



モニタリングポスト用電離箱検出器におけるノイズ発生と対策

細谷 梨沙 佐藤 尚光* 清水 武彦 小林 秀雄

大洗工学センター 安全管理部
*検査開発株式会社

Countermeasure against Electromagnetic Wave Noise at Ionization Chamber for Monitoring Posts

Risa HOSOTANI Naomitsu SATO* Takehiko SHIMIZU Hideo KOBAYASHI

Health and Safety Division, O-arai Engineering Center
* Inspection Development Company Ltd.

空間 線量率の監視を行うために、大洗工学センターの周辺監視区域境界にモニタリングポストを設置している。このモニタリングポストの電離箱検出器で不定期に原因不明の指示値の上昇が観測された。電離箱検出器の設置場所の状況から電磁波によるノイズの可能性が示唆されたため、現地での電界強度測定並びに電波暗室でイミュニティ試験等を行った。その結果、特定の周波数帯の非電離電磁波により電離箱検出器の指示値が上昇することが確認された。また、対策としてフェライトコア、シールドチューブの装着が有効であることがわかり、現地の電離箱検出器にフェライトコアを装着した結果、電離箱検出器の指示値の上昇を抑えることができた。

To observe the airborne gamma radiation dose rate, monitoring posts are set up at the border of a supervised area of JNC OEC. Measurement values of some ionization chambers set at monitoring posts were increased by signals of unknown origin occurring at random times. To probe the cause, measurement of electric field intensity at the ionization chamber and immunity test at anechoic chamber were carried out. Result of examination made clear that measurement values are increased by a specific frequency band electromagnetic wave. There were also clear indications that ferrite cores and shield tube are effective in eliminating electromagnetic wave noise. When attaching ferrite cores to cables of ionization chambers, unknown increase of measurement values can be stopped.

キーワード

環境放射線，空間 線量率，モニタリングポスト，電離箱検出器，ノイズ対策，電磁波，イミュニティ試験，EMC，フェライトコア，シールドチューブ

Environmental Radiation, Airborne Gamma Radiation Dose Rate, Monitoring Post, Ionization Chamber, Countermeasure of Noise, Electromagnetic Wave, Immunity Test, Electromagnetic Compatibility, Ferrite Core, Shield Tube

1. はじめに

高速実験炉「常陽」や核燃料物質使用施設を有する大洗工学センターでは、地域住民に対する施設の影響を監視するために周辺監視区域境界にモニタリングポストを設置し、空間 線量率を連続

的に測定している。

大洗工学センターは隣接する日本原子力研究所大洗研究所（原研）と周辺監視区域を共有しているため、サイクル機構所有の6基と原研所有の8基の観測データを相互に共有することにより図1



