

自然起源放射性物質(NORM)による被ばくの包括 的調査について

量子科学技術研究開発機構
量子生命・医学部門
放射線医学研究所
放射線規制科学研究部
岩岡和輝

調査の背景

- 自然起源放射性物質(NORM)は放射能濃度や利用方法が様々であるため、被ばく実態の全容解明は難しい。
- 近年、様々な調査において、いくつかの物質について放射能濃度データが示されてきているところである。
- 一方、様々な調査を通して判明している物質の放射能濃度データを整理したうえで、我が国としてNORMからの被ばくを考える際にどういった物質に着目するとよいのか(着目すべき物質)を探る、ということはされてこなかった。
- 令和3年度から原子力規制庁の実施する委託事業を通じて上述のNORMからの被ばくを考える際に着目すべき物質の特定を行っているところ。

令和3年度事業の概要

着目すべき物質を探るための情報整理を実施

R3年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費自然起源放射性物質(NORM)による被ばくの包括的調査事業において、貿易統計等による国内利用量調査をもとに放射能濃度に関する既存の文献調査を通して、着目すべき物質を整理した。具体的には放射能濃度が1Bq/gを超える可能性が高い物質として、レアアース・レアメタルと化石燃料(残渣)が挙げられる。

R3年度調査項目

我が国の実情に応じた情報の整理

- ・量研NORMデータベースを基にした濃度文献調査
- ・貿易統計等による国内利用量調査

R3年度調査結果
(調査で判明した
着目すべき物質)

レアアース・レアメタル

濃度データ乏しい。
限られた濃度データからわ
かることとして、高濃度の
傾向にある。

化石燃料(残渣)

高濃度の傾向にある

R3年度調査終了
時の課題
(次のステップ)

