アメリカ)

受賞理由: 生体高分子の同定及び構造解析のための手法開発、特に生体高分子の質量分析のための温和な脱着イオン化法の開発

関連技術: ソフトレーザー脱着法

その他の革新的研究・技術の例

青色半導体レーザーの開発(中村修二)

フォトニクスファイバーの開発

レーザー加速研究(M・ドウソン、田島俊樹)

酸化チタン光触媒の研究および水の太陽光分解研究(藤嶋 昭)

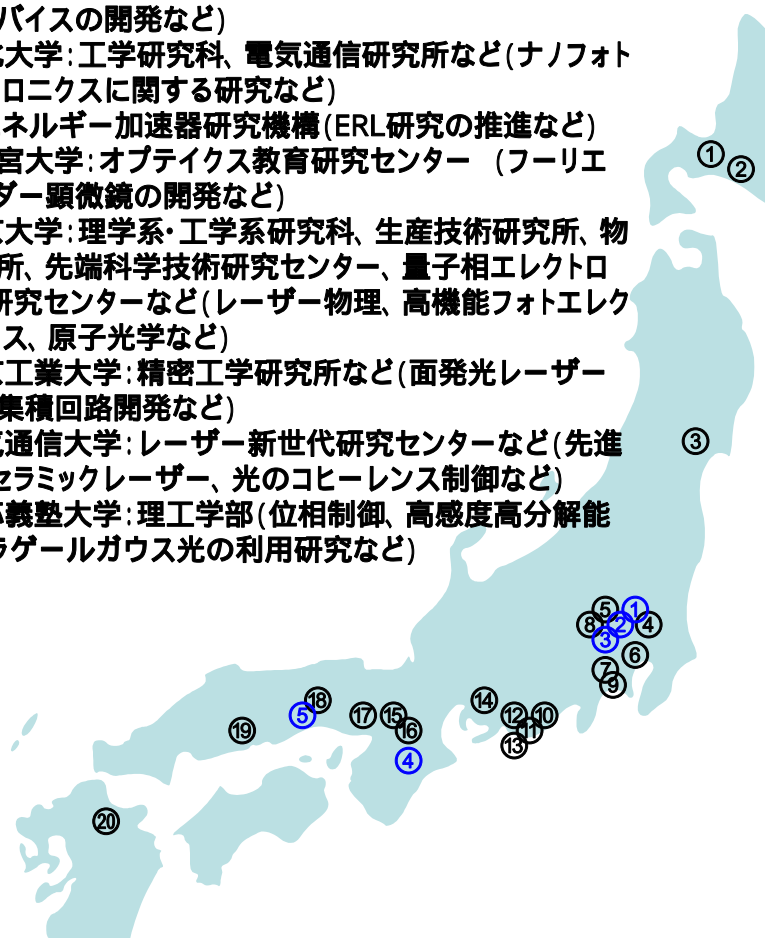
重力レンズ効果測定技術

ミリ波サブミリ波天体観測用干渉測定技術 など

光源開発を中心とした光科学技術の研究を実施の主な研究機関

北海道大学:電子科学研究所など(ナノフォトニクスに関する研究)
 千歳科学技術大学:光科学部(有機光材料の分子設計や光デバイスの開発など)
 東北大学:工学研究科、電気通信研究所など(ナノフォトエレクトロニクスに関する研究など)
 高エネルギー加速器研究機構(ERL研究の推進など)
 宇都宮大学:オプティクス教育研究センター(フーリエ光レーザー顕微鏡の開発など)
 東京大学:理学系・工学系研究科、生産技術研究所、物性研究所、先端科学技術研究センター、量子相エレクトロニクス研究センターなど(レーザー物理、高機能フォトエレクトロニクス、原子光学など)
 東京工業大学:精密工学研究所など(面発光レーザー等の光集積回路開発など)
 電気通信大学:レーザー新世代研究センターなど(先進光学、セラミックレーザー、光のコヒーレンス制御など)
 慶応義塾大学:理工学部(位相制御、高感度高分解能分光、ラゲールガウス光の利用研究など)

静岡大学:電子工学研究所など(中赤外光デバイス開発、短パルスレーザー加工など)
 浜松医科大学:光量子医学研究センターなど(光量子ビームによる医療応用研究)
 光産業創成大学院大学(高機能レーザー加工の基盤技術開発など)
 自然科学研究機構分子科学研究所:分子制御レーザー開発研究センターなど(マイクロチップレーザー研究、光による分子制御など)
 名古屋大学:工学研究科など(ライダー研究など)
 京都大学:工学・理学研究科など(高品位量子ビームの発生研究など)
 立命館大学:放射光生命科学研究センターなど(シンクロトロン放射光を用いた先端的研究)
 大阪大学:レーザーエネルギー学研究センターなど(核融合用レーザーの研究など)
 兵庫県立大学:高度産業科学技術研究所(放射光とレーザーによる新光源の開発とこれを用いた利用研究、電子蓄積リングの高度化研究)
 広島大学:放射光科学研究センター(大強度放射光による高分解能光電子分光研究など)
 九州大学:総合理工学府など(機能性分子・高分子の光電子特性研究など)



黒:大学・大学共同利用研究機関
 青:公的研究機関

産業技術総合研究所(レーザーデバイス開発、極短パルスレーザープロセス研究など)
 理化学研究所:中央研究所(エクストリームフォトニクス研究の推進)
 情報通信研究機構(量子ドット等光通信デバイス開発など)
 日本原子力研究開発機構:関西光科学研究所(高ピーク出力レーザーによる光量子ビーム発生研究など)
 理化学研究所:播磨研究所(SP-8放射光による先端研究)

日本国内の光科学技術の研究ポテンシャルマップ(光源開発)

	高出力化	短パルス化・波形整形	波長領域の拡大	高繰り返し化 周波数安定化 コヒーレンスの向上	要素技術開発	光源の小型化・操作性の向上
気体レーザー (エキシマー、 CO ₂ 、 ヨウ素レーザー)	・ギガフォトン:リソグラフィー用ArFエキシマーレーザーの開発 ・東海大 理学部:高出力COILレーザー・TEACO ₂ レーザーの開発		・千歳科学技大 光科学部:非線形結晶による気体レーザーの波長変換		・長岡科技大 極限エネルギー密度工学研究センター:エキシマーレーザー用パルスパワー電源の開発	
色素ポリマー レーザー					・九州大 総合理工学府:高分子レーザーの開発 ・千歳科技大 光科学部:固体化色素レーザーの開発 ・信州大 繊維学部:有機色素レーザーの開発	
固体レーザー (結晶)	・原子力機構:チタンサファイア超高強度レーザーの高度化 ・大阪大 レーザーエネルギー学研究センター:Nd:YAGレーザー高出力化(EUVリソグラフィー用光源開発) ・浜松ホトニクス・大阪大 レーザーエネルギー学研究センター:LD励起全固体レーザーの高出力化 ・東工大 理工学研究科:太陽光励起のYAGレーザー開発 ・理研・国立天文台:ガイド星生成用レーザー開発	・原子力機構・大阪大 レーザーエネルギー学研究センター:OPCPAレーザーの開発 ・理研 中央研究所:高次高調波サブフェムト秒パルスの発生 ・東京大 物性研究所:サブフェムト秒パルス光の発生 ・京都大 エネルギー理工学研究科:サブフェムト秒のパルス発生用超短パルス高強度レーザーの開発 ・原子力機構:サブフェムト秒パルス光の発生とその応用 ・名古屋大 工学研究科:超短パルスファイバーレーザーの開発 ・電気通信大 レーザー新世代研究センター:周波数位相共役による時間反転パルス光に関する研究	・産総研 光技術研究部門:可視・近赤外フェムト秒パルス発生 ・京都大 エネルギー理工学研究科:極短波長化技術の研究 ・古川機械金属・千葉大 工学部:高出力全固体黄色レーザー開発		・原子力機構:レーザー結晶の接合技術 ・高輝度光科学研究センター 加速器部門:デフォーダブルミラー制御によるビーム整形	・分子研 分子制御レーザー開発研究センター:マイクロチップレーザーの開発
固体レーザー (セラミクス)	・電気通信大 レーザー新世代研究センター:セラミクスレーザーの開発 ・分子研 分子制御レーザー開発研究センター:セラミクスレーザーの開発 ・大阪電気通信大 電子情報通信工学科:セラミクスレーザー媒質を用いたレーザー開発				・神島化学:レーザー用透明YAG等セラミクスの合成研究 ・ワールドラボ:レーザー用セラミクス(YAG、Y ₂ O ₃)素子の開発 ・東芝セラミクス:単結晶に匹敵する光学的特性を有する透明多結晶セラミクスの開発	
固体レーザー (ガラス)	・大阪大 レーザーエネルギー学研究センター:核融合用高エネルギーレーザー、高速点火用レーザー開発			・原子力機構:X線レーザー用高繰り返しガラスレーザーの高繰り返し化		

日本国内の光科学技術の研究ポテンシャルマップ(光源開発)

