

A PRELIMINARY RESULTS OF THE MULTIDISCIPLINARY ERL-FEL PROGRAM AND THE LASER CLEANING OF NUCLEAR POWER REACTORS

Eisuke J. Minehara, WERC(The Wakasa Wan Energy Research Center)
64-52-1 Nagatani Tsuruga, Fukui, 914-0192 JAPAN

Abstract

A Multidisciplinary and developmental program of the superconducting energy recovery linac-based free-electron laser and superconducting linac module will be briefly reported and discussed here. Preliminary results of the cooling the superconducting linac module down to 4K as the first activities will be presented. The feasibility study of the laser cleaning for the nuclear power reactor will be added to present the application example using a conventional laser and RI-contaminated samples, and plan. We hope to adopt the multidisciplinary ERL-FEL laser to clean the nuclear power reactors near future.

多目的ERL-FELの予備的結果と原子炉レーザー除染

1. 原研ERL-FELの小型無蒸発型超伝導加速モジュールと冷凍機

原研FELの超伝導加速器モジュール[1]は、加速空洞設計としてDESY(ドイツ電子シンクロトロン研究所)技術と住友重機製小型閉回路He冷凍機を用いた、原研で開発された冷却設計[2]のモジュールを用いてドイツ連邦共和国ベルギッシュグラートバッハのインターアトム社工場で製作された。2重の断熱層とサマルコナーを持つこのモジュールは、有限要素計算コードANSYSの温度分布の計算と試験用クライオスタットで冷却性能や熱進入実測で最適化を行った。冷凍機は元々JRのリニア山梨実験線の車両用に設計製作され、リニア宮崎実験線の4W機から8W機に増強されたものであった。

クライオスタットの形状、周辺の冷凍機、熱設計などは図1、2に示されている。液体ヘリウム代わりに常時連続運転した4K冷凍機SRJ2008は1年毎の交換、液体窒素代わりに10K/50Kの熱シールドを冷却したGM(ギットマカホン)冷凍機RD220は通常2-3年毎の交換で、最長で4年以上運転できた機械も含めて全期間に渡り故障はなかった。この交換までの期間は、4KのSRJ2008では、個々に大きくばらついていて常時2台程度の予備機を置いて、故障による蒸発が始まる前に交換を行った。SRJ2008は比較的短時間約15分で交換でき、交換後2.5時間くらいで冷却開始できた。故障でなくても冷却能力が低く、調子が悪いものは早めに交換した。RD220はほぼ完全に無故障であったので、定期的に交換できたが、固定をクライオスタット真空断熱槽にフランジ止めであったので交換は冷却部分全体の温度上昇と液化ヘリウムの回収が必要であった。この時間がかかる作業を省略するため冷却

のための断熱膨張を起こさせるディスプレイレーザーの部分からの交換のみを低温のまま行う「コールドメンテ」方式に切り替えて、最後の9年程度はクライオスタットのGM冷凍機交換もクライオスタット全体の昇温を行わずに、連続低温保持して運転を行った。コールドメンテは図3にあるように行った。

最初の技術目標は以下のように達成された。①運転保証時間内での交換による安定な無蒸発冷凍機運転(交換間隔はSRJ2008約1年、RD220約3-4年)、②交換中も昇温しないコールドメンテの実行と実現、③10年以上に渡る無昇温、無蒸発の冷凍機運転の実現、④24時間365日10年以上の連続低温保持運転(短時間2-4時程度の交換作業を除く)を実現、④少ない熱侵入量設計値1W、実際は計装用ケーブル類などを經由する熱侵入量の増加により2.4W程度のスタンドバイ値(常時熱侵入量)が得られている。[1]

2. 多目的ERL-FELの予備的結果

最大の改善項目は、4K冷凍機の交換間隔を2倍程度に伸ばすことである。このために不定期的な故障を起こしていたSRJ2008を確実に約2年間運転期間を確保する必要がある。SRJ2008のもともとの運転保証時間は5000時間であるがRD220が4年程度安定に動いていることから可能と考えている。また交換時の冷凍機の冷却時間が2.5時間から3時間かかっていたのでこれを予冷によって、30分以下にできた。実績のあるSRJ2008冷凍機はGM冷凍機にJTバルブをつけたものであるが、SRJ2008の改良や磁性蓄冷材を用いた4KGM冷凍機や4Kパルスチューブ冷凍機など、また大型の液化装置も可能である。

加速空洞共振器は、薄膜を高純度銅の共振器内側に貼り付けて製作する。これによりNb薄膜スパッタでもPb薄膜メッキでも可能である。Nb薄膜の場合、磁

場に強く、高価な磁気シールドを省略することが出来ると考えられている。Pbメッキ薄膜は、安価で繰り返し、Nb薄膜の共振器と同じ銅製の空洞共振器にメッキ付着と酸洗浄剥離を、高Q値が実現するまで繰り返すことが可能で、安価で確実である。PbはTcが7Kと小さく、Nbの9.2Kの場合より表面抵抗が大きく、Q値が小さく得策ではない。また、空気中で酸化されやすく取り扱いも不便である。実際には極端にガスを嫌うのでこの侵入を防ぐために不活性ガスを充填するので特に不便ではない。

