

演習課題 (C) 回答例

入力ストリームに以下の変更を加える。

```

-----
!
MOMENTUM= 7500 GEV;
MASS=0.938272 GEV ! Proton mass
ON ECHO;OFF CTIME;

;
BEND B = (L = 14.3)
;
LINE CELL = (IP1 QF L1 SF L1 3*B 3*L1 QD L1 SD L1 3*B 3*L1)
;
! Defining parameters:
!
nbends=1230; ! number of bends per ring
-----

```

この改変入力ストリーム”FODOcellforLHC.sad”でSADを走らせると、以下の出力となる。

```

[elcondor@pasa:~/UNIX/SADschool/CELL] kamada% gs FODOcellforLHC.sad
*** Welcome to SAD Ver.1.0.10.4.13a built at 2011-04-18 13:23:15 +0900 ***
*** Today: 17:45:49 Monday 04/18/2011 ***
  cpu time= 2.2125E-02(sec) dt=      22.125(msec) free area::      1794
OFF LOG ECHO;READ 77 ;          23
  cpu time= 2.2318E-02(sec) dt=      22.318(msec) free area::      1794
  cpu time= 2.2395E-02(sec) dt=      22.395(msec) free area::      1793
  cpu time= 2.2785E-02(sec) dt=      22.785(msec) free area::      1793
  cpu time= 2.2844E-02(sec) dt=      22.844(msec) free area::      1793
  cpu time= 2.2867E-02(sec) dt=      22.867(msec) free area::      1793
*** SADScript Initialization: /usr/local/SAD/share/Packages/init.n ***
RFSW RADCOD RAD  FLUC INTRA POL  COD  DAPER EMIOU CMPLO FOURI SMEAR
 F      F      F      T      F      F      F      F      F      T
Design orbit length = 99.799999999999997
  Print[TimeUsed[]];! CPU Time used so far.
.03722300007939339
end;!1
In[2]:= in 77
!
! Defining parameters:
!
nbends=410; ! number of bends per ring
nxcell=0.25; ! horizontal tune/cell
nycell=0.25; ! vertical tune/cell
  Print[TimeUsed[]];! CPU Time used so far.
.037744998931884766
end;!2
In[4]:= in 77
!
! ***** UNIT CELL MATCHING *****
!
(* Matching residual / default=1e-9 *)
CONVERGENCE=1e-20;

CELL; ! peridic condition
B 2*Pi/nbends; ! settin bending angle to the BEND B
FIT; ! set fit point at end of line
NX nxcell; ! set fit condition NX
NY nycell; ! set fit condition NY
FREE Q*; ! set Q* (in this case QF and QD) as the matching
! variable
G0; ! start matching
  3 2 209.3 (NEWTON) 0.2450
  9 1 100.6 (NEWTON) -0.5218
 20 128 100.1 (DESCEND)
 22 1 100.1 (NEWTON) -0.9878
 31 128 100.1 (DESCEND)
Residual = 100.1 DP = 0.01000 DP0 = 0.00000 ExponentOfResidual = 2.0
OffMomentumWeight = 1.000

```

```

$$$      f AX      ##### # -2.763566 $$$      f BX      ##### # 178.44133 $$$
f NX     .25      1      .269278
$$$      f AY      ##### #   .808058 $$$      f BY      ##### # 12.967269 $$$
f NY     .25      1      .251692
$$$      f LENG   ##### # 99.800000 $$$      f TRX     ##### # -16.55161 $$$
f TRY    ##### #  -.021262

```

Horizontal Unstable.

! define dr as the drawing command (needs X-Window)

```

(* Define optics plot function *)
op:=(OpticsPlot[{"BX","BY"},{"EX","EY"},GridLines->{Automatic,Automatic}];Update
[;]);
op;
! dr:=FFS["OUT 'a' DRAW BX BY & EX EY {BQ}*; TERM OUT; TDR 'a';"];
! dr;          ! draw optics of unit cell
end;!3a
In[13]:=

```

困ったことに、FODOセルのマッチングが出来ない。次のようにして変数状況を見る。

```

In[13]:= var;
!Variable      Keyword      Now          ! Previous      Saved          Minimum
Maximum      Couple      Coefficient
QF           K1           .119735109950 ! .1000000000 .1000000000 -1.00000E10
1.000000E10 <-- 1.000000000
QD           K1           -.035391982688 ! -.1000000000 -.1000000000 -1.00000E10
1.000000E10 <-- 1.000000000