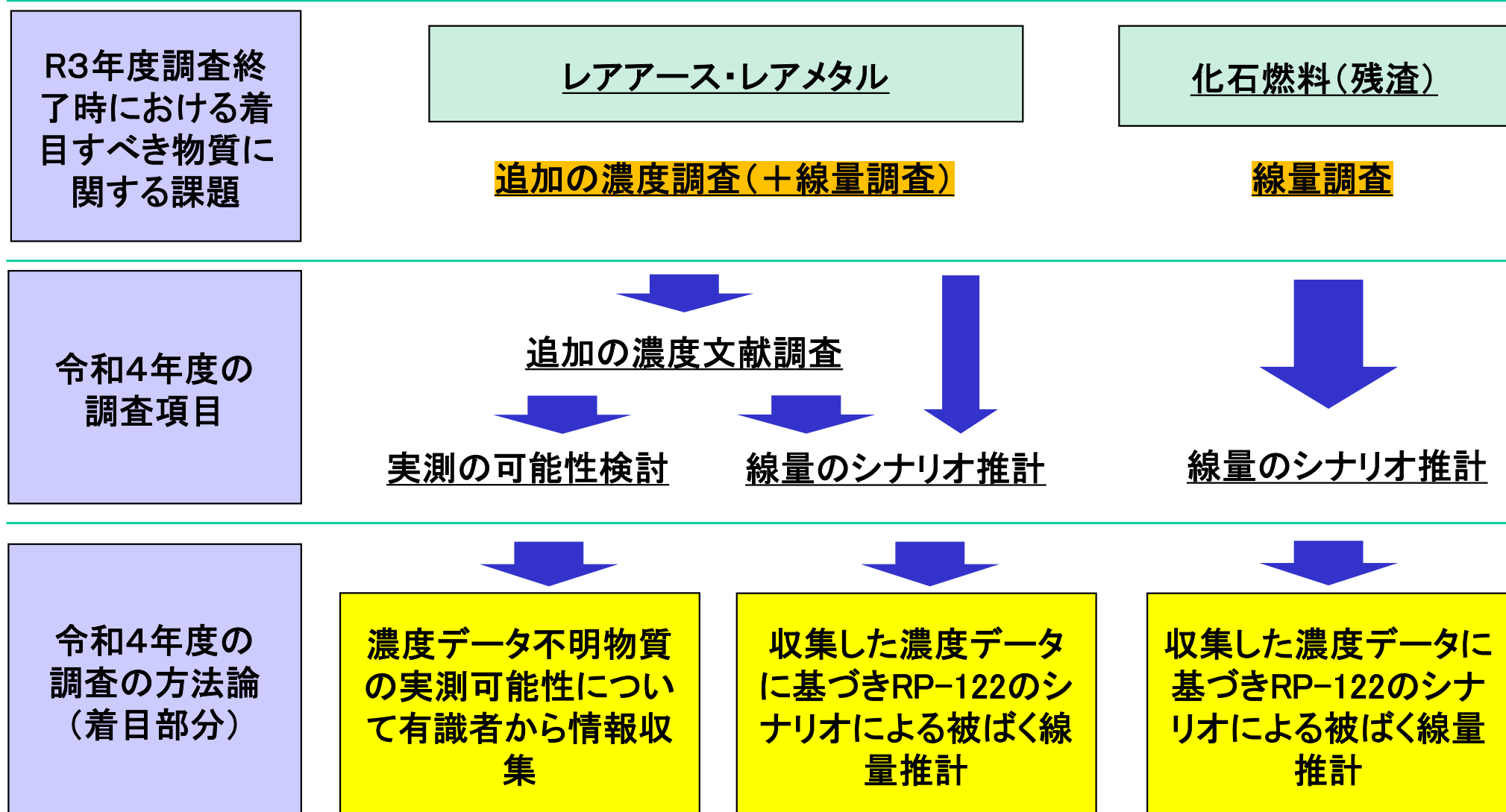
**追加の濃度調査
(+線量調査)**

線量調査

令和4年度事業の概要(調査内容)

着目すべき物質について、令和3年度調査で課題とされた部分の調査

令和4年度放射線対策委託費(自然起源放射性物質(NORM)による被ばくの包括的調査)事業を通して、令和3年度事業の中で課題となっていた事項(濃度調査や線量評価)についての追加的調査を実施したもの。



令和4年度事業の概要(調査結果)

令和4年度放射線対策委託費(自然起源放射性物質(NORM)による被ばくの包括的調査)事業の結果概要

- レアアース・レアメタルのうちいくつかの物質(「ニオブ、タンタル、バナジウム鉱」、「タンタル及びその製品」等)について新たな濃度データが収集された。
- レアアース・レアメタルのうち放射能濃度が依然として不明な物質について、令和4年度事業実施連携者を通じて実測できる可能性があることが分かった。
- RP-122のシナリオを用いた被ばく線量評価の結果、いくつかの物質(精油所のスケール、ニオブ、タンタル、バナジウム産業における副産物等)では被ばく線量が1mSv/yを超えた。

令和4年度事業概要(詳細)

令和4年度放射線対策委託費

(自然起源放射性物質NORMによる被ばくの包括的調査)事業

事業代表者 量子科学技術研究開発機構 岩岡和輝

事業連携者 弘前大学 赤田尚史、山田椋平、つがる西北五広域連合 富坂侑斗

調査内容の詳細

- (1)レアアース・レアメタル
 - (a) 追加の濃度文献調査
学術論文誌から濃度データ入手する。
 - (b) 線量評価
RP-122のシナリオを参考にして、線量計算を行う。
・現実的方法(主として弘前大学実施)
濃度データが不足している物質について濃度データを把握する現実的な方法を検討する。
 - (c) シナリオ要素の代替
一定の線量水準を超えそうな物質について、線量計算の代替要素を調査して線量計算する。
- (2)化石燃料由来の残渣
 - (b) 線量評価
RP-122のシナリオを参考にして、線量計算を行う。
 - (c) シナリオ要素の代替
一定の線量水準を超えそうな物質について、線量計算の代替要素を調査して線量計算する。

※RP-122とは、欧州委員会報告書RP-122第II部「規制免除とクリアランスの概念の自然放射線源への適用」のことで、作業シナリオに基づく計算要素が記載されており、当該報告書を参考にすることで作業シナリオに基づく線量推計が可能である。

