

国内におけるNORM被ばくの実態

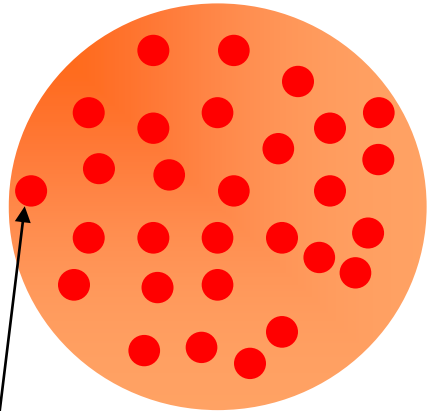
量子科学技術研究開発機構
量子生命・医学部門
放射線医学研究所
放射線規制科学研究部
岩岡和輝

ポイント

- NORMの種類と用途は多様であり、一部のNORMしか被ばく調査されていない。
- 国内では、レアアース鉱石や化石燃料の被ばくに関するデータが乏しい。
- 国内で被ばく調査されたNORMについては、その被ばくは比較的小さい。

自然起源放射性物質(NORM)とは？

地球
(誕生直後の地球)

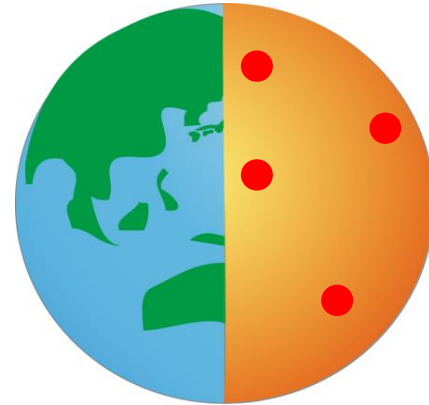


約46億年



長半減期の核種は残存

地球
(現在)



自然起源の放射性核種
(^{238}U 系列、 ^{232}Th 系列、 ^{40}K など)

多量の自然起源の放射性核種
が地球上に含まれていた。

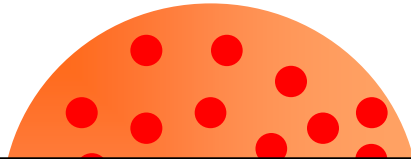
自然起源の放射性核種は地球上
に現存する。土壌、岩石、鉱石、化
石燃料といった天然資源は自然起
源の放射性核種を必ず含む。

→ 自然起源放射性物質(NORM)

Naturally occurring radioactive material

自然起源放射性物質(NORM)とは？

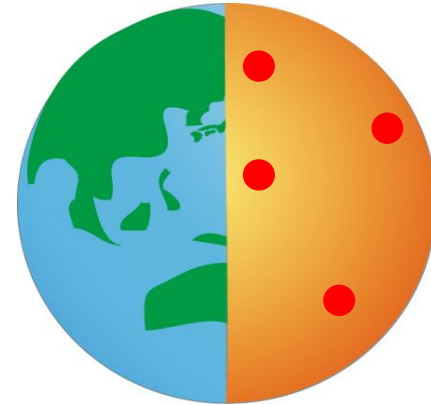
地球
(誕生直後の地球)



約46億年



地球
(現在)



例えば、

・通常の土壌： ^{238}U が0.033 Bq/g



(UNSCEAR2008)

