

[07-A03]

CURRENT STATUS OF THE FEMTOSECOND TRIPLET LINACS AT NERL OF UNIV. TOKYO, '99

M. Uesaka, T. Watanabe, K. Yoshii, T. Ueda, K. Nakajima, Y. Katsumura.

Nuclear Engineering Research Laboratory, University of Tokyo,
2-22 Shirakata-shirane, Tokai, Naka, Ibaraki, 319-1106, Japan

Abstract The new femtosecond ultrafast quantum phenomena research facility has been installed at NERL, Univ. of Tokyo. It consists the femtosecond linac-laser synchronization system, the 20TW 50fs laser and three analyzing devices. The first enables hundreds fs time-resolved radiation chemistry works. Tens fs electron, X-ray, ion and neutron beams generation could be available using the second. Thus, the previous twin subpicosecond linacs are renewed to the femtosecond triplet linacs.

東大原施フェムト秒トリプレットライナック現状 '99

1. はじめに

平成 10 年に、東大院工原施ライナック施設に、以前より要求し続けていたフェムト秒高速量子現象研究設備が導入された (図 1 参照)。ここでは現有 S バンドツインライナックの高周波供給系が更新され、100fs レーザーとの 3400fs(rms)同期システムが構築される。また、12TW 50fs テーブルトップレーザーが導入され、レーザープラズマ加速より 10fs 程度の電子ビームを生成する予定である。レーザープラズマ加速を超高周波加速とみなし、それをレーザープラズマライナックと呼べば、これを加えて、従来のサブピコ秒ツインライナックは、フェムト秒

トリプレットライナックに生まれ変わるといえよう。本稿ではこの一年の最新成果、新研究設備概要および今後の研究計画を述べる。

2. 平成 11 年度全国共同利用

今年度は新研究設備の調整と共同利用を並行して行わなければならない多忙な年度である。従って研究テーマはユーザの方々に実情をご理解いただき、昨年度より 2 件少ない 8 件である。テーマ一覧を下記に示す。

