JNC TJ8400 2300-053

包括的性能評価ツールの体系化・高度化

（核燃料サイクル開発機構　業務委託報告書）

2003 年 2 月

日揮株式会社

JNC TJ 8400 2003-053
2003 年 2 月

包括的性能評価ツールの体系化・高度化
（核燃料サイクル開発機構　業務委託報告書）

三木崇史*　小山田潔*　池田孝夫*

要旨

TRU 核種を含む放射性廃棄物の一連の処分深度毎の処分概念およびシナリオの多様性を考慮し、処分概念の成立性、設計仕様等の絞込みに関する評価を実施するため、統計処理に基づく核種移行解析手法を基本とする評価ツール、評価手法の検討を進めた。コンクリートピット処分、余裕深度処分、および地層処分概念の基本シナリオにおける多孔質媒体中の評価体系を構築するため、パラメータ範囲の設定、モデル開発、解析データ処理方法の各々に関して、検討を加えた。

モデルは、パラメータの時間的変動に対する柔軟性を考慮して開発し、パラメータ範囲の設定に当たっては、一連の処分概念やベントナイト系人工バリアの性能を見るための範囲設定を行った。一方、各パラメータ範囲に対応する線量分布が基準値を満足する割合の増減を基準として、感度特性を明確にする評価手法を開発した。また、解析の結果として得られた核種移行に重要な影響を及ぼすパラメータの感度特性を明らかにした。

今後の課題として、亀裂性媒体等の異なる体系での十分条件もしくは感度特性のより包括的な明確化の検討が挙げられる。また、十分条件の信頼性についてもさらに検討すべき価値がある。それらの研究により TRU 核種を含む廃棄体の安全かつ合理的な処分システムの概念および仕様を決定することが可能となる。

本報告書は、日揮株式会社が核燃料サイクル開発機構との委託研究契約により実施した研究成果に関するものである。

機構担当部課室：　東海事業所　環境保全・研究開発センター　処分研究部　処分材料研究グループ
*：日揮株式会社

JNC TJ 8400 2003-053
February, 2003

Systematization and Sophistication of a Comprehensive Performance Assessment Program

(Document Prepared by Other Institute, Based on the Trust Contract)

Takahito Miki*, Kiyoshi Oyamada* and Takao Ikeda*

Abstract

This study developed analytical programs and procedures based on a method of stochastic radionuclide migration to estimate the feasibility of disposal concepts and to define design specifications, considering the variety of scenarios and disposal concepts divided by depth of repository for TRU nuclides containing waste. It is examined into parameter setting, development of models and data processing methods, to build up the estimate system for base case scenarios of each concrete-pit disposal, mid-depth disposal and deep geological disposal, those represented as multi pore medium.

Models are developed with flexibility against changes of time dependent data. Asset of parameters are set to estimate the performance of disposal concepts and a bentonite based engineered barrier. Otherwise an analytical method to clarify the sensitivity property was developed. The method will use a rate of increase or decrease to achieve the target value in total analysis cases. The sensitivity property of important parameters, which affect analytical results significantly, clarified.

Future issues are ;

- the comprehensive representation of sensitivity property including the fractured medium.
- the reliability of Sufficient condition.

The disposal concepts and specification of TRU nuclides containing waste shall be determined rationally and safely through these studies.

This work was performed by JGC Corporation under contract with Japan Nuclear Cycle Development Institute.
JNC Liaison: JNC Tokai Works, Waste Management and Fuel Cycle Research Center, Waste Isolation Research Division, Material Research Group
*：JGC Corporation

目　次

1.　はじめに 1

2.　モデル体系の整備およびモデル／解析結果の検証 2
2.1　モデルの体系化 2
2.1.1　コンクリートピット処分 2
2.1.2　余裕深度処分および地層処分 2
2.2　モデル/解析結果の検証 4
2.2.1　O_3 による解析モデルの構築 4
2.2.2　解析結果の検証 7
2.2.3　O_3 システムへの一般化２重空隙モデルの追加 28

3.　感度構造の明確化並びに十分条件の網羅的抽出を合理的かつ効率的に実施するための手法の開発 32
3.1　感度構造の網羅的把握のための手法の改良と新規手法の開発及び適用 32
3.1.1　応答曲面を用いた手法の検討 32
3.1.2　感度構造を把握する手法の開発 40
3.1.3　解析ケース数に関する考察 62
3.1.4　感度分析手法の組み合わせと利用方法の整理 67
3.2　安全指標を満足するような処分システムの十分条件の網羅的抽出を合理的かつ効率的に実施するための手法の開発 71

4.　TRU 核種を含む放射性廃棄物のコンクリートピット処分、余裕深度処分および地層処分の十分条件の網羅的抽出並びに決定論的評価コード Nestor 等を用いた十分条件の詳細確認 74
4.1　十分条件の網羅的抽出 74
4.1.1　対象廃棄物の処分区分に関する検討方針 74
4.1.2　処分区分に関する検討 79
4.1.3　余裕深度処分および地層処分の評価モデルの検討 93

4.1.4 余裕深度処分および地層処分のパラメータの設定 132
4.1.5 余裕深度処分における感度分析結果.....165
4.1.6 地層処分における感度分析 237
4.2 十分条件の抽出.....337
4.2.1 感度分析ソフトウェアの改良.....337
4.2.2 十分条件の抽出例.....340
4.3 SI 法を用いる場合の課題 369

5. TRU 核種を含む放射性廃棄物の地層処分の影響等を考慮した場合の他の廃棄物の処分成立性の十分条件の例示的抽出 370
5.1 TRU 廃棄物からの影響の想定 370
5.1.1 解析ケースの設定.....372
5.1.2 解析結果.....377
5.2 処分成立性の十分条件.....381

6. おわりに..... 383

7. 参考文献..... 384

表目次

表 2.1.2-1　本研究において必要となる仕様 3

表 2.2.1-1　O_3 システムの配置オブジェクト 5

表 2.2.2-1　時間的に一定で空間的に物性等が異なる領域（人工バリアと天然バリアの存在）を考慮したケースについて Tiger との比較検証に用いたデータ（その１：計算体系） 13

表 2.2.2-2　時間的に一定で空間的に物性等が異なる領域（人工バリアと天然バリアの存在）を考慮したケースについて Tiger との比較検証に用いたデータ（その２：対象核種） 14

表 2.2.2-3　検証計算におけるパラメータ反映状況 15

表 2.2.2-4　時間的に一定で空間的に物性等が異なる領域（人工バリアと天然バリアの存在）を考慮したケースについて Tiger との比較検証に用いたデータ（その３：溶解度・分配係数） 16

表 2.2.2-5　GA モデルについて Tiger との比較検証に用いたデータ （その１：GA） 20

表 2.2.2-6　GA モデルについて Tiger との比較検証に用いたデータ（その２：溶解度・分配係数） 20

表 2.2.2-7　地球化学異常を考慮した検証計算におけるパラメータ反映状況 21

表 2.2.2-8　速度論的溶解沈殿反応モデルの Tiger との比較計算に用いた O_3 の入力データ（その１） 25

表 2.2.2-9　速度論的溶解沈殿反応モデルの Tiger との比較計算に用いた O_3 の入力データ（その２） 26

表 3.1.1-1　応答曲面生成手法の相違による分散の比較結果 35

表 4.1.1-1　本検討の対象とする廃棄物および廃棄体濃度 77

表 4.1.2-1　全α濃度および政令濃度上限値によるコンクリートピット処分可能性の判定 82

表 4.1.2-2　濃度上限値シナリオにおけるコンクリートピット処分可能性の判定 86

表 4.1.2-3　余裕深度処分に対する政令濃度上限値による余裕深度処分可能性

	の判定	87
表 4.1.2-4	全α濃度区分値による余裕深度処分可能性の判定	89
表 4.1.2-5	処分区分の検討結果	90
表 4.1.2-6	各処分区分におけるインベントリ	92
表 4.1.3-1	解析ケースの一覧表	96
表 4.1.3-2	核種の処分量に関するパラメータ	97
表 4.1.3-3	廃棄体からの核種浸出率に関するパラメータ	97
表 4.1.3-4	人工バリアの幾何形状に関するパラメータ（余裕深度処分、地層処分）	98
表 4.1.3-5	水理に関するパラメータ	105
表 4.1.3-6	地球化学に関するパラメータ	110
表 4.1.3-7	核種移行に関するパラメータ	112
表 4.1.3-8	余裕深度処分の場合の幾何形状に関するパラメータ群	113
表 4.1.3-9	水理に関するパラメータ	114
表 4.1.3-10	地球化学に関するパラメータ	115
表 4.1.3-11	核種移行に関するパラメータ	116
表 4.1.3-12	ガス影響に関するパラメータ	128
表 4.1.3 -13	コンクリート継ぎ目を考慮した場合に新たに加わるパラメータ	131
表 4.1.4-1	処分量および廃棄体からの核種放出率に関するパラメータ（余裕深度処分および地層処分）	133
表 4.1.4-2	人工バリアの形状および仕様に関するパラメータ（余裕深度処分および地層処分）	140
表 4.1.4-3	天然バリアの基本特性に関するパラメータ（余裕深度処分）	143
表 4.1.4-4	核種の移行特性に関するパラメータ（余裕深度処分および地層処分）	144
表 4.1.4-5	核種の移行特性に関するパラメータ（余裕深度処分）	151
表 4.1.4-6	水理に関するパラメータ（余裕深度処分および地層処分）	156
表 4.1.4-7	地球化学異常および領域の劣化に関するパラメータ（余裕深度処分および地層処分）	157
表 4.1.4-8	生物圏に関するパラメータ（余裕深度処分および地層処分）	158

表 4.1.4-9　天然バリアの基本特性に関するパラメータ（地層処分）..... 160
表 4.1.4-10　核種の移行特性に関するパラメータ（地層処分）..... 161
表 4.1.4 -11　水理に関するパラメータ（地層処分）..... 164
表 4.1.5-1　余裕深度処分の統計的解析数..... 165
表 4.1.5-2　余裕深度処分で 10μSv/y を下回る割合（緩衝材あり）..... 167
表 4.1.5-3　余裕深度処分で 10μSv/y を下回る割合（線量換算係数 10 倍，緩衝材あり）..... 167
表 4.1.5-4　余裕深度処分で 10μSv/y を下回る割合（線量換算係数 100 倍，緩衝材あり）..... 167
表 4.1.5-5　余裕深度処分で 10μSv/y を下回る割合（緩衝材なし）..... 175
表 4.1.5-6　余裕深度処分で 10μSv/y を下回る割合（線量換算係数 10 倍，緩衝材なし）..... 175
表 4.1.5-7　余裕深度処分で 10μSv/y を下回る割合（線量換算係数 100 倍，緩衝材なし）..... 175
表 4.1.5-8　各廃棄体グループでの支配的となる核種と大きな感度を持つパラメータ..... 184
表 4.1.5-9　大きな感度を持つパラメータの一覧（ムービングバンド法）..... 185
表 4.1.6-1　地層処分における統計的解析数..... 237
表 4.1.6-2　地層処分で 10μSv/y を下回る割合（緩衝材あり）..... 239
表 4.1.6-3　地層処分で 10μSv/y を下回る割合（線量換算係数 10 倍，緩衝材あり）..... 239
表 4.1.6-4　地層処分で 10μSv/y を下回る割合（線量換算係数 100 倍，緩衝材あり）..... 239
表 4.1.6-5　地層処分で 10μSv/y を下回る割合（緩衝材なし）..... 250
表 4.1.6-6　地層処分で 10μSv/y を下回る割合（線量換算係数 10 倍，緩衝材なし）..... 250
表 4.1.6-7　地層処分で 10μSv/y を下回る割合（線量換算係数 100 倍，緩衝材なし）..... 250
表 4.1.6-8　各グループで被ばく線量の最大値に支配的となる核種と大きな感度を有するパラメータ（緩衝材を用いる処分概念、SI 法による抽

出） 261
表 4.1.6-9　各グループで被ばく線量の最大値に支配的となる核種と大きな感度を有するパラメータ（緩衝材を使用しない処分概念、SI 法による抽出） 262
表 4.1.6-10　大きな感度を有するパラメータの一覧（緩衝材を用いる処分概念、ムービングバンド法による抽出） 263
表 4.1.6-11　大きな感度を有するパラメータの一覧（緩衝材を用いない処分概念、ムービングバンド法による抽出） 264
表 4.2.2-1　SI 法により抽出された大きな感度を有するパラメータ 340
表 4.2.2-2　90%以上の確からしさを達成するためのパラメータ範囲 343
表 4.2.2-3　95%以上の確からしさを達成するためのパラメータ範囲 343
表 4.2.2-4　感度分析の対象とするパラメータおよび限定する変動幅..... 356
表 5.1.1-1　堆積岩地層における高レベル放射性廃棄物の核種移行パラメータの設定値 372
表 5.1.1-2　緩衝材中の実効拡散係数 373
表 5.1.1-3　緩衝材での分配係数 373
表 5.1.1-4　各岩種に対する分配係数一覧［m^3kg^{-1}］ 374
表 5.1.1-5　元素の溶解度（第２次取りまとめ、レファレンスケース） 375
表 5.1.1-6　人工バリアへの TRU 廃棄物の影響ケース 376
表 5.1.1-7　天然バリアへの TRU 放射性廃棄物影響ケース 376

図目次

図 2.2.1-1　O_3 システムによる解析モデルの設定案 4

図 2.2.2-1　O_3 と Tiger の人工バリア出口フラックスの比較 17

図 2.2.2-2　O_3 と Tiger の天然バリア出口フラックスの比較 18

図 2.2.2-3　O_3 と Tiger の人工バリア出口フラックスの比較(地球化学異常を想定） 22

図 2.2.2-4　O_3 と Tiger の天然バリア出口フラックスの比較(地球化学異常を想定） 23

図 2.2.2-5　速度論的溶解沈殿反応モデルの検証 （天然バリア出口でのフラックスの比較） 27

図 2.2.3-1　マトリクス自体が透水性である母岩中にある亀裂系での地下水流動の概念 28

図 2.2.3-2　二重チャンネルによる核種移行の表現 29

図 2.2.3-3　二重チャンネル間流量配分の空間的プロファイル （連絡していない亀裂の例） 29

図 3.1.1-1　応答曲面法の適用方法の比較..... 34

図 3.1.1-2　線量解析結果を用いて応答曲面を作成した場合 36

図 3.1.1-3　核種放出率（I-129）による応答曲面の生成..... 37

図 3.1.1-4　核種放出率（C-14）による応答曲面の生成..... 38

図 3.1.1-5　核種放出率（Np-237）による応答曲面の生成 38

図 3.1.1-6　応答曲面から推定される被ばく線量の比較 39

図 3.1.2-1　ムービングバンド法による解析結果の例..... 42

図 3.1.2-2　ムービングバンド法による解析結果からのパラメータ抽出方法の模式図..... 43

図 3.1.2-3　パラメータの値を基準とした、ムービングバンド法の適用の模式図 44

図 3.1.2-4　感度分析方法の比較、廃棄体の劣化後空隙拡係数 47

図 3.1.2-5　パラメータを分割した場合の各分割区分の標準偏差の平均値とパラメータの関係 52

図 3.1.2-6　SI 法による感度分析の例 55
図 3.1.2-7　局所的な標準偏差を用いた場合のムービングバンド法の適用例(1)　60
図 3.1.2-8　局所的な標準偏差を用いた場合のムービングバンド法の適用例(2)　61
図 3.1.3-1　計算回数と基準とする線量を超えるケース数の割合の関係：グループ 3 63
図 3.1.3-2　計算回数と基準とする線量を超えるケース数の割合の関係：グループ 4 65
図 3.1.4-1　包括的感度解析の適用フロー 70
図 4.1.1-1　処分区分検討フロー 76
図 4.1.2-1　コンクリートピット処分の濃度上限値導出シナリオ 85
図 4.1.3-1　母岩を多孔質媒体と想定する場合の地層処分および余裕深度処分における全体システム構成 95
図 4.1.3-2　人工バリア内部の地下水流動の模式図および二次元円筒による近似 101
図 4.1.3-3　コンクリートバリア及び緩衝材透水係数の時間的変化の模式 106
図 4.1.3-4　Mobility 関数の概念図 113
図 4.1.3-5　真性コロイドを考慮した Mobility 関数 117
図 4.1.3-6　コロイドへの可逆吸着に対応する Mobility 関数（真性コロイド影響も含む） 122
図 4.1.3-7　ガス発生による人工バリア内部地下水排水のモデル 124
図 4.1.3-8　施設内部ボイドの排水による人工バリア及び母岩中地下水流速の上昇（模式図） 128
図 4.1.3-9　人工バリアおよび天然バリアへのガス影響の及ぶ領域 129
図 4.1.3-10　コンクリートの継ぎ目を考慮したガス発生による人工バリア内部地下水排水のモデル 130
図 4.1.3-11　人工バリアおよび天然バリアへのガス影響の及ぶ領域（コンクリート継ぎ目を考慮した場合） 131
図 4.1.5-1　グループ３余裕深度処分、基準を下回る割合の変化（緩衝材あり） 168
図 4.1.5-2　グループ４余裕深度処分、基準を下回る割合の変化（緩衝材あり）

..... 169
図 4.1.5-3　グループ３余裕深度処分、最大被ばく線量と出現時期の関係（50GBq/ton,緩衝材あり）..... 170
図 4.1.5-4　グループ４余裕深度処分、最大被ばく線量と出現時期の関係（50GBq/ton，緩衝材あり）..... 171
図 4.1.5-5　グループ３余裕深度処分、最大被ばく線量と出現時期の関係（1GBq/ton，緩衝材あり）..... 172
図 4.1.5-6　グループ４余裕深度処分の最大被ばく線量と出現時期の関係（1GBq/ton，緩衝材あり）..... 173
図 4.1.5-7　グループ３余裕深度処分の基準を下回る割合の変化（50GBq/ton，緩衝材なし）..... 176
図 4.1.5-8　グループ 4 余裕深度処分の基準を下回る割合の変化（50GBq/ton，緩衝材なし）..... 176
図 4.1.5-9　グループ３余裕深度処分の基準を下回る割合の変化（1GBq/ton，緩衝材なし）..... 177
図 4.1.5-10　グループ 4 余裕深度処分の基準を下回る割合の変化（1GBq/ton，緩衝材なし）..... 177
図 4.1.5-11　グループ３余裕深度処分の最大被ばく線量と出現時期の関係（50GBq/ton，緩衝材なし）..... 178
図 4.1.5-12　グループ４余裕深度処分の最大被ばく線量と出現時期の関係（50GBq/ton，緩衝材なし）..... 179
図 4.1.5-13　グループ３余裕深度処分の最大被ばく線量と出現時期の関係（1GBq/ton，緩衝材なし）..... 180
図 4.1.5-14　グループ４余裕深度処分の最大被ばく線量と出現時期の関係（1GBq/ton，緩衝材なし）..... 181
図 4.1.5-15　グループ３余裕深度処分の感度分析結果（50GBq/ton, 緩衝材あり）..... 187
図 4.1.5-16　グループ３余裕深度処分の天然バリア空隙率の感度分析結果（50GBq/ton，緩衝材あり）..... 188
図 4.1.5-17　グループ３余裕深度処分の天然バリア透水係数の感度分析結果

（50GBq/ton 以下，緩衝材あり）..... 189
図 4.1.5-18 グループ３余裕深度処分の動水勾配の感度分析結果（50GBq/ton，緩衝材あり）..... 190
図 4.1.5-19 グループ３余裕深度処分の初期 U の分配係数の感度分析結果（50GBq/ton，緩衝材あり）..... 191
図 4.1.5-20 グループ３余裕深度処分の天然バリアでのNPコロイド吸着指数の感度分析結果（50GBq/ton，緩衝材あり）..... 192
図 4.1.5-21 グループ３余裕深度処分の廃棄体劣化後拡散係数の感度分析結果（50GBq/ton，緩衝材あり）..... 193
図 4.1.5-22 グループ４余裕深度処分の感度分析結果の比較（50GBq/ton，緩衝材あり）..... 194
図 4.1.5-23 グループ４余裕深度処分の天然バリア空隙率の感度分析結果（50GBq/ton，緩衝材あり）..... 195
図 4.1.5-24 グループ４余裕深度処分の廃棄体でのNPコロイド吸着指数の感度分析結果（50GBq/ton，緩衝材あり）..... 196
図 4.1.5-25 グループ４余裕深度処分の天然バリア透水係数の感度分析結果（50GBq/ton，緩衝材あり）..... 197
図 4.1.5-26 グループ４余裕深度処分の廃棄体劣化後空隙拡散係数の感度分析結果（50GBq/ton，緩衝材あり）..... 198
図 4.1.5-27 グループ４余裕深度処分の天然バリアでのNPコロイド吸着指数の感度分析結果（50GBq/ton，緩衝材あり）..... 199
図 4.1.5-28 グループ４余裕深度処分の緩衝材劣化後透水係数の感度分析結果（50GBq/ton，緩衝材あり）..... 200
図 4.1.5-29 グループ３余裕深度処分の感度分析結果の比較（1G 以上，緩衝材あり）..... 201
図 4.1.5-30 グループ３余裕深度処分の天然バリア空隙率の感度分析結果（1GBq/ton，緩衝材あり）..... 202
図 4.1.5-31 グループ３余裕深度処分の天然バリア透水係数の感度分析結果（1GBq/ton，緩衝材あり）..... 203
図 4.1.5-32 グループ３余裕深度処分の廃棄体劣化後空隙拡散係数の感度分析

結果（1GBq/ton，緩衝材あり）..... 204
図 4.1.5-33 グループ３余裕深度処分の動水勾配の感度分析結果（1GBq/ton，緩衝材あり）..... 205
図 4.1.5-34 グループ３余裕深度処分の緩衝材劣化開始時刻の感度分析結果（1GBq/ton，緩衝材あり）..... 206
図 4.1.5-35 グループ４余裕深度処分の感度分析結果の比較（1GBq/ton，緩衝材あり）..... 207
図 4.1.5-36 グループ４余裕深度処分の天然バリア空隙率の感度分析結果（1GBq/ton，緩衝材あり）..... 208
図 4.1.5-37 グループ４余裕深度処分の天然バリア透水係数の感度分析結果（1GBq/ton，緩衝材あり）..... 209
図 4.1.5-38 グループ４余裕深度処分の動水勾配の感度分析結果（1GBq/ton，緩衝材あり）..... 210
図 4.1.5-39 グループ４余裕深度処分の天然バリアでのNPコロイド吸着指数の感度分析結果（1GBq/ton，緩衝材あり）..... 211
図 4.1.5-40 グループ４余裕深度処分の緩衝材の劣化後透水係数の感度分析結果（1GBq/ton，緩衝材あり）..... 212
図 4.1.5-41 グループ３余裕深度処分の感度分析結果の比較（50GBq/ton，緩衝材なし）..... 213
図 4.1.5-42 グループ３余裕深度処分の天然バリア透水係数の感度分析結果（50GBq/ton，緩衝材なし）..... 214
図 4.1.5-43 グループ３余裕深度処分の廃棄体でのNPのコロイド吸着指数の感度分析結果（50GBq/ton，緩衝材なし）..... 215
図 4.1.5-44 グループ３余裕深度処分の天然バリア空隙率の感度分析結果（50GBq/ton，緩衝材なし）..... 216
図 4.1.5-45 グループ３余裕深度処分の天然バリア長さの感度分析結果（50GBq/ton，緩衝材なし）..... 217
図 4.1.5-46 グループ３余裕深度処分の動水勾配の感度分析結果（50GBq/ton，緩衝材なし）..... 218
図 4.1.5-47 グループ４余裕深度処分の感度分析結果の比較（50GBq/ton，緩衝

材なし） 219
図 4.1.5-48 グループ４余裕深度処分の天然バリア空隙率の感度分析結果（50GBq/ton，緩衝材なし） 220
図 4.1.5-49 グループ４余裕深度処分の天然バリアでの透水係数の感度分析結果（50GBq/ton，緩衝材なし） 221
図 4.1.5-50 グループ４余裕深度処分の天然バリアでのNPコロイド吸着指数の感度分析結果（50GBq/ton，緩衝材なし） 222
図 4.1.5-51 グループ４余裕深度処分の動水勾配の感度分析結果（50GBq/ton，緩衝材なし） 223
図 4.1.5-52 グループ４余裕深度処分の母岩の Np の分配係数の感度分析結果（50GBq/ton，緩衝材なし） 224
図 4.1.5-53 グループ３余裕深度処分の感度分析結果の比較（1GBq/ton，緩衝材なし） 225
図 4.1.5-54 グループ３余裕深度処分の天然バリア透水係数の感度分析結果（1GBq/ton，緩衝材なし） 226
図 4.1.5-55 グループ３余裕深度処分の核種浸出率の感度分析結果（1GBq/ton，緩衝材なし） 227
図 4.1.5-56 グループ３余裕深度処分の動水勾配の感度分析結果（1GBq/ton，緩衝材なし） 228
図 4.1.5-57 グループ３余裕深度処分の廃棄体健全時の C の分配係数の感度分析結果（1GBq/ton，緩衝材なし） 229
図 4.1.5-58 グループ３余裕深度処分の天然バリア長さの感度分析結果（1GBq/ton，緩衝材なし） 230
図 4.1.5-59 グループ４余裕深度処分の感度分析結果の比較（1GBq/ton，緩衝材なし） 231
図 4.1.5-60 グループ４余裕深度処分の天然バリア空隙率の感度分析結果（1GBq/ton，緩衝材なし） 232
図 4.1.5-61 グループ４余裕深度処分の天然バリア透水係数の感度分析結果（1GBq/ton，緩衝材なし） 233
図 4.1.5-62 グループ４余裕深度処分の天然バリアでのNPコロイド吸着指数の

感度分析結果（1GBq/ton，緩衝材なし） 234
図 4.1.5-63 グループ４余裕深度処分の廃棄体でのNPコロイド吸着指数の感度分析結果（1GBq/ton，緩衝材なし）..... 235
図 4.1.5-64 グループ４余裕深度処分の動水勾配の感度分析結果（1GBq/ton，緩衝材なし）..... 236
図 4.1.6-1 グループ１地層処分の基準を下回る割合の変化..... 240
図 4.1.6-2 グループ２地層処分の基準を下回る割合の変化..... 240
図 4.1.6-3 グループ３地層処分の基準を下回る割合の変化（50GBq/ton）.... 241
図 4.1.6-4 グループ４地層処分の基準を下回る割合の変化（50GBq/ton）.... 241
図 4.1.6-5 グループ３地層処分の基準を下回る割合の変化（1GBq/ton）..... 242
図 4.1.6-6 グループ４地層処分の基準を下回る割合の変化（1GBq/ton）..... 242
図 4.1.6-7 グループ１地層処分の最大被ばく線量と出現時期の関係（緩衝材あり）..... 243
図 4.1.6-8 グループ２地層処分の最大被ばく線量と出現時期の関係（緩衝材あり）..... 244
図 4.1.6-9 グループ３地層処分の最大被ばく線量と出現時期の関係（50GBq/ton，緩衝材あり）..... 245
図 4.1.6-10 グループ４地層処分の最大被ばく線量と出現時期の関係（50GBq/ton，緩衝材あり）..... 246
図 4.1.6-11 グループ３地層処分の最大被ばく線量と出現時期の関係（1Gbq/ton，緩衝材あり）..... 247
図 4.1.6-12 グループ４地層処分の最大被ばく線量と出現時期の関係（1Gbq/ton，緩衝材あり）..... 248
図 4.1.6-13 グループ１地層処分の基準を下回る割合の変化（緩衝材なし）.... 251
図 4.1.6-14 グループ２地層処分の基準を下回る割合の変化（緩衝材なし）.... 251
図 4.1.6-15 グループ３地層処分の基準を下回る割合の変化（50GBq/ton，緩衝材なし）..... 252
図 4.1.6-16 グループ４地層処分の基準を下回る割合の変化（50GBq/ton，緩衝材なし）..... 252
図 4.1.6-17 グループ３地層処分の基準を下回る割合の変化（1GBq/ton，緩衝

材なし） 253
図 4.1.6-18 グループ４地層処分の基準を下回る割合の変化（1GBq/ton，緩衝材なし） 253
図 4.1.6-19 グループ１地層処分の最大被ばく線量と出現時期の関係（緩衝材なし） 254
図 4.1.6-20 グループ２地層処分の最大被ばく線量と出現時期の関係（緩衝材なし） 255
図 4.1.6-21 グループ３地層処分の最大被ばく線量と出現時期の関係（50GBq/ton，緩衝材なし） 256
図 4.1.6-22 グループ４地層処分の最大被ばく線量と出現時期の関係（50GBq/ton，緩衝材なし） 257
図 4.1.6-23 グループ３地層処分の最大被ばく線量と出現時期の関係（1Gbq/ton，緩衝材なし） 258
図 4.1.6-24 グループ４地層処分の最大被ばく線量と出現時期の関係（1GBq/ton，緩衝材なし） 259
図 4.1.6-25 グループ１地層処分の感度分析結果の比較（緩衝材あり） 265
図 4.1.6-26 グループ１地層処分の天然バリア透水係数の感度分析結果（緩衝材あり） 266
図 4.1.6-27 グループ１地層処分の緩衝材健全時の空隙拡散係数感度分析結果（緩衝材あり） 267
図 4.1.6-28 グループ１地層処分の核種浸出率の感度分析結果（緩衝材あり） 268
図 4.1.6-29 グループ１地層処分の廃棄体劣化時刻の感度分析結果（緩衝材あり） 269
図 4.1.6-30 グループ１地層処分の母岩空隙率の感度分析結果（緩衝材あり） 270
図 4.1.6-31 グループ２地層処分の感度の分析結果の比較（合計，緩衝材あり） 271
図 4.1.6-32 グループ２地層処分の天然バリア透水係数の感度分析結果（緩衝材あり） 272
図 4.1.6-33 グループ２地層処分の動水勾配の感度分析結果（緩衝材あり） 273
図 4.1.6-34 グループ２地層処分の廃棄体劣化時空隙率の感度分析結果（緩衝材

あり）..... 274
図 4.1.6-35　グループ２地層処分の廃棄体中でのNPコロイド吸着指数の感度分析結果（緩衝材あり）..... 275
図 4.1.6-36　グループ２地層処分の天然バリア空隙率の感度分析結果（緩衝材あり）..... 276
図 4.1.6-37　グループ３地層処分の感度分析結果の比較（50GBq/ton 以上，緩衝材あり）..... 277
図 4.1.6-38　グループ３地層処分の天然バリア透水係数の感度分析結果（50GBq/ton 以上，緩衝材あり）..... 278
図 4.1.6-39　グループ３地層処分の天然バリア空隙率の感度分析結果（50GBq/ton 以上，緩衝材あり）..... 279
図 4.1.6-40　グループ３地層処分の廃棄体でのNPコロイド吸着指数の感度分析結果（50GBq/ton 以上，緩衝材あり）..... 280
図 4.1.6-41　グループ３地層処分の天然バリアでのNPコロイド吸着指数の感度分析結果（50GBq/ton 以上，緩衝材あり）..... 281
図 4.1.6-42　グループ３地層処分の動水勾配の感度分析結果（50GBq/ton 以上，緩衝材あり）..... 282
図 4.1.6-43　グループ４地層処分の感度分析結果の比較（50GBq/ton 以上，緩衝材あり）..... 283
図 4.1.6-44　グループ４地層処分の天然バリア透水係数の感度分析結果（50GBq/ton 以上，緩衝材あり）..... 284
図 4.1.6-45　グループ４地層処分の天然バリア空隙率の感度分析結果（50GBq/ton 以上，緩衝材あり）..... 285
図 4.1.6-46　グループ４地層処分の廃棄体劣化時の空隙拡散係数の感度分析結果（50GBq/ton 以上，緩衝材あり）..... 286
図 4.1.6-47　グループ４地層処分の天然バリアでのNPコロイド吸着指数の感度分析結果（50GBq/ton 以上，緩衝材あり）..... 287
図 4.1.6-48　グループ４地層処分の母岩での動水勾配の感度分析結果（50GBq/ton 以上，緩衝材あり）..... 288
図 4.1.6-49　グループ３地層処分の感度分析結果の比較（1GBq/ton 以上，緩衝

材あり） 289
図 4.1.6-50 グループ３地層処分の天然バリア透水係数の感度分析結果（1GBq/ton 以上，緩衝材あり） 290
図 4.1.6-51 グループ３地層処分の天然バリア空隙率の感度分析結果（1GBq/ton 以上，緩衝材あり） 291
図 4.1.6-52 グループ３地層処分の天然バリアでのNPコロイド吸着指数の感度分析結果（1GBq/ton 以上，緩衝材あり） 292
図 4.1.6-53 グループ３地層処分の天然バリアでの動水勾配の感度分析結果（1GBq/ton 以上，緩衝材あり） 293
図 4.1.6-54 グループ３地層処分の廃棄体中でのNPコロイド吸着指数の感度分析結果（1GBq/ton 以上，緩衝材あり） 294
図 4.1.6-55 グループ４地層処分の感度分析結果の比較（1GBq/ton 以上，緩衝材あり） 295
図 4.1.6-56 グループ４地層処分の天然バリア透水係数の感度分析結果（1GBq/ton 以上，緩衝材あり） 296
図 4.1.6-57 グループ４地層処分の天然バリア空隙率の感度分析結果（1GBq/ton 以上，緩衝材あり） 297
図 4.1.6-58 グループ４地層処分の動水勾配の感度分析結果（1GBq/ton 以上，緩衝材あり） 298
図 4.1.6-59 グループ４地層処分の廃棄体中NPコロイド吸着指数の感度分析結果（1GBq/ton 以上，緩衝材あり） 299
図 4.1.6-60 グループ４地層処分の天然バリアでの U 分配係数の感度分析結果（1GBq/ton 以上，緩衝材あり） 300
図 4.1.6-61 グループ１地層処分の感度分析結果の比較（緩衝材なし） 301
図 4.1.6-62 グループ１地層処分の天然バリア透水係数の感度分析結果（緩衝材なし） 302
図 4.1.6-63 グループ１地層処分の動水勾配の感度分析結果（緩衝材なし） 303
図 4.1.6-64 グループ１地層処分の廃棄体劣化時の透水係数の感度分析結果（緩衝材なし） 304
図 4.1.6-65 グループ１地層処分の廃棄体劣化開始時刻の感度分析結果（緩衝材

なし）..... 305
図 4.1.6-66　グループ１地層処分の天然バリア空隙率の感度分析結果（緩衝材なし）..... 306
図 4.1.6-67　グループ２地層処分の感度分析結果の比較（合計，緩衝材なし）　307
図 4.1.6-68　グループ２地層処分の天然バリア透水係数の感度分析結果（緩衝材なし）..... 308
図 4.1.6-69　グループ２地層処分の廃棄体劣化時の空隙拡散係数の感度分析結果（緩衝材なし）..... 39
図 4.1.6-70　グループ２地層処分の動水勾配の感度分析結果（緩衝材なし）.... 310
図 4.1.6-71　グループ２地層処分の廃棄体劣化時の透水係数の感度分析結果（緩衝材なし）..... 311
図 4.1.6-72　グループ２地層処分の天然バリア空隙率の感度分析結果（緩衝材なし）..... 312
図 4.1.6-73　グループ３地層処分の感度分析結果の比較（50GBq/ton，合計，緩衝材なし）..... 313
図 4.1.6-74　グループ３地層処分の天然バリア透水係数の感度分析結果（50GBq/ton，緩衝材なし）..... 314
図 4.1.6-75　グループ３地層処分の天然バリア空隙率の感度分析結果（50GBq/ton，緩衝材なし）..... 315
図 4.1.6-76　グループ３地層処分の天然バリアでのNPコロイド吸着指数の感度分析結果（50GBq/ton，緩衝材なし）..... 316
図 4.1.6-77　グループ３地層処分の廃棄体劣化後透水係数の感度分析結果（50GBq/ton，緩衝材なし）..... 317
図 4.1.6-78　グループ３地層処分の動水勾配の感度分析結果（50GBq/ton，緩衝材なし）..... 318
図 4.1.6-79　グループ４地層処分の感度分析結果の比較（50GBq/ton，緩衝材なし）..... 319
図 4.1.6-80　グループ４地層処分の天然バリア透水係数の感度分析結果（50GBq/ton，緩衝材なし）..... 320
図 4.1.6-81　グループ４地層処分の廃棄体中でのNPコロイド吸着指数の感度分

析結果（50GBq/ton，緩衝材なし） 321
図 4.1.6-82 グループ４地層処分の廃棄体劣化時の透水係数の感度分析結果（50GBq/ton，緩衝材なし） 322
図 4.1.6-83 グループ４地層処分の天然バリアでの U の分配係数の感度分析結果（50GBq/ton，緩衝材なし） 323
図 4.1.6-84 グループ４地層処分の天然バリア空隙率の感度分析結果（50GBq/ton，緩衝材なし） 324
図 4.1.6-85 グループ３地層処分の感度分析結果の比較（1GBq/ton，緩衝材なし） 325
図 4.1.6-86 グループ３余裕深度処分の天然バリア透水係数の感度分析結果（1GBq/ton，緩衝材なし） 326
図 4.1.6-87 グループ３余裕深度処分の廃棄体劣化後透水係数の感度分析結果（1GBq/ton，緩衝材なし） 327
図 4.1.6-88 グループ３余裕深度処分の天然バリア空隙率の感度分析結果（1GBq/ton，緩衝材なし） 328
図 4.1.6-89 グループ３余裕深度処分動水勾配の感度分析結果（1GBq/ton，緩衝材なし） 329
図 4.1.6-90 グループ３余裕深度処分の第２接点濃度の感度分析結果（1GBq/ton，緩衝材なし） 330
図 4.1.6-91 グループ４地層処分の感度分析結果の比較（1GBq，緩衝材なし） 331
図 4.1.6-92 グループ４地層処分の天然バリア透水係数の感度分析結果（1GBq/ton，緩衝材なし） 332
図 4.1.6-93 グループ４地層処分の廃棄体劣化後空隙拡散係数の感度分析結果（1GBq/ton，緩衝材なし） 333
図 4.1.6-94 グループ４地層処分の廃棄体での NP コロイド吸着指数の感度分析結果（1GBq/ton，緩衝材なし） 334
図 4.1.6-95 グループ４地層処分の廃棄体劣化後透係数の感度分析結果（1GBq/ton，緩衝材なし） 335
図 4.1.6-96 グループ４地層処分の動水勾配の感度分析結果（1GBq/ton，緩衝材なし） 336

図 4.2.1-1　ＳＩ法による十分条件探索例 338
図 4.2.1-2　網羅的なパラメータ範囲の選択とＳＩ値リストの作成フロー 339
図 4.2.2-1　SI 法により抽出された感度の大きなパラメータ単独で 目標を達成するためのパラメータ範囲 344
図 4.2.2-2　空隙率を 0.05 以上とする場合に、他のパラメータのとり得る範囲の抽出 345
図 4.2.2-3　上位２つのパラメータ範囲を固定する場合の他のパラメータのとり得る範囲 346
図 4.2.2-4　上位３つのパラメータ範囲を固定する場合のためのパラメータのとり得る範囲 346
図 4.2.2-5　90%以上の確からしさで空隙率と透水係数の取りうる範囲の比較　348
図 4.2.2-6　上位３パラメータの組み合わせによる確からしさを達成できる範囲 349
図 4.2.2-7　実流速をパラメータとする場合のパラメータ範囲 351
図 4.2.2-8　基準を下回るケースの例 353
図 4.2.2-9　10μSv/y を超えるケースのパラメータ毎の平均値の全ケース平均値からのずれ（全域的解析） 357
図 4.2.2-10　10μSv/y を超えるケースの分布の歪み度 358
図 4.2.2-11　10μSv/y を超えるケースのパラメータの分布の尖り度 359
図 4.2.2-12　グループ１廃棄体地層処分における感度分析結果 360
図 4.2.2-13　グループ１地層処分（緩衝材を用いるケース）における２次解析結果 362
図 4.2.2-14　２次解析において感度の大きなパラメータ 364
図 4.2.2-15　天然バリアの距離を変動させ決定論解析を実施した線量評価結果　367
図 4.2.2-16　コロイドによる移行速度の上限を制限する場合の線量評価結果.... 368
図 5.1.1-1　TRU 廃棄物からのアルカリ影響による高レベル廃棄物バリアへの影響模式図 371
図 5.1.2-1　標準設定における核種移行解析結果 378
図 5.1.2-2　人工バリア劣化ケースにおける核種移行解析結果 378
図 5.1.2-3　天然バリア劣化ケース 379

図 5.1.2-4　人工バリアおよび天然バリア劣化ケース..... 380
図 5.2-1　TRU 廃棄物の影響による高レベル放射性廃棄物からの核種放出率の変化の比較..... 382

1. はじめに

放射性廃棄物処分に関する性能評価では、評価の対象となる期間が長期におよぶことや、この間に生じる現象の多様性、さらには処分システムの構成要素として含まれる地層の空間的不均一性のために、評価結果に不確実性が含まれることが不可避である。このため、評価結果が安全基準を満足することを証明するためには、処分の長期的安全性に関する種々の情報に基づく詳細な判断が必要と考えられている。性能評価の大きな役割は、このような検討を合理的に下すために適切な定量的情報を提供することにある。

本研究で行う、包括的性能評価の目標とするところは、従来の性能評価における比較的少数の保守的かつ決定論的な解析を補い、上記の安全性の判断に必要な定量的情報を提供することである。昨年度まで実施してきた「核種移行解析の網羅性の確認・評価」においては、TRU 核種を含む放射性廃棄物の処分に影響を及ぼす様々な事象を網羅的に考慮したモデルを構築することを主体とし、有意な感度を示すパラメータの抽出並びに想定される線量基準を下回るための十分条件を抽出することが可能な手法の開発を行い、地層処分及び余裕深度処分の概念に対してそれらの手法を適用し、その有効性を確認してきた。また、他のシナリオや処分概念への適用についても検討した。

今後は、TRU 核種を含む放射性廃棄物の処分概念やシナリオの多様性（コンクリートピット処分、余裕深度処分、地層処分／地下水シナリオ、変動シナリオ）を考慮し、検証されたツールに基づき、上記手法を用いて体系的に十分条件の網羅的抽出を行い、処分の成立性や重要研究の絞り込みに資する詳細な評価を行う必要がある。そのため、本研究では、これまで構築したモデルや実施した評価の整備及び検証の一部を行うとともに、コンクリートピット処分、余裕深度処分、地層処分の個々の概念や地下水シナリオに対する評価体系を整え、モデル・手法の高度化により、十分条件を体系的にかつ網羅的に抽出するための研究を実施した。

2. モデル体系の整備およびモデル／解析結果の検証

ここでは、本年度実施する包括的性能評価の対象である、コンクリートピット処分、余裕深度処分、及び地層処分に関する、基本シナリオにおける多孔質媒体中の核種移行について、それぞれ必要となる解析モデルの仕様を明確にした。また、仕様に基づき、既存の解析ツールのモデルを個々の処分概念毎に見直し、最新化を図るとともに、既存情報（文献／報告書等）や他のモデルを用いた計算結果と比較することにより検証した。

2.1 モデルの体系化

2.1.1 コンクリートピット処分

コンクリートピット処分に関しては、原子力安全委員会放射性廃棄物安全基準専門部会(1993)において、低レベル放射性固体廃棄物の陸地処分の安全規制に関する基準値の検討に使用されたモデルが存在する。また、発電所から発生する廃棄物については、既に事業許可申請がなされた例が存在する。そのため、本処分方式については、既に安全審査等を経て評価手法が確立されており、この手法を再現するような決定論的なモデルを用いることが適切であると考えられる。

また、コンクリートピット処分では線状ソースの取り扱いが重要であることから、その機能を有する１次元核種移行解析コード Nestor を用いることを基本とする。

2.1.2 余裕深度処分および地層処分

余裕深度処分及び地層処分に関しては、現状では評価手法が未確定であることから、統計的なモデルおよびこれを補完するための決定論的なモデルを併用することとする。

また、これらの処分方式は坑道型処分であり線状ソースの取り扱いは必須ではない反面、併置処分も含めて、影響物質や高アルカリプルームの移行が重要となることから、地球化学異常を表現可能であるコードを用いることを基本とする。さらに、これらの処分方式の対象となる地質特性としては、多孔質媒体および亀裂媒体の両方が考えられる。特に余裕深度処分では、堆積岩系岩盤においても土被り圧が十分でない可能性もあり、その場合多孔質な媒体と何らかの応力作用に

よって生じた亀裂部の両方が核種の移行経路となりえる。そのため、天然バリアの移行モデルとしては、多孔質媒体と亀裂媒体の両方を組み合わせた一般化２重空隙モデルを適用する可能性がある。

よって本研究では、地球化学異常を表現可能であり、かつ将来的に一般化２重空隙モデルが利用可能となるように、オブジェクト指向型の性能評価環境構築システム O_3（オゾン；On-line Object Oriented）（高瀬他, 2001）を用いて解析ツールを開発する。

以上までの検討から得られた、本研究において必要となる仕様を、各処分方式毎に表 2.1.2-1 にまとめる。

表 2.1.2-1　本研究において必要となる仕様

処分方式	評価手法	評価モデル
ｺﾝｸﾘｰﾄﾋﾟｯﾄ処分	決定論的評価	濃度上限値評価モデル
余裕深度処分	統計的評価および決定論的評価の組み合わせ	地球化学異常 天然バリア評価モデル • 亀裂性媒体モデル • 多孔質媒体モデル • 一般化２重空隙モデル
地層処分	統計的評価および決定論的評価の組み合わせ	地球化学異常 天然バリア評価モデル • 亀裂性媒体モデル • 多孔質媒体モデル

2.2 モデル/解析結果の検証

2.2.1 O_3による解析モデルの構築

本年度の研究では、これまで展開してきたシャドウモデルを O_3 システム上で展開し、統計的解析の実施を行った。TRU 廃棄物の処分システムの特性を考慮し、図 2.2.1-1 に示すような解析モデルとして構築した。

図中に示されたオブジェクトは、各々表 2.2.1-1 に示すような意味を持つ。

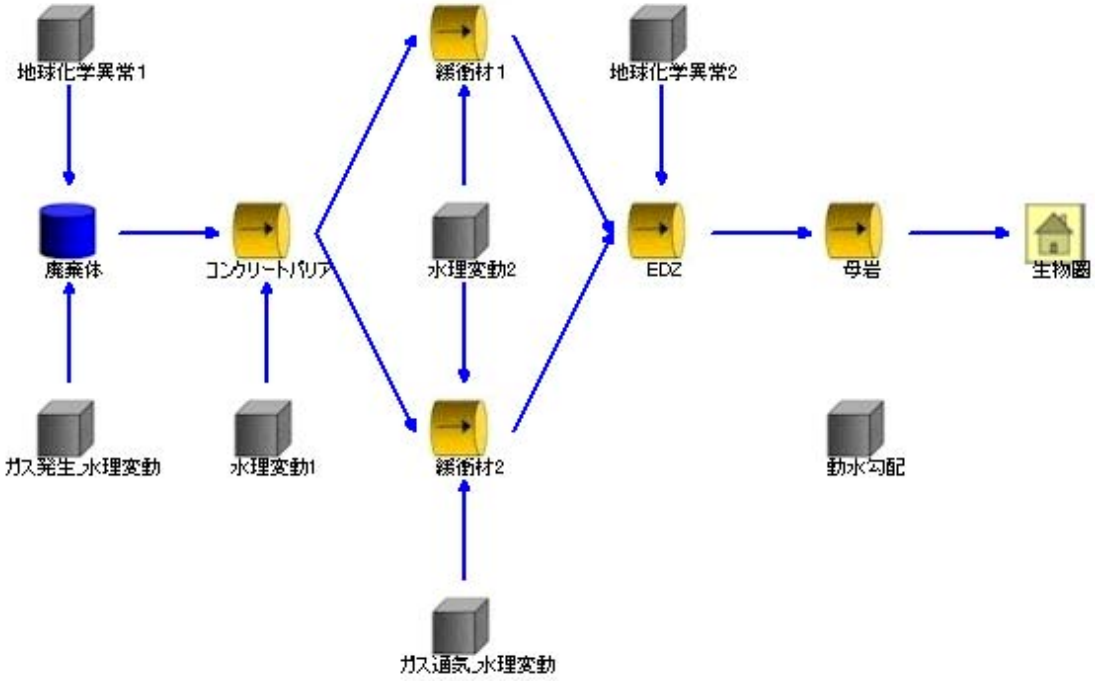


図 2.2.1-1　O_3 **システムによる解析モデルの設定案**

表 2.2.1-1　O_3 システムの配置オブジェクト

	廃棄体領域の特性の設定。領域を多孔質媒体で近似する。 入力パラメータ： 核種インベントリー、領域のジオメトリー、透水係数（または流速）、溶解度、空隙率、分配係数、地球化学物質緩衝容量等。溶解度および分配係数は、地球化学異常前と地球化学異常中、地球化学異常後の値を指定する。
	領域を多孔質媒体で近似する。 入力パラメータ： 領域のジオメトリー、透水係数（または流速）、溶解度、空隙率、分配係数、地球化学物質緩衝容量等。溶解度および分配係数は、地球化学異常前と地球化学異常中、地球化学異常後の値を指定する。
	以下の３つの条件設定を行う ・地球化学異常のソースの指定 入力パラメータ： 地球化学異常開始時刻、継続期間、地球化学異常物質濃度 ・接続された領域の透水係数や空隙率の時間的な変動の指定。 入力パラメータ： 劣化時の透水係数、空隙率 ・全域的な動水勾配の設定 入力パラメータ： 動水勾配
	生物圏 これに接続された領域からの核種フラックスを用いて、これに線量換算係数を乗じて被ばく線量を算出し、出力する。 入力パラメータ： 線量換算係数

緩衝材の領域として２つの領域に分割した理由は、ガスによる移行を考慮するためである。前年度のガス影響に関しては、

① 廃棄体部分でのガス発生による施設内の地下水の押し出し
② 緩衝材の通気に伴う緩衝材空隙水の押し出し

の２つを考慮することにより解析を実施した。しかしながら、②を原因としてEDZ に放出される核種の量に関しては、施設の体積と緩衝材の分配係数、および、通気時刻における核種のインベントリーから概算される緩衝材空隙水中の核種の濃度を用い、核種の移動量を決定し、これが、直接 EDZ に放出されるものとする、概略的な評価を行った。O_3 システムでは、コンクリートバリアから EDZ に至る緩衝材の移行経路をあらかじめ２つ用意することにより、一方の経路をガス通気時に内部の流速を上昇させるようなモデルの構築が容易である。本年度の研究では、この柔軟性を用い、図に示すような２つの移行経路を持つモデルにより解析を実施する。

各オブジェクトを表すアイコン等は、Shadow モデルに対応させ視認性の良いものに変更した。また、各アイコンをクリックし、開かれるウインドウで、パラメータの範囲を指定できるように改良を施した。

2.2.2 解析結果の検証

本年度の研究で用いる O_3 システム上で検証された解析モデルと、既存の解析コードである Tiger1.5 との比較を行い、解析結果の検証を実施した。以下、Tiger との比較結果をまとめる。

(1) 包括的解析モデルの概要

O_3 システムを使用して構築した核種移行解析モデルは、既存の各種移行解析コードや解析モデルと同じように決定論的解析を実施可能なものである。包括的感度解析においては、多数回の解析を実施するための、バッチファイル作成入力システムである Strider と多くの解析結果である出力を整理するための統計的処理システムを O_3 システム上の解析モデルもしくは Tiger1.5 のフロントエンドとして接続して利用している。O_3 システムと Tiger1.5 の特徴は、核種移行評価期間中の地球化学異常による核種移行特性の変化とその回帰の程度やコロイドもしくはガス移行といった通常の溶存核種の地下水移行と異なる形態の核種移行も包括的に解析に取り込むことが出来ることである。

これらの核種移行形態およびモデル化のための方程式は、後述の 4.1.3 項で詳述されるが、各々の形態のモデルの概要は、以下のようにあらわされる。

(a) 核種移行

核種移行の支配工程式は式（2.2.2-1）である。

$$\frac{\partial\ \varepsilon\ c}{\partial t}=\frac{\partial}{\partial x}\left(\varepsilon\ \frac{\partial\left(d_L v\beta+D\alpha\right)c}{\partial x}\right)-\frac{\partial\ \varepsilon\ v\beta\ c}{\partial x}-\ \varepsilon\ \left(\lambda c-\tilde{\lambda}\tilde{c}\right)-\ \varepsilon\ R(c) \qquad (2.2.2\text{-}1)$$

$$\alpha=\frac{\sum_i D_i c_i}{D\sum_i c_i},\qquad \beta=\frac{\sum_i v_i c_i}{v\sum_i c_i} \qquad (2.2.2\text{-}2)$$

式（2.2.2-1）は、通常の移流分散方程式に、α と β の 2 種の係数を加えている。これらの係数は、各々の核種の存在形態によらず拡散および移流の効果を表現するために、式（2.2.2-2）で定義される係数である。これらの係数を変化させる

ことにより、コロイドを含む核種の存在形態毎の移行特性や地球化学異常時の溶解度分配係数の変化を考慮することが可能となる。これらの係数を１にした場合には通常の移流分散方程式となる。また、αは空隙率をε、分配係数をkdとして、以下のように表すことができる。

$$\frac{1}{\alpha} = \varepsilon\, R_f = \varepsilon\,(1 + \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon}\,\rho\, kd) \qquad (2.2.2\text{-}3)$$

なお、評価体系内の地下水流動に関しては、処分バリアを２次元円筒で近似した流動解析を行い、その結果を核種移行評価の流速として適用するものとした。

(b) 地球化学異常

地球化学異常に関しては、各セルの各タイムステップにおいて、地球化学異常に対する緩衝作用を有する鉱物の濃度 B が０でない限りは、地球化学異常物質の濃度 A は０に保持されるものとする。すなわち、

$$C \equiv A - B = \begin{cases} A, & if\ B = 0 \\ -B, & if\ B > 0 \end{cases} \qquad (2.2.2\text{-}4)$$

であることから

$$\frac{\partial \theta C}{\partial t} = \left\{ \frac{\partial}{\partial x}\left(\varepsilon\,(d_L v + D)\frac{\partial C\, H(C)}{\partial x} \right) - \frac{\partial VC\, H(C)}{\partial x} \right\} \qquad (2.2.2\text{-}5)$$

-

を解くことにより、C の濃度が正の値となった場合は当該セルにおいて、地球化学異常に対応するパラメータを設定する。なお、$H()$ は Heaviside のステップ関数である。

(c) コロイド

コロイドの人工バリア材料や母岩への吸着を無視し、コロイドの移行を考慮した場合の、多孔質媒体中の支配方程式は以下のようになる。

$$\frac{\partial}{\partial t}(\varepsilon R_f C_q + \varepsilon\, C_C) = \frac{\partial}{\partial x}(\varepsilon\, D\,\frac{\partial C_q}{\partial x} + \varepsilon\, D_c\,\frac{\partial C_C}{\partial x}) - \frac{\partial}{\partial x}(\varepsilon\, v\, C_q + \varepsilon\, v_c\, C_C)$$
$$- \lambda\,(\varepsilon R_f C_q + \varepsilon\, C_C) + \lambda'(\varepsilon R_f' C_q' + \varepsilon\, C_C')$$

(2.2.2-6)

式(2.2.2-6)で、表現されるコロイドに特有なパラメータは以下の通りである。

C_q ：溶存核種濃度[mol/m^3]

C_C ：コロイドに吸着された核種濃度[mol/m^3]

D_C ：コロイドの分散係数[m^2/s]

v_C ：コロイドの移流速度[m/s]

また、’は、親核種のパラメータであることを示す。

コロイドへ吸着される核種の濃度は、コロイドへの瞬時／線形／可逆の吸着を仮定すると、下式で書き表される。

$$C_C = \chi K_c C_q \qquad ((2.2.2\text{-}7)$$

χ ：液相中のコロイド濃度[kg/m^3]

K_c ：コロイドへの分配係数[m^3/kg]

これを、(2.2.2-6)式に代入し、(2.2.2-8)式を仮定すると、(2.2.2-9)、(2.2.2-10)式が成立するので、

$$\frac{D_c}{D} = \frac{v_c}{v} \qquad (2.2.2\text{-}8)$$

$$G = 1 + \frac{v_c}{v} \chi K_c \qquad (2.2.2\text{-}9)$$

$$P = R_f + \chi K_c \qquad (2.2.2\text{-}10)$$

(2.2.2-6)式は、以下のように簡素化される。

$$\frac{\partial}{\partial t} \varepsilon C_q P = \frac{\partial}{\partial x}(\varepsilon D \frac{\partial C_q}{\partial x} G) - \frac{\partial}{\partial x}(\varepsilon v C_q G) - \lambda \varepsilon C_q P \qquad (2.2.2\text{-}11)$$

εおよびP、Gが、差分時間メッシュ、空間メッシュ内で変動しないものと仮定すると

$$\varepsilon(P/G)\frac{\partial C_q}{\partial t} = \varepsilon D\frac{\partial^2 C_q}{\partial x^2} - \varepsilon v\frac{\partial C_q}{\partial x} - \lambda \varepsilon C_q(P/G) \quad (2.2.2\text{-}12)$$

上式の(*P/G*)を、コロイドの影響を考慮する場合の、遅延係数Rfcとみなすものとして、コロイドの影響を考慮する場合の分配係数（*Kdc*）を下式で求めるものとする。

$$R_{f_C} = P/G = \frac{R_f + \chi K_c}{1 + \frac{v_c}{v}\chi K_c} = 1 + \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon}\rho Kd_C \quad (2.2.2\text{-}13)$$

この様に、コロイドによる核種の移動は遅延係数を調整することにより、表現可能となる。

(d) ガスによる核種移行への影響

腐食により発生する水素ガスは、廃棄物周辺から外部に向けての動水勾配を与えるため、放射性核種を含む人工バリア内部の空隙水を排出する可能性がある。緩衝材を用いるケースの場合には、汚染空隙水の排出経路としては以下の二つが想定される。

① 緩衝材空隙水の脱水

ガスが蓄積して自由ガス層が形成される施設内上面から緩衝材外部上面に向けて、毛管圧の比較的低い、大きな径の空隙中での気液界面の移動を伴う水の移動。この気液海面が緩衝材外部上面に達した時点で、緩衝材を通じた通気経路が形成されて、ガスの透気が開始される。

脱水に寄与する部分の地下水流速は、脱水により通気するまでの期間と緩衝材の厚さにより求める。

$$S_{b,cap} = r_{cap} \cdot S_b \tag{2.2.2-14}$$

$$v_{cap} = \frac{L_b}{T_{GAS,cap}} \tag{2.2.2-15}$$

ここで、

$S_{b,cap}$ ：ガス通気に寄与する緩衝材の面積

$T_{GAS,cap}$ ：ガス通気の期間

v_{cap} ：ガス通気の期間中の流速

L_b ：緩衝材の厚さ

r_{cap} ：緩衝材中の脱水によるガス通気の寄与する面積の割合

である。

② 施設内部ボイドの排水

施設内の比較的大きな空隙（毛管圧が実質上無視し得る）中のガスの気泡は上昇して境界面に蓄積し、空隙中の水位を押し下げることにより自由ガス層を形成する。この水位低下に伴い、当該空隙中の汚染水が緩衝材下部に向けて排出されることとなる。

v'をガス発生時の流速、vをガス発生がない場合の流速、q_{GAS}をガス発生時の排水速度（＝ガス発生量）として、下式で表すものとした。この排水速度が、核種移行上の流速として反映される。

$$v' = v + \frac{q_{GAS}}{S_b} \tag{2.2.2-16}$$

上記の 2 種のガス発生に起因する減少による核種の外側への移行加速効果を包括的解析モデルでは表現可能である。

本項では、検証のために、代表的な核種移行パラメータセットを準備して、同一条件での核種移行率を比較評価する。そのため、上記のモデルおよびモデルに対応するパラメータの一部は、省略もしくは簡略化している。

(2) 時間的に一定で空間的に物性等が異なる領域に関する検証

ここでは、時間的には一定で空間的に物性等が異なる領域、人工バリアと天然バリアの存在を考慮したケースについて、Tiger の数値解析結果との比較により検証した。

表 2.2.2-1～表 2.2.2-4 に検証に用いたデータを示す。また、Tiger および O_3 システムにおいて、直接入力可能であるが、解析結果比較の観点から簡単な入力形態に変更したパラメータを含む設定一覧の比較表を表 2.2.2-3 に示す。主な核種について、図 2.2.2-1 に人工バリアからの流出フラックス、図 2.2.2-2 に天然バリアからの流出フラックスの比較を示す。両コードとも結果は良く一致している。

表 2.2.2-1　時間的に一定で空間的に物性等が異なる領域（人工バリアと天然バリアの存在）を考慮したケースについて Tiger との比較検証に用いたデータ

（その１：計算体系）

	データ	備考
廃棄体		
体積［m3］	38.4	
断面積［m2］	24.8	
セル分割数	1	
空隙率［-］	0.429	
密度［kg/m3］	3971	
ダルシー流速［m/yr］	9.46E-6	
分散長［m］	0.0	
拡散係数［m2/yr］	0.112	拡散係数は元素に依らないとした。
内側境界条件	ゼロフラックス	
人工バリア		
厚み［m］	1.0	
外側面積［m2］	37.7	廃棄体側から順にセル断面積が大きくなる。
セル分割数	10	
空隙率［-］	0.4	
密度［kg/m3］	2680	
ダルシー流速［m/yr］	9.46E-6	
分散長［m］	0.1	
拡散係数［m2/yr］	Cs 2.37E-2 C,Cl,Se,I 7.88E-3 その他 1.58E-2	
EBS-NBS 境界条件	濃度連続	
天然バリア		
長さ［m］	100.0	
断面積［m2］	44.0	
セル分割数	100	
空隙率［-］	0.2	
密度［kg/m3］	2700	
ダルシー流速［m/yr］	3.16E-4	
分散長［m］	10.0	拡散係数は元素に依らないとした。
拡散係数［m2/yr］	0.126	
外側境界条件	ゼロ濃度	
計算精度	1E-6	

表 2.2.2-2　時間的に一定で空間的に物性等が異なる領域（人工バリアと天然バリアの存在）を考慮したケースについて Tiger との比較検証に用いたデータ（その２：対象核種）

核種	半減期 [yr]	インベントリ [mol]
C-14	5.73E+03	1.39E-01
Cl-36	3.00E+05	1.71E-01
Co-60	5.27E+00	9.55E-01
Ni-59	7.50E+04	1.58E+01
Se-79	6.50E+04	3.45E-02
Sr-90	2.88E+01	2.55E+00
Zr-93	1.50E+06	1.61E+01
Nb-94	2.00E+04	1.60E+00
Mo-93	3.00E+03	5.08E-03
Tc-99	2.14E+05	2.01E+01
Pd-107	6.50E+06	9.18E-01
Sn-126	1.00E+05	9.64E-02
I-129	1.60E+07	6.45E-01
Cs-135	3.00E+06	2.01E+00
Cm-244	1.81E+01	4.84E-02
Pu-240	6.57E+03	3.13E+00
U-236	2.34E+07	7.13E+00
Th-232	1.41E+10	0
Ra-228	5.76E+00	0
Th-228	1.91E+00	0

表 2.2.2-3　検証計算におけるパラメータ反映状況

パラメータ項目	検証計算での反映の可否	備考
核種インベントリ	○	
浸出率	×	埋設 1 年後に全量放出とした。
バリア幾何形状に関するパラメータ	○	人工バリアについては、廃棄体側からセル断面積が順番に大きくなるようにした。
水理に関するパラメータ	×	二次元流動解析を行わず、ダルシー流速として簡易に設定した。
地球化学に関するパラメータ	×	時間的には一定な領域の検証を目的とするため、核種毎の不変な溶解度、分配係数を設定した。
様々な存在形態の核種移行の移動特性に関するパラメータ	×	α、βの設定は行わない。
コロイドの核種移行への影響	×	コロイドによる核種移行効果は設定しない。
ガスによる核種移行への影響	×	ガスによる核種移行加速の 2 形態の設定は行わない。

表 2.2.2-4　時間的に一定で空間的に物性等が異なる領域（人工バリアと天然バリアの存在）を考慮したケースについて Tiger との比較検証に用いたデータ（その３：溶解度・分配係数）

元素	廃棄体	人工バリア	天然バリア
溶解度 [mol/m3]			
C	7.00E-02	1.00E+09	1.00E+09
Cl	1.00E+09	1.00E+09	1.00E+09
Co	2.00E-01	2.00E-01	1.00E+09
Ni	2.00E-01	2.00E-01	1.00E+09
Se	2.00E-03	2.00E-03	1.00E+09
Sr	1.00E-01	1.00E+09	1.00E+09
Zr	2.00E-02	2.00E-02	1.00E+09
Nb	1.00E+09	1.00E+09	1.00E+09
Mo	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+09
Tc	4.00E-05	4.00E-05	1.00E+09
Pd	3.00E-04	3.00E-04	1.00E+09
Sn	5.00E+02	5.00E+02	1.00E+09
I	1.00E+09	1.00E+09	1.00E+09
Cs	1.00E+09	1.00E+09	1.00E+09
Ra	1.00E-03	1.00E-03	1.00E+09
Th	8.00E-07	3.00E-03	1.00E+09
U	1.00E-05	6.00E-05	1.00E+09
Pu	1.00E-07	5.00E-05	1.00E+09
Cm	9.00E-06	5.00E-06	1.00E+09
分配係数 [m3/kg]			
C	0.005	0	0.0001
Cl	0.0001	0	0.0001
Co	0.01	0.01	0.5
Ni	0.01	0.01	0.5
Se	0.0001	0	0.01
Sr	0.001	0.001	0.5
Zr	0.1	1	1
Nb	0.1	0.1	1
Mo	0.0001	0	0.0001
Tc	0.1	0.1	1
Pd	0.01	1	1
Sn	0.1	0.1	5
I	0.0001	0	0.0001
Cs	0.001	0.01	0.1
Ra	0.05	0.01	0.5
Th	1	0.1	1
U	1	0.01	1
Pu	1	1	1
Cm	1	1	5

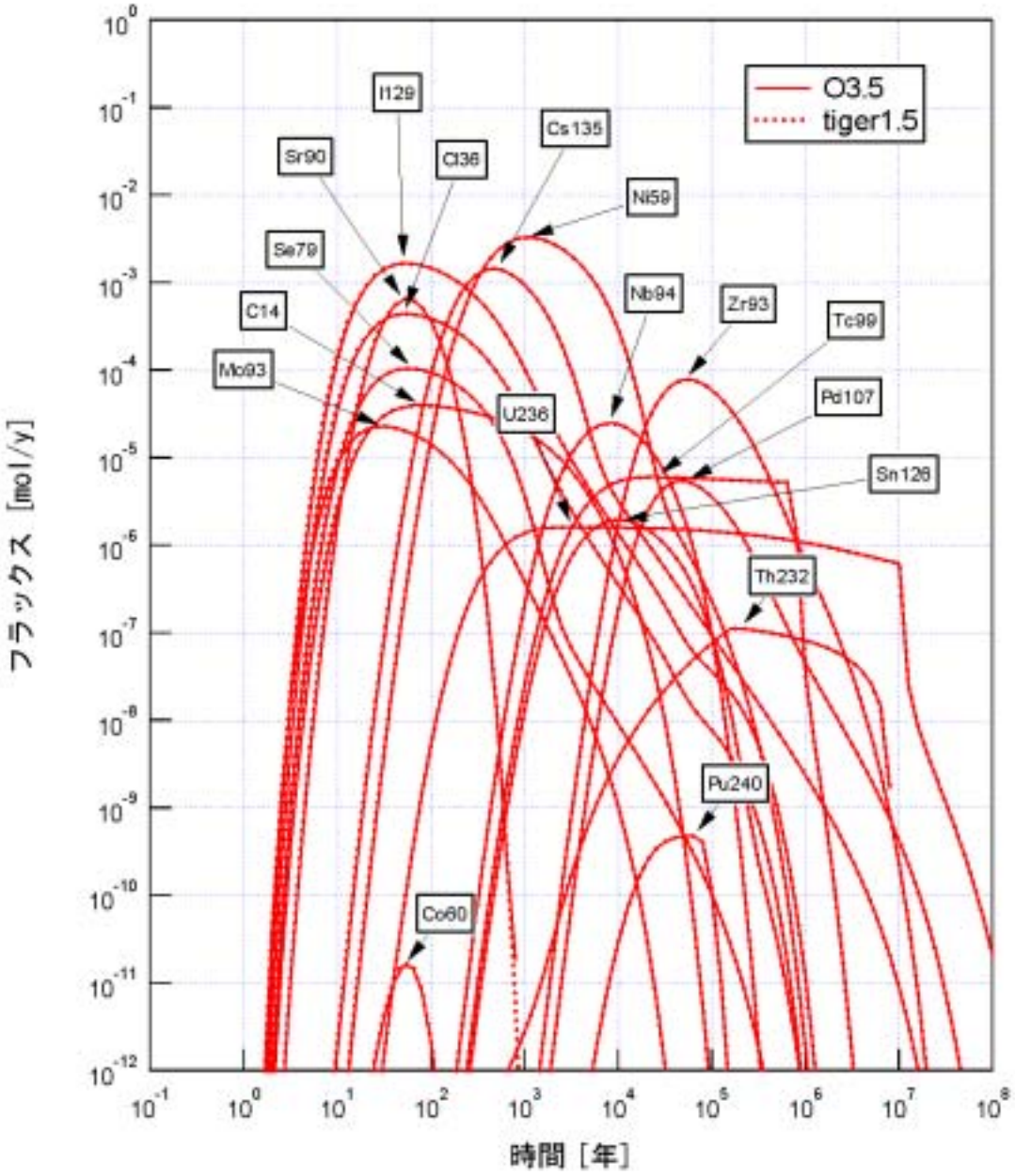


図 2.2.2-1　O_3 **と** Tiger **の人工バリア出口フラックスの比較**

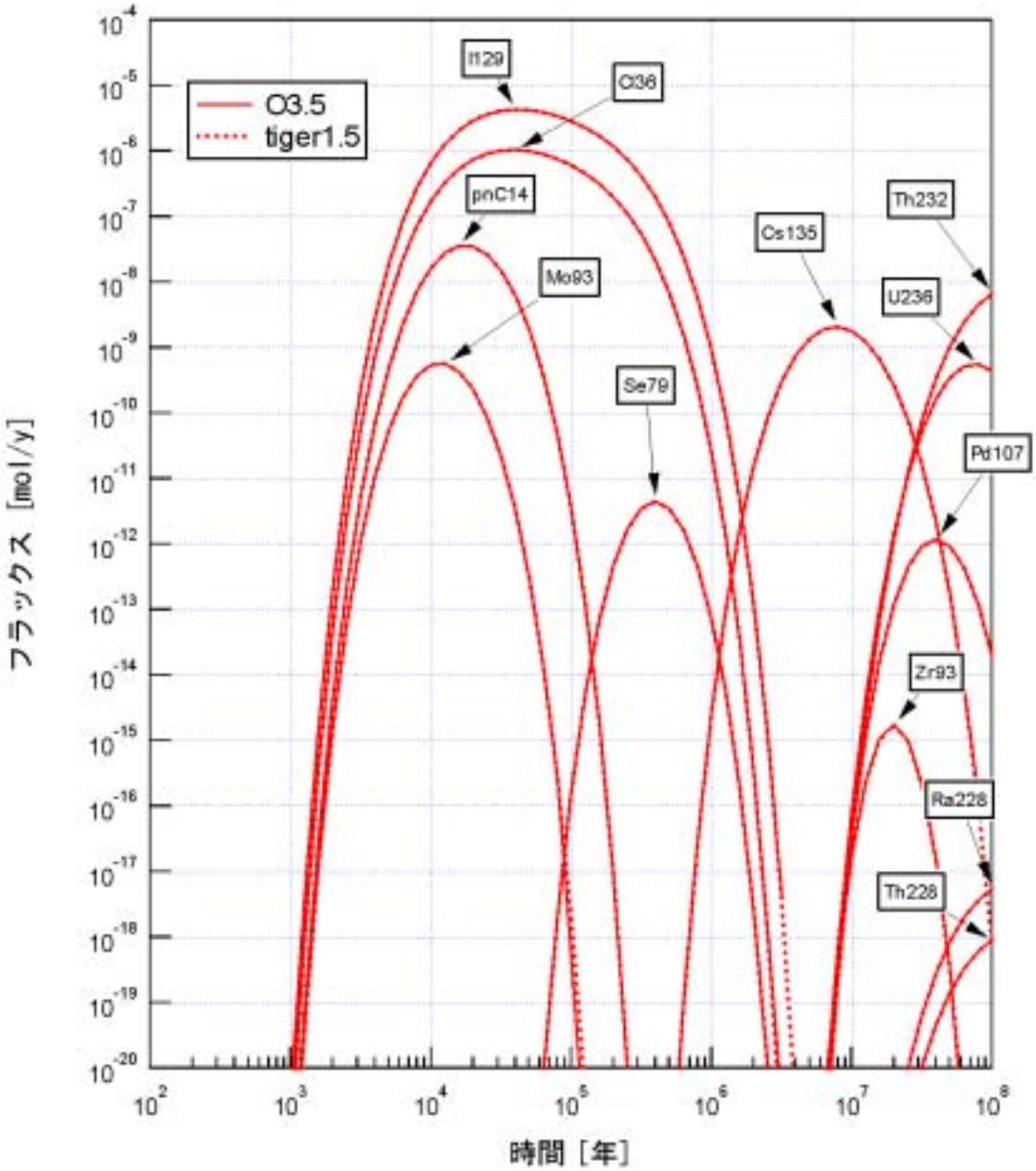


図 2.2.2-2　O_3 **と** Tiger **の天然バリア出口フラックスの比較**

(3) 地球化学異常モデルに関する検証

ここでは、時間的には一定で空間的に物性等が異なる領域、人工バリアと天然バリアの存在を考慮したケースに、さらに一定時間後に地球化学異常が生じる設定を加えて、地球化学異常の解析モデルとしての検証を行った。検証方法は、Tiger の数値解析結果との比較によるものとした。

基本的なデータは、表 2.2.2-1～表 2.2.2-4 に示したデータと同じである。表 2.2.2-5 および表 2.2.2-6 に GA モデルに関係するデータを示す。また、Tiger および O_3 システムにおいて、直接入力可能であるが、解析結果比較の観点から簡単な入力形態に変更したパラメータを含む設定一覧の比較表を表 2.2.2-7 に示す。主な核種について、図 2.2.2-3 に人工バリアからの流出フラックス、図 2.2.2-4 に天然バリアからの流出フラックスの比較を示す。両コードとも結果は良く一致している。

表 2.2.2-5　GA **モデルについて** Tiger **との比較検証に用いたデータ（その１：**GA**）**

	データ	備考
GA		
発生源	廃棄体	
強度	0.01	
発生期間[yr]	1E5 yr	
緩衝能力		
廃棄体[m^{-3}]	1.0	
人工バリア [m^{-3}]	1.0	
天然バリア [m^{-3}]	0.0	

表 2.2.2-6　GA **モデルについて** Tiger **との比較検証に用いたデータ**

（その２：溶解度・分配係数）

元素	GA 中	GA 後	備考
溶解度 [mol/m3]			
すべての元素	1.00E+09	1.00E+09	場所によらない
分配係数 [m3/kg]			
すべての元素	GA 前の値の 0.1 倍	GA 前の値の 0.5 倍	

表 2.2.2-7　地球化学異常を考慮した検証計算におけるパラメータ反映状況

パラメータ項目	検証計算での反映の可否	備考
核種インベントリ	○	
浸出率	×	埋設 1 年後に全量放出とした。
バリア幾何形状に関するパラメータ	○	人工バリアについては、廃棄体側からセル断面積が順番に大きくなるようにした。
水理に関するパラメータ	×	二次元流動解析を行わず、ダルシー流速として簡易に設定した。
地球化学に関するパラメータ	△	現状のモデルでは異常物質および緩衝材の初期濃度は個別に設定出来るが、検証計算では異常物質の強度と緩衝能力を設定し、異常物質の強度継続期間は 10^5 年に設定。（表 2.2.2-5 参照）
様々な存在形態の核種移行の移動特性に関するパラメータ	×	α、βの設定は行わない。
コロイドの核種移行への影響	×	コロイドによる核種移行効果は設定しない。
ガスによる核種移行への影響	×	ガスによる核種移行加速の 2 形態の設定は行わない。

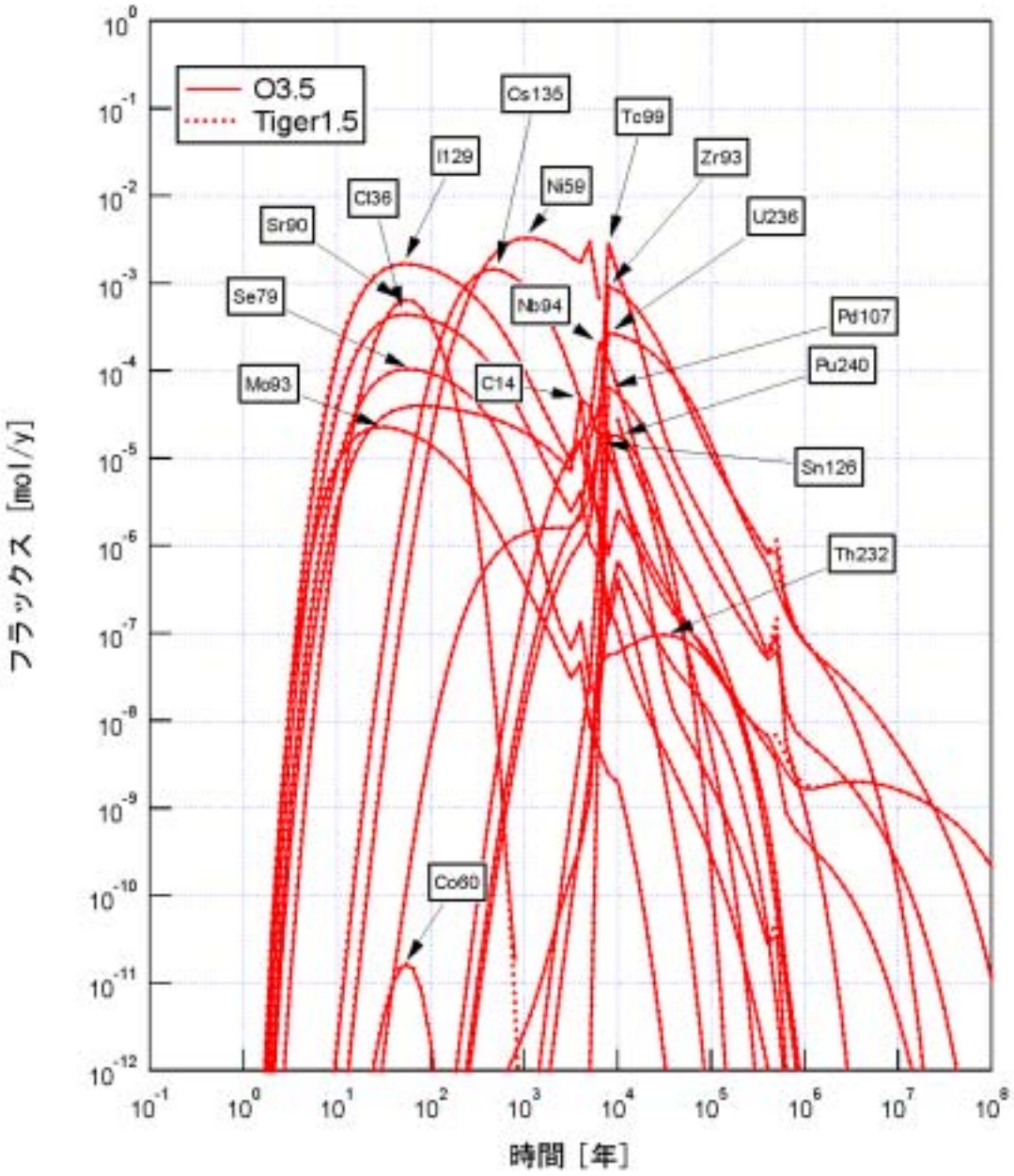


図 2.2.2-3　O_3 **と** Tiger **の人工バリア出口フラックスの比較（地球化学異常を想定）**

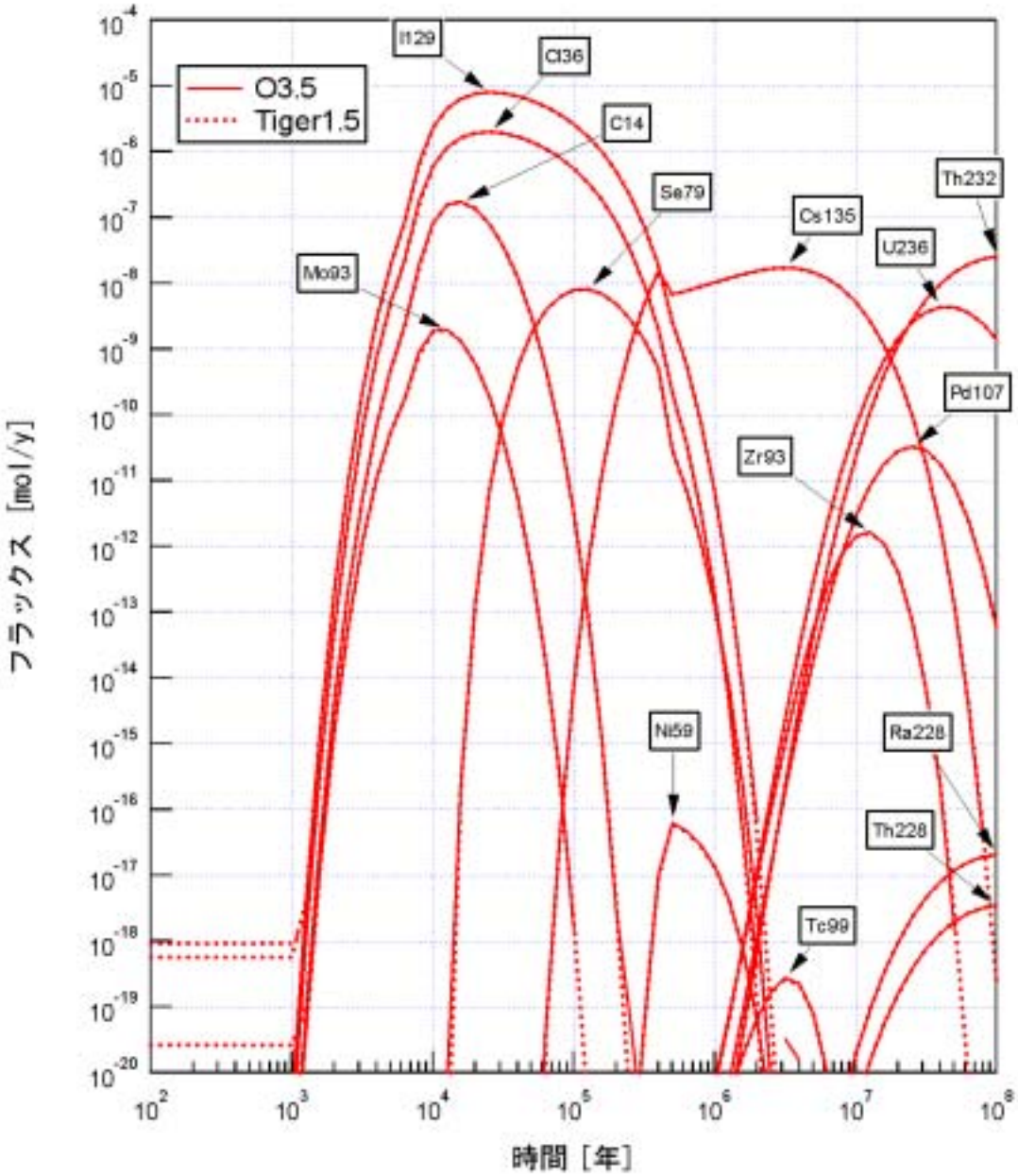


図 2.2.2-4　O_3 **と** Tiger **の天然バリア出口フラックスの比較（地球化学異常を想定）**

(4) 速度論的溶解沈殿反応モデルの検証

O_3の検証に用いたデータを表 2.2.2-8 および表 2.2.2-9 に示す。速度論的溶解沈殿反応に関しては、Np の移行について Tiger との比較を行った。天然バリア出口フラックスに関する計算結果の比較を図 2.2.2-5 に示す。図中には、速度論的溶解沈殿を考慮しない場合の結果も示してある。図からも判るように両コードの結果は非常に良く一致している。よって、速度論的沈殿溶解反応モデルは、正しく機能していることが検証できた。なお、速度論的溶解沈殿反応を考慮した場合の計算時間は、Tiger が約４分、O_3が約５分であった。

表 2.2.2-8　速度論的溶解沈殿反応モデルの

Tiger との比較計算に用いた O_3 の入力データ（その１）

	O_3	備考
廃棄体		
厚み [m]	0.205	
断面積 [m2]	4.379	
空隙率 [-]	1.0	
実流速 [m/yr]	0.0	ベントナイトによる止水
分散長 [m]	0.0	
拡散係数 [m2/yr]	9.46E-3	元素によらない
ベントナイト		
厚み [m]	0.7	各セルの断面積は 4.379 から 11.856 の間で直線内挿した。
出口断面積 [m2]	11.856	
セル分割数	10	
空隙率 [-]	0.4	
実流速 [m/yr]	0.0	ベントナイトによる止水
分散長 [m]	0.0	
拡散係数 [m2/yr]	9.46E-3	元素によらない
天然バリア		
厚み [m]	100	移行距離
断面積 [m2]	3.125	
セル分割数	100	
空隙率 [-]	0.2	
実流速 [m/yr]	0.16	動水勾配×透水係数
分散長 [m]	10.0	＝1E-9 [m/s]に相当。
拡散係数 [m2/yr]	1.26E-1	元素によらない
溶解度制限	なし	
核種インベントリ [mol]		Tiger は、瞬時放出であるが、O_3 では放出時間 1.0 年とした。
Cm-245	7.26E-3	
Pu-241	1.23E-5	
Am-241	1.88E-1	
Np-237	3.74E+0	
U-233	1.17E-3	
Th-229	2.51E-6	
境界条件		
廃棄体側	ゼロフラックス	
天然バリア側	移流のみ	

表 2.2.2-9　速度論的溶解沈殿反応モデルの

Tiger との比較計算に用いた O_3 の入力データ（その２）

	O_3	備考
人工バリア内 平衡論的溶解度 [mole/m3] Cm Pu Am Np U Th	 5.0E-6 2.0E-6 5.0E-6 1.0E-5 6.0E-5 3.0E-3	
人工バリア内 速度論的溶解度 Np　[mole/m3]	1.0E-8	平衡論の 1/1000 とした。
人工バリア内 速度論的溶解沈殿 反応速度 [mole/m3/y]	1.0E-10	計算時間の都合上、できるだけ小さな値にした。

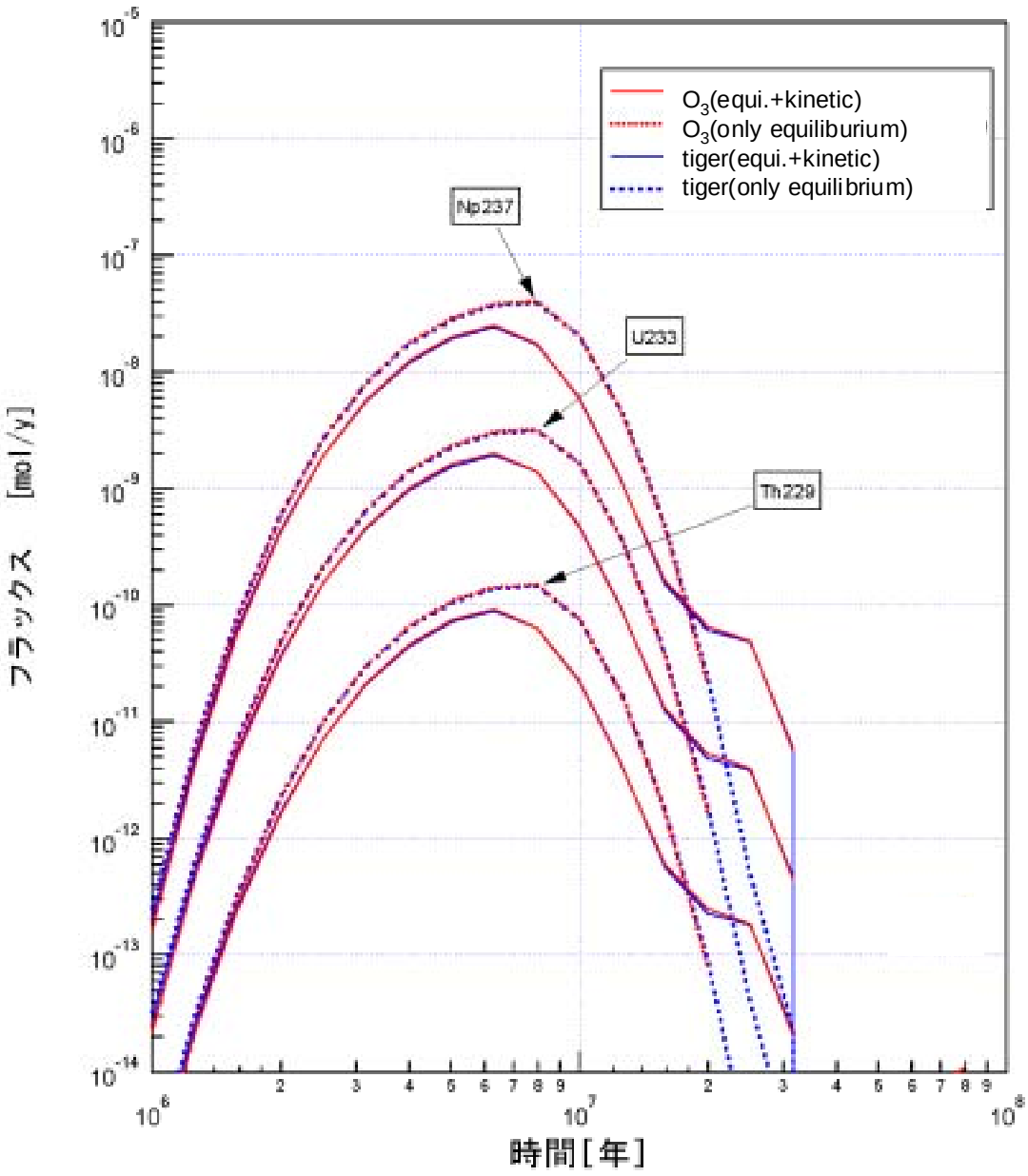


図 2.2.2-5　速度論的溶解沈殿反応モデルの検証

（天然バリア出口でのフラックスの比較）

2.2.3 O_3システムへの一般化２重空隙モデルの追加

表 2.1.2-1 で示したように、今後、検討の必要なモデルとしては、透水性の高い母岩に亀裂が存在するような地層に対応する、モデル（本研究では、以降、一般化２重空隙モデルと呼ぶ）が挙げられる。本研究では、一般化２重空隙モデルの概念モデルを構築するとともに、これを O_3 システムに組み込むための検討を行った。

(1) 一般化２重空隙モデルに対する概念モデル

マトリクス自体が透水性である母岩中にある亀裂系での地下水流動は、一般には、図 2.2.3-1 に示すような二次元的な概念モデルによって表現する必要がある。

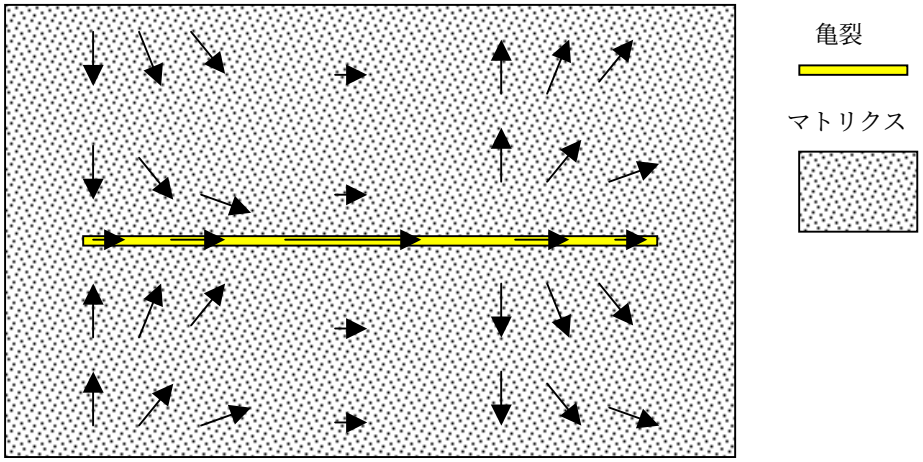


図 2.2.3-1 **マトリクス自体が透水性である母岩中にある亀裂系での地下水流動の概念**

このような系では、亀裂及びマトリクスのそれぞれにおいて、主流動方向にそった移流と分散が生じることに加えて、マトリクスから亀裂への地下水流入及び亀裂からマトリクスへの流出による、主流動と直交する方向の流れや同方向の分散（縦方向分散）が生じる。このような問題を一次元モデルによって表現するために、図 2.2.3-2 のような概念を用いる。ここで、マトリクスセルと亀裂セルとの間でも水の流動が生じるため、これらによって構成される二重チャンネル全体としての流量は場所に依らず一定であるが、マトリクスと亀裂間

の流量配分は位置によって異なるものとなる。たとえば、図 2.2.3-1 に示したように、亀裂の頻度が低く、相互に連絡したネットワークを構成しないような場合には、最上流側では地下水の全量がマトリクス中を流れ、亀裂の始点近傍で亀裂への集水が生じ、下流側では亀裂内流量が徐々に低下し、最下流側では再び全量がマトリクス中を流れることとなる。このような例では、亀裂とマトリクス間の流量配分は図 2.2.3-3 に示す通りとなる。

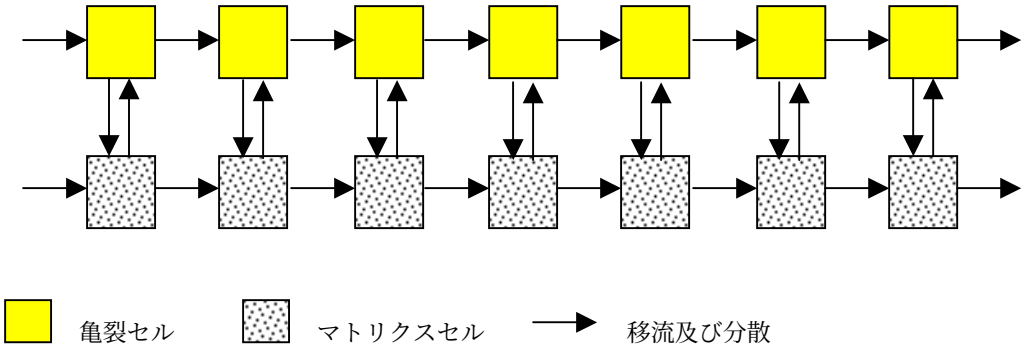


図 2.2.3-2　**二重チャンネルによる核種移行の表現**

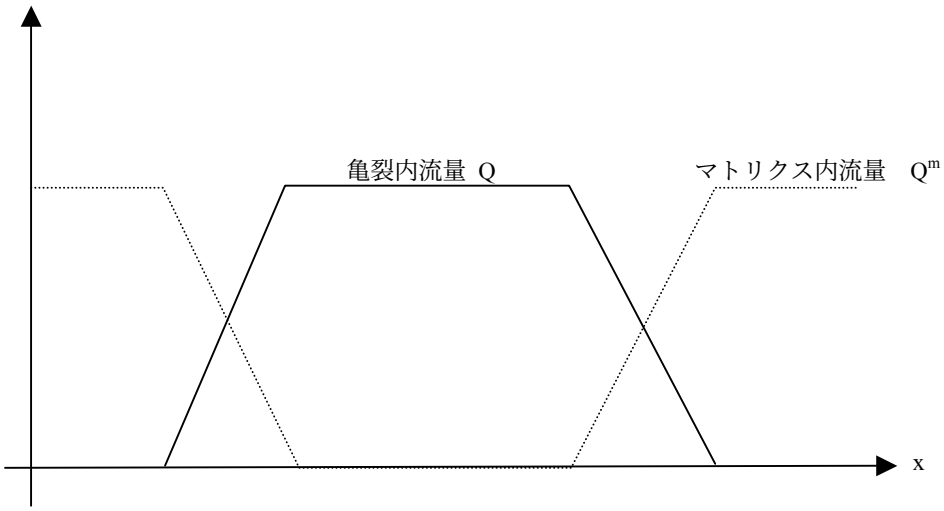


図 2.2.3-3　**二重チャンネル間流量配分の空間的プロファイル**

（連絡していない亀裂の例）

(2) 支配方程式

亀裂及びマトリクスチャンネル中の核種移行に関する支配方程式はそれぞれ次式により与えられる。ただし、マトリクスについても単一のチャンネルを考えるため、下式のωについての空間的離散化は（それぞれの x について）単一のセルとなる。

$$\frac{\partial C_n}{\partial t} + v_L \frac{\partial \beta_n C_n}{\partial x} + v_T \beta_n C_n - \frac{\partial}{\partial x} D_L \frac{\partial \beta_n C_n}{\partial x} + \lambda_n C_n - \lambda_{n-1} C_{n-1} + \frac{F}{b} D_T^m \frac{\partial \beta_n^m C_n^m}{\partial \omega}\bigg|_{\omega=0} = 0$$

(2.2.3-1)

$$\frac{\partial C_n^m}{\partial t} + v_L^m \frac{\partial \beta_n^m C_n^m}{\partial x} - v_T \beta_n^m C_n^m\Big|_{\omega=0} - \frac{\partial}{\partial \omega} D_T^m \frac{\partial \beta_n^m C_n^m}{\partial \omega} - \frac{\partial}{\partial x} D_L^m \frac{\partial \beta_n^m C_n^m}{\partial x} + \lambda_n C_n^m - \lambda_{n-1} C_{n-1}^m = 0$$

(2.2.3-2)

a ：亀裂間隔の 1/2[m]
b ：亀裂開口幅の 1/2[m]
v_L ：亀裂内流速 [m s^{-1}]
v_T ：亀裂からマトリクスへの地下水流速 [m s^{-1}]
D_L ：亀裂内分散係数 [m^2 s^{-1}](=$\alpha_L v_L + D_0$)
α_L ：縦方向分散長 [m]
D_0 ：自由水中の拡散係数 [m^2 s^{-1}]
λ_n ：崩壊定数 [s^{-1}]
F ：亀裂単位面積あたりのマトリクス拡散に寄与する亀裂面積の割合[-]
（以下、「マトリクス拡散寄与面積率」という）
D_L^m ：マトリクス中縦方向分散係数 [m^2 s^{-1}]
D_T^m ：マトリクス中横方向分散係数 [m^2 s^{-1}]
v_L^m ：マトリクス内流速 [m s^{-1}]
C_n, C_n^m ：亀裂および岩石基質中の核種総濃度 [mol m^{-3}]
x ：亀裂内の移行距離 [m]
ω ：亀裂表面から垂直方向の距離 [m]
t ：時間 [s]
β_n^m ：マトリクス内核種の全濃度中の可動なものの割合
β_n ：亀裂内核種の全濃度中の可動なものの割合

また、添字、n は核種系列（n-1 は、親核種を示す）, m は岩石基質部（マトリクス部）を表わし、β、β^m は亀裂および岩石基質中での mobility function（核種の全濃度のうち可動なもの（溶存形）の割合を示す。これらは、分配係数と溶解度により、全濃度の関数として規定される。核種が線形吸着を生じるケースでは、β は、遅延係数の逆数となる。）である。なお、二重チャンネル全体と

しての水収支から、以下が導かれる。

$$v_T = -\frac{\partial Q}{\partial x} = \frac{\partial Q^m}{\partial x} \tag{2.2.3-3}$$

(3) 初期条件・境界条件

亀裂およびマトリクス中での初期濃度は 0 とする。

$$\begin{aligned} &C_n(x,0) = 0 \\ &C_n^m(x,\omega,0) = 0 \end{aligned} \tag{2.2.3-4}$$

亀裂表面及び二つの亀裂の中点ω=a [m]における境界条件は以下のように表される。

$$\begin{aligned} &\beta_n C_n(x,t) = \beta_n^m C_n^m(x,0,t) \quad (\omega = 0) \\ &\left.\frac{\partial \beta_n^m C_n^m}{\partial \omega}\right|_{\omega=a} = 0 \qquad\qquad (\omega = a) \end{aligned} \tag{2.2.3-5}$$

なお、人工バリアと同様の手法で水理及び地球科学的な条件の時間的変化を取り扱うものとする。

3. 感度構造の明確化並びに十分条件の網羅的抽出を合理的かつ効率的に実施するための手法の開発

3.1 感度構造の網羅的把握のための手法の改良と新規手法の開発及び適用

昨年度の研究「核種移行解析の網羅性の確認・評価（その３）」（三木崇史、2002）では、応答局面法を適用することによって、制約条件を考慮した場合の部分集合に含まれるケース数の減少を避けつつ、詳細な感度構造を把握するための定量的な手法を開発した。そこで本研究では、昨年度の研究結果も踏まえて、応答曲面の近似の精度を向上させることを目的に、応答曲面を用いた手法の一部を改良した。また、各パラメータ範囲に対応する線量の分布を用いた、感度構造を把握する手法を別途新たに開発し、補完的な感度情報を取得する手法を開発した。また本検討では、これまでの研究において開発された感度構造を把握するための手法を整理し、適切な利用方法と組み合わせ方について明確にした。

3.1.1 応答曲面を用いた手法の検討

シャドウモデルの結果の感度解析では、パラメータの数が多く、また、各パラメータと解析結果の関係が非線形であることから、解析数が多いほうが望ましい。しかしながら、解析ケース数を無限に増やすことは不可能であり、かつ、計算機への負荷が大きくなる。そのため、前年度の研究では、統計的な処理を行うための解析ケース数を増加させるための手法として、応答曲面法の適用が検討された。

前年度の研究では、応答曲面を使うための応答曲面に用いるパラメータの個数や応答曲面を生成するためのデータ数に関して検討を加えたが、応答曲面により予測される核種放出率の精度は必ずしも高いものではなかった。前年度の研究では、以下の問題が指摘されている。

- 応答曲面を作成するための応答曲面内の近似パラメータ数が多すぎる場合には、過学習の効果から、予測精度は低下する。
- 入力データのパラメータの数が多く、かつ、予測に寄与しないパラメータが多く存在する場合には、予測精度が低下する。

最初の問題に関しては、その解決方法そのものが応答曲面法の適用に関する現状の主要な研究課題であり、これに対して、明確な回答を述べることは本研究の主題ではない。しかしながら、前年度研究では、応答曲面のパラメータの数が、入力データ数の１/２～１/３程度で、近似精度が高かったことから、これに基づき応答曲面のパラメータ数を決定することが考えられる。

2 番目の問題に関しては、各ケースの線量解析結果に影響の大きかった入力パラメータのみを選ぶことにより対応できるが、入力パラメータ数を減らしすぎると、やはり、予測精度が低下することとなる。昨年度研究では、入力パラメータと被ばく線量の合計値との関係を用いて応答曲面を作成したが、この場合には、被ばく線量の最大値を支配する核種以外の核種に影響を及ぼすパラメータは、感度が小さい（または、無い）ものとして扱われることとなる。そのため、核種毎の放出率に対して、感度分析を行い、核種毎に感度の大きなパラメータを抽出し、これを用いて、応答曲面を作成することにより、より、精度の高い応答曲面が生成できるものと考えた。

そのため、本研究では、以下の方法を用い予測精度の向上を試みるものとした。

ステップ１：核種放出率の結果を核種毎に Bq/y または mol/y で出力を行う。

ステップ２：核種毎にムービングバンド法による解析を実施し、核種毎に感度の大きなパラメータを抽出する。

ステップ３：核種毎に線量換算係数、または、線量換算係数のサンプル値を乗じて、これを加算し被ばく線量の最大値を求める。この際、核種毎に放出率が最大となる時刻が異なるため、最大値のみを加算する場合と異なり予測値はオーバーエステメイトされる可能性があるが、それによる誤差は、上昇側に最大数倍程度であることから、予測精度を向上させるほうが優位となる。

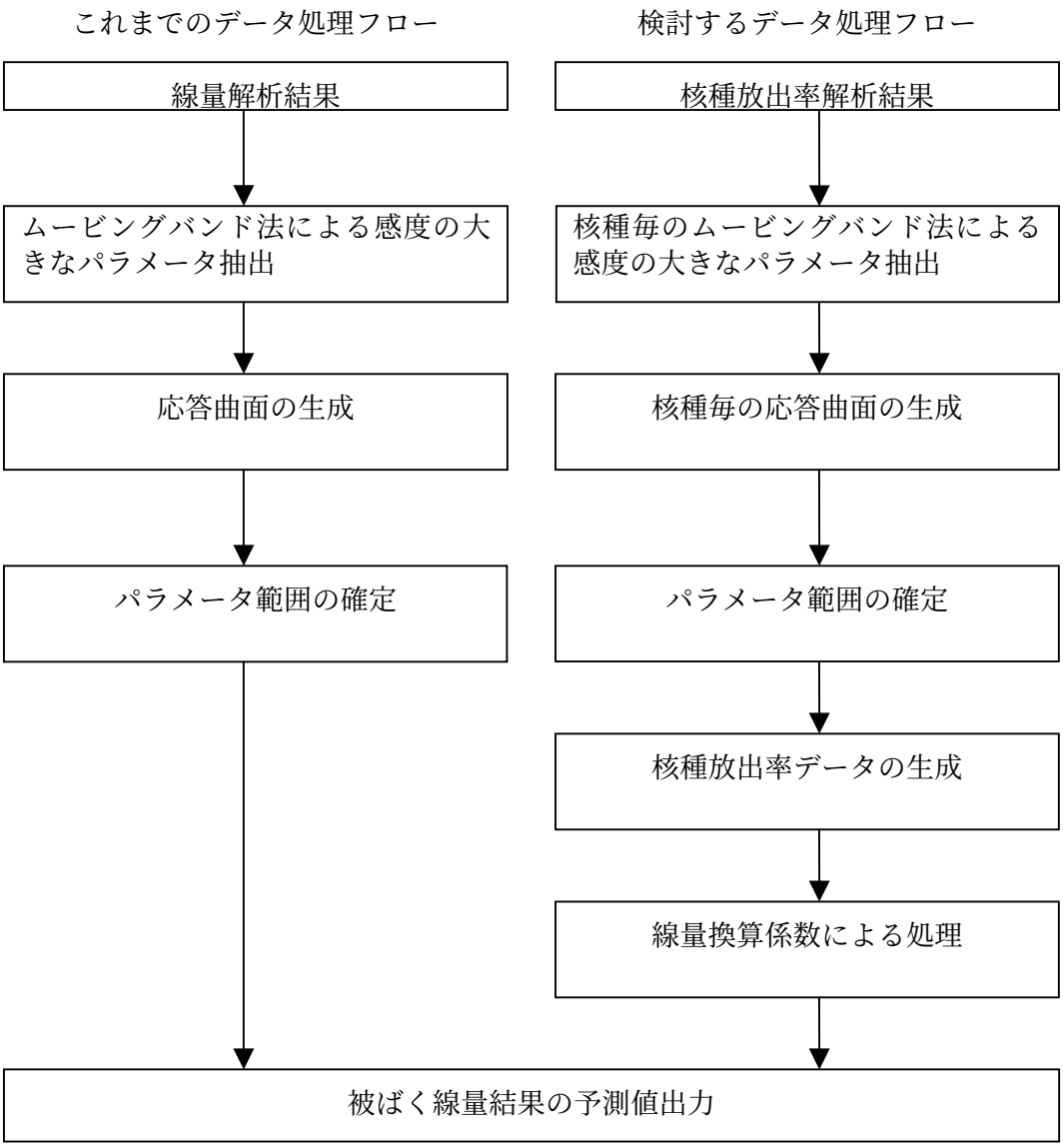


図 3.1.1-1　**応答曲面法の適用方法の比較**

図 3.1.1-2 に、前年度の解析結果である「グループ４、区分 43」のデータを用い、応答曲面を作成し、それを用いて解析した結果を示す（2002、核燃料サイクル機構）。図は、昨年度の研究と同様に総被ばく線量に基づき、応答曲面を作成し、これにより得られる被ばく線量推定値と解析により得られた結果を比較したものである。図 3.1.1-3～図 3.1.1-5 は、図 3.1.1-1 に示したフローに従い、核種毎の天然バリアへの核種放出率を、それぞれの核種放出率に影響の大きなパラメータを用い、応答曲面を生成し、解析値と比較した結果である。また、図 3.1.1-6 は、線量を用いた場合と、核種毎の放出率を用いた場合の、ブラインドテストを行った結果の比較である。

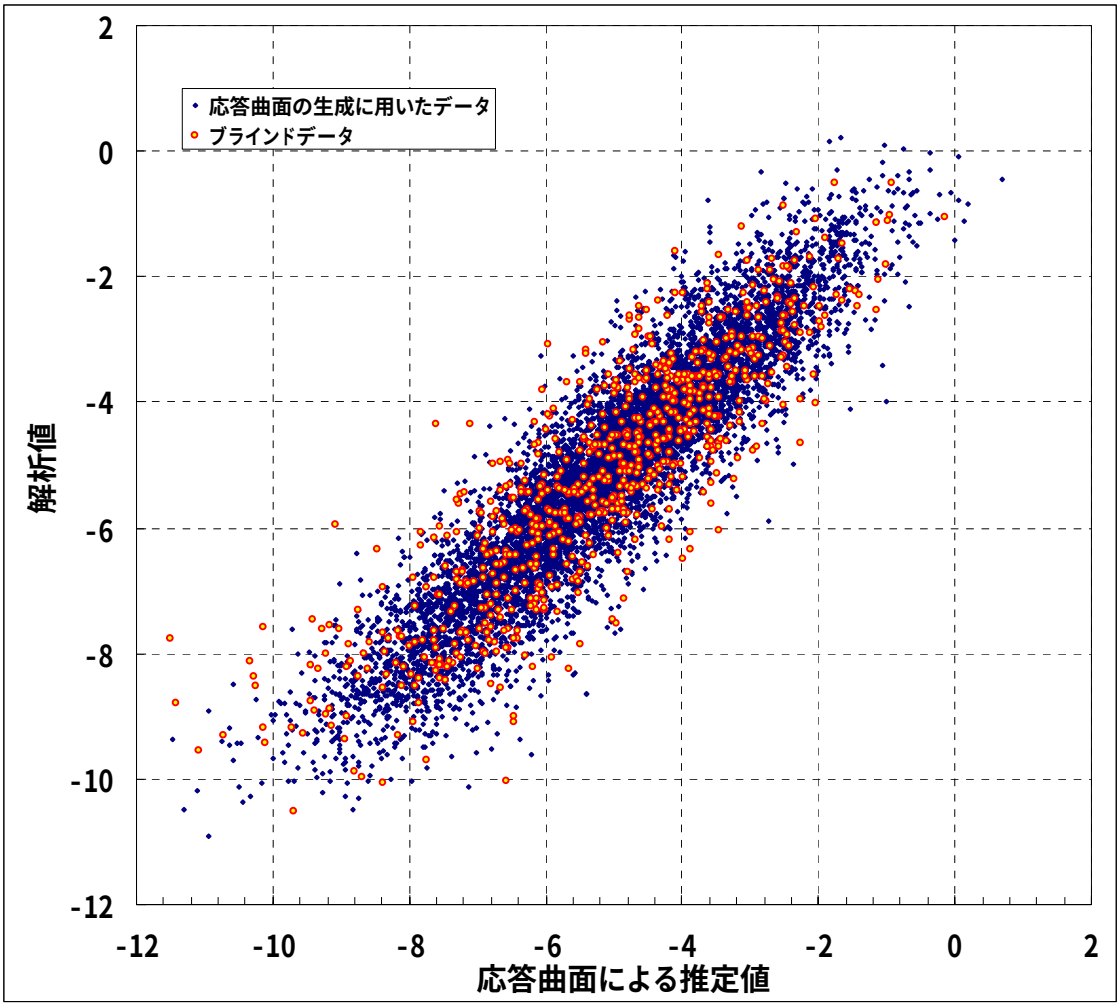
いずれの場合においても、8000 ケースの解析結果を用いて、応答曲面を生成し、1000 ケースの結果に対して、ブラインドテストを行った。核種毎の応答曲面の生成は、核種の放出率に対して、ムービングバンド法による解析を実施し、大きな感度を有するパラメータを抽出した。I-129、C-14、Np-237 それぞれ、19 個、21 個、22 個のパラメータが抽出され、それに基づき応答曲面を作成した。

応答曲面を作成した、データ（8000）とブラインドテストに用いたデータ（1000）に対して、解析値からの差を求め、分散を求めた結果を表 3.1.1-1 に示す。

表 3.1.1-1　応答曲面生成手法の相違による分散の比較結果

	総線量からの応答曲面の生成	核種毎の放出率からの応答曲面の生成
応答曲面生成に用いたデータ	0.55	0.56
ブラインドテスト	0.95	0.72

応答曲面を生成するために用いたデータでは、分散の差異はほとんど見られないものの、ブラインドテスト用のデータでは、明らかに、各核種からの放出率から得られる応答曲面の方が、精度が良いことがわかる。



（データは、グループ 4、区分 43）

図 3.1.1-2　**線量解析結果を用いて応答曲面を作成した場合**

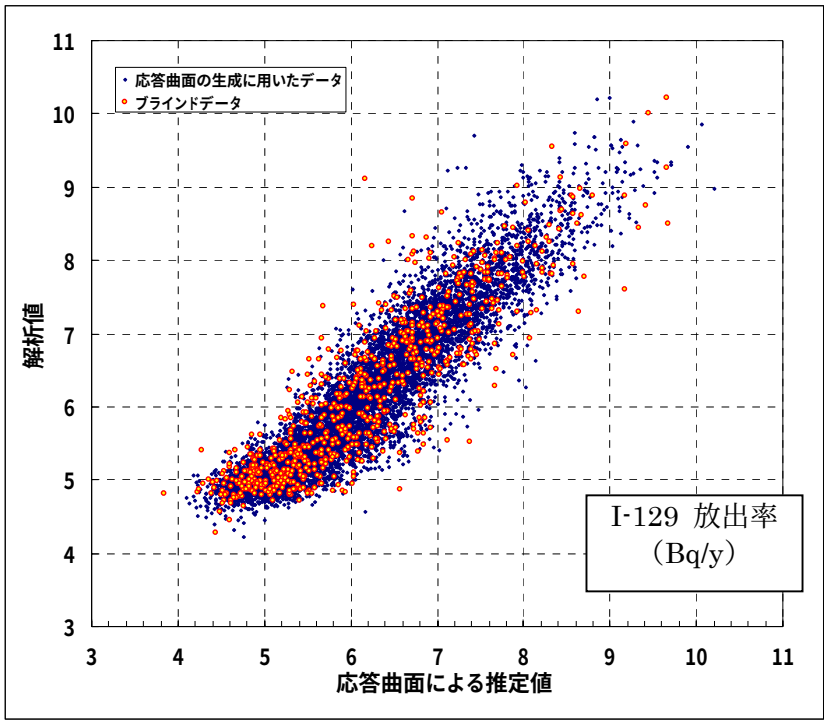


図 3.1.1-3　**核種放出率（I-129）による応答曲面の生成**

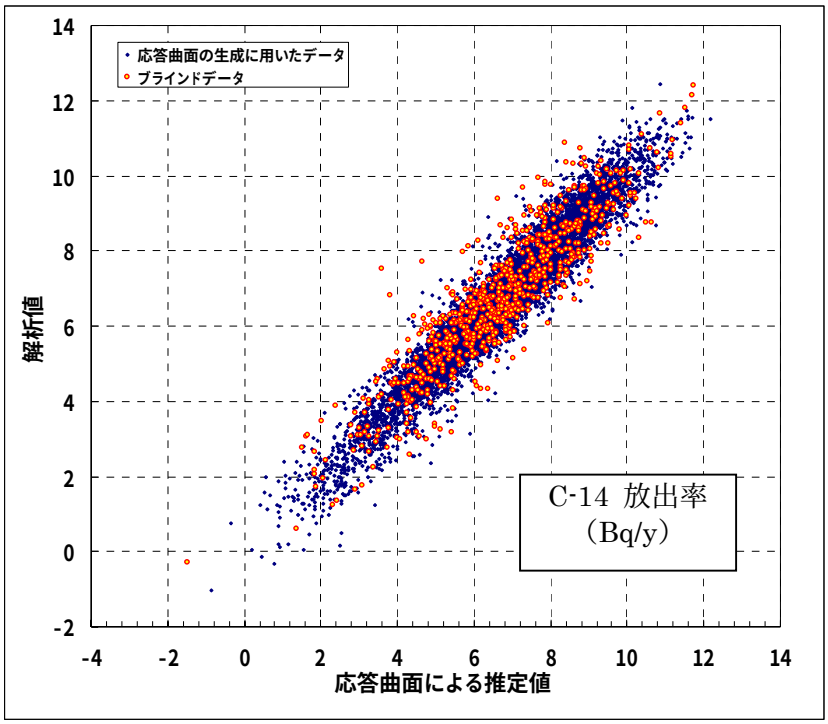


図 3.1.1-4　**核種放出率（**C-14**）による応答曲面の生成**

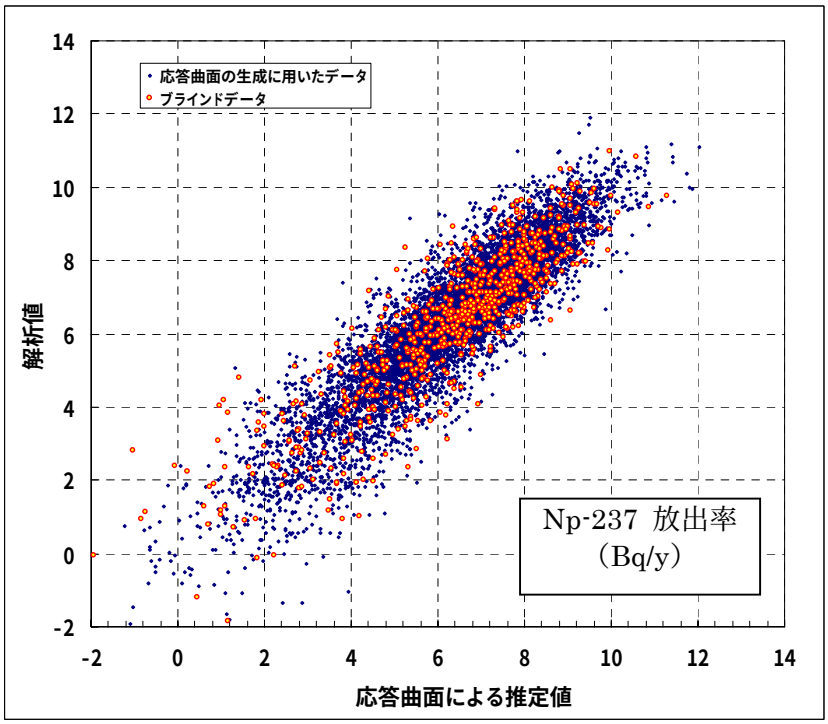


図 3.1.1-5　**核種放出率（**Np-237**）による応答曲面の生成**

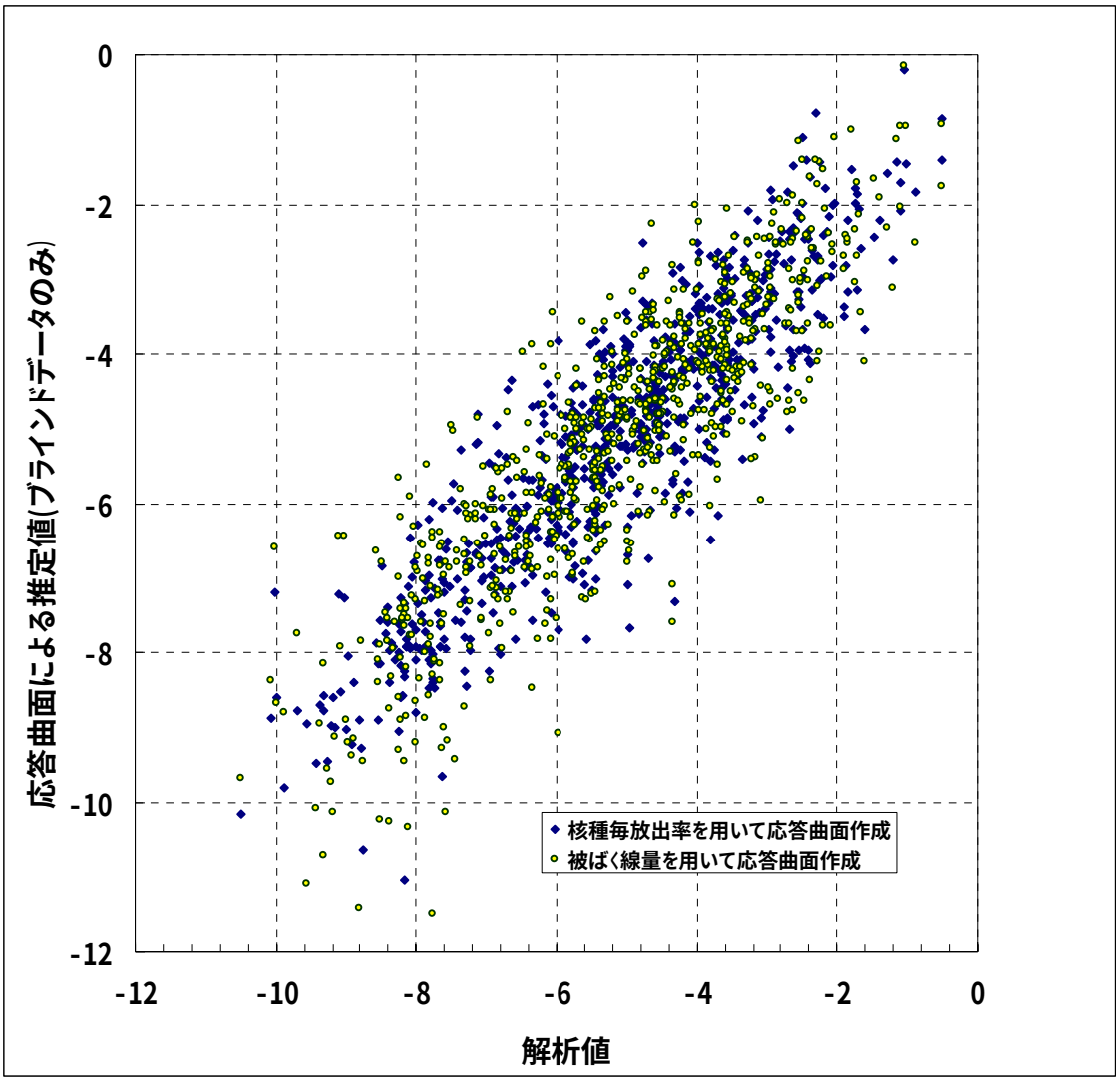


図 3.1.1-6　**応答曲面から推定される被ばく線量の比較**

3.1.2 感度構造を把握する手法の開発

(1) ムービングバンド法

ムービングバンド法は、以下の手順により、各入力パラメータがどの程度出力の変動に影響を及ぼしているかを定量化する手法である。

① K 個の出力を降順に並べ直し、さらに、これらを k (k<<K)個の互いに重複しないバンドに分割する。

② K/k 個のバンドのそれぞれについて、各入力パラメータの平均を計算する。

③ パラメータ i の j 番目のバンドにおける平均（μij）と全域的な平均（μi）との差異の統計的有意性を次式で評価する。

$$s_i^j = \frac{\mu_i^j - \mu_i}{\sigma_k} \tag{3.1.2-1}$$

但し、全域的標準偏差をσとした場合、

$$\sigma_k = \sqrt{\left(\frac{1}{k} - \frac{1}{K}\right)}\sigma \tag{3.1.2-2}$$

ムービングバンド法により算出される s_i^j の推移がランダムなノイズである場合には、当該パラメータは顕著な感度を有さないと判断され、逆に、ある全域的なトレンドが見られる場合には感度があるものと判断される。

