

実用ユーザーコード

平山 英夫

KEK, 高エネルギー加速器研究機構

2021.07.3

実用ユーザーコードとは

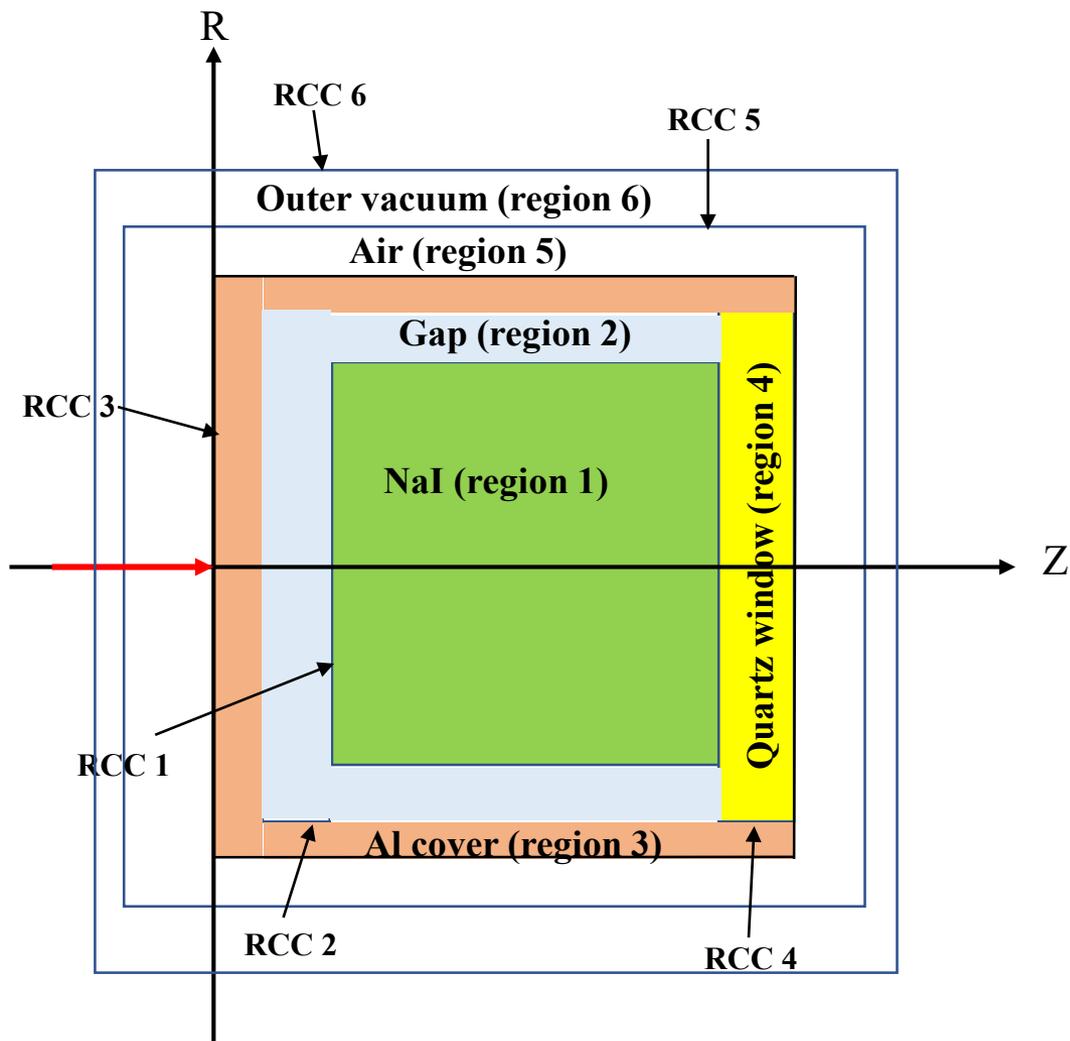
- egs5は、入力データだけで計算結果を求めるのではなく、自分の計算目的に即したユーザーコード（線源、形状、求める量）を書くことを前提にしている
- 一方、簡単なユーザーコードから、目的とするユーザーコードに修正することは簡単ではない
- このような状況を踏まえ、KEKでは、具体的な計算目的に即した3種類のサンプルのユーザーコード（実用ユーザーコード）を作成し、テキストと共に提供している

提供している実用ユーザーコード

- ucnaicgv.f
 - NaI(Tl)検出器の波高分布を計算することを目的にしたユーザーコード
 - テキスト: Lecture Notes of Response calculation of NaI detector (KEK Internal 2011-5)
- ucphantomcgv.f
 - phantom中の吸収線量を計算することを目的にしたユーザーコード
 - テキスト: Lecture Notes of Dose distribution calculation inside phantom (KEK Internal 2011-6)
- ucionch_cgv.f
 - 空気電離箱中での空気吸収線量を計算することを目的にしたユーザーコード
 - テキスト: Lecture Notes of Calculation of air absorbed dose with ionization chamber

ucnaicgv.f

- 放射線検出器に関する計算では、線源から放出された放射線により、検出器に吸収されるエネルギーを計算することが最も基本である
- NaI(Tl)の様に、吸収されたエネルギーのレスポンス(吸収エネルギー分布)が必要な場合には、入射放射線毎(ヒストリー毎)に、検出器に吸収されたエネルギーを予め設定したエネルギー区分により波高値を求める処理が必要になる
- ucnaicgv.fは、波高分布を求めるユーザーコードのサンプルとなる実用ユーザーコードである
 - 波高分布を検討するために、検出器部分にどのような放射線が、どのようなエネルギーで入射したかという情報を併せて計算するようにしている
- 形状:CG形状(RCC:円筒)
- 線源:1.253MeV γ 線のペンシルビームで、円筒の中心に垂直に入射
- 出力
 - 飛跡 (CGView): egs5job.pic
 - 計算結果: egs5job.out



ucnaicgv.data

RCC	1	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0
		7.62	3.81			
RCC	2	0.00	0.0	-0.5	0.00	0.0
		8.12	4.31			
RCC	3	0.00	0.0	-0.6	0.00	0.0
		8.72	4.41			
RCC	4	0.00	0.0	7.62	0.00	0.0
		0.5	4.31			
RCC	5	0.00	0.0	-5.6	0.00	0.0
		18.72	9.41			
RCC	6	0.0	0.0	-10.0	0.0	0.0
		30.0	12.0			
END						
Z1	+1					
Z2	+2	-1				
Z3	+3	-2	-4			
Z4	+4					
Z5	+5	-3				
Z6	+6	-5				
END						
1	0	2	3	4	0	

ucnaicgv.f の計算結果 (egs5job.out)

1行 : chard 値

4-20行 : cg-data (ucnaicgv.dataから入力したデータ)