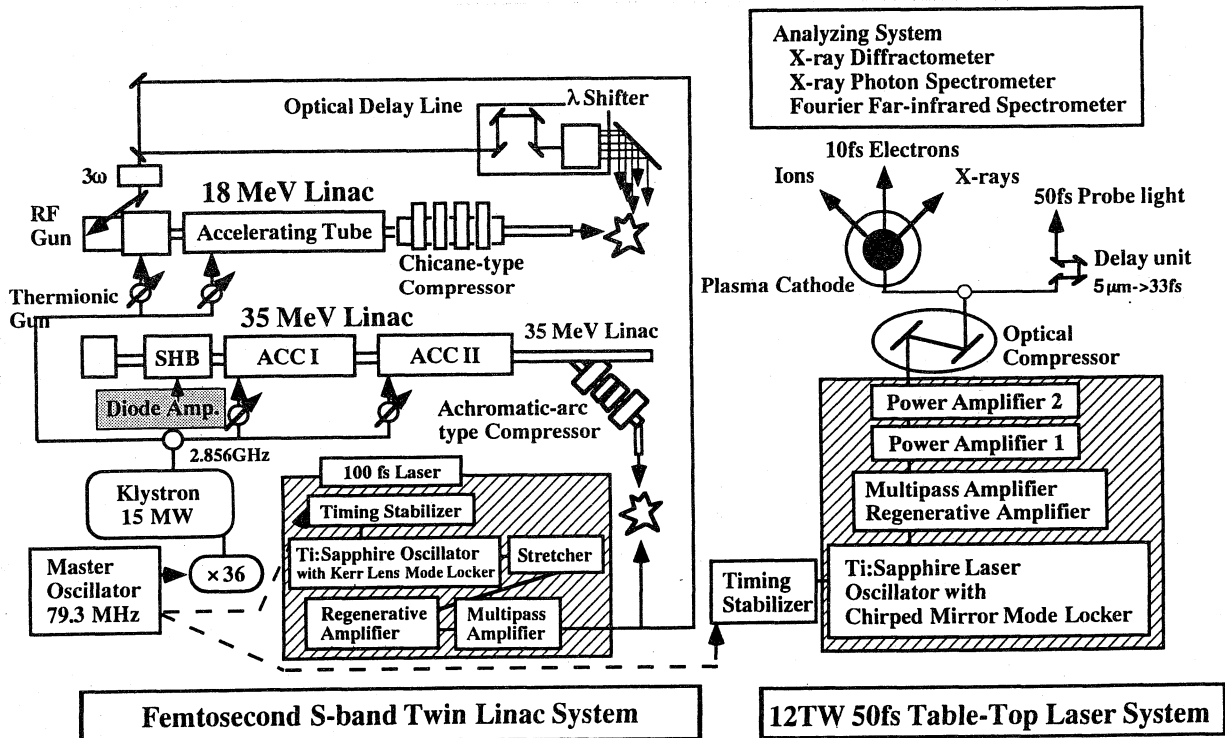


図 1. フェムト秒高速量子現象研究設備

- 11L-1 水溶液の放射線効果の研究
 - 11L-2 高分子材料への応用
 - 11L-3 ポンプ&プローブ法を用いる超高速反応研究
 - 11L-4 フェムト秒パルス電子線モニターの開発
 - 11L-5 レーザー・電子ビーム相互作用による超短パルス X 線発生実験
 - 11L-6 機能性材料の電子線照射効果
 - 11L-7 コヒーレントな遷移放射を用いたバンチ計測法の研究
 - 11L-8 フェムト秒 X 線回折
- 年度内マシナタイムは合計 34 週を予定している。

3. レーザーフォトカソード高周波電子銃の性能向上

平成 11 年 1 月に共同研究者である原研関西研が新型コンパクト安定 YLF レーザーを導入した。ピコ秒・フェムト秒電子ビームが安定に生成でき、かつ様々なビームパラメータの一貫した取得に成功した[1]。また暗電流の挙動もかなり把握できた。特に長 RF パルス (8 μ s)、高繰り返し(50pps)にてエージングをやり過ぎて真空を悪くし、その状態で銅カソードにレーザーを照射すると、カソード表面が CVD 的反応により汚れ、量子効率が低下することがわかった。しかし、この状態で真空の回復を待ち、レーザー照射を繰り返していくとそのクリーニング効果で量子効率は再び向上した[2]。この傾向は Mg カソードでは、もっと顕著で、定期的にレーザーによるカソードクリーニングが必要と BNL では報告されている。

4. フェムト秒電子パルス計測

ここまで、反射光学系非分散ストリークカメラ (≥ 200 fs)、コヒーレント遷移放射干渉法および遠赤外ポリクロメーターの 3 手法を試してきた。結論は、200fs 以上はストリーク、それ以下はポリクロである[3]。3 手法の総合性能評価を表 1 にまとめる。

	Radiator	Measurement Limitation	Single shot	In vacuum	Non-destructive
Femtosecond streak camera	Gas (Air, Xe etc.)	200 fs (FWHM)	○	×	×
	Solid (Silica etc.)	200 fs (FWHM)	○	○	Mirror is needed
Michelson interferometer	Al foil	Unlimited*	×	○	Transition Radiation Δ Diffraction Radiation \circ Smith-Purcell Radiation \circ
Polychromator	Al foil	Unlimited*	○		

表 1. フェムト秒電子パルス計測手法の総合評価

ポリクロも回折格子を 2 枚同時に使って測定波数域を大幅に広げ、バンチ形状因子の全体像を一度に取得できる装置を東北大池沢研が開発し、今年 8 月に測定を実施する。さらに、LBNL で開発された Fluctuation Method[4]も LBNL との共同研究(平成 11 年 8,9 月)の中で取り入れていく。

