

LASER

ISSN 0914-9805



Institute for Laser Technology

レーザー・クロス

CROSS

2001, Jan.

No. 154

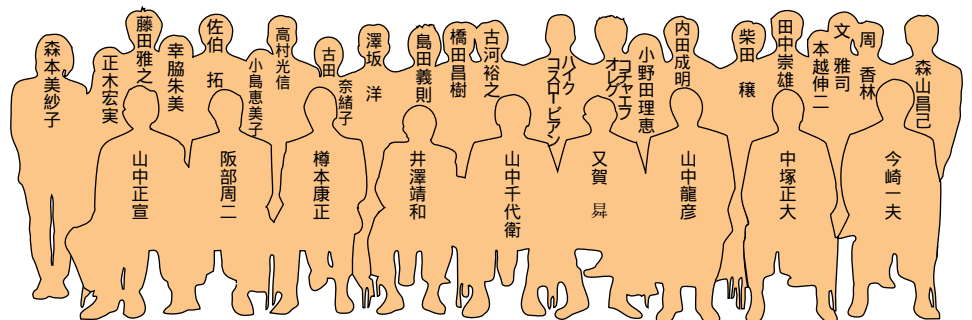
CONTENTS

- 謹賀新年 - 21世紀への抱負 -
- 欧州でのフェムト秒レーザー利用
- UP2000(第12回超高速現象国際会議)報告
米国カリフォルニア州、サンディエゴにて開催
- 二つの世界の接触
- 研究と初夢 -



【写真】財)レーザー技術総合研究所メンバー

科学は未来社会の中核であり、未来を開拓する力の根源である。
人々は今でも諦めずに科学技術が未来を指し示すことを望んでいる。



謹賀新年

謹賀新年 - 21世紀への抱負 -

(財)レーザー技術総合研究所所長

山本千代衛



21世紀の初頭にあたり、しばらく立ち止まって旧世紀を振り返り、目下混迷をきわめる日本の歴史の節目をいかに乗り切るか、新しいベクトルを決める戦略を定めねばならない。

過去130年、わが国はひたすら「坂の上の雲」を目指して進んできた。そこには仕事への献身、不断の努力、不屈の魂が息づき、敗戦の焦土から奇跡の復興を遂げ、経済大国への道が開かれた。しかし驕る平家は久しからず、パックスジャポニカの夢はバブルの崩壊とともに消え失せ、世紀末、国を挙げて閉塞感に苛められている。この難問を突破し、もう一度活力のある国力を取り戻すには絶大なエネルギーが必要である。

成熟し、生活水準の高くなった社会では、少子高齢化、リッチな若年者の断絶した価値観、国の赤字財政、社会倫理の崩壊、政治の退廃が必然的に発生する。かかる事態において、「そのうちに何とかなるだろう」と構えておれば破局の淵に沈下するのは、火を見るより明らかである。

わが国の急激な退潮は政治の失策が直接の原因であるが、その背景にあるものは戦後価値観を180度変換し、国の歴史に基づく精神的価値を否定し、物質的価値にのみ重点を置いた施策が招いた結末である。この効果は世代を経て、自発増幅してきた。

21世紀においてわれわれがとるべき戦略は、戦後50年に蓄積された価値観を転換し、スピリッツによって立つ自立心の再生である。

昨今の日本は山の国と海の国に二分されるという。前者は既得権益に守られた弱体構造で、変わらぬ体質、変わりたくない体質に安住し、後者は自主自立し、たくましい競争力を備えた構造である。2050年を視野に入れると、経済学の未来予測力はまず期待できない。何が確実に次の50年を担保するか。それは教育である。2001年学齢期に達する児童を50年後の日本のリーダーに育つように教育することこそ第三千年紀嚆矢の命題である。

