

MAGNETIC PULSE COMPRESSION EXPERIMENT AT UTNL-LINAC

Mitsuru UESAKA, Yoichi YOSHIDA, Toshiaki KOBAYASHI,
Toru UEDA and Kenzo MIYA

Nuclear Engineering Research Laboratory, University of Tokyo

ABSTRACT

Magnetic pulse compression experiment has been carried out at the 28L line of UTNL-TWIN-LINAC. Rf-power is fed into two accelerator tubes separately by two different klystrons and the rf-phase of the latter accelerator tube can be shifted with respect to that of the former. Single-bunched electron beams riding on different rf-phases in the latter were energy analysed. It was observed that 1.1% energy spread (FWHM) of the original beam was enlarged to 7.7%. This implies that the original pulse width of 10 psec (FWHM) could be compressed to 1.5 psec. More precise measurement on the pulse compression is planned to be done by using the streak camera equipped with a highly sensitive SIT tube this October.

東大ライナックにおけるパルス圧縮実験

1. はじめに

東大・工・原子力工学研究施設のライナックでは、1978年18 psecのシングルバンチ電子ビームの発生に成功して以来、今日までピコ秒パルスラジオリシスによる放射線化学、自由電子レーザー等の分野の研究に貢献してきた。また1987年には現在のツインライナックシステムを完成させた。このような実績を踏まえ、東大ライナックではシングルバンチ電子ビームの発生と利用の時間軸の短縮をはかるべく、サブピコ秒パルス(≤ 1 psec)の発生を計画している。本稿では、28Lラインの2本の加速管とエネルギー分析用電磁石を用いて実施した磁気パルス圧縮実験の第1回目の結果を報告する。今回は後段加速管の位相を変えた場合のビームのエネルギースペクトルの測定と考察に留めた。

2. 磁気パルス圧縮システム

28Lラインにおける磁気パルス圧縮システムの原理と構成をそれぞれFig.1,2に示す。2本の加速管(ACC1, ACC2)にそれぞれ別々のクライストロン(KLY1, KLY2)よりrfパワーを供給され、ACC2のrf位相はACC1のそれに対して可変となる。また、エネルギー分析用電磁石(曲率半径0.4m, 偏向角度45')を磁気パルス圧縮器にみたてている。電磁石のデバンチング係数は $k_1 = -1.08$ deg/%と求まる。一方、ACC2によって作られる位相差とエネルギー分散の関係は次式で与えられる。

$$\frac{\Delta E}{E} (\%) = k_2 \Delta \phi (\text{deg}); \quad k_2 = \frac{eE_{0AC}L}{E_0} \cdot \frac{2\pi}{360} \cdot 10^2$$

ここで E_{OAC} はピーク加速電場、 L はACC2の長さ(2.03m)、 E_0 はACC2の入口での電子ビームの中心エネルギー(18.6MeV)で、電子ビームが存在する領域では $E_{AC} = E_{OAC} \sin\phi \approx E_{OAC} \phi$ の近似が成り立つとした。位相空間においてACC2に入射するビームが占める領域を 90° 回転させるための k_1 と k_2 の関係は $k_1 k_2 = -1$ となる。 $k_1 = -1.08 \text{ deg}/\%$ に対応する k_2 は $0.926\%/\text{deg}$ となり、このときのピーク加速電場は $E_{OAC} = 4.87 \text{ MV}/\text{m}$ となる。KLY2より全rfパワーをACC2に供給したときに得られるピーク加速電場は、 $9.31 \text{ MV}/\text{m}$ であるため、電場として52.3%、パワーとしては27%の場合に最適のパルス圧縮の条件が成り立つことになる。ACC2に入る電子ビームはACC1の加速位相に乗ってくるため、実際はFig.1のように位相空間では若干左上がりとなっているため、回転角すなわち電場は上記の値より若干大きめに設定する必要がある。

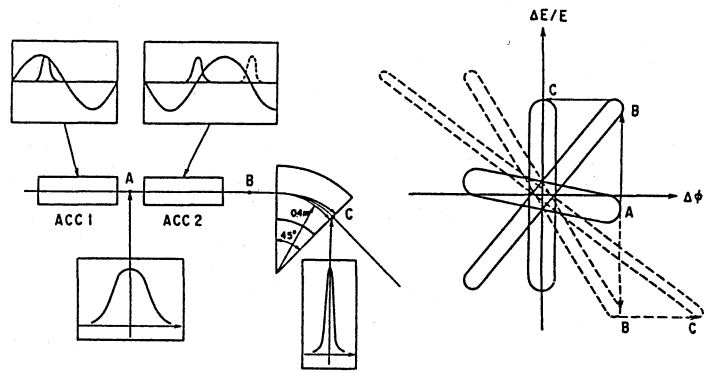


Fig.1 Mechanism of magnetic pulse compression and conversion of regions in phase space

