

---

# Physics Lists: 物理相互作用の記述

---

Geant4 10.3.P3準拠

Geant4 HEP/Space/Medicine 講習会資料



大学共同利用機関法人  
高エネルギー加速器研究機構

# 本資料に関する注意

---

- 本資料の知的所有権は、高エネルギー加速器研究機構およびGeant4 collaborationが有します
- 以下のすべての条件を満たす場合に限り無料で利用することを許諾します
  - 学校、大学、公的研究機関等における教育および非軍事目的の研究開発のための利用であること
    - ・ Geant4の開発者はいかなる軍事関連目的へのGeant4の利用を拒否します
  - このページを含むすべてのページをオリジナルのまま利用すること
    - ・ 一部を抜き出して配布したり利用してはいけません
  - 誤字や間違いと疑われる点があれば報告する義務を負うこと
- 商業的な目的での利用、出版、電子ファイルの公開は許可なく行えません
- 本資料の最新版は以下からダウンロード可能です
  - <http://geant4.kek.jp/lecture/>
- 本資料に関する問い合わせ先は以下です
  - Email: [lecture-feedback@geant4.kek.jp](mailto:lecture-feedback@geant4.kek.jp)

# 目次

---

1. 粒子と物質の相互作用記述の要点
2. Pre-Packaged Physics Lists (Reference Physics Lists)について
3. Physics Lists使用の実際
4. Modular Physics Listsの実装

# 粒子と物質の相互作用記述の要点

---

# Geant4の物理

---

- Geant4は素粒子物理学、原子核物理学、原子物理学などで蓄積されている知識に基づいて物質中での粒子の相互作用を扱う
  - Geant4の物理 (*Physics of Geant4*)という言葉が講義の中で使われることがあるが、その意味は上記各分野からGeant4に導入した物理知識をさす
  - Geant4の物理はGeant4ツールキットの基礎をなすものである
- ユーザがGeant4を用いて得たシミュレーションの結果は、このGeant4の物理から導き出されたもの
  - ユーザは結果を正しく解釈するには、“Geant4の物理”がどのように表現されているかの基礎を理解しておくことが重要
  - 一般的にシミュレーションを“ブラックボックス”として使用することは非常に危険である

# 相互作用過程と分類

---

- 粒子は物質の中を進んでいく間に様々な相互作用をおこす
- 一つ一つの相互作用を過程(*Process*)とよび、クラス表現される

[例]

- G4ComptonScattering      ← コンプトン散乱過程
- G4eBremsstrahlung      ← 制動輻射過程
- ....

- Geant4は相互作用過程を以下の6種類に分類:

- 電磁相互作用 (electromagnetic)
- ハドロン相互作用 (hadronic)
- 光学光子過程 (optical)
- 崩壊過程 (decay)
- 相互作用のパラメータ表現 (parameterization)
- 粒子輸送過程 (transportation)

# 電磁相互作用過程

## ■ 標準の電磁相互作用(“Standard”)

- $\gamma, e^+, e^-$  : 100 TeVまで
- ハドロン : 100 TeVまで
- イオン : 100 TeVまで

## ■ ミュー粒子

- 1 PeVまで
- ミュー粒子の電磁相互作用の記述

## ■ X線

- X線を生成する過程の記述

## ■ 高エネルギー

- 高エネルギー物理に関連する過程の記述 ( $E > 10 \text{ GeV}$ )
- エキゾチック粒子の物理記述

## ■ 偏極現象

- 偏極ビームのシミュレーション

## ■ 光学光子

- 光学光子の相互作用とそれに関連する物質特性

## ■ 低エネルギーの電磁相互作用(“Low energy”)

- $\gamma$ 線と電子に対するリバモア・ライブラリー (Livermore library): 10 eVから1 GeVまで
- 粒子偏極過程 (リバモア・ライブラリーに基づく)
- PENELOPEモデル (2008年版)  
 $\gamma$ 線, 電子, 陽電子: 100 eVから1 GeVまで
- ハドロンとイオン: 1 GeVまで
- 原子の脱励起 (atomic de-excitation)  
Auger効果, 蛍光、等

## ■ G4-DNA

- 放射線医学のためのマイクロ・ドジメトリ:  
0.025 eVから10 MeVまで

## ■ その他

- 逆モンテカルロ法 (reverse MC): 粒子を線源に向けて逆トレースする

## ■ ユーティリティ

- 電磁相互作用パッケージへの一般インターフェイス

# ハドロン相互作用過程

---

## ■ ハドロン及びイオンの強い相互作用(Strong Interactions)

- 弾性散乱および非弾性散乱
- エネルギー領域: 0 - ~100 TeV

## ■ レプトン核子相互作用(Lepto-Nuclear Interactions)

- $e^- / e^+$  と核子との相互作用 (vector-dominance相互作用)
- $\mu$ 粒子と核子との相互作用 (vector-dominance相互作用)
- エネルギー領域: ~10 MeV - ~TeV



# 弱い相互作用過程

---

## ■ 粒子崩壊

- 原子核の放射性崩壊 (radioactive decay of nuclei)
- 素粒子の崩壊 (decay of subatomic particles)

