遮蔽材料標準の策定について

遮蔽計算用コンクリート組成の標準作成進捗について

2024年6月15日

放射線遮蔽分科会　遮蔽材料標準作業会

中　田　幹　裕

（NPO法人放射線線量解析ネットワーク：RADONet）

（MHI原子力研究開発株式会社）

遮蔽計算用コンクリート組成の標準作成進捗について

放射線遮蔽分科会　遮蔽材料標準作業会

【委員(16名):五十音順】

(幹事)天野　俊雄:伊藤忠テクノソリューションズ(株)

石川　智之:伊藤忠テクノソリューションズ(株)

大石　晃嗣:(株)日本環境調査研究所

大沢 竜也:三菱重工業(株)

奥野　功一:(株)安藤・間

木村　健一:(株)フジタ

小迫　和明:清水建設(株)

坂本　幸夫:(株)アトックス

竹生　諭司:日立GEニュークリア・エナジー(株)

田中　健一:KNE技術士事務所

谷口　雅弘:大成建設(株)

(主査)中田　幹裕:MHI原子力研究開発(株)

(副主査)平尾　好弘:国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所

前中　敏伸:(株)竹中工務店

松山惠璃菜:東芝エネルギーシステムズ(株)

吉田　昌弘:公益財団法人原子力安全技術センター

【常時参加者(4名):五十音順】

河野　秀紀:(株)アトックス

鈴木　正樹:(株)竹中工務店

月山　俊尚:(株)アトックス

中島　宏:北海道大学

目　　次

１．標準作成の目的と概要
２．規定組成設定とバックアップ調査
３．組成変動による線量率影響評価の概要
４．標準作成の計画

遮蔽計算用コンクリート組成の標準作成進捗について

1. 標準作成の目的と概要

標準委員会 基盤応用・廃炉技術専門部会 放射線遮蔽分科会 遮蔽材料標準作業会では、2014年から、遮蔽計算に用いるコンクリート組成を検討中である。

「放射線遮蔽計算に用いる材料組成（コンクリート編）:2025」（仮称）

【標準作成の背景】

(1) 原子炉施設や加速器施設では、遮蔽計算時に打設するコンクリート組成が決定しておらず、仮定した組成で遮蔽計算を実施する場合がある。

(2) 従来、米国のコンクリート組成データ(ANSIで引用しているANL-5800、-6443、他）などを引用してきた。

(3) 今般、国内のコンクリート成分のデータに基づいた、汎用性のある遮蔽計算用コンクリート組成を、原子力学会標準として提案することとした。

(4) さらに、想定される打設コンクリートとの間の組成の差異に対する、遮蔽透過後の線量率への影響も、参照データとして示すこととした。

遮蔽計算用コンクリート組成の標準作成進捗について

1. 標準作成の目的と概要

【標準作成の留意事項】

標準で提案するコンクリート組成を検討するにあたり・・・

①遮蔽性能が適度に保守的となる組成とする
⇒過度な保守性による建設コスト増加を防ぐ

②遮蔽の観点のみならず、コンクリート工学的な観点で妥当な組成
⇒建築学会の知見を引用した調合ケースに基づく検討
(附属書で建築学会検討成果(論文含む)を引用し、原子力学会検討のスタートラインとする)

③骨材の地域性が現れない組成とする
⇒遮蔽性能上重要な元素以外は、SiまたはCaに置き換え単純化

④現実的な水分含有率とする
⇒原子炉周りから採取したコンクリート組成データなどを参照し、長期間運転後の残留自由水を壁厚に応じて設定する方法を規定

遮蔽計算用コンクリート組成の標準作成進捗について

2. 規定組成設定とバックアップ調査

元素組成

・地域性を排除するため、元素の種類を限定(単純化)
・日本建築学会指針を基にしたコンクリート調合の検討

調合にもとづいた設定

・様々なコンクリート調合(846ケース)を参照した各元素の原子個数密度の設定

水分

・様々なコンクリート厚に対する打設後経過年数に応じたコンクリートの水分挙動解析(水分量分布)
　⇒規定組成には60年経過の水分量を採用

密度補正

・事業者等から要求される密度に応じた元素組成の補正法の確立

・規定組成ドラフト

各施設に対する放射線減衰挙動確認

・原子力施設や20MeV以下の加速器施設に対する減衰率ケーススタディの実施

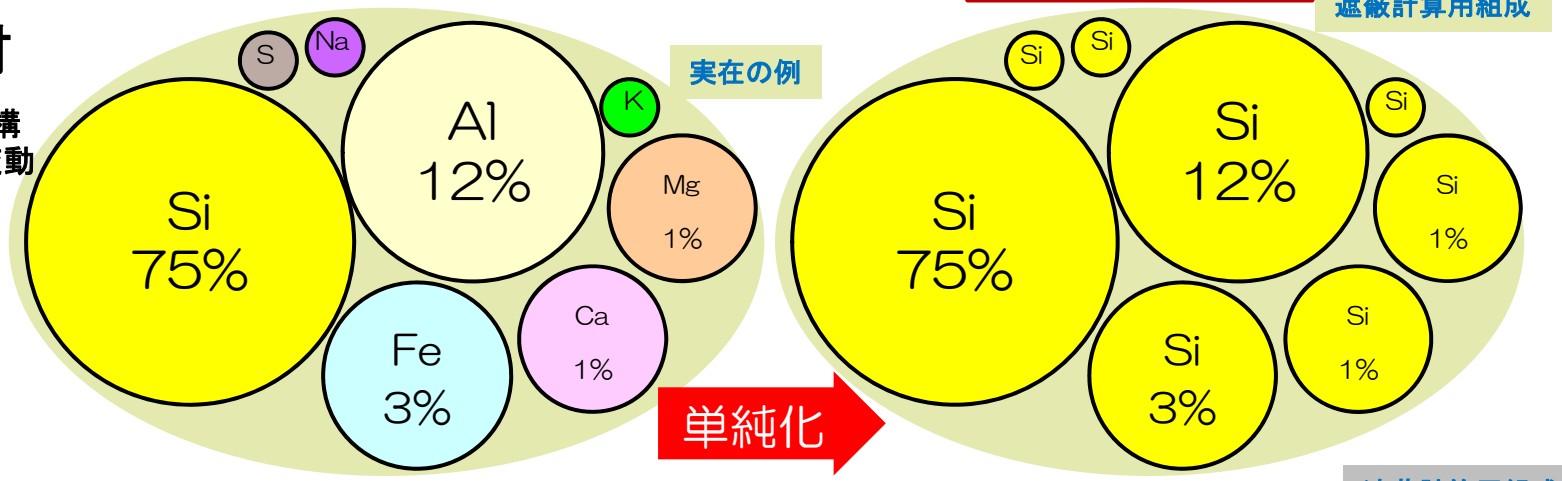
遮蔽計算用コンクリート組成の標準作成進捗について

2. 規定組成設定とバックアップ調査

石灰岩系骨材は、
Caに置換

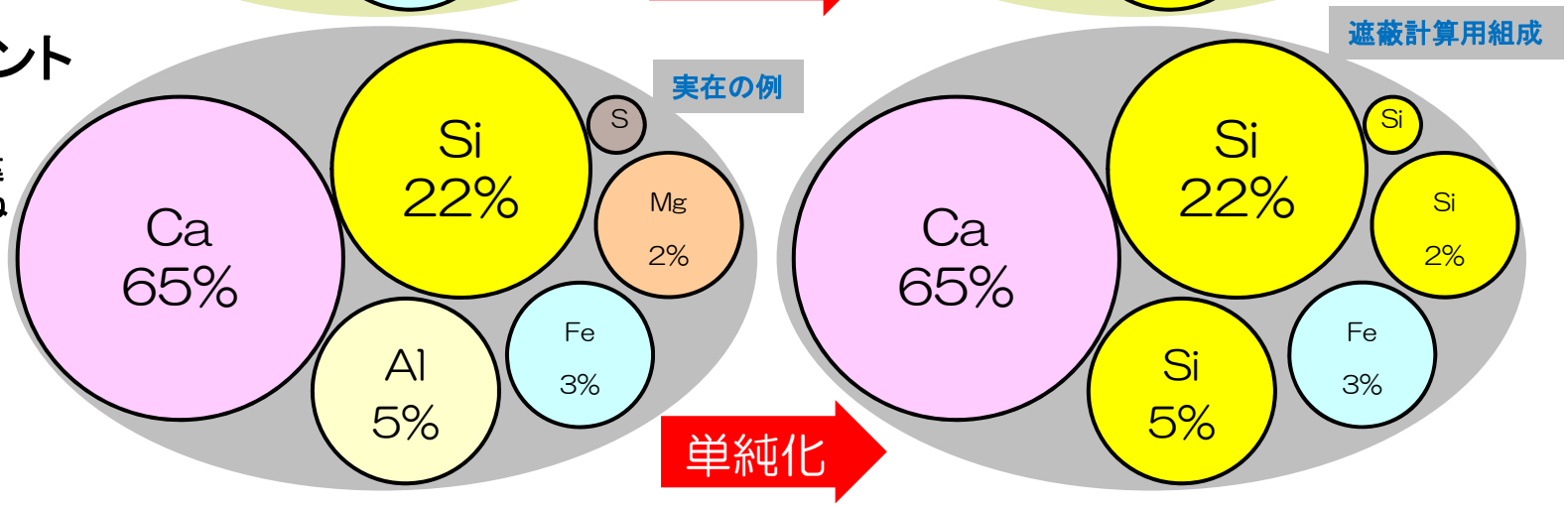
a.骨材

産地により構成比率は変動



b.セメント

セメントメーカー間で相違はあるが概ね同等



遮蔽計算用コンクリート組成の標準作成進捗について

2. 規定組成設定とバックアップ調査

規定組成（本文掲載）

(atom/cm/barn)

元素	ケイ素系コンクリート（Si 系骨材）	カルシウム系コンクリート（Ca 系骨材）
H （水素）	7.70×10^{-3}	7.70×10^{-3}
Si （シリコン）	1.77×10^{-2}	9.97×10^{-4}
Fe （鉄）	1.39×10^{-4}	1.39×10^{-4}
Ca （カルシウム）	2.79×10^{-3}	1.65×10^{-2}
C （炭素）	0	5.30×10^{-3}
O （酸素）	4.22×10^{-2}	3.31×10^{-2}
密度 （単位：g/cm^3）	2.156	2.156

遮蔽計算で使用する場合の考慮事項

①遮蔽計算段階でコンクリート組成が確定していない場合に使用するものである

②対象施設のコンクリート組成が既知、または実測値が存在する場合には、その組成を遮蔽計算に用いることもできる。

③コンクリート製造に使用する骨材が確定していない場合は、ケイ素系コンクリートの組成を用いる。

遮蔽計算用コンクリート組成の標準作成進捗について

2. 規定組成設定とバックアップ調査

建設学会データなどを主体に設定した規定組成が、これまで遮蔽設計等に使用されてきた組成と矛盾ないことを、更なるデータ調査・整理で確認した。

(1)鉄と炭素のバックチェック用データ調査

単純化から除外した遮蔽性能に影響ある鉄と炭素の規定組成での設定値は、バックチェックデータと比較すると、遮蔽能力が小さめとなるよう適度に低めに(保守的に)設定されている。

