

令和元年度 RSICCユーザ会 会員講習会

SCALEシステムの利用法 臨界安全解析と遮蔽解析について

2019年10月16日～10月18日

合同会社ニュークリア・テクノロジー・コンサルティング

佐藤 理

スケジュール (1/3)

10月16日(水曜日)

午後 13:30～16:30

はじめに(臨界安全解析と遮蔽解析の共通性)

1. SCALEシステムの概要

2. SCALEシステムの臨界安全及び遮蔽解析モジュール

(内容説明:中性子断面積の処理、

臨界及び遮蔽解析モジュールの概要)

3. SCALEシステムの臨界安全解析モジュール(1)

(内容説明:モンテカルロ法による臨界解析)

4. SCALEシステムの臨界安全解析モジュール(2)

(使用方法説明1、実習1:CSAS5)

スケジュール(2/3)

10月17日(木曜日)

午前9:30～12:00

5. SCALEシステムの臨界安全解析モジュール(3)

(使用方法説明2、実習2、3:CSAS5)

午後13:00～16:30

6. SCALEシステムの臨界安全解析モジュール(4)

(使用方法説明4、実習4:CSAS6、まとめ)

7. SCALEシステムの遮蔽計算モジュール(1)

(内容説明:自動分散低減手法の概説)

スケジュール(3/3)

10月18日(金曜日)

午前9:30～12:00

7. SCALEシステムの遮蔽計算モジュール(2)

(内容説明:MAVRICの機能と内容)

8. SCALEシステムの遮蔽計算モジュール(3)

(使用方法の説明:MAVRIC)

午後13:00～16:00

9. SCALEシステムの遮蔽計算モジュール(4)

(実習:MAVRIC)

10. まとめ、質疑

参考文献

[SCALEマニュアル: C:\SCALE-6.2.3\docs\SCALE_6.2.pdf](#)

B.T. Rearden, M.A. Jessee, Ed., *SCALE Code System*, ORNL/TM-2005/039 ver.6.2.3, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tenn., March 2018.

[SCALE 入門: C:\SCALE-6.2.3\docs\Primers](#)

(臨界解析: KENO-VI, KENO-V.a SCALE6.1用で古い)

S. M. Bowman, *KENO-VI Primer: A Primer for Criticality Calculations with SCALE/KENO-VI Using GeeWiz*, ORNL/TM-2008/069, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tenn., September 2008.

R. D. Busch and S. M. Bowman, *KENO V.a Primer: A Primer for Criticality Calculations with SCALE/KENO V.a Using GeeWiz*, ORNL/TM-2005/135, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tenn., December 2005.

(炉心解析、断面積処理)

B. J. Ade, *SCALE/TRITON Primer: A Primer for Light Water Reactor Lattice Physics Calculations*, NUREG/CR-7041 (ORNL/TM-2011/21), prepared for the U.S. Nuclear Regulatory Commission by Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tenn., November 2012.

(感度解析)

B. T. Rearden, D. E. Mueller, S. M. Bowman, R. D. Busch, and S. J. Emerson, *TSUNAMI Primer: A Primer for Sensitivity/Uncertainty Calculations with SCALE*, ORNL/TM-2009/027, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tenn., January 2009.

(燃焼解析)

W. A. Wieselquist, A. B. Thompson, J. L. Peterson, *ORIGAMI Automator Primer: Automated ORIGEN Source Terms and Spent Fuel Storage Pool Analysis*, ORNL/TM-2015/049, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tenn., April 2016.

[インストールと実行方法: C:\SCALE-6.2.3\docs\README_SCALE_6.2.pdf](#)

はじめに

(臨界解析と遮蔽解析の共通性)

はじめに

放射線遮蔽解析とは？

遮蔽体による放射線（中性子、ガンマ線＝光子）線量の減衰を計算すること。

遮蔽体による線量の減衰の原因

- ・放射線の吸収
- ・放射線のエネルギー低下
- ・放射線の方向変化

遮蔽体中の原子核（原子）と中性子（光子）の相互作用

＝放射線の輸送問題

中性子及び光子の輸送を表す方程式

固定線源のボルツマン方程式

$$\begin{aligned} & \Omega \nabla \phi(r, E, \Omega) + \Sigma_t(r, E) \cdot \phi(r, E, \Omega) \\ & - \int \int_{E' \Omega'} \Sigma_s(r, E' \rightarrow E, \Omega' \rightarrow \Omega) \cdot \phi(r, E', \Omega') dE' d\Omega' \\ & = \frac{1}{k_{eff}} \cdot \left[\frac{\chi(E)}{4\pi} \int \int_{E' \Omega'} \nu \Sigma_f(r, E') \cdot \phi(r, E', \Omega') dE' d\Omega' \right. \\ & \quad \left. + S(r, R, \Omega) \right] \end{aligned}$$

核分裂性物質がある場合

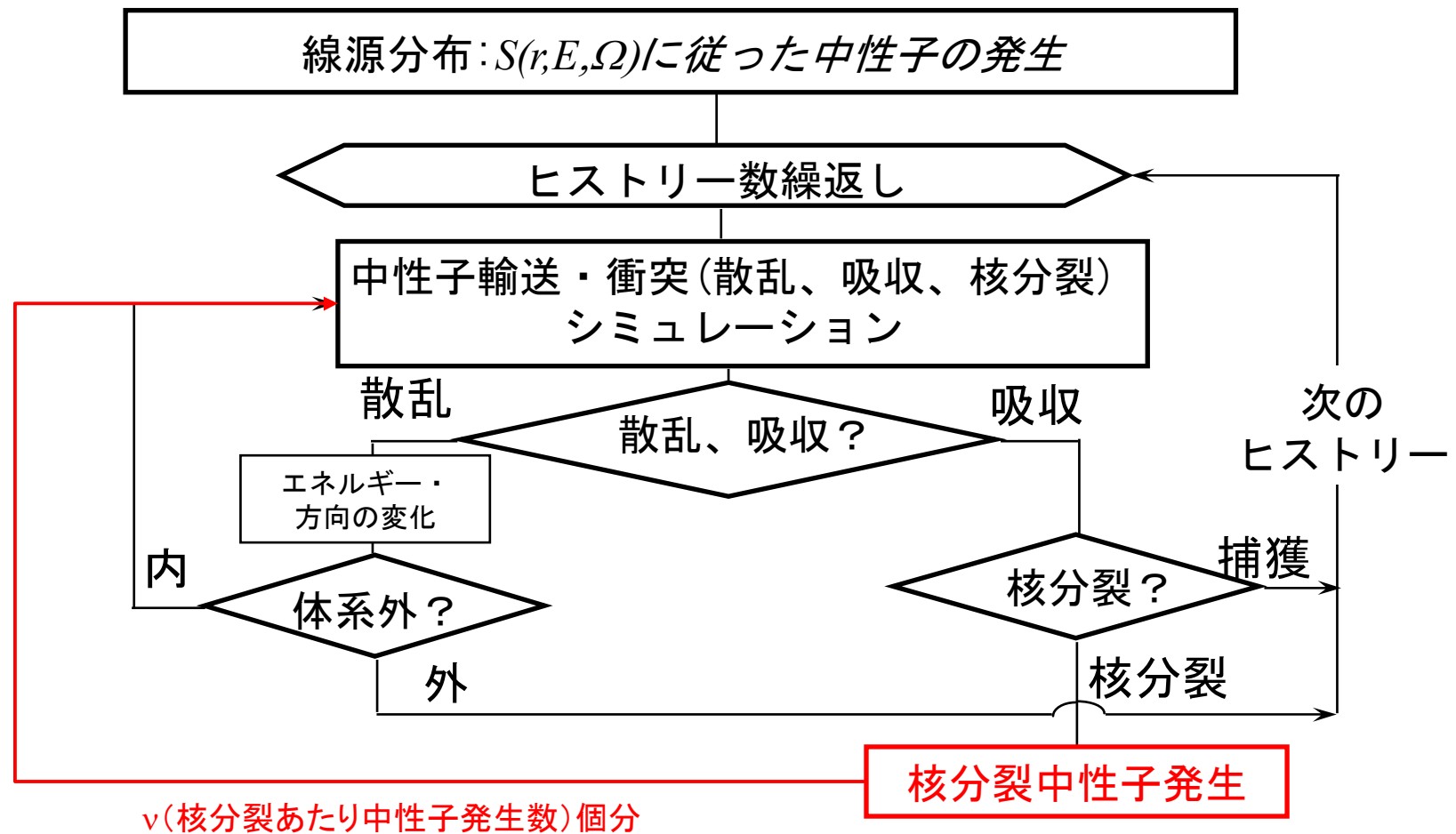
Ω 粒子の進行方向
 r 粒子の位置
 E 粒子のエネルギー
 $\phi(r, E, \Omega)$ 粒子束
 $\Sigma_t(r, E)$ 全断面積

$\Sigma_f(r, E')$ 核分裂断面積
 ν 1核分裂あたり中性子発生数
 $\chi(E)$ 核分裂中性子スペクトル
 k_{eff} 実効増倍率
 $S(r, R, \Omega)$ 粒子線源

$\Sigma_s(r, E' \rightarrow E, \Omega' \rightarrow \Omega)$ 散乱断面積(マトリクス) = 中性子(E', Ω')から中性子(E, Ω)または光子(E, Ω)が発生する断面積

はじめに

モンテカルロ法による中性子遮蔽計算アルゴリズム



はじめに

臨界安全性評価とは？

＝いかなる条件下でも未臨界であること、を示す。

臨界

実効増倍率 = 1

未臨界の判定

実効増倍率 < 1 - 余裕度

(余裕度:0.05または検証された精度)

はじめに

実効増倍率とは？

実効増倍率 (Effective Multiplication Factor) k_{eff}

$$k_{eff} = \frac{\text{(核分裂による中性子発生数)}}{\text{(中性子吸収量) + (漏洩量)}}$$

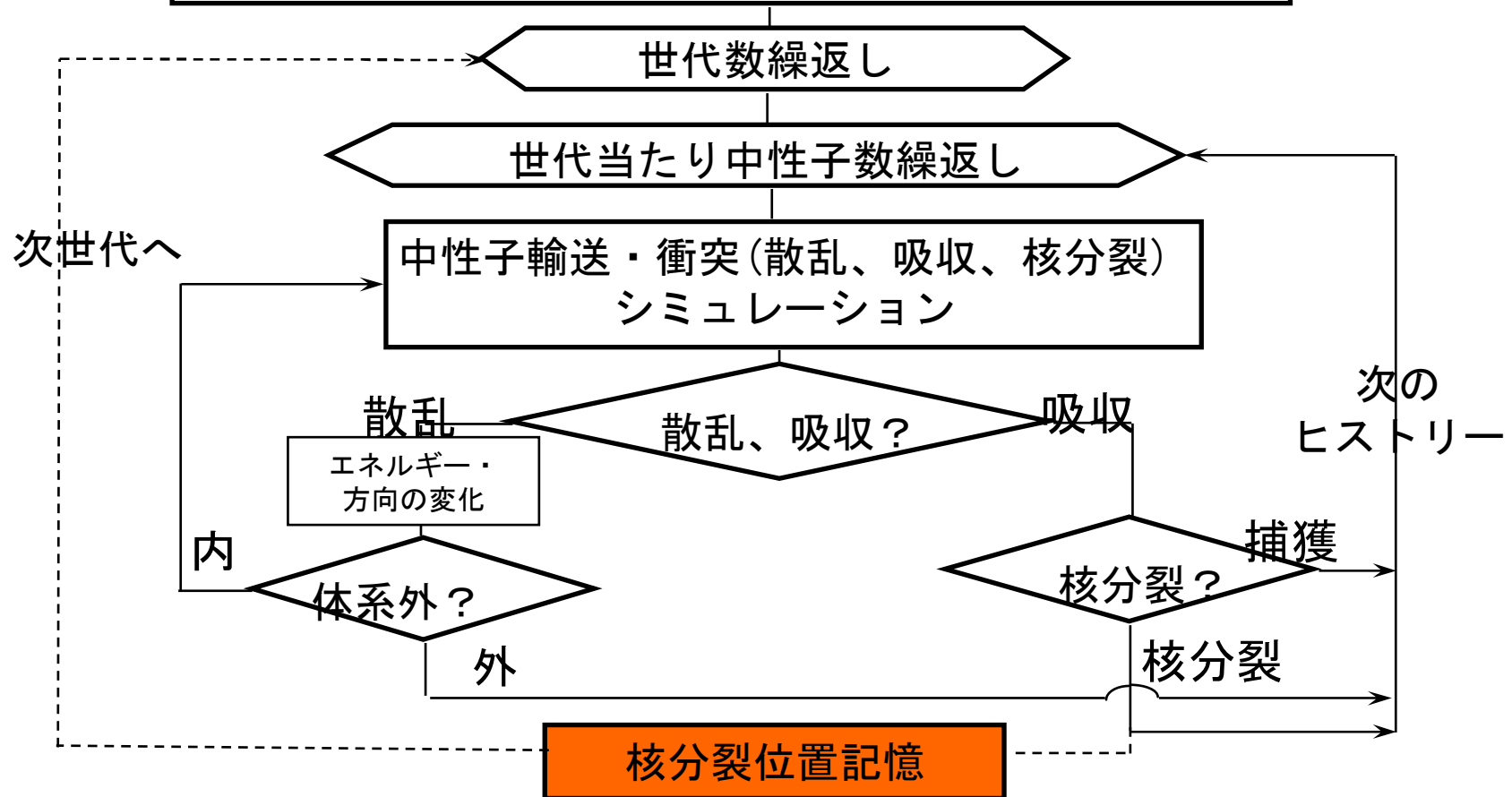
ボルツマン方程式の固有値

$$\begin{aligned} & \Omega \nabla \phi(r, E, \Omega) + \Sigma_t(r, E) \cdot \phi(r, E, \Omega) \\ & - \int_{E', \Omega'} \Sigma_s(r, E' \rightarrow E, \Omega' \rightarrow \Omega) \cdot \phi(r, E', \Omega') dE' d\Omega' \\ & = \frac{1}{k_{eff}} \cdot \left[\frac{\chi(E)}{4\pi} \int_{E', \Omega'} \nu \Sigma_f(r, E') \cdot \phi(r, E', \Omega') dE' d\Omega' \right] \end{aligned}$$

はじめに

モンテカルロ法による臨界計算アルゴリズム

第一世代：初期中性子束の発生（平坦またはcos分布）



はじめに

臨界解析と遮蔽解析

共通性

- 中性粒子のボルツマン方程式を解く
- 中性子の断面積セットを用意する必要がある

相違点

- 臨界解析では核分裂中性子源分布を構成するために世代の繰り返し計算(収束計算)が行われる。
- 遮蔽解析ではガンマ線(光子)の輸送も考える必要がある。
- 遮蔽解析で深層透過を扱う場合には分散低減が必要となる。

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・ γ 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)

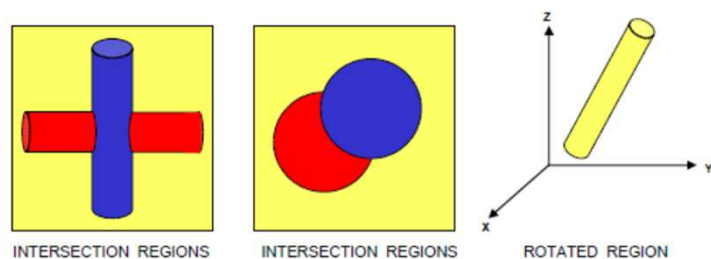
 - ⇒ Fulcrumに統合 (SCALE6.2)

SCALEシステムの臨界解析モジュール:CSAS

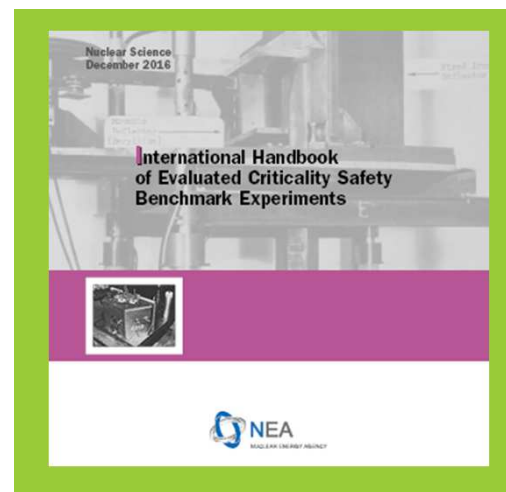
CSAS : XSDRNPMを用いた1次元、あるいは、KENO-VまたはKENO-VIを用いた三次元モンテカルロ臨界計算を行うモジュール。多群計算と連続エネルギー計算が可能。

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



KENO-VIで扱えて、KENO-V.aでは扱えない形状



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(ICSBE: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 (σ) の計算
CSASI	: 巨視的実効断面積 (Σ) 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

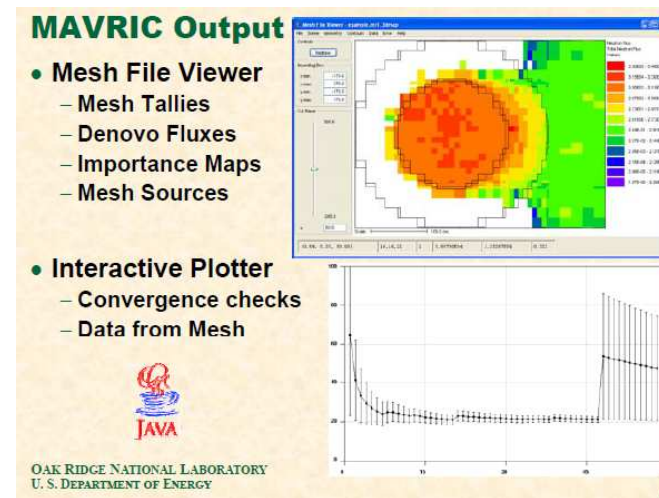
MAVRIC : KENO-VI形状を採用した多群モンテカルロコードMONACOとForward CADIS法に基づく自動分散低減による3次元多群モンテカルロ法遮蔽計算
⇒SCALE6.2(2016年5月登録)からは連続エネルギー計算も可能

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

右のような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



燃焼解析(炉心解析)制御モジュール

- TRITON : 二次元Sn法または三次元モンテカルロ法による燃焼計算モジュール
- STURBACS : 燃焼度余裕 (Burnup credit) を考慮した臨界計算
- ORIGEN-ARP : GUIを用いた0次元燃焼解析(SCALE6.2で廃止)
- ORIGAMI : 軽水炉燃料組成詳細計算(SCALE6.2から)
- Polaris : 軽水炉用簡単入力格子計算コード(SCALE6.2から)

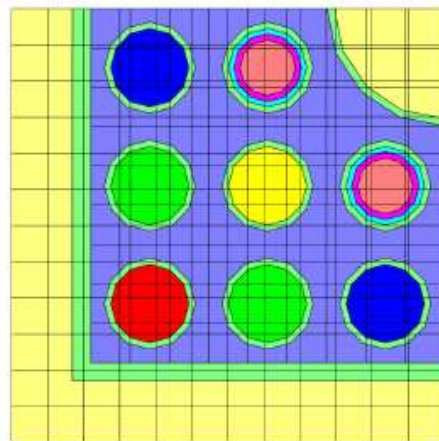


Figure T1.6.1. BWR-like assembly design for sample problem 8.

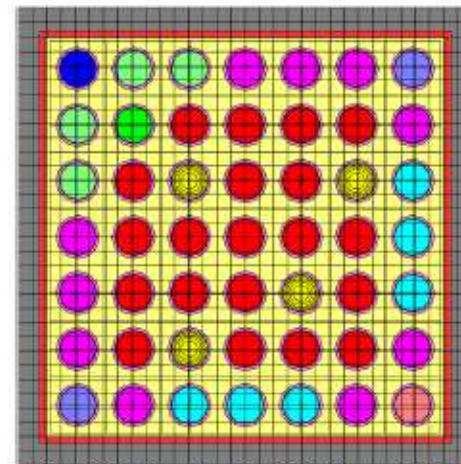


Figure T1.6.2. Sample problem 11 BWR assembly design.

