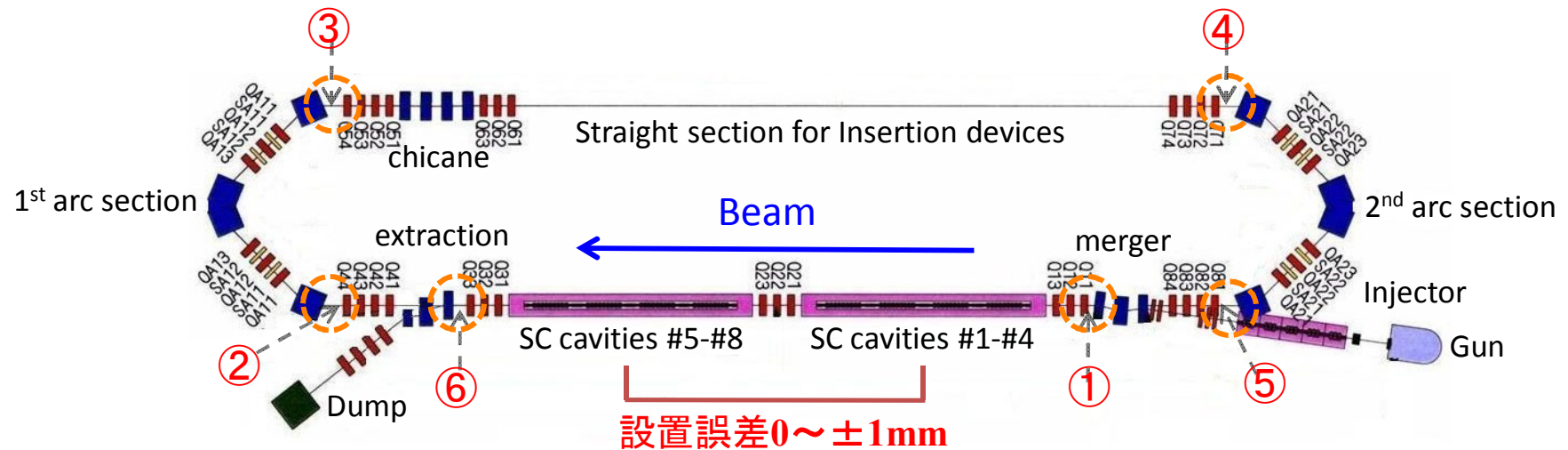


コンパクトERLにおける 主加速空洞アライメント誤差の影響

東京大学物性研究所

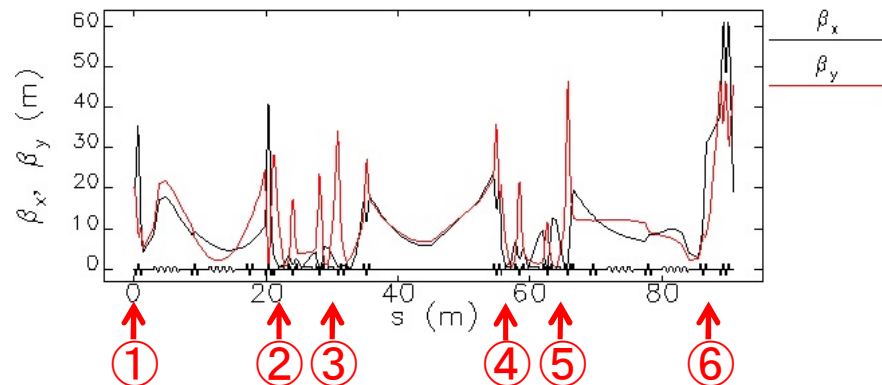
中村 典雄

コンパクトERLの構成とパラメータ



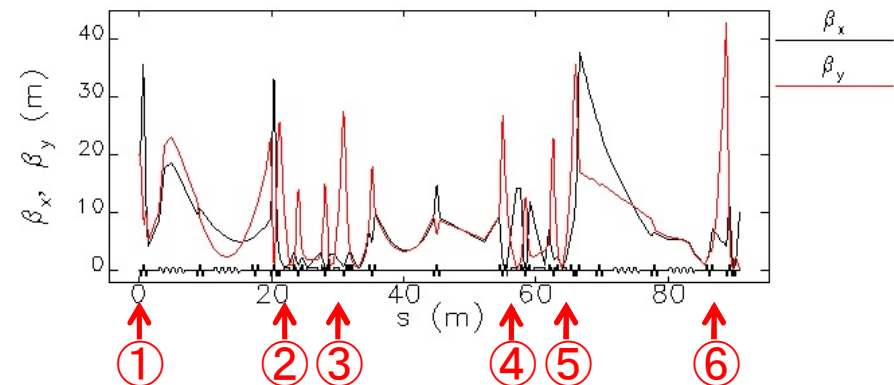
大電流モード(HC mode)

初期バンチ長	2[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]
入射エネルギー	5[MeV]
加速エネルギー&位相	120[MeV], -0.2°



バンチ圧縮モード(BC mode)

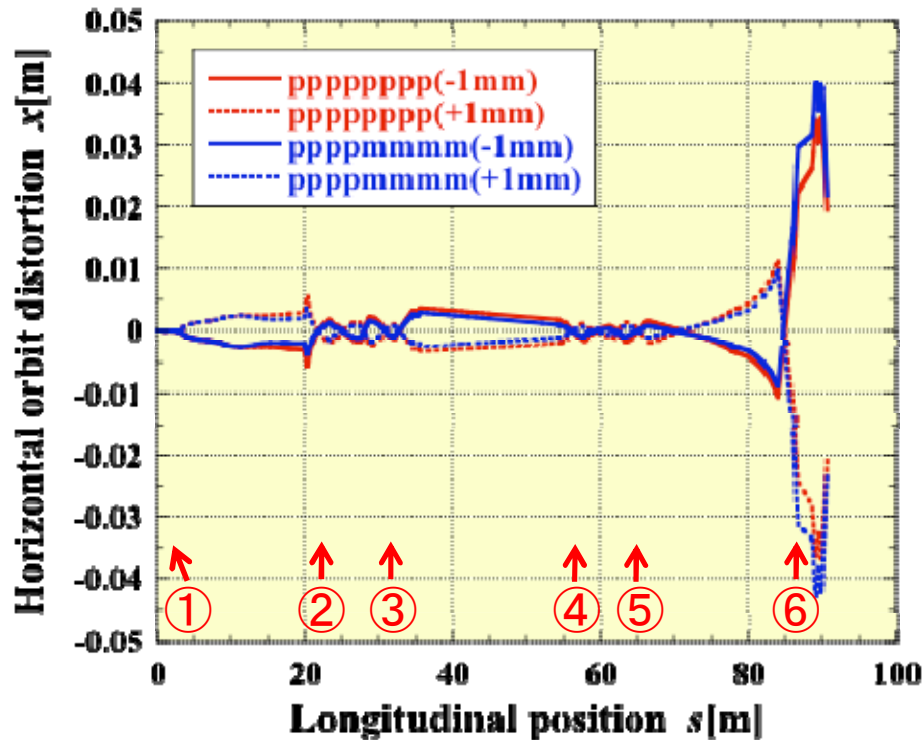
初期バンチ長	1[ps]
初期規格化エミッタンス	1[mm-mrad]
初期運動量偏差	2×10^{-3}
電荷量	77[pC]
入射エネルギー	5[MeV]
加速エネルギー&位相	120[MeV], 15~16°



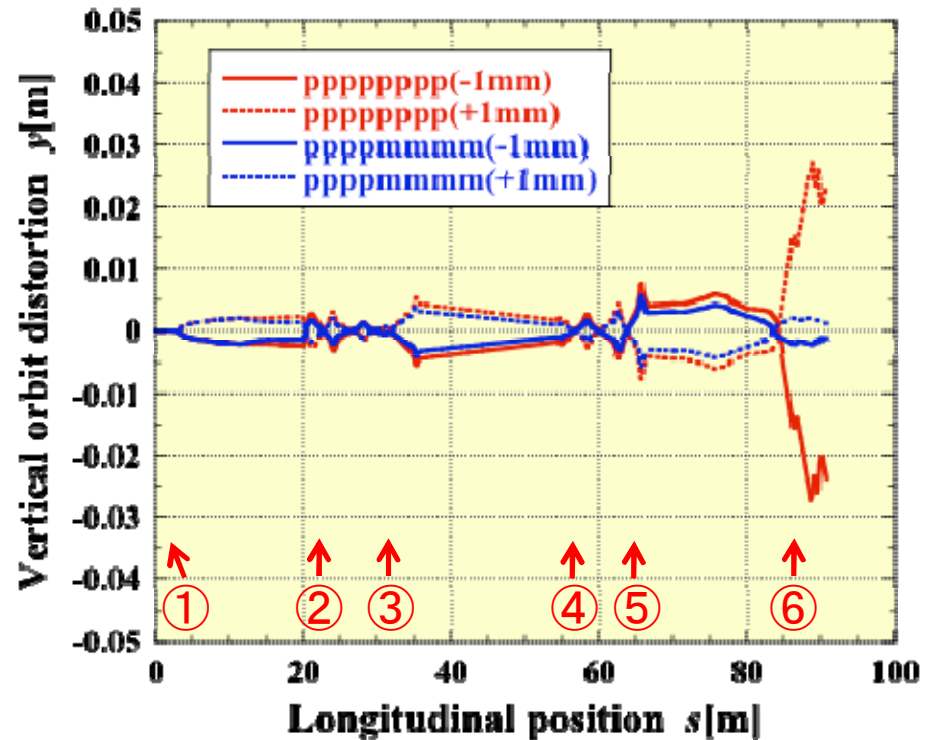
大電流モード(1)

中心軌道の歪み

水平設置誤差±1mm(空洞#1-#8)



垂直設置誤差±1mm(空洞#1-#8)

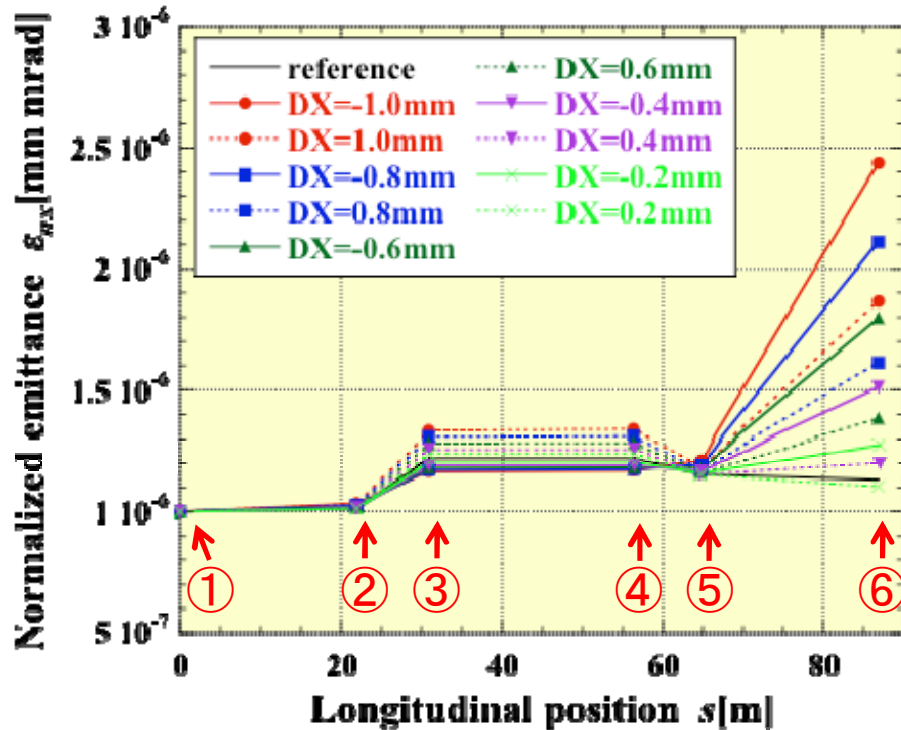


- ・ 主加速空洞の設置誤差のために、空洞の収束力による軌道歪みが生じる。
- ・ ビーム損失を避けるために、特に減速後の軌道補正が不可欠になる。

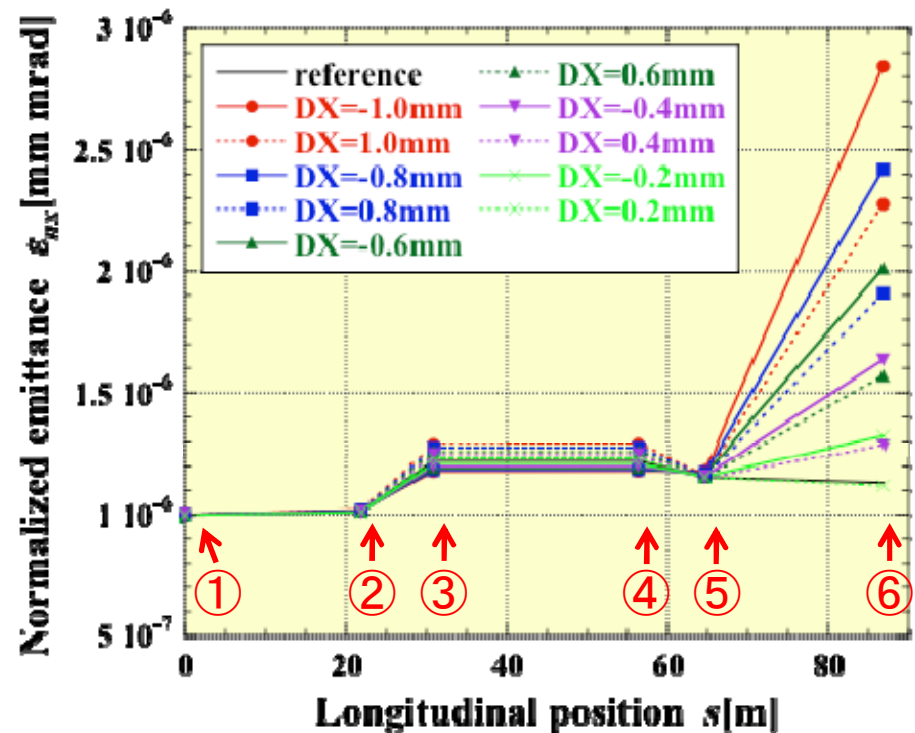
大電流モード(2)

規格化(有効)エミッタンスの増大

空洞#1-#8の水平設置誤差
(8空洞とも同方向の場合: pppppppp)



