

# 測定値から見る放射線測定器の性能

## 第3報 アナログ測定器のバラツキ

非破壊検査株式会社  
藪下 延樹

### 1. はじめに

放射線測定器を用いて環境の線量当量率測定を行う場合、測定値が安定な値を示す時間を幾らにすれば良いか、また指示値の変動が正しい値を示しているか、測定器の誤差なのか疑問に思うことが多い。第1報及び第2報ではデジタル測定器測定値のバラツキの正体及び応答性について分析した。この第3報では第4報で計画している、応答性の測定精度を向上させるために、エックス線（以下、X線）発生器を用いて、アナログ放射線測定器（以下、測定器）のバラツキについて分析・検討する。

### 2. 使用装置

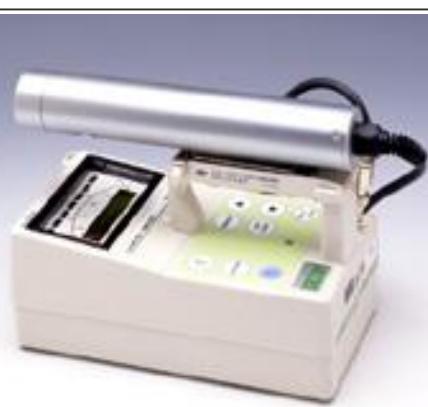
使用する装置の主な仕様を表1に示す。

表1 使用する装置の主な仕様

使用装置	同左の詳 細図表	主 な 仕 様	
シンチレー ションサー ベイメータ	表2	メーカ名／型番	Aloka／TCS-171B
		シンチレータ／寸法	NaI(Tl) / $\phi 25.4 \times L25.4$ mm
		線量出力／エネルギー 一補償	アナログ電圧出力／エネルギー補償形
X線発生器 (コックク ロフト式)	表3 図1	メーカ名／型番	非破壊検査㈱／NDIC-X75
		焦点寸法／本体重量	0.7mm / 3.7kg
		運転率／暖気運転	100% / 不要
		kV、mA、温度の監 視出力	個別にリアルタイムにアナログ電圧出 力
データロガ	図2	メーカ名／型番	キーエンス／NR-2000
		サンプリング密度／ 分解能	Max400kHz / 14bit

表 2 測定器の主な仕様

形名	TCS-171
測定線種	γ線
エネルギー範囲	線量率：50keV～3MeV（3MeVカットなし）※1
検出器	Φ25.4×25.4mmNaI(Tl)シンチレーション検出器
測定範囲	1cm線量当量率 バックグラウンド～30μSv/h 吸収線量率 バックグラウンド～30μSv/h
時定数	3,10,30秒
電源	一次電池：単2形アルカリ乾電池×4 または二次電池：リチウムイオン二次電池（専用充電器が必要です）※2 またはACアダプタ（AC100V 3VA）※2
電池寿命	連続30時間以上（一次電池） 連続10時間以上（二次電池）



※1 3MeV以上のエネルギーは全て3MeVとしてエネルギー補償しています。

※2 二次電池、充電器、ACアダプタはオプションです。

表 3 X線発生器 NDIC-X75 の特徴

自動車に例えると10分走って、10分休むことを強制されている	比較項目	仕様	市販機（同等従来品）との比較
	Duty（運転率）	100%	市販機の2倍（限界値）
	発生部の（X線本体）の重量	3.7kg	約1/4
	発生部の（X線本体）の嵩寸法	約1.6リットル	約1/12
	焦点寸法	0.7mm	約1/3
	エージング	不要	市販機は10分程度必要（限界値）

自動車に例えると1分走るために、10分の暖機運転を強制されている



図 1 X 線発生器 NDIC-X75 の全体写真



超コンパクトな本体にクラス最高水準のスペックを標準装備、  
しかも従来比約1/2の低価格を実現

※同クラス品比較

入力信号を確実にキャッチ	NR-2000	400kHz
高速サンプリング	従来品	200kHz
<b>400kHz</b>	従来品	100kHz
複数データを同時に収集	NR-2000	28ch
最大入力数	従来品	12ch
<b>28ch</b>	従来品	8ch
高精度でデータ収集	NR-2000	14bit
高分解能	従来品	12bit
<b>14bit</b>	従来品	8bit

