

**放射性物質を含む汚泥焼却灰等の
処分に関する安全評価検討書**

平成 23 年 9 月

**横浜市環境創造局
横浜市資源循環局**

この安全評価検討書は、次の有識者から適正に検討されていると評価をいただいている。

所 属 機 関	有識者
東京大学大学院工学系研究科教授 (原子力安全委員会「放射性廃棄物・廃止措置専門部会」部会長) (原子力学会学会長)	田中 知
(独) 国立環境研究所 資源循環・廃棄物研究センター長 (環境省「災害廃棄物安全評価検討会」委員)	大迫政浩
(独) 日本原子力研究開発機構安全研究センター (JAEA) 廃棄物安全研究グループ研究主幹 (文部科学省「放射線安全規制検討会」) (国土交通省「下水道における放射性物質対策に関する検討会」委員)	木村英雄

なお、この安全評価検討書で採用しているデータ（放射性物質の濃度、量、処分場諸元、パラメータ等）は、横浜市での観測値や処分の状況から設定した値であり、これを基に個別に安全性を評価したものである。

目次

1	検討目的	1
2	検討の対象	1
3	評価方法	3
3-1	シナリオ設定の考え方	4
(1)	操業中の評価シナリオ	4
(2)	処分場の管理期間終了以後の基本シナリオ	6
(3)	処分場の管理期間終了以後の変動シナリオ	8
3-2	評価の基準	9
3-3	評価に用いたパラメータ	9
(1)	操業中の評価シナリオ	9
(2)	処分場の管理期間終了以後の基本シナリオ	12
(3)	処分場の管理期間終了以後の変動シナリオ	13
3-4	線量評価結果	13
(1)	操業中の評価シナリオ	13
(2)	処分場の管理期間終了以後の基本シナリオ	14
(3)	処分場の管理期間終了以後の変動シナリオ	15
4	評価（まとめ）	16
	主な用語解説	17
	評価結果の見方	17

1 検討目的

東京電力福島第一原子力発電所の事故により、大気拡散した放射性物質が下水処理から発生する汚泥等から検出された。これまで下水汚泥の焼却灰は改良土の原料やセメント原料として再利用されてきたが、福島県の下水汚泥から放射性物質が検出されたのを契機に、セメント原料化が困難となり、横浜市だけでなく下水汚泥焼却灰をセメント原料として有効活用している多くの自治体が下水汚泥焼却灰を仮置きせざるを得なくなっている。平成 23 年 6 月 16 日に国から「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」について（以下、「考え方」という）が示され、放射性物質の濃度の違いによる処分方法が示された。

一方、本市唯一の一般廃棄物最終処分場である南本牧廃棄物最終処分場は、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、並びに、「考え方」で想定していない海面埋立て処分場であることから、焼却灰等の処分先としては、「個別に安全性を評価し、長期的な管理の方法を検討したうえで埋立て可能「考え方」となる。

また、本市の一般廃棄物焼却施設については、焼却灰（主灰及び飛灰）に関して「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」（平成 23 年 6 月 28 日 環境省事務連絡）の中で取扱方法が示されており、放射性セシウムの濃度が 8,000Bq/kg 以下の場合、管理型最終処分場で埋立処分することが認められている。

そのため、主灰及び飛灰ともに 8,000Bq/kg を大幅に下回っていることから、モニタリング等で安全を確認しつつ埋立処分を継続している状況である。

そこで、下水汚泥焼却灰をその他の廃棄物と合わせて南本牧廃棄物最終処分場に処分した場合の各廃棄物の放射性物質の濃度や量、処分場の状況などについて、実態に合わせた「考え方」に基づく検討を行い、安全性について総合的な評価を行うものである。

2 検討の対象

検討の対象廃棄物は、下水汚泥焼却灰とごみ焼却灰（主灰、飛灰）（以下焼却灰等と言う）、不燃ごみ、産業廃棄物とする。対象廃棄物の放射性物質の濃度及び量については、測定データ等を基に表 1 のとおり設定した。ここで、汚泥焼却灰は、測定データから濃度低下の傾向が確認されたため、測定データから指数近似式を作成し、今後の濃度を推定した。この時、濃度は 2 つの下水道センターの観測データを分析し、保守的に考えてセシウム 137 は北部下水道センターの観測データ、セシウム 134 は北部下水道センターのセシウム 137 の観測データの 0.9 倍を採用した。ごみ焼却灰（主灰、飛灰）は、濃度低下の傾向が確認されるものの測定データが 2 つの時点しかないため、

保守的に考えて濃度が高い6月末の値が今後も続くものとして推定した。この時、濃度は4つの工場の観測データから平均値を採用した。このほか、不燃ごみ、産業廃棄物の放射性物質の濃度は、測定データがなく、放射性物質が含まれているとしても表面のみと考えられるため、保守的に考えてごみ焼却灰（主灰）と同等と仮定した。なお、現状の（埋立）操業計画から、最終年度を初年度から7年後としている。表1の数値は放射性崩壊による減衰を考慮していない数値である。

表1 焼却灰等の放射性物質濃度の設定値

Cs-134	汚泥 焼却灰	ごみ焼却灰 (主灰)	ごみ焼却灰 (飛灰)	不燃ごみ	産業 廃棄物	合計
年発生量 (ton)	7,300	92,300	40,000	7,700	21,000	1.7E+05
最大値 (Bq/kg), 実測	6,961	220	1,100	—	—	
初年度平均 (Bq/kg)	2,000	190	850	190	190	430
最終年度平均 (Bq/kg) *1	0.002	190	850	190	190	340
7年間平均 (Bq/kg) *1	320	190	850	190	190	350
初年度累積量(Bq)	1.5E+10	1.8E+10	3.4E+10	1.5E+09	4.0E+09	7.2E+10
7年間累積量(Bq) *1	1.6E+10	1.2E+11	2.4E+11	1.0E+10	2.8E+10	4.2E+11
Cs-137	汚泥 焼却灰	ごみ焼却灰 (主灰)	ごみ焼却灰 (飛灰)	不燃ごみ	産業 廃棄物	合計
年発生量 (ton)	7,300	92,300	40,000	7,700	21,000	1.7E+05
最大値 (Bq/kg), 実測	6,605	260	1,300	—	—	
初年度平均 (Bq/kg)	2,200	220	960	220	220	480
最終年度平均 (Bq/kg) *1	0.0022	220	960	220	220	390
7年間平均 (Bq/kg) *1	350	220	960	220	220	400
初年度累積量(Bq)	1.6E+10	2.0E+10	3.8E+10	1.7E+09	4.6E+09	8.1E+10
7年間累積量(Bq) *1	1.8E+10	1.4E+11	2.7E+11	1.2E+10	3.2E+10	4.7E+11

