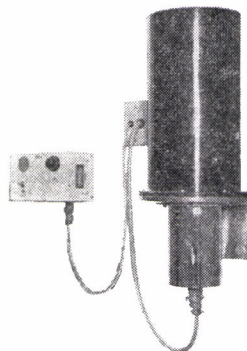


放射線管理技術

(V)



環境の管理†

吉田芳和, 宮永一郎

日本原子力研究所, 東海研究所

環境の放射線管理とは、人が作業し、あるいは居住する環境の放射線レベルや放射性物質による汚染のレベルを一定限度以内に維持することにより、放射線作業や一般の住民に対して、不必要な被曝を避けさせ、許容された以上の被曝を起こさせないようにすることである。

このような目的で行なう一連の測定を、結果の解釈を含めて、作業環境の放射線モニタリング(以下モニタリングという)という。このように作業環境のモニタリングでは、環境における放射線および放射性物質による汚染のレベルを測定し、放射線作業や一般の人の被曝を推定し、または被曝線量の上限を確認するとともに万一の事故に対する監視を行なう。その第2の目的は、測定の結果を解析し、安全性を評価することによって、施設や作業方法の改善に役立たせるという放射線防護に対して予防的な役割を果たすことである。

環境の放射線管理は、管理区域内の管理と管理区域外(一般環境)の管理に分けられる。一般には事業所内外を区分せず、管理区域外を十分安全にして、管理を行なうのがよい。すなわち、原子炉、再処理工場などの大施設を除けば、管理区域内および管理区域から排出または持出されるものの管理を十分に行なうことにより、管理区域外の環境のモニタリングを省略することができる。

本講では、管理区域の設定に関する問題と作業環境のモニタリングについて述べる。また測定によって得られた結果を評価し、判断と処置を効果的に行なうた

めに定められた基準、すなわち管理基準についても触れる。

1. 管理基準

管理基準には DWL*(誘導作業限度)と、調査レベル**とがある。DWL はモニタリングの対象についてそれぞれ最大許容線量に対応するレベルであって、これを基準に管理を行なえば最大許容線量を越えることがないようなものである。ただし DWL は長期間(たとえば3カ月間)について決めるのが一般的で、これを越えても最大許容線量を越えたことにはならない。DWL の代表的なものは表面汚染管理基準、放出量の基準などである。調査レベルはあるモニタリングの対象に対し、DWL より十分小さなある値、すなわち調査レベルをきめ、この値を越えた場合にのみその原因調査を行なうものである。固定モニタの警報設定値がその例である。調査レベルは放射線モニタリングを能率よく、しかも確実にを行なうためのものであるから、通常の作業ではほとんどおこらないレベルで、しかも

† Radiation Safety Technique (V), Radiation Control of the Working Environment, Yoshikazu YOSHIDA and Ichiro MIYANAGA: Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Ibaraki-ken

* Derived Working Limit

** Investigation Level

カット写真: エリヤ・モニタ用検出器(電離箱), 日本無線医理学研究所提供

できるだけ低いところに設定する。

2. 管理区域

2.1 管理区域の設定

管理区域は、放射線や放射性物質取扱い区域を一般の環境から物理的に隔離し、人の被曝管理と出入規制をするために設定される。ICRP では「管理区域の範囲は専門家の判断事項であるが、すべての場合に、管理区域の外側の作業者が最大許容線量の $3/10$ をこえて被曝することがほとんどおこりそうにないようなものでなければならない」と述べている。放射線障害防止法では、放射線または汚染のレベルのどちらかが下記の値になる可能性のある区域を管理区域に設定することを定めている。

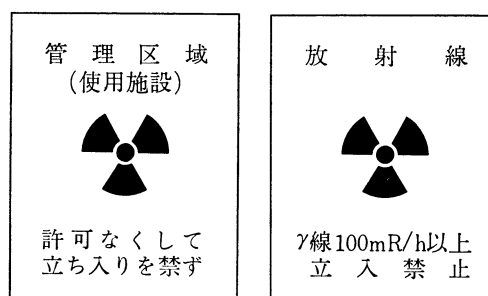
- i) 外部放射線線量は週30 mrem (年間1.5 rem に相当)
- ii) 空気中または水中の放射性物質の1週間の平均濃度が告示*の別表に示される許容濃度(1週168時間)の $3/4$ (1週48時間の値の $3/10$)
- iii) 表面汚染密度は許容レベルの $1/10$ ($\alpha: 10^{-5} \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$, $\beta: 10^{-4} \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$)

