

Synchronization between laser and electron beam at photocathode RF gun

Photocathode RF gunにおけるレーザー-ビームの同期

作美明^{1,A)}、上田徹^{A)}、室屋裕佐^{A)}、 富澤宏光^{B)}、上坂 充^{A)}、熊谷教孝^{B)}

^{A)} 東京大学大学院工学系研究科附属原子力工学研究施設

〒319-1188 茨城県那珂郡東海村白方白根2-22

^{B)} 放高輝度光科学研究センター

〒679-5198 兵庫県佐用郡三日月町三原323-3

概要

これまでに東大ライナック施設に設置されている18MeV Linac (18L)は、サブピコ秒時間領域の物理現象、特に放射線化学実験のため利用されてきた。この18Lのインジェクター部分ではMg photocathode RFガンとTi:Sappレーザー (795 nm)の3倍高調波が用いられており、装置全体の時間分解能は7psである。さらに時間分解能を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ーザーの時間同期安定性である。部屋の温度変化を0.1℃以内に安定化させた結果、一時間で600fs(rms)の同期が得られた。

1. 序論

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原子力専攻(東大工原子力)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]。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 photocathode 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。

2. 実験セットアップ

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 photocathode 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。電子バ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

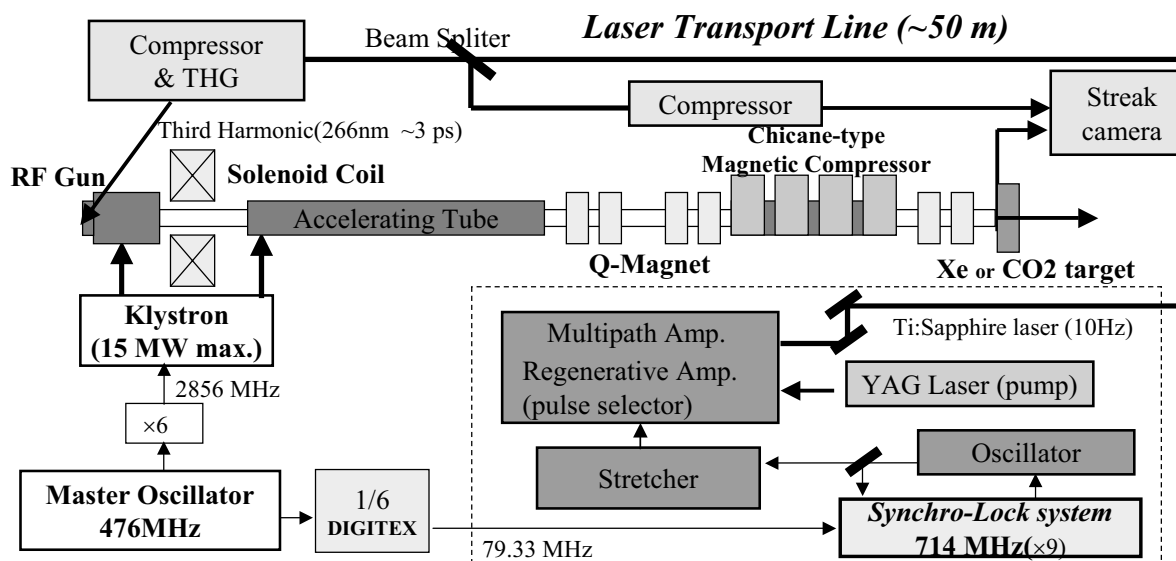


図 1. サブピコ秒放射線化学実験セットアップ

¹ E-mail: asakumi@utnl.jp

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。

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。現在カソードの量子効率(QE)をあげるための基礎実験を行っている。

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現在の達成値をまとめる。

3. 同期の実験結果

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、時間同期の確認をフェムト秒

表1 RF電子銃と加速後のビームパラメータ

RF Injector		RF	
Cathode	Mg	Power	6.0 MW
Q.E.	1.3×10^{-4}	Pulse Duration	2 μ sec
Charge	1nC/bunch	Repetition	10 Hz
	Up to 3nC/bunch	Laser	
Dark Current	800 pC/bunch	Driven Laser	Ti:Sapp., THG
Emittance	Horizontal 26 μ mm \cdot mrad	Laser Energy	100 μ J/pulse
	Vertical 24 μ mm \cdot mrad	Laser spot size	ϕ 3mm
Bunch Duration	0.7 ps (1.5 nC, FWHM)		
Beam Energy	22 MeV		

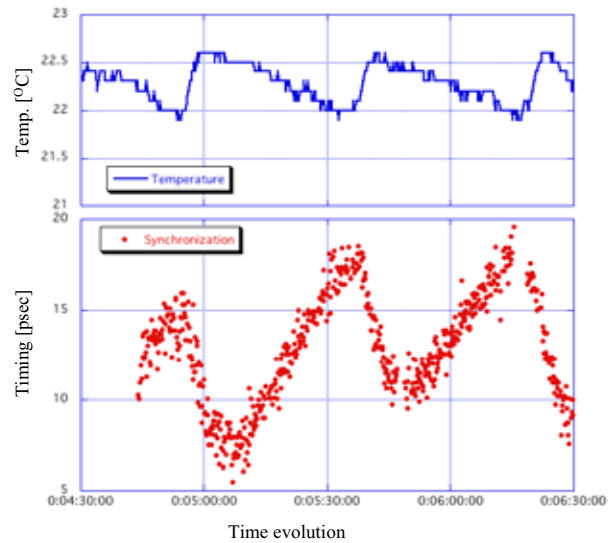


図2 レーザーと電子ビームのこれまでの同期(下段)、と部屋温度の時間変化(上段)、同期周期と温度変化の周期が一致している。

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をXeもしくはCO₂ガスに照射し、そこからのチェレンコフ光とプローブレーザーを同時に測定する。同期の測定に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2はこれまでの、同期を2時間程度測定したものの結果である。ジッター成分は400fs(rms)程度であるが、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^[3]。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2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。