*1：放射性崩壊による減衰を考慮していない値

計算上の放射性物質の濃度は、線量基準が1年間の線量であることを考慮し、廃棄物の放射性物質の濃度に比例する評価シナリオについては、埋立て全期間について、初年度の年間平均値（Cs-134：430Bq/kg, Cs-137：480Bq/kg, Cs 合計 910Bq/kg）を基に、濃度変動等のリスクに対して裕度を考慮した値（Cs-134：1,000Bq/kg, Cs-137：1,000Bq/kg, Cs 合計 2,000 Bq/kg）を用いた。放射性物質の総量が関係する地下水移行シナリオについては、7年間の累積量を用いた。

また、南本牧廃棄物最終処分場の諸元は、次のとおりである。

南本牧最終処分場は、埋立面積約 21ha（内水面 17.9h, 473m×379m）、埋立容積約 4.27E+6m³ の排水処理施設を備えた海面埋立処分場で H22 年度末で残余埋立容量が 6.94E+5m³ となっている。現状の水面の面積は、250m×260m 程度、平均水深は 10m

程度である。廃棄物の埋立てに伴い発生する余水は、排水処理施設を経て海に放出されている。最終的には海水面（YP）+2.5m まで埋立て、その上に最終覆土を 1.5m 施工し、仕上げ高さは YP+4.0m になる計画である。

埋立方式は、浮棧橋埋立工法と陸地片押し埋立工法があり、浮棧橋埋立工法は、陸地からの片押し可能な水深-5m 程度になるまで、段階的に移動しながら埋立を行う方法である。陸地片押し埋立工法では、廃棄物を YP+2.3m まで埋立て、厚さ 0.2m の覆土材を敷設した後、1.5m の最終覆土を施工する。（図 1 参照）

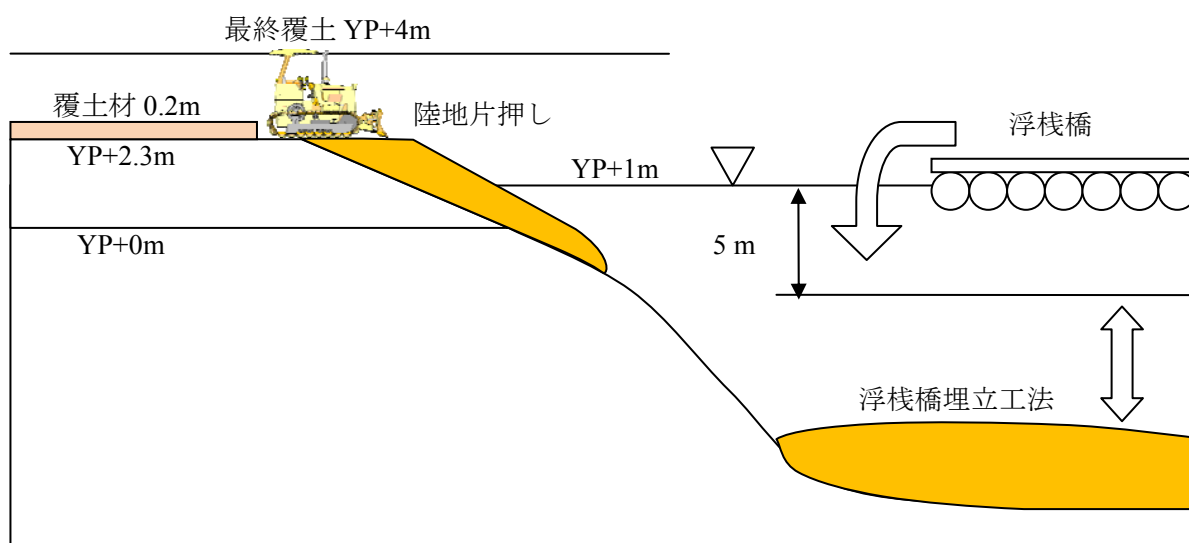


図 1 南本牧最終処分場における埋立方法

3 評価方法

焼却灰等を南本牧廃棄物最終処分場へ処分するにあたり、処理、輸送、保管の状況に基づく被ばく量の評価、処分後の被ばくの状況を設定（科学的に確からしいシナリオ想定）した評価（基本シナリオの評価）の結果及び基本シナリオに対する変動要因を考慮した評価（変動シナリオの評価）の結果を、「考え方」に示された「めやす」に比較し評価を行う。

基本シナリオ：発生の可能性が高く、通常考えられるシナリオ^{*2}

変動シナリオ：発生の可能性は低い、安全評価上重要な変動要因を考慮したシナリオ^{*2}

*2：余裕深度処分の管理期間終了以後における安全評価に関する技術資料

（平成 22 年 8 月 5 日、原子力安全委員会放射性廃棄物・廃止措置専門部会）

3-1 シナリオ設定の考え方

海面埋立処分における評価シナリオは、「考え方」のほか「福島県内の下水処理副次産物の当面の取扱いに関する考え方」（平成23年5月12日）、「福島県の浜通り及び中通り地方（避難区域及び計画的避難区域を除く）の災害廃棄物の処理・処分における放射性物質による影響の評価について」（平成23年6月19日）で評価されているものを前提として、個別評価が必要な状況を考慮して設定した。評価シナリオを体系的に示すと図2のとおりとなる。