※アナログ16ch+ロジック8ch+増設ユニット4ch

図 2 データロガの特徴

### 3. 実験条件

実験配置は図 3 に示した通り、遮へい箱内の NDIC-X75 X 線発生器からの直射線を鉛板に  $\phi 1.5\text{ mm}$  のピンホールを有する約 400mm 離れた測定器プローブに照射して、その出力を遮へい箱外の測定器で測定する。測定条件は主に管電流(以下、mA)を変化させ、管電圧(以下、kV)は 49.5 kV で固定して、測定値の 1cm 線量当量率(以下、線量)の変化を分析する。

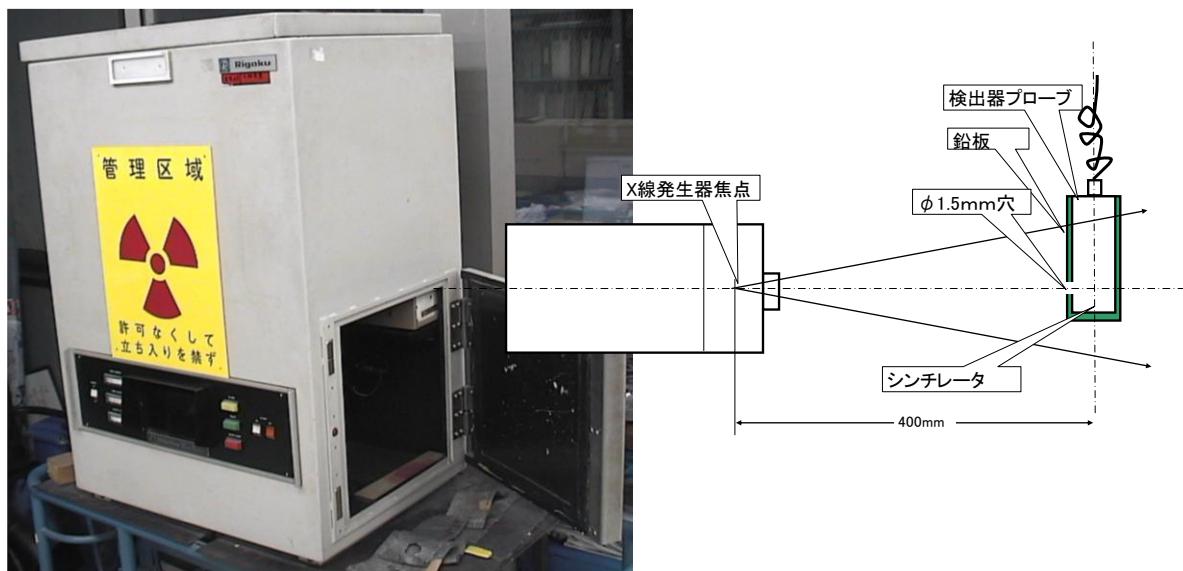


図 3 X 線発生器と測定器プローブの配置図

### 4. サンプリング条件の検討

アナログ電圧は任意の密度(速度)でサンプリング可能であるために、サンプリング密度及び平均化法を目的に適するように選択する必要があるので、最適な実験条件を求める。

#### 4.1 サンプリング密度の検討

見掛けデータ数が同じでサンプリング密度を変化させた(平均化法が異なる)測定例を表 4 に示す。

表 4 サンプリング密度と平均化法を組み合わせた測定例

データの名称	サンプリング密度	見掛けデータ	平均化法	測定例
高速サンプリング後平均法	260Hz	20Hz	260Hz 高速サンプリング 13 データを平均	図 4a
サンプリング後移動平均法	20Hz	20Hz	20Hz サンプリング 13 データを移動平均	図 4b

