



コンパクトERL周回部の設計研究

東京大学大学院
理学系研究科 物理学専攻 修士2年

白神 剛志

2009年1月30日

目次

1. 大電流モード
2. 低エミッタンスモード
3. バンチ圧縮モード
4. バンチ圧縮モードにおける初期パラメータの依存性
5. 加速モジュール3台
6. まとめ

設計の方針

- アーク部以外で $\eta=\eta'=0$ にする。
- アーク部ではモードに合わせて R_{56} を設定する

$$R_{56} = \int_c \frac{\eta}{\rho} ds \quad -\Delta z = R_{56} \left(\frac{\Delta p}{p} \right)$$

- 大電流・低エミッタンスモードでは $R_{56}=0$ にし、圧縮モードでは圧縮に適した値に設定する。
- 大電流・低エミッタンスモードでは加速位相のずれを約 0° にし、圧縮モードでは約 15° とした。
- ビームロスを避ける(真空ダクト半径約25mm)

設計手順

1. アーク部以外で $\eta=\eta'=0$ となり、各モードに適した R_{56} となるようにアーク部の4極電磁石を設定する。
2. 主加速モジュールのある共通部の4極電磁石を、共通部のベータatron関数が小さくなるように最適化する。
3. 共通部・アーク部以外の4極電磁石を、全体のベータatron関数が小さくなるように最適化する。
4. バンチ圧縮モードでは第1アーク部通過後の直線部で最短となるように主にアーク部の6極電磁石で設計を行う。
5. 必要に応じてビームロスを避けるために4極電磁石や減速空洞の位相の微調整する。

基本的なパラメータ

入射ビームの初期パラメータ

初期バンチ長	1~3[ps]
水平規格化エミッタンス	0.1~1[mm-mrad]
垂直規格化エミッタンス	0.1~1[mm-mrad]
初期運動量偏差	2×10^{-3}
電荷量	7.7~77[pC]
電流	10~100[mA]
電子の入射エネルギー	5[MeV]

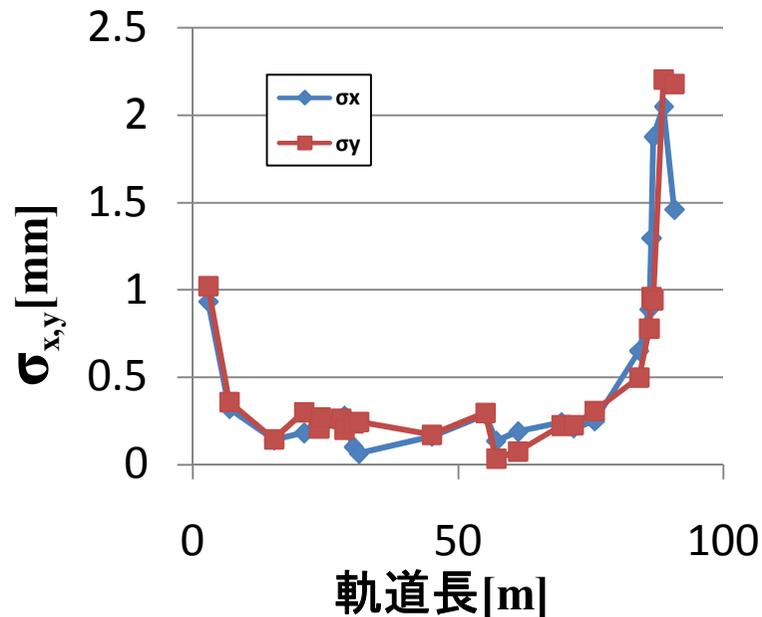
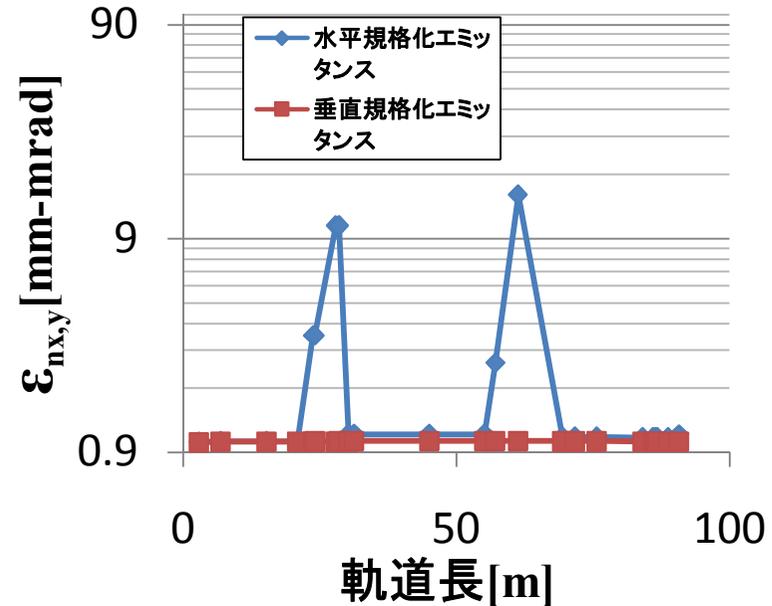
加速モジュールのパラメータ

加速周波数	1.3[GHz]
加速勾配	10~20[MV/m]
加速空洞長	4[m] × 2[個]
加速後の電子エネルギー	85~165[MeV]

大電流モード(1)

初期パラメータ

バンチ長	3[ps]
水平規格化エミッタンス	1[mm-mrad]
垂直規格化エミッタンス	1[mm-mrad]
初期運動量偏差	2×10^{-3}
電荷量	77[pC]
電子の入射エネルギー	5[MeV]
加速勾配	15[MV/m]
直線部の電子エネルギー	125[MeV]
加速位相のずれ角	-1.1[°]
R_{56}	0

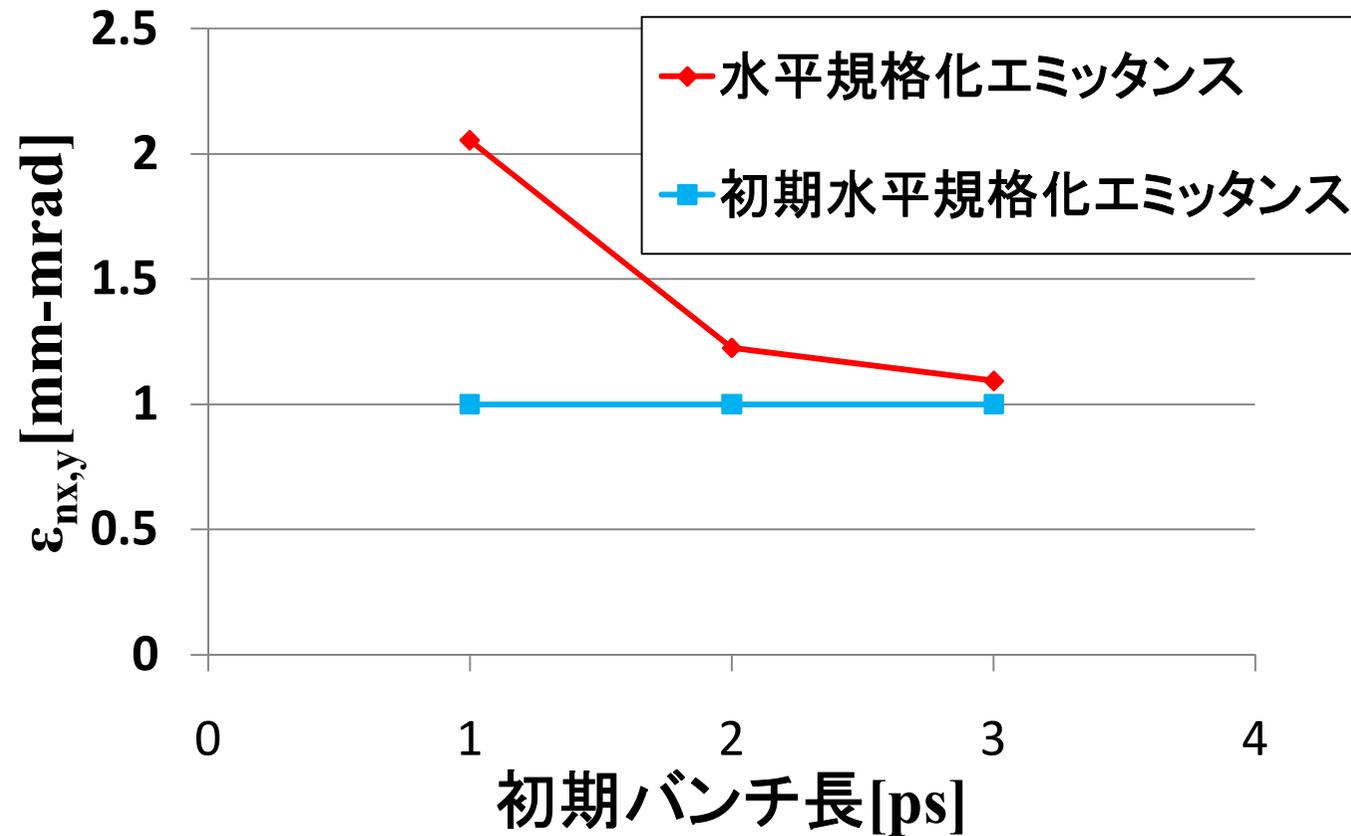


エミッタンス増加: **5%**

エネルギー回収率: **99.96%**

ビームサイズ: **<<25mm**

大電流モード(2)

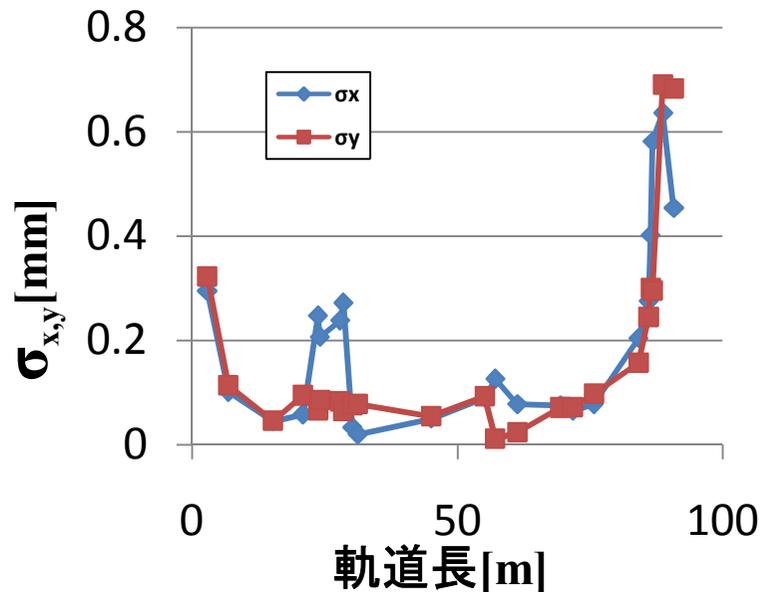
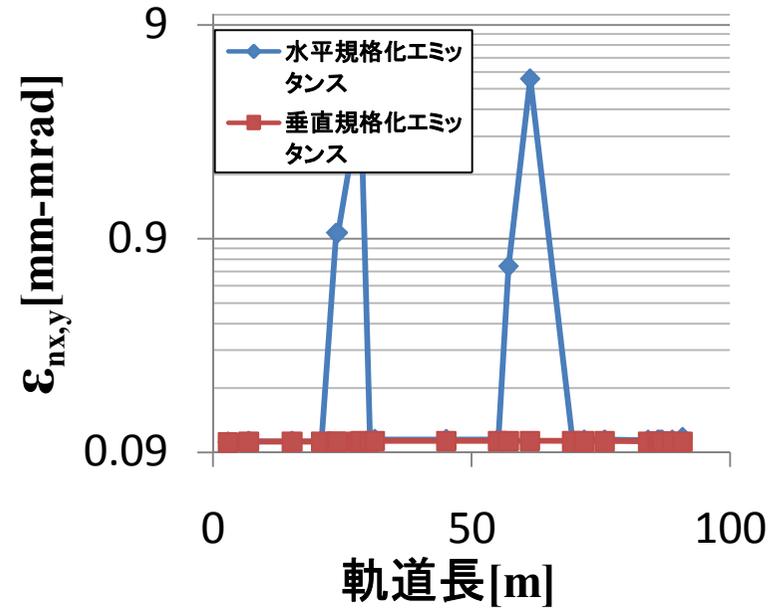