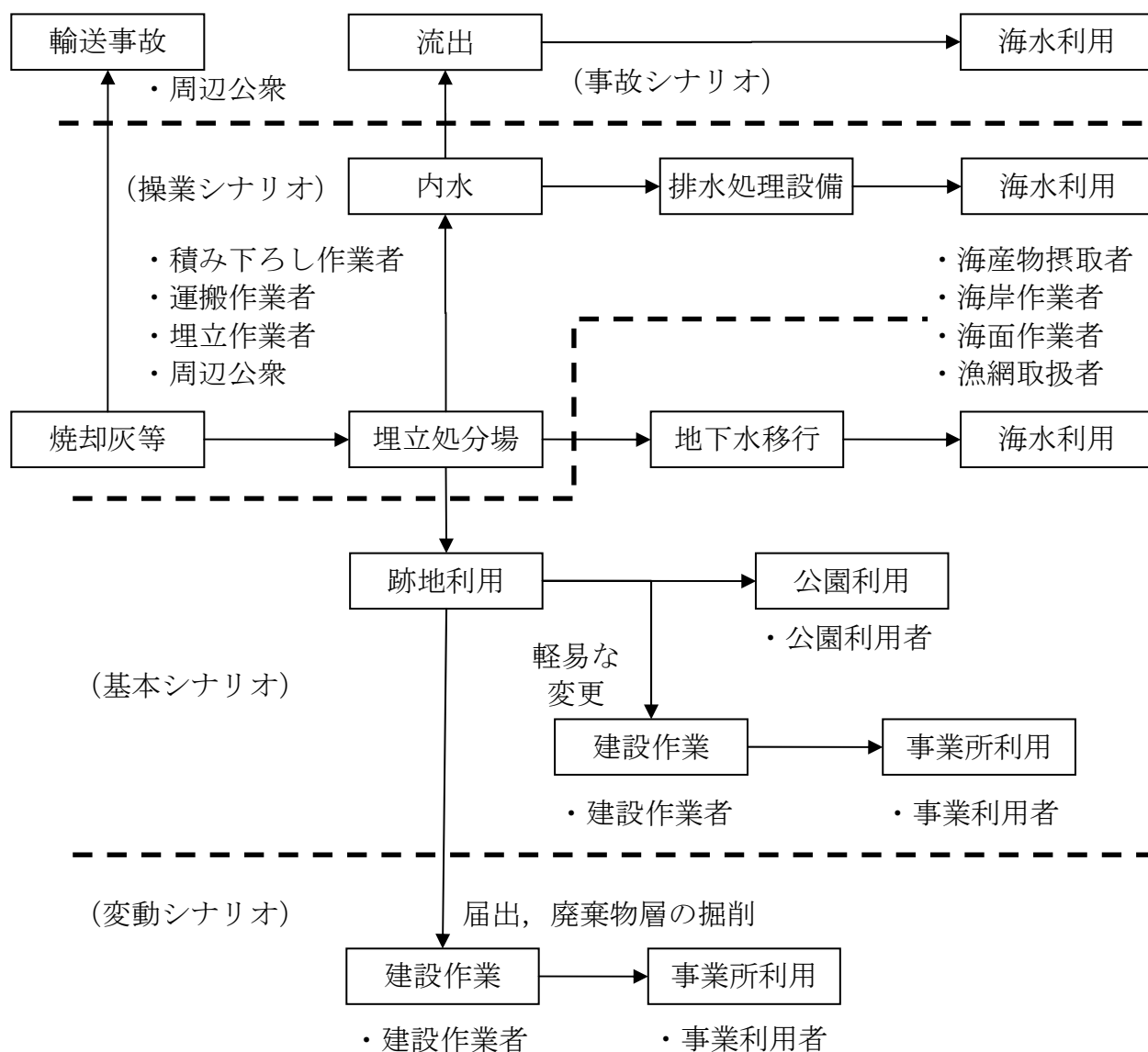


図2 主要な評価シナリオと評価対象者

(1) 作業中の評価シナリオ

処分場作業中については、処理、輸送、保管の状況と同じ状況であり、積み下ろし、運搬及び埋立作業者の被ばく、処分場周辺に滞在する一般公衆の被ばくが考えられる。輸送中の沿道住民の被ばくは、運搬作業者に比べて被ばく時間が十分小さいため、運搬作業者の被ばくに包含される。処分場の周辺公衆の被ばくも埋立作業者の被ばくに包含されるが、沿道住民よりも被ばく時間が長いことも考えられるので、公衆の被ばくの代表として線量を評価した。また、作業中には放射性物質の一部が内水に移行するので、内水からの埋立作業者の被ばくと、内水が排水処理設備から余水として放出された場合の海水利用に伴う被ばくを評価する。

内水中の放射性物質の濃度は、内水量、焼却灰等に存在する放射性物質の濃度、埋立てに伴い内水中に移行する割合（溶出率）、吸着に寄与する固相量（焼却灰等の重量）及び分配係数などに依存する。ここで、海水中の焼却灰等の分配係数については知見が少ないため、主要な埋立対象廃棄物であるごみ焼却灰（主灰、飛灰）及び汚泥焼却灰について、溶出率や放射性同位元素を用いた吸着試験により分配係数を測定して、埋立てを継続した場合の内水中の濃度を設定する。試験結果から導き出される値が、排水濃度限度^(*)（排水基準）を超える場合はその値で、排水濃度限度を超えない場合は、排水濃度限度の値で評価する。

この間の事故的な事象としては、輸送中の事故や津波などによる内水の直接放出が考えられる。輸送中の事故時の周辺公衆の被ばくは最大濃度の焼却灰の運搬時を想定し、復旧までの時間を限定的に設定するシナリオとする。

これらのシナリオをまとめて表 2～表 4 に示す。

*3：「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則の規定に基づく線量限度等を定める告示（平成 13 年 3 月 21 日経済産業省告示第 187 号）別表第二で定められた濃度限度」

表 2 作業中の焼却灰等の取り扱い時の評価シナリオ

評価対象		対象者	被ばく形態	放射性物質の濃度または総量	対応する安全評価の基準値
焼却灰等の取り扱い	積み下ろし作業	作業者	外部・吸入・経口	初年度年間平均値（Cs 合計 2,000Bq/kg）	1mSv/年
	運搬作業		外部		
	埋立作業		外部・吸入・経口		
	周辺公衆	公衆(成人)	外部・吸入		1mSv/年
	公衆(子ども)	外部・吸入			

