
Optical Photon

演習パッケージ: P06_Optical

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
 - 誤字や間違な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

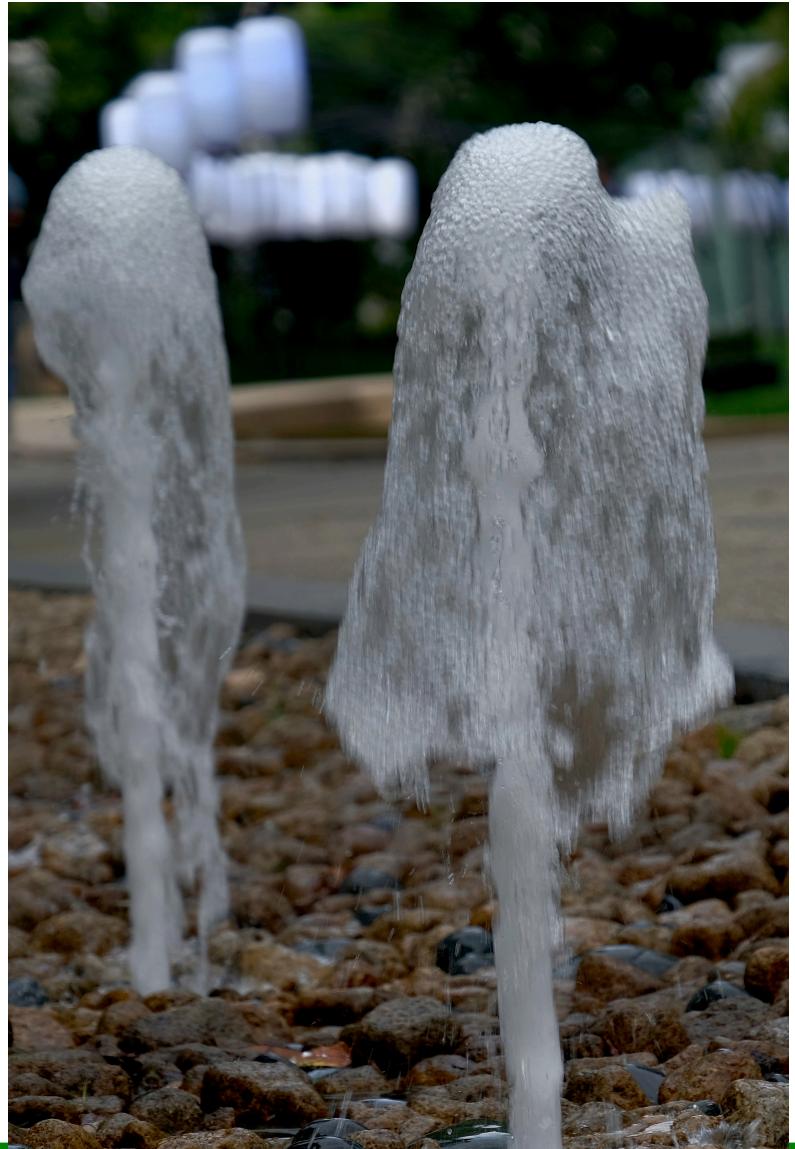
演習の目標

1. Optical photonを使う必要最小限のGeometry, PhysicsListおよびPrimaryParticleGenerator を使ってみる
2. 光学光子を生成する物理プロセスのチューニングの方法を知る
 1. シンチレーション光
 2. チェレンコフ光
 3. OpBoundary プロセス
3. Optical photonを直接発射して滑らかな表面での全反射と屈折を観察する
 1. 直線偏光を指定してBrewster 角を観察する

水とOptical photon

P06_Optical では滑らかな表面の
空想上の水の立方体を考える。

時とともに形を変える非常に複雑な
表面は見て楽しむだけ



P06_Opticalプログラムのコピーとファイル構造の確認

課題: 1 演習プログラムとして提供されているP06_Opticalの全体をユーザのワークディレクトリにコピーし、そのファイル構造を確認する

1) 演習プログラム全体を自分のワークディレクトリにコピーする

```
$ cd ~/Geant4Tutorial20171129  
$ cd UserWorkDir  
$ cp -r ../TutorialMaterials/P06_Optical .
```