このような見地に立てば教育の再建が最も緊要な戦略であることが分かる。なかでも大学は、日本復活に向けての最大の砦であるべきだ。しかるに現状では、日本の大学は山の国に屈している。昨今国立大学の独立行政法人化の動きが急であるが、大学人の多数は思考停止状態にあり、この大切な時期に自らの構想を練り上げる姿はほとんど見られない。1970年代、あれほど熱っぽく意見が戦わされ、多くの犠牲者まで出した大学紛争世代の気力はどこに霧散したのであろうか。

大学は未来社会の知の中核であり、未来を開拓する力の根源である。国民は今でも諦めず大学が未来を指し示すことを望んでいる。大学の任務「教育と研究」は車の両輪であって、この機能をいかに海の国に構築するか、関係者の自律的改革が望まれる。自然の摂理は「適者生存」である。

欧州でのフェムト秒レーザー利用

レーザー環境応用計測研究チーム 研究員 橋田昌樹

レーザーを使ったLIBS法の研究

金属、液体、粉末物質の元素分析では、計測の容易度の観点からレーザーによるLIBS(Laser Induced Breakdown Spectroscopy)法が提案され、近年ヨーロッパを中心に、放射性廃棄物の元素分析、MOX燃料の品質管理、金属廃棄物の分別法としてLIBS法を使う研究が進められており、プロジェクトの一つとして実施されている。現状では、レーザーとして、出力安定性、高出力の観点から、ナノ秒(10^{-9} 秒)のパルス幅のものが使われている[注1, 2]。分析感度は最高で0.001%濃度で混合物質の成分分析が可能であると報告されている。しかしながら、レーザーのパルス幅が長いために、元素によってはレーザー照射により生成されるプラズマとレーザーとの相互作用の結果、分析感度が、数%にまで悪化し、ショットごとの安定性も低下する。近年、全ての元素においてより高い分析感度0.001%以上を得るために、フェムト秒(10^{-12} 秒)レーザーに置き換えることが検討されている。フェムト秒レーザーの場合、プラズマが生成される時間(10^{-12} 秒)よりもパルス幅が十分に短いため、プラズマによる測定感度の低下を無視でき、元素に関係なく高い分析感度を実現できる。また、フェムト秒レーザーでは、ナノ秒レーザーに比べて、極めて低いレーザーエネルギーで同等の測定感度を実現できる。

MOX燃料の品質管理などに高い信頼性

LIBSとはレーザーを対象物質表面に集光照射して、生成されるプラズマの発光を分光器を使って、スペクトル分解し物質の成分分析を行うものである。レーザーによるLIBS法の特徴は、空気中で実施できる点にある。このため、対象とする物質の大きさには制限はない。また、レーザービームをレンズで集光すれば、6 μm の範囲にまで絞れるため、マイクロ成分分析ができる。一方集光せずに、照射した場合、数cmの範囲のマクロ(平均的)成分分析に使える。この二つの手法により、MOX燃料の品質管理がより高い信頼度で可能である。放射性廃棄物の元素分析、金属廃棄物の分別法についても同様のことが言える。

金属元素のプラズマ分光のためのデータの構築・解析

現在、CEA/Saclay(France)の研究グループでは、フェムト

秒レーザーパルス(70fsec, 800nm)を金属ターゲットに照射し、生成されるプラズマの時間分解分光特性、レーザーアブレーション率(1レーザーショット当たりのアブレーション深さ)のレーザーフルエンス依存性を調べている。プラズマ分光の結果はCu, Al, Fe, Zn, Ni, Pb, Moについて結果を得ており、その一部が報告されている[注3]。レーザーアブレーション率のレーザーフルエンス依存性の結果からは、アブレーションしきい値フルエンス(J/cm^2)は三つあり[注4]。もっとも低かったアブレーションしきい値フルエンスは、ナノ秒レーザーを用いた場合のものよりも2けた低いことが分かった。すなわち、フェムト秒レーザーでは、低レーザーフルエンスで高感度プラズマ分光を可能にする。3つのアブレーションしきい値は、レーザーパルス幅に依存しており、レーザー多光子吸収過程を考慮した場合にうまく説明できることも示された。レーザーのパルス幅が70fs~5psの範囲では、われわれが実施した金属元素(Cu, Al, Fe, Zn, Ni, Pb, Mo)はレーザーアブレーション率 L_n は全て、三つの異なる曲線

$$L_n = n^{-1} [\ln(F/F_{n,th})]^n \quad (n = 1, 2, 3)$$

を重ね合わせたもので表記できる。ここで、 n は光学吸収係数、 $F_{n,th}$ はアブレーションしきい値フルエンスを示す。金属元素のプラズマ分光のためのデータの構築(最適条件)解析は完了しつつある。

