

Ikaros3D 使用マニュアル

文書番号： D2403007
日付： 2024/3/21
作成： 伊藤魁人
配布先：
関連資料：
備考：

内容

1	はじめに.....	3
2	IKAROS3D の概要	3
2.1	特徴	3
2.2	近似及び制約条件	3
2.3	実行可能 OS	3
2.4	実行する PC の必要スペック.....	4
2.5	開発環境	4
3	インストール方法.....	4
4	入力データの準備	5
4.1	初期値の入力	5
4.2	検出器パラメータの入力	5
4.3	計算ソルバーの入力	6
4.4	入力ファイルの保存場所.....	8
5	IKAROS3D の使用方法	8
5.1	起動方法	8
5.2	入力データの読み込み.....	8
5.3	各種機能	9
5.3.1	概要	9
5.3.2	シミュレーションの開始と停止	9
5.3.3	制御棒操作	10
5.3.4	グラフの動的描画と中性子検出器位置の変更	12
5.3.5	中性子カウント数の積算	15
5.3.6	中性子束の可視化と視点の変更方法.....	16

6	入力データの説明	19
6.1	初期値(INITPARAM.XML).....	19
6.1.1	INPUT.....	19
6.1.2	SOLVER.....	19
6.1.3	DETECTOR	19
6.1.4	MESHDIVISION.....	19
6.1.5	PLOTTYPE	19
6.2	検出器パラメータ(DETECTORPARAM.XML)	19
6.2.1	POINTKINETICS	19
6.2.2	BETA.....	19
6.2.3	SMALLLAMBDA.....	19
6.2.4	LARGELAMBDA.....	19
6.2.5	SIGF.....	20
6.3	計算ソルバー(UTR-KINKI_SSR_RR.XML).....	20
6.3.1	LIB.....	20
6.3.2	BASE.....	20
6.3.3	ARO.....	20
6.3.4	ROD.....	20
6.3.5	POS.....	20
6.3.6	MID.....	20
6.3.7	POS2.....	20
6.3.8	M2ID.....	20
6.3.9	CALC.....	20
6.3.10	CONV	20
6.3.11	ITER	21
6.3.12	TIME.....	21
6.3.13	DT.....	21
6.3.14	POW	21
7	計算体系	21

要 約

本資料は、名古屋大学で開発されたリアルタイム炉心シミュレータ Ikaros3D の使用方法について取りまとめたものである。

1 はじめに

本マニュアルは名古屋大学で開発されたリアルタイム炉心シミュレータ Ikaros3D, Ver1.0.0 を使用するために必要な事項を記載したものである。

2 Ikaros3D の概要

Ikaros3D は近畿大学原子炉(UTR-KINKI)を単純化した 2 分割炉心の動特性を拡散近似に基づいてリアルタイムでシミュレーションし、その結果をグラフと 3 次元カラーマップを使用して視覚的に認識できるソフトウェアである。

2.1 特徴

Ikaros3D の特徴を以下に示す。計算体系については 7 章に詳しく記載されている。

- 固有直交分解(Proper Orthogonal Decomposition, POD)に基づいた次元削減モデルによって、計算に必要な次元を削減することで詳細メッシュの拡散方程式に基づく動特性計算を高速に実施している
- 2 次元と 3 次元を組み合わせた中性子束分布のカラーマップによって中性子束の空間分布を視覚的に認識できる
- シミュレーション中に制御棒操作、シミュレーションの再生/一時停止などを GUI(Graphical User Interface)上で行うことができ、簡便な操作でシミュレーションを行うことができる
- 炉心内の任意の位置に仮想的な検出器を配置することができ、中性子束の空間的な偏りに起因する検出器応答の空間依存性を模擬することが出来る

2.2 近似及び制約条件

- プラントのヒートバランス等は考慮していない
- シミュレータ上でグラフに表示されるパラメータは統計誤差の影響を考慮していない

2.3 実行可能 OS

Ikaros3D は Windows 10 以降で使用可能である。

2.4 実行する PC の必要スペック

- Windows Core i3 以上
- 8GB メモリ 以上推奨
- インストール容量 1.21GB

2.5 開発環境

Ikaros3D は Game Engine Unity と Unity の外部ライブラリである unity-ugui-XCharts を用いて作成している。Unity 内で利用している自作コードは Visual Studio 2022 を用いて C# で作成した。

3 インストール方法

Ikaros3D は zip ファイル形式で配布する。zip ファイルは Windows の展開機能や 7zip 等を用いて展開し、利用する。具体的な使用方法については、第 5 章に記載している。

4 入力データの準備

Ikaros3D では、シミュレータの描画内容や計算条件を設定するためにいくつか入力ファイルが必要となる。ただし、配布パッケージにはサンプルが同梱されており、そのファイルを使用すれば基本的な炉心シミュレーションは問題なく実施することが出来る。本章では入力ファイルの概要について述べ、設定できるパラメータの詳細については6章で述べる。

4.1 初期値の入力

本シミュレータでは、まずシミュレータでシミュレーションをスタートする際に利用する初期値データを入力する必要がある。初期値として入力する必要があるのは初期値以外の入力ファイル名 (SOLVER, DETECTOR)、中性子束の3次元表示において断面をくり抜くメッシュの分割位置 (MESHDIVISION)、グラフの動的描画においてプロットするデータ (PLOTTYPE) である。初期値データを入力するためには、以下に示す形式で xml ファイルにデータを準備する必要がある。

ファイル名 : InitParam.xml

ファイル名は固定。

ファイル内容 :

表 4.1 初期値ファイルの入力例

ファイル内に記述するパラメータの詳細については、6章に記載している。

4.2 検出器パラメータの入力

本シミュレータでは、炉心内に仮想的に配置する検出器のパラメータが必要となる。検出器として模擬している核分裂計数管の核分裂断面積 (SIGF) を利用して検出器反応率を計算する。計算によって得られた検出器反応率は逆動特性法による反応度推定計算の入力として利用される。InitParam.xml に

— 5 —

Saved: April/01/2024 13:00:00

において PLOTTYPE の入力を “reaction” とした場合には、この核分裂断面積を使用して計算した検出器反応率がグラフに表示される。

また、本シミュレータでは逆動特性法を利用して検出器ごとに反応度を推定するために対象炉心の動特性パラメータが必要となるが、この動特性パラメータも本入力ファイルにて記述する。対象炉心の動特性パラメータを計算する機能は本シミュレータには実装されていないため、実験で得られた結果を利用するか、MCNP 等の他の計算コードを用いて計算する必要がある。

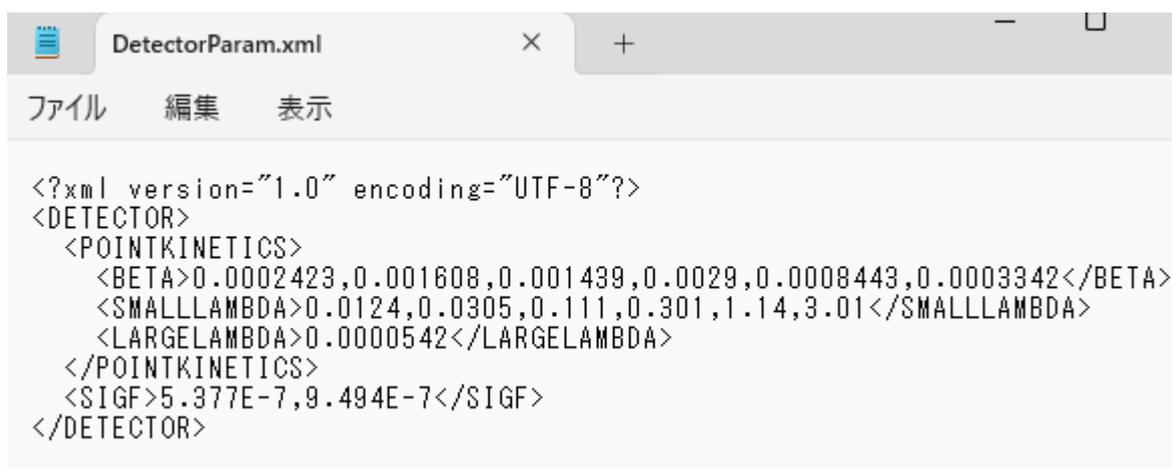
検出器のパラメータをシミュレータに入力するためには、以下に示す形式で xml ファイルにデータを準備する必要がある。