二つのプログラムがある。
Source チェレンコフを見る

```
$ ls P06_Optical  
source source-Bs util/  
$ ls P06_Optical/source  
Application_Main.cc  
CMakeLists.txt      include/          src/
```

Source-Bsのメインプログラムは
マクロファイルを引数に取りパッ
チ処理とする例。

```
$ ls P06_Optical/source/src  
ActionInitialization.cc PrimaryGeneratorMessenger.cc DetectorConstruction.cc  
RunAction.cc      PhysicsList.cc    SteppingAction.cc     PrimaryGeneratorAction.cc  
$ ls P06_Optical/util  
Macros/ Macro-Bs/
```

P06_Optical/sourceプログラムの概要

■ P06_Optical/source の構成

- Geant4/examples/extended/optical/OpNoviceを下敷きとした
 - DetectorConstruction で物質の光学的パラメータなどを定義する
 - PrimaryGeneratorで光学光子の偏光角を設定する
 - PhysicsList はP04_PhysicsListをもとに、光学光子物理リストを追加し、シンチレーションとチェレンコフ過程のパラメータを設定。

クラス	内容
Application_Main	
DetectorConstruction	OpNovice の光学的パラメータ定義を使う
Physics list	P04_PhysicsList に光学光子関連のプロセスを追加
PrimaryGeneratorAction	OpNoviceから光子の偏光角設定コマンドを定義
PrimaryGeneratorMessenger	
StackingAction	光子を作ったプロセスを数える
RunAction	今は何もない
ActionInitialization	ユーザアクション初期化

コンパイルと実行

P06_Opticalアプリケーションのビルド

課題:2 配布のP06_Optical/source アプリケーションをビルドする

1) ビルドするための作業デレクトリを作成

```
$ cd ~/UserWorkDir/P06_Optical  
$ mkdir build
```

2) buildデレクトリでビルドを実行

```
$ cd build  
$ cmake ../source  
$ make  
$ make install
```

3) ビルド実行後のデレクトリ構造確認、マクロのコピー

```
$ cd ..  
$ ls bin  
Application_Main*  
$ mkdir TestBench  
$ cp util/Macros/* TestBench/
```

Application_Main の実行

課題:3 Application_Main を実行して出力を読む

1) プログラム実行はTestBench/の下で行う

```
$ pwd  
...../P06_Optical  
$ ls  
TestBench/ bin/ build/ source/ source-Cs/ util/  
$ cd TestBench  
$ ..../bin/Application_Main
```

2) 端末ウインドに長いメッセージが出力される。最初はDetectorConstructionで光学的性質を定義した内容が表示される。次の課題4参照。

3) Qtウインドが開くので見やすい画面にする。

Tips:

Qtには便利な機能が多々ある。

- SceneTreeには構造物などが木構造でメニュー化されていて、表示の制御ができる。
- Helpにはコマンドツリーがあり、コマンドヘルプも使える
- 表示されているものをピッキングしてその情報を得ることができる
- /run/beamOn 1 専用のボタンがある
- 実行ログ出力を保存できる
- OpenGLウインドウを分離できる など

DetectorConstructionで物質の光学的性質を定義

- 課題4 DetectorConstruction.cc でどのように物質と物体表面の光学的性質を指定するかを読む
 - 境界面はpolishedとした。
- ソースを読み、光学的性質をどのように定義するかを調べ、アプリを実行開始した直後の端末出力で確認する
 - 屈折率などは光子の波長ではなくエネルギーを使って定義する

