

[P 1-17]

Precise Synchronization of Subpicosecond Electron Beam with Femtosecond Laser

T.Watanabe, M.Uesaka, T.Kozawa, T.Ueda,
M.Kando^{*1}, H.Kotaki^{*2}, K.Nakajima^{*2,*3} and A.Ogata^{*3}

Nuclear Engineering Research Laboratory, the University of Tokyo
2-22 Shirakata-Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-11, Japan

*1 Institute for Chemical Research, Kyoto University

*2 JAERI, *3 KEK

Abstract

Laser wakefield Acceleration of GeV/m-class is expected to be applied to very high energy accelerators because the field gradient in conventional accelerating methods is less than ~ 100 MeV/m. In order to perform the laser wakefield acceleration, we use the T³ (Table-top terawatt) laser and the linear accelerator at LINAC of Nuclear Engineering Research Laboratory, the University of Tokyo. Laser pulses from the T³ laser excite wakefields in a plasma and electron beams are accelerated by the wakefield, when they are precisely in an accelerating phase of the wakefield. To do this, we have to synchronize subpicosecond electron beams with femtosecond laser pulses precisely. We have constructed the synchronization system to get the result that the time-jitter of synchronization of the subpicosecond electron beams with the femtosecond laser pulses of this system is 3.7 psec (standard deviation).

サブピコ秒電子ビーム・フェムト秒レーザー高精度同期

1. はじめに

現在存在する高エネルギー加速器はその加速勾配の限界から巨大化が避けられない状況にある。そこで、加速勾配が従来の加速器よりも桁の違う程大きいことが知られているレーザー航跡場加速の研究が行われている。この加速原理は、レーザーによってプラズマ振動が励起され、そこに適当な位相の電子ビームが入射されると、振動している非一様なプラズマのつくる電場によって電子ビームが加速されるものである。この加速方法を実現するための達成課題のひとつに高精度の同期、つまり、レーザーをプラズマ中に入射したあと、如何に精度良く電子ビームを入射するかがある。励起されたプラズマは、サブピコ秒のオーダーで振動するため、必然的

にそこに入射される電子ビームはサブピコ秒のオーダーの精度を持っていることが要求される。本実験では、この同期システムを制御する回路を構築し、レーザービームと電子ビームの同期精度(時間ジッター)を計測、解析した。

2. 同期システムの構成

レーザーとライナックそれぞれから発振されるビームを制御するシステム、即ち同期システムは、レーザーとライナックそれぞれに入力するトリガー信号を制御するシステムと換言することができる。

レーザーの発振にはプレパルス、タイミングスタビライザー、パルスセクターの3つにトリガー信

号を入力する必要がある。このうち、プレパルスには nsec オーダーの精度で入力すれば良く、パルスセクターには psec オーダーの精度でトリガー信号を入力する必要がある。一方、ライナックにはプレパルス2つ (Ext. Beam as a gate, Ext. Trig.) とグリッドパルサーに入力する必要がある。プレパルスには nsec オーダーの精度で入力すれば良く、グリッドパルサーには psec オーダーの精度で入力する必要がある。これは、レーザー、ライナックそれぞれパルスセクター、グリッドパルサーが最終的に出力ビームのタイミングを決定するためである。したがって、レーザーとライナックを制御する同期システムの時間ジッターは、パルスセクターとグリッドパルサーに入力するトリガー信号の精度に大きく依存する。

また、この同期システムの計測方法として、フェムト秒ストリークカメラを用いた。

3. 実験装置

T³ (Table Top Tera Watt)レーザーと東京大学工学部附属原子力工学研究施設のサブピコ秒ライナックを用いた。T³レーザーはパルス幅80フェムト秒、ライナックは700フェムト秒(共に半値幅)で実験を行った。T³レーザーは最終的にはアンプを通すが、今回はオシレーターから出力されたものを用いたため、レーザーへはタイミングスタビライザーに高周波(79.3 MHz)のみを入力した(つまりレーザーはCWで発振)。レーザービームはそのままストリークカメラに導き、電子ビームは空気中でチェレンコフ光に変換して導いた。本実験の体系を図1に示す。

4. 実験結果と考察

実験結果を図2~図4に示す。図2はストリークカメラで観測したレーザーと電子ビームである。横軸が時間でフルスケールは50psec。レーザーと電子ビームがpsecオーダーのずれでストリークカメラに入ってきている様子が伺える。このずれはサブピ

