

# ADVANTG-MCNP と SCALE/MAVRIC の使用方法

令和4年10月20日(木)、21日(金)

合同会社 ニュークリア・テクノロジー・コンサルティング

# 内 容

---

## 10月14日（木）最適分散低減法（CADIS理論）とADVANTG-MCNPコードを用いた遮蔽解析

9:10 – 9:30

解析システムの動作確認

9:30 – 11:30

講義：「最適分散低減法（CADIS理論）の概要」

講義：「ADVANTGコードの概要と使用方法」

13:00 – 16:00

講義：「ADVANTGコードの入力データ解説」

演習：「ADVANTGコードによる解析Ⅰ：単純な体系－平板状中性子深層透過問題」

演習：「ADVANTGコードによる解析Ⅱ：使用済燃料輸送容器」

16:00 – 17:00

講義：「SCALEコードシステムの概要」

## 10月15日（金）SCALE/MAVRICシステムを用いた遮蔽解析

9:10 – 12:00

講義：「MAVRICコードの入力データ解説」

13:00 – 17:00

演習：「MAVRICコードによる解析Ⅰ：簡易キャスク（サンプル問題）」

演習：「MAVRICコードによる解析Ⅱ：使用済燃料輸送容器（ADVANTGとの比較）」

# 解析システムの動作確認

---

# ADVANTGの動作環境確認

- オペレーティングシステムは、64ビットのLinuxが必要です(32ビットは不可)。
- コンパイラに関しては、特に用意する必要はありません。ADVANTGコードはPython2.7、C++、FORTRAN90などを用いて書かれていますが、Python2.7はパッケージに含まれており、その他の言語で書かれたプログラムはコンパイルされてシェアード・オブジェクト(Shared Object)で与えられています。
- ADVANTGのインストールと実行時には、MCNP5-1.60とMCNP用断面積データライブラリ(のXSDIRファイル)が必要になります。MCNP5-1.60を含むMCNP一式のインストールとテストをまず行っておいてください。

- MCNP5-1.60の動作確認は以下の方法で行えます。

- ① 適当なサンプルデータ(XSDIRを外部ファイルから読み込むもの:MCNPサンプル問題ではTesting/Validation\_shieldingにあるデータなどが望ましい)を用意する。
- ② MCNPの断面積ファイルのあるディレクトリを表す環境変数"DATAPATH"に、使用するXSDIRファイルのディレクトリ(フォルダ)名を定義する。

Linux (bash)版のMCNP5-1.60場合 :

- export DATAPATH={XSDIRファイルのあるディレクトリ名}を実行するか、.bashrcに書いておいてからログインする。

WSLでWindows版MCNP5-1.60を用いる場合:

- 環境変数の設定(「設定」画面で「環境変数」で検索)でユーザー環境変数DATAPATHにXSDIRファイルのあるフォルダ名を定義する。

- ③ ①の入力データでMCNP5-1.60を実行してみて、断面積がきちんと読み込まれることを確認する。

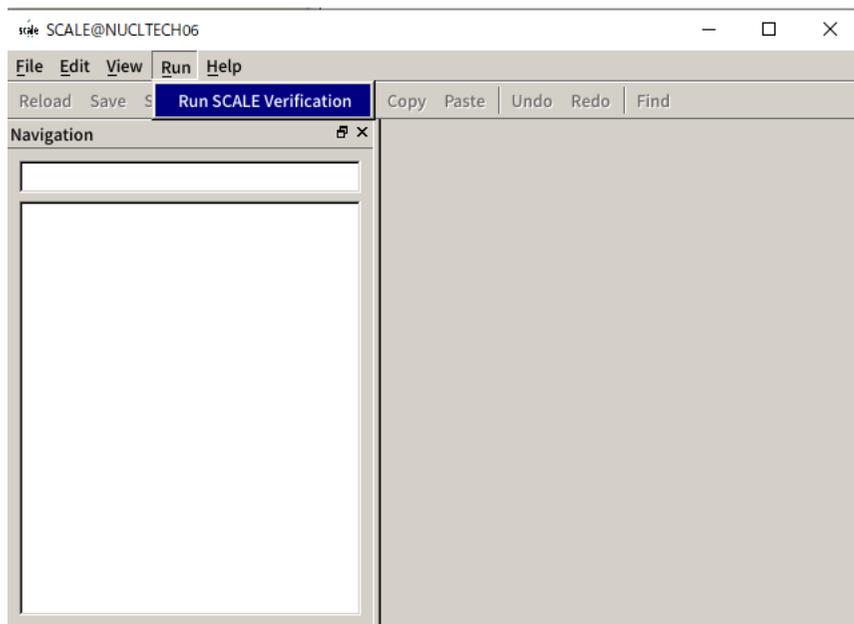
- ADVANTGと組み合わせたMCNPによるモンテカルロ計算は、MCNP5以降のいずれのバージョン(最新のMCNP6.2を含む)でも可能です。

- ADVANTGのインストールについては、下記URLの一昨年及び昨年度講習資料もご参照ください。

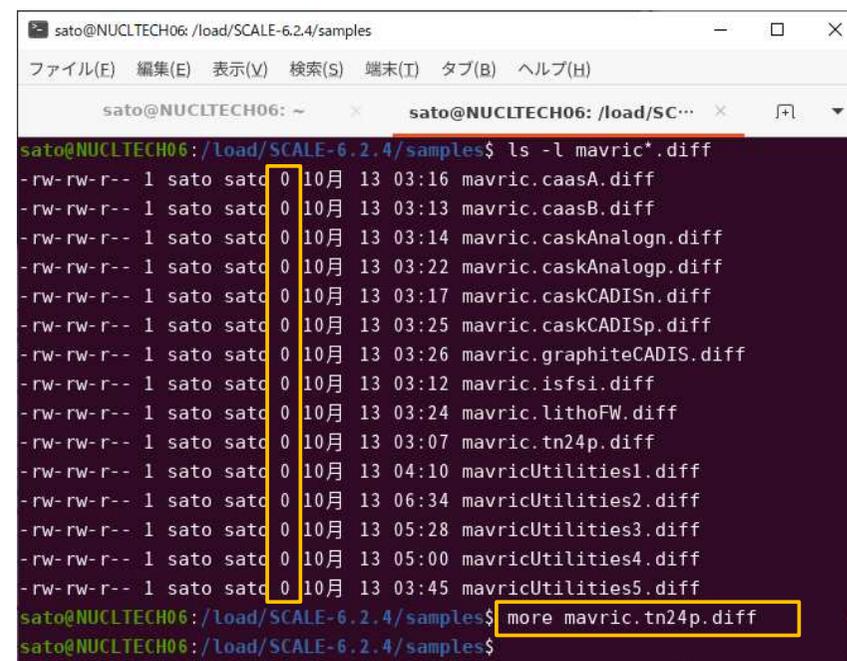
<https://nucltech.com/2020/10/21/126/>

## SCALE6.2.4の動作環境確認

- オペレーティングシステム(OS)は、Windows, MacOS, Linux(いずれも64ビット)が使用可能です。
- それぞれのOSでのインストールと動作確認は、” README\_SCALE\_6.2.4.pdf” に従って行ってください。
- SCALEのユーザーインターフェースFulcrumを用いて下図のように動作確認ができます。



FulcrumによるSCALEサンプル問題の実行

A screenshot of a terminal window. The window title is 'sato@NUCLTECH06: /load/SCALE-6.2.4/samples'. The terminal shows the command 'ls -l mavric\*.diff' being executed, resulting in a list of files with their permissions, owner, group, size, and modification date. The files listed include 'mavric.caasA.diff', 'mavric.caasB.diff', 'mavric.caskAnalogn.diff', 'mavric.caskAnalogp.diff', 'mavric.caskCADISn.diff', 'mavric.caskCADISp.diff', 'mavric.graphiteCADIS.diff', 'mavric.isfsi.diff', 'mavric.lithoFW.diff', 'mavric.tn24p.diff', 'mavricUtilities1.diff', 'mavricUtilities2.diff', 'mavricUtilities3.diff', 'mavricUtilities4.diff', and 'mavricUtilities5.diff'. The 'more mavric.tn24p.diff' command is also shown being executed, and the terminal output is empty, indicating that the file is empty. A yellow box highlights the empty output of the 'more' command.

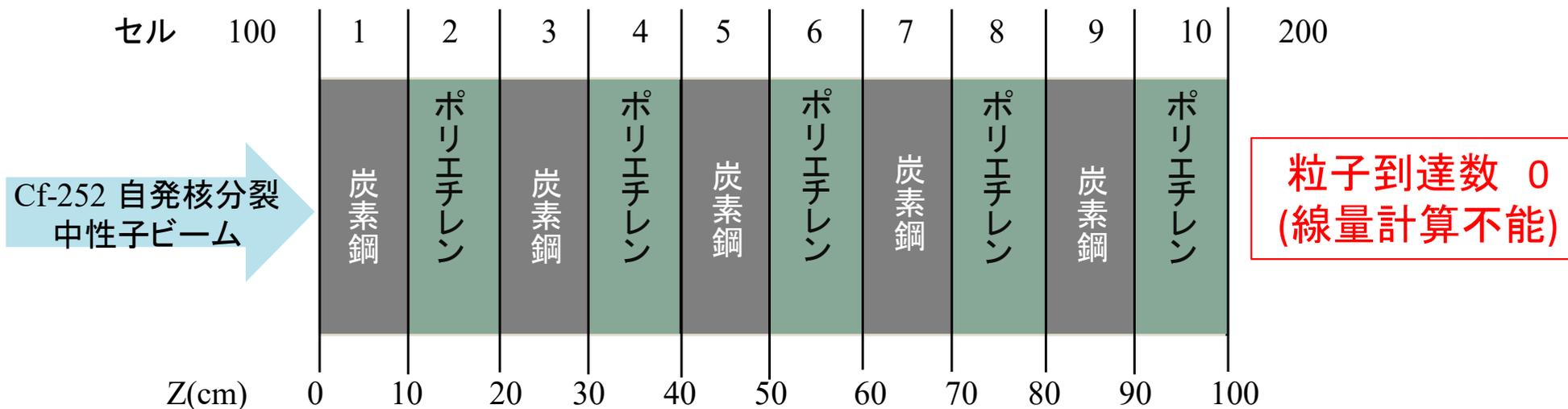
差分ファイル(.diff)の中身が空であることを確認する。

# I 最適分散低減法 (CADIS理論) の概要

---

## 1. モンテカルロ法遮蔽計算と分散低減

# 深層透過における粒子の減少の例



1neutron activity in each cell							print table 126			
cell	cell	tracks entering	population	collisions	collisions * weight (per history)	number weighted energy	flux weighted energy	average track weight (relative)	average track mfp (cm)	
1	100	1005089	1005089	0	0.0000E+00	6.1329E-02	9.9748E-01	9.8384E-01	0.0000E+00	
2	1	2881229	1862178	17285837	7.8899E+00	4.2606E-03	1.1100E+00	9.3448E-01	3.9878E+00	
3	2	1834128	950246	184989814	5.5383E+01	5.9584E-05	2.7062E-01	6.3431E-01	7.3118E-01	
4	3	519345	253601	3519199	1.2236E+00	4.6785E-04	6.0585E-01	7.5127E-01	2.8132E+00	
5	4	107143	55633	10109627	2.9487E+00	4.9070E-05	2.5158E-01	6.1034E-01	6.7946E-01	
6	5	22584	11360	151534	5.1011E-02	4.7576E-04	7.0583E-01	7.2661E-01	2.7982E+00	
7	6	4510	2347	415846	1.1891E-01	5.3181E-05	2.8745E-01	5.9779E-01	7.1280E-01	
8	7	1031	486	6605	2.1239E-03	4.7771E-04	7.5618E-01	6.9465E-01	2.7548E+00	
9	8	199	104	15847	4.5327E-03	6.2714E-05	3.5732E-01	5.9173E-01	7.8608E-01	
10	9	23	15	137	4.1463E-05	5.0370E-04	9.4051E-01	7.0280E-01	2.9385E+00	
11	10	4	3	868	2.4382E-04	4.2920E-05	3.7174E-01	5.8382E-01	7.2014E-01	
12	200	0	0	0	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	
total		6375285	4141062	216495314	6.7622E+01					

# モンテカルロ法遮へい解析における分散低減の必要性

モンテカルロ法による放射線遮へい解析

**= 数桁以上の深層透過問題**

→ 百万個の粒子を発生させても、数個しか遮へい体外に到達しない。

→ **分散低減法の適用が必須**

● スプリットティングとロシアンルーレット

✓ Importance Sampling法

空間

✓ Weight-Window法

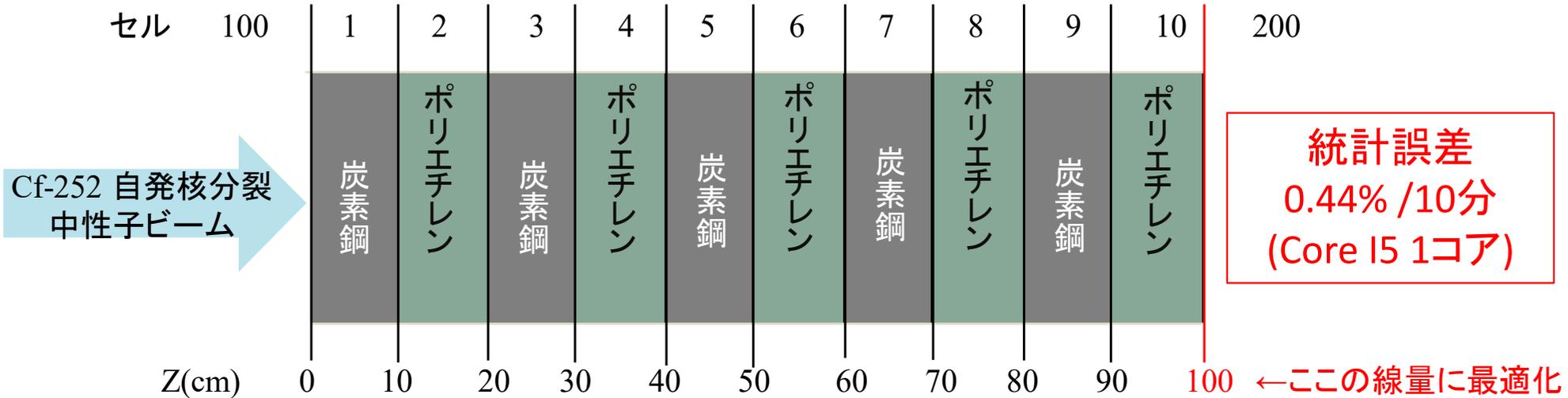
空間・エネルギー

● 線源バイアス（空間・角度・エネルギー）

● 飛程延長(Path Length Stretching)、強制衝突 (Forced Collision)、etc

もっともよく  
用いられる

# 分散低減法の効果 (ADVANTGコードでCADIS理論適用)

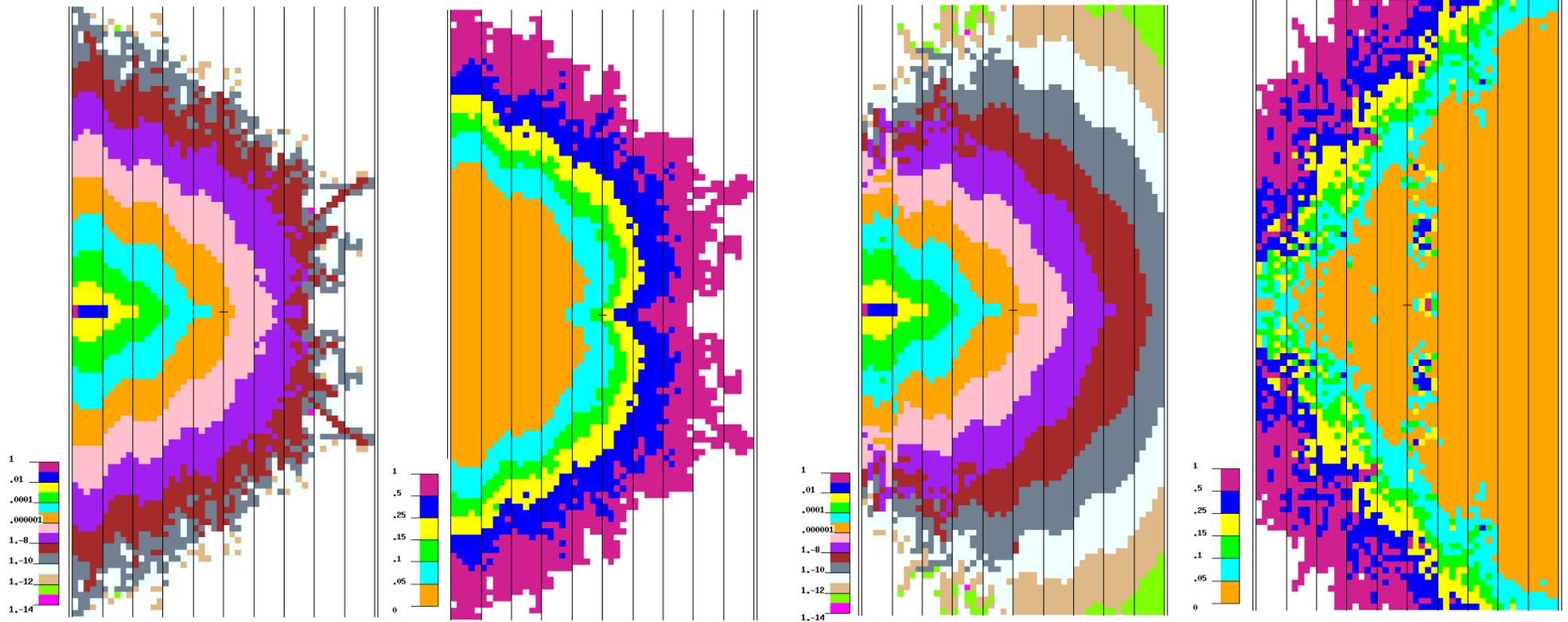


1neutron activity in each cell							print table 126			
cell	cell	tracks entering	population	collisions	collisions * weight (per history)	number weighted energy	flux weighted energy	average track weight (relative)	average track mfp (cm)	
1	100	59374	59374	0	0.0000E+00	3.9380E-01	9.4357E-01	1.3083E+01	0.0000E+00	
2	1	1610862	2352585	3262719	5.4069E+00	3.8678E-01	1.1257E+00	2.7237E+00	4.1141E+00	
3	2	1047069	2550142	2295226	4.9261E+00	1.2430E-01	9.6043E-01	5.6262E-01	1.8275E+00	
4	3	1031184	2930366	4626505	7.8254E-01	1.9838E-02	7.3500E-01	1.5509E-01	3.2253E+00	
5	4	1356259	2625385	2792443	3.3030E-01	7.0161E-03	8.2876E-01	2.7364E-02	1.6032E+00	
6	5	1013633	2925000	5694280	3.1915E-02	5.8997E-03	8.8446E-01	5.0194E-03	3.2559E+00	
7	6	1695852	3474583	4755419	8.6071E-02	8.4320E-05	3.8067E-01	2.1873E-03	8.4644E-01	
8	7	1574699	4034240	10097272	1.6998E-03	1.6120E-03	9.9894E-01	1.4257E-04	3.1812E+00	
9	8	3214890	5363470	12309249	5.6884E-03	6.5513E-05	3.8948E-01	7.5310E-05	8.0664E-01	
10	9	2716913	6087208	22124255	1.1662E-04	7.0812E-04	1.0078E+00	4.4397E-06	2.9775E+00	
11	10	3047627	7566878	67909648	2.9192E-04	7.7850E-05	4.8381E-01	2.1668E-06	8.9344E-01	
12	200	2950823	2950823	0	0.0000E+00	5.9190E-04	2.0373E+00	3.7003E-07	0.0000E+00	
	total	21319185	42920054	135867016	1.1572E+01					

# 分散低減法の効果

分散低減なし

CADIS理論による最適分散低減



実効線量

統計誤差

実効線量

統計誤差

# 分散低減法の考え方＝重み付き粒子

## インプリシット捕獲法とウェイトカットオフ\*) (Implicit capture and Weight Cut off)

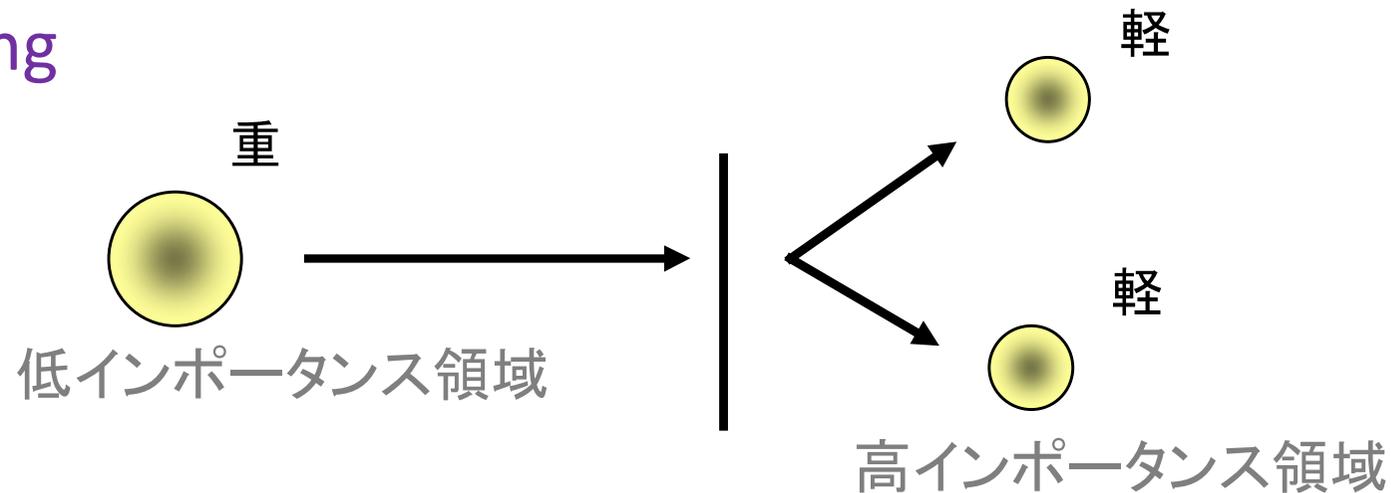
現実の現象に忠実なシミュレーション(アナログモンテカルロ法)では、粒子が捕獲反応を起こすと、その粒子が除去される。これに対して、インプリシット捕獲法では、除去されず捕獲断面積の全断面積に占める割合だけ重みを減らして生き残るように取り扱う。MCNPでは、アナログモンテカルロ法を用いるエネルギー範囲を指定した場合、及び詳細な光子の物理モデルを用いる場合を除き、インプリシット捕獲法が用いられる。インプリシット捕獲法により重みが小さくなった粒子は、ある重み以下となったときにウェイトカットオフにより追跡が終了される。MCNPのアルゴリズムはアナログモンテカルロ法ではなく、このインプリシット捕獲法とウェイトカットオフに基づいている。

\*) J.S.Hendricks and T.E.Booth, MCNP VARIANCE REDUCTION OVERVIEW, LA-UR—8501173 (1985)  
およびMCNP4Bのマニュアルから。

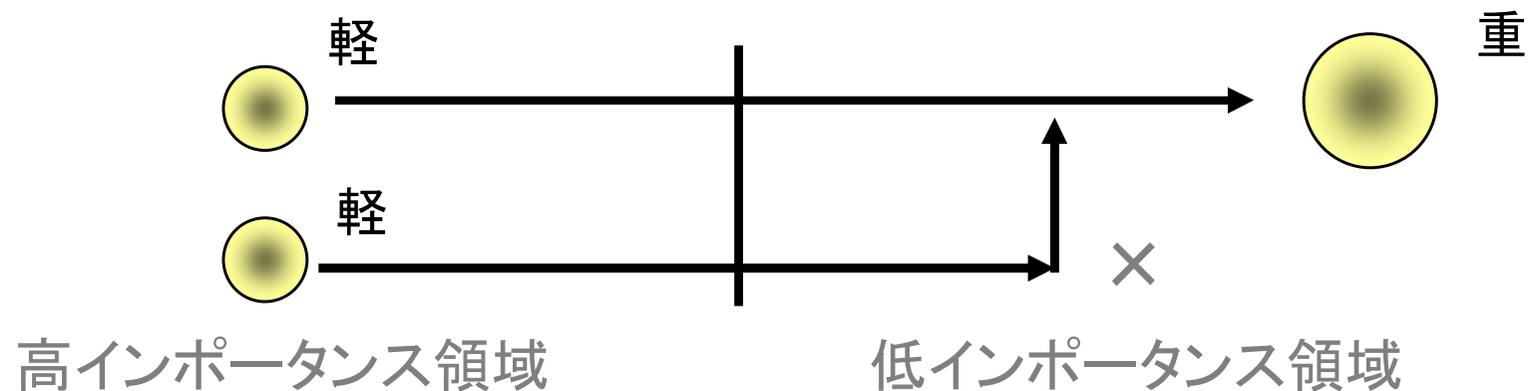
# SplittingとRussian Roulette

粒子に「重み」を考えて(これを「バイアスする」という)、計算結果への影響の大きい領域(高インポートランス領域)では粒子を軽くする代わりに数を増やし、影響の小さい領域(低インポートランス領域)では粒子を重くして数を減らす。

## Splitting

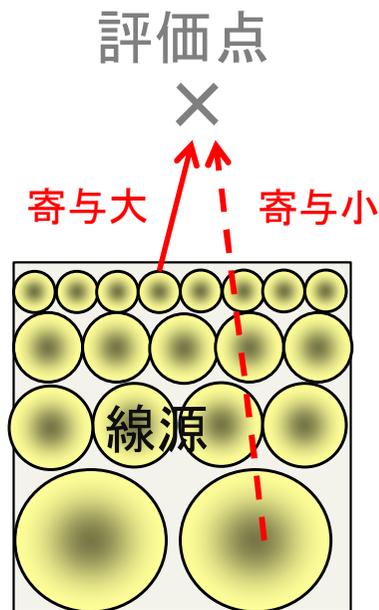


## Russian Roulette



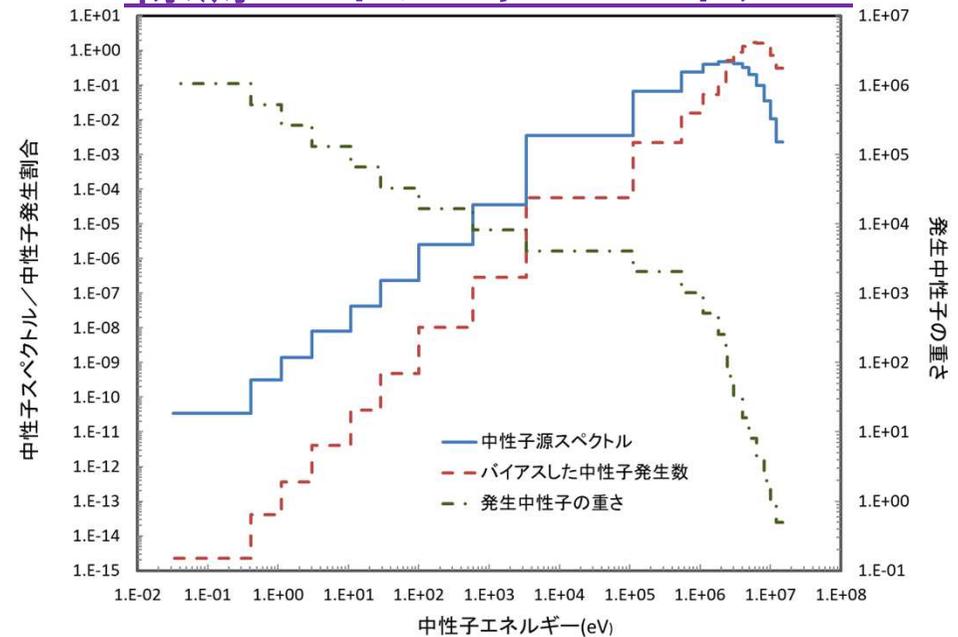
# 線源バイアス

## 線源位置バイアス



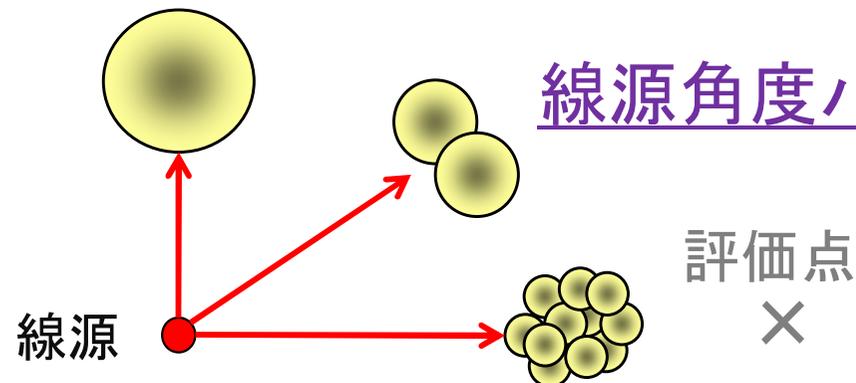
評価点に寄与の大きい近傍の線源は軽くして数多く、寄与の小さい遠い線源は重くして数少なく発生させる。