TRITONの二次元格子モデルの例

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、 γ 線47群
V7.1-200N47G	ENDF/B-VII.1からの中性子200群、 γ 線47群
V7-27N19G	ENDF/B-VII.0からの中性子27群、 γ 線19群
V7.1-28N19G	ENDF/B-VII.1からの中性子28群、 γ 線19群

その他のコード

JAVAPENO 計算結果の図示

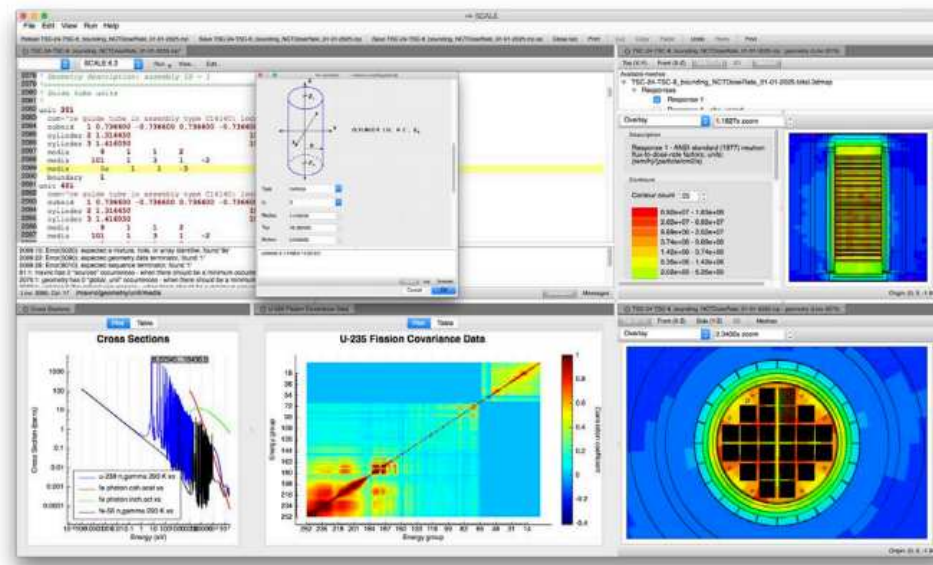
TSAR 感度解析計算ツールセット

KENO-3D KENO-V.a,VIの計算形状図示

PLOTOPUS ORIGEN-S計算結果の図示

GeeWiz SCALE6.1までのGUI(Graphic User Interface)

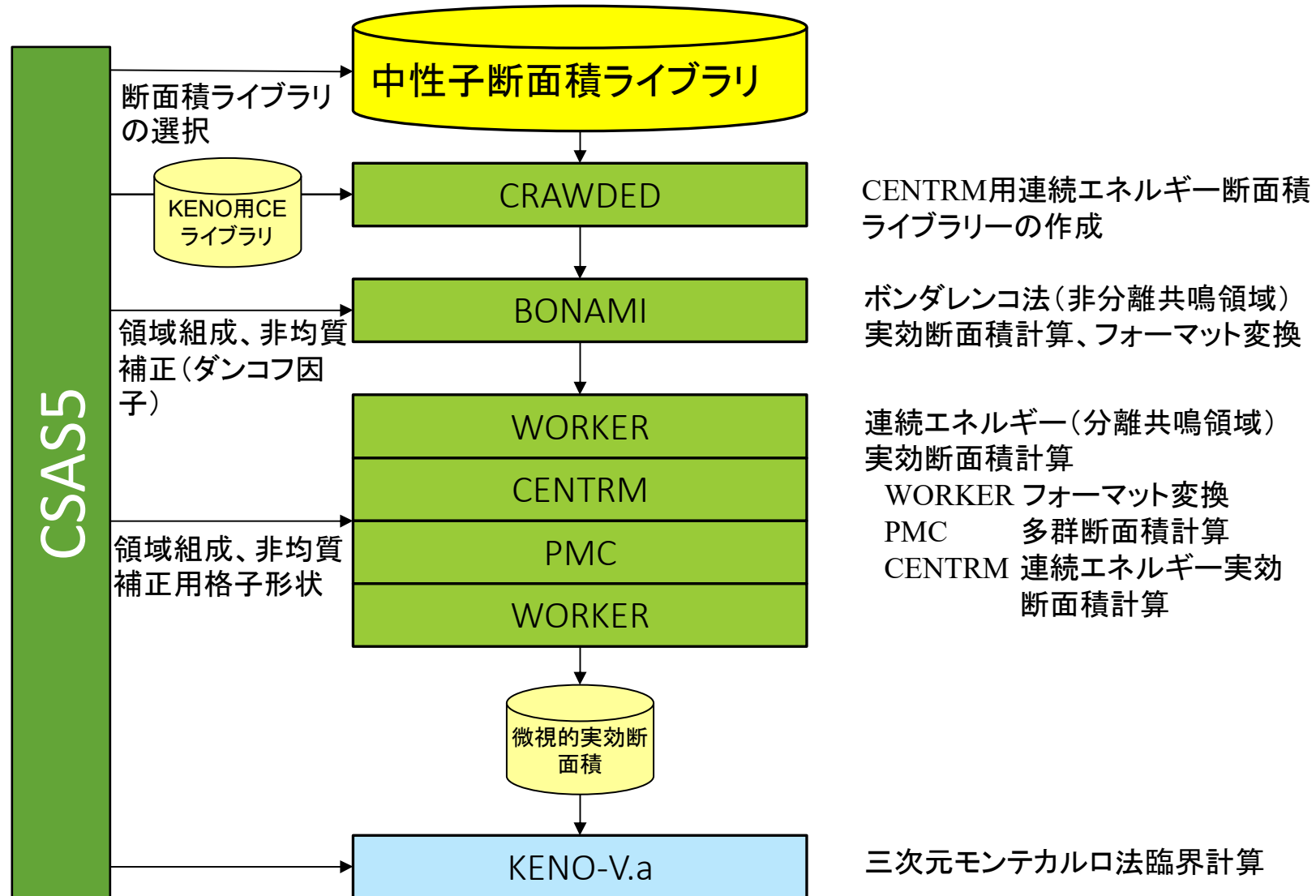
Fulcrum SCALE6.2の統合GUI



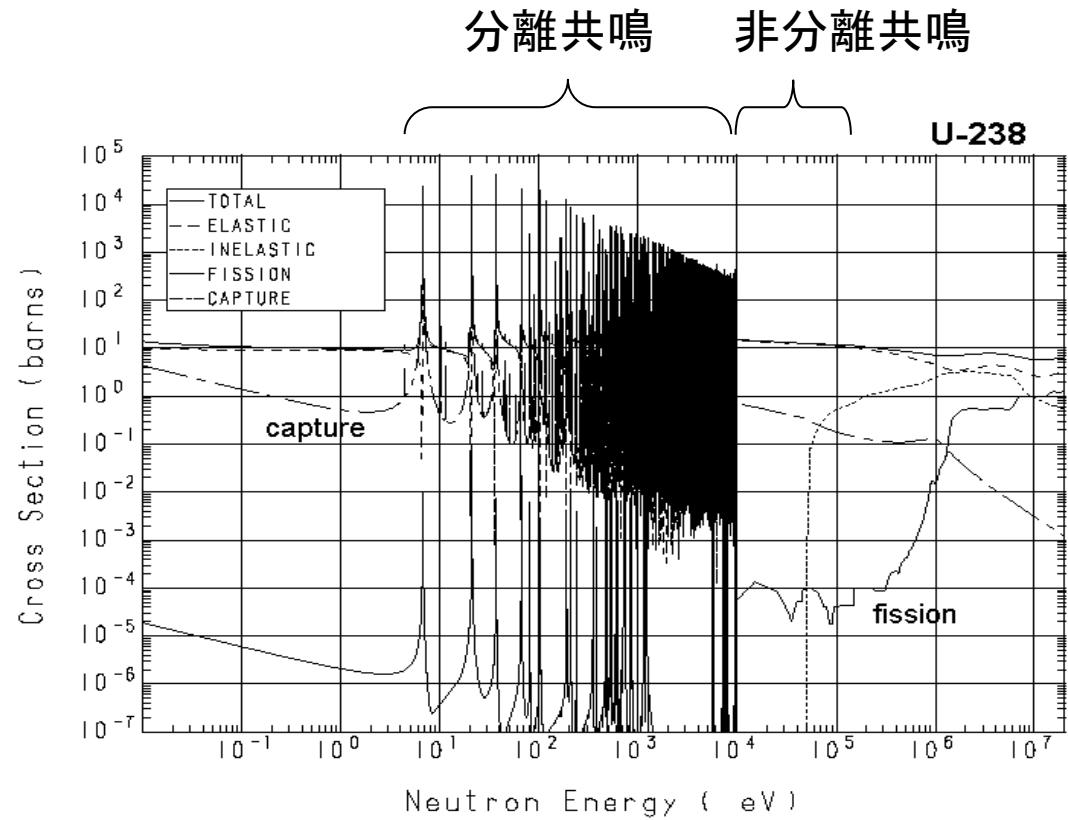
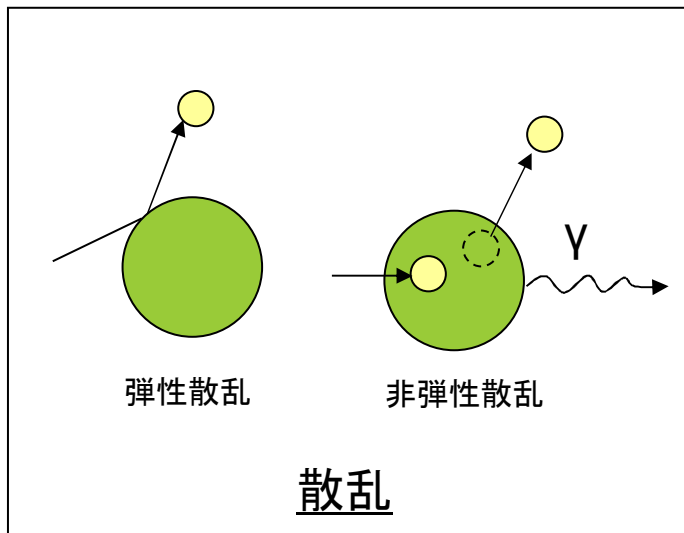
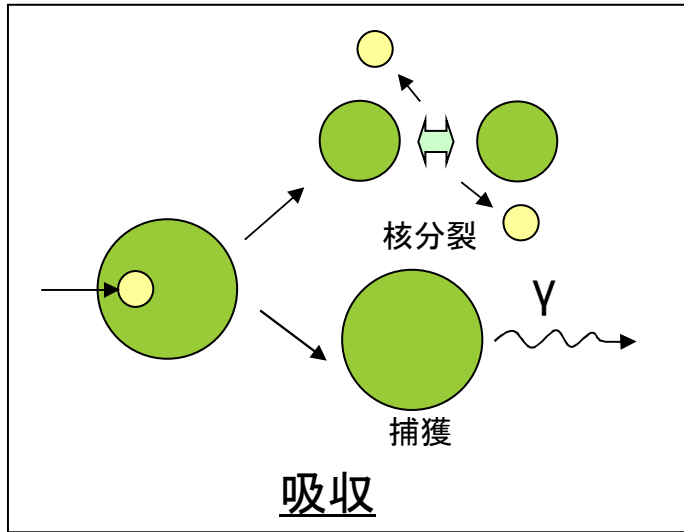
Fulcrumの画面

2. SCALEシステムの臨界及び遮蔽 解析モジュールの処理内容

CSAS5の処理フロー(多群断面積を使用する場合)



中性子断面積

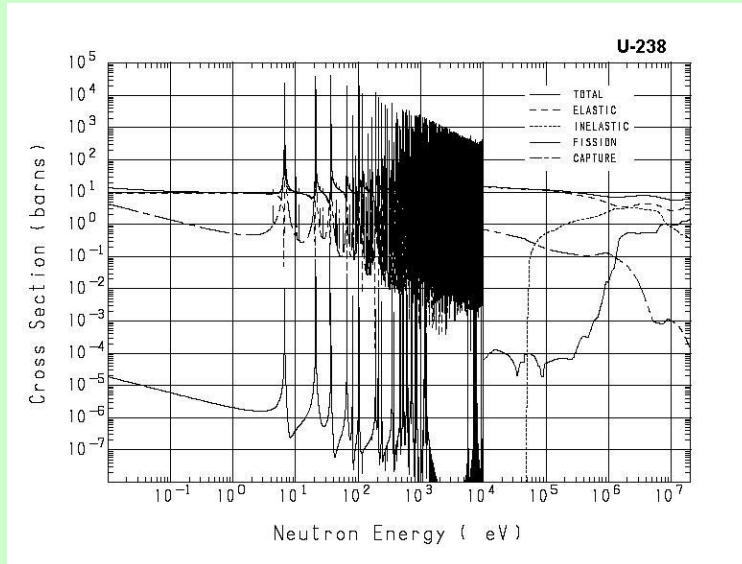


ウラン238の断面積

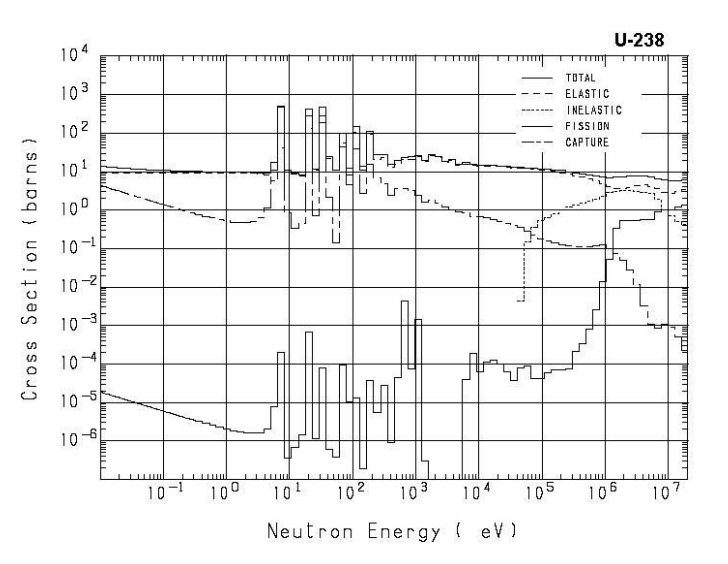
多群断面積と連続エネルギー断面積

連続エネルギー断面積(CE: Continuous Energy cross section)

多数の点で断面積のエネルギー依存性を表現した断面積



- 多群断面積(MG: Multi Group cross section)
- エネルギーを複数の区間(群)に区切って、その中で平均した断面積



実効断面積の計算 (MGの場合)

中性子断面積

中性子群定数ライブラリ

□ 中性子断面積の内容

- 中性子吸収、核分裂、散乱断面積
- 散乱マトリクス

□ 実効断面積の計算

＝ 共鳴の取り扱い (自己遮蔽効果)

- 均質媒質 (溶液など) と非均質 (燃料ピン配列) で異なる。
→ 非均質効果の補正

□ 巨視的断面積の計算

$$\Sigma(E) = \sum_i N_i \sigma_i(E)$$

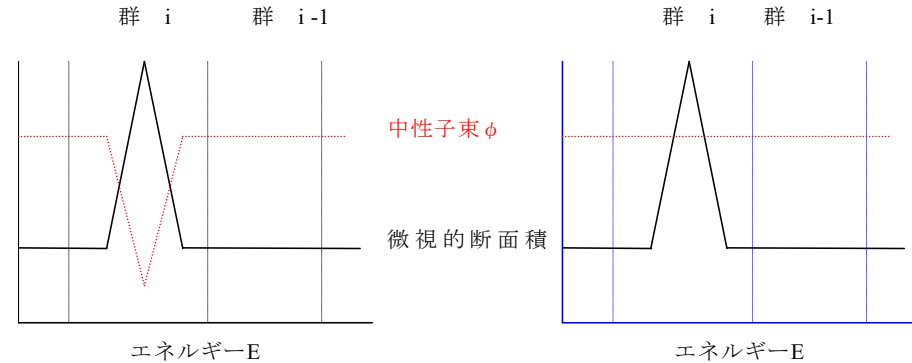
断面積処理コード (システム)

共鳴自己遮蔽効果

共鳴を持つ各種の中性子断面積を、中性子エネルギーを多群に分けて表す場合、共鳴のある群の断面積は、その各種の濃度（他の各種のその群における断面積＝バックグラウンド断面積）に依存する。

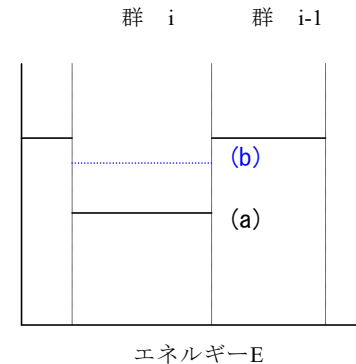
＝共鳴自己遮蔽効果

:計算コードによる補正が必要



(a) 共鳴核種の濃度が濃い場合

(b) 共鳴核種の濃度が薄い場合

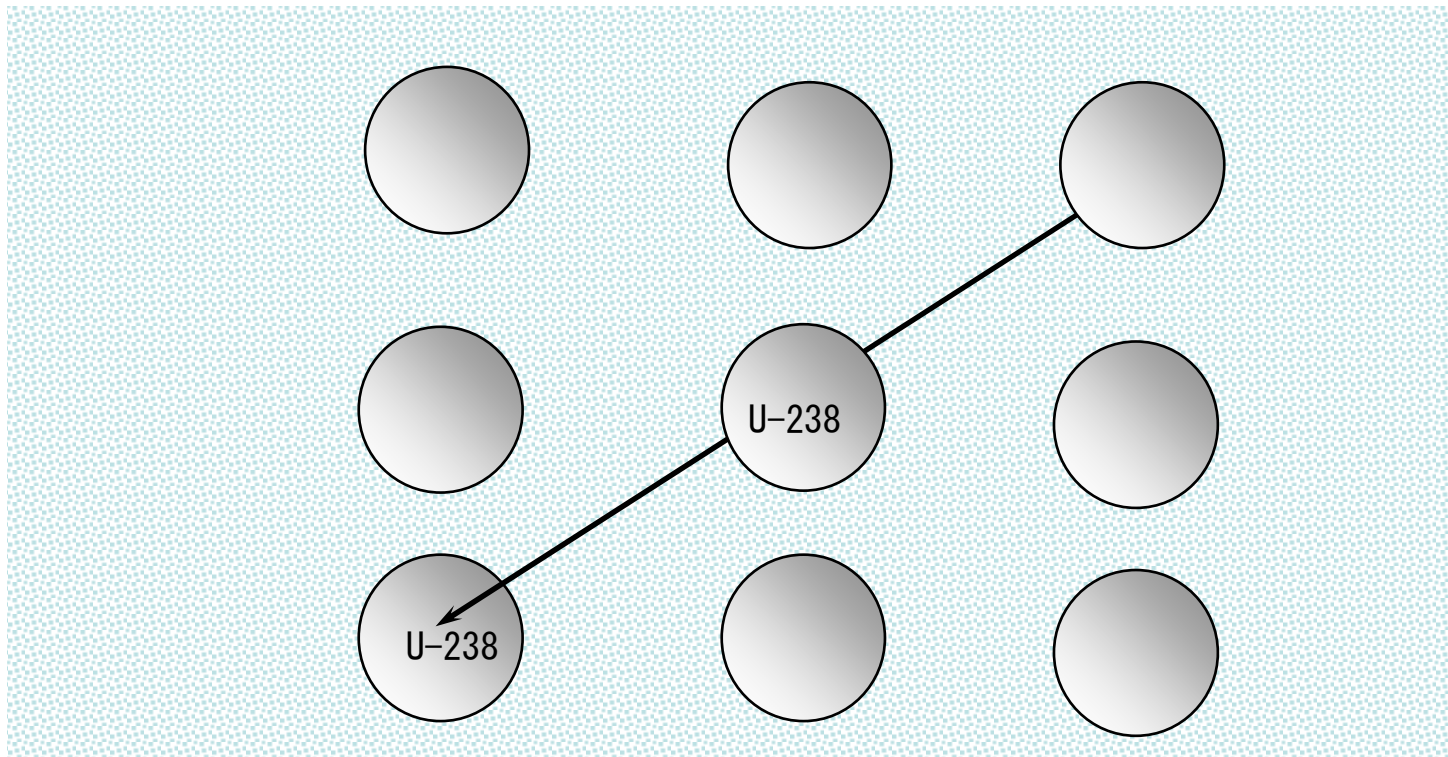


多群断面積

$$\int_g \sigma \cdot \phi dE / \int_g \phi dE$$

非均質効果

他の領域にある同一核種による自己遮蔽効果



SCALEの共鳴自己遮蔽効果の補正方法

ボンダレンコ法(BONAMI)

- バックグラウンド断面積と温度(ドップラー効果)毎に多群断面積を作成しておいて内挿
- NR近似:低エネルギーには精度が悪い。

ノードハイム法(NITAWL)

- 共鳴を表す式を用いて群内の断面積と中性子束を計算し、共鳴積分を計算
- 低エネルギーにも適用可

連続エネルギー計算(CENTRM)

- セル形状をモデル化して連続エネルギー断面積を用いて計算

3. SCALEシステムを用いた臨界安全解析

3. 1 CSAS5の入力データ

詳しくは、SCALE6.2マニュアルの次の節を参照

2.1 CSAS5: Control Module For Enhanced Criticality Safety Analysis Sequences
With KENO V.a

2.2 CSAS6: CONTROL MODULE FOR ENHANCED CRITICALITY SAFETY
ANALYSIS WITH KENO-VI

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

8.1 KENO: A MONTE CARLO CRITICALITY PROGRAM

10.1 SCALE CROSS SECTION LIBRARIES

入力データの作成方法

SCALEの入力形式

- 完全フリーフォーマット
- 1～80カラムを使用
- 文字と数字の混在可
- キーワード入力
- 1個以上のブランクによる区切り
- **=モジュール名**でモジュールを呼び出し

CSAS5の入力データ

制御モジュール名

=CSAS5

タイトル(80文字)

断面積ライブラリー名

➤ p.25及びSCALEマニュアルの
Table 10.1.4を参照

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 ^a
v7-252 ; v7-252n ; v7.1-252n	ENDF/B-VII.1 252-group neutron library	xn252v7.1 ^a
v7-56; v7-56n; v7.1-56n	ENDF/B-VII.1 56-group neutron library	xn56v7.1 ^a
test-8grp	TEST LIBRARY 8-group ENDF/B-VII.1 neutron library ^e	test8g_v7.1
v7.1-200n47g	ENDF/B-VII.1 200 neutron/47 gamma library	xn200g47v7.1 ^a
v7-200n47g ; v7.0-200n47g ; v7-200g47	ENDF/B-VII.0 200 neutron/47 gamma library	xn200g47v7.0 ^a
v7.1-28n19g	ENDF/B-VII.1 28 neutron/19 gamma library	xn28g19v7.1 ^a
v7-27n19g ; v7.0-27n19g	ENDF/B-VII.0 27 neutron/19 gamma library	xn27g19v7.0 ^a
ce_v7.1_endf ^b	ENDF/B-VII.1 Continuous-energy neutron and gamma library	--
ce_v7 ; ce_v7_endf ; ce_v7.0_endf ^b	ENDF/B-VII.0 Continuous-energy neutron and gamma library	--
ce_v7.1_endf.xml ^d	ENDF/B-VII.1 Continuous-energy neutron and gamma library	--
ce_v7.xml ; ce_v7_endf.xml ; ce_v7.0_endf.xml ^d	ENDF/B-VII.0 Continuous-energy neutron and gamma library	--
File name ^c	User-supplied library	file name

^a Format of the library names are "scale.revxx.lastfield" where "xx" is the revision number.

^b ASCII text file that contains location of continuous energy data files.

^c For continuous energy mode calculations in KENO, the library name must start with "CE_".

^d Contains the same information as ce_v7.x_endf in xml format for use in the CE_MONACO sequence.

^e 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.

