

原子力施設における放射線作業管理について

2015年9月10日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
核燃料サイクル工学研究所
百瀬琢磨

はじめに

- オフサイトの防災業務関係者の安全確保策の検討に資するため、原子力施設における放射線業務従事者の放射線作業管理の概要を紹介する。
- 本資料は、厳しい内部被ばく防止策が求められるプルトニウム等を含む核燃料物質を取り扱う施設における管理例をまとめたものであり、オフサイトの防災業務関係者にそのまま適用することを求めるものではない。

施設の概要と放射線作業の管理項目

核燃料サイクル工学研究所



主要事業

- 東京電力福島第一原子力発電所事故への対応
- 再処理技術の開発
- プルトニウム燃料の開発
- 施設の廃止措置、廃棄物処理技術開発
- 放射性廃棄物処理処分技術の開発

放射線管理上の特徴

外部被ばく管理

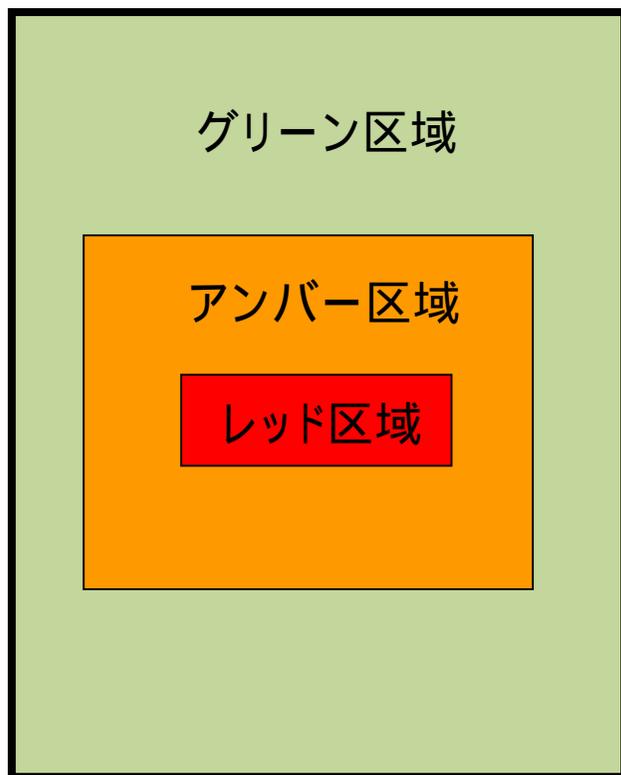
γ線、β線、中性子線が混在する外部被ばく

内部被ばく管理

核分裂生成物に含まれるβ線 / γ線放出核種、ウラン、プルトニウムなどのα線放出核種の吸入摂取、外傷汚染等に伴う内部被ばく

管理区域内区分の考え方(東海再処理施設)

核燃料サイクル工学研究所 再処理施設保安規定



管理区域境界

区域名	線量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	表面密度	空気中の放射性 物質濃度
グリーン区域	12.5 以下	告示に定められた表面密度限度以下の区域	3か月間についての平均濃度が告示に定められた濃度限度以下の区域
アンバー区域	500 以下 (注)	告示に定められた表面密度限度を超えるおそれのある区域	3か月間についての平均濃度が告示に定められた濃度限度を超える恐れのある区域
レッド区域	500 を超える	告示に定められた表面密度限度を超えるおそれのある区域	3か月間についての平均濃度が告示に定められた濃度限度を超える恐れのある区域

(注)線量率は作業の種類、内容によって設定する。例えば作業頻度の比較的高い所では $25\mu\text{Sv/h}$ に抑え、一方、立ち入る可能性の少ない所に対しては $500\mu\text{Sv/h}$ 以下に抑える。
告示:核燃料物質の加工の事業に関する規則等の規定に基づき線量限度等を定める告示

