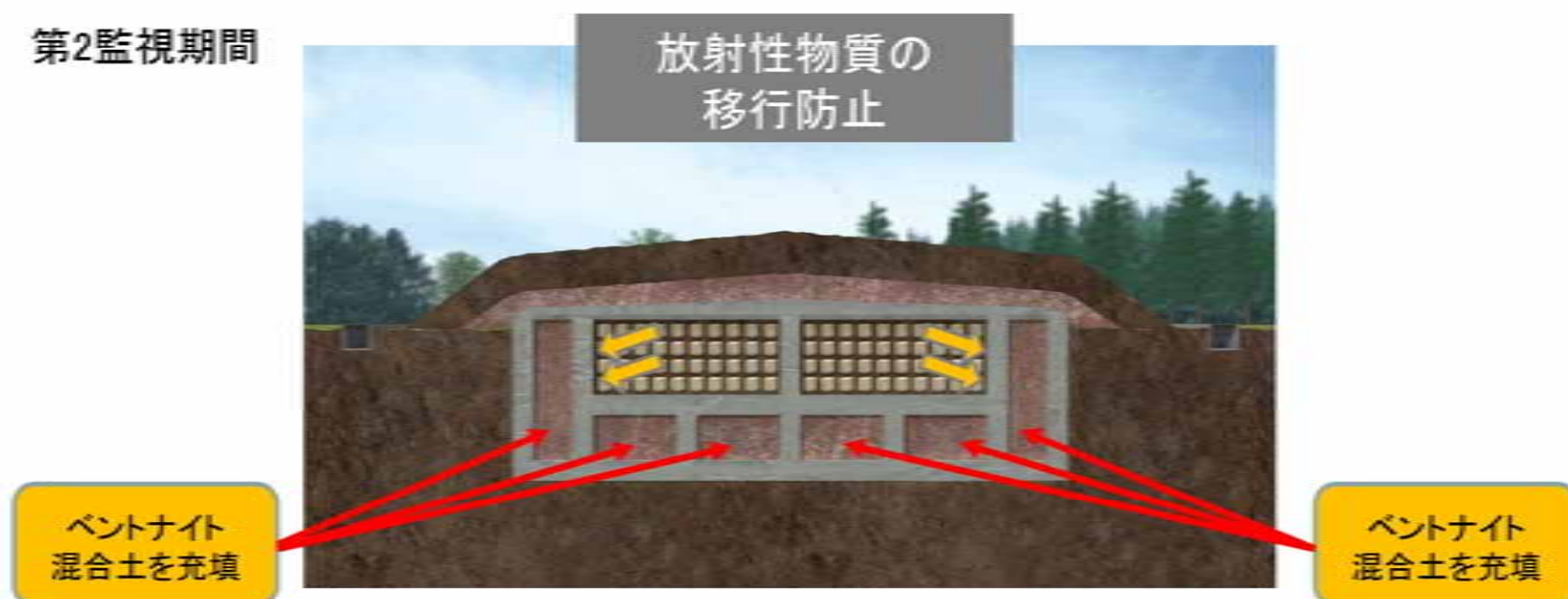


④:ベントナイト混合土の充填(その1)

21

- ◆埋立終了後、一定の期間(第1監視期間)をおいた後、放射性セシウムを吸着する性質のあるベントナイト混合土を管理点検廊に廃棄物を包むように充填します(第2監視期間)。
- ◆これによって、遠い将来にコンクリート構造物が劣化して、ひび割れ部分から水がたとえ漏出したとしても、ベントナイト混合土に放射性セシウムが吸着されるので、処分場の外にまで漏れ出てくることを防止することができます。

第2監視期間



④:ベントナイト混合土の充填(その2)

22

- ◆ベントナイトとは、モンモリロナイト(ケイ酸塩鉱物)を主成分とする粘土のことです。
- ◆水を吸って膨潤し、高い止水性を示す性質があり、一般には土木工事用の止水材としても利用されています。
- ◆ベントナイト混合土とは、土壤にベントナイトを混合したもので、**止水性と同時に放射性セシウムを吸着する性質**を持っています。
- ◆使用済核燃料を再処理した高レベル放射性廃棄物の地層処分においても、廃棄物の周りに設置される計画がなされています。

粉末状の
ベントナイト



水を吸うと数倍に膨潤し、粘土質になり、
水を通しにくくする性質を持っています。



＜参考＞高レベル放射性廃棄物の
地層処分での利用計画

出典: 日本原子力研究開発機構ホームページ

④:ベントナイト混合土の充填(その3)

23

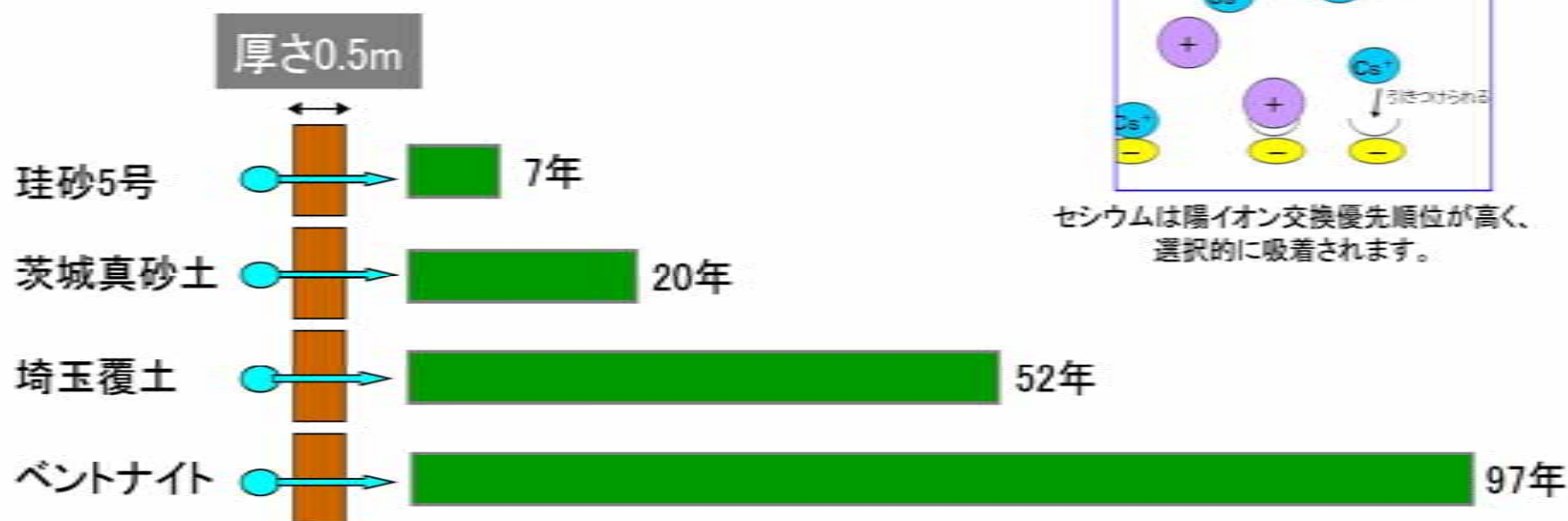
◆放射性セシウムは土壌やベントナイトに吸着する性質を持っており、土壌層やベントナイト層を通過するのに多大な時間を要することになります。

◆なお、(独)国立環境研究所が実施した、セシウムの吸着度合いに関する実験の結果によれば、厚さ0.5mの土壌を通過するのに52年、同厚のベントナイトを通過するのに97年の時間がかかるとされています。

出典:第五回災害廃棄物安全評価検討会(2011年8月10日)資料3-2

「放射性セシウムの土壌に対する吸着効果」

(独)国立環境研究所 資源環境・廃棄物研究センター



「遮へいする」
(放射線をさえぎる)

⑤:コンクリート・ベントナイト・土壌による覆い(その1)

25

- ◆指定廃棄物には放射性物質が含まれているため、放射線を出します。外部被ばくを防ぐためには、遮へい効果のあるコンクリートや土壌で覆い、指定廃棄物からの放射線を遮へいすることが重要です。
- ◆そこで、埋立中は**廃棄物を埋め立てる度にその上を土壌で覆い**、埋立終了後には処分場の上部を**コンクリート製の覆いで蓋をし**、さらにその上を**ベントナイト混合土や土壌**で覆います。
- ◆これによって、処分場内にある**放射性物質から出される放射線を十分に遮へい**することができ、人の健康への影響を防ぐことができます。

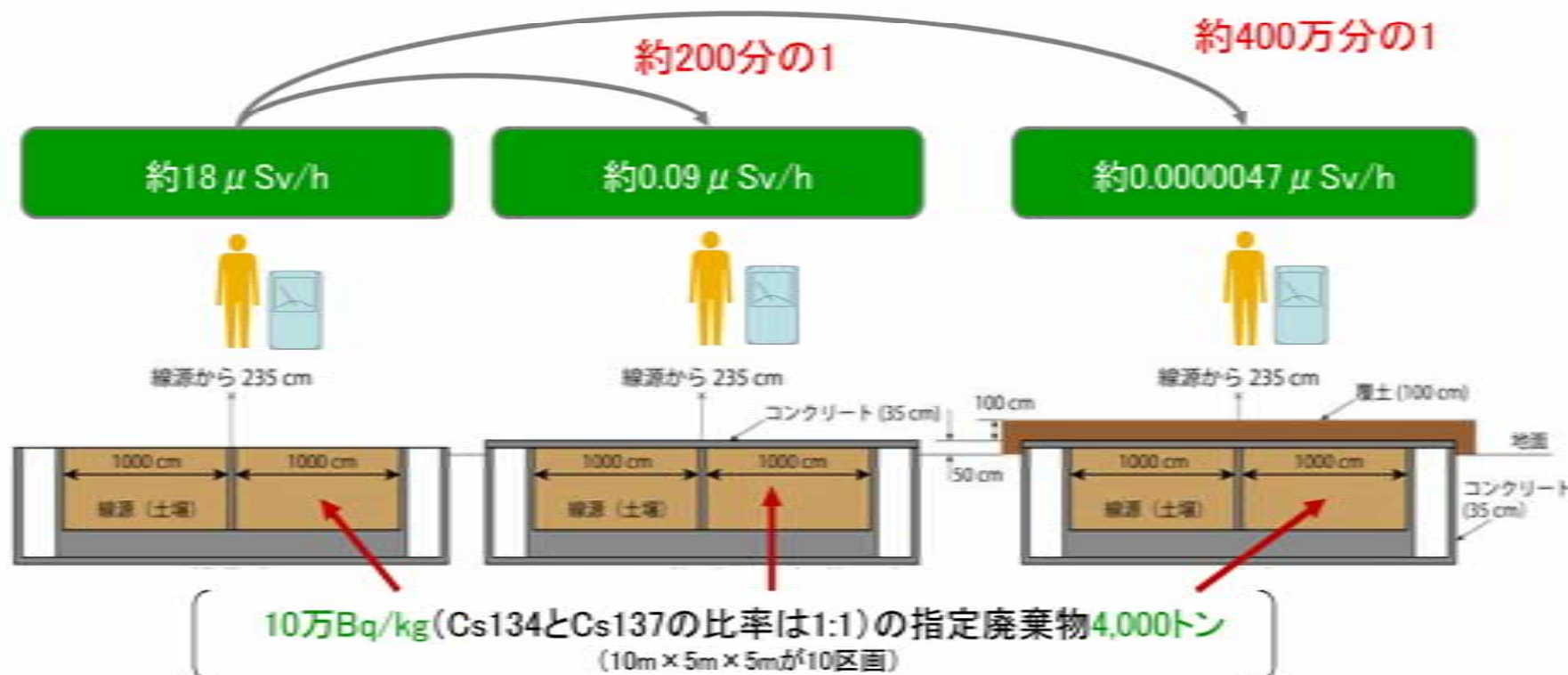
第1監視期間



⑤:コンクリート・ベントナイト・土壌による覆い(その2)

26

- ◆コンクリートと土壌の遮へい効果の程度を試算した結果、**35cmのコンクリート層**を設置した場合、**放射線は約99.5%遮へい**され、放射線の量は**約200分の1**になります。
- ◆その上に**100cmの土壌層**を設置した場合は、放射線はさらに遮へいされ、放射線の量は**約400万分の1**になります。



* 線源の放射性セシウム濃度及びコンクリートの単位体積重量は保守的な値を用いて計算しているため、実際の空間線量率は記載している数値よりさらに小さい数値となります。

