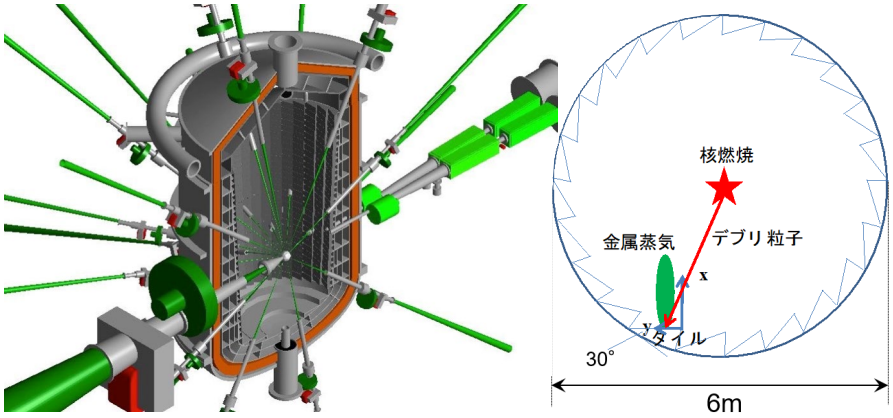
2018, Oct.
No. 367
LASER CROSS
ISSN 0914-9805

CONTENTS

DSMC法によるレーザー核融合炉チェンバー内の金属蒸気同士の衝突シミュレーション
LPM2018国際会議報告
光とレーザーの科学技術フェア2018　オープンセミナー「社会を変えるパワーレーザー　～レーザー加工からインフラ診断まで～」
ILT2018 平成29年度研究成果報告会(東京会場)ご案内



【表紙図】高速点火レーザー核融合発電プラント「KOYO-fast」の
(左)液体壁チェンバーの概念図(ターゲットは150倍に拡大)
(右)液体壁チェンバー第一壁のタイル構造の概念図

DSMC法によるレーザー核融合炉チェンバー内の金属蒸気同士の衝突シミュレーション

理論･シミュレーションチーム　古河裕之

■液体壁チェンバーの課題

高速点火レーザー核融合炉発電プラント「KOYO-fast」では、厚さ3 mmから5 mm程度の液体リチウム鉛を壁に沿って滝状に流下させる液体壁構造により、第一壁を保護している。液体壁は、核融合燃焼により生じる X 線、α 粒子およびデブリ粒子により、液体から中性気体、部分電離プラズマへと相変化を伴いながらアブレーションする。アブレーションにより生成した金属蒸気がチェンバー中心付近で衝突すると、エアロゾル等が生じ、金属蒸気の排気、ひいては核燃焼反応にとって大きな妨げとなる。このためKOYO-fastでは表紙図(右)に示すように、第一壁から飛散した金属蒸気がチェンバー中心部に集中しないよう、第一壁は角度を付けたタイル構造としている。しかしこの構造では、生成した金属蒸気は第一壁の表面からチェンバー内に向かってほぼタイル面に垂直な方向に飛散するため、隣接する二つのタイルから飛散する金属蒸気同士は第一壁近傍で15 °の角度で衝突する。これにより衝突後の蒸気がチェンバー中心方向に速度を持ち、中心近傍における金属蒸気の滞留などの要因となることが懸念される。

当研究所ではこれまで、粒子法を用いて隣接する二つのタイルから飛散する金属粒子同士の衝突シミュレーションを行い、第一壁付近で起こる衝突はチェンバーの中心付近で起こる衝突にほぼ影響しないことを示した(Laser Cross No. 357, 2017 Dec.を参照)が、本研究では、希薄な金属蒸気の物性をより正確に表すための手法として、新たに直接モンテカルロ法(Direct Simulation Monte Carlo,　DSMC)法を導入し、実際のチェンバーのサイズを考慮した金属蒸気同士の衝突のシミュレーションを行った。KOYO-fastは4 Hz 動作で設計されているため、アブレーションで生成する

