

グリッドイオンチャンバ式アルファ汚染モニタ
(LRAD) の性能試験報告
(技術報告)

2002年10月

核燃料サイクル開発機構
東海事業所

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松4番地49

核燃料サイクル開発機構

技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to :

Technical Cooperation Section,

Technology Management Division,

Japan Nuclear Cycle Development Institute

4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1184,

Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)

2002

グリッドイオンチャンバ式アルファ汚染モニタ（LRAD）の性能試験報告 （技術報告）

小林 博英^{*1}，海野 基義^{*2}，石川 久^{*1}，吉田 忠義^{*3}，江花 稔^{*4}

要旨

管理区域内の放射線管理において、管理区域内からの物品搬出に係る表面密度測定は管理区域外に汚染した物品を出さないようにするため重要な項目である。この管理における物品の測定は、線用サーベイメータによる直接法及びスミヤ法で実施している。しかし、この方法はパイプ状物品（配管類）の内側を測定することが困難であったり、形状が複雑で大きな物品等の測定を行う場合、測定に要する時間が多大になったりするという問題がある。

このような物品等の測定を可能にするため、小型物品搬出用アルファ線測定装置について性能試験を行った。試験の結果、線強度と測定値との直線性を確認することができた。また、線・n線の線量当量率と測定値の直線性も確認された。

今後は、低い放射能レベルの試料に対する性能試験と、比較的大きく複雑な形状の対象物を測定することを想定した位置依存性試験を行うことが必要である。

*1 放射線安全部 放射線管理第一課

*2 放射線安全部 放射線管理第二課

*3 放射線安全部 線量計測課

*4 原子力技術（株）

**Report on Long Range Alpha Detector (LRAD) Performance Tests
(Technical Document)**

**Hirohide Kobayashi^{*1} , Motoyoshi Unno^{*2} , Hisashi Ishikawa^{*1} , Tadayoshi Yoshida^{*3} ,
Minoru Ebana^{*4}**

Abstract

At present, alpha contamination measurement on objects is conducted with ZnS scintillation survey meter (direct method) and smear test (indirect method). But it is difficult to measure large and complicated objects by direct method.

Long Range Alpha Detector (LRAD) was produced as a solution for this problem. We carried out performance tests of this LRAD.

As a result of the performance tests, we confirmed the linear relation between the measurement values of LRAD and alpha-radioactivity on the surface of objects.

^{*1} Plutonium Radiation Control Section, Radiation Protection Division, Tokai Works, JNC

^{*2} Reprocessing Radiation Control Section, Radiation Protection Division, Tokai Works, JNC

^{*3} Radiation Dosimetry and Instrumentation Section,

Radiation Protection Division, Tokai Works, JNC

^{*4} Nuclear Technology and Engineering Corporation

目 次

1. はじめに	1
2. 装置の概要	2
2.1 測定原理	2
2.2 装置の構造	3
3. 性能試験	4
3.1 線・n線の照射による影響の確認試験	4
3.2 線源に対する感度試験	8
3.3 位置依存性試験	11
3.4 線源に対する感度試験	13
4. 今後の課題	16
5. おわりに	17
6. 参考文献	18

図目次

図-1	装置全体図	2
図-2	装置の構造	3
図-3	LRAD と照射装置との配置図	4
図-4	線量当量率と測定値との関係 (線)	6
図-5	線量当量率と測定値との関係 (n 線)	6
図-6	線の放射能強度と測定値との関係	9
図-7	面密度と測定効率の関係	10
図-8	位置依存性試験における線源の配置場所	11
図-9	線源の配置場所による測定値の変化	12
図-10	電子放出率と測定値との関係	14

表目次

表-1	照射線源及び線量当量率	5
表-2	線量当量率と測定値との関係	5
表-3	使用線源の使用 (U ₃ O ₈ 線源)	8
表-4	放射能強度と測定値との関係	9
表-5	面密度と測定値との関係	10
表-6	使用線源の仕様 (U ₃ O ₈ 線源)	11
表-7	線源の設置位置と測定値との関係	12
表-8	使用線源の仕様 (U ₃ O ₈ 線源)	13
表-9	電子放出率と測定値との関係	14

