

3.3 先端のレーザーの原子力への応用

これまで大きな可能性を秘めながらも、一部の分野での利用にとどまってきた光技術は、レーザーの新たな技術革新によって、特にペタワットを超える高出力化が現実になってきたことから、加速器、原子力、産業・医療等の広い分野において、新たな展開が期待されるようになってきた。高強度レーザーを 21 世紀の新しい基幹技術として、広い科学技術分野における先端的基盤研究装置としてのレーザーの役割りを 3.1(2)で議論したが、その技術的特徴をレビューした後、原子力への応用について動向を記述する。

3.3.1 先端のレーザーの諸性質

(1) 固体レーザーと 1990 年代におけるレーザー技術の第 2 次革命

1960年に発明されたレーザーは、最初の数年間で飛躍的に進歩してビーム 1cm^2 ギガワット (GW、10億W) の出力密度に至るまでになった。しかしそれ以上に出力密度を上げようとする、レーザー媒質中での非線形効果による増幅の頭打ちや光学素子の破壊などが起こり、その後の20年間は出力の増大に関しては大きな進歩がなかった。このため、出力を上げるには装置が大きくなってしまふこととなった。この問題の解決は、1985年、G. A. ムルー (ミシガン大学) らの発明になるチャープパルス増幅 (chirped pulse amplification ; C P A) によりもたらされた。この技術を用いて1990年代において卓上型レーザーの出力は $10^3 \sim 10^6$ 倍に飛躍的に増大し、今も発展しつつある。この技術の発明によって、これまでのレーザーの限界を打ち破り、“レーザー=光”が他の技術では実現しなかった新しい可能性を示すことができるようになってきている。

