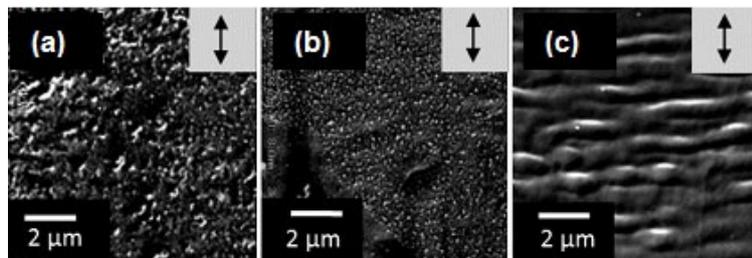


## CONTENTS

- 表面ナノ周期構造の温度依存性
- レーザー核融合炉内環境のモデリング
- 【光と蔭】教育は国の基幹
- HEC-DPSSL 報告
- 主な学会等報告予定



【表紙図】異なった温度で保持された鉄表面のレーザー加工痕SEM像 (a) 123K, (b) 298K, (c) 423K

## 表面ナノ周期構造の温度依存性

レーザー技術開発室 本越伸二  
大阪大学大学院 三上勝大

光学材料・光学素子の温度変化に対するレーザー損傷閾値について、これまで研究を行ってきた。誘電体材料の場合には、低温になるに従いレーザー損傷閾値は直線的に向上し、その温度に対する変化の傾きは材料の種類、不純物混入量により異なることを明らかにしてきた(本紙No.262など)。

一方、金属材料の場合には、違う振る舞いをするのが判り、加えて、その損傷痕(レーザー加工分野では加工痕)が材料温度によって異なることが確認された。本稿ではレーザーによる加工痕の温度依存性について紹介する。

### ■表面周期構造の形成

レーザー加工については、レーザープロセスチームを中心に積極的に研究、開発が続けられている。特に、レーザーアブレーション閾値(=レーザー損傷閾値)近傍のレーザー強度を照射した場合に、表面に形成されるナノ周期構造については、早くから研究を開始し、各種材料による違いや、波長依存性、偏光依存性なども明らかにしている(同No.207, No.228など)。その構造は、金属表面の摩擦係数の軽減などにも期待され、応用研究も進んでいる(同No.283)。この周期構造は、レーザー光と表面波との干渉によって形成され、非熱加工であ

るフェムト秒パルスの場合には顕著に顕われる。ナノ秒パルスでは、同様の周期構造は形成されるが、熱の影響で容易に崩れるものと考えられる。

### ■ナノ周期構造の温度依存性

パルス幅4nsのNd:YAGレーザーパルス(波長1064nm)を金属試料上に420 μmに集光し照射した。この時、試料の温度をヒーターと液体窒素を用いて、123~423Kまで変化した。照射レーザーパルスは1パルスごとにエネルギーを増加し、試料からプラズマ発光が顕われるエネルギー密度をアブレーション閾値とした。表紙図には、鉄のアブレーション閾値の加工痕が温度に対して変化する様子を示している。3つの図は、それぞれ試料の保持温度(a) 123K, (b) 298K, (c) 423Kであり、図中の矢印は電界の方向を示している。低温、室温時では、急加熱、急冷により、微小なクラスターが形成されるのに対して、高温時にはミクロンサイズの周期構造が形成されている。この周期構造は、電界方向に直交し、これまで報告のあるナノ周期構造と同じであることが判る。高温時に周期構造が形成される理由は、金属試料の熱定数の変化や、表面波の生成が異なるためと説明される。低エネルギー密度の繰り返しパルスによるレーザー加工では、初期のパルスで

