

2011, Nov.

No. 284

レーザー・クロス
CROSS

CONTENTS

■EUV光源開発の現状

■7th International Conference on Inertial Fusion Science & Applications (IFSA2011)

■第7回慣性核融合とその応用に関する国際会議

■【光と蔭】民主教育にみる限界と陥穽

■世界鉄道技術会議(WCRR)出張報告

■主な学会等報告予定

EUV光源開発の現状

理論・シミュレーションチーム 砂原 淳

大阪大学レーザーエネルギー学研究センター 西原功修

レーザー総研と阪大レーザー研は平成15～19年度に行われた文部科学省リーディングプロジェクト後も引き続きEUVA(極端紫外露光システム技術開発機構)からの委託研究としてレーザー生成プラズマ方式極端紫外光源(Laser-produced plasma: LPP)及びレーザーアシスト放電方式極端紫外光源(Laser assist Discharge Plasma: LDP)の理論・シミュレーション解析を行ってきた。光源開発の現状を報告する。

■LDP方式

LDP方式はレーザーを回転円盤電極上の液体スズに照射してプラズマを生成し、放電によりピンチさせて極端紫外線(EUV)を発光させる方式である。レーザーを使わずに放電のみでプラズマを生成する場合に比べ、発光サイズを小さく出来、EUV変換効率を向上させることが可能である。近年特筆すべきなのはウシオ電機を中心とするLDP研究グループにより開発された新方式“アドバンスドトリガー方式”である。これは初期プラズマ生成用のレーザーとは別のレーザーパルス照射することによりピンチプラズマの制御を行うもので、さらなるEUV変換効率向上が期待出来る。レーザー総研は放射流体計算でレーザーによるプラズマコントロールの解析を行った。レーザーを使って放電プラズマをコントロールするという発想はレーザーの高い制御性をうまく放電に結びつけたものと言え、今後の発展が期待される。

■LPP方式

LPP方式ではスズドロップレットにダブルパルス照射して極端紫外線(EUV)を発光させる。我々はメインパルスに炭酸ガスレーザーを用い、ターゲット条件及びレーザー条件を最適化することによりEUV変換効率6%が見込めることを放射流体計算により見積もっている。目下の焦点はスズドロップレットにプレパルス照射した時のドロップレットの挙動である。炭酸ガスレーザーのレーザー吸収長は $1\mu\text{m}$ レーザーよりはるかに長く、高いレーザー吸収率を得るためにはスズ

ドロップレットの膨張を定量的に正しく理解し、最適化を行う必要がある。高密度・低温の状態方程式の特性がプラズマのダイナミクスに与える影響が顕著となることを見いだされており、放射流体計算を駆使してプラズマのダイナミクスの挙動解析を進めているところである。

■EUVL2011報告

今年の夏にかけて6台のEUV露光装置が半導体メーカーに納品された。その内5台はLPP光源であり、1台はLDP光源である。納品時の仕様は明らかではないが、おそらく中間焦点で100W出力と想像される。10月に米国のフロリダで開催されたEUVLシンポジウムでの冒頭のEUV露光装置納入先の半導体メーカーの発表から、現時点では実際には10W程度しか達成していないことが推測された。シンポジウムの運営委員会でも、出力の低さが問題視されたのは言うまでもない。この委員会では最初に一言シンポジウムの印象を各委員が述べることになっているが、私(西原)は、今回のシンポジウムの雰囲気は何かこれまでと異なるとまず発言した。たとえ仕様より1桁も低い出力性能であれ、露光装置がエンドユーザーに初出荷されたことにより光源開発が新たな段階へ進み、今までのような「我々はここまで達成した」式の発表が影を潜めたからではないかと思っている。夕方の立食パーティーで、ドイツの光学メーカーの運営委員が私のところにやってきて、お前の「雰囲気がこれまでと異なる」という発言はまったく同感だと述べて行った。あながち私一人の印象だけではないようだ。もちろん安定性、デブリ、効率向上などの問題点がまだまだ改良されなければならない。そのため2013年に予定されている22nm/ハーフピッチ量産露光装置は2014/2015年にずれ込みそうであるが、スマートフォンなどの新しい半導体市場の開拓に支えられ、今回こそは開発が順調に進むことが期待されている。



