



γ線基準校正場の品質保証

三上 智 豊田 素子

東海事業所安全管理部

資料番号：97-6

Quality Assurance of Reference Photon Calibration Field

Satoshi Mikami Motoko Toyoda
(Health and Safety Division, Tokai Works)

動燃事業団の5つの事業所（東海事業所、大洗工学センター、もんじゅ建設所、ふげん発電所、人形峠事業所）には、サーベイメータや個人線量計等の放射線測定器を校正するためのγ線基準校正場を設置している。各事業所の校正場は全て国家標準までのトレーサビリティを確保しており、事業所ごとに適切に維持してきたが、校正における品質保証強化を図る目的で、相互比較により各事業所の校正場の照射精度を検証した。その結果、各事業所校正場は適切な精度で維持されていることを確認した。本稿では複数の校正場の横断的な精度の検証およびその簡便手法も含めてγ線基準校正場の品質保証への取組みについて紹介する。

1. はじめに

国際標準化機構(ISO)が1987年に制定した品質認証システムに関する国際規格であるISO9000シリーズ規格は、欧州を中心に急速に普及が進み運用されている。また、米国においては10年以上前から放射線測定に対する測定結果の保証問題が課題となっており、トレーサビリティ体系を明確化した測定の品質保証プログラムを発足させている。

我が国においても、1992年5月に計量法が改正されたのに伴い、校正に関する部分がトレーサビリティ制度として法制化され、1993年11月から施行される等品質保証活動の確立がなされてきている。

動燃事業団においてもさまざまな品質保証活動を実施しており、放射線管理に用いる各種放射線測定器についてもその品質を維持するために、電氣的な試験・検査を行うとともに、γ線や中性子線等の基準校正場あるいはα線やβ線を放出する校正用面線源等により定期的に校正している¹⁾。本稿では特にサーベイメータ等を校正する場であるγ線基準校正場の品質保証への取り組みについて、校正場の相互比較を中心に紹介する。

2. γ線基準校正場のトレーサビリティ

動燃事業団の5つの事業所（東海事業所、大洗工学センター、もんじゅ建設所、ふげん発電所、人形峠事業所）では、サーベイメータや個人線量計等を校正するための校正用γ線源と校正場の線量率を決定する（以下「値付け」という）電離箱型の基準線量計を所有している。東海事業所の基準線量計は国家標準機関である通商産業省工業技術院電子技術総合研究所（以下「電総研」という）で校正されており、ふげん発電所の基準線量計は電総研大阪ライフエレクトロニクス研究センターにて校正されている。また、大洗工学センター、もんじゅ建設所および人形峠事業所の基準線量計は東海事業所計測機器校正施設において定期的に校正されている。このように、各事業所の基準線量計はすべて電総研までトレーサビリティが確保されており、γ線基準校正場は各事業所ごとに適切に維持されている。図1にγ線基準校正場のトレーサビリティ体系を示す。

3. 基準校正場の相互比較

サーベイメータ等の放射線測定器は定期的に基準校正場で校正されている。放射線測定器による

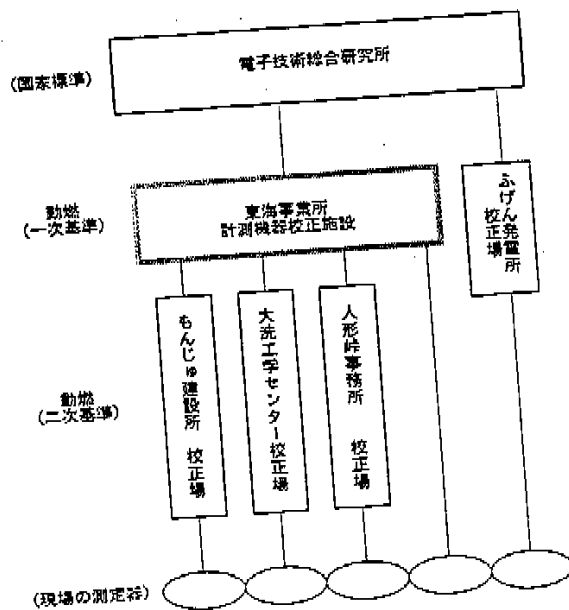


図1 ヲ線基準校正場のトレーサビリティ

測定結果は直接現場の放射線管理に反映されるので、機器の校正結果、ひいては基準校正場の設定は信頼性の高いものでなければならない。ところが基準 γ 線測定には不確かさが含まれ、さらに、校正設備・機器の経年劣化や作業者の交代等起因する誤差が生ずる恐れがある。このようなさまざまな要因による校正場の測定精度の異常等を見出し修正するため、また各事業所校正場における基準 γ 線照射技術の向上、および基準線量(率)の均一性の確認等、基準 γ 線の測定および照射技術の品質保証強化を図るには複数の事業所間で基準校正場の相互比較を行うことが有効である。そこで、動燃事業団における放射線標準施設としての性格を有する東海事業所計測機器校正施設が中心となって、 γ 線基準校正場の相互比較を実施した。

