

PHITS ver.3.36の概要

PHITS開発チーム一同

2026/03

最近の更新履歴

2023年12月：PHITS公式引用文献を更新*

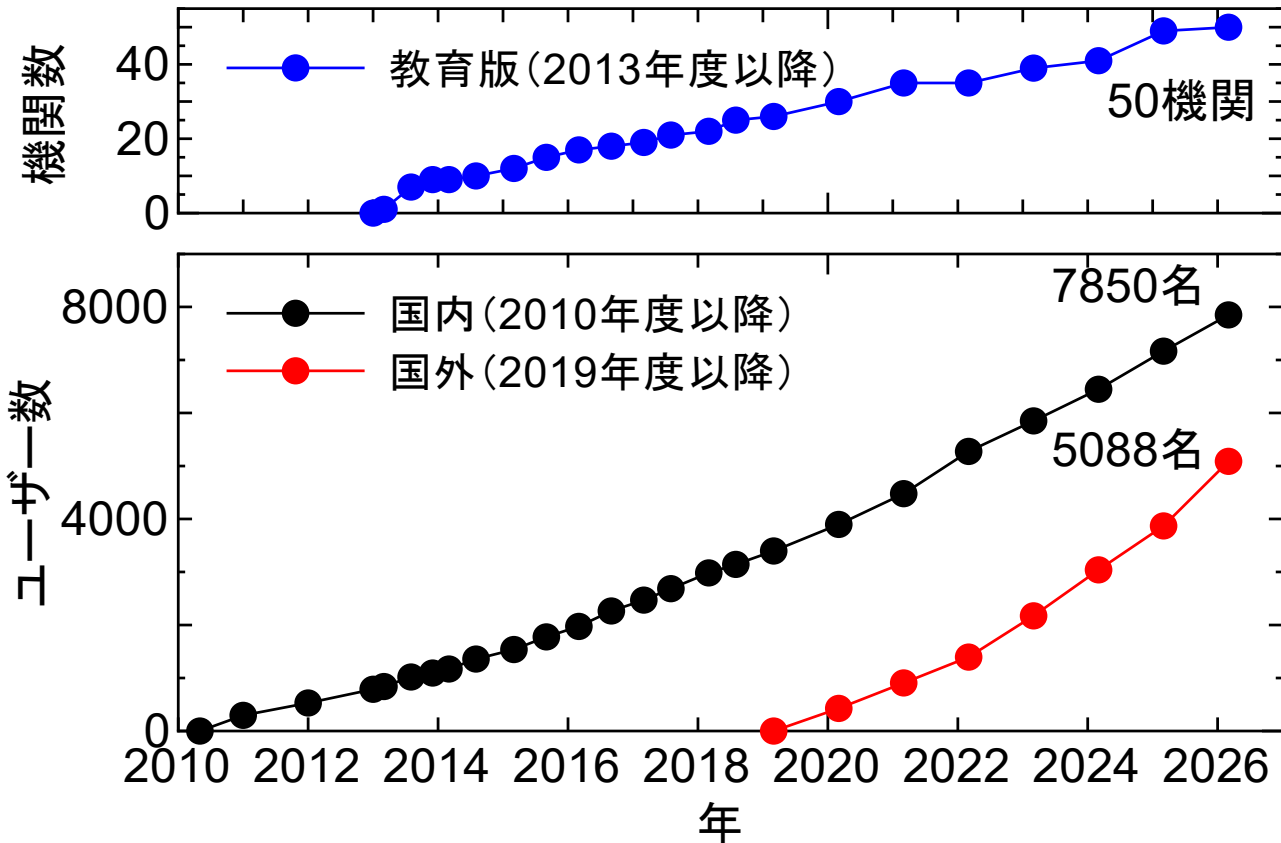
2024年04月：PHITS 3.34をRIST、OECD/NEA DBに登録

2025年04月：PHITS 3.35をRIST、OECD/NEA DBに登録

2026年04月：PHITS 3.36をRIST、OECD/NEA DBに登録

*T. Sato et al., Recent improvements of the Particle and Heavy Ion Transport code System - PHITS version 3.33, J. Nucl. Sci. Technol. 61, 127-135 (2024)