細谷 梨沙
安全対策課所属
大洗工学センター周辺の環境監視業務に従事



佐藤 尚光
安全対策課所属
大洗工学センター周辺の環境監視業務に従事



清水 武彦
安全対策課所属
環境監視チームリーダ
大洗工学センター周辺の環境監視業務に従事



小林 秀雄*
安全対策課長代理
環境監視業務を統括

* 現在：日本原子力研究所 関西研究所

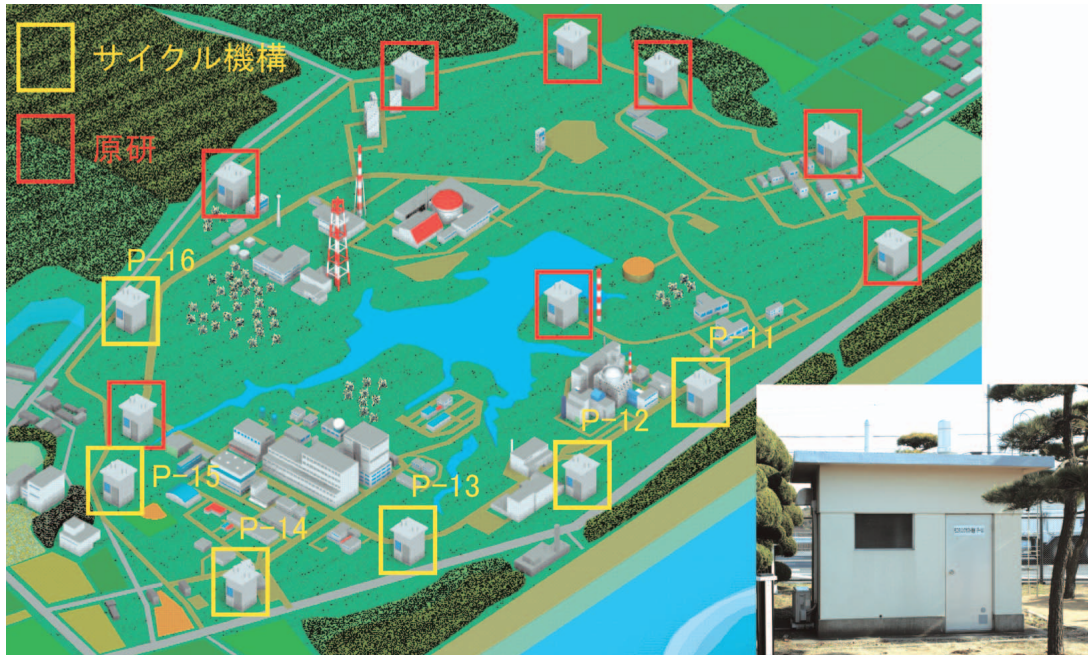


図1 大洗地区モニタリングポスト配置図と外観写真

のようにモニタリングポスト14基で空間線量率の監視を行っている。

今回、3基のモニタリングポストの電離箱検出器で原因不明の指示値上昇が観測されたため、原因を調査し対策を講じたので報告する。

2. 電離箱検出器の指示値上昇

モニタリングポストでは、NaI(Tl)シンチレーション検出器と電離箱検出器の2種類の検出器で空間線量率の測定を行っている。それぞれの検出器の主な仕様を表1に示す。通常時の空間線量率レベルでは、感度の良いNaI(Tl)シンチレーション検出器で測定し、空間線量率が $30\mu\text{Gy/h}$ 以上で電離箱検出器での測定値に自動的に切り替わるシステムになっている。線量率は1分ごとに測定・記録される。

現在のモニタリングポストの検出器はすべて2001年3月に更新されたものである。検出器を更新した頃から、モニタリングポスト12, 13, 14(以下P12, P13, P14という)の電離箱検出器で空間線量率の上昇がそれぞれ1回/日程度観測されるようになった。一例として、6時間に計6回、空間線量率が上昇したときのトレンドグラフを図2に示す。空間線量率の上昇はこれまでに最大で $136\mu\text{Gy/h}$ を観測している。しかし、指示値の上昇は1分以内で、同時に測定を行って

いるNaI(Tl)シンチレーション検出器では線量率の上昇が見られなかった。このことから、実際に空間線量率が上昇している可能性は低いと考えられた。

表1 検出器の性能

(a) NaIシンチレーション検出器

検出器(温度保障型)	NaI(Tl)シンチレーション検出器(2" x 2")
測定範囲	50keV ~ 3MeVの線
測定範囲	10nGy/h ~ 30 $\mu\text{Gy/h}$
分解能	8%以下($^{137}\text{Cs}662\text{keV}$)
検出器カバー	アルミニウム製、断熱防水構造
印加電圧	+500 ~ +1,400V
温度条件	5 ~ 45
湿度条件	80%以下
質量	約1.5kg

(b) 電離箱検出器

検出器	球形加圧型電離箱
容積	約14L
内部ガス	Ar, N ₂ 約8気圧
測定範囲	100nGy/h ~ 100 $\mu\text{Gy/h}$
エネルギー範囲	80keV ~ 3MeV
検出器カバー	アルミニウム製
印加電圧	+1,800V
温度条件	0 ~ 45
湿度条件	80%以下
質量	約3kg