また一般の居住区域における線量は週10mrem を越えないようにしなければならない。

管理区域の設定にあたっては、日常行なわれるはずの放射線作業のうち、最も高レベルの作業を想定して、その広さを決めるが、実際には、建物や施設の状態により、境界設定や、出入管理の便宜さを考慮し、境界の明らかな建物、あるいは部屋を単位とした管理区域が設定される。とくに汚染の可能性のある場合は上記の値にかかわらず、その区域を管理区域に設定するのがよい。

管理区域には、放射線源からの外部被曝が主になる区域(放射線区域)と内部被曝および汚染が主になる区域、または内外被曝ともに問題になる区域(汚染管理区域)とがあり、その管理の方式は大きく異なってくる。これらの区域は、さらにその中で、線量率や汚染のレベルによって高レベル区域として、なわ、柵などで区画するとともに、標識でその危険性を明らかにするのがよい。たとえば、線量率が2~10mR/h以上、表面汚染が常時基準値を越えるような区域では、人数および立入時間の制限など、その管理を厳重にする必要がある。

法律でも義務づけられている管理区域境界の標識のほか、放射能標識は放射性物質の存在、その位置、放射線線量率、汚染の程度の標示など管理上重要な役割



管理区域の標識、立入禁止の標識

注) 放射能マークは半径10cm以上

図1 管理区域などの標識

を果す。放射能標識の例を図1に示す。

2.2 汚染管理区域の出入管理

図2は汚染管理区域について管理に必要な機器類の配置の例を示す。管理区域入口に放射線管理室を設けてモニタの指示値を集中監視できるようにし、また出入口には放射線、汚染のレベルの分布および注意事項の掲示板を置き、入室者の注意を促すのがよい。汚染管理区域では管理区域専用の靴のはきかえ、またはオーバーシューズの使用と更衣を行なう。セル内への放射性物質の移動など汚染発生の可能性の大きい区域は高レベル汚染区域として、この区域での作業には、さらに靴のはきかえ、必要な防護具の着用が行なわれる。

この図のように、手足衣服汚染モニタを管理区域の内側に置いた場合は、以下に述べる作業者の表面汚染モニタリングのほか、管理区域内の表面汚染モニタリングの補助としてきわめて有効である。

汚染の拡大を防止するためには、汚染管理区域の出口において、作業者の手足、衣服および持ち出す機器・物品の表面汚染ならびに表面線量率のモニタリングを確実にしなう必要がある。物品類のおもな対象は、汚染区域からの固体廃棄物、区域内で使用した工具などがある。その管理にあたっては持ち出し先が管理区域内であるか、一般の居住区域であるかによって、その管理レベルが異なる。

3. 作業環境のモニタリング

モニタリングの立案にあたっては、施設の状態、放射線作業の内容、起こりそうな被曝の型(線種、外部被曝と被曝部位、内部被曝)、作業場所、周辺への影響などについてあらかじめ十分に検討し、測定の対象

* 科学技術庁告示第22号 (35.9.30)

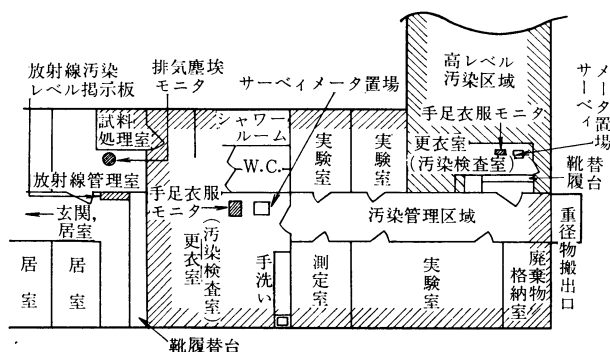


図2 (汚染)管理区域の平面図(例)

