

UT-Tokai Quad Linacs 2005

M. Uesaka^{1,A)}, K. Kinoshita^{A)}, T. Hosokai^{A)}, T. Ueda^{A)}, T. Sukegawa^{A)}, A. Sakumi^{A)}, A. Fukasawa^{A)},
T. Ohkubo^{A)}, F. Sakamoto^{A)}, Y. Muroya^{A)}, H. Kudo^{A)}, Y. Katsumura^{A)}, K. Dobashi^{B)}, A. Zhidkov^{B)}

^{A)} Nuclear Professional School, School of Engineering, University of Tokyo

2-22 Shirane-shirakata, Tokai, Naka, Ibaraki, 319-1188

^{B)} National Institute of Radiological Sciences

4-9-1, Anagawa, Inage-ku, Chiba-shi, 263-8555

Abstract

Nuclear Professional School, Univ.Tokyo, has started in Tokai in 2005. Continuous study on upgrade of short/long-term stability of Mg cathode RF gun is under way. We are going to replace the Mg cathode with new one for better emittance and considering introduction of cartridge-type Cs₂Te/Diamond cathodes. Monochromatic tuneable hard X-ray source using the X-band linac and YAG lasers are constructed this summer and its application starts this fall. The whole laser plasma acceleration system including the plasma cathode, capillary channel, artificial pre-pulse and new bunch shape diagnostic devices is constructed in this fiscal year. We are promoting the research and education of medical physics as the most application field of the linacs.

東大原子力クワッドライナック現状報告2005

1. はじめに

今年4月に新設した原子力専攻(東海村)と原子力国際専攻(本郷)では、研究炉弥生、電子ライナック・レーザー、タンデム加速器、重照射加速器、RAPIDなどのイオン加速器など大型原子力設備を有し、その共同利用も継続実施している。現状の各共同利用運営委員会を更新しながら継続し、利用者グループの要望と自主性を尊重して運営を行っている。弥生とライナック・レーザーが全国共同利用に供しているが、他は学内共同利用であった。平成17年度から学内措置として、それら全国共同利用運用する新制度を作り、民間企業を含めた学外ユーザーにも正式に開放する。体制を図1に示す。

2. 共同利用状況

平成17年度は新規課題5つを含む合計13個の共同利用課題が採択された。表1に課題一覧を示す。内、ビーム物理系5件、利用系6件、医療応用系が2件である。フォトカソードRF電子銃の高性能化、極短時間分解測定のための要素技術試験、速度集群による極短パルス研究、レーザープラズママルチビーム研究といった、ビーム物理系が4件、単色エネルギー可変硬X線源の応用研究といった医療応用系一件が追加された。

表1 平成17年度共同利用状況

採番	テーマ名	代表者
L-1	水溶液の放射線効果の研究	勝村庸介 (東京大学)
L-2	ポンプ&プローブ法を用いる超高速反応の研究	勝村庸介 (東京大学)
L-3	天然高分子材料等の放射線化学反応機構と表面加工	工藤久明 (東京大学)
L-4	アルミナ蛍光板の発光特性の測定	中沢正治 (東京大学)
L-5	放射線の高分子材料への応用	山下俊 (東京理科大)
L-6	高速応答シンチレーターの開発と性能評価	浅井圭介 (東北大学)
L-7	医療用小型加速器要素技術試験	浦川順治 (高エネ研)
L-8	高温・超臨界溶媒の放射線化学	勝村庸介 (東京大学)
L-9	フォトカソードRF電子銃の高性能化	熊谷敦孝 (JASRI/Spring8)
L-10	極短時間分解測定のための要素技術試験	作美明 (東京大学)
L-11	速度集群による極短パルス研究	峰原英介 (日本原子力研究所)
L-12	レーザープラズママルチビーム研究	上坂亮 (東京大学)
L-13	単色エネルギー可変硬X線源の応用研究	上坂亮 (東京大学)

