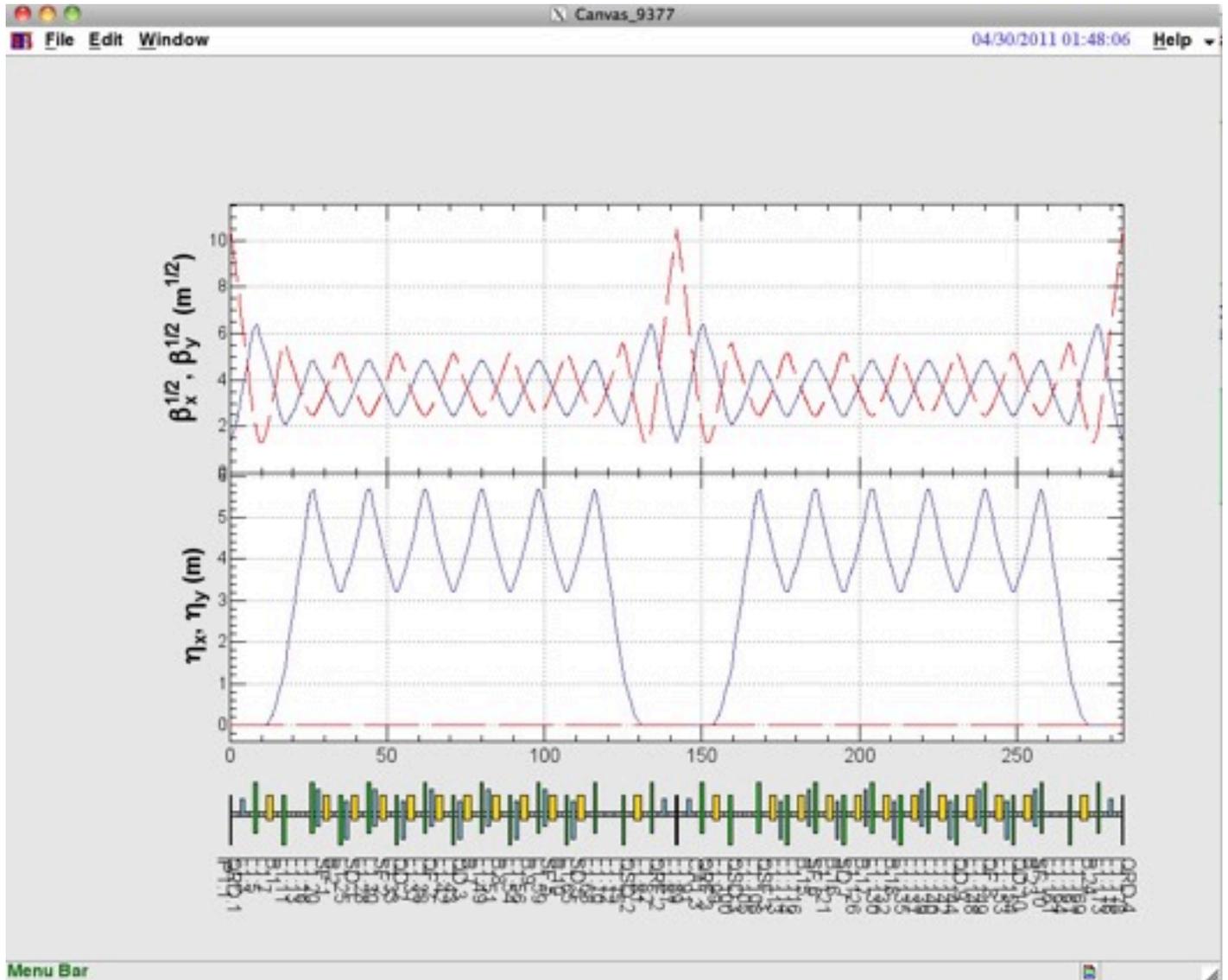


FODOcell.sadを実行し、次の図が出る所まで、"in 77"を入力し続ける。



```
end;!5
```

ここで、ようやく全周のオプティクスが完成した、各種パラメータを見てみよう。

```
In[42]:= emiout;emit;
```

Closed orbit:

| | x | px/p0 | y | py/p0 | z | dp/p0 |
|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Entrance : | .000000 | .000000 | .000000 | .000000 | .000000 | .000000 |
| Exit : | .000000 | .000000 | .000000 | .000000 | .000000 | .000000 |