## 線源エネルギーバイアス



透過力の強い高エネルギー粒子は軽くして数多く、低エネルギー粒子は重くして数少なく発生させる。

## 線源角度バイアス



評価点に向かう粒子を軽くして数多く発生させる。

---

# I 最適分散低減法 (CADIS理論) の概要

---

## 2. MCNPの分散低減手法

# MCNPで用いられている分散低減法

## ①時間とエネルギーのカットオフ法 (Time and Energy Cutoff)

MCNPでは、粒子が飛行している時間を計測している。これが指定した時間以上になったとき、追跡を終了する。また減速の結果、粒子のエネルギーが指定したエネルギー以下となったときに追跡を終了する。MCNPではCUTカードで指定する。

## ②空間スプリッティング／ロシアルーレット (前述) (Geometry Splitting and Russian Roulette)

この方法を用いた場合は、高インポートランス領域から低インポートランス領域へと輸送される粒子はロシアルーレットを受ける。ロシアルーレットでは複数の粒子のうち、指定した重みより小さい粒子は、その重みを他の粒子に加えられて追跡が終了する。逆に、低インポートランス領域から高インポートランス領域へ輸送される粒子は分割され、より多くの追跡が行われる。このようにして、計算結果への影響の大きい(重要度の高い)領域を指定してサンプリングを行う方法である。MCNPではセル毎のインポートランス(IMP)を相対値で与えて指定する。

# MCNPで用いられている分散低減法

## ③エネルギー Splitting / ロシアンルーレット (Energy Splitting/Russian Roulette)

指定したエネルギー群毎に Splitting / ロシアンルーレットを行う方法である。Splittingにより増える粒子数の比を群毎に与えて指定する。MCNPでは、**ESPLT**カードとして独立に与えることもできるが、後述の Weight Windowの中でも用いられる。

## ④強制衝突法 (Forced Collision)

衝突の数が少なく点検出器への寄与が得にくい、薄い物質中で強制的に衝突を起こさせる方法である。点検出器とともに用いて、点検出器に寄与する衝突の数を増やす働きをする。指定したセルで粒子を分割し、重みを衝突粒子と非衝突粒子分に分けてサンプリングする。MCNPでは**FCL**カードとして与える。

## ⑤DXTRAN

この方法はMCNP独特の方法で、DXTRANと呼ばれる小さな球状の空間を指定し、そこへ散乱の結果到達する粒子を解析的に計算する方法である。散乱に関する角度バイアスの一種である。**DXC**カードで指定する。

# MCNPで用いられている分散低減法

## ⑦線源バイアス法 (Source Biasing) (前述)

指定した発生位置、エネルギー、角度によって、分布を保存しながら発生する粒子数の数を変える方法である。MCNPでは線源指定でSBカードとして与える。

## ⑧ 飛程延長法 (Path Length Stretching)

粒子を長い距離にわたって飛行させるために、ある方向について衝突点間の距離を仮想的に延ばし、これに対応して重みを下げる方法である。この方法は、粒子の重みを大きく変動させるために、ウェイトウィンドウ法と組み合わせて使用することが必要である。MCNPではEXTとVECTカードを用いている。

## ⑨ 相関サンプリング法 (Correlated Sampling)

摂動計算に用いられる分散低減法である。摂動前後で各ヒストリーの開始時点の乱数が同一になるようにサンプリングを行い、微少な摂動の影響を調べる方法である。

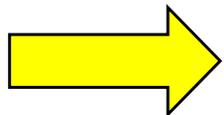
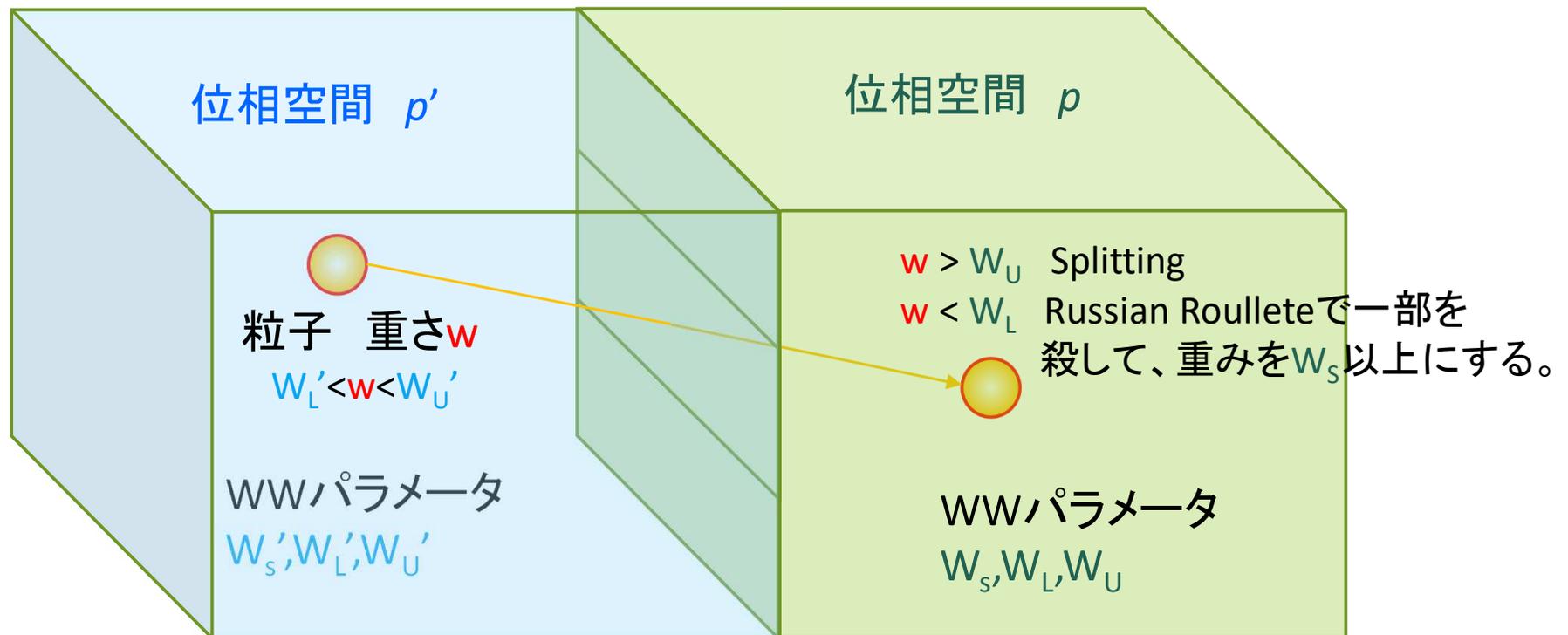
# MCNPで用いられている分散低減法

## ⑩ ウェイトウィンドウ法 (Weight Window)

エネルギー及び空間で粒子の取り得る重みの範囲を指定し、範囲以下の粒子はロシアンルーレットをかけ、範囲以上の粒子は重みを分割してサンプリングを続ける方法である。つまり、空間スプリットイング／ロシアンルーレットとエネルギー／ロシアンルーレットを同時に行う方法である。空間とエネルギーの2次元メッシュ(ウェイトウィンドウ)について、そのウェイトウィンドウの下限重みWL、ロシアンルーレットで生き残る下限重みWS、及び上限重みWUを与える。WS及びWUは、全てのウィンドウについてWLの定数倍の値が用いられ、WLのみを入力で指定する。下限重みWL以下の粒子は、ロシアンルーレットにより他の粒子と統合され、上限重みWU以上の粒子はスプリットイングを受ける。これにより、粒子の重みは常にウェイトウィンドウの範囲に収まり、重みのゆらぎが小さくなるため、分散低減に寄与する。粒子の重みのばらつきが大きくなるような他の分散低減法(線源バイアス、指数変換法など)は、ウェイトウィンドウ法と併用しないと、誤った計算結果を与えるおそれがある。ウェイトウィンドウ法のパラメータ(以下WWパラメータと呼ぶ)WLを最適に与える方法は経験に頼るところが大きい。

# Weight Window法

空間とエネルギーから成る位相空間の「窓」を通るたびに、Russian Roulette/Splittingを行う。



**WWパラメータ  $W_S$ 、 $W_L$ 、 $W_U$  の設定が難しい。  
経験と試行錯誤が必要。**

## Weight Window Generator (WWG)

最初のMCNPを用いたモンテカルロ計算で、最適なWWパラメータを求め、これを次の計算に適用する機能



WWGカードでWeight Window Generatorの使用を指定すると、位相空間セル(幾何形状セルとエネルギー群から構成されるウィンドウ)に入射する粒子数からのインポートランスを次の式で計算する。

$$\text{インポートランス} = \frac{\text{位相空間セルに入射する粒子による検出器応答}}{\text{入射した粒子の重さの和}}$$

WWパラメータはセル毎でも、MESHカードで与えるメッシュ毎でも与えることができる。

# Weight Window Parameter生成機能(MCNPのWWG)の問題点

モンテカルロ計算でパラメータを求めるため、粒子が到達しなくてはパラメータが定まらない。

十分に粒子を到達させるには、本計算に匹敵する計算時間が必要。

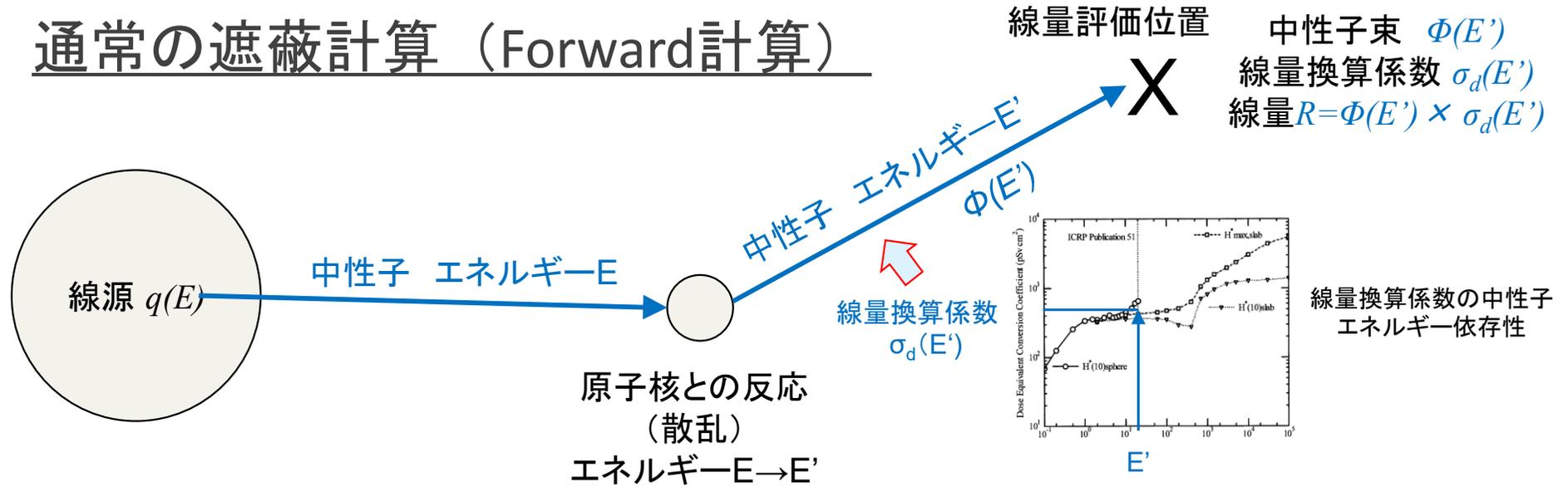
→計算時間短縮のための分散低減に、余計な計算時間と手間暇を掛けてしまう場合がある。(本末転倒)

→経験も、試行錯誤も、余分なモンテカルロ計算も行わずに自動的に分散低減が実現できないか？

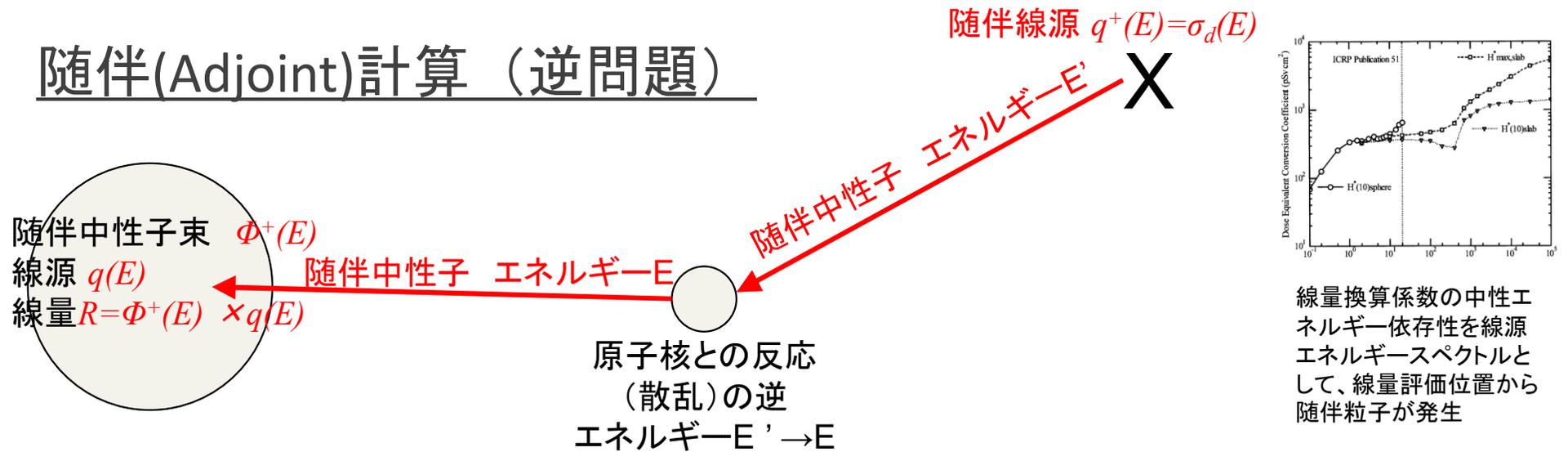
→ **随伴線束＝インポートランス関数の利用**

# 随伴(Adjoint)計算とForward計算

## 通常の遮蔽計算 (Forward計算)



## 随伴(Adjoint)計算 (逆問題)



随伴計算で、どの位置の線源や反応が線量に効くか、が判る。

---

# I 最適分散低減法 (CADIS理論) の概要

---

## 3. 自動分散低減理論 “CADIS”

---

## 随伴計算を用いた分散低減パラメータの設定

---

古くからアイデアはあった。

- *Tang & Hoffman*(1988)
- *P.C.Miller et al.* for McBEND(1990)
- *M.W.Mickael* for MCNP WWG (1995)

### MCNPのための体系化及びコード化

John.C.Wagner & Alireza Haghghat (1997)

→ **CADIS** (Consistent Adjoint Driven Importance Sampling)

# CADIS 理論

---

*(J.C.Wagner and A.Haghighat, N.S.E 128,1998)*

## *CADIS (Consistent Adjoint Driven Importance Sampling)*

- インポートランス関数(随伴線束)を、「線源バイアス」と「輸送バイアス」の設定に使用して、「一貫した」取り扱いを行う。
- 随伴線束は離散座標法(Sn法)などの決定論的方法で計算する。
- ただし、あくまで計算効率化のためなので、随伴線束の計算には本番のモンテカルロ法による線束の計算ほどの精度は求められず、モデル、群構造、角度分点などは簡略化して短い時間で計算できるようにしてよい。

# CADIS 理論

## 随伴線束で表した検出器応答(線量率や反応率)

Forward Fluxで表した  
検出器応答

$$R = \int_{V_d} \int_E \sigma_d(\vec{r}, E) \phi(\vec{r}, E) dE d\vec{r}$$

Adjoint Fluxで表した  
検出器応答

$$R = \int_{V_d} \int_E q(\vec{r}, E) \phi^+(\vec{r}, E) dE d\vec{r}$$

$\phi(\vec{r}, E)$  空間 $\vec{r}$ とエネルギー $E$  における線束 (Forward Flux)

$\phi^+(\vec{r}, E)$  空間 $\vec{r}$ とエネルギー $E$  における随伴線束 (Adjoint Flux)

$\sigma_d(\vec{r}, E)$  空間 $\vec{r}$ とエネルギー $E$  での検出器応答関数 (線量率換算係数)

$q(\vec{r}, E)$  空間 $\vec{r}$ とエネルギー $E$  での線源 (線源分布・エネルギースペクトル)

$R$  検出器応答 (評価点における線量、反応率など)

# CADIS 理論

## 線源バイアス

### バイアスされた線源分布

$$\hat{q}(p) = \frac{\phi^+(p)q(p)}{\int_p \phi^+(p)q(p)dp} = \frac{\phi^+(p)q(p)}{R}$$

### 最適な粒子の重み

$$W(p) = \frac{R}{\phi^+(p)}$$

$p$	空間とエネルギーから成る位相空間での座標 $=(\vec{r}, E)$
$\hat{q}(p)$	位相空間座標 $p$ における <b>バイアスされた</b> 線源
$q(p)$	位相空間座標 $p$ における線源＝線源分布・エネルギースペクトル
$\phi^+(p)$	位相空間座標 $p$ における随伴線束
$R$	検出器応答(評価点における線量、反応率など)
$W(p)$	位相空間座標 $p$ における最適な粒子の重み

# CADIS 理論

## 輸送バイアス = 最適な重みを持った粒子の輸送方程式

### 通常<sup>の</sup>輸送方程式

$$\phi(p) = \int_{p'} K(p' \rightarrow p) \phi(p') dp' + q(p)$$

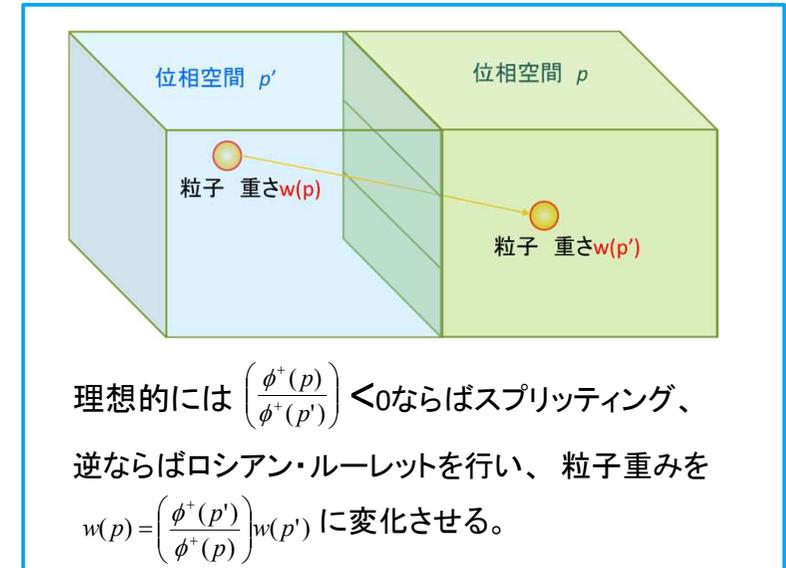
### バイアスされた粒子の輸送方程式

$$\hat{\phi}(p) = \int_{p'} \hat{K}(p' \rightarrow p) \hat{\phi}(p') dp' + \hat{q}(p)$$

$$\text{where} \quad \hat{\phi}(p) = \frac{\phi^+(p)\phi(p)}{R} \quad \hat{q}(p) = \frac{\phi^+(p)q(p)}{R}$$

$$\hat{K}(p' \rightarrow p) = K(p' \rightarrow p) \left[ \frac{\phi^+(p)}{\phi^+(p')} \right]$$

- $K(p' \rightarrow p)$  位相空間座標 $p'$ から $p$ への輸送カーネル(移動する確率)  
 $\hat{K}(p' \rightarrow p)$  バイアスされた輸送カーネル  
 $\hat{\phi}(p)$  位相空間座標 $p$ におけるバイアスされた線束



# CADIS 理論

## MCNPのWeight Windowへの適用

目標とする粒子の重み

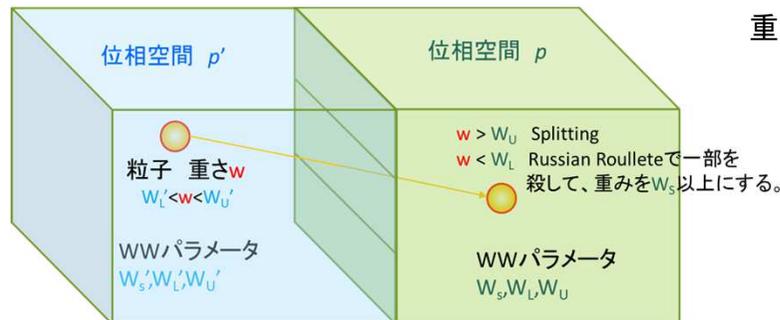
$$W(p) = \frac{R}{\phi^+(p)}$$

粒子をこの重みに  
ほぼ保つために

MCNPのWeight Window Parameter

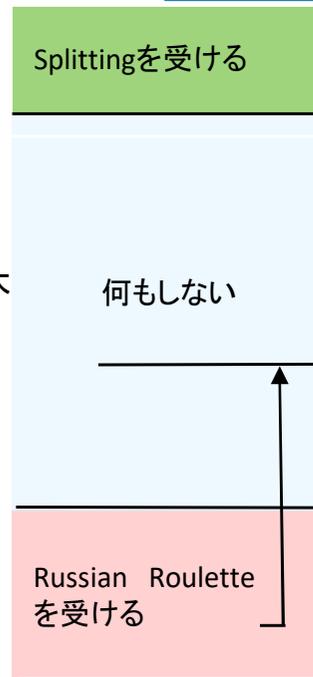
位相空間毎に与える粒子重みの下限 $W_L$ (この重み以下の粒子はロシアルーレットを受ける)を次式で計算する。

$$W_L = \frac{2}{1+C_U} \frac{R}{\phi^+(p)}$$



( $0.25 < W_L/W_L' < 4.0$  が望ましい)

重み大



$$W_U = C_U \times W_L$$

次のパラメータはMCNP入力のWWPカードで指定する。

$C_U$  それ以上の重みの粒子をスプリットする重み( $W_U$ )と $W_L$ との比

(WUPN, デフォルト=5)

$C_S$  ロシアルーレットを生き残った粒子に与えられる重み( $W_S$ )と $W_L$ との比

(WSURVN, デフォルト= $0.6 \times C_U$ )

# Forward CADIS (FW-CADIS)理論

CADIS理論は単一の検出器応答( $R$ )には有効だが...

→ 線量分布のような複数の $R$ の計算の効率化はどうか。

次の随伴線源を考えてCADIS理論を適用することにより、複数の検出器応答( $R_1, R_2, \dots, R_N$ )の統計誤差を一様とすることができる。

$$q^+ = \frac{\sigma_{d,1}}{R_1} + \frac{\sigma_{d,2}}{R_2} + \dots + \frac{\sigma_{d,N}}{R_N}$$

where  $\sigma_{d,i}$   $i$  番目の検出器の応答関数  
 $R_i$   $i$  番目の検出器の応答

$R_i$ の計算にForward計算(通常 of 輸送計算)による検出器位置での線束の計算が必要なため、“Forward CADIS”と呼ばれる。。

# 主な随伴計算を用いた自動分散低減の試み

**McBEND**(UKAEA,1967): 随伴拡散計算による自動分散低減【有償】

**AVATAR**(LANL+K.A.V.Riper,1997):3次元Sn法随伴計算 (THREEDANT)+MCNP  
【非公開】

**LIFT** (LANL,S.A.Turner,1997):指数変換法やDXTRANに似たゼロ分散理論に基づく方法。【非公開】

**A<sup>3</sup>MCNP**(UFL,A.Haghighat,1998): CADIS理論に基づく3次元Sn法随伴計算 (TORT)+MCNP-4A 【有償】

**ECBO** (NUPEC,S.Mitake & MRI,O.Sato): CADIS理論に基づく、公開コード(DORT, ANISN)を組み合わせた2次元Sn法随伴計算でMCNP用のWeight Window Parameterと線源バイアスを生成する。【公開,2007】

**MAVRIC** (ORNL,J.Wagner,2005): KENO-VI形状を採用した多群モンテカルロコードMONACOとForward CADIS法に基づく自動分散低減による3次元多群モンテカルロ法遮蔽計算【公開,2005】

**ADVANTG** (ORNL, S.W. Mosher ,2013): 3次元離散座標法コードDENOVOを用いて、Forward CADIS法に基づき、MCNPのWeight Window Parameterを生成するコード。【公開,2015】

CADIS理論に基づくコード

---

## Ⅱ ADVANTG-MCNPコードを用いた遮蔽解析

---

### 1. ADVANTGコードの概要

ADVANTGは、オークリッジ国立研究所(ORNL)で開発されたMCNPのWeight Window Parameterと線源バイアスをCADISまたはFW-CADIS理論に基づいて生成するコードである。

S. W. Mosher, A. M. Bevill, S. R. Johnson, A. M. Ibrahim, C. R. Daily, T. M. Evans, J. C. Wagner, J. O. Johnson and R. E. Grove, *ADVANTG—An Automated Variance Reduction Parameter Generator*, ORNL/TM-2013/416 (November 2013)

## ADVANTGの公開バージョン

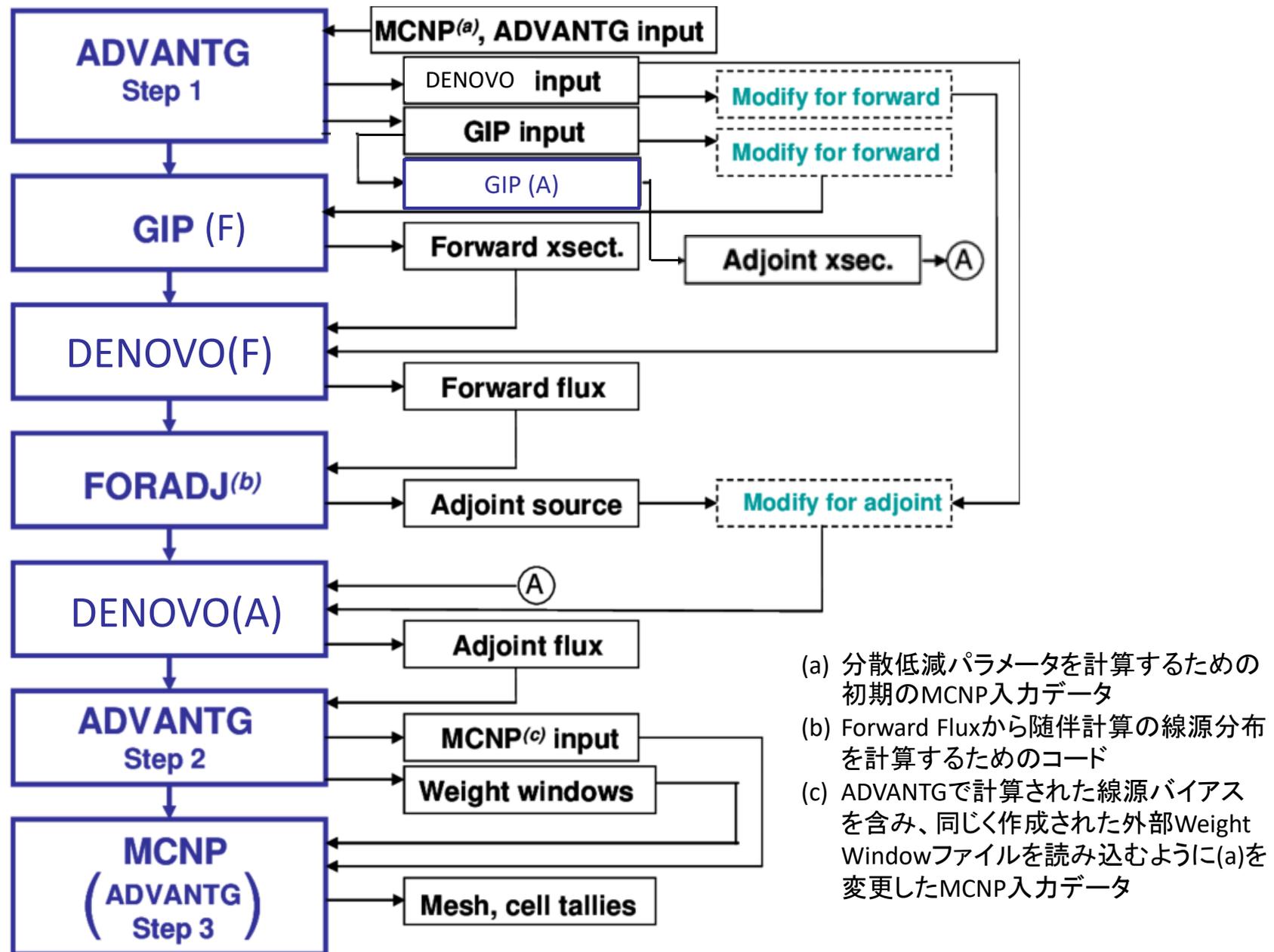
ADVANTG 3.0.1: 2015年に公開された、Forward CADIS法によるMCNP用自動分散低減コード。DENOVOを用いて3次元離散座標法で随伴線束を計算する。