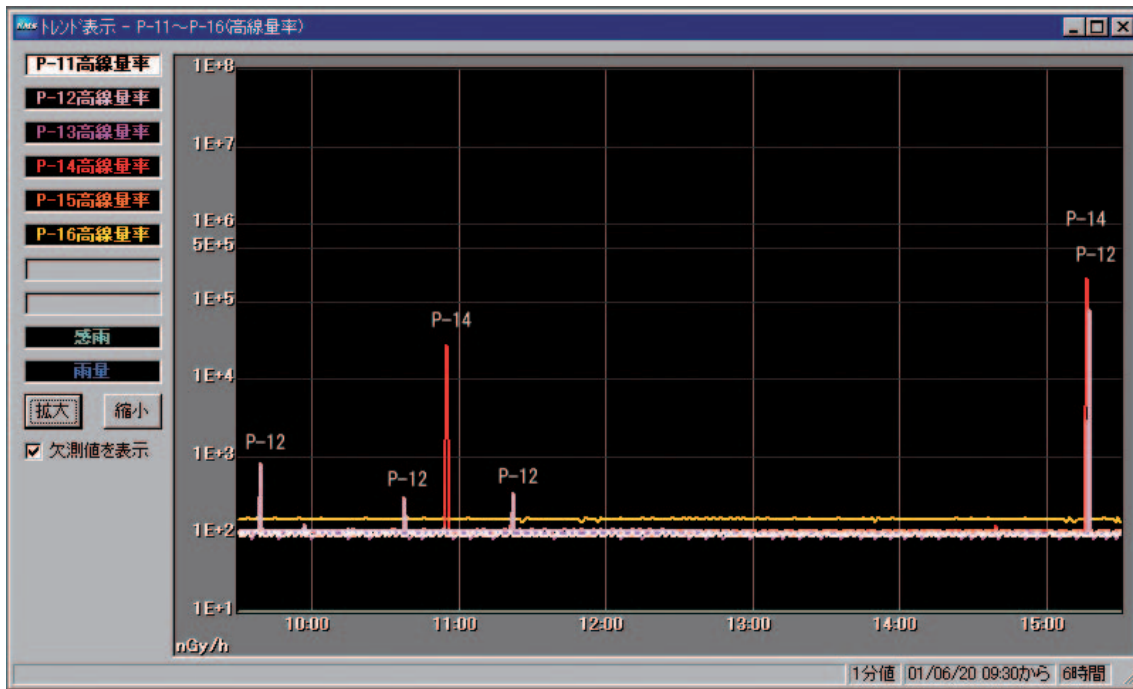


図2 電離箱検出器の線量率トレンドグラフ

3. 原因調査

3.1 検出器自体の不具合の有無

6基の電離箱検出器はすべて同じ型式であったが、指示値の上昇が観測されたのは3基であった。このため、電離箱検出器そのものに異常がないかを調査した。個々の電離箱検出器の性能検査では、異常は認められなかった。また、指示値上昇が発生するP 14と指示値の上昇が発生しないモニタリングポスト15(P 15)の電離箱検出器を交換して観測を行った。その結果、P 14では引き続き指示値の上昇が発生し、P 15では指示値の上昇は観測されなかった。これらから、検出器そのものには異常がないことを確認した。

3.2 電源のノイズ

電離箱検出器の指示値は上昇するがNa(K TI)シンチレーション検出器では指示値の上昇が観測されない同様のケースが、落雷時に発生する。この現象は大洗工学センター以外のモニタリングポストでも一般的に観測されており、落雷により電源システムの電圧が変動することが一因である。落雷時と同様の現象が電源システムで発生していないか調査を行った。指示値上昇が発生するモニタリングポストの電源に電圧変動を記録する装置を取り付けて観測した。観測期間中に電離箱検出器の指示値

の上昇が発生したが、その原因となりうる電圧変動は観測されなかった。また、指示値の上昇が発生したモニタリングポストはP 12, 13とP 14で別々の電源システムから給電されており関連性がないことから、電源システムからのノイズが原因ではないと判断した。