ファイル名：DetectorParam.xml

ファイル名は初期値(InitParam.xml)の入力で変更可能。

ファイルの内容：

表 4.2 検出器パラメータの入力データ例



```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<DETECTOR>
  <POINTKINETICS>
    <BETA>0.0002423,0.001608,0.001439,0.0029,0.0008443,0.0003342</BETA>
    <SMALLLAMBDA>0.0124,0.0305,0.111,0.301,1.14,3.01</SMALLLAMBDA>
    <LARGELAMBDA>0.0000542</LARGELAMBDA>
  </POINTKINETICS>
  <SIGF>5.377E-7,9.494E-7</SIGF>
</DETECTOR>
```

ファイル内に記述するパラメータの詳細については、6章に記載している。なお、本シミュレータでは遅発中性子先行核密度の群数を ROM のモデルとは関係なく任意に設定することが出来る。必要な群数分の遅発中性子先行核割合と崩壊定数を列方向に列挙することで、遅発中性子先行核密度の群数が自動的に設定される。ただし、モデルとなる体系の動特性パラメータ以外の値を入力した場合の挙動については未検証である。

4.3 計算ソルバーの入力

本シミュレータでは、計算ソルバーに計算条件等を入力する必要がある。本シミュレータでは計算ソルバーの仕様と対象とする UTR-KINKI を単純化した 2 分割炉心に合わせて入力ファイルの内容を設定しているため、基本的にこのファイルを修正する必要はない。計算の収束条件等を変更したい場合にのみこのファイルを修正する必要がある。

ファイル名 : UTR-KINKI_SSR_RR.xml

ファイル名は初期値(InitParam.xml)の入力で変更可能。

ファイルの内容 :

表 4.3 計算ソルバーの入力データ例



```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<MORDRED>
  <LIB>Ikaros3D_Data/Resources/ROM_UTR-KINKI_SSR_RR.h5</LIB>

  <BASE>XS000</BASE>
  <ARO>XS047</ARO>

  <ROD>
    <POS> 27.9, 28.9, 29.9, 30.9, 31.9, 32.9, 33.9, 34.9, 35.9, 36.9,
    37.9, 38.9, 39.9, 40.9, 41.9, 42.9, 43.9, 44.9, 45.9, 46.9, 47.9, 48.9,
    49.9, 50.9, 51.9, 52.9, 53.9, 54.9, 55.9, 56.9, 57.9, 58.9, 59.9, 60.9,
    61.9, 62.9, 63.9, 64.9, 65.9, 66.9, 67.9, 68.9</POS>
    <MID>
    XS047, XS048, XS049, XS050, XS051, XS052, XS053, XS054, XS055, XS056, XS057, XS058,
    XS059, XS060, XS061, XS062, XS063, XS064, XS065, XS066, XS067, XS068, XS069, XS070,
    XS071, XS072, XS073, XS074, XS075, XS076, XS077, XS078, XS079, XS080, XS081, XS082,
    XS083, XS084, XS085, XS086, XS087, XS088</MID>

    <POS2>21.55, 22.55, 23.55, 24.55, 25.55, 26.55, 27.55, 28.55, 29.55, 30.55, 31.55,
    32.55, 33.55, 34.55, 35.55, 36.55, 37.55, 38.55, 39.55, 40.55, 41.55, 42.55, 43.55,
    44.55, 45.55, 46.55, 47.55, 48.55, 49.55, 50.55, 51.55, 52.55, 53.55, 54.55, 55.55,
    56.55, 57.55, 58.55, 59.55, 60.55, 61.55, 62.55</POS2>
    <M2ID>
    XS047, XS046, XS045, XS044, XS043, XS042, XS041, XS040, XS039, XS038, XS037, XS036,
    XS035, XS034, XS033, XS032, XS031, XS030, XS029, XS028, XS027, XS026, XS025, XS024,
    XS023, XS022, XS021, XS020, XS019, XS018, XS017, XS016, XS015, XS014, XS013, XS012,
    XS011, XS010, XS009, XS008, XS007, XS006</M2ID>
  </ROD>

  <CALC>
    <CONV>1.0E-8, 1.0E-8</CONV>
    <ITER>5000</ITER>
    <TIME>100.0</TIME>
    <DT> 1.0</DT>
    <POW>1.0</POW>
  </CALC>
</MORDRED>
```

ファイル内に記述するパラメータの詳細については、6章に記載している。

4.4 入力ファイルの保存場所

Ikaros3Dの実行プログラム(Ikaros3D.exe)と同じディレクトリから Ikaros3D_Data/Resources とたどり、Resources フォルダ内にすべての xml ファイルを保存する必要がある。

5 Ikaros3D の使用方法

5.1 起動方法

Windows において、Ikaros3D を起動するためには、配布フォルダ内にある「Ikaros3D.exe」ファイルを起動すればよい。Ikaros3D のアイコンはシミュレータ画面を模したものになっている。

 Ikaros3D_Data	2024/03/20 17:04	ファイル フォルダー	
 MonoBleedingEdge	2024/03/20 16:39	ファイル フォルダー	
 Ikaros3D.exe	2024/03/20 17:04	アプリケーション	639 KB
 UnityCrashHandler64.exe	2021/05/20 18:01	アプリケーション	1,221 KB
 UnityPlayer.dll	2021/05/20 18:01	アプリケーション拡張	27,409 KB

図 5.1 配布フォルダ内の一覧

5.2 入力データの読み込み

入力データは起動と同時に自動で読み込まれる。この時に 4 章で説明した入力データが正しい形式で Resources フォルダ内に保存されていない場合、エラーメッセージなどが表示される。この場合一度シミュレータの起動を停止し、適切な状態にしてからシミュレータを再度起動する必要がある。