表 3 処分場の内水による被ばくの評価シナリオ

評価対象		対象者	被ばく形態	放射性物質の濃度または総量	対応する安全評価の基準値
処分場の排水処理施設からの余水の放出	海産物の摂取	公衆(成人)	経口	排出基準による Cs-134: 30Bq/L Cs-137: 45Bq/L 分数和 1	1mSv/年
		公衆(子ども)	経口		1mSv/年
	海水面活動	作業員(一般公衆)	外部		1mSv/年
	海岸活動	作業員(一般公衆)	外部		1mSv/年
	漁網取り扱い	作業員(一般公衆)	外部		1mSv/年
内水	埋立作業	作業員	外部		1mSv/年

表 4 操業中の事故時の評価シナリオ

評価対象		対象者	被ばく形態	放射性物質の濃度または総量	対応する安全評価の基準値
事故	輸送事故	公衆(成人)	外部・吸入	最大濃度 (Cs 合計 8,000Bq/kg) *4	5mSv/事故
		公衆(子ども)	外部・吸入		
	津波等により放射性物質が海へ放出	公衆(成人)	外部・経口	総量(Cs 合計 8.9E+11 Bq)	5mSv/事故
		公衆(子ども)			

*4: 「考え方」において、跡地を居住等に利用しない場合に管理型処分地に処分可能とされた濃度の上限とした。

(2) 処分場の管理期間終了以後の基本シナリオ

南本牧廃棄物最終処分場は、150cm の覆土が計画されているが、最終処分場に関する技術基準では土砂等の覆いを 50cm 以上の厚さと規定されていることから、埋立処分場の管理期間が終了した後の基本シナリオは、50cm の覆土を維持した建設作業、150cm の覆土を残してそのまま利用する公園利用及び事業利用を想定する。

ここで、処分場が廃止され供用される際に、当該処分場跡地が、廃棄物処理法第 15 条の 17 による指定区域に指定された場合は、50cm 以上の土砂等の覆いの機能を損なうおそれのある土地の形質変更を行う場合に、横浜市長あてに届出が必要となっている。このことから基本シナリオは、この届出が不要である軽易な変更の範囲を想定するのが適切である。よって、跡地利用にあたって、50cm の覆土を維持した建設作業、150cm の覆土を残してそのまま利用する公園利用と事業利用及び想定する。

また、放射性物質が廃棄物から地下水へ移行し、海に流出する地下水移行シナリオについても基本シナリオとして想定する。

これらの基本シナリオの概念を図 3、表 5 及び表 6 に示す。

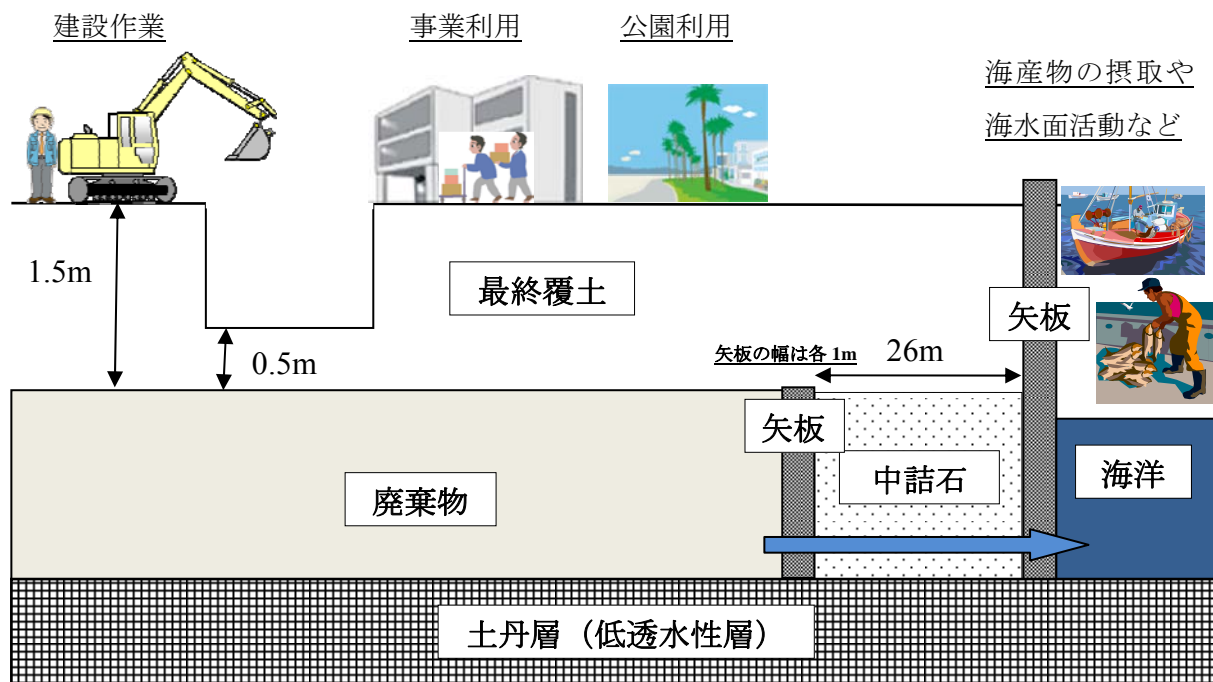


図 3 基本シナリオの概念

表 5 跡地利用に関する基本シナリオ

評価対象		対象者	被ばく形態	放射性物質の濃度または総量	対応する安全評価の基準値
軽易な形質変更	建設作業	作業員(一般公衆)	外部	初年度年間 平均値 (Cs 合計 2,000Bq/kg)	10 μ Sv/年
	公園利用	公衆(成人)	外部		10 μ Sv/年
		公衆(子ども)	外部		10 μ Sv/年
事業所利用	利用者(成人)	外部	10 μ Sv/年		

表 6 地下水移行に関する基本シナリオ

評価対象		対象者	被ばく形態	放射性物質の濃度または総量	対応する安全評価の基準値
地下水への移行と海洋への放出	海産物の摂取	公衆(成人)	経口	総量(Cs 合計 8.9E+11 Bq)	10 μ Sv/年
		公衆(子ども)	経口		10 μ Sv/年
	海水面活動者	作業員(一般公衆)	外部		10 μ Sv/年
	海岸活動者	作業員(一般公衆)	外部		10 μ Sv/年
	漁網取扱い	作業員(一般公衆)	外部		10 μ Sv/年