RSICC CODE PACKAGE CCC-831 : ADVANTG 3.0.1: Automated VArIaNce reducTion Generator

ADVANTG 3.2.1: ADVANTG 3.0.1から、複数のセルにまたがる線源や円筒形状メッシュタリーの取扱い、随伴線束計算における反射境界や一回散乱線源の取扱いの追加、などを改良。2019年8月公開

RSICC CODE PACKAGE CCC-854 : ADVANTG 3.2.0: Automated VArIaNce reducTion Generator

# ADVANTGコードの処理フロー



# AVANTGコードの処理フロー

ステップ	処理内容	
ADVANTG Step 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>・MCNP入力データを読み込み、次のデータを生成する。               <ol style="list-style-type: none"> <li>①Forward 及び Adjoint Flux計算用DENOVO入力データ</li> <li>②DENOVOで用いる巨視的断面積を計算するためのGIP (ANISN形式群独立巨視的断面積計算コード) 入力データ(材質組成データ)</li> </ol> </li> </ul>	
FW-CADIS のときのみ	GIP(F)	DENOVOのForward計算で用いる巨視的断面積を計算する。
	DENOVO(F)	FW-CADIS法で用いるForward Fluxを3次元Sn法で計算する。
	FORADJ	Forward FluxからDENOVOによるAdjoint計算で用いる随伴線源分布を計算する。
DENOVO(A)	FW-CADIS法及びCADIS法で用いるAdjoint Flux(随伴線束)を3次元Sn法で計算する。	
ADVANTG Step 2	最適分散低減のために、Step 1で読み込んだMCNP入力データに線源バイアスデータを書き加えたデータと、外部Weight Window Parameterファイルを作成する。	
MCNP (ADVANTG Step 3)	Step2で作成した線源バイアス付MCNP入力データとWeight Window Parameterファイルを用いたMCNPによるモンテカルロ法計算の実行	

---

## Ⅱ ADVANTG-MCNPコードを用いた遮蔽解析

---

### 3. ADVANTGコードの入力データ

---

# ADVANTGの入力データ (1/2)

分類	キーワード	変数	内容	選択肢	デフォルト	
Driver	model	name	形状モデル MCNP5またはSWORD	mcnp / sword	mcnp	
	method	name	分散低減法 CADIS法、Forward CADIS法、DENOVO輸送計算(DX)	cadis / fwcadis / dx		
	outputs	name ...	出力形式 (複数可) (MCNP計算、SILO図示、Sn法応答計算、なし)	mcnp / silo / response / none	mcnp silo	
Model	MCNP関連	mcnp_input	filename	MCNP5の入力ファイル名		
		mcnp_tallies	int ...	分散低減のターゲットとするタリー番号 (複数可)		
		mcnp_material_names	int name ...	MCNPの材質番号と材質名 (SILOで図示するとき用いる)		
		mcnp_min_source_samples	int >= 0	線源サンプル数の最小値		1E+06
		mcnp_max_source_samples	int >= 0	線源サンプル数の最大値		1E+08
		mcnp_target_source_density	int >= 0	1メッシュに含まれる線源の最小平均サンプル数		100
		mcnp_max_point_sources	int >= 0	点線源として扱う最大の線源数。これ以上は体積線源と見做す。		20
		mcnp_force_point_source	bool	線源を点線源として一回散乱法と組み合わせてSn計算を行うか?	true / false	FALSE
		mcnp_min_rays_per_face	int >= 0	1方向について各メッシュをレイトレーシングする最小本数		10
		mcnp_ray_directions	axis ...	レイトレーシングの方向 (複数可)	x / y / z	x y z
	mcnp_num_rays	int >= 0	レイトレーシング本数のノミナル値		1	
	mcnp_lost_rays	int	見失うことが許されるレイトレーシングの最大本数		10	
	mcnp_mix_tolerance	real >= 0.0	二つの混合材質の組成を同じか、違うかを判断する精度		0.01	
	mcnp_unfolding_origin	real (3)	レイトレーシングでMCNP形状をUnfoldingする原点座標			
	mcnp_unfolding_safe	bool	レイを見失いにくい安全だが計算時間が掛かるUnfoldingを行うか?	true / false	FALSE	
	mcnp_tally_min_radius	int real, ...	MCNPで円筒メッシュタリーを用いている場合のタリー毎の最小及び最大半径。タリー番号 半径の組を必要数入力する。			
	mcnp_tally_max_radius	int real, ...				
	mcnp_tally_min_theta	int real, ...	MCNPで円筒メッシュタリーを用いている場合のタリー毎最小及び最大角度 (単位は360° が1)。タリー番号 角度の組を必要数入力する。			
	mcnp_tally_max_theta	int real, ...				
	SWORD関連	sword_input	filename	米国海軍調査研究所が開発した検出器応答解析システムSWORDの分散低減パラメータを計算する際のオプション。MCNPを用いる場合は関係ないため、省略。		
sword_mix_tolerance		real				
sword_small_sources		bool				
sword_sampling		name				
sword_subcell		int				
sword_subcell_x		int				
sword_subcell_y		int				
sword_subcell_z		int				
sword_resolution	float					
Method	FW-CADIS関連	fwcadis_spatial_treatment	name	Forward CADIS法の空間取り扱いオプション	pathlength / global	pathlength
		fwcadis_response_weighting	bool	応答関数のエネルギー依存性に応じた随伴線源を用いるか否か	true / false	TRUE
		fwcadis_min_response	real >= 0.0	空間取り扱いオプションがglobalのときに、随伴線源を作成する際に用いる検出器応答の最小・最大値。例えば、ある値以下の線量の位置については重視しないように随伴線源を作成するのに用いる。		0
	fwcadis_max_response	real >= 0.0			(無限)	
	DX関連	dx_adjoint	bool	methodでdxを選んで分散低減パラメータを計算せずに、Sn法計算のみを行う際に、	true / false	FALSE
dx_forward	bool	Adjoint, Forward計算を行う/行わないを選択する。	true / false	FALSE		
CADIS関連はオプション入力なし						
Weight Window 及び Sn計算の空間メッシュ	mesh_refinement	name	メッシュ分割をMCNPと同じ形式で与えるか、均一幅で与えるか。	mcnp / uniform	mcnp	
	mesh_x	real	【mesh_refinement=mcnpのとき】 メッシュ区間の境界座標 (cm)			
	mesh_y	real				
	mesh_z	real				
	mesh_x_ints	int >= 0	【mesh_refinement=mcnpのとき】 各メッシュ区間のメッシュ分割数	1区間に1メッシュ		
	mesh_y_ints	int >= 0				
	mesh_z_ints	int >= 0				
	mesh_max_width	real >= 0.0	【mesh_refinement=uniformのとき】 設定できるメッシュ幅の最大値。X, Y, Z方向全てをmesh_max_widthで設定できるが、x, y, zそれぞれで設定も出来る。			
	mesh_x_max_width	real >= 0.0				
	mesh_y_max_width	real >= 0.0				
	mesh_z_max_width	real >= 0.0				
	mesh_min_width	real >= 0.0	【mesh_refinement=uniformのとき】 設定できるメッシュ幅の最小値。X, Y, Z方向全てをmesh_min_widthで設定できるが、x, y, zそれぞれで設定も出来る。			
	mesh_x_min_width	real >= 0.0			0	
mesh_y_min_width	real >= 0.0			0		
mesh_z_min_width	real >= 0.0			0		

# ADVANTGの入力データ (2/2)

分類	キーワード	変数	内容	選択肢	デフォルト	
多群断面積ライブラリ	anisl_library	name	Sn法計算に用いるANISN形式断面積ライブラリの選択	27n19g / 200n47g / BUGLE-96 / BPLUS / DABL69 / DPLUS / FENDL67		
	anisl_upscatter	bool	熱中性子群の上方散乱を考慮かどうか。	true / false	FALSE	
	anisl_zaid_map	int >= 0	ANISN形式断面積ライブラリ中の核種を特別に指定する場合に使用 (通常はMCNP入力のみに基づき自動的に選ばれる)			
ソルバー (DENOVOのSn法計算パラメータ)	denovo_discretization	name	DENOVOで用いる差分法。デフォルトはsc(Step Characteristics)。	ld / sc / tld / twd / wdd / wdd ff	sc	
	denovo_x_blocks	int >= 0	DENOVOのX, Y, Z方向ブロック分割数。MPIによる並列計算で1ブロックに一つのスレッド		1	
	denovo_y_blocks	int >= 0	が割り当てられる。		1	
	denovo_z_blocks	int >= 0			1	
	denovo_energy_sets	int >= 0	並列計算でのエネルギー群分割数。分割1個に1スレッド。		1	
	denovo_partition_upscatter	bool	上方散乱群を分割する/しない。	true / false	FALSE	
	denovo_quadrature	name	角度分点セット。デフォルトはqr (Quadruple Range)	glproduct / ldfe / levelsim / qr / userdefined	qr	
	denovo_quad_order	even int > 1	【denovo_quadrature=qrのとき】三角角度分点次数		10	
	denovo_ldfe_order	int >= 0	【denovo_quadrature=ldfeのとき】三角角度分点次数		1	
	denovo_quad_num_azi	int >= 0	角度分点毎の極角、方位角数		4	
	denovo_quad_num_polar	int >= 0	角度分点・オクタント毎の方位角の数		4	
	denovo_quad_num_azi_vec	int >= 0	非対称分点の極軸方向。X軸、Y軸、Z軸のいずれか。	x / y / z	z	
	denovo_quad_polar_axis	axis ...	【denovo_quadrature=userdefinedのとき】角度分点ファイル名			
	denovo_quad_file	filename	散乱マトリクスの散乱角ルジャンドル展開次数		3	
	denovo_pn_order	int >= 0	自群自散乱の輸送補正方法	cesaro / diagonal / none	diagonal	
	denovo_transport_correction	name	Monte Carlo法による一回散乱線源を使用する/しない	true / false	FALSE	
	denovo_mc_first_collision	bool	Monte Carlo法による一回散乱線源計算の粒子数		10000	
	denovo_mc_num_particles	int >= 0	内部反復解法。GMRES法またはSource Iteration(Richardson)	gmres / si	gmres	
	denovo_solver	name	上方散乱(外部反復)の解法。Gauss-SeidelまたはGMRES	gauss seidel / gmres	gauss seidel	
	denovo_multigroup_solver	name	内部反復の前処理法。Diffusion Syntheticまたは前処理なし。	dsa / none	none	
	denovo_preconditioner	name	上方散乱のtwo-grid 加速法の適用。	true / false	FALSE	
	denovo_two_grid	bool	GMRES解法でのKrylov vectorの最大数。		20	
	denovo_krylov_space	int >= 0	内部反復最大数。		100	
	denovo_max_iterations	int >= 0	内部反復の収束精度。		0.001	
	denovo_tolerance	real > 0.	上方散乱(外部反復)の収束精度。		0.01	
	denovo_upscatter_tolerance	real > 0.	外部反復を行う際の内部反復の最大数。		10	
	denovo_upscatter_inner_iterations	int >= 0	外部反復を行う際の内部反復の収束精度。		0.01	
	denovo_upscatter_inner_tolerance	real > 0.	計算する最初と最後の群番号。(第0群から始まることに注意)。		0	
	denovo_first_group	int >= 0	DENOVOの詳細出力を出力する/しない	true / false	TRUE	
	denovo_verbose	bool	DENOVO計算モデルの境界条件。外面6面に対して1=鏡面反射または0=真空を指定。	0 / 1		
	denovo_reflect	int (6)	mcnp_inputで指定するファイル以外のファイルを基として線源バイアス等のデータを加えるときは、そのファイル番号を指定する。		100	
	出力オプション	mcnp_input_template		Weight Windowで起こすSplittingの最大分割数		100
		mcnp_mxsplit	int >= 2	Weight Windowの上限重み(WUPN)と下限重み(WW parameter)との比		5.0
mcnp_ww_ratio		real >= 2.0	線源バイアスの種類。空間-エネルギー、空間のみ、エネルギーのみ、なし	space_energy / space / energy / none	space_energy	
mcnp_sb_type		name	バイアスされた線源確率分布を計算するためのサンプリングの最小数と最大数		1E+06	
mcnp_min_sb_samples		int >= 0	線源分布の1区間あたりの目標とするサンプリング数		1E+08	
mcnp_max_sb_samples		int >= 0	MCNP入力に存在する線源バイアス(SB)を考慮する/しない。	true / false	FALSE	
mcnp_target_sb_density		int >= 0	MCNP線源データ(SDEF)のWGTパラメータ補正のサンプリング数		1E+07	
mcnp_user_sb_sampling		bool	Weight Window メッシュ数を減らすための係数(まとめるメッシュ数)		1	
mcnp_num_wgt_samples	int >= 2	応答分布あるいは線源分布をSilo形式で出力	true / false	TRUE		
mcnp_ww_collapse_factor	real >= 1	体積平均・エネルギー積分線源強度をSilo形式で出力	true / false	TRUE		
Silo	siilo_response_ids	bool	Weight Window targetをSilo形式で出力	true / false	FALSE	
	siilo_source_ids	bool	反応率を出力するためのANISN形式断面積のポジションと反応名			
	siilo_source_strength	bool				
	siilo_ww	bool				
siilo_edit_reactions	int name ...					

## 必要な入力データ (1/5)

ADVANTG コードを用いて、CADIS法あるいはFW-CADIS法でMCNP用の分散低減パラメータ(Weight Window Parameter及び線源バイアス)を計算するのに最低限必要な入力データは次の七種類である。その他はデフォルト設定(入力省略)でも問題ない場合が多い。

- `method` 分散低減法(CADIS法、Forward CADIS法)の選択
- `mcnp_input` MCNPの入力ファイル名
- `mcnp_tallies` 分散低減のターゲットとするタリー番号
- `fwcadis_spatial_treatment` Forward CADIS法の空間取り扱いオプション
- `mesh_x, mesh_y, mesh_z` 及び `mesh_x_ints, mesh_y_ints, mesh_z_ints`  
メッシュ区間の境界座標 (cm)と分割数
- `anisl_library` Sn法計算に用いるANISN形式断面積ライブラリの選択
- `denovo_x_blocks, denovo_y_blocks, denovo_z_blocks`  
DENOVOのX,Y,Z方向ブロック分割数。(並列計算可能なとき)

## 必要な入力データ (2/5)

---

method *cadis / fwcadis / dx*

*cadis* CADIS法で分散低減パラメータを計算する

*fwcadis* Forward CADIS法で分散低減パラメータを計算する

*dx* DENOVOコードを用いたSn法計算のみを行う

mcnp\_input (ファイル名)

分散低減の対象とするMCNP (MCNP5-1.60)の入力データのファイル名を指定する。

mcnp\_tallies タリー番号 (複数可)

分散低減の対象とするタリー番号 (MCNPタリー入力のFn:plの"n")を与える。このタリーの統計誤差を最も小さくするように分散低減を行う。メッシュタリー (FMESH) も可。

## 必要な入力データ (3/5)

### `fwcadis_spatial_treatment` *pathlength / global*

FW-CADIS法で随伴線源分布を計算するときの空間的取り扱いのオプションを指定する。メッシュタリーには*global*が、それ以外には*pathlength*が適している。

<i>pathlength</i>	Path-length weightingを用いる
<i>global</i>	Global weightingを用いる

`mesh_x` *X方向メッシュ境界の座標(cm)*

`mesh_y` *Y方向メッシュ境界の座標(cm)*

`mesh_z` *Z方向メッシュ境界の座標(cm)*

`mesh_x_int` *X方向メッシュ分割数*

`mesh_y_int` *Y方向メッシュ分割数*

`mesh_z_int` *Z方向メッシュ分割数*

MCNPのメッシュごとWeight Window Parameter (wwinpファイル)のメッシュ分割及びForward, Adjoint計算を行うDENOVOの空間メッシュ分割を指定する。

## 必要な入力データ (4/5)

**anisl<sub>n</sub>\_library**     *27n19g / 200n47g / BUGLE-96 / BPLUS / DABL69 / DPLUS / FENDL67*

DENOVOを用いたForward及びAdjoint計算に用いるANISN形式断面積ライブラリを次の中から選ぶ。分散低減のためのSn計算にはそれほど精度は要求されないので、できるだけ群数の少ないもの(27n19gなど)が計算時間を節約できて望ましい。

Table 3-1. Multigroup libraries

Library	anisl <sub>n</sub> _library option	# of groups (N / G)	# of isotopes or elements	Evaluation	Reference
27n19g	27n19g	27 / 19	393	ENDF/B-VII.0	Wiarda et al. 2008
200n47g	200n47g	200 / 47	393	ENDF/B-VII.0	Wiarda et al. 2008
BUGLE-96	bugle96	47 / 20	120	ENDF/B-VI.3	White et al. 1995
BPLUS	bplus	47 / 20	393	ENDF/B-VII.0	N/A
DABL69	dabl69	46 / 23	80	ENDF/B-V	Ingersoll et al. 1989
DPLUS	dplus	46 / 23	393	ENDF/B-VII.0	N/A
FENDL67	fendl67	46 / 21	71	FENDL-2.1	López Aldama and Trkov, 2004

## 必要な入力データ (5/5)

denovo\_x\_blocks

*X方向のDENOVOのブロック数*

denovo\_y\_blocks

*Y方向のDENOVOのブロック数*

denovo\_z\_blocks

*Z方向のDENOVOのブロック数*

- ◆ 並列計算のために、DENOVOの空間メッシュをまとめてブロック化するときのX方向、Y方向、Z方向のブロックの数を与える。各ブロックに1つのスレッドが与えられる。
- ◆  $\text{denovo\_x\_blocks} \times \text{denovo\_y\_blocks} \times \text{denovo\_z\_blocks}$ がPCの最大スレッド数を超えるとエラーとなる。
- ◆ デフォルトはすべて1であるが、スレッドの数が許す限り、これに1以上の整数を与えることで、ADVANTGの計算時間の大半を占めるDENOVOの計算時間は短くなる。
- ◆  $\text{denovo\_x\_blocks}$ 、 $\text{denovo\_y\_blocks}$ 、 $\text{denovo\_z\_blocks}$ は、それぞれ  $\text{mesh\_x}$ 、 $\text{mesh\_y}$ 、 $\text{mesh\_z}$ の約数で、約数以外の場合はそれ以下の最大の約数に自動的に変更される。

---

## Ⅱ ADVANTG-MCNPコードを用いた遮蔽解析

---

### 4 . ADVANTGコードの実行方法

## 環境設定ファイル *advantg.rc*

ADVANTGをインストールしたディレクトリに *advantg.rc* というbash用環境設定ファイルが生成される。

これを次のいずれかの方法で有効化する。

1) ADVANTG使用前に実行  
次のコマンドを実行しておく。

```
source $ADVANTG/advantg.rc
```

(*\$ADVANTG*はADVANTGをインストールしたディレクトリ)

2) ログイン時の環境設定で実行  
.bashrcの最後に右の*advantg.rc*の内容を書いておく。  
あるいは、次の1行を最後に書いておく。

```
source $ADVANTG/advantg.rc
```

(*\$ADVANTG*はADVANTGをインストールしたディレクトリ)

### (*advantg.rc*の内容)

```
ADVANTG=/home/sato/advantg      (インストールしたディレクトリ)
export ADVANTG

LD_LIBRARY_PATH=$ADVANTG/lib:$LD_LIBRARY_PATH
LD_LIBRARY_PATH=$ADVANTG/packages/exnihilo/lib:$LD_LIBRARY_PATH
LD_LIBRARY_PATH=$ADVANTG/packages/openmpi/lib:$LD_LIBRARY_PATH
LD_LIBRARY_PATH=$ADVANTG/packages/python/lib:$LD_LIBRARY_PATH
export LD_LIBRARY_PATH

PATH=$ADVANTG/bin:$PATH
PATH=$ADVANTG/packages/advantg/bin:$PATH
PATH=$ADVANTG/packages/exnihilo/bin:$PATH
PATH=$ADVANTG/packages/msx/bin:$PATH
PATH=$ADVANTG/packages/openmpi/bin:$PATH
PATH=$ADVANTG/packages/python/bin:$PATH
PATH=$ADVANTG/packages/radiant/bin:$PATH
PATH=/mnt/c/LANL/MCNP61/MCNP_CODE/bin:$PATH
export PATH

PYTHONPATH=$ADVANTG/packages/advantg/python:$PYTHONPATH
PYTHONPATH=$ADVANTG/packages/exnihilo/python:$PYTHONPATH
PYTHONPATH=$ADVANTG/packages/msx/python:$PYTHONPATH
export PYTHONPATH

OPAL_PREFIX=$ADVANTG/packages/openmpi
export OPAL_PREFIX

DATAPATH=/mnt/c/LANL/MCNP61/MCNP_DATA
export DATAPATH

SCALE_DATAPATH=$ADVANTG/data/scale
export SCALE_DATAPATH
```

# ADVANTGの実行方法

---

## 実行方法 (1) シェルスクリプトを使用

ADVANTGのインストールで生成されるシェルスクリプト`advantg`を用いて実行する。

`advantg` 入力ファイル名

注) 実行前に設定ファイル`advantg.rc`を`source`コマンドで実行しておく。

## 実行方法 (2) pythonで実行

ADVANTGに付属しているpython 2.7を用いてpythonスクリプトを実行する。

`python` pythonスクリプトファイル名

注) システムにpython 3などがインストールされているときは、`python`というコマンドをADVANTGに付属しているpython 2.7を実行するようにPATH変数で設定しておく。この設定は`advantg.rc`を実行することで行われる。

## ADVANTGの入力データ例

## (サンプル問題 ueki35)

入力データの例 (ueki35.adv)

method	cadis			
mcnp_input	ueki35			
mcnp_tallies	5			
mcnp_material_names	1	paraffin		
	2	graphite		
anisn_library	27n19g			
denovo_pn_order	1			
denovo_quad_num_polar	2			
denovo_quad_num_azimuthal	2			
mesh_x	-25	107.5	112.5	
mesh_x_ints		53	3	
mesh_y	-40	-2.5	2.5	40
mesh_y_ints		15	3	15
mesh_z	-40	-2.5	2.5	40
mesh_z_ints		15	3	15

pythonスクリプトの例 (ueki35.py)

```

from advantg.driver import run

inp = {
    "method": "cadis",
    "mcnp_input": "ueki35",
    "mcnp_tallies": 5,
    "mcnp_material_names": {1: "paraffin",
                             2: "graphite"},
    "anisn_library": "27n19g",
    "denovo_pn_order": 1,
    "denovo_quad_num_polar": 2,
    "denovo_quad_num_azimuthal": 2,
    "mesh_x": [-25, 107.5, 112.5],
    "mesh_x_ints": [53, 3],
    "mesh_y": [-40, -2.5, 2.5, 40],
    "mesh_y_ints": [15, 3, 15],
    "mesh_z": [-40, -2.5, 2.5, 40],
    "mesh_z_ints": [15, 3, 15]
}

run(inp)

```

# 実行シェルスクリプトの内容

シェルスクリプト *advantg* (*\$ADVANTG/packages/advantg/bin/advantg*)

```
#!/bin/sh
# Call the run_advantg.py script with all arguments
python $ADVANTG/packages/advantg/bin/run_advantg.py "$@"
```

pythonスクリプト *run\_advantg.py*

```
# Remove the directory in which this file resides from the module
# search path, otherwise `import advantg` will find the launch script
import os
import sys

sys.path[0] = os.getcwd()

from advantg.__main__ import main
main()
```

## ADVANTGの出力とMCNPの実行

- ADVANTGの計算終了後、次の二つのディレクトリが生成される。

`model/`     ADVANTG内のMCNP5-1.60の計算に用いられた入力等

`output/`    ADVANTGからの出力

- 次の二つのファイルを用いてMCNPによる解析を実施する。

`output/inp`           線源バイアスが付加されたMCNPの入力データ

`output/wwinp`        Weight Window Parameter

- この二つのファイルを適当な名前（`○○○.inp`、`○○○.wwinp`）に変更し、次のようにMCNPの実行を行う。

```
mcnp5        inp=○○○.inp     wwinp=○○○.wwinp out=○○○.out runtpe=○○○.run
```

```
          meshtal=○○○.fmesh mctal=○○○.tal
```

MCNPは、`wwinp`ファイルにより外部からメッシュ毎のWeight Window Parameterを与えることの出来るいずれのバージョン（MCNP4以降）も用いることが出来る。

## ADVANTGの出力とMCNPの実行

- ADVANTGの計算終了後、次の二つのディレクトリが生成される。

`model/`    ADVANTG内のMCNP5-1.60の計算に用いられた入力等

`output/`    ADVANTGからの出力

- 次の二つのファイルを用いてMCNPによる解析を実施する。

`output/inp`            線源バイアスが付加されたMCNPの入力データ

`output/wwinp`        Weight Window Parameter

- この二つのファイルを適当な名前（`○○○.inp`、`○○○.wwinp`）に変更し、次のようにMCNPの実行を行う。

```
mcnp5        inp=○○○.inp        wwinp=○○○.wwinp out=○○○.out runtpe=○○○.run
```

```
             meshtal=○○○.fmesh mctal=○○○.tal
```

MCNPは、`wwinp`ファイルにより外部からメッシュ毎のWeight Window Parameterを与えることの出来るいずれのバージョン（MCNP4以降）も用いることが出来る。

# ADVANTGの出力とMCNPの実行（続き）

## ADVANTG.sh

```
#!/usr/bin/bash
if [ -d model ] ; then rm -rf model ; fi
if [ -d fwcadis_adj_solution ] ; then rm -rf fwcadis_adj_solution ; fi
if [ -d fwd_solution ] ; then rm -rf fwd_solution ; fi
if [ -d adj_solution ] ; then rm -rf adj_solution ; fi
if [ -d output ] ; then rm -rf output ; fi
source $CODES/ADVANTG/advantg.rc
sed -e s/"<MCNP_INPUT>"/"$1.inp"/ $2.adv > adv.inp
advantg adv.inp
if [ -f "output/wwinp" ] ; then
    cp output/wwinp $1_$2.wwinp
    cp output/inp $1_$2.inp
    rm -rf model
    rm -rf fwcadis_adj_solution
    rm -rf fwd_solution
    rm -rf adj_solution
    rm -rf output
fi
rm -f adv.inp
```

ADVANTGをインストールしたディレクトリ

## 上記のShell用ADVANTGの入力データ例

method	fwcadis
fwcadis_spatial_treatment	global
mcnp_input	<MCNP_INPUT>
mcnp_tallies	12
anisl_library	27n19g
mesh_x	-100 100
mesh_x_ints	10
mesh_y	-100 100
mesh_y_ints	10
mesh_z	0 100
mesh_z_ints	20

## runmcnp62.sh

```
#!/usr/bin/bash
#
export TMPDIR=~/.work/$USER`date +%H%M%S`
# script to run MCNP.
#
# set environment variable for directory containing MCNP6.2 and XSDIR file
#
export MCNP_EXE=$CODES/MCNP6.2/MCNP_CODE/MCNP620/bin/linux/mcnp6
export DATAPATH=$CODES/MCNP6.2/MCNP_DATA/
#
#
if [ -d $TMPDIR ] ; then
    echo $TMPDIR " is exist. Try again 1-second later."
    exit
fi
#
mkdir $TMPDIR
echo " Working directry is "$tmpdir "."
#
cp $1.inp $TMPDIR/inp
cp $1.wwinp $TMPDIR/wwinp
#
pushd $TMPDIR
    $MCNP_EXE i=inp mctal=tal xsdir=xsdir o=outp tasks $2
popd
#
mv $TMPDIR/outp $1.out
mv $TMPDIR/runtpc $1.run
if [ -f $TMPDIR/tal ] ; then mv $TMPDIR/tal $1.tal ; fi
if [ -f $TMPDIR/meshtal ] ; then mv $TMPDIR/meshtal $1.fmesh ; fi
rm -rf $TMPDIR
exit
```

MCNP6.2の実行形式プログラム

MCNP断面積データ(XSDIR)のあるディレクトリ

## Ⅱ ADVANTG-MCNPコードを用いた遮蔽解析

---

### 5. 解析演習

各演習問題のMCNP入力データは事前に提供します。

演習1に関しては、ADVANTGの入力データも用意しますので、他の演習の際にこれを参考として、入力を作成ください。

# 演習1 1次元透過問題

## 【概要】

鉄とポリエチレンから成る1次元半無限平板多重層の透過問題である。鉄はいわゆる炭素鋼であり、厚さは10cmである。ポリエチレンも同じ厚さであり、鉄と交互に並べられている。

$^{252}\text{Cf}$ の自発核分裂中性子が、この多層の半無限平板に対して垂直に、一様・平行なビームとして入射している。単位強度 ( $1 \text{ n/cm}^2/\text{s}$ )の中性子ビームが入射しているときの、各層の境界における中性子線量率及び二次ガンマ線線量率 ( $1\text{cm}$ 線量率) を計算されたい。