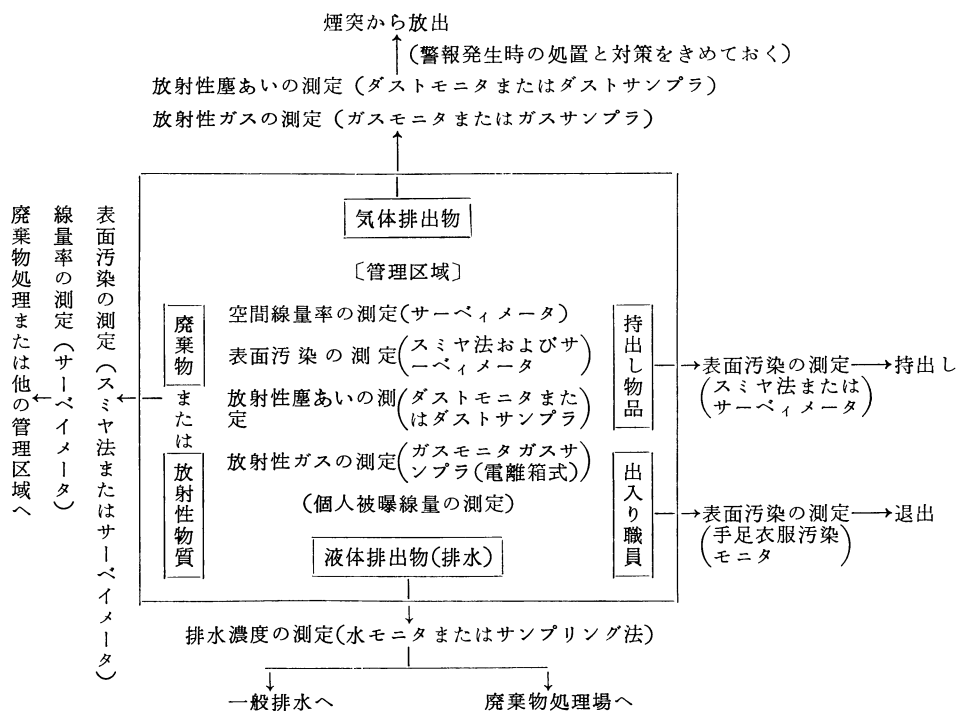


図3 管理区域内のモニタリング項目

を明確にし、それに適した測定器を選定すべきである。

作業環境のモニタリングは、機能別に環境モニタリング(狭義)、作業モニタリングと特殊モニタリングに分けて考えると便利である。

環境モニタリングは、作業環境そのものが連続作業に相当であるかどうかを管理基準にてらしてチェックするためのもので、空間線量率、表面汚染、空気汚染などがその対象となる。モニタリングの間隔はそれぞれの対象と作業環境の性質によってきまる。毎日のパトロールから1週または1カ月に1回の定期サーベイ

などが考えられる。固定モニタ(エリア・モニタや、塵あいモニタ)による方法もこれに含まれる。

作業モニタリングは、特殊な作業や操作に伴うモニタリングで一定のレベル以上の被曝が予想されるような作業に対して行なわれる。このような作業を適確につかむためには、作業側からの確実な連絡が必要である。

特殊モニタリングは、作業手順を決めるのに必要なデータを得るためなど特殊な目的で詳細に行なうモニタリングである。これは施設の初使用、使用条件の変更、施設の改修後などに行なわれるもので放射線防護

の予防的な役割を果たすため重要である。

図3は管理区域におけるモニタリングの項目と通常用いられる測定器または測定法を図に示したものである。

数種の放射性物質のみを使用する小規模の管理区域においては、その所在を明確にし、それを移動または使用するときに必要な防護手段（ゴム手袋の着用、サーベイメータによる線量率のチェックなど）を決めておけば十分な場合が多い。このいわゆる放射性物質の所在管理は放射線管理において有効である。

以下にモニタリングの対象別にその目的と測定結果の解釈上の注意事項について述べる。

3.1 空間線量率のモニタリング

3.1.1 目的と方法

対象になるおもな放射線はX, γ 線および β , 中性子線である。モニタリングの目的は、

1) 施設または作業方法などの変更により作業環境に異常な放射線レベルのところが生じていないことを確認する。

2) 作業空間の線量率分布と作業に必要な時間から、作業位置における被曝線量を推定する。その線量が基準値を越えるときは、作業時間の制限、または遮へいの変更を含む作業方法の検討を行なう。

