研究報告(3月12日)

ElegantによるERL周回部の軌道計算

東京大学大学院理学系研究科

物理学専攻中村研究室

修士1年　白神　剛志

目的：周回部の設計に必要な事

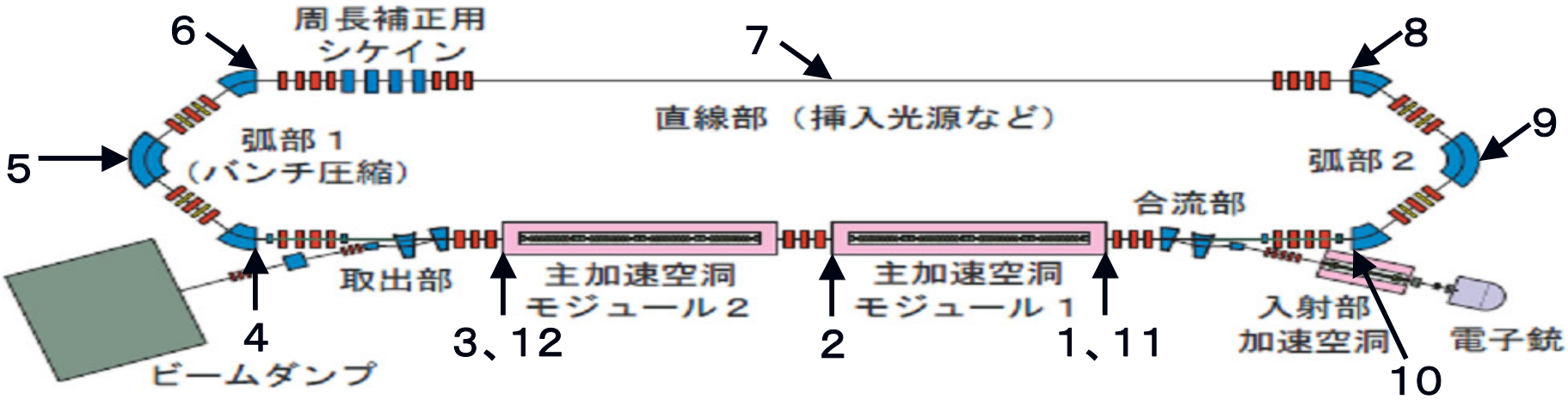
1. 主加速空洞で加速された電子ビームを周回させ、再び主加速空洞に戻すこと
2. 加減速ビームの位相差を正確に180°に合わせるための周長補正機構。
3. 電子ビームのバンチ長やエミッタンスの増大抑制しつつビーム輸送すること。
4. 必要に応じてバンチ圧縮を行うこと。
5. 挿入光源を含め、必要な装置が設置できること。
6. 挿入光源部分の光学関数が最適化可能であること。
7. 主加速空洞用直線部でのオプティクス安定。
8. ビーム損失が非常に小さいこと。

今までの研究成果

・既に原田さんがSADで設計したERLリングをElegantに移行し、粒子の分布の確認。
また、その設計ラティスにCSR効果を入れたときの分布の変化の確認。

・運動量偏差によるずれの１次の項の最適化

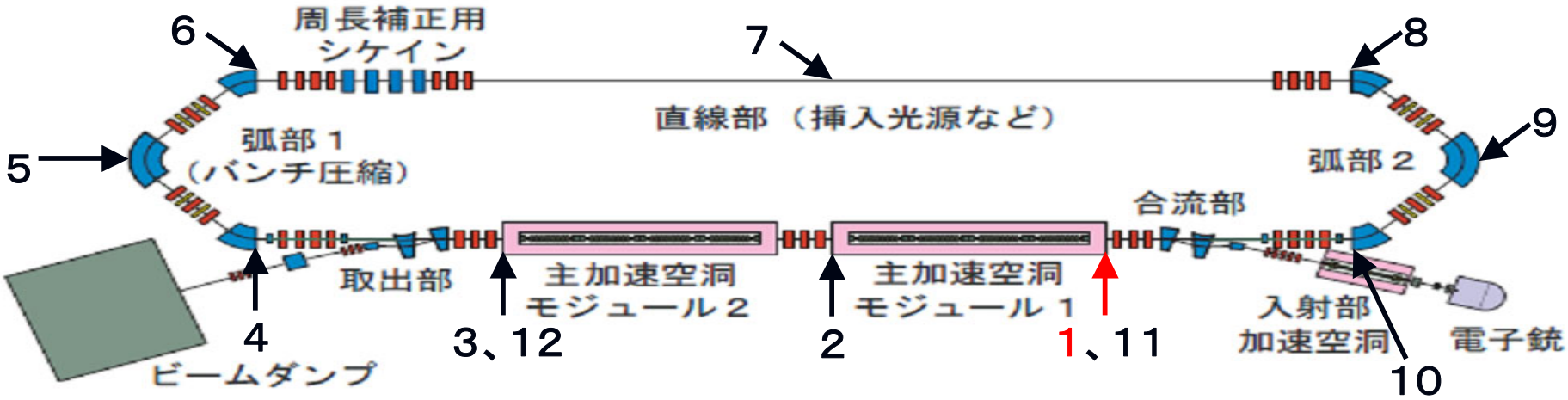
・off-crestとR56を利用したバンチ圧縮

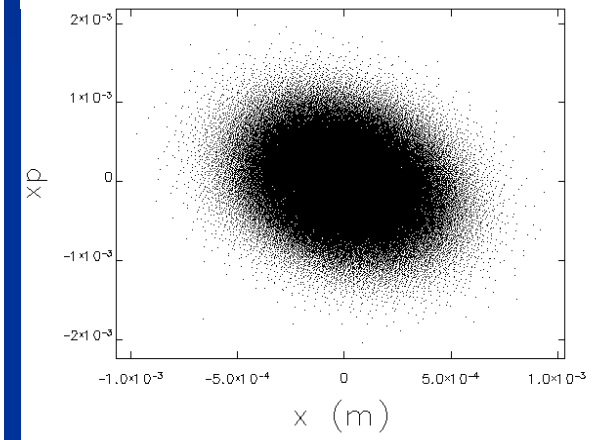


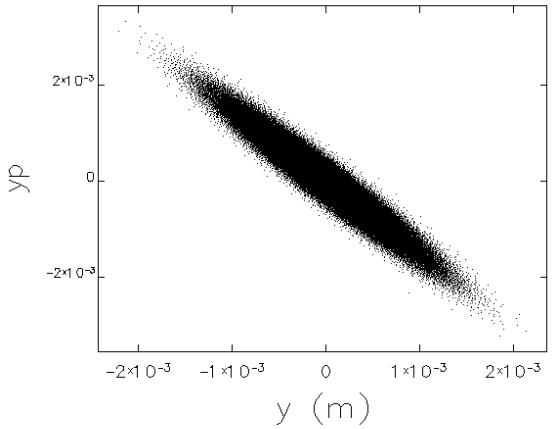
CSRなし

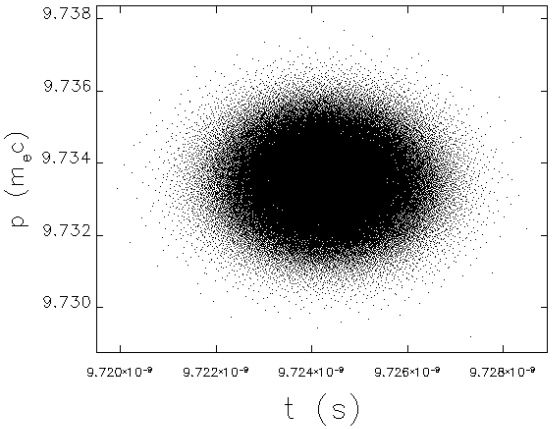
CSRあり

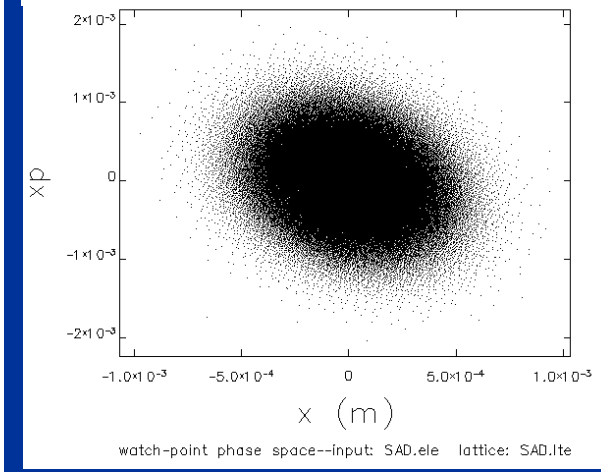
加速空洞にてSRSモデルの収束あり

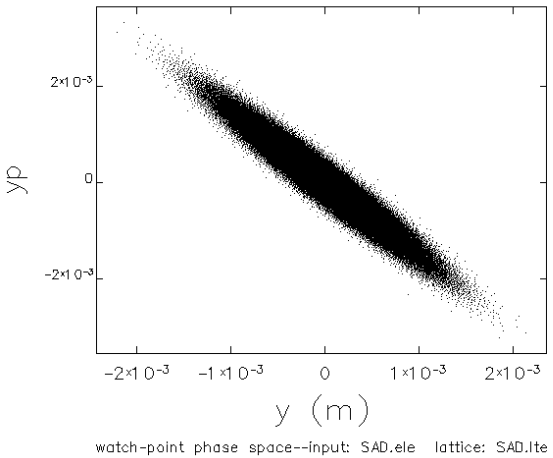

6
周長補正用
シケイン
7
8
直線部（挿入光源など）
5
弧部１
（バンチ圧縮）
弧部２
9
合流部
取出部
主加速空洞
モジュール２
主加速空洞
モジュール１
入射部
加速空洞
電子銃
4
3、12
2
1、11
10
ビームダンプ

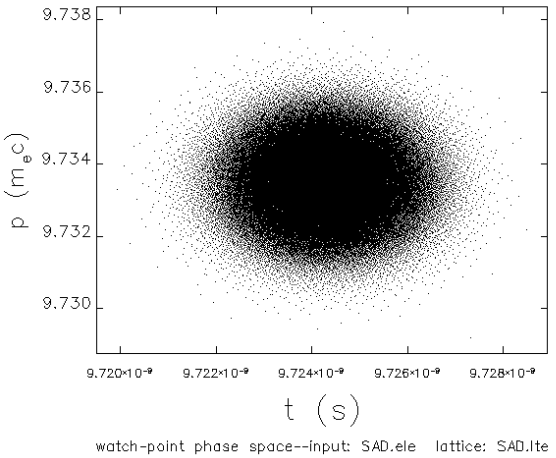

xp
x (m)

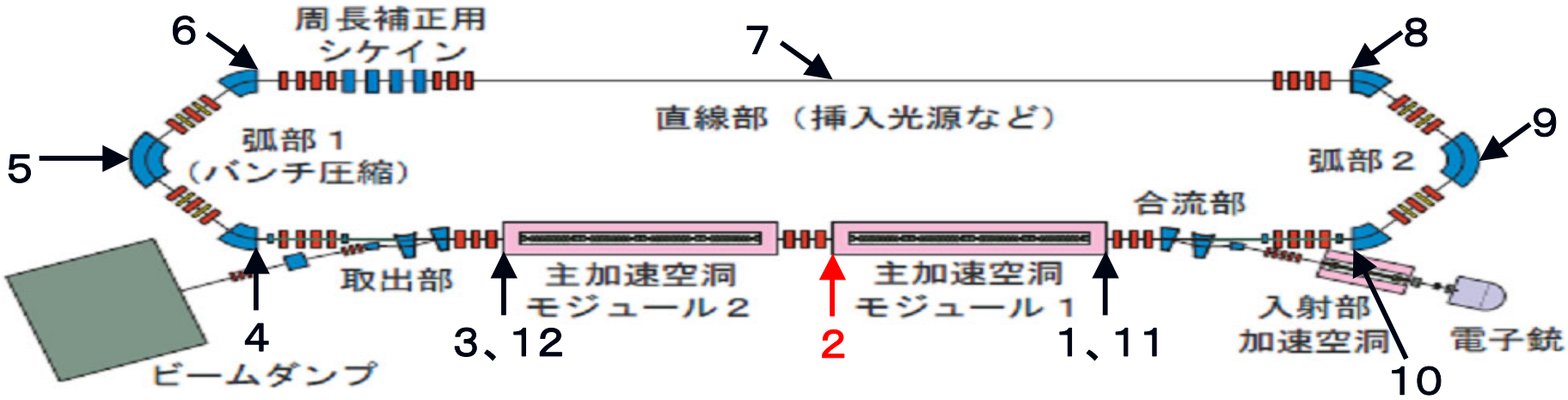

yp
y (m)