FeとCの追加調査データと規定組成採用値

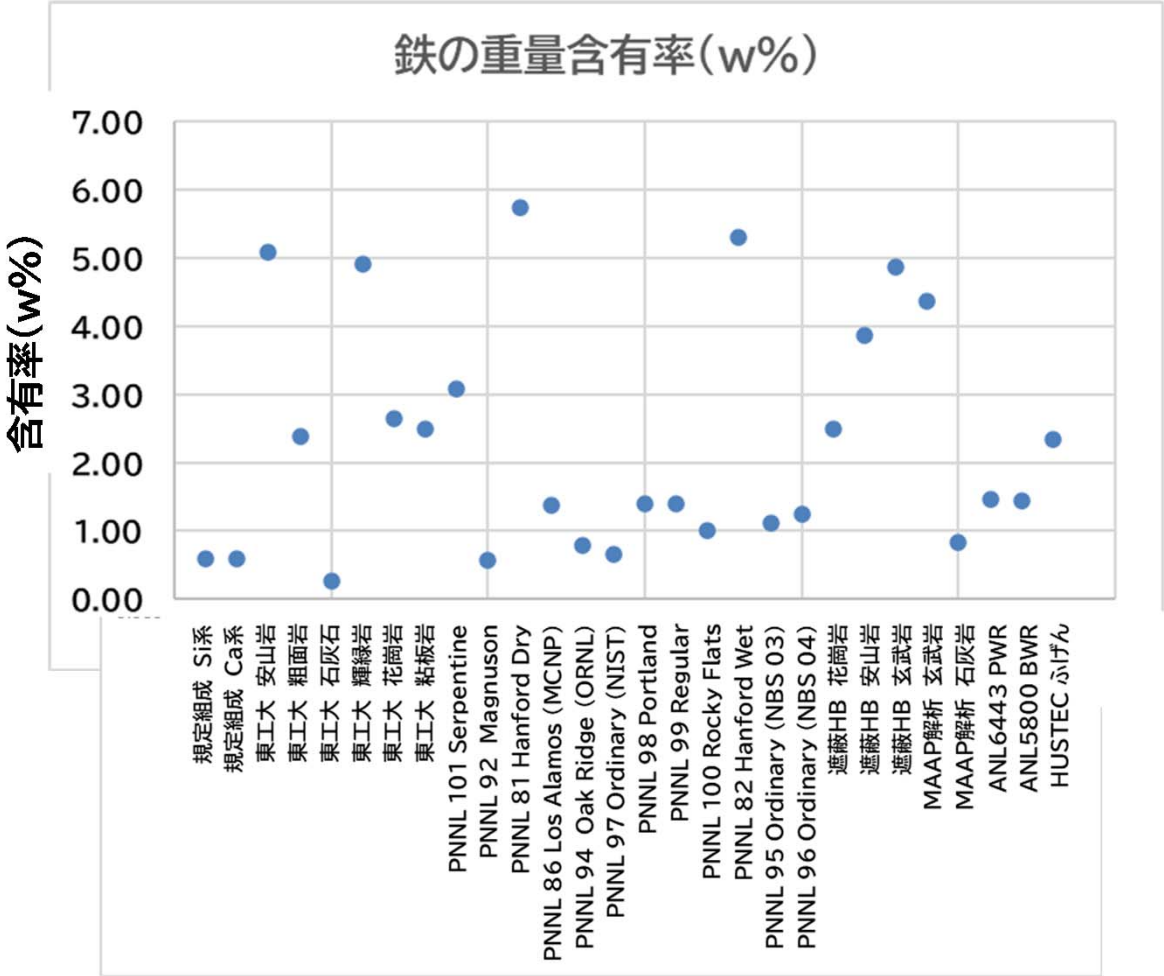
元素	調査データ	規定組成
Fe	0.560%～5.74%	0.600%
C	0.00%～17.5%	4.90%

遮蔽計算用コンクリート組成の標準作成進捗について

2. 規定組成設定とバックアップ調査

(1)鉄と炭素のバックチェックデータによる調査

a. 鉄のバックチェックデータによる整理

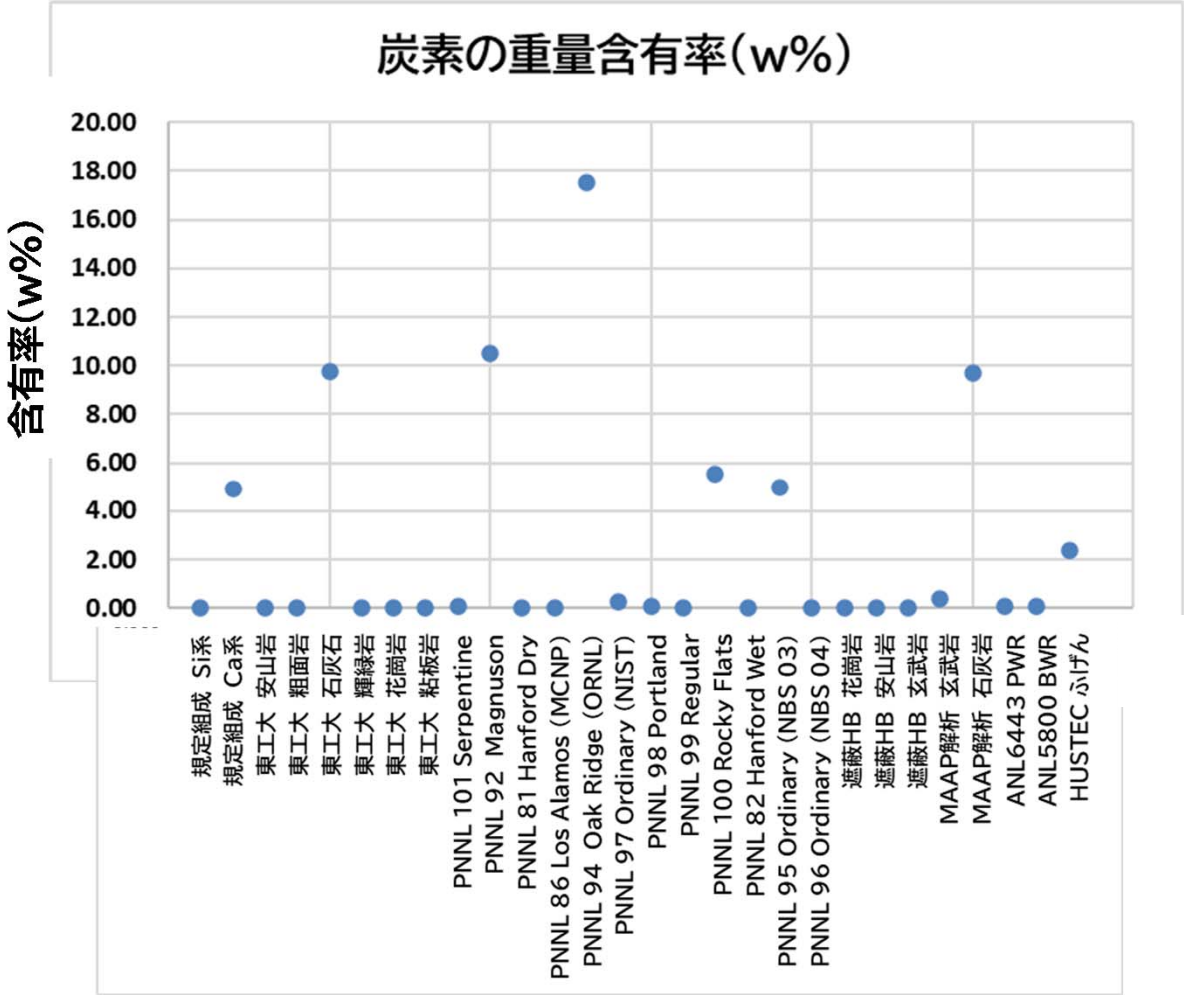


遮蔽計算用コンクリート組成の標準作成進捗について

2. 規定組成設定とバックアップ調査

(1)鉄と炭素のバックチェックデータによる調査

b. 炭素のバックチェックデータによる整理



遮蔽計算用コンクリート組成の標準作成進捗について

2. 規定組成設定とバックアップ調査

(2)主要元素のバックチェックデータ調査

主要元素は、バックチェックデータと比較すると、ほぼ同じ範囲に分布する。

規定組成2種と各種コンクリートとの元素含有率の比較表(w%)

	規定組成 Si系	規定組成 Ca系	遮蔽HB 花崗岩コンクリート	遮蔽HB 玄武岩コンクリート	東工大 安山岩コンクリート	東工大 石灰岩コンクリート	NUSTEC ふげんコンクリート
元素							
H	0.59	0.59	0.455	0.545	0.59	0.59	0.00
Si	38.3	2.16	29.364	25.000	23.92	1.41	26.70
Al			5.818	6.318	7.51	0.40	0.00
Fe	0.6	0.6	2.500	4.864	5.08	0.27	2.35
Ca	8.6	50.85	7.773	9.864	9.51	38.85	5.62
Mg			0.864	2.091	1.82	0.57	0.67
S			0.091	0.091	0.09	0.09	0.18
Na			1.864	1.909	2.35	0.04	0.13
K			2.591	1.364	1.42	0.04	0.67
C	0	4.9	0.000	0.000	0.00	9.79	0.98
O	52.02	40.8	48.227	47.091	47.23	49.23	46.00
P			0.000	0.000	0.09	0.02	0.04
Ti			0.409	0.864	0.31	0.03	0.26
Mn			0.000	0.000	0.09	0.01	0.06

遮蔽計算用コンクリート組成の標準作成進捗について

2. 規定組成設定とバックアップ調査

標準で提案するSi系骨材規定組成と、従来遮蔽計算に使用されてきたSi系骨材のANL組成の比較(原子個数密度)

(単位) atoms/barns/cm

名称	Si系組成 1,500mm厚	ANL-5800 Type-02b	ANL-6443 Type-02b
H	7.70E-03	8.56E-03	6.91E-03
Si	1.67E-02	1.48E-02	1.50E-02
Al		1.55E-03	1.57E-03
Fe	1.32E-04	3.07E-04	3.11E-04
Ca	2.64E-03	1.33E-03	1.35E-03
Mg		1.10E-04	1.12E-04
Na		8.58E-04	8.69E-04
K		4.10E-04	4.15E-04
C		1.03E-04	1.04E-04
O	4.22E-02	4.31E-02	4.27E-02
密度	2.100	2.100	2.100

(註) ・組成比率を同じ密度で比較するため水分以外の元素を比例補正し、密度は2.1g/cm^{3}に合わせた
・規定組成は、Si系、Ca系ともに、代表値であるコンクリート1,500mm厚に対応する残留自由水に対する組成

遮蔽計算用コンクリート組成の標準作成進捗について

3. 組成変動による線量率影響評価の概要

【線量率影響評価の目論見】・・・元素組成や水分の差異が影響する中性子+2次γ線や、高エネルギー光子の減衰率を対象とする。4MeV以下のγ線やX線の減衰率は、コンクリート密度依存性主体で元素組成や水分の差異の影響は小さい。

(1)典型的組成変動による線量率影響

規定組成で設定した単純化組成と、種々の元素を含む組成との間に生ずる減衰率差異の把握

・事前検討 ⇒ FeとC変動が有意である
・最終検討 ⇒ 事前検討よりFeとCを残して単純化した組成と、従来の多元素との間に生ずる減衰率差異の把握

→ **単純化組成の妥当性確認**

(2)水分変動による線量率影響(中性子＋2次γに影響)

標準では壁厚に対する自由水含有率の変動を、補正式で規定しており、水分は少なめとなる保守的設定。

⇒ 遮蔽計算で想定した壁厚より薄くなった場合などの、中性子+2次γ線減衰率に対する影響の参考データ

→ **参考データ**
遮蔽計算時の想定壁厚より薄くなった場合に参照

(3)調合変動による線量率影響(参考スタディ)