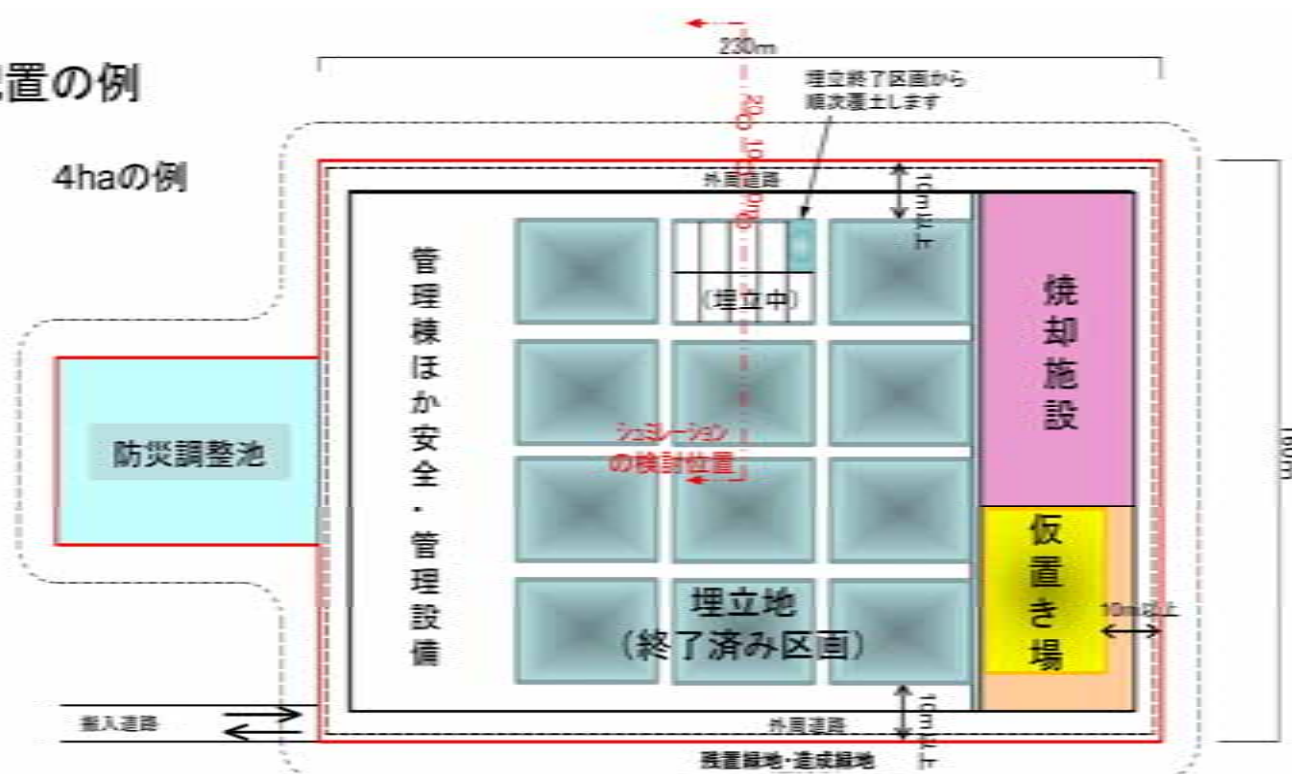
⑤:コンクリート・ベントナイト・土壌による覆い(その3)

27

周辺公衆の追加被ばく線量ができる限り小さくなるように、埋立地、仮置き場、焼却施設の配置や埋立方法に工夫を施します。

- ◆埋立地、施設区画端から敷地境界まで10m以上の距離を確保します。
- ◆仮置き場における廃棄物は、できるだけ敷地の中央寄りに配置します。
- ◆埋立の際、埋立終了した区画を速やかに覆土して遮蔽を行います。

施設配置の例



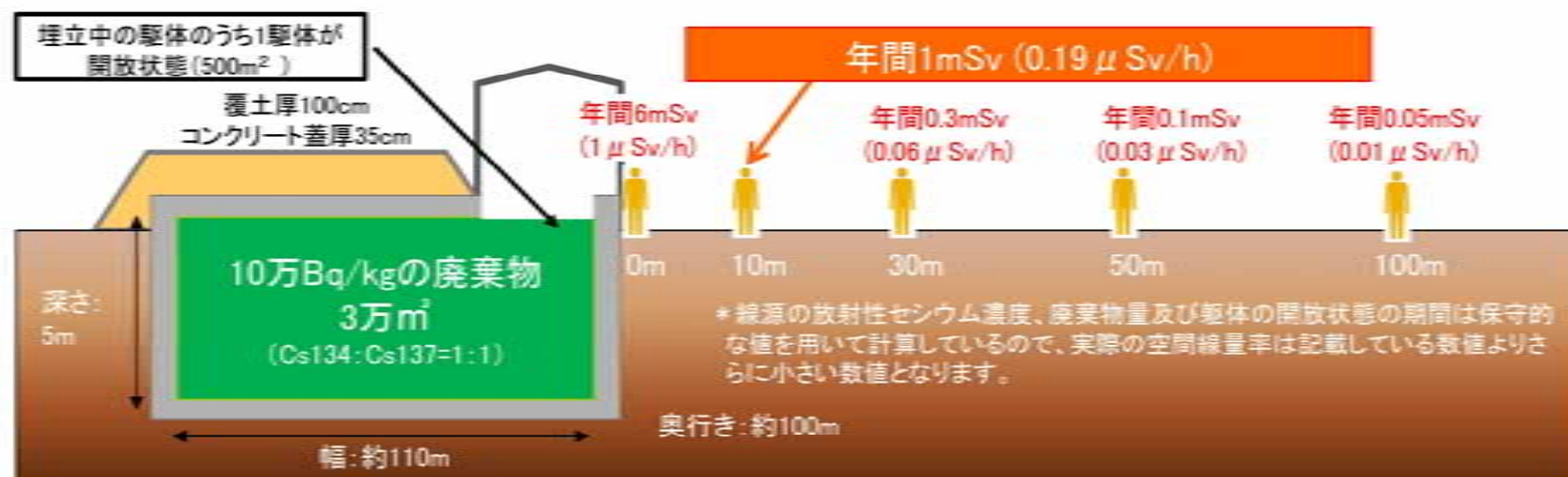
⑤:コンクリート・ベントナイト・土壌による覆い(その4)

28

- ◆ 以下の図は、「埋立中」における、埋立区画端からの距離毎の空間線量率のシミュレーションの結果です。
- ◆ 埋立中においては、敷地境界で周辺公衆の追加被ばく線量が年間1mSv(0.19 μ Sv/h)を超えないようにすることとされています。敷地境界線を埋立区画端から10m以上とることによって、周辺公衆の追加被ばく線量の年間1mSvを下回ります。
- ◆ 埋立の際、埋立終了した区画を速やかに覆土して遮蔽を行うことにより、敷地境界での追加被ばく線量は、シミュレーション計算値の数分の1に低減します。

■シミュレーション計算条件の設定

- ・10万Bq/kgを3万 m^3 埋立て(Cs134:Cs137=1:1と仮定)
- ・廃棄物の上には、厚さ35cmのコンクリート蓋、厚さ100cmの土壌の覆い
- ・建屋を設置(幅3,000cm×奥行き3,600cm×高さ1,250cm、屋根の厚さ:0.1cm、壁の厚さ:0.035cm、材質:鉄7.9 g/cm³)



※図中の年間追加空間線量率は、1日の内、8時間を外で、16時間を屋内で過ごした場合を想定した値であり、下記の式で求められるものです。
 年間あたりの追加空間線量率=時間あたりの追加空間線量率×(8+0.4×16)×365

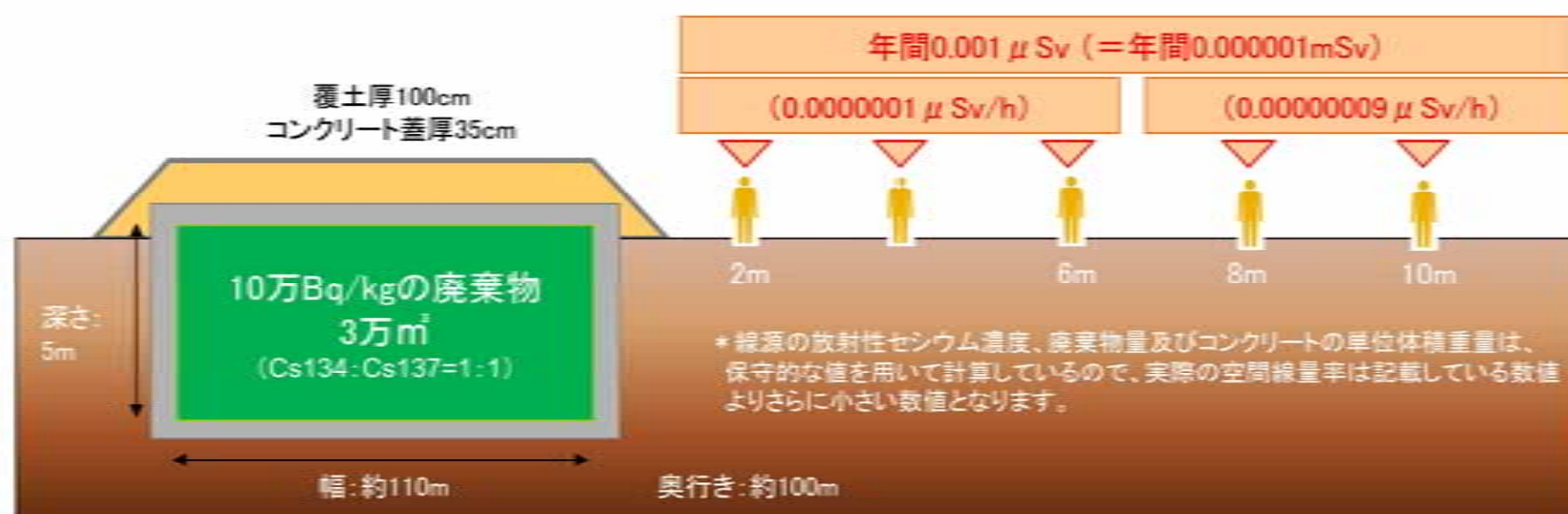
⑤:コンクリート・ベントナイト・土壌による覆い(その5)

29

- ◆ 以下の図は、「埋立終了後」における、埋立区画端からの距離毎の空間線量率のシミュレーションの結果です。
- ◆ 埋立終了後においては、周辺公衆の追加被ばく線量が年間 $10\mu\text{Sv}$ を超えないようにすることとされています。シミュレーション結果からは、処分場付近(2m)でも年間 $0.001\mu\text{Sv}$ と、**年間 $10\mu\text{Sv}$ を大きく下回ります**。具体的には、**年間 $10\mu\text{Sv}$ に対して1万分の1程度**の小さな値となります。

■シミュレーション計算条件の設定

- ・10万Bq/kgを3万 m^3 埋立
- ・廃棄物の上には、厚さ35cmのコンクリート蓋、厚さ100cmの土壌の覆い



※図中の年間追加空間線量率は、1日24時間を外で過ごした場合を想定した値であり、下記の式で求められるものです。
年間あたりの追加空間線量率=時間あたりの追加空間線量率×24×365

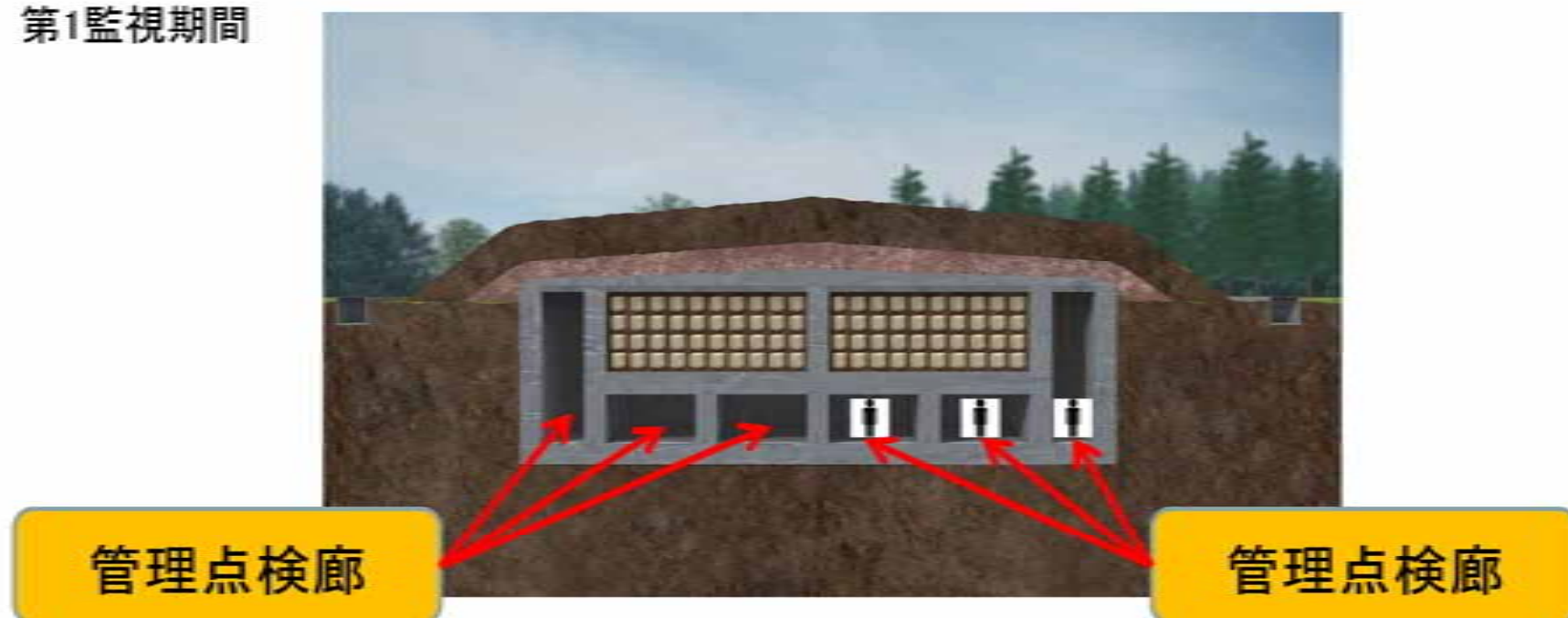
「安全を確認する」

⑥:長期間にわたる点検・維持管理(その1)

31

- ◆処分場施設の健全性については、埋立中および第1監視期間において、管理点検廊から直接目視によりコンクリート構造物の健全性を監視します。
- ◆第1監視期間では、コンクリートのひび割れ点検、劣化診断を行って施設の健全性を確認すると同時に、適切に補修等を行いながら管理していきます。

