

資料

連続モニタを活用した積算線量測定

中 俣 宏二郎 今 村 和 彦 上 原 満
出 雲 信 明

1 はじめに

原子力発電所で事故が発生し、放射性物質が周辺環境に大量に放出されるような緊急時には、放射線による影響を迅速に把握するため、通常と異なる特別に計画された緊急時環境放射線モニタリングを実施することとしている。人体の外部被ばくの評価に必要な積算線量の測定はその重要なモニタリング項目の一つであるが、専用の線量計を多くの地点に配置するため線量計の準備と配布・回収に時間を要し、また、読取・校正操作を経なければならず、迅速な対応がとれないのが現状である。

本県では、積算線量測定について、平常時モニタリングに使用している蛍光ガラス線量計に加え、緊急時環境放射線モニタリング指針¹⁾の改訂に伴い追加された直読式の電子式積算線量計を併用することにより、測定の迅速化を図ってきた。

本報では、川内原子力発電所(以下、「発電所」という。)周辺地域に設置している空間放射線測定局の連続モニタの線量率データを用い、リアルタイムで積算線量を推定する手法を調査検討したので、その結果を報告する。

2 調査方法

2.1 調査期間と調査場所

発電所周辺地域に配置した空間放射線測定局の連続モニタと積算線量計の整備状況を表1に示す。検出器の種類、メーカーがそれぞれ異なり、これに伴う測定装置の特性の違いを考慮する必要があるため、調査期間を2002年からの3か年とした。実際の調査期間と調査場所を表2に示す。

2.2 調査方法

調査は電子式積算線量計(以下、「EFD」という。)を基準線量計とする並行測定であり、固定局の連続モニタでは検出器周辺の線量率の違い²⁾に考慮して2個のEFDを検出器を挟むように、測定の実効中心位置を合わせ

表1 連続モニタと積算線量計の整備状況

測定項目	区分	検出器の種類	メーカー・型式	数量
線量率 (連続測定)	固定局 (A)	NaI(Tl)シンチレーション検出器(3インチ円柱形)	三菱電機㈱ MAENGXB	7局
	固定局 (B)	球形加圧電離箱(AI製,Arガス14L,6気圧)	三菱電機㈱ MAENGXA	7局
	固定局 (C)	球形加圧電離箱(AI製,Arを含むN ₂ ガス14L,8気圧)	富士電機㈱ NCE207J1-0	15局
	臨時局 (D)	NaI(Tl)シンチレーション検出器(2インチ円柱形)+半導体検出器	アロカ㈱ MAR-561	14台
積算線量	通常監視用(E)	蛍光ガラス線量計(2004.4運用開始)	旭テクノガラス㈱ SC-1	25地点
	通常監視用(F)	熱ルミネセンス線量計(2004.3運用終了)	松下電器産業㈱ UD-200S	25地点
	緊急時用(G)	電子式積算線量計(シリコン半導体検出器)	アロカ㈱ FDM-101	30個

表2 調査期間と調査場所

	調査期間	調査場所
(A),(B)	2002.10 ~ 2003.12	屋上設置:寄田局,高江局 地上設置:監視センター局
(C)	2003.12 ~ 2004.12	地上設置:河口大橋局,船間島局,湯島局
(D)	2004.7 ~ 2005.6	地上設置:寄田局,高江局 屋上設置:川内環境監視センター
(F)	2003.12 ~ 2005.3	地上設置:寄田局,高江局,監視センター局