初期バンチ長が長いほどエミッタンスの増加が抑えられる。

低エミッタンスモード(1)

初期パラメータ

バンチ長	3[ps]
水平規格化エミッタンス	0.1[mm-mrad]
垂直規格化エミッタンス	0.1[mm-mrad]
初期運動量偏差	2×10^{-3}
電荷量	7.7[pC]
電子の入射エネルギー	5[MeV]
加速勾配	15[MV/m]
直線部の電子エネルギー	125[MeV]
加速位相のずれ角	-1.1[°]
R_{56}	0

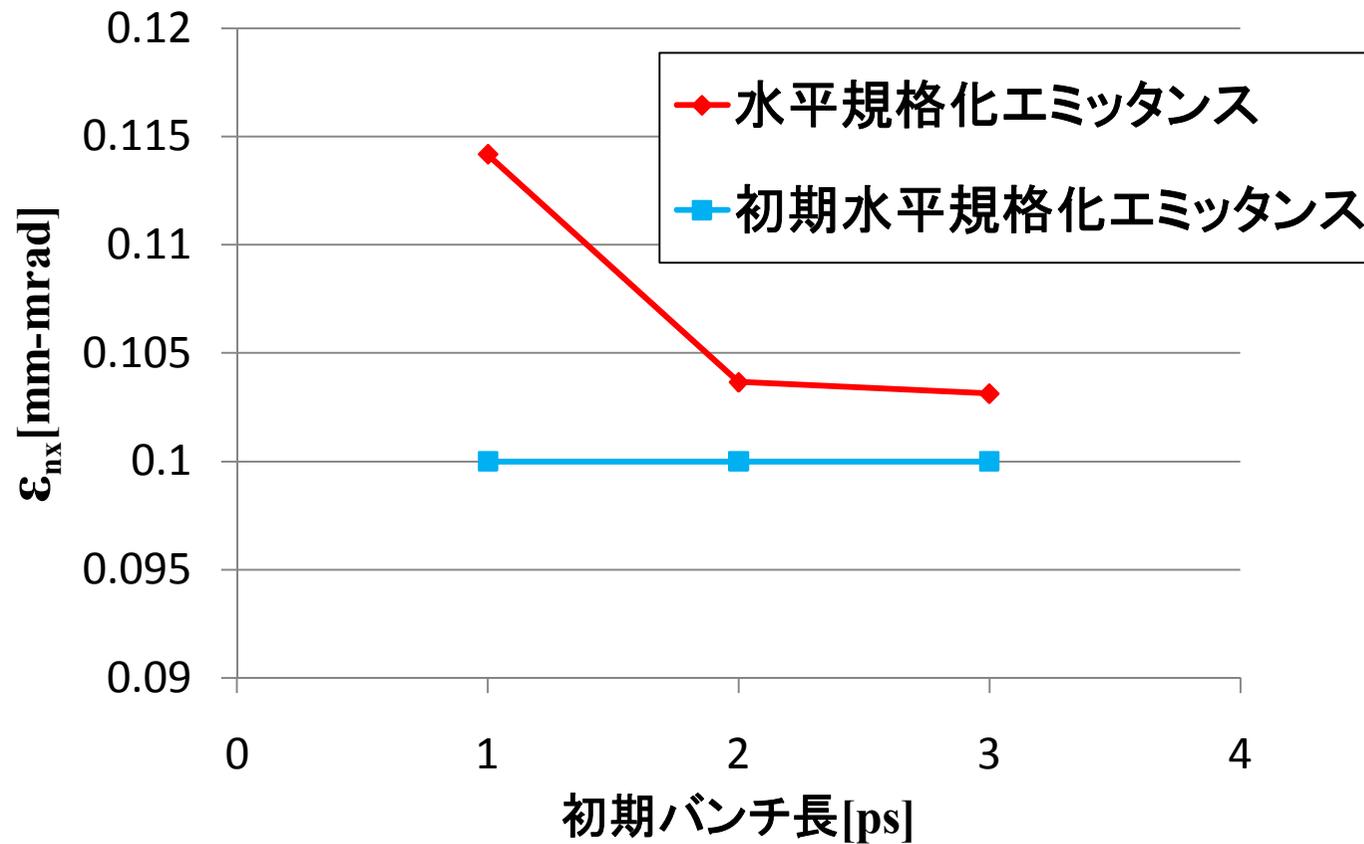


エミッタンス増加: **3%**

エネルギー回収率: **99.98%**

ビームサイズ: **<<25mm**

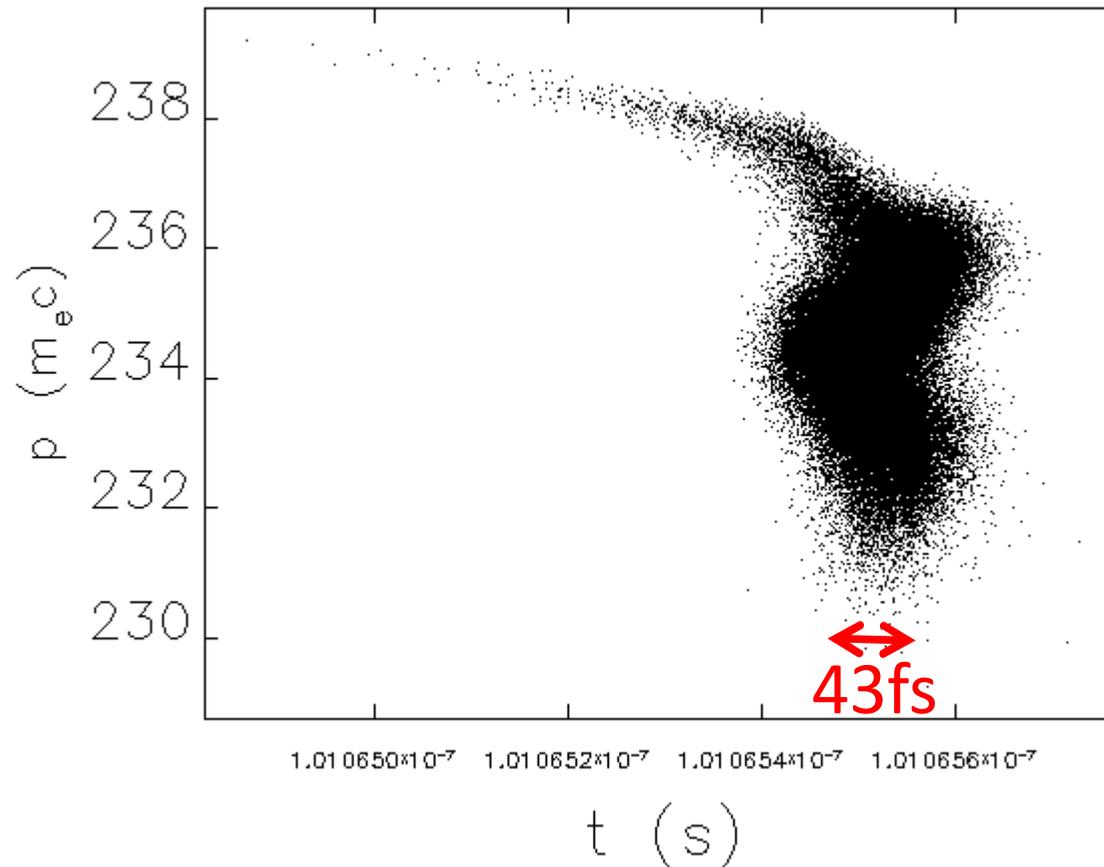
低エミッタンスモード(2)



初期バンチ長が長いほどエミッタンスの増加が抑えられる。

バンチ圧縮モード(1)

第1アーク部出口の(t,p)の分布図。



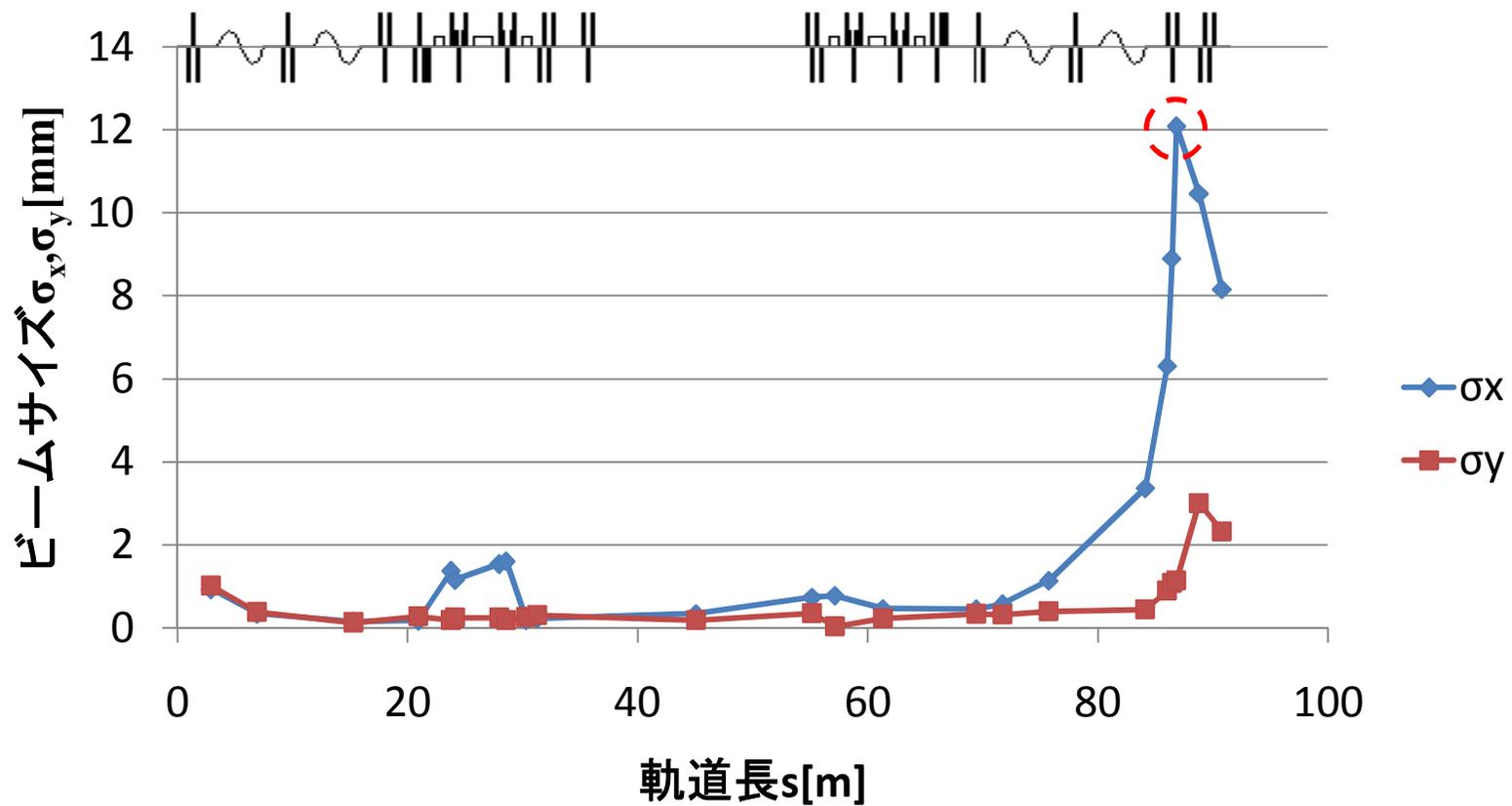
初期パラメータ

初期バンチ長	2[ps]
水平規格化エミッタンス	1[mm-mrad]
垂直規格化エミッタンス	1[mm-mrad]
初期運動量偏差	2×10^{-3}
電荷量	77[pC]
電子の入射エネルギー	5[MeV]
加速勾配	15[MV/m]
直線部の電子エネルギー	125[MeV]
加速位相のずれ角	15.49[°]
R_{56}	0.13095

