

## 公益財団法人への移行のご挨拶

理事長 橋本徳昭

レーザー技術総合研究所は、1987年10月、レーザーとその応用に関する研究開発を行う全国的・国際的機関として、産業界および大阪大学を中心とした学界ならびに当時の三省庁(科学技術庁・文部省・通商産業省)の協力により設立されました。そして、2012年4月から「公益財団法人レーザー技術総合研究所」として新しい第一歩を踏み出しました。

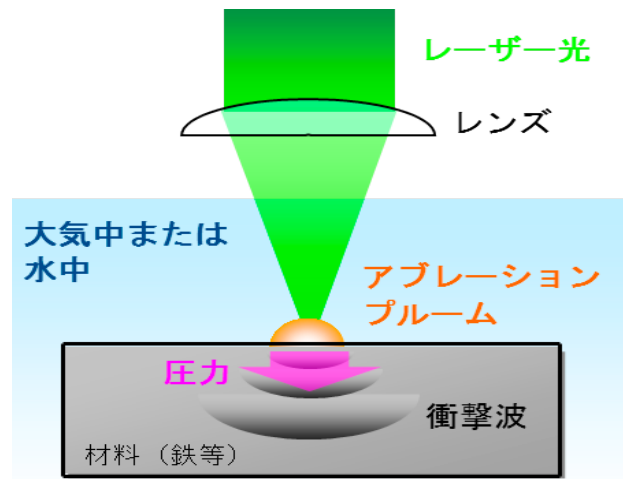
レーザー技術は情報分野からエネルギー分野にいたるまで幅広く応用され、学界や産業界に計り知れないものをもたらしてきました。今後ますます進むハイテクノロジー化の中でも大変重要な位置を占める最先端技術であり、一層の発展が期待されています。

当研究所では、わが国のレーザー技術を国際競争力のある技術に育てあげるとともに、独自の基礎研究の成果をいち早く産業界に結びつけ、学術の進展と科学技術の発展、およびレーザーとその関連産業の振興に貢献したいと念願しております。

旧来のご支援に深く感謝申し上げますとともに、今後とも尚一層のご指導、ご鞭撻を賜りますよう、よろしくお願い申し上げます。

### CONTENTS

- 公益財団法人への移行のご挨拶
- レーザーピーニングの研究
- 国際会議ASSP報告
- 【光と蔭】東日本大震災から一年
- 主な学会等報告予定



【表紙図】レーザーピーニングの概念図

## レーザーピーニングの研究

理論・シミュレーションチーム 古河裕之

大阪産業大学 部谷 学

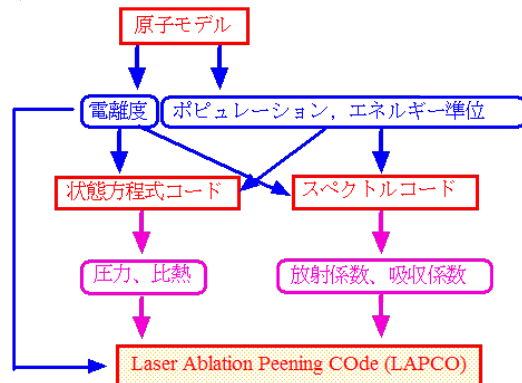
近畿大学 中野人志

### ■はじめに

レーザー技術総合研究所では、大阪産業大学及び近畿大学と共同で、レーザーピーニング及びその産業応用に関して精力的に研究を行っている。レーザーピー

ニングとは、レーザーアブレーションによりプラームを生成し、その反作用として生じる圧力により、固体内部に衝撃波を発生させ、圧縮応力状態を作り、固体の強度を高める技術である。表紙図は、レーザーピーニ