※シナリオ要素の代替検討に関して、ガイドライン¹対象外で年間1mSvを超えるものを、一定の線量水準を超えたものとした。

(参考資料1) RP-122のシナリオについて

- RP-122とは、欧州委員会(EC)が刊行しているRadiation protection122 Practical use of the concepts of clearance and exemption Part II Application of the concepts of exemption and clearance to natural radiation sourcesの略称である。
- RP-122は、EU BSSで定められている免除レベルをNORMに適用することは、取り扱われる量が少ない事等を鑑み適切ではないことが強調されていることを踏まえ、NORMに対する免除・クリアランスレベルの適切なフレームワークを提示しているもの。
- NORMに対する被ばく経路の放射線学的評価を通じて免除・クリアランスレベルを設定することとしている。なお、免除・クリアランスレベルの設定に当たっては幅広い物質特性や放射線学性質を考慮する必要があることからパラメータ選定には悲観的要素が多分に含まれるとの記載がある。
- NORMに関する免除・クリアランスレベルの設定に当たっては、0.3mSv/aの線量を元に計算を実施し核種ごとの濃度を提示している。
- 物質のタイプとしては、捨石(waste rock)、灰(ash)、砂(sand)、スラグ(slag)、スラッジ(オイル・ガス産業由来のもの)が代表例として明示されている。
- 作業シナリオは、産業由来のNORM残渣の一般的なリサイクルと処理プロセスに基づいたものとしている。
- 一般的なリサイクルと処理プロセスとして、物質の輸送・物質の保管・埋立地での処理・建築材への添加剤としてのリサイクル・道路建設の充填剤としてのリサイクルが挙げられている。
- シナリオ依存のパラメータとして、作業時間1800h/y(37.5h/w且つ44w/yの作業時間をカバーする時間として設定)、呼吸速度は1.2m³/h(ICRPで提示されている軽度の運動に該当)、経口摂取速度は10mg/hを採用している。なお、希釈率に関しては、物質のタイプと作業シナリオに応じて明示されている。

追加濃度文献調査及び実測の可能性 (レアアース・レアメタル)の検討結果

追加の濃度文献調査 (レアアース・レアメタル)

令和3年度事業では対象としていなかった近年(2013年以降)の文献を対象として調査を行った結果、新たに8種類の物質についての濃度データを収集した。本調査の結果、令和3年度事業で判明した国内利用可能性のある63種類のうち、依然として濃度が不明な物質は37種類となった。

本調査から言えること

- 濃度データが存在する物質(U-238系列とTh-232系列のデータが1件以上)
26種(酸化セリウム、マンガン鉱など)(参考資料2を参照)
※8物質(「ニオブ、タンタル、バナジウム鉱」、「タンタル及びその製品」など)の濃度が今年度判明。
- 依然として濃度が不明な物質(U-238系列もしくはTh-232系列のデータが0件)
37種(セリウム化合物、ニッケル酸化物など)(参考資料3を参照)

実測の可能性検討 (レアアース・レアメタル)

依然として濃度が不明な物質(参考資料3)について、本事業連携者(弘前大学)が実測の可能性を検討した結果、国内機関を通じて、一部の物質(酸化物やコバルト酸化物、レアアース・レアメタルを含む鉱石)を入手可能であることが分かった。

放射能濃度を実測する必要性が示された場合、鉱物の溶融技術や分析能力を有する本事業連携者を通じて実施可能性があることが分かった。

(参考資料2)

濃度データが存在する物質の一覧(U-238系列とTh-232系列のデータが1件以上)

物質名	輸入量 (トン)	国内 生産量 (トン)	平均濃度(Bq/g)	
			U-238 系列	Th-232 系列
希土類金属など	6791		0.0E+00	0.0E+00
その他希土類金属の化合物	2072		1.5E+01	9.9E+01
酸化セリウム	2039		4.0E-03	1.6E+00
鈷物(その他)	290703	0	3.3E+00	1.9E+01
レアアース産業における副産物			1.2E+01	1.4E+02
バリウム鈷	21030		4.1E-03	0.0E+00
クロム鈷	41161	0	0.0E+00	8.3E-04
ゲルマニウムの酸化物、ジルコニウムの酸化物	5632	10622	2.1E+00	6.1E-01
マンガン鈷	794574	0	9.3E-02	2.2E-02
マンガン産業における副産物			3.6E-02	2.7E-02
モリブデン鈷	32875	0	7.8E-01	4.0E-02
モリブデン産業における副産物			7.8E-01	4.5E-02
ニオブ鈷、タンタル鈷、バナジウム鈷	4257	0	1.2E+01	3.5E+00

物質名	輸入量 (トン)	国内 生産量 (トン)	平均濃度(Bq/g)	
			U-238 系列	Th-232 系列
ニオブ、タンタル、バナジウム産業における副産物			8.8E+02	5.6E+01
ニッケルメタルハライド水素吸蔵合金蓄電池			2.2E-02	1.0E-02
ニッケル鈷	2520439	0	2.5E-01	1.1E-02
ニッケル産業における副産物			9.6E-01	4.3E-02
タンタル及びその製品	89	154	2.2E-03	0.0E+00
チタンの酸化物	11807	189302	2.6E-02	1.2E-01
チタン鈷	343111	0	4.1E-01	5.4E-01
チタン産業における副産物			8.8E+01	6.7E+01
Th入りタングステン溶接棒			1.2E-02	8.6E+01
耐火物(ジルコン)		6235	3.1E+00	7.5E-01
ジルコニウム産業の中間製品			2.2E+00	3.4E+00
ジルコニウム鈷	17399	0	4.0E+00	8.6E-01
ジルコニウム産業における副産物			8.5E+00	5.5E+00