# 物理モデルと相互作用過程

---

- Geant4は非常に低エネルギー(  $\sim 10$  eV )から超高エネルギー( PeV )までの粒子の相互作用過程を扱うことができる
- しかしながら、これらのエネルギーの全領域を統一的に記述できる粒子相互作用モデルは存在しない
- 従って、一般的にGeant4は一つの相互作用過程に対して複数の物理モデルを用意
  - 例えば、コンプトン散乱過程は以下のモデルが提供されている:
    - G4KleinNishinaCompton
    - G4PenelopeComptonModel
    - G4LivermoreComptonModel
    - .....
  - それぞれの物理モデルには適用エネルギー範囲／限界が存在する
- ユーザは自らのシミュレーションに最適な物理モデルの組み合わせを決定し、それを初期化情報としてカーネルに渡す必要がある
  - この初期化情報はPhysics Listとよばれ、G4VUserPhysicsListクラスを継承して作られるオブジェクトである
    - ← 「Geant4の基本構造と必須クラス」講義を参照

# Physics Listについて

---

- *Physics List*はシミュレーション実行で考慮する物理相互作用がまとめられたもので、具体的には以下の情報を持っている：
  - 考慮する粒子の種類
  - 使用する物理相互作用モデルのリスト
  - 二次粒子生成閾値
- *Physics List*はユーザがシミュレーションの初期条件として用意しなければならないものであるが、ゼロから作るとはGeant4の物理を十分に理解していないと困難
  - ツールキットには様々なユースケースを考慮し、それらに適していると思われるPhysics Listsが含まれている
    - これは*Pre-packaged Physics Lists*とよばれる
    - 一般のユーザはこの中から最適と思われるものを選択して使うことができる
  - もちろん、ユーザがゼロから、あるいはPre-packaged Physics Listをベースにして独自のphysics listを作ることにも可能
- 以下の講義では、Geant4が用意している物理相互作用モデルの全体を概観したのち、*Pre-packaged Physics Lists*の説明を行う

# 電磁相互作用モデル(EM Constructors)の概観

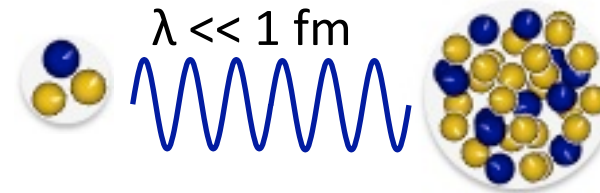
---

- G4EmStandardPhysics                      標準モデル (汎用)
- G4EmStandardPhysics\_option1          HEP実験用 (CMS/LHC用)
- G4EmStandardPhysics\_option2          HEP実験用 (LHCb/LHC用)
- G4EmStandardPhysics\_option3          高精度の粒子輸送が必要な場合
- G4EmStandardPhysics\_option4          標準・低エネルギー・モデル(高精度版)の組み合わせ
- G4EmLivermorePhysics                  低エネルギー領域用のLivermoreモデルと標準モデルの組み合わせ
- G4EmPenelopePhysics                  低エネルギー領域用のPenelopeモデルと標準モデルの組み合わせ
- G4EmLowEPPhysics                      Livermoreモデルに加えて最近の低エネルギー用モデルを使用
- G4EmDNAPhysics                      DNAとの相互作用モデル
- G4OpticalPhysics                      光学光子用のモデル
- .....
- 上記のモデルの詳細は以下を参照:
  - [http://geant4.org/geant4/collaboration/working\\_groups/electromagnetic/physlist.shtml](http://geant4.org/geant4/collaboration/working_groups/electromagnetic/physlist.shtml)