5.3 各種機能

5.3.1 概要

起動時のシミュレータ画面を以下に示す。

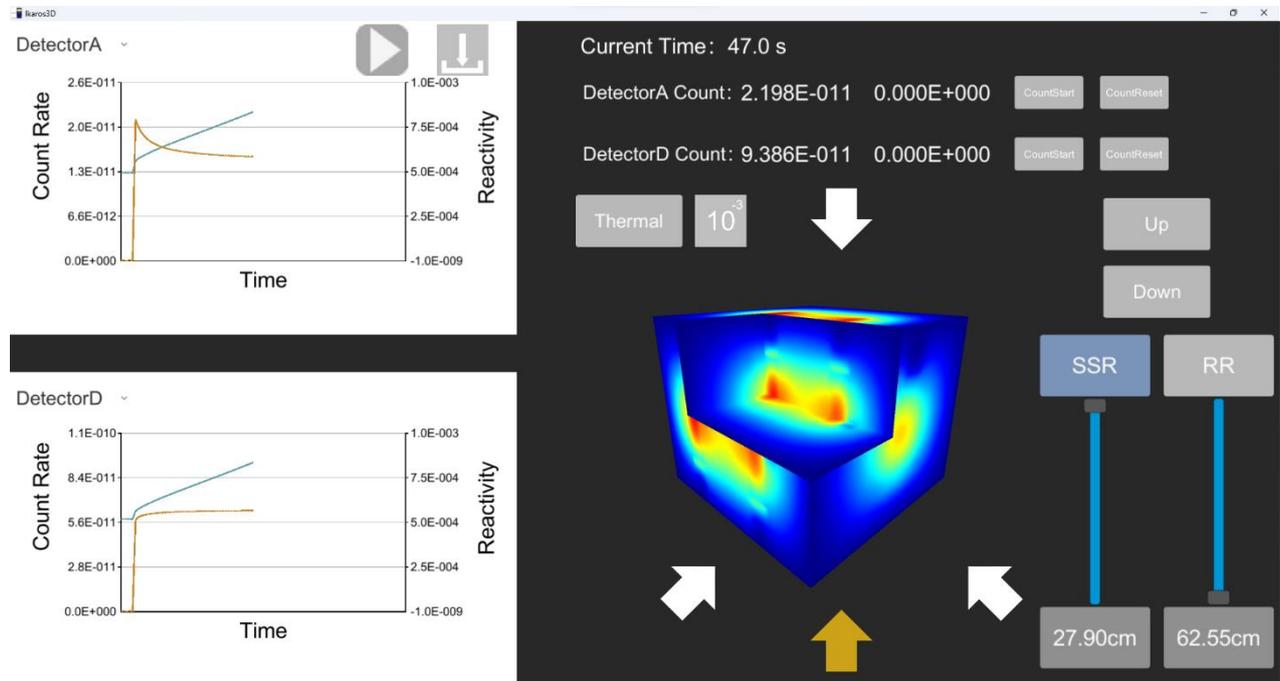


図 5.2 シミュレータ画面の全体像

5.3.2 シミュレーションの開始と停止

シミュレーションの開始と停止はシミュレータ画面左上のグラフにあるボタンを使用して実行する。ボタンは最初停止状態となっており、クリックすることで実行状態に遷移しシミュレーションを開始する。もう一度ボタンをクリックすることで停止状態となり、シミュレーションが一時停止される。



図 5.3 シミュレーションの開始及び停止ボタンのアイコンの種類

5.3.3 制御棒操作

制御棒操作は図 5.4 の GUI を利用して操作する。

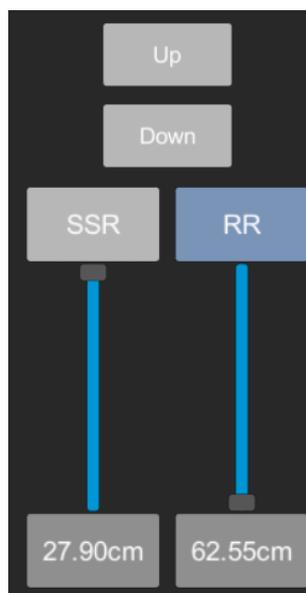


図 5.4 制御棒の調整機能(左が未選択状態、右が選択状態)

図 5.4 の GUI は Ikaros 開発時に実装した GUI を利用して作成されており、Ikaros と同じく 4 つの方法で制御棒を操作できる。

まず、1 つ目は選択ボタンを押した制御棒を Up 及び Down ボタンで同時に上昇または下降する機能である。図 5.4 において制御棒の名前が表示されている部分はボタンになっており、クリックすることで色が変わる。図 5.4 の左側が未選択状態であり、右側が選択状態である。図 5.4 上部の Up 及び Down ボタンを押すことで、選択状態の制御棒を上昇または下降することが出来る。上昇および下降の速度は毎秒 1 cm で固定の値となっている。

2 つ目は Slider を利用した連続的な上昇及び下降機能である。Unity にはデフォルトの GUI セットの中に Slider という GUI が存在する。Slider は図 5.4 の青色の縦棒に四角の調整バーが付いた GUI のことであり、バーを上下にスライドするとそれに合わせて Slider 内部の内部数値を調整することが出来る。このとき、内部数値の最大値と最小値は開発者によって自由に調整することができる。今回のシミュレータでは制御棒位置の調整に Slider を導入し、ボタンだけでなく Slider でも制御棒位置が調整できるようになっている。尚、SSR の制御棒位置の最大値は全挿入時の制御棒位置である 68.9 cm、最小値は全引抜時の制御棒位置である 27.9 cm とした。RR も同様に最大値と最小値を制御棒全挿入と全引抜位置に対応する 62.55 cm と 21.55 cm とした。

3 つめはデジタル値を直接入力することにより制御棒の値を調節する機能である。制御棒位置は Slider の下に表示されているが、この表示器は入力器も兼ねており直接値を入力すると Slider の内部変数を直接書き換えることが出来る。もし Slider の最大値、最小値を超える数値が入力された場合は最大値または最小値が入力値となり、数値以外が入力された場合には入力前の数値が入力値として保存される。

4つ目はボタンを押さなくても継続して制御棒位置が変化する機能である。これはもともと Ikaros においてホウ素濃度や温度など実験中に常に上昇または下降するパラメータを模擬するために追加した機能であるが、Ikaros3D でも使用することが出来る。使用方法としては選択ボタンを 1 秒以上長押しする。この操作で選択ボタンは図 5.5 のように変化する。継続選択状態では選択ボタンの色が選択状態とは異なる色になり、ボタンの名前に .Cont が追加される。継続選択状態で Up または Down ボタンを押すことで、それに応じて制御棒が常に上昇または下降し続けるようになる。継続選択状態はもう一度選択ボタンをクリックすることで未選択状態となり、常に上昇または下降し続ける状態も解除される。以上の 4 つの方法で制御棒を調整することで多様な実験を模擬することが出来る。

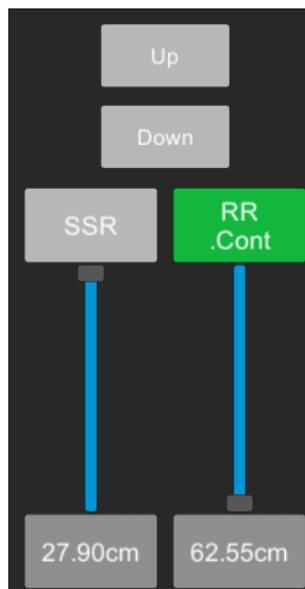


図 5.5 継続選択状態の制御棒(左が未選択状態、右が継続選択状態)

