

PHITS ver.3.27の概要

PHITS開発チーム一同

2022/03

最近の更新履歴

2019年04月：輸出管理規定を変更し海外へ直接配布開始

2019年11月：PHITS 3.17を講習会で配布開始

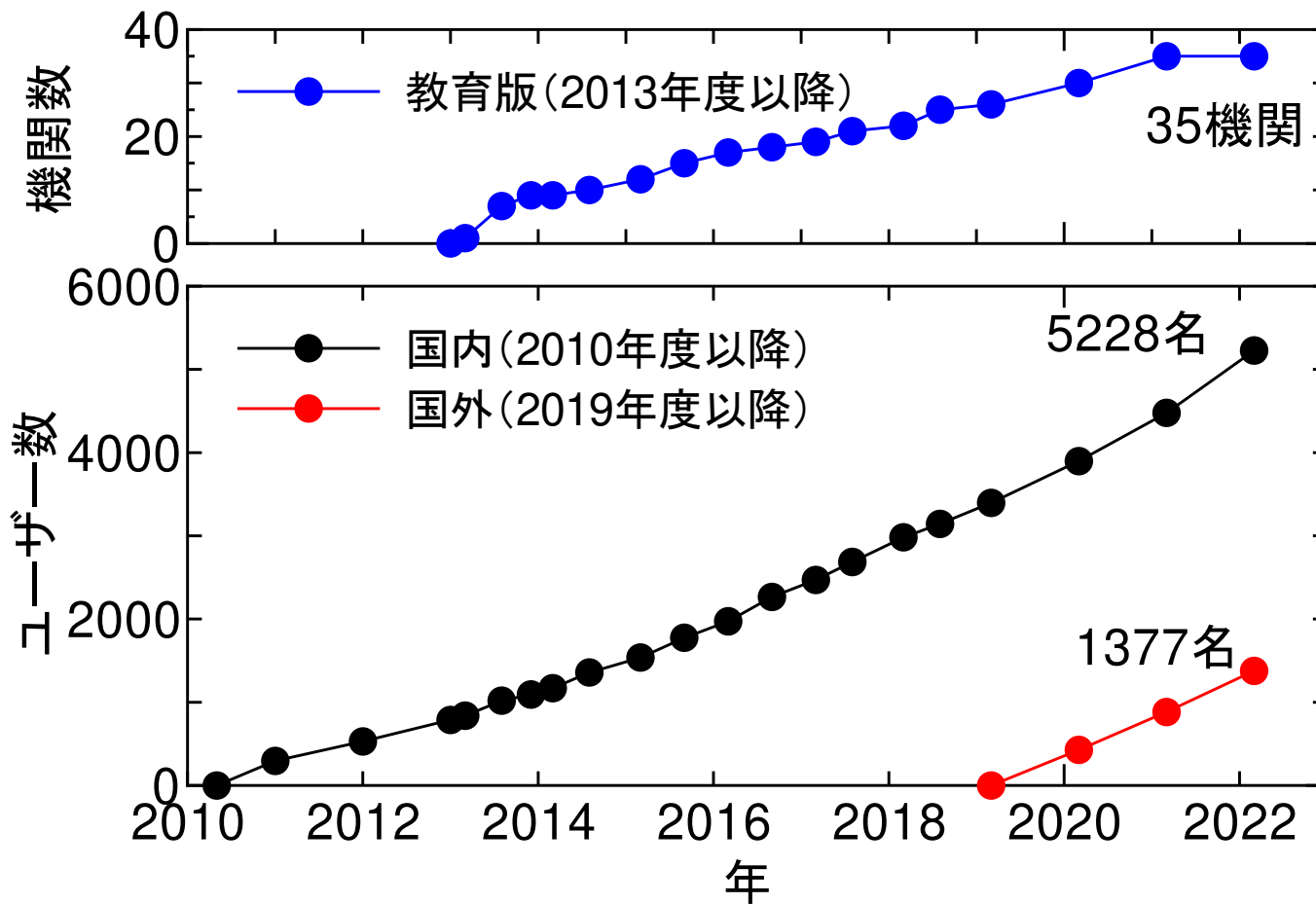
2020年04月：PHITS 3.20をRISTに登録

2020年10月：PHITS 3.22を講習会で配布開始

2021年03月：PHITS 3.24をRISTに登録

2022年03月：PHITS 3.27をRISTに登録

PHITSユーザー数の変化

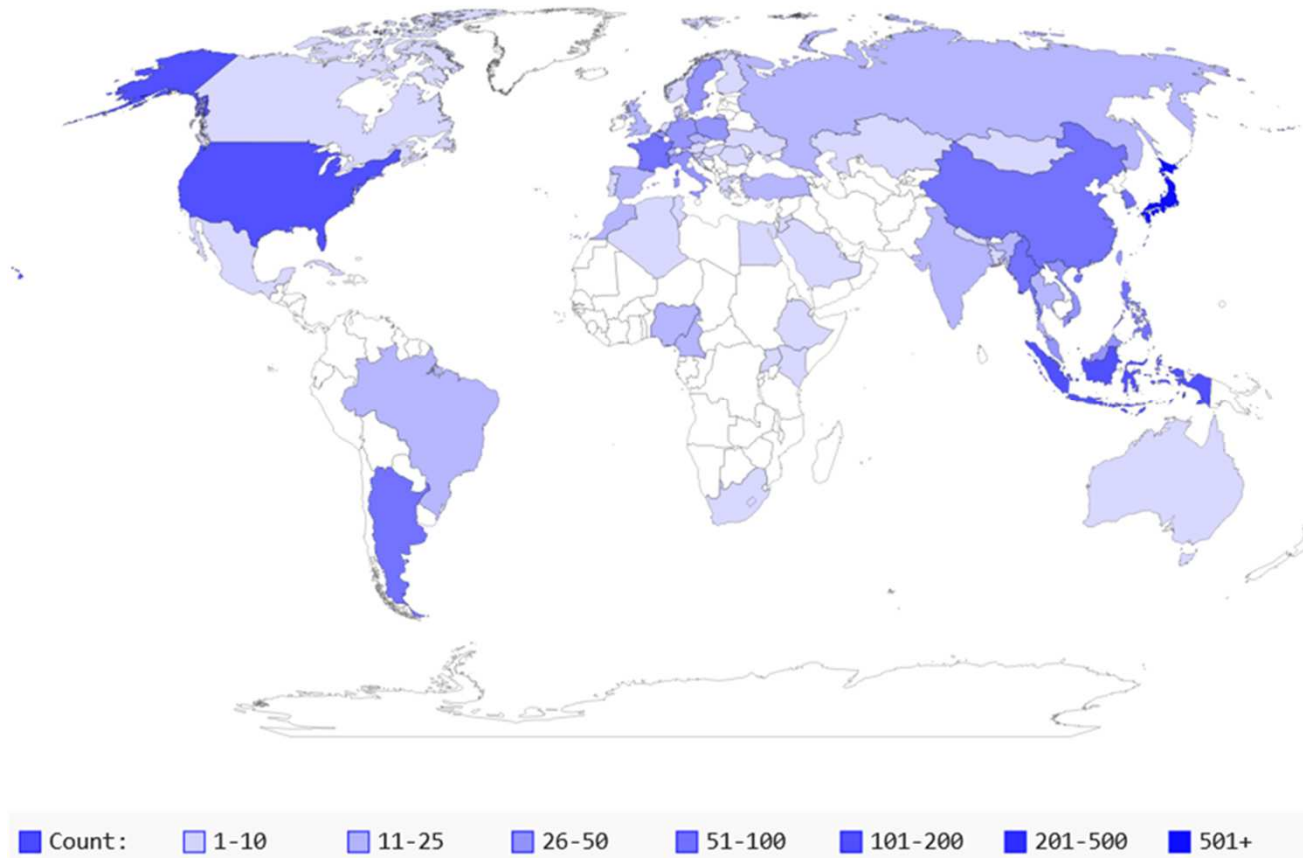


PHITSユーザー数*

6,000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年度以降に原子力機構より直接入手した人数

国別ユーザー数（2019年度以降）



2019年度以降の国別ユーザー数*

*2022年3月14日時点、所属機関の国でカウント

Top 10 countries

Country	#users
Japan	1709
Indonesia	179
United States	162
Argentina	89
Myanmar	87
South Korea	84
France	73
Philippines	60
China	57
Germany/Italy	44

