

Status of KURRI-LINAC

Naoya Abe^{1,A)}, Toshiharu Takahashi^{A)}, Jun-ichi Hori^{A)}, Takumi Kubota^{A)},
Koichi Sato^{A)}, Shuji Yamamoto^{A)}, Ken Nakajima^{A)}, Kiyoshi Takami^{2,B)}

^{A)} Research Reactor Institute, Kyoto University

2-1010 Asashiro-nishi Kumatori-cho Sennan-gun Osaka 590-0494

^{B)} Nippon Advanced Technology Co.,LTD

2-1010 Asashiro-nishi Kumatori-cho Sennan-gun Osaka 590-0494

Abstract

The electron linear accelerator of the Research Reactor Institute, Kyoto University (KURRI-LINAC), constructed in 1965 as a pulsed-neutron generator, has two L-band-type accelerating tubes. The maximum electron energy is 46 MeV and the beam power is 6kW. The KURRI-LINAC is utilized for nuclear physics, electron or X-ray irradiation for material science, terahertz spectroscopy using coherent synchrotron radiation as a nationwide joint-use facility. This report describes the machine state for last year, including upgrading the performance. First, the pulsed-high-voltage generator for long pulse mode was renewed in order to keep the uniform distribution of elections in a rectangular pulse even in the lower-current beam. Second, the power supply for filament heating of klystrons was changed from AC to DC in order to reduce the small amount of amplitude modulation of the RF output.

京大炉中性子発生装置（電子ライナック）の現状

1. はじめに

京都大学原子炉実験所中性子発生装置（以下、京大炉ライナック）は、定常的な中性子源である原子炉と相補的なパルス状中性子源として、1965年に米国ARCO社製L-1512G型電子線型加速器を導入し、翌年から所内利用、3年後の1968年からは全国共同利用が開始された。1971・2年に加速管、マイクロ波発生装置増設によるエネルギー増強作業、1973年に大型電子銃に交換した電流増強作業があり、その後も維持費等による更新を続けているが、一方で老朽化も進んでいる。近年では、利用の多様化に伴いビームの安定化を中心に改造・更新が進められている。また、昨年から、従来の出力より低いエネルギーのビーム利用を開始しており、更なる利用の活発化が期待される。

2. 利用状況と運転時間

現在、京大炉ライナックでの実験は①照射実験、②中性子実験、③コヒーレント放射光実験に大別できる。2008年は復旧に時間を要するトラブルはなかったが、終夜連続運転が減少したため、年間運転時間は2278時間と昨年より微減した。内訳としては飛行時間分析法が減少した一方で、電子線・X線照射が増加している。増加の理由としては、従来の低温照射実験のほかに常温・高温での照射及び低エネルギーでの照射が行われるなど、利用の多様化が進

んでいることが挙げられる。

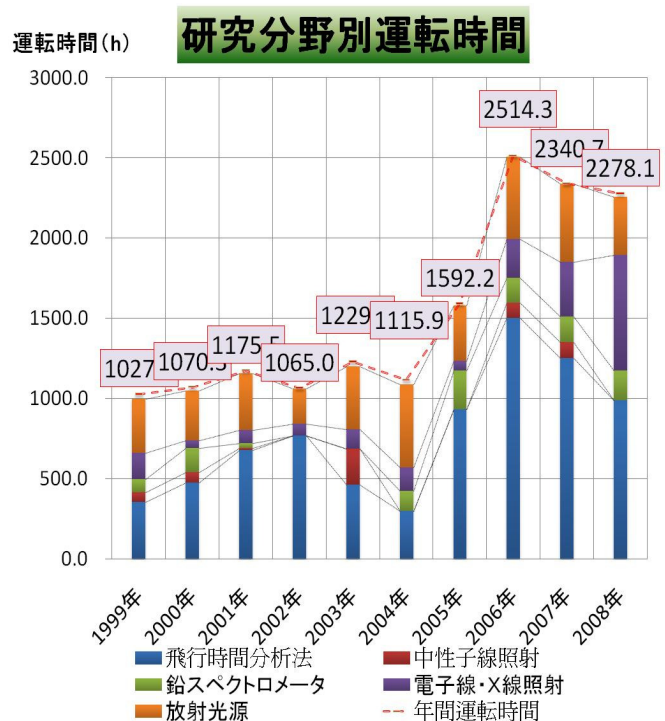


図1 研究分野別運転時間
過去3年は2000時間を上回る
運転が行われている。

¹ E-mail: abe@rri.kyoto-u.ac.jp

² 現 名古屋大学小型シンクロトロン光研究センター

3. マシン改造

3.1 電子銃ロングパルサ更新

京大炉ライナックでは電子銃駆動用パルサが三種類あるが、その中のロングパルサ (0.1~4 μ s) (DEI社製HV1000) が通常使用するパルス電流 (0.5~1 A) にすると立ち上がりのスパイクやサグが非常に大きく (図2(a))、矩形波を保つには必要以上の電流 (4 A以上) にする必要があった。回避するために定電流駆動回路に変更した。

