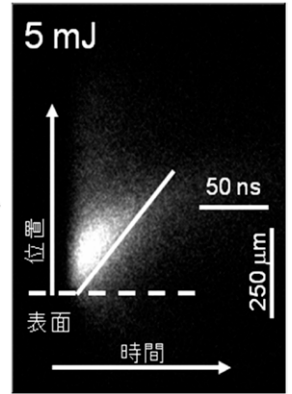
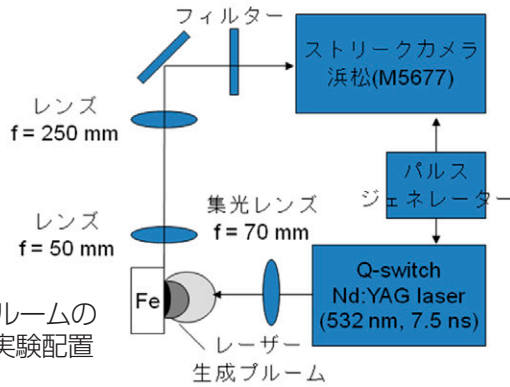


CONTENTS

- レーザーピーニングの最適化研究
- スミス・パーセル効果によるテラヘルツ波発生の研究
——二段グレーティング機構
- 【光と蔭】慣性核融合炉の展望とZ信号
- 主な学会等報告予定

【表紙図】(左)レーザー生成プラームの膨張の様子を計測するための実験配置
(右)得られたストリーク写真



レーザーピーニングの最適化研究

理論・シミュレーションチーム 古河裕之
光産業創成大学院大学 部谷 学

はじめに

(財)レーザー技術総合研究所では、光産業創成大学院大学等と共同で、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。しかしながら、従来はレーザーのパラメーターなどが最適化されておらず、レーザーエネルギーの20%程度しか衝撃波に変換されていなかった。レーザーピーニングの最適化のためには、噴き出したプラームの挙動を詳細に理解した上で、照射するレーザーのパラメーターを決定する必要がある。

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、相変化の効果を取り入れたレーザーアブレーション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、噴出したプラ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。

シミュレーションコードの概要

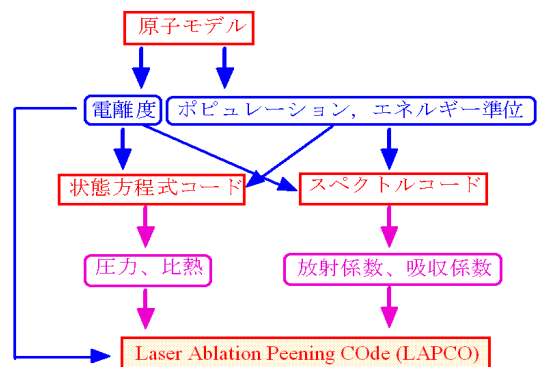
図1は、開発した統合シミュレーションコードのフローチャートである。まず原子モデルコードを用いて、対象とする原子のエネルギー準位、ポピュレーション、電離度などのデータを様々な温度密度範囲で求める。そのデータを状態方程式コードに入力し、圧力、比熱等

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。

実験結果、及びシミュレーション結果

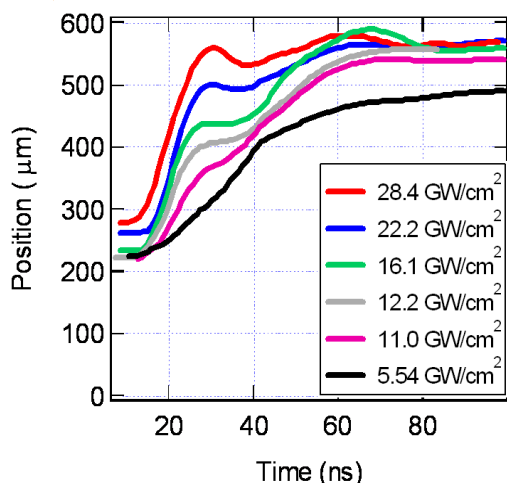
図2は、大気中において、波長532 nm(YAGレーザーの 2ω 光)を鉄に照射した場合に、可視光計測により求められたプラームの先頭位置の時間発展である。実験配置は口絵の通りである。