5.3.4 グラフの動的描画と中性子検出器位置の変更

シミュレータ画面のメイングラフ部分を以下に示す。

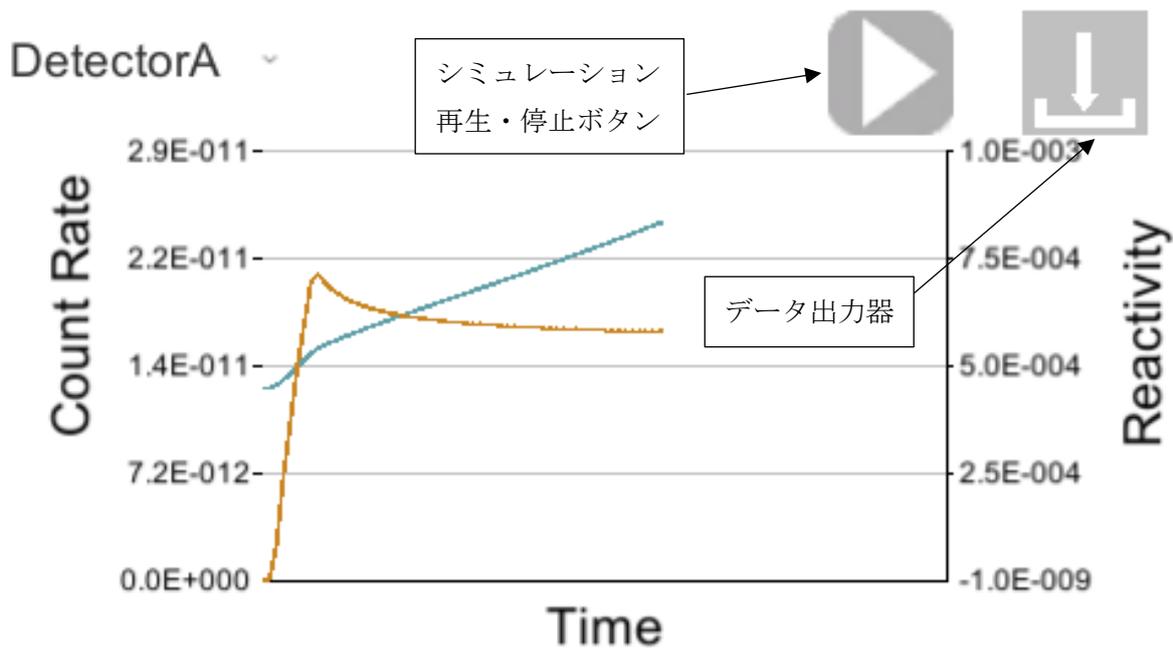


図 5.6 シミュレータのメイングラフ

グラフは上下に 2 つあり、それぞれ異なる中性子検出器位置の中性子束(または検出器反応率)と検出器反応率から逆推定した反応度を表示している。グラフの横軸がシミュレータに入力されている時間、左の縦軸が中性子束(または検出器反応率)、右の縦軸が反応度を表している。シミュレータの横軸は時間幅 100 ステップ分となっており、101 ステップ以降は最も古いデータから順番に消去される。シミュレータの縦軸はグラフのデータがプロットされるごとに更新され、使用しているライブラリによって最大値をもとに自動で調整される。データをプロットした部分にカーソルを合わせることでその時刻での中性子束(または検出器反応率)と反応度のデジタル値を確認できる。

中性子検出器位置の変更は図 5.7 のドロップダウンを使用する。ドロップダウンは Unity のデフォルト UI の 1 つであり、クリックすることでドロップダウンの要素を展開でき、選択したい項目を一つ選ぶことで内部変数の数値を選択したものに更新することが出来る。Ikaros3D では、上下二か所の中性子束を表示するグラフに対してそれぞれ中性子検出器位置を変更することができ、中性子検出器位置はあらかじめ決められたプリセット位置 3 か所ずつとユーザーが指定する位置(Custom)を選択することが出来る。合計 6 か所のプリセット位置は表 5.1 の通りである。ここで、メッシュ数は x 方向が 72、y 方向が 72、z 方向が 60 である。本シミュレータにおける xyz 軸方向は図 5.8 の通りであり、各検出器位置の配置は径方向が図 5.9、軸方向が図 5.10 である。また、メッシュの基準位置は図 5.9、図 5.10 に合わせて示す。

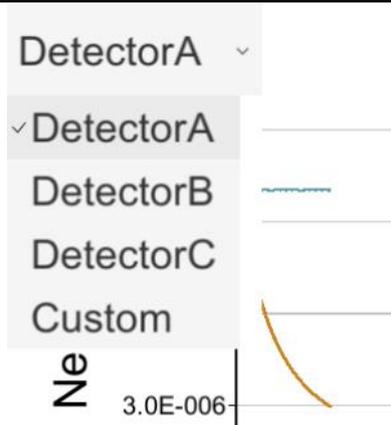


図 5.7 中性子検出器位置の変更機能

表 5.1 中性子検出器位置プリセット点

検出器番号	X	Y	Z
Detector A	68	32	56
Detector B	68	58	30
Detector C	54	4	30
Detector D	24	4	30
Detector E	24	68	30
Detector F	4	42	56

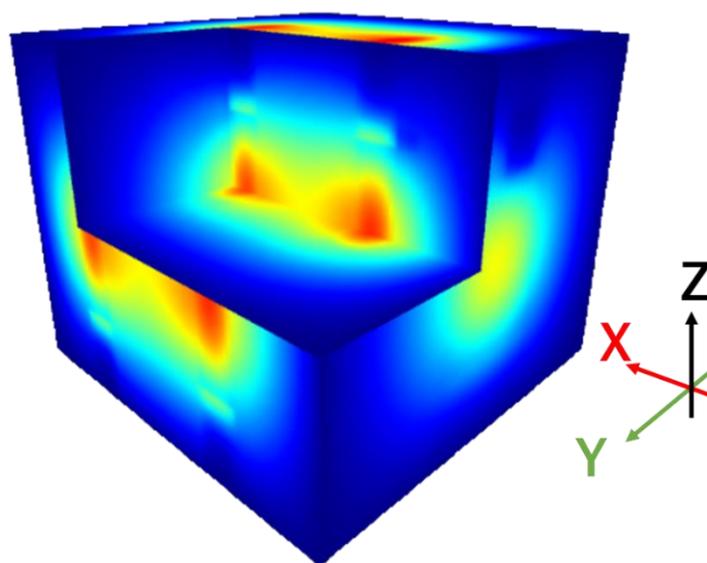


図 5.8 本シミュレータにおける X-Y-Z 軸方向

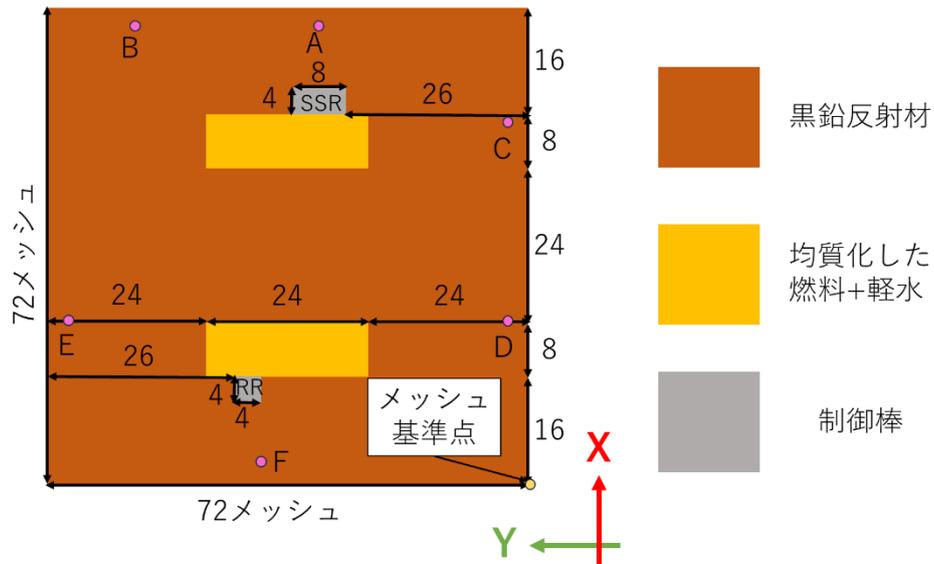


図 5.9 各検出器位置の径方向配置(X-Y 平面, Z 方向位置は検出器ごとに異なる)