空洞#1-#8の水平設置誤差
(4空洞毎に方向が異なる場合: ppppmmmm)



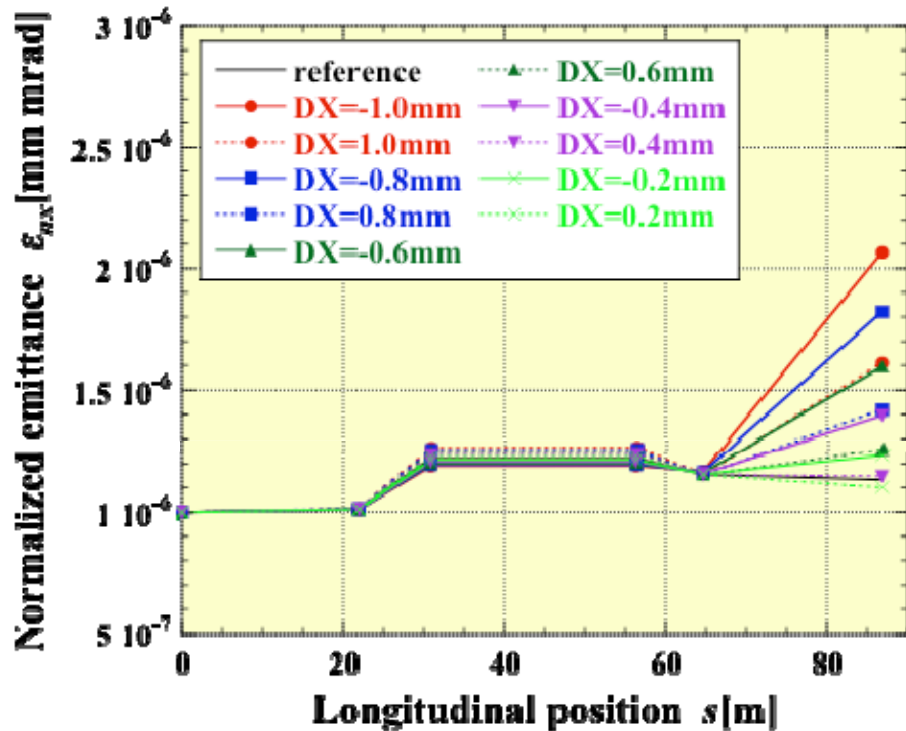
- ・ 誤差無しと比較して、直線部(③④間)で最大10%のエミッタンス増大となる。
- ・ 減速後の増大が顕著であるが、ビームサイズはアパーチャよりは十分に小さい。

大電流モード(3)

規格化(有効)エミッタンスの増大

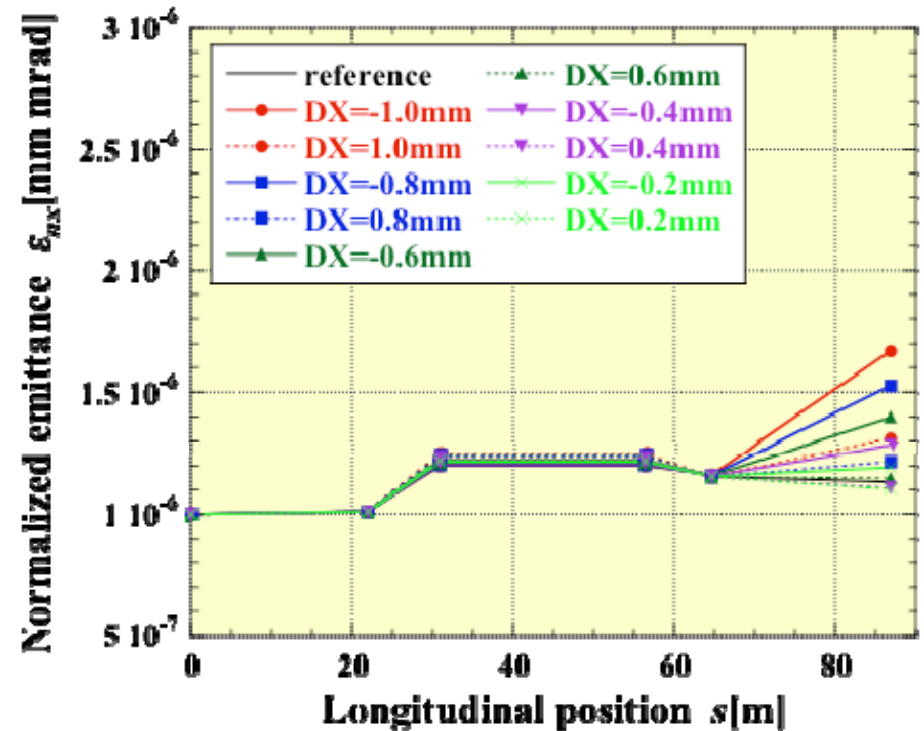
空洞#1-#8の水平設置誤差

(2空洞毎に方向が異なる場合: ppmppmm)



空洞#1-#8の水平設置誤差

(1空洞毎に方向が異なる場合: pmpmpmpm)

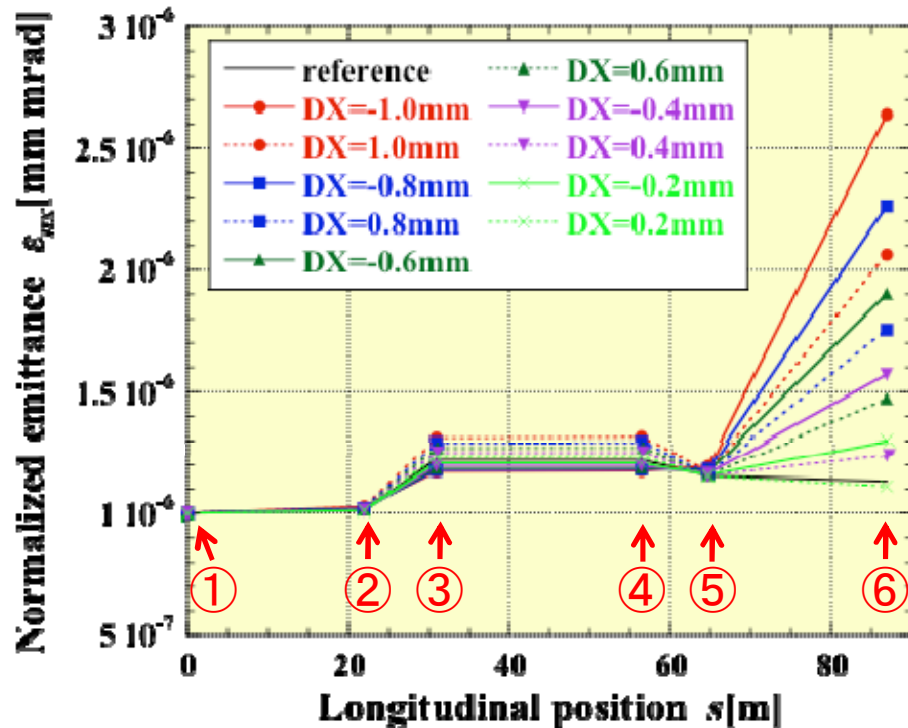


- ・ 空洞毎の水平設置誤差の方向が異なると影響が小さくなる。

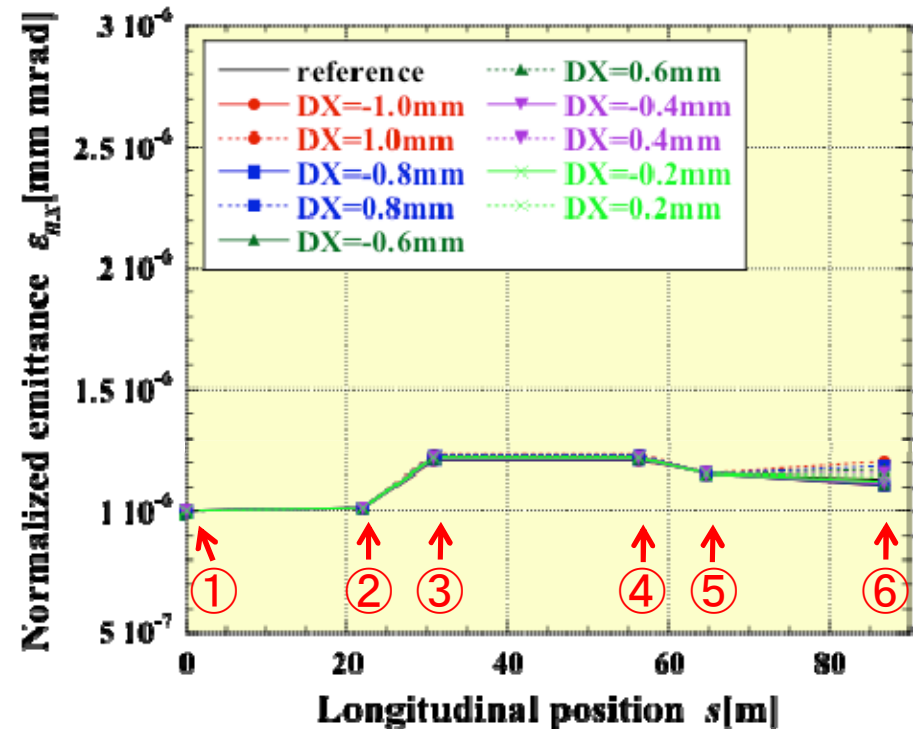
大電流モード(4)

規格化(有効)エミッタンスの増大

空洞#1-#4の水平設置誤差
(4空洞とも同方向の場合: pppp)



空洞#5-#8の水平設置誤差
(4空洞とも同方向の場合: pppp)

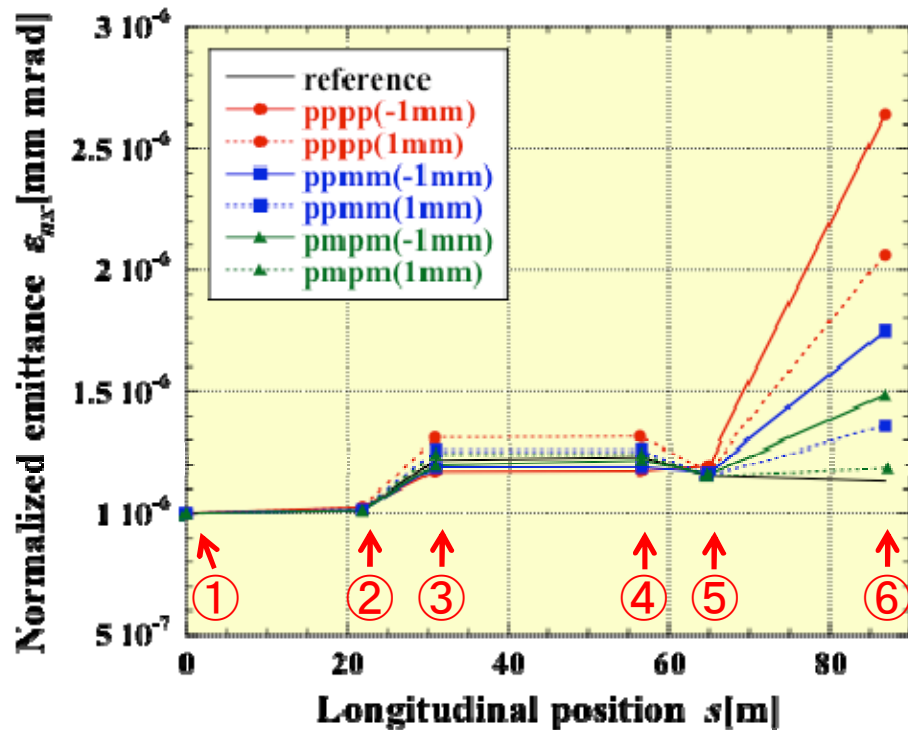


- ・ 空洞#1-#4の水平設置誤差の影響は、空洞#5-#8よりも大きい。
- ・ 空洞#1-#4の水平誤差で、直線部(③④間)で最大8%のエミッタンス増大となる。

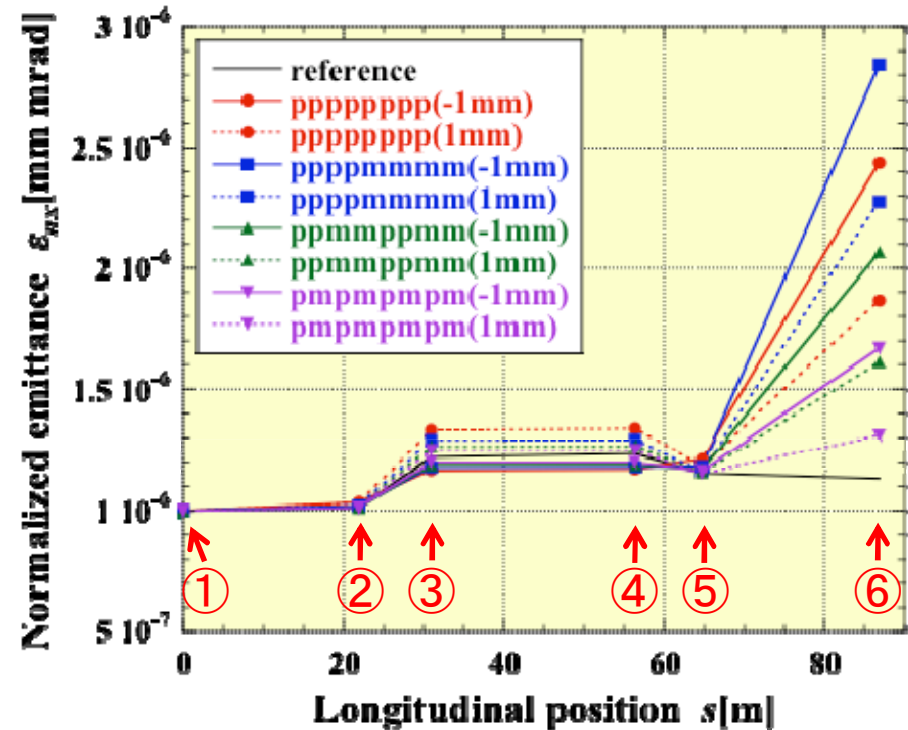
大電流モード(5)

規格化(有効)エミッタンスの増大

空洞#1-#4の水平設置誤差±1mm
(誤差パターンの比較)



空洞#1-#8の水平設置誤差±1mm
(誤差パターンの比較)