大気中において、波長532 nm(YAGレーザーの 2ω 光)を鉄に照射して生成されるプラーム中の圧力の最大値



【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

次ページへつづく▶

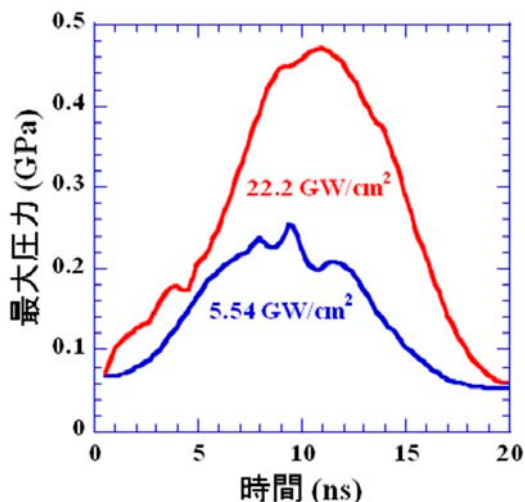


【図2】可視光計測により求められたプルームの先端位置の時間発展

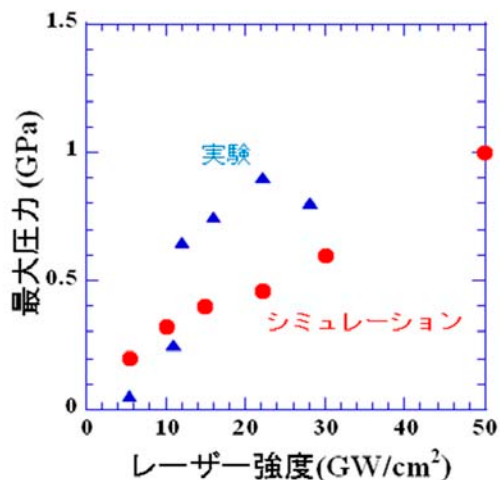
の時間発展を、シミュレーションにより求めた。結果を図3に示す。図の横軸は時間、縦軸は各々の時刻でのプルーム中の圧力の最大値(固体表面付近の値)である。図中の数値は、レーザーの照射強度をGW/cm²で表している。

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のモデルに図2の結果を入力して求めた。結果を図4に示す。両者は定性的に良い一致を示している。

照射強度が5.54 GW/cm²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5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0.25 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。



【図3】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4】プルーム中の圧力の最大値の照射レーザー強度依存性

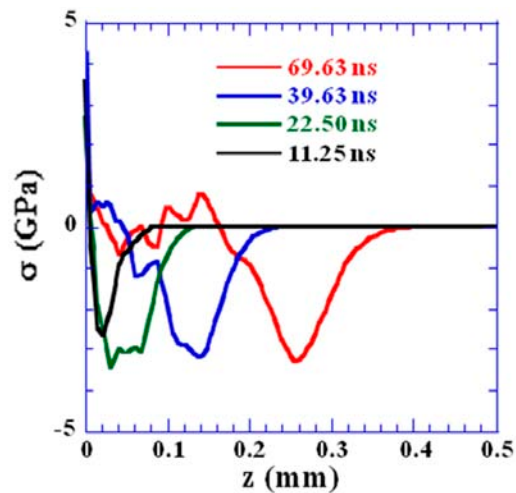
■まとめ

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、相変化の効果を取り入れたレーザーアブレーション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のモデルに図2の結果を入力して求めた。両者は定性的に良い一致を示した。

照射強度が5.54 GW/cm²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0.25 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.



【図5】固体鉄中の応力分布の時間発展

スミス・パーセル効果によるテラヘルツ波発生の研究 ——二段グレーティング機構

レーザーエネルギー研究チーム 李 大治、今崎一夫

1. はじめに

テラヘルツ波は電波の透過性と光の直進性という両

方の特長を兼ね備えており、さらにDNAや蛋白質などの生体物質や特定の科学物質がこの領域に吸収スペク

山中千代衛



慣性核融合炉の展望とZ信号

慣性核融合研究のスタートは1972年エドワード テラーの振る旗により

切って落とされた。レーザーによる爆縮で正規密度の1000倍圧縮が彼の示すゴールであった。均一爆縮と不安定性との戦が各国間で烈しく繰り広げられた。

大阪大学レーザー核融合研究センター(ILE)は1972年異常吸収を発見し、ついで激光XII号ガラスレーザーを駆使して1985年LHARTターゲットを用い世界最高のD-T核融合中性子1兆2500億個発生を達成した。1989年には激光XII号によりテラーの示した爆縮密度1000倍という目標を実現した。その結果テラーメダルを授与されこれら一連の成果はILEの名を世界に轟かせた。

