

EBT3フィルムにおけるフィルム、 スキャナ諸特性の基礎研究

小島秀樹

札幌東徳洲会病院



目次 フィルム法の検討項目

1. 濃度-線量変換

✓ PV, OD, netOD

✓ Color channel (R,G,B Single, Dual, Triple)

2. EBT with スキャナー特性

① Film厚みムラの影響

② Post-exposure density growth

③ Newton's rings artifacts

④ 方向依存性

⑤ スキャン位置依存性

- R-Scan-2D (R-Tech)



検討項目 及び 材料

検討項目

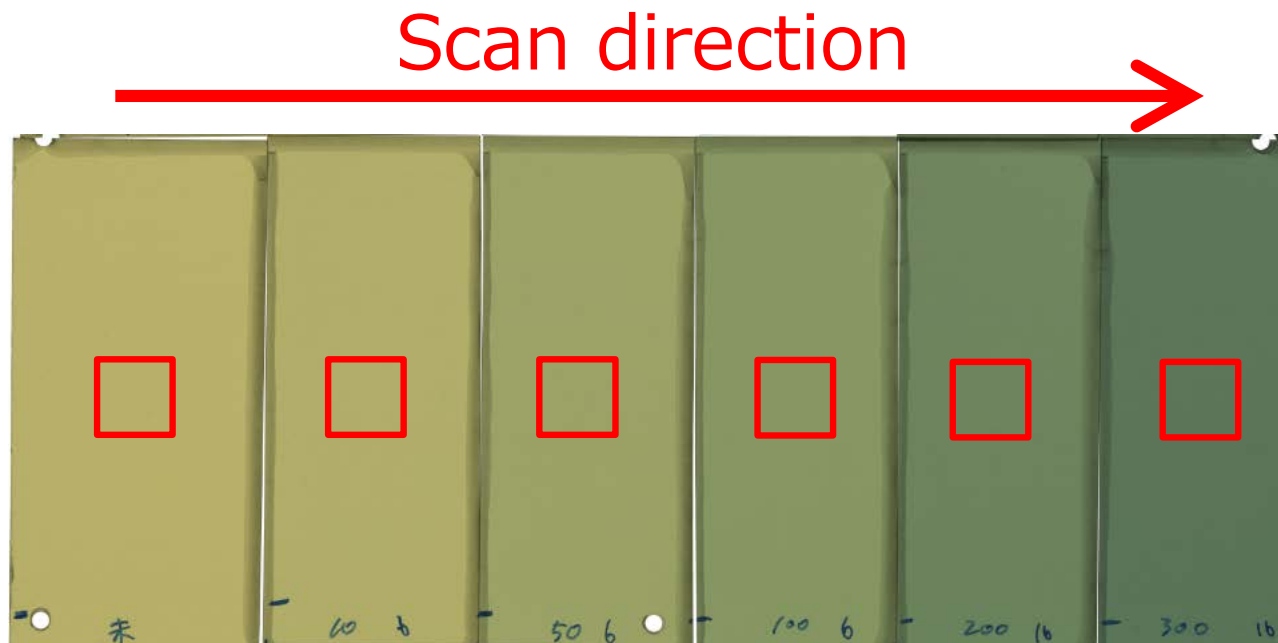
- 多数回スキャン光を照射した際の、短波長光のフィルムに及ぼす影響
- post-exposure density growth の経時的な変化
- スキャン毎のOptical Density の安定性、変化

材料

- Clinac 21EX (VARIAN)
- ES-10000G (Seiko Epson Corp.)
- Gafchromic EBT3 (International Specialty Products)
- Solid Water (GAMMEX)
- ImageJ Ver 1.45s (National Institutes of Health)



方法 1




- ① $4 \times 10 \text{cm}^2$ のEBT3フィルム, Solid Waterに挿む
- ② SCD100cm, Depth10cm, 照射野 $20 \times 20 \text{cm}^2$ にて照射
- ③ 6MV フィルム左より 0, 10, 50, 100, 200, 300 cGy 照射
- ④ 45時間に, 2.7分間隔で999回スキャン. スキャン方向は上図
- ⑤ 96dpi, 48bit の tiff にて, 999ファイル保存



方法 2



- ⑥ ImageJのScript機能を用いて、999枚のスキャン画像に対して同位置の  領域(1×1cm²) におけるPixel Value のmean値を算出した
- ⑦ 得られたPixel Valueは、以下の式よりOptical DensityおよびNet Optical Densityを算出し、測定の安定性について比較

$$\text{Optical Density(OD)} = -\log_{10}(\text{PV}/65535) \quad (1)$$

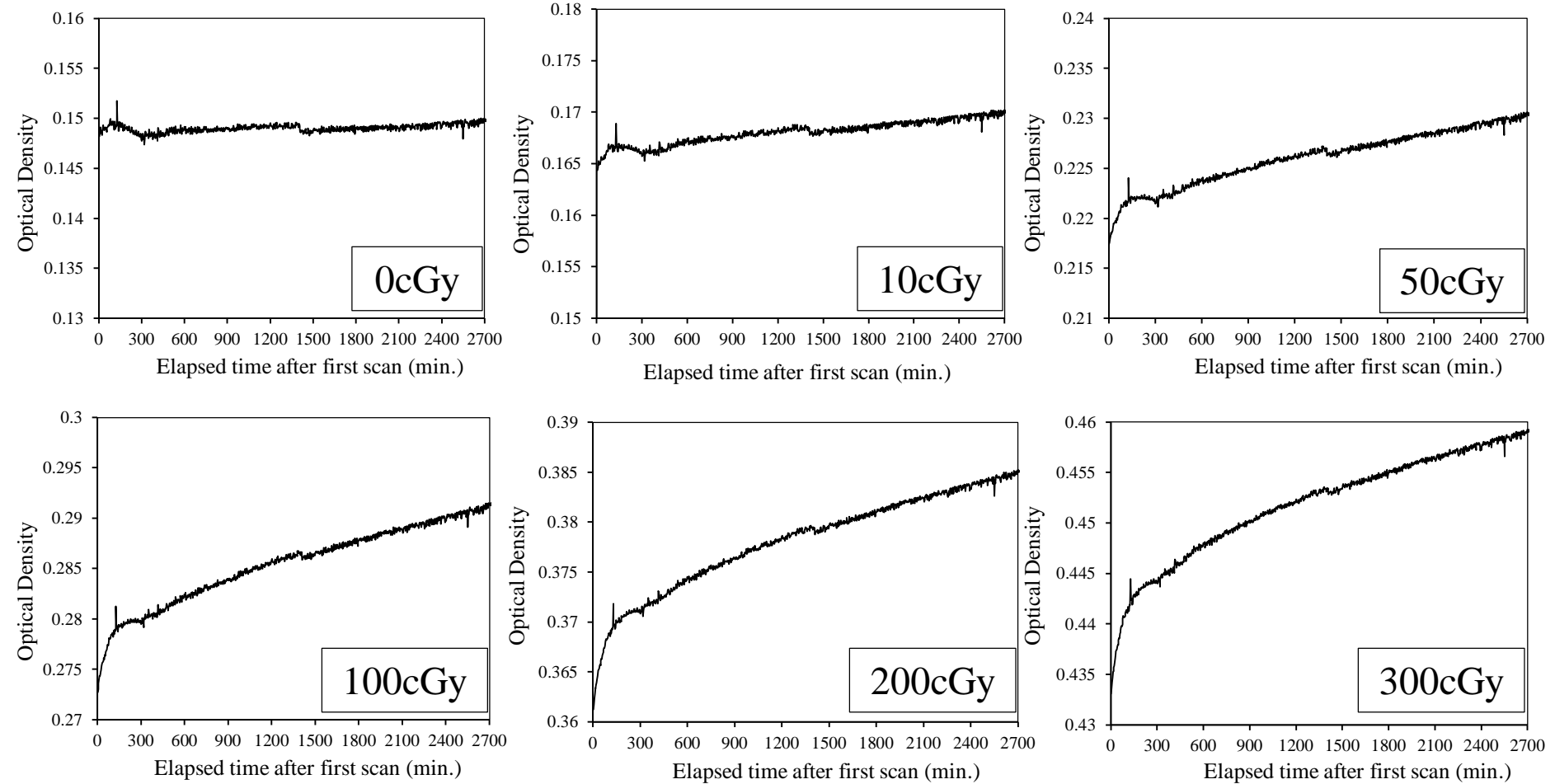
$$\text{Net Optical Density}(OD_{net}) = OD - OD_{unirradiated} = -\log_{10}(\text{PV}/\text{PV}_0) \quad (2)$$