以下に次期加速器モジュールで目標とする性能を示す。
 ①4K冷凍機部品交換間隔2年、20K冷凍機交換間隔4年の実現。
 ②インバーター周波数を2割から4割上げて元々8WのSRJ2008相当4.2K冷凍機1台の能力を10W-12Wの空洞冷却能力増強の実現、
 ③20K8W相当シールド冷凍機のシールド冷却能力に減量し最適化を行う、
 ④コールドモンテの利用による10年程度の連続無昇温運転、
 ⑤熱侵入量2W程度以下のサマルンカーの実現、
 ⑥昇温後、最初の冷却時に加速器運転用の冷凍機を用いて冷却・液化運転を実現する。但し、日本では県単位の地域により高圧ガス取締法の地域別追加規制により不可能な場合がある。

この加速器モジュールは、比較的小型で産業用超伝導加速器モジュールとしてERL-FELや電子線照射装置などに応用可能と考えられる。この加速モジュールを多目的ERL-FEL装置に使用して図4にあるように例えば3種類のERL-FEL装置などを構成することができる。FEL以外にもこのモジュールを用いて陽電子発生装置、電子線照射装置を構成して、利用することができる。

3. 原子炉レーザー除染技術開発の状況

将来、多目的ERL-FELが広く応用する場合の典型的な応用分野として原子力エネルギー利用分野を想定した。近い将来、多目的ERL-FELを利用することを目標に、原子炉1次系の部品のレーザー除染を固体レーザーをもちいて実行した例を報告する。

図5は、原子炉内に設置したビニールハウス内の実験装置の説明図である。作業は数回行われ、この写真と説明図は最初の試みである2007年のものである。全体を負圧としてその中でレーザー除染作業を行った。図6はその作業写真の例で2重にビニールハウスが設置され、60Coで汚染された原子炉1次系配管の一部から汚染が広がらないように配慮されている。

最初に報告したレーザー除染は原子炉2次系の炭素鋼は除染可能であったが、原子炉1次系ステンレス配管は除染ができなかった。原子炉の1次系は耐食性のステンレス鋼等など特殊鋼が主に使用されている。原子炉1次系のステンレス鋼の実物を用いたレーザー除染は文献4の方法を用いて固体レーザーを用いて最近効率的に除染できるようになった。この結果は、予想以上に2次汚染が少なく、またキレート剤による系統除染によってクリアランス以下に除去できなかった1次配管汚染物をクリアランス以下にすることができた。

通常の固体レーザーによる除染のみならず、多目的ERL-FELを用いて原子炉の除染が広く行われるよう

になるために、そのFEL除染の特徴である非熱蒸発による熱的影響のない、2次汚染が全くない除染が原子炉の除染に最も優れていることを原子炉運転者側が理解してもらう必要がある。図7にあるように原子炉1次系の一番大きな部品である蒸気発生器の除染には、配管が多く除染作業がやりやすい多目的ERL-FELが適していると考えられる。

今後、多目的ERL-FELが広くレーザー除染などに使用されるように通常レーザーと同じくらい安価で容易な装置とする必要がある。また除染技術的な問題点の解決のために実汚染物や模擬汚染物を用いた試験を進める予定である。

参考文献

- [1] 峰原英介, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, 483A(2002)8-13.
- [2] 峰原英介, 特許「超伝導加速装置」平成2年、特許第3094299号平成12年。
- [3] 峰原英介, 特許「超伝導リアック駆動自由電子レーザー装置」平成13年、特許第4457207号平成22年。
- [4] 峰原英介、平成21年、特願2009-109062 「除染装置及び除染方法」、日本原子力研究開発機構。

