

# ゲルマニウム半導体検出器を用いた，水道水連続自動測定システムの開発



太田 秀和

Ota Hidekazu

((株)環境総合テクノス)

## 1 はじめに

2011年3月11日に東日本大震災が発生，その後福島第一原子力発電所事故により環境中に放射性物質が放出された。国により避難指示が発出され住民の避難が実施された。その後住民の帰還に向けた環境整備が進められ，福島県楢葉町では2015年9月5日，福島県浪江町の一部区域では2017年3月31日に避難指示が解除された。この両町の帰還に向けた数ある環境整備の1つとして「水道水の24時間放射性物質モニタリング機器」が整備された<sup>1)</sup>。

本装置は厚生労働省の食品中の放射性物質の飲料水基準値  $10 \text{ Bq/kg}$ <sup>2)</sup> と，水道水中の放射性物質に係る指標の検査方法に記述されている $^{134}\text{Cs}$  及び $^{137}\text{Cs}$  それぞれについて，検出限界値  $1 \text{ Bq/kg}$  以下を確保することができる<sup>3)</sup>。前記数値目標に対して，1時間に1回以上の測定能力がある。

設置後は住民の安全・安心の確保と帰還意欲の一助となるよう，安定した運用が継続されている「ゲルマニウム半導体検出器を用いた，水道水連続自動測定システム」について紹介する。

## 2 設計

厚生労働省の前記数値目標と1時間に1回以上の測定頻度を実現するためにゲルマニウム半導体検出器を自動測定に使用することを設計の根幹とし，遮蔽体内部で試料量を計量する機構を開発することに

した。

測定試料容器は検出下限値と測定時間及び校正用標準線源の観点から2Lマリネリ容器を選定した。遮蔽体内部のマリネリ容器に測定対象の水道水2Lを計量し測定後に排水する。純水製造装置で製造した純水で試料測定の間にはマリネリ容器を洗浄する機能を持たせた。

ゲルマニウム半導体検出器の使用には通常液体窒素補充のために人手が必要となることから本装置は液体窒素蒸発防止装置を採用した。

楢葉町の設置場所の空間線量率は当時室内において最大で  $0.1 \mu\text{Sv/h}$  であった。浪江町は帰還困難区域内に取水場が2か所あり空間線量率は当時室内において最大で  $0.6 \mu\text{Sv/h}$ ，屋外では最大  $2.5 \mu\text{Sv/h}$  であった。設置場所における空間線量率を考慮して遮蔽体は楢葉町では鉛  $10 \text{ cm}$ ，浪江町では鉛  $15 \text{ cm}$  厚とした。遮蔽体と液体窒素蒸発防止装置の配置について楢葉町は縦配置，浪江町は遮蔽効果の向上を狙い検出器の床方向に隙間が無い横配置とした。

楢葉町の双葉地方水道企業団小山浄水場は24時間体制で監視員の方が常駐され本装置を含め施設を監視されている。

浪江町は無人の4か所の取水場に測定装置を設置し役場庁舎でデータ管理をする運用を実現するためネットワーク対応とした。ネットワーク回線の不通による測定休止を避けるため，取水場の測定装置はネットワーク回線が不通となっても自律して測定を継続する。加えてネットワーク回線復旧後に役場庁

舎で自動的にデータを取得することができる仕組みとした。社会インフラの光ケーブル回線網と IP-VPN ネットワークサービスを利用し閉鎖型ネットワーク網を構築した。本装置の外部出力端子から放射性物質の管理目標値に対して測定値が超過しているか否かの情報を取水場の送水制御系統へ発信する仕組みとした。管理目標値超過時に送水ポンプの停止を可能にした。

### 3 製作

遮蔽体内のマリネリ容器への水の出入りと計量のため4本のシリコンチューブが遮蔽体を貫通する構造とした。遮蔽体の外部で水道水と純水のラインは四方電磁バルブに接続した。排出ラインは二方電磁バルブに接続した。計量ラインは開放とした。水が流れているか否かを検知するために排出ラインと計量ラインにセンサーを配置した。これらのバルブとセンサーは制御部と接続されている。測定動作は次のように進む。マリネリ容器に純水が充填された状態で待機、正時数分前に純水を排出、正時に水道水を計量開始し計量終了後ゲルマニウム半導体検出器による測定を開始する。測定終了は<sup>134</sup>Cs及び<sup>137</sup>Cs

