

「令和元年度破損燃料輸送・貯蔵に係る技術調査」
安全評価項目の感度整理（遮蔽）の評価結果

三菱重工業株式会社
2020年2月4日

1. はじめに

東京電力福島第一原子力発電所において発生した燃料デブリ等の性状を把握する必要から、分析試料の輸送が想定される。

燃料デブリの分析試料に想定される量や組成、形態の不確かさが安全評価項目にどの程度の変動幅（感度）を与えるか、また、輸送容器の安全制限値に対する裕度を定量的に把握しておくために、調査及び解析を実施する。

本資料は遮蔽の観点での影響調査結果を纏めたものであり、燃料デブリ条件の変動に対して、燃料デブリ収納時の輸送容器外面の基準線量当量率（輸送容器表面 2mSv/h、輸送容器表面 1m 位置 0.1mSv/h）への適合性を確認したものである。

2. 評価条件

燃料デブリソースタームの評価条件を表 2.1 に示す。

また、輸送容器外面の線量当量率の評価条件を表 2.2~2.3 に、解析モデルを図 2.1~2.2 に示す。

燃料デブリ条件のうち、遮蔽解析の前提条件となるソースターム設定に影響が大きいと考えられる下記条件の変動に対する輸送容器外面の線量当量率を評価した。

- 燃料デブリの燃焼度（最大保守ベース、最確値ベース）
- 燃料デブリの中性子実効増倍率 XXXXXXXXXX
- 燃料デブリからの Cs の放出率（放出無し、放出率 93%）

表 2.1 燃料デブリのソースターム評価条件

項目	条件		備考
	最大保守ベース	最確値ベース	
燃料型式	9x9燃料B型(STEP3B)		
燃焼度 (GWd/t) (注1)	ピークペレット燃焼度: 75.0	炉心平均値: 23.1	2号炉心情報より (注2, 3)
中性子 実効増倍率			
Cs放出率(%)	(1) 0%(放出無し) (2) 93%		外部放射線(γ線)に寄与の大きいCsの放出率をパラメータとして考慮
構造材の考慮	考慮しない		
初期濃縮度 (wt%)	燃料型式の平均値: 3.7* ※: STEP3燃料の初期濃縮度		2号炉心情報より (注3)
比出力(MW/t) ※事故時点の 値	炉心平均値: 25.3* ※: 2号炉心比出力=2号炉心熱出力2381MW/2号炉心U重量 94t=25.3MW/tにて設定		2号炉心情報より (注3)
ボイド率(%)	炉心平均値: 40%* [Redacted]		左記に対応する ORIGEN2ライブラリ を適用する
冷却期間(年)	10年		
計算コード/ ライブラリ	ORIGEN2.2UPJ*1 断面積ライブラリ: BS340J33*2 [Redacted] ※1: ORIGEN2の最新バージョン ※2: JENDL-3.3に基づくBWR STEP3燃料/ボイド率40%に対応するライブラリ [Redacted]		許認可説明性を考慮し 最新バージョンを適用 する

(注 1) 定検による炉停止期間を考慮せず連続照射とする (保守側設定)

(注 2) 東芝文献「沸騰水型原子力発電所 9×9 燃料について」(TLR-057 改訂 2) より

(注 3) JAEA 文献「福島第一原子力発電所の燃料組成評価」(JAEA-Data/Code2012-018) より

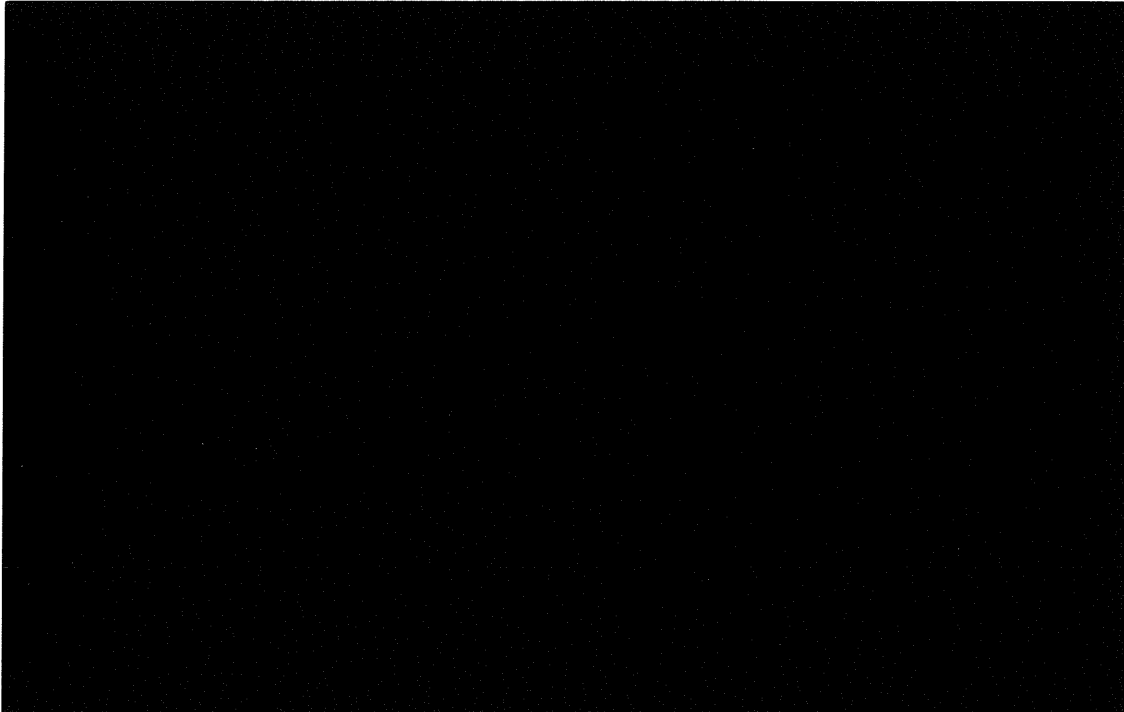
[Redacted] 内は商業機密のため、非公開とします。

表2.2 輸送容器の線量当量率評価条件

評価条件	条件	備考
計算コード	MCNP5 Ver.1.60	
断面積	中性子 : FSXLIB-J33 ^{※1} ガンマ線 : mcplib84 ^{※2} ※1 : JENDL-3.3に基づく断面積ライブラリ ※2 : EPDL97に基づく断面積ライブラリ	
解析モデル	図2.1	輸送容器(NFI-XB)の構造に基づきモデル化
燃料デブリソースターム	表2.1	2種類のソースターム ・最大保守ベース ・最確値ベース
Tally		
燃料デブリ重量	現実的な量 : 100g 最大収納量 : 3kg	単位重量当たり (1g) で解析し、 収納可能量を評価する
物性値	表2.3 (※) ステンレス鋼はSUS304と仮定。なお、密度は小数点第二位を保守的に切り下げ	輸送容器の構造材より設定
線量換算係数	ICRP Pub.74 1cm 線量当量率	

内は商業機密のため、非公開とします。

表2.3 輸送容器の物性値 (注1)