次ページへつづく▶



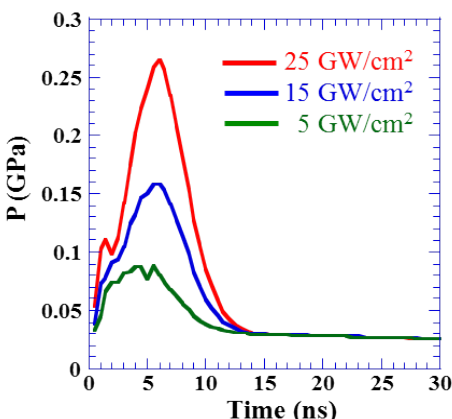
【図1】開発した統合シミュレーションコードのフローチャート

グの概念図である。

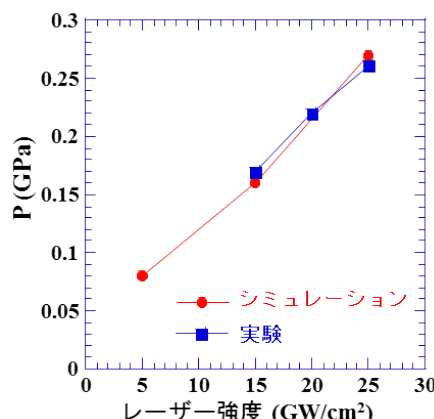
本研究において、連続体・流体力学的アプローチを基本とし、相変化の効果をとり入れたレーザーピーニング統合シミュレーションコードを開発した。開発した統合コードは、噴出したプルームの運動方程式の右辺に圧力テンソルからなる関数を加え、表面張力、剪断応力などの効果を含めており、固体内部の応力の分布も評価できる。固体から液体、液体から気体への相変化も取り込んでいる。また、真空中、大気中でレーザーを照射する場合のみでなく、水中でレーザーを照射する場合の計算も可能である。

■シミュレーションコードの概要

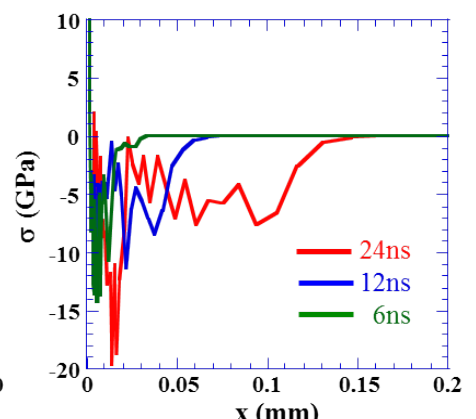
図1は、開発した統合シミュレーションコードのフローチャートである。まず原子モデルコードを用いて、対象とする原子のエネルギー準位、ポピュレーション、電離度などのデータを様々な温度密度範囲で求める。そのデータを状態方程式コードに入力し、圧力、比熱等を求める。対象とする原子のエネルギー準位、ポピュレーション、電離度などのデータをスペクトルコードに入力し、X線の放射係数、吸収係数等を求める。圧力、比熱、X線の放射係数、吸収係数等のデータをテーブル化し、Laser Ablation Peening Code (LAPCO)に入力し、固体金属の温度上昇、固体中の応力の分布、相変化、流体運動、放射輸送等の計算を行う。



【図2】シミュレーションにより求めた、プルーム中の圧力の最大値の時間発展



【図3】プルーム中の圧力の最大値の照射レーザー強度依存性



【図4】固体鉄中の応力分布の時間発展

■シミュレーション結果と実験結果は、良い一致を示した

大気中において、YAGレーザーの2ω光(波長532 nm)を鉄に照射して生成されるプルーム中の圧力の最大値の時間発展を、シミュレーションにより求めた。結果を図2に示す。図の横軸は時間、縦軸は各々の時刻でのプルーム中の圧力の最大値(固体表面付近の値)である。図中の数値は、レーザーの照射強度をGW/cm<sup>2</sup>で表している。

プルーム中の圧力の最大値の照射レーザー強度依存性を、シミュレーション及び実験により求めた。実験的には、Fabbroのモデル<sup>[1]</sup>により求めた。結果を図3に示す。両者は良い一致を示している。

照射強度が15 GW/cm<sup>2</sup>の場合について、固体鉄中の応力分布の時間発展を求めた。結果を図4に示す。プルームが固体表面に与える圧力により、固体内部に圧縮応力状態が生成されることが示された。横軸は初期の金属固体表面からの深さを表している。表面から0.1 mm程度の深さまで圧縮応力が伝搬している。応力の絶対値も妥当な値である。

■まとめ

本研究において、連続体・流体力学的アプローチを基本とし、相変化の効果をとり入れたレーザーピーニング統合シミュレーションコードを開発した。プルーム中の圧力の最大値の照射レーザー強度依存性を、シミュレーション及び実験により求めた。実験的には、Fabbroのモデルより求めた。両者は良い一致を示した。照射強度が15 GW/cm<sup>2</sup>の場合について、固体鉄中の応力分布の時間発展を求めた。表面から0.1 mm程度の深さまで圧縮応力が伝搬している。応力の絶対値も妥当な値である。

参考文献

[1] P. Peyre, R. Fabbro, P. Merrien, and H. P. Lieurade, "Laser shock processing of aluminium alloys. Application to high cycle fatigue behaviour" Materials Science and Engineering A210 (1996) 102-113.