1. はじめに

管理区域内の放射線管理において、管理区域内からの物品搬出および管理区域内器材処分に係る表面密度測定は管理区域外に汚染した物品を出さないようにするため重要な項目である。現在、搬出物品の汚染検査は線用サーベイメータ及びスミヤ法によって実施しているが、形状が複雑で大きな物品の検査をサーベイメータで行うのは困難である。そこで、比較的小型の物品を測定することができるグリッドイオンチャンバ式アルファ汚染モニタ（「LRAD：Long Range Alpha Detector」、以下「LRAD」という）について性能試験を行った。

LRADは、米国で開発されEberline社が商品化した小型物品用の線測定装置である。すでに、国内にも販売実績があり、平成13年秋の原子力学会でも試験結果が報告されている。しかし、運用に際しては、以下のような事項を確認する必要があった。

- 線・n線が測定値に及ぼす影響
- 放射能強度と測定値との関係
- 汚染位置の違いによる検出効率の変化
- 線に対する感度

～ の確認を目的とした試験は平成8年7月に行われた。本報告書は、その際の課題も含め、今後改めて運用の可能性を確認する試験を行うために考察を加えて当時の試験結果をまとめたものである。

2．装置の概要

2．1 測定原理

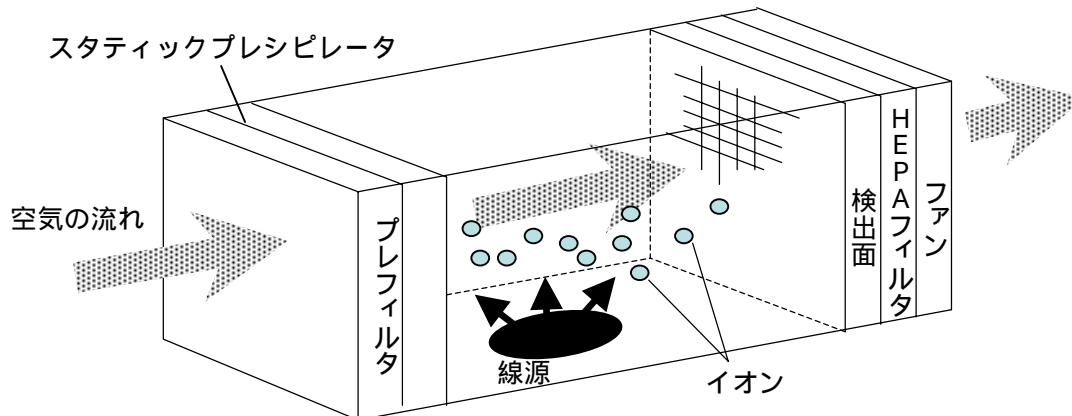
線放射能強度と、粒子が空気を電離した際に生成されるイオンの量とは比例する。LRAD（図-1）はこの性質を利用し、生成イオンをイオン電流として測定することによって物品の放射能強度を決定するものである。このため、従来からの線測定のように粒子の飛程による制約を受けずに済む。

しかし、線源から検出面までイオンが到達するのに時間がかかりすぎるとイオンは再結合を起こし、検出面で回収されるイオンが減少してしまう。その場合、測定値は実際の放射能強度よりも低い値を示すことになる。



図-1 装置全体図

2.2 装置の構造



外形寸法	高さ	58cm	測定室寸法	高さ	33cm
	幅	95.3cm		幅	56cm
	奥行	51.5cm		奥行	41cm
重量	82kg		運転温度	0 ~ 40	

図-2 装置の構造

(1) プレフィルタ

LRAD に空気を導入する際、空気中に含まれる塵埃及びそれに付随した Rn-Tn(ラドン・トロン)子孫核種を除去するために設置されている。

(2) スタティックプレシピレータ

導入した空気中に含まれるイオン(電離成分)は、測定の際に線により生成されたイオンと混じり、測定値に対して影響を与える。90V の電位差をかけることにより、これらのイオンを予め除去する。

(3) 検出面

測定チャンバ内のイオンを 90V の電位差をかけたグリッドにより回収し、その際に流れる微小電流を検出することにより、イオンの発生量が測定できる。

(4) HEPA フィルタ

測定対象が汚染していた場合には、測定チャンバ内を通過した空気も汚染している可能性がある。従って、汚染を測定器外に出さないために、HEPA フィルタを設置している。