PHITSユーザー数の変化

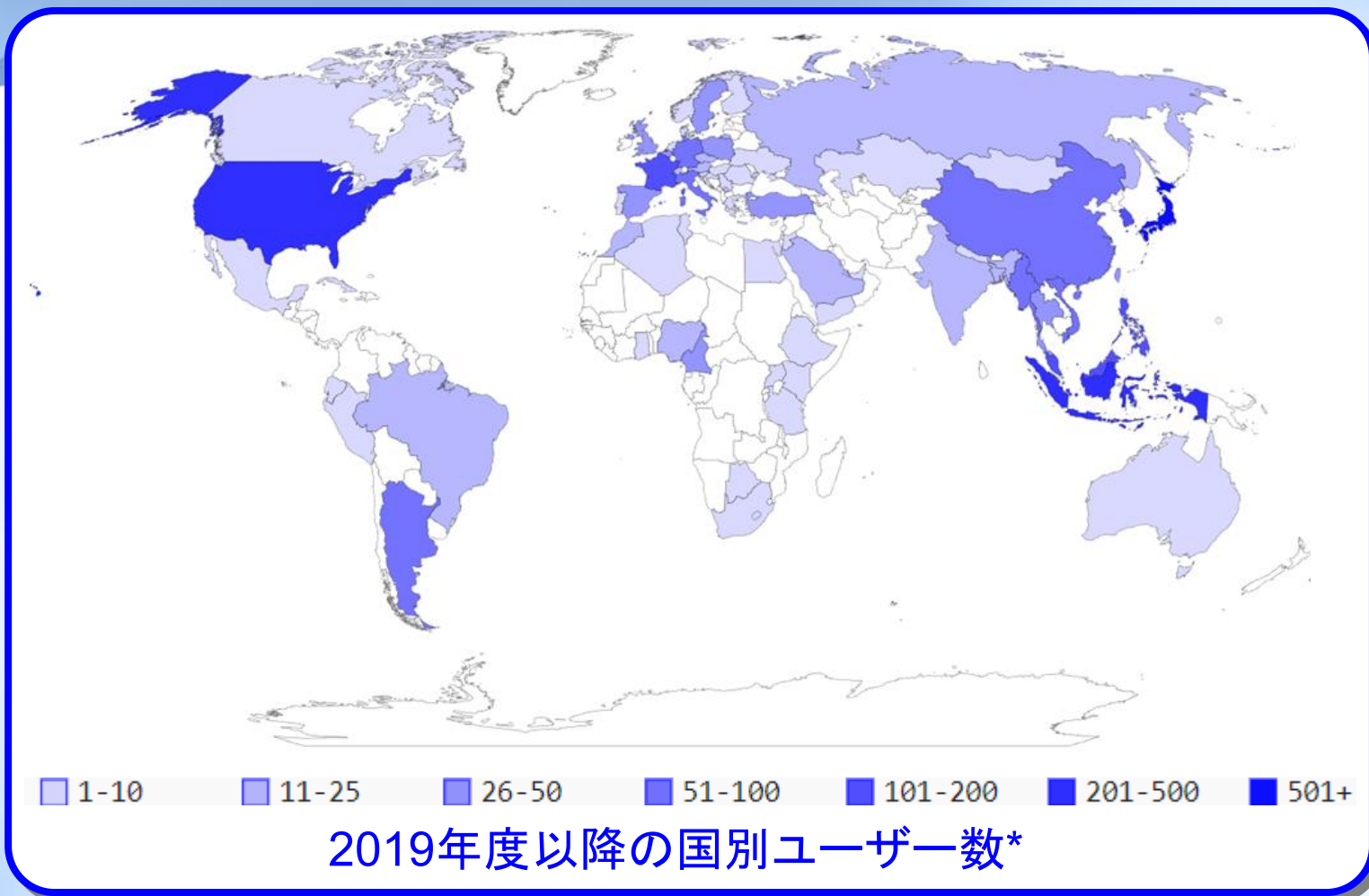


PHITSユーザー数*

1年間で約2,000名増加し、合計12,000名突破！！

*国内:PHITS講習会に参加,もしくはRISTを通してPHITSを入手した人数
国外:2019年度以降に入手した人数(OECD/NEAデータベース経由含む)

国別ユーザー数（2019年度以降）



*2026年3月12日時点、所属機関の国でカウント

7年間で80ヶ国から9,282名が新規ユーザー登録！

https://phits.jaea.go.jp/usermap/PHITS_map_userbase.html

Top 10 countries

Country	#users
Japan	4232
Indonesia	778
United States	581
South Korea	452
France	329
Philippines	308
Spain	221
China	216
Malaysia	163
Morocco	161

PHITSに組み込まれた物理モデル（奨励設定）

	中性子	陽子	原子核	μ粒子	電子	光子	
	1 TeV		1 TeV/n	1 TeV		1 TeV	
エネルギー ↑ ↓ 低	JAM + GEM 3.0 GeV		JAMQMD + GEM	JAM/ JQMD + GEM 200 MeV	EGS5, ETS or ETSART	EPDL97 or EGS5	JAM/ JQMD + GEM + JENDL + NRF
	INCL4.6 + GEM 200 MeV		JQMD + GEM				
	20 MeV	JENDL-5 1 MeV	d 10 MeV/n	ATIMA + Original Model 1 keV	1 keV	1 keV	Original model
	JENDL-4 or JENDL-5 0.01 meV	ATIMA or KURBUC / ITSART 1 keV					
		*負ミューオンのみ(捕獲反応)		*JQMD + GEM	ETS or ETSART 1 meV		

赤: 原子核反応モデルもしくはライブラリ
青: 原子反応モデルもしくはライブラリ
 灰色でハイライトしたモデルやライブラリは、初期設定では利用されない

オリジナルの光(可視光含む)輸送アルゴリズムを導入

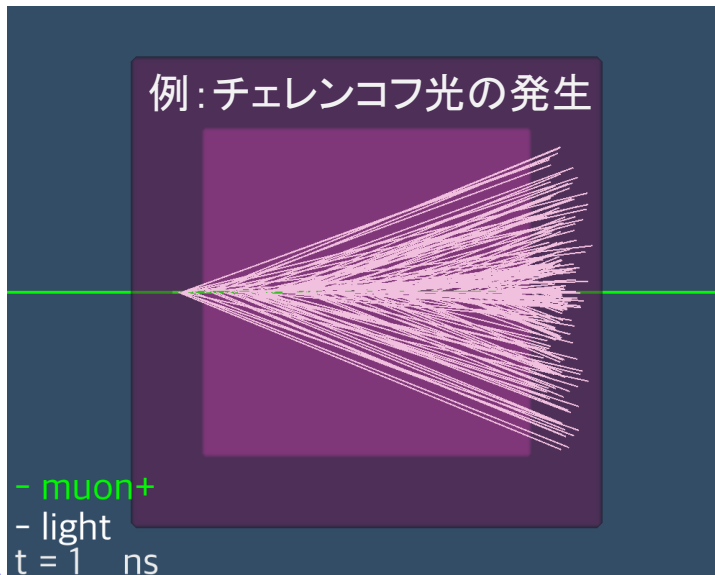
最近の改良点①

- ✓ 光(可視光を含む)の発生・輸送機能の実装
- ✓ 原子核-原子核反応断面積計算モデルの拡充
- ✓ 2次粒子を特定の方向に強制的に発生される[outgoing particle bias] 機能の実装
- ✓ 粒子線による特性X線・オージェ電子発生モデルの開発と導入
- ✓ HDF5形式でのタリー結果出力機能の導入
- ✓ PHIG-3Dのレンダリング機能を高度化しボクセルやメッシュファントムを描画可能に
- ✓ AI-powered PHITS tutorを作成し公開