中性子遮蔽は1mを超える壁が主体で、コンクリート強度の観点から規定組成調合条件とした水セメント比50%程度が主流

⇒ 一般コンクリートに対する水セメント比変化と同等の変化があった場合の、減衰率影響の参考データ

→ **参考データ**
一般のコンクリート相当の調合変動に対する参考データ

遮蔽計算用コンクリート組成の標準作成進捗について

3. 組成変動による線量率影響評価の概要

解析で対象とする施設は、原子炉施設、20MeV以下の医療用加速器、20MeV以下の電子線形加速器とした。

①典型的組成変動

単純化組成と詳細組成での差異、Si系とCa系による差異を、全ての対象施設に対し確認、

・原子炉施設：中性子線源（中性子+2次γ）とγ線源

・20MeV以下の医療用加速器(PET陽子加速器)：中性子+2次γ

・20MeV以下の電子線形加速器：高エネルギー光子

②水分変動

水分は規定組成及び水分補正式で規定するが、遮蔽計算結果の補正データとして適用するため変動データを準備

・原子炉施設：中性子線源（中性子+2次γ）とγ線源

・20MeV以下の医療用加速器(PET陽子加速器)：中性子+2次γ

③調合変動（参考スタディ）

・原子炉施設：中性子線源（中性子+2次γ）とγ線源

・20MeV以下の医療用加速器(PET陽子加速器)：中性子+2次γ

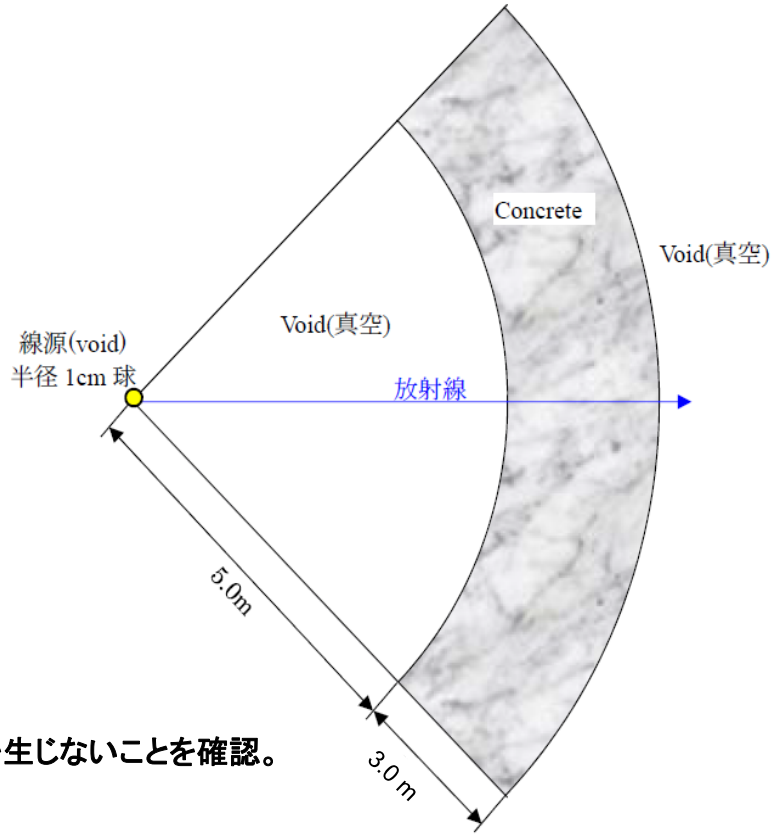
遮蔽計算用コンクリート組成の標準作成進捗について

3. 組成変動による線量率影響評価の概要

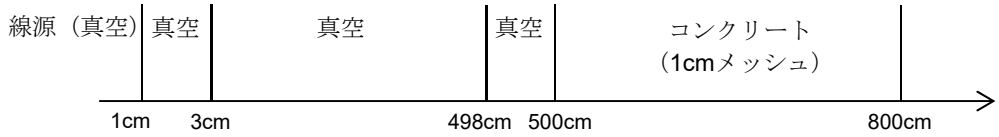
(1)解析条件

①原子炉施設

No.	項　目	条　件
1	遮蔽計算コード	ANISN（中性子線源、γ線源）
2	評価各データライブラリ	JENDL-3.3
3	ライブラリ	MATXSLIB-J33
4	評価体系	内半径5m、外半径8mの1次元球殻モデル
5	ANISNメッシュ	基本的にはコンクリート部分を1メッシュ1cmで分割
6	ANISNルジャンドル展開次数	P3
7	ANISN Sn分点数	中性子源：S8、γ線源：S32
8	ANISN境界条件	左側：反射、右側：真空（外挿距離考慮）
9	ANISN収束条件	0.001
10	中性子スペクトル	^{235}U（*1）
11	γ線スペクトル	^{60}Co、^{16}N、^{235}U核分裂スペクトル(*2)



*1：2016年に^{239}Pu、^{252}Cf、BSW透過スペクトルも実施し、^{235}Uと有意な差を生じないことを確認。
*2：2016年に^{137}Csも実施し、^{60}Coと同傾向であることを確認。

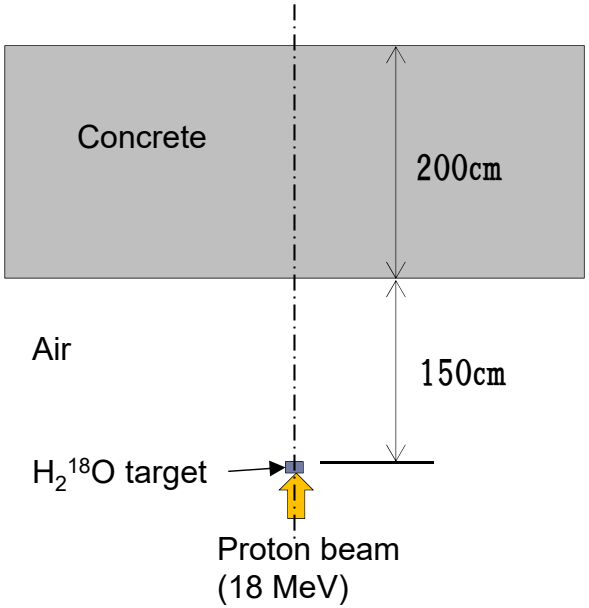


遮蔽計算用コンクリート組成の標準作成進捗について

3. 組成変動による線量率影響評価の概要

(1)解析条件

②20MeV以下の医療用加速器(陽子加速器)



計算条件

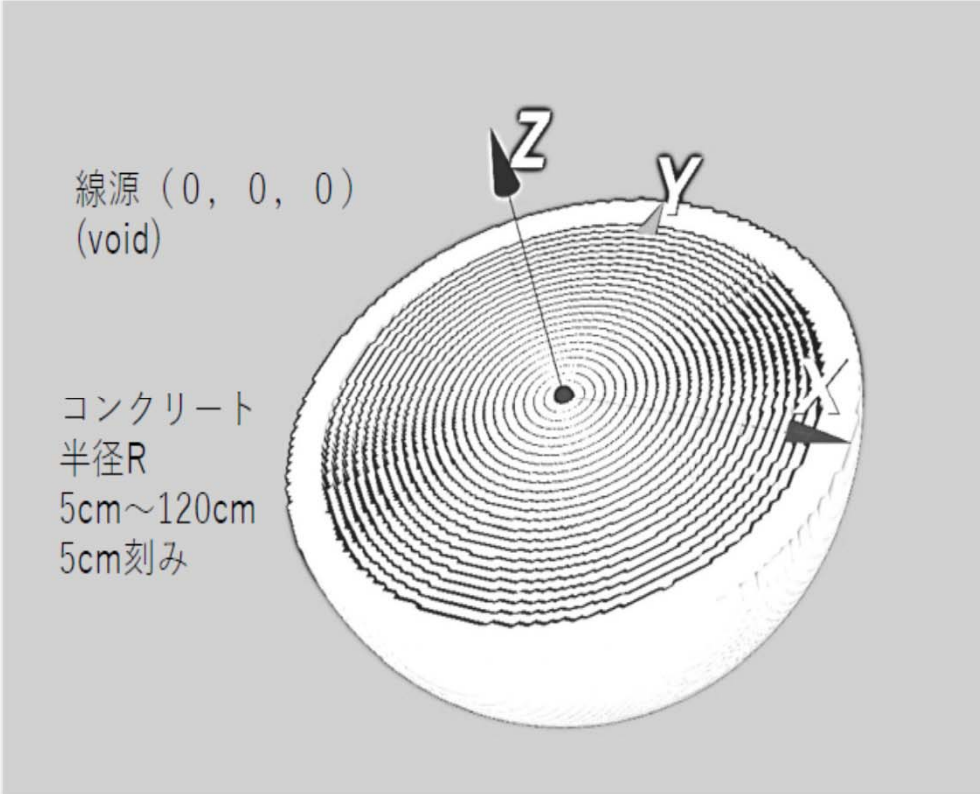
- サイクロトロン本体(容器、マグネットやコイルなど)は含めない。
- FDG用の^{18}O水ターゲット(4 mm厚)のみとし、ターゲット構造物は含めない。
- 計算は、陽子入射が取り扱える3次元モンテカルロ計算コードPHITS3.27を使用する。
- 断面積ライブラリは、JENDL-5を使用する。
- 入射陽子のエネルギーは、18 MeV単色のみのペンシルビームとする。
- コンクリート壁は、200cm厚の平板モデルであり、面サイズは400×400 cm^2程度とする。
- タリー粒子は、中性子と光子とする。ビームライン上の半径5 cmの円柱領域を5 cm厚刻みでタリーする。

遮蔽計算用コンクリート組成の標準作成進捗について

3. 組成変動による線量率影響評価の概要

(1)解析条件

③20MeV以下の光子（電子線形加速器）



・無限均質媒質（半径5－120cm球体系）

・中心に点等方線源（電子エネルギー10，12，15，17，18，20MeVでターゲットに入射した時の光子線源）

・光子線源：Wターゲット、電子入射で発生した連続スペクトル光子

・核データ

電子：03e 光子：plib(mcplib84)

中性子：20c(JENDL-5)

光核反応：20u(JENDL-5)

・評価位置：F2ターリー　各球殻のsurface

・分散低減:各CELL毎に importanceを設定

・relative erro：1%以下

光中性子の解析体系（MCNP計算）

遮蔽計算用コンクリート組成の標準作成進捗について

3. 組成変動による線量率影響評価の概要

(2)コンクリート組成条件

組成の差異による影響を表すために、HとOを固定して、密度を2.1g/cm3に補正

①典型的組成変動

(n/(cm・b))

名称	質量数	Si系組成 1500mm	Ca系組成 1500mm	ANL-5800 Type O2-b	ANL-6443 Type O2-b
H	1.00784	7.70E-03	7.70E-03	8.56E-03	6.91E-03
Si	28.084	1.67E-02	9.53E-04	1.48E-02	1.50E-02
Al	26.9715385			1.55E-03	1.57E-03
Fe	55.845	1.32E-04	1.33E-04	3.07E-04	3.11E-04
Ca	40.078	2.64E-03	1.58E-02	1.33E-03	1.35E-03
Mg	24.304			1.10E-04	1.12E-04
S	32.059				
Na	22.98976928			8.58E-04	8.69E-04
K	39.0983			4.10E-04	4.15E-04
C	12.0096		5.07E-03	1.03E-04	1.04E-04
O	15.99903	4.22E-02	3.31E-02	4.31E-02	4.27E-02
P	30.973762				
Ti	47.867				
Mn	54.938				
密度		2.100	2.100	2.100	2.100

(日本化学会2015年)

遮蔽計算用コンクリート組成の標準作成進捗について

3. 組成変動による線量率影響評価の概要

(2)コンクリート組成条件

水分変動による中性子減衰と2次γ発生の差異を表すために、HとOを固定して、密度を2.1g/cm3に補正。

②水分変動

Si系骨材 (n/(cm・b))

名称	質量数	単純化組成／壁厚(mm)				
		300	1000	1500	2000	3000
H	1.00784	5.58E-03	6.81E-03	7.70E-03	8.58E-03	1.03E-02
Si	28.084	1.73E-02	1.69E-02	1.67E-02	1.65E-02	1.60E-02
Al	26.9715385					
Fe	55.845	1.36E-04	1.33E-04	1.32E-04	1.30E-04	1.26E-04
Ca	40.078	2.72E-03	2.67E-03	2.64E-03	2.60E-03	2.53E-03
Mg	24.304					
S	32.059					
Na	22.98976928					
K	39.0983					
C	12.0096					
O	15.99903	4.11E-02	4.17E-02	4.22E-02	4.26E-02	4.35E-02
P	30.973762					
Ti	47.867					
Mn	54.938					
密度		2.100	2.100	2.100	2.100	2.100

遮蔽計算用コンクリート組成の標準作成進捗について

3. 組成変動による線量率影響評価の概要

(2)コンクリート組成条件

水分変動による中性子減衰と2次γ発生の差異を表すために、HとOを固定して、密度を2.1g/cm3に補正

②水分変動

Ca系骨材 (n/(cm・b))