(5) ファン

測定チャンバ内に空気を導入するために設置されている。

3 . 性能試験

3 . 1 線・n線の照射による影響の確認試験

LRAD に 線及び n 線を外部から照射し、計数值に与える影響を調べる試験を実施した。

(1) 試験方法

図-3 に示すように機器を設置する。

必要な線量当量率を得るための、線源と LRAD との距離を計算する。

算出された距離に LRAD を移動し、観察用 VTR を設置する。

BG 測定を行う。測定は数回行い、BG 値が安定したことを確認してから記録する。

一度電源を切り、再びチャンパ内の空気をスイープ（吐き出す）している間に、線源を照射する。

線源を照射した状態での測定を行う。測定は数回行い、値が安定したことを確認してから記録する。

～ を各線量当量率ごとに繰り返す。

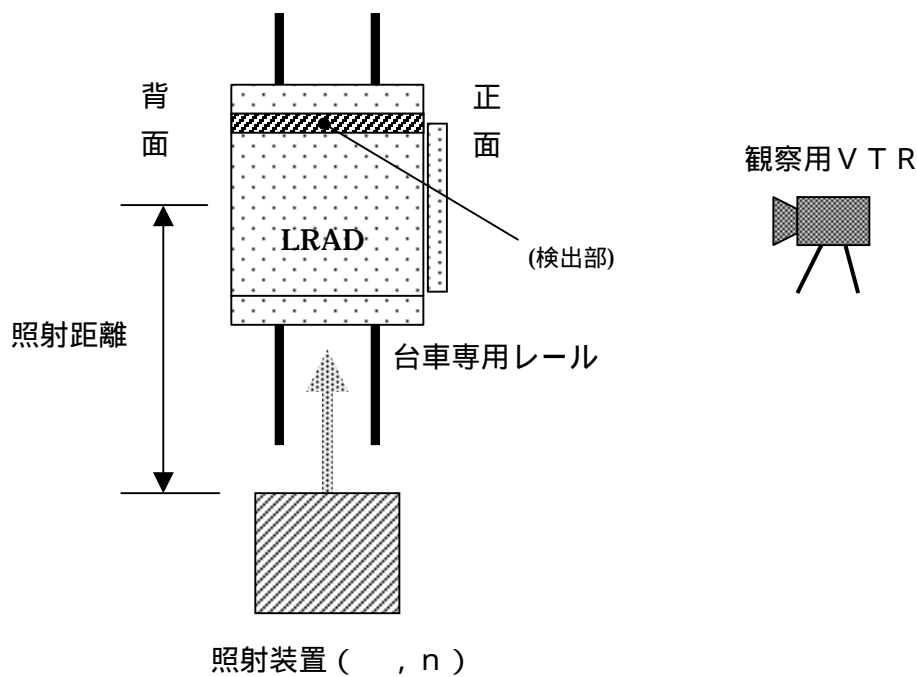


図-3 LRAD と照射装置との配置図

(2) 線源及び線量当量率

試験に使用した線源および照射した線量当量率を表-1 に示す。

表-1 線源及び照射した線量当量率

線源	照射線源	エネルギー	線量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)			
線	^{137}Cs	0.662MeV	4	5	6	7
	^{241}Am	0.0595MeV	7	8	9	10
n 線	$^{241}\text{Am-Be}$	————	10		25	

(3) 試験結果

上記の試験より得られたデータを表-2 に示す。

表-2 照射した線量当量率と測定値との関係

線源	線量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	距離 (cm)	測定値 (計数周波数 Hz)		照射時測定値 - 照射前測定値
			照射前 (BG)	照射時	
^{137}Cs	4	7.90	540	5363	4823 \pm 76.8
	5	7.06	522	6236	5714 \pm 82.2
	6	6.43	530	7503	6973 \pm 89.6
	7	5.97	547	8735	8188 \pm 96.3
^{241}Am	7	9.20	509	6139	5630 \pm 81.5
	8	8.60	500	7049	6549 \pm 86.9
	9	8.11	520	8021	7501 \pm 92.4
	10	7.69	515	9031	8516 \pm 97.7
$^{241}\text{Am-Be}$	10	1.58	493	2279	1786 \pm 52.6
	25	1.00	503	4707	4204 \pm 72.2

