

サンプルユーザーコード ucphantomgv

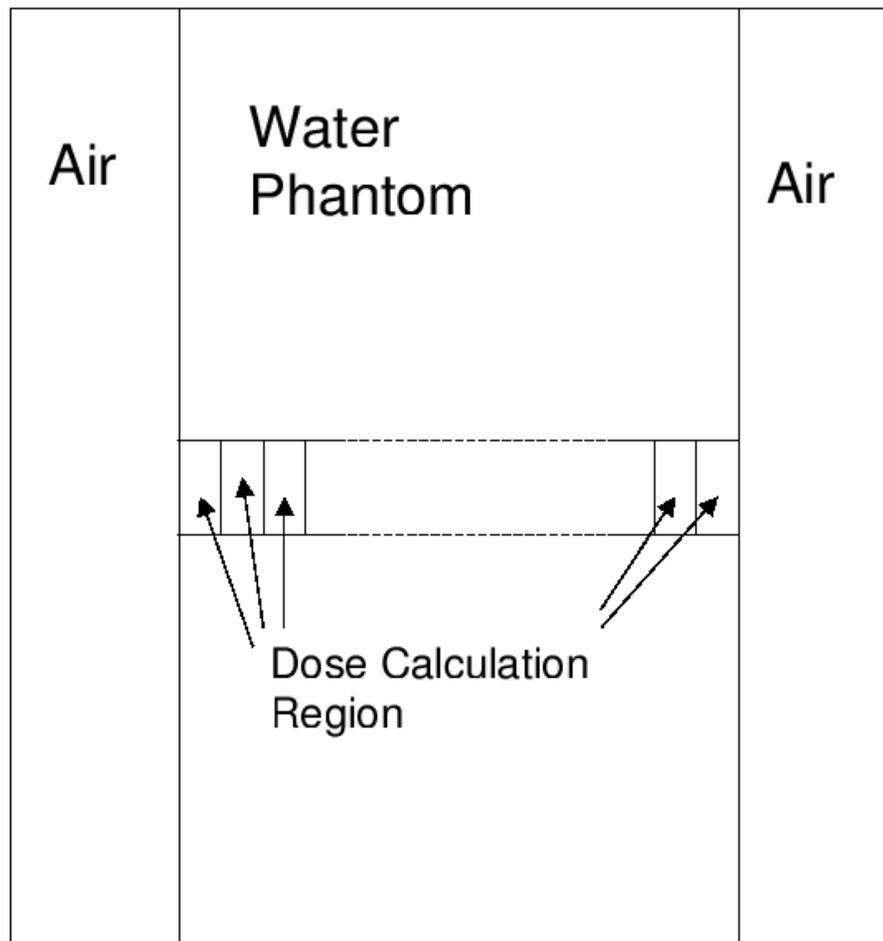
平山 英夫、波戸 芳仁
KEK, 高エネルギー加速器研究機構

テキスト: phantomcgv.pdf,
egs5_user_manual.pdf

ucphantomcgv.f

- 計算課題: 同じ水ファントム中での吸収線量線量の計算
- 形状: CG形状(RPP: 直方体)
- 最大エネルギー100keVのX線
- モードの選択(キーボード入力)
 - 飛跡表示モード(CGView): egs5job.pic
 - 計算モード: egs5job.out
- 空気のエネルギー吸収係数を使用した後方散乱係数を併せて計算

Outside Vacuum Region



All bodies are written as RPP

Step 1: Initialization

- egs5及びpegs5で使われているcommonは、それぞれincludeディレクトリー及びpegscommonsディレクトリーのファイルを ”include”文で取り込む
- 著者から提供されたジオメトリー関係などのユーザーコードのみで使用されるcommonは、auxcommonsディレクトリーのファイルをinclude文で取り込む

配列の大きさの指定

- commonで使用されている変数の配列の大きさは、parameter文で指定
 - egs5で使用されているcommonの変数は、
include/egs5_h.f
 - ユーザーコードでのみ使用されるcommonの変数は、
auxcommns/aux_h.f
- commonと同じようにinclude文により取り込まれる。
- 配列の大きさを変更する場合は、parameter文の変数を変更する

```
include 'include/egs5_h.f'
```