コントロールアブレーションのための統合コードの開発

超短パルスレーザーを使った固体物質(主に金属)のアブレーションに関する理論は歴史が古く、1950年代にロシアの理論家たちによって構築されており、2温度分布(電子温度がイオン温度よりも十分に高い状態)になることが理論的に予測されていた。しかし、物理定数が分かっていなかったため、予測は乏しいものであった。近年、超短パルスレーザーの応用研究(精密加工、元素分析、レーザー除染等)が盛んに行われ、熱的な影響、レーザープラズマ相互作用がないことから、有力な産業用ツールとして期待されるようになった。フェムト秒レーザーのレーザーアブレーションに関する理論は改良されたものがたくさん出版されてきた。しかしながら、特定のパラメータ(レーザー波長、パルス幅、レーザーフルエンス、標的

次ページへつづく▶

(前ページよりつづく)

物質、標的の表面状態)の時にのみ有効なもので、パラメータの一つが変われば適用できないものが少なくない。現在、コントロールアブレーションのための統合コードの開発が進められている。著者が把握するかぎりで問題点注5を列挙すると、

レーザーを吸収した固体表面電子がフェルミ温度以上になるレーザー強度領域では、電子放出を取り入れる必要があること

高強度レーザーを照射した場合、多光子吸収過程が支配的となる。多光子吸収係数が分かっていない

高強度レーザーを固体表面に0度入射した場合でも、レーザー電界による電界放出の可能性があること。固体表面は、研磨しても荒さを持っているため、電界効果を無視できない

などである。今後、実験データが構築され、統合コードが確立すれば、物理データのみから、フェムト秒レーザー応用研究のための最適条件を計算することができる。レーザー総研もシミュレーションコードを持っており、改良を行っている。[注6]

[注1] Evaluation of laser ablation optical emission spectroscopy for microanalysis in aluminium samples”, C. Geertsen, J. L. Lacour, P. Mauchien, L. Pierrard, Spectrochim. Act. B 51 (1996) pp. 1403-1416

[注2] Laser plasma limiting effects at nanosecond laser microablation”, B. Salle, M.N. Libenson, P. Mauchien, et al., SPIE. proceedings Vol.3882 (1999), Munich, Germany

[注3] Femtosecond and picosecond laser microablation: ablation efficiency and laser microplasma expansion”, B. Salle, O. Gobert, P. Meynadier, et al., Appl. Physics A 69 (1999) pp. S381-383

[注4] フェムト秒レーザーによる金属のアブレーション”, 橋田昌樹, A.Semerok, O.Gobert, et. al., レーザー学会、282回研究会

[注5] Nonequilibrium heating and cooling of metals under super short laser irradiation”, M.N. Libenson, abstract of international conference (NLMI-10), pp.73 (2000)

[注6] 金属のフェムト秒レーザーアブレーションに関するシミュレーション”, 古川裕之, 内田成明, レーザー学会、280回研究会



「第45回SPIE年次大会」報告

米国カリフォルニア州、サンディエゴにて開催

レーザープロセス研究チーム 研究員 周 香林

5,400人余が出席

平成12年7月30日から8月4日にわたり、SPIE's 45th Annual Meetingが米国サンディエゴで開催され、ILTからは「High-power Laser-fibers structure for Surface Ablation Cleaning under Complicated Circumstance」について、口頭発表により報告を行った。