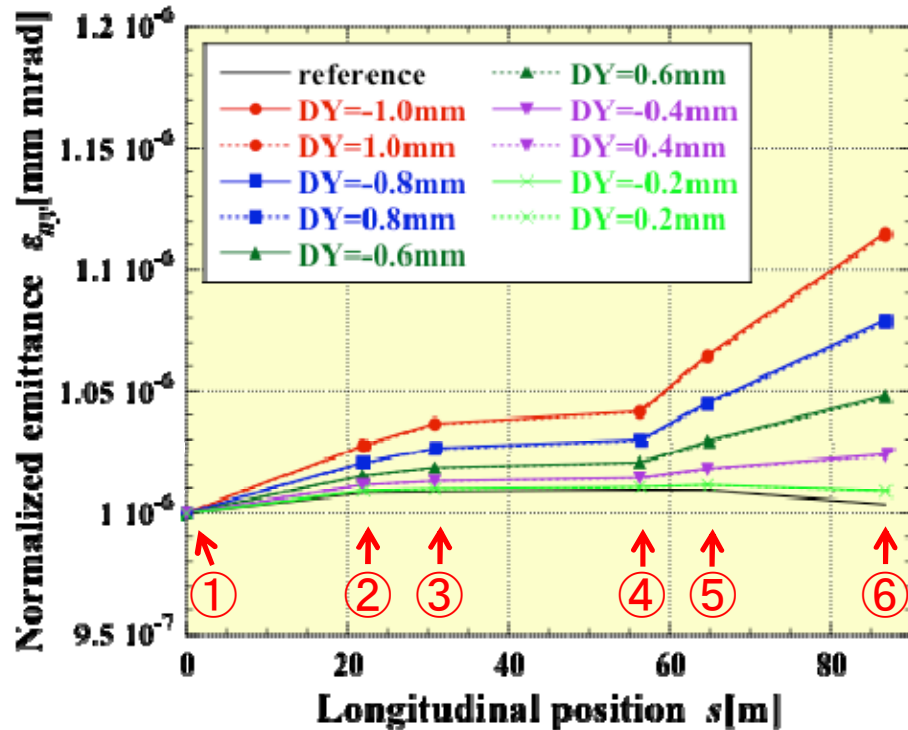


- ・ 全空洞の誤差が+1mmの場合に、直線部(③④間)のエミッタンス増大が最大になる。
- ・ 水平設置誤差の場合、その符号によって影響が異なる。

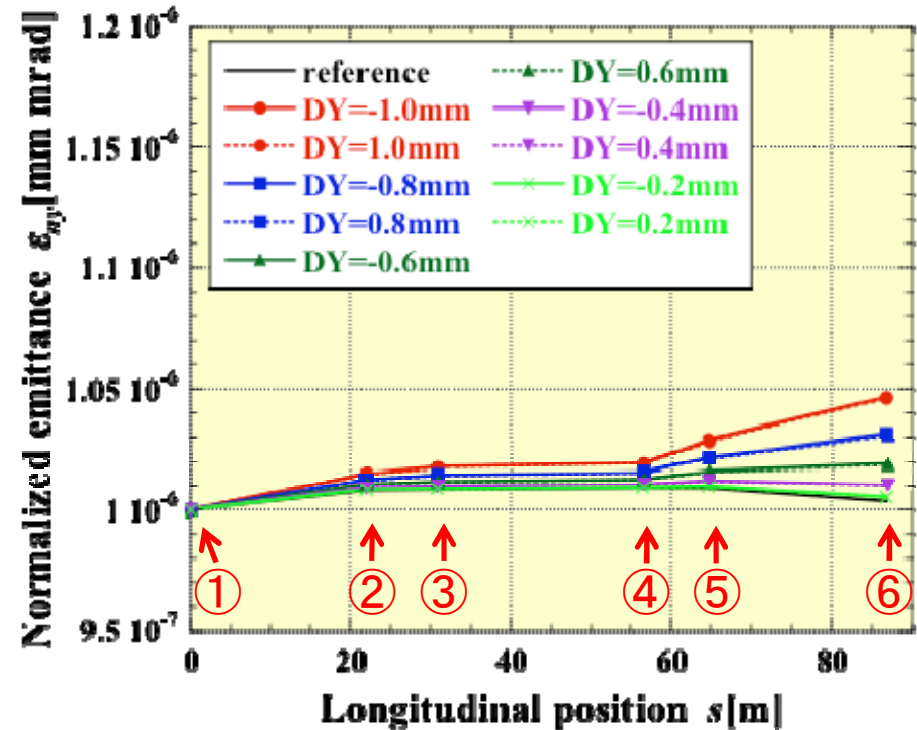
大電流モード(6)

規格化(有効)エミッタンスの増大

空洞#1-#8の垂直設置誤差
(8空洞とも同方向の場合: pppppppp)



空洞#1-#8の垂直設置誤差
(4空洞毎に方向が異なる場合: ppppmmmm)

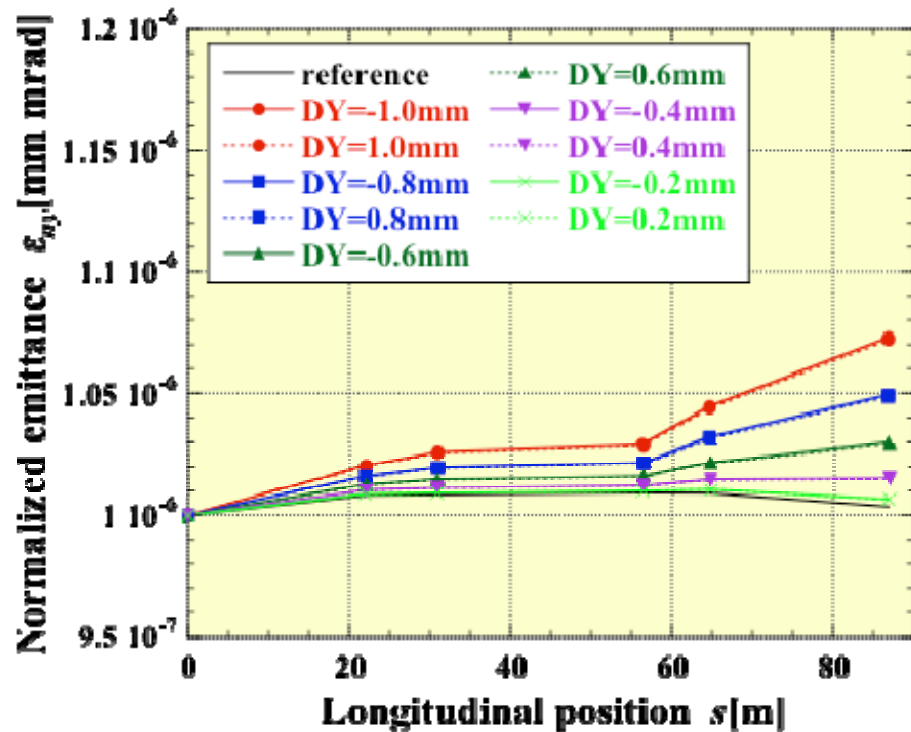


- ・ エミッタンス増大は直線部(③④間)で最大3%である。
- ・ 減速後のエミッタンス増大も大きな問題にはならない。

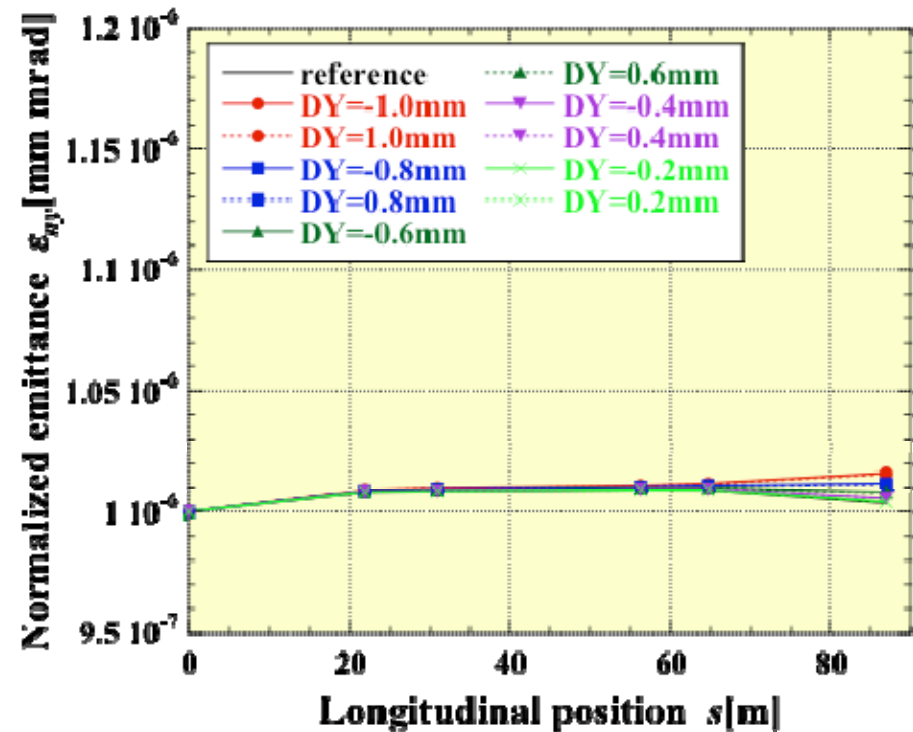
大電流モード(7)

規格化(有効)エミッタンスの増大

空洞#1-#4の垂直設置誤差
(4空洞とも同方向の場合: pppp)



空洞#5-#8の垂直設置誤差
(4空洞とも同方向の場合: pppp)

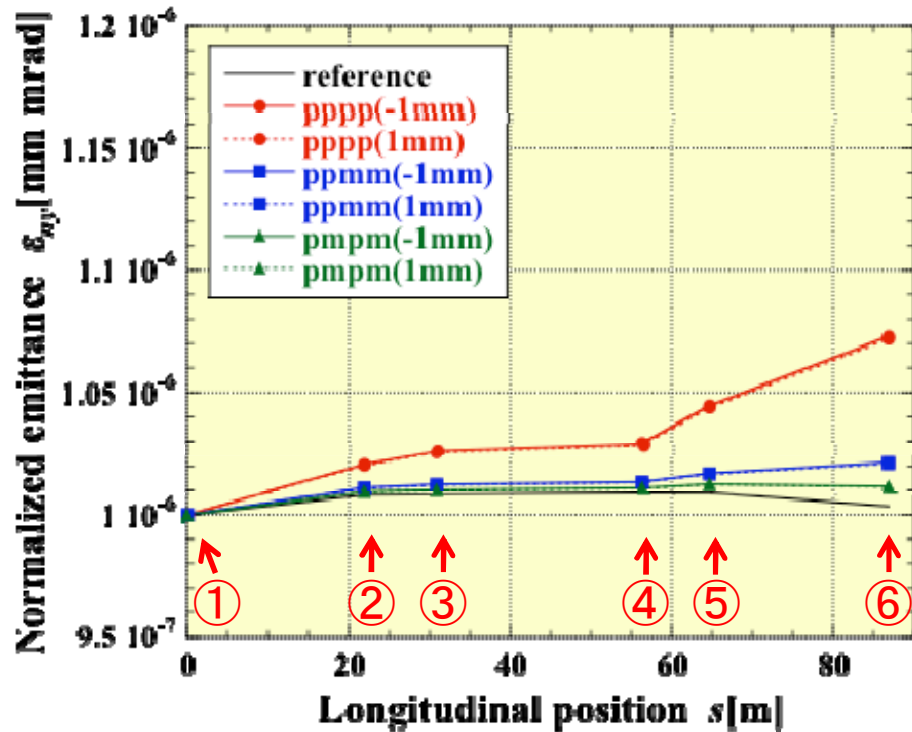


- ・ 空洞#1-#4の垂直設置誤差の影響は、空洞#5-#8よりも大きい。

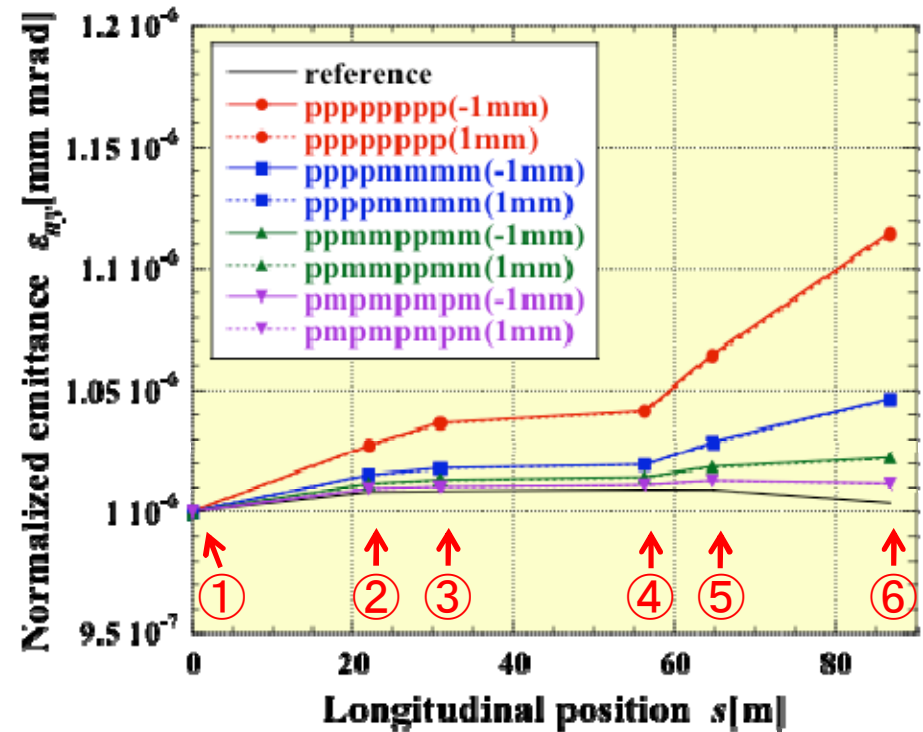
大電流モード(8)

規格化(有効)エミッタンスの増大

空洞#1-#4の垂直設置誤差±1mm
(誤差パターンの比較)



空洞#1-#8の垂直設置誤差±1mm
(誤差パターンの比較)

