

# 放射性物質を含む汚泥焼却灰等の 取り扱いに関する説明資料

1

放射性物質を含む汚泥焼却灰等について

2

汚泥焼却灰等に関する放射能や放射線の基礎知識

3

安全評価のための「基準(規準)」と「めやす」

4

安全評価の実施内容とその結果

# 1

## 放射性物質を含む 汚泥焼却灰等について

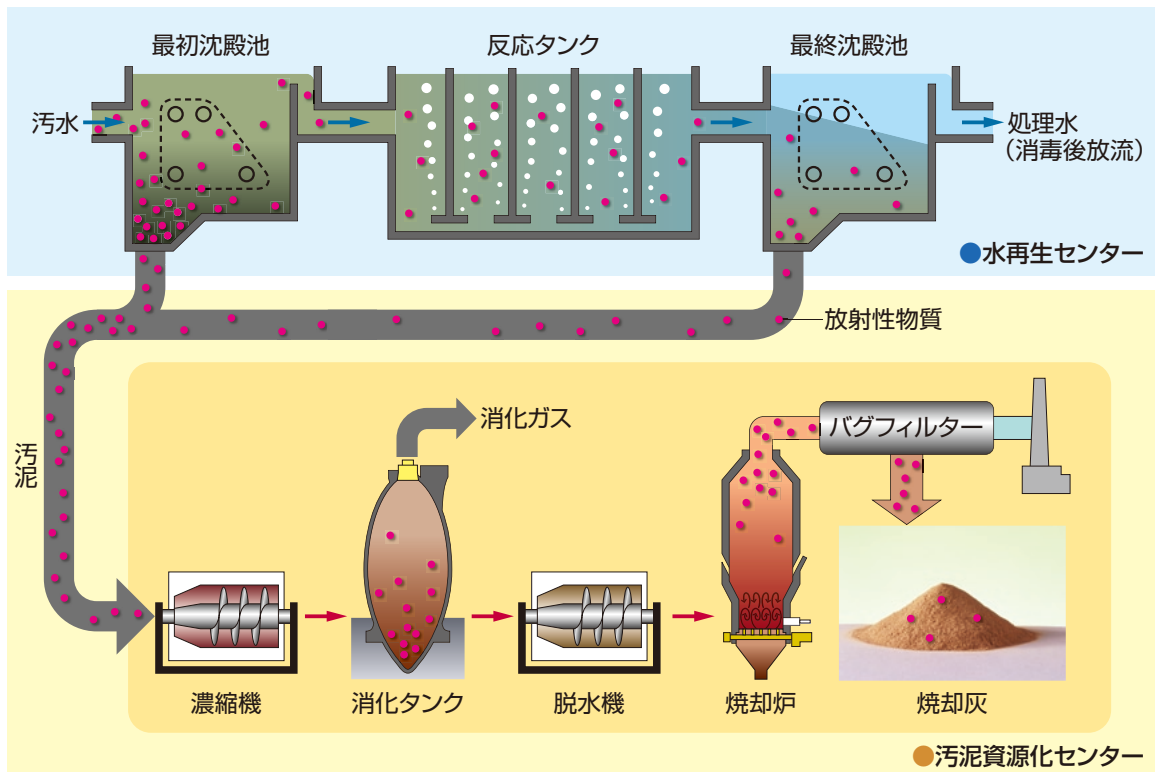
放射性物質を含む下水汚泥焼却灰などの処分について、管理型処分場である南本牧廃棄物最終処分場へ埋立て処分を行った場合の安全性の評価を実施しました。これは、今までセメント原料化などで有効利用してきた下水汚泥焼却灰が、放射性物質を含むことから利用できなくなったためです。検討の対象廃棄物は、南本牧廃棄物最終処分場に処分されるものを一体的に評価する必要があることから、下水汚泥焼却灰とごみ焼却灰、不燃ごみ、産業廃棄物としました。これは、南本牧最終処分場で埋立処理を行っているごみ焼却灰にも、下水汚泥焼却灰と同様に、放射性物質が含まれていることが判明したためです。ところでなぜ、下水汚泥焼却灰やごみ焼却灰の放射能濃度が高いのでしょうか。そこで、下水処理の「しくみ」や下水処理の過程で発生する汚泥の処理の「しくみ」と「現状」に合わせ、ごみの焼却灰処理の「しくみ」や処理の「現状」、さらには、安全性の検討を行う理由について説明します。

### 1 下水汚泥焼却灰の放射能濃度が高くなる理由とは？

東京電力福島第一原子力発電所事故に伴い拡散

した放射性物質は、大気の流れにより横浜市上空にも達し、沈降した放射性物質が雨に流されるなどして、下水管に流入し、水再生センターに届きます。水再生センターに流入した汚水の放射能濃度は、

図1-1 水再生センターと汚泥資源化センター



平成23年5月時点では検出できる限界 (1Bq/kg) 以下です。

水再生センターに流入した汚水は、図1-1のとおり、はじめに最初沈殿池と呼ばれるタンクの中で、汚水中の浮遊物を沈めます。次に、反応タンクと呼ばれるタンクで、空気と共にかき混ぜられ、活性汚泥と呼ばれる微生物の働きにより、汚水に溶けている汚れなどをきれいにします。最後に、最終沈殿池と呼ばれるタンクで、活性汚泥を沈め、上澄み液は消毒した後、処理水として海や川に返します。この処理水の放射能濃度も、検出できる限界以下となっています。

最初沈殿池で沈めた浮遊物の汚泥と最終沈殿池で分離した活性汚泥は、引き抜かれ汚泥資源化センターに送られます。この量は図1-2のとおり、水再生センターに流入する汚水の量の約1/100となります。

汚泥資源化センターに送られた汚泥は、濃縮後に消化タンクと呼ばれるタンクにおよそ1か月間貯めて、有機物を分解して消化ガスを発生させ、汚泥の量を減らします。さらに、脱水して水分を減らした上で焼却し、焼却灰として最終的に、汚泥資源化センターで受け入れた汚泥の量(受泥量)の約1/400になります。

水再生センターに流入した下水の量と比較すると

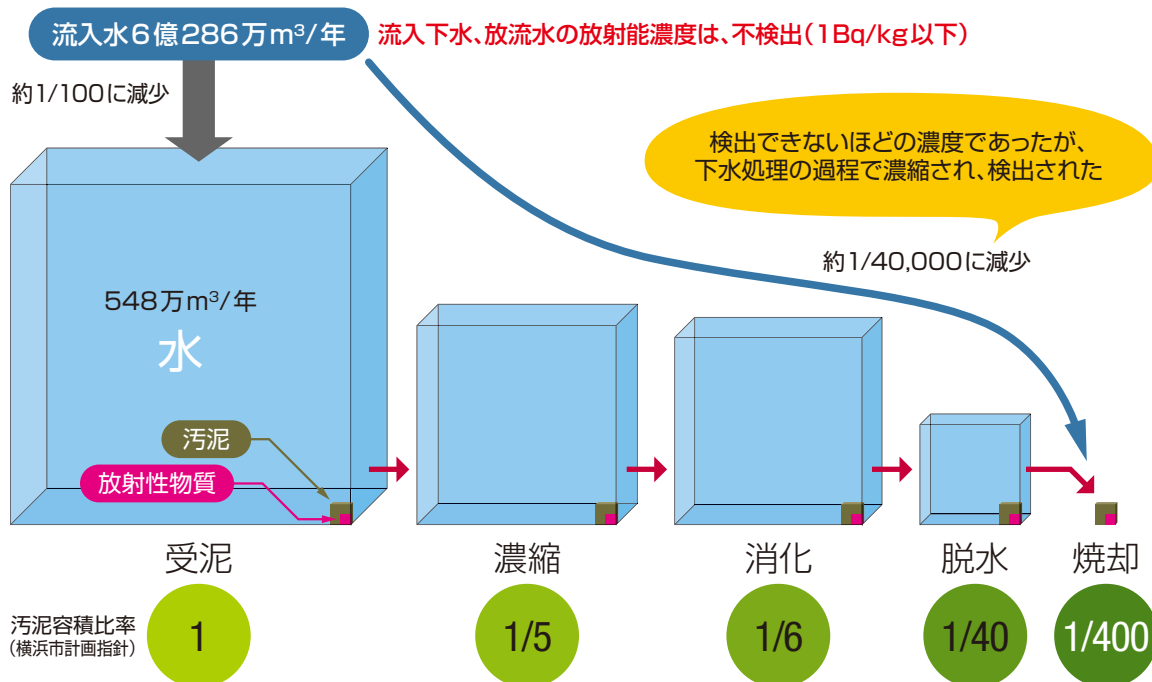
1/40,000(1/100×1/400)の量となります。このように下水として水再生センターに流入したときに検出限界未満であった放射能濃度も、処理によって濃縮されることで、下水汚泥焼却灰の放射能濃度は高くなります。

## 2 これまでの下水汚泥焼却灰の取り扱い

下水を処理する過程で発生する下水汚泥焼却灰は、年間およそ15,000トンにのぼります。将来にわたって横浜市内に廃棄物処分場を確保することは大変難しく、この焼却灰を全て処分場に埋立処分することは、処分場を長く利用する観点から、大きな課題となっていました。

そこで、平成元年から、下水管きよなどの建設工事から出る掘削した土に、下水汚泥焼却灰を添加して、良質な埋め戻し土(改良土)を作るために活用してきました。その後、セメントの原料としての活用を拡大し、平成16年4月には、すべての汚泥焼却灰が有効利用され、平成5年から11年間続いてきた南本牧廃棄物最終処分場への埋立て処分を取りやめました。

図1-2 焼却灰の放射能濃度が高いわけ



### 3 発生し続ける 下水汚泥焼却灰の現状

現在、下水汚泥焼却灰の放射能濃度は、セメント会社の受け入れ可能な濃度を超えていることから、図1-3のとおりセメント原料としての利用を中止しており、コンテナに保管しています。また、改良土への利用は、図1-7の国の示した再利用の「めやす」である、「製品段階で100Bq/kg以下」となるように、焼却灰の添加量を下げて製造しています。このことから、下水汚泥焼却灰の利用量は、以前と比較して大変少なくなっています。

このような状況に対し、横浜市は処分に伴う安全性の評価を行って、管理型処分場である南本牧廃棄物最終処分場に埋立てを行うことを検討しました。しかし、十分な説明が必要と考え、現在、下水汚泥焼却灰の埋立て処分は実施していません。この下水汚泥焼却灰は日々約40トン発生し、改良土製造に使用する分を除くと、約30トンの保管が必要となっています（平成24年3月末現在で、約10,900トンの下水汚泥焼却灰を保管）。しかし、敷地内で保管できる面積が限られているため、平成24年3月よりコンテナに収納する方式を導入し、保管する場所を確保しています。

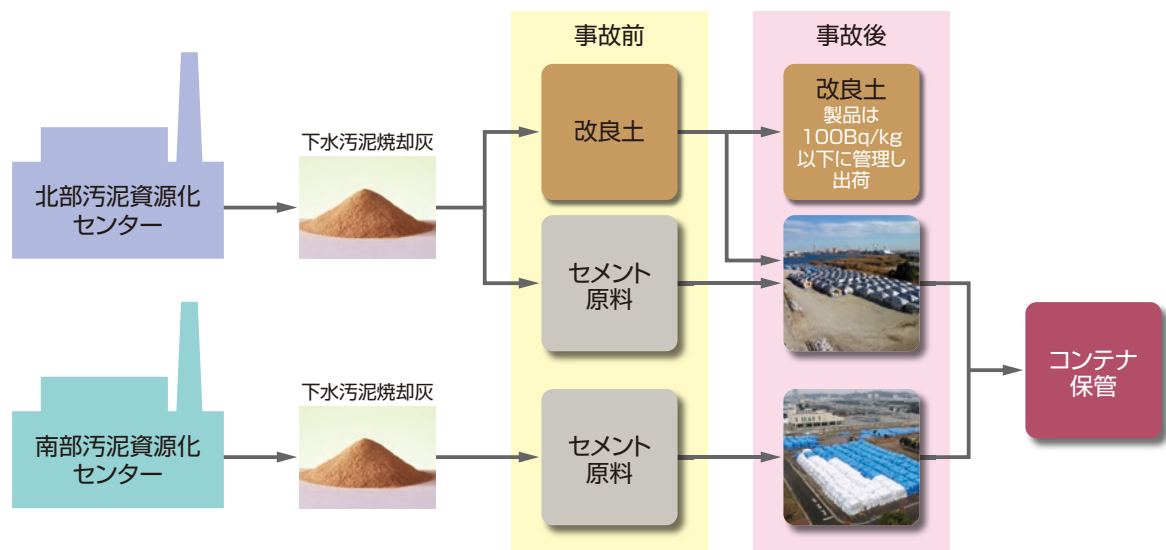
### 4 ごみ焼却灰、特に飛灰の 放射能濃度が高くなる理由とは？

原子力発電所事故に伴い拡散した放射性物質が、わずかですが食品や樹木等に含まれ、食品残さやせん定枝といった日常排出されるごみの処理へも影響が生じています。

横浜市では、不燃物等を除く「燃えるごみ」は、4つの焼却工場で処理しており、ごみを焼却した後の残さとしては、燃えがら（主灰）と排ガス中に含まれる細かなばいじん（飛灰）があり、放射能濃度は飛灰の方が高くなる傾向にあります。

ごみに含まれている放射性物質は、焼却時に炉内で800°C以上の高温にさらされて揮発あるいは液化すると考えられますが、排ガスを処理するときに約200°C程度に冷却されて固体となればいじんが吸着し、バグフィルターというろ過装置で除去されます。その結果、下水汚泥焼却灰と同様に処理の過程で濃度が高くなります。本市で採用している焼却炉形式（ストーク炉）では、焼却灰はごみに比べ約1/10程度に減量され、特に飛灰中の放射能濃度はごみに比べて最大で30倍程度に濃縮されるといわれています。

図1-3 下水汚泥焼却灰の取り扱い状況



横浜市では、平成23年の6月以降、主灰、飛灰の放射能濃度を定期的に測定しており、主灰については、当初310～480Bq/kgであったものが平成24年3月には50～80Bq/kgに、また、飛灰については当初1,220～2,400Bq/kgであったものが平成24年3月には310～430Bq/kgと、4分の1あるいはそれ以下に減少しています。

## 5 ごみ焼却灰の処理の現状

現在稼動している4工場からは、主灰が約250トン/日、飛灰が110トン/日、合計して約360トン/日の焼却灰が発生していますが、全て国の定めた埋立基準の8,000Bq/kgを大きく下回っており、南本牧