	高出力化	短パルス化・波形整形	波長領域の拡大	高繰り返し化 周波数安定化 コヒーレンスの向上	要素技術開発	光源の小型化・操作性の向上
固体レーザー (ファイバー)	・電気通信大学 レーザー新世代研究センター:ファイバーレーザーの開発 ・浜松ホトニクス:ディスク形状によるファイバーレーザーの高出力化 ・ミヤチテクノス:溶接用ファイバーレーザーの開発 ・フジクラ 光電子技術研究所:レーザーマーカや金属切断・溶接用のファイバーレーザーの開発	・名古屋大 工学研究科:超短パルスファイバーレーザーの開発			・慶応大 理工学部:プラスチック光ファイバーの研究 ・産総研 計量標準総合センター:光ファイバーパワー標準に関する研究	
フォトニック結晶	・京都大 工学研究科:面発光LDレーザー出力の増大に関する研究等 ・北海道大 情報科学研究科:新しいフォトニックファイバーの開発 ・東北大 工学研究科:新規フォトニック結晶の開発 ・東京大 生産技術研究所:超低しきい値フォトニック結晶レーザーの開発		・京都大 工学研究科:短波長材料(InGaN/GaN系)への展開 ・大阪大 接合科学研究所:テラヘルツ波制御材料への応用		・九州大 先端物質化学研究所:光応答性フォトニック結晶の開発 ・宇宙航空機構・富山大・名古屋市立大・浜松ホトニクス・富士化学・物材機構:宇宙での3次元フォトニック結晶育成技術開発 ・筑波大 TARA:フォトニック結晶と量子ドットの光集積技術 ・慶応大 理工学部:フォトリソリマーの研究	・横浜国大 電子工学研究科:半導体フォトニック結晶による超小型ナノレーザーの開発
非線形結晶			・大阪大 工学研究科:非線形光学結晶CLBO等の高品質化と高出力紫外光発生 ・東北大 電気通信研究所:ドメイン制御型非線形結晶による高効率、広帯域な波長変換		・物材機構 光材料センター:2重増埒法による定比組成LN、LT結晶及びこれを用いたMgO添加PPLN結晶等の開発	
テラヘルツ光源			・名古屋大 工学研究科:テラヘルツ用光源の高度化 ・東北大 電気通信研究所:量子カスケードレーザーの開発	・分子研:コヒーレントテラヘルツの開発 ・大阪市立大 理学部:コヒーレントパルステラヘルツ波の発生機構	・理研 フォトダイナミクス研究センター:テラフォトリソ用光源の開発	

日本国内の光科学技術の研究ポテンシャルマップ(光源開発)

	高出力化	短パルス化・波形整形	波長領域の拡大	高繰り返し化 周波数安定化 コヒーレンスの向上	要素技術開発	光源の小型化・操作性の向上
半導体レーザー(LED)	・東工大 精密工学研究所:完全単一モード面発光レーザーと2次元レーザーアレイの開発		・日亜化学工業・シャープ:青紫色半導体レーザーの開発 ・住田光学ガラス:青色半導体レーザーと波長変換用光ファイバーを組み合わせた白色光源の開発 ・理研:深紫外半導体レーザーの開発	・東北大 未来科学技術共同研究センター:半導体レーザーを用いた超広帯域コヒーレント光源の開発 ・日立 中央研究所:高速動作が可能なGaNAs半導体レーザーの研究	・産総研 ナノテクノロジー研究部門:半導体レーザーへの応用可能な螺旋構造を有する液晶性有機半導体の開発 ・慶応大 理工学部:有機半導体レーザーの開発	・金沢大 工学部:GaN系青色半導体レーザーの戻り光雑音の低減化及びモード解析の研究 ・京都大 工学研究科:自由形状のビームが可能な半導体レーザーの開発
X線レーザー	・理研:高次高調波によるコヒーレント軟X線レーザーの開発 ・東京大:高出力レーザーによる高密度プラズマを用いた軟X線レーザーの開発 ・原子力機構:過渡励起方式プラズマX線レーザーの開発 ・東工大:キャピラリー放電励起軟X線レーザーの開発			・原子力機構:ダブルターゲットによる完全コヒーレントレーザーの開発 ・豊田工業大 電子情報分野:高繰り返し小型X線レーザーの開発		
自由電子レーザー(FEL)	・原子力機構:エネルギー回収型FELの開発	・東京大 工学系研究科:フェムト秒FELの発生	・理研 播磨研究所:X線FELの開発 ・大阪大 産業科学研究所:赤外FELと短波長FELの開発 ・兵庫県立大:テラヘルツ領域FELの発生	・分子研:リング型UVSORによるFELの開発	・東京理科大:赤外FELの高性能化	
ガンマ線発生			・原子力機構・大阪大・兵庫県立大・国立天文台:ニュースバル施設での逆コンプトン線発生及び核物理研究 ・産総研:蓄積リングTERASを用いた逆コンプトン線の発生 ・Spring-8:レーザー電子光施設LEPSでの逆コンプトン線発生		・東京大 生産技術研究所・産総研:逆コンプトン線によるコンクリートのラジオグラフィ ・甲南大 自然科学研究科:レーザー逆コンプトン線を用いた光核宇宙物理の研究	

日本国内の光科学技術の研究ポテンシャルマップ(利用研究)

(1/7)

	ライフサイエンス	環境	IT(情報通信)	ナノテク・材料	物性・加工	エネルギー	宇宙・高エネルギー物理	基礎研究	光学
光の本質に関する研究			・東北大 電気通信研究所: 光ソリトン伝送・光無歪み伝送に関する研究			・京都大 エネルギー工学研究所: 高機能な光エネルギーの発生・制御・利用	・大阪大 レーザーエネルギー工学研究センター: 超短パルス高出力レーザーによる実験室宇宙物理の理論、シミュレーション研究 ・電気通信大学 レーザー新世代研究センター: Warm dense matter(高電子密度かつ低電子温度物質)に対する物性研究	・大阪大 工学研究科: レーザーアブレーション機構の解明 ・東京大 工学系研究科: ポースアインシュタイン凝縮の研究 ・東京大 工学系研究科: レーザー冷却による光格子時計研究 ・電気通信大 レーザー新世代研究センター: レーザー冷却・トラッピングに関する研究	・慶応大 理工学部: 高感度高分解能分光、ラゲールガウス光の利用研究 ・日本大 量子科学研究所: 無相互作用測定(ほぼ100%の確率で光を照射することなしに、物体の存在、形状を認識する方法)の研究
光エレクトロニクス		・理研: 有害物質の高速分解処理のための深紫外LED光源	・東北大 電気通信研究所: テラヘルツ波帯の情報通信計測システムへの応用研究開発 ・大阪電気通信大 情報通信工学部: 光通信デバイスの開発 ・東京大 生産研究所、日立中央研究所: 波長分散を補償するフォトニック結晶の開発 ・産総研 光技術研究部門: 繰返し情報の書き換えができるホログラフィック・メモリの開発	・東京大 先端科学技術研究センター: ナノフォトニックデバイスの開発 ・大阪電気通信大 エレクトロニクス基礎研究所: 光電子量子デバイスの開発 ・東京大 工学系研究科: ナノフォトニクスを用いた計測、加工、ストレージ、光機能デバイスの研究 ・NTT 物性科学基礎研究所: 光蓄積及び遅延する光フォトニクスの開発	・九州大 理工学府: 有機・高分子材料の光機能性に関する研究	・宇宙航空機機構 総合技術研究本部: 太陽光エネルギー利用のための研究(静止衛星で収集した太陽光のマイクロ波やレーザー光への変換技術、光伝送技術等) ・産総研 太陽光発電センター: 非シリコン系太陽電池の省エネ型素子の開発		・分子研・トヨタ 中央研究所・デンソー・日本自動車部品総合研究所: マイクロチップレーザーによるエンジン点火の研究 ・筑波大 数理物質科学研究科: 多量の欠陥を有する青色発光ダイオードの高輝度発光メカニズムの解明	・理研 中央研究所: 境界面での反射を完全に取り除いたメタマテリアル光学素子の開発
スピントロニクス			・東工大 精密工学研究所: 大容量光通信、光データストレージ、並列光情報処理のための新マイクロデバイス及びシステムの研究 ・日立製作所 基礎研究所: ストレージを目的としたスピントロニクス研究	・東北大 電気通信研究所: 半導体スピントロニクスの研究開発				・理研 播磨研究所: 電子のスピントロニクスがもたらす構造と金属絶縁体転移などの物質機能の研究 ・産総研 強相関電子技術研究センター: スピン超構造による電子の位相変化発現の理論構築及び実証。テラヘルツ域のスピントロニクスの超高速制御の研究	

日本国内の光科学技術の研究ポテンシャルマップ(利用研究)

(2/7)

