

3.6.6 放射線計測

3.6.6.1 安全対策用測定機器の整備

(1) 放射線安全管理機器概要

放射線安全管理に係る放射線（能）測定の一般的な項目を、放射線施設内部と外部、監視（記録）特記の4つに分けて表3.6.6-1に示す。

表3.6.6-1 放射線安全管理に係る測定項目。

区分	測定項目
施設内測定	個人被曝線量測定 個人汚染測定 物品および建屋表面汚染測定 空間線量測定 空気中および排気中放射能（ダストを含む）濃度測定
施設外測定	排水中放射能濃度測定 周辺環境放射能および線量測定
監視（記録）	測定データの記録と測定監視
特記	真空容器開放時安全確認測定 放射性廃棄物（所内）運搬時測定

表3.6.6-1に示した測定のはほとんどは、市販の放射線安全管理汎用機器を用いて実施することが出来る。

(2) 放射線一般管理用機器

現在、一般の放射線安全管理に使用されている汎用機器の中から、核融合科学研究所の放射線安全管理に必要な機器を、測定対象別に、以下にまとめる。

一般放射線（能）測定

- ・GMサーベイメーター
- ・電離箱サーベイメーター
- ・シンチレーションサーベイメーター
- ・低エネルギーシンチレーションサーベイメーター
- ・スペクトルサーベイメーター
- ・中性子サーベイメーター（レムカウンター）

個人測定

- ・ルクセルバッジ（測定サービス専門機関に外注依頼）
- ・ハンドフットクロスモニター
- ・体表面モニター
- ・電子式ポケット線量計（ α 線、 γ 線、X線、中性子線）

空気およびダスト測定

- ・ダストサンプラー（移動型）
- ・ダストモニター（移動型、固定型）
- ・静電容量電位計および基準電離箱

試料（スミヤ、排水等）採取測定

- ・液体シンチレーション測定装置
- ・（窓なし）ガスフローカウンター
- ・低バックグラウンド（窓なし）ガスフローカウンター
- ・低バックグラウンド半導体線スペクトロメーター
- ・低バックグラウンド半導体 X 線スペクトロメーター
- ・イメージングプレート

その他

- ・物品搬出モニター
（物品搬出モニターは、管理区域から物品を搬出する際に汚染検査のため使用する装置である。）

（3）トリチウム測定用機器

放射線安全管理におけるトリチウム測定の対象は、固体表面汚染、空気・排気中濃度、液体中濃度の3者に分けることができる。いずれの測定においても、通常の線測定装置では低エネルギー線に対する感度が足りないために、以下に示すようなトリチウム専用の測定装置を使用する。

固体表面トリチウム汚染密度

- ・トリチウムサーベイメーター
- ・トリチウムフロアモニター
- ・窓なしガスフローカウンター
- ・液体シンチレーション測定装置（スミヤ液シン測定法）

空気・排気中トリチウム濃度

- ・トリチウムガスモニター（半固定もしくは固定式高感度）
- ・トリチウムガスモニター（移動型普及版）
- ・気体中トリチウム捕集（濃縮）装置

液体中トリチウム濃度

- ・液体シンチレーション測定装置（液体試料採取液シン測定法）
- ・トリチウム液体試料前処理（分離、濃縮等）装置
- ・T、C 自動測定装置（ ^3T 、 ^{14}C 遠隔測定、排水設備で使用）

（4）（X）線モニター（R M S A F E）

核融合科学研究所における大型ヘリカル装置(LHD)の高温プラズマ実験ではX、
、中性子線等の放射線の発生を伴うことが予測される。本研究所は実験により発生する放射線の敷地境界における線量が年間 $50 \mu\text{Sv}$ を越えないことを管理目標としている。われわれはこの目標を数値で示すことを可能にするために核融合実験装置に適

応した放射線モニタリングシステム RMSAFE(Radiation Monitoring System Applicable to Fusion Experiment)を開発し、1992 年以来整備を進めてきた。このシステムでは、微弱なバーストX線を検知することができる。