(3) 処分場の管理期間終了以後の変動シナリオ

管理期間終了後の変動シナリオについては、軽易な変更の範囲（基本シナリオで想定した 50cm の覆土が確保される建設作業）を超えた廃棄物層の掘削、廃棄物との混合土壌を地表に敷設する建設作業及びその後の事業所利用を想定する。

また、基本シナリオの地下水移行シナリオにおいて、移行経路の分配係数を 1/10（放射性物質が基本シナリオより 10 倍地下水へ移行し、10 倍速く移動する）として放射性物質の移行を保守的に評価する場合を想定する。

変動シナリオの概念を表 7 及び図 4 に示す。

表 7 跡地利用に関する変動シナリオ

評価対象		対象者	被ばく対象	放射性物質の濃度または総量	対応する安全評価の基準値
跡地利用	建設作業	作業員(一般公衆)	外部・吸入・経口	初年度年間 平均値 (Cs 合計 2,000Bq/kg)	300 μ Sv/年
	建設作業 (大規模掘削)	作業員(一般公衆)	外部・吸入		300 μ Sv/年
	事業所利用	利用者(成人)	外部・吸入		300 μ Sv/年

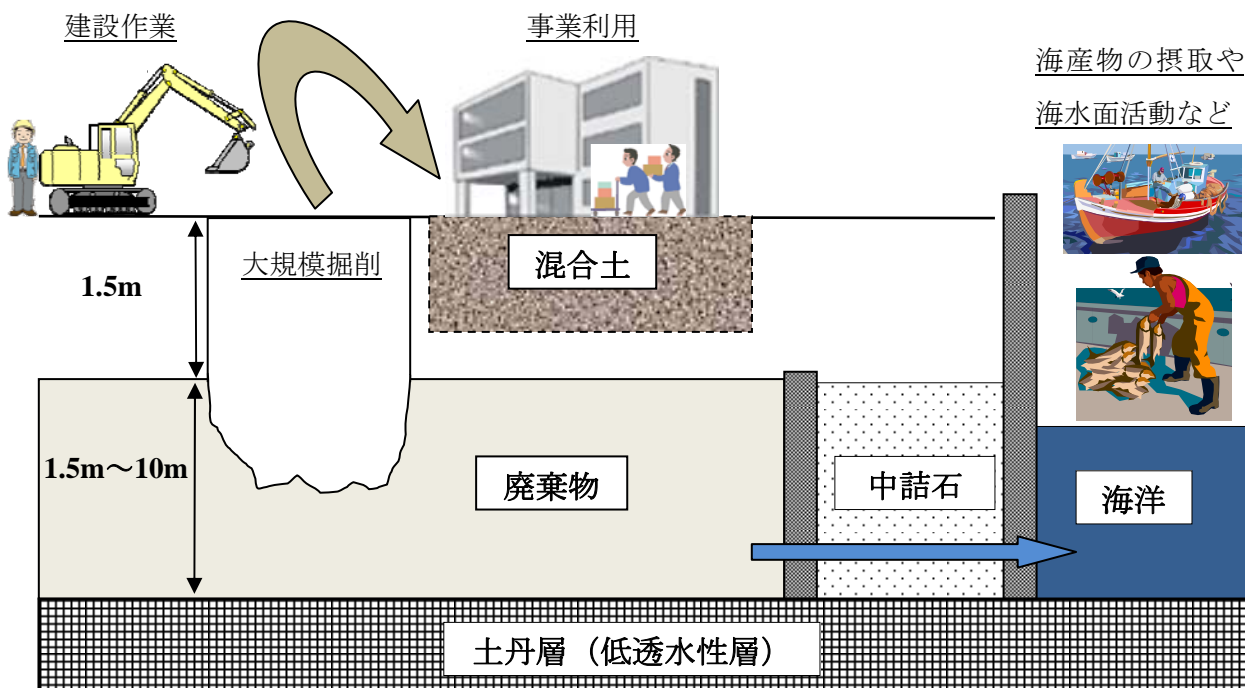


図 4 変動シナリオの概念

3-2 評価の基準

「考え方」によれば、安全性の評価の基準は、処理、輸送、保管（処分場の操業期間を含む）は、周辺住民及び作業者ともに 1mSv/年以下、管理期間終了後の処分の基本シナリオは周辺住民の受ける線量が 10 μ Sv/年以下及び変動シナリオは周辺住民の受ける線量が 300 μ Sv/年以下である。

なお、事故時の線量のめやすについては、「第二種廃棄物埋設の事業に関する安全審査の基本的考え方」（平成 22 年 8 月 9 日原子力安全委員会決定）の中で、周辺公衆の実効線量の評価値が発生事故当たり 5 mSv を超えないことが示されている。

3-3 評価に用いたパラメータ

海面埋立て処分の評価パラメータは、「考え方」のほか「福島県の浜通り及び中通り地方（避難区域及び計画的避難区域を除く）の災害廃棄物の処理・処分における放射性物質による影響の評価について」（平成 23 年 6 月 19 日）で評価に使用されたパラメータを用いるが、処分場への処分にあたり明らかになっている個別のパラメータは、その値を採用した。

本評価で特に個別に設定したパラメータは表 8～表 12 のとおりである。

(1) 操業中の評価シナリオ

操業シナリオでは、埋立地周辺公衆の外部被ばく及び粉塵吸入被ばくを追加して評価しており、外部被ばくの換算係数及び粉塵の放出量は表 8 のとおり設定した。

表 8 操業シナリオで設定した評価パラメータ

名称	単位	設定値	設定根拠
埋立処分場 近傍公衆の 核種 <i>i</i> の外部被 ばくに対する 線量換算係数 (成人)	(μ Sv/h) /(Bq/g)	Cs-134 10m: 7.2E-03 100m: 5.2E-05 Cs-137 10m: 2.6E-03 100m: 1.9E-05	以下の条件で遮蔽計算コードである QAD-CGGP2R コード ¹ により算出した。 線源の形状： 5m×2m×1.5m の直方体 子どもの被ばく線量は成人の 1.3 倍とした。

¹ Y. Sakamoto and S. Tanaka, “QAD-CGGP2 and G33-GP2: Revised Versions of QAD-CGGP and G33-GP Codes with Conversion Factors from Exposure to Ambient and Maximum Dose Equivalents, JAERI-M 90-110, Japan Atomic Energy Research Institute,” (1990).