次ページへつづく▶

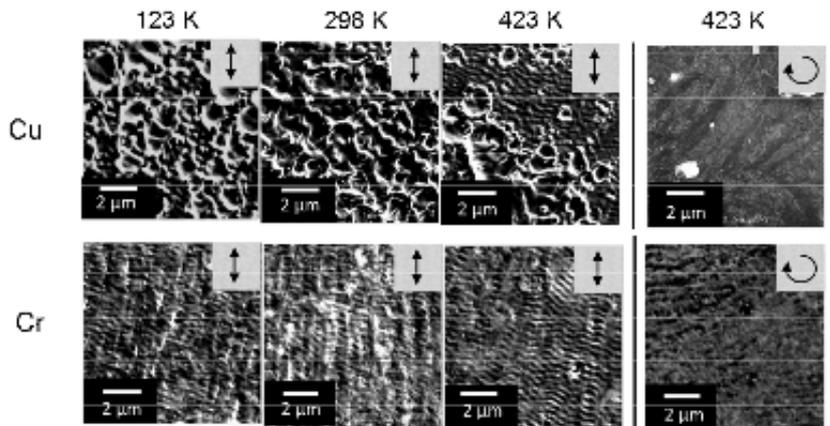
は微小クラスターを形成しながら表面がアブレーションされ、時間とともに熱が蓄積され周期構造を形成、最終的に周期構造もアブレーションされるような、時間とともに表面状態が異なってくるのが予想される。

■周期構造の電界方向の影響

同様の実験を銅およびクロムについて行った。図1にそれぞれの保持温度に対する表面SEM像を示す。銅の場合には、低温、室温では、ミクロンサイズのクレターが顕われ、高温になると部分的にナノ周期構造が形成されている。一方、クロムの場合には、低温123Kでも僅かにナノ周期構造が確認でき、温度増加とともにその構造がはっきりすることが判った。このように周期構造の形成しやすい温度は材料によって異なることから、材料物性値の変化と合わせることにより、ナノ周期構造形成の物理が明らかになると考えられる。

合わせて電界方向が周期構造に及ぼす影響を確認するために、円偏光照射時の加工痕の比較を行った。図1に直線偏光で周期構造

が顕われた423Kにおける円偏光照射時の表面SEM像を合わせて示している。銅、クロムとも、周期構造は顕われず、スムーズな表面になっている。この電界と周期構造の関係もフェムト秒レーザー加工で報告されている現象と同じである。つまり、高温条件下で形成されたナノ周期構造は、すでに知られているものと同じ現象であり、この温度依存性の理解は、周期構造形成の理解、周期構造の応用に直接繋がるものと期待される。



【図1】銅、クロム材料の表面加工痕の温度依存性

# レーザー核融合炉内環境のモデリング

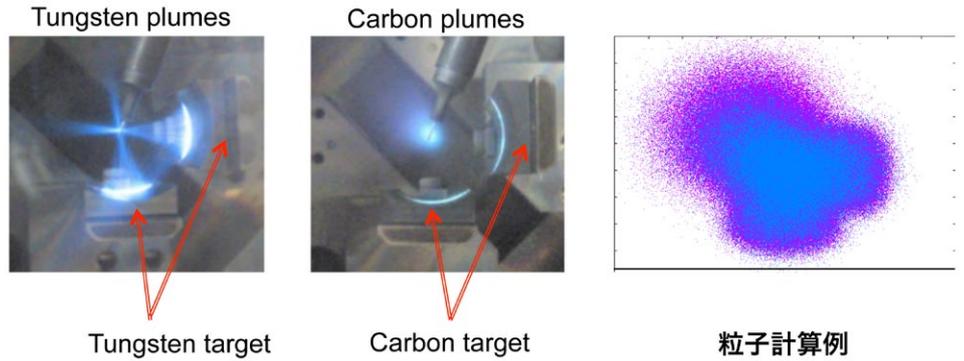
理論・シミュレーションチーム 砂原 淳  
 大阪大学 藪内俊毅  
 大阪大学 田中和夫

核融合炉の炉壁や炉材料は核融合過程で生じるプラズマからの粒子や放射線に曝されるため、核融合炉の設計には、その熱特性を十分に理解することが必要である。例えば、磁場閉じ込め核融合炉であれば特に大きな熱負荷がかかるとされるプラズマ中のヘリウムを排気するダイバーターからの不純物が炉心プラズマに影響を与える恐れがあり、ダイバーター材料の選択が議論となっている。レーザー核融合炉についても同様で、数Hzの高繰り返しでレーザー核融合を行うには、レーザー核融合ショットを行ってから次のショットまでの0.1秒程度の間、炉内の環境がレーザー爆縮を行える状態に回復していなければならない。発生したプラズマの排気のしやすさでいえば核融合炉は小さい方が望