CSAS5の入力データ

材質組成データ

READ COMP～END COMPで挟んだ、各材質のデータ（次ページ）。

セル非均質効果補正データ

READ CELL～END CELLで挟んだ格子形状のデータ(p.41-)。

共鳴自己遮蔽効果の非均質効果を補正する。

材質組成データ

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。

材質組成データ

	SC	物質（元素、核種、化合物、または素材）の SCALE標準組成名
	MX	物質が含まれる材質番号
	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
U, B等	IZA	同位体の原子番号および原子量 ($Z \times 1000 + A$)
同位体	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 UO_2 (U-235濃縮度5%) 理論密度比95%

材質3 B-10 1.3×10^{-5}

B-11 7.2×10^{-4}

C 3.0×10^{-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 1.3×10^{-5} 300 END

B-11 3 0 7.2×10^{-4} 300 END

C 3 0 3.0×10^{-3} 300 END

END COMP

セル非均質効果補正データ

次の形式で、自己遮蔽効果の非均質効果を補正するための格子形状を必要なだけ与える。(溶液など、均質な場合は省略可)

READ CELL

(計算タイプ 格子セル形状) セル 1

(計算タイプ 格子セル形状) セル 2

(計算タイプ 格子セル形状) セル 3

(計算タイプ 格子セル形状) セル 4

:

END CELL

セル非均質効果補正データ

計算タイプ

INFHOMMEDIUM

無限均質媒質（溶液など）

LATTICECELL

格子体系（燃料棒配列）

MULTIREGION

LATTICECELLより一般的な一次元形状

DOUBLEHET

ペブルベッド型燃料の二重非均質構造

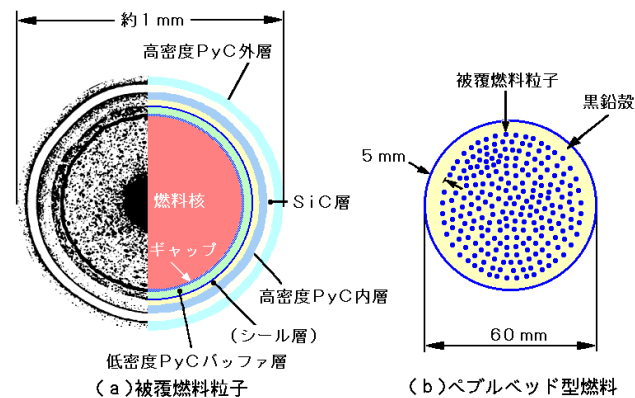


図2-1 高温ガス炉の燃料の構造—被覆燃料粒子とペブルベッド型燃料

【出典】L. Massimo: Physics of High Temperature Reactors, Pergamon Press (1976).
p.2(被覆燃料粒子), p.5(ペブルベッド型燃料)

原子力百科事典 ATOMICAより

セル非均質効果補正データ

格子セル形状入力(1)

CTP

SQUAREPTCH

TRIANGPITCH

SPHSQUAREP

SPHTRIANGP

SYMMSLABCELL

ASQUAREPITCH

ATRIANGPITCH

ASPHSQUAREP

ASPHTRIANGP

ASYMSLABCELL

格子形状

円筒状燃料棒正方格子

円筒状燃料棒三角格子

球状燃料棒正方格子

球状燃料棒三角格子

対称平板格子

中空円筒状燃料棒正方格子

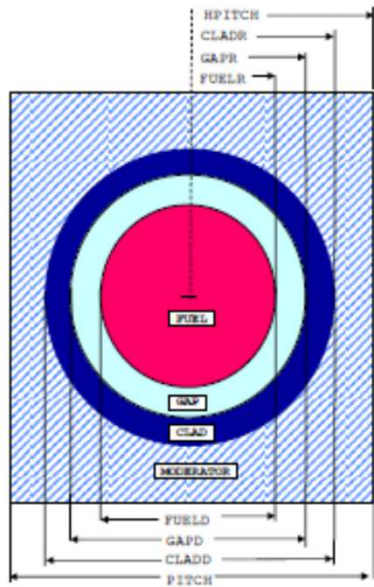
中空円筒状燃料棒三角格子

中空球状燃料棒正方格子

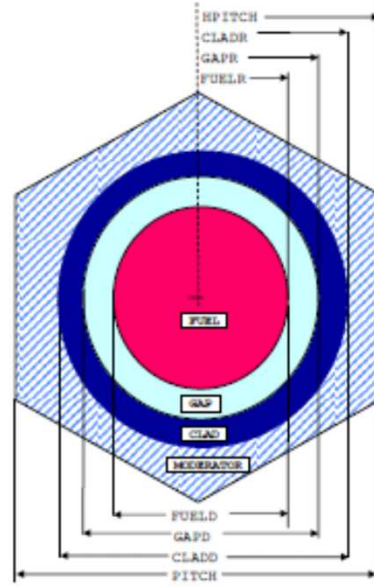
中空球状燃料棒三角格子

非対称平板格子

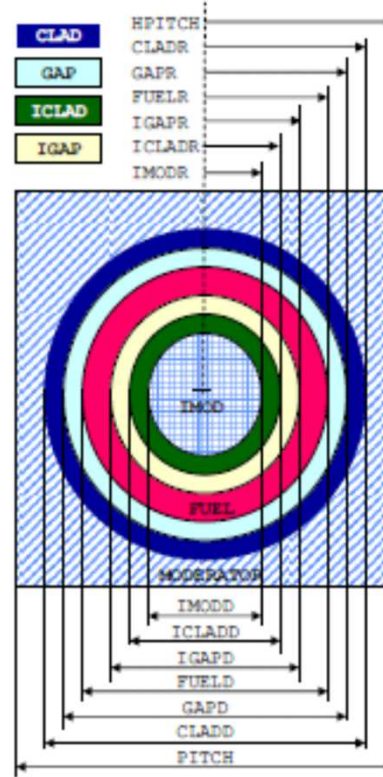
格子セル形状(円筒・球)



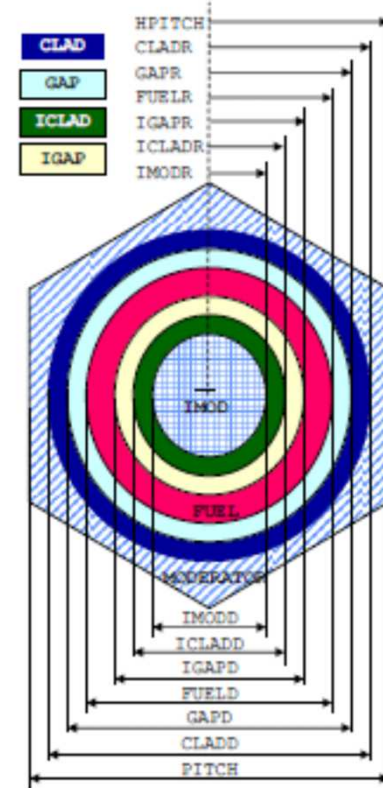
SQUAREPITCH
SPHSQUAREP



TRIANGPITCH
SPHTRIANGP

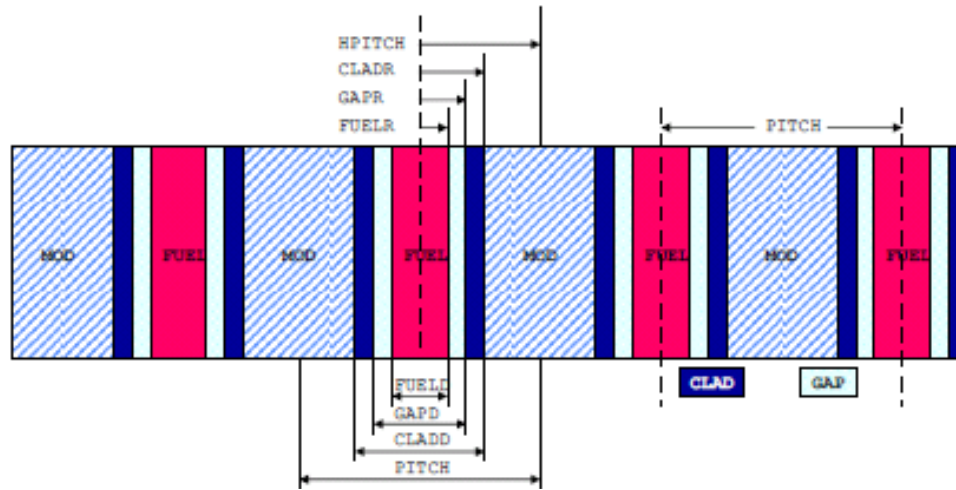


ASQUAREPITCH
ASPHSQUAREP

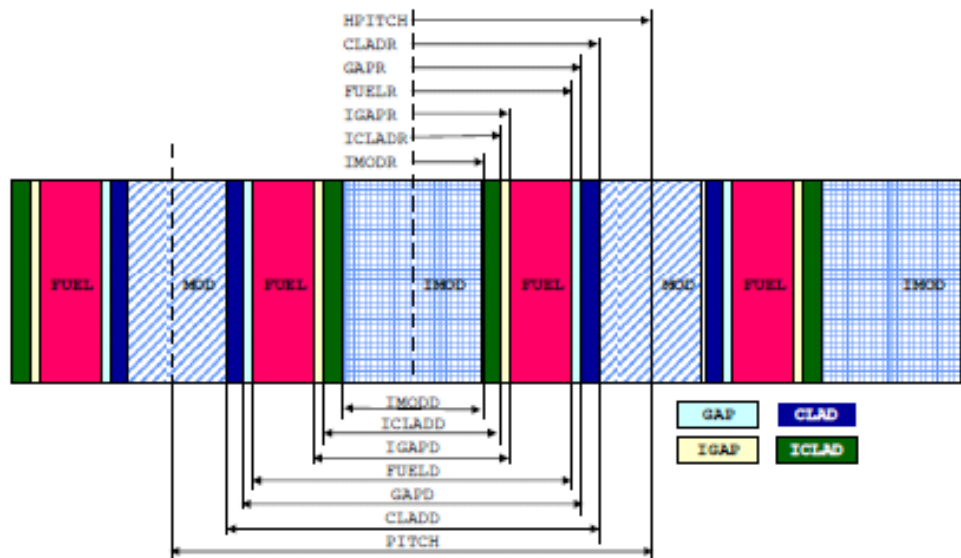


ATRIANGPITCH
ASPHTRIANGP

格子セル形状(平板)



SYMSLABCELL



ASYMSLABCELL

セル非均質効果補正データ

格子セル形状入力(2)

(変数名) = (寸法) (材質番号) の組み合わせで、燃料棒各部の外径と材質番号(材質組成データのMX)を入力する。

変数名	第1入力(寸法)	第2入力(材質番号)
FUELD=	燃料外径 (cm)	燃料の材質番号
GAPD=	被覆材の内径(cm)	燃料－被覆材間の材質
CLADD=	被覆材の外径(cm)	被覆材の材質
PITCH =	配列ピッチ(cm)	減速材(被覆材の外側)の材質番号

IMODD=	内側減速材の直径(cm)	内側減速材の材質番号
IGAPD=	燃料の内径(cm)	燃料－内側被覆材間の材質番号
ICLADD=	内側被覆材の外径(cm)	内側被覆材の材質番号

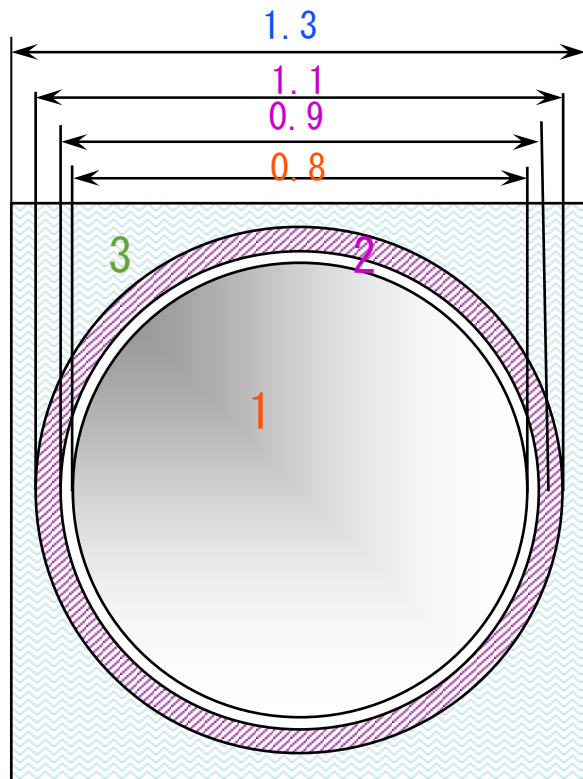
中空・非対称格子(Aで始まる格子)の場合のみ

END セル形状入力の終わり

注)上記の寸法は、直径(FUELD=)の代わりに、例えば FUELR= として半径で入力もできる。

セル非均質効果補正データ

格子セル形状の入力例



```

READ CELL
LATTICECELL
  SQUAREPTCH
    PITCH=1.3 3
    FUELD=0.8 1
    CLADD=1.1 2
    GAPD=0.9 0
  END
END CELL
  
```



```

READ CELL
LATTICECELL
  SQUAREPTCH
    HPITCH=0.65 3
    FUELR=0.4 1
    CLADR=0.55 2
    GAPR=0.45 0
  END
END CELL
  
```


KENO-V.aの入力データ

コントロールパラメータ	PARA or PARM
形状データ	GEOM
バイアス	BIAS
境界条件	BOUN or BNDS
初期中性子束分布	STAR or STRT
Arrayデータ	ARRA
1次元断面積	X1DS
断面積ミキシング	MIXT or MIX
体系図の図示	PLOT, PLT or PICT

KENO-V.aの入力形式

READ XXXX

入力データ

END XXXX

READ XXXX から END XXXXは

- ・ 複数行に渡っても良い。
- ・ 1行でも良い。
- ・ データ間は1つ以上のブランク

コントロールパラメータ

READ PARA

TME = 計算打ち切り時間：分 (0=無限)

GEN = 計算世代数 (203)

NPG = 世代当たりのヒストリー数 (1000)

NSK = 初期スキップ世代数 (3)

RES = リスタートデータを出力する世代間隔

BEG = 開始世代番号

RUN = NO : 入力データチェックのみ

FLX = YES: 中性子スペクトル出力

FDN = YES: 核分裂密度出力

FAR = YES: 領域毎核分裂・吸収率出力

PLT = YES: 体系図プロット (他、多数)

END PARA

KENO-V.aの形状入力

UNIT

- 互いに含まれる図形

ARRAY

- UNITの配列

ARRAY in ARRAY

- ARRAYの配列

HOLE

- 包含関係に無い図形

図形の種類

直方体

CUBOID $mat\ imp\ +x\ -x\ +y\ -y\ +z\ -z$

立方体

CUBE $mat\ imp\ +x\ -x$

球

SPHERE $mat\ imp\ r\ (ORIG\ x\ y\ z)$

Z円筒

CYLINDER $mat\ imp\ r\ +z\ -z\ (ORIG\ x\ y)$

Y円筒

YCYLINDER $mat\ imp\ r\ +y\ -y\ (ORIG\ x\ z)$

X円筒

XCYLINDER $mat\ imp\ r\ +x\ -x\ (ORIG\ y\ z)$

半球

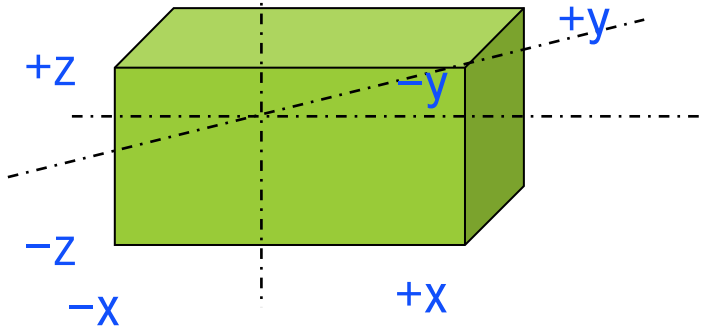
HEMISPHERE $mat\ imp\ r\ (ORIG\ x\ y)\ CHORD\ \rho$

半円筒

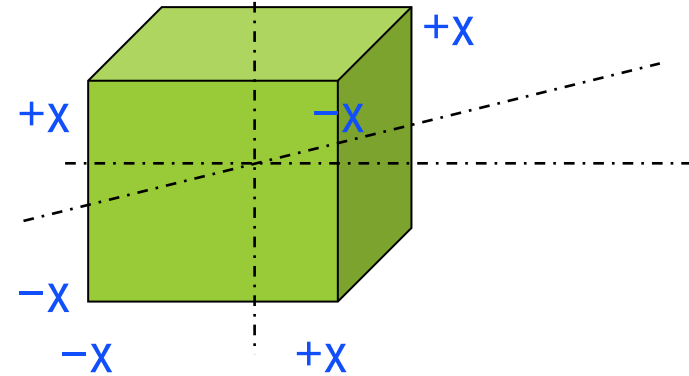
ZHEMICYCL+X $mat\ imp\ r\ +l\ -l\ (ORIG\ x\ y)\ CHORD\ \rho$

図形の座標指定

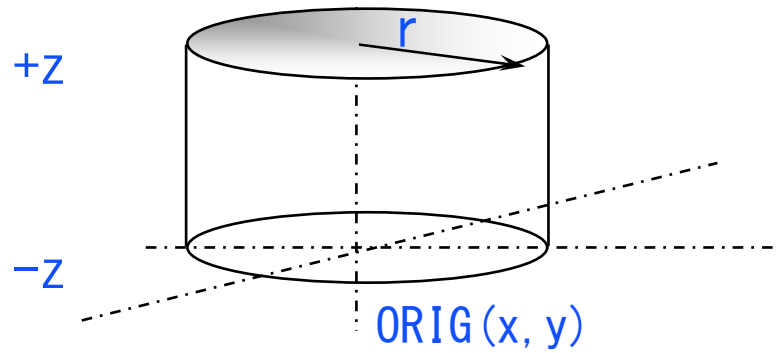
CUBOID



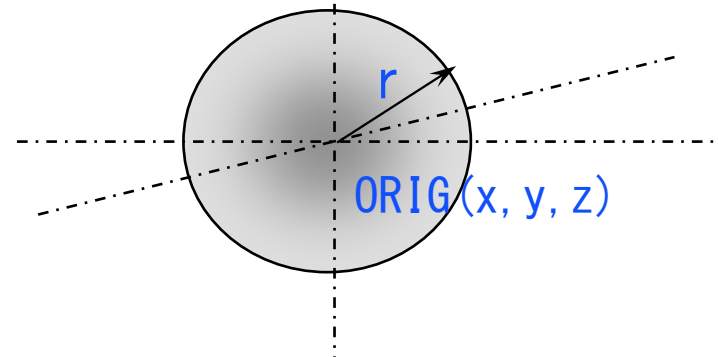
CUBE



CYLINDER



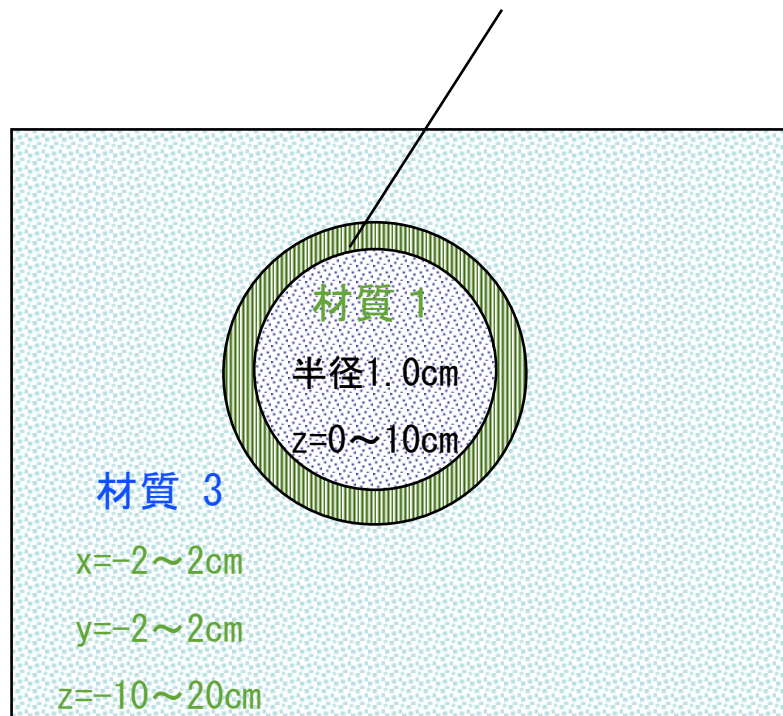
SPHERE



UNITの指定方法

内側の図形から順に入力

材質 2



CYLINDER 1 1 1.0 10.0 0

CYLINDER 2 1 1.1 11.0 0

CUBOID 3 1 2.0 -2.0 2.0
-2.0 20.0 -10.0

ARRAYの定義方法

READ ARRA

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 ARRA

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)