## 国際会議ASSP報告

レーザープロセス研究チーム

古瀬裕章、ハイク コスロービアン

### ■第27回ASSP開催

Advanced Solid State Photonics (ASSP)は、今年で27回目を迎えるOSA主催の国際会議であり、毎年2月頃に行われる。ASSPでは新規発振器、レーザー材料、非線形材料等、今後の発展が大いに期待されるような情報が盛りだくさんである。今年のASSPはファイバーレーザー応用(Fiber Laser and Applications: FILAS)や先進光学材料(Advanced in Optical Materials: AIOM)等の国際会議と共催で行われ、それぞれ並行して報告が行われた。ASSPの参加者は約200人程度であり、発表件数は全149件であった。ドイツの報告が最多で36件であり、米国19件、フランス13件、日本11件と続いた。

### ■コヒーレントビーム結合

ASSPにおける今年の目玉はビーム結合に関してで

あり、招待講演からなるサミットセッションが設けられた。ビーム結合はコヒーレント、インコヒーレントの2つに大きく分けられ、前者の方は位相制御系が必要なためシステム全体が複雑になる。一方後者は各ビームの波長をわずかに変え、回折効果を利用してビーム結合される手法が主流である。

プレナリーセッションにおいてマサチューセッツ工科大学のT.Y. Fan教授による報告があった。コヒーレントビーム結合で100 kWを達成しているNorthrop Grumman (NG)社と共同で、Fiber 500 W×5本=2.5 kWのコヒーレント結合を行った。それぞれのビームは位相制御されており、DOE(Diffractive Optical Element)と呼ばれる回折素子を利用してビーム結合される。2.5 kW達成時の結合効率79%と高く、ビーム品質も $M^2 \sim 1.1$ と非常に良い。今後はファイバー1

山中千代衛



## 東日本大震災から一年

東北三県の沿岸ではいまだに解体されずに立ち尽くす建物や、集められ山のように積み上げられた瓦礫があり、荒漠とした津波の跡地を目の当たりに

すると復興の遅れが身に染みてくる。

なぜ復興が遅々として進まないのか。

政府や国会の対応のまずさが第一に挙げられる。復興庁の発足に震災から11ヶ月もかかっている。しかも注意すべきは東京電力福島第一原子力発電所の過酷事故で放射能に苦しむ福島県と地震・津波による被害を受けた岩手、宮城、茨城県とは復興の手順に大きな差があるということである。後者に関しては福島原発事故独立検証委員会が調査結果を公表している。初動に遅滞があり、情報の不足、透明性の欠如、相互連絡の不備、そして何よりも中核的責任者の不在が問われている。再び3・11の悲劇を繰り返さないようなシステム作りが要請されるのである。

2011年度第1～3次補正予算で14兆円を計上し、2012年予算案の事業費を合わすと累計で18兆円の復興費が投じられる。これには自治体の負担をゼロにする復興交付金が含まれ、復興特区制もスタートした。やっとの思いで資金と制度が用意されたが、今後これをどのように使うかが問題である。現に被災地では機能が損なわれている上、バブルに相当する多額の予算執行や業務を遂行しなければならない。都市計画の技術者などの人材の不足は誠に深刻なものがある。復興庁の計画と市町村のプランニングの整合性もきわめて難しい問題をはらんでいる。

とに角、これを復興し新しい産業を立地させるには、とんでもないバリエーションが現存する。将来像を画けるプロジェクトマネージャーが決定的に不足しているのだ。さし当たり元々あった産業である農業、水産業の復旧・復興が急がれる。さらに単なる復旧を越えて日本全体の再生のきっかけにする取組が求められる。例えば日本全体で急速に進む高齢化社会に向けて、先進的なモデル地域を構想するとか、新しい産業の立地を求めるスマートシティの開発とか、グリーンエネルギーに挑戦するプランなどを展開するなど、新天地開拓のプロジェクトを推進することがわが国の21世紀の課題となる。いわゆる特区構想をこの東北の地で試してみることが喫緊の要事である。

「禍を転じて福となす」努力が国を挙げて求められている。誠に大変な一年であったが、今後の発展に期待をこめて見守っていききたい。日本人の能力が計りにかけられているのだ。

【名誉所長】

本のパワー向上と、ビーム数を増やすことで1桁～2桁の出力向上が可能であると報告があった。その他、NG社においてほぼ同様の結合方式でファイバー15本、結合出力600Wの報告が行われた。

これに対し我々は、彼らとは異なる新しい方式でのコヒーレントビーム結合技術に関する報告を行った。特許出願の関係でポスター発表に制限されたが、非常に多くの注目を集めることができた。特にNG社のコヒーレントビーム結合グループリーダーであるG. Goodno氏(写真左)や、MITのT.Y. Fan教授(写真右)らは我々の研究に高い関心を示した。我々の発明したコヒーレントビーム結合技術に関しては次号のレーザークロスで詳細を述べる予定である。