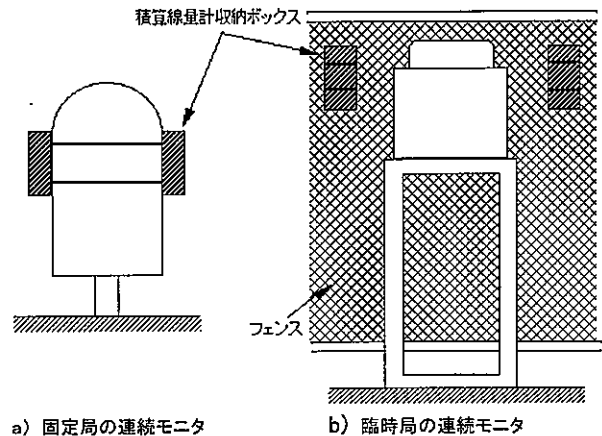


図1 電子式積算線量計の並行測定の方法

て固定した。また、臨時局の連続モニタ及び通常監視用の積算線量計では近接するフェンス等に測定高さを合わせて固定した(図1参照)。設置に当たっては、湿度、虫

1 鹿児島県環境生活部環境管理課 〒890-8577 鹿児島市鴨池新町10番1号

対策としてEFDを気密性のある収納ケースに入れ、さらに、風雨、温度対策としてそのケースをひさしと通気孔のある収納ボックスに入れた。

EFDは単3形リチウム電池使用時に300時間以上の連続使用（メーカー仕様）ができるが、環境測定時には長期測定が必要となるため、電池ボックスを外付け改造し、塩化チオニールリチウム電池（タディランバッテリー社、TL-2300）を使用して、3か月以上の連続測定を可能にした（図2参照）。

EFDはRa-226 (3.7MBq) の線源照射により平均値±3%以内にある線量計を選び使用するとともに、その読取値は試験終了後、Cs-137 (3.7MBq) の線源照射により感度補正を行った。EFDの校正定数は 0.801 ± 0.0143 (18本平均) であった。

3 調査結果及び考察

3.1 積算線量計間の並行測定結果

並行測定を行った積算線量計は2003年度まで通常監視に使用され実績のある熱ルミネセンス線量計（以下、「TLD」という。）とし、その測定結果は環境保健センターから提供を受けた。EFDの測定値は2個の平均をとり、TLDと比較できるように91日間で規格化した。その結果を図3に示す。

EFD/TLDは3地点とも平均値が0.96~1.06と±10%以内の差でよく一致しており、EFDが環境場で積算線量測定に利用でき、その測定値はTLDの測定結果と同様に評価できることを示していた。なお、田島ら⁹⁾が報告したTLDのフェーディングによると考えられる夏場に最小、冬場に最大となる季節変動は調査期間中みられなかった。

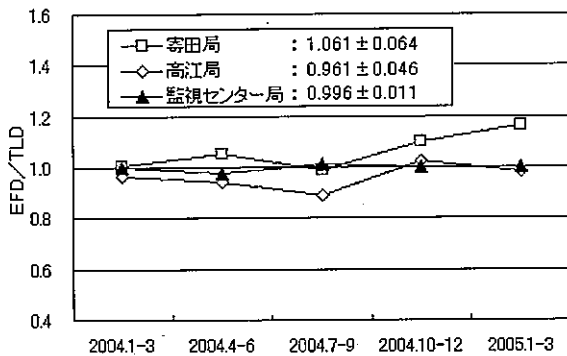


図3 TLDとEFDの並行測定結果

3.2 連続モニタとEFDの並行測定結果

3.2.1 連続モニタとEFDの相関

EFDは基本的に3か月間連続して測定し、この間、約2週間間隔で積算線量を読み取った。

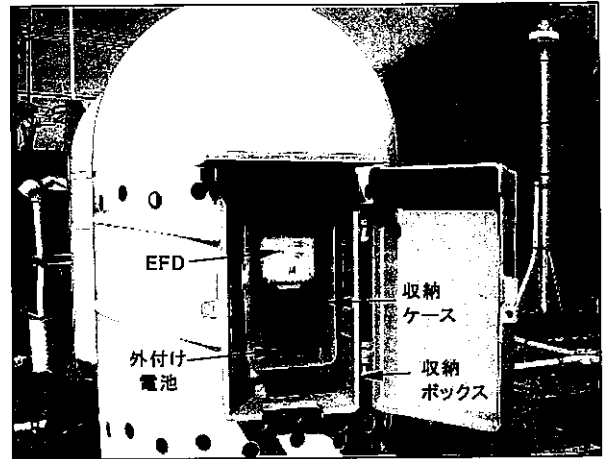


図2 EFDの測定状況

固定局の連続モニタでは、テレメータシステムで2分毎にデータ収集を行い時間値として計算処理するため、EFDの測定期間に合わせて時間値を積算した。なお、読取時刻は正時ではないため、境界値は前後の時間値から案分計算を行った。また、線源照射以外の欠測データは短時間であればその前後の時間値から推定したが、台風による長時間停電の場合、以後の期間データは欠測とした。臨時局の連続モニタでは、内蔵メモリに10分間隔で積算値を格納させ、定期的にデータ回収を行い、10分値から時間値を作成し、期間の積算線量を算出した。並行測定の結果を図4に示す。ここでも、EFDの測定値は2個の平均値とした。