3年間で59ヶ国から3,082名が新規ユーザー登録！

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

物理モデル（奨励設定）

	中性子	陽子・π粒子 (その他の核子)	重イオン	μ粒子	電子・ 陽電子	光子			
高エネルギー ↑ ↓ 低	1 TeV	1 TeV/u		1 TeV	EGS5	1 TeV			
	核内カスケード模型 JAM 3.0 GeV + 蒸発模型 GEM	JAMQMD + GEM		仮想光子 核反応 JAM/ JQMD + GEM		EPDL97 or EGS5	光核反応 JAM/ JQMD + GEM + JENDL + NRF		
	核内カスケード模型 INCL4.6 + 蒸発模型 GEM 200 MeV	d t ³ He α	量子分子 動力学模型 JQMD + GEM 10 MeV/u	200 MeV					
	20 MeV	JENDL-4.0/He 1 MeV	電離損失 ATIMA 1 keV or *飛跡構造解析 KURBUC					ATIMA + オリジナル	1 keV
	核データ ライブラリ JENDL-4.0	→ イベントジェネレータモード: 核反応による2次粒子を特定可能						ミューオン 原子生成+ 捕獲反応	*飛跡構造 解析 1 meV

PHITS3.27に組み込まれた物理モデルとその適用エネルギー範囲

遮へい計算など*にJENDL-4.0/HEの利用を奨励

*医学物理計算などイベントジェネレータが必要な計算は、引き続き核反応モデルの利用を奨励

最近の改良点

PHITS3.24からの主な変更点(担当者)

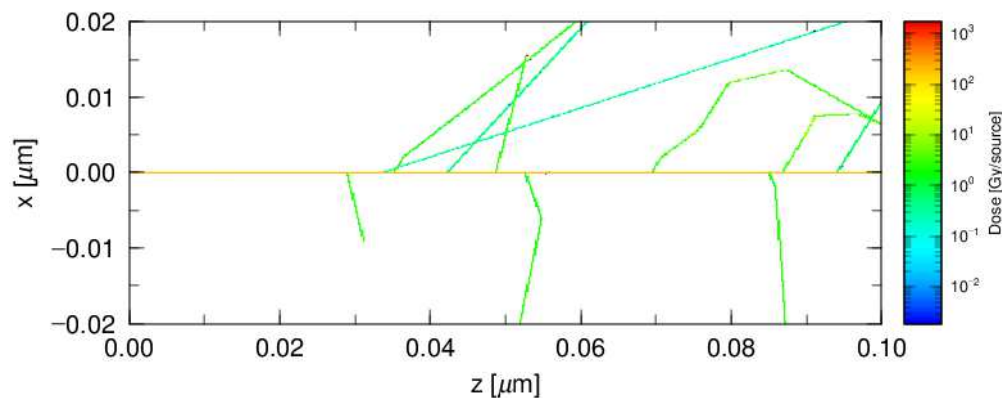
- ✓ 汎用飛跡構造解析コードITSARTの実装(小川、平田、松谷、甲斐)
- ✓ 重陽子・ α 粒子・光子に対する核データライブラリ読込機能の開発(佐藤)^{*1)}
- ✓ 高エネルギー核データ自動検索機能の導入(佐藤)^{*2)}
- ✓ EXFORから[frag data]を自動作成するプログラムの開発(橋本)^{*2)}
- ✓ GUI版RT-PHITS(β 版)の開発(古田、佐藤)
- ✓ 1つのTallyで指定可能な粒子数(part)制限の廃止(佐藤)^{*2)}
- ✓ 高エネルギー核データを使ったイベントジェネレータモードの開発(佐藤)^{*2)}
- ✓ [t-yield]及び[t-dchain]の省メモリ化及び計算時間短縮(佐藤)^{*2)}
- ✓ RI線源で全ての放出粒子を自動で考慮する機能の導入(安部)^{*3)}
- ✓ Anatally機能の全てのタリーへの対応(橋本)^{*3)}
- ✓ 熱中性子散乱則の新フォーマット対応(佐藤)^{*4)}
- ✓ 宇宙線線源モードに低地球軌道(LEO)モードを追加(佐藤)

1. (株)ナイス及び(株)ASTOM R&Dの協力により実施
2. (一財)RISTの協力により実施
3. 原子力機構・システム計算科学センターの支援のもとRISTの三浦孝充氏の協力により実施
4. European Spallation Source (ESS)のJosé Ignacio Marquez Damian博士の協力により実施₆