7th International Conference on Inertial Fusion Science & Applications (IFSA2011)

第7回慣性核融合とその応用に関する国際会議



【写真1】会議場Palais des congrès de Bordeaux Lacの外観(上)とオープニングセッションの様子(下)

目(一回目は12年前の第一回)である。

世界各国からの参加者は500名を越え、講演内容は、核融合点火を目前とする米国NIF (National Ignition Facility)関連を中心に、レーザー核融合に関するものが多く、レーザー加速や実験室宇宙物理、高圧物性等、他の応用分野からの報告が減少しているように感じた。応用分野が発展し、それぞれにおいて独自の国際会議 (ICHD; Int. Conf. on High Energy Density Physicsや、ULIS; Int. Conf. on Ultra-intense Laser Interaction Science等)ができ、分化してきたことがその一因であろう。

講演は、フランスCEAのF. Amiranoff博士によるKeynote講演で口火を切った。欧州における慣性核融合エネルギー開発について、HiPER (High Power laser Energy Research facility)プロジェクトを中心に報告が行われた。HiPERは直接照射且つ高繰り返しでのエネルギー生成を目的とし、高強度レーザーを用いた高速点火方式をベースデザインとしてスタートしていたのだが、近年は衝撃波点火方式にシフトし、これをベースデザインとして多くの実験やシミュレーション研究の成果が報告された。また、間接照射方式での核融合点火を目指すフランスのLMJ (Laser MegaJoule)をサルコジ大統領が訪問した際に、レーザー核融合によるエネルギー開発に言及し、安全保障のみでなくエネルギー開発にもLMJが利用されることが示された。これは米国のNIFと同様の方針である。このLMJの成果を最大限に活用するために、HiPERでは間接照射も選択肢として考えているとのことであった。高速点火については、大阪大学のFIREX (Fast Ignition Realization EXperiment)プロジェクトの進捗次第という感である。また、HiPERの実現には国際協力が不可欠である旨が述べられた。HiPERプロジェクトでは、高出力繰り返しレーザードライバの開発が、4つの異なる方式で進められており、より良い成果が得られた方式を、HiPERの次期開発段階で選出すること。さらに、炉工学についても、スペインでTecnoFusion

理論・シミュレーションチーム 城崎知至

として一部予算化されたとのこと。欧州全体として、点火後のレーザー核融合炉を念頭とした研究開発が本格的に始動し、着実に進展していることが伺える。

米国からはエネルギー省次官のS. Kooning氏がNIC (National Ignition Campaign)の進捗とレーザー核融合によるエネルギー開発LIFE (Laser Inertial Fusion Energy)についてKeynote講演をした。Kooning氏はNOVAレーザー及び激光レーザーでの成果を受けて、NIFの建設を推進するレポートを書いた人物である。NIF及びNICについては、本講演に加え、J. Lindl氏及びE. Moses氏らのPlenary講演をはじめ、一般口頭、ポスター発表と多数の成果報告があった。

本会議の最大の関心は、NICの進展並びに現状、点火はいつか?という点であった。NICにおける点火への進捗は、一次中性子の発生数(点火部のイオン温度を反映)と一次中性子数と散乱中性子数の比(主燃料部の面密度を反映)で定義したITFX (Ignition Threshold Factor eXperiment)により定量的に評価されている。ITFX = 1.0が自己点火に相当する。最新のショットではITFX = 0.1に達したことが報告された。観測された中性子の一部はホットスポット部ではなく、 α 粒子により自己加熱された燃料部から放出されていることが述べられた。ITFX = 0.1に至るまでには、冷却したターゲットのレーザー入射窓に付着する霜への対策、レーザービームの交差点におけるビーム間のエネルギー交換への対策、核融合燃料カプセルの表面に付着する微小なゴミや凸凹の低減、核融合燃料部を伝搬する複数の衝撃波の同期調整、カプセルに添加する元素の最適化などが行われており、改善に伴ってITFXの値が向上していく様子がダイナミックに語られた。E. Moses氏は2012年9月30日までに核融合点火を起こすと宣言した。