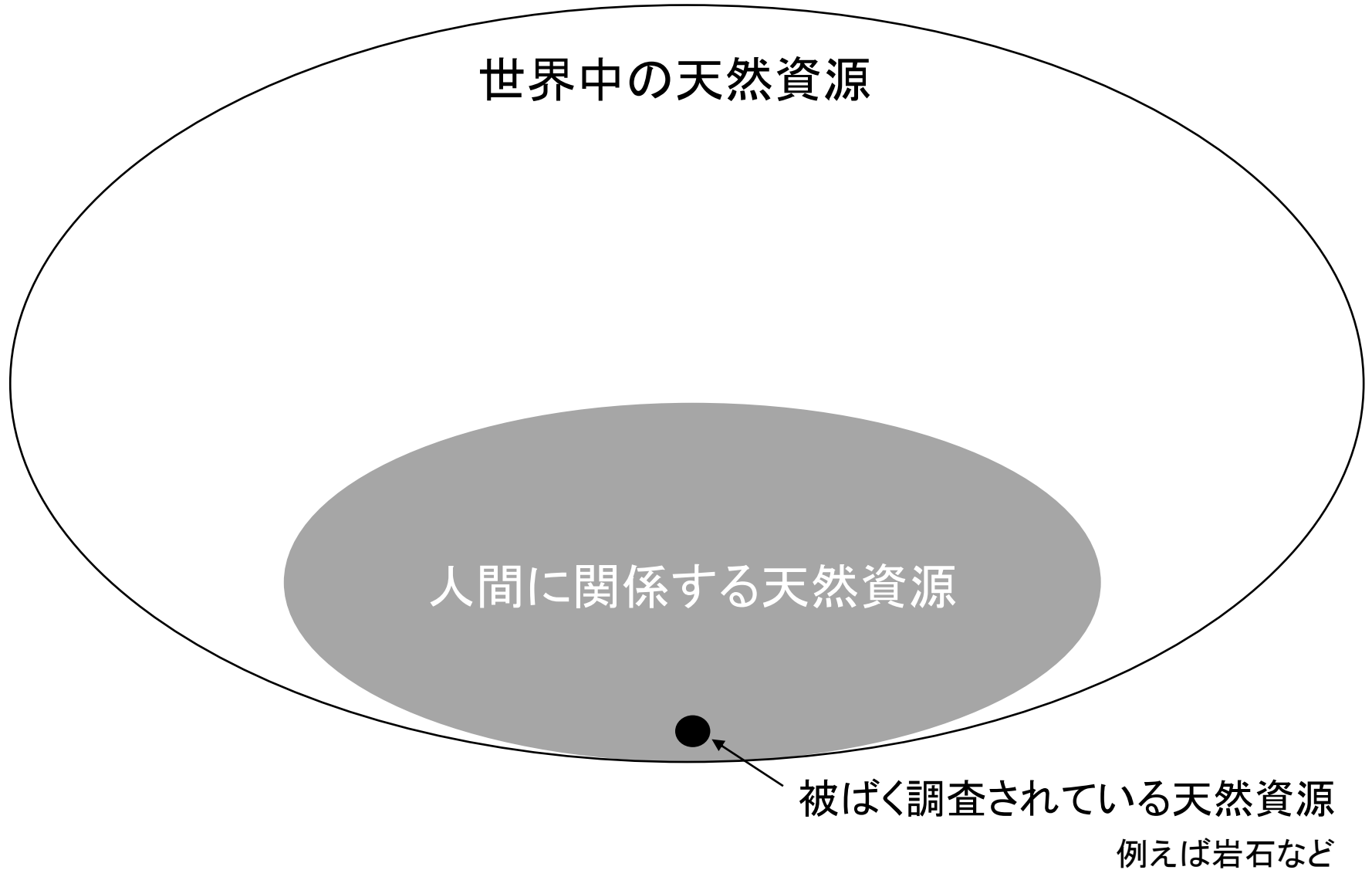
核種は残存

自然起源の放射性核種は地球上に現存する。土壌、岩石、鉱石、化石燃料といった天然資源は自然起源の放射性核種を必ず含む。

→ 自然起源放射性物質(NORM)

Naturally occurring radioactive material

天然資源(NORM)の種類の数



世界の代表的なNORM

- レアアース鉱石
例) モナザイト
- 化石燃料
例) 石油
石炭
- 金属鉱石
例) ジルコニウム鉱石
チタン鉱石
- 非金属物質
例) リン鉱石
- 消費財
例) 建材

国内のNORM被ばくの実態

- ・国内で使用されていて入手できるものを可能な限り調査(部分的な調査)。
- ・レアアースと化石燃料の調査はあまり進んでいない。
- ・調査されたNORMの被ばくは1mSv/yを超えそうにない。

(表は調査されている範囲
でデータを整理したもの)