名称	単位	設定値	設定根拠
作業により 大気中に放出 される 核種 <i>i</i> の量	(Bq/s)/ (Bq/g)	0.12	以下のパラメータより、設定した。 埋立地の大気中ダスト濃度：1E-3 g/m ³ (埋立作業者と同じ) 放射性ダスト発生幅：5 m (積み下ろし作業で想定した廃棄物の長辺) 放射性ダスト発生高さ：3 m (NUREG/CR-3585 ²) 平均風速：2 m/s (災害廃棄物影響評価) 微粒子への放射性核種の濃縮係数 (吸入摂取)：4 (積み下ろし作業と同じ)
輸送事故時の 被ばく時間	h	24	1日で復旧すると仮定した。
輸送事故時の 遮蔽係数	—	1	保守的に設定

また、排水処理設備からの余水の放出による被ばくについては、表 9 のとおり評価パラメータを設定した。

表 9 排水処理設備からの余水の放出シナリオで設定した評価パラメータ

名称	単位	設定値		設定根拠
海洋における希釈水量	m ³ /y	7.9E+08		IAEA SRS No.19 ³ の手法を用いて平均流速 0.1m/s として計算した値 4.02E-8 の逆数を希釈水量とした
魚介類への濃縮係数(Cs)	m ³ /kg	魚類	0.03	原子炉評価指針 (原子炉 CL)
		無脊椎動物	0.02	
		海藻類	0.02	
魚介類の年間摂取量 (成人)	kg/y	魚類	15.8	平成 8 年度 国民栄養の現状 ⁴ (原子炉 CL)
		無脊椎動物	8.1	
		海藻類	2.2	
魚介類の年間摂取量 (子ども)	kg/y	魚類	7.9	平成 18 年度 国民健康・栄養の現状の 1~6 歳までの階層より判断して魚類、無脊椎動物は成人の半分、海藻類は成人の 7 割とした
		無脊椎動物	4.05	
		海藻類	1.54	
魚介類摂取における 市場希釈係数	-	魚類	1	最も保守的に選定した (原子炉 CL)
		無脊椎動物	1	
		海藻類	1	
海水面活動者の 年間作業時間	d/y	120		原子炉評価指針 (原子炉 CL)

² O. I. Oztunali and G. W. Roles, “De Minimis Waste Impacts Analysis Methodology”, NUREG/CR-3585, Dames & Moore, (1984).

³ IAEA Safety Report Series No.19, “Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment”, (2001).

⁴ 「平成 8 年度版国民栄養の現状」,厚生省保健医療局健康増進栄養課監修,第一出版(株), (1996)

名称	単位	設定値		設定根拠
海水面上的での外部被ばく線量換算係数	$(\mu\text{Sv/h})/(\text{Bq}/\text{cm}^3)$	Cs-134	4.36E-1	原子炉線量評価に基づき、以下の条件でQAD-CGGP2Rコードにより算出した。 線源の形状：200m ϕ ×2mH 中心表面から1m地点
		Cs-137	1.58E-1	
海水遊泳者の年間作業時間	d/y	4		原子炉線量評価 なお、実働時間は1日24時間とした。(原子炉CL)
海水遊泳者による外部被ばく線量換算係数	$(\text{dis}\cdot\text{m}^3\cdot\mu\text{Sv})/(\text{MeV}\cdot\text{Bq}\cdot\text{d})$	1.38E-5		原子炉線量評価 (原子炉CL)
放射性物質 <i>i</i> の海水から海岸砂への移行比	$(\text{Bq}/\text{kg})/(\text{Bq}/\text{m}^3)$	0.1		原子炉線量評価より設定
海岸作業時の空気中ダスト濃度	g/m^3	5E-4		建設作業者と同一とした。(原子炉CL)
海岸作業者の呼吸率	m^3/h	1.2		ICRP Pub.23 ⁵ の労働時(原子炉CL)
海岸作業時間	h/y	500		原子炉線量評価 (原子炉CL)
海岸砂からの外部被ばく線量換算係数	$(\mu\text{Sv/h})/(\text{Bq}/\text{g})$	Cs-134	1.16E-1	原子炉線量評価に基づき、QAD-CGGP2Rコードにより算出した。
		Cs-137	4.25E-2	
放射性核種の海水から漁網への移行比	$(\text{Bq}/\text{kg})/(\text{Bq}/\text{m}^3)$	1		原子炉線量評価 (原子炉CL)
漁網の密度	kg/m^3	1,000		原子炉線量評価 (原子炉CL)
漁網取扱い者の年間作業時間	d/y	80		原子炉線量評価 (原子炉CL) なお、実働時間は1日24時間とした。
漁網からの外部被ばく線量換算係数	$(\mu\text{Sv/h})/(\text{Bq}/\text{cm}^3)$	Cs-134	2.01E-3	原子炉線量評価に基づき、QAD-CGGP2Rコードにより算出した。
		Cs-137	7.29E-4	

参考

原子炉評価指針「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に対する評価指針」

(平成13年3月29日原子力安全委員会)

原子炉線量評価「発電用軽水型原子炉施設の安全審査における一般公衆の線量評価について」(平成13年3月29日原子力安全委員会)

原子炉CL「主な原子炉施設におけるクリアランスレベルについて」(平成11年3月17日原子力安全委員会放射性廃棄物安全基準専門部会)

⁵ ICRP Publication 23, “Report of the Task Group on Reference Man”, (1975).