原点を固定した直線での相関係数はほぼ1であり、連続モニタとEFDとの間に良好な相関が認められた。これは環境中の入射γ線のエネルギー分布が大きく変動しないことによると考えられる。電離箱の連続モニタ（以下、「電離箱モニタ」という。）とNaI(Tl)シンチレーション検出器の連続モニタ（以下、「NaIモニタ」という。）間でEFDとの比が異なるのは、NaIモニタが50keV以下と3MeV以上の測定エネルギーをカットしているためである。(A)と(D)のNaIモニタはいずれもその比が0.6~0.7であり、メーカーやシンチレータの大きさ、設置場所によらず同程度であった。一方、電離箱モニタでは屋上設置の(B)の2局がEFD比で1.1~1.2であるのに対し、地上設置の(B)の1局及び(C)の3局は1.3~1.5であった。

3.2.2 連続モニタとEFDの比の時系列変化

EFDの読取間隔毎の増加量と同一期間の連続モニタ(B),(D)の積算値との比を、読取間隔の中央の日付でプロットしたものを図5に示す。ここでは、EFDの特性確認のため、2個のEFDそれぞれの計算値で表示し

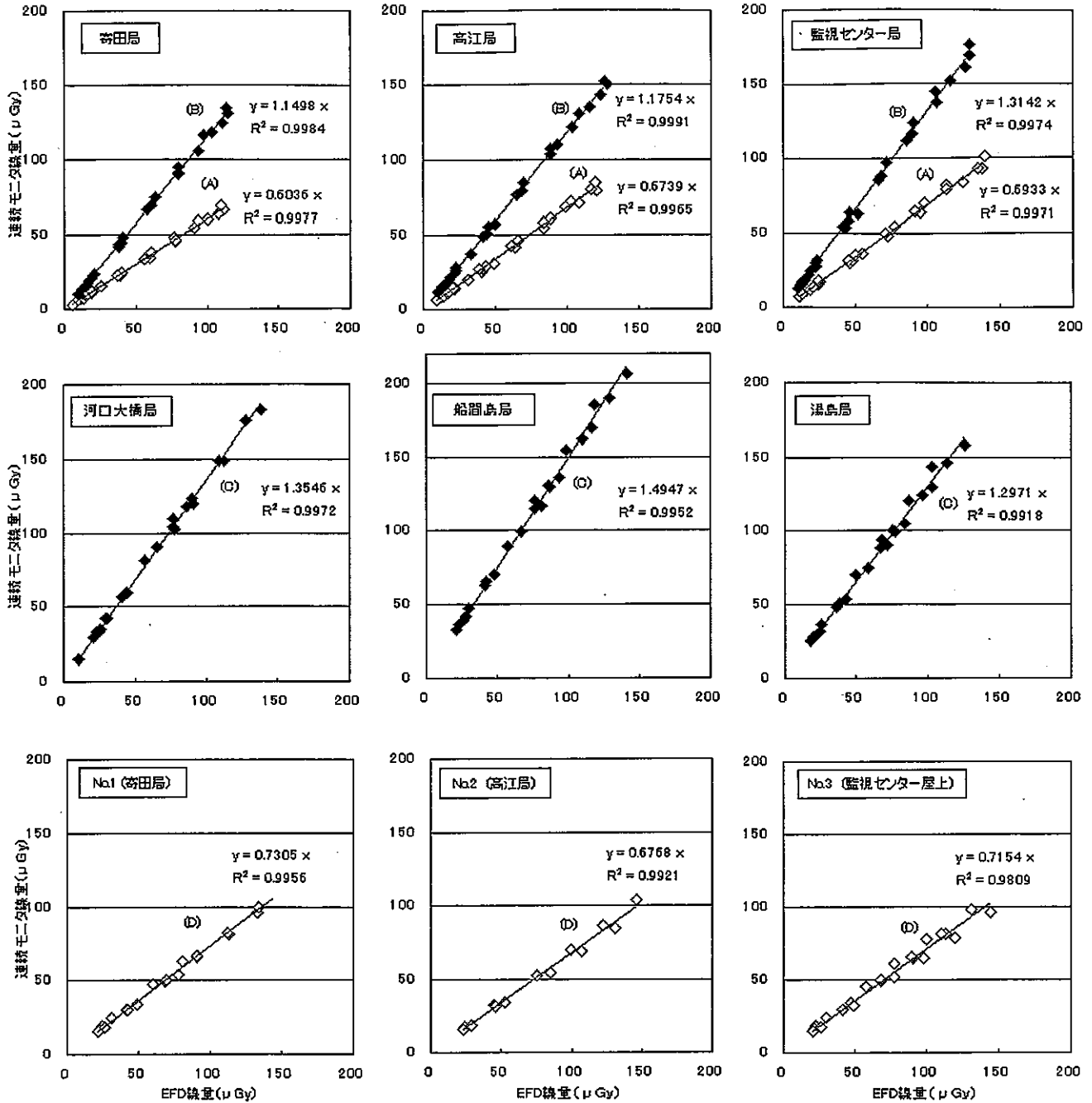


図4 連続モニタとEFDの相関

た。