3.3 モニタリングポストの設置場所と指示値上昇の発生状況

次に電離箱検出器の設置場所に着目した。指示値上昇が発生するP 12, 13, 14の3基は図3で示すとおり、国道51号沿いに約200mおきに設置されている。2001年3月の更新直後95日間の指示値上昇発生回数は249回で、発生状況はそれぞれのモニタリングポストで1.105, 1.0回/日であった。このうち指示値の上昇が2基以上の電離箱検出器で同一時刻もしくは連続する2分間に観測されることがあり、その回数は130回で総発生数の52%であった。連続する2分間で観測される場合、指示値上昇の発生順が確認できるが、先に指示値が上昇するのはより南側の電離箱検出器であった。指示値の上昇の順序と間隔は、モニタリングポスト側の車線(国道51号線下り方向)を走行する車両がモニタリングポストを通過していく順序と通過に要する時間にほぼ一致する。国道51号は茨城県



図3 モニタリングポストと国道の位置関係

内では太平洋に沿って県南から県中央に至る幹線道路で、車両特にトラックが日中1時間に150～200台程度通行するなど交通量が多いのが特徴である。これらの事項から、国道を通過する車両が何らかの影響を及ぼしている可能性があると考えられた。

3.4 業務用無線を使用した簡易試験

車両からの影響として無線電波によるノイズの可能性を考えた。そこで所有の業務用無線（周波数約160MHz、出力5W）を使用して以下の簡易的な試験を試みた。

(1) モニタリングポスト外部からの無線電波の照射

モニタリングポスト屋上で、電離箱検出器を保護する検出器カバーの継ぎ目に無線アンテナを近づけて、無線の電波を発生させた。

(2) モニタリングポスト内部からの電波の照射

モニタリングポスト内部から、電離箱検出器の底部、信号・電源ケーブル付近に無線アンテナを近づけて、無線電波を発生させた。さらに電離箱検出器のICモジュールの出力をオシロスコープで、V/F変換器の出力をカウンターに接続して指示値を観測した。

結果は、上記(1)、(2)の両方で電離箱検出器の

指示値が上昇した。Na(Tl)シンチレーション検出器でも同様の試験を実施したが、指示値は変化しなかった。(2)のオシロスコープによる観測では、使用した無線電波の周波数と同じ周波数の信号が観測された。また、カウンターによる観測では、無線の通話ボタンを入れたままの状態の時よりも、入り切りのタイミング（スイッチング時）でカウントが増加し、より電波の影響を受けている様子が観測された。

4. 電波試験

4.1 ノイズの種類について¹⁾

車両等からの無線電波によるノイズで電離箱検出器の指示値が上昇している可能性が大であるとして、より詳しく調査を行うことにした。まず、モニタリングポストが実際にどのような周波数・電界強度の電磁波に曝されているのか、現地の電波状況調査を行った。また、一般的にノイズの原因として、電源系統からのノイズ、測定器そのものがノイズ源となっている場合及び外部からの電波に影響を受ける場合が考えられる。そこで電波暗室で、測定系の電源雑音測定、測定器そのものから放射される妨害電磁界強度測定及びイミュニティ試験を行った。

4.2 現地の無線電波状況調査

P14の電離箱検出器近傍に受信アンテナを設置し電界強度測定を行った。受信アンテナで垂直波を受信し、周波数スペクトルアナライザーにて受信電波の周波数と測定期間中の最大電界強度を観測し解析を行った。観測対象周波数帯は30MHz～1GHzで、観測期間は3日、延べ22時間で、30分～1時間ごとに記録した（写真1参照）。



写真1 電波状況調査(左:受信アンテナの設置、右:周波数スペクトロメータ)

4.3 電波暗室での試験

電波暗室では外部からの電磁波の影響を阻止できるため、暗室内で電磁波を発生させその周波数での影響を直接測定することができる。今回、東芝EMCセンターの電波暗室にて以下の試験を実施した。

(1) 測定系の電源雑音測定

電源システムの健全性を確認するために、測定環境での電源電圧の波形をオシロスコープで観測した。

(2) 妨害電磁界強度測定

電離箱検出器と計測機器から空中に輻射される電波を観測した。電離箱構成機器を通電状態で電波暗室に設置し、10m離れた測定用アンテナで30MHz～1GHzまでの電波強度を測定した²⁾。