それぞれについて、あらかじめ設定した検出限界値(1 Bq/kg 未満)に到達すると測定を終了する。水道水排出後に純水を充填し待機状態となり次の正時の測定を待つ。このような人が動作として行っていた試料計量, 試料交換, 容器の洗浄等は PLC (Programmable Logic Controller) からの制御で自動化した。自動測定制御アプリケーションは PLC に対して人の動作に対応する命令を出し, ゲルマニウム半導体検出器の検出下限値到達など測定の進行を監督している。γ線スペクトルの解析は解析アプリケーションが担当し測定進行中に検出下限値に関する演算を行っている。

設置はゲルマニウム半導体検出器と遮蔽体に隣接して制御部とバルブ可動部を持った給排水切換装置を設置する。

このようにゲルマニウム半導体検出器を検出器とする完全無人化された自動測定を実現した(特許出願中)。

図1にシステムプログラムの連携を示す。図2に浪江町に設置した横配置型装置を示す。

### 4 校正と測定値の検証

現地設置後にゲルマニウム半導体検出器の分解能

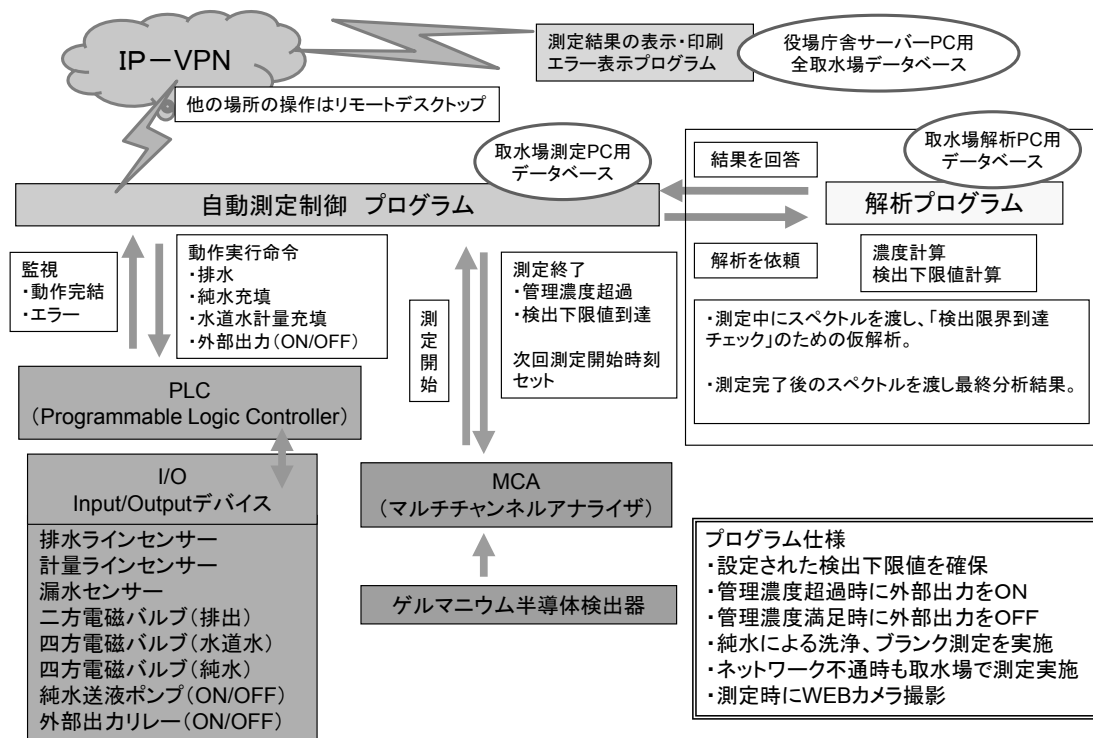
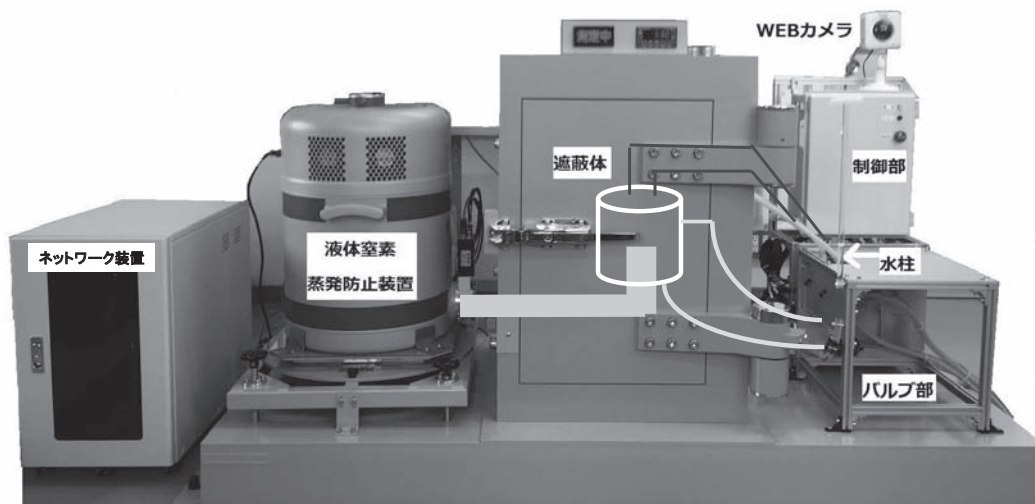


