

測定値から見る放射線測定器の性能

第 5 報 電離箱サーベイメータ測定値のバラツキと応答性

非破壊検査株式会社
藪下 延樹

1. はじめに


自動車の運転免許取得のための公安委員会指定の学科講習で、昔は「自動車の構造」があり、我々はエンジンの構造等を勉強したが、現在では「自動車の構造」はなくなり、もっと実用性を重視した自動車の順法的な「使用方法」を勉強するようになった。つまり、原理・構造から一歩進んで、ユーザー観点から、機械をどう使いこなすか、その機械の性質を知り、分析して性能を最大限生かす時代となった。放射線測定器も同様で、「敵を知り己を知らば百戦危うからず」を念頭に敵・放射線測定器の性質・性能を分析する。この第 5 報では、電離箱サーベイメータ(以下、測定器)のバラツキ・再現性と応答性について実測データを基に分析する。

2. 使用装置

実験で使用する装置の主な仕様と写真を表 1 に示す。

表 1 使用装置の主な仕様と写真

アナログ表示電離箱(以下、アナ電離)測定器	メーカー名/型番	Aloka / ICS-311	
	測定範囲(1cm線量当量率)	1 ~ 10,000 μ Sv/h (手動レンジ)	
	時定数・応答時間	時定数 300 μ Sv/h レンジ以下 : 10 秒以下 1,000 μ Sv/h レンジ以上 : 1 秒以下	
	測定値のアナログ監視出力	直流 0 ~ 100mV / レンジ	
デジタル表示電離箱(以下、デジ電離)測定器	メーカー名/型番	Aloka / ICS-321	
	測定範囲(1cm線量当量率)	1 μ Sv/h ~ 10,000 μ Sv/h (レンジ切換えなし)	
	時定数・応答時間	応答時間 5 秒以下 (固定値、時定数の記載なし)	
	測定値のアナログ監視出力	直流 0 ~ 100mV / 10,000 μ Sv/h (対数 4 デカード)	
シンチレーション(以下、シンチ)測定器	メーカー名/型番	Aloka / TCS-171B	
	測定範囲(1cm線量当量率)	1 μ Sv/h ~ 10,000 μ Sv/h (手動レンジ)	
	エネルギー補償	エネルギー補償形	
	時定数・応答時間	時定数切換え : 3 / 10 / 30 秒	
	測定値のアナログ監視出力	直流 0 ~ 10mV / レンジ	

	グ監視出力		
ガンマ (以下、) 線源	線源の種類 / 線 源量	^{60}Co / 5MBq	
エックス (以下、 X) 線発 生器 (コック クロフト 式)	メーカー名 / 型番	非破壊検査(株) / NDIC - X75<3><4><5>	
	焦点寸法 / 本体 重量	0.7mm / 3.7kg	
	運転率 / 暖気運 転	100% / 不要	
	kV、mA、油温 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 ガー	メーカー名 / 型番	キーエンス / NR-2000	
	サンプリング密 度 / 分解能	Max400kHz / 14bit	

3. 実験条件

実験配置は図 1 に示した遮へい箱内の X 線発生器 NDIC - X75 からの直斜線を鉛板で遮へいして約 400mm 以上離れた電離箱 (デジ電離及び アナ電離) ならびにシンチ測定器プローブからの出力を遮へい箱外のシンチ測定器本体で測定した。測定条件は管電圧 (以下、kV)、管電流 (以下、mA) を 39kV、1.16mA で固定して、測定値の 1cm 線量当量率 (以下、線量) の変化を測定した。サンプリングデータは表 1 の「測定値のアナログ監視出力」をデータロガーで読み取った。測定項目別サンプリング密度を表 2 に示した。データの平均化は表 2 に示したサンプリング時だけで、積極的な平均化は実施しない。

