

21a-3

Generation and Measurement of Subpicosecond Electron Single Bunch

M.UESAKA, T.KOZAWA, T.KOBAYASHI, T.UEDA and K.MIYA

Nuclear Engineering Research Laboratory, the Faculty of Engineering,
University of Tokyo

2-22 Shirakata-Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-11, Japan

ABSTRACT

Subpicosecond 37MeV electron single bunch was successfully generated by magnetic pulse compression at the S-band linear accelerator of University of Tokyo. Its pulse shape was measured by using the femtosecond streak camera via Cherenkov radiation by one shot. The shortest pulse width was 0.7ps (FWHM) and the average among 20 shots was 0.9ps containing 0.2nC per bunch.

サブピコ秒電子シングルバンチの発生と計測

1. はじめに

フェムト秒ライナックが実現し、フェムト秒電子シングルバンチが生成できれば、これを用いて放射線物質相互作用の超初期過程の新たな物理・化学が構築できることが期待される。また、現状では分子動力学シミュレーションでしか解析できない材料の放射線損傷のダイナミックスの実証的検証の可能性もある。昨年度の2ピコ秒シングルバンチの発生と計測の実績[1]を進展させ、今年度は偏向電磁石2台、収束電磁石2台より成るビームフォーカスがある程度効く磁気パルス圧縮器を構成し、500fsの時間分解能をもつフェムト秒ストリークカメラを用いてサブピコ秒パルス圧縮波形のシングルショットでの実測に成功した。また、実験結果を検証すべく数値解析も実施した。

2. 実験結果

偏向電磁石2台、収束電磁石2台より構成される磁気パルス圧縮器とその原理を図1に示す。

今回は後段加速管ACC2でのエネルギー変調と磁気光学系による軌道差変調とのベストマッチングを追求した。つまり後者のエネルギー分散に対する非線形性をマイクロ波の正弦波形の非線形性で相殺する新しい手法を採用し、進行方向位相空間での最終分布を縦長直線型にすることである。後述する電子

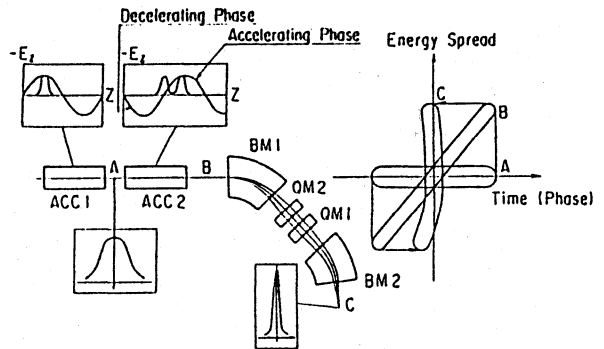
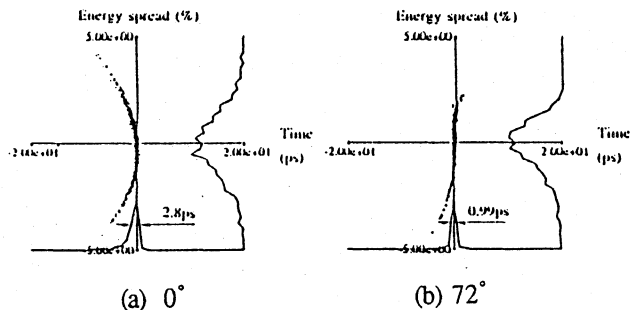


図1 磁気パルス圧縮の実験体系と原理



(a) 0° (b) 72°
図2 進行方向位相空間分布のシミュレーション結果

トラッキング解析結果を図2に示す。エネルギー変調がほぼ線形である 0° にバンチを乗せた場合より、 72° の位相に乗せ非線形エネルギー変調を活用した場合の方が分布が縦長直線型となり、この場合数値幅(FWHM)は 0.99ps となった。これを実現すべく行なった実験より得られた、代表的な圧縮前・後のパルス波形を図3に示す。パルス幅は 6.5ps から 0.9ps へ圧縮されている様子がわかる。測定は電子ビームが空气中で発するチェレンコフ光をフェムト秒ストリークカメラ(時間分解能 600fs ; (株)自由電子レーザー研究所所有)でシングルショットで測定した。このモードで測定は20回実施し、最短 0.7ps 、平均 0.9ps であった。また、電子バンチの平均値の変化を図4に示す。 72° 近辺が最適であることがわかる。

