

2003, Jan.

No. 178

## CONTENTS

- 謹賀新年 光陰は矢の如し
- ICENES出張報告  
(International Conference on Emerging Nuclear Energy Systems)
- 最近のレーザー推進ロケットエンジンの研究動向  
～宇宙に躍進するパワーフォニクス～
- 大盛況だったILT15周年記念セミナー



## 謹賀新年

## 光陰は矢の如し

(財)レーザー技術総合研究所所長 山中千代衛

21世紀も第3年を迎える。平成15年は癸未(みずのとひつじ)まことに時のたつのは早いものである。レーザー技術総合研究所もついこの間発足したという感覚でいたが、去年創立15周年の記念行事を盛大に執り行ったという次第、まさに光陰は矢の如しである。十年一昔というからにはかなりの歴史を積み上げて来たのである。

今や日本国挙げてリストラクチャリングが音を立てて進んでいる。このスピード感に乗れないものはすべて時代に取り残されてしまう。産学官あらゆる組織体は旧来のヤマト構造から、世界の潮流を乗り切れる新日本構造に進化しなければならない。

戦後60年近くたって、まず古い体質や占領下の影響が色濃く残存していて新世界への抱負を描ききれていないのは何故だろう。西を見れば中国が龍のように上昇しており、東をのぞむと米国が唯一の超大国として世界に君臨している。日本は立ち止まってはおられない。

光の如きスピードで変身し、自らのアイデンティティーを確立し、21世紀での地位を固めなければならない。日本人のDNAに世界に誇れるものがあるのは歴史を顧みれば明である。

決して自虐に走ったり、卑下してはなるまい。教育の再建をすすめ、人びとの誇りを取り戻さねばと年頭に思うこと切なるものがある。「天は自ら助くるものを助く」である。



## ICENES出張報告

(International Conference on Emerging Nuclear Energy Systems)

レーザープロセス研究チーム チームリーダー 今崎一夫

第11回の標記会議がニューメキシコ州のアルバカーキーで開催された。開催期間は9月29日から10月3日で参加人員は約150名、参加国はアメリカ、ドイツ、ロシア、スペイン、フランス、ベルギー、チェコ、イタリア、日本が主であった。またIAEAとして数名、DOEから数名の参加があった。

### サンディアピークでの会議

久しぶりのサンディアピークを見ながらの会議である。この国際会議は以前から興味があった。核エネルギー協調論の著者らが発起し、開催していた会議であるからだ。現在は議長は代わり、スペインのMartinezで、サンディア研究所のMehlhornがホストである。この会議は核分裂と核融合にまたがる会議で、はじめのころは両方の特徴を活かしたエネルギー形態が考えられないかという命題を解決しようとした。しかし場合によってはコウモリのような立場になることも考えられ、現在のエネルギー緩和に伴いその傾向がなきにしもあらずである。特に会議の目的が明確でなくなってきた、単なる核分裂と核融合の羅列では意味が無い。

会議のプログラムは、まずADVANCED FISSION ではじめた。続いてACCELERATOR -DRIVEN、NUCLEAR WASTE、FUSION ENERGY、CODE(PIC/HYBRID)、SPACE NUCLEAR POWER & PROPULSION、APPLICATIONSであった。

### ADVANCED FISSION

アメリカは原子力の政策を大きく転換しようとしている。特にG4と呼ばれる次世代の新しい炉や核燃料の再使用、いわゆる核燃料サイクル、高速炉も含めた方向に大きく踏み出そうとしている。またエネルギーの将来予測モデルを検討している。(日本でもよく行われているが)やはり今世紀の中盤以降にはかなりのエネルギーが核によりまかなわれることが必要で、この認識は広くアメリカでも認められ出している。それにはワンスルーの今の政策を変更することが必要であり、ヤッカマウンテンをオープンにすることが提案されている。

