



■第59回気体エレクトロニクス会議

野崎智洋（東京工業大学大学院理工学研究科）

2006年10月10日－13日の日程で、第59回気体エレクトロニクス会議（Gaseous Electronics Conference:GEC）がオハイオ州コロンバス、オハイオ州立大学にて開催された。GECはアメリカ物理学会、原子分子光物理分科が毎年開催している、気体放電現象およびその応用に関わる基礎研究に主眼を置いた会議である。GECは米国内の会議であるが、海外からの出席者が多いことから事実上の国際会議となっている。したがって、会議を運営する実行委員も米国を中心にアジア・オセアニア、ヨーロッパから選出されており、ビジネスミーティングでは次回、次々回の会議開催について準備状況が検討される。なお、GECという会議のスコープは、京都大学斧高一教授がプラズマ・核融合学会誌 82(1) (2006) pp.53-54 において詳しく紹介してくださっているので、詳細はそちらを参照されたい。

2006年は、アメリカ、日本、ドイツ、フランスを中心に約250名の参加者を得てほぼ例年どおりの規模で開催された。本会では、Arranged Session と呼ばれる14の重点領域セッションが設けられ、2室並列で進行された。2つのポスターセッション、1つのプレナリーセッションを含めて、140件の口頭発表（招待講演26件を含む）と148件のポスター発表が行われた。Arranged Session と招待講演者【所属】は次のとおりである（敬称略）。

1. プラズマ支援燃焼，推進，空力（I V Adamovich [The Ohio State Univ.], M Shneyder, [Princeton Univ.], S Popovic [Old Dominion Univ.]）
2. ナノテクノロジーへのプラズマ応用（A von Keudell [Ruhr-Univ. Bochum]）
3. 高気圧プラズマ（K Tachibana [Kyoto Univ.], J Heberlein [Univ. of Minnesota]）
4. バイオ・環境応用（M Brunger [Flinders Univ.], E Illenberger [Freie Univ. in Berlin], M Laroussi [Old Dominion Univ.]）
5. 材料加工（S Samukawa [Tohoku Univ.], M S Barnes [Intevac Inc.]）
6. 電離現象（M Schulz [Univ. of Missouri-Rolla], J Lower [Australian National Univ.], T Rescigno [Lawrence Berkeley National Lab.], M Foster [Univ of Missouri-Rolla], R S Schappe [Lake Forest College]）
7. 高周波放電における衝突過程（D Gerlich [Technische Univ. Chemnitz]）
8. マイクロプラズマ（K Terashima [Univ. of Tokyo]）
9. 負イオン（J-P Booth [Ecole Polytechnique]）
10. プラズマ－表面相互作用（V Donnelly [Univ. of Hous-

ton]）

11. 電子と原子・分子の衝突（V McKoy [CalTech], P Johnson [Jet Propulsion Lab.], I Bray [Murdoch Univ.]）
12. 絶縁破壊（M Bowden [Open Univ.]）
13. 光源（T Sommerer [General Electric]）
14. 輸送現象（L Viehland [Chatham College]）

一般発表（口頭，ポスター）のおおよその分野と件数は次のとおりである：プラズマ推進・プラズマ燃焼(15件)，プラズマ基礎（13件），解離・再結合・付着（7件），ナノテクノロジー（5件），高気圧プラズマ，マイクロプラズマ（35件），プラズマ－表面相互作用，エッチング（20件），プラズマ診断(24件)，電離(11件)，電子と分子の衝突(14件)，材料プロセス(16件)，光源（19件），アーク放電（8件），電子－陽電子相互作用（5件），誘導結合プラズマ(10件)，容量結合プラズマ（14件），バイオ・新領域へのプラズマ応用（6件），シミュレーション・モデリング(25件)，プラズマケミストリー(25件)，電子・光相互作用(15件)，輸送現象（4件）。

サブミリからマイクロスケールで形成されるプラズマ（マイクロプラズマ）の基礎・応用に関する研究はここ数年大きな注目を集めており、今年は Arranged session に“Microplasma”が初めて設けられた。本セッションの招待講演は、寺嶋和夫先生（東京大学）により、“Micro Discharge Under Supercritical Fluid Conditions -Physics and Application to Material Processing”と題して行われた。他、日本からは、Material processing において寒川誠二先生（東北大学）、High pressure では橘邦英先生（京都大学）が招待講演として招聘された。Arranged session におけるプラズマ支援燃焼，空力応用，高気圧プラズマ，バイオ・環境応用，マイクロプラズマはいずれも大気圧非平衡プラズマの範疇に属する。また，プラズマ診断，モデリングに分類された講演の中にも，大気圧非平衡プラズマに関するトピックが数多く見られた。この分野に関連した研究テーマはますます細分化すると同時に，研究者人口は年々増加し続けている強い印象を受けた。