ここで、線および n 線が測定値に与えた影響だけを評価するため、照射時の測定値から照射前の測定値を差し引いた値と、線量当量率との関係を図-4, 5 に示す。

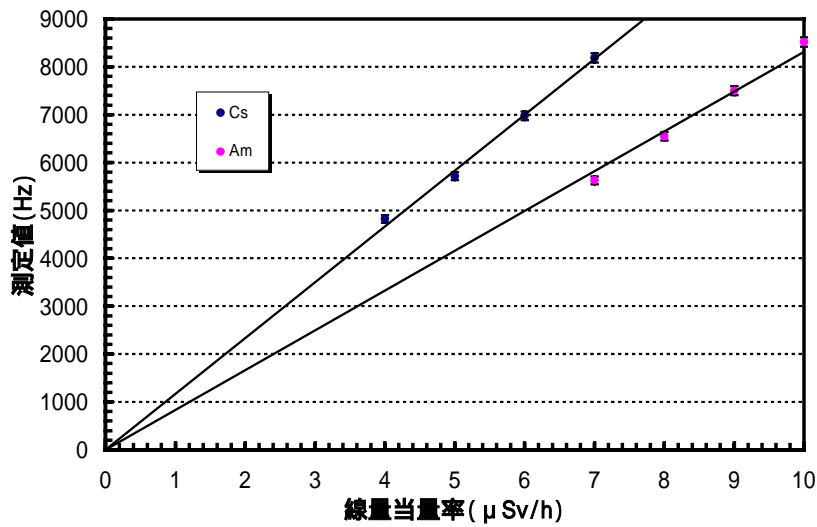


図-4 照射した線量当量率と測定値との関係 (γ 線)

図-4 では、各データに対して最小二乗法で直線を引いてある(ただし、照射線量がゼロの時は正味の測定値もゼロになると考えている)。この結果から、γ線については測定範囲内において、線量当量率と測定値との関係に良好な直線性が成立していることが分かる。

また、¹³⁷Csの方が²⁴¹Amよりも線エネルギーが大きいいため、照射による影響の増大の程度も大きい。¹³⁷Csと²⁴¹Amの直線の勾配が異なるのは、これに起因する。

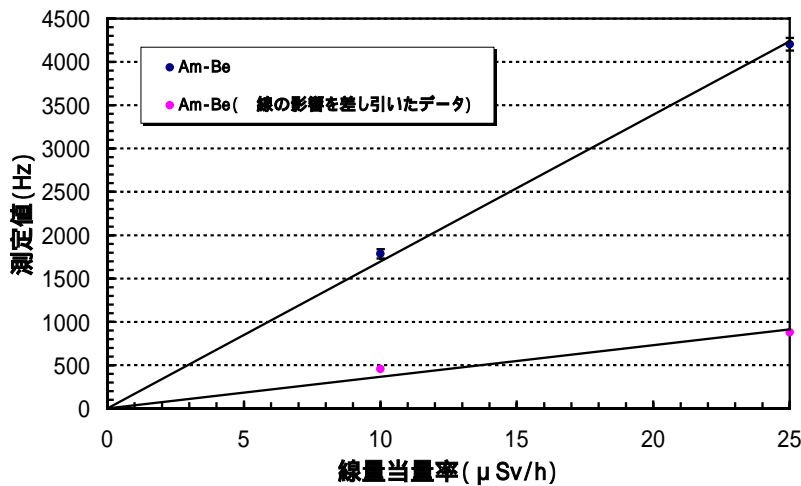


図-5 線量当量率と測定値との関係 (n線)

中性子線源として用いた²⁴¹Am-Be線源はn線の他に²⁴¹Amからのγ線も放出している。しかし、²⁴¹Am-Be線源の場合、「γ線量はn線量の約16%」という報告がある(JNC東海エンジニアリングシート14-線計-校-022)。この報告と、図-4の²⁴¹Amに関するグラフから

線の影響分を差し引いたデータが得られる。得られたデータは図-5 にプロットした。また、図-4 と同様にして、各データに対する直線を引いた。

図-5 より、n 線についても線量当量率と測定値との関係に良好な直線性が成立していることが分かる。なお、n 線のみの影響を見ると、線よりも測定値に与える影響は少ない。

(4) 測定上での影響

LRAD がある基準以上の汚染を発見するために必要な測定時間は、BG 値の大きさ及びユーザーが定める測定値の許容誤差によって決まる。このとき、BG 値の上昇は測定時間の増加をもたらすため、測定時間を実際の使用で許される時間内に収めようとするとき、BG 値をある程度以下に抑えることが重要となる。

3.2 線源に対する感度試験

線板状線源を測定することにより、放射能強度と測定値との直線性や、面密度と測定効率との関係について評価する試験を実施した。

(1) 試験方法

LRAD の電源を入れ、BG を測定する。測定は数回行い、BG 値が安定したことを確認してから記録する。

一度電源を切り、チャンバ内中央に線源を置き、再び電源を入れる。

線源の測定を行う。測定は数回行い、値が安定したことを確認してから記録する。

線源を取り出す。

～ の測定を、表-3 に示す各線源について行う。

(2) 使用線源及び放射能強度

試験で使用する線源の放射能強度、有効放射面積及び放射能面密度を表-3 に示す。

表-3 使用線源の使用 (U₃O₈線源)