(3) イミュニティ試験

イミュニティ試験とは電子機器が電磁波に影響を受けずに正常に動作するかを試験するものである。本試験は、送信アンテナから3mの距離に検出器を設置し、電磁波を電界強度3V/m、周波数を80MHz～1GHzに変化させながら照射し、線量率の指示値が上昇するかどうかを調べた³⁾。試験条件はIEC(国際電気標準会議)61000 4 3の住商業環境試験レベルに準じた。試験では実際にモニタリングポストで使用している装置と同型式の検出器及び計測機器を使用し、電磁波を検出器、信号・電源ケーブルに照射した。試験用計測機器としてV/F変換器の出力をオシロスコープと周波数スペクトルアナライザーに、デジタルレートメータ(DRM)の出力を電圧計に接続した。DRM出力電圧の上昇が線量率の指示値の上昇を意味する。試験用計測機器の電源・信号ラインに電波が影響を及ぼさないようにシールドチューブで覆った。構成図を図4に示す。検出器の位置は高圧電源側を正面と仮に定め、正面と90°回転させた位置(横とする)で実施した。照射電磁波の垂直波と水平波、検出器の位置(正面・横)の組合せで、4パターンの条件で照射した。

同時にノイズ対策も検討した。対策1としてフェライトコアを信号ケーブルと電源ケーブルの各2箇所計4箇所に装着した。対策2として対策1のフェライトコアに加えて信号ケーブルと電源ケーブルをシールドチューブで包んで保護した。検出器カバー内のケーブルにはシールドテープを巻きつけた。フェライトコアは高周波成分を損失させるノイズフィルタで、シールドチューブと

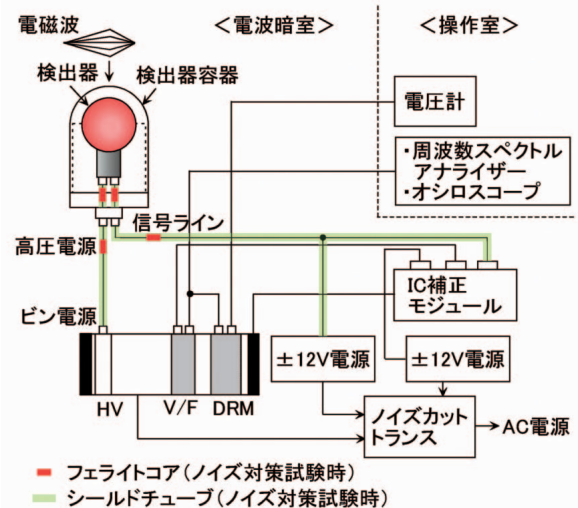


図4 イミュニティ試験構成図

シールドテープは金属メッシュでケーブルを包み電磁波から保護するもので、いずれも一般的なノイズ対策用品である。

5. 結果

5.1 現地電波状況調査

観測期間中、電離箱検出器の指示値が上昇したのは1回で、通常値の約300倍の値を記録した。その期間を含む1時間の電磁波周波数スペクトルを図5に示す。いくつかの電磁波周波数帯でイミュニティ試験で照射した電磁波と同程度の数V/mの電界強度が観測された。50～200MHzにかけて比較的強度の強い電磁波が数箇所観測されている。200MHz以上では146MHzの整数倍の周波数で主に観測されており、146MHzの高調波であると考えられる。144～146MHzはアマチュア無線バンドであり、電波法では高調波は基本周波数よりも十分に低い強度でなければならないが、今回観測された高調波は基本周波数よりも強度の強い電磁波が観測されていることから調整が十分に行われていない無線機が使用されている可能性がある。このような電磁波は1時間に5回程度観測された。どの周波数帯の電磁波が指示値上昇の原因であるか調査を試みたが、記録されている周波数及びその強度が1時間の最大値でしかなく、また指示値が上昇していない時間帯の周波数スペクトルも同様の傾向を示しているために、特定できなかった。