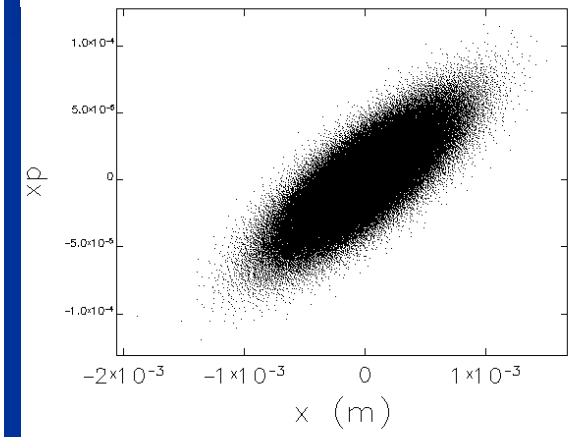

p (mec)
t (s)

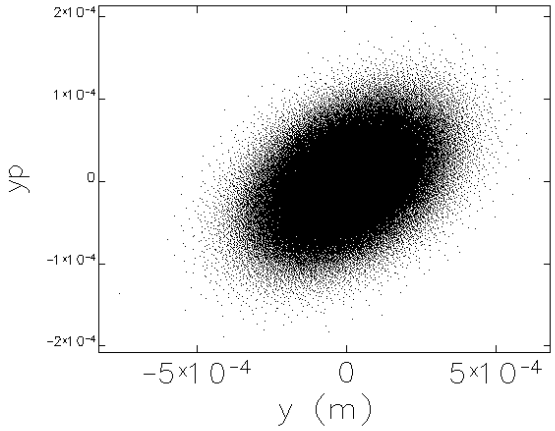

xp
x (m)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

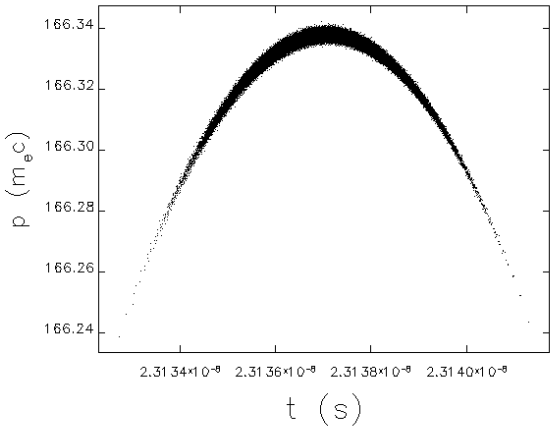

yp
y (m)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

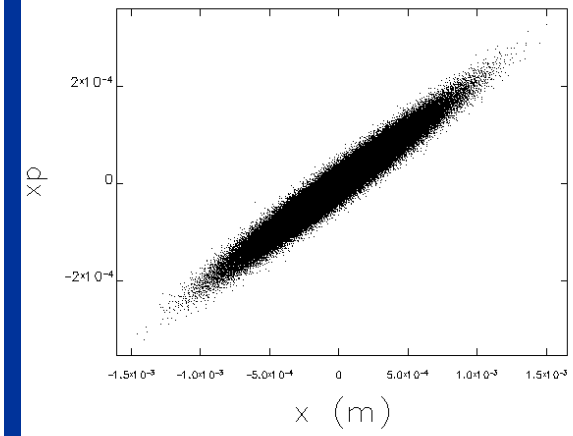

p (mec)
t (s)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

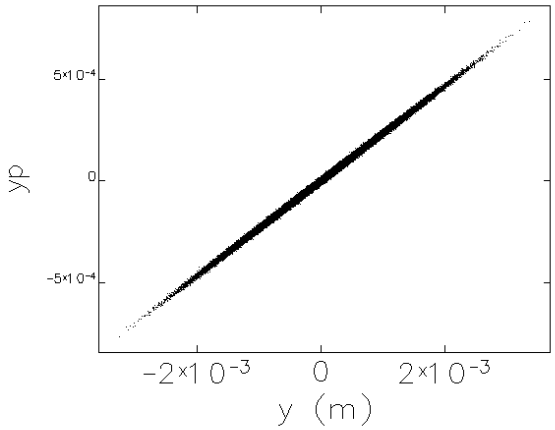

6
周長補正用
シケイン
7
8
直線部（挿入光源など）
5
弧部１
（バンチ圧縮）
弧部２
9
合流部
取出部
主加速空洞
モジュール２
主加速空洞
モジュール１
入射部
加速空洞
電子銃
4
3、12
2
1、11
10
ビームダンプ

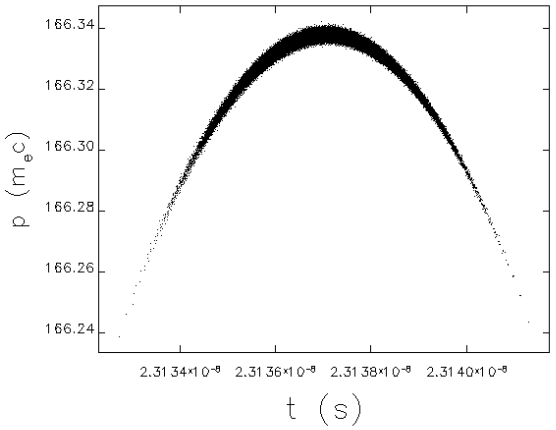

xp
x (m)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

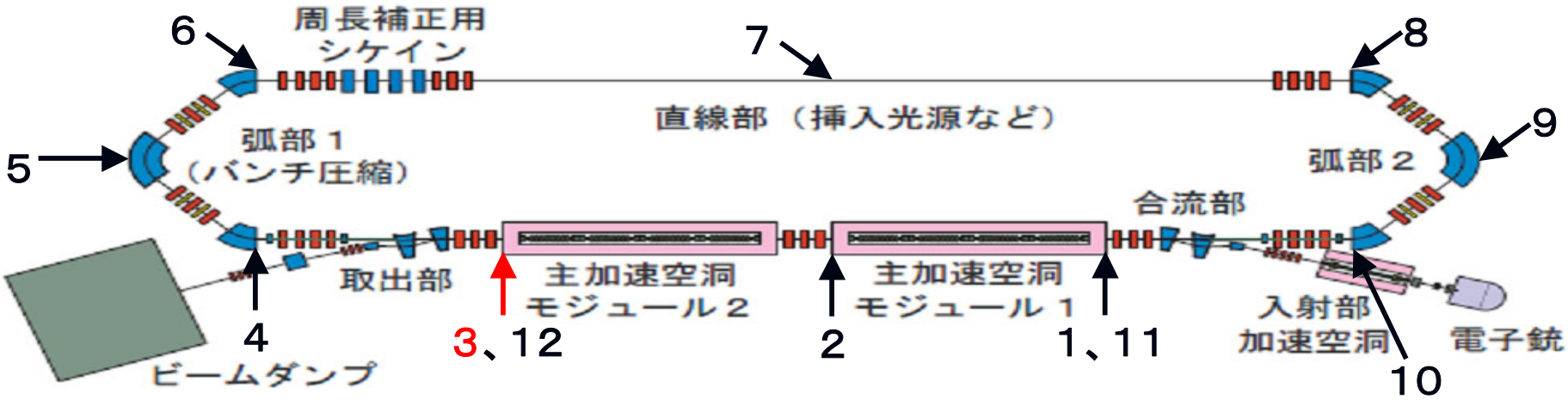

yp
y (m)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

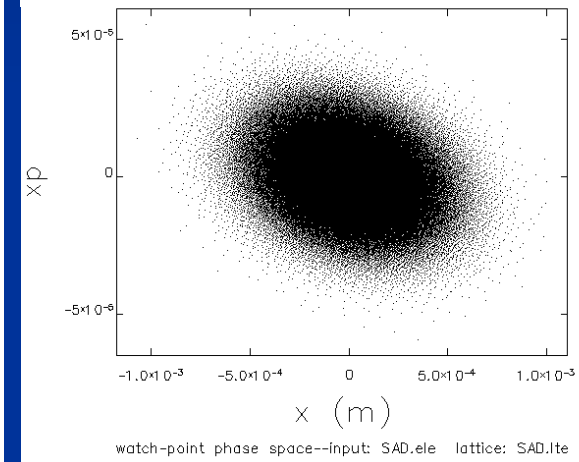

p (mec)
t (s)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

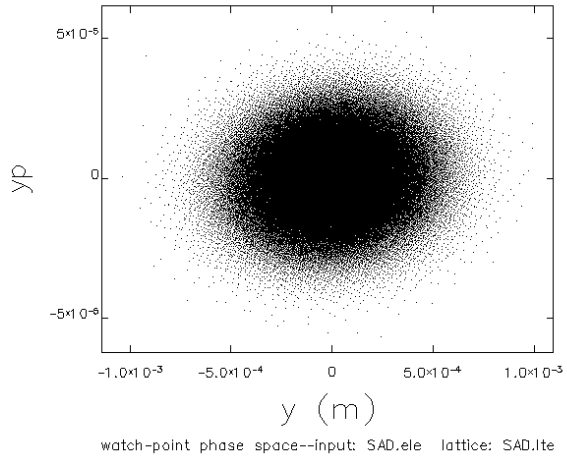

xp
x (m)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

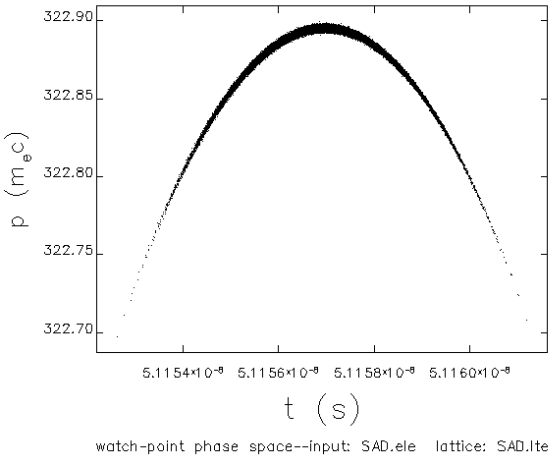

yp
y (m)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

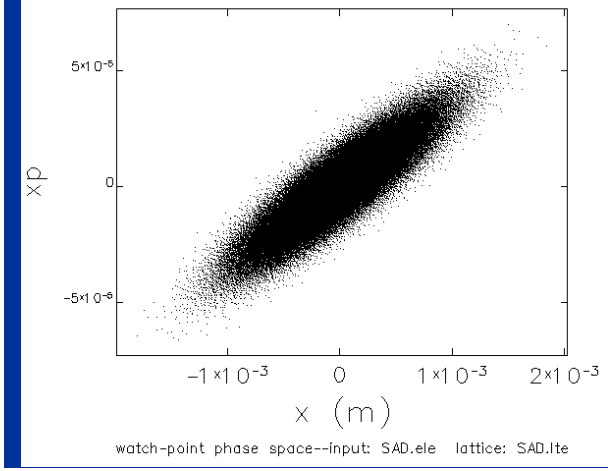

p (mec)
t (s)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

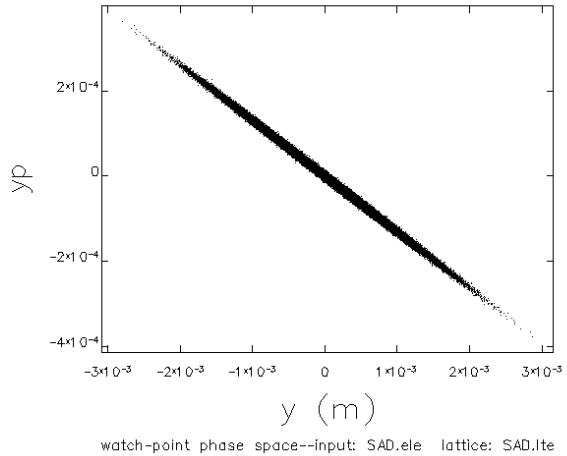

6
周長補正用
シケイン
7
8
直線部（挿入光源など）
5
弧部１
（バンチ圧縮）
弧部２
9
合流部
取出部
主加速空洞
モジュール２
主加速空洞
モジュール１
入射部
加速空洞
電子銃
4
3、12
2
1、11
10
ビームダンプ