光の発生・輸送機能（[Light]セクション）の実装

発光

- シンチレーション光
- チェレンコフ光
- 再発光（蛍光/燐光/波長シフト）
- 発光量のスケールリング係数
 - 計算コスト削減のため

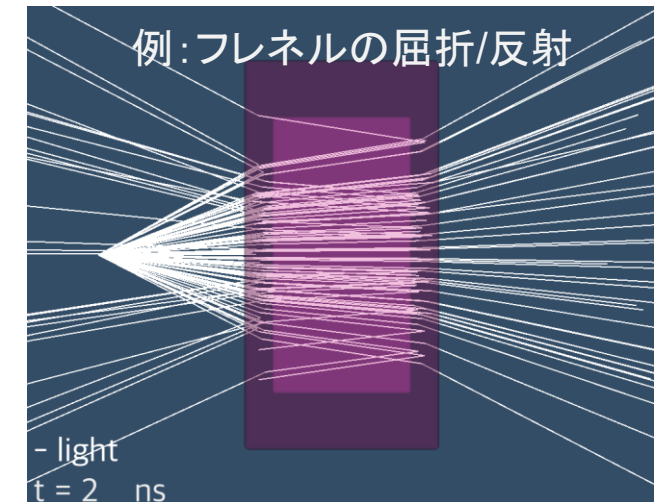


領域の光学的性質

- 屈折率
- 絶対発光量、発光スペクトル、
Birksの法則に従うクエンチング
- 立ち上がり/減衰時定数
- 吸収長/吸収係数/内部透過率
 - 波長依存性あり/なし
- 散乱長/散乱係数
 - 波長依存性あり/なし
- 散乱タイプ
 - レーリー散乱、ミー散乱

境界の光学的性質

- フレネルの屈折/反射
- 反射
 - 完全鏡面、鏡面ローブ
 - ランベルト拡散、後方散乱ローブ
- 境界での吸収、透過
- 境界のタイプ
 - 一方向/双方向



JENDL-5を用いた発熱計算

核データを用いた粒子輸送計算*

20MeV以下の中性子

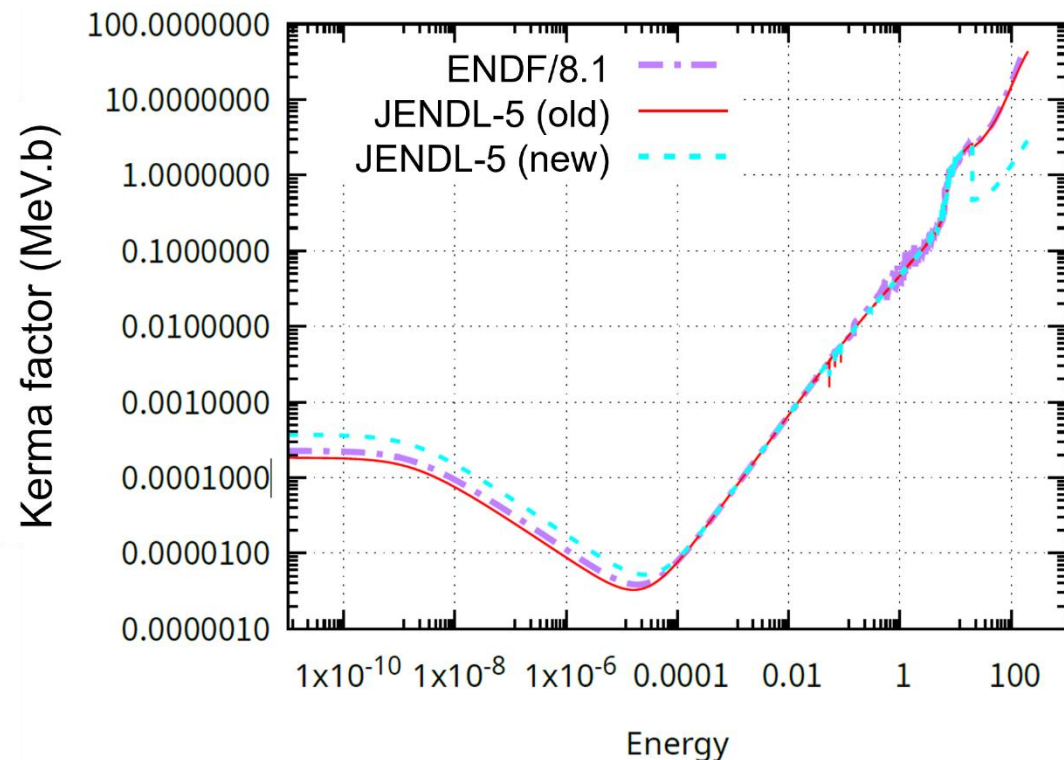
- ✓ 発生2次粒子: 中性子及び光子のみ
- ✓ カーマファクター: 全ての2次荷電粒子エネルギーの合計

20MeV以上の中性子及び荷電粒子

- ✓ 発生2次粒子: 中性子、光子、陽子、重陽子、 ^3H 、 ^3He 、 α 粒子
- ✓ カーマファクター: 上記以外の2次荷電粒子及び残留核エネルギーの合計