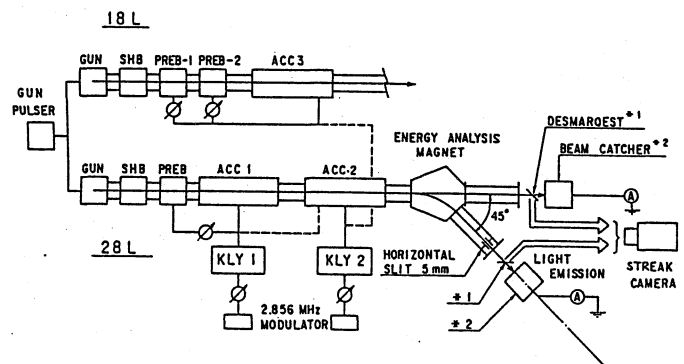


Fig.2 Magnetic pulse compression system of UTNL-LINAC

3. 実験および考察

磁気パルス圧縮をかけない場合、すなわちACC1のみで加速され、ACC2にはrfパワーを供給しない場合の電子ビームのエネルギースペクトルの測定結果をFig.3に示す。Fig.3より、中心エネルギー18.6MeV、エネルギー分散1.1%であることがわかる。次に、ACC1に2節で述べた最適パルス圧縮条件にほぼ対応する33%rfパワーを供給した場合の、いくつかの位相に乗せた電子ビームのエネルギースペクトルをFig.4に示す。ここで $\sim 0^\circ$ と示したものがパルス圧縮で使用するゼロクロス位相に乗ったもののエネルギースペクトルである。中心エネルギーはほぼ18.6MeVである。最大中心エネルギー26.4MeVはそれから $\sim 100^\circ$ ずれた安定加速領域に乗ったときに達成され、 $\sim 170^\circ$ はもうひとつのゼロクロス位相にほぼ対応する。このrfパワーの場合、最大中心エネルギーが26.4MeVであるから最大加速電界は、 $(26.4-18.6)(\text{MeV})/2.03(\text{m})=3.84 \text{ MV}/\text{m}$ となり k_2 は $0.731\%/\text{deg}$ となる。従って $\sim 0^\circ$ 位相でエネルギー分散が7.7%であるためには、位相差は 10.5 deg 、パルス幅に換算すると $10.2 \text{ psec}(\text{FWHM})$ となる。

以上の測定および計算結果より、さらに磁気パルス圧縮過程では位相空間で電子ビームが占める領域の面積が不変であることを考慮すると、Fig.1のA, B, C点での電子の占

める領域 (FWHM以内) の位相差(パルス幅) 、エネルギー分散は次のように計算される。

	$\Delta\phi$	(Δt)	$\Delta E/E$
A点	10.5deg	(10.2psec)	1.1%
B点	10.5	(10.2)	7.7
C点	1.5	(1.5)	7.7

よってエネルギー分析用電磁石終端においてパルス幅(FWHM)は1.5psecに圧縮されたと推定される。一方、パルス圧縮後のパルス幅の測定について、冷却型CCDストリークカメラの感度とジッターの問題および電磁石下流の0.75mのドリフトスペースと5mm水平スリット等の要因で有効なデータを得るには至らなかった。

4. 結び

東大ライナック28Lラインにおいて磁気パルス圧縮実験の第一回目が実施された。シングルバンチ電子ビームのエネルギー分析結果より、18.6MeV (分散1.1%) ,10.5psec (FWHM)のパルス幅が1.5psecに圧縮されたと推定された。10月に高感度SIT管ストリークカメラによるパルス幅の測定を予定している。サブピコ秒シングルバンチ発生のための磁気パルス圧縮器の製作と実験は平成5年度に実施予定である。

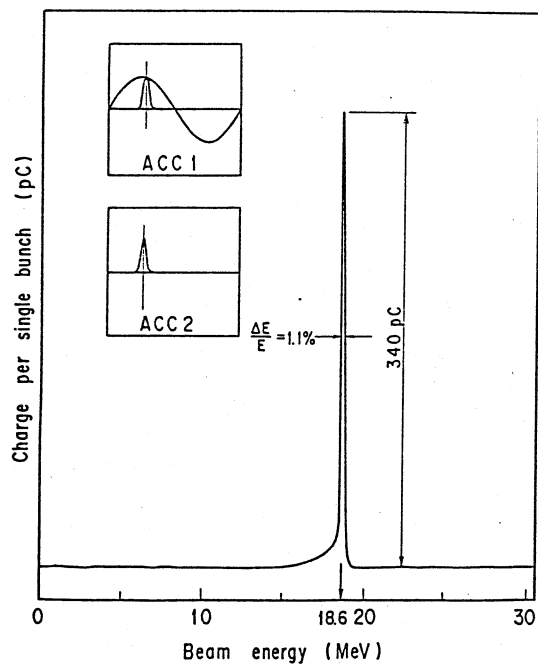


Fig.3 Energy spectrum of single bunch in case that no rf-power is fed into ACC2

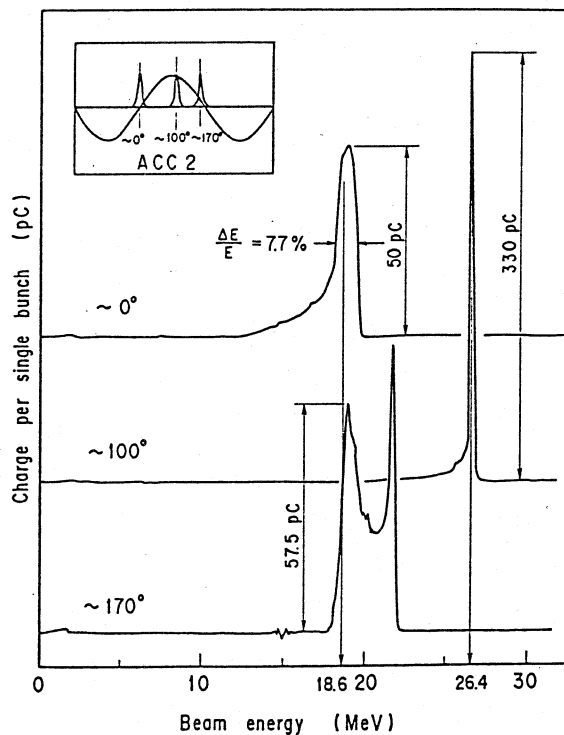


Fig.4 Energy spectra of single bunch on three different phases in ACC2 (33% of full rf-power)