Water G4MaterialPropertiesTable

ABSLLENGTH

2.034e-06 3448

2.068e-06 4082

中略

Air G4MaterialPropertiesTable

RINDEX

2.034e-06 1

中略

Water Surface G4MaterialPropertiesTable

BACKSCATTERCONSTANT

後略

物理リストで活性化されているプロセスを確認する

- 課題5 光学光子のプロセスを含めるために、P04_PhysicsListに一行だけ追加した。
physics_lists/constructors/electromagnetic/src/G4OpticalPhysics.ccのソースを読んでどのようなプロセスが使えるかを確認する。

```
RegisterPhysics(new G4OpticalPhysics());
```
- プロセスのリストを見せるコマンドを実行してどのようなプロセスが活性化されているかを確認する。講義で説明されてように、OpBoundaryは物質境界での光子の振る舞いを記述するための非物理的プロセス。

```
Idle> /process/list
Transportation, Decay, RadioactiveDecay, msc, hloni, ionloni,
hBrems, hPairProd, CoulombScat, eloni, eBrem, annihil, phot,
compt, conv, muloni, muBrems, muPairProd,
OpAbsorption, OpRayleigh, OpMieHG, OpBoundary, OpWLS,
Cerenkov, Scintillation
```

課題6 シンチレーション光の発生を抑える

1. マクロscinti0.macを実行する
 - e- 150 keV を (-2, 0, 0) cm から (1, 0, 0) 方向へ入射
 - */process/inactivate OpBoundary* としている(全反射により計算時間が無駄に長くなるのを避けるため)
 - */run/beamOn*
2. テキスト出力を読んで、可視化情報と照らし合わせる
 - G4Track情報
 - G4Step 情報
 - Runまとめ出力されているStackingACtion 情報
3. 純水でのシンチレーション発光はおかしい。GeometryConstructionコードの中で設定した物質特性は自分の目的に合わせて調節すべきもの。

```
G4MaterialPropertiesTable *myMPT = new G4MaterialPropertiesTable();
myMPT -> AddConstProperty("SCINTILLATIONYIELD", 50./MeV);
```

4. 水中のシンチレーション発光を抑止するにはそのイールドにファクター0を乗じると良い。次のコマンドで行える。

/process/optical/scintillation/setYieldFactor 0

G4Scintillation.cc を読むと
ScintillationYield *= fYieldFactor;

課題7： チェレンコフ光のパラメータ

- 電子のエネルギーを臨界エネルギーより少し大きくして電子が停止するまでに出すチェレンコフ光を見る。例えば0.5 MeVの電子の水中での飛程は1.56mmである。

- ステップ当たりの最大光子数の既定値はいくらくに設定されているか。光子数がこの値に達するとステップは終わる。

`SetMaxNumPhotonsPerStep(MaxNumPhotons);`

- 水中のチェレンコフ光の数は300/cm程度になりうるので、二次粒子のトラッキングを先に済ませることを選択できる。`SetTrackSecondariesFirst(true)`