PV : Pixel Value PV₀ : 未照射フィルムのPixel Value

- ⑧ スキャン間隔を時間にScalingし、OD-時間のグラフを作成した



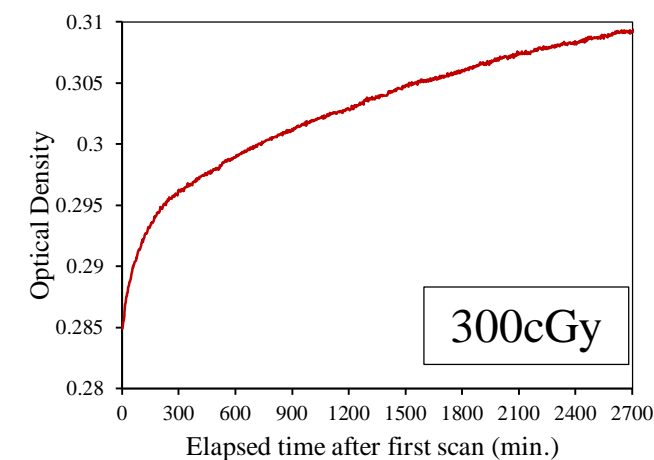
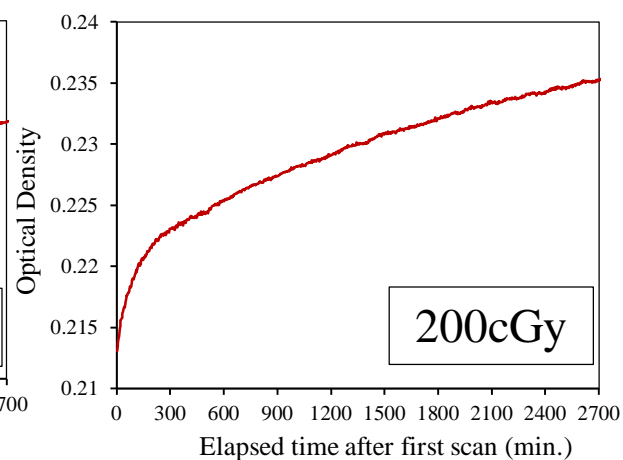
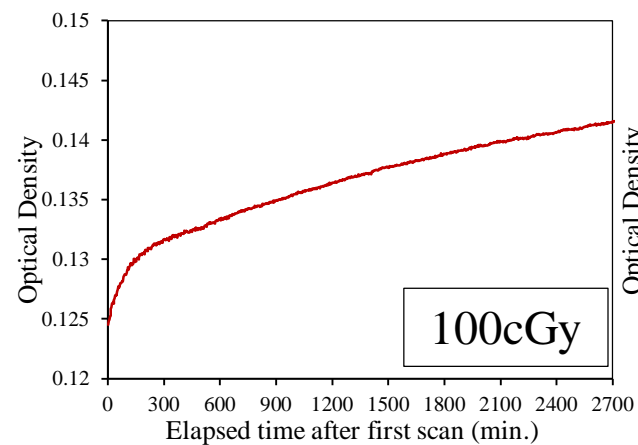
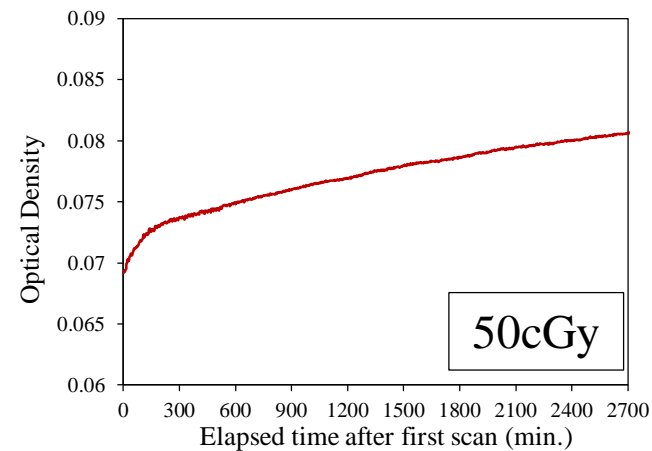
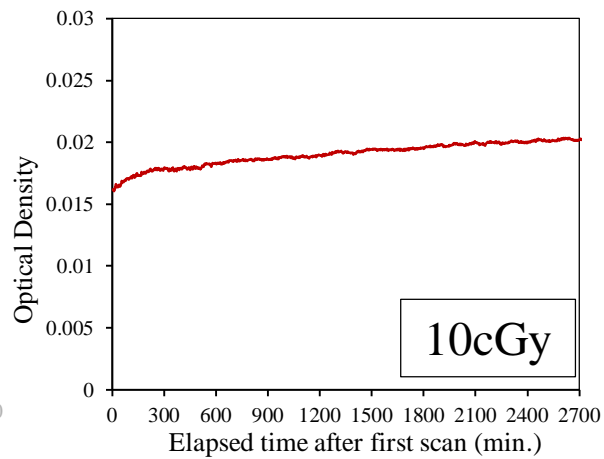
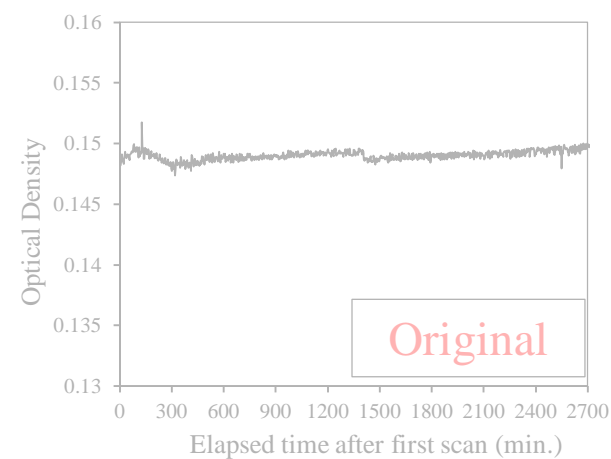
結果1 ODの経時変化