23-25行 : ranlux 関連データ

42-65行 : pegs5で作成した物質データ (密度、radiation length, 電子 (ae, ue) 光子 (ap, up) の
上限と下限エネルギー (静止質量含む全エネルギー)

67-176行 : 各リージョンに設定した物質とその物質の特性X線に関する情報

178-191行 : 粒子の移動情報 (移動後のエネルギー、位置 (x, y, z)、方向余弦 (u, v, w)、
電荷 (iq)、リージョン番号 (ir)、移動の種類 (iarg))
線源粒子のシミュレーションが正常に行なわれていることを確認するための出力

Elapsed Time (sec)= 27.672

Ncount= 100000 (actual cases run)

Ncases= 100000 (number of cases requested)

TotKE = 0.12530E+06 (total KE (MeV) in run)

Detector length= 7.6200 cm

Detector radius= 3.8100 cm

Al cover thickness= 0.10 cm

Al cover side thickness= 0.10 cm

Front gap = 0.50 cm

Side gap = 0.50 cm

Results for 1.2530 MeV photon

Peak efficiency = 37.87 +- 0.15 %

Total efficiency = 76.31 +- 0.13 %

192行以降 : 計算結果と計算に関連した情報

- ・ CGで作成した形状を出力
CGデータを見なくても、どのような検出器
の計算かが分かるように

検出効率の計算

ucnaicgv.f の510-522行

```
if (depe .gt. 0.D0) then
  ie=depe/deltae + 1
  if (ie .gt. 50) ie = 50
  phs(ie)=phs(ie)+wtin
  ph2s(ie)=ph2s(ie)+wtin*wtin
  tefs=tefs + wtin
  tef2s=tef2s + wtin*wtin
  if(depe .ge. ekein*0.999) then
    pefs=pefs +wtin
    pef2s=pef2s +wtin*wtin
  end if
  depe = 0.D0
end if
```

検出器 (NaI) の領域に吸収エネルギーがある場合
(depeが0でない) 場合に、
その値により波高の高さを調べる
検出があった (全検出効率) とする
depeが入射エネルギーの99.9%以上の場合、
全エネルギー吸収ピークであるとする

設定したヒストリー数終了後、tefsとtef2sから「全検出効率」の平均値と統計誤差を
pefsとpef2sから「ピーク検出効率」の平均値と統計誤差
を求め、出力する

波高分布の計算

検出器(NaI)の領域に吸収されたエネルギーを設定したエネルギー幅(deltae)の何倍であるかによって、波高値(phs(ie), ph2s(ie)、ieはdeltaeを基準とした時の波高値)を用いて設定したヒストリー終了後、入射γ線当たりの波高値とその統計誤算を求める。
deltaeは、入射粒子のエネルギーを50で割った値なので、入射エネルギーにより異なる。入射エネルギーが変わっても比較が可能なように、入射γ線当たりのcounts/MeVとしている

egs5job.outの210-260行

Pulse height distribution

E (upper-edge --0.2506E-01 MeV)=	0.27334	+-	0.10408E-01 counts/MeV/incident
E (upper-edge --0.5012E-01 MeV)=	0.28532	+-	0.10632E-01 counts/MeV/incident
E (upper-edge --0.7518E-01 MeV)=	0.29848	+-	0.10873E-01 counts/MeV/incident
E (upper-edge --0.1002 MeV)=	0.28492	+-	0.10625E-01 counts/MeV/incident
E (upper-edge --0.1253 MeV)=	0.28731	+-	0.10669E-01 counts/MeV/incident
E (upper-edge --0.1504 MeV)=	0.26137	+-	0.10179E-01 counts/MeV/incident
E (upper-edge --0.1754 MeV)=	0.28931	+-	0.10706E-01 counts/MeV/incident
E (upper-edge --0.2005 MeV)=	0.28731	+-	0.10669E-01 counts/MeV/incident
.			
E (upper-edge -- 1.103 MeV)=	0.87789E-01	+-	0.59122E-02 counts/MeV/incident
E (upper-edge -- 1.128 MeV)=	0.49082E-01	+-	0.44229E-02 counts/MeV/incident
E (upper-edge -- 1.153 MeV)=	0.29529E-01	+-	0.34314E-02 counts/MeV/incident
E (upper-edge -- 1.178 MeV)=	0.23543E-01	+-	0.30642E-02 counts/MeV/incident
E (upper-edge -- 1.203 MeV)=	0.17957E-01	+-	0.26763E-02 counts/MeV/incident
E (upper-edge -- 1.228 MeV)=	0.35116E-01	+-	0.37417E-02 counts/MeV/incident
E (upper-edge -- 1.253 MeV)=	15.123	+-	0.61218E-01 counts/MeV/incident

ピーク検出効率と波高分布の関係

- 波高分布の1.228から1.253MeVの計数値15.123 counts/MeV にエネルギー幅($\Delta E=0.02506\text{MeV}$)を掛けた0.3790が、入射粒子当たりのピーク検出効率になる
- 先にピーク検出効率として求めた
Peak efficiency = $37.87 \pm 0.15 \%$
とほぼ同じ値になっているが、若干大きい
- これは、 ΔE を入射エネルギーの1/50に設定してるため、ピーク検出効率の条件として設定した1.252 MeV以上という条件よりエネルギー範囲が広いためである

検出器に入ってくる粒子毎のスペクトルの計算

検出器(NaI)に、外側の領域から粒子(光子、電子、陽電子)が入ってきた場合、粒子毎の運動エネルギーからスペクトルを求め、設定したヒストリー終了後、粒子毎にMeV当たりの数とその統計誤差を出力する

egs5job.outの262-315行

Particle spectrum crossing the detector plane

particles/MeV/source photon

Upper energy	Gamma	Electron	Positron					
.25060E-01 MeV--	0.35914E-02+-	0.11971E-02	0.27933E-02+-	0.10557E-02	0.0000	+-	0.0000	
.50120E-01 MeV--	0.39904E-02+-	0.12618E-02	0.47885E-02+-	0.14930E-02	0.0000	+-	0.0000	
.75180E-01 MeV--	0.39904E-02+-	0.12618E-02	0.79808E-02+-	0.18715E-02	0.0000	+-	0.0000	
.10024 MeV--	0.55866E-02+-	0.14930E-02	0.83799E-02+-	0.19136E-02	0.0000	+-	0.0000	
.12530 MeV--	0.15962E-01+-	0.25233E-02	0.71828E-02+-	0.16928E-02	0.0000	+-	0.0000	
.15036 MeV--	0.31125E-01+-	0.35229E-02	0.67837E-02+-	0.16452E-02	0.0000	+-	0.0000	
.17542 MeV--	0.34717E-01+-	0.37204E-02	0.83799E-02+-	0.18284E-02	0.0000	+-	0.0000	
.20048 MeV--	0.51077E-01+-	0.45118E-02	0.91780E-02+-	0.19135E-02	0.0000	+-	0.0000	
.								
1.1277 MeV--	0.11173E-01+-	0.21112E-02	0.0000	+-	0.0000	0.0000	+-	0.0000
1.1528 MeV--	0.11572E-01+-	0.21486E-02	0.0000	+-	0.0000	0.0000	+-	0.0000
1.1778 MeV--	0.12370E-01+-	0.22214E-02	0.0000	+-	0.0000	0.0000	+-	0.0000
1.2029 MeV--	0.15563E-01+-	0.24915E-02	0.0000	+-	0.0000	0.0000	+-	0.0000
1.2279 MeV--	0.11173E-01+-	0.21112E-02	0.0000	+-	0.0000	0.0000	+-	0.0000
1.2530 MeV--	39.316 +-	0.15202E-01	0.0000	+-	0.0000	0.0000	+-	0.0000

ucnaicgv.f の計算結果 (egs5job.out)