内は商業機密のため、非公開とします。

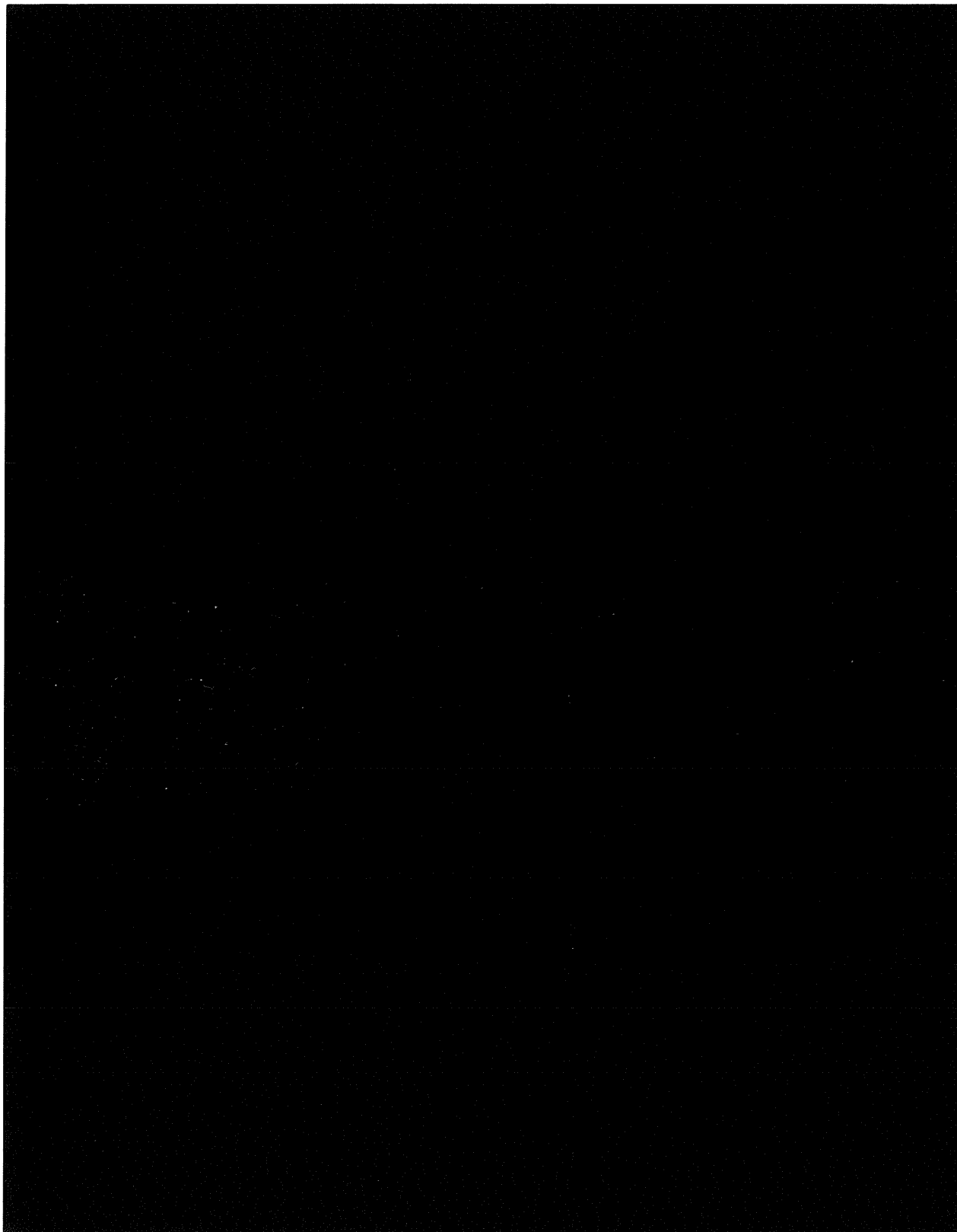


図2.1 輸送容器 解析モデル

内は商業機密のため、非公開とします。

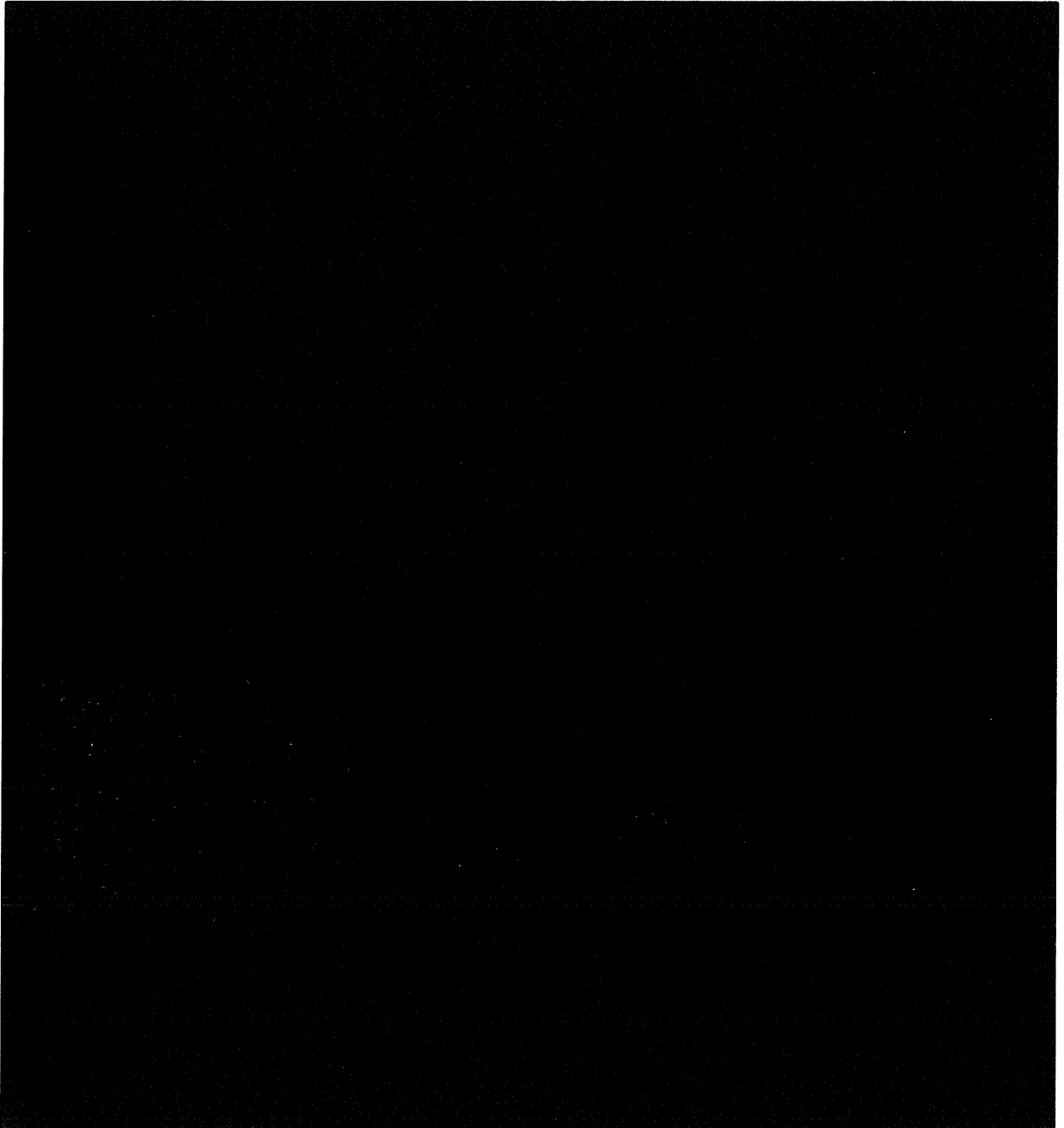


図2.2 輸送容器 解析モデル 評価点位置

内は商業機密のため、非公開とします。

3. 評価結果

2章に基づく評価ケースを表 3.1 に示す。

各評価ケースにおける輸送容器外面の基準線量当量率（輸送容器表面：2mSv/h、輸送容器表面 1m 位置：0.1mSv/h）を満足する燃料デブリ収納可能量を表 3.2 に示す。

