

2023年6月6日

2023年6月13日 改訂

京都大学複合原子力科学研究所

放射線管理部

KURの重水分析用放射線測定装置の重水漏えい検知システムで使用している 放射性ガスモニタの更新について

1. 概要

KURの重水分析用放射線測定装置は、重水漏えい検知システム及びトリチウム濃度分析システムの2つのシステムからなっています。そのうち重水漏えい検知システムはKURの重水タンク周辺（重水熱中性子設備照射室）及びドレンタンク周辺（イオン交換器室）の空気を連続でサンプリングして、放射性ガスモニタによって空气中放射性ガス（トリチウム）濃度の監視を行い、放射性ガスモニタの警報設定値を超えた場合にKUR制御室及び中央管理室で重水の漏えいの発生を表示できるシステムです（概略は図-4）。

このシステムはKURの原子炉設置変更承認申請書（令和元年9月19日付け承認）の本文の「チ. 放射線管理施設の構造及び設備」の「(1)屋内管理用の主要な設備の種類」の「(i) 分析用放射線測定装置」に該当する機器であります。2017年9月にKURの重水タンクの給排水系フランジより重水の漏えいのトラブルがあり、その対応のために規制庁と相談の上で既に設置されていた機器に対して新たに設工認申請（「重水分析用放射線測定装置の設置」、原規規発第1806271号、2018年6月27日付け承認）を行い、使用前検査（原規規発第1807232号、2018年7月27日付け合格）を経て現在まで使用してきております。

重水漏えい検知システムの中の放射性ガスモニタ（図-4では重水分析用ガスモニタと記載、以下、モニタ）として同じ型番の装置が2台あり、図-4に示した空気を2箇所現場から吸入してモニタに入れる空気サンプリング配管および警報信号配線（重水給水設備ローカルパネルを経て制御室等に警報信号を伝達する配線）を切り替えて（空気サンプリング配管は外してつなぎ替え警報信号線はスイッチで選択）、通常はどちらかの装置を使用しています（年間の使用時間はほぼ半々）。製造年はそれぞれ2001年及び2017年ですが、この装置の製造メーカーより2028年3月をもって本モニタの修理及び保守サポートを終了する旨の連絡がありました。また最近本モニタの部品交換頻繁が高くなってきているため、2台あるモニタのうち古い方の1台のモニタを更新することを検討しております。（もう1台は今後更新する予定です。）本更新に伴う作業としては、ガスモニタの空気サンプリング配管と警報信号配線の繋ぎ変えのみで、ガスモニタの点検時等に定期的実施している通常の保守作業（一例として、ガスモニタの校正を業者に依頼するために空気サンプリング配管と警報信号配線を取り外してガスモニタを別の場所に移動させ、校正後に元の場所に設置して配管等をつけ直す作業）の範囲内での作業のみとなります。

設工認申請書に記載したモニタの仕様と更新予定のモニタの仕様を表-1に示します。この表に記載の通り、更新予定のモニタは設工認申請書に記載した設計上の要求事項を全て満足しております。

本モニタを、設工認の手続きを経ずに更新して良いかを確認させて頂きたいと存じます。

表-1 設工認申請書の設計上の要求事項と更新予定のモニタの対比表

設工認申請書の仕様		ミリオン・テクノロジー製 C IONIX - EXM
1	検出器の型式が電離箱である	検出器の型式が電離箱
2	トリチウムが測定対象である	トリチウムが測定対象
3	最小検出量が 7×10^{-2} Bq/cm ³ 以下である	最小検出量が 2×10^{-3} Bq/cm ³ (2 kBq/m ³)
4	サンプルガス流量 4 L/min 以上である	サンプルガス流量が 15 L/min
5	台数が 2 台である	2 台のうち 1 台を更新

参考資料として、既存の大倉電気社製モニタ(RD1220A)のカタログと、更新予定のミリオン・テクノロジー社製モニタ (C IONIX EXM) のカタログを添付いたします。C IONIX EXM のカタログ中の表-1 の仕様に関する該当箇所を赤下線でマークしています。

(補足説明)

サンプルガス流量 4L/min 以上とする理由については、前回の 2018 年の設工認申請の際のヒアリングにて以下のように説明しております。

・電離箱ガス応答性として電離箱内のガスが置換されるまで、流量 10L/min で 75 秒程度となり、電気回路応答性として 63%応答（指示値が 63%まで上昇する時間）で 10 秒程度になります。流量 4L/min の場合、ガスの置換時間は 188 秒程度で、電気回路応答性も考慮して 4 分以内に検知が可能です。