管理区域に係る測定監視



空間線量率の測定



空气中放射線物質濃度の測定



表面汚染密度の測定

管理区域に係る管理目標値

区 域	線量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	空气中放射性物質濃度 (Bq/cm^3)	表面汚染密度 (Bq/cm^3)
グリーン区域	12.5	濃度限度 $\times 1/10 \times 1/5$: 表面密度限度 $\times 1/10 \times 1/10$ [4×10^{-2}]
アンバー区域	25		: 表面密度限度 $\times 1/10 \times 1/10$ [4×10^{-1}]

放射線作業の管理項目(1/2)

1. 作業計画の立案、事前評価
 - | 線源評価、作業手順策定、線量評価
 - | 計画の承認
2. 作業環境の管理
 - | 作業環境の整備(空間線量率の低減化、空气中放射性物質濃度及び表面汚染密度の低減化、汚染拡大防止)
 - | モニタリングの実施(空間線量率、空气中放射性物質濃度、表面汚染密度)
3. 放射線作業者の被ばく管理、汚染管理
 - | 外部被ばくの管理
 - | 身体汚染の管理
 - | 内部被ばくの管理
4. 実績の評価
 - | 個人被ばく線量
 - | 作業環境モニタリング結果

放射線作業の管理項目(2/2)

5. 教育

- | 就業前教育
- | 就業中教育

6. 健康管理

- | 電離則に基づく特殊健康診断

7. 個人線量管理

- | 外部被ばくの測定
- | 内部被ばくの測定
- | 記録の管理

3. 放射線作業者の被ばく管理・ 汚染管理

被ばく管理の方針

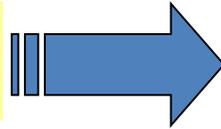
- 外部被ばく
 - ・線源からの放射線を遮へいする
 - ・線源と作業者との距離を取る
 - ・作業時間を短縮する
- 内部被ばく
 - ・放射性物質を閉じ込める
 - ・作業環境の汚染を低減する
 - ・摂取させない(呼吸保護具等の着用)

被ばく管理・汚染管理の目的と管理の具体例

目的

管理の主な具体例

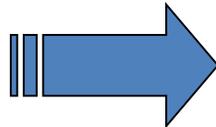
外部被ばく低減



外部被ばくの管理

- ・空間線量率の測定監視
- ・個人線量計の着用
- ・遮へい・距離の確保、作業時間の管理
- ・事前の訓練等による作業時間の短縮

内部被ばく防止



身体汚染の管理

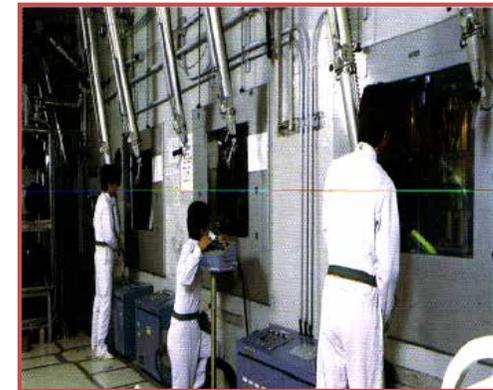
- ・作業中、作業後の手(袋)・靴底・作業衣等の汚染検査
- ・作業衣、保護手袋等の交換(汚染を放置しない)
- ・皮膚が汚染した場合の処置

内部被ばくの管理

- ・空气中放射性物質濃度の測定監視
- ・放射線状況に応じた呼吸保護具の選定と着用
- ・内部被ばくの測定評価(空气中放射性物質濃度からの計算、体外計測、バイオアッセイ)

作業実施中の外部被ばくの管理

- 作業環境の整備
 - － 線源の隔離、遠隔操作装置など線源の安全取扱い器具の使用
 - － 除染の実施
 - － 遮蔽体の設置
- 空間線量率等の測定監視
 - － 定点での測定
 - － 作業区域、作業単位ごとの測定
- 防護装備
 - － 防護用の鉛エプロン、含鉛素材の手袋や靴など
- 作業時間の管理
- 個人線量計の着用
- 作業計画との比較
- 作業環境及び作業方法等へのフィードバック など