表 3.2 に示すとおり、燃料デブリサンプル時の現実的な重量：100g は最大保守条件(ケース 2)でも基準線量当量率の観点からは収納可能である。

なお、実効増倍率を現実的な条件に緩和すると収納可能量が大幅に増加し、Cs 放出率の考慮有(ケース 5)では 3kg 以上を収納可能となる。要因としては、実効増倍率の条件緩和によりガンマ線の寄与が大きくなり、Cs 放出率の影響が増加するためである。

表 3.1 評価ケースと評価条件整理

評価 ケース	燃焼度 (GWd/t)	中性子 実効増倍率	Cs 放出率	備考
1 (注 1)	23.1		—	
2	75		—	最大保守条件
3	75		考慮	
4	75		—	
5	75		考慮	

(注 1) ケース 1 (最確値ベースの燃焼度設定) においては、燃料デブリ取出し計画における最大収納量 3kg を収納可能 (基準線量当量率以下) であるため、緩和条件 (実効増倍率：■ Cs 放出率考慮) による解析は実施しない。

表 3.2 各評価ケースの燃料デブリ収納性評価結果

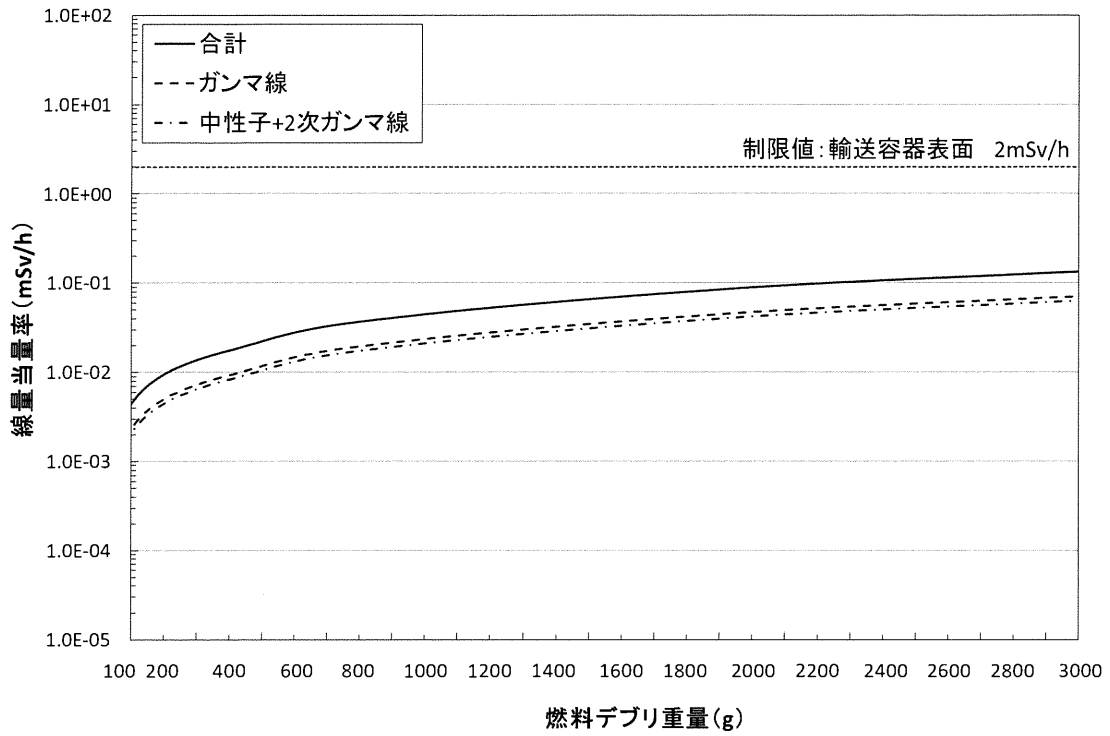
評価 ケース	収納可能量	輸送容器収納性		備考
		燃料デブリ重量 100 g (注 1)	燃料デブリ重量 3kg (注 2)	
1	>3kg	○	○	図 3.1 参照
2	約 300g	○	×	図 3.2 参照
3	約 300g	○	×	図 3.3 参照
4	約 2600g	○	×	図 3.4 参照
5	>3kg	○	○	図 3.5 参照

(注 1) 燃料デブリサンプル時における現実的な重量

(注 2) 燃料デブリ取出し計画における最大重量

□ 内は商業機密のため、非公開とします。

(輸送容器表面)



↑↓より、収納可能量：>3kg

(輸送容器表面 1m 位置)

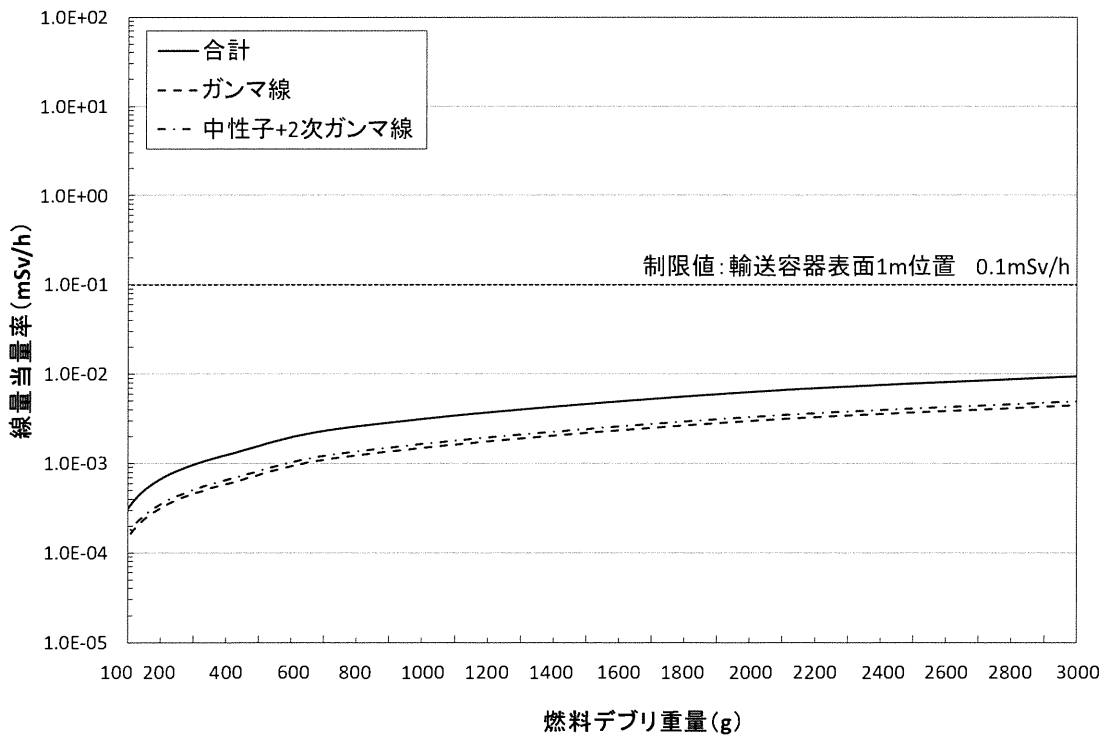
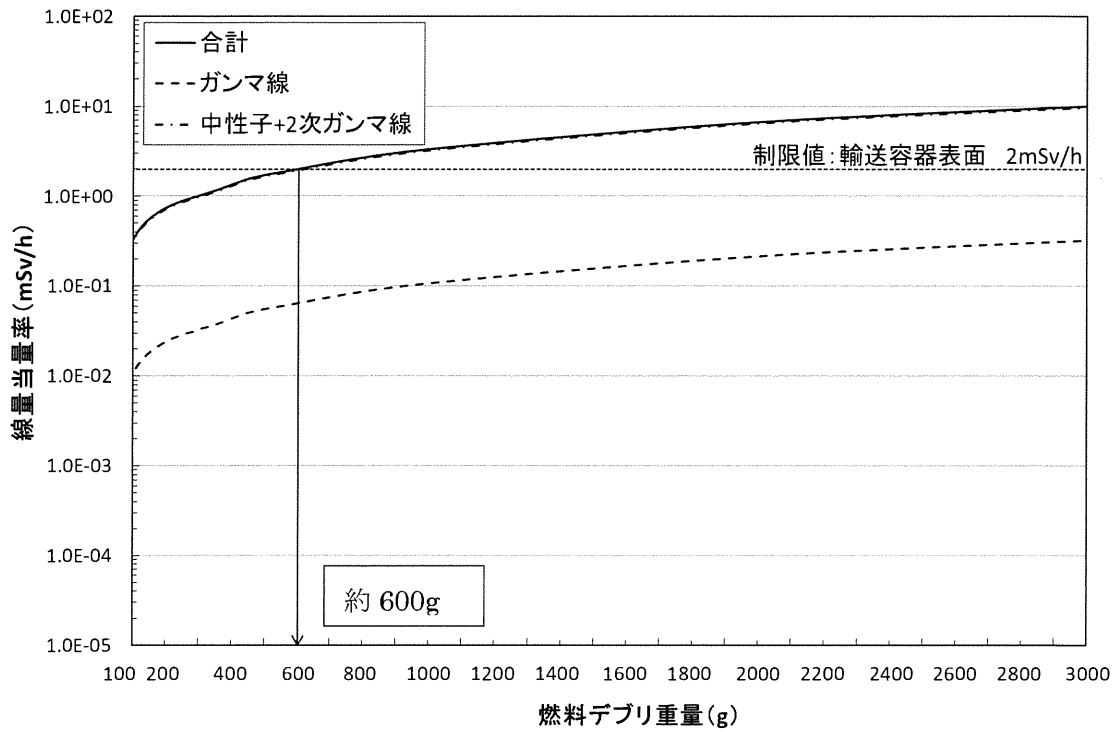