モニタリングの方法としてはサーベイメータによる定期的測定とエリアモニタによる連続測定とがある。エリアモニタは主として異常の発見のために設置するもので、作業時の被曝線量を推定するためには、作業位置における線量率をサーベイメータなどで測定するか、エリアモニタの指示値と同様な作業における過去のデータとの比較から作業位置の線量率を推定する必要がある。

施設の稼動開始に詳細な線量率分布を測定しておけば、条件の変更があるまで、代表点を測定するのみでよい。また中性子線と γ 線が混在し、その比がほぼ一

定であるような場所においては、一般には日常は γ 線のみを測定し、それが通常と異なる値になったときに両者を測定し、その等価線量率を求める方法がとられる。中性子線の場合も、一般に熱あるいは速中性子線が同時に存在するので、監視のためにはどちらかを定期または連続測定を行なえばよい。

3.1.2 測定評価上の注意

GMサーベイメータは感度はよいが、エネルギー特性がよくないので、異常な放射線レベルの検出に用い、線量率を正しく測定するときには電離箱サーベイメータを使用する必要がある。またGMサーベイメータは大線量率(10mR/h以上)、やパルス状放射線の測定には適しない。

放射性物質の取扱いにおいては、 γ 線による外部被曝のほか、 β 線による手の被曝防護が重要になる。 β 線は透過力が小さいために、表1に示すように、線源の直近距離では、同じキュリー数の γ 線よりも被曝が大きくなる場合がある。電離箱サーベイメータの窓蓋を開けて測定した場合、 β 線をも検出できるが、一般にはその指示値(mR/hで目盛っている)から β 線による吸収線量率を得るためには一定の係数をかけなければならない。

3.2 表面汚染モニタリング

3.2.1 表面汚染の管理基準

表面汚染には固着性の表面汚染と遊離性の表面汚染とがある。これらの表面汚染は表面から舞上りて吸入摂取されることや、手を経て口から飲み込まれることによる内部被曝、および汚染部に触れることによる外部被曝をもたらすが、遊離性の汚染による内部被曝が最も問題になる。したがって表面汚染密度とそれに伴う空気汚染との関係からつぎの仮定を設けて管理基準値が導かれている。

一様な汚染面の表面汚染密度 $S(\mu\text{Ci}/\text{cm}^2)$ と汚染の舞上りによる空気汚染の濃度 $C(\mu\text{Ci}/\text{cm}^3)$ との関係

表1 各種の形状の β 線源の表面またはその近傍における吸収線量率

線 源	放射能強度または放射能密度	吸 収 線 量 率*	備 考
点 線 源	1 μCi	1 cm の距離で ~ 1 rad/hr	最大エネルギー 0.3~2.5 MeV の範囲に適用
面 線 源	1 $\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$	線源表面で~10rad/hr	最大エネルギー 0.8~3.0 MeV の範囲に適用
体 線 源	1 $\mu\text{Ci}/\text{cm}^3$	線源表面で~ 1 rad/hr	線源の密度は 1 g/cm ³ , 最大エネルギー 2~3 MeV に適用

* 7 mg/cm² の不感層直下の値である。

を示す遊離係数 K としては $4 \times 10^{-7} \sim 2 \times 10^{-8} (\text{cm}^{-1})$ が採用されてきたが、管理区域では後者 $2 \times 10^{-8} (\text{cm}^{-1})$ を用いれば十分安全側である。そして α 核種としては ^{239}Pu に対する $(\text{MPC})_a = 2 \times 10^{-12} \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ 、 β 核種に対する $(\text{MPC})_a = 3 \times 10^{-11} \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ (^{90}Sr では $3 \times 10^{-10} \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$)を遊離係数 K で割れば、許容表面汚染密度が導かれる。この値は告示の最大許容表面汚染密度(α 核種に対し $10^{-4} \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ 、 β 核種に対し $10^{-3} \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$)とほぼ一致する。

このように管理基準値は、最も危険な核種について換気されていない室内で汚染の面積が広く(100m²程度)、かつ汚染が均一に分布していると仮定して誘導されたものであるから一般の管理区域に、この基準を適用する場合の安全係数は、一般に100~1,000と考えてよい。

3.2.2 目的と方法

モニタリングの目的は、

- 1) 表面汚染が管理基準値以下であることを確認するとともに、その拡大防止のため除染の時期など必要な措置を判断すること、
- 2) 隔離装置の欠陥および機器の故障などによる放射性物質の漏えいや、作業方法の欠点の検出、
- 3) 空気汚染モニタリングの必要性の判断資料を得ること、これは一般に空気汚染の発生する区域では表面汚染を伴うからである。