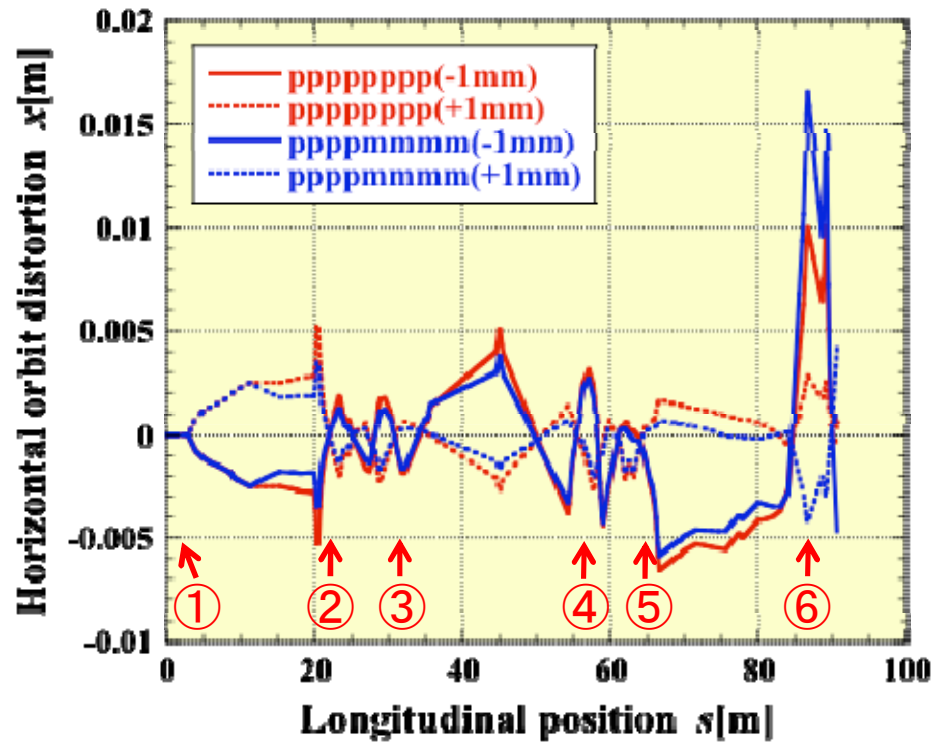


- ・ 垂直設置誤差の場合、その符号によらず影響は同じになる。
- ・ 空洞毎の設置誤差の方向が異なると影響が小さくなる。

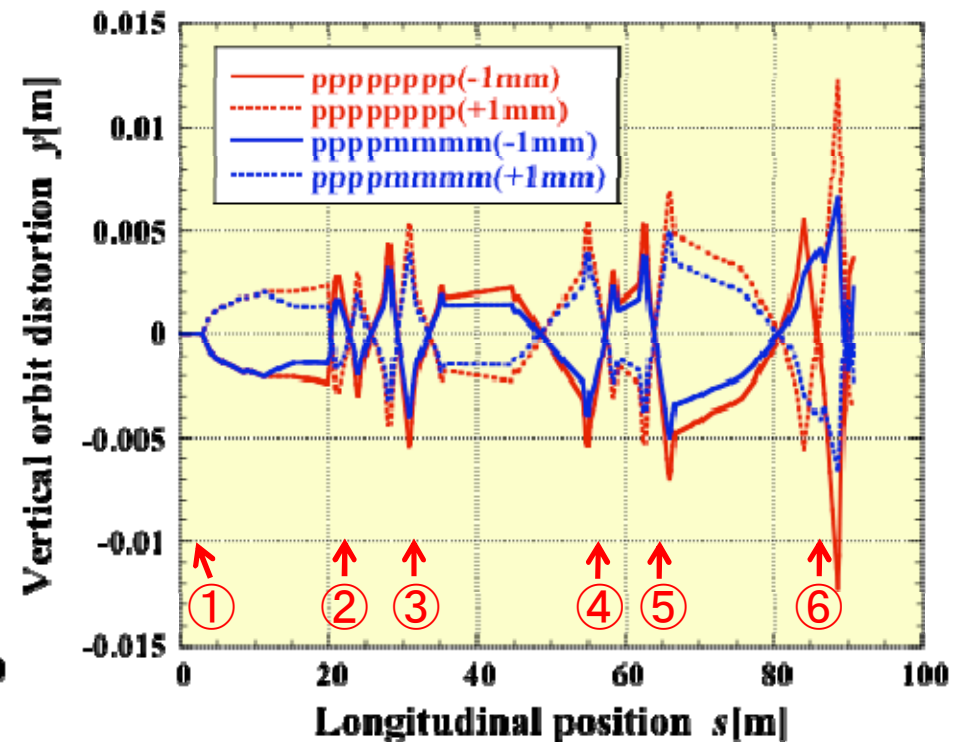
バンチ圧縮モード(1)

中心軌道の歪み

水平設置誤差±1mm(空洞#1-#8)



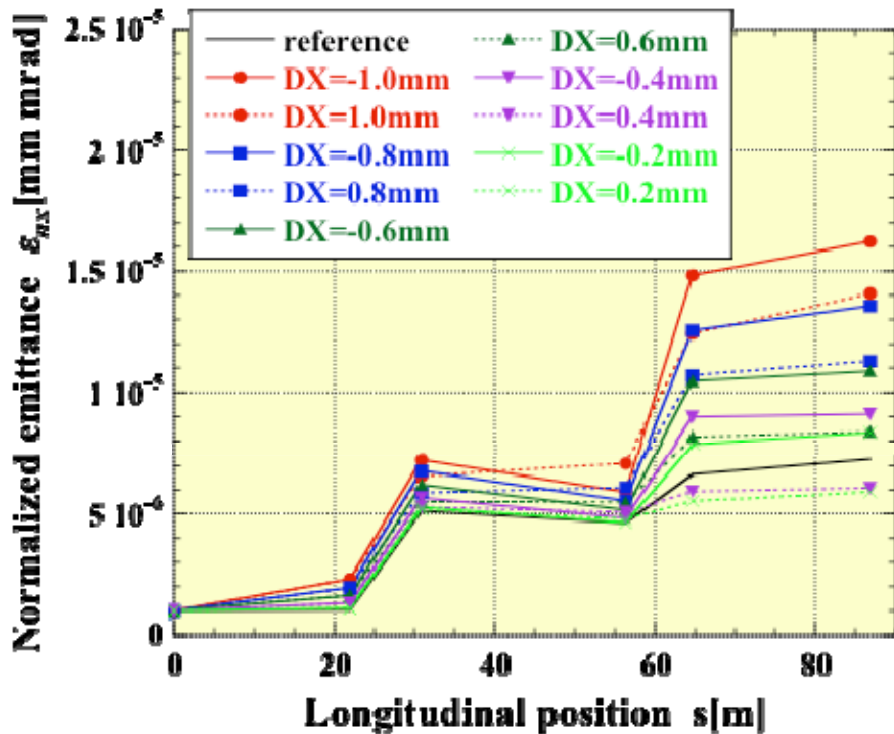
垂直設置誤差±1mm(空洞#1-#8)



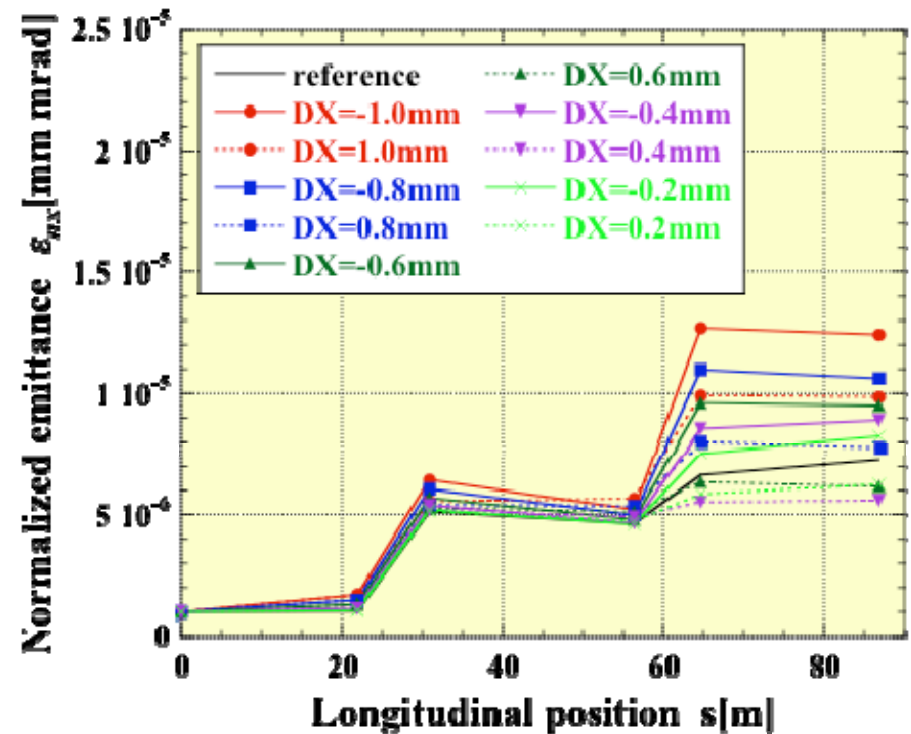
バンチ圧縮モード(2)

規格化(有効)エミッタンスの増大

空洞#1-#8の水平設置誤差
(8空洞とも同方向の場合: pppppppp)



空洞#1-#8の水平設置誤差
(4空洞毎に異なる場合: ppppmmmm)

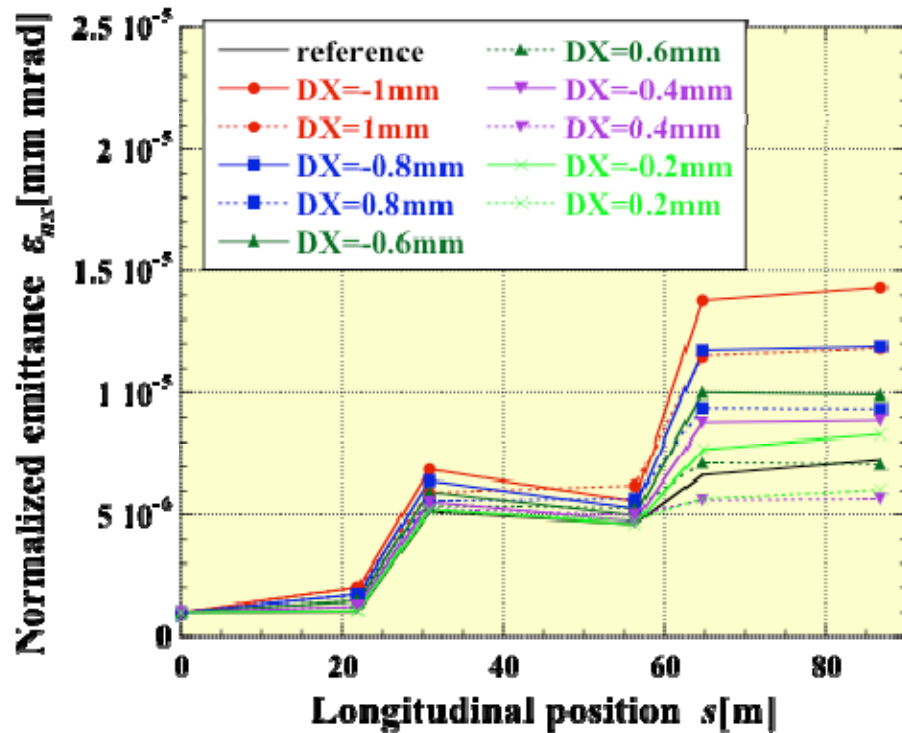


- 直線部(③④間)と減速後で、それぞれ最大で53%と2.2倍のエミッタンス増大である。

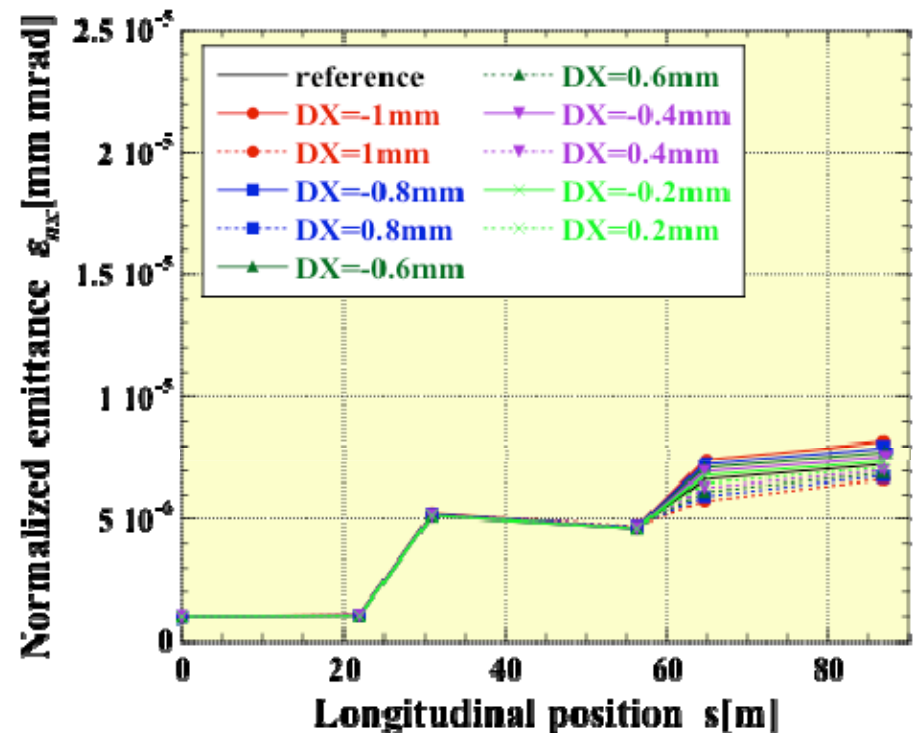
バンチ圧縮モード(3)

規格化(有効)エミッタンスの増大

空洞#1-#4の水平設置誤差
(4空洞とも同方向の場合: pppp)



空洞#5-#8の水平設置誤差
(4空洞とも同方向の場合: pppp)