## モデル

鉄とポリエチレンの層が5組配列された半無限(ビームと直角方向が無限)平板

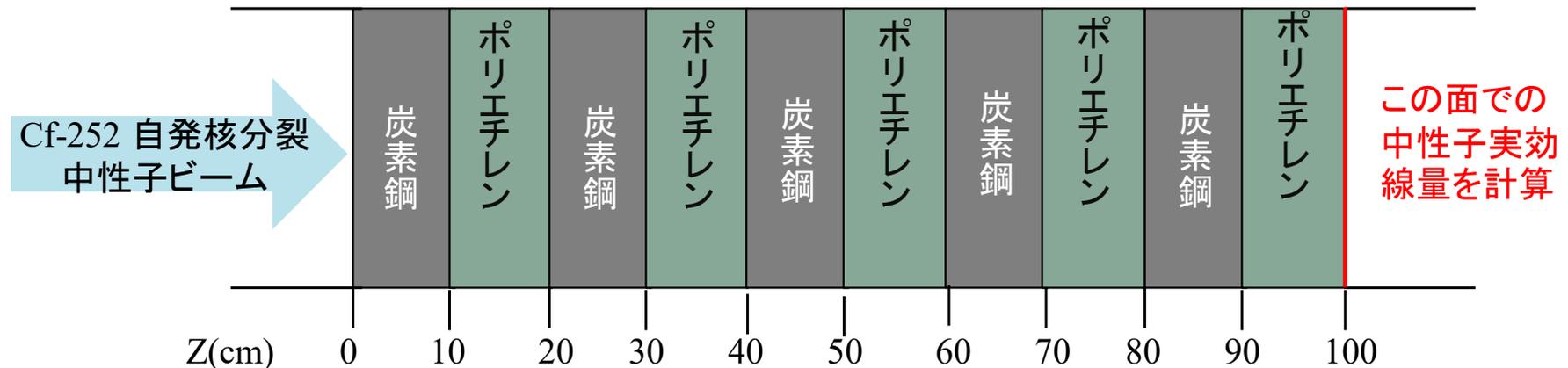


図1 1次元透過問題のモデル (鉄・ポリエチレン層が5組)

# 演習1 1次元透過問題

## 組成

炭素鋼 :		密度	$7.8212\text{g/cm}^3$
	Fe	99wt%	$8.350 \times 10^{-2}$ atom/barn/cm
	同位体組成	Fe-54	5.84535 atom%, Fe-56 91.75436 atom%,
	(米国NIST)	Fe-57	2.11910 atom%, Fe-58 0.28240 atom%
	C	1wt%	$3.922 \times 10^{-3}$ atom/barn/cm
ポリエチレン :		密度	$0.92\text{g/cm}^3$
	H		$7.900 \times 10^{-2}$ atom/barn/cm
	C		$3.950 \times 10^{-2}$ atom/barn/cm

## タリー

- ✓ 深さ100cmの表面に面検出器を設定し、この面での実効線量を計算する。
- ✓ 線量換算係数は、日本原子力学会標準の実効線量への換算係数を用いる。
- ✓ 半無限平板である面検出器の面積は1として、この面で積分した中性子線量の統計誤差を最小にするように、分散低減を行う。
- ✓ 線量及び統計誤差の分布をみるためにメッシュタリーも用いる。

# 演習1 1次元透過問題

## 線源

$^{252}\text{Cf}$ の自発核分裂中性子スペクトルを持ったペンシルビーム状の中性子線源を、面に垂直に入射させる。

半無限平板体系であるので、Reciprocal Theoryにより、これは一様な平行ビームが入射するのと等価となる。各面検出器の面積を1としたことによりペンシルビーム線源とした場合の等価な線源強度は  $1\text{n/cm}^2/\text{s}$  となる。



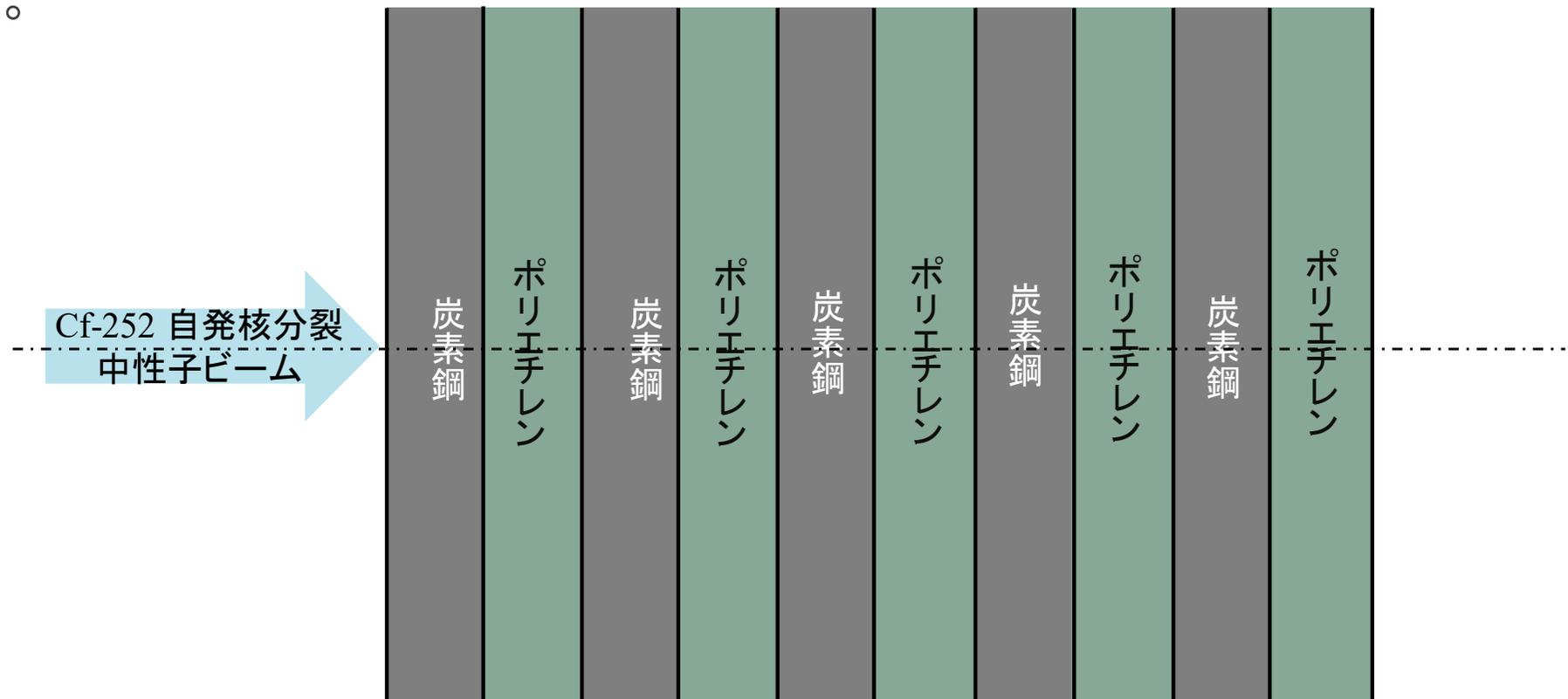
## 随伴線束の計算モデル

X方向、Y方向に $\pm 100\text{cm}$ 、Z方向に $0\sim 100\text{cm}$ の範囲で随伴線束を計算する(計算範囲外は一定のWeight Window Parameterとなる)。X方向、Y方向のメッシュ幅は $20\text{cm}$ 、Z方向のメッシュ幅は $5\text{cm}$ とする。

# 演習1 1次元透過問題 (ケース0)

## ケース0 分散低減なし

ADVANTGを用いないで、出口面及び各境界面での1cm線量当量を計算する。



★全ケースともCPU時間は10分として、各ケースの各面での統計誤差及びMCNPの10の計算結果判断基準（付録参照）を比較する。

# 演習1 1次元透過問題 (ケース1)

## ケース1 CADIS法による出口面の分散低減

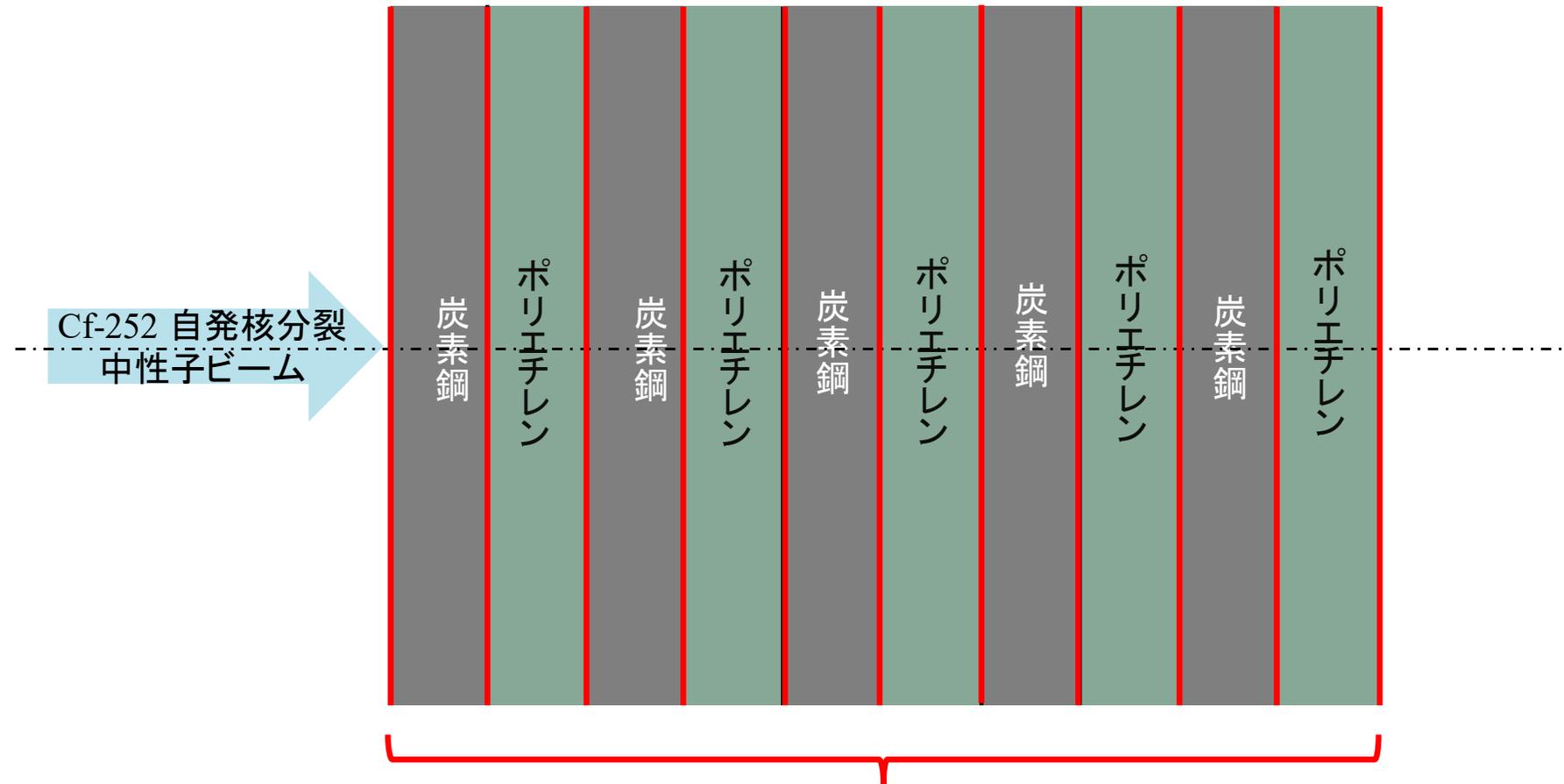
出口面に随伴線源を設定してCADIS法により算出した分散低減パラメータを用いて、出口面及び各境界面での1cm線量当量を計算する。



## 演習1 1次元透過問題 (ケース2)

### ケース2 Forward CADIS法による系全体の分散低減

各境界面に随伴線源を設定してForward CADIS法により計算した分散低減パラメータを用いて、出口面及び各境界面での1cm線量当量を計算する。



随伴線源(中性子の実効線量換算係数)

## 演習2 使用済燃料輸送容器遮へい解析

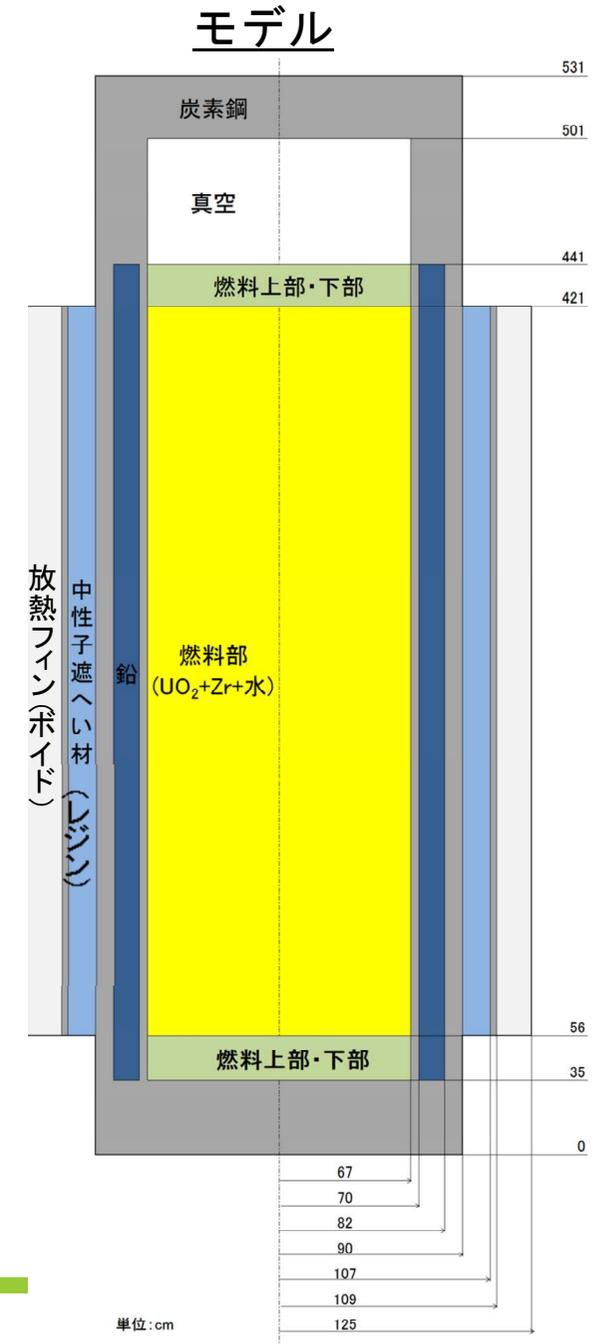
### 【概要】

実際の輸送容器を模擬した解析を行い、ADVANTGの実用性を確認する。

この輸送容器はPWRからの使用済み燃料を輸送する比較的大型のものをデフォルメしたものである。

### (寸法)

全長	531 cm
外半径 (放熱フィン先端)	250 cm
本体胴外径	180 cm
キャビティ内径	134 cm
キャビティ長	466 cm
側胴部鉛厚さ	12 cm
中性子遮蔽材 (レジン) 厚さ	17 cm
蓋部炭素鋼厚さ	30 cm
底部炭素鋼厚さ	35 cm



## 演習2 使用済燃料輸送容器遮へい解析

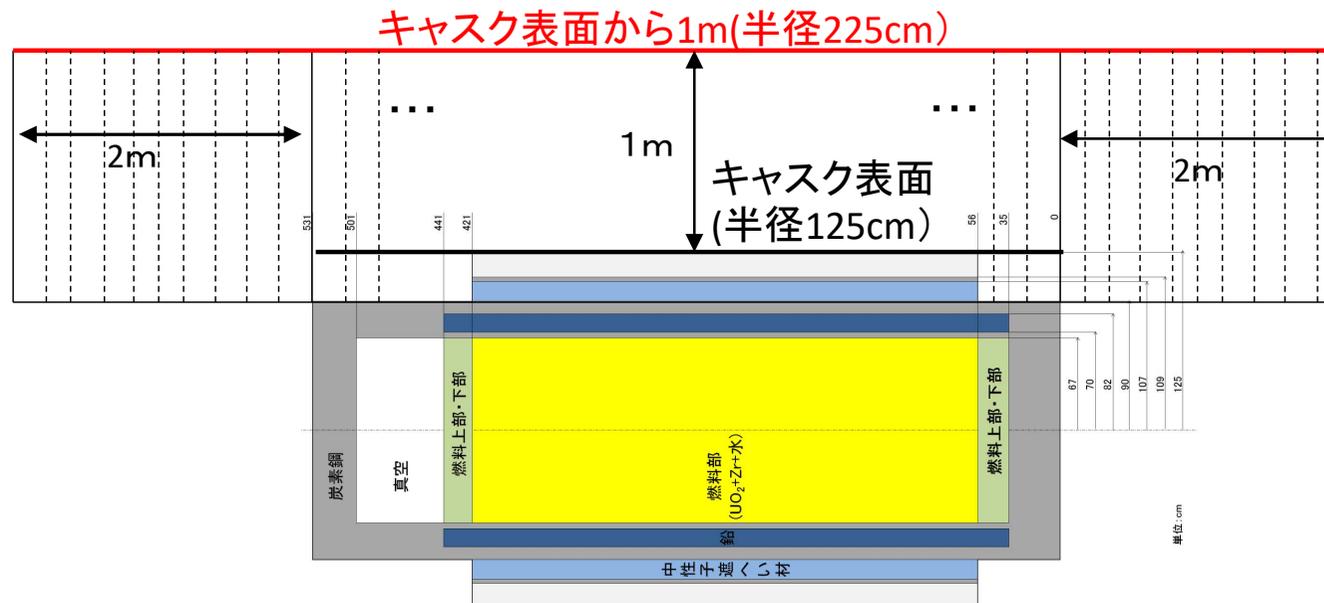
### 組成

核種	燃料部	燃料上部・下部	鉛	炭素鋼	レジン
H	3.99E-02	3.99E-02			5.70E-02
B-10					1.87E-05
C				3.92E-03	2.23E-02
N					1.39E-03
O	2.90E-02	1.99E-02			2.58E-02
Al					7.67E-03
Fe				8.35E-02	
Zr	2.90E-03	2.90E-03			
Pb			3.28E-02		
U-235	1.93E-04				
U-238	4.34E-03				
	UO <sub>2</sub> 18.31%				
備考	Zr 6.28%	Zr 6.28%			
	水 63.51%	水 63.51%			

## 演習2 使用済燃料輸送容器遮へい解析

### タリー

- ✓ 側面の表面から1mの位置に円筒状の面検出器を設定して、中性子及び二次ガンマ線による1cm線量当量を計算する。
- ✓ 面検出器は軸方向に高さ20cmずつに区切って、軸方向の線量分布を評価する。
- ✓ 線量換算係数は、ICRP publication 74に記載された1cm線量当量 ( $H^*(10)$ ) への換算係数を用いる。



## 演習2 使用済燃料輸送容器遮へい解析

### 線源

$^{239}\text{Pu}$ の熱中性子入射核分裂中性子スペクトルを持った一様線源が、燃料部に均一に広がっているものとする。

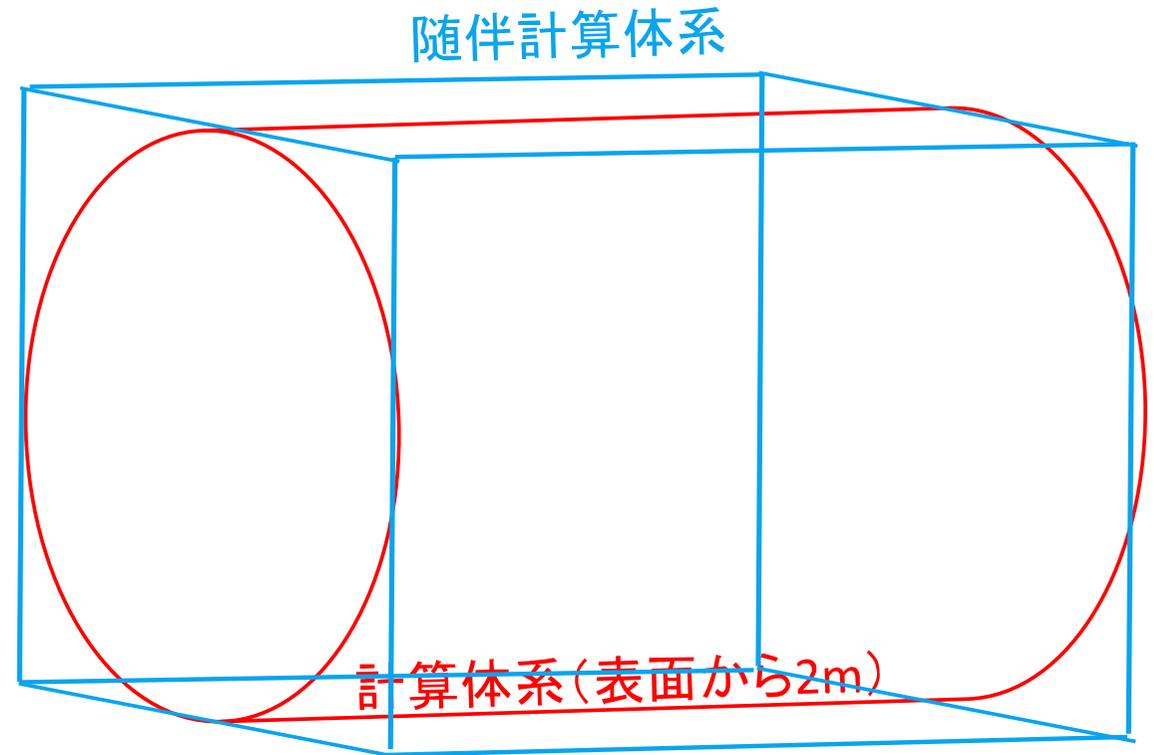
(Wattパラメータ)

$$a=0.966$$

$$b=2.842$$

### ADVANTGによる分散低減

- ✓ CADIS法により、側面表面から1mでの中性子及び二次ガンマ線の線量の統計誤差を最小にするような分散低減パラメータを計算する。
- ✓ 右図のように円筒形状のMCNPによる計算体系を包含する直方体のモデルで随伴線束を計算する。
- ✓ 計算メッシュ幅はX,Y,Zとも約10cmとする。



## 演習2 使用済燃料輸送容器遮へい解析

---

### 計算ケース

- (1) ADVANTGを用いたCADIS法による分散低減
- (2) アナログ・モンテカルロ法(分散低減なし)
- 両者のFOM =  $1/\sigma^2 T$ の分布を比較する( $\sigma$ :統計誤差FSD、T:計算時間)。

# Ⅲ SCALE/MAVRICシステムを用いた遮蔽解析

---

## 1. SCALEシステムの概要

# SCALEシステム

---

SCALE(Standardized Computer Analyses for  
Licensing Evaluation)

- ◆核燃料施設の臨界・遮蔽・熱安全解析コードシステム
- ◆米国原子力規制委員会(NRC)からの委託でオークリッジ国立研究所(ORNL)が開発

## SCALEの特長

---

- ◆ 実効断面積計算から臨界解析までを一括計算(制御モジュール)
- ◆ 簡単な入力による断面積処理
- ◆ 中性子及びガンマ線断面積ライブラリーについて、ベンチマーク評価されたもの、最新のもの、などを選んで使用。
- ◆ 1・2次元(Sn法)、3次元(モンテカルロ法)解析が可能
- ◆ 標準組成ライブラリーが付属
- ◆ フリーフォーマット入力
- ◆ 各種のベンチマーク、臨界実験解析による信頼性

# SCALEの沿革

公開年	バージョン	主な機能付加
1980	SCALE-0	1次元解析
1981	SCALE-1	3次元解析 (KENO-IV)
1983	SCALE-2	KENO-V追加、入力データ改良
1986	SCALE-3	KENO-V. a追加
1990	SCALE-4.0	非均質補正改良、NITAWL-IIの導入
1994	SCALE-4.2	Unix化, PC化
1995	SCALE-4.3	ENDF/B-V核データ, KENO-VI追加
1998	SCALE-4.4	KENO-VI改良
2001	SCALE-4.4a	Linux版追加
2003	SCALE-5	二次元Sn法、微細群
2006	SCALE-5.1	ENDF/B-VI核データ、感度解析、ORIGEN-ARP
2009	SCALE-6	自動分散低減遮蔽計算 (MAVRIC)、ENDF/B-VII.0
2011.5	SCALE6.1	SCALE6の微修正
2016春	SCALE6.2	連続エネルギー遮蔽・燃焼・感度解析、ENDF/B-VII.1 64ビット化(Windows, Linux, MAC)
2016.8	SCALE6.2.1	SCALE6.2の微修正
2017.5	SCALE6.2.2	SCALE6.2.1の微修正
2018.3	SCALE6.2.3	SCALE6.2.2の微修正

# SCALEシステムの構成

---

## 制御モジュール(Control Module)

- 臨界解析用モジュール(CSAS、etc.)
- 簡易燃焼計算 (ORIGEN-ARP)
- 遮蔽解析用モジュール(SAS)
- 二次元・三次元燃焼計算モジュール(TRITON)

## 解析コード(Functional Module)

- 中性子断面積処理(BONAMI, NITAWL-III, CENTRM)
- 1次元Sn法計算(XSDRNPM)
- 2次元Sn法計算(NEWT)
- 3次元モンテカルロ法臨界計算(KENO-V.a, KENO-VI)
- 感度解析(TSUNAMI)
- 3次元モンテカルロ法遮蔽計算(MONACO)
- 燃焼計算(ORIGEN)

# SCALEシステムの構成

---

- 断面積ライブラリー

- 臨界用4種(中性子)
- 遮蔽用3種(中性子・ $\gamma$ 線)

- データベース

- 標準組成ライブラリー



SCALE6.2.1の場合

- プリ・ポスト

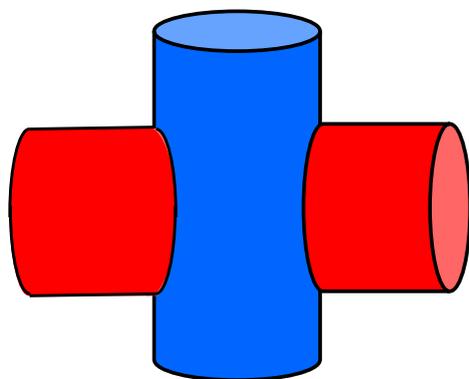
- GUI (GeeWiz, ORIGEN-ARP)
- 図示、後処理 (JAVAPENO, MESHVIEW, CHARTPLOT, KENO3D, PLOTOPUS)  
⇒ Fulcrumに統合(SCALE6.2)

## SCALEシステムの臨界解析モジュール: CSAS

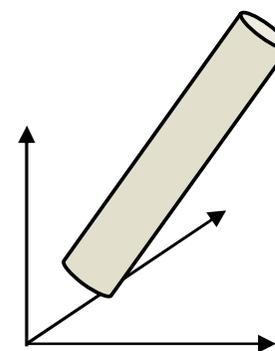
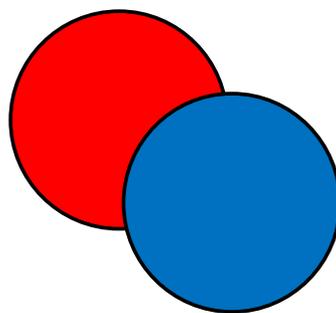
CSAS : XSDRNPMを用いた1次元、あるいは、KENO-VまたはKENO-VIを用いた三次元モンテカルロ臨界計算を行うモジュール。多群計算と連続エネルギー計算が可能。

KENO-V.a: 3次元モンテカルロ法臨界計算コード。単純形状のみ(簡単)

KENO-VI: 3次元モンテカルロ法臨界計算コード。複雑形状も可



領域の交叉



図形の回転

KENO-VIで扱えて、KENO-V.aでは扱えない形状の例

SCALEシステムの臨界解析機能の歴史は古く、臨界安全解析のデファクト・スタンダードとなっている。OECD/NEAの国際臨界ベンチマークプログラム(ICSBEP: 約5000ケースの実験を収録)などにより、さまざまな系に関して精度評価が行われている。

## 臨界解析制御モジュール

CSAS-MG	: 微視的実効断面積( $\sigma$ )の計算
CSASI	: 巨視的実効断面積( $\Sigma$ )の計算
CSAS1	: 1次元臨界計算(XSDRNPM)
CSAS5	: 3次元モンテカルロ法臨界計算 (KENO-V.a)
CSAS5S	: 3次元モンテカルロ法臨界サーチ計算
CSAS6	: 3次元モンテカルロ法臨界計算 (KENO-VI)
SMORES	: 1次元臨界材質サーチ計算
TSUNAMI-1D	: 1次元感度解析
TSUNAMI-3D	: 3次元感度解析

## 遮蔽解析制御モジュール

---

- SAS1 : 1次元遮蔽計算  
断面積処理＋1次元Sn法遮蔽計算
- QADS : 点減衰核法による3次元ガンマ線遮蔽計算
- MAVRIC : KENO-VI形状を採用した多群モンテカルロコード  
MONACOとCADIS法に基づく自動分散低減による3次元多群及び連続エネルギーモンテカルロ  
法遮蔽計算
- CAAS : 臨界管理システムを模擬して臨界計算＋遮蔽計算を行う。