# ハドロン相互作用モデルの概観

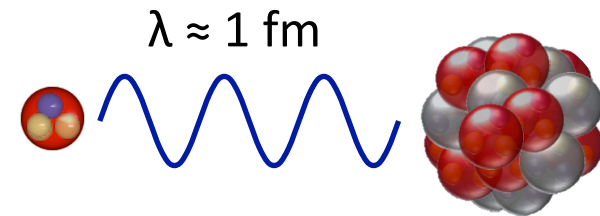
## ■ 高エネルギー領域

- クォーク、グルオン相互作用が重要
- モデル: スtring・モデル
  - Quark-Gluon string model
  - Fritiof



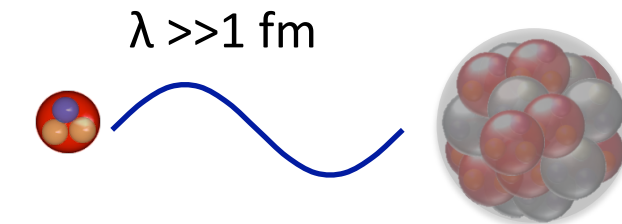
## ■ 中間エネルギー領域

- 核子相互作用が重要
- モデル: 核内カスケード・モデル
  - Binary cascade model
  - Bertini model



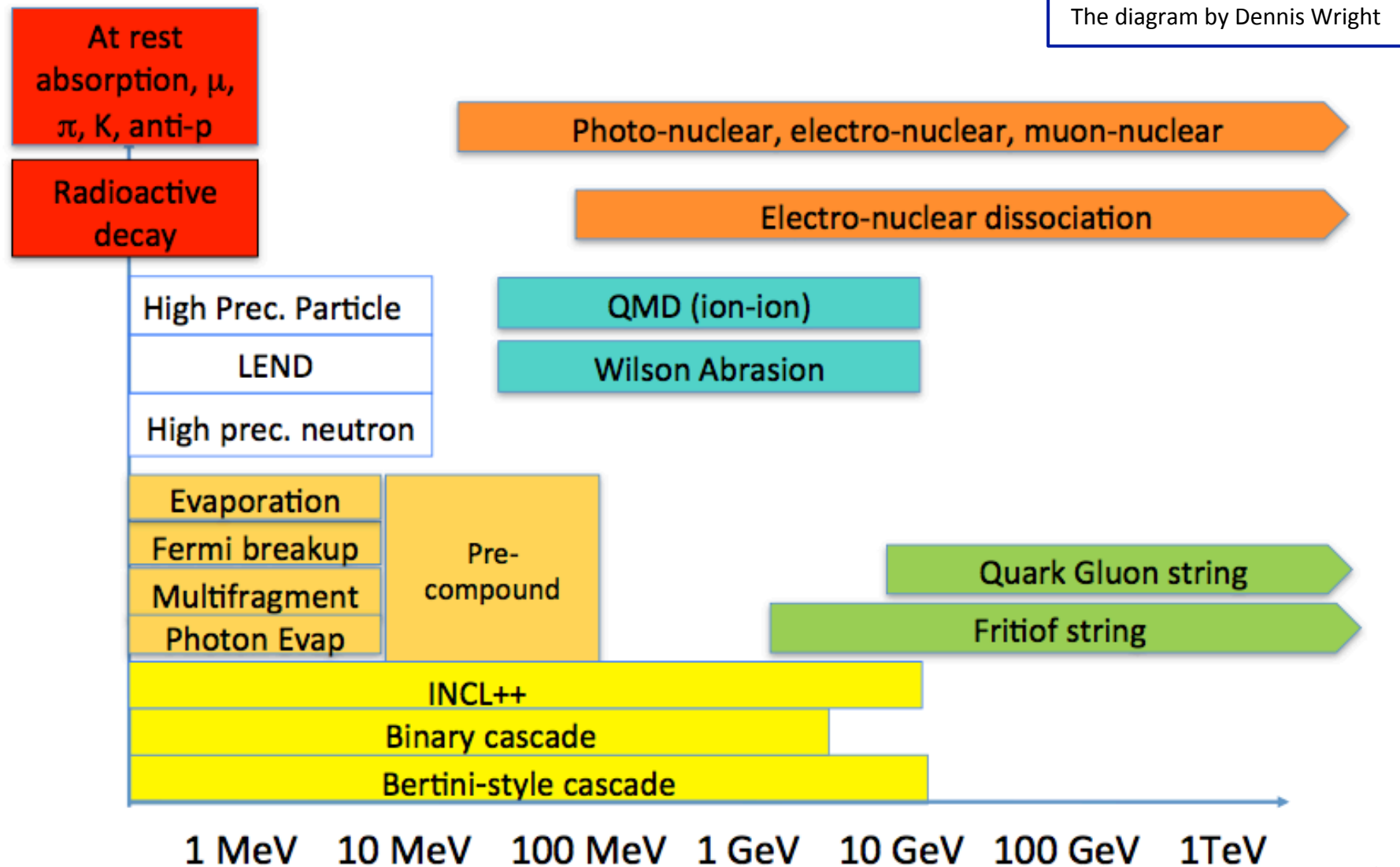
## ■ 低エネルギー領域

- 原子相互作用が重要
- モデル: 前複合核モデル
  - Fission/Evaporation
  - Gamma Evaporation
  - Radioactive Decay
  - Capture at rest



The pictures courtesy by Marc Verderi.

# ハドロン相互作用モデルの一覧



## Pre-Packaged Physics Lists

---

# Pre-packaged Physics Listsとは？

---

- *Pre-packaged Physics Lists*とはGeant4チームがユーザの様々なユースケースを考慮して作成したPhysics Lists
  - 一般のユーザはこの中から適当と思われるものを選択使用できる
  - ただし、その最適性はユーザが判断し、必要に応じて変更を加える必要がある
    - ← 最終的にはユーザの責任での使用
    - ← 以前は“best guess” physics listsともよんでいた
- Geant4配布コード中の*geant4/source/physics\_lists/lists*に置かれている
  - 配布physics listを一覧するには、*geant4/source/physics\_lists/lists/include* を'*ls*'する
- それぞれの*physics list*は異なった電磁相互作用とハドロン相互作用過程の組み合わせになっている
- *physics list*の情報は以下のweb pageから見る事ができる
  - <http://geant4.cern.ch/support/physicsLists>
    - [注] 2017年11月時点で内容はまだ完全ではない



# Pre-packaged Physics Lists一覧 (Geant4 10.3.P3)

FTF関連	QGS関連	その他
FTFP_BERT	QGSP_BERT	LBE
FTFP_BERT_ATL	QGSP_BERT_HP	NuBeam
FTFP_BERT_HP	QGSP_BIC	QBBC
FTFP_BERT_TRV	QGSP_BIC_AllHP	Shielding
FTFP_INCLXX	QGSP_BIC_HP	
FTFP_INCLXX_HP	QGSP_FTFP_BERT	
FTF_BIC	QGSP_INCLXX	
	QGSP_INCLXX_HP	
	QGS_BIC	