	ライフサイエンス	環境	IT(情報通信)	ナノテク・材料	物性・加工	エネルギー	宇宙・高エネルギー物理	基礎研究	光学
光化学	<ul style="list-style-type: none"> 大阪大 工学研究科: レーザーを駆使した細胞内反応場への機能導入及び計測の研究、極小場化学の研究 京都大 地球環境学舎: 光合成のエネルギー変換系のメカニズムや有用な光合成微生物資源の探索 奈良先端大 物質創成科学研究科: 癌治療用の高効率DNA光切断機能を有するC70含有リボソーム等の新材料開発 理研: 新しい蛍光たんぱくの開発 	<ul style="list-style-type: none"> 神奈川科学アカデミー: 光触媒による高効率太陽光エネルギーの変換の研究 東京理科大: 人工光合成のための光触媒研究 九州大 先端物質化学研究所: エキシマーレーザーによるNO_xの分解処理研究 大阪府立大 工学研究科: リサイクル用高分子の光劣化と安定化機構の研究や廃プラスチックの処理技術 富士通研究所: 酸化チタン以上の光触媒機能を有する新光触媒の開発 		<ul style="list-style-type: none"> 東京大 先端研: 超高感度光触媒の研究 大阪大 産業科学研究所: 光機能界面の反応機構に関する研究 首都大学東京: ナノ階層構造における光機能の研究 	<ul style="list-style-type: none"> 原子力機構: 表面化学反応を用いた原子・分子レベルでの制御による表面・薄膜の創製 分子研: 分子運動の量子状態操作法の研究 	<ul style="list-style-type: none"> 三菱商事・東工大 統合研究院: 太陽励起レーザーによるマグネシウム燃料の分解を応用した無公害新エンジンの開発 東京理科大 理学研究科: GaN半導体結晶の光触媒機能を利用した水からの水素製造の研究 		<ul style="list-style-type: none"> 大阪大 産業科学研究所: 反応制御化学の手法を用いた新しいビーム機能化学の研究 海洋機構 横浜研究所: 大気ガスの光化学反応と輸送に関する研究 理研: サブフェムト秒分子ダイナミクス 	
レーザー加速							<ul style="list-style-type: none"> 原子力機構: 高強度レーザーによる高品質電子ビーム発生や加速の研究、レーザー電子加速やイオン加速のシミュレーション研究 電力中央研究所: レーザーによるイオン加速 東京大 工学系研究科: レーザー電子加速の研究 		
高効率波長変換技術	<ul style="list-style-type: none"> 理研: 多光子顕微鏡のための広帯域白色光源開発と利用研究 		<ul style="list-style-type: none"> 東京大 新領域創成科学研究科: 光ファイバ通信およびセンシング用光ファイバレーザー、光ファイバー回折格子、波長変換デバイス、波形再生デバイスの研究 		<ul style="list-style-type: none"> 大阪大 工学研究科: テラヘルツ波応用のための有機非線形光学結晶開発 	<ul style="list-style-type: none"> 大阪大 レーザーエネルギー学研究所: KDP結晶の開発 		<ul style="list-style-type: none"> 理研 中央研究所: 高次高調波の発生に関する研究 	<ul style="list-style-type: none"> 中央大 理工学部: 半導体化合物の2次非線形光学定数の精密測定

日本国内の光科学技術の研究ポテンシャルマップ(利用研究)

(3/7)

	ライフサイエンス	環境	IT(情報通信)	ナノテク・材料	物性・加工	エネルギー	宇宙・高エネルギー物理	基礎研究	光学
欠陥の少ない結晶成長技術の開発	・群馬大 工学部:光による有機結晶制御およびたんぱく質の光誘起核形成に関する研究			・物材機構:定比LiNbO ₃ 、LiTaO ₃ の高品質結晶育成及び周期反転型波長変換素子、光変調器等の開発 ・理研:深紫外LD/LEDの高効率化研究	・東北大 金属材料研究所:光・電子デバイスの結晶成長の研究 ・徳島大 工学部:結晶成長機構の実験及び計算機シミュレーション研究 ・豊橋技術科学大 電気電子工学科:新しい有機化合物を用いた窒素系化合物半導体のMBE成長と反応・成長機構の解明	・大阪大 レーザーエネルギー学研究中心:KDP結晶の開発			
フォトニック結晶の開発			・大阪大 接合研究所:フォトリソグラフィの創製、ギガヘルツ及びテラヘルツ波制御材料への応用研究	・京都大 工学研究科:3次元フォトニック結晶の開発、フォトニック結晶を用いた光回路の設計等の研究 ・佐賀大 理工学部:ナノ構造、フォトニック結晶形成に不可欠な基本プロセスに関する研究 ・九州大 先端物質化学研究所:光応答性フォトニック結晶、ナノ磁性材料などの開発					
近接場光を利用した極微細構造の分析・評価・微細加工等	・理研:近接場光による細胞内の一分子イメージングの研究		・産総研 近接場光応用研究センター:近接場光の新応用技術の発掘を目指した研究(光ディスク原盤作成のための微細加工法の研究、X線リソグラフィによるナノ光学素子の評価研究)	・産総研 近接場光応用工学研究センター:光ディスク原盤作成のための微細加工法の研究、X線リソグラフィによるナノ光学素子成評価研究 ・東京大 工学系研究科:伝搬光では原理的に不可能な形態の光デバイス機能、微細光加工を近接場光により実現	・理研:近接場ラマン分子イメージングの研究				
近接場光顕微鏡	・奈良先端技術大 情報科学研究科:生体分子イメージング法の研究 ・浜松医科大 量子医学研究センター:エバネッセント波蛍光法を用いた細胞の生理学と病理学を研究			・分子研:近接場光学顕微鏡を用いた動的挙動(時間変化)の観測(例:金のナノロッドに生じるプラズモンの波動関数観測) ・大阪大 工学研究科:近接場顕微鏡分光顕微鏡の改良及び利用研究					

日本国内の光科学技術の研究ポテンシャルマップ(利用研究)

(4/7)

	ライフサイエンス	環境	IT(情報通信)	ナノテク・材料	物性・加工	エネルギー	宇宙・高エネルギー物理	基礎研究	光学
量子井戸レーザー開発のための量子ドット作成技術			<ul style="list-style-type: none"> 産総研 光技術研究部門: 高密度かつ高均一な量子ドットの作成及びこれを利用した通信用半導体レーザーの開発 筑波大 先端課学際領域研究センター: フォトニック結晶と量子ドットのナノ構造による超高速・光信号処理デバイス用光集積技術の研究 東京農工大 共生科学技術研究院: 量子ドットレーザーのデバイス設計の最適化 	<ul style="list-style-type: none"> 東京大 生産技術研究所: 量子細線や量子ドットなどの半導体ナノ構造における新しい物性物理の探索、及び次世代ナノフォトニックデバイスの研究開発 理研: 深紫外量子ドットLEDの開発 					
光ピンセット	<ul style="list-style-type: none"> 兵庫県立大 連携大学院 生体分子超精密計測学講座: 光ピンセットによる生体微細粒子の捕捉に関する研究 名古屋大 医学研究科: 光ピンセットによる膜分子の運動解析の研究 			<ul style="list-style-type: none"> 大阪大 工学研究科: レーザーマニピュレーション技術の開発 					<ul style="list-style-type: none"> 立命館大 理工学部: 光圧回転技術の応用研究 原子力機構: 軟X線顕微鏡下でのハンドリングのための光ピンセット技術の開発
超高速科学			<ul style="list-style-type: none"> NEC 筑波研究所: 次世代のスパコン内のチップ間光配線に不可欠な超高密度実装技術の開発 		<ul style="list-style-type: none"> 京都大 理学研究科: 時間分解レーザー分光法を用いた分子の構造や反応機構等のダイナミクスの研究 東工大 応用セラミクス研究所: フェムト秒時間分解X線回折による構造ダイナミクスの研究 原子力機構: 結晶ドメイン観測などのコヒーレント短パルスX線レーザーの利用研究 理研: 凝縮相における超高速分子分光 				

日本国内の光科学技術の研究ポテンシャルマップ(利用研究)

(5/7)

	ライフサイエンス	環境	IT(情報通信)	ナノテク・材料	物性・加工	エネルギー	宇宙・高エネルギー物理	基礎研究	光学
量子通信			<ul style="list-style-type: none"> ・東北大 電気通信研究所: 半導体素子を用いた高純度の量子もつれ光子発生 ・玉川大 学術研究所: 量子通信理論の研究 ・名工大 工学研究科: 量子情報理論及びその応用についての研究 ・日本大 理工学部: 量子もつれを利用した量子テレポテーションや量子暗号の研究 						
量子暗号			<ul style="list-style-type: none"> ・NTT 物性科学基礎研究所: 量子暗号、量子プロトコルの研究 ・産総研 光技術研究部門: 高速量子暗号鍵配布の研究 ・北海道大 電子科学研究所: 量子計算、量子暗号の研究 						
量子コンピューティング			<ul style="list-style-type: none"> ・NTT 物性科学基礎研究所: 量子ドットの基礎特性及びその応用、超伝導量子回路の開発 ・東京大 生産技術研究所: 次世代情報通信を目指した量子細線や量子ドットなどの半導体ナノ構造の開発 ・北海道大 情報科学研究科: 量子デバイスを利用した集積回路の開発 ・NEC・科学技術振興機構・理研: ビット間結合の制御が可能な量子ビットの開発 						
量子テレポテーション			<ul style="list-style-type: none"> ・東京大 工学研究科: 量子テレポテーションの研究 ・北海道大 電子科学研究所: 量子テレポテーションを利用した光情報処理の研究 						

日本国内の光科学技術の研究ポテンシャルマップ(利用研究)

(6/7)

