

フェムト秒高効率高出力FELによる大規模非熱精密加工技術の開発

峰原英介¹⁾

日本原子力研究所 自由電子レーザー研究グループ

〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方2-4

概要

原研超伝導リニアック駆動自由電子レーザーは、既に数年前に6%高効率、数百フェムト秒、数kW級高出力FEL光を生成することに成功していた。これを更に高出力化することによって大規模非熱精密加工技術を開発する計画について以下に報告する。

1. 目的

2次汚染のない原子炉廃炉措置（デコミッションング）のために必要な小型可搬式、平均出力100kW、効率25%、波長1.3ミクロンのレーザーを実現するため、既設原研自由電子レーザー施設に模擬試験装置を付加し、或いは改造し、5-20kW程度以上の1/5スケールの模擬試験を行う。

1) 「原子炉廃炉措置のために必要」

近い将来多くの原子炉解体が予定されている現在、放射化構造材等を含む原子炉を環境負荷が少なく、安全な、安価な、効率よい、信頼性の高いレーザー廃炉技術の確立は急務である。

対象の原子炉構造物として、500mm特殊鋼圧力容器、150mmステンレス鋼炉内構造物、3000mm鉄筋コンクリート、大量のグラファイト塊等がある。これを高速解体処理するために装置本体或いはファイバー等の光伝送装置を原子炉建屋、格納容器室内の対象物に数百メートル程度に隣接した場所まで搬入移動する必要がある。

2) 「小型可搬式」

小型とは受変電入れて2.5m x 5m x 15m程度以下に収納、発電車は含まず。大型トレーラーに積載可能、0.6microSv/h以下の非放射線発生装置、ヘリウム冷凍機は空調機並（運輸省令対応となり、固定式より規制が少ない）とする。

扱いが容易で、運転使用に放射線取扱主任者とか高圧ガス製造設備等の資格やこれらの専門家が全く不要である仕組みが必要である。

3) 平均出力100kW、効率25%、波長1.3ミクロンのレーザー

実総効率で25%、400kW入力で1.3ミクロン波長の100kW光出力を得る。

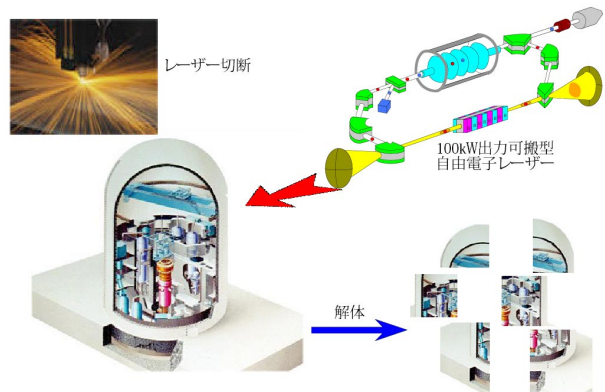
4) 1/5スケールの模擬試験

原子炉廃炉措置のために必要相当性能を模擬できる試験を行う。既設装置の同じ電子ビームエネルギーでの試験を想定する。電子ビームエネルギーが約1/5で試験を行い、光出力も1/5の5-20kW程度で行う。技術的に確立された電子ビームエネルギーの増加により、100kWを実現できる。このため波長は1.3ミクロンの2.5倍程度を想定する。ファイバー伝送は行わず、反射が多く不利な波長であるが1.3ミクロンより長い波長でコンクリート及び鋼鉄片の切断試験を行い、目標性能の実

現可能性を工学的に評価する。

図1, 2次汚染のない原子炉廃炉措置（デコミッションング）のために平均出力100kW FEL 説明。

自由電子レーザーによる2次汚染のないデコミッションング



現可能性を工学的に評価する。

図1, 2次汚染のない原子炉廃炉措置（デコミッションング）のために平均出力100kW FEL 説明。

2. 付加、或いは改造する装置

現在の準CW装置に置いてCWで1/5スケール実験を行うために、以下の装置を付加、或いは改造する。

1 エネルギー回収型超伝導リニアック

入射器系 電子銃、ビーム圧縮機（SHB）、前段加速器、

主加速器系 超伝導加速装置、超伝導減速装置、加速空洞共振器、冷凍装置、冷凍機、

運転制御装置系 ビーム計測装置、ビームダンプ、ビーム周回装置、

高周波系 位相振幅制御装置、高周波電源、放射線検出器、インターロック安全装置、

その他補機類 真空排気系、冷却系、熱交換機、補助発電装置、分配電装置。

2 高出力FEL装置、図1中心部上部参照。

アンジュレーター、光共振器、ビーム位置検出器、光輸送系、ストリークカメラ時間計測装置、計測用レーザー装置、レーザー冷却装置、分光装置。

¹⁾ E-mail: minehara@popsvr.tokai.jaeri.go.jp

3 実験装置 FEL装置周辺に取付予定。
遠隔実験データ収録制御装置、高圧ガス制御装置、温度制御装置、実験ブース及び容器、高平均出力照射装置、電気炉、ガス警報装置。