遠隔操作装置による放射性物質の取扱い



個人線量計の着用

呼吸保護具の種類と使用上の注意

種類	外観	使用上の注意
半面マスク (空気浄化型)		<p>フィルタはダスト用、ダスト・ヨウ素ガス兼用の2種類があるので作業環境に応じて適切に使い分ける。</p> <p>フィルタ交換を随時行う。</p> <p>面体をよく顔面に密着させる。</p> <p>酸素欠乏雰囲気では適用不可。</p>
全面マスク (空気浄化型)		
空気呼吸器 (陽圧肺力型)		<p>面体を顔面に良くフィットさせ着用すること。</p> <p>ボンベ内空気圧低警報が吹鳴したら速やかに作業エリアから安全な場所に退出すること。</p> <p>ボンベ内に酸素が十分に充填されているか確認すること。</p>
エアラインマスク (空気供給型)		<p>面体を顔面に良くフィットさせ着用すること。</p> <p>くもり止めを使用すること。</p> <p>着用時に設定した空気供給圧力(1kg ~ 2kg/cm³)の変動がない事を常時監視する。(ホースの長さ、量により変更有り)</p> <p>歩くとき連絡部保護のためエアラインホースを平らに持って歩くこと。</p>
エアラインスーツ (空気供給型)		<p>着用時に設定した空気供給圧力(2kg ~ 3kg/cm³)の変動がない事を常時監視する。</p>

呼吸保護具の着用基準の例(作業時間1時間)

呼吸保護具の種類	防護係数*1(PF)	着用の上限となる空气中濃度	算出の考え方*2
半面マスク	10	科学技術庁告示第13号別表第1及び第2に示す濃度の8倍	$(DAC) \times 10 \times 8^{*3} \times 1/10^{*4} = (DAC) \times 8$
全面マスク	100	科学技術庁告示第13号別表第1及び第2に示す濃度の80倍	$(DAC) \times 100 \times 8^{*3} \times 1/10^{*4} = (DAC) \times 80$
エアラインマスク	1000	科学技術庁告示第13号別表第1及び第2に示す濃度の8000倍	$(DAC) \times 1000 \times 8^{*3} \times 1^{*4} = (DAC) \times 8000$

- * 1 防護係数 :呼吸保護具によって低減される空气中放射性物質濃度の割合
- * 2 算出の考え方:(着用の上限) = (濃度限度) × (防護係数) × (作業時間) × (危険率)
- * 3 作業時間 :1日8時間のうち、実作業時間を1時間と基準化する。すなわち、1日8時間の濃度限度に対し、実作業時間1時間であるので8倍となる。
- * 4 安全係数 :取扱いによっては保護具の性能が得られない場合があるので、安全係数として面体内部が陽圧になるものは1、陽圧でないものは1 / 10を乗ずる。
- * 5 濃度限度 :誘導空气中濃度(DAC)のことで、平成12年科学技術庁告示第13号別表第1及び第2に示す値。

1日8時間の労働時間のうち、呼吸保護具を着用した作業時間を1時間と仮定して、呼吸保護具の防護係数や安全係数を考慮の上、その呼吸保護具が使用可能な使用空气中濃度の最大値(着用の上限)を算出した。

防護装備例 (グリーン区域、アンバー区域)



区域	グリーン区域	アンバー区域	アンバー区域 (汚染の可能性あり) ^(注)
呼吸保護具	不要	不要	半面マスク
作業衣服	帽子、カバーオール、靴下	帽子、カバーオール、靴下 (入域時再度更衣を行う)	帽子、カバーオール、靴下
手袋	綿手袋	綿手袋	綿手袋 + ゴム手袋
靴	管理区域専用靴	管理区域専用靴	管理区域専用靴

(注)アンバー区域であっても汚染を発見すれば直ちに除染を行うため、通常汚染はない。グローブボックスでの放射性物質取扱い作業や除染の作業などに従事する場合

防護装備例(レッド区域)



低レベル汚染作業時の装備
(半面マスク+タイベックスーツ1重)



中レベル汚染作業時の装備
(全面マスク+タイベックスーツ2重)



高レベル汚染作業時の装備
(エアラインマスク+酢ビスーツ+タイベックスーツ1重)