Symplectic part of the transfer matrix:

| | x | px/p0 | y | py/p0 | z | dp/p0 |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| x : | -.607983 | 1.416528 | .000000 | .000000 | 6.51E-17 | 7.41E-14 |
| px/p0 : | -.445002 | -.607983 | .000000 | .000000 | -2.7E-16 | 1.53E-14 |
| y : | .000000 | .000000 | -.749024 | -72.9531 | .000000 | .000000 |
| py/p0 : | .000000 | .000000 | .006017 | -.749024 | .000000 | .000000 |
| z : | 4.11E-14 | -5.3E-14 | .000000 | .000000 | .902210 | -21.8235 |
| dp/p0 : | 1.48E-16 | -3.3E-16 | .000000 | .000000 | .008524 | .902210 |

| | x | px/p0 | y | py/p0 | z | dp/p0 |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| x : | 1.000000 | .000000 | .000000 | .000000 | -5.8E-16 | 9.45E-14 |
| px/p0 : | .000000 | 1.000000 | .000000 | .000000 | -1.4E-16 | -4.1E-14 |
| y : | .000000 | .000000 | 1.000000 | .000000 | .000000 | .000000 |
| py/p0 : | .000000 | .000000 | .000000 | 1.000000 | .000000 | .000000 |
| z : | -4.1E-14 | -9.4E-14 | .000000 | .000000 | 1.000000 | .000000 |
| dp/p0 : | 1.38E-16 | -5.8E-16 | .000000 | .000000 | .000000 | 1.000000 |

Extended Twiss Parameters:

| | | | |
|--------------|----------------|---------------|---------------|
| AX: -3.3E-15 | BX: 1.784152 | ZX: -2.7E-16 | EX: 4.20E-14 |
| | PSIX: -2.8E-30 | ZPX: -8.1E-17 | EPX: -3.4E-15 |
| R1: .000000 | R2: .000000 | AY: -4.5E-14 | BY: 110.1107 |
| | | ZY: .000000 | EY: .000000 |

R3: .000000 R4: .000000 PSIIY: .000000 ZPY: .000000 EPY: .000000
 AZ: 5.09E-14 BZ: 50.59996
 PSIZ: 6.24E-17

Units: B(X,Y,Z), E(X,Y), R2: m | PSI(X,Y,Z): radian | ZP(X,Y), R3: 1/m

Design momentum P0 = 1.0000000 GeV Revolution freq. f0 = 1055607.1 Hz
 Energy loss per turn U0 = .0115798 MV Effective voltage Vc = 4.0000000 MV
 Equilibrium position dz = 1.3085138 mm Momentum compact. alpha = .0791212
 Orbit dilation dl = .0000000 mm Effective harmonic # h = 100.00000
 Bucket height dV/P0 = .0178992

Eigen values and eigen vectors:

Real:-0.6079825-0.6079825-0.7490236-0.7490236 0.9022104 0.9022104
 Imaginary: 0.7939504-0.7939504-0.6625433 0.6625433-0.4312961 0.4312961
 Imag.tune:-0.0000000 0.0000000 -0.0000000
 Real tune: 0.3540105 -0.3847385 -0.0709718

| | X | Px | Y | Py | Z | Pz |
|---------|----------|----------|----------|---------|----------|----------|
| x : | 1.335722 | .000000 | .000000 | .000000 | -1.9E-15 | 5.90E-15 |
| px/p0 : | 2.50E-15 | .748659 | .000000 | .000000 | -5.8E-16 | -4.8E-16 |
| y : | .000000 | .000000 | 10.49336 | .000000 | .000000 | .000000 |
| py/p0 : | .000000 | .000000 | 4.33E-15 | .095298 | .000000 | .000000 |
| z : | -4.0E-14 | 7.20E-15 | .000000 | .000000 | 7.113365 | 4.44E-16 |
| dp/p0 : | 2.25E-17 | 1.37E-16 | .000000 | .000000 | -7.2E-15 | .140580 |

| | x | px/p0 | y | py/p0 | z | dp/p0 |
|------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| X : | .748659 | .000000 | .000000 | .000000 | 1.37E-16 | -7.2E-15 |
| Px : | -2.5E-15 | 1.335722 | .000000 | .000000 | -2.2E-17 | -4.0E-14 |
| Y : | .000000 | .000000 | .095298 | .000000 | .000000 | .000000 |
| Py : | .000000 | .000000 | -4.3E-15 | 10.49336 | .000000 | .000000 |
| Z : | -4.8E-16 | -5.9E-15 | .000000 | .000000 | .140580 | -4.4E-16 |
| Pz : | 5.78E-16 | -1.9E-15 | .000000 | .000000 | 7.16E-15 | 7.113365 |

| | x | px/p0 | y | py/p0 | z | dp/p0 |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| x : | 1.000000 | .000000 | .000000 | .000000 | -4.7E-16 | 3.41E-15 |
| px/p0 : | .000000 | 1.000000 | .000000 | .000000 | -9.3E-16 | -6.2E-15 |
| y : | .000000 | .000000 | 1.000000 | .000000 | .000000 | .000000 |
| py/p0 : | .000000 | .000000 | .000000 | 1.000000 | .000000 | .000000 |
| z : | -6.2E-15 | -3.4E-15 | .000000 | .000000 | 1.000000 | .000000 |
| dp/p0 : | 9.32E-16 | -4.7E-16 | .000000 | .000000 | .000000 | 1.000000 |