ましいが、その分、炉壁は大きな負荷を受けることになり、プラズマ粒子や放射線に対する炉壁の応答特性は重要になる。熱負荷の大きさによっては炉壁の表面からガスやプラズマが発生し、炉内に充満することも考えられる。レーザー総研は大阪大学と協力して、将来のレーザー核融合炉を見据え、炉壁の候補となる炭素やタングステンなどの物性研究や壁の表面からガスやプラズマが発生する際のプルームの挙動など、レーザー核融合炉内環境の基礎研究を行っている。図1は炉壁表面からのプラズマ発生と衝突を模擬したレーザープラズマ実験と、実験に対応したクーロン衝突、中性粒子間衝突を考慮したモンテカルロ計算の一例である。希薄なため、衝突と無衝突の間に位置する領域のプルーム

の挙動を理解するためには本計算のように、粒子の飛程を考慮した希薄流体としての扱いが必要になる。炭素やタンゲステンなどの物質による特性の違いなどが実験、計算の両面で確認されつつある。また、衝突極限の流体近似計算とのハイブリッド計算や壁の熱応答を連立して解くことができれば、炉内環境の理解が大きく前進することになる。また、このような実験や計算は核融合炉工学だけでなく、プラズマ工学や、宇宙希薄プラズマの理解に

もつながると期待しており、精力的に研究を進めている。



【図1】炉壁表面からのプラズマ発生と衝突(交差)の模擬実験(左、中)。実験に対応した粒子計算例(右)



## 教育は国の基幹

尖閣諸島はこれまで年2450万円の賃貸契約で国が個人と使用貸借を結んでいたのだが、2013年3月に契約が切れるに際し、石原慎太郎東京都知事が東京都で買い上げたいと申し出たところ、約15億円もの募金が集まった。これを見て野田政権はあわてて国が買収することとし、20億5000万円の国費で国有化した。その結果、寝た児を起こし、中国は魚釣島領有を強硬に主張し反日デモに繋がった。中国政府の指図で組織された万余のデモ隊が中国の100都市を越える地域で荒れ狂った。その挙げ句、器物損壊、放火、略奪を伴い、日系の商店、店舗、工場は破壊され、操業は停止し、人命も危険にさらされる状況となり、日本人学校は休校を余儀なくされる有様である。まさに反日デモは暴動化し、犯罪行為に及んだ。

中国当局はその有様を見て、国際反響を慮りデモ中止の指令を流すと一両日中にデモ隊はピタリと止った。見かけたところデモの中心は失職中の若者が大部分で、江沢民時代に反日教育を盛んに受けた年代が主流をなしていた。日当をもらって参加したとも言われている。町中では「日本語を使わない方がよい」など言われ、中国の発展と日中友好を旗印に努力してきた在留邦人の無念はいや募るばかりだ。

30年の昔、鄧小平のたつての希望により、松下幸之助が乗り出した日中友好のシンボルであるパナソニックの工場もデモ隊の乱入で被害を受けた。尖閣諸島付近には中国の艦船が日常的に徘徊するようになった。この状況を見て野田首相が「これ程の結果が出るとは想定外」というのは誠にお粗末、外交戦略も日中交流40周年の積み上げも全く無に帰してしまう。政治家としてイノセントもいらいらで、まさに外交音痴だ。

これは、国家観、自主独立、国際外交に関して適切な歴史教育を準備してこなかった戦後60年の教育のもたらした結果である。国旗、国歌に対する正しい認識を欠き、平和ぼけのまま成人した日本人と幼少より反日教育を心の底までたたきこまれた中国人、韓国人との対比は今や悲しいまでに現実のものとなっている。教育が人を作り、国の基幹を築くのである。