! Main EGS "header" file

```
include 'include/egs5_bounds.f'
```

```
include 'include/egs5_brempr.f'
```

```
include 'include/egs5_edge.f'
```

```
include 'include/egs5_media.f'
```

```
include 'include/egs5_misc.f'
```

```
include 'include/egs5_thresh.f'
```

```
include 'include/egs5_uphiot.f'
```

```
include 'include/egs5_useful.f'
```

```
include 'include/egs5_usersc.f'
```

```
include 'include/egs5_userxt.f'
```

```
include 'include/randomm.f'
```

egs5 common に含まれる変数をメインプログラム等のプログラム単位で使用する場合は、include文で当該commonを指定

include 'auxcommons/aux_h.f' ! Auxiliary-code "header" file

**include 'auxcommons/edata.f'
include 'auxcommons/etaly1.f'
include 'auxcommons/instuf.f'
include 'auxcommons/lines.f'
include 'auxcommons/nfac.f'
include 'auxcommons/watch.f'**

ジオメトリー関係等ユーザーコード
のみで使用されるcommon

include 'auxcommons/etaly2.f' ! Added SJW for energy balance

CG関係のcommonで、CGを使用する場合には常に必要(変更無し)

**include 'auxcommons/geom_common.f' ! geom-common file
integer irinn**

In include/egs5_h.f

! Maximum number of regions allocated

integer MXREG

parameter (MXREG = 10649)

← リージョン数を増やしたい場合には、この数値を変更する。

include/egs5_misc.f

common/MISC/

! Miscellaneous COMMON

*** rhor(MXREG), dunit,**

*** med(MXREG), iraylr(MXREG), lpolar(MXREG), incohr(MXREG),**

*** iprofr(MXREG), impacr(MXREG),**

*** kmpi, kmpo, noscat**

real*8

*** rhor, dunit**

integer

*** med, iraylr, lpolar, incohr, iprofr, impacr, kmpi, kmpo, noscat**

common/totals/

! Variables to score

*** depe(20),faexp,fexps,imode,ndet
real*8 depe,faexp,fexps
integer imode,ndet**

このユーザーコード固有
のcommon

main programで使用する倍精度の実数

!** real*8**

! Local variables

real*8

*** area,availke,depthl,depths,dis,disair,ei0,ekin,elow,eup,
* phai0,phai,radma2,sinth,sposi,tnum,vol,w0,wimin,wtin,wtsum,
* xhbeam,xpf,yhbeam,ypf**

**real*8 bsfa,bsferr,faexps,faexp2s,faexrr,fexpss,fexps2s,fexerr,
* faexpa,fexpsa**

real*8

*** depeh(20),depeh2(20),dose(20),dose2(20),doseun(20),ebint(201),
* nofebin(1),deltae(1),sspec(1,201),ecdft(201),saspec(201)**

main programで使用する単精度の実数

real

* **tarray(2),tt,tt0,tt1,cputime**

main programで使用する整数

integer

* **i,ii,ibatch,icases,idin,ie,ifti,ifto,imed,ireg,isam,**

* **ixtype,j,k,kdet,nlist,nnn,nsebin**

物質名に使用する文字変数(24文字)

character*24 medarr(2)

Open文

- ユーザーコードから、pegsを実行するのに伴い、ユニット7-26は、pegsで close されることから、メインプログラムで open していても、pegs実行後に、再度 open することが必要となる。そのため、ユニット7-26の使用を避ける方が良い。
- 飛跡情報を出力するplotxyz.fのユニットは、9から39に変更

Step 2:pegs5-call

- 物質データ及び各物質のcharacteristic distanceを設定した後で、pegs5をcallする。

```
nmed=2
medarr(1)='WATER-IAPRIM-PHOTX
medarr(2)='AIR-AT-NTP-IAPRIM
```

pegs5で作成する物質データの名前。pegs5の入力データ(ユニット24から読み込み)と対応

```
do j=1,nmed
  do i=1,24
    media(i,j)=medarr(j)(i:i)
  end do
end do
```

各物質のcharacteristic distance

当該物質のリージョンで中、最も小さいサイズを指定

```
chard(1) = 1.0d0    ! optional, but recommended
to invoke
chard(2) = 1.0d0    ! automatic step-size control
```

Step 3:Pre-hatch-call-initialization

npreci=2 ! Pict data mode for CGView

itbody=0

irppin=0

isphin=0

irccin=0

itorin=0

itrcin=0

izonin=0

itverr=0

igmmax=0

ifti = 4 ! Input unit number for cg-data

ifto = 39 ! Output unit number for PICT

CG関連の処理を行う部分。

CGを使用する場合は、変更しない。

write(39,100)

