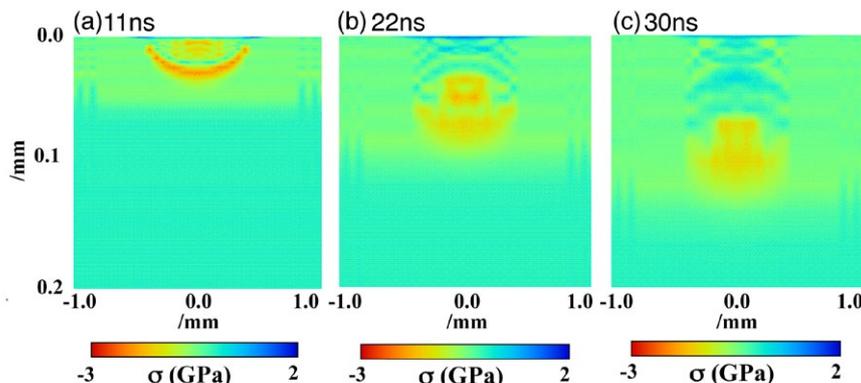


CONTENTS

- 材料の硬度を高める！
レーザーピーニング数値解析
- 第3回レーザー超音波・先端検査計測技術研究
に関する国際会議(LU2013)参加報告
- 【光と蔭】Greeting of Prof. Yamana at
the Banquet of the Eighth International
Conference on Inertial Fusion Sciences
and Applications (第8回慣性核融合科学と
その応用に関する国際会議(IFSA 2013)晩餐
会での挨拶)
- 主な学会等報告予定



【表紙図】水中のアルミニウムへのレーザー照射後(a)11ns、(b)22ns、(c)30ns経過時の応力分布

材料の硬度を高める！ レーザーピーニング数値解析

理論・シミュレーションチーム
大阪産業大学工学部
近畿大学理工学部

古河裕之
部谷 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、近畿大学と共同で、レーザーピーニングの産業応用を目指し研究を行っている。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金属表面に生成する、ブルームと呼ばれるプラズマの膨張を水により抑制することで、金属内部に衝撃波を発生させ、金属表面近傍に圧縮残留応力層や硬化層を形成させて固体の強度を高める技術である(図1)。本技術は航空機部品の疲労対策や、原子炉における応力腐食割れの防止策等への応用が検討されており、さらなる最適化のために研究が続けられている。

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、相変化の効果を取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^{1,2)}。開発した統合コードは、噴出したブルームの運動方程式の右辺に応力からなる関数を含んでおり、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。本稿では、アルミニウムおよび鉄の水中でのレーザー照射による応力分布を2次元で解析し、材料による応力の違いについて比較した結果を報告する。

■シミュレーションコードの概要

開発したシミュレーションコードではまず、原子モデルコードを用いて、電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さまざま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。次に電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。得られた圧力、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)に入力して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。

■応力分布の2次元シミュレーション

水中でアルミニウムにレーザーを照射した場合につ

次ページへつづく▶

材料の硬度を高める！レーザーピーニング数値解析

いて、応力変化の2次元シミュレーションを行った。照射レーザー条件は、ピーク強度 10 GW/cm^2 、波長 532 nm 、パルス幅 7.5 ns (パルス波形はガウシアンを仮定)、ビーム径 $400 \mu\text{m}$ のガウシアンビームとした。表紙図に、レーザー照射後の各経過時間でのアルミ表面 (0.0 mm) ~ 内部 (0.2 mm) の応力分布を示す。(a) は 11 ns 時、(b) は 22 ns 時、(c) は 30 ns 時である。色の変化は応力変化を表しており、赤～黄色部分は圧縮応力(負の値)、青色部分は引張応力(正の値)が生成していることを示す。横方向に $800 \mu\text{m}$ (スポット径の2倍) 程度の範囲で圧縮応力が生成し、時間経過により固体内部に進展していることがわかる。レーザーが照射されていない領域でも圧縮応力が生成しているが、これは水圧によるものと考えられる。図2には、水中の鉄へのレーザー照射後 30 ns 経過時の応力分布を示す。横方向に 1 mm (スポット径の2.5倍) 程度の範囲で

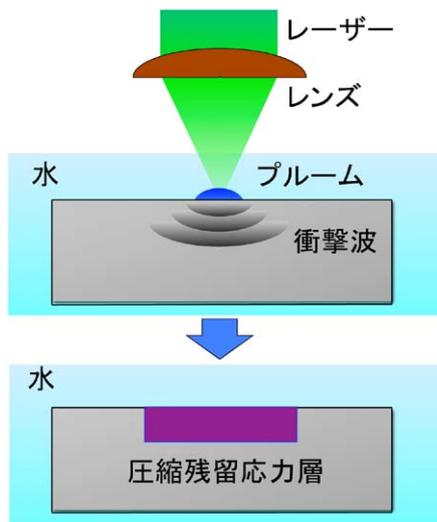
圧縮応力が発生している。アルミの場合とと比較すると、圧縮応力が発生する範囲が増加しており、圧縮応力の絶対値も大きくなっていることがわかる。材料による応力分布の違いが示された。