半面マスク、全面マスクの適用について

- 半面マスクは、全面マスクに比べて視界が広く、装着の負担感も軽いなどの長所があるが、顔の一部が露出しているため、皮膚汚染とマスク取り外しの際の汚染の吸入には注意が必要。なお、経験的に、半面マスクを着用して内部被ばくに至るケースはほとんどない。
- 全面マスクは、タイベックスーツ、手袋、シューズカバーなど全身の汚染防止対策と併用すれば、内部被ばくの確実な防止対策となるが、視界が狭く、装着の負担感も無視できないため、連続する長時間の作業には不向き。
- マスクの性能を確実に発揮させるためには、適切なフィルタの選定やマスクの適合性の確認が重要で、使用者に対する事前の教育訓練やマスクメンテナンスを行うことが望ましい。
- マスクの定期点検を実施し、面体、弁(ゴム製)やベルトの変形、亀裂、破損の有無、フィルタの装着状況の確認などを行うことが必要。研究所では年2回の頻度で点検を実施している。

マスクマンテスト

研究所規則に基づき、放射線業務従事者が初めて半面マスクを着用する前及び新たなマスクを使用する前に、マスクマンテスト装置を用いてマスクの適合性確認や装着方法の指導を実施している。



マスクマンテスト



装着方法の指導

身体汚染検査



作業中、作業後に手袋、靴底、作業着その他の体表面の汚染検査を実施する。汚染を発見した場合には、汚染が拡大しないようサージカルテープ等で汚染を固定し、手袋や作業着の取り換え、除染等を行う。内部被ばく防止のため、処置が完了するまでマスクは外さない。汚染した衣服等はビニール袋等で密封し、放射性廃棄物として管理する。

皮膚汚染と皮膚の等価線量の関係

核種	放射線	70 μm線量当量
I-131	線・線	1.32
Cs-137	線・線	1.43

単位： μSv / h

皮膚汚染密度： 1 Bq / cm²、皮膚汚染面積： 1 cm²

(出典 ICRU Dosimetry of External Beta Rays for Radiation Protection)

(例) 表面密度限度40Bq/cm²のI-131による汚染が1時間付着していた場合の皮膚の等価線量は
 $40\text{Bq/cm}^2 \times 1.32 (\mu\text{Sv/h}) / (\text{Bq/cm}^2) \times 1\text{h} = 53 \mu\text{Sv}$
 にとどまり、皮膚の年間の等価線量限度500mSvを十分下回る。

放射線管理上ヨウ素131、セシウム137による皮膚汚染に伴う外部被ばくは重要でない場合が多い。内部被ばく防止の観点から除染を急ぐ。

5. 教育

就業前放射線業務従事者教育の例

(炉規法、障防法、電離則関係)

項目	内容	時間
放射線の基礎知識	原子と放射性物質 放射線と物質との相互作用 自然放射線と人工放射線 放射性物質の量及び放射線量の単位	60分以上
放射線の人体への影響と被ばく管理	身体的影響と遺伝的影響 早期及び晩発性の影響 線量限度 被ばく管理の目的及び方法 外部及び内部被ばく管理 特殊健康診断	60分以上
放射線測定器の概要及び取扱い(実習含む)	放射線検出器の原理及び種類 放射線測定器取扱上の注意 サーベイメータ等の取扱い方法 サーベイメータの取扱い実習	60分以上
臨界管理	臨界について 臨界管理とその要点 臨界事故	60分以上
作業環境の放射線管理	放射線管理の目的及び方法 放射線管理の基準 緊急時の措置	60分以上
放射線防護具	外部放射線に対する防護具 体内汚染に対する防護具 防護具取扱上の注意事項と装着実技	60分以上
法令及び保安規定	原子炉等規制法、放射線障害防止法、労働安全衛生法(電離放射線障害防止規則) 保安規定、放射線障害予防規定等の概要及び安全作業基準 保障措置・核物質防護のプロフィル	90分以上
身体の放射性汚染除去(実習含む)	基本的注意事項 除染時の手順 身体除染キットの取り扱い 皮膚除染実習	60分以上