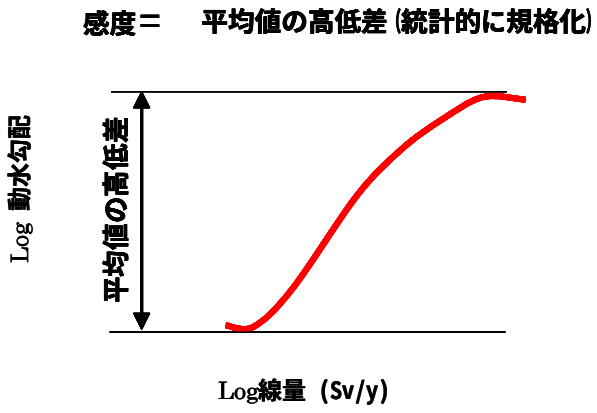
図 3.1.2-1 に、被ばく線量算出結果の感度に関するムービングバンド法による分析結果の例を示す。これは、感度が大きいと求められる場合（上）、と感度が小さいと認められる場合（下）の例である。中央の水平な実線は、サンプリングされた各パラメータのメディアン値（均一分布の場合は平均値、対数均一分布の場合は対数平均値にそれぞれ等しい）を表し、これを挟む上下の点線は、各バンドを無作為標本抽出とみなした場合のバンド平均値についての 90%信頼区間*を示す。つまり、各バンドにおける平均値がこの区間を越える場合には、

*無作為の標本抽出とみなし、母分布の正規性を仮定すると、各バンドに含まれるケース群についての入力パラメータの平均値は自由度 n-1 の t-分布に従う（但し、n はバンドに含まれるケ

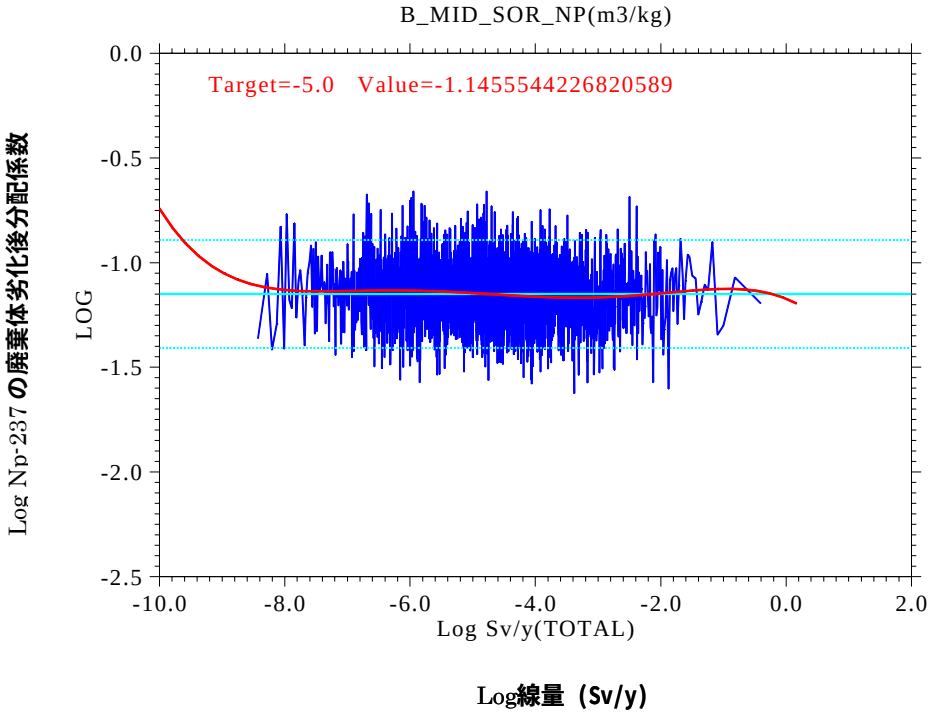
当該バンドに含まれる解析ケースのパラメータ値がランダムな抽出ではなく、あるシステマティックなバイアスがかかっている（つまり感度がある）と見なす一つの判断基準となる。

また、感度を判断する上でのもう一つの基準は、幅広い核種放出率値の範囲にまたがるトレンドの存在である。多くのパラメータでは、パラメータ入力値のバンド平均はメディアン値を中心にランダムに上下する挙動を示すが、中には、振動の中心が明らかに核種放出率に依存する様なトレンドを有するものがある。

ース数)。この時、n=20 の場合の 90%信頼区間は、サンプル全体の不偏分散を σ^2 とすると、±1.82σとなる。



感度の大きなパラメータの例



感度の小さいパラメータの例

図 3.1.2-1　ムービングバンド法による解析結果の例

上述したように、ムービングバンド法により算出されるs_i^jの推移から感度の判断を行うことが可能であるが、この判断には主観的な要素が加わってしまう。そこで、より定量的に感度分析を行うために、ある決まった判断基準の基に、感度を有しているパラメータの抽出を行った。以下に、パラメータ抽出のための手法を、図 3.1.2-2 を用いて説明する。ムービングバンドによる解析結果に対し、最小二乗法による多項式近似を行い、近似式を求める（図中、青線）。近似式より求まるパラメータ値の最小値と最大値から、両者の差(最大・最小の差)を求める。また、バンド毎に、近似式からの解析結果のずれ（振幅）をもとめ、それらの値から、振幅の平均値（平均振幅値）を求める。最大・最小の差と平均振幅値の 2 倍を比較することによって、パラメータ抽出の判断の指標とする。

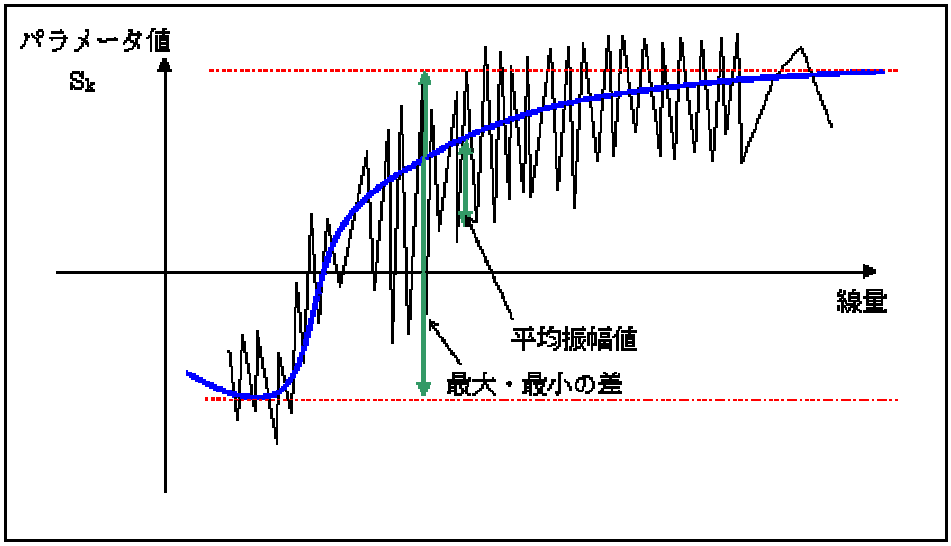


図 3.1.2-2　**ムービングバンド法による解析結果からのパラメータ抽出方法の模式図**

ムービングバンド法では、各ケースの最大線量を降順に並べ、これを、任意のメッシュサイズを用いて分割し、メッシュ毎のパラメータの平均値が、全域的な平均値からどの程度ずれるかを、感度の大きさの指標としている。

この方法と同様に、パラメータの値を降順に並べ、任意のメッシュサイズに分割し、メッシュ毎の線量の平均値が、全域的な平均からどの程度ずれるかを判断し、パラメータの被ばく線量に対する影響度を判断することも可能である(図 3.1.2-3 参照)。

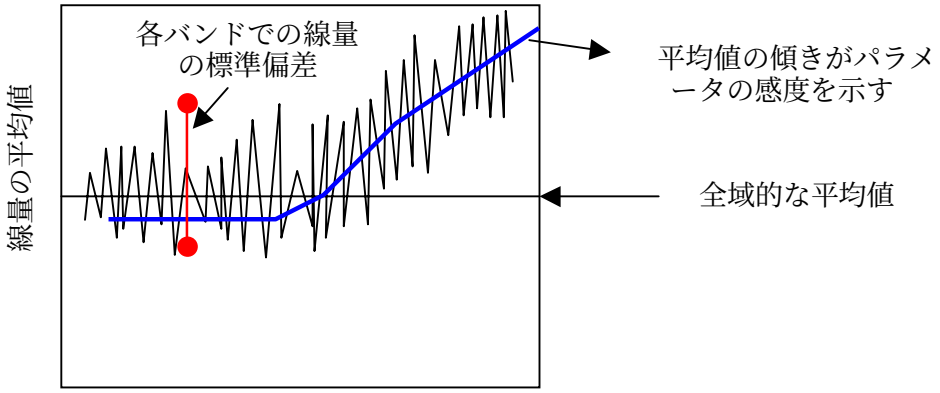


図 3.1.2-3　**パラメータの値を基準とした、ムービングバンド法の適用の模式図**

線量を並べ替えの基準とする場合には、高い線量となるケースが、どのパラメータに支配されているかの判断が容易ではある。しかしながら、線量の高いケース群（１つのバンドに含まれるケース）は、注目されるパラメータのみに依存し高線量となるものではなく、他のパラメータとの組み合わせによって、構成されているものと考えられる。そのため、十分条件は、複数のパラメータの組み合わせとして得られる。

これに対して、パラメータを降順として、ムービングバンド法と同様な評価を行った結果では、注目するパラメータの各バンドにおいて、他のパラメータの設定値は各々のパラメータの分布に従っている。そのため、注目するパラメータ単独での感度を分析する場合では、この手法が適しているものと考えられる。また、同時に、各バンドにおける線量の分散は、他のパラメータの影響に依存するものと予想される。他のパラメータの影響が強いほど、線量の広がりは大きくなり、結果として、分散も大きな値となりうるものと考えられる。この方法により得られる情報には、以下のものが想定される。

－ 線量平均値のパラメータに対する傾き

－ 各バンドでの線量の分散、または、標準偏差

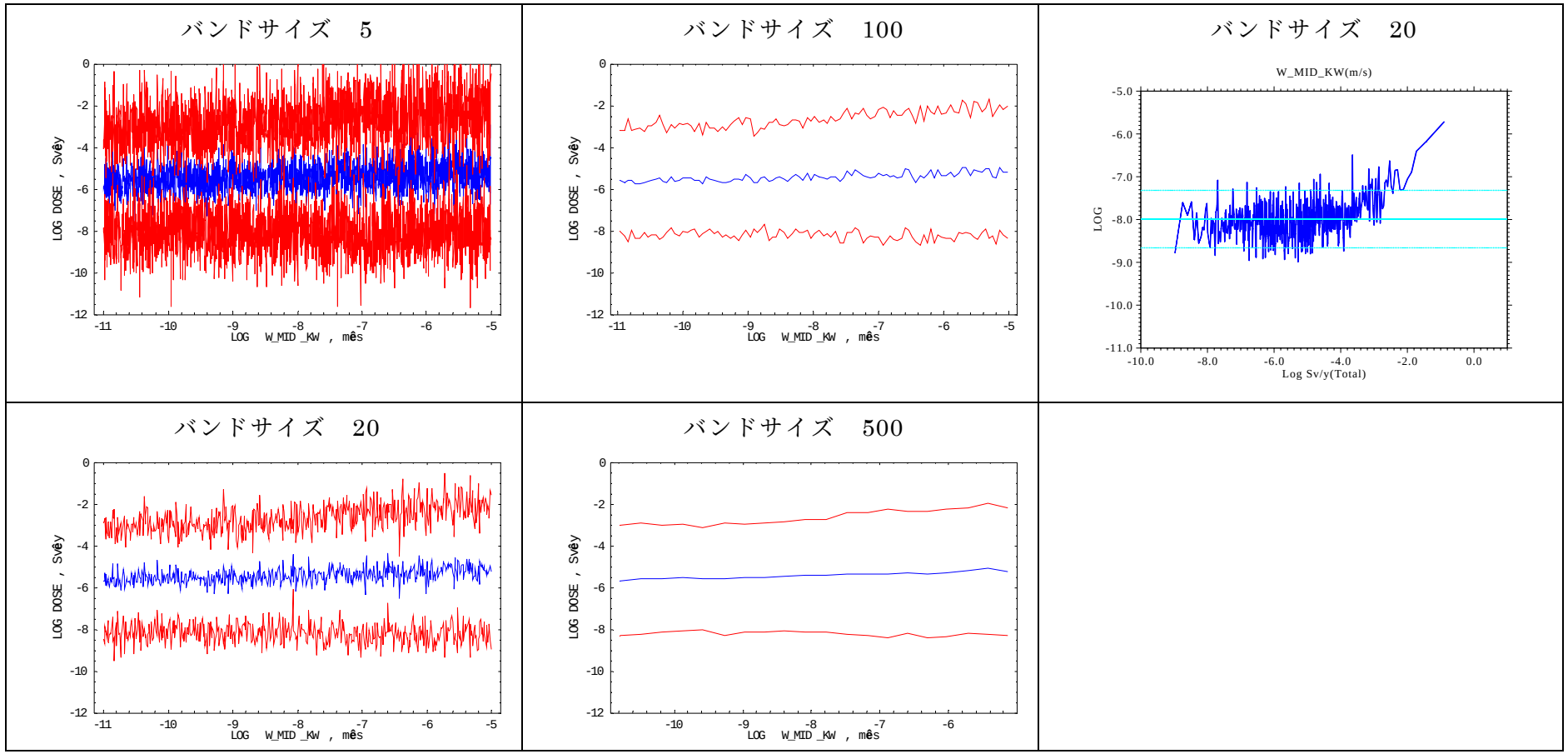
これらの検討において、各バンドに含まれるデータ数は、任意に設定が可能であるが、各バンドに含まれるデータ数については、別途検討する必要があるものと考えられる。そこで、各バンドに含まれるデータ数をそれぞれ5,20,100,500 として、昨年度実施した形跡結果を用いて感度分析を行い、メッシュサイズの違いについて検討した。図 3.1.2-4 に、廃棄体の劣化後空隙拡係数、緩衝材の厚さ、動水勾配、母岩の化学異常緩衝物質濃度、I-129 の線量換算係数の各パラメータに対して、メッシュサイズを変更して行った感度分析結果を示す。なお、図中左側 2 列の図は、青線が各バンドでの線量の平均値、赤線が±２σを表す。右側の図（上側）は、これまでの検討で実施してきた、被ばく線量を分割（バンドのサイズ２０）によるムービングバンドの出力結果を示した結果である。

どのパラメータの分析においても、バンドサイズが５の場合には、平均、標準偏差ともに、大きく振動しており、パラメータの線量に関する感度は、明確ではない。バンドサイズが大きくなるに従い、バンド毎の平均および標準偏差のばらつきは少なくなるが、パラメータを分割し、被ばく線量と比較した結果は、線量を分割した結果に比較して、感度が読み取りにくい結果となっている。ただし、図 3.1.2-4（2/5）に示すようなケース（緩衝材の厚さが７０ｃｍ以下の場合、止水性等を喪失すると想定）では、これまでのムービングバンド法では明確ではなかった、パラメータの変化の変曲点が確認できる結果となっている。このような、変曲位置の確認は、バンドサイズが小さいほうが、より、明確となっているが、バンドサイズが小さすぎるケース（バンドサイズ５）では、振幅が大きく、目視しにくい結果となっている。

また、図 3.1.2-5 に各メッシュサイズを用いて導き出された、パラメータを分割した場合の各分割区分の標準偏差の平均値とパラメータの関係を示す。被ばく線量に、強い影響を示すパラメータに関しては、標準偏差の平均値が小さくなっている。すなわち、これらパラメータが変動することにより、線量の変動量も大きくなっていくことを示すものと考えられるが、その変動量は小さく（全体的な標準偏差に比較して、１０％程度の低下）、有意性の判断をどのようにするかが課題となる。

これらの結果から、メッシュサイズを 5 とした場合には、平均値、標準偏差

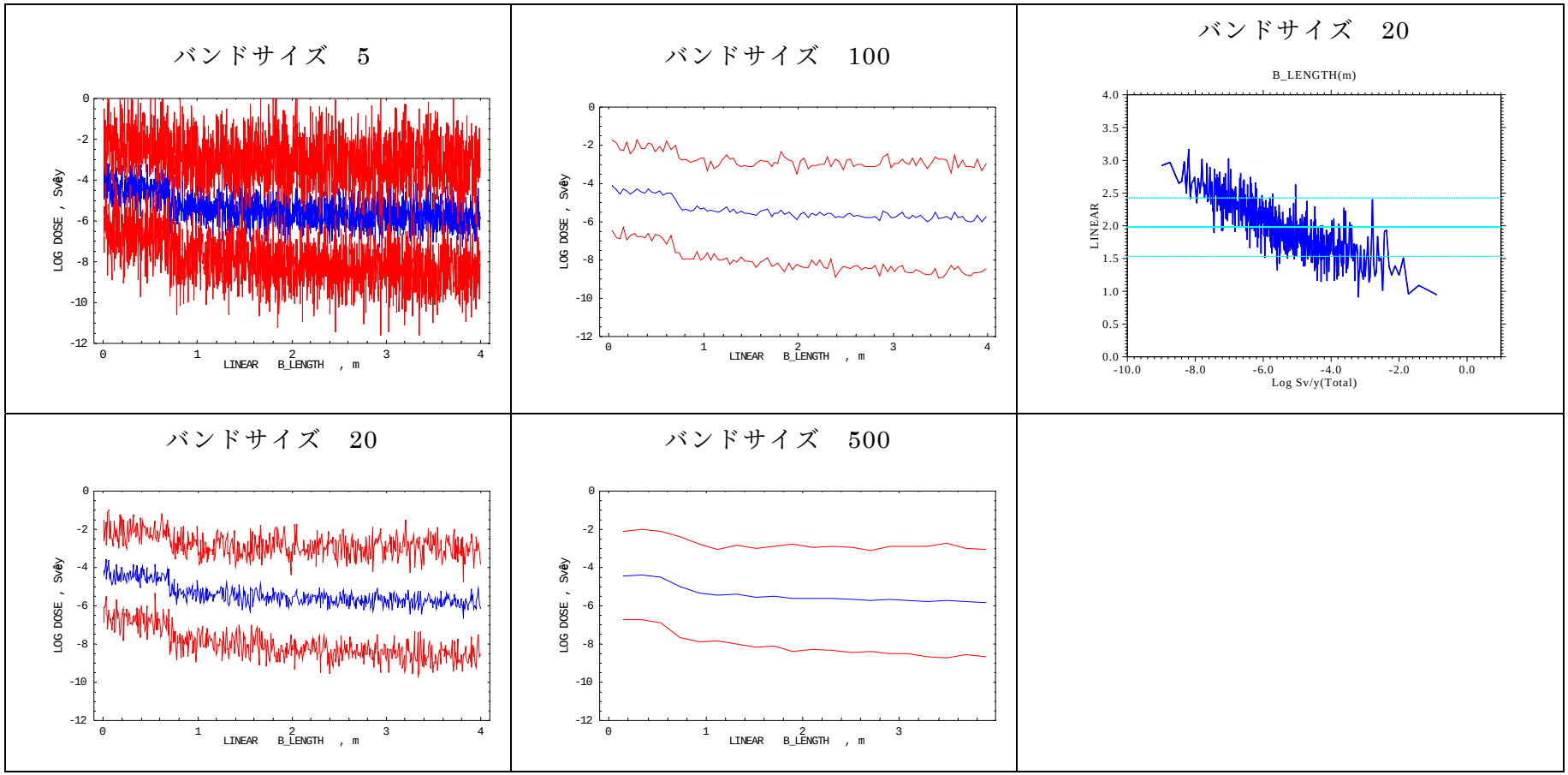
ともに大きく振動することから、パラメータと線量の関係を直感的に判断することは難しくなる。メッシュサイズを 20 とした場合には、振動は幾分確認されるが、線量とパラメータの関係を目視により読み取ることは可能である。バンドのサイズが 100,500 の場合には、線量とパラメータの関係をよりはっきりと見分けることが可能となる。ただし、バンドのサイズが大きくなるに従い、局所的な変化が読み取りにくくなる可能性は否定できない。このことから、メッシュサイズを 20 程度とすることにより、適度な感度分析が可能となるものと考えられる。標準偏差を用いる分析では、大きな影響を及ぼすパラメータの抽出に適用できるものと考えられるが、変動幅が小さいことから、影響の程度が比較的小さなパラメータの抽出においては、何らかの判断基準を検討する必要があるものと考えられる。



バンドサイズ＝バンドに含まれるデータ数

左側２列の図は、青線が各バンドでの線量の平均値、赤線が±２σを表す

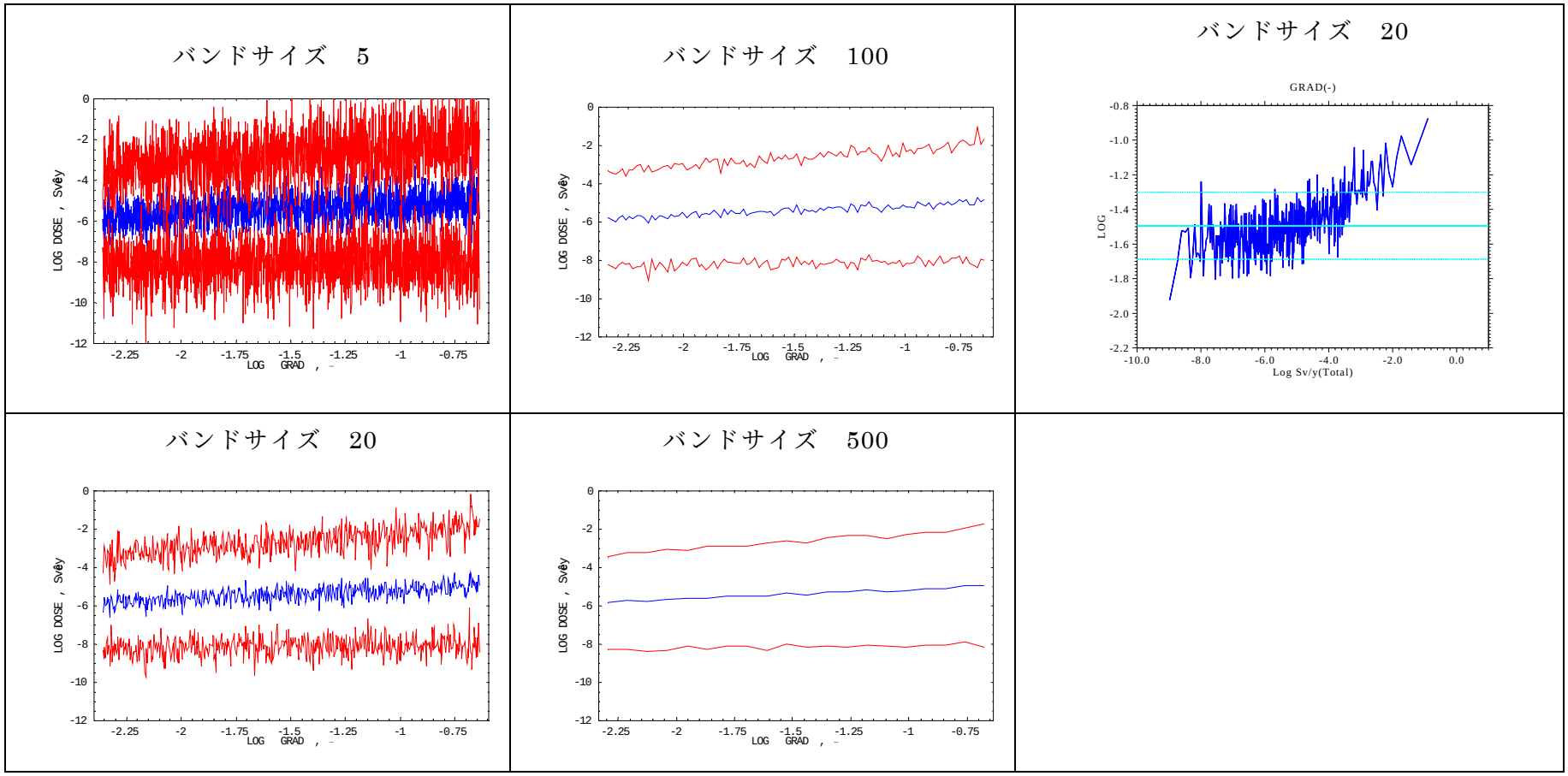
図 3.1.2-4　感度分析方法の比較、廃棄体の劣化後空隙拡係数(1/5)



メッシュサイズ＝バンドに含まれるデータ数

左側２列の図は、青線が各バンドでの線量の平均値、赤線が±２σを表す

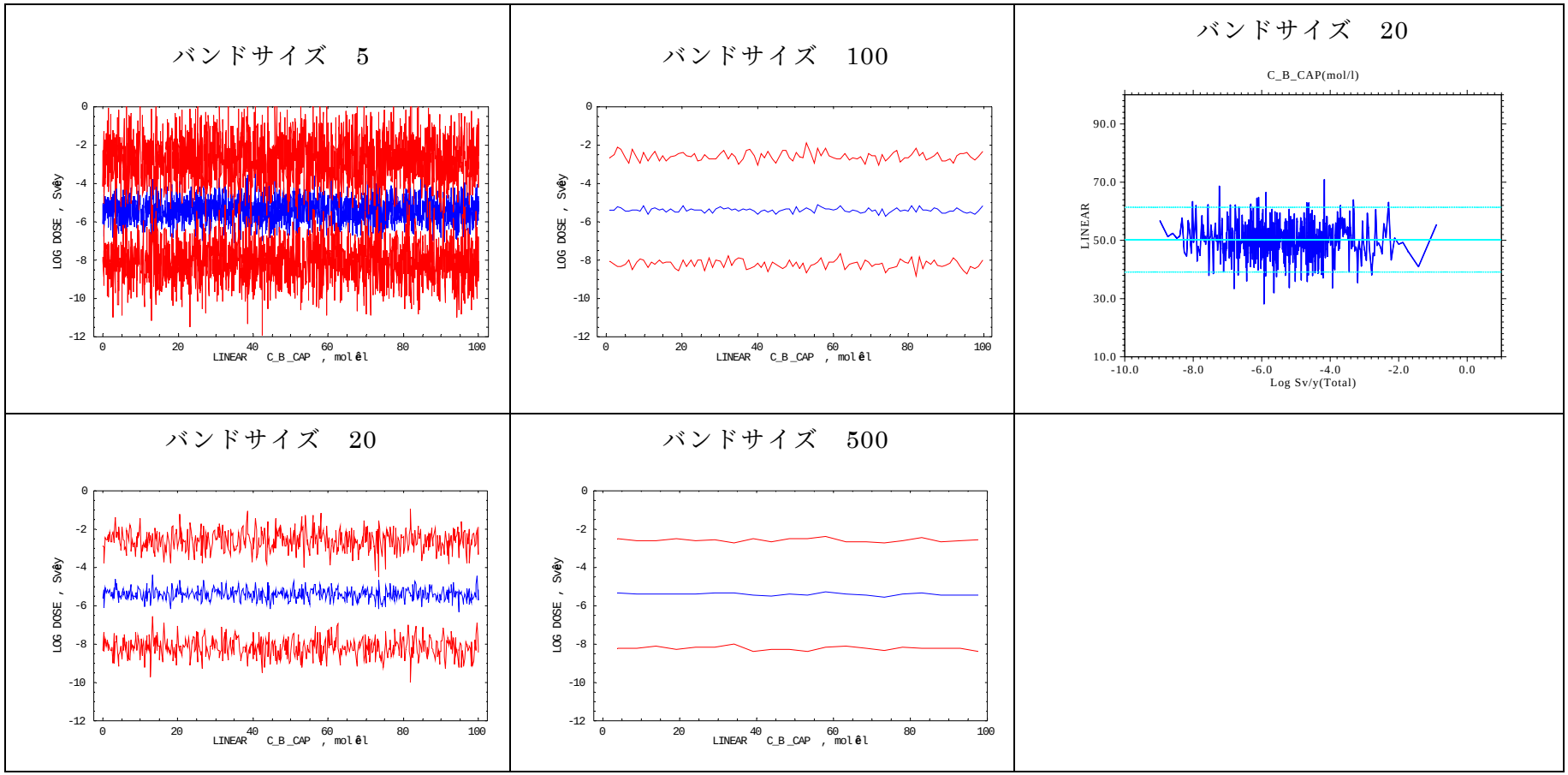
図 3.1.2-4　**感度分析方法の比較、緩衝材の厚さ**(2/5)



メッシュサイズ＝バンドに含まれるデータ数

左側２列の図は、青線が各バンドでの線量の平均値、赤線が±２σを表す

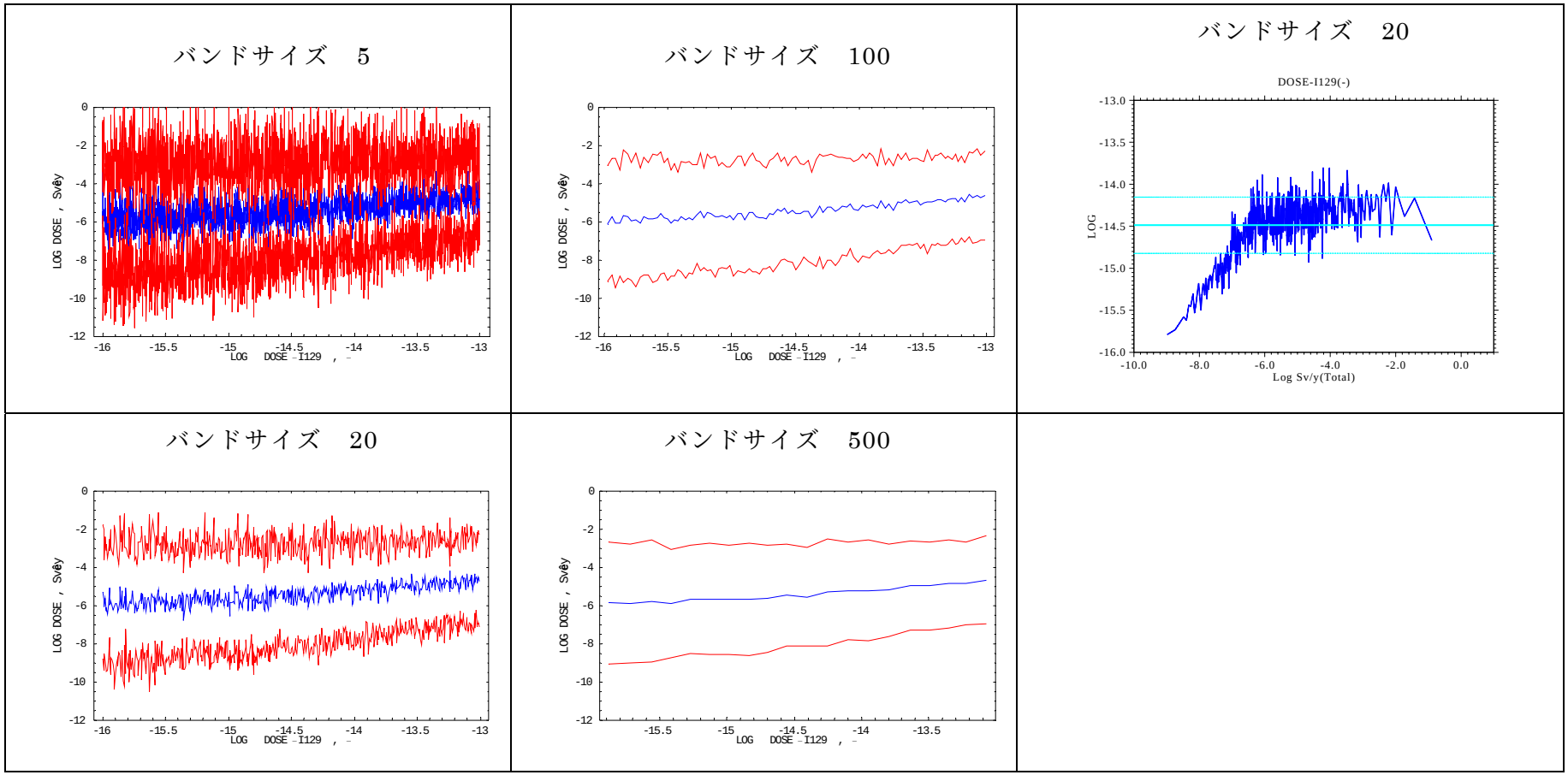
図 3.1.2-4　感度分析方法の比較、動水勾配(3/5)



メッシュサイズ＝バンドに含まれるデータ数

左側２列の図は、青線が各バンドでの線量の平均値、赤線が±２σを表す

図 3.1.2-4　感度分析方法の比較、母岩の化学異常緩衝物質濃度(4/5)



メッシュサイズ＝バンドに含まれるデータ数
左側２列の図は、青線が各バンドでの線量の平均値、赤線が±２σを表す

図 3.1.2-4　**感度分析方法の比較、**I-129 **の線量換算係数**(5/5)

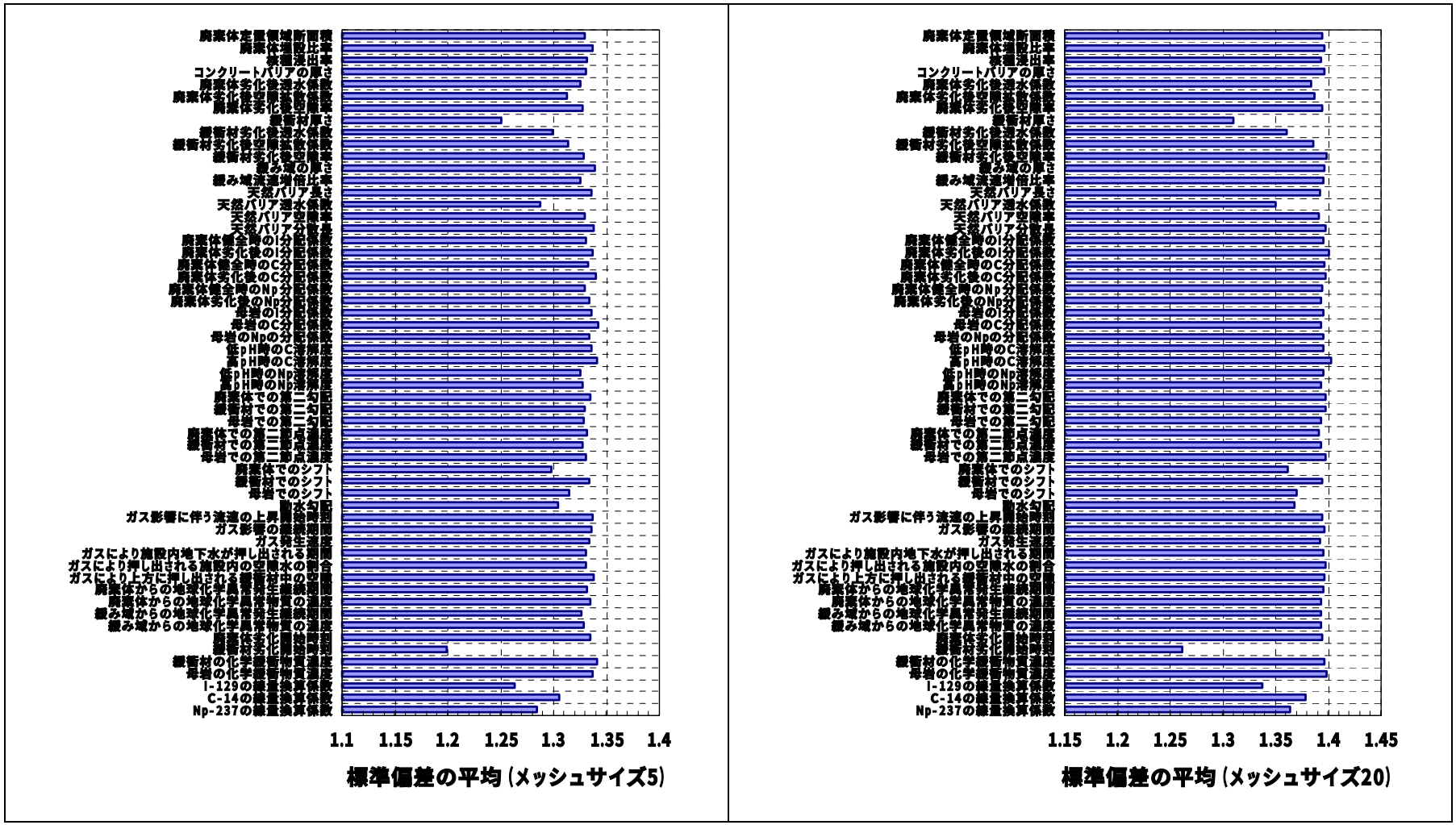
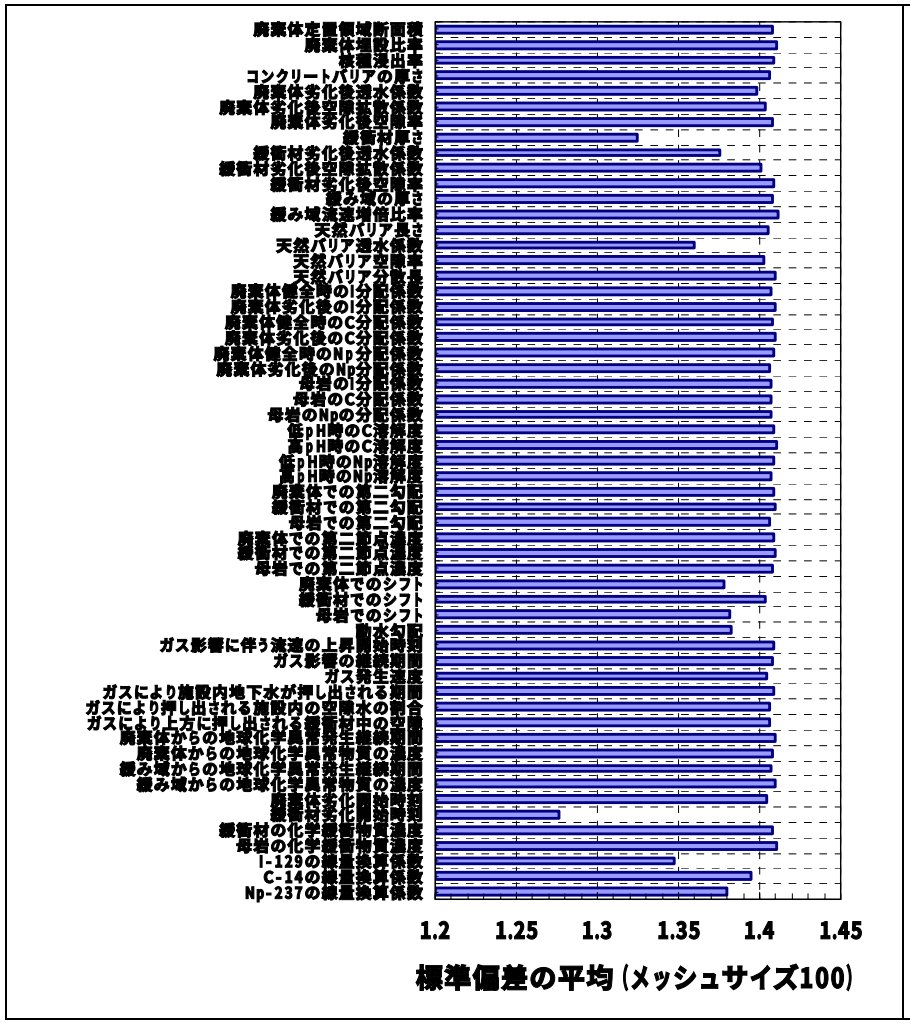


図 3.1.2-5　パラメータを分割した場合の各分割区分の標準偏差の平均値とパラメータの関係(1/2)



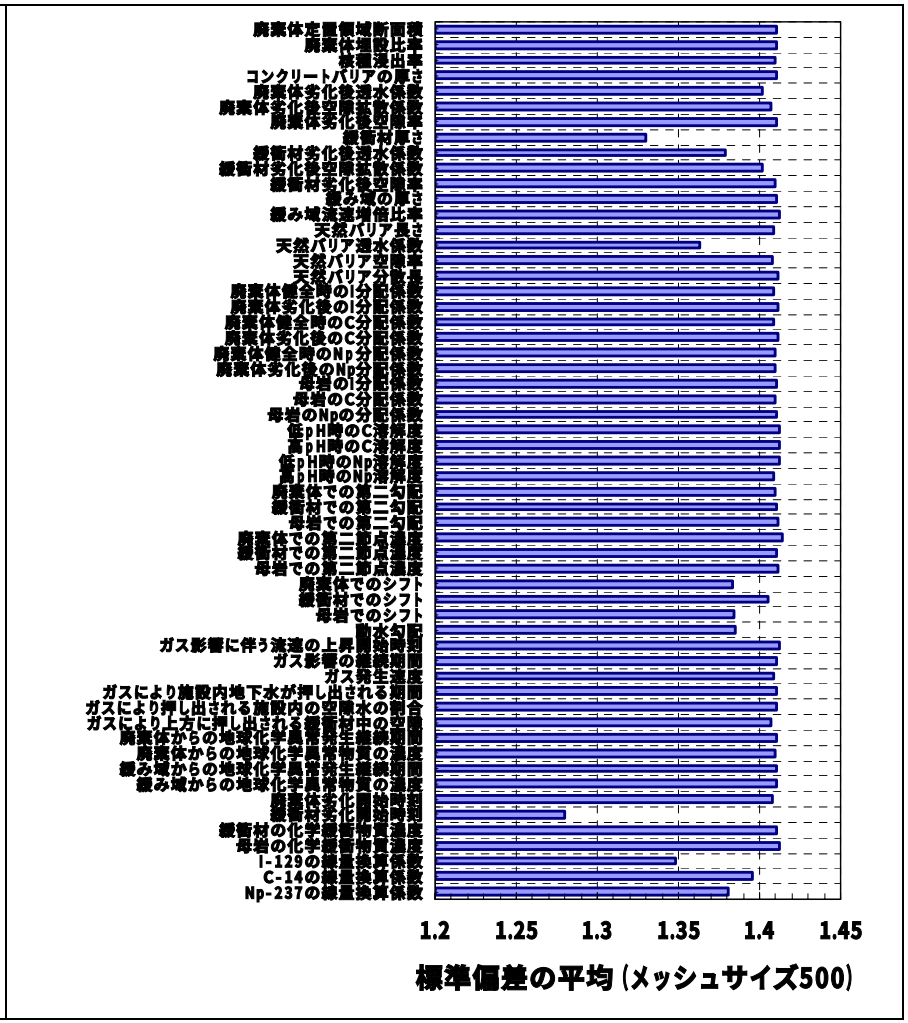


図 3.1.2-5　パラメータを分割した場合の各分割区分の標準偏差の平均値とパラメータの関係(2/2)

(2) Sufficiency Index（SI）法

ムービングバンド法による感度解析は、各入力パラメータの変動範囲全域において結果に対して有意な影響が生じているか否かを標本統計の立場から判断する手法である。しかしながら、用途によっては、これとは異なる手法がより適切となる場合がある。特に重要な例としては、安全評価の出力（例えば、個人年間被ばく線量やリスク）について、ある規制上の目標が存在する場合、この目標値近傍での感度に注目する場合が挙げられる。SI 法はこのような場合に用いることを目標として開発された感度解析の手法である。

各入力パラメータの変動範囲について、ある制約条件を課した場合、このことによって評価結果が安全目標を満足する可能性が変化することとなる。特に、長期的な安全性が向上する方向の条件を設定した場合には、安全目標を満足する可能性が向上することとなる。このような「安全目標を満足する可能性」は、当該条件の十分性を示すものであり、具体的には、多数の統計的シミュレーションケースのうち条件 1 を満足するものが N_1 個あったとして、このうち、安全目標を満足するものが n_1 個あるとすると、n_1/N_1 として定義される。今回の解析のように、各パラメータ値の変動範囲のみを指定して確率分布を定義していない場合には、n_1/N_1 は厳密な意味で確率と呼べるものではない。そこで、これを、SI (Sufficiency Index：十分条件としての強さ)と呼ぶこととする。勿論、各パラメータの入力値に関して確率密度関数が定義できる場合には、SI は確率と一致することとなる。また、今回の解析のように、詳細な情報がない状況でパラメータの確率密度分布を定義する場合には、情報エントロピー理論の立場から言えば、当該変動範囲において均一分布を仮定することが最も矛盾が少なく、このような立場を採る場合にも、SI は確率に一致することとなる。SI を用いた感度解析は、あるパラメータに着目して、そのパラメータの変動範囲を変えた場合に、安全目標を満足する可能性（即ち SI）がどの程度変化するかを計算するものである。

図 3.1.2-6 は、SI 法による感度分析の例を示したものである。同図は、着目するパラメータ（この例では亀裂を含む透水係数の対数）を P*以上にした場合

に SI(縦軸)がどのように変化するか（青線）、そして同様に、P*以下にした場合に SI(縦軸)がどのように変化するか（赤線）を同時に表示しており、青線及び赤線がいずれも水平である場合には、当該パラメータの感度は無視でき、いずれかあるいは両方の線の傾きが顕著であればそれぞれの方向での感度が大きいということになる。図 3.1.2-6 では、亀裂を含む透水係数の対数を好ましいもの（-8.0 近傍）とすることができた場合には SI は 55%程度から 85%程度にまで上昇し、逆に好ましくないもの（たとえば-5.5 近傍）とせざるを得なくなった場合には 30%程度にまで低下することとなり、大きな感度を有するものと判断される。

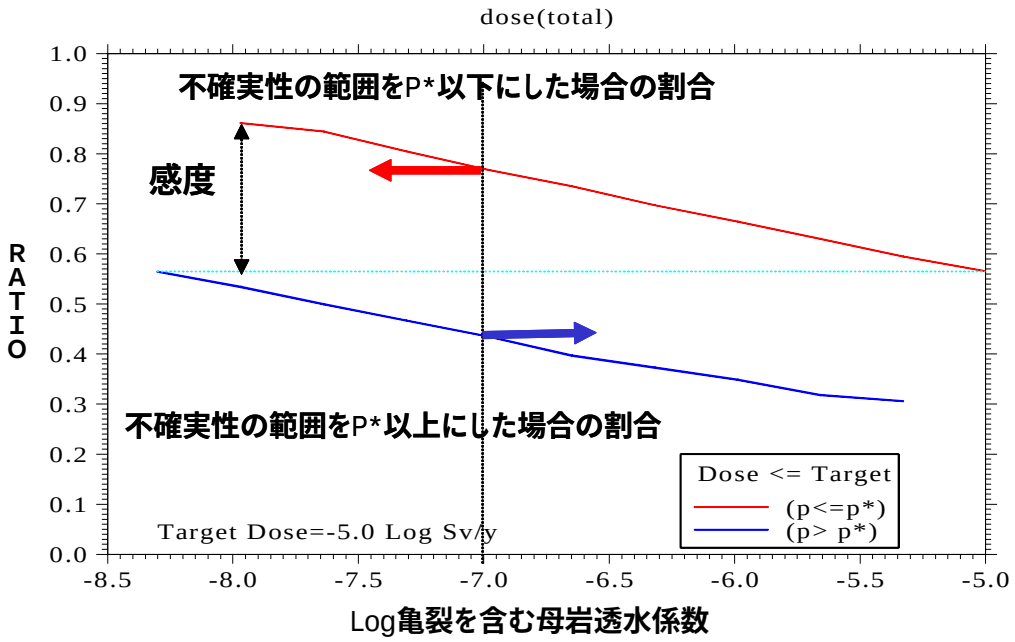


図 3.1.2-6　SI 法による感度分析の例

SI 法は基本的には個々のパラメータ単体について適用されるものであり、複数の制約条件を組み合わせた場合には、該当する部分集合のケース数が減少するために統計的な有意性が犠牲になることとなる。しかしながら、以下の定理を用いることによって、複数の条件を組み合わせた場合の SI の上昇の下限値を理論的に算出することが可能となる。

定理

X_i: i番目のパラメータが所定の条件を満足する。（$i=1,2...,N$）

Y: 評価結果が目標線量を上回る。

を表すものとし、更に、各パラメータについての条件は、独立

$$(P(X_i \cap X_j) = P(X_i)P(X_j),\ for\ \forall i, j)$$

であり、かつ、$P(Y)$を低下する様に設定され、このため、任意のiについて、

$$P(X_i | X_1 \cap X_2 \cap \cdots X_{i-1} \cap Y) \le P(X_i | Y) \qquad (3.1.2\text{-}3)$$

が成立するものと仮定する。この時、X_1，X_2，…，X_Nが全て成立するという前提の下で、評価結果が線量目標を下回る確率について、以下の不等式が成立する。

$$1 - P(Y | X_1 \cap X_2 \cap \cdots X_N) \ge 1 - P(Y) \cdot \prod_{i=1}^{N} \left(\frac{P(Y | X_i)}{P(Y)} \right) \qquad (3.1.2\text{-}4)$$

（証明）

明らかに、

$$P(Y | X_1 \cap X_2 \cap \cdots X_N) \le P(Y) \cdot \prod_{i=1}^{N} \left(\frac{P(Y | X_i)}{P(Y)} \right) \qquad (3.1.2\text{-}5)$$

が成立すれば、定理は証明される。そこで、数学的帰納法により、(3.1.2-5)を示す。

$N=1$の場合、

$$P(Y|X_1) \le P(Y)\left(\frac{P(Y|X_i)}{P(Y)}\right) \tag{3.1.2-6}$$

は明らかである。

次に、*N=k* の場合に(3.1.2-5)が成立するとして、*N=k+1* の場合、

$$P(Y|X_1 \cap X_2 \cap \cdots X_{k+1})$$

$$= \frac{P(Y \cap X_1 \cap X_2 \cap \cdots X_{k+1})}{\prod_{i=1}^{k+1} P(X_i)} = \frac{P(X_1 \cap X_2 \cap \cdots X_{k+1}|Y)P(Y)}{\prod_{i=1}^{k+1} P(X_i)}$$

$$= \frac{P(X_1 \cap X_2 \cap \cdots X_k|Y)}{\prod_{i=1}^{k+1} P(X_i)} \cdot \frac{P(X_{k+1}|X_1 \cap X_2 \cap \cdots X_k \cap Y)}{P(X_{K+1})} P(Y) \tag{3.1.2-7}$$

となり、更に仮定(3.1.2-3)を用いて、(3.1.2-7)式の最右辺は、

$$\le \frac{P(X_1 \cap X_2 \cap \cdots X_k|Y)}{\prod_{i=1}^{k+1} P(X_i)} \cdot \frac{P(X_{k+1}|Y)}{P(X_{k+1})} \cdot P(Y)$$

$$= \frac{P(Y|X_1 \cap X_2 \cap \cdots X_k) \cdot \prod_{i=1}^{k} P(X_i)}{\prod_{i=1}^{k} P(X_i) \cdot P(Y)} \cdot \frac{P(Y|X_{k+1})P(X_{k+1})}{P(X_{k+1})P(Y)} \cdot P(Y)$$

$$= P(Y|X_1 \cap X_2 \cap \cdots X_k) \cdot \frac{P(Y|X_{k+1})}{P(Y)}$$

$$= P(Y) \cdot \prod_{i=1}^{k}\left(\frac{P(Y|X_i)}{P(Y)}\right)\frac{P(Y|X_{k+1})}{P(Y)}$$

$$= P(Y) \cdot \prod_{i=1}^{k+1}\left(\frac{P(Y|X_i)}{P(Y)}\right) \tag{3.1.2-8}$$

となることから、(3.1.2-5)が成立する。　（終証）

例えば、多数の解析ケースのうち、50%が目標線量を下回っており(P(Y)=0.5)、パラメータ 1, 2, 及び 3 についての不確実性をある目標値まで低減させることによって、この割合が、それぞれ 90%, 80%, 70%に上昇する場合、上の定理を用いることによって、

$$1-0.5\mathrm{x}[(1-0.9)/0.5]\mathrm{x}[(1-0.8)/0.5]\mathrm{x}[(1-0.7)/0.5]=0.976 \qquad (3.1.2\text{-}9)$$

から、これらの三つの条件を組み合わせることによって、目標線量を下回る解析ケースの割合は 97.6%以上に向上することが推定される。

以上のことは、SI 法によって個々のパラメータの感度分析を行い、比較することに加えて、複数のパラメータに対してそれぞれ異なる方法で一定の不確実性を低減するという目標を立てた場合に、全体としてどの程度の効果が期待できるかを算出することができることを意味している。

(3) 局所的偏差を用いたムービングバンド法の適用

ムービングバンド法では、線量とパラメータの感度を、局所的な平均と全域的な平均の差を用いて表現している。統計的有意性を表すために、この平均の差を以下に示す、局所的な偏差を用いて、規格化している。

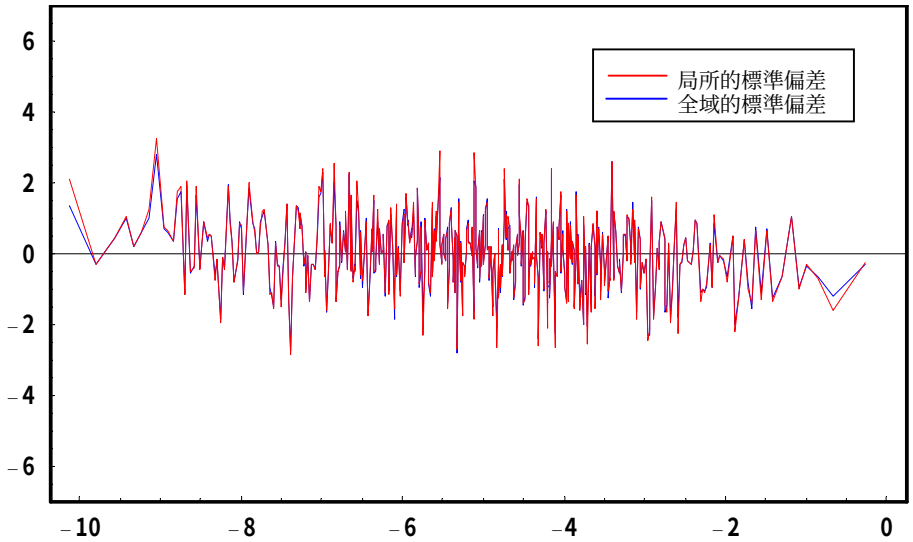
$$\sigma_k = \sqrt{\frac{1}{k} - \frac{1}{K}}\ \sigma$$

上式は、全域的な標準偏差を用いて局所的な統計量を定義するものであるが、これは、サンプル数が多く、どの局所的な位置においても、全域的な標準偏差と同等の偏差があるものとする仮定に立脚したものである。しかしながら、有限のサンプル数においては、端（線量の高い部分や低い部分）では、パラメータの平均値の変動と伴に、偏差の変動が大きい可能性もある。高線量が、限られたパラメータの範囲によってもたらされるのであれば、高線量側の偏差は小さくなることも予想され、その場合、その偏差に基づき、s_i^j を定義することにより、感度が強調されるものと予想される。

図 3.1.2-7~図 3.1.2-8 に、下式で定義した統計量を分母として、ムービングバンド法を適用した結果を示す。σ_s は、局所的な標準偏差を示す。

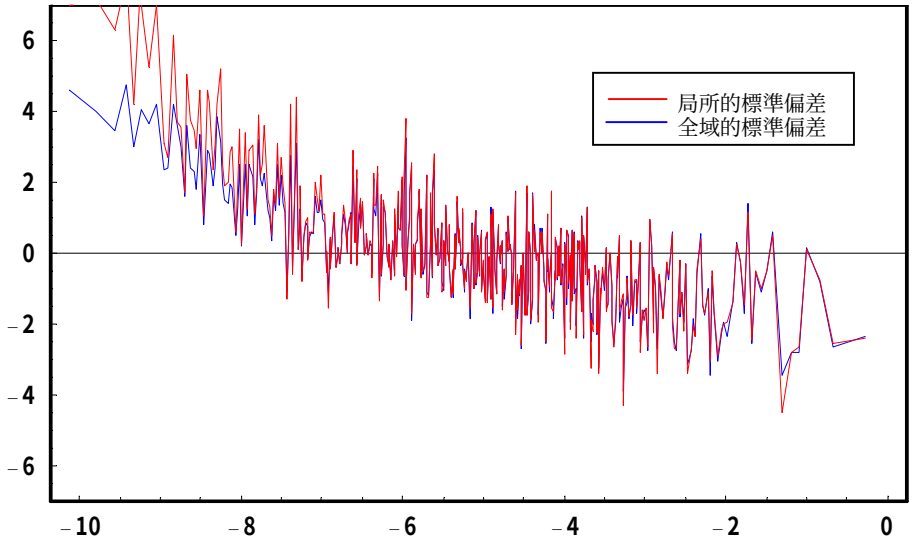
$$\sigma_k = \sqrt{\frac{1}{k}}\ \sigma_s$$

被ばく線量に対して感度の小さなパラメータに対しては（図 3.1.2-7 上図）、全域的な標準偏差を用いる場合でも、局所的な標準偏差を用いる場合でも、大きな差異は認められないものの、感度の大きなパラメータに関しては、局所的な標準偏差を用いるほうが、より顕著な感度の変化が見られる。



Log　被ばく線量、Sv/y

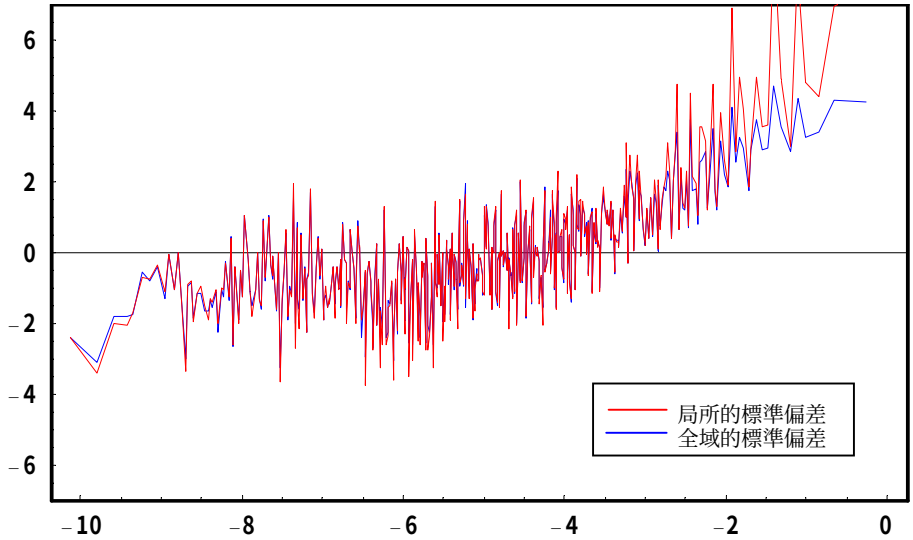
廃棄体定置領域断面積



Log　被ばく線量、Sv/y

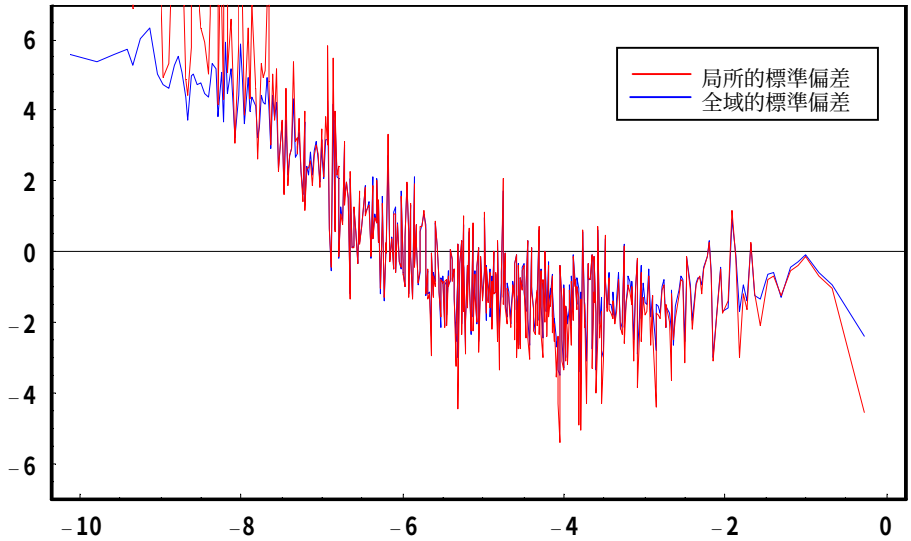
緩衝材厚さ

図 3.1.2-7　**局所的な標準偏差を用いた場合のムービングバンド法の適用例**(1)



Log　被ばく線量、Sv/y

天然バリア透水係数



Log　被ばく線量、Sv/y

図 3.1.2-8　**局所的な標準偏差を用いた場合のムービングバンド法の適用例**(2)

3.1.3 解析ケース数に関する考察

シャドウモデルを用い感度解析を実施するためには、多数回の解析を実施することが求められる。数十次元のパラメータ空間においては、数万程度の解析を行ったとしても、データは不十分であり、疎に分布するものと予想される。しかしながら、数十次元のパラメータが全て、解析結果に対して強い感度を有しているわけではないことから、実際の解析においては、大きな感度を有するパラメータとそれらの組み合わせが、十分にサンプリングされた時点で、核種放出率（または線量）の分布は安定するものと予想される。そのため、解析結果が安定するまでのサンプリング数は解析条件により異なるものと考えられることから、本年度研究では、解析途中で、解析結果を出力し、サンプリング数を判断するものとする。

図 3.1.3-1 に、グループ 3（区分８）のデータを用い、基準とする線量を 10μSv/y～10mSv/ｙとする場合に、基準となる線量を超える割合を、解析ケース数を変動させてプロットした結果を示す。同様に図 3.1.3-2 に、グループ４（区分 43）の結果を示す。

いずれの解析結果も、解析ケース数が 5000 回程度で安定した割合となっている。特に 10μを基準として、これを超える割合を評価した結果は、グループ３、４ともに、3000 ケース程度の少ない解析ケースでも、10000 ケースの解析結果と大きく異なることはなかった。

しきいとする線量の値を大きくするに従い、これを超える解析ケースの割合が、安定するまでの解析ケース数は増加する傾向が見られた。これは、高いしきい線量を超える割合の評価を行う場合、しきい線量を超えるケース数そのものが低下し、統計的に十分な量を達成できなくなるためと予想される。

ただし、しきい線量を超えるケース数の割合は、統計的解析に用いたパラメータに依存することから、感度解析により局所的な感度を抽出する際には、しきい線量近傍に多くの解析ケースが集中することが望ましいと考えられる。そのため、計算ケース数は、解析前に決定するのではなく、解析途中において、線量の分布する範囲と局所的感度の抽出に用いる線量のしきい値から、柔軟に判断するものとする。

グループ３（区分８）　目標線量 10μSv/y

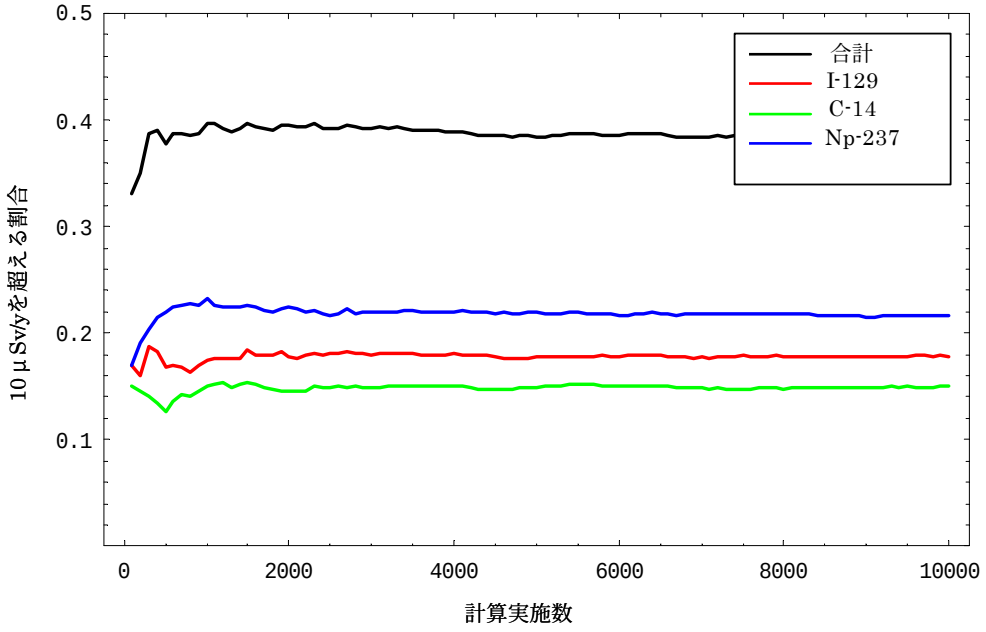


図 3.1.3-1　**計算回数と基準とする線量を超えるケース数の割合の関係**

：グループ 3（1/4）

グループ３（区分８）　目標線量 100μSv/y

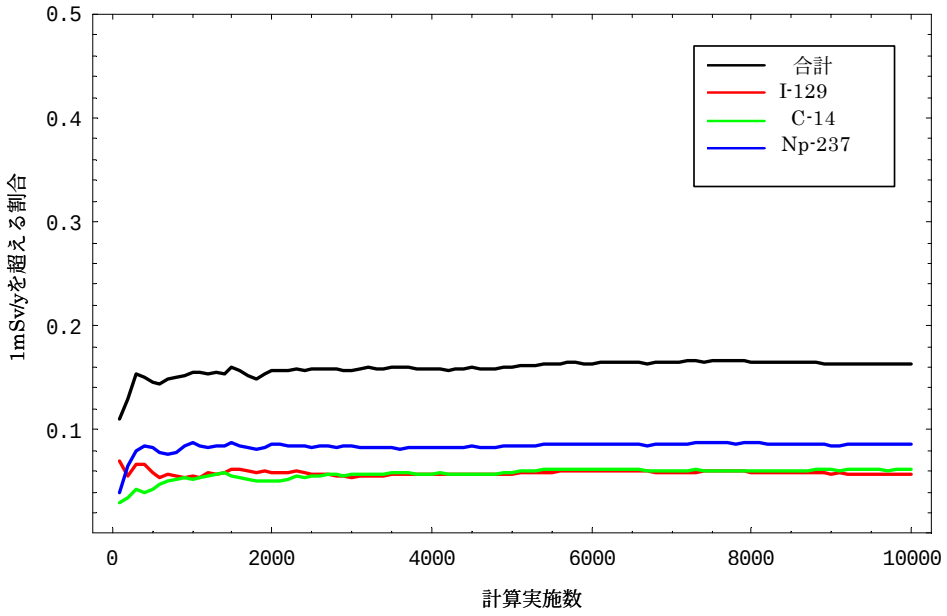


図 3.1.3-1　**計算回数と基準とする線量を超えるケース数の割合の関係**

：グループ 3（2/4）

グループ３（区分８）　目標線量 1mSv/y

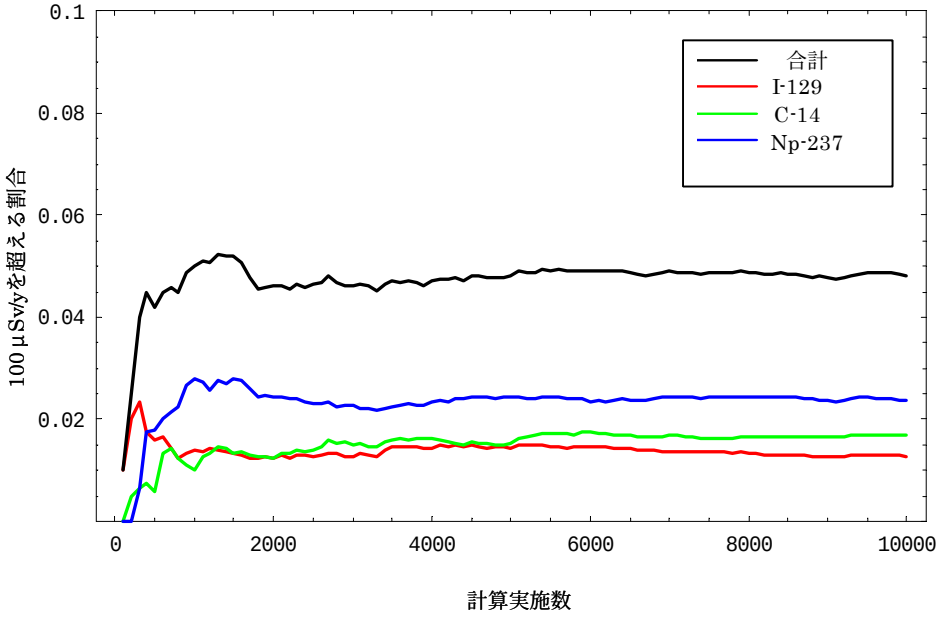


図 3.1.3-1　**計算回数と基準とする線量を超えるケース数の割合の関係**

：グループ 3（3/4）

グループ３（区分８）　目標線量 10mSv/y

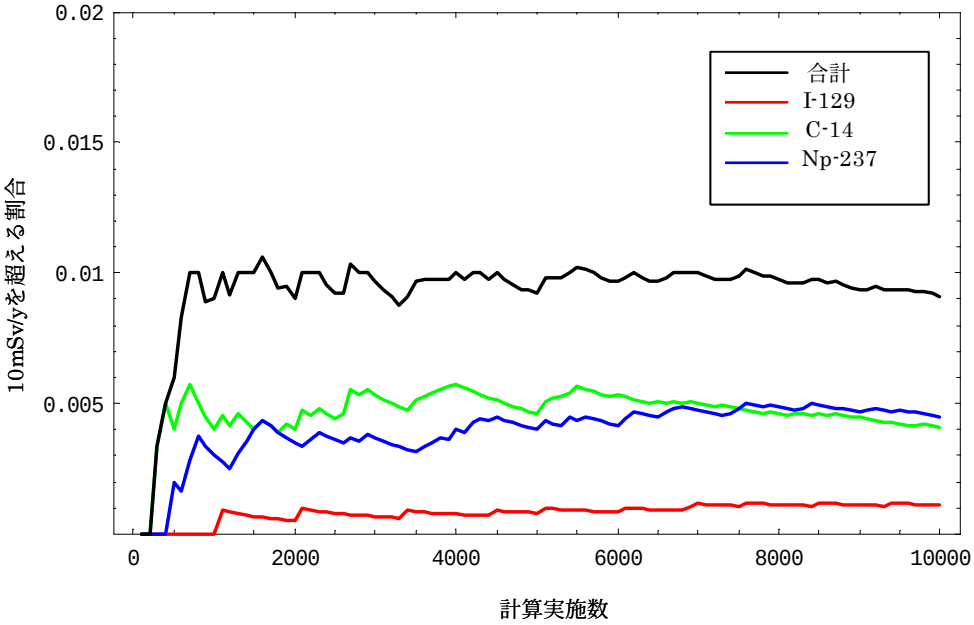


図 3.1.3-1　**計算回数と基準とする線量を超えるケース数の割合の関係**

：グループ 3（4/4）

グループ 4（区分 43）　目標線量 10μSv/y

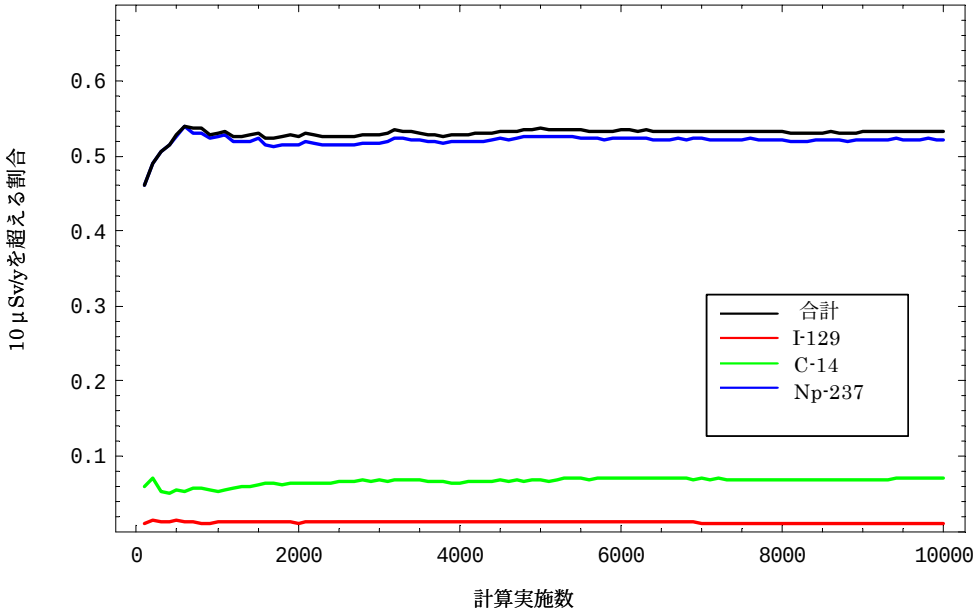


図 3.1.3-2　**計算回数と基準とする線量を超えるケース数の割合の関係**

：グループ 4（1/4）

グループ 4（区分 43）　目標線量 100μSv/y

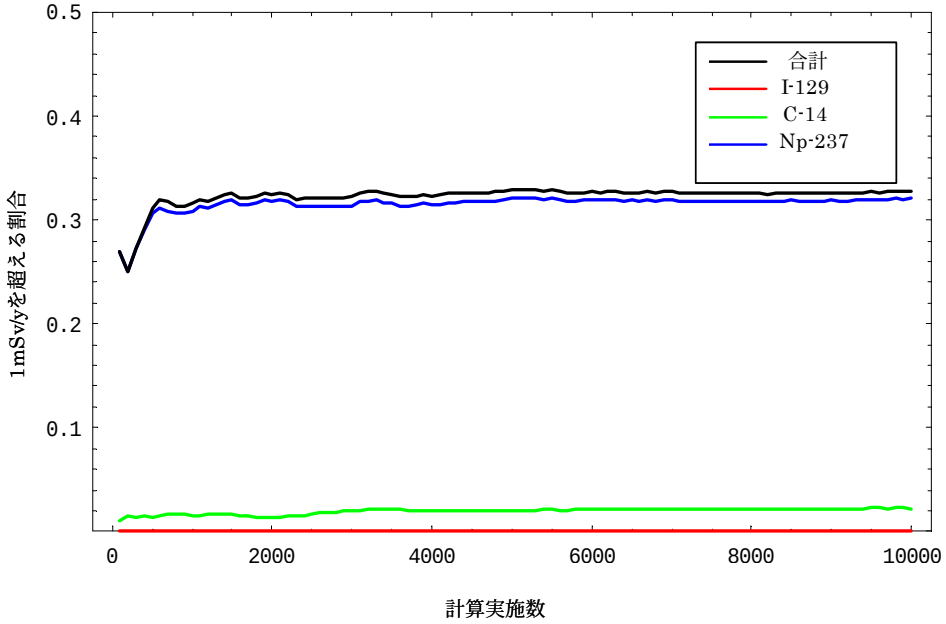


図 3.1.3-2　**計算回数と基準とする線量を超えるケース数の割合の関係**

：グループ 4（2/4）

グループ 4（区分 43）　目標線量 1mSv/y

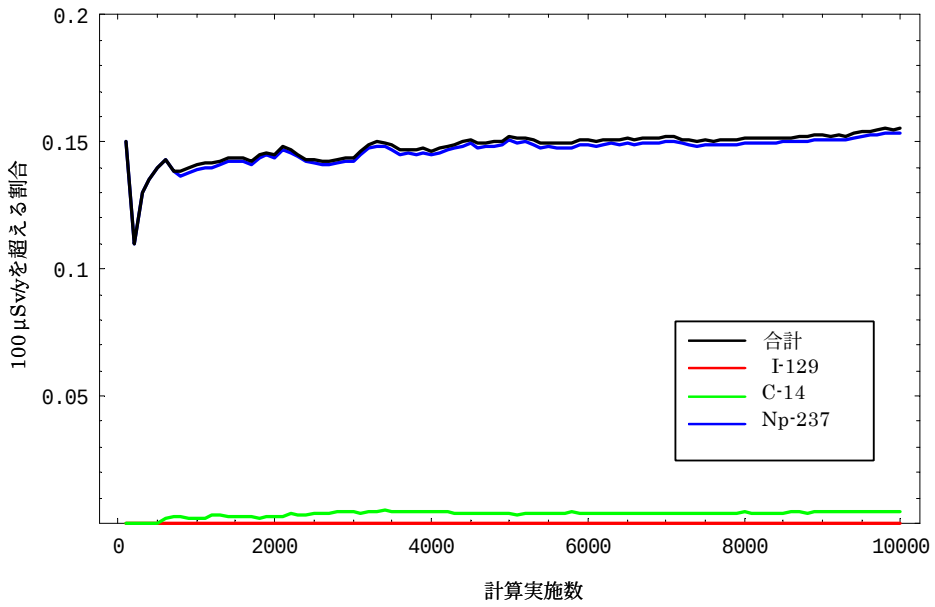


図 3.1.3-2　**計算回数と基準とする線量を超えるケース数の割合の関係**

：グループ 4（3/4）

グループ 4（区分 43）　目標線量 10mSv/y

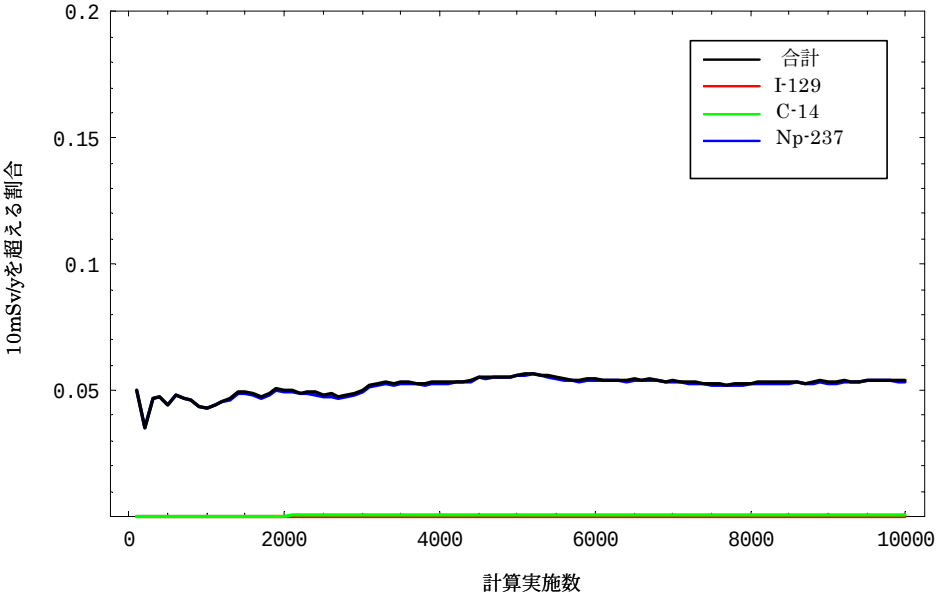


図 3.1.3-2　**計算回数と基準とする線量を超えるケース数の割合の関係**

：グループ 4（4/4）

3.1.4 感度分析手法の組み合わせと利用方法の整理

ここでは、上述までにおいて開発された感度構造を把握するための手法を整理し、適切な利用方法と組み合わせ方について明確にした。

(1) 感度構造の把握のための感度分析手法の適用性に関する検討

現在までに開発された手法のうち、パラメータの感度構造を把握するために利用可能な手法としてはムービングバンド法と Sufficiency Index(SI)法がある。これらは、ムービングバンド法が全線量範囲を対象として感度が大きいパラメータを抽出することが可能であるのに対し、SI 法では着目している線量付近における感度の大きいパラメータを抽出することができるという特徴を有する。そのため、これらは互いに補完しあう関係にあり、要求される感度情報に応じて適宜使い分ける必要がある。

また、ある条件下では重要なパラメータであっても、全域的な感度分析では感度が非常に大きい他のパラメータに隠れている場合は、有意な感度を持つパラメータとして抽出できていない可能性がある。その対応策として、感度の大きいパラメータに対して制約条件が与えられた場合に対して、全域的解析と同様の手法を用いて感度分析を行い、感度を有する「隠れた」パラメータを顕在化させることが必要である。ただし、制約条件の与え方によっては、感度分析の対象となる解析ケース数が減少するため、必要に応じて応答曲面により解析ケースを増幅することが必要であると考えられる。

(2) ＦＥＰ／シナリオのスクリーニングへの適用

性能評価で対象とすべき地下水移行シナリオの作成段階のひとつとして、処分環境において考慮すべき種々の特性、事象、プロセス(Features, Events and Processes, 以下 FEP と略する)を網羅的に挙げる作業がある。ただし、考慮するべき事象が漏れないように網羅的にＦＥＰを用意する必要があるため、ＦＥＰの数が非常に多くなる傾向にある。例えば、ＴＲＵ処分概念検討書（核燃料サイクル開発機構他,2000）では、ニアフィールドに関するＦＥＰだけで 128 個に及んでいる。これらのＦＥＰを全て均等に扱うことは非効率であるため、シナリオ構築においては、その中から、適切な判断の基に重要なものを抽出す

る必要がある。ただし、重要なＦＥＰのスクリーニングでは主観的な判断に頼ることが多く、その透明性と客観性の確保は、性能評価の信頼性を担保するためには重要な課題となっている。

それに対して、本研究において開発した感度分析手法を用いれば、線量評価上重要なパラメータを抽出することが可能であるため、これを利用することにより、より客観的なＦＥＰのスクリーニングの材料として利用できる可能性がある。

例えば、「浅地中処分想定廃棄体の処分適合性に関する検討」（三木崇史,2002）では、抽出された重要パラメータを最も関連の深いＦＥＰを対応づけて、そのＦＥＰに影響を及ぼす事象を遡及していくことにより、重要な事象を抽出している。このように、本研究によって開発された手法によって重要なパラメータを網羅的に抽出することにより、線量評価の観点からＦＥＰの重要度に関する情報を提供することが可能であると考えられる。今後は核種移行パラメータとＦＥＰとの関連づけをより明確にする手法が必要であると考えられる。

(3) 人工バリア仕様設定のための十分条件抽出手法の検討

昨年度までの検討では、十分条件の抽出方法として、ムービングバンド法によって得られる近似曲線から感度の大きいパラメータに対して目標線量を満足する設定値の組み合わせを抽出していた。しかしながら、この手法では、複数存在すると考えられる十分条件の組み合わせのうち、１つの組み合わせしか提示できないという欠点を有する。また、制約条件が与えられた場合は、応答曲面などを利用することによってケース数を増幅し、再び感度分析を行う必要があった。

それに対して本研究において提示されている SI 法では、パラメータの設定値の組み合わせを自由に選択でき、その組み合わせに対する Sufficiency Index(十分条件の強さ)を提示可能である。そのため、Sufficiency Index の許容範囲を予め決めておくことにより、任意の組み合わせが十分条件であるか否かの判断が容易にできる。

制約条件はサイト特性、廃棄体特性、施工材料等によって、多様に与えられることが望ましい。そのため、人工バリア仕様の設定のために十分条件の抽出

手法を適用するのであれば、制約条件に対してより柔軟性のある SI 法を利用した十分条件の抽出手法の方が、ムービングバンド法を利用した手法よりも適していると考えられる。

(4) 感度分析手法の適用フローの作成

以上の検討を基に、本研究によって開発された感度分析手法の適用方法をフローチャートにしてまとめた。図 3.1.4-1 に包括的感度解析の適用フローを示す。これらの感度分析手法は、ＦＥＰ／シナリオのスクリーニングおよび人工バリア仕様の設定に利用可能であると考えられる。

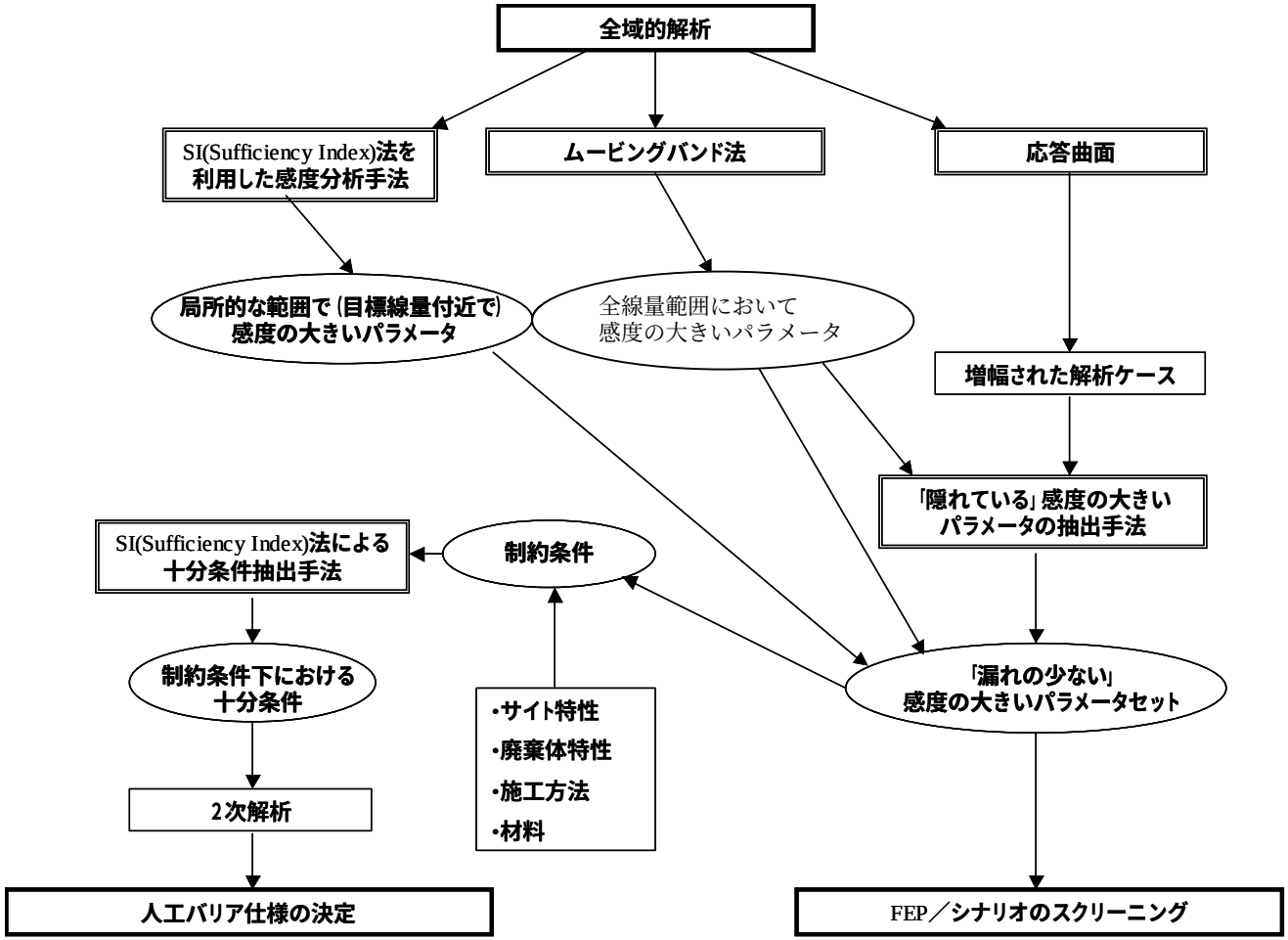


図 3.1.4-1　包括的感度解析の適用フロー

3.2 安全指標を満足するような処分システムの十分条件の網羅的抽出を合理的かつ効率的に実施するための手法の開発

これまで、シャドウモデルによる解析結果を用いて感度分析を行い、十分条件を抽出するための作業は、インタビューやパラメータ範囲の検討を除き以下のステップを踏むことにより実施されてきた。

① 複数個の入力データセットの生成
② 各ケースの核種移行解析
③ 各解析結果の読み込み、最大値データの読み込み、全ケースの最大値をまとめた後処理用のファイルの生成
④ ムービングバンド法による感度の大きなパラメータの抽出
⑤ ムービングバンド法の結果に基づくパラメータ範囲の限定
⑥ 二次解析（①に戻り、イタレーションを行う）

本研究では、ムービングバンド法の他、ＳＩ法の開発を行ってきた。ＳＩ法は、パラメータ範囲を限定したときに、基準とする安全指標（線量）を下回るケースの割合を算出することに特化した手法である。この方法の利点は、複数のパラメータの範囲を限定したときに、瞬時に、基準線量を下回る割合の下限を算出できることにある。また、パラメータの範囲は、ユーザーが自由に選択できることから、ムービングバンド法によるパラメータ抽出と異なり、処分システムの状態や、研究目標に合せパラメータ範囲を限定できる。そのため、2 次解析を実施する以前に、パラメータの範囲の予備的な検討がし易く、効率的に十分条件の抽出が可能となる。この方法を用いた場合の検討の手順を以下に示す。

① 複数個の入力データセットの生成
② 各ケースの核種移行解析
③ 各解析結果の読み込み、最大値データの読み込み、全ケースの最大値をまとめた後処理用のファイルの生成
④ 基準線量近傍での感度の大きなパラメータの抽出

⑤ パラメータ範囲の検討

⑥ 基準を下回る割合の算出（⑤、⑥のイタレーション）

⑦ 二次解析の実施

これを、効率的に実施するために、①～⑦のステップにおいて、各ステップで使用されるプログラムの入出力、及び、各プログラム間でのファイルのやり取りを見直すと伴に、ＳＩ法を具体化するための解析コードの改良を実施するものとした。また、ＳＩ法を用い、使用者側で、限定したパラメータの範囲と目標とする「基準を下回るケースの割合」を入力することにより、自動的に「基準を下回るケースの割合」を満たすようなパラメータ範囲の抽出を実施するような手法についても検討を行うものとした。

(1) ファイル入出力の整理

これまでは、複数個の入力データの生成や、核種移行解析、感度解析は、それぞれ独立したコード体系で実施してきた。そのため、次のステップに検討に入る前には、雑多な方法を用いてファイル処理を行い、このファイルを次の検討用のプログラム体系に合せ加工を行ってきた。解析数が増加すると共にこの作業が負担となりつつある。そのため、本研究では、入力データ生成から感度分析までのファイルのフローを整備し、中間段階でのファイル処理を少なくする方法を検討した。

(2) ＳＩ法のムービングバンド解析パッケージへの追加

新たに検討を行ったＳＩ法を、既存のムービングバンド解析パッケージに組み込むことにより、ＳＩ法による感度解析の実施を可能とした。

(3) ＳＩ法による十分条件抽出手法の検討

ＳＩ法では、ユーザーがパラメータの範囲を決定することにより、「基準を下回るケースの割合」を算出し、その程度をパラメータ範囲の十分性として解釈する。そのため、パラメータの範囲に関する検討が前提となっている。しかしながら、全ての感度の大きなパラメータに関して、その範囲を具体的に検討す

ることには、十分な時間的な余裕が必要となる。また、「基準を下回るケースの割合」に関して、予め目標を置き、これを達成するためのパラメータの範囲を求めたい場合も考えられる。そのため、数個のパラメータ範囲を検討し、それ以外のパラメータに関して、目標を達成するための組み合わせを選択するためのルーチンを付け加えるものとした。

(4) その他、検討項目の追加

3.1 において、感度分析の方法として、以下の検討がなされた。

① 応答局面を用いる方法

応答局面を用いる方法は、ある程度の有効性が確認された。しかしながら、核種毎に応答局面を適用する場合においても、被ばく線量の推定値には、1 桁以上の誤差が生じることから、応答局面法を実用化するためには、応答局面に用いる関数、パラメータの統合や分離などの更なる検討を必要とするものと考えられる。そのため、感度分析パッケージでは、前年度の追加モジュールをそのまま用いるものとし、これによる解析を実施する場合には、参考データとする。

② パラメータ値を降順に並べ、バンドに分割し、被ばく線量と比較する方法

パラメータを横軸にとる方法は、評価対象とするパラメータ自身と被ばく線量の関係を明確にするために有効である。ムービングバンド法を補佐する観点から、この手法をパッケージに追加するものとする。

③ 線量値を降順に並べ、複数のバンドに分割し（これまでのムービングバンド法)、各バンドでの平均値の全域的な平均値からのずれを、局所的な標準偏差により評価する方法

この手法により、被ばく線量の高い側（または低い側）で感度（全域的な平均値からのずれ）の見られるパラメータに関しては、より、顕著にその傾向が確認された。ただし、そのようなケースでは、既存のムービングバンド法によっても有意性も確認されることと、統計的な正当性に関しても疑問が残ることから、既存の手法をそのまま用いるものとする。

4. TRU 核種を含む放射性廃棄物のコンクリートピット処分、余裕深度処分および地層処分の十分条件の網羅的抽出並びに決定論的評価コード Nestor 等を用いた十分条件の詳細確認

4.1 十分条件の網羅的抽出

TRU 核種を含む放射性廃棄物のうち一部のものは、既存のコンクリートピットに収容することが合理的と考えられる。そこで、ここでは、まず、この処分方式に関して既に確立されている評価手法を、決定論的解析コードである Nestor によって再現し、既存施設との重畳も考慮しつつ、コンクリートピットに収容することの可能な範囲の廃棄体の種類と量について検討を加えた。さらに、この検討結果を制約条件として、他の全ての TRU 核種を含む放射性廃棄物を対象とした包括的性能評価を地下水シナリオ及び多孔質媒体を対象として実施し、これらの廃棄物を余裕深度処分あるいは地層処分した場合に、想定される線量目標を満足するための十分条件を網羅的に抽出した。

4.1.1 対象廃棄物の処分区分に関する検討方針

(1) 検討方針

本検討における検討フローを図 4.1.1-1 に示す。本検討では、まず政令濃度上限値、地下水移行シナリオ等によりコンクリートピット処分対象廃棄体を決定し、続いて政令濃度上限値、全α濃度等を参考に余裕深度処分と地層処分の対象廃棄体の振り分けを行った。

(2) 対象廃棄物

本検討において対象する廃棄体および濃度は、ＴＲＵ廃棄物処分概念検討書に示されている廃棄体とした。本検討で対象とした廃棄体および放射能濃度を表 4.1.1-1 に示す。

(3) コンクリートピット処分に対する全域的解析の必要性に関する検討

本検討においては、余裕深度処分および地層処分については、現状では処分概念、サイト条件等が明確でないことから、全域的解析を実施し、処分概念毎

に十分条件を網羅的に抽出することが適当であると考えられる。しかしながら、コンクリートピット処分については、原子力安全委員会放射性廃棄物安全基準専門部会(1993)において、低レベル放射性固体廃棄物の陸地処分の安全規制に関する基準値の検討に使用されたモデルが存在する。また、発電所から発生する廃棄物については、既に事業許可申請がなされた例が存在する。そのため、本処分方式については、既に安全審査等を経て評価手法が確立されており、全域的解析を実施する意義は小さく、この手法を再現するような決定論的なモデルを用いることが適切であると考えられる。

よって本検討では、政令濃度上限値の評価モデルを参考に、コンクリートピットに収容することの可能な範囲の廃棄体の種類と量について決定論的解析によって検討した。

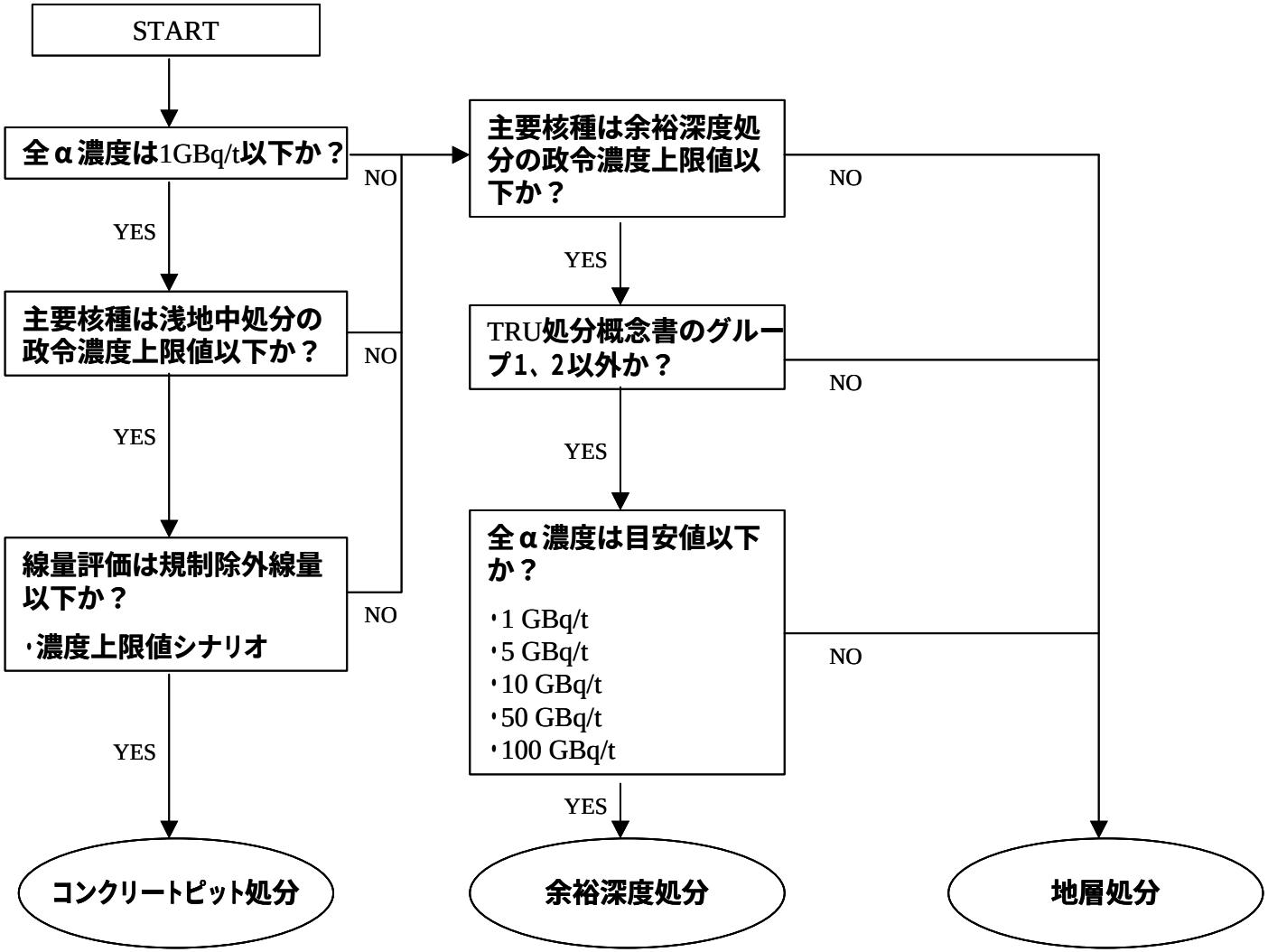


図 4.1.1-1　処分区分検討フロー

表 4.1.1-1　本検討の対象とする廃棄物および廃棄体濃度 (1/2)

区分	廃棄物種類		各廃棄体の放射能濃度 (Bq/t)																														
			C-14	Cl-36	Co-60	Ni-59	Ni-63	Se-79	Sr-90	Zr-93	Nb-94	Mo-93	Tc-99	Pd-107	Sn-126	I-129	Cs-135	Cs-137	U-234	U-235	U-236	U-238	Np-237	Pu-239	Pu-240	Pu-241	Pu-242	Am-241	Am-243	Cm-244	Cm-245	α合計	合計
民間再処理	低ﾚﾍﾞﾙ濃縮廃液Ⅰ		2.5E+01	4.9E-01	2.7E+03	4.5E-01	6.9E+01	2.2E+01	3.7E+06	9.9E+01	7.1E-03	3.1E-02	6.8E+02	5.7E+00	4.0E+01	1.7E+00	2.3E+01	5.1E+06	1.4E+05	4.9E+04	8.5E+05	7.1E+05	1.1E+06	8.1E+08	1.3E+09	5.3E+06	5.4E+06	2.5E+09	5.9E+07	7.0E+09	7.4E+05	2.13E+10	2.13E+10
操業廃棄物	低ﾚﾍﾞﾙ濃縮廃液Ⅱ	(運開後5年間)	0.0E+00	0.0E+00	8.6E+08	1.5E+06	2.3E+08	5.1E+03	8.2E+08	2.3E+04	4.1E+04	9.7E+03	1.7E+05	1.3E+03	9.2E+03	6.0E+00	5.4E+03	1.2E+09	2.1E+04	3.6E+02	6.3E+03	5.4E+03	3.3E+04	1.2E+06	1.8E+06	3.2E+08	7.8E+03	1.4E+06	3.3E+04	3.9E+06	4.2E+02	2.17E+07	4.89E+09
	低ﾚﾍﾞﾙ濃縮廃液Ⅱ	(運開後6年以降)	0.0E+00	0.0E+00	1.5E+09	2.5E+06	3.9E+08	8.6E+03	1.4E+09	3.9E+04	7.0E+04	1.7E+04	3.0E+05	2.2E+03	1.6E+04	1.0E+01	9.2E+03	2.0E+09	3.7E+04	6.3E+02	1.1E+04	9.4E+03	5.7E+04	2.0E+06	3.2E+06	5.4E+08	1.4E+04	2.4E+06	5.7E+04	6.8E+06	7.3E+02	3.79E+07	8.33E+09
	廃溶媒		0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	4.4E+03	7.2E+08	2.0E+04	3.6E+04	0.0E+00	9.5E+05	1.2E+03	7.9E+03	5.2E+00	4.6E+03	9.8E+08	5.6E+04	1.0E+03	1.7E+04	1.5E+04	2.6E+06	3.4E+06	5.4E+06	2.1E+08	2.2E+04	5.3E+03	1.2E+02	1.5E+04	1.5E+00	4.96E+07	2.66E+09
	焼却灰溶融体		1.9E+10	9.1E+07	1.5E+13	3.8E+10	6.0E+12	4.4E+09	1.6E+13	2.1E+10	1.4E+10	1.7E+08	3.0E+09	2.5E+07	1.8E+08	7.2E+06	1.0E+08	2.2E+13	2.2E+08	4.0E+06	6.6E+07	5.5E+07	8.4E+07	6.5E+10	1.0E+11	2.3E+13	4.3E+08	2.0E+11	4.7E+09	5.5E+11	5.8E+07	1.67E+12	1.10E+14
	廃活性炭		0.0E+00	0.0E+00	1.4E+05	2.5E+02	4.1E+04	2.4E-01	4.1E+04	1.1E+00	2.0E+00	1.6E+00	2.1E+02	6.2E-02	4.3E-01	3.0E-04	2.5E-01	5.4E+04	4.4E+04	7.9E+02	1.3E+04	1.1E+04	2.7E+03	8.0E+03	1.3E+04	4.6E+04	5.4E+01	1.3E+05	3.2E+03	3.8E+05	3.9E+01	7.19E+05	1.20E+06
	ハル・エンドピース		7.8E+10	1.5E+09	5.9E+14	4.8E+11	7.4E+13	2.0E+08	3.2E+13	1.4E+10	1.4E+11	3.8E+09	3.7E+10	5.1E+07	3.5E+08	1.5E+07	2.0E+08	4.5E+13	2.0E+07	6.8E+06	1.2E+08	9.9E+07	1.5E+08	1.1E+11	1.8E+11	4.2E+13	7.6E+08	3.5E+11	8.3E+09	9.7E+11	1.0E+08	2.97E+12	1.21E+15
	廃銀吸着材		0.0E+00	0.0E+00	6.6E+03	1.1E+01	1.7E+03	7.8E+02	1.3E+08	3.6E+03	6.6E+03	7.5E-02	0.0E+00	2.1E+02	1.5E+03	1.2E+11	8.6E+02	1.9E+08	1.7E+03	3.0E+01	5.1E+02	4.2E+02	0.0E+00	4.8E+05	7.2E+05	1.9E+08	3.2E+03	1.5E+06	3.5E+04	4.1E+06	4.3E+02	1.25E+07	1.17E+11
	不燃性廃棄物Ⅰ	(HEPA、小物金属)	5.5E+06	2.7E+04	4.5E+09	1.1E+07	1.8E+09	1.3E+06	2.2E+11	6.4E+06	4.3E+06	5.1E+04	4.2E+07	3.4E+05	2.4E+06	1.0E+05	1.4E+06	3.0E+11	2.3E+06	4.1E+04	7.1E+05	5.9E+05	8.8E+05	6.7E+08	1.0E+09	3.1E+11	4.6E+06	2.1E+09	5.0E+07	5.9E+09	5.9E+05	1.76E+10	1.07E+12
	不燃性廃棄物Ⅰ	(機器廃品)	1.0E+08	4.9E+05	8.2E+10	2.1E+08	3.3E+10	2.4E+07	4.1E+12	1.2E+08	7.9E+07	9.3E+05	7.6E+08	6.3E+06	4.4E+07	1.8E+06	2.5E+07	5.4E+12	4.4E+06	7.8E+04	1.4E+06	1.1E+06	1.7E+06	1.3E+09	2.0E+09	5.7E+12	8.8E+06	3.9E+09	9.6E+07	1.1E+10	1.1E+06	3.36E+10	1.93E+13
	不燃性廃棄物Ⅰ	(低汚染部位)	8.4E+03	4.1E+01	6.8E+06	1.7E+04	2.7E+06	2.0E+03	3.4E+08	9.8E+03	6.6E+03	7.7E+01	6.4E+04	5.2E+02	3.6E+03	1.5E+02	2.1E+03	4.5E+08	3.7E+02	6.5E+00	1.1E+02	9.4E+01	1.4E+02	1.1E+05	1.7E+05	4.8E+08	7.4E+02	3.3E+05	8.0E+03	9.4E+05	9.4E+01	2.80E+06	1.61E+09
	不燃性廃棄物Ⅰ	(その他)	1.8E+05	8.6E+02	1.4E+08	3.7E+05	5.7E+07	4.3E+04	7.2E+09	2.1E+05	1.4E+05	1.6E+03	1.3E+06	1.1E+04	7.7E+04	3.2E+03	4.5E+04	9.6E+09	6.1E+03	1.1E+02	1.9E+03	1.5E+03	2.3E+03	1.8E+06	2.8E+06	1.0E+10	1.2E+04	5.4E+06	1.3E+05	1.5E+07	1.5E+03	4.63E+07	3.40E+10
	可燃性廃棄物Ⅱ		1.3E+05	6.1E+02	1.0E+08	2.6E+05	4.2E+07	3.0E+04	4.9E+09	1.4E+05	9.8E+04	1.1E+03	9.3E+05	7.7E+03	5.4E+04	2.2E+03	3.0E+04	7.0E+09	5.9E+04	1.0E+03	1.8E+04	1.5E+04	2.3E+04	1.7E+07	2.6E+07	7.2E+09	1.1E+05	5.2E+07	1.2E+06	1.5E+08	1.6E+04	4.43E+08	2.47E+10
	難燃性廃棄物Ⅱ		7.1E+04	3.4E+02	5.7E+07	1.5E+05	2.3E+07	1.7E+04	2.8E+09	8.0E+04	5.6E+04	6.5E+02	5.3E+05	4.4E+03	3.1E+04	1.3E+03	1.8E+04	3.9E+09	3.4E+04	5.9E+02	1.0E+04	8.8E+03	1.3E+04	9.6E+06	1.5E+07	4.1E+09	6.5E+04	3.0E+07	7.0E+05	8.0E+07	8.8E+03	2.51E+08	1.39E+10
	不燃性廃棄物Ⅱ	(HEPA)	7.2E+03	3.5E+01	5.8E+06	1.5E+04	2.4E+06	1.8E+03	2.9E+08	8.3E+03	5.6E+03	6.5E+01	5.3E+04	4.5E+02	3.0E+03	1.3E+02	1.8E+03	4.0E+08	3.4E+03	6.0E+01	1.0E+03	8.5E+02	1.3E+03	9.8E+05	1.6E+06	4.2E+08	6.6E+03	3.1E+06	7.1E+04	8.4E+06	8.9E+02	2.56E+07	1.42E+09
	不燃性廃棄物Ⅱ	(圧縮体)	5.7E+03	2.8E+01	4.5E+06	1.2E+04	1.9E+06	1.4E+03	2.3E+08	6.6E+03	4.4E+03	5.2E+01	4.2E+04	3.5E+02	2.4E+03	1.0E+02	1.4E+03	3.2E+08	2.7E+03	4.7E+01	8.1E+02	6.7E+02	1.0E+03	7.7E+05	1.2E+06	3.3E+08	5.2E+03	2.4E+06	5.6E+04	6.6E+06	7.0E+02	2.02E+07	1.12E+09
	不燃性廃棄物Ⅱ	(非圧縮体)	4.6E+03	2.3E+01	3.7E+06	9.7E+03	1.5E+06	1.1E+03	1.9E+08	5.4E+03	3.6E+03	4.2E+01	3.4E+04	2.9E+02	2.0E+03	8.4E+01	1.1E+03	2.6E+08	2.2E+03	3.8E+01	6.6E+02	5.5E+02	8.4E+02	6.3E+05	1.0E+06	2.7E+08	4.3E+03	2.0E+06	4.6E+04	5.4E+06	5.7E+02	1.65E+07	9.14E+08
民間MOX	可燃性廃棄物		0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	5.9E-01	9.7E+04	2.6E+00	4.8E+00	0.0E+00	2.7E+07	1.5E-01	1.1E+00	0.0E+00	6.1E-01	1.3E+05	1.5E+06	2.7E+04	4.6E+05	3.8E+05	4.6E+03	3.8E+10	5.9E+10	8.1E+12	2.5E+08	4.8E+09	1.1E+08	1.3E+10	1.4E+06	5.38E+11	8.62E+12
操業廃棄物	難燃性廃棄物		0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	5.6E+00	9.3E+05	2.5E+01	4.6E+01	0.0E+00	2.6E+08	1.5E+00	1.0E+01	0.0E+00	5.9E+00	1.3E+06	1.5E+07	2.6E+05	4.4E+06	3.7E+06	4.4E+04	3.6E+11	5.7E+11	7.8E+13	2.4E+09	4.6E+10	1.1E+09	1.3E+11	1.3E+07	5.19E+12	8.31E+13
	不燃性廃棄物		0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	1.3E-01	2.2E+04	5.9E-01	1.1E+00	0.0E+00	6.1E+06	3.4E-02	2.4E-01	0.0E+00	1.4E-01	3.0E+04	3.5E+05	6.1E+03	1.1E+05	8.7E+04	1.1E+03	8.6E+09	1.4E+10	1.8E+12	5.7E+07	1.1E+09	2.5E+07	3.0E+09	3.2E+05	1.23E+11	1.95E+12
JNC再処理	低ﾚﾍﾞﾙ濃縮廃液Ⅱ	(アスファルト固化)	5.9E+07	0.0E+00	1.9E+06	0.0E+00	0.0E+00	3.3E+03	5.3E+09	1.5E+04	8.3E-01	0.0E+00	1.0E+05	6.3E+02	5.2E+03	1.8E+07	3.3E+03	7.3E+08	2.6E+03	3.2E+03	2.8E+04	3.2E+04	2.6E+04	3.0E+07	3.7E+07	7.1E+09	8.3E+04	1.6E+07	1.3E+05	8.9E+06	6.1E+02	2.32E+08	2.88E+10
操業廃棄物	低ﾚﾍﾞﾙ濃縮廃液Ⅱ	(1998年度以降)	1.1E+08	0.0E+00	3.4E+06	0.0E+00	0.0E+00	5.9E+03	9.6E+09	2.7E+04	1.5E+00	0.0E+00	1.8E+05	1.1E+03	9.4E+03	3.2E+07	6.0E+03	1.3E+09	4.6E+03	5.8E+03	5.0E+04	5.7E+04	4.6E+04	5.5E+07	6.7E+07	1.3E+10	1.5E+05	2.9E+07	2.4E+05	1.6E+07	1.1E+03	4.18E+08	5.18E+10
	低ﾚﾍﾞﾙ濃縮廃液Ⅰ	(アスファルト固化)	8.0E+08	0.0E+00	2.7E+08	0.0E+00	0.0E+00	2.4E+05	1.2E+11	1.1E+06	6.1E+01	0.0E+00	4.2E+06	4.6E+04	3.8E+05	4.4E+07	2.4E+05	5.3E+10	3.6E+04	4.5E+04	3.9E+05	4.5E+05	3.6E+05	4.3E+08	5.2E+08	1.0E+11	1.2E+06	2.4E+08	2.0E+06	6.3E+08	4.3E+04	3.86E+09	2.96E+11
	低ﾚﾍﾞﾙ濃縮廃液Ⅰ	(1998年度以降)	2.1E+09	0.0E+00	7.0E+08	0.0E+00	0.0E+00	6.1E+05	3.2E+11	2.8E+06	1.6E+02	0.0E+00	1.1E+07	1.2E+05	9.8E+05	1.1E+08	6.3E+05	1.4E+11	9.3E+04	1.2E+05	1.0E+06	1.2E+06	9.3E+05	1.1E+09	1.3E+09	2.6E+11	3.0E+06	6.2E+08	5.1E+06	1.6E+09	1.1E+05	9.94E+09	7.62E+11
	廃溶媒		0.0E+00	0.0E+00	2.3E+05	0.0E+00	0.0E+00	2.3E+00	4.0E+05	1.1E+01	5.8E-04	0.0E+00	5.0E+05	4.4E-01	3.6E+00	5.4E+06	2.3E+00	5.1E+05	3.3E+01	4.1E+01	3.5E+02	4.1E+02	3.3E+02	3.9E+05	4.7E+05	9.0E+07	1.0E+03	9.1E+05	7.4E+03	4.6E+05	3.2E+01	3.90E+06	1.07E+08
	焼却灰溶融体		1.3E+06	7.0E-01	1.1E+10	1.4E+07	2.1E+09	1.3E+06	2.1E+11	6.1E+06	3.9E+06	8.4E+04	4.1E+07	2.8E-08	2.4E+06	9.7E+04	1.2E+06	3.0E+11	8.0E+04	8.7E+04	8.6E+05	1.1E+06	9.4E+05	1.2E+09	1.6E+09	4.1E+11	4.7E+06	2.5E+09	3.9E+07	3.2E+09	2.6E+05	1.57E+10	1.20E+12
	ハル・エンドピース		5.3E+10	1.1E+09	6.6E+14	4.0E+11	5.3E+13	1.3E+07	2.4E+12	7.2E+09	8.1E+10	2.3E+09	5.0E+08	2.5E+06	2.1E+07	8.9E+05	1.2E+07	3.1E+12	3.4E+05	1.1E+06	9.7E+06	1.1E+07	8.4E+06	1.0E+10	1.4E+10	2.9E+12	2.8E+07	4.8E+09	1.9E+08	1.4E+10	8.2E+05	3.92E+11	1.43E+15
	廃銀吸着材		0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	4.9E+08	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.00E+00	4.92E+08
	不燃性廃棄物Ⅰ	(金属)	6.4E+05	3.4E-01	5.6E+09	6.8E+06	1.0E+09	6.1E+05	1.0E+11	3.0E+06	1.9E+06	4.1E+04	2.0E+07	1.4E-08	1.1E+06	4.7E+04	6.0E+05	1.4E+11	3.9E+04	4.2E+04	4.2E+05	5.5E+05	4.5E+05	5.9E+08	7.6E+08	2.0E+11	2.3E+06	1.2E+09	1.9E+07	1.5E+09	1.3E+05	7.63E+09	5.82E+11
	不燃性廃棄物Ⅰ	(その他)	5.5E+05	2.9E-01	4.8E+09	5.8E+06	8.7E+08	5.3E+05	8.9E+10	2.5E+06	1.6E+06	3.5E+04	1.7E+07	1.2E-08	9.8E+05	4.1E+04	5.1E+05	1.2E+11	3.3E+04	3.6E+04	3.6E+05	4.7E+05	3.9E+05	5.0E+08	6.5E+08	1.7E+11	2.0E+06	1.0E+09	1.6E+07	1.3E+09	1.1E+05	6.54E+09	4.99E+11
	可燃性廃棄物Ⅱ		1.6E+03	8.2E-04	1.4E+07	1.7E+04	2.5E+06	1.5E+03	2.5E+08	7.2E+03	4.6E+03	1.0E+02	4.8E+04	3.4E-11	2.8E+03	1.2E+02	1.5E+03	3.5E+08	9.4E+01	1.0E+02	1.0E+03	1.3E+03	1.1E+03	1.4E+06	1.9E+06	4.8E+08	5.6E+03	3.0E+06	4.6E+04	3.8E+06	3.0E+02	1.86E+07	1.42E+09
	難燃性廃棄物Ⅱ		1.6E+03	8.2E-04	1.4E+07	1.7E+04	2.5E+06	1.5E+03	2.5E+08	7.2E+03	4.6E+03	1.0E+02	4.8E+04	3.4E-11	2.8E+03	1.2E+02	1.5E+03	3.5E+08	9.4E+01	1.0E+02	1.0E+03	1.3E+03	1.1E+03	1.4E+06	1.9E+06	4.8E+08	5.6E+03	3.0E+06	4.6E+04	3.8E+06	3.0E+02	1.86E+07	1.42E+09
	不燃性廃棄物Ⅱ	(金属)	1.0E+03	5.3E-04	8.8E+06	1.1E+04	1.6E+06	9.7E+02	1.6E+08	4.7E+03	3.0E+03	6.5E+01	3.1E+04	2.2E-11	1.8E+03	7.5E+01	9.4E+02	2.3E+08	6.1E+01	6.7E+01	6.6E+02	8.7E+02	7.2E+02	9.3E+05	1.2E+06	3.1E+08	3.6E+03	1.9E+06	3.0E+04	2.4E+06	2.0E+02	1.20E+07	9.19E+08
	不燃性廃棄物Ⅱ	(その他)	8.7E+02	4.6E-04	7.5E+06	9.2E+03	1.4E+06	8.3E+02	1.4E+08	4.0E+03	2.6E+03	5.5E+01	2.7E+04	1.9E-11	1.6E+03	6.4E+01	8.1E+02	2.0E+08	5.2E+01	5.7E+01	5.7E+02	7.4E+02	6.1E+02	8.0E+05	1.0E+06	2.7E+08	3.1E+03	1.7E+06	2.6E+04	2.1E+06	1.7E+02	1.03E+07	7.88E+08
	スラッジ		4.0E+02	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	4.4E+02	8.5E+07	2.0E+03	1.1E-01	0.0E+00	1.4E+04	8.4E+01	7.0E+02	3.1E+01	4.5E+02	1.1E+08	1.1E+01	3.9E+01	3.4E+02	3.9E+02	3.1E+02	3.7E+05	4.5E+05	1.1E+08	1.0E+03	1.8E+05	7.1E+03	5.3E+05	3.0E+01	1.23E+07	4.47E+08