まずこの講演から始まりロシアのISTCの原子力研究能力について、IAEAから原子炉と核燃料サイクルについての国際協力と、カナダからは高温ガス炉、アメリカからガス炉の安全性と稼働に関して、ロシア - オブニンスクからは核燃料サイクルに関するデータベースのサポートについての発表があった。アメリカはかなりロシアの潜在能力を買っているようで、今後とも共同歩調をとる様子が伺われた。一番最初の共同研究相手先にロシアを選んでいる。またこれ以外にロシアの核データの公開コードの発表が数件あった。

### ACCELERATOR -DRIVEN

ロスアラモスの研究のサポートの一貫としてサイクロトロンを用いた陽子ビーム発生と核変換に関する予備実験が行われている。サイクロトロンで500MeV程度の陽子ビーム(mA)を発生しこれにより $10^{15}$ /s程度の中性粒子を作る。Los Alamos ADNA Corp. Bowmanのグループから4件の発表があった。これは熔融塩を用い、加速器駆動の中性粒子源を作り、この中性粒子

を捕捉するグラファイトのマトリックスの間を散乱・拡散させ核変換に用いる。

実際の核変換実験に関してはデューク大学が関与して研究を進めている。ロシアの研究者が多く参加しておりアメリカとロシアの関係は深い。

### NUCLEAR WASTE

廃棄物の核変換処理は原子炉を用いた研究が主である。アメリカ、スペイン、チェコから発表があった。いかに格子を組むか。材料をどうするのがこの研究の命題である。核変換のためには核分裂中性子のエネルギーを少しでも落とすことは許されない。また、TRUのみを対象に選んでいる。Pebble Bedという球形の燃料の集合体を用いる発表があった。また液体の熔融塩のブランケット設計と簡単な実験についての発表がなされた。

### ILT from Japan

続いて私の発表であった。私はスーパーキャビティ線を用いた核変換実験に関する研究発表を行った。ロスアラモスやデューク大学の研究者からいろいろと質問が出て1日中、その日の夕方のレセプションでも取り囲まれ対応が大変で、興味を持った人が多くいた。サンディアのQuintents(会議の議長Mehlhornのポスト)もレセプションの時にやってきてかなり聞かれた。この研究は日本のオリジナルであるのでなんとか早く優位性を確立したいものであるが、デューク大学自身優れた蓄積リングを持っており非常に脅威である。

### FUSION ENERGY

サンディアはパルスパワ - でまだ頑張っている。それどころか極めて優れた結果を示しており、ダブルピンチホーラム、ダイナミックホーラム、ピンチ + 高速点火(以前私が日米セミナーで主張した)方式で研究をすすめている。40MA近い電流を安定して流しており、これに内包されている努力はずざましいものである。

ナッコルスが慣性核融合の将来のエネルギー源の可能性について話した。相変わらず機密に守られている男という印象が強い。少しも具体的なことは話さなかった。しかし高速点火の研究の重要性はよく認識しているようで、講演は主にこれが中心であった。

CulhamとGarchingからはヨーロッパの磁場閉じ込め核融合「JETからINTERへ」という題で発表があった。Socio-economicに関する研究に基づき核融合を評価し、2100年までに電力の発生を考えるという内容であった。

### CODE(PIC/HYBRID)

議長の意向で計算機シミュレーションによる高速点火のワークショップが組み込まれている。九州大学の研究者が高速点火

についていろいろと解析計算し、しっかりとした結果を出している。田口君からコードについての発表があった。PICとHydroのハイブリッドコード開発についてであった。彼は今メリランド大学にいる。サンディアから高速点火のエネルギー輸送(電子=REB)に関する発表があった。サンディアの研究者がREBで古典的な制動をはるかに上回る機構があると発表、リターンカレント等懐かしい名前が出てくる。果てはロスアラモスのMASONがCO<sub>2</sub>の場合を持ち出して説明。(Hot Electronのモデル) 時間が逆転した感があった。

