

[P 1–24]

## COMPARISON OF MEASUREMENT AND CALCULATION OF ELECTRON BEAM BUNCHING

Sawamura M., Nagai R., Kikuzawa N., Nishimori N., Minehara E., and Sugimoto M.

Free Electron Laboratory, Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI)

Tokai, Ibaraki 319-11, Japan

### ABSTRACT

The JAERI FEL linac has the injection system of the SHB and two single-cell modules. They were designed so as to compress the 2-4 ns bunched beam into a several tens ps. The measured bunch length of the beam accelerated up to 15 MeV is about 18 ps at minimum. Though this is shown by calculation of PARMELA code, the figures of the longitudinal phase space of the compressed beam vary according to the beam current because of the space charge effects. In order to get high peak current by compression of the high current beam the longitudinal phase space measurement is required. The principle of the longitudinal phase space detector is proposed.

### 電子ビーム圧縮の測定と計算との比較

#### 1. はじめに

原研自由電子レーザー研究室では超電導加速器を用いた遠赤外線 FEL の開発を行っている。現在、超電導加速器は最大エネルギー 20MeV、最大ピーク電流 14A、最少パルス幅 18ps の性能で運転されている。この加速器における電子ビーム圧縮の現状と PARMELA の計算との比較と今後の課題について報告する。

#### 2. 原研 FEL 加速器による電子ビーム圧縮

原研 FEL 用超電導加速器の運転モードは放射線遮蔽や、閉ループ・ヘリウム冷凍機の冷却能力のために現状では CW 運転は出来ないが、マクロパルス幅 1ms、繰り返し 10Hz のパルスモードで運転されている。この加速器の入射部の電子銃には長パルス運転が可能であるように熱陰極カソードを用いた。カソードからはグリッドパルサーにより 2~4ns 幅、電流 100mA 以上の電子パルスが 10.4MHz 間隔で作られ、250kV の高電圧で加速される。主加

速器の周波数は 499.8MHz であるため、1/6 周波数のサブ・ハーモニック・バンチャ(SHB)を用いた。しかし、SHB のみでは空間電荷効果により十分な圧縮が出来ないため、加速しながら圧縮が行える単空洞の超電導加速器を 2 台用意し、これらの位相・振幅を調整することにより必要な電子ビーム圧縮を行っている。

#### 3. PARMELA による計算

SHB と 2 台の単空洞加速器による電子ビーム圧縮の様子を計算コード PARMELA を用いて調べた。ビーム電流を変えながら各位相・振幅を調整しバンチ幅が最少になるようにした。このとき以下の計算条件のもと最適値を求めた。

- 1) 空間電荷効果は電子ビーム径の違いによっても変わってくるので、簡単のためビームは常に半径 1mm の中で均一に分布しているとして計算を行った。
- 2) 初期電子ビームのバンチ幅は最大で 3ns の

放物線分布とする。

3) バンチ幅として位相分布の平均値から粒子数の80%が含まれる最大位相をバンチ幅とした。

4) 超電導単空洞の加速電界は4.5MV/mの固定とした。

図1にSHBのみによる最適化を、図2にSHBと2台の単空洞加速器による最適化の結果を示す。ビーム電流により位相空間の様子が変わってきているのがわかる。つまり、先行粒子でバンチ幅の端のほうは中央に集群するのが、低電流では遅れているのに対し、高電流では逆に進んでいる。これは空間電荷効果の影響と考えられる。

#### 4. ビームバンチ幅の測定

加速電子ビームのバンチ幅測定をストリー

クカメラを用いて測定した。電子ビームは主加速器で15MeVに加速され180度曲げられてアンジュレータに入射されるが、測定場所は加速直後の直線部とアンジュレータの中央で行った。結果は直線部で18ps、アンジュレータ中では38psであった。

