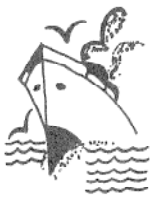


高出力固体レーザー研究の海外近況



海外交流

中塚正大*

1. ま え が き

編集部よりの以来で、筆者の関係している高出力固体レーザー研究関係の海外でのトピックスと研究交流について書き連ねてみる。筆者は、核融合研究用の高出力ガラスレーザーと、関連した光学素子開発の研究に従事しているで、自ずから範囲は狭いと思っただきたい。

レーザーの発明以来、既に35年を経過した。次世紀は「光の時代」と期待されており、基礎科学的発展はもとより、産業技術への急速な進展と、光学分野の人材の育成が期待されている。多くの科学研究分野での日本の国際的寄与を比較した記事では、半導体と光の分野で、他国を上回る点数がつけられているのは良く知られている。その意味でもこれらの分野で、海外協力や交流は国際貢献上で重要なものがある。レーザー核融合研究センター（以下レーザー研）では、要覧にその活動の詳細が示されているが、16の海外研究機関と国際学术交流協定を締結し、研究者や交換学生などの人的交流、レーザー研の実験施設の利用を含んだ共同実験の実施、国際会議の主催などに力を入れてきている。

2. 欧米の高出力レーザー研究

高出力レーザー、とりわけ固体レーザーの研究は、核融合研究用を頂点として、産業応用高平

均出力レーザーの開発が幅広く実施されている。最近、「レーザーと電子光学国際会議 (CLEO '95)、参加者数千人」と「固体レーザーの核融合応用国際会議 (SSLA'95) 参加者三百人」に出席する機会を得た。前者は巨大な会議で、その報告は関係学会機関誌に詳細が報告されている。

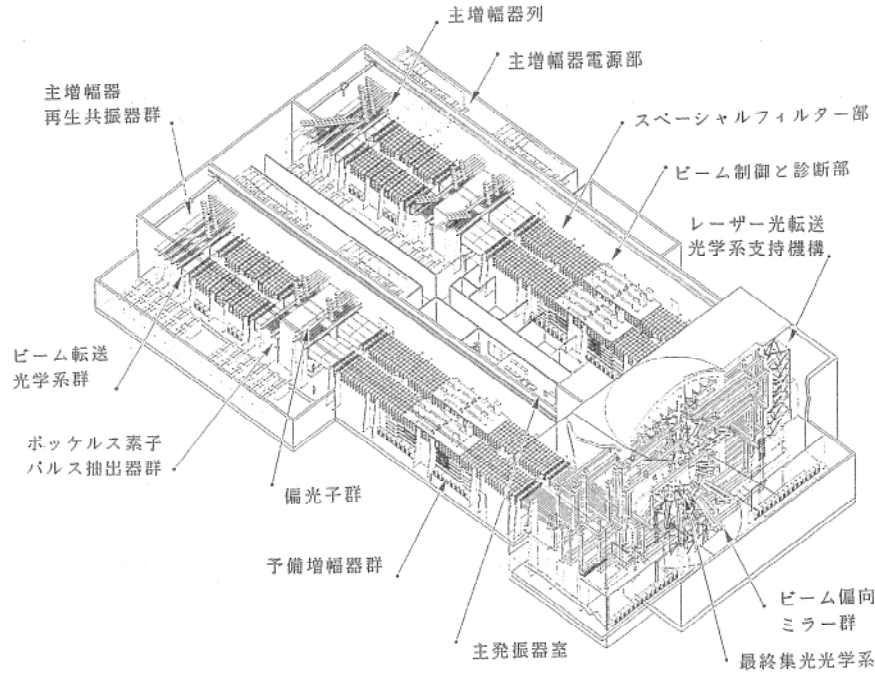
核融合研究用ガラスレーザーは、ナノ秒パルスで100TW級の尖頭出力を出射できるマルチビームシステムである。レーザー研における核融合研究の成果（いずれも世界記録）で、1億度のプラズマ温度と、固体密度の600倍（太陽中心の4倍）を越す高密度圧縮を実現した現在、レーザー核融合研究の中心は、爆縮の過程における不安定性の研究、核融合反応の点火の実現、中間的な核融合利得（約20倍）の実現などに移行しつつある。

米国とフランスでは、数ナノ秒パルスで2MJ級の超高出力レーザーを建設すべく、約2,000億円が予算化されつつあり、2,003年の稼働を目指して、プロトタイプの実験研究と高耐力光学コンポーネント開発、およびシステム詳細設計が進んでいる。本年の6月に米国リヴァモア研究所とフランスのリメユ原子力研究所の主催で「核融合研究応用固体レーザー国際会議」が、米国カリフォルニア、モンタレーで開催された。参加者は米、仏、日、英、中、露、伊から研究者および企業関係者、約300名であった（内100名が海外よりで、日本からは大学と企業関係者で17名が出席）。会議の内容からトピックスを紹介する。