千徳君もGAで頑張っている。彼等のグループからも数件の発表があった。これも大阪大学のレーザー研にいたRuhlさん達とコードを作り高速点火のシミュレーションを展開中。この日は大阪の活躍が目立った。

#### SPACE NUCLEAR POWER & PROPULSION

パルスパワーを用いて核分裂物質を圧縮し、小さい質量で臨界に持っていきこれをロケット推進に利用することが計画され

ている。火星ミッションの推進候補だそう。サンディアとアンドリュウの共同開発でかなりの研究が進んでいる。実際のエンジンの模型と基礎実験が行われている。Slutzらが発表。

#### APPLICATIONS

レーザー核物理研究の報告が2件あった。イギリスから1件、カールスルーエからはTcの核変換に成功したとの報告があった。まだ効率は確定しないが興味がある。これは、 $3n$ 反応が起きたことを意味しているからだ。ヨウ素、Cs、Tc、TRUを核変換することは全く私の主張と同じである。

核廃棄物を熱源に使うシステムの利用を計画しており、いかに漏れないか - パブリックアクセプタンスをどうとるかの問題を展開していた。また小型の燃料電池に応用する例がMileyより発表されており、いろいろなアイデアがまだまだ出てきているのは興味深い。

次回はベルギーのブラッセルで2005年に開かれる。

## 最近のレーザー推進ロケットエンジンの研究動向

～宇宙に躍進するパワーフォトニクス～

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

#### ISBEP報告の研究を概観

レーザー(ロケット)推進の研究開発が、最近日米を中心として世界的に活発になりつつある。世界中を見渡せば、今年に入ってから毎月のように世界のどこかでレーザー推進に関する会議が開催されている。その動向をハイパワーレーザーアブレーション会議(HPLA-IV)と6月に開催されたアメリカ航空宇宙学会(AIAA)および11月に米国で開催されたInternational Symposium on Beamed Energy Propulsion(ISBEP)において報告された研究を紹介しながら概観する。

#### 80年代の終わり頃になってから活発化

レーザー推進の概念は1972年に米国のKantrowitzが、平均出力メガワット級の高繰り返し仕様パルスレーザーにより数キログラムのペイロードが宇宙へ打ち上げ可能であると提案したことに始まる。地上に高出力レーザー基地を建設し、上昇するロケットに推進パワーを送るというものである。高出力のレーザーパルスを推進剤に照射し、その噴出(アブレーション)力で推進する原理である。しかし、本格的な研究は80年代の終わり頃になってから活発になった。半導体レーザーの技術的進展によりコンパクトで効率の良い高平均パワーのパルスレーザー、また大きなパルスエネルギーを発生する大出力炭酸ガスレーザーが開発され実験的な研究も活発になってきた。一方、前述のメガワット級の平均パワーが必要な地上打ち上げ方式の他にレーザーを人工衛星などに搭載し、化学燃料では実現できない高性能の推進システムに向けた研究も活発である。

米国、日本、ロシア、ドイツ、フランスなどで活発な研究これまでのところ米国、日本をはじめ、ロシア、ドイツ、フランスなどで活発な研究が行われている。米国では現在のレーザー推進研究の活況をトリガーしたレンセラー工科大のミラボー等の「Light Craft」の研究がある【写真：次ページ】。地上から打ち上げたレーザーパルスで飛翔体後方の大気を熱し推進力を得るジェットエンジン方式である。飛翔体はアルミ製のカプセルで後方から入射するレーザー光を放物面鏡で集光し大気プ