	ライフサイエンス	環境	IT(情報通信)	ナノテク・材料	物性・加工	エネルギー	宇宙・高エネルギー物理	基礎研究	光学
量子制御			<ul style="list-style-type: none"> 東工大 理工学研究科:量子制御の基礎研究及びスピンのスクイーズド状態の発生法とその応用研究 大阪大 基礎工学研究科:量子状態の発生制御、エンタングルメントの発生制御 		<ul style="list-style-type: none"> 原子力機構:位相制御によるセシウム原子の選択励起に関する基礎研究 			<ul style="list-style-type: none"> 東京大 工学系研究科:2光子共鳴励起によるコヒーレント励起子集団を利用した量子制御研究 慶応大 理工学部:超短パルスレーザー光の位相制御の研究 	<ul style="list-style-type: none"> 東京大 工学系研究科:Er³⁺ドープガラス微小球レーザーの光制御
自己発光型の薄型ディスプレイの開発(有機ELディスプレイ)			<ul style="list-style-type: none"> 日立 中央研究所:高精細化と青色表示性能の向上等、有機ELディスプレイの高品質化に関する研究 ソニー:コントラスト比の向上等、有機ELディスプレイの高品質化に関する研究 	<ul style="list-style-type: none"> 山形大 理工学研究科:白色有機EL素子の開発、高効率有機デバイスの開発 	<ul style="list-style-type: none"> 出光興産・東洋インキ・東ソー・三菱化学・住友化学・新日鉄化学 他:有機EL材料の開発 				
透明ディスプレイの開発			<ul style="list-style-type: none"> デンソー:非発光時に透明な青色と白色の無機ELディスプレイの開発 金沢工業大 電子工学科:有機ELを用いたフレキシブル透明ディスプレイの開発 凸版印刷株式会社:フレキシブルな薄膜トランジスタを用いた電気泳動方式のE Ink電子ペーパーの開発 	<ul style="list-style-type: none"> 静岡大 電子工学研究所:導電性プラスチックを用いた超微細電線の開発 	<ul style="list-style-type: none"> 大日本印刷:透明ディスプレイに利用可能な高機能(高バリア性、フレキシブル性、優れた透明性)低コスト透明フィルムの開発 名古屋大 工学研究科:ソフトフォトリソ法を用いたフルカラーディスプレイの開発 				
コヒーレント科学	<ul style="list-style-type: none"> 理研:蛍光たんぱくのコヒーレント制御 			<ul style="list-style-type: none"> 大阪大 産業科学研究所:光・電子材料研究分野 コヒーレントビーム応用ナノプロセス NTT 物性科学基礎研究所:半導体ナノ構造における核スピンのコヒーレント制御 				<ul style="list-style-type: none"> 大阪市立大 理学部:コヒーレント・パルステラヘルツ電磁波の発生機構の研究 北海道大 工学研究科:レーザーによる高分子の波動関数の位相乱れ過程(デコヒーレンス・位相緩和)の基礎的な研究、波動関数の位相情報の保護の研究 	<ul style="list-style-type: none"> 神戸大 分子フォトサイエンス研究センター:位相制御されたコヒーレント光による新分光法の開発とその応用研究 浜松ホトニクス:光位相変調により波面制御可能な反射型液晶デバイスの開発

日本国内の光科学技術の研究ポテンシャルマップ(利用研究)

(7/7)

	ライフサイエンス	環境	IT(情報通信)	ナノテク・材料	物性・加工	エネルギー	宇宙・高エネルギー物理	基礎研究	光学
	<ul style="list-style-type: none"> ・東京大 工学系研究科: 加速器による高エネルギー電子とレーザー光による逆コンプトンX線の医学利用の研究 ・東北大 工学研究科: レーザー誘起液体ジェット、レーザー誘起衝撃波発生による血栓破砕治療装置の開発 ・理研: 微生物観測のためのナノ構造体の開発 ・大阪大 工学研究科: 極短パルス光によるたんぱく質の結晶化に関する研究 			<ul style="list-style-type: none"> ・東京大 生産技術研究所: パルスレーザー蒸着法とMBE法を組み合わせたデバイス製作に関する研究 ・大阪大 工学研究科: レーザーアブレーションによるナノ粒子作製及び生成メカニズムの解明研究 ・慶応大 理工学部: 極短パルス光による非熱加工の研究 	<ul style="list-style-type: none"> ・原子力機構: 短パルスレーザーによる応力腐食割れ耐性材料の改質に関する研究 ・大阪大 接合科学研究所: レーザー溶接に関する研究 ・理研 中央研究所: 短波長・短パルスレーザーによる半導体・透明材料の加工研究、プラズマメタマテリアルの加工研究 				
40	<ul style="list-style-type: none"> ・浜松医科大 量子医学研究センター: 細胞内部のマイクロイメージングの研究 ・東北大 未来科学技術共同研究センター: 超広帯域コヒーレント半導体レーザーを用いた多光子バイオイメージング技術の開発 ・東京大 理学系研究科: 生物時計の時刻合わせメカニズムや眼の光感度調節機構に関する研究 ・日立製作所 基礎研究所: 脳活動計測用携帯型光トポグラフィ装置の開発 ・放射線医学総合研究所 分子イメージング研究センター: 二光子レーザー顕微鏡を用いた微小循環調節メカニズムの研究 ・理研: リアルタイム生体イメージングのための高速レーザー顕微鏡の開発 	<ul style="list-style-type: none"> ・三菱電機 情報技術総合研究所: 風計測用ドップラーライダーの開発 ・産総研 実環境計測・診断ラボ: 応力発光体を用いた応力センシングの研究 ・国土地理院 地理地殻活動研究センター: レーザー照射による地理情報取得及び生態学的調査の研究 ・信州大 工学部: 樹木生育診断用蛍光イメージングライダーの開発やピコ秒ライダーシステムによる植物生葉クロロフィル蛍光寿命の計測研究 	<ul style="list-style-type: none"> ・三菱電機 先端技術総合研究所: 半導体レーザー光源を利用したプロジェクションテレビの開発 	<ul style="list-style-type: none"> ・産総研 健康工学研究センター: バイオデバイスチーム 紫外線照射で癌細胞を認識可能なバイオデバイスの開発 ・理研 中央研究所: カーボンナノチューブ材料によるテラヘルツ光子の検出に関する研究 			<ul style="list-style-type: none"> ・宇宙航空機構 宇宙利用推進本部: 試験衛星「きさらぎ」(レーザー光を使った光通信実験を行うための技術試験衛星)と他の衛星や通信地上局との光通信に関する研究 	<ul style="list-style-type: none"> ・産総研、東京大、電気通信大: 半導体レーザーのアセチレン分子飽和吸収を利用した光通信帯の光周波数(波長)標準に関する研究 ・東大: 周波数標準のための光格子時計に関する研究 ・東工大、電気通信大 電気通信学部、産総研 計測標準研究センター: 周波数光コムに関する研究 ・(株)光電製作所: 高速測定可能な超高精度レーザー距離計の開発 	

用語解説 (五十音順)

アト(a:atto) 単位

アブレーション(ablation)

「取り除くこと」という意味。

固体試料に電子ビームやレーザー光などを照射し、それらのエネルギーで試料を蒸発させてプラズマ状化や、微粒子化する方法のこと。

イオン

原子あるいは分子が、電子を授受することによって電荷を持ったものをいう。電離層などのプラズマ、電解質の水溶液、イオン結晶などのイオン結合性を持つ物質内などに存在する。イオンの種類として陽イオン、陰イオン、錯イオンがある。

位相制御

位相とは、波の強いところ(山)と弱いところ(谷)が空間的にどこにあるかを表すもの。光が波として伝わる時の山と谷の空間的な位置を時間を追って制御することを位相制御という。レーザー光は、長時間、広い空間にわたって位相が揃っている。

イッテルビウムイオン(Yb^{3+})

希土類元素イオンの一つ。電子が励起されて光を発生する蛍光体物質として有用であり、効率の高いレーザー発振用のイオンとして期待されている。

イメージング

現象又は事象を可視化すること。DNAなどの生体分子の顕微鏡等による動的観察や機能観察に関する生体分子イメージングや、X線や赤外光、テラヘルツ光などの透過可能な光を、被測定物に照射して内部の状態を観察する非侵襲イメージングなどがある。

エキシマーレーザー

希ガスやハロゲンなどの混合ガスを用いてレーザー光を発振させる装置。機械加工や半導体製造におけるフォトリソグラフィーに利用されている。またアブレーションによる薄膜作製方法の一つであるPLD(Pulsed Laser Deposition)法の光源としても用いられている。

EXAFS(エグザフス、Extended X-ray Absorption Fine Structure)

試料に対するX線の吸収特性を測定し、特定原子の近傍にいる原子配列情報(原子の位置、個数や種類)を取得する方法。S Pring - 8、PF(Photon Factory)などで実施されている。結晶構造をもたない非晶質、液体、分子、微粒子などに対しても有効な計測方法である。

X線

波長が1pm~10nm 程度の電磁波で放射線の一種。1895年にレントゲンによって発見された。

X線回折格子

1mm あたり数千本の刻まれた溝で回折される、X線の干渉を利用する光学素子のこと。X線のスペクトル(光の成分)を分析するための分光器などに用いられる。

X線顕微鏡

X線を用いて観察する顕微法のこと。可視光に比べて波長の短いX線を使用するため、高精細の画像が得られる。観測方法としては、結像型及び走査型が、また観測手段については、X線吸収、位相変化、蛍光X線などの利用がある。強度の強い光源が必要となるため、主にシンクロトロン放射光が利用されている。

X線自由電子レーザー(XFEL: X ray Free Electron Laser) 参考:自由電子レーザー

X線自由電子レーザーは、光の速度近くまで加速された電子を、周期的に小さく蛇行させることで生じる放射光を利用した、X線領域のレーザー光が発生できる装置。国内において、0.06nmの波長をもつX線のレーザー発振の実現に向けて、S Pring - 8の大型放射光施設で建設(2010年完成予定)が進められている。

X線レーザー

コヒーレントなX線を発振させる装置をいう。発生方法によって、プラズマX線レーザーや高次高調波型X線レーザーなどに分類される。表面物性の研究、原子過程の研究、リソグラフィーにおけるナノスケール構造の製作と検査、生体細胞の観察、X線領域での非線形光学など、広範囲の分野で利用されることが期待される。

エクストリームフォトリクス研究

サブフェムト秒X線光源、近接場光源、テラヘルツ光源と、様々な光に関する応用研究を融合し、新しい光科学研究を開拓することを目標とした理化学研究所と自然科学研究開発機構分子科学研究所の連携融合研究のこと。