上記定義に従ってJENDL-5
のカーマファクターを改訂

*イベントジェネレータモードを用いない場合



Si-28に対する中性子カーマファクター

- ✓ 20MeVでカーマファクターが非連続に下がる
- ✓ 放出荷電粒子による電離とカーマファクターによる二重カウントを回避

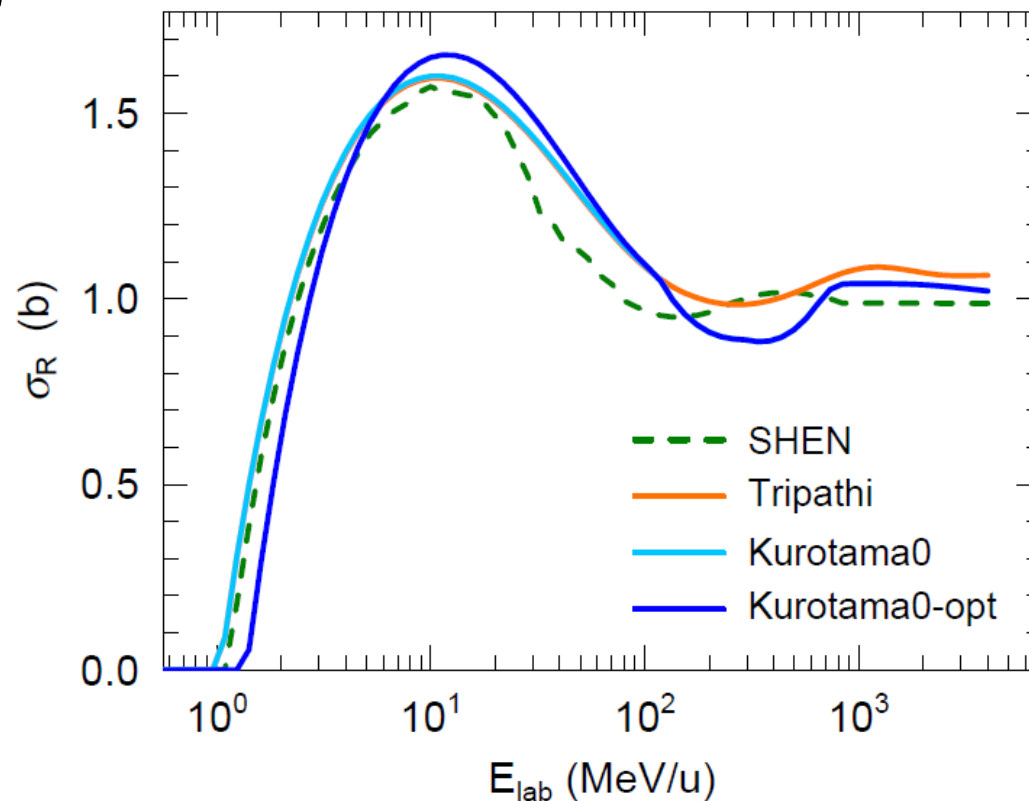
原子核反応断面積モデルの拡充

改良版のKUROTAMA hybridとTripathiモデル[1]を導入

- ✓ 原子核反応断面積オプション icrhi で選択可能
- ✓ 出力機能を追加

icrhi	Description
0	Shen
1	Tripathi
2	KUROTAMA hybrid
3	d special treatment
4	Tripathi optimized NEW
5	KUROTAMA hybrid optimized NEW
99	XS output mode NEW

Total reaction cross section σ_R , $^{12}\text{C} \rightarrow ^{16}\text{O}$



[outgoing particle bias] 機能の実装

[outgoing particle bias] とは？

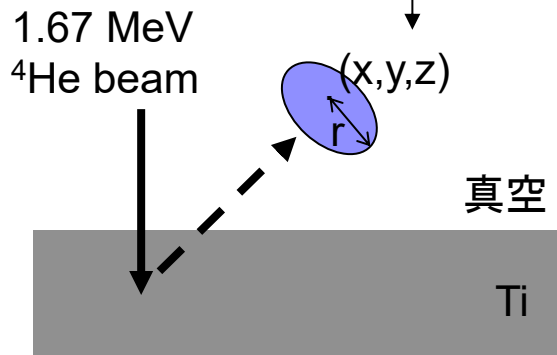
新しい分散低減法。反応の終状態にある粒子のうち指定したものを、強制的に指定した座標範囲に散乱させる。これにより統計誤差を早く収束させる。* 現時点ではITSART 飛跡構造解析モデルのRutherford散乱のみに適用可能

サンプルフォーマット

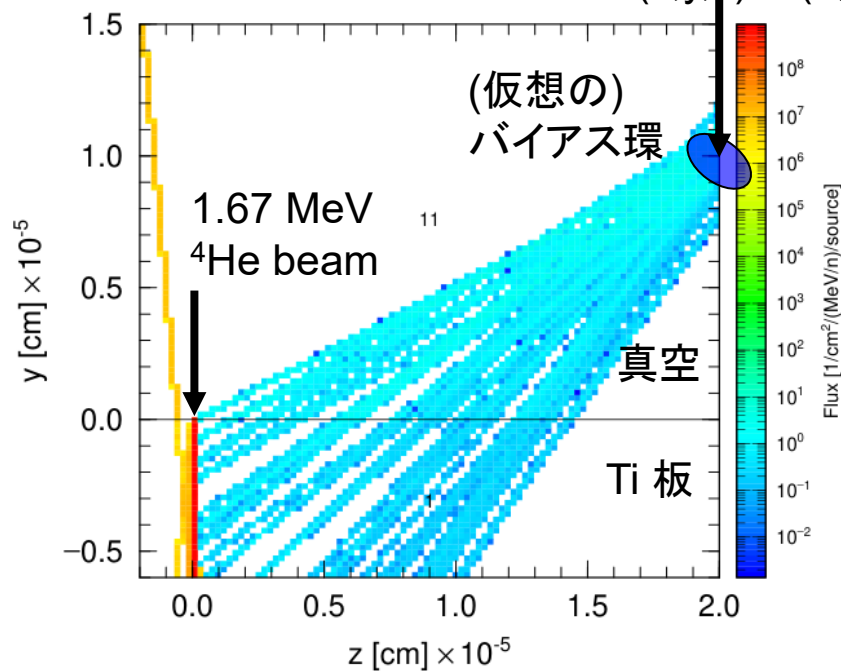
```
[outgoing particle bias]
part = 4He
reg  x  y  z  r
1    0 1e-5 2e5 1e-6
```