遊離性の表面汚染の測定には、スミヤ法、すなわち一定の面積(通常約100cm²)をロ紙片でこすり、ロ紙皿に付着した放射能の β 線または α 線を計数装置またはサーベイメータで測定する方法を用いる。表面汚染検査計では、固着性と遊離性の両表面汚染の和を測定することになる。

3.2.3 表面汚染モニタリング上の注意

一般に区域の表面汚染は、ふつう最も表面汚染のおこる可能性のある場所をふくめて、作業場の何点かを定点として選び、スミヤ法でサンプリングして測定する。汚染のとれやすさは放射性物質および汚染表面の物理化学的状态によって異なる。床などの汚染に対してはスミヤ法による測定値は全汚染量の10%と仮定してもよい。

スミヤ・サンプルによる表面汚染は実際上の汚染分布全体を与えるものではないので、管理基準値に近い値が検出された場合には、さらに詳細なスミヤを行なって処置を考慮する必要がある。管理基準値以上の汚染が検出された場合、そのレベル、面積、拡大性の有無や核種(半減期の長短、危険性)によっては直ちに

除染しないで、なわ張りなどの措置によってその拡大を防止するだけで減衰を待つほうがよい場合もある。

管理区域の項で述べたように入管理の一環として作業者の手、靴や衣服の表面汚染の検査をすることは、人の検査のほか、管理区域内の汚染検出の補助的効果がある。また汚染拡大防止の観点から、管理区域からの持出物品は表面汚染検査が行なわれる。放射性物質や廃棄物を持ち出す場合の容器表面の汚染検査は、一般に γ 線の影響があるのでスミヤ法によるが、工具、装置などの場合は、スミヤ法と直接サーベイメータで測定する方法を併用する。

3.3 空気汚染モニタリング

3.3.1 モニタリングの問題点

放射性物質の体内摂取のふつうのルートは吸入によるものであるから、つぎのような作業では空気汚染の管理が重要になる。

- 1) ガスを発生する化学反応
- 2) 液体の蒸発
- 3) 粉末の飛散(個体をけずるような操作)

これらの作業では、グローブボックス、フードなどの施設を使用するなど、汚染の密封または拡大防止とマスクの使用などの防護手段が重要になる。

一方空気汚染のモニタリングにおいては、空気汚染モニタリングの結果を各個人が摂取した放射性物質量と直接結びつかないこと、すなわち作業者の呼吸域の空気汚染濃度が固定モニタによる測定値より一般に高く、3~1,000になること、塵あいの粒度分布、化学的形狀が問題になるような困難性があり、大型施設では空気汚染モニタリングはモニタリングのなかで最も重要なものになる。

しかしながら、つぎのような施設を除いては、表面汚染モニタリングを十分に行なうことにより空気汚染モニタリングを省略できる場合の多いことが経験からわかっている。

- 1) ガス状あるいは揮発性物質を大量に取り扱う施設、たとえば数百 mCi 以上のトリチウムおよびその化合物、ヨウ素およびその化合物を取り扱う施設、重水炉、RI 製造工場など、
- 2) 常時相当量の表面汚染がおこるような取扱施設、再処理工場、燃料加工工場、ウラン濃縮工場など、
- 3) プルトニウムおよびその他の超ウラン元素取扱い施設
- 4) ウラン鉱の採掘および製錬工場。

これらの大型施設では、次節に述べるような空気汚染モニタリング方式が採用されているが、使用する放射性物質が限られているときには、本節の最初に述べたような特殊な作業をするときに、モニタリングを実施すればよい。

3.3.2 空気汚染モニタリング方式

前項で述べたように、空気汚染のモニタリングには種々の困難を含んでいるので、施設および作業の特殊性を考慮し、モニタリング方式を決定する必要がある。その計画にあたっては、適切なサンプリング場所と対象とする空気汚染の測定に必要な性能を備えたサンブラまたはモニタを選ぶことが肝要である。

モニタリングにはつぎの3種類の方式がある。

1) 室内一般空氣のモニタリング

異常濃度の発生を早期に発見し、警報を発する目的で高感度のモニタを用いる。サンプリング点としては異常濃度の発生を確実に検出する位置として一般の作業場所の付近の室内気流の風下、または室内空気汚染を代表する位置として室内排気口付近がよい。この場合モニタの警報設定値は、最大許容濃度の $1/10$ 以下とする。