4. γ 線基準校正場の事業所間相互比較

各事業所で所有し基準校正場の値付けに使用した γ 線用基準線量計はすべて米国 VICTOREEN 社製の電離箱型照射線量計（商標名；ラドコン線量計500型）である（以下「基準線量計」という）。平成4年にはトレーサビリティの健全性を調査することを目的に、基準線量計を使用した各事業所 γ 線基準校正場の設定精度の相互比較を実施した。

4.1 実施方法

東海事業所で所有している基準線量計を厳重に

クッション等を用いて梱包し他の事業所に回付した。同時に東海事業所の基準線量計を操作する専任の作業者が他事業所に出向いて各事業所校正場の線量を測定した。

評価方法は東海事業所の基準線量計を用いて各事業所の γ 線基準校正場の照射線量率を測定し、あらかじめ各事業所で測定されている値とを比較した。相互比較の対象とした線源は ^{137}Cs と ^{60}Co であり、比較評価上 ^{137}Cs 高線量率 ($2.6 \times 10^{-3} \text{ c/kg/h}$ (10R/h)以下)、 ^{137}Cs 低線量率 ($7.7 \times 10^{-6} \text{ c/kg/h}$ (30mR/h)以下) および ^{60}Co ($3.4 \times 10^{-4} \text{ c/kg/h}$ (30mR/h)以下) に分類した。また、比較距離はh (1.3R/h)以下に分類した。また、比較距離は ^{137}Cs 高線量率は1m、2m、3m、および4mの4点とし ^{137}Cs 低線量率および ^{60}Co については1m、および2mの2点とした。相互比較の対象とした線源の種類と強度を表1に示す。

4.2 比較結果

各事業所校正場の各距離における照射線量率に關し、東海事業所の基準線量計を用いて測定した値と、あらかじめ各事業所が独自に測定した値との比をもとめ、東海事業所の基準線量計による測定値からのずれを偏差の割合で評価した。

^{137}Cs 高線量率および ^{137}Cs 低線量率グループの結果は $\pm 3\%$ 以内でよく一致した。また、 ^{60}Co の比較結果についても $\pm 3\%$ 以内でよく一致した。代表例として ^{137}Cs 高線量率グループの結果を図2に示す。いずれの結果も電総研における一次基準測定器の校正精度である $\pm 3\%$ 以内で一致した。

日本工業規格 (JIS Z 4511)²⁾との対応については東海事業所とふげん発電所の基準校正場は一次照射線量率基準に、その他の事業所は二次照射線量率基準に相当し、それぞれの基準校正の精度は $\pm 4\%$ 以内、 $\pm 6\%$ 以内と定められている。今回の結果は各事業所校正場ともJIS基準を満足するものであり、国家標準からのトレーサビリティの移行が良好に行われていることおよび適切な精度で維持されていることを確認した。

表1 相互比較を実施した線源の種類と強度

	^{137}Cs 高線量率 $2.6 \times 10^{-3} \text{ c/kg/h}$ (10R/h)以下	^{137}Cs 低線量率 $7.7 \times 10^{-6} \text{ c/kg/h}$ (30mR/h)以下	^{60}Co $3.4 \times 10^{-4} \text{ c/kg/h}$ (30mR/h)以下
東海事業所	1.11TBq	3.7 GBq	3.7 GBq
大洗工学センター	1.11TBq	3.7 GBq	3.7 GBq
もんじゅ建設所	1.11TBq	7.4 GBq	3.7 GBq
ふげん発電所	740 GBq		37 GBq
人形峠事業所		2.59GBq	1.85GBq

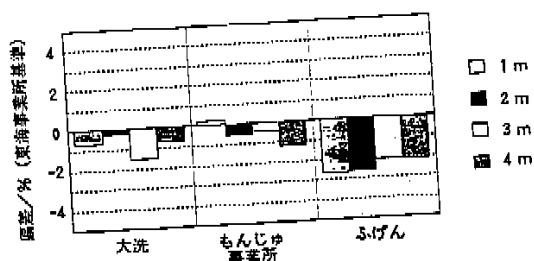


図2 基準線量計による相互比較結果 (^{137}Cs 高線量率)