GEC では、隔年で Will Allis Prize Lecture と GEC Foundation Talk が交互に企画される。2006年の Will Allis Lecture は、UC Berkeley の Michael A. Lieberman 教授により、“Nanoelectronics and Plasma Processing - The next 15 Years and Beyond”と題して行われた。Ambitious なタイトルであるが、やはり講演で最も注目を集めていたのは、プラズマの基礎とモデリングに関する部分であった。講演資料は、Lieberman 教授のホームページよりダウンロードできるので、興味のある方は参照されたい（<http://www.eecs.berkeley.edu/%7Elieber/>）。なお、2005年の GEC Foundation Talk は、同じく M.A. Lieberman 教授により“Plasma, Sheaths, and Surfaces - The Discharge Science of Irving Langmuir”と題して行われた。こちらについても上述の HP から参照することができる。

GEC では学生の研究活動を積極的に振興しており、優秀

発表者の選抜と旅費の一部支援を行っている。Student Excellent Awardの選抜では、学会に先だって10名程度の候補者を指導教官等より募集し、学会発表を通じて研究への取り組み、理解度、プレゼンテーション能力などを総合的に判断することで、若干名の受賞者を実行委員が選抜する。受賞者はUS\$500も授与される。

2007年の第60回 GEC は、Arlington, VA (Local Secretary

Darrin Leonhardt)にて、10月2日～5日の日程で開催される予定である。最後に、GECを運営している実行委員には、日本から委員が加わることが恒例になっている。GEC実行委員である京都大学斧高一教授におかれましては、会議の運営からプログラム編集にご尽力いただいていることを付記します。

(原稿受付 2006年11月16日)

■第48回アメリカ物理学会プラズマ物理分科会 (APS-DPP) 年会

2006年のAPSプラズマ物理分科会(DPP)年会はペンシルバニア州フィラデルフィアにて、10月30日から11月3日の日程で開催された。フィラデルフィアはペンシルバニア州南東部のデラウェア川に臨む、人口約150万人の全米第5位の都市である。歴史的には、アメリカ独立戦争時に独立宣言が起草されるなど、アメリカ建国の地として有名である。また、映画「ロッキー」で有名なフィラデルフィア美術館等、いくつもの美術館や博物館が市中心部から徒歩圏内にある。会議期間中は、中間選挙の前週ということもあってテレビでは関連のニュースが多く放送されていた。各候補の宣伝だけでなく、対立候補のネガティブキャンペーンがかなり多く放映されているのには、日本人の感覚との違いを感じさせられた。

本会議には核融合、基礎プラズマ、宇宙プラズマ等、非常に広い範囲の研究者が集まる。今年の参加者は1500人以上で、発表件数は1600件以上であった。発表件数が多いため、レビュー講演と受賞講演以外では5～7セッションが並行に進行しており、会議全体の内容を把握するのはほぼ不可能ではないかと思われた。そのため、それぞれの参加者によって異なった感想があると思うが、会議初日が高速点火に関するレビュー講演で始まり、高速点火に関しては大阪大学の兒玉了祐教授、田中和夫教授等がAward for Excellence in Plasma Physics Researchを受賞されたこともあり大変印象に残った。また、今年のジェームズ・クラーク・マックスウェル賞としてChandrashekhar Joshi博士によるレーザーおよびビーム駆動によるプラズマ加速器の研究が受賞されたこともあり、レーザーとプラズマの相互作用を扱う研究が目立っていたように感じられた。

昨年の会議報告でも触れられていたが、本会議の予稿集はウェブサイトで公開されている(<http://meetings.aps.org/Meeting/DPP06/Content/564>)。会議に参加されなかった方でも閲覧することが出来るので是非参照されたい。ちなみに、昨年度の予稿集も引き続き公開されているようである。

以下は、「トカマク系」、「ヘリカル系」、「慣性核融合」、「基礎プラズマ」、それぞれの視点からの会議報告である。

(名大 荒巻光利)

トカマク系

トカマク実験は、DIII-D (ゼネラルアトミックス社)、

NSTX (プリンストンプラズマ物理研究所)、Alcator C-Mod (マサチューセッツ工科大学)の装置からの発表が主であった。DIII-Dでは、4基あるCo方向(プラズマ電流と同方向)接線NBIの1基をCo方向からCounter方向に変える工事を行い、ITERにおいて想定される低回転プラズマの特性解明に向けた研究を進展させた。特に注目されるのは、抵抗性壁モード(RWM)の安定化に必要な回転が、従来の実験より大幅に小さく、トロイダルアルフェン速度の0.2～0.3%であることを示したことである。JT-60U(原子力機構)から、同様に小さいトロイダルアルフェン速度の～0.3%でRWMが安定化できる結果をほぼ同時に示したことは興味深い。DIII-Dでは下側ダイバータの形状を変えて、高三角度・ダブルヌル配位でも粒子排気を可能とし、高ベータ定常化実験を行った。高三角度プラズマでの粒子制御に効果が見られたが、トロイダル回転の低下による閉じ込め劣化が生じている。JT-60Uでは、フェライト鋼の装着によるトロイダル磁場リップルの減少を図り、トロイダル回転の増加が得られ、閉じ込め改善と大体積プラズマにおける壁の安定化効果の増加により、壁なしの理想MHD安定限界に近い高 β プラズマとその維持時間の伸長が得られた。