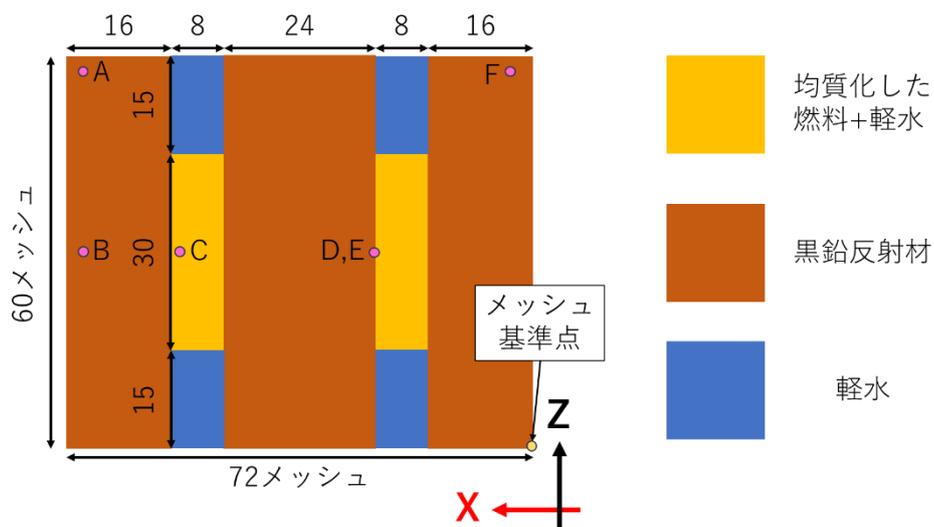


図 5.10 各検出器位置の軸方向配置(X-Z 平面, Y 方向位置は検出器ごとに異なる)

検出器位置でカスタムを選択した場合には図 5.11 のようにドロップダウンの右側に入力部分が表示され入力部分に入力した xyz メッシュ位置が検出器位置になる。

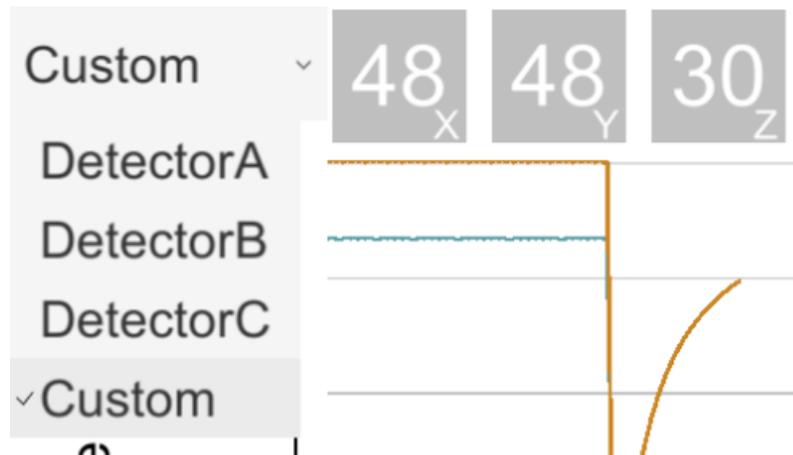


図 5.11 カスタム検出器位置を選択した場合の操作画面

データの出力はボタンを押すことでシミュレーション開始時間から現在のシミュレーション経過時間までにプロットしたデータを csv ファイルとして出力する。具体的には経過時間、上下のグラフにプロットされる中性子束(または検出器反応率)の時間変化をまとめて csv ファイルとして保存する。出力場所は入力ファイルを保存した場所と同じ Resources フォルダで、出力ファイル名は“output 年_月_日_時間.csv”として保存した時刻に応じて決定される。

5.3.5 中性子カウント数の積算

中性子カウント数の積算は中性子束のデジタル表示の隣にある積算ボタンを使用する。本来は中性子計数率をカウントする必要があるが、Ikaros3D では中性子計数率と関連のある熱群中性子束を中性子計数率に見立てて積算している。積算ボタンは Count Start ボタンを押すと動特性計算の時間ステップごとに得られた中性子計数率を足し合わせ、Count Stop ボタンで中性子計数率の計数を一時停止、Count Reset ボタンでカウントした中性子計数を 0 カウントに戻すことができる。なお、Count Start ボタンは積算開始後に Count Stop ボタンとなる。

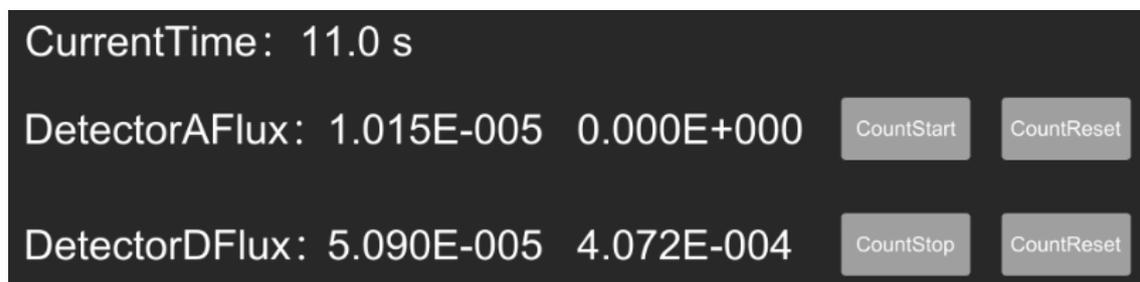


図 5.12 中性子束の積算機能

5.3.6 中性子束の可視化と視点の変更方法

3次元中性子束を描画する立体は10個の面で構成されており、ROM計算によって得られた中性子束分布の断面をそれぞれの面上に描画する方式で実装している。この時、外側の板の中性子束分布は体系の境界条件によって基本的に中性子束がほとんどゼロになってしまうため、Ikaros3Dでは炉心をくりぬき、その断面における面の中性子束分布を表示している。具体的には①②③の面は⑦の面に対応する中性子束分布を表示し、④⑩の面は④の面に対応する中性子束分布を表示し、⑥⑨の面は⑤の面に対応する中性子束分布を表示している。また、この炉心をくりぬく断面はすでに説明した表4.1ように入力ファイルから変更することが出来る。

