

# 原研超伝導リニアック FEL の現状報告と将来計画

峰原英介、山内俊彦、杉本昌義、沢村勝、羽島良一、永井良治、菊沢信宏、西森信行、静間俊行  
日本原子力研究所 関西研究所 光量子科学研究センター 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白根 2-4 東海研究所内

## 概要

原研超伝導リニアック自由電子レーザー施設は、現在まで約9年間ほぼ連続運転されており、特に2000年には7%高効率記録、平均約2kWピーク約1GW高出力記録の更新、250フェムト秒/3サイクル発振の計測確認、これらを実現する完全同期の新発振モードの確認<sup>[1]</sup>等の多くの成果をあげた。2001年4月より、エネルギー回収系組み込みと同実験を進めている。現状と将来計画を簡単に報告する。

## 1. 施設の運転状況

原研独自の自立式無蒸発型超伝導リニアックは、安定に昨年度運転された。設置以来年間10日の保守日を除き、ほぼ連続で9年運転された<sup>[2]</sup>。特に昨年度は、ほとんど無故障で、17ヶ月安定に連続運転された。今後、低温状態で冷凍器の交換を行う予定で、数時間の液化冷凍機とシールド冷凍機の交換時間を除くと10年間程度にわたり液化ヘリウムを干上がらせることなく保持することが可能になる。液体ヘリウムを連続して保持することが可能であれば、超伝導空洞は最初の調整運転乃至コンデショニングのみで高電界を常時発生できるので、システムを常時運転状態に保持できると期待している。

## 2. FEL 光源及び利用の実験

自由電子レーザー (FEL) では初めてフェムト秒領域の光パルスを安定に発生することが出来た。昨年度、準連続波運転で世界最高出力の2.34kWを達成した。この状態は、高輝度で高効率であり、高縮重度超放射と言うべき発振状態であることが昨年度の特性解析実験で明確となった。最高7%高効率、平均約2kWピークかつ約1GW高出力、250フェムト秒/3サイクル発振光は、自由電子レーザーの元々持っていた原理的優位性を実証し、さらに小数サイクル発振フェムト秒域の極短パルスを新たに実現した。レーザーレサジー無しの完全同期状態でこの性能が得られている。今までのどのレーザーでも実現できなかった高効率、高平均出力かつ高ピーク出力、波長可変、極短パルスが得られており、大規模産業応用に新しい手段と可能性を提供するものである。産業応用のための利用実験あるいは利用試行として、光化学反応、豚心臓の切断、ステンレス薄膜、セラミック板切断、穴あけ、環境有害物質の除害分解等を行った。

## 3. 将来計画

### 3.1 IRFEL エネルギー回収系の建設、高出力試験

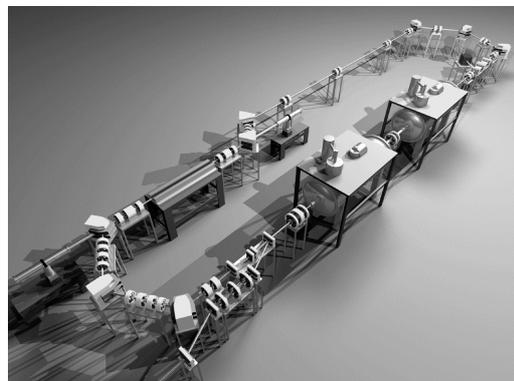


図1：現在組み立て試験中のエネルギー回収型超伝導自由電子レーザー施設の完成予想図。

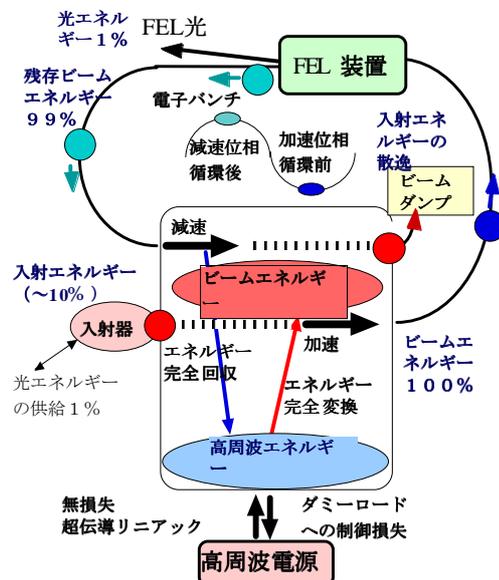


図2：FELにおけるエネルギー回収の説明。

超伝導リニアックの内部の高周波エネルギーは、図2のように加速位相に電子ビームが入射された時に、無損失で加速ビームのエネルギーに完全変換される。ビームエネルギーは、その一部がFEL装置で光エネルギーに変換される。大部分のビームエネルギーは、超伝導リニアックの減速位相に再入射された電子ビームから内部の高周波エネルギーに完全変