表 4.1.1-1 本検討の対象とする廃棄物および廃棄体濃度 (2/2)

区分	廃棄物種類		各廃棄体の放射能濃度 (Bq/t)																													
			C-14	Cl-36	Co-60	Ni-59	Ni-63	Se-79	Sr-90	Zr-93	Nb-94	Mo-93	Tc-99	Pd-107	Sn-126	I -129	Cs-135	Cs-137	U-234	U-235	U-236	U-238	Np-237	Pu-239	Pu-240	Pu-241	Pu-242	Am-241	Am-243	Cm-244	Cm-245	α 合計	合計
JNCMOX 操業廃棄物	可燃性廃棄物		0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	2.8E+00	4.8E+05	1.3E+04	7.1E-01	0.0E+00	9.1E+02	5.4E-01	4.4E+00	0.0E+00	2.9E+00	6.2E+05	1.2E+03	3.8E+06	1.3E+04	3.4E+06	8.0E+07	2.4E+11	2.9E+11	5.5E+13	6.4E+08	1.7E+09	1.4E+07	8.5E+08	5.8E+04	1.53E+12	5.66E+13
	難燃性廃棄物		0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	7.2E+00	1.2E+06	3.3E+04	1.8E+00	0.0E+00	2.3E+03	1.4E+00	1.1E+01	0.0E+00	7.4E+00	1.6E+06	3.1E+03	9.3E+06	3.4E+04	8.3E+06	2.1E+08	6.1E+11	7.5E+11	1.4E+14	1.7E+09	4.3E+09	3.5E+07	2.2E+09	1.5E+05	3.96E+12	1.46E+14
	不燃性廃棄物		0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	9.6E-01	1.7E+05	4.5E+03	2.5E-01	0.0E+00	3.2E+02	1.9E-01	1.5E+00	0.0E+00	9.9E-01	2.1E+05	4.2E+02	1.3E+06	4.5E+03	1.2E+06	2.8E+07	8.2E+10	1.0E+11	1.9E+13	2.2E+08	5.8E+08	4.7E+06	3.0E+08	2.0E+04	5.33E+11	1.96E+13
返還低レベル廃棄物	固型物収納体（ハル等）		7.0E+07	1.5E+05	1.1E+14	2.0E+10	2.7E+13	5.0E+07	1.0E+13	8.9E+09	6.0E+10	4.0E+08	2.3E+09	2.0E+07	1.0E+08	4.9E+06	2.5E+08	1.6E+13	3.2E+07	5.0E+05	9.4E+05	6.0E+06	1.1E+07	1.8E+10	3.0E+10	6.4E+12	8.9E+07	3.2E+10	1.5E+09	3.4E+11	4.6E+07	7.10E+11	3.53E+14
	ビチューメン固化体		4.0E+07	1.3E+05	4.0E+11	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	2.6E+12	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	2.1E+08	0.0E+00	0.0E+00	2.1E+08	0.0E+00	2.7E+12	0.0E+00	2.6E+06	0.0E+00	2.6E+07	0.0E+00	2.3E+10	3.5E+10	7.2E+12	0.0E+00	1.6E+11	0.0E+00	2.1E+10	0.0E+00	4.26E+11	1.55E+13
JNC再処理解体廃棄物	不燃性廃棄物Ⅰ	(金属)	4.7E+04	2.5E-02	4.1E+08	5.0E+05	7.5E+07	4.5E+04	7.6E+09	2.2E+05	1.4E+05	3.0E+03	1.4E+06	1.0E-09	8.4E+04	3.5E+03	4.4E+04	1.1E+10	2.8E+03	3.1E+03	3.1E+04	4.0E+04	3.3E+04	4.3E+07	5.6E+07	1.5E+10	1.7E+05	9.0E+07	1.4E+06	1.1E+08	9.1E+03	5.58E+08	4.26E+10
	不燃性廃棄物Ⅱ	(金属)	4.7E+02	2.5E-04	4.1E+06	5.0E+03	7.5E+05	4.5E+02	7.6E+07	2.2E+03	1.4E+03	3.0E+01	1.4E+04	1.0E-11	8.4E+02	3.5E+01	4.4E+02	1.1E+08	2.8E+01	3.1E+01	3.1E+02	4.0E+02	3.3E+02	4.3E+05	5.6E+05	1.5E+08	1.7E+03	9.0E+05	1.4E+04	1.1E+06	9.1E+01	5.58E+06	4.26E+08
	不燃性廃棄物Ⅲ	(金属)	1.1E+02	5.6E-05	9.3E+05	1.1E+03	1.7E+05	1.0E+02	1.7E+07	4.9E+02	3.2E+02	6.8E+00	3.3E+03	2.3E-12	1.9E+02	7.9E+00	1.0E+02	2.4E+07	6.4E+00	7.0E+00	7.0E+01	9.1E+01	7.6E+01	9.8E+04	1.3E+05	3.3E+07	3.8E+02	2.0E+05	3.2E+03	2.6E+05	2.1E+01	1.27E+06	9.70E+07
	不燃性廃棄物Ⅰ	(コンクリート)	2.2E+03	1.2E-03	1.9E+07	2.3E+04	3.5E+06	2.1E+03	3.5E+08	1.0E+04	6.5E+03	1.4E+02	6.7E+04	4.7E-11	3.9E+03	1.6E+02	2.0E+03	4.9E+08	1.3E+02	1.4E+02	1.4E+03	1.9E+03	1.5E+03	2.0E+06	2.6E+06	6.8E+08	7.8E+03	4.2E+06	6.5E+04	5.3E+06	4.3E+02	2.60E+07	1.98E+09
	不燃性廃棄物Ⅱ	(コンクリート)	3.7E+02	2.0E-04	3.2E+06	3.9E+03	5.9E+05	3.5E+02	6.0E+07	1.7E+03	1.1E+03	2.4E+01	1.1E+04	8.0E-12	6.6E+02	2.7E+01	3.4E+02	8.3E+07	2.2E+01	2.4E+01	2.4E+02	3.2E+02	2.6E+02	3.4E+05	4.4E+05	1.1E+08	1.3E+03	7.1E+05	1.1E+04	8.9E+05	7.2E+01	4.40E+06	3.36E+08
	二次廃棄物	(液体)	1.2E+06	6.3E-01	1.0E+10	1.3E+07	1.9E+09	1.2E+06	1.9E+11	5.5E+06	3.6E+06	7.7E+04	3.7E+07	2.6E-08	2.2E+06	8.9E+04	1.1E+06	2.7E+11	7.3E+04	7.9E+04	7.8E+05	1.0E+06	8.5E+05	1.1E+09	1.4E+09	3.7E+11	4.3E+06	2.3E+09	3.6E+07	2.9E+09	2.3E+05	1.43E+10	1.09E+12
	二次廃棄物	(固体)	1.7E+04	8.8E-03	1.5E+08	1.8E+05	2.7E+07	1.6E+04	2.7E+09	7.7E+04	5.0E+04	1.1E+03	5.1E+05	3.6E-10	3.0E+04	1.2E+03	1.6E+04	3.8E+09	1.0E+03	1.1E+03	1.1E+04	1.4E+04	1.2E+04	1.5E+07	2.0E+07	5.2E+09	6.0E+04	3.2E+07	5.0E+05	4.0E+07	3.3E+03	1.99E+08	1.52E+10
	二次廃棄物	(フィルタ)	1.7E+04	8.8E-03	1.5E+08	1.8E+05	2.7E+07	1.6E+04	2.7E+09	7.7E+04	5.0E+04	1.1E+03	5.1E+05	3.6E-10	3.0E+04	1.2E+03	1.6E+04	3.8E+09	1.0E+03	1.1E+03	1.1E+04	1.4E+04	1.2E+04	1.5E+07	2.0E+07	5.2E+09	6.0E+04	3.2E+07	5.0E+05	4.0E+07	3.3E+03	1.99E+08	1.52E+10
JNCMOX 解体廃棄物	不燃性廃棄物Ⅰ	(金属)	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	4.9E-04	8.6E+01	2.3E+00	1.3E-04	0.0E+00	1.6E-01	9.5E-05	7.9E-04	0.0E+00	5.1E-04	1.1E+02	2.1E-01	6.8E+02	2.3E+00	6.0E+02	1.4E+04	4.2E+07	5.1E+07	9.8E+09	1.1E+05	3.0E+05	2.4E+03	1.5E+05	1.0E+01	2.73E+08	1.01E+10
	不燃性廃棄物Ⅱ	(金属)	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	1.1E-04	2.0E+01	5.2E-01	2.9E-05	0.0E+00	3.7E-02	2.2E-05	1.8E-04	0.0E+00	1.2E-04	2.5E+01	4.8E-02	1.5E+02	5.3E-01	1.4E+02	3.2E+03	9.6E+06	1.2E+07	2.2E+09	2.6E+04	6.8E+04	5.5E+02	3.5E+04	2.4E+00	6.21E+07	2.29E+09
	二次廃棄物Ⅰ	(可燃)	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	3.7E-02	6.4E+03	1.7E+02	9.3E-03	0.0E+00	1.2E+01	7.1E-03	5.9E-02	0.0E+00	3.8E-02	8.1E+03	1.6E+01	5.0E+04	1.7E+02	4.4E+04	1.1E+06	3.1E+09	3.8E+09	7.3E+11	8.5E+06	2.2E+07	1.8E+05	1.1E+07	7.7E+02	2.02E+10	7.45E+11
	二次廃棄物Ⅱ	(可燃)	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	3.7E-03	6.4E+02	1.7E+01	9.3E-04	0.0E+00	1.2E+00	7.1E-04	5.9E-03	0.0E+00	3.8E-03	8.1E+02	1.6E+00	5.0E+03	1.7E+01	4.4E+03	1.1E+05	3.1E+08	3.8E+08	7.3E+10	8.5E+05	2.2E+06	1.8E+04	1.1E+06	7.7E+01	2.02E+09	7.45E+10
	二次廃棄物Ⅰ	(難燃)	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	9.5E-02	1.6E+04	4.4E+02	2.4E-02	0.0E+00	3.1E+01	1.8E-02	1.5E-01	0.0E+00	9.7E-02	2.1E+04	4.1E+01	1.2E+05	4.4E+02	1.1E+05	2.7E+06	8.1E+09	9.8E+09	1.9E+12	2.2E+07	5.7E+07	4.6E+05	2.9E+07	2.0E+03	5.22E+10	1.92E+12
	二次廃棄物Ⅱ	(難燃)	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	9.5E-03	1.6E+03	4.4E+01	2.4E-03	0.0E+00	3.1E+00	1.8E-03	1.5E-02	0.0E+00	9.7E-03	2.1E+03	4.1E+00	1.2E+04	4.4E+01	1.1E+04	2.7E+05	8.1E+08	9.8E+08	1.9E+11	2.2E+06	5.7E+06	4.6E+04	2.9E+06	2.0E+02	5.22E+09	1.92E+11
	二次廃棄物Ⅰ	(不燃)	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	3.7E-03	6.5E+02	1.7E+01	9.5E-04	0.0E+00	1.2E+00	7.2E-04	6.0E-03	0.0E+00	3.8E-03	8.3E+02	1.6E+00	5.1E+03	1.7E+01	4.5E+03	1.1E+05	3.2E+08	3.9E+08	7.4E+10	8.6E+05	2.2E+06	1.8E+04	1.1E+06	7.8E+01	2.06E+09	7.59E+10
	二次廃棄物Ⅱ	(不燃)	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	3.7E-04	6.5E+01	1.7E+00	9.5E-05	0.0E+00	1.2E-01	7.2E-05	6.0E-04	0.0E+00	3.8E-04	8.3E+01	1.6E-01	5.1E+02	1.7E+00	4.5E+02	1.1E+04	3.2E+07	3.9E+07	7.4E+09	8.6E+04	2.2E+05	1.8E+03	1.1E+05	7.8E+00	2.06E+08	7.59E+09

4.1.2 処分区分に関する検討

ここでは、図 4.1.1-1 のフローに従って、各処分方式において処分可能な廃棄物の量を算出した。

(1) コンクリートピット処分可能性に関する検討

(a) 全α濃度による区分検討

コンクリートピット処分に対しては、全α濃度に対して一応の目安区分値として 1GBq/t が与えられている。そのため本検討では、全α濃度が 1GBq/t を超える廃棄体はコンクリートピット処分できないものと判定した。

全α濃度上限値による判定結果を表 4.1.2-1 に示す。判定の結果、全廃棄体５６種類のうち２５種類の廃棄体については、この時点でコンクリートピット処分不可能と判定された。

(b) 政令濃度上限値による検討

原子力安全委員会放射性廃棄物安全基準専門部会による報告書「低レベル放射性廃棄物の陸地処分の安全規制に関する基準値について（第２次中間報告）」には、固形化された廃棄体による処分、すなわちコンクリートピット処分に対する濃度上限値が示されている。これは、安全審査を受け入れる前提となるため、本検討では、報告書に示された濃度上限値より高い濃度を有する廃棄体のコンクリートピット処分は不可能と判定した。

政令濃度上限値による判定の結果を表 4.1.2-1 に示す。全α濃度による判定と併せて、３１種類の廃棄体については、ここまでの検討では処分可能であると判定されている。以降の検討では、これらの廃棄体についてのみ検討を行った。

(c) 線量評価による判定

本検討では、上記の濃度上限値の算出に用いられた「濃度上限値シナリオ」について、実際の廃棄体に適用し、目標とする線量を満足するか否かによってコンクリートピット処分が可能かどうかを判定した。

濃度上限値シナリオについては、前述の報告書「低レベル放射性廃棄物の

陸地処分の安全規制に関する基準値について（第２次中間報告）」に示されているシナリオについて評価することとした。濃度上限値算出に使用されたシナリオを図 4.1.2-1 に示す。このうち、スカイシャインについては操業方法により対応できるため本検討の対象外とした。すなわち、本検討では建設、居住および地下水移行の各シナリオについて評価を行った。目標線量は各シナリオともに 10μSv/y とした。

評価結果を表 4.1.2-2 に示す。本検討の結果、17 種類の廃棄体がコンクリートピット処分可能であるという結果が得られた。

(2) 余裕深度処分可能性の判定

次に、上記までの検討によりコンクリートピット処分が不可能とされた廃棄体を、余裕深度処分と地層処分に振り分ける必要がある。よって本検討では原子力安全委員会の報告書に示されている政令濃度上限値、地層処分におけるグルーピングおよび全α濃度を基準として、余裕深度処分が可能かどうかの判定を行った。

(a) 政令濃度上限値による検討

原子力安全委員会による報告書「低レベル放射性廃棄物の陸地処分の安全規制に関する基準値について（第３次中間報告）」には、余裕深度処分に対する濃度上限値が示されている。本検討では、このうち被ばく経路の重畳を考慮した場合の濃度上限値を参考に、この値を超える廃棄体は余裕深度処分が不可能と判定した。

判定結果を表 4.1.2-3 に示す。本判定により余裕深度処分が不可能と判定されたのは、民間再処理操業廃棄物の廃銀吸着材のみである。

(b) 地層処分グルーピングによる検討

以下の廃棄体は「ＴＲＵ廃棄物処分概念検討書」においてグループ１およびグループ２に区分されている。これらは、重要核種のインベントリが多く、線量評価上重要な廃棄体である。よって本検討ではこれらの廃棄体は地層処分されることを前提とする。

－ 民間再処理操業廃棄物　廃銀吸着材

－ JNC 再処理操業廃棄物　廃銀吸着材

－ 民間再処理操業廃棄物　ハル・エンドピース

－ JNC 再処理操業廃棄物　ハル・エンドピース

－ 返還低レベル廃棄物　固型物収納体（ハル等）

(c) 全α濃度による検討

当該廃棄体が余裕深度処分が可能か否かを判断する基準としては、地下水移行シナリオの他に接近シナリオによる評価も重要となる。その観点では、接近シナリオの評価への寄与が大きいα濃度により余裕深度処分が可能な廃棄物を区分することは合理的と考えられる。しかしながら、現時点では接近シナリオの評価手法や基準が明確になっていないため、ここでは、全α濃度が１GBq/t、5GBq/t、10GBq/t、50GBq/t および 100GBq/t を一応の区分値として、余裕深度処分が可能かどうかを判定した。

判定結果を表 4.1.2-4 に示す。これより、α濃度上限値により余裕深度処分が可能な廃棄体の量が大きく変わることがわかる。

(3) 本研究において想定する処分区分の検討

以上の検討によって判定された廃棄体の処分区分を表 4.1.2-5 にまとめる。また、それぞれのα濃度上限値における評価シナリオの場合の各処分形態のインベントリを表 4.1.2-6 に示す。これより、コンクリートピット処分対象のインベントリは余裕深度処分対象のインベントリよりも小さいケースが多いことがわかる。そのため、本研究では保守的にコンクリートピット処分対象のインベントリも余裕深度処分での評価対象に含めるものとした。なお、物量については、コンクリートピット処分対象廃棄物の物量は多いが、感度解析のパラメータとして廃棄体埋設比率を大きく変動させているため、これに包含されると考えられる。

また、α濃度上限値は、詳細に区分を分けてもインベントリの変化が小さいため、本研究では 1GBq/t および 50GBq/t の２ケースを対象とした。

表 4.1.2-1　全α濃度および政令濃度上限値によるコンクリートピット処分可能性の判定 (1/3)

区分	廃棄物種類		全α濃度による判定		政令濃度上限値による判定												ここまでの判定
			全α濃度 (Bq/t)	判定	C-14 (3.7E+10 Bq/t)		Co-60 (1.11E+13 Bq/t)		Ni-63 (1.11E+12 Bq/t)		Sr-90 (7.4e+10 Bq/t)		Cs-137 (1.11E+12 Bq/t)		全α (1.11E+9 Bq/t)		
					濃度(Bq/t)	判定	濃度(Bq/t)	判定	濃度(Bq/t)	判定	濃度(Bq/t)	判定	濃度(Bq/t)	判定	濃度(Bq/t)	判定	
民間再処理操業廃棄物	低ﾚﾍﾞﾙ濃縮廃液Ⅰ		2.1E+10	×	2.5E+01	○	2.7E+03	○	6.9E+01	○	3.7E+06	○	5.1E+06	○	2.1E+10	×	×
	低ﾚﾍﾞﾙ濃縮廃液Ⅱ	(運開後5年間)	2.2E+07	○	0.0E+00	○	8.6E+08	○	2.3E+08	○	8.2E+08	○	1.2E+09	○	2.2E+07	○	○
	低ﾚﾍﾞﾙ濃縮廃液Ⅱ	(運開後6年以降)	3.8E+07	○	0.0E+00	○	1.5E+09	○	3.9E+08	○	1.4E+09	○	2.0E+09	○	3.8E+07	○	○
	廃溶媒		5.0E+07	○	0.0E+00	○	0.0E+00	○	0.0E+00	○	7.2E+08	○	9.8E+08	○	5.0E+07	○	○
	焼却灰溶融体		1.7E+12	×	1.9E+10	○	1.5E+13	×	6.0E+12	×	1.6E+13	×	2.2E+13	×	1.7E+12	×	×
	廃活性炭		7.2E+05	○	0.0E+00	○	1.4E+05	○	4.1E+04	○	4.1E+04	○	5.4E+04	○	7.2E+05	○	○
	ハル･エンドピース		3.0E+12	×	7.8E+10	×	5.9E+14	×	7.4E+13	×	3.2E+13	×	4.5E+13	×	3.0E+12	×	×
	廃銀吸着材		1.3E+07	○	0.0E+00	○	6.6E+03	○	1.7E+03	○	1.3E+08	○	1.9E+08	○	1.3E+07	○	○
	不燃性廃棄物Ⅰ	(HEPA、小物金属)	1.8E+10	×	5.5E+06	○	4.5E+09	○	1.8E+09	○	2.2E+11	×	3.0E+11	○	1.8E+10	×	×
	不燃性廃棄物Ⅰ	(機器廃品)	3.4E+10	×	1.0E+08	○	8.2E+10	○	3.3E+10	○	4.1E+12	×	5.4E+12	×	3.4E+10	×	×
	不燃性廃棄物Ⅰ	(低汚染部位)	2.8E+06	○	8.4E+03	○	6.8E+06	○	2.7E+06	○	3.4E+08	○	4.5E+08	○	2.8E+06	○	○
	不燃性廃棄物Ⅰ	(その他)	4.6E+07	○	1.8E+05	○	1.4E+08	○	5.7E+07	○	7.2E+09	○	9.6E+09	○	4.6E+07	○	○
	可燃性廃棄物Ⅱ		4.4E+08	○	1.3E+05	○	1.0E+08	○	4.2E+07	○	4.9E+09	○	7.0E+09	○	4.4E+08	○	○
	難燃性廃棄物Ⅱ		2.5E+08	○	7.1E+04	○	5.7E+07	○	2.3E+07	○	2.8E+09	○	3.9E+09	○	2.5E+08	○	○
	不燃性廃棄物Ⅱ	(HEPA)	2.6E+07	○	7.2E+03	○	5.8E+06	○	2.4E+06	○	2.9E+08	○	4.0E+08	○	2.6E+07	○	○
	不燃性廃棄物Ⅱ	(圧縮体)	2.0E+07	○	5.7E+03	○	4.5E+06	○	1.9E+06	○	2.3E+08	○	3.2E+08	○	2.0E+07	○	○
	不燃性廃棄物Ⅱ	(非圧縮体)	1.7E+07	○	4.6E+03	○	3.7E+06	○	1.5E+06	○	1.9E+08	○	2.6E+08	○	1.7E+07	○	○
民間MOX操業廃棄物	可燃性廃棄物		5.4E+11	×	0.0E+00	○	0.0E+00	○	0.0E+00	○	9.7E+04	○	1.3E+05	○	5.4E+11	×	×
	難燃性廃棄物		5.2E+12	×	0.0E+00	○	0.0E+00	○	0.0E+00	○	9.3E+05	○	1.3E+06	○	5.2E+12	×	×
	不燃性廃棄物		1.2E+11	×	0.0E+00	○	0.0E+00	○	0.0E+00	○	2.2E+04	○	3.0E+04	○	1.2E+11	×	×

表 4.1.2-1　全α濃度および政令濃度上限値によるコンクリートピット処分可能性の判定 (2/3)

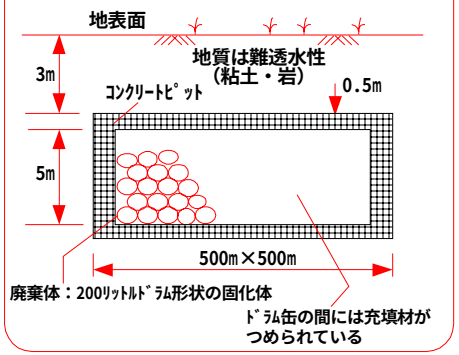
区分	廃棄物種類		全α濃度による判定		政令濃度上限値による判定												ここまでの判定
			全α濃度 (Bq/t)	判定	C-14 (3.7E+10 Bq/t)		Co-60 (1.11E+13 Bq/t)		Ni-63 (1.11E+12 Bq/t)		Sr-90 (7.4e+10 Bq/t)		Cs-137 (1.11E+12 Bq/t)		全α (1.11E+9 Bq/t)		
					濃度(Bq/t)	判定	濃度(Bq/t)	判定	濃度(Bq/t)	判定	濃度(Bq/t)	判定	濃度(Bq/t)	判定	濃度(Bq/t)	判定	
JNC再処理操業廃棄物	低レベル濃縮廃液Ⅱ	(アスファルト固化)	2.3E+08	○	5.9E+07	○	1.9E+06	○	0.0E+00	○	5.3E+09	○	7.3E+08	○	2.3E+08	○	○
	低レベル濃縮廃液Ⅱ	(1998年度以降)	4.2E+08	○	1.1E+08	○	3.4E+06	○	0.0E+00	○	9.6E+09	○	1.3E+09	○	4.2E+08	○	○
	低レベル濃縮廃液Ⅰ	(アスファルト固化)	3.9E+09	×	8.0E+08	○	2.7E+08	○	0.0E+00	○	1.2E+11	×	5.3E+10	○	3.9E+09	×	×
	低レベル濃縮廃液Ⅰ	(1998年度以降)	9.9E+09	×	2.1E+09	○	7.0E+08	○	0.0E+00	○	3.2E+11	×	1.4E+11	○	9.9E+09	×	×
	廃溶媒		3.9E+06	○	0.0E+00	○	2.3E+05	○	0.0E+00	○	4.0E+05	○	5.1E+05	○	3.9E+06	○	○
	焼却灰溶融体		1.6E+10	×	1.3E+06	○	1.1E+10	○	2.1E+09	○	2.1E+11	×	3.0E+11	○	1.6E+10	×	×
	ハル・エンドピース		3.9E+11	×	5.3E+10	×	6.6E+14	×	5.3E+13	×	2.4E+12	×	3.1E+12	×	3.9E+11	×	×
	廃銀吸着材		0.0E+00	○	0.0E+00	○	0.0E+00	○	0.0E+00	○	0.0E+00	○	0.0E+00	○	0.0E+00	○	○
	不燃性廃棄物Ⅰ	(金属)	7.6E+09	×	6.4E+05	○	5.6E+09	○	1.0E+09	○	1.0E+11	×	1.4E+11	○	7.6E+09	×	×
	不燃性廃棄物Ⅰ	(その他)	6.5E+09	×	5.5E+05	○	4.8E+09	○	8.7E+08	○	8.9E+10	×	1.2E+11	○	6.5E+09	×	×
	可燃性廃棄物Ⅱ		1.9E+07	○	1.6E+03	○	1.4E+07	○	2.5E+06	○	2.5E+08	○	3.5E+08	○	1.9E+07	○	○
	難燃性廃棄物Ⅱ		1.9E+07	○	1.6E+03	○	1.4E+07	○	2.5E+06	○	2.5E+08	○	3.5E+08	○	1.9E+07	○	○
	不燃性廃棄物Ⅱ	(金属)	1.2E+07	○	1.0E+03	○	8.8E+06	○	1.6E+06	○	1.6E+08	○	2.3E+08	○	1.2E+07	○	○
	不燃性廃棄物Ⅱ	(その他)	1.0E+07	○	8.7E+02	○	7.5E+06	○	1.4E+06	○	1.4E+08	○	2.0E+08	○	1.0E+07	○	○
	スラッジ		1.2E+07	○	4.0E+02	○	0.0E+00	○	0.0E+00	○	8.5E+07	○	1.1E+08	○	1.2E+07	○	○
JNCMOX操業廃棄物	可燃性廃棄物		1.5E+12	×	0.0E+00	○	0.0E+00	○	0.0E+00	○	4.8E+05	○	6.2E+05	○	1.5E+12	×	×
	難燃性廃棄物		4.0E+12	×	0.0E+00	○	0.0E+00	○	0.0E+00	○	1.2E+06	○	1.6E+06	○	4.0E+12	×	×
	不燃性廃棄物		5.3E+11	×	0.0E+00	○	0.0E+00	○	0.0E+00	○	1.7E+05	○	2.1E+05	○	5.3E+11	×	×

表 4.1.2-1　全α濃度および政令濃度上限値によるコンクリートピット処分可能性の判定 (3/3)

区分	廃棄物種類		全α濃度による判定		政令濃度上限値による判定												ここまでの判定
			全α濃度 (Bq/t)	判定	C-14 (3.7E+10 Bq/t)		Co-60 (1.11E+13 Bq/t)		Ni-63 (1.11E+12 Bq/t)		Sr-90 (7.4e+10 Bq/t)		Cs-137 (1.11E+12 Bq/t)		全α (1.11E+9 Bq/t)		
					濃度(Bq/t)	判定	濃度(Bq/t)	判定	濃度(Bq/t)	判定	濃度(Bq/t)	判定	濃度(Bq/t)	判定	濃度(Bq/t)	判定	
返還低レベル廃棄物	固型物収納体（ハル等）		7.1E+11	×	7.0E+07	○	1.1E+14	×	2.7E+13	×	1.0E+13	×	1.6E+13	×	7.1E+11	×	×
	ビチューメン固化体		4.3E+11	×	4.0E+07	○	4.0E+11	○	0.0E+00	○	2.6E+12	×	2.7E+12	×	4.3E+11	×	×
JNC再処理解体廃棄物	不燃性廃棄物Ⅰ	（金属）	5.6E+08	○	4.7E+04	○	4.1E+08	○	7.5E+07	○	7.6E+09	○	1.1E+10	○	5.6E+08	○	○
	不燃性廃棄物Ⅱ	（金属）	5.6E+06	○	4.7E+02	○	4.1E+06	○	7.5E+05	○	7.6E+07	○	1.1E+08	○	5.6E+06	○	○
	不燃性廃棄物Ⅲ	（金属）	1.3E+06	○	1.1E+02	○	9.3E+05	○	1.7E+05	○	1.7E+07	○	2.4E+07	○	1.3E+06	○	○
	不燃性廃棄物Ⅰ	（コンクリート）	2.6E+07	○	2.2E+03	○	1.9E+07	○	3.5E+06	○	3.5E+08	○	4.9E+08	○	2.6E+07	○	○
	不燃性廃棄物Ⅱ	（コンクリート）	4.4E+06	○	3.7E+02	○	3.2E+06	○	5.9E+05	○	6.0E+07	○	8.3E+07	○	4.4E+06	○	○
	二次廃棄物	（液体）	1.4E+10	×	1.2E+06	○	1.0E+10	○	1.9E+09	○	1.9E+11	×	2.7E+11	○	1.4E+10	×	×
	二次廃棄物	（固体）	2.0E+08	○	1.7E+04	○	1.5E+08	○	2.7E+07	○	2.7E+09	○	3.8E+09	○	2.0E+08	○	○
	二次廃棄物	（フィルタ）	2.0E+08	○	1.7E+04	○	1.5E+08	○	2.7E+07	○	2.7E+09	○	3.8E+09	○	2.0E+08	○	○
JNCMOX解体廃棄物	不燃性廃棄物Ⅰ	（金属）	2.7E+08	○	0.0E+00	○	0.0E+00	○	0.0E+00	○	8.6E+01	○	1.1E+02	○	2.7E+08	○	○
	不燃性廃棄物Ⅱ	（金属）	6.2E+07	○	0.0E+00	○	0.0E+00	○	0.0E+00	○	2.0E+01	○	2.5E+01	○	6.2E+07	○	○
	二次廃棄物Ⅰ	（可燃）	2.0E+10	×	0.0E+00	○	0.0E+00	○	0.0E+00	○	6.4E+03	○	8.1E+03	○	2.0E+10	×	×
	二次廃棄物Ⅱ	（可燃）	2.0E+09	×	0.0E+00	○	0.0E+00	○	0.0E+00	○	6.4E+02	○	8.1E+02	○	2.0E+09	×	×
	二次廃棄物Ⅰ	（難燃）	5.2E+10	×	0.0E+00	○	0.0E+00	○	0.0E+00	○	1.6E+04	○	2.1E+04	○	5.2E+10	×	×
	二次廃棄物Ⅱ	（難燃）	5.2E+09	×	0.0E+00	○	0.0E+00	○	0.0E+00	○	1.6E+03	○	2.1E+03	○	5.2E+09	×	×
	二次廃棄物Ⅰ	（不燃）	2.1E+09	×	0.0E+00	○	0.0E+00	○	0.0E+00	○	6.5E+02	○	8.3E+02	○	2.1E+09	×	×
	二次廃棄物Ⅱ	（不燃）	2.1E+08	○	0.0E+00	○	0.0E+00	○	0.0E+00	○	6.5E+01	○	8.3E+01	○	2.1E+08	○	○

想　定　埋　設　施　設

埋設施設概念図

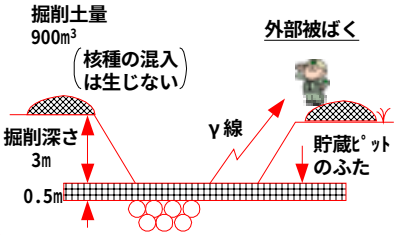


- ○ 埋設施設規模
  500m×500m
- ○ 処分放射性廃棄物総量
  2×10^5 m^3
  (200　リットルドラム缶100万本相当)
- ○ 処分場の高さ
  5m
- ○ 廃棄物までの深さ
  3.5m(3m+0.5m)
- ○ 放射性廃棄物の処分場総量に対する割合（容量割合）
  16%
- ○ 管理期間（減衰を期待する期間）
  300年

年間
10μSv

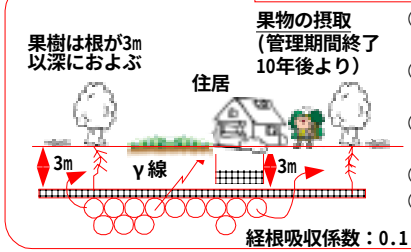
管理期間終了後シナリオ

建設シナリオ



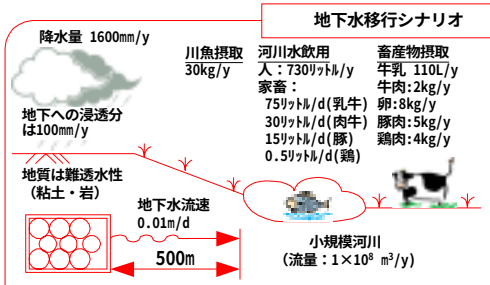
- ○ 管理期間(300年)後の跡地への住居の建設工事
  建設用掘削面積
  416m²（26m×16m）
- ○ 3mの深さまで基礎用に掘削
- ○ 覆土と廃棄物の混合は起こらない
- ○ 基礎掘削工事時の外部被ばく
- ○ 被ばく時間　500時間／年

居住シナリオ



- ○ 管理期間(300年)後の跡地への居住・栽培農作物の摂取
- ○ 農作物は根が3m以深におよぶ果樹を仮定
- ○ 居住による外部被ばく、及び農作物の摂取による内部被ばく
- ○ 被ばく時間　365日／年
- ○ 農作物摂取量　20kg/年
  (果樹の果物の年間摂取量の1/2)

地下水移行シナリオ

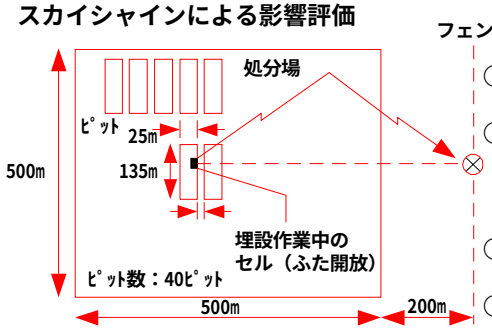


- ○ 管理期間(300年)後に地下水への漏出が開始すると仮定
- ○ 処分場より核種が地下水に移行し、河川に流入
- ○ 河川水の直接飲用、家畜及び魚（河川水飼育）の摂取による内部被ばく

年間1mSv

操業中シナリオ

処分場操業期間中において、処分場敷地境界上に居住する一般公衆がうけるスカイシャインによる影響評価



- ○ １日当たり１セル(250本)ごとに埋設を実施する。
- ○ 埋設作業時にふたの解放されるセル、埋設状態のピットからスカイシャインγ線により敷地境界に住む人が受ける外部被ばく
- ○ 埋設作業時（８時間／日）はセルが開放されている。
- ○ 被ばく時間　365日／年

図 4.1.2-1　コンクリートピット処分の濃度上限値導出シナリオ

表 4.1.2-2　濃度上限値シナリオにおけるコンクリートピット処分可能性の判定

[Sv/y]

			建設	居住	地下水	判定
民間再処理操業廃棄物	低ﾚﾍﾞﾙ濃縮廃液Ⅱ	(運開後5年間)	8.8E-09	5.6E-06	3.5E-09	○
	低ﾚﾍﾞﾙ濃縮廃液Ⅱ	(運開後6年以降)	1.5E-08	9.5E-06	6.0E-09	○
	廃溶媒		1.8E-08	1.7E-05	8.5E-08	×
	廃活性炭		4.3E-09	5.2E-07	4.7E-09	○
	廃銀吸着材		1.4E-09	5.5E-02	5.1E-03	×
	不燃性廃棄物Ⅰ	(低汚染部位)	3.0E-09	4.3E-06	1.7E-10	○
	不燃性廃棄物Ⅰ	(その他)	6.3E-08	9.1E-05	3.3E-09	×
	可燃性廃棄物Ⅱ		4.6E-08	8.3E-05	1.4E-08	×
	難燃性廃棄物Ⅱ		2.6E-08	4.7E-05	8.0E-09	×
	不燃性廃棄物Ⅱ	(HEPA)	2.6E-09	4.8E-06	8.0E-10	○
	不燃性廃棄物Ⅱ	(圧縮体)	2.1E-09	3.8E-06	6.3E-10	○
	不燃性廃棄物Ⅱ	(非圧縮体)	1.7E-09	3.1E-06	5.1E-10	○
JNC再処理操業廃棄物	低ﾚﾍﾞﾙ濃縮廃液Ⅱ	(アスファルト固化)	6.2E-09	8.5E-05	9.2E-07	×
	低ﾚﾍﾞﾙ濃縮廃液Ⅱ	(1998年度以降)	1.1E-08	1.5E-04	1.7E-06	×
	廃溶媒		7.9E-11	3.8E-06	2.3E-07	○
	廃銀吸着材		3.2E-15	2.3E-04	2.1E-05	×
	可燃性廃棄物Ⅱ		2.3E-09	5.2E-06	4.6E-10	○
	難燃性廃棄物Ⅱ		2.3E-09	5.2E-06	4.6E-10	○
	不燃性廃棄物Ⅱ	(金属)	1.5E-09	3.4E-06	3.0E-10	○
	不燃性廃棄物Ⅱ	(その他)	1.3E-09	2.9E-06	2.6E-10	○
	スラッジ		6.4E-10	1.2E-06	1.1E-10	○
JNC再処理解体廃棄物	不燃性廃棄物Ⅰ	(金属)	6.9E-08	1.6E-04	1.4E-08	×
	不燃性廃棄物Ⅱ	(金属)	6.9E-10	1.6E-06	1.4E-10	○
	不燃性廃棄物Ⅲ	(金属)	1.6E-10	3.6E-07	3.2E-11	○
	不燃性廃棄物Ⅰ	(コンクリート)	3.2E-09	7.3E-06	6.5E-10	○
	不燃性廃棄物Ⅱ	(コンクリート)	5.5E-10	1.2E-06	1.1E-10	○
	二次廃棄物	(固体)	2.5E-08	5.6E-05	5.0E-09	×
	二次廃棄物	(フィルタ)	2.5E-08	5.6E-05	5.0E-09	×
JNCMOX解体廃棄物	不燃性廃棄物Ⅰ	(金属)	6.0E-09	8.3E-05	7.4E-09	×
	不燃性廃棄物Ⅱ	(金属)	1.4E-09	1.9E-05	1.7E-09	×
	二次廃棄物Ⅱ	(不燃)	4.5E-09	6.3E-05	5.6E-09	×

* 上記シナリオのうち、ひとつでも 10μSv/y を上回った場合はコンクリートピット処分は不可能と判定した。

表 4.1.2-3　余裕深度処分に対する政令濃度上限値による余裕深度処分可能性の判定 (1/2)

区分	廃棄物種類	余裕深度処分の政令濃度上限値による判定									
		C-14	Cl-36	Se-79	Zr-93	Tc-99	I-129	U-234	U-236	Np-237	判定
民間再処理操業廃棄物	低ﾚﾍﾞﾙ濃縮廃液Ⅰ	2.5E+01 ○	4.9E-01 ○	2.2E+01 ○	9.9E+01 ○	6.8E+02 ○	1.7E+00 ○	1.4E+05 ○	8.5E+05 ○	1.1E+06 ○	○
	廃溶媒	0.0E+00 ○	0.0E+00 ○	4.4E+03 ○	2.0E+04 ○	9.5E+05 ○	5.2E+00 ○	5.6E+04 ○	1.7E+04 ○	2.6E+06 ○	○
	焼却灰溶融体	1.9E+10 ○	9.1E+07 ○	4.4E+09 ○	2.1E+10 ○	3.0E+09 ○	7.2E+06 ○	2.2E+08 ○	6.6E+07 ○	8.4E+07 ○	○
	ハル･エンドピース	7.8E+10 ○	1.5E+09 ○	2.0E+08 ○	1.4E+10 ○	3.7E+10 ○	1.5E+07 ○	2.0E+07 ○	1.2E+08 ○	1.5E+08 ○	○
	廃銀吸着材	0.0E+00 ○	0.0E+00 ○	7.8E+02 ○	3.6E+03 ○	0.0E+00 ○	1.2E+11 ×	1.7E+03 ○	5.1E+02 ○	0.0E+00 ○	×
	不燃性廃棄物Ⅰ(HEPA)	5.5E+06 ○	2.7E+04 ○	1.3E+06 ○	6.4E+06 ○	4.2E+07 ○	1.0E+05 ○	2.3E+06 ○	7.1E+05 ○	8.8E+05 ○	○
	不燃性廃棄物Ⅰ(機器廃品)	1.0E+08 ○	4.9E+05 ○	2.4E+07 ○	1.2E+08 ○	7.6E+08 ○	1.8E+06 ○	4.4E+06 ○	1.4E+06 ○	1.7E+06 ○	○
	不燃性廃棄物Ⅰ(その他)	1.8E+05 ○	8.6E+02 ○	4.3E+04 ○	2.1E+05 ○	1.3E+06 ○	3.2E+03 ○	6.1E+03 ○	1.9E+03 ○	2.3E+03 ○	○
	可燃性廃棄物Ⅱ	1.3E+05 ○	6.1E+02 ○	3.0E+04 ○	1.4E+05 ○	9.3E+05 ○	2.2E+03 ○	5.9E+04 ○	1.8E+04 ○	2.3E+04 ○	○
	難燃性廃棄物Ⅱ	7.1E+04 ○	3.4E+02 ○	1.7E+04 ○	8.0E+04 ○	5.3E+05 ○	1.3E+03 ○	3.4E+04 ○	1.0E+04 ○	1.3E+04 ○	○
民間MOX操業廃棄物	可燃性廃棄物	0.0E+00 ○	0.0E+00 ○	5.9E-01 ○	2.6E+00 ○	2.7E+07 ○	0.0E+00 ○	1.5E+06 ○	4.6E+05 ○	4.6E+03 ○	○
	難燃性廃棄物	0.0E+00 ○	0.0E+00 ○	5.6E+00 ○	2.5E+01 ○	2.6E+08 ○	0.0E+00 ○	1.5E+07 ○	4.4E+06 ○	4.4E+04 ○	○
	不燃性廃棄物	0.0E+00 ○	0.0E+00 ○	1.3E-01 ○	5.9E-01 ○	6.1E+06 ○	0.0E+00 ○	3.5E+05 ○	1.1E+05 ○	1.1E+03 ○	○
JNC再処理操業廃棄物	低ﾚﾍﾞﾙ濃縮廃液Ⅱ(ｱｽﾌｧﾙﾄ固化)	5.9E+07 ○	0.0E+00 ○	3.3E+03 ○	1.5E+04 ○	1.0E+05 ○	1.8E+07 ○	2.6E+03 ○	2.8E+04 ○	2.6E+04 ○	○
	低ﾚﾍﾞﾙ濃縮廃液Ⅱ(1998年度以降)	1.1E+08 ○	0.0E+00 ○	5.9E+03 ○	2.7E+04 ○	1.8E+05 ○	3.2E+07 ○	4.6E+03 ○	5.0E+04 ○	4.6E+04 ○	○
	低ﾚﾍﾞﾙ濃縮廃液Ⅰ(ｱｽﾌｧﾙﾄ固化)	8.0E+08 ○	0.0E+00 ○	2.4E+05 ○	1.1E+06 ○	4.2E+06 ○	4.4E+07 ○	3.6E+04 ○	3.9E+05 ○	3.6E+05 ○	○
	低ﾚﾍﾞﾙ濃縮廃液Ⅰ(1998年度以降)	2.1E+09 ○	0.0E+00 ○	6.1E+05 ○	2.8E+06 ○	1.1E+07 ○	1.1E+08 ○	9.3E+04 ○	1.0E+06 ○	9.3E+05 ○	○
	焼却灰溶融体	1.3E+06 ○	7.0E-01 ○	1.3E+06 ○	6.1E+06 ○	4.1E+07 ○	9.7E+04 ○	8.0E+04 ○	8.6E+05 ○	9.4E+05 ○	○
	ハル･エンドピース	5.3E+10 ○	1.1E+09 ○	1.3E+07 ○	7.2E+09 ○	5.0E+08 ○	8.9E+05 ○	3.4E+05 ○	9.7E+06 ○	8.4E+06 ○	○
	廃銀吸着材	0.0E+00 ○	0.0E+00 ○	0.0E+00 ○	0.0E+00 ○	0.0E+00 ○	4.9E+08 ○	0.0E+00 ○	0.0E+00 ○	0.0E+00 ○	○
	不燃性廃棄物Ⅰ(金属)	6.4E+05 ○	3.4E-01 ○	6.1E+05 ○	3.0E+06 ○	2.0E+07 ○	4.7E+04 ○	3.9E+04 ○	4.2E+05 ○	4.5E+05 ○	○
	不燃性廃棄物Ⅰ(その他)	5.5E+05 ○	2.9E-01 ○	5.3E+05 ○	2.5E+06 ○	1.7E+07 ○	4.1E+04 ○	3.3E+04 ○	3.6E+05 ○	3.9E+05 ○	○
政令濃度上限値		5.2E+13	1.0E+10	1.0E+14	1.8E+12	8.2E+10	3.1E+09	1.0E+12	6.9E+10	2.9E+09	

表 4.1.2-3　余裕深度処分に対する政令濃度上限値による余裕深度処分可能性の判定 (2/2)

区分	廃棄物種類	余裕深度処分の政令濃度上限値による判定									
		C-14	Cl-36	Se-79	Zr-93	Tc-99	I-129	U-234	U-236	Np-237	判定
JNCMOX操業廃棄物	可燃性廃棄物	0.0E+00 ○	0.0E+00 ○	2.8E+00 ○	1.3E+04 ○	9.1E+02 ○	0.0E+00 ○	1.2E+03 ○	1.3E+04 ○	8.0E+07 ○	○
	難燃性廃棄物	0.0E+00 ○	0.0E+00 ○	7.2E+00 ○	3.3E+04 ○	2.3E+03 ○	0.0E+00 ○	3.1E+03 ○	3.4E+04 ○	2.1E+08 ○	○
	不燃性廃棄物	0.0E+00 ○	0.0E+00 ○	9.6E-01 ○	4.5E+03 ○	3.2E+02 ○	0.0E+00 ○	4.2E+02 ○	4.5E+03 ○	2.8E+07 ○	○
返還低レベル廃棄物	固型物収納体（ハル等）	7.0E+07 ○	1.5E+05 ○	5.0E+07 ○	8.9E+09 ○	2.3E+09 ○	4.9E+06 ○	3.2E+07 ○	9.4E+05 ○	1.1E+07 ○	○
	ﾋﾟﾁｭｰﾒﾝ固化体	4.0E+07 ○	1.3E+05 ○	0.0E+00 ○	0.0E+00 ○	2.1E+08 ○	2.1E+08 ○	0.0E+00 ○	0.0E+00 ○	0.0E+00 ○	○
JNC再処理解体廃棄物	不燃性廃棄物Ⅰ（金属）	4.7E+04 ○	2.5E-02 ○	4.5E+04 ○	2.2E+05 ○	1.4E+06 ○	3.5E+03 ○	2.8E+03 ○	3.1E+04 ○	3.3E+04 ○	○
	二次廃棄物（液体）	1.2E+06 ○	6.3E-01 ○	1.2E+06 ○	5.5E+06 ○	3.7E+07 ○	8.9E+04 ○	7.3E+04 ○	7.8E+05 ○	8.5E+05 ○	○
	二次廃棄物（固体）	1.7E+04 ○	8.8E-03 ○	1.6E+04 ○	7.7E+04 ○	5.1E+05 ○	1.2E+03 ○	1.0E+03 ○	1.1E+04 ○	1.2E+04 ○	○
	二次廃棄物（フィルタ）	1.7E+04 ○	8.8E-03 ○	1.6E+04 ○	7.7E+04 ○	5.1E+05 ○	1.2E+03 ○	1.0E+03 ○	1.1E+04 ○	1.2E+04 ○	○
JNC MOX解体廃棄物	不燃性廃棄物Ⅰ（金属）	0.0E+00 ○	0.0E+00 ○	4.9E-04 ○	2.3E+00 ○	1.6E-01 ○	0.0E+00 ○	2.1E-01 ○	2.3E+00 ○	1.4E+04 ○	○
	不燃性廃棄物Ⅱ（金属）	0.0E+00 ○	0.0E+00 ○	1.1E-04 ○	5.2E-01 ○	3.7E-02 ○	0.0E+00 ○	4.8E-02 ○	5.3E-01 ○	3.2E+03 ○	○
	二次廃棄物Ⅰ（可燃）	0.0E+00 ○	0.0E+00 ○	3.7E-02 ○	1.7E+02 ○	1.2E+01 ○	0.0E+00 ○	1.6E+01 ○	1.7E+02 ○	1.1E+06 ○	○
	二次廃棄物Ⅱ（可燃）	0.0E+00 ○	0.0E+00 ○	3.7E-03 ○	1.7E+01 ○	1.2E+00 ○	0.0E+00 ○	1.6E+00 ○	1.7E+01 ○	1.1E+05 ○	○
	二次廃棄物Ⅰ（難燃）	0.0E+00 ○	0.0E+00 ○	9.5E-02 ○	4.4E+02 ○	3.1E+01 ○	0.0E+00 ○	4.1E+01 ○	4.4E+02 ○	2.7E+06 ○	○
	二次廃棄物Ⅱ（難燃）	0.0E+00 ○	0.0E+00 ○	9.5E-03 ○	4.4E+01 ○	3.1E+00 ○	0.0E+00 ○	4.1E+00 ○	4.4E+01 ○	2.7E+05 ○	○
	二次廃棄物Ⅰ（不燃）	0.0E+00 ○	0.0E+00 ○	3.7E-03 ○	1.7E+01 ○	1.2E+00 ○	0.0E+00 ○	1.6E+00 ○	1.7E+01 ○	1.1E+05 ○	○
	二次廃棄物Ⅱ（不燃）	0.0E+00 ○	0.0E+00 ○	3.7E-04 ○	1.7E+00 ○	1.2E-01 ○	0.0E+00 ○	1.6E-01 ○	1.7E+00 ○	1.1E+04 ○	○
政令濃度上限値		5.2E+13	1.0E+10	1.0E+14	1.8E+12	8.2E+10	3.1E+09	1.0E+12	6.9E+10	2.9E+09	

表 4.1.2-4　全α濃度区分値による余裕深度処分可能性の判定

区分	廃棄物種類	余裕深度処分への可能性検討					
		全α濃度 (Bq/t)	1 GBq/t	5 GBq/t	10 GBq/t	50 GBq/t	100 GBq/t
民間再処理操業廃棄物	低ﾚﾍﾞﾙ濃縮廃液Ⅰ	2.1E+10	×	×	×	○	○
	廃溶媒	5.0E+07	○	○	○	○	○
	焼却灰溶融体	1.7E+12	×	×	×	×	×
	不燃性廃棄物Ⅰ(HEPA)	1.8E+10	×	×	×	○	○
	不燃性廃棄物Ⅰ(機器廃品)	3.4E+10	×	×	×	○	○
	不燃性廃棄物Ⅰ(その他)	4.6E+07	○	○	○	○	○
	可燃性廃棄物Ⅱ	4.4E+08	○	○	○	○	○
	難燃性廃棄物Ⅱ	2.5E+08	○	○	○	○	○
民間MOX操業廃棄物	可燃性廃棄物	5.4E+11	×	×	×	×	×
	難燃性廃棄物	5.2E+12	×	×	×	×	×
	不燃性廃棄物	1.2E+11	×	×	×	×	×
JNC再処理操業廃棄物	低ﾚﾍﾞﾙ濃縮廃液Ⅱ(アスファルト固化)	2.3E+08	○	○	○	○	○
	低ﾚﾍﾞﾙ濃縮廃液Ⅱ(1998年度以降)	4.2E+08	○	○	○	○	○
	低ﾚﾍﾞﾙ濃縮廃液Ⅰ(アスファルト固化)	3.9E+09	×	○	○	○	○
	低ﾚﾍﾞﾙ濃縮廃液Ⅰ(1998年度以降)	9.9E+09	×	×	○	○	○
	焼却灰溶融体	1.6E+10	×	×	×	○	○
	不燃性廃棄物Ⅰ(金属)	7.6E+09	×	×	○	○	○
	不燃性廃棄物Ⅰ(その他)	6.5E+09	×	×	○	○	○
JNCMOX操業廃棄物	可燃性廃棄物	1.5E+12	×	×	×	×	×
	難燃性廃棄物	4.0E+12	×	×	×	×	×
	不燃性廃棄物	5.3E+11	×	×	×	×	×
返還廃棄物	ビチューメン固化体	4.3E+11	×	×	×	×	×
JNC再処理解体廃棄物	不燃性廃棄物Ⅰ(金属)	5.6E+08	○	○	○	○	○
	二次廃棄物(液体)	1.4E+10	×	×	×	○	○
	二次廃棄物(固体)	2.0E+08	○	○	○	○	○
	二次廃棄物(フィルタ)	2.0E+08	○	○	○	○	○
JNC MOX解体廃棄物	不燃性廃棄物Ⅰ(金属)	2.7E+08	○	○	○	○	○
	不燃性廃棄物Ⅱ(金属)	6.2E+07	○	○	○	○	○
	二次廃棄物Ⅰ(可燃)	2.0E+10	×	×	×	○	○
	二次廃棄物Ⅱ(可燃)	2.0E+09	×	○	○	○	○
	二次廃棄物Ⅰ(難燃)	5.2E+10	×	×	×	×	○
	二次廃棄物Ⅱ(難燃)	5.2E+09	×	×	○	○	○
	二次廃棄物Ⅰ(不燃)	2.1E+09	×	○	○	○	○
	二次廃棄物Ⅱ(不燃)	2.1E+08	○	○	○	○	○

表 4.1.2-5　**処分区分の検討結果** (1/2)

区分	廃棄物種類	α濃度上限値				
		1GBq/t	5GBq/t	10GBq/t	50GBq/t	100GBq/t
民間再処理操業廃棄物	低ﾚﾍﾞﾙ濃縮廃液Ⅰ	地層	地層	地層	余裕深度	余裕深度
	低ﾚﾍﾞﾙ濃縮廃液Ⅱ（運開後5年間）	ピット	ピット	ピット	ピット	ピット
	低ﾚﾍﾞﾙ濃縮廃液Ⅱ（運開後6年以降）	ピット	ピット	ピット	ピット	ピット
	廃溶媒	余裕深度	余裕深度	余裕深度	余裕深度	余裕深度
	焼却灰溶融体	地層	地層	地層	地層	地層
	廃活性炭	ピット	ピット	ピット	ピット	ピット
	ハル･エンドピース	地層	地層	地層	地層	地層
	廃銀吸着材	地層	地層	地層	地層	地層
	不燃性廃棄物Ⅰ（HEPA、小物金属）	地層	地層	地層	余裕深度	余裕深度
	不燃性廃棄物Ⅰ（機器廃品）	地層	地層	地層	余裕深度	余裕深度
	不燃性廃棄物Ⅰ（低汚染部位）	ピット	ピット	ピット	ピット	ピット
	不燃性廃棄物Ⅰ（その他）	余裕深度	余裕深度	余裕深度	余裕深度	余裕深度
	可燃性廃棄物Ⅱ	余裕深度	余裕深度	余裕深度	余裕深度	余裕深度
	難燃性廃棄物Ⅱ	余裕深度	余裕深度	余裕深度	余裕深度	余裕深度
	不燃性廃棄物Ⅱ（HEPA）	ピット	ピット	ピット	ピット	ピット
	不燃性廃棄物Ⅱ（圧縮体）	ピット	ピット	ピット	ピット	ピット
	不燃性廃棄物Ⅱ（非圧縮体）	ピット	ピット	ピット	ピット	ピット
民間MOX操業廃棄物	可燃性廃棄物	地層	地層	地層	地層	地層
	難燃性廃棄物	地層	地層	地層	地層	地層
	不燃性廃棄物	地層	地層	地層	地層	地層
JNC再処理操業廃棄物	低ﾚﾍﾞﾙ濃縮廃液Ⅱ（アスファルト固化）	余裕深度	余裕深度	余裕深度	余裕深度	余裕深度
	低ﾚﾍﾞﾙ濃縮廃液Ⅱ（1998年度以降）	余裕深度	余裕深度	余裕深度	余裕深度	余裕深度
	低ﾚﾍﾞﾙ濃縮廃液Ⅰ（アスファルト固化）	地層	余裕深度	余裕深度	余裕深度	余裕深度
	低ﾚﾍﾞﾙ濃縮廃液Ⅰ（1998年度以降）	地層	地層	余裕深度	余裕深度	余裕深度
	廃溶媒	ピット	ピット	ピット	ピット	ピット
	焼却灰溶融体	地層	地層	地層	余裕深度	余裕深度
	ハル･エンドピース	地層	地層	地層	地層	地層
	廃銀吸着材	地層	地層	地層	地層	地層
	不燃性廃棄物Ⅰ（金属）	地層	地層	余裕深度	余裕深度	余裕深度
	不燃性廃棄物Ⅰ（その他）	地層	地層	余裕深度	余裕深度	余裕深度
	可燃性廃棄物Ⅱ	ピット	ピット	ピット	ピット	ピット
	難燃性廃棄物Ⅱ	ピット	ピット	ピット	ピット	ピット
	不燃性廃棄物Ⅱ（金属）	ピット	ピット	ピット	ピット	ピット
	不燃性廃棄物Ⅱ（その他）	ピット	ピット	ピット	ピット	ピット
	スラッジ	ピット	ピット	ピット	ピット	ピット

表 4.1.2-5　**処分区分の検討結果** (2/2)

区分	廃棄物種類	α濃度上限値				
		1GBq/t	5GBq/t	10GBq/t	50GBq/t	100GBq/t
JNCMOX操業廃棄物	可燃性廃棄物	地層	地層	地層	地層	地層
	難燃性廃棄物	地層	地層	地層	地層	地層
	不燃性廃棄物	地層	地層	地層	地層	地層
返還低レベル廃棄物	固型物収納体（ハル等）	地層	地層	地層	地層	地層
	ビチューメン固化体	地層	地層	地層	地層	地層
JNC再処理解体廃棄物	不燃性廃棄物Ⅰ（金属）	余裕深度	余裕深度	余裕深度	余裕深度	余裕深度
	不燃性廃棄物Ⅱ（金属）	ピット	ピット	ピット	ピット	ピット
	不燃性廃棄物Ⅲ（金属）	ピット	ピット	ピット	ピット	ピット
	不燃性廃棄物Ⅰ（コンクリート）	ピット	ピット	ピット	ピット	ピット
	不燃性廃棄物Ⅱ（コンクリート）	ピット	ピット	ピット	ピット	ピット
	二次廃棄物（液体）	地層	地層	地層	余裕深度	余裕深度
	二次廃棄物（固体）	余裕深度	余裕深度	余裕深度	余裕深度	余裕深度
	二次廃棄物（フィルタ）	余裕深度	余裕深度	余裕深度	余裕深度	余裕深度
JNCMOX解体廃棄物	不燃性廃棄物Ⅰ（金属）	余裕深度	余裕深度	余裕深度	余裕深度	余裕深度
	不燃性廃棄物Ⅱ（金属）	余裕深度	余裕深度	余裕深度	余裕深度	余裕深度
	二次廃棄物Ⅰ（可燃）	地層	地層	地層	余裕深度	余裕深度
	二次廃棄物Ⅱ（可燃）	地層	余裕深度	余裕深度	余裕深度	余裕深度
	二次廃棄物Ⅰ（難燃）	地層	地層	地層	地層	余裕深度
	二次廃棄物Ⅱ（難燃）	地層	地層	余裕深度	余裕深度	余裕深度
	二次廃棄物Ⅰ（不燃）	地層	余裕深度	余裕深度	余裕深度	余裕深度
	二次廃棄物Ⅱ（不燃）	余裕深度	余裕深度	余裕深度	余裕深度	余裕深度

表 4.1.2-6　各処分区分におけるインベントリ

		ｺﾝｸﾘｰﾄ ﾋﾟｯﾄ	余裕深度処分		地層処分			
			Gr.3	Gr.4	Gr.1	Gr.2	Gr.3	Gr.4
C-14 (Bq)	1 GBq/t	2.24E+08	7.21E+11	1.53E+09	0.00E+00	1.10E+15	1.20E+13	1.82E+12
	5 GBq/t		4.45E+12	1.53E+09			8.29E+12	1.82E+12
	10 GBq/t		1.27E+13	4.01E+09			1.20E+10	1.82E+12
	50 GBq/t		1.27E+13	3.19E+11			1.20E+10	1.50E+12
	100 GBq/t		1.27E+13	3.19E+11			1.20E+10	1.50E+12
I-129 (Bq)	1 GBq/t	3.70E+09	2.19E+11	3.31E+07	3.47E+13	2.09E+11	7.16E+11	6.50E+09
	5 GBq/t		4.22E+11	3.31E+07			5.13E+11	6.50E+09
	10 GBq/t		8.72E+11	2.16E+08			6.24E+10	6.32E+09
	50 GBq/t		8.72E+11	5.95E+09			6.24E+10	5.82E+08
	100 GBq/t		8.72E+11	5.95E+09			6.24E+10	5.82E+08
Np-237 (Bq)	1 GBq/t	4.80E+08	9.38E+08	4.40E+09	4.81E+05	6.89E+12	4.28E+10	1.70E+12
	5 GBq/t		5.98E+09	4.65E+09			3.78E+10	1.70E+12
	10 GBq/t		1.72E+10	1.25E+10			2.66E+10	1.69E+12
	50 GBq/t		1.98E+10	1.46E+11			2.40E+10	1.56E+12
	100 GBq/t		1.98E+10	1.46E+11			2.40E+10	1.56E+12
物量 (t)	1 GBq/t	5.69E+04	8.46E+03	1.70E+04	3.35E+02	1.75E+04	1.06E+04	1.93E+04
	5 GBq/t		1.31E+04	1.74E+04			5.97E+03	1.89E+04
	10 GBq/t		1.71E+04	2.16E+04			1.95E+03	1.47E+04
	50 GBq/t		1.88E+04	2.82E+04			3.00E+02	8.15E+03
	100 GBq/t		1.88E+04	2.82E+04			3.00E+02	8.14E+03
物量 (m3)	1 GBq/t	2.33E+04	5.69E+03	9.29E+03	2.69E+02	4.91E+03	6.69E+03	5.81E+03
	5 GBq/t		8.35E+03	9.35E+03			4.03E+03	5.75E+03
	10 GBq/t		1.11E+04	1.03E+04			1.24E+03	4.82E+03
	50 GBq/t		1.21E+04	1.26E+04			2.70E+02	2.47E+03
	100 GBq/t		1.21E+04	1.26E+04			2.70E+02	2.47E+03

4.1.3 余裕深度処分および地層処分の評価モデルの検討

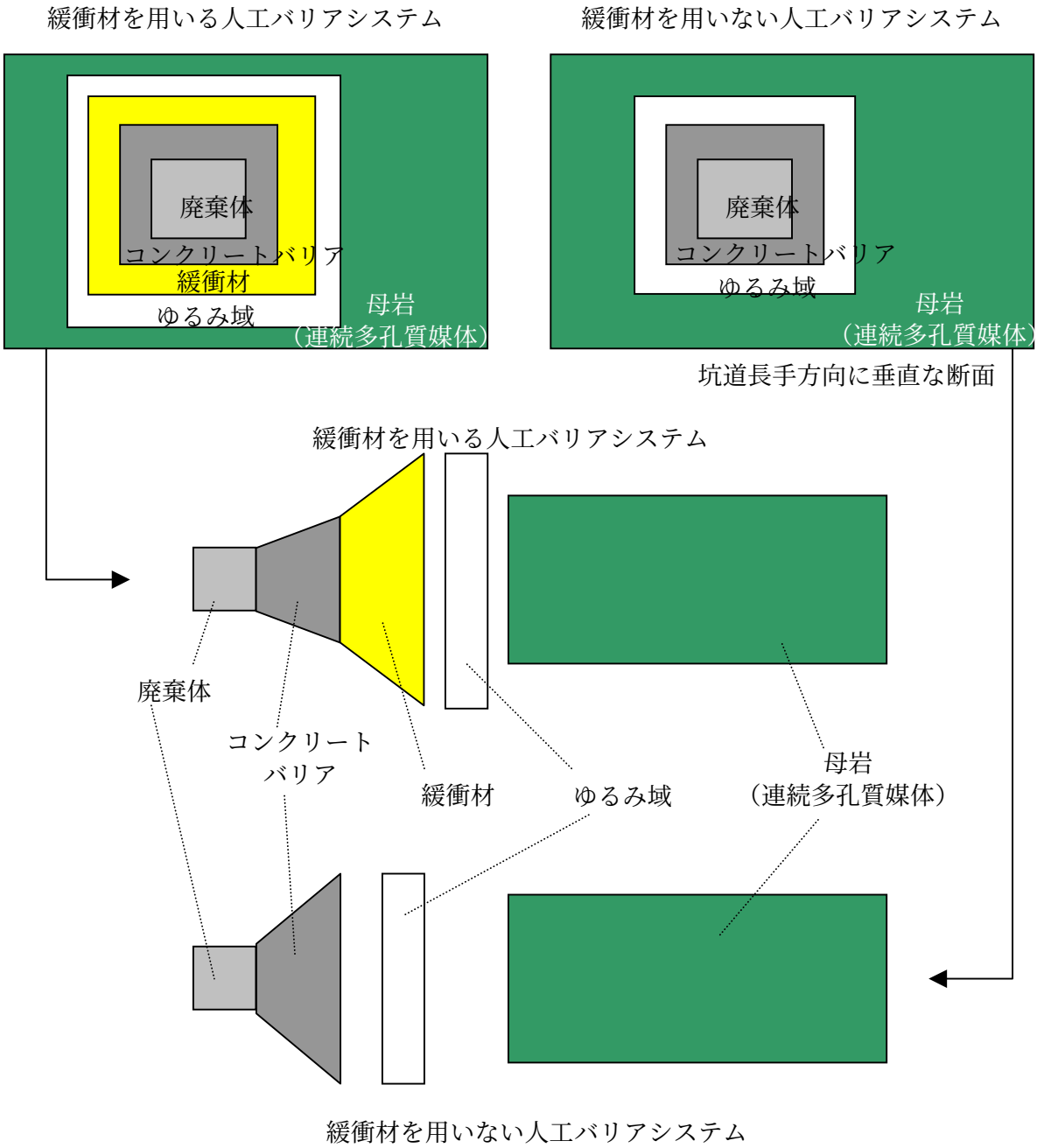
(1) 概念モデル

母岩を多孔質媒体と想定する場合の地層処分および余裕深度処分における、全体システム構成を図 4.1.3-1 に示す。人工バリアは、緩衝材を用いる場合と用いない場合の２つの構成を地層処分および余裕深度処分それぞれについて考慮するものとする。人工バリアは多層の矩形構造を有しており、分子拡散による核種移行に有効な断面積は各層の内側と外側とで異なる。そこで、このような断面積の変化を一次元解析において表現するために、図 4.1.3-1 に示すように各層を台形によって近似することとした。ここで、台形に近似された各領域の断面積は、核種移行に有効な実際の断面積と等しい。なお、コンクリートバリアの劣化や緩衝材の劣化等により人工バリア内に移流が生じる場合においても、同様に上記と同じ解析体系とする。

また、人工バリアの外側にはコンクリート製の支保工が設置されるものと予想される。コンクリート支保は、廃棄体部分と同様に地下水と接触することにより、化学的および力学的に劣化するものと予想される。そのため、コンクリート支保の劣化に伴って、透水性が上昇し、人工バリア周辺の地下水流量が増加する可能性も否定できない。その場合、人工バリア外側の地下水流量は、経時的に変化するものとなる。しかしながら、支保工にもとめられる要件としては、操業中の空洞安定性の確保に重点が置かれいることと（核燃料サイクル機構、2000)、使われるコンクリート量が少なく、かつ、直接母岩と接しているため劣化が早く進む可能性が高いことから、解析上の簡略化も考慮して、支保劣化に伴う人工バリア周辺の地下水流動の時間的な環境の変化は取り扱わないものとした。ただし、支保劣化に伴う透水性の上昇に関しては、緩み域の透水性に含め考慮するものとする。

人工バリアからの核種の放出は、廃棄体部から緩み域までの距離が短く、また、拡散に寄与する面積が広いため、緩衝材やコンクリートバリア中に亀裂が生じる場合においても、緩み域中の地下水流量が非現実的に大きくなり、亀裂内部の流速が極端に大きくなる場合を除いて、拡散による核種の移動が亀裂を通じた移流による移動と同等以上の寄与を有することが予想される。そのため人工バリアから母岩への核種移行に関して、流れと同じ方向の拡散を無視する

という仮定に基づく２重空隙モデルの適用性は疑問がある（核燃料サイクル機構、1992）。人工バリアからの核種放出は、本来であれば、2.2.3 で示した、一般化 2 重空隙モデルを用いることが適切である。しかしながら、2.2.3 で示した一般化 2 重空隙モデルを実装した現状の解析ツールは、その適用範囲として広範囲な母岩を想定していることから、廃棄体と直接接するマトリクス部（コンクリートまたは緩衝材）への直接の拡散の考慮はなされていない。その場合、亀裂部からマトリクス部へ拡散しその後、マトリクス部を移行する核種量は評価されるものの、人工バリアからマトリクス部に直接移行する核種量はモデル上考慮されない。したがって、一般化 2 重空隙モデルを用いることは、通常の 2 重空隙モデルの適用と同様に拡散による核種の移動量に関して、非保守的な結果を与える。そのため、本研究では人工バリアを連続体としたモデルを用いることとする。



(*)余裕深度処分および地層処分の何れに関しても両方の概念モデルを適用するものとする。

図 4.1.3-1　母岩を多孔質媒体と想定する場合の地層処分および余裕深度処分における全体システム構成

(2) 解析ケース

グループ３およびグループ４の廃棄体に関しては、余裕深度処分の可能性が否定できないことから、α濃度上限値による廃棄体の区分に従い廃棄体を分類し、それぞれ、地層処分を行う場合と余裕深度処分を行う場合の 2 通りの解析ケースを想定する。また、グループ１～４の全ての廃棄体グループに対して、人工バリアに緩衝材を用いる場合と緩衝材を用いない場合に分け解析を実施するものとする。解析ケースを表 4.1.3-1 にまとめる。

表 4.1.3-1　解析ケースの一覧表

廃棄体グループ	グループ 1	グループ 2	グループ 3	グループ 4
地層処分	緩衝材あり	緩衝材あり	緩衝材あり/1GBq/ｔ	緩衝材あり/1GBq/t
			緩衝材あり/50GBq/t	緩衝材あり/50GBq/t
	緩衝材なし	緩衝材なし	緩衝材なし/1G GBq/t	緩衝材なし/1GBq/t
			緩衝材なし/50GBq/t	緩衝材なし/50GBq/t
余裕深度処分	-	-	緩衝材あり/1GBq/t	緩衝材あり/1GBq/t
			緩衝材あり/50GBq/t	緩衝材あり/50GBq/t
			緩衝材なし/1GBq/t	緩衝材なし/1GBq/t
			緩衝材なし/50GBq/t	緩衝材なし/50GBq/t

(3) 人工バリアにおける支配方程式

(a) 核種の処分量及び廃棄体の核種浸出特性

本研究において、余裕深度処分で想定する廃棄体中の核種処分量に関するパラメータを表 4.1.3-2 に示し、廃棄体からの核種放出率に関するパラメータを表 4.1.3-3 に示す。また、幾何形状に関するパラメータを表 4.1.3-4 に示す。

本解析では、人工バリアおよび天然バリア中の核種移行解析を、単位坑道長さ（坑道１m）からの核種放出を対象として実施するものとし、人工バリアおよび天然バリアへの核種放出率は、解析値に処分坑道の長さを乗じて評価を行うものとする。

核種のインベントリおよび廃棄体発生量に関しては、後述するモデルにより取り扱うものとする。

表 4.1.3-2　核種の処分量に関するパラメータ

グループ１　I-129 インベントリ	I_{I129_1}	時間的に一定	[Bq]
グループ１　C-14 インベントリ	I_{C14_1}	時間的に一定	[Bq]
グループ１　Np-237 系列インベントリ*	I_{Np237_1}	時間的に一定	[Bq]
グループ２　I-129 インベントリ	I_{I129_2}	時間的に一定	[Bq]
グループ２　C-14 インベントリ	I_{C14_2}	時間的に一定	[Bq]
グループ２　Np-237 系列インベントリ*	I_{Np237_2}	時間的に一定	[Bq]
グループ３　I-129 インベントリ	I_{I129_3}	時間的に一定	[Bq]
グループ３　C-14 インベントリ	I_{C14_3}	時間的に一定	[Bq]
グループ３　Np-237 系列インベントリ*	I_{Np237_3}	時間的に一定	[Bq]
グループ４　I-129 インベントリ	I_{I129_4}	時間的に一定	[Bq]
グループ４　C-14 インベントリ	I_{C14_4}	時間的に一定	[Bq]
グループ４　Np-237 系列インベントリ*	I_{Np237_4}	時間的に一定	[Bq]
グループ１　廃棄体発生量	V_{w_1}	時間的に一定	[m³]
グループ２　廃棄体発生量	V_{w_2}	時間的に一定	[m³]
グループ３　廃棄体発生量	V_{w_3}	時間的に一定	[m³]
グループ４　廃棄体発生量	V_{w_4}	時間的に一定	[m³]

Np-237 の系列核種である U-233、Th-229 に関しては、初期インベントリを０として解析を実施した。

表 4.1.3-3　廃棄体からの核種浸出率に関するパラメータ

グループ１　核種浸出率	R_1	時間的に一定	[1/y]
グループ２　核種浸出率	R_2	時間的に一定	[1/y]
グループ３　核種浸出率	R_3	時間的に一定	[1/y]
グループ４　核種浸出率	R_4	時間的に一定	[1/y]

表 4.1.3-4　人工バリアの幾何形状に関するパラメータ（余裕深度処分、地層処分）

処分坑道長さ	L_w	時間的に一定	[m]
廃棄体埋設比率	D_w	時間的に一定	[-]
廃棄体定置領域の断面積	S_{cs_w}	時間的に一定	[m²]
廃棄体定置領域の高さ	H_w	時間的に一定	[m]
廃棄体定置領域の幅	W_w	時間的に一定	[m]
コンクリートバリア厚さ	L_{wt}	時間的に一定	[m]
緩衝材厚さ	L_b	時間的に一定	[m]
ゆるみ域厚さ	L_e	時間的に一定	[m]
コンクリートバリア内側核種放出面積	S_{wt}	時間的に一定	[m²/m]
緩衝材内側核種放出面積	S_b	時間的に一定	[m²/m]
ゆるみ域内側核種放出面積	S_e	時間的に一定	[m²/m]
廃棄体およびコンクリートバリア空隙率	ε_w	時間依存	[-]
緩衝材空隙率	ε_b	時間依存	[-]
ゆるみ域空隙率	ε_e	時間依存	[-]
廃棄体密度	ρ_w	時間的に一定	[kgm^{-3}]
コンクリートバリア密度	ρ_{wt}	時間的に一定	[kgm^{-3}]
緩衝材密度	ρ_b	時間的に一定	[kgm^{-3}]
ゆるみ域密度	ρ_e	時間的に一定	[kgm^{-3}]

下線表示されたパラメータは、他の入力値から決定される。

処分坑道の全長L_wは、廃棄体発生量 V_w、廃棄体埋設比率 D_w及び廃棄体定置領域断面積 S_{cs_w} から、以下の式を用いて求まる。

$$L_w = \frac{V_w}{S_{cs_w}\ D_w} \tag{4.1.3-1}$$

廃棄体定置領域の高さ及び幅は、処分坑道の概念毎に異なるものの、TRU処分概念検討書（核燃料サイクル開発機構、電気事業連合、2000）に示される処分概念では、縦横の比率が概ね１に近いことから、定置領域断面積と同等の正方形を想定し、その辺の長さを適用した。また、コンクリートバリア内側断面積、緩衝材内側断面積、及び、ゆるみ域内側断面積は、廃棄体定置領域（正方形で近似）に、コンクリートバリアの厚さ及びベントナイトの厚さを加えた正方形を想定し、それらから求めるものとした。

$$H_w = W_w = \sqrt{S_{cs_w}} \tag{4.1.3-2}$$

$$S_{wt} = 4\ H_w \tag{4.1.3-3}$$

$$S_b = 4\ (H_w + 2\ L_{wt}) \tag{4.1-3-4}$$

$$S_e = 4\ (H_w + 2\ L_{wt} + 2\ L_b) \tag{4.1.3-5}$$

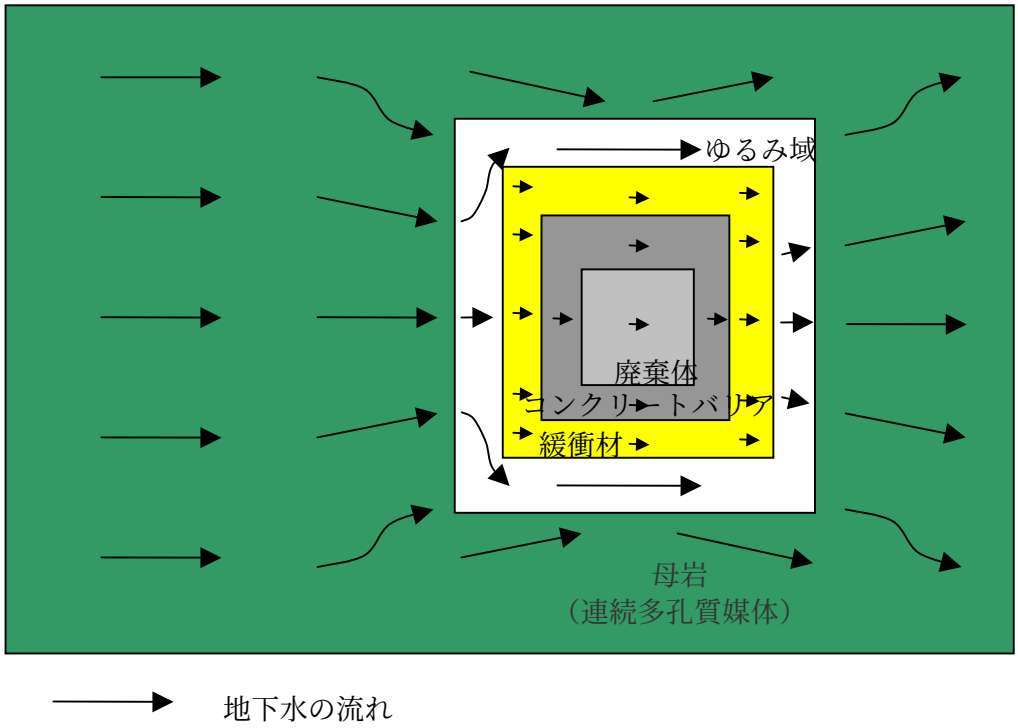
(b) 水理に関するパラメータ

系内の地下水流動は、常に定常であるものとし、ガスによる排出の生じない通常の状態では、多重のバリア構造の内部における流れの状態は、

図 4.1.3-2 に示す通りとなる。なお、ガスによる排水については後述するモデルにより取り扱うこととする。

ここで、重要な点は、あるバリア内の流速は、当該層自体及びその外側に位置する他の層の透水性に依存するということである。例えば、緩衝材中の地下水流速は、緩衝材自体の透水性が高くとも、周囲にある母岩の透水性が低ければ上昇しない。つまり、緩衝材の地下水流速が大きくなるためには、緩衝材自体と母岩の透水性が同時に高くなることが必要である。これに対し

て、内側に位置する廃棄体領域の透水性は（これを迂回する流れが存在するために）外側に位置するバリアの透水性に、顕著に影響を及ぼすとは考えにくい。そこで、このような効果を簡潔に取り入れるため、施設形状を同心円状の多層の 2 次元円筒で近似し、これに対する解析解を用い、各層中の地下水流量を求め、これを各層の流量として与えることとした。



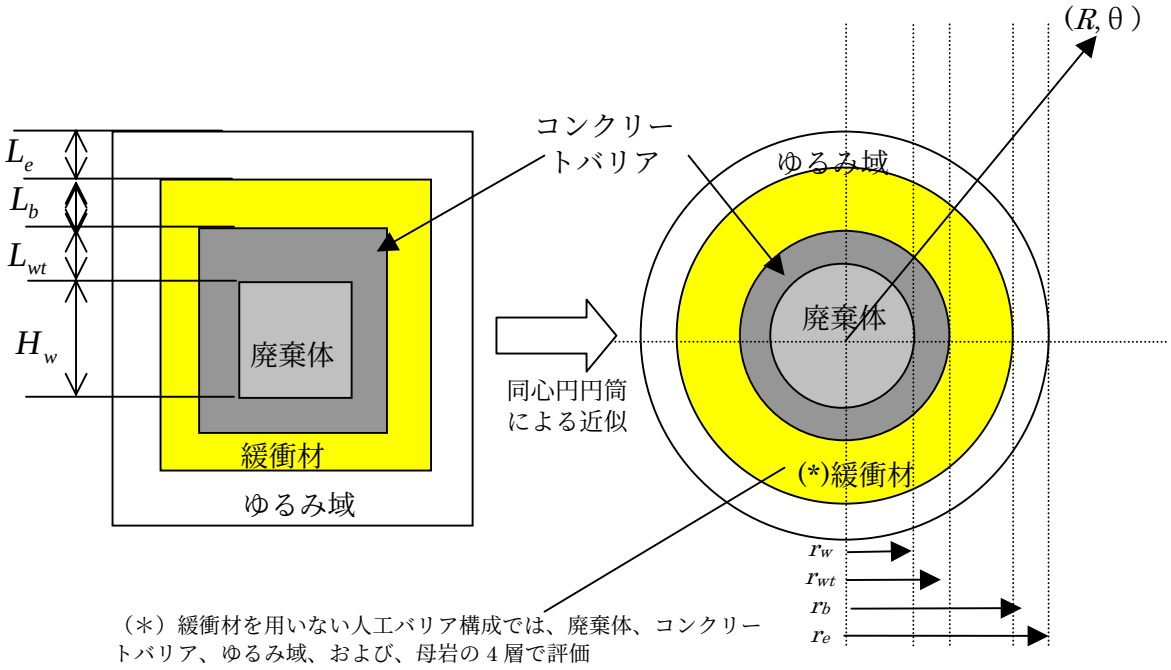


図 4.1.3-2　人工バリア内部の地下水流動の模式図および二次元円筒による近似

表 4.1.3-5 に緩衝材を使用する人工バリア構成の場合での、人工バリア内部の水理に関するパラメータを示す。施設形状の円筒近似のため、領域の半径は、各領域の内側の断面積が等しくなるように与えるものとした。そのため人工バリアの幾何形状に関するパラメータで示した、正方形近似を行った各領域の断面積に基づき、水理解析を行うための領域半径を求める。

廃棄体の半径 ： $r_w = \sqrt{S_{cs_w} / \pi}$ (4.1.3-6)

$S_{cs_w} = H_w{}^2$

コンクリートバリアまでの半径 ： $r_{wt} = (H_w + 2L_{wt}) / \sqrt{\pi}$ (4.1.3-7)

緩衝材までの半径 ： $r_b = (H_w + 2L_{wt} + 2L_b) / \sqrt{\pi}$ (4.1.3-8)

ゆるみ域までの半径 ： $r_e = (H_w + 2L_{wt} + 2L_b + 2L_e) / \sqrt{\pi}$

(4.1.3-9)

円筒座標系における地下水流動に関する支配方程式（ダルシー則）の解析解を以下に示す。

$$\nabla(k \nabla P) = 0 \qquad (4.1.3\text{-}10)$$

k ：透水係数

P ：水頭

これに対する解は、下式で表される。

$$P(r,\theta) = \left(Ar + B\,r^{-1}\right)\cos(\theta) \qquad (4.1.3\text{-}11)$$

ここで、A, B は、初期条件および境界条件から決定される定数であり、廃棄体とコンクリートバリアの境界やコンクリートバリアと緩衝材の境界において、以下に示す条件を与えることにより求まる。

領域境界での、水頭および流速の一致のための境界条件。

（ここで $\vec{n}$ は、法線方向単位ベクトルを表す。）

$$
\begin{aligned}
&P_w(r_w,\theta) = P_{wt}(r_w,\theta) \\
&P_{wt}(r_{wt},\theta) = P_b(r_{wt},\theta) \\
&P_b(r_b,\theta) = P_e(r_b,\theta) \\
&P_e(r_e,\theta) = P_R(r_e,\theta)
\end{aligned}
\tag{4.1.3-12}
$$

$$
\begin{aligned}
&k_w\ \vec{n}\nabla P_w(r_w,\theta) = k_{wt}\ \vec{n}\nabla P_{wt}(r_w,\theta) \\
&k_{wt}\ \vec{n}\nabla P_{wt}(r_{wt},\theta) = k_b\ \vec{n}\nabla P_b(r_{wt},\theta) \\
&k_b\ \vec{n}\nabla P_b(r_b,\theta) = k_e\ \vec{n}\nabla P_e(r_b,\theta) \\
&k_e\ \vec{n}\nabla P_e(r_e,\theta) = k_R\ \vec{n}\nabla P_R(r_e,\theta)
\end{aligned}
\tag{4.1.3-13}
$$

ここで、k_R、P_R は、母岩中での平均透水係数および圧力を示す。

無限遠方および原点での境界条件

$$
\begin{aligned}
&P_R(r,\theta) = -h\ r\cos(\theta)\ \ ,(r >> r_e, r \to \infty) \\
&P_w(0,\theta) = 0
\end{aligned}
\tag{4.1.3-14}
$$

領域を通過する地下水流量は各領域の定数項(A_i, B_i)（(A_w, B_w)、(A_{wt}, B_{wt})、(A_b, B_b)、(A_e, B_e)、(A_R, B_R)）を用い各層を通過する流量を求めた。

各領域を通過する地下水流量Q_r は、下式で与えられる。

$$
Q_r = k\int_{-\pi/2}^{\pi/2} \frac{dP(r,\theta)}{dr}\, r\, d\theta \tag{4.1.3-15}
$$

本解析では、この値Q_r を各領域の内側面積の 1/2（廃棄体部分に関しては廃棄体外側面積の 1/2）で除した値を領域内のダルシー流速として与えるものとする。ただし、ゆるみ域は、人工バリアと天然バリアの接続領域とみなし、上式で求められた流量$Q_{r=r_e}$ を、与えるものとした。

$$
darcy_w = Q_{r=r_w} \cdot 2/S_{wt} \tag{4.1.3-16}
$$

$$
darcy_{wt} = Q_{r=r_{wt}} \cdot 2/S_b \tag{4.1.3-17}
$$

$$
darcy_b = Q_{r=r_b} \cdot 2/S_e \tag{4.1.3-18}
$$

また、ゆるみ域の透水係数は、母岩の透水係数に「ゆるみ域の透水係数増倍比」を乗じることにより与えるものとする。

$$k_e = M_e \, k_r \tag{4.1.3-19}$$

なお、人工バリア中の移流に関して以下の仮定を用いる。

- 廃棄体の透水性は、廃棄体に含まれる雑多な材料の影響を考慮し、処分初期から、その性能を保守的に考慮しないものとする。
- 廃棄体領域及びコンクリートバリアにあるコンクリート系材料は、内側地球化学異常（後述）のソースであり、地下水との反応によって高アルカリプルームを発生させる一方、自身は化学的な劣化によって透水性が上昇する。そのため、別途サンプリングされる廃棄体およびコンクリートバリアの地球化学異常の継続期間の設定値に基づき、その期間内にコンクリートバリアの水理的な劣化が生じるものとした。
- 緩衝材は、内側（コンクリート反応による高アルカリプルーム）及び外側（上流側廃棄体からの高アルカリプルームあるいは硝酸塩）の二種類の地球化学異常の影響により変質すると想定する。この変質の結果、透水係数は必ずしも上昇するとは限らないものと想定し、劣化後の緩衝材の透水係数の範囲を決定するものとする。また、簡単のため、変質は緩衝材の全域で生ずるものとする。アルカリプルームが緩衝材の全域に広がるまでの時間的な遅れと、緩衝材の化学的緩衝性により、緩衝材の全域が劣化に至らない場合の想定も行う。

廃棄体、コンクリートバリア及び緩衝材透水係数の時間的変化を模式的に図 4.1.3-3 に示す。なお、人工バリア中の動水勾配は、ガス圧力の影響（後述）以外の場合は一定と仮定する。

表 4.1.3-5　水理に関するパラメータ

動水勾配	∇P	時間依存	[-]
廃棄体透水係数	k_w	時間的に一定	[m/s]
コンクリートバリア透水係数	k_{wt}	時間依存	[m/s]
緩衝材透水係数	k_b	時間依存	[m/s]
母岩透水係数	k_r	時間的に一定	[m/s]
ゆるみ域透水係数	k_e	時間依存	[m/s]
ゆるみ域の透水係数増倍比	M_e	時間的に一定	[-]
廃棄体内ダルシー流速	$darcy_w$	時間依存	[m/s]
コンクリートバリア内ダルシー流速	$darcy_{wt}$	時間依存	[m/s]
緩衝材内ダルシー流速	$darcy_b$	時間依存	[m/s]
ゆるみ域流量	Q_e	時間依存	[m^3/s]
母岩内ダルシー流速	$darcy_r$	時間依存	[m/s]

下線表示されたパラメータは、他の入力値から決定される。

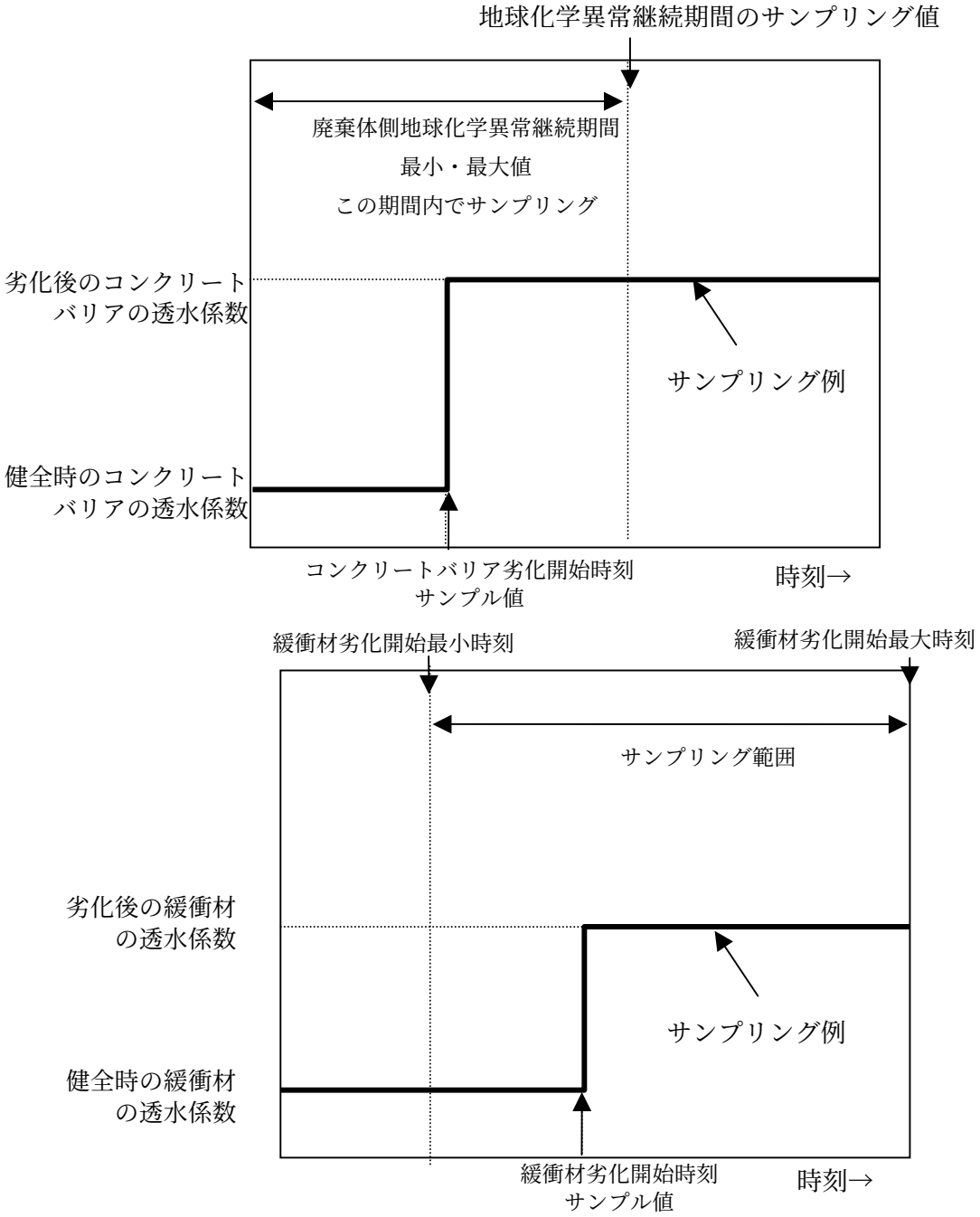


図 4.1.3-3　**コンクリートバリア及び緩衝材透水係数の時間的変化の模式**

(c) 地球化学

人工バリア中の地球化学的条件変化は、廃棄物あるいは系外から侵入する地球化学異常物質（例えば、コンクリート空隙水、あるいは硝酸塩等）によるものである。そして、これらの物質によって誘起される地球化学異常がどの程度の時間及び空間スケールにおいて伝播するかは、侵入する異常物質のフラックスと、異常物質を消費することにより地球化学条件の変化を緩衝し得るバリア材中の鉱物の量とのバランスに依存している。そこで、地球化学異常物質の反応／移流／分散／マトリクス拡散問題についての偏微分方程式を数値的に解くこととした。但し、多数の統計的解析を効率的に実施するためには、各ケース毎に速度論的な反応／移行問題を計算することは現実的ではない。そこで、ここでは、局所瞬時平衡仮説を採用し、緩衝作用を有する鉱物の濃度（より正確には、単位流体当たりの鉱物質量）Bが零でない限り、地球化学異常物質の濃度 A は、零に保持されるものとする。なお、地球化学異常物質流入点は、廃棄体及びゆるみ域の二カ所とする。

以上の仮定の下に、人工バリア中の A 及び B の移行に関する本来の反応／移流／分散・拡散方程式

$$\frac{\partial \varepsilon A}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(\varepsilon (d_L v + D)\frac{\partial A}{\partial x}\right) - \frac{\partial VA}{\partial x} - \varepsilon R(B) \qquad (4.1.3\text{-}20)$$

$$\frac{\partial \varepsilon B}{\partial t} = -\varepsilon R(B) \qquad (4.1.3\text{-}21)$$

ここで、

A　：化学種 A の液相部の濃度（mol/l）

B　：化学種 B の固相部の濃度（mol/l）

R(B)　：化学種 A と B の反応（結合）により、化学種 A,B の消費される量（mol/l/y）

ε　：空隙率

d_L　：分散長（m^{-1}）

D　：空隙拡散係数（m^2/y）

v　　：流速（線流速）（m/y）

V　　：ダルシー流速（m/y）

(4.1.3-20) および(4.1.3-21) の２式の差をとることにより、

$$\frac{\partial \varepsilon (A-B)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(\varepsilon (d_L v + D)\frac{\partial A}{\partial x}\right) - \frac{\partial VA}{\partial x} \qquad (4.1.3\text{-}22)$$

得る。但し、廃棄体及びゆるみ域はそれぞれ単一のセルで表され、上記と同等の支配方程式が定義される。また、緩衝材とこれらのセルとの境界では濃度とフラックスの連続性を保証する様に境界条件が設定される。なお、d_L は分散長であり、D は分子拡散係数である。さらに、瞬時平衡の仮定より

$$C \equiv A - B = \begin{cases} A, & if\ B = 0 \\ -B, & if\ B > 0 \end{cases} \qquad (4.1.3\text{-}23)$$

であることから、拡散方程式は新たな変数 C のみについての方程式に書き直すことが可能であり、次式のようになる。

$$\frac{\partial \varepsilon C}{\partial t} = \left\{ \frac{\partial}{\partial x}\left(\varepsilon (d_L v + D)\frac{\partial C\ H(C)}{\partial x}\right) - \frac{\partial VC\ H(C)}{\partial x}\right\} \qquad (4.1.3\text{-}24)$$

但し、$H(\ )$ は Heaviside のステップ関数である。

人工バリア中核種移行シャドウモデルは、廃棄体内及びゆるみ域での A 及び廃棄体（オーバーパック）及び緩衝材での B の初期値に基づき（A の初期値は全域的に 0 であるものとする）、与えられたチャンネル形状と水理条件に対して拡散方程式を解法することにより C の系内でのプロファイルの経時変化を算出する。そして、以下の簡単な規則に基づき系内の各点が地球化学異常に属するか否かを定義する。

C>0　地球化学異常

C<0　あるいは *C=0*　通常の地球化学条件

地球化学に関するパラメータを表 4.1.3-6 にまとめる。地球化学異常の原因となる物質としては、TRU 廃棄物の特徴を踏まえ、コンクリートが発生源となるアルカリプルームおよび硝酸塩を想定するものとした。コンクリートから供給される OH^-は、粘土や岩に含まれる遊離ケイ酸と反応することが知られている。そのため、緩衝鉱物としては、緩衝材や母岩に含まれる玉髄およびケイ砂を想定する。また、アルカリとの反応性に富むカルサイト等も緩衝鉱物の対象とする。

表 4.1.3-6　地球化学に関するパラメータ

廃棄体中異常物質初期濃度	A_{w0}	時間依存	[mol/m^3]
コンクリートバリア中異常物質初期濃度	A_{wt0}	時間依存	[mol/m^3]
緩衝材中異常物質初期濃度	A_{b0}	時間依存	[mol/m^3]
ゆるみ域中異常物質初期濃度	A_{e0}	時間依存	[mol/m^3]
廃棄体中緩衝鉱物初期濃度（注）	B_{w0}	時間的に一定	[mol/m^3]
コンクリートバリア中緩衝鉱物初期濃度（注）	B_{wt0}	時間的に一定	[mol/m^3]
緩衝材中緩衝鉱物初期濃度	B_{b0}	時間的に一定	[mol/m^3]
ゆるみ域中緩衝鉱物初期濃度	B_{e0}	時間的に一定	[mol/m^3]

（注）解析では廃棄体およびコンクリートバリアは異常物質の発生源とみなし、緩衝物質は存在しないものと仮定した。

(d) 核種移行

核種移行の立式においては、瞬時平衡グループという複数の移行形態の全濃度を考えることとし、瞬時平衡グループ内における種々の形態（溶質、吸着種、沈澱、コロイド、等）の濃度間には瞬時平衡が成立するものとする。このことは、ある地球化学条件の下で、それぞれの瞬時平衡グループの全濃度が与えられれば、当該グループに属する各移行形態の濃度が一意に定まること、さらには、個々の移行形態の移動特性（拡散係数あるいは地下水に対する相対的な移流速度）が既知であればグループ全体としての移動特性が全濃度の関数として定まることを意味する。

TRU 廃棄物処分を対象とした本解析では、溶質の状態で可動する核種を含む瞬時平衡グループを考える。

以上の仮定に基づき、瞬時平衡グループについての反応／分散／移流方程式は以下の様に定式化される。

$$\frac{\partial\ \varepsilon\ c}{\partial t}=\frac{\partial}{\partial x}\left(\ \varepsilon\ \frac{\partial\left(d_L v\beta+D\alpha\right)c}{\partial x}\right)-\frac{\partial\ \ \varepsilon\ \ v\beta\ \ c}{\partial x}-\ \ \varepsilon\ \left(\lambda c-\tilde{\lambda}\tilde{c}\right)-\ \varepsilon\ R(c) \qquad (4.1.3\text{-}25)$$

但し、c は全濃度（バルク体積中）、λ は崩壊定数であり、$\tilde{\lambda},\tilde{c}$ はそれぞれ親核種の該当パラメータを表す。また、α及びβはそれぞれ瞬時平衡グループの平均拡散係数並びに平均移流速度に対応し、以下の様に定義される。

$$\alpha=\frac{\sum_i D_i c_i}{D\sum_i c_i}$$

$$\beta=\frac{\sum_i v_i c_i}{v\sum_i c_i} \qquad (4.1.3\text{-}26)$$

但し、D_i 及び v_i はそれぞれ瞬時平衡グループ内の i 番目の移行形態の分子拡散係数及び移流速度を表す。

なお、瞬時平衡グループの平均移行特性を表すα、βは地球化学条件に依存するものであり、地球化学異常の内外においてそれぞれ異なる数値を採り得る。

本研究では、$\alpha=\beta$ および核種の吸着が瞬時線型吸着であることを前提として、Mobility 関数により平均拡散係数および移流速度を表現する。Mobility 関数については、図 4.1.3-4 に概念図を示す。Mobility 関数は、全濃度 c と液相濃度 c_{rq} の関係を示す関数であり、溶存形での核種の移動を前提としてこれを分配係数と溶解度で表す場合には、全濃度と可動部の濃度は以下に示した式で簡単に表すことができる。

$$c_{rq}=\min\left(c\cdot\alpha,c^*\right) \qquad (4.1.3\text{-}27)$$

ここでｃ*は溶解度の限界を示す。また平均拡散速度および平均移流速度は、分配係数を kd として、以下のように表すことができる。

$$\frac{1}{\alpha} = \varepsilon R_f = \varepsilon (1 + \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \rho kd) \qquad (4.1.3\text{-}28)$$

表 4.1.3-7　**核種移行に関するパラメータ**

分子拡散係数	D	時間的に一定	[m²/s]
分散長	d_L	時間的に一定	[m]
通常の地球化学条件における 瞬時平衡グループの 平均拡散係数及び移流速度	α_b β_b	全濃度の関数	[-]
地球化学異常における 瞬時平衡グループの 平均拡散係数及び移流速度	α^*_b β^*_b	全濃度の関数	[-]

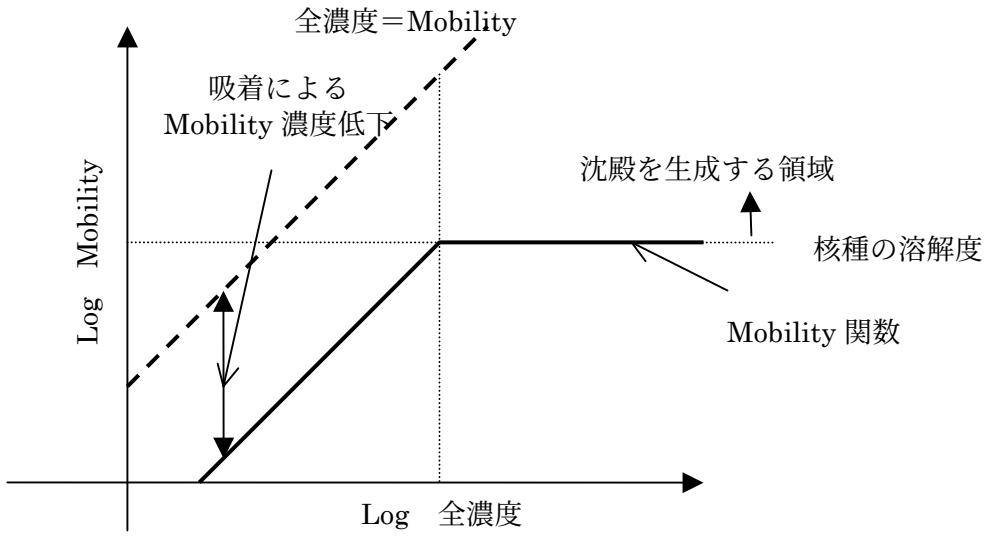


図 4.1.3-4 Mobility **関数の概念図**

(4) 天然バリアにおける支配方程式

(a) 幾何形状

本年度の研究対象とする余裕深度処分および地層処分の場合、堆積岩である母岩中の地下水移行経路は、連続多孔質媒体として表現される。この場合の幾何形状は、各パラメータとして定義される(表 4.1.3-8 参照)。

表 4.1.3-8 **余裕深度処分の場合の幾何形状に関するパラメータ群**

距離（天然バリア長さ)	L	時間的に一定	[m]
空隙率	ε	時間依存	[-]

表 4.1.3-8 に示す通り、後述する解析対象領域の大きさを規定するパラメータは時間に依らず固定する。このことは、主として計算効率の低下を避け

るためのものであるが、領域のサイズを変更した場合の影響は、対応する水理（透水量係数等）あるいは核種移行特性を広範囲において変更することにより少なくとも近似的には表現することが可能と考えられる。また、時間依存のパターンは、複数のステップを設けることによって表現される。

(b) 水理

系内の地下水流動は、定常かつ飽和であり、ダルシー則によって表現されるものとする。また、通常時の動水勾配は、人工バリア部分と同一と仮定する。

また、時間依存性及び位置依存性の取り扱いは形状に関するパラメータの場合と同様であり、表 4.1.3-9 に整理する。

表 4.1.3-9　水理に関するパラメータ

ダルシー流速	V_D	時間依存	[m/s]
透水係数	K	時間依存	[m²/s]
流束	q	時間依存	[m³/s]
空隙内流速	v	時間依存	[m/s]

(c) 地球化学

母岩中の地球化学的条件の変化は、母岩中に廃棄物あるいは系外から侵入する地球化学異常物質（例えば、酸素、あるいはコンクリート空隙水等）によるものである。そして、これらの物質によって誘起される地球化学異常がどの程度の時間及び空間スケールにおいて伝播するかは、侵入する異常物質のフラックスと、異常物質を消費することにより地球化学条件の変化を緩衝し得る母岩中の鉱物の量とのバランスに依存している。そこで、地球化学異常物質の反応／移流／分散についての偏微分方程式を数値的に解くこととした。但し、人工バリアの場合と同様、多数の統計的解析を効率的に実施するためには、ケース毎に速度論的な反応／移行問題を計算することは現実的ではない。そこで、ここでは、局所瞬時平衡仮説を採用し、緩衝作用を有する

鉱物の濃度（より正確には、単位流体当たりの鉱物質量）B が 0 でない限りは、地球化学異常物質の濃度 A は 0 に保持されるものとする。地球化学に関するパラメータを表 4.1.3-10 にまとめる。

人工バリア内部での反応と同様に、瞬時平衡の仮定より

$$C \equiv A - B = \begin{cases} A, & if\ B = 0 \\ -B, & if\ B > 0 \end{cases} \tag{4.1.3-29}$$

であることから

$$\frac{\partial \varepsilon C}{\partial t} = \left\{ \frac{\partial}{\partial x}\left(\varepsilon (d_L v + D) \frac{\partial C\ H(C)}{\partial x} \right) - \frac{\partial VC\ H(C)}{\partial x} \right\} \tag{4.1.3-30}$$

を解くことにより、地球化学異常の進展を評価するものとした。

但し、$H(\ )$ は Heaviside のステップ関数である。ニアフィールド母岩中核種移行シャドウモデルは、チャンネル入り口における A 及びチャンネルとマトリクス内での B の初期値に基づき（A の初期値は全域的に 0 であるものとする）、与えられたチャンネル形状と水理条件に対して上式を解法することにより C の系内でのプロファイルの経時変化を算出する。そして、以下の簡単な規則に基づき系内の各点が地球化学異常に属するか否かを定義する。

$C>0$　地球化学異常

$C<0$　あるいは $C=0$　通常の地球化学条件

表 4.1.3-10　地球化学に関するパラメータ

ゆるみ域中異常物質初期濃度	A_{cin}	時間的に一定	[mol/m^3]
母岩中緩衝鉱物初期濃度	B_{c0}	時間的に一定	[mol/m^3]

(d) 核種移行

表 4.1.3-11 に核種移行に関するパラメータをまとめる。母岩中核種移行シャドウモデルにおいても、人工バリアでの定式化と同様に瞬時平衡グループを考える。

$$\frac{\partial \varepsilon c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(\varepsilon \frac{\partial \left(d_L v\beta + D\alpha\right)c}{\partial x}\right) - \frac{\partial\ \varepsilon v\beta c}{\partial x} - \varepsilon\left(\lambda c - \tilde{\lambda}\tilde{c}\right) - \varepsilon R(c) \qquad (4.1.3\text{-}31)$$

また、表に示すα、βは、核種の溶解度と分配係数、および、コロイドの影響で示すパラメータにより算出される。

表 4.1.3-11 **核種移行に関するパラメータ**

分散長	d_L	時間的に一定	[m]
通常の地球化学条件における 瞬時平衡グループの 平均移流速度	α β	全濃度の関数	[-]
地球化学異常における 瞬時平衡グループの 平均移流速度	α^* β^*	全濃度の関数	[-]

(5) コロイド移行モデル

コロイドによる影響としては、コロイドのタイプを考え以下の２つの核種の移動の形態を想定する。

① 真性コロイドとしての核種の移動

② 地下水中のコロイドへの核種の可逆吸着による移動

(a) 真性コロイド

地下水中に溶存する核種は、核種の溶解度を超える場合には沈殿を生成する。沈殿物は、固相であることから、地下水の流れに伴う移動は抑制されるものと予想される。しかしながら、沈殿物の一部が沈殿しきれずに、コロイドとして地下水中に漂うような場合には、これらは、地下水の流れによって移動することとなる。

本研究では、真性コロイドの生成と移動を表現するために、(4) (c)項の「地球化学」で示した Mobility 関数を図 4.1.3-5 に示すように変化させることにより対応するものとする。図に示す第２勾配は、沈殿生成物に対する真性コロイドの割合を表す。第２勾配が１の場合、核種の溶解度を超える全量が可動性の真性コロイドとして地下水中に残存し、第２勾配が０の場合には、真性コロイドの生成は想定されない。また、第２勾配が０～１間では、沈殿が生成され始める濃度の領域でより多くの割合が真性コロイドとして生成される。第２節点濃度は、液相中のコロイド濃度の上限に相当する。

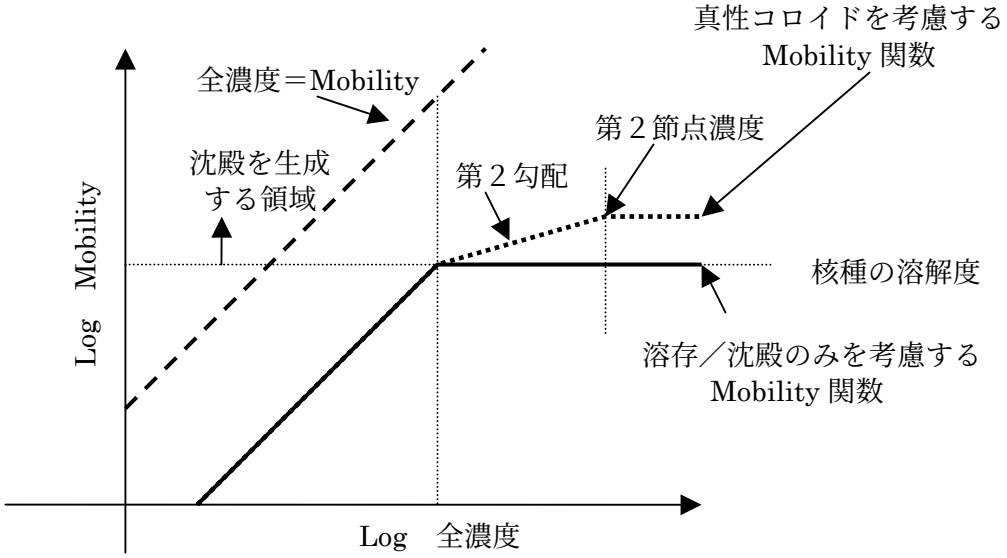


図 4.1.3-5 **真性コロイドを考慮した** Mobility **関数**

(b) 地下水中のコロイドへの核種の可逆吸着

コロイドの移行を考慮した場合の、多孔質媒体中の支配方程式を下式で与える。下式では、コロイドの人工バリア材料や母岩への吸着は無視し、保守的な移行条件を仮定している。

$$\frac{\partial}{\partial t}(\varepsilon R_f C_q + \varepsilon C_C) = \frac{\partial}{\partial x}(\varepsilon D \frac{\partial C_q}{\partial x} + \varepsilon D_c \frac{\partial C_C}{\partial x}) - \frac{\partial}{\partial x}(\varepsilon v C_q + \varepsilon v_c C_C) - \lambda(\varepsilon R_f C_q + \varepsilon C_C) + \lambda'(\varepsilon R_f' C_q' + \varepsilon C_C') \quad (4.1.3\text{-}32)$$

ε ：空隙率[-]

R_f ：遅延係数[-]

C_q ：溶存核種濃度[mol/m^3]

C_C ：コロイドに吸着された核種濃度[mol/m^3]

D ：分散係数[m^2/s]

D_C ：コロイドの分散係数[m^2/s]

v ：溶存核種の移流速度[m/s]

v_C ：コロイドの移流速度[m/s]

λ ：崩壊定数[s^{-1}]

また、’は、親核種のパラメータであることを示す。

コロイドへ吸着される核種の濃度は、コロイドへの瞬時／線形／可逆の吸着を仮定して、下式で書き表される。

$$C_C = \chi K_c C_q \quad (4.1.3\text{-}33)$$

χ ：液相中のコロイド濃度[kg/m^3]

K_c ：コロイドへの分配係数[m^3/kg]

これを、(4.1.3-32)式に代入し、以下の式が与えられる。

$$\frac{\partial}{\partial t}\varepsilon C_q(R_f + \chi K_c) = \frac{\partial}{\partial x}(\varepsilon D \frac{\partial C_q}{\partial x}(1+\frac{D_c}{D}\chi K_c)) - \frac{\partial}{\partial x}(\varepsilon v C_q(1+\frac{v_c}{v}\chi K_c)) - \lambda(\varepsilon C_q(R_f + \chi K_c)) + \lambda'(\varepsilon' C_q'(R_f' + \varepsilon \chi' K_c'))$$

(4.1.3-34)

ここで、溶存核種とコロイドの分散係数の比を移流速度の比と同等と仮定する。

$$\frac{D_c}{D} = \frac{v_c}{v} \qquad (4.1.3\text{-}35)$$

これは、溶存核種とコロイドの分散長が等しいと仮定し、分散効果が卓越しているものとする場合には成り立つものの、流速が遅い場合には、拡散効果がより顕著となることから必ずしも成り立つものではない。しかしながら、溶存核種とコロイドの拡散係数に数桁の差異があるものと考えにくく、また、コロイド粒子が溶存核種に比較して、サイズが大きいことから、D_C/D は、1 より小さい可能性もある。一方、v_c/v は、過大に見積もっても 1.3 程度である（Grindrod、1993）。そのため、D_C/D、v_c/v の何れの比率も、数桁におよび分布するものとは予想されないことから、近似的に(4.1.3-34)が成り立つものとする。

$$G = 1 + \frac{v_c}{v}\chi K_c \qquad (4.1.3\text{-}36)$$

$$P = R_f + \chi K_c \qquad (4.1.3\text{-}37)$$

とし、親核種からの崩壊生成が無視できるものとすれば、(4.1.3-34)式は、以下のように簡素化される。

$$\frac{\partial}{\partial t}\varepsilon C_q P = \frac{\partial}{\partial x}(\varepsilon D \frac{\partial C_q}{\partial x} G) - \frac{\partial}{\partial x}(\varepsilon v C_q G) - \lambda \varepsilon C_q P \qquad (4.1.3\text{-}38)$$

εおよびP、Gが、差分時間メッシュ、空間メッシュ内で変動しないものと仮定すると

$$\varepsilon(P/G)\frac{\partial C_q}{\partial t} = \varepsilon D \frac{\partial^2 C_q}{\partial x^2} - \varepsilon v \frac{\partial C_q}{\partial x} - \lambda \varepsilon C_q (P/G) \qquad (4.3.1\text{-}39)$$

上式の(*P/G*)を、コロイドの影響を考慮する場合の、遅延係数Rfcとみなすものとして、コロイドの影響を考慮する場合の分配係数（Kd_C）を下式で求めるものとする。

$$R_{f_C} = P/G = \frac{R_f + \chi K_c}{1 + \frac{v_c}{v}\chi K_c} = 1 + \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon}\rho Kd_C \qquad (4.1.3\text{-}40)$$

この様に、コロイドによる核種の移動は遅延係数を調整することにより、第１の瞬時平衡グループで取り扱うことが可能となる。そのため、本研究では、地下水中のコロイドへの吸着（疑似コロイドの生成）による影響は、真性コロイドの影響の評価と同様に、Mobility 関数を操作することにより、取り扱うものとする。

具体的には、前年度の解析と同様に、Mobility 関数を全体に左側にシフトさせることにより、コロイドへの可逆吸着の影響を取り扱うものとする。しかしながら、コロイドへの可逆吸着の反映された遅延係数（Rf_C）が、既存の緩衝材や母岩に対する遅延係数に対して数桁の変動を受ける可能性は小さいものと予想される。例えば、わが国における高レベル放射性廃棄物池沼処分の技術的信頼性－地層処分研究開発取りまとめ－分冊 3　地層処分システムの安全評価（以下、第２次取りまとめという）におけるコロイドの評価で用いられたパラメータ（保守値としてコロイド濃度（χ=1ppm)、コロイド

への分配係数（K_c＝1000m³/kg)、流速比率（ $\frac{v_c}{v}$=2)）を用いた場合でも、可逆吸着の反映された遅延係数は、緩衝材や母岩の遅延係数の１／３程度の変動にとどまる。ただし、現状、地層中のコロイドに関する知見が少ないことから、安全性の検討に資するためには、より、広い遅延係数の変動を考慮すべきである。変動の範囲を、１桁程度の遅延係数の低下を挟み、変動範囲のサンプリングがなされ現実的なケースが増えるようなるような範囲とする（対数スケールでサンプリング)。

コロイドへの可逆吸着指数：　$\phi_{colloid} = \log_{10} R_f - \log_{10} R_{fc}$　(4.1.3-41)

として、$\phi_{colloid}$ 分、真性コロイドを考慮した Mobility 関数を左側にシフトし、コロイドへの可逆吸着の影響を評価するものとする。また、R_{fc}＜１となるケースにおいては、

総濃度＜可動濃度

の表記となるが、核種の移流および拡散がコロイドを考慮することによって変化したものとみなすことができる。ただし、移流速度の増加に関しては、上限を設けるものとする。移流速度の上限は、流速比率を用いることも可能であるが、本研究では Mobility 関数を左側へのシフト量（コロイドへの吸着による、遅延係数が何桁低下するかの変動を表わす）をサンプリングのパラメータとすることから（

図 4.1.3-6 参照)、遅延係数の最小値を

$$R_{fc,\min} = \frac{1}{v_c / v} \qquad (4.1.3\text{-}42)$$

として、取り扱うものとする。下式でコロイドへの可逆吸着の影響を受けた遅延係数とする。

$$R_{fc} = \max(R_{fc,\min}, R_{fc}) \qquad (4.1.3\text{-}43)$$

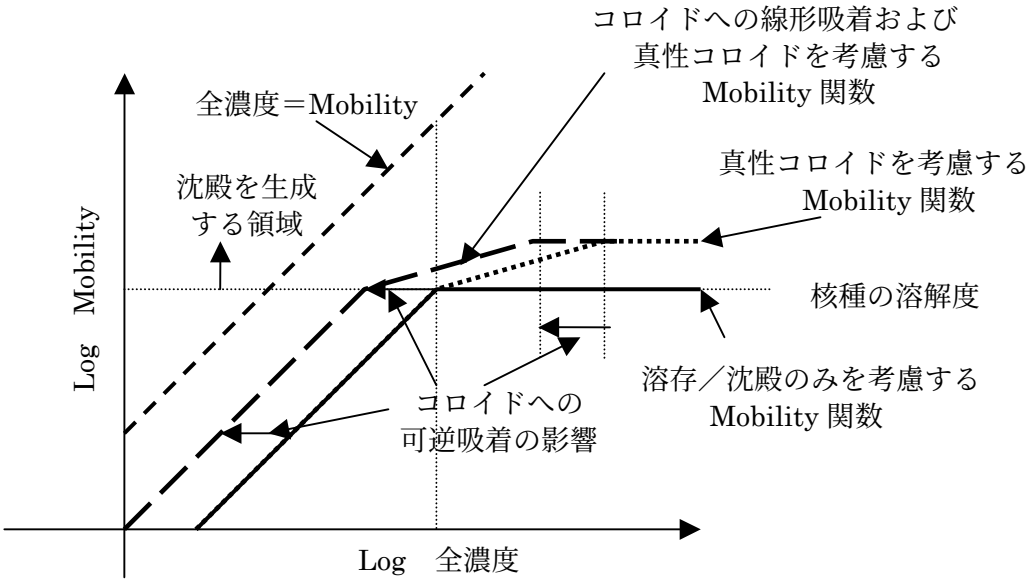


図 4.1.3-6 **コロイドへの可逆吸着に対応する** Mobility **関数**
（真性コロイド影響も含む）

コロイドへの可逆性吸着に関しては、以下の想定に基づき解析を実施するものとする。

- 擬似コロイドによる核種の移行量は、Mobility 関数の全体を左側にシフトさせることにより評価する（左側へのシフトの程度を「コロイド可逆吸着指数」として定義）。
- 劣化前における緩衝材中の左側シフトは、緩衝材のフィルトレーションを考慮し、0 とする。
- 緩衝材の劣化時に想定される透水係数に閾値を設け、劣化時の透水係数が閾値以下の場合には、ベントナイトによるコロイドのフィルトレーション効果は、継続するものとする。
- 廃棄体、コンクリートバリア、および、天然バリア中の Mobility 関数は、全時間帯において第 2 勾配および第 2 節点を考慮したものとし、この２つのパラメータは変化しないものとする。ただし、溶解度およ