米国の次期装置である国立点火装置 (NIF: National Ignition Facility) は、192ビーム、3ナノ秒、1.8MJ出力の巨大なガラスレーザー装置である（図1）。レーザーシステムとして

* Masahiro NAKATSUKA
1944年2月10日生
1973年大阪大学大学院工学研究科
電気工学専攻博士課程修了
現在、大阪大学レーザー核融合研
究センター、教授、工学博士、レー
ザー工学、高出力ガラスレーザー
開発、石英レーザー材料、非線形
光学材料、補償光学、位相共役効
果 TEL 06-879-8726





米国の次期レーザー核融合点火装置, NIFの概観図. 192ビームでの最終出力は1.8MJ/3ns.

は、ファイバー光学系で構成された4台の微妙に異なる波長の発振器とロッド型再生予備増幅器、および4×4のアレー状配置の主増幅器からなり、192本の個々のビーム径は34cm角の矩形ビームである。主増幅器群は再生増幅器の形を取り、4パス増幅後、再生共振器内から、プラズマ電極型大口径ポッケルス素子と偏光子でパルス抽出される。大型波長変換素子(KDP:第2磷酸カリウム)で青色に変換後、2×2(微妙に異なる4波長)ビーム単位で48方向からターゲットに照射される。核融合利得(ターゲット投射エネルギーと核融合出力の比)は20倍を想定している。

コストを重要視した装置設計のために、若干保守的な選択もしているが、取り扱うレーザー強度は3ナノ秒で20J/cm²(7GW/cm²)と猛烈に高く、そのためにガラスや結晶などの光学材料、薄膜蒸着技術、ゾルゲル薄膜技術などの高耐力化に努めている。すでにビームラインテストは成功裏に完了しており、口径30cm級の装置で8kJ/3ns(青色)が出力された。

フランスは完全な共同研究体制を取り、コンポーネントは同様で、システム設計のみ独自性を発揮している。

日本のレーザー技術であるが、レーザー研の激光システムは、ビーム当たり2TW級で、12ビームのパワーバランスが誤差4-5%と、世界のどの装置より、倍近い良好な性能を有している。また、広帯域部分コヒーレント光を用いたターゲット照射均一性は、球ターゲット上での不均一度3%以下と優れている。光学コンポーネントの開発についても、高耐力高利得レーザーガラスの実現、KDP結晶の1日で50mmに達する高速育成、大型で多孔質の超軽量石英基板の開発、新非線形光学結晶CLBO(工学部、佐々木孝友教授)の発見など部分的には優位な立場もある。国際的交流においては互恵が原則であり、創意のある研究テーマの選択と成果の必要性が痛感される。システムの巨大化に伴い、国際分業と緊密な連携が重要視されている。

高効率固体レーザーの開発に関連して、近年、量子井戸構造でアレー配置の半導体レーザー(LD)の高出力化が知られているが、米国では0.8ミクロン波長でのアレーLDパーのスタッキングで350kW/10×30cm²出力を実現している。最近、我が国でも2.5kW/cm²の出力密度が達成された。

3. ロシア事情

良く知られているように、ソ連邦の崩壊以降、ロシアの経済状態は通常ではない。とりわけ科学研究者は生活はさておき、研究費の壊滅的減少に悩んでいる。米日その他の国際協力により、研究基金が創設され、ロシア国内では百数十件の研究が、100億円を越す資金で実施されている。我々のレーザー工学分野でも、ロシアは研究ネタの宝庫である。3年前にロシア科学アカデミーの招待で訪問したが、米国やドイツの研究者が盛んにロシアを訪問し、共同研究または委託研究の話し合いを振興している場面に多く出会った。3年前には1ルーブル0.6円であったものが、現在0.02円と猛烈なインフレーションが続いている。この際の訪問記は別に報告したので参照されたい。

ロシア人研究者の国際会議出席は、比較的豊富な経済的支援のおかげで、盛んであり、この傾向を維持する努力が国際的に重要と思われる。前記のレーザー会議や、この4月に大阪大学の主催により、千里中央で開催された「レーザー相互作用国際会議」にも10数名を越す参加者があり、前にも増して交流が進んでいる。レーザー研究の分野では、非線形光学、とりわけ誘導光散乱の研究と新材料技術開発が先進的である。B. Y. Zeldovichの発明による位相共役光技術のパワー応用研究は、発明後25年を経ているが、誘導ブリラン散乱を中心に未だにロシアの発案が多い。最近では、高平均出力レーザーでの熱効果の位相補正への応用、位相共役ミラーが、パルス幅500nsを越す長パルスや、数nsで500Jを越す高入力にまで応用され、また10ピコ秒レベルの光パルス圧縮技術などへと、市販技術としても利用されている。