4.3 基準線量計による相互比較の問題点

事業所間相互比較は基準校正場の健全性の確認には有効な手段であり、定期的の実施することが望ましい。しかし、電離箱型基準線量計は微小な電流を測定するもので非常に敏感であり振動や湿気の影響を受ける。したがって、相互比較のために事業所間を輸送することに伴う、輸送中の振動、湿度の管理等を考慮すると定期的な相互比較の実施に基準線量計を使用することはリスクが高い。その他、精度のよい測定をするためには少なくとも24時間以上のウォーミングアップが必要であり、また基準線量計の取り扱いに精通した作業者が操作のために各事業所に出向かなければならず、労力も大きい等の問題点があった。

5. 簡便な相互比較方法の検討

日本原子力研究所東海研究所（以下「原研」という。）の協力を得て、平成4年から平成5年にかけて、より簡便で定期的な相互比較実施に適用できる相互比較方法を検討した。

そこで、取り扱いが簡便で特別な保管管理を必要としない線量計として、近年著しく読み取り精度の向上したガラス線量計あるいは従来から広く使用され実績の豊富なTLDを相互比較に適用すべく両者の特性の比較試験を行った³⁾。

5.1 ガラス線量計システム

今回の試験には東芝硝子㈱製のSC-1型ガラス線量計およびFGD-20型の線量読取装置（リーダ）を使用した。ガラス線量計は放射線が照射されたガラス（銀活性リン酸塩ガラス）が紫外線励起によってオレンジ色の蛍光を発する現象（ラジオフォトルミネッセンス；RPLという）に基づく積算型の固体線量計である。また、リーダは連続パルス発振のできる窒素ガスレーザを紫外線励起源とする高感度のリーダで、線量計を一度に20

個まで連続読み取りできるものである。ガラス線量計の特長として①線量の読み取り操作により蛍光中心が消滅しないので繰り返し測定ができる。②ガラス線量計間の感度のバラツキが小さい。③フェーディング（退行）がきわめて少ない。等が挙げられる⁴⁾⁵⁾。

5.2 TLDシステム

パナソニック㈱製のTLD（UD-200S型）およびリーダ（UD-215P型）を使用した。TLDは放射線が照射された硫酸カルシウムが、熱励起によって蛍光を発する現象に基づく積算型の固体線量計である。リーダはヒータ（420℃）を熱励起源とし、加熱されたTLDが発する蛍光を光電子増倍管で検出する。

TLDは個人線量計等に広く使用され、動燃事業団においても豊富な使用経験があり、そのさまざまな特性が把握されている信頼性の高い線量計である。

5.3 ガラス線量計およびTLDの特性試験

(1) エネルギー特性

エネルギー特性試験に使用した線源は、X線（線質指標QI：0.8）で24.1keV～203keVおよびγ線が ^{137}Cs （662keV）と ^{60}Co （1250keV）である。ガラス線量計とTLDのエネルギー特性は光子に対してほぼ同様の特性を示し、200keV以上の範囲で±5%程度の感度変化であった（図3）。よって、 ^{137}Cs 線源や ^{60}Co 線源の相互比較を実施する場合には、コンプトン散乱が180°散乱で約200keVであるので上述の感度変化で測定できる。