図 3.1 輸送容器に収納する燃料デブリ重量に応じた線量当量率結果 (ケース 1)

(輸送容器表面)



↑ ↓ より、収納可能量: 約 300g

(輸送容器表面から 1m 位置)

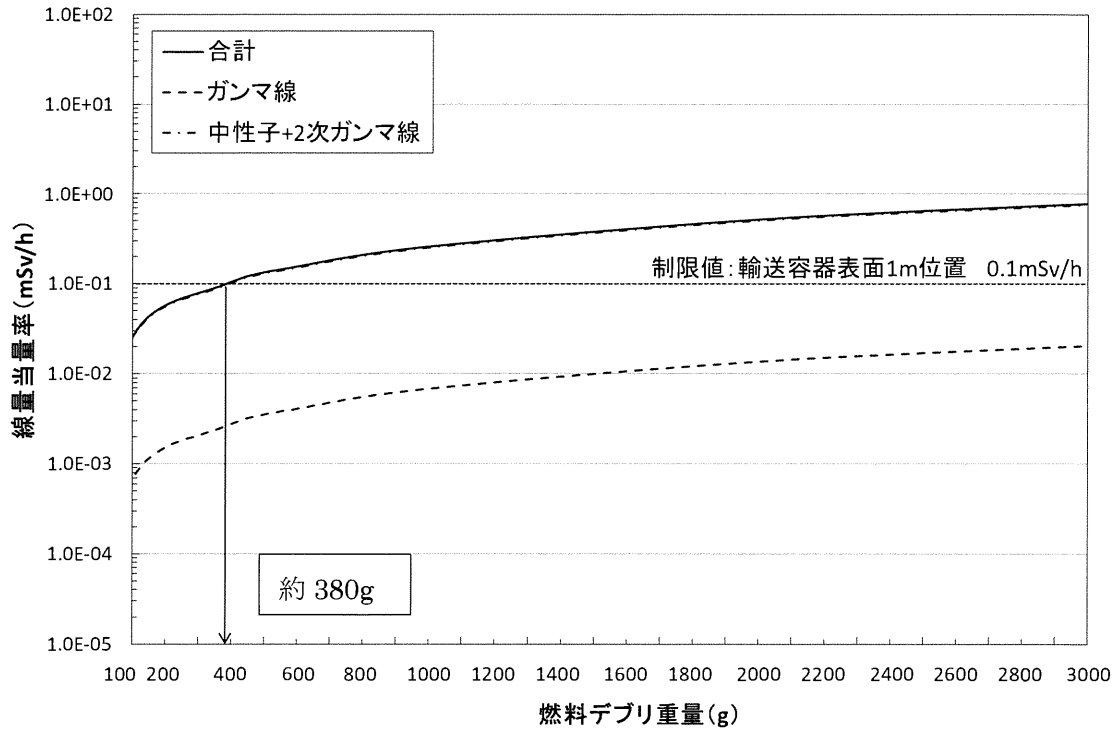
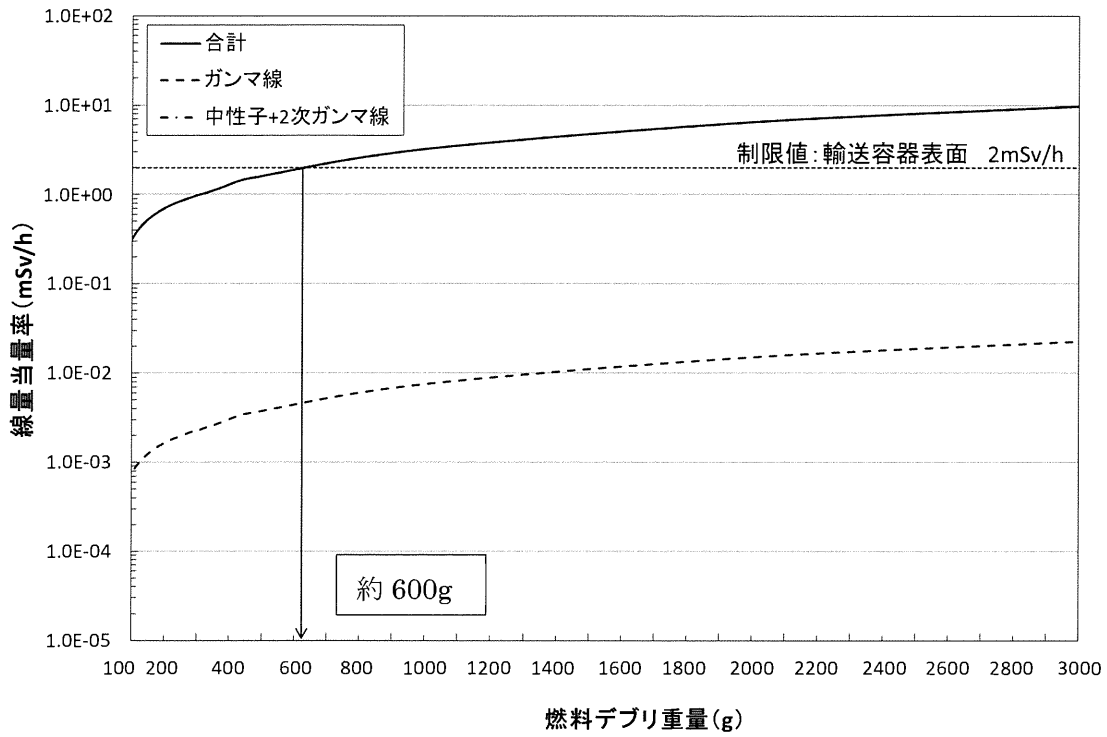


図 3.2 輸送容器に収納する燃料デブリ重量に応じた線量当量率結果 (ケース 2)

(輸送容器表面)



↑ ↓より、収納可能量：約 300g

(輸送容器表面から 1m 位置)