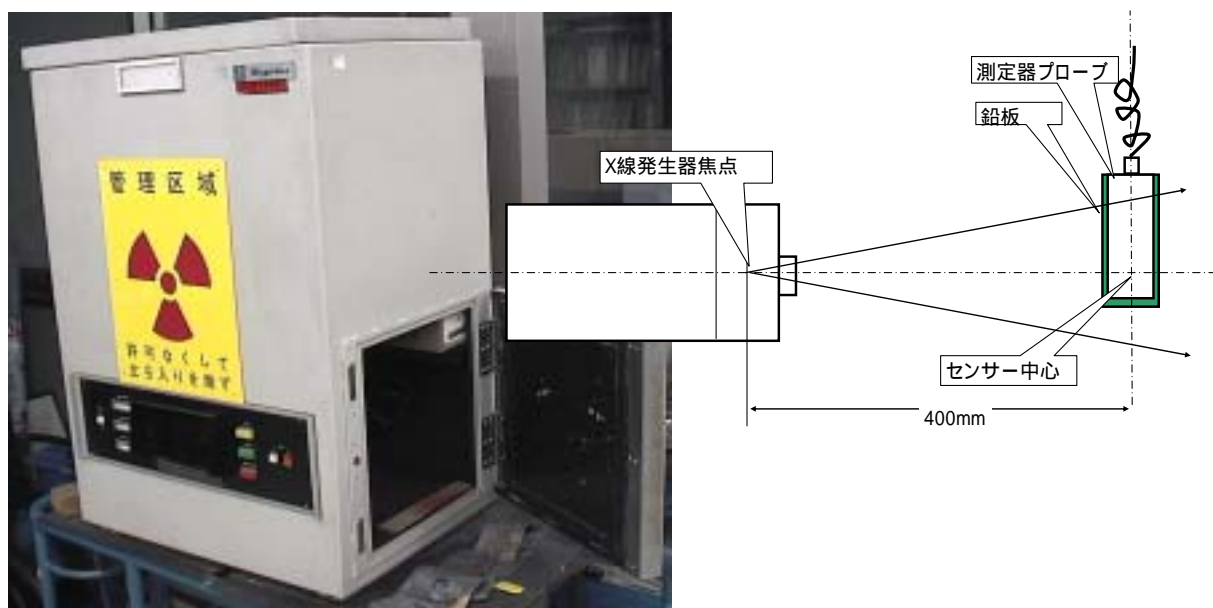


図 1 遮へい箱と X 線発生器・測定器プローブの配置図

表 2 測定項目別サンプリング密度

測定項目	サンプリング密度	平均化
バラツキ測定	200Hz	128 データ平均値をサンプリング

応答性測定	500Hz	128 データ平均値をサンプリング
-------	-------	-------------------

4. 測定値のバラツキ

4.1 線量時とX線量時のバラツキ

アナ電離 ICS-311 で ^{60}Co 基準(一定値)線量を段階的に増加させて基準線量の測定結果(縦軸対数表示)と測定値のバラツキを標準偏差値で図2に示した。図2には更に、応答性の測定(X線使用)データを線量時とX線量時のバラツキ結果を比較のために重ねた。図3は図2の線とX線の基準線量時を縦軸アナログ表示で拡大表示した。