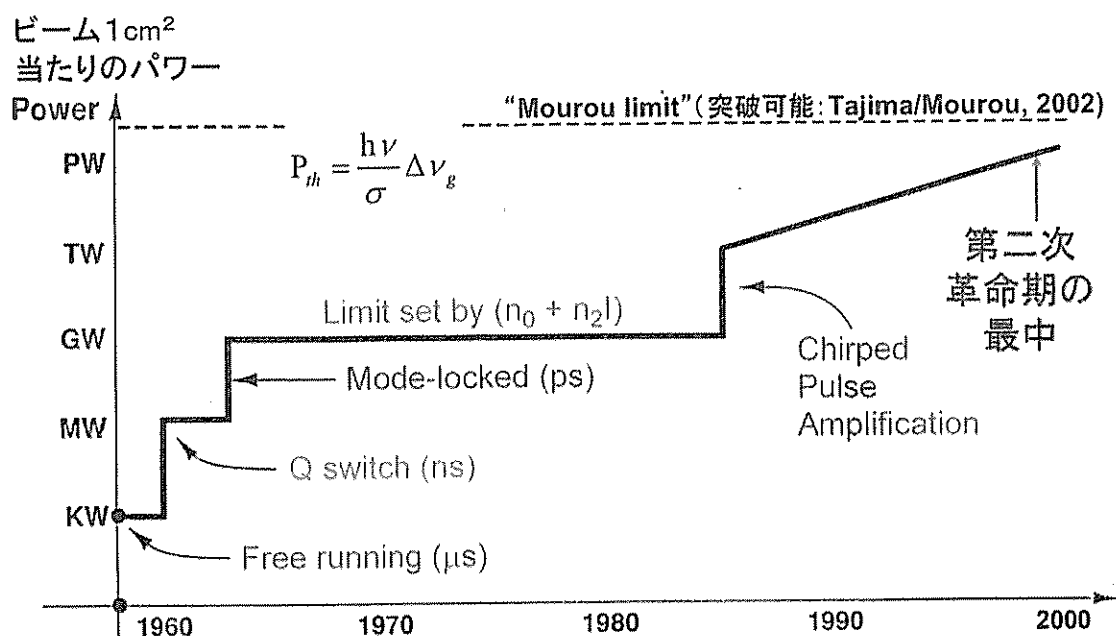


図 3.3-1 レーザーの出力の展開

CPA 技術の発明により現在は第 2 次革命期の只中にある

(2) 拓かれつつある新しい応用分野

超高強度レーザー光は、物質との相互作用において相対論的な力をもたらす。そのひとつの例として航跡場粒子加速がある。高強度レーザーをプラズマ中に照射することによって生成する航跡場による加速勾配は極めて大きく (60GeV/m)、これまでの高周波加速方式で放電による限界となっていた 100MeV/m を大きく超える加速性能が期待されている。超高強度レーザーによる相対論的な効果として、イオン、電子、X 線などの高エネルギーの粒子や光子発生がある。これらは、高輝度、高エネルギー、高コヒーレンス、極短パルスなど、従来の放射線にない特徴を持っており、原子力を始めとする様々な分野で新しい応用を生み出すものとして期待されている。

(3) レーザー技術の課題

高強度レーザーを原子力及び産業・医療などへの応用装置とするためには、次に上げる技術課題を克服する必要がある。④は原子力利用には必ずしも当てはまらないが、後の課題は共通である。

① 効率

現在の代表的な小型超高強度レーザーであるチタンサファイアをレーザー媒質とする T キューブレーザーでは、その発振のための電気―光変換効率は、1000 分の 1 以下である。この電気―光変換効率を 1～10%程度まで向上させることが早急な課題である。

② 発振の高繰り返し化

一般にパワーをあげるとポンプレーザーの入力を大きく取る必要などから繰り返し数が増える傾向がある。高いパワーでも繰り返しの高いレーザーやポンプレーザーの開発が望まれる。

③ 信頼性

レーザービームの高コヒーレント化に加え、ビームプロファイル、レーザーパルスの時間形状などの制御性能の向上が今後の重要な課題となっている。

④ 小型化

現在の高強度レーザーは、励起光源の大きさや、レーザー媒質の熱交換などの影響で大型装置となっている。産業用・医療用装置として普及を図るには、全体のシステムとして、数 m の規模まで小型化する必要がある。この有力な解決方法として、励起光源に半導体レーザーを採用し、直接励起するシステムの開発が考えられる。

(4) 半導体レーザー

上記の技術的課題を克服する重要な技術として、半導体レーザーがある。このレーザーは、光変換効率がよく（現在、1バーあたり 50～60%程度）、小型であり、高フルエンスのレーザー光が得られ、発振の繰り返し数が高いという特徴を持っている。

半導体レーザーは様々な固体レーザーの励起光源としても用いられており、その技術確立によって固体レーザーの高効率化、高繰り返し化、小型化が図られ、これにより生み出される応用分野は以下のようなものが考えられる。

○がん粒子治療法の普及

○高強度場科学

- X線発生
- 量子制御、レーザー化学の新たな展開
- 非熱加工の産業応用、リソグラフィなど
- レーザー医学：レーザー外科の手法
- 環境応用、診断機器
- ICの熱除去など、電子技術への貢献
- レーザー核融合駆動源
- 放射性同位体元素製造（PET）

（５）自由電子レーザー

高出力化に大きな可能性を有しているもう一つのレーザーとして自由電子レーザーが挙げられる。これは、レーザー媒質として、固体に代わり真空(及び電子の制御源として磁場)を用いるものであり、従来の加速器技術を光技術に展開した大きな成果といえる。この自由電子レーザーの開発や応用研究は、米国ジェファーソン研究所、ドイツの DESY、我が国では、原研、阪大自由電子レーザー研究施設、産総研などで行われている。原研では、これまで超伝導リニアックを用いた自由電子レーザーの開発を行っており、出力、高効率化という点で世界最高性能の自由電子レーザー装置の開発に成功している。

自由電子レーザーの特徴

自由電子レーザーの特徴は、

高出力（キロワット以上）

高効率（電子→光変換率 7%以上）

波長可変

などである。このような、レーザー技術の進展には、1990年代における加速器技術の革命ともいえる展開があった。それにより、電子ビームのエミッタンスが飛躍的に向上したことが大きい。