314-377行

直接目的とする情報ではないが、「粒子毎」、「リージョン毎」、「IARG」毎に入射粒子の運動エネルギーに対する吸収エネルギーの割合を出力したもの

全ての粒子の全てのリージョン、全てのIARGの合計は、入射粒子の運動エネルギーになるので、377行目の様に1とならなければならない。

1からずれた結果となった場合には、ユーザーコードのどこかに間違いがある。調査して問題点を修正する必要がある。

TOTAL FRACTION= 1.000000 NOTE: THIS NUMBER SHOULD BE VERY CLOSE TO UNITY

382-442行

「粒子毎」、「リージョン毎」、「IARG」毎に 入射粒子の
EVENT数を出力したもの

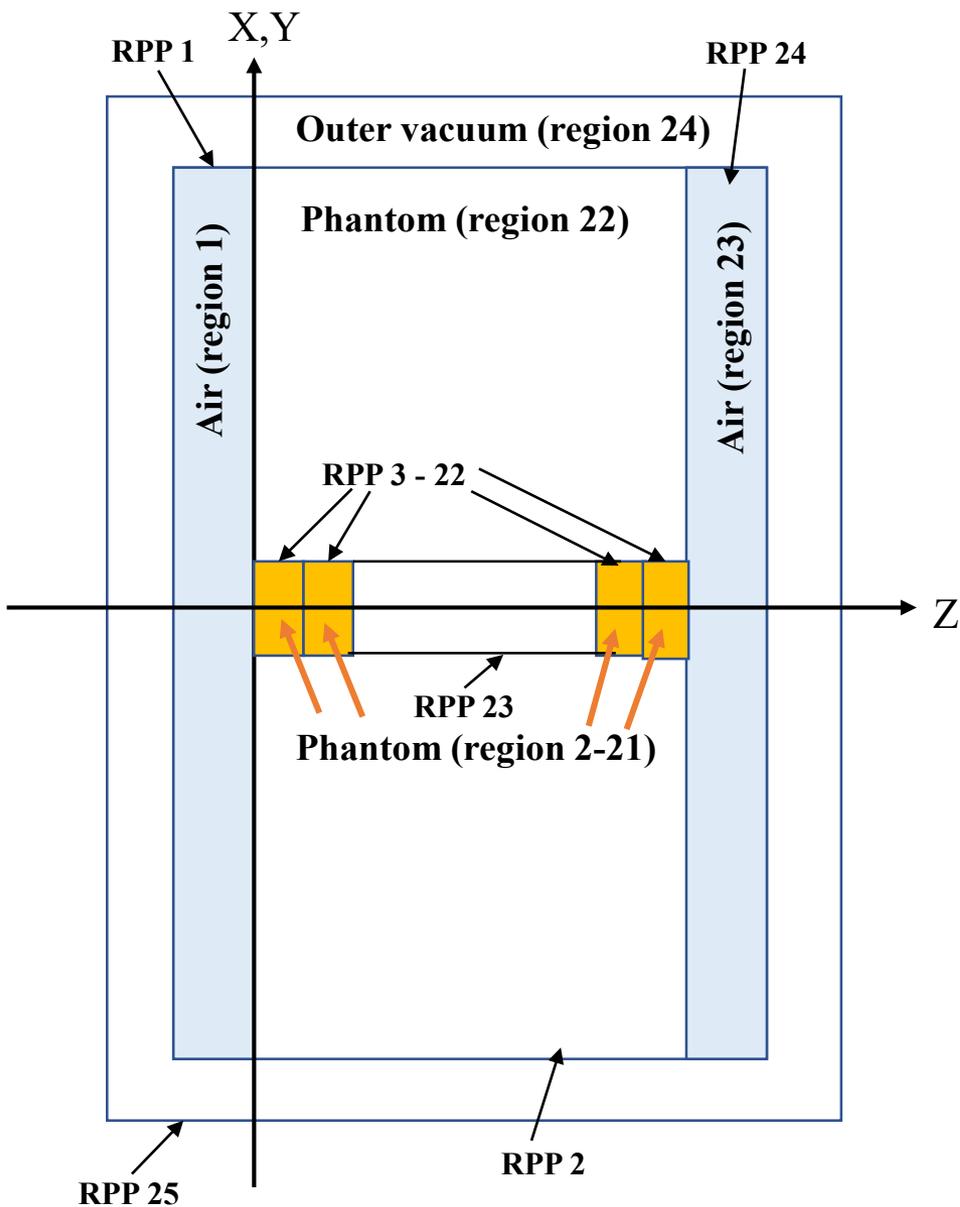
ステップ毎に記録されるので、吸収エネルギーの集計と異なり、参考情報である。

実習課題

- 実習課題1: NaI検出器の計算
 - 次のように変更して、ピーク検出効率及び全検出効率の変化を調べよ。
 - 線源を、Cs-137の単一エネルギー光子(0.662MeV)に変える。
 - 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。
 - 1.253MeV線源について、一方向(Z-方向)のみに放出している線源光子を、等方線源に変更する。
 - 1.253MeV線源で、検出器の有感領域の厚さを2倍する。
- 実習課題2: Ge検出器の計算
 - 検出器を、Geに変更して、同じ大きさのNaIと、1.253MeV線源に対するピーク及び全検出効率と比較せよ。

ucphantomcgv.f

- 計算課題：水ファントム中での吸収線量の計算
- 形状：CG形状 (RPP：直方体)
- 線源光子エネルギー：1.253MeV
- 点等方線源の位置 SPOSI (10cm)
- ファントム表面でのX-方向の半値幅 (xhbeam=1cm)、Y-方向の半値幅 (yhbeam=1cm)
- 得られる結果
 - 飛跡表示データ (CGView) : egs5job.pic
 - 計算結果 : egs5job.out