- 荷電粒子が減速している時でもステップに沿って一様に光子を生成する。速度 β の急な変化でステップを終えるよう指定できる。

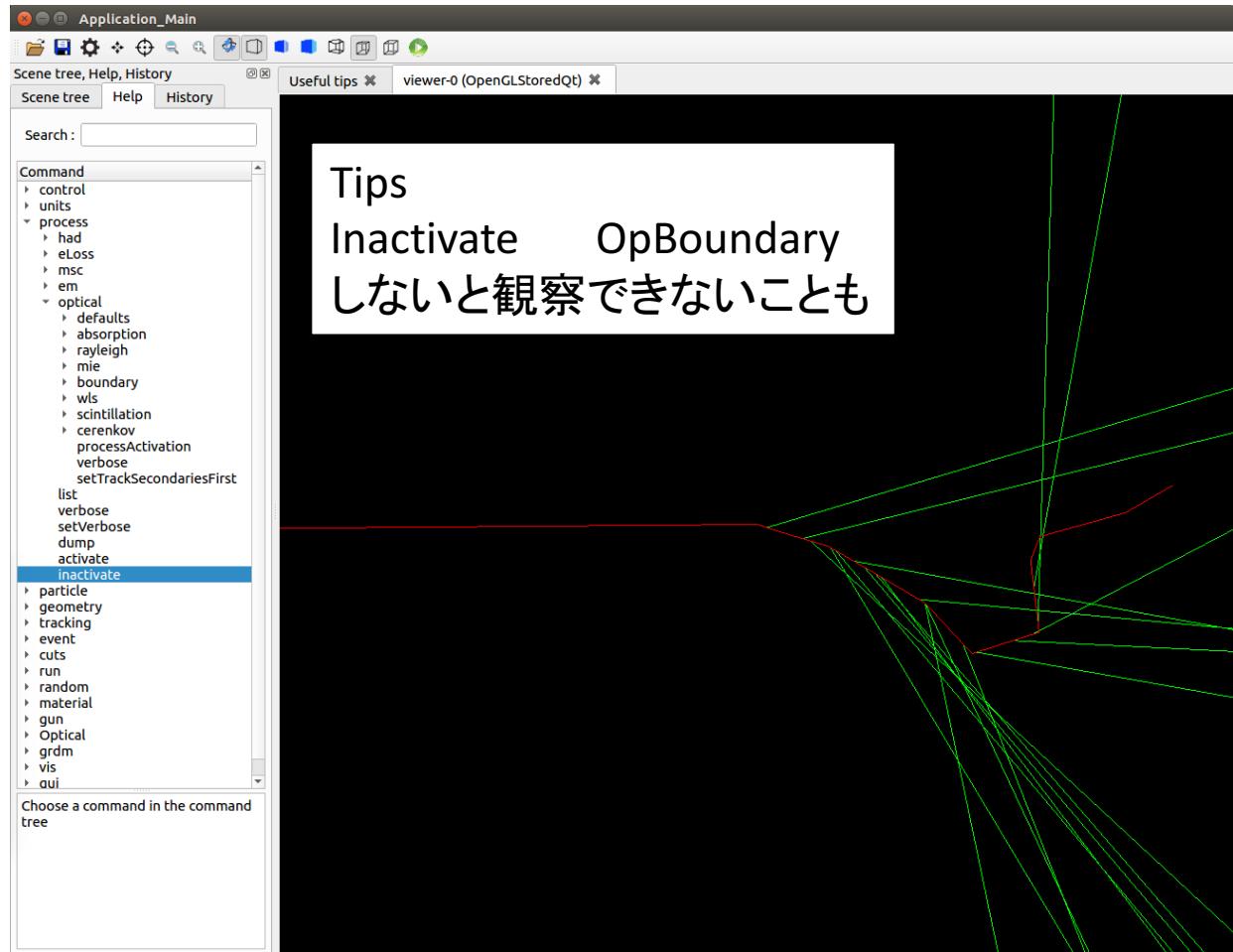
`SetMaxBetaChangePerStep(10.0)`

コマンドによる変更方法

```
/process/optical/cherenkov/  
    setTrackSecondariesFirst  
    setMaxBetaChange  
    setMaxPhotons
```