原子力・産業への貢献

自由電子レーザーの特徴を生かして、以下のような種々の応用が提案されている。

- ・非熱切断→ 原子力・産業応用
(原子炉切断、容器解体)
- ・量子制御 → レーザー物質分離、同位体分離
→ 放射性物質・汚染物質分解
→ レーザー化学、物質創製

問題点

自由電子レーザーについては、以下のような技術的課題がある。

① コンパクト化

現在の自由電子レーザーは加速器を基にしていることから、その規模はどうしても大型にならざるを得ない。電子加速の方式や放射線の低減などの技術革新が必要である。

② 短波長化

自由電子レーザーの発振は、電子ビームのエミッタンスに依って決まるので、波長が短くなればなるほど、エミッタンスを小さくせねばならない。短波長化のための高質の電子ビームの生成技術や高強度場によるアンジュレータの開発などが必要である。

③ さらに高出力化

現在、原研の自由電子レーザーの平均出力は 2kW で世界最高であるが、大型構造物の解体などへの応用には、より高い出力が要求される。

④ コヒーレント性

自由電子レーザーは固体レーザーに比較して、ビームの質が低い。このため、低エミッタンスの電子ビーム生成の技術開発が重要である。

新しい技術

これらを解決する技術として以下のような取り組みが必要である。そのうちの一部はすでに世界中で競争して開発研究が進められている。

① エネルギー回収型の加速器 (ERL) 駆動の放射光源

第3世代の光源に比べコヒーレンス性、高輝度性に遥かに優れ、かつリング型なので第3世代光源と同様の汎用性を合わせ持つ。日本では、原研やKEKなどで研究されている。

② X線自由電子レーザー

高縮重のX線光子という新しいX線光源の領域に踏み込むので、干渉性、高輝度の研究に新境地をもたらす(既述)。

③ 電子源の高エネルギー化、低エミッタンス化

上記いずれの新技术展開にも、電子源の高エネルギー化と低エミッタンス化が重要である。これらの課題に関しては、高強度レーザーにより発生する電子や高強度場で加速される電子ビームが優れた性質を有していることが理論的に示され、またシミュレーションにおいても実証されている。高強度レーザー技術と加速器技術との融合は、この点からも必要である。

(6) 加速器とレーザーの掛け合わせによる新展開

加速器技術と高強度レーザーの技術を掛け合わせることで、このそれぞれの技術では到達出来なかった新たな物理領域やパラメータ領域に到達する事が出来る。例えば、第3世代放射光であるSPring-8の8 GeVの蓄積リング電子線と紫外レーザーの掛け合わせによるコンプトンγ線(2 GeV程度)を物質と相互作用させる事により、阪大、原研、JASRIの共同チームは最近5個のクォークからなる新粒子を発見するに至った。この研究は光核反応による素粒子、核物理学の新たな幕開けといえよう。もう一つの特徴は、現存する加速器に比較的安価な装置(レーザー)の掛け合せで極めて顕著な結果が出来る可能性のある事であろう。

3.3.2 国内外の原子力利用の状況

国外の研究機関においても極短パルス高強度レーザーの利用価値は高く期待されており、本年10月にはIUPAPの下にICUILが設立され、国際的にその開発と利用を推進する動きが活発化している。以下に各国のレーザー開発の原子力利用に関する概要を記述する。表3.3(1),(2)を参照。ここでは、原子力利用の範囲として、こうしたレーザーの一般的応用は省く。さてこの節では、狭義の原子力エネルギー利用以外で将来原子力への利用が見込めるかもしれない技術の開発は含めてある。レーザーの先端加速器研究への応用ということでは、表2—

2で触れられているように、こうしたレーザーの加速器（特にその小型化）への応用が重要になって来ている。以下では、レーザーの原子力応用について極く荒く概観しておく。多くの課題で、レーザーが原子力の革新的展開へのツールとして利用が始まっているという段階と考えて良い。