### ■Thin Disk レーザー

プレナリーセッションにおいてドイツ、航空宇宙センターのJ. SpeiserによってThin Diskに関する報告が行われた。彼はかつて、Thin Diskを最初に提案したA.Giesen氏のチームの一員である。Thin Diskは現在、CW動作：16 kW、Qスイッチ動作：750W、80mJ、30 ns、超短パルス動作：80W、800fsが市販されている。一方研究段階では、CW：27kW、パルス動作：1 J、100 Hz、5 psが報告されている。彼の報告ではThin Diskコンセプトの到達可能出力が主テーマであり、CWでは100 kW、パルスでは10 J級が十分可能とすることであった。出力増大に対して媒質内の温度勾配とそれによる応力が問題となるが、これはヒートシンクの形状やマウント法を最適にすることで解決可能と主張していた。

### ■近赤外高出力レーザー

近赤外高出力レーザーの開発は、Yb系材料が主流となっている。特にYb:YAGは優れた材料であるが、利得帯域が若干狭く、超短パルス化は困難である。フランス、国立科学研究センター(CNRS)のグループから、Yb:CaF<sub>2</sub>のカーレンズモードロック発振器が報告された。Yb:CaF<sub>2</sub>誘導放出断面積が低いのが欠点ではあるが、帯域が20nm以上あり、超短パルス増幅用レーザー材料として適している。レーザー結晶は長さ6mm、4×4 mm<sup>2</sup>、ドープ量4.5%であり、ブリュスターカットされている。モードロック出力は560 mW、82 MHz、117 fsであった。

また同じグループからYb:CaF<sub>2</sub>によるCPA増幅器の開発に関する報告があった。発振器はTi:Saの1 μ



【写真】ノースロップグラマン社、G. Goodno氏から質問を受けるハイク副主任研究員(写真左) マサチューセッツ工科大学、T.Y.Fan教授と古瀬研究員(写真右)

m帯を利用し、Ybファイバーで増幅した後Yb:KYWによる再生増幅器で2 mJに増幅される。その後、Yb:KYWのThin Disk 2枚(0.7 mm、5%、b-cut)による多段増幅で27 mJ出力を得た。これはYb:KYWを用いた増幅器としては過去最大出力であり、光変換効率は15%である。バンド幅は $\Delta\lambda \sim 5.5$  nmを有しており、パルス圧縮後には340 fsの超短パルスが得られると見積もられている。主増幅部にはYb:CaF<sub>2</sub>による多段増幅が導入されており、最終出力51 mJ、20 Hzが得られている。増幅後のバンド幅は $\Delta\lambda \sim 3.8$  nmであり、500fsパルスが得られる。今後はYb:CaF<sub>2</sub>による増幅段を追加し、2 Jシステムの開発に取り組むということである。

### ■おわりに

今回ASSPに参加し、最先端レーザー技術の世界動向を調査した。今年はビーム結合に関する多くの報告が目を引き、ますます光源の高出力化、高効率化、高品質化が進むと考えられる。しかしビーム結合はシステムの複雑さや特殊な光学素子が必須であり、より簡素、低コストで実現できる手法が要求されるだろう。

Thin Diskレーザー、ファイバーレーザーでは高出力超短パルス光源の開発が進められている。Thin Diskでは今後、100 fs以下、100 W以上の発振器の実現も近い。ファイバーレーザーはフォトニックバンドギャップファイバーによる大口径コアのファイバーが開発され、増幅によってミリジュール級以上の高エネルギー化が目指される。その他、バルクを利用した近赤外高出力光源開発でも超短パルス化が進んでおり、広帯域材料(Yb:KYW、Yb:CaF<sub>2</sub>等)を用いたCPAシステムの開発が目立った。次回ASSPは他会議と合併し、2013年夏頃、フランス、パリで行われる予定である。

## 主な学会等報告予定

- 4月25日(水)～27日(金) Conference on Laser Inertial Fusion Energy (パシフィコ横浜)  
古河 裕之「Theoretical Studies on Environments in laser fusion liquid wall chamber」
- 4月26日(木)～27日(金) 1st Advanced Lasers and Photonics Sources (パシフィコ横浜)  
ハイク コスロービアン「A novel concept of coherent beam combining (CBC) technique for applications in high power multichannel laser amplifier systems」  
古瀬 裕章「Design of 10 kW-class laser system based on multiple-TRAM configuration with cryogenic Yb:YAG ceramics」
- 4月26日(木)～27日(金) International Symposium on Laser Processing for CFRP and Composite Materials (パシフィコ横浜)  
藤田 雅之「LASER MICROMACHINING OF CFRP BY ULTRA-SHORT PULSE LASERS」
- 5月6日(日)～11日(金) Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO2012) (San Jose Convention Center)  
藤田 雅之(招待講演)「Non-Destructive Remote Inspection for Heavy Constructions」