

PHITS ver.3.35の概要

PHITS開発チーム一同

2025/03

最近の更新履歴

2023年09月：OECD/NEAデータバンクにPHITS 3.33を登録

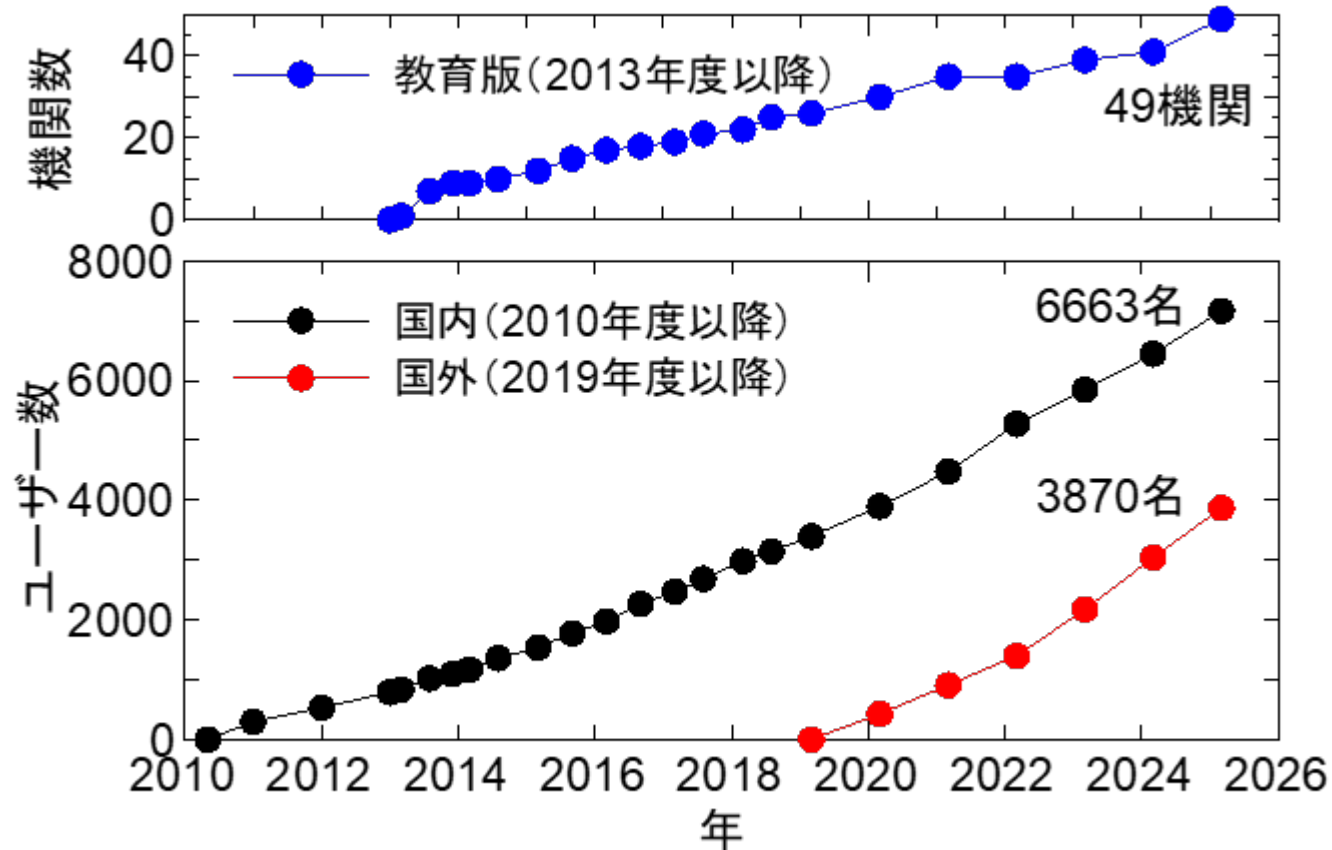
2023年12月：PHITS公式引用文献を更新*

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

*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

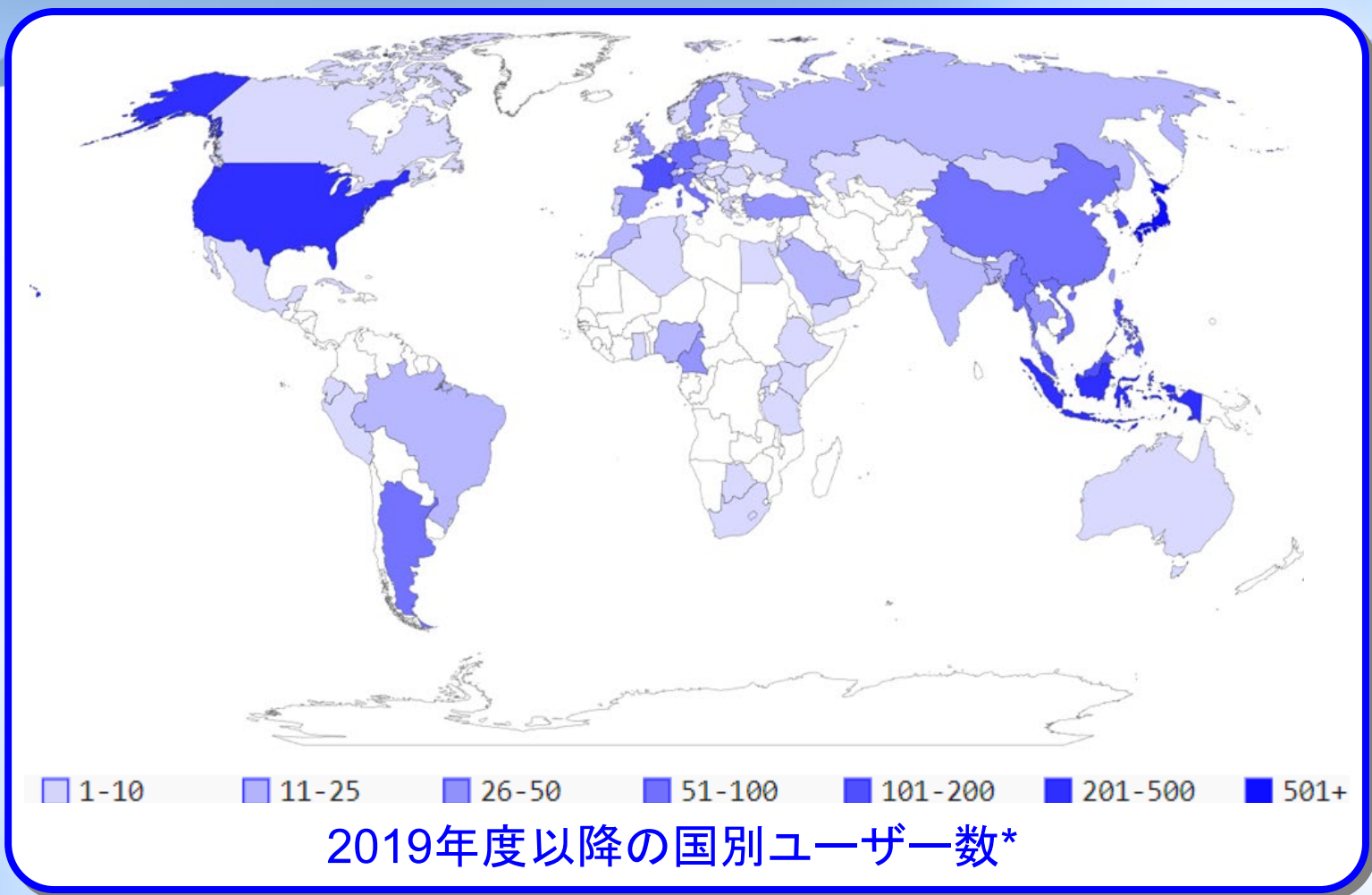


PHITSユーザー数*

10,000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データバンク経由含む)

国別ユーザー数（2019年度以降）



*2025年3月26日時点、所属機関の国でカウント

6年間で78ヶ国から7,407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	3573
Indonesia	586
United States	426
South Korea	335
Philippines	266
China	197
France	183
Spain	157
Malaysia	153
Argentina	136

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/n	1 TeV		1 TeV
高	JAM + GEM 3.0 GeV		JAMQMD + GEM	JAM/ JQMD + GEM		JAM/ JQMD + GEM
↑			t		EGS5, ETS or ETSART	EPDL97 or EGS5
エネルギー	200 MeV		^3He	200 MeV		
↓			α			JENDL + NRF
	20 MeV	JENDL-5	d	ATIMA + Original Model		
		1 MeV	10 MeV/n	1 keV	1 keV	1 keV
低	JENDL-4 or JENDL-5	ATIMA or KURBUC / ITSART				