代表的な NORM	平成15年放射線審議会基本部会 自然放射性物質の規制免除について			新たなデータ (H16～現在)		
	物質	濃度 (Bq/g) ²³⁸ U系列若し くは ²³² Th系列	線量 ^a (mSv/年)	物質	濃度 (Bq/g) ²³⁸ U系列若し くは ²³² Th系列	線量 ^b (mSv/年)
レアアース 鉱石	モナザイト バストネサイト サマリウム	<300 <7.1 -	0.3(含有製品置場) 0.4(含有製品置場) <0.38(含有製品製造) ^c	モナザイト - -	<360 - -	<0.62(含有製品製造)
化石燃料	石炭 石炭灰	<0.018 <0.095	- 0.13(貯蔵場所) ^d	- 石炭灰	- <0.12	- <0.060(屋内加工)
金属鉱石	Zr 鉱石 Ti 鉱石 -	<4.2 <0.16 -	0.14(含有製品置場) 0.27(鉱石置場) -	Zr 鉱石 Ti 鉱石 他 18種	<5.6 <0.54 <0.17	<0.43(含有製品製造) <0.18(屋内加工) <0.069(屋内加工)
非金属物 質	リン鉱石 -	<1.2 -	0.28(鉱石置場)	リン鉱石 他 69種	<0.65 <0.25	<0.16(屋内加工) <0.13(屋内加工)
消費財	17種(温泉の素 など)	<270	<1(利用時)	- 建材 141種	- <0.37	- <0.34(利用時)
(参考)国際的な基準					1Bq/g (IAEA) ^e	1-20mSv/y (ICRP) ^f

a: 現地調査により測定された空間線量率から算出。b: 実効線量(内部被ばく含む)。ジルコニウム鉱石とモナザイトは現地調査結果から算出。モナザイトはラドン、トロン被ばくを含む。ジルコニウム鉱石とモナザイト以外は欧州委員会報告書RP-122のシナリオ(建材はNORM滞在による公衆の被ばく、他は国内加工による作業員の被ばく)を用いて安全側に算出。c: ¹⁴⁷Smによる被ばく。d: クリンカ(石炭灰の一種)の値。e: IAEA GS-R Part3の計画被ばくの要件を適用する値。f: ICRP Publication 103の現存被ばく状況の参考レベル。

(参考資料1)

● 新たなデータ: レアアース鉱石 (モナザイト)

現地調査



調査場所: 粉末製造事業所 (一例)

測定項目	結果
モナザイトの濃度 (インド産)	^{238}U 系列 <40Bq/g ^{232}Th 系列 <360Bq/g
空間線量率	1.4–16 $\mu\text{Sv/h}$
ダスト	<0.17Bq/m ³
作業時間	<100h
ラドン	<23Bq/m ³
トロン	<290Bq/m ³



作業者の実効線量¹
(ラドン・トロン含む)

<0.62mSv/y

主に外部被ばく
ラドン・トロンの寄与は1%以下

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

(参考資料2)

● 新たなデータ：化石燃料（石炭灰）

濃度調査



物質	産地	サンプル数	^{238}U 系列 Bq/g		^{232}Th 系列 Bq/g		^{40}K Bq/g	推定した実効線量 ¹ mSv/y
			^{238}U	^{226}Ra	^{232}Th	^{228}Ra		
石炭灰	日本	1	0.12	0.11	0.085	0.10	0.30	0.060

1: 作業者の実効線量。欧州委員会報告書RP-122の屋内加工のシナリオを使用(安全側)。 ^{238}U と ^{226}Ra で高い濃度を ^{238}U 系列核種濃度として使用、 ^{232}Th 系列についても同様(安全側)。

(参考資料3)

● 新たなデータ: 金属鉱石 (ジルコニウム鉱石)

現地調査



調査場所: 耐火物製造事業所 (一例)

測定項目	結果
ジルコニウム鉱石及び製品の濃度	^{238}U 系列 1.5~ 5.6 Bq/g ^{232}Th 系列 0.34~1.4Bq/g
空間線量率	0.052-0.75 $\mu\text{Sv/h}$
ダスト	一般環境程度 (0.000001Bq/m ³)
作業時間	<2160h
ラドン(参考)	<50Bq/m ³
トロン(参考)	<34Bq/m ³



作業者の実効線量 ¹ (ラドン・トロン除く)
<0.43mSv/y 主に外部被ばく ラドン・トロンの寄与は1%以下

1: 各作業場の空間線量率、ダスト濃度及び作業時間から算出

※ラドンは一般環境レベルの範囲内。トロンの定量的な評価は難しいが、過去の一般環境レベルと同程度。

(参考資料4)