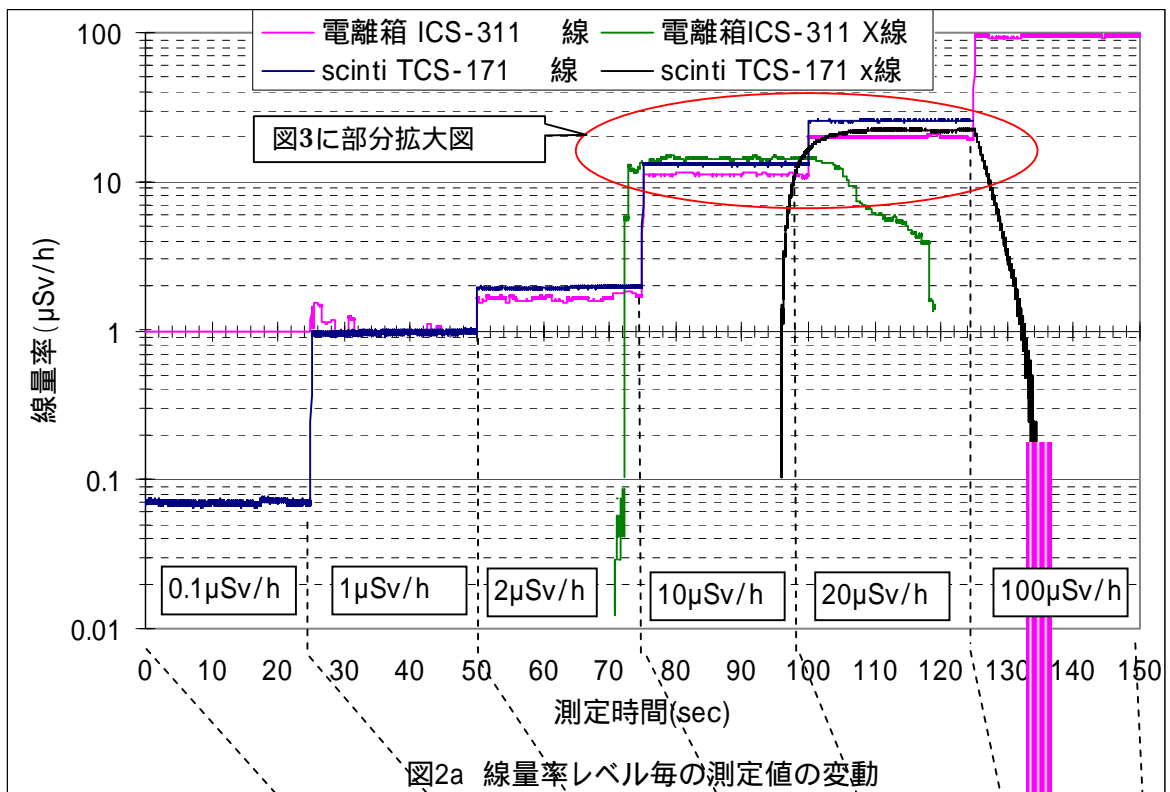


図2a 線量率レベル毎の測定値の変動

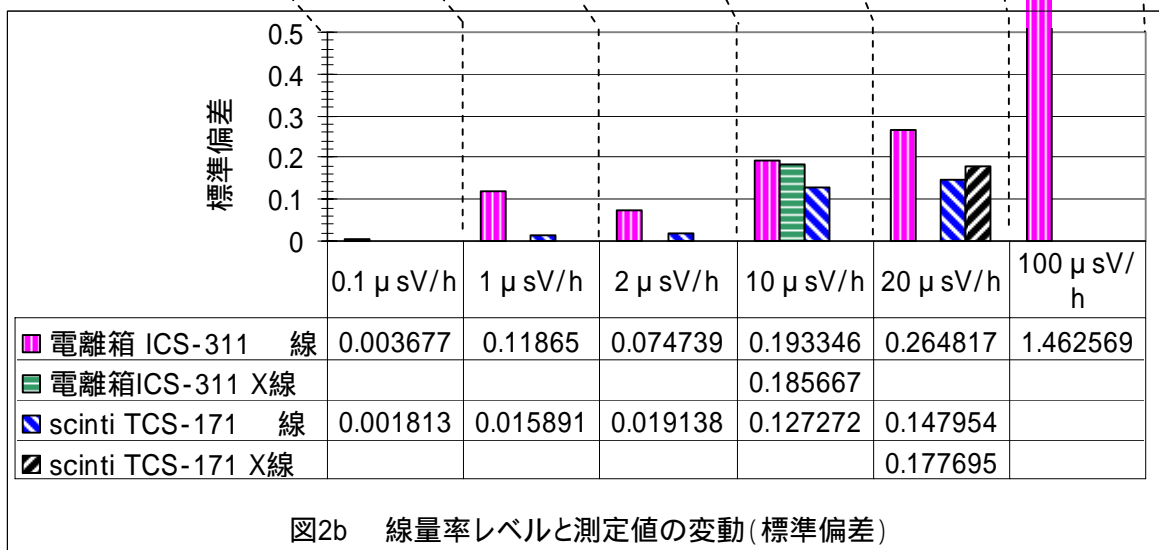
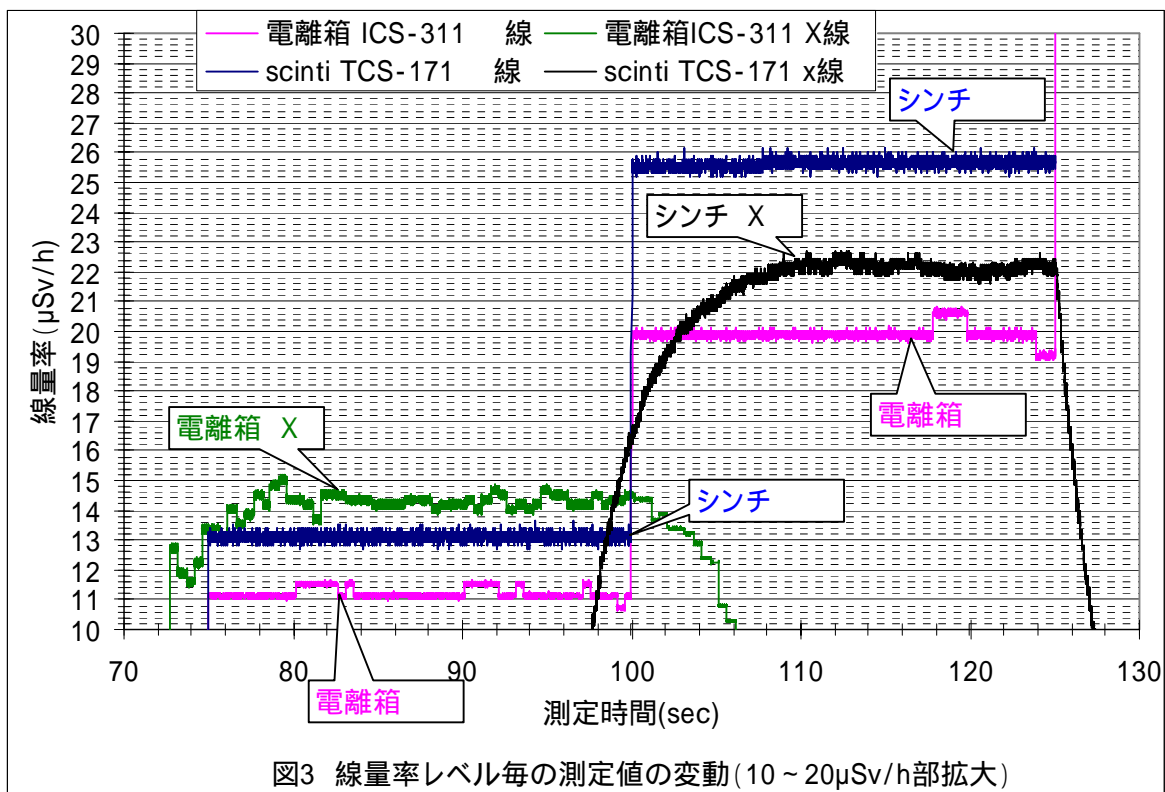