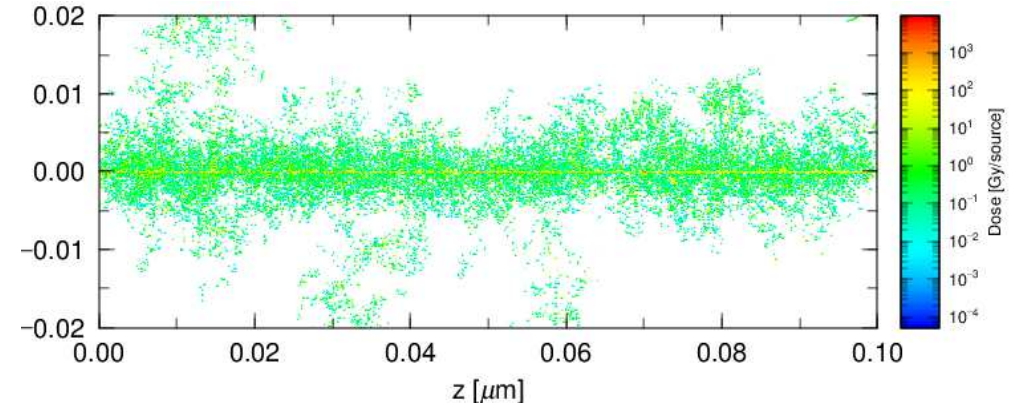
汎用飛跡構造解析モードITSARTの実装

- ✓ 任意のイオン・標的物質に使える飛跡構造解析モード ITSARTを実装
- ✓ 陽子・イオンが原子と衝突する個々の反応を、水以外でも計算できる

ケイ素中 1MeV 陽子線と二次電子の飛跡



通常計算 : ATIMA+[Delta-ray]



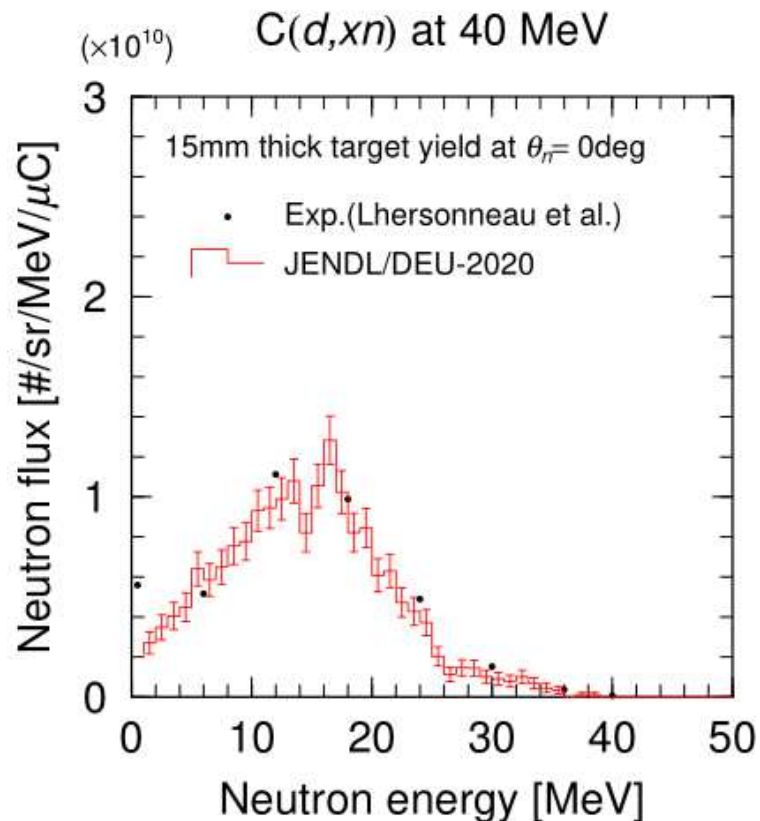
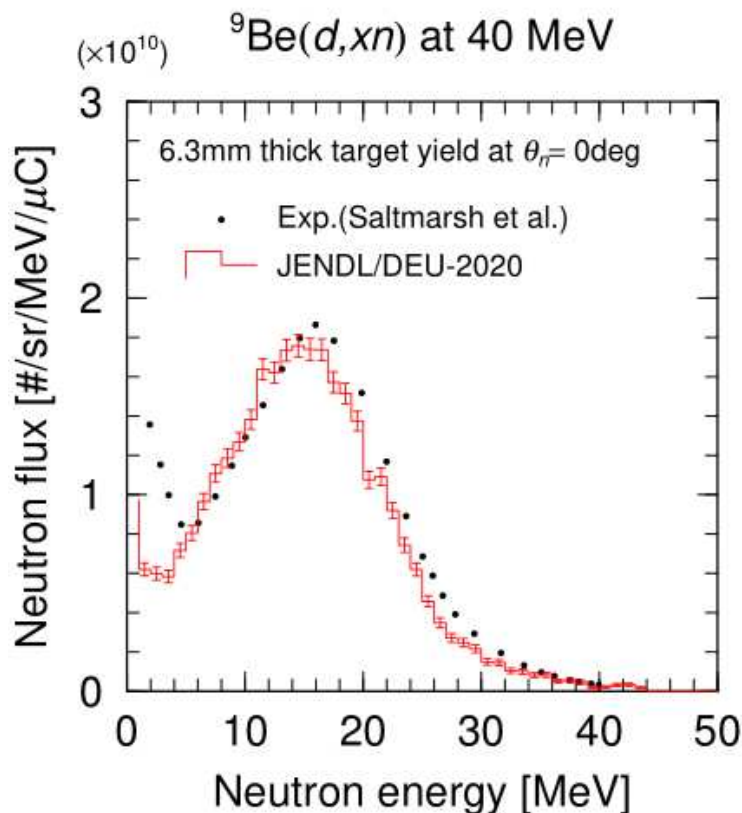
汎用飛跡構造解析コード