・サンプリングガス流量の制限値は 4L/min 以上としています（各サンプリングルートでの制限値は 2L/min）。流量を制限値とした場合、それぞれのサンプリング場所から検出器までのガスの到達時間は、重水タンク周辺で 26 秒、ストレージタンク周辺は 13 秒になります。上記ガスモニタの応答性を考慮しても 5 分以内に検知が可能です。

今回更新予定の更新予定の新しいミリオン・テクノロジー社製モニタ (C IONIX EXM) のガスモニタ（以下、M 社ガスモニタ）についても、

1. 電離箱内のガスが置換されるまでの時間
2. 電気回路応答性
3. サンプリング場所から検出器までのガスの到達時間

を算出して M 社ガスモニタの検知時間が 5 分以内となることを確認します。

1. 電離箱内のガスが置換されるまでの時間

前回の設工認の際のヒアリングではガス置換速度の算出方法については詳しく説明していませんでしたが、完全混合槽モデルとして考えて以下のように算出しました。

完全混合槽モデルは、流入ガスが検出槽で瞬間的に一様濃度に混合され、検出槽内濃度と検出槽出口流体濃度が等しくなると定義される流れです。

流入ガスの濃度を C_0 Bq/cm³、検出槽内濃度・検出槽出口流体濃度を C Bq/cm³、検出槽の体積を V cm³、流量を W cm³/sec、検知からの時間を t とおくと、物質収支の計算式より以下の基礎式が成り立ちます。

$$\frac{d(C \cdot V)}{dt} = W(C_0 - C)$$

上記の微分方程式を解くと、以下の式となります。

$$\frac{C}{C_0} = 1 - e^{-\frac{W}{V}t} \quad \text{---①}$$

2. 電気回路応答性

M社ガスモニタのカタログスペックに記載されている Response time は、定格流量である 15 L/min の流量で高濃度のトリチウムガスを導入してフルスケールの 90%に達するまでの時間を示しております。ここで Response time は、「<3mins at 90 % of step」です。この Response Time と以下の式を用いることで、時定数 τ を求めることができます。以下の式で算出された時定数は、定格流量の電離箱内のガス置換速度と電気回路応答性を含んでいるため、安全側の評価となります。

$$\frac{M(\text{指示値})}{M_0(\text{真の値})} = \left(1 - e^{-\frac{t(\text{測定時間 sec})}{\tau(\text{時定数 sec})}}\right) \quad \text{---②}$$

測定時間 180 sec で、 $M/M_0=0.9$ を代入すると、M社ガスモニタの電気回路応答性の時定数 $\tau=78.1$ sec であることが判ります。

3. サンプリング場所からの検出器までのガスの到達時間

サンプリング経路に変更はないため、前回と同じ値となり、重水タンク周辺からの到達時間は 26 sec、ストレージタンク周辺からの到達時間は 13 sec になります。

上記の内容より、測定時間 t を 274 sec(検知時間の基準値である 5 分から、ガスの到着時間を差し引いたもの)、流量 W を 4 L/min(66.7 cm³/sec)、電離箱の体積 V を 4200 cm³ (カタログ記載値) として、①式、②式を用いて、真値に対する比を求めると、図-1 のようになります。