図1-4 焼却工場

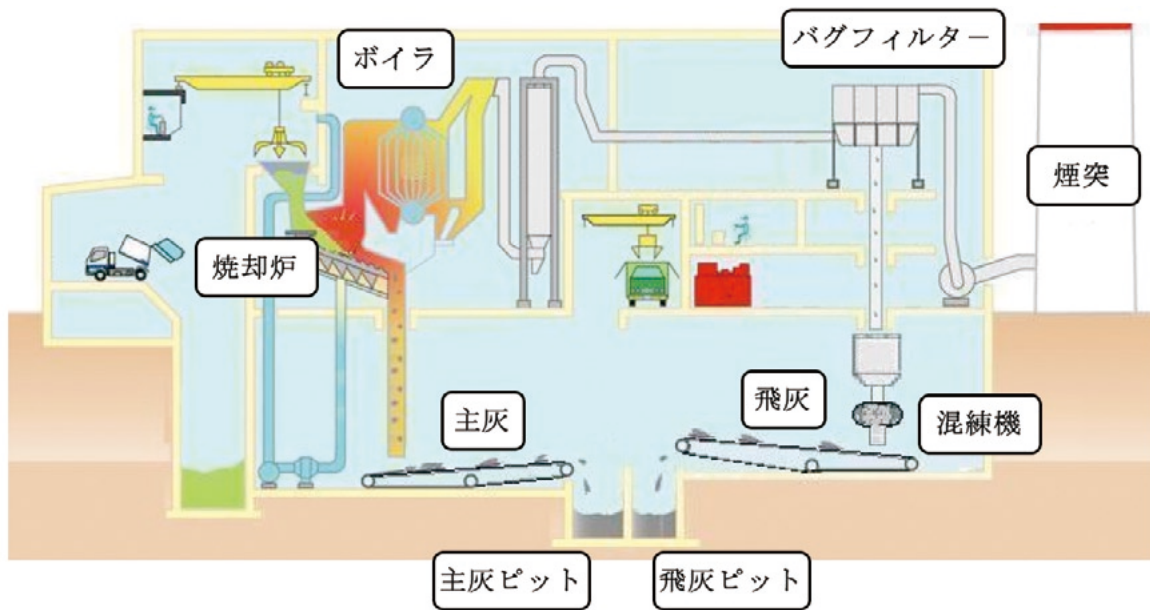


図1-5 焼却灰の処理状況



最終処分場に埋立処分を継続しています。

なお、埋立処分場での放射性セシウム溶出抑制策として、平成24年4月から工場で放射性セシウムの吸着効果のある、ゼオライトとベントナイトを使用した対策を行うほか、処分場内に締切堤を設置しエリアを区切って埋立てる方法を採用するなどの取組みを進めています。現在、処分場内水の放射性セシウム濃度は不検出であり、万一濃度が上昇した場合には、さらに排水処理施設の既存の活性炭吸着塔

6塔のうち、2塔にゼオライトを充填するとともに、新たにゼオライトを使った凝集沈殿処理を追加し、速やかに対応できるよう準備を行っています。

## 6 国が示した処分などの「考え方」「めやす」について

国は、放射性物質を含む下水汚泥焼却灰の処理・処分などについて、平成23年6月16日に、「放射性物

図1-6 排水処理施設処理フロー

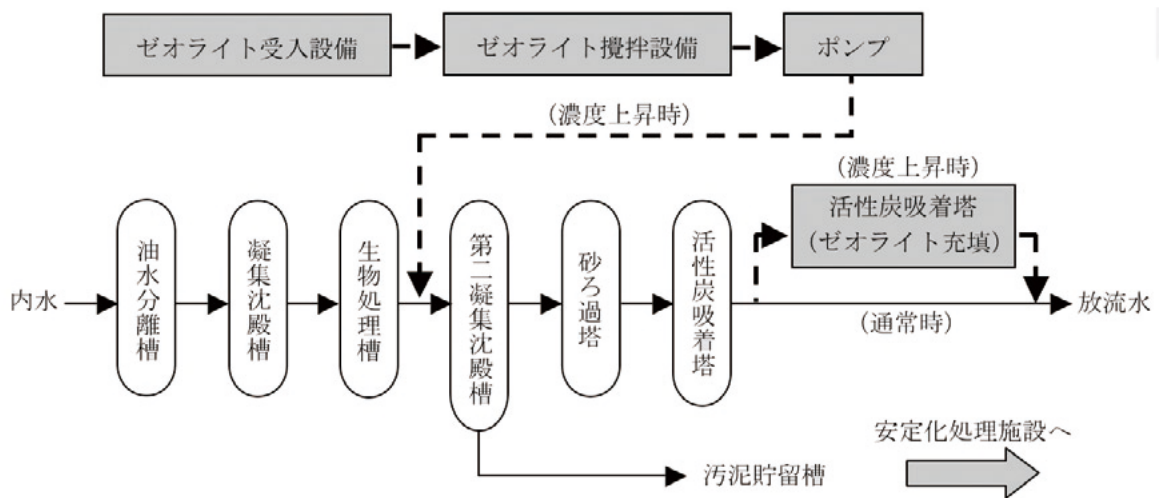


図1-7 処分等の「考え方」と「めやす」

国は、放射性物質を含む下水汚泥焼却灰等の「処理」「運搬」「保管」「処分」そして「再利用」について、「考え方」と「めやす」を示した。

### 考え方

セシウムの放射能濃度が8,000Bq/kg以下の脱水汚泥等は、跡地を居住等の用途としなければ、管理型処分場に埋立処分できる。

(8,000Bq/kgを超える考え方は省略しています)

### めやす

処理・輸送・保管(操業シナリオ)

周辺住民：1mSv/年以下  
作業員：可能な限り1mSv/年を超えない

処分(跡地利用シナリオ)

基本シナリオとして：10 $\mu$ Sv/年以下  
変動シナリオとして：300 $\mu$ Sv/年以下

再利用

製品として：100Bq/kg以下

「放射性物質を含む下水処理等副産物の当面の取り扱いに関する考え方」(平成23年6月16日 原子力災害対策本部)

質が検出された上下水処理等副次産物の当面の取り扱いに関する考え方」(以下「考え方」)を示し、放射能濃度によって処分などの取り扱い方法を分類し、併せて、作業員や周辺の住民などの被ばく量の限度である「めやす」を示しました(図1-7)。

横浜市が現在保管している下水汚泥焼却灰の放射能濃度は、8,000Bq/kg未満なので、放射能濃度だけを見れば、管理型処分場に埋立処分ができることになっています。

また、国は、放射性物質を含むごみ焼却灰の処分について、平成23年6月28日に、「一般廃棄物焼却施設における焼却灰の測定及び当面の取扱いについて」を示し、放射能濃度によって処分等の取扱い方法を分類しています。横浜市の主灰と飛灰は、基準の8000Bq/kgを大きく下回っています\*。

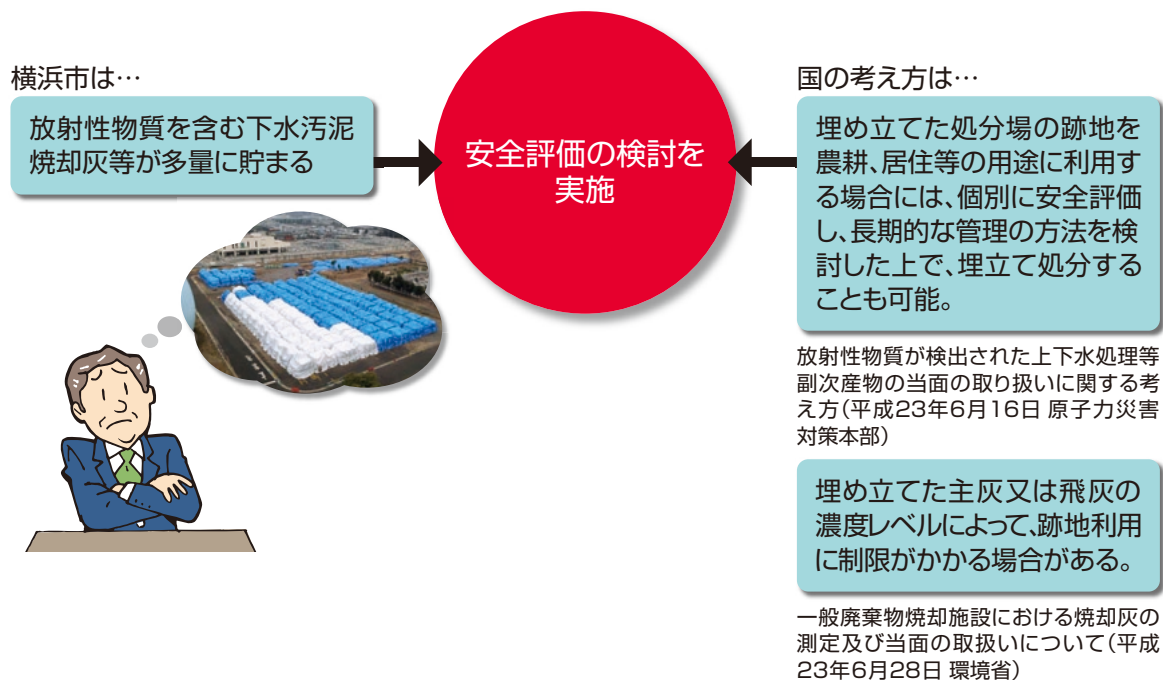
## 7 安全性についての検討評価を行う理由

国が示した「考え方」によると、8,000Bq/kg以下の廃棄物であっても、図1-8のとおり「埋め立てた処分場の跡地を農耕、居住などの用途に利用する場合には、個別に安全評価し、長期的な管理の方法を検討した上で、埋立て処分することも可能」としています。

一方、ごみ焼却灰についても、「埋め立てた主灰又は飛灰の濃度レベルによって、跡地利用に制限がかかる場合がある。」とされていることから、その影響を検討する必要があります。

従って、処分地となっている「南本牧廃棄物最終処分場」の埋立後は、居住等に分類されるような跡地利用が計画されていることから、国が示した「考え方」や「めやす」にのっとり、個別の安全評価を実施しました。

図1-8 安全性評価の実施



\*放射性物質汚染対処特別措置法が全面施行(平成24年1月1日)され、放射性物質を含むごみ焼却灰については、放射能濃度によって処分等の取扱い方法が分類されています。

# 2

## 汚泥焼却灰等に関する放射能や放射線の基礎知識

私たちは、生まれた時から放射線がある地球で暮らしていますし、体の中にも食品の一部として取り込んでいます。問題になるのは、体が受ける放射線の量です。ここでは、ぜひとも知っておきたい放射能や放射線に関する「主な性質」や、「単位」について簡潔にご説明します。

### 1 ベクレルとシーベルト

東京電力福島第一原子力発電所の事故以降、テレビのニュースや報道などで「ベクレル」や「シーベルト」という言葉が、盛んに使われるようになりました。この「ベクレル」や「シーベルト」は、「放射能(放射線を出す能力)」や「人体への影響(被ばく量)」を表す単位です。

安全評価では、人体への被ばく量を計算し評価

することから、この単位を理解しておく必要があります。

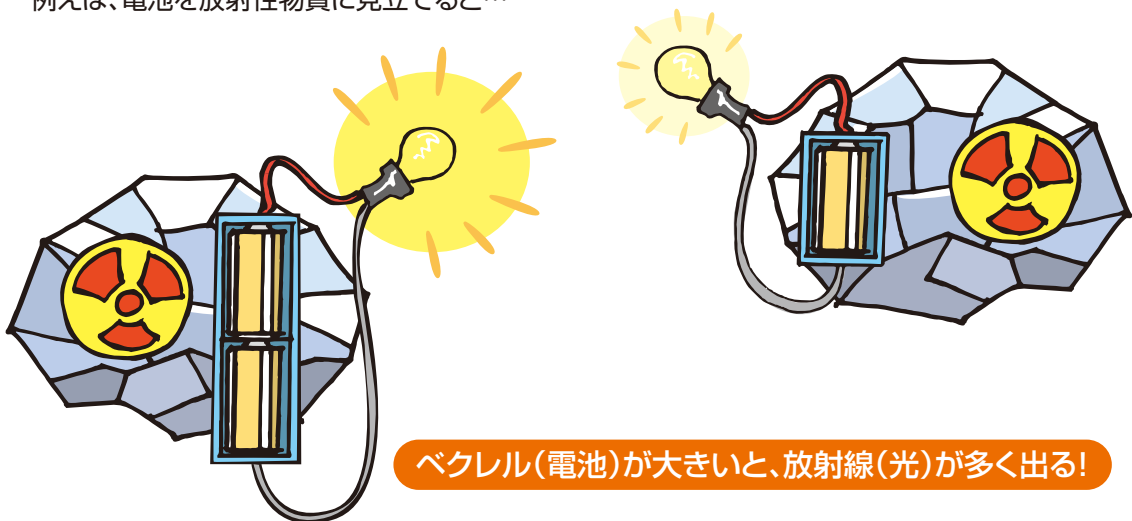
#### ①ベクレルについて

放射線は、ある特定の原子が別の原子に変化(崩壊)する際に放出されます。ベクレル(Bq)は、1秒間に崩壊する原子の数のことで、放射性物質が放射線を出す能力(これを放射能と言います)を表す単位です。数値が大きいほど、放射線を出して崩壊する原子の数が多いことになります。

#### 図2-1 ベクレルとは

ベクレル(Bq)とは → **放射能(放射線を出す能力)の単位**

例えば、電池を放射性物質に見立てると…





同じ体積や重さの物でも、放射線を出す物質が多く含まれれば、それだけその物から出る放射線の量は多くなります。図2-1のように、電池(電流)が増えると電球が明るくなるのと似ています。

## ②シーベルトについて

一方、シーベルト(Sv)は、放射線が人体に与える影響の程度を表す単位です。数値が大きいほど、人体に与える影響が大きくなります。

これは、図2-2のとおり、同じ放射能濃度「ベクレ

ル]であっても、放出される放射線の種類や線源からの距離によって、人体への影響(シーベルト)は変わります。また、その放射線が人体のどの臓器に当たるかによっても影響は異なります。このことから、被ばくの量を比較する場合には、人体への影響の程度(シーベルト)を用いることで、比較が容易となります。

## ③ベクレルで気を付けること

同じ放射能濃度(放射線量)「ベクレル」でも、放

図2-2 シーベルトとは

シーベルト(Sv)とは → 放射線が人体に与える影響の程度を表す単位



放射線の種類により人体への影響(シーベルト)は変わります。これは、図2-3のとおり照明に例えると、白熱灯と蛍光灯の明るさを比較した場合、同じ消費電力(W:ワット)でも、人が感じる光の明るさは蛍光灯のほうが明るく感じるように、同じ放射能濃度(ベクレル)でも放射性物質の種類によって人体に与える影響が違います。このことから、人体への被ばく量を比較するには、ベクレルではなく人体への影響の程度(シーベルト)を用いることで、比較がしやすくなるのです。