日本からは大阪大学名誉教授の中井教授が、高出力レーザーが開く新しい産業についてKeynote講演を行った。大阪大学の白神教授は阪大レーザー研で進めているFIREXプロジェクトに関してPlenary講演を行い、レーザー、ターゲット及び計測技術の改良の結果、高速点火方式による核融合中性子発生数の最高値を得て、FIREXプロジェクトの目標である核融合点火温度の実証に近づいたことを報告した。大阪大学の嶺地教授は、Plenary講演にて、FIREXプロジェクトの成果をベースとしたレーザー核融合原型炉(LIFT: Laboratory Inertial Fusion Test)について講演を行った。レーザーダイオード、セラミックスレーザー媒質など、LIFTの根幹を支える様々な技術・知見が国内にあることをアピールした。

一方、同じアジアから、中国のNational Hi-Tech ICF committeeのHe氏が、中国における近年のレーザー核融合研究の躍進の様子を報告した。計算科学研究所でのシミュレーション結果及び綿陽で建設されている神光III号の写真を多数紹介した。さらにはレーザー核融合による点火・燃焼の実証を目指した神光IV計画が紹介された。レーザー核融合研究に加えて、神光II号で行われた磁気リコネクションの実験など、研究の幅が広がっているのが注目される。また、インドでは超短パルスレーザーを用いた研究が盛んであり、ナノ構造ターゲットによる超短パルスレーザーから高速電子への結合効率の改善や、ターゲット表面での自発磁場や電流密度の構造観測など、ユニークな成果が目を見せた。

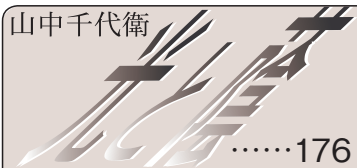
衝撃波点火については、先述の通り欧州のHiPERプロジェクトで採用され、欧米を中心に活発に研究が行われている。米国Rochester大学ではOMEGAレーザーを使って、衝撃波点火の統合実験を行い、中性子イールドが約2倍増加したこと等が報告された。基礎実験に関しては、CzechのPALSレーザーや、FranceのLULIレーザー等を使った成果が報告された。この方式の最大の物理課題は、強度 10^{16} W/cm²程度のレー

ザーで、点火に必要な300 Mbarの圧力を達成することにある。レーザー強度が 10^{16} W/cm²に達すると、光電場によってプラズマの電子波及びイオン音波が変調され、誘導ブリルアン散乱(SBS)及び誘導ラマン散乱(SRS)によるレーザー光の反射が起こる。SRSが支配的であるという報告や、SBSによる反射が大きいという報告もあり、未だ共通理解に至っていない。また、 10^{16} W/cm²のレーザー照射で得られた圧力は、シミュレーション予測よりも一桁近く低いという実験結果も示された。これは、照射スポットが小さく、ターゲット中を3次元的に伝搬する際に衝撃波が急激に減衰するため、生成点に比べ観測点での圧力が低くなっているためであるとの予測が述べられ、生成点では100Mbar程度の衝撃波がたっているものと予測されている。それでも要求される圧力までは達していない。また、HiPERだけでなくNIFでの衝撃波点火実験に向けたターゲットデザインも行われており、高速点火が一時期、多くの研究者やグループにより検討されていた頃のような活気を感じた。

一時の勢いを失っているように感じられたのが高速点火研

究である。大阪大学やRochester大学での統合実験により、加熱パルス照射による中性子数増加が報告されている一方で、加熱の物理機構の解明が未だ進んでいない。最大の問題は発生高速電子が非常に大きな発散角を持ち、この結果、加熱効率が低く、当初の予測より加熱レーザーエネルギーが大きくなる(MJを超える加熱レーザーが必要との報告もあった)点である。このため、大発散角を持つ高速電子ビームのコアへのガイディングが非常に重要な研究テーマになっている。磁場を利用したガイディング法が有望視されており、高速電子の電流密度勾配及び抵抗率勾配によって形成される自発磁場を利用する方法と、外部から磁場を印可する方法が検討されている。自発磁場については、抵抗率又は電流の空間分布を制御することが重要である。これに関しては、大阪大学及びレーザー技術総合研究所から提案された、ダブルカウンターゲット及び鋭利コーンのアイディアが注目を集めた。外部磁場の利用については、米国Rochester大学のOMEGA装置での実験で、50Tの初期磁場をシェルターゲットの爆縮により、10 kT程度まで圧縮したとの報告を受けて、俄然注目されて