まず、大出力のレーザー（ナノ秒）は慣性核融合の駆動源として利用されており、我が国でも阪大レーザー研を中心に電通大、産総研などで研究開発が進められている。最近爆縮用のレーザーから切り離し、加熱用のエネルギー源としてより短パルス（ピコ秒）のレーザーを爆縮時に照射し核融合燃料の点火に使う方式が発展し、特に阪大の開発したターゲットの方式は注目を浴びている。こうしたレーザーは爆縮用レーザーのエネルギーの極一部とはいえ、かなりのエネルギー（10kJ以上）をpsの短時間に照射せねばならず、効率の向上も含めて開発課題がいろいろある。大出力YAGレーザーが、原子炉などの解体切断のために開発されている。今後、レーザーの大出力原子力応用には、より効率の高い半導体レーザーや自由電子レーザーが適用されることが増えて行くであろう。こうした技術開発は重要である。

一方、原子力の燃料、材料や廃棄物の物質分離のためにレーザーを用いる方法がある。ウランのレーザー分離への応用は下火であるが、より短パルス（fs秒）のレーザーを用いた「量子制御」という方法でのよりエネルギー効率の高い、より選択率の高い方法が開発されて来ている注目を浴びている（原研、分子研、東大などで研究されている）。こういう方法が確立されれば廃棄物処理の方法に違った選択肢を与える事になるかも知れず、今後の展開が待たれる。

短パルス（fs秒）レーザーは、非熱加工において加工面の層ごとの制御が可能で切断面は鋭利で多量の切れ屑を出さないなど優れた特性を持つ。この特性を利用して、原子炉のシュラウドのひび割れの原因になる応力の低減のための表面加工などに利用されうる。

原子力研究のもう一つの重要な柱であるレーザーの放射線利用はより広範な展開を示している。表3.3(1)(2)で示されているように様々の研究所で研究がなされており、コンパクトな高輝度の電子、陽子、X線、ガンマ線、陽電子などの放射光源として様々な利用が始まりつつある。小型PET源はその一つである。レーザー駆動のコンパクトX線レーザーが発展して来たが、完全空間コヒーレントで高縮重のピコ秒X線フォトンが最近では出せるようになった。レーザー加速を

受けたフェムト秒で高輝度の電子線を使い、フェムト秒の高輝度 X 線も開発されて来ている。こうした電子や陽子は事実上点光源で極短パルスであるという著しい特性を持つので、ラジオグラフィーに応用されている。例えば、核融合爆縮ターゲットの瞬間像を陽子線ラジオグラフィーが電場の構造も含め捉えている。上述した電子線とレーザーの掛け合せによるガンマ線を使い、核変換など光核反応の研究が進み、光核反応の断面積が新たに観測されている。これらはまた希少核の中性子反応の逆過程として中性子断面積の観測にも寄与している（産総研、原研、阪大、甲南大など）。

レーザーの利用 (日本)