Radiation part of the transfer matrix:

| | x | px/p0 | y | py/p0 | z | dp/p0 |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| x : | 1.512E-6 | -4.38E-6 | .000000 | .000000 | -2.63E-8 | -3.50E-6 |
| px/p0 : | 1.375E-6 | 2.246E-6 | .000000 | .000000 | 1.562E-8 | 4.142E-6 |
| y : | .000000 | .000000 | 4.261E-6 | 4.224E-4 | .000000 | .000000 |
| py/p0 : | .000000 | .000000 | -3.48E-8 | 4.413E-6 | .000000 | .000000 |
| z : | 1.182E-6 | -1.00E-6 | .000000 | .000000 | 1.043E-6 | 3.116E-4 |
| dp/p0 : | 4.457E-9 | -7.50E-9 | .000000 | .000000 | -1.22E-7 | -2.68E-5 |

| | X | Px | Y | Py | Z | Pz |
|------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| X : | 1.512E-6 | -2.45E-6 | .000000 | .000000 | -1.40E-7 | -3.69E-7 |
| Px : | 2.454E-6 | 2.246E-6 | .000000 | .000000 | 1.485E-7 | 7.777E-7 |
| Y : | .000000 | .000000 | 4.261E-6 | 3.836E-6 | .000000 | .000000 |
| Py : | .000000 | .000000 | -3.84E-6 | 4.413E-6 | .000000 | .000000 |
| Z : | 2.219E-7 | -1.05E-7 | .000000 | .000000 | 1.043E-6 | 6.158E-6 |
| Pz : | 4.235E-8 | -4.00E-8 | .000000 | .000000 | -6.16E-6 | -2.68E-5 |

Damping per one revolution:

X : -3.090634E-06 Y : -5.789859E-06 Z : -1.427879E-05

Damping time (sec):

X : 0.306514 Y : 0.163617 Z : 6.634473E-02

Tune shift due to radiation:

X : 4.149567E-13 Y : -7.280354E-14 Z : 4.149452E-12

Damping partition number:

X : 0.5338 Y : 1.0000 Z : 2.4662

Beam matrix by radiation fluctuation:

| | x | px/p0 | y | py/p0 | z | dp/p0 |
|---|-----------|-------|---|-------|---|-------|
| x | 4.887E-12 | | | | | |

| | | | | | | |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| px/p0 | -1.27E-13 | 1.645E-12 | | | | |
| y | .00000000 | .00000000 | .00000000 | | | |
| py/p0 | .00000000 | .00000000 | .00000000 | .00000000 | | |
| z | -3.91E-12 | 7.694E-12 | .00000000 | .00000000 | 7.342E-10 | |
| dp/p0 | 5.521E-13 | -6.12E-13 | .00000000 | .00000000 | -4.65E-11 | 4.131E-12 |

| | | | | | | |
|----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | X | Px | Y | Py | Z | Pz |
| X | 2.739E-12 | | | | | |
| Px | -1.27E-13 | 2.934E-12 | | | | |
| Y | .00000000 | .00000000 | .00000000 | | | |
| Py | .00000000 | .00000000 | .00000000 | .00000000 | | |
| Z | -4.12E-13 | 1.445E-12 | .00000000 | .00000000 | 1.451E-11 | |
| Pz | 2.940E-12 | -5.82E-12 | .00000000 | .00000000 | -4.65E-11 | 2.090E-10 |