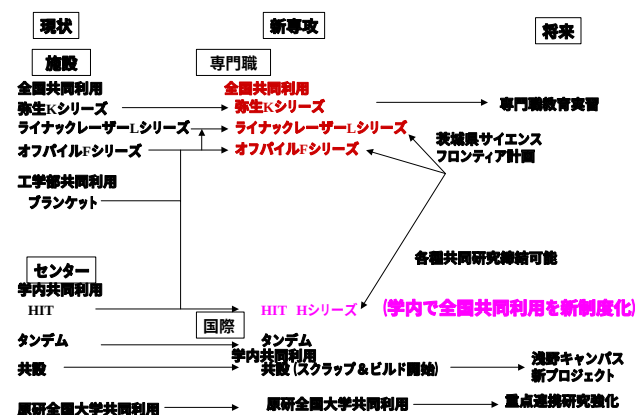


図1. 統合的全国共同利用運営

¹ E-mail: uesaka@utnl.jp

3. Sバンドツインライナック

東大S-bandツインライナックはMg フォトカソードRF電子銃を用いたS-bandライナック、及び熱電子銃とS-bandライナックからなっている。この装置群は、これまで同様、ピコ秒・サブピコ秒時間領域の放射線化学実験に用いられるとともに、医療用小型加速器要素技術開発、極短パルス測定のための要素試験の利用が行われるようになった。レーザーはTi:Sapphireレーザーを用いて、ここからの光を二つに分けている。一つは3倍高長波を発生させてRF電子銃の駆動に使い、もう一つは放射線化学実験のためのプローブ光にしている。レーザーの発振とRFはマスタークロックにより同期がとられている。

プローブ光レーザーをパラメトリック増幅器により増幅させることにより資料の厚みを減らすことができ、その結果、水に対する吸収の立ち上がりは4psに達成した(図2)^[1,2]。

一方、4psという時間分解能をさらに改善させようとした場合、現在最も問題なのはポンプビームとプローブレザーの時間同期安定性である。これまで、この同期には数分程度で揺らぐジッター成分と長周期(1時間程度)で揺らぐドリフト成分があることが分かっていた。昨年度詳細な測定の結果、このドリフトがレーザー室の温度変化の周期と一致していることが分かった^[2]。そこでレーザー室の空調

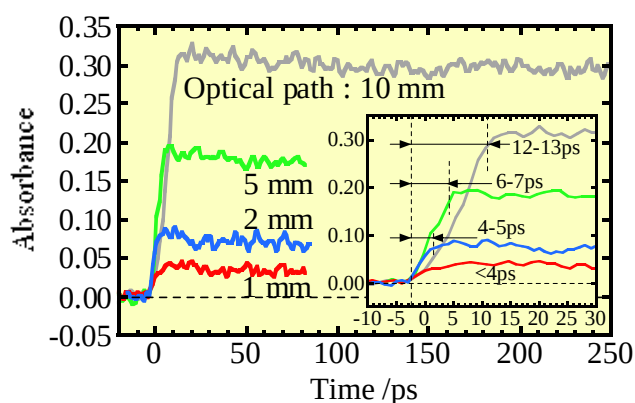


図2.パルスラジオリシスの時間分解能
左図は標的の厚み、右図はそのときの時間分解能

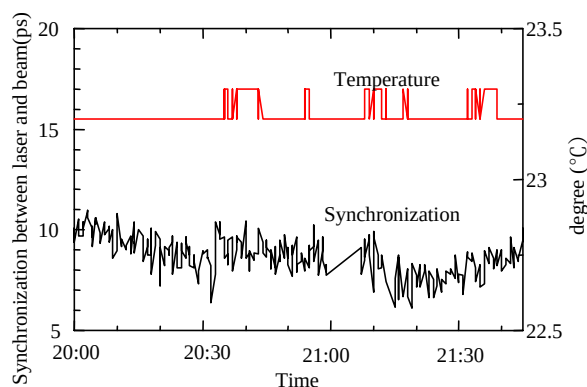


図3 同期測定とレーザー室温の温度変化

設備を若干改造することによって、温度変化を数時間以上で0.1°C以内にコントロールすることができた。このときの同期のデータを図3に示す。1時間半の間の同期は600fs(rms)で、短時間のジッター400fs(rms)に近づいた^[3]。ドリフト成分の周期はより長くなったが、放射線測定実験に必要な時間スケール(2時間程度)では問題がないと思われる。