役割	研究課題	線種/波長	光源の種類	性能	主な実験手法	研究内容	研究機関
レーザー小型加速器	電子加速	電子、陽子	Ti:Sapphire	12TW, 50fs	プラズマカソード	レーザー加速器	東京大学・原子力工学研究施設
		電子	Ti:Sapphire	100TW, 20fs		レーザー加速器	日本原子力研究所・関西研究所
		電子	Ti:Sapphire	1TW, 100fs	航跡場加速	レーザー加速器	宇都宮大学
		電子、陽子	Ti:Sapphire	1TW, 50fs		レーザー加速器	広島大学・ビーム物理研究室
		電子、陽子	Ti:Sapphire	20TW, 50fs		レーザー加速器	電力中央研究所
		電子、陽子	Ti:Sapphire	100TW, 20fs		レーザー加速器	日本原子力研究所・関西研究所
	イオン加速	電子、陽子	Ti:Sapphire	20TW, 50fs	イオン加速	レーザー加速器	日本原子力研究所/放射線医学研究所
原子力への応用	エネルギー利用	0.8μm	Ti:Sapphire	100TW, 20fs	非熱加工	原子炉解体耐放射線材料の開発	日本原子力研究所・関西研究所
		1μm	Nd:glass (GEKKO-XII)	2kJ, 12beam, 0.1~10ns	レーザー爆縮	高密度プラズマ物理研究	大阪大学・レーザー核融合研究センター
			Nd:glass (GMII)	30J, 2beam		高速点火	
		0.53μm	PW レーザー	800J, 0.8ps			
	放射線利用	X線、γ線、高エネルギーイオン	Ti:Sapphire	300mJ, 140fs, 10Hz	超高強度場と物質の相互作用	核励起、原子核振動観察 同位体分離	理化学研究所・中央研究所 レーザー物理工学研究室
		コヒーレントX線、極短パルスX線	Ti:Sapphire	200mJ, 35fs, 800nm		コヒーレント軟X線源開発 アト秒パルス発生 X線 FEL	
		高エネルギー粒子、X線	Ti:Sapphire	850TW, 20fs		放射線源(極短パルスX線、中性子、γ線、イオン、電子、陽子、陽電子)	日本原子力研究所・関西研究所
		高エネルギーイオン			高ピーク出力レーザーの薄膜照射	イオンビーム医療応用	京都大学・化学研究所
		高エネルギー粒子(電子、イオン)、高エネルギーX線	Ti:Sapphire (T6 laser)	10TW, 10Hz	クーロン爆発	医療応用 プロトン加速	
		GeV photon beam	Ar laser	350nm	逆コンプトン散乱	クォーク核分光、核物理	大阪大学・核物理研究センター
		極短パルスX線	自由電子レーザー			遠赤外レーザーと電子衝突によるγ線発生	高輝度光科学財団
		γ線	Ti:Sapphire	100TW, 20fs		量子制御による物質分離 γ線による原子核の研究	日本原子力研究所・関西研究所

役割	研究課題	線種/波長	光源の種類	性能	主な実験手法	研究内容	研究機関
		コヒーレントX線 (0.1~3.6nm 計画中)	SASE-FEL	1GeV	真空アンジュレータ	生体観察	SCSS/Spring-8
		遠赤外光	自由電子レーザー			新放射エネルギーの発生と利用	京都大学・エネルギー理工学研究所
		4~16μm, 300~1000μm	自由電子レーザー	~W	赤外自由電子レーザーの高度化	物性研究	東京理科大学・赤外自由電子レーザーセンター
		遠赤外光 (20μm)	自由電子レーザー	~kW 連続	レーザー電界による電子剥離 エネルギー回収法	非熱加工による原子炉解体 放射光源 偏極陽子線源 物質分離 汚染物質解体	日本原子力研究所・関西研究所
		595~198nm	自由電子レーザー	500MeV	低損失誘電体多層膜ミラー	表面科学	産業技術総合研究所
		γ線 (1~40MeV)			逆コンプトン散乱	原子核物理 光核反応 γ線CT	
		紫外光 (239nm)	自由電子レーザー		ヘリカルオブティカルクライスオロン 選択励起	物質分離	分子化学研究所・極端紫外光実験施設
		紫外~遠赤外 (0.23~100μm)	自由電子レーザー	165MeV, 2.5kW	選択励起	物質分離 レーザー化学 汚染物質解体 創薬	大阪大学・自由電子レーザー研究施設
		コヒーレント軟X線 (8.8nm)	X線レーザー	~μJ, ~ps	過渡衝突励起	短波長での極微細観察	日本原子力研究所・関西研究所

レーザーの利用 (国外)