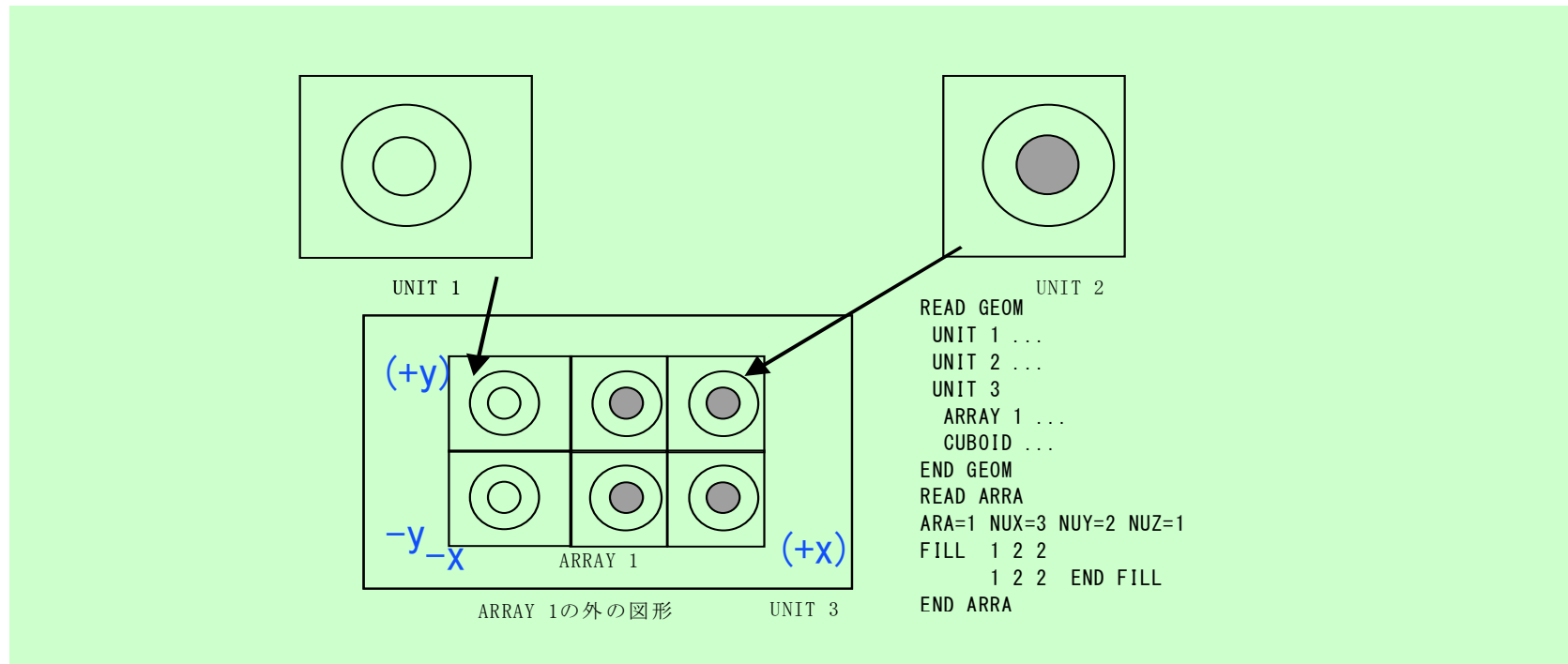
Fa : 残り全ての入力を*a*とする。

mRn : *n*を*m*回繰り返す。

mQn : 直前の *n* 個の入力を*m*回繰り返す。

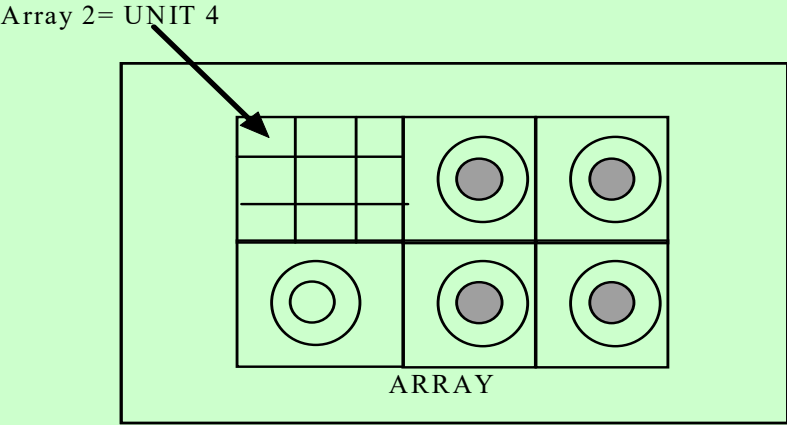
ARRAYの指定方法

ARRAY 配列番号 $-x$ $-y$ $-z$



ARRAY in ARRAY

ARRAYの指定されたUNITを他のARRAYの要素とする。



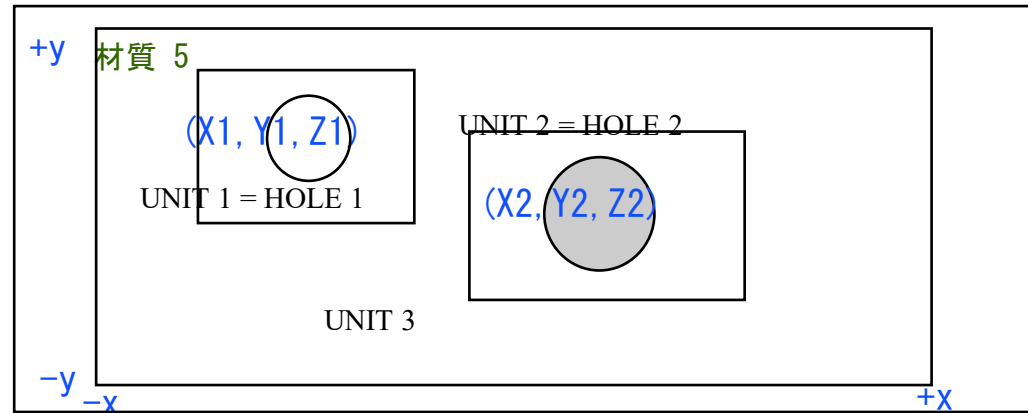
Array 2= UNIT 4

```
READ GEOM
UNIT 1 ...
UNIT 2 ...
UNIT 3
ARRAY 1 ...
CUBOID ...
UNIT 4
ARRAY 2 ...
END GEOM
READ ARRA
ARA=1 NUX=3 NUY=2 NUZ=1

FILL 1 2 2
      4 2 2 END FILL
ARA=2 *
END ARRA
```

HOLEの指定方法

HOLE ユニット番号 x y z



UNIT 3

CUBOID 5 1 -x +x -y +y -z +z

HOLE 1 X1 Y1 Z1

HOLE 2 X2 Y2 Z2

CUBOID ...

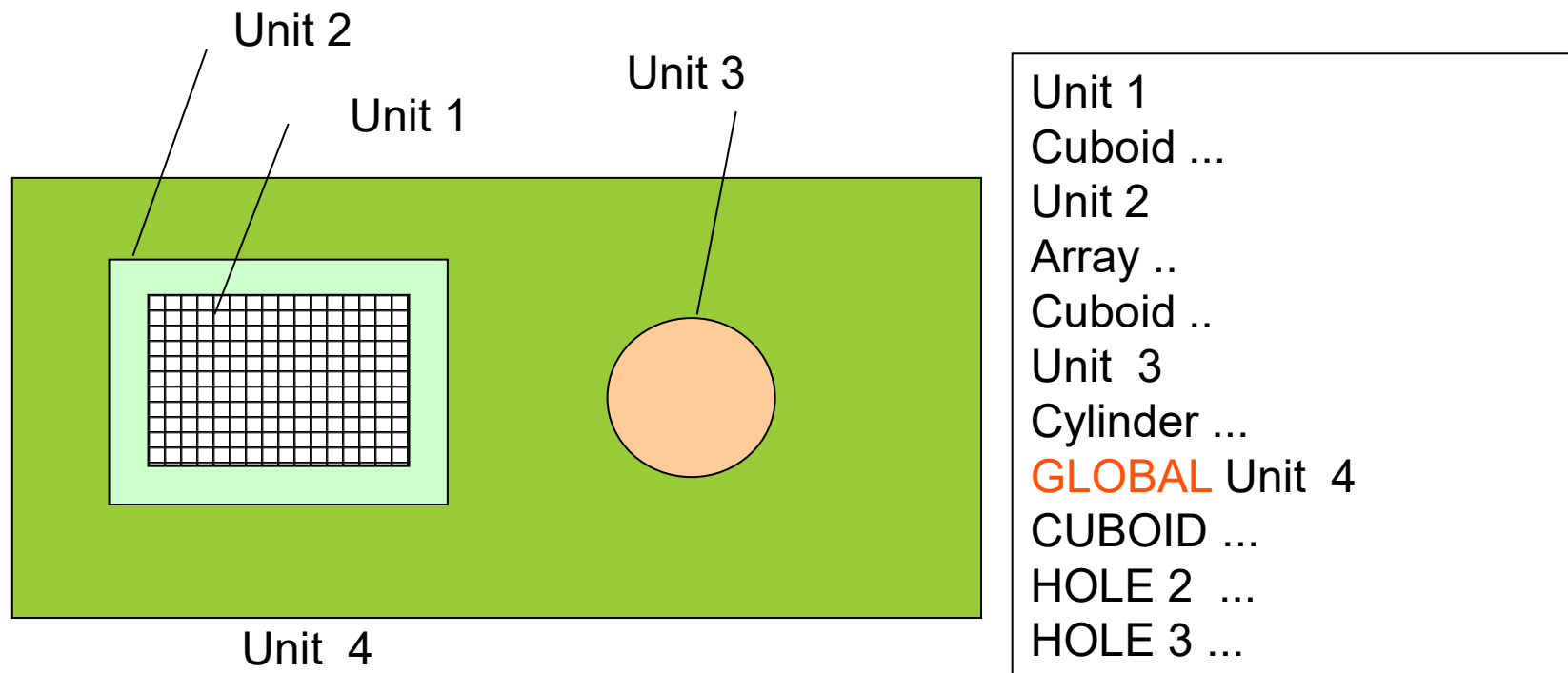
← 穴を空けられる図形

← 穴を空けられる図形の外側の図形

GLOBAL UNIT

ARRAYやHOLEを使用した場合、最も外側のユニットはGLOBAL UNITとして指定する。

例:



境界条件の入力

```
READ BOUN  
+XB=data -XB=data +YB=data  
-YB=data +ZB=data -ZB=data  
END BOUN
```

または、±面が同じ境界条件のとき、

```
READ BOUN  
XFC=data YFC=data ZFC=data  
END BOUN
```

または、全てが同じ境界条件のとき、

```
READ BOUN ALL=data END BOUN
```

dataは以下のいずれか。

VACUUM 真空境界

MIRROR 鏡面反射境界

PERIODIC 周期境界

プロットデータ

READ PLOT

- TTL=** プロットタイトル(132文字以内)。TTL="タイトル"の形で入力する。"(delimiter)は他の文字でも良い(たとえば、'、@など)
- XUL=** プロット図の上・左隅のX座標
- YUL=** プロット図の上・左隅のY座標
- ZUL=** プロット図の上・左隅のZ座標
- XLR=** プロット図の下・右隅のX座標
- YLR=** プロット図の下・右隅のY座標
- ZLR=** プロット図の下・右隅のZ座標
- UAX=** プロット図の横方向を表すベクトルのX成分
- VAX=** プロット図の横方向を表すベクトルのY成分
- WAX=** プロット図の横方向を表すベクトルのZ成分
- UDN=** プロット図の縦方向を表すベクトルのX成分
- VDN=** プロット図の縦方向を表すベクトルのY成分
- WDN=** プロット図の縦方向を表すベクトルのZ成分
- NAX=** 横方向のプロット点数

END PLOT

プロットデータの例

READ PLOT

TTL=' X-Y PLANE AT Z=0.0'

XUL=-37.0 YUL=37.0 ZUL=0.0

XLR=37.0 YLR=-37.0 ZLR=0.0

UAX=1.0 VDN=-1.0 NAX=130 END

TTL=' X-Z PLANE AT Y=0.0'

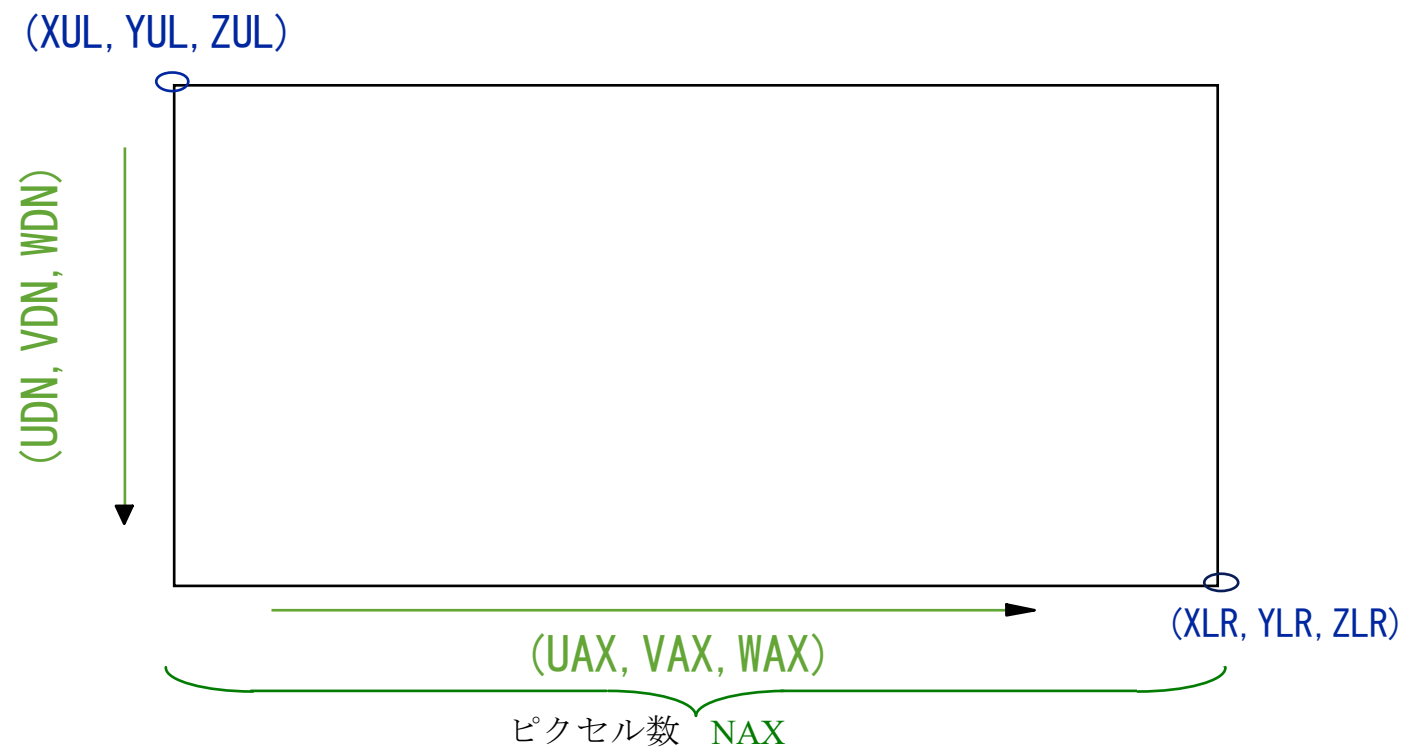
XUL=-37.0 ZUL=400 YUL=0.0

XLR=37.0 ZLR=-10 YLR=0.0

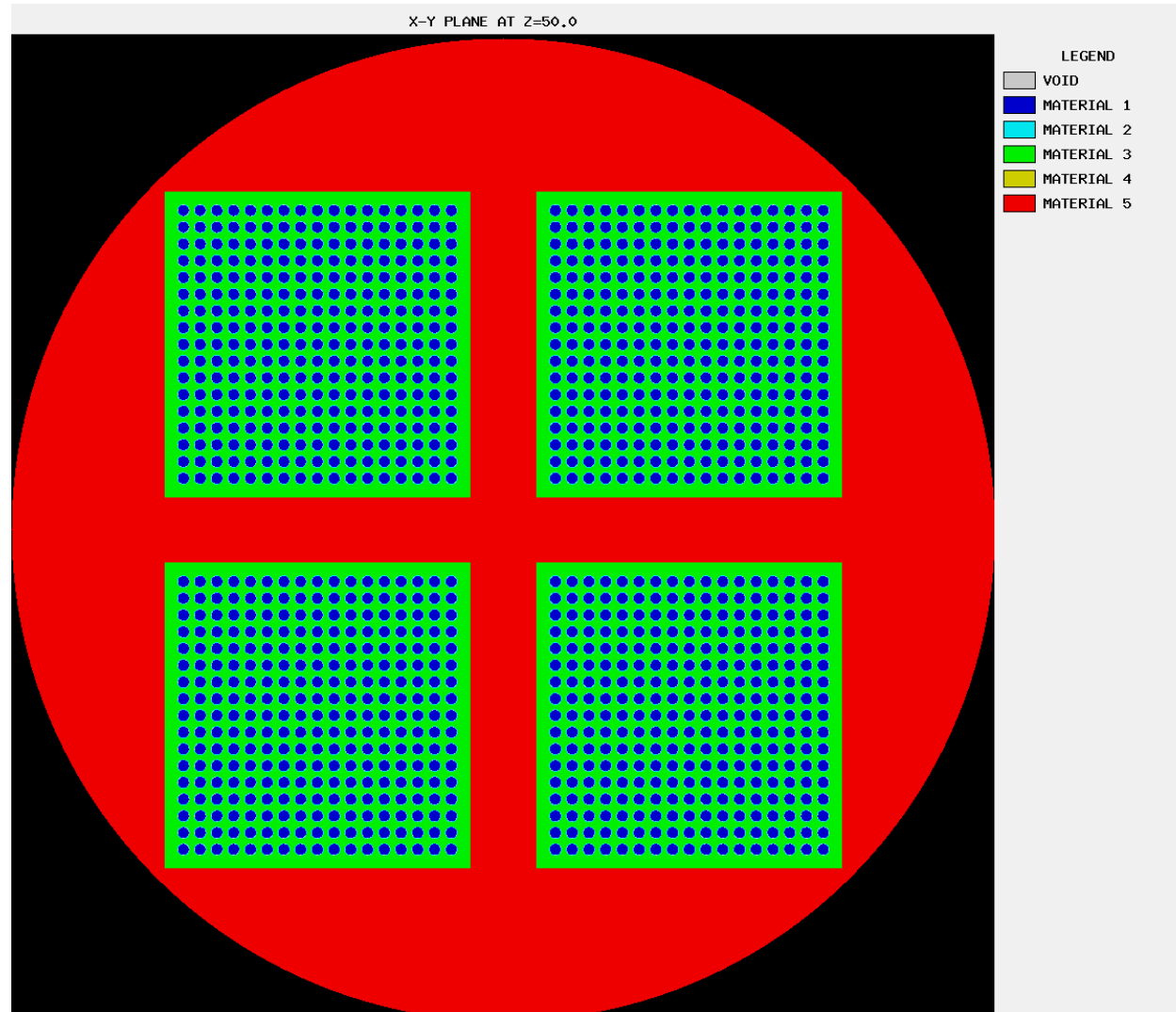
UAX=1.0 WDN=-1.0 NAX=130 END

END PLOT

プロットの座標系



プロット図の例



3. SCALEシステムを用いた臨界安全解析

3. 2 KENO-VIコード

KENO-VIコードのKENO-V.aとの相違

扱える図形を拡張 → *Combinatorial Geometry(CG)*に似た表現

□ 円錐台、正12面体、楕円柱、楕円球、六角柱、ホッパー(四角漏斗)、平行六面体、くさび形

一般多項式表現も採用 → *MCNP*の形状モデルに似た表現

六角配列も使用可能

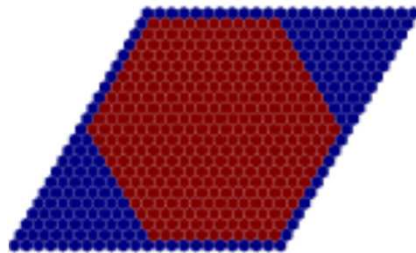


Fig. 1 Hexagonal array.

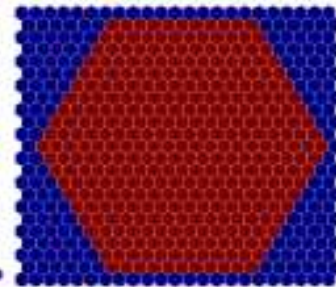


Fig. 2 New Standard hexagonal array.

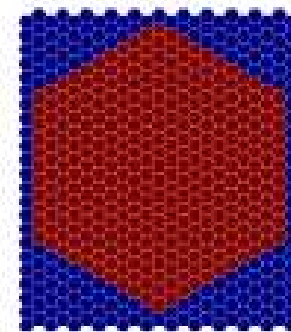
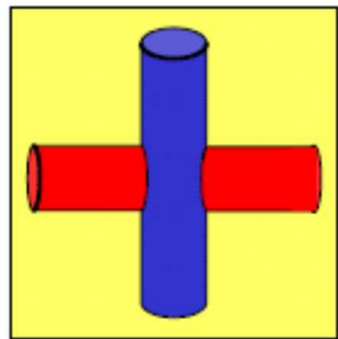


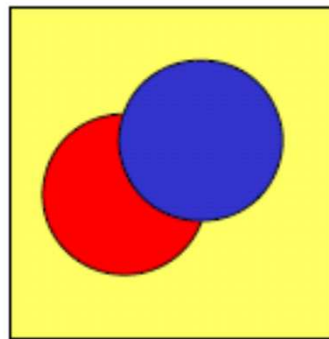
Fig. 3 New Rotated hexagonal array.