Equilibrium beam matrix:

| | | | | | | |
|----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | X | Px | Y | Py | Z | Pz |
| X | 4.5893E-7 | | | | | |
| Px | 1.112E-13 | 4.5893E-7 | | | | |
| Y | .00000000 | .00000000 | .00000000 | | | |
| Py | .00000000 | .00000000 | .00000000 | .00000000 | | |
| Z | 1.633E-13 | 5.471E-18 | .00000000 | .00000000 | 3.9141E-6 | |
| Pz | 2.538E-17 | -1.86E-12 | .00000000 | .00000000 | 1.391E-12 | 3.9141E-6 |

| | | | | | | |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | x | px/p0 | y | py/p0 | z | dp/p0 |
| x | 8.1881E-7 | | | | | |
| px/p0 | 1.112E-13 | 2.5723E-7 | | | | |
| y | .00000000 | .00000000 | .00000000 | | | |
| py/p0 | .00000000 | .00000000 | .00000000 | .00000000 | | |
| z | 1.551E-12 | 2.912E-17 | .00000000 | .00000000 | 1.9805E-4 | |
| dp/p0 | 4.769E-18 | -1.96E-13 | .00000000 | .00000000 | 1.391E-12 | 7.7353E-8 |

| | | | | | |
|--------------|---|---------------|---------------|---|----------------|
| Emittance X | = | 4.58933E-7 m | Emittance Y | = | .000000000 m |
| Emittance Z | = | 3.91405E-6 m | Energy spread | = | 2.78124E-4 |
| Bunch Length | = | 14.0730592 mm | Beam tilt | = | .000000000 rad |
| Beam size xi | = | .90487916 mm | Beam size eta | = | .000000000 mm |

課題 (D)

1. ここで得られたSymplectic part of the transfer matrixから、3自由度の電子の運動が、3つの独立した円上の回転で表されることが判る。ここで加速空洞の電圧を0にしたらSymplectic part of the transfer matrixの成分は何処がどのように変化するか？まず頭で考えて、回答と計算方法を述べ、その後、SAD計算により数値的に確認せよ。
2. ここで得られたシンクロトロン振動数は負であるが、正になる場合はどんな時か？
3. Energy spreadを基にしてBunch Lengthを手計算によって求めよ。ここで何故、Emittance Zを基にして計算と言わなかったか、その心理的理由を推察せよ。
4. FODOcell.sad入力ストリーム中、下記部分が意味する所を解釈せよ。

```
! ***** TOTAL RING *****
```

```
!
```

```
ncell=(nbends/2-2)/2; ! number of unitcells per half ring
```

```
!           Defining a half ring, removing the
```

```
!           first QF and IP1 markers in unitcell
```

```
hring=BeamLine[IP1,-supp,Rest[ncell*Rest[unitcell]],supp];
```

```
USE Join[hring,-hring]; ! switch to full ring
```

```
CELL;           ! now periodic condition again
```

ここで、関数Rest[]の意味については、MathematicaのHelpを参照のこと。一般に、SADホームページ記載「SAD/FFS & SADScript」で説明されていない関数の意味が、保証はされていないが、MathematicaのHelpから推察できることがある。

KEKはWolfram社とMathematicaのサイトライセンス契約を行っている。利用希望者は手続きをすれば、KEKに所属するパソコン上で、自由に使用できる。申請に際しては、<http://ccwww.kek.jp/kek/root/mathematica/news.html> から、各プラットホーム毎の説明を見る。

5. ノーマルセル水平方向の位相進行を 120° とした場合（垂直方向は 90° のまま）に、運動量分散部を設計せよ。マッチング途中で生じる困難の理由を、4極磁石強度と運動量分散関数の変化に注目し、考察せよ。そのうえで、周長を変えない条件下でLattice構造に最低限の変更を施し、マッチングを完成させよ。
6. 上に得たLatticeから全周を構築し、クロマティシティ補正、ダイナミックアパーチャサーベイを行い、水平方向 90° セルとの違いを体験せよ。

課題 (E)

1. emit 0.02;とすることで出力されるものを理解し、クロマティシティ補正前後での変化を吟味せよ。
2. クロマティシティ (色収差) 補正前後における、運動量がずれた (例えば $\pm 2\%$) ビーム粒子が従う、全周に渡っての光学関数 (β 関数と運動量分散関数) の振る舞いをSADを使って計算・比較せよ。
3. クロマティシティ (色収差) 補正の目標や補正後オプティクスを検証において、この例では水平・垂直方向のベータatronチューンのみ扱っている。加速器の目的に応じて要求ビーム性能は異なるので、色収差補正の理由や方法にも違いがあるだろう。次の各種加速器からいくつかを選び、色収差の補正方法と評価視点について調べよ。
陽子シンクロトロン、放射光源リング、電子・陽電子貯蔵型コライダー、陽子・陽子貯蔵型コライダー、電子・陽電子リニアコライダー
4. この例が示すダイナミックアパーチャサーベイの結果からは、アパーチャを制限する物理的原因の究明が難しい。正規化座標で、3個の円運動の直積で表されたビーム粒子の線形運動が、非線形力の影響によって、運動が歪んで行き、最終的にダイナミックアパーチャ限界が形成される様子を知るためには、どのようなことをすればよいか考察し、それを実装したSAD入力例を作成せよ。