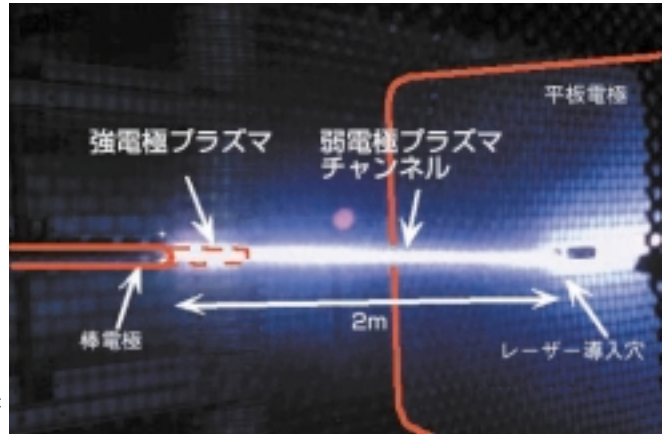


## CONTENTS

- レーザー誘雷技術の開発  
～ハイブリッド方式による長尺放電誘導～
- 第一回日台機械工学と  
航空宇宙工学に関するワークショップ
- 『光と陰』レーザーと宇宙工学と慣性核融合

【写真】強電離と弱電離プラズマ  
チャンネルを用いた長  
尺放電誘導時の写真。



## レーザー誘雷技術の開発 ～ハイブリッド方式による長尺放電誘導～

レーザービーム伝送プロジェクト 研究員 島田義則

### アクティブな避雷対策

近年では落雷対策技術が進歩し、電力の安定供給が実現されている。しかし、まだ落雷の事故がゼロになったわけではない。現行の避雷技術の根底にあるのは落雷が発生してから対処を行う受動的な発想である。理想的な落雷事故ゼロを目指し、電力の安定供給を目指すのであれば発想を転換し、落雷させないシステムの導入が不可欠である。レーザー誘雷技術は落雷しようとする雷をレーザーで誘導し安全な場所に落雷させる技術で、守りたい場所に落雷させない積極的な避雷技術である。

当研究所では、落雷被害の多い日本海側の冬期雷を研究対象として、レーザー誘雷野外実験を行い、世界で初めてレーザー誘雷に成功した実績がある。当研究所ではさらにレーザー誘雷の高信頼度化を目指し研究を進めている。

### ハイブリッド放電方式

雷を確実に安全な場所に落雷させるための重要な要素としてレーザープラズマチャンネルを長尺化することが求められる。著者らは長尺のプラズマチャンネルを作るために強電離プラズマと弱電離プラズマを用いたハイブリッド方式を提案している。強電離プラズマとはCO<sub>2</sub>レーザーなどの赤外光を大気中に照射すると目に見える発光を伴うプラズマが生成される。これ

が強電離プラズマ(荷電粒子密度  $n \gg 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ )である。このプラズマは、単位長さに生成されるプラズマ密度が高く、放電のトリガ効果に優れている利点はあるが、単位当たりに入力するエネルギーが大きく、長尺のプラズマチャンネルを生成するためには大出力のレーザー装置が必要となることや、また大気中のエアロゾルなどが核となり、ビーズ状のプラズマが光軸に沿って生成されるため、離散的なプラズマチャンネルとなる欠点がある。一方、紫外光を用いて大気中にプラズマを生成させると目には見えない弱電離プラズマ(荷電粒子密度  $n < 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ )が生成される。このプラズマは、放電の前駆過程で起こるリーダを生成することは困難であるが、最適化することにより、強電離プラズマで発生したリーダを長尺に渡ってガイドすることが出来る利点がある。

今回は4倍高調波発生用ガラスレーザー(紫外光レーザー)を用いて大気中に弱電離プラズマを生成し、その密度をマイクロ波干渉計で測定した。また、そのプラズマチャンネルを用いて放電実験を行ったので、これらについて報告する。

### 弱電離プラズマチャンネルの密度

紫外光レーザーを焦点距離9mのレンズを用いて集光し、大気中に弱電離プラズマを生成させ、その密度を測定した結果

次ページへつづく ▶

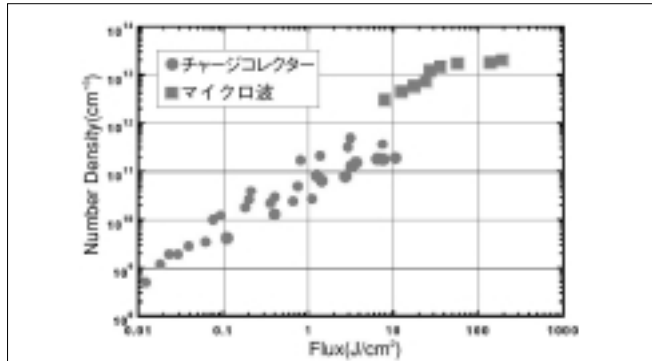


# レーザー誘雷技術の開発～ハイブリッド方式による長尺放電誘導～

(前ページよりつづく)