	0.01 meV			*JQMD + GEM	ETS or ETSART 1 meV	
		*負ミューオンのみ(捕獲反応)				

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

3.34から大きな変更点なし

最近の改良点①

PHITS3.34からの主な変更点

- ✓ JENDL-5放射化断面積をDCHAIN及びndata形式で整備
- ✓ [t-wwg]に粒子誘導機能と低エネルギー・アンバイアス法を導入
- ✓ [cell]セクションに#allコマンドを導入
- ✓ PHIG-3Dにxyzメッシュタリー読込機能とPolygon Boolean法による描画機能を導入
- ✓ 化学コードをイオン飛跡構造解析にも適用可能なように改良
- ✓ AmBe線源など α 線を用いた中性子源を再現するサンプルを追加
- ✓ RT-PHITSを用いた核医学線量評価機能の拡張

各項目の詳細は本資料に記載

最近の改良点②

PHITS3.34からの主な変更点

- ✓ 新しいインテルコンパイラ(ifx)に対応するようにソースコードを修正
- ✓ ほぼ全てのタリーに対してsum overの値と統計誤差を正しく出力できるように改良
- ✓ Dump線源の粒子情報をヘッダーファイルから自動で読み込む機能を開発
- ✓ ラザフォード散乱の角度分布にバイアスを掛ける機能を導入
- ✓ [t-deposit]及び[t-dpa]にmotherパラメータを導入
- ✓ 宇宙線線源モードで平面(s-type = 1及び2)から線源を発生させるモードを追加
- ✓ EGSを用いた場合の1物質中の元素数制限(従来は20)を撤廃
- ✓ [multiplier]セクションにおいて4点(三次)ラグランジュ補間公式による内挿方法を追加
- ✓ HDF5形式の四面体メッシュ体系を読み込む機能を追加
- ✓ 核反応モデルINC-ELFを最新版に更新
- ✓ [t-4dtrack]のデータフォーマット拡張
- ✓ いくつかのDCHAIN放射化断面積ライブラリを更新((n,n')反応を含むようにした)
- ✓ ユーザー定義粒子 & 反応サンプルの拡充(phits/utility/UserDefinedModel参照)