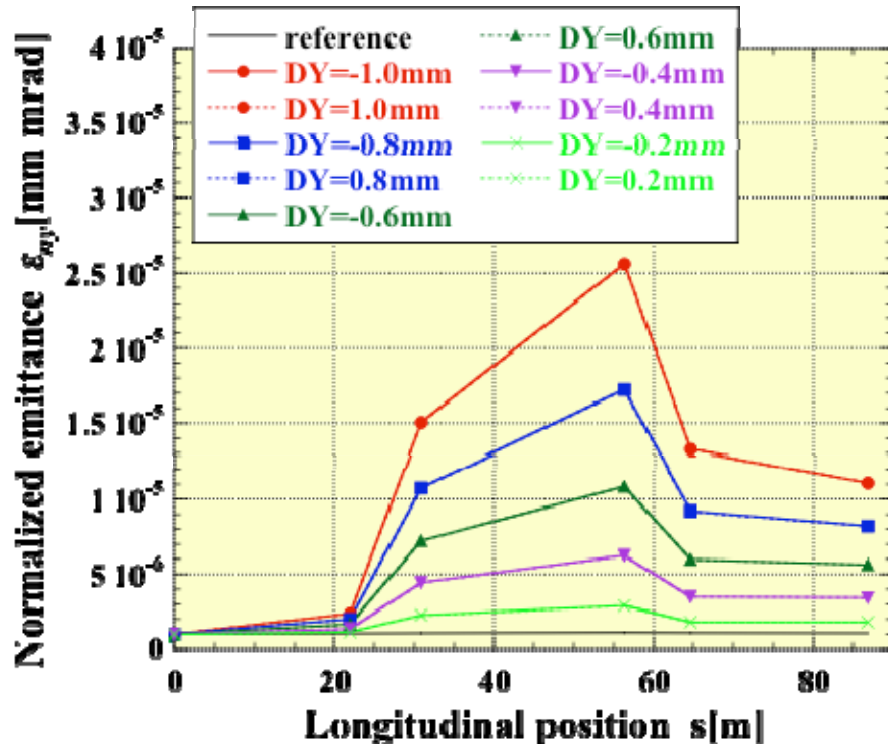


- ・ 空洞#1-#4の水平設置誤差の影響が空洞#5-#8よりも大きい。

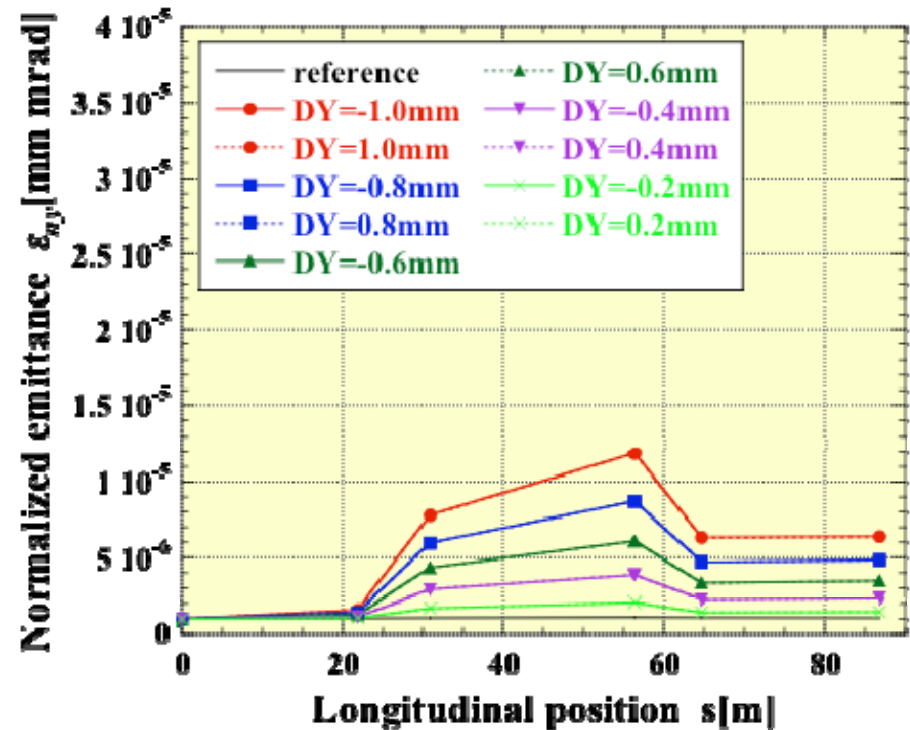
バンチ圧縮モード(4)

規格化(有効)エミッタンスの増大

空洞#1-#8の垂直設置誤差
(8空洞とも同方向の場合: pppppppp)



空洞#1-#8の垂直設置誤差
(4空洞毎に異なる場合: ppppmmmm)

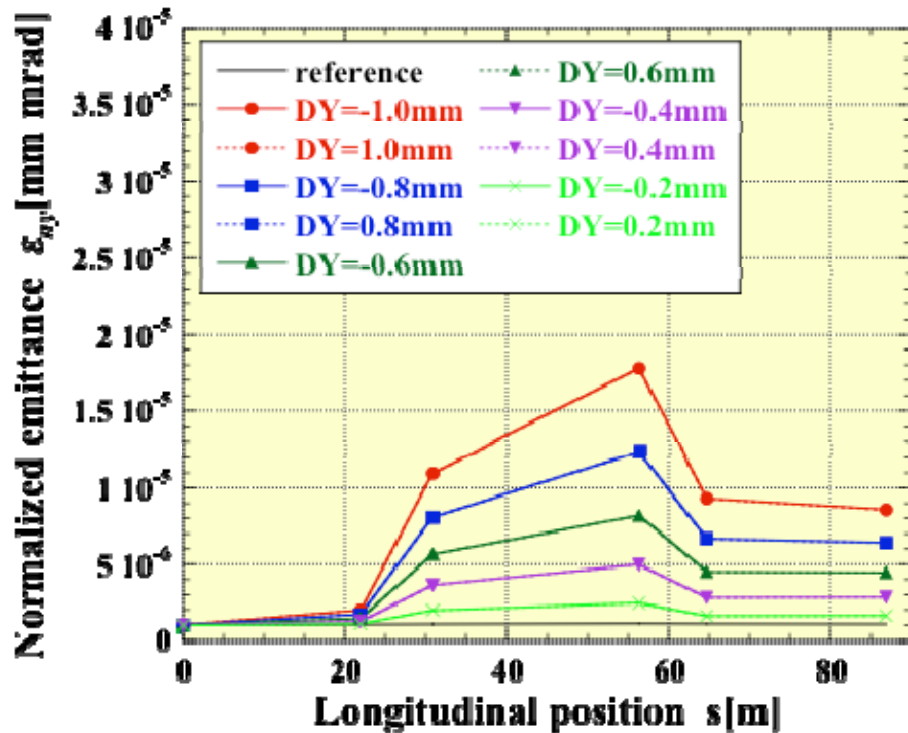


- ・ 直線部(③④間)のエミッタンス増大は、誤差無しと比較して最大20倍以上になる。
- ・ 減速後のエミッタンス増大(水平垂直共)は、ビーム損失につながる。

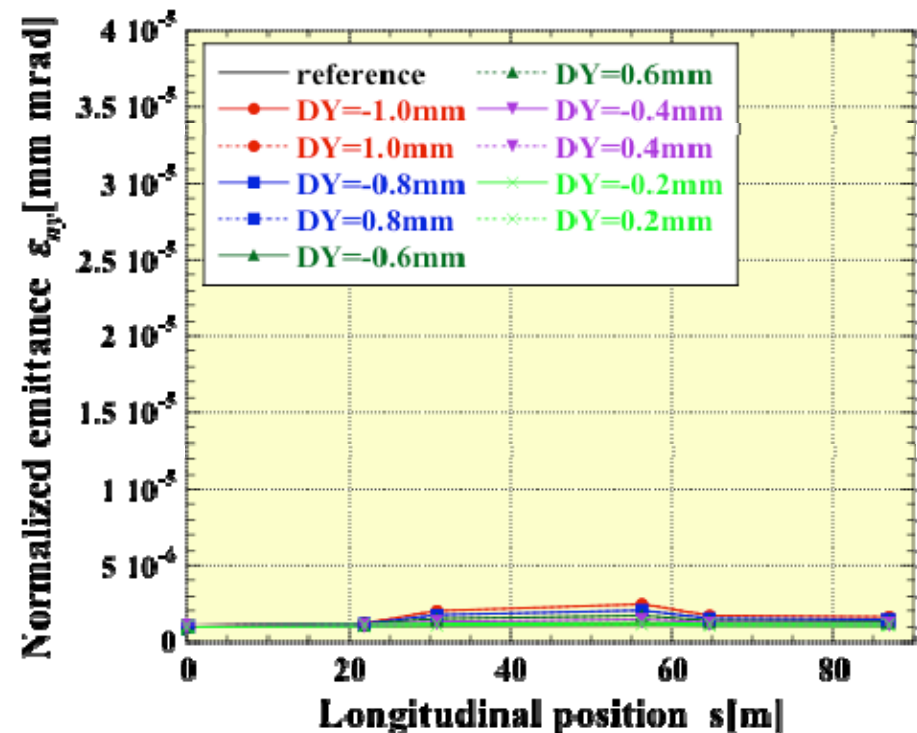
バンチ圧縮モード(5)

規格化(有効)エミッタンスの増大

空洞#1-#4の垂直設置誤差
(4空洞とも同方向の場合: pppp)



空洞#5-#8の垂直設置誤差
(4空洞とも同方向の場合: pppp)

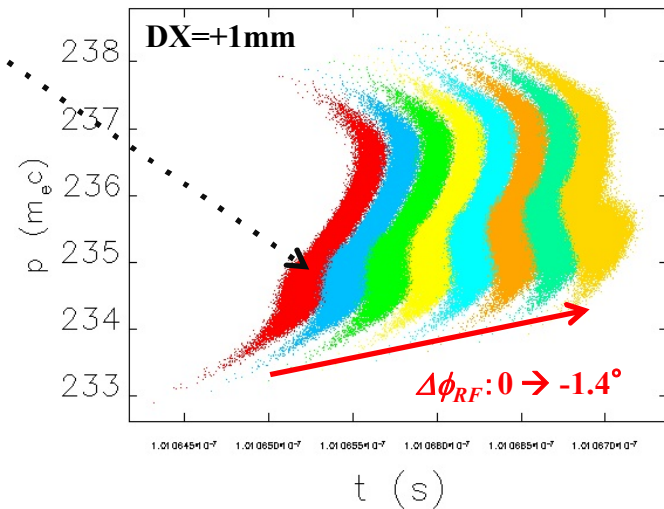
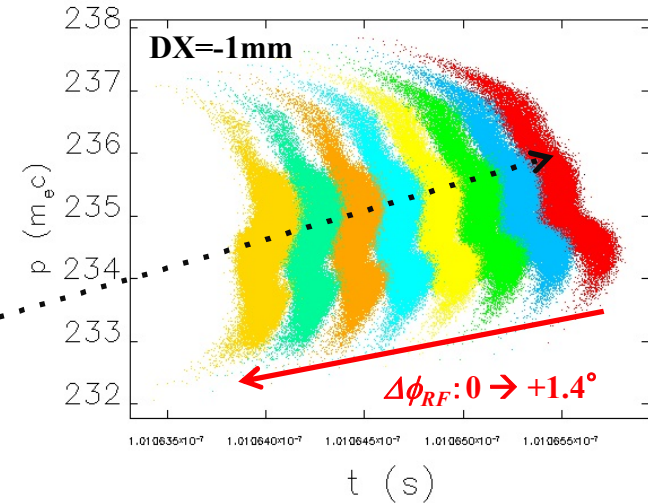
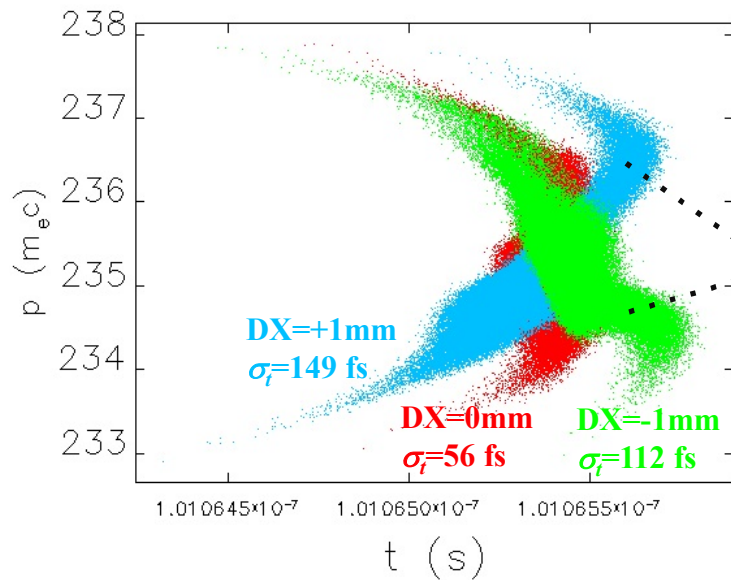


- ・ 空洞#1-#4の垂直設置誤差の影響は、空洞#5-#8よりも各段に大きい。

バンチ圧縮モード(5)

バンチ長への影響(主空洞水平設置誤差)

全て同じ方向の設置誤差(空洞#1-#8)