(2) 方向特性

ガラス線量計を横軸方向と縦軸方向に回転させ

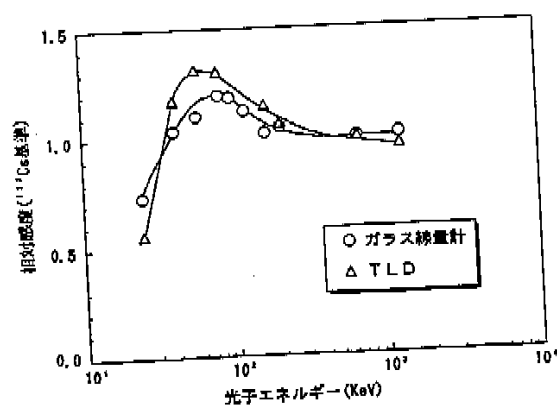


図3 エネルギー特性試験

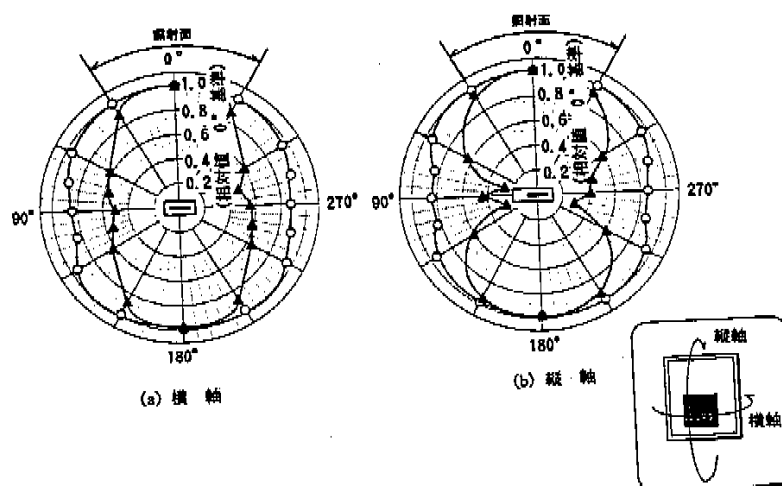


図4 ガラス線量計の方向特性 (○: ^{137}Cs ▲: X線80KeV)

た場合の感度の変化は、 ^{137}Cs γ 線で横軸方向と縦軸方向が最大で15%低下し、80keV X線では横軸方向と縦軸方向がともに最大で約60%低下した。しかし、照射面(入射 0° 方向に対して $\pm 30^\circ$)における感度変化は ^{137}Cs γ 線で1%以内、80keV X線では10%程度であった(図4)。同様にTLDの感度変化は、横軸方向および縦軸方向ともにガラス線量計より少ない。照射面における感度変化は ^{137}Cs γ 線で1%以内、80keV X線で5%程度と良好であった。なお、TLDは横・縦軸ともに左右対称であるので片側の 180° までの試験とした(図5)。

(3) 指示誤差試験

指示誤差試験の方法は、散乱線の影響を少なくするためにバドミントンラケット上に各線量計を1個ずつセットし各照射線量に対して5セット照射した。照射線量の範囲は $7.7 \times 10^{-7} \text{c/kg} \sim 1.3 \times 10^{-3} \text{c/kg}$ (3mR $\sim$ 5R)の範囲で照射線量を変化させて11点の照射野で試験した。測定値は個々の線量計の感度補正とリーダの感度補正を行って求め、ガラス線量計については5回の読み取り値の平均とした。その結果、ガラス線量計の感度の平均値および標準偏差は 1.003 ± 0.0013 であり、したがって全体としては1.6%程度の誤差で測定で

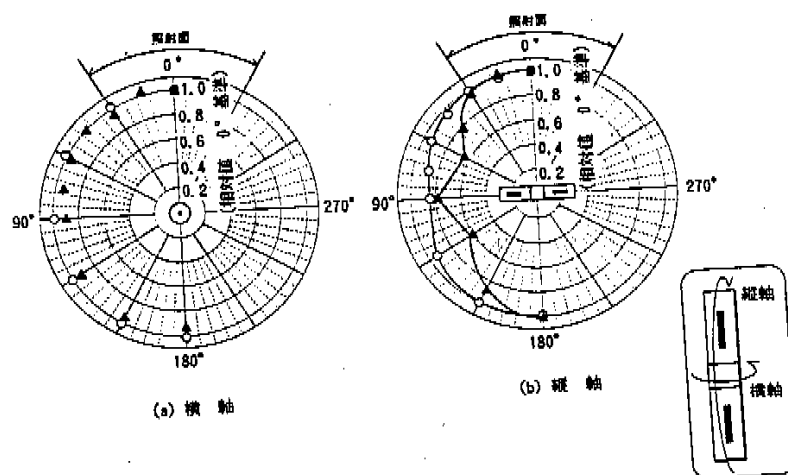


図5 TLDの方向特性 (○: ^{137}Cs ▲: X線80KeV)