各項目の詳細はマニュアル等を参照

バグ修正

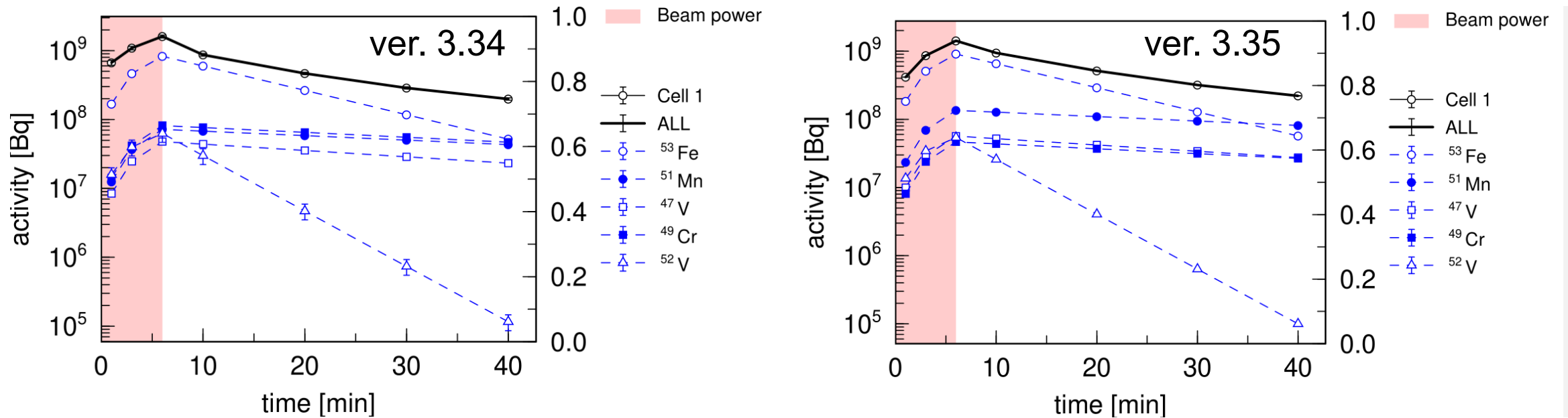
- ✓ 核分裂核種に対するカーマファクター計算方法に関する不具合
- ✓ 光核反応断面積ライブラリを用いて2次粒子をサンプリングする際の角度分布に関する不具合
- ✓ 電磁場中での電子挙動に関する不具合
- ✓ 2次元ジオメトリ描画の際、まれに一部の体系が消えてしまうバグ (version 3.341のみで発生)
- ✓ DCHAINを使ってRI線源形式で[source]セクションを書き出す際の不具合
- ✓ 1 MeV/n以下の重陽子により引き起こされる核反応が起きなかった不具合
- ✓ 飛跡構造解析に関するいくつかの不具合
- ✓ 重陽子及び α 粒子の核データライブラリを使った場合に、そのdmax値を超えるエネルギーを持つ2次粒子が生成されない不具合
- ✓ 再開始計算 ([t-deposit] & unit=5、[t-let] & unit=13 or 14、[t-sed] & unit=7 or 8) の不具合
- ✓ 球殻線源 (s-type = 9) で角度分布が正しく定義できない不具合
- ✓ 核異性体の核データライブラリを読み込む際の不具合
- ✓ 線源をdir=-1とした場合にイベントジェネレータモードを使った際の不具合
- ✓ [t-cross]でsamepage = zとした場合の不具合
- ✓ PHITS-PadやRT-PHITSに関するいくつかの不具合

JENDL-5放射化断面積の組込

誘導放射能計算に対する奨励設定

Version	20MeV以下の中性子	JENDL-5が整備された粒子*	その他の粒子
3.34以前	JENDL/AD-2017 (DCHAIN形式)	INCLやJQMDなどの核反応モデル	
3.35以降	JENDL-5 (DCHAIN形式)	JENDL-5 (ndata形式)	核反応モデル

*中性子 ($20 < E < 200$ MeV), 陽子 ($E < 200$ MeV), 重陽子 ($E < 100$ MeV/n), α 粒子 ($E < 3.75$ MeV/n), 光子 ($E < 150$ MeV)