KENO-VIコードのKENO-V.aとの相違

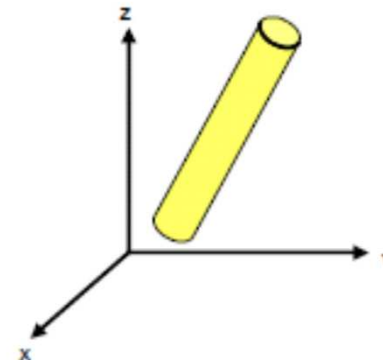
KENO-V.aで扱えないが、KENO-VIでは扱える形状



INTERSECTION REGIONS



INTERSECTION REGIONS



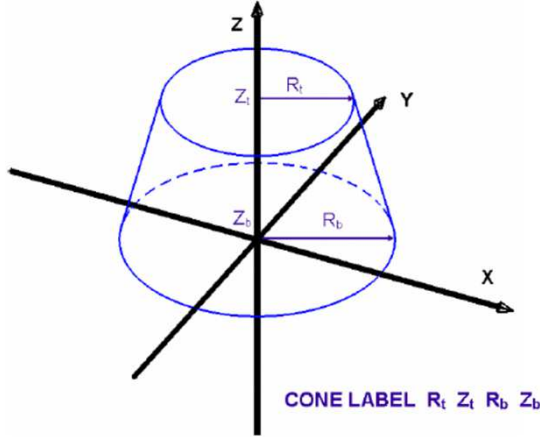
ROTATED REGION

図形の交差

図形の任意回転

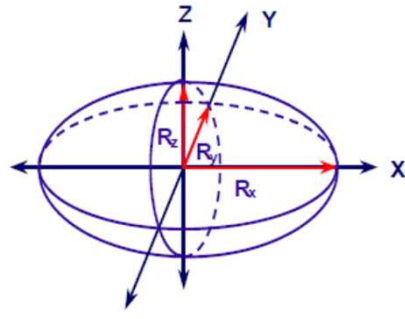
KENO-VIの図形(1)

円錐台: CONE



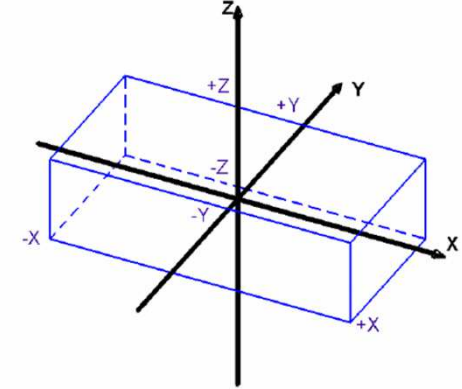
CONE LABEL R_t Z_t R_b Z_b

楕円球: ELLIPSOID



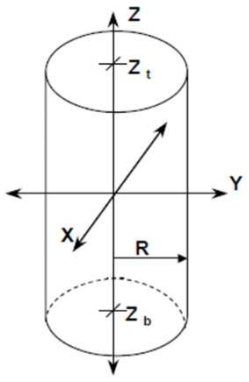
ELLIPSOID LABEL R_x R_y R_z

直方体: CUBOID



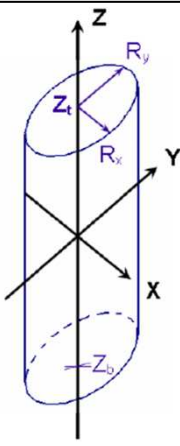
CUBOID LABEL +X -X +Y -Y +Z -Z

円筒: CYLINDER



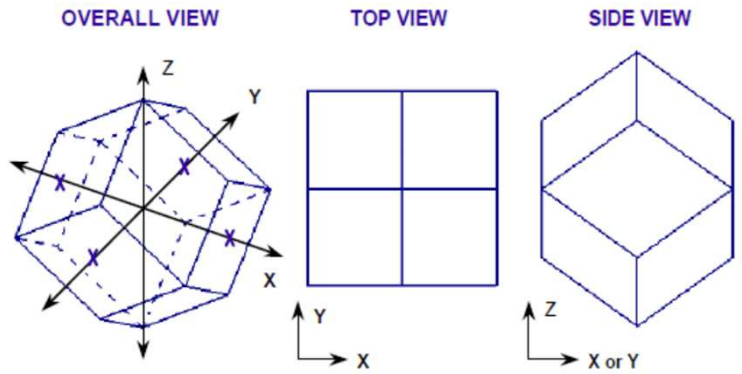
CYLINDER LBL R Z_t Z_b

楕円柱: ECYLINDER



ECYLINDER LBL R_x R_y Z_t Z_b

正12面体: DODECAHEDRON



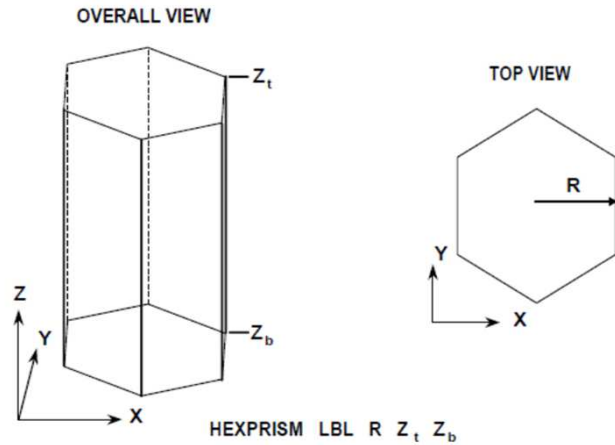
DODECAHEDRON LABEL R

(R は内接円の半径)

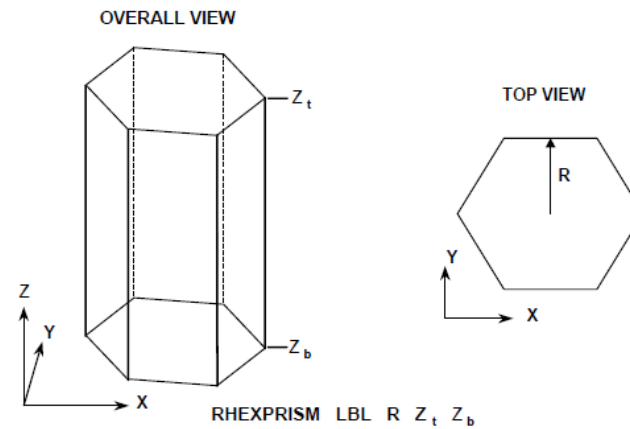
LABEL,LBLは任意の番号

KENO-VIの図形(2)

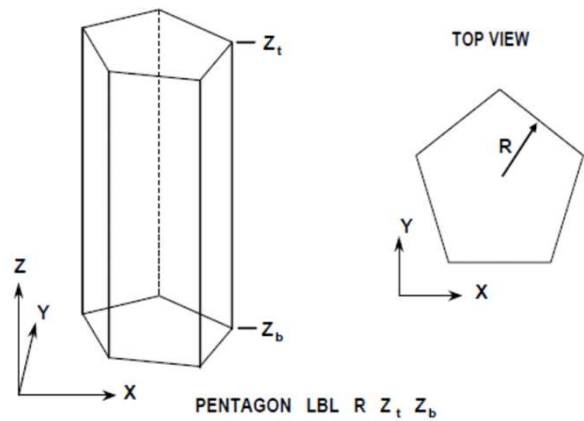
六角柱:HEXPRISM



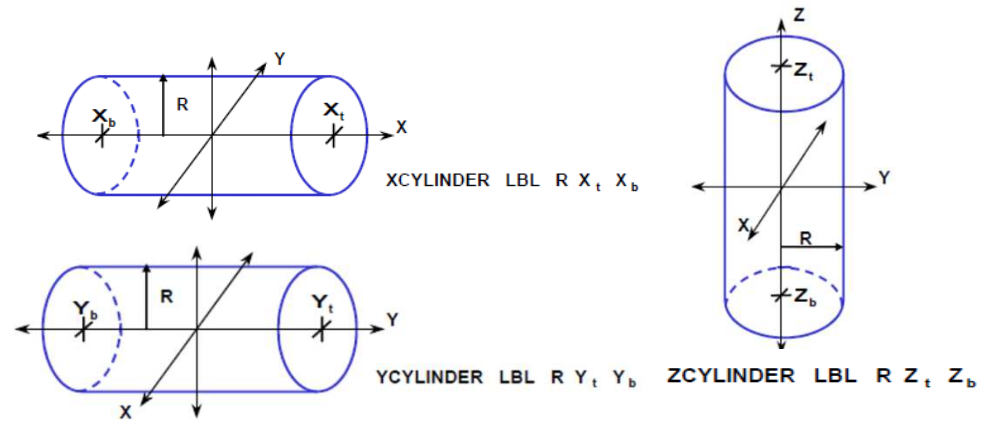
回転六角柱:RHEXPRISM



五角柱:PENTAGON



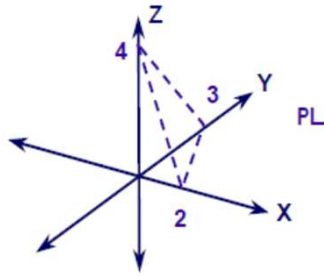
X,Y,Z軸並行円柱:X,Y,ZCYLINDER



LABEL,LBLは任意の番号

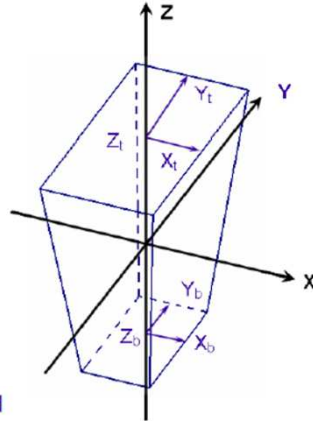
KENO-VIの図形(3)

面: PLANE



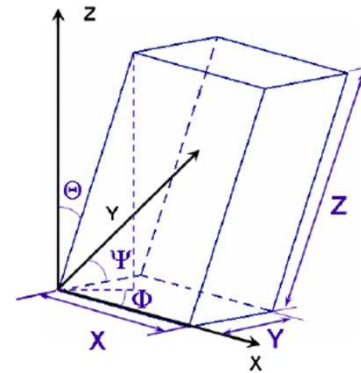
PLANE Label XPL=a YPL=b ZPL=c CON=d
 $aX + bY + cZ + d = 0$
 $6X + 4Y + 3Z - 12 = 0$

ホッパー: HOPPER



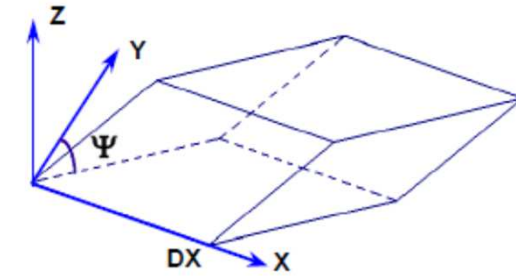
R LBL Xt Yt Zt Xb Yb Zb

平行六面体: RHEXPRISM



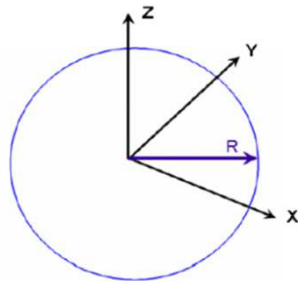
PPIPED LBL X Y Z Psi Theta Phi
 PARALLELEPIPED LBL X Y Z Psi Theta Phi

ひし形六面体: RHOMBOID



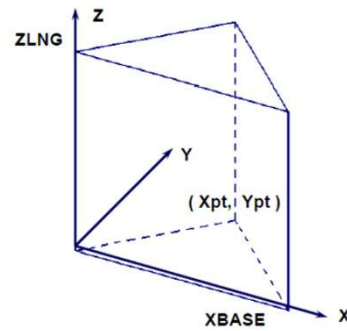
RHOMBOID Label DX Psi

球: SPHERE



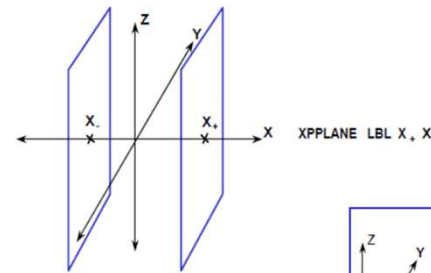
SPHERE LBL R

くさび型: WEDGE

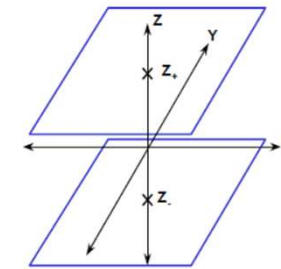


WEDGE LABEL XBASE Xpt Ypt ZLNG

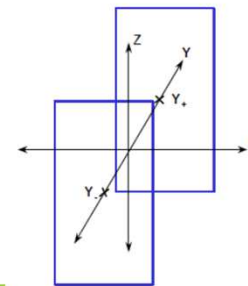
X,Y,Z面: X,Y,ZPPLANE



XPPLANE LBL X, X.



ZPPLANE LBL Z, Z.



YPPLANE LBL Y, Y.

LABEL,LBLは任意の番号

KENO-VIの図形(4)

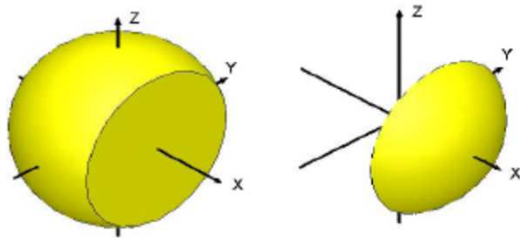
一般多項式: QUADRATIC

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

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

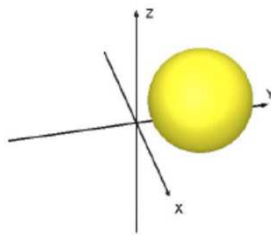
図形のオプション指定パラメータ

球・円筒の弦: CHORD



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

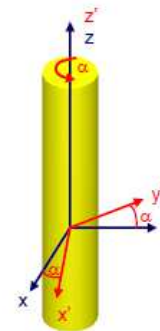
原点: ORIGIN



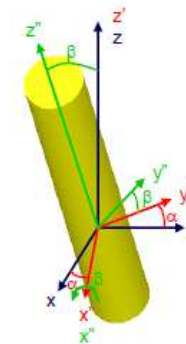
SPHERE LABEL R ORIGIN X=xx Y=yy Z=zz

回転: ROTATE

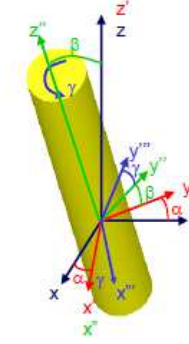
CYLINDER Label R Zt Zb ROTATE A1= α A2= β A3= γ



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

KENO-VI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)

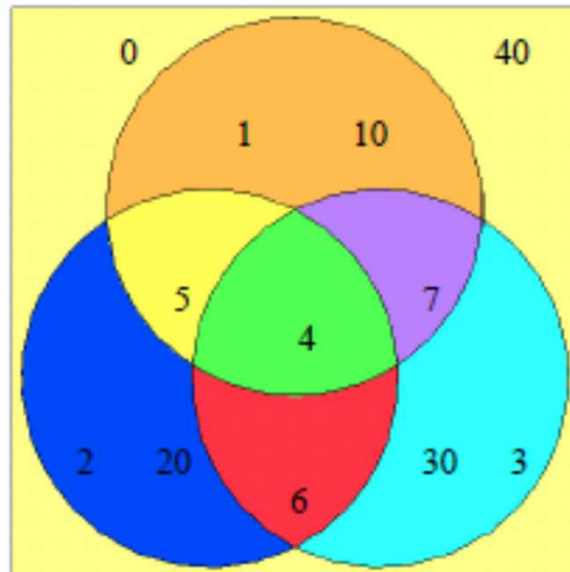
+LABELはその図形の内側、-LABELは外側

BOUNDARYデータ

一番外側の図形のLABELを与える。

BOUNDARY LABEL

KENO-VI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

KENO-VI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 991000
 (問題2の集合体の場合)

KENO-VIのHOLE

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UNITの原点の位置

▪ x,y,zの値が0の場合は入力省略可

3. SCALEシステムを用いた臨界安全解析

3.4 計算機による解析実習

SCALE6.2.3の実行方法

問題1 PWR無限燃料ピン配列の最適ピッチサーチ

問題2 17x17燃料集合体(30cm水反射体付:Arrayの練習)

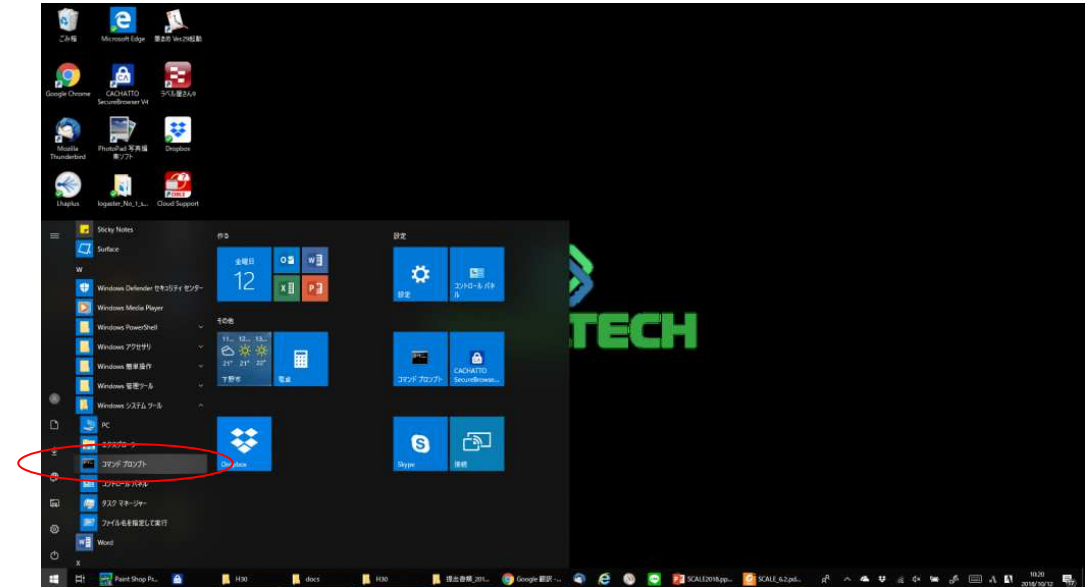
問題3 燃料集合体バスケット(HOLEの練習)

問題4 燃料集合体バスケット (KENO-VIを使用)

SCALE6.2.3の実行方法 (1)

(Windows 10からコマンドラインで実行する場合)

- 「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。

```
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\yosamu>path
PATH=C:\Program Files (x86)\Common-Files\Oracle\Java\javapath;C:\WINDOWS\system32;C:\WINDOWS;C:\WINDOWS\System32\Wbem;C:\WINDOWS\System32\WindowsPowerShell\v1.0\;C:\WINDOWS\System32\OpenSSH\;C:\Windows\bin;C:\Windows\System32\WindowsPowerShell\v1.0\;C:\Users\yosamu\AppData\Local\Microsoft\WindowsApps;C:\Yehits\bin;C:\LAN\VMONFG\bin;
C:\Users\yosamu>
```

SCALE6.2.3の実行方法（1） （Windows 10からコマンドラインで実行する場合）

コマンドプロンプト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。

[C:¥scale-6.2.3¥bin¥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。

```
C:¥scale-6.2.3¥bin¥scalerte -m xxxxxxxx.input または C:¥scale-6.2.3¥bin¥scalerte -m xxxxxxxx.inp
```

```
C:¥scale-6.2.3¥bin¥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。

```
C:¥scale-6.2.3¥bin¥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) xxxxxxxx.html (Webページ)
```

下線部はSCALE6.2.3をインストールしたフォルダです。この下のbinまでを環境変数PATHに加えておけば省略可能です。

SCALE6.2.3の実行方法 (1)

(Windows 10からコマンドラインで実行する場合)

(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_rev93.sclib
>>> Loading CE Library C:/scale-6.2.3/data/ce_v7_0_endf.xml
Now executing kenova

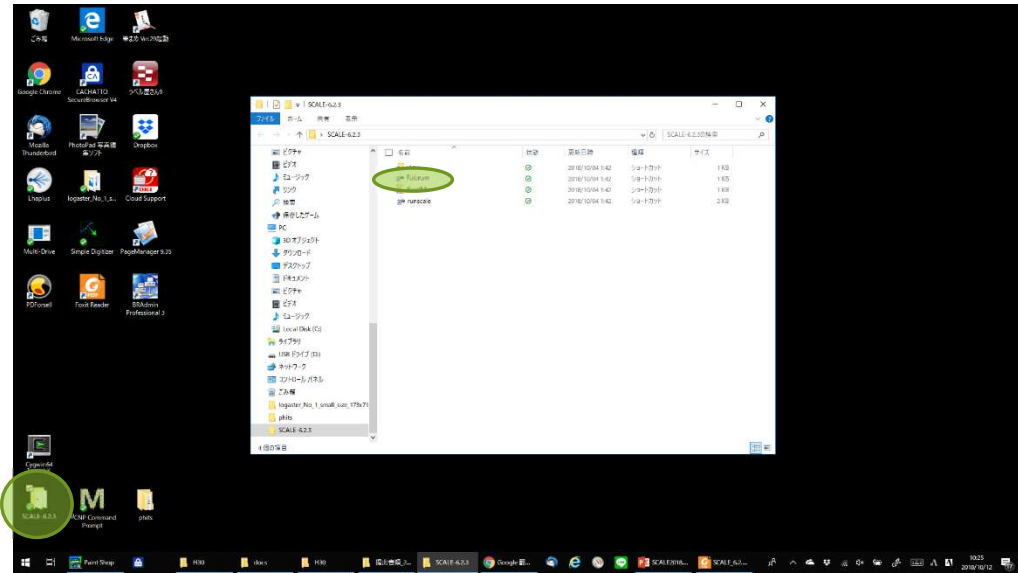
5wt%235 infinite pincell
generation      average      avg k-eff      generation      elapsed time
generation      k-effective  k-effective    deviation      entropy        minutes
1      1.26907E+00  1.00000E+00  0.00000E+00  6.50689E+00  1.46667E-02
2      1.24428E+00  1.00000E+00  0.00000E+00  6.42129E+00  1.71667E-02
3      1.26389E+00  1.26389E+00  0.00000E+00  6.47705E+00  1.93333E-02
4      1.25296E+00  1.25842E+00  5.47105E-03  6.46237E+00  2.21667E-02
5      1.27521E+00  1.26402E+00  6.42558E-03  6.46689E+00  2.40000E-02
6      1.27697E+00  1.26726E+00  5.57896E-03  6.46838E+00  2.68333E-02
7      1.24981E+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  4.30004E-03  6.45394E+00  3.48333E-02
10     1.27471E+00  1.26220E+00  4.52461E-03  6.45653E+00  3.68667E-02
11     1.26216E+00  1.26220E+00  3.99033E-03  6.44489E+00  3.83333E-02
12     1.24231E+00  1.26021E+00  4.08552E-03  6.47379E+00  4.11667E-02
13     1.25502E+00  1.25974E+00  3.72651E-03  6.47629E+00  4.31667E-02
14     1.26423E+00  1.25933E+00  6.93933E-03  6.47633E+00  4.53333E-02
15     1.24071E+00  1.25268E+00  6.32054E-03  6.47633E+00  4.80000E-02

5wt%235 infinite pincell
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  1.25632E+00  1.11984E-02  6.44479E+00  5.21667E-02
```

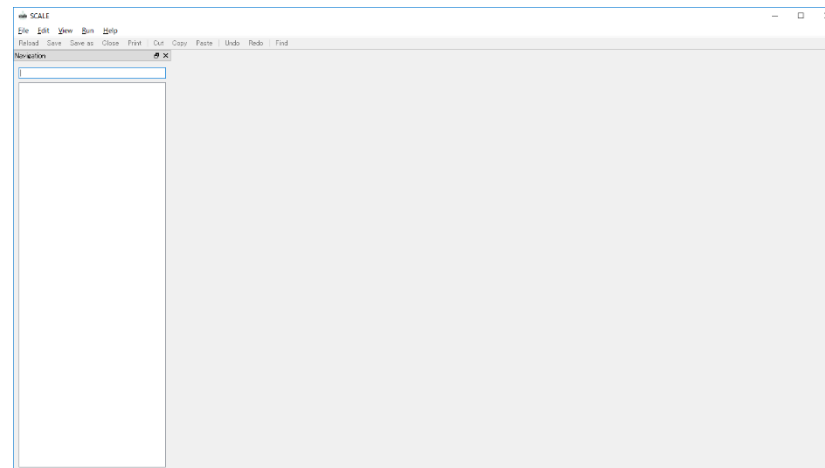

SCALE6.2.3の実行方法 (2)