(参考資料3)

濃度データが不明な物質の一覧(U-238系列もしくはTh-232系列のデータが0件)

物質名	輸入量 (トン)	国内生産量 (トン)
セリウム化合物	6996	
酸化イットリウム	1298	
フェロセリウム	794	
酸化ランタン	662	
ほう酸塩	27165	
炭化物(ほう素、ニオブ、タンタル)	465	
ベリリウム及びその製品	0.35	
ベリリウムの酸化物	0.03	
ビスマス及びその製品	242	448
コバルト及びその製品	8246	3669
コバルトの酸化物など	895	
クロム及びその製品	3639	
クロムの酸化物など	3592	
ゲルマニウム及びその製品	7	
インジウム及びその製品	214	637
リチウムの酸化物など	32516	
マンガン及びその製品	59187	331000
マンガンの酸化物	2167	
モリブデンの酸化物など	2860	

物質名	輸入量 (トン)	国内生産量 (トン)
モリブデン及びその製品	1223	692
ニオブ・チタン合金	41	
ニッケル及びその製品	257546	58778
ニッケルの酸化物など	43	
貴金属	168019	2426
貴金属鉱	14079	6
アンチモン及びその製品	4835	
アンチモンの酸化物	3535	5113
アンチモン鉱	676	0
ストロンチウム、バリウム酸化物など	3019	
酸化チタンを含む顔料	48385	
チタン及びその製品	4141	91000
タリウム及びその製品	0	1
バナジウムの酸化物など	750	
バナジウム及びその製品	117	
その他金属及びその製品	155	
タングステン及びその製品	1554	3904
ジルコニウム及びその製品	259	

線量のシナリオ推計の概要

- 本調査では、RP-122で示されている作業者の作業シナリオ(仮定された被ばく経路)に基づき被ばく線量を推計した。
- RP-122では、いくつかの作業シナリオが与えられており、線量を導出する式を整理したものは下記となる。
- また、作業シナリオ(ex:埋立・運搬・屋内加工・建築)ごとにパラメータ(空気ダスト濃度など)が与えられており、当該値を本推計では適用した。
- なお、パラメータは物質の種類によらず作業シナリオごとに付与されたものであり、各物質が実際にどのように利用されているかを反映したものではないことに留意が必要。
- 濃度については、本調査の濃度データの平均値と最大値を使用した。

線量推計の算出式(RP-122に基づく式)

$$E_{\text{ext}} = D_{\text{ext}} \times T_e \times F_d \times A$$

$$E_{\text{inh}} = D_{\text{inh}} \times T_e \times F_d \times B_r \times C_{\text{dust}} \times A$$

$$E_{\text{ing}} = D_{\text{ing}} \times T_e \times F_d \times R_{\text{ing}} \times A$$

$$E_{\text{ext (total)}} = E_{\text{ext (U)}} + E_{\text{ext (Th)}} + E_{\text{ext (K)}}$$

$$E_{\text{inh (total)}} = E_{\text{inh (U)}} + E_{\text{inh (Th)}} + E_{\text{inh (K)}}$$

$$E_{\text{ing (total)}} = E_{\text{ing (U)}} + E_{\text{ing (Th)}} + E_{\text{ing (K)}}$$

$$E_{\text{total}} = E_{\text{ext (total)}} + E_{\text{inh (total)}} + E_{\text{ing (total)}}$$

E: 線量 (Sv/y)

線量推計のパラメータ	今回の適用値
①A:放射能濃度 (Bq/g)	本調査の濃度データ
②F _d :希釈率	RP-122のデータ (シナリオに依存)
③B _r :呼吸速度 (m ³ h ⁻¹)	
④C _{dust} :空気中ダストの濃度 (g m ⁻³)	
⑤R _{ing} :経口摂取速度 (g h ⁻¹)	
⑥D _{ext} :外部実効線量換算係数 (Sv h ⁻¹ /Bq g ⁻¹)	
⑦D _{inh} :吸入実効線量換算係数 (Sv Bq ⁻¹)	
⑧D _{ing} :経口実効線量換算係数 (Sv Bq ⁻¹)	
⑨T _e :年間被ばく時間 (y ⁻¹)	

代替要素について

代替要素を文献から検討した結果、他のパラメータ(作業時間等)については文献の情報が限られることが分かった。また、作業中のマスク装着による吸入被ばくの低減や作業中の飲食しない(経口被ばくは生じない)ことを代替要素として検討できるが線量に大きな違いがないため、代替の要素は本推計では考慮しない。