を図1に示す。印がマイクロ波干渉計を用いて測定したデータである。また、印は高電界で弱電離プラズマ中のイオンを捕獲する方法(チャージコレクター)で弱電離プラズマ密度を求めたデータである。

レーザー強度が大きくなるに従い、密度は約1.1乗で直線的に増加する。また、レーザー強度 $3 \times 10^9 \text{W/cm}^2$ で放電誘導が可能なプラズマ密度 $10^{13} \text{cm}^{-3}$ が達成できている。【図1】



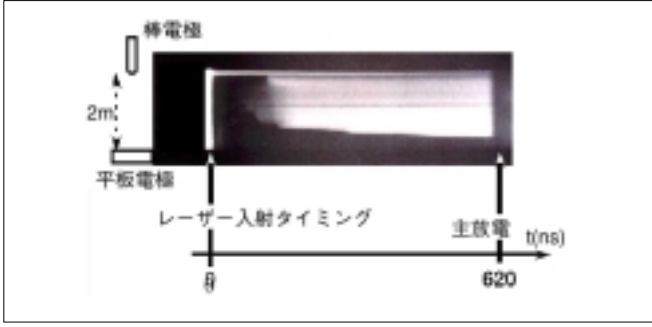
【図1】レーザーFluxとプラズマ密度の関係

## ハイブリッド放電実験

表紙写真にハイブリッド方式を用いて2mの放電誘導を行ったときの写真を示す。棒-平板電極間2mに渡って放電がガイドされている様子がわかる。

図2に放電時のストリーマ写真を示す。写真の縦軸が空間方向で上部が棒電極で下部が平板電極である。横軸が時間軸で左から右へ向かって時間が経過している。棒電極からストリーマが進展し、徐々に速度は低下する。平板電極に近くなるとステップを踏みながら進展する事が分かる。そして、棒電極と平板電極が短絡されると主放電に至る。レーザーが照射されてから放電に至るまで620ナノ秒で放電に至る。【図2】

通常、弱電離プラズマチャンネル中を進展するストリーマは大きな外部電界により強められ、自身のもつ電荷によってさらにストリーマ先端の電界を歪めて自己進展していく。しかし外部電界が小さい場合には十分にストリーマが進展できず、ストリーマ自身の電界も歪められないため、それ以上進展できずに放電に至らない。すなわち放電するか放電しないかの限界の電界とは、ストリーマが平板電極に到達する寸前で止まるかどうかの限界の外部電界であり、ストリーマ自身の先端が持つ電荷はその周辺の電界を強めることはできないと考えてよい。すなわち、ここで得られたプラズマ密度と電界の関係から、ある外部電界のなかでストリーマが進展するのに最低限必要な弱電離プラズマチャンネルの密度を考えると図3のようになる。平板電極付近のプラズマ密度を横軸に、平板電極付近の電界強度を



【図2】弱電離プラズマ中を進展するストリーマの様子

縦軸に取り、50%フラッシュオーバー電圧( $V_{50}$ )の境界線をプロットした。

プラズマ密度が大きくなると、放電に必要な外部電界は著しく小さくなり、プラズマ密度 $1.1 \times 10^{13} \text{cm}^{-3}$ では $0.6 \times 10^5 \text{V/m}$ にまで低下した。さらにプラズマ密度が大きくなると放電に必要な外部電界は益々小さくなる。

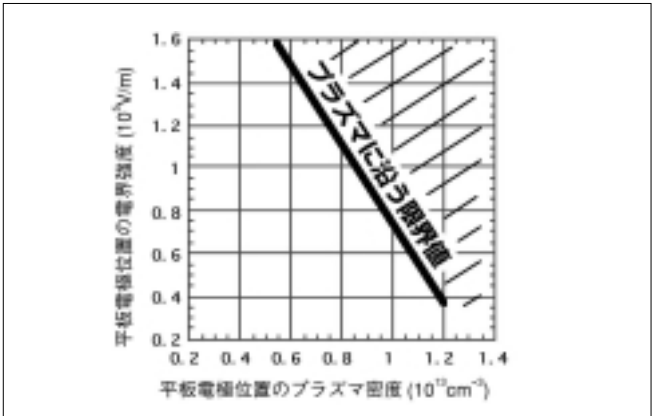
通常、雷雲下の大気中の電界は $0.1 \sim 0.2 \times 10^5 \text{V/m}$ 程度であり、図から外挿すると $1.5 \times 10^{13} \text{cm}^{-3}$ 以上のプラズマ密度が必要であると予想される。