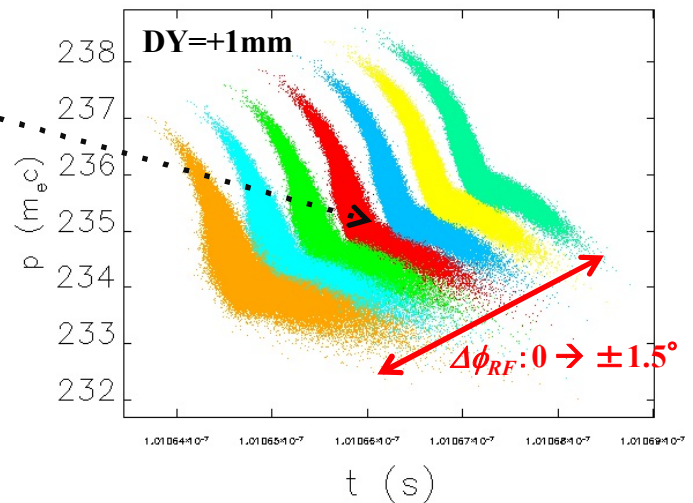
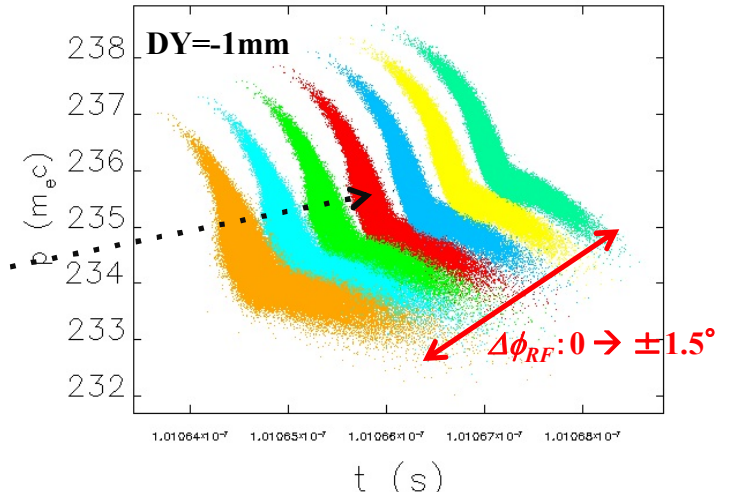
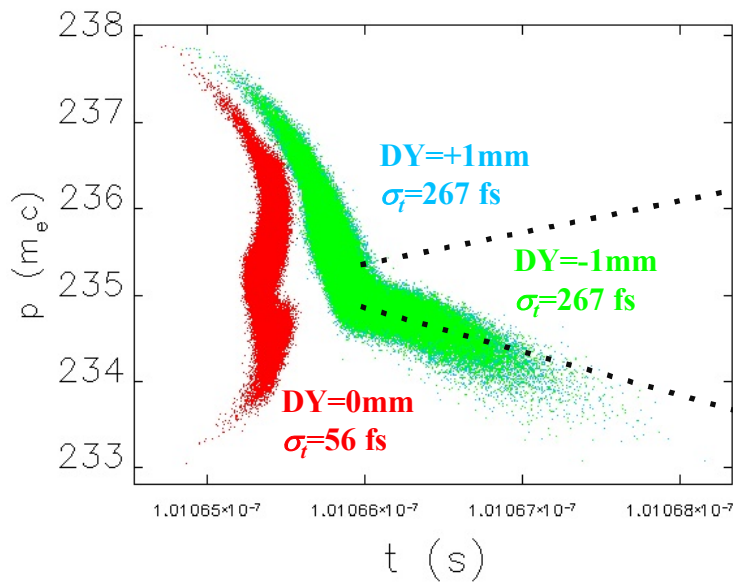


水平設置誤差によるバンチ長増大が生じるが、RF加速位相の調整で対応可能である。

バンチ圧縮モード(6)

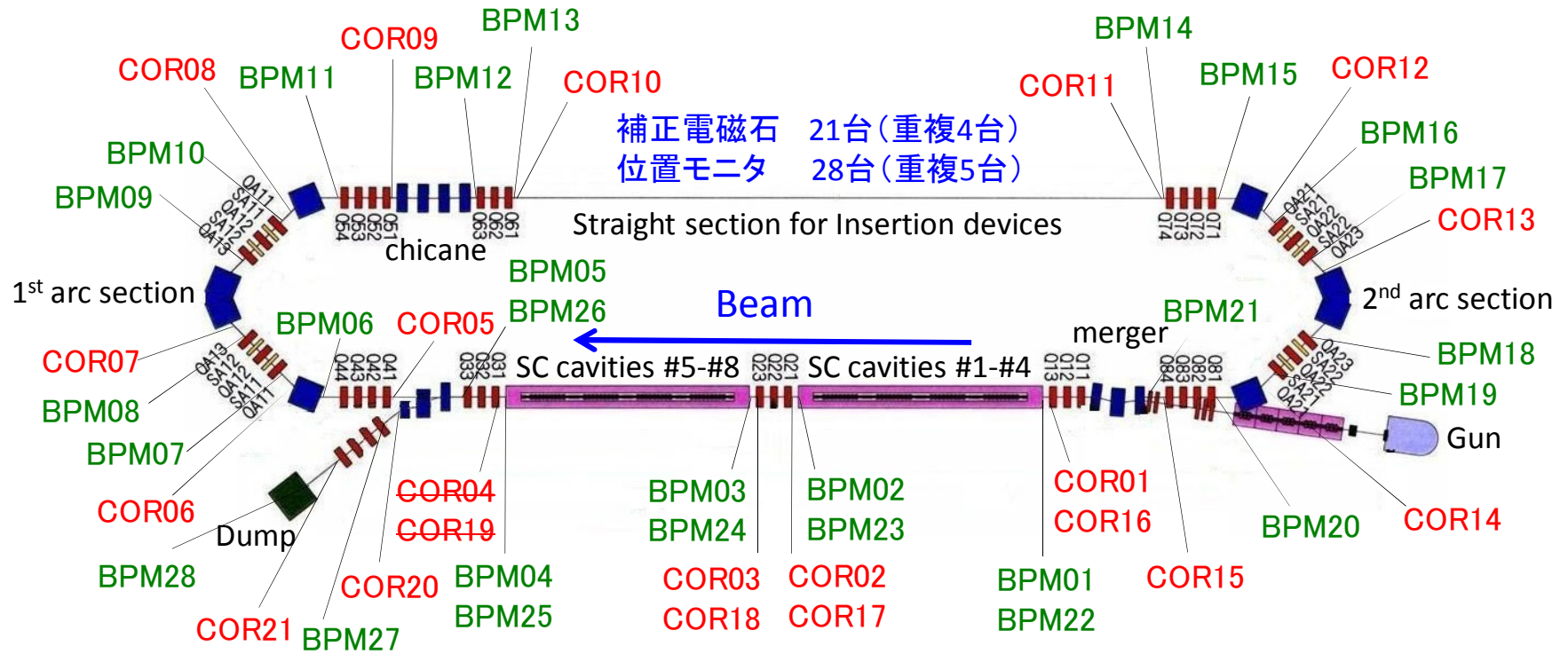
バンチ長への影響(主空洞垂直設置誤差)

全て同じ方向の設置誤差(空洞#1-#8)



垂直設置誤差によるバンチ長の増大は、RF加速位相の調整では対応できない。

軌道補正システム



今回使用した軌道補正システムの配置・構成

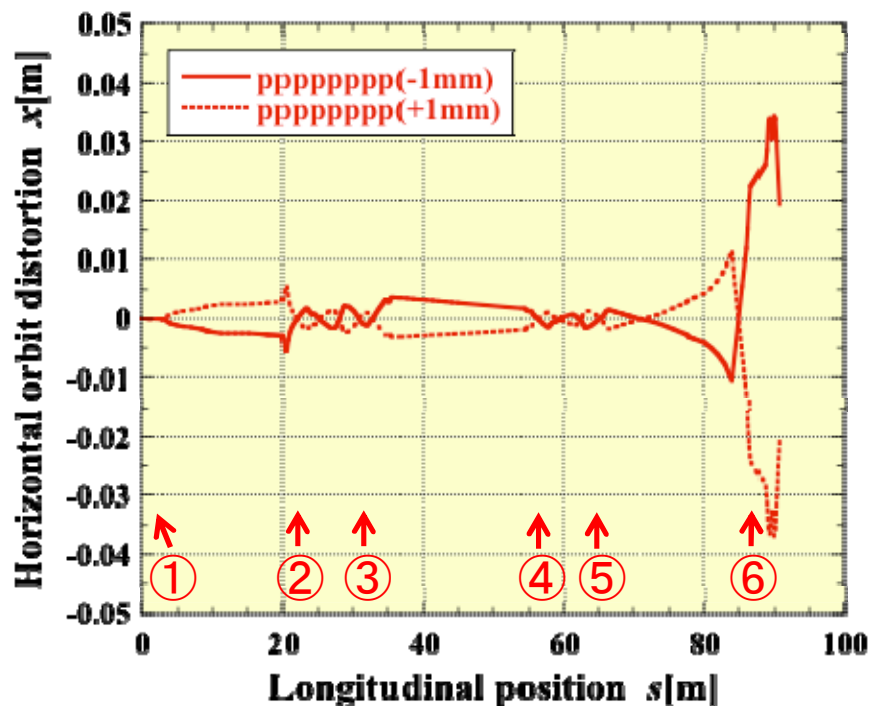
- ・ 軌道補正では、ビーム品質の改善とビーム損失回避が重要になる。
- ・ 複数周回する直線部では、補正電磁石の重複が起こる。

大電流モードの軌道補正(1)

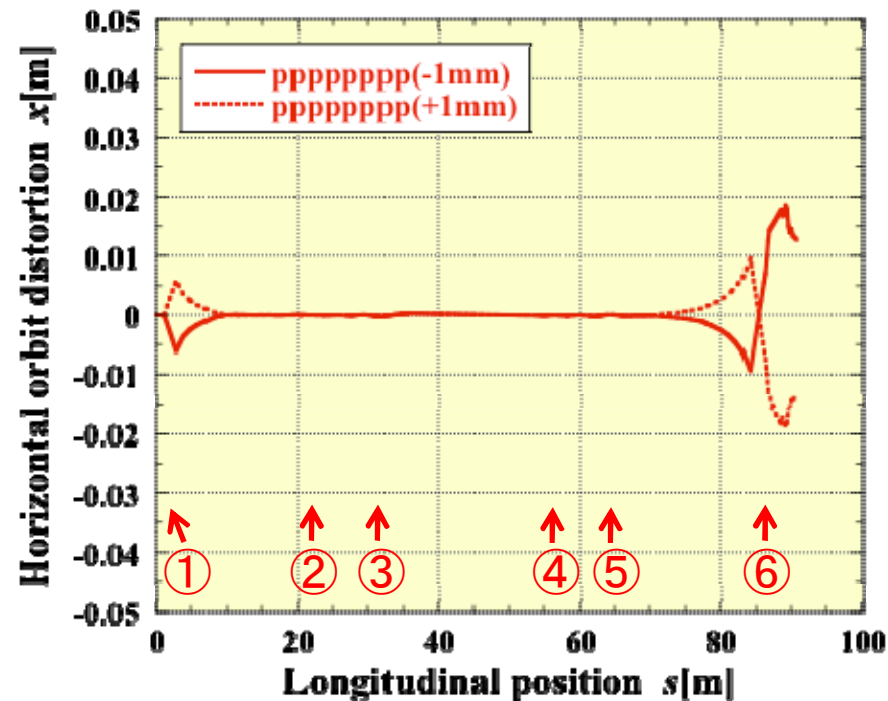
軌道歪みの改善(大電流モード)

空洞#1-#8の水平設置誤差±1mm(8空洞とも同方向:pppppppp)

軌道補正前



軌道補正後



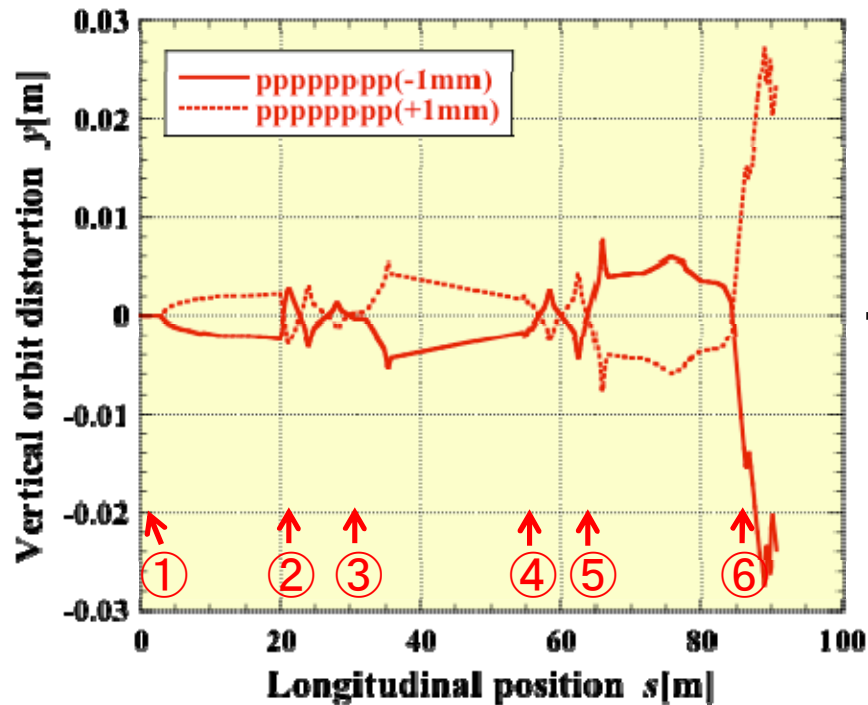
- ・ 軌道補正によって減速前の軌道歪みは小さくなった(減速後は十分ではない)。

大電流モードの軌道補正(2)

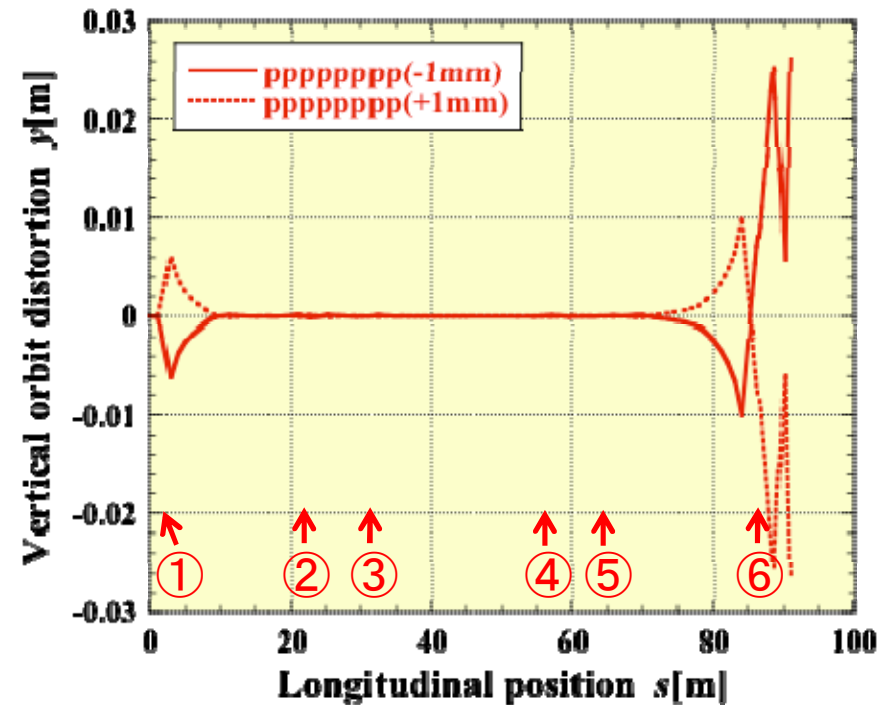
軌道歪みの改善(大電流モード)