図1 システムプログラムの連携関係



遮蔽体内部のマリネリ容器と接続配管の概略

- ・上部は水道水ラインと純水ライン
- ・底部は排水ライン、側面は計量ライン

図2 横配置型自動測定装置

と相対効率について工場出荷時の性能があることを確認した。校正は（公社）日本アイソトープ協会の放射能標準 $\gamma$ 体積線源で2Lマリネリ容器混合核種体積線源により実施した。校正後同じ体積線源を試料として測定しその結果が認証値 $\pm 10\%$ 以内であることを確認した。更に国際原子力機関の認証標準物質 IAEA-445 を測定し認証値と測定値を ISO/IEC 17043 に定められた En 数により評価し合格を確認した。

設置時のバックグラウンド測定で放射性セシウムは検出されなかった。装置稼働状態での純水測定について放射性セシウムは検出されなかった。これらのことにより遮蔽体貫通穴は測定に影響するものではないと判断した。

## 5 運用

運用状況の現状について次に整理した。

### 5.1 水道水の日常監視

自動測定開始のソフトボタンを押すと自動で測定を開始する。水道水は試料採取ラインの四方電磁バルブを常に2L/分で流れているので計量ラインにバルブが切り替わるとその時刻の水道水がマリネリ容器に2L計量される。この計量状態はマリネリ容器に連結した水柱によって遮蔽体外部からも確認す

ることができる。計量は90秒以内で完了する。計量後に測定が開始され、逐次濃度計算が実施される。 $^{134}\text{Cs}$  及び  $^{137}\text{Cs}$  について設定検出下限値に到達すると測定終了となる。現在この設定値は  $0.9 \text{ Bq/kg}$  としている。測定時間は設置場所等により異なるが約20～30分程度となり1時間に1回の測定を実現することができる。測定終了後に試料の水道水が排出され純水注水後次回正時待機状態となる。また測定の頻度を上げるため待機せずに次の測定を開始することも可能となっている。

純水によるブランク測定は任意の日時に設定できる。現在週1回の測定で運用している。放射性セシウムは検出されていないことからマリネリ容器への付着物があったとしても測定に影響を与えることがないことを確認している。

ゲルマニウム半導体検出器を使用しているので管理目標値のある核種の  $^{134}\text{Cs}$  と  $^{137}\text{Cs}$  以外にも核種分析を実施しデータを蓄積することができる。福島県が上水に設定しているモニタリング核種についても毎回測定を実施している。

### 5.2 放射性物質濃度の管理目標値の監視

飲料水基準値放射性セシウム  $10 \text{ Bq/kg}$  を超過した時外部出力端子から水道施設送水制御系統へ放射性物質の管理目標値に対して測定値が高いことの情