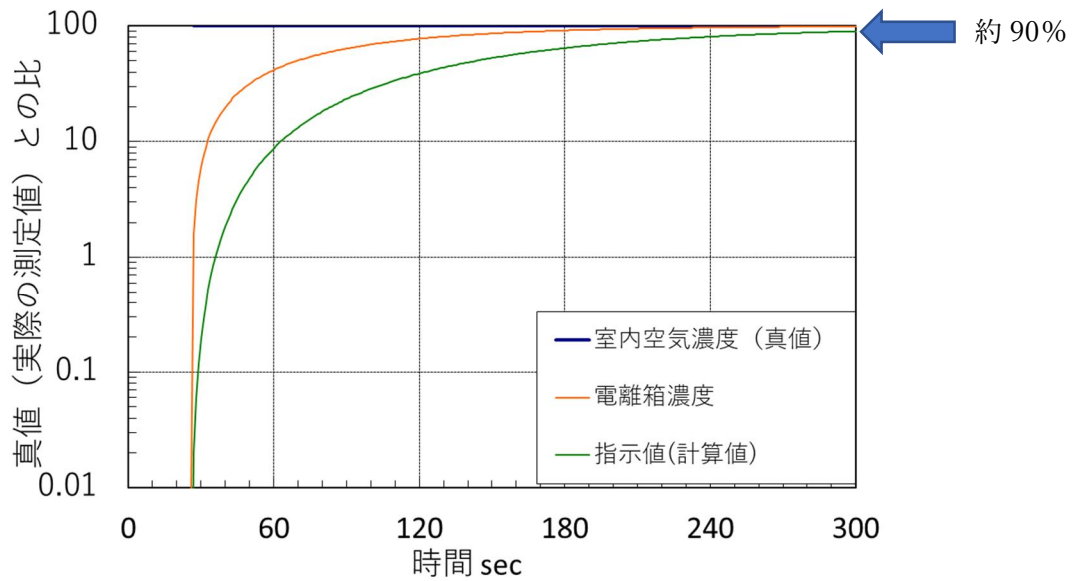


図-1 真値（実際の測定値）との比の時間変化

図-1 より、5 分後に指示値は真値の約 90%となるため M 社ガスモニタについても 5 分以内に十分検知可能であることが確認できました。

2. 対象機器について

□設置目的

KUR の重水中性子照射設備では、減速材として重水を用いており、この重水が中性子捕獲反応により放射化することで多量のトリチウムを含んでいます。この放射化した重水の漏洩を早急に検知するために本モニタを設置しております。

□設置、運用状況

本モニタの設置状況を図-2 に示します。左右の青いボックスの装置がモニタで、同じ装置が 2 台あります。この写真では前面の画面が表示されている右側のモニタが作動しており、左側のモニタは予備機としていつでも使用できるように待機させております。

本モニタの測定対象としているサンプルガスは図-3 に示すとおり重水ドレンタンク、照射室上下遮蔽扉ピットの 2 箇所からほぼ同流量となるように吸い込み、それぞれを 1 本に纏めて作動中のモニタに入れてトリチウムを測定して、そのモニタから警報信号配線を取り出しています。