使用線源	放射能強度 [Bq]	有効放射面積[cm ²]	面密度 [Bq/cm ²]
協-1407	63.0	5.07	12.4
協-806A , B	236	324	0.728
協-1404	242	19.6	12.3
協-1402	366	150	2.44
協-1401	443	135	3.28
協-1403	1090	100	10.9

(3) 試験結果

上記の試験結果より得られたデータを表-4 に示す。また、線が測定値に与えた影響を評価するため、線源挿入後の測定値から線源挿入前の測定値を差し引いた値と、放射能強度との関係を示したものを図-6 (次ページ) に示す。

表-4 放射能強度と測定値との関係

放射能強度 [Bq]	測定値(計数周波数 Hz)		照射時測定値 - 照射前測定値
	照射前 (BG)	照射時	
63	232	512	284 ± 27.3
236	219	1084	865 ± 36.1
242	227	1024	794 ± 35.4
* 305	229	1327	1098 ± 39.4
366	224	1518	1294 ± 41.7
443	222	1707	1485 ± 43.9
* 608	225	2541	2316 ± 52.6
* 809	218	3206	2988 ± 58.5
1090	222	3299	3077 ± 59.3
* 1326	218	4470	4252 ± 68.5
* 1533	221	4864	4643 ± 71.3

* : 2 つ線源を使って測定した。

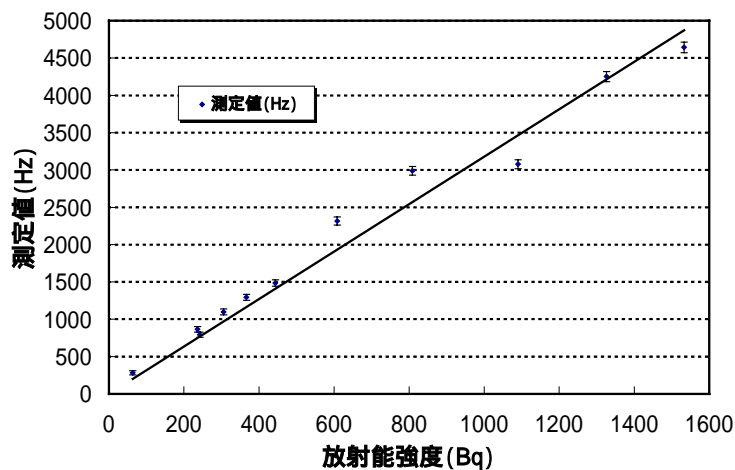


図-6 線の放射能強度と測定値との関係

さらに、線源の面密度と測定値の関係を表-5 に示す。図-7 (次ページ) は面密度と測定効率との関係を示したものである。ここで、面密度は放射能強度 / 有効放射面積である。また、測定効率は(測定された放射能強度 / 線源の放射能強度)で求めた。計数周波数から放射能強度への換算係数は装置の線源校正時に表示される。今回は 0.28 [Bq/Hz] である。

表-5 面密度と測定値との関係

面密度 [Bq/cm ²]	放射能強度 [Bq]	照射時測定値 - 照射前測定値 [Hz]	測定効率
0.728	236	865	1.03
2.44	366	1294	0.990
* 2.84	809	2988	1.03
* 3.13	1326	4252	0.898
3.28	443	1485	0.939
* 3.78	608	2316	1.07
* 6.52	1533	4643	0.848
10.9	1090	3077	0.790
* 12.2	305	1098	1.01
12.3	242	794	0.919
12.4	63	284	1.26