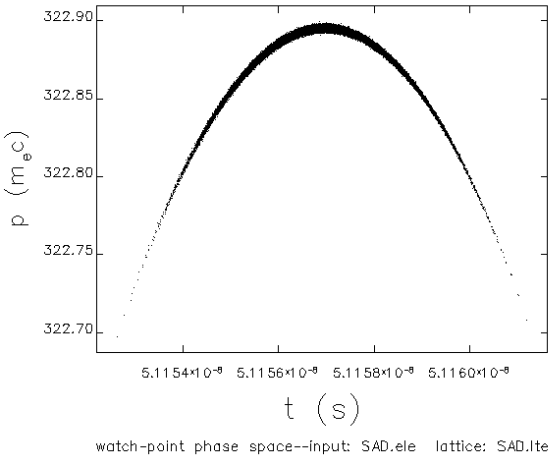

xp
x (m)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

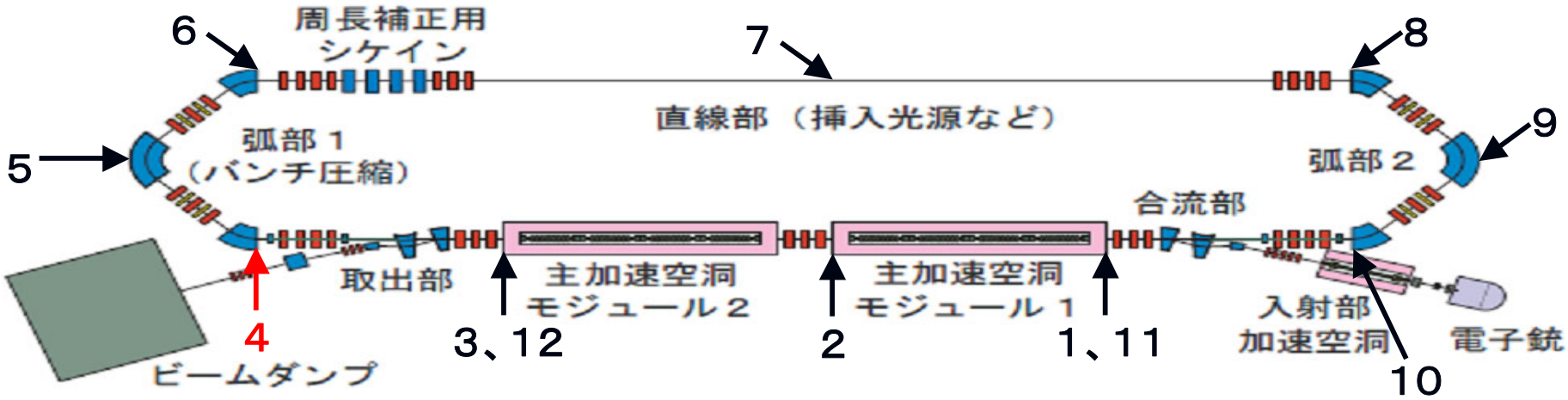

yp
y (m)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

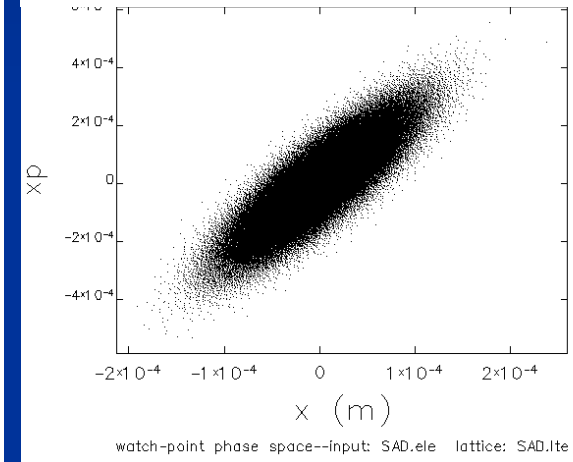

p (mec)
t (s)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

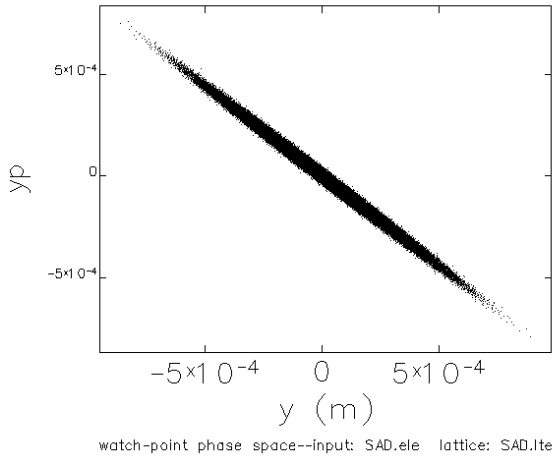

xp
x (m)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

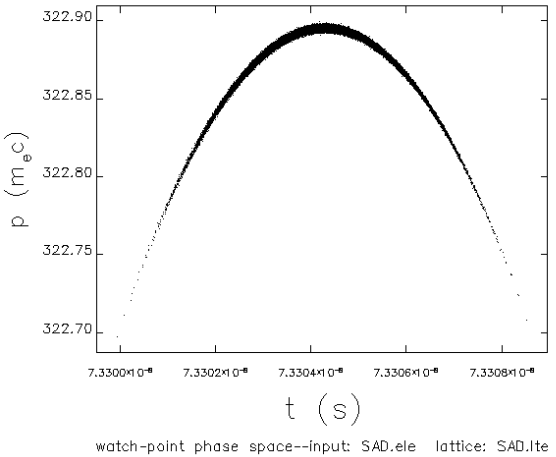

yp
y (m)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

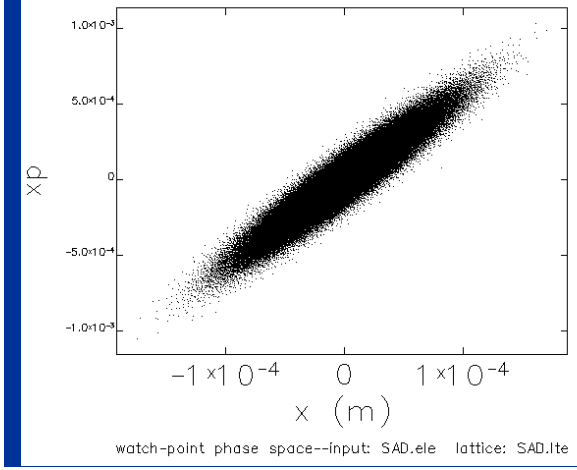

p (mec)
t (s)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

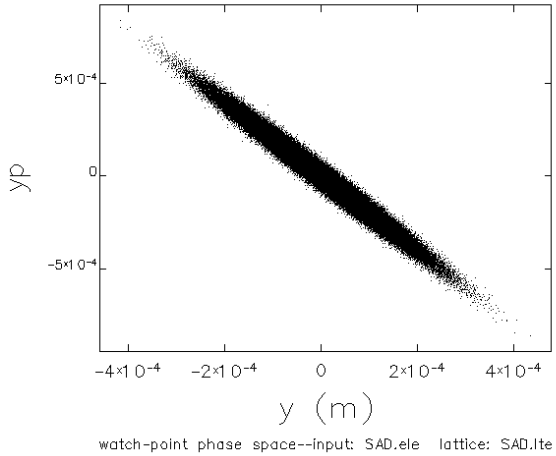

6
周長補正用
シケイン
7
8
直線部（挿入光源など）
5
弧部１
（バンチ圧縮）
弧部２
9
合流部
取出部
主加速空洞
モジュール２
主加速空洞
モジュール１
入射部
加速空洞
電子銃
4
3、12
2
1、11
10
ビームダンプ