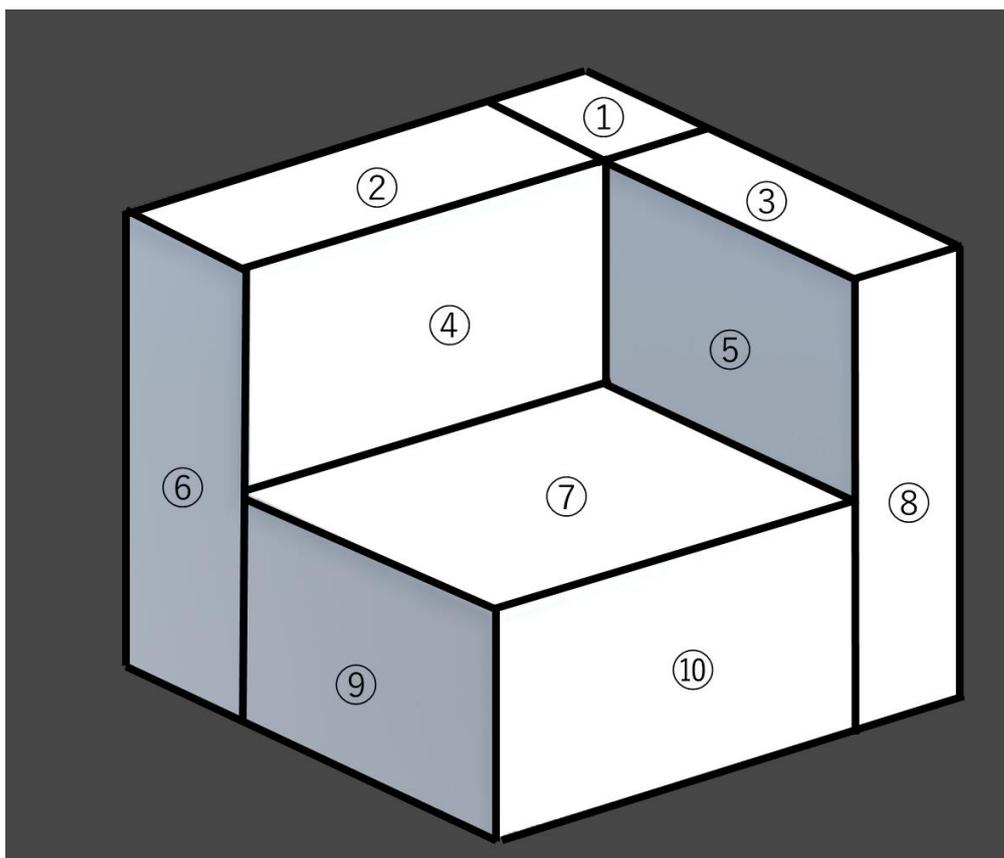


図 5.13 描画立体の分割位置

中性子束の視点の変更機能は上下左右に配置された矢印ボタンを押すことで、カメラを回転させて下のような4つの画面に切り替えることが出来る。

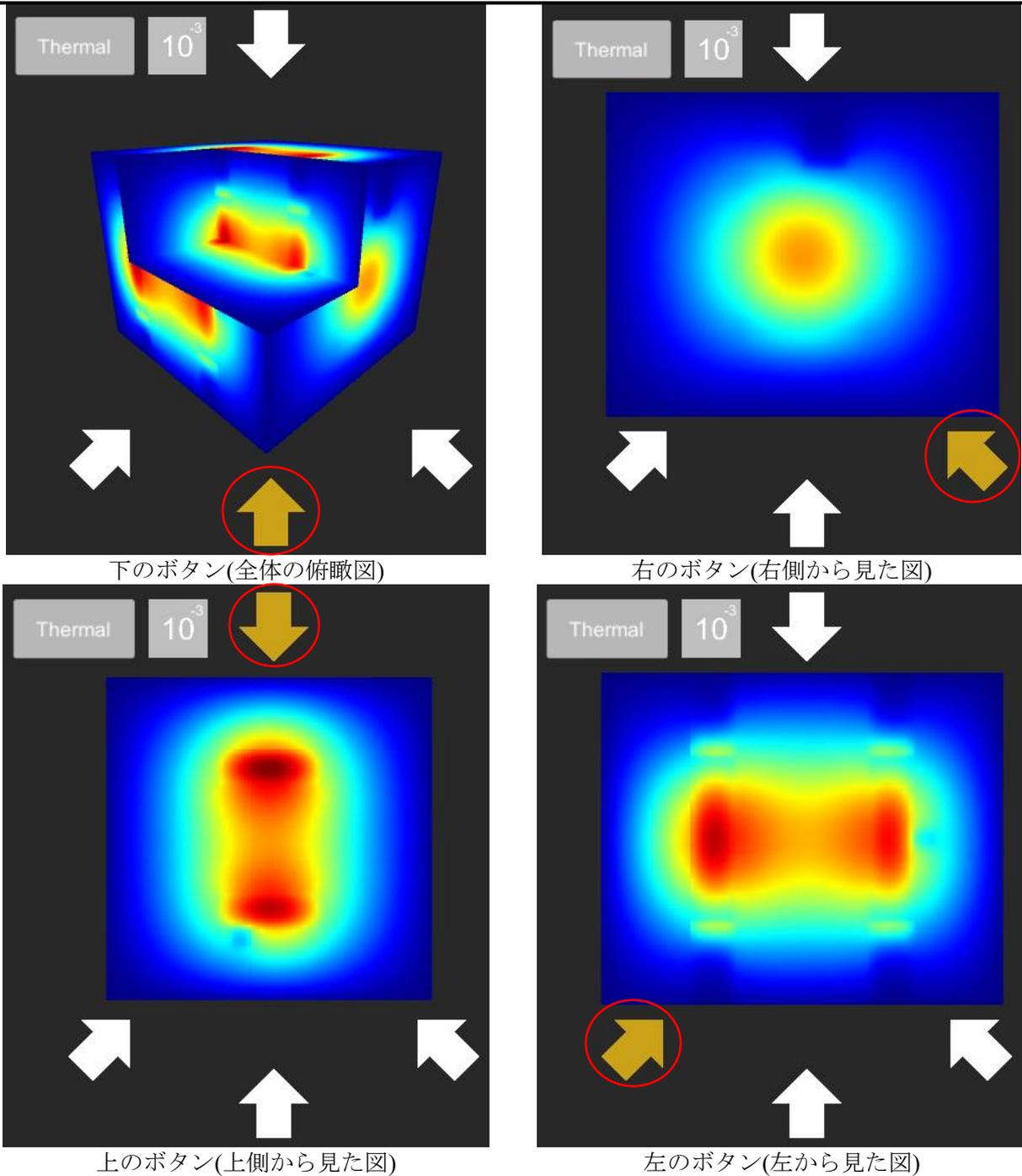


図 5.14 上下左右のボタンとシミュレータのカメラの向きの対応関係

また、本シミュレータでは中性子束のオーダーに合わせて表示を変える機能がある。図 5.15 において 10^{-3} とかかれた表示器がこの機能に該当する。図 5.15 では中性子束のオーダーを $A \times 10^{-3}$ として、 A が 0 に近いほど青色、1 に近いほど赤色になるように描画の色を調整している。 A が 1 を超える場合には最も赤い色になるように調整している。例えば、オーダーを $A \times 10^{-4}$ に変更する場合には、表示器の右上の -3 の部分をクリックし、-4 とキーボードで入力し、表示器以外の場所をクリックすると変更できる。

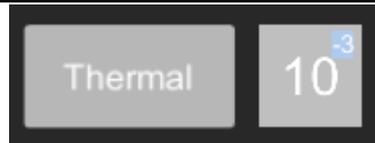


図 5.15 オーダーを変更可能にした状態(-3 の部分をクリックすることでこの状態になる)

最後に、本シミュレータでは熱中性子束と高速中性子束を描画することが出来る。図 5.15 における Thermal と書かれたボタンがこの機能に該当する。Thermal と書かれたボタンを押すとボタンの表記が Fast になり描画が高速中性子に切り替わる。もう一度ボタンを押すことでボタンの表記が Thermal に戻り、描画が熱中性子束に切り替わる。