ラズマを生成する。平均出力30kWの炭酸ガスレーザーを用いた実験では71mの高さまでガイドなしで打ち上げに成功した。

フォトニクスアソシエイツのフィップスのグループはレーザー核融合研究で蓄積された多くのデータを集め、レーザーアブレーションにより発生する推進力の発生効率をレーザー強度7桁にわたる依存性として示したのをはじめとして、レーザーアブレーションをスペースデブリ(宇宙ゴミ)除去に応用することや、マイクロ人工衛星のレーザーによる打ち上げを提案するなどしている。最近では半導体レーザーをテープ上の固体推進剤に集光し、マイクロニュートンの推進力を数時間にわたって連続的に発生するレーザーマイクロ推進機の試作機を開発、その性能を実証している。

#### わが国では東北大学、東工大、レーザー総研などで実験成果

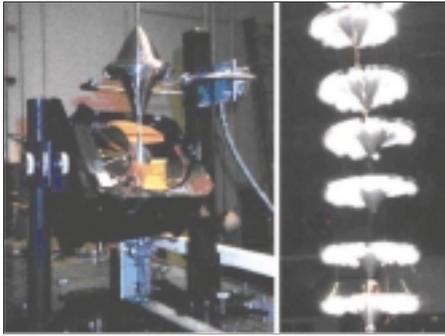
翻ってわが国ではさまざまなレーザー推進方式の研究が進められている。まず、東北大学の佐宗助教授のグループではチューブ内を飛行するLITA(Laser-driven in-tube accelerator)方式を提案し研究を進めている。これは飛翔体に進行方向前方からレーザーを入射させ飛翔体に付けた反射曲面とシユラウドで飛翔体後方に集光し推進力を得るものである。発生した衝撃波は管内に閉じ込められるので推進力への寄与が増倍される。ロケットの燃料は地上10kmまでに燃料の80%を費やすためこのフェーズの効率化が望まれるが、燃料は不活性ガスで何度も再利用が可能である。キリマンジャロなどの赤道付近の高山に加速管を敷設し、小型の衛星を打ち上げるのにLITA方式を利用すれば、推進剤の再利用と環境に有害ガスを排出しないクリーンな打ち上げシステムが構築できる。

東工大の矢部教授グループは、固体表面のアブレーションではなく液体の内部にレーザーエネルギーを集光し吸収させ、圧力をいったん閉じ込めた後、大きな質量を噴出させる推進方式の技術開発を開始している。この原理は大阪大学レーザー核融合研究センターにおいて爆縮過程の性能を向上させるために考案されたもので、レーザー推進に応用することによりエネル

ギーから運動量への変換効率を大きく向上させることが可能となる。飛行船駆動や環境計測を目的としたマイクロプレーンへの応用を目指している。

連続発振(CW)レーザーを推進剤ガスに集光し燃焼波を連続的に発生することもでき、取り扱い条件の厳しい酸化剤を使わずにロケットエンジンを駆動する方式が東大の小紫助教授のグループで研究されている。CWレーザー推進機としてプロトタイプが開発され基礎的な特性を明らかにする実験が進行中である。

レーザー推進システムが軌道上の衛星の姿勢・軌道制御や低軌道から静止軌道への軌道遷移機など多目的に利用される可能性をもつ。レーザー技術総合研究所でもその可能性を追求する研究を行っている。レーザーの吸収領域と推進剤を分離することにより、推進剤の単位質量あたりに注入されるレーザーエネルギー(比エネルギー)を任意に制御することができる。ロケットエンジンは重力の有無や軌道変更前後の速度差などによりペイロード単位重量を駆動するエネルギー(コスト)を最適化する比エネルギー値が存在し、エンジンの性能を調整することによりミッションに適した条件を実現することができる。また、推進剤として水などの安価で取り扱いの容易な物質を使用することも特長である。このような性能は化学エネルギーの放出を利用する従来のロケットエンジンにはない特徴である。今後宇宙環境の産業応用が進展するにつれ、人工衛星の姿勢制御や軌道維持、GPSなど多数の衛星が相対位置をメートルの精度で維