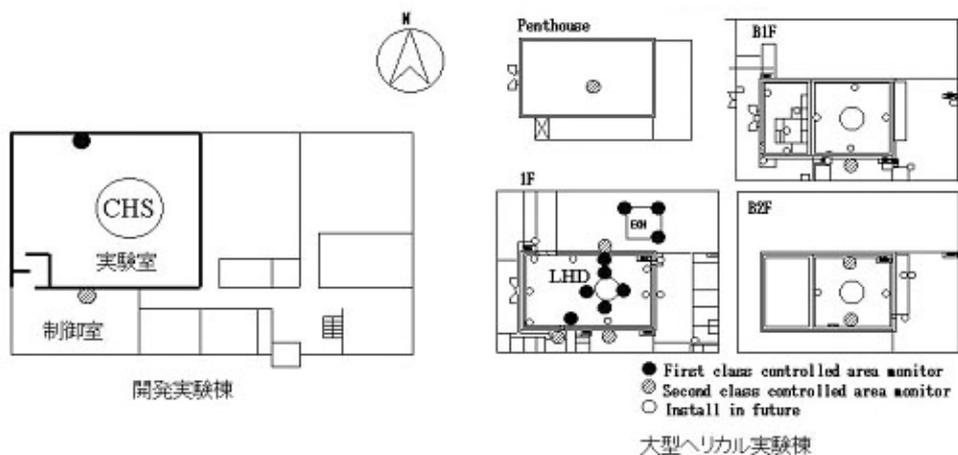


図 3.6.6-1 室内モニター配置図

図 3.6.6-1 と図 3.6.6-2 に室内と屋外の放射線モニターの配置を示す。屋外モニタリングポストは 1992 年に 7 台設置されたのを初めとして、1996 年に 5 台 (WF、WM、IC、IE、IF)、1998 年と 1999 年に各 1 台 (WH、WN) が増設された。

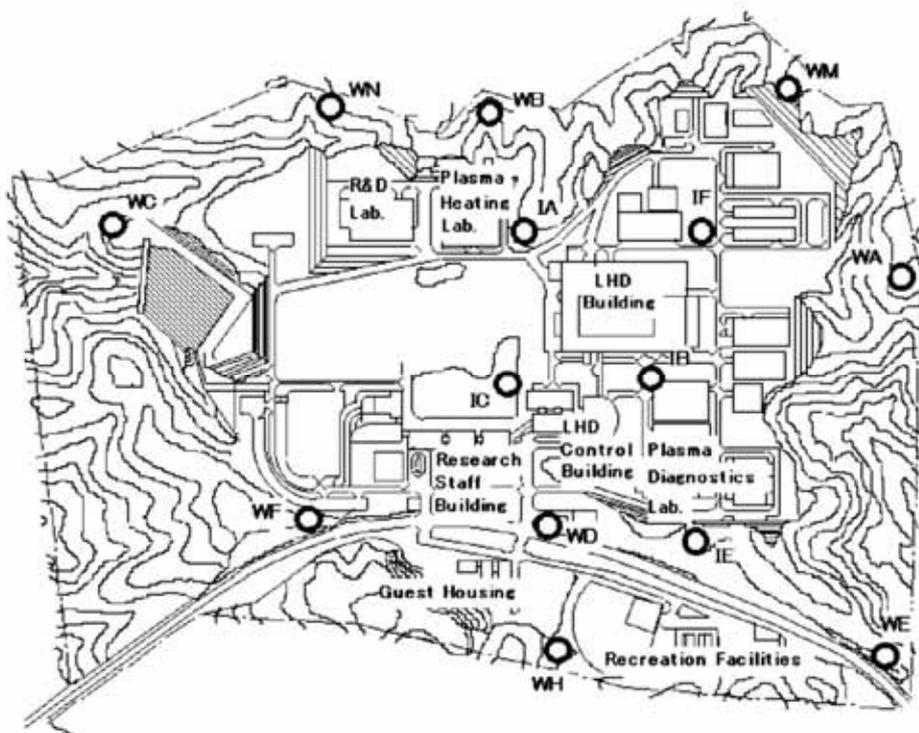


図 3.6.6-2 モニタリングポスト配置。

(5) 中性子測定

(5 - 1) 中性子束測定

DD 反応の量を評価することは、安全管理の立場から最重要課題である。放射線発生装置としての使用量には、DD 反応で発生した中性子量が用いられる。また、生成するトリチウムの量も、この測定値から算出される。重水素実験を開始する上で最重要不可欠の測定である。従って、中性子束測定器を、本体室に1箇所以上設置しなければならない。発生中性子量の測定結果に基づいて、実験量を制御する。値の信頼性を高くするために、放射化箔やプラスチック飛跡検出器を用いた測定も行う計画である。