バンチ長 $\sigma_z=43$ [fs]まで圧縮された。

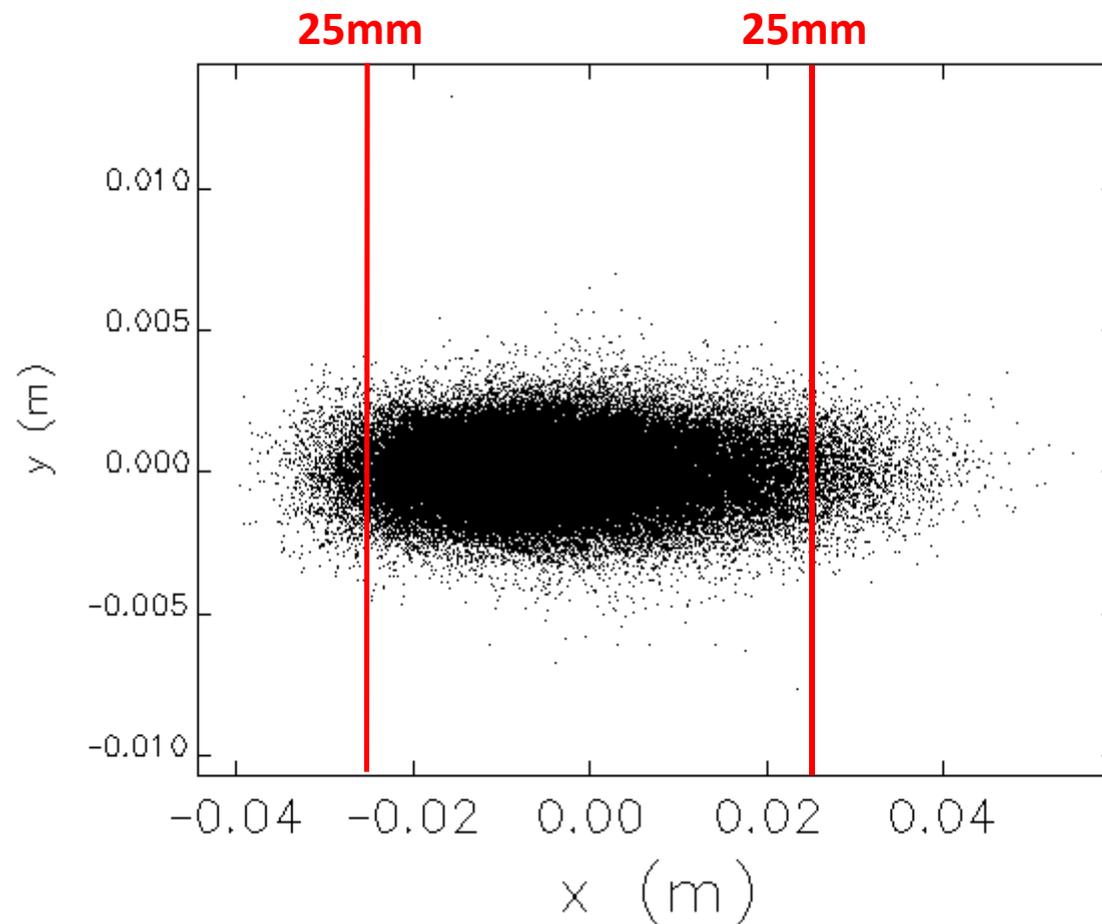
バンチ圧縮モード(2)

バンチ圧縮には成功した。しかし、ビームサイズを見てみると。



バンチ圧縮モード(3)

バンチ圧縮には成功した。しかし、ビームサイズを見てみると・・・。

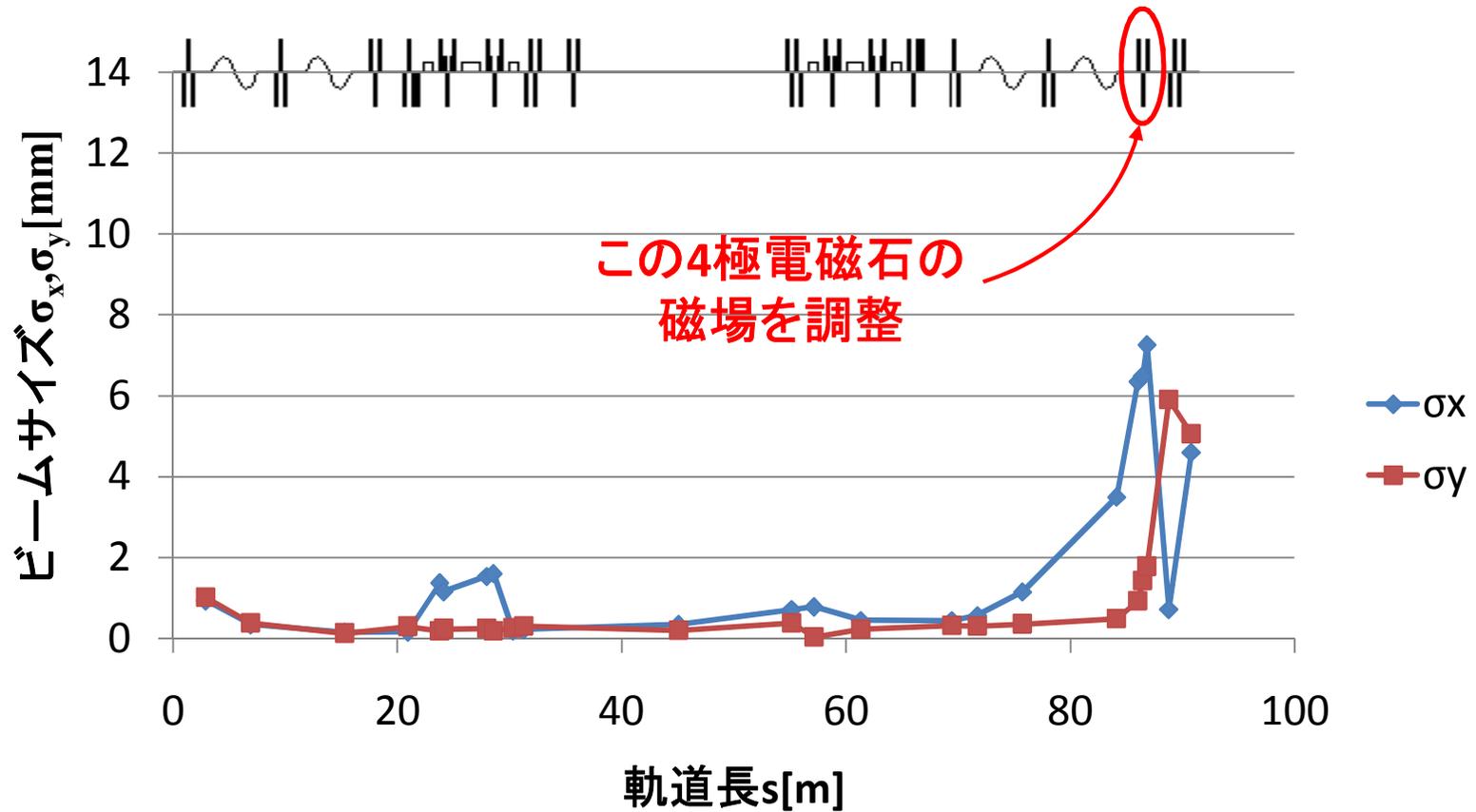


想定しているアパーチャーは**25mm**

このままではビームロスが起こってしまう。
そのためビームサイズを抑える調整が必要。

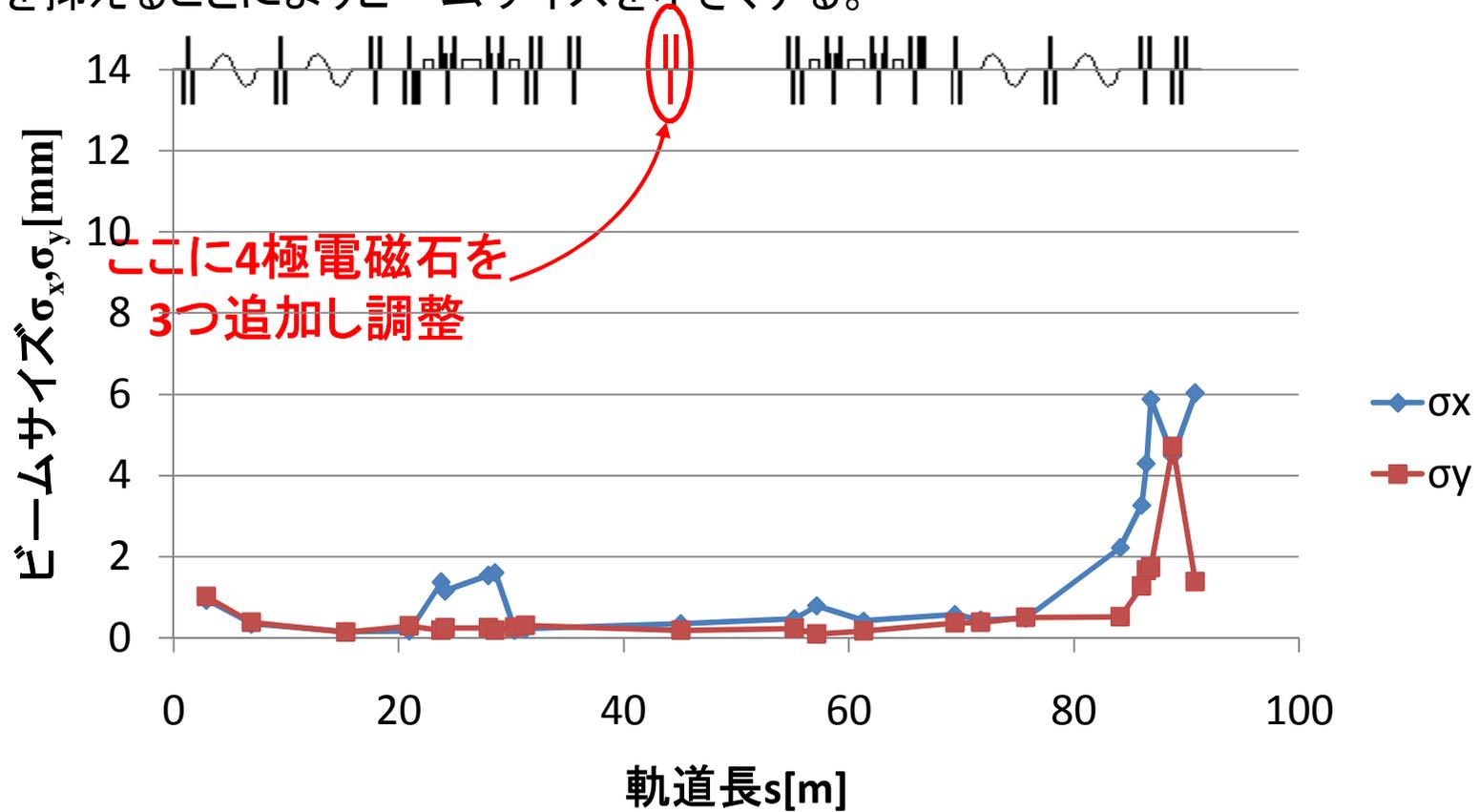
バンチ圧縮モード(4)