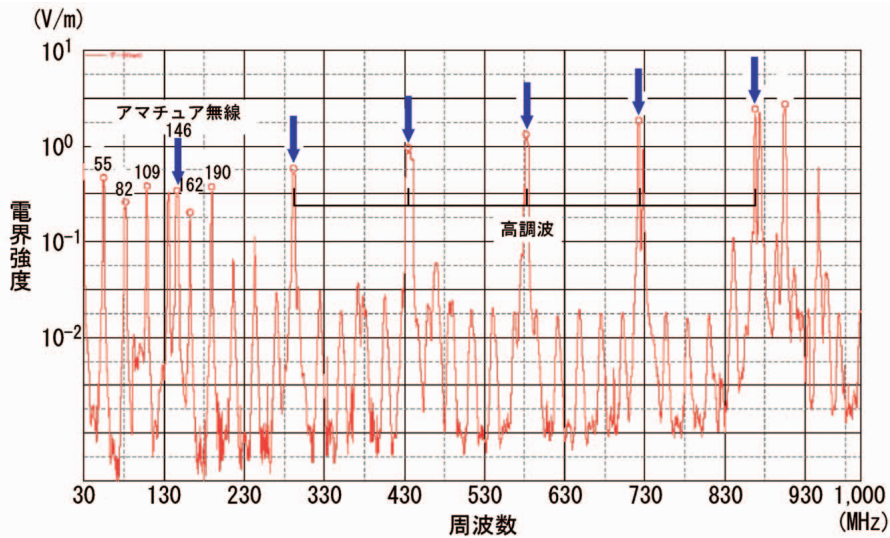


図5 電波状況調査の結果（周波数と電界強度）

5.2 電波暗室での試験結果

(1) 測定系の電源雑音測定結果

オシロスコープで電源雑音を観測したが、特に電離箱検出器の指示値上昇の原因は確認されなかった。

(2) 妨害電磁界強度測定結果

妨害電波の強度はいずれもVCC(情報処理装置等電波障害自主規制協議会)の測定距離10mでのクラスA情報処理装置の妨害電波強度の許容値を下回っており、電離箱検出器の指示値上昇の原因として特定できなかった。

(3) イミュニティ試験結果

DRM出力電圧の観測結果の一例を図6に示す。図6は検出器の方向が正面、垂直波の場合であるが、80~100MHz、120~160MHz付近で電圧が上昇することが分かる。このように特定の周波数の

電磁波により電離箱検出器の指示値が上昇することが確認できた。また、この時のV/F変換器出力のオシロスコープでの観測では指示値上昇を示す矩形波が多数観測され、周波数スペクトルも照射周波数にピークが現れた。

その他のDRM出力電圧の観測結果を図7にまとめて示す。対策なしの場合、200MHz以下の周波数で広範囲にわたって電圧が上昇していることが分かる。特に検出器方向が横で垂直波の場合、80~170MHzのほとんどの周波数で影響を受けており、この条件が最も電磁波の影響を受けやすいものと考えられる。次にフェライトコアを装着した場合、何も対策を行っていない時に比べてより多くの周波数帯で指示値の上昇が発生した。しかし、対策なしの場合に影響が顕著に見られた200MHz以下の周波数帯、特に80MHz付近での指