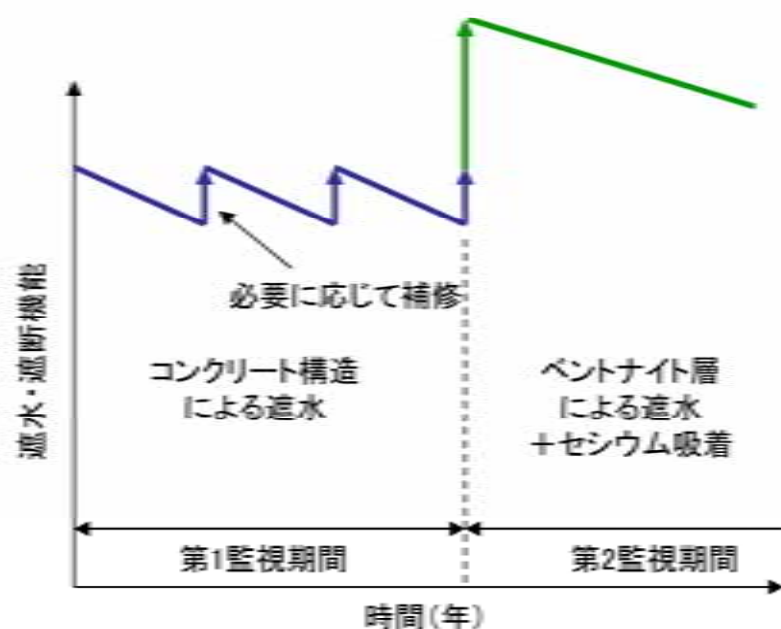
第1監視期間



⑥: 長期間にわたる点検・維持管理(その2)

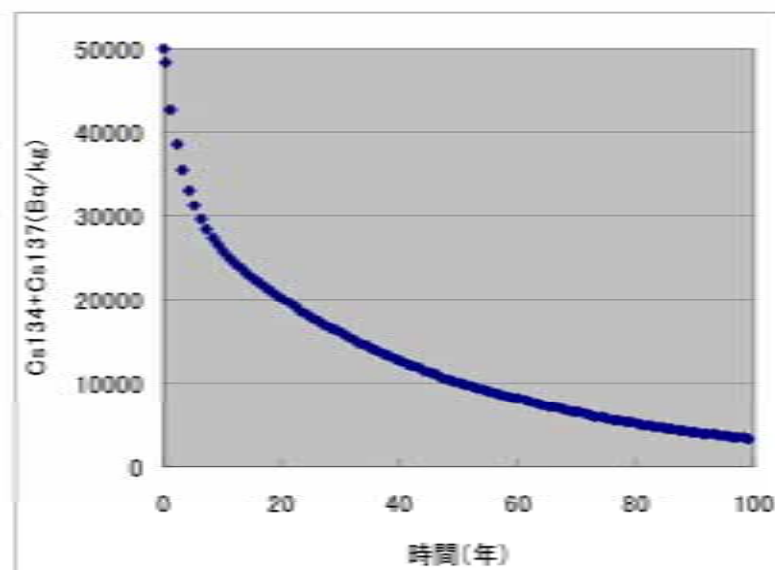
32

- ◆適切に維持管理を行うことにより、**非常に長期間にわたり遮水機能を維持**することができます。
- ◆このように、処分場の遮水機能が十分に維持されている間に、**廃棄物中の放射性セシウム濃度は減衰**していきます。
- ◆例えば、放射性セシウム濃度は100年で約16分の1に減衰します。



監視期間における処分場機能の維持

※5万Bq/kgの内訳(Cs134とCs137の比率)は、福島第一原子力発電所から放出された時点で1:1であると仮定し、その後1年6ヶ月経過したものとして計算しています。



放射性セシウム濃度の減衰

⑥:長期間にわたる点検・維持管理(その3)

33

- ◆万が一、コンクリート壁及び管理点検廊に充填したベントナイト混合土層の両方が破損し、放射性セシウムを含む水が漏れ出したとしても、セシウムは土壤に吸着されるなどして敷地外まで到達するには極めて長い時間がかかります。
- ◆敷地境界に到達するまでの間に、新たな遮水壁の設置等の対策を講ずることで、敷地外への影響を防ぐことが可能です。
- ◆なお、周辺地盤が砂層等の透水性の高い土質の場合には、埋戻しの際に粘性土など透水性の低い材料で埋戻したり、必要に応じて地盤の改良を行います。

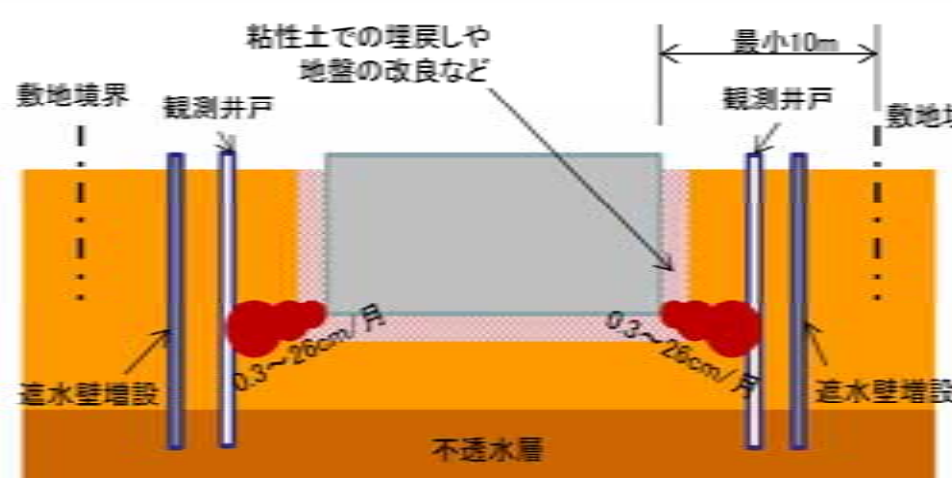
地下水の流速の試算例(吸着を考慮しない流速)

透水係数 : $k=1.0 \times 10^{-7} \sim 10^{-5} \text{ cm/sec}$ (シルト層の場合)

動水勾配 : $i=0.15$

有効空隙率 : $\lambda = 0.15^{*1)}$

流速 : $v=k \cdot i / \lambda = 1.0 \times 10^{-7} \sim 10^{-5} \times 0.15 / 0.15 = 1.0 \times 10^{-7} \sim 10^{-5} \text{ cm/sec} = 0.26 \sim 26 \text{ cm/月}^{*2)}$



*1) 泥粘土質層の安全側代表値
(地下水ハンドブック1979年)

*2) 遮水壁を設置するのに3ヶ月を要すると仮定すると、この間に漏水は、最大 $26 \text{ cm/月} \times 3 \text{ 月} = 78 \text{ cm}$ しか進みません。したがって、敷地外に放射性セシウムを含む水が漏れ出す前に、遮断することができます。

⑦: 第1監視期間の考え方

34

◆第1監視期間は、管理点検廊より、コンクリートのひび割れ点検、劣化診断等の検査によって埋立構造物の健全性について確認を行う期間(埋立終了後の数十年間)です。

＜考え方＞

- 埋立地周辺の空間線量については、埋立処分が完了し、コンクリートによる覆いと土壌層による覆土が完成した時点においてモデル計算をしてみると、埋立地からの距離が2mの地点であっても線量は年間0.001 μ Svと試算され、管理目標値の年間10 μ Svに対して約1万分の1となります。
- ただし、地下水や雨水に対する遮断性能や放射線の遮蔽性能が適切に発揮されていることを一定期間確認することによって、処分場の安全性をより明確に示す必要があります。
- 埋立終了後の数十年間、第1監視期間として、管理点検廊より、コンクリートのひび割れ点検、劣化診断等の検査によって埋立構造物の健全性を確認するとともに、線量が十分低い状態になっていることを確認します。その後、コンクリートが劣化した場合であっても、放射性セシウムの漏出を防止できるベントナイト混合土の充填に切り替え、第2監視期間として、引き続き地下水等のモニタリングを適切に行い管理していきます。
管理にあたっては、専門家の意見を踏まえて実施いたします。

⑧：長期間にわたるモニタリング(その1)

35

◆処分場では、万が一何らかの変化があればいち早く察知して対処可能とするため、**埋立中から、継続して放射線量や地下水のモニタリング(監視)**を実施します。

測定の方

- 放射線量は**敷地境界の空間線量率**を、観測井では**地下水の放射性セシウム濃度**などを測定し、許容値内に収まっていることや異常な変化がないことを確認します。
- 空間線量率については、敷地境界でバックグラウンドレベルであることを確認します。(埋立中は累積追加線量が年間1mSvを超えないように、埋立終了後は累積追加線量が年間10 μ Svを超えないようにします。)
- 測定結果はインターネット等により公開します。

※なお、先にも述べたとおり、十分な遮へいを行うことにより、実際の追加被ばく線量はバックグラウンドと比べても十分に小さな値となると考えられます。

処分場モニタリング計画(案)

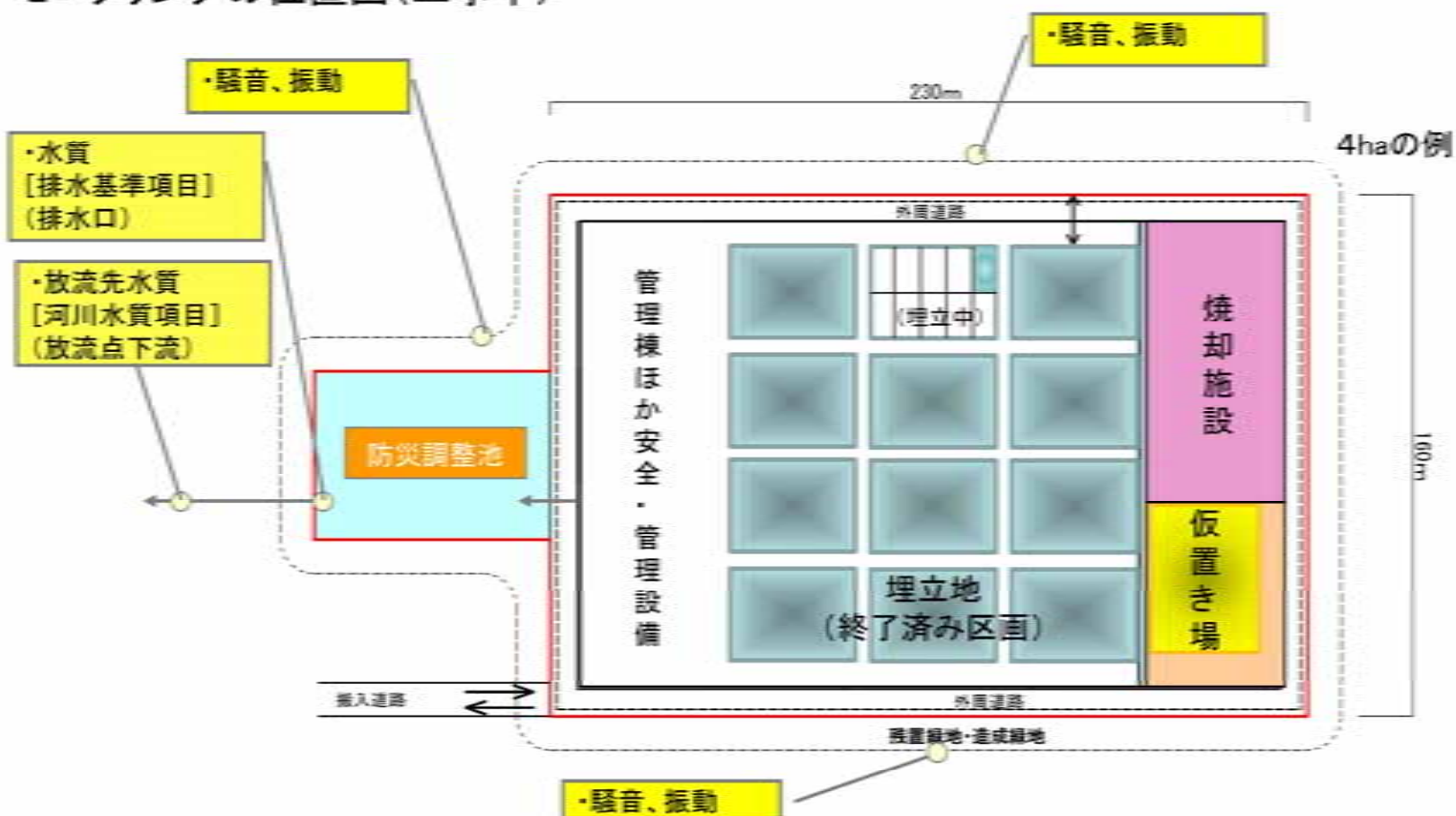
	区分	モニタリング	
		項目	測定場所
工事中	生活環境	水質(排水基準項目)	排水口
		放流先水質(河川水質項目)	放流点下流
		騒音、振動	敷地境界
埋立中	生活環境	生活排水	排水口
		騒音、振動	敷地境界
		空間線量率	敷地境界
	施設の健全性	地下水水質 (放射性セシウム濃度、ダイオキシン類、電気伝導率、塩化物イオン、地下水水質項目)	地下水 モニタリング井戸

⑧長期間にわたるモニタリング(その2)

36

◆施設内及び施設周辺の各所において、モニタリング(監視)を行い、許容値内に収まっていることや異常な変化がないことを確認します。

モニタリングの位置図(工事中)