(B)の監視センター局では、2個のEFDの線量指示に差があり、図4の連続モニタ/EFDはEFDの個体差の影響を受けたことがわかる。また、連続モニタ/EFDの比は検出器に関係なく、夏に最大、冬に最小となる季節変動を示した。なお、(A)、(C)の連続モニタでも同様な季節変動が認められた。

3.3 測定機器の特性試験

3.3.1 温度特性

EFDの温度特性についてメーカーでは40℃でのレスポンス (BGレベル, 20℃基準) として+1.5%程度としているが、確認のため、図6に示す簡易な測定系で試験を行った。恒温槽の中で約24時間、線源照射をし積算線量を測定した。BG補正後の結果を表3に示す。EFDは温度が高いと積算線量が低下し、36℃では-7%程度の差 (20℃基準) が生じた。5℃と36℃の比較ではその差は10%程度に拡大した。実際の設置環境では温度条件がさらに厳しいことから、3.2.2の季節変動の主要因はEFDの温度特性ではないかと考えられた。なお、

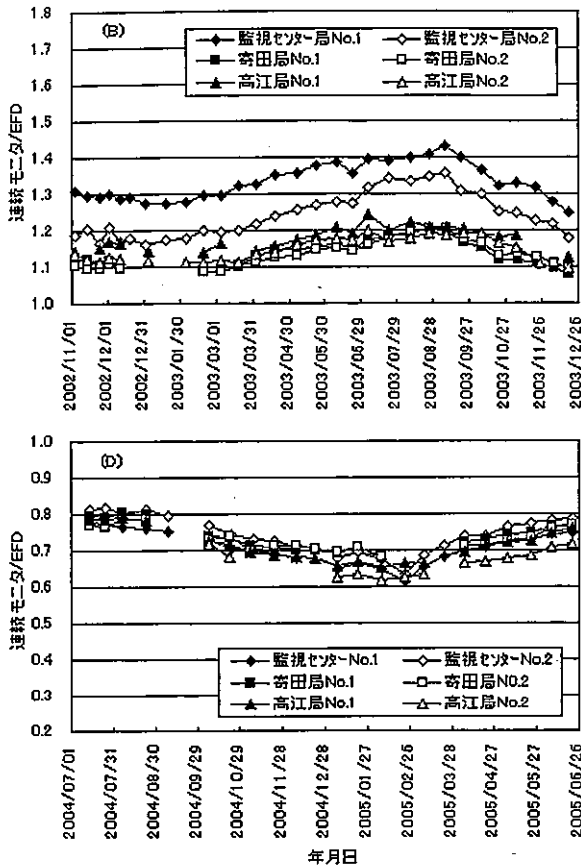


図5 連続モニタとEFDの比の時系列変化

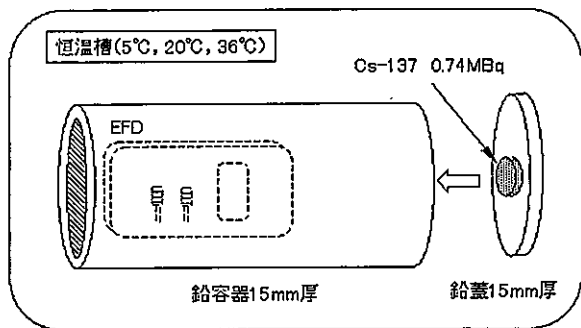


図6 EFDの温度特性試験方法

NaIモニタの(D)は可搬型モニタリングポストとして任意地点に設置するタイプであり、固定局と異なり、温度管理していないことから、実際の検出部温度(-7℃~+48℃)による検出器の温度特性が影響している可能性がある。