```

これを見て、セル長が伸びたのに当初の4極磁石強度初期値を使ったため、4極磁石強度が強すぎた事に思い至る。すなわち、転送行列のTraceの絶対値が2を越え、周回行列として不安定になったと推察できる。”CELL”条件下では、Twissパラメタが計算できない環境に居ると、マッチングに失敗する。というわけで、次のように4極磁石強度の初期値を変更してやる。

```

In[14]:= qf 0.01 qd -0.01;go;
  2   1  6.8018E-02 (NEWTON) -2.9985E-02
  3   1  1.6337E-04 (NEWTON) -2.4019E-03
  4   1  8.4251E-10 (NEWTON) -5.1570E-06
Matched. ( 2.2291E-20) DP = 0.01000 DP0 = 0.00000 ExponentOfResidual = 2.0
OffMomentumWeight = 1.000
$$$      f AX      ##### # -2.402642 $$$      f BX      ##### # 168.50952 $$$
f NX     .25      1      .250000
$$$      f AY      ##### #   .436693 $$$      f BY      ##### # 29.538047 $$$
f NY     .25      1      .250000
$$$      f LENG   ##### # 99.800000
In[16]:= op;

```


	x	px/p0	y	py/p0	z	dp/p0
x :	1.000000	.000000	.000000	.000000	.000000	-8.9E-16
px/p0 :	.000000	1.000000	.000000	.000000	.000000	-1.4E-17
y :	.000000	.000000	1.000000	.000000	.000000	.000000
py/p0 :	.000000	.000000	.000000	1.000000	.000000	.000000
z :	-1.4E-17	8.88E-16	.000000	.000000	1.000000	.000000
dp/p0 :	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000	1.000000

Extended Twiss Parameters:

AX: -2.40946	BX: 168.7303	ZX: -1.4E-14	EX: 2.061400
PSIX: 2.44E-16	ZPX: -1.9E-16	EPX: .029473	
R1: .000000	R2: .000000	AY: .437081	BY: 29.51992
R3: .000000	R4: .000000	PSIY: .000000	ZPY: .000000
		AZ: .000000	BZ: 1.000000
			PSIZ: .000000

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

Design momentum	P0 = 7500.0000 GeV	Revolution freq.	f0 = 3003932.4 Hz
Energy loss per turn	U0 = 4.2910E-5 MV	Effective voltage	Vc = .0000000 MV
Equilibrium position	dz = .0000000 mm	Momentum compact.	alpha = 4.4539E-4
Orbit dilation	dI = .0000000 mm	Effective harmonic #	h = .0000000
Bucket height	dV/P0 = .0000000		

Eigen values and eigen vectors:

Real:	-0.0000000	-0.0000000	-0.0000000	-0.0000000	1.0000000	1.0000000
Imaginary:	1.0000000	-1.0000000	1.0000000	-1.0000000	-0.0000000	-0.0000000
Imag.tune:	-0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
Real tune:	0.2500000	0.2500000	0.2500000	0.2500000	-0.0000000	-0.0000000

	X	Px	Y	Py	Z	Pz
x :	12.98962	8.88E-16	.000000	.000000	-1.4E-14	2.061400
px/p0 :	.185492	.076985	.000000	.000000	-1.9E-16	.029473
y :	.000000	.000000	5.433224	.000000	.000000	.000000
py/p0 :	.000000	.000000	-.080446	.184053	.000000	.000000
z :	-4.68E-4	.158696	.000000	.000000	1.000000	.000000
dp/p0 :	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000	1.000000

	x	px/p0	y	py/p0	z	dp/p0
X :	.076985	-8.9E-16	.000000	.000000	.000000	-.158696
Px :	-.185492	12.98962	.000000	.000000	.000000	-4.68E-4
Y :	.000000	.000000	.184053	.000000	.000000	.000000
Py :	.000000	.000000	.080446	5.433224	.000000	.000000
Z :	.029473	-2.06140	.000000	.000000	1.000000	.000000
Pz :	1.87E-16	-1.4E-14	.000000	.000000	.000000	1.000000

	x	px/p0	y	py/p0	z	dp/p0
x :	1.000000	.000000	.000000	.000000	-1.1E-15	-3.3E-16
px/p0 :	.000000	1.000000	.000000	.000000	2.35E-16	2.64E-16
y :	.000000	.000000	1.000000	.000000	.000000	.000000
py/p0 :	.000000	.000000	.000000	1.000000	.000000	.000000
z :	2.64E-16	3.33E-16	.000000	.000000	1.000000	.000000
dp/p0 :	-2.3E-16	-1.1E-15	.000000	.000000	.000000	1.000000