ucphantommcgv.data

RPP 1	-15.0	15.0	-15.0	15.0	-5.0	0.00
RPP 2	-15.0	15.0	-15.0	15.0	0.0	20.0
RPP 3	-0.5	0.5	-0.5	0.5	0.0	1.00
RPP 4	-0.5	0.5	-0.5	0.5	1.0	2.00
RPP 5	-0.5	0.5	-0.5	0.5	2.0	3.00
RPP 6	-0.5	0.5	-0.5	0.5	3.0	4.00
RPP 7	-0.5	0.5	-0.5	0.5	4.0	5.00
RPP 8	-0.5	0.5	-0.5	0.5	5.0	6.00
RPP 9	-0.5	0.5	-0.5	0.5	6.0	7.00
RPP 10	-0.5	0.5	-0.5	0.5	7.0	8.00
RPP 11	-0.5	0.5	-0.5	0.5	8.0	9.00
RPP 12	-0.5	0.5	-0.5	0.5	9.0	10.00
RPP 13	-0.5	0.5	-0.5	0.5	10.0	11.00
RPP 14	-0.5	0.5	-0.5	0.5	11.0	12.00
RPP 15	-0.5	0.5	-0.5	0.5	12.0	13.00
RPP 16	-0.5	0.5	-0.5	0.5	13.0	14.00
RPP 17	-0.5	0.5	-0.5	0.5	14.0	15.00
RPP 18	-0.5	0.5	-0.5	0.5	15.0	16.00
RPP 19	-0.5	0.5	-0.5	0.5	16.0	17.00
RPP 20	-0.5	0.5	-0.5	0.5	17.0	18.00
RPP 21	-0.5	0.5	-0.5	0.5	18.0	19.00
RPP 22	-0.5	0.5	-0.5	0.5	19.0	20.00
RPP 23	-0.5	0.5	-0.5	0.5	0.0	20.00
RPP 24	-15.0	15.0	-15.0	15.0	20.0	25.00
RPP 25	-20.0	20.0	-20.0	20.0	-20.0	40.00
END						

ucphantomcgv.f の計算結果 (egs5job.out)

1行 : chard 値

3-56行: cg-data (ucphantomcgv.dataから入力したデータ)

59-61行: ranlux 関連データ

74-85行: pegs5で作成した物質データ (密度、radiation length, 電子 (ae,ue) 光子 (ap,up)の
上限と下限エネルギー (静止質量含む全エネルギー)

88-135行: 各リージョンに設定した物質とその物質の特性X線に関する情報

138-166行: 粒子の移動情報 (移動後のエネルギー、位置(x, y, z)、方向余弦(u, v, w)、電荷(iq)、
リージョン番号 (ir)、移動の種類(iarg)
線源粒子のシミュレーションが正常に行なわれていることを確認するための出力

167行以降 : 計算結果と計算に関連した情報

Elapsed Time (sec)= 236.50

Ncount= 1000000 (actual cases run)

Ncases= 1000000 (number of cases requested)

TotKE = 0.12530E+07 (total KE (MeV) in run)

Average Kinetic energy = 1.2530 MeV

Absorbed energy inside phantom for 1.253MeV photon

Source position 10.0 cm from phantom surface

Within 1cm x 1 cm area after 5 cm air

1000000 photons normally incident from front side

Half width of beam is 1.0000 cm for X and 1.0000 cm for Y

ucphantomcgv.f の計算結果 (egs5job.out)

ファントム中心軸上の1 cm x 1cm x 1cmの領域の吸収エネルギー分布

At 0.0-- 1.0cm (WATER	,rho: 1.0000)= 0.12128E-11+- 0.11336E-13Gy/incident
At 1.0-- 2.0cm (WATER	,rho: 1.0000)= 0.10859E-11+- 0.10597E-13Gy/incident
At 2.0-- 3.0cm (WATER	,rho: 1.0000)= 0.88469E-12+- 0.95718E-14Gy/incident
At 3.0-- 4.0cm (WATER	,rho: 1.0000)= 0.73348E-12+- 0.87309E-14Gy/incident
At 4.0-- 5.0cm (WATER	,rho: 1.0000)= 0.61090E-12+- 0.79745E-14Gy/incident
At 5.0-- 6.0cm (WATER	,rho: 1.0000)= 0.49924E-12+- 0.72125E-14Gy/incident
At 6.0-- 7.0cm (WATER	,rho: 1.0000)= 0.42043E-12+- 0.65497E-14Gy/incident
At 7.0-- 8.0cm (WATER	,rho: 1.0000)= 0.35355E-12+- 0.60204E-14Gy/incident
At 8.0-- 9.0cm (WATER	,rho: 1.0000)= 0.29907E-12+- 0.55372E-14Gy/incident
At 9.0--10.0cm (WATER	,rho: 1.0000)= 0.26563E-12+- 0.52237E-14Gy/incident
At 10.0--11.0cm (WATER	,rho: 1.0000)= 0.21931E-12+- 0.47400E-14Gy/incident
At 11.0--12.0cm (WATER	,rho: 1.0000)= 0.18716E-12+- 0.43368E-14Gy/incident
At 12.0--13.0cm (WATER	,rho: 1.0000)= 0.16806E-12+- 0.41620E-14Gy/incident
At 13.0--14.0cm (WATER	,rho: 1.0000)= 0.15213E-12+- 0.39253E-14Gy/incident
At 14.0--15.0cm (WATER	,rho: 1.0000)= 0.12972E-12+- 0.36204E-14Gy/incident
At 15.0--16.0cm (WATER	,rho: 1.0000)= 0.10903E-12+- 0.33225E-14Gy/incident
At 16.0--17.0cm (WATER	,rho: 1.0000)= 0.95077E-13+- 0.30919E-14Gy/incident
At 17.0--18.0cm (WATER	,rho: 1.0000)= 0.85100E-13+- 0.29379E-14Gy/incident
At 18.0--19.0cm (WATER	,rho: 1.0000)= 0.73969E-13+- 0.27345E-14Gy/incident
At 19.0--20.0cm (WATER	,rho: 1.0000)= 0.68028E-13+- 0.26150E-14Gy/incident

ucphantomcgv.f の計算結果 (egs5job.out)

ファントム表面での空気吸収線量と周辺線量当量

ファントムが無い場合とファンともがある状態

空気吸収エネルギー

空気の質量エネルギー吸収係数とファントム表面を横切る光子束を用いて求めた結果

ファントムを顧慮した結果と考慮しない場合の比：ファントムによる後方散乱係数

周辺線量当量

換算係数とファントム表面を横切る光子束を用いて求めた結果

Exposure in free air (using mu_en) = 0.13456E-11+- 0.23221E-14 Gy/incident

Exposure at phantom surface (using mu_en) = 0.13529E-11+- 0.23396E-14 Gy/incident

Backscattering factor = 1.0054 +- 0.24562E-02

Ambient dose equivalent in free air (using mu_en) = 0.15593E-11+- 0.26909E-14 Sv/incident