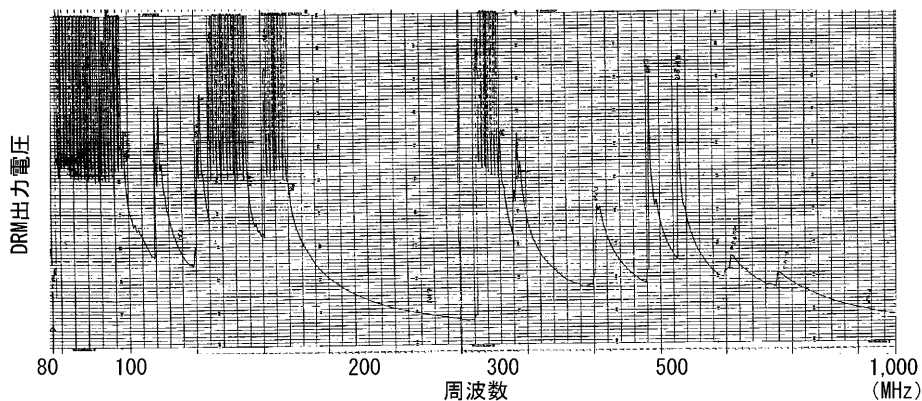


図6 イミュニティ試験結果（DRM出力電圧）

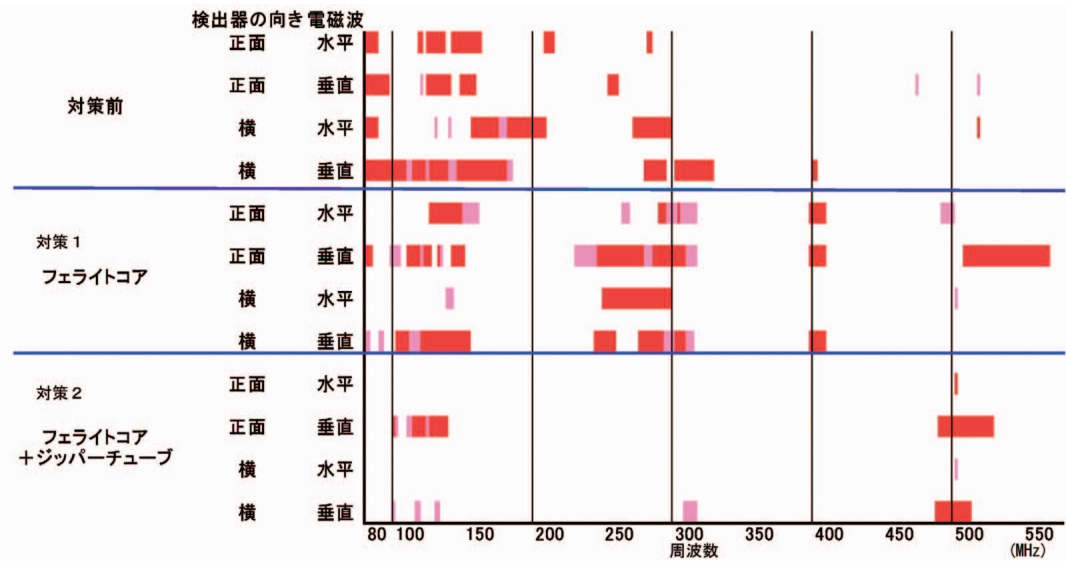


図7 ノイズ対策の効果（イミュニティ試験結果）

示値上昇は少なくなっている。最後にフェライトコアに加えシールドチューブを装着した場合、垂直波の一部の周波数帯を除いて、ほぼすべての条件で指示値の上昇が見られなくなった。

6. ノイズ対策

これまでの試験結果を踏まえて、モニタリングポストの電離箱検出器にノイズ対策を施した。まず、イミュニティ試験時と同様に信号・電源ケーブルにフェライトコアを装着した（写真2参照）。このとき、業務用無線機で電波を発生させ、対策の効果を確認しながら取り付けしたが、その際、フェライトコアを検出器カバー内でプリアンプの直前