(検出器の) 座標

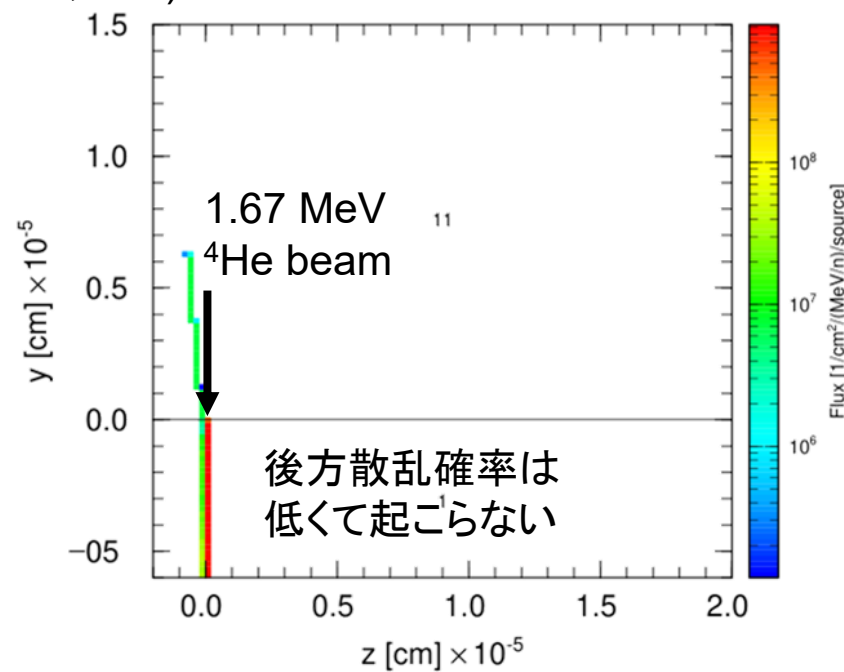
計算設定



バイアスあり 半径=1.e-6
(x,y,z) = (0,1e-5,2e-5)



バイアスなし

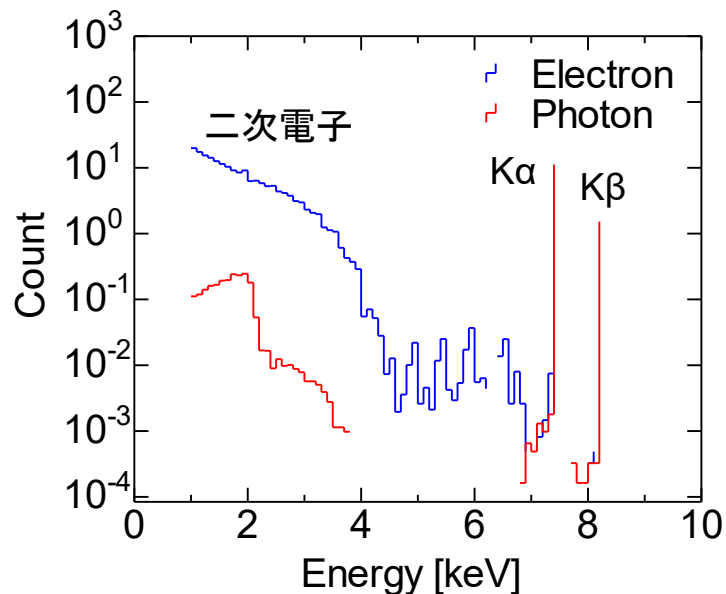


- ✓ 希少なイベント(Rutherford 散乱)が強制的に起こる
- ✓ 出射粒子のウェイトは微分断面積に従って下げる

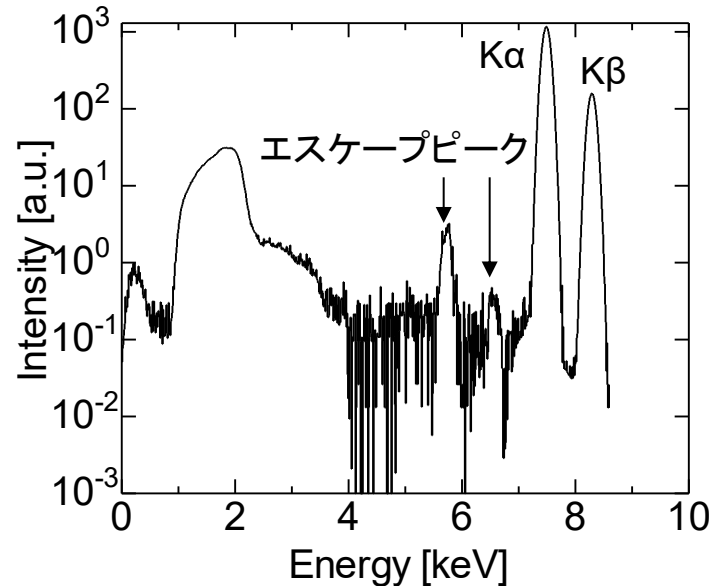
粒子線による特性X線・オージェ電子発生モデル

- ✓ 陽子や重粒子線に起因する特性X線およびオージェ電子を模擬できるようにした
- ✓ irelax パラメータにより、生成対象とする電子殻を制御する
(1: K殻のみ、2: K殻・L殻、...、7: 全電子殻)