(GUIのFulcrumを用いる場合)

- デスクトップのSCALE6.2.3のフォルダへのショートカットを開き、“Fulcrum”をダブルクリックします。



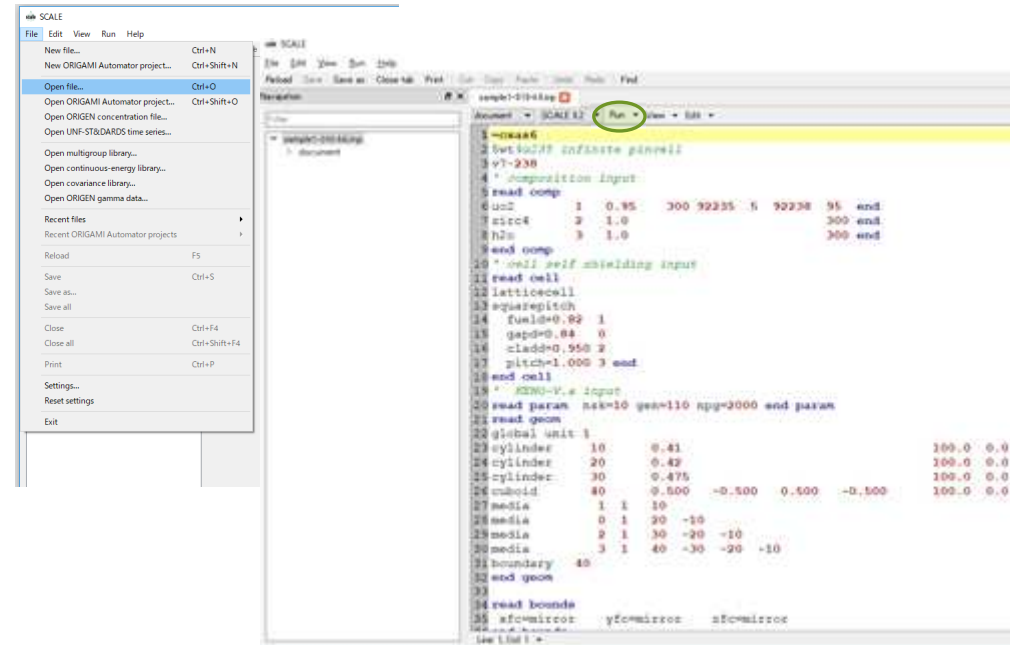
- 右記のWindowが開きます。



SCALE6.2.3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/RIS-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-7R2C88J 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/RIS-SCALE/H30/scale-6.2.1/Criticality/sample1-010-k6.inp *
*          Output file name : C:/Users/osamu/Documents/RIS-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
  
```

試算条件

全ケースとも下記の条件で計算してください。

□断面積 ENDF/B-VII.0 238群

□材質は次のSCALE標準組成を用いる。

UO₂ UO2

ジルカロイ ZIRC4

水 H2O

□モンテカルロ法計算パラメータ

NPG= 世代あたりヒストリー数 2, 000

GEN= 世代数 110

NSK= 初期スキップする世代数 10

問題1:ピンセル無限配列の実効増倍率計算

燃料ペレット UO_2

□直径 0.82cm

□U-235濃縮度 5wt%

□理論密度比 95%

□温度 300K

被覆材 ジルカロイ

□内径 0.84cm

□外径 0.95 cm

□温度 300K

減速材 水

□温度 300K

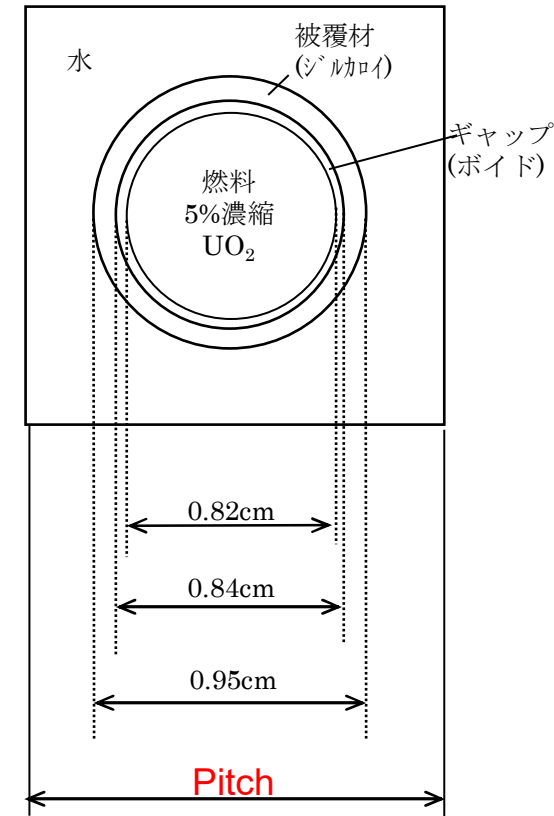
□密度 0.9982g/cm^3

(300K,常圧の水の密度)

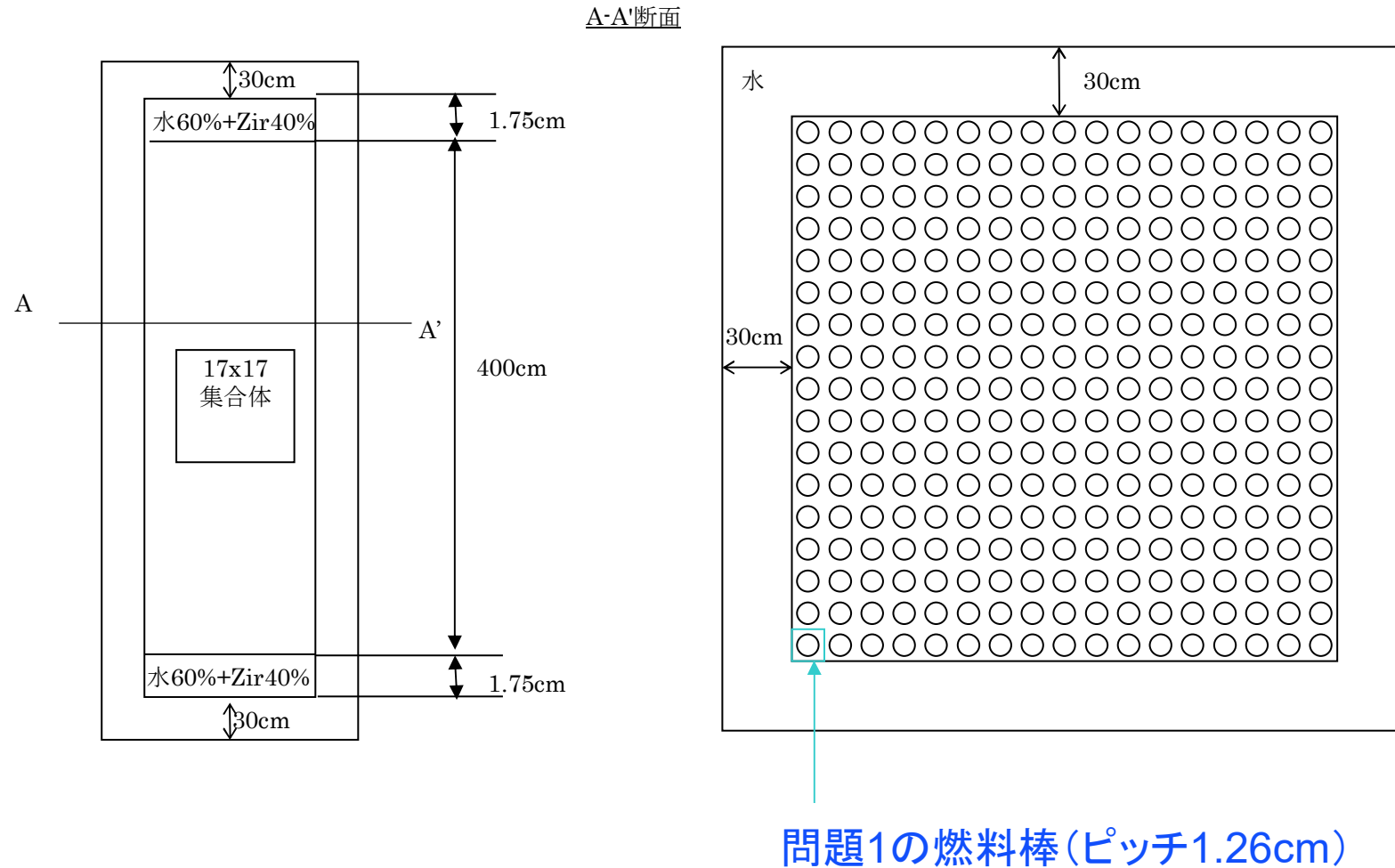
格子ピッチ 1.0cm~2.0cm(パラメータ)

境界は4面が反射条件

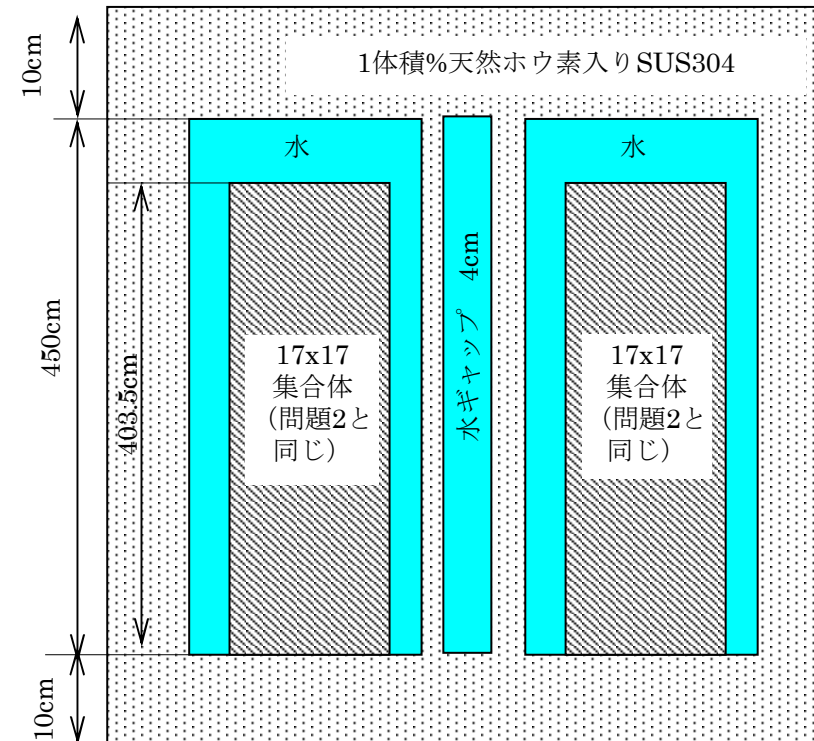
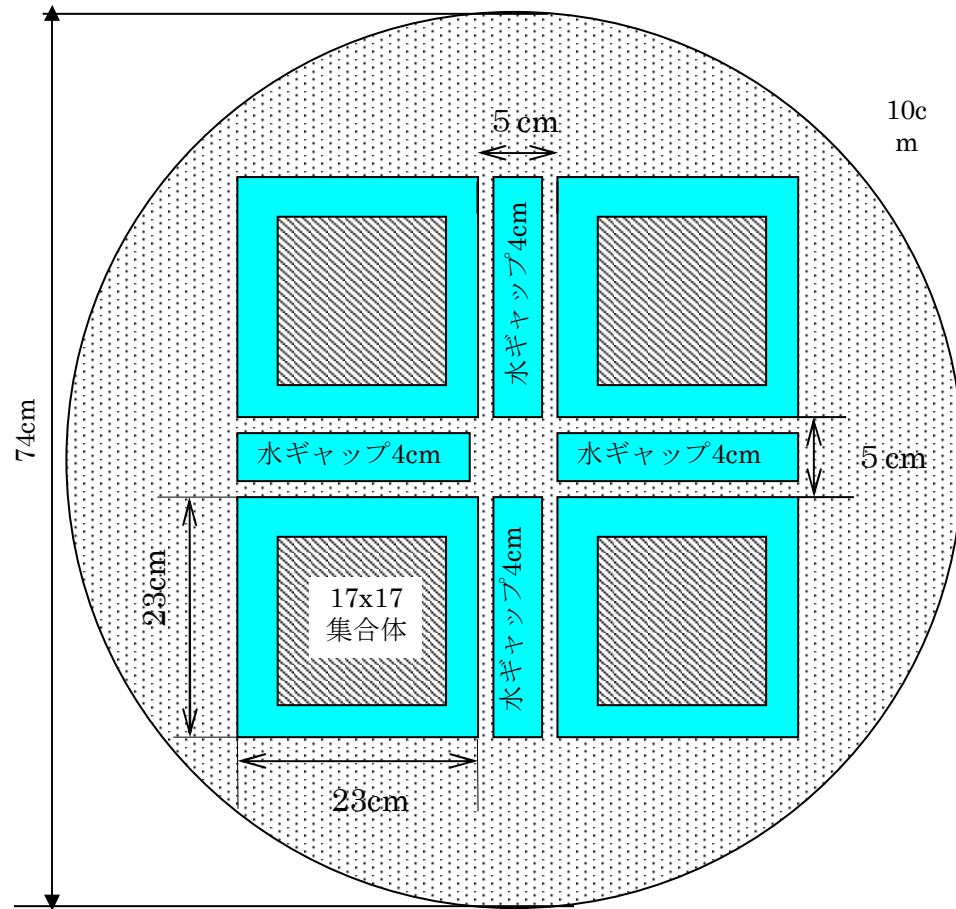
燃料棒長さは無限長とする。



問題2: 17x17燃料集合体 (30cm水反射体付: Arrayの練習)



問題3: 燃料集合体バスケット(HOLEの練習)



1体積%天然ホウ素入りSUS304

問題4: 燃料集合体バスケット (KENO-VI)

問題3をKENO-VIを使って計算してください。
できればHOLEは用いず
に。

4. SCALEシステムを用いた遮蔽解析

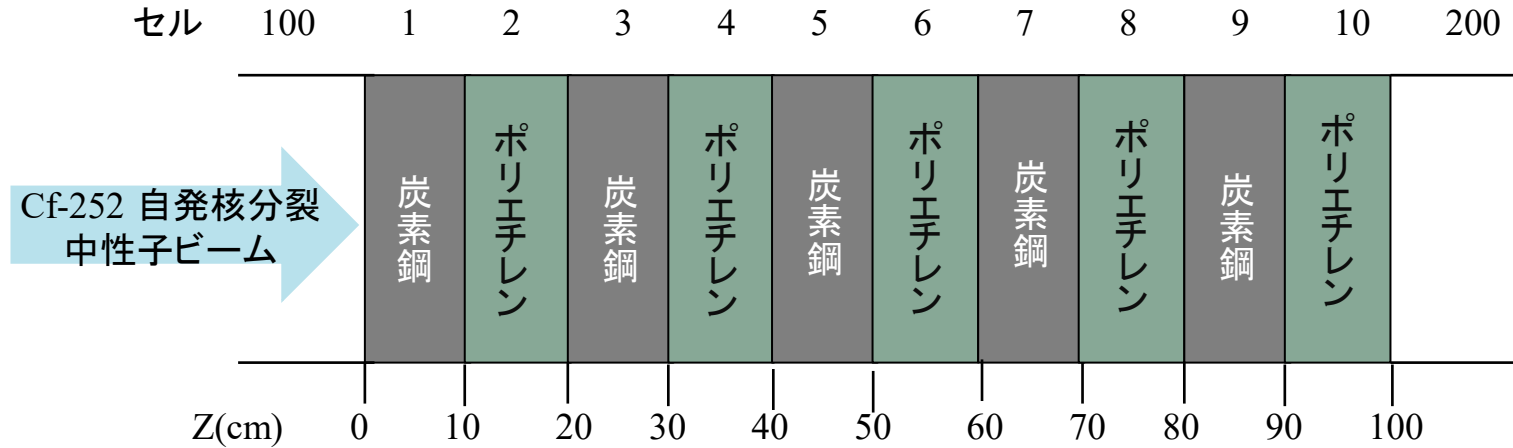
4. 1 モンテカルロ法遮蔽計算と自動分散低減法

1. モンテカルロ法遮蔽計算における分散低減
2. 自動分散低減理論“CADIS

1. モンテカルロ法遮蔽計算における 分散低減



深層透過における粒子の減少



1neutron activity in each cell				MCNPコードの出力				print table 126	
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	9176218	0	0.0000E+00	6.1490E-02	9.9157E-01	9.8185E-01	0.0000E+00	
2	1	26916662	163862464	8.1095E+00	3.7244E-03	1.1034E+00	9.2765E-01	3.8904E+00	
3	2	17454017	920265510	3.2809E+01	6.7937E-05	2.9768E-01	6.6096E-01	8.6957E-01	
4	3	5640001	37048653	1.3410E+00	3.5398E-04	5.6829E-01	7.1607E-01	2.6849E+00	
5	4	1001581	50212956	1.7236E+00	5.4170E-05	2.6761E-01	6.2981E-01	8.0912E-01	
6	5	252680	1608572	5.5437E-02	3.3060E-04	6.4405E-01	6.8133E-01	2.6277E+00	
7	6	41129	1994100	6.7072E-02	6.3215E-05	3.4172E-01	6.1826E-01	8.7629E-01	
8	7	10830	70805	2.4337E-03	4.0659E-04	7.8374E-01	6.7560E-01	2.7184E+00	
9	8	2059	100272	3.2196E-03	7.9041E-05	4.8142E-01	5.9136E-01	9.9566E-01	
10	9	592	3495	1.1708E-04	5.9541E-04	1.1228E+00	6.5695E-01	2.9416E+00	
11	10	107	5379	1.6922E-04	1.1137E-04	6.3735E-01	5.8470E-01	1.1648E+00	
12	200	23	0	0.0000E+00	5.0781E-04	1.7781E+00	6.8626E-01	0.0000E+00	
total		60495899	1175172206	4.4112E+01					

はじめに

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

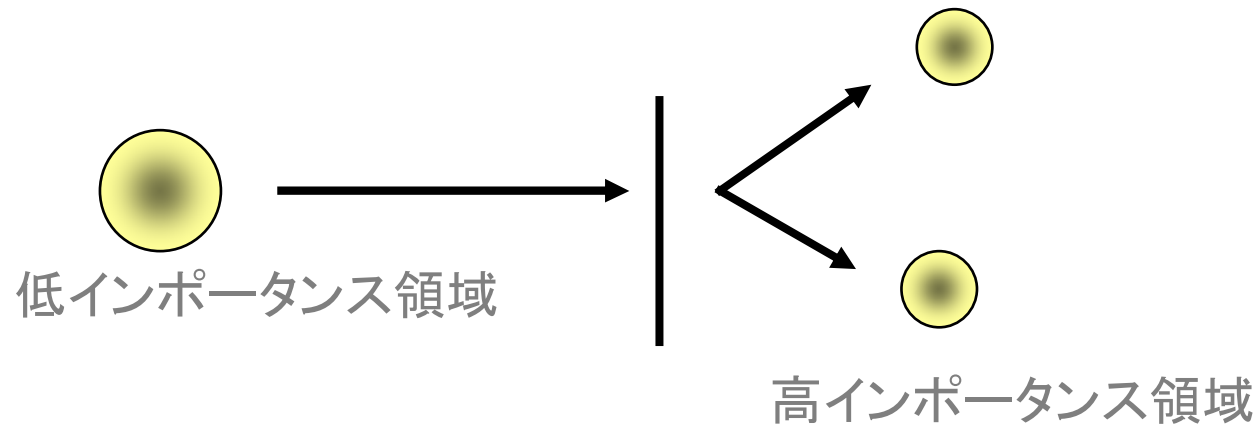
- 線源バイアス（空間・角度・エネルギー）

- 飛程延長、強制衝突（点検出器）、etc.

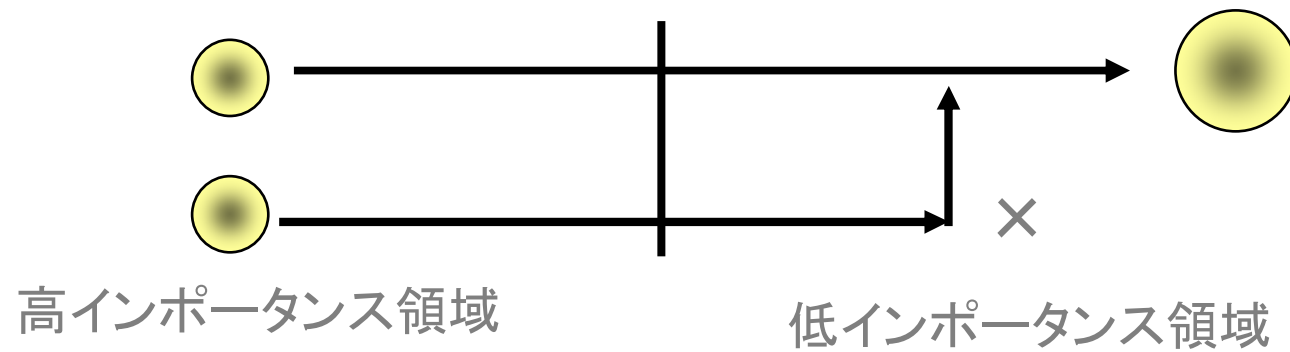
もっともよく
用いられる

SplittingとRussian Roulette

Splitting

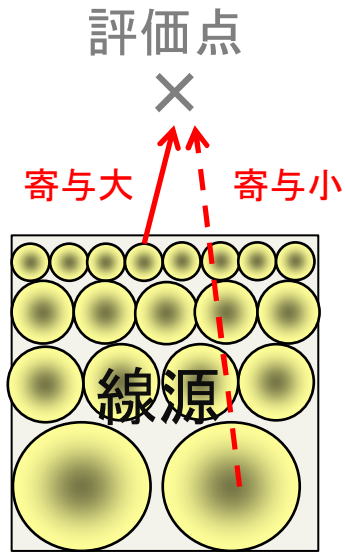


Russian Roulette



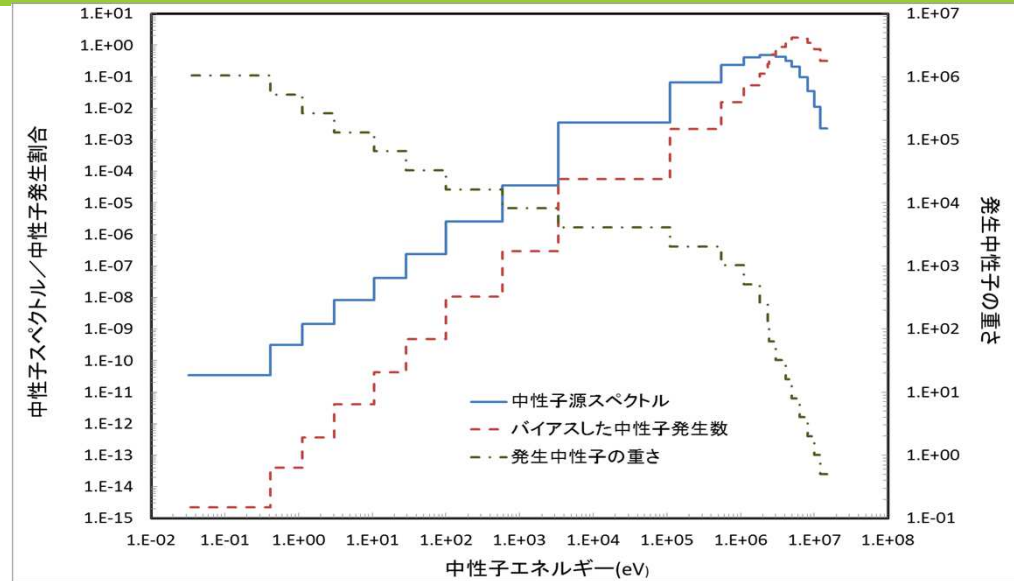
線源バイアス

空間線源バイアス



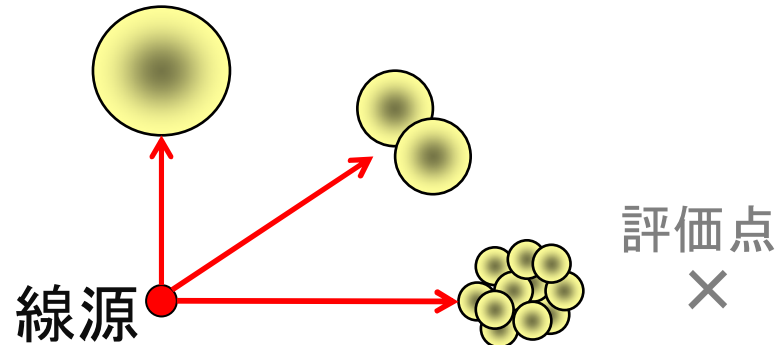
評価点に寄与の大きい近傍の線源は軽くして数多く、寄与の小さい遠い線源は重くして数少なく発生させる。

エネルギー線源バイアス



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。

角度線源バイアス



評価点に向かう粒子を軽くして数多く発生させる。

2. 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り。

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

CADIS (Consistent Adjoint Driven Importance Sampling)

3-D S_n 随伴 (Adjoint)計算によるインポートランス関数 (随伴線束) を、

線源バイアス

輸送バイアス

の設定に使用する。

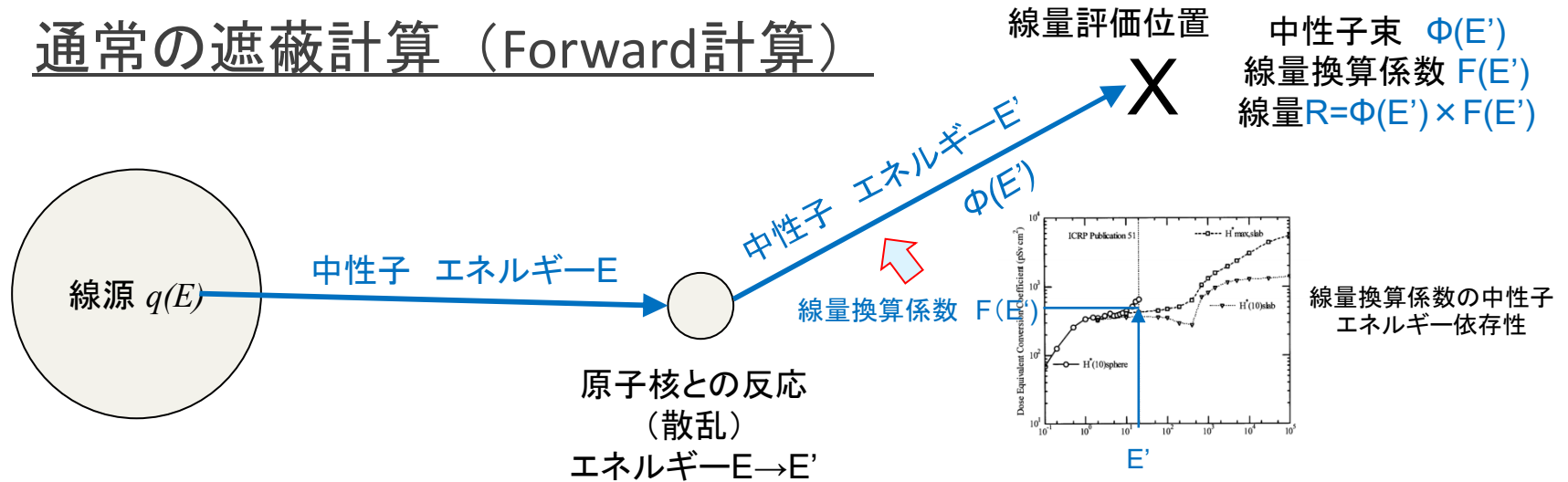
上記の二つのバイアスの「一貫した」

(Consistent) 取り扱いとなっている。

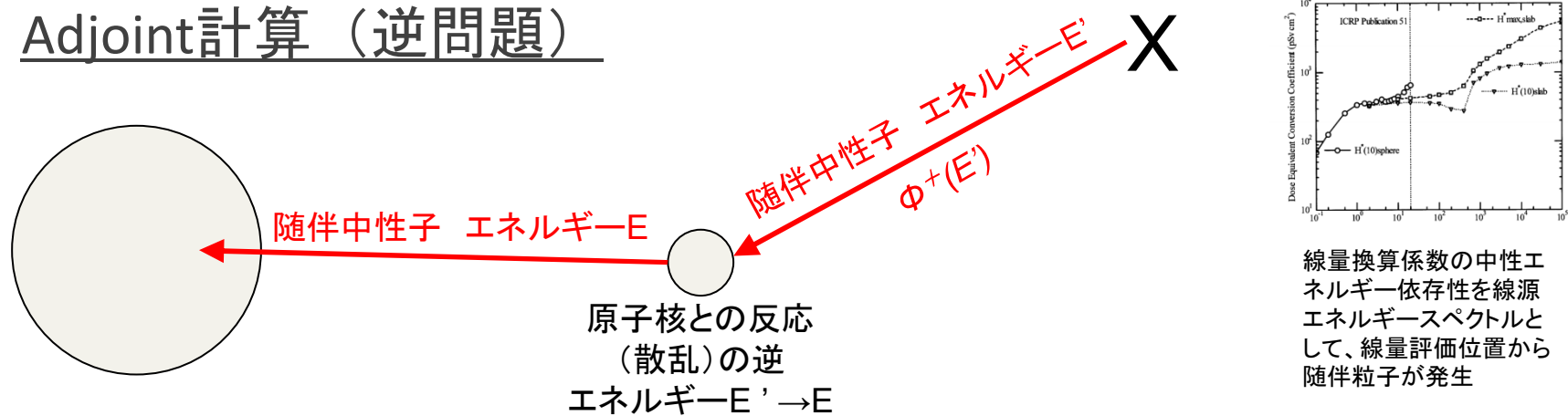
CADIS 方法論

Adjoint計算とForward計算

通常の遮蔽計算 (Forward計算)



Adjoint計算 (逆問題)



Adjoint計算で、どの位置の線源や反応が線量に効くか、が判る。

CADIS 方法論 線源バイアス

Biased source

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

Particle weight

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

p は、エネルギー、位置、方向からなる位相空間での座標 $p = (r, E, \Omega)$

CADIS 方法論 輸送バイアス

Transport equation

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

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

where

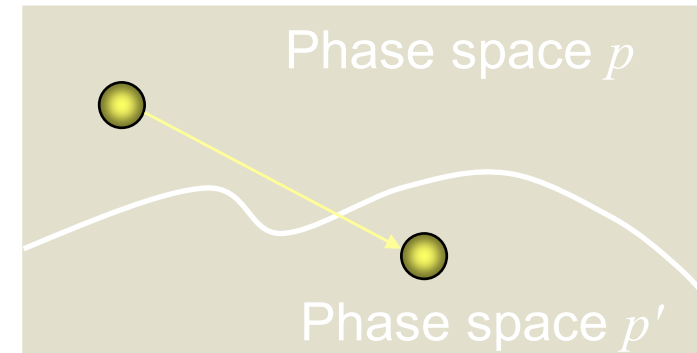
$$\hat{\phi}(p) = \frac{\phi^+(p)\phi(p)}{R}$$

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

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

CADIS 方法論 輸送バイアス(Weight Window)

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



• If $\left(\frac{\phi^+(p)}{\phi^+(p')} \right) < 1$, ロシアンルーレット、その他スプリットティング

• 粒子の重みを変化 $w(p) = \left(\frac{\phi^+(p')}{\phi^+(p)} \right) w(p')$

FW CADIS法

CADIS法の弱点: ある一点での線量率の計算にしか、最適化できない。

⇒ Forward(FW) CADIS法

決定論的手法(DENOVO)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することにより、線量分布などの分布量の計算を行う際の最適化を行う。

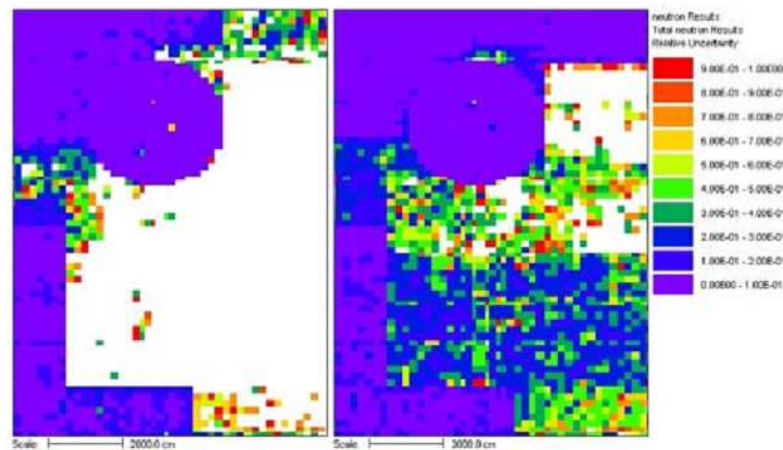


Fig. 3 Relative uncertainties computed using CADIS with the adjoint source on the outer boundaries of the model (left) and using FW-CADIS (right).

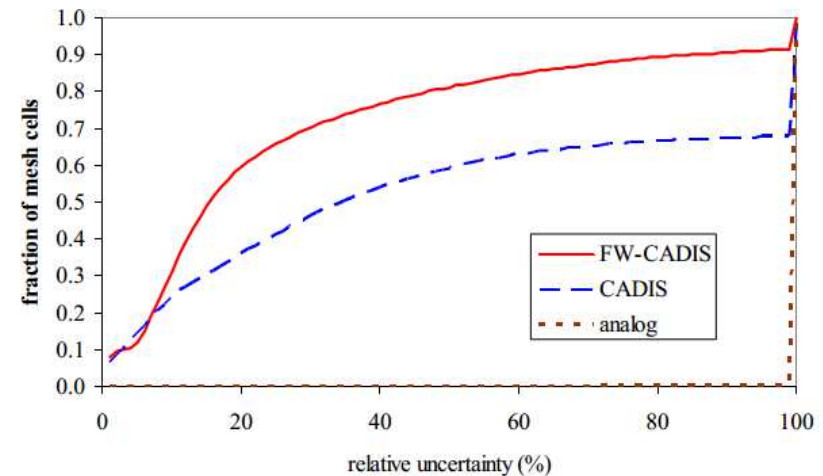


Fig. 4. Relative uncertainty histograms for the different methods.

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 S_n 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】

A³MCNP(UFL,A.Haghighat,1998) : CADIS理論に基づく 3次元 S_n 法随伴計算 (TORT)+MCNP-4A【有償】

ECBO (NUPEC & MRI,2000) : CADIS理論に基づく、公開コード(DORT, ANISN)を組み合わせた2次元 S_n 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】

4. SCALEシステムを用いた遮蔽解析

4.2 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

MAVRICの入力データ例 (1/2)