#### ④放射線の種類と性質

放射線は、図2-4に示すように、大きく分けて4種類あります。今回、評価の対象にしているセシウム(Cs)は、主にガンマ線を出します。放射線が物質の中を通過する時、物の中の分子や原子に衝突したりして、相手の物の中の微細なところでダメージを与えるのです。その影響の程度は、放射線の種類や放射線がどの位のエネルギーで飛び出すかによって異なります。

図2-3 ベクレルで気を付けること

放射能濃度が同じでも、放射線の種類によって、人体への影響は異なります。



同じ強さの光の中でも、白熱灯や蛍光灯などの電球の種類によって、人が感じる光の明るさは変わるように、放射性物質の種類によって人体に与える影響が違います。

人体への影響の程度にあわせるシーベルトで示せば、影響の比較が容易になります。

図2-4 放射線と放射性核種

#### 放射線

アルファ( $\alpha$ )線



#### 放射性核種

ラドン222(天然)  
ウラン238(天然)  
プルトニウム239(人工)

ベータ( $\beta$ )線



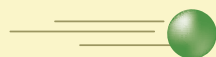
トリチウム(天然、人工)  
ストロンチウム90(人工)  
ヨウ素131(人工)

ガンマ( $\gamma$ )線やエックス(X)線



カリウム40(天然)  
セシウム137(人工)  
コバルト60(人工)

中性子(n)線



カリホルニウム252(人工)  
キュリウム242(人工)

## 2 被ばくとは？

「被ばく」とは放射性物質から放出される放射線にさらされることを意味します。図2-5の懐中電灯に例えると分かりやすくなります。

この図では、電池を「放射性物質」、懐中電灯の光を出す力を「放射能」、そして懐中電灯の光を「放射線」に例えています。つまり、光を出す力が大きいことは、放射能濃度(ベクレル)が大きいことを示し、光に照らされることが「放射線被ばく」ということになります。

また、「放射能」という言葉をよく耳にしますが、この言葉には、本来の意味「放射線を出す能力」という意味だけでなく「放射性物質」や「放射線」の意味を含んで使用される場合もあります。

## 3 放射線の性質

被ばくを考える上で、もうひとつ重要なことは、「放射線の透過性」という性質を理解することです。放射線には「ものを通過する力」がありますが、放射線の種類によりこの力は異なります。

これを、光で例えると、図2-6のとおり、光は透明

ガラスを通り、障子を通ると弱まり、壁を通過することができません。ものを通過する力を透過性といいますが、通る力を弱め、または通さなくすることを、遮へいといいます。この遮へいも、被ばくを理解する上で重要な事柄です。

ちなみに、この「ものを通過する力」を利用した例のひとつが、医療分野で使われているレントゲン写真です。

## 4 被ばく量

放射線による人体への影響は、浴びた放射線の総量で考えます。これを「累積放射線被ばく量」と呼びます。この被ばく量は、放射能濃度「ベクレル」ではなく、放射線が人体に与える影響の程度を表す「シーベルト」を用います。この「シーベルト」で表せば、放射線の種類による違いなどを合わす(補正)ことができるので、放射線の種類に関わらず、安全評価に用いることができます。

例えば、日焼けという現象を考えてみましょう。図2-7のとおり、日焼けは日差しの強さだけでなく、浴びる時間の長さにより、焼け具合が異なります。

被ばくも同様で、浴びる時間の長いほうが、傷つく細胞の数は多くなり、放射線の影響が大きくなり

図2-5 被ばくを懐中電灯で例えると

放射能濃度が同じでも、放射線の種類によって、人体への影響は異なります。



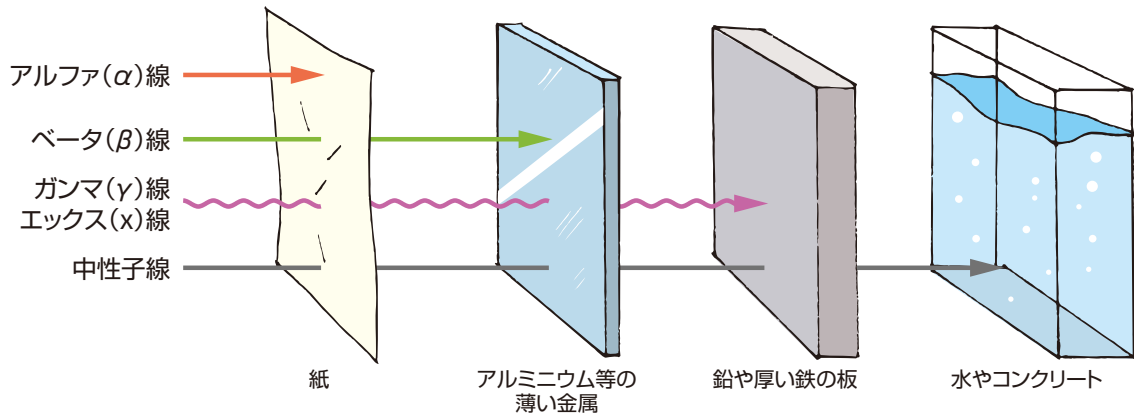
ます。

日焼けが治るように、傷ついた細胞は多くの場合、人体の活動により修復されますが、放射線を浴びる時間が長くなるほど傷つく細胞の数が多くなり、放射線の影響は大きくなると考えて、「累積放射

線被ばく量」を使って健康影響を評価します。

なお、被ばく量の「基準」や「めやす」は、1年間の被ばく量で表されており、今回実施した安全性の評価は、1年間の被ばく量を計算して、「基準」や「めやす」と比較しています。

図2-6 放射線の透過性



光でたとえると…

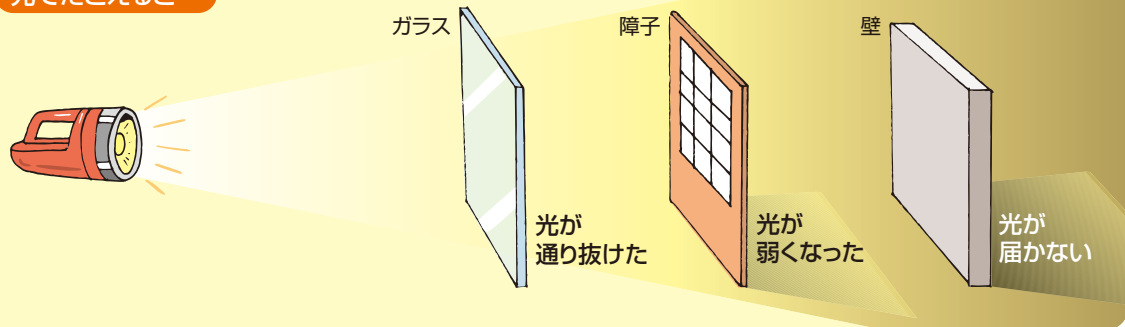


図2-7 被ばく量

健康への影響は、放射線に被ばくした量で考えます。

「基準」や「めやす」は、  
1年間の被ばく量(Sv/年)で示されているので、  
1年分の被ばく量を計算して評価します。

日焼けに例えると…



## 5 被ばく防止の「3要素」

「被ばく」を考える場合、図2-8のとおり、放射能濃度に加え「距離」「時間」「遮へい」という、3つの要素を考える必要があります。これは、被ばく量を測るため、被ばく量を計算するために必要なことで、正しく理解すると「被ばく」からの防護にも役に立ちます。

### ①距離

同じ放射能濃度(Bq)であれば、放射性物質までの距離が近いほど、人が受ける放射線量は大きくなり、人体に与える影響の程度、すなわち被ばく線量

(Sv)が大きくなります。

### ②時間

同じ放射能濃度(Bq)で、放射性物質まで同じ距離のとき、長時間、放射線を浴びた方が、人体に与える影響を多く受けます。

### ③遮へい

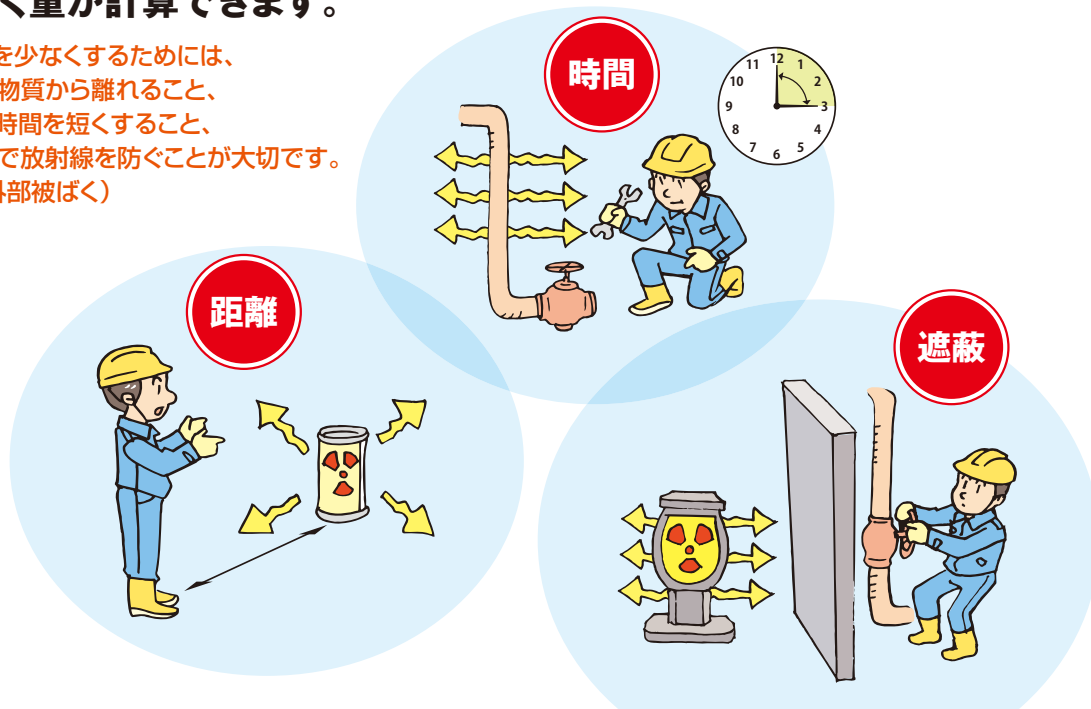
光を障子で遮ると、光の強さが弱くなるように、放射線を鉄の板や土などで遮ると、人体に与える影響が少なくなります。

被ばくの低減のためには、この3要素を考慮して対策をとることが、重要なポイントとなります。

図2-8 被ばく防止の3要素

放射能濃度(Bq)とともに、この3要素(距離・時間・遮蔽)が分かれば、被ばく量が計算できます。

被ばくを少なくするためには、放射性物質から離れること、浴びる時間を短くすること、遮蔽物で放射線を防ぐことが大切です。(主に外部被ばく)



## 6 被ばくの形態

放射線被ばくには、図2-9のとおり、放射線を外から浴びる「外部被ばく」、食べ物や飲み物に含まれる放射性物質が体内に取り込まれ、その放射性物質からの放射線で被ばくする「内部被ばく」があります。

図2-9 被ばくの形態

### 外部被ばく

外部の放射性物質からの放射線による被ばくです。



### 内部被ばく

呼吸や飲食等で体内に取り込まれた放射性物質からの放射線による被ばくです。



## 7 被ばく量計算の概念

放射性物質を含む廃棄物の処分を行なう場合の、安全評価の基礎となる「被ばく量」の計算について、これまでの説明を基に、どのような項目を用いて計算するか、外部被ばくの例で説明します。

図2-10の計算式は、普段目にすることも稀なため、分かりにくいでしょう。そこで、どのような計算をするか説明します。

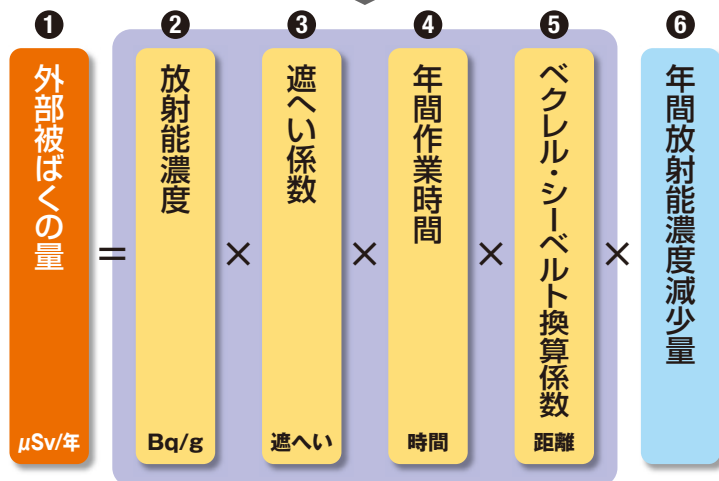
外部被ばくの量は、放射能濃度に被ばく防止の3要素と年間放射能濃度減少量をかけて計算します。それぞれの項目の説明は図2-10の下に示しています。

図2-10 被ばく量計算(概念)

作業員や周辺公衆の外部被ばくの計算式は…

$$D_{ext}(i) = C_A(i) \cdot S_o \cdot t_o \cdot DF_{ext}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i}$$

簡単に示すと…



距離はどこで計算するの？



距離別の換算係数を用います！

※②～⑤は、放射能濃度と被ばく防止の3要素となっており、被ばく量と関係が深いことがわかります。

- ①「外部被ばくの量」は年間の被ばく量として、この計算の答えとなります。
- ②「放射能濃度」は、対象となる放射性物質を含む廃棄物の量で、1グラムあたりの「ベクレル」で表します\*。
- ③廃棄物に土などを被せて遮へいした場合、放射線は減少します。この「遮へい」の効果を表すのが「遮へい係数」です。
- ④「年間作業時間」は、1年間の放射性物質の近くにいる時間です。
- ⑤「ベクレル・シーベルト換算係数」は、放射能濃度 (Bq) を人が影響を受ける程度の単位 (Sv) に変えるためのもので、距離により係数を使い分けることで、距離の影響を加味します。
- ⑥「年間放射能濃度減少量」は、時間の経過に伴い放射能濃度が減少する影響を計算するものです。

\* 1Bq/g=1,000Bq/kg

## 8 被ばく量の表し方

被ばく量は、大変小さな値のため、そのまま表すと0(ゼロ)をたくさん並べなければならないので、大変読み難く、比較し難いものです。そこで、図2-11のとおり、1,000を表す「k」や「10<sup>3</sup>」などの指数を用いて表示します。