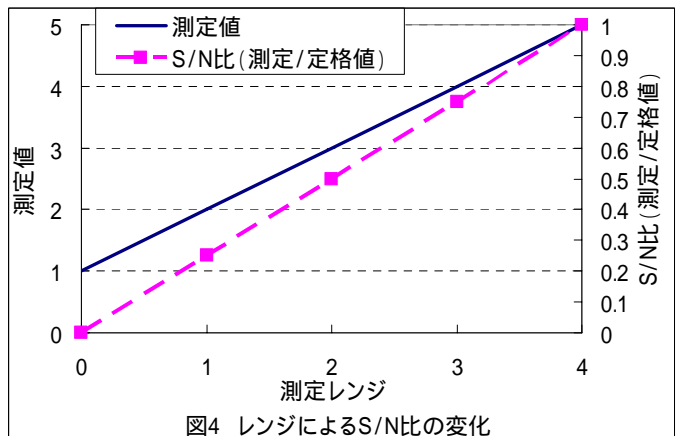
図2b 線量率レベルと測定値の変動(標準偏差)



4.2 測定器固有のバラツキ

(1) 感度(レンジ)切換によるバラツキ

レンジ切換のある測定器を最適な(大きな感度で、測定値が飽和しない(本質的に矛盾))レンジ(以下、定格値)に設定しないと、S/N比(測定値/定格値)が低下してバラツキが大きくなる。この関係を図4に初期不平衡のある例で示した。予想される最大測定値を定格値に近くすると飽和の危険性を生じるが、S/N比は大きい。一方、飽和の危険性を避けて測定レンジを小さくするとS/N比は小さくなりバラツキが大きくなる。



(2) 測定値大小によるバラツキ

(1)の感度設定を最適に行っても、なお、測定値の大きさによるバラツキが原理的に生じる。また、デジタル表示の場合には、単一レンジしか存在しない場合がある。基準線量に同一割合(%)の変動を与えると、測定するレンジによりバラツキが異なる。このバラツキをシミュレーションにより定量評価する。

表3のa.はシミュレーション条件、b.はその結果を示した。表3の基準線量に+10%の線量を強制的に加算(強制加算)した時の表示変動率をb.に示した。

表3の基準線量を測定するためには表3のaに示したように、測定値の飽和を避け、1段大きなレンジで測定する必要がある。その場合、例えば、表3のbデジ電離

ICS-321 では実変動 10% に対して、表示変動率は 1.0% と小さな値を取る。したがって、この表 3 の b の表示変動率が小さな値を取るほどバラツキが大きいと考えられる。表 3 の関係を図 5 に図示した。また、図 5 では基準線量に対する測定レンジの割合も示した。図 5 から測定範囲の非常に大きいデジ電離 ICS-321 は基準線量に対する測定レンジの割合が 1 μ Sv/h で 0.01% と非常に小さい、つまり、高倍率の増幅を要することが分かった。

表 3 +10%の線量率を強制加算した時の表示変動率
(シミュレーション結果)

基準線量	a. シミュレーション条件： 測定値と基準線量を測定するレンジ (測定値 μ Sv/h / 使用レンジ μ Sv/h)			b. シミュレーション結果： 強制加算 10% に対しての表示変動率 (強制加算 10% / 使用レンジ)		
	アナ電離	デジ電離	シンチ	アナ電離	デジ電離	シンチ
μ Sv/h	ICS-311	ICS-321	TCS-171	ICS-311	ICS-321	TCS-171
1	1/10	1/10000	1/3	1.0%	1.0%	3.3%
10	10/30	10/10000	10/30	3.3%	1.0%	3.3%
100	100/300	100/10000		3.3%	1.0%	