図 4 から高速サンプリング後平均法が実際の入力を示していると考えられ、以後このサンプリング方法により実験を行う。

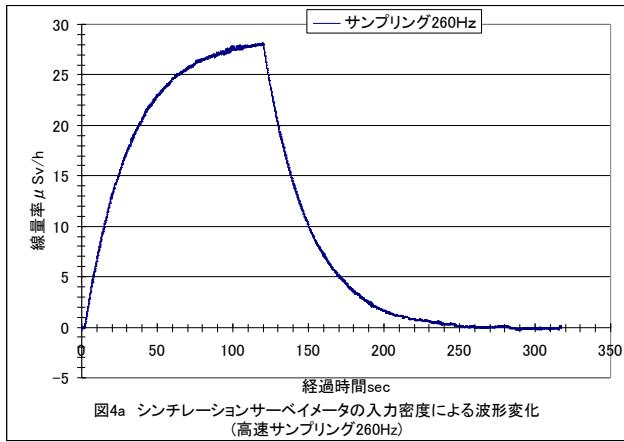


図4a シンチレーションサーベイメータの入力密度による波形変化  
(高速サンプリング260Hz)

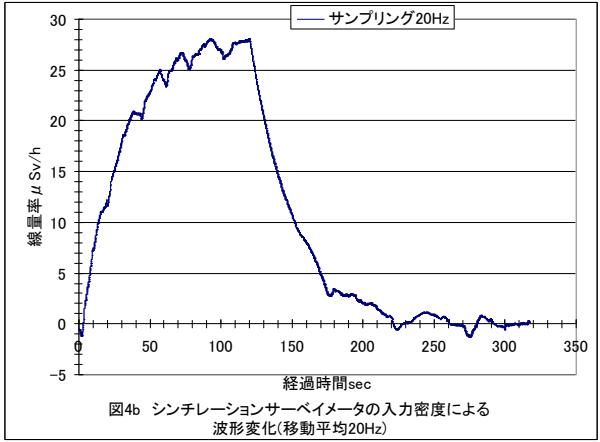


図4b シンチレーションサーベイメータの入力密度による  
波形変化(移動平均20Hz)

#### 4.2 データ密度による影響

200Hz サンプリングデータを 13 個平均化により整形したデータ（以下、見掛けデータ）のバックグラウンド（BG）時の線量変化及び同データを抜取り、20 Hz、2 Hz、1 Hz をシュミレーションした見掛けデータの例を図 5a、部分拡大図を図 5b（0～1 秒）及び図 5c（9～10 秒）に示す。また、図 5（0～10 秒）の各サンプリング密度の標準偏差及び平均値を図 5d に示す。図 5 から、サンプリング密度を変化させると元データと異なった波形を示す。以後見掛けデータを最大にした 200Hz により実験を行う。図 5 は測定器の時定数を 3sec に設定したデータで、以後時定数 10sec のデータを図 6、時定数 30sec のデータを図 7 に示す。図 5 から図 7 のデータから時定数を大きくすると、測定値のうねりが小さくなり時定数の効果が確認できた。まとめとして、各サンプリング密度による標準偏差及び平均値の変化を時定数毎に図 8 に示す。

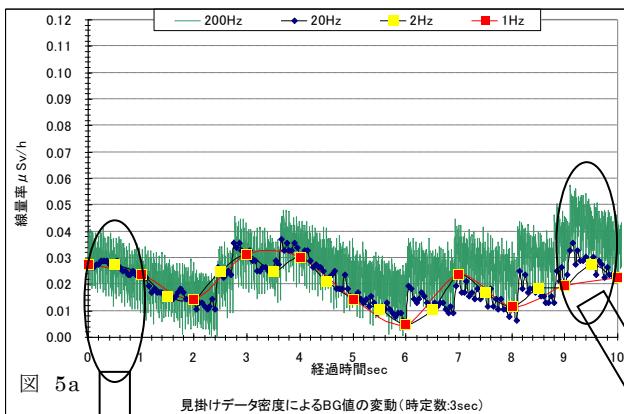


図 5a 見掛けデータ密度によるBG値の変動(時定数3sec)