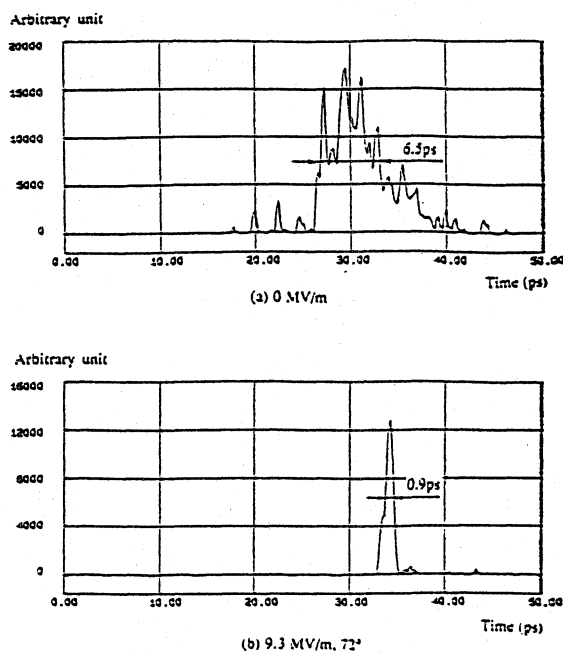


図3 (a)入射ビームと(b) ACC2位相 72° で圧縮されたビーム波形

3. ビームトラッキング解析

トランスファ行列を用いず、磁場中の電子の3次元軌道を直接計算する直接軌道計算法による計算機コードを作成し、パルス圧縮に関する結果の比較を行なった。シミュレーションではシングルバンチ中に1000個の電子を想定し、それらのパルス圧縮器での軌道を計算した。水平、垂直方向 90% 規格化エミッタンス $100\pi\text{mm}\cdot\text{mrad}$ 、パルス半値幅 6.5ps 、エネルギー分散 0.2% を使用し、電子の空間、エネルギー分布はすべてガウス分布に従うとした。パルス幅の計算結果を図4に付記した。大概良好な一致が得られている。また、空間電荷効果によるパルス伸張について、バンチ中の電子が作る相対論的電磁場を考慮して計算したところ、 37MeV で 25nC 以下ではパルス伸張は 0.1ps 以下であった。

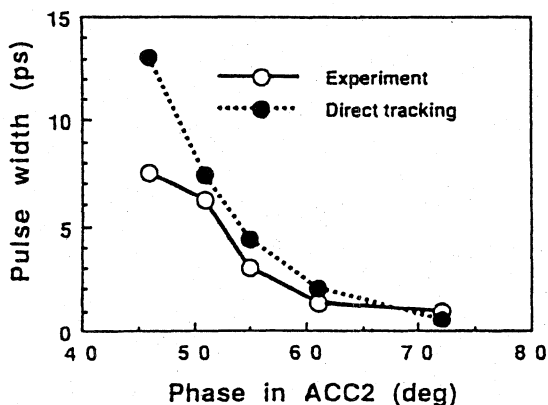


図4 ACC2位相とパルス幅の関係

4. 今後の研究計画

まず、アクロマティック磁気パルス圧縮を構成し、電子のビームサイズと輝度を向上させ、サブピコ秒発光パルスラジオリシス実験が可能となる体系を構築する。並行して電子銃の高輝度化を実施する。さらにフェムト秒レーザーに匹敵すべく 100fs 程度のフェムト秒電子シングルバンチの開発・利用のためのXバンドライナックシステムの基礎検討も行なう。

参考文献

- [1]M.Uesaka et al., Nuc. Instrum. Meth. A, Vol.345, No.3, 219 (1994).

謝辞

ストリークカメラによる計測に関する(株)自由電子レーザー研究所の富増多喜夫先生の研究協力に感謝いたします。