役割	研究課題	線種/波長	光源の種類	性能	主な実験手法	研究内容	研究機関
レーザー小型加速器への応用	電子加速	電子	Ti:Sapphire		航跡場加速	癌治療 レーザー加速器	University of Texas
		電子	Ti:Sapphire	0.5J, 45fs, $1.5 \times 10^{19} \text{W/cm}^2$	航跡場加速	PET レーザー加速器 X線源	LBNL
		電子	Ti:Sapphire		航跡場加速	レーザー加速器	Spectra Physics/BNL
		電子	TWCO ₂ laser	~TW, 10ps, 10.3μm, 10.6μm	航跡場加速	レーザー加速器	UCLA
		電子	Ti:Sapphire	266nm, 1mJ	プラズマ加速 350MeV Linac と 組み合わせ	レーザーコライ ダー	ORION, Stanford University
		電子	Ti:Sapphire	50mJ, 100fs	航跡場加速 200MeV Linac と 組み合わせ	レーザー電子源 X線源	Brookhaven National Laboratory
		電子	Ti:Sapphire	100TW, 12fsfs	航跡場加速	レーザー電子源	FOCUS, University of Michigan
		電子	Ti:Sapphire		航跡場加速	X線利用	NRL
		電子	Ti:Sapphire/ Nd:glass hybrid	2TW, 1.4J, 700fs	航跡場加速	レーザー加速器	KERI/KAERI/ KAIST
		電子	Nd:glass	160J, 650fs	相対論的電子加 速	レーザー加速器	VULCAN, Rutherford Appleton Laboratory
	イオン・陽子加速	陽子	Ti:Sapphire	225mJ, 60fs	航跡場加速 イオン加速	レーザー加速器 高エネルギーブ ロトンの生成 大画面スクリー ンディスプレイ	ASTRA, Rutherford Appleton Laboratory
		イオン			イオン加速	癌治療	Fox Chase Cancer Center
		イオン	Ti:Sapphire	2.5J, 25fs, 100TW, 10Hz	航跡場加速 イオン加速	超高速の生物、 分子反応 非線形光学	LOA
原子力応用	エネルギー利用	1.053μm	Nd:glass	1.8MJ	レーザー爆縮	レーザー核融合	LLNL
		1.053μm	Nd:glass	>1PW, 30kJ, ~100fs	高速点火	レーザー核融合	
		1.054μm	半導体励起固 体レーザー	100J, 2~10ns, 10Hz	レーザー爆縮	レーザー核融合	
		1.053μm	Nd:glass		レーザー爆縮	レーザー核融合	Max Planck Institute
		1.053μm	Nd:glass	100TW, 2.8kJ (現在 1PW, 500J, 500fs にア ップグレー ド中)	高速点火	レーザー核融合 高強度物理	Rutherford Appleton Laboratory
		438nm	ガスレーザー	1kJ, 400ps	レーザー爆縮	レーザー核融合 レーザープラズ マイオン源 マイクロバイオ ロジー	PALS, Institute of Physics
		1.053μm	Nd:glass		レーザー爆縮	レーザー核融合	四川物理技術研
	放射線利用	極短パル ス	Ti:Sapphire	10TW, 100fs	超高強度場と物 質の相互作用	高強度場物理 医療応用 (眼外 科手術)	CUOS, University of Michigan

役割	研究課題	線種/波長	光源の種類	性能	主な実験手法	研究内容	研究機関
		γ線 (~250MeV)	自由電子レーザー	1GeV, 193~400nm	逆コンプトン散乱	光核反応 固体物理	Duke University
		コヒーレントX線 (12.1nm)	X線レーザー	~μJ	過渡衝突励起	干渉計測	LLNL
		コヒーレントX線 (46.9nm)	X線レーザー	3.5mW	放電励起	生体観察 光学試験	Colorado State University
		0.1~0.15nm	X線 FEL	15GeV	アンジュレータ	生体観察 物性研究 天体現象	SLAC
		530nm (51nm 計画 中)	X線 FEL	217MeV (700MeV 計 画中)	アンジュレータ	高輝度、高時間 分解放射光源の 提供	Argonne National Laboratory
		コヒーレント高エネルギーX線	ERL-LS	7GeV, 100mA, 100fs, 1.3GHz	超電導ライナック	X線研究	Cornell University
		極短パルスコヒーレントX線	ERL-LS	100fs, 10 ⁶ ~10 ⁸ photons/pulse	超電導ライナック	超高速構造力学 超高速プロセス計測 マイクロスコピー コヒーレントX線散乱 構造生物学	Brookhaven National Laboratory
			ERL	極短パルス			LBL
		近赤外および紫外	ERL-FEL	10kW (改造中)		光核反応 物質制御 非熱加工	Jefferson Laboratory
							University of Alberta
							Universite du Quebec
		重イオンビーム	Ti:Sapphire / Nd:glass hybrid	500J, 500fs, 1PW	重イオンビームと超高強度レーザーの相互作用	重イオンビームと物質の相互作用	PHELIX, GSI
		極短パルス	Ti:Sapphire	100TW, 35fs, 10Hz	超高強度場と物質の相互作用	高強度物理 自動車加工	Max Born Institute
		コヒーレントX線 (32nm)	X線レーザー	~μJ	過渡衝突励起	放射線利用	
		80nm (目標 6nm)	X線 FEL	230MeV	アンジュレータ	生体観察 物性研究 天体現象	DESSY
		極短パルスX線	ERL-LS	3.5GeV, 200mA, 1.6mrad, 100fs	超電導ライナック		Erlangen University
			半導体レーザー			核変換	Jena University
		コヒーレントX線 (7.3nm)	X線レーザー		電子衝突励起	放射線利用	Rutherford Appleton Laboratory
		極短パルス	Ti:Sapphire	50fs, 250mJ		爆発物の検出 分子結合の高強度化 分子イオン中での高速プロセス	