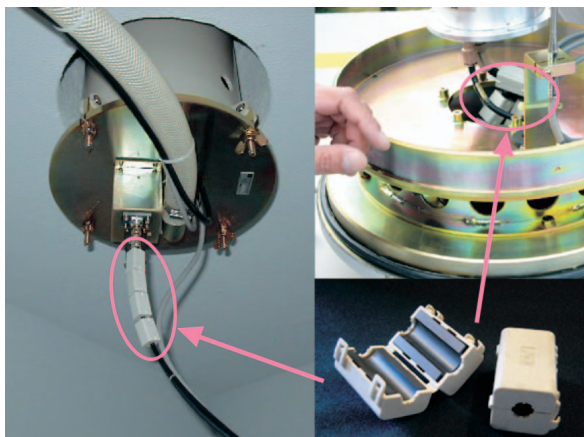


写真2 フェライトコアの装着（左：モニタリングポスト局舎内の信号・電源ケーブル，右上：検出器容器内，右下：フェライトコア）

の電源ケーブルに取り付けた場合が、最も効果的であった。フェライトコアを装着した結果、指示値の上昇はほとんど観測されなくなった。

また、イミュニティ試験時は実施しなかったシールドチューブのみ装着した場合について現地の電離箱検出器で試みたが、通常の測定環境で指示値上昇が発生した。

現在1箇所のモニタリングポストの電離箱検出器にフェライトコアとシールドチューブを組合せて装着し、発生状況を観測中である。

7. 考察

電離箱検出器の指示値上昇が発生するようになってから、アースや振動などさまざまな観点から原因を調査してきた。その結果、発生状況とそのタイミング及び発生場所から、国道を走行する車両からの移動無線が何らかの影響を及ぼしていることが推測できた。そして、現地での電波状況調査、電波暗室での試験から、無線電波が電離箱検出器の指示値上昇に関係することが確認できた。

ノイズのメカニズムの解明は非常に困難であるが、試験結果から以下のような仮説を立てている。信号・電源ケーブルへのフェライトコアとシールドチューブの組合せでの装着と、プリアンプ直前のフェライトコアの装着が効果的であったことから、信号・電源ケーブルがアンテナの役割をして、プリアンプにノイズが共鳴して信号系統にノイズが生じる。また現地でシールドチューブのみを装

着した場合で、指示値上昇が発生したことから、電磁波の進入はケーブルのみでなく、コネクタ部分も有力であり、特に垂直波の影響が大きいものと考えられる。

ただし、電波暗室で行った試験では、ケーブル長などすべての条件が実際のモニタリングポストの電離箱検出器の条件を再現できるわけではないので、特定周波数での耐性などは目安程度である。また、イミュニティ試験では、フェライトコア及びシールドチューブによる対策後の方が、ノイズ発生が顕著な周波数帯もあった。原因としては、フェライトコアではすべての周波数の影響を除去できないこと、フェライトコアまたはシールドチューブを装着することにより、共鳴する周波数が変化することが考えられる。したがって実際の対策では、現地の電離箱検出器へのフェライトコアの取り付けの際に業務用無線機を使用して、指示値上昇の発生頻度の変化を観測しながら行い、その後の通常の測定環境における指示値上昇がほぼなくなったことを確認している。

また、今回指示値上昇が発生した電離箱検出器は非常に厳しい電波環境に設置されているために頻繁に指示値の上昇が発生したものと考えられ、他社製品の電磁波耐性に関しては同一環境で比較しなければ判断できない。原研のモニタリングポストも国道沿いに設置されているが、今回指示値の上昇が発生したモニタリングポストと比べて国道から離れた位置に設置されている。電界強度は

距離に反比例するため、発生状況については比較できない。サイクル機構所有で同様に国道沿いに設置されたモニタリングポスト11(P 11)で指示値上昇が発生しない理由は不明である。ただし、3 4の簡易試験で業務用無線を近づけた場合に指示値が上昇したこと、P 12～P 14と同じ型式の電離箱検出器を使用していることなどから、通過する車両の移動速度等の要因により電波環境に違いがあるのではないかと推定する。今回の試験ではP 11での電界強度測定を行っていないため、これらの違いについては考察できなかった。

8. おわりに

今回行った検査方法及び対策は、モニタリングポストの電離箱検出器に加え同様の事象が発生する可能性のある施設放射線管理用モニタなどについても利用が可能である。無線電波の使用は屋内外ともに増加する方向にあるといえ、測定器等を購入する場合は電磁波によるノイズ対策の観点も取り入れ、ノイズ耐性を高めるような対策を考慮した設計が必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 坂巻佳壽美：“見てわかるノイズの試験法と対策”，(1996)。
- 2) 情報処理装置等電波障害自主規制協議会(VCCI)，自主規制措置運用規定(2004)。
- 3) IEC：INTERNATIONAL STANDARD, Electromagnetic compatibility(EMC) part 4 3,(2002)。