```
=Mavric
Simplified cask model タイトル
v7-27n19g 断面積名
```

```
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
```

**組成データ MAVRIC
(XSPROC)**

```
read geometry
global unit 1
zylinder 1 95.0 228.6 -228.6
zylinder 2 170.0 255.2 -255.2
zylinder 3 90.0 240.6 -240.6
zylinder 4 90.0 280.6 -280.6
zylinder 5 170.0 280.6 -280.6
zylinder 6 170.0 285.6 -285.6
zylinder 7 95.0 255.2 -255.2
zylinder 8 100.0 255.2 -255.2
zylinder 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
```

**形状データ MONACO
(KENO-VI=SGGP)**

```
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
```

**定義データ
MONACO
定義データ
(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 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 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
255.2 256.2 260.1 264 267.9 271.8 275.7 279.6
280.6 281.6 282.6 283.6 284.6 285.6 end
end gridGeometry
end definitions
```

定義データ(応答関数)

**定義データ
(スペクトル)**

**定義データ
(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"           線源データ  
    strength=8.577E+09  
    neutrons                                         MONACO  
    zCylinder 95.0 228.6 -228.6  
    mixture=1  
    eDistributionID=1  
  end src  
end sources  
  
-----  
' Tallies Block  
-----  
read tallies  
  pointDetector 3 locationID=3 responseID=1 end pointDetector  タリーデータ  
end tallies                                                    MONACO  
  
-----  
' Parameters Block  
-----  
read parameters  
  randomSeed=8655745280010015  
  perBatch=170000 batches=15                               パラメータデータ  
  noFissions  
  noSecondaries                                           MAVRIC  
end parameters  
  
-----  
' Importance Map Block  
-----  
read importanceMap  
  adjointSource 1                                         インポートンスマップデータ  
    locationID=3  
    responseID=1                                         MAVRIC  
  end adjointSource  
  gridGeometryID=3  
end importanceMap  
  
end data  
end
```

MAVRICの入力データブロック(1/5)

制御モジュール名

=MAVRIC

タイトル(80文字)

断面積ライブラリー名

➤ p.25及びSCALEマニュアルの
Table 10.1.4を参照

SCALE6.2.3では以下の4種類

v7.1-200n47g

v7-200n47g

v7.1-28n19g

v7-27n19g

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 ^a
v7-252 ; v7-252n ; v7.1-252n	ENDF/B-VII.1 252-group neutron library	xn252v7.1 ^a
v7-56; v7-56n; v7.1-56n	ENDF/B-VII.1 56-group neutron library	xn56v7.1 ^a
test-8grp	TEST LIBRARY 8-group ENDF/B-VII.1 neutron library ^e	test8g_v7.1
v7.1-200n47g	ENDF/B-VII.1 200 neutron/47 gamma library	xn200g47v7.1 ^a
v7-200n47g ; v7.0-200n47g ; v7-200g47	ENDF/B-VII.0 200 neutron/47 gamma library	xn200g47v7.0 ^a
v7.1-28n19g	ENDF/B-VII.1 28 neutron/19 gamma library	xn28g19v7.1 ^a
v7-27n19g ; v7.0-27n19g	ENDF/B-VII.0 27 neutron/19 gamma library	xn27g19v7.0 ^a
ce_v7.1_endf ^b	ENDF/B-VII.1 Continuous-energy neutron and gamma library	--
ce_v7 ; ce_v7_endf ; ce_v7.0_endf ^b	ENDF/B-VII.0 Continuous-energy neutron and gamma library	--
ce_v7.1_endf.xml ^d	ENDF/B-VII.1 Continuous-energy neutron and gamma library	--
ce_v7.xml ; ce_v7_endf.xml ; ce_v7.0_endf.xml ^d	ENDF/B-VII.0 Continuous-energy neutron and gamma library	--
File name ^c	User-supplied library	file name

^a Format of the library names are "scale.revxx.lastfield" where "xx" is the revision number.

^b ASCII text file that contains location of continuous energy data files.

^c For continuous energy mode calculations in KENO, the library name must start with "CE_".

^d Contains the same information as ce_v7.x_endf in xml format for use in the CE_MONACO sequence.

^e 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(2/5)

材質組成データ

READ COMP～END COMPで挟んだ、各材質のデータ
(p.41 -)。

セル非均質効果補正データ

READ CELL～END CELLで挟んだ格子形状のデータ
(p.43-)。共鳴自己遮蔽効果の非均質効果を補正する。

(遮蔽解析ではあまり非均質効果は問題にならず、均質材質として扱うことが多いため、通常は用いない)

MAVRICの入力データブロック(3/5)

形状データ (MONACOの入力)

`read geometry ~ end geometry`

KENO-VIとまったく同じSGGP形式(SCALE General Geometry Processor)で与える。(p.69- 参照)

定義データ (MONACOの入力)

`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。

線源データ (MONACOの入力)

`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。

MAVRICの入力データブロック(4/5)

タリーデータ (MONACOの入力)

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。

パラメータデータ (MAVRICの入力)

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。

インポートンスマップデータ (MAVRIC)

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。

MAVRICの入力データブロック(5/5)

END DATA

MAVRIC入力の終了

END

この入力データ全体の終了

注) 大文字、小文字は区別しない。

形状データ (MONACO)

KENO-VIと同じSGGP形式

- UNIT
- ARRAY
- HOLE

KENO-3Dを使った鳥瞰図や、プロットデータ

(READ PLOT～END PLOT)を使った断面図で形状の確認が可能。

ただし、反射境界や周期境界、アルベド境界などは使用できない。

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)

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
:

```

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
```

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3タイプがある。

タイプ1 多群形式:用いる断面積ライブラリの群に合わせて与える。

タイプ2 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3 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)

タイプ1の例)

```
values ~ end
response 19
  title="Total Photon Dose at Each Detector Point Location (ANSI 9504)"
  values
    27r0.0          1.16200E-05  8.74457E-06  7.45967E-06
    6.35058E-06   5.39949E-06  4.60165E-06  3.95227E-06  3.45885E-06
    3.01309E-06   2.62001E-06  2.19445E-06  1.82696E-06  1.51490E-06
    1.15954E-06   8.70450E-07  6.21874E-07  3.70808E-07  2.68778E-07
    5.93272E-07   end
end response
response 4
  title="total photon flux above 1 MeV, photons/(/cm2/sec)"
  values 27r0.0  11r1.0  8r0.0 end
end response
```

values ~ end
の間にFIDO形式
で各群の値を
入力する。

定義データ (MONACO)

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

タイプ2の例:

```

response 11
  title="user-defined response, histogram"
  neutronBounds 1e7 8e6 6e6 4e6 2e6 1e5 end
  values 1.0 0.8 0.6 0.4 0.2 end
end response
response 12
  title="user-defined response, value/function pairs"
  photonBounds 1e5 2e6 4e6 6e6 8e6 1e7 end
  values 0.01 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 end
end response

```

中性子エネルギー境界→
(単位 eV) 応答関数→

光子エネルギー境界→
(単位 eV) 応答関数→

タイプ3 例:

```

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

```

Materials= 材質番号
ZAID= 原子番号 × 1000 + 原子量
MT= ENDF 反応番号(次頁)
SpecialDose= 線量換算係数(次々頁)

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, γ) radiative capture cross section
103	(n,p) cross section
104	(n, ^2H) cross section
105	(n, ^3H) cross section
106	(n, ^3He) cross section
107	(n, ^4He) cross section
1452	Product of ν 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 (γ ,f)
527	Sum of all gamma-ray absorption
602	Photoelectric

線量換算係数のMT番号

MT			Response	Units
Neutron	Photon	Coupled		
		9502	Henderson conversion factors	(rad/h)/(photons/cm ² /s)
		9503	Claiborne-Trubey conversion factors	(rad/h)/(photons/cm ² /s)
		9027	Henderson conversion factors	(rad/h)/(neutrons/cm ² /s)
	9504	9729	ANSI standard (1977) flux-to-dose-rate factors	(rem/h)/(particle/cm ² /s)
	9505	9731	ANSI standard (1991) flux-to-dose-rate factors	(rem/h)/(particle/cm ² /s)
		9506	ICRU-57 Table A.21 (air) Kerma	(Gy/h)/(photons/cm ² /s)
空気吸収線量		9507	ICRU-57 Table A.21 (air) Kerma	(rad/h)/(photons/cm ² /s)
		9032	ICRU-44 Table B.3 (air) Kerma	(Gy/h)/(neutrons/cm ² /s)
		9033	1cm線量当量 ICRU-44 Table B.3 (air) Kerma	(rad/h)/(neutrons/cm ² /s)
	9508	9734	Ambient dose equivalent (ICRU-57)	(Sv/h)/(particle/cm ² /s)
	9509	9735	Ambient dose equivalent (ICRU-57)	(rem/h)/(particle/cm ² /s)
実効線量	9510	9736	Effective dose (ICRU-57)	(Sv/h)/(particle/cm ² /s)
	9511	9737	Effective dose (ICRU-57)	(rem/h)/(particle/cm ² /s)

ICRU-57:現行法令(ICRP1990年勧告)のICRP74と等価

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。
```

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
```


定義データ (MONACO)

(3) 円筒形状メッシュ (cylindrical geometries)
 円筒座標系 (r, θ, 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

`rplanes $r_1 r_2 r_3 r_4 \dots$ 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
`thetaPlanes $\theta_1 \theta_2 \theta_3 \theta_4 \dots$ end` $\theta = \theta_1 \theta_2 \theta_3 \theta_4 \dots$ で $0 \sim 2\pi$ を分割

または

`degreePlanes $\theta_1 \theta_2 \theta_3 \theta_4 \dots$ 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。

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
```