[注]

- 茶色はReference Physics Lists (下記参照)
- 名前ルールは次のスライド参照

- 20種類のPackaged Physics Listsが配布されている
  - それぞれのListに用意されているoptionsを含めると総数はずっと多くなる
- Reference Physics Lists:  
*Pre-packaged Physics Lists*の中で特に安定的保守維持をされているもの (後述)

# Physics Listsでの名前付けルール

## ■ ハドロン原子核相互作用モデルは以下の接頭辞で指定する

- **FTF** -> Fritiof Parton Stringモデル:  $E > \sim 4 \text{ GeV}$
- **QGS** -> Quark Gluon Stringモデル:  $E > \sim 12 \text{ GeV}$
- **BERT** -> Bertini型 核内Cascadeモデル:  $E < \sim 10 \text{ GeV}$
- **BIC** -> Binary型 核内Cascadeモデル:  $E < \sim 10 \text{ GeV}$
- **INCLXX** -> Liege 核内Cascadeモデル (INCL)  $E < \sim 10 \text{ GeV}$
- **P** -> 前複合核(Precompund)モデル – 核の脱励起の記述用 (例; FTFP, QGSP, etc)
- **HP** -> 高精度の中性子輸送モデル  $E < 20 \text{ MeV}$

[注]

適応エネルギー領域の値  
は目安を示す

## ■ 電磁相互作用モデルは以下の接尾辞で指定する

- **接尾辞なし** -> 標準電磁相互作用モデル(standard EM physics)
- **\_EMV, \_EMX** -> 高速化された電磁相互作用モデル
- **\_EMY, \_EMZ, \_LIV, \_PEN**  
-> 低エネルギー、医療、宇宙科学用を考慮したモデル

# Reference Physics Listsとは？

- *Reference Physics Lists* とはPre-packaged Physics Listsの中で、Geant4チームが特に安定的保守維持しているもの
  - これらのlistsはLHCなどの主要実験でdata productionとして使用されているもの
  - 最新版tool-kitのが公開されたたびに、Geant4チームにより更新／検証される
  - 他のlistsに比べて安定している
  - Pre-packaged Physics Listsに比べてReference Physics Lists の数は少ない
- Geant4が提供しているPhysics Listsの使用を検討するときには、先ずこれらのReference Physics Listsから開始することを勧める
- *Reference Physics Lists*の一覧
  - FTFP\_BERT
  - FTFP\_BERT\_HP
  - QGSP\_BERT
  - QGSP\_BERT\_HP
  - QGSP\_BIC
  - QGSP\_FTFP\_BERT
- 以下にこれらのReference Physics Listsの基本的な特徴をまとめる

[注] 緑色で書かれたものは'Production Physics Lists'ともよばれ、特に大量のdata production用に維持されている  
← これらの名前及び内容については今後、変更の可能性がある

# Reference Physics Listsの特徴 – 1

---

## ■ *FTFP\_BERT*

- 電磁相互作用は全て標準モデル(standard EM processes)
- ハドロン過程に関してはBertini型 cascadeモデル (< 5 GeV)
- 高エネルギーハドロンに関してはFTF (Fritiof)モデル (> 4 GeV)

## ■ *FTFP\_BERT\_HP*

- FTFP\_BERTと同等であるが, 20 MeV以下の中性子に高精度中性子モデル使用
- 熱中性子の反応断面積を全面的に使用するとFTFP\_BERTより非常に処理が遅くなる
  - ・ 熱中性子断面積を使用しないオプションが用意されている
- 放射線防護、放射線シールド分野でのシミュレーションに推奨

## ■ *QGSP\_BERT*

- 電磁相互作用は全て標準モデル(standard EM processes)
- ハドロン過程に関してはBertini型 cascadeモデル (< 9.9 GeV)
- 高エネルギーハドロンに関してはQGSモデル (> ~18 GeV)
- 上記二つの間のエネルギー領域はFTFモデル

## Reference Physics Listsの特徴 – 2

---

### ■ QGSP\_BERT\_HP

- QGSP\_BERTと同等であるが、20 MeV以下の中性子に高精度中性子モデル使用
- 熱中性子の反応断面積を全面的に使用するとQGSP\_BERTより非常に処理が遅くなる
  - ・ 熱中性子断面積を使用しないオプションが用意されている

### ■ QGSP\_BIC

- QGSP\_BERTと同等であるが、BertiniモデルがBinary cascadeと G4Precompoundモデルで置き換えられている
- 200 MeV以下のエネルギー領域のシミュレーションに推奨 (医療応用の多くに適応)

### ■ QGSP\_FTFP\_BERT

- QGSP\_BERTと基本的に同等

# Reference Physics Lists以外で有用なもの

---

## ■ *Shielding*

- FTFP\_BERT\_HPを基礎に、JENDLの「改良された中性子反応断面積データ」を使用
- QMDモデル使用によりイオン相互作用記述が改善されている
- 放射性崩壊が組み込まれている
- 推奨される応用分野: 放射線シールド分野、宇宙科学分野、HEP分野