線量のシナリオ推計のパラメータ①(放射能濃度)

各パラメータ
の適用値

①A:放射能濃度

適用値:本調査に基づく濃度データ

物質名	U-238系列			Th-232系列			K-40		
	データ数	放射能濃度 (Bq/g)		データ数	放射能濃度 (Bq/g)		データ数	放射能濃度 (Bq/g)	
		平均	最大		平均	最大		平均	最大
レアアース・レアメタル									
希土類金属など	2	0.0E+00	0.0E+00	2	0.0E+00	0.0E+00	0		
その他希土類金属の化合物	13	1.5E+01	6.0E+01	24	9.9E+01	1.1E+03	3	1.3E+00	3.9E+00
酸化セリウム	1	4.0E-03	4.0E-03	5	1.6E+00	5.2E+00	1	4.8E-01	4.8E-01
鉱物(その他)	10	3.3E+00	1.2E+01	7	1.9E+01	5.8E+01	1	1.3E+00	1.3E+00
レアアース産業における副産物	5	1.2E+01	2.3E+01	4	1.4E+02	3.4E+02	3	7.1E+00	2.0E+01
バリウム鉱	1	4.1E-03	4.1E-03	1	0.0E+00	0.0E+00	1	0.0E+00	0.0E+00
クロム鉱	1	0.0E+00	0.0E+00	1	8.3E-04	8.3E-04	1	0.0E+00	0.0E+00
ゲルマニウムの酸化物、ジルコニウムの酸化物	4	2.1E+00	5.6E+00	3	6.1E-01	1.2E+00	1	3.0E-02	3.0E-02
マンガン鉱	4	9.3E-02	2.1E-01	3	2.2E-02	6.0E-02	2	1.5E-01	3.0E-01
マンガン産業における副産物	7	3.6E-02	5.2E-02	4	2.7E-02	4.0E-02	4	4.5E-01	6.1E-01
モリブデン鉱	8	7.8E-01	3.1E+00	7	4.0E-02	2.5E-01	3	3.4E-02	5.8E-02
モリブデン産業における副産物	3	7.8E-01	1.2E+00	2	4.5E-02	8.0E-02	1	5.3E-01	5.3E-01
ニオブ鉱、タンタル鉱、バナジウム鉱	6	1.2E+01	3.4E+01	3	3.5E+00	8.0E+00	0		
ニオブ、タンタル、バナジウム産業における副産物	11	8.8E+02	4.4E+03	8	5.6E+01	2.1E+02	1	4.7E-01	4.7E-01
ニッケルメタルハライド水素吸蔵合金蓄電池	1	2.2E-02	2.2E-02	1	1.0E-02	1.0E-02	0		
ニッケル鉱	6	2.5E-01	1.0E+00	5	1.1E-02	5.7E-02	2	0.0E+00	0.0E+00
ニッケル産業における副産物	2	9.6E-01	1.1E+00	1	4.3E-02	4.3E-02	0		
タンタル及びその製品	3	2.2E-03	4.4E-03	1	0.0E+00	0.0E+00	0		
チタンの酸化物	4	2.6E-02	6.0E-02	6	1.2E-01	2.8E-01	3	5.0E-03	9.6E-03
チタン鉱	41	4.1E-01	3.6E+00	39	5.4E-01	8.3E+00	16	6.4E-02	3.3E-01
チタン産業における副産物	17	8.8E+01	1.3E+03	18	6.7E+01	9.7E+02	6	2.1E-01	3.4E-01
Th入りタングステン溶接棒	1	1.2E-02	1.2E-02	1	8.6E+01	8.6E+01	0		
耐火物(ジルコン)	11	3.1E+00	5.8E+00	11	7.5E-01	1.5E+00	6	4.6E-02	1.1E-01
ジルコニウム産業の中間製品	2	2.2E+00	2.3E+00	1	3.4E+00	3.4E+00	0		
ジルコニウム鉱	102	4.0E+00	1.3E+01	81	8.6E-01	3.5E+00	52	1.4E-01	1.3E+00
ジルコニウム産業における副産物	9	8.5E+00	4.5E+01	5	5.5E+00	2.3E+01	0		
化石燃料(残渣)									
フライアッシュセメント	2	4.1E-02	4.2E-02	2	3.7E-02	3.9E-02	1	1.2E-01	1.2E-01
石炭灰	67	1.8E-01	2.1E+00	56	7.5E-02	2.0E-01	37	3.4E-01	1.1E+00
廃油(石油汚泥など)	39	1.6E+01	1.2E+02	21	1.3E+01	1.4E+02	16	1.9E+00	2.2E+01
亜炭灰	37	6.4E-01	1.1E+00	23	4.7E-02	1.0E-01	20	3.0E-01	5.0E-01
精油所のスケール	41	3.4E+01	9.0E+02	21	4.3E+01	6.8E+02	5	1.4E+01	6.5E+01
泥炭灰	4	6.9E-02	1.2E-01	2	7.8E-03	1.1E-02	2	8.9E-02	1.1E-01
火力発電所からの副産物	4	3.3E+00	1.3E+01	4	1.7E+00	6.9E+00	4	2.9E+00	1.1E+01
精油所の製造水	3	9.0E-01	1.5E+00	3	5.8E-01	7.4E-01	0		