エミッタンス

ビームの断面積と拡がりをつけた値で、電子ビームの性質を表す指標の一つ。エミッタンスが大きいと、拡がりやすい電子ビーム、逆に小さければシャープで良質な電子ビームと言える。

遠赤外線

およそ4～1,000 μm の電磁波である。電波に近い性質も持つ。遠赤外線は熱を持った物体(絶対温度が0 K 以上の物体)からは必ず放射されている。すなわち熱線としての性質を持ち、高い温度の物体ほど赤外線を強く放射する。主として、熱線として調理や暖房など加熱機器に利用される。一般に電磁波は、波長が長い方が物体に浸透する能力が大きくなるので、遠赤外線を用いることにより、対象を内部から暖めることができる。

応力ひずみ層

旋盤やフライス盤などの機械加工によって、加工表面下数100 μm の部分に生じたひずみ層のこと。沸騰水型原子炉の構造材における応力腐食割れの原因として、その除去法についての研究が行われている。

大型放射光施設 S Pring - 8

解離

一つの分子が、構成原子やイオン、原子団、他の分子に分解すること。多くの場合、可逆的な分解を示す。

核廃棄物

放射能をもつ廃棄物をいう。「放射性廃棄物」、「核関連廃棄物」とも呼ばれる。これらは主に、原子力発電所および核燃料製造施設、核兵器関連施設などの核関連施設、または同位体を使用する実験施設で排出される。

核融合

軽い核種同士が融合してより重い核種になる反応。原子核同士がある程度接近すると、原子核同士が引き合う力(核力)が反発する力(クーロン力)を超え、2つの原子が融合することになる。核融合による重水素同士のD-D反応や三重水素とのD-T反応によって取り出されるエネルギーは、次世代のエネルギー源として期待されており、トカマク型やヘリカル型等の磁気閉じ込め方式や、レーザーを用いた慣性核融合の研究が行われている。

加速器

荷電粒子に運動エネルギーを与えて加速する装置の総称。原子核・素粒子の実験に用いられるほか、がん治療などにも応用される。原子核・素粒子の加速器実験には加速された粒子を固定標的に当てるフィクスターゲット実験と、向かい合わせに加速した粒子を正面衝突させるコライダー実験がある。

過渡現象

ある定常状態から他の定常状態へ時間的に移行する過程で起こる現象。

過飽和状態

平衡状態における濃度よりも多くの溶質(分子またはイオン)を含んでいる状態のこと。

(平衡状態: 複数の異なる相が共存し、なおかつその構成比率が変化しない状態。(例. 0で、氷と水が共存している状態))

環境ホルモン

環境中に存在する化学物質のうち、生体に対してホルモンのような作用を起こしたり、逆にホルモン作用を阻害する物質のこと。

(ホルモン: 動物の体内において、ある決まった器官で合成・分泌され、体液・血液を通して体内を循環し、別の決まった器官でその効果を発揮する生理活性物質)

ガンマ()線

放射線の一種。原子核内のエネルギー準位の遷移を起源とするものをいう。

輝度

粒子ビームの質を表す指標の一つ。単位面積から単位立体角、単位スペクトル幅に放出される粒子数として定義される(単位: 粒子数/(s・mm²・mrad²・0.1%バンド幅))。

強相関(電子)系

物質の中でも、特に電子同士の間働く有効的なクーロン相互作用が強い系のこと。遷移金属元素や希土類元素を含む系では、電子の運動が特定の軌道に制限される等により、局在性が強まり、電子同士のクーロン相互作用が強く働く。

近接場光

物質に光をあてたとき、物体表面にまとわりついた膜状の光をいう。同時に反射光、散乱光なども発生するが、これらは物質から遠方に伝搬していく。一方、伝搬しない近接場光の膜の厚

みは、物質寸法程度なので、物質がナノメートル寸法の時、近接場光はナノメートル程度の寸法となる。回折限界の制約を受けない近接場光を光源として使って加工、デバイス動作などを行うのがナノフォトニクスである。近接場光と物質の相互作用によって生じる電磁場現象を研究対象とする学問分野を近接場光学という。

逆コンプトンガンマ線

逆コンプトン効果によって発生させるガンマ線のこと。逆コンプトン効果とは、光の粒子性を示す現象のひとつであり、高エネルギーに加速された電子に光子(レーザー光)を当てた時、電子のエネルギーの一部が光子に与えられて、元の光子の波長よりも短い波長の光(X線やガンマ線)が飛出す現象をいう。強力かつ、コヒーレントなガンマ線を生成する有力な手法の一つとして期待されている。

強光子場

超高強度レーザーを物質に集光照射した際に生じる、極めて強い電場のこと。強度の極めて高いレーザー光と物質との相互作用は、非線形かつ相対論的(特殊相対性理論)になる。この物理現象及びその解明、応用分野を強光子場科学と呼ぶ。

(相対論的(特殊相対性理論): アインシュタインによって発表された物理学の理論で、物理法則はどの慣性系でみても変わらない、光の速度はどの慣性系から見ても変わらないという2つの仮定から導かれる。これにより、質量のある物質は光速を超えて運動することはできない。強光子場科学において、相対論的とは、プラズマを構成する電子(やイオン)の速度が光速に近付いている状態を指す。)

極短パルスレーザー

ピコ秒以下の光パルスが発生できるレーザーのこと。ピコ秒パルスレーザーのことを「超短パルスレーザー」と区別することがある。

蛍光標識

物質を同定するために蛍光物質を付与させたもの。試料に励起光を当て、標識分子が発する蛍光による像を顕微鏡観察することで、対象となるたんぱく質の細胞内での局在や移動を調べることができる。

原子光学

レーザー光を用いて原子を極低温に冷却すると、光と同様な波の性質が現れる。この特徴を利用して、位相の揃ったレーザー光を用いて、原子の運動や原子内部の状態を精密に制御する研究分野のことをいう。

高温超伝導

高温超伝導とは、77K(ケルビン)の液体窒素温度を超える温度で、電気抵抗がゼロとなる現象及び磁場の侵入を排除して超伝導体内部の磁場がゼロになる(マイスナー効果)現象の双方を示す状態をいう。

高繰返し(周波数) レーザー

高速点火方式(核融合)

爆縮された燃料球が慣性で静止している極めて短時間に、超高強度・超短パルスレーザーで点火し、核融合反応を低エネルギーで実現させる新たな方式のこと。従来の中心点火方式では高い球対称爆縮が要求され、これがレーザー核融合開発の大きな障害となっていた。

光速飛翔鏡

プラズマ中に生成され、ほぼ光速で進む高密度の電子の構造。超短パルス・高強度レーザーを集光することで生成され、高密度であるためレーザー光を反射する「鏡」として用いることができる。通常の鏡と異なるのは、ほぼ光の速さで飛んでいるため、反射された光はその波長が短くなり、パルス幅も短くなるという点である。さらに、この鏡は湾曲しており、レーザー光をただ反射するだけでなく、集光することもできるという特長を持つ。

高調波発生

入射光と物質の相互作用により、もとの入射光の周波数に対して、整数倍の周波数の光が放出される現象。非線形現象の中でも最も早く観測された基本的な過程であり、中でも2倍の周波数の光を放出する第二高調波発生や3倍の周波数の光を放出する第三高調波発生は、レーザー光の短波長領域への波長変換に応用されている。また、ガス媒質を用いた数十次の高調波発生により、サブフェムト秒のパルス光が得られている。

光量子

「光子」、「フォトン」ともいい、素粒子(物質の最小単位)の一つで、光のもつ波の性質と粒子的な性質の2面性の内、後者の特徴を表す場合に使われる。一般に、波長が長いと波の性質、波長が短いと粒子的な性質が強く現れる。

固体レーザー

蛍光物質(希土類元素イオンのこと、例、イッテルビウムイオン Yb^{3+} やネオジウムイオン Nd^{3+} など)をガラス、セラミクス、結晶に添加した固体物質を、レーザー発振(発生)に用いたレーザーのこと。この物質を光で励起することによって、レーザー発振が起こることと共に、他のレー

レーザー媒質に比べて、劣化しにくく使用の寿命が長いことが特徴。

コヒーレント光

位相の揃った光の波形が、空間的・時間的に十分長く保たれている光をいう。このような状態の光は干渉性を示す。誘導放出によるレーザー光がその例。これに対して、自然放出による光はコヒーレントではない。

コロイド

微小な液滴や微粒子が、溶液(溶媒)に分散した状態の総称のこと。

コンビナトリアル化学

化学実験等において幾つかある条件(パラメーター)を少しずつ変えながら系統的に実験すること。実験条件の最適化を図るために使われる方法。

自動車排気ガス用インテリジェント触媒

結晶中へ固溶させた貴金属が排ガス中の自然な酸化還元雰囲気変動を利用し、析出・固溶を繰り返すことにより、貴金属を微細に保ち、優れた浄化機能が持続される触媒を自動車排気ガス用インテリジェント触媒と呼ぶ。S Pring - 8放射光により、その触媒の自己再生メカニズムが解明された。従来の排気ガス用触媒は、活性点である貴金属が使用途中にセラミクス表面で肥大化し活性が劣化し続けるので、これを補うため多くの貴金属量を必要としていた。

周波数光コム

周波数軸上に等間隔に並んだ成分(モード)からなるコム(櫛)形のスペクトルを持つ光信号のこと。この周波数コムを基準となる周波数のマーカーとして利用することにより、光の周波数を正確に測定することができる。