図2-11 被ばく量の表し方

|           |                        |           |            |
|-----------|------------------------|-----------|------------|
| 1,000,000 | = 1 × 10 <sup>6</sup>  | = 1.0 E+6 | = 1M(メガ)   |
| 1,000     | = 1 × 10 <sup>3</sup>  | = 1.0 E+3 | = 1k(キロ)   |
| 1         | = 1 × 10 <sup>0</sup>  | = 1.0 E+0 | = 1        |
| 0.001     | = 1 × 10 <sup>-3</sup> | = 1.0 E-3 | = 1m(ミリ)   |
| 0.000001  | = 1 × 10 <sup>-6</sup> | = 1.0 E-6 | = 1μ(マイクロ) |

同じ意味

同じ意味







# 3

## 安全評価のための「基準(規準)」と「めやす」

放射線による被ばくに対する安全性を評価するために、考えうる限りの被ばくの仕方(シナリオという)を検討し、それらに基づき、関連する人々の1年間の被ばく量を計算します。その結果を評価するには、法令に定められた「基準」、国の専門機関で定めた「規準」、そして国が示した「めやす」と比較し、評価結果がそれらを満足することが必要です。

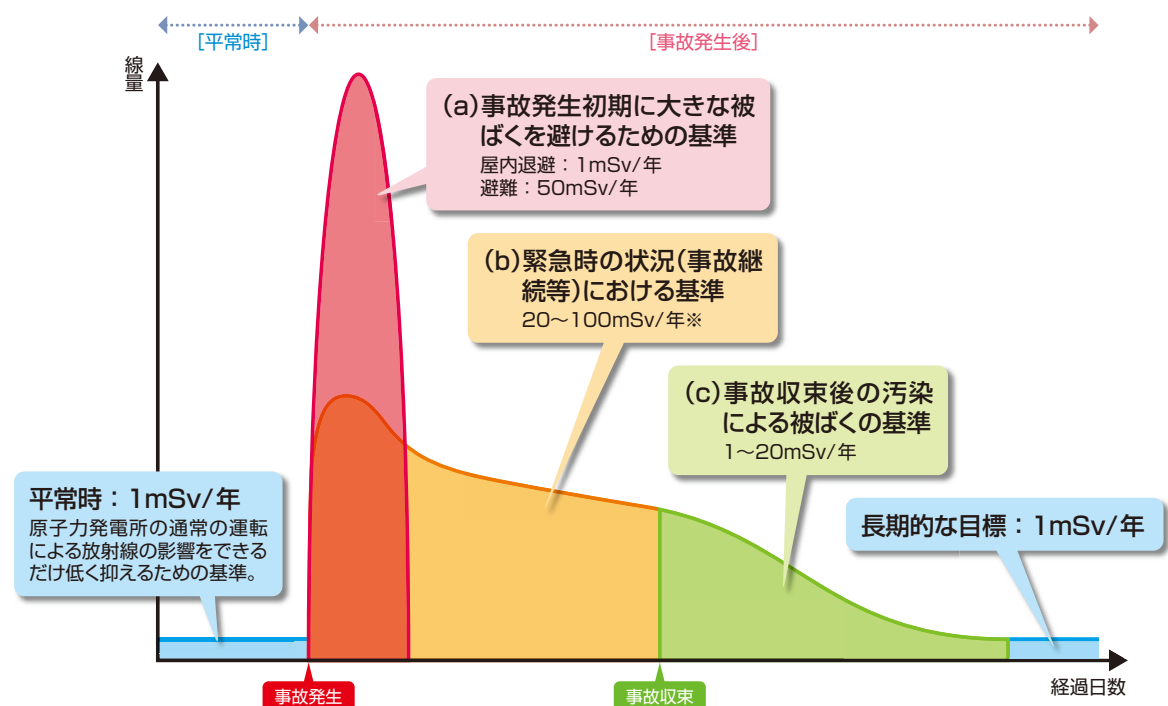
### 1 放射線規制の考え方と数値

日本における放射線防護に関する規制などは、ICRP(国際放射線防護委員会)勧告の考え方を尊重して決められています。例えば、現在、わが国の放射線安全規制にある、公衆の1年間の線量限度値1mSvは、ICRPが1990年に勧告したものです。

ICRPは2007年に新たな勧告を行いました。こ

の勧告についても、国内法に取り入れることとして、います。2007年勧告では、考えうるすべての被ばく状況を3つのタイプに分けて被ばく線量を制限する体系を示しています。被ばくの状況は「計画被ばく」「緊急的被ばく」および「現存被ばく」の3種類です。原子力施設等の事故により放射性物質による環境影響が発生した場合、事故後の放射線防護は、図3-1のとおり被ばくの状況に応じて、段階的に対応することが考えられています。

図3-1 放射線防護の線量の基準の考え方



注：横軸の時間は実際とは異なります。出典：原子力安全委員会 記者クラブブリーフィング(2011.04.11)追加配布資料(放射線防護の線量の規準の考え方、<http://www.nsc.go.jp/info/bougokijun.pdf>)に基づき作成

## 2 「基準(規準)」と「めやす」の概要

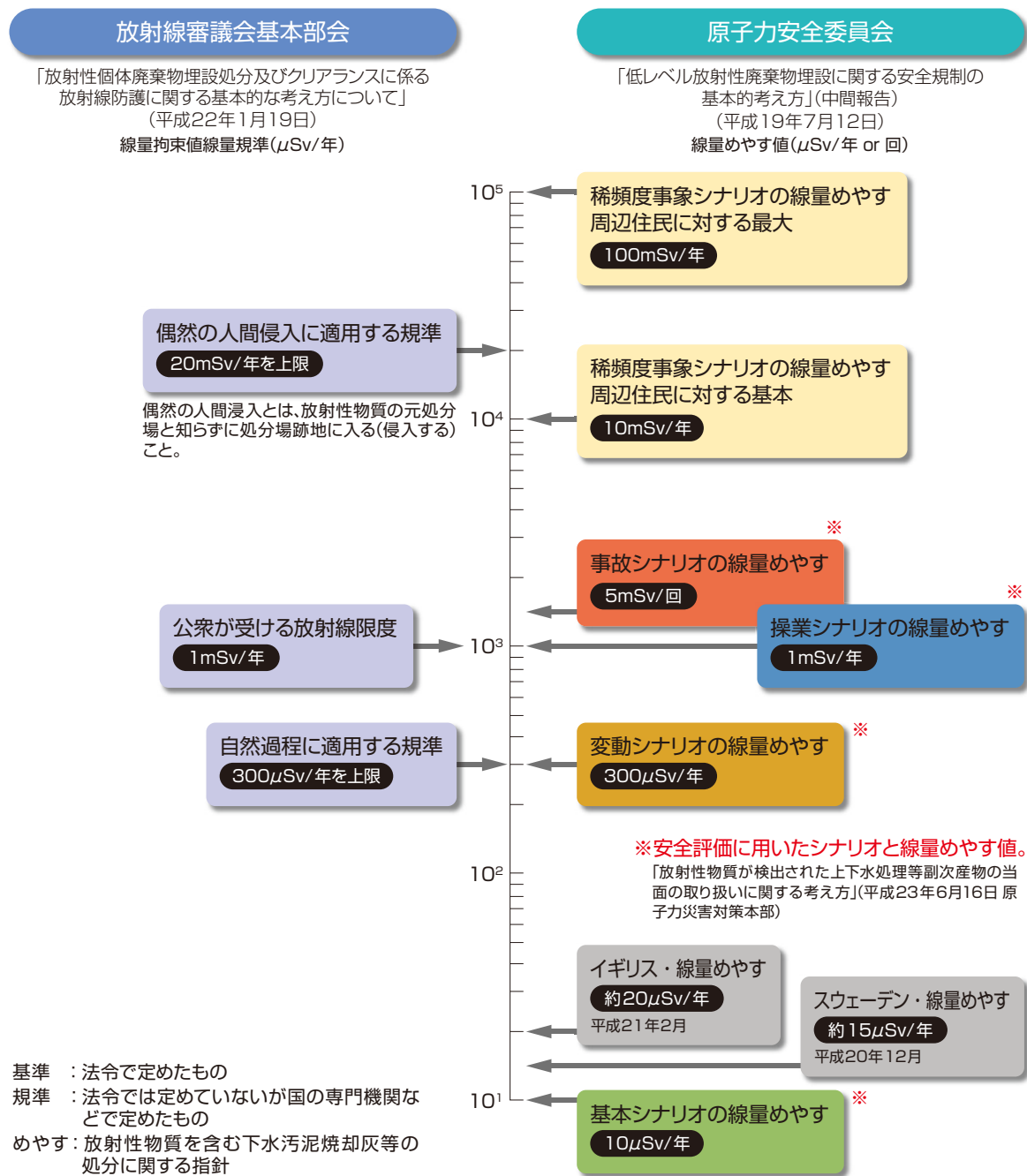
「考え方」で示された「めやす」は、これまで専門分野で決められていたことを背景としており、図3-2のとおりです。この「めやす」は、後で説明する「評価のシナリオ」毎に適用する値が異なるので、注意が必要です。

日本における放射線の関連の規制に使用される基準は、「放射線障害防止法」を始め、法令により

定められています。その基準の基となる「規準」を決める組織として、「放射線審議会」(文部科学省所管)のほか、「原子力安全委員会」(内閣府)があります。各々の組織は、目的に応じて「規準」若しくは「めやす」を決めるための審議を行っています。

操業シナリオ(埋立時シナリオ)に適用する1mSv/年は、公衆(一般の人々)が受ける1年間の被ばくの線量限度で、ICRPが1990年に勧告したものです。これは、広島・長崎の原爆被ばく者の追跡調査や

図3-2 基準(規準)と「めやす」の概要



放射線の被ばくによる発ガンリスクの推定を行い、併せて、自然からの放射線被ばく量を加味して検討され、設定されたものです。平常時にこの被ばくの線量限度を超えないように放射線からの防護をすべきとされています。

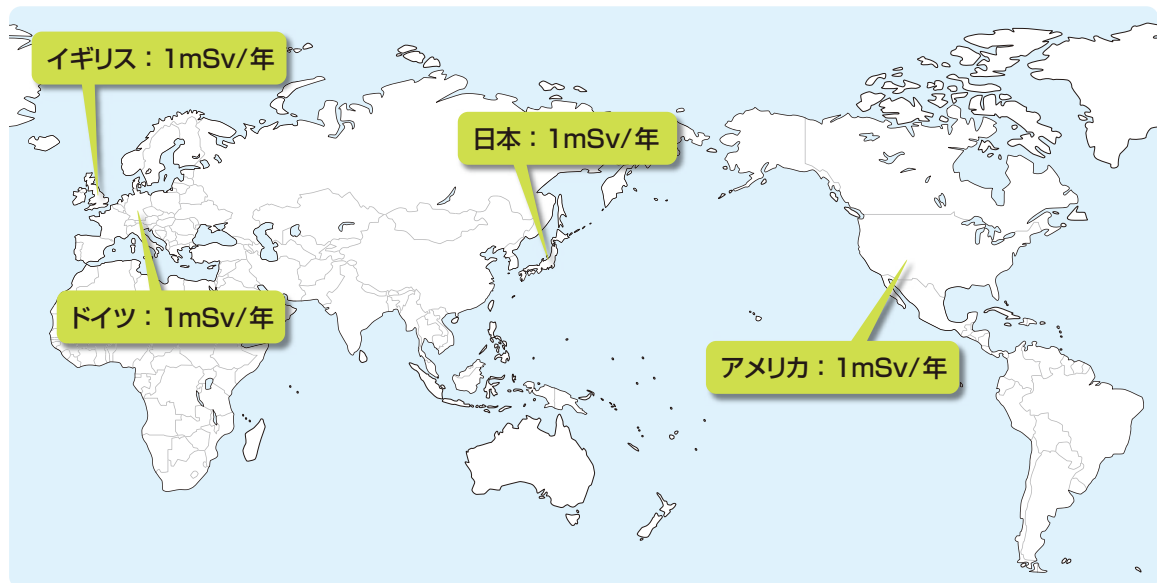
基本シナリオ(跡地通常利用シナリオ)の「めやす」については、図3-2に示すように、スウェーデンが約 $15\mu\text{Sv}/\text{年}$ 、イギリスが約 $20\mu\text{Sv}/\text{年}$ を採用しています。これらの値の違いは、被ばく線量と生涯リスクとの関係について、各国で多少異なる考えがある

からです。日本は、世界の中で、一番厳しい(低い)線量である、 $10\mu\text{Sv}/\text{年}$ を採用しています。

### 3 各国との比較

日本は図3-3のとおり、公衆(一般人)の1年間あたりの放射線量限度を $1\text{mSv}/\text{年}$ と放射線障害防止法で定めています。諸外国の基準値を見てみると、アメリカ、イギリス、ドイツで、同じ値を採用しています。

図3-3 放射線量限度の各国基準値



出典: 諸外国で安全審査に適用されている基準等における放射線防護に係る記載について(平成22年1月29日 原子力安全委員会)