DD 反応による中性子測定には通常用いられている核分裂計数管（フィッションチェンバー）を計画している。また、測定の信頼性を得るために、Cf-252 線源による校正を行う。線源の使用にあたっては、密封放射性同位元素の使用施設になる必要がある。

(5 - 2) 作業環境における中性子線量評価

本体室、本体地下室に隣接したエリアで、重水素プラズマ放電中に作業する場所では、中性子線量を測定する。具体的には、コイル電源室、加熱装置室、計測機器室(1) に線量測定器（レムカウンター）を設置する。より高感度のもの、エネルギー群別測定ができるものが開発されたならば、併設する。

(5 - 3) 敷地境界における中性子線量評価

現在、中性子カウンタを設置しているのは、WA、WF、WM、WN、IA、IB、IC、IE、IF である。公道にもっとも近いWD にも設置する。

線量評価をより正確に行うために、ポリエチレンモデレータの厚い（例えば 10cm 厚）中性子カウンタを増設し（設置場所は、WA、WF、WM、WN、WD の敷地境界5 点を第1 候補とする）、2 本の中性子カウンタの計数を線量に変換する。

中性子線量計の標準的モデルであるレムカウンターも1～2 箇所併設し、値の信頼性を確認する。

上記のモニターからの計数を、放射線監視システム RMSAFE のもと常時測定する。

積算線量計をモニタリングポストの隣に設置して、値を比較できるようにして、信頼性を上げる。測定器としては、専用のリチウム電池によって3ヶ月間の連続測定が可能である中性子測定用の電子線量計を用いる。事前に、簡易百葉箱等に入れた状態で正確に線量を測定するための設置方法、校正方法を、検討しておく必要がある。

以上のような測定器について、実験開始の1年以上前に設置を完了して、1年間は、バックグラウンド測定期間とする。

(6) 空気中および排気中放射能濃度モニター

空気中および排気中放射能濃度のリアルタイムモニターを、

- 1) スタック（建屋から放出される排気ガス中の放射能濃度監視）
- 2) LHD本体室内（本体室内での作業環境中の放射能濃度監視）
- 3) LHD真空容器内（真空容器内での作業中の放射能濃度監視）

の3箇所に設置して、空気中および排気中の放射能濃度を監視する。

監視対象として

- 1) トリチウム濃度
- 2) 放射性Ar（Ar-41）濃度

が不可欠であるが、トリチウム含有物及び放射化物がダスト状で存在する可能性も想定されることからダスト状放射能（ α 、 β 核種）濃度のモニターも用意、適宜測定する。

設置機器リスト

- ・据え置き型ダストモニター
- ・据え置き型ガスモニター
- ・高感度トリチウムガスモニター
- ・フィルターバンク（プレ、ヘパ）

法定のトリチウム濃度管理（総量管理）には、液体シンチレーションを適用し、3ヶ月平均濃度での管理、および排出総量の管理を行う。そのため、スタック出口に排気トリチウム捕集装置、本体室内に室内トリチウム捕集装置を設置する。また、トリチウム排出の総量を精度よく測定するために、トリチウム除去装置の出口にもトリチウムモニターを設置する。

トリチウムに関しては化学形態によって法令の管理濃度が異なることから、化学形態別の濃度管理ができることが望ましい。そのため、市販のトリチウムオンラインモニター（電離箱、比例計数管）よりも1桁程度高感度のモニターを開発導入している。これにより、法令の管理値以下を連続的に監視することが可能になる。これらの開発が終了次第、既存設備に併設する予定である。