$$\text{Optical Density(OD)} = -\log_{10}(\text{PV}/65535)$$



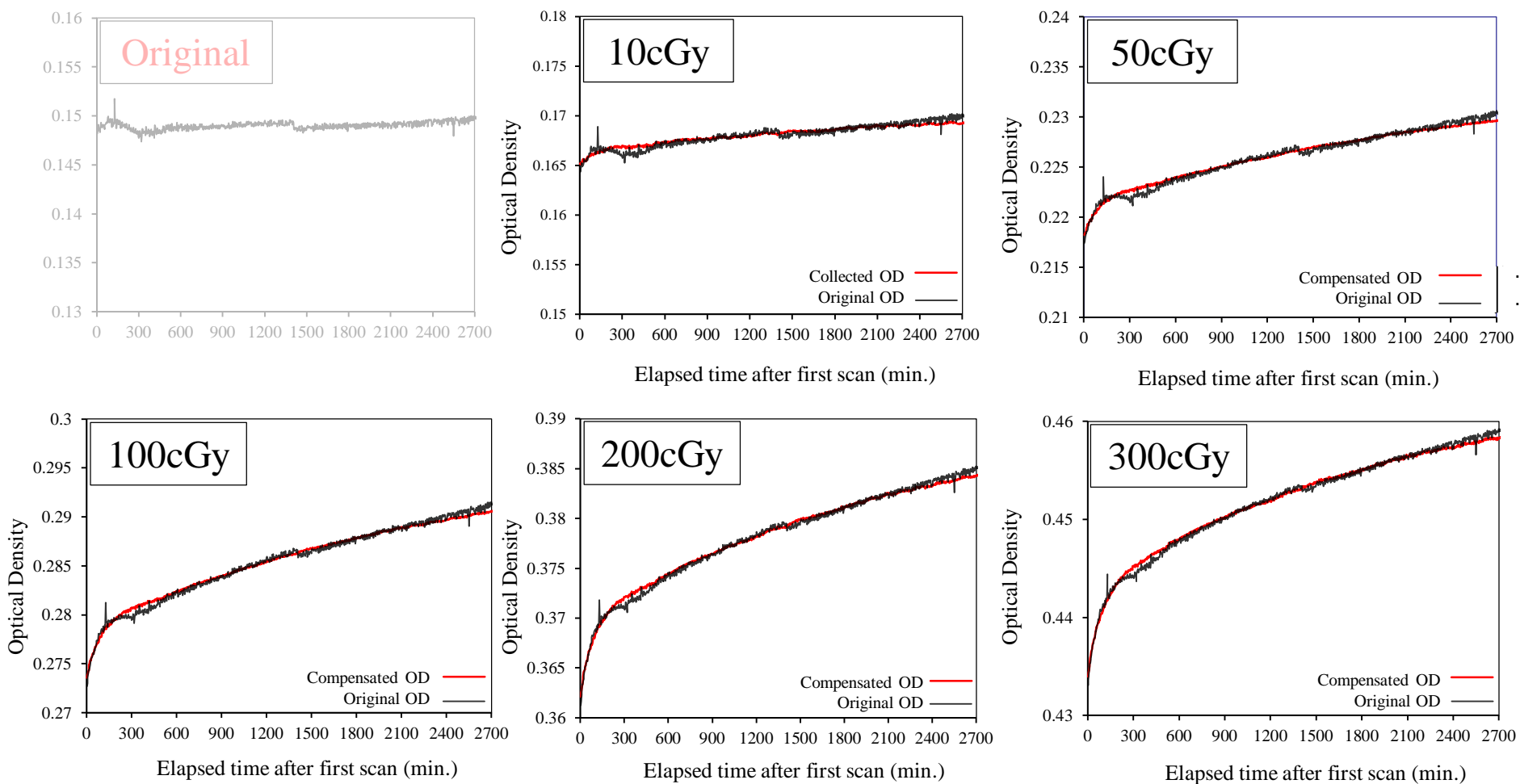
結果2 ODnet によるOD補正



$$\begin{aligned} OD_{\text{corrected}} &= OD_0 + OD_{\text{net}} \\ &= -\log_{10} (PV_{\text{unirradiated}}/65535) - \log_{10} (PV/PV_0) \end{aligned}$$