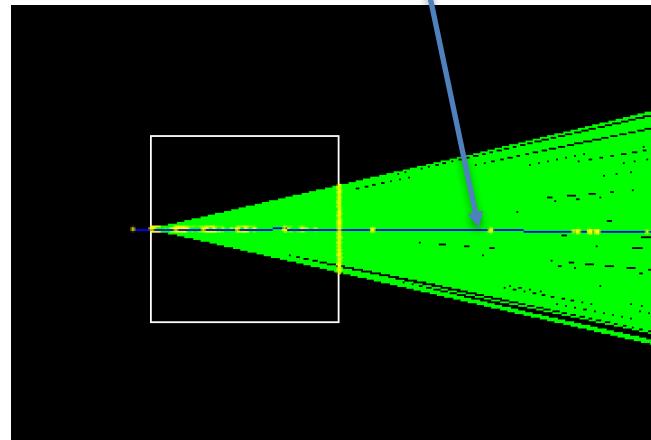
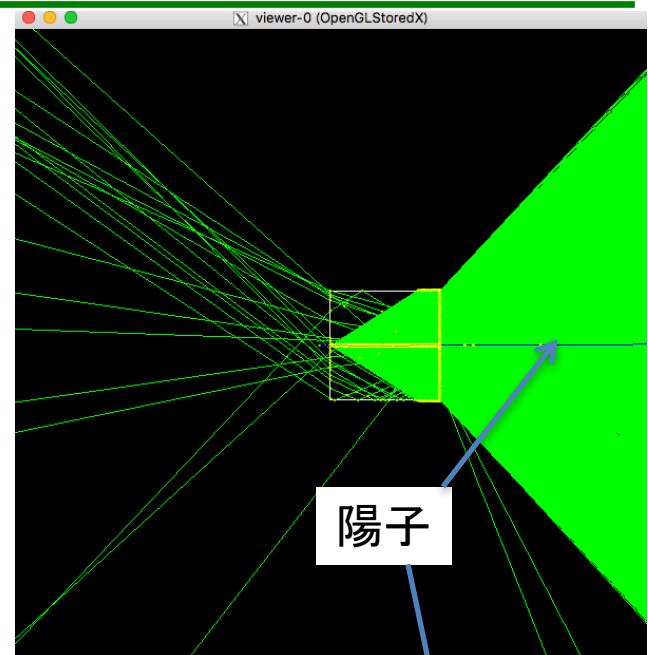
課題8：ステップ毎のチェレンコフ光の観察

各ステップが分離して見える程度に可視画面を拡大して、G4Trackの出力と比較すると良い。



参考資料：陽子からのチエレンコフ光の発生

- 1GeVの陽子で1イベントだけ実行。
 - 既定値の設定では光子数が非常に多いので今は試さない方が良い
 - シンチレーション光を抑止すると右のような絵が得られる。
- 下の絵は0.5 GeVの陽子からのチエレンコフ光である。ただし、OpBoundaryはinactiveである。



課題9 光学光子を一次粒子としてトラッキングを観測する

1. マクロファイル"optical.mac" を実行。
スナップショットは /vis/ogl/export で撮った
2. Trackingの様子を調べる
右のスナップショットのG4Track出力

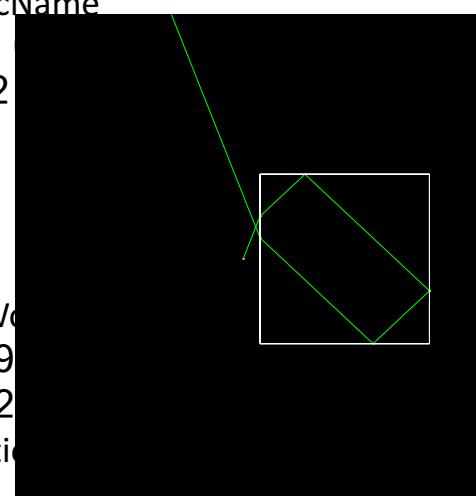
```
/tracking/verbose 2  
/run/beamOn 1
```

```
/gun/particle opticalphoton  
/gun/position -200 cm  
/gun/energy 4 eV  
/Optical/polarization 90 degree  
/gun/direction 1 2.52 0  
#/vis/viewer/zoom 20  
/run/beamOn 1
```

* G4Track Information: Particle = opticalphoton, Track ID = 1, Parent ID = 0

Step#	X(mm)	Y(mm)	Z(mm)	KinE(MeV)	dE(MeV)	StepLeng	TrackLeng	NextVolume	ProcName
0	-20		0	0	4e-06	0	0	0	
1	0		50.4	0	4e-06	0	54.2	54.2	
2	53		100	0	4e-06	0	72.6	127	
3	53		100	0	4e-06	0	0	127	
4	200		-37.6	0	4e-06	0	201	328	
5	200		-37.6	0	4e-06	0	0	328	
6	133		-100	0	4e-06	0	91.2	419	W
7	133		-100	0	4e-06	0	0	419	
8	0		24.9	0	4e-06	0	183	602	
9	-3.96e+03	1e+04	0	4e-06	0	1.07e+04	1.13e+04	OutOfWorld	Transportation

number of event = 1 User=0s Real=0.02s Sys=0s



偏光角を設定するコマンド /Optical/polarization

- 課題10 右の囲みのように、コマンドで光学光子の偏光をいい加減に設定してランを実行しても文句を言われないが、物理的に正しい結果は得られない。

- examples/etended/optical ではそのような場合にも簡単に偏光角度を設定できるように、

PrimaryGeneratorActionに光子の方向に垂直な偏光を設定するコマンドを用意している。
P06_Opticalではそれを少し簡略化して使っている。