使い方

- ✓ [Track structure]にて、mid = -1 とした領域で動作する
- ✓ [Track structure]にて、mid = 1 とした領域も、ETS、KURBUCの適用範囲外で動作する
- ✓ 化合物・混合物の場合、[Material]で chem = H2O 1.0 N2 2.0 など組成を指定すると、分子構造を考慮できる。

重陽子・ α 粒子・光子用核データライブラリ読込機能

- ✓ 読込可能なフォーマットはACEフォーマット(中性子・陽子ライブラリと同じ)
- ✓ 重陽子に対するライブラリJENDL/DEU-2020*をXSフォルダに格納
- ✓ 光子・ α 粒子に対しては、ENDFやTENDLなど外部ライブラリの利用を想定



厚い ${}^9\text{Be}$ (左図)とC(右図)標的における重陽子入射反応の中性子スペクトル

従来は[frag data]形式のデータのみ利用できたが、より詳細なACEフォーマット形式に変更

*S. Nakayama et al., J. Nucl. Sci. Technol. 58(7), 805-821 (2021)

高エネルギー核データ自動検索機能の導入

高エネルギー核データライブラリ検索条件

- ✓ 陽子ライブラリ: $dmax(1) > 0$
- ✓ 中性子ライブラリ: $dmax(2) > 20$
- ✓ 重陽子ライブラリ: $dmax(15) > 0$
- ✓ α 粒子ライブラリ: $dmax(18) > 0$
- ✓ 光核反応ライブラリ:
 $dpnmax > 0$ & $ipnint = 1$