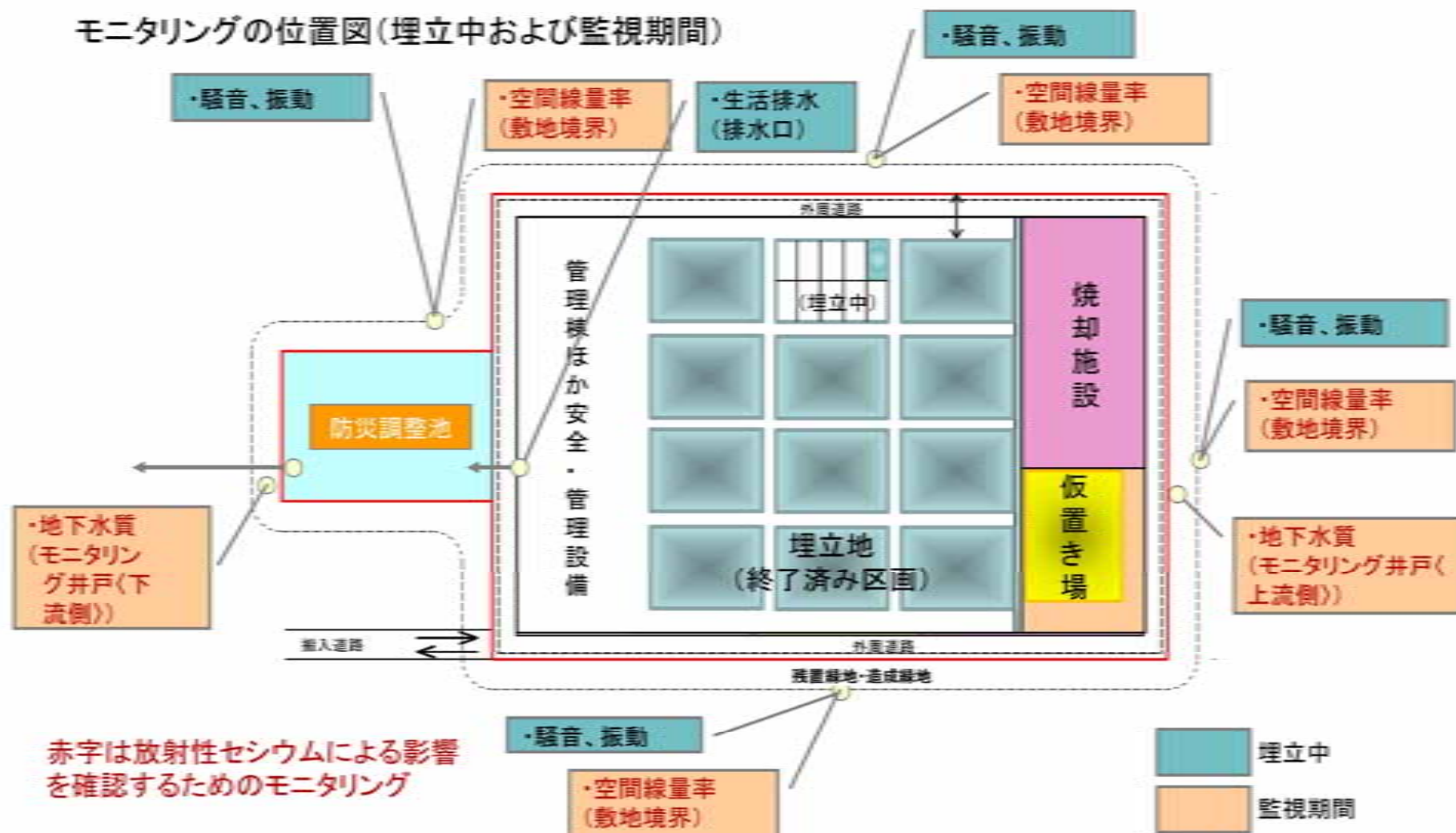


⑧長期間にわたるモニタリング(その3)

37

◆敷地内の各所において、モニタリング(監視)を行い、許容値内に収まっていることや異常な変化がないことを確認します。

モニタリングの位置図(埋立中および監視期間)



「輸送・仮置き・焼却についての安全性」
(放射性物質の飛散・漏えい等の防止)

⑨: 輸送(安全確保の方法)

39

- ◆ 指定廃棄物はトラック等で処分場に輸送します。
- ◆ 輸送の際に指定廃棄物が**飛散しないよう**、フレキシブルコンテナ(内袋)に入れる、シート掛けなど**外気と直接触れない等**の対策を行います。また、流出・悪臭防止のために、**密閉性のある容器に収納**して輸送します。

運搬車両(例)



フレキシブルコンテナと
遮水シートの組合せ

ダンプ、トラック等の上面に覆いがない車両で輸送する場合は、雨水の浸入等を防止するため、その表面を遮水シート等で覆うなどの措置を講じます。

収納容器(例)



フレキシブルコンテナ

※ポリエチレン製などの内袋のあるものや内側コーティングが施されているものです。



ドラム缶



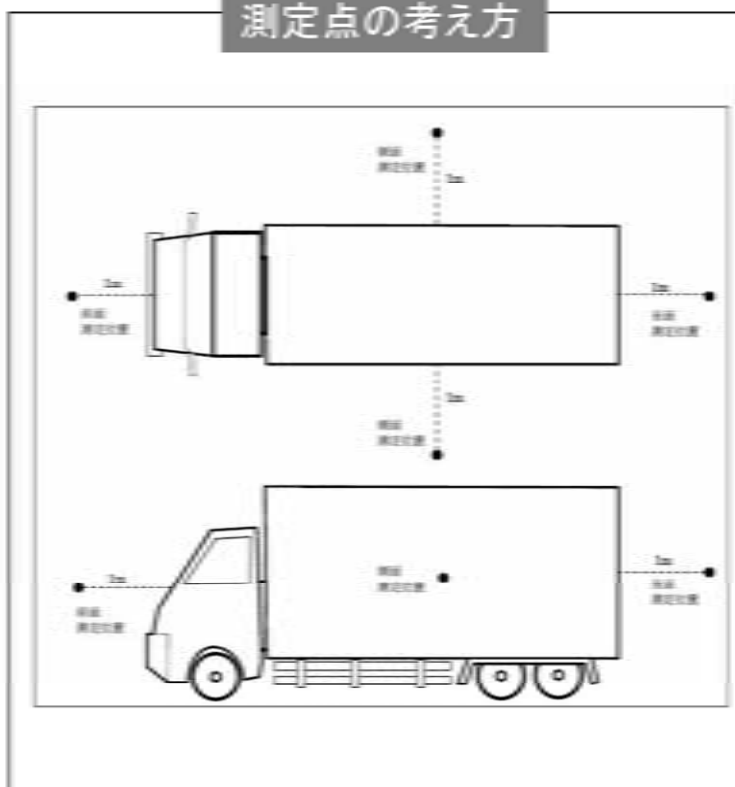
オーバーバック

⑨: 輸送(安全性の確認)

40

◆運搬中に適切な遮へいが行われているかどうかの基準は、運搬車輛の**表面から1m離れた位置での空間線量率が $100\mu\text{Sv/h}$ 以下**となっており、この基準値が満たされるように管理します。

測定点の考え方



出典: 環境省 廃棄物関係ガイドライン
第五部 放射能濃度等測定方法ガイドライン

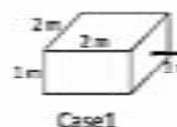
空間線量率のシミュレーション

10万Bq/kgのフレキシブルコンテナを

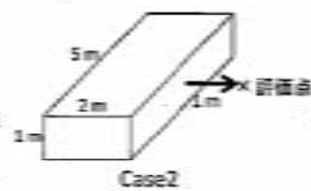
4個積載

10個積載

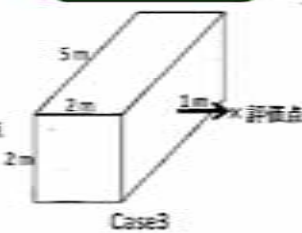
20個積載



11.5 $\mu\text{Sv/h}$



16.3 $\mu\text{Sv/h}$



27.4 $\mu\text{Sv/h}$

<前提条件>

- ・フレキシブルコンテナの焼却灰は、
比重: 1.6g/cm^3 、Cs134とCs137の放射能比は1対1
- ・フレキシブルコンテナのサイズは $1\text{m} \times 1\text{m} \times 1\text{m}$
- ・フレキシブルコンテナによる遮へい効果は考慮しない
- ・評価点は積載側面の中心から1m離れた位置

出典: 第12回災害廃棄物安全評価検討会 資料8

◆ 処分場に運び込まれた焼却対象の可燃性廃棄物や不燃性廃棄物、処分場内の仮設焼却炉から発生した焼却灰等を、埋立処分するまでの間、仮置場において一時保管します。

◆ 雨水の浸入防止や飛散防止のため、**屋根と囲いを設置**します。

○ 仮置場の囲いの底部は、コンクリート張りでその上に焼却対象の可燃性廃棄物(牧草等)を1区画(5m×20m×2mH)に区分けして保管します。

○ 仮設焼却炉への投入前に、破断等の前処理を行い仮設炉へ投入します。(屋内作業)

◆ 囲いの内部は、良好な作業環境を保つために**換気設備を設置**します。排気についても放射性物質の飛散を防止するための設備を設置します。

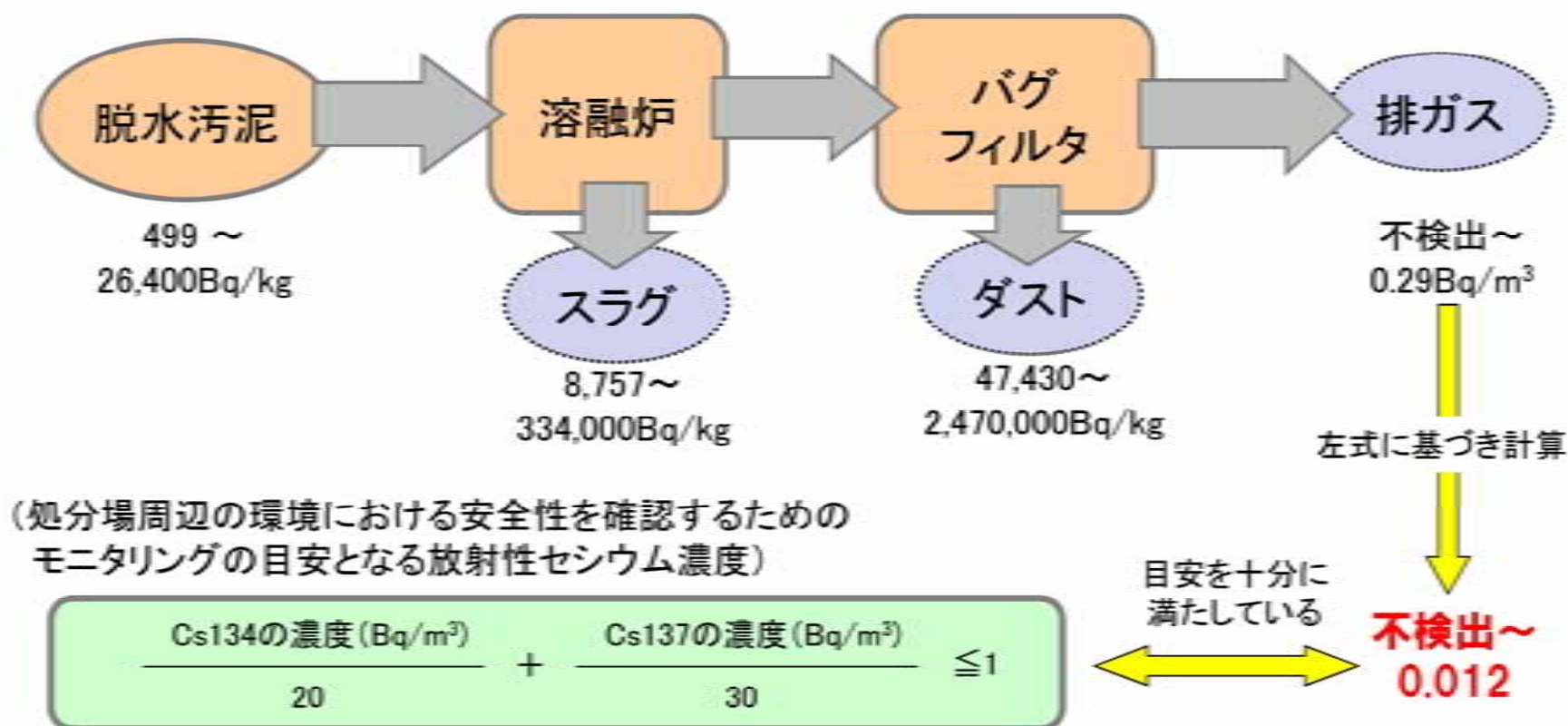
○ 換気は、排気ファンの後に集塵装置を設けます。

⑪: 焼却(安全性の確認)

43

◆高濃度の廃棄物を処理した事例でも、**バグフィルタを介した排ガス中の放射性セシウム濃度は非常に低く、基準値をはるかに下回る結果**が得られています。

＜福島 県中浄化センターでの事例＞



※脱水汚泥、スラグ、ダストは平成23年4月～平成24年7月のデータ、排ガスは平成23年5月～平成24年7月のデータ
 ※脱水汚泥の測定日は溶融炉に投入した日ではなく、サンプリングした日

⑪: 焼却(安全確保の方法)

44

◆ 一般廃棄物焼却施設(254施設)及び産業廃棄物焼却施設(196施設)の排水及び排ガスの測定値は、ほとんどの施設で不検出(ND)であり、検出された事例でも、特措法施行規則に定める排水又は排ガスの濃度限度を大幅に下回っていることが確認されています。