び分配係数は地球化学異常に伴う変化を想定する。

Mobility 関数の左側へのシフトの取り扱いは、擬似コロイドへの可逆吸着を考慮しない場合の Mobility 関数が何桁、左側へシフトするかを、「コロイド可逆吸着指数」として表すものとする。その際、シフトの最大値（桁）を、インタビューにより決定するものとする。また、同様にとり得る遅延係数の最小値に関しても、その値をインタビューにより決定するものとする。

(6) ガス影響モデル

TRU 廃棄物に含まれるドラム缶やキャニスター等の鉄系材料、あるいはハル・エンドピース等のジルカロイ系材料の還元性環境での腐食により発生する水素ガスは、廃棄物周辺から外部に向けての動水勾配を与えるため、放射性核種を含む人工バリア内部の空隙水を排出する可能性がある。緩衝材を用いるケースの場合には、図 4.1.3-7 に示す通り、このような汚染空隙水の排出経路としては以下の二つが想定される。

① 緩衝材空隙水の脱水

ガスが蓄積して自由ガス層が形成される施設内上面から緩衝材外部上面に向けて、毛管圧の比較的低い、大きな径の空隙中での気液界面の移動を伴う水の移動。この気液海面が緩衝材外部上面に達した時点で、緩衝材を通じた通気経路が形成されて、ガスの透気が開始される。

② 施設内部ボイドの排水

施設内の比較的大きな空隙（毛管圧が実質上無視し得る）中のガスの気泡は上昇して境界面に蓄積し、空隙中の水位を押し下げることにより自由ガス層を形成する。この水位低下に伴い、当該空隙中の汚染水が緩衝材下部に向けて排出されることとなる。

以上の二つの経路を比較すると、一般に、①の経路では緩衝材空隙中の数パーセント以下が脱水されるのみであることから、排出される水量はわずかであ

り、他方、②では、深部水圧下でのガス発生体積とほぼ等しい空隙水の排出が生じるものと考えられる。そこで、従来の評価（例えば TRU 処分概念検討書）では、排出水量を支配する後者に着目してモデル化が行われている。また、後者の場合、深部水圧下でのガス発生体積とほぼ等しい空隙水の排出が生じることから、人工バリア内部の地下水は、排出水量に比例する速度で移動し（図 4.1.3-7 参照）、さらには、人工バリアから排出された地下水は、亀裂内部や岩盤内部の空隙水の流速を上昇させる可能性がある。

しかしながら、②の経路の排水については、緩衝材下底の全空隙断面積が寄与するのに対して、①の場合は毛管圧の低い数パーセント以下の空隙のみが脱水に寄与する。このため、一般に、排水の線流速は①の方が速いこととなる。つまり、②の場合には、全排水量が緩衝材下底の全空隙体積よりも十分に小さければ、ガスによる排水は下流側の、つまり、核種濃度の比較的低い水を押し出すに過ぎないのに対して、①の場合は緩衝材内側の比較的高濃度の核種を含む水を一気に外側まで押し出す危険性がある。この効果を考えれば、緩衝材外部に放出される核種量という観点では①の方が支配的となる可能性を否定できない。

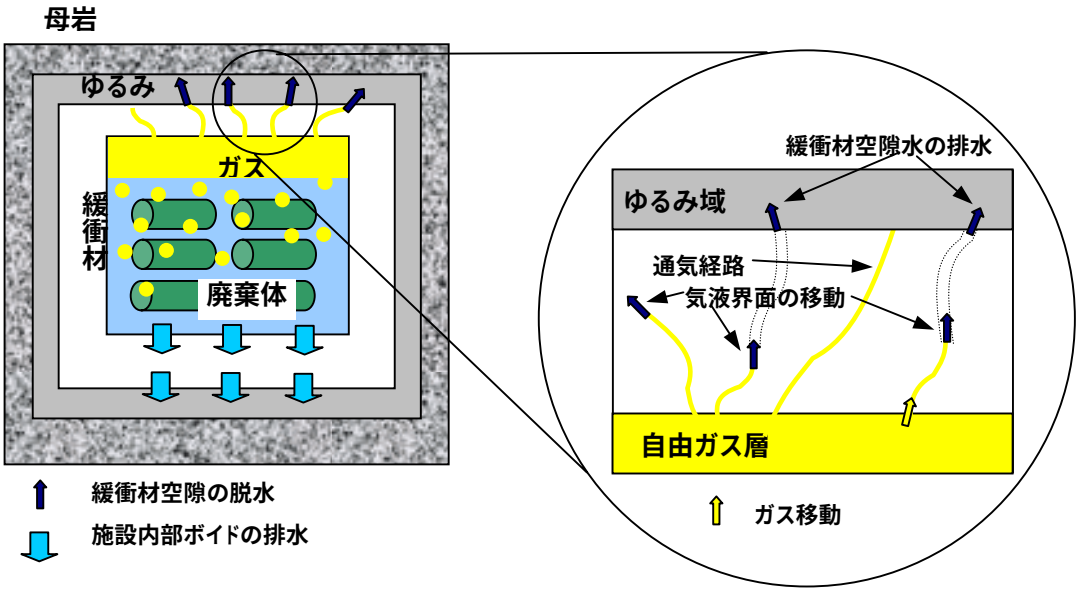


図 4.1.3-7　**ガス発生による人工バリア内部地下水排水のモデル**

以上を勘案して、上記の二つの経路のいずれも考慮した以下のモデルを本解析に用いることとする。

モデルの概念

- 排水量について支配的となる施設内部ボイドの排水、及び核種放出率について支配的となり得る緩衝材空隙の脱水の両者を考慮する。
- 施設内部ボイドの排水については、当該環境条件（温度、圧力）下でのガス発生速度（体積）と等量の水が廃棄体領域から緩衝材領域へと侵入するものとする。なお、この際、排水に寄与する断面積は各位置での流れに直交する緩衝材全断面積とする。このため、比較的大量の水がゆっくりと緩衝材中を移動し、これに対応した人工バリア中核種移行が計算されることとなる。また、母岩中においても、この排出水量に対応した流速の増大が生じるものと仮定する。具体的には、地層処分の場合には、ガス発生により生じた排水量の全量が、緩衝材全断面積を通過して地層中に流入し、保守的に緩衝材全断面積を通過した時点の流速が地層中の流速に加わるものとして、地層中の流速を決定した。v'をガス発生時の流速、vをガス発生がない場合の流速、q_{GAS}をガス発生時の排水速度（＝ガス発生量）として、下式で表すものとした。

$$v' = v + \frac{q_{GAS}}{S_b} \tag{4.1.3-44}$$

- 施設内のガスによる排水は、ガスの通気に伴いガス圧が低下し、停止するものと予想される。しかしながら、通気経路が修復された後には、再びガス圧力が増加し、施設内の空隙水の排水が開始される。そのため、ガスによる施設内ボイドの排水は、発生したガスの体積が施設内体積中の排水の可能性のある体積に達するまで継続するものとする。

$$T_{GAS,VOID} = \min(T_{GAS}, \gamma_{VOID} \cdot V_{VOID} / q_{GAS}) \tag{4.1.3-45}$$

ここで、

$T_{GAS,VOID}$ ：施設内ボイドの排水の期間

T_{GAS} ：ガス発生の継続期間

γ_{VOID} ：ガス発生により排水される施設内 VOID の割合

V_{VOID} ：施設内ボイド体積

－ 緩衝材の脱水により、廃棄体領域中の核種の一部が速やかに緩み域へと放出される経路を仮定する。解析においては、緩衝材の脱水する領域の割合を、地下水の通過する面積の割合とし、脱水に寄与する部分とそれ以外の部分に分割して領域をあらかじめ設定する。脱水に寄与する部分の地下水流速は、脱水により通気するまでの期間と緩衝材の厚さにより求める。

$$S_{b,cap} = r_{cap} \cdot S_b \tag{4.1.3-46}$$

$$v_{cap} = \frac{L_b}{T_{GAS,cap}} \tag{4.1.3-47}$$

ここで、

$S_{b,cap}$ ：ガス通気に寄与する緩衝材の面積

$T_{GAS,cap}$ ：ガス通気の期間

v_{cap} ：ガス通気の期間中の流速

L_b ：緩衝材の厚さ

r_{cap} ：緩衝材中の脱水によるガス通気の寄与する面積の割合

である。

上記の 2 種のガス影響モデルに関するパラメータ及び流速増加影響の概念を各々表 4.1.3-12，図 4.1.3-8 に示す。

上記のガス通気のモデルでは、通気に伴う核種の移動において、通気経路から通気に寄与しない緩衝材への核種の移動（２重空隙モデルにおける核種のマトリクス方向への移動と同様な挙動）の考慮はなされていない。前年度の解析において（三木崇史他、2001)、通気に伴う核種放出の影響が顕著ではなっかたことから、解析の簡素化の観点から、保守的なモデルを踏襲するものとした。また、ガスの緩衝材の通気に伴い、施設内のガス圧力は低下することから、緩衝材中を進展する気液界面のフロントは、通気した毛管が閉塞し、再び、施設内のガス圧力が増加するまで停止するものと予想される。そのため、ガスの通気に伴う排水は、通気する可能性のある緩衝材中の全ての領域の地下水が一時期に排水されるのではなく、ガスの発生が継続する期間内に分散し、生じるものと予想される。ただし、解析では、簡単のため、一時期に全ての通気経路から地下水が放出されるものとした。

緩衝材を使用しない処分概念では、通気を妨げる緩衝材がないことから、施設内ボイドの排水の効果のみを評価するものとした。コンクリートバリア中の空隙水の通気に伴う核種の放出の可能性も否定できないものの、コンクリートの通気性は緩衝材に比較して高いこと（核燃料サイクル機構他、2000）から、ガス発生に伴う地下水の押し出しは、コンクリートバリア全面で生じるものとした。

緩衝材の有無を考慮した処分概念におけるガス影響の考え方を、図 4.1.3-9 に示す。

ただし、コンクリートバリアの通気経路に関しては、コンクリート打ち継ぎ目が選択的な経路となる可能性が否定できない。継ぎ目を通じて、ガスの放出および排水が生じる場合には、コンクリート内側上部のガスの透気に伴う排水のほかに、施設下部の継ぎ目での選択的な流速上昇を想定するモデル化を行う。このモデル化の概念を図 4.1.3-10 および図 4.1.3-11 に示す。

また、コンクリート継ぎ目からの透気および排水が生じない場合には、ガス圧により施設が破壊される可能性もある。この場合、緩衝材を使用するケースでは、緩衝材の破壊も生じる。これら事象に関して、表 4.1.3-13 に示す新たなパラメータの設定が必要となる。

表 4.1.3-12　ガス影響に関するパラメータ

ガス発生速度 （廃棄体グループ毎）	q_{GAS}	時間依存	[m^3/y]
ガス発生開始時刻	TS_{GAS}	時間的に一定	[y]
緩衝材通気開始時刻 （緩衝材を用いるケースのみ）	$TS_{GAS,cap}$	時間的に一定	[y]
ガス発生継続期間	T_{GAS}	時間的に一定	[y]
施設内排水量の施設内のボイド体積に対する割合	γ_{VOID}	時間的に一定	[-]
緩衝材の通気する領域の緩衝材の総体積に対する割合（緩衝材を用いるケースのみ）	r_{cap}	時間的に一定	[-]

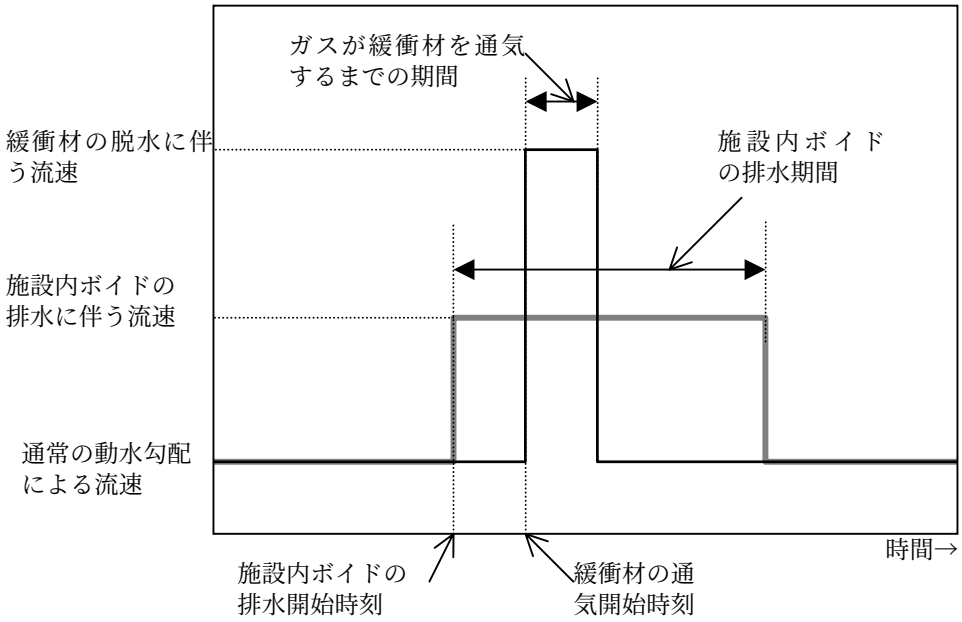


図 4.1.3-8　施設内部ボイドの排水による人工バリア及び母岩中地下水流速の上昇（模式図）

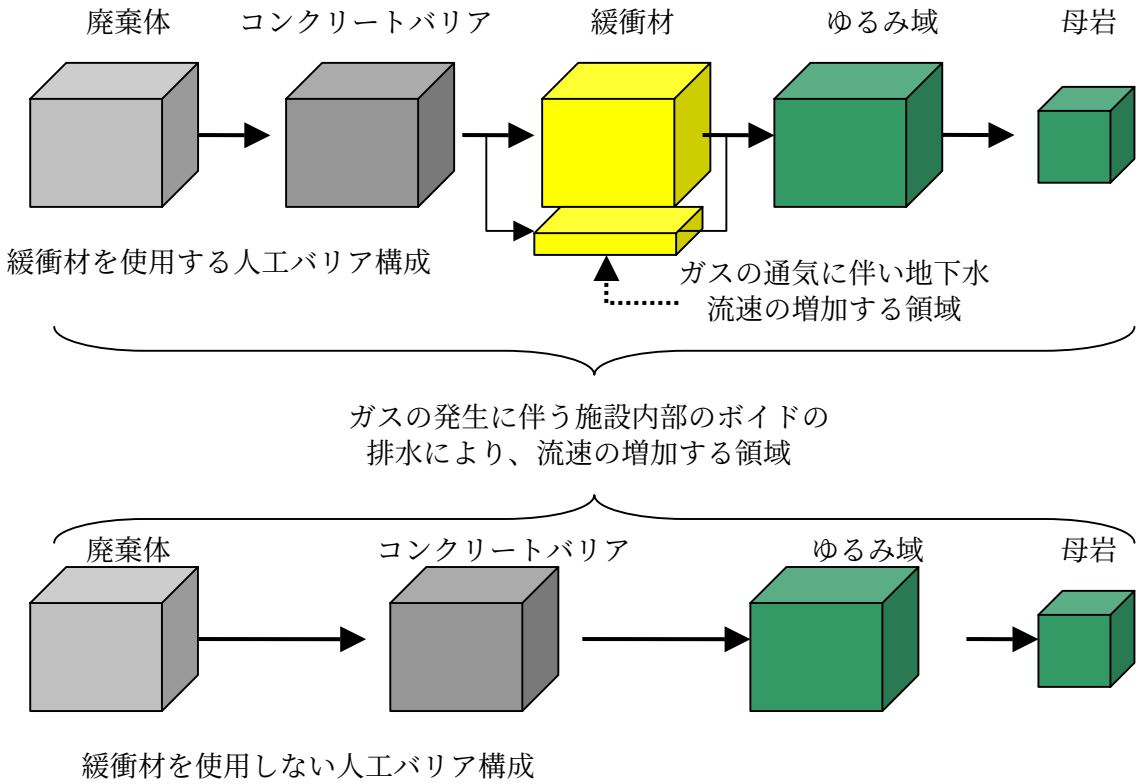


図 4.1.3-9 **人工バリアおよび天然バリアへのガス影響の及ぶ領域**

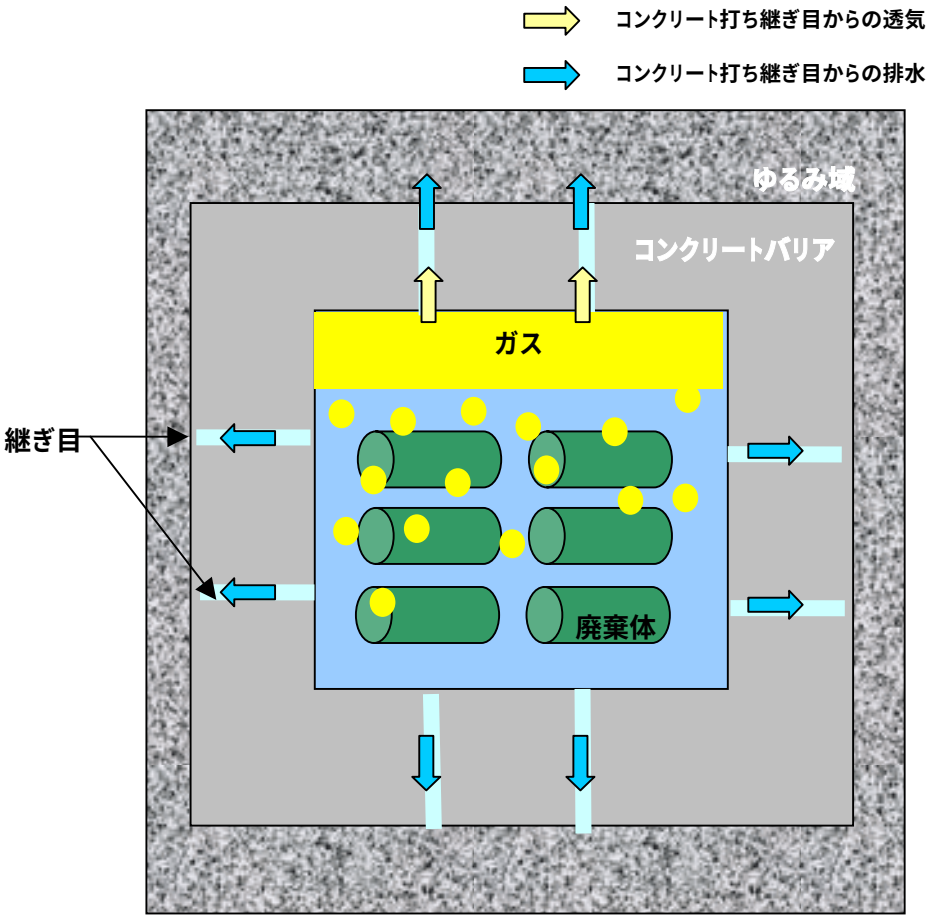


図 4.1.3-10　**コンクリートの継ぎ目を考慮したガス発生による人工バリア内部地下水排水のモデル**

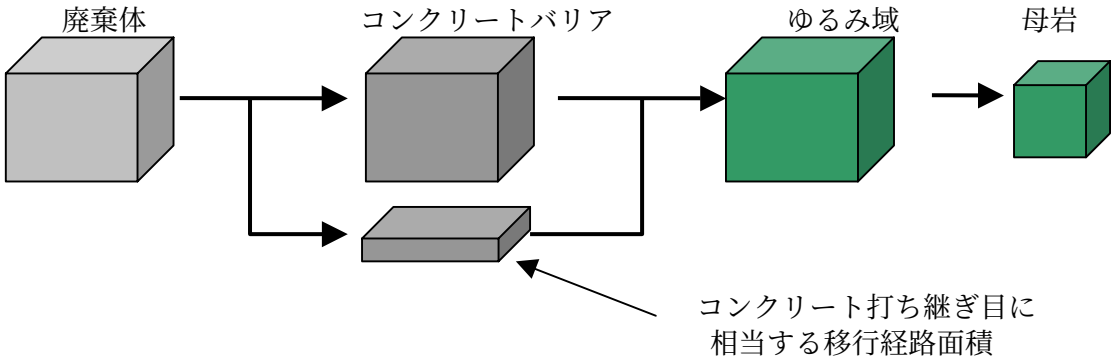


図 4.1.3-11　**人工バリアおよび天然バリアへのガス影響の及ぶ領域**
（コンクリート継ぎ目を考慮した場合）

表 4.1.3-13　**コンクリート継ぎ目を考慮した場合に新たに加わるパラメータ**

	最小値案	最大値案	単位
コンクリート継ぎ目の表面積に対する割合(①)	0	20	%
コンクリート継ぎ目中のガスの通気に要する期間(②)	継ぎ目体積／４（上部面）／ガス発生速度	固定値	年
施設下部での地下水の流速(③)	コンクリートバリア厚さ／(継ぎ目体積／ガス発生速度)	固定値	m/y

(①)コンクリート打ち継ぎ目は、施工時に側面および上下面に同程度の割合で存在するものと仮定した。

(②)施設上部にガスが蓄積されるものと仮定し、打ち継ぎ目上部をガスが通気するまでの期間、ガスによる押し出し排水が継続するものと仮定した。ガスが通気した時点において、打ち継ぎ目中の地下水の流速は、ガス影響を受ける前の状態に回帰するものとした。

(③)ガスによる地下水の押し出しは、コンクリート全面から生じるものとした。

4.1.4 余裕深度処分および地層処分のパラメータの設定

(1) 各パラメータの設定（地質環境以外）

本研究において設定した各パラメータの範囲を以下の表に示す。なお、パラメータ設定にあたっては、核燃料サイクル機構殿の専門家にインタビューを実施した。

表 4.1.4-1　処分量および廃棄体からの核種放出率に関するパラメータ（余裕深度処分および地層処分）（1/7）

パラメータ	領域	基本条件		変動時条件		スケール	備考（パラメータ設定根拠）
		最小値	最大値	最小値	最大値		
インベントリ（Bq）グループ１：地層処分（(C-14）	廃棄体						TRU 処分概念検討書（核燃料サイクル開発機構ほか、2000）における地層処分対象廃棄物のうち、グループ１のインベントリ
インベントリ（Bq）グループ１：地層処分（(I-129）	廃棄体	3.47E+13					同上
インベントリ（Bq）グループ１：地層処分（(Np-237）	廃棄体						同上
インベントリ（Bq）グループ２：地層処分（(C-14）	廃棄体	1.10E+15					TRU 処分概念検討書（核燃料サイクル開発機構他、2000）における地層処分対象廃棄物のうち、グループ２のインベントリ
インベントリ（Bq）グループ２：地層処分（(I-129）	廃棄体	2.09E+11					同上
インベントリ（Bq）グループ２：地層処分（(Np-237）	廃棄体	2.04E+12					同上： 系列核種の U-233,Th-229 に関しては初期インベントリを０(Bq)とした。
インベントリ（Bq）グループ３：地層処分（(C-14：1GBq/t）	廃棄体	1.20E+13					TRU 処分概念検討書（核燃料サイクル開発機構他、2000）における廃棄物およびインベントリを基に、余裕深度処分の全α濃度上限値を1GBq/t とした場合の処分区分検討により設定。
インベントリ（Bq）グループ３：地層処分（(I-129：1GBq/t）	廃棄体	7.16E+11					同上
インベントリ（Bq）グループ３：地層処分（(Np-237：1GBq/t）	廃棄体	7.22E+09					同上： 系列核種の U-233,Th-229 に関しては初期インベントリを０(Bq)とした。

表 4.1.4-1 処分量および廃棄体からの核種放出率に関するパラメータ（余裕深度処分および地層処分）（2/7）

パラメータ	領域	基本条件		変動時条件		スケール	備考（パラメータ設定根拠）
		最小値	最大値	最小値	最大値		
インベントリ（Bq） グループ４：地層処分 （(C-14：1GBq/t）	廃棄体	1.82E+12					同上
インベントリ（Bq） グループ４：地層処分 （(I-129：1GBq/t）	廃棄体	6.50E+09					同上
インベントリ（Bq） グループ４：地層処分 （(Np-237：1GBq/t）	廃棄体	2.82E+11					同上 系列核種の U-233,Th-229 に関しては初期インベントリを０(Bq)とした。
インベントリ（Bq） グループ３：地層処分 （(C-14：50GBq/t）	廃棄体	1.20E+10					TRU 処分概念検討書（核燃料サイクル開発機構他、2000）における廃棄物およびインベントリを基に、余裕深度処分の全α濃度上限値を50GBq/t とした場合の処分区分検討により設定。
インベントリ（Bq） グループ３：地層処分 （(I-129：50GBq/t）	廃棄体	6.24E+10					同上
インベントリ（Bq） グループ３：地層処分 （(Np-237：50GBq/t）	廃棄体						同上 系列核種の U-233,Th-229 に関しては初期インベントリを０(Bq)とした。
インベントリ（Bq） グループ４：地層処分 （(C-14：50GBq/t）	廃棄体	1.50E+12					TRU 処分概念検討書（核燃料サイクル開発機構他、2000）における廃棄物およびインベントリを基に、余裕深度処分の全α濃度上限値を50GBq/t とした場合の処分区分検討により設定。
インベントリ（Bq） グループ４：地層処分 （(I-129：50GBq/t）	廃棄体	5.82E+08					同上
インベントリ（Bq） グループ４：地層処分 （(Np-237：50GBq/t）	廃棄体	2.72E+11					同上 系列核種の U-233,Th-229 に関しては初期インベントリを０(Bq)とした。

表 4.1.4-1 処分量および廃棄体からの核種放出率に関するパラメータ（余裕深度処分および地層処分）(3/7)

パラメータ	領域	基本条件		変動時条件		スケール	備考（パラメータ設定根拠）
		最小値	最大値	最小値	最大値		
インベントリ（Bq） グループ３：余裕深度 ((C-14：1GBq/t)	廃棄体	7.21E+11					TRU 処分概念検討書（核燃料サイクル開発機構他、2000）における廃棄物およびインベントリを基に、余裕深度処分の全α濃度上限値を 1GBq/t とした場合の処分区分検討により設定。ただし、保守的にコンクリートピット処分対象廃棄物のインベントリも含む。
インベントリ（Bq） グループ３：余裕深度 ((I-129：1GBq/t)	廃棄体	2.22E+11					同上
インベントリ（Bq） グループ３：余裕深度 ((Np-237：1GBq/t)	廃棄体	6.13E+08					同上
インベントリ（Bq） グループ４：余裕深度 ((C-14：1GBq/t)	廃棄体	1.76E+09					同上
インベントリ（Bq） グループ４：余裕深度 ((I-129：1GBq/t)	廃棄体	3.79E+07					同上
インベントリ（Bq） グループ４：余裕深度 ((Np-237：1GBq/t)	廃棄体	3.32E+09					同上 系列核種の U-233,Th-229 に関しては初期インベントリを０(Bq)とした。
インベントリ（Bq） グループ３：余裕深度 ((C-14：50GBq/t)	廃棄体	1.27E+13					TRU 処分概念検討書（核燃料サイクル開発機構他、2000）における廃棄物およびインベントリを基に、浅地中処分の全α濃度上限値を 50GBq/t とした場合の処分区分検討により設定。ただし、保守的にコンクリートピット処分対象廃棄物のインベントリも含む。
インベントリ（Bq） グループ３：余裕深度 ((I-129：50GBq/t)	廃棄体	8.76E+11					同上
インベントリ（Bq） グループ３：余裕深度 ((Np-237：50GBq/t)	廃棄体	7.83E+09					同上

表 4.1.4-1　処分量および廃棄体からの核種放出率に関するパラメータ（余裕深度処分および地層処分）（4/7）

パラメータ	領域	基本条件		変動時条件		スケール	備考（パラメータ設定根拠）
		最小値	最大値	最小値	最大値		
インベントリ（Bq） グループ４：余裕深度 （(C-14：50GBq/t）	廃棄体	3.19E+11					TRU 処分概念検討書（核燃料サイクル開発機構他、2000）における廃棄物およびインベントリを基に、余裕深度処分の全α濃度上限値を 50GBq/t とした場合の処分区分検討により設定。
インベントリ（Bq） グループ４：余裕深度 （(I-129：50GBq/t）	廃棄体	5.96E+09					同上
インベントリ（Bq） グループ４：余裕深度 （(Np-237：50GBq/t）	廃棄体	1.33E+10					同上 系列核種の U-233,Th-229 に関しては初期インベントリを０(Bq)とした。

表 4.1.4-1 処分量および廃棄体からの核種放出率に関するパラメータ（余裕深度処分および地層処分）（5/7）

パラメータ	領域	基本条件		変動時条件		スケール	備考（パラメータ設定根拠）
		最小値	最大値	最小値	最大値		
廃棄体の処分量(m^3) グループ１	廃棄体	2.69E+2					核種移行解析は単位長さあたりで実施している。全放出量／全線量を求めるために必要となる処分坑道長は、以下の式にて算出する。 処分坑道長さ＝廃棄体処分量/(廃棄体埋設比率×廃棄体定置領域の断面積)
廃棄体の処分量(m^3) グループ２	廃棄体	4.91E+3					同上
廃棄体の処分量(m^3) グループ３：地層処分 （1GBq/t）	廃棄体	6.69E+3					同上
廃棄体の処分量(m^3) グループ４：地層処分 （1GBq/t）	廃棄体	5.81E+3					同上
廃棄体の処分量(m^3) グループ３：地層処分 （50GBq/t）	廃棄体	2.70E+2					同上
廃棄体の処分量(m^3) グループ４：地層処分 （50GBq/t）	廃棄体	2.47E+3					同上
廃棄体の処分量(m^3) グループ３：余裕深度 （1GBq/t）	廃棄体	5.69E+3					同上
廃棄体の処分量(m^3) グループ４：余裕深度 （1GBq/t）	廃棄体	9.29E+3					同上
廃棄体の処分量(m^3) グループ３：余裕深度 （50GBq/t）	廃棄体	1.21E+4					同上
廃棄体の処分量(m^3) グループ４：余裕深度 （50GBq/t）	廃棄体	1.26E+4					同上

表 4.1.4-1　処分量および廃棄体からの核種放出率に関するパラメータ（余裕深度処分および地層処分）（6/7）

パラメータ	領域	基本条件		変動時条件		スケール	備考（パラメータ設定根拠）
		最小値	最大値	最小値	最大値		
核種浸出率（1/y） グループ１：地層処分	廃棄体	1.0E-05	10				浸出率に関しては、ガラス固化、HIP、セメント固化等の今後のヨウ素保持材料の新技術の投入も見込み、セメント固化体や銅マトリックス固化体に対して期待されている保持性能 10^5 年（斉藤等、2001）（福本他、2001）を考慮し、最小浸出率を 10^{-5}/y とした。最大値は、瞬時溶解に近い値(０．１年で全量放出)とした。
核種浸出率（1/y） グループ２：地層処分	廃棄体	1.0E-04	10				概念検討書（核燃料サイクル開発機構他、2000）では、放射化生成物である C-14 の廃棄体からの浸出挙動をステンレスやジルカロイ表面に付着し瞬時に溶解する分と金属内部に存在しその腐食に応じて放出される分に分けて評価している。現在では、ハル・エンドピースからの核種の浸出を抑制するため廃棄体容器等の開発が行われ、C-14 については、数万年間（６万年）の閉じこめ性を確保することで、グループ２に起因する線量を低下させることが可能であるとの見通しが示されている（朝野他 a, b, 2002）。ここでは、これらの研究成果を参考にし、最小浸出率を 10^{-5}/y とした。最大値は、瞬時溶解に近い値(０．１年で全量放出)とした。

表 4.1.4-1　処分量および廃棄体からの核種放出率に関するパラメータ（余裕深度処分および地層処分）（7/7）

パラメータ	領域	基本条件		変動時条件		スケール	備考（パラメータ設定根拠）
		最小値	最大値	最小値	最大値		
核種浸出率（1/y） グループ３：地層処分	廃棄体	1.0E-04	10				アスファルト浸出試験（丸石他、1997）における浸出率は 3.65e-03m/y、半径 0.5m と想定すると、137y で全溶解する。この場合の浸出率は 7.3e-03/y である。これらの値を参考にして、最小浸出率を 10^{-4}/y とした。最大値は、瞬時溶解に近い値(０．１年で全量放出)とした。
核種浸出率（1/y） グループ４：地層処分	廃棄体	1.0E-04	10				コンクリート固化体からの浸出率に関しては、グループ３の浸出率を参考に、最小浸出率を 10^{-4}/y とした。最大値は、瞬時溶解に近い値(０．１年で全量放出)とした。
核種浸出率（1/y） グループ３：余裕深度	廃棄体	1.0E-04	10				アスファルト浸出試験（丸石他、1997）における浸出率は 3.65e-03m/y、半径 0.5m と想定すると、137y で全溶解する。この場合の浸出率は 7.3e-03/y である。これらの値を参考にして、最小浸出率を 10^{-4}/y とした。最大値は、瞬時溶解に近い値(０．１年で全量放出)とした。
核種浸出率（1/y） グループ４：余裕深度	廃棄体	1.0E-04	10				コンクリート固化体からの浸出率に関しては、グループ３の浸出率を参考に、最小浸出率を 10^{-4}/y とした。最大値は、瞬時溶解に近い値(０．１年で全量放出)とした。

表 4.1.4-2　人工バリアの形状および仕様に関するパラメータ（余裕深度処分および地層処分）(1/3)

パラメータ	領域	基本条件		変動時条件		スケール	備考（パラメータ設定根拠）
		最小値	最大値	最小値	最大値		
廃棄体埋設比	廃棄体	0.1	1.0			線形	廃棄体埋設比率＝廃棄体の処分量／廃棄体定置領域の容積 廃棄体の処分量＝処分坑道長さ×廃棄体占有断面積 廃棄体定置領域の容積＝処分坑道長さ×定置領域断面積 よって、廃棄体埋設比＝廃棄体占有断面積／定置領域断面積 基本条件として以下の値を設定 0.1：(原子力安全委員会、2000, p13 の 0.16）を参考に設定 1.0：(核燃料サイクル開発機構他、2000, p3-40)における結晶質岩系岩盤を対象とした廃棄体グループ 2 の処分坑道の設計値に基づく設定値 定置領域断面積＝7.2m x8m＝57.6、廃棄体占有断面積＝6.0 m×8m＝48、48／57.6＝0.83 等を参考に設定。
廃棄体定置領域の断面積(m2)	廃棄体	20	200			線形	最小値としてトンネルの成立条件が悪い場合を想定し、地層処分の堆積岩系の廃棄体定置領域の断面積(グループ 2)(4.8×4.8）＝23.04（核燃料サイクル開発機構他、2000, p3-42)を参考に 20 と設定する。最大値は、(核燃料サイクル開発機構他、2000, p3-41)における結晶質岩系岩盤を対象とした廃棄体定置領域の断面積（グループ 3,4）の設定 13m x15.8m＝205.4 を参考に 200 と設定する。
透水係数(m/s)	廃棄体コンクリートバリア	1E-13	1E-11	基本条件で選択された値	1E-5	対数	基本条件の最小値および最大値は、以下を参照して健全時コンクリートの値を想定した。 健全なコンクリートの透水係数（供試体ﾚﾍﾞﾙの試験） ・1.0E-13～1.0E-12m/s：(岡田他、p202、図 4-76） 健全なコンクリートの透水係数（実規模ﾚﾍﾞﾙの試験） ・1.0E-11m/s：(坂口他、1997) コンクリートに対する水の絶対透過係数 ・1.0E-11m/s（Mayer, et al, 1992) 変動条件については、最小値は基本条件で選択された値と同じとし、最大値については（核燃料サイクル開発機構他、2000, 4-209)を参考として、劣化したコンクリート（C-S-H ゲルがほとんど存在しない）の状態を仮定し、細粒砂程度の透水係数 1.E-05 を想定した。

表 4.1.4-2　人工バリアの形状および仕様に関するパラメータ（余裕深度処分および地層処分）(2/3)

パラメータ	領域	基本条件		変動時条件		スケール	備考（パラメータ設定根拠）
		最小値	最大値	最小値	最大値		
空隙拡散係数(m2/s)	廃棄体コンクリートバリア	1.0E-13	1.0E-11	基本条件で選択された値	4E-9	対数	基本条件の最小値及び最大値については（Idemitsu, et al, 1997)、(稲場他、1998)　(実効拡散係数 1.3E-13 及び 2.0E-12 を空隙率 0.15 で除した値）(8.6E-13)、(1.3E-11) を参考として、健全なコンクリートの値を仮定した。変動条件については、最小値は基本条件で選択された値と同じとし、最大値については(動力炉・核燃料開発事業団、1992, 4-108)の自由水中の Cs の拡散係数（自由水中の拡散係数の最大値：60 度)4.0E-09m2/s とした。
空隙率(-)	廃棄体コンクリートバリア	0.1	0.2	基本条件で選択された値	0.35	線形	（核燃料サイクル開発機構他、2000, 4-209)を参考とし、健全なセメント系材料の空隙率（0.15）の変動を 0.1～0.2 と仮定した。、変動条件については、最小値は基本条件で選択された値と同じとし、最大値については劣化したコンクリートの空隙率は 0.35 と仮定。
コンクリートバリアの厚さ(m)	コンクリートバリア	0.1	2			線形	現状で予想される仕様の範囲としての想定値（JNC 殿より提示)。
緩衝材の厚さ(m)	緩衝材	0.7	4			線形	（核燃料サイクル開発機構他、2000）での標準値（p3-38,39：グループ 1.2：結晶質岩 1.4m、堆積岩 1.2m）であるが、成立条件の明示を目的とするため幅広く設定し、最大を４ｍとする。最小値は、実用性を満足する緩衝材厚さが 0.7m であると考えられているため、幅広に 0.5m まで緩衝材の止水バリア機能を損なわないと仮定した。
透水係数(m/s)	緩衝材	2E-13	5E-11	基本条件で選択された値	1E-5	対数	基本条件については、（核燃料サイクル開発機構 c, 1999, Ⅳ-88、89）を参考として、温度及び液性（蒸留水／人工海水）の違いを考慮して変動範囲を(2.0E-13)～（5.0E-11）と仮定し、変動範囲を設定した。 変動条件については、最小値は基本条件で選択された値と同じとし、最大値は緩衝材の劣化による水道形成等を考慮し、劣化したセメントと同じ細粒砂程度の透水係数を仮定した。

表 4.1.4-2　人工バリアの形状および仕様に関するパラメータ（余裕深度処分および地層処分）(3/3)

パラメータ	領域	基本条件		変動時条件		スケール	備考（パラメータ設定根拠）
		最小値	最大値	最小値	最大値		
空隙拡散係数(m2/s)	緩衝材	6.0E-12	1.6E-9	基本条件で選択された値	4E-9	対数	基本条件については （核燃料サイクル開発機構 d,1999, pV-47～50）を参考にして、核種による違い等を考慮して変動幅を設定した（実効拡散係数：2.0E-12～5.4E-10:空隙率 0.33 から算出（6.0E-12）～(1.6E-09))。 変動条件については、最小値は基本条件で選択された値と同じとし、最大値は、廃棄体、コンクリートバリアと同様に Cs の自由水中の拡散係数を適用した。
空隙率	緩衝材	0.33	0.4	基本条件で選択された値	0.65	線形	基本条件の最小値及び最大値については、乾燥密度を 1.6～1.8 として、真密度 2.7 のベントナイトの空隙率の変動範囲 0.33～0.4 を設定した。変動条件については、最小値は基本条件で選択された値と同じとし、最大値は、(Impey, et al, 1997)に基づき上限を 0.65 とした。 3.1.1(f)参照
ゆるみ域幅(m)	ゆるみ域	0.5	5			線形	最小値は、(核燃料サイクル開発機構 a, 1999, V-51)に示されている 0.5mとした。最大値は、坑道半径程度として、広い範囲を適用した。
ゆるみ域の透水係数増倍比率	ゆるみ域	1	10			線形	最大値は、(核燃料サイクル開発機構 a, 1999, V-51）に示される透水係数の増倍比を考慮し、岩より一桁大きく設定した。
人工バリア領域の分散長（領域長さに対する比率）	人工バリア全領域	0.1				-	解析体系長さの 1/10 と固定した。
緩み域の空隙拡散係数（m/s）	ゆるみ域	2.5E-12	1.0E-10	基本条件で選択された値	4E-9	対数	母岩と同じ値を採用。（核燃料サイクル開発機構他、2000, 4-211）の天然バリアの実効拡散係数の変動範囲（3.0E-12～8.0E-10）と（核燃料サイクル開発機構 d,1999, V-69）の母岩の空隙率 0.2 の天然バリアの実効拡散係数の変動範囲（5.0E-13～2.0E-11）を参照し、空隙拡散係数の範囲を設定（1.5E-11/2.5E-12～4.0E-09/1.0E-10)。変動条件については、最小値は基本条件で選択された値と同じとし、最大値は、廃棄体、コンクリートバリアと同様に Cs の自由水中の拡散係数を適用した。

表 4.1.4-3 天然バリアの基本特性に関するパラメータ（余裕深度処分）

パラメータ	領域	基本条件		変動時条件		スケール	備考（パラメータ設定根拠）
		最小値	最大値	最小値	最大値		
核種移行距離(m)	母岩	50	500			線形	（核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-210,p4-233)を参照するとともに、最小値については（核燃料サイクル開発機構他、2000）で 100m として評価していることを参考に、広く感度を確認するために 50mとした。
透水係数(m/s)	母岩	1E-8	1E-5	基本条件で選択された値	基本条件の最大値と同じ値	対数	基本条件の最小値については、(原子力安全委員会、2000, p78)を参照してその一桁低い値を最小値として設定した。最大値は、(原子力安全委員会、2000, p79)に採用された地下水流速（0.01m/day）と動水勾配（原子力安全委員会、2000, p78）(0.01)から推定される透水係数(1.2E-5m/s)を参考として設定した。変動条件については、最小値は基本条件で選択された値と同じとし、最大値は基本条件の最大値と同じ値とする。
空隙率	母岩	0.01	0.5	基本条件で選択された値	基本条件の最大値と同じ値	対数	基本条件については、(原子力安全委員会、2000, p78：0.2）や（日本原燃、1889, 6-74：0.44)の値および（核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-214)の結晶質岩(0.02)と堆積岩(0.2)を参考にして、亀裂等で限定される地下水流路の実効的な空隙を想定し、広い範囲で設定を行った。変動条件については、最小値は基本条件で選択された値と同じとし、最大値は基本条件の最大値と同じ値とする。
核種移行断面積(m2/m)	母岩					-	緩み域を含む、坑道単位長さあたりの施設の投影面積とする。(廃棄体の高さ＋2*コンクリートバリア＋2*緩衝材厚さ＋2*ゆるみ域幅）
分散長（距離で規格化）	母岩	0.01	1			対数	（核燃料サイクル開発機構 d,1999, pV-64)に示される分散長幅、0.01～1 の範囲を想定した。

表 4.1.4-4　核種の移行特性に関するパラメータ（余裕深度処分および地層処分）（1/7）

パラメータ	領域	基本条件 高ｐＨ条件、硝酸塩酸化性影響		変動時条件 低 pH 条件、硝酸塩酸化性影響		スケール	備考（パラメータ設定根拠）
		最小値	最大値	最小値	最大値		
I の分配係数 (m^3/kg)	廃棄体コンクリートバリア	0	0.001	0	0.0001	対数	基本条件（高 pH 時）の最大値は、(核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-214)のセメント系材料 RegionI(0.001),II（0.001）を参考とした。最小値は、硝酸塩影響（0）を設定でした。 変動時条件（低 pH 条件、硝酸塩影響）の値は、(核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-214 セメント系材料 RegionIII（0.0001）)、(p4-237 セメント系材料に対する硝酸塩影響（0 または 0.0001)）を参考に範囲を設定した。サンプリングの最小値は、遅延係数(分配係数が０の場合、遅延係数は１)の変化が核種移行に有意な影響を与えない範囲（遅延係数で 1+（0.01 のオーダー））を想定し、$1x10^{-5}$ とした。(真密度 2500kg/m3、間隙率 0.15～0.35 で計算すると１＋0.01 オーダーになる kd の値は 0.0000007～0.0000002m3/Kg、そのため、０を「$1x10^{-5}$ とした」)
C の分配係数 (m^3/kg)	廃棄体コンクリートバリア	0.001	1	0.001	5	対数	基本条件（高 pH 時）の最大値は、(核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-214)のセメント系材料 RegionI(0.005),II（1）を参考とした。最小値は、硝酸塩影響（0.001）を考慮し与えた。 変動時条件（低 pH 条件、硝酸塩影響）の値は、(核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-214 セメント系材料 RegionIII（5）)、(p4-237 セメント系材料に対する硝酸塩影響（0.001)）を参考に範囲を設定した。
Np の分配係数 (m^3/kg)	廃棄体コンクリートバリア	0.1	5	0.1	1	対数	基本条件（高 pH 時）の最大値は、(核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-214)のセメント系材料 RegionI(5),II（5）を参考とした。最小値は、酸化性影響（0.1）を考慮し与えた。 変動時条件（低 pH 条件、硝酸塩影響、酸化性雰囲気）の値は、(核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-214 セメント系材料 RegionIII(1))、(p4-237 セメント系材料に対する硝酸塩影響（1)）を参考に最大値を設定した。最小値は、セメント系材料に対する酸化性雰囲気での値 0.1（PSI　95-06,p42）を適用した。

表 4.1.4-4　核種の移行特性に関するパラメータ（余裕深度処分および地層処分）(2/7)

パラメータ	領域	基本条件 高ｐＨ条件、硝酸塩酸化性影響		変動時条件 低 pH 条件、硝酸塩酸化性影響		スケール	備考（パラメータ設定根拠）
		最小値	最大値	最小値	最大値		
U の分配係数 (m^3/kg)	廃棄体コンクリートバリア	0.01	5	0.1	1	対数	基本条件（高 pH 時）の最大値は、(核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-214)のセメント系材料 RegionI(5),II（5）を参考とした。最小値は、酸化性影響（0.01）を考慮し与えた。 変動時条件（低 pH 条件、硝酸塩影響、酸化性雰囲気）の値は、(核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-214 セメント系材料 RegionIII(1))、（p4-237 セメント系材料に対する硝酸塩影響（1)）を参考に最大値を設定した。最小値は、セメント系材料に対する酸化性雰囲気での値 0.1（PSI　95-06,p42）を適用した。
Th の分配係数 (m^3/kg)	廃棄体コンクリートバリア	1	5	0.1	1	対数	基本条件（高 pH 時）の最大値は、(核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-214)のセメント系材料 RegionI(5),II（5）を参考とした。最小値は、酸化性影響（1）を考慮し与えた。 変動時条件（低 pH 条件、硝酸塩影響、酸化性雰囲気）の値は、(核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-214 セメント系材料 RegionIII(1))、（p4-237 セメント系材料に対する硝酸塩影響（1)）を参考に最大値を設定した。最小値は、セメント系材料に対する酸化性雰囲気での値 0.1（PSI　95-06,p42）を適用した。

表 4.1.4-4 核種の移行特性に関するパラメータ（余裕深度処分および地層処分）(3/7)

パラメータ	領域	基本条件 高ｐＨ条件、 硝酸塩 酸化性影響		変動時条件 低 pH 条件、 硝酸塩 酸化性影響		スケール	備考（パラメータ設定根拠）
		最小値	最大値	最小値	最大値		
I のコロイドへの可逆吸着指（桁）	廃棄体 コンクリートバリア	0	1			対数	第２次取りまとめにおいて仮定されているコロイド濃度、コロイドへの分配係数、コロイド流速比率を用いてコロイドによる遅延係数の変動を試算した場合、遅延係数が３分の１程度の変動に留まるため、保守的に最大１桁程度の遅延係数の低下を想定する。
C のコロイドへの可逆吸着指（桁）	廃棄体 コンクリートバリア	0	1			対数	第２次取りまとめにおいて仮定されているコロイド濃度、コロイドへの分配係数、コロイド流速比率を用いてコロイドによる遅延係数の変動を試算した場合、遅延係数が３分の１程度の変動に留まるため、保守的に最大１桁程度の遅延係数の低下を想定する。
Np 系列のコロイドへの可逆吸着指数（桁）	廃棄体 コンクリートバリア	0	2			対数	第２次取りまとめにおいて仮定されているコロイド濃度、コロイドへの分配係数、コロイド流速比率を用いてコロイドによる遅延係数の変動を試算した場合、遅延係数が３分の１程度の変動に留まるため、保守的に最大 2 桁程度の遅延係数の低下を想定する（他の核種に比較して分配係数が大きなことを考慮し、2 桁とした）。U-233、Th-229 も同じとした。
（全核種）遅延係数の最小値[-]	廃棄体 コンクリートバリア	0.1	1			対数	コロイドの移行における見かけの地下水流速および拡散係数が、地下水の速度の２倍程度（文献）であることから、最小値を０．１（10 倍の速度で移動）とした。（１を基準として、最小値側への対数分布とする）
（全核種）第２勾配	廃棄体 コンクリートバリア	0	1			線形	沈殿生成物の全量を可動性となる場合(傾き=1)を最大値とする。（可逆吸着による Mobility 関数のシフトにより、見かけに流速増加分は、見込まれるものとした）
（全核種）第２節点濃度(桁)	廃棄体 コンクリートバリア	0	6			線形	第１節点濃度からの、増加の桁数とする。幅広い範囲として、その効果を確認するものとした。

表 4.1.4-4 核種の移行特性に関するパラメータ（余裕深度処分および地層処分）(4/7)

パラメータ	領域	基本条件 高ｐＨ条件、 硝酸塩 酸化性影響		変動時条件 低 pH 条件、 硝酸塩 酸化性影響		スケール	備考（パラメータ設定根拠）
		最小値	最大値	最小値	最大値		
Ｉの分配係数	緩衝材	0	0.001	基本条件の最小値と同じ値	基本条件の最大値と同じ値	対数	（核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-214)より、ベントナイト系材料のＩの kd の pH 依存性は＞12.5、=12.5、=8.5 において、それぞれ(0)、硝酸塩影響の場合も、(核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-237)より（0)。Ｉの分配係数の感度を調べるために最大値を 0.001 と仮定する。(ベントナイトの真密度 2700kg/m3、間隙率 0.33～0.65 において、kd＝0.001 は遅延係数を１から 2.5～6.5 にする値である。) Ｉの変動時の最小値、最大値は基本条件と同じ変動範囲とする。 サンプリングの最小値 0 は、遅延係数(分配係数が０の場合、遅延係数は１)の変化が核種移行に有意な影響を与えない範囲（遅延係数で 1+（0.01 のオーダー)）を想定し、$1x10^{-5}$とした。(真密度 2700kg/m3、間隙率 0.33～0.65 で計算すると１＋0.01 オーダになる kd の値は 0.0000018～0.000007m3/Kg、そのため、０を「$1x10^{-5}$とした」)
Ｃの分配係数	緩衝材	0	0.001	基本条件の最小値と同じ値	基本条件の最大値と同じ値	対数	（核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-214)より、ベントナイト系材料のＣの kd の pH 依存性は＞12.5、=12.5、=8.5 において、それぞれ(0)、硝酸塩影響の場合も、(核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-237)より（0)。Ｃの分配係数の感度を調べるために最大値を 0.001 と仮定する。(ベントナイトの真密度 2700kg/m3、間隙率 0.33～0.65 において、kd＝0.001 は遅延係数を１から 2.5～6.5 にする値である。 Ｃの変動時の最小値、最大値は基本条件と同じ変動範囲とする。

表 4.1.4-4 核種の移行特性に関するパラメータ（余裕深度処分および地層処分）(5/7)

パラメータ	領域	基本条件 高ｐＨ条件、 硝酸塩 酸化性影響		変動時条件 低 pH 条件、 硝酸塩 酸化性影響		スケール	備考（パラメータ設定根拠）
		最小値	最大値	最小値	最大値		
Np の分配係数	緩衝材	0.005	1	基本条件の最小値と同じ値	基本条件の最大値と同じ値	対数	（核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-214）より、ベントナイト系材料の Np の kd の pH 依存性は＞12.5、=12.5、=8.5 において、それぞれ(0.1)、(1)、(1)硝酸塩影響の場合は、（核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-237）より（0.1）。酸化性雰囲気条件下の分配係数値は(0.005)（核燃料サイクル開発機構，1999a, D-9)。基本条件については、ベントナイト系材料の初期条件を pH=8.5（1）と考え、酸化性雰囲気での値 0.005 と pH=8.5（1）を考慮して範囲を設定した。Np の変動時の条件は、pH＞12.5(0.1) pH=12.5（1）と硝酸塩影響の（0.1）（核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-237)より、一部で分配係数が小さくなる傾向が見られるが、基本条件の最小値より小さくなるわけではないので、最小値については、基本条件の最小値と同じ値とし、最大値も基本条件の最大値と同じ値とした。
U の分配係数	緩衝材	0.005	1	基本条件の最小値と同じ値	基本条件の最大値と同じ値	対数	（核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-214）より、ベントナイト系材料の U の kd の pH 依存性は＞12.5、=12.5、=8.5 において、それぞれ(0.01)、(0.1)、(1)硝酸塩影響の場合は、（核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-237）より（1）。酸化性雰囲気条件下の分配係数値は(0.005)（核燃料サイクル開発機構，1999a, D-9)。基本条件については、ベントナイト系材料の初期条件を pH=8.5（1）と考え、酸化性雰囲気での値 0.005 と pH=8.5（1）を考慮して範囲を設定した。Np の変動時の条件は、pH＞12.5(0.1) pH=12.5（1）と硝酸塩影響の（0.1）（核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-237)より、一部で分配係数が小さくなる傾向が見られるが、基本条件の最小値より小さくなるわけではないので、最小値については、基本条件の最小値と同じ値とし、最大値も基本条件の最大値と同じ値とした。

表 4.1.4-4 核種の移行特性に関するパラメータ（余裕深度処分および地層処分）(6/7)

パラメータ	領域	基本条件 高ｐＨ条件、 硝酸塩 酸化性影響		変動時条件 低 pH 条件、 硝酸塩 酸化性影響		スケール	備考（パラメータ設定根拠）
		最小値	最大値	最小値	最大値		
Th の分配係数	緩衝材	0.01	1	基本条件の最小値と同じ値	基本条件の最大値と同じ値	対数	（核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-214）より、ベントナイト系材料の Th の kd の pH 依存性は＞12.5、=12.5、=8.5 において、それぞれ(0.1)、(1)、(1)硝酸塩影響の場合は、（核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-237）より（0.1)。酸化性雰囲気条件下の分配係数値は(0.005)（核燃料サイクル開発機構，1999a, D-9)。基本条件については、ベントナイト系材料の初期条件を pH=8.5（1）と考え、酸化性雰囲気での値 0.005 と pH=8.5（1）を考慮して範囲を設定した。Np の変動時の条件は、pH＞12.5(0.1) pH=12.5（1）と硝酸塩影響の（0.1)（核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-237)より、一部で分配係数が小さくなる傾向が見られるが、基本条件の最小値より小さくなるわけではないので、最小値については、基本条件の最小値と同じ値とし、最大値も基本条件の最大値と同じ値とした。

表 4.1.4-4　核種の移行特性に関するパラメータ（余裕深度処分および地層処分）（7/7）

パラメータ	領域	基本条件 低ｐＨ条件 酸化性影響		変動時条件 高 pH 条件、 硝酸塩		スケール	備考（パラメータ設定根拠）
		最小値	最大値	最小値	最大値		
Ｉのコロイドへの可逆吸着指数	緩衝材	0	1			対数	第２次取りまとめにおいて仮定されているコロイド濃度、コロイドへの分配係数、コロイド流速比率を用いてコロイドによる遅延係数の変動を試算した場合、遅延係数が３分の１程度の変動に留まるため、保守的に最大１桁程度の遅延係数の低下を想定する。
Ｃのコロイドへの可逆吸着指数	緩衝材	0	1			対数	第２次取りまとめにおいて仮定されているコロイド濃度、コロイドへの分配係数、コロイド流速比率を用いてコロイドによる遅延係数の変動を試算した場合、遅延係数が３分の１程度の変動に留まるため、保守的に最大１桁程度の遅延係数の低下を想定する。
Np 系列（U、Th）のコロイドへの可逆吸着指数	緩衝材	0	2			対数	第２次取りまとめにおいて仮定されているコロイド濃度、コロイドへの分配係数、コロイド流速比率を用いてコロイドによる遅延係数の変動を試算した場合、遅延係数が３分の１程度の変動に留まるため、保守的に最大２桁程度の遅延係数の低下を想定する（他の核種に比較して分配係数が大きなことを考慮し、２桁とした）。U-233,Th-229 も同じとした。
（全核種）遅延係数の最小値	緩衝材	0.1	1			対数	コロイドの移行における見かけの地下水流速および拡散係数が、地下水の速度の２倍程度（文献）であることから、最小値を０．１（10 倍の速度で移動）とした。（１を基準として、最小値側への対数分布とする）
第２勾配（全核種）	緩衝材	0	1			線形	沈殿生成物の全量を可動性となる場合(傾き=1)を最大値とする。（可逆吸着による Mobility 関数のシフトにより、見かけに流速増加分は、見込まれるものとした）
第２節点濃度（全核種）	緩衝材	0	1			線形	核種毎の廃棄体処分密度から、核種の再濃縮を考慮して、サンプリング範囲を決定した。
コロイドフルとレーションしきい透水係数	緩衝材			5E-12			（核燃料サイクル開発機構 c、1999, p88,126)のベントナイトにおける金コロイドの透過試験および有効粘土密度と透水係数の関係から算出。

表 4.1.4-5　核種の移行特性に関するパラメータ（余裕深度処分）（1/5）

パラメータ	領域	基本条件 低ｐＨ条件 酸化性影響		変動時条件 高 pH 条件、 硝酸塩		スケール	備考（パラメータ設定根拠）
		最小値	最大値	最小値	最大値		
Ｉの分配係数	母岩	0	0.0001	基本条件の最小値と同じ値	0.001	対数	母岩のＩの kd の基本条件については、（核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-214）より、結晶質岩(0.0001)、堆積岩(0.0001)の値を考慮して、最小値を 0 と仮定して設定した。変動時条件については、（核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-238）より、結晶質岩に対する硝酸塩（0）と高アルカリプルーム（0.001)、堆積岩に対する硝酸塩（0）と高アルカリプルーム(0.001)より、最小値については、基本条件の最小値と同じ値とし、最大値は 0.001 とした。サンプリングの最小値は、遅延係数(分配係数が０の場合、遅延係数は１)の変化が核種移行に有意な影響を与えない範囲（遅延係数で 1.01 以下）を想定し、$1x10^{-7}$とした。（真密度 2700kg/m3、間隙率 0.02～0.2 で計算すると１＋0.01 オーダになる kd の値は 7.5E-8～9.3E-07m3/Kg、そのため、０を「$1x10^{-7}$とした」）
Ｃの分配係数	母岩	0	0.0001	基本条件の最小値と同じ値	1	対数	母岩のＣの kd の基本条件については、については、（核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-214）より、結晶質岩(0.0001)、堆積岩(0.0001）の値を考慮して、最小値を 0 と仮定して設定した。変動時条件については、（核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-238）より、結晶質岩に対する硝酸塩（0）と高アルカリプルーム（1)、堆積岩に対する硝酸塩（0）と高アルカリプルーム(1) より、最小値については、基本条件の最小値と同じ値とし、最大値は 1 とした。

表 4.1.4-5　核種の移行特性に関するパラメータ（余裕深度処分）(2/5)

パラメータ	領域	基本条件 低ｐＨ条件 酸化性影響		変動時条件 高 pH 条件、 硝酸塩		スケール	備考（パラメータ設定根拠）
		最小値	最大値	最小値	最大値		
Np の分配係数	母岩	0.005	1	基本条件の最小値と同じ値	5	対数	母岩の Np の kd の基本条件については、(核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-214) より、結晶質岩(1)、堆積岩(1)の値、及び（核燃料サイクル開発機構 a, 1999, D-9)より、酸化性雰囲気条件下の分配係数値(0.005)を参考に範囲を設定した。変動時条件については、（核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-238)より、結晶質岩に対する硝酸塩（1）と高アルカリプルーム（5)、堆積岩に対する硝酸塩（1）と高アルカリプルーム(5)を考慮し、分配係数が大きくなる傾向が見られることから、最小値は基本条件で選択された値と同じとし、最大値については５とした。
U の分配係数	母岩	0.005	1	基本条件の最小値と同じ値	5	対数	Np と同様の範囲とした。
Th の分配係数	母岩	0.005	1	基本条件の最小値と同じ値	5	対数	Np と同様の範囲とした。

表 4.1.4-5 核種の移行特性に関するパラメータ（余裕深度処分）(3/5)

パラメータ	領域	基本条件 低ｐＨ条件 酸化性影響		変動時条件 高 pH 条件、硝酸塩		スケール	備考（パラメータ設定根拠）
		最小値	最大値	最小値	最大値		
I のコロイドへの可逆吸着指数(桁)	母岩	0	1			対数	第２次取りまとめにおいて仮定されているコロイド濃度、コロイドへの分配係数、コロイド流速比率を用いてコロイドによる遅延係数の変動を試算した場合、遅延係数が３分の１程度の変動に留まるため、保守的に最大１桁程度の遅延係数の低下を想定する。
C のコロイドへの可逆吸着指数(桁)	母岩	0	1			対数	第２次取りまとめにおいて仮定されているコロイド濃度、コロイドへの分配係数、コロイド流速比率を用いてコロイドによる遅延係数の変動を試算した場合、遅延係数が３分の１程度の変動に留まるため、保守的に最大１桁程度の遅延係数の低下を想定する。
Np のコロイドへの可逆吸着指数(桁)	母岩	0	2			対数	第２次取りまとめにおいて仮定されているコロイド濃度、コロイドへの分配係数、コロイド流速比率を用いてコロイドによる遅延係数の変動を試算した場合、遅延係数が３分の１程度の変動に留まるため、保守的に最大 2 桁程度の遅延係数の低下を想定する（他の核種に比較して分配係数が大きなことを考慮し、2 桁とした）。
（全核種）遅延係数の最小値	母岩	0.1	1			対数	コロイドの移行における見かけの地下水流速および拡散係数が、地下水の速度の２倍程度（文献）であることから、最小値を０．１（10 倍の速度で移動）とした。（１を基準として、最小値側への対数分布とする）
（全核種）第２勾配	母岩	0	1			線形	沈殿生成物の全量を可動性となる場合(傾き=1)を最大値とする。（可逆吸着による Mobility 関数のシフトにより、見かけに流速増加分は、見込まれるものとした）
（全核種）第２節点(桁)	母岩	0	6			線形	第１節点濃度からの、増加の桁数とする。幅広い範囲として、その効果を確認するものとした。

表 4.1.4-5 核種の移行特性に関するパラメータ（余裕深度処分）(4/5)

パラメータ	領域	基本条件 低ｐＨ条件 酸化性		変動時条件 高 pH 条件、硝酸塩		スケール	備考（パラメータ設定根拠）
		最小値	最大値	最小値	最大値		
I の溶解度 (mol/l)	全領域	易溶性				-	初期条件（低 pH 時）の値は、(核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-212)の pH=8.5（易溶性）、pH＜12.5（易溶性）を参考とした。変動時条件（高 pH 条件、硝酸塩影響）の値は、(核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-212)の（pH＞12.5（易溶性）、pH=12.5（易溶性）を参考に範囲を設定した。 易溶性とする場合の解析上の設定値は $1x10^6$ mol/m^3 とした。
C の溶解度 (mol/l)	全領域	1E-5	易溶性	7E-8	7E-5	対数	初期条件（低 pH 時）の値は、(核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-212）の pH=8.5（易溶性）、pH＜12.5（1.0E-05）を参考とした。￥変動時条件（高 pH 条件、硝酸塩影響）の値は、(核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-212）の（pH＞12.5（7.0E-08)、pH=12.5（7.0E-05）を参考に範囲を設定した。 易溶性とする場合の解析上の設定値は $1x10^6$ mol/m^3 とした。
Np の溶解度 (mol/l)	全領域	6e-09	4E-5	5e-09	4E-5	対数	初期条件（低 pH 時、酸化性）の値は、(核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-212）の pH=8.5（9.0E-08)、pH＜12.5（6.0E-09）及び（核燃料サイクル開発機構 a, 1999, pD-9）の酸化性雰囲気の値(4.0E-05)を参考とした。 変動時条件（高 pH 条件、硝酸塩影響）の値は、(核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-212）の（pH＞12.5（5.0E-09)、pH=12.5（5.0E-09）より、溶解度が小さくなる傾向が見られることから、最小値は 5.0E-09、最大値は基本条件の最大値と同じとした。
U の溶解度 (mol/l)	全領域	8e-9	5e-3	8e-9	5e-3	対数	初期条件（低 pH 時、酸化性）の値は、(核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-212）の pH=8.5（6E-08)、pH＜12.5（1e-8）及び（核燃料サイクル開発機構 a, 1999, pD-9）の還元性雰囲気および酸化性雰囲気の値(8e-9,5e-3)を参考とした。 変動時条件（高 pH 条件、硝酸塩影響）の値は、(核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-212）の（pH＞12.5（1e-8)、pH=12.5（1e-8）と化学的変動に影響を受けないと推察されることから、初期条件の範囲と同じとした。

表 4.1.4-5 核種の移行特性に関するパラメータ（余裕深度処分）(5/5)

パラメータ	領域	基本条件 低 pH 条件 酸化性		変動時条件 高 pH 条件、 硝酸塩		スケール	備考（パラメータ設定根拠）
		最小値	最大値	最小値	最大値		
Th の溶解度 (mol/l)	全領域	8e-10	5e-6	8e-10	5e-6	対数	初期条件（低 pH 時、酸化性）の値は、(核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-212）の pH=8.5（3e-6)、pH＜12.5（8e-10）及び（核燃料サイクル開発機構 a, 1999, pD-9）の還元性雰囲気および酸化性雰囲気の値(5e-6,5e-6)を参考とした。 変動時条件（高 pH 条件、硝酸塩影響）の値は、(核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-212）の（pH＞12.5（6e-10)、pH=12.5（7e-10）と化学的変動に影響を強く受けないと推察されることから、初期条件の範囲と同じとした。
高ｐＨ期間終了時の分配係数回復率(%)	全領域	0				-	分配係数は、媒体の鉱物組成等に依存することから、化学異常の終了後においても、化学異常開始前には回復しないものとした。
高ｐＨ期間終了時の溶解度回復率(%)	全領域	100				-	溶解度は、主に空隙水の性状に依存することから化学異常終了後では、化学異常開始前の溶解度に復帰するものとした。

表 4.1.4-6　水理に関するパラメータ（余裕深度処分および地層処分）

パラメータ	領域	基本条件		変動時条件		スケール	備考（パラメータ設定根拠）
		最小値	最大値	最小値	最大値		
廃棄体と地下水の接触するまでの期間(年)	廃棄体	0				-	処分後速やかに、廃棄体は地下水と接触するものとした。
動水勾配	全領域	0.0044	0.23			対数	（核燃料サイクル開発機構 b, 1999, III-29,図 3.3-3 から)平均値 $10^{-1.5}$、標準偏差 0.86 として、±2σの範囲で設定。
地下水流速増加開始時刻(年)	全領域	1	1000			対数	水素ガス発生を伴う還元性腐食の開始時刻として、最小値および最大値を緩衝材内部の残存酸素量の推定結果（核燃料サイクル開発機構 e, 1999,p130）等を用いて想定する。（解析上の最小値は１年とした）
廃棄体単位体積あたりからのガス発生速度(m^3/y)グループ３、余裕深度処分	全領域	1E-3	4E-2			対数	廃棄体を収納するドラム缶を想定し、その腐食速度の範囲からガスの発生速度をもとめ、深度 100m での体積として入力する。
廃棄体単位体積あたりからのガス発生速度(m^3/y)グループ 4、余裕深度処分	全領域	1E-4	5E-3			対数	廃棄体を収納するステンレス製キャニスター、ジルカロイ等を想定し、その腐食速度の範囲からガスの発生速度をもとめ、深度 100m での体積として入力する。
地下水流速が上昇する期間（年）	全領域	–*	–*			対数	最大値は、腐食が終了するまでの期間、施設上方へのガス通気が生じるまでの期間、または、ガス発生による総排水量が廃棄体部分の排水可能な空隙体積に達するまでの期間の、最も短い期間を選択する。最小値は、地下水流速増加開始時刻に同じ。
ガス発生により空隙水が上方に押し出される期間(年)	全領域	1	1000			対数	キャピラリーバンドルモデルによる解析結果を参考として、上限を設定。
ガス発生により下方に排水される領域中の空隙水の割合	全領域	0	1			線形	施設内のガス圧の上昇に伴い、排水される空隙水体積。廃棄体領域の全空隙量に対する比率とする。
ガス通気に伴い上方に押し出される緩衝材空隙水の割合	全領域	0	0.1			対数	（核燃料サイクル開発機構、2000, P138～140)緩衝材中でガスの飽和度３～６％を参考に設定 （解析上の最小値は 1E-5 とした)。空隙水中の核種の濃度は、廃棄体とコンクリートバリアおよび緩衝材に核種が均質に分布し、分配平衡状態にあるものと仮定して求めた。
コンクリート継ぎ目の表面積に対する割合（％）		0	20			線形	コンクリート継ぎ目は、側壁及び底盤の各々について、2 箇所程度とした。継ぎ目の物質移行上の実効的な幅は、０％から数％と考えられるが、保守的に 20%までとした。
コンクリート継ぎ目中のガスの通気に要する期間（年）		継ぎ目体積/4（上部面）/ガス発生速度	固定値			—	ガス発生量と継ぎ目体積から定まる固定値
施設下部での地下水の流速（m/y）		コンクリートバリア厚さ/(継ぎ目体積/ガス発生速度)	固定値			—	ガス通気に要する期間とバリア厚さから定まる固定値

表 4.1.4-7 地球化学異常および領域の劣化に関するパラメータ（余裕深度処分および地層処分）

パラメータ	領域	基本条件		変動時条件		スケール	備考（パラメータ設定根拠）
		最小値	最大値	最小値	最大値		
地球化学異常開始時刻(年)	廃棄体コンクリートバリア	0				-	コンクリートと地下水の接触開始時刻（0年）と同じとした。
地球化学異常物質濃度(mol/l)	廃棄体コンクリートバリア	0.03	0.1			線形	地球化学異常の原因物質としては、コンクリートから溶出する、K、Na イオンおよびアルカリプルーム（OH^-）を想定し、対応するイオン濃度より決定した。セメント中の pHは、RegionI で約 13、RigionII で 12.5 であることから、（OH^-）プルーム濃度は、0.03～0.1 程度となる。また、RegionI での Na,K イオン濃度は 0.11（核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-68）とほぼ 0.1mol/l 程度であることから上限値は、0.1 となる。
地球化学異常継続期間(年)	廃棄体コンクリートバリア	1e3	1e6			対数	（核燃料サイクル開発機構他、2000）で示されたコンクリート影響継続期間である、Region-I の継続期間 1000 年、Region-III の期間 50 万年を参考として、最小値(1E3)と最大値(1E6)を決定した。
地球化学異常開始時刻(年)	ゆるみ域	0				-	支保材として使用されるコンクリート影響を考慮して 0 年とした。
地球化学異常継続期間	ゆるみ域	1e2	1e5			対数	母岩中の移流によって、硝酸塩およびコンクリート成分が緩衝材内側より速やかに流出する可能性を踏まえ、廃棄体部分での地球化学異常の継続期間より 1 桁小さな値（1e2～1e5）とした。
地球化学異常緩衝物質濃度	緩衝材	0	100			線形	緩衝材中のケイ砂量から算出した最大値は 16mol/l となるが、玉髄、ｶﾙｻｲﾄを含めてより大きな上限値（100）を設定（(h)参照）。
地球化学異常緩衝物質濃度	母岩	0	100			線形	緩衝材と同等とした。
劣化開始時刻(年)	廃棄体コンクリートバリア	0	＊			対数	最小値については、廃棄体またはゆるみ域の地球化学異常開始時刻(0)、最大値については、廃棄体またはゆるみ域での地球化学異常の終了時刻の遅い方を最大値として設定した。サンプリングの最小値は、対数サンプリングであることから、0.1 年とする。
劣化継続期間(年)	廃棄体コンクリートバリア	∞					劣化後の透水係数および実効拡散係数の回復を想定せず、劣化継続期間は∞とした。
劣化開始時刻(年)	緩衝材	1000	1e8			対数	最小値は、緩衝材劣化解析例（Noy, et al, 2000)を参考とし、緩衝材が劣化しない可能性を含む範囲まで広い値の設定を行った。
劣化継続期間(年)	緩衝材	∞					劣化後の透水係数および実効拡散係数の回復を想定せず、劣化継続期間は∞とした。

表 4.1.4-8 生物圏に関するパラメータ（余裕深度処分および地層処分）

パラメータ	領域	基本条件		変動時条件		スケール	備考（パラメータ設定根拠）
		最小値	最大値	最小値	最大値		
I-129 線量換算係数 (Sv/Bq)	生物圏	7.5E-16				対数	（核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-232）で算出された河川水シナリオにおける線量換算係数（7.5×10^{-16}Sv/Bq）を採用した。
C-14 線量換算係数 (Sv/Bq)	生物圏	1.6E-16				対数	（核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-232）で算出された河川水シナリオにおける線量換算係数（1.6×10^{-16}Sv/Bq）を採用した。
Np-237 線量換算係数 (Sv/Bq)	生物圏	8.4E-15				対数	（核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-232）で算出された河川水シナリオにおける線量換算係数（8.4×10^{-15}Sv/Bq） を採用した。
U-233 線量換算係数 (Sv/Bq)	生物圏	9.5E-16				対数	（核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-232）で算出された河川水シナリオにおける線量換算係数（9.5×10^{-16}Sv/Bq） を採用した。。
Th-229 線量換算係数 (Sv/Bq)	生物圏	3.9E-13				対数	（核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-232）で算出された河川水シナリオにおける線量換算係数（3.9×10^{-13}Sv/Bq） を採用した。

(2) 地層処分に関する各パラメータの設定（地質環境）

本研究では、余裕深度処分において想定する地質環境は昨年度までの研究での設定と同様としているが、地層処分については、本研究における地質環境を新たに想定する必要がある。TRU 処分概念検討書では、地層処分における地質環境として、以下の条件を想定している。

(a) 地形条件

低地

(b) 岩種

新第三紀堆積岩（泥質岩・凝灰質岩）

(c) 水理条件

透水係数　10^{-9}m/s（但し、感度解析における透水係数設定範囲は、10^{-8}～10^{-10}m/s としている。）

空隙率：20%

動水勾配：0.01

(d) 地下水化学環境

降水系－高 pH 型地下水環境（但し、感度解析において考慮した地下水化学環境：海水系－高 pH 型地下水環境も考慮するものとしている。）

(e) 核種移行距離

100m（但し、感度解析として 100～500mで変動させている。）

以上を参考として、地質環境の設定およびこれにもとづくパラメータ範囲を決定する必要がある。次ページ以降の表にパラメータを一覧表としてまとめる。

表 4.1.4-9　天然バリアの基本特性に関するパラメータ（地層処分）

パラメータ	領域	基本条件		変動時条件		スケール	備考（パラメータ設定根拠）
		最小値	最大値	最小値	最大値		
核種移行距離(m)	母岩	50	500			線形	（核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-210,p4-233)を参照するとともに、最小値については（核燃料サイクル開発機構他、2000）で 100m として評価していることを参考に、広く感度を確認するために 50mとした。
透水係数(m/s)	母岩	1E-10	1E-6	基本条件で選択された値	基本条件の最大値と同じ値	対数	基本条件については（核燃料サイクル開発機構他、2000, p1-21)を参照して変動範囲を設定。変動条件については、最小値は基本条件で選択された値と同じとし、最大値は基本条件の最大値と同じ値とする。
空隙率	母岩	0.01	0.5	基本条件で選択された値	基本条件の最大値と同じ値	対数	（核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-214)の結晶質岩(0.02)と堆積岩(0.2)を参考にして、亀裂等で限定される地下水流路の実効的な空隙を想定し、広い範囲で設定。変動条件については、最小値は基本条件で選択された値と同じとし、最大値は基本条件の最大値と同じ値とする。
分散長（距離で規格化）	母岩	0.01	1			対数	（核燃料サイクル開発機構 d,1999, pV-64)に示される分散長幅、0.01～1 の範囲を想定した。

表 4.1.4-10　核種の移行特性に関するパラメータ（地層処分）(1/3)

パラメータ	領域	基本条件 低ｐH 条件 酸化性影響		変動時条件 高 pH 条件, 硝酸塩		スケール	備考（パラメータ設定根拠）
		最小値	最大値	最小値	最大値		
I の分配係数	母岩	0	0.0001	基本条件の最小値と同じ値	0.001	対数	母岩の I の kd の基本条件については、（核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-214）より、結晶質岩(0.0001)、堆積岩(0.0001)の値を考慮して、最小値を 0 と仮定して設定した。変動時条件については、（核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-238）より、結晶質岩に対する硝酸塩（0）と高アルカリプルーム（0.001)、堆積岩に対する硝酸塩（0）と高アルカリプルーム(0.001)より、最小値については、基本条件の最小値と同じ値とし、最大値は 0.001 とした。サンプリングの最小値は、遅延係数(分配係数が０の場合、遅延係数は１)の変化が核種移行に有意な影響を与えない範囲（遅延係数で 1.01 以下）を想定し、$1x10^{-7}$ とした。（真密度 2700kg/m3、間隙率 0.02～0.2 で計算すると１＋0.01 オーダになる kd の値は 7.5E-8～9.3E-07m3/Kg、そのため、解析上の０を「1E-7」とした）
C の分配係数	母岩	0	0.0001	基本条件の最小値と同じ値	1	対数	母岩の C の kd の基本条件については、（核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-214）より、結晶質岩(0.0001)、堆積岩(0.0001）の値を考慮して、最小値を 0 と仮定して設定した。変動時条件については、（核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-238)より、結晶質岩に対する硝酸塩（0）と高アルカリプルーム（1)、堆積岩に対する硝酸塩（0）と高アルカリプルーム(1）より、最小値については、基本条件の最小値と同じ値とし、最大値は 1 とした。
Np の分配係数	母岩	0.005	1	基本条件の最小値と同じ値	5	対数	母岩の Np の kd の基本条件については、（核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-214）より、結晶質岩(1)、堆積岩(1)の値、及び（核燃料サイクル開発機構 a, 1999, D-9)より、酸化性雰囲気条件下の分配係数値(0.005)を参考に範囲を設定した。変動時条件については、（核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-238)より、結晶質岩に対する硝酸塩（1）と高アルカリプルーム（5)、堆積岩に対する硝酸塩（1）と高アルカリプルーム(5)を考慮し、分配係数が大きくなる傾向が見られることから、最小値は基本条件で選択された値と同じとし、最大値については５とした。

表 4.1.4-10　**核種の移行特性に関するパラメータ（地層処分）**（2/3）

パラメータ	領域	基本条件 低ｐH 条件 酸化性影響		変動時条件 高 pH 条件, 硝酸塩		スケール	備考（パラメータ設定根拠）
		最小値	最大値	最小値	最大値		
U の分配係数	母岩	0.005	1	基本条件の最小値と同じ値	5	対数	Np と同様の範囲とした。
Th の分配係数	母岩	0.005	1	基本条件の最小値と同じ値	5	対数	Np と同様の範囲とした。
I の溶解度 (mol/l)	全領域	易溶性				-	初期条件（低 pH 時）の値は、（核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-212)の pH=8.5（易溶性）、pH＜12.5（易溶性）を参考とした。 変動時条件（高 pH 条件、硝酸塩影響）の値は、（核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-212)の（pH＞12.5（易溶性）、pH=12.5（易溶性）を参考に範囲を設定した。 易溶性とする場合の解析上の設定値は $1x10^6$ mol/m^3 とした。
C の溶解度 (mol/l)	全領域	1E-5	易溶性	7E-8	7E-5	対数	初期条件（低 pH 時）の値は、（核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-212）の pH=8.5（易溶性）、pH＜12.5（1.0E-05）を参考とした。 変動時条件（高 pH 条件、硝酸塩影響）の値は、（核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-212）の（pH＞12.5（7.0E-08)、pH=12.5（7.0E-05）を参考に範囲を設定した。 易溶性とする場合の解析上の設定値は $1x10^6$ mol/m^3 とした。
Np の溶解度 (mol/l)	全領域	6e-09	4E-5	5e-09	基本条件で選択された値	対数	初期条件（低 pH 時、酸化性）の値は、（核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-212）の pH=8.5（9.0e-08)、pH＜12.5（6.0e-09）及び（核燃料サイクル開発機構 a, 1999, pD-9）の酸化性雰囲気の値(4.0E-05)を参考とした。 変動時条件（高 pH 条件、硝酸塩影響）の値は、（核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-212）の（pH＞12.5（5.0E-09)、pH=12.5（5.0E-09）より、溶解度が小さくなる傾向が見られることから、最小値は 5.0E-09、最大値は基本条件で選択された値と同じとした。

表 4.1.4-10　核種の移行特性に関するパラメータ（地層処分）(3/3)

パラメータ	領域	基本条件 低 pH 条件 酸化性		変動時条件 高 pH 条件、 硝酸塩		スケール	備考（パラメータ設定根拠）
		最小値	最大値	最小値	最大値		
U の溶解度 (mol/l)	全領域	8e-9	5e-3	8e-9	5e-3	対数	初期条件（低 pH 時、酸化性）の値は、(核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-212）の pH=8.5（6E-08)、pH＜12.5（1e-8）及び（核燃料サイクル開発機構 a, 1999, pD-9）の還元性雰囲気および酸化性雰囲気の値(8e-9,5e-3)を参考とした。 変動時条件（高 pH 条件、硝酸塩影響）の値は、(核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-212）の（pH＞12.5（1e-8)、pH=12.5（1e-8）と化学的変動に影響を受けないと推察されることから、初期条件の範囲と同じとした。
Th の溶解度 (mol/l)	全領域	8e-10	5e-6	8e-10	5e-6	対数	初期条件（低 pH 時、酸化性）の値は、(核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-212）の pH=8.5（3e-6)、pH＜12.5（8e-10）及び（核燃料サイクル開発機構 a, 1999, pD-9）の還元性雰囲気および酸化性雰囲気の値(5e-6,5e-6)を参考とした。 変動時条件（高 pH 条件、硝酸塩影響）の値は、(核燃料サイクル開発機構他、2000, p4-212）の（pH＞12.5（6e-10)、pH=12.5（7e-10）と化学的変動に影響を強く受けないと推察されることから、初期条件の範囲と同じとした。
高ｐH 期間終了時の分配係数回復率(%)	全領域	0				-	分配係数は、媒体の鉱物組成等に依存することから、化学異常の終了後においても、化学異常開始前には回復しないものとした。
高ｐH 期間終了時の溶解度回復率(%)	全領域	100				-	溶解度は、主に空隙水の性状に依存することから化学異常終了後では、化学異常開始前の溶解度に復帰するものとした。

表 4.1.4-11　水理に関するパラメータ（地層処分）

パラメータ	領域	基本条件		変動時条件		スケール	備考（パラメータ設定根拠）
		最小値	最大値	最小値	最大値		
動水勾配	全領域	0.0044	0.23			対数	（核燃料サイクル開発機構 b, 1999, III-29,図 3.3-3 から）平均値 $10^{-1.5}$、標準偏差 0.86 として、±2σの範囲で設定。
廃棄体単位体積あたりからのガス発生速度 (m^3/y) グループ１、地層処分	全領域	2E-4	8E-3			対数	廃棄体を収納するドラム缶を想定し、その腐食速度の範囲からガスの発生速度をもとめ、深度 500m での体積として入力する。
廃棄体単位体積あたりからのガス発生速度 (m^3/y) グループ２、地層処分	全領域	2E-5	1E-3			対数	廃棄体を収納するステンレス製キャニスター、ジルカロイ等を想定し、その腐食速度の範囲からガスの発生速度をもとめ、深度 500m での体積として入力する。
廃棄体単位体積あたりからのガス発生速度 (m^3/y) グループ３、地層処分	全領域	2E-4	8E-3			対数	廃棄体を収納するドラム缶を想定し、その腐食速度の範囲からガスの発生速度をもとめ、深度 500m での体積として入力する。
廃棄体単位体積あたりからのガス発生速度 (m^3/y) グループ 4、地層処分	全領域	2E-5	1E-3			対数	廃棄体を収納するステンレス製キャニスター、ジルカロイ等を想定し、その腐食速度の範囲からガスの発生速度をもとめ、深度 500m での体積として入力する。
コンクリート継ぎ目の表面積に対する割合（%）		0	20			線形	コンクリート継ぎ目は、側壁及び底盤の各々について、2 箇所程度とした。継ぎ目の物質移行上の実効的な幅は、０%から数%と考えられるが、保守的に20%までとした。
コンクリート継ぎ目中のガスの通気に要する期間（年）		継ぎ目体積/４（上部面）/ガス発生速度	固定値			―	ガス発生量と継ぎ目体積から定まる固定値
施設下部での地下水の流速（m/y）		コンクリートバリア厚さ/(継ぎ目体積/ガス発生速度)	固定値			―	ガス通気に要する期間とバリア厚さから定まる固定値

4.1.5 余裕深度処分における感度分析結果

(1) 余裕深度処分における核種移行解析結果

余裕深度処分では、以下の 4 ケースの廃棄物区分の核種移行解析を実施した。

① 廃棄体グループ３　50GBq/ton 以下の廃棄体を処分する場合

② 廃棄体グループ４　50GBq/ton 以下の廃棄体を処分する場合

③ 廃棄体グループ３　１GBq/ton 以下の廃棄体を処分する場合

④ 廃棄体グループ４　１GBq/ton 以下の廃棄体を処分する場合

余裕深度処分についての統計的解析は、以下の解析数を実施した。

表 4.1.5-1　余裕深度処分の統計的解析数

廃棄体グループ	濃度基準	緩衝材使用	緩衝材なし
グループ3	50GBq/t	3931	1198
グループ4	50GBq/t	4748	817
グループ3	1GBq/t	4109	2386
グループ4	1GBq/t	4554	1196

(a) ベントナイトを用いる処分概念

これらの廃棄体グループでの 10μSv/y を下回る割合を表 4.1.5-2 にまとめる。グループ３および４の 50GBq/ton を超える廃棄体を余裕深度処分する場合の前年度の解析結果と比較すると、本年度解析結果が、より多い割合で 10μSv/y を下回る結果となっている(前年度報告書参照)。この変動の原因として考えられることは、前年度の解析とは、パラメータの選択範囲が異なることと、今年度の解析では、線量換算係数について、標準的な値（核燃料サイクル開発機構他、2000）を用いたことが大きく影響しているためと考えられる。全域的な解析結果では、どの廃棄体グループにおいても、10μSv/y を下回る解析ケースの割合は 50%を超える。特に、グループ３の１GBq/ton 以下

の廃棄体を処分する場合には、95%以上の割合で 10μSv/y を下回る。何れの廃棄体グループにおいても基準とする線量を越える原因となりうる核種は、Np-237 系列の Th-229 であった。これに続き、I-129、Np-237 が、10μSv/y を超える原因となっている。

表 4.1.5-3 に示した、線量換算係数を標準の 10 倍とするケースと、表 4.1.5-4 に示した 100 倍とするケースで、基準とする線量（10μSv/y）を下回る割合の変化を比較する。後述の SI 法による感度分析においても、基準とする線量を下回るケースの割合の変化から感度を求めているが、ここでは、線量換算係数を、10 倍、100 倍することにより、基準とする線量を下回る割合を求めた。図 4.1.5-1～図 4.1.5-2 に、線量換算係数を変化させる場合の、基準線量（10μSv/y）を下回る割合を比較する。

図 4.1.5-3～図 4.1.5-6 に、最大被ばく線量の値と、その出現時期をまとめて示す。いずれの廃棄体グループにおいても、I-129、C-14 に起因する被ばく線量の最大値は、10^3 年～10^4 年に出現する。これに対し、Np 系列核種による被ばく線量の最大値は、10^4 年以降となっている。また、被ばく線量の加算値では、グループ３（50GBq/ton, 1GBq/ton）が、I-129 および Th-229 の２つの核種によって、最大被ばく線量を与える結果となっている。これに対して、グループ４は、Np 系列核種（特に、Th-229）に依存して、最大被ばく線量が与えられる結果となっている。

表 4.1.5-2　余裕深度処分で 10μSv/y を下回る割合（緩衝材あり）

余裕深度処分	核種					
廃棄体グループ	I-129	C-14	Np-237	U-233	Th-229	Total
グループ３ 50GBq/ton	98.4%	99.5%	97.2%	99.8%	77.1%	74.3%
グループ４ 50GBq/ton	100.0%	100.0%	91.0%	99.4%	54.5%	53.2%
グループ３ 1GBq/ton	99.5%	100.0%	99.9%	100.0%	97.2%	96.5%
グループ４ 1GBq/ton	100.0%	100.0%	99.0%	100.0%	89.3%	88.7%

表 4.1.5-3　余裕深度処分で 10μSv/y を下回る割合

（線量換算係数 10 倍，緩衝材あり）

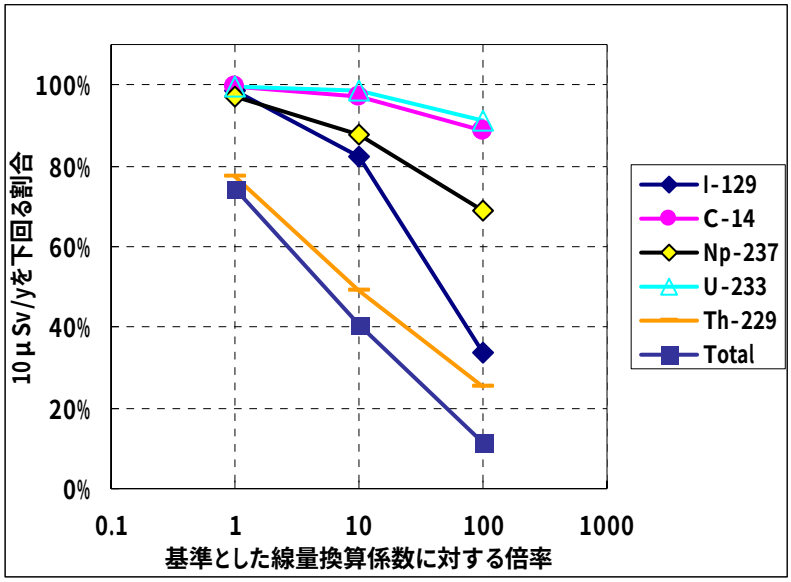
余裕深度処分	核種					
廃棄体グループ	I-129	C-14	Np-237	U-233	Th-229	Total
グループ３ 50GBq/ton	82.4%	96.9%	87.8%	98.8%	49.2%	40.8%
グループ４ 50GBq/ton	99.9%	99.9%	72.6%	94.0%	28.9%	28.1%
グループ３ 1GBq/ton	95.3%	99.9%	98.7%	100.0%	84.4%	78.8%
グループ４ 1GBq/ton	100.0%	100.0%	94.2%	99.6%	66.9%	65.7%

表 4.1.5-4　余裕深度処分で 10μSv/y を下回る割合

（線量換算係数 100 倍，緩衝材あり）

余裕深度処分	核種					
廃棄体グループ	I-129	C-14	Np-237	U-233	Th-229	Total
グループ３ 50GBq/ton	33.8%	88.8%	69.1%	91.3%	25.3%	11.4%
グループ４ 50GBq/ton	99.2%	99.0%	48.7%	75.3%	13.5%	13.0%
グループ３ 1GBq/ton	66.3%	98.6%	92.1%	99.3%	58.7%	38.9%
グループ４ 1GBq/ton	100.0%	100.0%	80.5%	96.4%	39.3%	38.1%

グループ３　50GBq/ton



グループ３　1GBq/ton

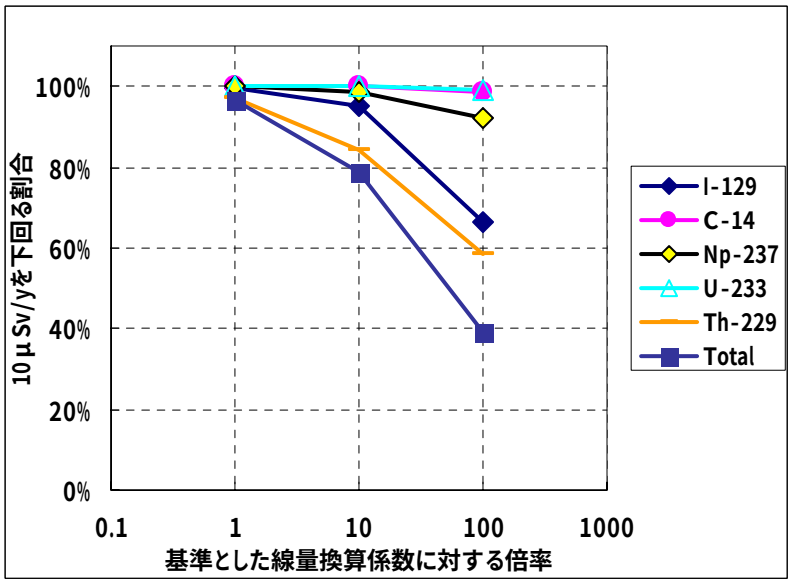
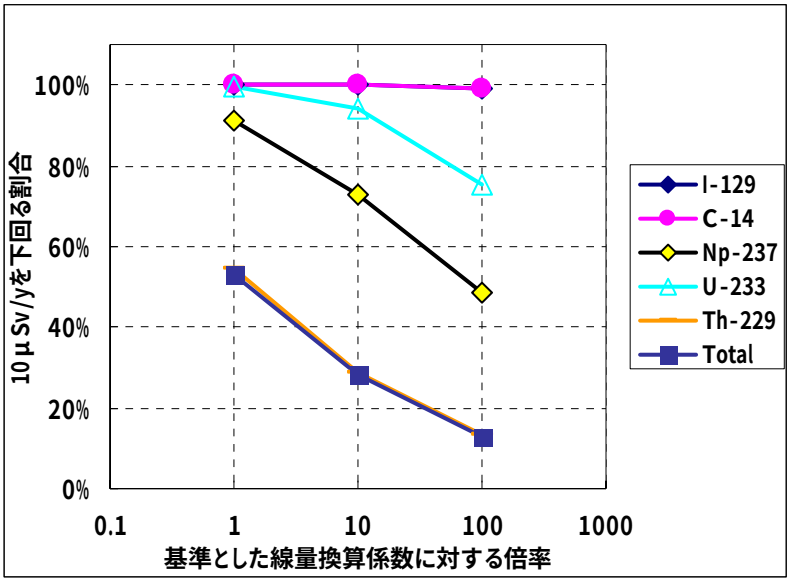


図 4.1.5-1　**グループ３余裕深度処分、基準を下回る割合の変化（緩衝材あり）**

グループ４　50GBq/ton



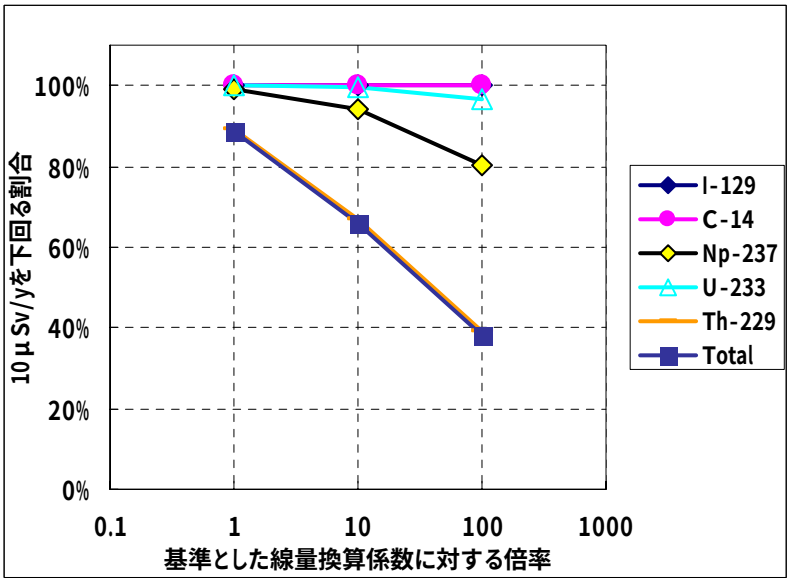


図 4.1.5-2　**グループ４余裕深度処分、基準を下回る割合の変化（緩衝材あり）**

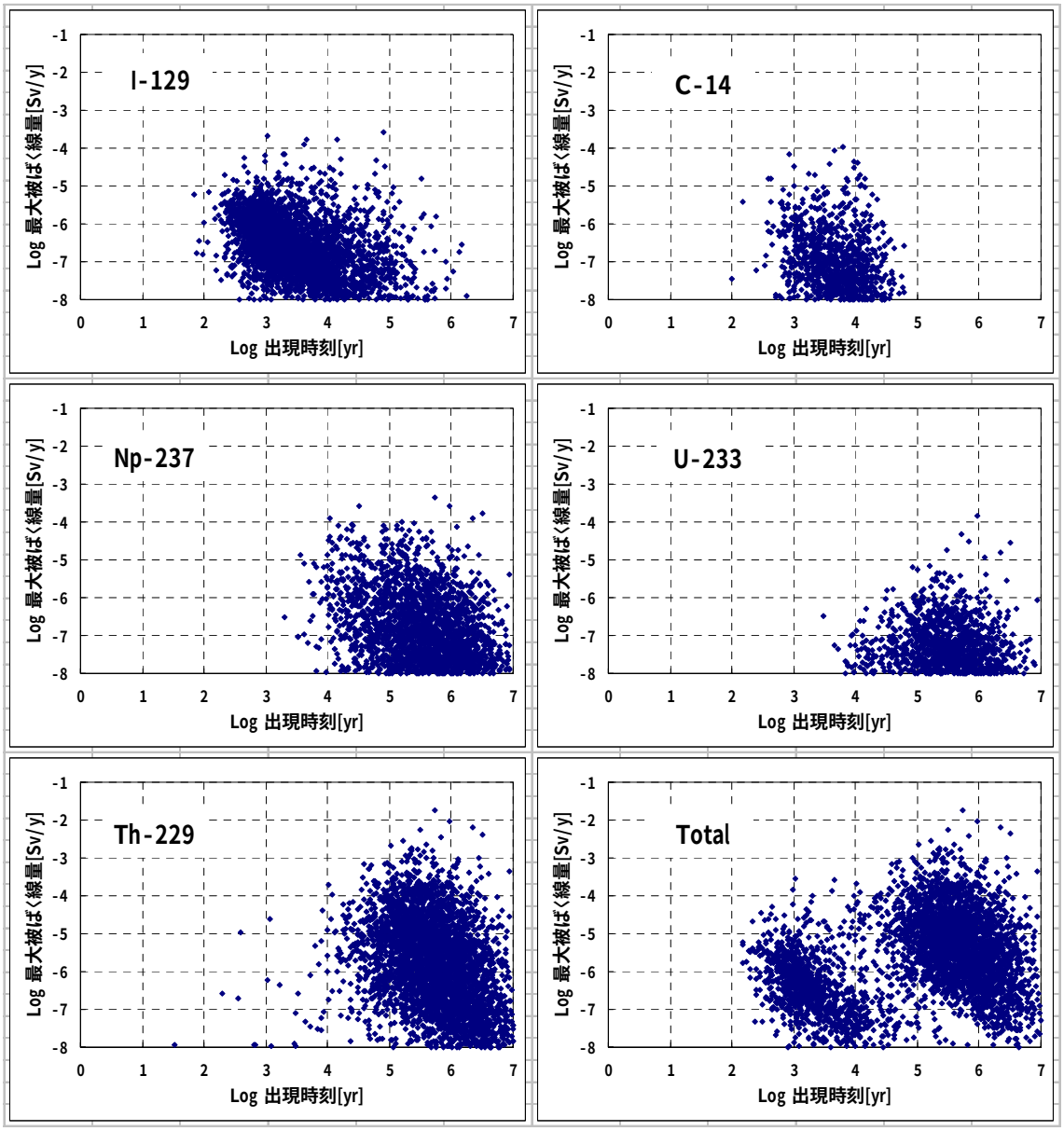


図 4.1.5-3　**グループ３余裕深度処分、最大被ばく線量と出現時期の関係**

（50GBq/ton,**緩衝材あり）**

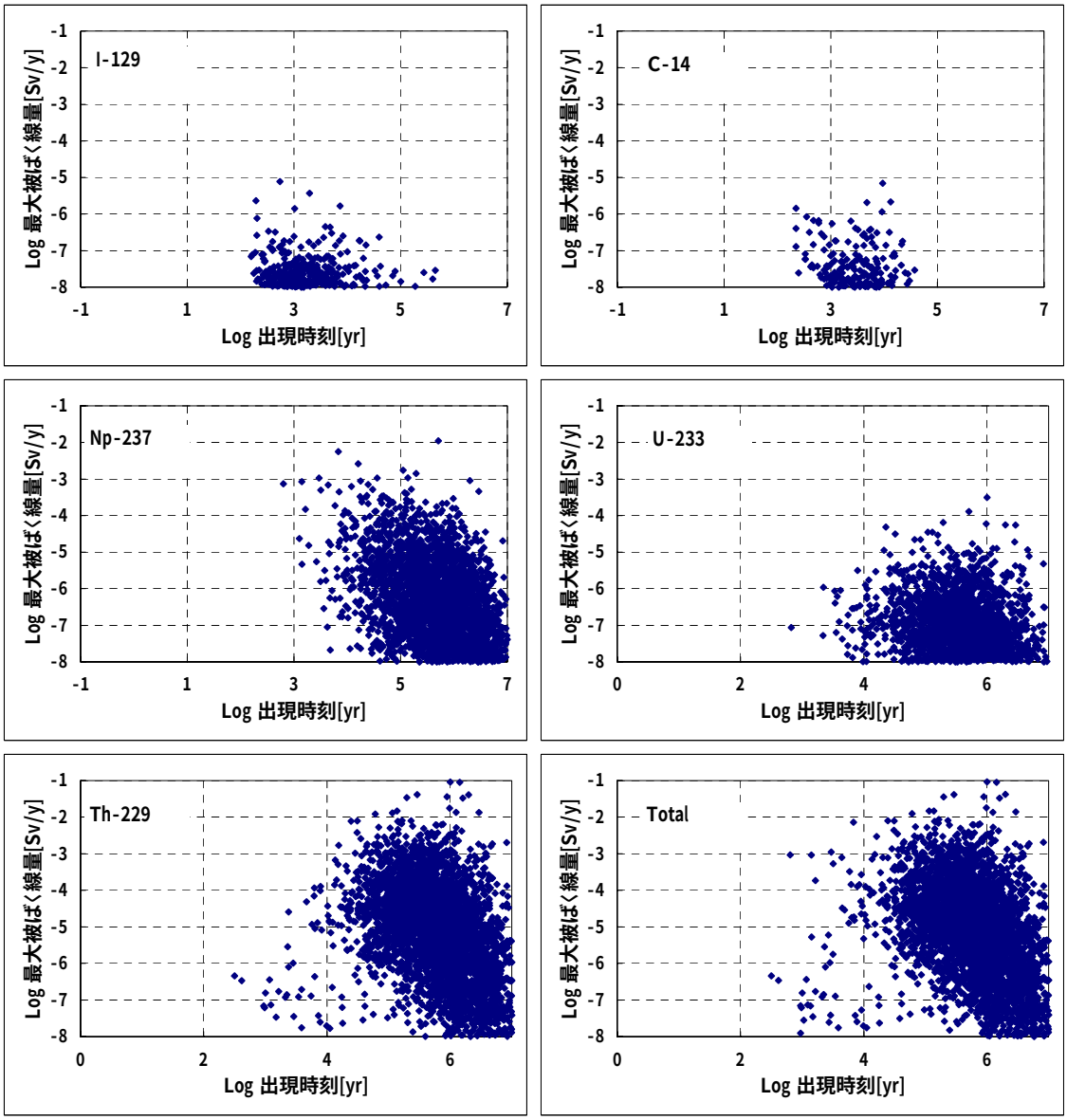


図 4.1.5-4　**グループ４余裕深度処分、最大被ばく線量と出現時期の関係**

（50GBq/ton**，緩衝材あり）**

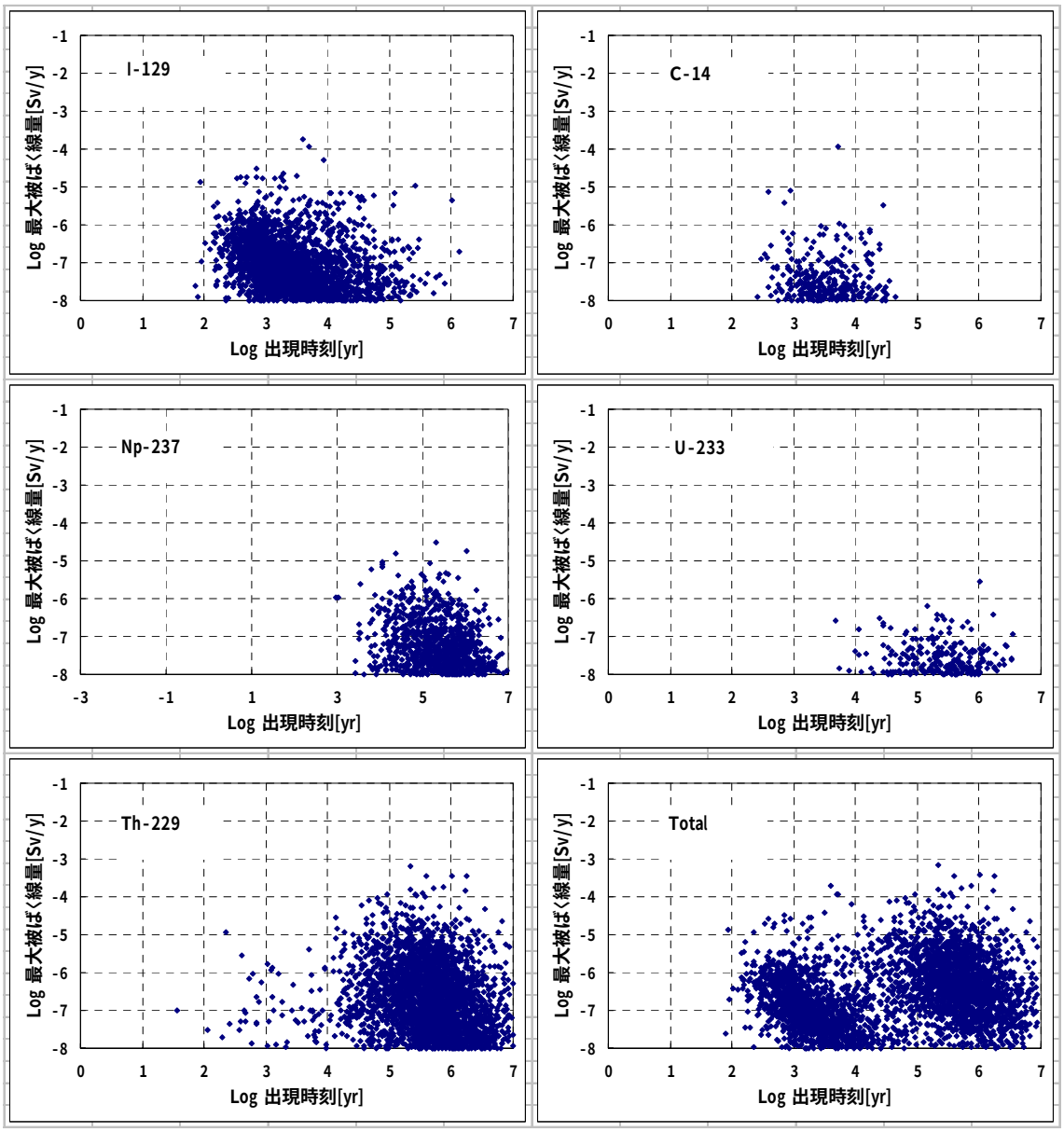


図 4.1.5-5　**グループ３余裕深度処分、最大被ばく線量と出現時期の関係**

（1GBq/ton**，緩衝材あり）**

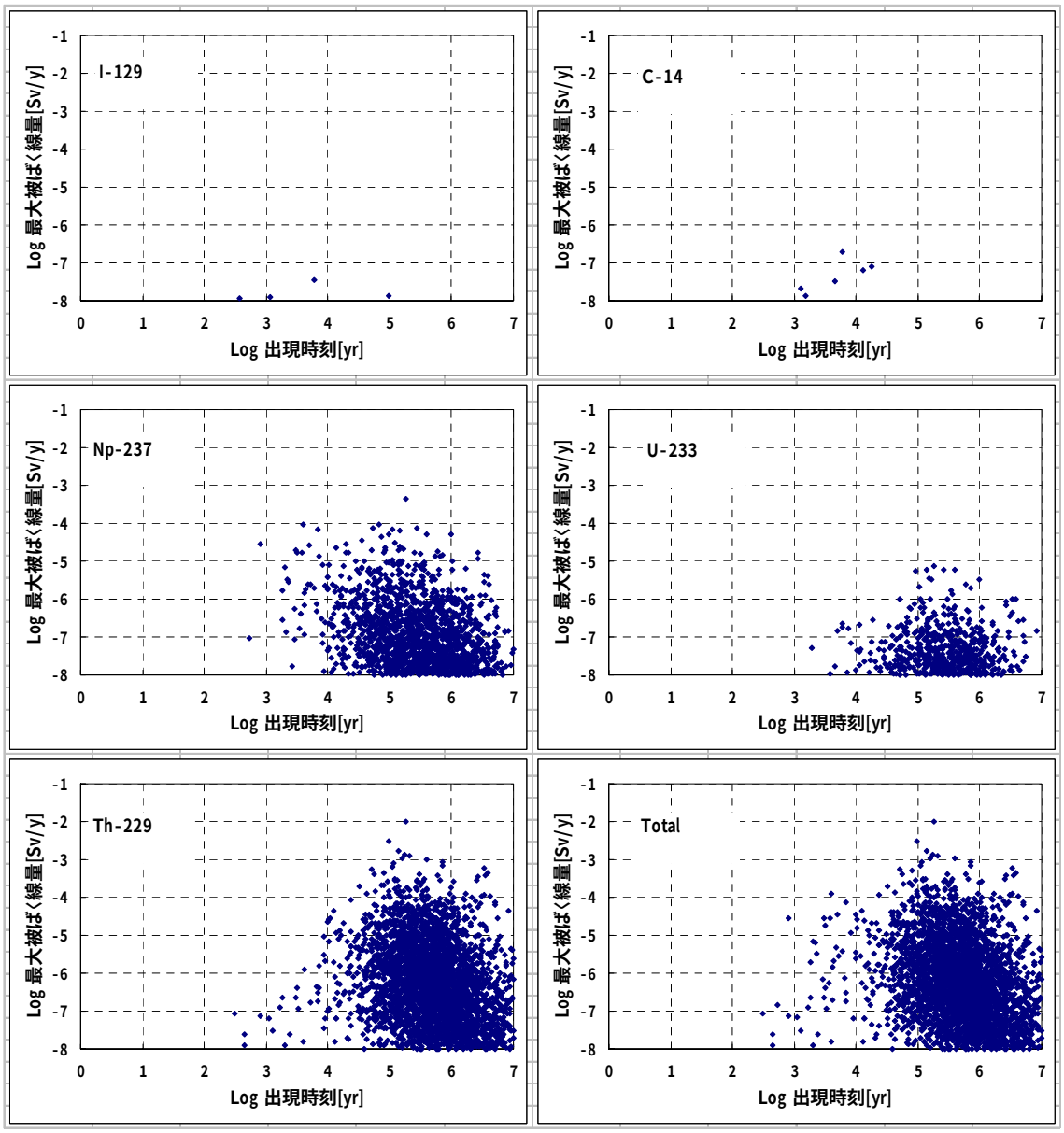


図 4.1.5-6　**グループ４余裕深度処分の最大被ばく線量と出現時期の関係**

（1GBq/ton**，緩衝材あり）**

(b) 緩衝材を用いないケース

緩衝材を用いない処分概念での解析結果を表 4.1.5-5～表 4.1.5-7 にまとめる。解析ケースは(a)と同様に、以下の 4 ケースである。

① 廃棄体グループ３　50GBq/ton 以下の廃棄体を処分する場合
② 廃棄体グループ４　50GBq/ton 以下の廃棄体を処分する場合
③ 廃棄体グループ３　１GBq/ton 以下の廃棄体を処分する場合
④ 廃棄体グループ４　１GBq/ton 以下の廃棄体を処分する場合

緩衝材を用いるケースと比較すると、基準を下回るケースの割合は、低下するものとなった。ただし、グループ 4　1GBq/ton の場合のように廃棄体の区分によっては割合の変化は小さく、緩衝材の有無により大きな変動が見られない場合もある。

グループ３（50GBq/ton、1GBq/ton）では、緩衝材を使用するケースに比較して、I-129、C-14、Np-237 単独で 10μSv/y を超えるケースが増加している。これに対して、Th-229 によって 10μSv/y を越えるケースの割合は、緩衝材を用いるケースに比較して減少している。これは、Np-237 が崩壊し、Th-229 が生成される前に、Np が生物圏へ放出されているためと考えられる。最大被ばく線量とその出現時刻を示す図（図 4.1.5-11～図 4.1.5-14 参照）からも判るように、Np-237 による線量の最大値が出現する時刻は、10^2 年～10^3 年と、緩衝材を用いるケースに比較して早くなっている。この傾向は、グループ４でも同様であった。

I-129、C-14 の処分量が少なく Np-237 の処分量が多いグループ４（50GBq/ton 以上を地層処分とする場合）では、Np-237、Th-229 の SI 値は、緩衝材を用いる場合に比較して低下している。特に、Np-237 の SI 値の低下は著しく、結果として、緩衝材を用いない場合には、用いた場合に較べて、被ばく線量の合計値は増加することになる。

表 4.1.5-5　余裕深度処分で 10μSv/y を下回る割合（緩衝材なし）

余裕深度処分	核種					
廃棄体グループ	I-129	C-14	Np-237	U-233	Th-229	Total
グループ３　50GBq	71.8%	78.5%	82.0%	100.0%	80.5%	43.0%
グループ４　50GBq	99.9%	99.5%	58.2%	99.9%	48.3%	28.7%
グループ３　1GBq	84.3%	97.3%	97.6%	100.0%	98.8%	79.4%
グループ４　1GBq	100.0%	100.0%	92.9%	100.0%	93.5%	87.0%

表 4.1.5-6　余裕深度処分で 10μSv/y を下回る割合

（線量換算係数 10 倍，緩衝材なし）

余裕深度処分	核種					
廃棄体グループ	I-129	C-14	Np-237	U-233	Th-229	Total
グループ３　50GBq	34.1%	44.5%	50.9%	99.7%	42.7%	8.02%
グループ４　50GBq	95.3%	91.5%	24.9%	94.1%	13.8%	3.43%
グループ３　1GBq	56.9%	83.4%	86.6%	100.0%	87.2%	41.8%
グループ４　1GBq	100.0%	100.0%	71.9%	100.0%	68.3%	50.0%

表 4.1.5-7　余裕深度処分で 10μSv/y を下回る割合

（線量換算係数 100 倍，緩衝材なし）

余裕深度処分	核種					
廃棄体グループ	I-129	C-14	Np-237	U-233	Th-229	Total
グループ３　50GBq	5.43%	13.1%	21.8%	92.6%	9.61%	0.251%
グループ４　50GBq	76.3%	65.2%	5.76%	66.7%	2.45%	0.245%
グループ３　1GBq	21.6%	50.9%	60.3%	99.9%	51.3%	8.13%
グループ４　1GBq	100.0%	99.7%	39.9%	98.7%	27.8%	12.4%

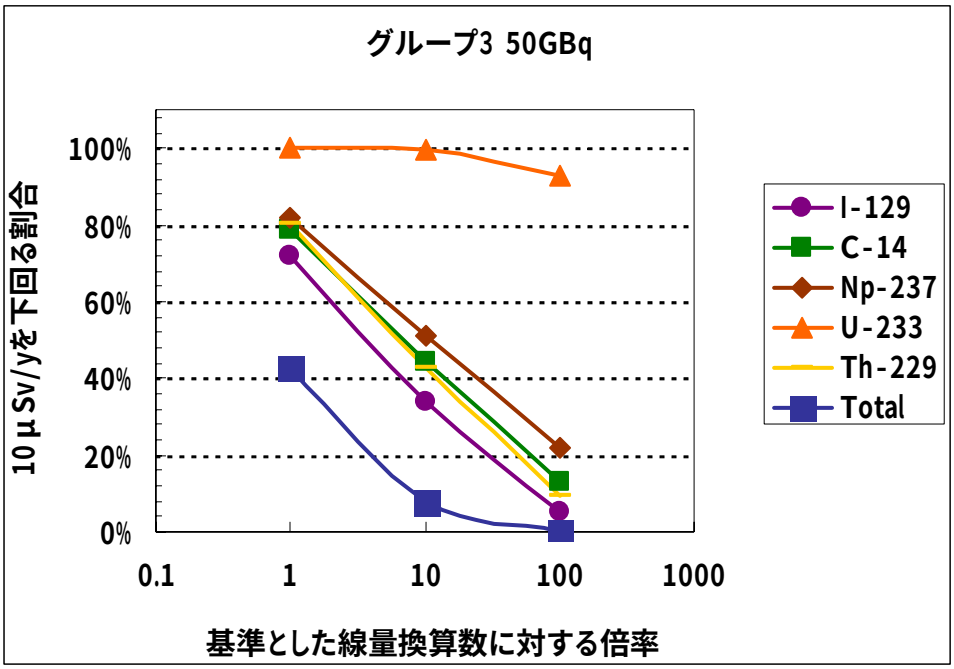


図 4.1.5-7　グループ３余裕深度処分の基準を下回る割合の変化

（50GBq/ton，緩衝材なし）

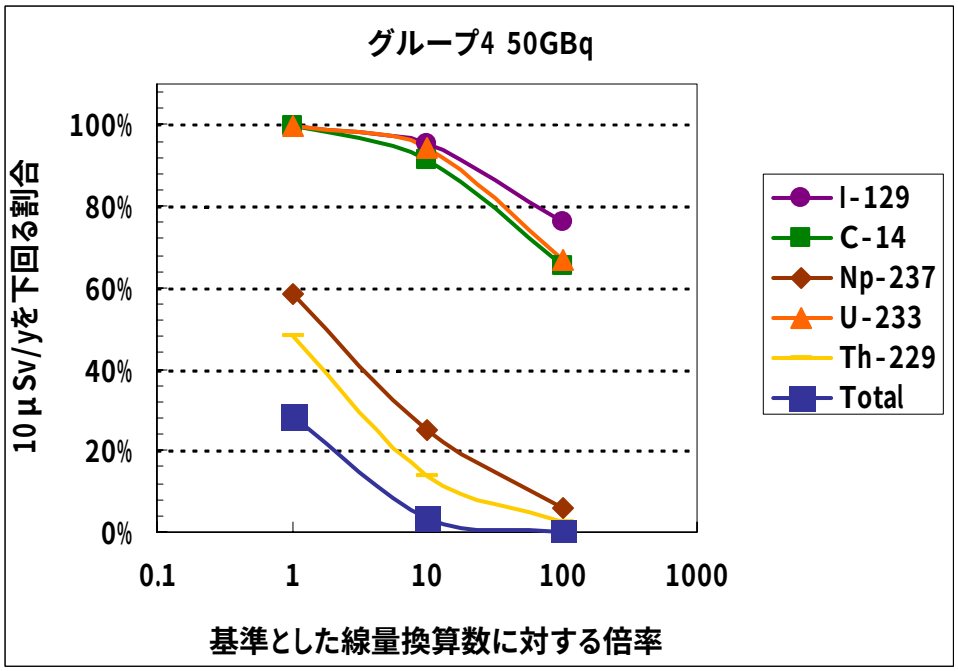


図 4.1.5-8　グループ 4 余裕深度処分の基準を下回る割合の変化

（50GBq/ton，緩衝材なし）

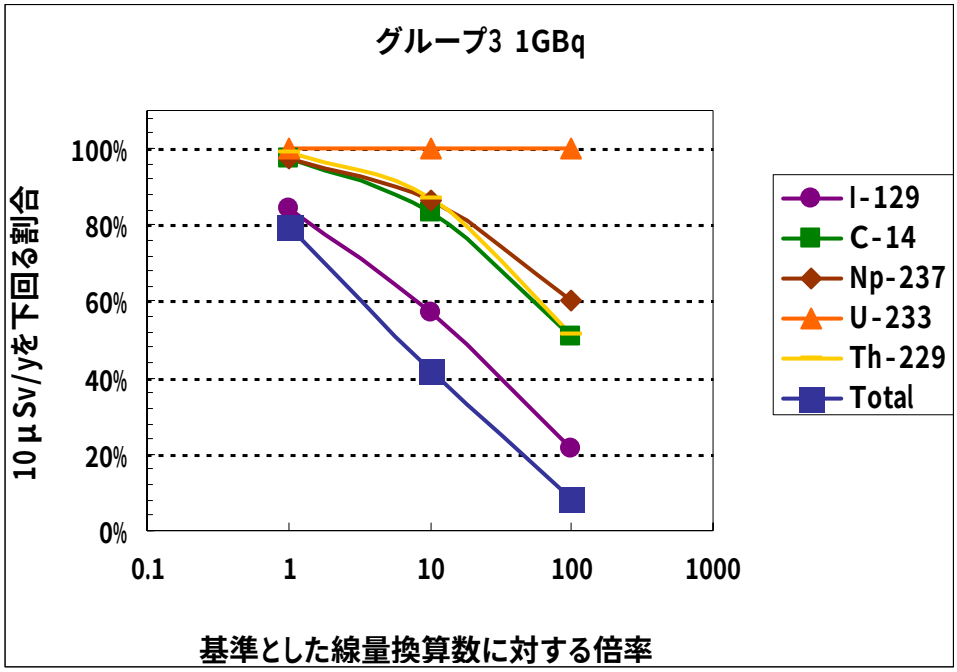


図 4.1.5-9　グループ３余裕深度処分の基準を下回る割合の変化

（1GBq/ton，緩衝材なし）

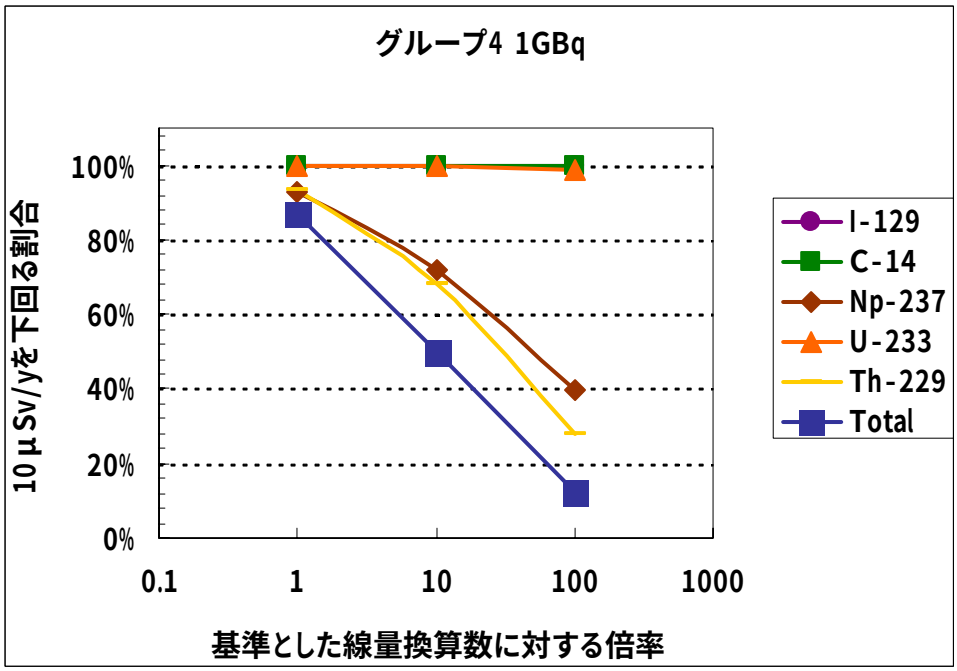
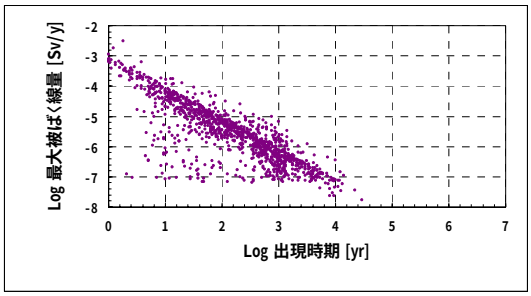
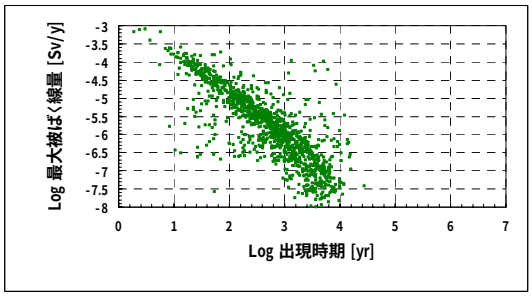