## ■ *FTFP\_INCLXX, FTFP\_INCLXX\_HP*

- FTFP\_BERT(\_HP)と基本的に同じだが、3GeV以下ではBertini modelがINCLXX(Liege)カスケードモデルに置き換えられている

## ■ *QGSP\_BIC\_HP*

- QGSP\_BICと基本的に同じだが、20 MeV以下の中性子に高精度中性子モデル使用
- 推奨される応用分野: 放射線シールド分野、医療分野

## ■ *QBBC*

- 干渉性弾性散乱(Coherent elastic scattering)が最新モデルとなっている
- 中性子はNeutron XSで扱われている(HPより高速で精度は高い)
- BertiniおよびBinaryカスケードモデルが採用されている

# 特定領域のユースケース別Physics Lists - 1

---

## ■ エネルギー領域が < 5 GeV (例えば医療用150MeV陽子リニアック):

- “BIC”ないし“BERT”を含んでいるphysics listを先ず試す
- 例: QGSP\_BIC, QGSP\_BERT, FTFP\_BERT, 等

## ■ 中性子輸送が重要な場合:

- “HP”含んでいるphysics listを先ず試す
- 例: QGSP\_BIC\_HP, FTFP\_BERT\_HP, 等

## ■ Bragg Peak曲線の物理が重要な場合:

- “EMV” ないし“EMX”で終わっているphysics listを使用する
- 例: QGSP\_BERT\_EMV

## ■ イオン-イオン相互作用

- この物理に特化したphysics listがある  
[参考] <http://geant4.web.cern.ch/geant4/results/papers/QMD-MC2010.pdf>
- 基本的にはQMDモデルが使用されている

## 特定領域のユースケース別Physics Lists - 2

---

### ■ 光学光子の輸送

- 電磁相互作用モデルにあるG4OpticalPhysicsを使用Physics Listに加える

### ■ 放射性崩壊

- Shieldingを先ず試す

### ■ 電磁相互作用からのLine Emissions (自発光)の詳細シミュレーション

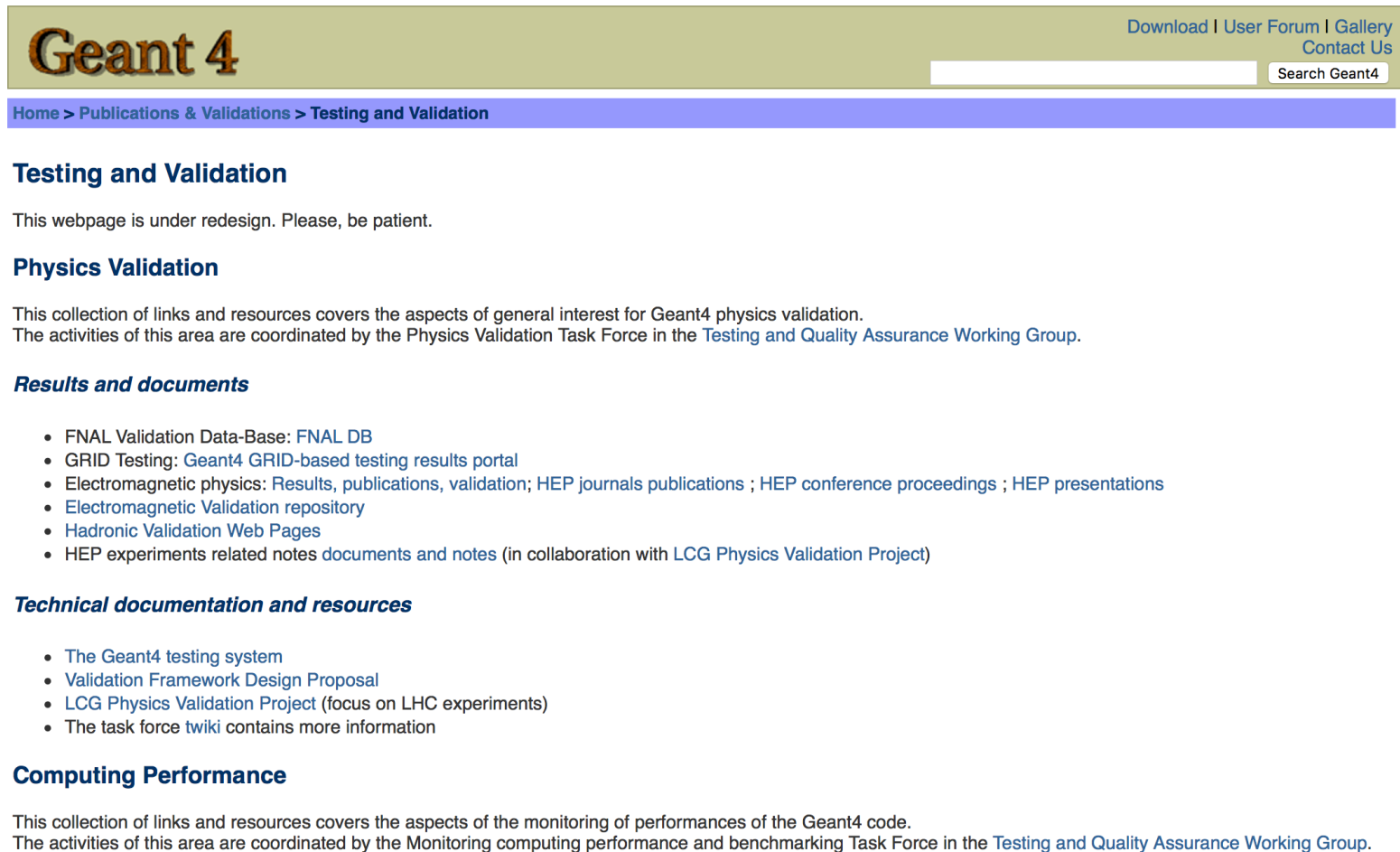
- 電磁相互作用オプションの\_EMY, \_EMZ, \_LIV, \_PENを使う