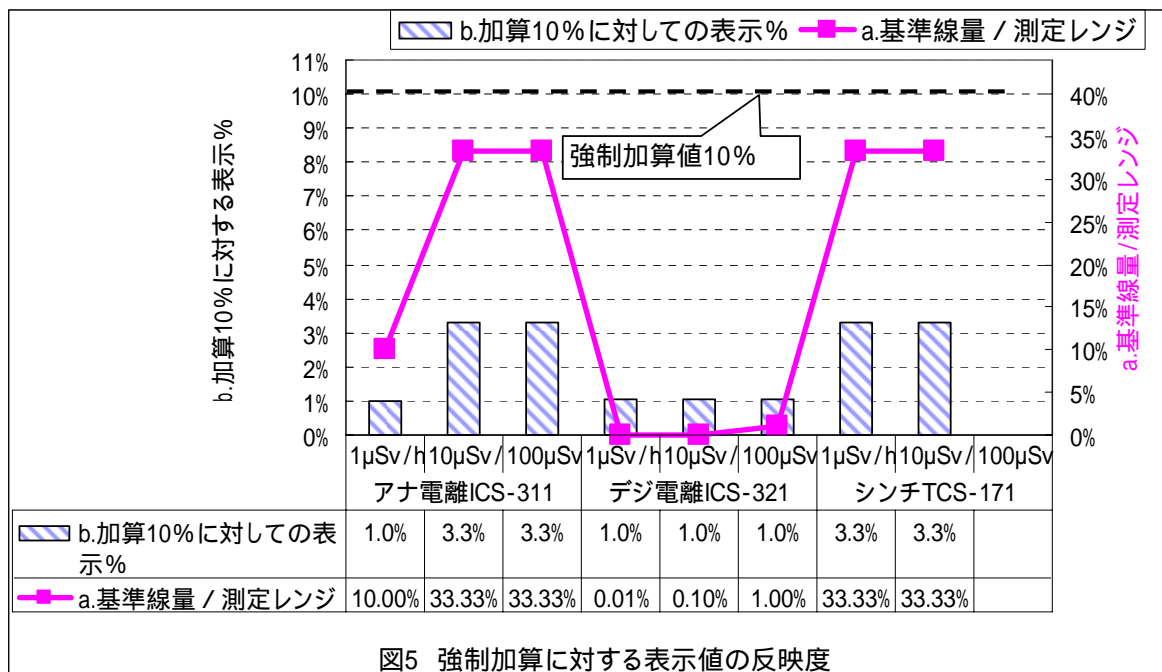


図5 強制加算に対する表示値の反映度

5. 応答性の測定

応答性の測定ではサンプリング速度が非常に速いために、1 / 1000 秒レベルで操作するシーケンサーを用いて、X線発生器 NDIC - X75 のX線発生を ON(UP)、OFF(DOWN)し、運転状態を管電圧 (kV)、管電流 (mA) でモニターした。使用した全測定器のX線発生 UP、DOWN 時の線量変化及び kV と mA 変化の全体図 (1 回目) を図 6a に示した。また、全測定器の線量及び kV と mA 変化の再現性全体図 (1 ~ 5 回) を図 7 ~ 図 11、再現性結果を表 4 に示した。