Yes

各核種に対してlibで指定した拡張子を持つライブラリをアドレスファイル(xmdir)から自動検索

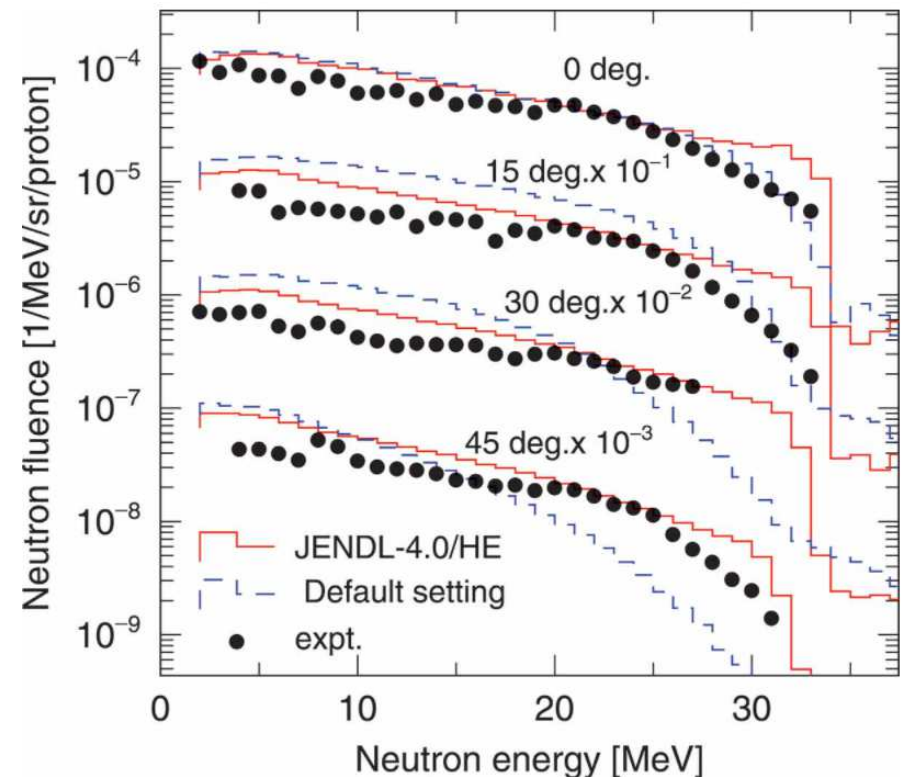
有

高エネルギー
ライブラリ

無

- ✓ 通常ライブラリ(中性子)
- ✓ 核反応モデル(その他)

PHITS+JENDL-4.0/HEを用いた 遮へい計算用包括的ベンチマーク



p(52MeV)→C反応による中性子フルエンス

Y. Iwamoto et al., J. Nucl. Sci. Technol.,
DOI:10.1080/00223131.2021.1993372

JENDL-4.0/HEなど高エネルギー核データを簡単に利用できるようになり、
遮へい計算などイベントジェネレータを必要としない計算の奨励設定に採用

実験データ変換ツールExfor2fragの開発

- ✓ EXFOR*から入手した実験データを[frag data]用ファイルに変換
- ✓ 実験データを参照した核反応イベントを再現可能

* <https://www-nds.iaea.org/exfor/>

```
REACTION (8-0-16(P,X)1-H-1,,DA/DE)
EN-SEC   ANG is polar angle (lab.) between beam and proton
          (E,P)
SAMPLE   - Target is natural.
          - Chemical-form of target: Al2O3
          - Target-thickness is 1.34 mg/cm**2.
STATUS   (TABLE) Plotted in Fig.4 of J,PR/C,82,034604,2010
HISTORY  (20100927R) Received by e-mail from Y.Uozumi
ENDBIB   8
COMMON   1          3
EN
MEV      300.
ENDCOMMON 3
DATA     4          143
E        ANG      DATA  ERR-S
MEV      ADEG     MB/SR/MEV MB/SR/MEV
4.00E+01 30.     2.87E-01  5.46E-02
4.00E+01 50.     3.27E-01  2.35E-02
4.00E+01 75.     3.44E-01  4.64E-03
4.00E+01 90.     1.54E-01  1.68E-02
4.00E+01 105.    9.22E-02  6.34E-03
5.00E+01 30.     3.54E-01  5.27E-02
```



```
proton
160
1
2.5000E+02 3.0000E+02
0.0000E+00 0.0000E+00
100
1.5500E+00 1.6500E+00 1.7500E+00 1.8500E+00 1.9500E+00 2.1000E+00 2.3
4.1000E+00 4.3000E+00 4.5000E+00 4.7000E+00 4.9000E+00 5.2500E+00 5.7
1.0750E+01 1.1500E+01 1.2500E+01 1.3500E+01 1.4500E+01 1.5500E+01 1.6
3.1000E+01 3.3000E+01 3.5000E+01 3.7000E+01 3.9000E+01 4.0000E+01 4.1
6.2500E+01 6.7500E+01 7.0000E+01 7.2500E+01 7.7500E+01 8.0000E+01 8.2
1.2000E+02 1.2500E+02 1.3000E+02 1.3500E+02 1.4000E+02 1.4500E+02 1.5
2.1000E+02 2.2000E+02 2.3000E+02 2.4000E+02 2.5000E+02 2.6000E+02 2.7
9
7.5000E+00 3.0000E+01 4.0000E+01 5.0000E+01 6.0000E+01 7.5000E+01 9.0
2
proton neutron
0.0000E+00 0.0000E+00
0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0
0.0000E+00 6.4931E-02 9.3349E-02 8.2338E-02 2.6057E-03 3.8370E-03 4.3
0.0000E+00 6.5605E-02 9.3899E-02 8.2976E-02 3.4814E-03 4.7240E-03 8.3
0.0000E+00 6.6058E-02 9.4448E-02 8.3614E-02 4.3571E-03 5.6110E-03 1.2
0.0000E+00 6.6511E-02 9.4998E-02 8.4252E-02 5.2327E-03 6.4980E-03 1.6
0.0000E+00 6.7154E-02 9.5822E-02 8.5209E-02 6.5463E-03 7.8285E-03 2.2
0.0000E+00 6.8023E-02 9.6921E-02 8.6485E-02 8.2976E-03 9.6025E-03 3.0
0.0000E+00 6.8929E-02 9.8020E-02 8.7761E-02 1.0049E-02 1.1376E-02 3.8
0.0000E+00 6.9835E-02 9.9118E-02 8.9037E-02 1.1800E-02 1.3150E-02 4.6
0.0000E+00 7.0740E-02 1.0022E-01 9.0313E-02 1.3552E-02 1.4924E-02 5.4
0.0000E+00 7.1646E-02 1.0132E-01 9.1589E-02 1.5303E-02 1.6698E-02 6.2
0.0000E+00 7.2551E-02 1.0242E-01 9.2864E-02 1.7055E-02 1.8472E-02 7.0
0.0000E+00 7.3457E-02 1.0351E-01 9.4140E-02 1.8806E-02 2.0246E-02 7.8
0.0000E+00 7.4362E-02 1.0461E-01 9.5416E-02 2.0557E-02 2.2020E-02 8.6
0.0000E+00 7.5268E-02 1.0571E-01 9.6692E-02 2.2309E-02 2.3794E-02 9.4
```