Ambient dose equivalent at phantom surface (using mu_en) = 0.15691E-11+- 0.27158E-14 Sv/incident

ucphantomcgv.f の計算結果 (egs5job.out)

200-241行

Energy deposition summary

直接目的とする情報ではないが、「粒子毎」、「リージョン毎」、「IARG」毎に入射粒子の運動エネルギーに対する吸収エネルギーの割合を出力したもの

全ての粒子の全てのリージョン、全てのIARGの合計は、入射粒子の運動エネルギーになるので、341行目の様に1とならなければならない。

1からずれた結果となった場合には、ユーザーコードのどこかに間違いがある。調査して問題点を修正する必要がある。

TOTAL FRACTION= 1.000000	NOTE: THIS NUMBER SHOULD BE VERY CLOSE TO UNITY
--------------------------	---

実習課題

- 実習課題 1 : 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 2 : 100kVのX線 (スペクトルデータは、xray.datから読み込み)データを用いてサンプリングする。
- 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。

ucionch_cg.v.f

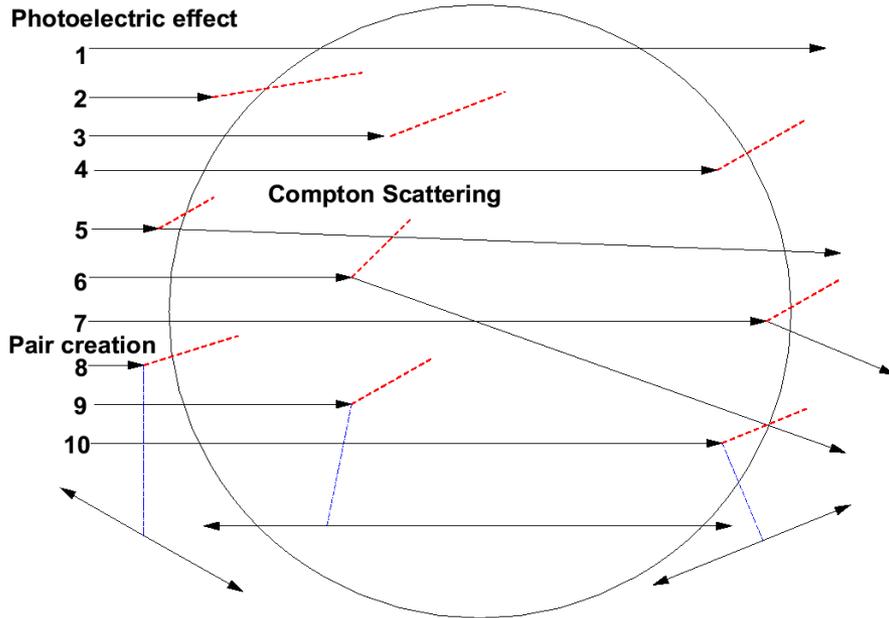
- 空洞電離箱(電離箱の容器【壁材】内部の空気などの気体中に吸収されるエネルギーから壁材の吸収線量を測定)は、様々な分野で線量測定に用いられる基本的な線量計である
- ucionch_cg.v.fは、電離箱で内部の気体を空気とした場合のユーザーコードのサンプルとなる実用ユーザーコードである
 - 電離箱のケース: ポリエチレン
 - 内部の気体: 空気
 - 形状: CG形状(RCC: 円筒)
 - 線源光子エネルギー: 0.662MeV
 - 線源: ペンシルビームで、電離箱前面の中心に垂直に入射
 - 得られる結果
 - 飛跡表示データ(CGView): egs5job.pic
 - 計算結果: egs5job.out

電離箱等気体の吸収線量の計算

- 光子による物質の吸収線量の計算は、光子の反応により生成した電子・陽電子により物質に付与されたエネルギーを使うのが基本である
- 固体や液体の場合は、ある程度の大きさがあれば、光子から見て一様に広がった当該物質内と見なせることから、当該物質の質量エネルギー吸収係数と光子のエネルギーフルエンスから計算することができる

質量エネルギー吸収係数を用いた吸収線量の計算

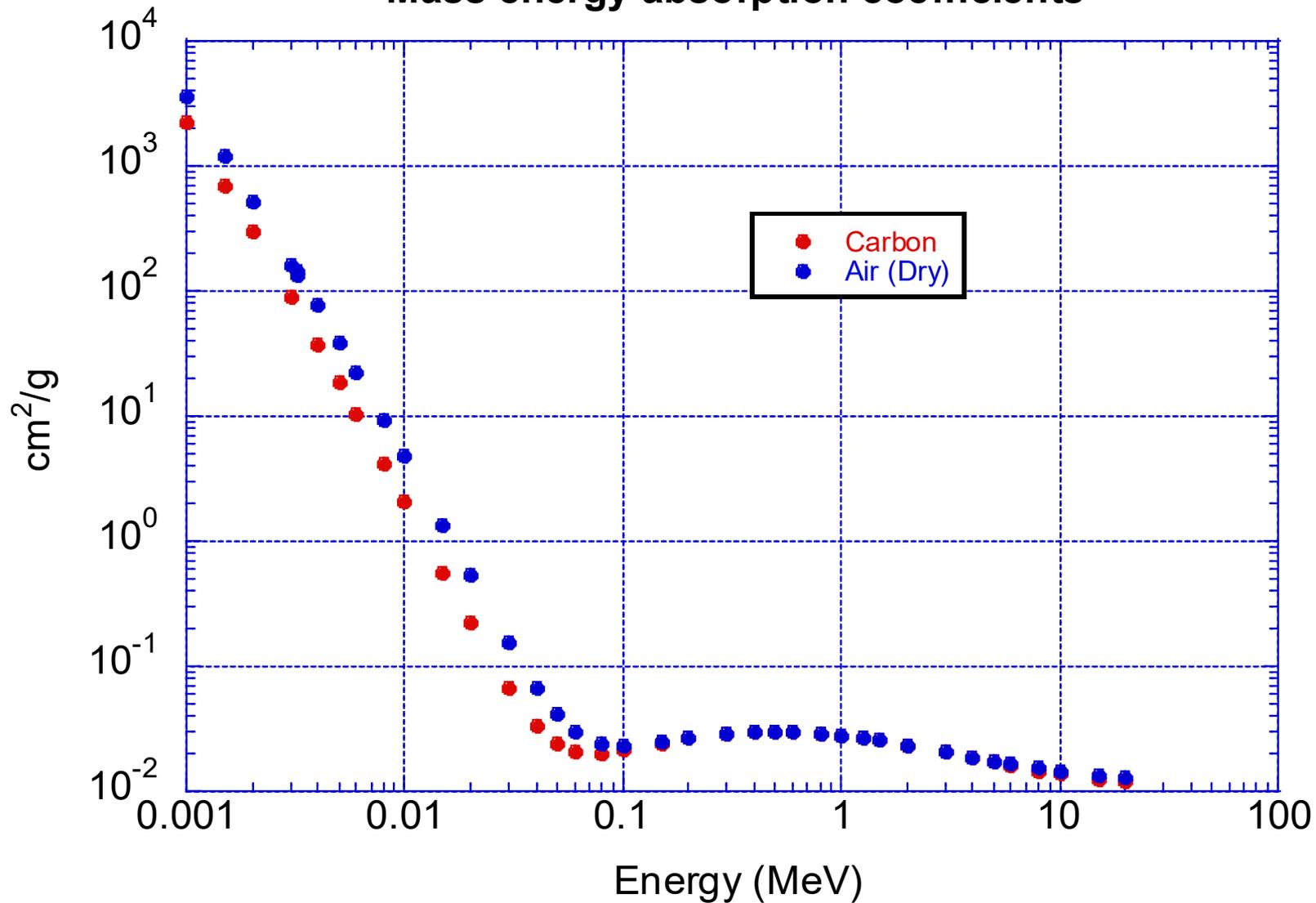
- 吸収エネルギー = 質量エネルギー吸収係数 × 光子のエネルギーフルエンス
 - 質量エネルギー吸収係数は、物質と光子の相互作用により発生する電子・陽電子の情報を基に求められた係数
 - 上記が使えるのは、「荷電粒子平衡」が成立している場合
 - 荷電粒子平衡が成立とは、「微小領域内に外部から入ってくる荷電粒子のエネルギーと荷電粒子が領域外に持ち出すエネルギーが等しい」場合である