## レーザー誘雷の今後

上述のように、ハイブリッド方式を用いた場合における長尺放電条件が明らかとなりつつあり、実用化に向けて研究が確実に進んでいる。

長尺の弱電離プラズマチャンネルを生成するための紫外光レーザー装置も開発され、当研究所が持つMACH集光鏡(連続的に集光点を変化させることにより長尺のプラズマが生成可能)を用いることにより、 $\sim 100 \text{m}$ 程度のプラズマチャンネルを生成することが可能と思われる。

最後にレーザー誘雷を構成する個々の技術は放電技術、雷予知技術など様々な分野に応用が可能であり、レーザー誘雷研究から波及した技術がまたレーザー誘雷と相まってさらに高度な技術になることを願っている。



【図3】弱電離プラズマ中を進展するストリーマの様子



# 第一回日台機械工学と 航空宇宙工学に関するワークショップ

レーザービーム伝送研究チーム チームリーダー 内田成明

日台協力により開催されるまでの背景

表記ワークショップが台湾、台南市の国立成功大学(Cheng Kung University)で開催された。大学の名前は台湾をオランダ植民地から開放し台南地区の礎を築いた今も台湾人の尊敬を受ける鄭成功に因んでいる。本ワークショップは東京工業大学の岸本教授と成功大学のHwu教授の発案で企画されたものである。日本からは東北大学衝撃波研究センターの高山教授をはじめ総勢36名が参加した。今回は第一回目ということもあり、日本側の参加者を広く募集しなかったため、約半数が東京工業大学からの参加であった。台湾側の参加者は39名であった。会議プログラムは7件のキーノートレクチャをはじめとして約80件の講演で構成された。

機械工学と航空宇宙に関する幅広い会議内容

会議の話題はその名が示すとおり非常に幅広く、構造物と構成材料、ロボティクスと制御、流体・空気力学、燃焼工学、熱伝導問題、ジェット推進、MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)などである。筆者は流体力学のセッションに主に参加したが、その中でも航空機の空気力学など現場に即した話題からレーザー推進にいたるまで、平板上の乱流解析から収束衝撃波に起こるRichtmeyer-Meshkov不安定性の話題まで多岐に亘った。なかでも東工大グループのCIP(Cubic-Interporated Pseudoparticle/Propagation)法の進展が目をつけた。同手法は流体と固体の界面など大きな物性ジャンプの存在する場合の流体

次ページへつづく▶

山中千代衛



## レーザーと宇宙工学と慣性核融合

三題断のように聞こえるが、この三つは私にとって深いかわりがある。宇宙開発

事業団は当初ロケットダイン社のエンジンを積んだ宇宙ロケットH1で順調に打ち上げに成功していたが、国産ロケットH2になって、始めはよかったのに、やがてトラブル続きに見舞われ、太平洋の海底から失敗エンジンを回収し、慎重の上に慎重を重ね改良した結果、この度H2Aロケットの打ち上げに2回連続成功した。誠に喜ばしいことである。ただ陪乗した宇宙航空研究所の再突入試験用の人工衛星DASHは放出できなかった。

実は、この宇宙研の、今は昔、L3H5ロケットで世界ではじめて半導体レーザーを搭載してエアロゾル観測(AZL)を行ったことがある。ロケット観測は誠に潔いものである。長らく準備した努力が一瞬に結果につながるか失敗におわるかなのである。何十億円掛けたとしても、まさに1か0なのだ。このときは見事にテレメーターが作動し、300Km上空にエアロゾルが存在することをつきとめた。またその頃プラズマ研究でもコリジョンレスショックの実験を行っていた。これは地球磁場と太陽風の相互作用に関連したものだから、宇宙観測と核融合研究をレーザーで繋ぐという大それた望みをいただいたものだった。慣性核融合は巨大なレーザーが必要であり、しかも長丁場の研究である。その度に装置を海に叩き込んで実験終了というものではない。けっして短気をおこしてはならないのである。やはり両者を同時にものにするなど出来るものではなかった。文部省の大山超研究調整官に二者択一をせまられたのを覚えている。若気の至りと言うか、元気に満ち満ちていた当時の研究生活が目に見えぬのである。