$^{16}\text{O}(p,x)^1\text{H}$ 反応のEXFORファイル(左図)を[frag data]ファイル(右図)に変換

- ✓ [frag data]セクションにて、作成されるfragdata.datファイルをopt=5として設定する

詳しくは [phits/utility/exfor2frag](#) を参照

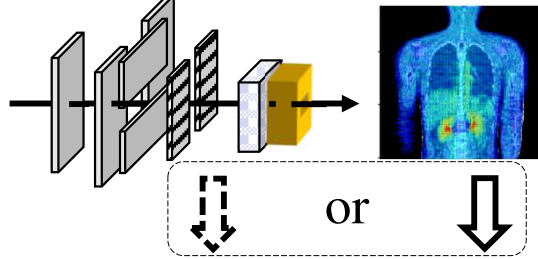
RT-PHITSの開発

RadioTherapy package based on PHITS

DICOMデータ (RT-Plan, PET-Image, CT-Image, RT-Structure, RT-Dose)

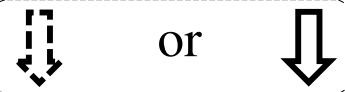
放射線治療計画

標的核医学治療



RT-PHITS (Plan2PHITS, PET2PHITS, CT2PHITS, PHITS2DICOM)

開発中



中間ファイル (ビーム体系、線源情報、患者体系、タリー設定)