□施設区分

- ・放射線管理施設

□耐震重要度分類

- ・なし

□安全重要度分類

- ・なし



図-2 現在のモニタの設置状況

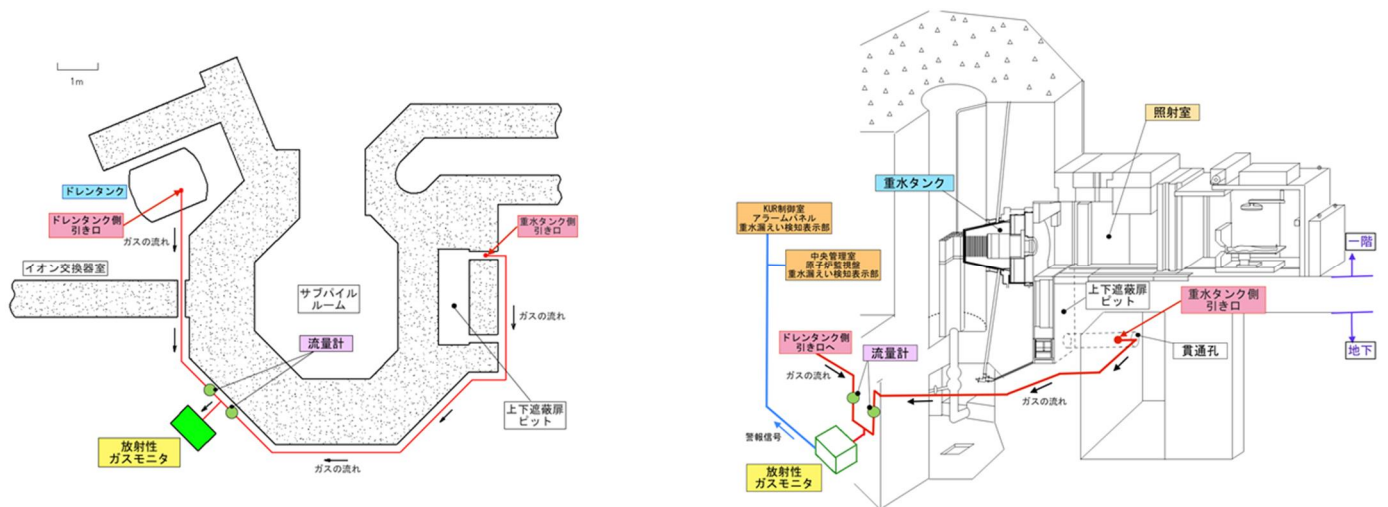


図-3 重水分析用ガスモニタの配置図

3. 対象機器の使用前検査の実績、改造履歴について

ガスモニタは当初は設工認無しで設置したためその時点での検査は実施しませんでした。2018年に実施した使用前検査の検査項目は以下の通りです。

使用前検査（原規規発第 1807232 号、2018 年 7 月 27 日付け合格）

表-2 使用前検査の検査項目と判定基準

検査項目	判定基準
据付検査	図面のとおり据え付けられていること
外観検査	外観に使用上有害な欠損のないこと
員数検査	員数どおりに設置されていること
作動検査	トリチウムの最小検出量が、 7×10^{-2} Bq/cm ³ 以下であること
	4 L/min 以上のサンプルガスを流せること
	警報設定値をあらかじめ設定し、放射線源をガスモニタの検出器に近づけることにより、指示値を上昇させ、設定値を超えた場合に KUR 制御室及び中央管理室において、警報が吹鳴し、警報表示灯が点灯すること

改造履歴

なし

4. 更新の範囲

- ・重水分析用ガスモニタ本体 大倉電気製 RD1220A (2001年製)を更新予定。
更新範囲の系統図を図-4 に示します。

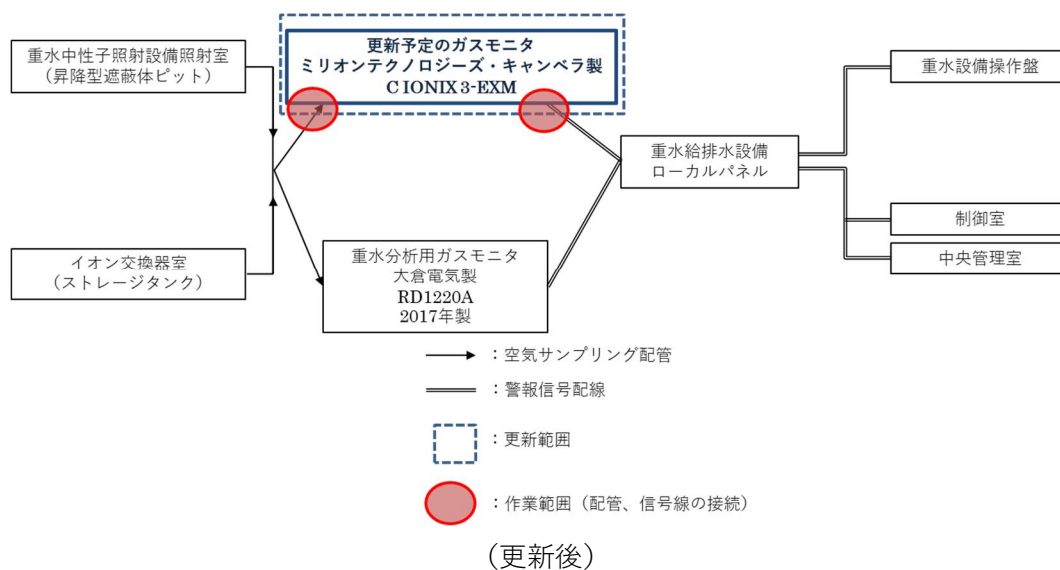
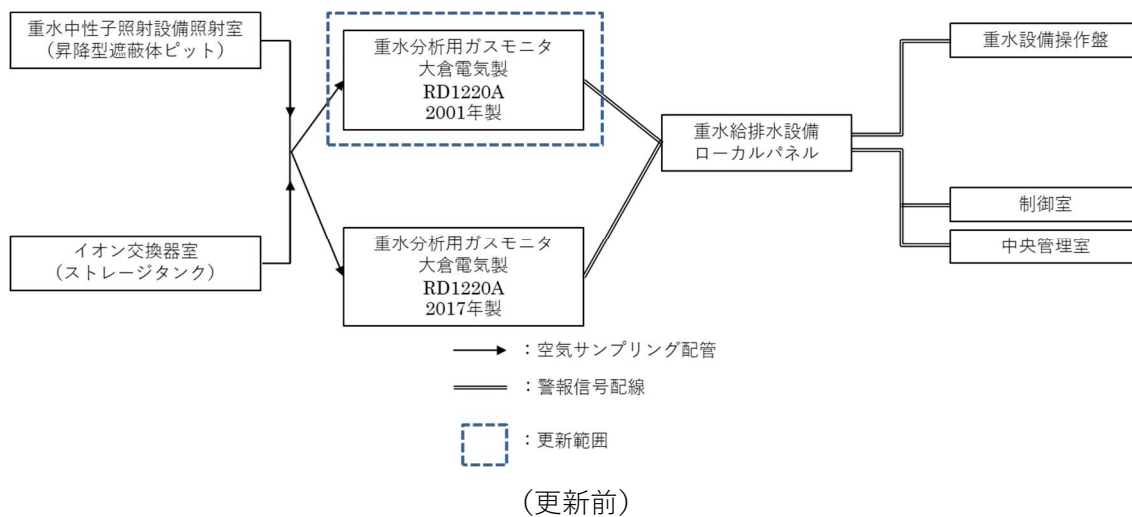