100 FORMAT('CSTA')

call geomgt(ifti,ifto)

write(39,110)

110 FORMAT('CEND')

!-----

! Get nreg from cg input data

!-----

nreg=izonin

CG形状(RPP:直方体で構成)

- ファントム前の空気層
- ファントムの領域
- ファントム内の線量計算をする領域
- ファントム後の空気層
- 体系全体を覆う領域(計算終了の領域を定義するために設定)

RPP	1	-15.0	15.0	-15.0	15.00	-5.0	0.00	← 空気層
RPP	2	-15.0	15.0	-15.0	15.00	0.0	20.00	← ファントム
RPP	3	-0.5	0.5	-0.5	0.50	0.0	1.00	線量計算を したい領域 を定義する ためのbody
RPP	4	-0.5	0.5	-0.5	0.50	1.0	2.00	
RPP	5	-0.5	0.5	-0.5	0.50	2.0	3.00	
RPP	6	-0.5	0.5	-0.5	0.50	3.0	4.00	
RPP	7	-0.5	0.5	-0.5	0.50	4.0	5.00	
RPP	8	-0.5	0.5	-0.5	0.50	5.0	6.00	
RPP	9	-0.5	0.5	-0.5	0.50	6.0	7.00	
RPP	10	-0.5	0.5	-0.5	0.50	7.0	8.00	
RPP	11	-0.5	0.5	-0.5	0.50	8.0	9.00	

RPP	17	-0.5	0.5	-0.5	0.50	14.0	15.00	 <p>線量計算を したい領域を 定義するた めのbody</p>
RPP	18	-0.5	0.5	-0.5	0.50	15.0	16.00	
RPP	19	-0.5	0.5	-0.5	0.50	16.0	17.00	
RPP	20	-0.5	0.5	-0.5	0.50	17.0	18.00	
RPP	21	-0.5	0.5	-0.5	0.50	18.0	19.00	
RPP	22	-0.5	0.5	-0.5	0.50	19.0	20.00	
RPP	23	-0.5	0.5	-0.5	0.50	0.0	20.00	 <p>線量計算の全領域 を包含するbody</p>
RPP	24	-15.0	15.0	-15.0	15.00	20.0	25.00	 <p>背後の空気層</p>
RPP	25	-20.0	20.0	-20.0	20.00	-20.0	40.00	 <p>体系全体を覆う body</p>