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`)。

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。

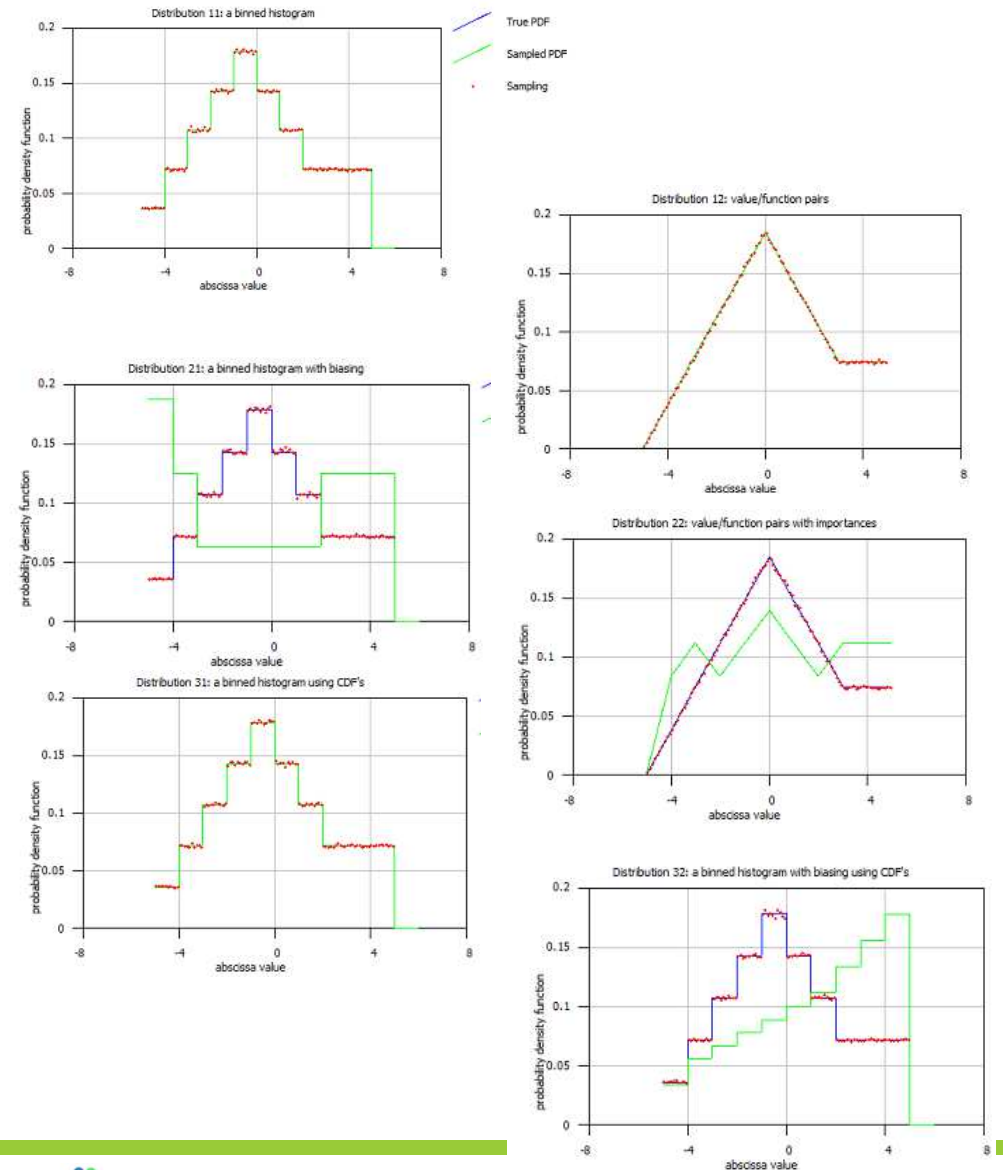
定義データ (MONACO)

(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

```



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")で与えることができる。

`special= "分布名" parameters (パラメータ) end`

Distribution	"分布名"	Parameters	Description (パラメータ)
"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"		$m ZAID$	Spectrum of fission neutrons from the cross-section library for material m and nuclide $ZAID$.
"fissionPhotons"		$ZAID$	Spectrum of fission photons from nuclide $ZAID$.
"origensBinaryConcentrationFile"		$u c s$	Spectrum from an ORIGEN-S binary concentration file, located on unit u , case number c , spectra type s . For the spectra type s , values are: 1 - photons from light elements, 2 - photons from actinides, 3 - photons from fission products, 4 - master photon library, 5 - total neutron, 6 - (α ,n) spectrum, and 7- spontaneous fission neutrons.
"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.

列)

```
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
```

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" _{i} (データ) _{i} stlength= S_i end src

src j title="タイトル" _{j} (データ) _{j} stlength= S_j end src

src k title="タイトル" _{k} (データ) _{k} 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。

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。

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(p.74参照)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.

タリーデータ (MONACO)

放射線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

(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。メッシュ内を通過した飛跡長をカウントする。

タリーデータ (MONACO) (続き)

1) 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。

2) 体積検出器のデータ

以下のいずれかで領域を指定する。(p.74参照)

`unit=` UNITをUNIT番号で指定する。

`region=` 図形を図形番号で指定する。

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

3) 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。

4) 共通のデータ

`responseID=` 定義データの応答関数データを番号で指定する。

`responseIDs R1 R2 R3 ... end` 複数の応答関数データ番号を与える。

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)には次のものがある。

randomSeed=	乱数のシード
perBatch=	バッチあたりのヒストリー数
batches=	バッチ数
maxMinutes=	最大計算時間
noFission	核分裂を考慮しない
library=	MONACOのモンテカルロ計算で用いる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。

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 id1 (データ) end adjointSource 随伴線源1
  adjointSource id2 (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
```

(データ)には次のものがある。

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。
 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。

全てのインポートンスマップデータを次頁に示す。

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 id₁ (データ) end adjointSource 随伴線源1

adjointSource id₂ (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

(データ)には次のものがある。

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。

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。

全てのインポートンスマップデータを次頁に示す。

インポートンスマップデータ (MAVRIC)

block	keyword	type	length	default	required	restrictions/comments
<i>ImportanceMap</i>						
<i>Perform an adjoint S_N 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			yes	matches one of the id numbers from responses
	weight*	real		1.0	no	positive real number
	unit*	integer		-1	no	limit adjoint source in boundingBox to a specific unit
	region*	integer		-1	no	limit adjoint source in boundingBox to a specific region of a unit
	mixture*	integer		-1	no	limit adjoint source in boundingBox to a specific mixture
	end adjointSource					
<i>Constructing the Denovo geometry using macro materials</i>						
	mmSubCells*	integer		1	no	subcells per cell (each dimension)
	mmTolerance*	real		0.5/(mmSubCells ³)	no	used to cull macro materials from list
<i>Constructing the mesh version of the true source</i>						
	subCells*	integer		2	no	subcells per cell (each dimension)
	sourceTrials*	integer		1000000	no	how many source particles to sample
	reduce			not present	no	stores only the cuboid around the voxels with source
<i>Perform a forward S_N calculation and weight the adjoint source</i>						
	fluxWeighting			not present	no	weight adjoint source with forward flux values
	respWeighting			not present	no	weight adjoint source with integrated forward response values
	saveExtraMaps			not present	no	save extra 3dmap files associated with forward calculation
	firstCollision			not present	no	forces the use of a first collision source
	noFirstCollision			not present	no	does not allow the use of a first collision source
<i>Use existing forward varscl files for weighting the adjoint source</i>						
	forwardFluxes*	string		not present	no	legal file name for current system, in quotes
<i>Use existing adjoint varscl files to create importance map</i>						
	adjointFluxes*	string		not present	no	legal file name for current system, in quotes
<i>Optional Denovo S_N code parameters</i>						
	quadrature*	integer		8	no	S_N quadrature, N=2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24
	legendre*	integer		3*	no	PL, L=highest Legendre polynomial, L=0,1,2,3,... *default is to use min(the highest available in the data,3)
	equationSet*	integer		4	no	0-DD, 1-DDFF, 2-TWDD, 3-LD FE, 4-SC, 5-TLD FE
	solveEngine*	integer		0	no	0-GMRES, 1-Richardson iteration
	maxIters*	integer		20	no	maximum number of iterations
	diagnostics*	integer		0	no	0-no diagnostics, 1-all diagnostics
	output*	integer		0	no	0-no output, 1-all output
	krylovSpaceSize*	integer		10	no	size in memory for Krylovspace, minimum is 5
	tportcorrection*	integer		1*	no	transport correction: 0-none, 1-diagonal, 2-Cesaro *For P_2 or higher, the default is 2 (Cesaro)
	tolerance*	double		0.001	no	tolerance used in convergence test
	upScatter*	integer		0	no	upscatter iterations: 0-none, 1-GS, 2-pre-conditioned, 3-krylov
<i>While using the importance map</i>						
	windowRatio*	real		5.0	no	real number greater than one
	mapMultiplier*	real		1.0	no	multiply targetWeights in imp. Map
	end importanceMap					

4. SCALEシステムを用いた遮蔽解析

4.3 計算機による解析実習

— 小型輸送容器の遮蔽計算 —

小型輸送容器遮へい実験解析

【概要】

船舶技術研究所（現・海上技術安全研究所）の植木らが、電力中央研究所で行った小型湿式輸送容器を用いた遮へい実験¹⁾を解析する。

この輸送容器は、PWR燃料集合体3体またはBWR燃料集合体7体を収めることのできるように設計された湿式輸送容器であり、その重量は約50トンである。本体及び蓋はステンレス製であり、径方向にはガンマ線遮へい体として鉛（厚さ14.6cm）、中性子遮へい体としてレジン（厚さ10cm）が設けられている。円盤状の銅製放熱フィン（高さ22cm）が中性子遮へい体を貫いて設けられている。

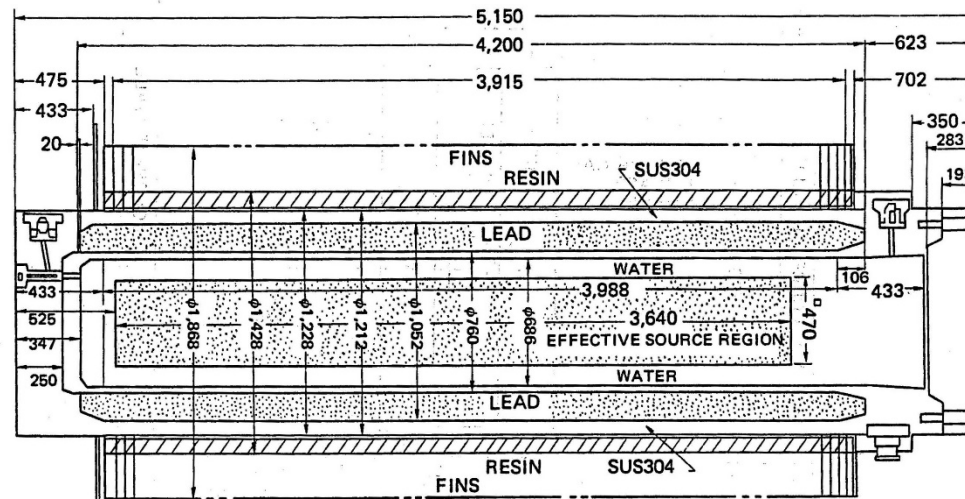


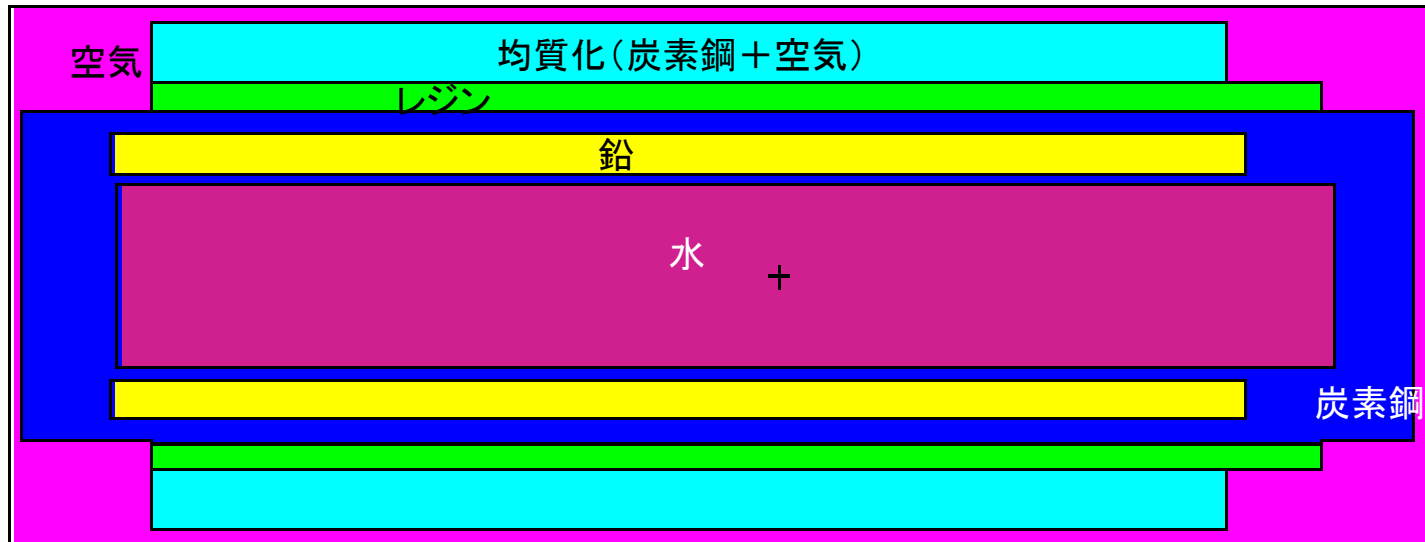
図 電力中央研究所の遮蔽実験に用いられた小型湿式輸送容器の構造及び寸法

1) K.Ueki, et al., "Validity of the Monte Carlo Method for Shielding Analysis of a Spent-Fuel Shipping Cask: Comparison with Experiment," Nucl. Sci. Eng., 84, No.3, (1983)

小型輸送容器遮へい実験解析

モデル

トランニオンやバルブ類は無視する。



小型輸送容器遮へい実験解析

(仕様)

タリー

側面中央から半径方向に6.6cm、上面・下面中心から5cmの高さの位置に点検出器を置く。ICRU57の1cm線量への換算係数を用いて、中性子及び二次 γ 線の線量を測定する。

線源

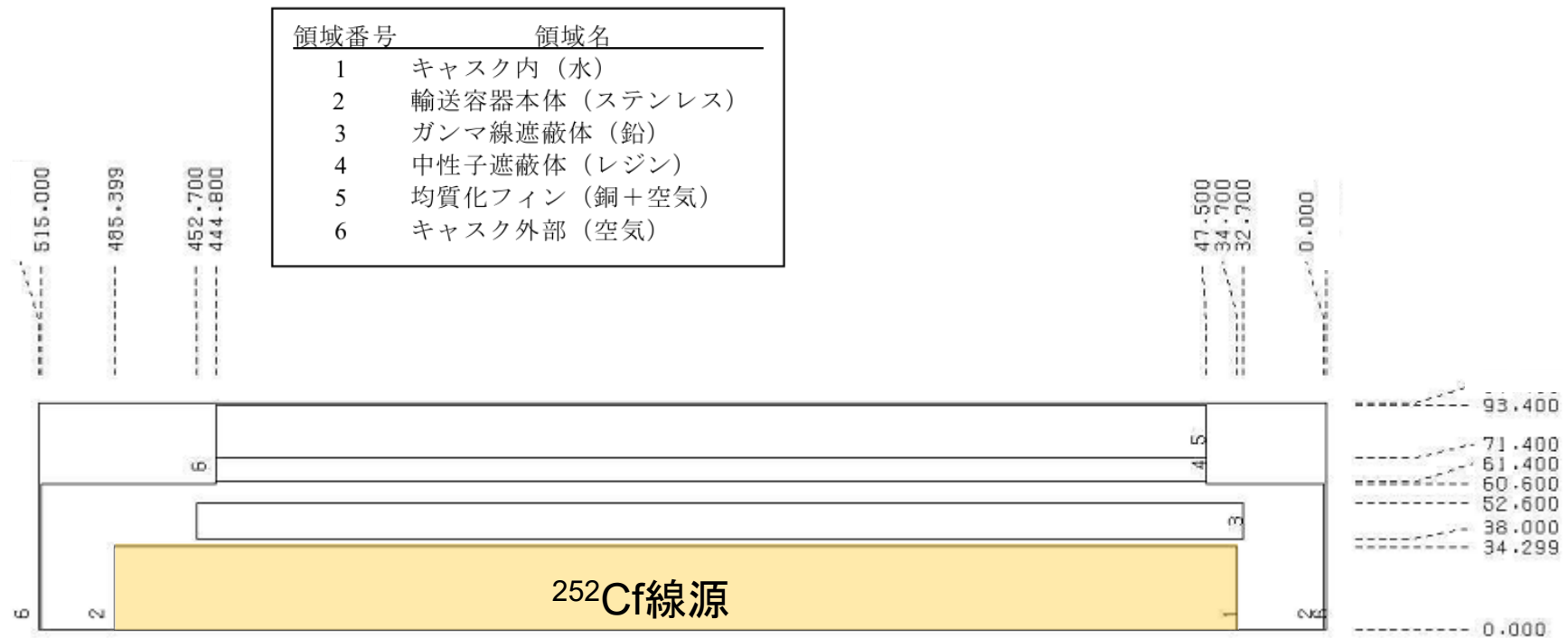
実験時には、直径50cm、高さ50cm、厚さ3.5mmのアルミ缶に分散させた80粒の ^{252}Cf 線源(強度 $2.4 \times 10^9 \text{n/sec.}$)が用いられたが、今回の計算では、輸送容器内部の水全体に線源が一様に置かれたとして計算を行う。このときの線源は、 ^{252}Cf 自発核分裂中性子源とする。

インポートンスマップ

p.142に示したメッシュに対して与える。各位置(側面、蓋部、底部)の点検出器を随伴線源として、中性子線量と二次 γ 線線量のそれぞれを随伴線源スペクトルとした場合、すなわち位置3点×線質2点の6ケースの計算を行う。

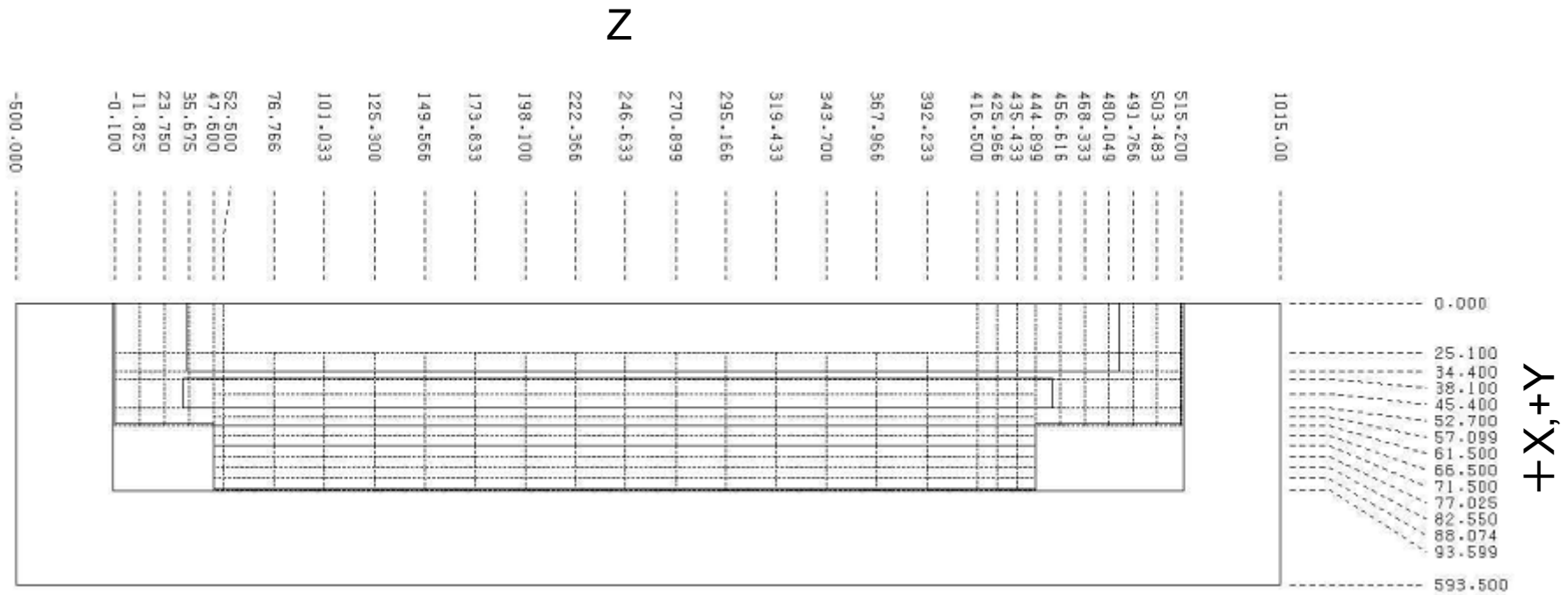
小型輸送容器遮へい実験解析

・各部の寸法と材質



小型輸送容器遮へい実験解析

- 随伴線束計算空間メッシュ設定



小型輸送容器遮へい実験解析

- ・ 材質組成 (原子個数密度 : atoms/barn/cm)

1 水	H	1001	6.675e-02	4 レジン	H	1001	5.909e-02
	O	8016	3.338e-02		C	6012	3.435e-02
					N	7014	2.703e-04
2 SUS304	C	6012	3.181e-04		O	8016	1.330e-02
	Si	14000	1.700e-03		Al	13027	3.715e-03
	Cr	24000	1.837e-02	5 フィン	N	7014	3.811e-05
	Mn	25055	1.739e-03		O	8016	1.026e-05
	Fe	26000	5.722e-02		Cu	29000	3.758e-03
	Ni	28000	8.134e-03				
3 鉛	Pb	82000	3.296e-02	6 空気	N	7014	3.964e-05
					O	8016	1.067e-05