

Instability of synchronization between laser and beam depending on environmental noise at photocathode RF gun

M. Uesaka^{A)}, H. Iijima^{A)}, T. Ueda^{A)}, Y. Muroya^{A)}, A. Sakumi^{1,A)}, N. Kumagai^{B)}, H. Tomizawa^{B)}

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

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

^{B)} Japan Synchrotron Radiation Research Institute (SPring-8)

1-1-1 Kouto, Mikazuki-cho, Sayo-gun, Hyogo 679-5198

Abstract

18 MeV Linac (18-L) in NERL, U-tokyo has been stably operating for physical phenomena in sub-pico seconds, especially for the radiation chemistry analysis. The injectors of 18-L consist Mg-photocathode RF gun with the irradiation of third harmonic Ti: Sapphire laser. The important factor for such as the fast radiation chemistry is not only the pulse length of beam and laser but also the synchronization between the pump-beam and probe-laser.

We found the synchronization strongly depends on the laser-room temperature, particularly the cycle of turning on/off of the air-conditioner.

Photocathode RF gunにおけるレーザー-ビーム同期不安定の環境依存性

1. はじめに

ストロボスコピック方式は1986年にその手法が確立されて以来[1]、放射線化学において有用な手法とされてきた。これまで東京大学大学院工学系研究科附属原子力工学研究施設（東大工原施）でも、このストロボスコピック方式によって様々な実験を行ってきた[2,3]。特にピコ秒、またはサブピコ秒の時間領域で起こる水の放射線化学反応は興味のある現象である。我々はこの極短時間領域でのパルスラジオリシスを、Mg フォトカソードRF電子銃を用いたS-bandライナックからの電子ビームとフェムト

秒レーザーの組合せで、pump-and-probe方式にて行ってきた[4]。図1に東大ライナックの全体図を示す。我々のライナックは入射器にMgフォトカソードRF電子銃を用いて、そこからの電子ビームを2m進行波型S-band加速管で加速する。電子パンチの圧縮にはシケイン型磁気圧縮器を用いている。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。

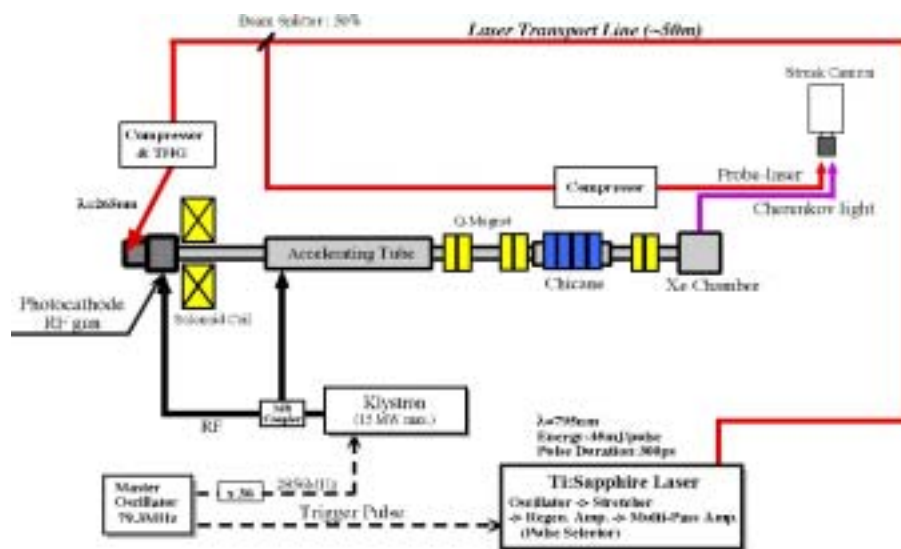


図1 東大ライナック全体図

¹ E-mail: asakumi@utnl.jp

表1 Pump-and-probe方式の時間分解能

	Final target	Achievement
Bunch duration of pump-beam	< 300 fsec	< 1psec
Pulse duration of probe-laser	100 fsec	100 fs
Beam intensity (Water cell thickness)	Several nC/bunch (< 1mm)	1~2 nC/bunch (5 mm)
Synchronizion	< 300 fsec for 1 hour	1.4 psec for 1 hour
Total time resolution	< 1psec	7 psec

Pump-and-probe方式で極短時間を実現するためには、1) 短パルスの電子とレーザー、2) 高強度の電子ビーム、3) 安定した電子とレーザーパルスの時間同期の3つが必要不可欠である。東大工原施のS-bandライナックではシケイン型磁気圧縮器で電子の短パルス化(< 1ps)を行い、フェムト秒レーザー(100fs)と組合せて用いている。電子ビームの高強度化は水のターゲットセルの厚さをできるだけ薄くしたいことから要求される。水の屈折率は1より大