名称	質量数	単純化組成／壁厚(mm)				
		300	1000	1500	2000	3000
H	1.00784	5.58E-03	6.81E-03	7.70E-03	8.58E-03	1.03E-02
Si	28.084	9.78E-04	9.63E-04	9.53E-04	9.42E-04	9.22E-04
Al	26.9715385					
Fe	55.845	1.36E-04	1.34E-04	1.33E-04	1.31E-04	1.29E-04
Ca	40.078	1.62E-02	1.59E-02	1.58E-02	1.56E-02	1.52E-02
Mg	24.304					
S	32.059					
Na	22.98976928					
K	39.0983					
C	12.0096	5.20E-03	5.12E-03	5.07E-03	5.01E-03	4.90E-03
O	15.99903	3.21E-02	3.27E-02	3.31E-02	3.36E-02	3.45E-02
P	30.973762					
Ti	47.867					
Mn	54.938					
密度		2.100	2.100	2.100	2.100	2.100

(日本化学会2015年)

遮蔽計算用コンクリート組成の標準作成進捗について

3. 組成変動による線量率影響評価の概要

(2)コンクリート組成条件

【線量率影響評価の参考データ補充】

③調合変動（参考スタディ）

基準値は、Si系骨材コンクリートの規定組成(壁厚1500mm相当の含有自由水)

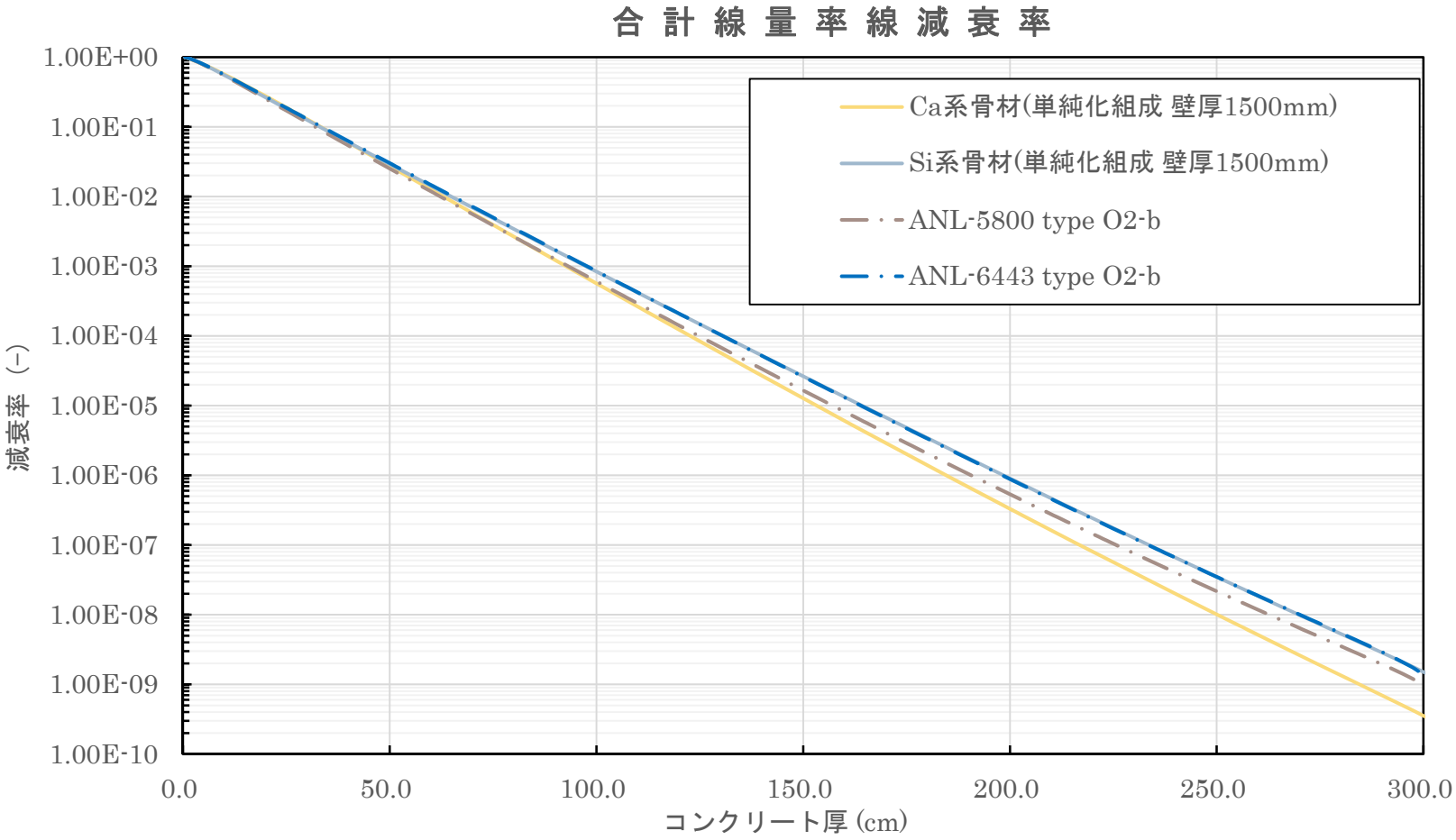
調合変動条件は、各元素が最大・最小となる場合の組成として設定

名称	質量数	壁厚1500mm水分に対する組成(n/(cm・b))										
		基準値	H		Si		Fe		Ca		O	
			最小値	最大値	最小値	最大値	最小値	最大値	最小値	最大値	最小値	最大値
H	1.00784	7.70E-03	4.85E-03	1.06E-02	1.06E-02	4.85E-03	4.85E-03	1.06E-02	4.85E-03	1.06E-02	6.51E-03	7.94E-03
Si	28.084	1.77E-02	1.96E-02	1.63E-02	1.63E-02	1.96E-02	1.96E-02	1.63E-02	1.96E-02	1.63E-02	1.79E-02	1.85E-02
Al	26.9715385											
Fe	55.845	1.39E-04	1.14E-04	2.49E-04	1.77E-04	8.76E-05	8.07E-05	2.49E-04	1.14E-04	1.77E-04	1.08E-04	1.43E-04
Ca	40.078	2.79E-03	1.73E-03	3.80E-03	3.94E-03	1.76E-03	1.80E-03	3.80E-03	1.73E-03	3.94E-03	2.41E-03	2.88E-03
Mg	24.304											
S	32.059											
Na	22.98976928											
K	39.0983											
C	12.0096											
O	15.99903	4.22E-02	4.36E-02	4.22E-02	4.21E-02	4.36E-02	4.35E-02	4.22E-02	4.36E-02	4.21E-02	4.16E-02	4.40E-02
P	30.973762											
Ti	47.867											
Mn	54.938											
密度		2.158	2.206	2.175	2.175	2.206	2.205	2.175	2.206	2.175	2.121	2.250

3. 組成変動による線量率影響評価の概要

(3)検討結果

①典型的組成変動:原子炉施設(中性子+2次γ)

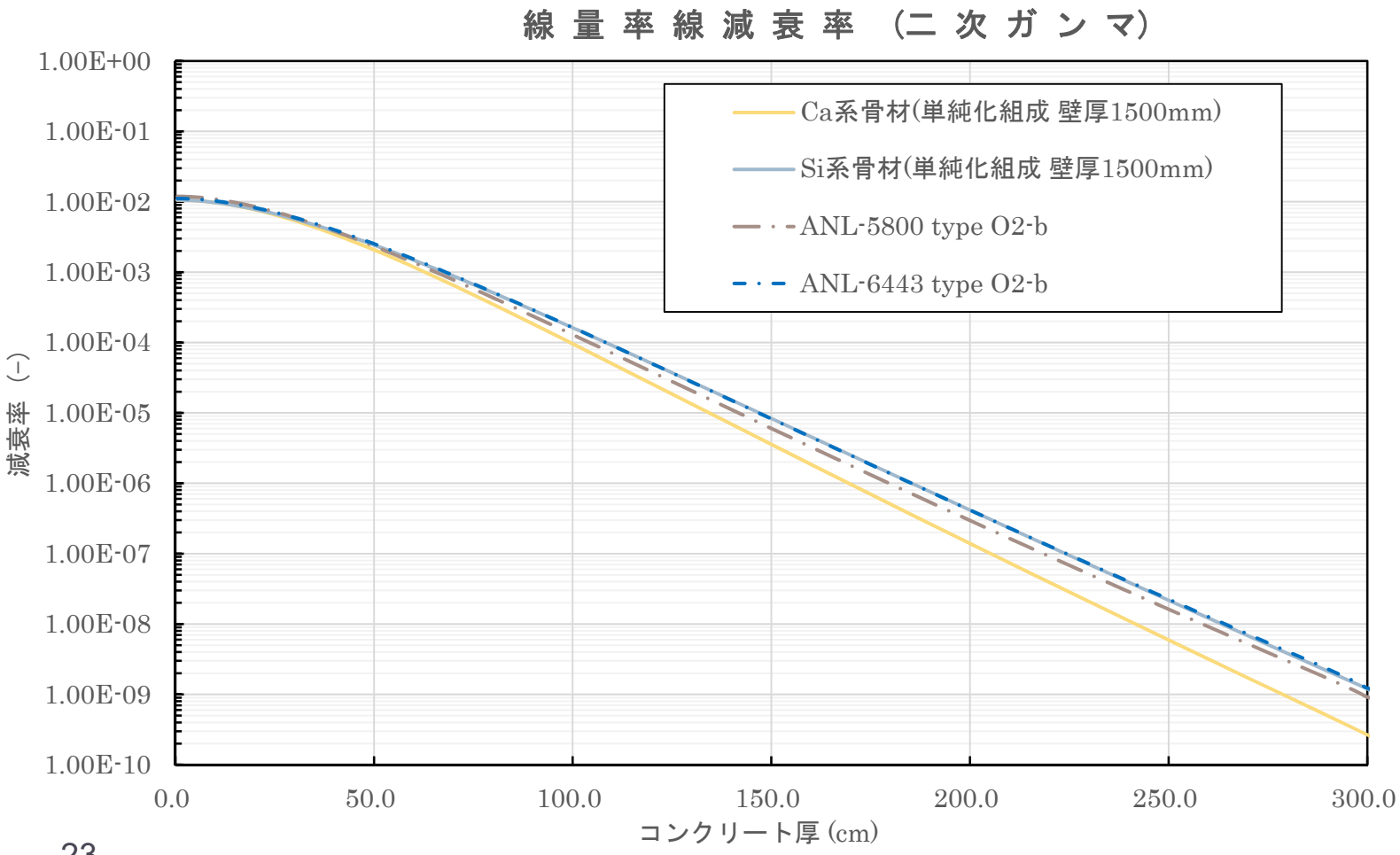


遮蔽計算用コンクリート組成の標準作成進捗について

3. 組成変動による線量率影響評価の概要

(3)検討結果

①典型的組成変動：原子炉施設(2次γのみ)