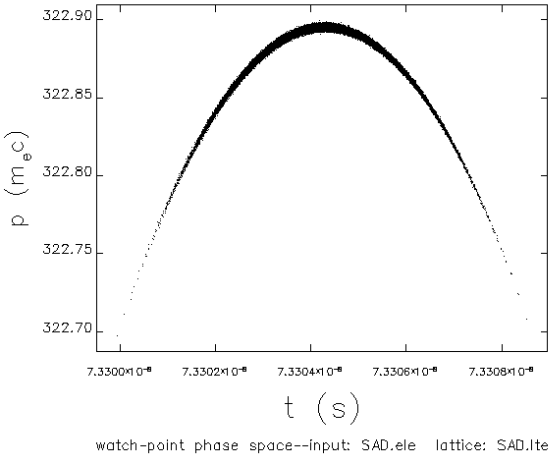

xp
x (m)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

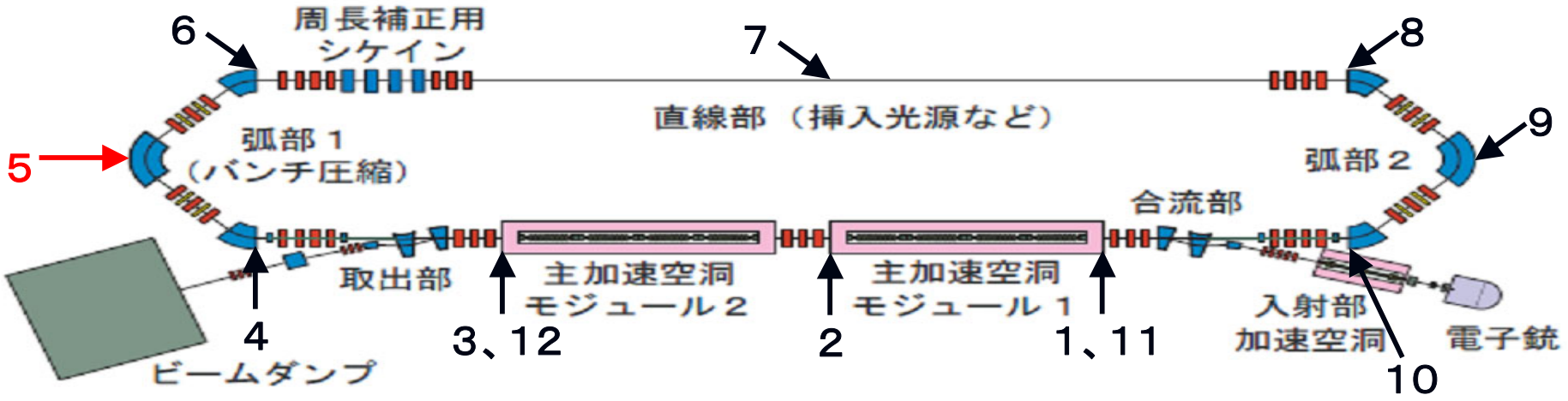

yp
y (m)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

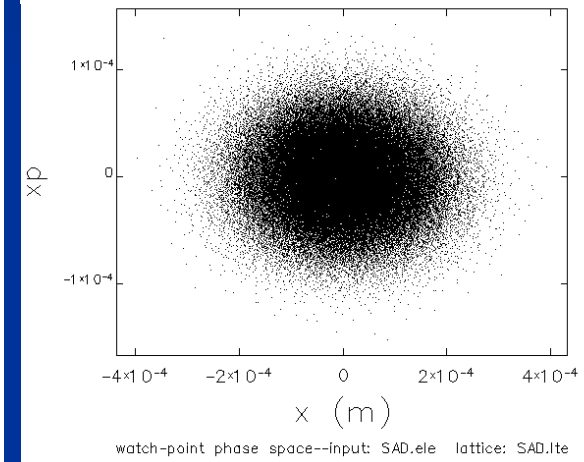

p (mec)
t (s)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

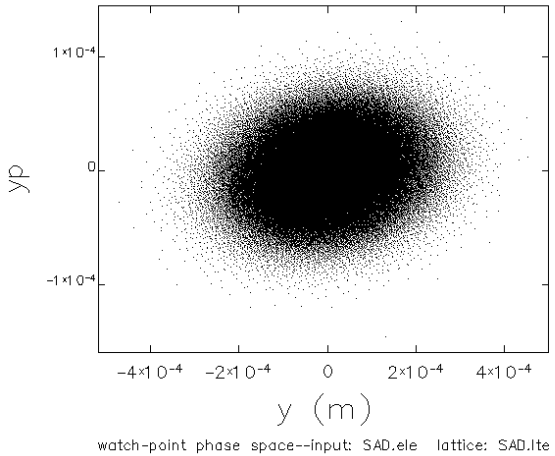

xp
x (m)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

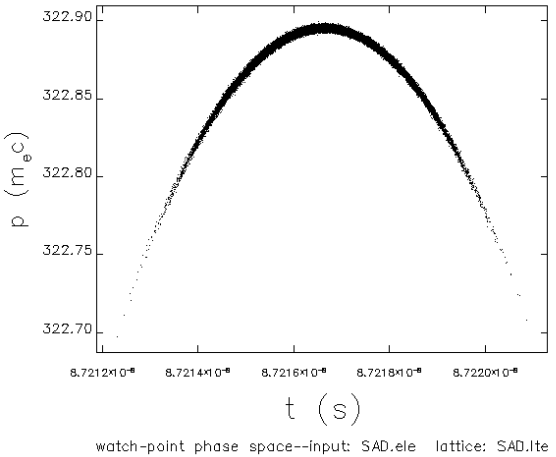

yp
y (m)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

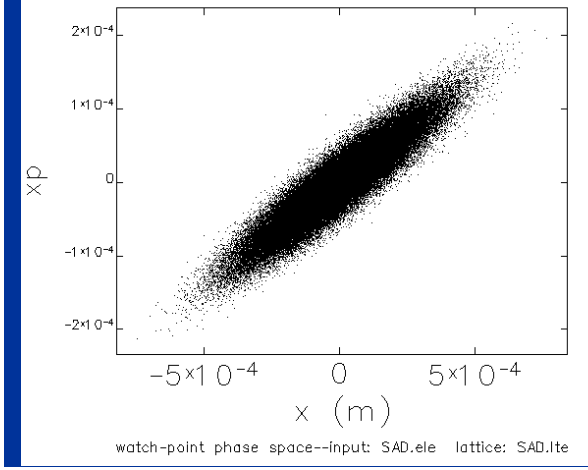

p (mec)
t (s)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

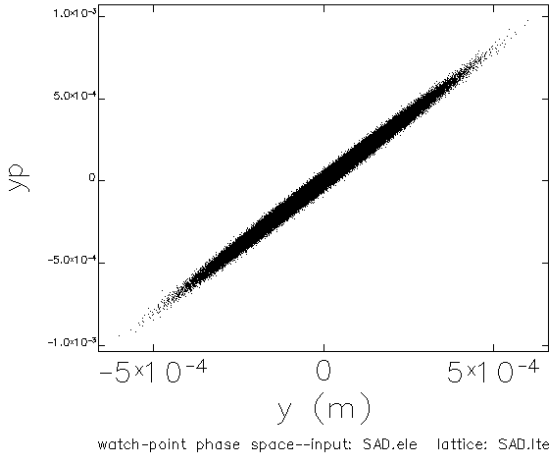

6
周長補正用
シケイン
7
8
直線部（挿入光源など）
5
弧部１
（バンチ圧縮）
弧部２
9
合流部
取出部
主加速空洞
モジュール２
主加速空洞
モジュール１
入射部
加速空洞
電子銃
4
3、12
2
1、11
10
ビームダンプ

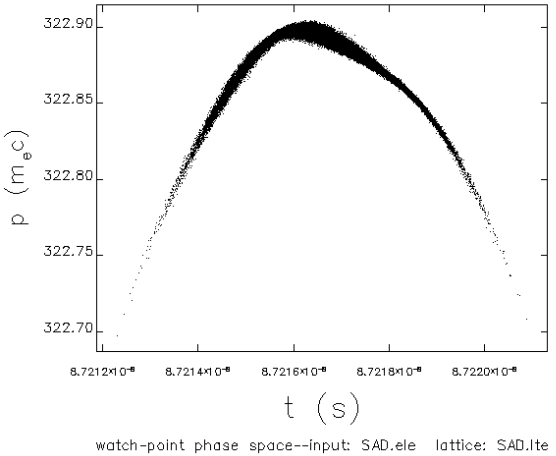

xp
x (m)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

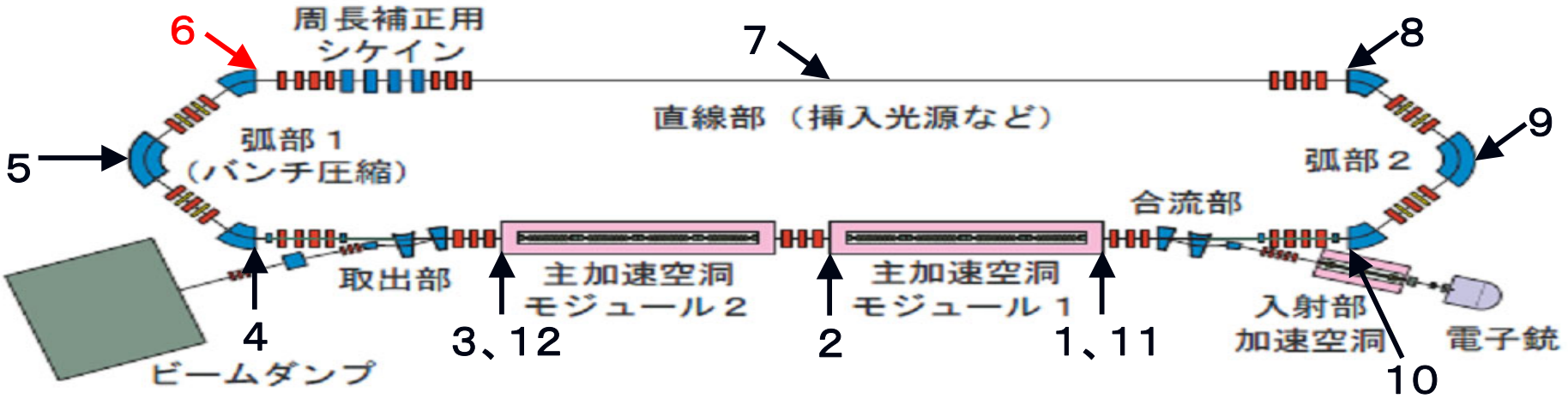

yp
y (m)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

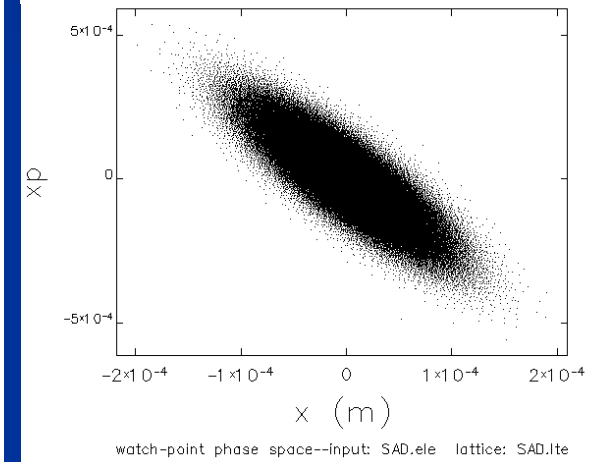

p (mec)
t (s)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

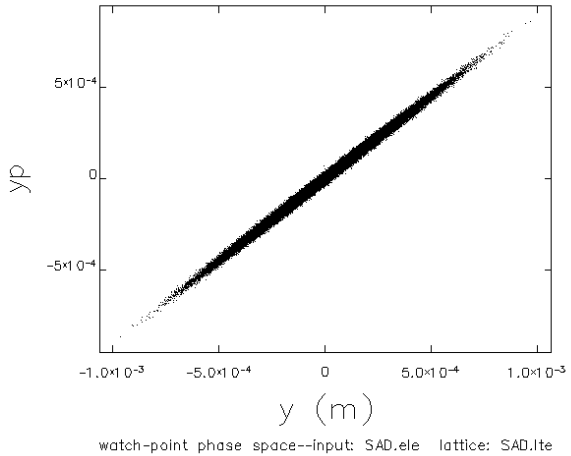

xp
x (m)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

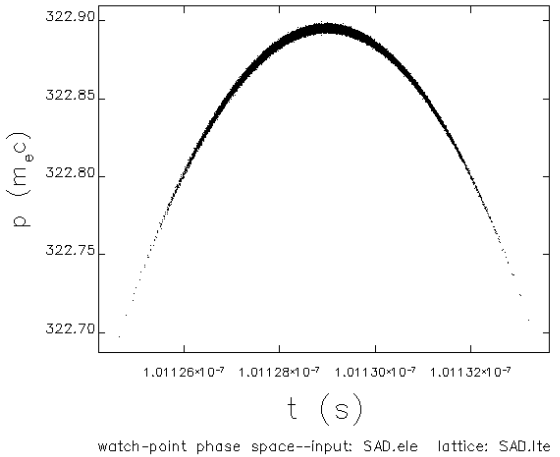

yp
y (m)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

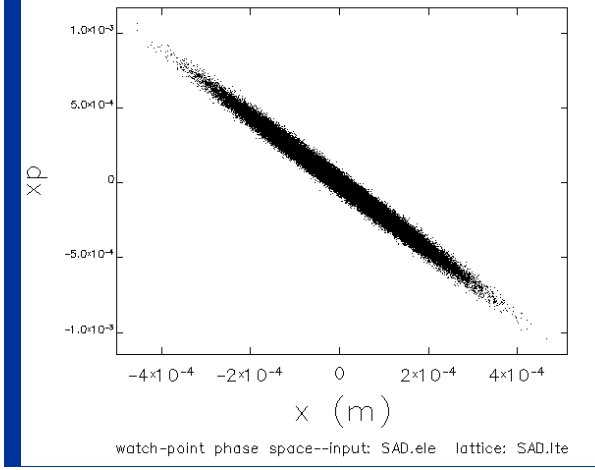

p (mec)
t (s)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

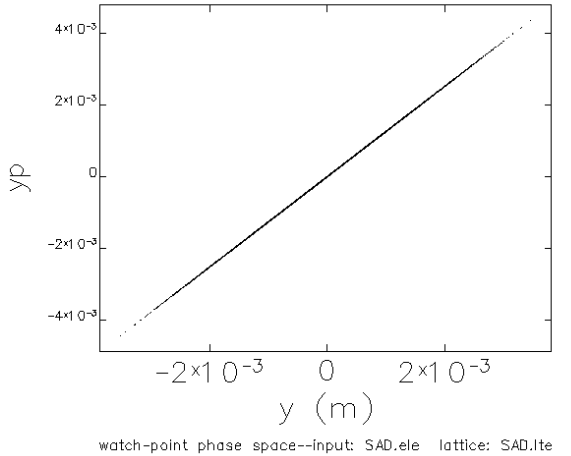

6
周長補正用
シケイン
7
8
直線部（挿入光源など）
5
弧部１
（バンチ圧縮）
弧部２
9
合流部
取出部
主加速空洞
モジュール２
主加速空洞
モジュール１
入射部
加速空洞
電子銃
4
3、12
2
1、11
10
ビームダンプ