上記を考慮した排気モニターの設置案を図3.6.6-3に示す。

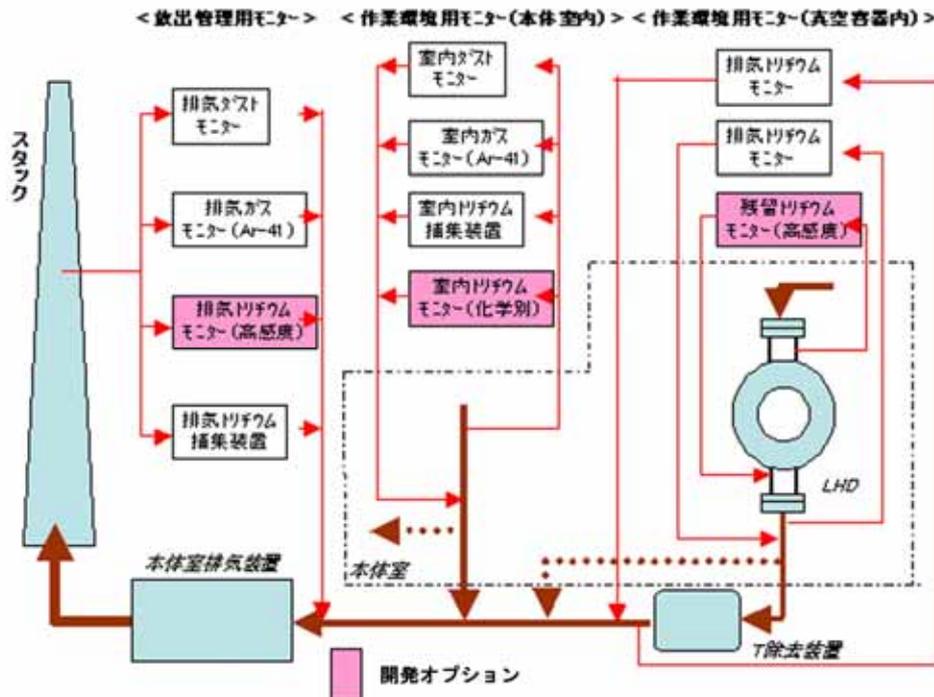


図 3.6.6-3 排気モニターの設置案

< 参考 (市販のトリチウムモニター) >

1) 通常感度モニター [例: アロカ製ルームガスモニター]

- ・ 検出器: 3 L 通気式円筒型電離箱
- ・ サンプリング流量: 5 L/min
- ・ 測定範囲: $0.1 \sim 10^3$ Bq/cc
- ・ 応答時間: 2 ~ 3分

2) 高感度モニター [例: アロカ製ベータ線ガスモニター]

- ・ 検出器: 14 L 通気式円筒型電離箱
- ・ サンプリング流量: 5 L/min
- ・ 検出限界: 1.3×10^{-3} Bq/cc
- ・ 応答時間: 60分

3) 高感度モニター「例: セイコーEG&G製モニター」

- ・ 検出器: 1.3 L 比例計数管
- ・ サンプリング流量: 1 L/min
- ・ 検出限界: 1×10^{-3} Bq/cc (計測時間: 10分)
- 3×10^{-3} Bq/cc (計測時間: 1分)

< 参考 (開発中の高感度モニター) >

- ・ 検出器: 1.3 L 比例計数管 (セイコーEG&G製モニター相当)
- ・ サンプリング流量: 1 L/min

- ・検出限界： 1×10^{-4} Bq/cc 以下（計測時間：約10分）
- ・高感度化方式：
計測ガス中のトリチウム濃縮処理+計測信号のS/N比向上処理

（7）排水中放射能濃度モニター

排水中にはトリチウムをはじめその他のベータ、ガンマ核種が含まれる。このうちトリチウムとカーボン14の純ベータ核種は、液体シンチレーション測定装置で、自動サンプリング測定もしくは手動サンプリング測定を行い、またガンマ核種については半導体検出器を用いて手動サンプリング測定を行って放射能濃度を求める。なお手動サンプリング測定の場合には、採取した試料水の状況に応じて、サンプルの濾過や濃縮等の前処理を行うこともある。これらの測定に用いられる装置を表3.6.6-2にまとめる。

表3.6.6-2 排水に含まれる放射能の濃度測定に用いられる測定装置。

<p>トリチウム測定</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ T、C 自動測定装置 ・ 低バック液体シンチレーション測定装置 ・ 液体試料前処理装置（仕様は未定） <p>トリチウム以外の核種測定</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 低バック半導体 線スペクトロメーター ・ 低バック半導体 X線スペクトロメーター ・ ガスフローカウンター（自動測定装置） ・ 液体試料前処理装置
--

（8）真空容器開放時のトリチウム測定

真空容器開放時に現場で放射能や放射線の測定評価の便宜を図るため、真空容器開放作業現場専用の測定装置を搭載したモニタリングカートを準備する。モニタリングカートには、以下のような装置を組み込む。

- ・ 半導体 線スペクトルメーター（ポータブル型）
- ・ 窓なしガスフローカウンター
- ・ 小型液体シンチレーションカウンター
- ・ トリチウムガスモニター（普及版）
- ・ ダストモニター
- ・ ダストサンプラー
- ・ モニタリングカート本体