報を発信する。送水制御系統は情報を受信し、あらかじめ定めた制御を実行する。本装置は管理目標値に対する測定値の情報を送水制御系統に発信するのみで送水弁や送水ポンプの制御プロセスは水道施設制御側で実施される。この外部出力により管理目標値を超過した時に送水ポンプが起動中であれば自動停止ができる仕組みを実現した。

管理目標値を超過した後も測定を継続して管理目標値満足をあらかじめ定めた回数確認すると送水再開可能であることを施設運用者に知らせる。送水再開は手動と自動があり施設運用者が選択する。手動の場合は運用者が送水再開のソフトボタンを押すことで送水が再開される。外部出力に関する管理目標値は運用者側で核種と濃度と連続出現回数を設定することが可能となっている。

### 5.3 WEBカメラによる監視と記録

楯葉町の双葉水道企業団小山浄水場は24時間有人による監視が実施されている。

浪江町は4か所の取水場は無人であるためWEBカメラを導入した。カメラは通常は測定中ランプ、液体窒素重量表示、水柱高さを見ており役場庁舎からそれらの状況を監視することができる。必要がある場合はズームやパンチルトによって細部の様子を観察することができる。各回の測定開始時にスナップショットを撮影記録し測定データと関連付けて保存している。このスナップショットには水柱高さも記録されているのでマリネリ容器に確実に計量されたか否かを確認することができる。

### 5.4 点検保守

液体窒素蒸発防止装置により液体窒素の補充は必要なく、実績として2年間は無補充で運用できている。バルブは部品メーカーの動作保証回数を勘案して1年に1回交換している。フロー型マリネリ容器はチューブ類と合わせて1年に1回交換している。純水製造装置の前処理カートリッジの交換が約3か月に1回の実績となっている。目視による装置点検は2週間に1回の頻度で現在のところ実施している。

## 6 まとめ

ゲルマニウム半導体検出器による核種分析ができ

るという特徴を持った水質連続自動測定装置を開発した。

福島県浜通り地方の水道事業者の検査頻度は週3回<sup>4)</sup>で実施されているが1時間1回に向上した。この頻度向上が安心感に繋がり水道水を飲まなかった方が飲むようになられたという情報があった。

本装置は日本では運用実績のある実用化された装置であると共に、EUで行われている水道水の放射能汚染を監視する取組(TAWARA\_RTM project)<sup>5)</sup>と比べても、ゲルマニウム半導体検出器を使って精度よく測定している点で優れているとの評価がされているという情報を得ている。

加えて外部出力やWEBカメラ監視の付加機能を備え、ネットワーク対応を可能にした。今後水道水に限らず多種の水質インラインモニターとしてゲルマニウム半導体検出器の活用促進が期待される。

## 7 謝辞

復興庁、福島復興局の皆さまには帰還に向けた環境整備への取組についてご教示いただきました。

双葉地方水道企業団小山浄水場(福島県楯葉町)、福島県浪江町住宅水道課の皆さまには装置設置に際し水道施設との連携についてご教示いただきました。

本測定システム実現のために取り組んでいただいた多くの関係者の皆さまに感謝いたします。

### 参考文献等 (URLは2017年9月11日確認)

- 1) 楯葉町除染検証委員会(第5回資料2)小山浄水場が供給する水道水の現状と安心に向けた取組について11-13  
<http://www.town.naraha.lg.jp/information/files/%E2%91%A226.12.10.pdf>
- 2) 食品中の放射性物質の新たな基準値  
[http://www.mhlw.go.jp/shinsai\\_jouhou/d1/leaflet\\_120329.pdf](http://www.mhlw.go.jp/shinsai_jouhou/d1/leaflet_120329.pdf)
- 3) 水道水中の放射性物質に係る指標の見直しについて  
<http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r98520000018ndf-att/2r98520000024of2.pdf>
- 4) ふくしま復興ステーション現在の水道水放射性物質検査の体制  
<http://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal/25-4.html>
- 5) "TAp WATER Radioactivity Real Time Monitor" <http://www.caen.it/csitem/CaenGeneric.jsp?parent=173&Type=WOCateg>