表2 ガラス線量計およびTLDの指示誤差試験結果

照射線量 (mR)	ガラス線量計			TLD		
	測定値 (mR)	感度	変動率 (%)	測定値 (mR)	感度	変動率 (%)
5000	5019.7 ± 20	1.004	0.40	5220 ± 87	1.04	1.6
2000	1968.5 ± 6.8	0.984	0.34	2070 ± 50	1.04	2.4
1000	1026.5 ± 1.5	1.026	0.15	1030 ± 15	1.03	1.5
500	506.1 ± 1.7	1.012	0.34	512 ± 4.2	1.02	0.8
200	202.2 ± 0.7	1.011	0.34	206 ± 2.4	1.03	1.2
100	100 ± 0.3	1.000	0.31	106 ± 1.8	1.06	1.7
50	49.71 ± 0.2	0.994	0.34	51.1 ± 0.4	1.02	0.7
20	19.82 ± 0.0	0.991	0.23	20.9 ± 0.4	1.05	1.8
10	9.82 ± 0.1	0.982	0.6	10.4 ± 0.2	1.04	2.0
5.0	4.87 ± 0.2	0.994	4.6	5.3 ± 0.1	1.06	1.9
3.0	2.92 ± 0.1	0.973	2.3			
平均値	1.003 ± 0.013			1.04 ± 0.013		

※1 平均値は、20(mR)以上の線量に対する感度の平均と標準偏差である。
 ※2 平均値は、10(mR)以上の線量に対する感度の平均と標準偏差である。
 測定値は、各線量計の既取値に校正定数乗じた値である。

きる。TLDは 1.04 ± 0.0013 であり、全体として $\pm 5\%$ 程度の誤差で測定できる。指示誤差試験の結果を表2に示す。

5.4 相互比較への適用

ガラス線量計システムとTLDシステムについて基本的な測定条件を定めて基礎特性試験を行った結果、 ^{137}Cs あるいは ^{60}Co 線源を対象とした相互比較試験の条件下で総合的に達成し得る精度はガラス線量計が $\pm 2\%$ 、TLDが $\pm 4\%$ となった。よって簡便な相互比較手法としてガラス線量計システムを採用することとした。

6. ガラス線量計による相互比較試験

ガラス線量計による相互比較手法の有効性の確認のため、試験的にガラス線量計を用いて動燃事業団東海事業所と原研との間でγ線校正場の比較を行った結果、1%以内で一致しており、ガラス線量計による相互比較が有効であることを確認した。次に、動燃事業団の上述の5事業所を対象に相互比較を実施した。

6.1 相互比較の条件および方法

(1) 条件

①相互比較の対象とした線源は ^{137}Cs 高線量率と ^{137}Cs 低線量率、および ^{60}Co に分類しそれぞれの線源強度は表1のとおりである。②比較距離は ^{137}Cs 高線量率は1mと2m、 ^{137}Cs 低線量率は1m、 ^{60}Co については1mないし2mとした。③照射線量率は照射時間を考慮して $5.2 \times 10^{-6} \text{c/kg/h}$ (20mR/h)以上とし、照射線量は $1.3 \times 10^{-5} \text{c/kg}$ (50mR)〜 $1.3 \times 10^{-4} \text{c/kg}$ (500mR)程度とした。④相互比較には原研で校正されたガラス線量計(東芝硝子(株)製SC-1)を使用した。⑤照射線量の測定には1点当たり3個の線量計を使用した。⑥照射の際、散乱線を少なくするためにバドミントンラケット上に線量計を固定した。

(2) 方法
 ガラス線量計は原研にて前処理後、封筒にいれて各事業所に郵送し表1に示す線源で照射を行った。各事業所での照射終了後、ガラス線量計を原研に返送し、ガラス線量計の照射線量の読み取りを行った。測定精度の向上を図るために、①線量計個々に校正定数を与えること、②蛍光中心を安定させるため測定前に線量計を熱処理すること③リーダの感度補正等を行った。

相互比較の評価方法は、それぞれの事業所の各線源、各距離において、ガラス線量計による測定値(照射線量率に換算)と各事業所が所有する基準線量計で測定した基準照射線量率との比をもとめ、基準線量計で測定した値からのずれを偏差としてもとめた。

6.2 相互比較結果

相互比較結果を以下に紹介する。

^{137}Cs 高線量率の結果は、大洗工学センターの2mの点が3.5%のずれであった。それ以外は2%以内で一致した。

^{137}Cs 低線量率の結果は、人形峠事業所の1mで2.7%であったのを除いてすべて2%以内で一致した。

^{60}Co の結果は、すべての比較点で2%以内で一致した。結果を図6に示す。

比較結果は各事業所とも日本工業規格(JIS Z 4511)¹⁾に示される基準校正の精度内で一致してい

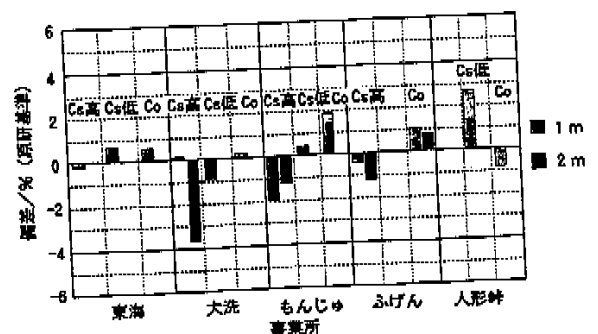


図6 ガラス線量計による相互比較結果(平成6年 ^{60}Co)