# SCALEシステムの遮蔽解析モジュール:MAVRIC

---

MAVRIC : KENO-VI形状を採用した多群モンテカルロコードMONACOとForward CADIS法に基づく自動分散低減による3次元多群モンテカルロ法遮蔽計算 ⇒SCALE6.2(2016年5月登録)からは連続エネルギー計算も可能

MONACO : 多群3次元モンテカルロ法中性子・ガンマ線輸送計算コード

DENOVO:三次元XYZ形状Sn法中性子・ガンマ線輸送計算コード。MAVRICで、MONACOの最適分散低減をCADIS法で行う際の随伴線束計算に用いる。

## Forward CADIS法

線量分布などの分布量の計算を行う際に、決定論的手法を用いたForward計算結果を利用して、CADIS法における随伴線源を計算して最適化する手法

## SCALE6.2の断面積ライブラリー（マニュアル p.10-22参照）

### （臨界解析用）

V7-238 ENDF/B-VII.0(2006)からの238群

V7-252 ENDF/B-VII.1(2011)からの252群

V7-56 ENDF/B-VII.1からの56群

CE\_V7\_ENDF ENDF/B-VII.0からの連続エネルギー(Text形式)

CE\_V7.1\_ENDF ENDF/B-VII.1からの連続エネルギー(Text形式)

### （遮蔽解析用）

CE\_V7\_ENDF.xml ENDF/B-VII.0からの連続エネルギー(MONACO用)

CE\_V7.1\_ENDF.xml ENDF/B-VII.1からの連続エネルギー(MONACO用)

V7-200N47G ENDF/B-VII.0からの中性子200群、 $\gamma$ 線47群

V7.1-200N47G ENDF/B-VII.1からの中性子200群、 $\gamma$ 線47群

V7-27N19G ENDF/B-VII.0からの中性子27群、 $\gamma$ 線19群

V7.1-28N19G ENDF/B-VII.1からの中性子28群、 $\gamma$ 線19群

# Ⅲ SCALE/MAVRICシステムを用いた遮蔽解析

---

## 2. MAVRICの入力データ

---

詳しくは、SCALE6.2マニュアルの下記の節を参照

4.1 MAVRIC: MONACO WITH AUTOMATED VARIANCE REDUCTION USING IMPORTANCE CALCULATIONS

7.1 XSPROC: THE MATERIAL AND CROSS SECTION PROCESSING MODULE FOR SCALE

8.2 MONACO: A FIXED-SOURCE MONTE CARLO TRANSPORT CODE FOR SHIELDING APPLICATIONS

10.1 SCALE CROSS SECTION LIBRARIES

また、遮蔽解析に関しては下記 Tutorial も参考となる(一式を別途配布)。

New Shielding Methods in SCALE 6

A SCALE 6/MAVRIC Tutorial

ANS Winter Meeting Nov. 19, 2009 Washington, DC

# MAVRICの入力データ例 (1/2)

```
=Mavric
Simplified cask model v7-27n19g
read composition
  wtptFuel 1 0.913717475 18 6000 0.00939719 7014 0.00528993
    8016 9.73397641 13000 0.00715715 14000 0.01031670
    15000 0.02227505 22000 0.00780567 24000 0.36655141
    25000 0.01716839 26000 0.72041451 27000 0.00523824
    28000 0.68955526 40000 15.78990702 41000 0.05130153
    42000 0.02844690 50118 0.25877903 92235 3.03560962
    92238 69.24080999
  1.0 293.0 end
orconcrete 2 1.0 293.0 end
ss304 3 1.0 293.0 end
end composition
read geometry
  global unit 1
    zcylinder 1 95.0 228.6 -228.6
    zcylinder 2 170.0 255.2 -255.2
    zcylinder 3 90.0 240.6 -240.6
    zcylinder 4 90.0 280.6 -280.6
    zcylinder 5 170.0 280.6 -280.6
    zcylinder 6 170.0 285.6 -285.6
    zcylinder 7 95.0 255.2 -255.2
    zcylinder 8 100.0 255.2 -255.2
    zcylinder 9 168.0 255.2 -255.2
    sphere 10 999.0
    media 1 1 1 vol=1.29629E+07
    media 3 1 8 -7 vol=1.56338E+06
    media 2 1 9 -8 vol=2.92216E+07
    media 3 1 2 -9 vol=1.08394E+06
    media 3 1 3 -1 vol=6.10726E+05
    media 2 1 4 -3 vol=2.03575E+06
    media 3 1 6 -5 vol=9.07920E+05
    media 0 1 5 -4 -2 vol=3.31953E+06
    media 0 1 7 -4 -1 vol=1.54598E+05
    media 0 1 10 -6 vol=4.12429E+09
  boundary 10
end geometry
read definitions
  location 1
    title="horizontal midplane, 10 cm from surface"
    position 180.0 0.0 0.0
  end location
  location 2
    title="on vertical axis, 10 cm from surface"
    position 0.0 0.0 295.6
  end location
  location 3
    title="in front of vent port, 10 cm from surface"
    position 180.0 0.0 267.9
  end location
```

## 0) 制御モジュール名

### 1) タイトル

### 2) 断面積ライブラリー名

### 3) 組成データ MAVRIC

### (XSPROC)

### 4) 形状データ MONACO

### (KENO-VI=SGGP)

### 5) 定義データ

### MONACO

### (位置)

```
location 4
  title="horizontal midplane, 100 cm from surface"
  position 270.0 0.0 0.0
end location
location 5
  title="on vertical axis, 100 cm from surface"
  position 0.0 0.0 385.6
end location
location 6
  title="corner point, 100 cm from each surface"
  position 270.0 0.0 385.6
end location
response 1
  specialDose=9029
end response
distribution 1
  title="kewaunee core, 3 cycles and then 10 years"
  neutronGroups
  truePDF 2.040E-02 2.147E-01 2.365E-01 1.267E-01 1.586E-01
    1.587E-01 7.281E-02 1.073E-02 7.688E-04 5.694E-05
    4.479E-06 3.148E-07 4.983E-08 9.864E-09 1.117E-09
    3.286E-10 1.060E-10 9.203E-11 9.135E-11 1.755E-10
    2.590E-11 3.024E-11 3.451E-11 3.269E-12 5.447E-12
    4.089E-14 4.916E-14 end
end distribution
gridGeometry 3
  title="for importance map for detectors 3,6"
  xplanes -170 -168 -146 -122 -100
    -95 -90 -60 -40 -20 -5
    5 15 25 35 45 55 65 75 85 90 95 100
    104 108 112 116 120 124 128 132 136 140 144 148 152
    156 158 160 162
    164 165 166 167
    168 169 170 end
  yplanes -170 -168 -155 -141 -127 -113 -100
    -95 -90 -85 -75 -65 -55 -45 -35 -25 -15 -5
    5 15 25 35 45 55 65 75 85 90 95 100
    113 127 141 155 168 170 end
  zplanes -285.6 -280.6 -255.2 -240.6 -228.6 -210
    -190 -170 -150 -130 -110 -90 -70 -50 -30 -10
    10 30 50 70 90 110 130 150 170 190
    210 216.2 222.4
    228.6 232.6 236.6
    240.6 245.1 249.7 254.2
    255.2 256.2 260.1 264.2 267.9 271.8 275.7 279.6
    280.6 281.6 282.6 283.6 284.6 285.6 end
end gridGeometry
end definitions
```

(応答関数)

(スペクトル)

(空間メッシュ)

# MAVRICの入力データ例 (2/2)

```

-----
Sources Block
-----
read sources
  src 1
    title="1/6 of kewaunee core, ~ 0.25 Ci"
    strength=8.577E+09
    neutrons
    zCylinder 95.0 228.6 -228.6
    mixture=1
    eDistributionID=1
  end src
end sources

```

6) 線源データ  
MONACO

```

-----
Tallies Block
-----
read tallies
  pointDetector 3 locationID=3 responseID=1 end pointDetector
end tallies

```

7) タリーデータ  
MONACO

```

-----
Parameters Block
-----
read parameters
  randomSeed=8655745280010015
  perBatch=170000 batches=15
  noFissions
  noSecondaries
  library=ce_v7.xml
end parameters

```

8) パラメータデータ  
MAVRIC

```

-----
Importance Map Block
-----
read importanceMap
  adjointSource 1
    locationID=3
    responseID=1
  end adjointSource
  gridGeometryID=3
end importanceMap

end data
end

```

9) インポートンスマップデータ  
MAVRIC

注) 大文字、小文字の区別はない。

# MAVRICの入力データブロック(1/4)

## 0) 制御モジュール名

=MAVRIC

## 1) タイトル(80文字)

## 2) 断面積ライブラリー名

- SCALEマニュアルのTable 10.1.4(右表)のライブラリーのうち、多群中性子ガンマ線結合断面積ライブラリ(赤枠のいずれか)を指定する。
- 特に指定しなければ、この断面積ライブラリーが分散低減のための随伴計算とモンテカルロ法遮蔽計算の双方に用いられる。
- パラメータデータで指定することで、モンテカルロ法遮蔽計算の断面積ライブラリーを、多群(赤枠)または連続エネルギー(緑枠)の中性子ガンマ線結合ライブラリーから独立に選択することができる。

Table 10.1.4. Standard SCALE cross section libraries

Mnemonic names	Primary data source/format	Last field of cross section library filename
v7-238 ; v7-238n ; v7.0-238n	ENDF/B-VII.0 238-group neutron library	xn238v7.0 <sup>a</sup>
v7-252 ; v7-252n ; v7.1-252n	ENDF/B-VII.1 252-group neutron library	xn252v7.1 <sup>a</sup>
v7-56 ; v7-56n ; v7.1-56n	ENDF/B-VII.1 56-group neutron library	xn56v7.1 <sup>a</sup>
test-8grp	TEST LIBRARY 8-group ENDF/B-VII.1 neutron library <sup>c</sup>	test8g_v7.1
v7.1-200n47g	ENDF/B-VII.1 200 neutron/47 gamma library	xn200g47v7.1 <sup>a</sup>
v7-200n47g ; v7.0-200n47g ; v7-200g47	ENDF/B-VII.0 200 neutron/47 gamma library	xn200g47v7.0 <sup>a</sup>
v7.1-28n19g	ENDF/B-VII.1 28 neutron/19 gamma library	xn28g19v7.1 <sup>a</sup>
v7-27n19g ; v7.0-27n19g	ENDF/B-VII.0 27 neutron/19 gamma library	xn27g19v7.0 <sup>a</sup>
ce_v7.1_endf <sup>b</sup>	ENDF/B-VII.1 Continuous-energy neutron and gamma library	--
ce_v7 ; ce_v7_endf ; ce_v7.0_endf <sup>b</sup>	ENDF/B-VII.0 Continuous-energy neutron and gamma library	--
ce_v7.1_endf.xml <sup>d</sup>	ENDF/B-VII.1 Continuous-energy neutron and gamma library	--
ce_v7.xml ; ce_v7_endf.xml ; ce_v7.0_endf.xml <sup>d</sup>	ENDF/B-VII.0 Continuous-energy neutron and gamma library	--
File name <sup>e</sup>	User-supplied library	file name

<sup>a</sup> Format of the library names are "scale.revxx.lastfield" where "xx" is the revision number.

<sup>b</sup> ASCII text file that contains location of continuous energy data files.

<sup>c</sup> For continuous energy mode calculations in KENO, the library name must start with "CE\_".

<sup>d</sup> Contains the same information as ce\_v7.x\_endf in xml format for use in the CE\_MONACO sequence.

<sup>e</sup> Transitional library that will not be included with SCALE 6.2 release. Mnemonic names will alias to ENDF/B VII.1 libraries in production release.

## MAVRICの入力データブロック(2/4)

---

### 3-1) 材質組成データ (マニュアル 7.1 XSPROC参照)

read comp ~ end comp

解析に用いる材質の組成を与える。

### 3-2) セル非均質効果補正データ (7.1 XSPROC 参照)

read cell ~ end cell

共鳴自己遮蔽効果の非均質効果を補正するための格子形状のデータ。(省略した場合は全て無限均質媒質として扱われる)

(遮蔽解析では省略して全て無限均質媒質として扱うのが一般的)

### 4) 形状データ (8.1 KENOの8.1.2.4 Geometry Dataを参照)

read geometry ~ end geometry

KENO-VIとまったく同じSGGP形式(SCALE General Geometry Processor)で与える。

## MAVRICの入力データブロック(3/4)

---

### 5) 定義データ (8.2 MONACO参照)

#### read definitions ~ end definitions

MONACOの線源およびタリーデータ、MAVRICのインポートスマップデータで共通に用いる、位置(座標)、レスポンス(応答関数)、エネルギースペクトルなどの分布、メッシュ分割座標(グリッド)などを与える。

### 6) 線源データ (8.2 MONACO参照)

#### read sources ~ end sources

中性子/ガンマ線源の空間・エネルギー・角度分布を与える。

### 7) タリーデータ (8.2 MONACO参照)

#### read tallies ~ end tallies

線量等を評価する検出器(タリー)の種類、位置、応答関数などを与える。

# MAVRICの入力データブロック(4/4)

---

## 8) パラメータデータ (4.1 MAVRIC参照)

read parameters ~ end parameters

バッチ数、バッチあたりのヒストリー数、などモンテカルロ計算の条件や、その他のMAVRICの計算パラメータを与える。MONACOで使う断面積ライブラリも、ここで随伴計算のライブラリとは独立に指定できる。

## 9) インポートンスマップデータ (4.1 MAVRIC参照)

read importanceMap ~ end importanceMap

随伴計算の線源(複数可)と、MONACOによるモンテカルロ計算にインポートンスを与えるためのメッシュ分割などを指定する。

END DATA

MAVRIC入力の終了

END

この入力データ全体の終了

---

### 3) 材質組成データ (標準組成ライブラリ使用)

READ COMP～END COMPの間で次の材質組成データを必要なだけ与える。

(標準組成ライブラリを用いる場合の入力)

SC 物質 (元素、核種、化合物、合金/混合物) の標準組成名

MX 物質が含まれる材質の番号

VF 物質の材質中での体積割合

VF=0

ADEN 物質 (核種または元素) の原子個数密度

TEMP 物質の温度

同位体組成変更時のみ

IZA 同位体の原子番号および原子量  
( $Z \times 1000 + A$ )

WTP 同位体の重量割合

END 物質に関するデータの終了

# 主要な標準組成名 (SC) マニュアル” 7.2 STANDARD COMPOSITION LIBRARY” 参照

(熱中性子に対する分子束縛効果を考えた元素)

(化合物)

(核種)

Name	Identifier	Mass (amu)
h-1	1001	1.0078
h-2	1002	2.0141
h-3	1003	3.0161
h-4	1004	4.0278
h-5	1005	5.0353
h-6	1006	6.0449
h-7	1007	7.0528
he-3	2003	3.016
he-4	2004	4.0026
:		
u-234	92234	234.041
u-235	92235	235.0439
u-236	92236	236.0456
u-237	92237	237.0487
u-238	92238	238.0508
:		
uuh-292	116292	292.1998
uus-291	117291	291.2066
uus-292	117292	292.2076
uuo-293	118293	293.2147

Name	Description	ID	Density
activities		900	1.0
l/vabsorber		999	1.0
d	Deuterium in heavy water with S( $\alpha,\beta$ ) thermal kernel	1002	1.0
h-liquid_ch4	Liquid methane at 100 K	1001001	1.0
albound	Al metal with S( $\alpha,\beta$ ) thermal kernel	1013027	2.702
zr90-zr5h8	Zr-90 with the S( $\alpha,\beta$ ) thermal kernel for Zr in zrh2 and zr5h8	1040090	1.0
zr91-zr5h8	Zr-91 with the S( $\alpha,\beta$ ) thermal kernel for Zr in zrh2 and zr5h8	1040091	1.0
zr92-zr5h8	Zr-92 with the S( $\alpha,\beta$ ) thermal kernel for Zr in zrh2 and zr5h8	1040092	1.0
zr93-zr5h8	Zr-93 with the S( $\alpha,\beta$ ) thermal kernel for Zr in zrh2 and zr5h8	1040093	1.0
zr94-zr5h8	Zr-94 with the S( $\alpha,\beta$ ) thermal kernel for Zr in zrh2 and zr5h8	1040094	1.0
zr95-zr5h8	Zr-95 with the S( $\alpha,\beta$ ) thermal kernel for Zr in zrh2 and zr5h8	1040095	1.0
zr96-zr5h8	Zr-96 with the S( $\alpha,\beta$ ) thermal kernel for Zr in zrh2 and zr5h8	1040096	1.0
h-solid_ch4	Solid methane at 22 K	2001001	1.0
bebound	Beryllium metal with a S( $\alpha,\beta$ ) thermal kernel	3004009	1.85
h-cryo_ortho	H at cryogenic temperatures with ortho form	4001001	1.0
d-cryo_ortho	D at cryogenic temperatures with ortho form	4001002	1.0
h-cryo_para	H at cryogenic temperatures with para form	5001001	1.0
d-cryo_para	D at cryogenic temperatures with para form	5001002	1.0
be-beo	Beryllium in beryllium oxide with a S( $\alpha,\beta$ ) thermal kernel	5004009	1.0
o-beo	Oxygen in beryllium oxide with a S( $\alpha,\beta$ ) thermal kernel	5008016	1.0
h-benzene	Benzene with a S( $\alpha,\beta$ ) thermal kernel	6001001	1.0
h-zrh2	Hydrogen in zirconium hydride with a S( $\alpha,\beta$ ) thermal kernel	7001001	1.0
hfreegas	Hydrogen with a free gas thermal kernel	8001001	1.0
dfreegas	Deuterium with a free gas thermal kernel	8001002	1.0
h-poly	Hydrogen in polyethylene with a S( $\alpha,\beta$ ) thermal kernel	9001001	1.0

Name	Description	Density	ID	Atoms per molecule
al2o3		3.97	13000	2
			8000	3
b4c	Boron carbide: B <sub>4</sub> C; natural isotopic distribution obtained by default	2.52	5000	4
			6000	1
balsa	Balsa wood: C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub>	0.125	6000	6
			1000	10
			8000	5
benzene	Benzene with a S( $\alpha,\beta$ ) thermal kernel	0.8765	5006000	6
			6001001	6
beo	Beryllium oxide with a S( $\alpha,\beta$ ) thermal kernel	3.0	5009	1
			5008016	1
d2o	Heavy water: D <sub>2</sub> O	1.1054	1002	2
			8000	1
gd2o3		7.07	64000	2
			8000	3
graphite	Graphite carbon	2.3	3006000	1
h2o	Water with only <sup>1</sup> H and <sup>16</sup> O with S( $\alpha,\beta$ ) thermal kernels	0.9982	1000	2
			8000	1
h2o-x(e)-hr		0.9982	3001001	2
			8000	1
hfacid	Hydrofluoric acid: HF	1.0	1000	1
			9000	1
hno3	Nitric acid: HNO <sub>3</sub>	1.0	1000	1
			7000	1
			8000	3
norpar(h2o)	Normal Paraffin 13: C <sub>13</sub> H <sub>28</sub> ; uses hydrogen in water thermal kernel	0.76	1001	28
			6000	13
norpar13	Normal paraffin 13: C <sub>13</sub> H <sub>28</sub>	0.76	9001001	28
			6000	13
oak	Oak wood: C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub>	0.7	6000	6
			1000	10
			8000	5

(元素)

ID	Symbol	Name	Mass (AMU)	Density	Isotopic distribution	Atom %
1000	h	hydrogen	1.0079	1.0	1001	99.9885
					1002	0.0115
2000	he	helium	4.0026	1.0	2003	0.0001
					2004	99.9999
3000	li	lithium	6.941	0.534	3006	7.59
					3007	92.41
:						

83000	bi	bismuth	208.9804	9.8	83209	100.0
90000	th	thorium	232.0381	11.7	90232	100.0
91000	pa	protactinium	231.0359	15.37	91231	100.0
92000	u	uranium	238.0289	19.05	92234	0.0054
					92235	0.7204
					92238	99.2742

If the column for the chemical symbol has a value, the name and the chemical symbol refer to the same composition. Otherwise, the chemical symbol refers to a different composition. In case of monoisotopic elements, such as <sup>209</sup>Bi, the chemical symbol refers directly to SCALE ID 83209 instead of 83000. See Table 7.2.3 for details.

Name	Description	Density	ID	Atoms per molecule
uf4	Uranium tetrafluoride: UF <sub>4</sub>	6.7	92000	1
			9000	4
uf6	Uranium hexafluoride: UF <sub>6</sub>	4.68	92000	1
			9000	6
un	Uranium nitride: UN	14.31	92000	1
			7000	1
uo2	Uranium dioxide: UO <sub>2</sub>	10.96	92000	1
			8000	2
uo2(no3)2	Uranyl nitrate: UO <sub>2</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	2.203	92000	1
			7000	2
			8000	8
uo2f2	Uranyl fluoride: UO <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	6.37	92000	1
			8000	2
			9000	2
uo3	Uranium trioxide: UO <sub>3</sub>	7.29	92000	1
			8000	3
water	H <sub>2</sub> O, with natural abundance hydrogen and oxygen and the S( $\alpha,\beta$ ) thermal kernel for hydrogen in water	0.9982	1000	2
			8000	1
zr5h8	Zirconium hydride as a mixture of ZrH and ZrH <sub>2</sub> , with an effective composition of Zr <sub>5</sub> H <sub>8</sub>	5.61	1040000	5
			7001001	8
zrh2	Zirconium hydride: ZrH <sub>2</sub>	5.61	1040000	1
			7001001	2

# 主要な標準組成名 (SC) (続き)

(合金、混合物)

Name	Description	Density	ID	Weight %	Name	Description	Density	ID	Weight %	Name	Description	Density	ID	Weight %
carbonsteel	Carbon steel	7.8212	26000	99.0				6000	10.5321				25000	2.0
			6000	1.0				8000	49.943				304026000	68.375
dry-air		1.20000-3	6000	0.0126				11000	0.1411				304028000	9.5
			7000	76.5081				12000	9.42	ss304s	Stainless steel-304 (using standard nuclides instead of special weighted nuclides)	7.94	6000	0.08
			8000	23.4793				13000	0.7859				14000	1.0
granite		2.66	1000	0.0336				14000	4.2101				15000	0.045
			8000	47.8286				16000	0.2483				24000	19.0
			9000	0.0901				17000	0.0523				25000	2.0
			11000	2.2501				19000	0.9445				26000	68.375
			12000	0.1449				20000	22.6318				28000	9.5
			13000	7.4752				22000	0.1488				28000	9.5
			14000	32.8046				25000	0.0512	ss316	Stainless steel-316 (using nuclide with special weighting for ENDF/B-V data only)	8.03	6000	0.08
			15000	0.0393	orconcrete	Oak Ridge Concrete	2.2994	26000	0.7784				14000	1.0
			19000	5.0108				1000	0.6187				15000	0.045
			20000	1.1876				6000	17.52				304024000	17.0
			22000	0.252				8000	41.02				25000	2.0
			25000	0.0465				11000	0.0271				304026000	65.375
			26000	2.8367				12000	3.265				304028000	12.0
inconel	Inconel	8.3	14000	2.5				13000	1.083				42000	2.5
			22000	2.5				14000	3.448	ss316s	Stainless steel-316 (using standard nuclides instead of special weighted nuclides)	8.03	6000	0.08
			404024000	15.0				19000	0.1138				14000	1.0
			404026000	7.0	pyrex	Pyrex	2.23	20000	32.13				15000	0.045
			404028000	73.0				5000	3.7				24000	17.0
inconels	Inconel (maintained for backward compatibility)	8.3	14000	2.5				13000	1.0				25000	2.0
			22000	2.5				8000	53.5				26000	65.375
			24000	15.0				14000	37.7				28000	12.0
			26000	7.0	reg-concrete	Regulatory Concrete (developed for U.S. NRC)	2.3	11000	4.1				42000	2.5
			28000	73.0				26000	1.4				92235	0.27
kero(h2o)	Average kerosene (uses hydrogen for water S( $\alpha,\beta$ ) thermal kernel)	0.82	6000	84.0				1000	1.0	u(27)metal	Depleted uranium metal having a fixed isotope distribution [to specify a different distribution, the user should use URANIUM instead of U(27)METAL]	19.05	92238	99.73
			1001	16.0				13000	3.4				302040000	100
kerosene	Average kerosene (uses hydrogen for polyethylene S( $\alpha,\beta$ ) thermal kernel)	0.82	6000	84.0				20000	4.4	zircalloy	No longer available	6.56	40000	98.25
			9001001	16.0				8000	53.2	zirc2	Zircaloy-2	6.56	50000	1.45
limestone		2.15	1000	0.0863	rconcrete	Rocky Flats Concrete	2.321	14000	33.7				26000	0.135
			6000	11.3548				11000	2.9				24000	0.1
			8000	49.6925				26000	1.01				28000	0.055
			11000	0.0371				1000	0.75	zirc4	Zircaloy-4	6.56	72000	0.01
			12000	4.7656				6000	5.52				50000	1.45
			13000	0.4294				7000	0.02				26000	0.21
			14000	2.4299				8000	48.49				24000	0.1
			15000	0.0175				11000	0.63				28000	0.055
			16000	0.0251				12000	1.25				72000	0.01
			19000	0.2744				13000	2.17				40000	98.23
			20000	30.4731				14000	15.5				50000	1.45
			22000	0.036				16000	0.19				26000	0.21
			26000	0.3783				19000	1.37				24000	0.1
mgconcrete	Magnuson's Concrete	2.147	26000	0.5595	ss304	Stainless steel-304 (using nuclide with special weighting for ENDF/B-V data only)	7.94	20000	23.0				72000	0.01
			1000	0.3319				22000	0.1				24000	0.1
								6000	0.08				26000	0.21
								14000	1.0				24000	0.1
								15000	0.045				72000	0.01
								304024000	19.0					

### 3) 材質組成データ（任意の化合物）

（任意の化合物の場合の入力）

	ATOMxxxx	任意化合物の名称。xxxxは12文字以内の任意の化合物名。
	MX	化合物が含まれる材質の番号
	ROTH	材質の密度（g/cm <sup>3</sup> ）
	NEL	化合物中の元素(核種)の種類の数
NEL回	NCZA	核種(元素)の[原子番号×1000+質量数] (元素は質量数=0)
繰り返し	ATPM	化合物中の元素(核種)数（例 H <sub>2</sub> OのHについては2）
	VF	化合物の材質中での体積割合
	TEMP	物質の温度
同位体組成変更時のみ	IZA	同位体の原子番号および原子量 (Z x 1000 + A)
	WTP	同位体の重量割合
	END	物質に関するデータの終了

（この他にSOLUTIONという燃料溶液の入力方法もあるが、使用頻度が低いので割愛する。）

### 3) 材質組成データ（任意の合金/混合物）

（任意の合金/化合物の場合の入力）

	WTPTxxxx	合金/混合物の名称。xxxxは12文字以内の任意の名前。
	MX	合金/混合物が含まれる材質の番号
	ROTH	材質の密度 (g/cm <sup>3</sup> )
	NEL	化合物中の元素(核種)の種類の数
NEL回	NCZA	核種(元素)の[原子番号×1000+質量数](元素は質量数=0)
繰り返し	WPCT	合金/混合物中の元素(核種)重量割合(%:合計は100)
	VF	化合物の材質中での体積割合
	TEMP	物質の温度
同位体組成変更時のみ	IZA	同位体の原子番号および原子量 (Z x 1000 + A)
	WTP	同位体の重量割合
	END	物質に関するデータの終了

## 材質組成データの例:

材質1 水30体積%、SUS304 70体積%の混合物

材質2  $\text{UO}_2$ (U-235濃縮度5%) 理論密度比95%

材質3 B-10  $1.3 \times 10^{-5}$

B-11  $7.2 \times 10^{-4}$

C  $3.0 \times 10^{-3}$  個/barn/cmの物質

温度 全て300K

READ COMP

H2O 1 0.3 300 END

SS304 1 0.7 300 END

UO2 2 0.95 300 92235 5 92238 95 END

B-10 3 0 1.3E-05 300 END

B-11 3 0 7.2E-04 300 END

C 3 0 3.0E-03 300 END

END COMP

## 4) 形状データ (MONACO)

---

### KENO-VIと同じSGGP形式

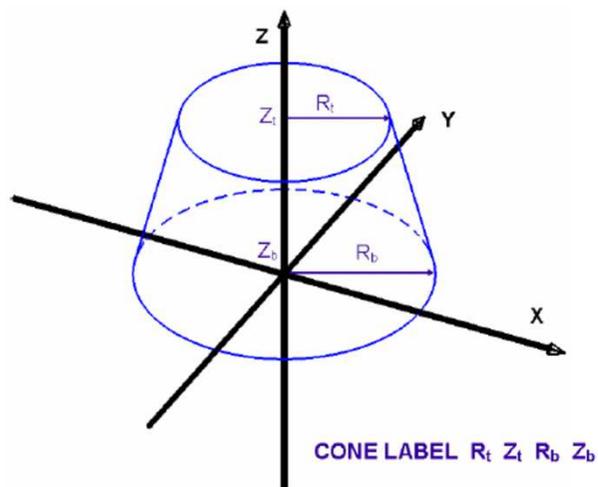
- UNIT 独立した座標系を持つ領域
- ARRAY 外形が直方体のUNITの配列
- HOLE UNITを別のUNITに組み込む