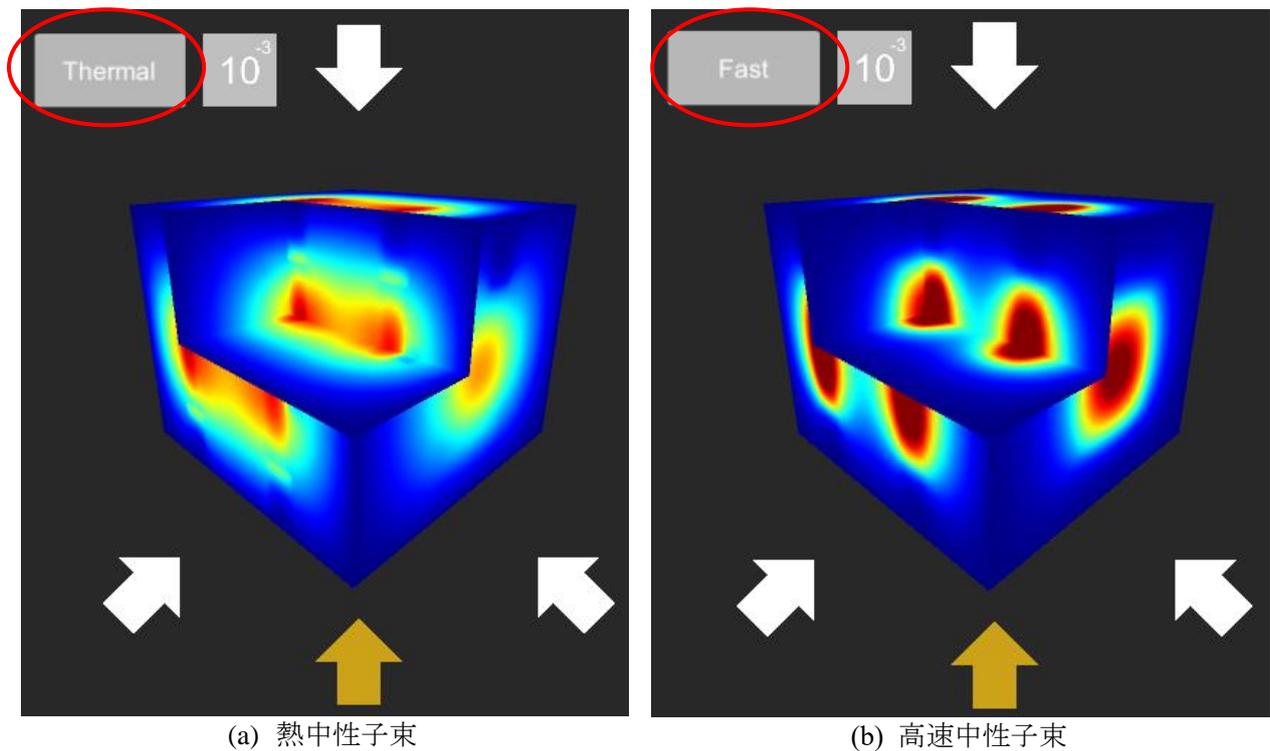


図 5.16 熱中性子束と高速中性子束の描画切り替え

6 入力データの説明

この章では入力ファイルに記入する各パラメータの詳細について記述する。

6.1 初期値(InitParam.xml)

6.1.1 INPUT

その他入力ファイルのファイル名を入力する。

6.1.2 SOLVER

計算ソルバーに使用する入力ファイルのファイル名を拡張子抜きで入力する。

6.1.3 DETECTOR

仮想的な検出器のパラメータ入力に使用する入力ファイルのファイル名を拡張子抜きで入力する。

6.1.4 MESHDIVISION

中性子束の3次元表示におけるメッシュの分割位置を入力する。本シミュレータにおいてメッシュ分割数はX方向72、Y方向72、Z方向60となっているため、0から72の間の整数値を入力する必要がある。

6.1.5 PLOTTYPE

動的なグラフ描画でプロットされる値を入力する。プロットできる値は以下の3つから選択できる。

1. fastflux : グラフに高速中性子束の時間変化を表示する
2. thermalflux : グラフに熱中性子束の時間変化を表示する
3. reaction : グラフに検出器反応率の時間変化を表示する

6.2 検出器パラメータ(DetectorParam.xml)

6.2.1 POINTKINETICS

逆動特性法を利用して検出器ごとに反応度を推定するための動特性パラメータを設定する。

6.2.2 BETA

逆動特性法で使用する実効遅発中性子割合を入力する。本シミュレータでは任意の遅発中性子先行核群数に対応しており、例えば最も一般的な6群の遅発中性子先行核を取り扱うためには、横方向(同じ行内)に各群の実効遅発中性子割合を入力すればよい。

6.2.3 SMALLLAMBDA

逆動特性法で使用する遅発中性子先行核の崩壊定数[1/s]を入力する。崩壊定数は上記の実効遅発中性子割合の群数だけ用意する必要がある。例えば6群の遅発中性子先行核を取り扱うためには、6群分(横方向に6列分)の崩壊定数を入力する必要がある。

6.2.4 LARGELAMBDA

逆動特性法で使用する中性子生成時間[s]を入力する。

6.2.5 SIGF

検出器として模擬している核分裂計数管の核分裂断面積(検出器反応断面積)を入力する。本計算はエネルギー群数 2 群で計算しており、左から順番に高速群、熱群の核分裂断面積を表す。

6.3 計算ソルバー(UTR-KINKI_SSR_RR.xml)

本入力ファイルの内容は使用している計算ソルバーの形式に合わせて入力を設定しているため、変更の融通が利く形式となっていない。計算ソルバーにおいてどのような値が設定されているのかを知る手掛かりとして入力ファイルの内容を記載する。

6.3.1 LIB

計算に使用する圧縮行列をテーブルとして保存した.h5 拡張子のファイル名を拡張子込みで入力する。計算ソルバーの実行ファイルとの相対パスの関係上、Ikaros3D_Data/Resources/ファイル名.h5 とし入力する必要がある。

6.3.2 BASE

圧縮行列テーブルの中から、基準となる臨界状態の圧縮行列 ID を入力する。

6.3.3 ARO

圧縮行列テーブルの中から、制御棒を全引抜した状態の圧縮行列 ID を入力する。

6.3.4 ROD

制御棒位置と圧縮行列 ID を 1 対 1 で対応させるように入力する。

6.3.5 POS

制御棒 SSR の移動範囲を入力する。本シミュレータでは、27.9 cm から 68.9 cm の間を 1 cm 間隔でテーブル化している。

6.3.6 MID

制御棒 SSR の移動範囲に対応した圧縮行列 ID を入力する。本シミュレータでは、1 cm 間隔でテーブル化した制御棒位置に対応する圧縮行列 ID を入力している。

6.3.7 POS2

制御棒 RR の移動範囲を入力する。本シミュレータでは、21.55 cm から 62.55 cm の間を 1 cm 間隔でテーブル化している。

6.3.8 M2ID

制御棒 RR の移動範囲に対応した圧縮行列 ID を入力する。本シミュレータでは、1 cm 間隔でテーブル化した制御棒位置に対応する圧縮行列 ID を入力している。

6.3.9 CALC

POD によって次元圧縮された拡散方程式を解くための計算条件を入力する。

6.3.10 CONV

keff 及び中性子束展開係数の収束条件を入力する。

6.3.11 ITER

核分裂源更新のための外部反復回数上限を入力する。

6.3.12 TIME

計算時間を入力する。これは使用している計算ソルバーがもともと有限時間のシミュレーションを実施するものであったため、その名残が残っている。本シミュレータにおいてこの値を変更しても特に変更される箇所は存在しない。