## 4 身のまわりの放射線被ばく

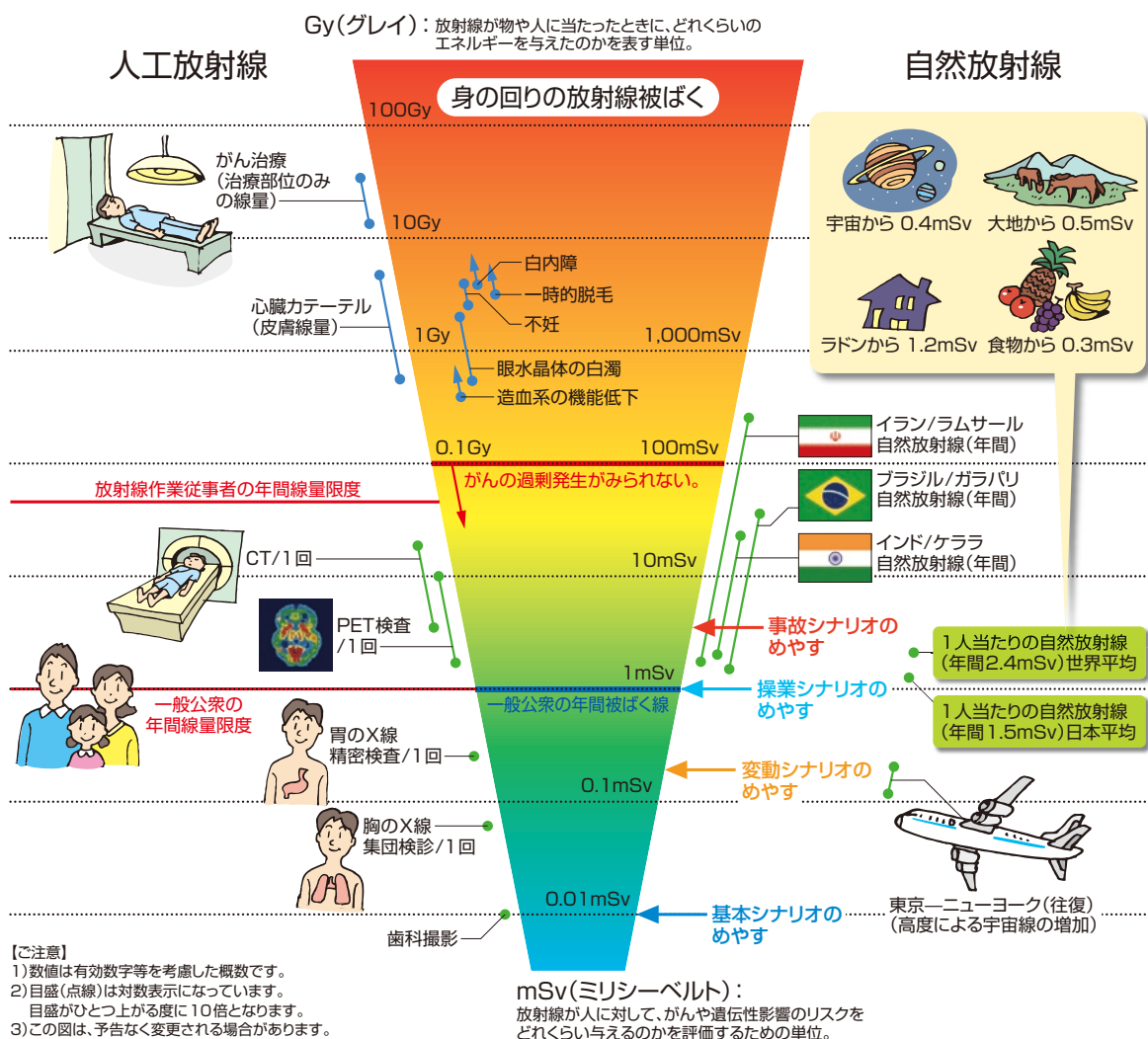
図3-4は、「放射線被ばく量」と「健康被害」そして「考え方」に示されている「めやす」の関係を一覧にしたものです。

1mSv～10mSv/年の低線量は、人が生まれ、日々生活している自然環境の中で存在する線量で、その意味においては安全とすることができます。この程度の放射線による被ばくが「どの程度健康に

影響するか」ということについては、高い放射線と異なり、健康に対する放射線の影響を明らかできないことから、科学的に「よくわからない」というのが現状です。

しかし、放射線を防護するという観点から、ICRPや日本をはじめ諸外国では、低線量域の放射線であっても、比例した影響があるとして、放射線からの防護を考慮しています。つまるところ、自然環境にある放射線レベルと同じなら安全と考えることが最もわかりやすい説明かもしれません。

図3-4 身のまわりの放射線被ばく



出典: UNSCER2000年報告書、ICRP2007年勧告、日本放射線技術師会医療被ばくガイドライン等より

(独)放射線医学総合研究所「放射線被ばく早見図」を引用し作成

# 4

## 安全評価の実施内容とその結果

ここでは、横浜市の汚泥資源化センターから発生する下水汚泥焼却灰やごみ焼却灰等を、南本牧廃棄物最終処分場に処分する場合の安全評価について、実施した内容と得られた結果について、その概要を図とデータを使用して説明します。

### 1 安全性の評価とは

放射性物質を含む廃棄物を埋立て処分すると、運搬や埋立て作業の時だけでなく、その後の跡地利用を含め、被ばくの可能性が考えられます。このことから、関係する方々の健康被害が起こらないレベル

であることを、事前に確認しておく必要があります。

評価を実施するにあたり、図4-1のとおり、安全性を確認する項目を決め、必要な条件や情報を基に被ばく量を計算します。この計算結果を「基準」若しくは「規準」、または国が示した「めやす」と比較し、これらを満足するか（下回るか）どうかにより評価します。

図4-1 安全性の評価とは

処分した放射性物質を含む廃棄物により、健康被害が起こらないか事前に確認すること。

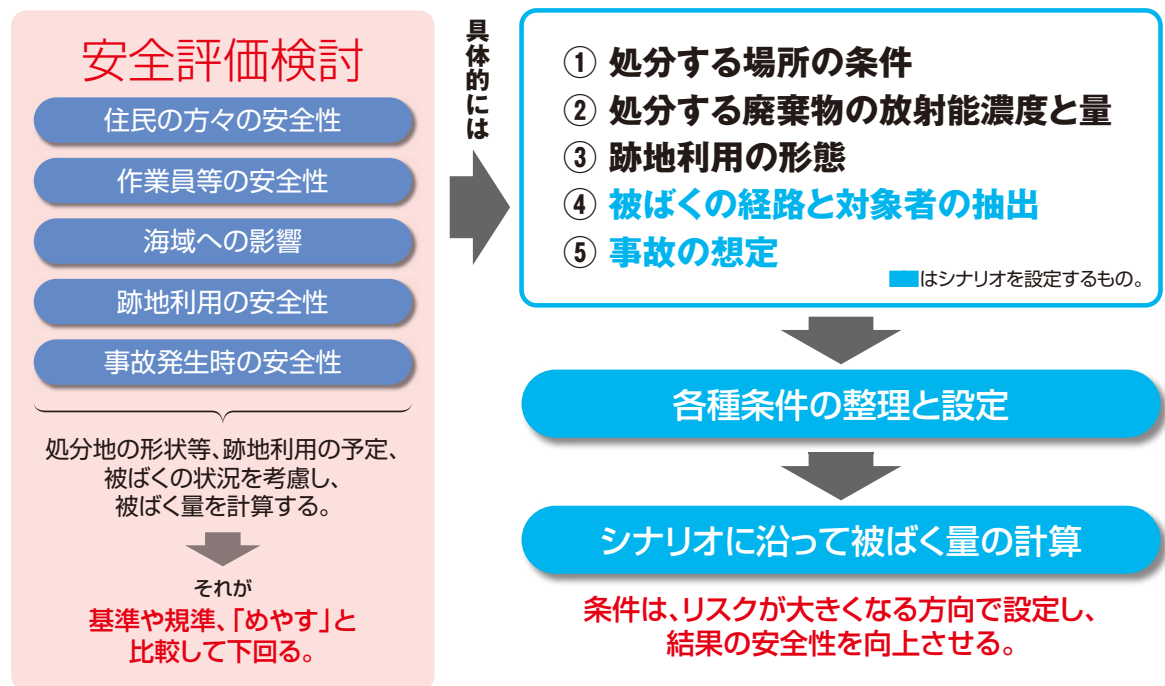
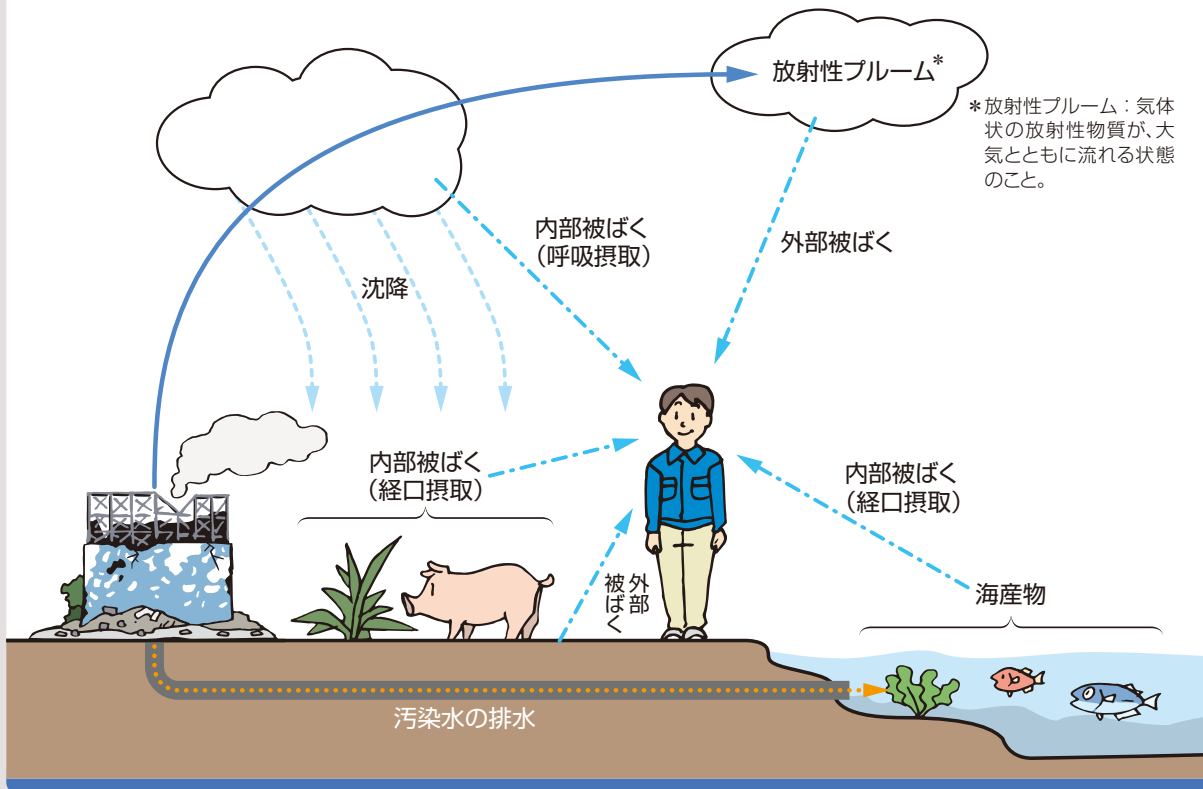


図4-2 シナリオとは

シナリオとは、被ばくの形態や経路を想定すること。



## 2 評価シナリオについて

シナリオは、図4-2のとおり、どのような経路で被ばくを受けるかという「被ばく経路」と、被ばくをどのような形で受けるかという「被ばくの形態」（外部被ばく、内部被ばく）を、可能性のある様々な現象を考慮して定めます。

安全性を評価するために、このシナリオに沿った被ばく量の計算を行い、その結果を「めやす」と比較して、評価を行います。

## 3 各条件の整理

安全評価を実施するにあたり、廃棄物の発生量、放射能濃度などの基礎的情報を把握します。そし

て、放射能レベルに応じた処分方法を選択します。

### ①基礎的情報(廃棄物の発生量、放射能濃度)の把握

安全性の評価を行うにあたり、対象とする放射性物質は、国が示した「考え方」で評価対象とした、セシウム134(Cs-134)およびセシウム137(Cs-137)とします。また、廃棄物の発生量、放射能濃度は表4-1、表4-2のとおりです。

廃棄物の1年間発生量を基に、セシウムの核種別の初年度の年間平均濃度と、埋立て完了時までの累積放射能濃度を計算します。安全評価に使用する放射能濃度は、核種毎の放射能濃度の合算になります。なお、7年間(南本牧廃棄物最終処分場の操業期間)の累積放射能濃度は、事故時に海洋へ流出する場合など処分場に処分した総量が影響する場合の評価に用いています。

表4-1 焼却灰等の放射性物質濃度の設定値(セシウム134)

| Cs-134     | 単位    | 汚泥焼却灰   | ごみ焼却灰   |         | 不燃ごみ    | 産業廃棄物   | 合計      |
|------------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|            |       |         | 主灰      | 飛灰      |         |         |         |
| 年間発生量      | トン    | 7.300   | 92,300  | 40,000  | 7,700   | 21,000  | 1.7E+05 |
| 初年度平均放射能濃度 | Bq/kg | 2,000   | 190     | 850     | 190     | 190     | 430     |
| 7年間累積放射能   | Bq    | 1.6E+10 | 1.2E+11 | 2.4E+11 | 1.0E+10 | 2.8E+10 | 4.2E+11 |

年間発生量：1.7E+05=170,000=17万トン

※合計は四捨五入

7年間累積放射能：4.2E+11=420,000,000,000=4,200億ベクレル

表4-2 焼却灰等の放射性物質濃度の設定値(セシウム137)

| Cs-137     | 単位    | 汚泥焼却灰   | ごみ焼却灰   |         | 不燃ごみ    | 産業廃棄物   | 合計      |
|------------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|            |       |         | 主灰      | 飛灰      |         |         |         |
| 年間発生量      | トン    | 7.300   | 92,300  | 40,000  | 7,700   | 21,000  | 1.7E+05 |
| 初年度平均放射能濃度 | Bq/kg | 2,200   | 220     | 960     | 220     | 220     | 480     |
| 7年間累積放射能   | Bq    | 1.8E+10 | 1.4E+11 | 2.7E+11 | 1.2E+10 | 3.2E+10 | 4.7E+11 |

年間発生量：1.7E+05=170,000=17万トン

※合計は四捨五入

7年間累積放射能：4.7E+11=470,000,000,000=4,700億ベクレル

評価を行った平成23年9月の時点では、下水汚泥焼却灰等のセシウムの初年度の平均放射能濃度の合計値は910Bq/kgでしたが、安全評価に用いる放射能濃度は、次の理由により、2,000Bq/kgとしました。

理由としては、

放射能濃度変動などのリスクに対して余裕を考慮して  
 Cs-134：430⇒1,000Bq/kg、  
 Cs-137：480⇒1,000Bq/kgとし、  
 Cs-134+Cs-137  
 =1,000+1,000  
 =2,000Bq/kg←設定値として採用

とから、安全評価で得られた結果は、より安全性が高いこととなります。

※今回の安全評価は、「南部汚泥資源化センター」からの下水汚泥焼却灰の発生量をベースとしています。今後、「北部汚泥資源化センター」の下水汚泥焼却灰も合わせて処分するとしても、初年度平均放射能濃度の合計は、1,100Bq/kg(Cs-134:490 Cs-137:560)であり、2,000Bq以下であることから、安全評価結果に影響はありません。

このように、安全評価に用いる放射能濃度設定を大きくすることで、より大きなリスクの状態での評価となり、実際は設定した値よりも低い値となるこ



## ②立地条件と操業期間

### (南本牧廃棄物最終処分場の概要)

廃棄物の最終処分場は、埋立てる廃棄物の種類により「遮断型」「管理型」「安定型」に分けられます。南本牧廃棄物最終処分場は図4-3のとおり、灰・汚泥などを埋立てる管理型処分場で、排水処理施設が設置され、水質試験などのモニタリングにより管