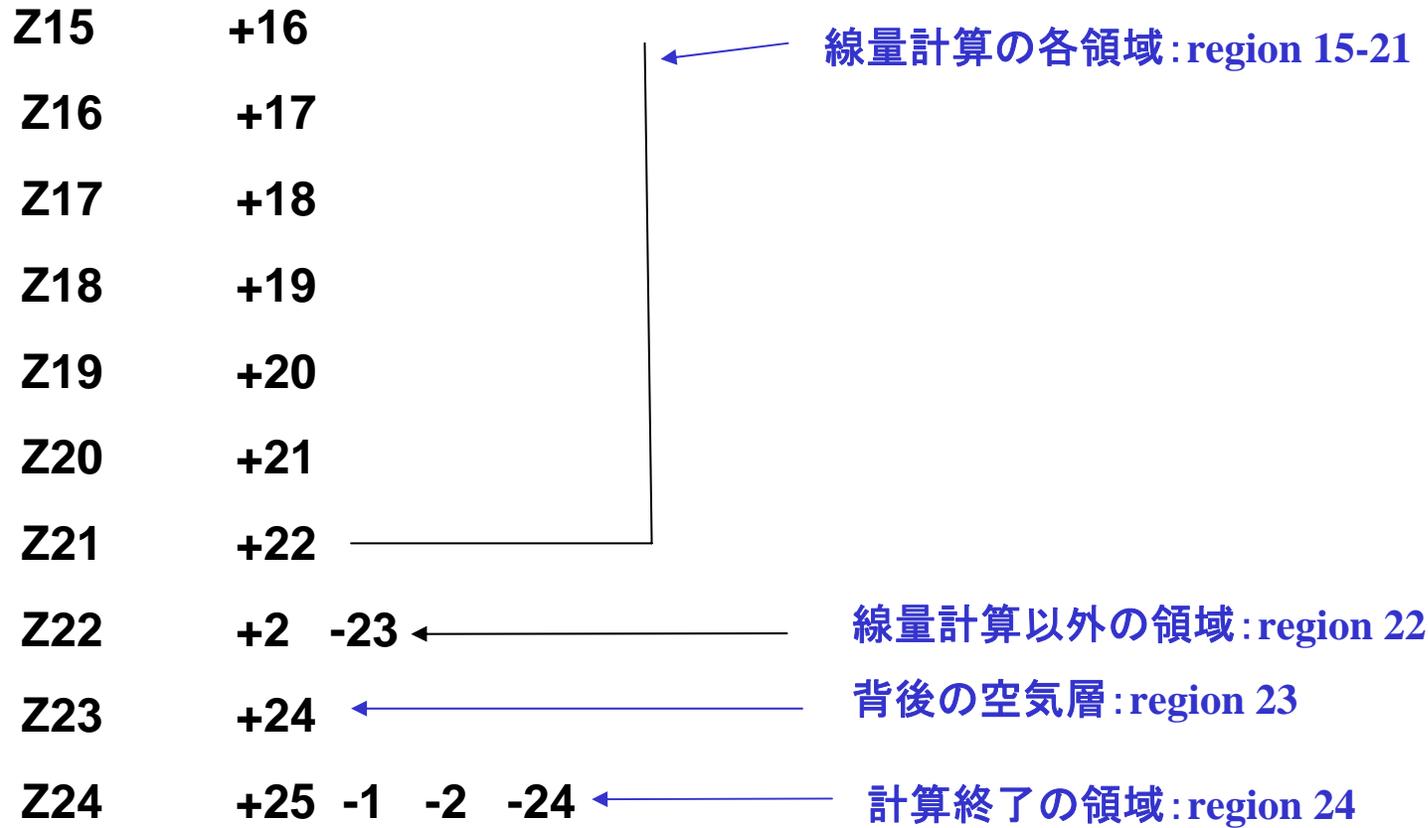
Z1 +1
Z2 +3
Z3 +4
Z4 +5
Z5 +6
Z6 +7
Z7 +8
Z8 +9
Z9 +10
Z10 +11
Z11 +12
Z12 +13
Z13 +14
Z14 +15



ファントム前の空気: region 1



線量計算の各領域: region 2-14



各リージョンへの物質、各種オプションの設定

! Set medium index for each region

! Vacuum region

med(nreg)=0

! Air region

med(1)=2

med(nreg-1)=2

! Water region

ファントムリージョンで、光電子の買う
度分布、特性X線、レイリー散乱オプ
ションを設定

do i=2,nreg-2

iphtr(i) = 1 ! Switches for PE-angle sampling

iedgfl(i) = 1 ! K & L-edge fluorescence

iauger(i) = 0 ! K & L-Auger

iraylr(i) = 1 ! Rayleigh scattering

lpolar(i) = 0 ! Linearly-polarized photon scattering

incohr(i) = 0 ! S/Z rejection

iprofr(i) = 0 ! Doppler broadening

impacr(i) = 0 ! Electron impact ionization

med(i)=1 !Water phantom region

end do

! -----
! **Set parameter estepe and estepe2**
! -----

estepe=0.10
estepe2=0.20

エネルギーヒンジのためのパラメータ設定

estepe:最大エネルギーの電子・陽電子

estepe2:最小エネルギー電子・陽電子

リージョン毎に設定できるオプション

ecut, pcut	カットオフエネルギー (全エネルギー)
iphtr	光電子の角度分布のサンプリング
iedgfl	K & L-特性X線の発生
iauger	K & L-オージェ電子の発生
iraylr	レイリー散乱
lpolar	光子散乱での直線偏光
incohr	S/Z rejection
iprofr	ドップラー広がり
impacr	電子衝突電離

乱数(ranlux乱数)

```
! -----  
! Random number seeds. Must be defined before call hatch  
! or defaults will be used. inseed (1- 2^31)  
! -----  
    luxlev = 1  
    inseed=1  
    write(1,140) inseed  
140  FORMAT(/,' inseed=',I12,5X,  
      *      '(seed for generating unique sequences of Ranlux)')  
  
! =====  
    call rluxinit ! Initialize the Ranlux random-number generator  
! =====
```