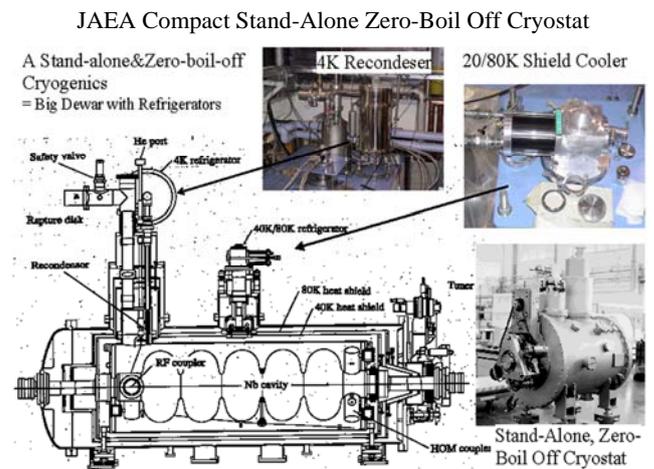
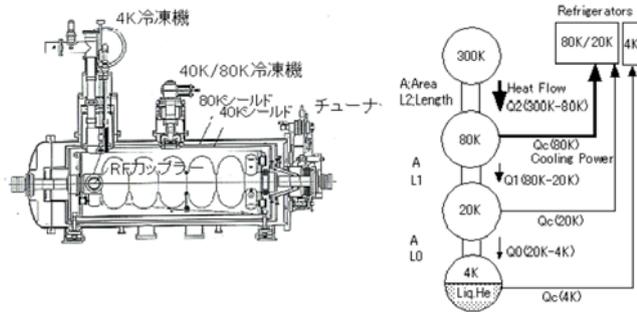


図1、JAERI ZBOクライオスタット説明図と写真。参考文献 [1,2]参照。

原研ERL-FEL用小型無蒸発型超伝導加速モジュールの熱設計と冷凍機の例



侵入熱 2.4W@4K 1-2W@10K 50W@50K
 GM冷凍機 RD220 120W@80k/20W@20K
 JT-GM冷凍機 SRJ2008 8W@4K

図2、原研ERL-FELモジュールと冷凍機。

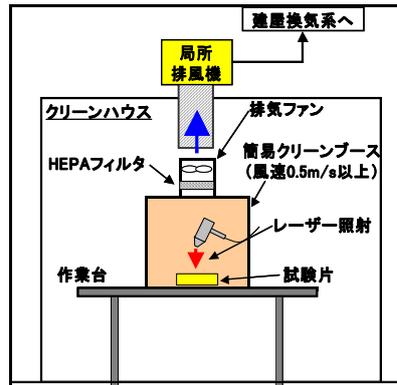


図5、ふげん原子炉建屋に設置されたレーザー除染実験装置。

コールドメンテ GMのピストンの移動



図3、コールドメンテ作業写真、ピストンの吊上げ移動。

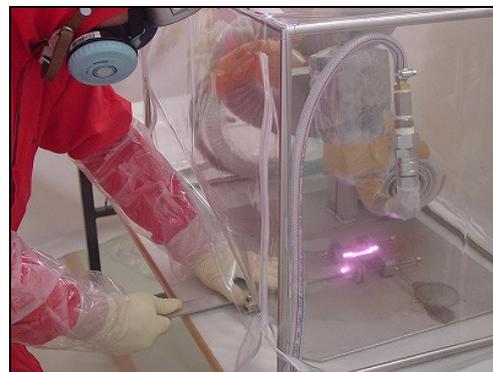


図6、ふげん原子炉建屋でのレーザー除染作業写真。

High Power FELs 0.5GHzUHF
 12MeV (FIR) / 24MeV (MIR) / 48MeV (NIR)

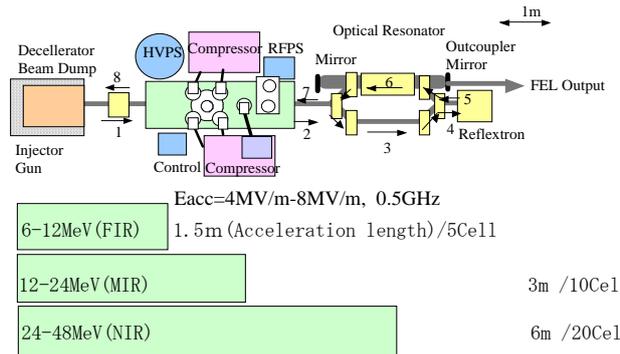


図4、多目的ERL-FEL装置概念図。参考文献[1, 2, 3]参照。

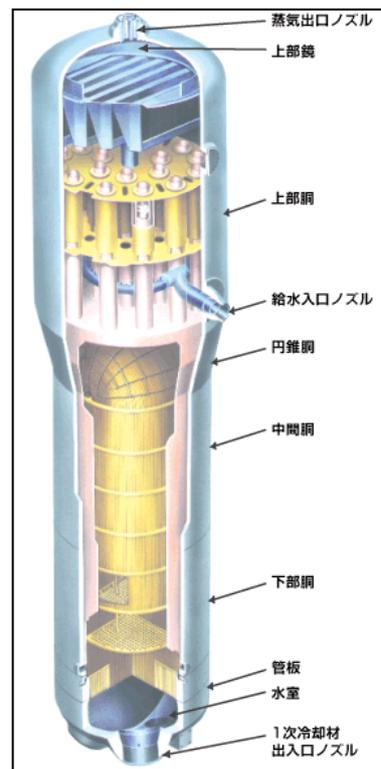


図 7、レーザー除染機の対象である原子炉 1 次系
蒸気発生器の例。