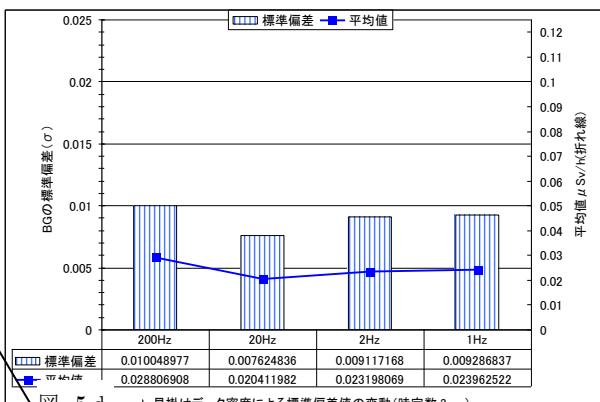


図 5d 見掛けデータ密度による標準偏差値の変動(時定数:3sec)

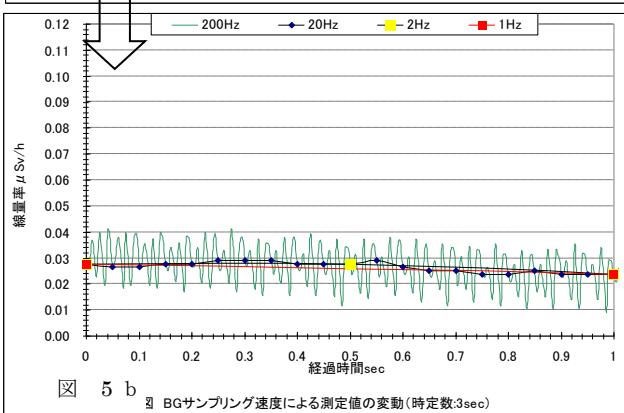


図 5b BGサンプリング速度による測定値の変動(時定数:3sec)

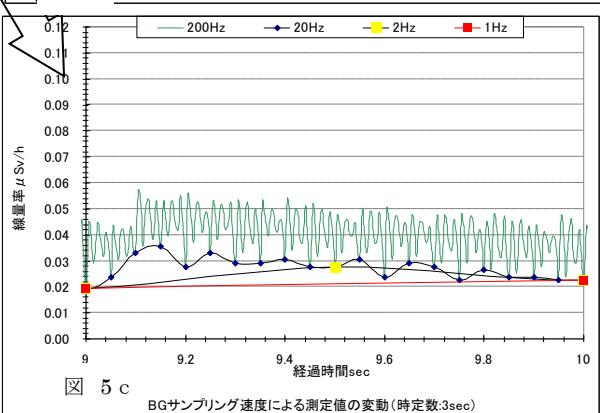


図 5c BGサンプリング速度による測定値の変動(時定数:3sec)

図 5 サンプリング密度による BG 値の変動と標準偏差 (時定数 3sec)