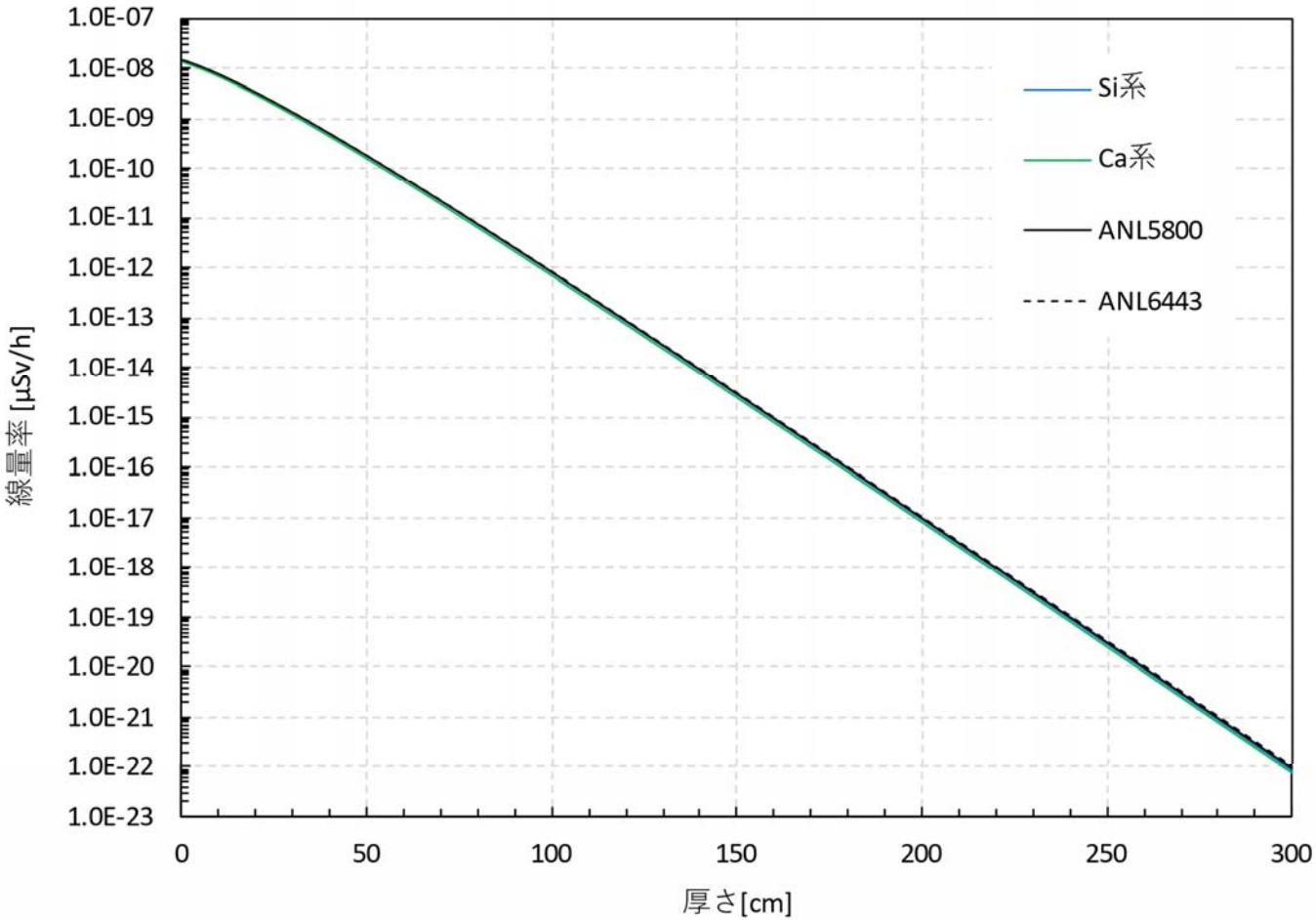


遮蔽計算用コンクリート組成の標準作成進捗について

3. 組成変動による線量率影響評価の概要

(3)検討結果

①典型的組成変動：原子炉施設(^{60}Co線源)

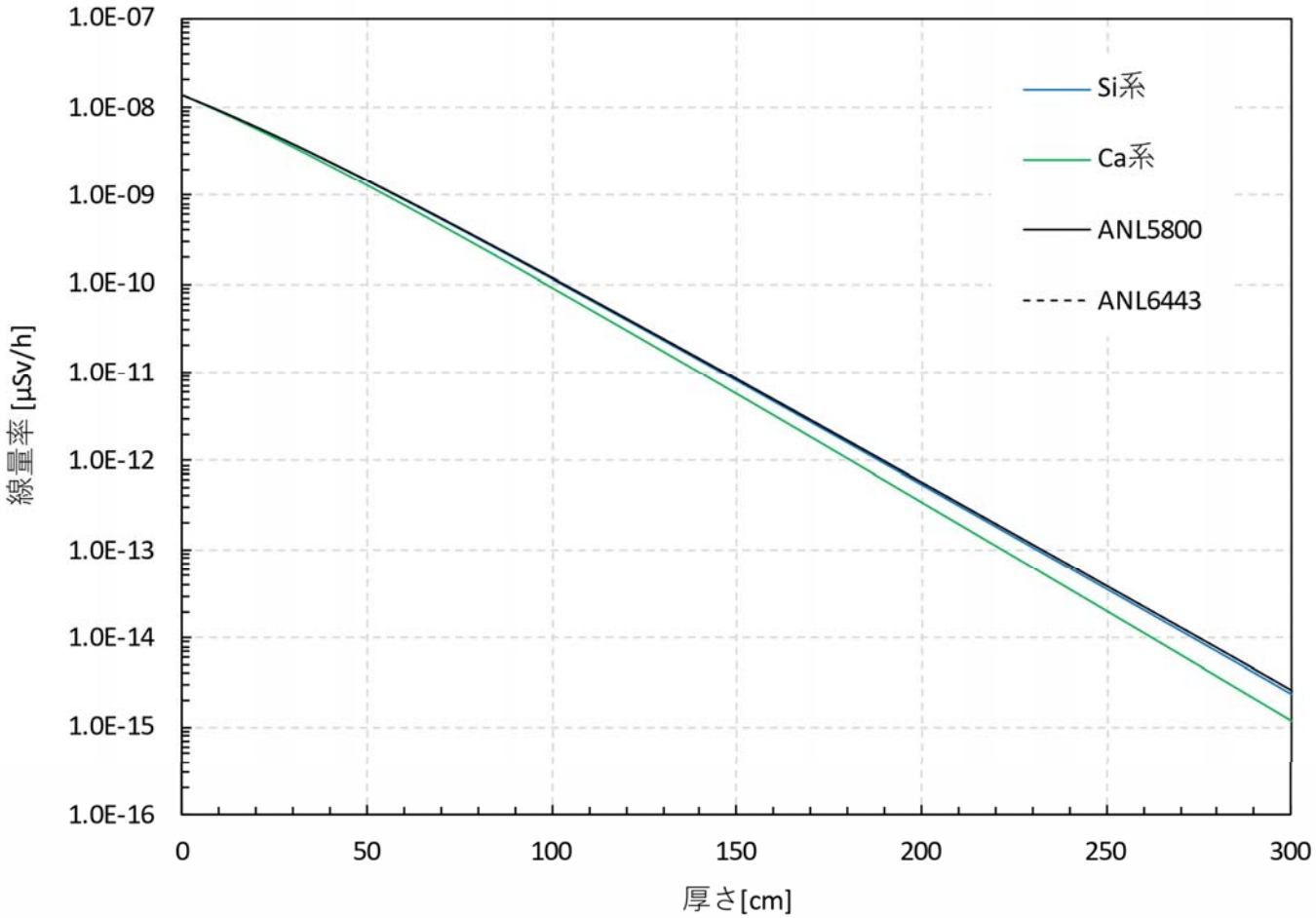


遮蔽計算用コンクリート組成の標準作成進捗について

3. 組成変動による線量率影響評価の概要

(3)検討結果

①典型的組成変動：原子炉施設(^{17}N線源)



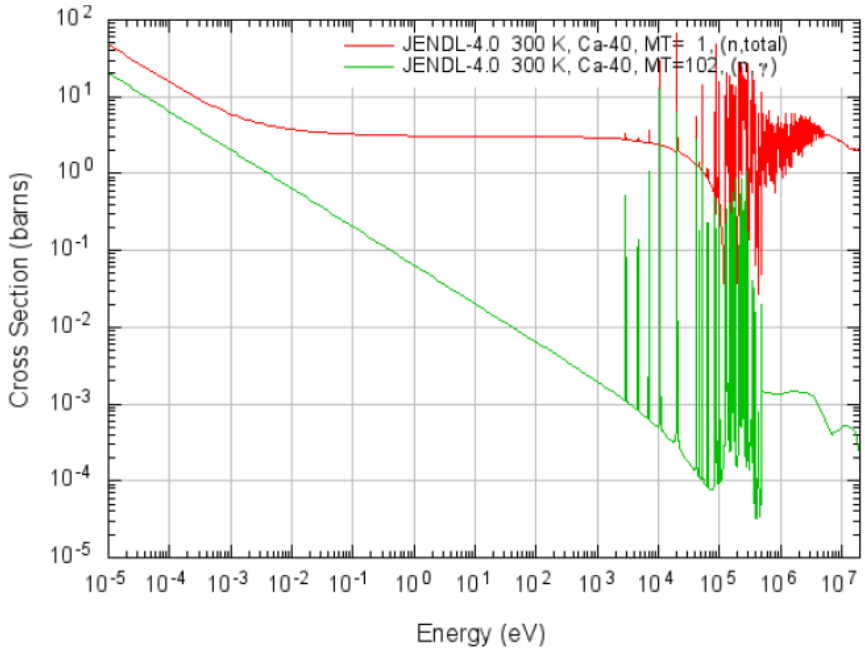
遮蔽計算用コンクリート組成の標準作成進捗について

3. 組成変動による線量率影響評価の概要

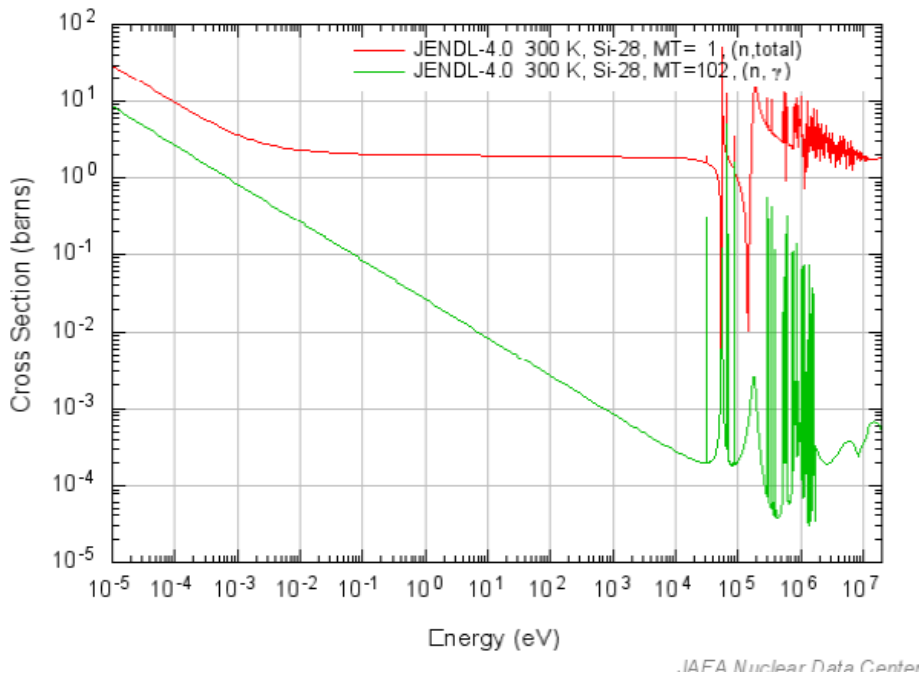
(3)検討結果

①典型的組成変動

Ca Total, (n, γ)



Si Total, (n, γ)



（JAEA-NDC Web ページから引用）

©2018 MHI Nuclear Systems And Solution Engineering Co., Ltd. All Rights Reserved.