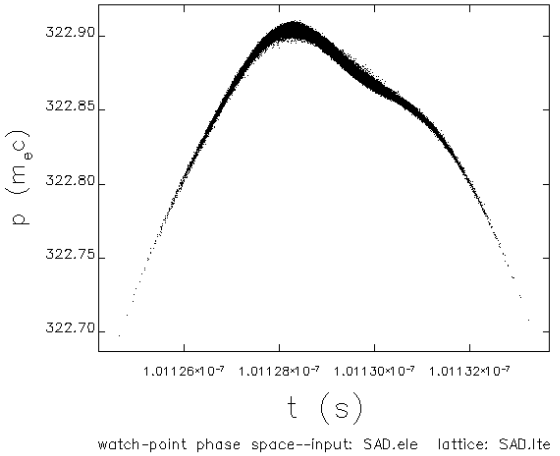

xp
x (m)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

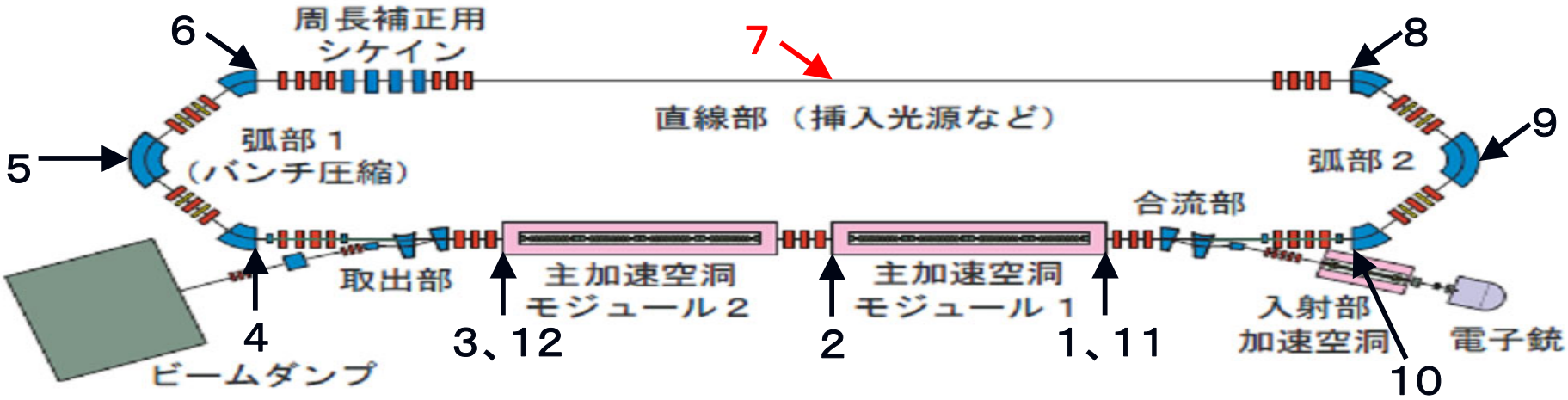

yp
y (m)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

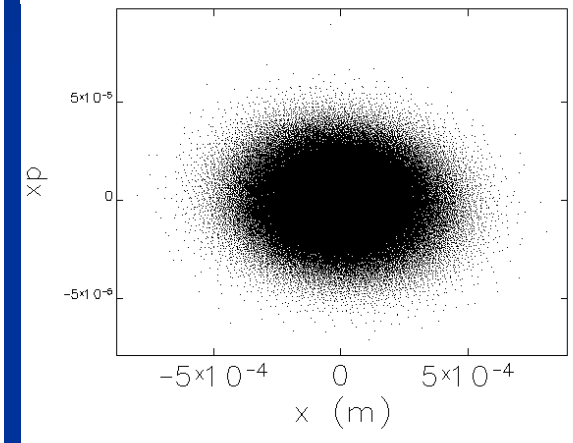

p (mec)
t (s)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

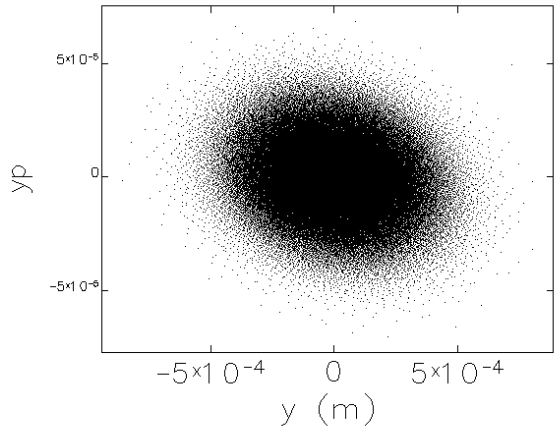

xp
x (m)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

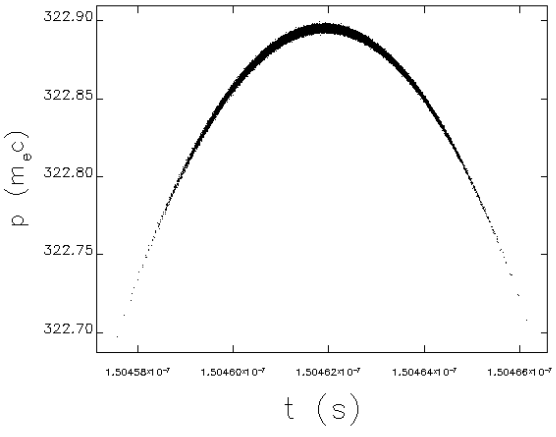

yp
y (m)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

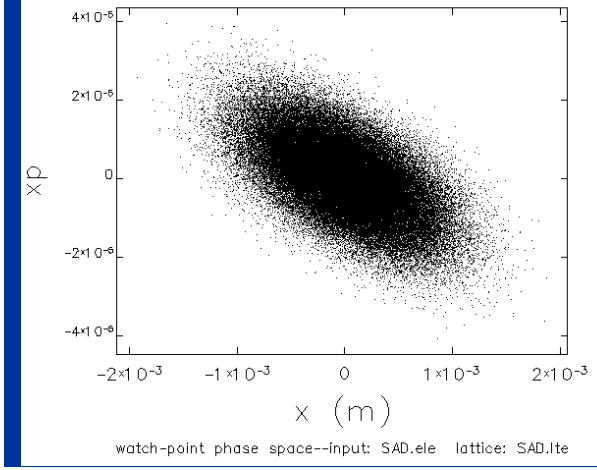

p (mec)
t (s)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

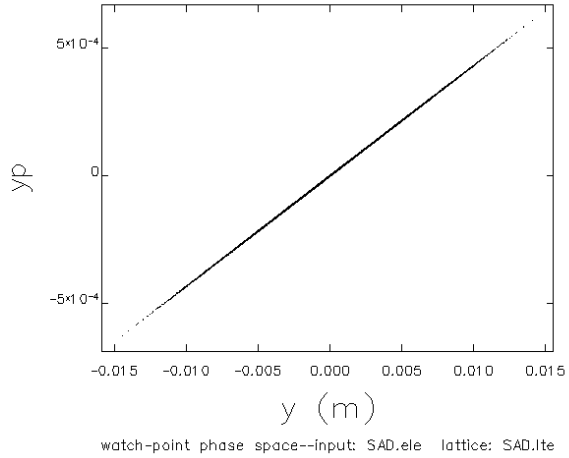

6
周長補正用
シケイン
7
8
直線部（挿入光源など）
5
弧部１
（バンチ圧縮）
弧部２
9
合流部
取出部
主加速空洞
モジュール２
主加速空洞
モジュール１
入射部
加速空洞
電子銃
4
3、12
2
1、11
10
ビームダンプ

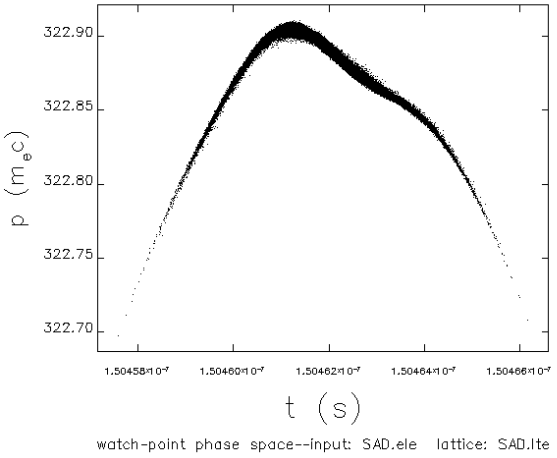

xp
x (m)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

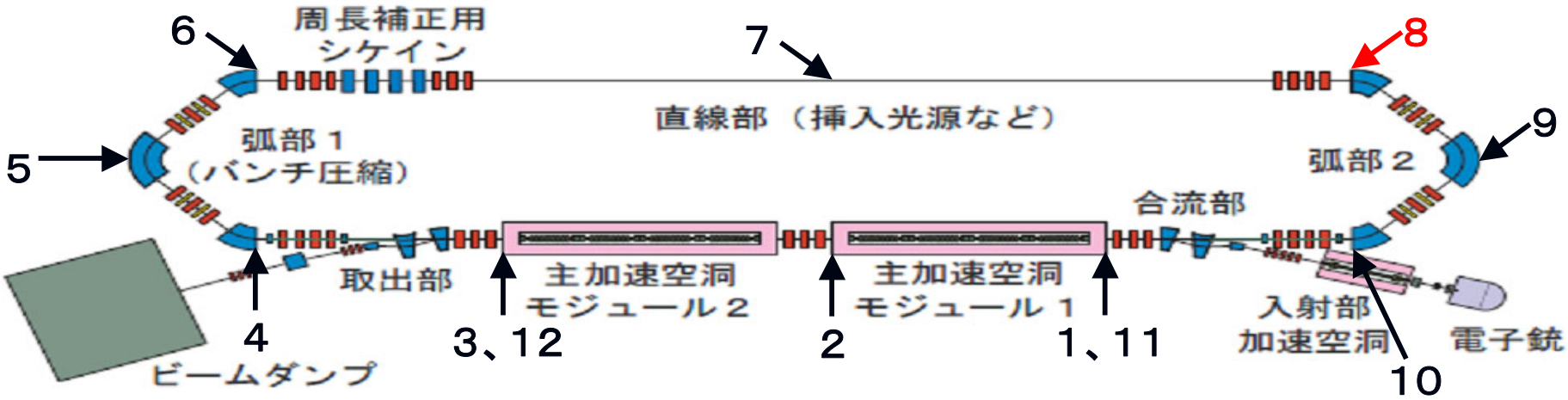

yp
y (m)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

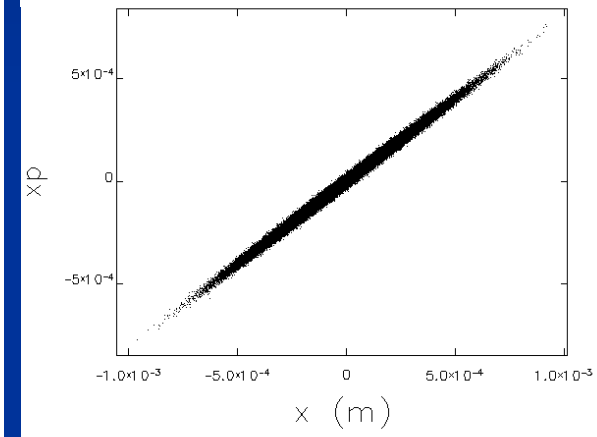

p (mec)
t (s)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

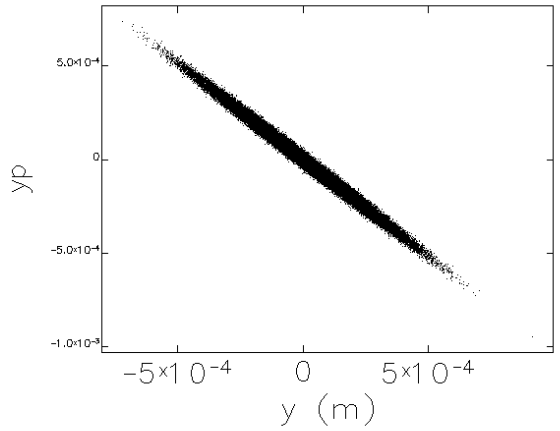

xp
x (m)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

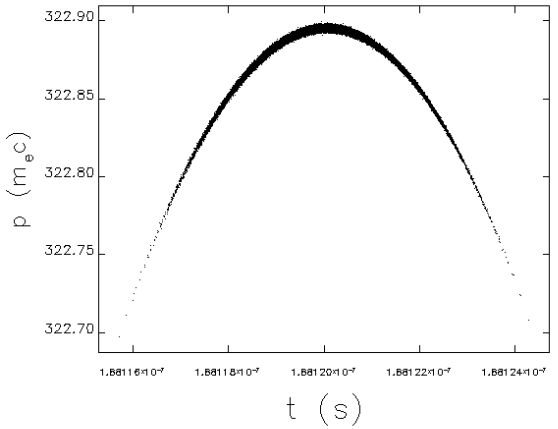

yp
y (m)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

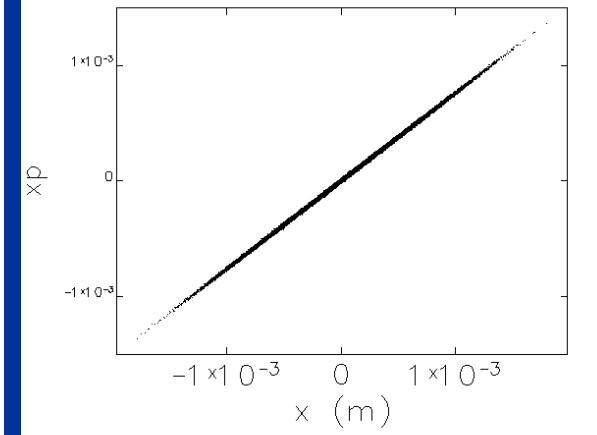

p (mec)
t (s)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

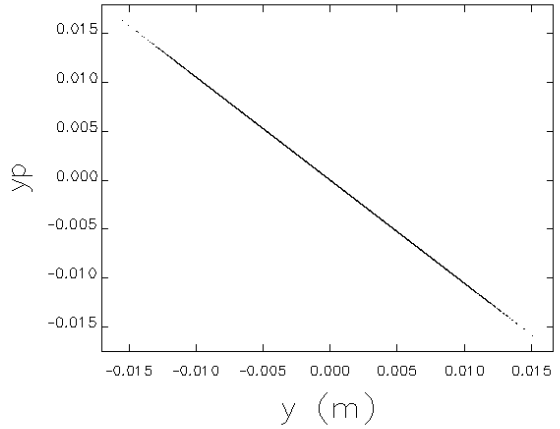

6
周長補正用
シケイン
7
8
直線部（挿入光源など）
5
弧部１
（バンチ圧縮）
弧部２
9
合流部
取出部
主加速空洞
モジュール２
主加速空洞
モジュール１
入射部
加速空洞
電子銃
4
3、12
2
1、11
10
ビームダンプ