表3 EFDの温度特性試験結果

温度	照射量[24h換算](μ Gy)	感度比[20℃基準]
20	122.8 \pm 3.8	—
5	126.3 \pm 3.3	1.029 \pm 0.042
36	114.6 \pm 1.6	0.933 \pm 0.032

3. 3. 2 エネルギー特性

3. 2. 1において検出器の種類やメーカーの違いによりEFDとの相関が異なることを確認するため、線源

照射によりエネルギー特性を調査した。使用した線源はAm-241, Co-57, Cs-137, Mn-54, Na-22の5核種で線源強度は約0.4MBqであった。照射距離は照射強度による数え落としがないことを確認した上で、固定局では検出器保護カバーの頂点部に直付けした。この位置で検出器の実効中心位置からの線源距離が220~225mmに相当するため、NaIモニタの(D)及びEFDへの照射は照射距離を220mmにしてジオメトリーを同じにした。線源強度から計算した線量率を理論値として測定値との比を計算し、Cs-137の662keVで規格化した後、EFDに対する連続モニタのエネルギー特性を算出した。結果を図7に示す。

比較的エネルギーの高い領域では(A)~(D)の連続モニタともEFDと同程度のエネルギー特性を示したが、Co-57の122keVではNaIモニタとの差があり、Am-241の60keVではNaIモニタ、電離箱モニタとも大きくその比はプラス側にずれており、EFDとは特性が異なることがわかる。122keVではNaIモニタのエネルギー特性がプラス側にずれていることに起因するが、60keVの特性不一致はEFDの低エネルギー側でのエネルギー特性がマイナス側にずれ込んでいることが主要因となっている。

連続モニタとEFDの比の違いは、測定器のエネルギー特性と測定環境の入射 γ 線のエネルギー分布の違いによると考えられるが、定量的な解析については高線量率での線源照射または、X線照射による正確な試験が必要であり、当センターにはそのような照射設備がないことから確認できなかった。

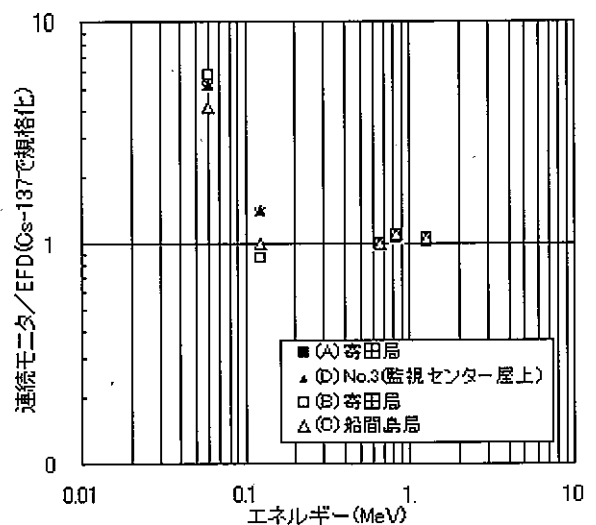


図7 連続モニタとEFDのエネルギー特性の比較

3. 4 連続モニタによる積算線量測定

本調査の目的は、連続モニタの線量率の積算値をEFD

Dで測定された積算線量と比較するための換算係数等を求めることにある。積算線量計は多くの地点情報を同時に同一仕様で測定、評価するための簡易計測器であり、安定した環境γ線のエネルギー分布のもとでは連続モニタとの相関は良好であり、連続モニタの線量率から積算線量計による積算線量を容易に推定することができた。しかし、積算線量計の温度特性やエネルギー特性は連続モニタとは異なり、設置条件や使用環境に大きく影響を受けるだけではなく、発電所から放射性物質が放出された場合のγ線のエネルギー分布を考慮するとその相関性が同じになるとは言い難い。言い換えると、エネルギー特性の良好な連続モニタを使用条件に合わせて管理運用をすれば、その積算値はそのまま積算線量として評価できるはずであり、より真値に近いデータが得られると考えられる。

図8に3. 3. 2で得られた連続モニタのエネルギー特性 (Cs-137の662keVで規格化) を示す。図7との違いはEFDのエネルギー特性で除していないことである。電離箱モニタの方がNaIモニタより広いエネルギー領域でエネルギー特性が良好であることがわかる。また、電離箱モニタはNaIモニタより線量率依存性に優れ高線量率域まで測定可能であることなどから積算線量の計算に適しているといえる。