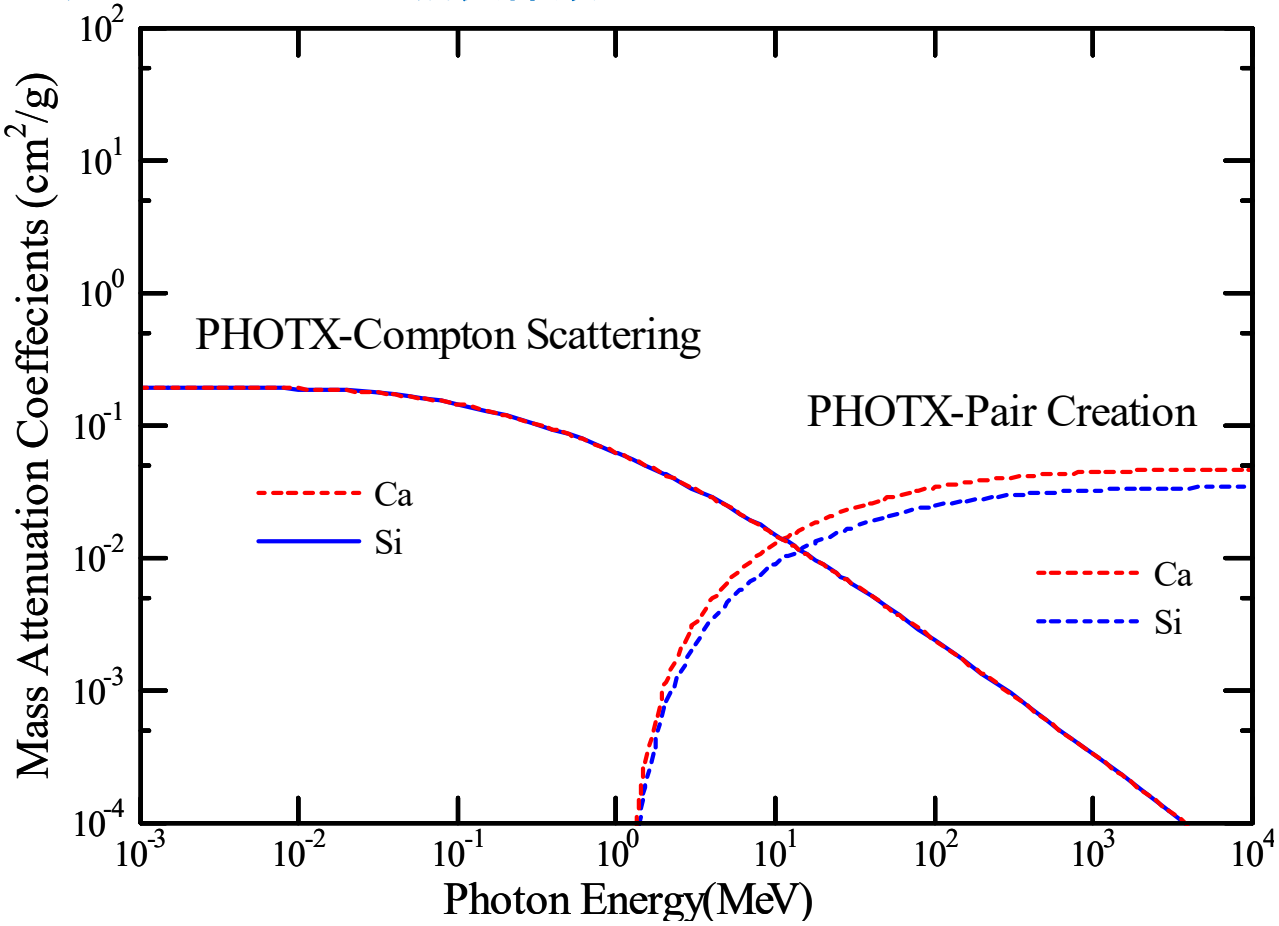
遮蔽計算用コンクリート組成の標準作成進捗について

3. 組成変動による線量率影響評価の概要

(3)検討結果

①典型的組成変動

・電子対生成によるSiとCaの減衰係数



遮蔽計算用コンクリート組成の標準作成進捗について

3. 組成変動による線量率影響評価の概要

(3)検討結果

①典型的組成変動：20MeV以下の医療用加速器

【中性子＋2次γ】

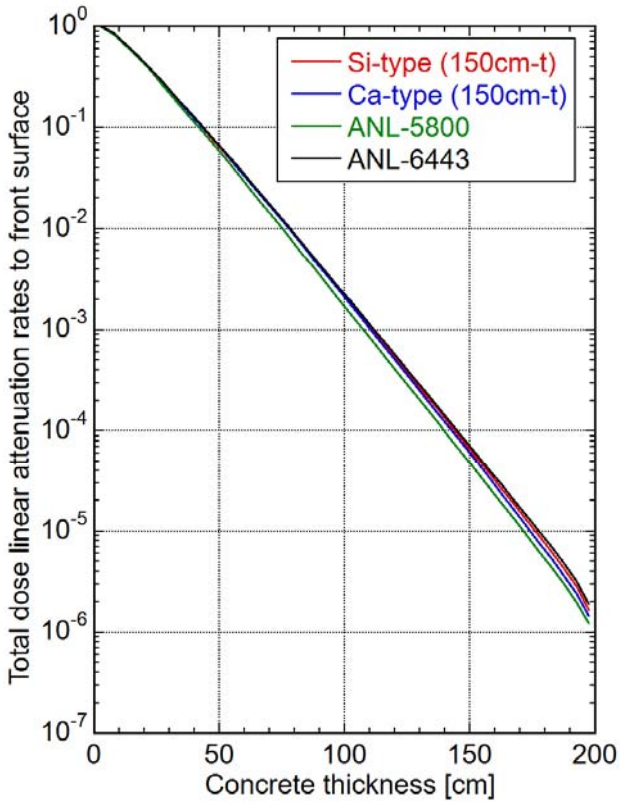


Fig. 185 Total dose linear attenuation rates to front in typical concrete walls (2.1 g/cm^3) by 18MeV protons and H_2O^{18} target.

【2次γ】

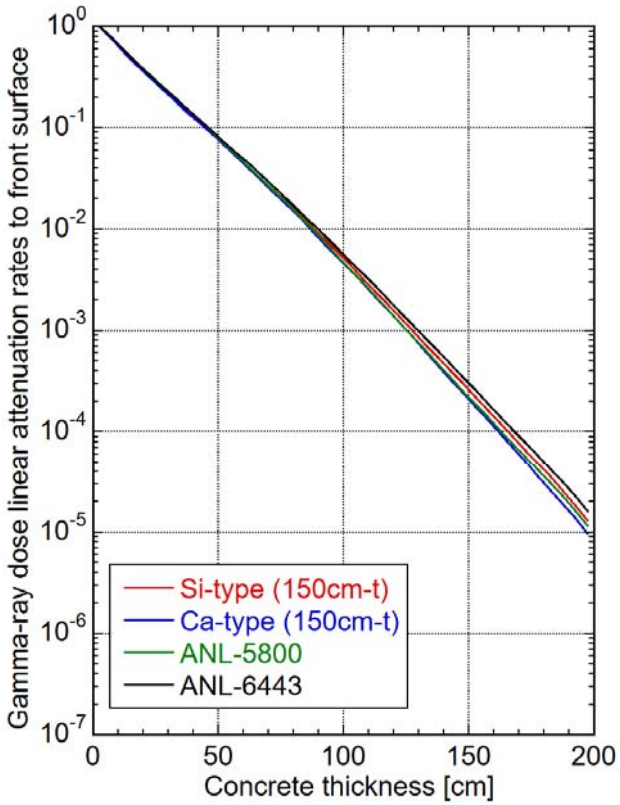


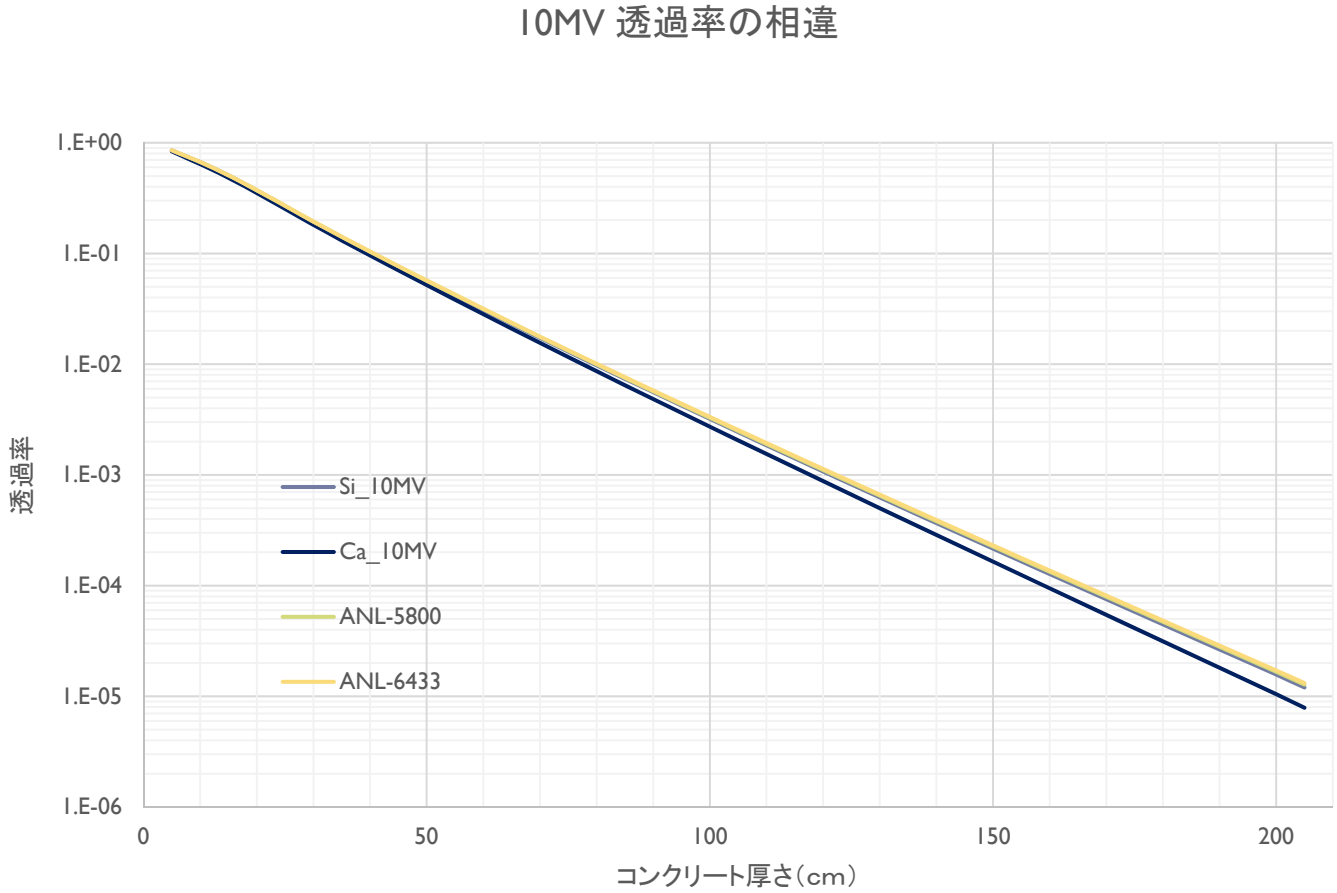
Fig. 86 Gamma-ray dose linear attenuation rates to front in typical concrete walls (2.1 g/cm^3) by 18MeV protons and H_2O^{18} target.