# Geant4 Physicsの検証情報

## ■ 検証情報のWeb page:

<http://geant4.web.cern.ch/geant4/results/results.shtml>



The screenshot shows the Geant4 Physics Validation website. At the top, there is a header with the Geant4 logo on the left and navigation links (Download, User Forum, Gallery, Contact Us) on the right. Below the header is a search bar. A blue navigation bar contains the breadcrumb "Home > Publications & Validations > Testing and Validation". The main content area is titled "Testing and Validation" and includes a notice that the webpage is under redesign. It then lists "Physics Validation" resources, including a collection of links and resources for general interest. Below this, there is a section for "Results and documents" with a bulleted list of links. Another section, "Technical documentation and resources", also contains a bulleted list of links. The final section is "Computing Performance", which includes a notice about the monitoring of performances and a link to the Monitoring computing performance and benchmarking Task Force.

**Geant 4** Download | User Forum | Gallery  
Contact Us  
Search Geant4

Home > Publications & Validations > Testing and Validation

### Testing and Validation

This webpage is under redesign. Please, be patient.

#### Physics Validation

This collection of links and resources covers the aspects of general interest for Geant4 physics validation.  
The activities of this area are coordinated by the Physics Validation Task Force in the [Testing and Quality Assurance Working Group](#).

#### Results and documents

- FNAL Validation Data-Base: [FNAL DB](#)
- GRID Testing: [Geant4 GRID-based testing results portal](#)
- Electromagnetic physics: [Results, publications, validation](#); [HEP journals publications](#) ; [HEP conference proceedings](#) ; [HEP presentations](#)
- [Electromagnetic Validation repository](#)
- [Hadronic Validation Web Pages](#)
- HEP experiments related notes [documents and notes](#) (in collaboration with [LCG Physics Validation Project](#))

#### Technical documentation and resources

- [The Geant4 testing system](#)
- [Validation Framework Design Proposal](#)
- [LCG Physics Validation Project](#) (focus on LHC experiments)
- The task force [twiki](#) contains more information

#### Computing Performance

This collection of links and resources covers the aspects of the monitoring of performances of the Geant4 code.  
The activities of this area are coordinated by the Monitoring computing performance and benchmarking Task Force in the [Testing and Quality Assurance Working Group](#).

# Physics Lists使用の実際

---

# Physics Listの使用方法

---

- *physics lists*の使用方法には以下の二種類がある
  - 手法1:  
使用したいPhysics listオブジェクトを直接生成してそれを  
*G4RunManager*に渡す
  - 手法2:  
*G4PhysListFactory*に使用したい配布Physics listの名前を渡し、  
physics listオブジェクトを生成させ、それをG4RunManagerに渡す
- 二つの手法の違い
  - 手法1では使用するphysics listはコンパイル時に決定される
  - 手法2ではRun Timeに環境変数を用いて使用するphysics listを指定できる
  - 手法2を用いると配布physics listsに機能を追加・変更することが可能

# 配布Physics Listの使用方法 — 手法1

## ■ 手法1: Physics listオブジェクトの直接生成

[注] 使用するPhysics Listを直接コード内に書く

reference physics  
listのひとつである  
"FTFP\_BERT"オブ  
ジェクトを直接生  
成

"FTFP\_BERT"オブ  
ジェクトをRun  
Managerに渡す

```
.....  
#include "FTFP_BERT.hh"  
  
int main(int argc, char** argv)  
{  
    // ....  
  
    // Construct the default run manager  
    //  
    G4RunManager * runManager = new G4RunManager;  
  
    // Physics list  
    G4VModularPhysicsList* physicsList = new FTFP_BERT;  
    runManager->SetUserInitialization(physicsList);  
    ....  
    ....  
}
```

[注] あるいは以下のようにも書ける

```
#include "FTFP_BERT.hh"  
  
int main(int argc, char** argv)  
{  
    // ....  
  
    // Construct the default run manager  
    //  
    G4RunManager * runManager = new G4RunManager;  
  
    // Physics list  
    runManager->SetUserInitialization(new FTFP_BERT);  
    ....  
}
```