● 新たなデータ：金属鉱石（チタン鉱石）

濃度調査



物質	産地	サンプル数	^{238}U 系列 Bq/g		^{232}Th 系列 Bq/g		^{40}K Bq/g	推算した実効線量 ¹ mSv/y
			^{238}U	^{226}Ra	^{232}Th	^{228}Ra		
Ti鉱石	インド	1	0.094	0.045	0.25	0.12	0.01	0.1
	インド	1	0.079	0.047	0.29	0.18	0.033	0.11
	オーストラリア	1	0.021	0.015	0.037	0.033	0.011	0.016
	オーストラリア	1	0.053	0.075	0.23	0.3	0.03	0.11
	カナダ	1	0.007	0.0054	0.0052	0.006	0.012	0.003
	ベトナム	1	0.22	0.22	0.28	0.31	0.03	0.15
	ベトナム	1	0.16	0.14	0.23	0.19	0.024	0.11
	南アフリカ	1	0.54	0.46	0.16	0.16	0.026	0.18
	南アフリカ	1	0.074	0.076	0.16	0.17	0.043	0.071

1: 作業者の実効線量。欧州委員会報告書RP-122の屋内加工のシナリオを使用(安全側)。 ^{238}U と ^{226}Ra で高い濃度を ^{238}U 系列核種濃度として使用、 ^{232}Th 系列についても同様(安全側)。

(参考資料5)

● 新たなデータ：金属鉱石（他18種の金属鉱石）

濃度調査



物質	産地	サンプル数	²³⁸ U系列 Bq/g		²³² Th系列 Bq/g		⁴⁰ K Bq/g	推算した実効線量 ¹ mSv/y
			²³⁸ U	²²⁶ Ra	²³² Th	²²⁸ Ra		
Al鉱石	インドネシア	1	0.067	0.056	0.17	0.16	0.027	0.069
	オーストラリア	1	0.069	0.057	0.085	0.082	0.028	0.043
Cr鉱石	南アフリカ	1	-	ND	-	0.00083	ND	0.0003
Fe鉱石	オーストラリア	1	0.0095	0.008	0.0061	0.0045	ND	0.004
	オーストラリア	1	0.019	0.017	0.0066	0.0067	ND	0.006
	オーストラリア	1	0.019	0.016	0.0054	0.0053	ND	0.006
	ブラジル	1	0.024	0.024	0.0025	0.0043	ND	0.007
	南アフリカ	1	0.008	0.0053	0.0031	0.0045	0.029	0.003
	南アフリカ	1	0.0087	0.0072	0.0056	0.0057	0.045	0.004
Mn鉱石	南アフリカ	1	0.0069	0.0033	0.0036	0.0041	ND	0.003
Mo鉱石	カナダ	1	0.068	0.057	0.0072	0.0043	0.058	0.018
	中国	1	ND	ND	ND	ND	ND	-
	チリ	1	0.022	0.032	0.0075	0.0098	0.044	0.011
Ni鉱石	インドネシア	1	ND	ND	ND	ND	ND	-
	フィリピン	1	ND	ND	ND	ND	ND	-
V鉱石	日本	1	0.00039	0.00043	0.00021	ND	0.0083	0.0002
W鉱石	中国	1	0.0033	0.0014	0.0023	0.00084	ND	0.001
Zn鉱石	オーストラリア	1	0.012	0.011	0.0049	0.0049	0.063	0.005

1: 作業者の実効線量。欧州委員会報告書RP-122の屋内加工のシナリオを使用(安全側)。²³⁸Uと²²⁶Raで高い濃度を²³⁸U系列核種濃度として使用、²³²Th系列についても同様(安全側)。

ND: 定量下限以下。

-: 濃度がNDのためデータなし。

(参考資料6)