理されます。

## ③跡地の利用形態(社会条件)

埋立が完了した後の処分場の跡地は、事業所などの利用も想定されることから、長期的な安全性を検証しました。

図4-3 南本牧廃棄物最終処分場の概要(立地条件と操業期間)

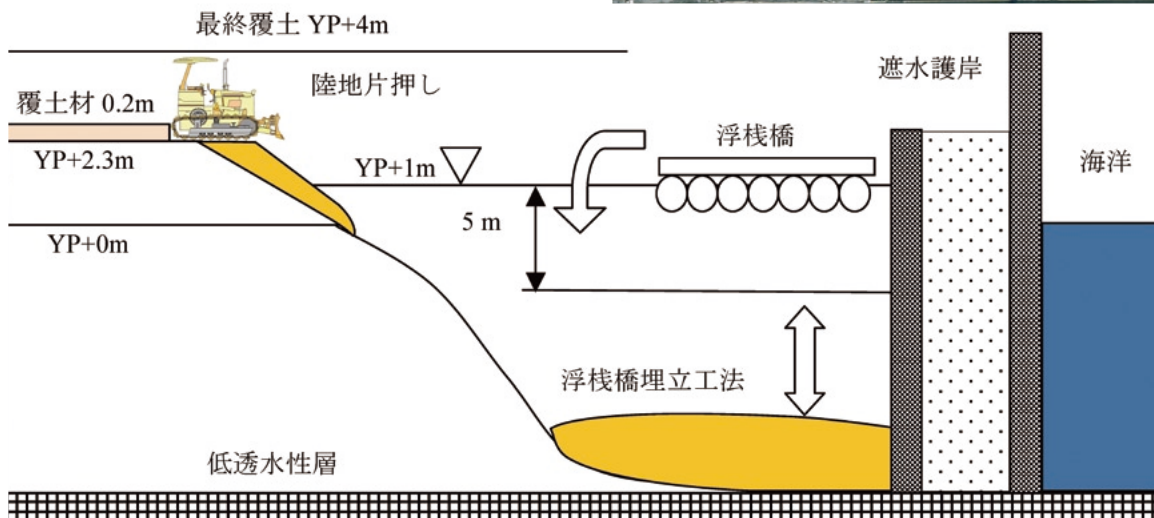


#### (立地条件)

形式：排水処理施設を有する管理型処分場  
埋立面積：21ha  
埋立残容量：約69万m<sup>3</sup>(H22末)  
埋立水面面積：250m×260m程度(平成23年9月時点)  
平均水深：10m程度(平成23年9月時点)  
最終覆土：1.5m

#### (操業期間)

平成23年～平成29年(7年間)を予定



## 4 評価シナリオの概要

基礎的情報を基に、長期的な安全性についての評価のため、処分地の立地条件、社会条件、そして安全対策などを踏まえ、周辺住民などの健康に影響を及ぼす可能性のある現象を考慮し、国が示した「考え方」に記載されている「第二種放射性廃棄物埋設の事業に関する安全審査の基本的考え方」に沿って、適切に設定したシナリオにより評価を行

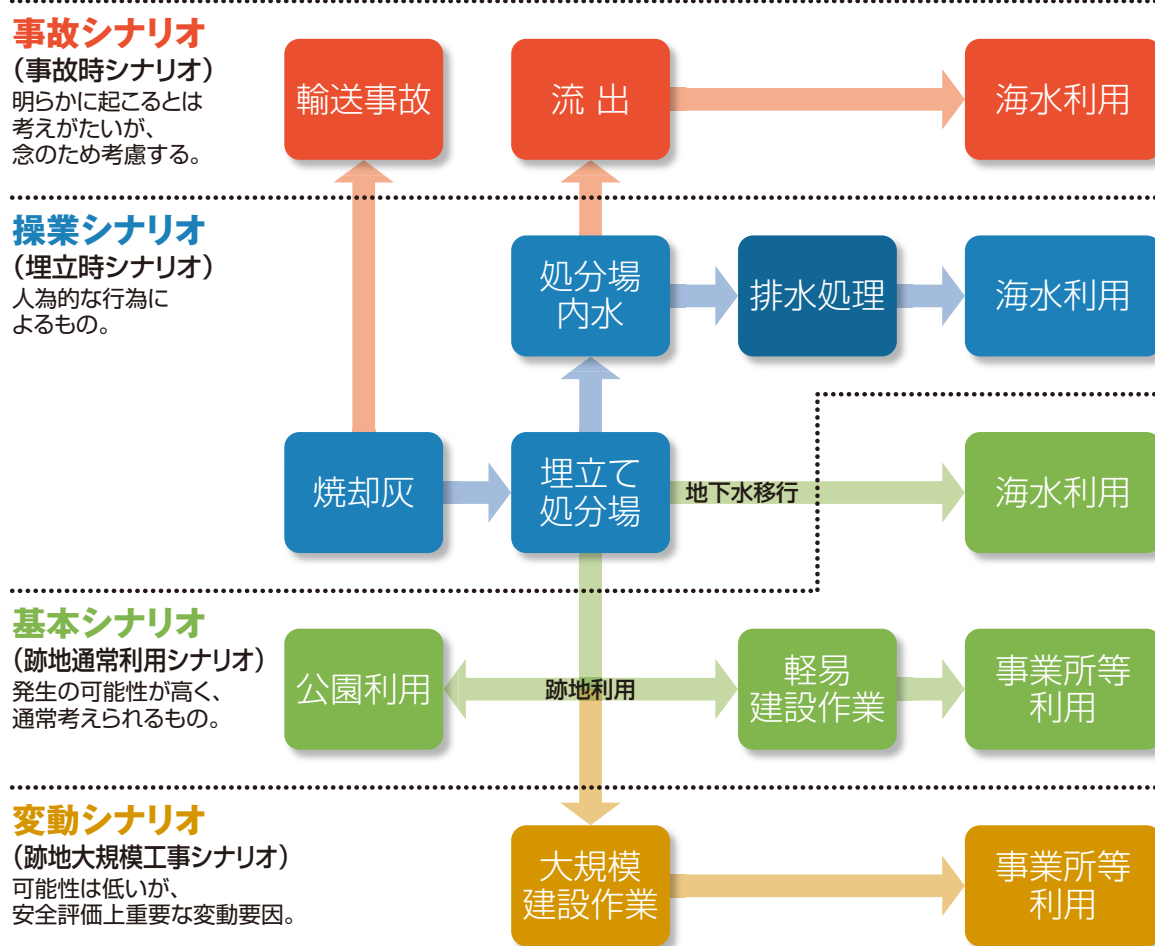
います。

### ①シナリオの設定

周辺住民の健康に影響を及ぼす可能性のある事象を含め、被ばくの経路、被ばくの形態、その対象者を抽出し、図4-4のとおりシナリオを設定しました。

また、シナリオには「基本シナリオ」「変動シナリオ」「事故シナリオ」、そして「操業シナリオ」の4種類があり、それぞれのシナリオについて安全性を評価するための「めやす」があります。

図4-4 設定したシナリオ



## ②被ばくの経路および形態

放射性物質を含む廃棄物を処分場に埋立て処分し、跡地を利用する場合に考えられる被ばくの経路は、

- ・埋立て作業中の被ばく
  - ・排水処理プラントからの排水による被ばく
  - ・埋立て完了後の跡地利用時の被ばく
  - ・跡地利用のための工事による被ばく
- です。

併せて、廃棄物は汚泥資源化センターから南本牧廃棄物最終処分場に、トラックで輸送するので事故も考えられます。また、大規模地震発生による津波で、埋立てた放射性物質を含む廃棄物が海洋に流出することも考えられます。そこで、

- ・廃棄物を輸送中の事故による被ばく
- ・津波で廃棄物全てが海洋へ流出することによる

被ばく

の検討が必要です。

これらを考慮して、被ばくの経路や被ばくの形態を、表4-3のとおり決めました。

### 【表4-3の見方】

操業時の積み下ろし作業にあたる作業員については、「外部被ばく」、放射性物質を含む廃棄物を吸入や経口することでの「内部被ばく」を評価することを示しています。

海水面利用の海産物の摂取では、廃棄物処分場から放射性物質を含む排水が流出したとした場合の評価として、公衆が周辺の家産物を食べたことによる「内部被ばく」を評価することを示しています。

海水面活動とは、主に漁師など漁業関係者の被ばくを評価するものです。

海岸活動は、海岸を散歩、ジョギングするなどの被ばくを評価するものです。

表4-3 採用した被ばくの経路・形態

|   | 作業・活動内容 | 外部被ばく | 内部被ばく |    |
|---|---------|-------|-------|----|
|   |         |       | 吸入    | 経口 |
| <b>操業時</b><br>   | 積み降ろし作業 | ○     | ○     | ○  |
|   | 運搬作業    | ○     |       |    |
|   | 埋立作業    | ○     | ○     | ○  |
|   | 周辺公衆    | ○     |       |    |
| <b>海水面利用</b><br> | 海産物の摂取  |       |       | ○  |
|   | 海水面活動   | ○     |       |    |
|   | 海岸活動    | ○     |       |    |
|   | 漁網取扱い   | ○     |       |    |
| <b>跡地利用</b><br>  | 建設作業    | ○     | ○*    | ○* |
|   | 公園利用    | ○     | ○*    |    |
|   | 事業所利用   | ○     | ○*    |    |

\*変動シナリオで、追加して検討した被ばくの形態

## 5 シナリオの内容と適用する「めやす」の値

安全評価で設定した各シナリオについて、シナリオの内容と適用する「めやす」を説明します。

### ① 操業シナリオ(埋立時シナリオ)

操業シナリオは、図4-5において、人為的な行為として、放射性物質を含む廃棄物を管理型の廃棄物処分場に埋立てる場合の、作業に関連するシナリオです。このため、適用する「めやす」は、1mSv/年となります。

### ② 基本シナリオ(跡地通常利用シナリオ)

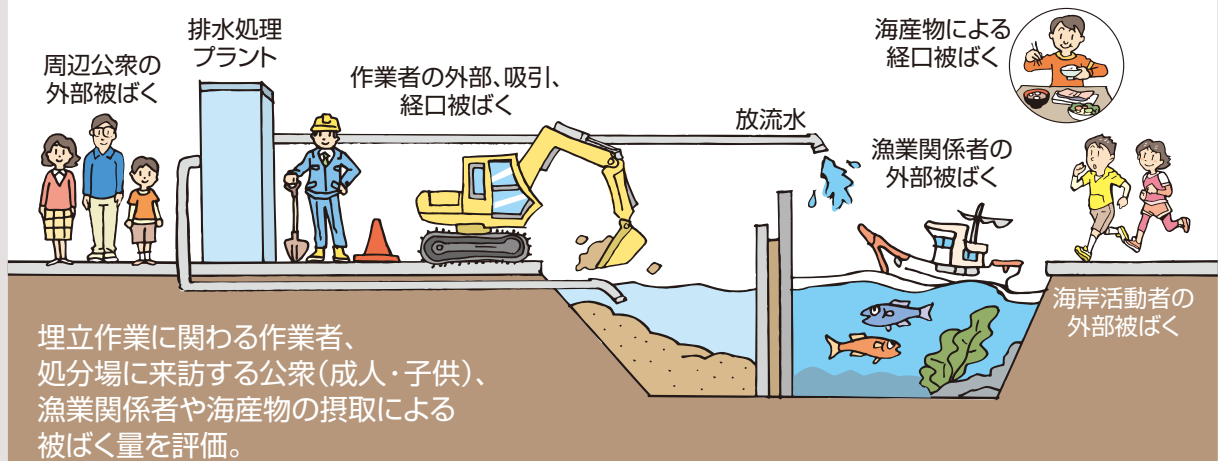
基本シナリオは、「発生の可能性が高く、通常考え

られるもの」が対象となります。図4-6のとおり、埋立てが完了して、①跡地を公園や事業所として利用する場合の被ばくのほか、②埋立てた廃棄物から放射性物質が地下水を經由して海洋に流出することも想定したシナリオになっています。ただし、事業所等を建設する場合、規制があるため廃棄物が埋立てられているところまで掘らないこととしています。

このシナリオに適用する「めやす」は、10 $\mu$ Sv/年となります。

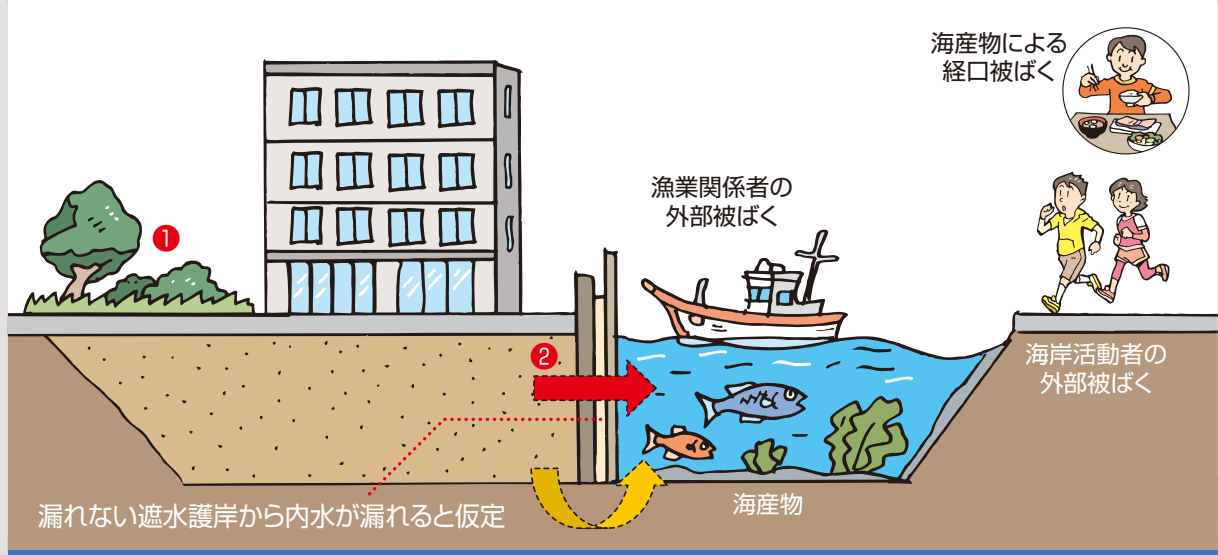
なお、埋立て完了後の跡地利用に伴う工事は、市長への届出が必要となります。詳しくは「③変動シナリオ」で説明します。

図4-5 廃棄物の埋立て中の安全評価シナリオ



※放射性物質を含む廃棄物を埋立て処分した場合の海を經由した影響は、被ばくの経路「海水面利用」で整理し、被ばくの形態を決め、シナリオを設定しました。シナリオは、「操業」、「基本」、「事故」の各有各があるため、適用する「めやす」は1mSv/年、10 $\mu$ Sv/年、5mSv/1事故となります。