(2) 処分場の管理期間終了以後の基本シナリオ

基本シナリオのうち、跡地利用の被ばくにおいて個別に設定したパラメータは、表 10 のとおりである。

表 10 跡地利用シナリオで設定した評価パラメータ

名称	単位	設定値	設定根拠
初年度末から評価時点までの期間	y	6	今後の処分場の運用計画より、跡地使用が平成 30 年に開始されると想定し保守的に設定。
覆土厚さ	m	1.5m	最終覆土の計画厚さを設定。
核種 <i>i</i> の外部被ばくに対する線量換算係数	($\mu\text{Sv/h}$) / (Bq/g)	成人 覆土 0.5m Cs-134 : 1.9E-3 Cs-137 : 5.6E-4 覆土 1.5m Cs-134 : 1.1E-7 Cs-137 : 9.2E-9 子ども 上記の 1.3 倍	覆土 0.5m または 1.5m の直下に以下の線源があることを想定し、以下の条件で QAD-CGGP2R コードにより算出した。 線源の形状：高さ 5.83m、半径 53m の円柱 線源かさ密度：1.6g/cm ³ 覆土かさ密度：1.5g/cm ³ 評価点：覆土表面から 1m なお、子どもに対する換算係数は成人の 1.3 倍とした。

基本シナリオのうち、地下水移行に関して個別に設定したパラメータは表 11 のとおりである。なお、海に流出した後の評価パラメータは、余水の放出と同じである。

表 11 地下水移行シナリオで設定した評価パラメータ

名称	単位	設定値	設定根拠
廃棄物埋立部の体積	m ³	100,000	1 年分の汚染廃棄物の体積を想定。汚染のない廃棄物による希釈は考慮しない。
廃棄物埋立部の分配係数	ml/g	10	溶出試験からの推定値
地下水流速	m/y	0.661	透水係数 1.4E-5 cm/s、動水勾配 0.15 (移行距離 28m、海面と内水の高低差 4m) と仮定して設定。
汚染地下水の移行距離	m	28	埋立地から海洋までの距離 (護岸の幅)
土壌などの間隙率	-	0.4	堆積土壌の一般的な値
土壌などのかさ密度	g/cm ³	1.6	堆積土壌の一般的な値
土壌などの分配係数	ml/g	10	北村ら (2008)
水理学的分散係数	m ² /s	1.47E-7	分散長を移行距離の 10 分の 1 と仮定して、この値と地下水流速を乗じて設定
地下水移行断面積	m ²	2,000	汚染廃棄物領域の 1 断面(200m×10m)が移行経路になると仮定

(3) 処分場の管理期間終了以後の変動シナリオ

処分場の管理期間終了以後の跡地利用に関する変動シナリオにおいて個別に設定したパラメータは表 12 のとおりである。

表 12 跡地利用に関する変動シナリオで設定した評価パラメータ

名称	単位	設定値	設定根拠
初年度末から評価時点までの期間	y	6	今後の処分場の運用計画より、跡地使用が平成 30 年に開始されると想定し保守的に設定。
覆土厚さ	m	1.5m	最終覆土の計画厚さを設定。
掘削深さ	m	3 11.5 (大規模掘削)	一般的な掘削深さとして 3m (IAEA-TECDOC-401 ⁶ で提案されている値) 及び大規模掘削として廃棄物層 10m+覆土厚さ 1.5m を想定した。

3-4 線量評価結果

(1) 作業中の評価シナリオ

作業中の主要な被ばく経路の線量は表 13～表 16 に示したとおりであり、いずれの場合も 1mSv/年 (1,000 (1.0E+3) μ Sv/年) を下回る。

表 13 作業中の焼却灰等からの線量評価結果
(Cs-134: 1,000Bq/kg, Cs-137: 1,000Bq/kg)

評価対象		線源物質	対象者	線量 (μ Sv/年)		
				Cs-134	Cs-137	合計
焼却灰等の取り扱い	積み下ろし作業	焼却灰等	作業者	1.0E+02	4.3E+01	1.5E+02
	運搬作業			7.4E+01	3.2E+01	1.1E+02
	埋立作業			1.5E+02	6.0E+01	2.1E+02
	周辺公衆	焼却灰等	公衆(成人) ^{*5}	1.2E+01	5.2E+00	1.7E+01
			公衆(子ども) ^{*5}	1.6E+01	6.7E+00	2.3E+01

*5 : 距離 10m での線量

なお、ごみ焼却灰（主灰、飛灰）及び汚泥焼却灰について、溶出率や放射性同位元素を用いた吸着試験により分配係数を測定して、埋立てを継続した場合の内水中の濃度を推定した結果、埋立て期間全般にわたって排水濃度限度を下回ったため、内水及び排水中の放射性物質の濃度は排水濃度限度の値で評価した。結果は表 14 のとおりである。

⁶ IAEA TECDOC-401, “Exemption of Radiation Sources and Practices from Regulatory Control - INTERIM REPORT”, (1987).

表 14 排水処理設備からの余水の放出及び内水による線量評価結果
(Cs-134 : 30Bq/L, Cs-137 : 45Bq/L)

評価対象		線源物質	対象者	線量(μSv/年)		
				Cs-134	Cs-137	合計
余水放出	海産物の摂取	海水産物	公衆(成人)	4.9E-02	5.0E-02	1.0E-01
			公衆(子ども)	2.1E-02	2.4E-02	4.5E-02
	海水面活動者	海水	作業者(一般公衆)	4.8E-03	2.6E-03	7.4E-03
	海岸活動者	海岸砂	作業者(一般公衆)	2.2E-02	1.2E-02	3.4E-02
	漁網取扱い	漁網	作業者(一般公衆)	1.5E-02	8.0E-03	2.3E-02
内水	埋立作業	焼却灰等	作業者	1.3E+01	7.1E+00	2.0E+01

輸送事故を想定した場合の被ばく及び埋立処分した放射性物質がすべて内水に移行して津波などにより海に流出するとして評価した場合には、表 15 のとおり最大で 25(2.5E+01) μSv 程度であり、いずれも事故時のめやす(発生事故当たり 5m (5.0E+03 μ) Sv) を十分下回る。

表 15 輸送事故時の線量評価結果
(Cs-134 : 4,000Bq/kg, Cs-137 : 4,000Bq/kg)

評価対象		線源物質	対象者	線量(μSv/事故)		
				Cs-134	Cs-137	合計
事故	輸送事故	焼却灰等	公衆(成人)	1.4E+01	5.2E+00	2.0E+01
			公衆(子ども)	1.9E+01	6.7E+00	2.5E+01

表 16 放射性物質が津波などによりすべて海に流出した場合の線量評価結果
(Cs-134 : 4.2E+11Bq, Cs-137 : 4.7E+11Bq)

