

[P8-09]

CONSTRUCTION OF SYNCHRONIZATION SYSTEM BETWEEN S-BAND LINAC AND FEMTOSECOND LASER AT UTNL

J.Sugahara, T.Watanabe, Y.Muroya, T.Ueda, K.Yoshii,
M.Uesaka and Y.Katsumura

Nuclear Engineering Research Laboratory, University of Tokyo
Tokai, Naka, Ibaraki 319-1106, Japan

Abstract

Synchronization system between subpicosecond electron pulses and femtosecond laser pulses, which enables us to perform Pump-Probe experiments with hundreds femtoseconds time resolution, has been designed and under construction. We are diagnosing the precision of synchronization from viewpoint of the timing jitter at several rf components and finally that between electron pulse and laser pulses.

東大フェムト秒ライナック・レーザー高精度同期システムの構築

1. はじめに

近年、加速器やレーザーの分野における極短量子ビームパルス生成に関する技術の進歩により、それらを利用した高時間分解ポンプ&プローブ実験が盛んになってきている。東大院工原施においても従来より本手法を用いた研究が行われており、現在もサブピコ秒パルスラジオリシス、サブピコ秒時間分解 X 線回折といったさらに高時間分解能をもつポンプ&プローブ分析の研究が進められている。ポンプ&プローブ法において時間分解能向上を目指す場合、考慮すべきものとしてはポンプパルス幅、プローブパルス幅、両パルスの同期精度の3つが挙げられる。パルス幅に関しては、現在、東大院工原施 S バンドライナックにおいて 190 fs [FWHM]の極短電子シングルパルス、レーザーにおいて Ti:Sapphire オシレータを用いた 50 fs(rms)パルスの発生が可能であり、すでにサブピコ・フェムト秒の領域にまで達している。したがってポンプ&プローブ分析の時間分解能向上のためのもっとも重要な課題として、現状で 3~4 ps(rms)であるポンプ・プローブ両パルス間の同期精度向上、時間ジッターの低減が挙げられる。このような電子ビームとレーザーとの同期システムの開発は世界的に研究されているが、代表的な同期精度としてはレーザーオシレータに受動モード同期法を用いた、オランダの FEL 装置である FELIX における時間ジッター 400 fs [rms] (900fs

[FWHM])が挙げられる [1]。

東大院工原施には、平成 10 年度フェムト秒高速量子現象研究施設が導入された。本研究は、その中のフェムト秒電子ライナック・レーザー同期システムに関するものであり、クライストロン、レーザーオシレータ等のシステム内の各コンポーネントにおける時間ジッターを評価し、ライナック、レーザーにおいてそれぞれ何が支配的なジッター源であるかを検討するとともに、全体としての時間ジッターが 400 fs [rms] (900 fs [FWHM])以内であるような高精度同期システムの構築を目的としている。

2. 同期システム概要

当施設における従来型の同期システムでは2つの S バンドライナック(18L、35L)から生成されるフェムト秒電子パルスとフェムト秒レーザーパルスを時間ジッター 3~4 ps[rms]程度の同期精度で制御することが可能である(図 1 参照)[2,3]。ここで 18L、35L とはそれぞれ、レーザーフォトカソード rf ガン、熱電子銃を使用したライナックである。

同期システムにおけるジッター源には様々な要因が挙げられるが、ライナック側ではクライストロン、レーザー側ではレーザーオシレータが主なジッター要因と考えられている。さらに従来型同期システムではクライストロンやオシレータから