* : 2 つ線源を使って測定した。

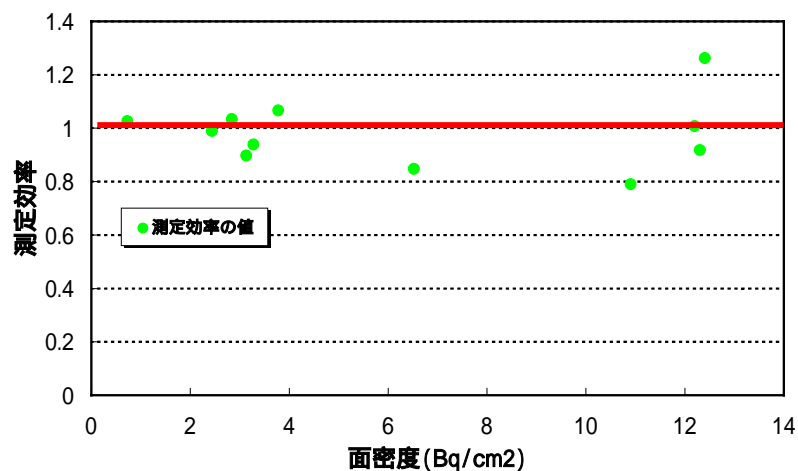


図-7 面密度と測定効率との関係

図-6 では、測定値のデータに対して最小二乗法を行った。この結果から 線強度と測定値との関係に直線性があることが分かる。誤差は最大で 12.8%であった。

一方、図-7 では、面密度と測定効率の間にはっきりとした相関は表れていない。ほとんどのデータが 0.8 ~ 1.1 の間にランダムに存在する。これより、面密度は測定効率に大きな影響を与えるファクターではないことが分かる。

3.3 位置依存性試験

LRAD の測定チャンバ内で、線源を置く位置によって、どのように測定値が変化するかを評価する試験を実施した。

(1) 試験方法

LRAD の電源を入れ、BG を測定する。測定は数回行い、BG 値が安定したことを確認してから記録する。

一度電源を切り、図-8 に示す位置に 線源を置き、再び電源を入れる。

線源の測定を行う。測定は数回行い、値が安定したことを確認してから記録する。

線源を取り出す。

図-8 に示す各線源位置毎に、 ~ の測定を繰り返す。

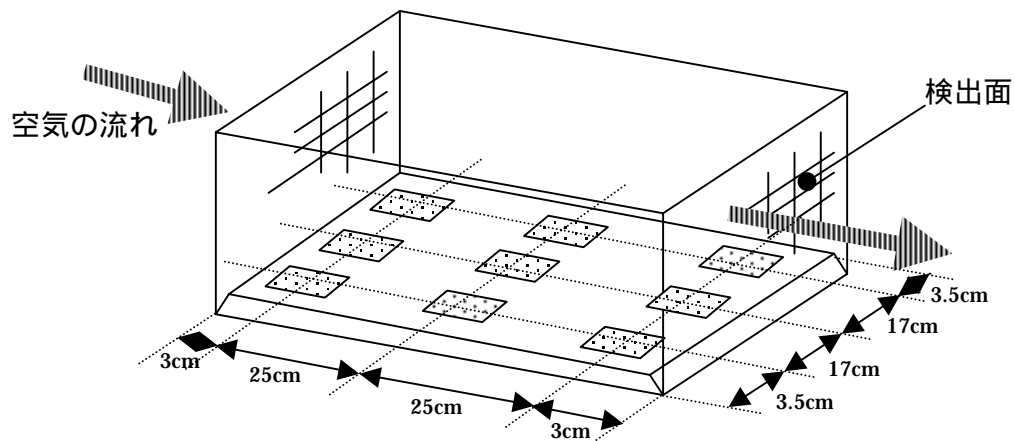


図-8 位置依存性試験における線源の配置場所

(2) 使用線源及び放射能強度

試験で使用する 線源の放射能強度、有効面積及び放射能面密度を表-6 に示す。

表-6 使用線源の仕様 (U₃O₈ 線源)

使用線源	放射能強度 [Bq]	有効放射面積 [cm ²]	面密度 [Bq/cm ²]
協-1403	1090	100	10.9

(3) 試験結果

上記の試験より得られたデータを表-7 に示す。

表-7 線源の設置位置と測定値との関係

設置位置	測定値 (計数周波数 Hz)		挿入後の値 - 挿入前の値
	線源挿入前(BG)	線源挿入後	
位置-	474	3592	3118 ± 63.7
位置-	479	3838	3359 ± 65.7
位置-	474	4853	4379 ± 73.0
位置-	473	3342	2869 ± 61.8
位置-	489	3754	3265 ± 65.1
位置-	470	4251	3781 ± 68.7
位置-	474	3510	3036 ± 63.1
位置-	490	3733	3243 ± 65.0
位置-	474	4393	3919 ± 69.8