150MeV陽子を鉄ターゲットに照射した際の誘導放射能時間変化

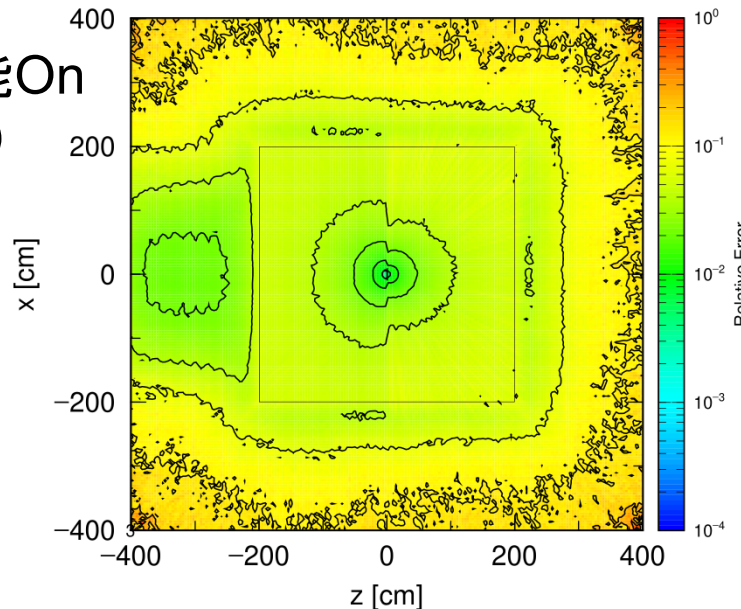
陽子や高エネルギー中性子入射に対して計算精度の向上が期待できる(ただし、それほど大きな差がない場合が多い)

Weight Window Generator [t-wwg]の改良

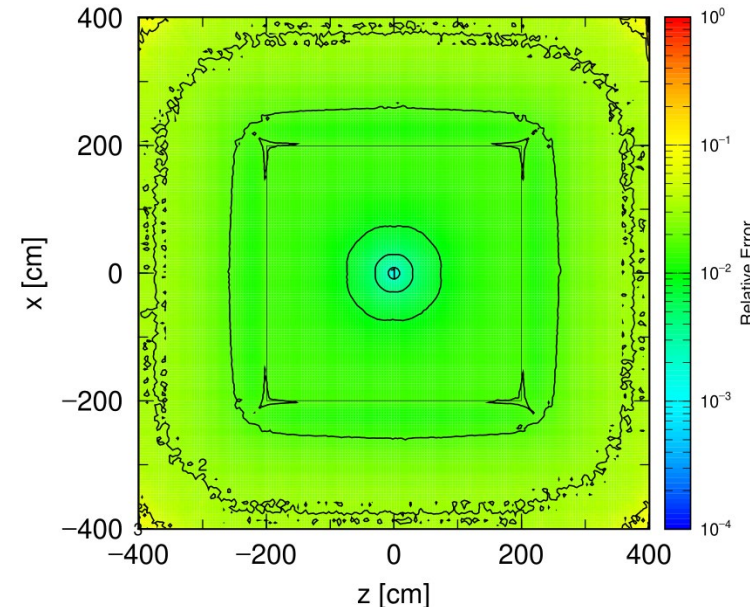
新機能

- ✓ ヒストリーカウンタを使った粒子誘導機能の導入
- ✓ 低エネルギー粒子のweight window下限値を強制的に高くする低エネルギー・アンバイアス法の導入
- ✓ weight windowの下限値を適切に設定することにより粒子の無限増殖を防ぐ機能の導入

粒子誘導機能On
(左側に誘導)



粒子誘導機能Off



粒子誘導機能On/Offによる遮蔽計算の相対誤差の違い

*T. Sato et al. Nucl. Instr. Meth. B 557, 165535 (2024)

[cell]セクションへの#allコマンドの導入

#allコマンドとは？

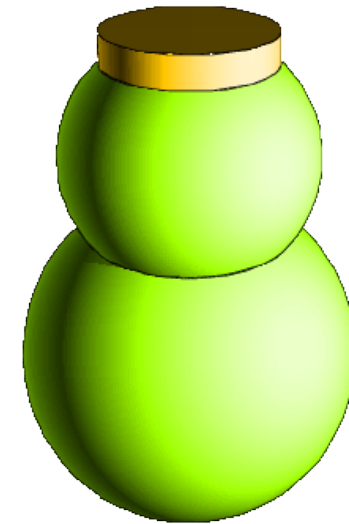
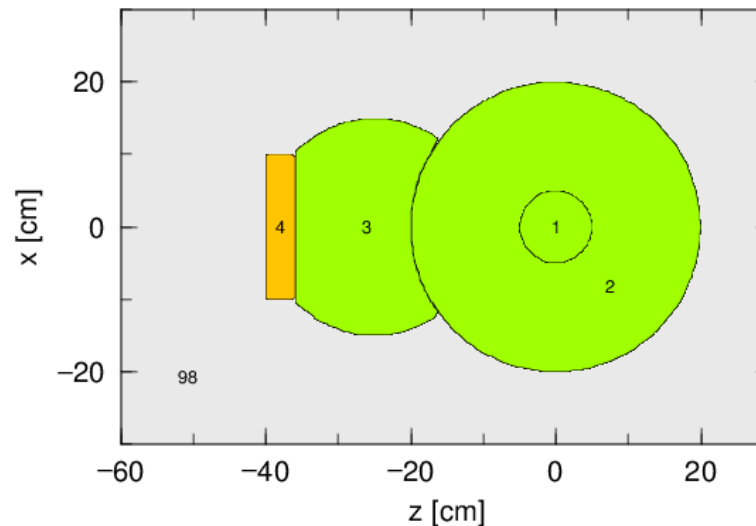
定義された全ての領域*を自動的に除く演算子。何もない領域(空気や真空)を定義するのに便利