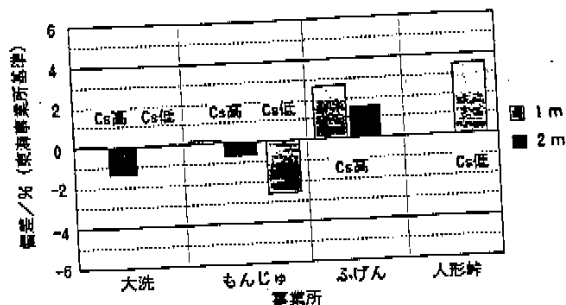


図7 ガラス線量計による相互比較結果 (平成7年¹³⁷Cs高線量率)

た。今回の結果からガラス線量計がこのような相互比較の目的にも使用できることおよび動燃事業団各事業所の基準校正場が適切に維持管理されていることが改めて確認できた^(6,7)。

7. ガラス線量計による相互比較の定期実施

以上の結果を踏まえて、定期的に相互比較を実施する目的で、平成6年に東海事業所計測機器校正施設にガラス線量計システムを整備した。

平成7年には整備したガラス線量計システム(東芝硝子(株)製; 線量計SC-1、リーダFGD-202)を使用して、東海事業所を基準として¹³⁷Cs線源に関して相互比較を行った。今回の結果も各事業所ともJISの基準校正の精度内で一致するものであった。結果を図7に示す。したがって、動燃事業団におけるγ線基準校正場における品質保証の手法の一つとしてガラス線量計による相互比較を定期的実施していく。また、この方法は原子力関係施設の類似の校正施設への適用も可能であると考え。

8. おわりに

これまでの試験の検討結果から各事業所ともγ

線校正場が精度よく維持されていることがわかった。換言すれば、電総研からの標準の移行が適切に行われており、すなわち、トレーサビリティ体系が適切に維持されていることが確認できた。また、各事業所校正場間の横断的な基準照射線量(率)の一致(コンパティビリティ)も同時に確認することができた。

今後とも動燃事業団のγ線基準校正場のトレーサビリティの確認および各校正場間の基準照射線量(率)の均一性の確認のためにガラス線量計による事業所間相互比較を定期的実施していく。一方でγ線基準校正場の品質保証に係わる研究の一端として、計量法に基づく認定事業者制度に参画することとし、東海事業所では電総研から計量法に基づく特定二次標準器の校正証明書を取得し校正および基準線量(率)の設定方法の標準化に努めている。

参考文献

- 1) 百瀬琢磨, 長谷川市郎, 他; "放射線管理用計測機器の保守・校正技術", 動燃技報, 81, p33, (1992).
- 2) 日本工業規格, "照射線量測定器および線量当量測定器の校正方法", JIS Z 4511 (1990).
- 3) 百瀬琢磨, 三上智, 他; "校正用γ線場の相互比較手法の検討", 日本保健物理学会第28回研究発表会要旨集, A-4, (1993).
- 4) 石川達也, 村上博幸, 他; "個人線量測定用ガラス線量計の基本特性", フィルムパッセージ, 200, p3, (1993).
- 5) 石川達也, 村上博幸, 他; "蛍光ガラス線量計の基本特性", JAERI-Tech, 94-034, (1994).
- 6) S.Mikami, T.Momose; "Quality assurance of reference calibration field-Proposal of Reference Dose Value Intercomparison using RPL glass Dosimeter-", PROCEEDINGS OF THE IAEA/RCA WORKSHOP ON CALIBRATION OF DOSIMETERS & SURVEY INSTRUMENTS FOR PHOTONS, November 28-December 2, 1994, Tokai, Japan, JAERI-Conf 95-014, (1995).
- 7) 三上智, 大岡清, 他; "ガラス線量計を用いた校正用γ線場の相互比較", 日本保健物理学会第30回研究発表会要旨集, A-1, (1995).