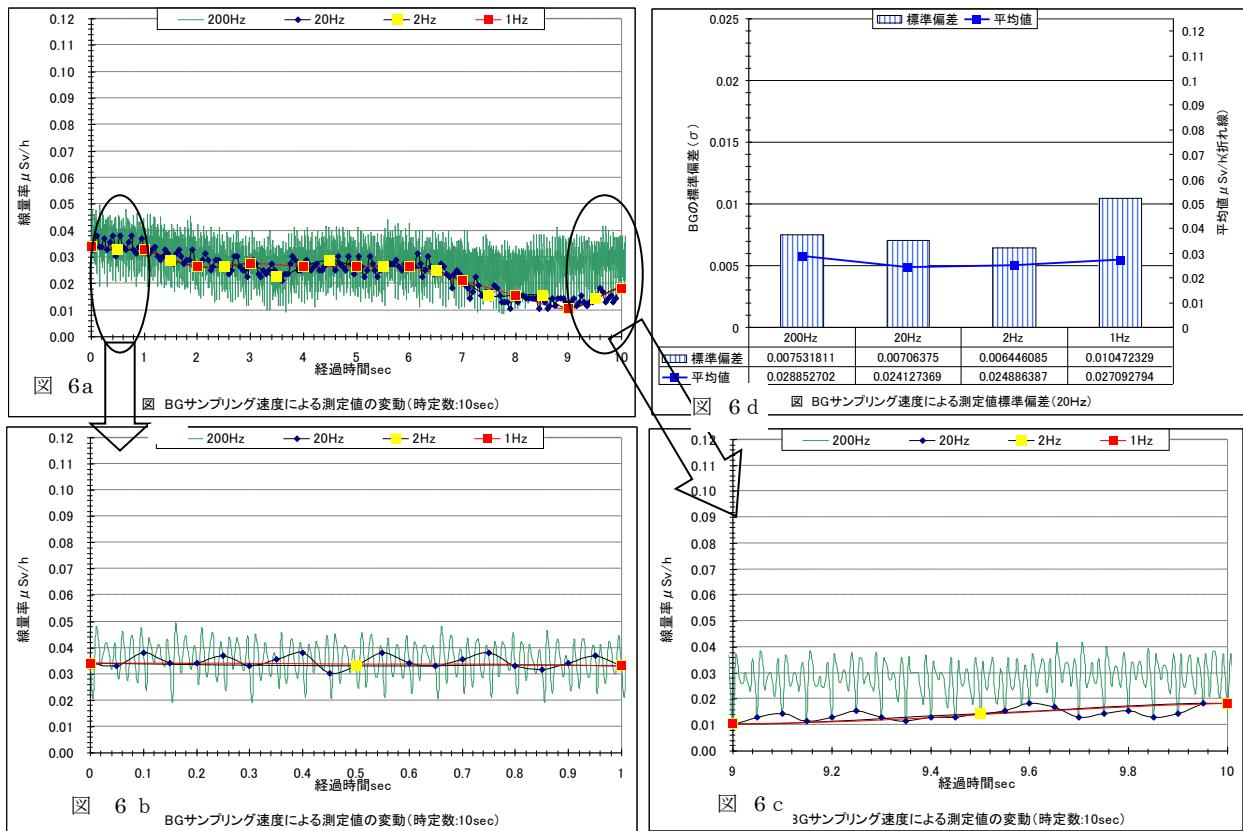


図 6 サンプリング密度による BG 値の変動と標準偏差 (時定数 10sec)