ここで、測定チャンバ内の位置による測定値の変化を図-9 に示す。

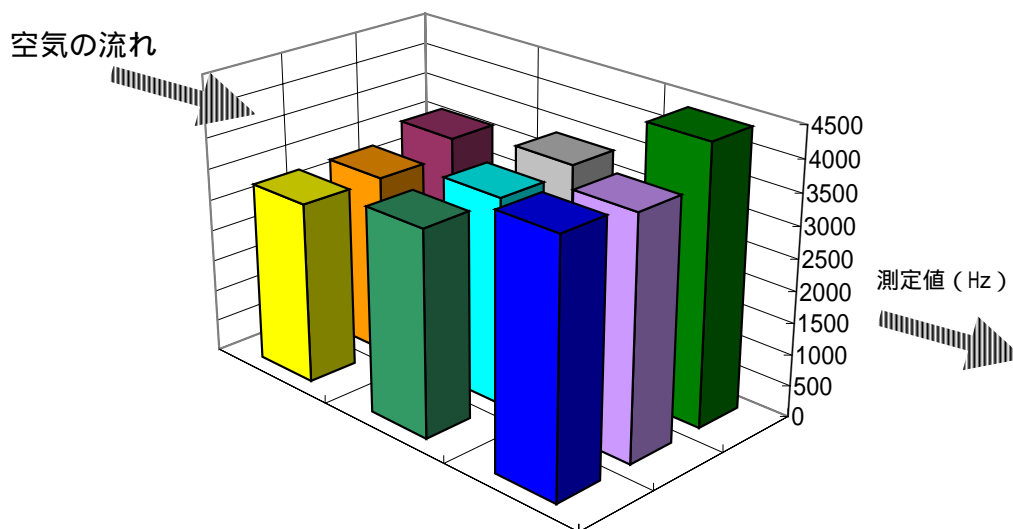


図-9 線源の配置場所による測定値の変化

図-9 によると、吸気側よりも排気側の方の感度がよく、また中心部より壁面付近の方が感度が良いことが分かる。理由としては、排気側の方が検出面に近く、イオンが再結合を起こす前に検出面まで到達する可能性が高くなるためと考えられる。

3.4 線源に対する感度試験

LRAD が 線に対してどの位の感度を持っているかを評価する試験を行った。

(1) 試験方法

装置の電源を入れ、BG を測定する。測定は数回行い、BG 値が安定したことを確認してから記録する。

一度電源を切り、チャンバ内中央に 線源 (U₃O₈ 線源をアルミニウム板で覆ったもの) を置き再び電源を入れる。

線源を測定する。測定は数回行い、値が安定したことを確認してから記録する。

線源を取り出す。

～ の測定を、表-8 に示す各線源毎に行う。

(2) 使用線源及び放射能強度

試験で使用する 線源には、3.2 の試験で使用した 線源をアルミニウム板で覆ったものを使用した。

これらの線源の 線・転換電子放出率を表-8 に示す。

表-8 使用線源の使用 (U₃O₈ 線源)

使用線源	電子放出率 [cpm]	有効放射面積 [cm ²]
協-1407	1010	5.07
協-806A, B	3500	324
協-1404	3690	19.6
協-1402	5460	150
協-1401	6610	135
協-1403	16600	100

(3) 試験結果

上記の試験より得られたデータを表-9 に示す。

表-9 電子放出率と測定値との関係

電子放出率 [cpm]	測定値 (計数周波数 Hz)		挿入後測定値 - 挿入前測定 値
	線源挿入前(BG)	線源挿入後	
1010	427	423	- 4 ± 29
3500	463	498	35 ± 31
3690	467	502	35 ± 31
5460	468	513	45 ± 31
6610	452	531	79 ± 31
* 9150	468	552	84 ± 32
* 12100	466	584	118 ± 32
16600	422	593	171 ± 32
* 23200	471	697	226 ± 34