減速した後の4極電磁石の磁場強度を水平方向のベータatron関数が小さくなるように設定しビームサイズを抑える。



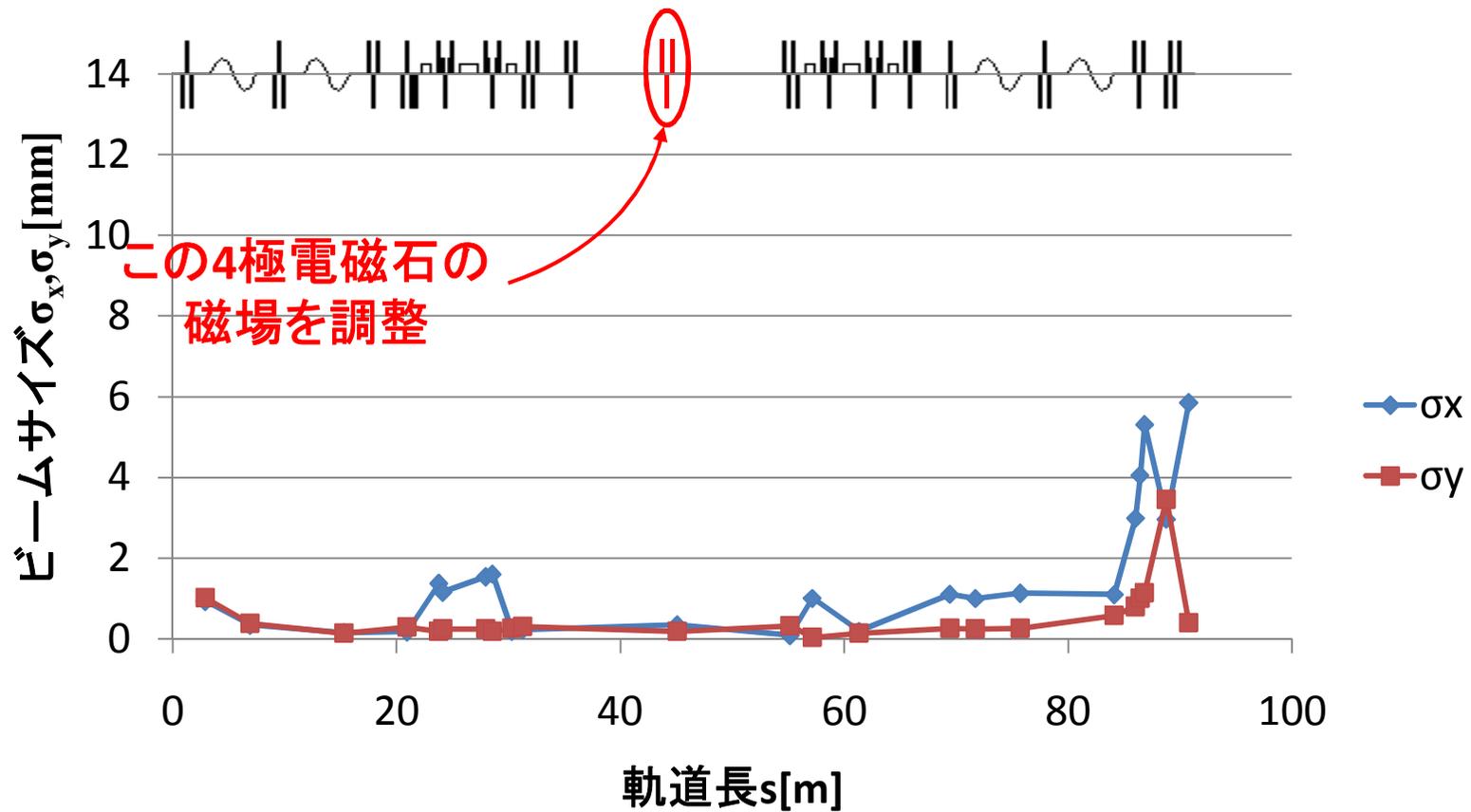
バンチ圧縮モード(5)

4極電磁石を直線部に追加し、第1アーチ部出口の偏向電磁石と、第2アーチ入口の偏向電磁石の時の位相を π の奇数倍ずらしエミッタンスを抑えることによりビームサイズを小さくする。



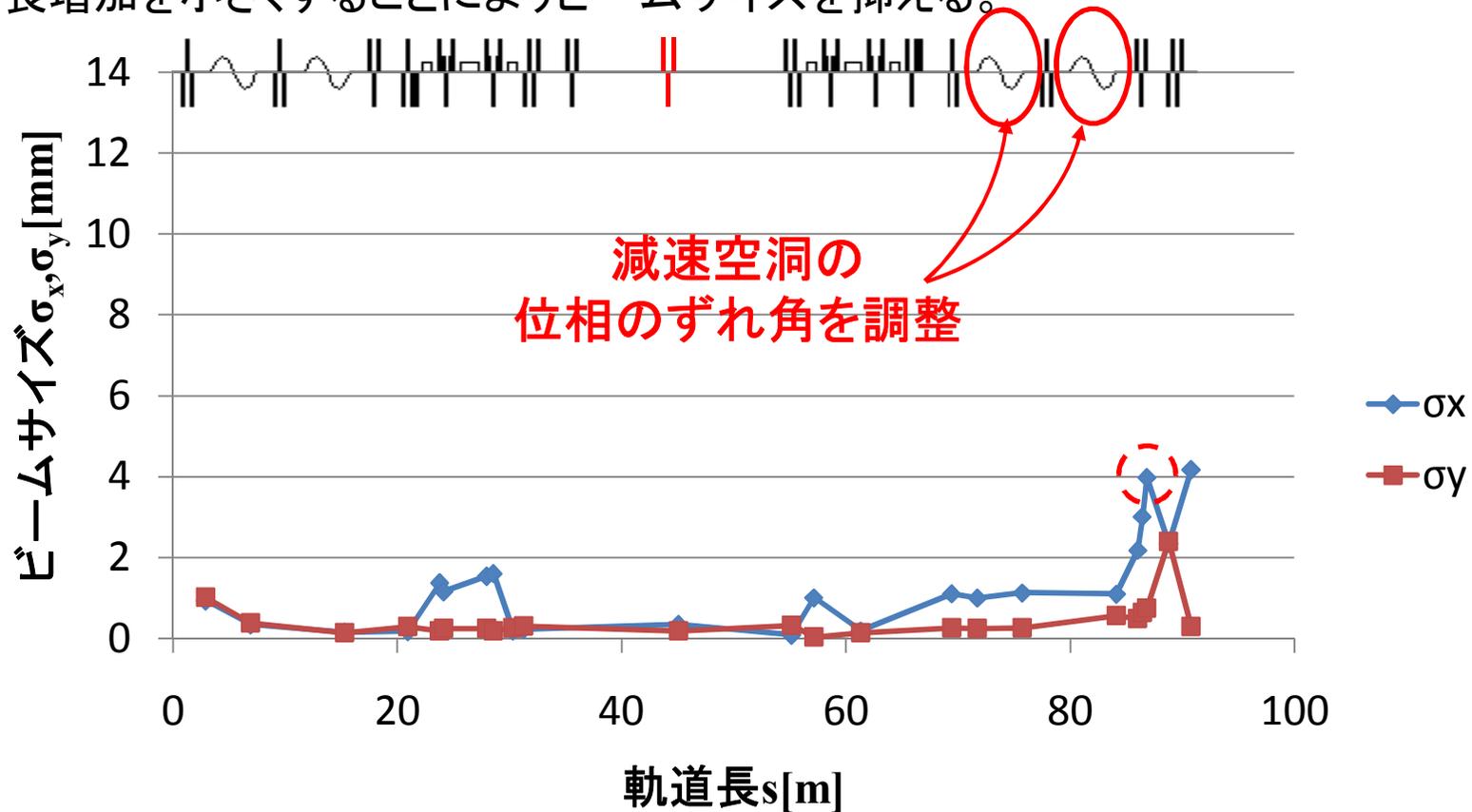
バンチ圧縮モード(6)

4極電磁石を直線部に追加し、減速空洞出た後のベータatron関数が小さくなるように設定しビームサイズを抑える。



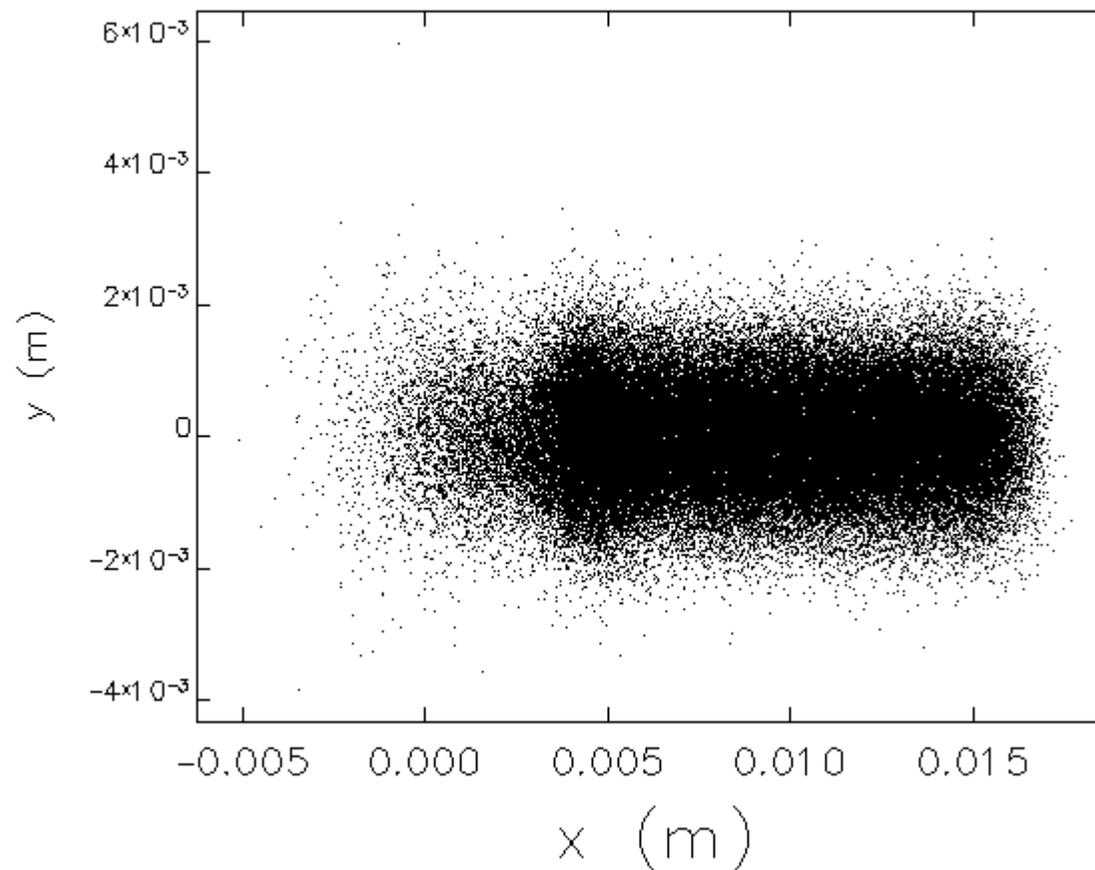
バンチ圧縮モード(7)

前の結果を用い、減速空洞の位相のずれ角をずらすことにより減速後のエネルギーを多少上昇させ、運動量偏差及びそれによるバンチ長増加を小さくすることによりビームサイズを抑える。