2) 局所の空氣モニタリング

作業室内の濃度分布を把握するとともに、測定した濃度と作業者の吸入量との相関が得られるよう考慮して、サンプリング点の選定を行なう。これはまた取扱施設および作業方法について、空気汚染の発生防止に必要な改良改善のための資料を与える。サンプリング点は2カ所以上で固定しており、それぞれにサンプリング口紙が付属し、共通のポンプで吸収する。

3) 特殊作業時のモニタリング

とくに空気汚染の発生する可能性のある作業時に、特定の場所に臨時にサンプリング点を設定して、連続的に監視し、異常発生に対して警報を発する目的で行なわれる。

3.4 放射性排気と排水のモニタリング

3.4.1 排気モニタリング

非密封の放射性物質を取り扱う管理区域からの排気は一般に高性能エアフィルタなどで放射性塵埃を口過したのち（ヨウ素などの揮発性物質の口過にはチャコールフィルタ）、煙突から排出される。

この場合、障害防止法では周辺住民の被曝を抑えるため、排気口における1日（8時間）の平均濃度、または、煙突から排気する場合には大気拡散により事業所境界の外の3カ月間の平均濃度が告示別表の空气中

許容濃度の $1/10$ 以下にすることを定めている。後者の場合は、排気口における濃度監視用のモニタをつけることが必要になる。この場合、煙突の高さと気象要素の統計などから、拡散を考えて、周辺における最大被曝地点で一般公衆の線量限度を越えないという条件から放射性物質の放出率の管理基準を定め、これを十分下回る調査レベルでモニタが警報を発するようにする。

排気モニタによる監視は、結果的には管理区域内の空気を集めて測定することになり、フードにおける作業での事故的な空気汚染の検出など管理区域内の空気汚染モニタリングに対しても有効な役割りを果たす。

3.4.2 排水モニタリング

放射性排水は貯槽にためてから、濃度を測定し、管理基準値以下であれば一般排水とする。管理基準値は、放射性廃液の発生量と通常希釈に用いられる水量とから1日平均と3カ月平均の濃度について決めることができる。後者の場合は排水モニタなどによる監視をする必要があるが、一般には排水量は一定ではなく、水モニタの検出感度も排水モニタリング用としては十分でない場合が多いので、排水口に、いわゆる比例サンブラを設置し、排水量に比例した水量をサンプリングし、測定するほうがよい。

3.5 作業モニタリング

放射線作業を実施するにあたっては、事前にその作業によって起こりうる被曝について評価し、必要な防護方法、モニタリングの方式を決定したうえで作業に着手しなければならない。一定レベル以上の作業にあたって、放射線作業が適切な被曝管理のもとで行なわれるためには、作業責任者は、前もってその作業による被曝の可能性を検討し、被曝のおそれがある場合には、放射線管理担当者に連絡し、放射線防護について必要な助言を求める。それによって、放射線管理担当者は、作業内容に適した防護ならびにモニタリング方法を検討し、必要な作業中のモニタリングを行なうことができる。このように、被曝管理の徹底を図るために、大型の原子力施設では、放射線作業許可（Radiation Work Permit）が用いられ、定められた様式により被曝線量の評価、防護手段の確認を行なうような制度を採用している。

作業モニタリングの準備でとくに注意すべき事項はつぎのとおりである。

(1) 起こりそうな被曝について評価ができる測定器を用意する。

(2) 作業中に過度な被曝が発生した場合、直ちにその作業が中止でき、その発生原因を除去できるようにあらかじめ作業前に配慮しておく。

(3) 管理区域隣接の人々や直接作業に関係ない者でその場所へ接近する人々に対して、被曝の影響が及ばないように作業前に配慮しておく。

(4) 作業時間の短縮によって被曝を少なくする必要がある場合は、作業技術の有無によって相当の差異が

生ずるため、モックアップによる訓練を行なったうえで作業に着手する。

作業の計画被曝線量は、作業現場の外部被曝線量率があらかじめ測定できるものや、推定によらねばならぬものなどに分けられるが、いずれも実測値と推定値から作業スケジュールをもとに線密に計画する必要がある。