図 4.1.5-10　グループ 4 余裕深度処分の基準を下回る割合の変化

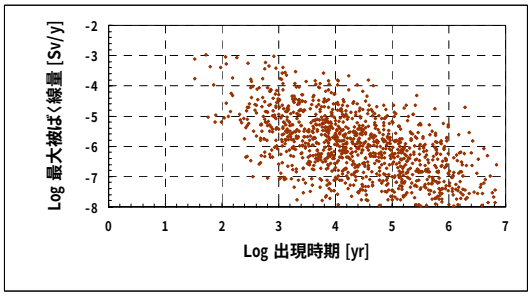
（1GBq/ton，緩衝材なし）



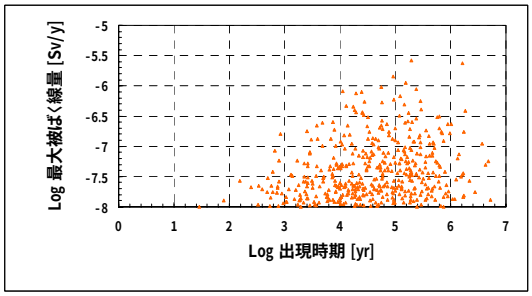
I



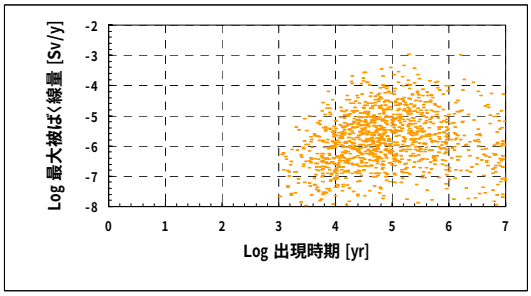
C



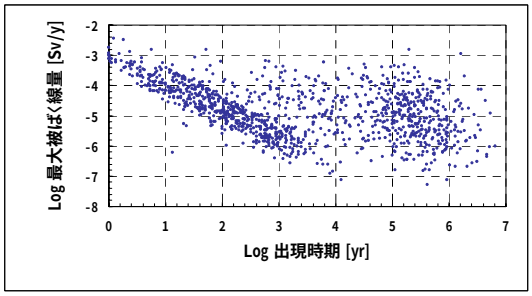
Np



U



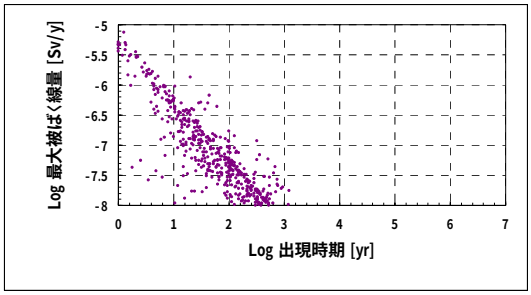
Th



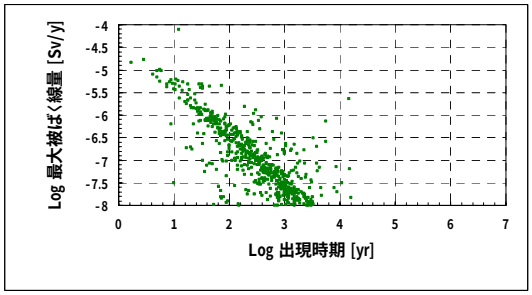
合計

図 4.1.5-11　**グループ３余裕深度処分の最大被ばく線量と出現時期の関係**

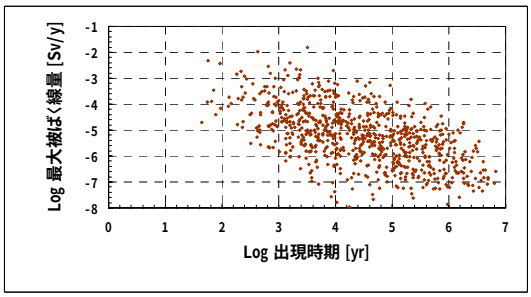
（50GBq/ton**，緩衝材なし）**



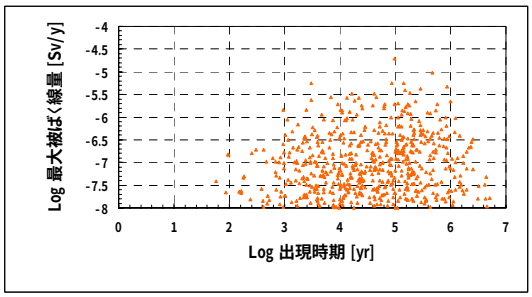
I



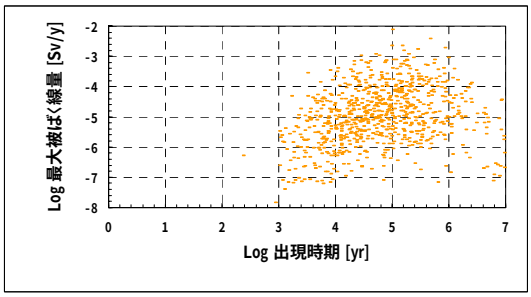
C



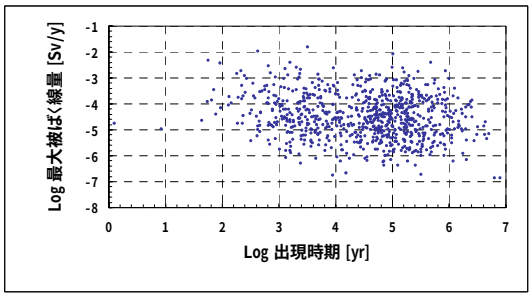
Np



U



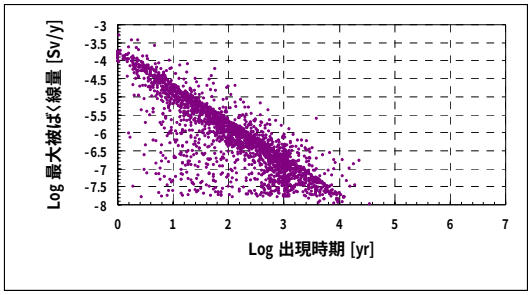
Th



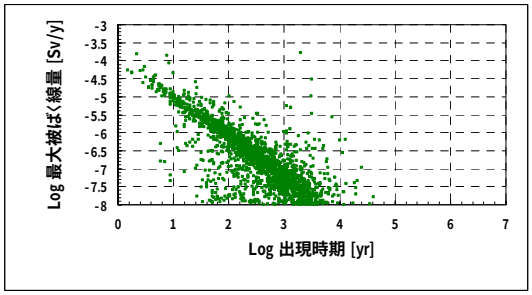
合計

図 4.1.5-12　**グループ４余裕深度処分の最大被ばく線量と出現時期の関係**

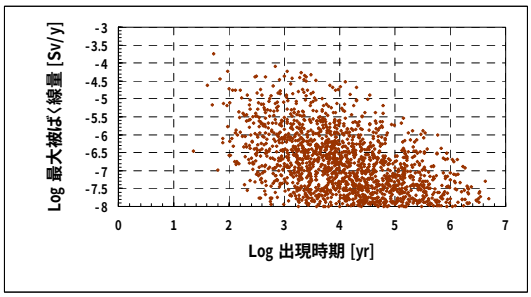
（50GBq/ton**，緩衝材なし）**



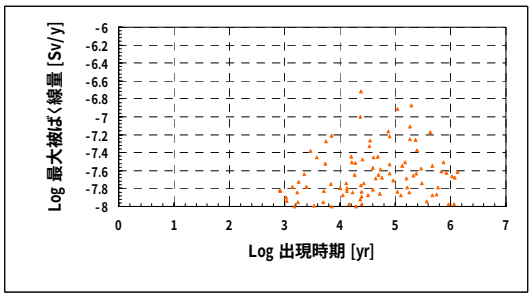
I



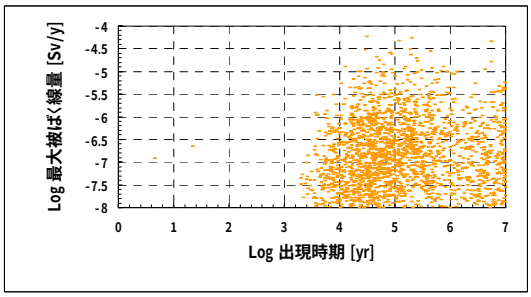
C



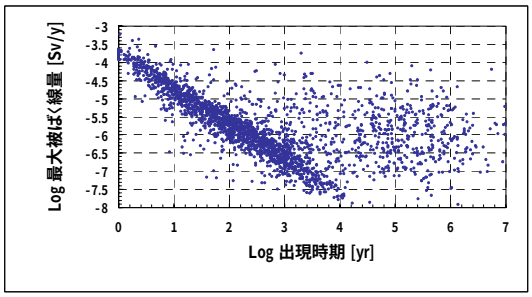
Np



U



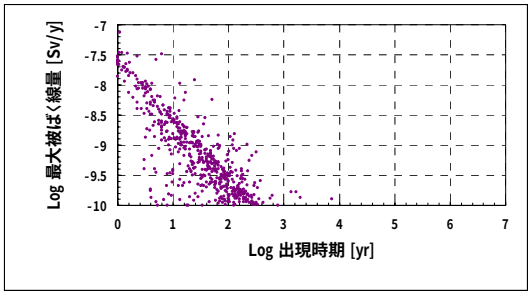
Th



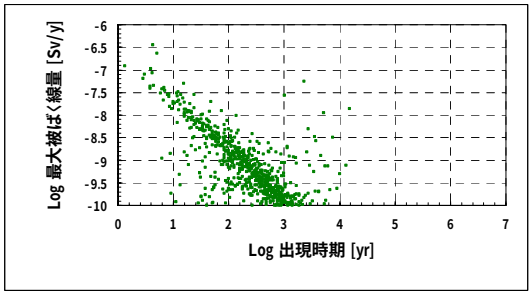
合計

図 4.1.5-13　**グループ３余裕深度処分の最大被ばく線量と出現時期の関係**

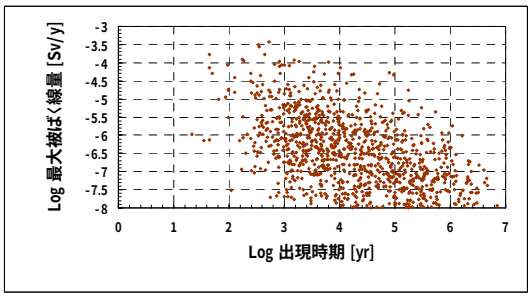
（1GBq/ton**，緩衝材なし）**



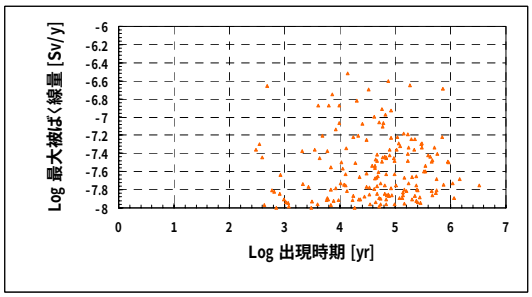
I



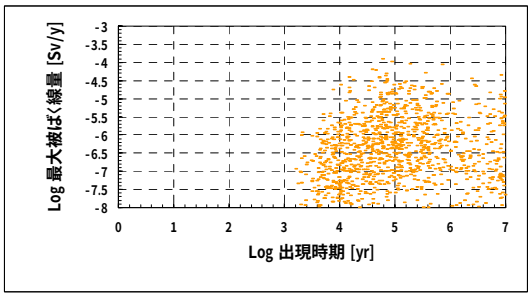
C



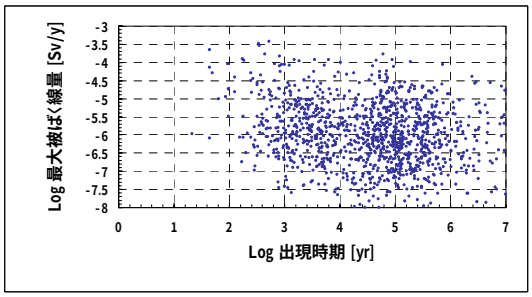
Np



U



Th



合計

図 4.1.5-14　**グループ４余裕深度処分の最大被ばく線量と出現時期の関係**

（1GBq/ton**，緩衝材なし）**

(2) 感度分析結果

感度分析による被ばく線量に感度の大きなパラメータの抽出は、SI 法およびムービングバンド法を用いて実施した。主に、本年度開発を行った手法である SI 法による分析を主とするが、本研究で基準線量の目標としている 10μSv/y を超える割合が少ない場合（基準線量を下回る割合がほとんどの場合）には、SI 法による感度抽出が難しいことから、ムービングバンド法を併用した。また、SI 法では、感度の大きい順に並べたパラメータのどこまでを抽出すべきかの基準がなく、この手法の適正化は今後の課題となる。

図 4.1.5-15～図 4.1.5-64 にムービングバンド法および SI 法により大きな感度を持つパラメータをまとめる。また、表 4.1.5-8、表 4.1.5-9 に SI 法およびムービングバンド（Sk 値の比較）法で抽出された感度の大きなパラメータの一覧を示す。

3 章に記述したように、SI 法は、多数の統計的シミュレーションケースのうち条件 1 を満足するものが N_1 個あったとして、このうち、安全目標を満足するものが n_1 個あるとすると、n_1/N_1 として定義される。図 4.1.5-15 では、多くのパラメータを、各々について設定した範囲内からランダムに選定して、多数のデータセットを作成し、それらの解析結果が、安全目標を満足した割合が 74.3%であったことを示している。また、特定のパラメータを変更したい場合に、安全目標を満足する割合がどの程度変化するかを SI 法により示している。

全域的な平均値からの各バンドの平均値のずれを標準偏差で除して、規格化した値（Sk 値）の大きさから核種移行解析における感度の大きなパラメータを選定した。

各廃棄体グループに共通して、被ばく線量の増加に影響するパラメータは、以下のものであった。

- 天然バリア空隙率
- 天然バリア透水係数
- 動水勾配

これらは、天然バリア中の実流速を律するパラメータである。空隙率に関しては、値が低下するのにしたがって遅延係数が増加することから、核種の移行時間に対して強い影響を与えないものと考えられるが、いずれの廃棄体のグループにも強い感度を持っている。感度の傾きとしては、空隙率が小さくなるにしたがって、線量が増加するケースが増加している。空隙率が小さくなることにより変動する核種移行への影響としては、線流速が増加する以外にも、遅延係数の増加に起因するものが考えられる。遅延係数の増加に伴い、母岩への核種吸着量が増加するために、核種の移行速度は低下するが、この効果は、線流速が増加することによって打ち消されるものとなる。ただし、本研究では、廃棄体または処分施設の建設資材として用いられるコンクリート影響による、母岩内部での吸着量の変動を考慮している。本研究における設定では、Np 系列核種の高 pH 環境下にある場合の吸着量は、中～弱アルカリ環境での吸着量より大きい場合が多い。処分初期には、施設近傍の母岩がアルカリプルームの影響に晒されており、アルカリ影響の終了に伴い、核種の脱着が生じる。その際、空隙率が小さいほど脱着する核種の量が増加するため、被ばく線量は、空隙率の低下に伴い増加しているものと予想される。

母岩でのＮｐの母岩へのコロイド吸着指数も大きな感度を有しているが、感度分析結果からは、Ｎｐ吸着指数が大きいほど（すなわち、遅延係数が小さくなるほど）ＳＩ値が上昇する結果となっている。同様に、グループ３50ＧＢq/ｔｏｎの解析結果では、母岩での U の分配係数も予想とは逆の感度を有する結果となった。目標を超える被ばく線量に支配的となる核種は、主に Th-229 である。この核種は、親核種である Np-237、U-233 の崩壊に伴い生成される。そのため、これら親核種が母岩内に留まるほど、生物圏への核種放出率が増加することとなる。このような事象の発生は完全に否定できないものの、母岩での Np の閉じ込め性能が優れているほど、被ばく線量が増加する結果となると言う結果の妥当性に関しては、核種移行モデルも含め、今後、検討が必要と考える（例えば、系列核種について各々の核種で独立して、分配係数をサンプリングする手法、等に関しての検討）。

表 4.1.5-8　各廃棄体グループでの支配的となる核種と大きな感度を持つパラメータ

緩衝材を用いる場合（SI 値から、上位５つのパラメータを抽出）

	グループ3 50GBq/ton	グループ4 50GBq/ton	グループ3 1Gq/ton	グループ4 1Gq/ton
核種浸出率				
廃棄体劣化後空隙拡散係数		○		
緩衝材劣化後透水係数			○	○
天然バリア長さ				
天然バリア透水係数	○	○	○	○
天然バリア空隙率	○	○	○	○
廃棄体健全時の C 分配係数				
母岩の Np の分配係数				
母岩の U の分配係数	○			
廃棄体での NP コロイド吸着指数		○		
母岩での NP コロイド吸着指数	○	○		○
コロイドによる移行速度の上限				
動水勾配	○		○	○
緩衝材劣化開始時刻			○	

緩衝材を未使用（SI 値から、上位５つのパラメータを抽出

	グループ3 50GBq/ton	グループ4 50GBq/ton	グループ3 1Gq/ton	グループ4 1Gq/ton
核種浸出率			○	
廃棄体劣化後空隙拡散係数				
緩衝材劣化後透水係数	―	―	―	―
天然バリア長さ	○		○	
天然バリア透水係数	○	○	○	○
天然バリア空隙率	○	○		○
廃棄体健全時の C 分配係数			○	
母岩の Np の分配係数		○		
母岩の U の分配係数				
廃棄体での NP コロイド吸着指数	○			○
母岩での NP コロイド吸着指数		○		○
コロイドによる移行速度の上限				
動水勾配	○	○	○	○
緩衝材劣化開始時刻	―	―	―	―

表 4.1.5-9　大きな感度を持つパラメータの一覧（ムービングバンド法）（1/2）

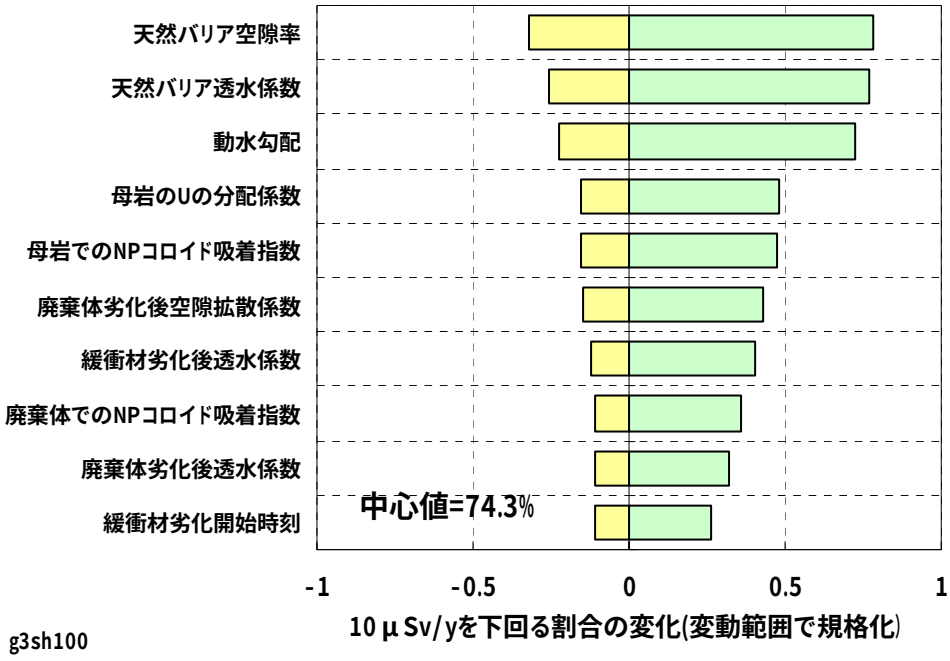
余裕深度処分，緩衝材あり（ムービングバンド法による抽出結果）

	グループ３ 50GBq/ton	グループ４ 50GBq/ton	グループ３ 1Gq/ton	グループ４ 1Gq/ton
コンクリートバリアの厚さ	○	○		
廃棄体劣化後透水係数	○	○	○	○
廃棄体劣化後空隙拡散係数	○	○	○	○
緩衝材厚さ				
緩衝材健全時透水係数				
緩衝材劣化後透水係数	○	○	○	○
緩衝材健全時空隙拡散係数			○	
緩衝材劣化後空隙拡散係数				
緩衝材健全時空隙率				
緩衝材劣化後空隙率				
天然バリア長さ	○			○
天然バリア透水係数	○	○	○	○
天然バリア空隙率	○	○	○	○
廃棄体健全時の I 分配係数			○	
母岩の U の分配係数	○	○	○	○
廃棄体での C,I コロイド吸着指数			○	
廃棄体での NP コロイド吸着指数	○	○	○	○
母岩での NP コロイド吸着指数	○	○	○	○
動水勾配	○	○	○	○
緩衝材劣化開始時刻	○		○	○
廃棄体劣化後透水係数	○	○	○	○

表 4.1.5-9　**大きな感度を持つパラメータの一覧（ムービングバンド法）**（2/2）

余裕深度処分，緩衝材なし（ムービングバンド法による抽出結果）

	グループ３ 50GBq/ton	グループ４ 50GBq/ton	グループ３ 1Gq/ton	グループ４ 1Gq/ton
コンクリートバリアの厚さ				
廃棄体劣化後透水係数			○	○
廃棄体劣化後空隙拡散係数	○	○	○	○
緩衝材厚さ	－	－	－	－
緩衝材健全時透水係数	－	－	－	－
緩衝材劣化後透水係数	－	－	－	－
緩衝材健全時空隙拡散係数	－	－	－	－
緩衝材劣化後空隙拡散係数	－	－	－	－
緩衝材健全時空隙率	－	－	－	－
緩衝材劣化後空隙率	－	－	－	－
天然バリア長さ				
天然バリア透水係数	○	○	○	○
天然バリア空隙率	○	○	○	○
廃棄体健全時の I 分配係数				
母岩の U の分配係数				
廃棄体での C,I コロイド吸着指数				
廃棄体での NP コロイド吸着指数	○	○		○
母岩での NP コロイド吸着指数	○		○	
動水勾配	○	○	○	○
緩衝材劣化開始時刻	－	－	－	－
廃棄体劣化後透水係数			○	○



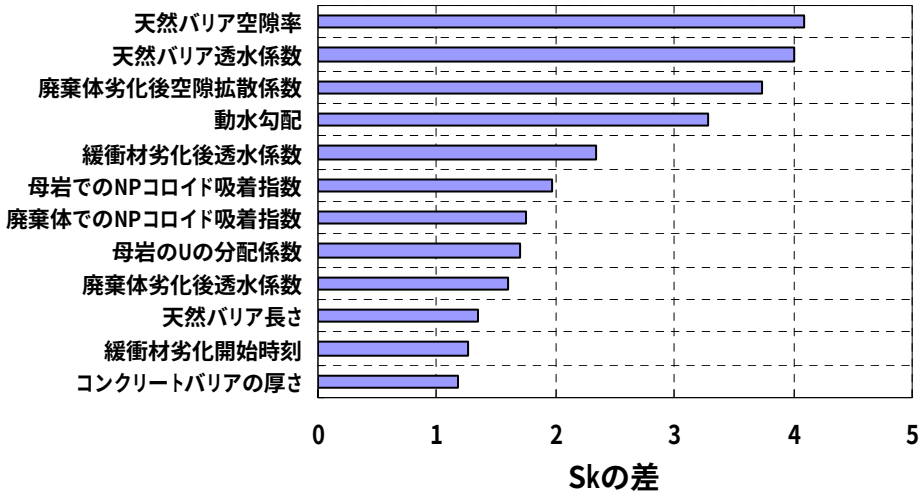


図 4.1.5-15 グループ３余裕深度処分の感度分析結果（50GBq/ton，緩衝材あり）

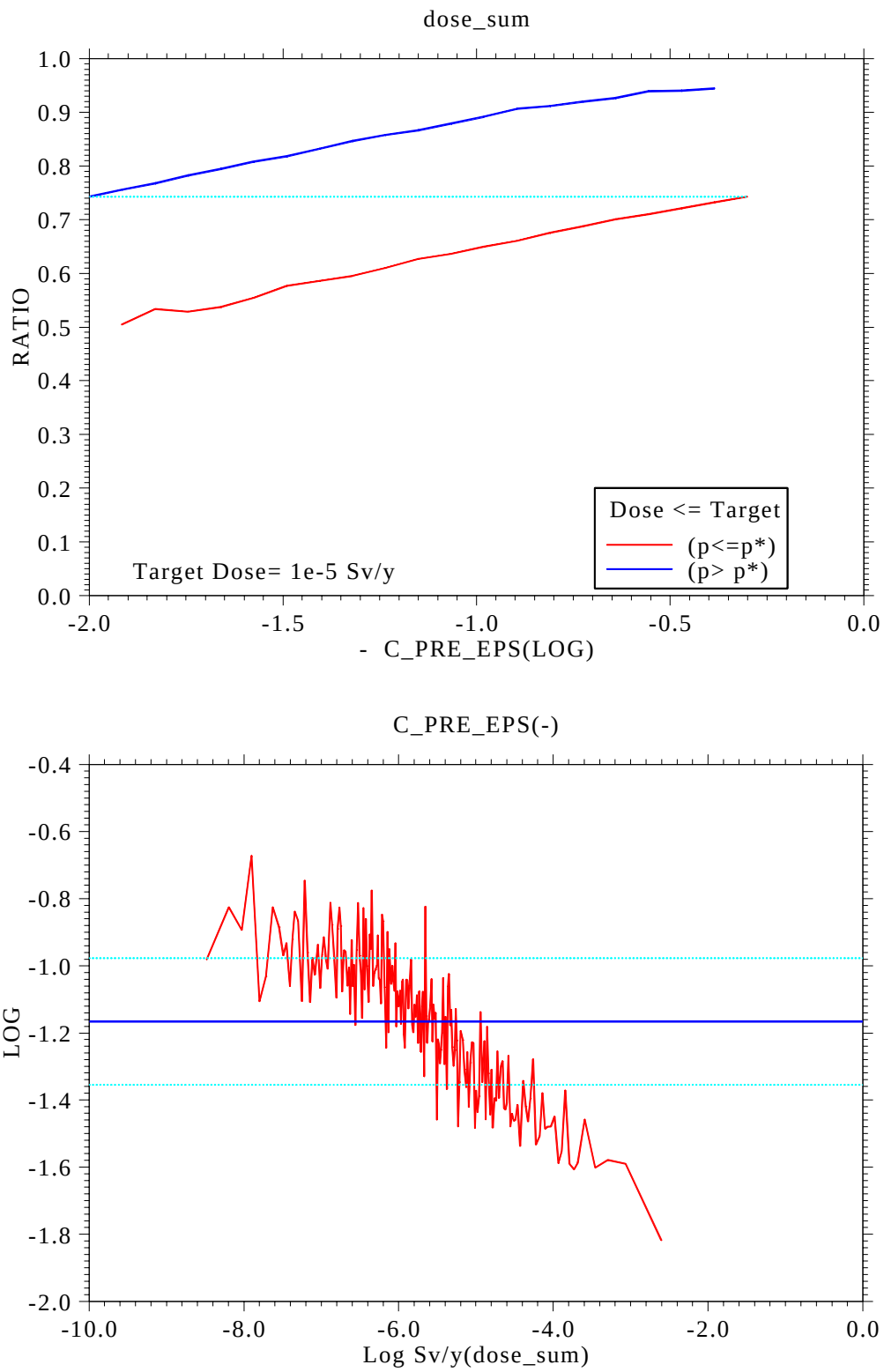


図 4.1.5-16　**グループ３余裕深度処分の天然バリア空隙率の感度分析結果**
（50GBq/ton**，緩衝材あり）**

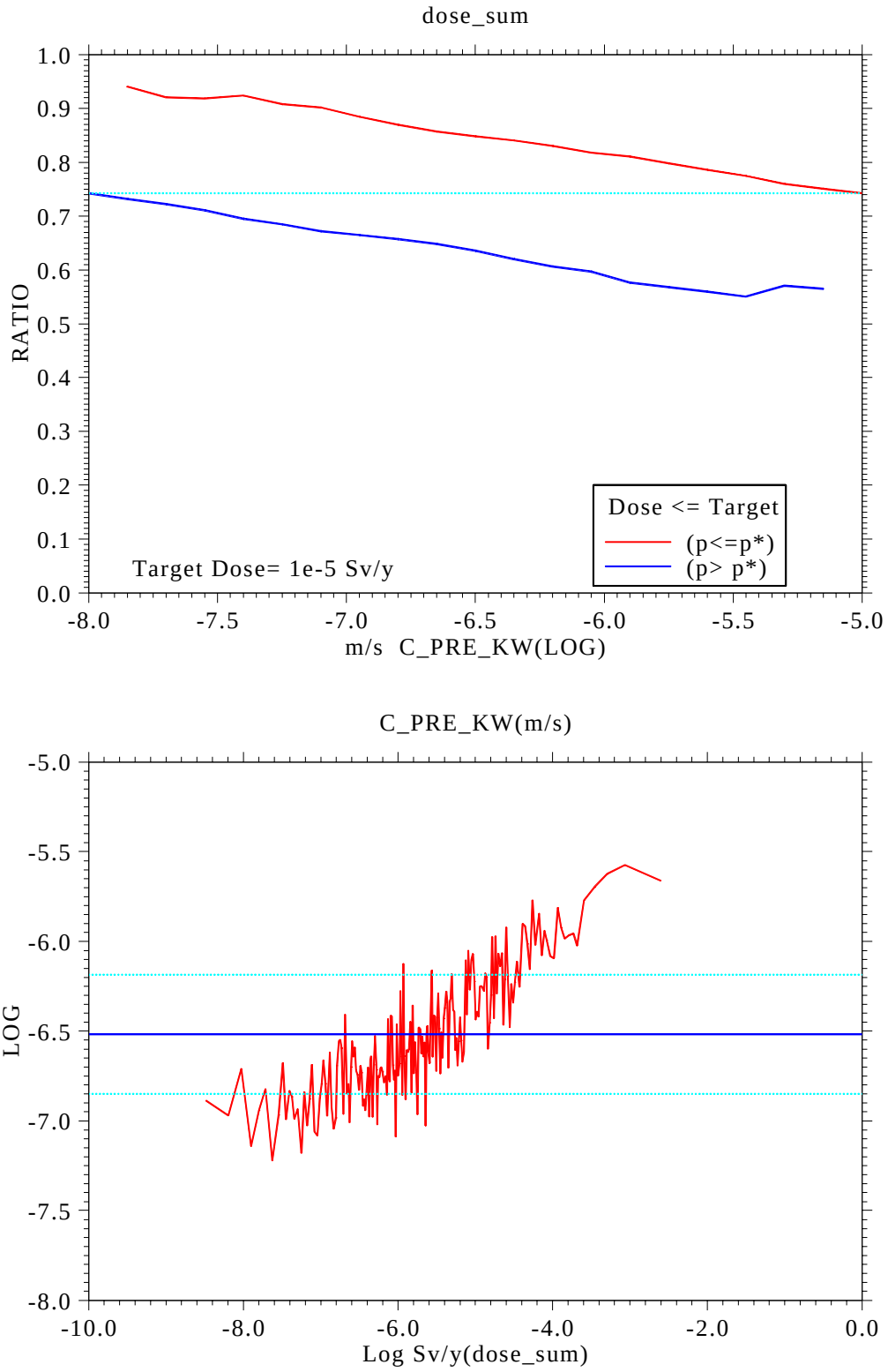
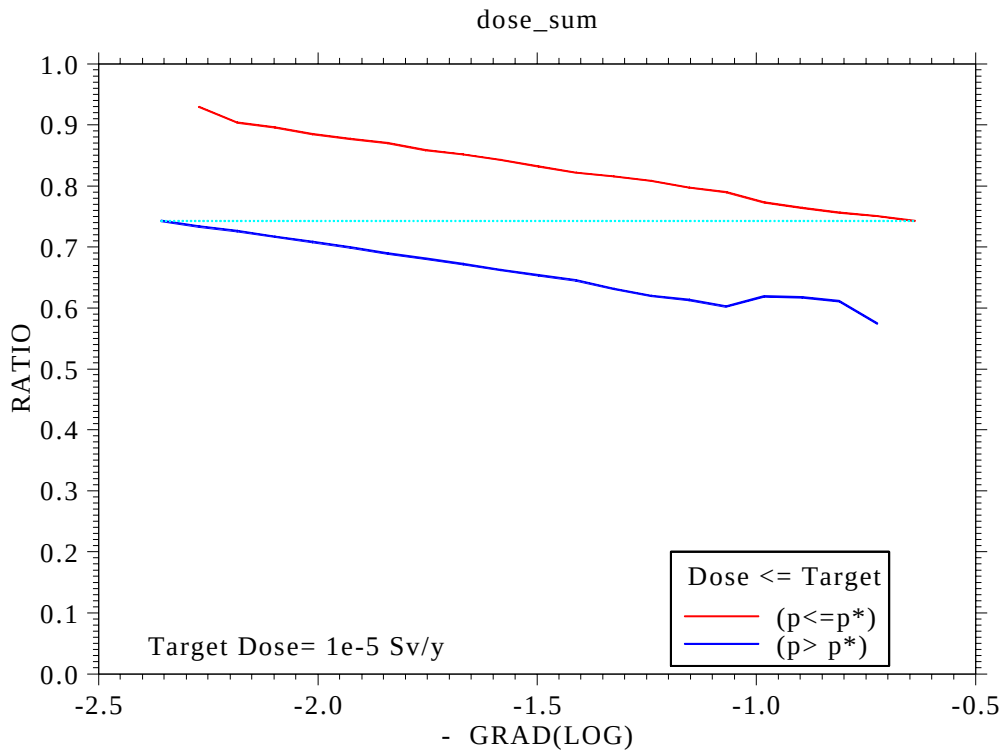


図 4.1.5-17 **グループ３余裕深度処分の天然バリア透水係数の感度分析結果**
（50GBq/ton **以下，緩衝材あり）**



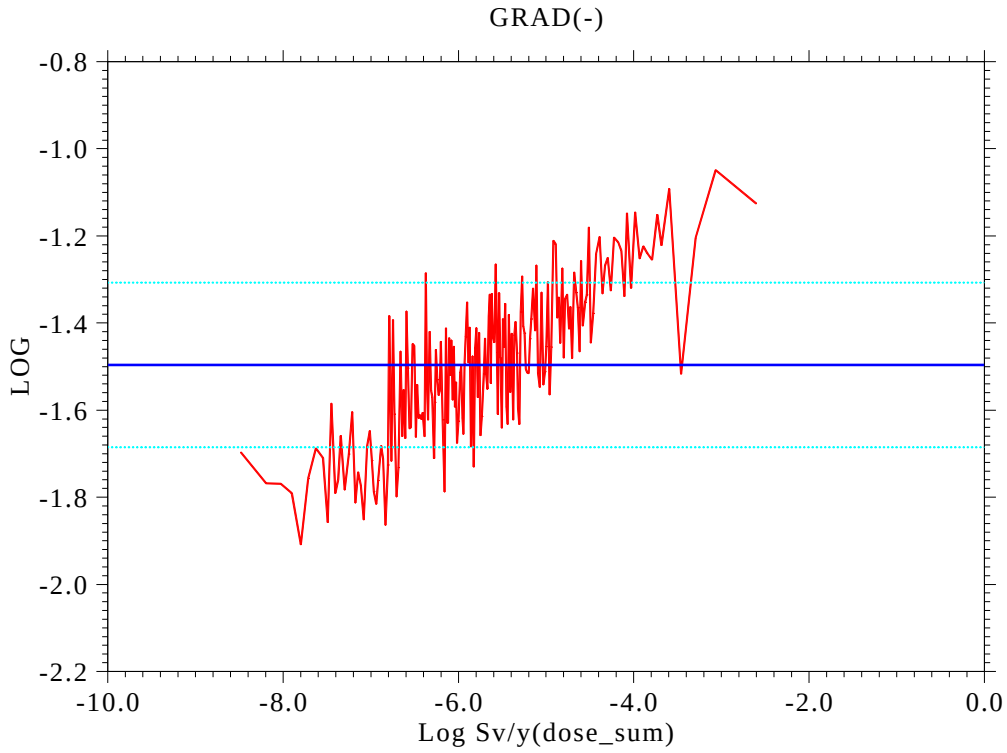


図 4.1.5-18　**グループ３余裕深度処分の動水勾配の感度分析結果**
（50GBq/ton**，緩衝材あり）**

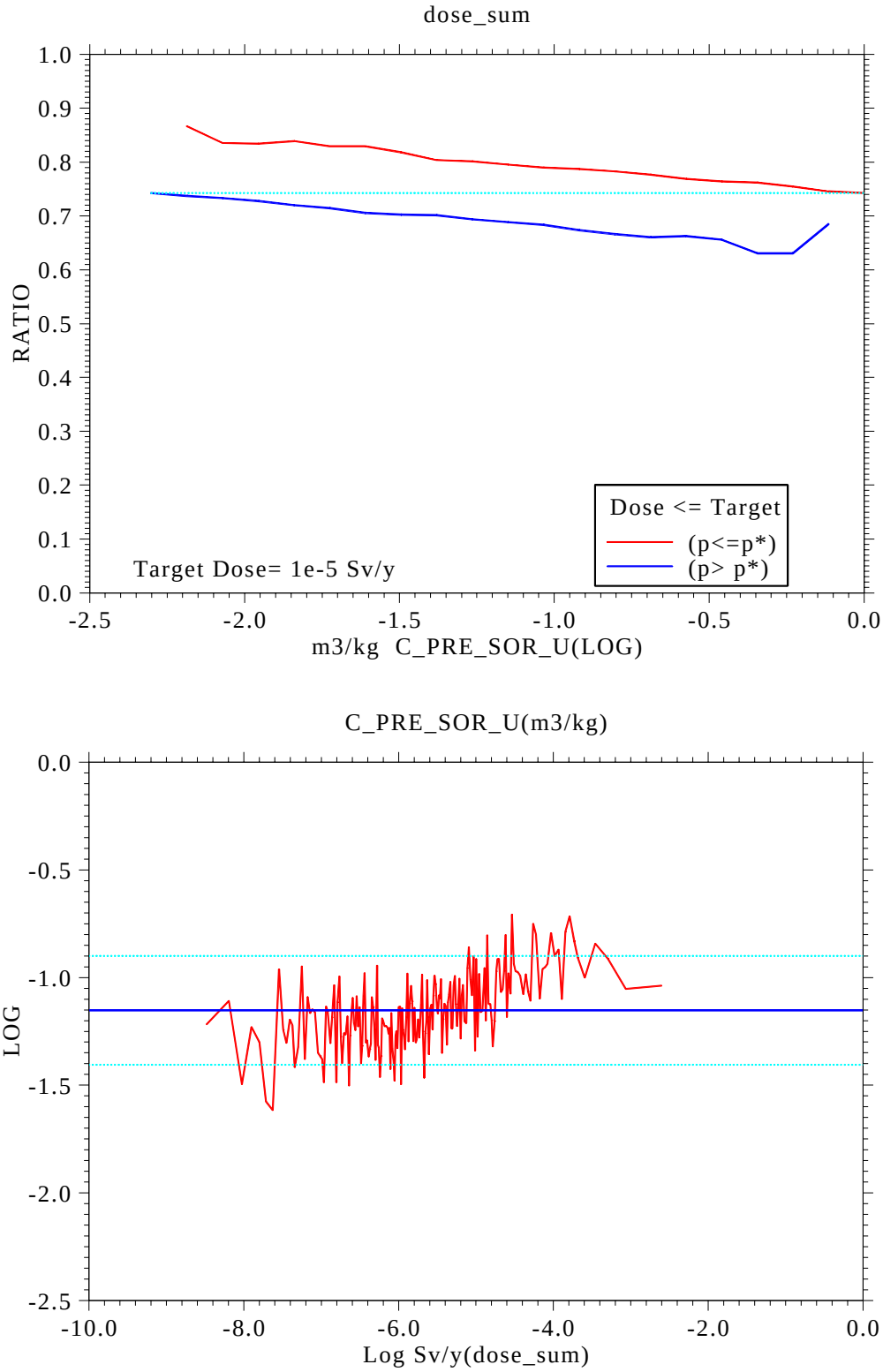


図 4.1.5-19 **グループ３余裕深度処分の初期** U **の分配係数の感度分析結果**
（50GBq/ton**，緩衝材あり）**

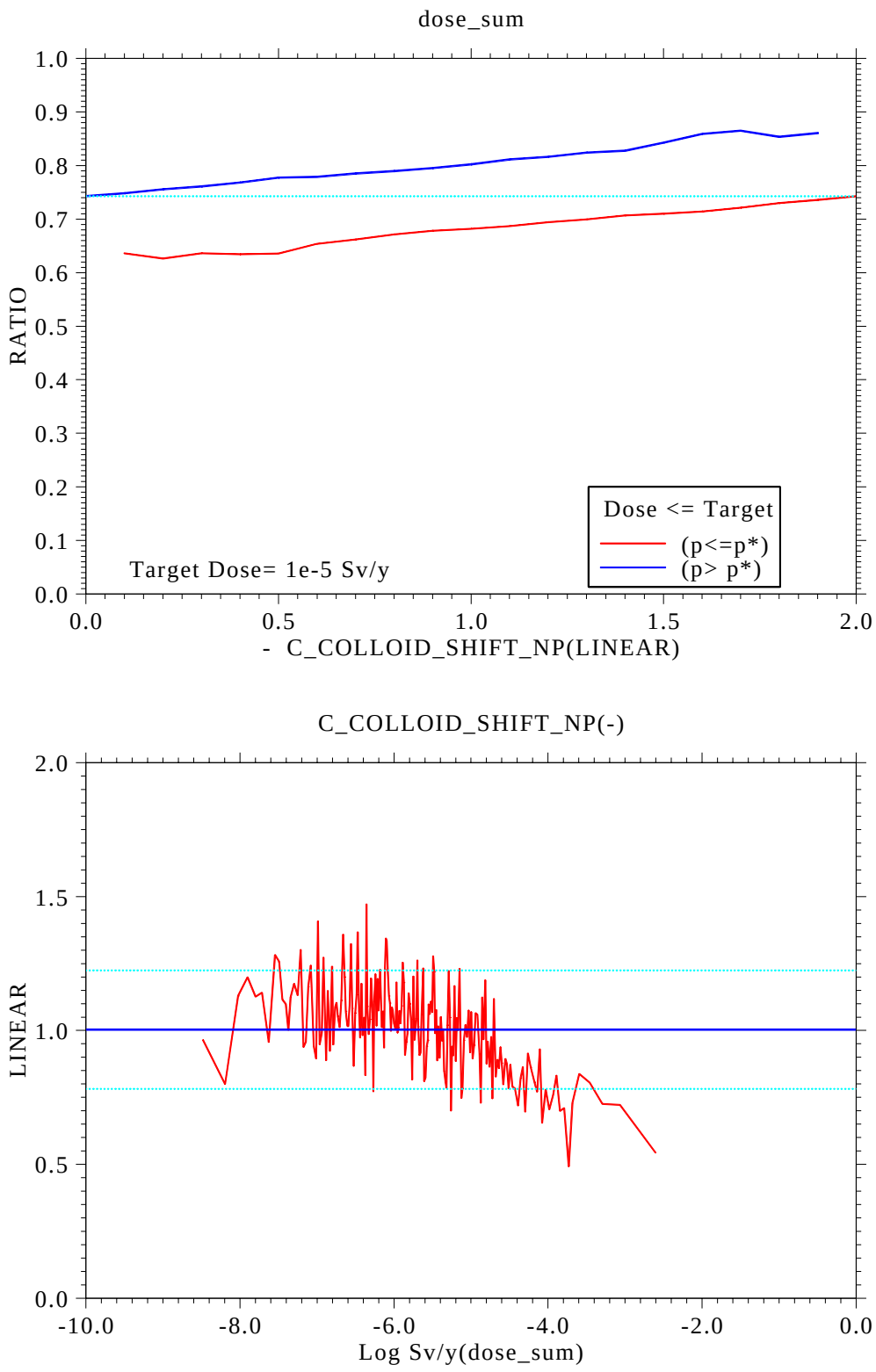


図 4.1.5-20　**グループ３余裕深度処分の天然バリアでの** NP **コロイド吸着指数の感度分析結果（**50GBq/ton**，緩衝材あり）**

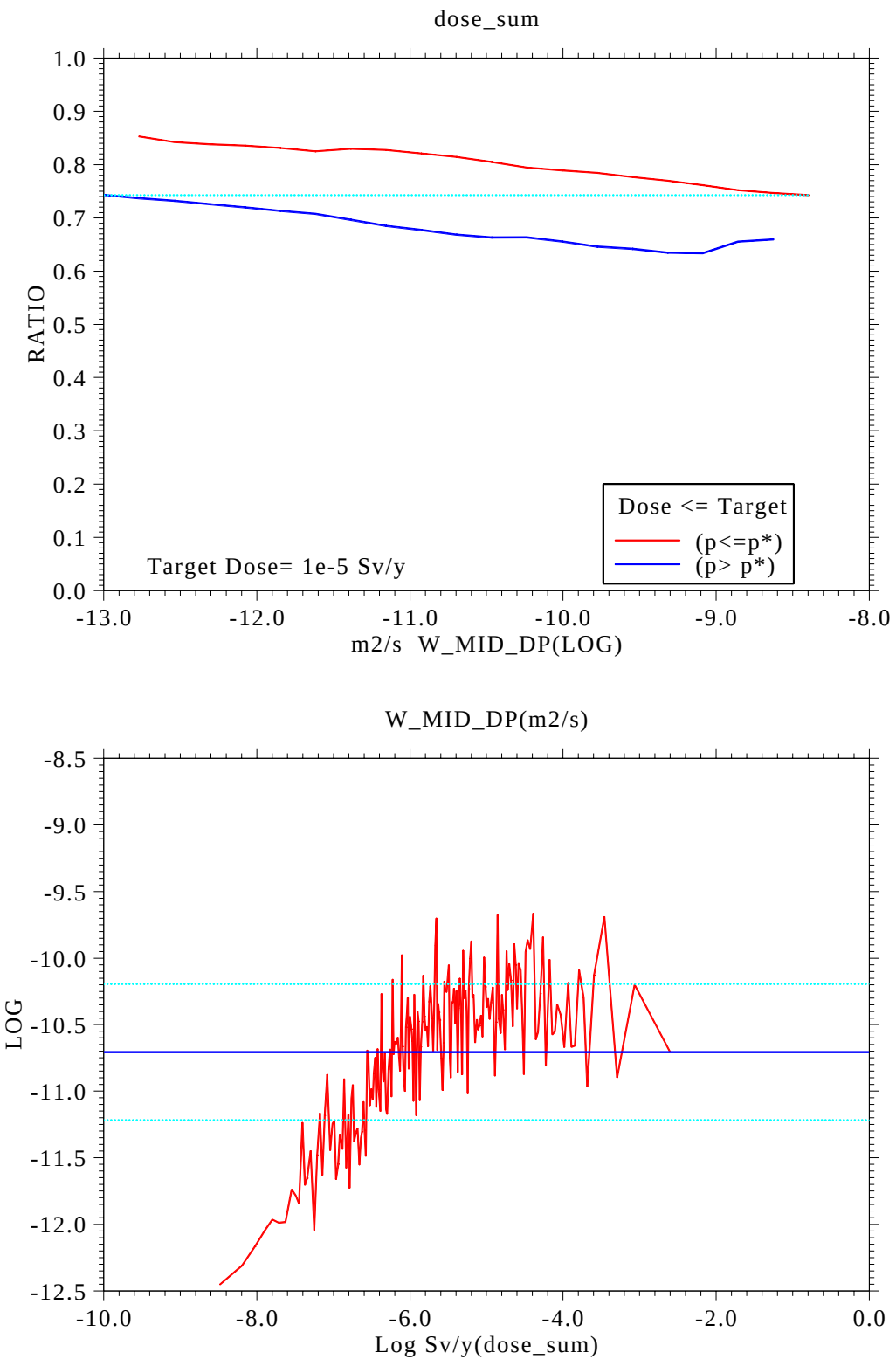
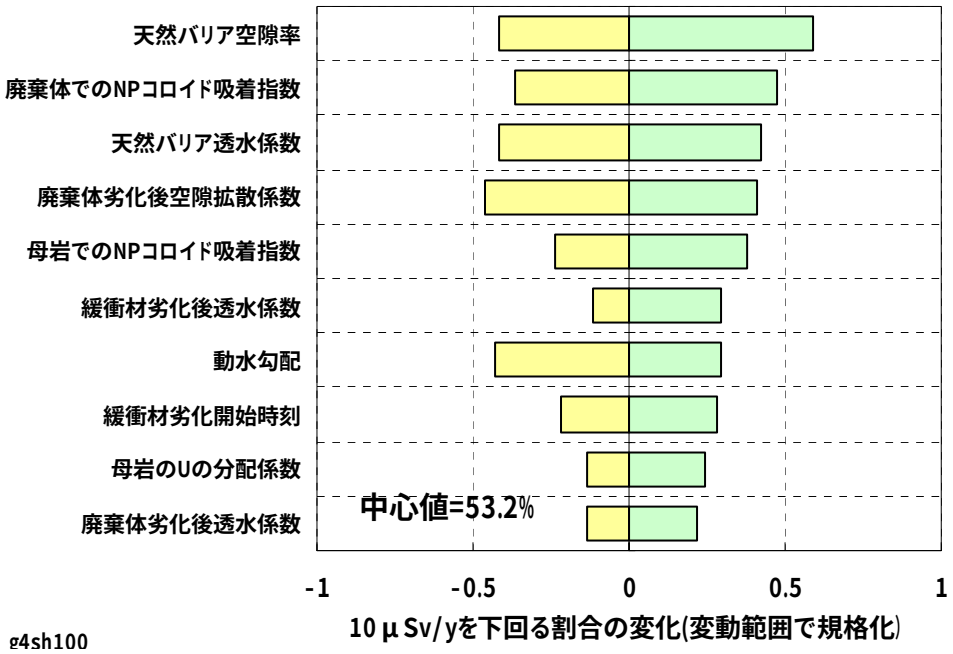


図 4.1.5-21 **グループ３余裕深度処分の廃棄体劣化後拡散係数の感度分析結果**
（50GBq/ton**，緩衝材あり）**



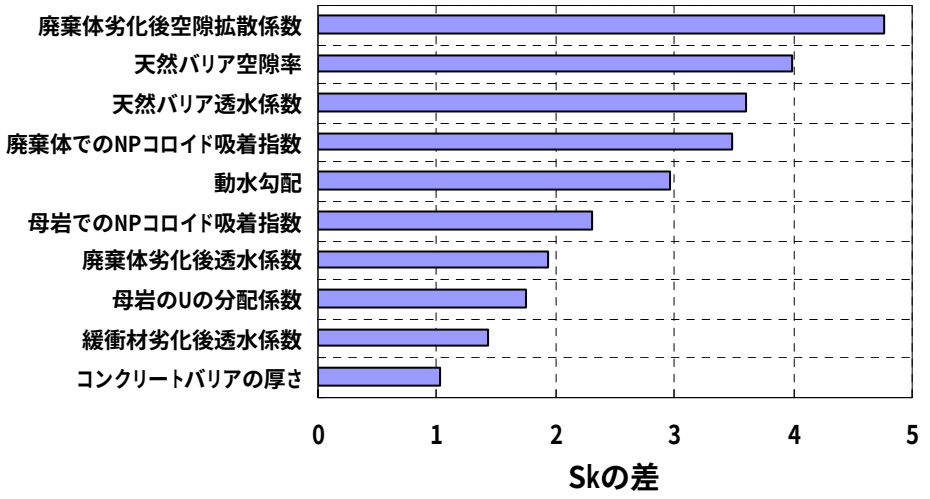


図 4.1.5-22　**グループ４余裕深度処分の感度分析結果の比較**

（50GBq/ton**，緩衝材あり）**

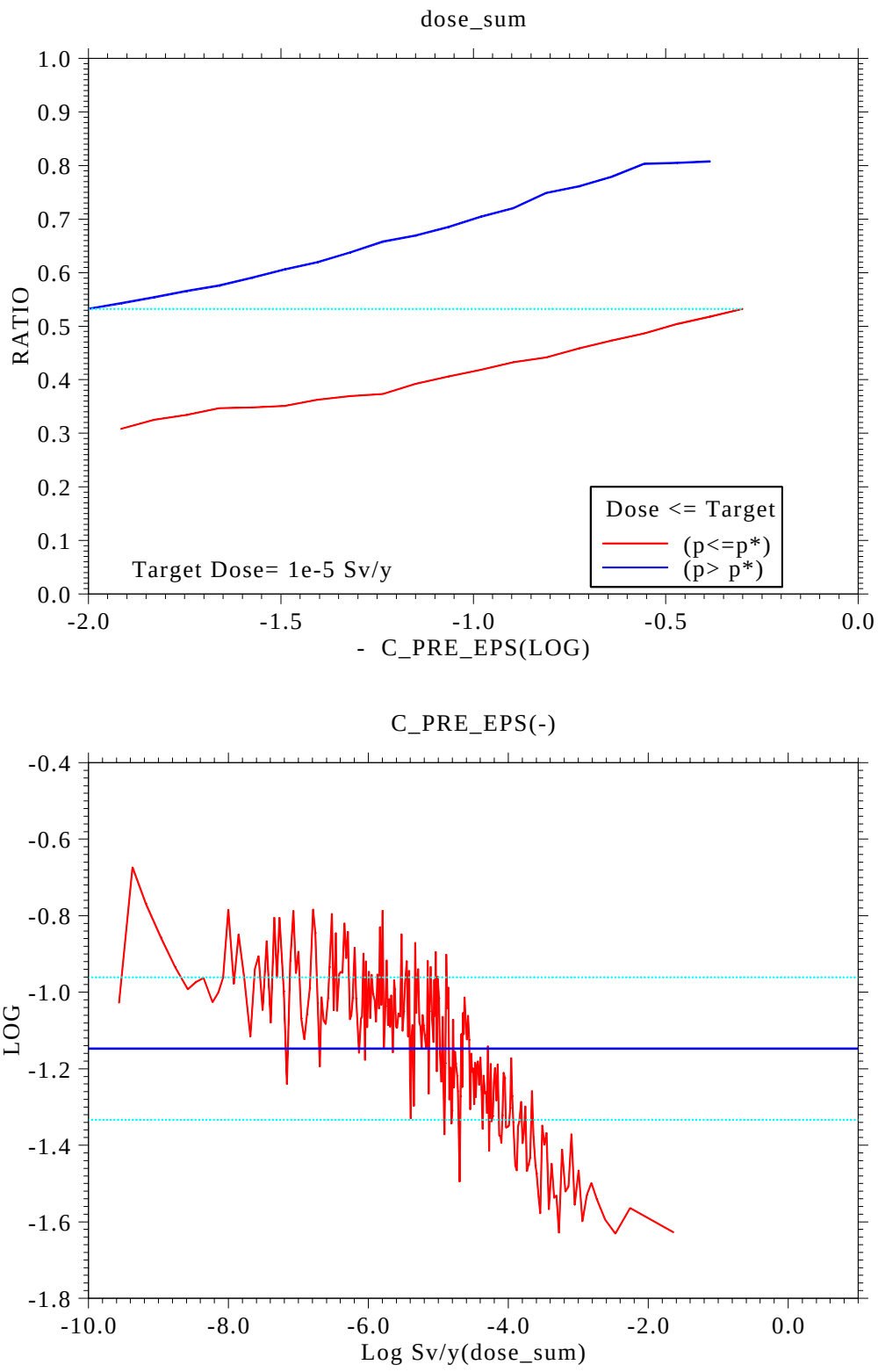


図 4.1.5-23　**グループ４余裕深度処分の天然バリア空隙率の感度分析結果**
（50GBq/ton**，緩衝材あり）**

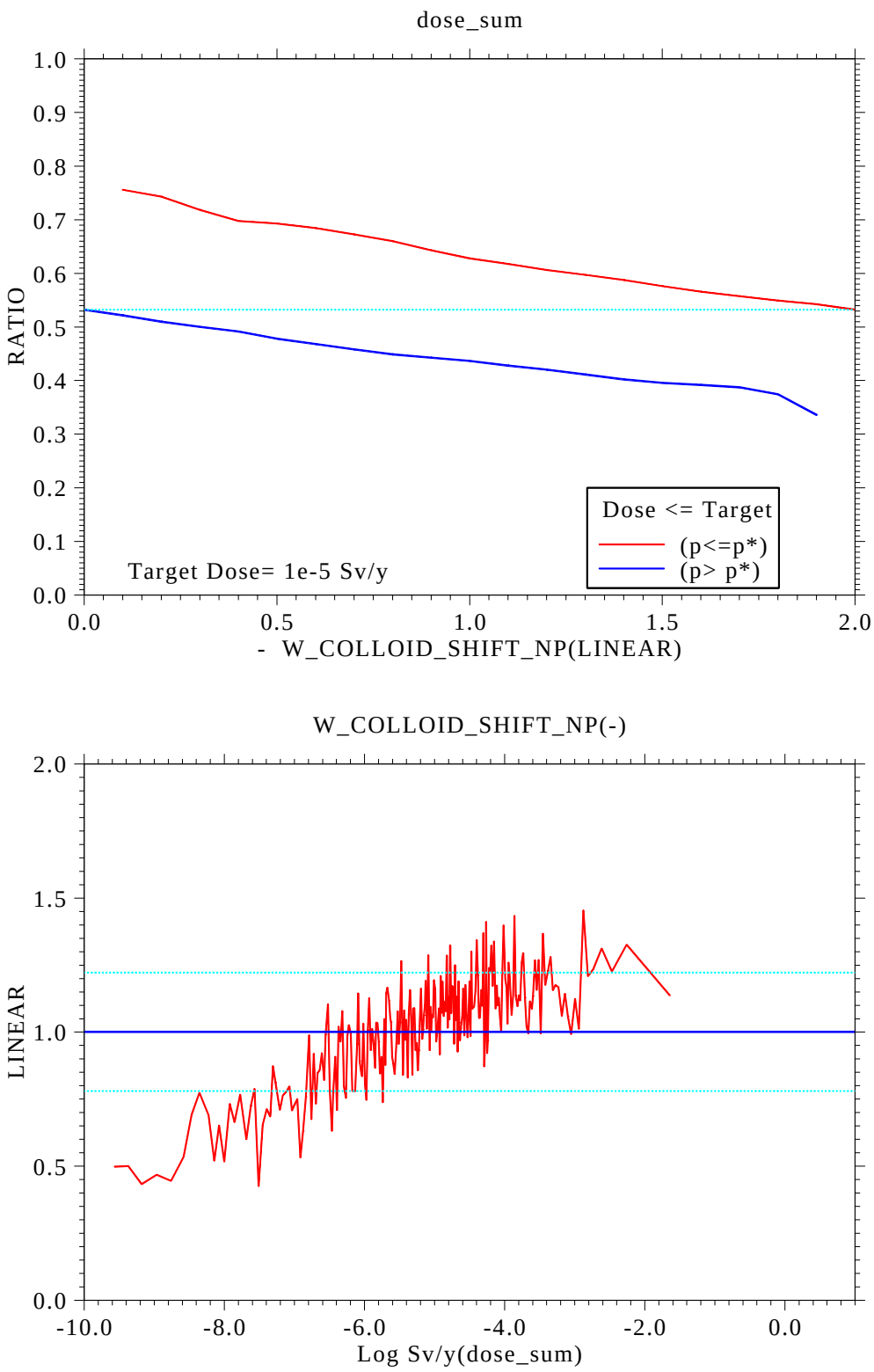
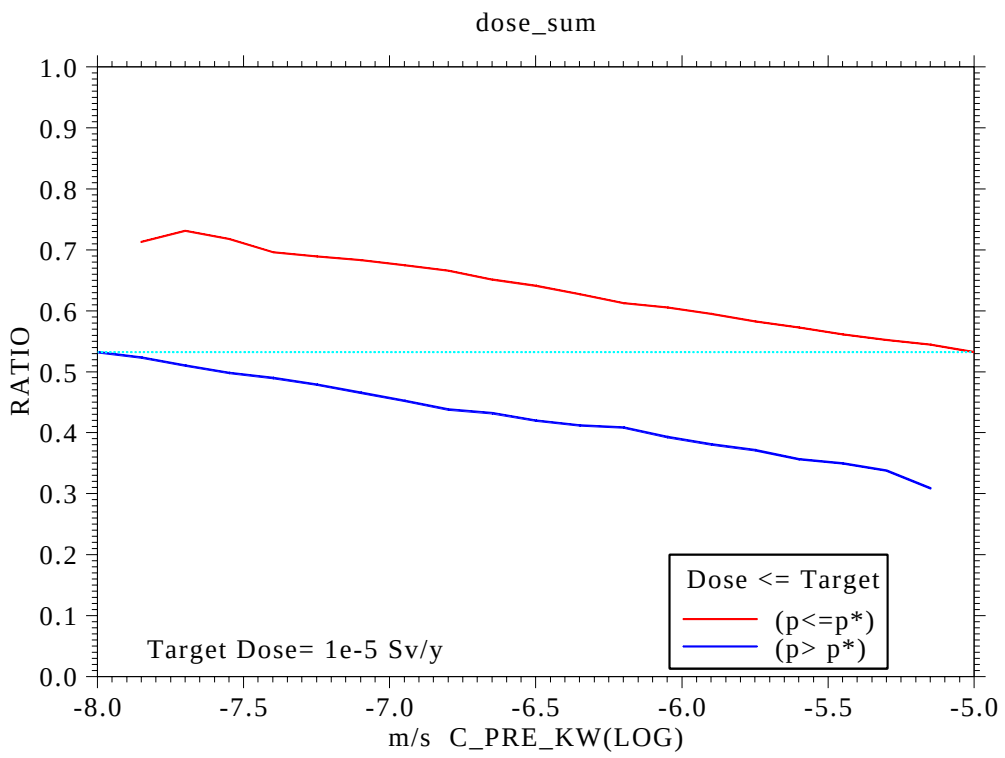


図 4.1.5-24　**グループ４余裕深度処分の廃棄体での** NP **コロイド吸着指数の感度分析結果（**50GBq/ton**，緩衝材あり）**



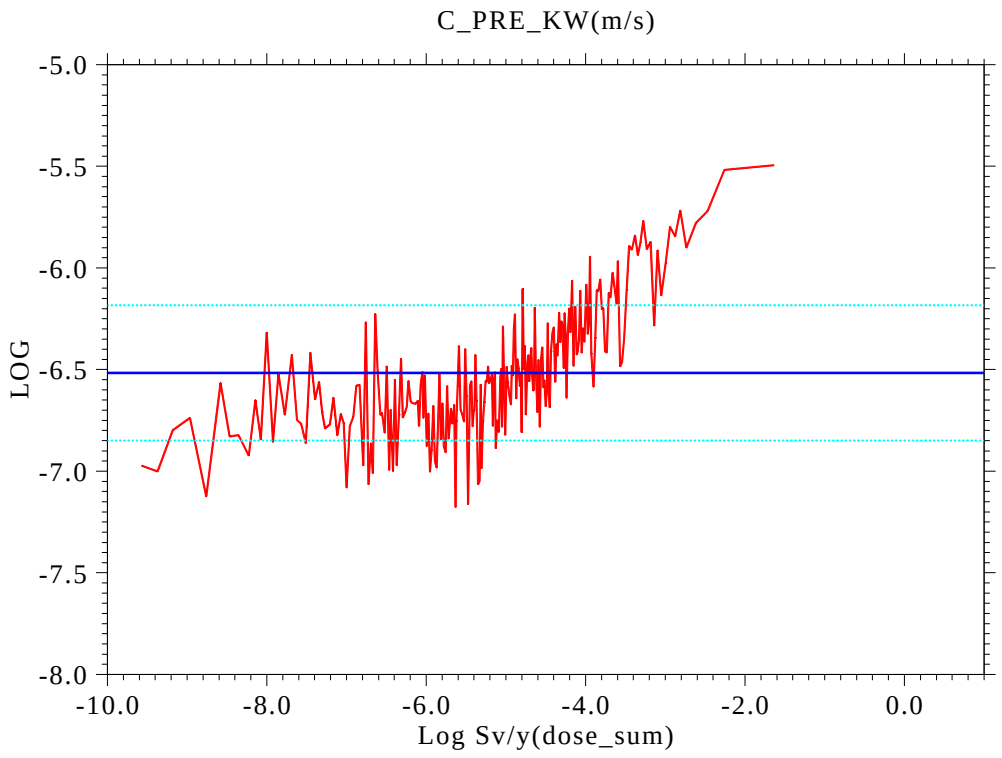
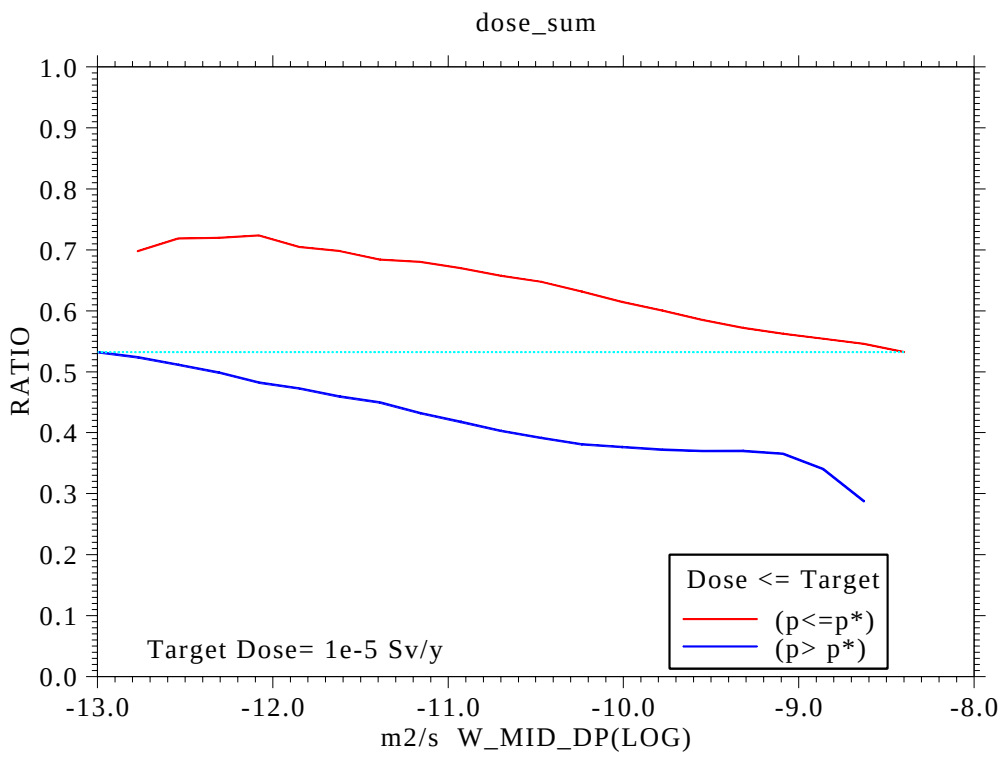


図 4.1.5-25 **グループ４余裕深度処分の天然バリア透水係数の感度分析結果**
（50GBq/ton**，緩衝材あり）**



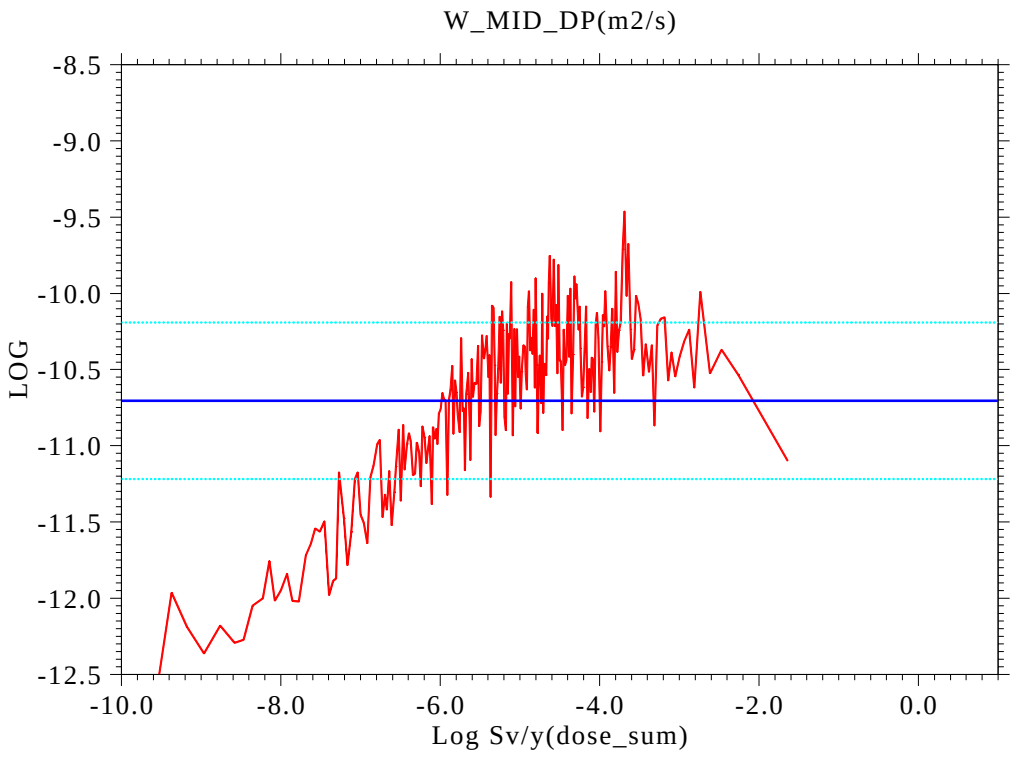


図 4.1.5-26 **グループ４余裕深度処分の廃棄体劣化後空隙拡散係数の感度分析結果**
（50GBq/ton**，緩衝材あり）**

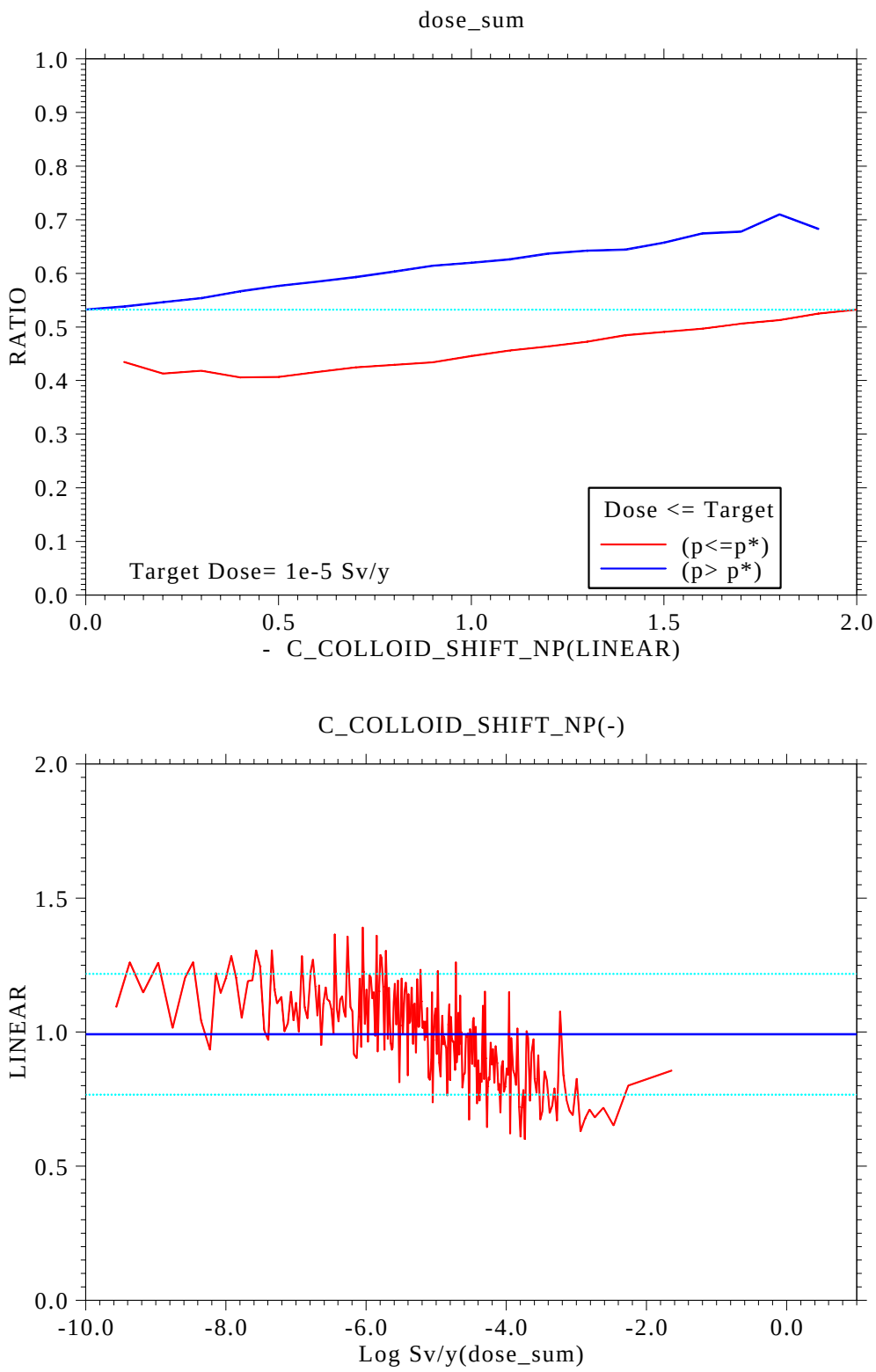
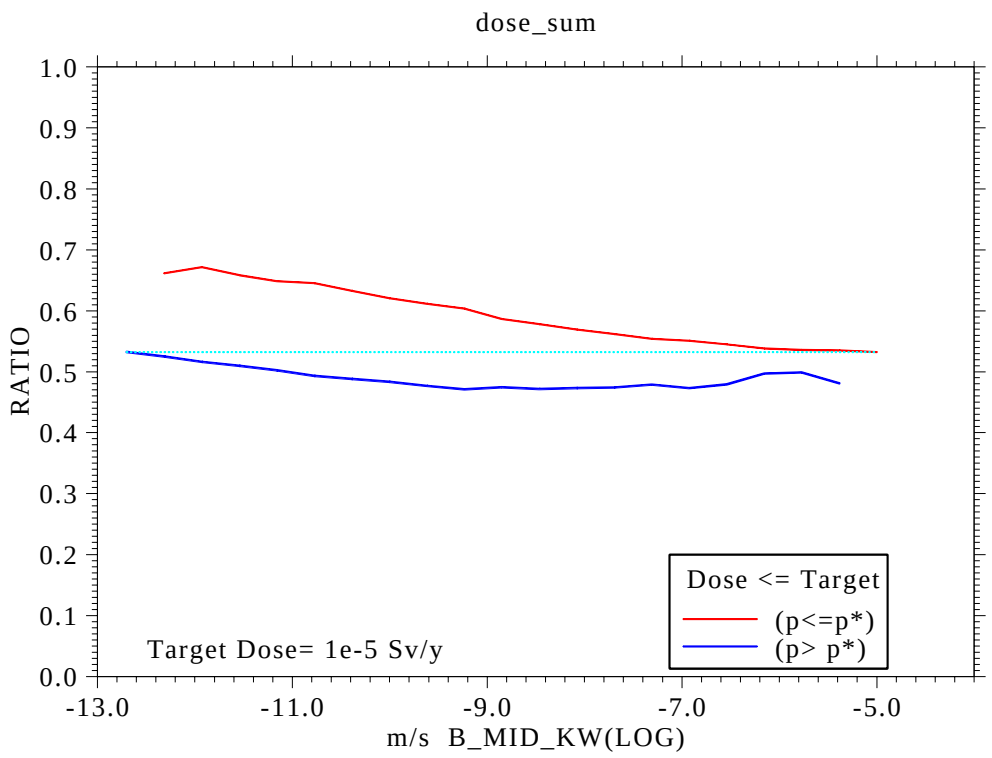


図 4.1.5-27　グループ４余裕深度処分の天然バリアでの NP コロイド吸着指数の感度分析結果（50GBq/ton，緩衝材あり）



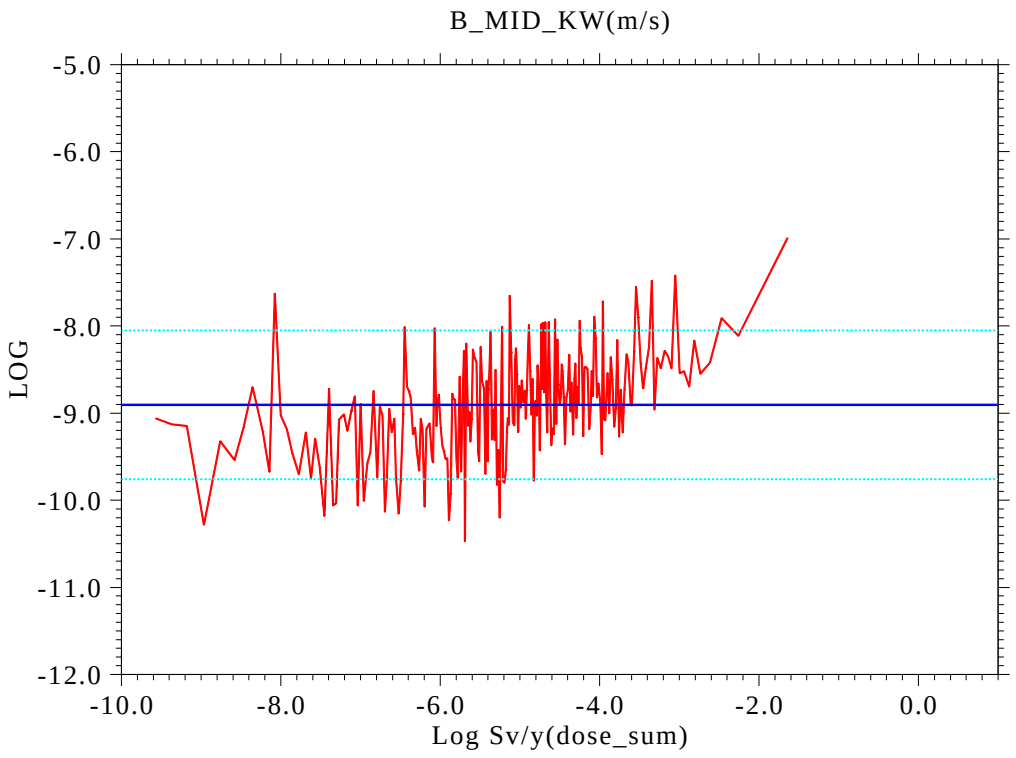
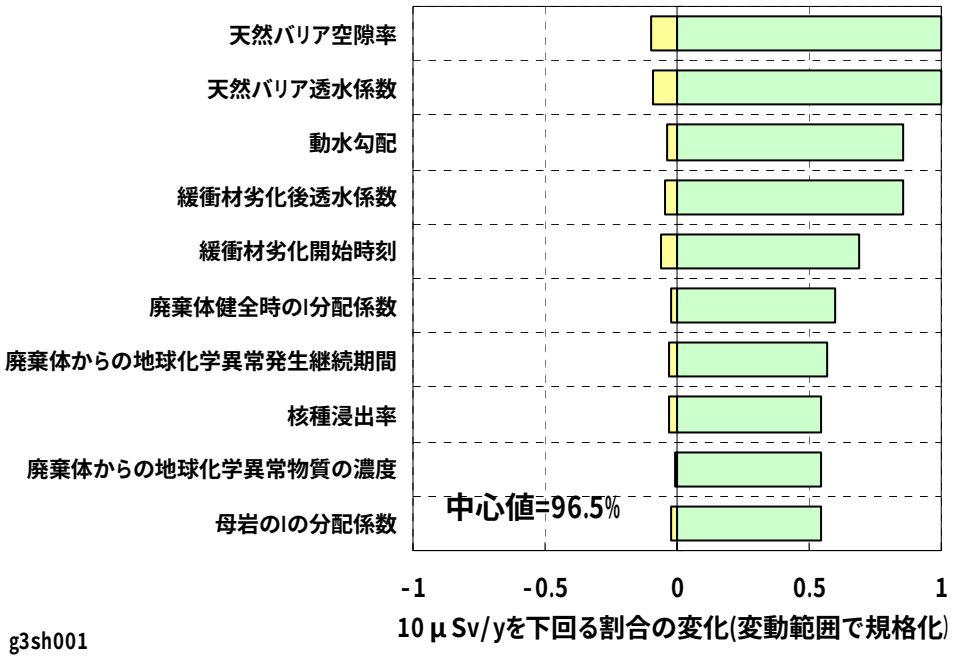


図 4.1.5-28 **グループ４余裕深度処分の緩衝材劣化後透水係数の感度分析結果**
（50GBq/ton**，緩衝材あり）**



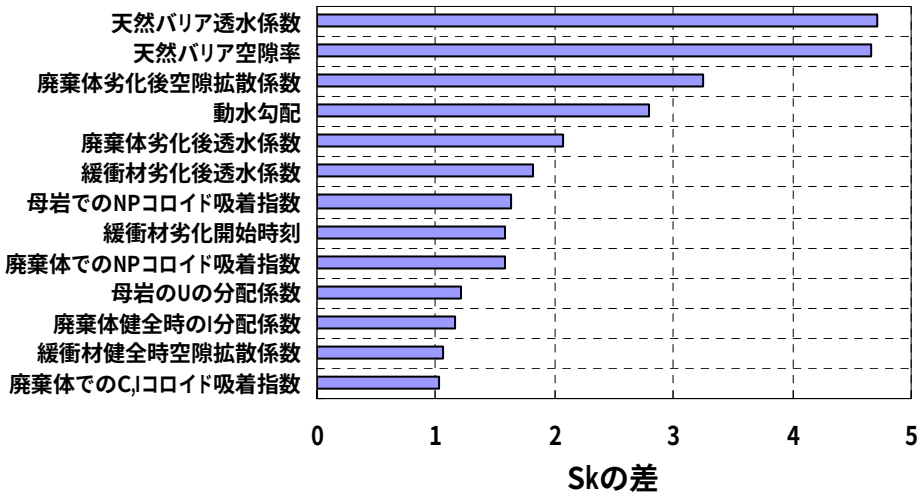


図 4.1.5-29　**グループ３余裕深度処分の感度分析結果の比較**（1G **以上，緩衝材あり**）

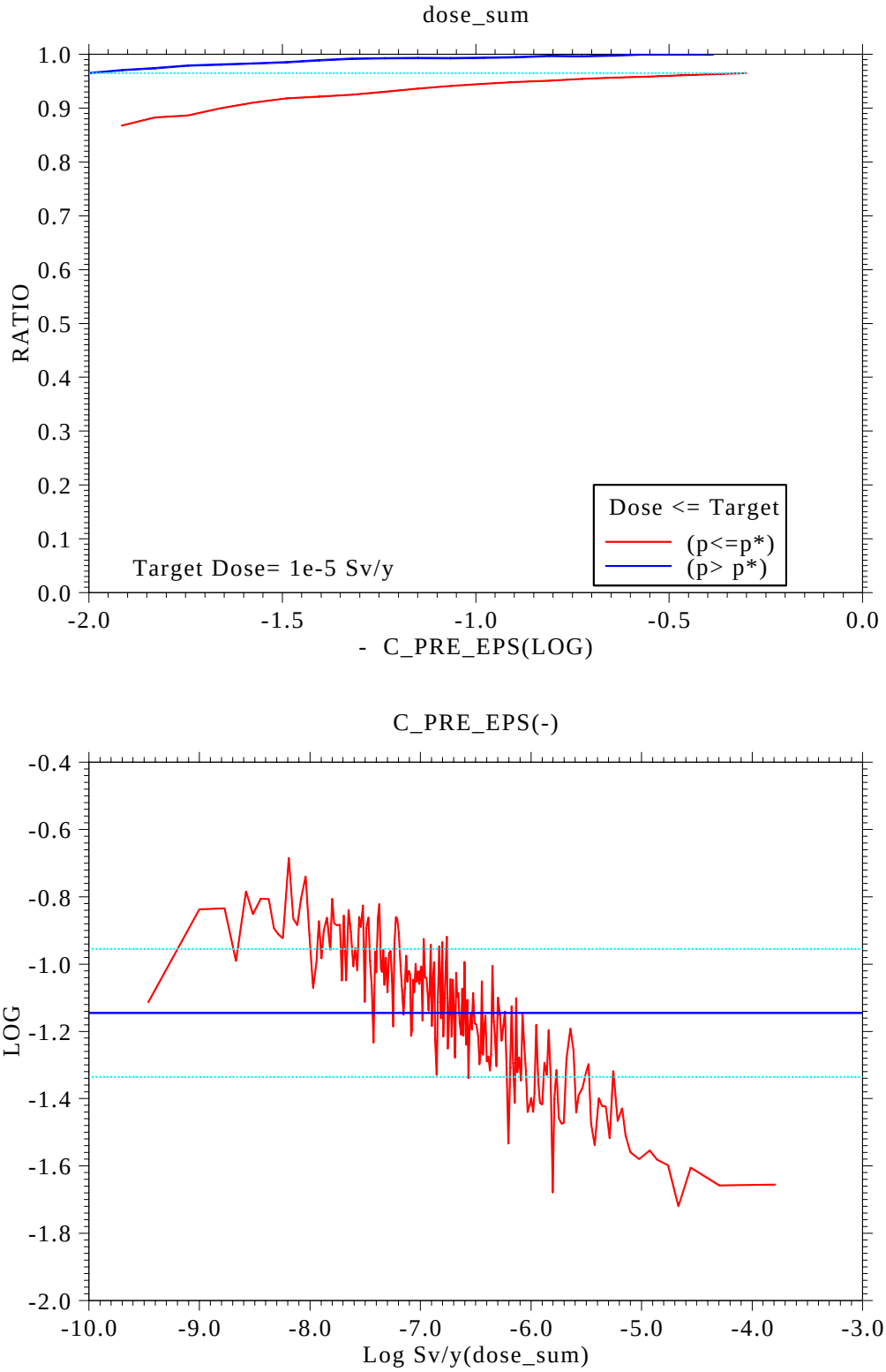
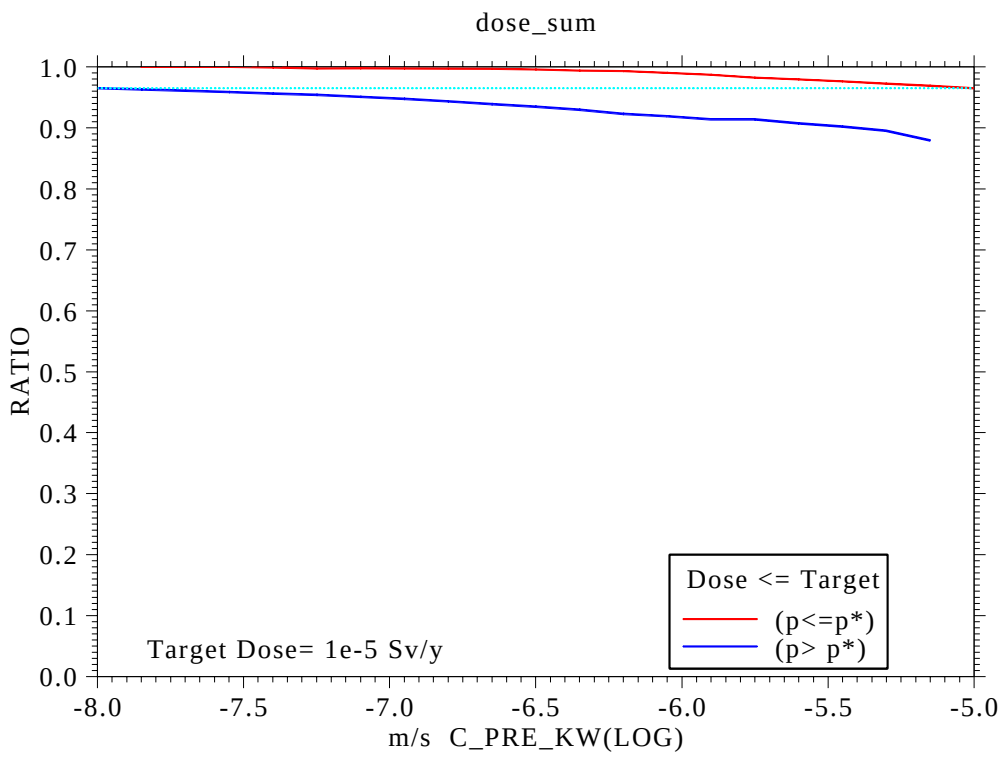


図 4.1.5-30　**グループ３余裕深度処分の天然バリア空隙率の感度分析結果**
（1GBq/ton**，緩衝材あり）**



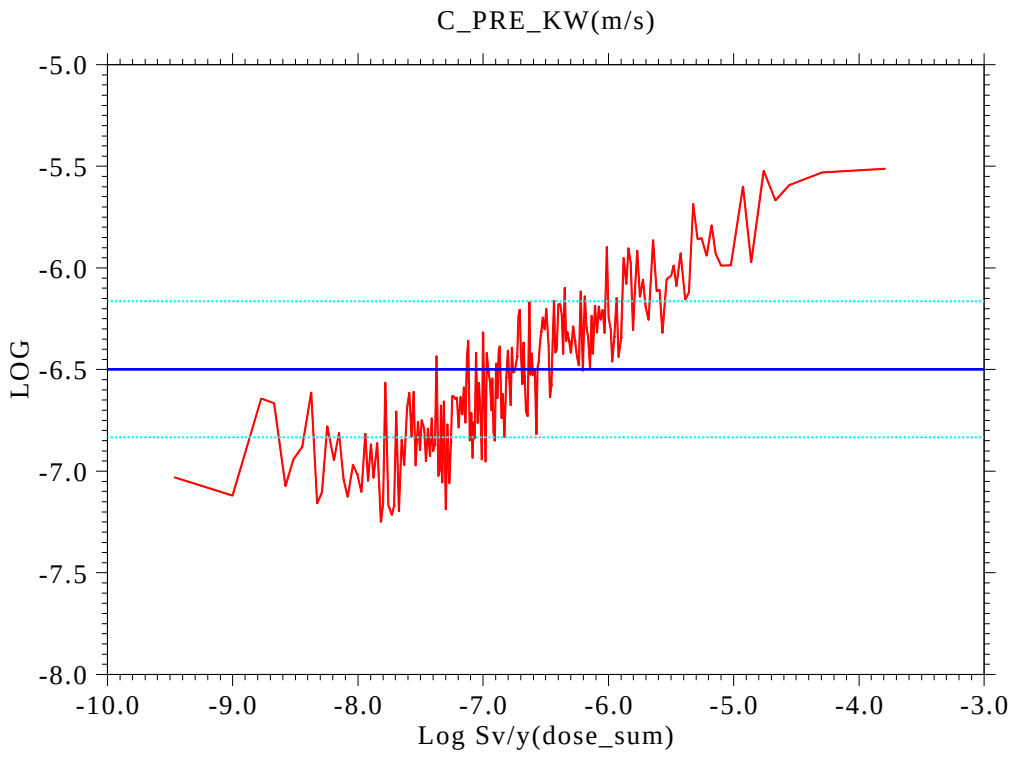


図 4.1.5-31 **グループ３余裕深度処分の天然バリア透水係数の感度分析結果**
（1GBq/ton**，緩衝材あり）**

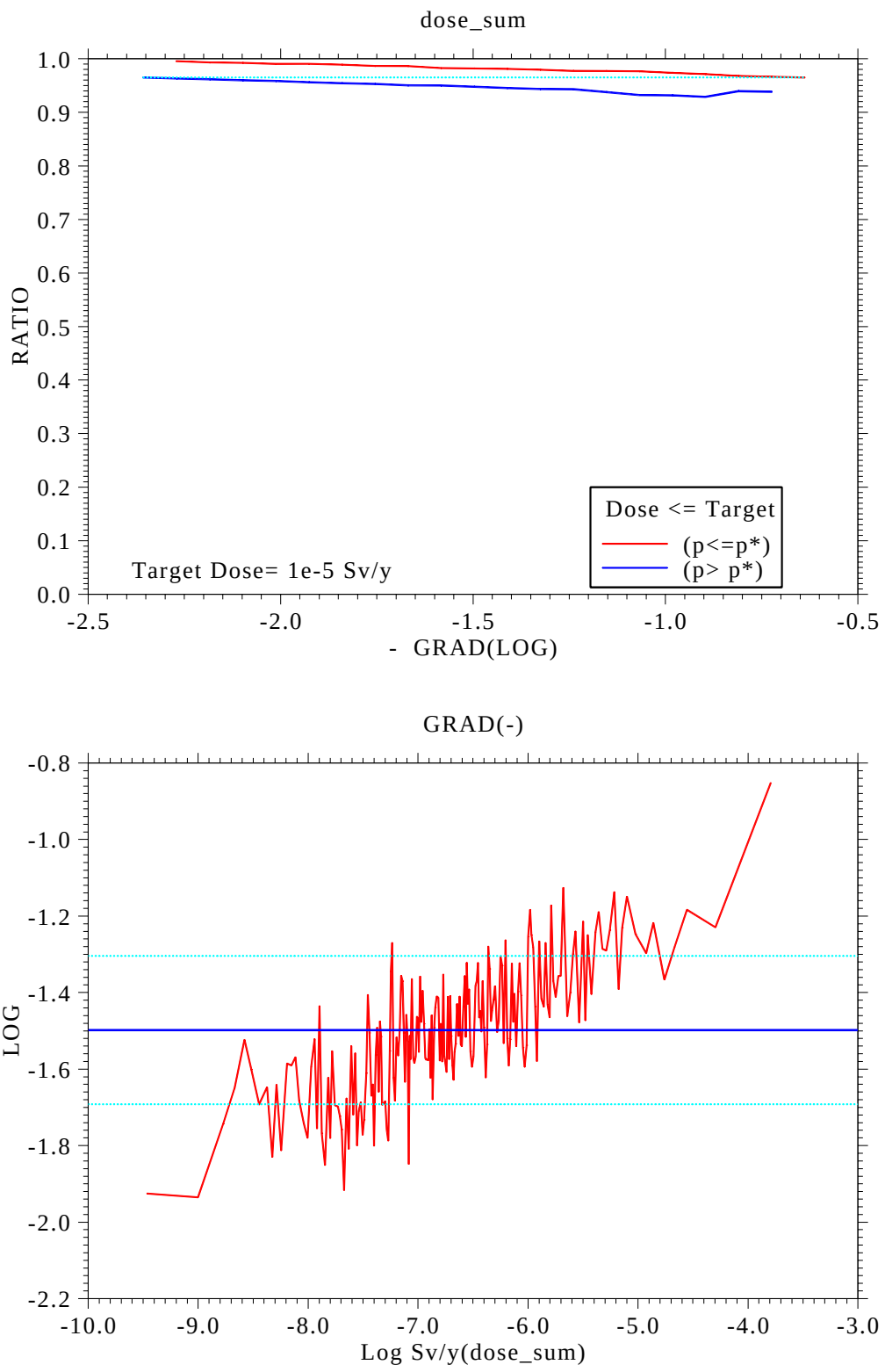


図 4.1.5-32　**グループ３余裕深度処分の廃棄体劣化後空隙拡散係数の感度分析結果**
（1GBq/ton**，緩衝材あり）**

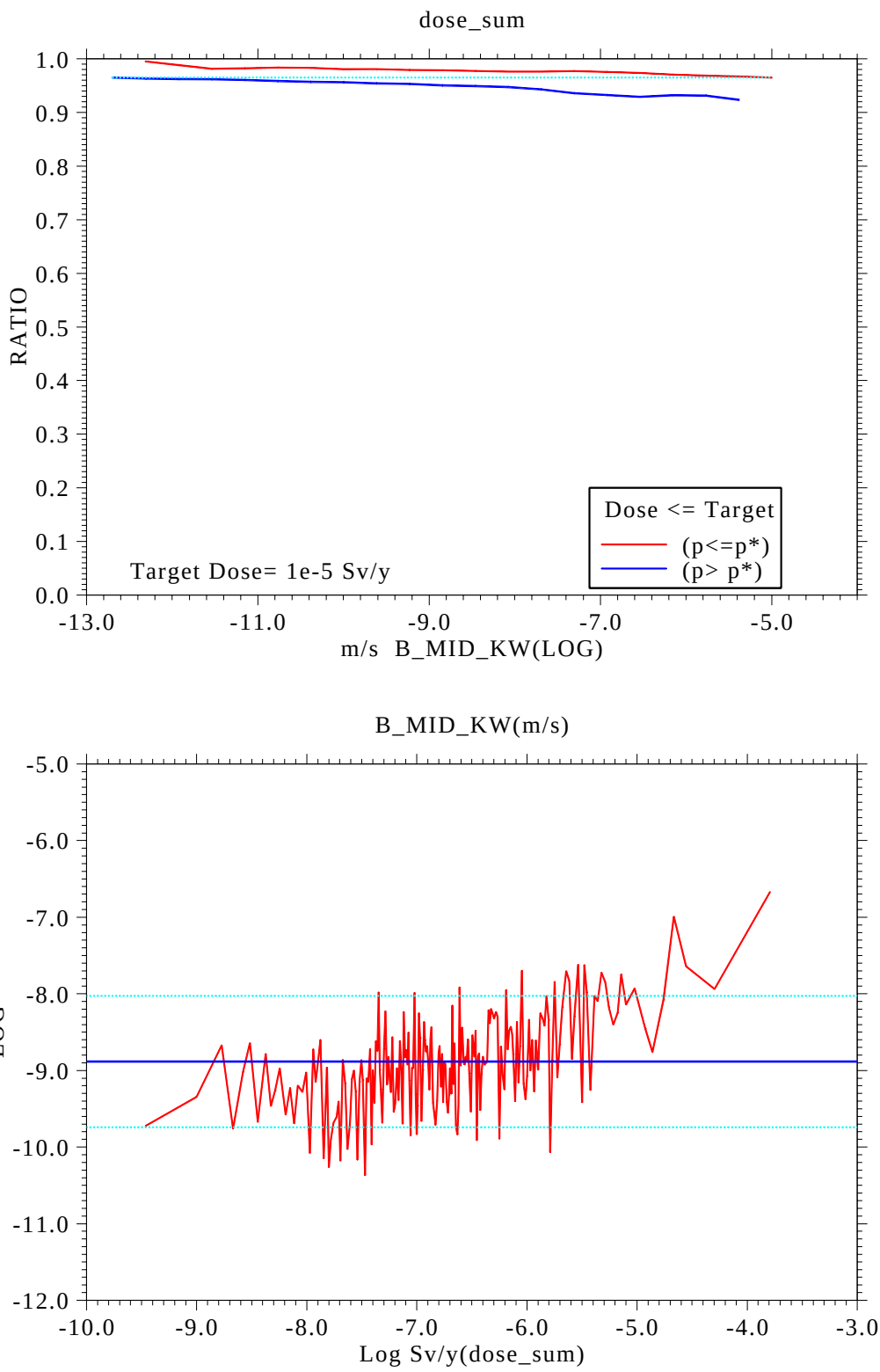


図 4.1.5-33 **グループ３余裕深度処分の動水勾配の感度分析結果**
（1GBq/ton**，緩衝材あり）**

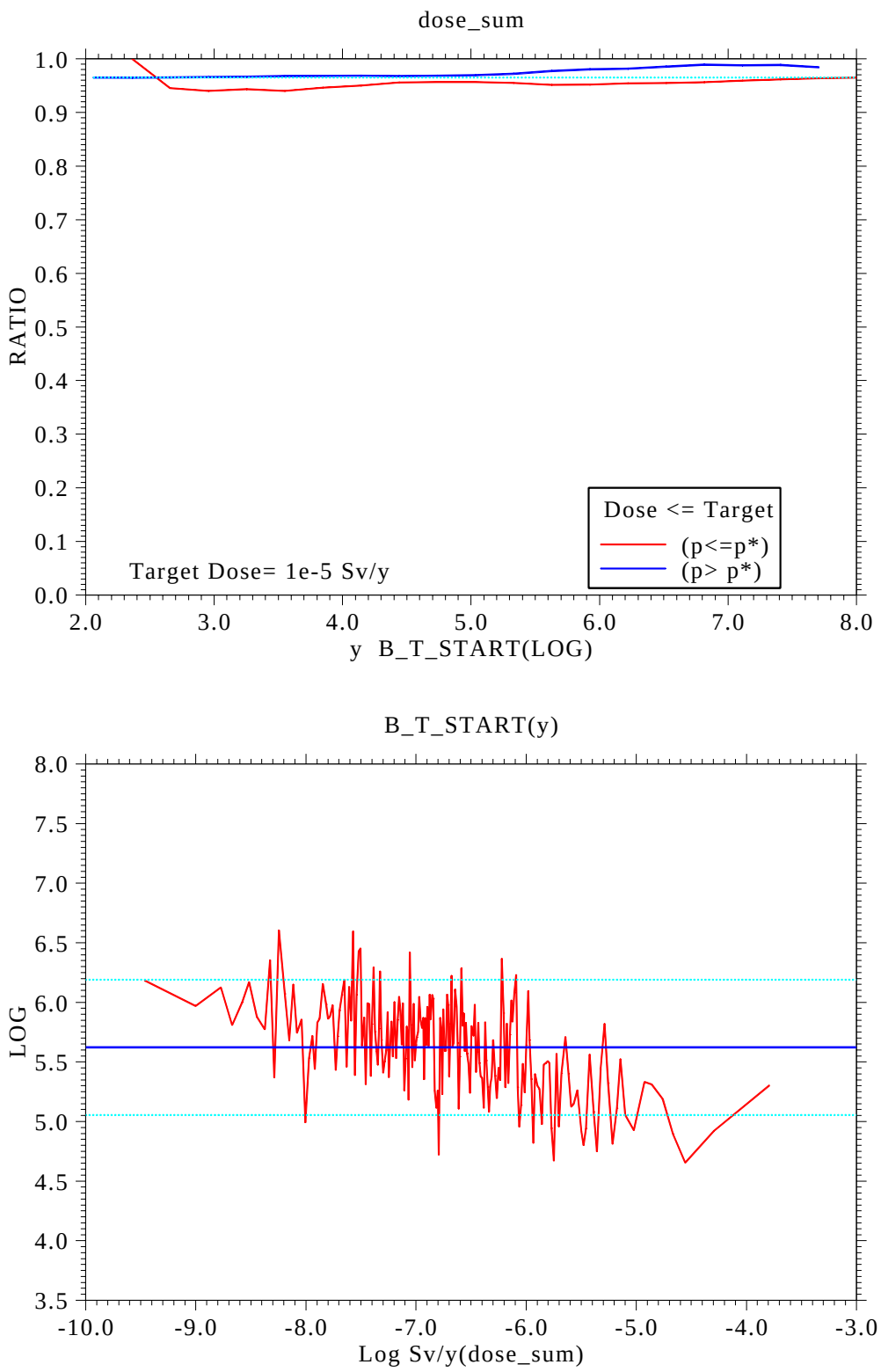
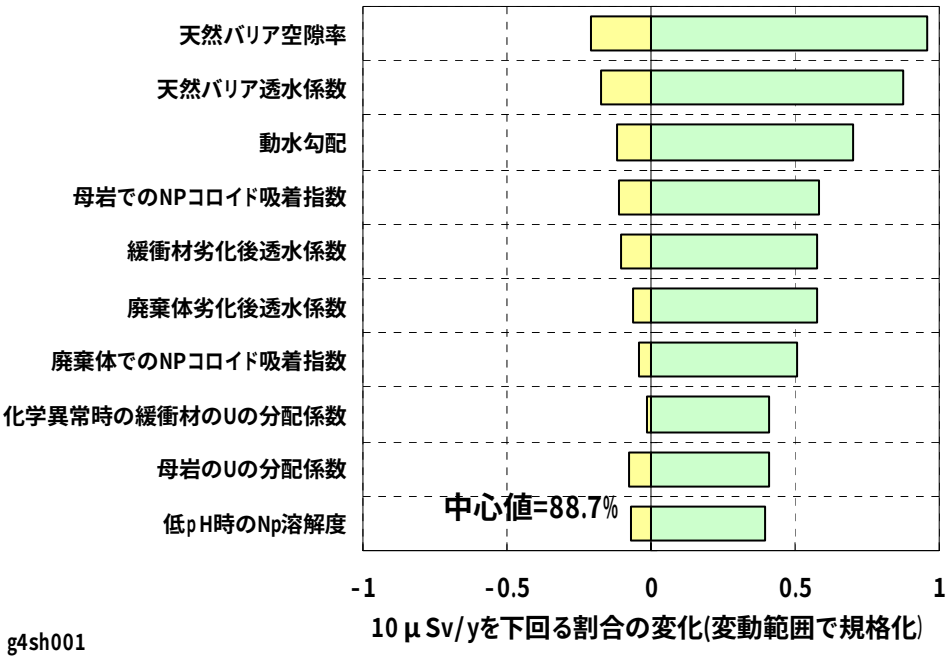


図 4.1.5-34 **グループ３余裕深度処分の緩衝材劣化開始時刻の感度分析結果**
（1GBq/ton**，緩衝材あり）**



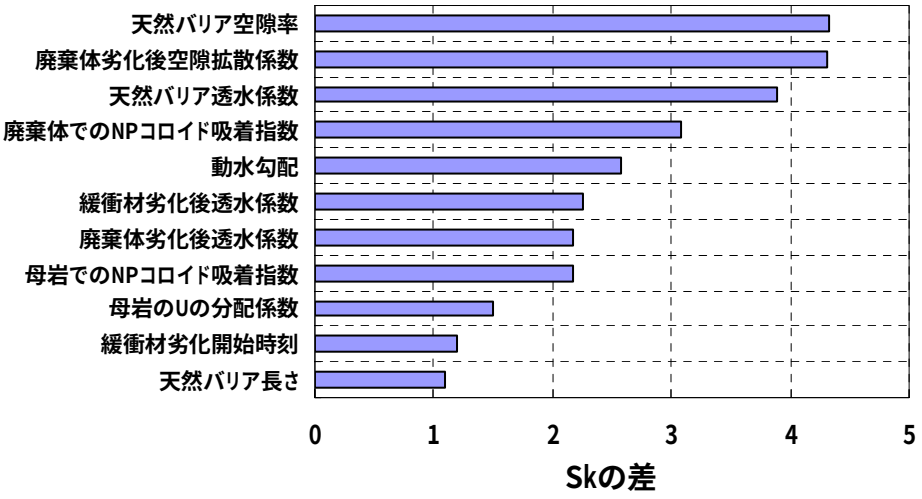


図 4.1.5-35　**グループ４余裕深度処分の感度分析結果の比較**（1GBq/ton，**緩衝材あり**）

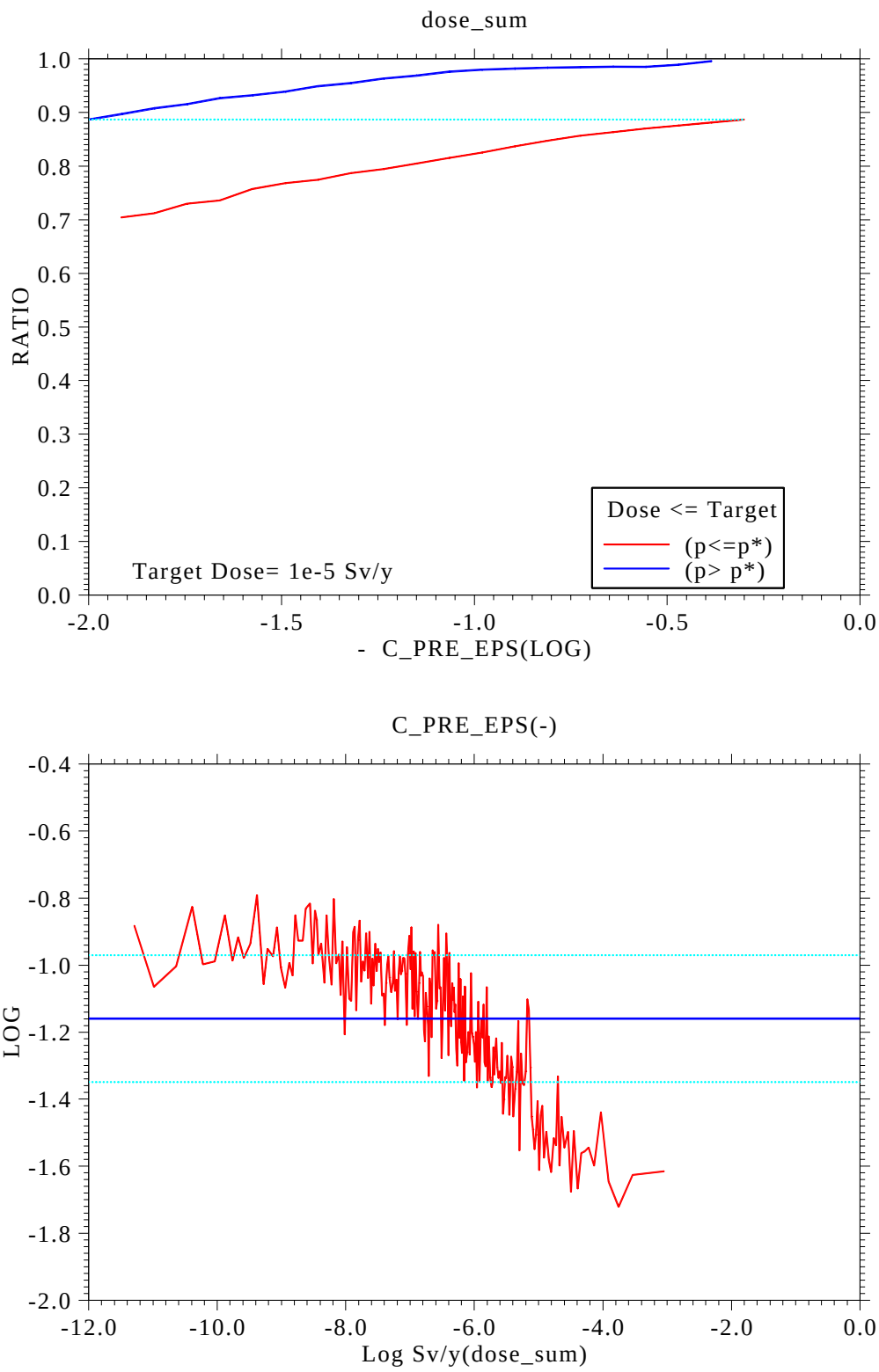
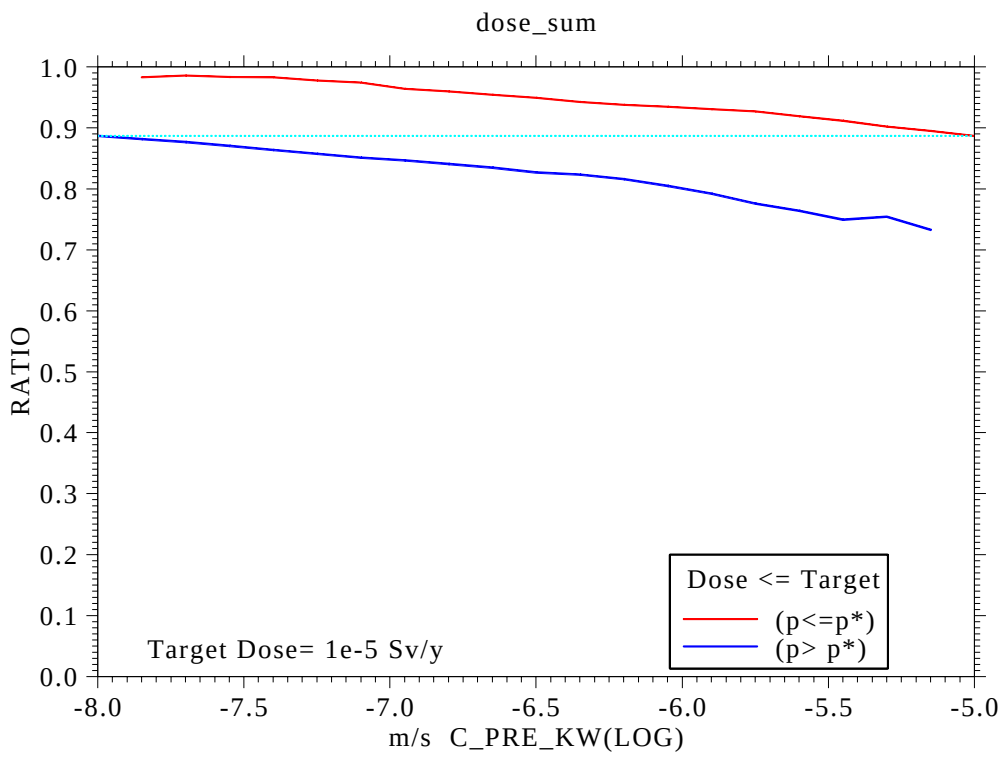


図 4.1.5-36　**グループ４余裕深度処分の天然バリア空隙率の感度分析結果**
（1GBq/ton**，緩衝材あり）**



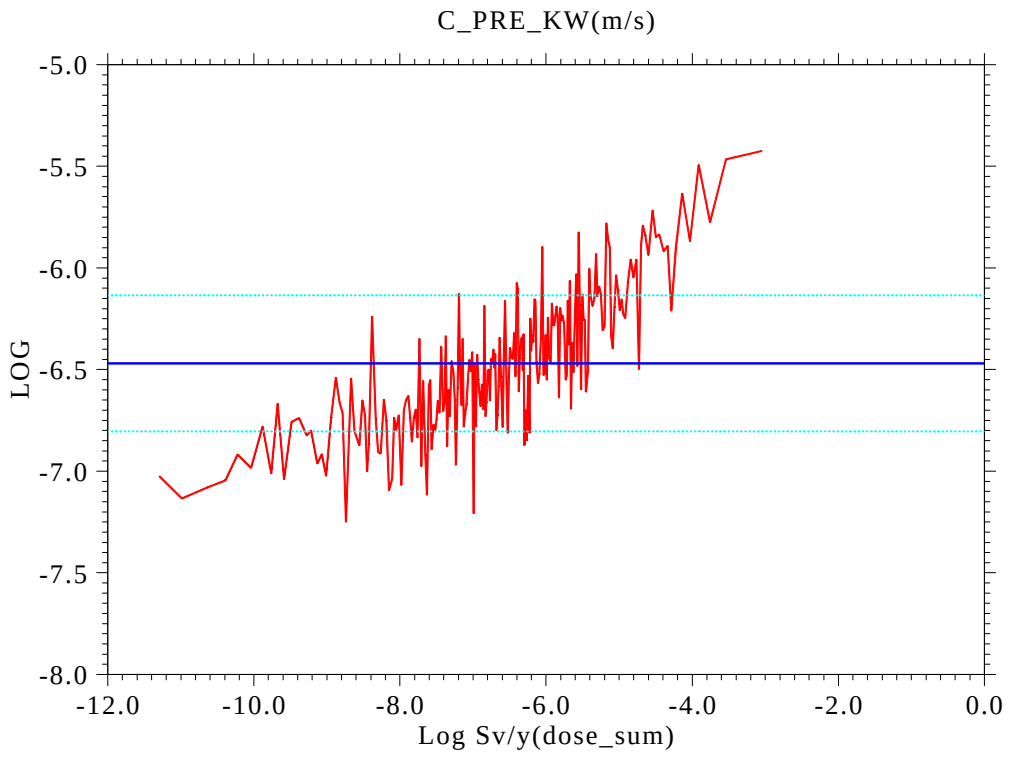
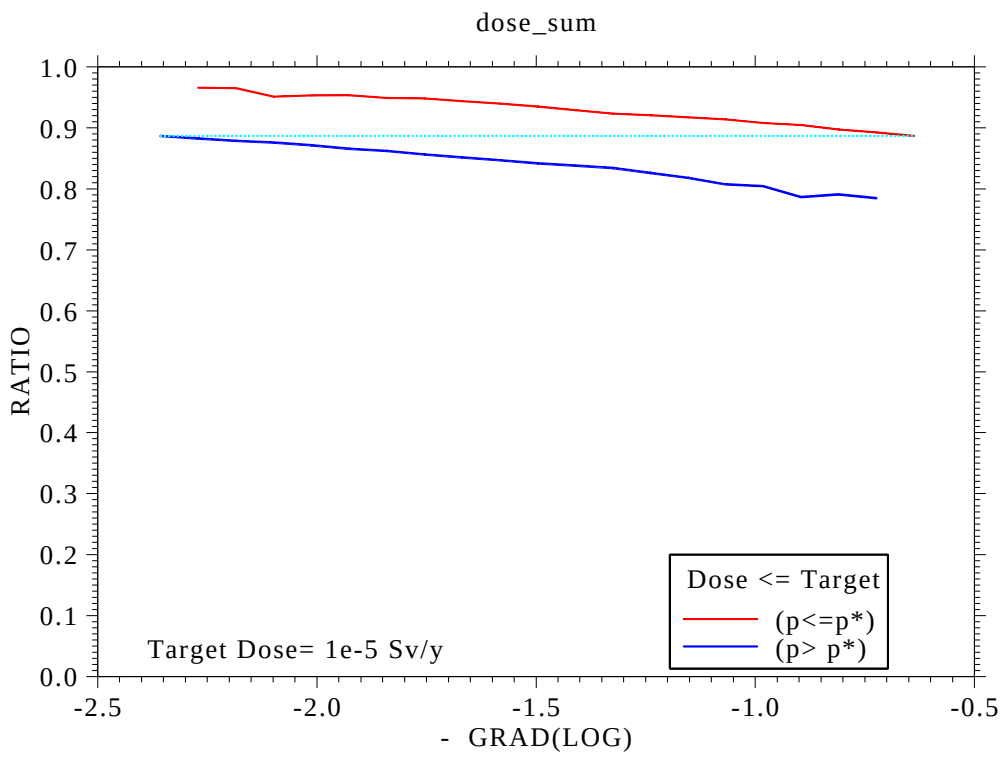