【写真】米国レンセラー工科大の「Light Craft」

持する技術、宇宙工場や太陽発電衛星の建設など大量の物資を軌道上に輸送する手段としてレーザー推進はこれら未開発の分野に威力を発揮し重要性が増すものと思われる。本レーザー推進方式には宇宙関連研究機関も興味を示しており、われわれは(独)航空宇宙技術研究所や米国空軍研究所などと共同研究を開始している。

「レーザー推進技術」として学会の一つの分野へ

このように世界各国でさまざまな適用条件と手法に対して活発に研究が行われているが、始めにも述べたとおり、それらの研究が「レーザー推進技術」として認識され学会の一つの分野(セッション)として認識されつつある。レーザー推進技術は高出力レーザー工学、プラズマ流体科学のほかにレーザービーム制御技術および非線形光学などの科学技術分野も重要な役割を担っており、それらを有機的に関連付けて議論する場が必要となってくる。レーザー推進研究は今後その実用化に向けて研究が大型化し、かつ多数の技術分野の協力が必要となってくる。このような動きを契機に世界的なレーザー推進研究の連携体制も構築されていくものと考えられる。第二回目は当研究所および、東北大学、東工大、航空宇宙技術研究所などの協力の下、本年10月に日本で開催される予定である。またこれと連携しレーザー推進技術を継続的に調査することを目的としてレーザー学会内に技術専門委員会を設置することも検討中である。レーザー推進研究の今後の進展が楽しみである。

## REPORT

# 大盛況だったILT15周年記念セミナー

レーザー環境応用計測研究チーム 橋田昌樹

去る11月6日、千里ライフサイエンスセンターでILT15周年記念シンポジウムの行事の一環としてセミナー「レーザーと産業への応用」が開催された。定員をオーバーし、立ち見が出るほどの盛況ぶりであった。セミナーでは「フェムト秒レーザーを使いこなそう」をコンセプトに、レーザーの基礎から最新の研究成果までを広く普及するとともに、今後の研究発展の方向付けに資するためのプログラムが組み、3名の講師の先生をお招きし「超短パルスレーザーが拓く新しいプロセス技術」、「フェムト秒高強度レーザーの特性と基本的な相互作用過程」、「レーザー光制御技術新展開」について講演があった。

「超短パルスレーザーが拓く新しいプロセス技術」は当研究所の藤田雅之主任研究員が、フェムト秒レーザーの新加工領域についての基礎的な話から、レーザー旋盤、位相マスクを使った大面積一括加工、シリコン半導体の極浅接合などの将来有望視されているレーザー加工技術を示した。「フェムト秒高強度レーザーの特性と基本的な相互作用過程」は京都大学エネルギー理工学研究所の宮崎健創教授が講演、フェムト秒レーザーを取扱う上で重要な群速度分散、非線形応答、フェムト秒パルスの発生、チャープパルス増幅、超短パルス光の計測の基礎的な話から、高強度レーザーと原子・分子の相互作用

用、高強度場中の電子、原子のイオン化、分子のクーロン爆発まで、超短パルスレーザーを使った最先端の研究成果を幅広く紹介した。

「レーザー光制御技術の新展開」は大阪大学レーザー核融合研究センターの宮永憲明教授が講演、スパイラル位相板、液晶旋光板、ホログラムによるラゲールビーム、ベッセルビーム、軸対称偏光ビームなどの特殊ビームの発生法と特徴について示し、He-Neレーザーによる実演も行われた。そしてそれを使った新技術展開についても紹介があった。

セミナー会場では、講師の執筆した原稿をまとめたテキストを参加者全員へ配付した。テキストの内容は他分野の方にも分かる構成で最新の研究成果も含んでおり好評を博した。セミナー終了後、テキストの話聞き付けた産官学界の方々から入手希望が殺到し、出版物は早々に“sold out”してしまった。

産業界で有力なツールとして期待が高まっている超短パルスレーザーに着目し、企画した本セミナーは15周年記念にふさわしいものと感じた。また記念シンポジウムに関しては報告書が出版される。