● 新たなデータ：非金属物質（リン鉱石と他69種）①

濃度調査



物質	産地	サンプル数	²³⁸ U系列 Bq/g		²³² Th系列 Bq/g		⁴⁰ K Bq/g	推算した実効線量 ¹ mSv/y
			²³⁸ U	²²⁶ Ra	²³² Th	²²⁸ Ra		
リン鉱石	中国	7	<0.65	<0.61	<0.023	<0.022	<0.87	0.16
ビチューメン	トリニダード・トバゴなど	3	<0.013	<0.017	<0.021	<0.026	<0.26	0.013
天然スレート	スペインなど	3	<0.056	<0.052	<0.067	<0.082	<1.2	0.045
フライアッシュセメント	日本	1	0.042	0.04	0.034	0.039	0.12	0.022
黒曜石	日本など	5	<0.12	<0.12	<0.11	<0.12	<1.2	0.072
バーミキュライト	南アフリカなど	3	<0.0074	<0.011	<0.032	<0.055	<1.4	0.027
石灰石	日本	2	<0.0026	ND	<0.00017	<0.0029	ND	0.0015
珪石	日本など	7	<0.019	<0.017	<0.013	<0.011	<0.14	0.009
ドロマイト	日本など	2	<0.020	<0.015	<0.0057	<0.0050	ND	0.0065
耐火粘土	日本など	4	<0.058	<0.059	<0.061	<0.093	<0.62	0.046
カイヤナイト	日本など	2	<0.042	<0.046	<0.041	<0.067	<0.66	0.035
マグネサイト	中国	2	<0.012	<0.010	<0.0024	ND	ND	0.0036
かんらん石	日本	2	<0.00044	ND	<0.00011	ND	ND	0.00014
ろう石	日本など	3	<0.032	<0.030	<0.055	<0.061	<0.18	0.027

1: 作業者の実効線量。欧州委員会報告書RP-122の屋内加工のシナリオを使用(安全側)。²³⁸Uと²²⁶Raで高い濃度を²³⁸U系列核種濃度として使用、²³²Th系列についても同様(安全側)。

ND: 定量下限以下。

(参考資料7)

● 新たなデータ：非金属物質（リン鉱石と他69種）②

濃度調査



物質	産地	サンプル数	²³⁸ U系列 Bq/g		²³² Th系列 Bq/g		⁴⁰ K Bq/g	推算した実効線量 ¹ mSv/y
			²³⁸ U	²²⁶ Ra	²³² Th	²²⁸ Ra		
雲母	インドなど	6	<0.0042	<0.0049	<0.0021	<0.0088	<2.9	0.019
長石	日本など	7	<0.22	<0.25	<0.12	<0.16	<3.6	0.13
じゃもん岩	日本	2	<0.0047	<0.0040	ND	ND	ND	0.0011
ベントナイト	日本	5	<0.13	<0.10	<0.12	<0.11	<0.35	0.069
酸性白土	日本	3	<0.034	<0.037	<0.047	<0.058	<0.12	0.027
蛍石	中国	3	<0.021	<0.020	<0.0087	<0.0084	ND	0.0076
タルク	中国など	4	<0.019	<0.026	<0.0067	<0.0096	ND	0.0089

1: 作業者の実効線量。欧州委員会報告書RP-122の屋内加工のシナリオを使用(安全側)。²³⁸Uと²²⁶Raで高い濃度を²³⁸U系列核種濃度として使用、²³²Th系列についても同様(安全側)。

ND: 定量下限以下。

(参考資料8)

●新たなデータ：消費財(建材 141種(パネル))

濃度調査



物質	サンプル数	²³⁸ U系列 Bq/g		²³² Th系列 Bq/g		⁴⁰ K Bq/g	推算した実効線量 ¹ mSv/y
		²³⁸ U	²²⁶ Ra	²³² Th	²²⁸ Ra		
安山岩	9	<0.033	<0.041	<0.059	<0.060	<0.95	0.076
はんれい岩	2	<0.015	<0.014	<0.021	<0.026	<0.54	0.036
花崗岩	87	<0.25	<0.25	<0.30	<0.37	<1.8	0.34
大理石	39	<0.054	<0.049	<0.003	<0.003	<0.049	0.023
凝灰岩	4	<0.022	<0.20	<0.031	<0.039	<0.92	0.057

1: 建材が使われた建物の居住者の実効線量。欧州委員会報告書RP-122の居住のシナリオを使用(安全側)。²³⁸Uと²²⁶Raで高い濃度を²³⁸U系列核種濃度として使用、²³²Th系列についても同様(安全側)。

引用: Iwaoka et al., Health Phys. 104, 41-50 (2013)

<参考>その他消費財

クリーム(NORM添加)	皮膚の被ばく線量限度を超えない
--------------	-----------------

引用:新版生活環境放射線(国民線量の算定)(2011)

まとめ

- NORMの種類と用途は多様であり、一部のNORMしか被ばく調査されていない。
- 国内では、レアアース鉱石や化石燃料の被ばくに関するデータが乏しい。
- 国内で被ばく調査されたNORMについては、その被ばくは比較的小さい。