5. フェムト秒電子・レーザー同期

東大/KEK/原研関西研共同研究の中で、ツインライナックと T³ レーザーとの 3ps(rms)精度の同期に成功した。この実績と最新鋭のレーザーおよび RF 技術を導入し、同期精度 300fs(rms)を目指す新システムを設計・構築した[5]。新システムは今秋より、超臨界圧水などの放射線水化学分析に供される。

6. ピコ秒時間分解 X 線回折

ライナックからの 10ps 電子ビームを $\phi 100\mu\text{m}$ 銅線に照射し、10ps X 線パルスを発生させ、Si, GaAs, Ge, NaCl, KCl, BaF₂, CaF₂ の CuK $\alpha_{1,2}$ 線の回折像をイメージングプレートで 50 μm の分解能で明確に取得できた。この体系で、数百フェムト秒電子ビームを使えば X 線パルスも同程度であることは EGS4 コードの数値解析より確認している[6]。3TW レーザーをポンプパルスに、この X 線パルスをプローブパルスとし、GaAs の非平衡熱膨張過程での原子の動きを動画像化するべく、時間依存分析も実施したが、繰り返しレーザー照射中に試料表面の損傷が生じ、成功しなかった[7]。実験体系と結果を図 2 に示す。X 線光電子分光分析により、表面が酸化していることがわかった。代わりにレーザープラズマ X 線を使用すると、100fs レーザーでもパルス幅は数 ps に広がるが、強度が 10^{3~4} 程度上がり、シングルあるいは数ショットでのデータ取得の可能性がある。現在レーザープラズマ X 線の発生・計測実験を実施中である。さらに、本研究の将来の発展として SPring8 での X 線パルスをプローブパルスとした分析も計画中である。

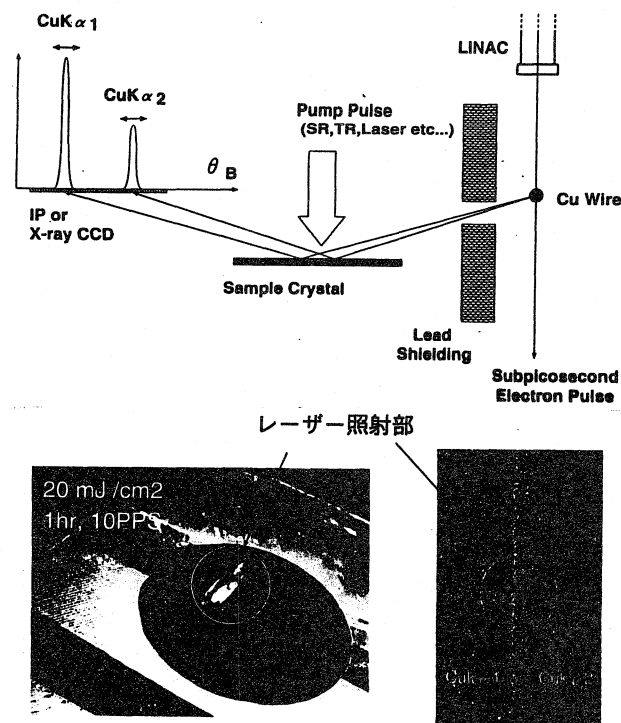


図 2. 時間分解 X 線回折途中結果

7. フェムト秒高速量子現象研究設備

本研究設備は図1のように、下記より構成される。

- (1)フェムト秒電子ライナック・レーザー同期システム
- (2)12TW 50fs レーザーシステム
- (3)分析システム
 - (i)X線解析装置(回折分析装置・IP読取装置・X線 CCDカメラ)
 - (ii) X線光電子分光装置(XPS)
 - (iii)フーリエ変換赤外分光装置(FTIR)