KENO-3Dを使った鳥瞰図や、FULCRUMを使った断面図で形状の確認が可能。

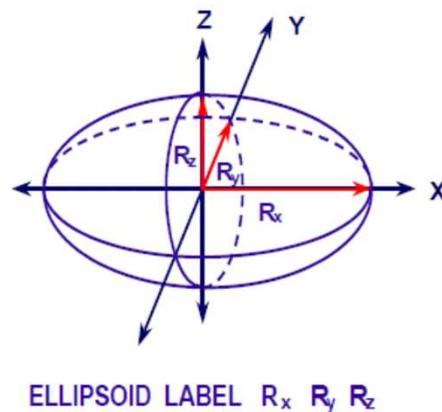
ただし、KENO-VIと異なり、MONACOでは反射境界や周期境界、アルベド境界などは使用できない。

# MONACOで扱える図形(1)

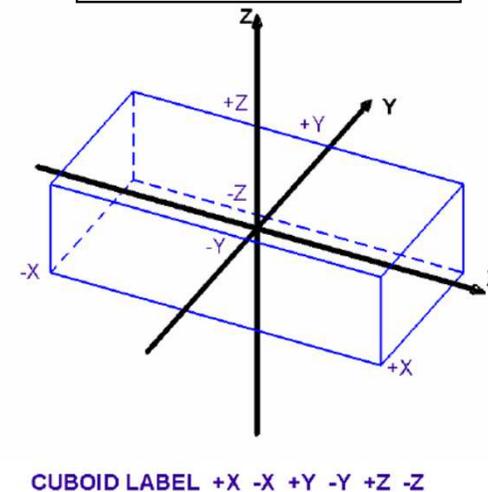
円錐台: CONE



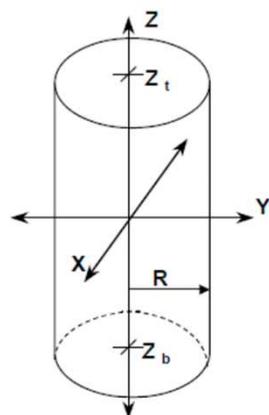
楕円球: ELLIPSOID



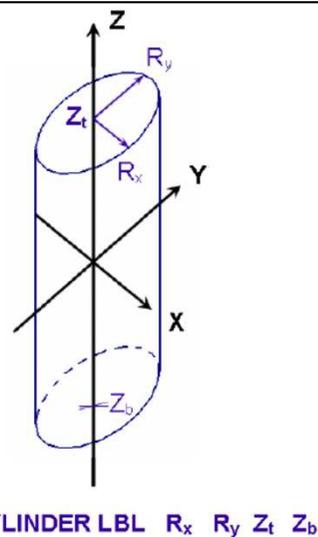
直方体: CUBOID



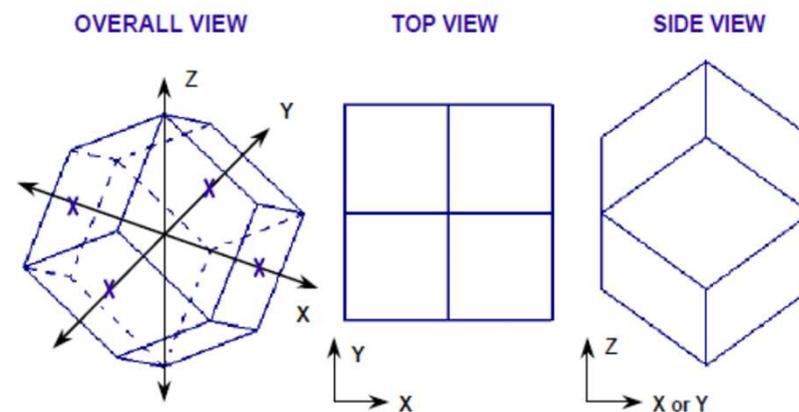
円筒: CYLINDER



楕円柱: ECYLINDER



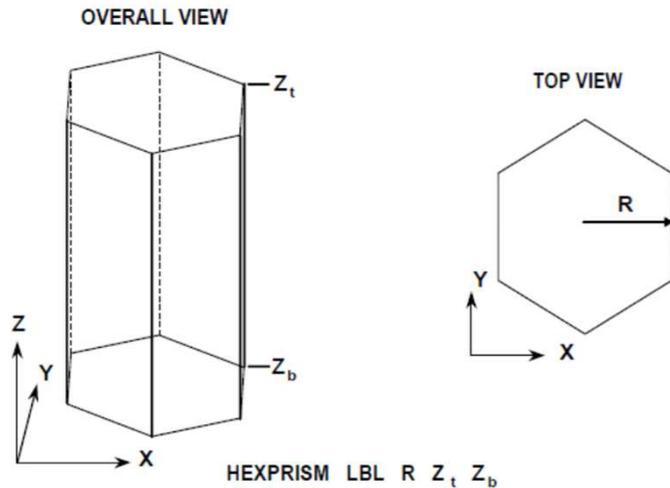
正12面体: DODECAHEDRON



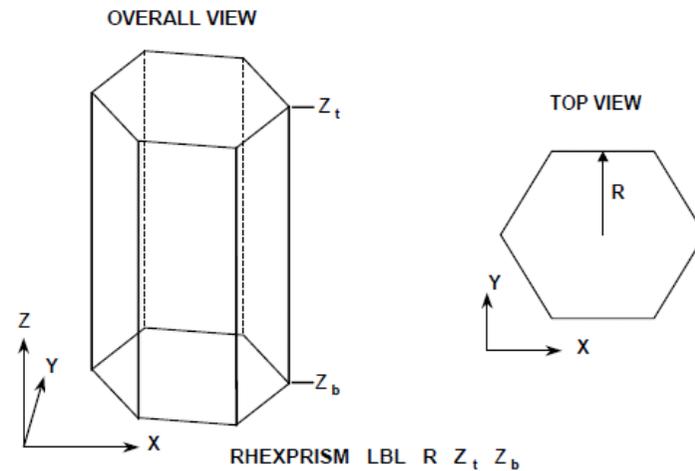
( $R$ は内接円の半径) LABEL,LBLは任意の番号

# MONACOで扱える図形(2)

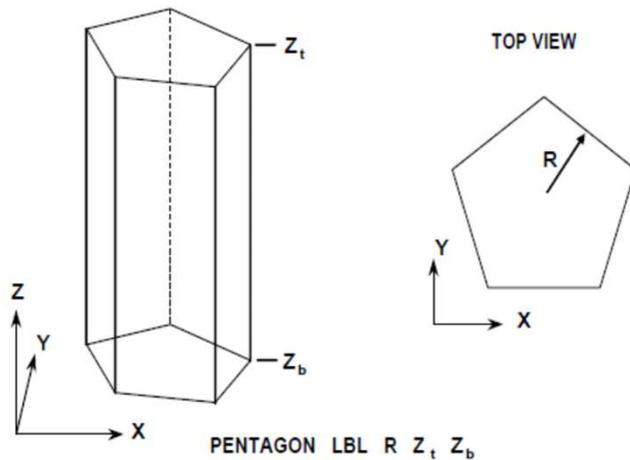
六角柱:HEXPRISM



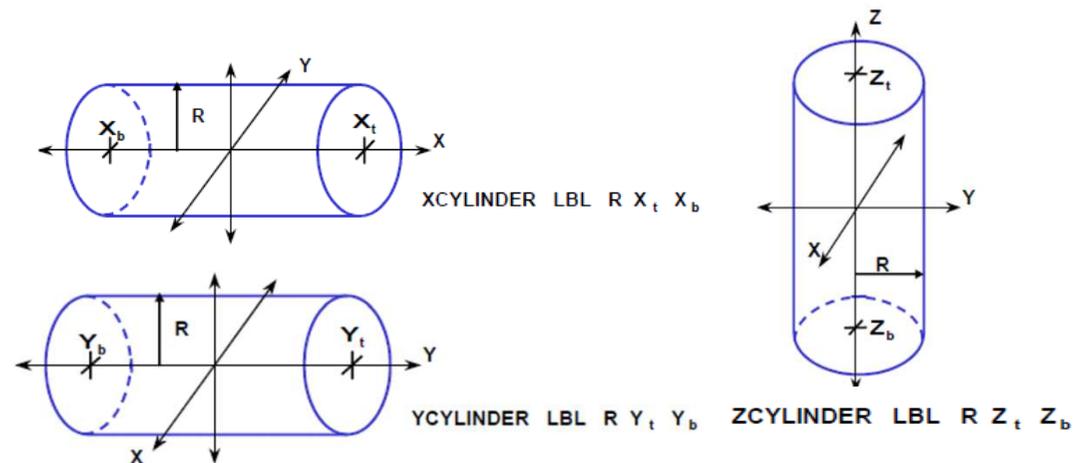
回転六角柱:RHEXPRISM



五角柱:PENTAGON



X,Y,Z軸並行円柱:X,Y,ZCYLINDER



LABEL,LBLは任意の番号

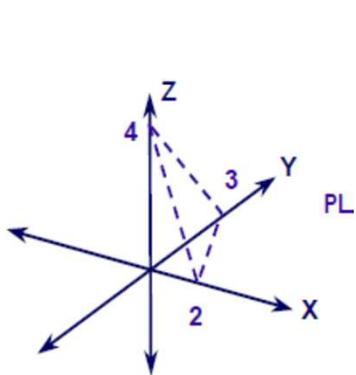
# MONACOで扱える図形(3)

面: PLANE

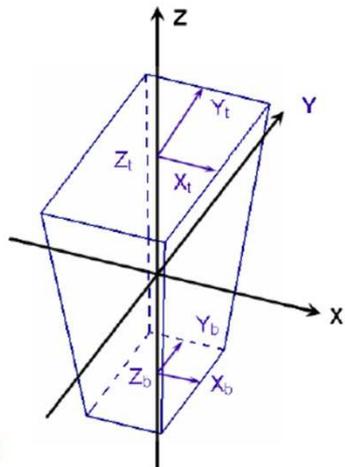
ホッパー: HOPPER

平行六面体: RHEXPRISM

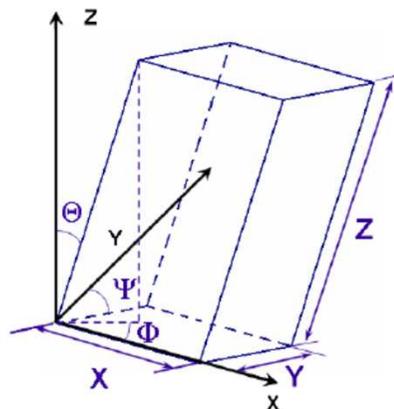
ひし形六面体: RHOMBOID



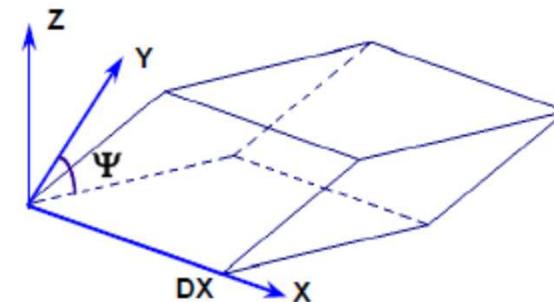
PLANE Label XPL=a YPL=b ZPL=c CON=d  
 $aX + bY + cZ + d = 0$   
 $6X + 4Y + 3Z - 12 = 0$



R LBL Xt Yt Zt Xb Yb Zb



PPIPED LBL X Y Z Psi Theta Phi  
 PARALLELEPIPED LBL X Y Z Psi Theta Phi

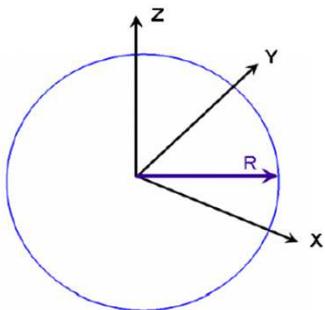


RHOMBOID Label DX Psi

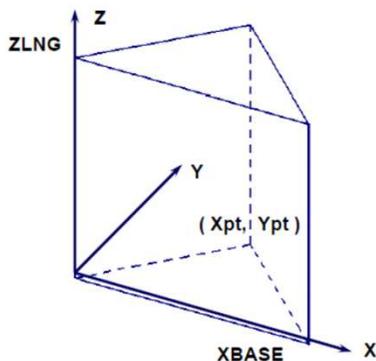
球: SPHERE

くさび型: WEDGE

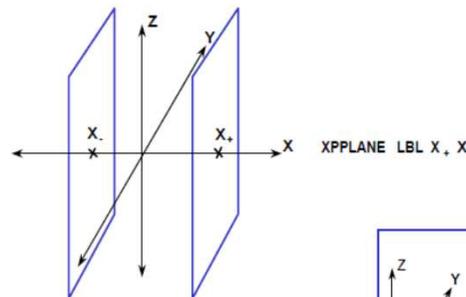
X,Y,Z面: X,Y,ZPLANE



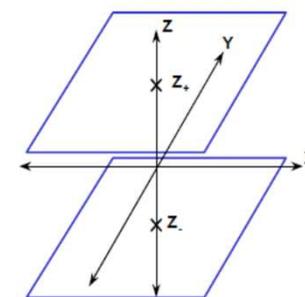
SPHERE LBL R



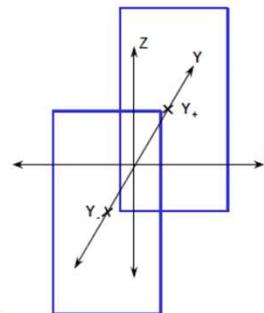
WEDGE LABEL XBASE Xpt Ypt ZLNG



XPPLANE LBL X, X



ZPPLANE LBL Z, Z



YPPLANE LBL Y, Y

LABEL,LBLは任意の番号

# MONACOで扱える図形(4)

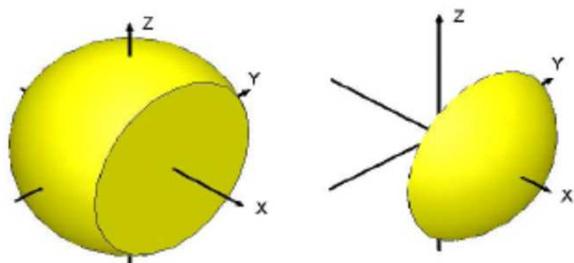
一般多項式: QUADRATIC

$$a\bar{X}^2 + b\bar{Y}^2 + c\bar{Z}^2 + d\bar{X}\bar{Y} + e\bar{X}\bar{Z} + f\bar{Y}\bar{Z} + g\bar{X} + h\bar{Y} + i\bar{Z} + j = 0.$$

AQU=a, BQU=b, CQU=c, DQU=d, EQU=e, FQU=f, GQU=g, HQU=h, IQU=i, JQU=j.

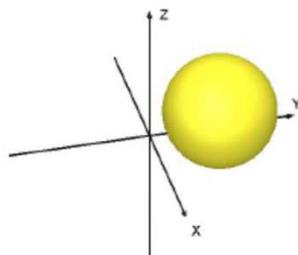
## 図形のオプション指定パラメータ

球・円筒の弦: CHORD



SPHERE LABEL 10.0 CHORD-X=5.0    SPHERE LABEL 10.0 CHORD +X=5.0

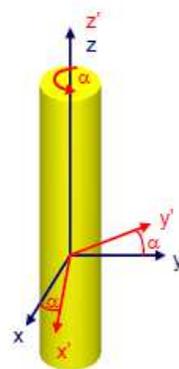
原点: ORIGIN



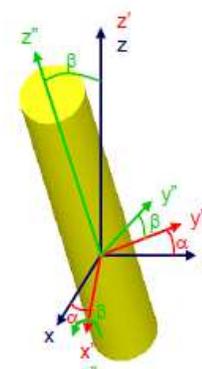
SPHERE LABEL R ORIGIN X=xx Y=yy Z=zz

回転: ROTATE

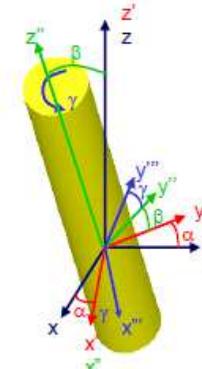
CYLINDER Label R Zt Zb    ROTATE A1=α A2=β A3=γ



First rotation, A1 = α,  
is counter-clockwise  
about the z axis



Second rotation, A2 = β,  
is counter-clockwise  
about the x' axis



Third rotation, A3 = γ,  
is counter-clockwise  
about the z'' axis

# MONACOのUNIT

---

UNIT *unit* 番号

## 図形(REGION)データ

UNIT内の領域境界を表す図形。各図形はLABELで番号付けをする。

例: CUBOID 10 5.0 -5.0 3.0 -3.0 15.0 -10.0

*LABEL*

寸法

## MEDIAデータ

図形の組み合わせ(内側／外側、AND/OR)に対して材質番号を与える。

MEDIA *mat imp* (*LABEL*に±を付けた組)

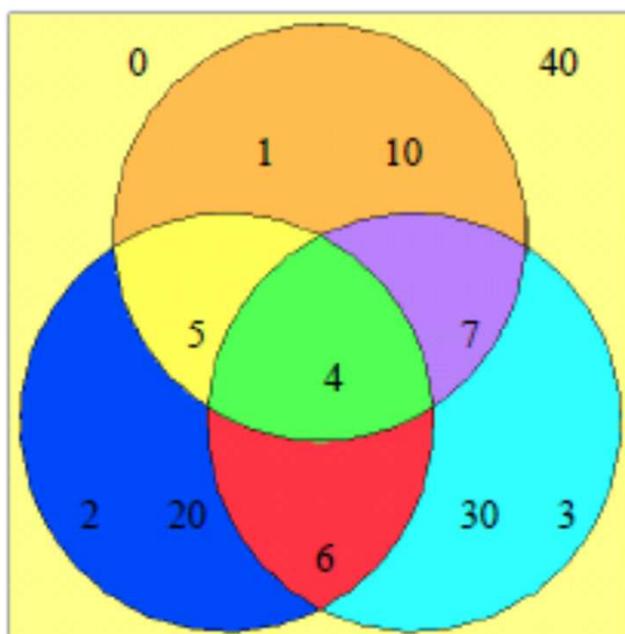
+*LABEL*はその図形の内側、-*LABEL*は外側

## BOUNDARYデータ

一番外側の図形のLABELを与える。

BOUNDARY *LABEL*

# MONACOのUNITの例



```

global unit 1
sphere 10 10.0 origin z=4.5
sphere 20 10.0 origin y= -4.5 z= -4.5
sphere 30 10.0 origin y=4.5 z= -4.5
cuboid 40 6p15.0
media 1 1 10 -20 -30 vol=2210.8
media 2 1 20 -10 -30 vol=2210.8
media 3 1 30 -10 -20 vol=2210.8
media 4 1 10 20 30 vol=672.39
media 5 1 10 20 -30 vol=652.8
media 6 1 20 30 -10 vol=652.8
media 7 1 10 30 -20 vol=652.8
media 0 1 40 -10 -20 -30 vol=17736.81
boundary 40
  
```

領域の体積:  
通常は入れる  
必要なし

# MONACOのArray

---

## Array

- MEDIAデータの変わりにArrayを用いる。
- Arrayの位置決めはArray中の要素の位置  $(i,j,k)$  の座標  $(x,y,z)$  を PLACE というキーワードの後ろに `PLACE  $ijkxyz$`  のように書いて決める。

例:      CUBOID 10 4P10.71 400.0 0.0  
          ARRAY 1 10 PLACE 9 9 1 0 0 0  
(問題2の集合体の場合)

# ARRAYの定義方法

## READ ARRAY

ARA=*n* NUX=*x* NUY=*y* NUZ=*z*

FILL *array* END FILL

ARA=*m* NUX=*x* NUY=*y* NUZ=*z*

FILL *array* END FILL

:

ARA=*z* NUX=*x* NUY=*y* NUZ=*z*

FILL *array* END FILL

## END ARRAY

ここで、

*n* : 配列番号 (1~999)

*x* : X方向配列数

*y* : Y方向配列数

*z* : Z方向配列数

*array* : 配列を構成するユニット番号をX Y Zの順に並べる。

(FIDO入力)

F*a* : 残り全ての入力を*a*とする。

mR*n* : *n*を*m*回繰り返す。

mQ*n* : 直前の *n* 個の入力を*m*回繰り返す。

# HOLEの使用手法

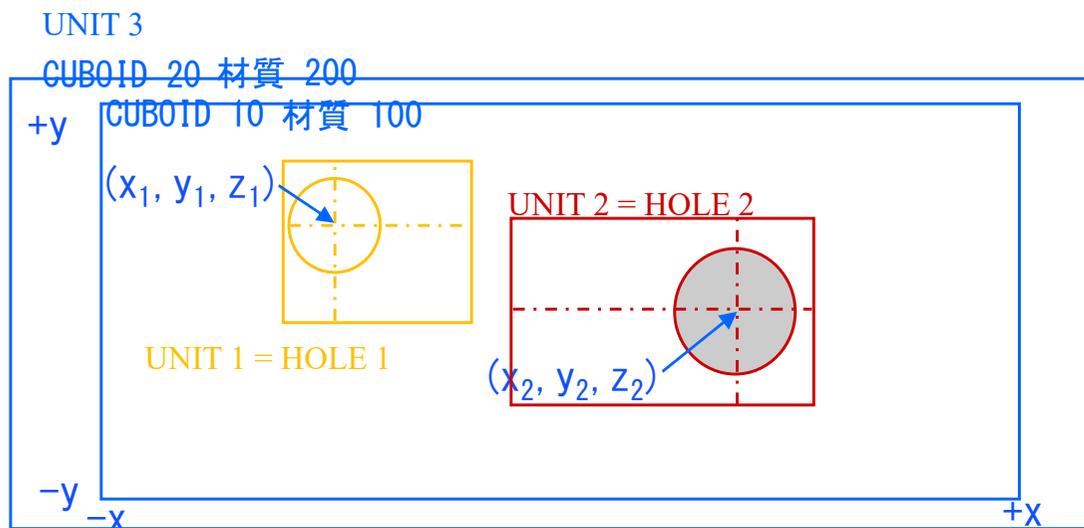
## HOLE

□ 次の形で使う。

HOLE ユニット番号 ORIGIN X=x Y=y Z=z

- (x,y,z)はHOLEとなるUNITの原点の、HOLEを入れるUNITの座標系での位置。
- x,y,zの値が0の場合はORIGIN以降の入力を省略可。
- ORIGINの他にROTATE (p.93) による回転も可能。

例)



```

UNIT 3
CUBOID 10 +x -x +y -y +z -z ←穴を空けられる図形
HOLE 1 ORIGIN X=x1 Y=y1 Z=z1
HOLE 2 ORIGIN X=x2 Y=y2 Z=z2
CUBOID 20 ... ←穴を空けられる図形の外側の図形
MEDIA 100 10
MEDIA 200 20 -10
  
```

## 5) 定義データ (MONACO)

---

### read definitions – end definitions

MONACOの他の入力ブロックで用いる次のデータを定義する。

- 位置(locations)
- 検出器応答関数 (detector response functions )
- 空間メッシュ ( grid geometries )
- 円筒形状 (cylindrical geometries)
- (エネルギースペクトルなどの)分布 (distributions)

## 5) 定義データ (MONACO)

MONACOの他の入力ブロックで用いる次のデータを定義する。

- 位置(locations)
- 検出器応答関数 (detector response functions )
- XYZメッシュ ( grid geometries )
- 円筒形状メッシュ (cylindrical geometries)
- (エネルギースペクトルなどの) 分布 (distributions)

上記のデータは次のように番号を付けて複数個を指定することができる。

(位置の場合)

locations	1	.....	end locations
locations	2	.....	end locations
	:		

## 5) 定義データ (MONACO)

### (1) 位置(locations)

location *n* title="タイトル" position=*x y z* end location

location *n* *n*:この位置の番号

title="名前" この位置の名前

position *x y z*この位置の座標 (*x y z*) (cm)

end loc

例)

```
location 1
  title="Radial detector - close to surface"
  position 162.0 0.0 0.0
end location
location 2 position 0.0 0.0 295.6 end location
location 3
  title="Corner detector"
  position 162.0 0.0 295.6
end location
location 105 position 0.0 0.0 385.6 end location
location 106 position 252.0 0.0 385.6 end location
```

## 5) 定義データ (MONACO)

---

### (2) 検出器応答関数 (detector response functions )

検出器応答関数(線量換算係数)や随伴線源のエネルギースペクトルに用いるエネルギー依存データを与える。

```
response n title="タイトル" (データ) end response
```

(データ)には次の2タイプがある。

タイプ1 ユーザー形式:エネルギー境界と値をヒストグラム形式で与える。

タイプ2 材質データ中のある核種のある反応断面積を用いる。(反応率)

## 5) 定義データ (MONACO)

### タイプ1の例:

bounds～endの間に群の境界エネルギーを、  
values～endの間に各群の応答の値を、  
FIDO形式で入力する。BoundsとValuesの入  
力数により次のように関数形が変わる。

- Boundsの入力数=valuesの入力数+1 → ヒストグラム
- Boundsの入力数=valuesの入力数 → 点列

```
response 11
  title="user-defined response, histogram"
  neutron          中性子エネルギー境界 (単位 eV)
  bounds 1e7 8e6 6e6 4e6 2e6 1e5 end
  values 1.0 0.8 0.6 0.4 0.2 end
end response          応答関数
response 12
  title="user-defined response, value/function pairs"
  photon          光子エネルギー境界 (単位 eV)
  bounds 1e5 2e6 4e6 6e6 8e6 1e7 end
  values 0.01 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 end  応答関数
end response
```

### タイプ2の例:

材質データ中の材質中に含まれる核種の  
特定の反応を指定して応答関数とする。

Material= 材質番号

ZAID= 原子番号×1000+原子量

MT= ENDF 反応番号(次頁)

また、線量換算係数を次のように与えるこ  
ともできる。

SpecialDose= 多群線量換算係数(次々頁)

doseData=連続エネルギー線量換算係数(次々頁)

注) doseDataは、連続エネルギー、多群双方のMONACOによ  
るモンテカルロ計算に用いることができるが、SpecialDoseは  
多群計算のみに用いることができる。

```
read composition
  uo2 7 1.0 293.0 end
end composition
...
read definitions
  response 41
    title="get the microscopic (b) for 235"
    material=7 ZAID=92235 MT=18
  end response
end definitions
```

## ENDFのMT番号 (核反応)

MT	Description
1	Total cross section
18	Total fission cross section
27	Absorption cross section (MT=18 and 101)
101	Neutron disappearance
102	(n, $\gamma$ ) radiative capture cross section
103	(n,p) cross section
104	(n, $^2\text{H}$ ) cross section
105	(n, $^3\text{H}$ ) cross section
106	(n, $^3\text{He}$ ) cross section
107	(n, $^4\text{He}$ ) cross section
1452	Product of $\nu$ times the fission cross section

MT	Description
501	Total photon interaction cross section
502	Photon coherent scattering
504	Photon incoherent scattering
516	Pair production, nuclear and electron field
518	Photofission ( $\gamma$ ,f)
522	Photoelectric

# 線量換算係数のMT番号

Response	Neutron		Photon	
	MT	Units	MT	Units
Henderson conversion factors	9027	(rad/h)/(n/cm <sup>2</sup> /s)	9502	(rad/h)/(p/cm <sup>2</sup> /s)
Claiborne-Trubey conversion factors			9503	(rad/h)/(p/cm <sup>2</sup> /s)
ANSI standard (1977) flux-to-dose-rate factors	9029	(rem/h)/(n/cm <sup>2</sup> /s)	9504	(rem/h)/(p/cm <sup>2</sup> /s)
ANSI standard (1991) flux-to-dose-rate factors	9031	(rem/h)/(n/cm <sup>2</sup> /s)	9505	(rem/h)/(p/cm <sup>2</sup> /s)
ICRU-44 Table B.3 (air) Kerma	9032	(Gy/h)/(n/cm <sup>2</sup> /s)		
	9033	(rad/h)/(n/cm <sup>2</sup> /s)		
空気 吸収線量	ICRU-57 Table A.21 (air) Kerma		9506	(Gy/h)/(p/cm <sup>2</sup> /s)
			9507	(rad/h)/(p/cm <sup>2</sup> /s)
1cm 線量当量	Ambient dose equivalent (ICRU-57)	9034 (Sv/h)/(n/cm <sup>2</sup> /s)	9508	(Sv/h)/(p/cm <sup>2</sup> /s)
		9035 (rem/h)/(n/cm <sup>2</sup> /s)	9509	(rem/h)/(p/cm <sup>2</sup> /s)
実効線量	Effective dose (ICRU-57)	9036 (Sv/h)/(n/cm <sup>2</sup> /s)	9510	(Sv/h)/(p/cm <sup>2</sup> /s)
		9037 (rem/h)/(n/cm <sup>2</sup> /s)	9511	(rem/h)/(p/cm <sup>2</sup> /s)

