Overview of EGS4

Tokihiro Yamamoto, M.S.
(tyama@sahs.med.osaka-u.ac.jp)

Department of Medical Physics and Engineering
Osaka University
Graduate School of Medicine

First EGS4 Workshop in Kansai
Osaka University, Suita, Osaka, Japan

Sep. 9, 2006

内　容

- 電磁カスケードMonte Carloコードの歴史
  - EGS系列コード
  - ETRAN系列コード
- EGS4コードシステムの概要
  - EGS4/PEGS4
  - EGS4で扱う物理反応
  - ベンチマーク
- ユーザーサポート
  - EGS研究会

内　容

- 電磁カスケードMonte Carloコードの歴史
  - EGS系列コード
  - ETRAN系列コード
- EGS4コードシステムの概要
  - EGS4/PEGS4
  - EGS4で扱う物理反応
  - ベンチマーク
- ユーザーサポート
  - EGS研究会

EGS系列コード

Messel and Crawford (1958-70)
- 高エネルギー電磁カスケードに対する最初のMonte Carlo計算

Zerby and Moran (1962-3)
- SLACの2-mile linacの建設を機会に開発

Nagel (1963-5): SHOWER1 ← The seed for EGS!
- Nicoli (1966)により拡張 (SHOWER2)
- SLACに持ち込まれ改良

Ford and Nelson (1974): EGS1/PEGS1

Ford and Nelson (1976-7): EGS3/PEGS3 (SLAC-210)
- 低エネルギー分野 (医学物理分野) への応用広まる

Nelson, Hirayama and Rogers (1982-5): **EGS4/PEGS4** (SLAC-265)

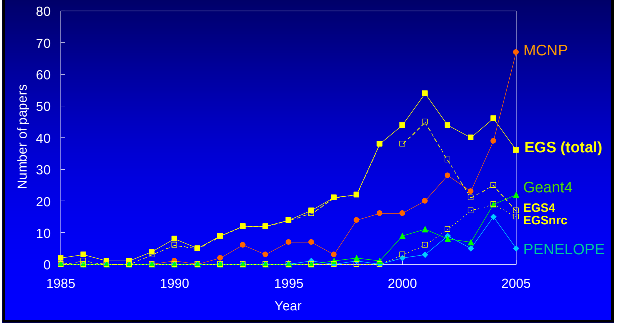
Kawrakow (2000): **EGSnrc/PEGS4** (PIRS-701)

Hirayama, Namito, Bielajew, Wilderman and Nelson (2000-5): **EGS5/PEGS5** (SLAC-730)

ETRAN系列コード

- Berger and Seltzer (1964)
- 低エネルギー電子用のコードとして開発 (その後, 高エネルギー領域へ拡張)
- Not user-friendly
- ETRAN → ITS → MCNP

Number of the Monte Carlo papers with various general purpose codes (searched on PubMed)



Why has EGS become popular?

- **Powerful** – Based on well-understood physics
- **Versatile** – General purpose electron/photon code
- **Benchmarked** – Extremely well-checked
- **Open architecture** – Many outside contributors
- **User-supported** – Workshops, large community
- **Timely** –A code needed by medical physicists
- **User-friendly (expert-friendly)** – Good documentation
- **Free** – Non-commercial licenses

Nelson *et al* (1994)

内　容

- 電磁カスケードMonte Carloコードの歴史
  - EGS系列コード
  - ETRAN系列コード
- EGS4コードシステムの概要
  - EGS4/PEGS4
  - EGS4で扱う物理反応
  - ベンチマーク
- ユーザーサポート
  - EGS研究会

EGS4コード

- EGS: Electron Gamma Shower
- 任意の物質中での光子あるいは電子（電子及び陽電子）の輸送計算が可能
- 物理現象を厳密にシミュレート（膨大な計算時間が必要）
- 光子/電子共に離散的なステップではなく，ランダムな輸送として扱われる
- 適用エネルギー範囲は，光子が1 keV-数千GeV，電子が数keV-数千GeV

EGS4コード (cont.)