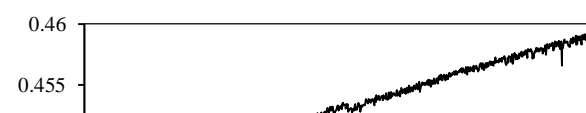
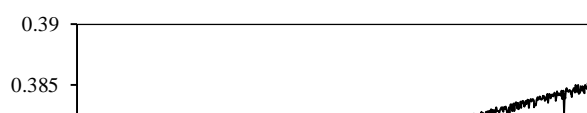
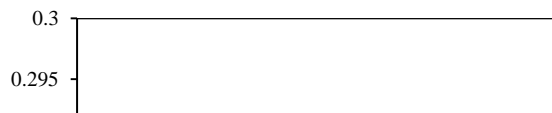
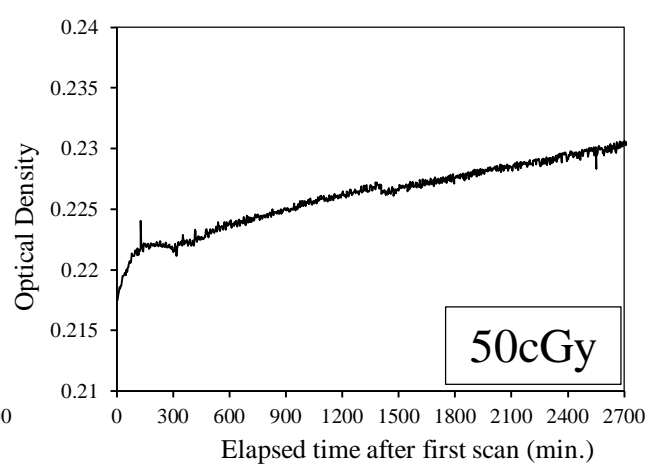
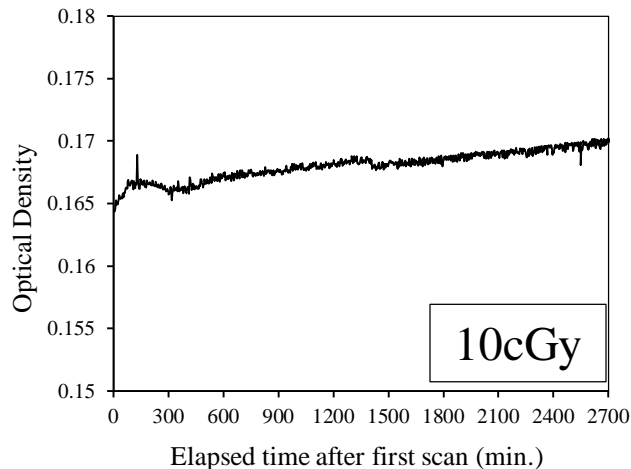
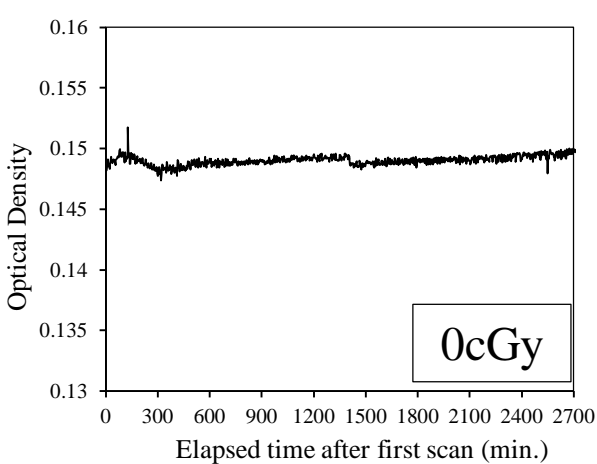
結果3 ODとnetODとの比較



スキャナの不安定性による線量の不確定性を, 最小限に抑える

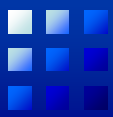


考察1 OD



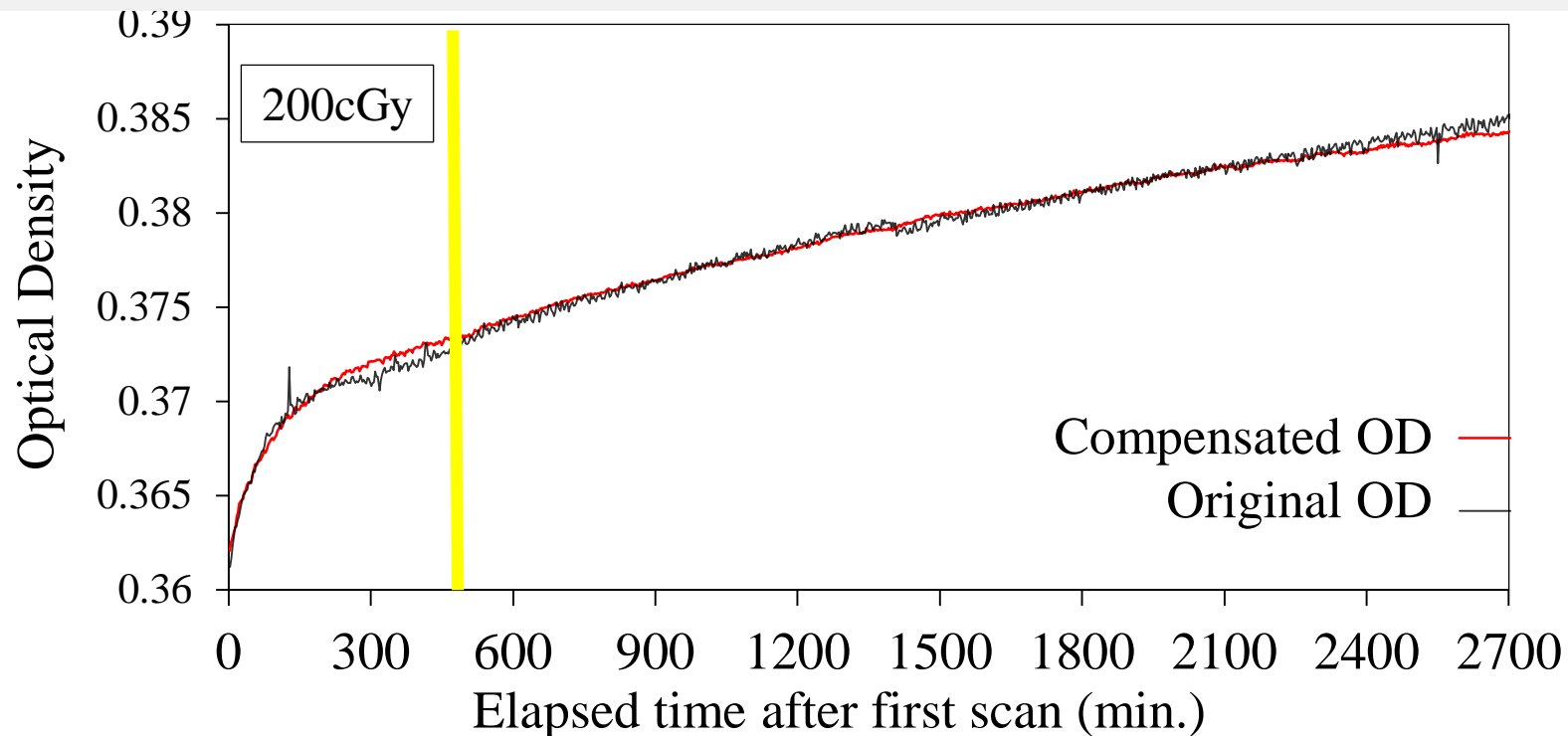
- 0cGyの変化は、OD値がおよそ±1%の範囲で変化。
✓ スキャン光(短波長光源)によるFilmの黒化度 < スキャナの安定性
- 約128分で**スパイク状**の変動, 曲線が降下, 約1400分にてベースラインシフトが見られた
✓ スキャナの安定性や, 周囲の環境(温度, 湿度, 供給電圧等)に起因

$$\text{Optical Density (OD)} = \log_{10} \left(\frac{I_0}{I} \right)$$



考察2 ODnet による ODcorrected

- *OD*で観察されたスパイク、ベースラインシフトは、*ODcorrected* にて消失
- 元の*OD*の変化と比較して、post-exposure density growthを含む*OD*変化が著しく補正される。
- 提示した方法は、臨床実施に容易かつ実用的であり、フィルム線量測定における不確実性の大幅な低減を達成することができる。