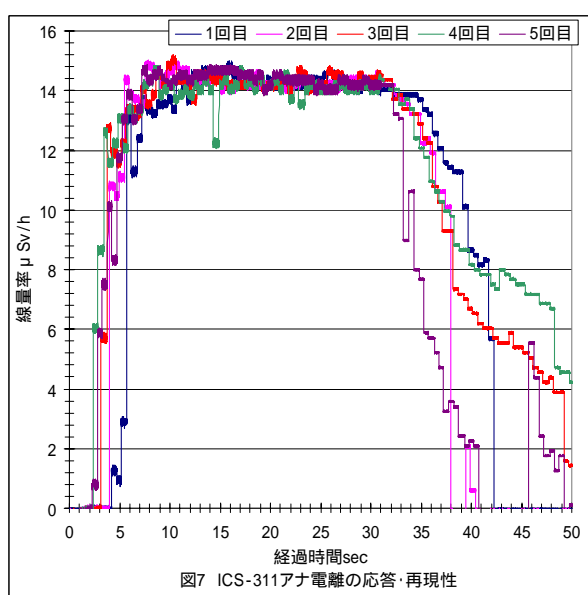
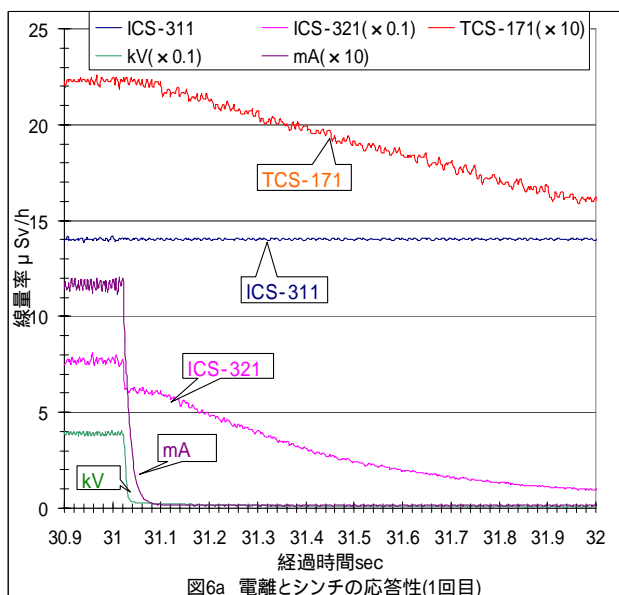
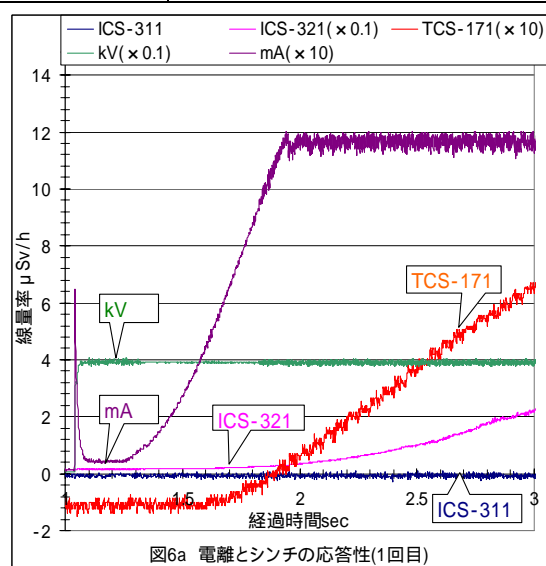
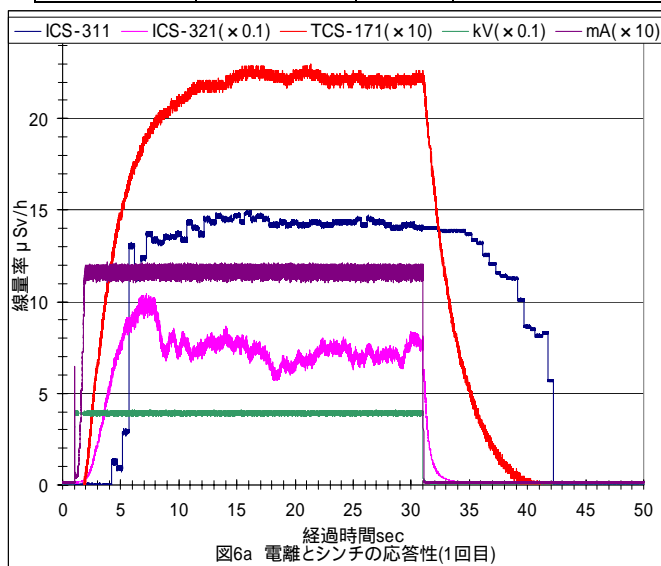
X線運転の平衡状態になる時間は図 6b から kV は UP 時約 0.08 秒、mA は約 1.93 秒間掛かる。一方、DOWN 時の平衡状態になる時間は図 6c から kV、mA 共に約 0.08 秒であった。線量変化は当然、このX線運転の影響を受けるので、応答性の測定結果