この長時間成分のドリフトを減少させる為に、同期に対するフィードバックシステム、そしてビーム強度を安定にするために、動的位置フィードバックシステムを検討している。

4. Xバンドライナック

我々は、ガン高精度診断単色可変、生命科学応用などさまざまな用途が考えられる高品質の硬X線源をより小型化する、Xバンドライナックを用いたレーザー電子ビーム衝突による小型硬X線源を開発中であり、X線強度 10^9 photons/s(但し後述のレーザーサーキュレーションを採用した場合)を目指す(図4)^[4,5]。

現在、Xバンドビームラインは、電子銃の試験を対象とした体系として構築中であり(図5)^[6]、平行してXバンドRF源の動作試験及びエージングを行っている。電子銃試験に必要なRF出力にほぼ達しているのので、電子銃へRFを投入し電子銃のRFエージングを開始した。エージングが完了し次第ビーム試験を行う。加速管を含めた体系は、電子銃試験終了後に構築、試験を行う。X線発生試験及びX線応用実験は今秋以降に可能と考えている。

一方、提案している小型硬X線源の最大の課題は、実用レベルまでX線強度を増強することである。発生するX線の量は電子数(ビーム電流)、レーザーの光子数(レーザーエネルギー)に比例するが、導入予定のレーザーのパルス幅(10ns, FWHM)は電子ビームのパルス幅(1ms)と比べて短く、X線発生に寄与するのは全体のごく一部である。そこで我々は、同一のレーザー光を繰り返し衝突点に入射するレーザー周回システム(レーザーパルスサー

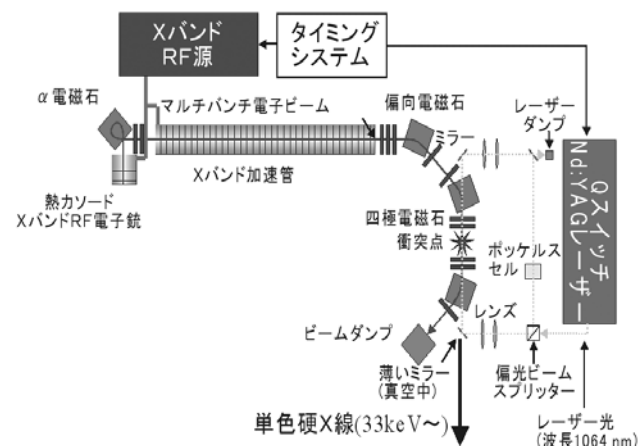


図4. 単色X線生成実証用Xバンドビームライン

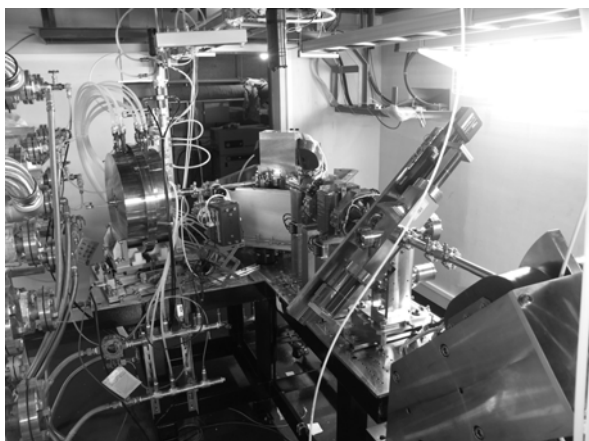


図5. Xバンド熱カソードRF電子銃試験用ビームライン

キュレーションシステム)の導入を検討している。ローパワーのNd:YAGレーザーでの原理検証実験により、偏光面の切り替えによるレーザー光の閉じ込めを確認することができた^[7]。周回によりレーザーのエネルギーはおよそ10倍、X線発生量は 10^9 photons/sになると予想される。

5. レーザープラズマライナック

レーザープラズマ加速器は100 GeV/m以上の加速勾配を生成することができ加速空洞の長さを従来型の加速器に比べ1/100~1/1000程度にコンパクトにできるだけでなく、高輝度、低エミッタンス、短パルス等の優れたビーム特性が期待され、X線、 γ 線などの放射線治療器や、大型施設を用いた粒子線ビーム治療装置が通常の病院ヘインストール可能になるというメリットがある。