新ロングパルサはPowerMOSFET (ST社: STB7NK80Z) を用いて作成した。50 Ω 負荷では綺麗な矩形波であったが電子銃に接続すると負荷インピーダンスが低く (~5 Ω)、立ち上がりに大きなリンキングが発生した。このため、パルサ出力に50 Ω 追加など行って改善した (図2 (b))。更新目的である低電流出力は、0.1 A程度まで電流を抑えるとスパイクやリンキングが目立ち始めるため0.1 Aが限界であるが、必要としていた0.5 A以上ではスパイクとサグがほとんど消失しており目的を達した。

更新後に実際に電子を加速すると、更新前より10 %程度増加のピーク電流550 mA以上の電子が加速可能となった。必要最小限のパルス電流となったことで、空間電荷効果によるビーム損失が減少したことや、パルス波形の改善でエネルギースペクトルも改善したことが要因と推測される。

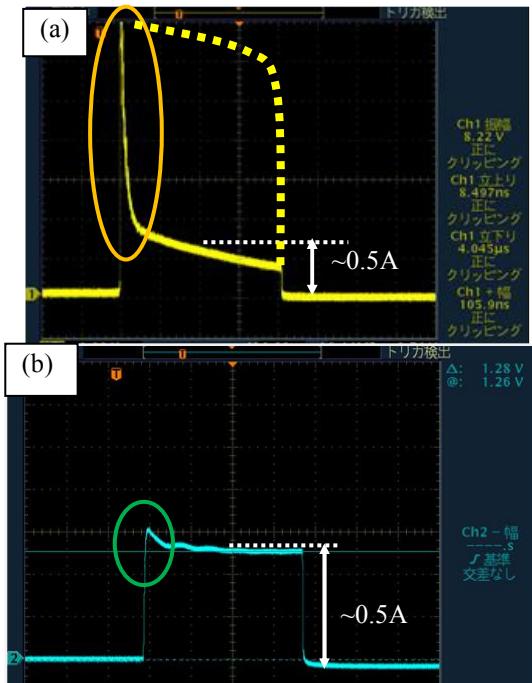


図2 (a) 更新前ロングパルサ波形
スパイクとサグが大きく、矩形波状にするには破線のような大電流が必要
(b) 更新後ロングパルサ波形
スパイクやサグはほとんど消えている

3.2 クライストロンヒーター直流化

従来、クライストロンヒーターは交流点灯で使用していたが、ヒーター電流による交流磁界はカソードからのビーム電子軌道を乱してマイクロ波出力に影響が出ると考えられる。一般的なマシンでは繰り返し数が少ないため、ライン同期をかけることで逃げることはできるが、京大炉ライナックは実験により1~360 Hzと広範囲に繰り返し数を変えるため、ライン同期だけでは対応できない。そこで直流点灯への変更を行った。

直流化回路としてコンデンサ入力方式を採用した。整流回路としてはVISHAY社製GBPC3502 (200 V, 35 A) を、60 Hzの平滑には電解コンデンサ (日本ケミコン製: ELXA350LGC473TCC0M (35 V, 47000 μ F)) を2個使用した。パルストランス二次巻線抵抗が大きいいため油中での使用となるが、電解コンデンサは油中では使えないため、密封容器に入れて使用した。回路図と共に図3に示す。

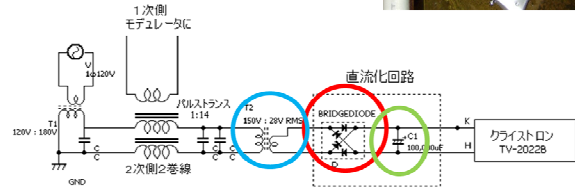
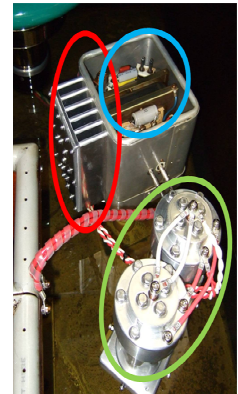


図3 (a) クライストロンヒーター回路写真
(b) 同回路図

青: ヒータートランス、赤: 整流回路・放熱フィン、緑: コンデンサ密封容器

予備のクライストロンを大気中で使用してリップル電流及び電圧の交流成分を測定した。発熱が大きいためか、データシートの値まで出力できず、DC19.4 V・19.9 Aで測定した。結果、リップル電流は11 A (図4黄・1 A/mV) であった。コンデンサの定格リップル電流8 A at 105°Cを一見超えているようだが、15°Cの温度低下で1.9倍の定格電流になることから使用可能とした。交流成分はp-pで800 mVを示した (図4青)。約4 %のリップルであり従来の交流電圧と比較すると1/50になった。