ICRU-57:現行法令(ICRP1990年勧告)のICRP74と等価

## 5) 定義データ (MONACO)

### (3) XYZメッシュ ( grid geometries )

三次元XYZ空間でのメッシュ分割を指定する。

```
gridGeometry n title="タイトル" (データ) end gridGeometry
```

(データ)には次の三種類がある。(X座標の例。Y座標,Z座標も同様)

#### 1. 等分割

```
xmin= xmax= numXCells= Xメッシュの最小、最大、分割数
```

#### 2. 任意分割

```
xplanes  $x_1 x_2 x_3 x_4 \dots$  end X=  $x_1 x_2 x_3 x_4 \dots$ のX平面で分割
```

#### 3. 線形分割 (等分割と同じだが、任意分割と組み合わせ可能)

```
xLinear n a b bからaの間をn等分する。
```

## 5) 定義データ (MONACO)

### (3) 空間メッシュ ( grid geometries )

例)

```
gridGeometry 1
  title="Fine mesh to capture details in y dimension"
  xmin=-100 xmax=100 numXCells=20
  yplanes -152 -151 -150 -145 -135 -120 -105 -95 -90
          -87.5 -85 -80 -70 -50 -30 -10
          10 30 50 70 80 85 87.5
          90 95 105 120 135 145 150 151 152 end
  zmin=0 zmax=200 nzcells=10
end gridGeometry
gridGeometry 3
  title="Boring uniform grid"
  xmin=-100 xmax=100 numXCells=10
  ymin=-100 ymax=100 numYCells=10 zmin=-100 zmax=100 numZCells=10
end gridGeometry
gridGeometry 2
  xplanes -100.0 -90.0 -99.0 -95.0 end
  xLinear 9 -90.0 0.0
  xLinear 18 0.0 90.0
  xplanes 95.0 100.0 99.0 end
  ymin=-100 ymax=100 numYCells=20
  zLinear 40 100.0 -100.0
end gridGeometry
```

## 5) 定義データ (MONACO)

(3) 円筒形状メッシュ (cylindrical geometries)  
 円筒座標系  $(r, \theta, z)$  でのメッシュ分割を指定する。  
`cylGeometry n title="タイトル" (データ) end cylGeometry`

● 分割を表す(データ)には次の二種類がある。組み合わせて使用できる。

### 1. 任意分割

`radii`  $r_1 r_2 r_3 r_4 \dots$  `end`  $r = r_1 r_2 r_3 r_4 \dots$  (cm)で分割  
`Zplanes`  $z_1 z_2 z_3 z_4 \dots$  `end`  $Z = z_1 z_2 z_3 z_4 \dots$  (cm)で分割  
`thetas`  $\theta_1 \theta_2 \theta_3 \theta_4 \dots$  `end`  $\theta = \theta_1 \theta_2 \theta_3 \theta_4 \dots$ で $0 \sim 2\pi$ を分割

または

`degrees`  $\theta_1 \theta_2 \theta_3 \theta_4 \dots$  `end`  $\theta = \theta_1 \theta_2 \theta_3 \theta_4 \dots$ で $0 \sim 360^\circ$ を分割

### 2. 線形分割

`radiusLinear`  $n a b$   $b$ から $a$ の間を $n$ 等分する。  
`zLinear, thetaLinear` (単位:radian) または `degreeLinear` (単位:度)も同様。

● 次の円筒軸、 $\theta=0$ の方向、底面中心座標の指定で任意の向きと位置の円筒座標とできる。

`zaxis`  $u v w$  円筒の軸を表すベクトル  $(u, v, w)$   
`xaxis`  $u v w$   $\theta=0$ の方向を表すベクトル  $(u, v, w)$   
`position`  $x y z$  底面中心の座標  $(x, y, z)$

## 5) 定義データ (MONACO)

### (3) 円筒形状 (cylindrical geometries) (続き)

円筒の軸はZ軸+方向、 $\theta=0$ はX軸+方向がデフォルトだが、次のデータで変更できる。

**zaxis**  $u\ v\ w$                       Z軸をベクトル  $(u,v,w)$ とする。

**xaxis**  $u\ v\ w$                        $\theta=0$ をベクトル  $(u,v,w)$ とする。

例)

```

cylGeometry 12
  radiusLinear 20 100.0 168.0
  radiusLinear 10 168.0 368.0
  degreeLinear 12 0 360
  zLinear 25 255.2 -255.2
  zPlanes -45.0 -40. -35.0 end
end cylGeometry
cylGeometry 13
  title="degenerate: only one angular bin"
  radiusLinear 10 168.0 368.0
  thetaLinear 1 0.0 6.2831853
  zLinear 25 255.2 -255.2
end cylGeometry
cylGeometry 14
  title="degenerate: emulate surface tally over partial angle range"
  radiusLinear 1 367.5 368.5
  degreeLinear 1 45 135
  zLinear 25 255.2 -255.2
  zaxis 0 0 1
  xaxis 0 -1 0
end cylGeometry

```

## 5) 定義データ (MONACO)

### (4) 分布 (distributions)

線源エネルギースペクトルなどをサンプリングする確率密度分布関数(PDF)を与えるのに用いる。

`distribution n title="タイトル" (データ) end distribution`

確率密度分布を表す(データ)には次の二種類がある。

#### 1. ヒストグラム

`abscissa E1 E2 E3 E4 ... EN EN+1 end`

横軸の分点 (N+1個)

`truePDF P1 P2 P3 P4 ... PN end`

PDFの値 (N個)

#### 2. 点列 (点と点の間は線形補間)

`abscissa E1 E2 E3 E4 ... EN end`

横軸の分点 (N個)

`truePDF P1 P2 P3 P4 ... PN end`

PDFの値 (N個)

PDFの代わりに累積確率密度分布関数(CDF)を用いることもできる(`trueCDF`)。

## 5) 定義データ (MONACO)

### (4) 分布 (distributions) (続き)

バイアスあるいはインポートランスを与えることで、確率分布はそのまま、特定の分点から発生する粒子の数を増やしたり、減らしたりすることができる。

バイアス: 発生粒子“数”の分布を与える。

その分点のPDF/バイアスが粒子の重みとなる。

`biasedPDF B1 B2 B3 B4 ... BN end`

バイアスされた発生粒子数分布

粒子は $B_i$ に比例した数が発生する。

インポートランス: インポートランス分布を与える。

`importance I1 I2 I3 I4 ... IN end`

インポートランス分布

粒子は $P_i \times I_i$ に比例した数が発生する。

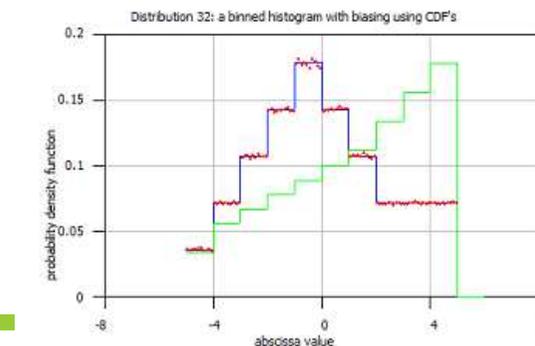
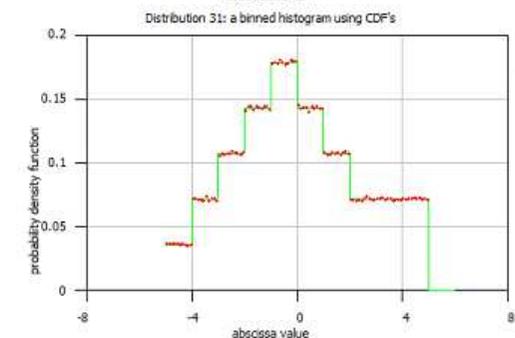
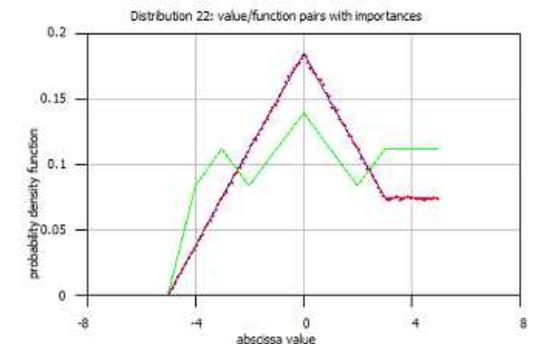
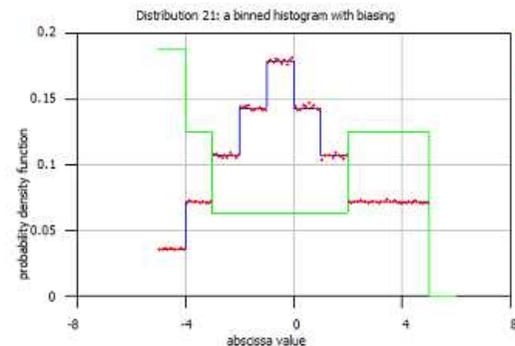
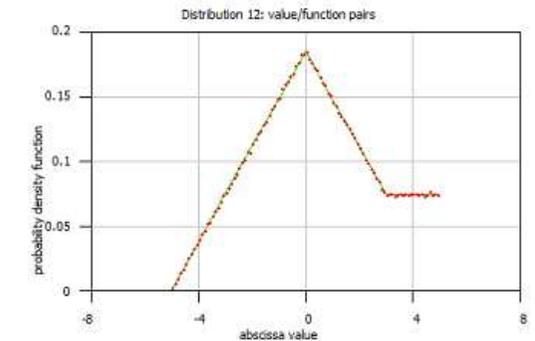
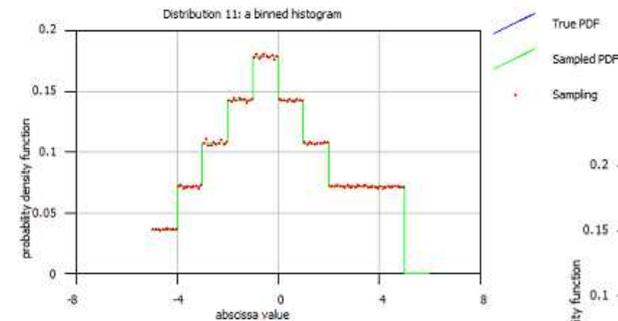
# 5) 定義データ (MONACO)

## (4) 分布 (distributions) (例)

```

distribution 11
  title="a binned histogram"
  abscissa -5 -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5 end
  truePDF 1 2 3 4 5 4 3 2 2 2 end
end distribution
distribution 12
  title="value/function pairs"
  abscissa -5 -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5 end
  truePDF 0 1 2 3 4 5 4 3 2 2 2 end
end distribution
distribution 21
  title="a binned histogram with biasing"
  abscissa -5 -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5 end
  truePDF 1 2 3 4 5 4 3 2 2 2 end
  biasedPDF 3 2 1 1 1 1 2 2 2 end
end distribution
distribution 22
  title="value/function pairs with importances"
  abscissa -5 -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5 end
  truePDF 0 1 2 3 4 5 4 3 2 2 2 end
  importance 4 3 2 1 1 1 1 2 2 2 end
end distribution
distribution 31
  title="a binned histogram using CDF's"
  abscissa -5 -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5 end
  trueCDF 1 3 6 10 15 19 22 24 26 28 end
end distribution
distribution 32
  title="a binned histogram with biasing using CDF's"
  abscissa -5 -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5 end
  trueCDF 1 3 6 10 15 19 22 24 26 28 end
  biasedPDF 3 5 6 7 8 9 10 12 14 16 end
end distribution

```



## 5) 定義データ (MONACO)

### (4) 分布 (distributions) (続き)

核分裂スペクトルなど、特別な分布関数も下の表のキーワード(“分布名”)と与えることができる。

special= “分布名”

parameters (パラメータ) end

例)

```
distribution 11
  special="wattSpectrum"
  parameters 1.0 3.0 end
end distribution
distribution 12
  special="fissionNeutrons"
  parameters 1 92235 end
end distribution
distribution 21
  special="fissionPhotons"
  parameters 94239 end
end distribution
distribution 22
  special="origensBinaryConcentrationFile"
  parameters 71 64 4 end
end distribution
distribution 31
  special="origensBinaryConcentrationFile"
  parameters 71 64 5 end
end distribution
distribution 32
  special="cosine"
  parameters 100 end
end distribution
distribution 41
  special="pwrNeutronAxialProfile"
end distribution
distribution 42
  special="exponential"
  parameters 1.0 100 end
end distribution
```

“分布名”	(パラメータ)	
Distribution	Parameters	Description
"wattSpectrum"	$a b n$	Watt spectrum distribution. Units are: $a$ in MeV, $b$ in /MeV. Optional parameter $n$ specifies how many subintervals in each neutron group to use in integrating the pdf (default 100) for the histogram representation in the sampling test and mesh source representation.
"fissionNeutrons"	$m Z A I D$	Spectrum of fission neutrons from the MULTIGROUP cross-section library for material $m$ and nuclide $Z A I D$ .
"fissionPhotons"	$Z A I D$	Spectrum of fission photons from nuclide $Z A I D$ .
"origensBinaryConcentrationFile"	$c s$	Spectrum from an ORIGEN-S binary concentration file case number $c$ , spectra type $s$ . For the spectra type $s$ , values are: 1 – total neutron, 2 – spontaneous fission, 3 – ( $\alpha$ ,n), and 4 – delayed neutrons, 5 – photons. The ORIGEN-S filename should be supplied with the keyword filename= “...” and the path/filename in quotes.
"cosine"	$n$	Cosine function from $-\pi/2$ to $\pi/2$ . Optional parameter $n$ (default 100) is the number of value/function pairs to show in the sampling test.
"pwrNeutronAxialProfile"	none	Typical neutron PWR axial profile.
"pwrGammaAxialProfile"	none	Typical gamma PWR axial profile.
"pwrNeutronAxialProfileReverse"	none	Typical neutron PWR axial profile, reversed top to bottom.
"pwrGammaAxialProfileReverse"	none	Typical gamma PWR axial profile, reversed top to bottom.
"exponential"	$a n$	Exponential function $e^{ax}$ from -1 to 1. Optional parameter $n$ (default 100) is the number of value/function pairs to show in the sampling test.
"origensDiscreteGammas"	$z a m$	Discrete gammas from the ORIGEN npdkxgam database for isotope of atomic number $z$ , mass $a$ and metastable state $m$ . (default is $m=0$ )

## 6) 線源データ (MONACO)

線源データとして、粒子発生空間分布、エネルギースペクトル、方向分布を次の形式で与える。

read source

src  $i$  title="タイトル" <sub>$i$</sub>  (データ) <sub>$i$</sub>  stlength=  $S_i$  end src

src  $j$  title="タイトル" <sub>$j$</sub>  (データ) <sub>$j$</sub>  stlength=  $S_j$  end src

src  $k$  title="タイトル" <sub>$k$</sub>  (データ) <sub>$k$</sub>  stlength=  $S_k$  end src

:

end source

線源  $i, j, k, \dots$  は、線源強度  $S_i, S_j, S_k, \dots$  にしたがって選ばれて、粒子が発生する。

## 6) 線源データ (MONACO) (続き)

---

(データ)は、粒子の種類、空間分布、エネルギースペクトル、方向分布であり、次のように与える。

### (1) 粒子の種類

neutrons                      中性子

photons                        ガンマ線

### (2) エネルギースペクトル

eDistributionID= 定義データで定義した分布の番号

### (3) 発生方向分布

dDistributionID= 定義データで定義した分布の番号

省略すると等方分布となる。

## 6) 線源データ (MONACO) (続き)

### (4) 空間分布

下表の形状を用いて、線源発生領域の概略を与えることができる。

この領域の中について、形状データのUNIT([unit=](#))、図形([region=](#))、あるいは材質([mixture=](#))を指定して、指定されたUNIT,図形,材質のところだけ粒子を発生させる。

Keyword	Parameters	Possible degenerate cases
cuboid	$x_{max}$ $x_{min}$ $y_{max}$ $y_{min}$ $z_{max}$ $z_{min}$	rectangular plane, line, point
xCylinder	$r$ $x_{max}$ $x_{min}$	circular plane, line, point
yCylinder	$r$ $y_{max}$ $y_{min}$	circular plane, line, point
zCylinder	$r$ $z_{max}$ $z_{min}$	circular plane, line, point
xShellCylinder	$r_1$ $r_2$ $x_{max}$ $x_{min}$	cyl., planar annulus, cyl. surface, line, ring, point
yShellCylinder	$r_1$ $r_2$ $y_{max}$ $y_{min}$	cyl., planar annulus, cyl. surface, line, ring, point
zShellCylinder	$r_1$ $r_2$ $z_{max}$ $z_{min}$	cyl., planar annulus, cyl. surface, line, ring, point
sphere	$r$	point
shellSphere	$r_1$ $r_2$	sphere, spherical surface, point

Note that other than the shell-type solids, the parameters are the same as the SGGP geometry specification of those solids. The SGGP keyword "origin" (followed by optional "x=", "y=", "z=") is available for all of the different source solid bodies. For the cylinder based solid bodies, the direction of the axis of the cylinder can be set by using the keyword "axis  $u$   $v$   $w$ ", where  $u$ ,  $v$ , and  $w$  are the direction cosines with respect to the global  $x$ -,  $y$ -, and  $z$ -directions. The SGGP optional keyword "rotate" (followed by "a1=", "a2=", and "a3=") is also available for the cylinder based solid bodies. See Sect. [F17.2.4](#) of the SCALE manual for more information on rotating solid bodies.

## 7) タリーデータ (MONACO)

中性子または光子をカウントするタリーデータを指定する。

read tallies

```
(タリー名) i title="タイトル" (データ) end (タリー名)
(タリー名) j title="タイトル" (データ) end (タリー名)
(タリー名) k title="タイトル" (データ) end (タリー名)
```

:

end tallies

例)

```
pointDetector 3 title="PD3" neutron locationID=3 responseID=1 end pointDetector
meshTally 1 title="MT1" neutron cylGeometryID=4 responseID=1 end meshTally
regionTally 2 title="RT2" neutron unit=1 region=100 responseID=1 end regionTally
```

- (タリー名)は、次のいずれかである。

pointDetector	点検出器。散乱ごとに、この点に向かう割合をカウントする。
regionTally	体積検出器。この領域を通過した飛跡長と領域内の衝突密度をカウントする。
meshTally	メッシュ検出器。XYZ座標系あるいはRΘZ座標系の空間メッシュ内を通過した飛跡長をカウントして、線束(あるいは線量や反応率)の分布を求める。

- $i, j, k, \dots$ はタリーの番号。
- title="タイトル"は省略できる。
- タリーの種類ごとの(データ)の内容は次頁に示す。

## 7) タリーデータ (MONACO) (続き)

### pointDetector 点検出器のデータ

locationID= 定義データの位置データを番号で指定する。

### regionTally 体積検出器のデータ

以下のいずれか、あるいは組合せで領域を指定する。

unit= UNITをUNIT番号で指定する。

region= 図形を図形番号で指定する。 注:ボイド(真空)領域は指定できない。

mixture= MEDIAデータで領域と関係付けられた材質番号を指定する。

### meshTally メッシュ検出器のデータ

gridGeometryID= 定義データのXYZメッシュを番号で指定する。

cylGeometryID= 定義データの円筒形状メッシュを番号で指定する。

さらに、unit=, region=, あるいはmixture=を指定して、タリーするメッシュの範囲をこれらの内側に限定できる。

### 共通のデータ

neutron または photon

検出する粒子の種類

responseID=

定義データの応答関数データを番号で指定する。

responseIDs  $R_1$   $R_2$   $R_3$  ... end

複数の応答関数データ番号を与える。

## 8) パラメータデータ (MAVRIC)

バッチ数、バッチあたりのヒストリー数、などモンテカルロ計算の条件や、その他のMAVRICの計算パラメータを与える。MONACOで使う断面積ライブラリも、ここで随伴計算のライブラリとは独立に指定できる。

```
read parameters (データ) end parameters
```

(データ)の部分に入力するデータには次のようなものがある。(詳しくはマニュアル

<code>randomSeed=</code>	乱数のシード
<code>perBatch=</code>	バッチあたりのヒストリー数
<code>batches=</code>	バッチ数
<code>maxMinutes=</code>	最大計算時間
<code>noFission</code>	核分裂を考慮しない
<code>library=</code>	MONACOのモンテカルロ計算で用いる多群断面積ライブラリ名。指定しないと、材質組成データで指定したライブラリが随伴計算とモンテカルロ計算の双方に用いられる。
<code>celibrary=</code>	MONACOのモンテカルロ計算で用いる連続エネルギー断面積ライブラリ名。 <code>library=</code> の代わりに <code>celibrary=</code> が与えられていると、多群計算に代わり連続エネルギー計算を行う。

## 9) インポートンスマップデータ (MAVRIC)

MAVRICでの随伴計算によるインポートンス分布に関するデータを次のように与える。

```
read importanceMap
  adjointSource  $id_1$  (データ) end adjointSource 随伴線源1
  adjointSource  $id_2$  (データ) end adjointSource 随伴線源2
  :
  gridGeometryID= $n$  随伴線束空間分布のXYZメッシュデータ番号
end importanceMap
```

- $id_1$ 、 $id_2$ ・・・は、任意の随伴線源番号

- 主要な(データ)には次のものがある。

`responseID=` 随伴線源スペクトルとして、定義データの応答関数データを番号で指定する。

`locationID=` 随伴線源の位置として、定義データの位置データを番号で指定する。

または

`boundarybox +x -x +y -y +z -z`  $X=-x\sim+x, Y=-y\sim+y, Z=-z\sim+z$ の直方体領域内のユニットと図形、あるいは、ユニットと材質を指定して随伴線源の位置とする。

`UNIT=` 直方体領域内の随伴線源となるユニット番号

`REGION=` 上記ユニット中の図形番号

または

`MIXTURE=` 上記ユニット中の材質番号

(上記以外のデータは次頁以降に示す。)

## 9) インポートانسマップデータ (MAVRIC)

block	keyword	type	length	default	required	restrictions/comments
importanceMap						
<i>Perform an adjoint <math>S_N</math> calculation using one (or more) adjoint source(s) and a gridGeometry</i>						
	gridGeometryID=	integer			yes	matches one of the id numbers from gridGeometries
	adjointSource id	integer			yes	non-negative integer, unique among adjointSources
	locationID=	integer			a*	matches one of the id numbers from locations
	boundingBox	real	6		b*	parameters: $x_{max}$ $x_{min}$ $y_{max}$ $y_{min}$ $z_{max}$ $z_{min}$ *required: either a) locationID= or b) boundingBox
	responseID=	integer			c*	single id number from responses
	responseIDs	integer	any	none	d*	list of id numbers from responses *required: either c) responseID= or d) responseIDs
	weight=	real		1.0	no	positive real number
	unit=	integer		-1	no	limit adjoint source in boundingBox to a unit
	region=	integer		-1	no	limit adjoint source in boundingBox to a region of a unit
	mixture=	integer		-1	no	limit adjoint source in boundingBox to a mixture
end adjointSource						

### *Constructing the Denovo geometry using macro materials*

macromaterial						
	mmSubCell=	integer		1	no	rays per dimension to throw at each voxel
	mmTolerance=	real		0.01	no	smallest volume fraction for macromaterial
	mmSubCells	integer	6		no	rays per dimension to throw (x:ny,nz; y:nx,nz; z: nx,ny)
	mmPointTest				no	use recursive bisection point testing method
	mmRayTest				no	use ray tracing method
	mmRTSpeed				no	optimize ray-tracing method for speed
	mmRTMemory				no	optimize ray-tracing method for memory conservation
end macromaterial						

## 9) インポートانسマップデータ (MAVRIC)

*Constructing the mesh version of the true source*

subCells=	integer	2	no	subcells per cell (each dimension)
sourceTrials=	integer	1000000	no	how many source particles to sample
reduce		not present	no	store the smallest cuboid around the voxels with source

*Perform a forward  $S_N$  calculation and weight the adjoint source*

**Forward CADIS法の場合**

fluxWeighting		not present	no	weight adjoint source with forward flux
respWeighting		not present	no	weight adjoint source with integrated forward response
saveExtraMaps		not present	no	save extra 3dmap files associated with forward calculation
firstCollision		not present	no	forces the use a a first collision source
noFirstCollision		not present	no	does not allow the use of a first collision source

*Use existing forward flux file for weighting the adjoint source*

forwardFluxes=	string	not present	no	legal file name for current system, in quotes
----------------	--------	-------------	----	---

*Use existing adjoint flux file to create importance map*

adjointFluxes=	string	not present	no	legal file name for current system, in quotes
----------------	--------	-------------	----	---

*While using the importance map*

windowRatio=	real	5.0	no	real number greater than one
mapMultiplier=	real	1.0	no	multiply targetWeights in imp. Map