■まとめ

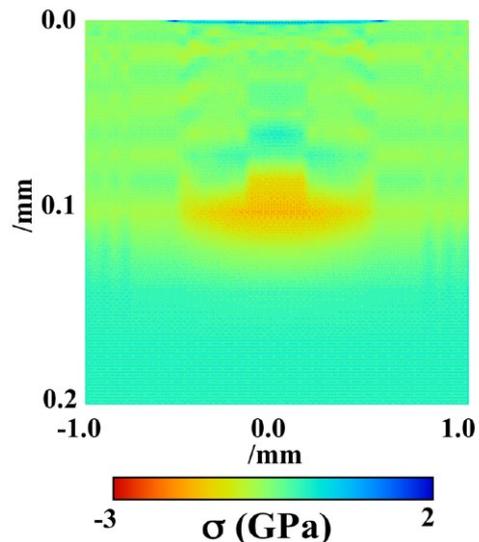
本研究において、相変化および弾性応力の効果を取り入れた2次元のレーザーピーニング統合シミュレーションコードを開発し、水中のアルミニウムおよび鉄にレーザー照射した場合の圧縮応力の空間分布を求めた。その結果、鉄へのレーザー照射の場合に、アルミニウムに比べて圧縮応力の範囲および絶対値が増加することが明らかとなった。

参考文献

- 1) 古河裕之: レーザー研究, **36**, 742-746, 2008.
- 2) 古河裕之、藤田和久、森谷信一: プラズマ核融合学会誌, **87**, 642-649, 2011.



【図1】レーザーピーニングの概念図



【図2】水中の鉄へのレーザー照射後 30 ns 経過時の応力分布

REPORT

第3回レーザー超音波・先端検査計測技術研究に関する国際会議 (LU2013) 参加報告

レーザー計測研究チーム オレグ コチャエフ

◆LU2013が横浜で開催

2013年6月25日～28日に横浜赤レンガ倉庫(横浜市内)にて開催された、第3回レーザー超音波・先端検査

計測技術研究に関する国際会議(3rd International symposium on Laser Ultrasonics and Advanced Sensing (LU2013)主催: 社団法人日本非破壊検査協会)

に参加し、研究発表を行った。本会議は、レーザー超音波の基礎研究や工業応用に関わる科学者やエンジニアのためのフォーラムを提供することを目的に、2008年にスタートした。モントリオール(加)、ボルドー(仏)に続き、日本では初めての開催となる。今回も世界15

カ国から150名以上の参加があり、招待講演を含め100件以上の講演があった。研究領域は、レーザーによる音波発生と検出、探傷検査および非破壊検査、超高速光音響法、レーザー超音波の生医学応用、ガイド波(長尺材料の長手方向に伝播する超音波モード)、シグナルプロッ

山中千代衛



Greeting of Prof. Yamanaka at the Banquet of the Eighth International Conference on Inertial Fusion Sciences and Applications

(第8回慣性核融合科学とその応用に関する国際会議(IFSA 2013)晩餐会での挨拶)

Ladies and Gentlemen, welcome to the IFSA September 9-13 at Nara. Nara was an ancient capital of Japan flowered 1300 years ago. Still you can see the Great Buddha, temples, shrines and deers.

I am one of the pioneers of the Inertial Fusion Research in the world. My active period was 1970s, 80s and 90s, not as long ago like Nara.

Let me talk a little about the early days of inertial fusion research. An old man likes an old story.

In 1970s, I enthused about the construction of the fusion drivers. I had built the glass laser series: GEKKO I, II, MII and XII as a similar way: Janus, Cyclops, Angus, Shiva and Nova at Livermore guided by John Emmett, a good friend of mine.

I made also the CO₂ laser LEKKO VIII compared to the Antares at Los Alamos managed by Keith Boyer. And also I set the beam driver Reiden IV competed to the PBFA II in Sandia promoted by Geri Yonas.

ILE of Osaka University confronted with the US big three national laboratories in high spirits. Using these drivers, I evaluated the direct and indirect drive schemes by the "Cannon Ball" target. I preferred the direct drive to the indirect.

In 85, I had attained the high temperature demonstration experiment by the LHART target yielding the neutron yield 10¹³.