直接生じる時間ジッターに加えて、それらを複数台使用することにより生じる相互間ジッターも存在している。

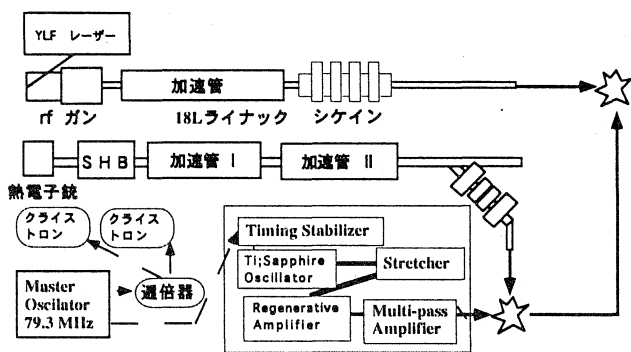


図1.従来型同期システム

これらの影響を考慮に入れて設計された新同期システムを図2に示す。新システムにおけるジッター低減のための改善点は次章で述べる。

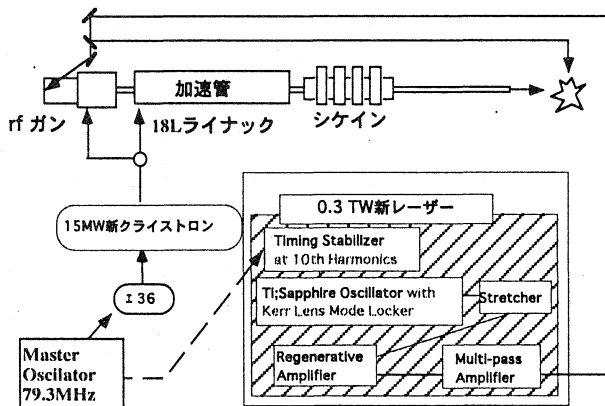


図2.新同期システム

そのエネルギージッターが磁気パルス圧縮器中での軌道のジッターとなり、最終的には電子パルス・レーザーパルス間の時間ジッターとして現れていることなどが考えられる。したがって、電圧・位相変動を抑制することがクライストロンの時間ジッターの低減において重要な課題となる。ここで、時間ジッター低減のために新システムに導入予定の15MW新クライストロンの電圧・位相変動測定の結果を図3に示す。

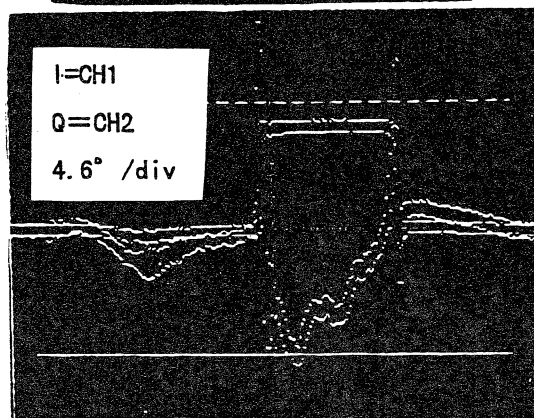
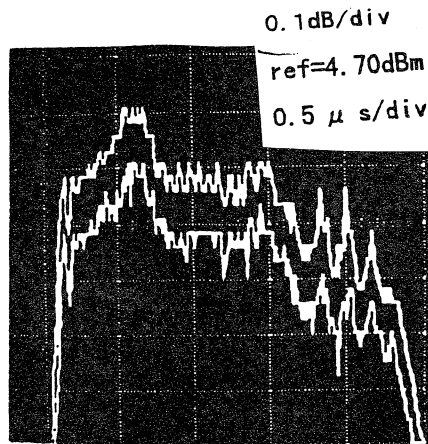


図3.15MW新クライストロンの位相・電圧変動

この測定結果から新クライストロンでの電圧変動幅 0.02 dB[rms]、位相変動幅 0.2 deg[rms]が確認できる。また、18Lライナックにおいてはレーザーフォトカソード rf ガンから発生する電子ビームはすでに 10 ps 程度に圧縮され相対論的になっており(3 MeV)、加速管における自己位相制御がなく、ガンの rf ジッターがそのまま時間ジッターに反映される。したがって、測定により得られた電圧・位相変動のすべてが直接時間ジッターになると考えて評価することが可能であり、計算コード PARMELA を用いてシケイン出口における電子ビームの到達時間の変動を計算することでクライストロンで生じる時間ジッターを評価した。計算結果を表1に示す。

3. ジッター源となるコンポーネント

・レーザーオシレータ

レーザーオシレータの時間ジッターはモード同期法により異なっている。前述したように従来は A/O 素子を用いた強制モード同期法により 3 ps [rms]のジッターを持っていたが、新レーザーでは Kerr レンズモード同期と呼ばれる受動モードロック法を採用している。また、レーザー室内の温度を $\pm 1^\circ\text{C}$ 以内で制御することにより時間ジッターを 100 fs [rms]まで低減した。[4]