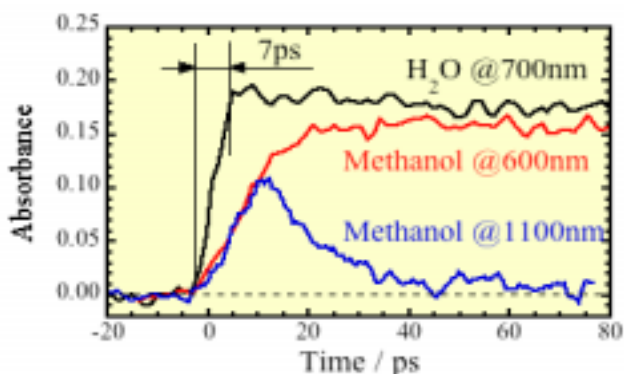


図2 Pump-and-probe方式による水、およびエタノールの吸収実験結果

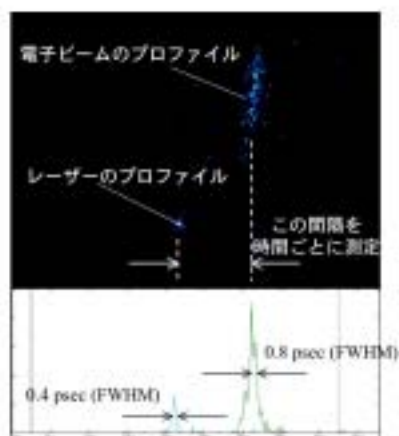


図3 同期測定のためのストリークイメージ

きいため、ターゲット中でのプローブレーザーの速度は電子パルスの速度よりも遅くなる。そのためセルの厚さをできるだけ薄くしたほうが良いのだが、その分、総収量が減ってしまうため電子の密度を高くすることが必要とされる。我々は量子効率の高いMgをカソードに用いることでビームの高強度化を図り、現在1nC/bunch以上の電子ビームの発生に成功している。時間同期は短時間領域のpump-and-probe方式を確立するのに重要な要因である。現在、1つのターゲットに対して測定時間はおよそ1時間程度であり同程度の時間内はポンプビームとプローブレーザーの時間間隔が一定である必要がある。表1に我々のライナックでの最終目標値と現在の達成値をまとめる。

また、図2に最近のpump-and-probe方式による実験の結果を示す。ここでは水の吸収の立ち上がり時間が7psである。理論的には1ps以下で立ち上がるはずなので、これが我々の装置全体の時間分解能となる。高時間分解能の達成には、これら3つの要因を改善していかなければならないが、今回は時間同期に関して述べる。

2. 時間同期の不安定性

時間同期の不安定性には2つの成分があり、1つはshot-by-shotまたは数分程度で時間変化をおこすジッター成分と1時間程度の長周期で変動するドリフト成分がある。通常我々は、時間同期の確認を

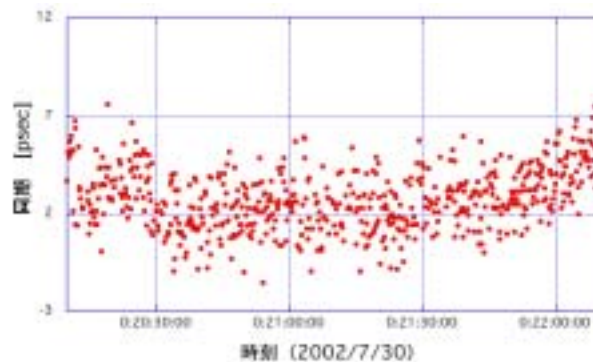


図4 同期測定

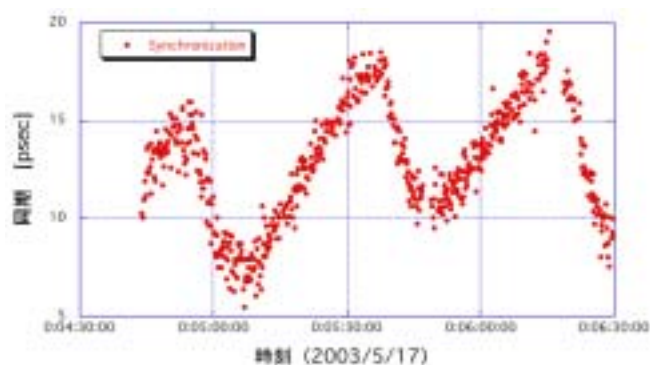


図5 回路改善後の同期測定

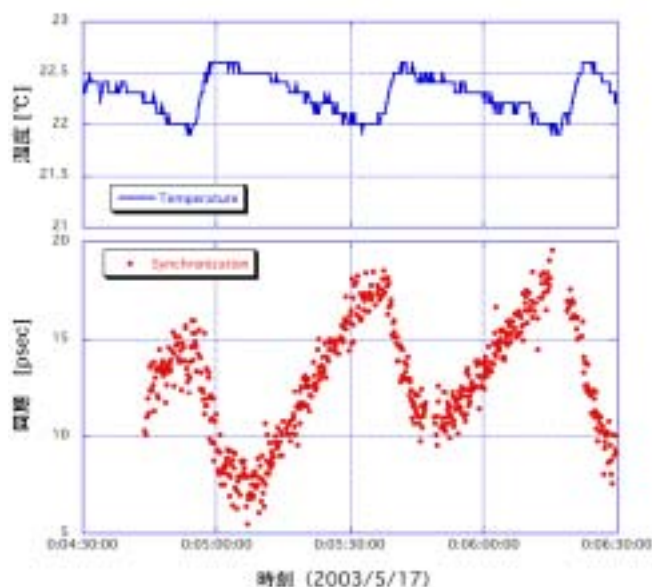


図6 レーザー室の温度変化(上)と同期(下)