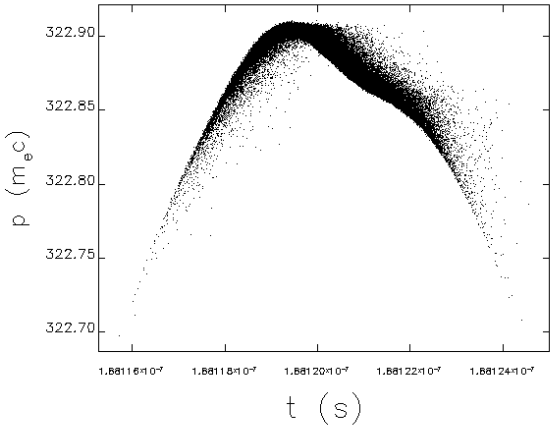

xp
x (m)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

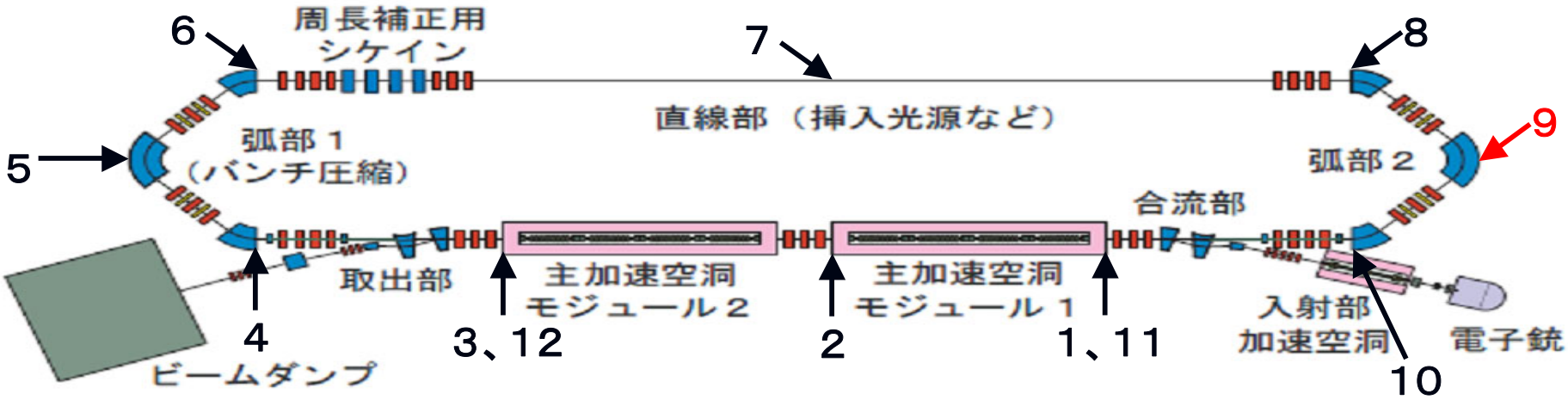

yp
y (m)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

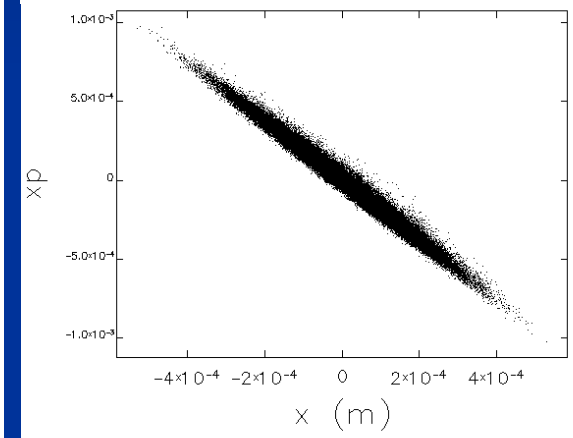

p (mec)
t (s)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

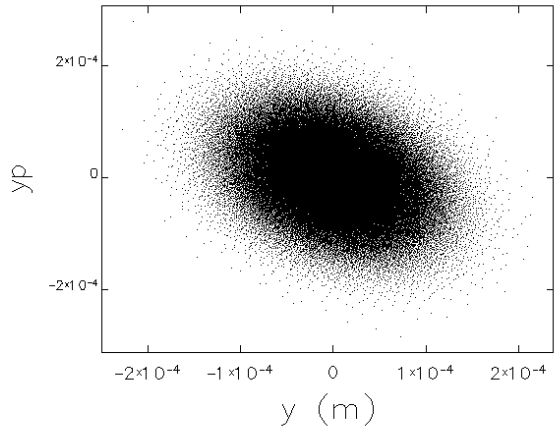

xp
x (m)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

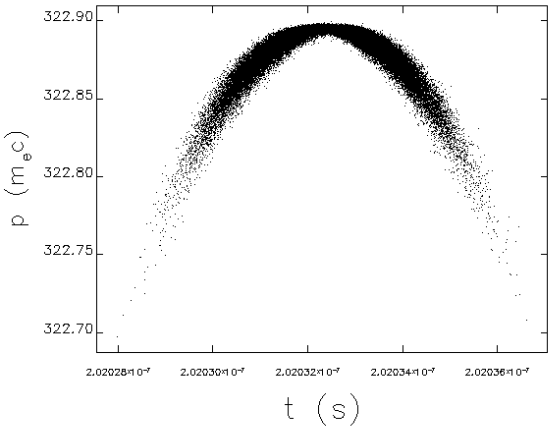

yp
y (m)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

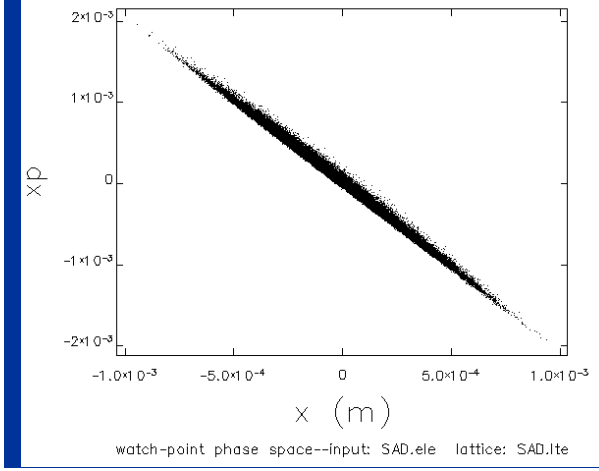

p (mec)
t (s)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

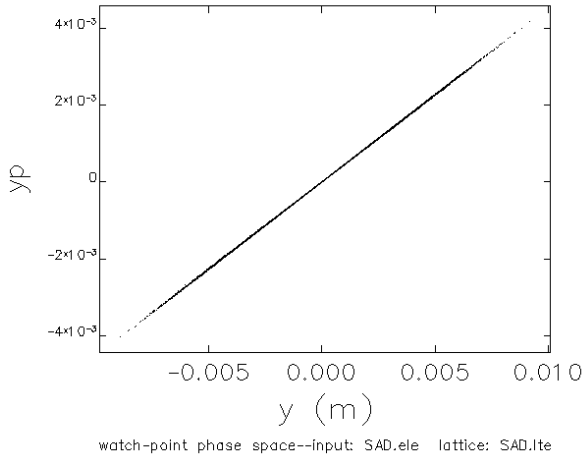

6
周長補正用
シケイン
7
8
直線部（挿入光源など）
5
弧部１
（バンチ圧縮）
弧部２
9
合流部
取出部
主加速空洞
モジュール２
主加速空洞
モジュール１
入射部
加速空洞
電子銃
4
3、12
2
1、11
10
ビームダンプ