図 4.1.5-37 **グループ４余裕深度処分の天然バリア透水係数の感度分析結果**
（1GBq/ton**，緩衝材あり）**



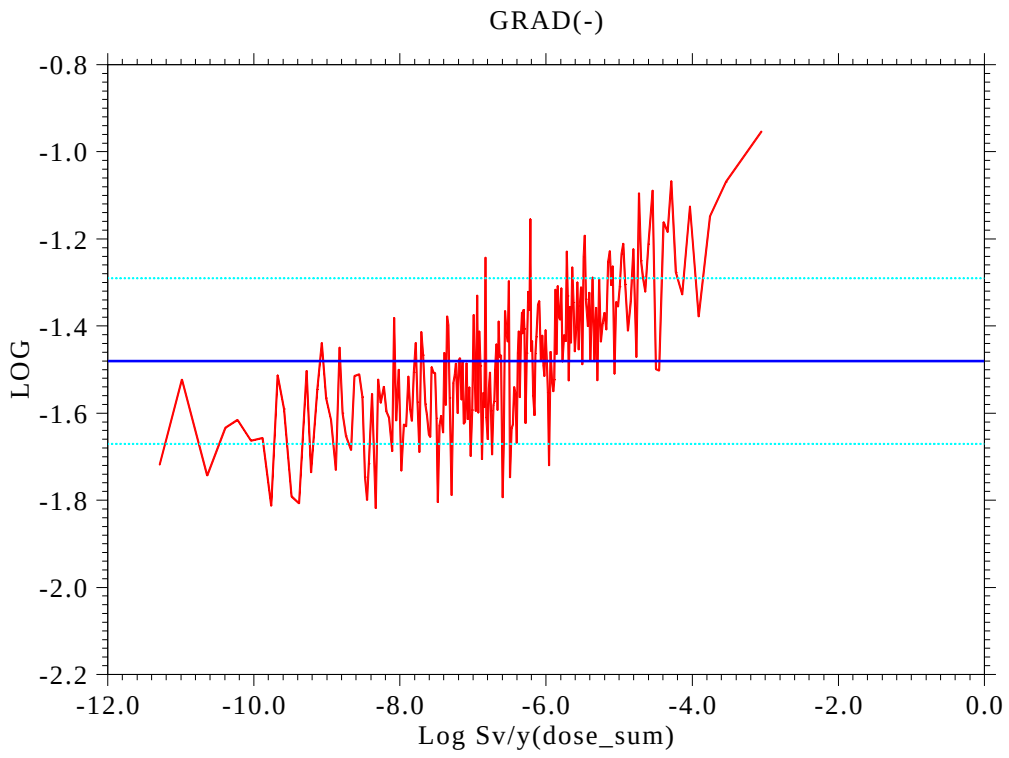


図 4.1.5-38　**グループ４余裕深度処分の動水勾配の感度分析結果**
（1GBq/ton**，緩衝材あり）**

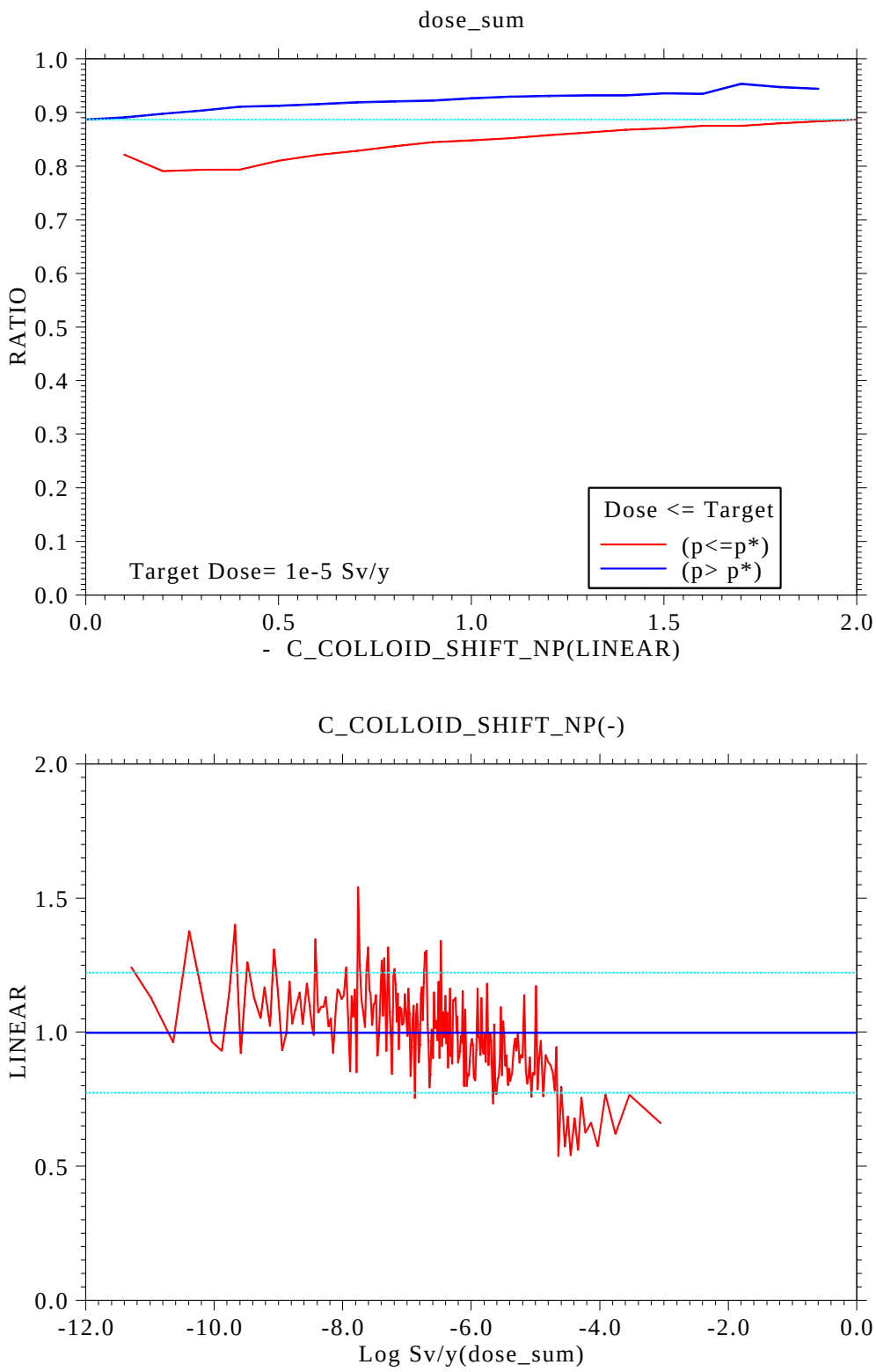
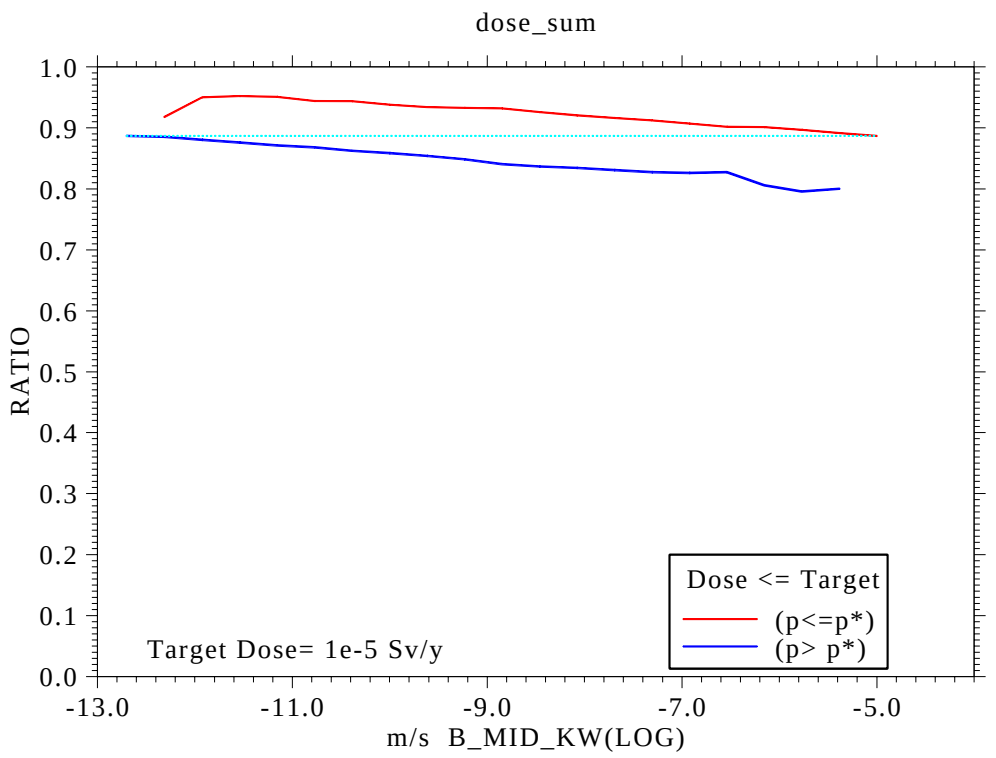


図 4.1.5-39　**グループ４余裕深度処分の天然バリアでの** NP **コロイド吸着指数の感度分析結果（**1GBq/ton**，緩衝材あり）**



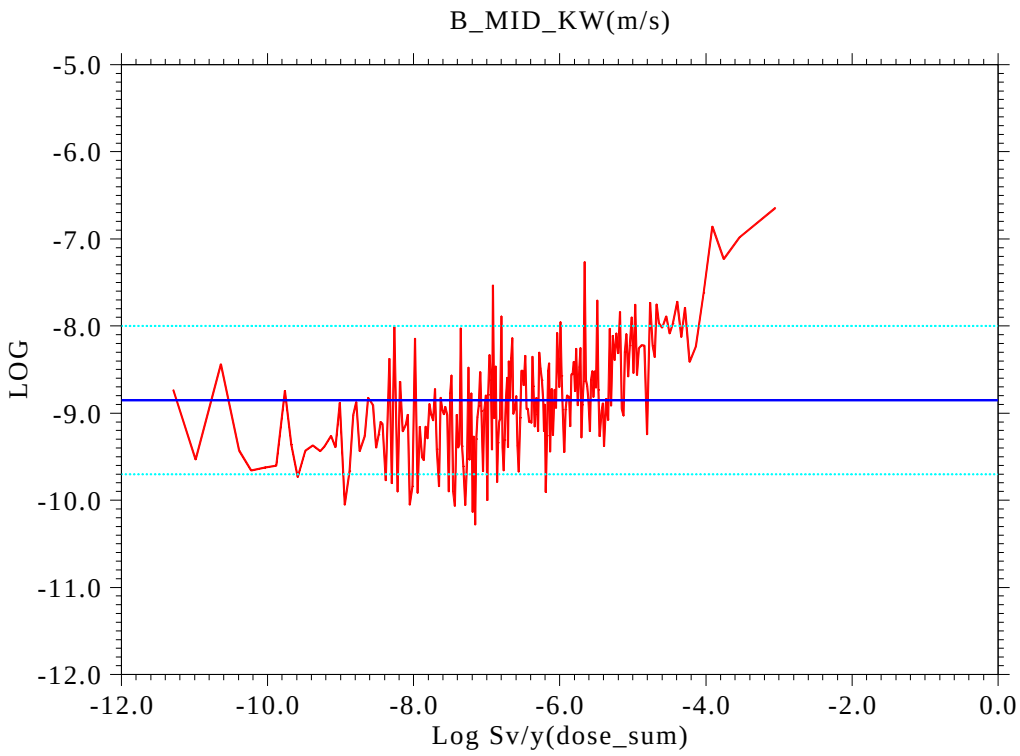
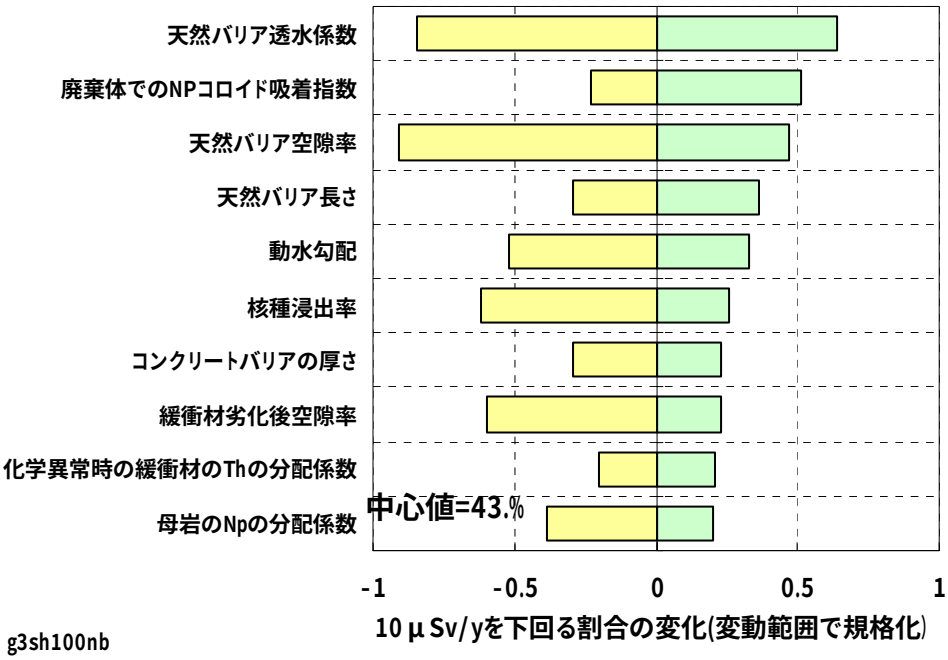


図 4.1.5-40 **グループ４余裕深度処分の緩衝材の劣化後透水係数の感度分析結果（**1GBq/ton**，緩衝材あり）**



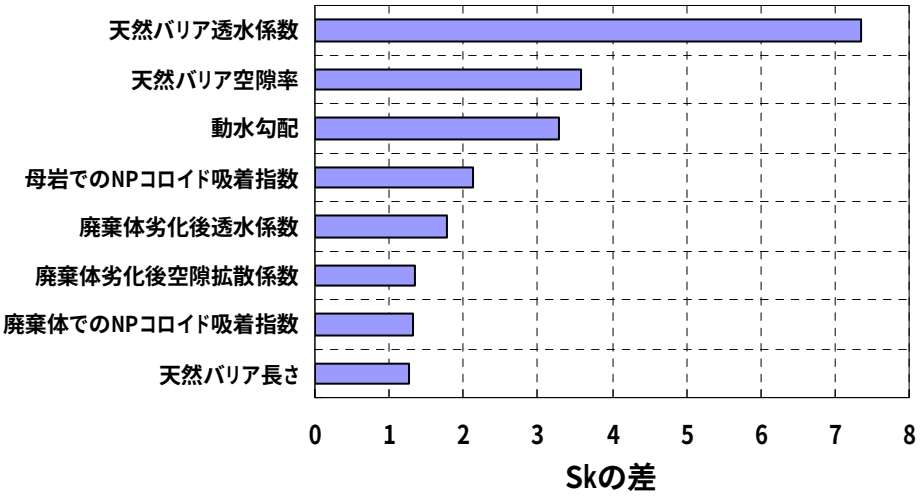
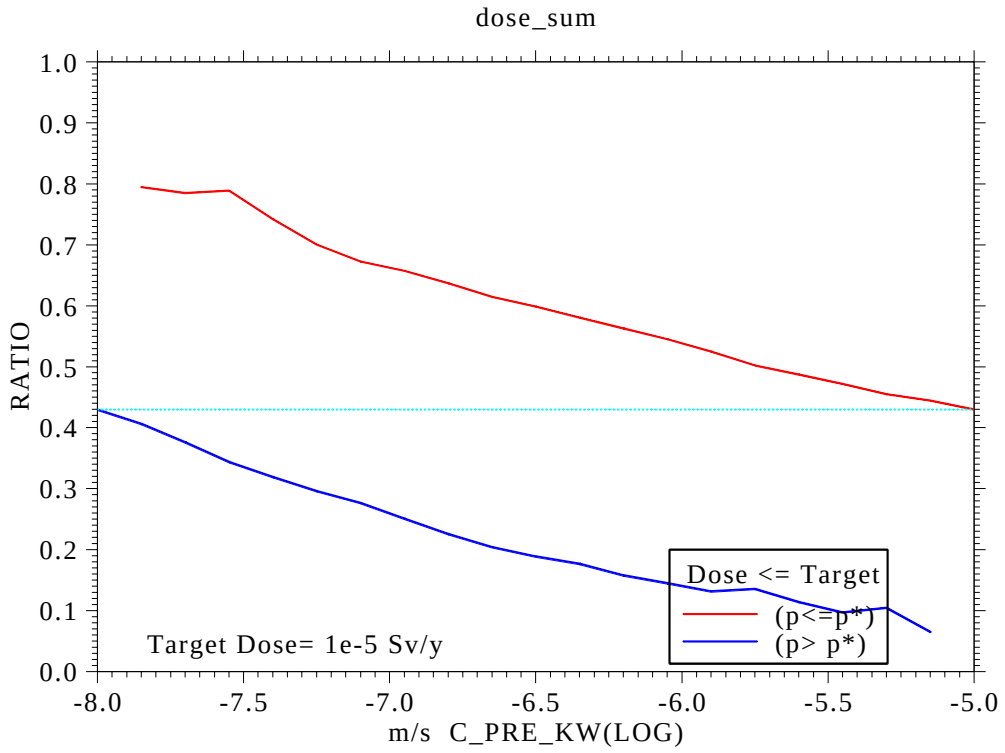


図 4.1.5-41　**グループ** 3 **余裕深度処分の感度分析結果の比較**

（50GBq/ton**，緩衝材なし）**



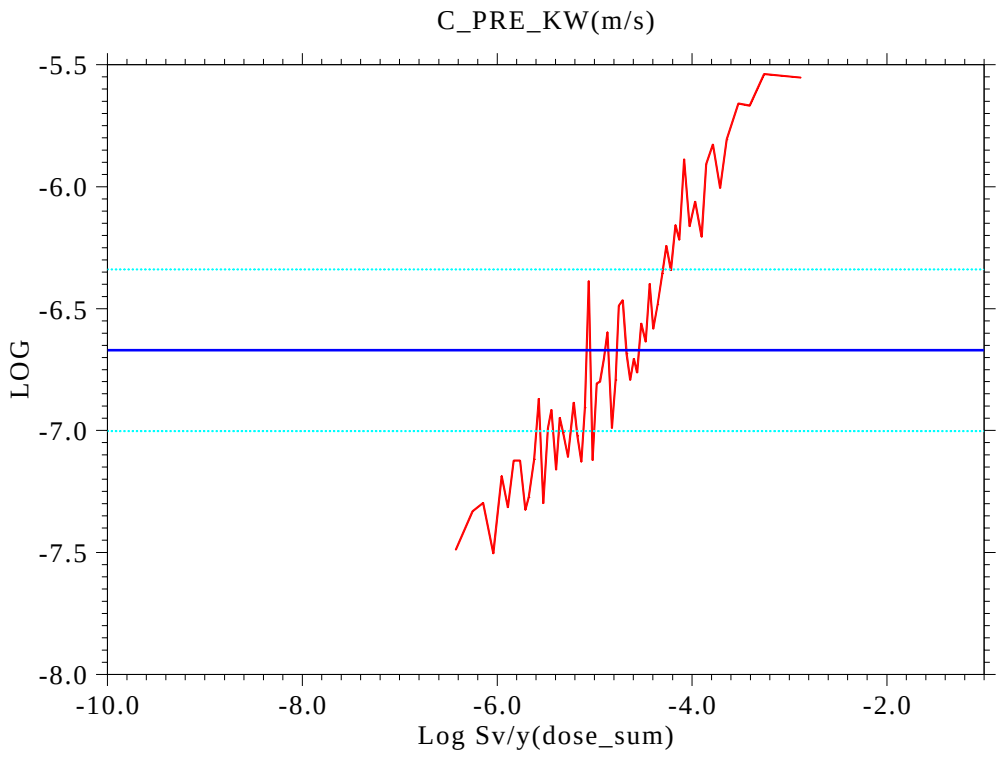


図 4.1.5-42 グループ３余裕深度処分の天然バリア透水係数の感度分析結果
（50GBq/ton，緩衝材なし）

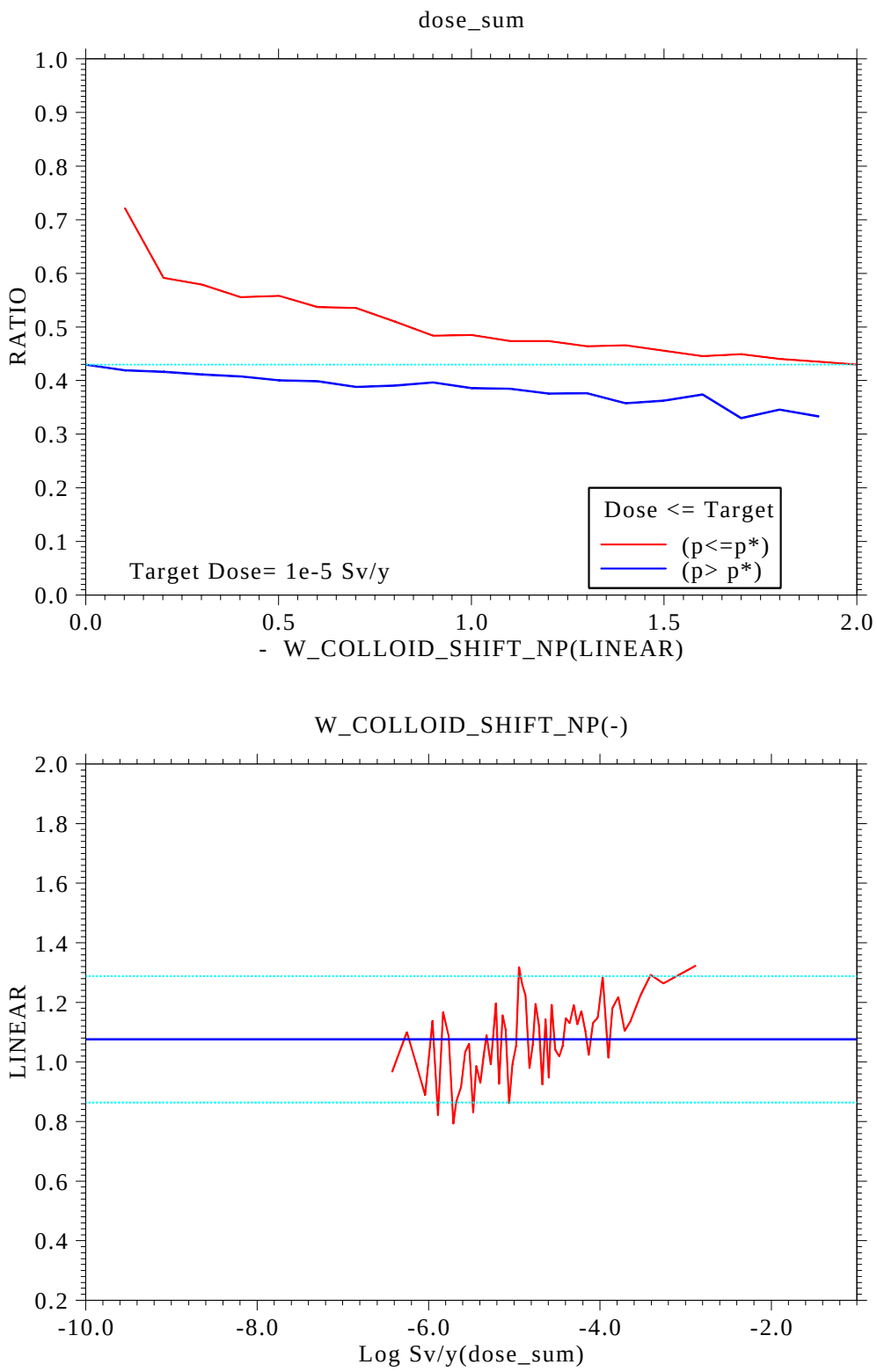


図 4.1.5-43　**グループ３余裕深度処分の廃棄体での** NP **のコロイド吸着指数の感度分析結果（**50GBq/ton**，緩衝材なし）**

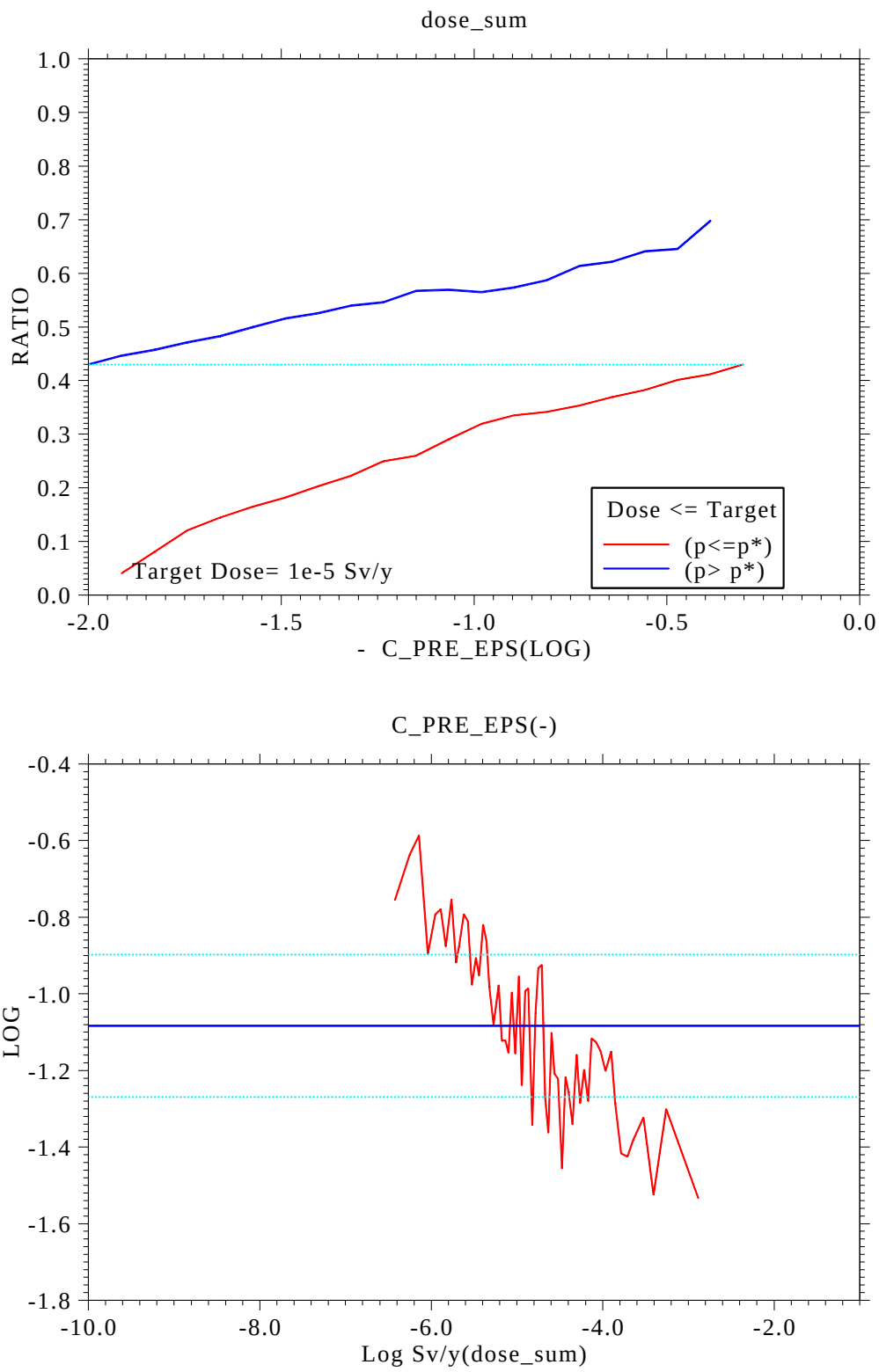
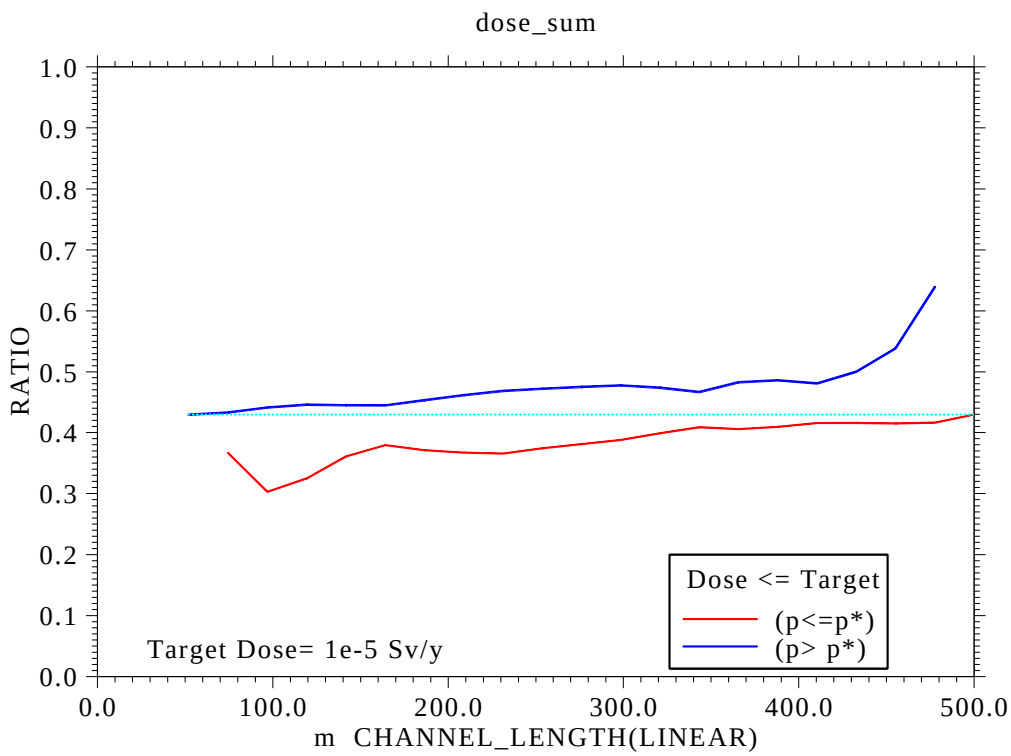


図 4.1.5-44　**グループ３余裕深度処分の天然バリア空隙率の感度分析結果**
（50GBq/ton**，緩衝材なし）**



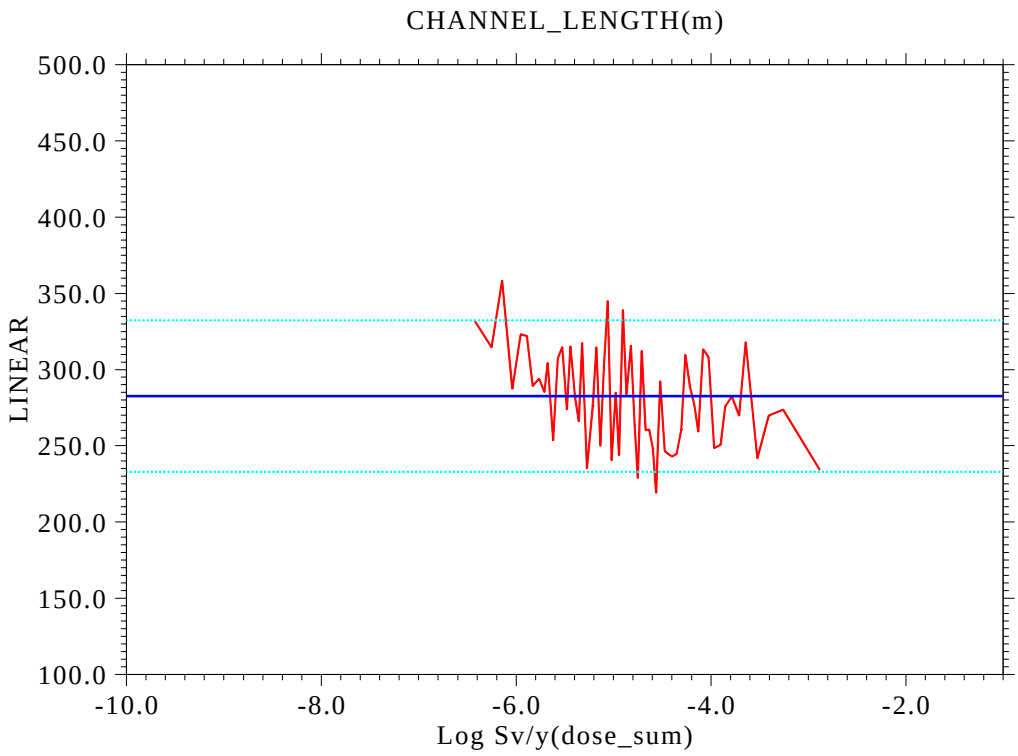


図 4.1.5-45 **グループ３余裕深度処分の天然バリア長さの感度分析結果**
（50GBq/ton**，緩衝材なし）**

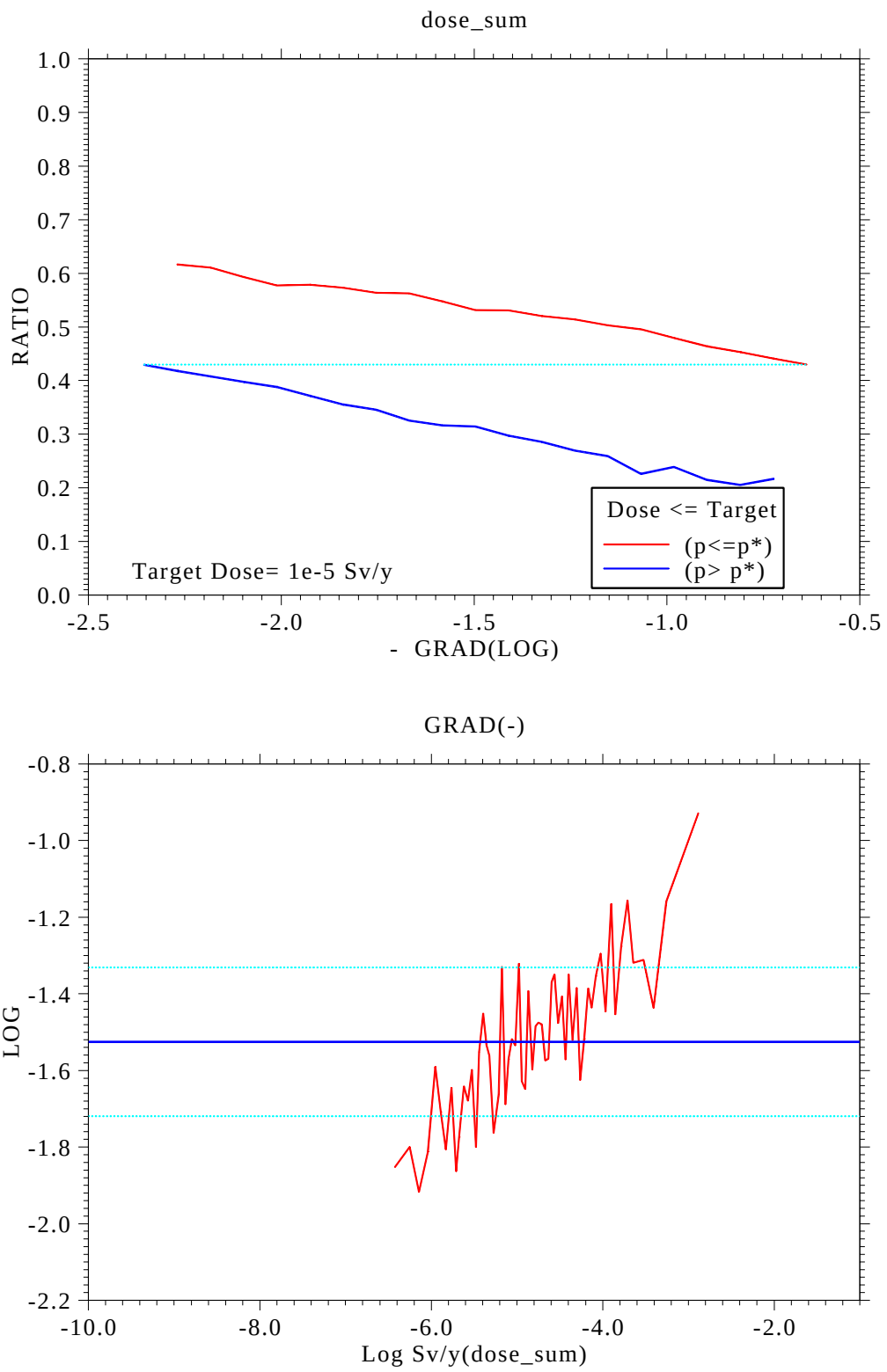
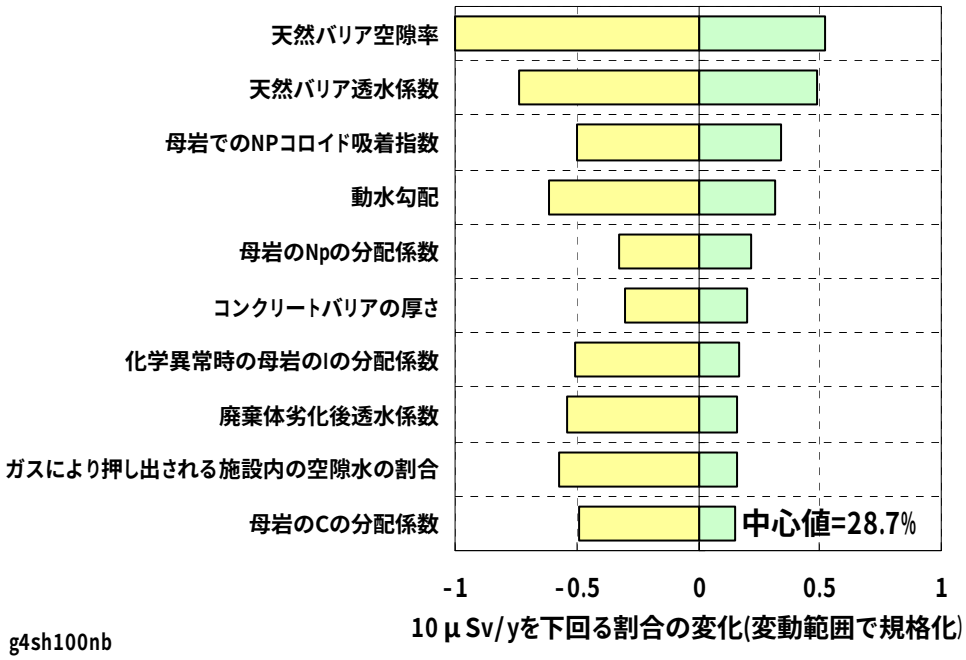


図 4.1.5-46　**グループ３余裕深度処分の動水勾配の感度分析結果（**50GBq/ton**，緩衝材なし）**



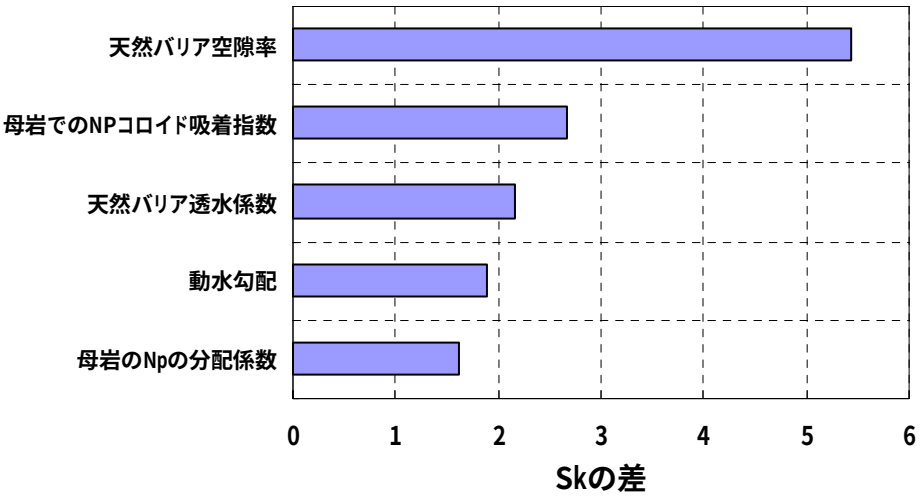


図 4.1.5-47　**グループ** 4 **余裕深度処分の感度分析結果の比較**

（50GBq/ton**，緩衝材なし）**

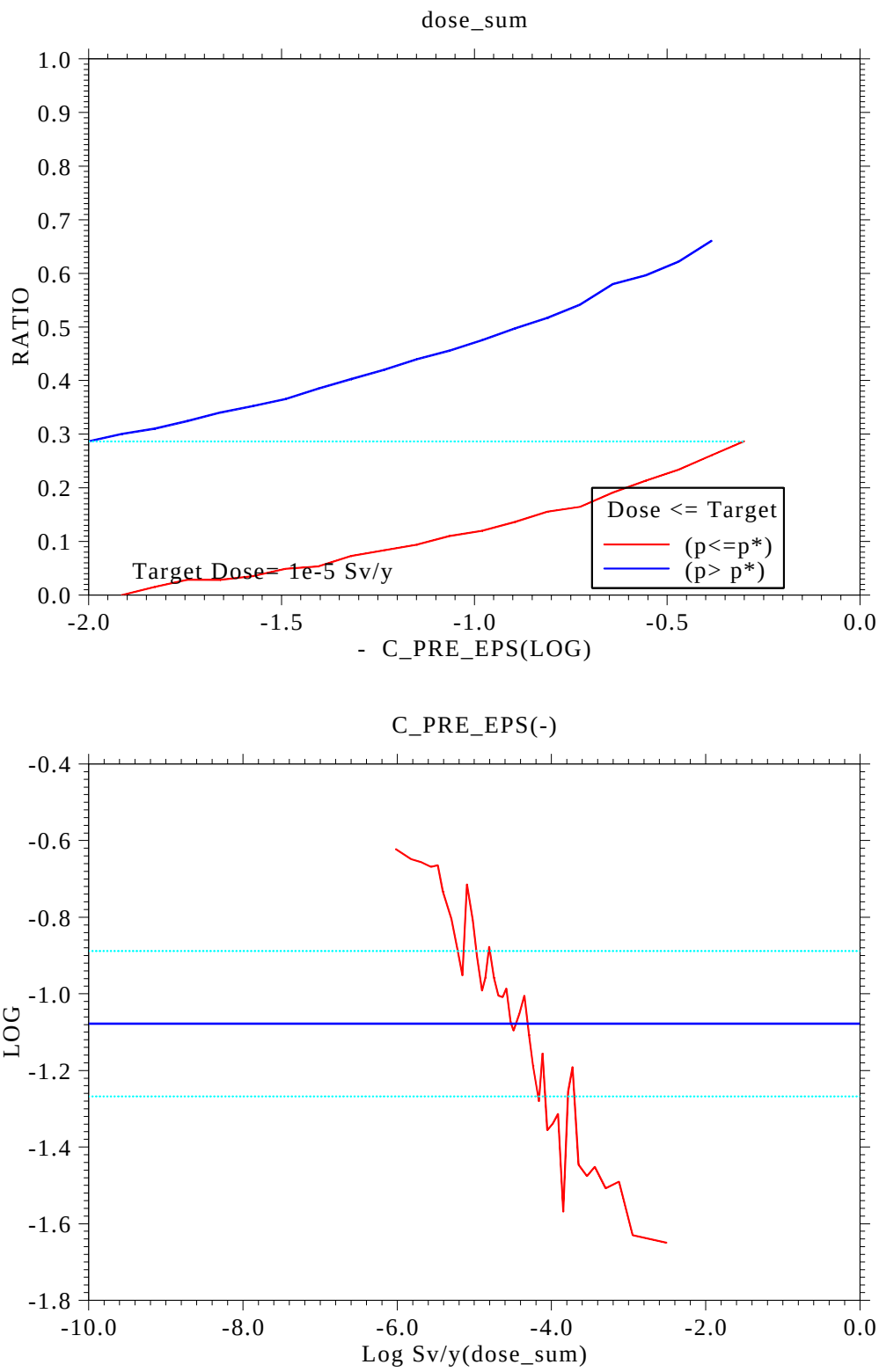
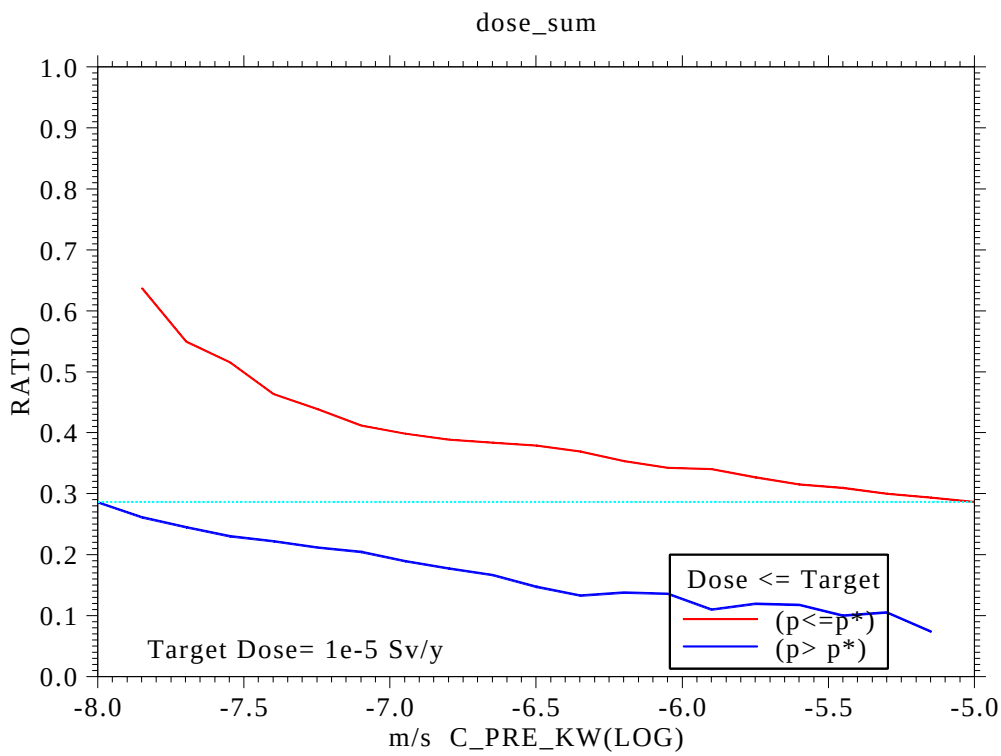


図 4.1.5-48　**グループ４余裕深度処分の天然バリア空隙率の感度分析結果**（50GBq/ton，**緩衝材なし**）



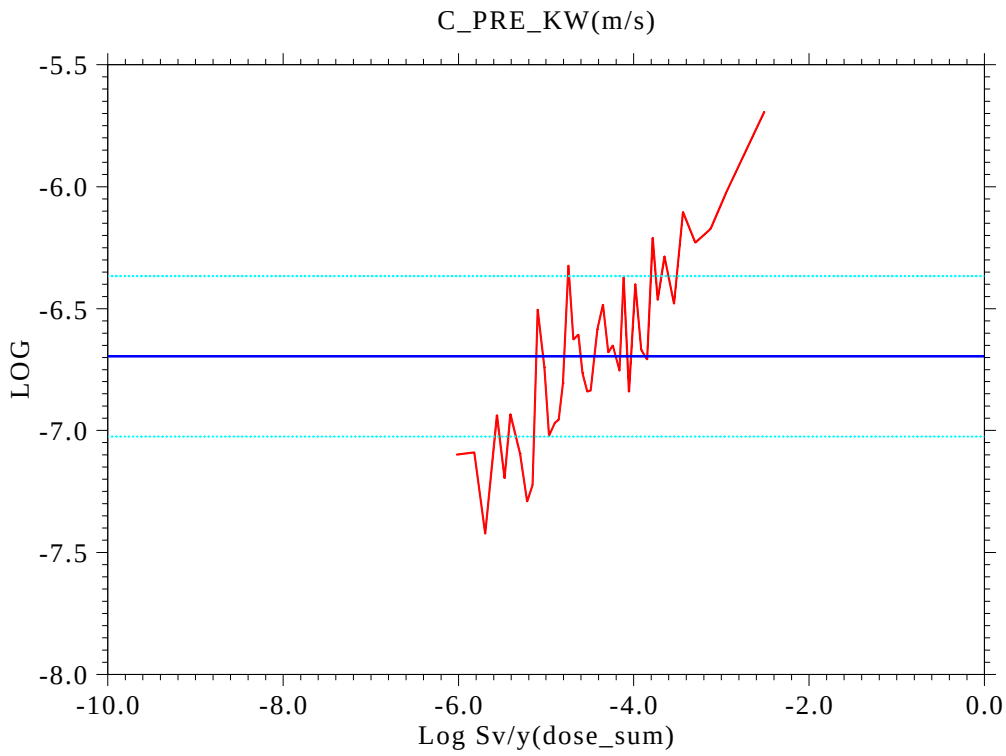


図 4.1.5-49 **グループ４余裕深度処分の天然バリアでの透水係数の感度分析結果（**50GBq/ton**，緩衝材なし）**

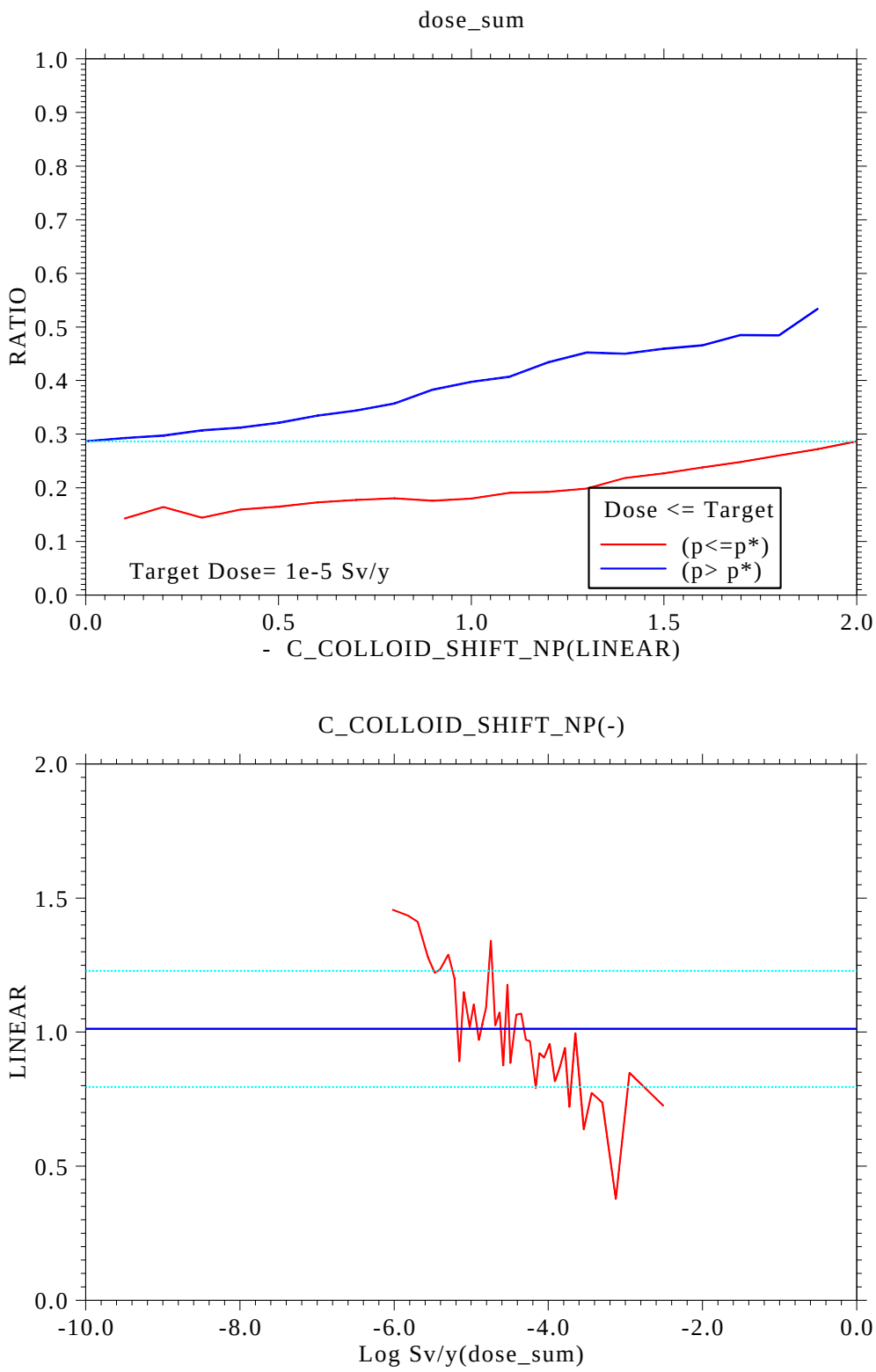
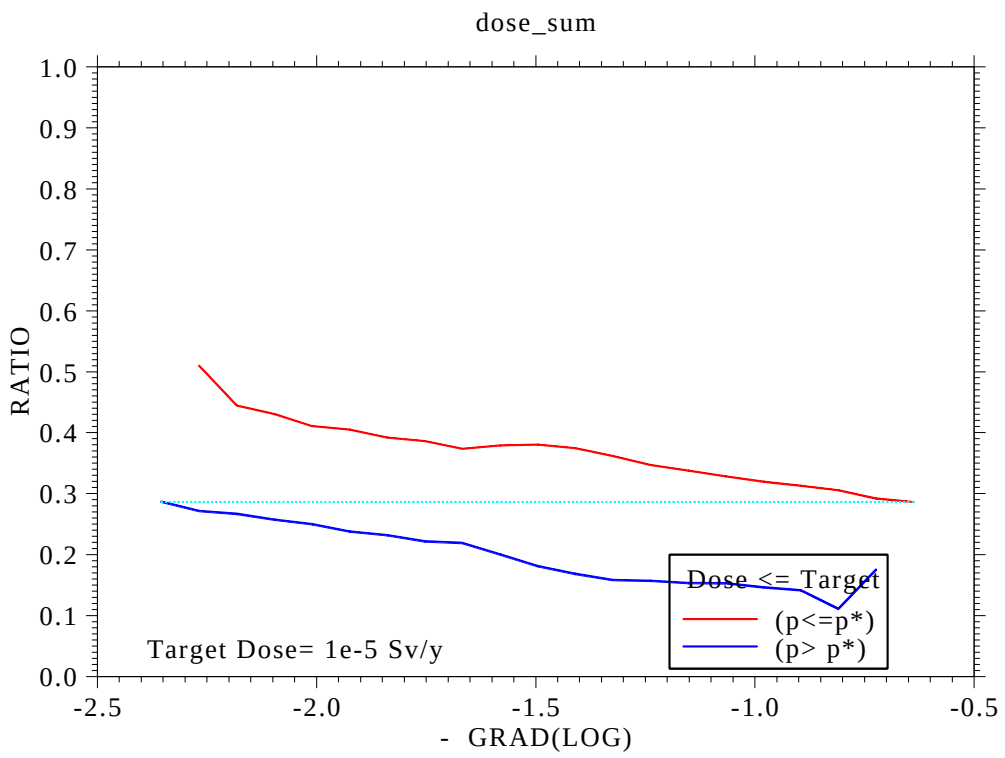


図 4.1.5-50　**グループ４余裕深度処分の天然バリアでの** NP **コロイド吸着指数の感度分析結果（**50GBq/ton**，緩衝材なし）**



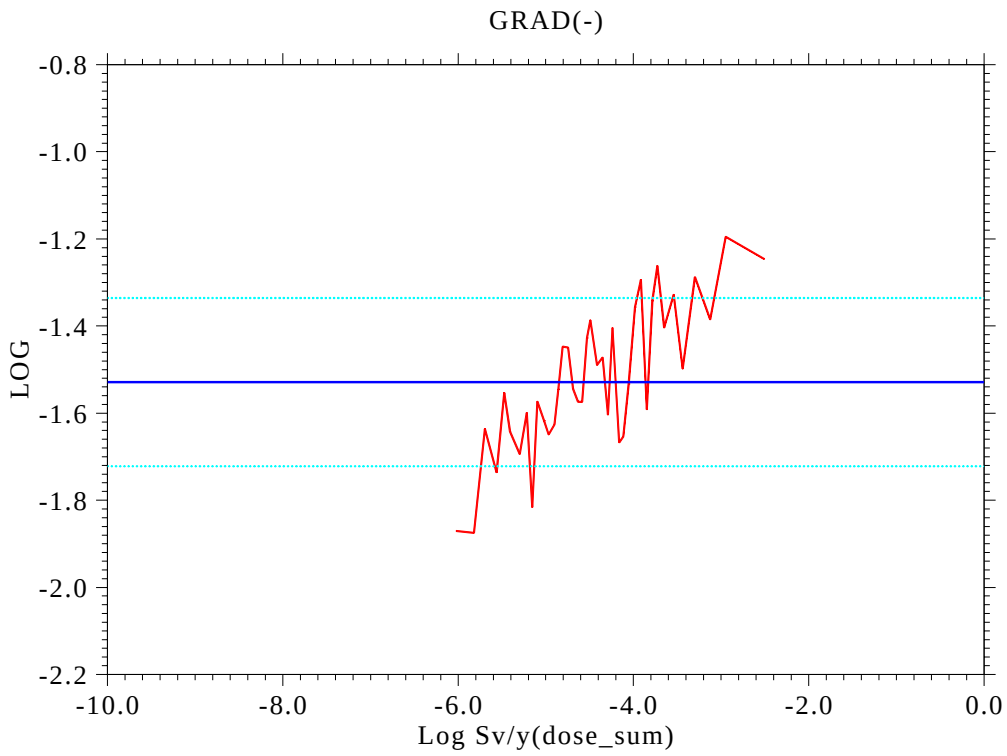
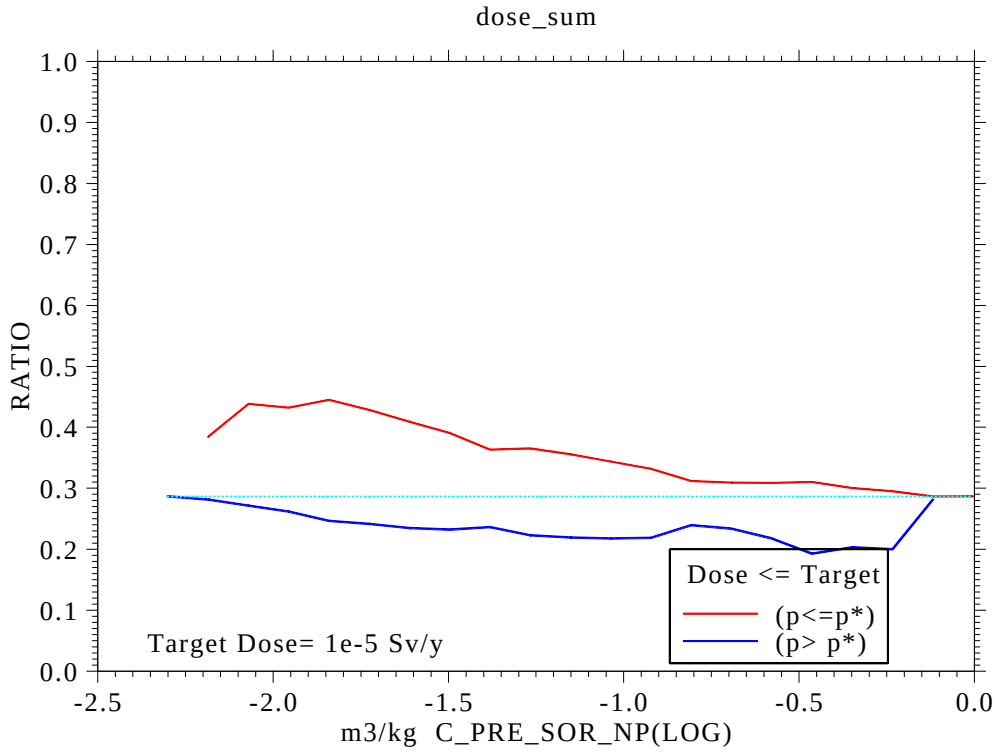


図 4.1.5-51　**グループ４余裕深度処分の動水勾配の感度分析結果**
（50GBq/ton**，緩衝材なし）**



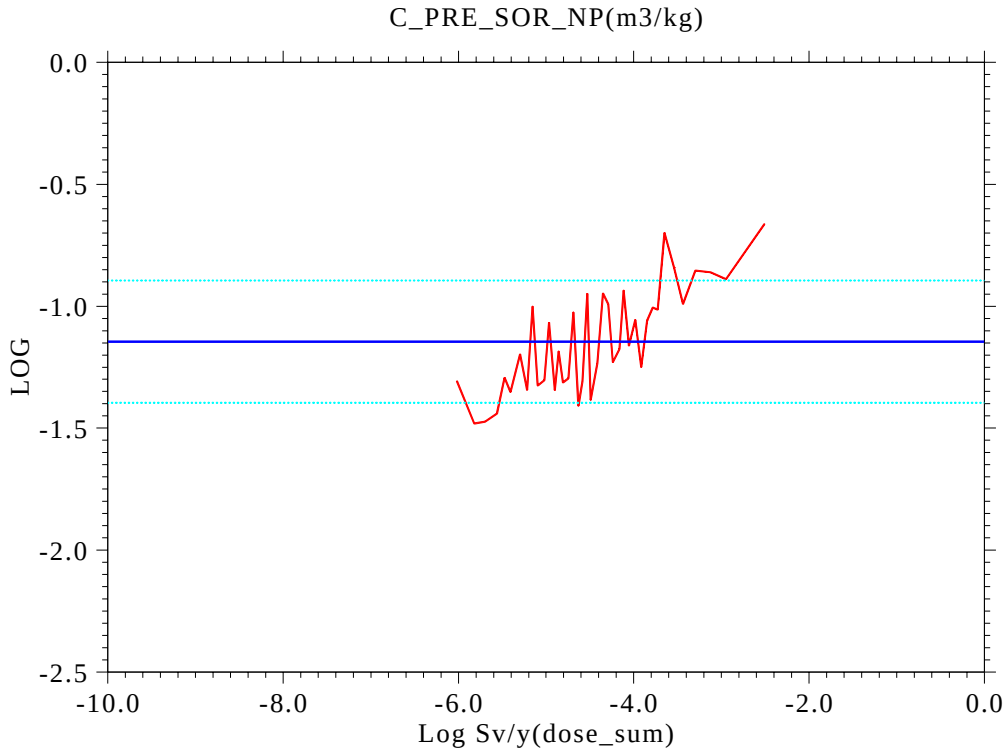
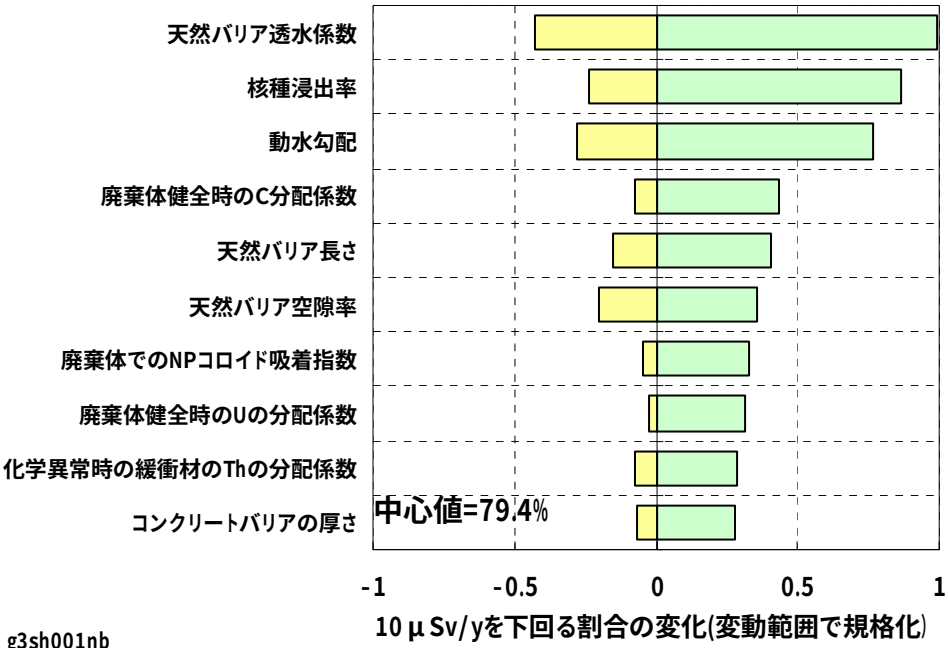


図 4.1.5-52 **グループ４余裕深度処分の母岩の** Np **の分配係数の感度分析結果**
（50GBq/ton**，緩衝材なし）**



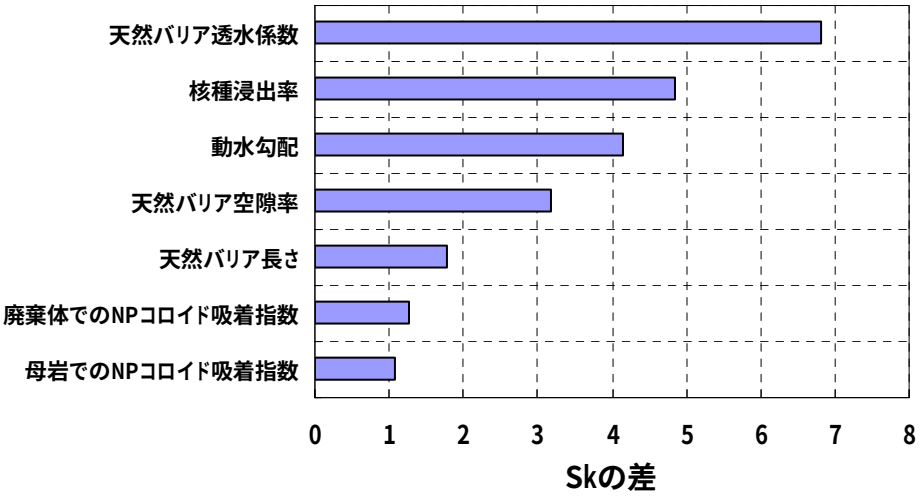
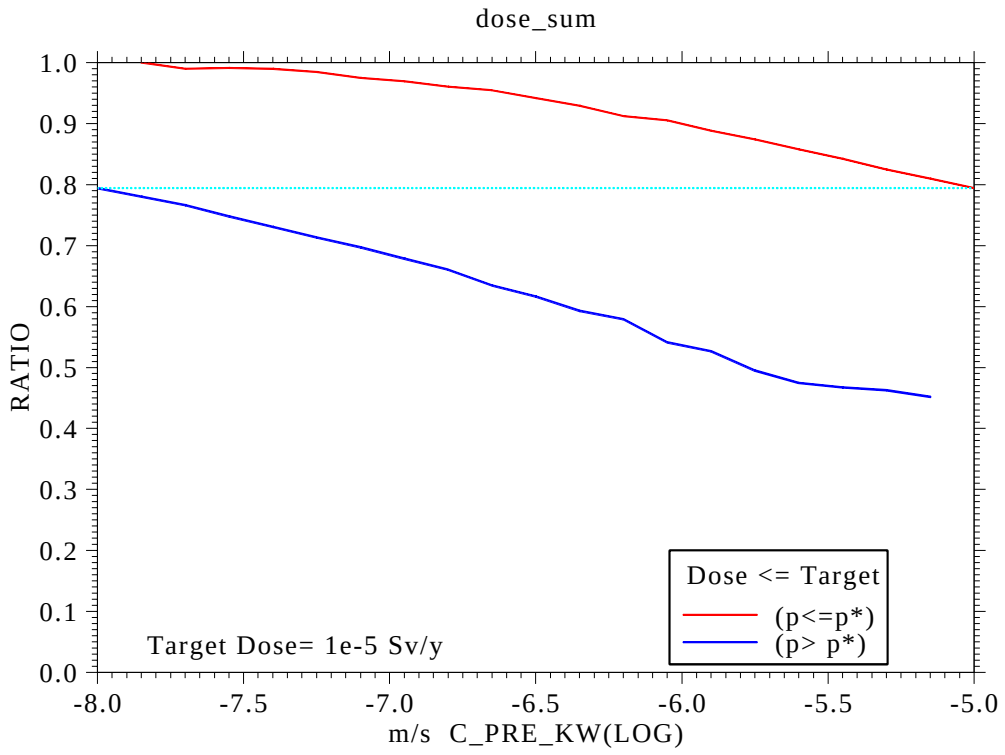


図 4.1.5-53　**グループ** 3 **余裕深度処分の感度分析結果の比較**（1GBq/ton，**緩衝材なし**）



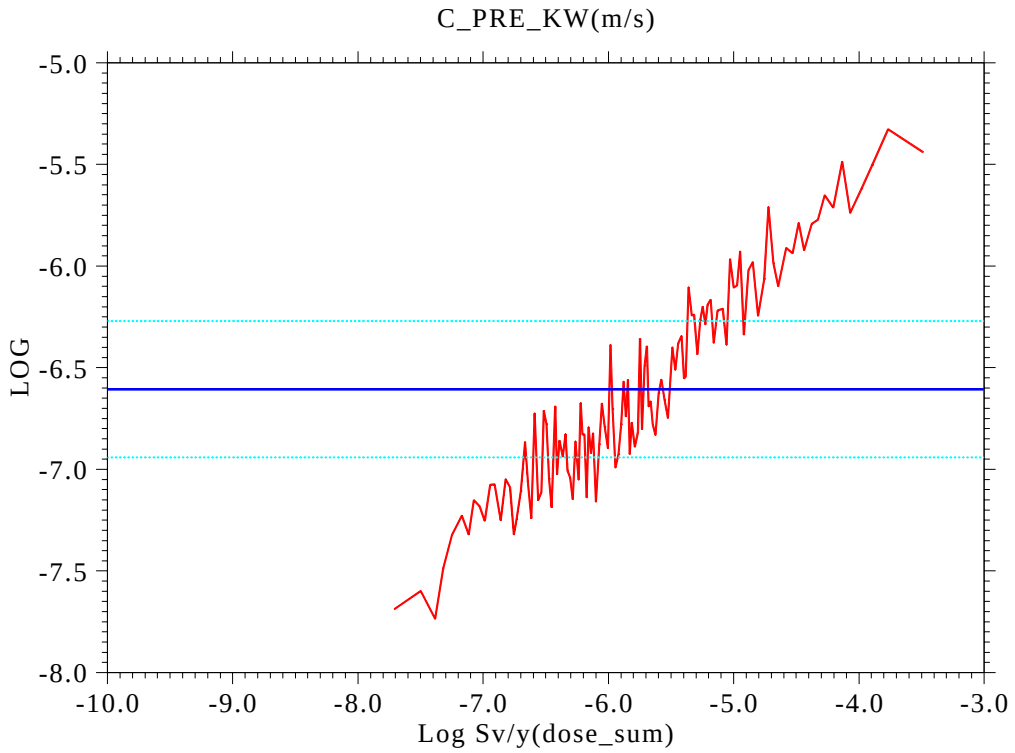
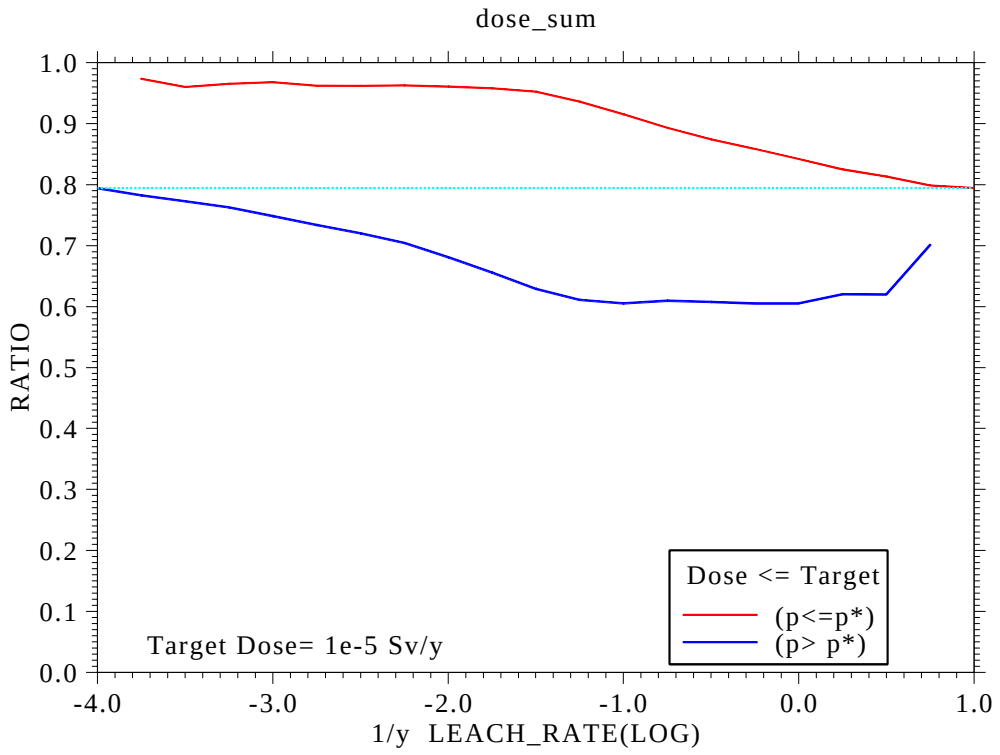


図 4.1.5-54 **グループ３余裕深度処分の天然バリア透水係数の感度分析結果**

（1GBq/ton**，緩衝材なし）**



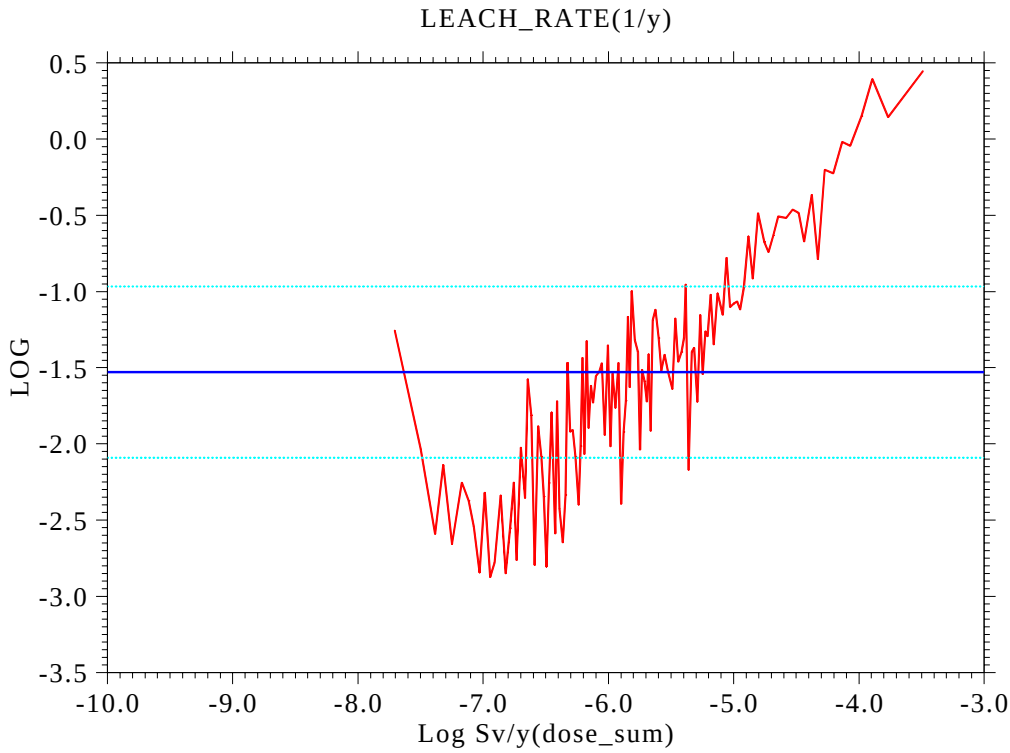
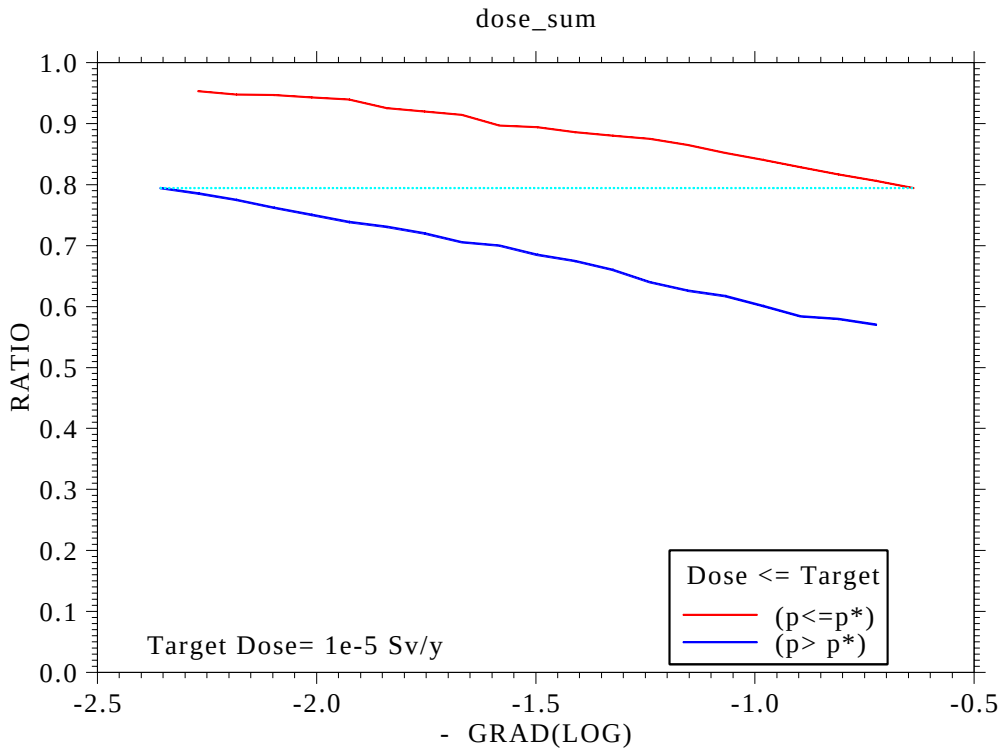


図 4.1.5-55 **グループ３余裕深度処分の核種浸出率の感度分析結果**

（1GBq/ton**，緩衝材なし）**



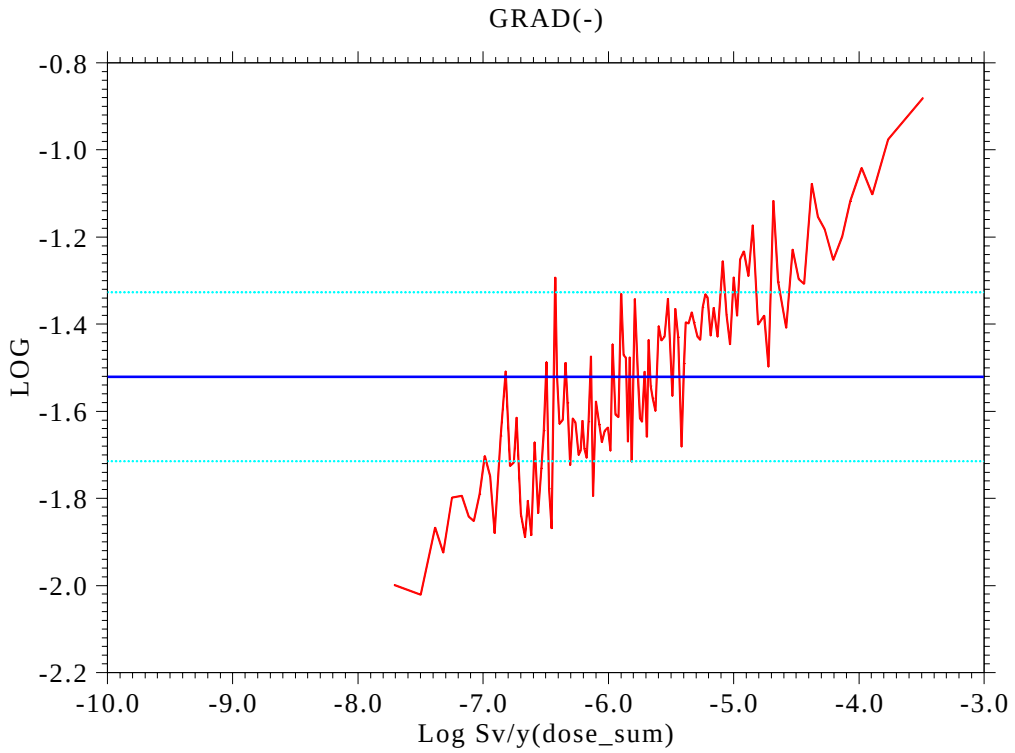


図 4.1.5-56　**グループ３余裕深度処分の動水勾配の感度分析結果**

（1GBq/ton**，緩衝材なし）**

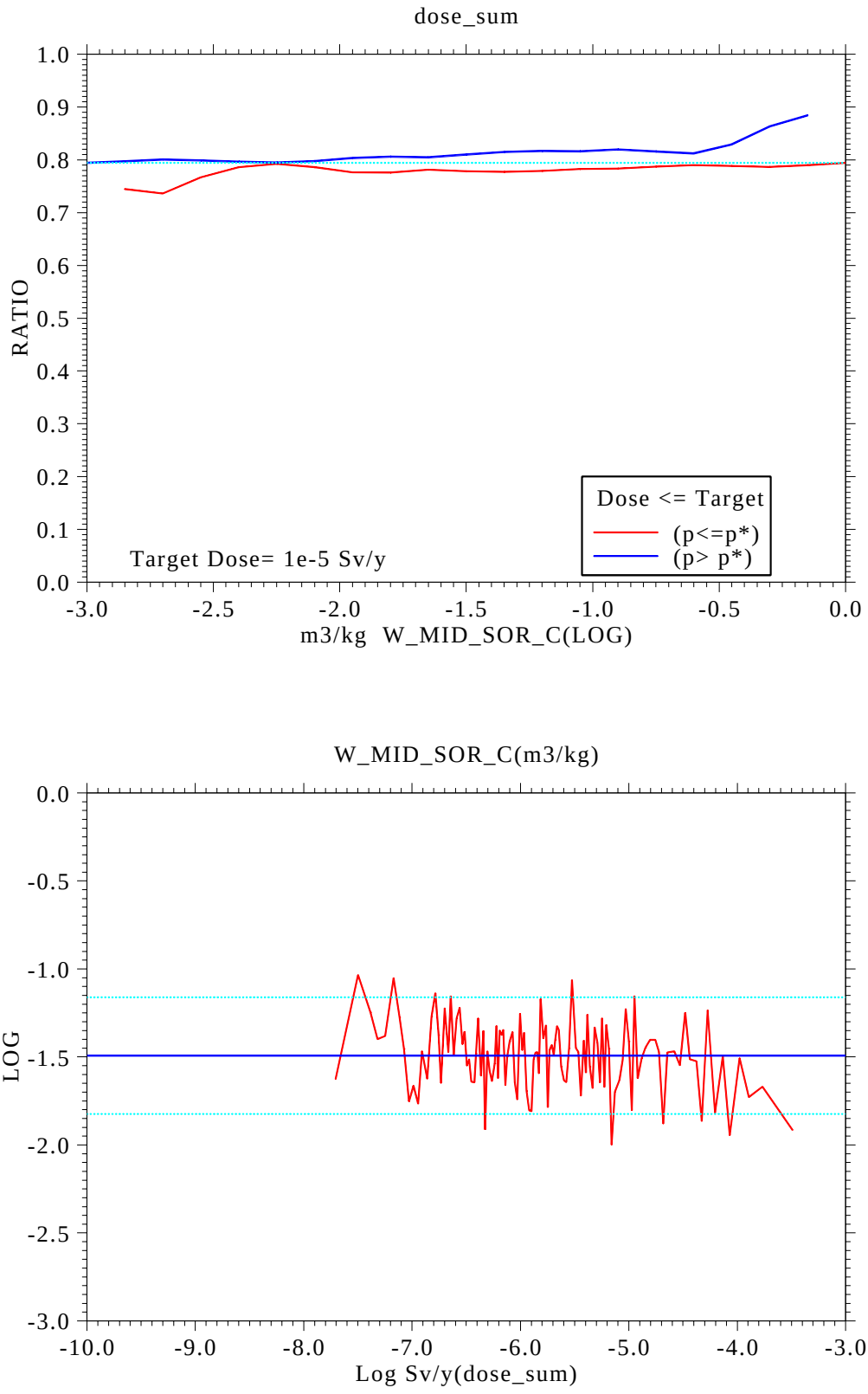
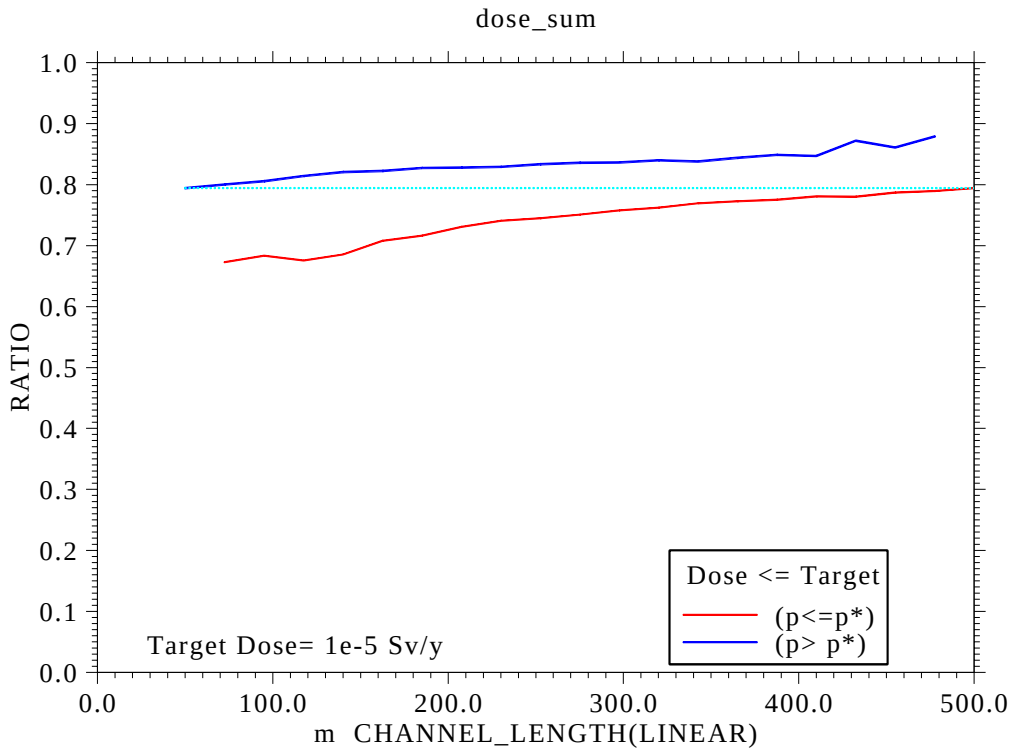


図 4.1.5-57 **グループ３余裕深度処分の廃棄体健全時の** C **の分配係数の感度分析結果**

（1GBq/ton**，緩衝材なし）**



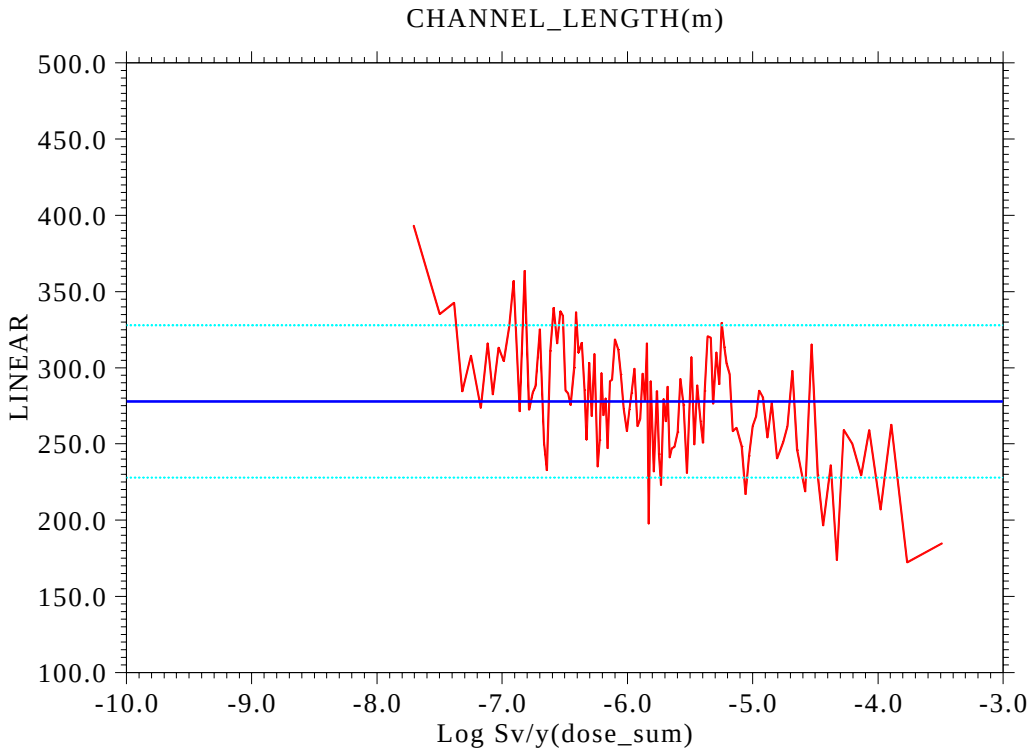
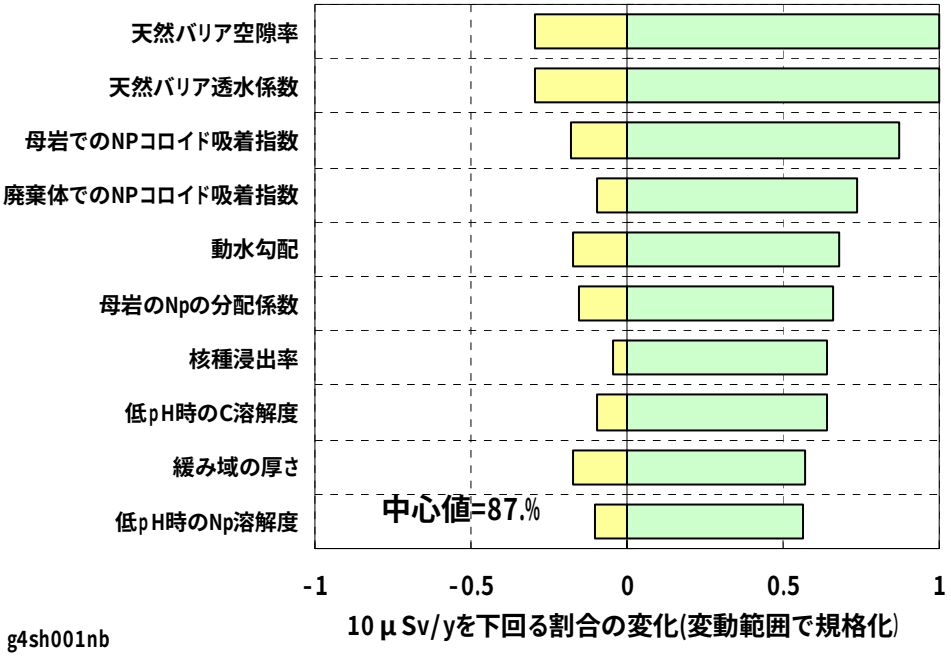


図 4.1.5-58　**グループ３余裕深度処分の天然バリア長さの感度分析結果**

（1GBq/ton**，緩衝材なし）**



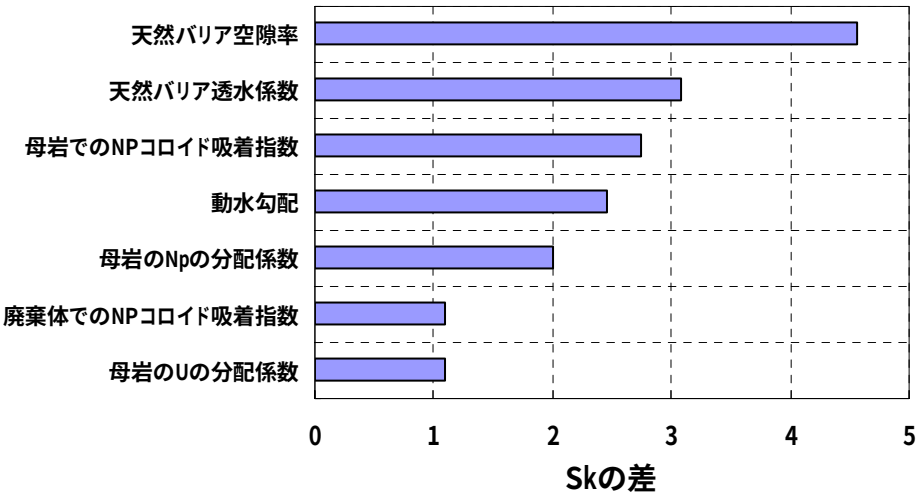


図 4.1.5-59　**グループ** 4 **余裕深度処分の感度分析結果の比較**

（1GBq/ton**，緩衝材なし）**

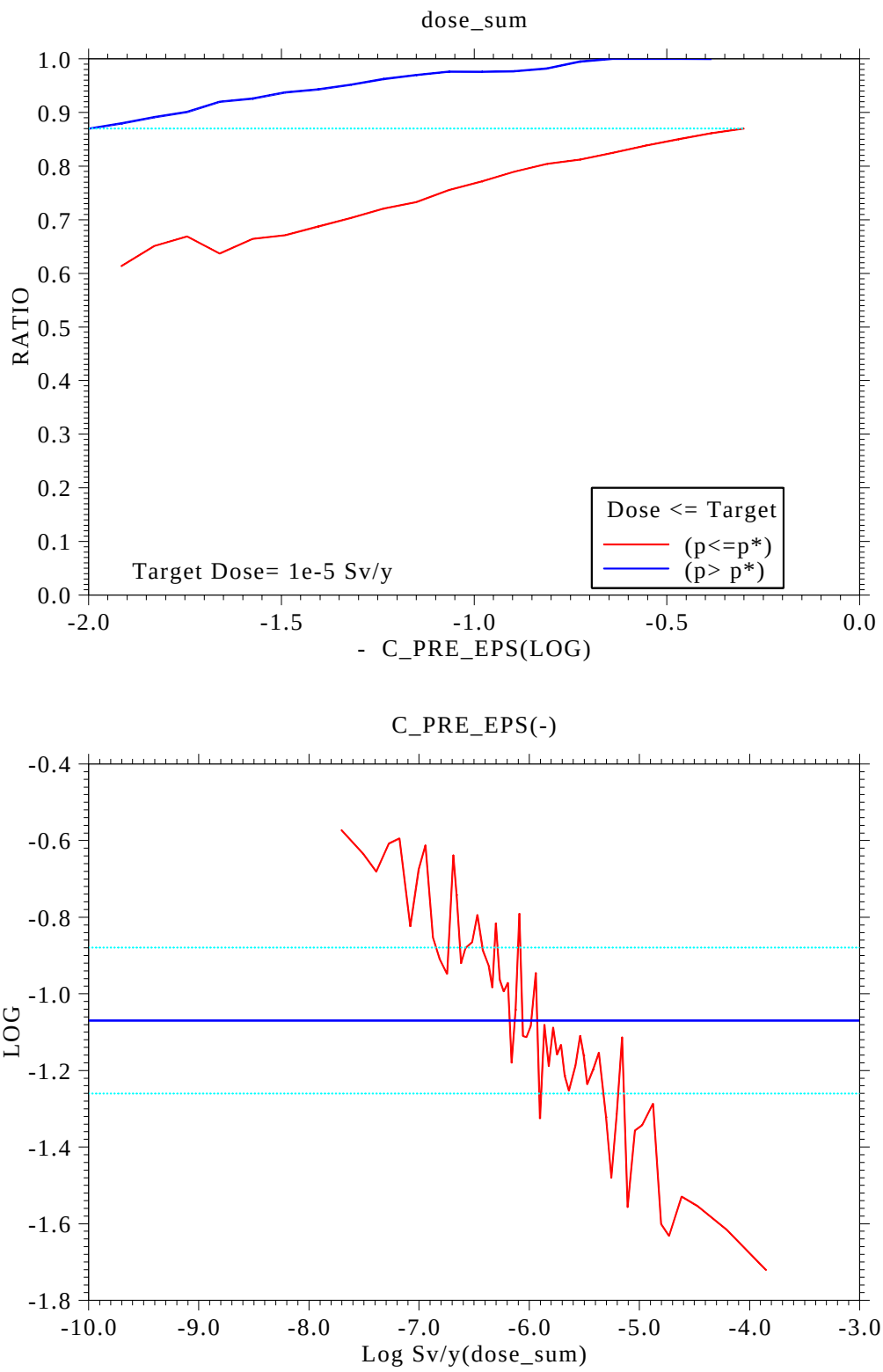
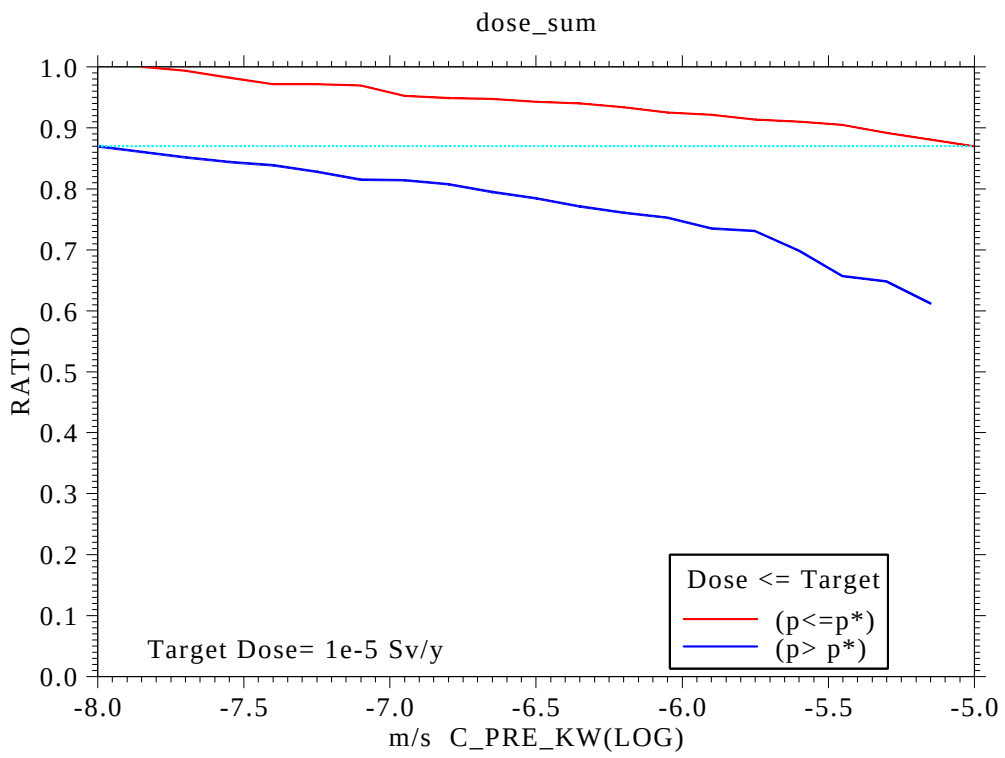


図 4.1.5-60　**グループ４余裕深度処分の天然バリア空隙率の感度分析結果**
（1GBq/ton**，緩衝材なし）**



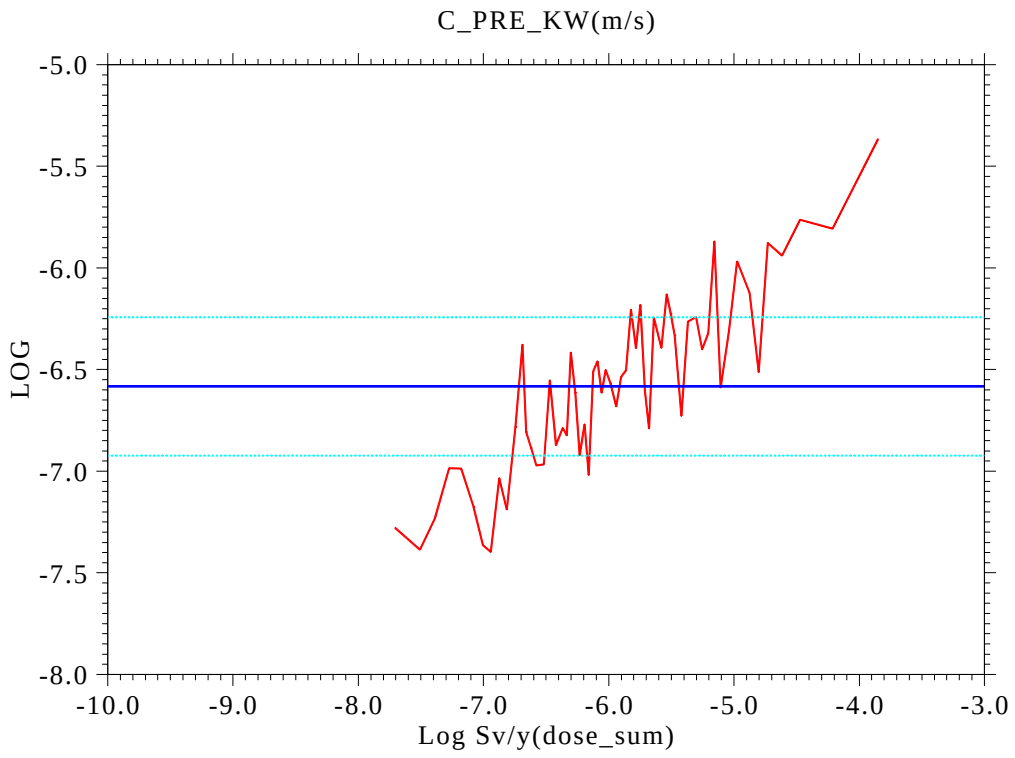


図 4.1.5-61 グループ４余裕深度処分の天然バリア透水係数の感度分析結果
（1GBq/ton，緩衝材なし）

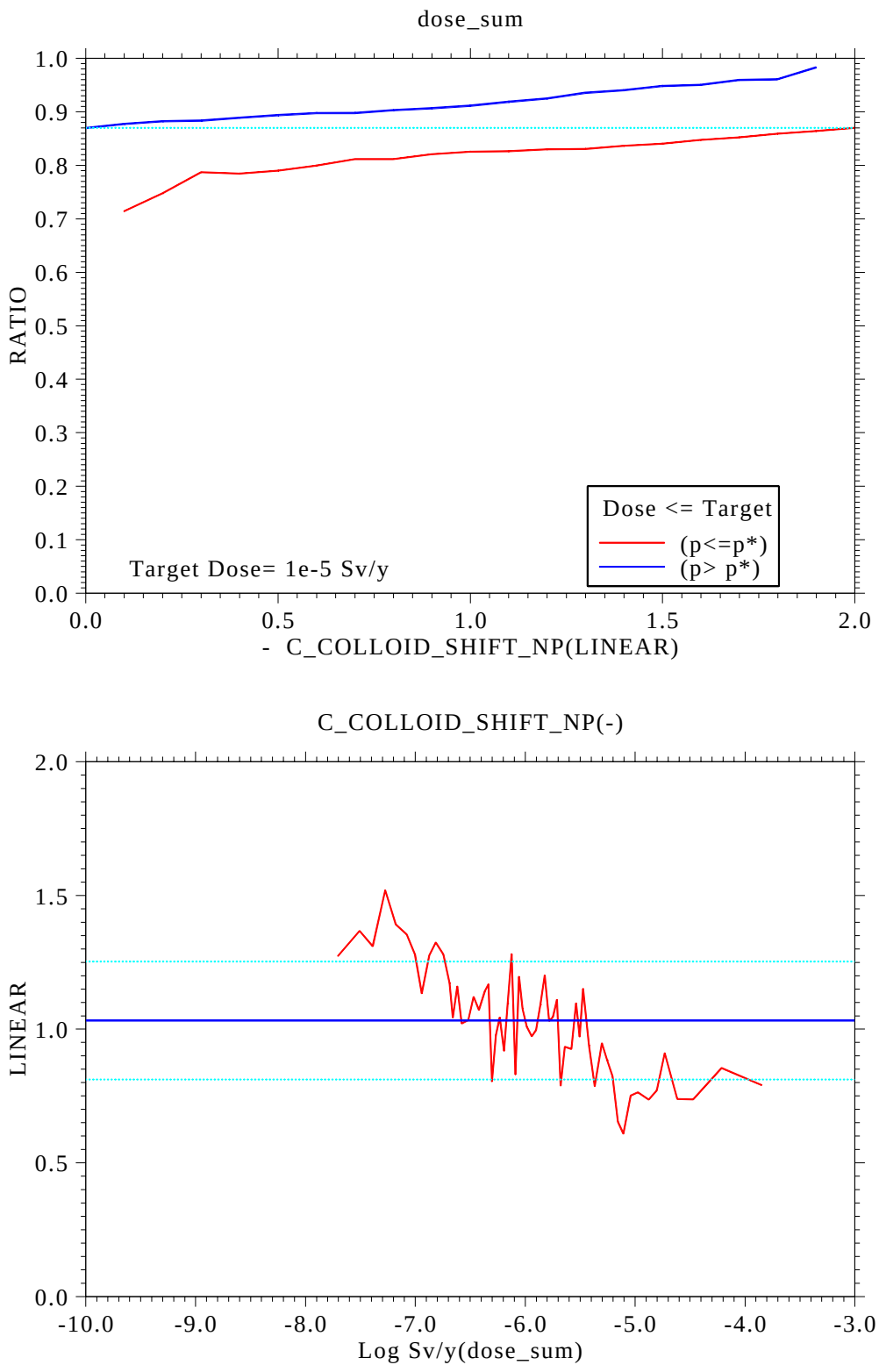


図 4.1.5-62　グループ４余裕深度処分の天然バリアでの NP コロイド吸着指数の感度分析結果（1GBq/ton，緩衝材なし）

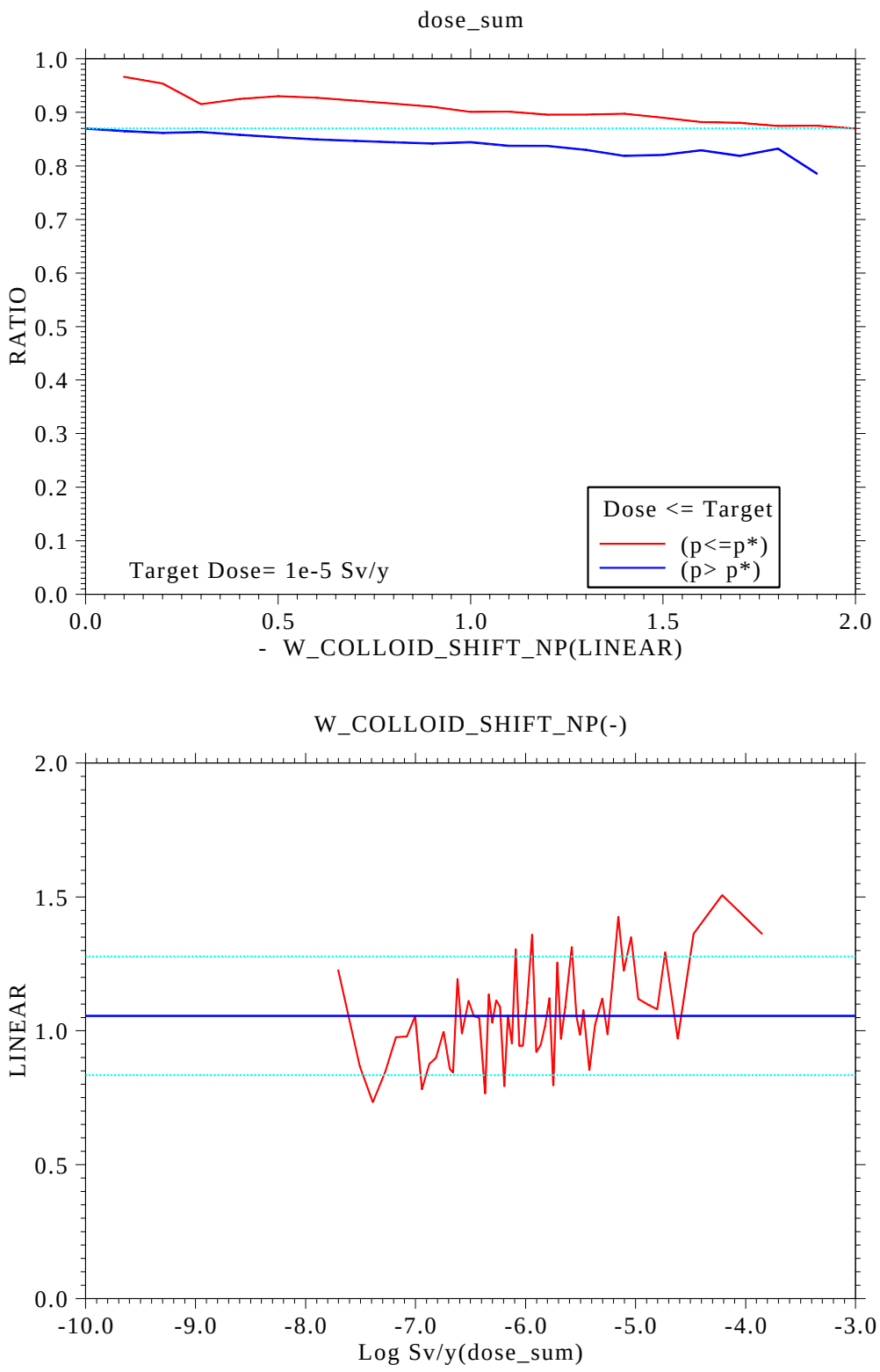
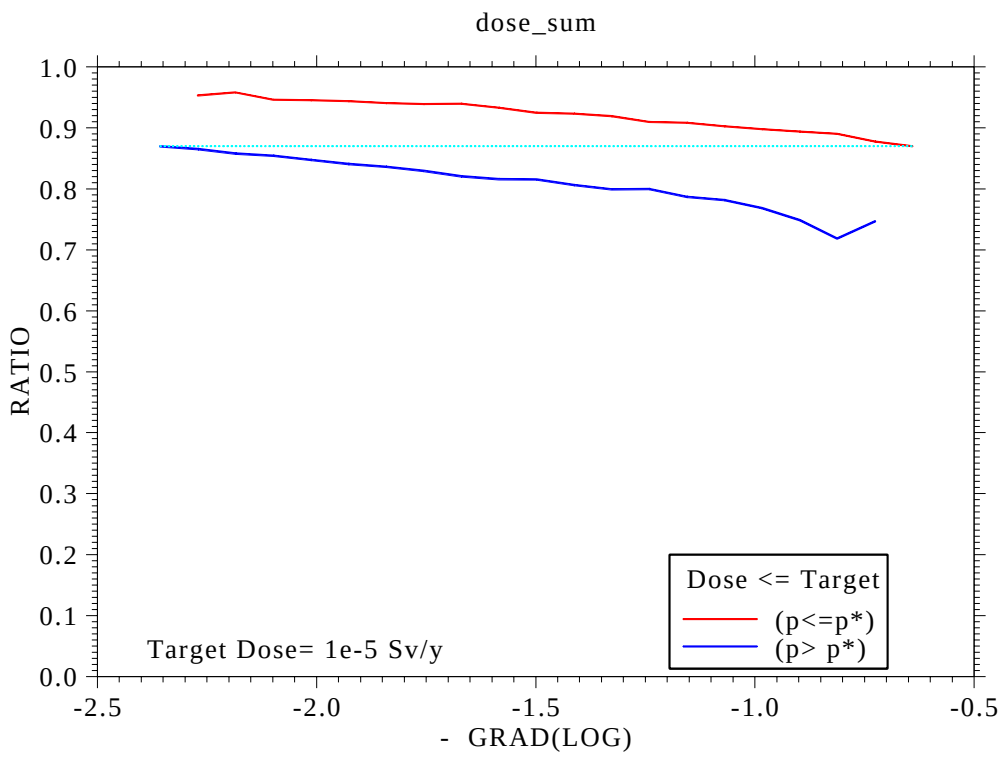


図 4.1.5-63　**グループ４余裕深度処分の廃棄体での** NP **コロイド吸着指数の感度分析結果（**1GBq/ton**，緩衝材なし）**



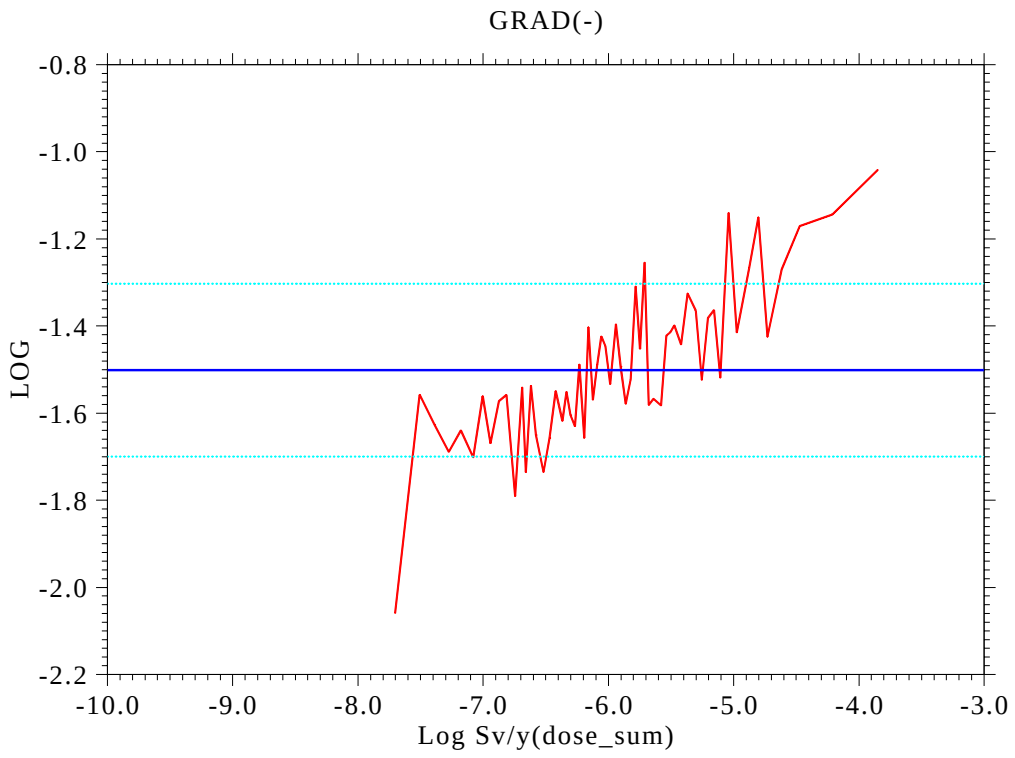


図 4.1.5-64　**グループ４余裕深度処分の動水勾配の感度分析結果**
（1GBq/ton**，緩衝材なし）**

4.1.6 地層処分における感度分析

(1) 地層処分における核種移行解析結果

地層処分で評価対象とする廃棄体区分は、緩衝材を用いる概念および使用しない概念ともに、以下のものである。

① グループ 1
② グループ 2
③ 廃棄体グループ３　50GBq/ton 以上の廃棄体を処分する場合
④ 廃棄体グループ４　50GBq/ton 以上の廃棄体を処分する場合
⑤ 廃棄体グループ３　１GBq/ton 以上の廃棄体を処分する場合
⑥ 廃棄体グループ４　１GBq/ton 以上の廃棄体を処分する場合

これらのグループにおいて、以下の表に示す統計的解析を行った。

表 4.1.6-1　**地層処分における統計的解析数**

廃棄体グループ	濃度基準	緩衝材使用	緩衝材なし
グループ1	-	4991	2454
グループ2	-	2980	2284
グループ3	50GBq/t	2729	2260
グループ4	50GBq/t	2737	888
グループ3	1GBq/t	3766	1654
グループ4	1GBq/t	3545	1581

これらの廃棄体について統計的な解析を実施した。その結果を以下にまとめる。

(a) 緩衝材を使用する概念での処分

表 4.1.6-2～表 4.1.6-4 に各廃棄体のグループにおいて、それら解析結果の各

ケースの最大被ばく線量が、目標線量（10μSv/y）を下回る割合をまとめる。

グループ１を除き、各ケースの最大となる被ばく線量に支配的となる核種はNp-237 系列の核種であった（グループ１は、Ｉ-129 が支配的となる）。

図 4.1.6-1～図 4.1.6-6 に線量換算係数の変化を考慮した場合の各グループ核種移行解析結果が 10μSv/y を下回る割合を示す。

図 4.1.6-7～図 4.1.6-12 に各グループの核種移行解析結果としての最大被ばく線量値とその出現時期を示す。

表 4.1.6-2　地層処分で 10μSv/y を下回る割合（緩衝材あり）

地層処分	核種					
廃棄体グループ	I-129	C-14	Np-237	U-233	Th-229	Total
グループ1	80.0%	-	-	-	-	80.0%
グループ2	100.0%	95.3%	77.7%	92.9%	39.3%	38.6%
グループ3 50GBq/t	100.0%	100.0%	99.3%	100.0%	90.0%	89.3%
グループ4 50GBq/t	100.0%	100.0%	86.2%	97.6%	49.9%	49.0%
グループ3 1GBq/t	99.8%	99.8%	98.2%	100.0%	84.3%	82.3%
グループ4 1GBq/t	100.0%	100.0%	85.7%	97.3%	51.4%	50.7%

表 4.1.6-3　地層処分で 10μSv/y を下回る割合（線量換算係数 10 倍，緩衝材あり）

地層処分	核種					
廃棄体グループ	I-129	C-14	Np-237	U-233	Th-229	Total
グループ1	33.8%	-	-	-	-	33.8%
グループ2	99.3%	85.7%	58.1%	75.8%	24.2%	23.0%
グループ3 50GBq/t	99.9%	100.0%	93.5%	99.7%	64.0%	62.1%
グループ4 50GBq/t	100.0%	99.9%	68.1%	86.6%	29.5%	28.7%
グループ3 1GBq/t	93.4%	98.0%	90.4%	99.3%	54.9%	49.6%
グループ4 1GBq/t	100.0%	99.8%	67.5%	86.3%	30.8%	30.5%

表 4.1.6-4　地層処分で 10μSv/y を下回る割合（線量換算係数 100 倍，緩衝材あり）

地層処分	核種					
廃棄体グループ	I-129	C-14	Np-237	U-233	Th-229	Total
グループ1	6.1%	-	-	-	-	6.1%
グループ2	87.9%	71.6%	37.7%	53.5%	14.9%	13.2%
グループ3 50GBq/t	95.2%	100.0%	78.6%	96.6%	32.3%	30.1%
グループ4 50GBq/t	100.0%	98.1%	45.0%	65.4%	14.6%	14.4%
グループ3 1GBq/t	47.2%	87.3%	70.9%	93.4%	26.1%	17.5%
グループ4 1GBq/t	99.8%	98.2%	45.7%	65.1%	19.5%	19.2%