現在、筆者は大型KDP結晶の高速育成でモスクワ大学と、石英レーザーガラスの開発でVavilov光学研究所(サンクトペテルスブルグ)と、また特殊なレーザー励起用フラッシュランプの開発やレーザーシミュレーションコード開発で一般物理研究所(モスクワ)などと協力している。協力の中心は、研究自体の相互的成果の追求が中心となるべきであるが、ある意味で

の経済的援助の側面も無視できない。

ロシア人研究者の国内滞在は、最近良く耳にするが、レーザー研でも例に洩れず、外国人客員教授のポストなども利用し、ロシア、東欧からの滞行者も見られる。

4. アジア事情

高出力レーザー研究でも、中国や韓国との交流が盛んである。最近のCLEO/Pacific Rim '95(米国でのレーザーと電子光学国際会議(CLEO)の2年に一度のアジア版、本年は工学部の西原浩教授がプログラム委員長を務められた)にも、幾人かの研究者にプログラム委員会に加わってもらっているし、本会議への参加者も両国で数10人を越えた。

韓国に関しては、本学への留学生も多く、帰国後、研究者として成長し、我々と共同研究を組む可能性も高い。帰国留学生を研究指導するのに、(財)日本国際教育協会が渡航費・滞在費や、若干の研究費を支援していることは、あまり知られていない。レーザー学会などの年次大会には韓国からの出席者があるし、逆に韓国の物理学会や光学会に、日本のレーザー工学研究者が招待講演をする機会も多い。ここ数年で韓国の電気学会、光学会に、日本より20名近い参加者を得て、国際セッションを開催した経験もある。近年では、米国や日本からの帰国者も多く、韓国の主要研究機関で重要なポストを占めだしている。また、レーザー研では韓国科学院(KAIST)および浦項科学技術研究所とそれぞれ国際学術交流協定を締結している。

KAISTでは現在、ナノ秒100J級のガラスレーザーシステムを建設中であり、超短パルス固体レーザーによるX線発生と併せて、X線の半導体リソグラフィへの応用研究が進みつつある。

中国のレーザー研究は、ここ数年で急速に拡大しつつある。特にレーザー核融合研究は政府レベルの先端技術委員会(High Tech. Committee, テーマ毎に17委員会ある)で'93年にテーマの一つとして取り上げられた。高出力レーザーと物理国立研究所(上海光学精密機械研究所内)、応用物理計算数学研究所(北京)および核物理化学南西研究所(成都)が中心となって、

大型ガラスレーザー装置の建設に取り組んでいる。

上海には従来より、ナノ秒3kJ出力の2ビームガラスレーザー装置(装置名は“神光”)があった。数年前、建設するに当たって、レーザー研を詳細に見学していった中国見学団が思い出される。新規性は、レーザー発振器後の可変形ミラーの採用により、中国製のレーザーガラスの不均一位相歪みを軽減しており、また、レーザー光集光にマルチレンズアレーを発案したことである。回折によるリング構造の除去に役立っている。本装置は現在取り壊され、8ビーム、8kJ(青色)システム(神光II)へのグレードアップが進行中である。口径20cmの2×2アレー型ディスク増幅器が、来年度には稼働を始める。核融合研究およびX線レーザーの開発に利用される予定である。

32ビーム30kJレーザー(神光III)の概念設計が先端技術委員会下のドライバー委員会で始まっており、成都に建設予定で、2004年の稼働が目論まれている。レーザー研は、この設計に関して共同で討論をし、協力する予定となっている。昨年訪問した経験によると、成都市の北部150kmの綿陽市には、「科学城」と呼ばれる地域に先端技術研究所が10数カ所集められており、学研都市さながらに科学研究都市化し

ている。上記研究所もここにあり、中型のガラスレーザー装置を備え、レーザー核融合やレーザーと物質の相互作用研究が進められている。一部ではロシアのVavilov光学研究所の研究者をも雇用し、位相共役波の利用に関する共同研究が実施されていた。

5. おわりに

現在まで、約15年間ガラスレーザーの開発と建設、稼働に携わってきたが、激光XII号の建設当初に比べると、日本の研究機関の研究成果や国内企業の光学技術の進展は、著しいものがある。国際関係の中での日本の位置に対応して我々の分野も確実な成長を遂げてきた。他所でもよく言われることで新味もないが、先進国中での競争と協力には、基礎科学的厚みの創成と、それを実現する牽引車的プロジェクトの確立が望まれる。また、アジア諸国に対しては、互惠を維持しつつ、研究と教育における国際貢献が不可欠である。

参考文献

- 1) 中塚正大：“ロシアにおける高出力レーザー開発”，レーザー研究，21巻，5号(1993) pp.557-565