山中千代衛



……176

民主教育にみる限界と陥穽

Democracyの語源はギリシア語のdemokratiaだ。Demos(人民)とkuratia(権力)との結合したものを意味する。すなわち人民が権力を所有し、

権力を自ら行使する制度をいう。古代ギリシアの都市国家で行われたもので、近世に至って市民革命を起こした欧米諸国で流布し、基本的人権、自由、平等と多数決原理や法治主義などがその主たる特長で、その実現を求めようという制度である。

これに対比されるのが独裁政治dictatorshipである。強大な権力をもつ単独者・少数支配者・支配的党派が集中化された権力構造を通して大衆を操作し、動員して行う専断的政治手法である。一般的に法治主義と政治的自由を否定する。古代ローマのコンスルによる執政、ドイツのナチズム、イタリアのファシズムがその典型である。

またもう一つの体制に専制政治despotismがある。支配層と被支配層が身分的に区別されていた前近代社会において、身分的支配層が被治者と無関係に営む統治の制度で、大衆の参加を前提とした上述の独裁政治とは異なるもので旧ロシアの帝政などがその典型である。

ところでわが国は昭和の時代、皮肉にも軍国主義militarismにとらわれ、国を挙げて政治、経済、法律、教育などの政策・組織を戦争のために準備し、軍事力による対外発展を求め、戦勝により国威を高めようとした時期があった。

1945年の第二次世界大戦敗戦以後、民主主義を信奉し、営々努力、国家の復興に努力し、その結果見事に世界第2の経済大国に成長した。これまさにデモクラシーの勝利とも言えるのだが、戦後教育を受けた日本人が今や還暦を迎える年齢に到達し、昨今の政治を見るとまさに決断のできない日本を形成しつつある。

現在日本ではコンセンサスを得ることが問題解決の第一要件に挙げられ、次に責任をとらぬこと、責任の所在を不明にすることが常套手段になり、あらゆる局面で決断をしない状態が続いている。

事例には事欠かない。成田空港開港の経過を考えても、滑走路の民家が排除できないし、尖閣諸島沖での漁船衝突事件も責任のある政府要人は雲隠れ、東日本大震災、大津波の対応では後手後手にまわり、福島第一原子力発電所の原子炉3基がメルトダウンし責任者不在の大災害を引き起こした。対策についてスピード感のなさは目を覆うばかり、財政赤字の対GNP比200%の対応でも決断力がなく、いたずらに漂流する政治の悪弊はここに極まれりの感がある。憲法改正も又しかりだ。

それに対して東北の罹災した人々の真面目、忍耐、勤勉はまことに際だった対比を見せている。要するに人の上に立つリーダーの力量が全く見えないのである。まさに中空的権力構造そのものだ。責任ののれの統治では国民はやり切れない。

その昔ウィンストン・チャーチルが述べたように「デモクラシーは最悪の政治体制である。しかし他の体制よりはまし」というが、コンセンサスを得ることが第一要件で何も決まらない日本の政治は今や紋切型民主教育60年の一大盲点とでも言わねばなるまい。

【研究名誉所長】

いる。懸念は圧縮磁場構造がミラー型(高速電子の生成点で磁場が弱く燃料コアに向かうにつれて強くなる;ミラー比で100倍程度)になるため、燃料部近傍で高速電子が反射されうることである。ハイブリッドシミュレーションによる評価では、このミラー反射が大きく影響することが示されている。この欠点を改善する“マグネティックパイプ”なる手法についても提示された。しかし、いずれの手法もシミュレーション、もしくは基礎実験によるもので、爆縮統合実験による実証が待たれる。多くの発表はコーンを用いた手法であったが、コーンを用いず爆縮プラズマを直接加熱する方法で、周辺低密度プラズマ中に加熱レーザー導波路用のチャネル形成実験やシミュレーション研究の進展が報告された。また、発表件数は多くないもののイオンビームによる高速点火の研究も続けられている。最大の課題はイオンビーム発生時の効率であるが、燃料コア中でのエネルギー付与効率は高く、電子加熱に変わるものとしても今後の研究の進展が期待される。