計算例: Ni試料に対する2MeV陽子照射の模擬 (irelax=-1)



電子・光子の生成スペクトル



検出器応答スペクトル

粒子線照射により発生する特性X線・オージェ電子やバックグラウンドとなる二次電子の発生を模擬できる(左図)。さらに、[T-deposit] の検出器応答機能により、検出器で観測されるスペクトルを評価できる(右図)。これにより、PIXE測定を含む一連の過程をシミュレーションできる。

HDF5形式タリー出力

- ✓ 大量データを構造化して格納するHierarchical Data Format (HDF)形式でタリー出力する機能の導入。
- ✓ PHITSのタリー形式に合わせた出力(拡張子.ph5)。
- ✓ 現状では、t-depositおよびt-wwgのみで使用可能。
- ✓ 今後、他のタリーへの拡張・再開等を読み込みルーチンの開発を実施予定。

[T-deposit]

file = `***.out`
mesh = `xyz`

...

`ph5out = 1`

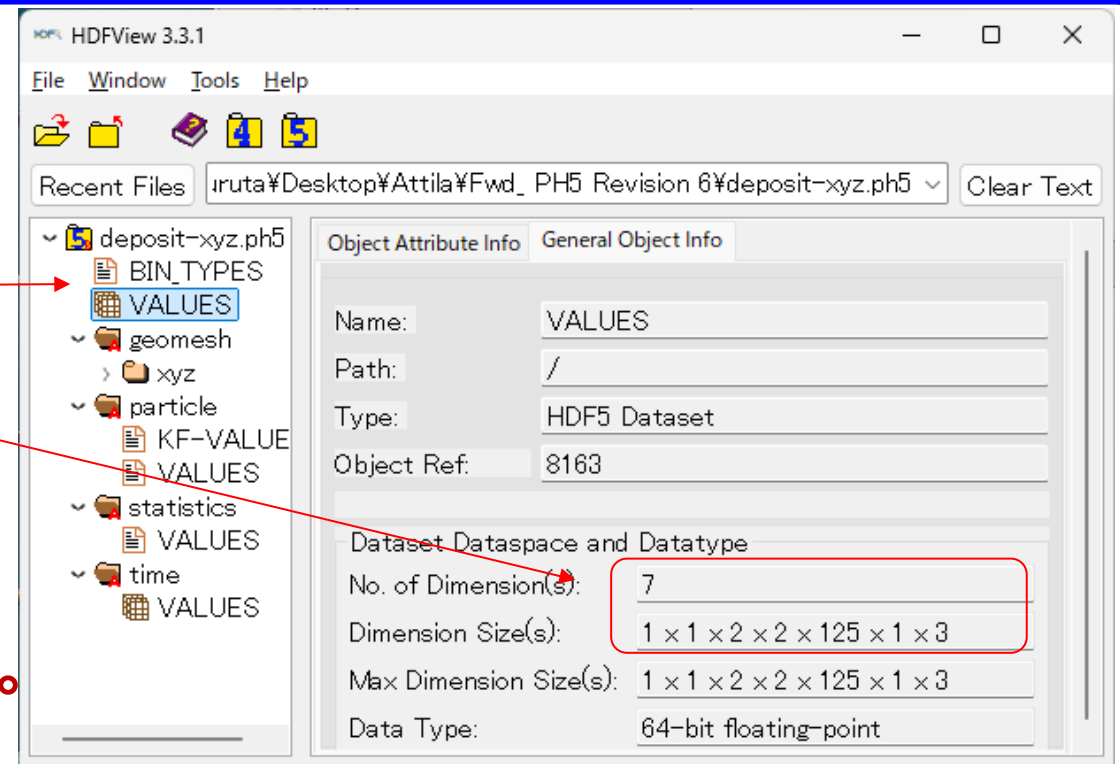
***.ph5

データ並びの定義を規程

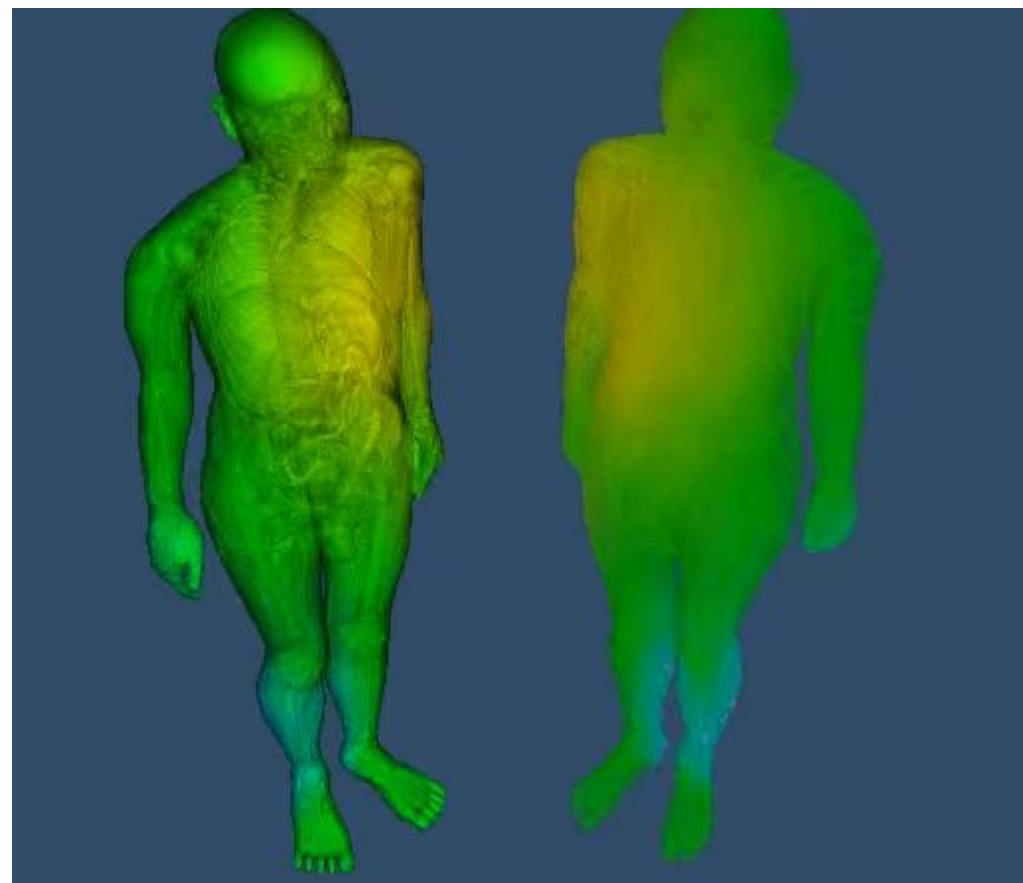
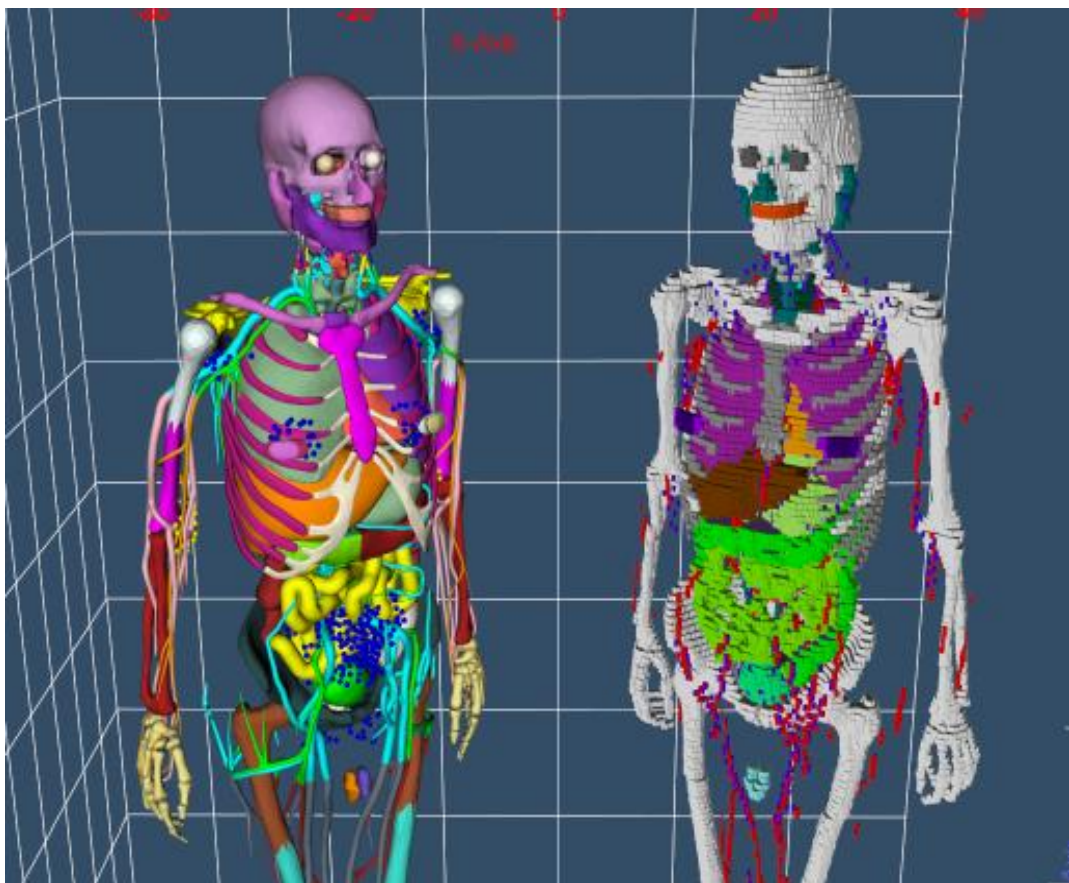
PHITS内部のタリー変数と同じ
7次元配列をそのまま出力

- 出力・読込ルーチンでバグが減る
- 今後の拡張がし易い

**今後、ph5形式のタリー出力の標準化を目指す。
ph5から図を作成するソフトウェアを開発予定！**



PHIG-3Dの改良



phits/sample/icrp の四面体及びvoxelファントムをPHIG-3Dで表示

- ✓ Tetgen形式、bdf形式の四面体ジオメトリ表示高速化
- ✓ Voxelファントムなどの大規模Lattice構造可視化対応
- ✓ WebM形式での動画出力対応

AI-Powered PHITS tutorの作成と公開

公開ツールの使用方法

- ✓ NotebookLMのPHITS用ページ (<https://x.gd/WAynQ>)にアクセス

自分専用のページを作りたい場合

- ✓ NotebookLMにアクセス*
- ✓ ノートブックを新規作成
- ✓ PHITS/ANGEL/DCHAINのマニュアル**を教材としてアップロード
- ✓ manual¥forAIフォルダにあるテキストファイル***を教材としてアップロード
- ✓ 学習を強化したい場合は、manual¥forAIにあるcrucial_notice_forAI.txtに指示を追記