都道府県	一般廃棄物の焼却施設			産業廃棄物の焼却施設		
	施設数	最高値		施設数	最高値	
		排水(Bq/L)	排ガス(Bq/m ³)		排水(Bq/L)	排ガス(Bq/m ³)
岩手県	9	—	ND	13	ND	ND
宮城県	13	ND	ND	8	—	ND
山形県	7	ND	ND	11	—	ND
福島県	21	ND	1.1(※1)	17	ND	0.89(※4)
茨城県	28	ND	2.5(※2)	25	ND	ND
栃木県	16	ND	ND	15	—	ND
群馬県	22	ND	ND	16	ND	2.5(※5)
埼玉県	30	ND	ND	34	ND	ND
千葉県	34	ND	ND	26	22(※3)	ND
東京都	34	ND	ND	10	ND	ND
神奈川県	16	ND	ND	9	ND	ND
新潟県	24	ND	ND	12	ND	ND

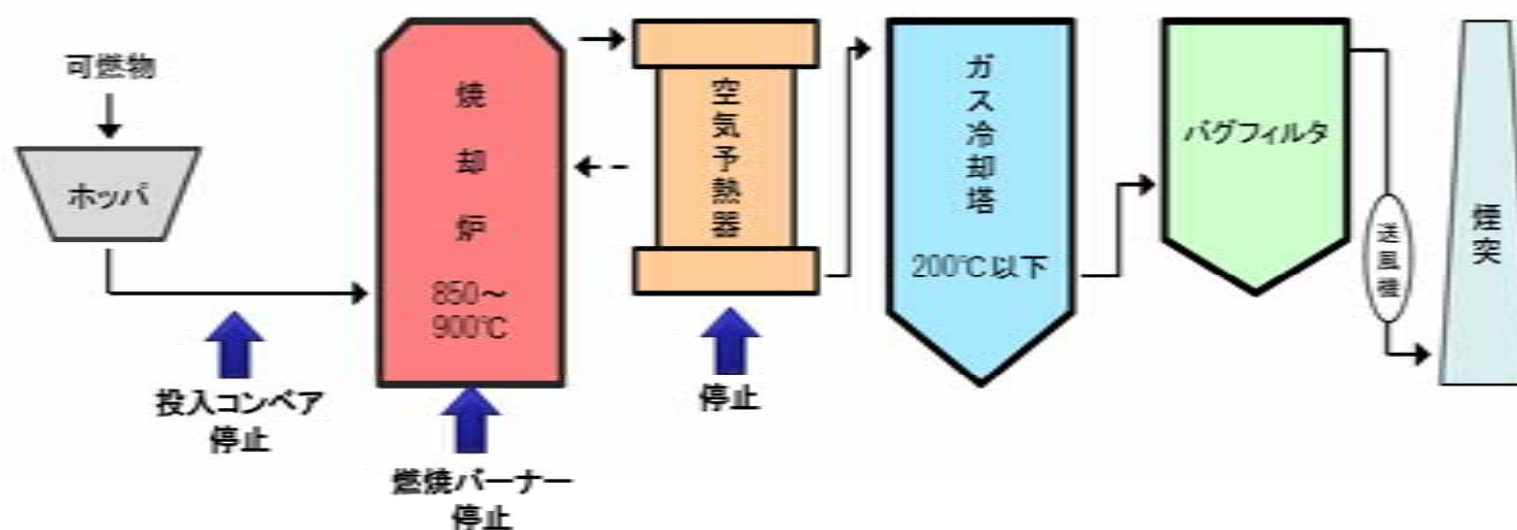
※1 ろ紙部で検出(1.04Bq/m³)、フレノ部で不検出(検出下限値:0.028Bq/m³)
 ※2 ろ紙部で不検出(検出下限値:0.304Bq/m³)、フレノ部で検出(2.168Bq/m³)
 ※3 セシウム134が不検出(検出下限値:11Bq/L)、セシウム137が検出(11Bq/L)
 ※4 ろ紙部で検出(0.17Bq/m³)、フレノ部で不検出(検出下限値:0.72Bq/m³)
 ※5 ろ紙部で検出(0.7Bq/m³)、フレノ部で不検出(検出下限値:1.6Bq/m³)

出典: 第12回災害廃棄物安全評価検討会
 資料9「廃棄物処理施設における排ガス・排水等の測定調査結果について」

⑪: 焼却(バグフィルタの破損への対応について)

45

- ◆バグフィルタは、定期点検を行い、異常がないことを確認します。
- ◆ばいじん計を常時監視することで、バグフィルタの破損がないか確認します。
- ◆仮に、異常のおそれがある場合には、速やかに焼却炉の運転を停止します。
 - 可燃物投入コンベア等を停止し、排ガス状態を配慮しながら設備を停止します。

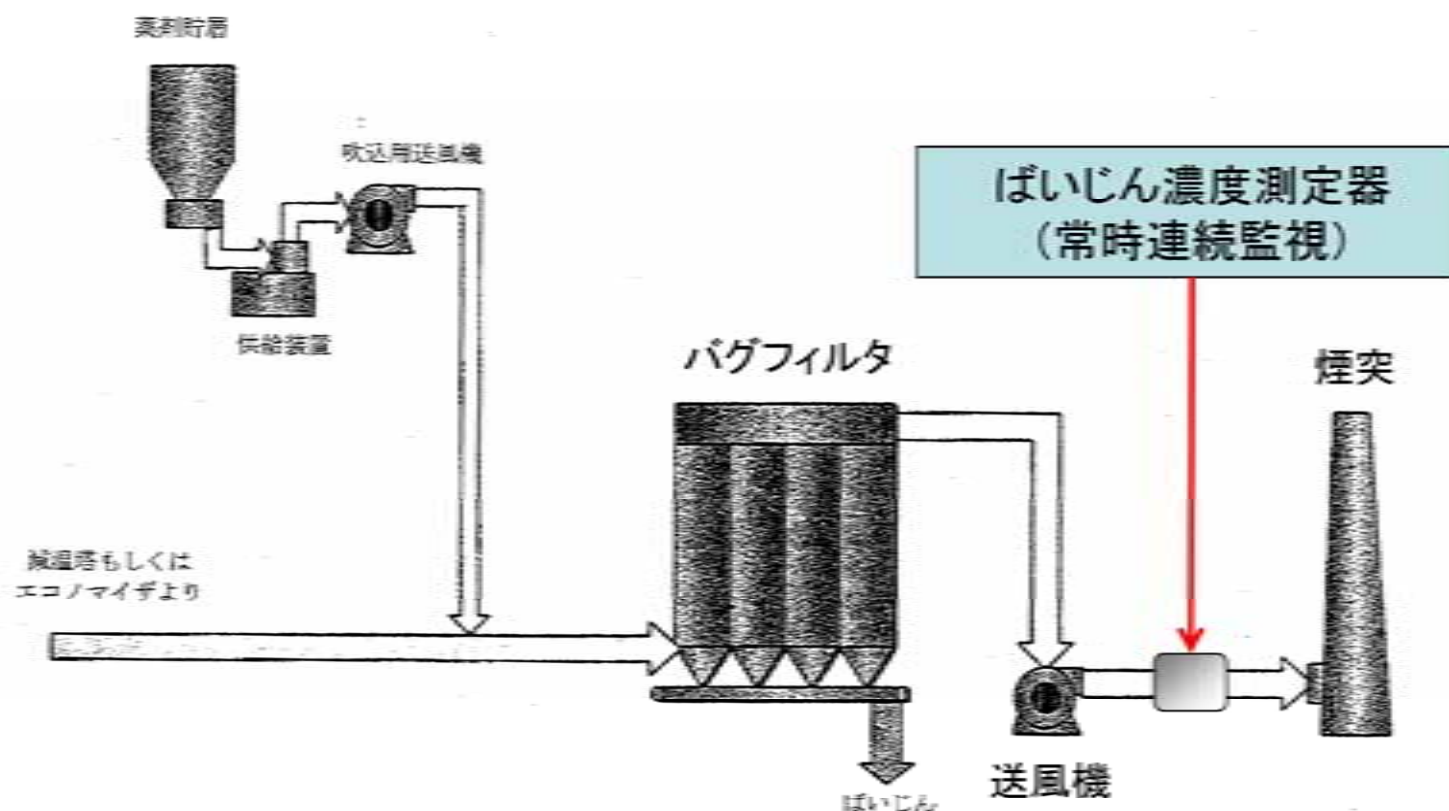


焼却施設フロー及び運転停止プロセス図(例)

⑪: 焼却(安全確保の方法)

46

- ◆ バグフィルタの後段に、ばいじん濃度測定器を設置し、常時連続監視します。
- ◆ これにより、異常値を感知することが可能となり、万が一、バグフィルタの破損などがあった場合にも即座に対応が可能です。
- ◆ 放射性セシウムはばいじんに着しているため、ばいじんの濃度を測定することで、排ガス中の放射性セシウムの管理にも資することができます。

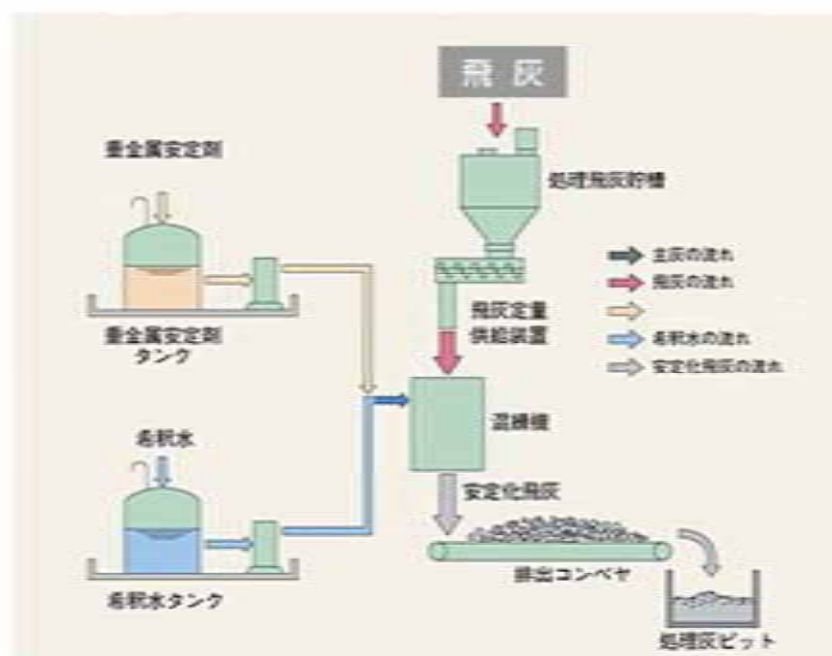


⑪: 焼却(安全確保の方法)

47

- ◆ 廃棄物を焼却すると、飛灰(ばいじん)と主灰(焼却炉の底に溜まる灰)が発生します。
- ◆ 遮断型の最終処分場に処分するため、重金属類の漏出防止のための薬剤処理を行った後、フレキシブルコンテナに梱包します。
- ◆ 主灰は、そのままフレキシブルコンテナに梱包します。