異なったinseed毎に、重複しない乱数を発生することが可能

並列計算の場合に有効

Step 4: 入射粒子のパラメーター設定

!-----

! Read spectrum pdf

!-----

do i=1,1

read(2,*) nofebin(i)

read(2,*) deltae(i)

read(2,*) (sspec(i,ie),ie=1,nofebin(i))

end do

X線源情報の読み込み

!-----

! Select source type

!-----

150 write(6,160)

160 FORMAT(' Key in source type. 1:100kV')

read(5,*) ixtype

if (ixtype.eq.0.or.ixtype.gt.1) then

write(6,170)

170 FORMAT(' IXTYPE must be >0 <= 1.')

go to 150

end if

線源の選択

!-----

! Make energy bin table

!-----

```
do ie=1,nsebin
  ebint(ie)=(ie-1)*deltae(ixtype)
end do
```

線源サンプリングのためのエネルギー
ビンテーブルの作成

!-----

! Define source position from phantom surface.

!-----

```
write(6,180)
180 FORMAT(' Key in source position from phantom surface in cm')
read(5,*) sposi
```

線源位置の指定(キーボードから)

!-----

! Source condition redefine

!-----

```
iqin=0      ! Incident charge - photons
ekein=ebint(nsebin)  ! Maximum kinetic energy
etot=ekein
xin=0.D0
yin=0.D0
zin=-sposi
uin=0.D0
vin=0.D0
win=1.D0
irin=0      ! Source region number is defined from xin and yin.
```

粒子の種類

エネルギー(X線の最大エネルギー)

位置、方向

入射粒子の属するリージョン(irin=0;cgj
情報から計算して決定)

粒子の種類

エネルギー(X線の最大エネルギー)

位置、方向

入射粒子の属するリージョン(irin=0;cg 情報から計算して決定)

!-----

! Source condition redefine

!-----

iqin=0 ! Incident charge - photons

ekein=ebint(nsebin) ! Maximum kinetic energy

etot=ekein

xin=0.D0

yin=0.D0

zin=-sposi

uin=0.D0

vin=0.D0

win=1.D0

irin=0 ! Source region number is defined from xin and yin.

ファントム表面でのX及びYの半
値幅(キーボード入力)

!-----

! Key in half width and height at phantom surface

!-----

write(6,190)

190 FORMAT(' Key in half width of beam at phantom surface in cm.')

read(5,*) xhbeam

write(6,200)

200 FORMAT(' Key in half height of beam at phantom surface in
cm.')

read(5,*) yhbeam

radma2=xhbeam*xhbeam+yhbeam*yhbeam

wimin=sposi/dsqrt(sposi*sposi+radma2)

半値幅に対応した θ に対応する $\cos \theta$

!-----

! Selection mode form Keyboard.

!-----

モードの選択(キーボード)

write(6,210)

210 FORMAT(' Key in mode. 0:trajectory display, 1:dose calculation')

read(5,*) imode

Step 5: hatch-call

- 電子・陽電子の全エネルギーの最大値を `emaxe` として設定し、`hatch` を `call` する
- 読み込んだ情報を確認するために、物質データ及び各リージョンの情報を出力する

$$\text{emaxe} = \text{ekein} + \text{RM}$$

線源粒子が光子の場合、近似的に線源光子のエネルギーに電子の静止エネルギーを加えた値を設定する

Step 6: Initialization-for-howfar

- ユーザーコードで使用する形状データを設定する
 - 平板、円筒、球などに関するデータ
- CGを使用しているこのユーザーコードでは、形状に関するデータは、cg入力データとしてstep 6以前に処理しているので、このstepで設定することはない

Step 7: Initialization-for-ausgab

- 計算で求める量の初期化
- 中心領域で、線量計算をするリージョンの数
- 計算したいヒストリー数(ncases)をキーボードからの入力で設定する
 - 0の場合は、計算の終了

```
write(6,360) nreg-4
```

```
360 format(' Key in number of dose calculation region.(<=','l5,')')  
read(5,*) ndet
```

```
380 write(6,390)
```

```
390 FORMAT(' Key in number of cases (0 means end of calculation.)')  
read(5,*) ncases  
if (ncases.eq.0) go to 570
```