換される。高周波源は制御に必要なわずかな割合をダミーロードに捨てており、この分が補給され、加速器の実損となる。光に変換された実質減少分の電子エネルギーを入射器側から補給するだけでよいことになる。

2001年4月より、エネルギー回収系組み込みと同準備実験を進めている。このための放射性発生装置の変更申請を行った。許認可が得られ次第、加速実験を開始する。エネルギー回収による高出力化以外に高縮重度超放射を用いた高出力発振実験を計画している。この新しい発振状態は今後さらに高効率、極短パルス、高出力を実現できると期待している。図3に説明するようにエネルギー回収では今後、2年毎に1桁の出力上昇が期待される。

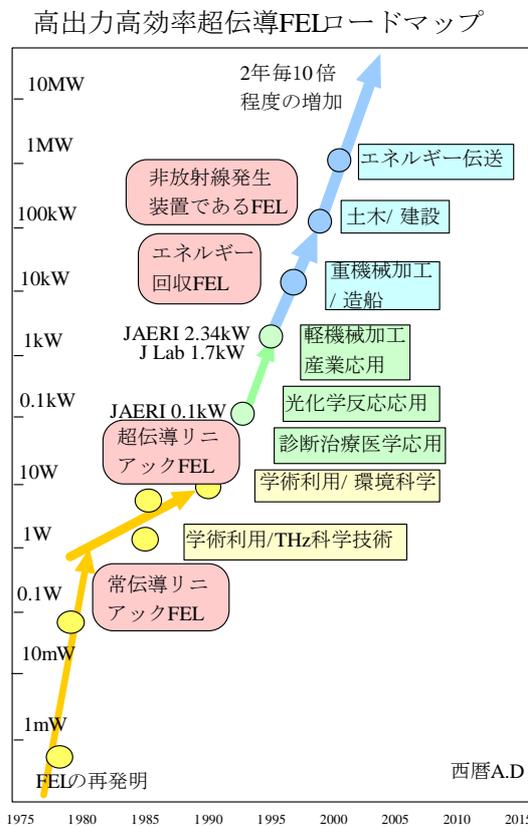


図3：高出力高効率超伝導FELのロードマップ。

### 3.2 エネルギー回収型 UVFEL 計画

高出力紫外線域自由電子レーザー(UVFEL)開発と利用、さらにこれを用いたX線FELの要素技術開発を計画している。200MeV程度のエネルギー回収型超伝導リニアックをUVFELの駆動源として計画して

いる。予算が認められれば、新規にFEL建家を建設し、現在のIRFELを移設する。その後、UVFELの建設と利用研究棟の建設を行う。

### 3.3 エネルギー回収型 XFEL 計画

エネルギー回収型超伝導リニアックUVFELは、エネルギー回収型X線FELのプロトタイプ或いは要素技術開発システムである。将来国内に全日本或いはアジア地域共同利用の実用的X線FELセンターが建設される際には、エネルギー回収型X線FEL技術を提案し、主要な役割を担うことを目標としている。図4に短波長化の予測を示す。

FEL 最短波長ロードマップ

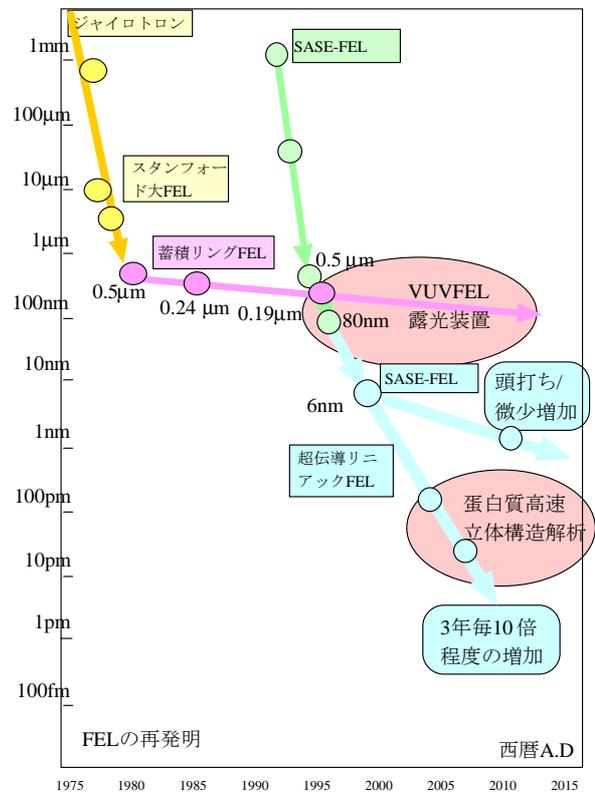


図4：短波長超伝導FELのロードマップ。

### 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)