## 配布Physics Listの使用方法 ― 手法2

### ■ 手法2: *G4PhysFactory*を使ったPhysics listオブジェクトの生成

PhysicsListFactoryを  
用いてphysics list  
"FTFP\_BERT\_EMV"  
オブジェクトを生成

"FTFP\_BERT\_EMV"  
オブジェクトをRun  
Managerに渡す

```
....  
#include "G4PhysListFactory.hh"  
  
int main(int argc, char** argv)  
{  
    // ....  
    // Physics List 物理リストは既成のものを選ぶ  
    G4PhysListFactory factory;  
    G4VModularPhysicsList * physics =  
        factory.GetReferencePhysList("FTFP_BERT_EMV");  
    runManager->SetUserInitialization(physics);  
    ....  
    ....  
}
```

[注 1] 上記例ではPhysics Listの名前が直接コード内に書かれているが、以下の様にコード変更することで環境変数"PHYSLIST"に設定されたものが使用される

```
G4VModularPhysicsList* physicsList  
= factory.ReferencePhysList("");
```

[注 2] G4PhysicsFactoryを使って既存のPhysics Listの機能変更をする手法はHands-onで扱う

# 低エネルギー電磁相互作用のPhysics Lists - 1

---

- 多くのphysics listsは、電磁相互作用として標準モデル(standard EM physics)を用いている。より低いエネルギーを扱いたい場合、低エネルギー用モデル(**Low Energy EM Physics**)に置き換えることが可能
  - G4EmLivermorePhysics (physics listの接尾辞 = **LIV**)
  - G4EmLivermorePolarizedPhysics
  - G4EmPenelopePhysics (physics listの接尾辞 = **PEN**)
  - G4EmDNAPhysics
- **Low Energy EM Physics**モデルを含むPhysics listsはマイクロドジメトリ分野での応用に推奨
- 例: **DNA** 研究分野でのphysics listは以下のを参照
  - [geant4/source/examples/advanced](https://geant4.cern.ch/source/examples/advanced)

## 低エネルギー電磁相互作用のPhysics Lists - 2

---

- ハドロン相互作用部分のphysics list名(例: FTFP\_BERT)が決まっているなら、標準モデルを低エネルギー電磁相互作用モデルに切り替えるのは *G4PhysListFactory* クラスを使って以下のように簡単にできる:

```
G4PhysListFactory factory;  
G4VModularPhysicsList* physList =  
    factory.GetReferencePhysList("FTFP_BERT_XXX");  
// where XXX = EMV or EMX or LIV or PEN
```

# 飛程カット(Range Cuts)

- 「放射線のシミュレーションの概要」で述べたようにGeant4は二次粒子のが走る飛程(range)への制限(カット)を設定することで、電磁相互作用反応断面積の遠赤外の発散問題を解決している

- 飛程カット値の特徴

[注] このコマンドは必ず'Idle'状態の時に実行しなければならない

- ユーザ・コマンドで以下のように設定できる

```
Idle> /run/setCut 2.0 mm
```

- 設定されたカット値は、電子、陽電子、 $\gamma$ に対して適用される

- 粒子に対して唯一のカット値を設定することが、Geant4では基本となっている

- 粒子によってカット値をあえて変えたい場合は以下のユーザ・コマンドが使える

```
Idle> /run/setCutForAGivenParticle e- 5.0 mm
```

- 粒子によって異なるカット値を設定すると、エネルギー損失計算に影響があることに注意

- Geant4が標準で提供しているPhysics Listsでは、全ての粒子に対してカット値1.0mmがデフォルトとして設定されている

- カット値をジオメトリ・ボリューム別に異なって設定可能

- 陽子の飛程カット値

- 陽子に対しても上記の手法で設定されたカットが適用される

- ただし、この場合、原子核弾性散乱における陽子生成の閾値と解釈される



# Modular Physics Listsの実装

Prepackaged Physics Lists (References Physics Listsを含む)がカバーする物理が不十分で、新たにPhysics Listをユーザが作成する時の手法を扱う

---

[注] この手法は多くのユーザにとって不要であろうが、参考知識として示しておく

# Modular Physics List (モジュール化Physics List)

---

- Physics Listsは*G4VUserPhysicsList*をベース・クラスとして記述される
- しかし、このベース・クラスから直接”Physics List”を作ることは得策ではない
  - 現実的なシミュレーションを行おうとすると、“physics-list”クラスは大きくかつ複雑
  - *G4VUserPhysicsList*は粒子生成および相互作用過程の実装がフラット(モジュール化さない)になるため、間違いが生じやすくなり、また、コードの維持が大変になる
- 解決策
  - モジュール化された Physics List (*Modular Physics List*)を使う
  - *Modular Physics List*は*G4VUserPhysicsList*継承した以下のクラスで表現:  
*G4VModularPhysicsList*
- *G4VModularPhysicsList*クラスの特徴
  - 全ての相互作用過程を一つのクラスの中で実装しなくて済む
  - すなわち、実装をモジュール化して、任意の数のクラスに分割して行なえる  
例) *EM\_Physics* , *Hadron\_Physics*,...
  - ユーザが独自のPhysics Listsを作成したい場合、このクラスをベースにできる