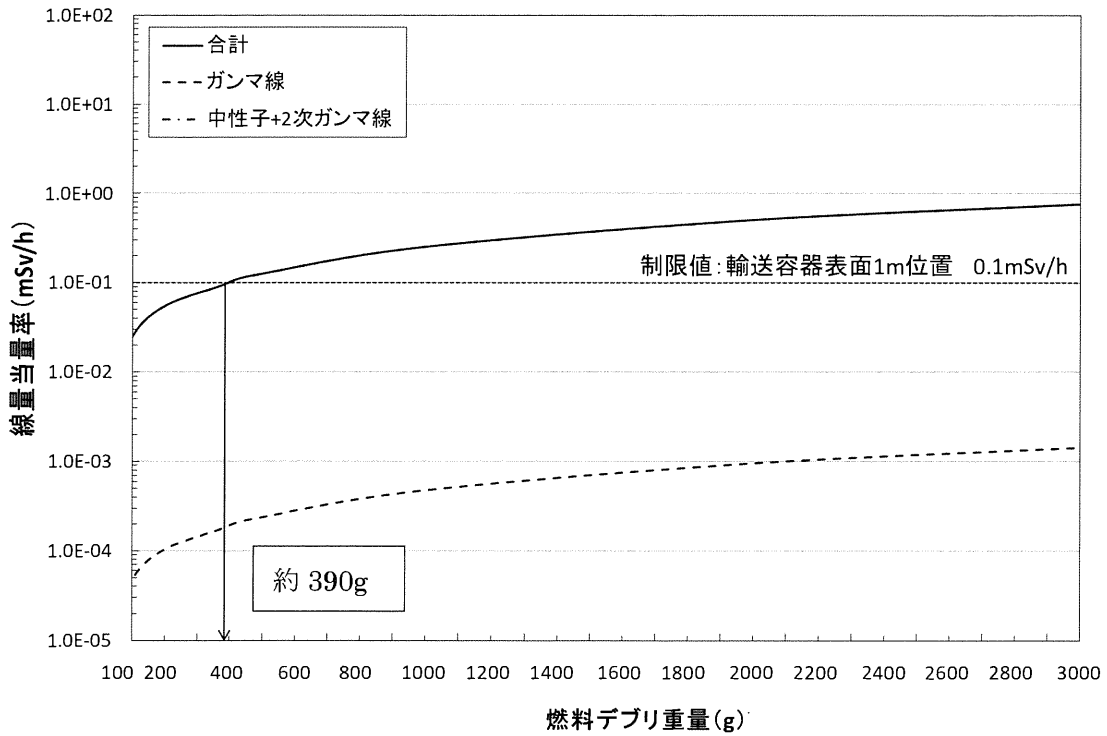
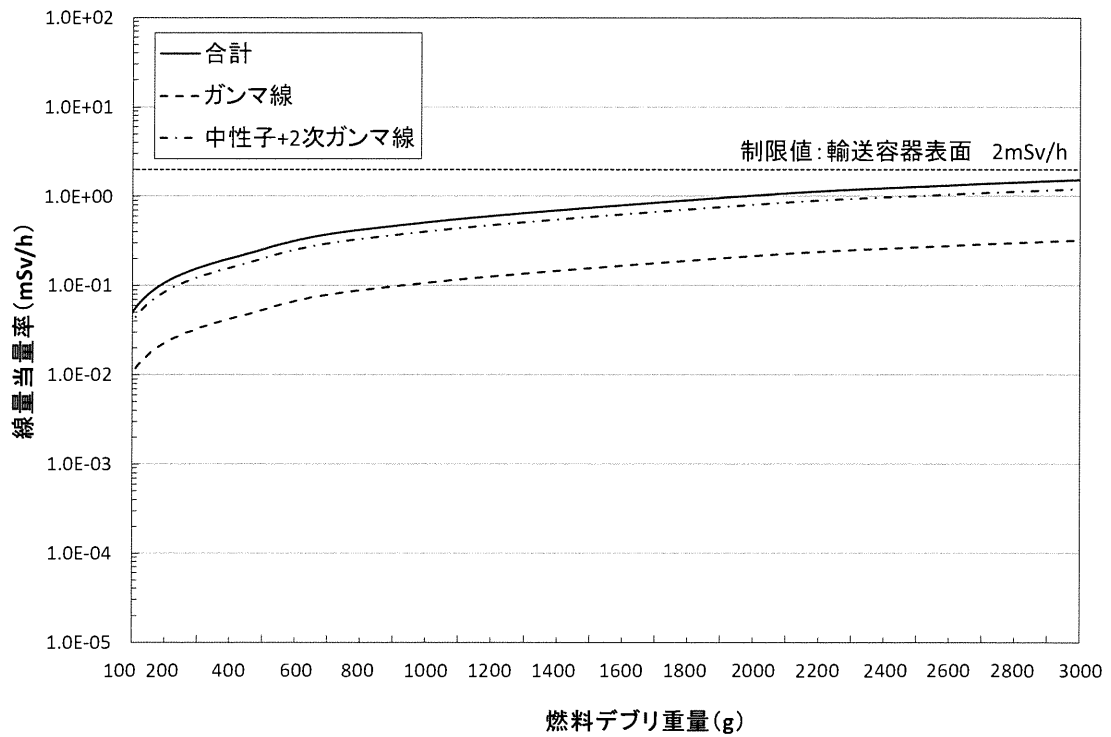


図 3.3 輸送容器に収納する燃料デブリ重量に応じた線量当量率結果 (ケース 3)

(輸送容器表面)



(輸送容器表面から 1m 位置)