Step 8: Shower-call

- ncases数のヒストリー実行する
- 飛跡情報ファイルに、ibatch(最初は、1)を記録する
- 各ヒストリー毎に、線源情報(粒子の種類、エネルギー、位置、方向)を設定

```
410  call randomset(w0)
      win=w0*(1.0-wimin)+wimin
      call randomset(phai0)
      phai=pi*(2.0*phai0-1.0)
      sinth=dsqrt(1.D0-win*win)
      uin=dcos(phai)*sinth
      vin=dsin(phai)*sinth
      dis=sposi/win
      xpf=dis*uin
      ypf=dis*vin
      if (dabs(xpf).gt.xhbeam.or.dabs(ypf).gt.yhbeam) go to 410
      if (sposi.gt.5.0) then
        disair=(sposi-5.0)/win
        xin=disair*uin
        yin=disair*vin
        zin=-5.D0
      else
        xin=0.D0
        yin=0.D0
        zin=-sposi
      end if
```

線源の方向と位置の決定

ファントム表面での位置を計算し、設定した半値幅の領域からはみ出した場合には、サンプリングをやり直す

線源の位置が空気層の外側の場合、空気層の入り口での位置を入射粒子の位置として設定

入射粒子の位置から、その場所のリージョン番号を求める
irin=0なので、ここでリージョン番号が設定される

```
!-----  
!   Get source region from cg input data  
!-----  
!  
    if(irin.le.0.or.irin.gt.nreg) then  
        call srzone(xin,yin,zin,iqin+2,0,irinn)  
        call rstnxt(iqin+2,0,irinn)  
    else  
        irinn=irin  
    end if
```

```
call randomset(ei0)
do ie=2,nsebin
  if (ei0.lt.ecdft(ie)) then
    go to 420
  end if
end do
```

線源エネルギーの決定

CDFからサンプリングで決定

```
420  if (ie.gt.nsebin) then
      ie=nsebin
    end if
      saspec(ie)=saspec(ie)+1.D0
      if (ecdft(ie).eq.ecdft(ie-1)) then
        ekin=ebint(ie-1)
      else
        ekin=ebint(ie-1)+(ei0-ecdft(ie-1))*(ebint(ie)-ebint(ie-1))/
*      (ecdft(ie)-ecdft(ie-1))
    end if
```

!

```
=====
call shower (iqin,etot,xin,yin,zin,uin,vin,win,irinn,wtin)
=====
```

!

計算したい量の平均値とその分散を求めるために、ヒストリー毎の値とその自乗を加える

```
do kdet=1,ndet
  depeh(kdet)=depeh(kdet)+depe(kdet)
  depeh2(kdet)=depeh2(kdet)+depe(kdet)*depe(kdet)
  depe(kdet)=0.0
end do
```

```
faexps=faexps+faexp
faexp2s=faexp2s+faexp*faexp
faexp=0.0
fexpss=fexpss+fexps
fexp2s=fexp2s+fexps*fexps
fexps=0.0
```

統計的な誤差評価

- x をモンテカルロ計算によって求める量とする誤差を評価するのに便利な2つの方法がある
- MCNPで使用している方法
 - 計算は N 個の“入射”粒子について行われ、 x_i は、 i -番目のヒストリーの結果であるとする

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad x_i \text{ の平均値}$$

$$s^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \approx \overline{x^2} - (\bar{x})^2; (\overline{x^2} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2) \quad x_i \text{ の分散}$$

$$s_{\bar{x}}^2 = \frac{1}{N} s^2 \approx \frac{1}{N} [\overline{x^2} - \bar{x}^2] \quad \bar{x} \text{ の分散}$$

$$R = \frac{s_{\bar{x}}}{\bar{x}} \approx \left[\frac{1}{N} \left(\frac{\overline{x^2}}{\bar{x}^2} - 1 \right) \right]^{1/2} \quad \text{相対標準偏差}$$

MORSE-CGで使用している方法

- 計算は N 個の“入射”粒子について行われ、 x_i は、 i -番目のヒストリーの結果であるとする
- “ N ” ヒストリーを、それぞれ N/n ヒストリーの n 個のバッチに分割する
- 各バッチ毎に得られた値を x_j とする

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j \quad x_j \text{ の平均値}$$

$$s_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (x_j^2 - \bar{x}^2) \quad x_j \text{ の分散}$$

$$s_{\bar{x}}^2 = \frac{s_x^2}{n} \quad \text{平均の分散}$$

$$FSD = \frac{s_{\bar{x}}}{\bar{x}} \quad \text{相対標準偏差}$$

Step 9: Output-of-results

- 線源条件や、形状等の情報の出力
 - どの様な計算であるかを示すために出力
 - cgの場合は、形状をデータから直接示すことが容易でないので、必要な情報を設定して出力する
- X線の線源スペクトルとサンプリング結果の比較
- 平均値の和とその自乗の和から、求めたい量の平均値と誤差を計算し、出力する