表4に最近の電離箱モニタの照射試験結果を示す。鉛直方向からのCs-137 (3.7MBq) の線源照射に対する感度比として±10%以内で管理しているが、安定した結果を得ている。したがって、この感度比を校正定数としBG線量率を差し引いた正味線量率の積算値に乗じて補正することでそのまま積算線量として評価することが可能となる。

4 まとめ

連続モニタの線量率を積算し積算線量として評価する手法として、今回、EFDを基準とする連続モニタとの並行測定を実施した。その結果、以下の知見が得られた。

- 1) TLDとEFDの並行測定の結果では、EFDが環境場での積算線量測定に利用でき、その測定値はTLDの測定結果と同様に評価できることを示した。
- 2) 連続モニタとEFDの並行測定の結果、連続モニタとEFDの間には良好な相関が認められ、連続モニタ/EFDの比はNaIモニタでは0.6~0.7、電離箱モニタでは屋上設置が1.1~1.2、地上設置が1.3~1.5であった。
- 3) 連続モニタ/EFDの比はEFD自体の個体差の影響を受けた。また、その比は夏に最大、冬に最小とな

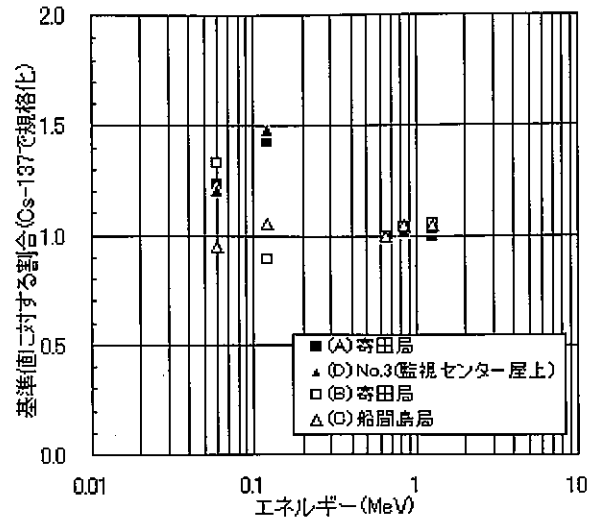


図8 連続モニタのエネルギー特性

表4 電離箱モニタの照射試験結果 (2002~2004年度)

測定局	感度比	測定局	感度比
港局	1.000 ± 0.023	船間島局	0.989 ± 0.032
久見崎局	0.996 ± 0.021	湯島局	0.993 ± 0.016
小平局	0.967 ± 0.022	河口大橋局	0.967 ± 0.020
上野局	1.022 ± 0.014	山神田局	0.971 ± 0.020
寄田局	0.975 ± 0.023	毎床局	0.989 ± 0.016
高江局	1.018 ± 0.020	寄田小局	0.984 ± 0.016
監視センター局	0.928 ± 0.027	土川局	0.978 ± 0.013
唐山局	0.996 ± 0.011	下山局	0.993 ± 0.033
網津局	0.978 ± 0.027	羽島局	1.017 ± 0.020
水引小局	0.990 ± 0.027	大川中局	0.969 ± 0.031
港体育館局	1.026 ± 0.040	里局	0.992 ± 0.026

る季節変動を示したが、これはEFDの温度特性と考えられた。

- 4) エネルギー特性の比較では、122keVでのNaIモニタのずれや、60keVでのEFDのずれに起因して、EFDと連続モニタのエネルギー特性の比が低エネルギー側で大きく異なった。
- 5) 電離箱モニタはエネルギー特性や線量率依存性においてNaIモニタより積算線量の計算に適していると考えられ、通常管理の感度比を校正定数とすることにより信頼性の高い積算線量値が得られる。

参考文献

- 1) 原子力安全委員会；緊急時環境放射線モニタリング指針 (昭和59年6月)
- 2) 野田俊一，東小菌卓志，他；NaI (Tl) シンチレーション検出器の特性について，鹿児島県環境センター所報，11，89~95 (1995)
- 3) 田島義徳，狸々信博，他；積算線量測定における測定機器の比較調査 (第II報)，本誌，1，103~107 (2000)