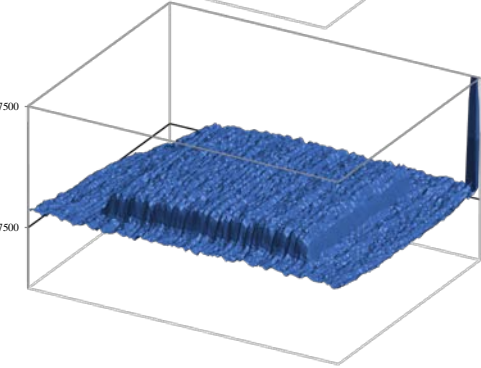
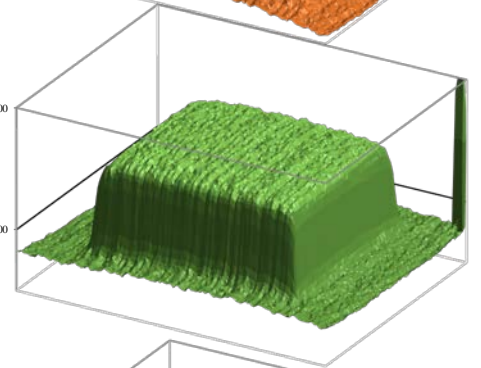
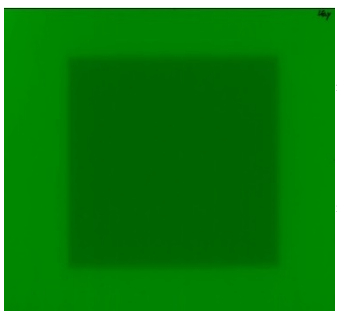
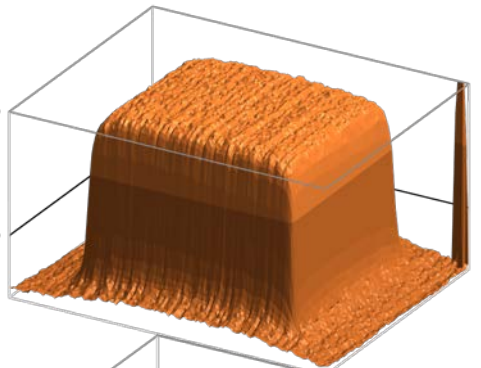
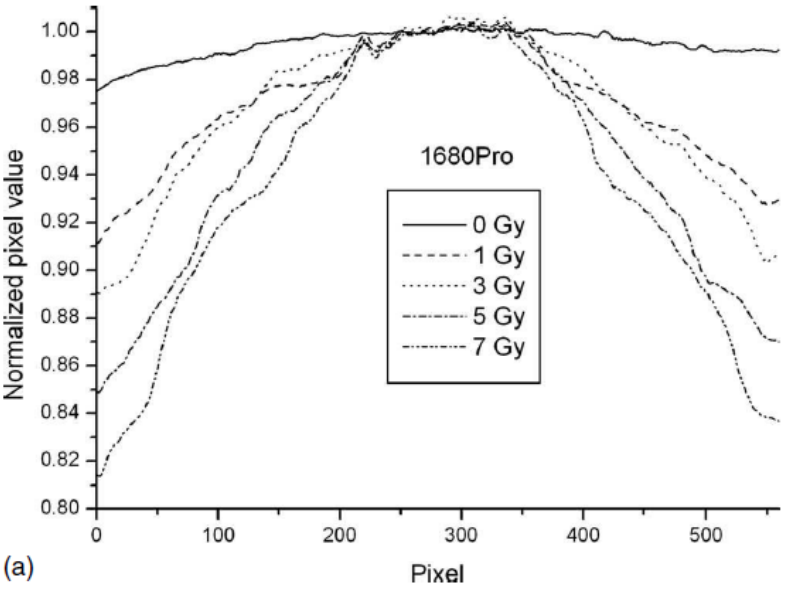
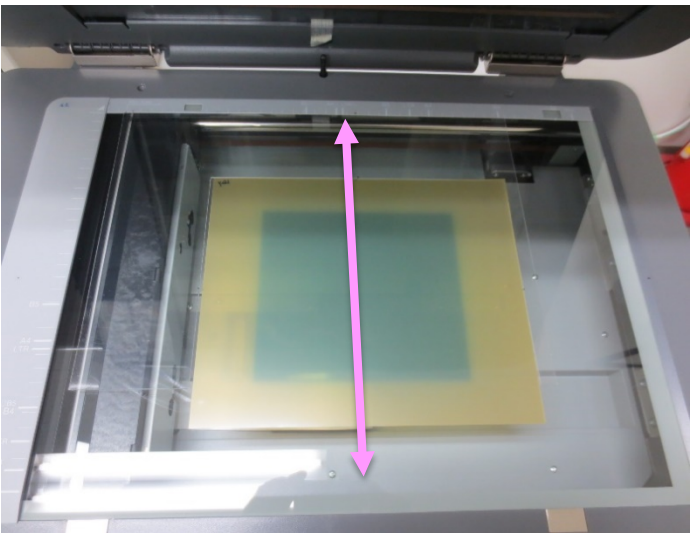
Recommendation

- ① OD-Dose変換テーブルを作成する際には、スキャナ装置の不安定性の影響を避けるために、全てのフィルムを一回の取得でスキャンする必要がある。
- ② 走査位置によるずれを避けるために、全てのフィルムは走査方向に沿って一列に配置する。
- ③ 未照射フィルム($OD_{unirradiated}$)のOD値を $-\log_{10} (PV_{unirradiated}/65535)$ とし、ネット光学値(OD_{net})のOD値を $-\log_{10} (PV/PV_0)$ とすると、補正OD値 ***ODcorrected***は、以下のように計算できる。

$$\begin{aligned} OD_{corrected} &= OD_0 + OD_{net} \\ &= -\log_{10} (PV_{unirradiated}/65535) - \log_{10} (PV/PV_0) \end{aligned}$$