吸收線量

```
area=1.D0*1.D0
do kdet=1,ndet
  vol=area*1.D0
  dose(kdet)=depeh(kdet)/ncases
  dose2(kdet)=depeh2(kdet)/ncases
  doseun(kdet)=dsqrt((dose2(kdet)-dose(kdet)*dose(kdet))/ncases)
  dose(kdet)=dose(kdet)*1.602E-10/vol
  doseun(kdet)=doseun(kdet)*1.602E-10/vol
  depths=kdet-1.0
  depthl=kdet
  write(6,530)depths,depthl,(media(ii,med(kdet+1)),ii=1,24),
* rhor(kdet+1),dose(kdet),doseun(kdet)
530  FORMAT(' At ',F4.1,'--',F4.1,'cm (',24A1,',rho:',F8.4,')= ',
* G13.5,'+-',G13.5,'Gy/incident')
  write(1,530) depths,depthl,(media(ii,med(kdet+1)),ii=1,24),
* rhor(kdet+1),dose(kdet),doseun(kdet)
end do
```

ausgab

- ausgab は、ユーザーが得たい情報を記録するサブルーチンである
- ファントム領域での吸収線量
- ファントム表面での照射線量

```
if (irl.ge.2.and.irl.le.nreg-3) then
  idet=irl-1
  if(idet.ge.1.and.idet.le.ndet) then
    depe(idet)=depe(idet)+edepwt/rhor(irl)
  end if
end if
```

線量計算の領域の粒子の場合、単位重量当たりの吸収線量を積算する

$\text{rhor}(irl)$ は、当該リージョンの密度

照射線量の計算

```
if (abs(irl-irold).eq.1.and.iq(np).eq.0) then
  if((w(np).gt.0.0.and.irl.eq.2).or.(w(np).le.0.0.and.irl.eq.1))
* then
  if (dabs(w(np)).ge.0.0349) then
    cmod=dabs(w(np))
  else
    cmod=0.0175
  end if
  esing=e(np)
  dcon=encoa(esing)
  fexps=fexps+e(np)*dcon*wt(np)/cmod
  if (w(np).lt.0.0) latch(np)=1
  if (w(np).gt.0.0.and.latch(np).eq.0) then
    faexp=faexp+e(np)*dcon*wt(np)/cmod
  end if
end if
end if
```

光子が面を横切った場合

ファントム前面の場合

平面粒子束: 単位面積を通過する粒子束の計算 --cos θ の補正

エネルギーESINGの光子に対する空気の質量吸収係数

! PHOTX data

howfar

- howfar は、egs にジオメトリーに関する情報を伝えるサブルーチン
- howfar は、ustep の途中で、リージョン境界があるかどうかを調べる。ある場合には、
 - ustep を境界までの距離に置き換える
 - irnew を粒子が入っていくリージョン番号に設定する
- 粒子が、ユーザーが追跡を止めたい領域(例: 体系外)に達したばあいには、idiscard フラグを1に設定する
- 使用するジオメトリルーティン毎に異なったhowfarとなる
 - cgを使用している場合は、このユーザーコードのhowfarを使用する

ユーザーコードで利用可能な変数、
オプションについては
`egs5_user_manual`を参照

実習課題

- 実習課題1: 線源を、Cs-137の単一エネルギー光子(0.662MeV)に変える。
- 実習課題2: 線源をCo-60に変え、1.173MeVと1.333MeV光子を同じ確率で発生させる。
- 実習課題3: 肺のモデルに変更する
 - 前面から3cmを通常の人体組織、3-13cmを肺(密度 0.3g/cm^3)とし、その背後に3cmの人体組織がある体系に変更する。線源は、元のX線とする。
- 実習課題4: 腫瘍を含む肺
 - 肺の前面から3cmの位置に、厚さ2cmの腫瘍を設定する。密度を通常の水とする。
 - 腫瘍は、X-, Y-方向全域に広がっていると仮定する。線源は、元のX線とする。
- 実習課題5: 金属の挿入
 - ファントムから5cm-6cmの領域を鉄に変える。線源は、元のX線とする。