Radiation part of the transfer matrix:

	x	px/p0	y	py/p0	z	dp/p0
x :	1.17E-11	-4.8E-10	.000000	.000000	.000000	-1.1E-11
px/p0 :	2.55E-13	-1.2E-11	.000000	.000000	.000000	-3.3E-13
y :	.000000	.000000	-4.0E-13	-8.4E-11	.000000	.000000
py/p0 :	.000000	.000000	9.15E-14	4.05E-13	.000000	.000000
z :	-1.1E-13	3.99E-12	.000000	.000000	.000000	8.10E-14
dp/p0 :	1.16E-15	-1.4E-13	.000000	.000000	.000000	-1.1E-11

	X	Px	Y	Py	Z	Pz
X :	4.91E-12	-2.8E-12	.000000	.000000	-6.1E-27	1.73E-12
Px :	2.89E-12	-4.9E-12	.000000	.000000	-4.3E-27	-1.7E-12
Y :	.000000	.000000	8.33E-13	-2.8E-12	.000000	.000000
Py :	.000000	.000000	2.89E-12	-8.3E-13	.000000	.000000
Z :	-1.1E-12	1.08E-12	.000000	.000000	1.46E-27	2.54E-13
Pz :	-1.1E-14	-1.1E-14	.000000	.000000	9.17E-30	-1.1E-11

```

Damping per one revolution:
  X : -2.859163E-12  Y : -2.860645E-12  Z : -5.722773E-12
Damping time (sec):
  X : 116432.  Y : 116371.  Z : 58170.6
Tune shift due to radiation:
  X : -5.140936E-25  Y : -5.135677E-25  Z : 2.024251E-14
Damping partition number:
  X : 0.9995  Y : 1.0000  Z : 2.0005

```

Beam matrix by radiation fluctuation:

```

      x      px/p0      y      py/p0      z      dp/p0
x  3.937E-23
px/p0 9.374E-25 2.346E-26
y  .00000000 .00000000 .00000000
py/p0 .00000000 .00000000 .00000000 .00000000
z -3.26E-25 -7.53E-27 .00000000 .00000000 2.752E-27
dp/p0 3.314E-23 9.419E-25 .00000000 .00000000 -2.46E-25 5.451E-23

      X      Px      Y      Py      Z      Pz
X  7.962E-25
Px -5.88E-25 7.893E-25
Y  .00000000 .00000000 .00000000
Py .00000000 .00000000 .00000000 .00000000
Z  1.077E-25 -1.63E-25 .00000000 .00000000 3.454E-26
Pz -6.10E-24 6.063E-24 .00000000 .00000000 -1.21E-24 5.451E-23

```

Equilibrium beam matrix:

```

      X      Px      Y      Py      Z      Pz
X  1.386E-13
Px -1.19E-24 1.386E-13
Y  .00000000 .00000000 .00000000
Py .00000000 .00000000 .00000000 .00000000
Z  .00000000 .00000000 .00000000 .00000000 1.532E-24
Pz 2.961E-25 5.603E-24 .00000000 .00000000 .00000000 5.108E-25

      x      px/p0      y      py/p0      z      dp/p0
x  2.339E-11
px/p0 3.340E-13 5.592E-15
y  .00000000 .00000000 .00000000
py/p0 .00000000 .00000000 .00000000 .00000000
z -8.43E-16 1.682E-15 .00000000 .00000000 3.492E-15
dp/p0 4.899E-24 5.013E-25 .00000000 .00000000 8.891E-25 5.108E-25

```

```

Emittance X = 1.3864E-13 m  Emittance Y = .000000000 m
Emittance Z = .000000000 m  Energy spread = 7.1468E-13
Bunch Length = .000000000 mm  Beam tilt = .000000000 rad
Beam size xi = .00483657 mm  Beam size eta = .000000000 mm

```

end;!3b

課題 (C) - 1

ここで得られた(垂直方向を含めた) **Damping partition number** は正常である。ここから、放射エネルギー値が適度に大きくなったことで、真つ当な値になったと推察される。さらに、SADコード内部での数値処理において、精度を失う取り扱いが為されていることを連想させる。あるいは、非相対論的な陽子ビームでは、シンクロトロン放射の物理的取扱に問題が潜んでいるかも知れない。

課題 (C) - 2

出力に得た **Damping time (sec): X: 116432. Y: 116371. Z: 58170.6** から判るように、LHCに貯蔵された陽子ビームは1日のオーダーで放射減衰する。もちろん、ビームエネルギー損失を補うため、加速空洞が用意されているので、ビームエミッタンスやエネルギー拡がり、一日程度の時間を掛けて、平衡値に近づいて行く。この平衡ビームパラメータ値としては **Emittance X = 1.3864E-13 m Energy spread = 7.1468E-13** が得られている。このようにビームサイズが収縮する効果があるので、LHCのルミノシティは時間と共に、ビーム損失があるにも拘わらず、一定期間に渡って一定程度増大する。