次ページへつづく▶

金属蒸気は 250 ms 以内に排気されることが極めて重要である。特に、チェンバー中心付近に金属蒸気が滞留することは、レーザー伝搬のみならずターゲット供給の観点からみても避けなければならない。

■DSMC法による金属蒸気同士の衝突シミュレーション

中性粒子からなる希薄分子気体の解析においては、Boltzmann 方程式を解く必要がある。気体を構成する各々の分子について、並進運動と分子間衝突を直接追跡する DSMC法は汎用性が高く、希薄分子気体の解析において非常に有用な手法の一つである。チェンバー内の24 枚のタイルのうち、2 枚のタイルに着目し、シミュレーションを行った。図 1 に金属蒸気の初期位置(図中①、②の2箇所)を示す。それぞれ液体壁がアブレーションし、金属蒸気が 5 cm 飛散した時点を初期位置とした。初期に粒子が存在している領域の圧力は、0.05 Torr とした。

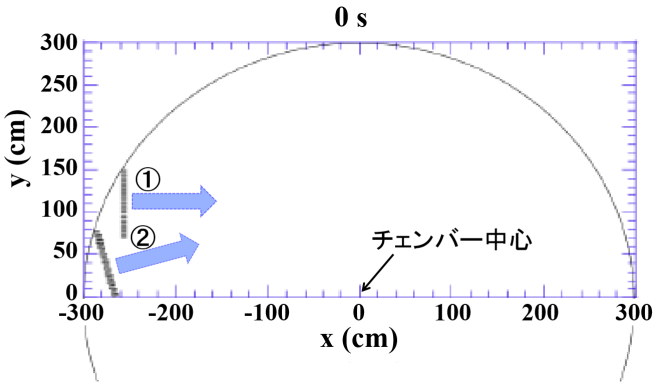
①の粒子の初期速度は、次式で与えた。

$$v_x(t=0) = 0.1v_0 + 0.9v_0(x - x_{\min})/(5cm) \quad (1)$$

$$v_y(t=0) = 0 \quad (2)$$

②の粒子の初期速度は、①の初期速度を15 °回転して与え、v_0 =10 km/s とした。(1) 式中の $x_{\min}$ は、図 1 中の①の粒子の初期位置の左端の値を表している。

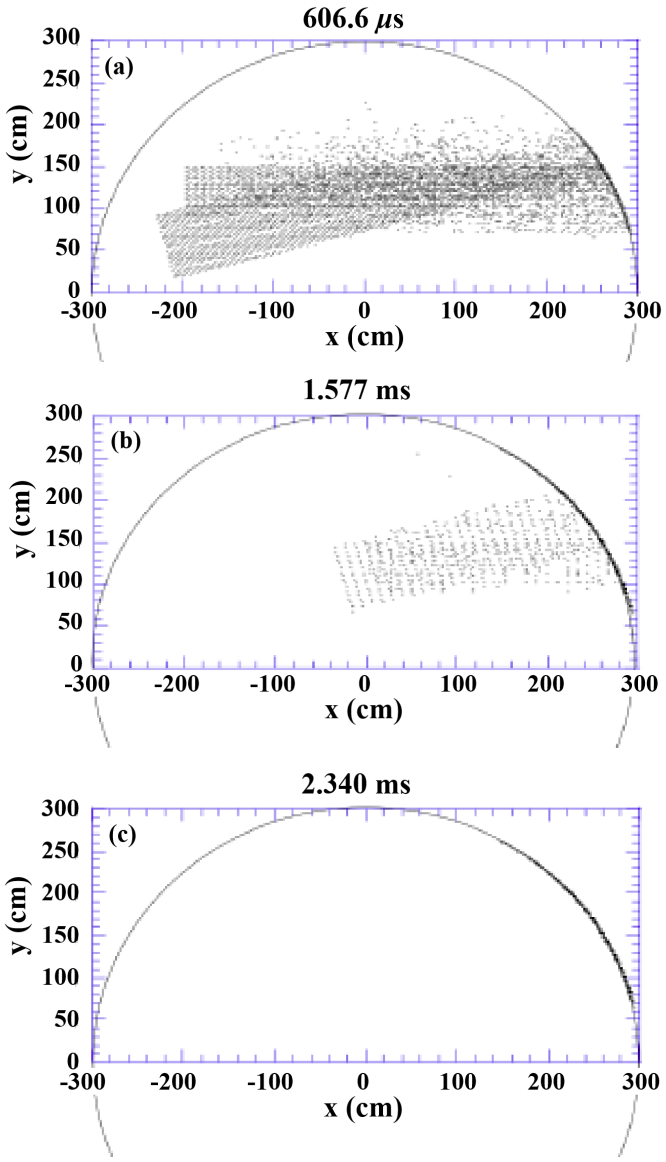
図 2に粒子位置の時間発展を示す。金属蒸気同士が衝突して軌道を変えながら対向壁に向かって進行し、最終的には対向壁に吸着され、チェンバー中心から半径 50 cm 程度の領域に金属蒸気は拡散しないことがわかった。これらの結果は、チェンバー中心近傍で金属蒸気が滞留する危険性は低いことを示唆するものである。