・クライストロン

ライナックにおいて rf を増幅・変調・供給するクライストロンにおける時間ジッターは、クライストロンの電圧変動・位相変動から発生する。この原因としては、rf の電圧・位相変動により加速管を通過する電子のエネルギーにばらつきが生じ、

		Voltage	
		+0.01dB	-0.01dB
Phase	-0.1deg	-0.1deg	-0.1deg
	+0.1deg	+0.2deg	0deg

表 1.PARMELA による到達時間変動の計算結果

この計算結果からシケイン出口における電子ビーム到達時間変動幅は 0.3 deg[rms]、つまりクライストロンから発生する時間ジッターは 300 fs[rms] と評価できる。

・相互間時間ジッター

新同期システムではフェムト秒レーザーと 18L ライナックとの同期運転を基本モードとしており、ビームスプリッターを使用して1つのレーザーを分割後、一方レーザーフォトカソード rf ガン (ポンプ)、もう一方を分析光 (プローブ) に利用することで、2 台のレーザーオシレータ間の相互時間ジッターを除去している。同様に、rf ガン用と加速管用で2台使用していたクライストロンについても 15 MW 新クライストロンを導入することにより1台での使用を可能にし、2 台のクライストロン間の相互ジッターを除去している。なお、その他のジッター源となり得るコンポーネントとしては rf 周波数変換器、レーザーアンプ、レーザー伝送ライン等が挙げられる。rf 周波数変換機についてはジッターが 100 fs [rms]以内と把握されているが、レーザーアンプ、レーザー伝送ラインから生じるジッターについては現在検討中である。

4. 同期精度評価

従来型システム全体の同期精度を評価した際の基準としてはレーザーパルスと電子パルスの時間間隔を統計処理する手法を用いた。具体的にはレーザーパルスと、電子ビームが空気中で放射するチェレンコフ光をフェムト秒ストリークカメラに導きその時間間隔のばらつきを計測し、多数の測定結果を統計処理して時間ジッターを評価した。この際、実際の測定結果が正規分布に近いことから、ジッターを数値で表す際には分布を正規分布と仮定し、rms を用いて表示した。新システムにおいては建設中のためこの手法を用いた測定は現段階では不可能であるが、各コンポーネントにおいて発生するジッターを正規分布であると仮定した場合、システム全体の時間ジッターはその 2 乗

和で与えられることが知られている。前節での検討から新システムの各コンポーネントから発生する時間ジッターは従来型システムと比較して表 2 のようにまとめられ、2 乗和の関係を用いて新システム全体の時間ジッターを評価すると、

$$\sigma_{Total} = (\sigma_{Kly}^2 + \sigma_{Laser}^2 + \sigma_{\alpha}^2)^{1/2} \\ = 320 + \alpha \text{ fs[rms]}$$

と評価される。現段階ではその他のコンポーネントから発生する時間ジッター α を決定することはできないが、新システムが完成次第フェムト秒ストリークカメラを用いた測定により新システム全体の時間ジッターの直接測定も行う予定である。

ジッター要因	旧システム	新システム
クライストロン σ_{kly}	数 ps	300 fs (rms)
2 台のクライストロン間 σ_{kly2}	有(数 ps)	無
レーザーオシレータ σ_{Laser}	≤ 3.0 ps (rms)	100 fs (rms)
2 台のレーザーオシレータ間 σ_{Laser2}	有	無
その他 (レーザーアンプ・伝送ライン等) σ_{α}	有	有

表 2.各コンポーネントにおける時間ジッター比較

5. まとめ

フェムト秒電子ライナックとフェムト秒レーザーの同期について、従来のシステムにおいて支配的であったジッター源を低減・除去した新同期システムを構築した。また、各コンポーネントから発生する時間ジッターについて測定し、システム全体の同期精度を評価した。今後はストリークカメラによる同期精度測定も行い、本システムを用いて行われる高時間分解ポンプ&プローブ実験の信頼性を高めていく。

参考文献

- [1]. G.M.H.Knippels et al., Optics lett., Vol23(1998)1754-6
- [2]. M.Uesaka, T.Watanabe et al., J. Nucl. Mater., 248(1997),380-385.
- [3]. M.Uesaka, T.Watanabe et al., Proc. of EPAC98, (Stockholm,1998),776-778
- [4]. 小林克行他、第 59 回応用物理学会学術講演会、(1998),17aY6