(1)を用いて、200fs 電子ビームと 100fs レーザーとの 300fs(rms)同期運転が可能となり、主に放射線化学研究に供される。遅延時間調整領域は、17fs~10ns となる。

(2)を用いて、レーザープラズマより fs レベルの X線、電子、イオン、中性子ビーム生成研究を展開する。X線発生に関しては、6節に述べたように銅固体ターゲットに照射する場合はパルス幅は数 ps であるが、ガス中のレーザープラズマでの電子の相対論的非線形トムソン散乱[8]を使用すれば、レーザーパルス幅 50fs 程度のパルスが期待できる。電子ビーム生成については、レーザープラズマ中の電子を前段加速、バンチングさらに航跡場加速すれば、電子源が一切いらぬこととなる。この考えをプラズマカソードと呼ぶ。従来のプラズマカソード方式はミシガン大学案[9]では2つのレーザーパルスを、LBNL 案[10]では 3 つ以上のものを使用する複雑なものである。そこで、我々はロシア General Physics Institute の Dr.S.V.Bulanov の協力を得て、数十 Torr 程度のベースプラズマ中にガスジェットを打ち込み、プラズマの密度不連続層を作り、そこで航跡場を碎波(wake wave breaking)し、波のエネルギーを進行方向の電子のエネルギーに変換する方式を考案・数値解析している。ここでは 10TW 程度のレーザーパルスひとつでよく、動作は極めて容易となる。数値解析は原研関西研 Dr. J. Koga の協力を得て PIC(Particle-In-Cell)-1C, 2D コードを使用している。体系を図3に示す。

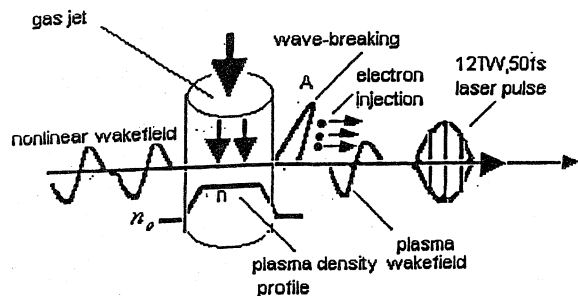


図3. シングルレーザー碎波プラズマライナック方式

1D 計算では、~30fs の電子バンチ生成の結果で

ている[11]。またレーザープラズマ中から電子が飛び散った後でのイオン爆発によるイオンビーム生成、D₂ クラスターガスを使用した核融合反応と中性子ビーム発生も近い将来行いたい。以上、レーザープラズマを活用して、10fs 量子ビーム生成の時代に入ったと言える。

8. 諸言

新研究設備導入により、数百フェムト秒電子・レーザーを駆使できる”究極”の S バンドツイインライナックが完成する。さらに 12TW 50fs レーザーを用いたレーザープラズマライナックによって、極短量子ビーム生成研究は数十フェムト秒時代に突入したといえる。

謝辞

本研究への日本原子力研究所関西研究所光量子科学センター小滝秀行氏、出羽 英紀氏、神門 正城氏、近藤 修司氏の協力に感謝いたします。

参考文献

- [1] 神門正城 他、本 Proc.
- [2] 上田徹 他、本 Proc.
- [3] 渡部貴宏 他、本 Proc.
- [4] M. Zolotarev et al., SLAC-PUB-7132(1996).
- [5] 菅原淳 他、本 Proc.
- [6] 原野英樹 他、第 23 回リニアック技術研究会 Proc. (1998), p.423.
- [7] M. Uesaka et al., Proc. of PAC99(1999), in press.
- [8] Science, 282(1998), p.2166.
- [9] D. Umstadter et al., Phys. Rev. Lett., 76(12)(1996), p.2073.
- [10] E. Esarey et al., Phys. Rev. Lett., 79(14)(1997), p.2682.
- [11] S. V. Bulanov et al., Phys. Rev. Lett., 158(5)(1998), p.R5257.