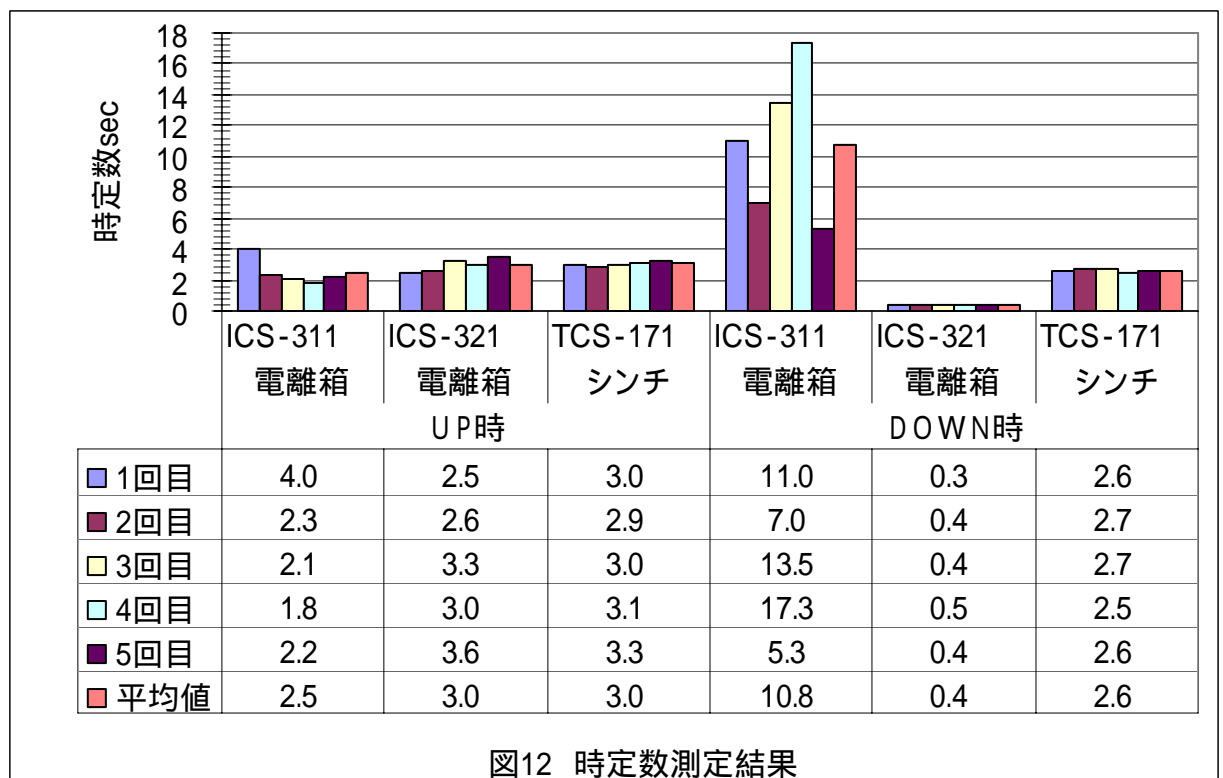
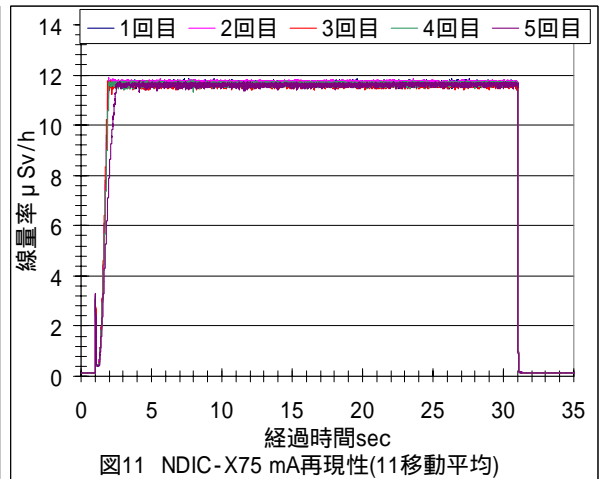
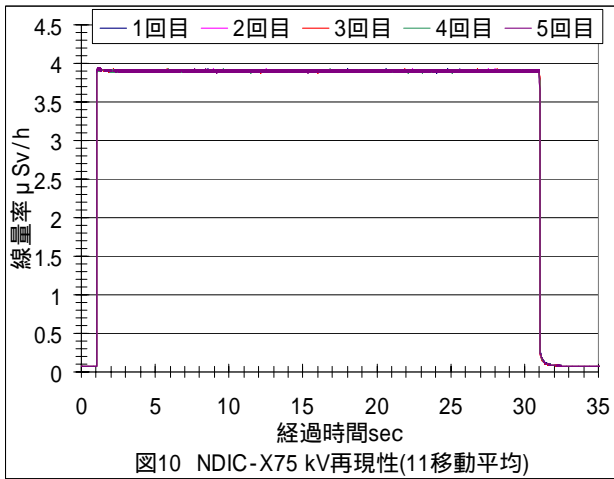
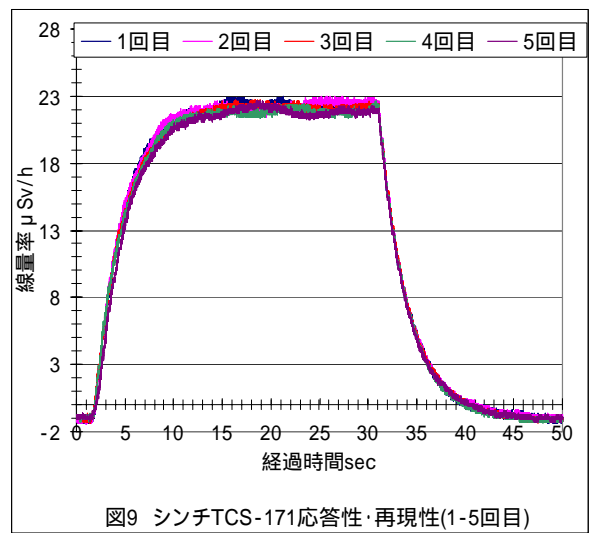
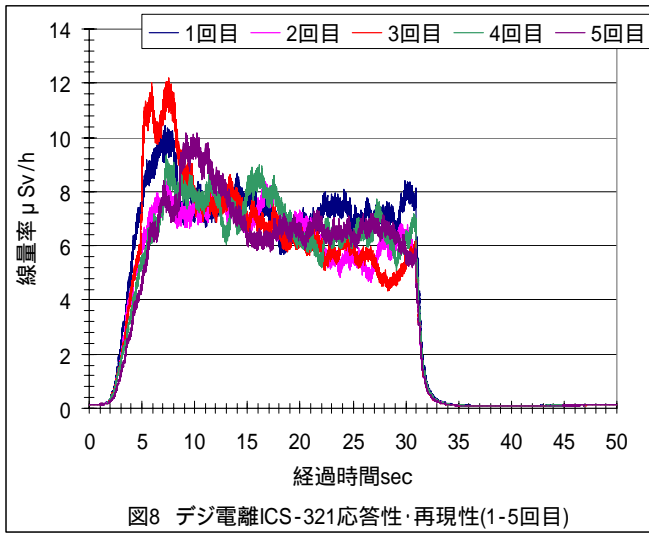
はX線発生 DOWN 時の信頼性が高い。表 4 の再現性結果から、UP、DOWN 時の線量変化を含めた電離箱の再現性は悪い。