K-40のデータがないものはゼロと仮定

注: 適用データは、本作業で整理した文献値を示している。

線量のシナリオ推計のパラメータ②(作業シナリオ)

各パラメータの適用値

適用値: RP-122に記載されているデータ

- ② F_d : 希釈率
※物質の形状で0.1~1の値をとるが、本推計では希釈なし(1)を適用
- ③ B_r : 呼吸速度
- ④ C_{dust} : 空気中ダストの濃度
- ⑤ R_{ing} : 経口摂取速度
- ⑥ D_{ext} : 外部実効線量換算係数
- ⑦ D_{inh} : 吸入実効線量換算係数
- ⑧ D_{ing} : 経口実効線量換算係数
- ⑨ T_e : 年間被ばく時間

シナリオ	パラメータ								
		T_e	F_d	B_r	C_{dust}	R_{ing}	$D_{ext}, D_{inh}, D_{ing}$ for ^{238}U series	$D_{ext}, D_{inh}, D_{ing}$ for ^{232}Th series	$D_{ext}, D_{inh}, D_{ing}$ for ^{40}K
輸送	外部	850	1				7.7E-08	1.2E-07	7.6E-09
	吸入	100	1	1.2	0.001		2.9E-05	4.8E-05	0
	経口	100	1			0.01	2.6E-06	1.1E-06	0
屋内貯蔵	外部	1800	1				3.2E-08	4.7E-08	2.9E-09
	吸入	1800	1	1.2	0.001		2.9E-05	4.8E-05	0
	経口	1800	1			0.01	2.6E-06	1.1E-06	0
屋外貯蔵	外部	1800	1				3.2E-08	4.8E-08	2.9E-09
	吸入	1800	1	1.2	0.0005		2.9E-05	4.8E-05	0
	経口	1800	1			0.01	2.6E-06	1.1E-06	0
屋内加工	外部	1800	1				3.2E-08	4.7E-08	2.9E-09
	吸入	1800	1	1.2	0.002		2.9E-05	4.8E-05	0
	経口	1800	1			0.01	2.6E-06	1.1E-06	0
屋外加工	外部	1800	1				3.2E-08	4.8E-08	2.9E-09
	吸入	1800	1	1.2	0.001		2.9E-05	4.8E-05	0
	経口	1800	1			0.01	2.6E-06	1.1E-06	0
埋立て	外部	1800	1				4.3E-07	6.2E-07	3.8E-08
	吸入	1800	1	1.2	0.001		2.9E-05	4.8E-05	0
	経口	1800	1			0.01	2.6E-06	1.1E-06	0
道路建設	外部	1800	1				3.1E-07	4.6E-07	2.9E-08
	吸入	1800	1	1.2	0.001		2.9E-05	4.8E-05	0
	経口	1800	1			0.01	2.6E-06	1.1E-06	0
建築	外部	1800	1				5.7E-07	8.2E-07	5.1E-08
	吸入	1800	1	1.2	0.0005		2.9E-05	4.8E-05	0
	経口	1800	1			0.01	2.6E-06	1.1E-06	0
(備考: 各シナリオの 条件)	輸送: 2×2×5mのNORMの運搬と荷下ろしの作業(外部被ばくは運搬時と荷下ろし時に生じる)。輸送時の遮蔽考慮。 屋内貯蔵: 半径11.86m、高さ3m円錐台形のNORM(1000m ³)を屋内で貯蔵。 屋外貯蔵: 半径26m高さ6mの円錐台形のNORM(10000m ³)を屋外で貯蔵。 屋内加工: 屋内貯蔵と同様のNORMを加工する作業。 屋外加工: 屋外貯蔵と同様のNORMを加工する作業。 埋立て: 埋立地(NORMを含む半無限体)での埋立作業。 道路建設: NORMを含む層(100×10×0.4m)を建設。 建築: 床、天井、壁2面(3×4m ²)が厚さ20cmのNORMで構成される建物を建築。								