コ秒オーダーで調節することができるが、各ショットで微妙にずれの大きさが違う(時間ジッター)。このずれの変化を各ショットごとにまとめたのが図3、ずれの大きさごとにまとめたのが図4である。また、図4から時間ジッターは $\sigma=3.7\text{psec}$ であった。ただし、このジッターの値は図3において、ある一定の時間に限ったものである。これは、図3からわかるように、長時間にわたる実験による時間的なジッターの変化(ドリフト)が見られたため、ドリフトがジッターの評価に与える影響を少なく抑えることが理由である。また、ドリフトの原因としては温度変化によるレーザーなどのドリフトが挙げられ、今後の同期システムの改善点と言える。

図4から本システムの時間ジッターは3.7 psecであったが、この値は精度の悪いものではないものの、目的であるレーザー航跡場加速を行うためには更に高精度が望まれる。また、今回はレーザーをCWで用いたため、パルスセクターへ入力するトリガー信号を必要としなかったが、最終的にはpsecオーダーのトリガー信号をパルスセクターに入力する必要があるため、今回の同期システムとは異なるシステムの構築が不可欠となる。

5. 今後の予定

次段階では、レーザーをライナックと同じ周波数(10 Hz前後)もしくはその半分の周波数で使用する必要がある、そのための新たな同期システムを構築する必要がある。つまり、ライナックのグリッドパルサーと高精度に同期の取れたトリガーをレーザーのパルスセクターに入力する必要がある。このシステムによって、レーザー、ライナックのファイナルフォーカスポイントにおける同期のジッターを評価する予定である。

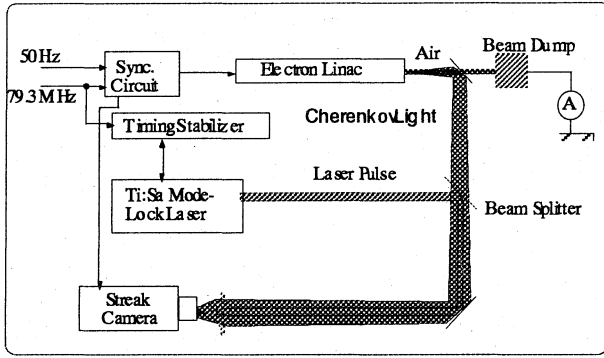


図1. 実験体系

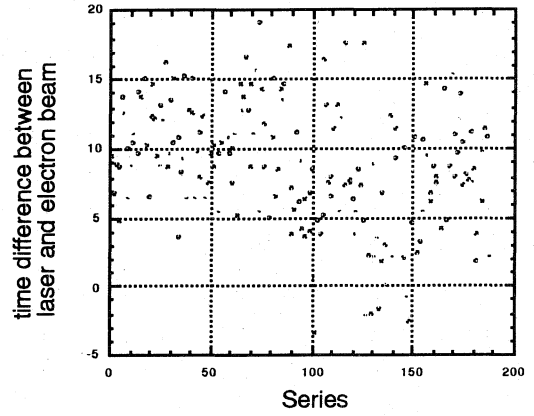


図3. レーザーと電子ビームの時間差の経時変化

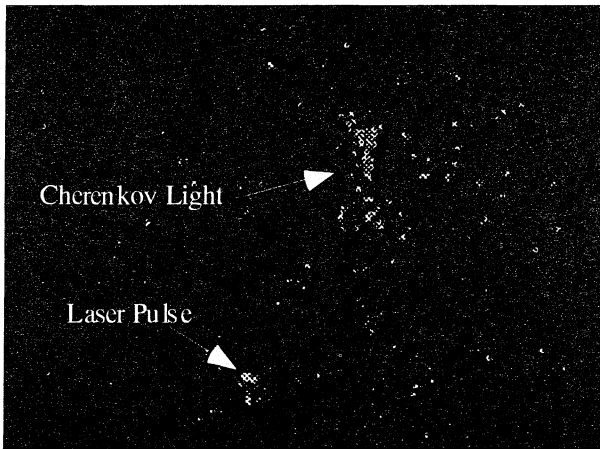


図2. ストリークカメラによるチェレンコフ光とレーザーパルス

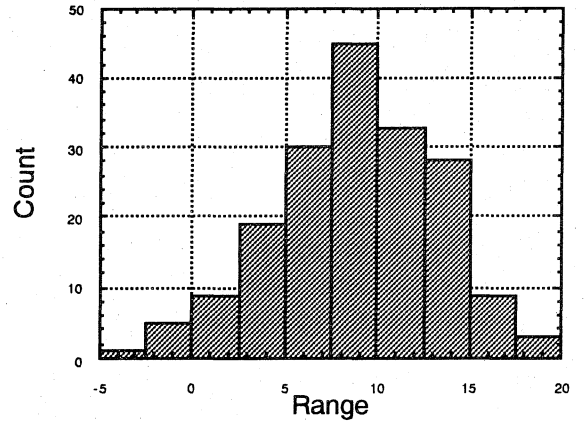


図4. レーザーとチェレンコフ光の時間差分布