図-4 更新前後の系統図

5. 設工認申請の必要性の要否について

本モニタを含む重水分析用放射線測定装置の重水漏えい検知システムは 2018 年に設工認申請を行っております（原規規発第 1806271 号、2018 年 6 月 27 日付け承認）。設工認申請書に示した設計仕様は表-1 のとおりで、今回新たに更新するモニタの仕様は表-1 の設計上の要求事項をすべて満足しております。

したがって、今回のモニタ更新は、当該設備の設置時における設工認申請書に記載した設計条件及び、設計仕様を変更するものでないことから、「試験研究の用に供する原子炉等の設置、運転等に関する規則 試験炉規則」第 2 条の 2（設計及び工事の計画の認可を要しない工事等）第 1 項の工事に該当し、設工認の手続きを要しないと考えております。

6. スケジュール案

2023 年 6 月 改造計画書の作成

2023 年 7 月 モニタ（C IONIX -EXM）の発注

2023 年 1 月末 納品

2024 年 2 月 使用前事業者検査相当の検査

検査等については、以下の図-5 のフローに沿って実施することを考えております。

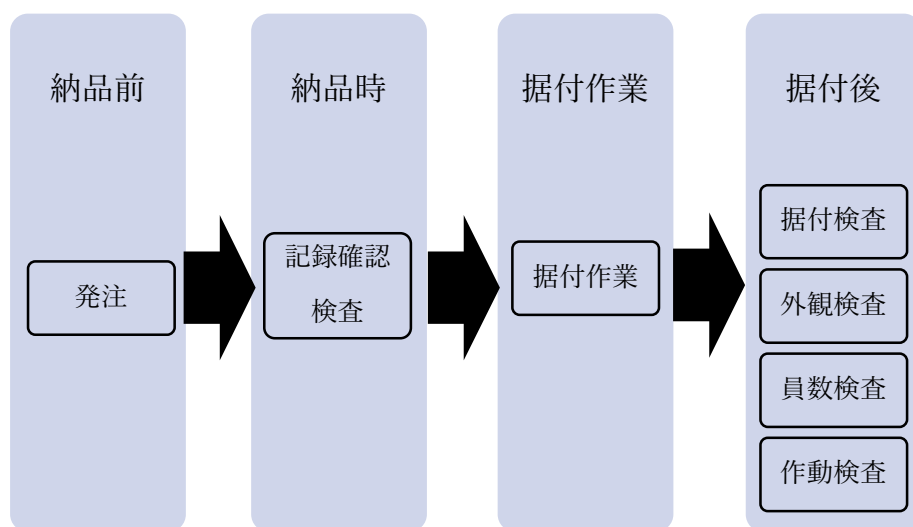


図-5 検査等のフロー

なお、各検査項目の内容（予定）は、表-3 のとおりである。

表-3 各検査項目の内容（予定）

検査項目	検査内容
記録確認検査	納品されたモニタのスペックシート等により、検出器の型式が、電離箱式であること、トリチウムが測定対象であること、最小検出量が $7 \times 10^{-2} \text{ Bq/cm}^3$ 以下であることを確認する。
据付検査	モニタが、指定の位置に設置されていること、サンプリング配管及び、信号線が接続されていることを目視により確認する。
外観検査	モニタの外観に機能上有害な損傷がないことを目視により確認する。
員数検査	2 台の重水分析用モニタのうち更新された 1 台があることを確認する。
作動検査	<p>サンプルガス流量が 4 L/min 以上であることを既設の流量計の指示値を見て確認する。</p> <p>測定値が警報設定値を超えた場合に、KUR 制御室、及び中央管理室で警報が吹鳴し、警報表示灯が点灯することを各現場で確認する。</p>

以上