end importanceMap

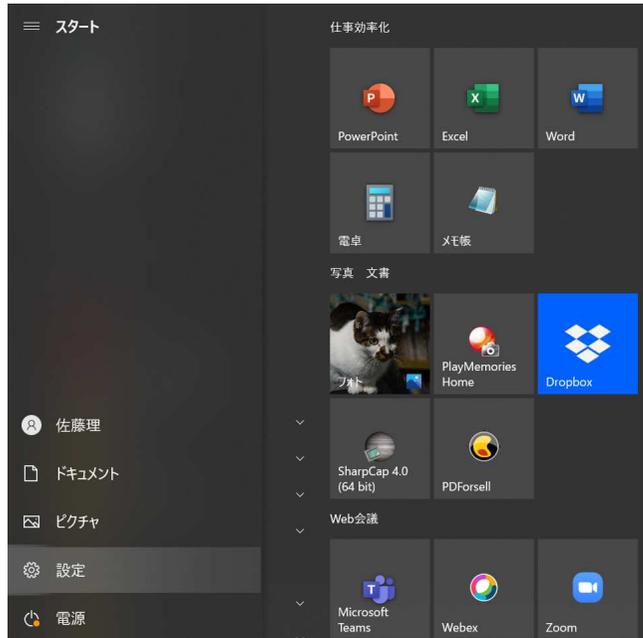
# Ⅲ SCALE/MAVRICシステムを用いた遮蔽 解析

---

## 3. SCALE6.2.4/MAVRICの実行方法

# SCALE6.2.4の実行方法 (WINDOWS10の環境設定 その1)

①「スタート」から「設定」を選びます。



②「システム」を選びます。

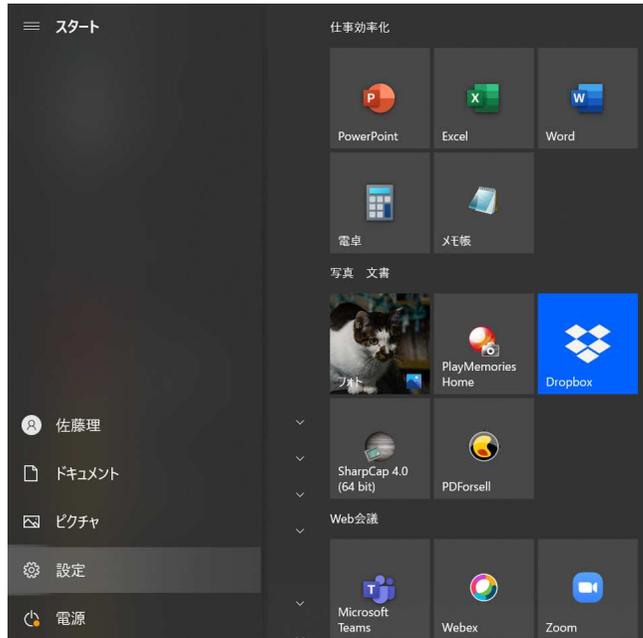


③「詳細情報」タブから「システムの詳細設定」を選びます。



# SCALE6.2.4の実行方法 (WINDOWS10の環境設定 その2)

④「スタート」から「設定」を選びます。



②「システム」を選びます。



⑤「詳細情報」タブから「システムの詳細設定」を選びます。

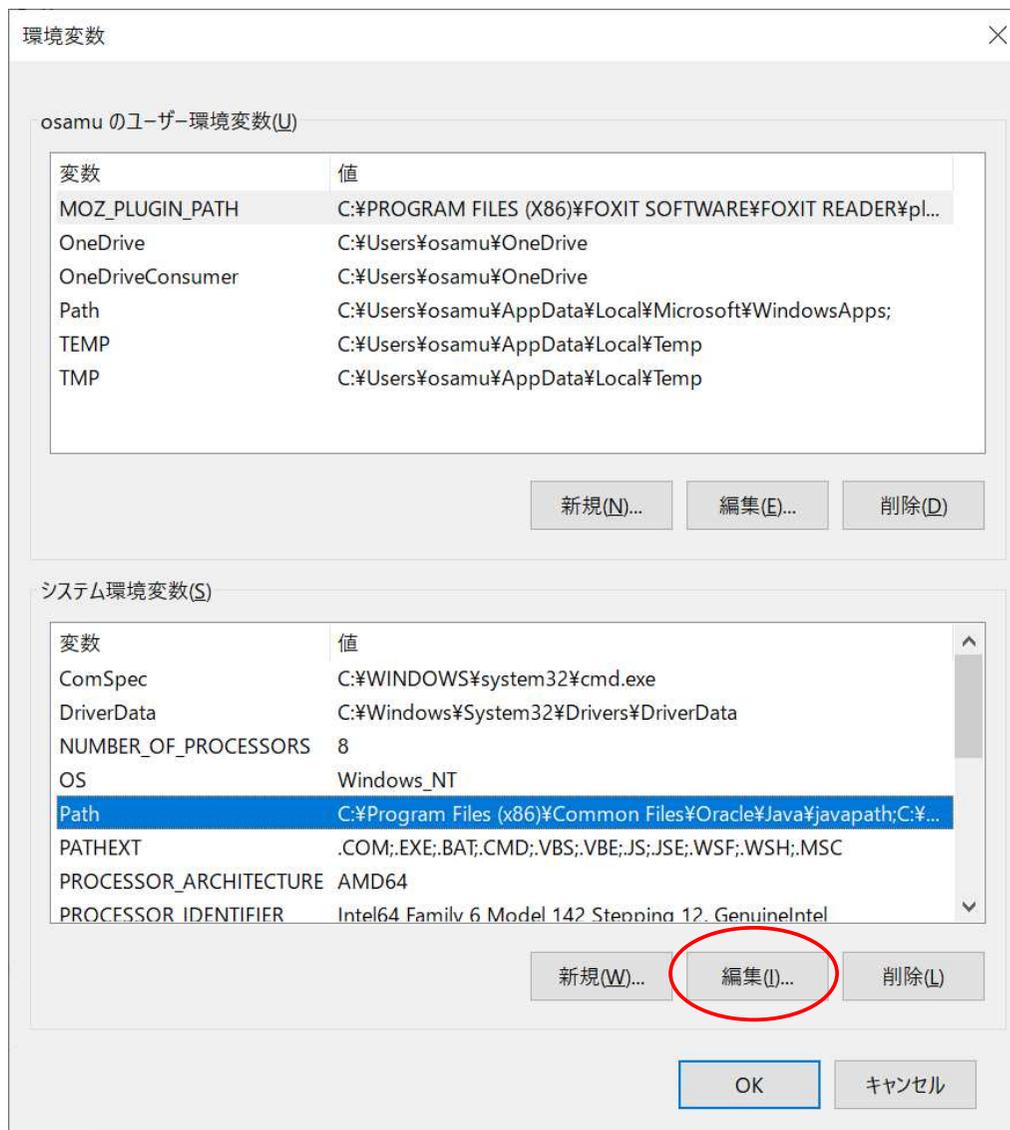


# SCALE6.2.4の実行方法 (WINDOWS10の環境設定 その3)

⑥「環境変数」をクリックします。



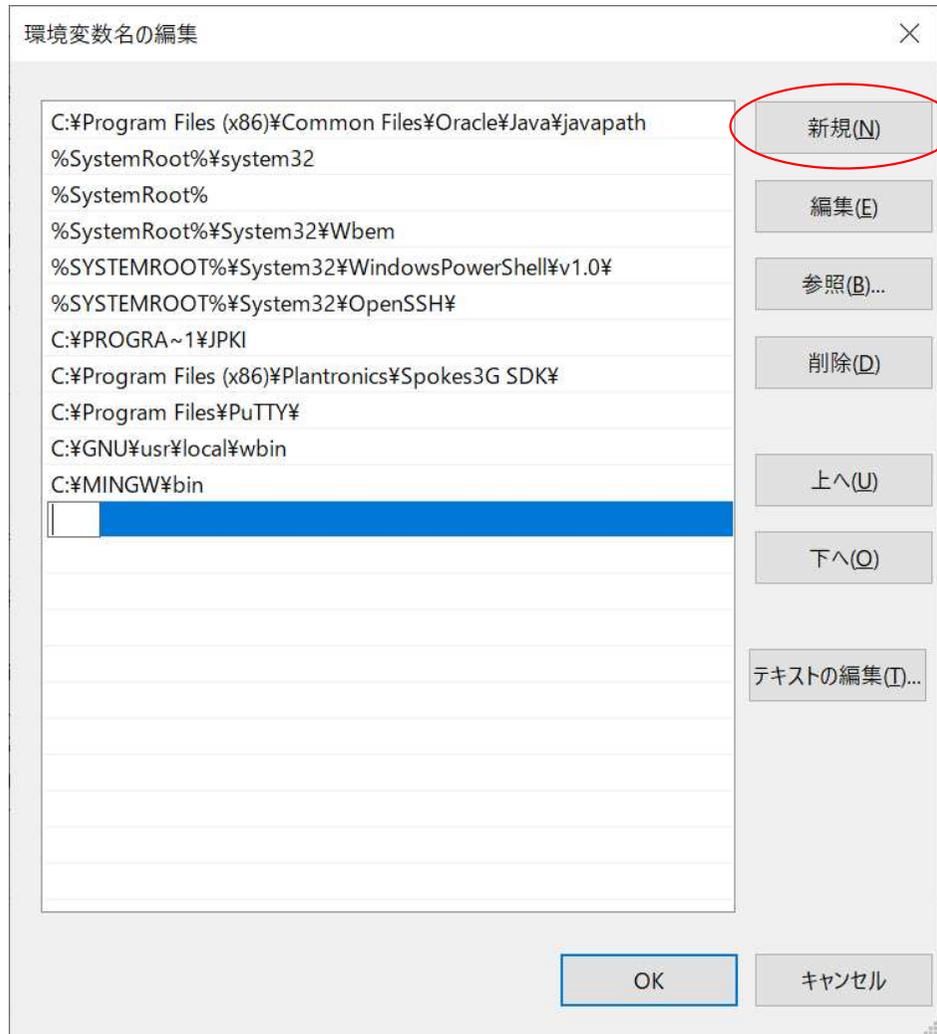
⑦「Path」変数の「編集」をクリックします。



# SCALE6.2.4の実行方法 (WINDOWS10の環境設定 その4) (Linuxの環境設定)

⑧「新規」をクリックして、SCALEのbinフォルダの名前("C:¥SCALE6.2.4¥bin")を指定します。

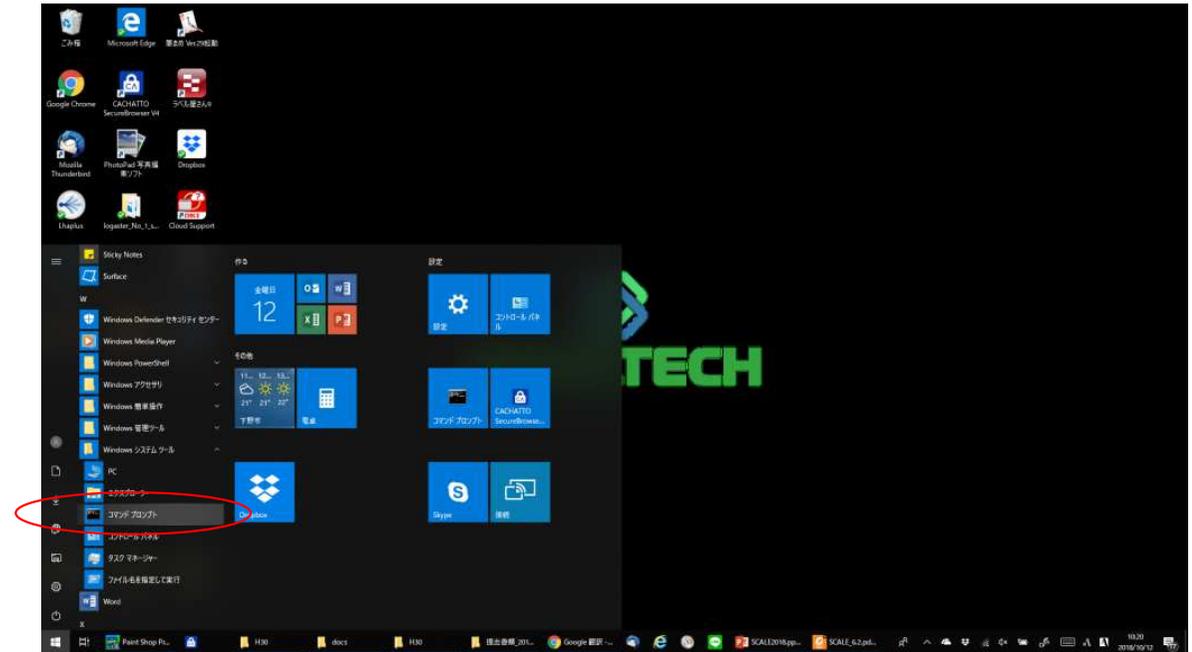
Linuxの場合は、bash.rcやtcsh.rcで、PATH変数にSCALEのbinディレクトリのパス名を加えておきます。



# SCALE6.2.4の実行方法 (1)

## ( WINDOWS10のコマンドラインでの実行)

- 「スタート」から「Windowsシステムツール」-「コマンドプロンプト」を選びます。



- 右記のコマンドプロンプトが立ち上がります。

```
選択コマンドプロンプト
Microsoft Windows [Version 10.0.17134.345]
(c) 2018 Microsoft Corporation. All rights reserved.

C:\Users\Yosam>path
PATH=C:\Program Files (x86)\Oracle\Java\javapath;C:\WINDOWS\system32;C:\WINDOWS;C:\WINDOWS\system32\Wbem;C:\WINDOWS\system32\WindowsPowerShell\v1.0\;C:\WINDOWS\system32\OpenSSH;C:\MINGW\bin;C:\GNU\usr\local\bin;C:\Users\Yosam\AppData\Local\Microsoft\WindowsApps;C:\phits\bin;C:\LAN\MONPS\bin;

C:\Users\Yosam>
```

# SCALE6.2.4の実行方法 (1)

## (Windows 10またはLinuxのコマンドラインでの実行)

コマンドプロンプトあるいは端末ウィンドウ内で次のコマンドで、入力データのあるフォルダに行きます。

`cd (フォルダ名)`

次のコマンドで、SCALEを実行します。

`scalerte (オプション) (入力データファイル名1) (入力データファイル名2) ...`

□ 入力データファイル名は、次のいずれかの拡張子を持つものです。

`xxxxxxx.input`

`xxxxxxx.inp`

`xxxxxxx.in` (xxxxxxxは任意の文字)

□ 入力をxxxxxxx.inputあるいはxxxxxxx.inpとしたとき、次のいずれの形式でも実行できます。

`scalerte -m xxxxxxxx.input` または `scalerte -m xxxxxxxx.inp`

`scalerte -m xxxxxxxx`

□ 複数の計算ケースを実行するときは、scalerteの後ろに入力データ名を並べます。

`scalerte -m case01 case02 case03 case04`

(case01.inp, case02.inp, case03.inp, case04.inpの4ケースを実行)

□ 計算結果は次のファイルに出力されます。

`xxxxxxx.out` (テキスト)      `xxxxxxx.html` (Webページ)

# SCALE6.2.4の実行方法 (1)

## (Windows 10またはLinuxのコマンドラインでの実行)

(オプション)には次があります(省略可、PCでは-m以外は使わない)。

-a: Specify alias file.

-a path/to/aliasesfile

-f: Add hostname to output filename. Produces inputfile.hostname.out

-h: Print this information as a help message.

-I: Number of threads to use for MPI/OpenMP directives. -I 4

-m: Print information messages as SCALE executes.

-M: Specify a machine names file for SCALE parallel capabilities.

-M /path/to/machine/names/file

-n: Nice level on Nix systems, ignored on Windows. Default: -n 2

-N: Number of MPI processes to run. -N 20

指定すると、下記のように実行状況が分かります。

```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
**Warning: Nuclide 8018 is missing cross sections. Introducing zero cross sections.
>> Loading SCALE Standard Composition Library from C:/scale-6.2.3/data/scale_rev09_scl.lib
>> Loading CE Library C:/scale-6.2.3/data/ce_v7.0_endf.xml
Now executing kenova

5wt%u235 infinite pincell
generation  generation  average  avg k-eff  generation  elapsed time
generation  k-effective  k-effective  deviation  entropy  minutes
1  1.26907E+00  1.00000E+00  0.00000E+00  6.50698E+00  1.46667E-02
2  1.24428E+00  1.00000E+00  0.00000E+00  6.42129E+00  1.71667E-02
3  1.26339E+00  1.26339E+00  0.00000E+00  6.47709E+00  1.93333E-02
4  1.25295E+00  1.25842E+00  5.47109E-03  6.46237E+00  2.21667E-02
5  1.27521E+00  1.26402E+00  6.42658E-03  6.46696E+00  2.40000E-02
6  1.27697E+00  1.26726E+00  5.57896E-03  6.46838E+00  2.68333E-02
7  1.24991E+00  1.26377E+00  5.55463E-03  6.46547E+00  2.96667E-02
8  1.24326E+00  1.26035E+00  5.67897E-03  6.47046E+00  3.23333E-02
9  1.26080E+00  1.26041E+00  4.80004E-03  6.45884E+00  3.48333E-02
10 1.27471E+00  1.26220E+00  4.52461E-03  6.45658E+00  3.66667E-02
11 1.26218E+00  1.26220E+00  3.99033E-03  6.44698E+00  3.93333E-02
12 1.24231E+00  1.26021E+00  4.08652E-03  6.47378E+00  4.11667E-02
13 1.25502E+00  1.25374E+00  3.72551E-03  6.47628E+00  4.31667E-02
14 1.26423E+00  1.25593E+00  6.99853E-03  6.47638E+00  4.53333E-02
15 1.24071E+00  1.25288E+00  6.32054E-03  6.47633E+00  4.80000E-02

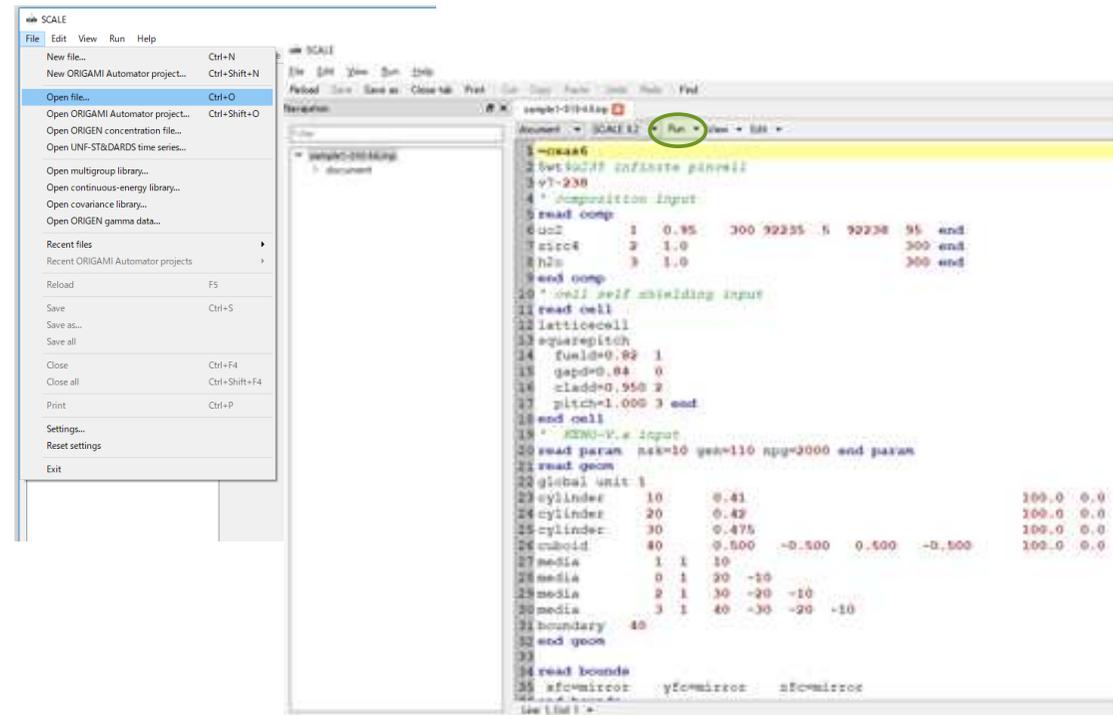
5wt%u235 infinite pincell
generation  generation  average  avg k-eff  generation  elapsed time
generation  k-effective  k-effective  deviation  entropy  minutes
16 1.27174E+00  1.25603E+00  1.62133E-02  6.42855E+00  5.00000E-02
17 1.25525E+00  1.25592E+00  1.11984E-02  6.44979E+00  5.21667E-02
  
```



# SCALE6.2.4の実行方法 (2)

## (GUIのFulcrumを用いる場合)

- 既存のデータを実行するには、“File”から“Open File”を選んでデータを読み込み、データの上の“Run”から“Run in Background”を選らんで実行します。



- 右記のコマンドプロンプトが立ち上がり、実行を始めます。

```

C:\WINDOWS\SYSTEM32\cmd.exe - C:\SCALE-6.2.3\bin\scalerte.exe -m C:\Users\osamu\Documents\RIST-SCALE\H30\scale-6.2.1\Criticality/sample1-01...
-----
SCALE 6.2.3
-----
10月 2018
*
*
* SCALE: A Comprehensive Modeling and Simulation Suite
* for Nuclear Safety Analysis and Design
*
*
* Reactor and Nuclear Systems Division
* Oak Ridge National Laboratory
*
*
* http://scale.ornl.gov
* scalehelp@ornl.gov
*
*
*****
*****
*****
Job Information
-----
Job started on DESKTOP-7R2C83J on 金 12/10/2018 10:35:21
Working directory: C:\Users\osamu\AppData\Local\Temp\scale_osamu.2044
Input file name : C:\Users\osamu\Documents\RIST-SCALE\H30\scale-6.2.1\Criticality\sample1-010-k6.inp
Output file name : C:\Users\osamu\Documents\RIST-SCALE\H30\scale-6.2.1\Criticality\sample1-010-k6.out
SCALE executable : C:\SCALE-6.2.3\bin\scale
*****
*****
***Warning: Nuclide 8018 is missing cross sections. Introducing zero cross sections.
*** Loading SCALE Standard Composition Library from C:\SCALE-6.2.3\data\scale.rev39.sclib
*** Loading CE Library C:\SCALE-6.2.3\data\ce.v7_0_endf.xml
  
```

## MAVRICの実行結果

---

入力データ *Name.inp* に対するタリーの計算結果として、次のファイルが得られます。

<i>Name.pdid.txt</i>	点検出器 <i>id</i> の詳細出力
<i>Name.pdid.chart</i>	点検出器 <i>id</i> のバッチごと収束*
<i>Name.rtid.txt</i>	体積タリー <i>id</i> の詳細出力
<i>Name.rtid.chart</i>	体積タリー <i>id</i> のバッチごと収束*
<i>Name.mtid.3dmap</i>	メッシュタリー <i>id</i> のタリー分布**
<i>Name.mtid.resp<i>xx</i>.3dmap</i>	メッシュタリー <i>id</i> のエネルギー群ごとの応答 <i>xx</i> についてのタリー分布**
<i>Name.mtid.flux.txt</i>	メッシュタリー <i>id</i> のエネルギー群ごとの線束の詳細出力
<i>Name.mtid.tflux.txt</i>	メッシュタリー <i>id</i> の全線束の詳細出力

\* Fulcrumにて図示が可能。

\*\*Meshview (SCALE6.2.4に付属)にて図示が可能

# Ⅲ SCALE/MAVRICシステムを用いた遮蔽解析

---

## 4. 解析演習

演習1の入力データは事前に配布します。

演習2の入力データは、これを参考に作成して見てください。時間内に出来なかった場合は、入力データ例を後ほどお示しして解説します。

## 演習1 簡易キャスク(サンプル問題)

---

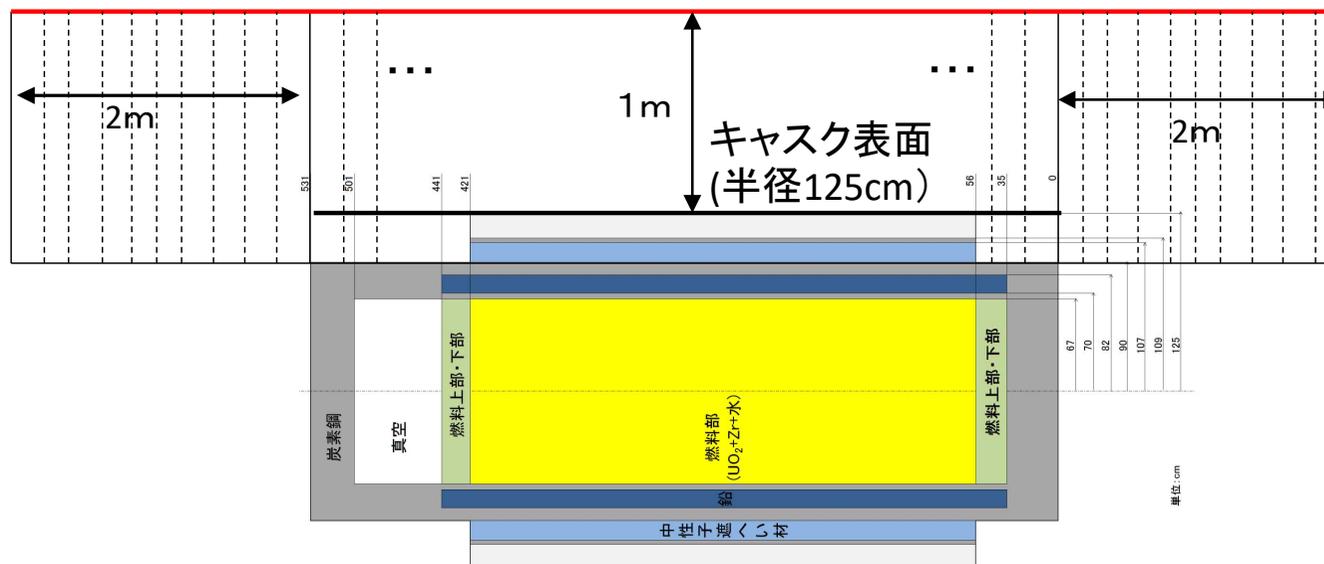
SCALE6.2.4のサンプル問題(SCALE-6.2.4/samples/input/mavric.caskCADISn.inp)を次のように変更したものです。

- オリジナルの点検出器に加えて、メッシュタリー、体積タリーを追加
- MONACOによるモンテカルロ計算に用いる断面積ライブラリーをENDF/B7.1の連続エネルギーライブラリーに変更
- バッチ数(1バッチあたり2000ヒストリー)を10から100に増加

## 演習2 使用済燃料輸送容器遮へい解析

- ADVANTG-MCNPの演習2と同じ使用済燃料輸送容器遮へい解析を行う。
  - ✓ モデル、組成、線源、随伴線束計算範囲はADVANTG-MCNPの場合と同じ。
  - ✓ タリーは、側面の表面から1mの位置に厚さ1cmの円環状のメッシュタリーを設定して、中性子による1cm線量当量を計算する。メッシュタリーは軸方向に高さ20cmずつに区切って、軸方向の線量分布を評価する。
  - ✓ 線量換算係数は、ICRP publication 74(ICRU 57)に記載された1cm線量当量 (H\*(10)) への換算係数を用いる (responseのMT=9034)。
  - ✓ FOM =  $1/\sigma^2 T$ の分布をADVANTG-MCNPでCADIS法を用いた場合と比較する

キャスク表面から1m、厚さ1cmの円環状メッシュタリー(半径224.5cm~225.5cm)



---

# 付録 MCNPの計算の妥当性の判定基準

---

## MCNPの統計誤差に関する出力項目と判定基準\*)

MCNPでは、評価量(タリー:Tallyと呼んでいる)に関して、次の量を出カリストに出カし、以下の10の判定基準で計算結果の統計的妥当性を判定する。

タリー平均値      Tally Mean       $\bar{x}$

- ① (計算の後半では)ヒストリー数( $N$ )の増減で $\bar{x}$ の値が大きく変動しないこと

相対誤差      Relative Error       $R$

- ②  $R < 0.1$  (点検出器では  $R < 0.05$ )  
 ③  $R$ は $N$ とともに単調減少すること  
 ④ (計算の後半では) $R$ は $1/\sqrt{N}$ で減少すること

分散の分散      Variance of the the Variance       $VOV$

- ⑤  $VOV$ の値は0.1より小さいこと(すべての種類のタリー)  
 ⑥ (計算の後半では) $VOV$ は単調に減少すること  
 ⑦ (計算の後半では) $VOV$ は $1/N$ で減少すること

FOM      Figure of Merit

- ⑧ (計算の後半では)FOMは統計的に一定値であること  
 ⑨ (計算の後半では) FOMは単調減少あるいは増加しないこと

確率密度関数      Tally PDF       $f(x)$

- ⑩ 大きい方から201個のスコアリングに関連するイベントのSLOPEが3以上であること。

\*) J.K.Shultis and R.E.Faw, *AN MCNP PRIMER*, (December 2011)の内容に基づく。

# MCNPの計算結果の統計誤差

## 相対誤差の判断基準

Range of $R$	Quality of Tally
$> 0.5$	Meaningless
0.2 to 0.5	Factor of a few
$< 0.1$	Reliable (except for point/ring detectors)
$< 0.05$	Reliable even for point/ring detectors

FOMの定義：大きいほど計算効率が良い

$$\text{FOM} = \frac{1}{R^2 T}$$

VOVの定義

$$\text{VOV} = \frac{S^2(S_x^2)}{S_x^2} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^4}{\left[ \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \right]^2} - \frac{1}{N}$$

# MCNPの計算結果の統計誤差

## タリーの確率密度関数

### タリーするイベントの頻度

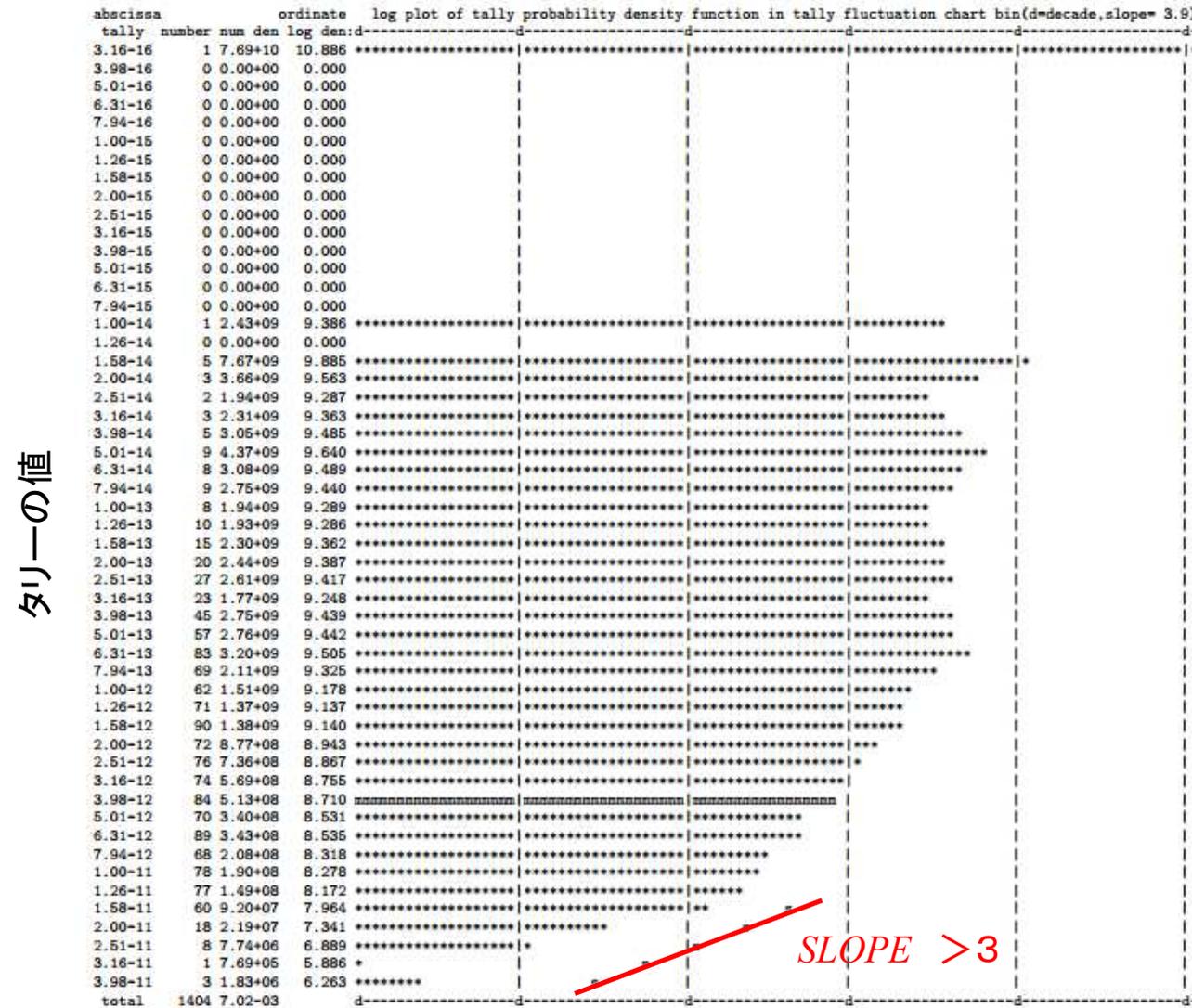


Figure 8. An example of the Tally PDF plot produced in the MCNP output.