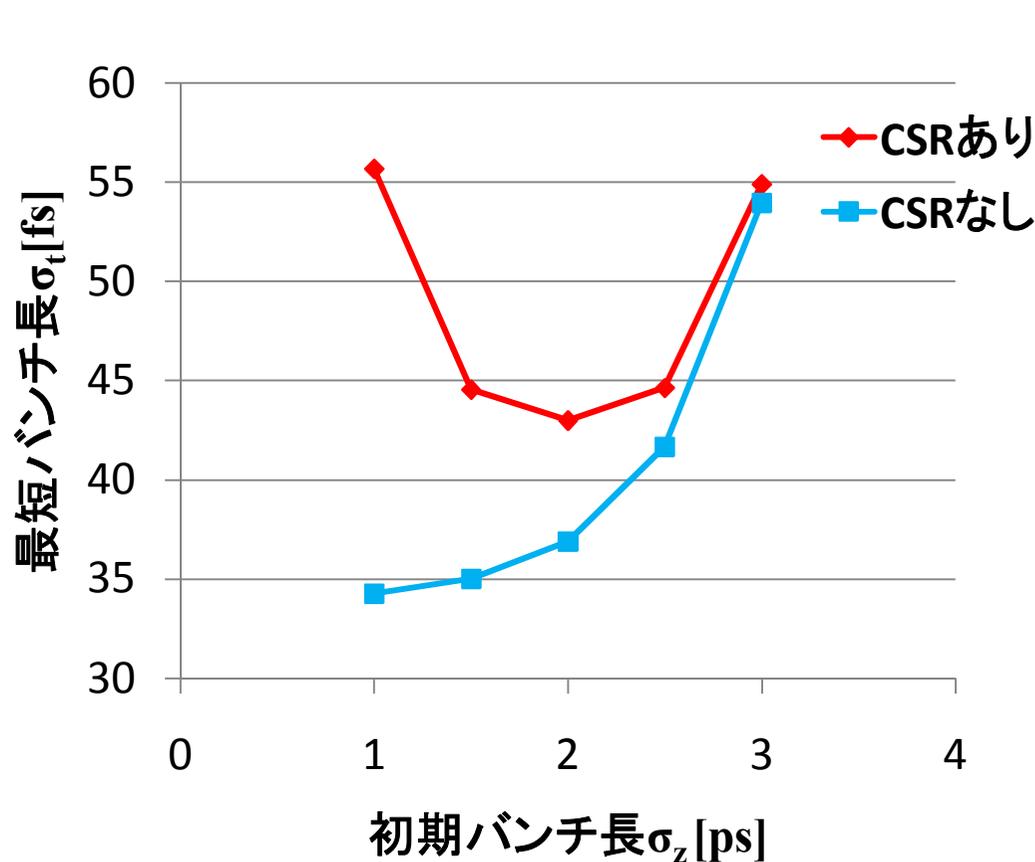
バンチ圧縮モード(8)

前の結果を用い、減速空洞の位相のずれ角をずらすことにより減速後のエネルギーを多少上昇させ、運動量偏差及びそれによるバンチ長増加を小さくすることによりビームサイズを抑える。



バンチ圧縮モード依存性(1)

初期バンチ長依存性



パラメータ

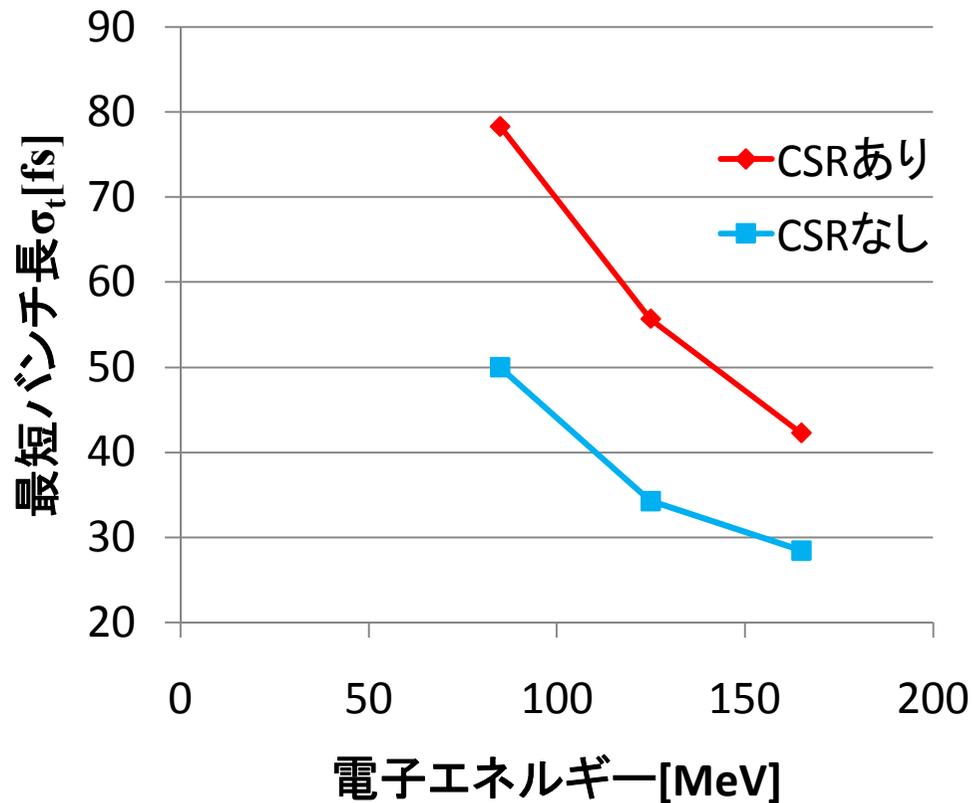
初期規格化エミッタンス	1[mm-mrad]
初期運動量偏差	2×10^{-3}
電荷量	77[pC]
電子エネルギー	125[MeV]

初期バンチ長が短いほど
CSR効果が強くなる。

初期バンチ長が長いほど
3次(U_{5666})の項が無視でき
ず、圧縮が悪くなる。

バンチ圧縮モード依存性(2)

・エネルギー依存性



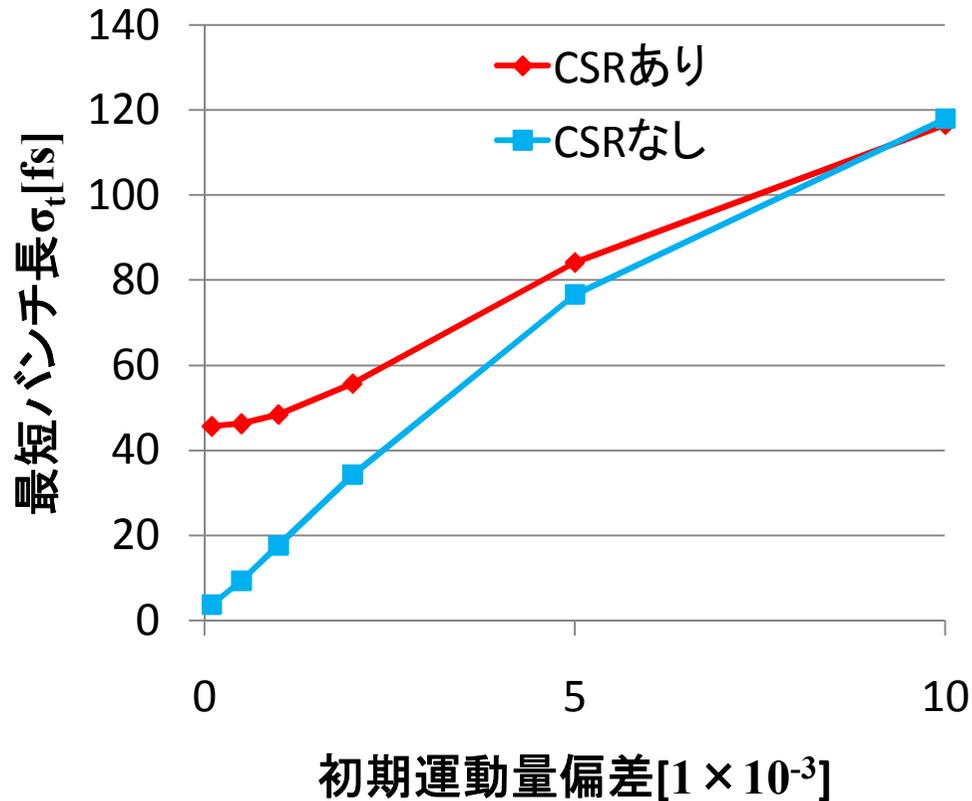
パラメータ

初期バンチ長	1[ps]
初期規格化エミッタンス	1[mm-mrad]
初期運動量偏差	2×10^{-3}
電荷量	77[pC]

エネルギーが高いとCSR効果が相対的に弱くなる。

バンチ圧縮モード依存性(3)

・初期運動量偏差依存性



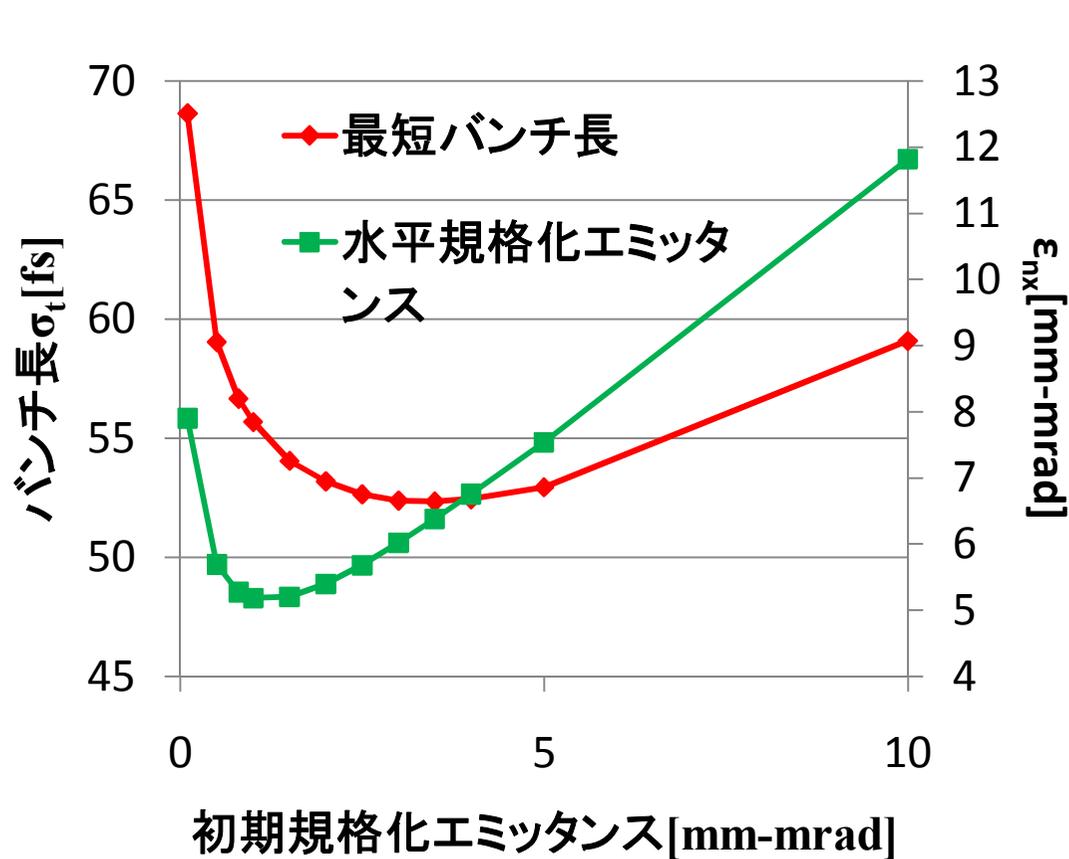
パラメータ

初期バンチ長	1[ps]
初期規格化エミッタンス	1[mm-mrad]
電荷量	77[pC]
電子エネルギー	125[MeV]

初期運動量偏差は 2×10^{-3} 程度で十分である。

バンチ圧縮モード依存性(4)