東京大学原子力専攻ではプラズマ波破碎を用いた自己入射型レーザープラズマカソードと呼ばれるレーザープラズマ電子加速の研究を行っている^[8]。実験では、レーザーの照射条件とガスジェット内部の密度分布制御によっては、エネルギースペクトル~10MeVにピークをもつ指向性の良い電子ビームが得られることが確かめられている(図6)^[9]。指向

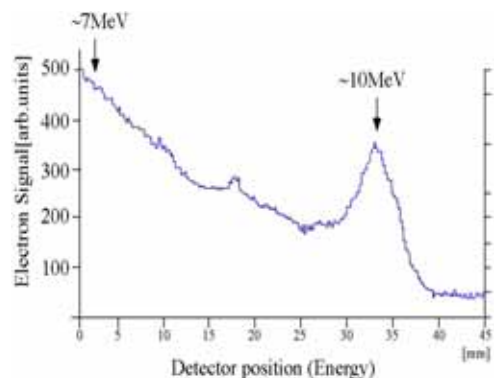


図6. レーザープラズマ電子加速で得られたエネルギースペクトル

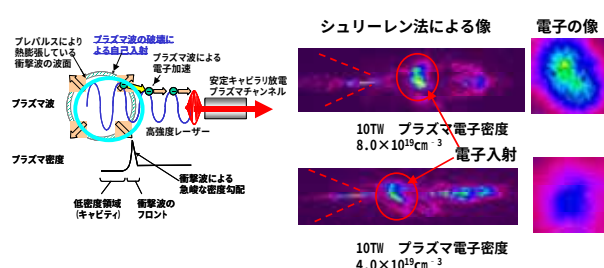


図7. 動的制御によるエネルギー単色化

性の良いMeVオーダーのビームの発生については制御が可能になりつつあるが、エネルギーの単色化については、発生機構に未解明な部分が多く、いまだ安定に制御できるレベルには至っていない。ビーム電荷量については現状では~10pC/バンチ程度であるが、PICコード数値計算では100pC/バンチ以上が予測されており^[10]、パラメータ最適化によって一桁大きくできる可能性がある。レーザープラズマによるコンパクトな単色ビーム電子ライナックの実現には、プラズマダイナミクスを含めた粒子加速機構の詳細にわたる理解がキーポイントになる。そのため、良く定義された条件での実験結果と確度の高いシミュレーション結果との定量的な比較検討を行っていくことが必要不可欠である。

この得られた結果を元に単色電子ビーム生成のために、レーザープレパルス法やキャピラリー放電の最適化を行う(図7)。

6. 化学放射線治療科学と医学物理

第4回研究会を7月30, 31日に東大病院講堂にて医学物理教育とDDS (Drug Delivery System)・放射線融合技術に絞り、行う。また原子力国際専攻にて医学物理教育コースを設置し、5名の新入生を得た。1, 2年生向けに「医学物理入門ゼミ」を始め、25名の履修者を得ている。将来のアメリカ型研究的医学物理士の人材が育成されている。先進小型加速器の応用に最も重要な分野と考え、開発研究と人材育成を推進する。

参考文献

- [1] Y. Muroya et al, RESEARCH ON CHEMICAL INTERMEDIATES 31 (1-3): 261-272 2005.
- [2] T. Ueda, et al, this proceeding. **20P072**.
- [3] A. Sakumi, et al, this proceeding. **20P009**.
- [4] K. Dobashi et al, JJAP 44 (2005) 1999.
- [5] K. Dobashi et al, this proceeding **21P013**.
- [6] A. Fukasawa et al., this proceeding. **20P051**.
- [7] F. Sakamoto et al, this proceeding **20P095**.
- [8] T. Hosokai, K. Kinoshita, A. Zhidkov, et al, Phys. Rev. E. 67, 036407(2003).
- [9] T. Hosokai, K. Kinoshita, A. Zhidkov, et al, Phys. Plasma. 11, L57(2004).
- [10] A. Zhidkov, J. Koga, T. Hosokai, et al, Phys. Plasma. 11, 5379(2004).