NSTXでは、蒸発リチウムを第一壁へ吹きつけるその場コーティングにより、リチウムペレット入射と同程度のリサイクリング減少と酸素不純物の大幅な減少が得られ、粒子排気と10～20%の閉じ込め向上が得られた。また、非軸対称コイルによる誤差磁場の動的補正によりトロイダル回転のブレーキング効果を抑制しRWMを安定化して、高ベータプラズマ維持の伸長が得られた。スフェリカルトカマクで多く発生するトロイダルアルフェンモードについて、複数モードの結合により単一モードより大きな高速イオンの損失が観測された。また、電流分布を平坦化(内部インダクタンスが0.45)して、ダイバータコイルの若干の変更により楕円度が3.0、三角度が0.8の高非円形プラズマが得られている。Hモード閉じ込めスケールリングでは、高アスペクトトカマクと異なり、プラズマ電流に対する依存性が小さく($\propto I_p^{0.4}$)なり、トロイダル磁場依存性が大きく($\propto B_T^{0.85-0.9}$)なることが明らかにされた。Alcator C-Modでは、金属プラズマ対向材によるITERへの貢献を強調し、ボロン化によるベデスタル圧力向上とHファクター改善機構を示した。LHCDによってブートストラップ電流とLH電流による1MAの全電流駆動の初期的結果を得てITERへの適用可能性を述べた。プラズマ周辺とSOL領域の詳細な計測によりELM発生からフィラメント形成を明らかに

した。

トカマクプラズマの統合化モデルの研究が盛んになりつつあり、米国 SciDAC 計画の下で Center of Plasma Edge Simulation (CPES) 計画が始まり、プラズマ周辺の新古典輸送と乱流を含んだ運動論コードと2流体 MHD コードの統合化を進め、ELM 現象の非線形シミュレーションを示した。また、Edge Simulation Laboratory (ESL) 計画が同時に始まり、運動論的コードにより周辺乱流、輸送、ELM の解明をめざしている。また、JT-60U の実験結果を基に検証した統合化コードを開発し、プラズマコア、ELM と周辺プラズマ、SOL・ダイバータの統合化モデルが示された。

(原子力機構 小関隆久)

ヘリカル系他

近年の傾向と思われるが、ヘリカル系の発表は筆者の「LHD の内部拡散障壁 (IDB) 形成による高密度プラズマ放電」に関する招待講演を除くと、口頭発表が0件、ポスター発表がわずかに26件と、会議全体に占める割合はかなり低いと言わざるを得ない。

ポスター発表の内訳は大半が設計研究を含む、理論や数値計算に関するものであった。その中では、3年後の実験開始をめざす NCSX (プリンストン大学) の装置建設、実験準備に関する連続発表、Quasi-Poloidal Stellarator の MHD 安定性理論に関する数件の連続発表が比較的目的を引いた。NCSX は現時点で65%の進捗率となっており、予定どおり2009年末のファーストプラズマ点火を目指しているとのことであった。磁場コイルのアライメントは、コイル間の相互インダクタンスの差を利用する評価法が採用される予定で、担当者によると誤差は0.01–0.10 mm 以内に抑えることが可能とのことである。ダイバータ板等のプラズマ対向機器の設計は、実験開始後本格化するという事でやや後回しになっており、PIES や VMEC/MFBE による平衡計算を組み合わせたダイバータ板上の熱負荷計算が始まったばかり、という感じであった。

実験関係では HSX (ウイスコンシン大) の数件の連続発表を除くと、CHS (核融合研)、H1-NF (オーストラリア国立大) 等の中・小型装置からはそれぞれ1, 2件程度であった。HSX は、ECH パワーの伝送をこれまでの導波管から準光学伝送系の伝送路に変更することで、最大200 kW の電力をプラズマに入射することが可能となり、今後新古典輸送に着目した実験研究を行っていくとのことであった。

NCSX の実験が始まれば、アメリカ国内のヘリカル系の研究も再び活発化すると思われるが、現時点では唯一の大型装置である LHD に携わっている我々の果たす役割が、きわめて重要であるということを再認識させられた会議であった。

(核融合研 森崎友宏)