In 88, I proposed the Madrid Manifest requesting the open target experiment and also international collaborations just like the Magnetic Confinement Fusion. The co-proposer was Heinrich Hora, here. He was also an initiator of the Work Shop on Laser Interactions and Related Plasma Phenomena that was succeeded by the IFSA conference.

In 89, I completed the high density demonstration experiment by a deuterated plastic shell target up to 1000g/cm³ density. These data were an important milestone set by Edward Teller in 1972.

Marshal Rosenbluth noticed our report and wrote a letter to the NAS to study these results. A research group headed by D. C. Cartwright Los Alamos visited ILE, Osaka in 1990. According to their report to Washington, I believe, the NIF program began to move. The first Edward Teller Medals were given to N. Basov (USSR), J. Nuckolls (USA), H. Hora (Australia) and C. Yamanaka (Japan) by Teller himself at Monterey in 1991.

The NIF has strived through the long, hard years. It now comes near to get the ignition.

Ladies and Gentlemen, I propose a toast with all 400 participants to get the fusion ignition by NIF very soon and also to our international collaborations. KAMPAIN!

【名誉所長】

センシング(信号処理)とモデリングおよびイメージング等、多岐にわたった。

◆鉄道トンネルの検査実験に各国が高い関心

筆者は“探傷検査および非破壊検査”のセッションで、“Laboratory and Field Tests of a Laser-Based System for Remote Non-Destructive Inspection of Transportation Tunnels(鉄道トンネルの遠隔非破壊検査用レーザーシステムによる実験室内および屋外実験)”と題し、口頭発表を行った。プレゼンテーションでは、日本だけでなく米国、ドイツ、中国、英国、カナダの科学者やエンジニアが特に高い関心を示し、発表後にも多くの議論を行い、また質問も多かった。我々の研究に対する関心の高さの理由は、四光波混合による非線形光学効果を応用して対象物からの反射光の波面歪みが完全に自動補正できるシステムを開発した点と、このシステムを屋外実験が可能な所まで発展させ、実際にデモンストレーションを行った点にある。我々の結果は依然として最も先進的かつユニークなものであると実感した。また、筆者は招待講演のセッションで議長を務めた。セッションではレーザー超音波研究のキーパーソンであるJean-Pierre Monchal博士(NRC Canada)の紹介を行った。

◆民間で進む検査システムの開発

会議では講演と並行し、民間企業が開発した非破壊検査システムの展示会が行われていたが、その中で少なくとも2社がレーザー超音波を用いた検査システムの展示を行っており、興味深いものであった。彼らは我々の研究仲間といえるが、競合相手でもある。

カリフォルニアのボサノバ・テクノロジーズ(Bossa Nova Technologies)社によって開発されたレーザーベースの遠隔非破壊検査システムは、我々の方式と最も近いものであった。それは非常にコンパクトで、感度が高く低ノイズ、装置も操作し易い。しかしながら、彼らの装置はコンクリート構造物の検査を想定していないように

あった。検出できる周波数範囲は50MHzまでであり、コンクリートの振動周波数(10kHz未満)の検出は行っていない。またレーザー対象物間の距離は最大でもは0.5mと短く、インパクトレーザーを用いたフィールドテストも十分に行っていないようであった。これに対し我々の検査システムは、検査時に対象物表面の特殊な処理(研磨、高反射粉の塗布等)を必要とせず、また検査可能な距離は10mと長いため、装置性能は我々の方が優れているといえる。

日本の企業では、ネオアーク(Neoarc)社が興味深い検査システムを展示していた。その最大の特徴は、検査物上でプローブレーザーの照射位置が動いている場合にも計測が可能であるという点にある。基本的にこのシステムは検査物の振動を監視するために設計されたもので、振動検知範囲はやはりMHz領域とのこと。彼らの説明では、いくらかの設計変更によりインパクトレーザーとの組み合わせが可能とのことであったが、その実現にはさらなる研究が必要であるだろう。本会議への参加は我々の研究チームにとって非常に興味深く、有用なものであった。第4回の会議にも是非参加したい。



【写真】会議で発表を行う筆者

主な学会等報告予定

- 11月2日(土)~7日(木) 2013 International Workshop on EUV Lithography(アイルランド・ダブリン)
砂原 淳 「Development of Radiation Hydrodynamic Code STAR for EUV Plasmas」
- 11月11日(月)~15日(金) 55th Annual Meeting of the APS Division of Plasma(米国・デンバー)
砂原 淳 「Direct heating of imploded plasma by ultra-intense laser in the fast ignition scheme」
- 11月19日(火)~21日(木) 日本分光学会年次講演会(大阪大学豊中キャンパス)
染川智弘 「レーザーラマン分光法による変圧器油中アセチレン分析」