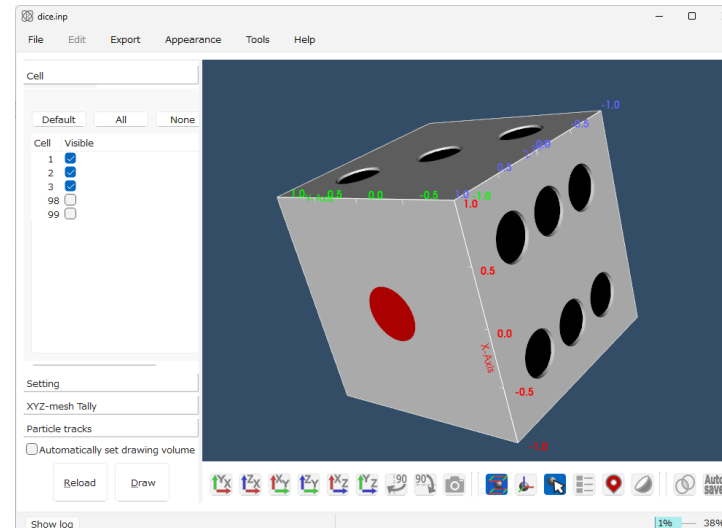
*ChatGPTのプロジェクトでも可

**日本語・英語ともにアップロードするのが良い

*** lecture, recommendation, sample, utilityの情報がテキスト化されて格納されています

質問例

- ✓ 加速器の遮へい計算にPHITSを使いたいのので最適な奨励設定を教えてください
- ✓ 宇宙線線源を使いたいのので、講習会資料やサンプルがどこにあるか教えてください
- ✓ lec01の課題5の内容がよく理解できないので詳しく教えてください
- ✓ lec02の体系をサイコロ形状に変更してください



AIにより作成した体系

一度にたくさんの指示を出すとはエラーが出る確率が上がるので、細切れに指示を出す方がよい

最近の改良点②

- ✓ 全ソースコードをFortran90形式へ変換し、コンパイルにcmakeを導入
- ✓ PHITSマニュアルをhtml形式に変換。将来的にはANGEL,DCHAINマニュアルも変換予定
- ✓ 高エネルギー中性子核データライブラリ(JENDL-5)を用いた発熱計算を可能に
- ✓ DCHAIN-PHITSを並列化(メモリ分散、メモリ共有ともに対応)
- ✓ 反応識別番号を新設し、ユーザータリーやdumpで反応種類の出力を可能に
- ✓ 様々なタリーにdumpモードを導入し、個々の寄与粒子情報の出力を可能に
- ✓ カウンター値に基づく粒子カットオフ機能を新たに導入
- ✓ ihistoutパラメータを導入し、バッチ分割なしで進行状況の出力を可能に
- ✓ エネルギー・角度の2重微分フラックスを直接定義する新たなe-typeを[source]に導入
- ✓ 荷電粒子ライブラリ及び光核反応ライブラリを用いた[t-point]計算を可能に
- ✓ 中性子光学計算向けのユーザー定義ミラー機能を新たに追加
- ✓ タリー結果のエネルギーを波長(nmもしくはÅ)に変換するe-unitパラメータを導入
- ✓ Flairを使ったPHITS入力ファイル作成方法に関する講習会資料を追加
- ✓ 原子核に対するタリーのエネルギー単位の初期設定をMeVからMeV/nに変更
- ✓ idesパラメータの初期値の変更(光子の深層透過計算で光子数が数%程度変化)

これら以外の改良点や各項目の詳細はマニュアル「1.1 最近の改良点」を参照

主なバグ修正

- ✓ 実行用バッチファイル(phits.bat, dchain.bat)をWindows Powershellで実行したときの不具合
- ✓ 高エネルギー重イオンが核分裂した際に2次粒子エネルギーが過小評価されてしまう不具合
- ✓ 宇宙線線源モードに関する3つの不具合
- ✓ [weight window]及び[t-dchain]でtrclが無効となっていた不具合
- ✓ 娘核のみが $\beta+$ 崩壊する場合に、proj=allの設定で陽電子が考慮されない不具合
- ✓ 電場を逆走した電子が止まった場合に電場の向きに流れずカットオフされる不具合
- ✓ ユーザー定義時間変動磁場が電子・陽電子に対して無効となっていた不具合
- ✓ JAMにより核反応を計算すると、角運動量を正しく考慮できていなかった不具合
- ✓ icntl = 1かつinucr=100で特定のMT番号に対する断面積が出力できない不具合
- ✓ 四面体メッシュの特定の条件でLost particleが発生してしまう不具合
- ✓ [t-deposit]でunit=5のときにanatallyやrestart計算がうまく動作しなかった不具合
- ✓ [t-time]でoutput = allで崩壊粒がタリーされない不具合、及びoutput = decayでカットオフ粒子がタリーされてしまう不具合

詳細はマニュアル「1.1 最近の改良点」を参照

今後の予定

◆ 飛跡構造解析モードの拡張

- ✓ 個別対応元素の拡充(生命・検出器・半導体材料など)
- ✓ 物質生命科学とのカップリングモジュールの改良

◆ ユーザー支援機能の拡充

- ✓ PHITS-Padの改良(ヘルプ・入力補助機能の拡充)
- ✓ HDFフォーマットを介したCADジオメトリの変換
- ✓ AI-powered PHITS tutorの高度化

◆ 計算精度の向上

- ✓ JQMDの高速化と高精度化
- ✓ 包括的V&Vと統計・系統誤差評価方法の拡張