次に、測定器の応答性（時定数）を図 7~9 から第 1^{<1>}、2 報^{<2>}と同様に測定した結果を図 12 に示した。

表 4 全測定器及び kV と mA の測定・再現性結果

種類	型番号	測定 図番	再現性結果の概要	
			X線 UP 及び DOWN 時	X線照射時
アナ電離	ICS-311	図 7	UP 及び DOWN 時は非常に悪い	比較的良好
デジ電離	ICS-321	図 8	UP 時は非常に悪い。 DOWN 時は良好	X線照射時の変動は大きく悪い。再現性もない。
シンチ	TCS-171	図 9	良好	良好
管電圧	kV	図 10	良好	良好
管電流	mA	図 11	良好なるも、5 回目の UP 時約 0.25 秒の遅れあり	良好





6. まとめ

(1)電離箱測定器のバラツキはシンチ測定器より相当大きい(図 2b)。この理由は電離箱測定値の出力(極微量の電流値)が原理的に小さいため元々の S/N 比が小さいためと考えられる。

(2) デジ電離 ICS-321 (レンジ切換えなし、対数回路) は測定範囲が広く、パカチオンタイプの全自動で、非常に使いやすい。ところが、図 8 の経時測定値は与えた線量値が一定(同一条件の他の測定値図 7 及び図 9 参照)にも拘らず大幅な変動や低下を示している。この理由はレンジ切換えをしないため測定範囲が広く、高増幅を行っているため増幅回路の温度依存性等の影響が出たものと考えられる。このことは表 3b の ICS-321 表示変動率が最小値を取っていること及び図 5 の a. 基準線量 / 測定レンジが極小値を取っていることから明らかである。(4.2.(2) 項)。

(3)図 12 の時定数測定結果からアナ電離 ICS-311 では線量 DOWN 時に再現性がなく大きなバラツキを示した。また、第 1 報^{<1>}で示した GM 測定器の時定数測定結果と同様に線量 DOWN 時が UP 時と比較して約 5 倍の大きな値を示している。メーカーの仕様では UP、DOWN の区別なく「300 μ Sv/h レンジ以下：10 秒以下」となっている。

(4) 図 12 の時定数測定結果からデジ電離 ICS-321 では線量 UP、DOWN 時に逆の傾向を示した。デジ電離 ICS-321 では線量 UP 時が DOWN 時と比較して約 7 倍の大きな値を示している。この時の再現性は比較的良い。

参考文献

<1>藪下延樹、辻本忠：測定値から見る放射線測定器の性能 第 1 報 デジタル測定値のバラツキと応答性、JSNDI 放射線分科会資料 10428、(2009)

<2>藪下延樹、辻本忠：測定値から見る放射線測定器の性能 第 2 報 測定値のバラツキと応答性、JSNDI 第 7 回放射線による非破壊検査評価シンポジウム講演概要集 pp.87 ~ 92、(2010)

<3>藪下延樹：“手のひらサイズ” X 線装置の開発、JSNDI 平成 13 年度秋季大会講演概要集、(2001)

<4>藪下延樹、大岡紀一：強力低エネルギー X 線源による像質の改善、JSNDI 資料 10344、(2002)

<5> JSNDI：放射線の安全取扱い 2009、pp.31 ~ 34、(2009)