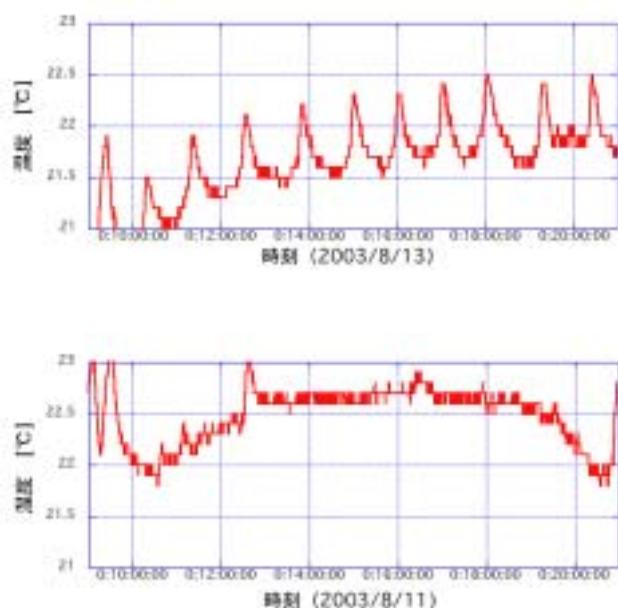


図7 レーザー室の温度変化の比較

フェムト秒ストリークカメラによって行っている。ライナックからの電子パルスにXeガスに照射し、そこからのチェレンコフ光とプローブレザーを同時に測定する。図3はその典型的なストリークイメージである。ここでは横軸が時間間隔を表している。測定はこの電子ビームとレーザーの時間間隔を回路的に固定し、それを数時間、実際の時間間隔を測定する。

図4は実際の時間間隔を2時間程度測定したものの

結果である。この測定ではドリフト成分は抑えられているが、ジッター成分は大きい。ジッターの要因は主に同期回路に寄るところが大きい。特に我々の場合はマスタークロックからのRF (476MHz)をレーザーのためにカウントダウン(79.33MHz)させる回路の状態に強く依存している。図5はこのカウントダウンの回路を改善した後の結果である。ジッター成分は低減している。一方でドリフト成分が顕著になっている。このドリフト成分は環境ノイズに因るところが大きい[5]。特にレーザー室の温度変化の周期と完全に一致している。図6はこの同期の変化にレーザー室の温度変化を重ねたものである。

一方、レーザー室の温度変化は外気温に強く作用されることが分かっている。図7はレーザー室の温度変化の比較である。図7に見られる温度の変化はレーザー室空調のON・OFFでおこる。そのため外気温が低い時は図7(上)のようにON・OFFが頻繁におこり結果温度が一定しない。一方外気温が高い時は、空調がON状態を保ち、結果温度が一定になる。図4の同期測定でドリフト成分が無かったのは、外気温が高く、空調がON状態を保ち続けたためと思われる。

3. 今後の展開

こうした、温度変化による同期の不安定性を防ぐにはレーザー室の温調を改修することが直接的な解決方法ではあるが、現在でも温度の振幅は0.5程度と小さく、これ以上の改善は大掛かりな改修工事をとまなうことが予想される。そこで我々は温度変化がレーザーに与える変化のプロセスを考察中である。広い意味では共振器中の光の行路調が変化しているためと考えられるが、直接output couplerとend mirror間の距離が変わっているのか、結晶の屈折率の変化によるものかは、今後検討していく。また、同時に同期のフィードバックシステムも検討中である。

参考文献

- [1] M. J. Bronskill, W. B. Taylor, R. K. Wolff and J. W. Hunt, Rev. Sci. Instr., 41 (1970) pp. 333.
- [2] Y. Muroya, T. Watanabe, G. Wu, Xi. Li, T. Kobayashi, J. Sugahara, T. Ueda, M. Uesaka and Y. Katsumura, Radiation Physics and Chemistry, 60 (2001) pp. 307-312
- [3] Y. Muroya, M. Lin, T. Watanabe, G. Wu, T. Kobayashi, K. Yoshii, T. Ueda, M. Uesaka, Y. Katsumura, NIMA 489 (2002) 554-562.
- [4] T. Kobayashi, Y. Muroya, T. Watanabe, T. Ueda, K. Yoshii, M. Uesaka, Y. Katsumura, K. Nakajima, X. Zhu, International J. Appl. Electromagnetic and Mechanics, 14 (2001), 143-150.
- [5] H. Iijima, K. Dobashi, M. Uesaka, T. Ueda, K. Yoshii, Y. Muroya, A. Fukasawa, N. Kumagai and J. Urakawa, Proc of LINAC2002