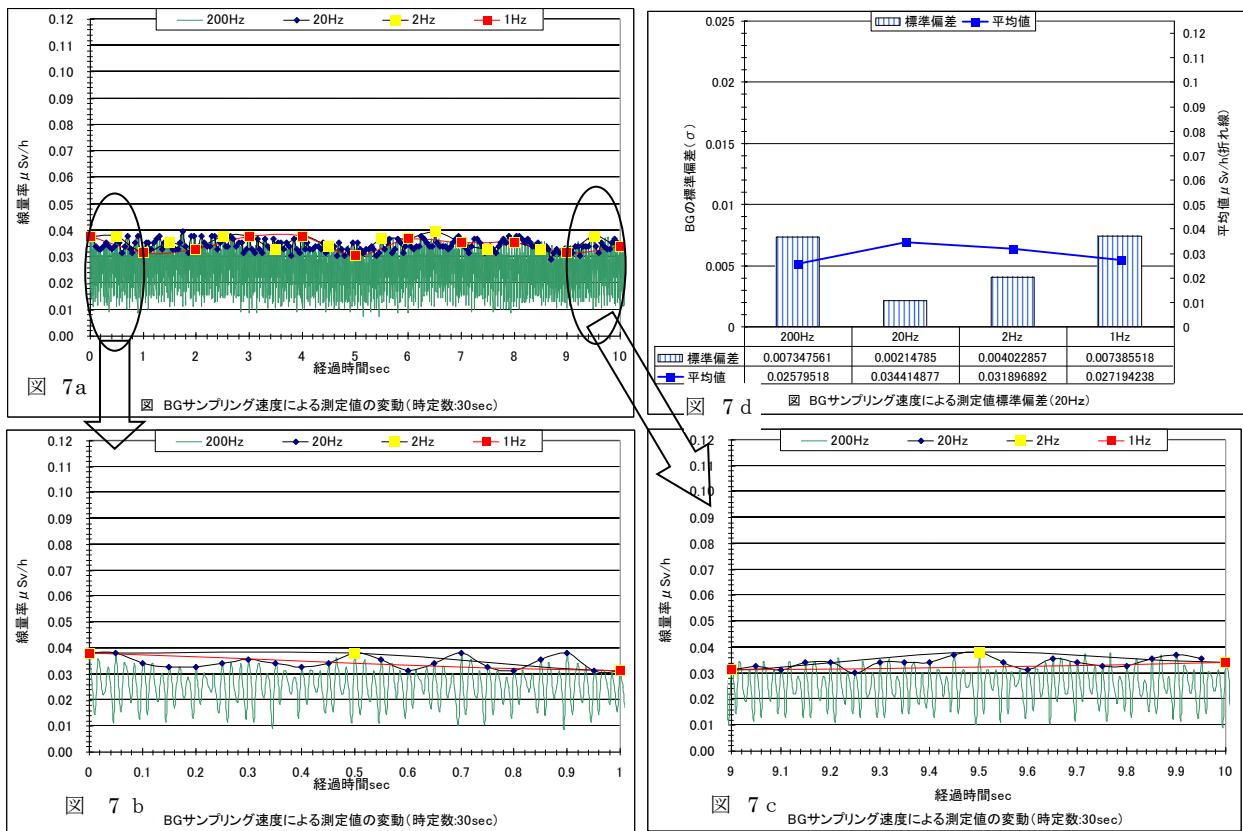


図 7 サンプリング密度による BG 値の変動と標準偏差 (時定数 30sec)

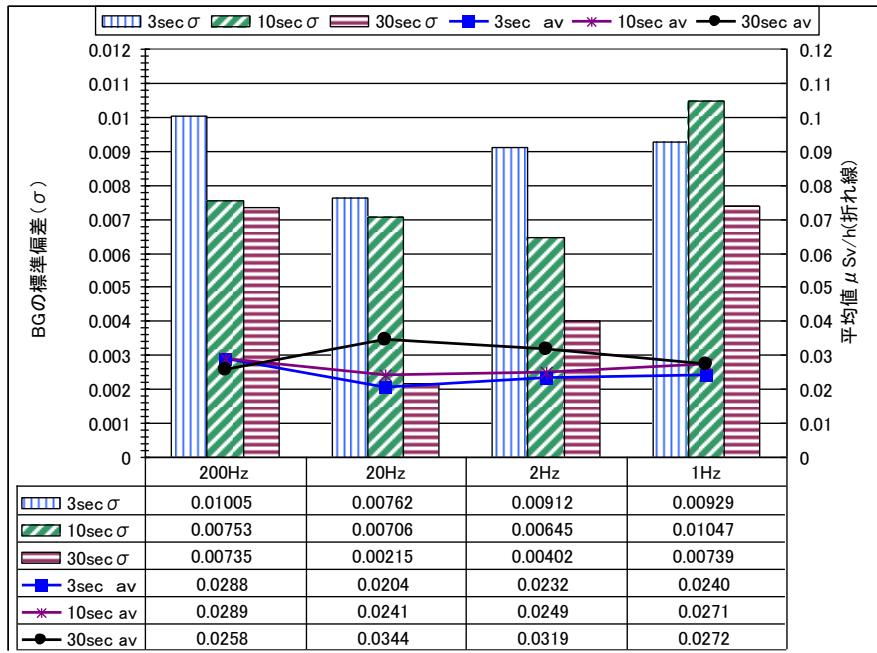


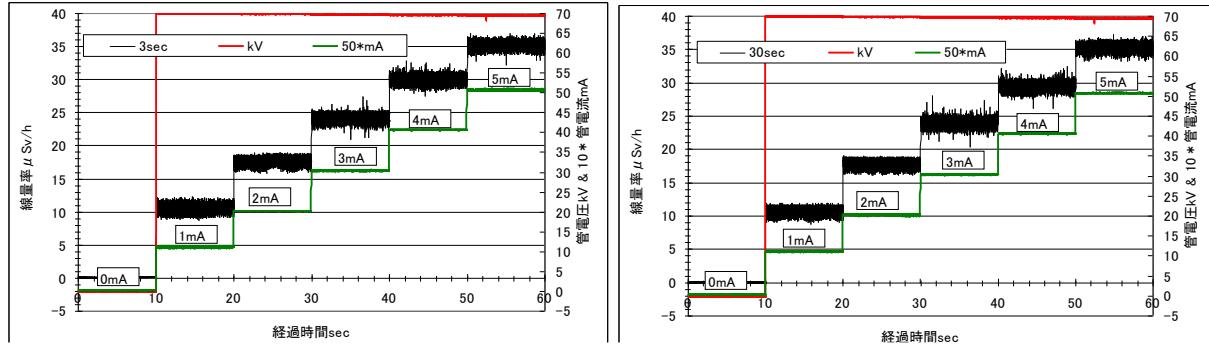
図 8 BG サンプリング密度による標準偏差の変化  
(パラメータ : 時定数 3/10/30sec)

