

GEM シンチ線量計開発計画素案 Ver.1.4

2005.09.24

放射線医学総合研究所

吉本 光男

(1)現時点で 2D-Dosimetry に GEM シンチ + CCD[1,2]が適当と思われる理由

・ 2D-Dosimetry の候補として検討した各種測定方式と問題点

シンチスクリーン + CCD カメラ[3,4,5] : 応答が非線型(クエンチング)なため、線量自体の測定は困難。非線型応答 + 光学系の点広がり効果(インパルス応答)による画像の劣化により、残飛程の変化が急激な箇所での残飛程の推定が困難。

ピクセルセグメント電離箱[6,7,8] : 位置分解能が不十分(約 7.5m ピッチ)、DAQ 系が高コスト

μ -PIC[9,10,11] : 電流モードでの測定ができない。使用可能なカウントレートが低過ぎる。現状ではチャンネル毎のパルス波高が記録できないため、DAQ 系の大幅改良が必要。出力が不安定かつ一様性が不十分

GSI 方式[12] : スポットスキヤニング照射専用で、ブロードビーム照射法には使えない。消去法で GEM シンチ + CCD が適当と思われる。

(2)装置の構成

レンジシフト(深さ方向の測定)用ファントム(PMMA、ポリスチレン等)

試験段階ではファントム材スラブにより深さを手動で調節するが、将来水封入ベローズまたは水カラムを取りつけて実用機として使用できるように設計する。

GEM ベースガスシンチ

ガス封入容器(ガスフロー型)

カソードフォイル

GEM2 枚

光出射窓(ビームによる窓材の発光(蛍光 + チェレンコフ光)の影響が無視できる程度に薄くする。)

鏡

冷却 CCD カメラ(Non-ABG 型が望ましい)

高圧電源(電圧降下に伴うガス増幅率の低下を抑えるように工夫する)

ガスポンペ(使用ガスは P-10 ガスを予定)

筐体、暗幕

(3)装置のサイズの限度

検出範囲(当面は ocular tumor 治療(照射範囲 $30 \times 30\text{mm}^2$)専用として開発する)
 $40 \times 40\text{mm}^2$

高さ：550mm(将来水ベローズ or 水カラム、遮光容器を設置する分も含めて)

(理由)眼治療照射筒底のアイソセンタからの高さ：+50mm

治療台のアイソセンタからの高さの最下限：500mm

シンチ - カメラ間光路長：さしあたり 600mm で検討中

周辺減光(後述)による光量減少 0.5%以内を満たす範囲で出来るだけ短くする。

(理由)装置を出来るだけ小さくする事により、装置全体を一体物にしてセットアップ、、
アライメント、遮光を容易にするため。

シンチ - 鏡間の距離

の条件(装置全体の高さ：最大 550mm)を満たす範囲で可能な限り離す。

(理由)鏡からシンチへの逆反射により PSF (点広がり関数=インパルス応答)位置依存性が生じるため。

問題点：現在の治療台に載せて測定する方法だと検出器 - 鏡間距離が PSF 位置依存性を無視できる程度に離せない可能性がある。その場合は PSF を PSF は x 軸方向と y 軸方向に独立な成分の積と仮定し、それぞれの成分は LSF(線広がり関数)測定により決定する。

(4)光学レンズ系による周辺減光の影響

0.5%以内におさまる場合、無視する。

・最大光量減少率(コサイン 4 乗則に従うと仮定した場合の見積り)

検出領域 $40 \times 40\text{mm}^2$ 、シンチカメラ間光路長 600mm の場合：0.44%

検出領域 $50 \times 50\text{mm}^2$ 、シンチカメラ間光路長 800mm の場合：0.39%

無視できない場合、回帰曲線 $(\cos \theta)^n$ により補正する[13]。

(5)調査項目案

a. 予備調査(ビーム無し)

バックグラウンドの評価

CCD の読出しノイズ

暗電流

検出器出射窓材の発光(蛍光 + チェレンコフ光)

装置外部から漏れて来た光や、暗幕から放射する赤外線等によるバックグラウンドの評価

b.強度線質一様ビームによる測定

印加電圧とガス増幅率の関係(単一 GEM と 2 重 GEM それぞれで測定)