*外部ボイドや他のuniverseに定義された領域は除く

```
[Cell]
1 1 -1.0 -1      $ Target
2 1 -1.0 -2 1    $ Big ball
3 1 -1.0 -3 2    #4 $ Small ball
4 2 -2.7 -11 21 -22 $ Al plate
98 0 #1 #2 #3 #4 -999 $ Void
99 -1           999 $ Outer region
```

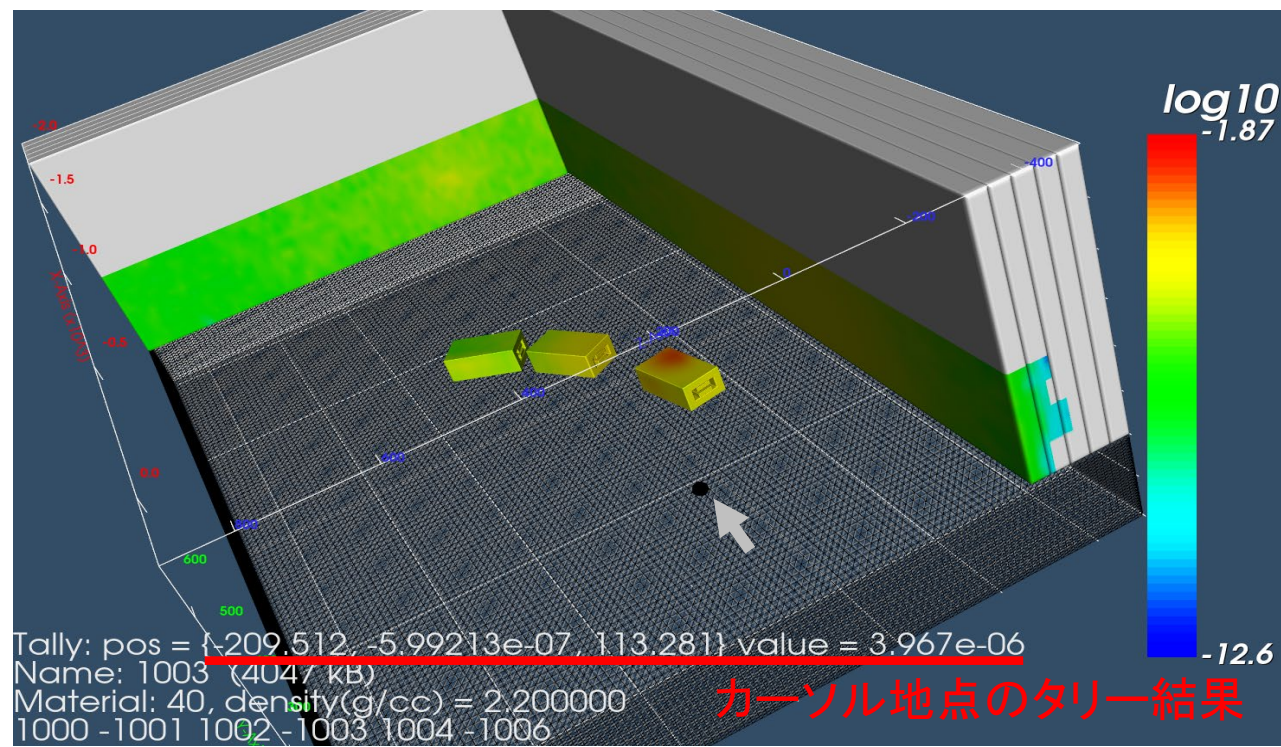
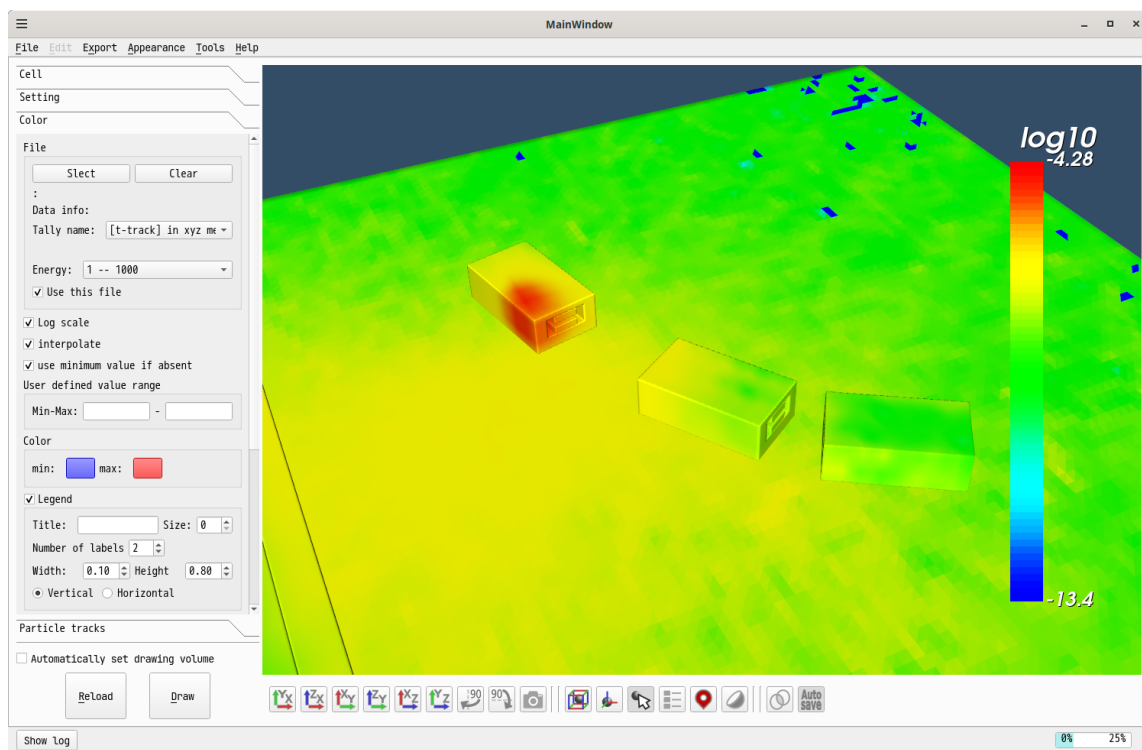
```
[Cell]
1 1 -1.0 -1      $ Target
2 1 -1.0 -2 1    $ Big ball
3 1 -1.0 -3 2    #4 $ Small ball
4 2 -2.7 -11 21 -22 $ Al plate
98 0 #all -999 $ Void
99 -1           999 $ Outer region
```