【図1】2枚のタイル上で発生する金属蒸気の各初期位置(①、②)と進行方向(矢印)

■まとめと今後

チェンバー内の金属蒸気同士の衝突に関し、DSMC法を用いて実際のチェンバーサイズと同スケールでのシミュレーションを行った。チェンバー内の24 枚のタイルの内、2 枚のタイルに着目しシミュレーションを行った結果、第一壁の表面からチェンバー内に向かって飛散していく金属蒸気が、チェンバー中心近傍で滞留する危険性は低いことを示唆する結果が得られた。今後は、初期金属蒸気密度をさらに高く設定する、3 枚以上のタイルを考慮するなど、より実際に近い条件でのシミュレーションを行う予定である。



【図2】粒子位置の時間発展(シミュレーション開始から(a)606.6 μs後、(b)1.577ms後、(c)2.34ms後)

LPM2018国際会議報告

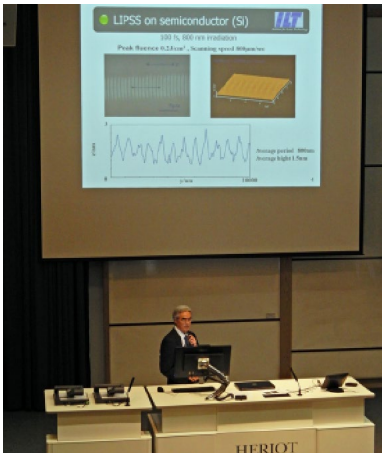
主席研究員　藤田雅之

◆国際会議LPM2018開催される

去る6月25日～28日、エジンバラ(英)のHeriot-Watt UniversityでLPM2018(the 19th International Symposium on Laser Precision Microfabrication)が開催された。現地主催者は、AILU(Association of Industrial Laser Users)であった。LPMは 国内と海外で交互に毎年開催され、4年おきにHPL(High Power Laser Processing)と同時にLAMP(International Congress on Laser Advanced Materials Processing)の一部として開催されている。会議では3件の基調講演、26件の招待講演に加え、189件の口頭発表があった。併設された展示会には22社が出展していた。参加者は343名(うち92名が学生)で、主要な参加国は英国120名、独48名、日43名、リトアニア31名、中国22名、仏17名、米14名であった。

◆基調講演のトピックス

3件の基調講演の1番目は、サザンプトン大学(英)のペイン教授によるファイバーレーザーの講演であった。ファイバーレーザーの高出力化の歴史が紹介され、最近ではファイバーレーザーでファイバーレーザーを励起する“Tandem Pumping”が高出力化の主流となってきているとのことであった。応用の面では、100 kW出力を5 km先まで伝送できるファイバーが開発され、油田開発に用いられている。今後の研究の方向として、中赤外域(2 μm帯)での高出力化と中空コアファイバー等による伝送技術が重要になってくるようである。2番目の基調講演はロチェスター大学(米)のマイク・キャンベル教授による慣性核融合の話であった。