就業中においても放射線業務従事者教育を年1回以上行うこととしている。

6. 健康管理

電離放射線健康診断

- 1 電離放射線障害防止規則第56条に基づき、放射線業務従事者に対して、労働安全衛生規則に定める一般健康診断(雇入れ時、定期、他)に加え、下記のとおり電離放射線健康診断を実施している。

検診名	実施時期	頻度	対象者
電離放射線健康診断	就業時及び定期 (上期・下期)	1回 / 6カ月	放射線業務従事者

健康診断項目

1. 被ばく歴の有無(被ばく歴を有する者については、作業の場所、内容及び期間、放射線障害の有無、自覚症状の有無その他放射線による被ばくに関する事項)の調査及びその評価
 2. 白血球数及び白血球百分率の検査
 3. 赤血球数の検査及び血色素量又はヘマトクリット値の検査
 4. 白内障に関する眼の検査
 5. 皮膚の検査
- 健康診断項目の省略については、同第56条に基づき実施している。

7. 個人線量管理

個人線量計の着用



- 着用期間
 - 最長3月(妊娠中は1月)
- 線量計の種類と選択
 - 基本線量計、補助線量計
 - 直読型、集積型
 - 放射線の種類(γ 線、 β 線、中性子線)
- 着用部位(電離放射線障害防止規則第8条)
 - 体幹部
 - ü 男子:胸部
 - ü 女子:腹部
 - 体幹部不均等被ばく
 - ü 鉛エプロン等で覆われない襟など最大となる部位に追加着用
 - 末端部
 - ü 最大となる部位に追加着用
 - ü 手部的場合指リング線量計を着用

内部被ばく線量測定のための測定装置 (体外計測法)

体内に取り込まれた放射性物質から放出され、体外へ透過した放射線 (X, γ 線) を検出する。



全身カウンタ



精密型全身カウンタ



肺モニタ

個人線量の記録及び報告

個人識別情報、個人線量、期間、事業所名など



個人被ばく管理棟

放射線業務への従事状況登録
定期線量の登録
放射線管理記録の引き渡し

放射線影響協会
放射線従事者中央
登録センター

原子力業務従事者被ばく線量登録管理制度に基づく被ばくデータの運用

個人線量管理システム内のDBから各種報告書等を作成

- 所内報告：電離則、保安規定等に定められた記録の作成保管、個人通知、放射線管理手帳への記録を行う
- 所外報告：法令報告、協定等に基づく地方自治体への報告、元請会社への報告
- 原子力業務従事者被ばく線量登録管理制度に基づく放射線管理記録の引き渡し等：放射線従事者中央登録センターに対して放射線業務への従事状況登録、定期線量の登録、放射線管理記録の引き渡しを行う

オフサイトの防災業務従事者の 放射線防護対策について

放射線業務従事者の管理の経験から言えること(1/2)

1. 外部被ばくの防護は、オフサイトの防災業務においても、時間、距離、遮蔽といった外部被ばく管理の原則に従って計画的に作業を管理することが基本であり、線量評価を含む作業計画の立案、作業環境における空間線量の確認(実測含む)、個人線量計の着用、計画と実際の作業状況との対比などが防護対策の主要な要素となる。
2. オフサイトの防災業務では、内部被ばくの防護は、身体汚染状況の確認と防護用マスクの適切な使用が防護対策の主要な要素となるが、使用するマスクの種類については、主に活動する場所の環境条件(屋外、車内、建屋内)や放射線状況、マスクの防護性能、作業性、資機材の管理方法などを考慮して適切に選択する必要がある。
3. 全面マスクやそれより防護性能の高い呼吸保護具は、管理区域内において人が常時立ち入る場所ではないセル内での作業など、嚴重な内部被ばく防止対策が必要なケースに適用され、タイベックスーツなど全身の汚染防止対策と併用することが基本である。これらの呼吸保護具は、一般に長時間の屋外での防災業務への適用には不向きである。

放射線業務従事者の管理の経験から言えること(2/2)