慣性核融合

慣性核融合関連のハイライトの一つは、Award for Excellence in Plasma Physics Research を、兒玉、田中両氏(阪大)をはじめとする5名が高速点火核融合の研究に対して受賞したことである。今回のセッションを見ても高速点

火や高強度レーザーとプラズマの相互作用が多く占めており、盛況であった。発表内容も当初の高速電子による点火をはじめとして、高速イオンを用いた点火や(LLNL など)、高速流体を用いた点火(阪大など)などの点火方式に関する研究がすすんでおり、今後のさらなる研究の進展が期待される。また、ロチェスター大学の OMEGA-EP レーザーの建設も順調に進んでおり、2008年の完成をめざした予備実験も開始しているようで、我々もうかうかとしてられない状況であることを痛感した。

NIF (National Ignition Facility) に関しては、2010年の点火に向けた様々な研究がすすんでいる。NIF の点火デザイン (Point Design) において現時点で最も不確定性の高いリスクは、多段衝撃波で燃料シェルを圧縮する過程における「4番目」の衝撃波通過のタイミングらしい。これを正確に観測するための予備実験やシミュレーションを入念に行っている。NIF の Point Design は、He ガスを封入した金ホーラムに銅をドープしたベリリウムのアプレータというのが基本であるが、ホーラムの大きさを変えて温度を変えたり、ホーラムの材質を変えてみたり(ウランを混ぜる)、パラメータランの数値計算やデータベース集めの実験も行われている。これは点火の確度を上げるための試行錯誤でもあるが、今回いくつか出てきたのはアプレータを銅ドープのベリリウムでなく高密度カーボン(すなわちダイヤモンド)を用いる提案であった。ベリリウムドープの銅をアプレータとして用いる場合、銅のドープ率を段階的に変化させるためにスパッター法で製作するが、この場合ベリリウムの微細構造が流体不安定性に悪影響を及ぼす。加えて、ホーラム X 線の吸収率もベリリウムよりダイヤモンドの方が高いため、最近では有望なアプレータ材として考えられている。これに関連し、早速サンディア研の Z 装置を用いてダイヤモンドやベリリウムの融解に関する実験を行い、ポストデッドラインの招待講演で結果が発表された。ダイヤモンドはまだ途上であるが、ベリリウムではほぼ完全なデータセットが揃っている。このあたりの素早さというか、国立研究所間の連携は見習うべきものがある。NIF の Point Design は初期から見ると色々なマイナーチェンジが行われてきたが、2009年の実験開始に向けてラストスパートに入ってきたという印象を受けた。

他に気になったのは、アブストラクト集が徐々に薄くなっていること。セッション名が年々変わっているのも単純比較はむずかしいが、ポスター発表の件数は確実に減っているようである。大規模レーザーの建設期の真っ只中であるとはいえ、新しいアイデアの芽がやや少なかったのが残念でもあった。

(阪大 重森啓介)

基礎プラズマ

基礎プラズマ分野に関しては、その範囲が曖昧ではあるが、ここまでに紹介された核融合関連以外の発表に関して報告する。内容としては、宇宙プラズマ、波動、ビーム物理、非中性プラズマ、ダストプラズマ、乱流、粒子加速、プラズマ応用や様々なシミュレーション等すべてを挙げるのは難しいほど多くの発表が行われた。その中でも宇宙プラ

ズマに関しては、毎日関連のセッションやミニコンファレンスが開かれる等、特に発表件数が多かったようだ。その他では、ダストプラズマに関する発表も多く行われていた。ダストプラズマと言えばクーロン結晶の構造に関する研究が多いイメージを持っていたが、今回の会議ではもう少し結合の弱い領域での報告もあり興味深かった。こういった傾向はその他の強結合プラズマ系でも見られ、イオントラップを用いた非中性強結合プラズマの報告でも、クーロン結晶の加熱や融解に関する報告があった。今回の会議はレーザーとプラズマの相互作用を扱う内容がめだっていたと感じたが、Michael Downer 博士によるレビュー講演「Holographic Snapshots of Laser Wakefields」では、レーザーウェークフィールドの高時間・空間分解測定

について詳しい解説があり、その測定のアイデアと技術の高さに感銘を受けた。一方、プラズマプロセスに代表されるようなプラズマ応用に関する報告は、プラズマスラスターや光源応用、カーボンナノチューブの合成等があったが比較的件数は少なかったようだ。これは APS-DPP 年會に前後して、同じく APS による GEC (Gaseous Electronics Conference) や、米国真空学会による国際会議 (AVS International Conference) 等のプラズマ応用に関する会議が開催されるためと思われる。もともと APS-DPP 年會も参加者が非常に多く、全体を把握するのが困難な状況なので、こういった棲み分けが必要になってくるのだろう。

(名大 荒巻光利)
(原稿受付 2006年11月28日)