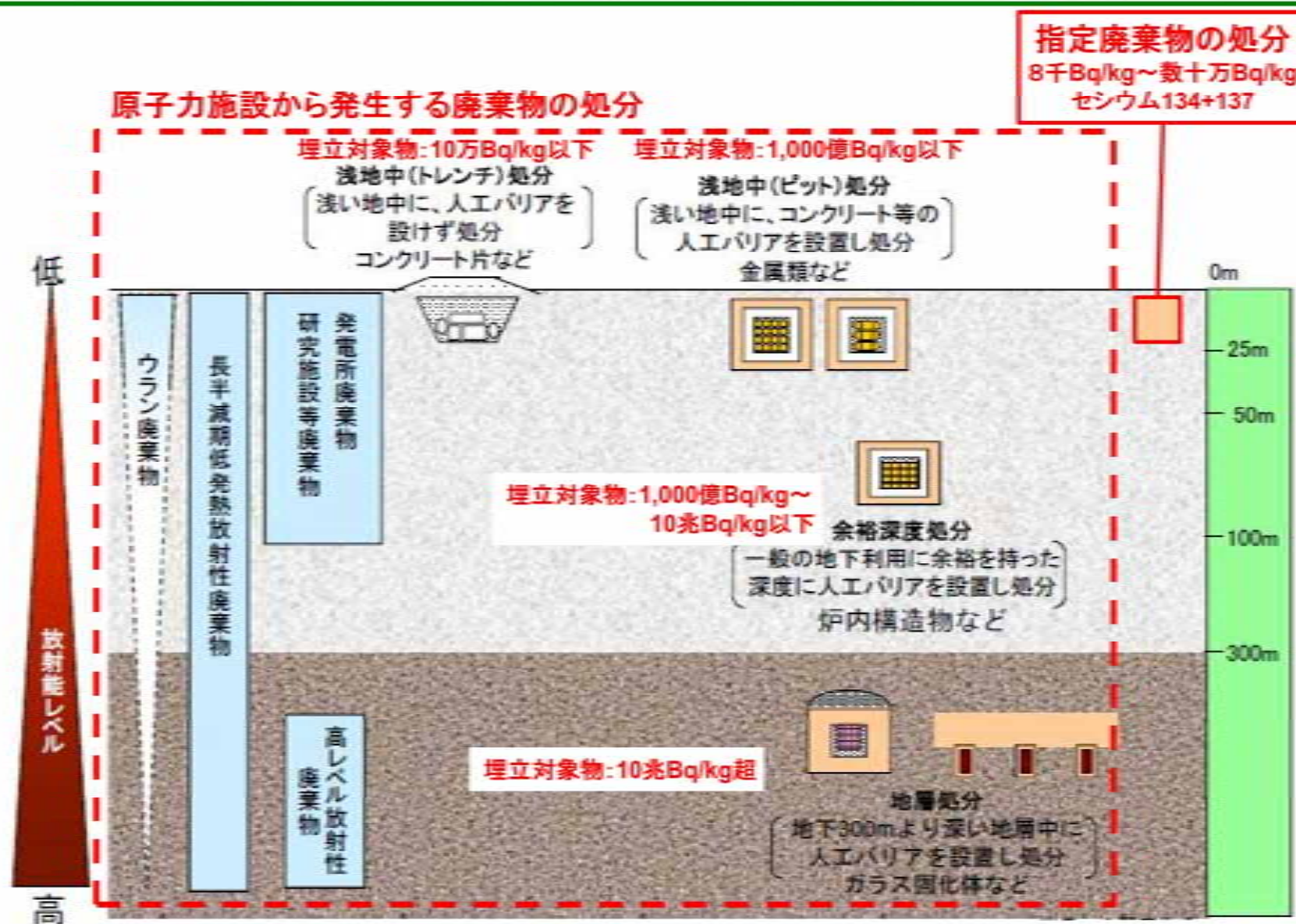
薬剤処理の工程図の例



フレキシブルコンテナへの梱包



参考資料



※1 赤字は内閣府作成資料に環境省が加筆を行ったもの。

※2 埋立廃棄物の温度については、核種ごとに温度が異なるが、ここではセシウム137の場合の温度とした

出典:内閣府作成資料

【参考資料】浅地中(トレンチ)処分の例

50



日本原子力研究開発機構 廃棄物埋設実地試験



廃棄物定置作業

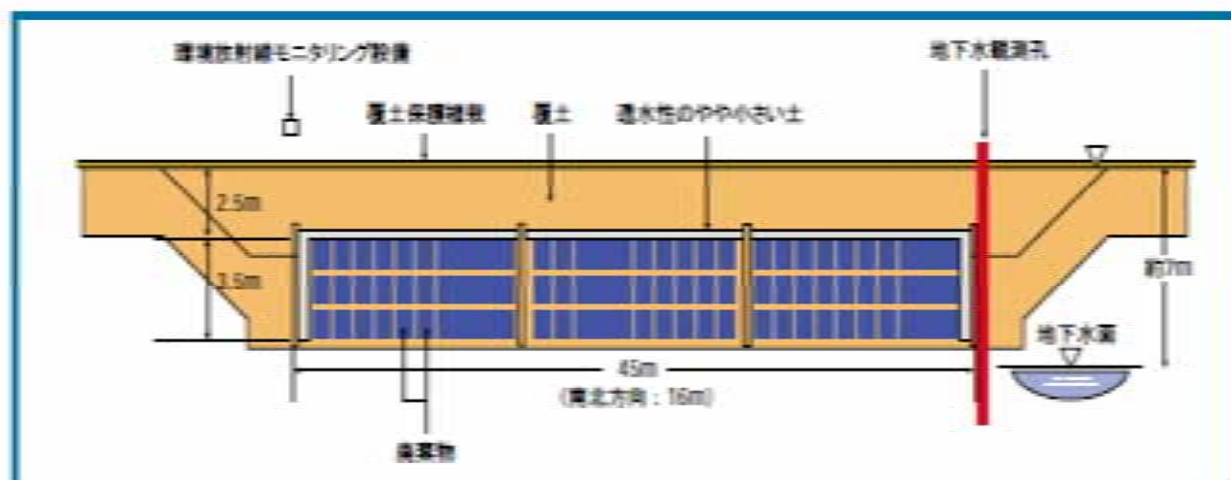


覆土施工状況



埋設終了(保全段階)

トレンチ処分は、放射能レベルの極めて低い廃棄物を浅地中処分する方法の一つで、人工構築物を設けない壕などに廃棄体を定置し、充填材を充填したあと、覆土する処分方法。(出典)日本原子力研究開発機構 埋設事業推進センターHP



【参考資料】浅地中(ピット)処分の例

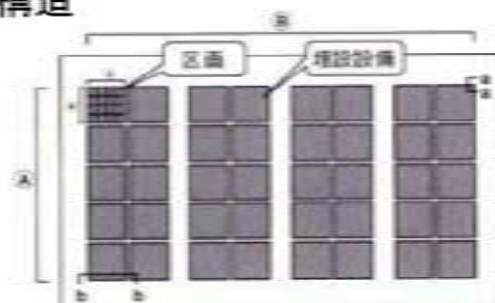
51



1号埋設設備の構造

●全体平面図

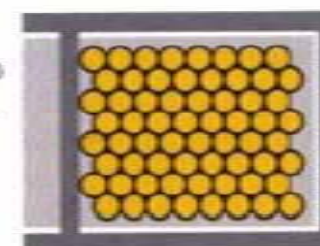
- Ⓐ: 約132m
- Ⓑ: 約231m
- Ⓐ: 約24m
- Ⓑ: 約24m



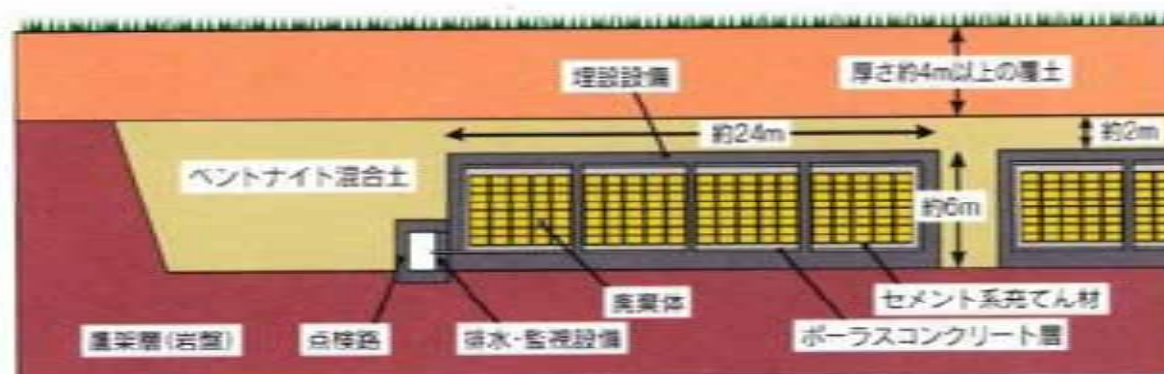
●区画断面図

(a-a縦断面)

廃棄体を8段5列8行の
積み方で設置します。



●埋設地断面図 (b-b断面)



日本原燃(株)六ヶ所村低レベル放射性廃棄物埋設センター

◆ 想定する地震は2つのレベルを考慮

- レベル1地震動: 構造物の設計耐用期間に数回発生する規模の地震
- レベル2地震動: 構造物の建設地点で想定される最大クラスの地震

◆ 想定する地震動のレベルに応じて耐震性能を設定

- レベル1地震動: 地震後通常に使用が可能
- レベル2地震動: 崩壊せず、地震後修復して使用が可能

◆ 耐震設計手法

地震応答解析※): 構造物および周辺地盤を小さな領域の集合体としてモデル化し、地中の岩盤面(工学的基盤面)に時間とともに変化する地震加速度波形を与え、地中から構造物まで伝わる振動(加速度、速度、変位)を逐次計算し、地震の発生から終息までの各時間ごとに構造物の各部位に発生するひずみや応力を求める方法。

ひずみや応力が許容値を超えなければ、構造物は安全であることが確認できる。

※) 材料の力学特性を線形として扱う線形地震応答解析と非線形として扱う非線形地震応答解析がある

◆イタリアのソンマ・ヴェスヴィアーナ遺跡から発掘された約2000年前の古代コンクリートは、建設時の約1/4※の圧縮強度を有していた。

※発掘した古代コンクリートの圧縮強度:3.3~5.6N/mm²
 当時の製法を再現して作成した模擬試験体(材齢1年)の圧縮強度:
 20N/mm²



ソンマ遺跡で採取された古代コンクリート

ただし、古代コンクリートの製法や材料は、現代コンクリートとは異なっている。

	古代コンクリート	現代コンクリート
特徴	消石灰と骨材間のポゾラン反応及び消石灰の炭酸硬化化を利用し、長時間かけてゆっくりと強度を発現させる	セメントそれ自体の水和反応を利用し、早期に強度を発現させる
材質	セメント 消石灰	エーライト(Ca3SiO5)、 ビーライト(Ca2SiO4)
	細骨材 山砂、海砂、川砂	砂、砂利、採石、砕砂、人口軽量骨材、スラグ骨材など
	粗骨材 レンガ屑、石材	おおむね5mm以上の粒径のもの
	混和材 ポッツォラーナ (高耐久性、水中施工性が求められる場合)	高炉スラグ、シリカフェーム
	混和剤 油	分散剤、遅延剤、増粘剤
耐久性	80年以上	一般の建築物で50年、 高耐久性の建築物で100年

土木学会:コンクリートライブラリー131号古代ローマコンクリート(2008)より

建築基準法における基準風速 * 1)

県	基準風速(m/秒)
宮城県	30
茨城県	30～36 * 2)
栃木県	30
群馬県	30
千葉県	34～38 * 2)

* 1) 平成12年建設省告示第1454号「Eの数値を算出する方法並びに V_0 及び風力計数の数値を定める件」

* 2) 市町村によって異なる

一般に構造物の耐風性については、基準風速を元に地表面の状況(地表面粗度)、構造物の高さ、構造物の形状を考慮して、風荷重を算定し検討します。

- ◆ 色々な種類の土壌等(珪砂5号、埼玉土壌、茨城県真砂土、ベントナイト)に対して、セシウムがどの程度吸着されるか、という実験が、国立環境研究所によって実施されています。
- ◆ その結果、放射性セシウムの吸着性は、珪砂5号<茨城真砂土<埼玉土壌<ベントナイトの順で大きいことがわかりました

吸着実験に用いた試料

珪砂5号  ✓ 石英を主成分とする標準砂 ✓ 0.4-0.6mmの均一な粒子径	茨城真砂土  ✓ 花崗岩などが風化してきた土 ✓ 礫分を多く含み、様々な粒子径をもつ
埼玉覆土  ✓ 埋立地の中間覆土に実際に用いられた土 ✓ 真砂土よりも粒子径の大きい礫分有	ベントナイト  ✓ フイオミング産Naベントナイト ✓ 難透水性材料として遮水に幅広く利用

放射性セシウムの吸着実験

■ 土試料の吸着試験

溶出液を溶媒として
使用することが特徴

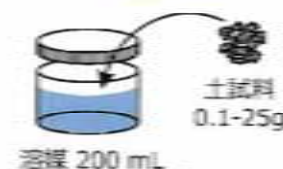
溶媒条件は一定にし、
投入する試料量を変化させ、
吸着等温線を評価する。

1. 溶媒

- ✓ 飛灰溶出液
 - ・ $^{134}\text{Cs} = 522 \text{ Bq/L}$, $^{137}\text{Cs} = 621 \text{ Bq/L}$
 - ・ $\text{pH} = 11.9$
 - ・ $\text{EC} = 1,890 \text{ mS/m}$

2. 吸着材

- ✓ 珪砂5号
- ✓ 埼玉覆土
- ✓ 茨城県真砂土
- ✓ ベントナイト



3. 実験条件

- ✓ 液固比 = 8-2,000
- ✓ 吸着時間 = 1日
- ✓ 攪拌条件 = 120 rpm 水平揺とう

$$\text{吸着量 (Bq/kg)} = \left[\text{初期濃度 (Bq/L)} - \text{平衡濃度 (Bq/L)} \right] \times \text{液固比 (L/kg)}$$

(試験実施機関: 環境管理センター)

【参考資料】コンクリートと土壌の遮へい効果の計算条件と計算結果 (本文26頁)

56

◆ 設定及び計算条件

○ 線源寸法及び材質

・1,000cm×500cm×500cmの直方体(セル)が10個

・材質:埋立物 1.6g/cm³

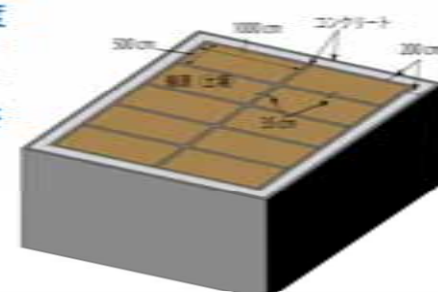
○ 遮へい体材質及び形状

蓋:コンクリート 2.1^{※1}g/cm³、厚さ 35cm

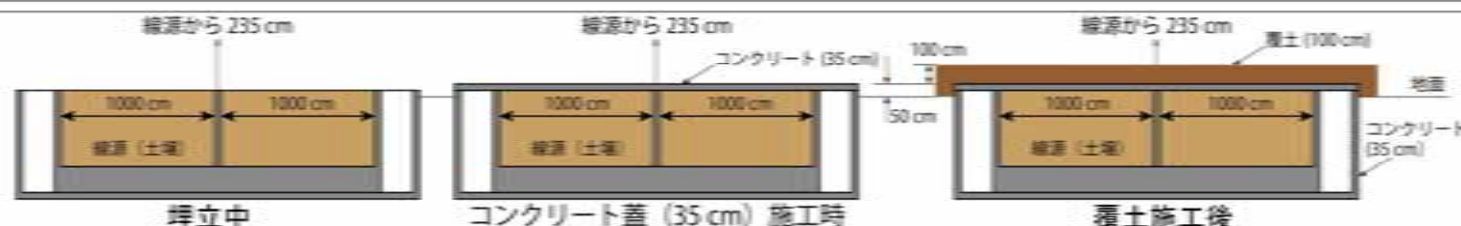
覆土:土壌 1.5g/cm³、厚さ 100cm

※1:通常は2.3g/cm³程度であるが、「放射線施設の遮へい計算実務マニュアル」での推奨値2.1g/cm³を用いた保守的な設定をしている。

◆ 計算結果:線源の放射性セシウム濃度及びコンクリートの単位体積重量は保守的な値を用いて計算しているため、実際の空間線量率は、計算結果の数値よりさらに小さい数値となる。