【名誉所長】

# HEC-DPSSL 報告

## ■第7回HEC-DPSSL開催

2012年9月11日～14日の間、アメリカ、タホ市にて第7回高エネルギーLD励起固体レーザー“High Energy Class Diode Pumped Solid State Lasers”のワークショップが開催された。前回フランスのパリで行われた同会議より2年ぶりの開催である(Laser Cross No.273)。本ワークショップはアメリカのリバモア国立研究所(LLNL)、フランスの超高強度レーザー応用研究所(LULI)、ドイツのイエナ・フリードリッヒ・シラー大学(FSU)等が主体となり、主に慣性核融合を目指した高繰り返し(< 10 Hz)大出力レーザープロジェクトの進捗状況等について報告が行われる。今回は米国LLNLが主催となり、約30名が本会議に参加した。

## ■米国リバモア国立所の訪問

初日にLLNLを訪れ、192ビーム1.8MJ@3 $\omega$ のNIFレーザーを見学した。筆者にとって同レーザーの見学は2度目であるが、何度見ても圧倒されるレーザーである。今回新たにLIFE(Laser Inertial Fusion Energy)用の小型高繰り返し(16 Hz)レーザーに関する展示が増えていた。LIFEはNd:Glassのスラブ20個から構成されており、半導体レーザーで励起される。各試料は流量0.1マッハのHeガスで冷却される。この冷却技術の他、大型偏光回転素子や非線形結晶等がキーテクノロジーとなっている。点火に必要なレーザー仕様は1.8 MJ、500 TWと予測されており、今年7月によりやく同仕様を得たようである。今後点火のためにさらなるレーザーエネルギーの増強を行われる予定であり、詳細に関しては今年11月頃発表されるとのことである。

## ■欧州のレーザープロジェクト

欧州では多数の半導体励起高エネルギーレーザープロジェクトが立ち上がっている。中でもイギリスのラザフォード・アップルトン研究所(RA)のDiPOLEレー

## レーザープロセス研究チーム 古瀬裕章

ザーが一步リードしているように感じた。レーザー材料に日本製のYb:YAGセラミックを使用しており、Heガス冷却を行っている。現在10.1 J、1 Hzを達成しており、光変換効率は21%と高い。100 Jレーザーの設計と、その準備が進められている。

またフランスのLULIでも日本製のYb:YAGセラミックを使用しており、最近13.7 J、2 Hzを達成した。今後低温冷却によって出力増大する予定である。

ドイツ、ローゼンドルフ研究所(HZDR)ではYb:CaF<sub>2</sub>による200Jシステム、1 Hz(ペタワット)を現在建設中であり、2013年中に完成する計画を立てているが、大型Yb:CaF<sub>2</sub>の製造技術が課題のようである。

最後に、チェコでは産業用レーザー:HiLASEの建設が始まっている。出力目標は100 J級であり、DiPOLEレーザーと同様のYb:YAGスラブをHeガス冷却する方式を採っている。現在はシミュレーションが中心であるが、2013年に10J、10Hzを、2014年に100 J、10Hzを得る予定で計画が進められている。HiLASEはELIプロジェクトのビームラインと並んで建設される予定で、相乗効果が期待されている。

次回ワークショップは2014年頃、イギリス、RA主催で行われる予定である。



【写真】ワークショップで発表する筆者

## 主な学会等報告予定

- 11月27日(火)～29日(木) International Conference on Frontiers in THz Technology (東大寺カルチャーセンター)  
李 大治 [Theoretical analysis of grating-based radiation]
- 12月6日(木)～7日(金) 氷の物理と化学研究の新展開2012 (北海道大学)  
櫻井 俊光 [SRSを利用した、水溶液中のH<sub>2</sub>O分子の挙動に関する研究]
- 12月13日(木)～14日(金) 第78回レーザー加工学会講演会 (アクトシティ・浜松)  
藤田 雅之 [超短パルスレーザーを用いたCFRPの微細加工]
- 12月19日(水) 第438回レーザー学会研究会「新レーザー技術」(愛媛大学)  
古瀬 裕章 [高出力低温冷却Yb:YAGレーザーの開発]