評価対象		線源物質	対象者	線量(μSv)		
				Cs-134	Cs-137	合計
放射性物質の流出	海産物の摂取	海水産物	公衆(成人)	8.6E+00	6.6E+00	1.5E+01
			公衆(子ども)	3.7E+00	3.1E+00	6.8E+00
	海水面活動者	海水	作業者(一般公衆)	8.4E-01	3.4E-01	1.2E+00
	海岸活動者	海岸砂	作業者(一般公衆)	3.9E+00	1.6E+00	5.5E+00
	漁網取扱い	漁網	作業者(一般公衆)	2.6E+00	1.0E+00	3.6E+00

(2) 処分場の管理期間終了以後の基本シナリオ

基本シナリオの主要な被ばく経路の線量は表 17 及び表 18 に示したとおりであり、いずれの場合も 10 (1.0E+01) μSv/年を下回る。

表 17 跡地利用の線量評価結果

(Cs-134: 1,000Bq/kg, Cs-137: 1,000Bq/kg)

評価対象	線源物質	対象者	線量(μSv/年)			
			Cs-134	Cs-137	合計	
跡地利用	建設作業 (1.0m 掘削)	覆土厚さが 50cm の焼却灰等	作業員(一般公衆)	5.4E-02	1.2E-01	1.7E-01
	公園利用	覆土厚さが 150cm の焼却灰等	公衆(成人)	2.5E-06	1.6E-06	4.1E-06
			公衆(子ども)	3.2E-06	2.1E-06	5.3E-06
事業所利用	覆土厚さが 150cm の焼却灰等	利用者(成人)	1.2E-05	7.9E-06	2.0E-05	

表 18 地下水移行による海洋への移行に伴う線量評価結果

(Cs-134 : 4.2E+11 Bq, Cs-137 : 4.7E+11 Bq)

評価対象	線源物質	対象者	線量(μSv/年)			
			Cs-134	Cs-137	合計	
地下水移行	海産物の摂取	海水産物	公衆(成人)	1.0E-22	1.8E-07	1.8E-07
			公衆(子ども)	4.3E-23	8.7E-08	8.7E-08
	海水面活動者	海水	作業員(一般公衆)	9.7E-24	9.5E-09	9.5E-09
	海岸活動者	海岸砂	作業員(一般公衆)	4.5E-23	4.4E-08	4.4E-08
漁網取扱い	漁網	作業員(一般公衆)	3.0E-23	2.9E-08	2.9E-08	

(3) 処分場の管理期間終了以後の変動シナリオ

変動シナリオの主要な被ばく経路の線量は表 19 及び表 20 のとおりで、いずれの場合も 300 (3.0E+2) μSv/年を下回る。

表 19 跡地利用の変動シナリオの線量評価結果

(Cs-134: 1,000Bq/kg, Cs-137: 1,000Bq/kg)

評価対象	線源物質	対象者	線量(μSv/年)			
			Cs-134	Cs-137	合計	
跡地利用	建設作業 (3.0m 掘削)	覆土 1.5m、焼却灰等 1.5m の混合土	作業員 (一般公衆)	6.1E+00	1.6E+01	2.2E+01
	建設作業 (大規模掘削 11.5m)	覆土 1.5m、焼却灰等 10m の混合土		1.1E+01	2.8E+01	3.9E+01
	事業所利用 (3.0m 掘削)	覆土 1.5m、焼却灰等 1.5m の混合土	利用者 (成人)	2.4E+01	6.5E+01	8.9E+01
	事業所利用 (大規模掘削 11.5m)	覆土 1.5m、焼却灰等 10m の混合土		4.2E+01	1.1E+02	1.5E+02

表 20 地下水移行による海洋への移行に伴う変動シナリオの線量評価結果

(Cs-134 : 4.2E+11 Bq, Cs-137 : 4.7E+11 Bq)

評価対象		線源物質	対象者	線量(μSv/年)		
				Cs-134	Cs-137	合計
地下水移行	海産物の摂取	海水産物	公衆(成人)	3.2E-08	2.6E-03	2.6E-03
			公衆(子ども)	1.4E-08	1.2E-03	1.2E-03
	海水面活動者	海水	作業者(一般公衆)	3.1E-09	1.3E-04	1.3E-04
	海岸活動者	海岸砂	作業者(一般公衆)	1.4E-08	6.3E-04	6.3E-04
	漁網取扱い	漁網	作業者(一般公衆)	9.5E-09	4.1E-04	4.1E-04

また、「埋立処分した放射性物質がすべて海に流出する」として評価しても、評価結果の最大 25(2.5E+01)μSv 程度 (表 15 参照) は、変動シナリオのめやすである 300(3.0E+02)μSv/年を十分下回る。

4 評価 (まとめ)

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」と判断する^(*6)。

なお、今回実施した安全評価の検討は、これまで調査研究されてきた知見を基に行っているため、実際の処分にあたっては、入力条件として設定した焼却灰等の放射性物質の濃度の測定を定期的 to 実施するとともに、結果の検証として排水処理施設や周辺環境中の線量のモニタリングを継続することが求められる。

さらに、排水処理設備等の改善・強化や、放射性セシウムの溶出低減策を講じれば、より一層安全性は向上する。

*6: 平成 23 年 6 月 16 日「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」について 原子力災害対策本部 の別添 1 「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」 3.処分について

主な用語解説

被ばく経路

埋設した廃棄物中の放射性物質が生活環境に運ばれ、人間に直接的・間接的に影響を与えるまでの経路

シナリオ（評価シナリオ）

放射性物質を含む廃棄物の取り扱いや処分が、人間環境に及ぼす影響を評価するために想定する、廃棄物や処分場の状態と被ばく経路の状況を描いたもの

パラメータ（評価パラメータ）

放射性物質を含む廃棄物の取り扱いや処分が、人間環境に及ぼす影響を評価するための計算式で用いられる変数やデータ及びその設定値

評価結果の見方

「評価結果」の線量は指数表示しており、換算すると次のとおり

$1.0E+01 = 1.0 \times 10^1 = 10$	$1.0E-01 = 1.0 \times 10^{-1} = 0.1$
$3.0E+02 = 3.0 \times 10^2 = 300$	$3.0E-02 = 3.0 \times 10^{-2} = 0.03$
$1.0E+03 = 1.0 \times 10^3 = 1000$	$1.0E-03 = 1.0 \times 10^{-3} = 0.001$
$5.0E+03 = 5.0 \times 10^3 = 5000$	$5.0E-03 = 5.0 \times 10^{-3} = 0.005$