6.3.13 DT

計算時間の幅を入力する。ただし、計算ソルバー内部の入力値が $dt=1.0\text{ s}$ で固定になっているため実質 $dt=1.0\text{ s}$ の計算しか実施できない。

6.3.14 POW

シミュレーション開始時の炉心全体の出力を規格化する値を入力する。

7 計算体系

まず、モデル化した炉心図を図 7.1 と図 7.2 に示す。体系の 1 メッシュの大きさは $2\text{ cm} \times 2\text{ cm} \times 2\text{ cm}$ であり、体系全体のメッシュ分割数は $72 \times 72 \times 60 = 311,040$ である。エネルギー群は 2 群、体系外は真空境界条件としている。

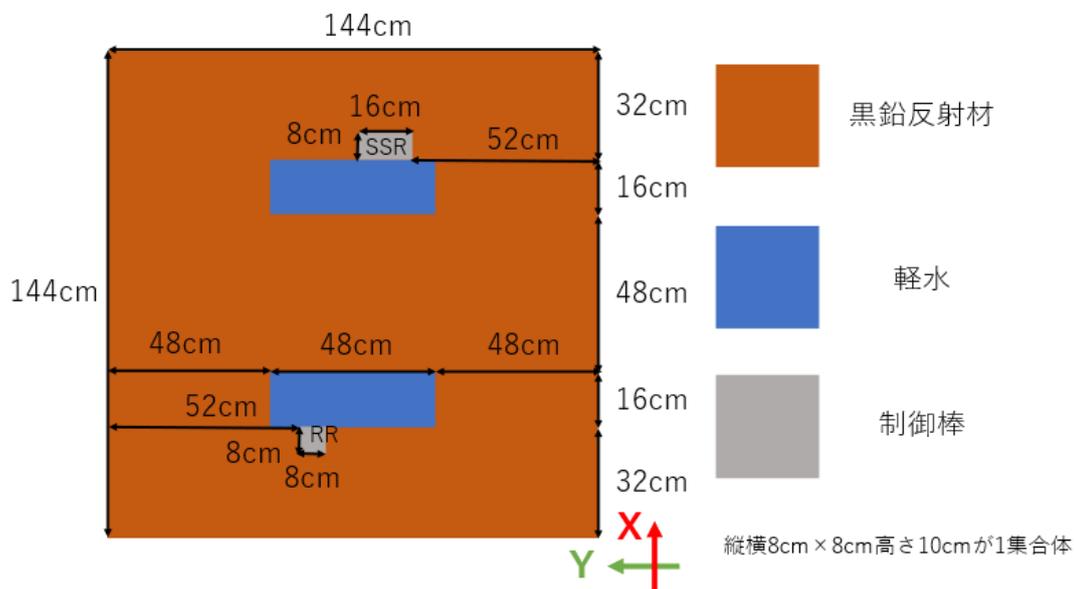


図 7.1 モデル化した UTR-KINKI の炉心平面図($Z=100\text{ cm}$)

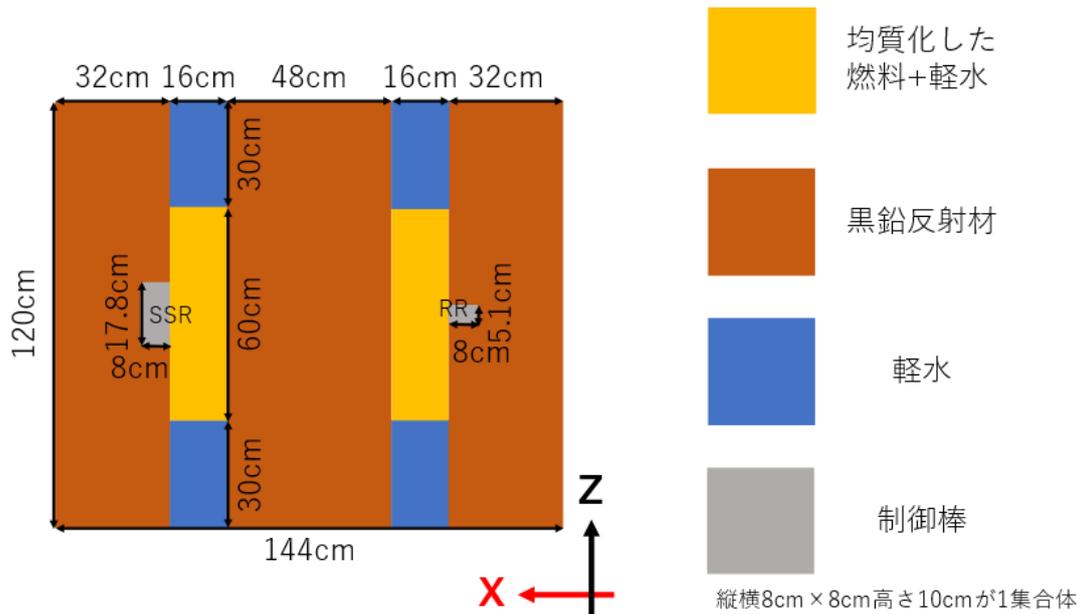


図 7.2 モデル化した UTR-KINKI の炉心断面図(Y=72 cm)

モデル化した炉心をもとに、今回使用する物質を均質化した燃料+軽水、黒鉛反射材、軽水の3つに決定した。それぞれの巨視的断面積パラメータを表 7.1 のように設定した。制御棒が挿入されている部分は黒鉛反射材の巨視的吸収断面積に制御棒の巨視的吸収断面積を加えるようにした。

表 7.1 材料ごとの核特性パラメータ

Group		D [cm]	$\Sigma_{s,1 \rightarrow 2}$ [1/cm]	Σ_a [1/cm]	$\nu\Sigma_f$ [1/cm]
均質化した 燃料+軽水	1	1.458	3.556E-2	1.592E-3	1.817E-3
	2	0.2144	-	5.086E-2	7.335E-2
黒鉛反射材	1	1.212	2.829E-3	1.08E-4	0.0
	2	0.7551	-	7.62E-4	0.0
軽水	1	1.41	4.76E-2	0.0	0.0
	2	0.117	-	1.91E-2	0.0

ここで、各パラメータは以下の意味を示す。

- D : 拡散係数
- $\Sigma_{s,1 \rightarrow 2}$: 1群から2群への散乱断面積(2群から1群への散乱断面積と自群散乱断面積は0)
- Σ_a : 吸収断面積
- $\nu\Sigma_f$: 1核分裂あたりの放出中性子数 ν を含む核分裂断面積

また、動特性パラメータは表 7.2 のように設定した。

表 7.2 UTR-KINKI の動特性パラメータ

i	実効遅発中性子割合 $\beta_{eff,i}$	崩壊定数 $\lambda_i [s^{-1}]$
1	2.423E-4	1.24E-2
2	1.608E-3	3.05E-2
3	1.439E-3	1.11E-1
4	2.900E-3	3.01E-1
5	8.443E-4	1.14
6	3.342E-4	3.01

最後に制御棒 RR と SSR を挿入した場合の挿入されたメッシュにおける 2 群の吸収断面積増加量は表 7.3 のように設定した。

表 7.3 制御棒 RR と SSR が挿入されたときの巨視的吸収断面積増加量

制御棒	Group	$\Delta\Sigma_a [1/cm]$
RR	1	0
	2	0.065
SSR	1	0
	2	0.073