- PrimaryGeneratorMessenger では直線偏光の偏光面と入射面の間の角度を設定するユザコマンド/Optical/polarizationを定義する。

```
fPolarCmd = new G4UIcmdWithADoubleAndUnit("/Optical/polarization",this);
```

- このコマンドを受理したらPrimaryGeneratorActionで実行する

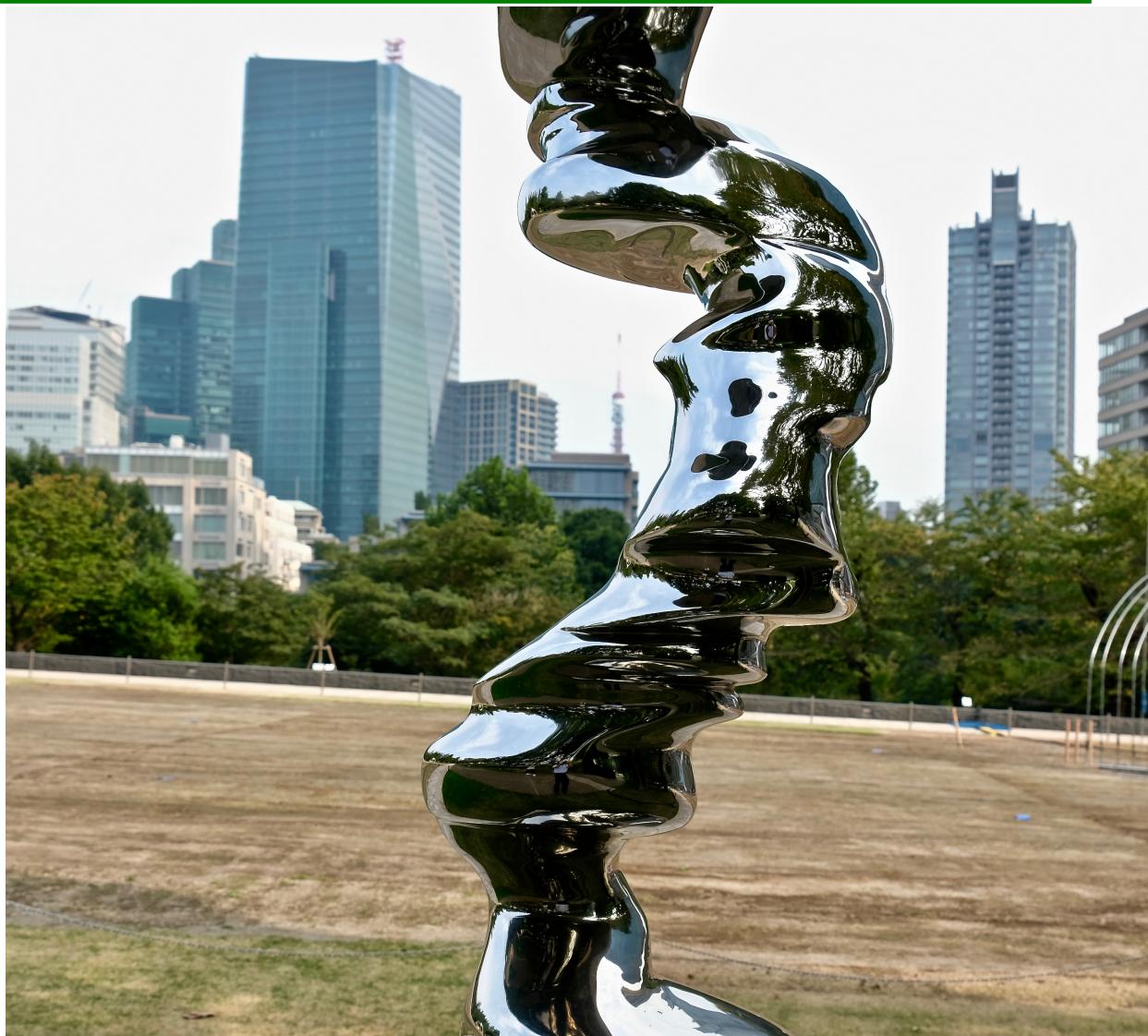
```
void PrimaryGeneratorAction::SetOptPhotonPolar(G4double angle)
```