地層処分

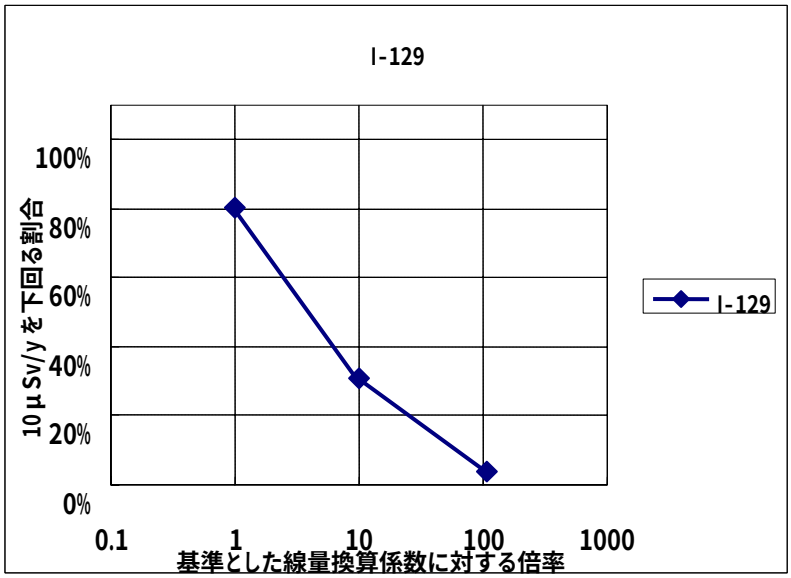


図 4.1.6-1　**グループ１地層処分の基準を下回る割合の変化**

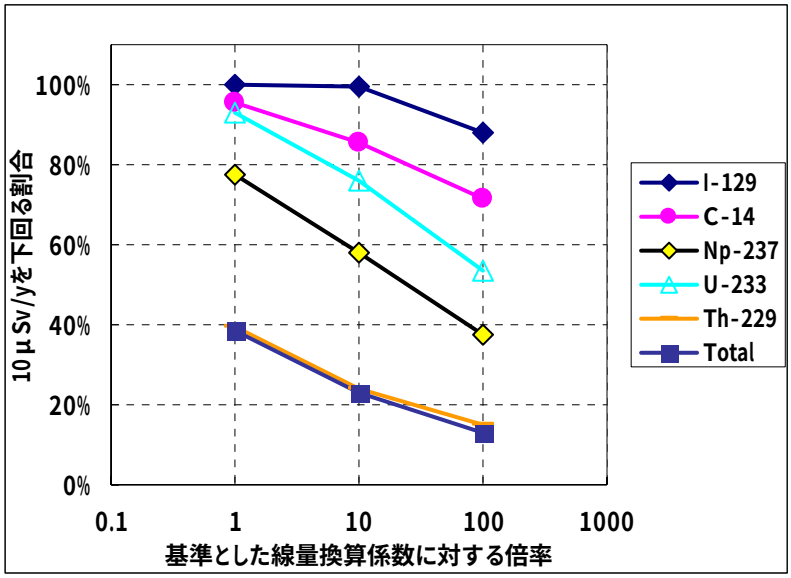


図 4.1.6-2　**グループ２地層処分の基準を下回る割合の変化**

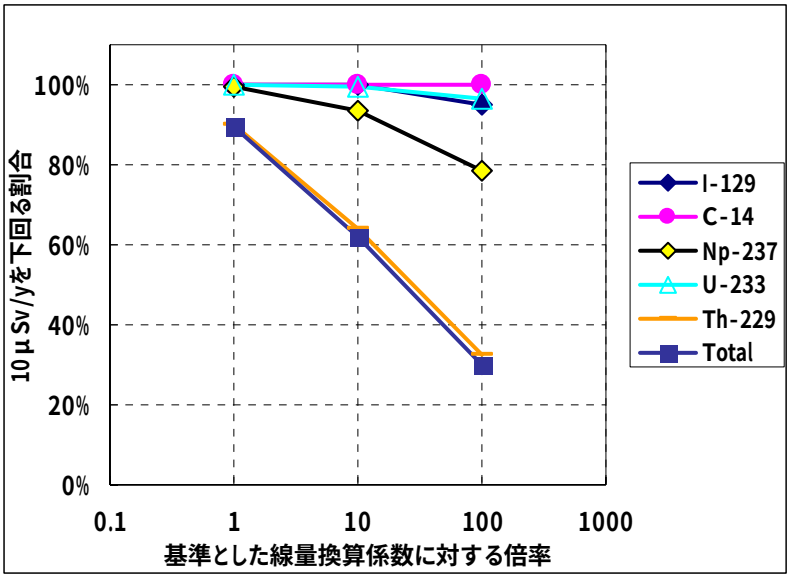


図 4.1.6-3　**グループ３地層処分の基準を下回る割合の変化**（50GBq/ton）

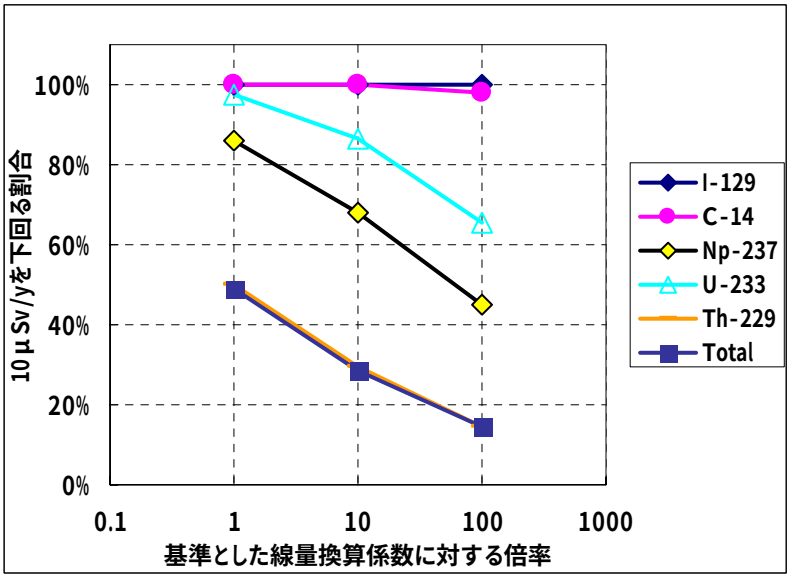


図 4.1.6-4　**グループ** 4 **地層処分の基準を下回る割合の変化**（50GBq/ton）

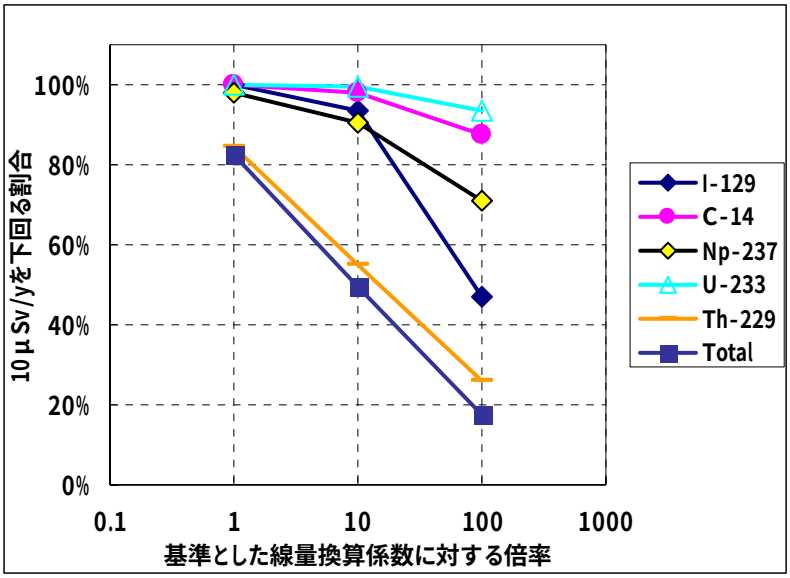


図 4.1.6-5　**グループ** 3 **地層処分の基準を下回る割合の変化**（1GBq/ton）

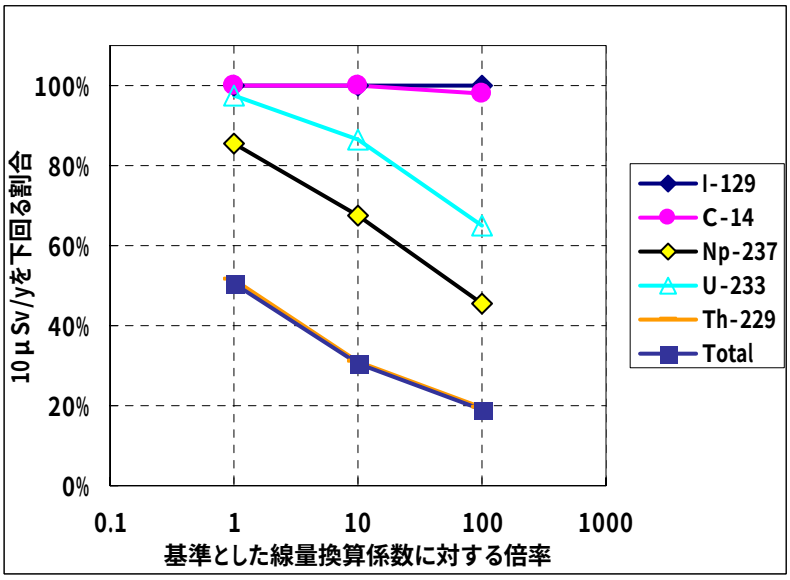


図 4.1.6-6　**グループ** 4 **地層処分の基準を下回る割合の変化**（1GBq/ton）

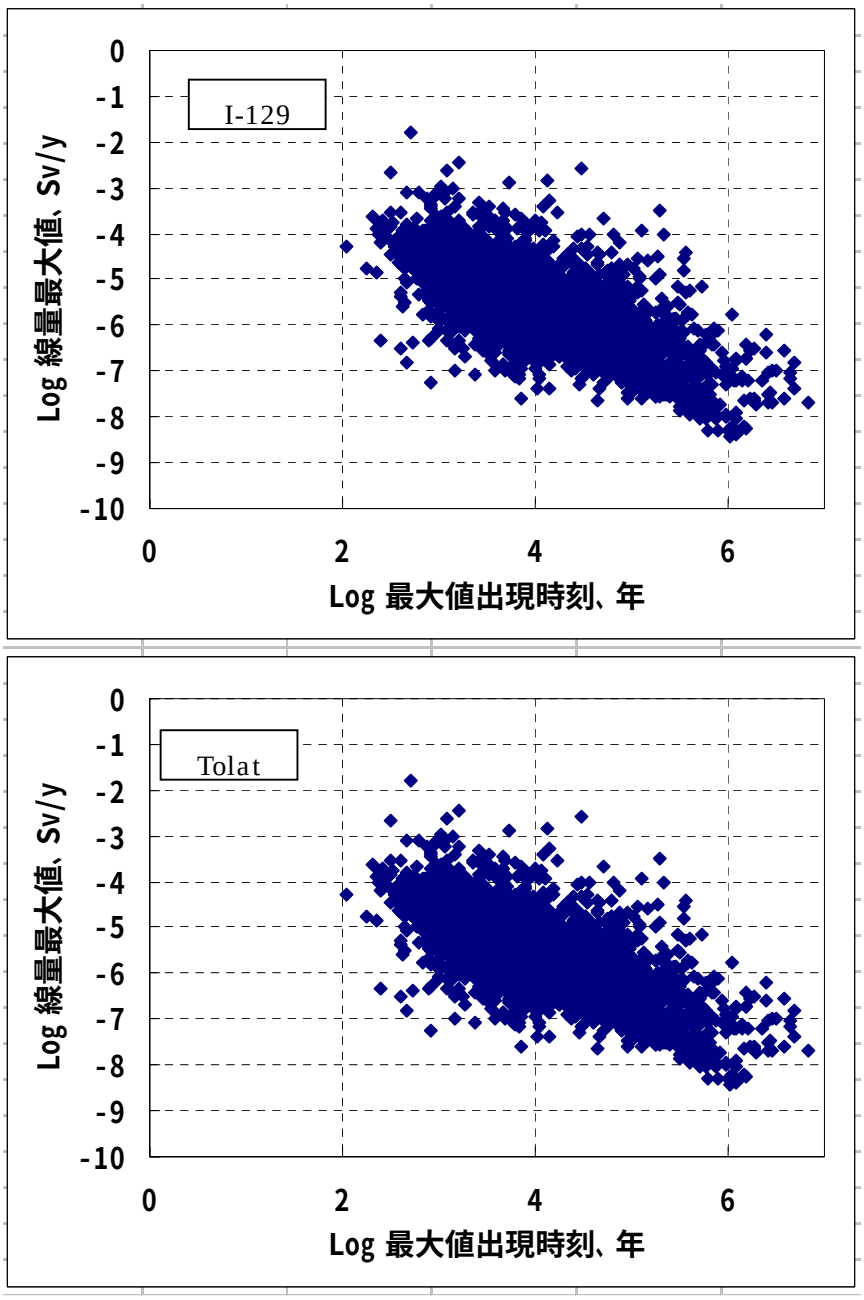


図 4.1.6-7　**グループ１地層処分の最大被ばく線量と出現時期の関係（緩衝材あり）**

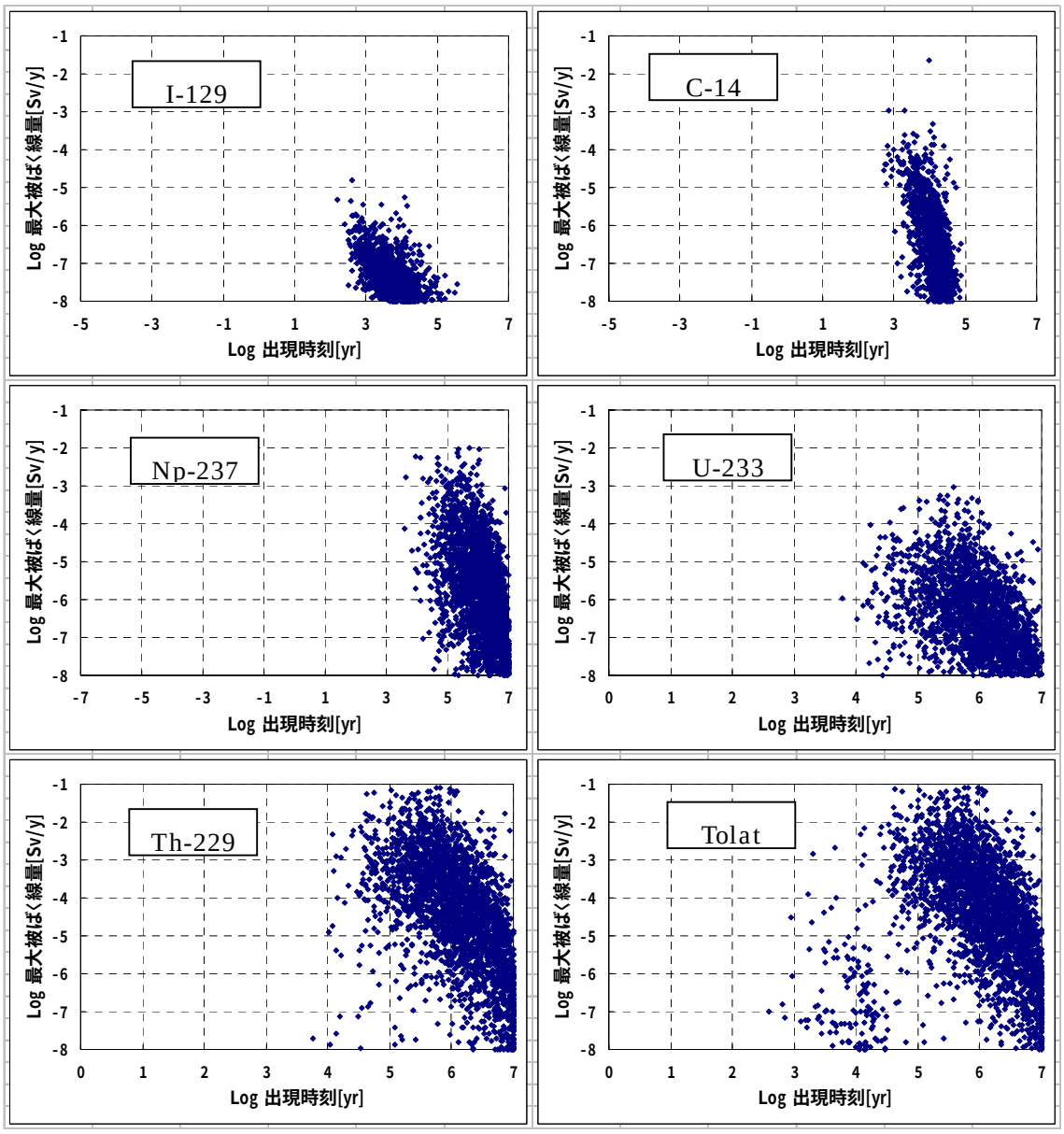


図 4.1.6-8　**グループ２地層処分の最大被ばく線量と出現時期の関係（緩衝材あり）**

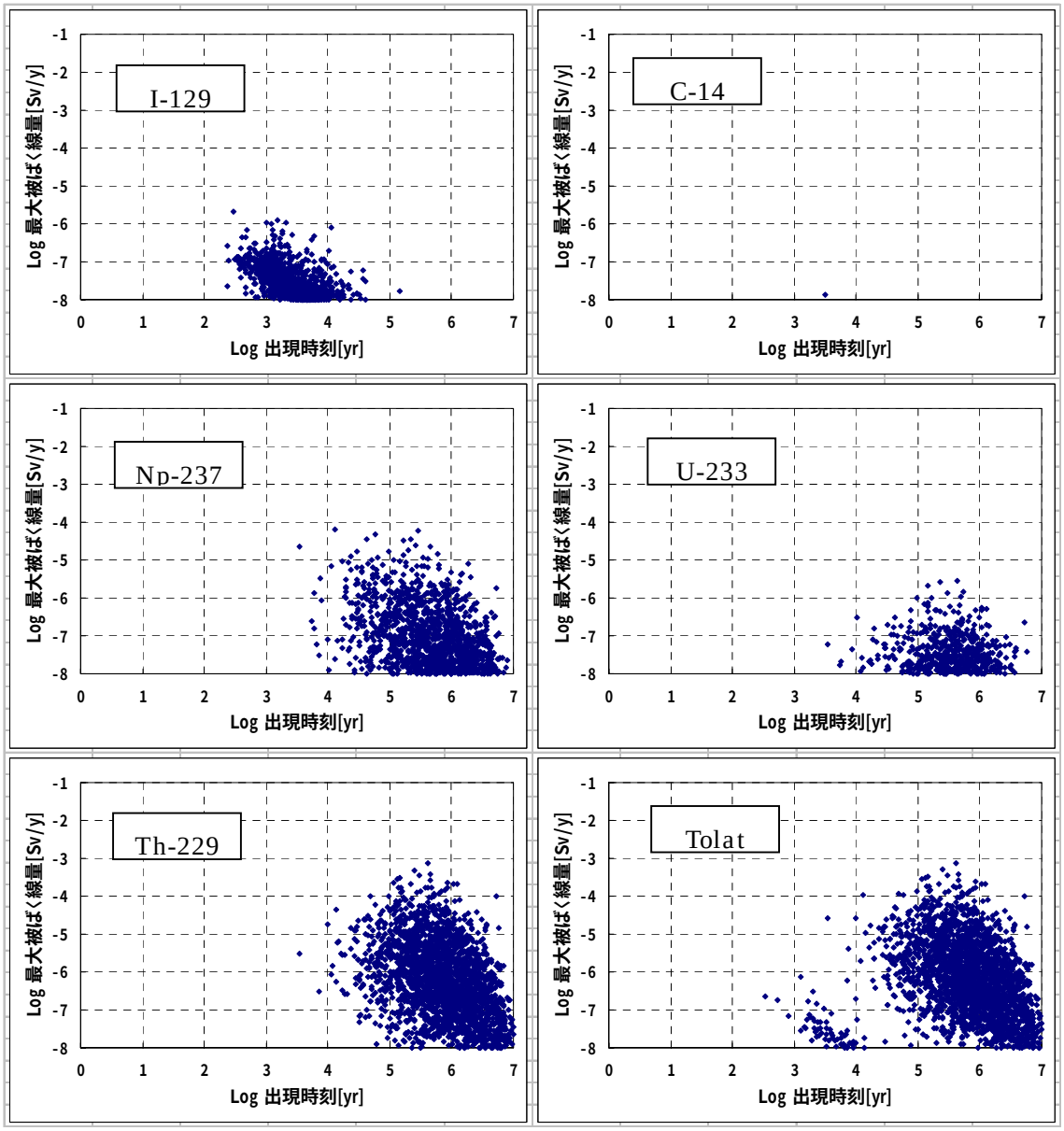


図 4.1.6-9　**グループ３地層処分の最大被ばく線量と出現時期の関係**

（50GBq/ton**，緩衝材あり）**

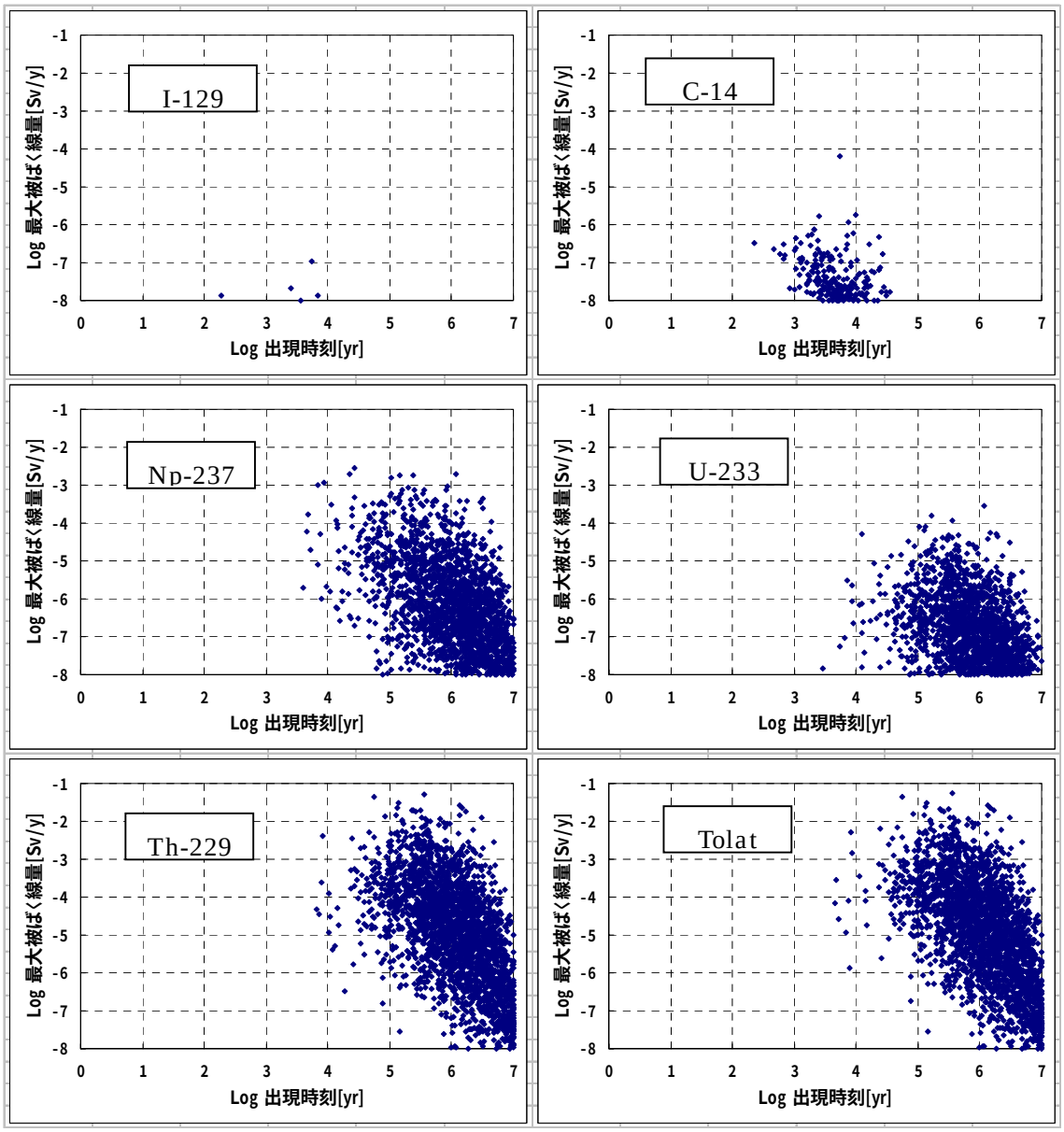


図 4.1.6-10　**グループ４地層処分の最大被ばく線量と出現時期の関係**

（50GBq/ton**，緩衝材あり）**

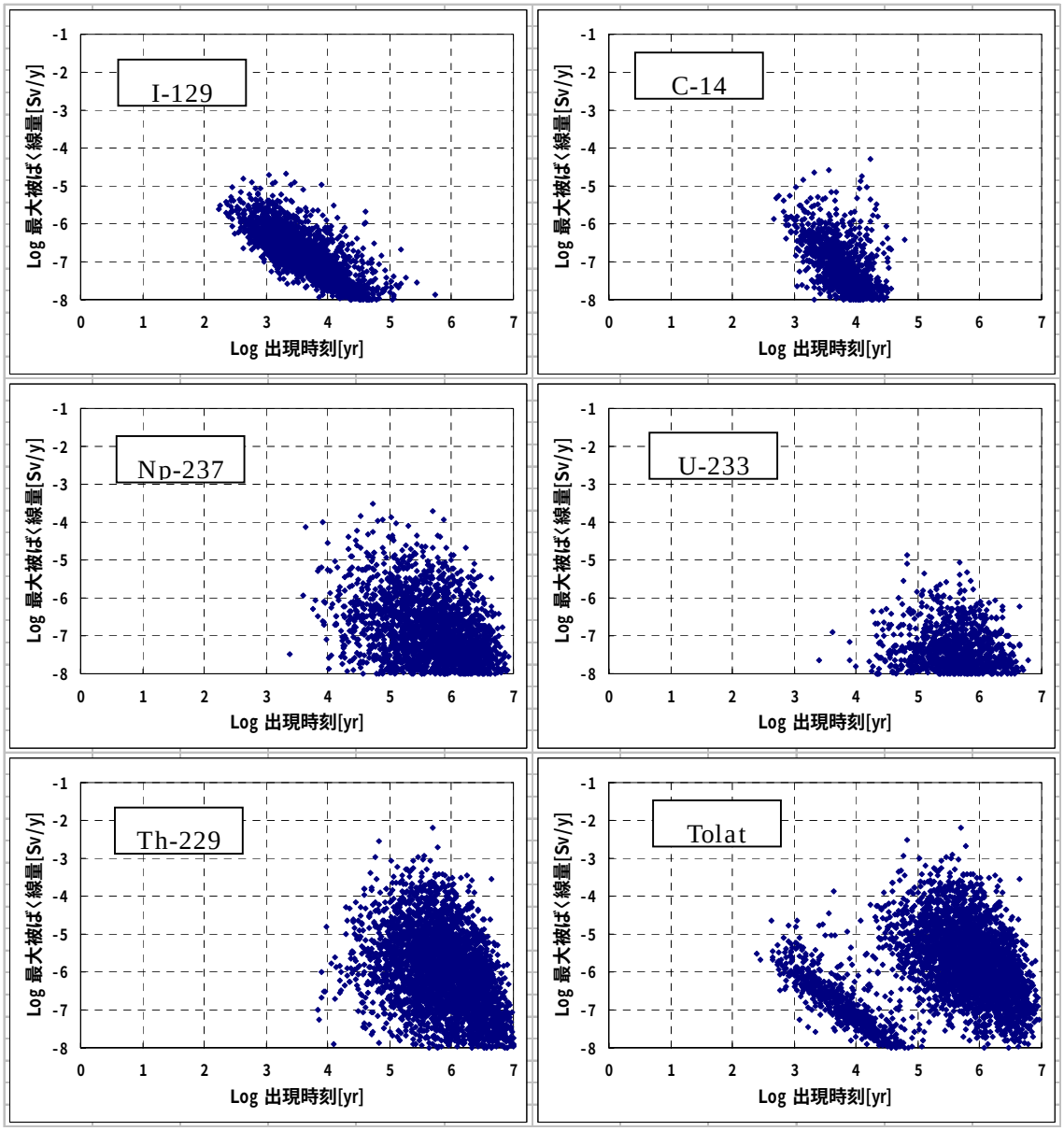


図 4.1.6-11　**グループ３地層処分の最大被ばく線量と出現時期の関係**

（1Gbq/ton**，緩衝材あり）**

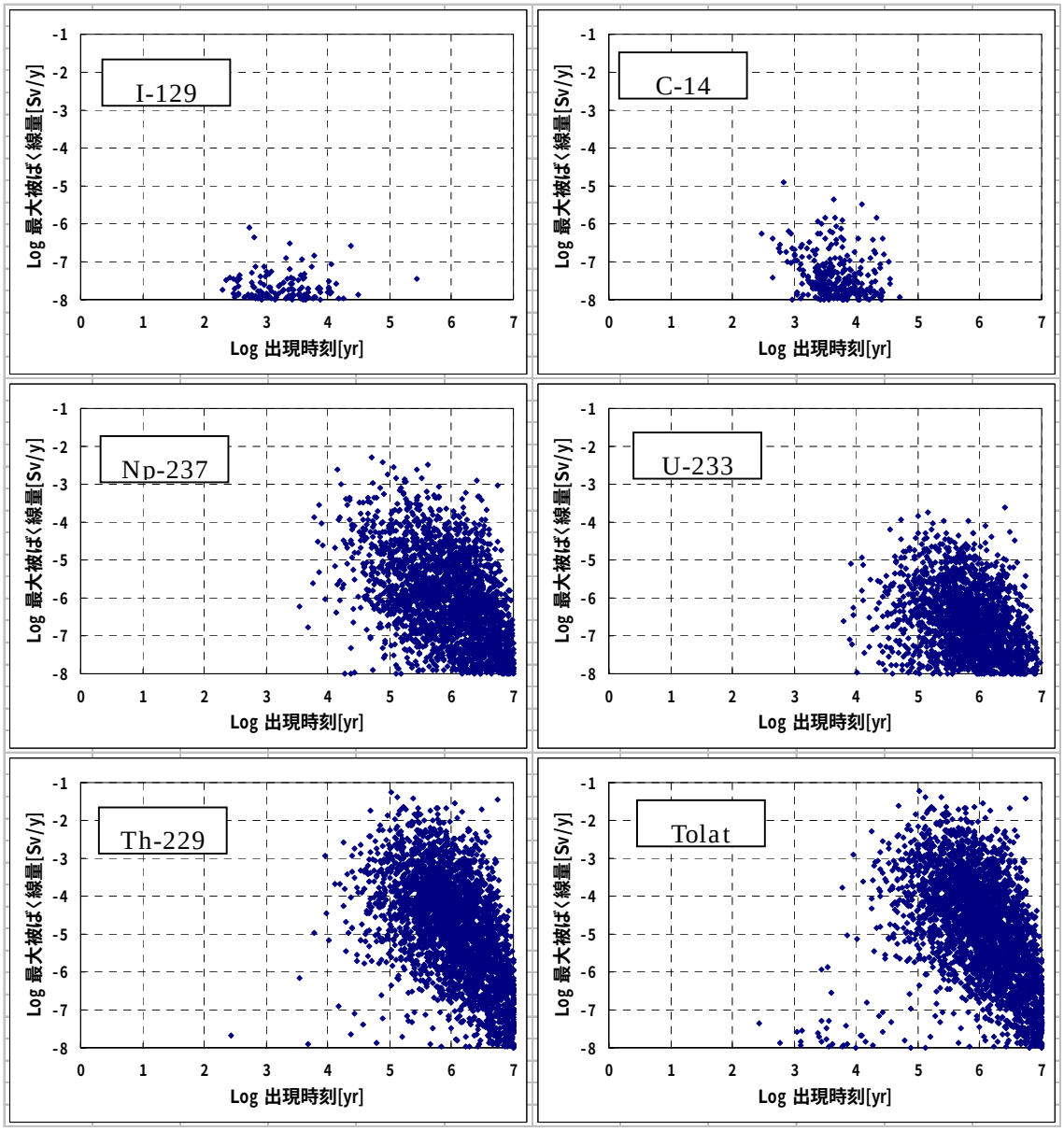


図 4.1.6-12　**グループ４地層処分の最大被ばく線量と出現時期の関係**

（1Gbq/ton**，緩衝材あり）**

(b) 緩衝材を用いない場合

地層処分において、緩衝材を用いない処分概念での解析結果を表 4.1.6-5～表 4.1.6-7 にまとめる。表は、線量換算係数の不確実性が考慮できるように、基本としたケースの１０倍、１００倍とする場合に、基準線量をどの程度下回るかを、その割合で示した。

図 4.1.6-13～図 4.1.6-18 に線量換算係数の変化を考慮した場合の各グループの核種移行解析結果が 10μSv/y を下回る場合を示す。

全ての廃棄体グループで、緩衝材を用いる場合に比較して、目標とした線量（10μSv/y）を下回る割合は低下している。グループ１の場合、標準的な換算係数で、緩衝材がある場合に 65%程度であった目標とした線量を下回る割合は 59%まで低下している。

図 4.1.6-19～図 4.1.6-24 に各グループの核種移行解析結果としての最大被ばく線量値とその出現時期を示す。

表 4.1.6-5　地層処分で 10μSv/y を下回る割合（緩衝材なし）

地層処分	核種					
廃棄体グループ	I-129	C-14	Np-237	U-233	Th-229	Total
グループ1	59.2%	-	-	-	-	59.2%
グループ2	99.1%	85.9%	69.6%	91.9%	36.7%	35.8%
グループ3 50GBq/t	96.7%	98.4%	96.6%	100.0%	85.9%	81.3%
グループ4 50GBq/t	99.9%	100.0%	98.0%	100.0%	91.0%	89.0%
グループ3 1GBq/t	99.9%	99.9%	77.7%	97.2%	46.6%	45.0%
グループ4 1GBq/t	100.0%	100.0%	81.1%	96.5%	50.7%	49.1%

表 4.1.6-6　地層処分で 10μSv/y を下回る割合（線量換算係数 10 倍，緩衝材なし）

地層処分	核種					
廃棄体グループ	I-129	C-14	Np-237	U-233	Th-229	Total
グループ1	25.0%	-	-	-	-	25.0%
グループ2	92.4%	73.7%	49.6%	71.0%	23.6%	23.0%
グループ3 50GBq/t	84.0%	93.6%	85.9%	99.3%	62.4%	54.5%
グループ4 50GBq/t	96.9%	100.0%	90.9%	99.8%	70.6%	67.4%
グループ3 1GBq/t	99.7%	98.5%	57.1%	85.1%	27.7%	27.1%
グループ4 1GBq/t	100.0%	99.0%	62.7%	85.2%	30.4%	30.0%

表 4.1.6-7　地層処分で 10μSv/y を下回る割合（線量換算係数 100 倍，緩衝材なし）

地層処分	核種					
廃棄体グループ	I-129	C-14	Np-237	U-233	Th-229	Total
グループ1	4.7%	-	-	-	-	4.7%
グループ2	72.9%	61.9%	34.5%	47.2%	15.3%	14.9%
グループ3 50GBq/t	49.2%	82.0%	69.0%	93.4%	36.6%	27.9%
グループ4 50GBq/t	84.6%	100.0%	75.6%	96.6%	44.1%	40.9%
グループ3 1GBq/t	96.8%	91.0%	39.4%	59.3%	16.4%	16.3%
グループ4 1GBq/t	99.8%	92.8%	43.8%	63.1%	19.1%	19.1%

地層処分

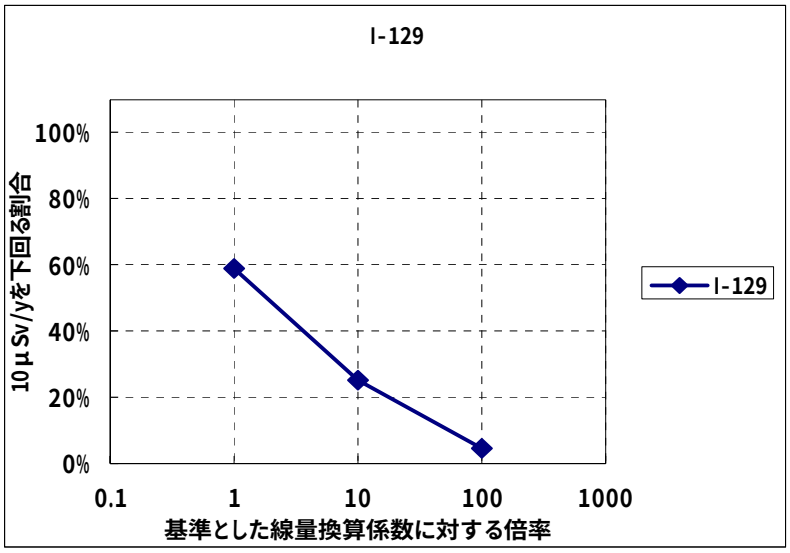


図 4.1.6-13　**グループ** 1 **地層処分の基準を下回る割合の変化（緩衝材なし）**

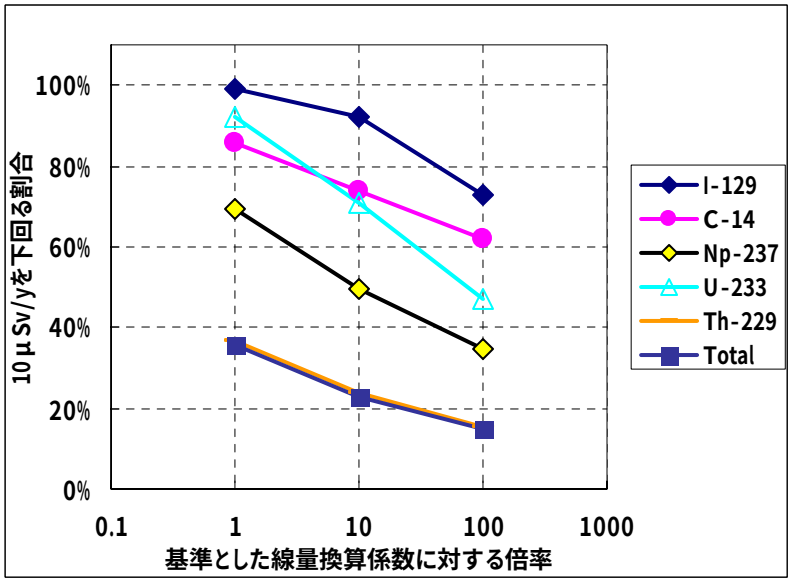


図 4.1.6-14　**グループ** 2 **地層処分の基準を下回る割合の変化（緩衝材なし）**

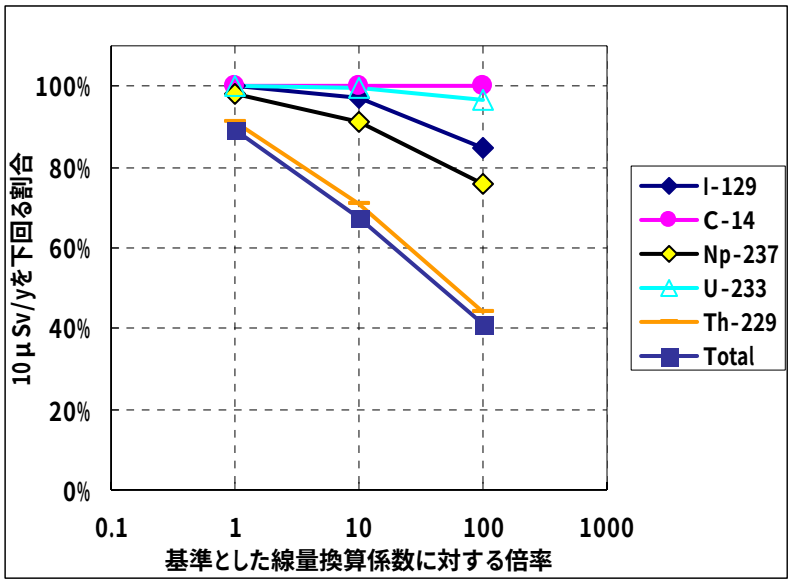


図 4.1.6-15　**グループ** 3 **地層処分の基準を下回る割合の変化**

（50GBq/ton**，緩衝材なし）**

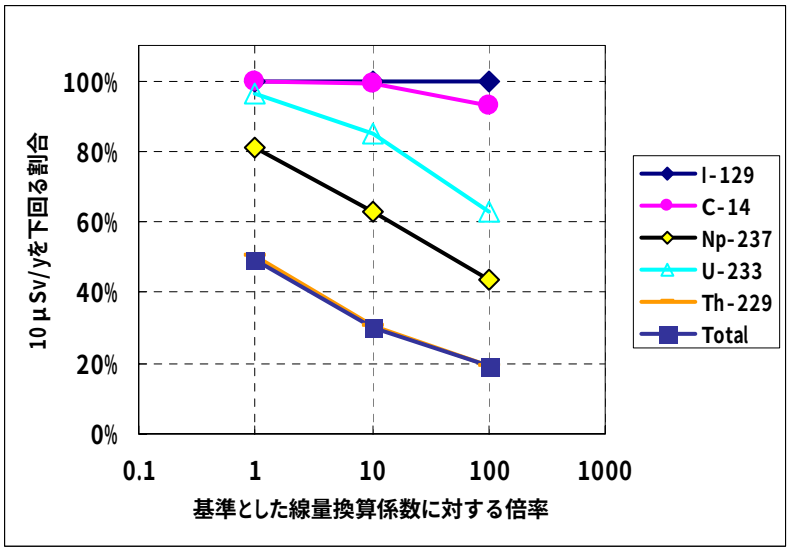


図 4.1.6-16　**グループ** 4 **地層処分の基準を下回る割合の変化**

（50GBq/ton**，緩衝材なし）**

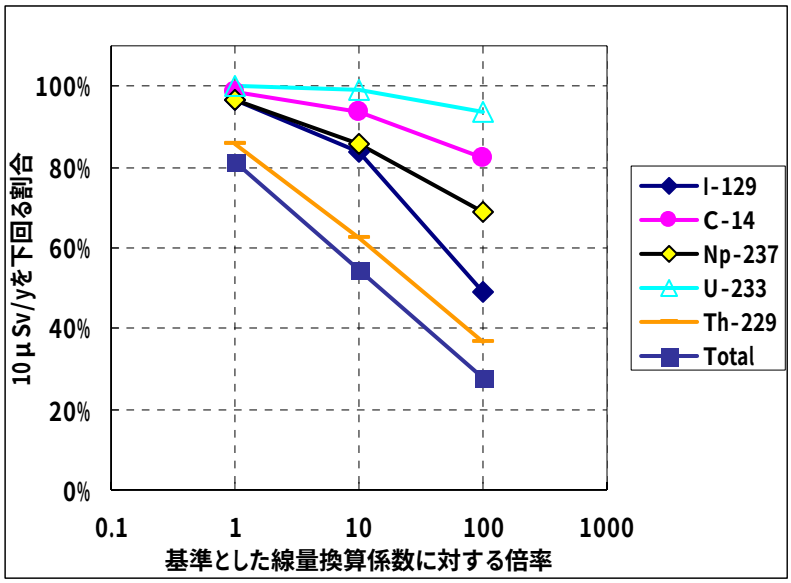


図 4.1.6-17　**グループ** 3 **地層処分の基準を下回る割合の変化**（1GBq/ton，**緩衝材なし**）

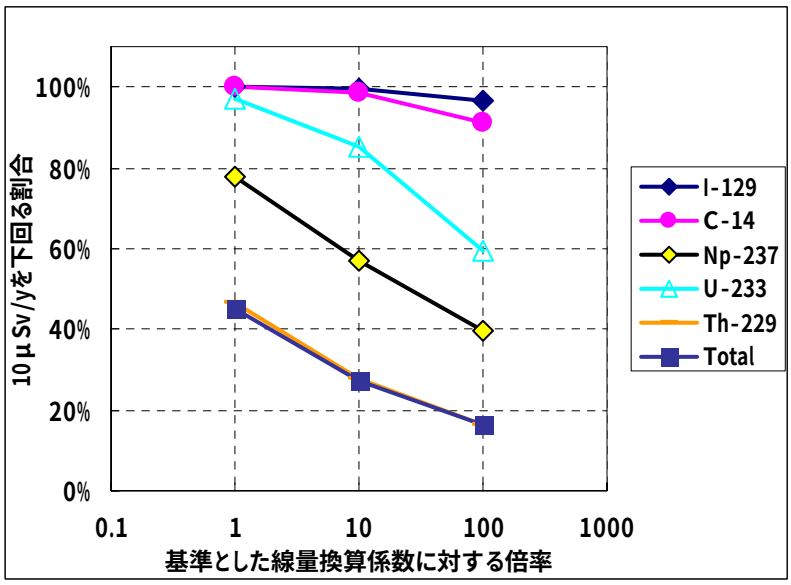


図 4.1.6-18　**グループ** 4 **地層処分の基準を下回る割合の変化**（1GBq/ton，**緩衝材なし**）

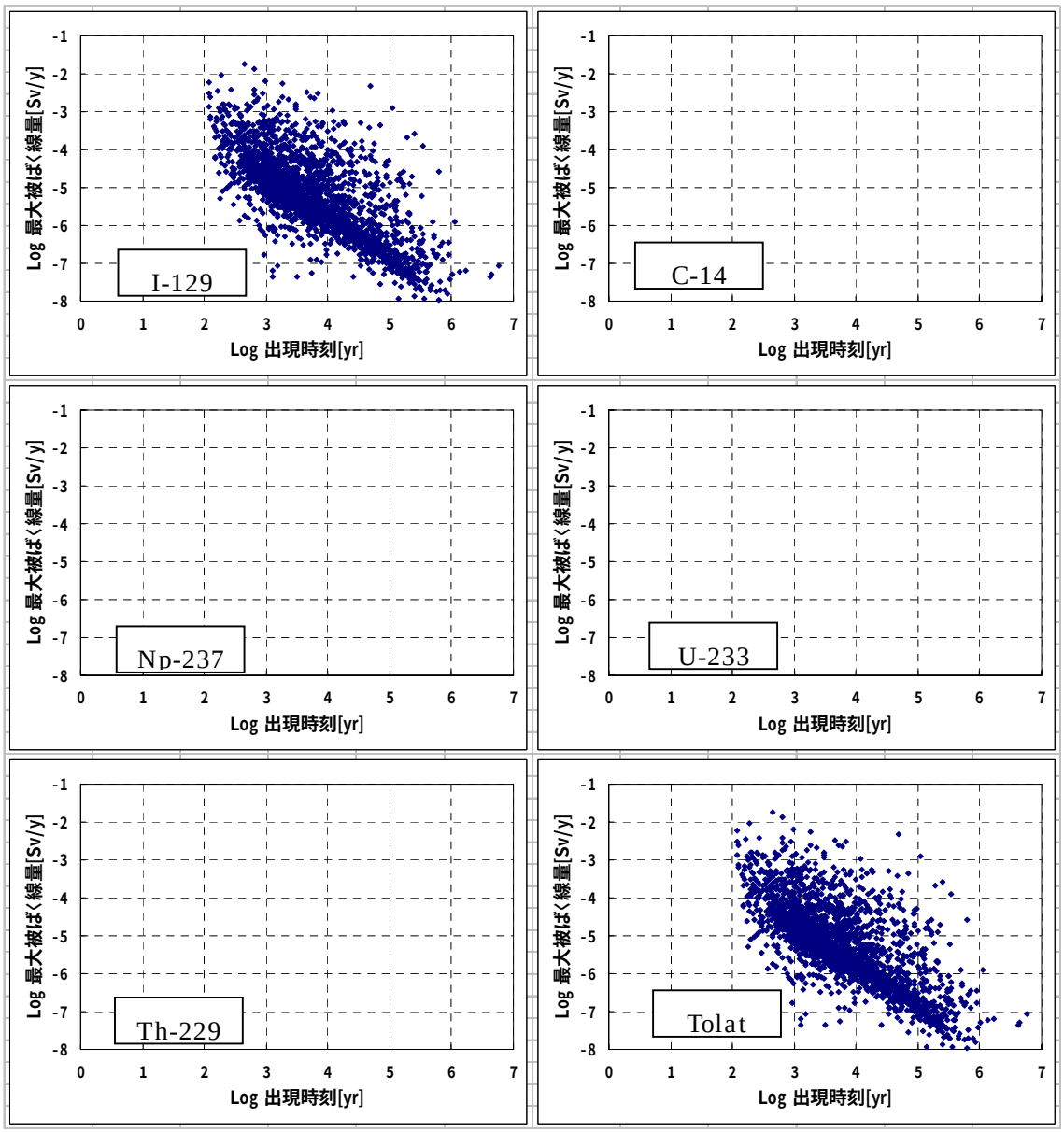


図 4.1.6-19　**グループ１地層処分の最大被ばく線量と出現時期の関係（緩衝材なし）**

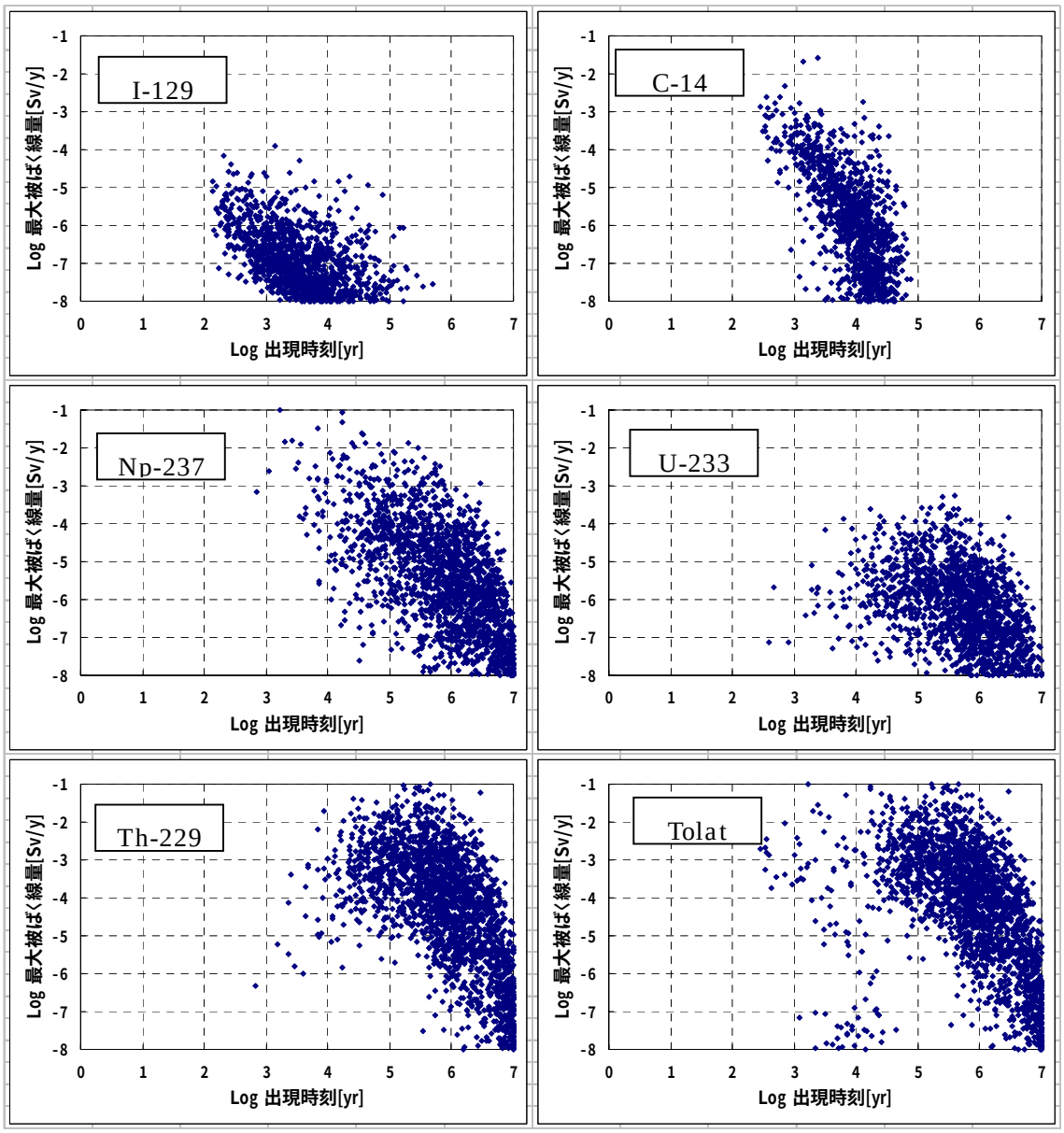


図 4.1.6-20　**グループ２地層処分の最大被ばく線量と出現時期の関係（緩衝材なし）**

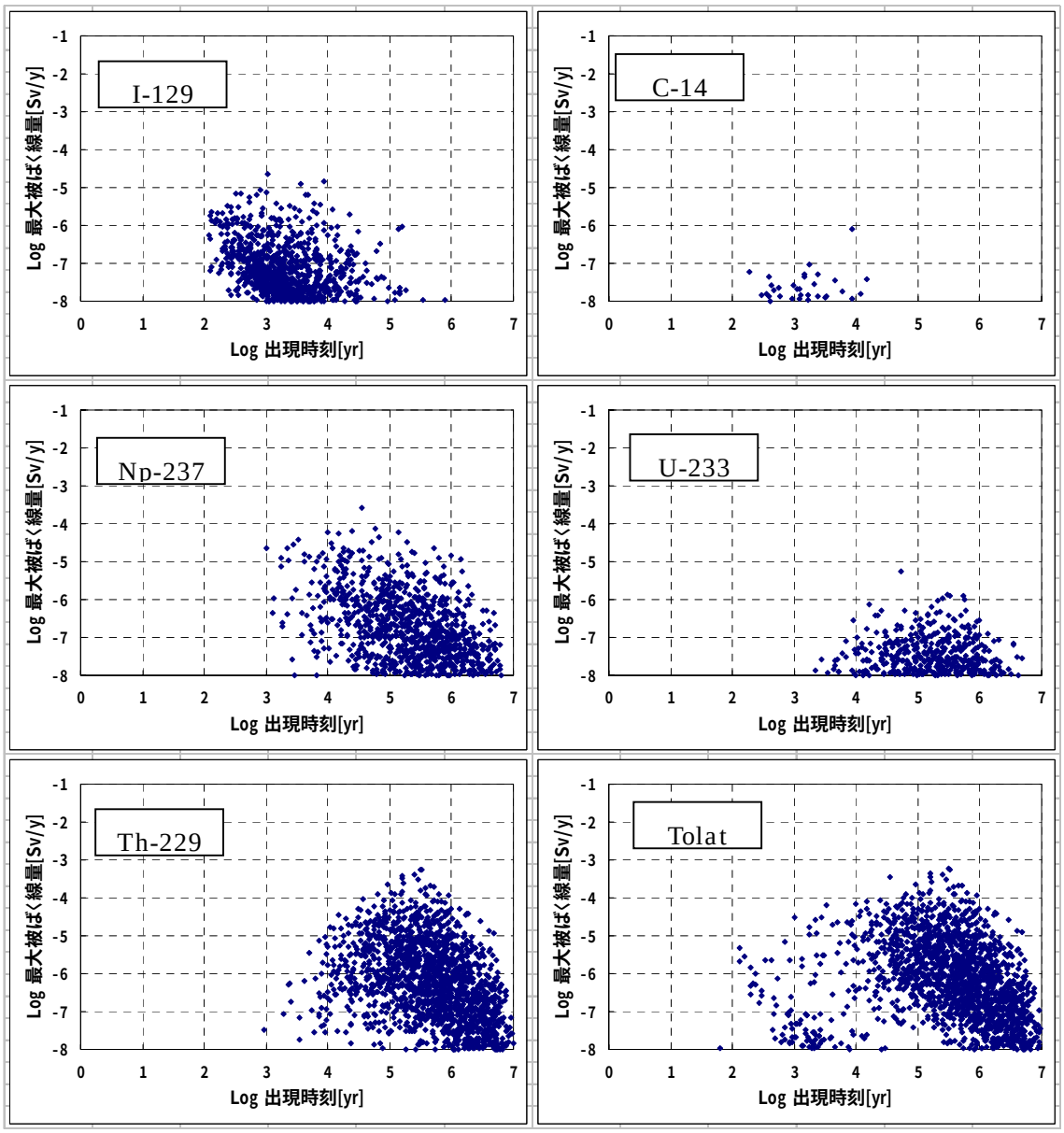


図 4.1.6-21　**グループ３地層処分の最大被ばく線量と出現時期の関係**

（50GBq/ton**，緩衝材なし）**

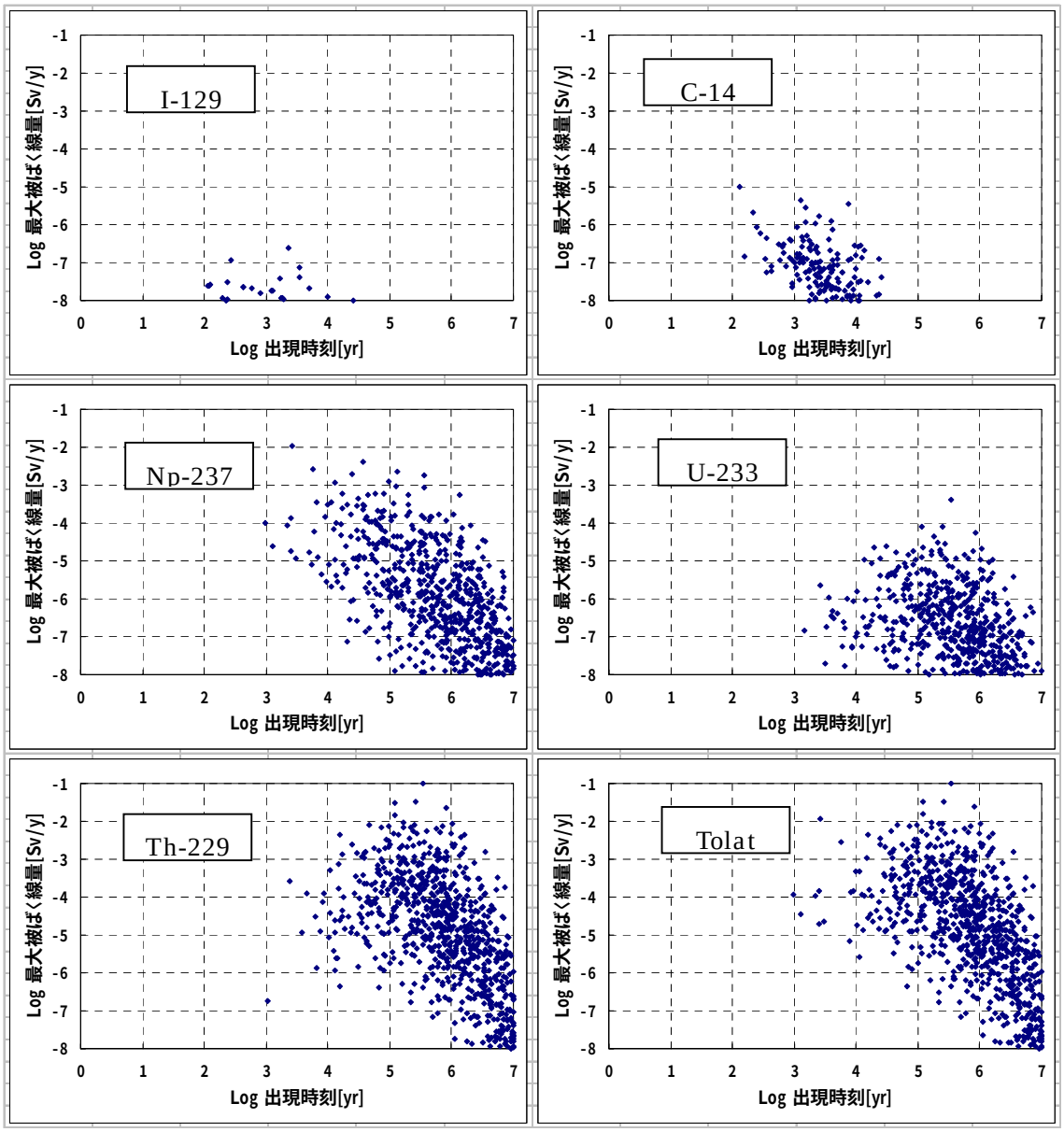


図 4.1.6-22　**グループ４地層処分の最大被ばく線量と出現時期の関係**

（50GBq/ton**，緩衝材なし）**

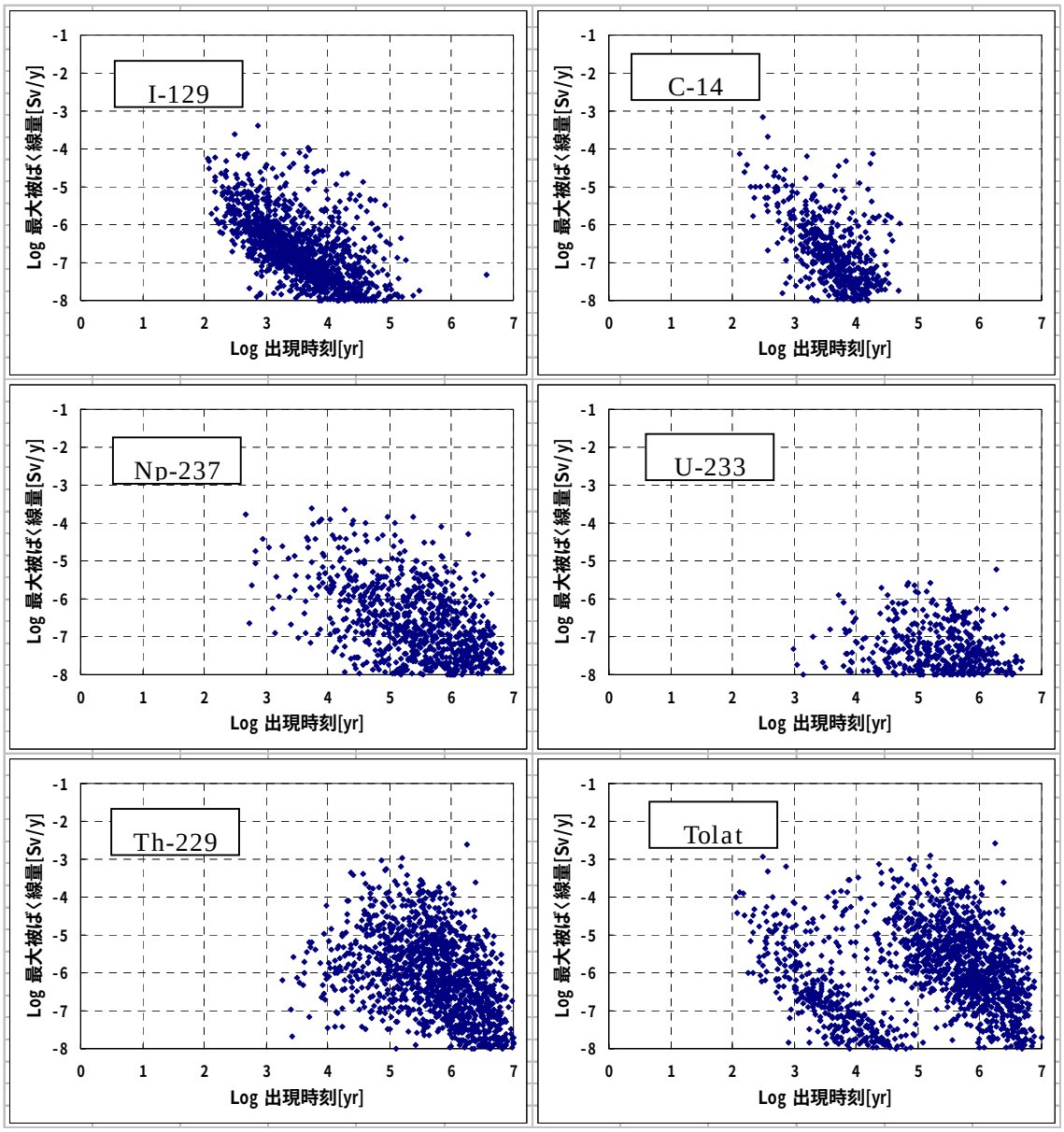


図 4.1.6-23　**グループ３地層処分の最大被ばく線量と出現時期の関係**

（1Gbq/ton**，緩衝材なし）**

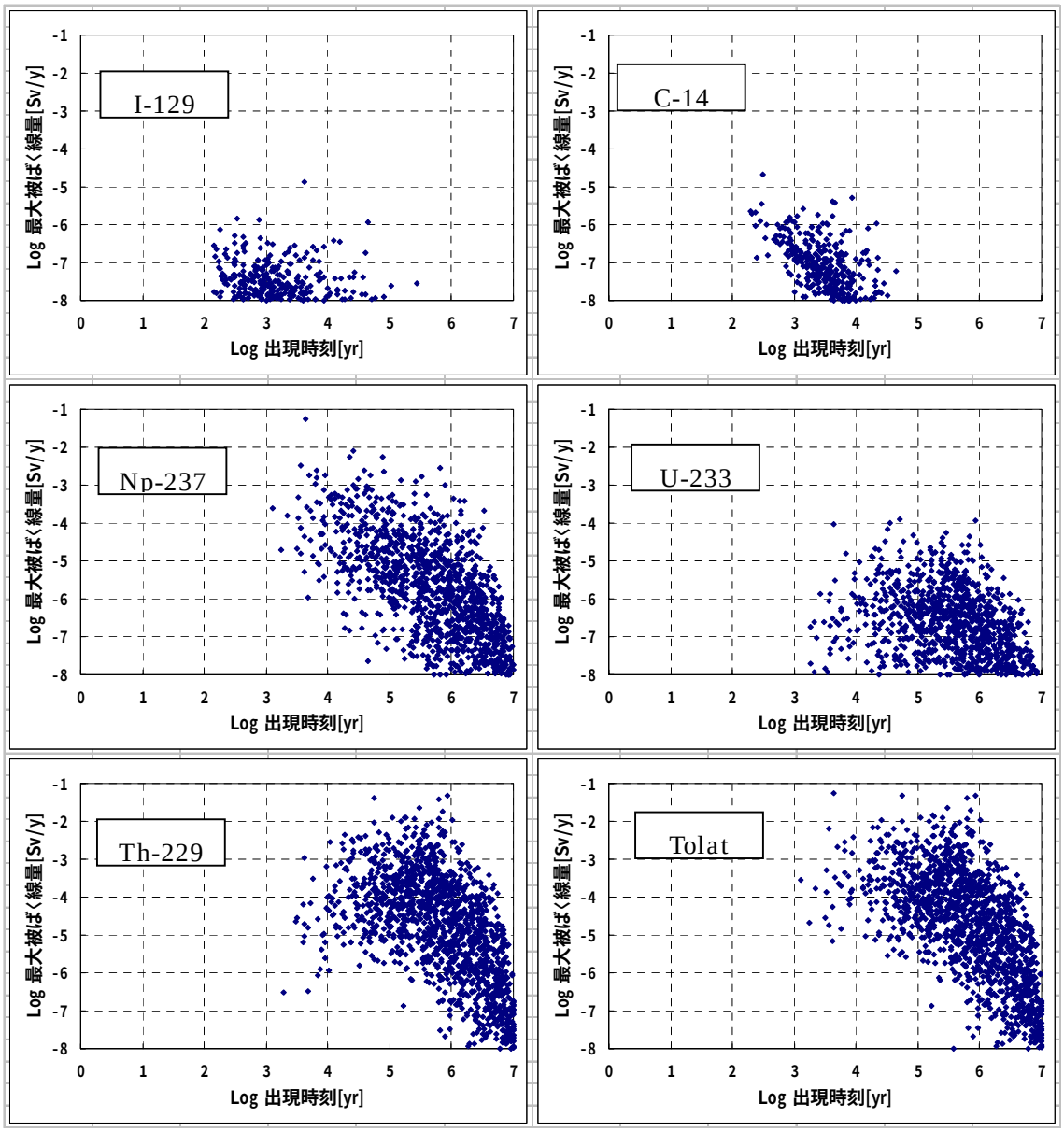


図 4.1.6-24　**グループ４地層処分の最大被ばく線量と出現時期の関係**

（1GBq/ton**，緩衝材なし）**

(2) 感度分析結果

表 4.1.6-8～表 4.1.6-11 に各廃棄体グループにおいて、被ばく線量の最大値に支配的となる核種と、SI 方により感度の大きなパラメータとして抽出された結果、および、ムービングバンド方により抽出されたパラメータをまとめる。

被ばく線量の最大値に支配的となる核種は、グループ１を除き Np-237 系列の Th-229 である。緩衝材を用いない処分概念では、これに、C-14（グループ２）、I-129（グループ３）が被ばく線量の最大値に支配的となるケースが増加する。

地層処分を想定する全ての廃棄体のグループにおいて、余裕深度処分と同様に、地下水流速を決定するパラメータである天然バリアの透水係数、空隙率、動水勾配が被ばく線量に支配的なパラメータとなっている。

グループ１の廃棄体で緩衝材を用いる場合のみが、SI 法による感度分析結果から、核種浸出率およびガス発生速度が有意なパラメータとして抽出されている。核種浸出率に関しては、ムービングバンド法による感度分析結果からは、有意なパラメータとして抽出されていない。これは、ムービングバンド法では、線量の大きなバンドが、複数の偏ったパラメータによって構成されるのに対して、SI 法では、分析対象とするパラメータのみで感度を判断しているためと考えられる。

グループ３および４では、被ばく線量の最大値に支配的となる核種が Th-229 であることから、抽出されるパラメータの傾向は、余裕深度処分と同じような結果となっている。天然バリアでの Np コロイド吸着指数に関しては、余裕深度処分と同様に、想定と逆の感度（Np が擬似コロイドに吸着しやすい方が、線量の低いケースが多い）となっている。また、ムービングバンド法による分析結果では、低線量側での天然バリアでの Np コロイド吸着の感度は消失している。低線量となるケースは、低い透水係数や小さな動水が同時に偏った分布となっており、これら影響が天然バリアでの Np コロイド吸着の影響より勝っているためと考えられる。廃棄体部分での Np コロイド吸着指数は、想定される感度分析結果であった。

表 4.1.6-8　各グループで被ばく線量の最大値に支配的となる核種と大きな感度を有するパラメータ（緩衝材を用いる処分概念、SI 法による抽出）

	グループ1	グループ2	グループ3 50GBq/ton,	グループ4 50GBq/ton,	グループ3 1GBq/ton	グループ4 1GBq/ton
廃棄体埋設比率	○					
核種浸出率	○					
廃棄体劣化後透水係数						
廃棄体健全時空隙拡散係数						
廃棄体劣化後空隙拡散係数				○		
廃棄体劣化後空隙率		○				
天然バリア透水係数	○	○	○	○	○	○
天然バリア空隙率		○	○	○	○	○
廃棄体健全時の I 分配係数	○					
母岩の U の分配係数						○
廃棄体での第二節点濃度						
廃棄体での NP コロイド吸着指数		○	○		○	○
母岩での NP コロイド吸着指数			○	○	○	
動水勾配		○	○	○	○	○
ガス発生速度	○					
廃棄体劣化開始時刻						

SI 法により、上位５つのパラメータを抽出

表 4.1.6-9　各グループで被ばく線量の最大値に支配的となる核種と大きな感度を有するパラメータ（緩衝材を使用しない処分概念、SI 法による抽出）

	グループ1	グループ2	グループ3 50GBq/ton,	グループ4 50GBq/ton,	グループ3 1GBq/ton	グループ4 1GBq/ton
廃棄体埋設比率						
核種浸出率						
廃棄体劣化後透水係数	○	○	○	○	○	○
廃棄体健全時空隙拡散係数						
廃棄体劣化後空隙拡散係数		○				○
廃棄体劣化後空隙率						
天然バリア透水係数	○	○	○	○	○	○
天然バリア空隙率	○	○	○	○	○	
廃棄体健全時の I 分配係数						
母岩の U の分配係数				○		
廃棄体での第二節点濃度					○	
廃棄体での NP コロイド吸着指数				○		○
母岩での NP コロイド吸着指数			○			
動水勾配	○	○	○		○	○
ガス発生速度						
廃棄体劣化開始時刻	○					

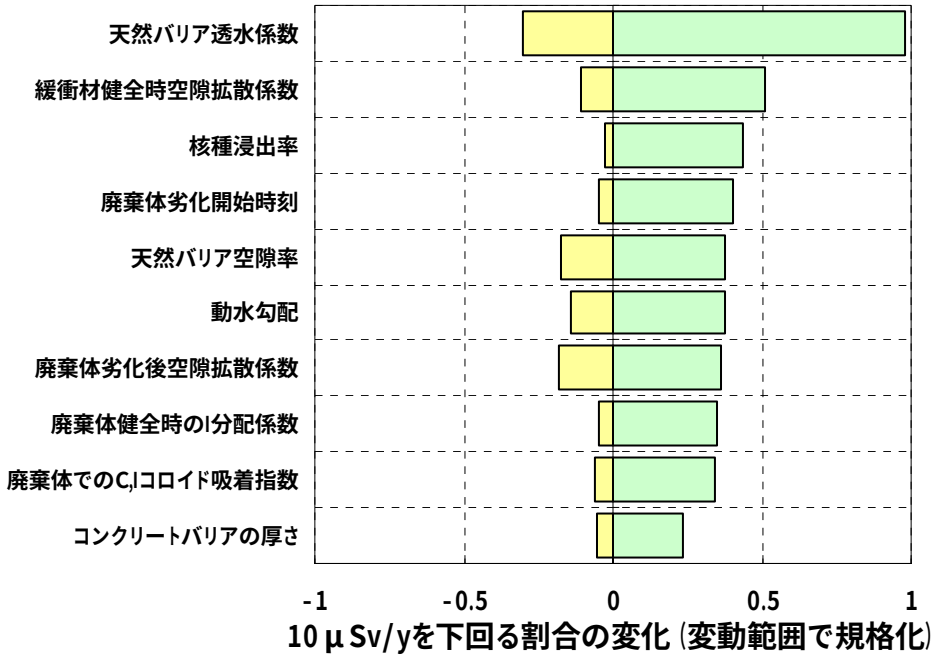
SI 法により、上位５つのパラメータを抽出

表 4.1.6-10　大きな感度を有するパラメータの一覧（緩衝材を用いる処分概念、ムービングバンド法による抽出）

	グループ1	グループ2	グループ3 50GBq/ton,	グループ4 50GBq/ton,	グループ3 1GBq/ton	グループ4 1GBq/ton
廃棄体埋設比率			○		○	
コンクリートバリアの厚さ						
廃棄体劣化後透水係数						○
廃棄体劣化後空隙拡散係数	○	○	○	○	○	○
廃棄体劣化後空隙率						○
緩衝材劣化後透水係数	○			○		
緩衝材健全時空隙拡散係数	○					
天然バリア長さ	○		○	○	○	○
天然バリア透水係数	○	○	○	○	○	○
天然バリア空隙率	○	○	○	○	○	○
廃棄体健全時の I 分配係数						
廃棄体劣化後の U の分配係数						
母岩の Np の分配係数				○		○
化学異常時の母岩の Np の分配係数						
母岩の U の分配係数			○		○	○
廃棄体での C,I コロイド吸着指数	○					
廃棄体での NP コロイド吸着指数		○	○	○	○	○
母岩での NP コロイド吸着指数		○	○	○	○	○
動水勾配	○	○	○	○	○	○
ガス発生速度		○	○		○	○
廃棄体劣化開始時刻						
緩衝材劣化開始時刻	○					

表 4.1.6-11　大きな感度を有するパラメータの一覧（緩衝材を用いない処分概念、ムービングバンド法による抽出）

	グループ1	グループ2	グループ3 50GBq/ton,	グループ4 50GBq/ton,	グループ3 1GBq/ton	グループ4 1GBq/ton
廃棄体埋設比率						
コンクリートバリアの厚さ		○		○		
廃棄体劣化後透水係数	○	○	○	○	○	○
廃棄体劣化後空隙拡散係数	○	○	○	○	○	○
廃棄体劣化後空隙率						
緩衝材劣化後透水係数	-	-	-	-	-	-
天然バリア長さ	○	○	○		○	
天然バリア透水係数	○	○	○	○	○	○
天然バリア空隙率	○	○	○	○	○	○
廃棄体健全時の I 分配係数	○					
廃棄体劣化後の U の分配係数	-			○		
母岩の Np の分配係数	-				○	
化学異常時の母岩の Np の分配係数	-					
母岩の U の分配係数	-			○		
廃棄体での C,I コロイド吸着指数	○					
廃棄体での NP コロイド吸着指数		○	○	○	○	○
母岩での NP コロイド吸着指数		○	○	○	○	○
動水勾配	○	○	○	○	○	○
ガス発生速度						
廃棄体劣化開始時刻	○					
緩衝材劣化開始時刻						



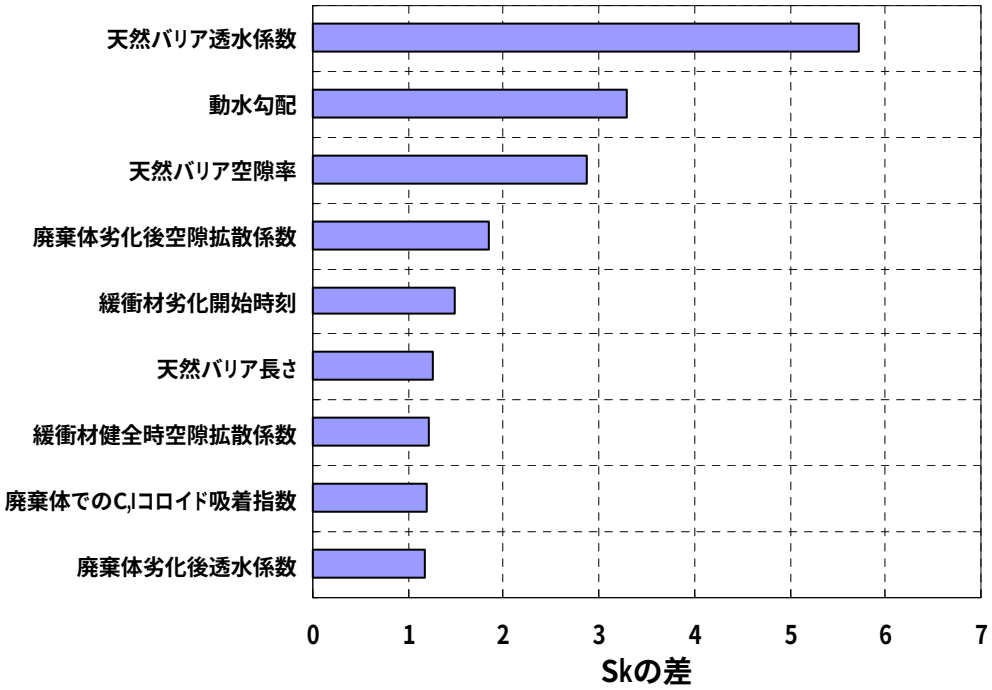
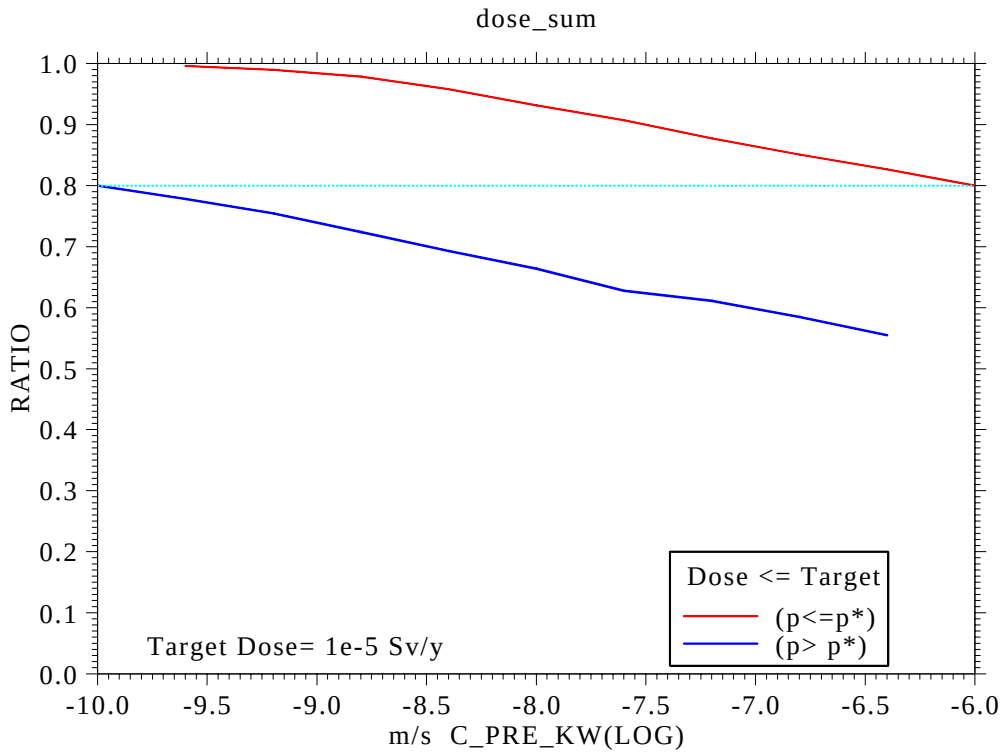


図 4.1.6-25　**グループ１地層処分の感度分析結果の比較（緩衝材あり）**



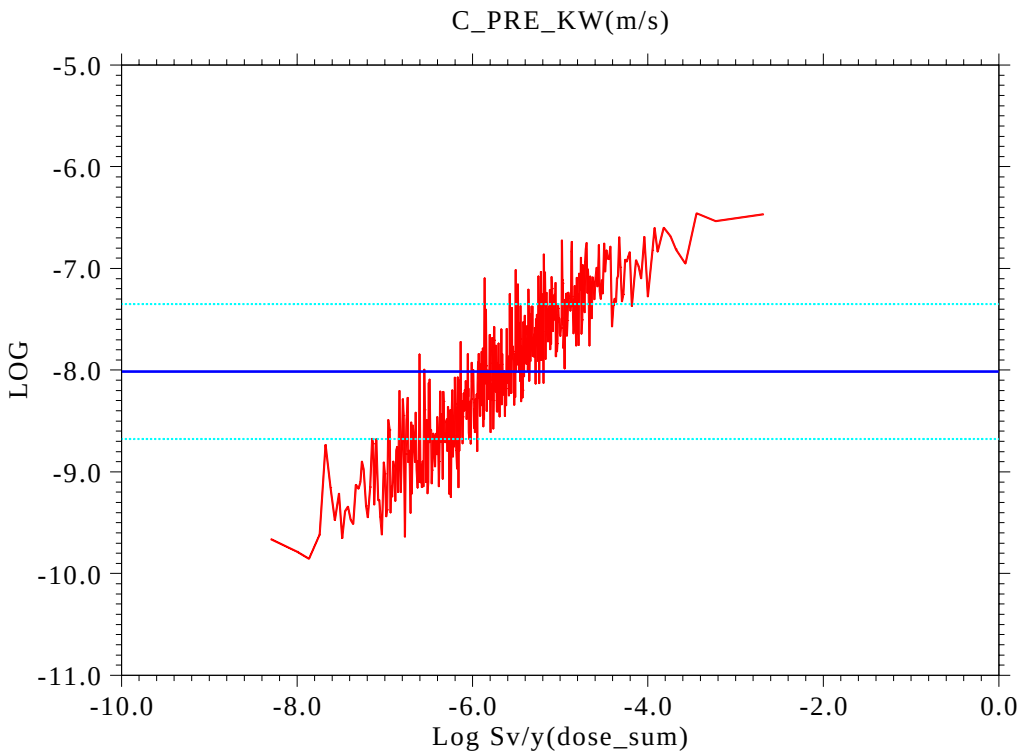
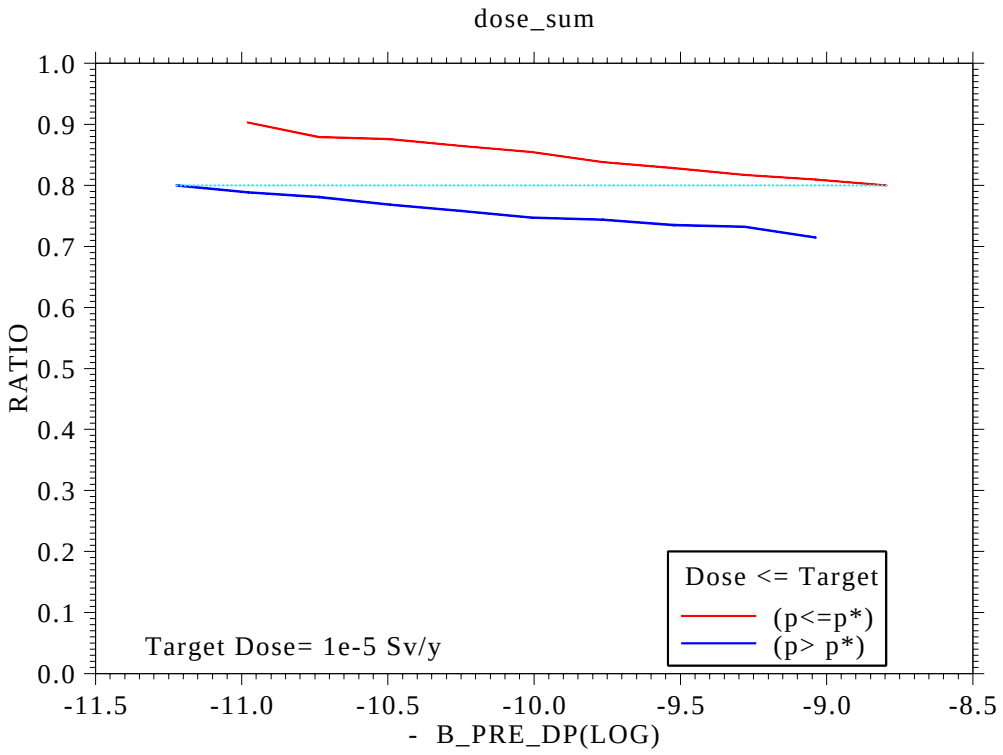


図 4.1.6-26 **グループ１地層処分の天然バリア透水係数の感度分析結果（緩衝材あり）**



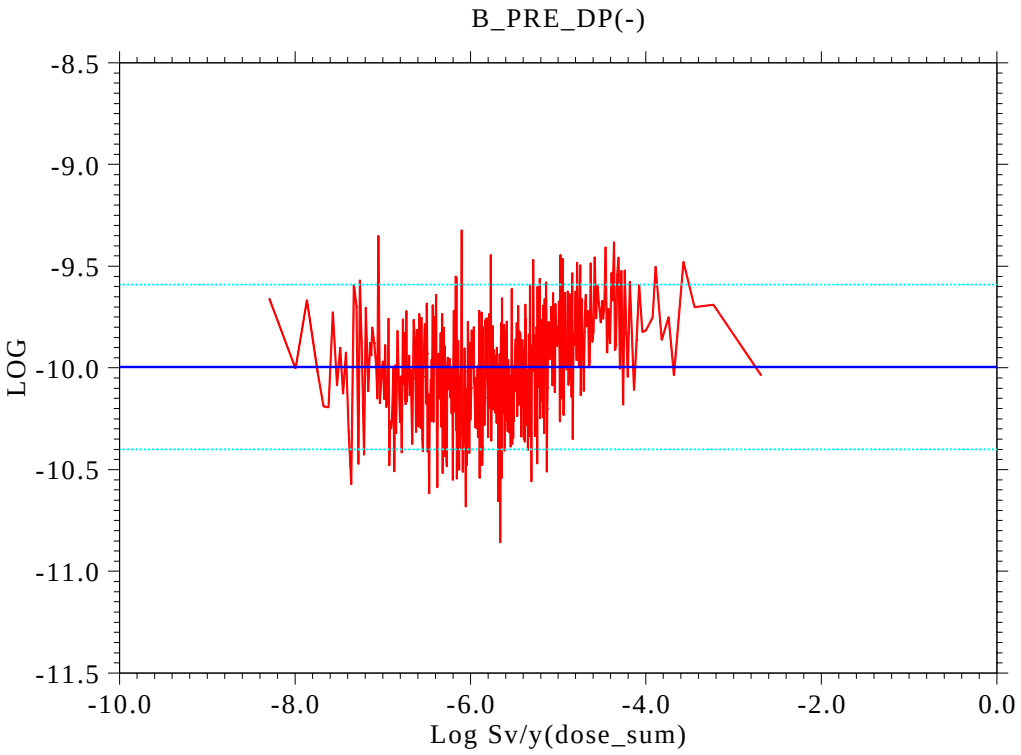
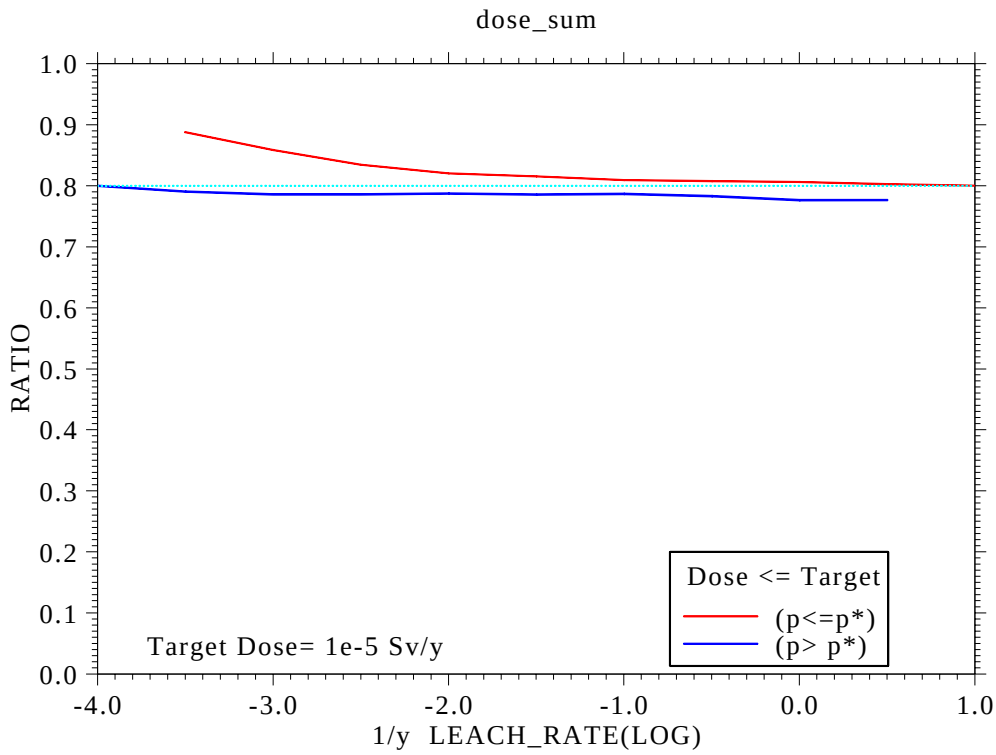


図 4.1.6-27　**グループ１地層処分の緩衝材健全時の空隙拡散係数感度分析結果（緩衝材あり）**



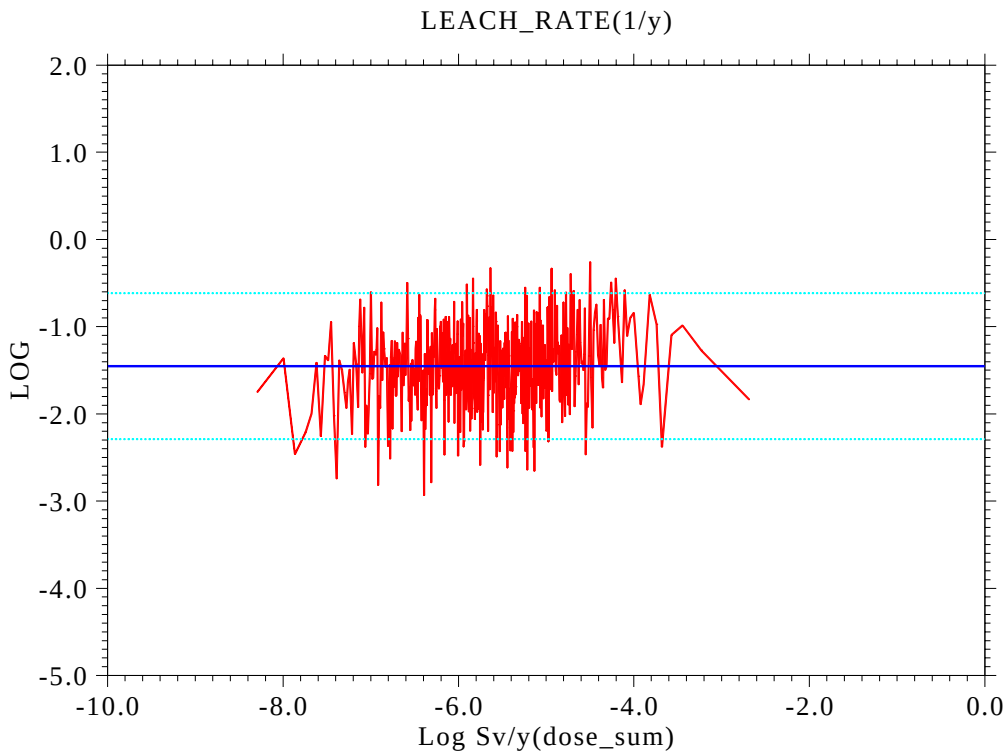
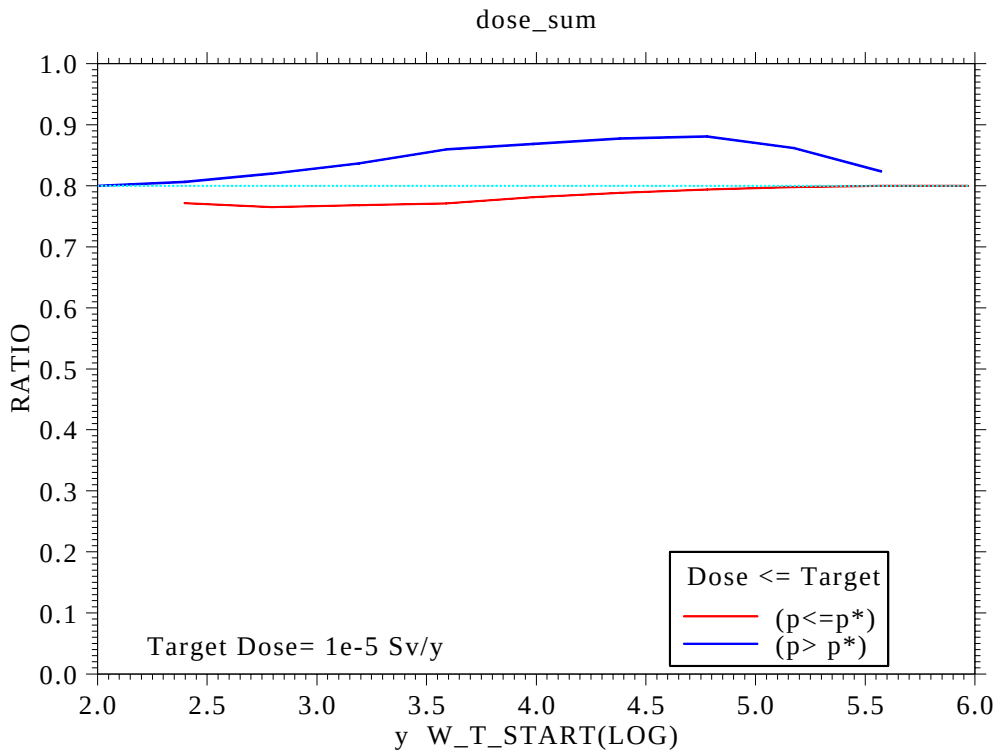


図 4.1.6-28　**グループ１地層処分の核種浸出率の感度分析結果（緩衝材あり）**



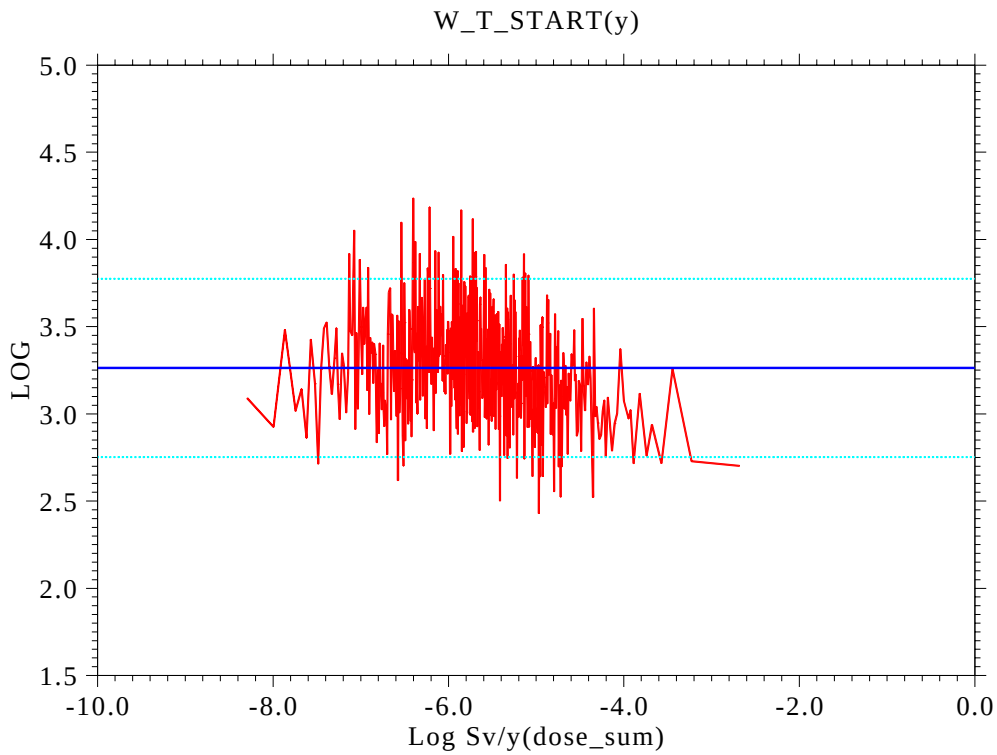
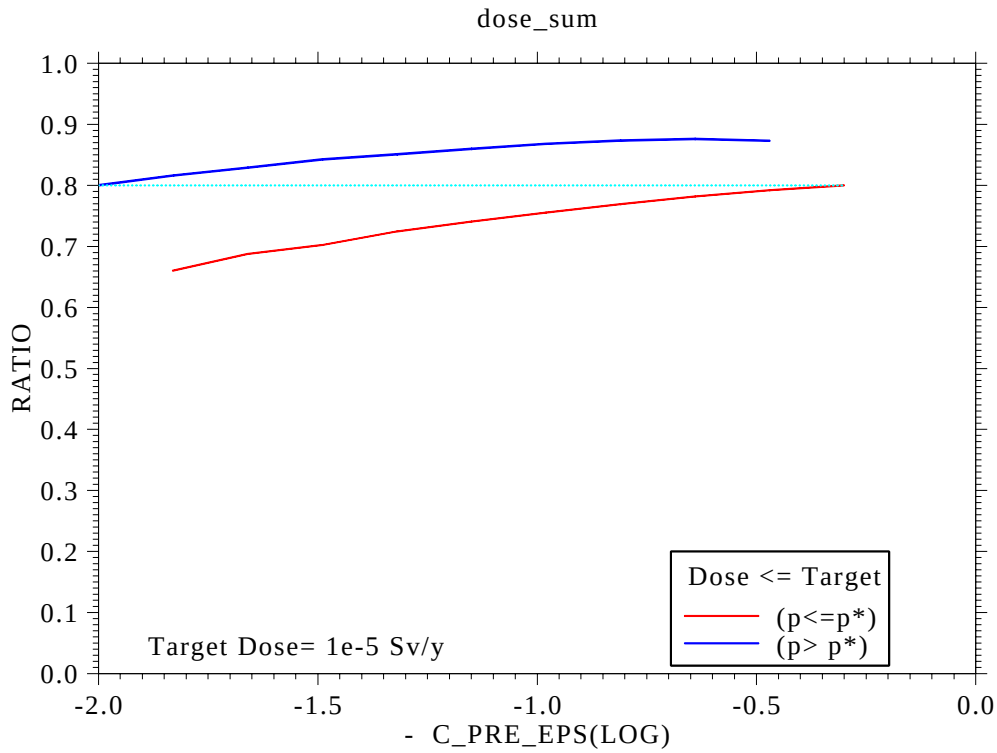


図 4.1.6-29 グループ１地層処分の廃棄体劣化時刻の感度分析結果（緩衝材あり）



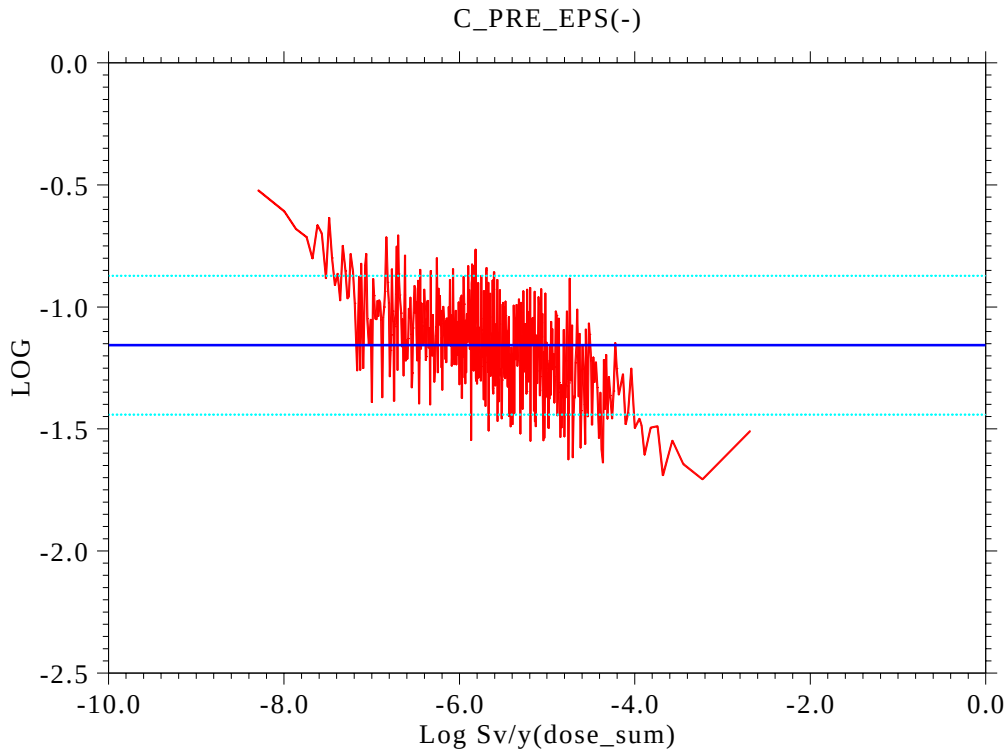
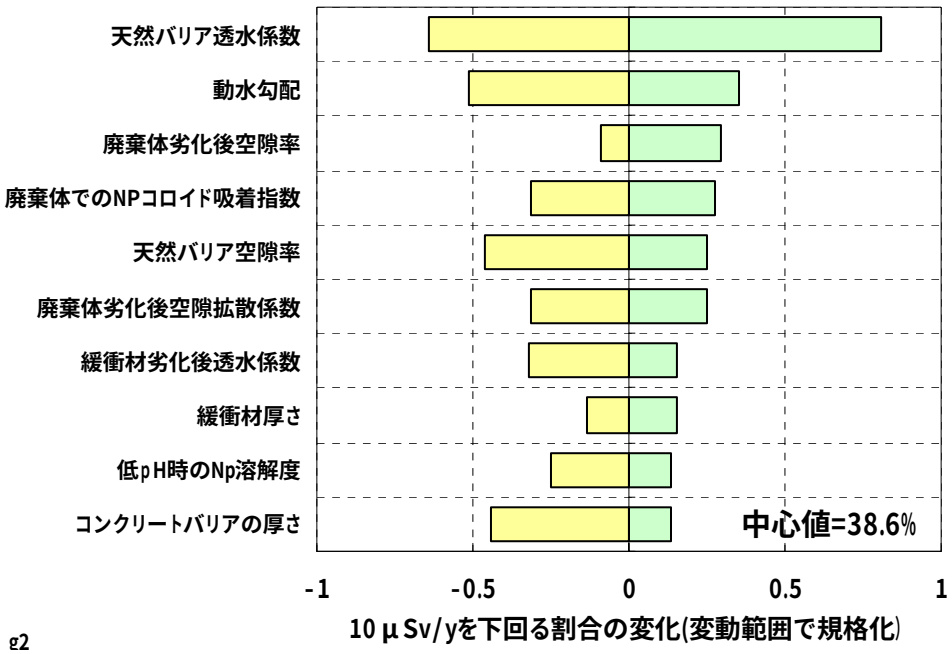


図 4.1.6-30　**グループ１地層処分の母岩空隙率の感度分析結果（緩衝材あり）**



g2

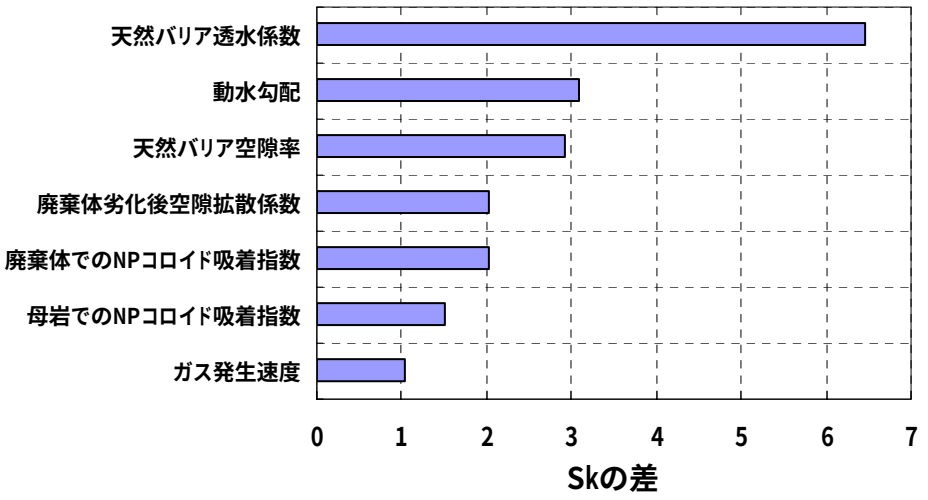
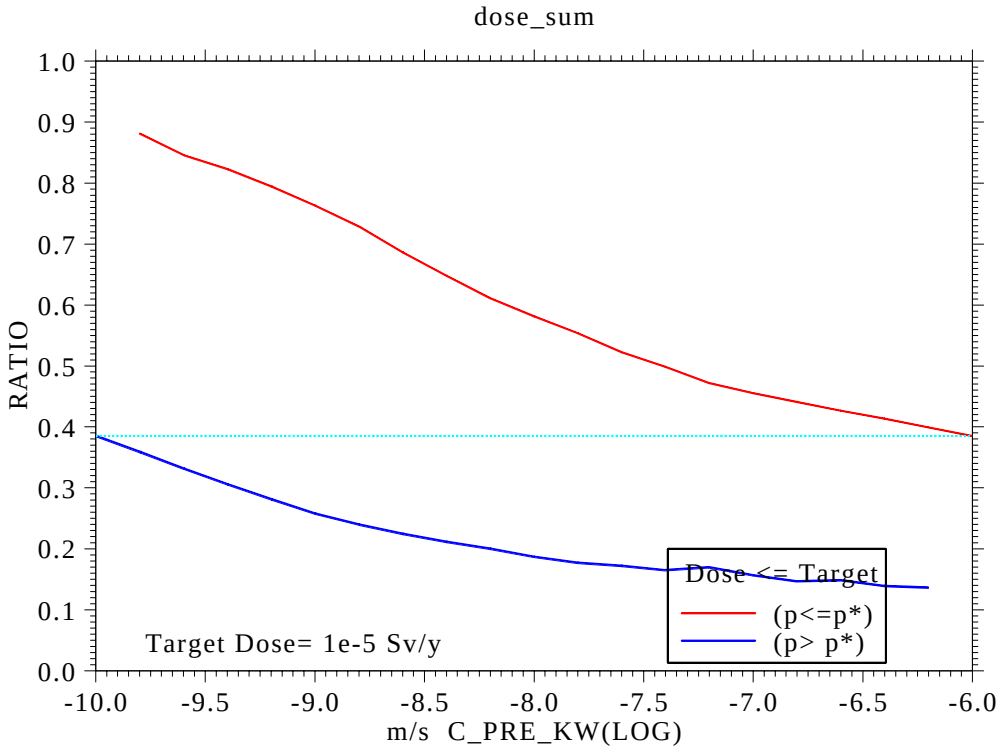


図 4.1.6-31　**グループ２地層処分の感度の分析結果の比較（合計，緩衝材あり）**



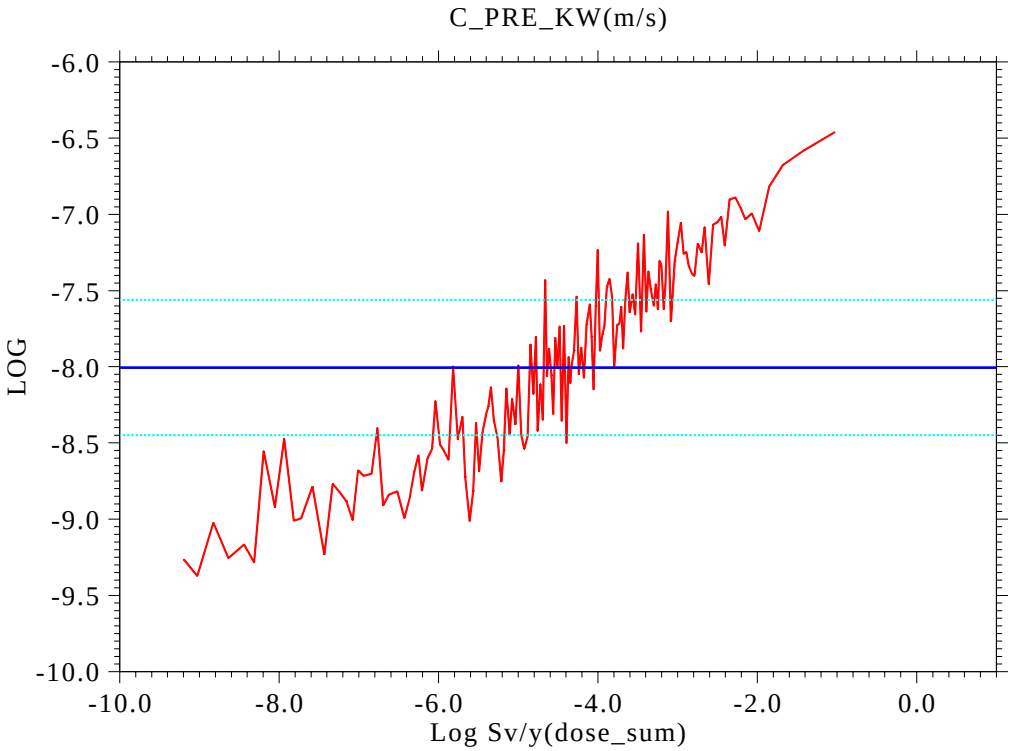


図 4.1.6-32 **グループ２地層処分の天然バリア透水係数の感度分析結果（緩衝材あり）**

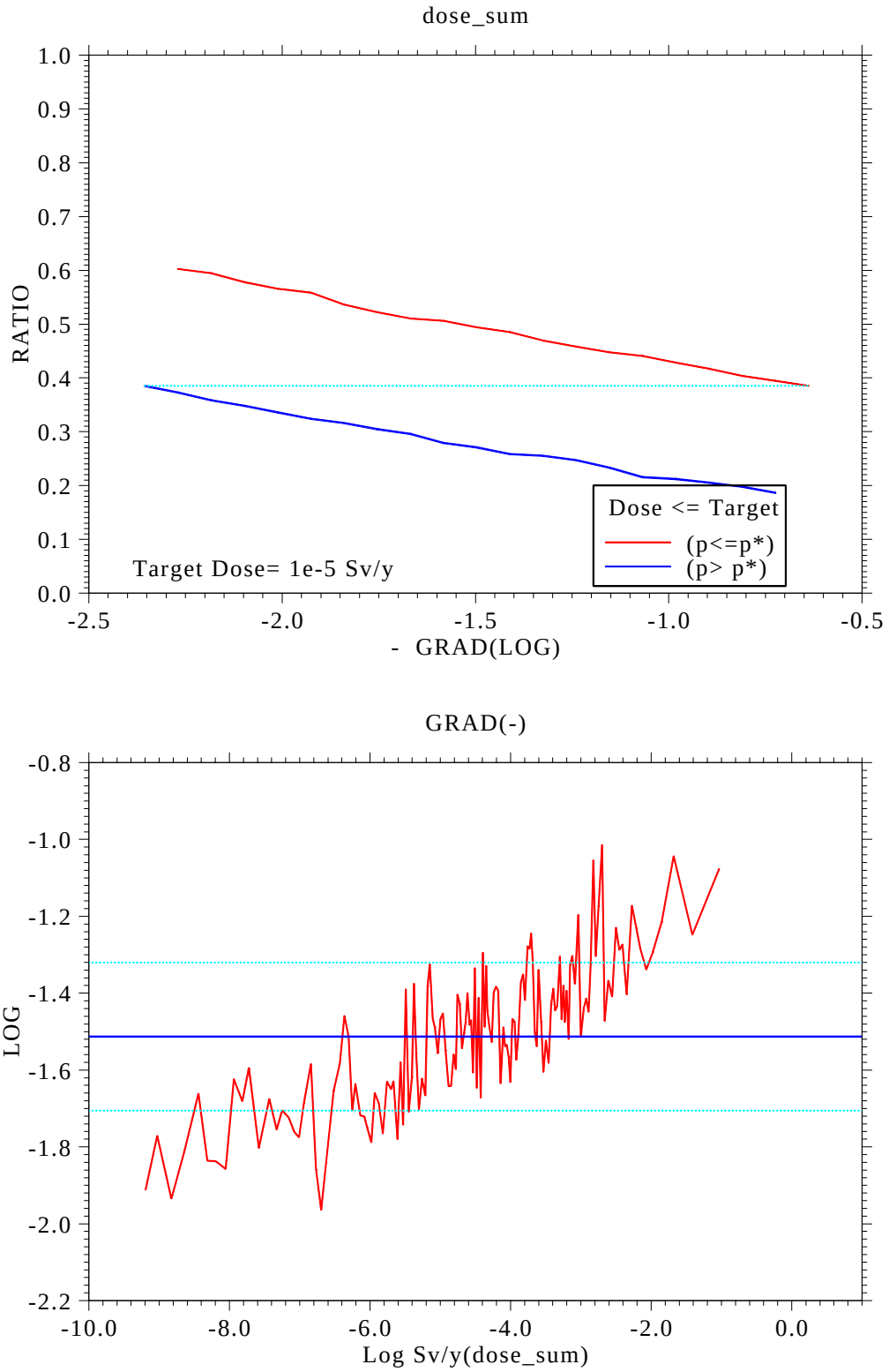
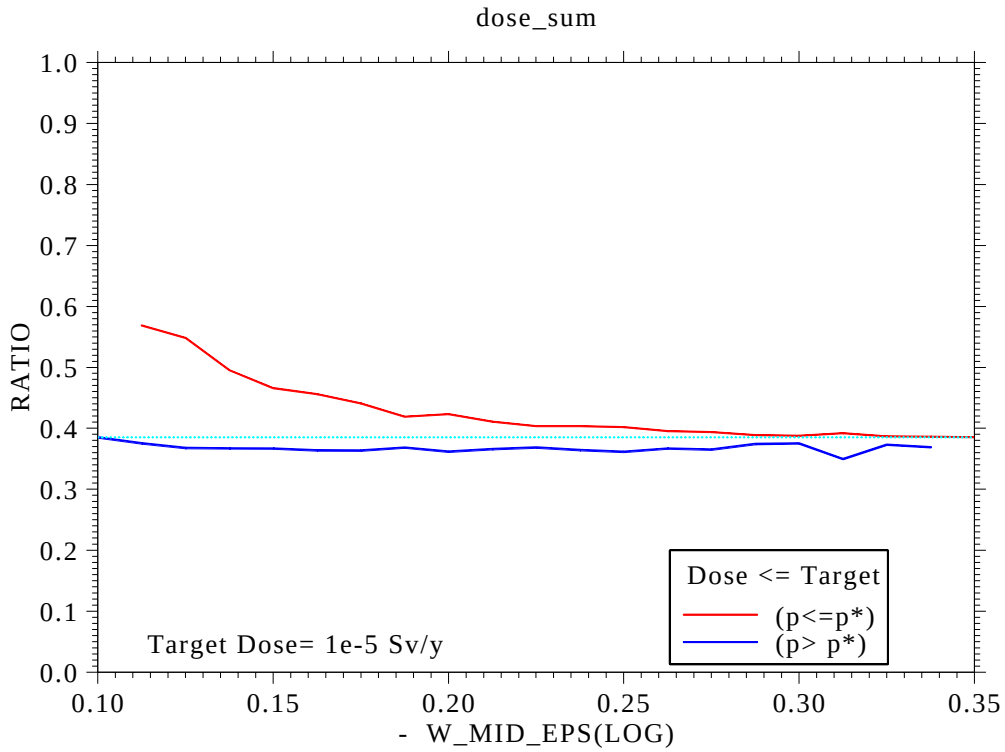


図 4.1.6-33　**グループ２地層処分の動水勾配の感度分析結果（緩衝材あり）**



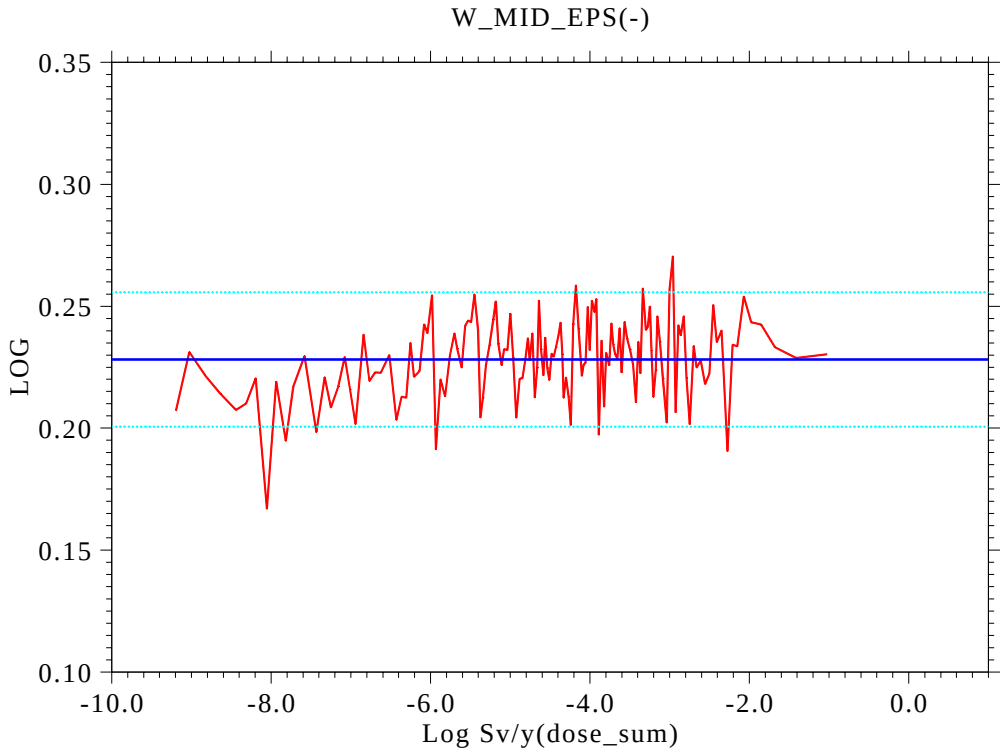
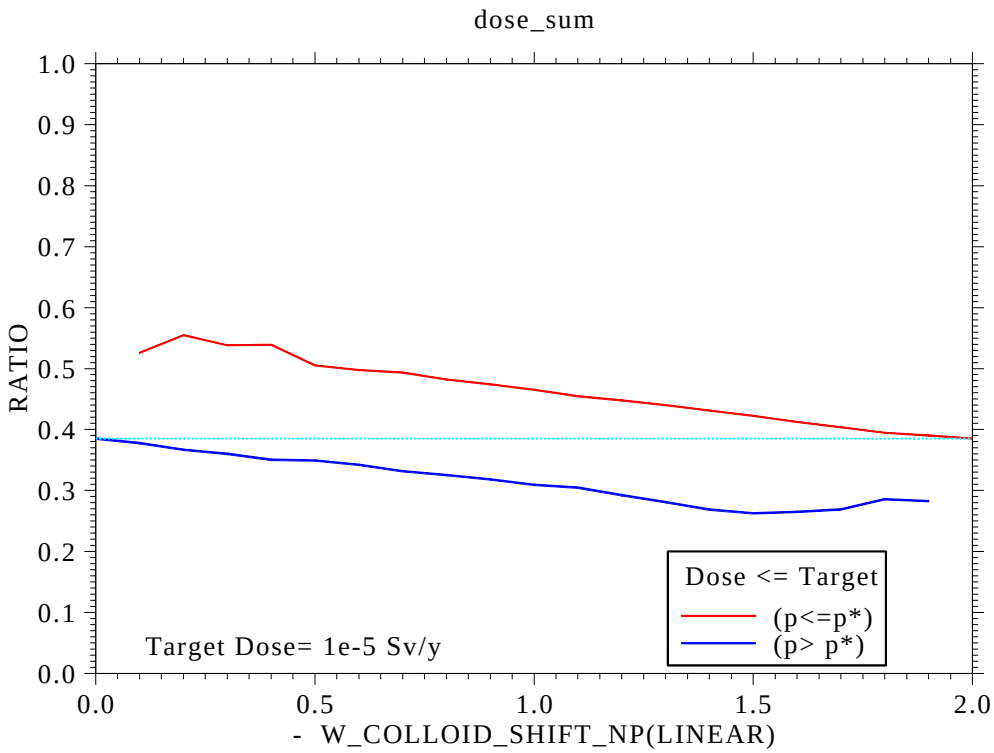


