

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2007～2010

課題番号：19206103

研究課題名（和文） 短パルス自由電子レーザーによる非熱ナノ加工の基礎研究

研究課題名（英文） Nonthermal nano-processing with short pulse free electron laser

研究代表者 堀池 寛 (HORIIKE HIROSHI)

大阪大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：20252611

研究代表者の専門分野：原子力工学

科研費の分科・細目：総合工学・原子力学

キーワード：原子力発電、加速器、自由電子レーザー、非熱加工、バックエンド

#### 1. 研究計画の概要

従来のレーザー切断法ではレーザーを高密度熱源として利用し、空気や酸素ガスなどのアシストガスを吹き付け、燃焼させて切断するので、この方法では厚い材料を幅狭く切断加工することは非常に困難である。

原理的に新規な方法として、近赤外自由電子レーザー（FEL）による高強度で高品質なレーザー光を非常に短いパルスで照射すると、材料表面近くを急速に加熱できる。これによれば、表面からの急速な昇華によって素材の表面を深く掘り込み、ひいては切断することが可能であるが、種々の加工に適用するには基礎研究を行う必要がある。この方法では、光ビームの直径で加工されるので、極小ビームに収束すれば極めて狭い幅で加工切断ができる。また光は直進するので、狭く深く切ることができる。この実験研究を大阪大学の自由電子レーザー装置と日本原子力研究開発機構の装置を駆使して進める。これより高汚染高放射化した炉容器等大型構造物の切断にて、放射性物質の飛散抑制と、二次生成物の極限までの低減を可能とする新しい切断加工技術の実現を目指すことができる。

#### 2. 研究の進捗状況

大阪大学の自由電子レーザー装置と、比較参照用に Nd:YAG レーザーを使って、実験研究を進めている。

光学系改良実験では、光の伝送系を改良して、より焦点深度の深い光ビームの生成法を検討する。また小口径で平行度の高い光を得るための、光伝送系の調整を続けている。

光の元となる電子ビーム加速器の調整では、ビーム加速用の高周波発振器の短パルス化の改良、それによるタイミング調整回路の追加と調整、加速ビームの総合調整を進めて最適化を進めることで、より大電流、高強度で短パルスの光を得るように改良を続けている。

実際の素材とレーザーとの相互作用実験では、自由電子レーザーに光学系を整備し、現状技術の範囲内で焦点深度のできるだけ深いビームを生成し、SUS とジルカロイの平板、木片等の試験片を照射し、表面分析によって昇華損耗の速度、深度、加工幅とレーザービーム径との関係を調べている。またこれらとの比較と実験領域の拡大のため、Nd:YAG レーザーを用いて、類似の材料を照射した際の圧力波の伝播と温度拡散、表面温度の時間変化を実験的に調べ、熱的加工と非熱的加工の違いを調べている。

平行して研究分担者の一人が、現在世界最高強度のレーザー光を生成する米国ジェファーソン研究所の自由電子レーザー装置を使用して、上記結果の原理的な検証実験を行った。その結果、もんじゅ燃料ピンを模擬したステンレスシャフト群の切断実験に成功した。強度的な依存性は今後確認することにした。

また温度分布の数値計算を行い、非熱加工、非熱昇華についてのパワー密度と物性値の関係を研究する。

以上の実験結果と成果を最終的に総合して、レーザー条件による切断加工性能を調査検証する。

### 3. 現在までの達成度

以下の区分①～④により自己評価を行い、評価理由を記載すること。

〔区分〕

②おおむね順調に進展している。

#### 理由

当初は大阪大学の装置と日本原子力研究開発機構の装置を使って実験研究を進める計画であったが、日本原子力研究開発機構の装置が2年目に当該機構の事業計画見直しのためシャットダウンされ、使用できなくなった。そのため代わりに、大阪大学既設のNdYAGレーザーを使用して、両者でパラメータを変えながら実験することとしている。このため全体的な研究の進展度が、おおむね順調程度に留まっている。

### 4. 今後の研究の推進方策

本年4月より、流体伝熱の理論解析の専門家として新任の准教授を採用したので、その作業により鋭意実験結果の数値解析を進め、実験結果と比較検討することにより、これまでの成果のより深い分析を進め、総合的な成果としてまとめる予定である。

### 5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 3件)

1) H. Iijima, R. Nagai, N. Nishimori, R. Hajima, E. Minehara, Rev. Sci. Instrum. 80 123106 (2009) (査読有)

2) 近藤裕夫, 金村卓治, 顧 和平, 山岡信夫, 堀池寛, IFMIF 液体金属リチウムターゲット流に関する基礎実験, jour. Plasma and Fusion Res., vol84 2008 p600-605(査読有)

3) Eisuke Minehara et al., Non-thermal laser machining with ERL-FELs for nuclear and other heavy metal industries, Proc. 8th Intern'l Topical Meeting on Nuclear Applications and utilization of accelerators, p168-173 2007(査読無)

4) Eisuke Minehara et al., 先進的産業用レーザーとERFELを用いた熱的および非熱的レーザー切断 第29回国際自由電子レーザー会議 26-31 Aug. 2007 Novosibirsk Russia(査読無)

〔学会発表〕(計 4件)

1) 峰原英介他 水噴流導光レーザーによる放射性汚染物の除染技術の開発、日本原子力学

会春の年会 2009年3月23日 東京工業大学

2) 峰原英介他 静電加速器の応用とアウトリーチ活動、第5回加速器学会年会、リニアック技術研究会 2008年8月7日 東広島市中央公民館

3) 峰原英介他 ERLFEL等の極端パルスレーザーを用いた炉構造物表面除染、第10回応用加速器関連技術研究シンポジウム、2008年6月12日 東京工業大学

4) 峰原英介他 原子力分野におけるERFELを用いた非熱加工技術 日本原子力学会2008年春の年会 2008年3月27日 大阪大学

〔その他〕(計 8件)

・報告書

1) 堀池 寛, 福田武司, 鈴木幸子 原子力用等大型構造体の自由電子レーザーによる切断解体技術の開発研究、大阪大学工学研究科自由電子レーザー研究施設 2010年3月

2) 峰原英介, レーザー除染装置の開発、デコミッションング技報、2010年3月

3) 堀池 寛, 福田武司, 鈴木幸子 原子力用等大型構造体の自由電子レーザーによる切断解体技術の開発研究、大阪大学工学研究科自由電子レーザー研究施設 2009年3月

4) 堀池 寛, 福田武司, 鈴木幸子 原子力用等大型構造体の自由電子レーザーによる切断解体技術の開発研究、大阪大学工学研究科自由電子レーザー研究施設 2008年3月

・その他論文

1) 大阪大学工学部環境・エネルギー工学科卒業論文 2010年3月 2件

2) 大阪大学工学部環境・エネルギー工学科卒業論文 2008年3月 1件

3) 大阪大学工学部環境・エネルギー工学科卒業論文 2009年3月 2件

4) 大阪大学大学院工学研究科環境・エネルギー工学専攻 修士論文 2010年3月 2件 (以上)