図2のように今後、超伝導リニアック駆動自由電子レーザーは出力を2-3年毎に1桁増加させることが可能と考えられる。原研によって開始されたこの国際的な研究開発競争は、現在10-20kW級に進んでおり、今後100kW級へ急速に発展し、さらに数年後にMW級以上に展開すると考えられる。

3. 研究開発ステップ

原子炉廃炉措置のために必要な小型可搬式、平均出力100kW、効率25%、波長1.3ミクロンのFELの開発ステップは、図3のように、#1(今回)20%電子ビームエネルギーで20-30ミクロン程度の長波長にて20kW(1.3ミクロンで100kW相当)実証、#2電子エネルギーの増加による1.3ミクロンの発振実証(この波長域の発振は技術的には確立されている) #3ファイバー伝送可能なトレーラー可搬式小型実証機の開発、である。

4. まとめ

現在の原研FELは、先端技術の原理検証を目的として準CWで運転されてきた。原子炉廃炉措置のために必要な小型可搬式、平均出力100kW、効率25%、波長1.3ミクロン等の性能を実現するために、まず外挿可能な1/5スケールの高平均出力と高効率を実証し、100kW運転の技術的問題を解決する。このため全CWで運転する必要がある。その他の性能は1.3ミクロンと小型可搬であるが、併せて設計研究で検討する。1.3ミクロン発振は特に技術的困難はなく1.3ミクロンを実現するために5倍程度の電子エネルギーの増倍が必要で同じ電流で100kW実現に必要なビーム電力が得られる。

参考文献

- [1] N. Nishimori et al, Phys. Rev. Lett., Vol86, no. 25 pp. 5707-5710(2001).
- [2] E. J. Minehara et. al., Nucl. Instr. and Meth. A429, 9-11(1999).

高出力高効率超伝導FELロードマップ

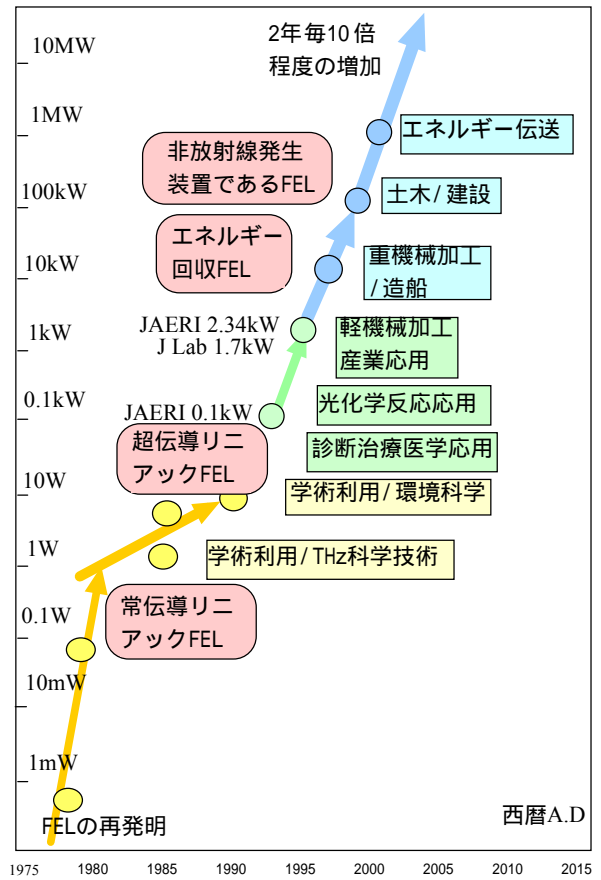


図2, 高出力超伝導FELロードマップ。

廃炉措置用高出力FELの開発ステップ

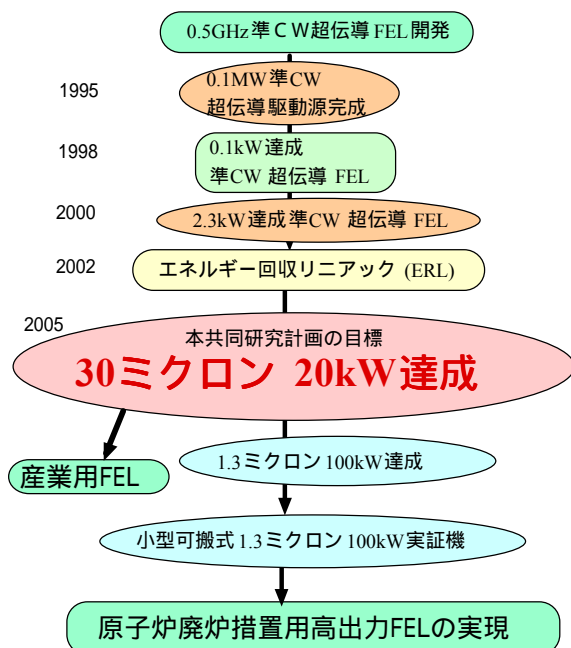


図3、廃炉措置用FELの開発ステップ。