空洞#1-#8の垂直設置誤差±1mm(8空洞とも同方向:pppppppp)

軌道補正前



軌道補正後

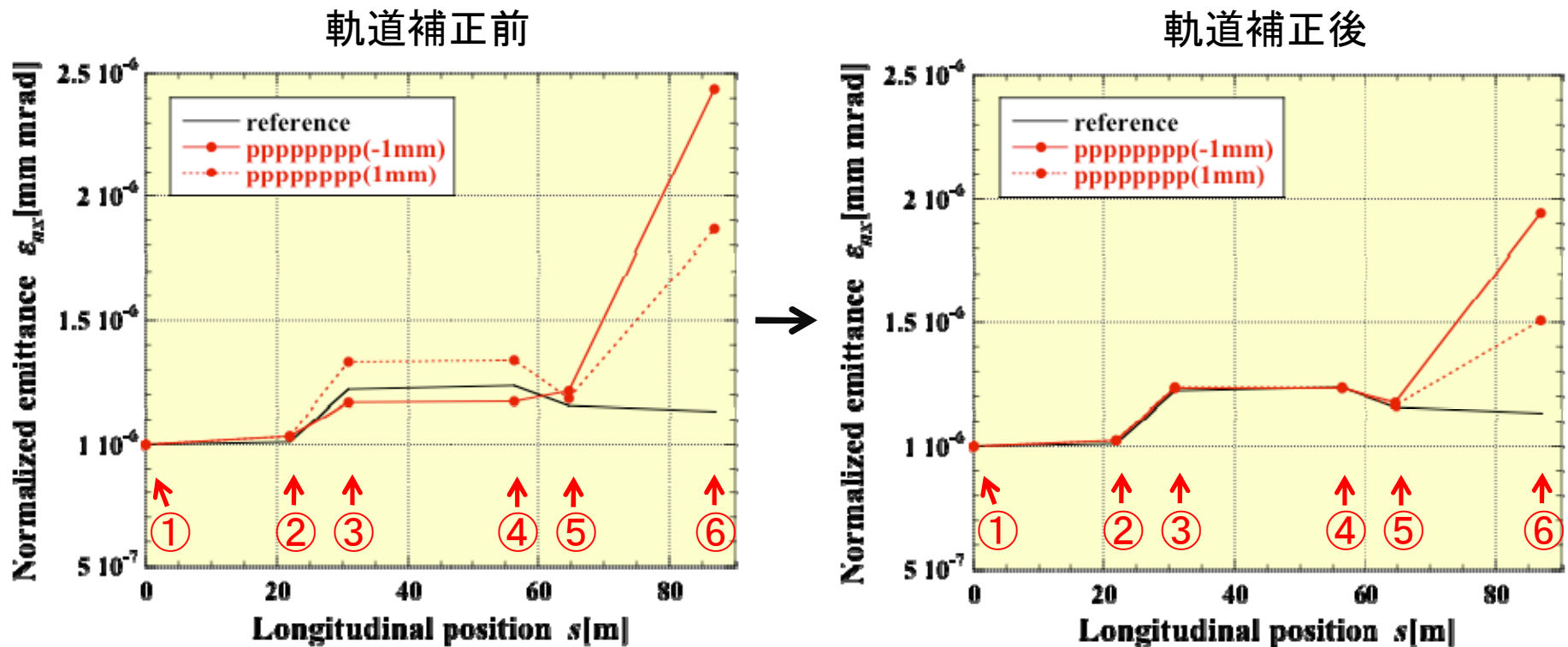


- ・ 軌道補正によって減速前の軌道歪みは小さくなった(減速後は十分ではない)。

大電流モードの軌道補正効果(1)

規格化エミッタンスの改善(大電流モード)

空洞#1-#8の水平設置誤差±1mm(8空洞とも同方向:pppppppp)



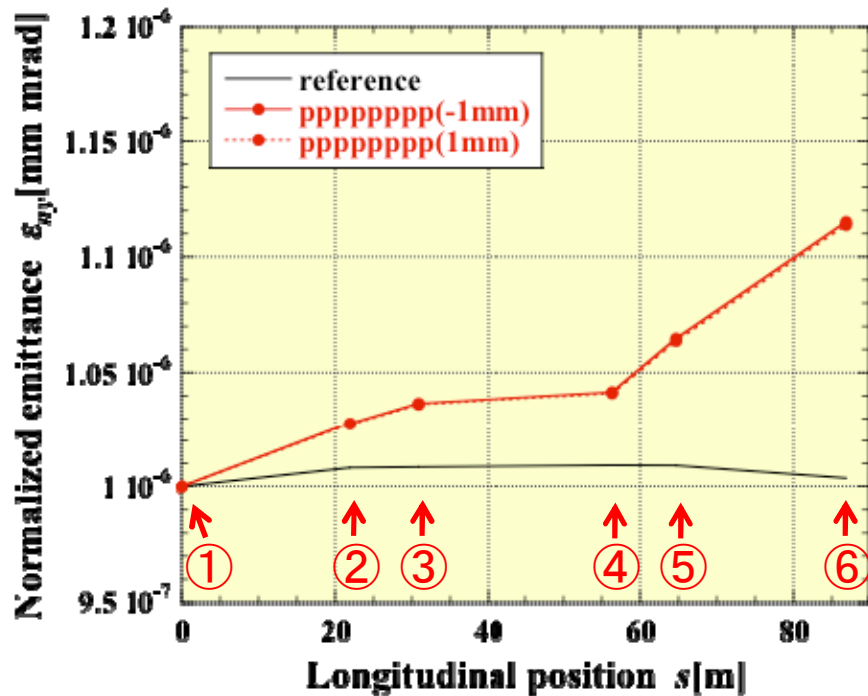
- ・ 軌道補正によって水平エミッタンスの変化は誤差無しの場合に近づく。

大電流モードの軌道補正効果(2)

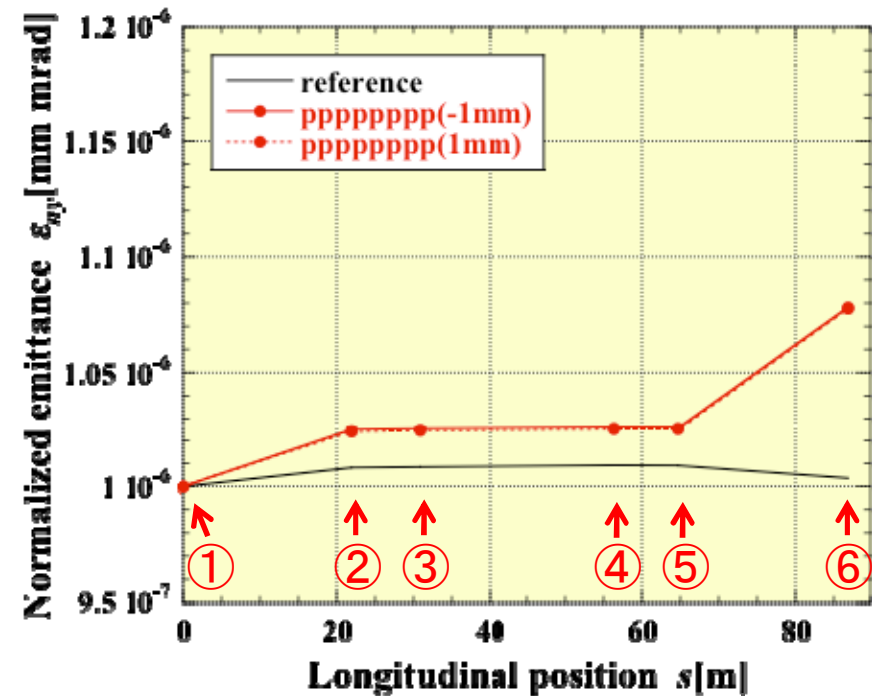
規格化エミッタンスの改善(大電流モード)

空洞#1-#8の垂直設置誤差±1mm(8空洞とも同方向:pppppppp)

軌道補正前



軌道補正後



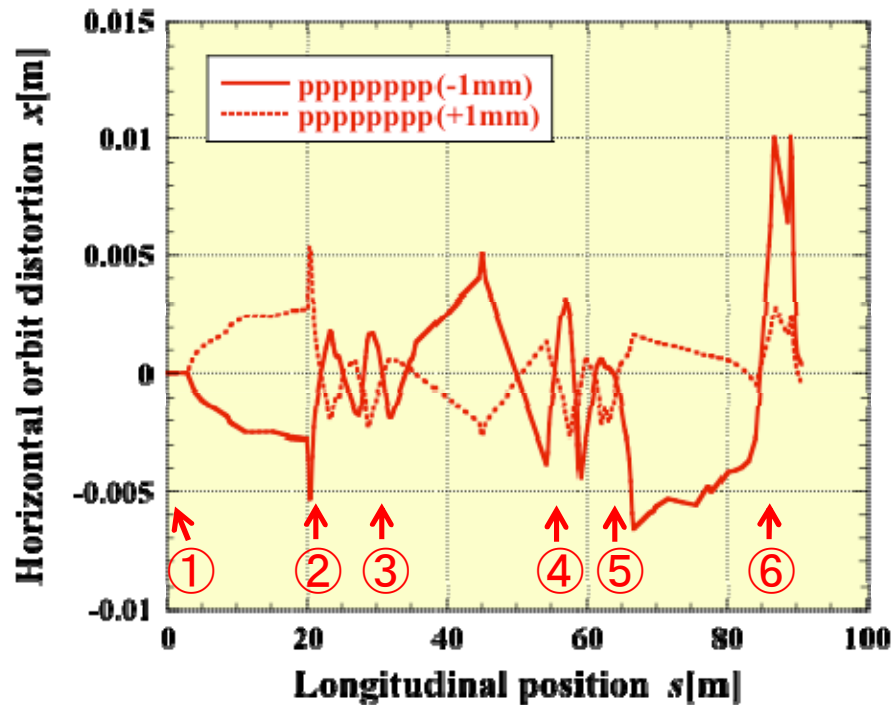
・軌道補正によって、垂直設置誤差によるエミッタンスの増大は減少する。

バンチ圧縮モードの軌道補正(1)

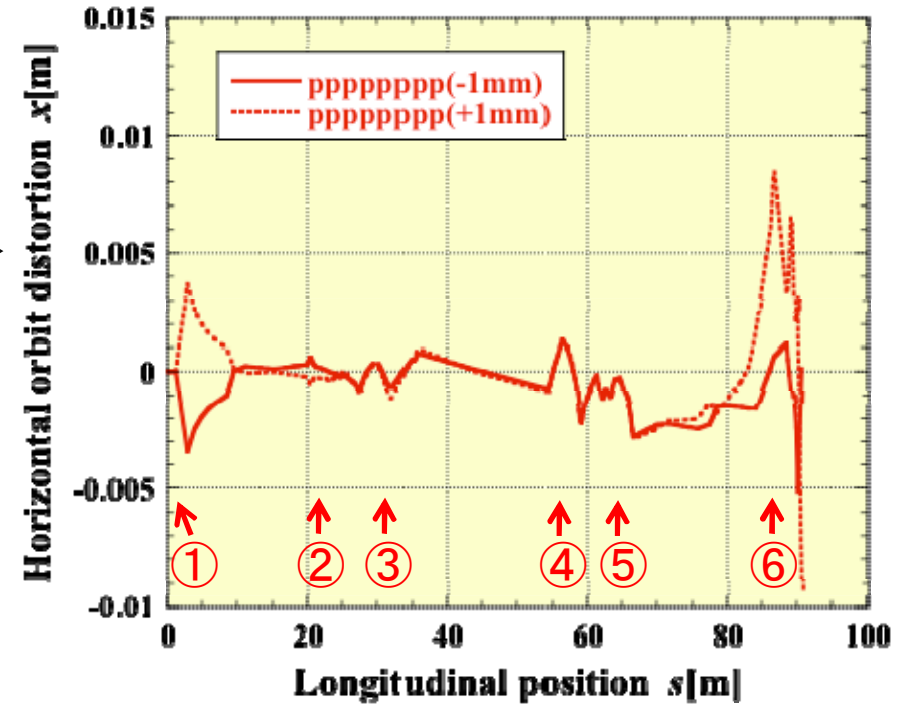
軌道歪みの改善(バンチ圧縮モード)

空洞#1-#8の水平設置誤差±1mm(8空洞とも同方向:pppppppp)

軌道補正前



軌道補正後

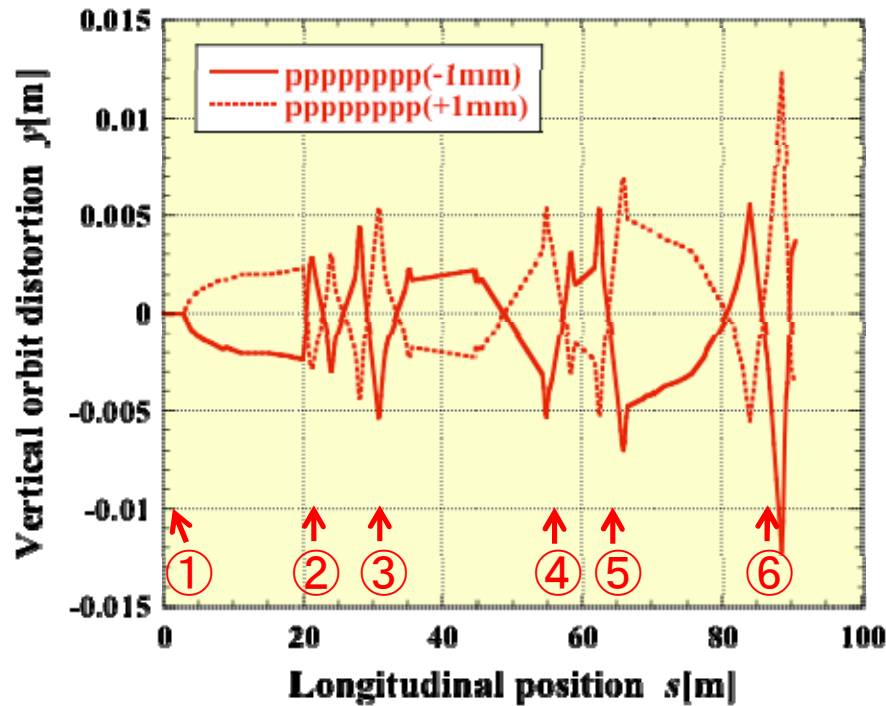


バンチ圧縮モードの軌道補正(2)