InputCreator4PHITS

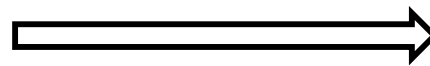


PHITS input



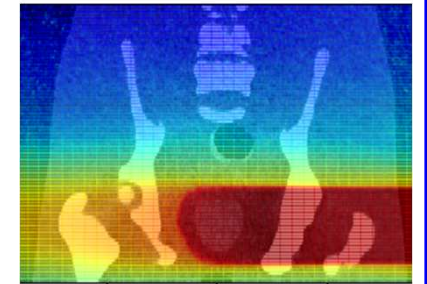
PHITS

位相空間ファイル ⇄



線量分布

一般DICOMソフト



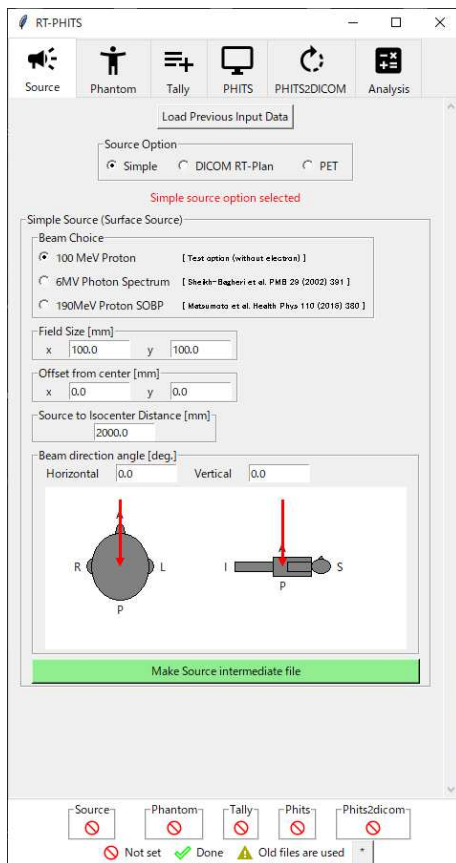
詳細解析

- ・ 3次元表示
- ・ DVH 解析

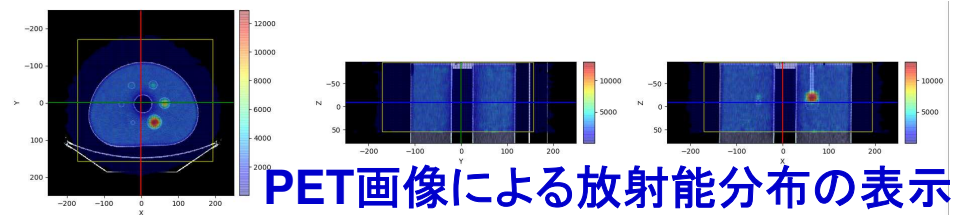
GUI版RT-PHITS (β版) の開発

RadioTherapy package based on PHITS

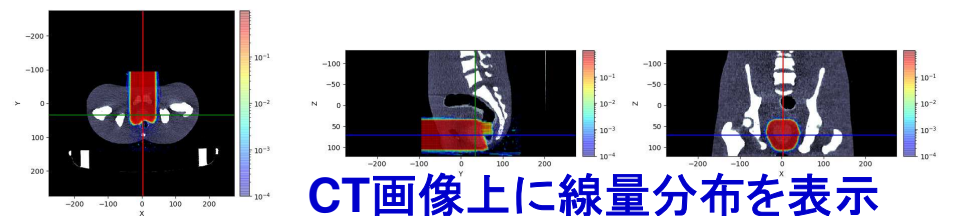
- ✓ Python tkinter GUIによるRT-PHITSの動作支援
- ✓ インタラクティブな操作による分布の確認や解析が可能



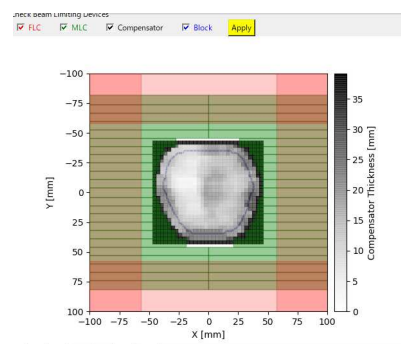
インタラクティブ入力・設定



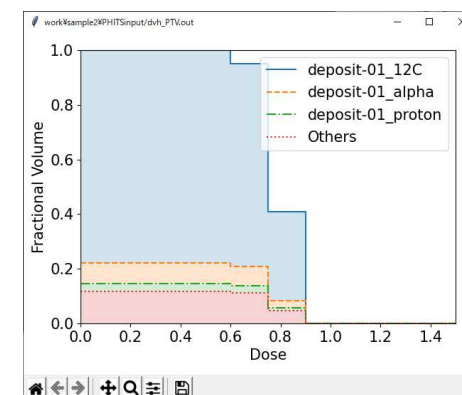
PET画像による放射能分布の表示



CT画像上に線量分布を表示



ビーム機器形状
表示(開発中)



DVH解析

詳しい使い方はphits/utility/RT-phits/RTphitsGUI.pptx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)
- ✓ ITSARTの励起反応への適用(現在は電離のみ)
- ✓ 物質生命科学とのカップリングモジュール開発

◆ 核データ親和性の向上

- ✓ JENDL-5.0、光核反応ライブラリのパッケージ組込

◆ ユーザー支援機能の拡充

- ✓ 入力ファイル作成を支援する専用エディタの開発
- ✓ RT-PHITSの改良

◆ 計算精度の向上

- ✓ JQMD ver. 2.0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