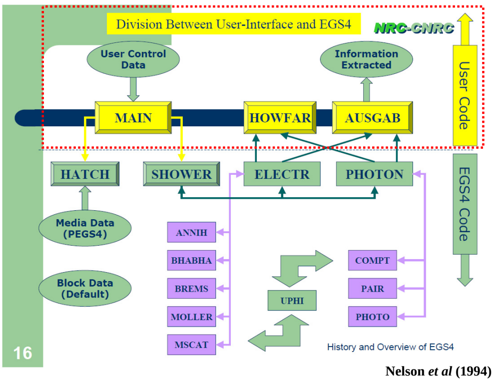
- 電場あるいは磁場中の輸送計算が可能
- Variance reduction techniqueを組み込み可能
  - Leading particle biasing
  - Splitting
  - Path length biasing
  - Russian roulette
- Creativeなユーザーにとって非常に有用なコード
  - 複雑なジオメトリを扱える
  - 様々な線源条件（例：π_0壊変，エネルギースペクトル，空間・角度分布）を定義できる

EGS4で扱う電子の物理反応

- 制動輻射
  - デフォルト：$\theta_{brem}=mc^2/E$で固定
  - オプション：$\theta_{brem}=mc^2/E$内でサンプリング
- δ線発生：Møller散乱（e-e-）及びBhabha散乱（e+e-）
- 電離/励起損失
  - 離散ステップ間でエネルギーを損失
  - 連続エネルギー損失（衝突損失+放射損失）
  - Bethe-Bloch理論+Sternheimer-Berger-Seltzer密度効果
- 弾性散乱
  - Molière多重散乱モデル
- 陽電子消滅
- 電子衝突イオン化（KEK extension）

EGS4で扱う光子の物理反応

- 電子・陽電子対生
  - デフォルト：$\theta_{brem}=mc^2/E$で固定
  - オプション：$\theta_{brem}=mc^2/E$内でサンプリング
- Compton散乱
- コヒーレント散乱（Rayleigh散乱）
- 光電吸収
  - デフォルト：特性X線あるいはAuger電子はいずれも発生しない
- 偏光（KEK extension）
- Doppler拡がり（KEK extension）
- K-及びL-特性X線（KEK extension）



Nelson *et al* (1994)

EGS4計算を行うには

ユーザーコードの作成 → Session 2/講義4・実習3

- MAINプログラム：“driver”コード
  - 物質の割り当て
  - Geometryの設定
  - 線源条件の定義
  - 計算結果の解析・出力
- AUSGAB：“scoring”サブルーチン
  - 必要な情報の収集
- HOWFAR：“geometry”サブルーチン → Session 3/講義5・実習4
  - Region境界までの距離の計算
  - 現在のregion内に留まるか新しいregionに移動するかを判定