注: 作業時間など安全側の想定になっている可能性がある。

線量のシナリオ推計のパラメータ③(建築シナリオの例)

- 建築シナリオについては、NORMを含む物質で構成される部屋で作業するというシナリオを適用
- 被ばく線量は外部被ばく線量+経口摂取による被ばく線量+吸入摂取による被ばく線量で計算
- 希釈率は、物質の形状により0.1~1の値がRP-122の中では与えられているが、本調査では物質の形状が不明なため希釈なし(=1)を適用

外部被ばく

NORMを含有する建築材料で作られた部屋の中に作業時間全体を通してしているシナリオ

- 希釈なしと仮定
- 床、天井、壁2面(3×4m²)が厚さ20cmのNORMで構成される建物の建築
- 年間被ばく時間 1,800時間



内部被ばく

経口摂取

- 希釈なしと仮定
- 10mg/h 経口摂取すると仮定



吸入摂取

- ダスト濃度 0.5mg/m³
- 希釈なしと仮定
- 時間当たり呼吸量 1.2m³/h(=28.8m³/d)^{*}
- 年間被ばく時間 1,800時間

^{*}我が国の法令の基準値導出に当たっては、成人の呼吸量:22.2m³/dが用いられている。

線量のシナリオ推計の結果

線量のシナリオ推計値

国内利用の可能性があり、濃度データが存在するレアアース関連26種、化石燃料(残渣)8種についてRP-122に基づくシナリオによる被ばく線量の推計を実施。

個々の推計値については「参考資料4」を参照

本推計から言えること

■ 本シナリオ推計で年間1mSvを超えた物質

レアアース・レアメタル
その他希土類金属の化合物
酸化セリウム
鉬物(その他)
レアアース産業における副産物
モリブデン鉬
ニオブ鉬、タンタル鉬、バナジウム鉬
ニオブ、タンタル、バナジウム産業における副産物
※ゲルマニウムの酸化物、ジルコニウムの酸化物
※チタン鉬
※チタン産業における副産物
※Th入りタングステン溶接棒
※耐火物(ジルコン)
※ジルコニウム産業の中間製品
※ジルコニウム鉬
※ジルコニウム産業における副産物
化石燃料(残渣)
廃油(石油汚泥など)
精油所のスケール
火力発電所からの副産物
精油所の製造水
※石炭灰

補足: 濃度最大値からシナリオ推計した線量の最大値が年間1mSvを超える物質を記載。鉬物(その他)には、例えば希土類鉬石が分類される。※はガイドライン対象物。

■ 本シナリオ推計で年間1mSvを超えなかった物質

レアアース・レアメタル
希土類金属など
バリウム鉬
クロム鉬
マンガン鉬
マンガン産業における副産物
モリブデン産業における副産物
ニッケルメタルハライド水素吸蔵合金蓄電池
ニッケル鉬
ニッケル産業における副産物
タンタル及びその製品
※チタンの酸化物
化石燃料(残渣)
亜炭灰
泥炭灰
※フライアッシュセメント