- このコマンドを使って、P 波(parallel)またはS波 (senkrecht)入射光線にするための方法を調べる。
 - 確認するには ?/gun/polarizationコマンドを使う

```
Idle> /gun/particle opticalphoton
Idle> /gun/energy 4 eV
Idle> /gun/direction 1 0 0
Idle> /gun/polarization 1 1 1
Idle> /run/beamOn
```

全反射 Brewster 角を調べる

- 現実は表面のGeometry
が難しい



Brewster Angleの「測定」

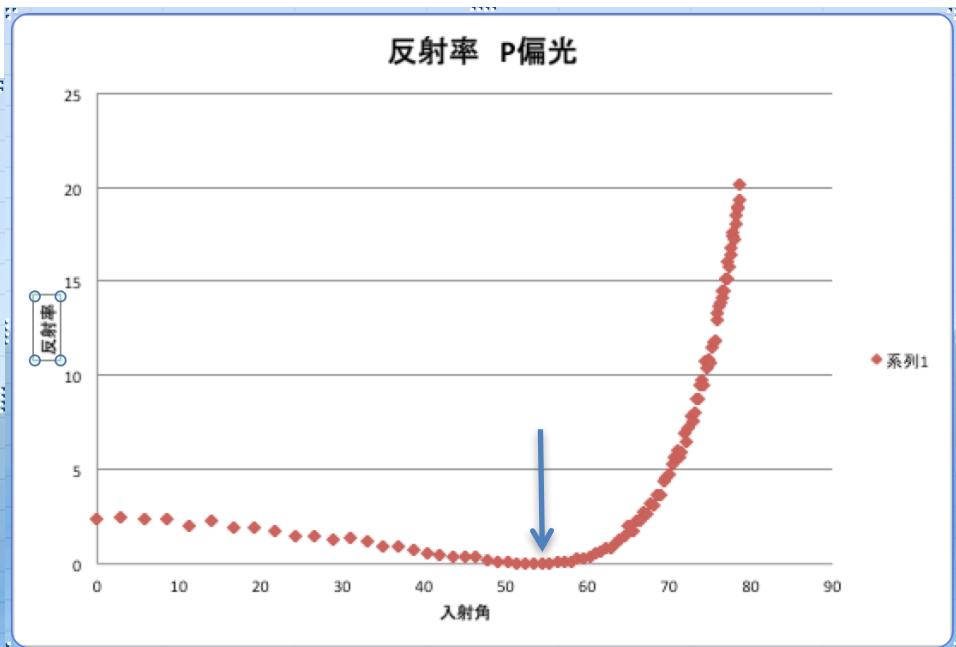
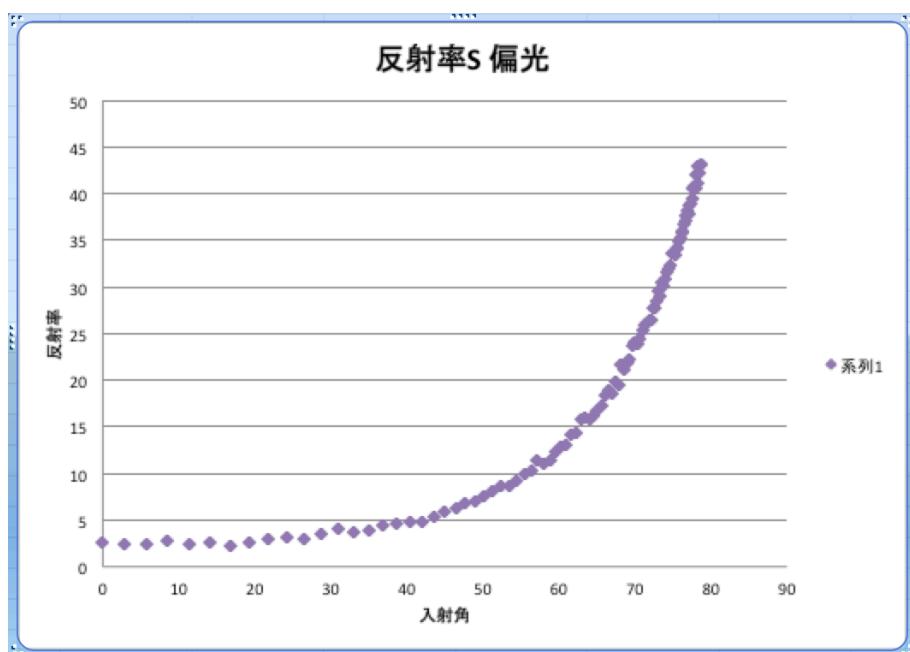
- 水のBrewster's angle は約55° である。入射角を変えて光学光子を水に打ち込み、反射率を測定する。
Tips! Brewster反射を繰り返すと高品位の直線偏光が得られる
- P06_Optical/source-Bs はBrewster角を「測定する」ための簡単な教育的例題である
 - 水タンクの外の一点から水タンクに光学光子を入射する
 - 入射方向ベクトルを変えては反射率を測定する
 - P偏光とS偏光でこの測定を繰り返してBrewster角を求める
 - 入射方向ベクトルを変更しながら一連のランを実行するため、/control/loop コマンドを使った2個のマクロファイルを用意する
 - ランの最後に、入射方向ベクトルを入射角に変換し
 - 「入射光数、反射光数、入射角、P/S偏光」を端末に出力する
 - ラン毎に得られる入射角と反射率の値をCSVファイルに追記して書き出す
 - 表計算ソフトまたはROOTで散布図を作成する