図4-6 基本シナリオのイメージ



### ③変動シナリオ(跡地大規模工事シナリオ)

変動シナリオは、「可能性は低いですが、安全評価上重要な要因」について評価するシナリオです。

埋立て完了後の跡地利用として、大規模な事業所建設のために、廃棄物が埋立てられているところまで掘り、再度埋め戻すときに正しく埋め戻しを行わず、埋め戻し土と放射性物質を含む廃棄物を混合し埋め戻す想定で、安全性の確認をするシナリオです。

なお、埋立て完了後の跡地利用に伴う工事には、市長への届出が必要となります。従って、このような大規模な工事に際しては、正しい埋め戻しで安全性が確保できるよう、市が厳正に指導することになります\*。

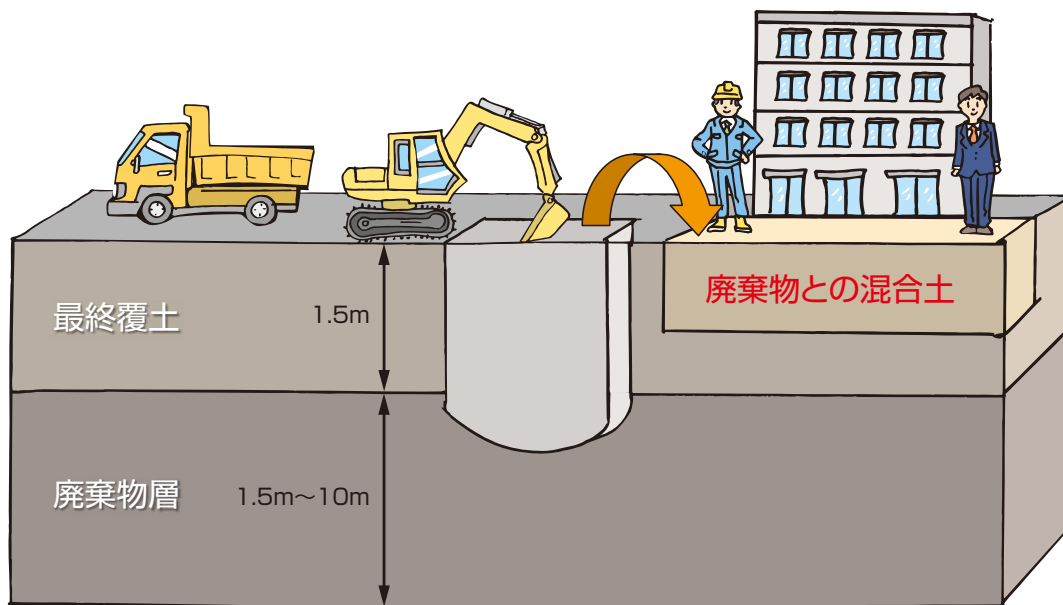
このシナリオに適用する「めやす」は、 $300\mu\text{Sv}/\text{年}$ となります。

### ④事故シナリオ(事故時シナリオ)

事故シナリオは、「明らかに起こるとは考え難いが、念のために考慮すべきシナリオ」です。放射性物質を含む廃棄物の運搬中の事故、津波により、埋立てた廃棄物全量が海洋に流出する事故を想定しました。ちなみに、横浜市の津波の予測高さは、横浜市発行「津波からの避難に関するガイドライン《第2版》」では最大約4メートルとしていますが、事故シナリオではあくまでも「埋立てた廃棄物全量」が海洋に流出することを想定しています。適用する「めやす」は、 $5\text{mSv}/1\text{事故}$ です。

この「めやす」は、特殊な状況下では、5年間の被ばく平均値が $1\text{mSv}/\text{年}$ を超えなければ、単一年にこれよりも高い被ばくが許されることもありえる」というICRPの見解にもとづいています。

図4-7 変動シナリオのイメージ



\*廃棄物処理法第15条の17による指定区域

## 6 安全評価の計算の仕方

今回の安全評価に際しては、作成したシナリオに基づき、パラメータ(設定値)を使って計算しました。当然のことながら、安全評価の結果はこの使ったパラメータにより異なってきます。では、パラメータとはどのようなものであるか、またどう計算したか図4-8、図4-9で簡単に説明します。

### 例：操業中の焼却灰などからの作業員や周辺公衆の外部被ばく量

外部被ばく量は、「放射能濃度」「遮へい方法」「放射能を浴びる時間」、そして「放射能を出す放射性物質からの距離」で計算しますが、それぞれに具体的な数値がなければ、計算することができません。つまり、その数値がパラメータと呼ばれるものです。

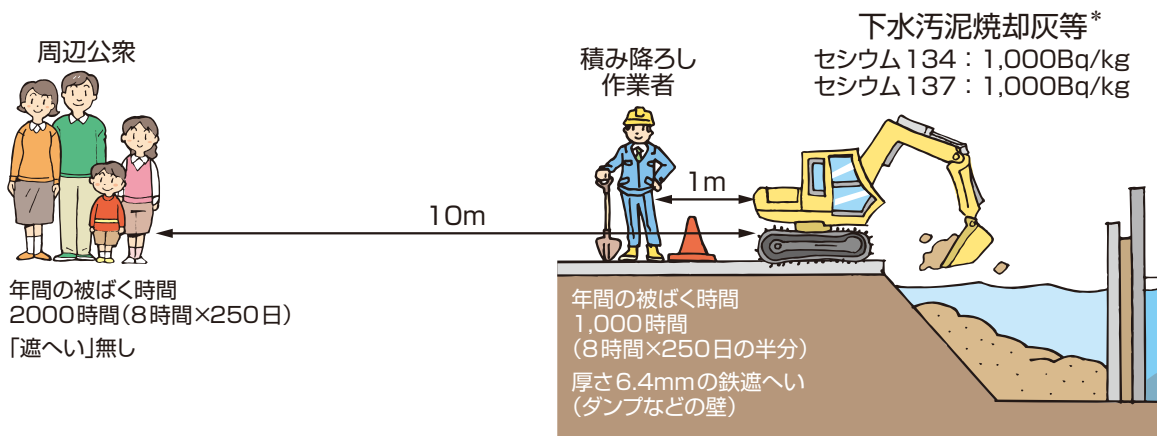
図4-8のように、下水汚泥焼却灰等の放射能濃

度を「セシウム134が1,000Bq/kg、セシウム137が1,000Bq/kg」を前提として、周辺公衆はそこから10mの位置で、遮へいが無く年間2,000時間被ばくするとして計算。一方、積み降ろし作業員については、1mの位置で厚さ6.4mmの鉄で遮へいされ、年間1,000時間被ばくするとして計算しました。ここでは、積み降ろし作業員のみ説明していますが、例えば運転作業員や埋立て作業員はそれぞれ「遮へい状況」が異なるため、計算結果も異なることになります。このように、すべてのシナリオにおいて、対象者ごとに最適なパラメータを使って安全評価しました。

### 例：魚介類を食べることによる影響の計算

魚介類を食べることによる影響(経口摂取被ばく)についても、さまざまなパラメータを使って安全評価をしましたが、例えば図4-9のパラメータを使っています。

図4-8 操業中の焼却灰等からの作業員や周辺公衆の外部被ばく量



\* 下水汚泥焼却灰等の放射能濃度は、平成23年度に発生した焼却灰中の濃度の平均を、安全側に評価したものです。

図4-9 魚介類を食べることによる影響の計算

#### 成人の魚介類の年間摂取量



|        |        |
|--------|--------|
| 魚類     | 15.8kg |
| 無脊椎動物類 | 8.1kg  |
| 海藻類    | 2.2kg  |

#### 子どもの魚介類の年間摂取量\*



|        |        |
|--------|--------|
| 魚類     | 7.9kg  |
| 無脊椎動物類 | 4.05kg |
| 海藻類    | 1.54kg |

\* 子どもの年間摂取量については、「平成18年度版国民栄養の現状」の1～6歳までの階層より判断し、魚類・無脊椎動物は成人の半分、海藻類は成人の7割としました。

## 7 シナリオによる評価結果

シナリオによる評価を行い、すべてのシナリオについて、「めやす」を大幅に下まわる結果となりました

た。それぞれのシナリオの評価結果を説明します。

### ① 操業シナリオの評価結果

操業シナリオでは、廃棄物の①積み下ろし、②運搬、③埋立て作業による被ばくと、④処分場に近づ

図4-10 操業シナリオの評価結果

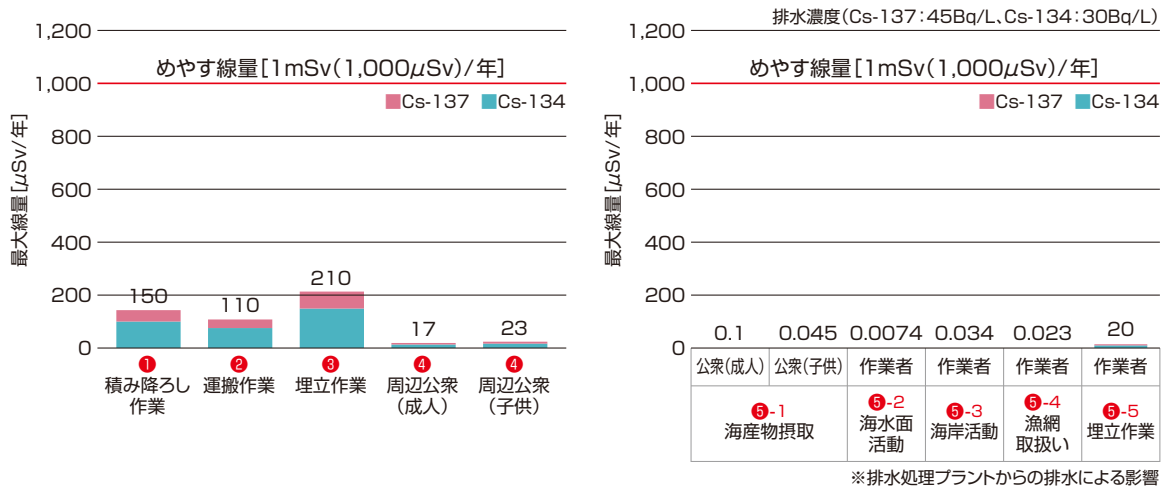
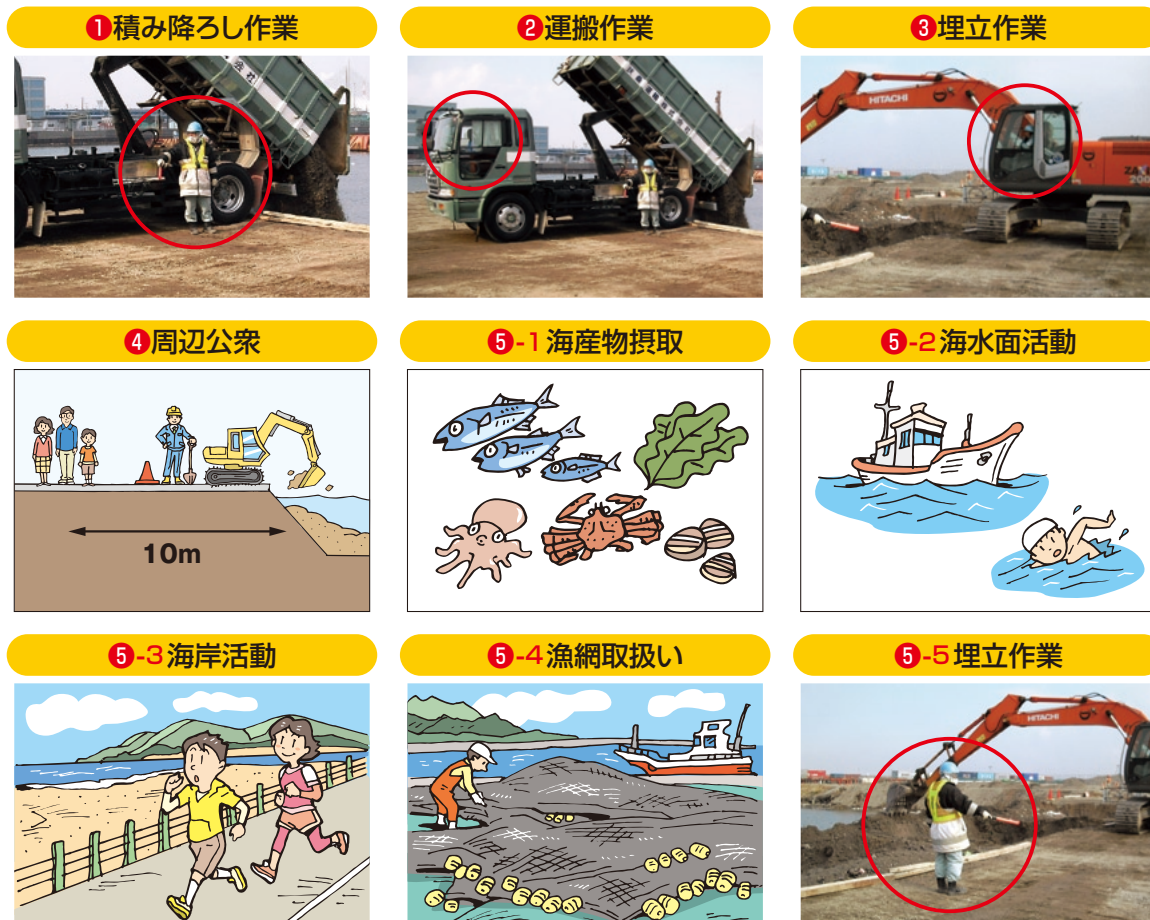


図4-11 操業シナリオの評価対象イメージ



く周辺公衆(成人、子ども)、併せて、⑤排水プラントからの排水の影響による被ばくを評価しました。排水プラントからの排水の影響の内訳は、⑤-1海産物の摂取、⑤-2海水面活動、⑤-3海岸活動、⑤-4魚網取扱い、⑤-5埋立て作業における被ばくを評価しました。

その結果、「めやす」の値は図4-10のとおり、すべてについて1mSv/年を大幅に下回りました。

## ②基本シナリオの評価結果

基本シナリオでは、跡地利用として①建設作業、②公園利用、③事業所利用による被ばくと、遮水護岸からの廃棄物に含まれる放射性物質が地下水に移行し、海洋に流出する④地下水移行の影響による被ばくを評価しました。