遮蔽計算用コンクリート組成の標準作成進捗について

3. 組成変動による線量率影響評価の概要

(3)検討結果

①典型的組成変動：20MeV以下の電子加速器(10MeV)

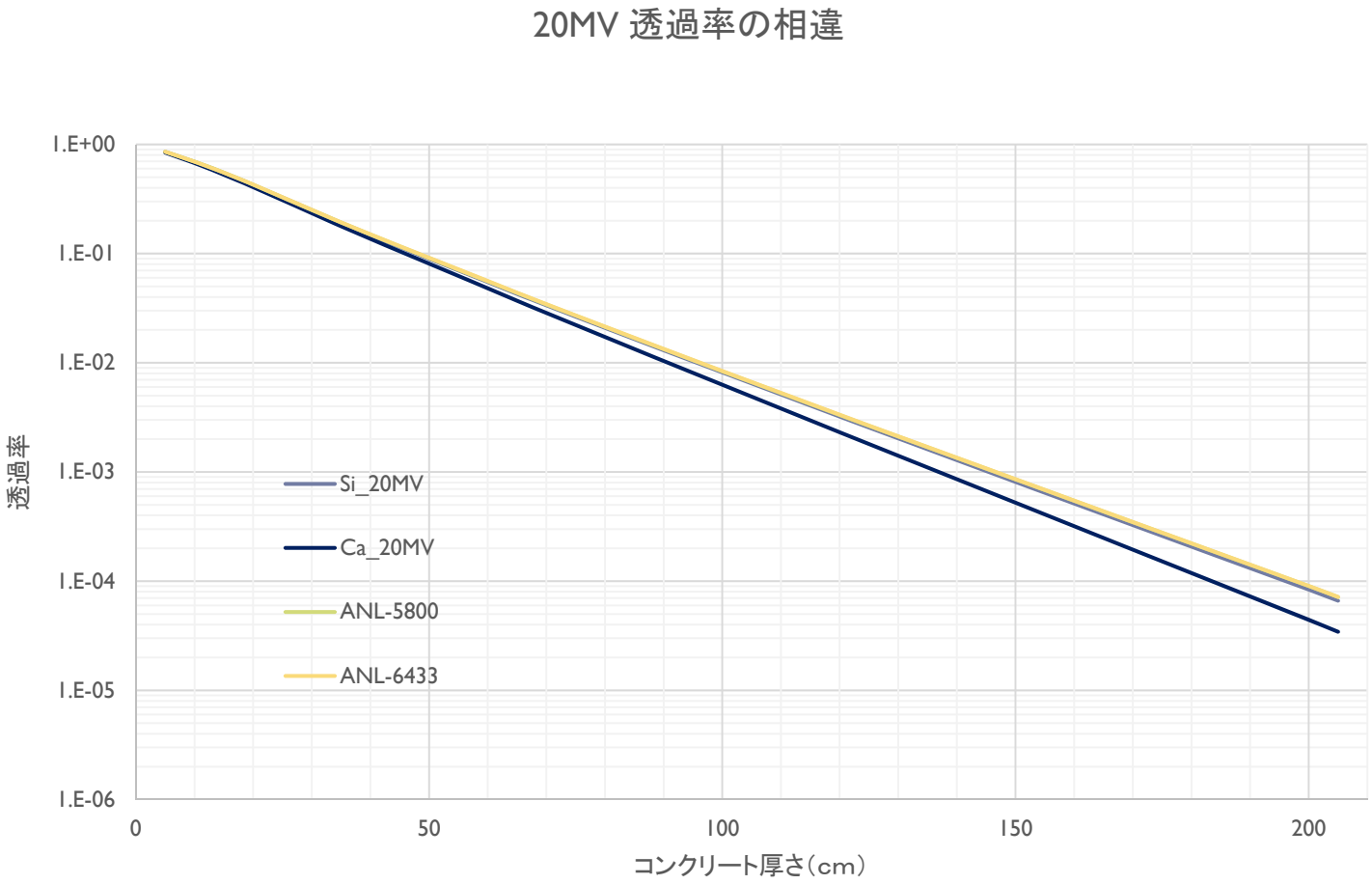


遮蔽計算用コンクリート組成の標準作成進捗について

3. 組成変動による線量率影響評価の概要

(3)検討結果

①典型的組成変動：20MeV以下の電子加速器(20MeV)



3. 組成変動による線量率影響評価の概要

(3)検討結果

①典型的組成変動

【典型的組成変動のまとめ】

◎原子炉施設及び20MeV以下の医療用加速器からの中性子+2次γについては下記の通りである。

・原子炉施設では、約6桁減衰した200cm位置で、Ca系骨材組成がSi系骨材組成及びANL-6443よりファクタ0.36低く、ANL-5800はSi系骨材組成よりファクタ0.59低い。

・20MeV以下の医療用加速器では、約4桁減衰した150cm位置で、Ca系骨材組成はSi系骨材組成及びANL-6443と同様の減衰曲線となり、ANL-5800はSi系骨材組成よりファクタ0.65低い。

・原子炉施設及び20MeV以下の医療用加速器全体として、発生中性子のエネルギーが高い20MeV以下の医療用加速器でCaの組成変動影響が現れにくいが、コンクリート組成としてはCaリッチの影響が有り、また水分影響が有意となることが分かった。

・遮蔽計算には、規定組成のうち、Si系骨材組成を用いた場合、適度に保守的な遮蔽計算となることが分かった。

3. 組成変動による線量率影響評価の概要

(3)検討結果

①典型的組成変動

【典型的組成変動のまとめ】

◎原子炉施設のγ線源と20MeV以下の電子加速器からの光子については、元素組成変動に対する減衰挙動の影響は、下記の通りと考えられる。・

・4MeV以下の光子については、線量率の減衰挙動はコンクリートの密度依存である。

・光子エネルギーが4MeVを超えると、電子対生成が増加し、原子番号が大きい元素での反応が大きくなる。電子対生成では、光子の吸収の一方、生成した電子による制動放射や消滅X線で、線量率はビルドアップするが、コンクリートの場合吸収効果の方が大きくなる。結果として主成分がCaの方が減衰が大きくなると考えられる。

・光子エネルギーがさらに高くなると、SiやCaで17MeV付近にピークを持つ光核反応が生じ、光核反応による吸収と、発生する光中性子及び2次γ線・捕獲γ線による線量率ビルドアップが生ずるが、コンクリートでは、電子対生成に比べ減衰及びビルドアップ効果の影響は小さい。

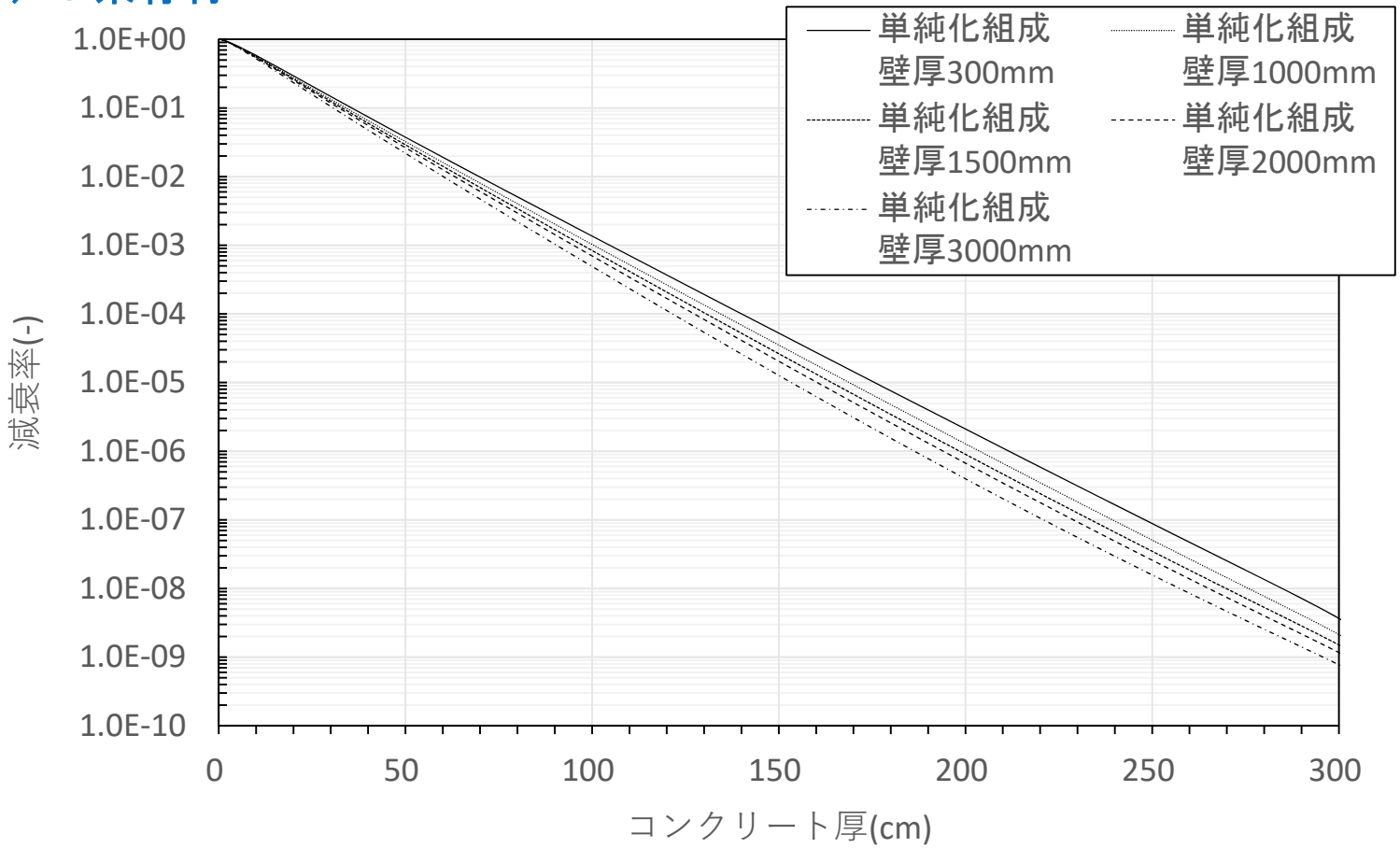
遮蔽計算用コンクリート組成の標準作成進捗について

３．組成変動による線量率影響評価の概要

(3)検討結果

②水分変動：原子炉施設 （^{235}Uからの中性子+2次γ）

ｉ） Si系骨材



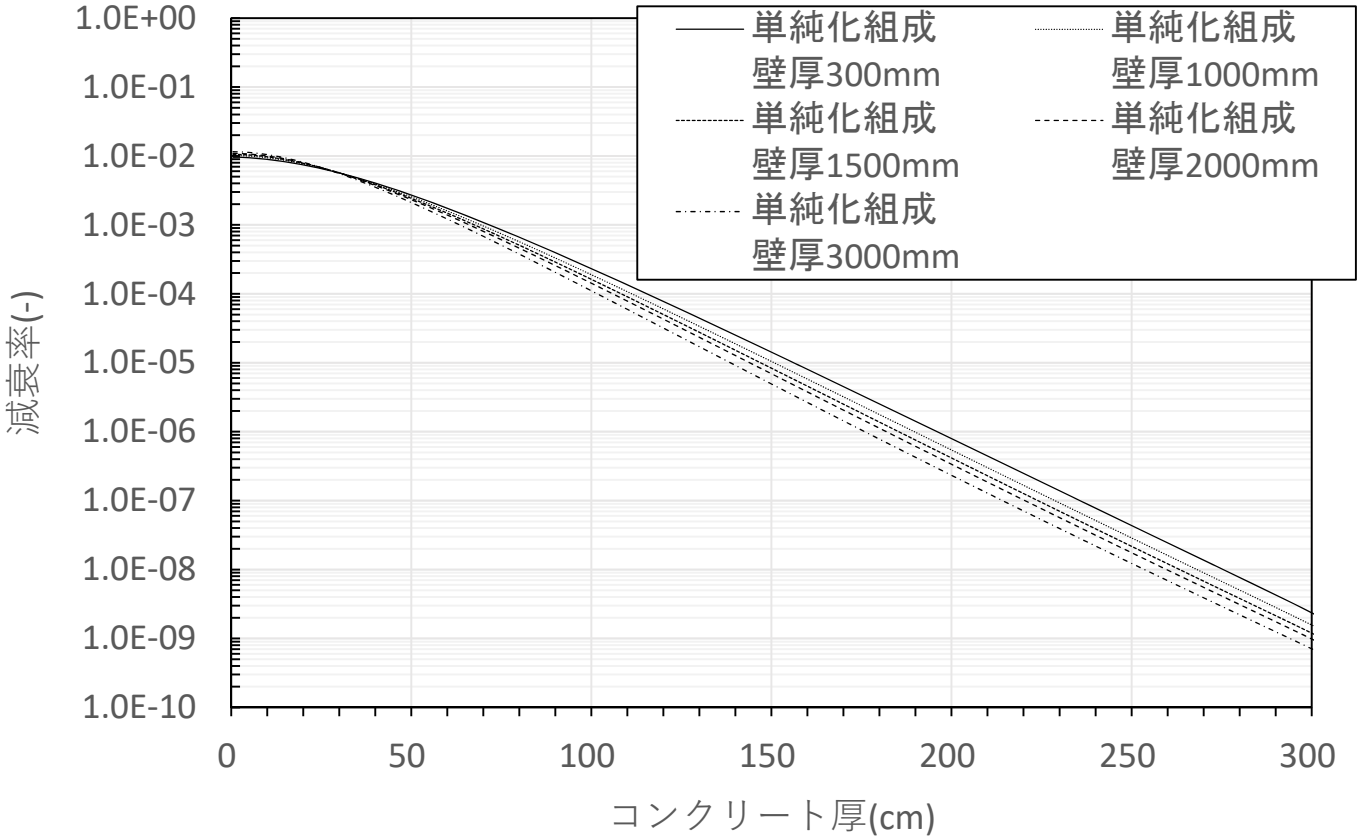
遮蔽計算用コンクリート組成の標準作成進捗について

3. 組成変動による線量率影響評価の概要

(3)検討結果

②水分変動：原子炉施設（^{235}Uからの2次γのみ）

ｉ） Si系骨材：線減衰率



遮蔽計算用コンクリート組成の標準作成進捗について

3. 組成変動による線量率影響評価の概要

(3)検討結果

②水分変動：20MeV以下の医療用加速器(中性子及び2次γ)