snowman.inp



- ✓ 二重定義を簡単に回避できて便利！
- ✓ ただし、領域数の多い体系で使うと計算時間の遅延やメモリ不足エラーを起こす可能性があるので注意

PHIG-3Dの改良



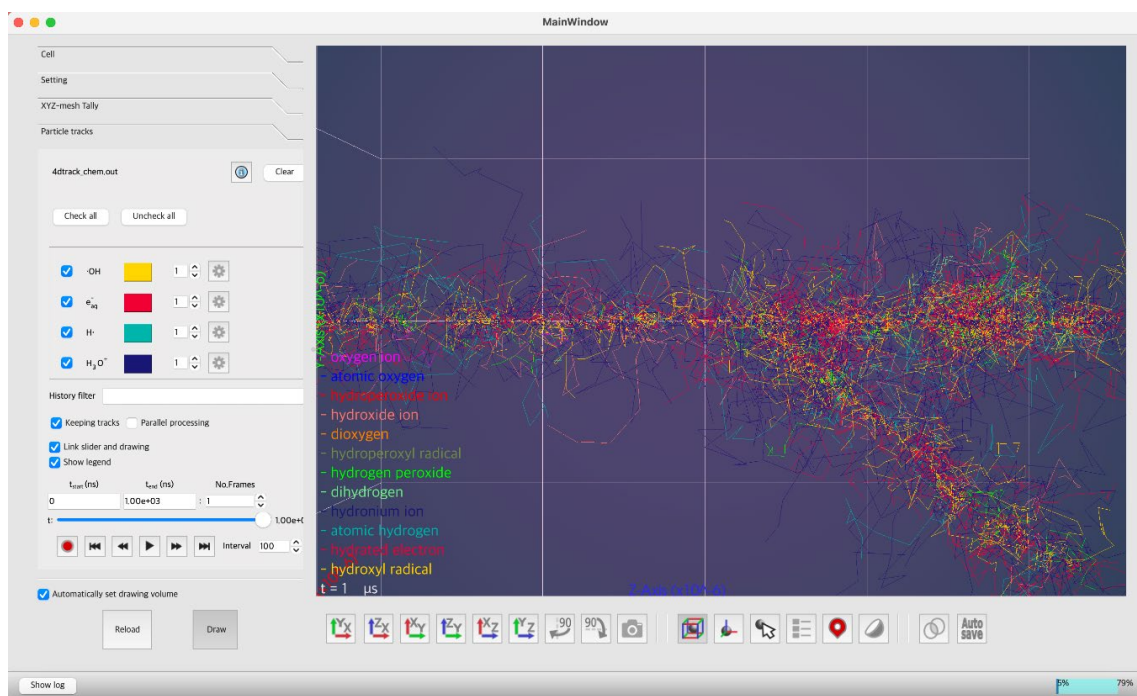
phits/recommendation/shieldingの計算結果をPHIG-3Dで表示

- ✓ 物質の表面や特定の断面におけるxyzメッシュタリー結果を読み込んでカラーマップで表示
- ✓ マウスでクリックすることにより、任意地点におけるタリー結果の数値を知ることができる
- ✓ Polygon Boolean法による描画機能導入により消費メモリも削減(ただし球面のある領域を除く)

PHITS-Chemの改良

新機能

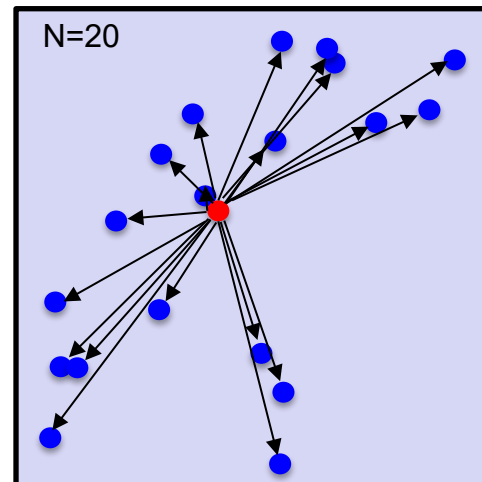
- ✓ 化学コード(PHITS-Chem)をイオン飛跡構造解析(PHITS-KURBUC・ITSART)にも適用できるよう改良
- ✓ PHIG-3Dを使用して、ラジカル挙動の3Dアニメーションを表示する機能を開発
- ✓ 空間分割法(バケット法)の導入による計算時間の短縮(例、1 MeV電子線の場合で約28倍高速化)