4. 半面マスクは取扱いが簡便で着用が負担が小さいなどの利点があり、放射線業務従事者の呼吸する空気中の放射性物質の濃度限度を数倍程度超える作業環境においても内部被ばくの防止に有効であるが、マスクの性能を発揮させるためには、適切な維持管理、装着訓練とマスクフィットネス試験の実施等が重要である。
5. オフサイトの防災業務における半面マスク等の適用は、放射性ヨウ素を吸着する専用フィルタが必要な場合などにとどめ、保管管理が容易で使い捨てが可能な汎用の粉塵マスクなどの活用を検討することも一案である。
6. 呼吸保護具等の適切な使用には、防護装備の取り扱いに関する基礎知識や、装着訓練が重要である。
7. 防災業務従事者の被ばく線量の記録は、放射線業務従事者の中央登録制度などの例を参考とし、将来にわたってデータが散逸しない仕組みで管理されることが望ましい。
8. 原子力施設の放射線作業の管理においては、放射線管理員が作業環境の放射線測定や作業計画の確認、作業中の放射線管理支援等を実施している。防災業務従事者の放射線防護を専門的に支援する体制の検討も重要である。

參考資料

立入規制区域の設定基準 (東海再処理施設)

核燃料サイクル工学研究所 再処理施設保安規定

線量率	表面密度	放射性物質濃度
<p>・グリーン区域については、 25μSv/hを超える場所</p> <p>・アンバー区域については、 50μSv/hを超える場所(注1)</p> <p>(注1)作業頻度の比較的高い所は 50 μ Sv/hを超える場所、立ち入る可能性 の少ないところは200 μ Sv/hを超える場所 とする。</p>	<p>・α線を放出する放射性物質 について0.4Bq/cm²を超える 場所</p> <p>・α線を放出しない放射性物 質について4Bq/cm²を超える 場所</p>	<p>1週間についての平均濃度 が告示(注2)に定める空気 中放射性物質濃度の10分の 1を超える場所</p> <p>(注2)告示:核燃料物質の加工の事業に 関する規則等の規定に基づき線量限度等 を定める告示</p>

空間線量率が25 μ Sv/hを超え、あるいは、 α 線を放出しない放射性物質について表面密度が4Bq/cm²を超え、または、空气中放射性物質濃度が濃度限度の1/10を超える場合は立入規制区域の設定を行う。

個人線量計の着用基準の例

種 類	個人線量計	対象者	備 考
定常 モニタリング	TLDバッジ 型 	全員	
	TLDバッジ 型 	定常的に体幹部が不均等被ばくを受けるおそれのある者	<u>線についてH_{1cm}が体幹部で3倍以上異なるおそれのあるとき</u>
	TLD指リング 	定常的に手部に被ばくを受けるおそれのある者	<u>手部の$H_{70\mu m}$が体幹部のH_{1cm}の10倍を超えるおそれのあるとき</u>
作業 モニタリング	TLDバッジ 型	特殊放射線作業等で、作業モニタリングの必要のある者	定常モニタリング用線量計と同時に着用する。また結果は定常モニタリングの評価時に参照される。
	TLDバッジ 型		
	TLD指リング		

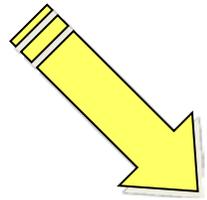
内部被ばく線量計算の手順

体外計測法

体外計測装置による
体内放射能の測定



- 1. 摂取経路の確認
- 2. 摂取から測定までの経過日数
- 3. 対象核種の確認
- 4. 体内挙動 (残留率、排泄率)

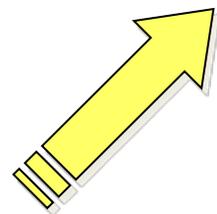


バイオアッセイ法

便・尿中の放射性
物質の量の測定

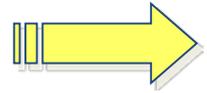


- 1. 作業条件
- 2. 作業時間
- 3. 呼吸率
- 4. マスク等の防護係数



空气中放射性物質濃度からの計算法

パーソナルエアサンプラ
定置式ダストモニタ



摂取量

$$\text{摂取量 (Bq)} \times \text{実効線量係数 (mSv/Bq)} = \text{実効線量 (mSv)}$$

皮膚除染の方法

◆ 注意事項

- なるべく早く除染を開始する。
- 中性洗剤、オレンジオイル等を使用してスポンジ、ガーゼで洗う。皮膚を傷つけない。
- 水を使用すると不溶性の水酸化物を形成して落ちにくくなる場合があるので、原則として中性洗剤等を直ちに適用。但し酸、アルカリ等の除去を急ぐ場合などは例外。