その結果、「めやす」の値は図4-12に示すように、すべてについて10 $\mu$ Sv/年を大幅に下回りました。

図4-12 基本シナリオの評価結果

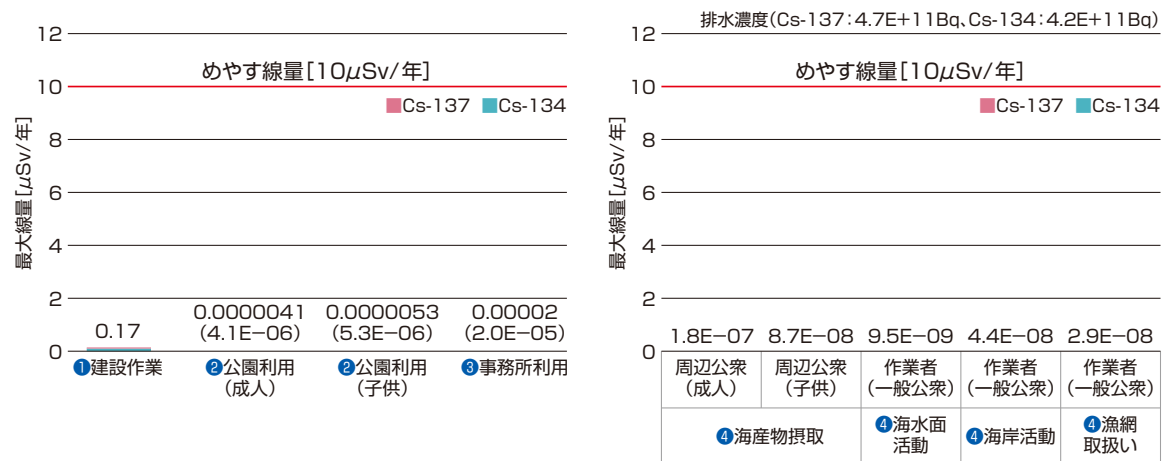
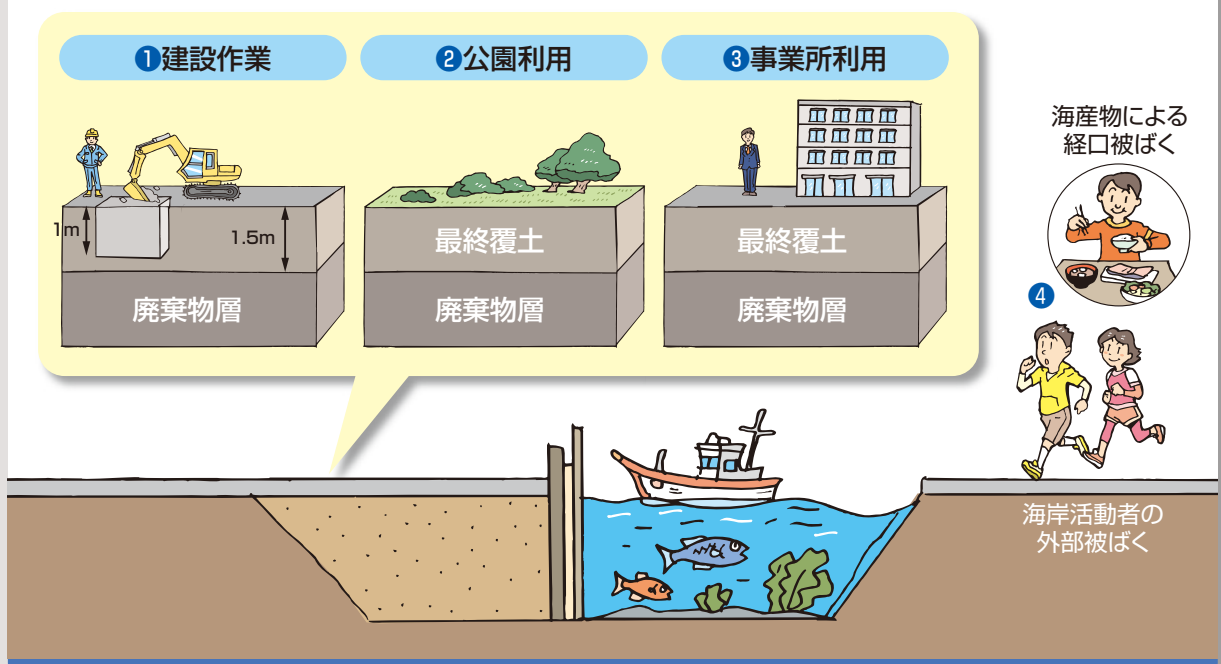


図4-13 基本シナリオの評価対象イメージ





### ③変動シナリオの評価結果

変動シナリオでは、建設作業を掘削の深さにより

①一般的な(掘削3m)建設作業、②大規模な(掘削11.5m)建設作業、これに伴う事業所利用として、③一般的な建設に伴うもの、④大規模な建設に伴うものの被ばくを評価しました。

その結果、「めやす」の値は図4-14に示すように、すべてについて300 $\mu$ Sv/年を下回りました。

### ④事故シナリオの評価結果

事故シナリオでは、①放射性物質を含む廃棄物の輸送中の事故、②埋立てた廃棄物が、津波に

図4-14 変動シナリオの評価結果

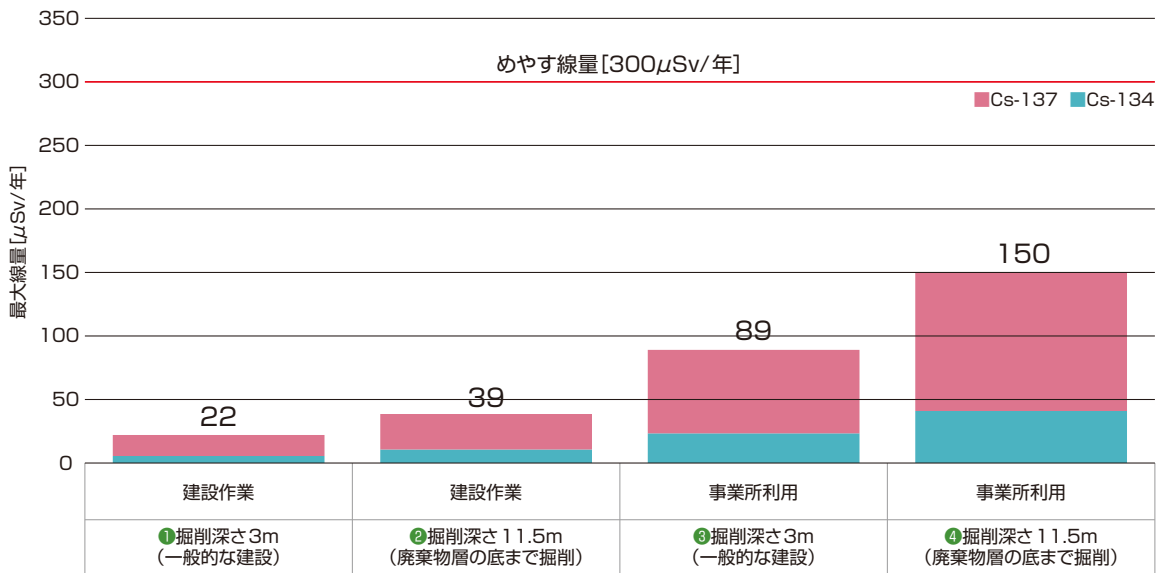
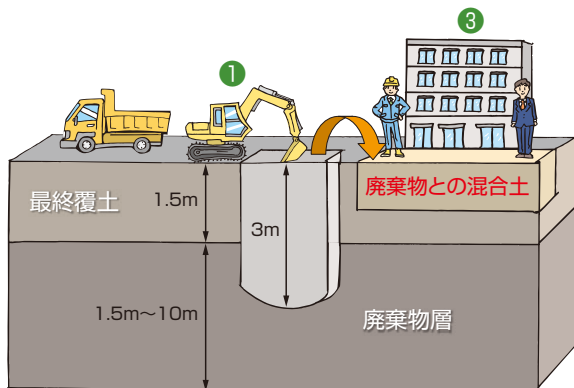
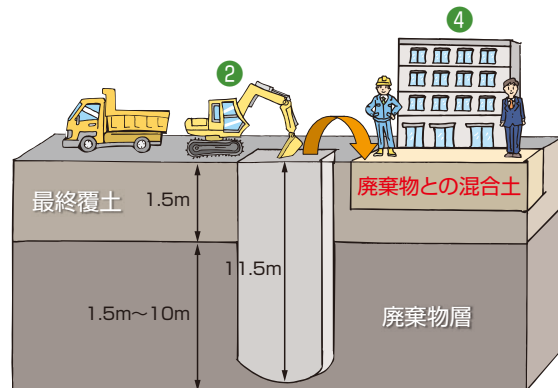


図4-15 変動シナリオの評価対象イメージ

一般的な建設作業と事業所利用



大規模な建設作業と事業所利用

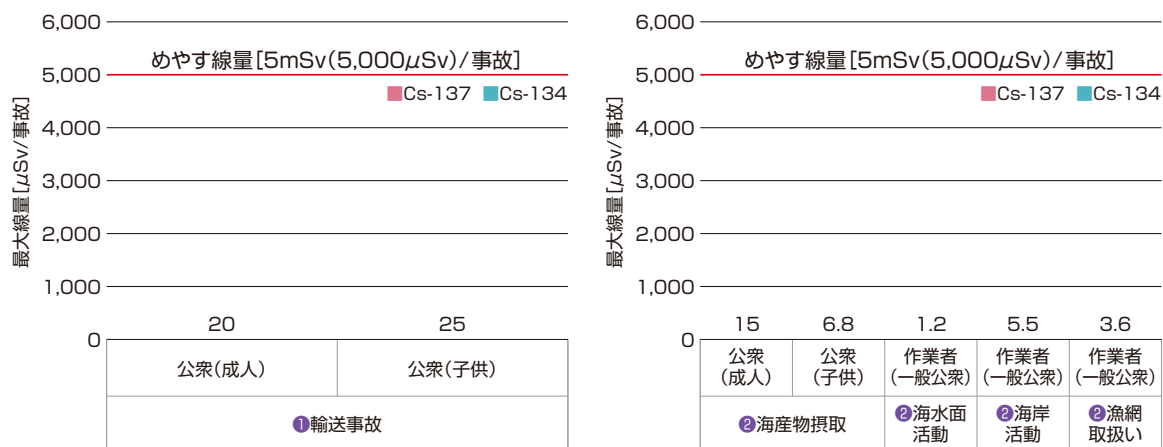


より海洋に流出する事故による被ばくを評価しました。輸送中の事故では、廃棄物の放射能濃度を、他の評価で採用した2,000Bq/kgの4倍に当たる、管理型処分地で埋立て処分できる濃度限度の8,000Bq/kgとして評価しました。また、津波による影響では、埋立てた廃棄物が全て海洋に流出する

ものとした。

その結果、「めやす」の値は図4-16のとおり、すべてについて5mSv/1事故を大幅に下回りました。

図4-16 事故シナリオの評価結果



## 8 安全評価の総括

東京電力福島第一原子力発電所事故に伴う、放射性物質を含む下水汚泥焼却灰等の埋立て処分について、平成23年6月16日付「放射性物質が検出された上下水処理等副次産物の当面の取り扱いに関する考え方」や同参考資料などを基に、横浜市で発生する放射性物質を含む廃棄物の処分についての

安全評価を行いました。

評価では、本市唯一の管理型処分場である「南本牧廃棄物最終処分場」に埋立て処分する場合の条件として、廃棄物の形状、量、放射能濃度などの基本情報を整理し、埋立て作業中、跡地利用や事故を想定し、作業員だけでなく一般の公衆などについて、外部被ばく、内部被ばくについての被ばく量を計算したものです。

**想定されるシナリオに基づき、前提条件を整理した上で必要な設定値を設け、年間被ばく量の計算を実施しました。その結果、すべてのシナリオで「めやす」を下回ることを確認しました。**

**このことから、南本牧廃棄物最終処分場へ下水汚泥焼却灰等を処分するに当たり、安全が確保できていることについての「科学的根拠がある」と判断します。**

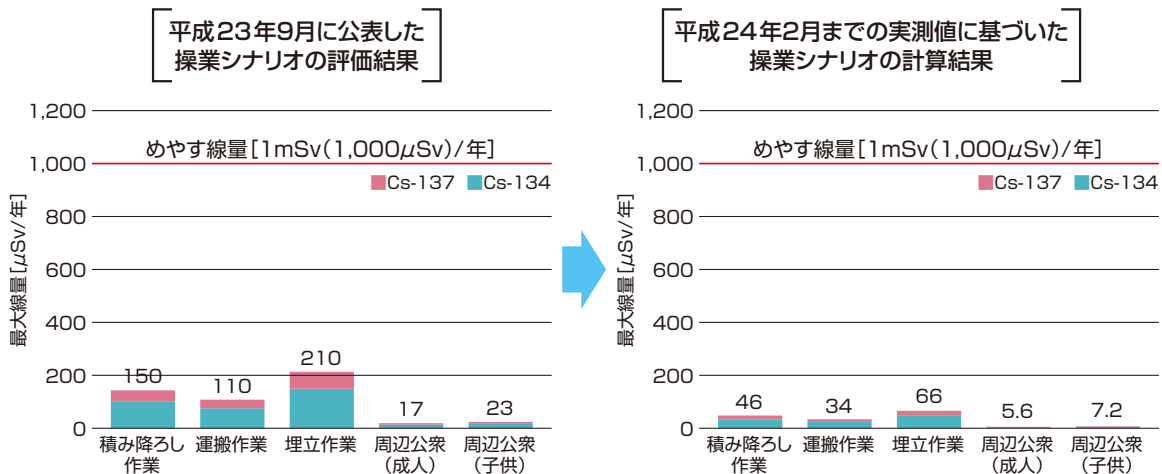
### ■ モニタリング

現在、次のモニタリングを実施し、市民の皆さまにその結果を公表しています。

| モニタリング内容         | モニタリング回数        |
|------------------|-----------------|
| 汚泥焼却灰            | 週1回             |
| ごみ焼却灰(主灰・飛灰)     | 月1回             |
| 南本牧排水処理施設(流入水)   | 週3回             |
| 南本牧排水処理施設(放流水)   | 週1回             |
| 南本牧最終処分場周辺の空間線量率 | 9地点:月1回 4地点:週1回 |
| 南本牧最終処分場周辺の海水    | 5地点:月1回         |

### ■ 安全評価結果と最新データによる計算例

本資料で紹介している安全評価結果は、平成23年9月に公表したものです。その後、平成24年2月までの実際に測定した放射能濃度データで計算したところ、想定される被ばく量は、すべてのシナリオで当初の評価結果より低く、「めやす」を大きく下回ることが分かりました。



※汚泥焼却灰の埋立処分量を北部・南部汚泥資源化センターの発生量とした。