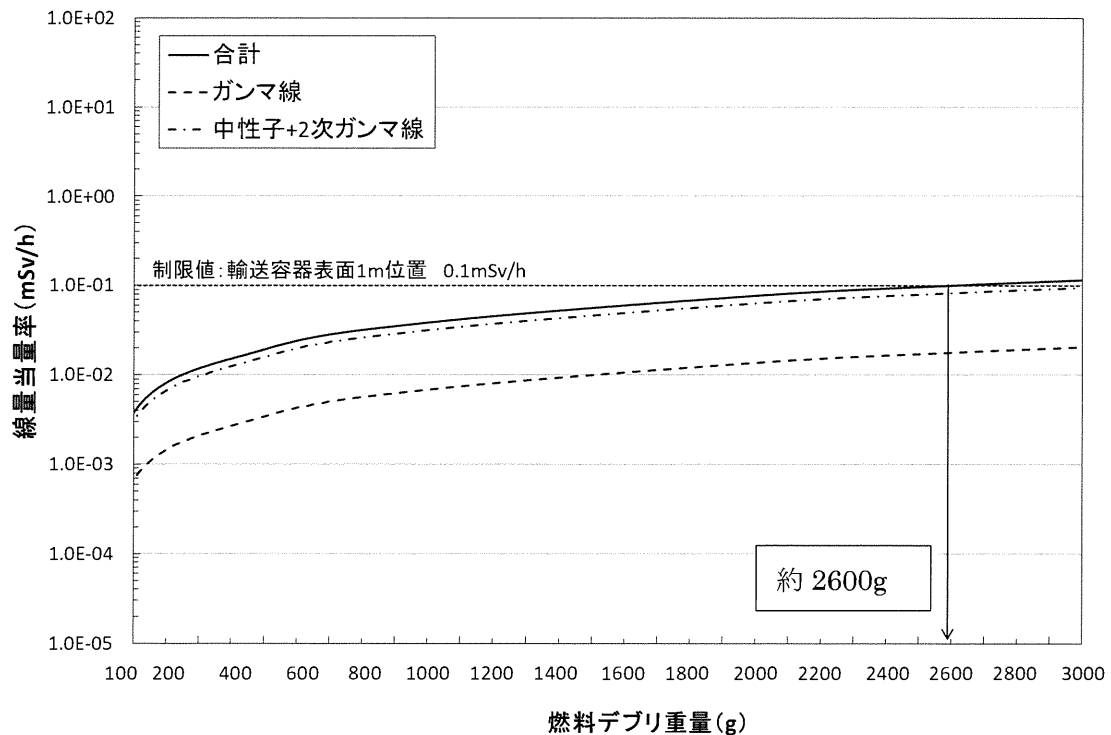
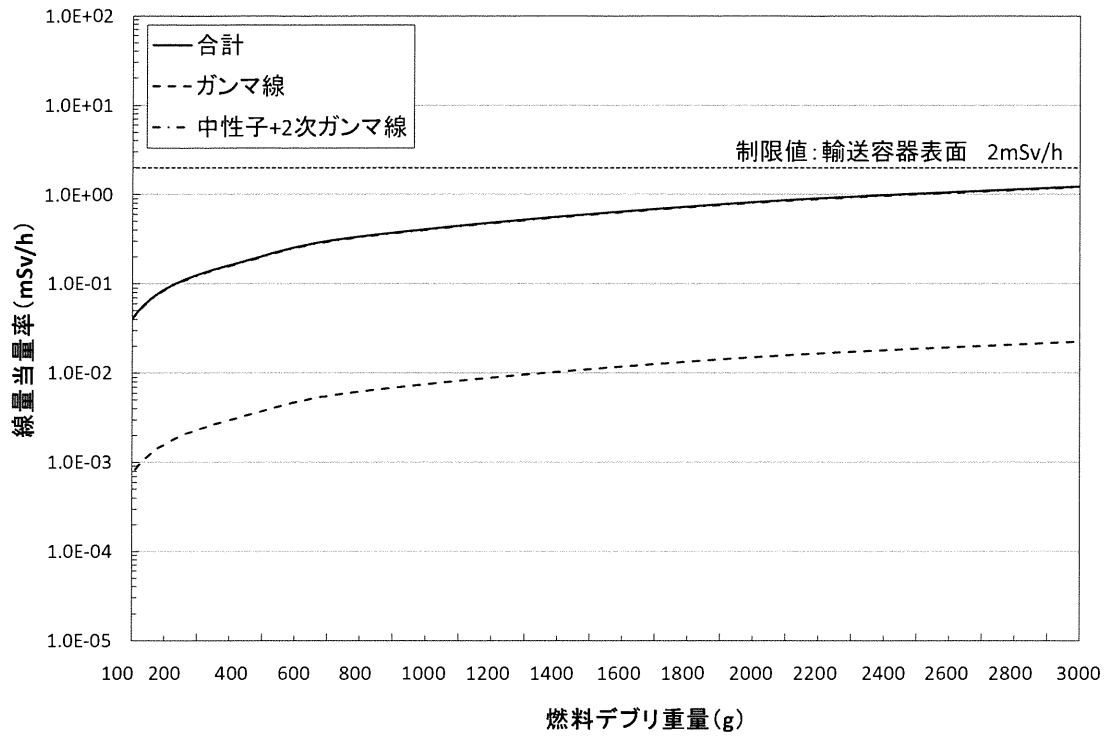


図 3.4 輸送容器に収納する燃料デブリ重量に応じた線量当量率結果 (ケース 4)

(輸送容器表面)



↑↓より、収納可能量：>3kg

(輸送容器表面から 1m 位置)

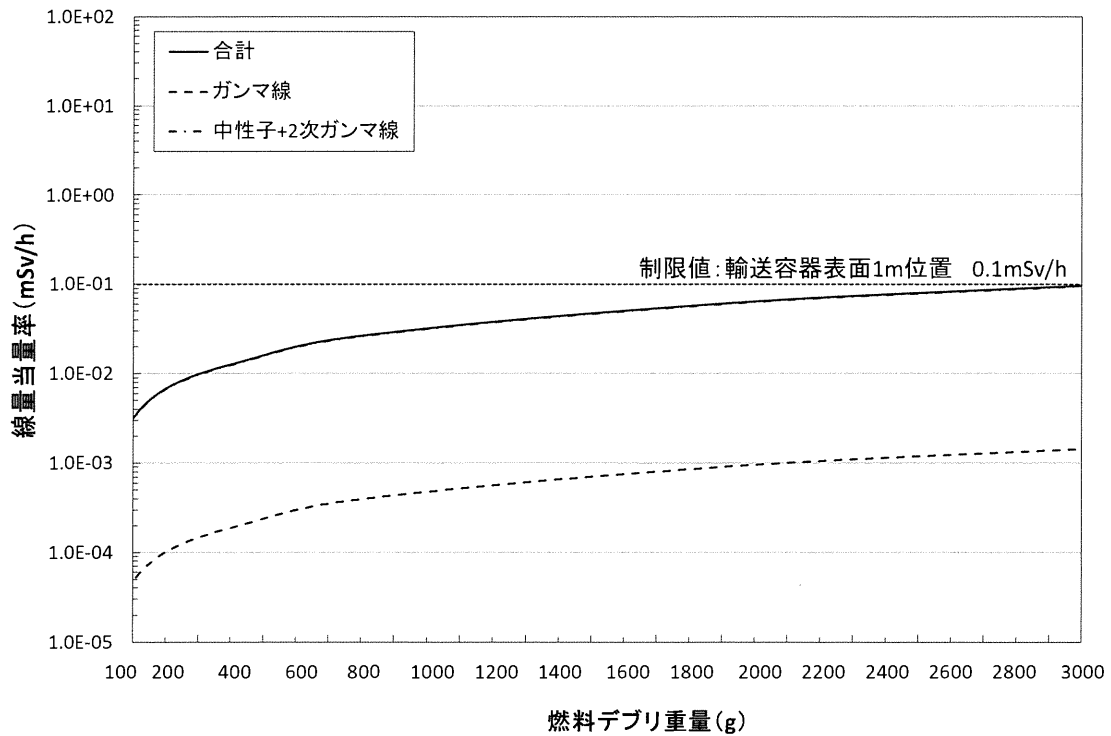


図 3.5 輸送容器に収納する燃料デブリ重量に応じた線量当量率結果 (ケース 5)

4. まとめ

影響調査結果として遮蔽の観点での燃料デブリの輸送容器収納性に関する評価結果を以下にまとめた。

<最確値ベース：燃焼度 23.1GWd/t>

- 燃料デブリ取出し計画における最大収納量 3kg を収納可能である。(実効増倍率と Cs 放出率については想定される最も厳しい条件)

<最大保守ベース：燃焼度 75GWd/t>

- 燃料デブリサンプル時における現実的な重量：100g を収納可能である。(実効増倍率と Cs 放出率については想定される最も厳しい条件)