*印は2つの線源を使って測定した

ここで、線が測定値に与えた影響を評価するため、線源挿入後の測定値から線源挿入前の測定値を差し引いた値と、電子放出率との関係を表したものを図-10 に示す。

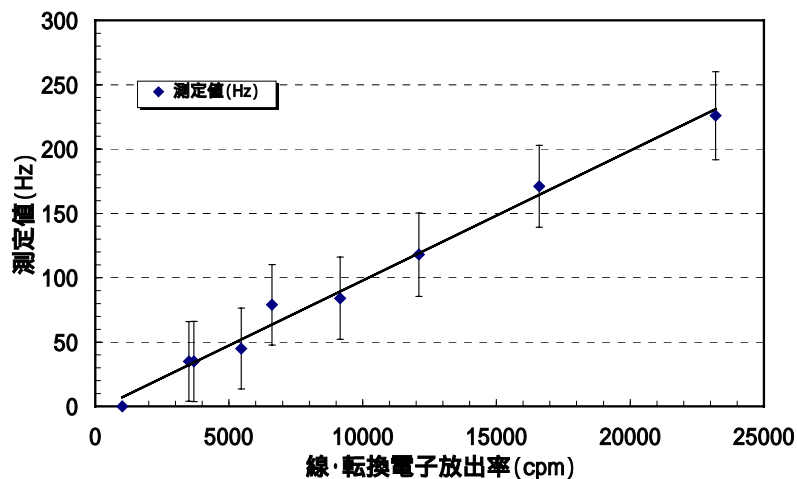


図-10 電子放出率と測定値との関係

表-9 から分かるように、線に対し若干の感度があることが分かる。しかし、同じ線源で測定したときに着目してみると、線の場合と比較して約 1/20 程度である。なお、電子放出率 1010cpm の時だけ線源挿入後の測定値が挿入前に比べて低くなっているが、これは、このレベルの放射能に対して LRAD の感度がないからであると考えられる。- 4Hz という差は、BG の変動のみに起因するものである。よって、図-10 では、電子放出率 1010cpm

における測定値をゼロとしてプロットした。

また、図-10 は、電子放出率と測定値のデータの関係を最小二乗法により示している。その結果から電子放出率と測定値との関係に直線性があることが分かる。

4 . 今後の課題

これまでに実施した各試験の結果を基に , 今後 LARD の試験を実施するうえでの課題について示す。

(1) 線源に対する感度試験における今後の課題

本試験で使用した 線源は最低で 63.0Bq であるが , 実際に使用する際にはもっと低い放射能強度 (数 Bq) のものを測定する場合がある。よって , 数 Bq ~ 数十 Bq の範囲も含めてもう一度直線性を評価しなくてはならない。

(2) 位置依存性試験における今後の課題

今回の試験では線源を測定支持台の上に置いて位置依存性を試験したが , この装置では形状が複雑な物品を対象とした測定も行う。よって , 足場材に使う金属パイプなど管理区域でよく使用される物品を用い , 線源を様々な位置に設置したうえで位置依存性試験を行う必要がある。

(3) バックグラウンドの測定値への影響

LRAD 装置にも , 他の放射能測定装置と同じくバックグラウンド計数が存在する。このバックグラウンドの変動が , 測定値に与える影響を調査する必要がある。その結果から , 管理基準を担保するための測定条件を確認しなければならない。

(4) 対策の検討

上記課題に対する調査 , 試験等の結果を踏まえて必要な対策を検討するとともに , その対策方法を検証し , 東海事業所の管理基準等を考慮して運用の可能性を確認する必要がある。

5. おわりに

今回行った性能試験についてまとめると、以下ようになる。

(1) 線および中性子線の照射による影響試験

線および中性子線影響試験では、共に測定値に影響を与えることが確認された。また、および中性子線量当量率と測定値の間には直線性が認められた。

(2) 線源に対する感度試験

線感度試験では、線強度と測定値との間に直線性があることが確認できた。今後はさらに低い放射能レベルでの確認が必要である。

(3) 線源の位置依存性試験

位置依存性試験では、吸気側よりも排気側に感度が高いことが確認できた。なお、実際の測定は立体物であるため、今後は線源を様々な位置に設置して試験を行うことが必要である。

(4) 線源に対する感度試験

線については、線に比べて感度が低い(1/20程度)ものの、電子放出率と測定値の間に直線性があることを確認した。ただし、電子放出率1100cpmの線源では有意な測定値が示されなかったため、少なくともこれ以下の放射能に対しては感度がないものと考えられる。

今後は、前記「4.今後の課題」に示した課題に取り組むとともに、持ち出し基準を満足できる測定条件の確認等、運用の可能性を調べるための各種試験を実施する予定である。

6 . 参考文献

片山 敬朗：“新しいアルファ線測定器についてグリッドイオンチャンバ式アルファ物品汚染モニタ”，Isotope News , No474 , pp12 ~ 14 (1993)

片山 敬朗：“LRAD 技術による 線の測定技術に関して”，デコミッションング技報 , No12 , pp59 ~ 67 (1995)

鈴木 正啓：“話題の LRAD 技術について”，RANDEC ニュース , No24 , pp6 ~ 7 (1995)