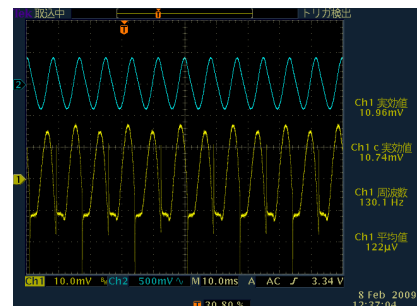


図4 (黄) リップル電流
(青) 電圧交流成分

直流化回路を、2基あるクライストロンNo.1・No.2にそれぞれ導入したが、使用して一月程でNo.2クライストロンの真空度を示すイオンポンプ電源の電流値が増加する傾向が出てきた。通常0.1 μ A以下を示しているが、クライストロンヒーターを入れて30分程度経過すると徐々に増加して0.5 μ Aとなり、高圧パルスを加えると同時に更に急激に増加することが確認された。また、No.2と比較すると顕著ではないがNo.1にも同様の現象が確認された。真空悪化はヒーターに意図せず必要以上の電力を加えている恐れから、ヒーター電力を調整した。

ヒーター電力を下げることで真空度は改善したが、直流化後も交流点灯時と同様に、メーカーデータシート記載の電圧・電流に設定していたので、真空悪化の原因や直流化との因果関係は現在のところ不明である。尚、新たなヒーター電圧・電流の設定値はヒーター電力対エミッション電流曲線の測定結果から決定した。

直流化回路導入によるRF出力の安定性の改善は確認できなかった。別の不安定要因により直流化による改善があるものと推測される。

4. エネルギー可変運転

昨年に引き続き、エネルギー可変運転、特に低エネルギーでの運転に関して、可変領域の拡大を試みた。前回の発表^{[1][2]}でも述べたが、京大炉ライナックでは前段加速位相・後段減速位相での低エネルギー化は困難なため、前段のみにマイクロ波を加えて後段でエネルギーを吸収する方式で調整を行った。

3.1で示したロングパルスの更新で、前回トライより約10%増加したビーム出射が可能になったため、より低エネルギーのビームが期待された。

今回調整の結果、以下のことが判明した。

1. プリバンチャーRF位相を変化させると最大1 MeV強のエネルギー変化となる。
2. インジェクタパルス入射タイミングを早めると高エネルギー成分が減少する(図5)。

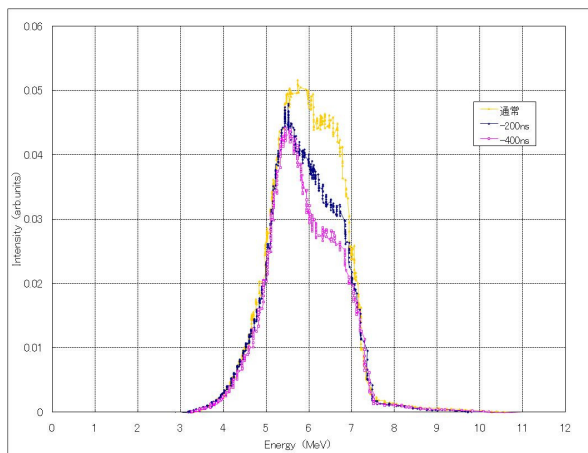


図5 インジェクタパルス入射タイミング別ビームエネルギースペクトル

最終的に低エネルギービームとして、ピークエネルギー5.8 MeV・ピーク電流約280 mA・4 μ sのビームが得られた。図6は加速管出口のCTで測定したビーム電流のピーク値とピークエネルギーをプロットしたものである。加速可能電流の増加で低エネルギー領域に可変領域が広がった。

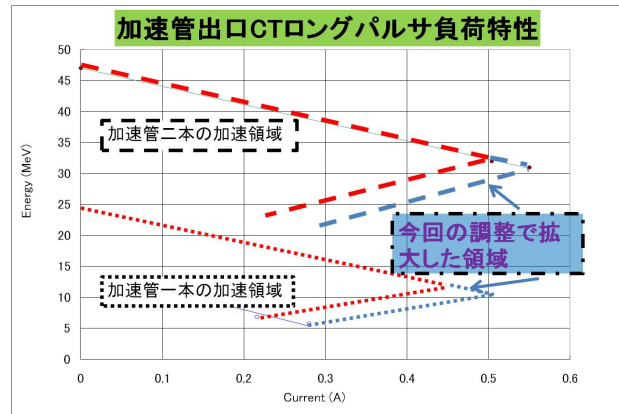


図6 加速管出口CTでのロングパルス負荷特性
赤：前回の加速領域 青：今回の加速領域
破線：加速管2本での加速領域
点線：加速管1本での加速領域

5. その他

昨年度のKEK大学等連携支援事業により、より正確なビームの測定を行うためのファラデーカップ、並びに作業軽減による被曝量の軽減と利用時間の増加のためのビーム輸送系・ゲートバルブの増設、クイックリリースフランジの採用を行った。

参考文献

- [1] 阿部尚也 *et al.*, “京大炉中性子発生装置(電子ライナック)の現状”, Proceedings of the 4th annual meeting of particle accelerator society of Japan and the 33rd Linear Accelerator Meeting in Japan, Higashihiroshima, Aug. 6- 8, 2008
- [2] 窪田卓見 *et al.*, “KURRI-LINACを用いた低エネルギー光子照射場の構築”, Proceedings of the 4th annual meeting of particle accelerator society of Japan and the 33rd Linear Accelerator Meeting in Japan, Higashihiroshima, Aug. 6- 8, 2008