## 5. 測定値のバラツキ

### 5. 1 線量率を高くした時の測定値のバラツキ

NDIC-X75 X線発生器の停止時から徐々に mA を上昇させて線量率を高くした時の線量変化を求める。時定数を 3sec 及び 30sec とした時の mA 増加による線量測定値のバラツキを図 9 に示す。また、この時の線量測定値及び kV & mA の標準偏差と線量測定値の平均値を図 10 に示す。図 9 の 3mA 以上で髭の発生及び図 10 b の 2 mA 以上で標準偏差が大きな値を取ることから mA が増加すると測定値のバラツキが増加することが分かる。この原因は図 10b から、2 mA 以上になると mA の標準偏差が約 2.5 倍になることから、X線発生器の運転ムラ (ノイズ) が原因と考えられる。

図 10 の線量の標準偏差から、この運転ムラの小さい 1 mA 以下では時定数変化による



効果が認められる。

図 9a mA 変化による線量率  
(時定数 : 3sec)

図 9b mA 変化による線量率  
(時定数 : 30sec)

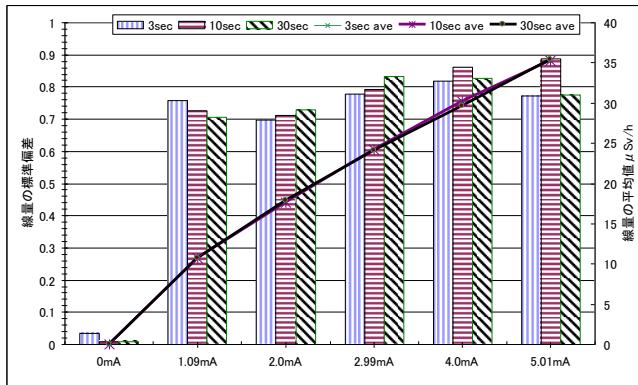


図 10a 管電流と線量の標準偏差  
及び線量の平均値

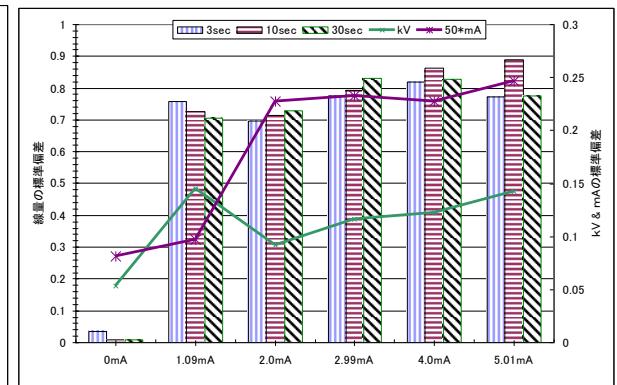


図 10b 管電流と kV&mA の標準偏差

## 5. 2 時定数変化によるバラツキの低減

第 1 報と同一のデータ密度 1Hz (1point/sec) 時 (遮へい箱内) の時定数変化による線量率変化を図 11 に示す。図 11 b は図 11 a で 0mA(非照射)時の線量率変化 (縦軸) を拡大した。図 11 b の 0mA(非照射)時からは時定数変化による線量平滑化が認められる。この結果は前節図 10b の結果と一致する。