・電源

(9) 空気放射化モニター

本体室の空気の放射化に関しては、問題となるのはアルゴンと金属等のダストである。ダストに関しては次節の「ダストモニター」にて、核種を同定する。線量は、通気型もしくは市販の放射線モニターシステムを用いる。

(10) ダストモニター

集塵機により本体室や真空容器内のダストをフィルター（ろ紙）に収集し、核種を同定する。真空容器内に入域する時には確認する。

(11) 線量表示

放射線安全管理の基本的な情報を、一カ所に集め、常時監視する。線量表示に関しては、現在すでに設置してあるRMSAFEのこれまでの運用実績をベースに、重水素実験作業環境の線量監視を目的として、線量監視機能の増強を行う。

3.6.6.2 環境放射線測定

(1) 環境放射線

測定目的

敷地境界における線量が重水素実験開始後も大きく増加しないことを測定によって明らかにする。

（注 敷地境界における線量の管理目標値は50マイクロシーベルト/年である。自然放射線による線量が、1000マイクロシーベルト/年程度であるので、その5%に相当する。）

測定器の設置と測定頻度

敷地内、敷地境界の7地点にガラス線量計を設置して線量を測定する。1回の設置は、3ヶ月間とする。（電子線量計の試用を2006年3月に開始した。）これらについては、放射線監視システムによる監視結果との比較も行う。

なお、土岐に7地点、多治見に7地点、それぞれガラス線量計を設置して測定中である。その他、土岐市プラズマ研究委員会によるTLD測定もおこなわれている。これらの場所には、重水素実験の影響は及ばないので、自然バックグラウンド測定という位置づけである。

中性子線量を測定するために、標準的モデルであるレムカウンターを1～2箇所設置する。さらに制度よく測定するために、使用する測定器と設置の方法を決定した上で設置する。これらの測定器は、実験開始の1年以上前に設置を完了して、1年間は、バックグラウンド測定期間とする。

(2) 環境トリチウム（水）

これまで、低バックグラウンド液体シンチレーションカウンターによって測定

を行ってきた。この方法の検出下限は 0.5 Bq/kg ~ 0.8 Bq/kg 程度であり、現在土岐地区の環境水中トリチウム濃度は殆ど全てがそれを下回っている。

現在の測定を継続する。試料採取地点は13箇所である。

(3) 環境トリチウム(大気)

LHDの重水素実験で発生するトリチウムは少ないので、これによる環境への影響は極めて低いと考えられるが、影響の無いことを確認することも大切である。このため、定期的に大気中のトリチウム濃度を計測監視する。