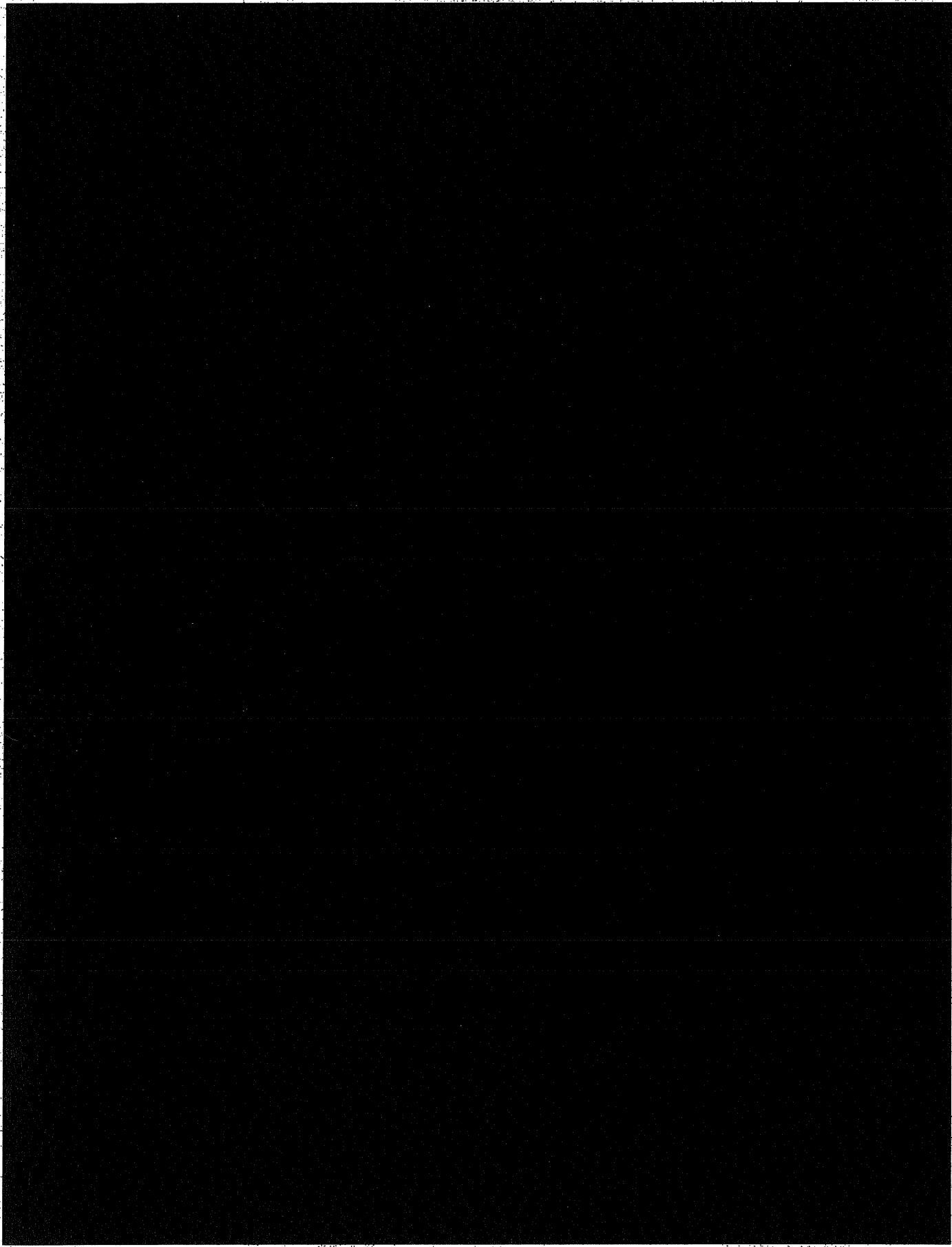
- 本輸送容器は γ 線遮蔽が強固であり輸送容器外面線量当量率は中性子が支配的となる。よって燃料デブリの中性子実効増倍率の条件設定を臨界解析コード等により現実的に設定することで収納可能量は大幅に増加する見込みである。

例えば、XXXXXXXXXXを考慮した場合、収納可能量は約 2600g となり、さらに Cs 放出率を考慮した場合には 3kg 以上を収納可能となる。

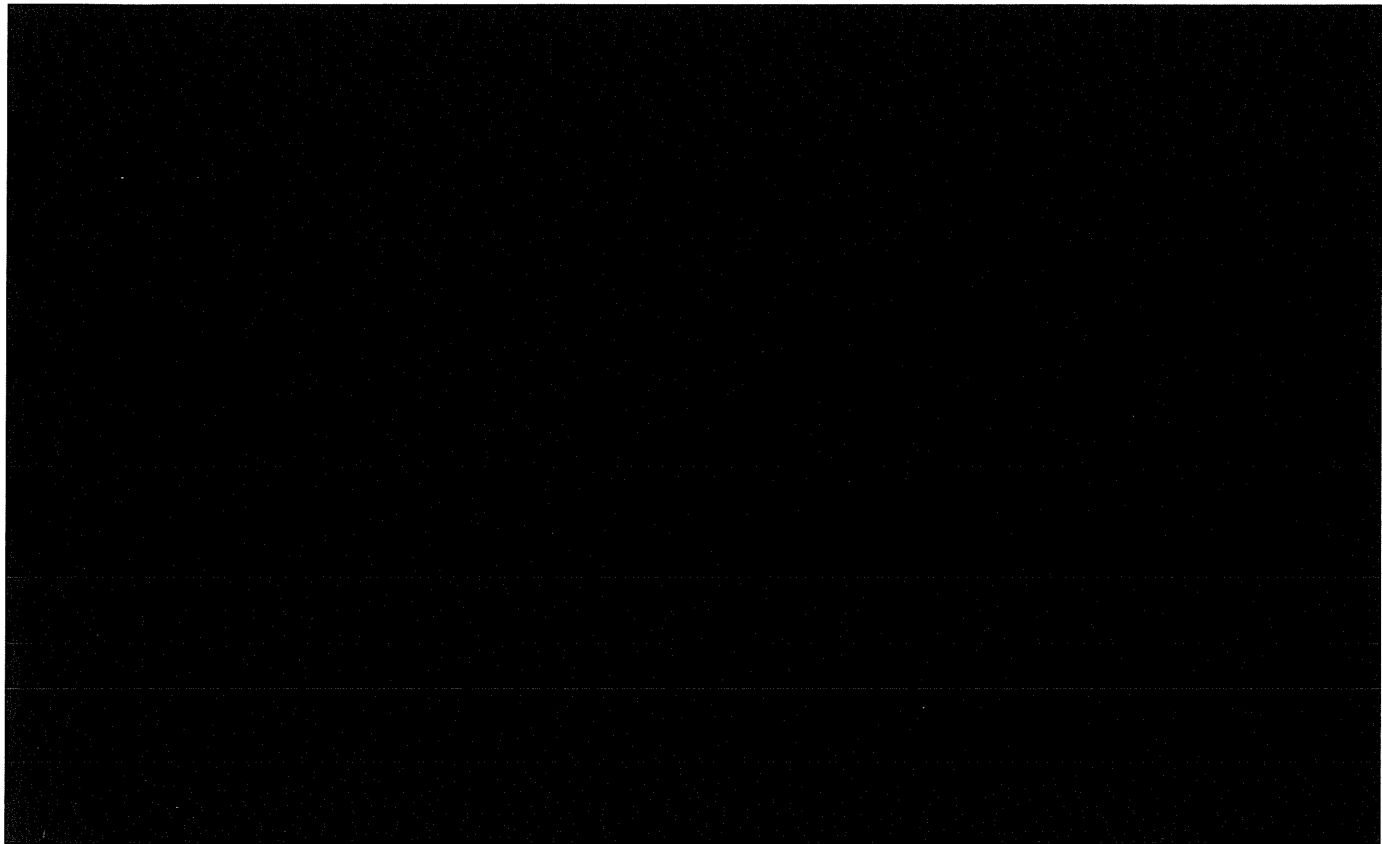
- 燃焼度 75GWd/t は BWR STEP3 燃料のペレット制限燃焼度であり、サイクル途中で停止した 1F 炉心内において燃焼度 75GWd/t の燃料デブリは存在しないものと考えられる。

- 以上より、本評価結果においては、最大保守ベースの条件では燃料デブリ 100g を収納可能との結果だが、現実的な条件にて詳細評価することより燃料デブリ 3kg も収納可能である。