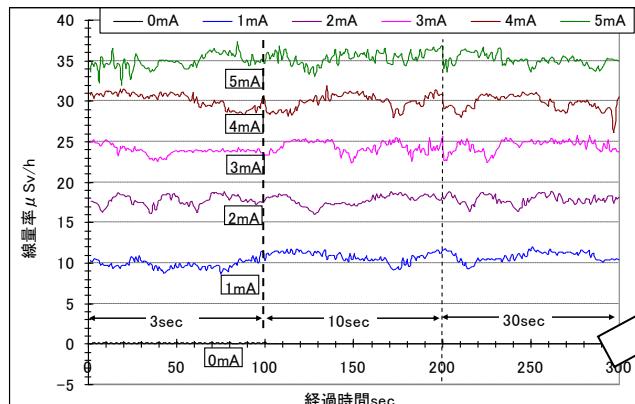


図 11a 時定数変化による変動(全体図)  
(サンプリング密度 : 1Hz、遮へい箱内)

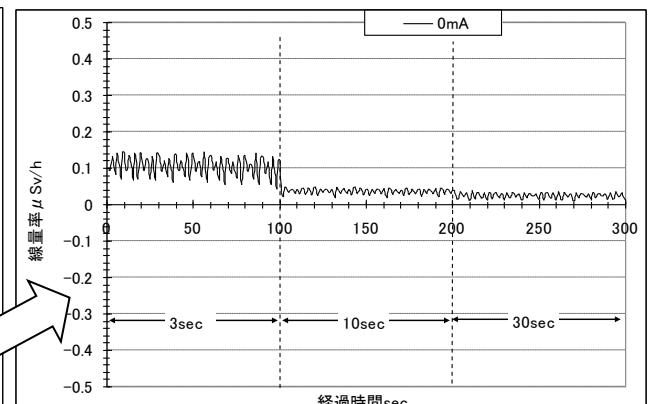


図 11b 時定数変化による変動(0mA 拡大図)  
(サンプリング密度 : 1Hz、遮へい箱内)

次に、遮へい箱外のサンプリング密度 20H 時の時定数変化による線量率変化を図 12 に示す。図 12 からは明らかに、時定数変化によるうねりの平滑化が認められる。

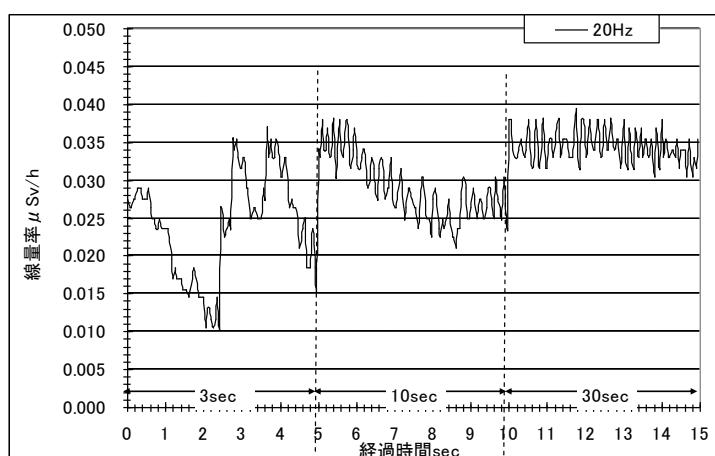


図 12 遮へい箱外のサンプリング密度 20H 時の時定数変化による線量率変化

## 6. まとめ

- (1) アナログ測定値の信頼性はサンプリング密度に大きく左右されるために、サンプリング元データを多く採取することが必要である。
- (2) 高密度で採取したデータを更に、平均化や移動平均して、ノイズレベルの変動を必要に応じてデータ整形する必要がある。
- (3) 平均整形したデータ（見掛けデータ）でも、サンプリング密度の大小により異なった波形を示すため、使用目的により適當なサンプリング密度を選択する必要がある。
- (4) コッククロフトX線発生器において、X線出力が大きくなる程X線発生に伴う変動（ノイズ）が認められた。X線発生に伴う変動の主原因はmAである。
- (5) X線出力が小さい 0mA～1mA では、測定器の時定数変化による効果が認められるが、それ以上ではノイズが大きくなり、時定数変化による効果は認識できない。

以上