〈参考〉 情報提供

• IAEA主催「産業界におけるNORM管理」に関する国際会合

1. 開催日

2020年10月19～30日（オンライン開催）

2. 背景

過去数十年にわたり、核燃料サイクルの一部ではない幅広い産業活動から発生する廃棄物や残渣に含まれる天然放射性核種の濃度が上昇していることが多くの研究で明らかになっている。多くの加盟国は、適切な管理のための実現可能で実施可能なアプローチを見出すことに課題を抱えている。

3. 目的

産業界におけるNORM廃棄物と残渣の管理における経験の共有を促進すること

4. 主なセッション

国の政策と戦略

NORMインベントリ

施設の解体、汚染サイトの浄化

産業施設の環境と特性評価

NORM物質の輸送と越境問題

残渣、廃棄物管理



(Source) <https://www.iaea.org/events/norm-2020>

〈参考〉 情報提供

・ IAEA主催「産業界におけるNORM管理」に関する国際会合 各セッション議長による主な勧告

国の政策と戦略

- 統合的で段階的なアプローチ: 非放射性ハザードの考慮が放射性ハザードと統合され、防護が最適化されていること。
- 再利用やリサイクルのための安全な循環経済的解決策: さらなる利用が不可能な残渣のための適切な廃棄物処理インフラが国内で利用可能であること。

NORMインベントリ

- NORMインベントリを確立することは困難。国内の分析能力の欠如が原因。
- 規制当局と利害関係者の間で、より多くの協力と情報開示が必要。全ての関係者にとってwin-winの状況となるような協力的な枠組みが開発されるべき。

施設の解体、汚染サイトの浄化

- 業界別、国別に、NORM廃止措置活動の範囲と今後数十年の予測を示すための調査、分析が必要。
- NORM残渣や修復廃棄物の循環型経済を確立するための研究が必要。

産業施設と環境の特性評価

- 国際社会は、適切なサンプリングと分析手順を開発するための努力を調整する必要がある。
- IAEAは、より調和のとれたプラクティスを確立するためのガイダンスを用意する必要がある。

NORM物質の輸送と越境問題

- 産業界には、関係者の意識を維持・向上させるための業界ガイドの作成を奨励する。スタッフが必要な放射線防護及び危険物輸送のスキルについて適切な訓練を受けていることを確実にする。
- 規制当局は、部門間に不必要な重複がないことを確認すべきである。

残渣、廃棄物管理

- 循環経済的アプローチの中でNORM産業を記述し、規制する用語を再定義する。
- 科学界の参加を得て、NORM廃棄物と関連する有害性に関する知識の向上及び情報の調和を図り、規制機関と産業界の統合を促進する。

(Source) <http://streaming.iaea.org/21519>

〈参考〉 情報提供

・ IAEA主催「産業界におけるNORM管理」に関する国際会合 各セッション議長による主な勧告

国の政策と戦略

- ・ 統合的で段階的なアプローチ: 非放射性ハザードの考慮が放射性ハザードと統合され、防護が最適化されていること

〈参考〉



レアメタル鉱床
(フィリピンサンビセンテ市)

空間線量率: $<0.81 \mu\text{Sv/h}$ ($<約7\text{mSv/y}$)
(Iwaoka et al., PJS 2019)

産業施設と環境の特性評価

- ・ 国際社会は、適切なサンプリングと分析手順を開発するための努力を調整する必要がある。
- ・ IAEAは、より調和のとれたプラクティスを確立するためのガイダンスを用意する必要がある。

NORM物質の輸送と越境問題

- ・ 産業界には、関係者の意識を維持・向上させるための業界ガイドの作成を奨励する。スタッフが必要な放射線防護及び危険物輸送のスキルについて適切な訓練を受けていることを確実にする。
- ・ 規制当局は、部門間に不必要な重複がないことを確認すべきである。

残渣、廃棄物管理

- ・ 循環経済的アプローチの中でNORM産業を記述し、規制する用語を再定義する。
- ・ 科学界の参加を得て、NORM廃棄物と関連する有害性に関する知識の向上及び情報の調和を図り、規制機関と産業界の統合を促進する。

(Source) <http://streaming.iaea.org/21519>