	一次γ線	二次γ線	二次 電子 陽電子		$(\Delta E_E)_c$	$(\Delta E_L)_c$	$(\Delta E_E)_u$	$(\Delta E_L)_u$	$(\Delta E_R)_u$
1	.5	—	—	—	0	0	.5	.5	0
2	.5	—	.5	—	.3	0	0	0	0
3	.5	—	.5	—	0	0	.5	0	0
4	.5	—	.5	—	0	.2	.5	0	0
5	1.0	.5	.5	—	.3	0	.5	.5	0
6	1.0	.5	.5	—	0	0	1.0	.5	0
7	1.0	.5	.5	—	0	.2	1.0	.5	0
8	3.0	—	0.989	0.989	.8	0	0	0	0
9	3.0	—	0.989	0.989	0	0	3.0	1.022	0
10	3.0	—	0.989	0.989	0	1.0	3.0	0	1.022
Σ					1.4	1.4	10.0	3.022	1.022

- $(\Delta EE)_c$: 入射荷電粒子の運動エネルギー
- $(\Delta EL)_c$: 出ていく荷電粒子の運動エネルギー
- $(\Delta EE)_u$: 入射非荷電粒子の運動エネルギー
- $(\Delta EL)_u$: 出ていく非荷電粒子の運動エネルギー
- $(\Delta ER)_u$: 領域中での静止質量の変化分、増えたときは正、減った時は負
- この例では、荷電粒子が持ち込むエネルギーと持ち出すエネルギーが等しい
 $(\Delta EE)_c - (\Delta EL)_c = 1.4 - 1.4 = 0$
- 荷電粒子平衡が成立している

Mass energy absorption coefficients

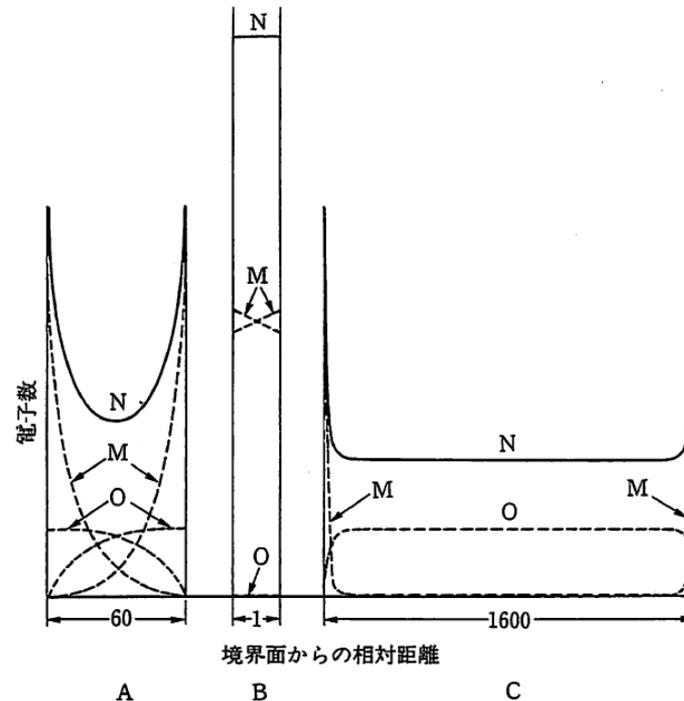


空気等気体の吸収線量の測定

- 自由空気電離箱であれば、定義通りの空気吸収線量を測定することが可能
 - 実質低エネルギーの光子にしか適用できない
- 「空洞理論」(Cavity-chamber theory)に基づいた測定によることがほとんど
 - 光子場中で一様な物質M中に気体を含む空洞Cを考える
 - 物質に対する吸収線量 D_M と空洞中の気体に対する吸収線量 D_C は一般的に異なり、空洞物質やその大きさに依存する

空洞理論

- 空洞の大きさ
 - 空洞の大きさが気体の二次電子の飛程とほぼ同じ (A)
 - 空洞の大きさが気体の二次電子の飛程に比べて小さい (B)
 - 空洞の大きさが気体の二次電子の飛程より大きい (C)



- M: 媒質から空洞に入る電子
- O: 空洞中で光子の反応で作られる電子
- N: 電子の総数

空洞が小さい時

- Bragg-Grayの原理に相当(以下を仮定)
 - 物質中で発生した電子のフルエンス ϕ_C は空洞中で変化せず一定
 - 空洞中での光子の反応は無視でき、一次光子束 ϕ も一定である

$$D_C = \phi_e^C \left(\frac{1}{\rho} \frac{dE}{dx} \right)_C$$

$$D_M = \phi E \left(\frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_M = \phi_e^M \left(\frac{1}{\rho} \frac{dE}{dx} \right)_M$$

$$\phi_e^C = \phi_e^M \rightarrow D_M = D_C \cdot S_M$$

$$S_M = \left(\frac{1}{\rho} \frac{dE}{dx} \right)_M / \left(\frac{1}{\rho} \frac{dE}{dx} \right)_C$$