# G4VModularPhysicsListクラスの実装

## ■ G4VModularPhysListクラスを用いた”physics list”の実装

```
class Sample_PhysicsList: public G4VModularPhysicsList
{
public:
    Sample_PhysicsList();
    virtual ~Sample_PhysicsList();
};

Sample_PhysicsList::Sample_PhysicsList()
{
    defaultCutValue = 0.7*mm;

    RegisterPhysics( new Sample01_PhysProcess() );
    RegisterPhysics( new Sample02_PhysProcess() );
    RegisterPhysics( new Sample03_PhysProcess() );
}

Sample_PhysicsList::SetCuts()
{
    SetCutsWithDefault();
}
```

- 上記のコードにおいて、”Sample01\_PhysProcess”、.....は  
G4VPhysicsConstructorクラスをベースに相互作用過程が記述される  
(次のスライド参照)

## G4VPhysicsConstructor – 相互作用過程の記述方法

---

### ■ 前スライドの相互作用過程記述クラスのヘッダー・ファイルの例:

```
Class Sample01_PhysProcess : public G4VPhysicsConstructor
{
    public:
        Sample01_PhysProcess(const G4String& name = "Sample01_PhysProcess");
        virtual ~Sample01_PhysProcess();
        virtual void ConstructParticle();
        virtual void ConstructProcess();
}
```

- 独自の相互作用過程記述クラスは以下のクラスを継承して作られる:

***G4VPhysicsConstructor***

- ‘相互作用過程の実装にはConstructParticle’関数と‘ConstructProcess’関数にユーザの独自の粒子と相互作用過程を記述すればよい
  - 実装にはGeant4の物理過程に関する知識が必要となる
  - しかし、ユーザがこれらの関数を実装しなければならないことは稀である
  - 多くのユーザにとっては、次に述べる標準の物理コンストラクタの扱いを知るので良い

# 物理コンストラクタ： ツールキットで標準配布

---

- 物理コンストラクタとは **G4VPhysicsConstructor** を継承して実装された相互作用過程記述クラス

- **geant4/source/physics\_lists/constructors** に置かれている
- 相互作用過程記述クラスは以下のカテゴリーに分類されている

decay/	electromagnetic/	gamma_lepto_nuclear/
hadron_elastic/	hadron_inelastic/	ions/
limiters/	stopping/	

- Pre-packaged Physics Listsはこの相互作用過程記述クラスを用いて実装
- 
- ユーザが独自のphysics listを作る場合、まずはこれらの物理コンストラクタから必要なものを選択し、それをG4VModularPhysicsListで組み合わせることを推奨する

# 物理コンストラクタを用いたPhysic Listの実装

- 以下にGeant4のBasic Example B3での実装例を示す
  - Hands-onでこれを実習する

## ヘッダー・ファイル

```
//+++++
// PhysicsList.hh
//+++++
#ifndef PhysicsList_h
#define PhysicsList_h 1

#include "G4VModularPhysicsList.hh"

//-----
class PhysicsList : public G4VModularPhysicsList
//-----
{
public:
    PhysicsList();
    ~PhysicsList();

public:
    void SetCuts();
};
#endif
```

クラスPhysicsListは  
modular physics list

# 物理コンストラクタを用いたPhysic Listの実装 (つづき)

## 定義ファイル

```
//+++++
// PhysicsList.cc
// [Note] Based on "G4 Basic Example: B3"
//+++++
#include "PhysicsList.hh"
#include "G4DecayPhysics.hh"
#include "G4RadioactiveDecayPhysics.hh"
#include "G4EmStandardPhysics.hh"

//-----
PhysicsList::PhysicsList()
: G4VModularPhysicsList()
//-----
{
// Default physics
RegisterPhysics(new G4DecayPhysics());
// Radioactive decay
RegisterPhysics(new G4RadioactiveDecayPhysics());
// EM physics
RegisterPhysics(new G4EmStandardPhysics());
}

//-----
PhysicsList::~PhysicsList()
//-----
{}

//-----
void PhysicsList::SetCuts()
//-----
{
    G4VUserPhysicsList::SetCuts();
}
```

この3つのクラスは  
物理コンストラクタ

SetCutsに関しては  
次のスライド参照

# SetCuts()の実装

- この関数を用いて二次粒子生成閾値、すなわち「飛程距離によるカット」(*Range cuts*)を設定する
  - 電磁相互作用を扱う計算では、赤外発散が問題となる。発散を避けるためには一定のエネルギー以下の二次粒子は発生させない様にする必要がある
  - 二次粒子生成閾値をGeant4では粒子の飛程距離(Range cuts)で表す
- 前のスライドの例ではSetCuts値をG4VModularPhysicsListのベースクラスであるG4VUserPhysicsListで実装されている値に設定してある
- SetCuts実装の別の例:

```
void PhysicsList::SetCuts()  
{  
    defaultCutValue = 1.0*mm;  
  
    SetCutValue(0.5*mm, "e-");  
    SetCutValue(0.5*mm, "e+");  
}
```

← 'defaultCutValue'に値を設定すると、自動的にそれがrange cutsとして用いられる

← cutをこれらの粒子に対して'defaultCutValue'とは異なる値を設定する

[注] SetCutsの値は以下のUIコマンドでも設定可能

```
/run/setCut
```