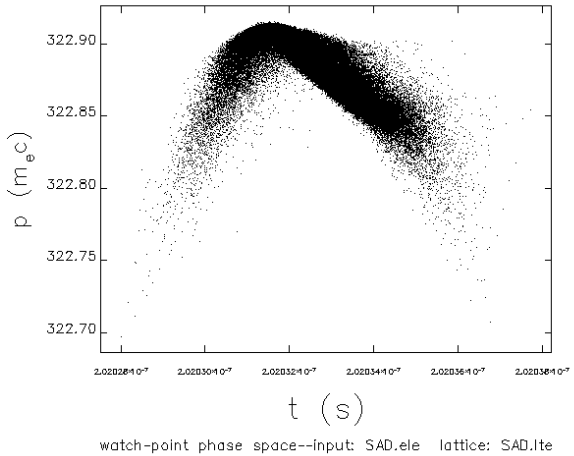

xp
x (m)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

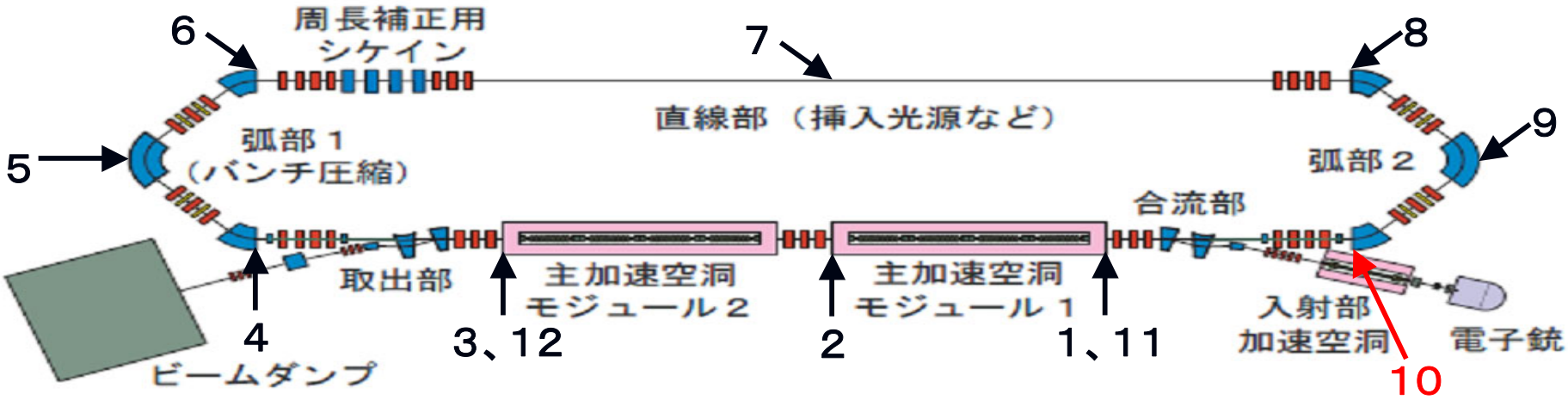

yp
y (m)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

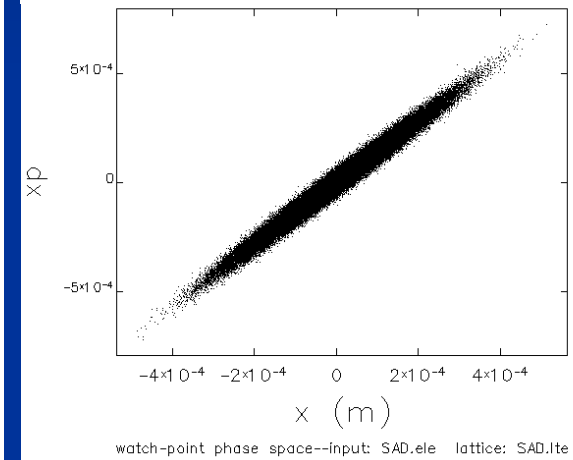

p (mec)
t (s)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

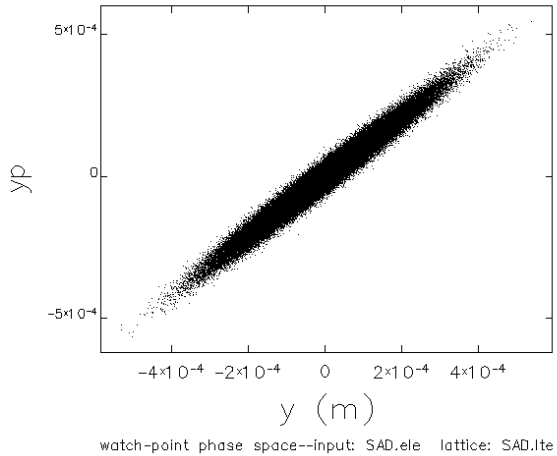

xp
x (m)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

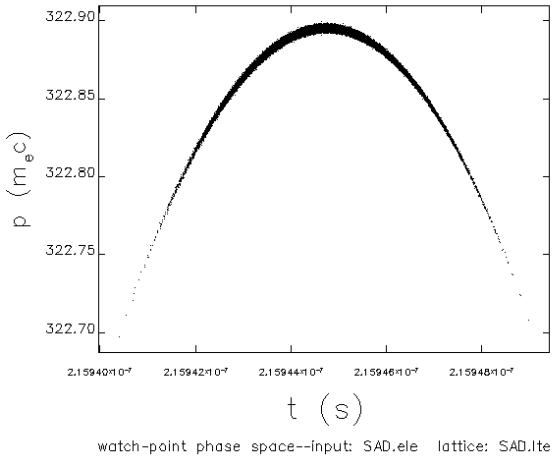

yp
y (m)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

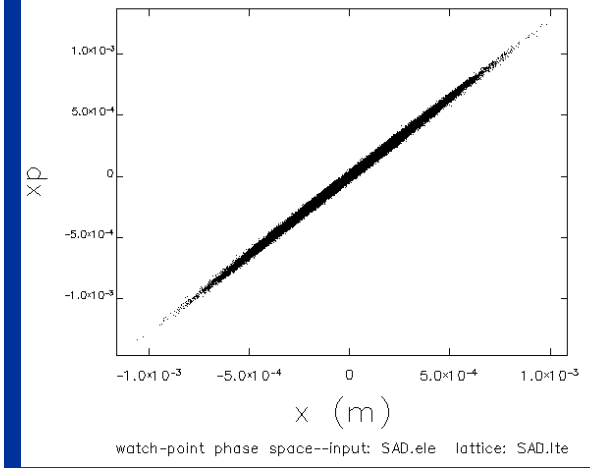

p (mec)
t (s)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

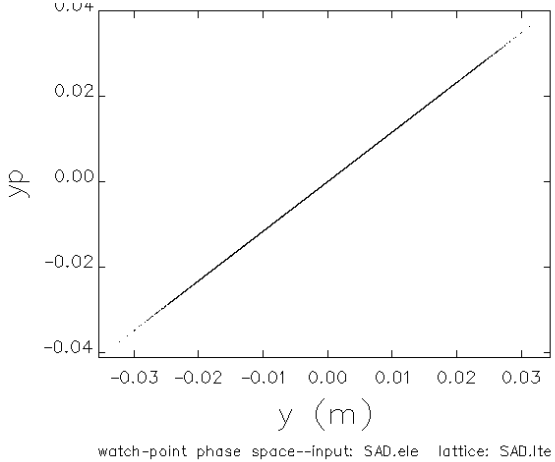

6
周長補正用
シケイン
7
8
直線部（挿入光源など）
5
弧部１
（バンチ圧縮）
弧部２
9
合流部
取出部
主加速空洞
モジュール２
主加速空洞
モジュール１
入射部
加速空洞
電子銃
4
3、12
2
1、11
ビームダンプ
10

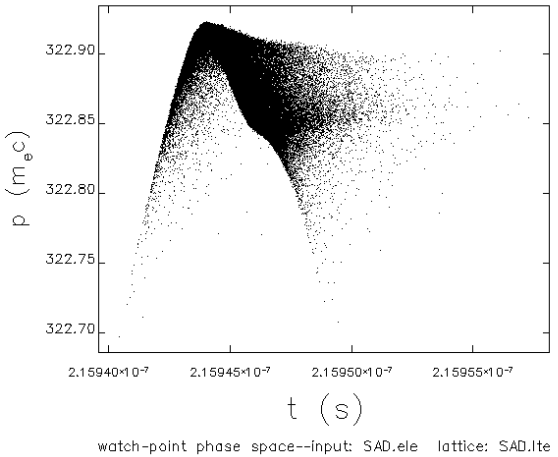

xp
x (m)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

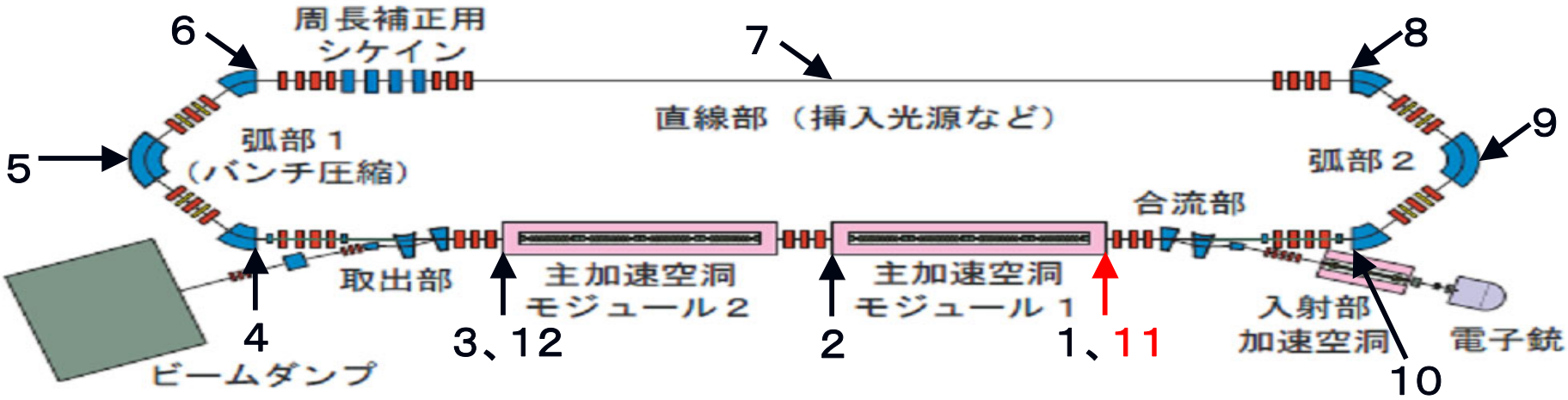

yp
y (m)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

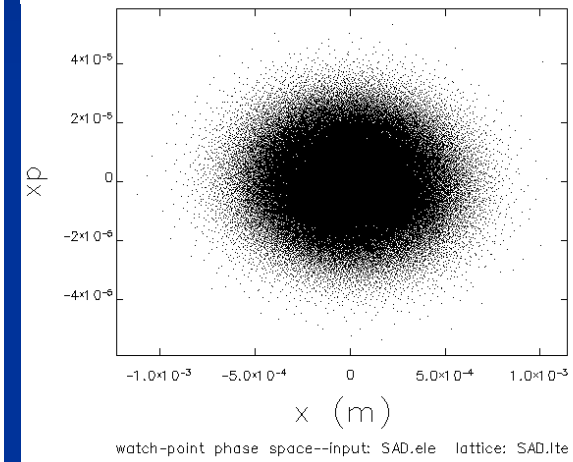

p (mec)
t (s)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

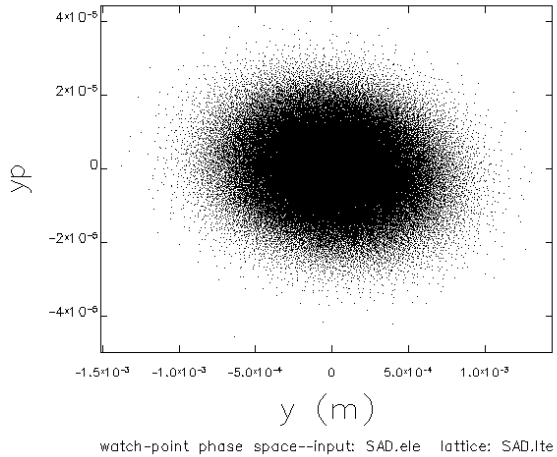

xp
x (m)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

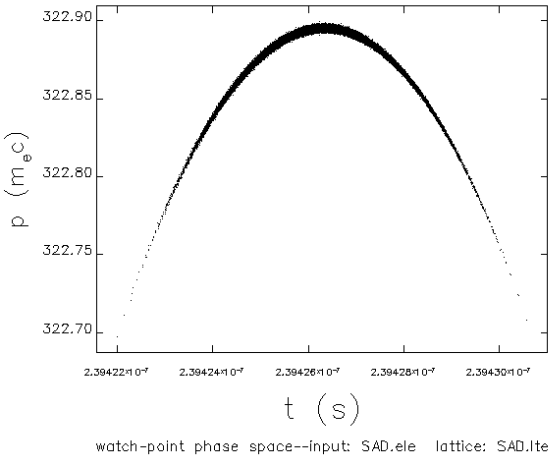

yp
y (m)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

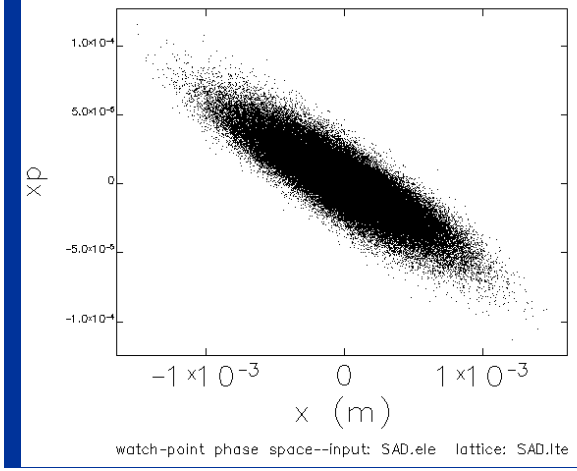

p (mec)
t (s)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

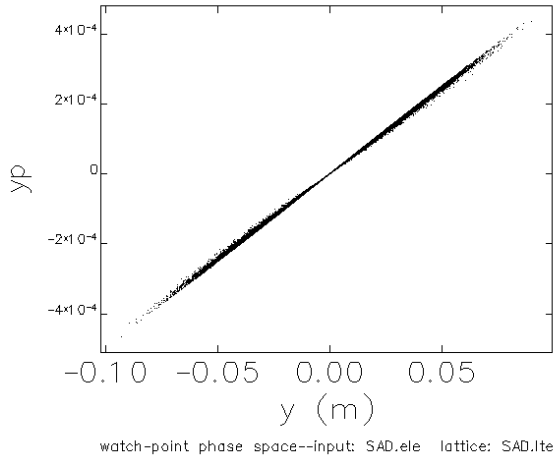

6
周長補正用
シケイン
7
8
直線部（挿入光源など）
5
弧部１
（バンチ圧縮）
弧部２
9
合流部
取出部
主加速空洞
モジュール２
主加速空洞
モジュール１
入射部
加速空洞
電子銃
4
3、12
2
1、11
10
ビームダンプ