米国はこの研究成果によりレーザー核融合の実現可能性を確信するようになり、NIFの建設を開始したのだ。本年5月29日遂にNIFの竣工祝賀会が開催された。これはレーザー核融合研究における米国の巻返し第一歩でまさに画期的な出来事である。

思い起こせばこの5月日本は新型インフルエンザ阻止騒動で米国渡航禁止などのたわ言が流行し妙な空気があったが、ILE OBとして万難を排して参加しろと強く求めた結果、疇地センター長が遅ればせながら出席した。文科省からは思慮深くも坂田東一氏と大竹 暁氏が参列していた。ILEはからくも面目が保たれた。ぜひ関係者には日本がレーザー核融合研究の世界の三極の一つであることを忘れないで欲しいものだ。輝く星のエネルギーを地上へと唱ったレーザー核融合が拓く脱炭素社会と題するIFEフォーラムがこの11月25日開催され、日米欧の現状が披露される。

閑話休題。NIFが動き出すとレーザー核融合の点火燃焼実験はここ数年内に実現する。従って次の戦の場はレーザー核融合原型炉へ向けての展開に取り組むことになる。

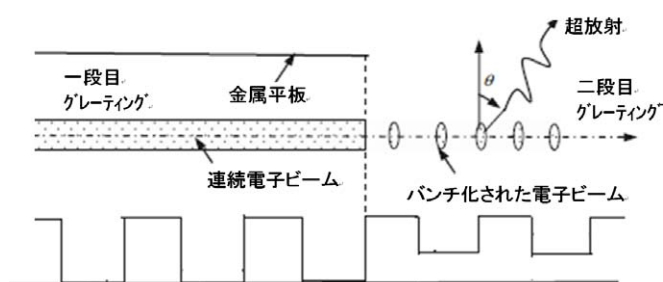
磁場閉じこめ核融合ではわが国もせいぜい頑張ったけれどITERの設置は仏のカダラッシュに攫われてしまった。慣性閉じこめ核融合ではぜひ世界三極の一つで今まで世界をリードして来たわが国において原型炉への研究開発を進めたいものである。

わが国の特徴は高速点火方式であって米国の中心点火方式に比べはるかに少ないレーザーエネルギーで炉心プラズマが実現されるから、NIFとは別ルートを進め、まず過去25年大活躍をした爆縮用の激光XII号を更新し、それに高速加熱用LFEXレーザーを用い高速点火実証実験FIREX-Iを完了し、できるだけ早くFIREX-IIで燃焼実験を実施したい。

同時に原型炉への技術開発のため炉工学要素技術として炉用レーザー技術、炉工学の展開を関西原研と関連大学・研究機関と共同で進める。2020年にはレーザー核融合実験炉LIFTの開発に着手する構想を画いている。その先にはMJ出力の原型炉が展開されよう。この段階ではIAEAの国際協力による研究開発の協同作業も視野に入れることになる。

21世紀のエネルギー開発に関し科学技術立国を指向する日本はぜひ世界をリードする研究展開をわが国を中心に実現したいものである。少子高齢化によるチヂミ思考はこの際払拭して慣性核融合研究の旗印皇国の興廃をかけたZ旗を掲げて進もうではないか。ILEの企画力と組織力と遂行力に期待したい。

【研究名誉所長】



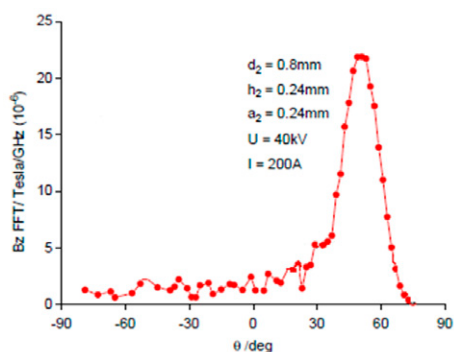
【図1】二段グレーティングスミス・パーセル放射機構

トルを持つことから、透過イメージングを含めた生体検査や診断、農作物検査、危険物検査などへの応用が可能である。このことから、実用的な高性能テラヘルツ放射源の開発が待ち望まれている。