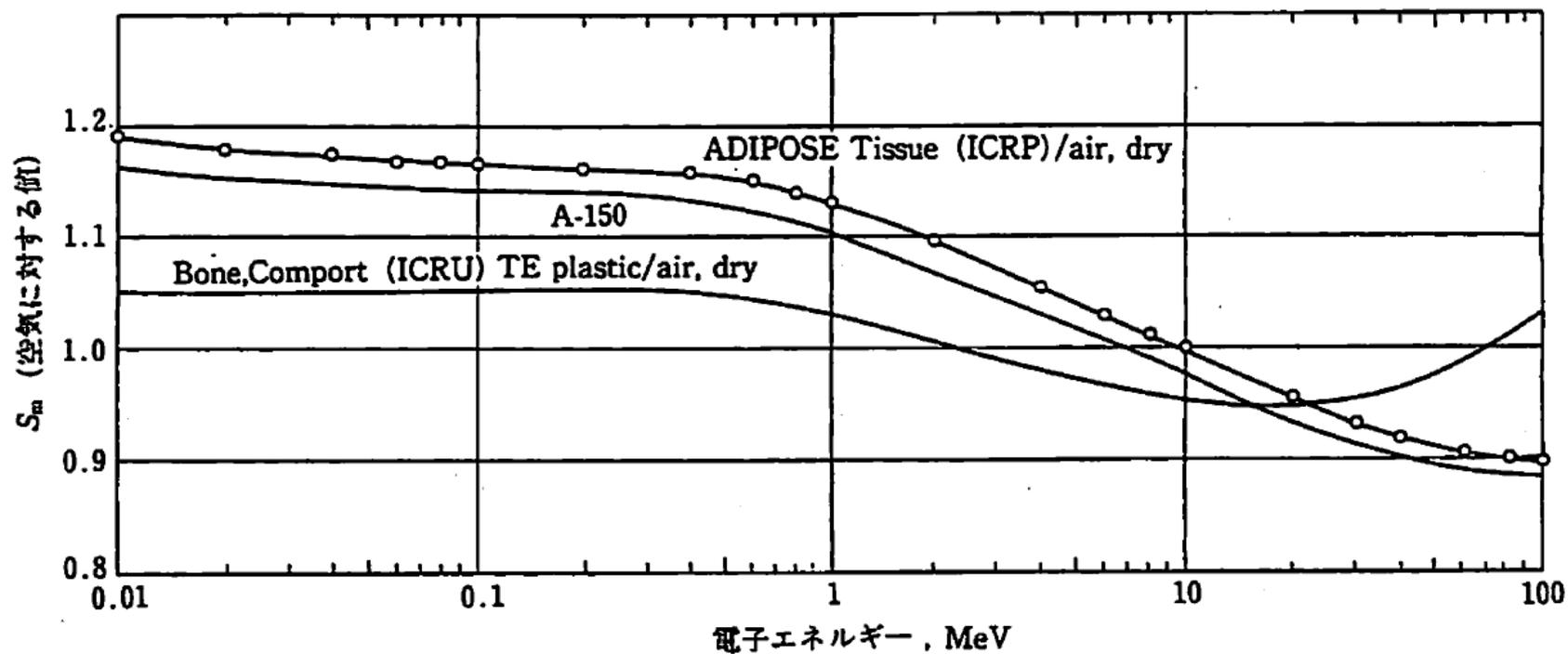


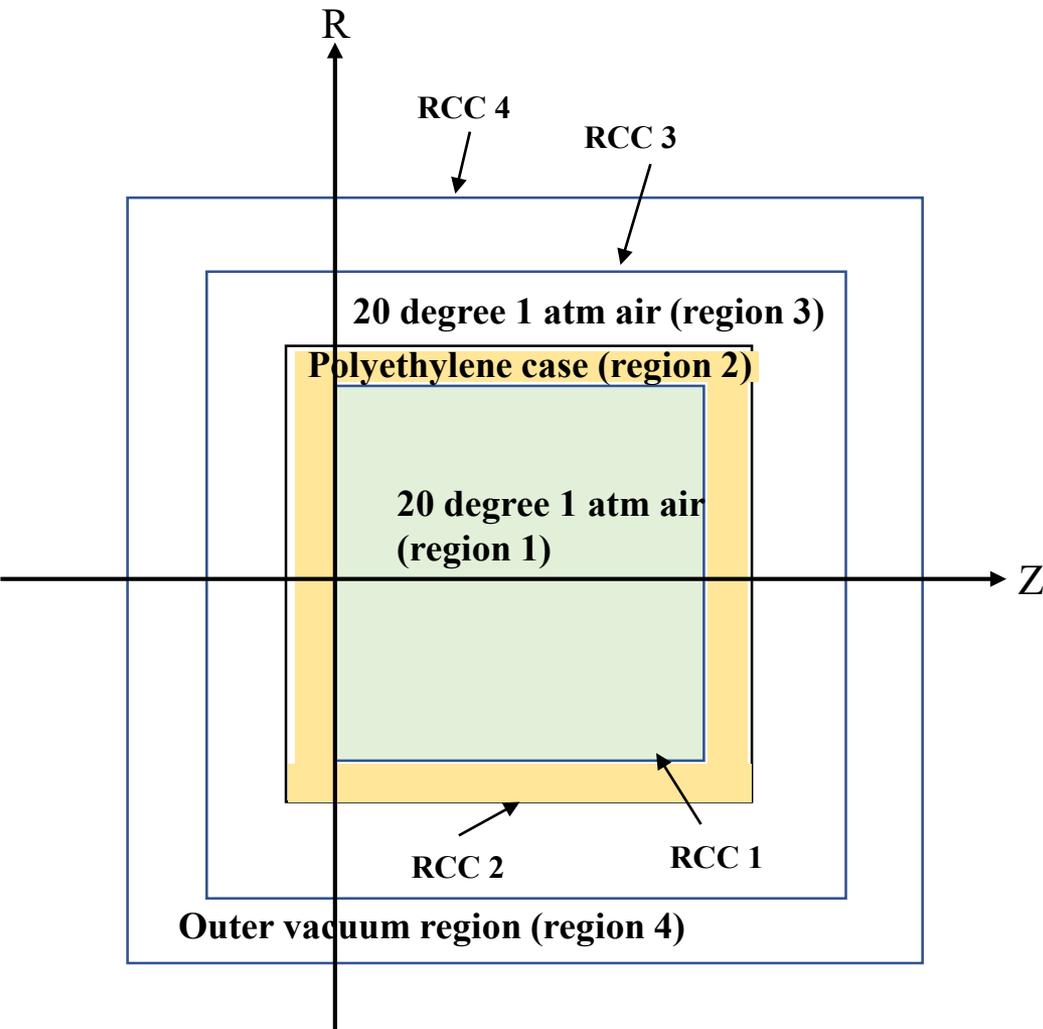
図 2.7 質量相対阻止能 (衝突損失と放射損失の和になっている)