イオン飛跡への適用！ 3D可視化機能！

従来のアルゴリズム

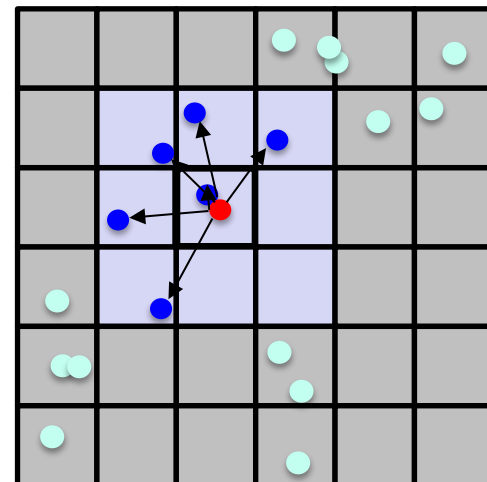
反応計算：全ラジカル



□ : 計算対象の領域

空間分割(バケット)法

反応計算：近傍ラジカルのみ



□ : 計算対象外の領域

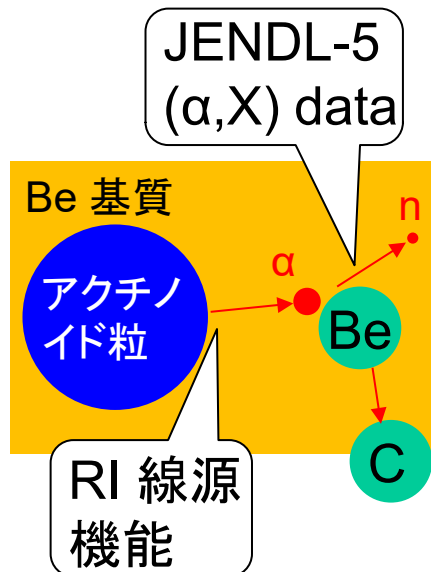
必要な化学反応のみを効率よく解析！

See phits/utility/usrtally/ChemCode & Y. Matsuya et al. Phys. Chem. Chem. Phys. (2025) DOI: 10.1039/d4cp04216f

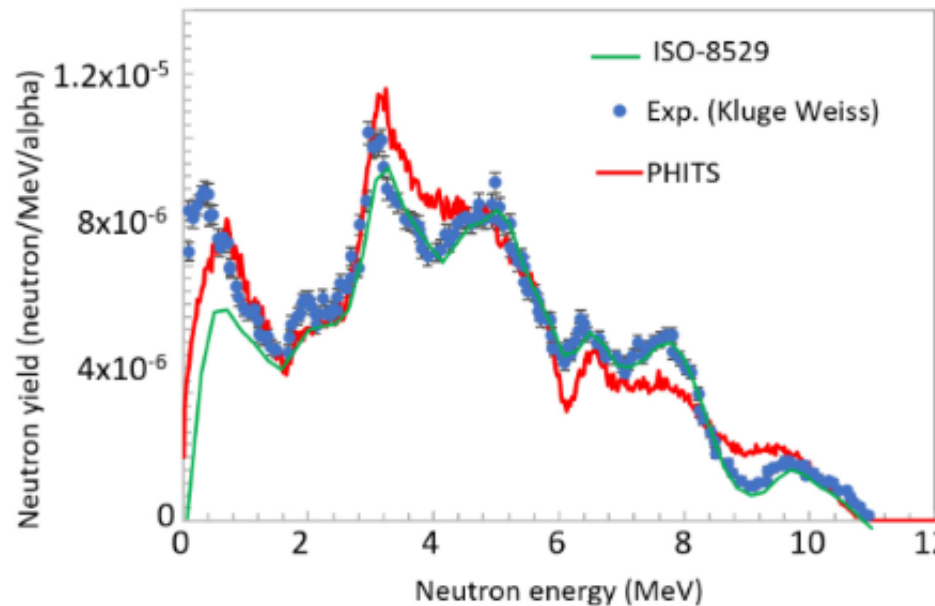
北海道科学大学の吉井勇治先生の協力により実施

混合物中性子線源インプットサンプル (Am-Be等)