ｉ） Si系骨材：線減衰率

【中性子＋2次γ】

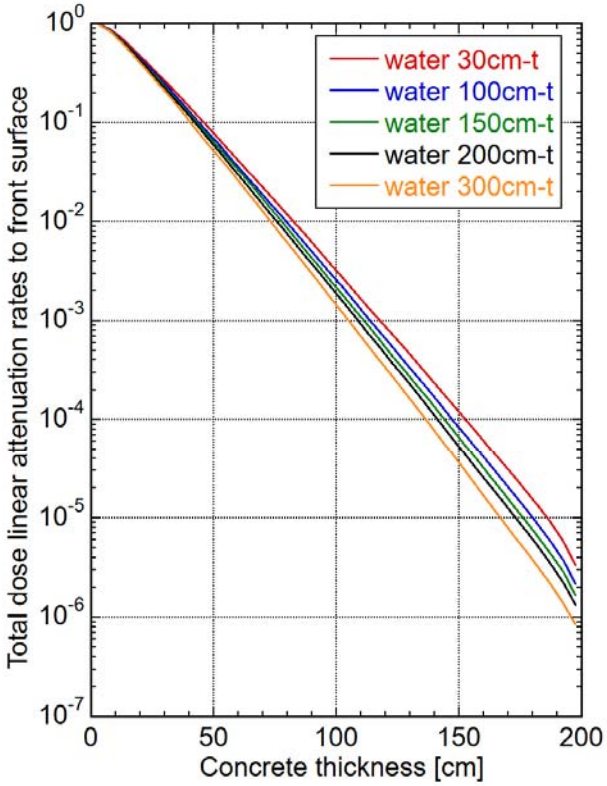


Fig. 181 Total dose linear attenuation rates to front in Si-type standard concrete wall (2.1 g/cm^3) by 18MeV protons and H_2O^{18} target.

【2次γ】

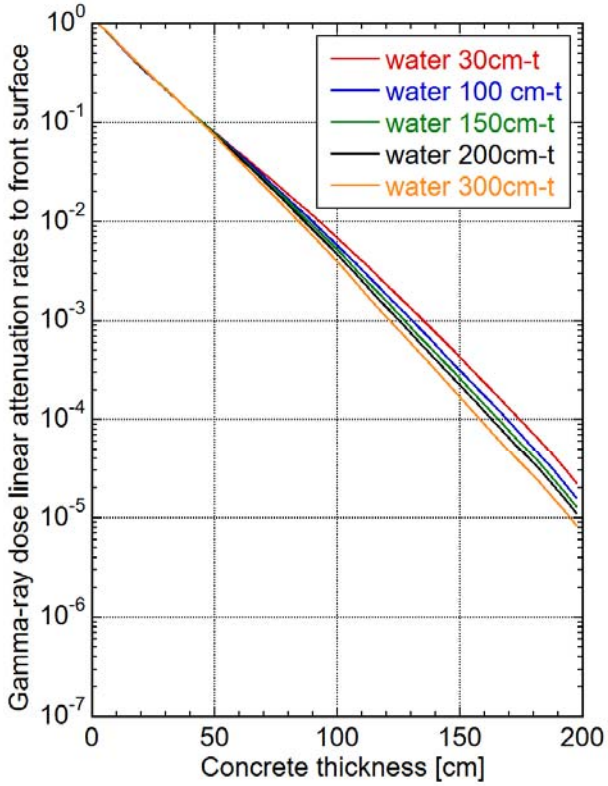


Fig. 82 Gamma-ray dose linear attenuation rates to front in Si-type standard concrete wall (2.1 g/cm^3) by 18MeV protons and H_2O^{18} target.

3. 組成変動による線量率影響評価の概要

(3)検討結果

②水分変動：まとめ

・水分変動は、対象壁厚が規定値の1500mmより有意に薄いと想定される場合は、水分補正式で水分量を補正するよう規定しているため、水分変動は遮蔽厚に影響しない。

・水分変動検討結果は、線量率への影響を示す参考値である。

・評価結果として、中性子+2次γ線量率の線減衰率は、下記及び次葉に示す変動が有った。

・水分最大値と最小値の減衰率比は、原子炉施設で約6桁減衰する200cm位置で5.3倍であった。

・水分が増加することによる、2次γ線量率の増加に起因する、減衰傾向の逆転現象は発生しなかった。

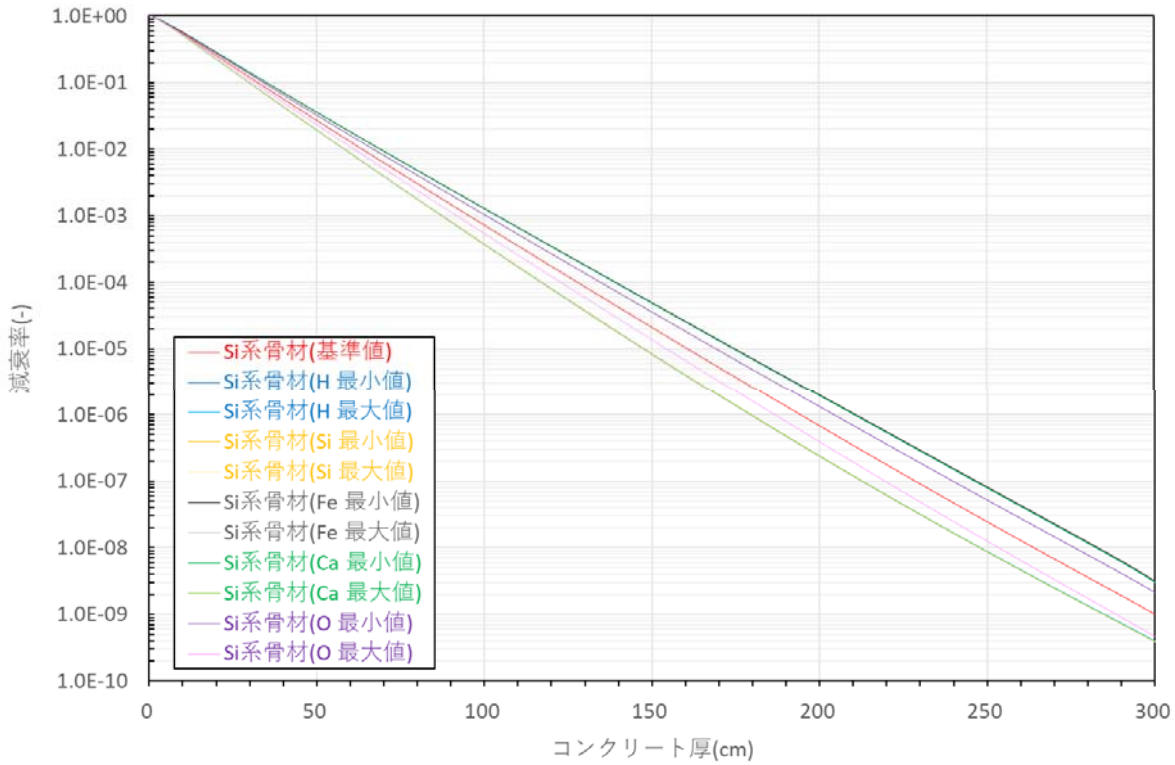
遮蔽計算用コンクリート組成の標準作成進捗について

3. 組成変動による線量率影響評価の概要

(3)検討結果

③調合変動(参考スタディ):原子炉施設 （^{235}Uからの中性子+2次γ）

水セメント比W/C、スランプ（cm）、最大骨材寸法（mm）、混和剤種類、セメント種類、骨材種類の変動を考慮。W/Cは一般のコンクリートの変動幅40-60%を設定。（中性子遮蔽などの厚い遮蔽では、W/C＝50%程度）



3. 組成変動による線量率影響評価の概要

(3)検討結果

③調合変動(参考スタディ):まとめ

①スランプ(cm)、最大骨材寸法(mm)、混和剤種類、セメント種類、骨材種類の変動は、中性子＋2次γの減衰率変動には影響しないことが分かった。

②中性子遮蔽など1mを越える遮蔽厚に対しては、コンクリート硬化時の水和熱による影響を回避するため、セメント量を少なくする調合が用いられることが多く、結果として結合水として残留するH含有率が小さくなる。

③そこで、規定組成では公開されている調合実績データも参照し、水セメント比(W/C)の代表値を50%とした。

④ここでは、参考スタディとしてW/Cを一般の建築物で用いられる40%～60%程度変動させた結果、水分変動と同様の結果となった。

⑤厚い遮蔽ではセメント量が少くW/C=50%程度であり、変動範囲は基準値近傍となる。

３．組成変動による線量率影響評価の概要

(4)組成変動による線量率影響評価の結論

①標準でデフォルト組成として提案予定のSi系骨材のコンクリート組成は、従来国内の原子炉施設などの遮蔽設計に使用されてきたANL-5800及び-6443に較べ適度に保守的な減衰率となる。（次葉にケーススタディ事例を示す）

②ANL-5800及び-6443の組成を用いた国内原子炉施設等の従来の中性子遮蔽計算結果は保守的となっており、今後の許認可時の遮蔽計算でこの標準のSi系骨材のコンクリート規定組成を用いることは、適切な保守性を有する遮蔽計算結果を与えることができると考えられる。

③一方、Ca系骨材のコンクリート組成は遮蔽計算において放射線の減衰が大きくなるが、プラント計画時に建設側でコンクリート施工時の骨材としてCa系骨材を使用することが明らかな場合は使用することができる。

④水分含有率は壁厚に対する補正式で定義しており、想定遮蔽厚を考慮した水分を設定可能としている(本文規定事項)。

⑤参考スタディとして、調合変動を検討した。水分以外の、スランプ（cm）、最大骨材寸法（mm）、混和剤種類、セメント種類、骨材種類の変動は、中性子＋2次γの減衰率変動には影響しないことが分かった。

遮蔽計算用コンクリート組成の標準作成進捗について

４．標準作成の計画

遮蔽材料標準は、以下の構成で作成中

①本文：用語の定義、規定組成(Si系骨材、Ca系骨材)、コンクリート厚に対する水分補正式、密度に対する組成補正式を規定

②附属書A(参考)：策定手順及び遮蔽計算で使用する場合の考慮事項

③附属書B(参考)：この標準の対象施設における位置付け及び適用条件

④附属書C(参考)：この標準組成の変動が放射線の透過線量率減衰に与える影響

⑤附属書D(参考)：コンクリート密度に対しての補正式の導出手順及び補正事例

⑥解説１：規定組成検討に係るデータ集

⑦解説２：組成変動による線量率変動評価に係るデータ集

⑥作成工程：以下の工程で発行予定

・2023年度末ドラフト完成し、体裁整備に着手

・2024年度中に分科会、部会、本委員会審議

・2025年度公衆審査を経て発行を目標

遮蔽計算用コンクリート組成の標準作成進捗について

4. 標準作成の計画

2023年度	2024年度						2025年度
	中間報告			最終報告			
ドラフト作成	体裁整備	分科会コメント反映	部会コメント反映	本委員会コメント反映	分科会・部会・本委員会コメント反映し決議		公衆審査コメント反映して発行

ご清聴有難う御座いました。

付録