年間の本体棟付近の風向分布を勘案し、敷地内境界周辺の候補地点 2 ないし 3 箇所にサンプリングポストを設ける。

大気中のトリチウムは図 3.6.6 - 4 に示す流れで、3 つの化学形態(水蒸気、水素ガス、メタン) 別に弁別して酸化触媒を用いて水の形で捕集する。

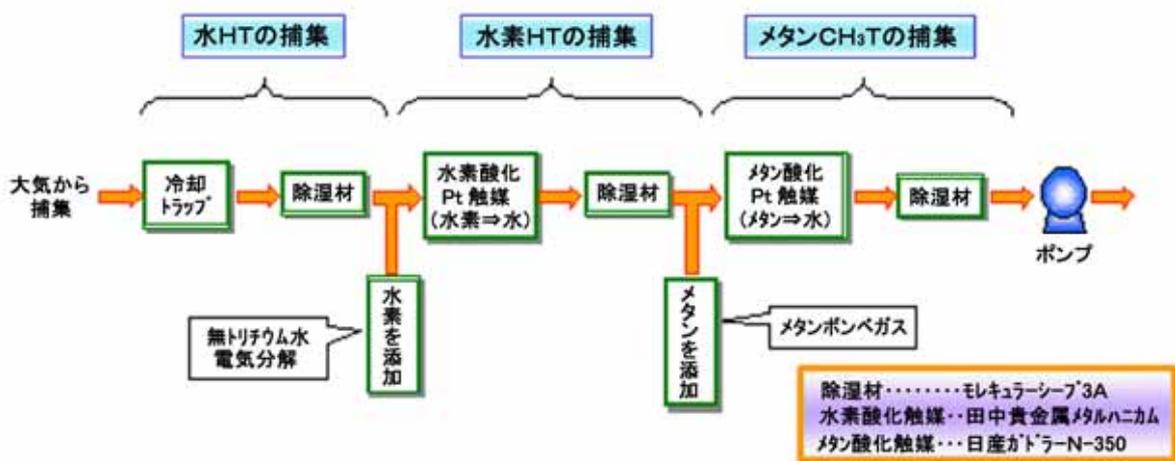


図 3.6.6-4 トリチウムを含む大気中水素の化学形態別捕集方法。

1 ヶ月(基本的には 4 週間)連続して大気サンプリングしたのち、濃度測定する。得られた値を 1 ヶ月の平均値とする。

(4) 建屋周辺環境放射能測定

建屋周辺環境放射能測定の対象と考えられるのは、トリチウムと放射化ダストである。

放射化ダストは、建屋内やスタックで測定される。建屋内やスタックにおける放射化ダストの濃度が管理上問題となるようなレベルの場合には、建屋周辺環境での測定が重要となる。従って、重水素実験による周辺環境の放射化ダストへの影響を確認するために、重水素実験前のバックグラウンドを測定しておく必要がある。

重水素実験開始の 1 年前から、毎月ダストを採集して、バックグラウンドデータを測定しておく。また、重水素実験期間中に、適宜採集測定して、異常のないことを確認する。

風向風速を考慮に入れて、採集地点を決める。ダストサンプラーによってダストを

採集する。GM管によるベータ線、ガンマ線測定を行う。ゲルマニウム半導体検出器でガンマ線スペクトル測定を行う。GM管とゲルマニウム半導体検出器は、建屋内環境等の測定に用いるものを使う。

自然バックグラウンドとの精確な弁別と評価のためには、大気中のラドン等の測定が不可欠となる。

3.6.6.3 まとめ

重水素実験において重要となる環境への放出量を測定するための測定器に関するまとめを表3.6.6-3に示す。この表では現行の入手可能な装置での測定を想定している。現在開発中の装置が完成した場合には、並行して設置し、所定の性能を確認した時点で移行していく予定である。

表3.6.6-3 環境測定用計測機器

使用目的	検出対象	測定器	検出方法	検出速度(注0)	検出下限	管理目標値	備考
中性子計測	本体室	連続	電離箱	リアルタイム		1-6年(2.1E19/年) 9-年(3.2E19/年)	別途、警報レベルを設定する
排気測定	排気塔	連続	通気式電離箱	5分～(検出下限による)	0.0013Bq/cc(計測時間60分)	0.005 Bq/cc(法規制値)	異常値を検出
		連続	比例計数管	1～10分(検出下限による)	0.003 Bq/cc(計測時間1分), 0.001 Bq/cc(計測時間10分)	0.005 Bq/cc(法規制値)	異常値を検出
		連続(開発中)	比例計数管	約10分	0.0001 Bq/cc以下(目標値)	0.0002 Bq/cc	
排出量算出用	除去装置通過後 真空排気ガス系統 真空容器パージ ガス系統(保守時)	トリチウム	トリチウム補集装置	1週間～3ヶ月(捕集時間の違うサンプルによる多重計測)	0.00002 Bq/cc以下	総排出货量、年間0.1Ci、 3ヶ月平均濃度0.0002 Bq/cc	総量及び濃度管理
		放射化ガス(Ar-41)	ガスモニター	1時間	F-18で0.0007 Bq/cc (Bkgd=10/sの時)	0.0005 Bq/cc(法規制値)	計算と併用
		ダストモニター	連続	連続上に集塵して検出	5分		適宜測定
		トリチウム	連続	通気式電離箱	2～3分	0.1Bq/cc	35 Bq/cc(注1)
排水測定	排水槽(トリチウム含有水)	トリチウム	比例計数管	1～10分(検出下限による)	0.003 Bq/cc(計測時間1分), 0.001 Bq/cc(計測時間10分)	0.007Bq/cc(注1)	
		その他	液体シンチレータ	10分	0.3 Bq/cc水	0.6 Bq/cc水	
	(ドレン水など)	連続	液体シンチレータ	10分	0.01 Bq/cc水		
放射線測定	敷地境界線量	連続	各種、放射線測定器	測定開始後、約3時間	0.001 Bq/cc水	0.6 Bq/cc水	
		連続	電離箱 比例計数管	ほぼリアルタイム ほぼリアルタイム		50 μSv/年	研究所管理値の監視 法令値の監視

注0: データになるまでに要する時間
注1: T回収率95%時の最大出口濃度