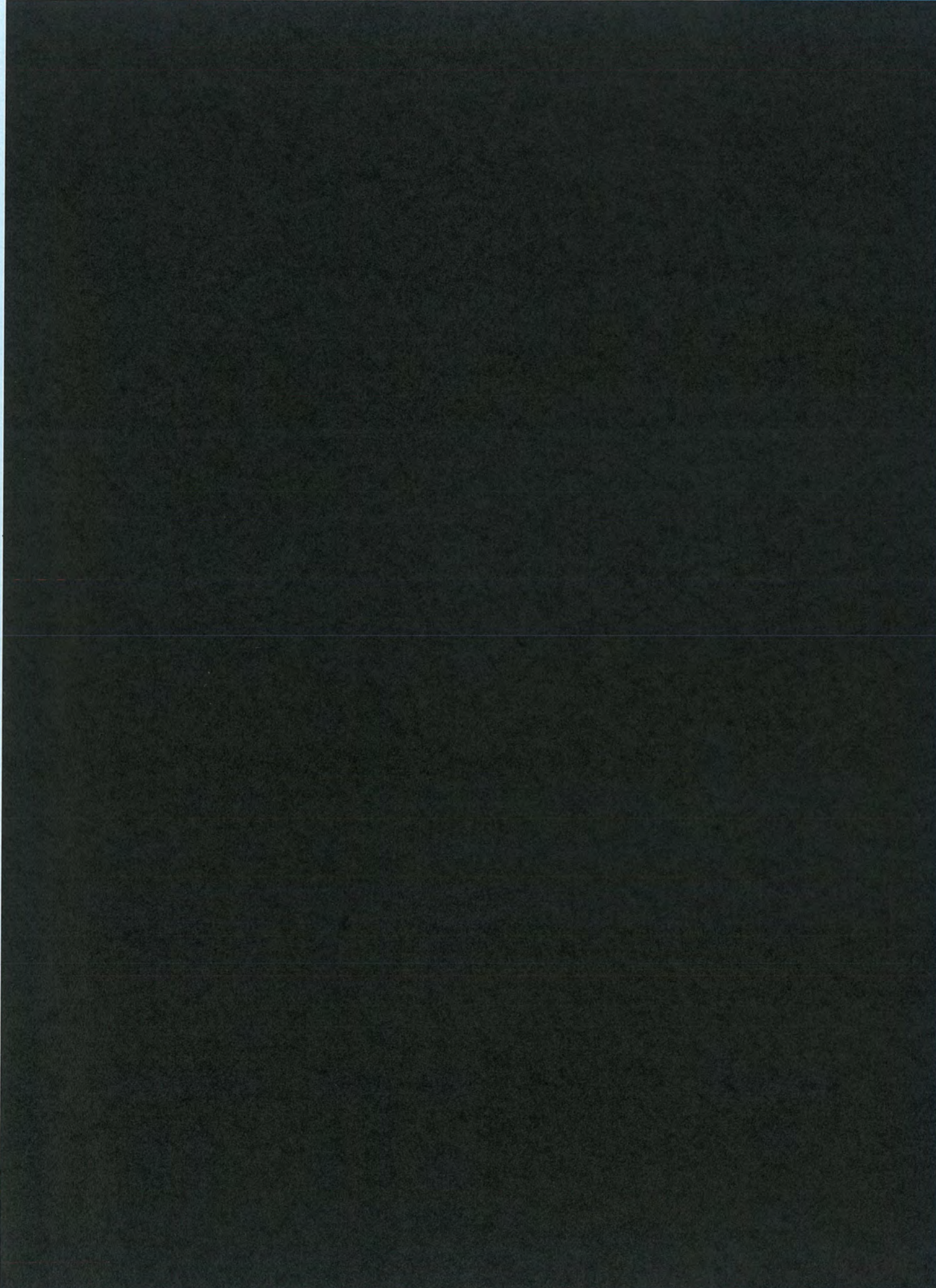
- なお、中性子遮蔽対策が取られた輸送容器においては、Cs 放出率の考慮による γ 線の緩和の影響が大きく生じるものと考えられる。

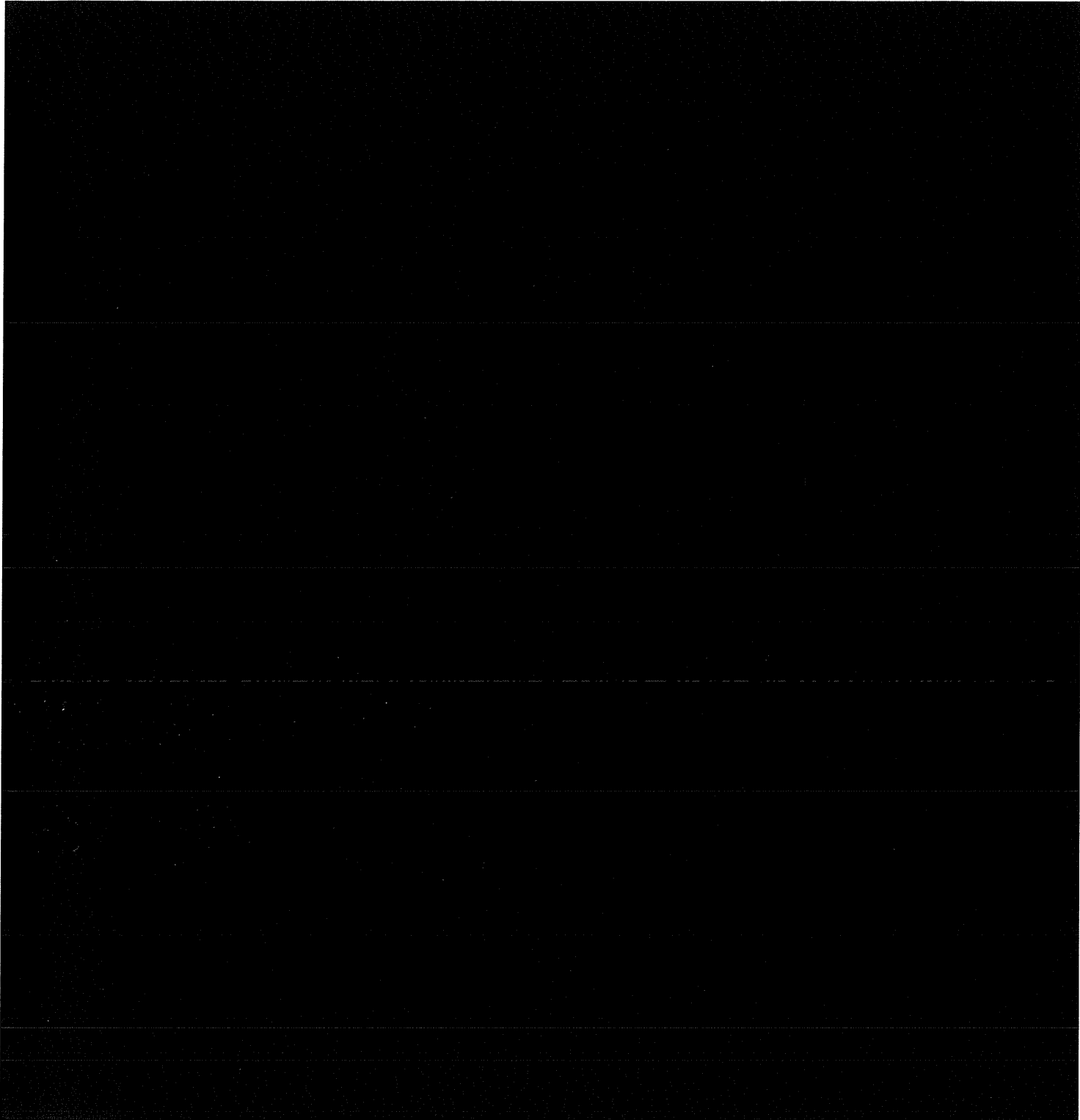


□内は著作権保護のため、非公開とします



□内は著作権保護のため、非公開とします





□内は著作権保護のため、非公開とします