初期規格化エミッタンス依存性



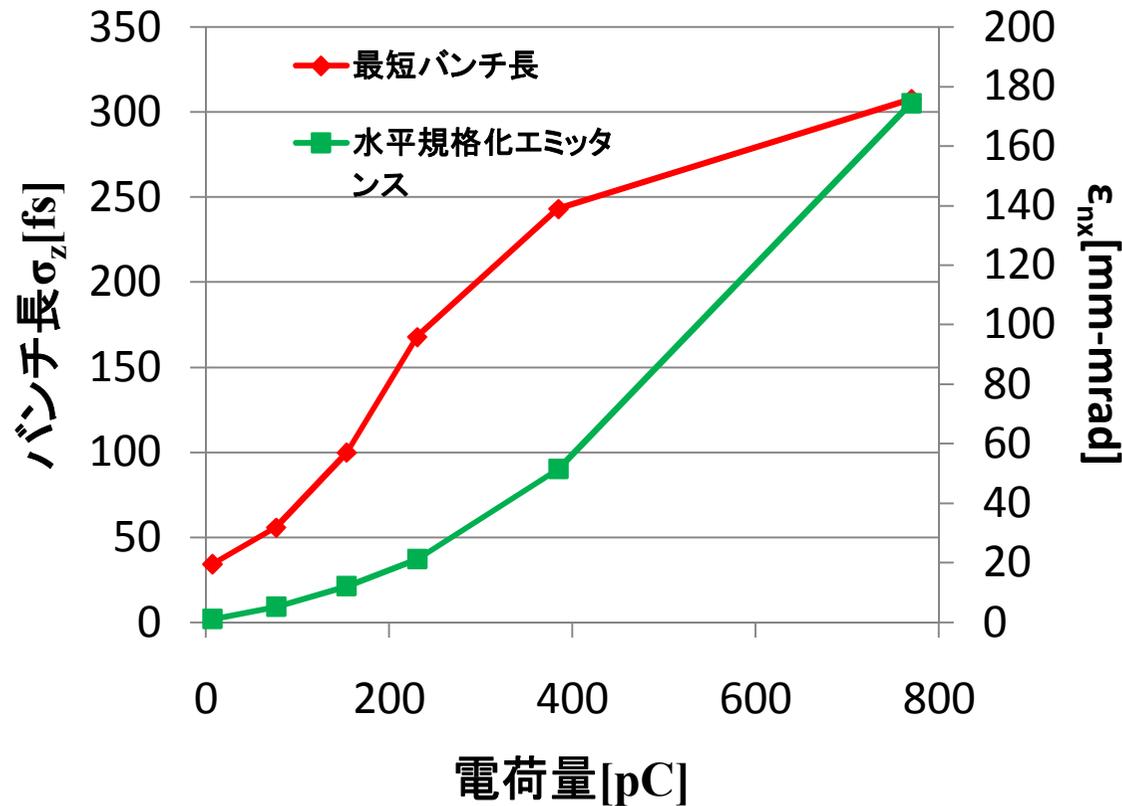
パラメータ

初期バンチ長	1[ps]
初期運動量偏差	2×10^{-3}
電荷量	77[pC]
電子エネルギー	125[MeV]

バンチ長は3.5[mm-mrad] 辺りに最小値がある。

バンチ圧縮モード依存性(5)

電荷量依存性



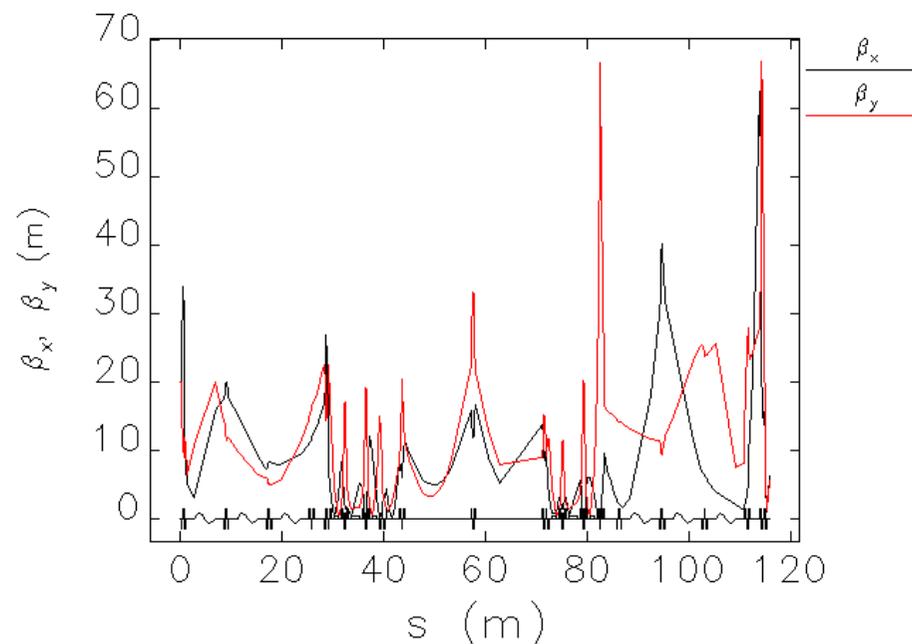
パラメータ

初期バンチ長	1[ps]
初期規格化エミッタンス	1[mm-mrad]
初期運動量偏差	2×10^{-3}
電子エネルギー	125[MeV]

電荷量を上げるとCSR効果が強くなり、バンチ圧縮が難しくなる。

主加速モジュール3台-大電流モード(1)

バンチ長	1[ps]
水平規格化エミッタンス	1[mm-mrad]
垂直規格化エミッタンス	1[mm-mrad]
初期運動量偏差	2×10^{-3}
電荷量	77[pC]
電子の入射エネルギー	5[MeV]
加速勾配	15[MV/m]
直線部の電子エネルギー	185[MeV]
加速位相のずれ角	$-2[^\circ]$
R_{56}	0



Twiss parameters--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

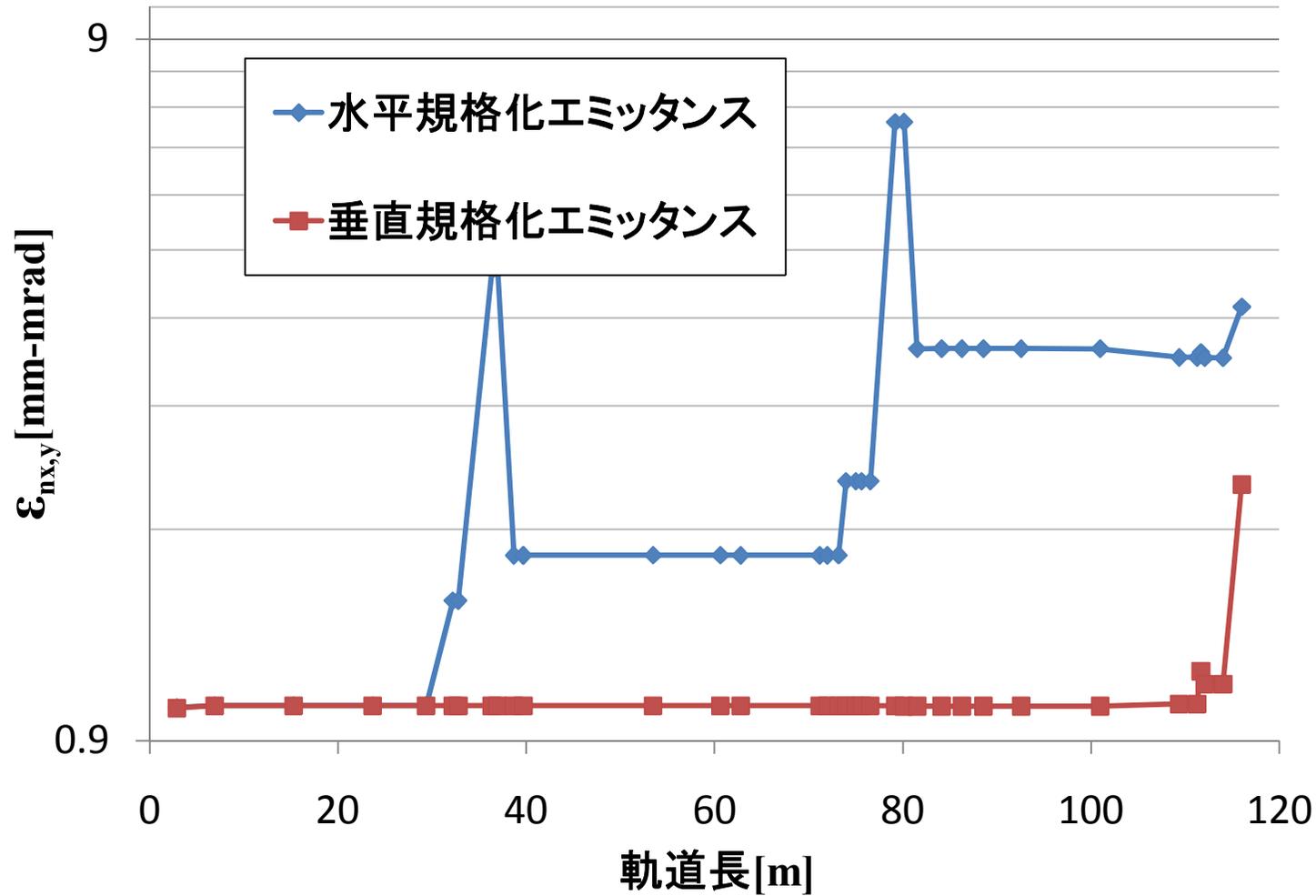
エミッタンス増加: **65%**(加速モジュール2台に比べて良い結果)

エネルギー回収率:

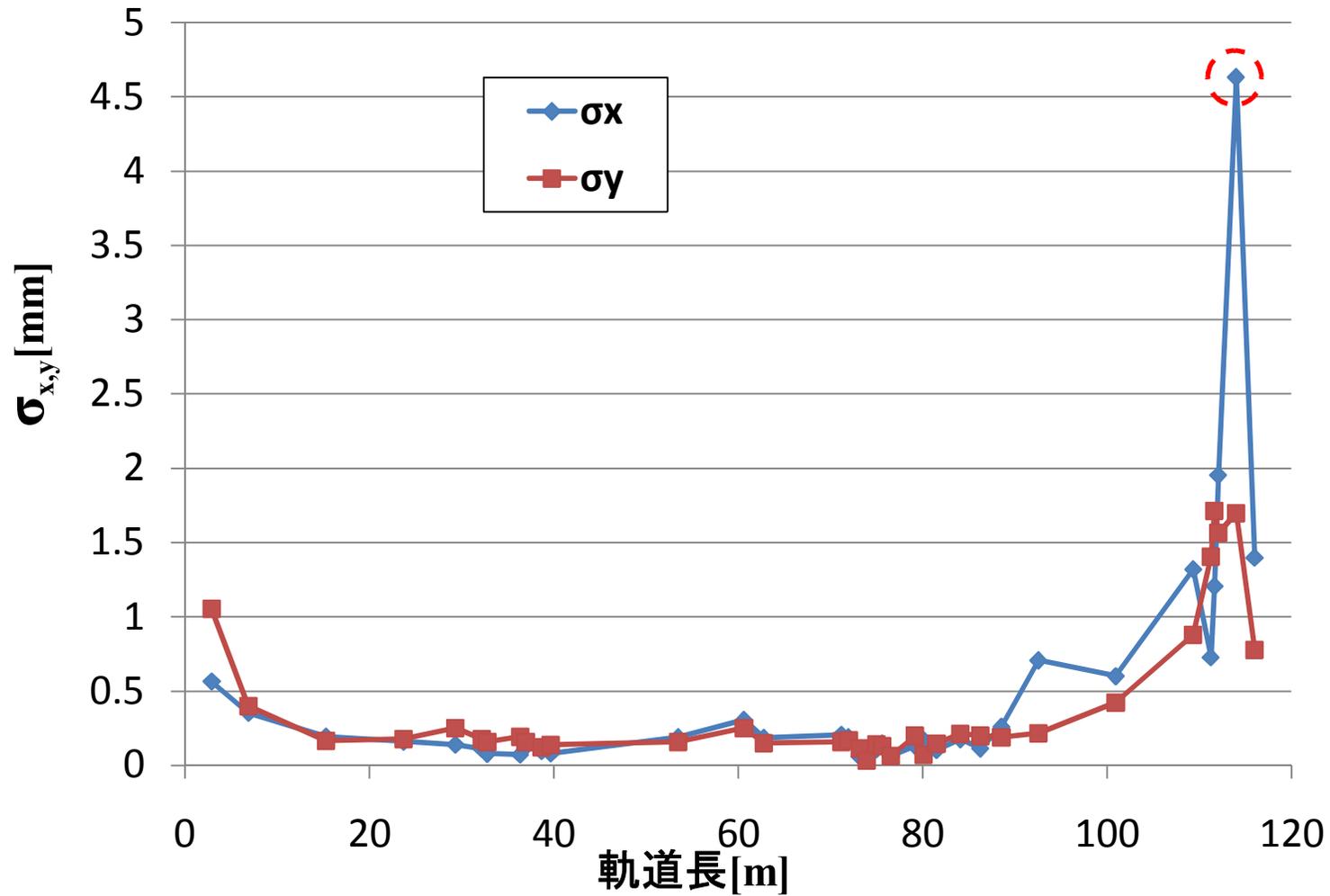
第一空洞99.90%、第二空洞100.00%、第三空洞100.04%

ビームサイズ: **<<25mm**

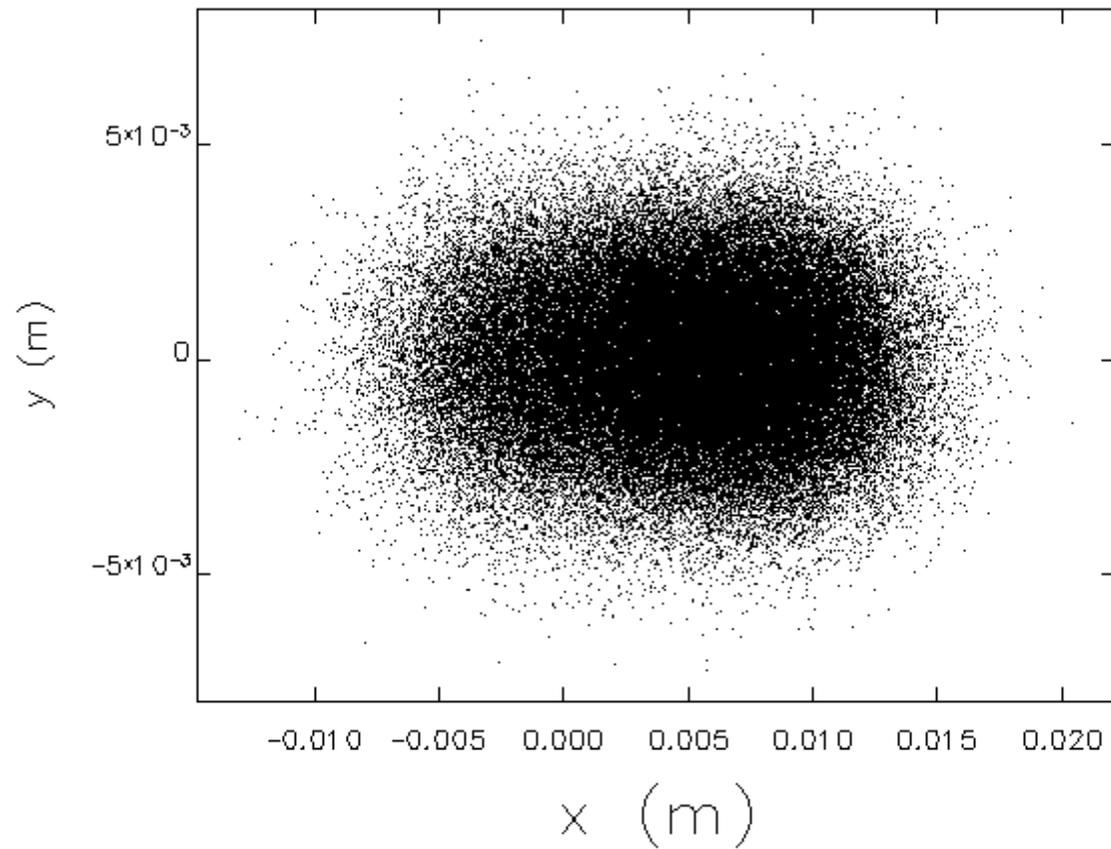
主加速モジュール3台-大電流モード(2)



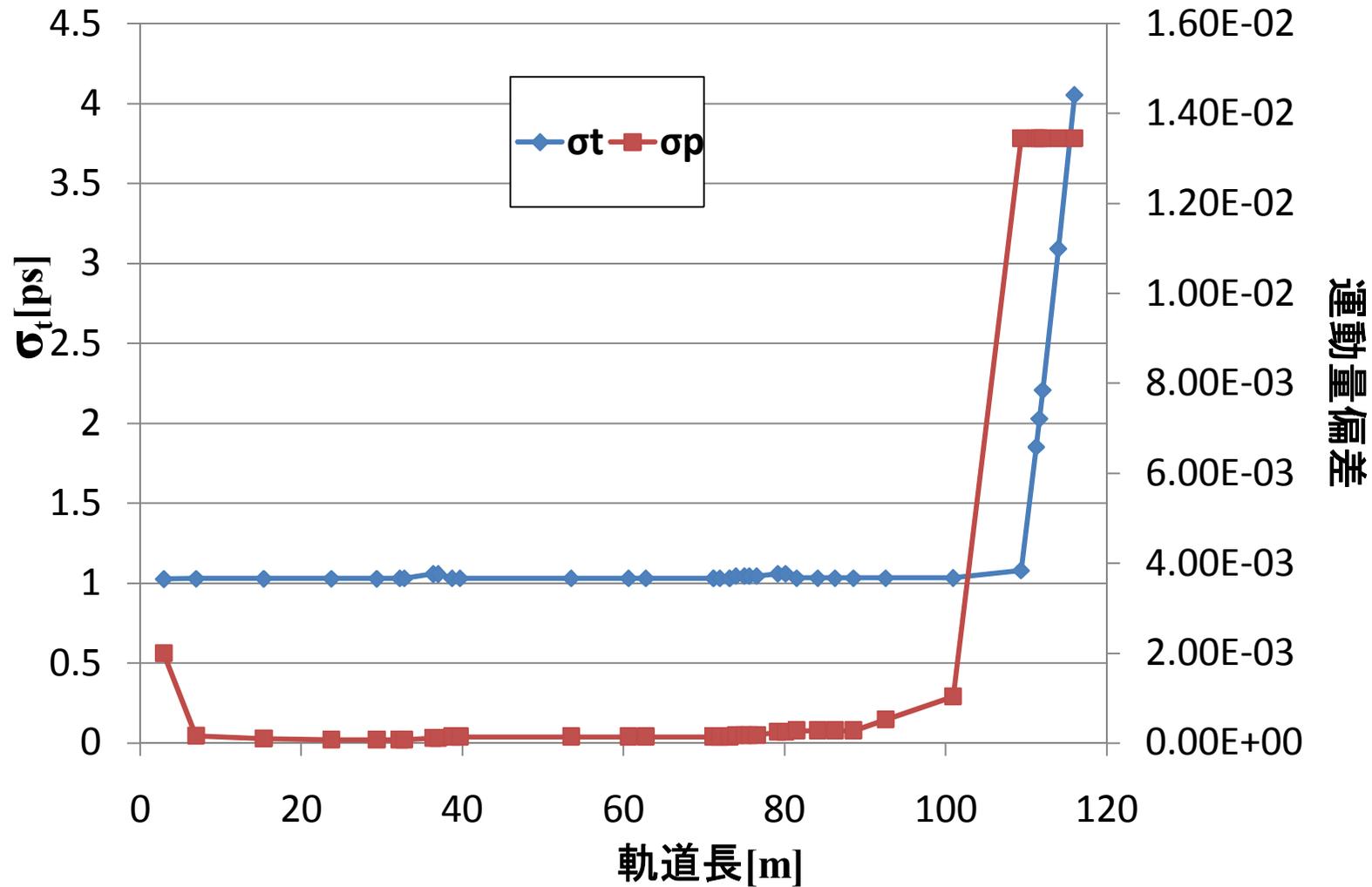
主加速モジュール3台-大電流モード(3)



主加速モジュール3台-大電流モード(4)

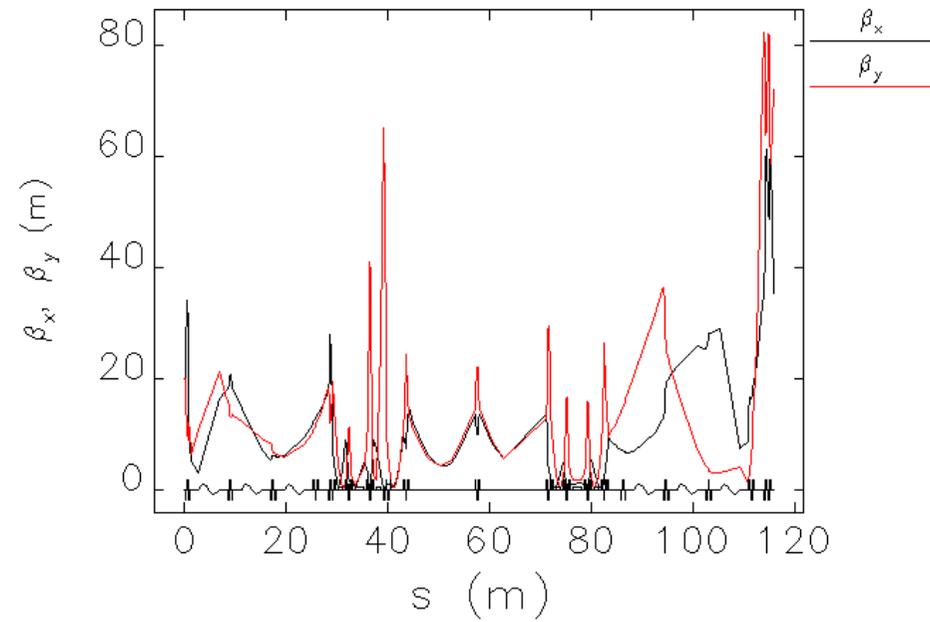


主加速モジュール3台-大電流モード(5)



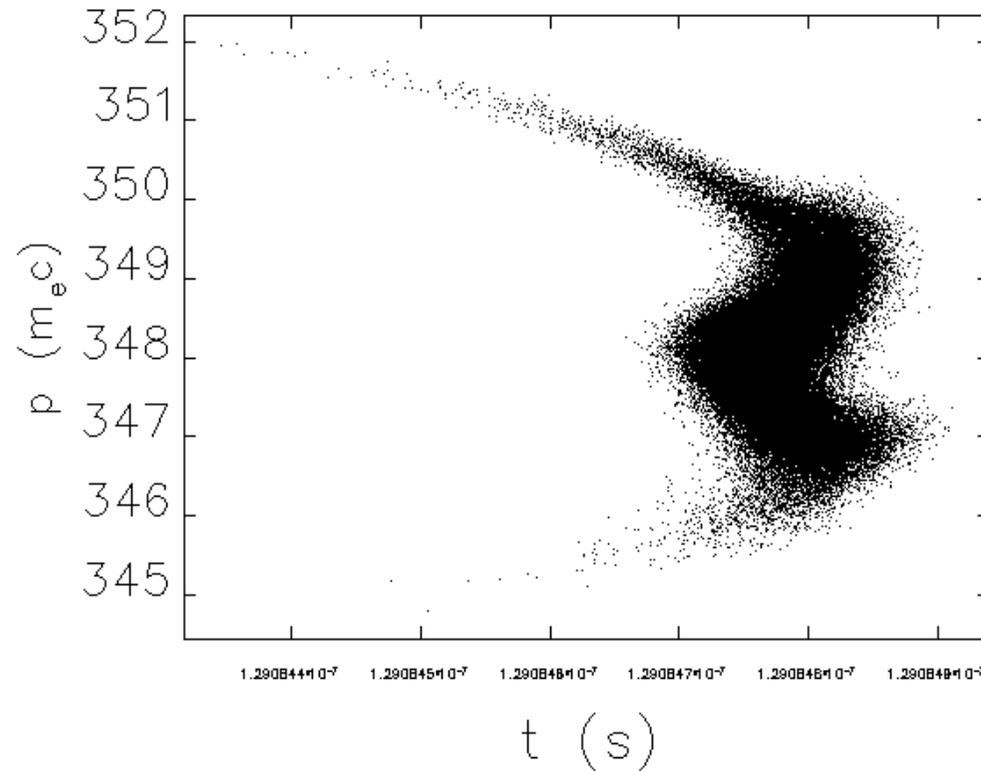
主加速モジュール3台-バンチ圧縮(1)

バンチ長	1[ps]
水平規格化エミッタンス	1[mm-mrad]
垂直規格化エミッタンス	1[mm-mrad]
初期運動量偏差	2×10^{-3}
電荷量	77[pC]
電子の入射エネルギー	5[MeV]
加速勾配	15[MV/m]
直線部の電子エネルギー	185[MeV]
加速位相のずれ角	15.1[°]
R_{56}	0.1308