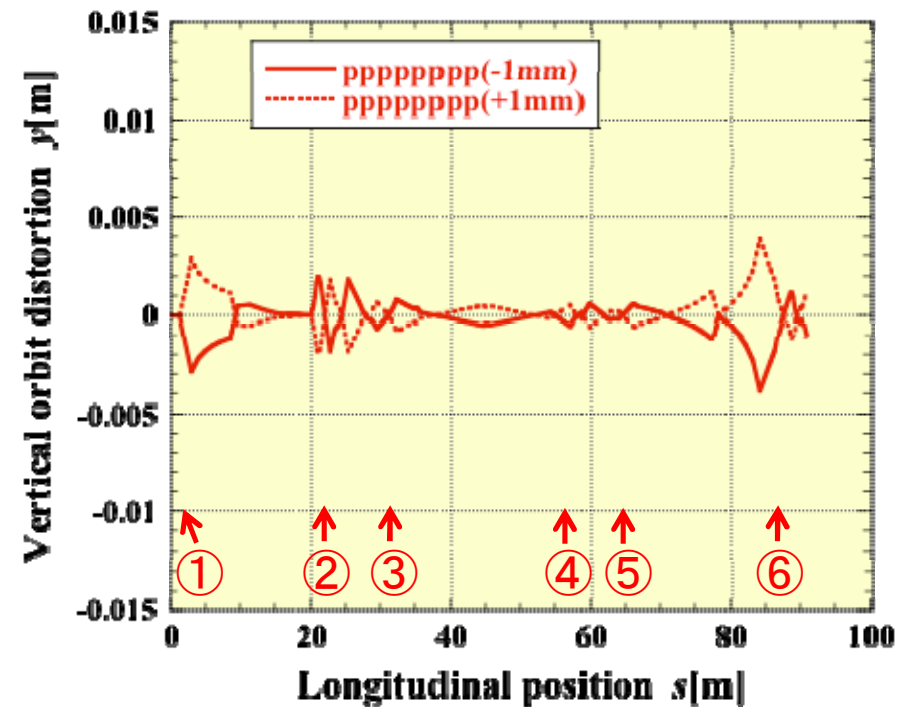
軌道歪みの改善(バンチ圧縮モード)

空洞#1-#8の垂直設置誤差±1mm(8空洞とも同方向:pppppppp)

軌道補正前



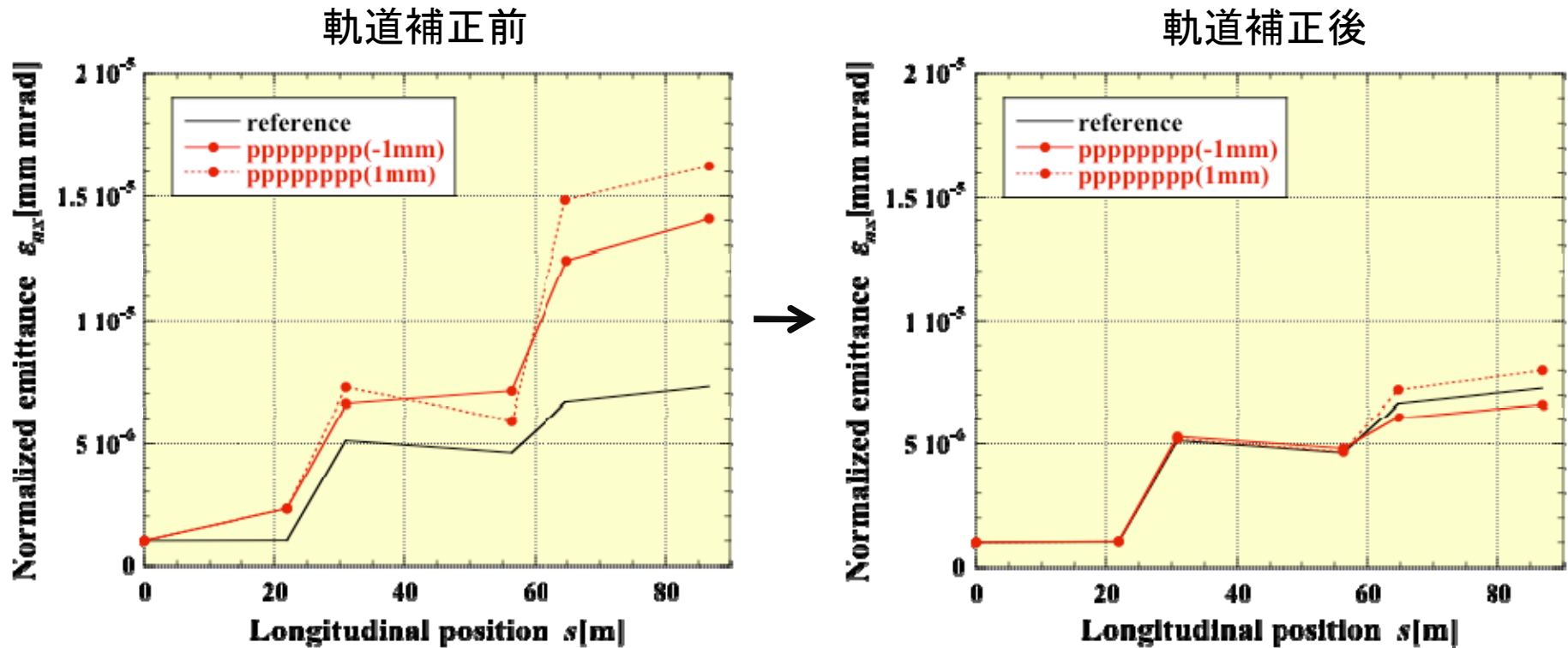
軌道補正後



バンチ圧縮モードの軌道補正効果(1)

規格化エミッタンスの改善(バンチ圧縮モード)

空洞#1-#8の水平設置誤差±1mm(8空洞とも同方向:pppppppp)



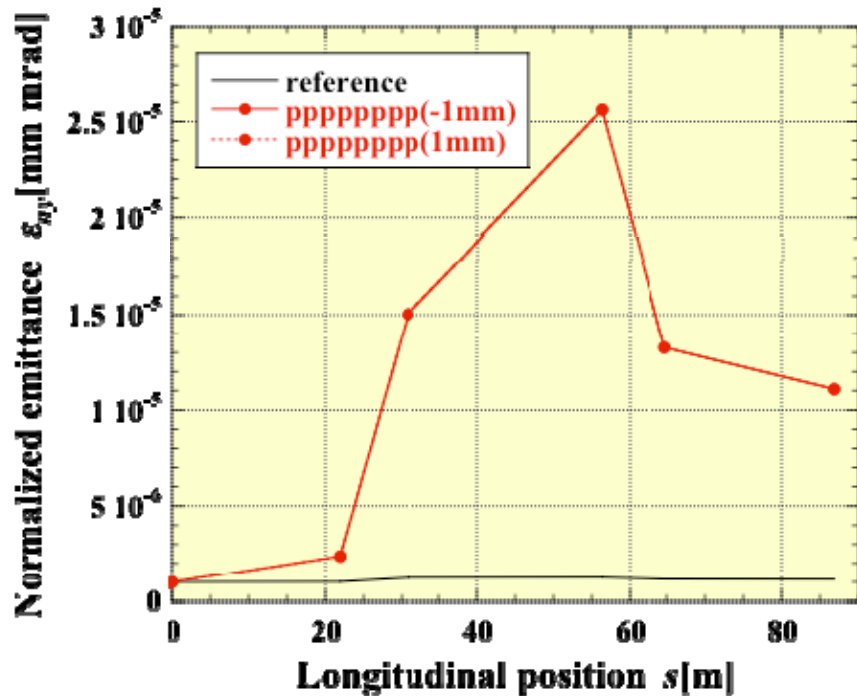
- ・ 水平設置誤差によるエミッタンスの増大は、軌道補正によって抑制できる。

バンチ圧縮モードの軌道補正効果(2)

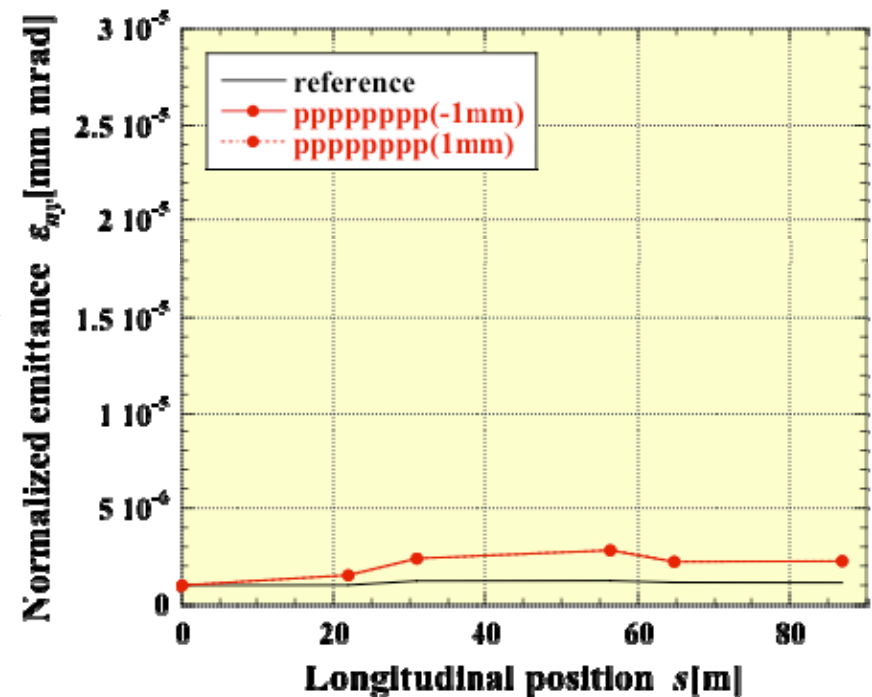
規格化エミッタンスの改善(バンチ圧縮モード)

空洞#1-#8の垂直設置誤差 $\pm 1\text{mm}$ (8空洞とも同方向:pppppppp)

軌道補正前



軌道補正後

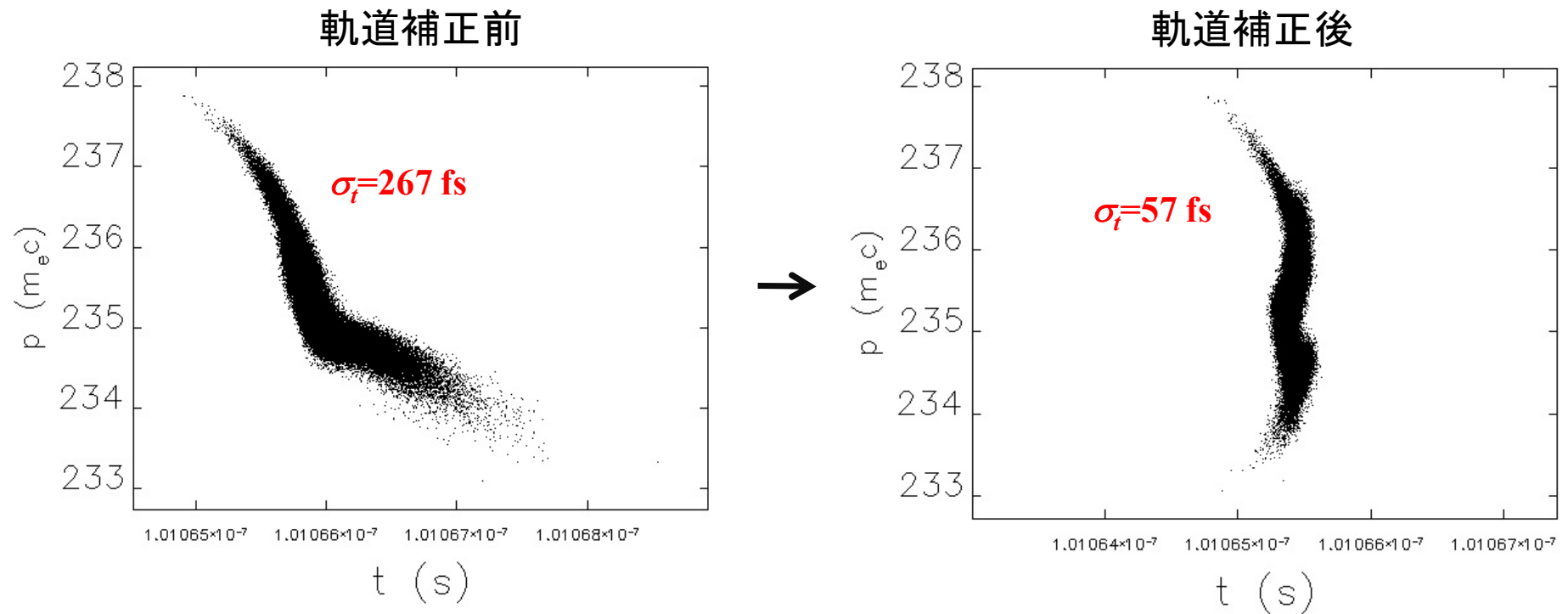


- 垂直設置誤差によるエミッタンスの増大は、軌道補正によって抑制できる。

バンチ圧縮モードの軌道補正効果(3)

バンチ長の改善(バンチ圧縮モード)

全て同方向に1mmの設置誤差(空洞#1-#8)



- ・ 垂直設置誤差-1mm、水平設置誤差±1mmでも、軌道補正でバンチ長が復元する。
- ・ バンチ長の増大は、軌道補正によって補正可能である。

まとめと課題

- 大電流モードでは、主空洞の設置誤差による主な影響は、軌道の歪みとエミッタンスの増大(特に水平方向)である。軌道の歪みが十分に補正できれば、設置誤差1mmでもその影響は小さい。
- バンチ圧縮モードでは、主空洞の設置誤差によってエミッタンス増大とバンチ長増大が顕著になる。軌道補正が有効に行なえれば、どちらも抑制可能である。
- 軌道補正が有効に行えるという条件下では、主空洞の設置誤差は±1mmまでは許容できる。
- 空洞モジュール単位の位置調整だけでも有効である。
- ERLでは加速ビームと減速ビームの同時軌道補正が必要であり、軌道補正方法及びBPMや補正電磁石の配置構成を十分に検討・評価する必要がある。