◆ 除染要領

- 放射線測定器による汚染部位の特定
- 中性洗剤、オレンジオイル等の除染剤、スポンジ、ガーゼ、綿棒を適宜組み合わせで除染。爪の隙間などはやわらかい毛のブラシなどを使う場合もある。ふき取り、水洗を適宜選択して行う。
- 汚染が飛散、拡大しないように静かに行う。内部被ばくを起こさないように汚染した本人にも半面マスク等を着用させる。

皮膚以外の身体汚染処置例



傷周辺部の除染(外傷部保護)



眼の除染(洗眼器の利用)



頭髪の除染(ふき取り)



鼻腔の除染(鼻腔洗浄)

外部被ばくの測定

- **測定（線量計交換）頻度**

 - 定常モニタリング

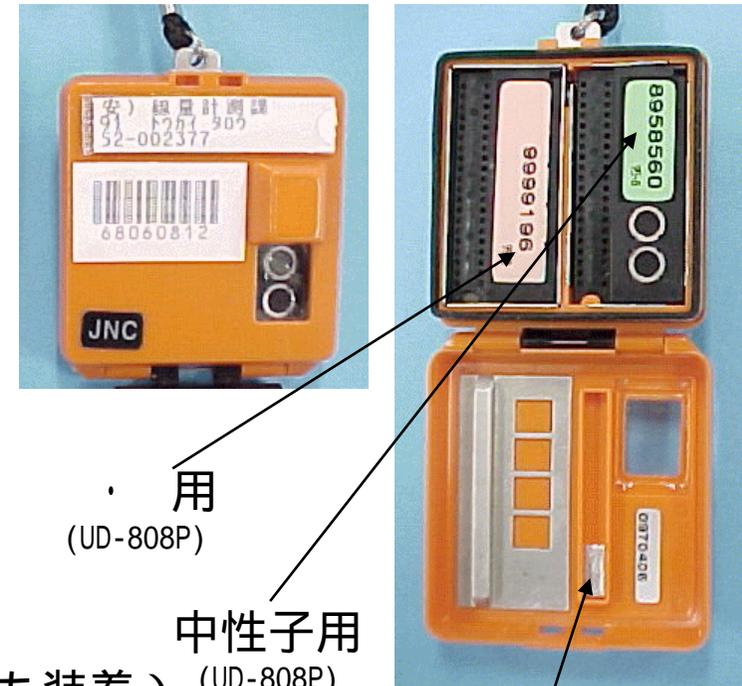
 - 3ヵ月毎
 - 1ヵ月毎（女子及び男子の一部）

 - 作業モニタリング

 - 作業ごと（定常モニタリングの頻度も考慮）

- **個人線量計**

 - TLDバッジ（胸腹部，一部の従事者は頸部にも装着）
 - TLD指リング（手指に装着）



用
(UD-808P)

中性子用
(UD-808P)

臨界事故時
スクリーニング用
(インジウム片)

内部被ばくの測定

- **定常モニタリング**

- 空气中放射性物質濃度からの計算

- 全放射線業務従事者を対象 3月又は1月毎(外部被ばくの管理期間に一致)

- 体外計測

- ・全身カウンタ(Pu・Uのみの施設については不要)

- ・肺モニタ(Pu取扱作業員から約1/5を抽出し確認モニタリング。)

- バイオアッセイ

- ・尿(Pu又はUの取扱作業員からそれぞれ約1/5を抽出し確認モニタリング)

- **特殊モニタリング**

- 内部被ばくのおそれのある放射線業務従事者