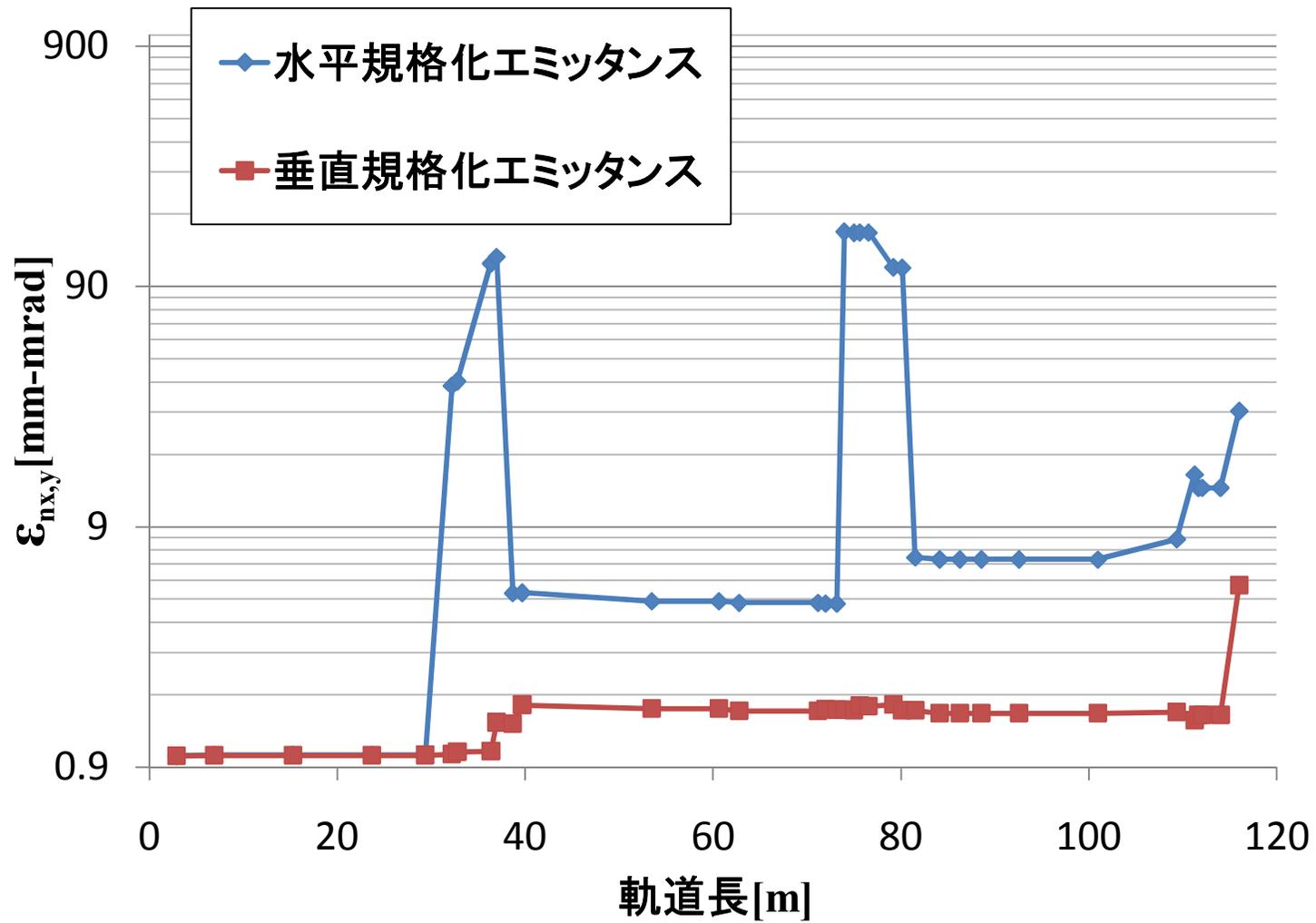
最短バンチ長: **34fs**

主加速モジュール3台-バンチ圧縮(2)

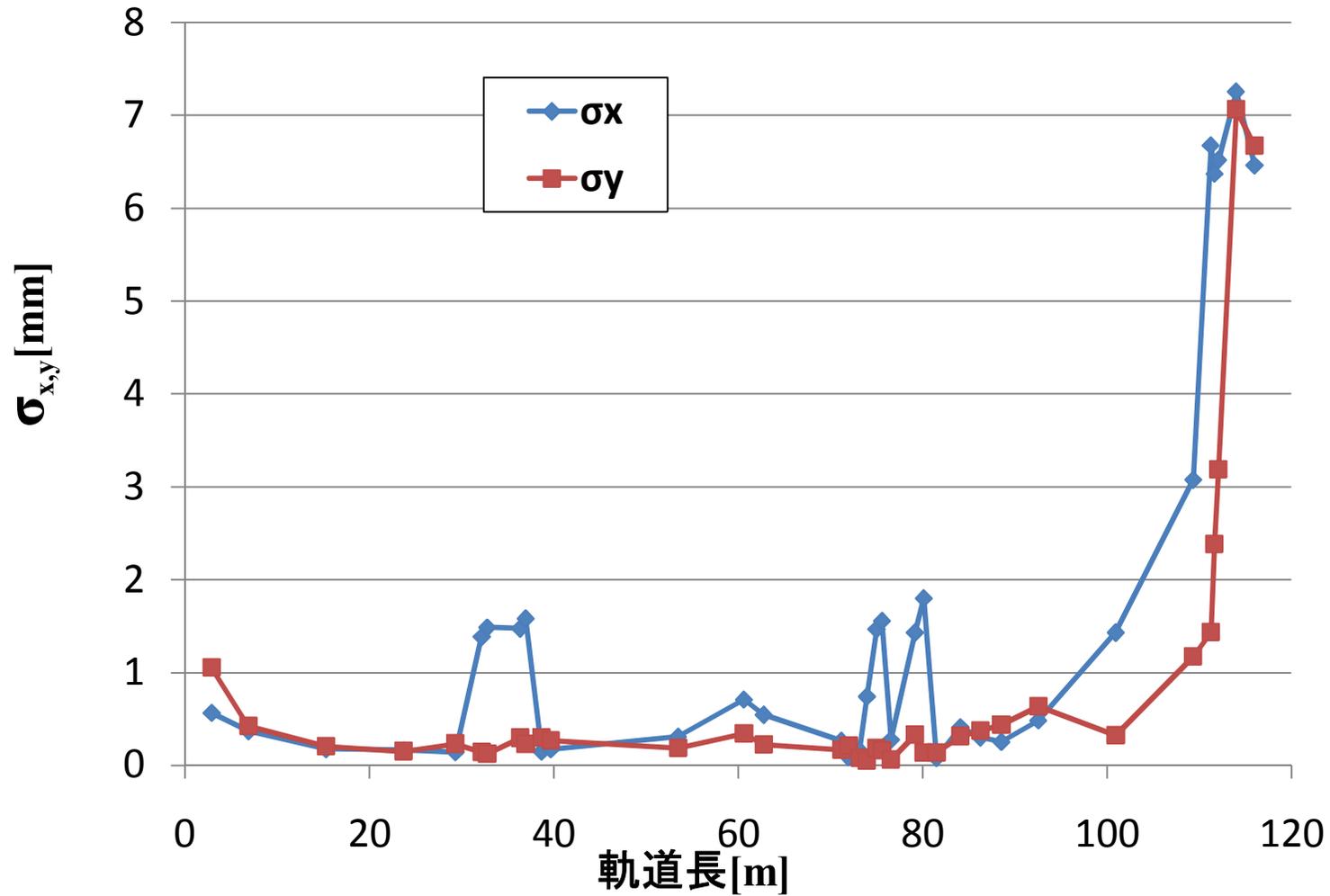


最短バンチ長: **34fs**

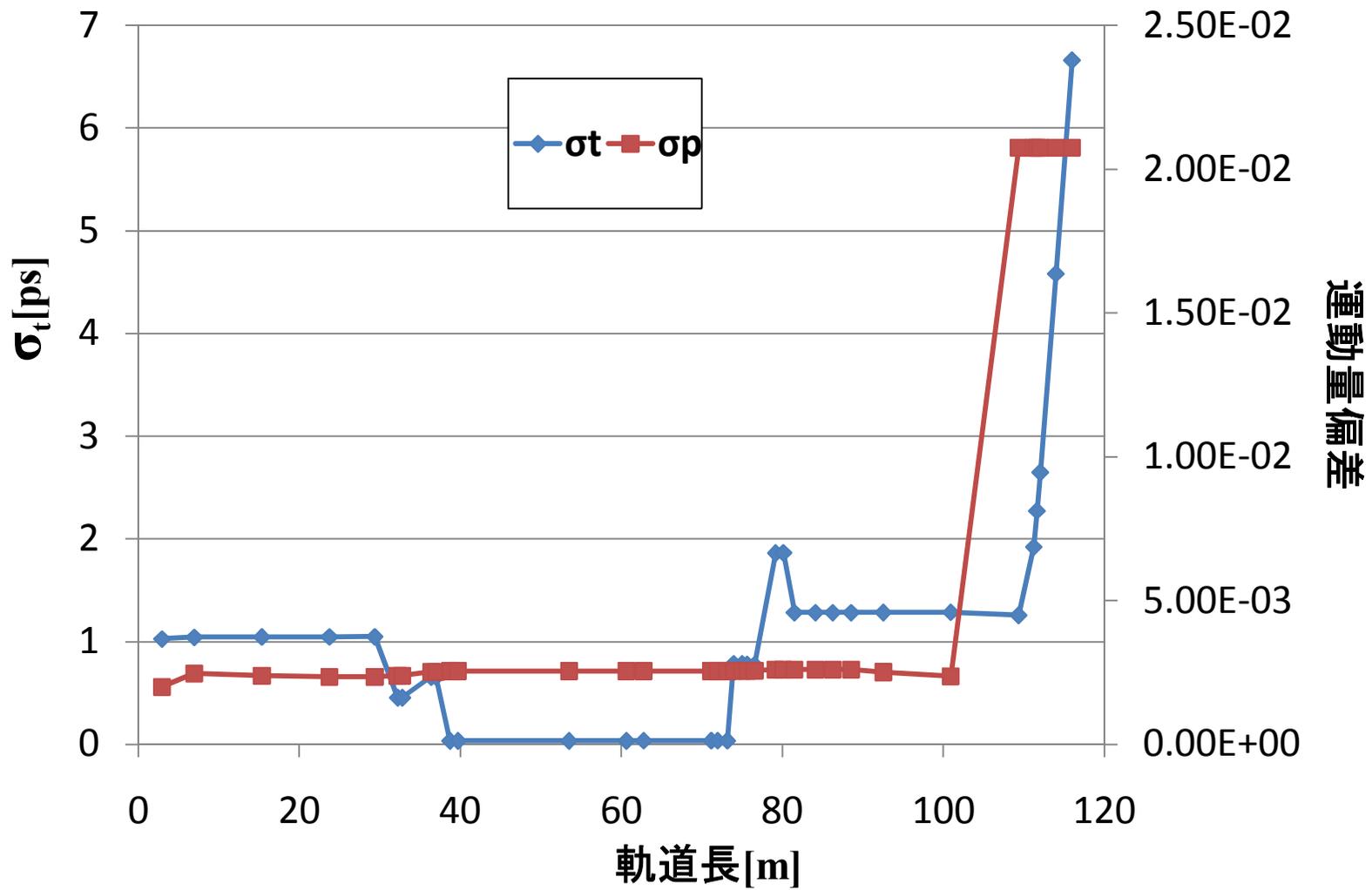
主加速モジュール3台-バンチ圧縮(3)



主加速モジュール3台-バンチ圧縮(4)



主加速モジュール3台-バンチ圧縮(5)



まとめ

- 大電流モード、低エミッタンスモードではエミッタンスを保持し、ビームロスがなく、高効率のエネルギー回収率のオプティクスを作ることに成功した。
- バンチ圧縮モードでは最短43[fs]のバンチ長を作り、ビームロスも避けることに成功した。
- 主加速モジュール3台モデルでも要求を満足できそうである。