【写真1】講演時の様子(筆者)

3番目は東芝の岡田氏による3Dプリンターあるいは AM(付加製造)講演で、日本で進められている国プロTRAFAMの進捗が報告されていた。プロジェクトの目標として、成形スピード60 cm^3/h/kWが掲げられており、インコネル材に対しては6 kWファイバーレーザーを用いて359 cm^3/hが達成されていた。レーザー研磨(laser polishing)の技術開発や、犠牲材(sacrificing material)の検討なども進められているとのことであった。

◆EUのAPPOLOプロジェクト

欧州でAPPOLO(Apolloではない)プロジェクトが進められている。このプロジェクトは、これまでのような特定の領域での数値目標をもったプロジェクトではなく、ユーザーと開発者・研究者を結びつけるプラットフォームを構築するプロジェクトのようである。先端技術の開発(例えば、kW級フェムト秒レーザーの開発)一辺倒ではなく、ユーザーにとってビジネスが可能となる技術開発を目指している。フェムト秒レーザーでは当然可能であるがコスト的に見合わない場合、ピコ秒やナノ秒でどこまで同様のことができるのかを明らかにする研究開発が含まれている。また、開発者(社)の製品を第三者的に評価するプラットフォーム(the HUB)を提供したり、規格化や標準化を見据えた活動を進めるなど、極めて実用性を意識したプロジェクトとなっている。発表では、その一例としてプラスチックやガラス基板表面に銅配線を施すためのlaser-induced activationの成果が報告されていた。

◆微細周期構造の応用

フェムト秒レーザーによる微細周期構造形成が近年欧州で盛んに研究されている。日本では15年以上前に研究が活発化していた時期があり、摩擦低減などの効果が見いだされていた。欧米では5年程前に撥水性や親水性などの生物模倣(BiomimeticsあるいはBionic Structure)と関連づけられてから研究が活発化しているように感じる。摩擦係数の定量的測定には高価な機器が必要であるため、簡易に評価が可能な撥水性・親水性を中心とした研究が多い。曇り止めや氷結防止の効果が期待される撥水性に関して、時間(約30日間)とともに撥水効果が低下するという発表があった。酸化や表面の化学ポテンシャルの変化が原因と考えられるが、アニーリングすることで撥水効果が安定するとのことであった。

◆次回の開催予定

次回のLPMは、LAMPの一部として2019年5月21日～24日に広島国際会議場で開催される予定である。

光とレーザーの科学技術フェア2018　オープンセミナー

「社会を変えるパワーレーザー ～レーザー加工からインフラ診断まで～」

ILT2018　平成29年度研究成果報告会（東京会場）ご案内

日時：平成30年11月13日（火）10:30～16:20

場所：科学技術館（東京都千代田区北の丸公園2-1）
http://www.jsf.or.jp/access/map/

【プログラム】

10:30 ～ 10:35　開会挨拶　　所長　井澤靖和

10:35 ～ 11:20　特別講演

パワーレーザーを用いた国産３Dプリンター開発
～レーザーメタルデポジション方式による
高速・高精度３次元積層造形～

株式会社東芝　生産技術センター
技監　岡田忠直氏

レーザーメタルデポジション法の試作機を開発し、独自開発の造形ノズルを用いて、造形速度 359 cm^3/h、造形精度±30 μmという世界最高レベルの高速・高精度造形を実現した。造形物をレーザーで後加工し、表面粗さRaを14.1 μmから3.9 μmに改善した。独自サポート構造で中空構造の造形に成功した。

11:20 ～ 11:45　パワーレーザー加工の素顔に迫る
～レーザーアブレーションの基礎とシミュレーション～

主席研究員　藤田雅之

様々なレーザー加工の中でも、特にパルスレーザーを用いた加工現象を理解するために、光の立場から見たレーザーと物質の相互作用について解説する。波長やパルス幅が変わったり、プラズマが発生すると、レーザー光の吸収がどう変わり、どのようなレーザー加工が実現できるのかをアブレーションプラズマのシミュレーション結果を交えて紹介する。