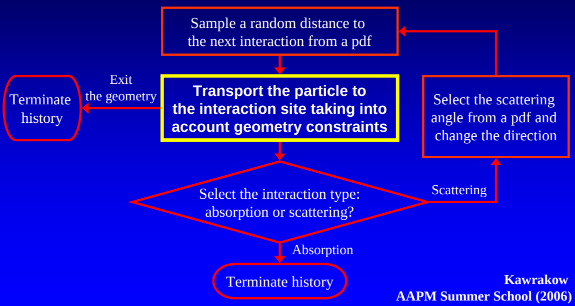
物質データの計算 → Session 2/講義3・実習2

- PEGS4を用いて物質データ（EGS4計算で使用）を計算

PEGS4

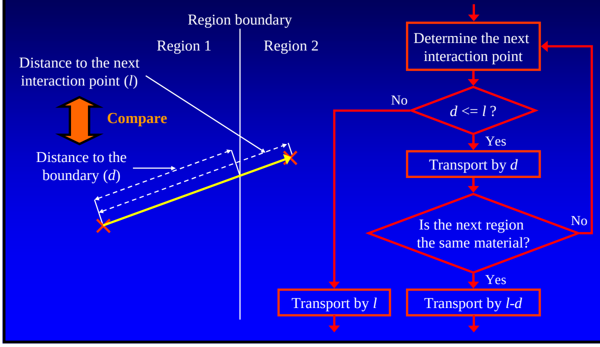
- PEGS4: Preprocessor for EGS4
- 各物質の反応断面積，分岐比，散乱係数等を計算
  - 理論式及び実験式
  - テーブル形式でoutput（EGS4計算でlook-up）
- EGS4計算の前に実行
  - あらかじめ計算した出力ファイルを保存
  - 各物質について一度だけ実行

Particle Transport Flow

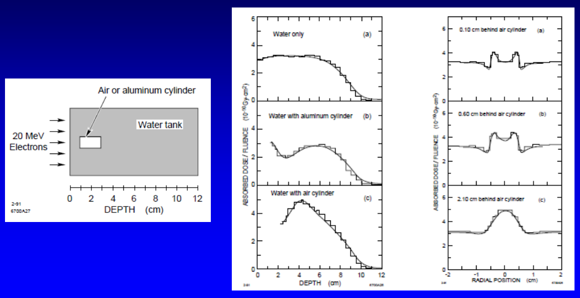


Kawrakow
AAPM Summer School (2006)

Particle Transport across the Region Boundary



Experimental Benchmarks of EGS4



Shortt *et al* PMB (1986)

内　容

- 電磁カスケードMonte Carloコードの歴史
  - EGS系列コード
  - ETRAN系列コード
- EGS4コードシステムの概要
  - EGS4/PEGS4
  - EGS4で扱う物理反応
  - ベンチマーク
- ユーザーサポート
  - EGS研究会

EGS研究会

- 毎年世界各国で開催
- 海外
  - 1週間程度の時間をかけた丁寧な講義・実習
  - 高額な参加料
- 国内
  - 毎年, 高エネルギー加速器研究機構 (KEK) にてEGS研究会・講習会 (約3日間) を開催
  - EGSを応用した様々な研究分野間の交流
  - 本年8月に第13回研究会を開催

EGS4ワークショップin関西

- 昨今のユーザ数増大に対応すべく, KEK外に拠点を形成
- 関西の拠点として大阪大学医学系研究科医用物理工学講座
- EGS4の基本的な使い方の習得を目的にワークショップを開催 (今回が初の試み)
- 来年度以降も継続的に開催予定

ユーザーサポート

- 国内研究会では時間の制約上, 海外のような丁寧な講義・実習は困難
- 電子メールを用いたサポート
  - T Yamamoto (Osaka U): tyama@sahs.med.osaka-u.ac.jp
  - Dr Y Namito (KEK): yoshihito.namito@kek.jp
  - Dr H Hirayama (KEK): hideo.hirayama@kek.jp
- EGS HP: http://rcwww.kek.jp/research/egs/

Useful Literatures

Bielajew A F, Hirayama H, Nelson W R and Rogers D W O 1994 History, overview and recent improvements of EGS4 *National Laboratory for High Energy Physics Report* KEK Internal 94-4 (Tsukuba, Japan: KEK)

Hirayama H 2001 Electromagnetic cascade Monte Carlo code EGS4 and its applications *RIST News* **31** 20-31

Hirayama H and Namito Y 1999 Lecture notes of EGS4 course at KEK *High Energy Accelerator Research Organization Report* KEK Internal 99-5 (Tsukuba, Japan: KEK)

Nelson W R, Hirayama H and Rogers D W O 1985 The EGS4 code system *Stanford Linear Accelerator Center Report* SLAC-265 (Stanford, CA, USA: SLAC)