◆ 評価点



◆ 解析コード モンテカルロ手法計算コードMCNP-4C

◆ 計算結果

各時点における空間線量率
(線量換算係数^{※2}) (μSv/h per Bq/g)

	埋立中	コンクリート 蓋施工時	覆土施工後
Cs-134	2.7E-01	1.4E-03	8.6E-08
Cs-137	9.6E-02	4.0E-04	7.3E-09

Cs-134:Cs-137=1:1と仮定し、線源の放射性セシウム濃度を10万Bq/kgとした場合の各時点における空間線量率 (μSv/h)

	埋立中	コンクリート 蓋施工時	覆土施工後
Cs-134+Cs-137	18	0.090	4.7E-06
埋立中を「1」とした場合の割合	1	200分の1	383万分の1 ≒400万分の1

※2線量換算係数の解析は日本原子力研究開発機構安全研究センターによる。

◆ モンテカルロ手法計算コードMCNP-4C

MCNP(MCNP: Monte Carlo N-Particle Transport Code System)は、米国 Los Alamos 国立研究所(LANL)において開発されたモンテカルロ法による中性子、ガンマ線及び中性子・ガンマ線結合系を対象とする汎用の輸送計算コードである。幾何形状の設定の自由度が大きいことや、断面積の取り扱いに連続エネルギーを採用していること等の利点があり、モンテカルロ輸送計算コードの主流なものとなっている。また、米国では、使用済燃料貯蔵施設の審査指針であるNUREG-1567において、遮へい解析ツールとして記載されており、遮へい設計、線量評価等で使用されている。

【参考資料】埋立区画端からの距離毎の空間線量率の計算条件と計算結果(その1)

◆設定及び計算条件

○埋立中

- ・12のコンクリート躯体のうち1つの躯体が開放。
その躯体には建屋が設置される。
- ・それ以外の11躯体は厚さ35cmのコンクリートの蓋、
その上に覆土が100cm施工されている。

○埋立終了後

- ・全12躯体に厚さ35cmのコンクリートの蓋、その全面
に覆土を100cm施工

<線源寸法及び材質>

- ・1,000cm×500cm×500cmの直方体が10個
- ・材質:埋立物 1.6g/cm³

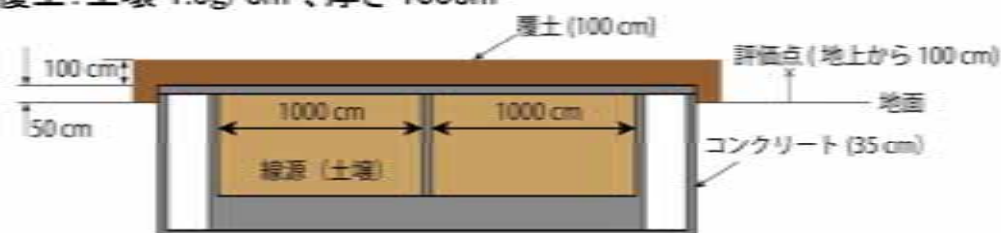
<建屋寸法及び材質(建屋の部材のうち金属部分のみを評価)>

- ・3,000cm×3,600cm×1,250cm
- ・屋根の厚さ:0.1cm ・壁の厚さ:0.035cm
- ・材質:鉄7.9g/cm³

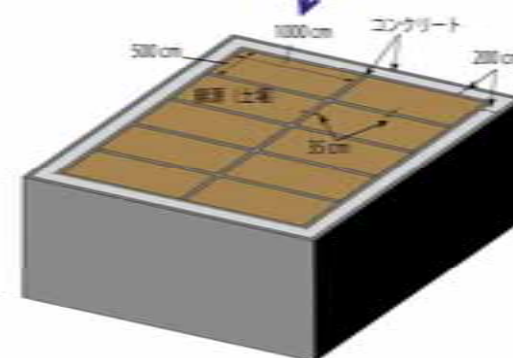
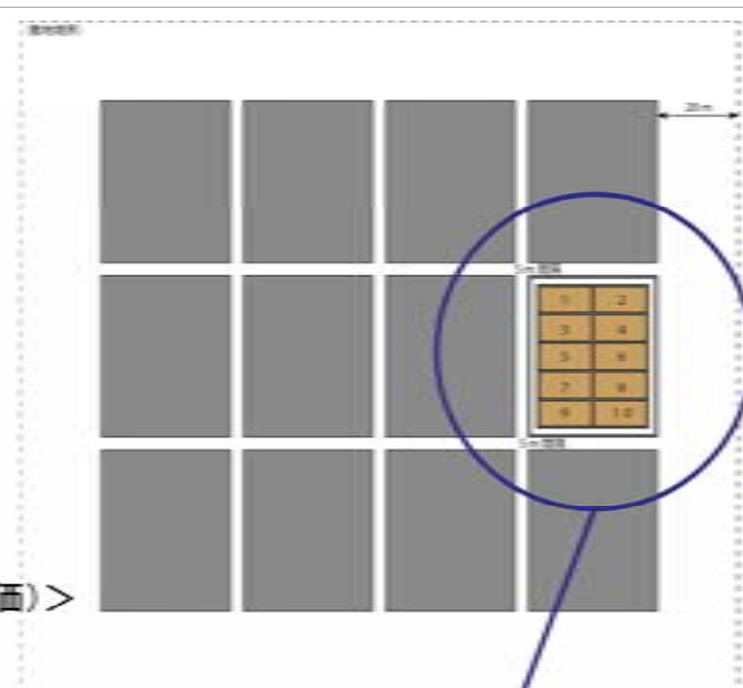
<遮へい体材質及び形状>

蓋:コンクリート 2.1g/cm³※1、厚さ 35cm

覆土:土壌 1.5g/cm³、厚さ 100cm



コンクリート1躯体の断面図(埋立終了後)



コンクリート1躯体(埋立中)

※1 通常は2.3g/cm³程度であるが、「放射線施設の遮へい計算実務マニュアル」での推奨値2.1g/cm³を用いた保守的な設定をしている。

【参考資料】埋立区画端からの距離毎の空間線量率の計算条件と計算結果(その2)

◆評価点

- 埋立中 : コンクリート躯体端から0, 10, 30, 50, 100mで、地上より1mの地点
 ○埋立終了後: コンクリート躯体端から2, 4, 6, 8, 10mで、地上より1mの地点

◆解析コード モンテカルロ手法計算コードMCNP-4C

◆評価結果

線源の放射性セシウム濃度及び躯体開放時間は保守的な値を用いて計算している
 ので、実際の空間線量率は、計算結果の数値よりさらに小さい数値となる。

○埋立中の線量換算係数($\mu\text{Sv/h per Bq/g}$)

コンクリート躯体端からの距離	0m	10m	30m	50m	100m
Cs-134	1.8E-02	2.7E-03	8.0E-04	4.1E-04	1.3E-04
Cs-137	6.3E-03	1.0E-03	3.0E-04	1.5E-04	4.8E-05

※開放している1躯体のみで評価。埋立終了後の評価結果から、埋立中は覆土した躯体からの寄与は無視できるほど十分に小さく、開放している1躯体についてのみの評価で十分と言える。

○埋立終了後の線量換算係数($\mu\text{Sv/h per Bq/g}$)

コンクリート躯体端からの距離	2m	4m	6m	8m	10m
Cs-134	2.0E-09	2.0E-09	1.9E-09	1.7E-09	1.7E-09
Cs-137	2.1E-10	2.1E-10	2.0E-10	1.9E-10	1.8E-10

※コンクリート蓋及び覆土を施工した全12躯体からの寄与の足し合わせ。

※線量換算係数の解析は日本原子力研究開発機構安全研究センターによる。

Cs-134:Cs-137=1:1と仮定し、線源の放射性セシウム濃度を10万Bq/kgとした場合

○埋立中の各地点における空間線量率($\mu\text{Sv/h}$)

コンクリート躯体端からの距離	0m	10m	30m	50m	100m
Cs-134 + Cs-137	1	0.19	0.06	0.03	0.01

○埋立終了後の各地点における空間線量率($\mu\text{Sv/h}$)

コンクリート躯体端からの距離	2m	4m	6m	8m	10m
Cs-134 + Cs-137	0.0000001	0.0000001	0.0000001	0.00000009	0.00000009

【参考資料】処分場施設の点検・補修方法の例

(本文32頁) 59

点検項目		点検方法	補修方法
コンクリート	ひび割れ	クラックスケールによるひび割れ幅調査 クラックチェッカーによる目視検査	表面被覆工法 充填工法 注入工法
	剥離	目視点検 ハンマーによる打音検査	左官工法 吹付け工法 グラウト工法
	空洞	ハンマーによる打音検査 弾性波探査 電磁レーダー法 赤外線探査法	注入工法 充填工法
	強度	コアサンプリングによる圧縮強度試験 テストハンマーによる打撃 ブルーフ法による引張強度試験	打換え・取替え工法 増厚工法 コンクリート巻立て工法 銅板接着工法 FRP接着工法 銅板巻立て工法 FRP巻立て工法
鉄筋	腐食	中性化深さ調査 塩化物イオン含有量調査 鉄筋腐食量調査 自然電位測定 分極抵抗測定	表面被覆工法 電気防食工法 脱塩工法 再アルカリ化工法 大断面修復工法

【参考資料】遮へい効果計算の設定条件と実際の影響について

60

放射線の被ばくに影響する主要因



設定条件からみた計算結果と実際の影響について

影響する要因		計算の設定条件	実際の影響(計算結果との比較)
線源 防護	①放射性セシウムの濃度	より保守的な濃度を想定して10万Bq/kgの条件を設定	実際に受け入れる廃棄物の濃度はおおむね10万Bq/kgよりも低い値であるため影響は小さくなる方向
	②遮へい	コンクリートの単位体積重量は、保守的な2.1g/cm ³ の条件を設定	実際には単位体積重量の大きいコンクリートを用いるため影響は小さくなる方向
	③被ばく時間	計算対象の埋立区画が1年間開放されていると仮定	各セル毎の埋立期間は3ヶ月程度であり、埋立終了後に覆土しコンクリートで蓋をするため影響は小さくなる方向

【参考資料】保管による空間線量率の評価と処分場の比較

61

◆廃棄物を1箇所に集め、遮へいなどの対策を講じた最終処分場で処分することで周辺の空間線量の影響は大幅に低下します。

「仮に10万Bq/kgの指定廃棄物200t(約130 m³)を遮へいせずに保管した場合」の追加被ばく線量の評価結果と、「埋立中の処分場周辺」「埋立後の処分場周辺」の追加被ばく線量の評価結果の比較

分散保管 (10万Bq/kgを200t(約130 m³))



シートによる覆い



※廃棄物関係ガイドライン第三章指定廃棄物関係ガイドラインp3-30の表2-5に示されている保管物の放射性セシウム濃度と距離とのおおよその相関関係等をもとに推計を行ったものであり、厳密な計算により求めたものではない。

集中保管 埋立中 (10万Bq/kgを3万m³)



集中保管 埋立後 (10万Bq/kgを3万m³)



*線源の放射性セシウム濃度、廃棄物量、コンクリートの容体積重量及び躯体開放時間は保守的な値を用いて計算しているため、実際の空間線量率は、計算結果の数値よりさらに小さい数値となる。

*線源の放射性セシウム濃度、廃棄物量、コンクリートの容体積重量及び躯体開放時間は保守的な値を用いて計算しているため、実際の空間線量率は、計算結果の数値よりさらに小さい数値となる。

◆追加被ばく線量年間1mSvの数値は、以下の考え方に基づいています。

記載文献等	記載内容	その根拠
放射性物質汚染対処特措法の規定に基づく放射線障害の防止に関する技術的基準について(放射線審議会への提出資料)(2011年12月2日)	処理に伴って周辺住民の受ける線量が1mSv/年を超えないようにする	東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故の影響を受けた廃棄物の処理処分等に関する安全確保の当面の考え方について(原子力安全委員会)
平成二十三年三月十一日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う原子力発電所の事故により放出された放射性物質による環境の汚染への対処に関する特別措置法 基本方針(2011年11月11日)	処理等に伴い周辺住民が追加的に受ける線量が年間1ミリシーベルトを超えないようにするものとする	東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故の影響を受けた廃棄物の処理処分等に関する安全確保の当面の考え方について(原子力安全委員会)
東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故の影響を受けた廃棄物の処理処分等に関する安全確保の当面の考え方について(原子力安全委員会)(2011年6月3日)	処理等に伴い周辺住民の受ける線量が1mSv/年を超えないように	放射線防護に関する助言に関する基本的考え方について(原子力安全委員会)
ICRP1990年勧告(ICRP Publ.60)	年実効線量限度1mSvを勧告する。	①:低線量生涯被ばくによる死亡リスク ②:ラドン被ばくを除く自然放射線による年間の被ばく線量の差

発がんリスクの要因等

喫煙	1,000～2,000mSv相当
受動喫煙(※1)	100～200mSv相当
肥満(※2)	200～500mSv相当
野菜不足(※3)	100～200mSv相当
東京—ニューヨーク (航空機旅行(往復)での高度による宇宙線の増加)	0.2mSv程度
クロロホルム (水道水中に含まれ、発がん性が懸念されているトリハロメタン類の代表的な物質)	1日平均2リットルの水道水を飲み続けたとしても発がん性のリスクは、0.01%未満 (100mSvの放射線被ばくによる発がんのリスクは、このクロロホルム摂取よりも大きい)