閑話休題、ロケットに代表される宇宙工学とレーザーによる慣性核融合が国のステータスを示すシンボルであることは火をみるより明らかであろう。米国はもとより、ロシア、EU、中国など力を尽くしてこの命題に努力している。科学技術はベンチャー創出にこそ必要だという世間の捉えかたはあまりに小児的である。貧すりゃ鈍るでは日本国が泣くではないか。

【(財)レーザー技術総合研究所 研究所長】

(前ページよりつづく)

運動もコンピュータで簡単に取り扱えることが特長であるが、レーザーによる切断や溶接のシミュレーションを固体、液体、ガスの各相をすべて含めて非常にコンパクトに扱えるようになった。近年、コンピュータグラフィックス(CG)による映画の製作が話題を呼んでいるがCIP法による物理法則に則したCGの製作にも取り組むとのことである。

筆者は日本のレーザーエネルギーネットワーク(LE-NET)の紹介と共に、その一環としてレーザー推進力の発生効率向上に関する研究を報告した。レーザー推進の最初の実用化は軌道上の衛星を制御するマイクロ推進機への応用が有望と考えられるが、発生推力は実用化レベルに近づきつつあり、今後推進剤の供給方法など工学的な研究課題に取り組む段階にきている。

大小約300台の装置を24時間体制で企業に開放する台湾大学ワークショップの他に台湾各地の国立大学(台湾大学、精華大学、成功大学)を訪問した。まず、台湾大学(台北市)は台湾最大の総合大学であるが、工学部の応用力学研究所(Institute of Applied Mechanics)を訪問した。24名の教官に対して120名の学生

(うち博士課程36名)の規模で年間30億円の予算で運営されている。台湾大学は最も恵まれた大学であるが、中でも機械系の学部は最近のマイクロ・ナノ技術のブームに乗って、優秀な学生と企業からの資金が集中しているようである。しかし、そのような恩恵に安住することなく、さまざまな工夫で研究所のリソースパフォーマンスは非常に高く見受けられる。例えば、研究所内に設置されたMEMSセンターにはマイクロ加工や薄膜製造用の大小約300台の装置が24時間体制で企業に開放されているが、維持管理は僅か5名のスタッフにより行われている。その秘密は徹底したコンピュータネットワーク技術の利用とのことである。装置を利用したい企業はインターネットを通してセンターにアクセスし、空き時間を見つけて予約を入れればよい。また、多くの装置もネットワークに繋がっており、その運転状態がモニターされている。スタッフは管理的なルーティンワークに忙殺されずに技術指導などに集中できるというわけで

ある。センターの運営費200万円弱は全てユーザーの利用料で賄われているとのことである。

IT関連を中心に委託研究が盛んな精華大学動力機械工学系を訪問(精華大学 新竹市)では動力機械工学系を訪問した。動力機械工学といっても油まみれのエンジンが相手ではなく、各研究室はワークステーション(WS)と計測用のレーザーが整備されたクリーンな雰囲気、IT用の超精密機械部品の製造、制御法や熱特性の研究が行われている。台湾は半導体関連産業の成長が

著しいが、この工学系だけでも一昨年、約3億円の寄付が企業から寄せられ、それに加えて各研究室にはIT関連のテーマを中心に委託研究が盛んに行われている。研究の内容はCD-ROMドライブの回転安定性改善、集積回路やMEMSのパッケージング最適化および熱・機械特性解析など製品に直結したものが多く見られる。広々とした清潔な研究室に新しいWSやレーザー機器が整然と並んでいる様子は大学というよりも企業の研究開発室の様であった。学術的な研究はどうであろうかとも思われるが、よし悪しは別として台湾では国立大学も含めて国を挙げて産学連携を一杯活用しながらハイテク産業立国を目指してい



【写真1】成功大学のキャンパス



【写真2】ワークショップのメンバー一同

る。研究自体は始まって間もない印象も受けた。研究室の入っている建物は完成してまだ数年のものが多く、レーザー干渉計やマイクロミニピュレータ、レーザー顕微鏡などが納品されたままの姿で実験室に据え付けられている研究室もあり、人材の育成も含めてこれからの進展が望まれるところである。

台湾の工学系大学院では入学から卒業までの修了率は15%程度とのことである。まさに選り抜かれたエリートが輩出される。比較的恵まれた環境の国立大学でも国からの資金だけに頼らず産学連携による努力をしている。台湾では政府も大学も企業も学生も国の発展のために一生懸命だ。

掲載記事の内容に関するお問い合わせは、編集者代表 藤田雅之 (TEL&FAX:(06)6879-8732, E-mail:m Fujita@ile.osaka-u.ac.jp) までお願いいたします。

当研究所のWebページ <http://www.ilt.or.jp> もぜひご覧下さい。