周波数標準器

時間標準として用いるための標準器のこと。

自由電子レーザー

自由電子のビームと電磁場との共鳴的な相互作用によってコヒーレント光を発生させる方式のレーザー。光線経路に沿って交互に磁石を配置した周期的な磁場で、自由電子を光速近くまで加速させると、この経路に沿って蛇行させられた自由電子からシンクロトロン放射光が発生する。この光を2枚の鏡で構成された光共振器内に閉じ込め、電子ビームと何百回も共鳴的な相互作用をさせることでレーザー発振を行わせる。媒質を用いた一般のレーザーと異な

り、光の波長は電子ビームと磁気強度によって変化するので、X線～遠赤外域まで幅広い波長の光が取出せる。

重粒子

線すなわちヘリウム原子核よりも重い重イオンのこと。重粒子線治療では、主に炭素イオンを指す。

シンクロトロン

シンクロトロンとは円形状の加速器の一種。磁場と周波数を制御して、加速する粒子の軌道半径が一定になるような状態で加速を行う。電子にエネルギーを供給し続けて円軌道に沿うように周回させるので、電子蓄積リング、または電子ストレージリングとも呼ばれている。代表的な施設に、兵庫県のSPring-8、茨城県のPFがある。

SPring-8 (Super Photon ring - 8 GeV)

日本原子力研究所と理化学研究所が兵庫県の播磨科学公園都市に建設した大型放射光施設のこと。世界最高性能の放射光を利用することができる大型の実験施設として国内外の研究者に広く共用され、物質科学、地球科学、生命科学、環境科学、産業利用などの分野で多くの研究成果をあげている。

セラミクスレーザー

透明な多結晶のセラミクスを従来の単結晶レーザー媒質の代わりに用いた固体レーザーのこと。代表的なセラミクスのレーザー媒質として、Nd:YAG(ネオジウム:ヤグ[イットリウム・アルミニウム・ガーネット])多結晶体がある。単結晶の媒質と同程度の熱伝導率・光学特性を有するだけでなく、製造コストが安い、大型化が容易、均一な媒質が得られやすいなどの利点がある。

生体高分子

生体内に存在する高分子の有機化合物のこと。糖質、たんぱく質(酵素やペプチド)、核酸(DNA、RNA)などがある。

ダイオキシン(類)

ダイオキシン(類)とは、ポリ塩化ジベンゾパラジオキシン(PCDD: Polychlorinated dibenzodioxin)及びポリ塩化ジベンゾフラン(PCDF: Polychlorinated dibenzofuran)の総称。動物実験の結果から、人体に対する毒性が指摘されていたが、最近は否定説もあることから、現在研究中である。

ダイオードレーザー 半導体レーザー

単位

秒、ワット等の前につく省略語と桁の関係は次表の通り。

ミリ (m:milli)	マイクロ (μ: micro)	ナノ (n:nano)	ピコ (p:pico)	フェムト (f:femto)	アト (a:atto)
千分の1	百万分の1	十億分の1	一兆分の1	千兆分の1	百京分の1
10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}	10^{-15}	10^{-18}

キロ (k:kilo)	メガ (M: mega)	ギガ (G:giga)	テラ (T:tera)	ペタ (P:peta)	エクサ (E:exa)
千	百万	十億	一兆	千兆	百京
10^3	10^6	10^9	10^{12}	10^{15}	10^{18}

炭酸ガスレーザー

炭酸(CO₂)ガスを発振媒質とし、電気入力エネルギーによってCO₂分子の振動・回転準位に遷移させることで赤外線(10.6 μm)のレーザー光を発振する装置。数10kWを越す高平均出力のレーザー光が発生できる。従来から金属の切断・溶接加工等に使われている。

チタンサファイアレーザー

レーザー媒質に、チタンイオン(Ti³⁺)を添加したサファイア結晶を使用した固体レーザーのこと(中心波長800nm)。青色の光を強く吸収するため、励起にはネオジムヤグレーザーの第二高調波(532nm)やアルゴンレーザー(488nm、514nm)などが用いられる。チタンサファイアレーザーは、超短パルス発振が可能のため、超短パルスとそれに伴う非線形現象の研究に広く使用されていると共に、広い範囲で発振波長が変えられる波長可変レーザーとしても利用されている。

超高強度レーザー

ピコ秒～フェムト秒の瞬間的な時間の中に、極めて高いレーザー強度(W/cm²)を生成できるレーザー装置を指す。CPA法に代表されるレーザー技術の進歩により可能となった。

(CPAチャープパルス増幅(Chirped Pulse Amplification)法: 低エネルギーの極短パルス光を、回折格子等で構成される光学的なパルス拡張器によって時間的に広げる。この周波数チャープした長パルス光を、増幅器によって十分増幅させた後に、パルス圧縮器で短パルス化する方法のこと。)

超伝導

超伝導は、低温環境下において、電気抵抗がゼロになる現象及び物体内部の磁場がゼロになる(マイスナー効果)現象の双方を示す状態をいう。

超分子

複数の分子が共有結合以外の結合(配位結合、水素結合など)や比較的弱い相互作用によって集合した化合物のこと。大環状のエーテルであるクラウンエーテルはその代表例。複数ユニットから構成されるたんぱく質や液晶なども超分子に含めることがある。

超流動

極低温において液体ヘリウムなどの流動性が高まり、容器の壁面をつたって外へ溢れ出たり、原子一個が通れる程度の際間に浸透したりする現象。

低エミッタンス エミッタンス

テラ(T:tera) 単位

テラヘルツ光

遠赤外線における未踏波長領域の電磁波のこと。波長を周波数換算した場合に、10の12乗(1兆=テラ、tera)ヘルツであることから、テラヘルツ光と呼ばれている。テラヘルツ光領域の光には、物質の格子振動、分子の回転・ねじれ・骨格振動などの固有の情報が存在するため、材料分野、バイオテクノロジー分野、医用分野と多岐にわたる分野での画期的な応用が期待されている。

電磁気学

物理学の分野の一つであり、電気と磁気に関する現象を扱う学問をいう。

電磁波

空間の電場と磁場の変化によって形成された波のこと。電場と磁場が互いの電磁誘導によって交互に相手を発生しあうことで空間そのものが振動する状態が生まれ、この電磁場の周期的な変動が周囲の空間に横波となって伝播していく、エネルギーの放射現象の一種。波長の長い方から、電波・赤外線・可視光線・紫外線・X線・ガンマ線などと呼び分けられている。

デンドリマー

中心から規則的に分岐した構造を持つ樹状高分子のこと。ギリシャ語の「dendron」(樹木)に

由来する。新たな医薬品として、水溶性 dendrimer の活用などが考案されている。

電場

空間上に電荷が存在することによって引き起こされる電位の勾配のこと。おもに理学系では「電場」、工学系では「電界」ということが多い。

電波

電波法では、周波数が30ヘルツから3テラヘルツの電磁波を指すが、一般的にはミリ波よりも長い波長で、特に電気通信に用いる電磁波をいう。

同位体分離法

質量数の異なる同じ元素(同位体元素)を分離するための方法。ウラン235とウラン238の同位体分離法を例にとると、ガス拡散法、遠心分離法、レーザーを用いた分子法及び原子法などがある。

トランジスター

トランジスターは増幅、またはスイッチ動作をする半導体素子で、近代の電子工学における主力素子である。トランジスターは、ゲルマニウムまたはシリコンの結晶を利用して作られることが一般的である。そのほか、ガリウム - ヒ素などの化合物を材料としたものは化合物半導体トランジスターと呼ばれ、特に衛星放送チューナーなどの超高周波用デバイスとして広く利用されている。

ナノ(n:nano) 単位

ナノ医療

ナノメートルサイズの物質を用いた医療のこと。一例として、抗がん剤を封入した10～100 nm サイズの粒子をがん患者に投与することで、薬剤を標的組織に効率よく運ぶドラッグデリバリーシステムが挙げられる。この技術では、がんなどの病変部分だけに薬剤を選択的に運搬するために、ナノメートルサイズの高分子の粒子を使う。従来の抗がん剤は、低分子のため全身に均一に広がってしまい、副作用が避けられないという問題があった。

ナノカーボン

フラーレンやカーボンナノチューブを中心としたナノメートルサイズの特殊な構造をもつ炭素を原料とする物質のこと。

ナノ粒子

ナノメートルサイズの粒子のこと。

軟X線

約0.1～50nmを軟X線域と呼び、0.1nm以下の波長の短い領域を硬X線域と呼ぶ。

燃料電池

水素と酸素などによる電気化学反応によって電力を取り出す装置をいう。ノートパソコン、携帯電話などの携帯機器から、自動車、民生用・産業用コージェネレーション、発電所まで多様な用途・規模をカバーするエネルギー源として期待されている。

波長 レーザー

発光ダイオード(LED: Light Emitted Diode)

順方向に電圧を加えた際に発光する半導体素子のこと。LEDとも呼ばれ、発光原理は、電界によって生じた電子と正孔の再結合による発光(エレクトロルミネセンス (EL)効果)を利用している。また、寿命も白熱電球に比べてかなり長い。発光色は用いる材料によって異なり、赤外線領域から可視光域、紫外線領域で発光するものまで製造することができる。

半導体レーザー(ダイオードレーザー)

半導体における再結合発光を利用したレーザー。半導体に電子を注入すると、半導体内にある正孔と注入した電子が結合し、その際に電磁波が放出される(再結合発光)。半導体内の電子と正孔の密度が高くなると、誘導放出が確率的に継続し、放出された電磁波は雪崩的に増幅する。この電磁波をさらに、半導体の両側面を利用した光共振器内で増幅することで、強力なレーザー光が発振される。半導体レーザーの波長は、半導体の成分元素によって異なる。他のレーザーに対して、小型で消費電力が少なく、高効率・長寿命であり、小出力タイプのものが様々な利用に用いられている。これに対して、固体レーザー等の励起光源として利用される高出力タイプのものは、半導体素子が緻密に集積化され、発熱を除去するための微細な冷却構造を有する。発振効率は70%以上に達する。