補足: 濃度最大値からシナリオ推計した線量の最大値が年間1mSvを超えない物質を記載。※はガイドライン対象物。

(参考資料4)線量推計結果の詳細

線量推計値の一覧

物質名	線量推計値 (mSv/y) (濃度平均値で計算)	線量推計値 (mSv/y) (濃度最大値で計算)
レアアース・レアメタル		
希土類金属など	0(輸送)~0(建築)	0(輸送)~0(建築)
その他希土類金属の化合物	10(輸送)~200(建築)	100(輸送)~2000(建築)
酸化セリウム	0.2(輸送)~3(建築)	0.6(輸送)~8(建築)
鉱物(その他)	3(輸送)~30(建築)	8(輸送)~100(建築)
レアアース産業における副産物	20(輸送)~200(建築)	40(輸送)~600(建築)
バリウム鉱	0.0003(輸送)~0.005(建築)	0.0003(輸送)~0.005(建築)
クロム鉱	0.0001(輸送)~0.001(建築)	0.0001(輸送)~0.001(建築)
ゲルマニウムの酸化物、ジルコニウムの酸化物	0.2(輸送)~3(建築) ※	0.6(輸送)~8(建築) ※
マンガン鉱	0.01(輸送)~0.2(建築)	0.03(輸送)~0.3(建築)
マンガン産業における副産物	0.009(輸送)~0.1(建築)	0.01(輸送)~0.2(建築)
モリブデン鉱	0.07(輸送)~0.9(建築)	0.3(輸送)~4(建築)
モリブデン産業における副産物	0.07(輸送)~1(建築)	0.1(輸送)~1(建築)
ニオブ鉱、タンタル鉱、バナジウム鉱	1(輸送)~20(建築)	4(輸送)~50(建築)
ニオブ、タンタル、バナジウム産業における副産物	80(輸送)~1000(建築)	400(輸送)~5000(建築)
ニッケルメタルハライド水素吸蔵合金蓄電池	0.003(輸送)~0.04(建築)	0.003(輸送)~0.04(建築)
ニッケル鉱	0.02(輸送)~0.3(建築)	0.09(輸送)~1(建築)
ニッケル産業における副産物	0.08(輸送)~1(建築)	0.09(輸送)~1(建築)
タンタル及びその製品	0.0002(輸送)~0.002(建築)	0.0003(輸送)~0.005(建築)
チタンの酸化物	0.02(輸送)~0.2(建築) ※	0.04(輸送)~0.5(建築) ※
チタン鉱	0.1(輸送)~1(建築) ※	1(輸送)~20(建築) ※
チタン産業における副産物	10(輸送)~200(建築) ※	200(輸送)~3000(建築) ※
Th入りタングステン溶接棒	10(輸送)~100(建築) ※	10(輸送)~100(建築) ※
耐火物(ジルコン)	0.3(輸送)~5(建築) ※	0.6(輸送)~9(建築) ※
ジルコニウム産業の中間製品	0.6(輸送)~8(建築) ※	0.6(輸送)~8(建築) ※
ジルコニウム鉱	0.4(輸送)~6(建築) ※	1(輸送)~20(建築) ※
ジルコニウム産業における副産物	1(輸送)~20(建築) ※	1(輸送)~80(建築) ※
化石燃料(残渣)		
フライアッシュセメント	0.008(輸送)~0.1(建築) ※	0.009(輸送)~0.1(建築) ※
石炭灰	0.03(輸送)~0.3(建築) ※	0.2(輸送)~3(建築) ※
廃油(石油汚泥など)	3(輸送)~40(建築)	30(輸送)~400(建築)
垂炭灰	0.06(輸送)~0.8(建築)	0.1(輸送)~1(建築)
精油所のスケール	8(輸送)~100(建築)	200(輸送)~2000(建築)
泥炭灰	0.007(輸送)~0.1(建築)	0.01(輸送)~0.2(建築)
火力発電所からの副産物	0.5(輸送)~7(建築)	2(輸送)~30(建築)
精油所の製造水	0.1(輸送)~2(建築)	0.2(輸送)~3(建築)

補足: (※)はガイドライン対象の物質である。()内はシナリオを意味する。

注: これらの値はRP-122に示されているシナリオに基づき算出した値であるが、希釈率の適用等により過大評価となっている可能性があるため線量については相対的な尺度として解釈することが望ましい。

(参考資料5)シナリオ推計と実測値の例

実測による線量評価 と シナリオによる線量推計：モナザイトのケース

●実測(現地調査)

調査場所: 粉末製造事業所(一例)
作業形態: 屋内加工

測定項目	結果
濃度	²³⁸ U系列 40Bq/g ²³² Th系列 360Bq/g
空間線量率	粉碎場 1.4 μSv/h 物質置場 16 μSv/h
ダスト (U-238 + Th-232)	粉碎場 0.19 Bq/m ³ 物質置場 0.098Bq/m ³
作業時間	粉碎場 20h 物質置場 80h
ラドン	22-23Bq/m ³
トロン	290Bq/m ³



作業者の実効線量 (ラドン・トロン含む)
<u><0.6mSv/y</u>
屋内加工 主に外部被ばく ラドン・トロンの寄与は1%以下

各作業場の実測の空間線量率、ダスト濃度、ラドン・トロン濃度及び作業時間から算出



要因: 作業時間や空間線量率等の違い
 ・作業時間: 1800時間(シナリオ)、100(実測)
 ・空間線量率: 18 μSv/h(シナリオ: シナリオの線量係数から導出)、1.4 or 16 μSv/h(実測)

●RP-122を用いたシナリオ推計

計算項目	計算条件
濃度	²³⁸ U系列 40Bq/g ²³² Th系列 360Bq/g
シナリオ	本説明スライドと同様の手順で推計。



作業者の実効線量 (ラドン・トロン除く)
<u>80mSv/y(屋内加工)</u> 参考:600(建築)