11:45 ～ 12:10　パワーレーザー加工の新天地
～建築部材へのレーザー加工応用～

主席研究員　藤田雅之

ファイバーレーザーの高輝度化･低価格化が進み、CWレーザー加工の可能性が広がりつつある。新たな加工対象としてコンクリートなどの建築部材や岩石にレーザー光を照射し、切断・溶融特性を調べている。木材のレーザークリーニングや石材の接合等の可能性についても報告する。

12:10 ～ 13:30　（昼休憩）

13:30 ～ 14:00　パワーレーザー開発への取り組み
～ジェット水流冷却kW級Yb:YAGレーザー開発～

副主任研究員　谷口誠治

室温で駆動する高出力レーザーの開発を進めている。本報告では、Yb: YAGレーザーの発振特性におけるゼロフォノンライン励起、冷却水温度、熱レンズ効果についての実験的検討、およびkW級出力の可能性について議論する。

14:00 ～ 14:25　UVパワーレーザー開発への取り組み
～ UVプリンティング光源の開発～

主任研究員　本越伸二

平成28年度からNEDO「高輝度・高効率次世代レーザー技術開発」プロジェクトがスタートしている。本報告では、当研究所が共同開発を進めている「革新的小型・高効率UVレーザー光源の開発」について、目標及び開発現状を紹介する。

14:25 ～ 14:50　パワーレーザー開発への取り組み
～光学素子開発と失敗しない光学素子の選び方～

主任研究員　本越伸二

多くの国内外のメーカから光学素子が製造・販売されているが、同仕様のレンズ、ミラーでも、価格や性能が異なる。このような状況で、何を基準に光学素子を選んだら良いのか、特に、高出力レーザー装置を取り扱う上での光学素子の注意点も含め、用途に応じた光学素子選びの考え方を紹介する。また、光学素子のレーザー損傷について、広く理解してもらうために、損傷しきい値のデータベースの構築を進めている。平成28年度に実施した355nm用ミラーおよび反射防止膜の試験結果を報告する。

14:50 ～ 15:05　（休憩）

15:05 ～ 15:35　レーザー計測の最前線
～陸海空でのリモートセンシング技術～

上席研究員　染川智弘

レーザー計測は基礎科学から産業応用まで幅広い領域で利用されている。手元でのその場分析から数kmに及ぶ物質の分布計測まで陸海空で利用可能なリモートセンシング技術を中心に解説する。具体例として、我々が取り組んできた陸上（机上）での油成分分析、水中でのCO_2濃度計測、大気中での黄砂や水蒸気分布計測等について紹介する。また、竹富島沖で湧出する火山性ガスに含まれるメタンの水中分布を測定する取り組みを報告する。

15:35 ～ 16:20　レーザー計測の最前線
～鉄道トンネル検査における13年の歩みと
インフラ検査最新技術～

主任研究員　島田義則

パルスレーザーを物質に照射して発生する衝撃波を用いて物質内部の情報を得ることができる。当研究所はこれまで鉄道トンネルを対象としてレーザーによる欠陥検出手法の実用化を進めてきた。12年間の研究の歩みを紹介すると共に、一昨年来取り組んできた検査の高速化の現状について報告する。また、本手法をインフラの健全性評価に幅広く展開するために橋梁床版の欠陥検出にも取り組んでおり、その最新成果も報告する。

【開催概要】

<参 加 料> 無料

<資 料 代> 当日の資料等をご希望の方は、資料費3000円を頂戴いたします。（賛助会員、理事会社等は無料）

<参加申込>こちらのサイト↓からお願いいたします。
https://www.optronics.co.jp/seminar/ilt2018.php

発行／公益財団法人レーザー技術総合研究所　編集者代表／谷口誠治　〒550-0004 大阪市西区靱本町1-8-4　大阪科学技術センタービル4F TEL(06)6443-6311 FAX(06)6443-6313
掲載記事の内容に関するお問い合わせは、編集者代表・谷口誠治（E-mail:taniguchi@ilt.or.jp）までお願いいたします。