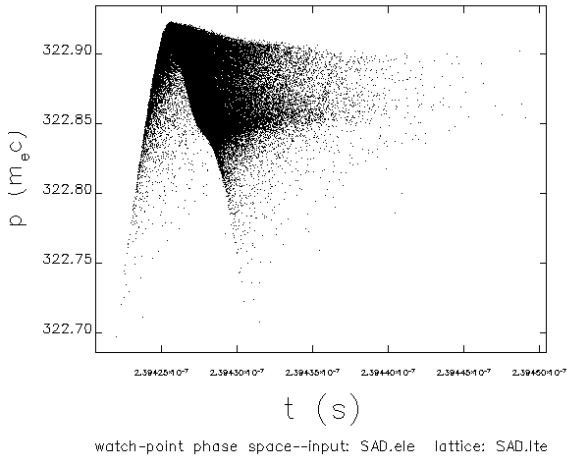

xp
x (m)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

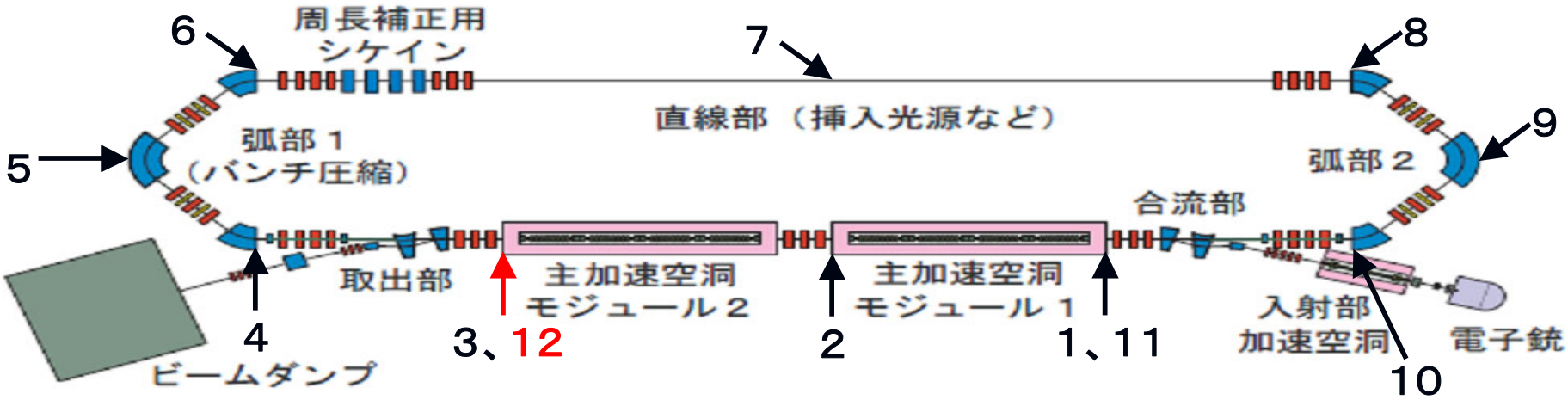

yp
y (m)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

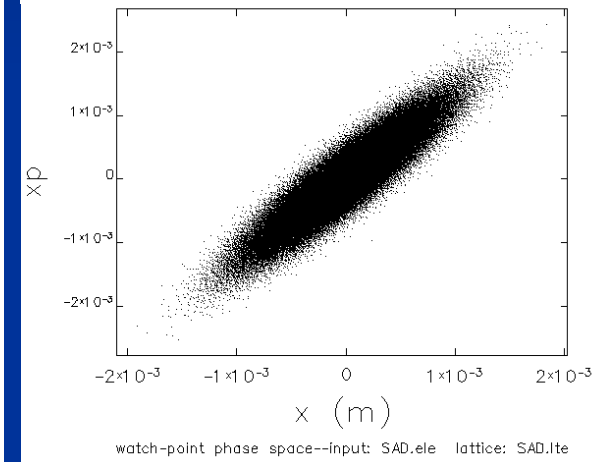

p (mec)
t (s)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

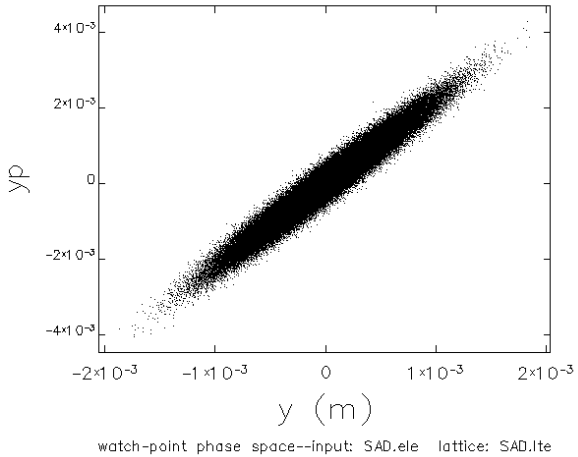

xp
x (m)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

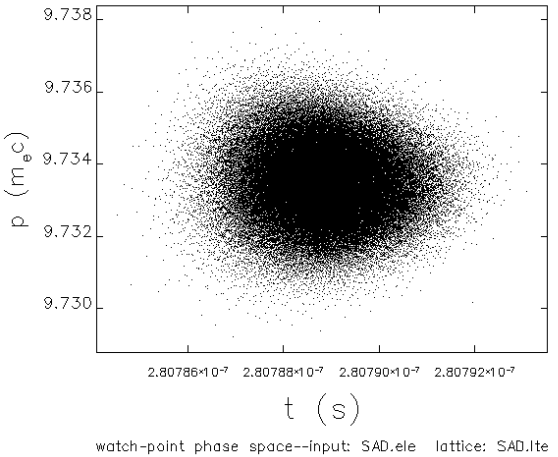

yp
y (m)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

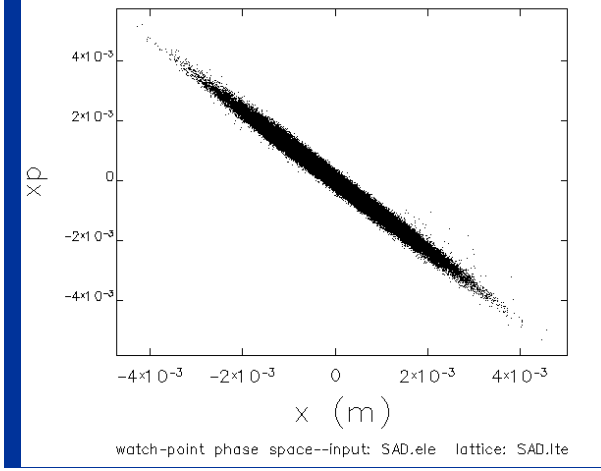

p (mec)
t (s)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

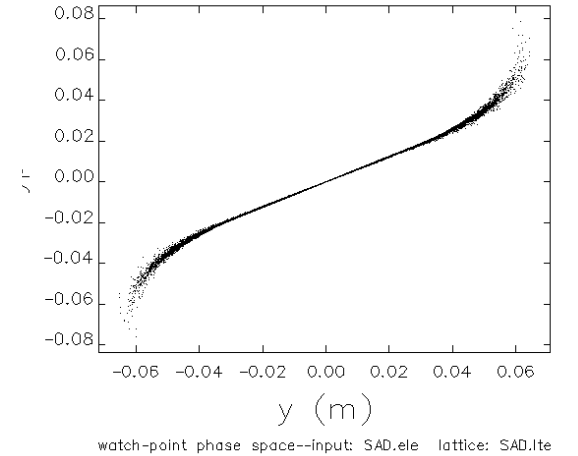

6
周長補正用
シケイン
7
8
直線部（挿入光源など）
5
弧部１
（バンチ圧縮）
弧部２
9
合流部
取出部
主加速空洞
モジュール２
主加速空洞
モジュール１
入射部
加速空洞
電子銃
4
3、12
2
1、11
10
ビームダンプ

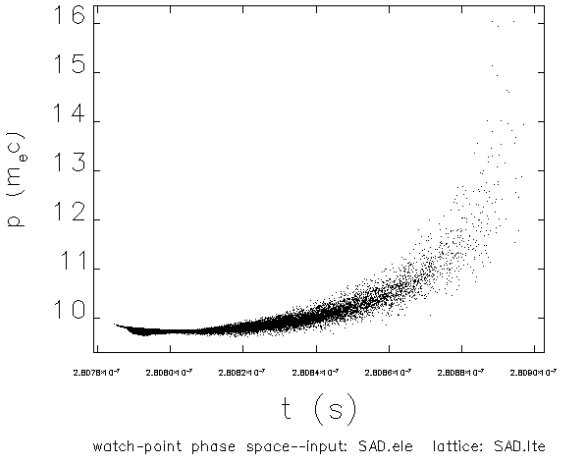

xp
x (m)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte


yp
y (m)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte


p (mec)
t (s)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte


xp
x (m)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte


y (m)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte


p (mec)
t (s)
watch-point phase space--input: SAD.ele lattice: SAD.lte

運動量偏差によるずれ

$$\Delta l = R_{56}\delta + T_{566}\delta^2 + U_{5666}\delta^3$$

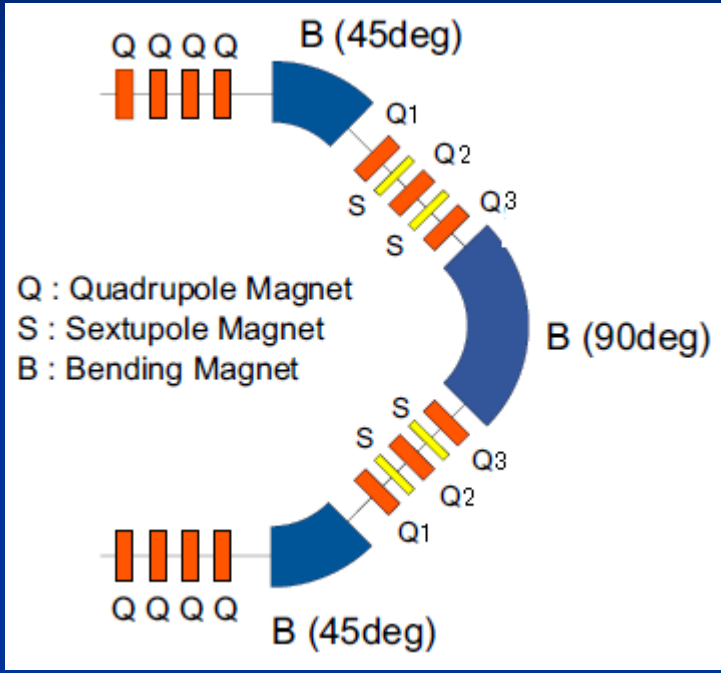
$$\Delta x = \eta_x\delta + T_{166}\delta^2 + U_{1666}\delta^3$$

$$\Delta x' = \eta'_x\delta + T_{266}\delta^2 + U_{2666}\delta^3$$

$$\left(\delta = \frac{\Delta p}{p}\right)$$

挿入光源等の装置設置場所にてR56やη、η'を0にしなくてはならない。その最適化をTBAで行った。

R56、η、η'の最適化



左図のようにTBAを鏡面対象のように作る。すなわち1次の項を最適化するのに4極を3つ使う。

R56は η の積分なので自由度は2つだが、β 関数が発散しないような条件も入れるため自由度3つ取る。

Elegantの最適化コマンドで、$|R_{56}|+|\eta|+|\eta'|$ を最小にするように、4極のKの値を動かす。Simplex法

バンチ圧縮

・バンチ圧縮の条件式は以下のように表される

$$k_{RF} \sin \phi_{RF} = \frac{1}{R_{56}}$$

おおよそϕ=10°ならR56=0.211
ϕ=15°ならR56=0.142 でバンチが圧縮される。

・実際に行った結果（CSR効果なし）
ϕ=10.7°、R56=0.2で圧縮すると
⇒バンチ長1psから50fsまで圧縮された。

ϕ=15°、R56=0.142で圧縮すると
⇒バンチ長1psから200fsまで圧縮された。

ϕ=15°はバンチの形状上T566の影響が強く残っているため、
六極を正しく設定すればさらに圧縮されるはず。

まだ出来ていない点、不明な点

- T566などのoptimizeが出来ない。
- 6→7→8と移る時、バンチがずれていく。2次の項T566の影響？

これからやること

- 六極を正しく設定し、2次の項を消す
- CSR込みでバンチ圧縮を行う
- β 関数の最適かを行う