(※1) 夫が非喫煙者である女性のグループに対し、夫が喫煙者である女性のグループのリスク。

(※2) BMI(身長と体重から計算される肥満指数)23.0～24.9のグループに対し、BMI≥30のグループのリスク。

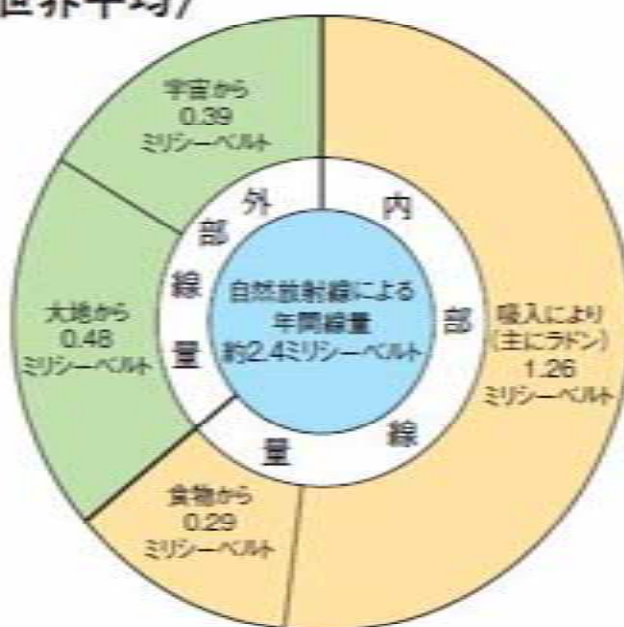
(※3) 1日当たり420g摂取のグループに対し、1日当たり110g摂取のグループのリスク(中央値)。

出典：内閣官房「低線量被ばくのリスク管理に関するワーキンググループ報告書」(平成23年12月22日)

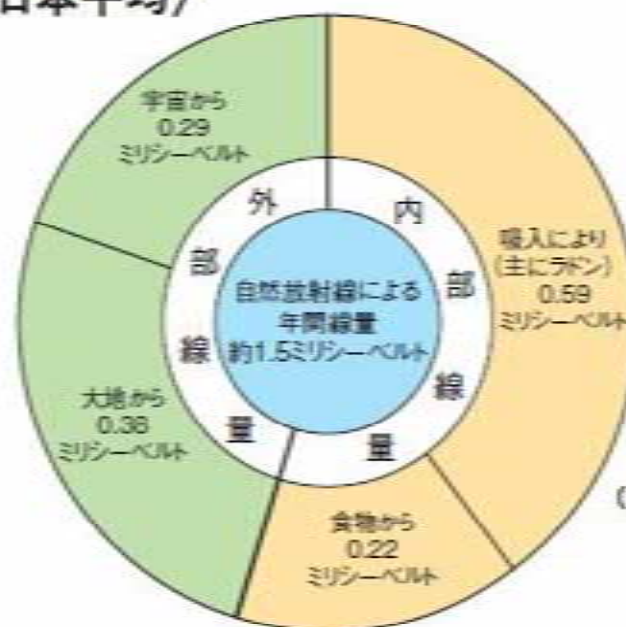
◆自然界から受ける放射線量

一人当たりの年間線量

〈世界平均〉



〈日本平均〉



(注) 2005年に日本分析センターから、自然界から受ける年間の放射線量2.2ミリシーベルトという数値が公表されています。

出典: 原子放射線の影響に関する国連科学委員会(UNSCEAR)2008年報告、
(財)原子力安全研究協会「生活環境放射線」(1992年)より作成

出典: 文部科学省ホームページ

http://www.mext.go.jp/component/b_menu/other/_icsFiles/afieldfile/2011/11/04/1313005_05_1.pdf

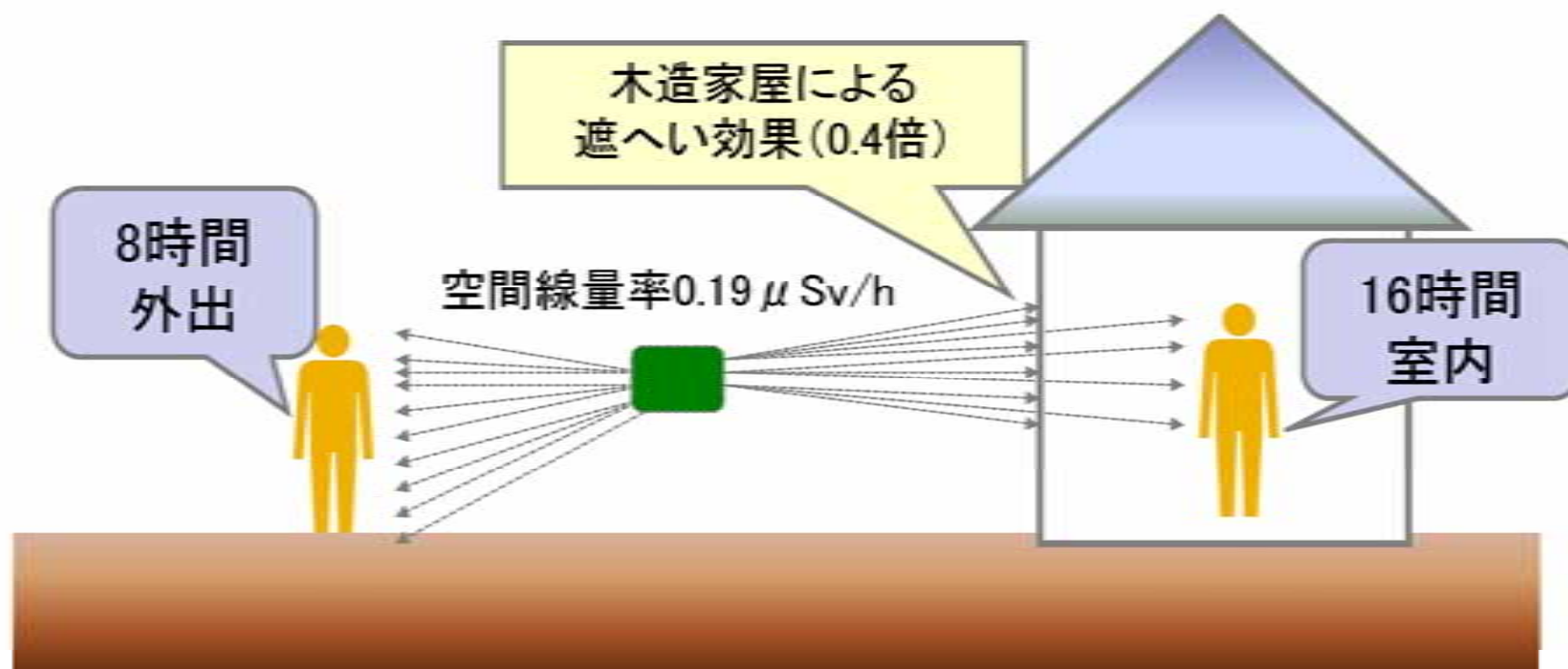
【参考資料】「年間1mSv $\Rightarrow$ 0.19 μ Sv/h」の考え方

65

◆「年間1mSv $\Rightarrow$ 0.19 μ Sv/h」※の考え方は、以下の計算式に基づいています。

$$\frac{1\text{mSv/年}}{365\text{日} \times (\text{外出}8\text{時間} + \text{室内}16\text{時間} \times 0.4)} = 0.19\mu\text{Sv/時間}$$

※ 1mSv = 1000 μ Sv



- ◆福島第一原子力発電所の事故とは関係なく、以前から自然界の放射線は元々存在していました。
- ◆具体的には、大地からの放射線が年間 0.38mSv 、宇宙からの放射線が年間 0.29mSv です。(文部科学省「学校において受ける線量の計算方法について」より)
- ◆時間当たりに計算すると、大地からの放射線が $0.04 \mu\text{Sv/h}$ 、宇宙からの放射線が $0.03 \mu\text{Sv/h}$ です。これらは、もともと存在した放射線です。
- ◆NaIシンチレーション式サーベイメータにより空間線量率を測定する場合、事故による追加被ばく線量だけでなく、自然界からの放射線のうち、大地からの放射線分も合わせて測定することになります。(通常のNaIシンチレーション式サーベイメータでは宇宙からの放射線はほとんど測定されません)
- ◆ $0.23 \mu\text{Sv/h}$ とは、追加被ばく線量 $0.19 \mu\text{Sv/h}$ と、もともと存在した $0.04 \mu\text{Sv/h}$ を足し合わせた数値です。

$$0.04 \mu\text{Sv/h} + 0.19 \mu\text{Sv/h} = 0.23 \mu\text{Sv/h}$$

（もともと存在した
大地からの放射線）

（事故に因る
追加放射線）

（測定される
放射線）

- ◆モニタリングで、影響の防止を確認するための尺度となる大気中の放射性物質の濃度限度は、非常に低いものです。例えば、「外部被ばく及び内部被ばくの評価法に係る技術的指針」(平成11年4月放射線審議会)によれば、その濃度の大气を0歳から70歳までの間、吸い続けた時の被ばく線量が一般公衆の許容値以下となる濃度です。

$$\frac{\text{Cs134濃度 (Bq/m}^3\text{)}}{20} + \frac{\text{Cs137濃度 (Bq/m}^3\text{)}}{30} \leq 1$$

(処分場周辺的环境における安全性を確認するためのモニタリングの目安となる放射性セシウム濃度)

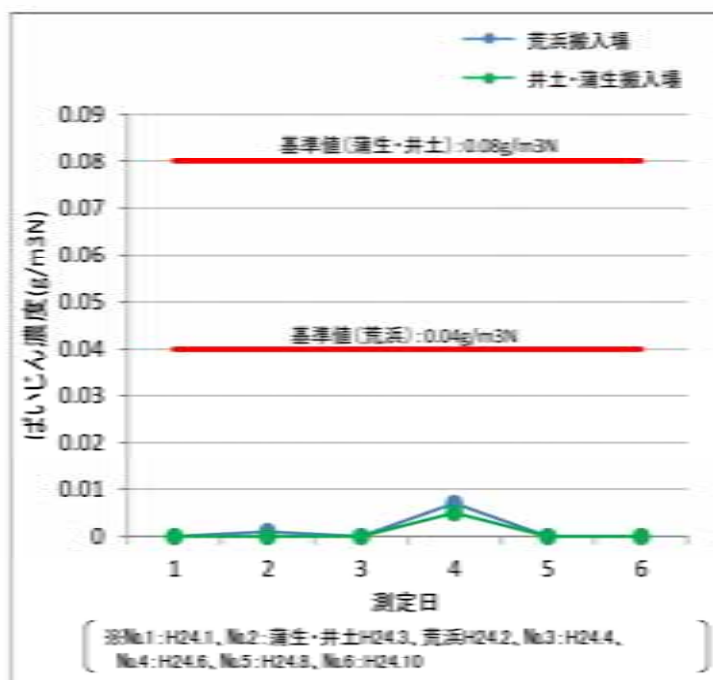
- ◆また、受入前、受入開始後に敷地境界において空間線量率を7日に1回測定します。受入期間中にバックグラウンド+0.19 μ Sv/h以下(すなわち、追加被ばく線量が年間1mSvを超えない)であることを確認します。

【参考資料】焼却(安全確保の方法)

68

- ◆バグフィルタは、十分に性能を発揮することが確認されています(下図)。
- ◆ばいじん濃度は基準値を大きく下回っており、バグフィルタが十分に性能を発揮していることがわかります。

宮城県における仮設焼却炉の実績



出典: 仙台市ホームページ

http://www.city.sendai.jp/sumiyoi/gomi/keikaku/1202139_1571.html

既存の処理における排ガスの実績データ

施設名	時期	Cs濃度(Bq/m³)					
		バグフィルタ入口			煙突		
		(ろ紙部)	(ドレン部)	(活性炭部)	(ろ紙部)	(ドレン部)	(活性炭部)
福島市 あふくま クリーン センター	(※1) 平成23年10月	—	—	—	不検出	不検出	不検出
	(※2) 平成23年12月	—	—	—	不検出	不検出	不検出
	(※3) 平成24年2月	—	—	—	不検出 (0.2)	不検出 (1.2)	不検出 (0.6)
福島市 あらかわ クリーン センター	(※1) 平成23年10月	174	不検出	不検出	0.007	不検出	不検出
	(※2) 平成23年12月	224	不検出 (3)	不検出 (1.2)	0.008~0.015	不検出 <0.12	不検出 <0.05
	(※3) 平成24年2月	290	不検出 (2)	不検出 (0.9)	不検出 (0.16)	不検出 (1.0)	不検出 (0.6)
南相馬市 クリーン 原町 センター	(※1) 平成23年10月	—	—	—	不検出	不検出	不検出
	(※2) 平成23年12月	—	—	—	不検出	不検出	不検出
	(※3) 平成24年2月	—	—	—	不検出 (0.2)	不検出 (1.6)	不検出 (0.6)
いわき市 南部清掃 センター	(※1) 平成23年11月	—	—	—	不検出	不検出	不検出
	(※2) 平成23年12月	—	—	—	不検出	不検出	不検出
	(※3) 平成24年2月	—	—	—	不検出 (0.2)	不検出 (1.3)	不検出 (0.6)

出典: (※1)第9回災害廃棄物安全評価検討会 資料5 表1より抜粋

(※2)第11回災害廃棄物安全評価検討会 資料9 表1-1より抜粋

(※3)第12回災害廃棄物安全評価検討会 参考資料1 表1-1より抜粋

※測定結果の「不検出」とは、検出下限未満を表し、
下記の「」内は検出下限値を表します。