#### 5. 今後の問題点

PARMELAの計算ではビーム電流によってビーム圧縮の様子がかなり違っている。特にエネルギー広がりSHBのあとでは高電流ビームの方がより高電界をかけているにもかかわらず、高電流ほどエネルギー広がりが小さくなっている。これはSHBによる速度変調のためのエネルギー広がりが、空間電荷効果によってキャンセルされるためであり、その様子は電流により大きく変わる。このような位相空間上の変

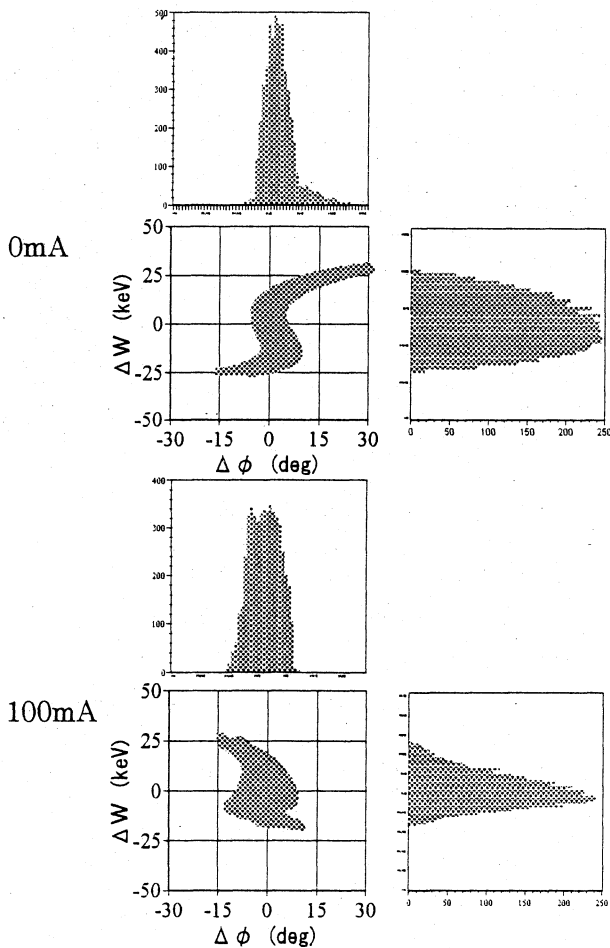


図1 SHBによるビーム圧縮

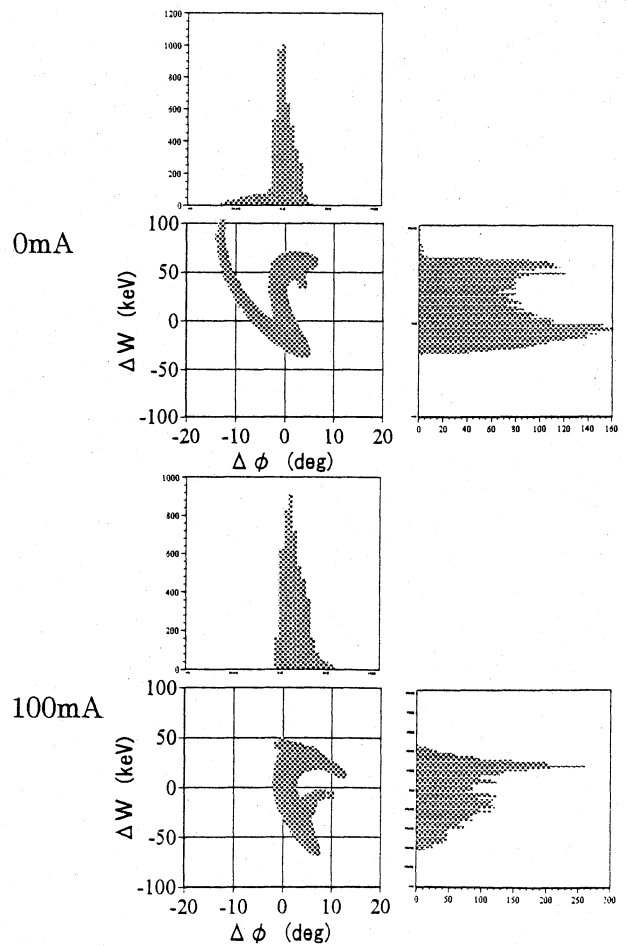


図2 SHBと単空洞によるビーム圧縮

化はバンチ幅とエネルギー広がりをも別々に測定しては観測が難しく、同時に測定する必要もある。さらに高電流ビームを圧縮するためには、位相・振幅調整のときに縦方向の位相空間を観測しながら調整できれば最適化調整が容易に行えるものと思われる。逆にこのような測定をすることにより計算コードにおける空間電荷効果の評価方法の有効性が検証できる。