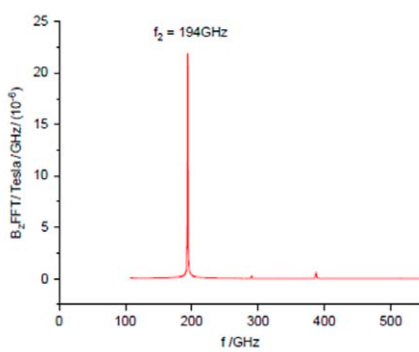
電子ビームと周期構造を持つ金属グレーティング表面での表面波との相互作用により発生するスミス・パーセル超放射は、近年極めて注目されるテラヘルツ光源であり、その実用化が期待されている。本研究では、二段グレーティング機構を提案し、それを用いたテラヘルツスミス・パーセル放射源の性能向上を目指し、小型、高出力で安価なコヒーレントスミス・パーセル超放射テラヘルツ光源の研究開発を行っている。

2. 二段グレーティング機構

スミス・パーセル超放射とは、バンチ(束)化の電子ビームが金属グレーティングの直上を通過する際生じる強い放射である。旧来の技術では、連続電子ビームがシングルグレーティング表面を通過し、電子ビームと表面波との相互作用によるビームがバンチ化して超放射が放出される。しかし、電子ビームと表面波との相互作用が弱いため、放射効率は低い。出力の高い



【図2】スミス・パーセル超放射空間分布



【図3】超放射スペクトル

デバイスを開発するために、我々は二段グレーティング機構を提案した。図1に示すように、電子ビームが一段目のグレーティングを通過する際、表面波との相互作用でバンチ化し、二段目のグレーティングと相互作用によって超放射が生じる。相互作用を増強するために、一段目のグレーティング上に金属平板を置いて、共振機構を形成した。

3. 電子ビームバンチ化

次に、particle-in-cellシミュレーションを紹介する。電子ビームがカソードで発生し、伝播しながら表面波と作用する。シミュレーションでは、電子エネルギーは40keV、電流は200A/mとした。一段目グレーティングの周期長は0.5 mm、周期数は89であり、二段目グレーティングの周期長は0.8 mm、周期数は12である。シミュレーションにより、電子ビームが一段目グレーティングで表面波と作用すると、電子の速度が変調され、グレーティングの末端でバンチを形成する。この表面波の周波数は97 GHzで、バンチの繰り返し周波数も97 GHzであるから、電子は表面波と作用しながら、エネルギーの一部を表面波に移行する。これにより表面波振幅が増強され、さらにバンチ化が進む。

4. スミス・パーセル超放射

二段目グレーティングで発生する放射を注目すると、バンチの繰り返し周波数の高調波の放射が観測される。スミス・パーセル超放射理論により、40 keV電子の最低超放射周波数は102 GHz であり、それ以下の超放射は発生することができない。従って、バンチの繰り返し周波数の2倍高調波(194 GHz)が放射される。放射強度の空間分布を図3に示す。スミス・パーセル超放射は指向性を持ち、図2に示すように51度でピークになる。これは理論計算値48度と少し異なる。電子が一段目グレーティングを通過する際、エネルギーが表面波に移行するためである。放射の周波数特性を図3に示す。

これは理論計算値48度と少し異なる。電子が一段目グレーティングを通過する際、エネルギーが表面波に移行するためである。放射の周波数特性を図3に示す。

5. まとめ

二段グレーティングでのスミス・パーセル超放射の発生を提案した。この放射は指向性を持つこと、および大出力が実現できるから、広い範囲に適用できると思われる。

主な学会等報告予定

- 11月27日(金) 応用物理学会 第114回微小光学研究会(大阪大学)
佐伯 拓 「太陽光励起高出力固体レーザーとその応用」
- 12月1日(火)～4日(金) 第26回プラズマ核融合学会(京都市国際交流会館)
砂原 淳 「極端紫外光源開発の放射流体シミュレーション」
古河 裕之「レーザー核融合液体炉壁チャンバー内環境に関する考察」
- 12月7日(月) レーザー学会 第35回研究会「21世紀のレーザー技術(高知県立県民文化ホール)」
島田 義則「レーザーリモートセンシングを用いたコンクリート内部欠陥検出装置の開発」
- 12月16日(水)～18日(金) 第23回数値流体力学シンポジウム
砂原 淳 「レーザープラズマシミュレーションにおけるAdaptive Mesh Refinement法の導入」