直接照射中心点火方式については、米国Rochester大学OMEGAレーザーの実験結果が注目される。クライオターゲットを3段の短パルスレーザーで予備圧縮した後メインパルスで本圧縮することにより、重水素燃料の面密度が0.3 g/

cm²に達したことが報告された。このプラズマの性能は、1.5 MJレーザーでの点火実験クラスと流体力学的に等価であることが示され、0.5 MJでの点火と等価なプラズマの実現を目指した研究が続けられている。また、NIFでの直接照射中心点火実証に向けて、Polar Direct Drive (PDD)の検討が進められている。NIFは間接照射に最適化されており、レーザーの入射口が極(polar)に集中している。入射口の位置はそのまま、ターゲット上でのレーザーの集光位置を最適化することで、直接照射を行うのがPDDである。シミュレーションでは利得32が得られているが、実際に実験するためには、NIFのフロントエンド部の広帯域化、スペクトル分散を得るための回折格子の挿入、PDDに適した位相板、PDD用の新しいクライオターゲットの導入装置等の大がかりな改修・開発が必要となることである。

今回は2013年9月に奈良で開催される。米国NIFにおける自己点火、我が国のFIREX実験における点火温度実証等、レーザー核融合研究のマイルストーンとなる大きな成果とともに、レーザー核融合によるエネルギー開発に向けた方針が各地域から報告される歴史的転換期となることが期待される。

REPORT

世界鉄道技術会議(WCRR)出張報告



【写真1】バンケット、リール美術館前(中央が筆者、JR西日本、JR総研の参加者)

第9回 World Congress on Railway Research (WCRR)に参加した。参加者は鉄道関係者や大学、研究者を含め、約1000人である。日本からは約70名の参加があった。アジアからは中国、韓国、インド等、またEUからは開催国のフランス、ドイツ、イタリア、オランダ、スウェーデン等、北米大陸からカナダ、アメリカ等世界各国から参集した。会議は全体セッションと8つのパラレルセッションで行われた。

レーザーを用いた技術は、車輪の厚みをラインフォカスされたレーザーで計測すること(アメリカ)や、レーザーを用いて車両との高速通信を行うことであった(日本)。

第9回 World Congress on Railway Research (WCRR)に参加した。参加者は鉄道関係者や大学、研究者を含め、約1000人である。日本からは約70名の参加があった。アジアからは中国、韓国、インド等、またEUからは開催国のフランス、ドイツ、イタリア、オランダ、スウェーデン等、北米大陸からカナダ、アメリカ等世界各国から参集した。会議は全体セッションと8つのパラレルセッションで行われた。

レーザー計測研究チーム 島田義則

当方の発表はレーザーを用いたトンネル内コンクリート欠陥検出の研究成果について発表した。質問は韓国研究者からコンクリートに衝撃を与えると板振動の他に非線形な振動も含まれているはずである。それはどのように処理しているのか。レーザー照射による振動励起なので非線形が生じるほど強烈な加速度を与えているわけではないと説明したのだが、理解出来なかったようである。その他、コンクリート内に鉄筋が存在する場合に計測出来るのか等であった。

会議に出席して感じたことは、燃料電池車やハイブリッド車の研究はほとんどが日本の発表であり、日本の鉄道技術は車両、施工、運用等に関して世界一であると感じた。

今回は2年後、オーストラリアで開催される。



【写真2】質問に答える筆者

主な学会等報告予定

- 11月28日(月)~30日(水) 日本光学会 年次学術講演会(大阪大学吹田キャンパス)
藤田 雅之「レーザープロセッシングの現状とこれから」
- 11月30日(水) 日本テクノセンターセミナー(東京・日本テクノセンター)
藤田 雅之「パルスレーザー・フェムト秒レーザーの基礎と加工への応用・例」
- 12月5日(月)~6日(火) 第76回レーザー加工学会講演会(東京大学生産技術研究所)
藤田 雅之「フェムト秒レーザーによるCFRPのレーザー切断」(仮題)
- 12月11日(日)~16日(金) GLOBAL2011(千葉・幕張メッセ)
今崎 一夫「New Laser Fusion Method by Intense Laser」
李 大治「Gamma ray generation for nuclear transmutation」
- 12月19日(月) レーザー学会 第421回研究会(徳島大学産学官連携プラザ)
谷口誠治「液中レーザーアブレーション法による活性金属ナノ粒子生成とその応用」