ガス増幅率と入射炭素線一粒子当たりの発生光子数の関係

ガス増幅率と発生する雪崩電子一粒子当たりの発生光子数の関係

電圧降下によるガス増幅率低下の影響の調査と影響の改善、電圧降下の少ない高電圧印加方法の検討

検出領域内のガス増幅率の非一様性(ばらつき)と校正方法の検討、改善

点広がり関数の決定 X 軸,Y 軸方向に対する線状コリメータによる LSF(線広がり関数)の測定により決定

中性子等の CCD 入射によるスパイク(離散的な高強度ノイズ)の補正と補正効果の検証(メディアンフィルタによる補正を検討)

c.強度一様ビームによる深さ方向の測定

強度一様照射野の深部光量分布測定と電離箱測定と比較

(単色ビーム,と SOBP(拡大ブラッグピーク)ビーム)

d.線質、強度非一様ビーム(形状既知の比較的単純なボラス)による測定

2次元光量分布測定とプロファイル電離箱による線量分布プロファイルの比較

3次元光量分布測定とプロファイル電離箱+ファントム板材によるプロファイル深部線量分布の比較

e.その他

装置内部で反射するシンチレーション光のカメラへの入射を減らす対策と、影響の評価、補正方法の検討

黒色塗料の塗布 反射率が低下するが赤外線放射が増加するため、赤外線の CCD 入射の影響を低減する事が必要(赤外線に対する感度の低い CCD やハイパスフィルタの採用等)。

試験項目の実施が容易な設計の検討

放射線損傷によるデッドピクセルの検出方法の検討

(余裕がある場合の追加試験項目)

f. GEM シンチ発光スペクトル測定による性能と信頼性向上(分光計)

ガス組成と発光スペクトルの関係の測定による、CCD の感度(量子効率)に合わせたガス組成の最適化(検出効率の向上)

発光スペクトルの線質(エネルギー付与スペクトル)依存性測定による信頼性の確認

単色ビームによりビームで表面付近とピーク近傍で発光スペクトルを測定し、発光スペクトルの線質依存性が十分少ない事を確かめる。

(発光スペクトルに線質依存性がある場合の問題点)

- a 発光スペクトル ()が線質により変化する場合、シンチレーション光の平均波長が変化するため、トータルのエネルギー付与量が同じ場合でも発生光子数が変化してしまう。
- b.シンチ発光スペクトル $\varphi(\lambda)$ が線質により変化する場合、CCD 量子効率 $\eta(\lambda)$ とのマッチングが変わるため、入射光子数が同じであっても検出される光電子数が変化してしまう。

(6)研究に必要なもの

GEM(Gas Electron Multiplier)

GEM の価格の目安(CERN 製 : $100 \times 100\text{mm}^2$ のものが 10 シートで約 70 万円)

出典 : <http://www-cr.scphys.kyoto-u.ac.jp/research/mu-PIC/workshop/2004.html>

「GEM 位置検出器の開発現状」藤田訓裕 阪大 RCNP

(Micro Pattern Gas Detector 研究会、2004 年 12 月 4 日,@京都大学理学研究科)

冷却 CCD カメラ

photometry のためには Kodak-KAF 素子搭載のもので、内作ソフトによる制御が可能な機種が望ましい(Scientific CCD、× Commercial CCD)

(参考価格 : Bitran 製のものが 1,764,000 円)

(7)参考文献

[1]J.H. Timmer, et al., Nucl. Instr. and Meth. A 478 (2002) 98-103

[2]T.C. Delvigne, et al., KVI Annual Report 2003, p.83 (KVI, Groningen, Netherlands)

http://www.kvi.nl/~annrep/ar2003/KVI_AR2003_ch08.pdf

[3]S.N. Boon, Groningen 大学博士論文

第 4 章 Dosimetry using a CCD + scintillator system(1998)

<http://dissertations.ub.rug.nl/faculties/science/1998/s.n.boon/>

[4]S.N. Boon, et al., Med. Phys. 25 (1998) 464-475

[5]S.N. Boon, et al., Med. Phys. 27 (2000) 2198-2208

[6]S. Amerio, et al., Med. Phys. 31 (2004) 414-420

[7]R. Cirio, et al., Phys. Med. Biol. 49 (2004) 3713-3724

[8]R. Bonin, et al., Nucl. Instr. and Meth. A 519 (2004) 674-686

[9]永吉勉博士論文、京都大学宇宙線研究室、2004 年 1 月

http://www-cr.scphys.kyoto-u.ac.jp/member/nagayosi/Work/D_thesis/d_Nagayoshi_HQ.pdf

[10]小石悟史修士論文 東工大渡邊研究室(高エネルギー素粒子実験)2002 年 2 月

<http://www.hp.phys.titech.ac.jp/dmthesis/Mkoishi.pdf>

[11]永吉勉修士論文 東工大渡邊研究室(高エネルギー素粒子実験)2001年2月

<http://www.hp.phys.titech.ac.jp/dmthesis/Mnagayosi.pdf>

[12]C. Brusasco, et al., Nucl. Instr. and Meth.B 168 (2000) 578-592

[13]画像解析ハンドブック p.460, 高木幹雄,下田陽久監修, 東京大学出版会(1991)