SPIEは、レーザー、光電子工学、ファイバー光学、生体光学の他、主要な光技術にわたる最も大きな国際組織であり、その年次大会は、全ての大会の中で最も広範囲にわたるものである。従って、この大会は学会構成員や光関連に携わる人々にとって、実用的な科学、光学、材料、およびこれらの伸び盛りの技術の応用を議論するための、またとない機会である。

この年次大会の出席者は、5,400人を超え、また、この年次大会には最新技術プログラムを含む五つの分科会があり、これらは、

レンズおよび光学システム設計

材料およびナノテクノロジー

情報処理および伝送

リモートセンシング/赤外システム

ガンマ - 紫外短波長技術

から成る。

ビーム成形の理論・統計および応用について、評価・検討われわれの報告は、レンズおよび光学システム設計の分科会に属する「Proceeding of Laser Beam Shaping」に掲載された。多くの科学実験や、産業、および医学応用において、レーザービームの照射プロファイルの成形が必要とされているが、このような応用は、レーザーによる材料プロセスや相互作用の研究、ファイバー入射、リソグラフィー、光計測などを含んでおり、1965年以来、レーザービーム成形の分野において、かなりの数の研究がなされてきた。しかしながら、理論、設計、

および様々な手法、技術の評価に関する出版物は、文献を通して広く分散しており、主要産業技術に関する報告を取りまとめることが困難であったにもかかわらず、材料や制作技術(例えば、回折光学系やリソグラフィ-光学系)は、相当な進歩を遂げてきている。今回の会議は、ビーム成形の理論、設計および応用を多様な面から評価・検討する絶好の機会となった。

ビーム成形技術について様々な報告

第1セッションでは、理論と設計の基礎について報告が行われた。ここでは、ビーム成形技術の原理的限界、ビーム成形のための光波設計原理の利用、および回折に関する議論を含む理論的報告から、多くの知見が得られた。この設計原理は、幾何学的技術、最適化技術、およびレーザー共振器におけるビーム成形を含む、ビーム成形設計の成功の礎をなすものである。最後に、ビーム成形の成功に不可欠であるレーザービーム測定

の報告が行われた。第2セッションでは、レーザーファイバー入射に関する報告が行われた。この領域は、光ファイバーを通すエネルギーが高くなるに従い、ますます重要になってきている。入射システムに関する設計と評価について、2件の報告が行われ、同時に表面アブレーションクリーニングへの応用についても報告が行われた。

最終セッションでは、様々なビーム成形技術の実用的設計と応用について報告が行われた。設計では、二つの単独位相成分、屈折ビーム成形光学、紫外と遠紫外のホモジェナイザー、および、多段アパーチャービーム成形による技術が報告され、応用では、電子産業におけるビーム成形の利用と、レーザー印刷のためのビーム成形技術について報告が行われた。



【写真】SPIEの会場

原子炉施設の内側表面除染の可能性

われわれの報告は、この中の第2セッションに分類される。この研究は、当研究所、阪大レーザー研、(株)アトックスの協力により行われたものである。本研究では、高出力・短パルスNd:YAGレーザーを、ビーム・スプリッターで分離し、光ファイバーで伝送した後、亜鉛コート・ターゲットに照射を行った。講演では、光ファイバー中における、高出力・短パルスレーザービームの伝送効率、およびアブレーションクリーニングの有効性に関して考察を行い、原子炉施設の内側表面除染の可能性についての報告を行った。

TREATISE

二つの世界の接触

- 研究と初夢 -

特別研究員 毛利明博

われわれの世界と反世界との交信

21世紀のはじまりでは、百年に一度の夢をみたい。茫洋としてひろがる宇宙も主としてわれわれが住んでいる地球と同じような原子で構成されている。その一方で、素粒子論の教えるところでは反粒子群があり、そのほとんどの存在は実験でも確かめられている。そこで、負の電荷をもつ反陽子と正の電荷の陽電子でできる反水素をはじめとする反原子群で構成された反