縦方向の位相空間を同時に測定する方法としてストリークカメラのように横方向の高周波電界を用いると、縦方向の位置の違いにより横方向電界の強さが変わり、ドリフト空間により縦方向位置を横方向位置に変換することができる。さらにエネルギーの違いを偏向磁石による偏向角に変換しスクリーン上に2次元の像を作ることにより得られる[1]。(図3参照)  
しかしこの方法にはいくつかの欠点が考えられる。1つはビームの横方向のエミッタンス

によって、特に低エネルギーのとき像がぼけしてしまうこと。つまり横方向と縦方向の位相空間とが混ざりあってしまう。このためスリット等でビームを絞る必要がある。

次にビームを高周波電界又は偏向磁石で曲げるとき位置の違いにより力の大きさが変わること。像の位置によって力の大きさを補正する必要がある。

これらを考慮すると電子ビームのビーム径や発散角等の初期条件によって像がかなり変わってくることも考えられるが、まずは加速器の調整用として製作していく予定である。

#### 参考文献

- [1] Richard L. et al., IEEE journal of Quantum Electronics, Vol.QE-21, No.7, July 1985

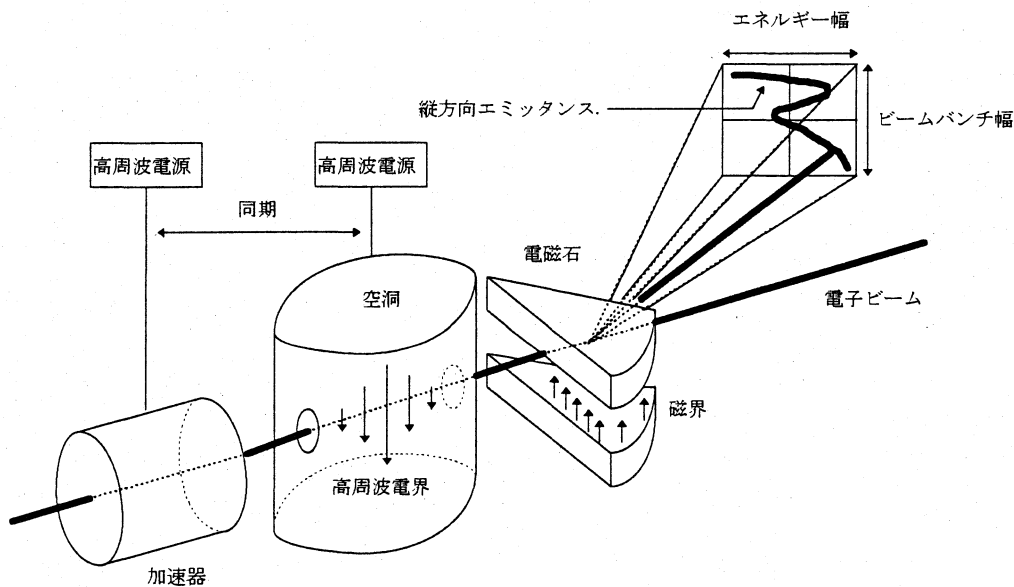


図3 縦方向エミッタンス測定のご概念図