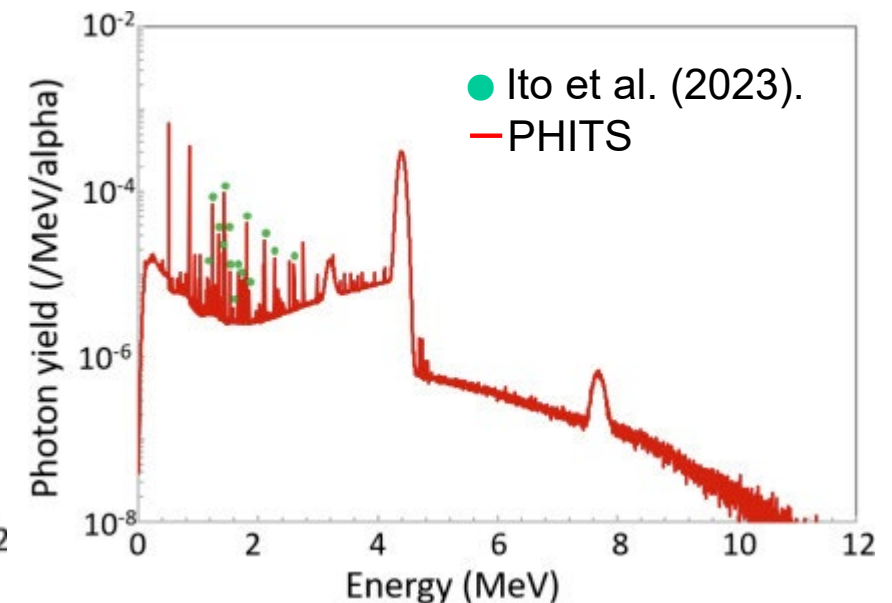
1. AmBe等の混合物中性子線源のサンプルインプットを以下のフォルダで提供します
¥phits¥sample¥source¥NeutronSource¥Precise-model
2. ¥phits¥sample¥source¥NeutronSource¥AmBe のファイルと異なり、線源のパラメータ(長さ, 粉末粒径, アクチノイド種類, 等)を任意に変更可能、かつガンマ線放出なども計算できます。
3. ただし、このインプットを使うには、JENDL-5 α 粒子ライブラリのインストールが必要です。



計算の仕組



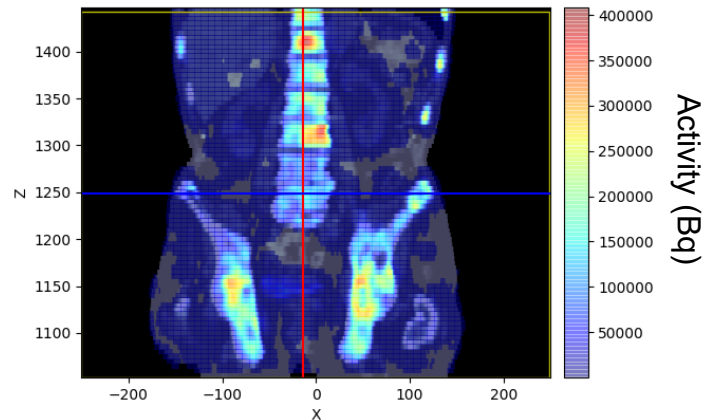
中性子



ガンマ線

^{241}Am -Be 線源計算値の測定スペクトルとの比較

RT-PHITSの核医学線量評価機能の拡張



SPECT/CT image

CT2PHITS
PET2PHITS

人体内線量率マップ

PHITS2DICOM
ROI2PHITS

各臓器/腫瘍の線量率

ExPORT-PHITS ver. 1.01

"Excel-based Program for time integration of Organ dose rates calculated by RT-PHITS" developed by T. Sato

Copy & paste these columns for increasing ROI

Input conditions in blue columns		Scanning Date		Scanning Time		Dose Rate (Gy/s)		Time integral Dose (Gy)	
						β & γ -rays		α -ray	
Injected RI	Lu-177	1	2018/11/15	13:06	8.51E-07	0.00E+00	1.153E-02	0.000E+00	
Half-life (s)	574300.8	2	2018/11/16	13:05	5.67E-07	0.00E+00	6.040E-02	0.000E+00	
Physical decay constant (/s)	1.20694E-06	3	2018/11/19	16:27	3.54E-07	0.00E+00	1.227E-01	0.000E+00	
Injected activity (MBq)	7210	4	2018/11/20	13:21	3.28E-07	0.00E+00	2.567E-02	0.000E+00	
Injected date	2018/11/15	5					1.493E-01	0.000E+00	
Injected time	9:22	6					0.000E+00	0.000E+00	
Number of images	4	7					0.000E+00	0.000E+00	
RBE of α -ray	5	8					0.000E+00	0.000E+00	
Biodecay after the last image	Mean	9					0.000E+00	0.000E+00	
Biological decay constant (/s)	0.00E+00	10					0.000E+00	0.000E+00	
						Each radiation dose (Gy)		3.697E-01	
						Total absorbed dose (Gy)		3.697E-01	
						Dose per activity (Gy/MBq)		5.127E-05	
						RBE-weighted dose (Gy.Eq)		3.697E-01	
						EQDX (Gy)		2.565E-01	

Input EQDX parameters in blue columns

	Time after injection (s)	λ bio (/s)	Integral time
Cell line	HSG	13440	0
Type of model	TE-based SMK	99780	1
X for EQDX (Gy)	2	371100	4
a_0 (Gy ⁻¹)	0.156	446340	5
B (Gy ⁻²)	0.0607	0	0
μ (hr ⁻¹)	1.5	0	0
$z^*_{d,1D,inf}$ (Gy)	1.96	0	0
$z^*_{d,1D,a}$ (Gy)	47.5	0	0
$z_{d,1D,a}$ (Gy)	94.8	0	0

ExPORT-PHITS

(Excel-based Program for Integration of Organ dose rates calculated by RT-PHITS)

SPECT/CT画像から臓器/腫瘍線量やその生物影響の大きさ(EQDX)を簡単に導出可能

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

◆核データ親和性の向上

- ✓ JENDL-5.0を用いた吸収線量計算(20MeV以下の中性子は可)

◆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

◆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