役割	研究課題	線種/波長	光源の種類	性能	主な実験手法	研究内容	研究機関
		12nm~75μm	ERL	600MeV	超電導ライナック	IR-FEL, VUV-FEL, XUV-FELと放射光を組み合わせ	4GLS, Daresbury Laboratory
		極短パルス	Ti:Sapphire	~PW	超高強度場と物質の相互作用	医療応用 PET 超高強度物理	LOA
		1.053μm	Nd:glass	メガJ級	レーザー爆縮 高速点火	レーザー核融合 天体物理	CEA
		極短パルス	Nd:glass	Sub-picosecond, 100TW	超高強度場と物質の相互作用	天文学 地球物理	LULI
		コヒーレントX線 (14nm)	X線レーザー	~μJ	過渡衝突励起	プラズマの干渉 計測	Paris-Sud University
			Ti:Sapphire				Polenico di Milano
		2007年に 1.5nmで発振予定	X線FEL				SNR-ENEA-INF
		2007年に 10nm、2009年に1.2nm で発振予定	X線FEL				INFN-ELETTRA
		アト秒レーザーパルス				量子制御 時分割物質観察・制御 レーザー化学	University of Vienna
			ERL-FEL	20MeV ERL 開発中			BINP
		コヒーレントX線 (21.1nm)	X線レーザー				DGL, Institute of Physics
						量子光学	上海光学研
					X線発生 電子発生	フェムト秒科学 レーザー化学	APRI

3.3.3 まとめ

高強度・短パルスレーザーの出現は、広汎な科学技術に新しい可能性を開き新領域や従来の領域の新たな展開に大きな刺激となっている。レーザー技術の加速器技術への導入として小型加速器などへと発展しつつあるのが一例である。しかしこれに留まらず、狭義の原子力への応用やより広い原子力研究、例えば放射線利用としての活用も始まっている。物質科学や生物科学への利用など広い基盤研究のツールにもなって来ている。今後レーザー技術の更なる発展が予想される。例えば、ペタワットからエクサワットといった高パワー化がその一つである。一方、レーザーのエネルギー効率や繰返し数の向上と言った課題が横たわっており、これらの改良のための開発が急務である。このためには、半導体レーザーや自由電子レーザー技術の開発が重要である。半導体レーザー技術は、レーザー技術と半導体技術の組合わさった極めて重要な将来技術である。またレーザー利用の一層の進展には、レーザーの品質の制御が重要であり、その研究開発も見逃せない。

レーザーと言う新しいツールがより効果的に加速器や原子力の世界で利用されるためには、現存の加速器とレーザーを上手く組み合わせる事により各々のみでは到達できないようなパラメータ領域や新たな物理領域への到達を試みる事が重要である。このアプローチにより、現存の加速器の効率的、高度な利用としても魅力のあるものであるものの、比較的少量の追加投資で極めて大きな研究成果が得られる可能性がある。ペンタクオーク発見はその典型例といえる。こういう事を鑑み、今後加速器コミュニティとレーザーコミュニティのより緊密な連携が必要である。