ピーク出力 レーザー

光

電磁波の一種。光は波動性と粒子性の二重性をもち、波動であることを強調する場合は光波、粒子であることを強調する場合は光(量)子と呼ばれる。光源や観測者の速度にかかわらず

「相対速度が変化しない」という特徴を持つ。直進性、屈折及び(全)反射と同様の、主な性質を以下に示す。

- 回折

媒質中を伝わる波に対して障害物が存在する時、波がその障害物の背後など、一見すると幾何学的には到達できない領域に回り込んで伝わっていく現象のこと。

- 干渉

複数の波の重ね合わせによって新しい波形ができること。波の山と山または谷と谷が干渉すると振幅の絶対値は大きくなり、山と谷が干渉すると振幅の絶対値は小さくなる。

- 波面

波の伝播において、同じ位相の場所を連ねた面のこと。光の進行方向と波面は互いに垂直である。

- 偏光

電場および磁場が特定の方向に振動している光の状態のこと。光の進行方向に垂直な面内で直線的に振動している状態を直線偏光、進行しながら右回りや左回りに回転している状態を円偏光や楕円偏光という。普通の光は、あらゆる方向に振動している光が混合しており、結晶や光学フィルターを通すことによって偏光が得られる。

光格子時計

東京大学大学院工学系研究科の香取秀俊准教授によって提案された方法。およそ100万個の原子をレーザー光によって空間に巧みに捕捉することで、最も精密な原子時計の1000倍の精度を達成でき、理論上は100億年に1秒以下しか誤差が生じないといわれている。

光 CT(Computed Tomography)法

CT は光によるコンピューター断層撮影法の略で、様々な方向から撮影した多数の写真のデータを基にコンピューターで、3次元的な画像を得る技術の総称。光 CT は、撮影に赤外光を用いようとするもので、例えば血液の酸素含有量の違いに起因する色の違いなど、X 線による CT とは異なる生理学的情報が得られると期待されているが、光は生体内を直進せず強く散乱されるため、高精細な像を得るための新しい手法の開発が必要となっている。

光触媒

光を照射することにより触媒作用を示す物質をいう(触媒:特定の化学反応を促進するが、自

身は反応の前後で変化しないもの)。通常の触媒プロセスでは困難な化学反応を、常温で引き起こしたり、また化学物質の自由エネルギーを増加させたりする(光エネルギーを蓄える)反応を起こす場合がある。代表的な光触媒活性物質としては、二酸化チタン (TiO_2)が知られている。粉末状の二酸化チタンを水中に入れ光(主に近紫外線)を当てると水の分解反応が進行し、水素と酸素に分解される。このような二酸化チタンを用いた水の分解過程は、発見者の名前を取って「本多-藤嶋効果」と呼ばれている。

光励起

原子やイオンに光を吸収させてエネルギーを低い状態から高い状態へ大量に遷移させること。

PIXE(ピクシー、Particle Induced X-ray Emission)分析法

数MeVのエネルギーをもつ陽子と原子との衝突によって発生する特性X線を測定して元素分析をする方法をいう。計測上のノイズが少ないことから、微量分析が可能である。

ピコ(p:pico) 単位

非線形現象

非常に強いコヒーレントな光と物質が相互作用すると、光の強度に比例して起こる通常の現象とは異なり、複雑な非線形現象が生じる。非線形現象の代表例として、高調波発生、光パラメトリック効果などがある。現象の起こりやすさは小さいが、光の強度の2乗や3乗に現象の大きさが比例するので、照射する光の強度が高ければ高いほど現象が起こりやすくなる。非線形現象そのものの研究とともに、これを利用した光の波長変換、制御、物性測定、さらにはそれらの知識や技術を利用したレーザー工学など広い応用分野がある。この非線形現象に基づく光の科学を、非線形光学という。強度の大きな光が発生できるレーザーの出現によって発展した分野である。

ファイバーレーザー

光通信に用いられるファイバーのコア(中心部)にエルビウムイオン(Er^{3+})などの希土類イオンが添加されたものを蛍光媒質として用いるレーザーのこと。ファイバーの光を閉じ込める効果により、励起光が有効に利用できることから、レーザーの発振効率が高くできる。また、長さを自在に換えられるファイバーの特長から、高出力化に比較的容易に対応できる。

フェムト(f:femto) 単位

フォトニック結晶(又はフォトニクス結晶)

屈折率の異なる誘電体を用いた周期構造の一部に欠陥部を造ることにより、その周期と同程度の波長を持つ光を閉じ込めたり、進行方向を変化させたりできる光素子のこと。半導体などの結晶材料が電子のエネルギーに対して伝導帯、価電子帯や禁制帯があるのと同様に、光の周波数(エネルギー)に対して透過帯や禁制帯をもつ結晶という意味で、フォトニック結晶と名づけられた。数100nmの極微小領域において、光の伝播・発生を自由に制御できることから、次世代の通信・情報分野を支える超小型光素子や光情報処理素子への利用が期待されている。

フォトリフラクティブ効果

光の照射により結晶の屈折率が変化する現象のこと。この効果を示す結晶をフォトリフラクティブ結晶と呼ぶ。

物性物理学

物質のさまざまな巨視的性質を微視的な観点から研究する物理学の分野をいう。量子力学や統計力学を理論的基盤とし、その理論を物性論と呼ぶことも多い。狭義には固体物理学を指し、広義には固体物理学および表面物理学や物理化学などの周辺分野を含む。

プラズマ

自由に運動する正・負の荷電粒子が共存して、電氣的に中性になっている状態。放電中の放電管内の気体、電離層、恒星の外気などはこの状態にある。

ブルーレイディスク

ソニーや松下電器産業などが「Blue-ray Disc Association」で策定した次世代光ディスク規格。405nmの青紫色レーザーと0.1mmのカバー層の光ディスクを使うことでレンズのNA値を(0.65から0.85に)上げ、DVDと比較して5倍以上に記憶容量(1層25GB(ギガバイト)、2層50GB)を増加させた。デジタルハイビジョン放送に対応できる光ディスクである。同様な青紫色レーザーを使う次世代光ディスク規格としては、東芝、NEC、サンヨーが提唱している「HD DVD」が存在する。

ブロードバンドインターネット

ブロードバンドインターネットとは、通信速度が高速なインターネットを指す。

分光学

主にレーザー光を光源に用いた計測法に関する学問。物質固有の吸収・励起スペクトルを測

定する線形レーザー分光は、従来のランプ等の光源を用いる分光に比べて高い感度や分解能が得られるが、非線形効果を分光に用いると、さらに高い感度・分解能が得られる。レーザーラマン分光、レーザー有機蛍光分光、飽和吸収分光などのほか、2光子分光、偏光分光、共鳴イオン化分光、光音響分光などの様々な分光法がある。また、高い時間分解能が得られる方法として、ピコ秒～フェムト秒の光パルスを用いたポンプ・プローブ分光法がある。光源には、色素レーザーや半導体レーザー、チタンサファイアレーザー等の波長可変レーザーが多く用いられると共に、これらの光を非線形現象によって短・長波長に変換した光も用いられている。原子・分子・固体・液体・生体高分子・工業材料などの定量分析に用いられる。また、レーザー光の照射によって生成・消滅される現象等の把握にも、不可欠な方法である。

ペタ(P:peta) 単位

偏光子

光の偏光特性を変化させる光学素子(例:自然光(無偏光)や円偏光から直線偏光を作り出すもの)をいう。

芳香族炭化水素

一重結合と二重結合が交互に並んだ分子構造をもち、電子が非局在化した6つの炭素原子から成る単環あるいは複数の平面環をユニットとして構成された炭化水素のこと。最も構造が単純な芳香族炭化水素はベンゼンであり、ベンゼン環として知られている6つの炭素からなる環状化合物である。「芳香族」とは、構造が不明であった遠い昔、強烈な臭気を持つものが多かったことに由来する。

放射光

加速器によって高いエネルギーを与えられた荷電粒子が磁場を横切る時、(連続スペクトルを持つ)放出される光のこと。放射光の特徴はまず、高い指向性にある。荷電粒子の速度が光速に近くなると、相対論的効果によって軌道の接線方向に光が集中し、指向性の高い強力な光となる。普通の光源は全方位に対して光を放出するのとは対照的である。また、極めて輝度が強い白色光である事が挙げられる。他にもパルス光である、光源からフォトン以外を放出しない等の特徴がある。

補償光学系

外乱や熱ひずみなどによる屈折率変化によって乱された光の波面やパルス波形等を元の形に補償する光学系をいう。

ボーズ・アインシュタイン凝縮 (BEC: Bose-Einstein Condensation)

多数の原子が、互いに区別のつかない一つの最低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舞う凝縮された状態のこと。希薄なアルカリ原子のガス中でこの状態の実現に成功したワイマン、ケターレ、コーネルの3名が、2001年のノーベル物理学賞を受賞した。

マイクロ (μ :micro) 単位

マイクロ化学プラント

マイクロ加工技術などを用いて製作された幅数 μm から数100 μm のマイクロメートルオーダーの反応器を利用した化学反応や物質生産のためのシステムのこと。

膜たんぱく質

細胞膜に存在するたんぱく質で、細胞外部の情報・刺激を細胞内に伝えるなどの極めて重要な働きをしているたんぱく質のこと。膜たんぱく質は種類も豊富で、DNAが作り出すたんぱく質の30%が膜たんぱく質と言われており、今後の詳細な構造解析や機能解析が期待されている。