世界(anti-world)を夢想してみる。われわれの世界と反世界との交信は両世界共通の電磁波や光で可能のはずだから、反世界に反人間がいるとすると、最近はやりの光結合情報伝達で互いに連絡はとりあえるはずである。とすると、互いの相思相愛の関係はどうなる? 対称性があるとして、相手が「嫌い」といったとき「好き」と考えるのか? 「好き」は「好き」なのか? これ

次ページへつづく▶

(前ページよりつづく)

は難しい問題だ。やはり素粒子やいろんな専門家に聞いてみなくては。いずれにしても相思相愛の二人が手を取り合うことはかなり難しそうである。手を触れた瞬間に接触したところは莫大な消滅エネルギーとなって儚く空間に霧散してしまう。しかし、両世界が接触混合している状態は全くないのだろうか。実はそうではないことが最近の原子物理の領域で示されているし、近々にプラズマでも混合が実現される。

反陽子と電子の混合プラズマの実現

反陽子と電子の混合プラズマは本年内に実現される予定である。一樣軸磁場と軸対称静電ポテンシャル井戸のできるトラップ(写真1)に閉じ込めた電子プラズマに10 keV以下のエネルギーの反陽子を捕捉して混合し、さらに電子のシンクロトロン放射冷却で反陽子の温度を下げる。この計画は東大を中心とした国際研究(ASACUSA計画)として進められている。反陽子ビームはCERNの加速器システムで作られる。本来の実験目的は低速の反陽子ビームをつかって種々の反陽子と原子との相互作用や反陽子合成原子の状態を調べることにあるが、混合冷却したときのプラズマは反物質と常物質の混合プラズマであって、長時間にわたりこの混合状態を維持することができる。

反水素合成の成功も時間の問題

また、理化学研究所では低速多価イオンビームをつくる目的で、陽電子と多価イオンとの混合プラズマをつくる低速量子ビーム研究計画が進行している。低速ビームを発生するために、高磁場内でシンクロトロン放射冷却した陽電子プラズマで多価イオンを冷却する。このときのプラズマもまた常・反粒子の混合状態である。トラップ本体を写真2に示した。共存の世



【写真2】理化学研究所低速量子ビーム研究計画の低速多価イオンビーム発生用冷却トラップ

界と称するには、粒子が混ざり合うだけでなく、集団運動が出現しないといけない。上記の混合プラズマはいずれも特有の波動(プラズマ静電波)を示すはずである。

一方、反陽子(P^-)をヘリウム(He)に接近させると、 He は分極を起こして一個の電子を放出し、この電子の代わりに P^- が収まり、反陽子、ヘリウム原子核、電子からなる準安定な3体系の反陽子ヘリウム原子 P^-He^+ ができる。ASACUSA計画では、この合成原子を対象としてレーザー、マイクロ波を用いた精密分光が現在行われており、CPT対称性を検証する努力がなされている。 P^-He^+ の寿命は数マイクロ秒だが、まさに原子レベルでの常・反世界が融合されている状態ともいえる。

さらに、CERNでは他に二つの反陽子と陽電子が結合した反水素合成の実験が進められている。合成に成功するのはもう時間の問題である。

反生物・反人間合成の是非

夢は理不尽でも果てしなく広がるのが許される。反水素ができるのだから、他の反原子もなんとか合成できるのではないかとすると遺伝子工学の成果から反生物も合成されて、反生物もいる人工的反世界を構築できる可能性は否定できないだろう。さらに反人間まで合成できないか。この反人間は人間ではないから、合成行為は倫理、宗教、いろんな法律にも抵触することはないのでは。でも、われわれと生き写しの者に向き合ったときには感情移入は当然あると思われるし、やはり作る側の世界のルールが適用されるべきで合成は許されないのだろうか。せつかく経験する新世紀のはじめに勝手に空想して思い悩むのはいよいよ加減にして、新年を祝って杯を傾けるとしよう。

(京都大学名誉教授)

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:mfujita@ile.osaka-u.ac.jp)までお願いいたします。



【写真1】東大ASACUSA計画の低速反陽子ビーム発生用冷却トラップ