そこで部屋の温度変化を0.1°C以内にコントロールできるように改造を施した。部屋の温度変化が0.1°C以内における同期測定の実験結果を図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

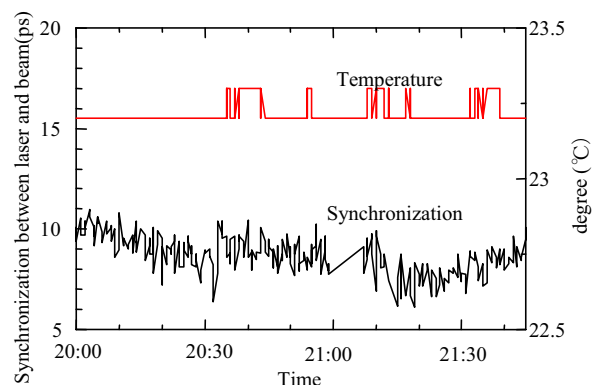


図3 同期測定とレーザー室の温度変化

400fs(rms)に近づいた[4]。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。この長時間のドリフトの主原因は、レーザー自体がループ回路をなしており、局所的な温度変化等によってレーザーの位相がずれていくためと考えられる。

図4に電子ビーム強度の安定度を示す。測定は圧縮後のビームダンパーにて行った。1時間で4%(rms)の強度安定度が得られた。所々落ちている部分が見られるが、これは、レーザー室から加速器室までの輸送ラインが長い為に、三次高調波生成器におけるレーザーの位置安定度が悪い為である。現在、レーザーの照射点をCCDでモニターし、遠隔操作にてマニュアルで位置補正をかけている。

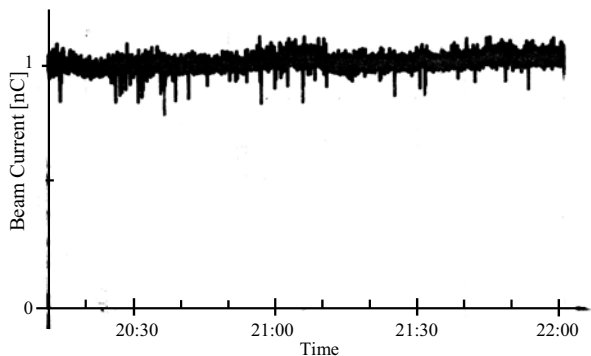


図4 電子ビーム強度の安定度。

3. 今後の展開

こうした、様々な要因から起こる不安定性を防ぐ為に、局所的な温度変化を抑えるだけでなく、動的にフィードバックをかけて安定化させる必要がある。現在

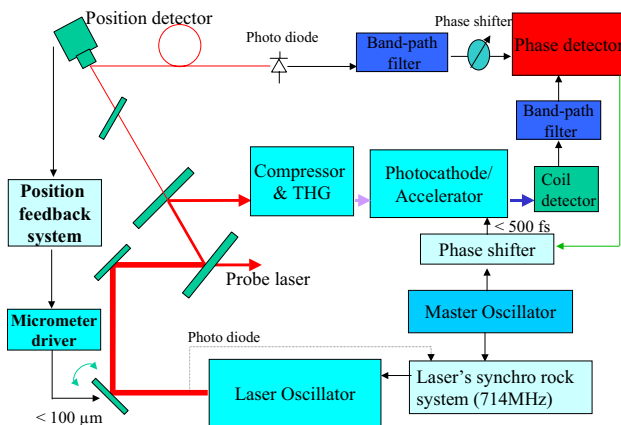


図5 動的フィードバックシステム

進行中の動的フィードバックシステムを図5に示す。ミラーからの漏れ光をCCDにフォーカスし、位置変動を計算機上で読み取り、マイクロモータを動かしてフィードバックする。コンピュータからのマイクロモータ

駆動はすでにインストール済みであり、現在画像解析システムを構築中である。

またレーザー光とRFの位相差を検出し、加速器側にフィードバックをかけることによって、加速器とレーザーの位相ずれを動的になくし、長時間におけるジッタを400fs(rms)以下にすることを試みている。

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. Kobayasi, J. Sugahara, T. Ueda, M. Uesaka and Y. Katsumura, Radiation Physics and Chemistry, 60 (2001) pp. 307-312
- [3] H. Iijima, K. Dobashi, M. Uesaka, T. Ueda, K. Yoshii, Y. Muroya, A. Fukasawa, N. Kumagai and J. Urakawa, Proc of LINAC2002
- [4] A. Sakumi, M. Uesaka, K. Yoshii, T. Ueda, Y. Muroya, A. Fukasawa, N. Kumagai, H. Tomizawa, J. Urakawa, K. Dobashi, PAC2005 Proceedings.