水の窓

水での吸収係数が、たんぱく質や核酸での吸収係数よりはるかに小さい、280~550eV(2~4nm)の軟X線の波長領域のこと。この領域のX線は、水を透過するので、これまでのように生体試料を観察に適するように加工することなく、そのままの状態を観察できる。

面発光型半導体レーザー

東京工業大学の伊賀健一名誉教授らによって発明された方法。基板と垂直方向に半導体レーザーの共振器が構成され、光が表面から取り出されるレーザーのこと。基板と平行方向に共振器を形成した従来の端面発光型半導体レーザーに比べ、高速変調が可能、しきい値電流が小さい、発光パターンが円形、作製プロセスや検査工程が簡易などの特長がある。また、微小領域への集光に適した高強度の励起用光源として、開発が期待されている。

メタマテリアル

自然界の物質にない特性を持った人工の物質のこと。波長よりも小さなスケールの特殊な構造をデザインすることによって、一例として自然界には存在しない負の屈折率を示す物質ができる。この特長は、従来の素子よりも高い分解能の実現や回折限界の突破が可能とされ、光ファイバー・バンドパスフィルター・新種のレンズ・アンテナなどに応用が期待されている。

モード同期型レーザー

複数の波長で位相を同時に揃えて発振できるパルスレーザーのこと。

有機EL(Electro Luminescence)

有機エレクトロルミネッセンス、または有機 LED と呼ばれる。有機物中に注入された電子と正孔の再結合によって生じた励起子(エキシトン)によって発光する現象のこと。蛍光灯に代わる照明や液晶ディスプレイのバックライトとしての活用が検討されている。また、従来の液晶ディスプレイやプラズマディスプレイと比較して、高発光効率、高画質、低消費電力、薄型化が可能であるため、今後のディスプレイとしての広範な普及が期待されている。

リソグラフィ

半導体製造において、シリコンウエハー上に微細な電子回路パターンを露光・転写する微細加工技術のこと。

量子暗号

量子力学の理論を用いた暗号技術のこと。盗聴しようとする内容が無意味になり、盗聴されたことがわかる「究極の」暗号技術。量子通信ではデータを運ぶ媒体として光子の量子状態を利用する。量子力学の世界では、量子状態にまったく変化を与えずに「観測」することは不可能であるため、量子暗号を通信経路上で盗聴しようすると、量子状態が変化してしまい読み出すことができず、また、途中で盗聴されたことが確実に検出される。

量子エレクトロニクス

量子力学に立脚して物質の性質や電子の性質及び光との相互作用を調べて操る工学を量子エレクトロニクスという。

量子化学

量子化学とは理論化学(物理化学)の一分野で、量子力学の諸原理を化学の諸問題に適用し、原子と電子の振る舞いから分子構造や物性あるいは反応性を理論的に説明づける学問分野のこと。

量子カスケードレーザー

カスケードとは階段状に連続した滝を意味する。分子線エピタキシャル結晶成長等によって作られた量子力学的階段(半導体多層膜構造)を電子が一段ずつ下りる毎に(サブバンド間遷移によって)発生する光子を利用する新しい型の半導体レーザーを指す。超高速大容量無線通信、環境モニタリング、生体医療イメージング、薬物検出などへの応用に期待されている。

量子光学

量子力学を基礎として光のふるまいや光と物質の相互作用を研究する物理学の分野のこと。

量子コンピューター

物質の量子状態を利用したコンピューターのこと。データを量子ビットという単位で括り、複数のキュービットを重ね合わせ、結果を観測することで統計結果のみを得るという方法を演算に用いる。従来のコンピューターでは大きな計算量が必要であった素因数分解を、より少ない計算量で解くことができる。事象を高速に分析できるので、学術調査やマーケティングシミュレーション等の分野で実用化が期待されている。量子状態として光子のスピンを用いるものを、光子コンピューターという。

量子テレポーテーション

遠く離れた場所に量子もつれの効果により量子状態を転送することができるというもの。送り手側の情報は破壊され、受取側に元の情報そのものが残るので、情報を送ったこと、テレポーテーションしたことと同じになる。量子状態とは、量子論で記述される系がとる状態のことで、すべての物理量の測定値が一定の確率分布をもつような仕方ですべての系が準備されているとき、その系は量子状態にあるという。量子系の物理量は全く同じように系を準備しても測定をする度に値が異なる。量子系において定まっているのは物理量ではなく、物理量の分布を表す確率分布である。

量子ドット

量子ドットとは、その中で運動する伝導電子の量子性(離散性)が顕わになるほど小さなサイズ(数ナノメートル程度)の粒状の構造をもつ導体のことで、3次元的に電子が閉じ込められた状態のこと。閉じ込め方向を1次元にしたものを量子井戸構造、2次元のものを量子細線という。量子ドットは、光子を一つずつ放出することができるので、この光子を検出する技術が確立すれば、量子暗号による光通信などの分野に応用することができる。

量子ビット

量子コンピューターにおける情報の最小単位、キュービットとも言う。従来のコンピューターのビットは「0」と「1」のどちらかを取る。一方、量子ビットは「0」と「1」の中間状態(重ね合わせの状態)を取る。従来のコンピューターでは、例えば「00」、「01」、「10」、「11」の四つのデータを4回に分けて入力し、別々に計算するが、量子ビットの場合には、これらを同時に入力して同時に計算する「超並列処理」ができるため、量子コンピューターは従来のコンピューターを大幅に上回る速度で計算が行える可能性がある。

量子もつれ

離れた系の量子力学的な相関のこと。起源を同一にする二つの量子は、空間的に離れていても量子力学に特有の繋がった関係にある。量子もつれの状態にある二つの光子では、片方の特徴が決まると、もう一方もそれに応じて決まる。例えば、一方の偏光方向が決まれば必ずと他方の偏光方向がわかるといった関係のこと。

量子力学

従来の古典力学では説明できない、電子や原子核などの間の微視的な系において現れる現象を説明する物理学の理論。量子力学において、ある系は、ある量子的な状態にあるという。量子系において定まっているのは物理量ではなく、量子状態は、物理量の分布を表す確率分布を示す。これが古典力学と大きく異なる特徴である。

レーザー (Light Amplification of Stimulated Emission of Radiation)

誘導放出を利用した光増幅器または発振器のこと。電子がエネルギーの高い状態から低い状態に移る際、両者のエネルギー差に相当する波長の光が放出される(自然放出)。この時、外部から同じ波長の光が入射されると、それによって一旦エネルギーの低い状態に移った電子が元の高い状態に移り、それがまた低い状態に移る誘導によって、光が放出される。このような動作が繰り返される内に、放出された光が互いに干渉し合い、位相が揃うようになるとともに、光の強度が増幅によって大きくなり、発振器から指向性の高い光が放出される。この光をレーザーという。レーザーの特性を示す主なパラメーターについて以下に示す。

- 波長: 空間を伝わる波(波動)の持つ周期的な長さのこと。
- パルス幅: 光がある時間だけ継続して放出される幅のこと。
- ピーク出力: パルスの出力をパルス幅で割った値のこと。
(例. パルス幅が1ピコ秒、1J出力の光パルスの場合: $1\text{J} / 10^{-12}\text{秒} = 10^{12}\text{W} = 1\text{TW}$)
- 繰返し数: レーザーパルス光の発振(発生)周期のこと(単位時間当たりの発振頻度)。
(例. 繰返し数が10Hzの場合: 1秒あたり10パルスが発生)
- スペクトル幅: レーザー光の周波数(波長)幅のこと。

レーザー核融合

多ビームの高出力パルスレーザー光を用いて水素燃料を爆発的に圧縮し、太陽内部を超える高温・超高压の高密度プラズマ状態を生成して、核融合の反応を起こす方式のこと。近年、高速点火方式という追加熱の有効性が確認され、核融合の小型化に繋がる成果として注目を集めている。

レーザー加速

プラズマ中に高強度の極短パルスレーザー光を集光すると、プラズマ中の電子が振動し、レーザー光の後ろに電子の粗密波(航跡波)を作る。電子は、プラズマ中を光速に近い速さで進む航跡波の大きな電場で、ほぼ光速近くまで加速される。最近のフェムト秒台の極短パルス光の出現により、通常の加速器の加速限界を大幅に上回る極めて大きな加速電場が得られるようになった。

レーザーセラミクス

蛍光物質を添加したレーザー発振用のセラミクス媒体(母材)を指す。ネオジムヤグセラミックスなど。

レーザー結晶

蛍光物質を添加したレーザー発振用の単結晶媒体(母材)を指す。ネオジムヤグ結晶、チタンサファイア結晶、クロムライサフ結晶、イッテルビウムフッ化物アパタイト結晶など。

レーザー冷却

レーザー光を用いて、原子・分子やイオンを絶対零度近くまで冷却(エネルギーを低く)する方法のこと。冷却しようとしている原子・分子やイオン(冷却対象)に、その吸収波長よりもやや長い波長(エネルギーの低い)のレーザー光をX、Y、Zの三軸方向から照射すると、冷却対象はレーザー光が集光している一点に集められる。これによって、速度をほとんど失った冷却対象の温度は、絶対零度近くまで冷却される。このように冷却された集団は量子性を顕著に表し、原子光学やBECの検証、また量子コンピューターの実験などに応用される。