これら3つのステップを実行することにより、線量の不確実性を大幅に低減することができる


 カラーチャンネル情報を利用した、フィルム濃度-線量変換テーブル作成
 におけるスキャン感度の補正

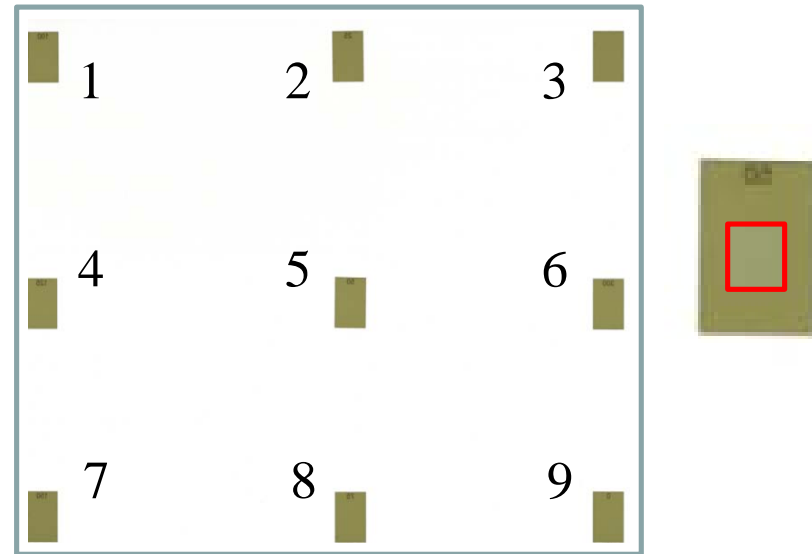


(a) Menegotti Med. Phys. 35(7), July 2008



Materials and Methods

Linac	TrueBeam ver. 2.5
Scanner	ES-G11000
Film	Gafchromic EBT3
Film size	2×3 cm (9piece/dose)
Dose	0, 50, 100, 150, 200, 250 cGy
Scan condition	48 bit color / 150 DPI
Software	ImageJ ver.1.51j8



- 以下の場合の相対偏差を評価した:
 - Original **Red** channel PV. (Single channel法)
 - **Red-Green** or **Red-Blue** PV. (スタンダード Dual channel法)
 - PV offset Dual channel法
 - **Green** (0~16,000) , **Blue** (0~5,000)
- オフセット値の最適化は、各フィルムの相対偏差を比較することによって行った。



オフセット(減算)を伴う, Red/Green channelを用いた, 新しい offset Dual channel correctionの実現可能性を評価するため, 以下の式を, Red-Green correctionとして定義した。

$$PV_{R/G} = PV_{G5} \times \frac{PV_{Rn}}{PV_{Gn} - PV_{G0}}$$

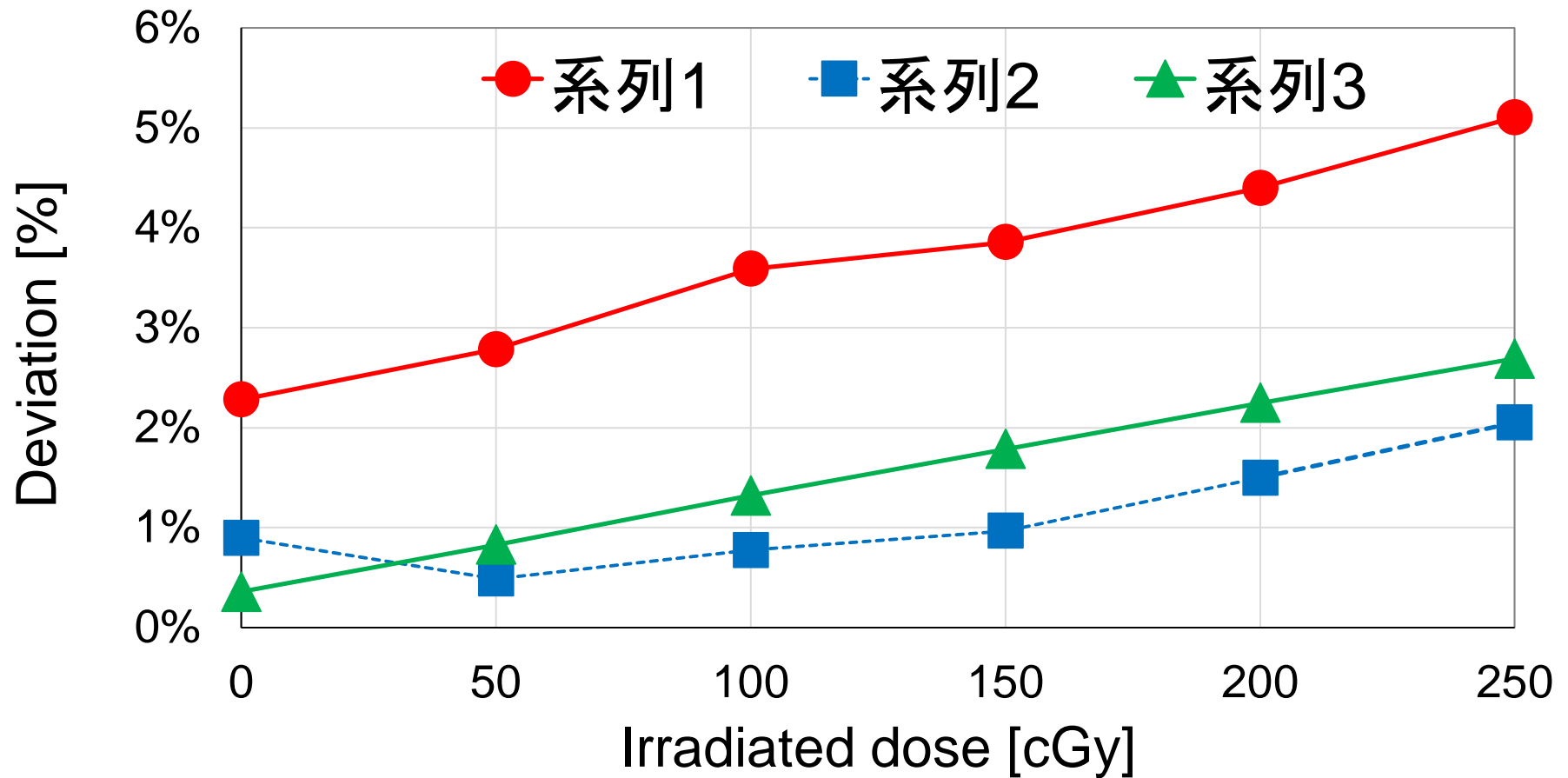
PV_{G5} : PV of Green channel at film #5