電離箱

- 「空気吸収線量(Gy)」を測定するサーベイメータやモニタリングポストで 사용되는「電離箱」は、空洞が小さい場合に相当する
- 電離箱内部での光子の反応は少なく、電離箱内部の空气中でエネルギー付与に寄与するのは、電離箱のケース中で光子が反応により生成し、内部の空气中に達した電子
- 空気の吸収線量を測定する場合には、ケースが空気等価の物質であることが望ましい
- 空気の質量エネルギー吸収係数を適用する条件にはなっていない

ucionch_cg.v.fでの吸収線量

- ucioncp_cg.v.fでは、基本となる電離箱中の空気の吸収エネルギーを計算すると共に、光子の飛程長を用いて、電離箱中での平均光子スペクトルを計算する
 - 計算から得られる空気の吸収線量は、電離箱内の空気の吸収線量であって、空洞理論に基づいた場の空気吸収線量線量ではない
 - 得られた吸収線量にケースと空気の質量阻止能比の補正を行なった結果がケースの物質に対する吸収線量となる
 - ケースが空気等価の物質である場合は、質量阻止能比が1なので、内部の空気の吸収線量が、ケースの吸収線量＝空気の吸収線量となる
- 参考として、空気の質量エネルギー吸収係数と光子のエネルギーを用いて求めた空気の吸収線量も計算するようにしている



ucionch_cgv.data

RCC	1	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0
		10.0	5.00			
RCC	2	0.00	0.0	-0.2	0.00	0.0
		10.4	5.20			
RCC	3	0.00	0.0	-12.0	0.00	0.0
		32.0	10.0			
RCC	4	0.00	0.0	-14.0	0.00	0.0
		38.0	12.0			
END						
Z1	+1					
Z2	+2	-1				
Z3	+3	-2				
Z4	+4	-3				
END						
	1	2	1	0		

ucionch_cg.v.f の計算結果 (egs5job.out)

1行 : chard 値

4-16行: cg-data (ucionch_cg.v.dataから入力したデータ)

19-21行:ranlux 関連データ

34-46行:pegs5で作成した物質データ (密度、radiation length, 電子 (ae,ue) 光子 (ap,up)の上限と下限

47-154行:各リージョンに設定した物質とその物質の特性X線に関する情報

157-170行:粒子の移動情報 (移動後のエネルギー、位置(x, y, z)、方向余弦(u, v, w)、電荷(iq)、
リージョン番号 (ir)、移動の種類(iarg)
線源粒子のシミュレーションが正常に行なわれていることを確認するための出力

171行以降 : 計算結果と計算に関連した情報

Elapsed Time (sec)= 66.219

Ncount= 10000000 (actual cases run)

Ncases= 10000000 (number of cases requested)

TotKE = 0.66200E+07 (total KE (MeV) in run)

Detector length= 10.000 cm

Detector radius= 5.0000 cm

Polyethylene case thickness= 0.20 cm

Polyethylene case side thickness= 0.20 cm

ucionch_cg.v.f の計算結果 (egs5job.out)

計算情報と吸収線量の結果

Results for 0.66200 MeV photon

Cover material is POLYETHYLENE

Inside chamber is 20 degree 1 atm air

Cs-137 exists at $z = -5.00$ cm, $x=y=0.0$

Volume of chamber : 785.40 cm³

weight of chamber : 0.94640 g

Result from absorbed energy in air inside chamber

Air absorbed dose = $0.2031\text{E-}13 \pm 0.1202\text{E-}15$ Gy/source photon

Result from absorbed energy in air

using track length of photon inside chamber and mass energy absorption coefficient of air

Air absorbed dose = $0.3919\text{E-}13 \pm 0.1431\text{E-}17$ Gy/source photon

電離箱の空気中での平均光子スペクトル

電離箱内部の空気中の平均光子スペクトルを光子の飛程長を用いて計算し、にMeV当たりの数とその統計誤差を出力する

egs5job.outの200-251行

Average photon spectrum inside chamber

Upper energy	0.13240E-01 MeV--	0.36994E-05+-	0.42378E-06 photons/cm2/MeV per source photon
Upper energy	0.26480E-01 MeV--	0.20207E-06+-	0.15770E-07 photons/cm2/MeV per source photon
Upper energy	0.39720E-01 MeV--	0.30770E-07+-	0.32358E-08 photons/cm2/MeV per source photon
Upper energy	0.52960E-01 MeV--	0.95075E-08+-	0.12774E-08 photons/cm2/MeV per source photon
Upper energy	0.66200E-01 MeV--	0.51591E-08+-	0.83249E-09 photons/cm2/MeV per source photon
Upper energy	0.79440E-01 MeV--	0.51684E-08+-	0.86782E-09 photons/cm2/MeV per source photon
Upper energy	0.92680E-01 MeV--	0.54063E-08+-	0.90770E-09 photons/cm2/MeV per source photon
.			
Upper energy	0.58256 MeV--	0.81294E-05+-	0.11815E-06 photons/cm2/MeV per source photon
Upper energy	0.59580 MeV--	0.87840E-05+-	0.12658E-06 photons/cm2/MeV per source photon
Upper energy	0.60904 MeV--	0.86508E-05+-	0.12594E-06 photons/cm2/MeV per source photon
Upper energy	0.62228 MeV--	0.91773E-05+-	0.12974E-06 photons/cm2/MeV per source photon
Upper energy	0.63552 MeV--	0.91524E-05+-	0.12963E-06 photons/cm2/MeV per source photon
Upper energy	0.64876 MeV--	0.93043E-05+-	0.13076E-06 photons/cm2/MeV per source photon
Upper energy	0.66200 MeV--	0.18333E-01+-	0.75104E-06 photons/cm2/MeV per source photon

ucionch_cg.v.f の計算結果 (egs5job.out)

254-306行

直接目的とする情報ではないが、「粒子毎」、「リージョン毎」、「IARG」毎に入射粒子の運動エネルギーに対する吸収エネルギーの割合を出力したもの

全ての粒子の全てのリージョン、全てのIARGの合計は、入射粒子の運動エネルギーになるので、377行目の様に1とならなければならない。

1からずれた結果となった場合には、ユーザーコードのどこかに間違いがある。調査して問題点を修正する必要がある。

TOTAL FRACTION= 1.000000	NOTE: THIS NUMBER SHOULD BE VERY CLOSE TO UNITY
--------------------------	---

311-363行

「粒子毎」、「リージョン毎」、「IARG」毎に入射粒子の
EVENT数を出力したもの

ステップ毎に記録されるので、吸収エネルギーの集計と異なり、参考情報である。

実習課題

- 実習課題1 : 線源光子のエネルギーを変更する
 - エネルギーを0.2MeV に変える
 - エネルギーを1.0 MeVに変える
- 実習課題2 : 0.662MeV線源について、一方向(Z-方向)のみに放出している線源光子を、等方線源に変更する