課題11：source-Bsのコードを読む

- P06_Optical/source を出発点にしてユーザアクションに手を加えた
- Application_Main.cc コマンド行でマクロファイルを受理しバッチモードで走るようにした
- SteppingAction
 - 空気から水への入射で全反射が発生するとisReflectiveフラッグを立てるEventActionのメソッドを呼ぶ
 - 屈折して水中に入った場合には、水中で全反射を繰り返したり、空中へ出て行った光子のトラッキングをストップする
- EventAction
 - isReflectiveが真なら、RunActionの反射数を増やすメソッドを呼ぶ
- RunAction
 - ランの終わりに、全反射数、入射角、入射光の偏光を出力する
 - 各ランの終わりに入射角と反射率をファイルに書き出す(追記する)
- DetectorConstruction
 - Rayleigh, Mie 散乱が見えるよう水タンクの寸法を8m立方とする
- 二つのマクロファイル; 入射角を変えながら多数のランを反復実行する
 - Brewster.mac
 - 光学光子のエネルギーなどを設定する
 - 可視化をdisableとする
 - /control/loop で入射方向ベクトルのy成分を増加させる
 - Dir.mac では光の発射位置のy座標値を使って入射ベクトルを設定し、ランを走らせる

課題12 測定

- Brewster.macをバッチモードで実行するとBrewster.csvファイルが得られる
 - `%../bin/Application_Main -m Brewster.mac`
- 適当な方法で結果をプロットする
 - Brewster.csv ファイルを表計算ソフトを使って散布図を作成する
 - 注意 Brewster.csv ファイルはランの実行毎に追記されるので、次のランの前にファイルを別名にしておくこと



光の透過、反射、屈折だけを味わう



終わり