PV_R : PV of Red channel at film # n

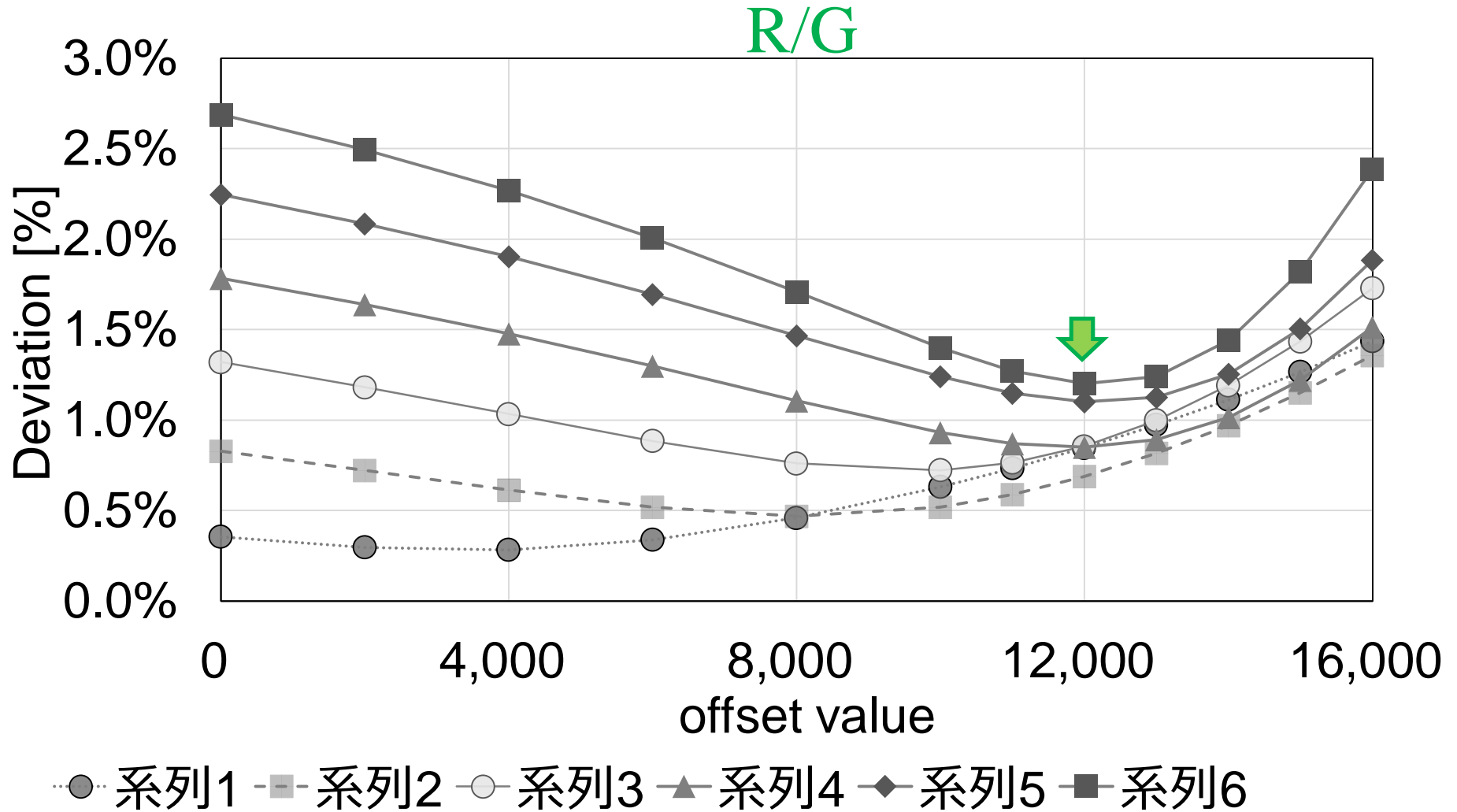
PV_{G0} : Offset value for Green channel



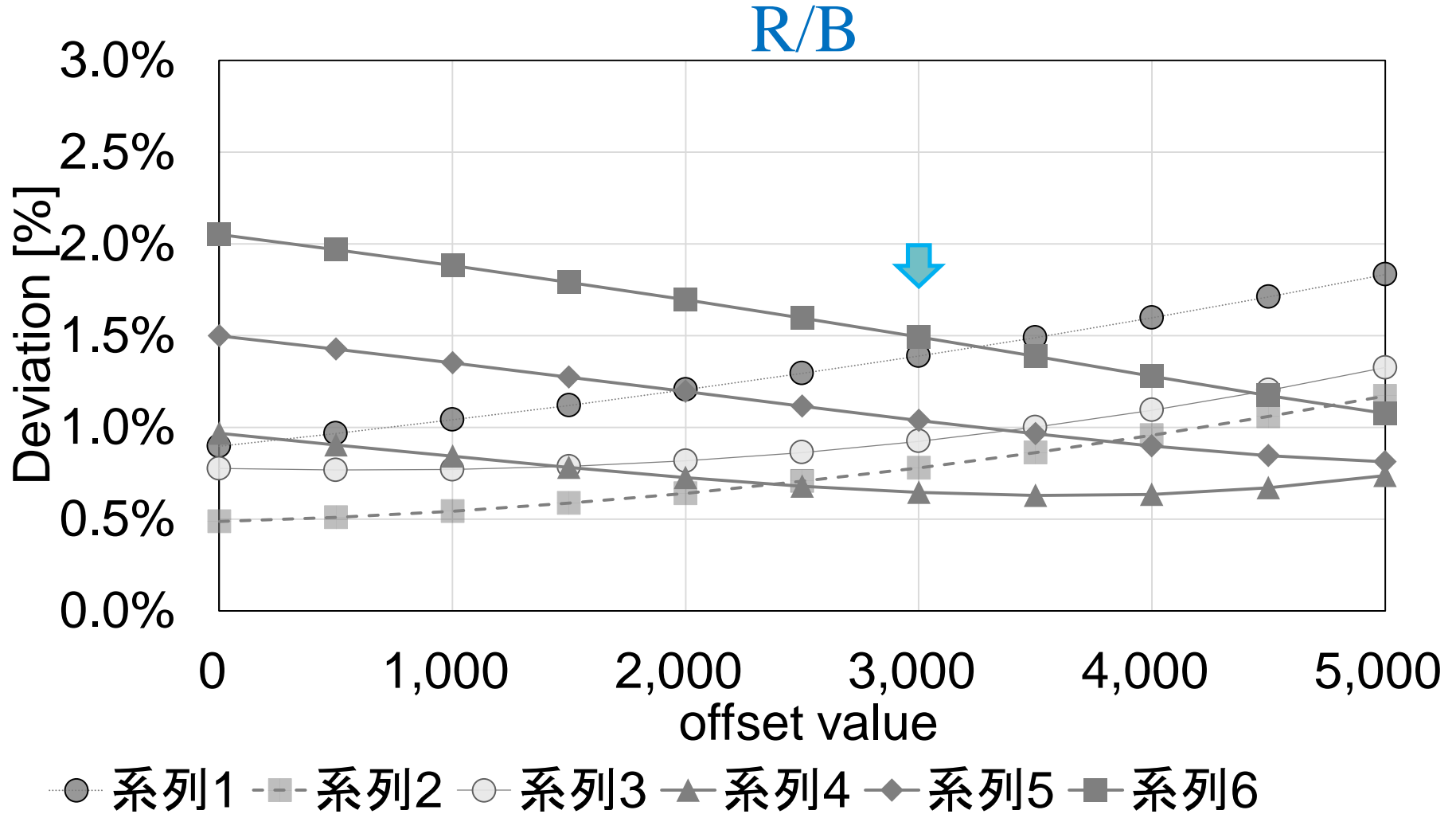
結果1 0~250 cGy 照射した9 films における相対偏差



Offset = 0



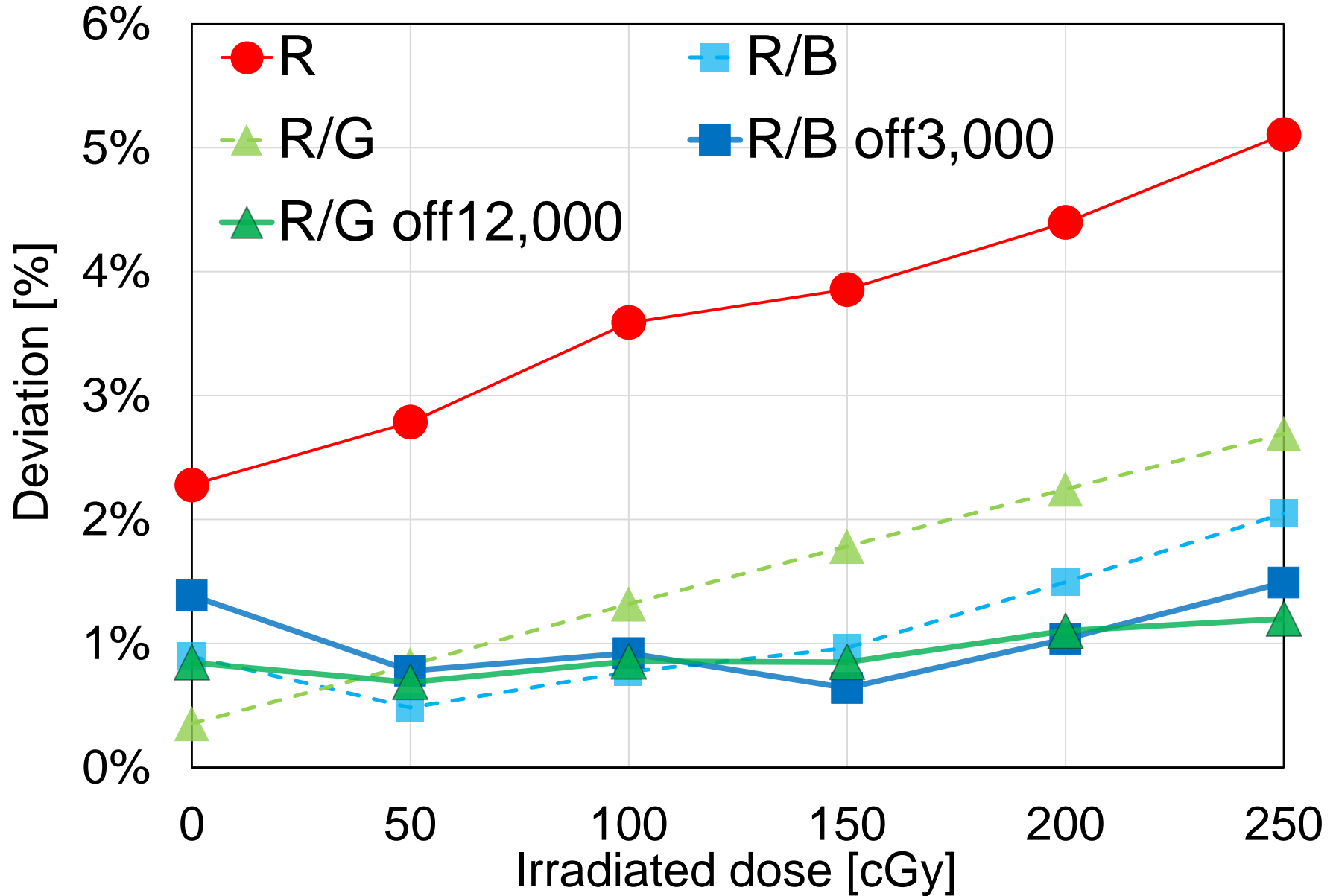
offset値12,000にて相対偏差が1.2%に収束



収束は見られず



結果4 Red, R/B, R/G and R/G offset Overall





Discussion

- EBT3におけるActive Layer厚み不均一補正は、Red/Blue補正が知られているが、フィルムのスキャン位置の違いによる不確かさの補正は、Greenの値にoffsetを施したRed/Greenが最も不確かさの向上が見られた。
- 一方、Red/Blue offset Dual channel correctionによるフィルム間の相対偏差は、低線量域と高線量域で異なる傾向を示し、偏差の収束は観察できなかった。
- これは、Redが線量情報、Blueがfilm情報をそれぞれ支配的に持つのに対し、Greenは両情報を独立して持つため、本件へ有効に作用した為と思われる。
- 本研究結果では、R/G Dual channel, offset=12,000にてPVの相対偏差が最も収束した。すなわちスキャン位置によるPVの変動が最も低減すると思われた。



Conclusion

- スキャン位置によるPVの変動は, offset =12,000を使用した Red/Green offset Dual channel correctionが最も低減効果がある.
- 一方, PVはoffsetによって数値が減少した. 低い画素値は OD-線量変換テーブルを得る上で不確実性をもたらすので, さらなる研究が必要と思われた.