図 4.1.6-34　**グループ２地層処分の廃棄体劣化時空隙率の感度分析結果（緩衝材あり）**



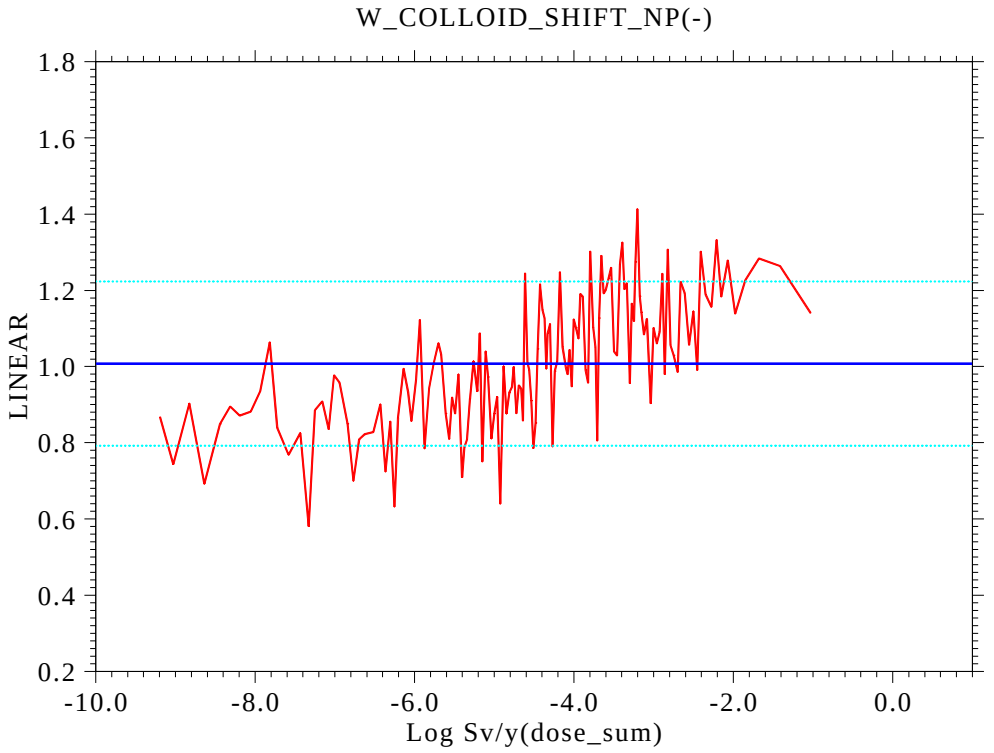


図 4.1.6-35　グループ２地層処分の廃棄体中での NP コロイド吸着指数の感度分析結果（緩衝材あり）

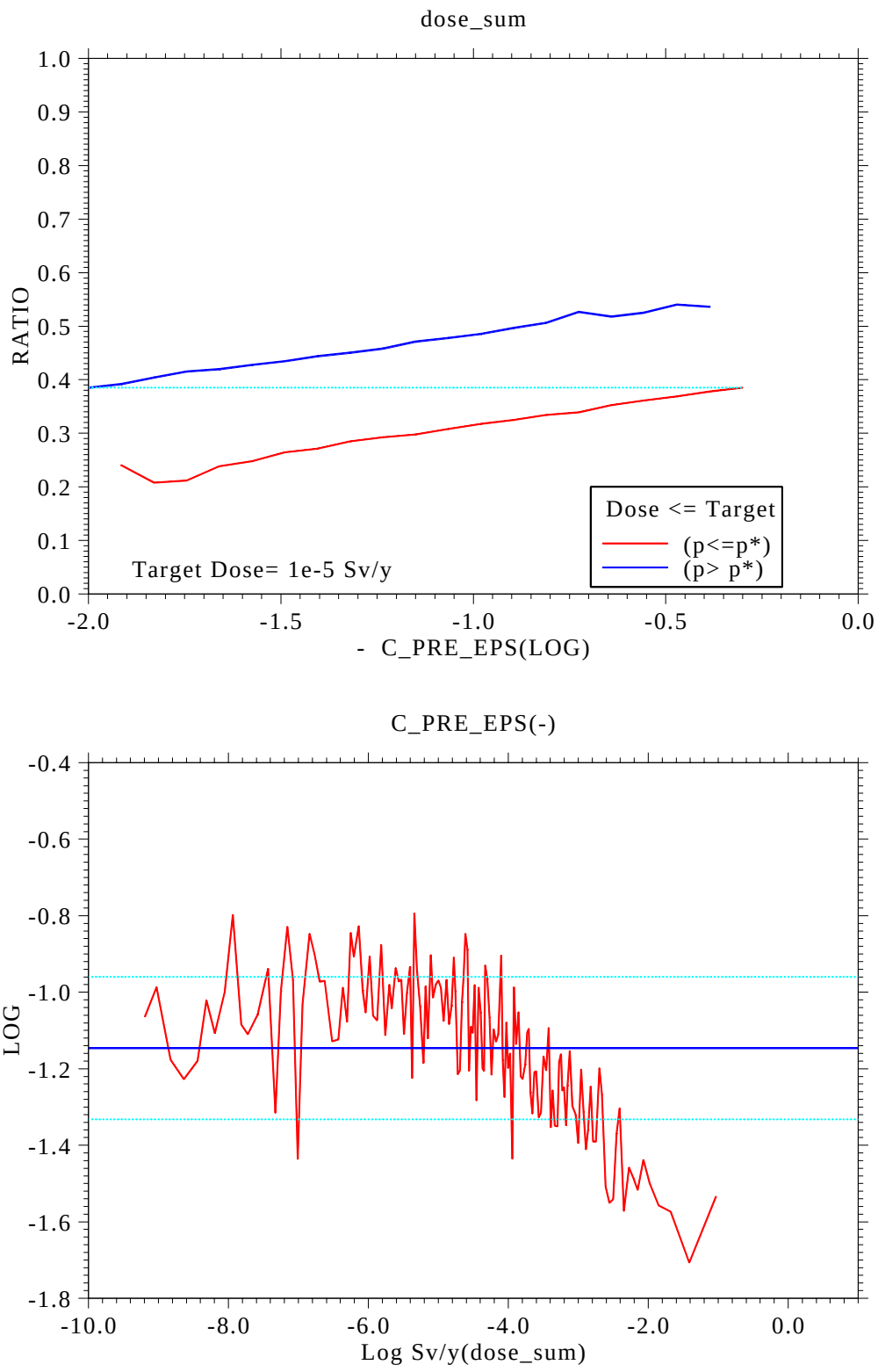
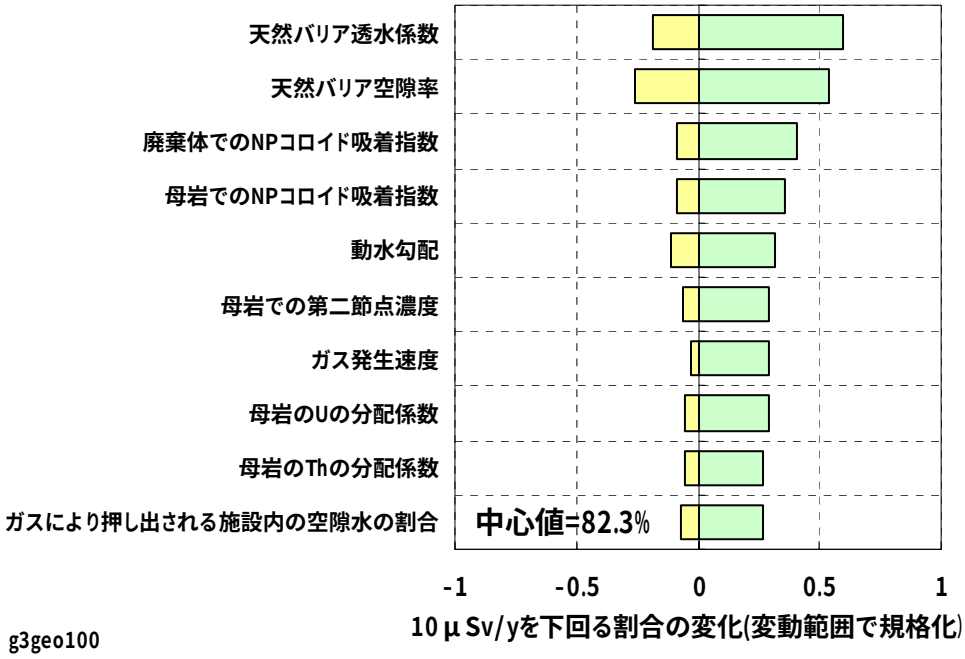


図 4.1.6-36　**グループ２地層処分の天然バリア空隙率の感度分析結果（緩衝材あり）**



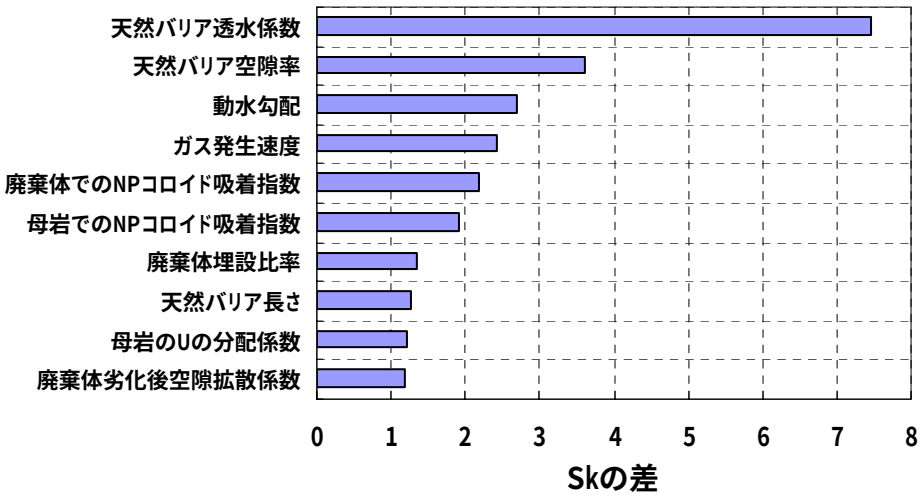
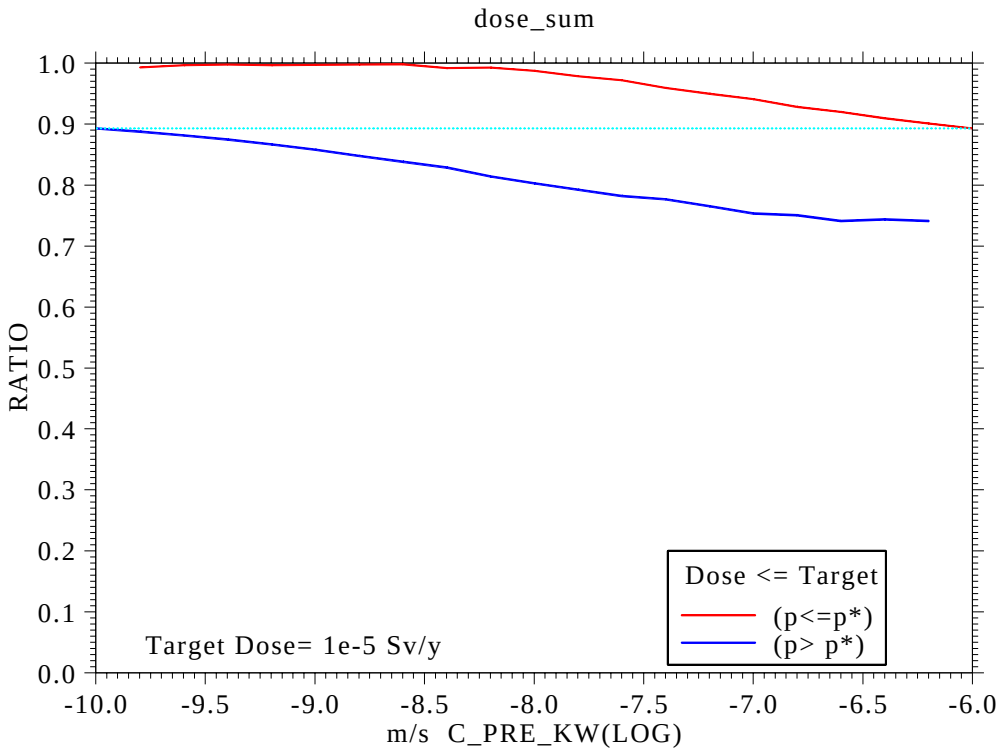


図 4.1.6-37　**グループ３地層処分の感度分析結果の比較**
（50GBq/ton **以上，緩衝材あり）**



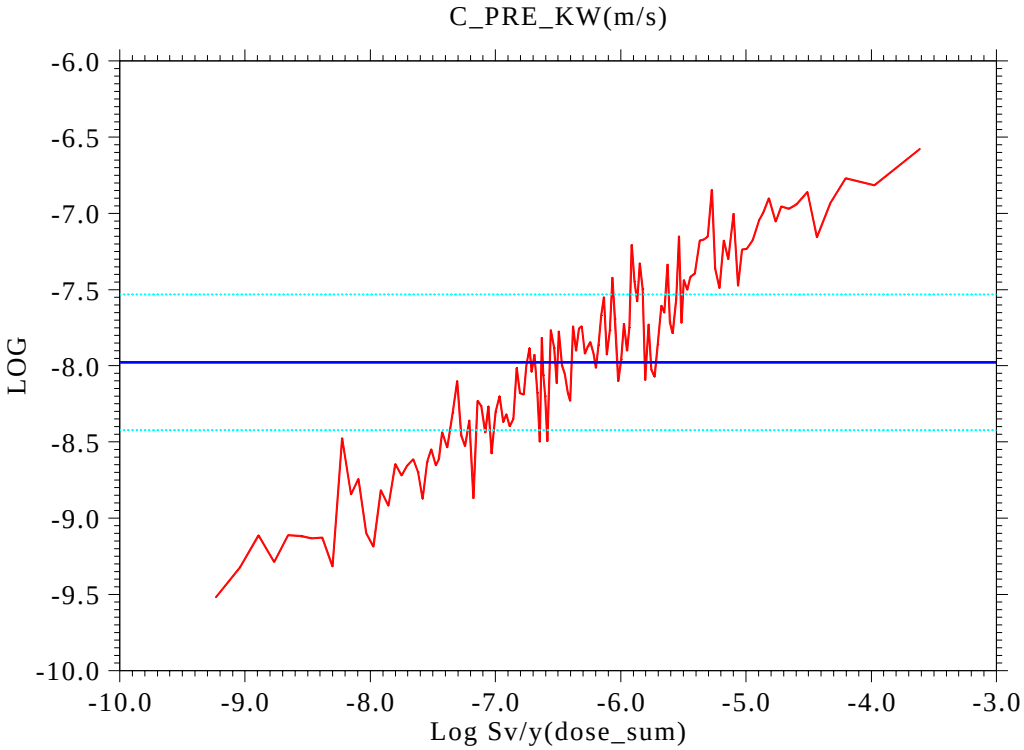


図 4.1.6-38 **グループ３地層処分の天然バリア透水係数の感度分析結果**
（50GBq/ton **以上，緩衝材あり）**

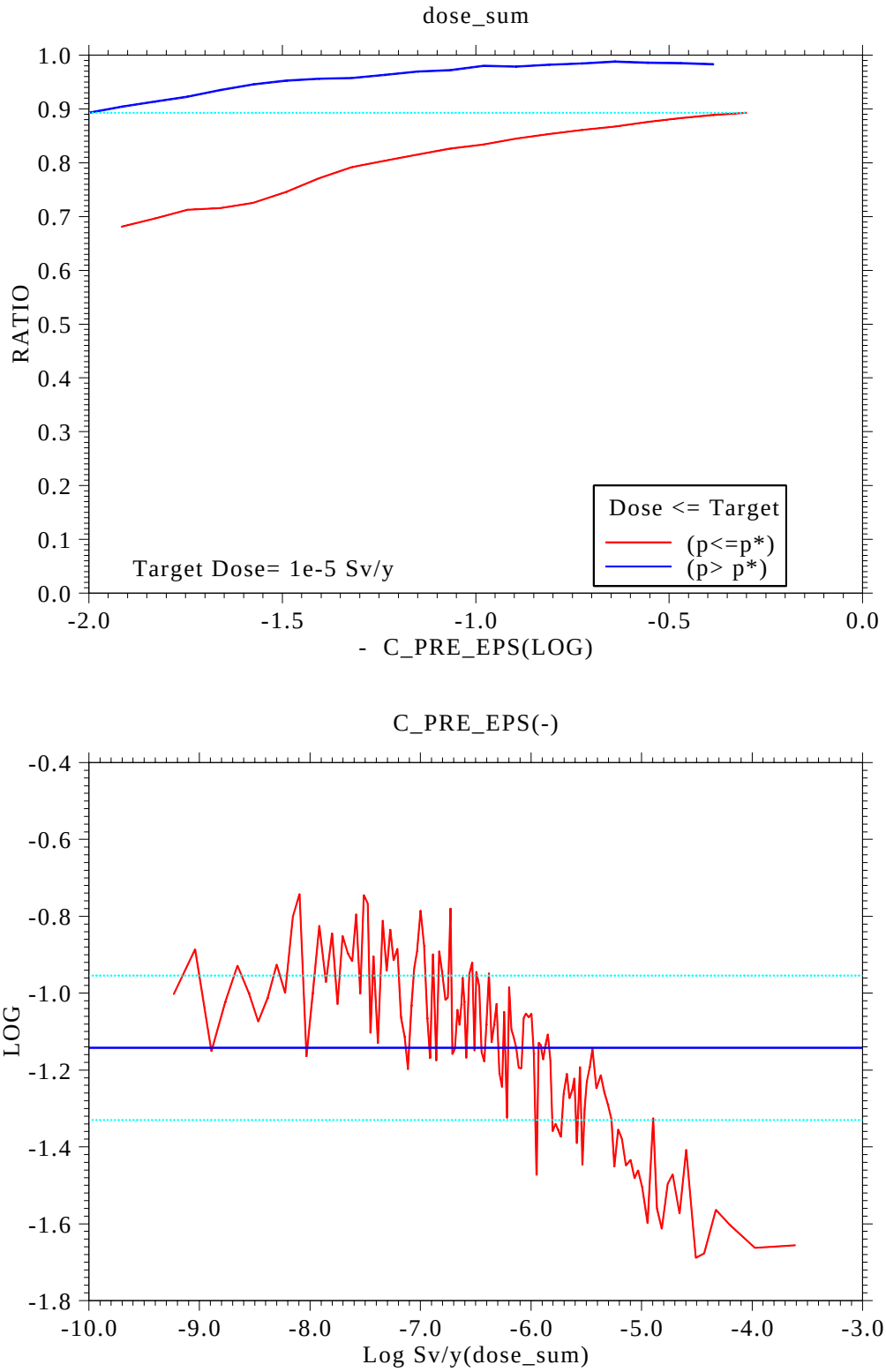


図 4.1.6-39　**グループ３地層処分の天然バリア空隙率の感度分析結果**
（50GBq/ton **以上，緩衝材あり）**

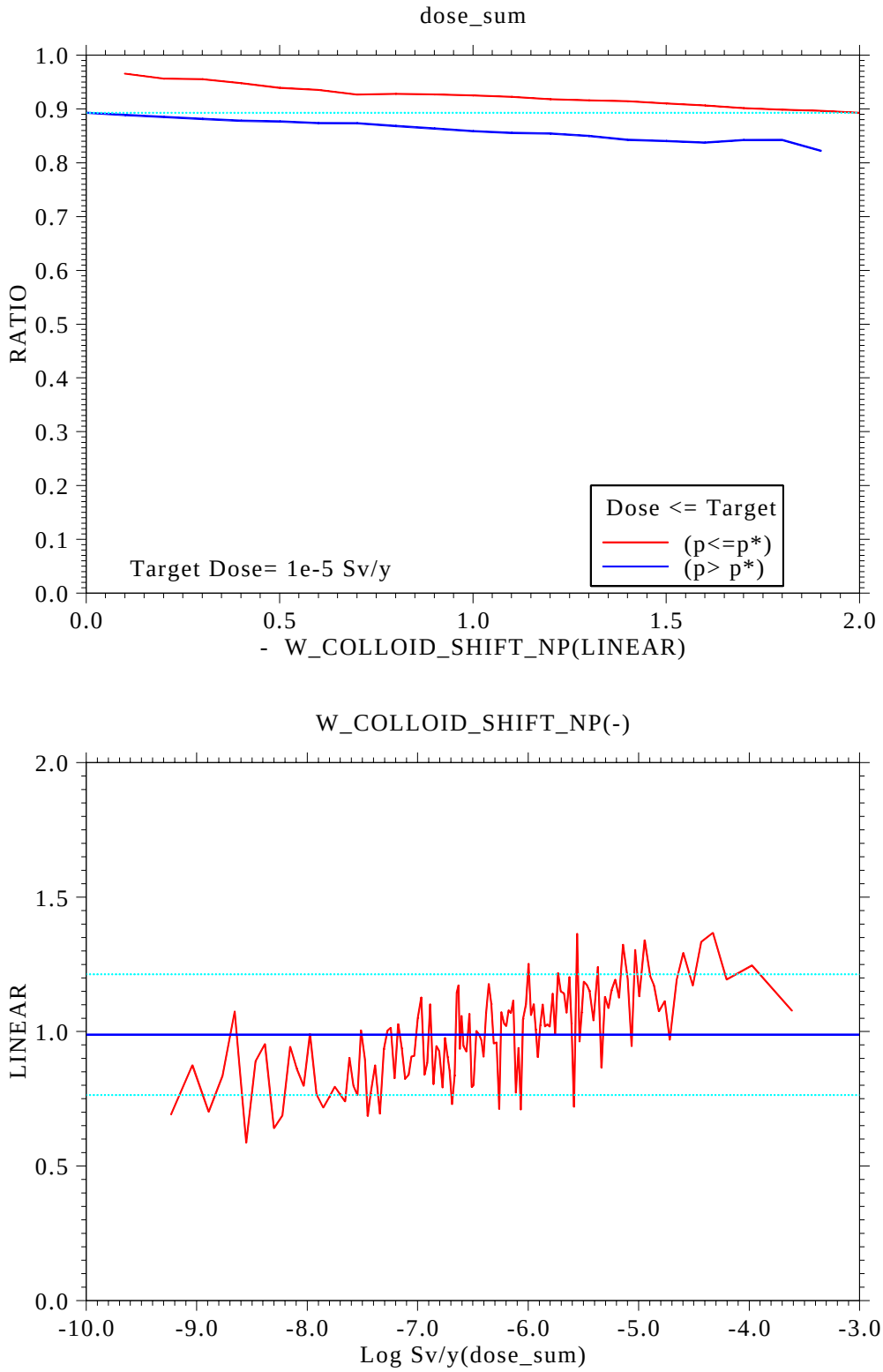


図 4.1.6-40　**グループ３地層処分の廃棄体での** NP **コロイド吸着指数の感度分析結果**
（50GBq/ton **以上，緩衝材あり）**

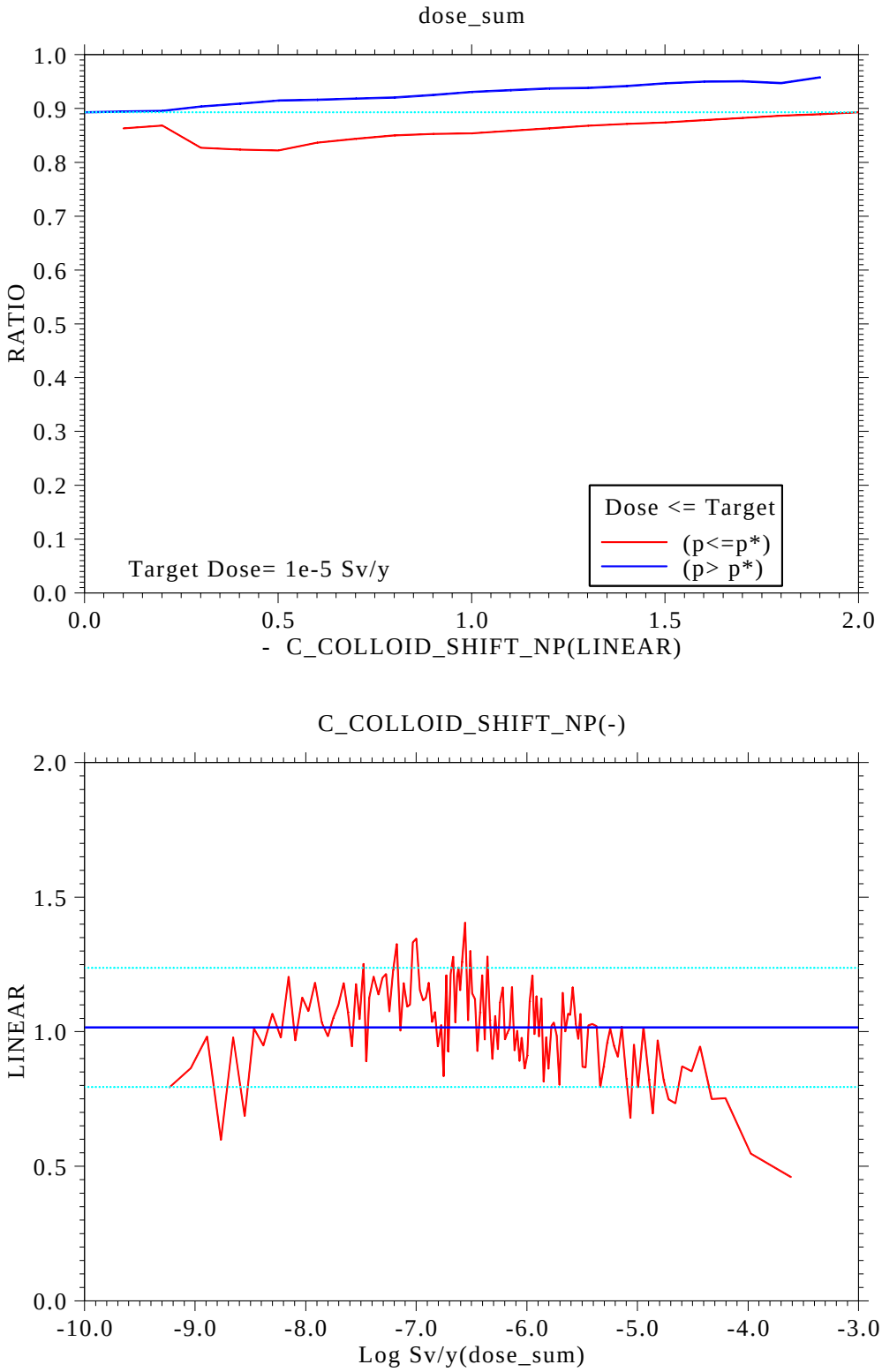


図 4.1.6-41　**グループ３地層処分の天然バリアでの** NP **コロイド吸着指数の感度分析結果（**50GBq/ton **以上，緩衝材あり）**

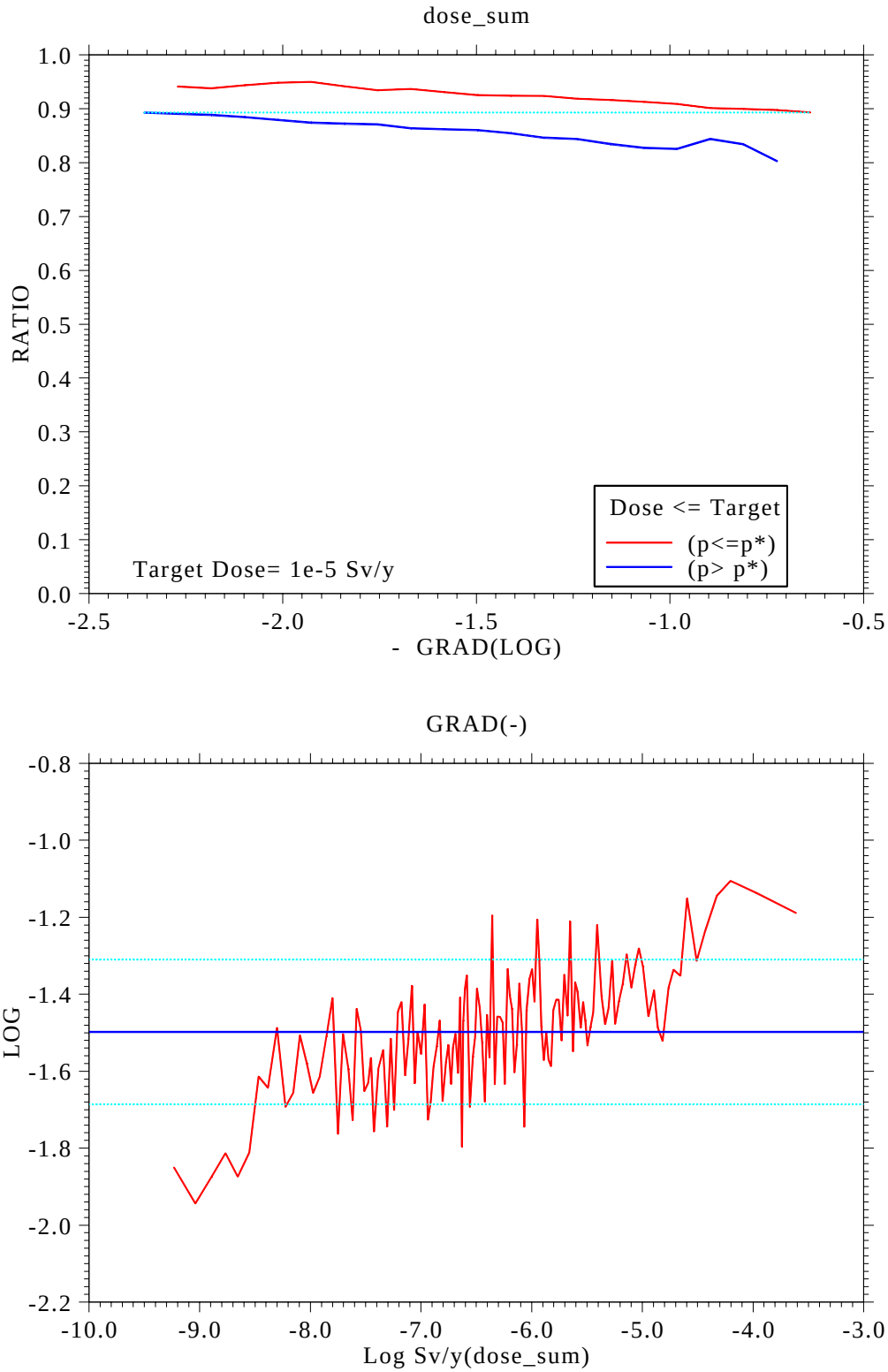
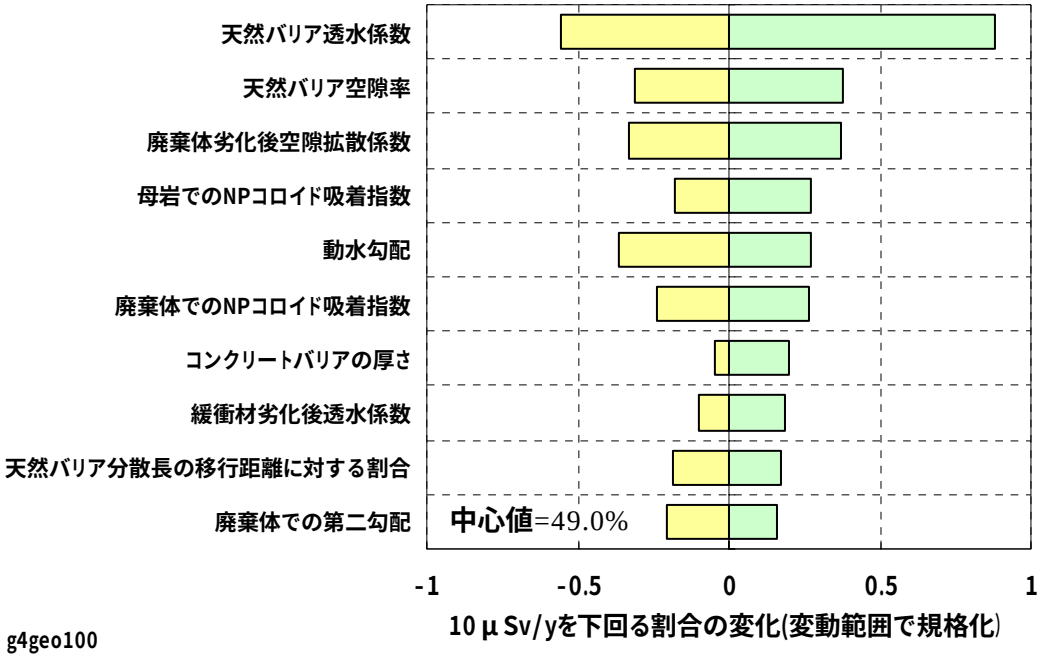


図 4.1.6-42　**グループ３地層処分の動水勾配の感度分析結果**
（50GBq/ton **以上，緩衝材あり）**



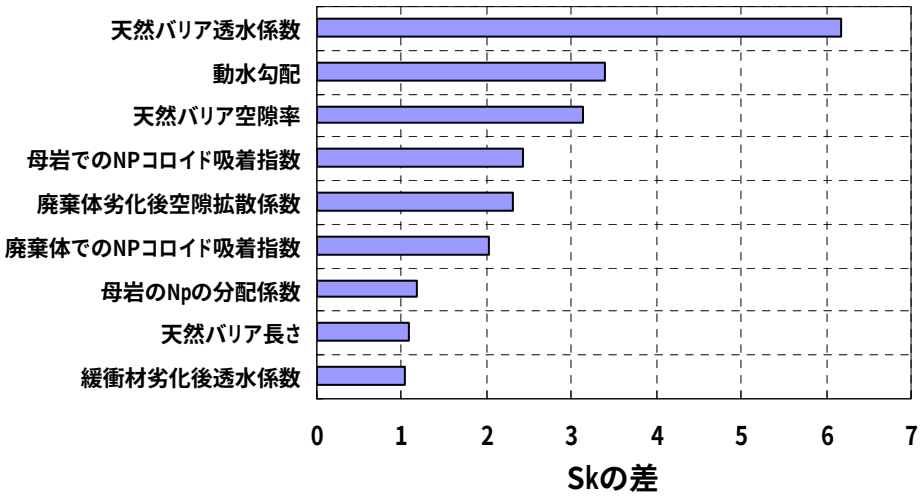


図 4.1.6-43　**グループ４地層処分の感度分析結果の比較**
（50GBq/ton **以上，緩衝材あり）**

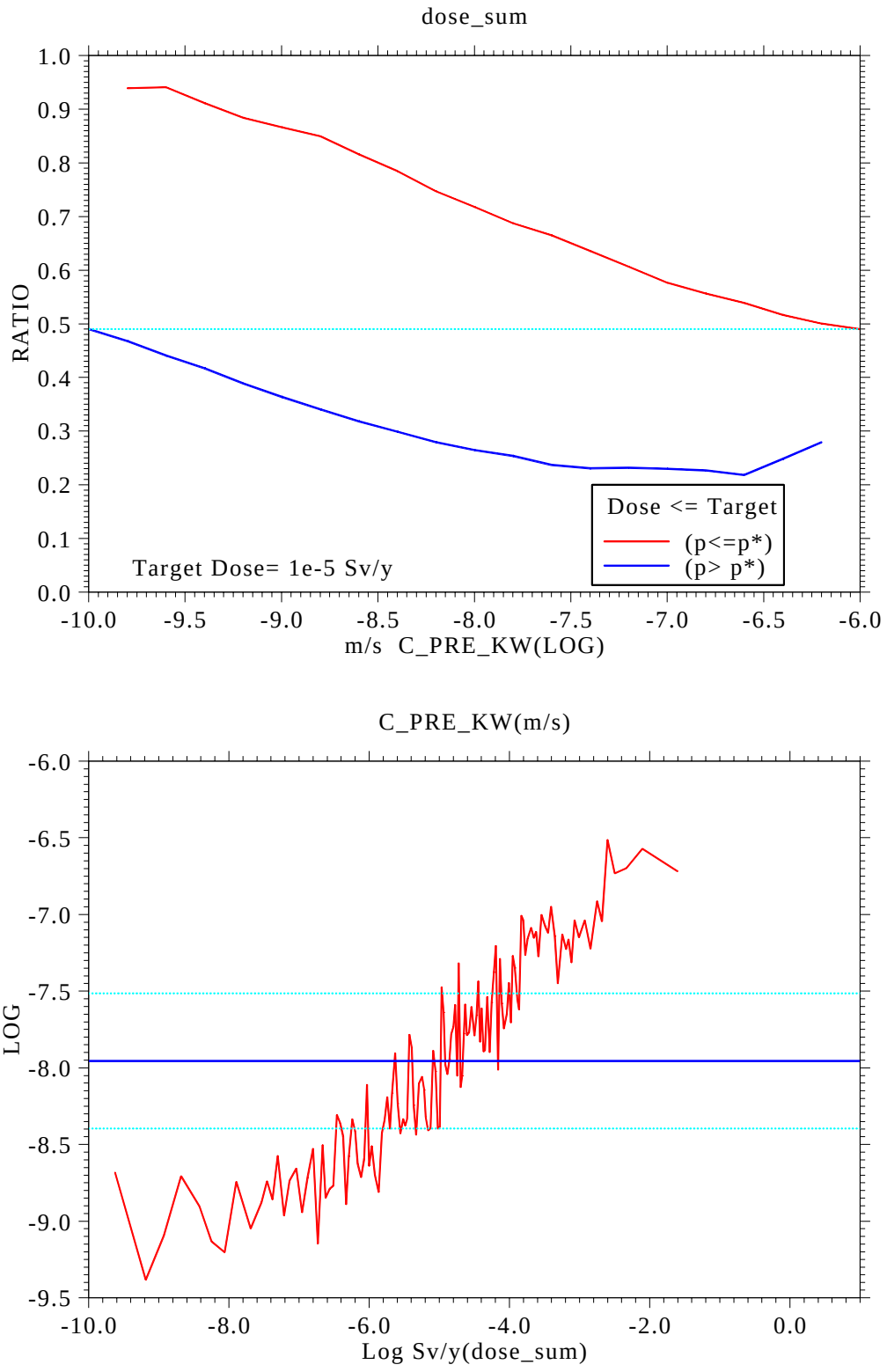


図 4.1.6-44 **グループ４地層処分の天然バリア透水係数の感度分析結果**
（50GBq/ton **以上，緩衝材あり）**

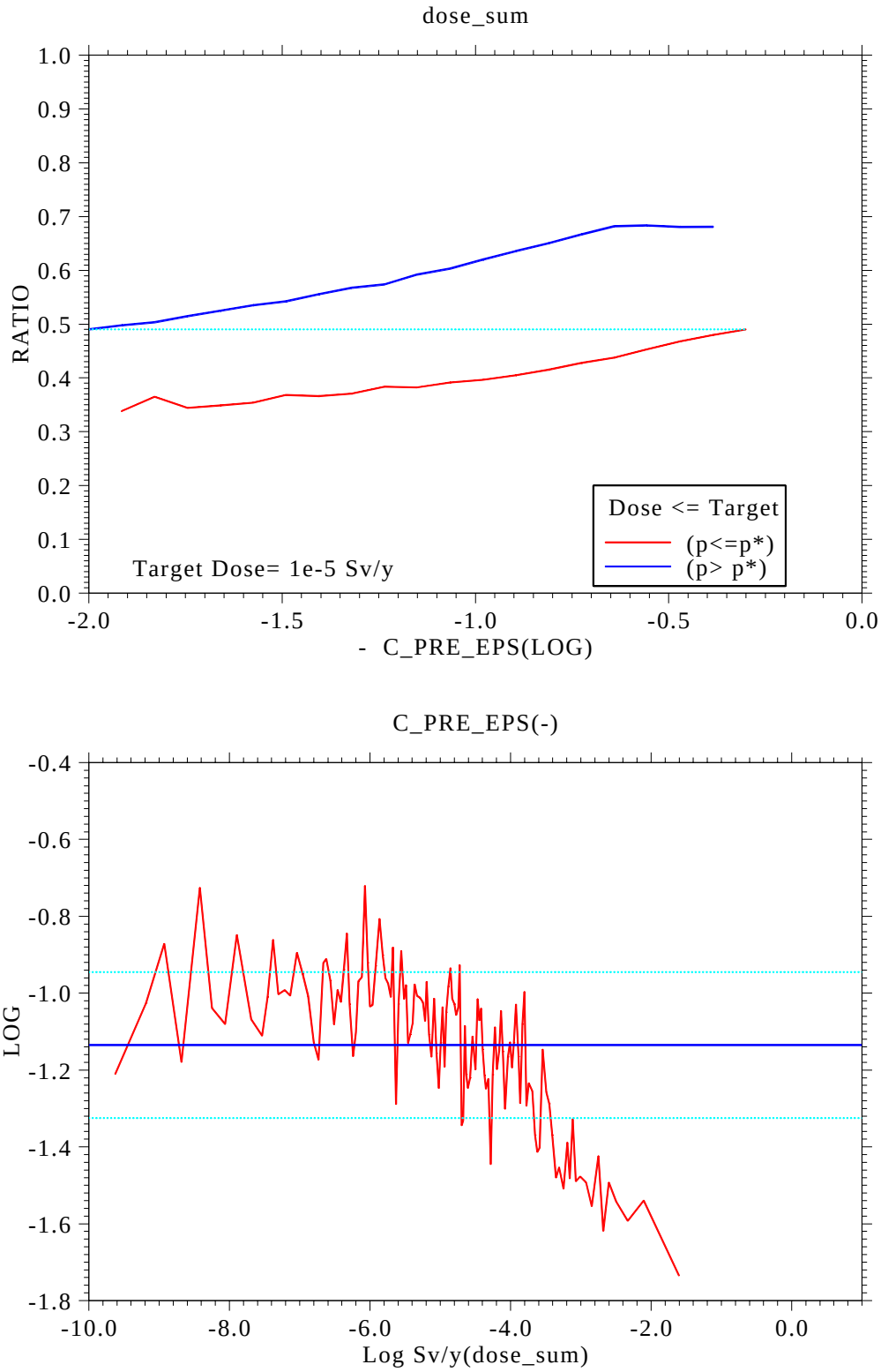
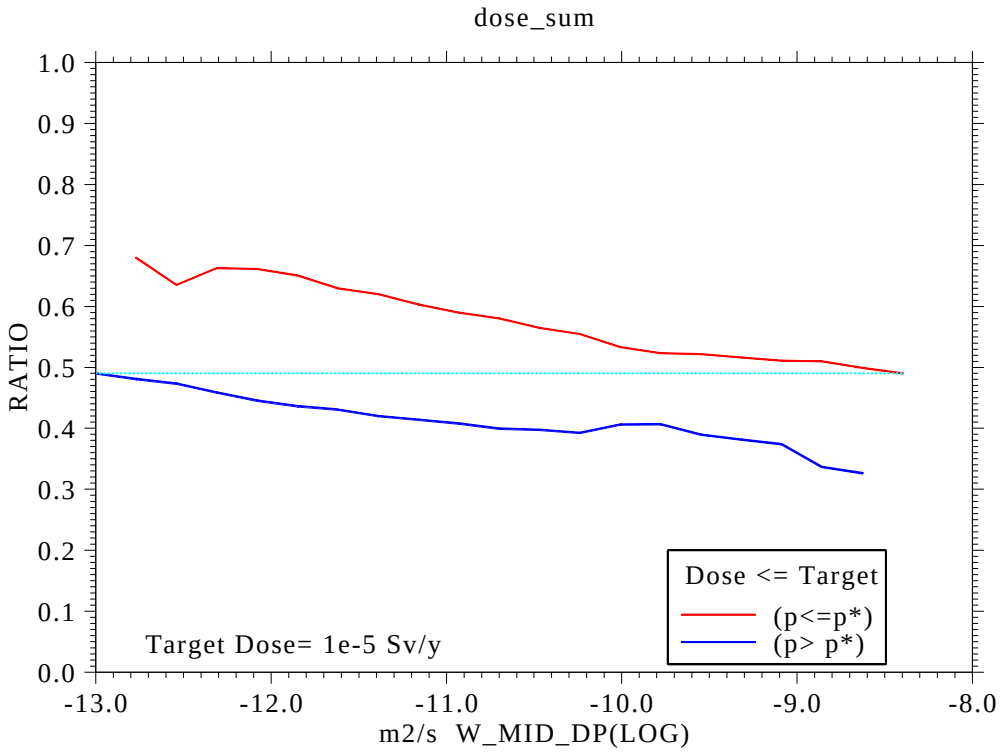


図　4.1.6-45 グループ４地層処分の天然バリア空隙率の感度分析結果
（50GBq/ton 以上，緩衝材あり）



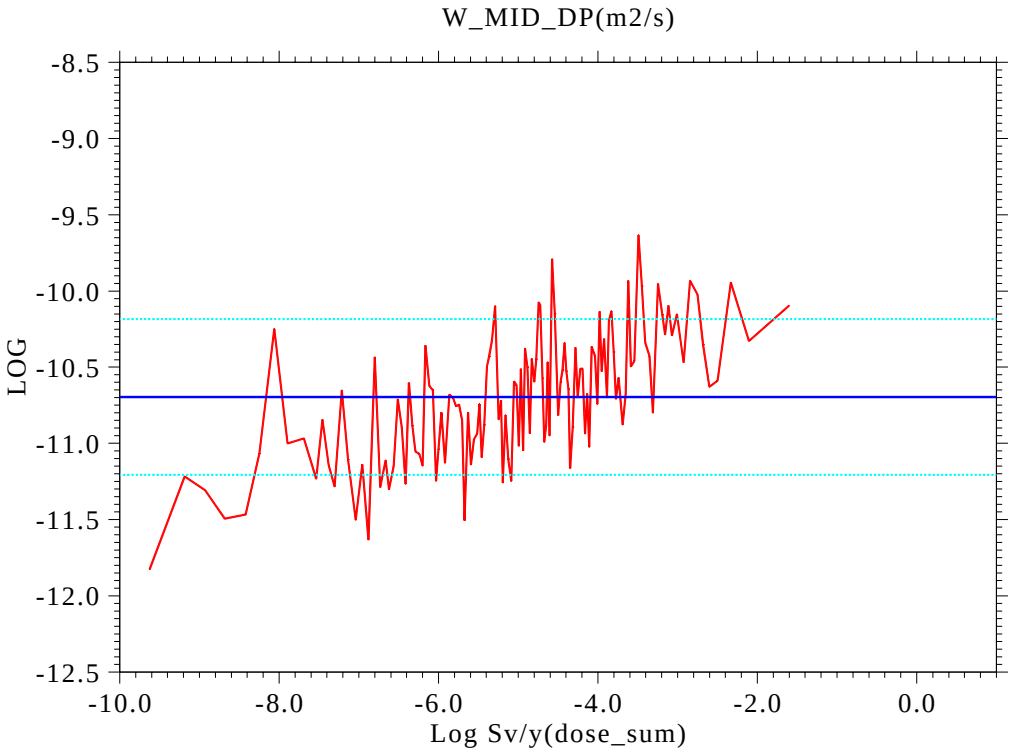


図 4.1.6-46 **グループ４地層処分の廃棄体劣化時の空隙拡散係数の感度分析結果**
（50GBq/ton **以上，緩衝材あり）**

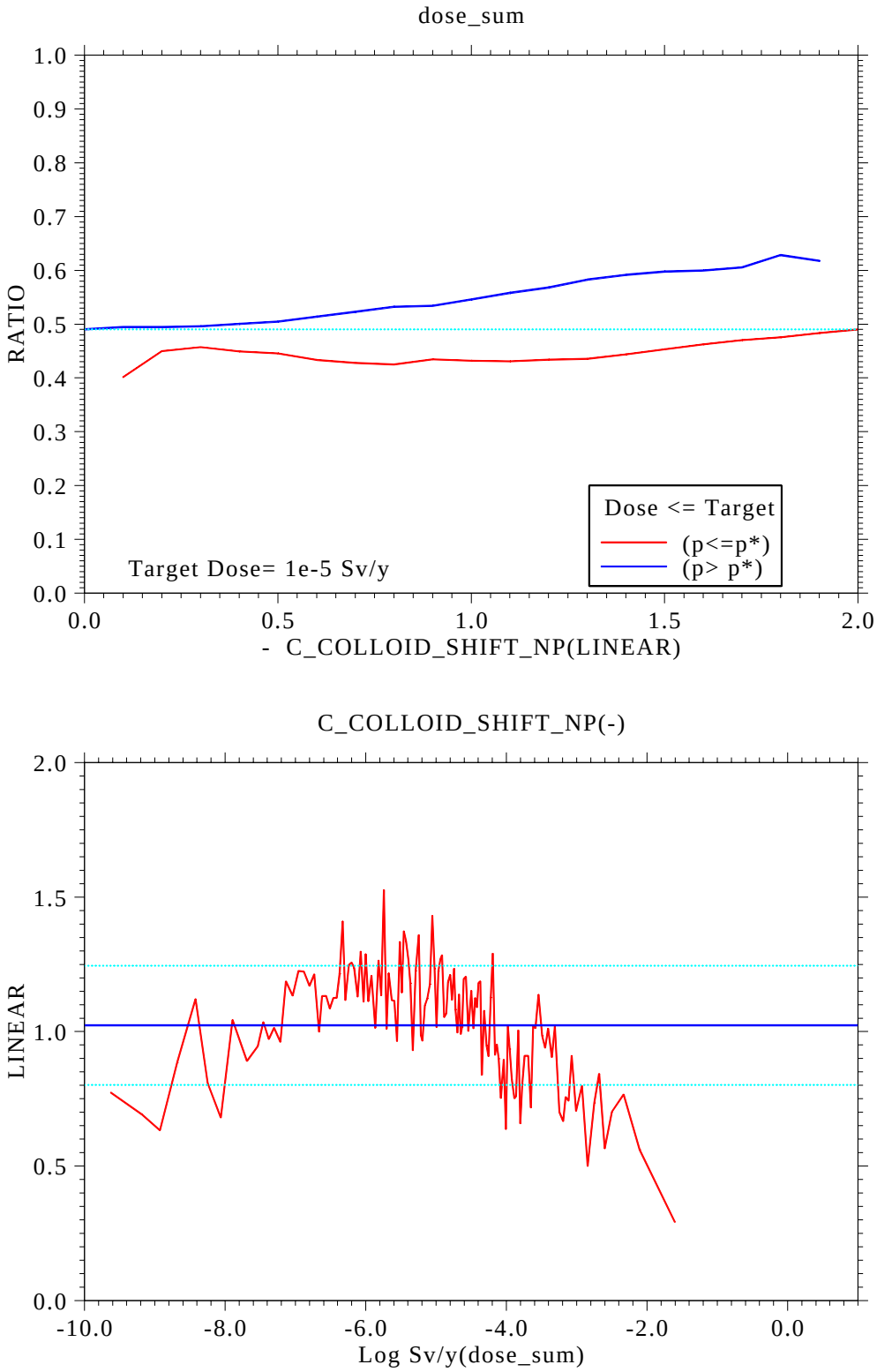


図　4.1.6-47 グループ４地層処分の天然バリアでの NP コロイド吸着指数の感度分析結果（50GBq/ton 以上，緩衝材あり）

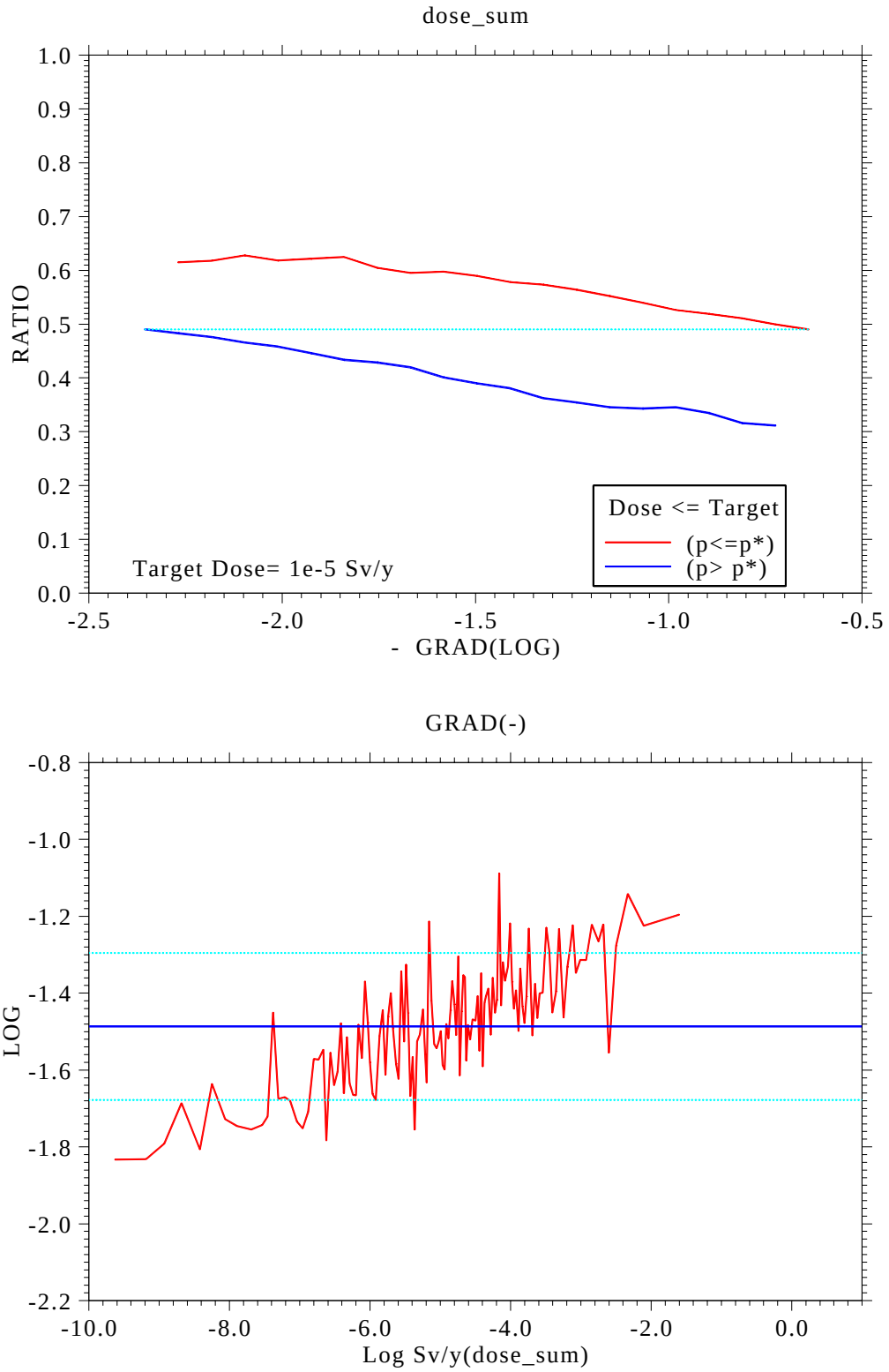
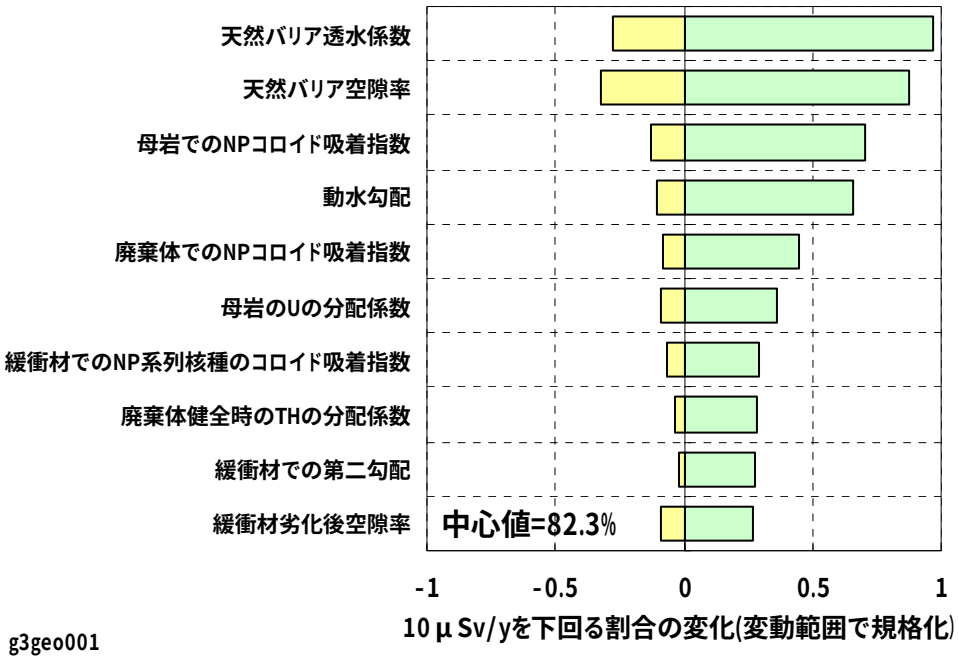


図　4.1.6-48 グループ４地層処分の母岩での動水勾配の感度分析結果
（50GBq/ton 以上，緩衝材あり）



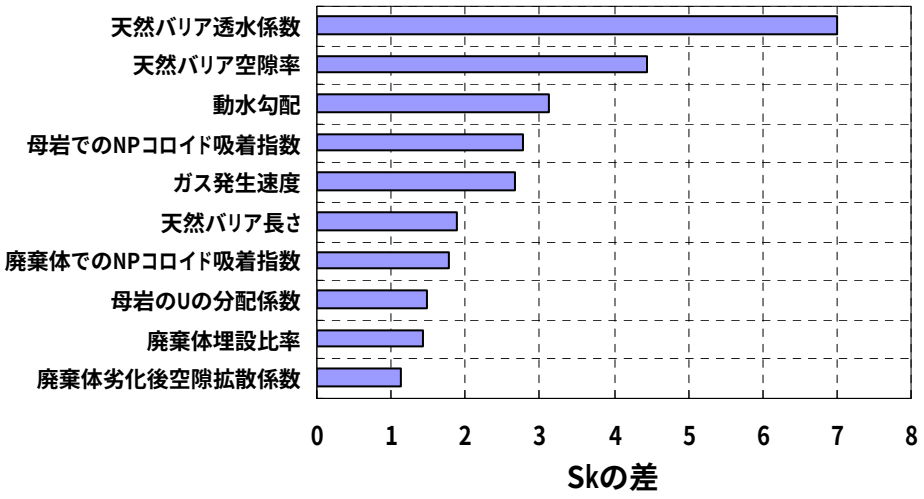
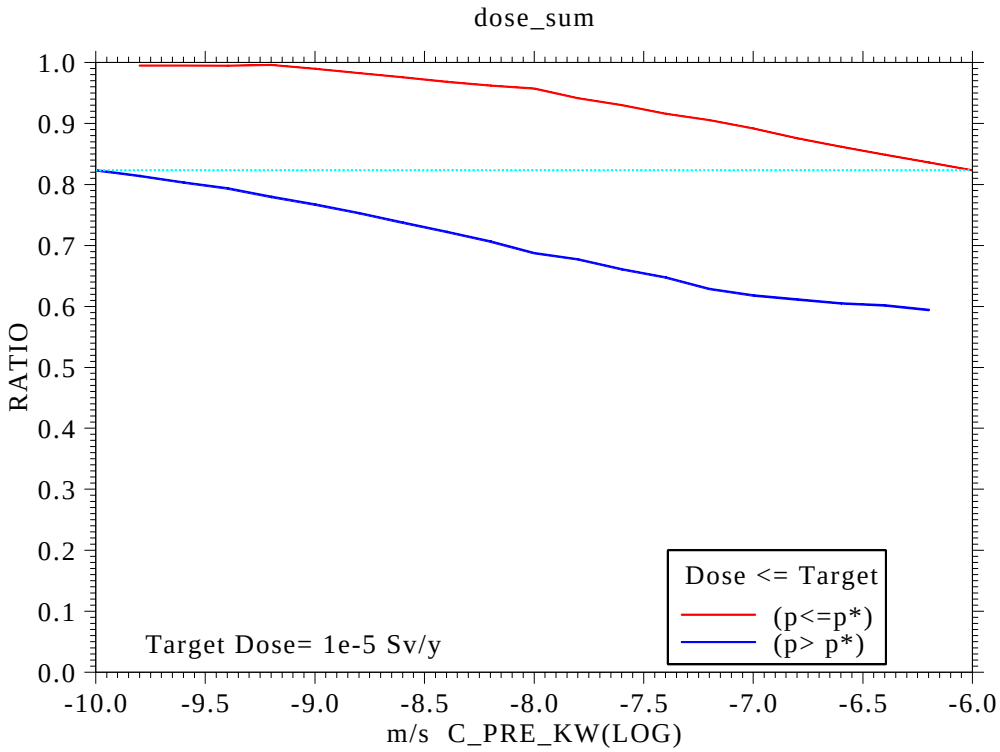


図 4.1.6-49　**グループ３地層処分の感度分析結果の比較**
（1GBq/ton **以上，緩衝材あり）**



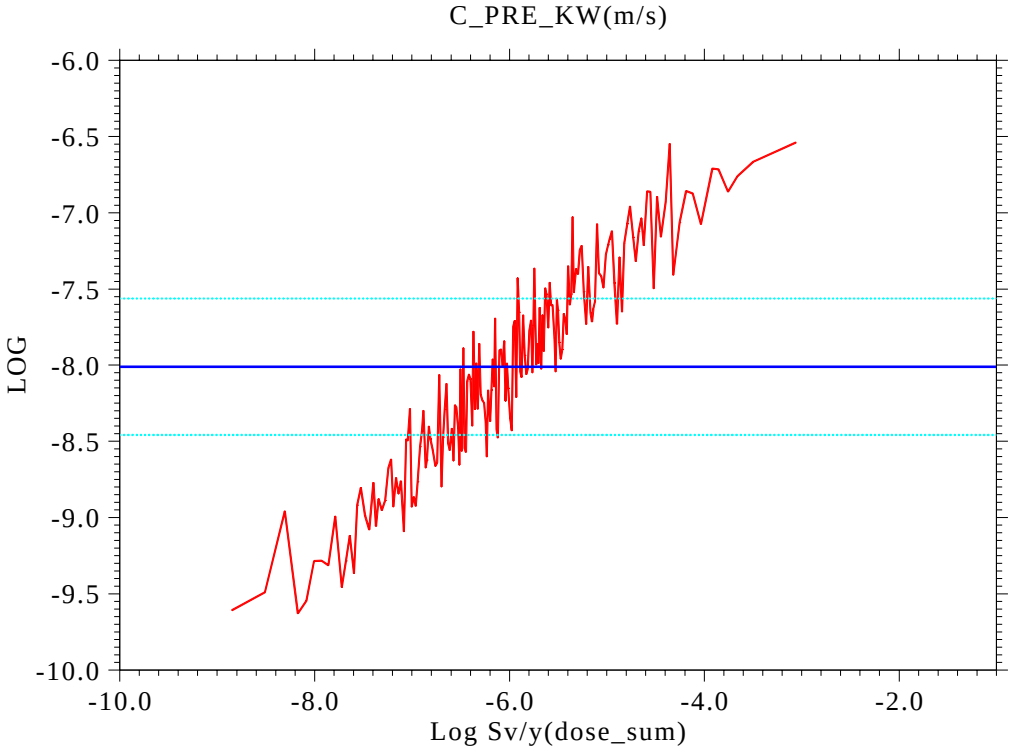
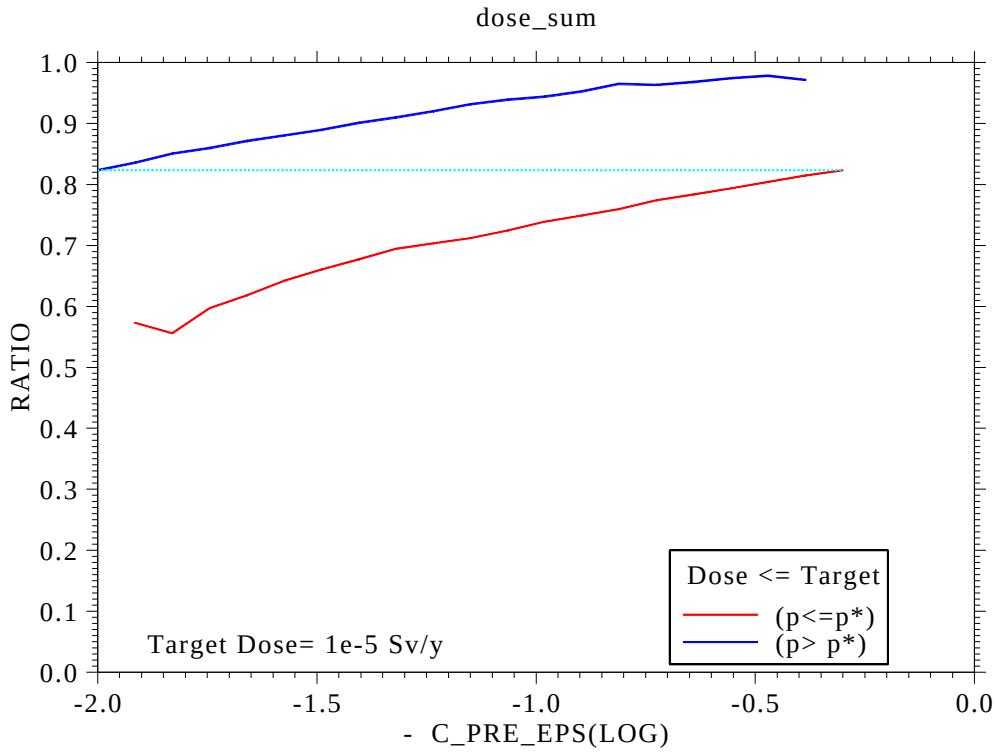


図 4.1.6-50 **グループ３地層処分の天然バリア透水係数の感度分析結果**
（1GBq/ton **以上，緩衝材あり）**



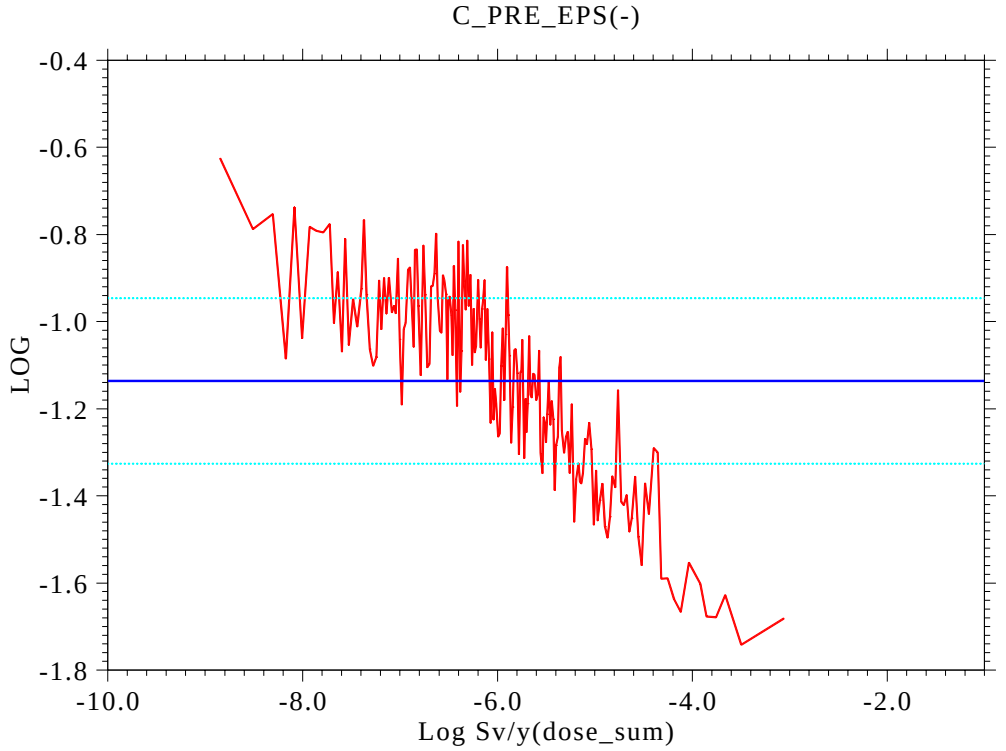


図 4.1.6-51　**グループ３地層処分の天然バリア空隙率の感度分析結果**
（1GBq/ton **以上，緩衝材あり）**

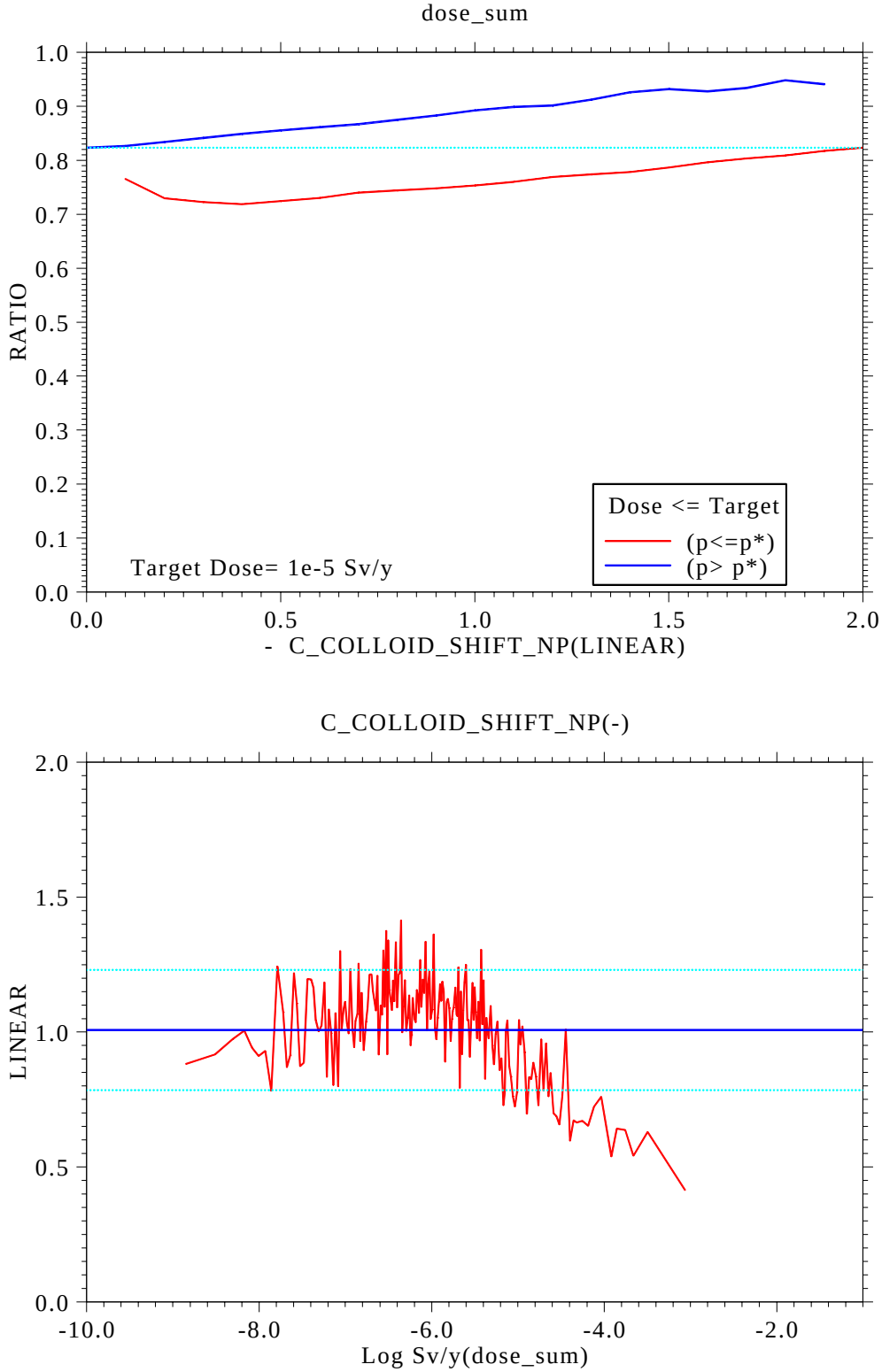


図 4.1.6-52　**グループ３地層処分の天然バリアでの** NP **コロイド吸着指数の感度分析結果（**1GBq/ton **以上，緩衝材あり）**

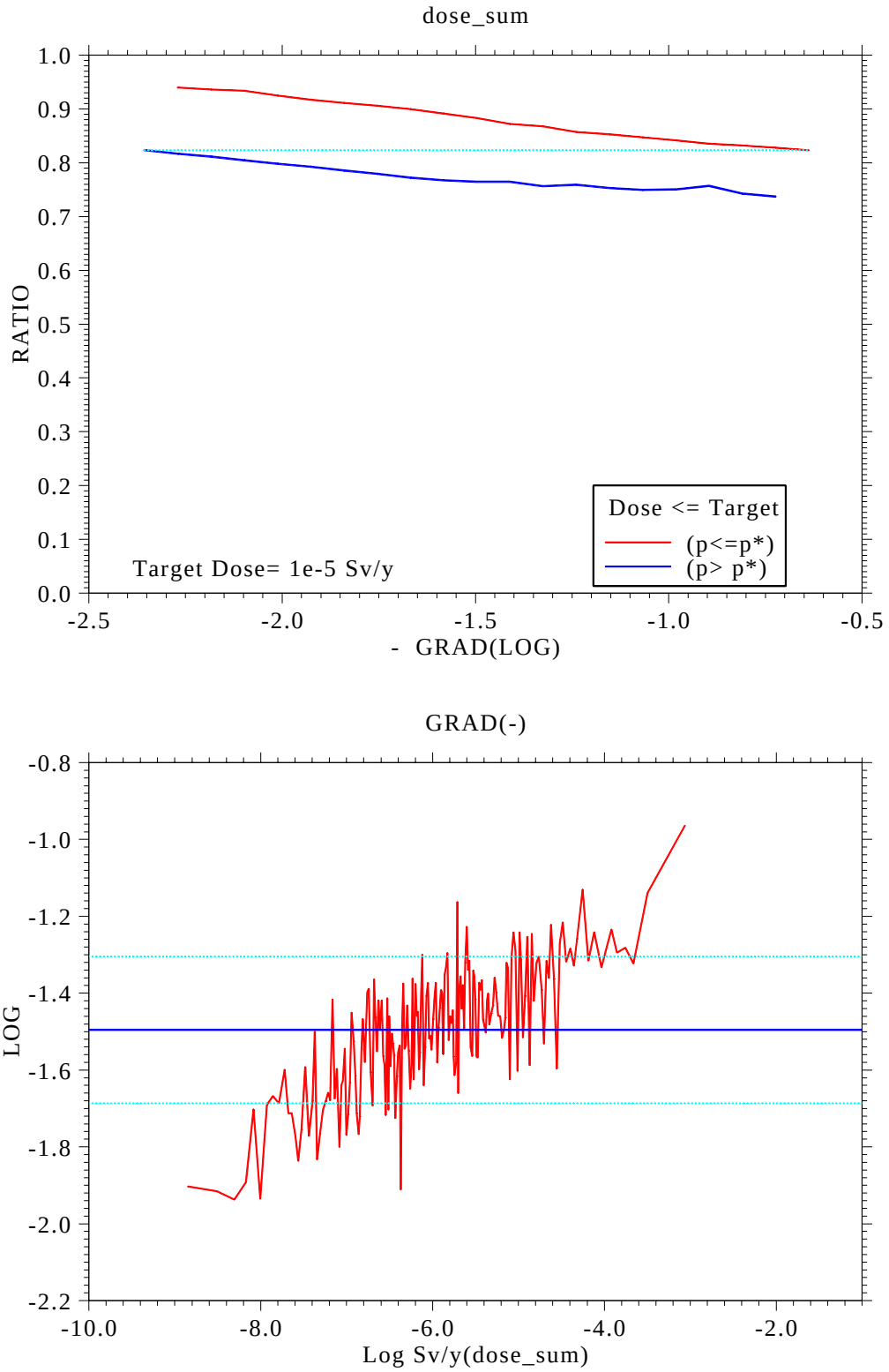


図 4.1.6-53　**グループ３地層処分の天然バリアでの動水勾配の感度分析結果**
（1GBq/ton **以上，緩衝材あり）**

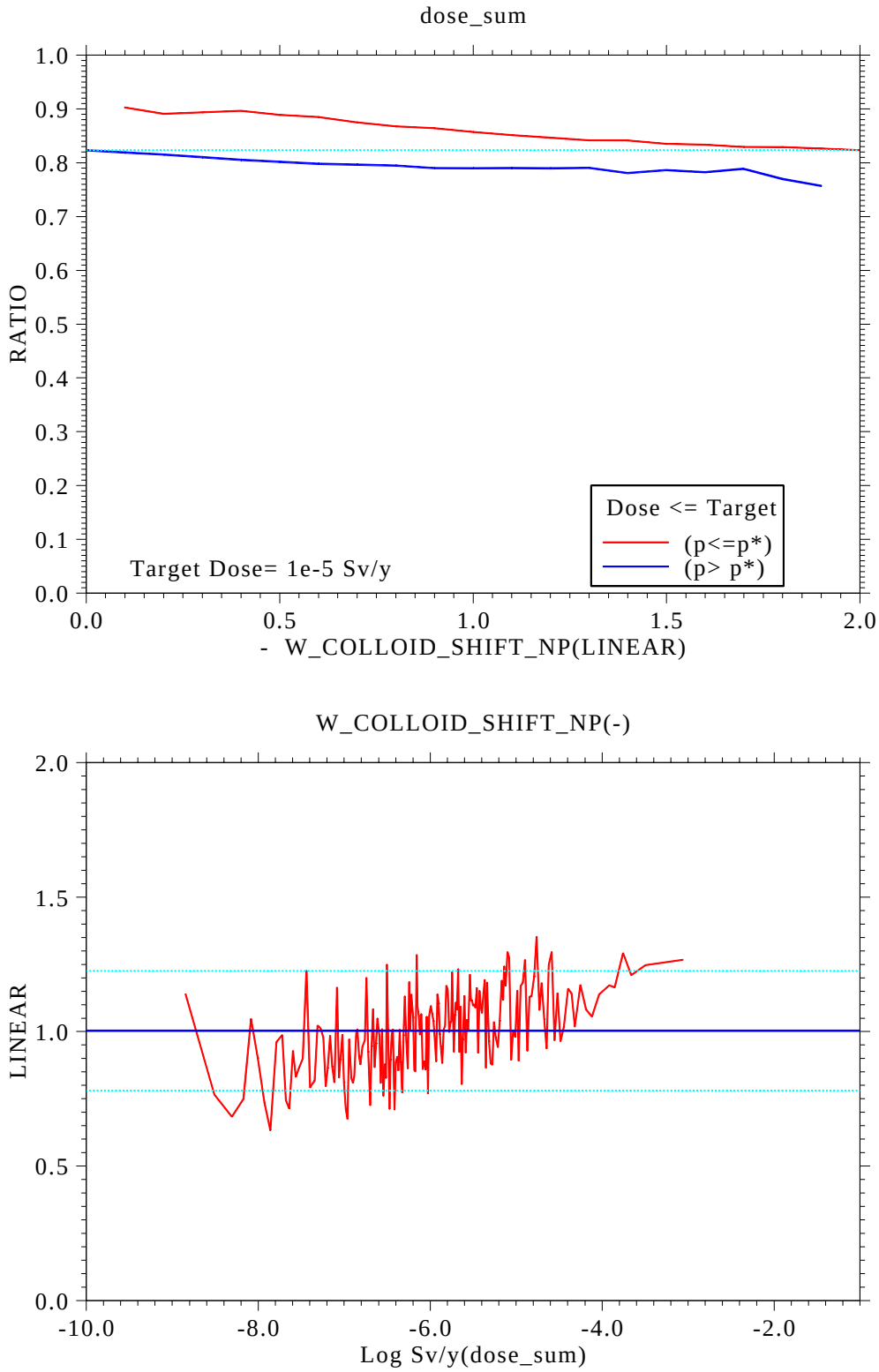
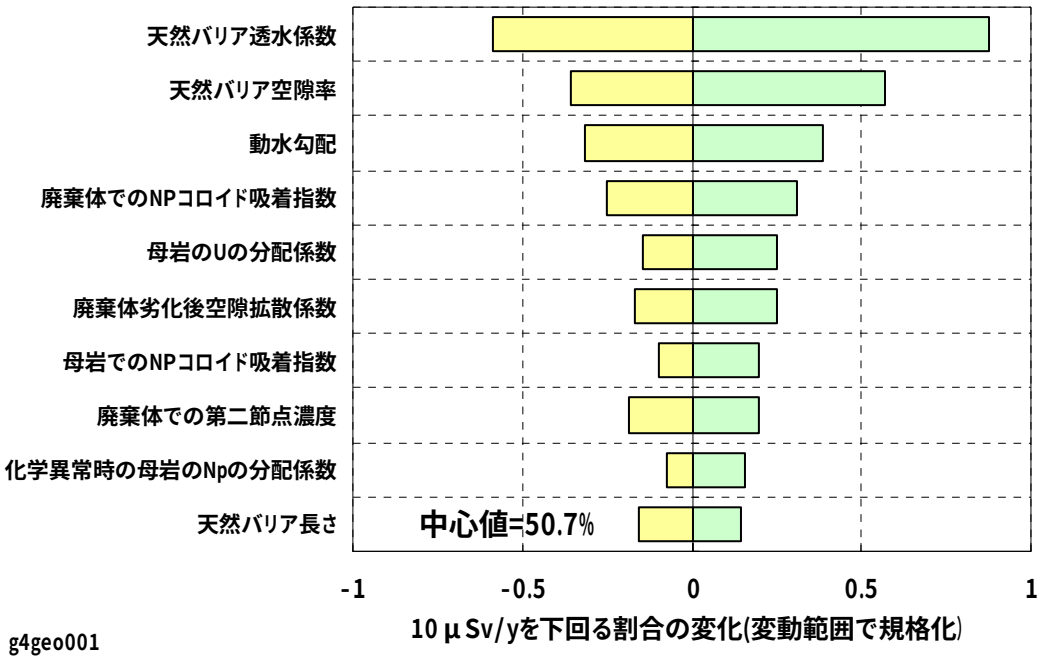


図 4.1.6-54　グループ３地層処分の廃棄体中での NP コロイド吸着指数の感度分析結果（1GBq/ton 以上，緩衝材あり）



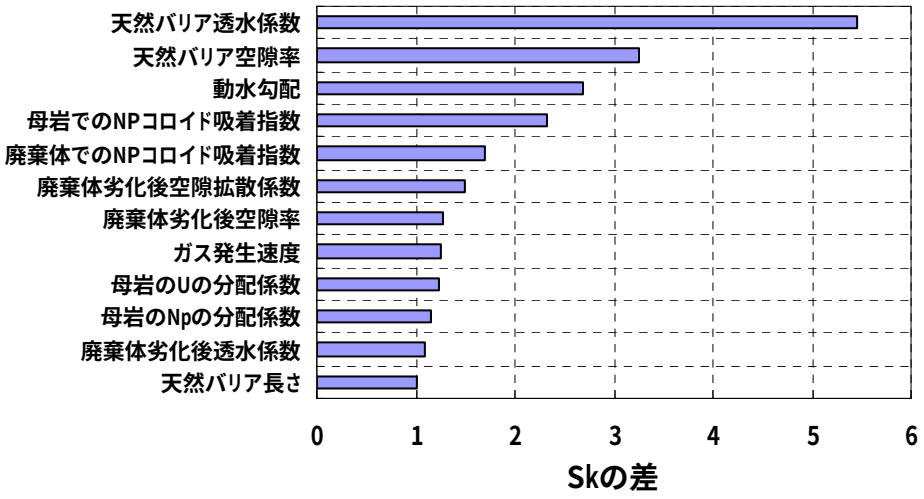
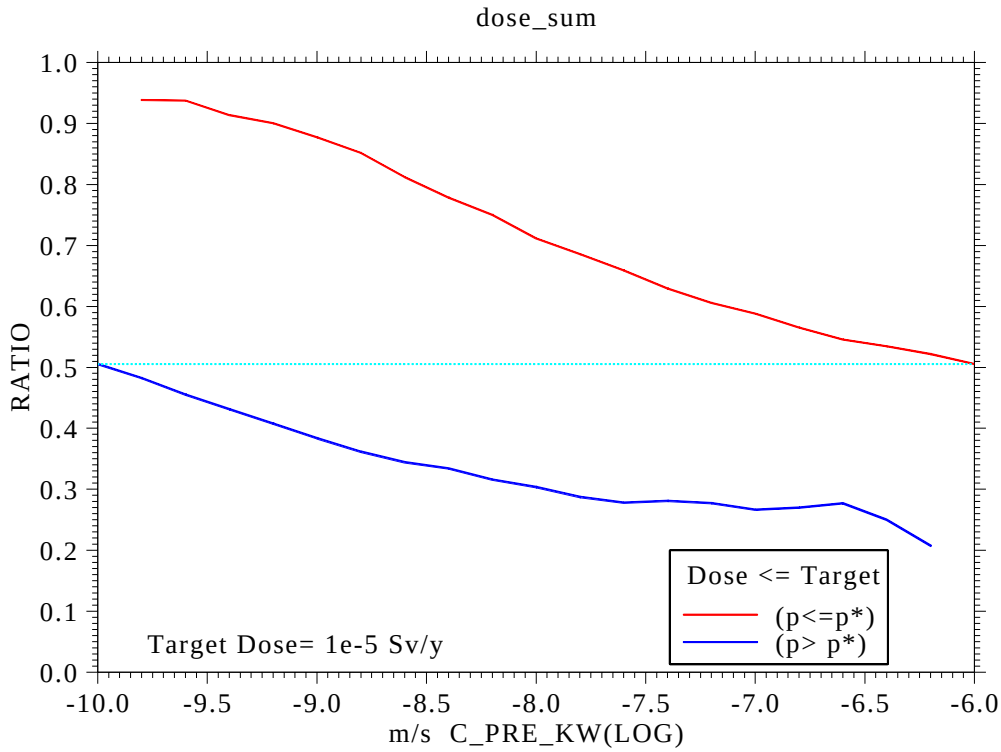


図 4.1.6-55　**グループ４地層処分の感度分析結果の比較**
（1GBq/ton **以上，緩衝材あり）**



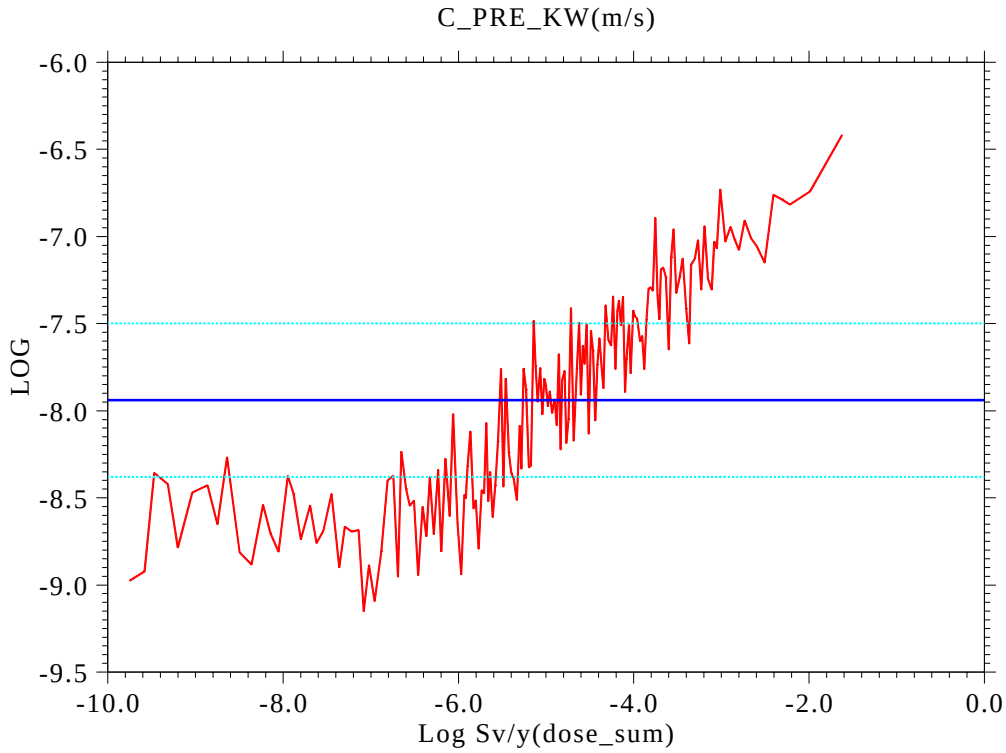


図 4.1.6-56 **グループ４地層処分の天然バリア透水係数の感度分析結果**
（1GBq/ton **以上，緩衝材あり）**

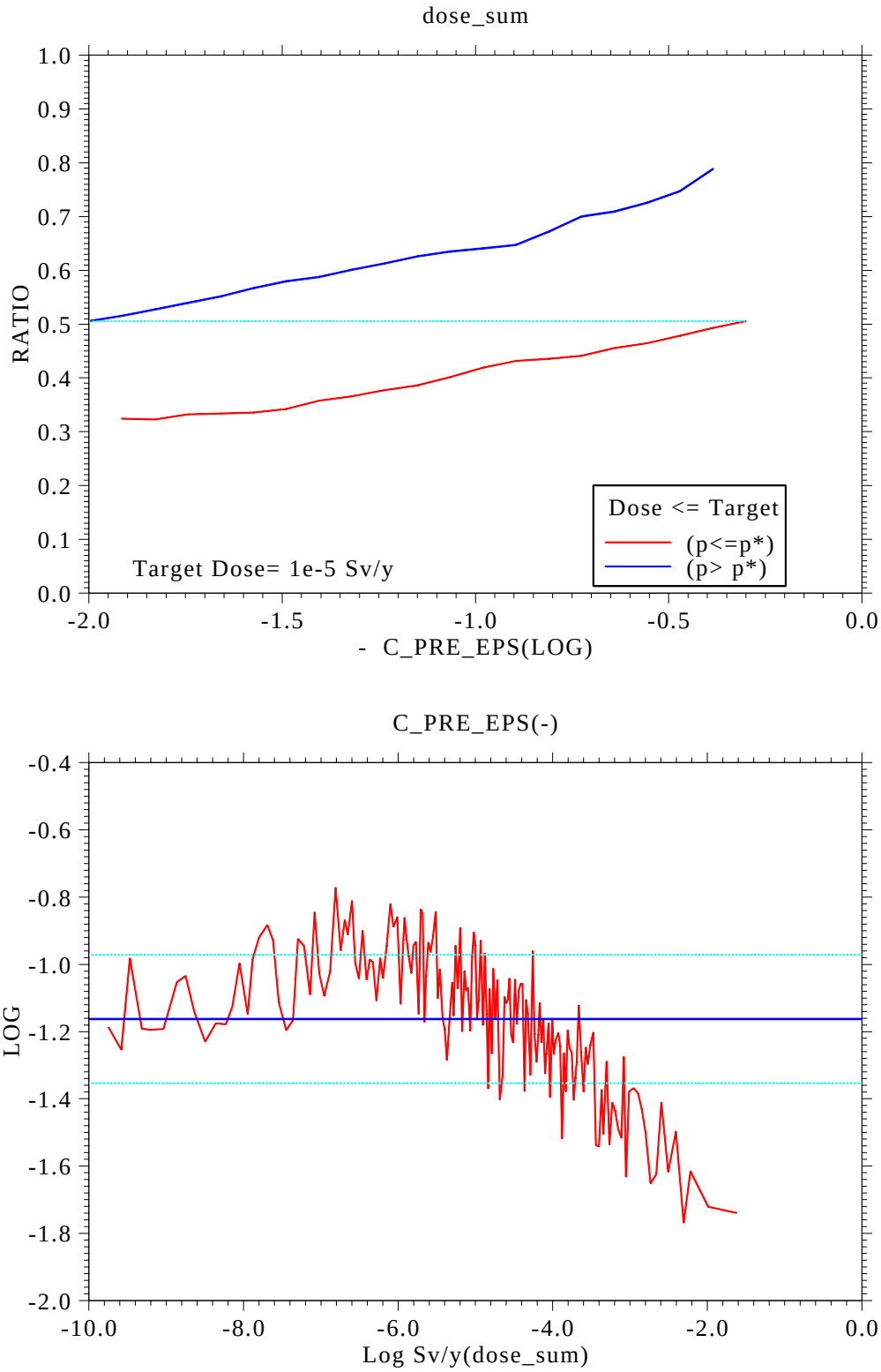


図 4.1.6-57　**グループ４地層処分の天然バリア空隙率の感度分析結果**
（1GBq/ton **以上，緩衝材あり）**

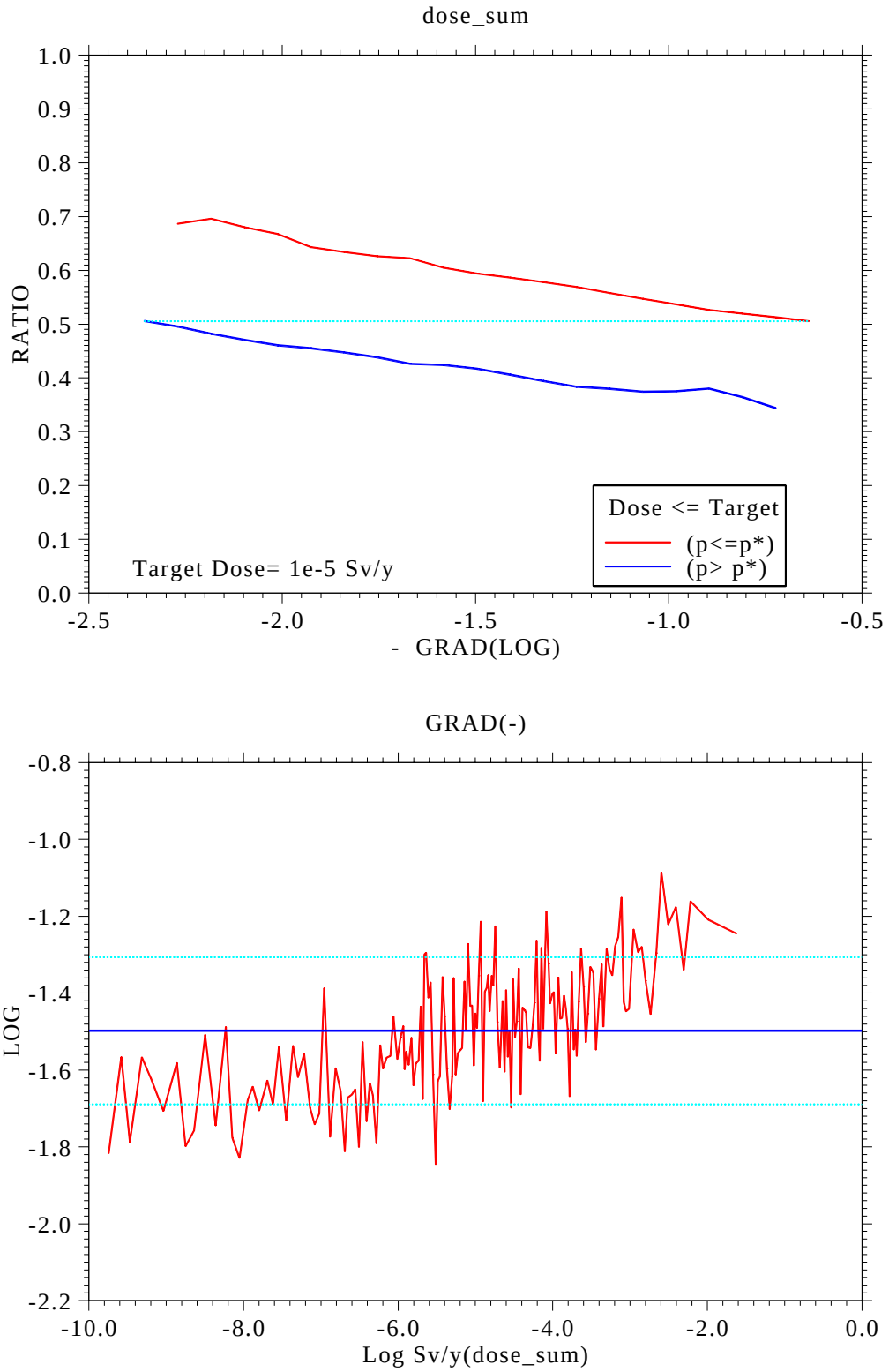


図 4.1.6-58　**グループ４地層処分の動水勾配の感度分析結果**
（1GBq/ton **以上，緩衝材あり）**

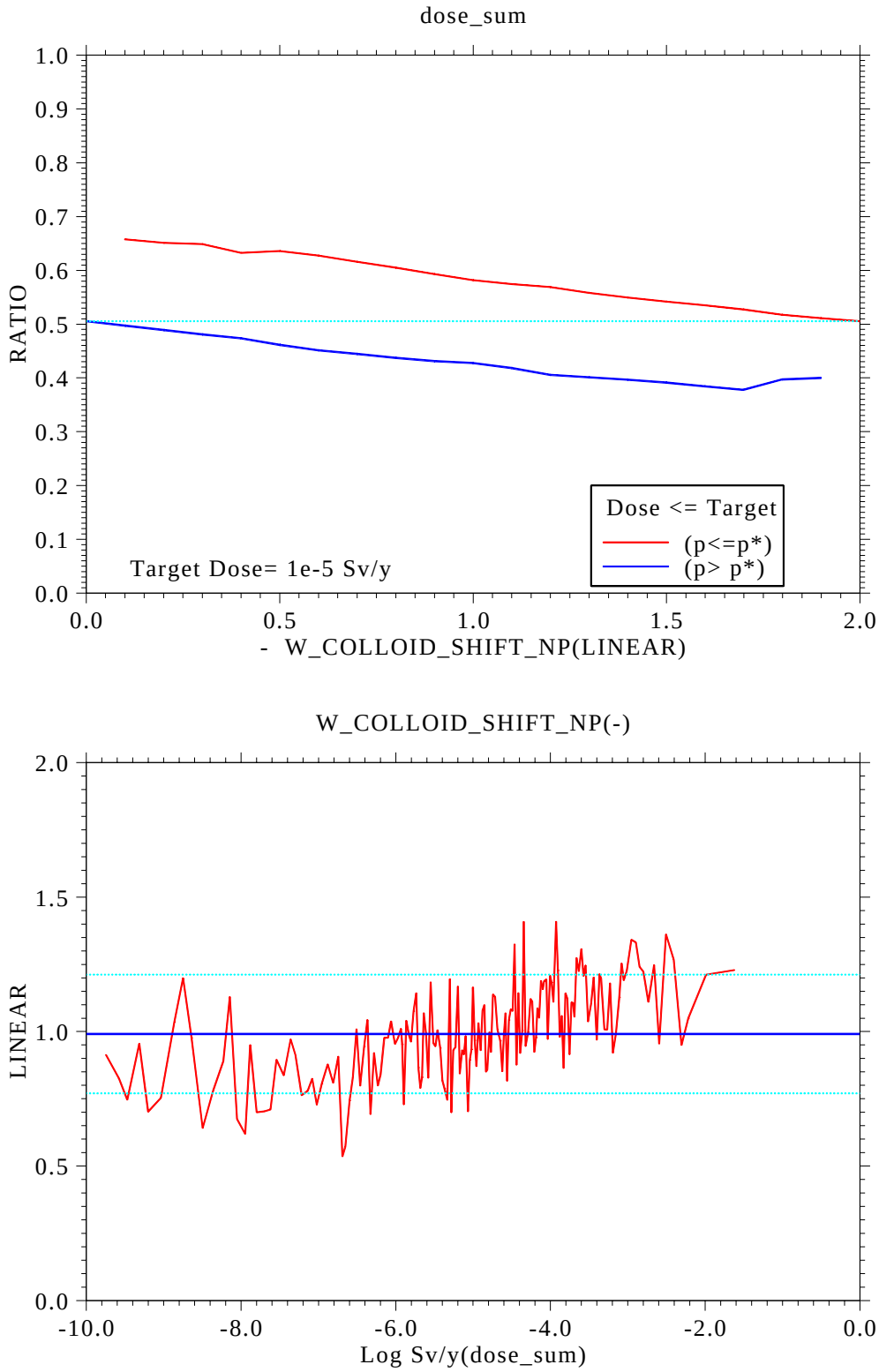


図 4.1.6-59　**グループ４地層処分の廃棄体中** NP **コロイド吸着指数の感度分析結果**
（1GBq/ton **以上，緩衝材あり）**

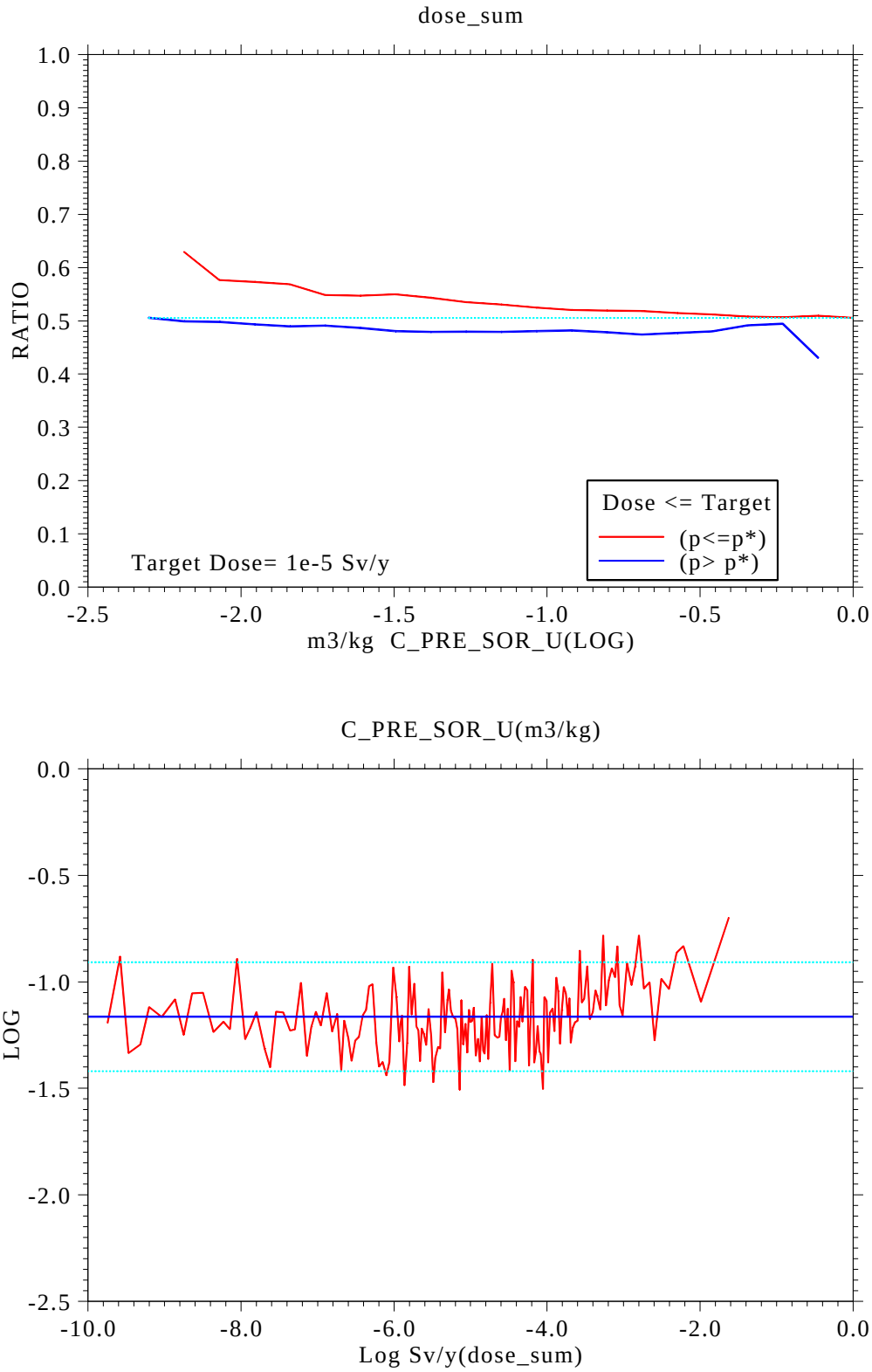
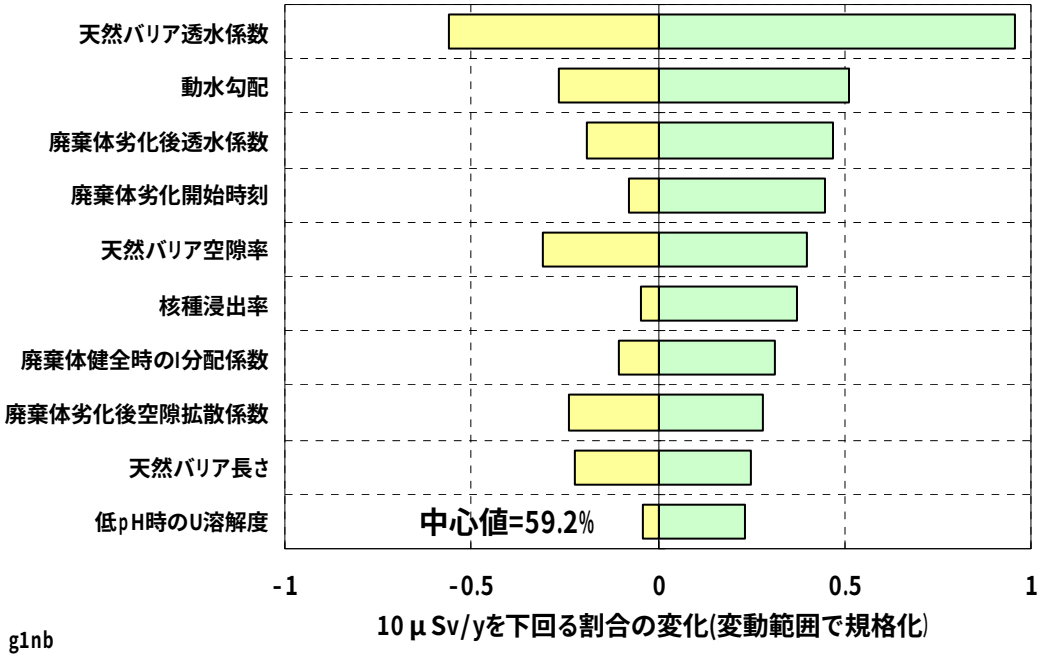


図 4.1.6-60 **グループ４地層処分の天然バリアでの** U **分配係数の感度分析結果**
（1GBq/ton **以上，緩衝材あり）**



g1nb

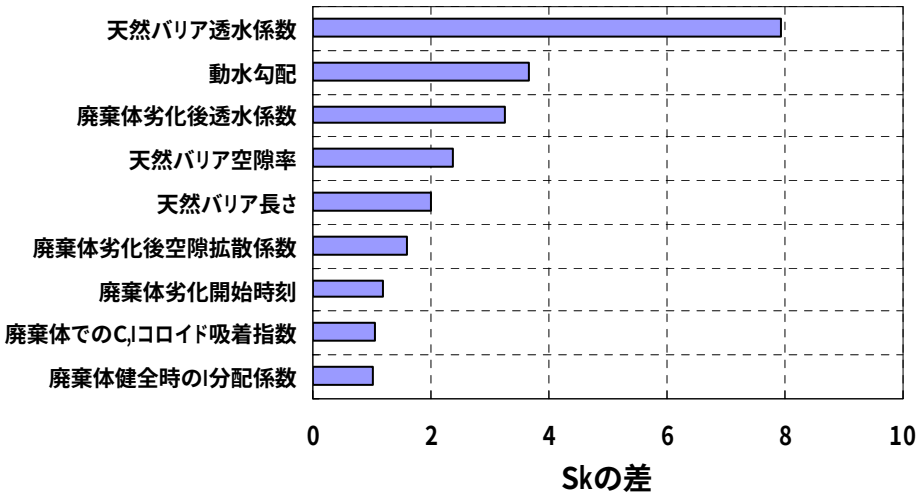
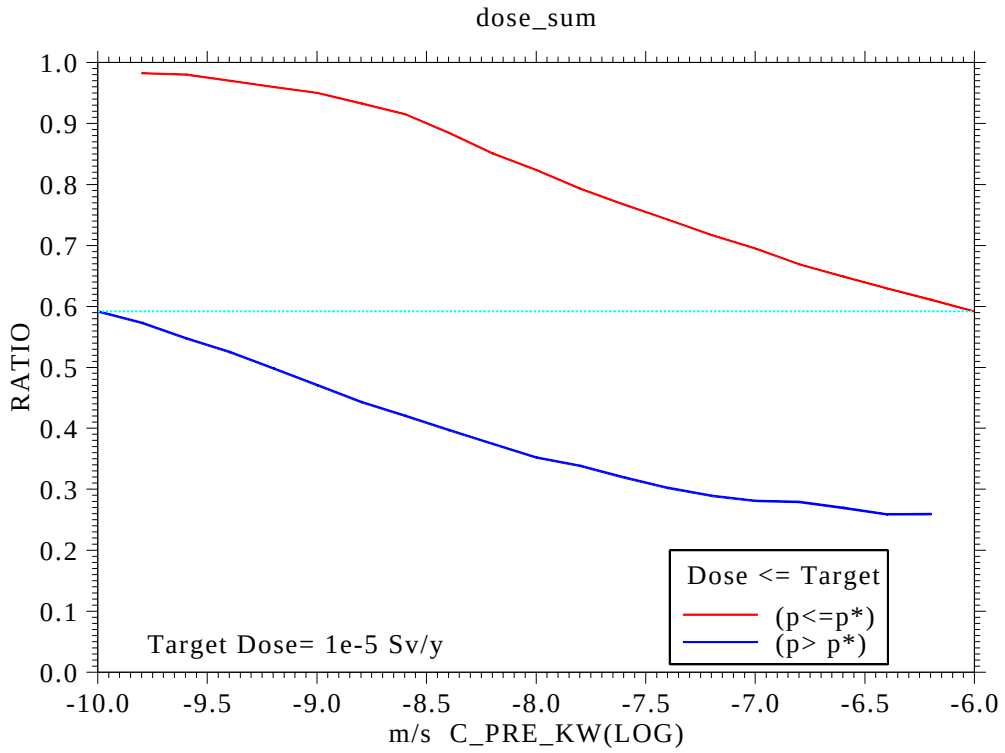


図 4.1.6-61　**グループ１地層処分の感度分析結果の比較（緩衝材なし）**



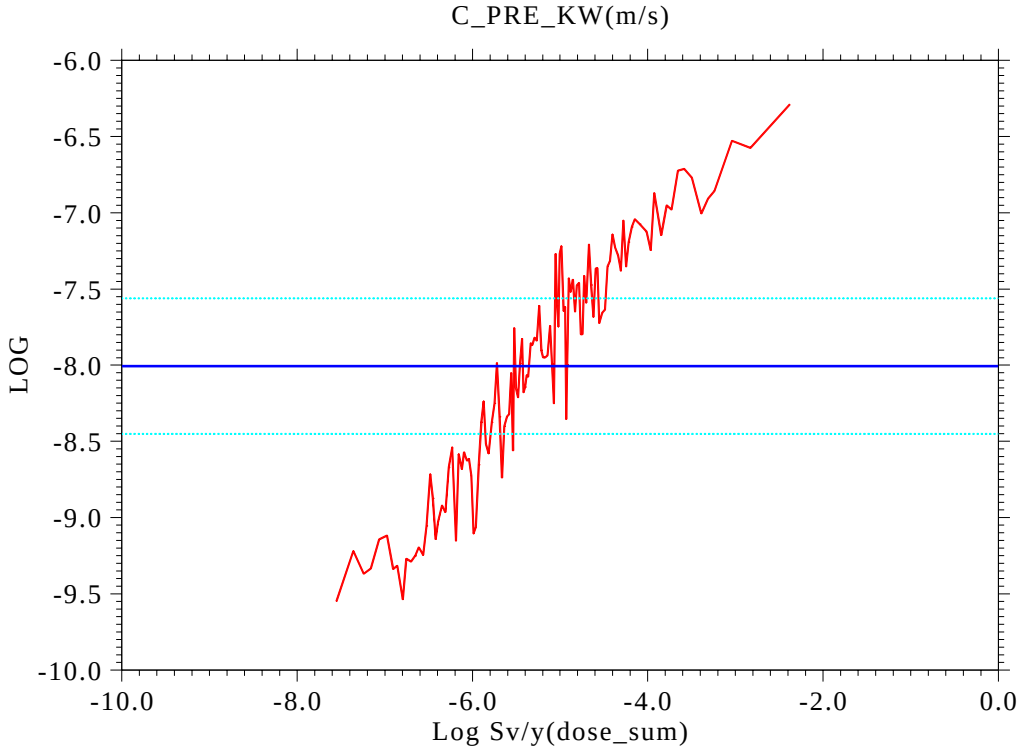
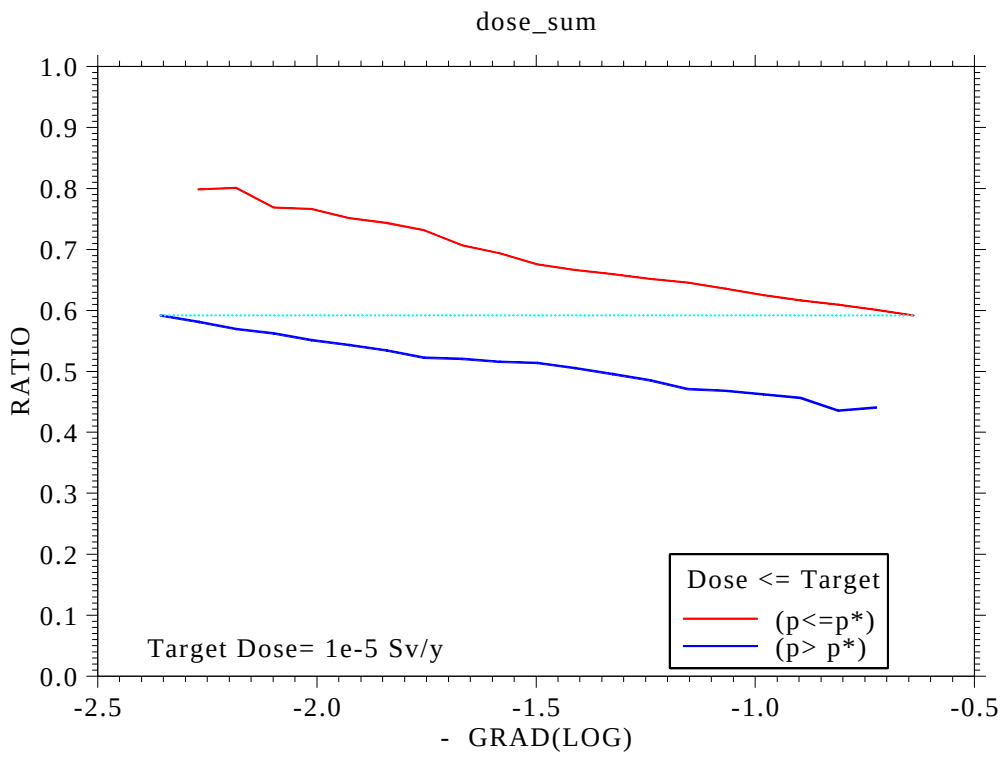


図 4.1.6-62 **グループ１地層処分の天然バリア透水係数の感度分析結果（緩衝材なし）**



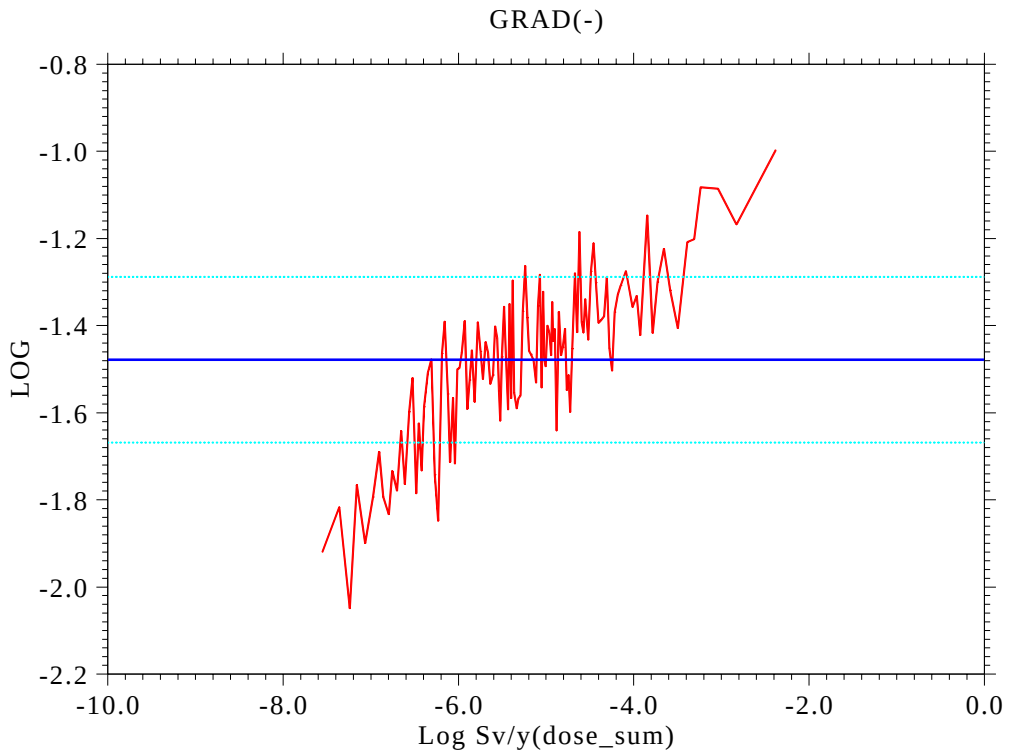
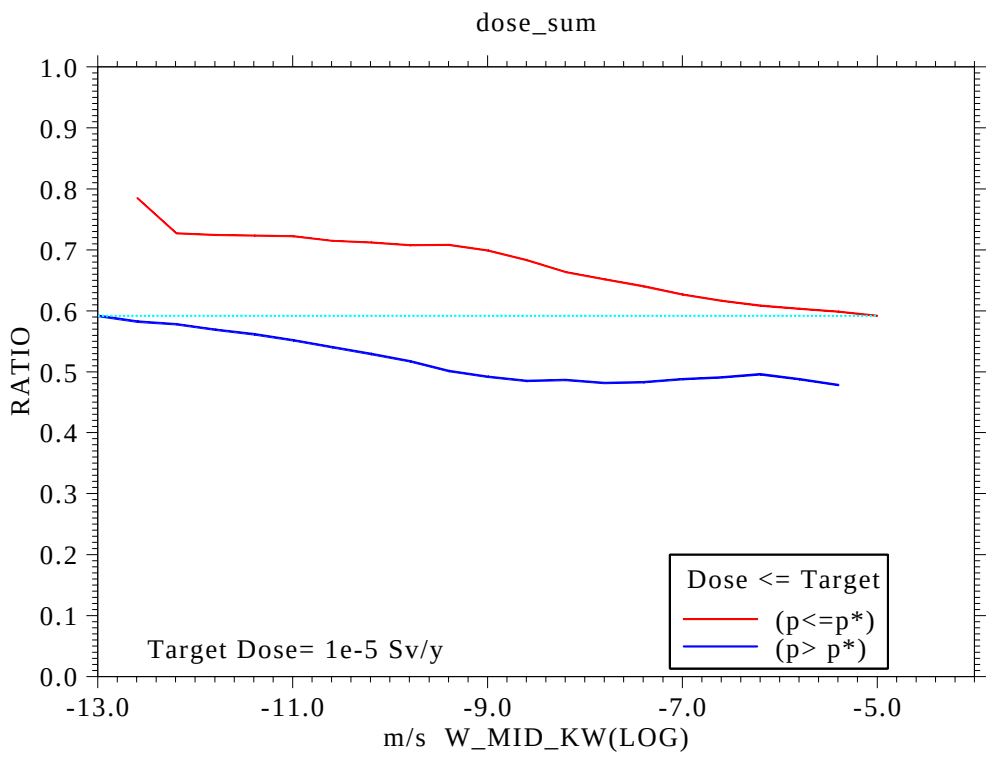


図 4.1.6-63　**グループ１地層処分の動水勾配の感度分析結果**
（緩衝材なし）



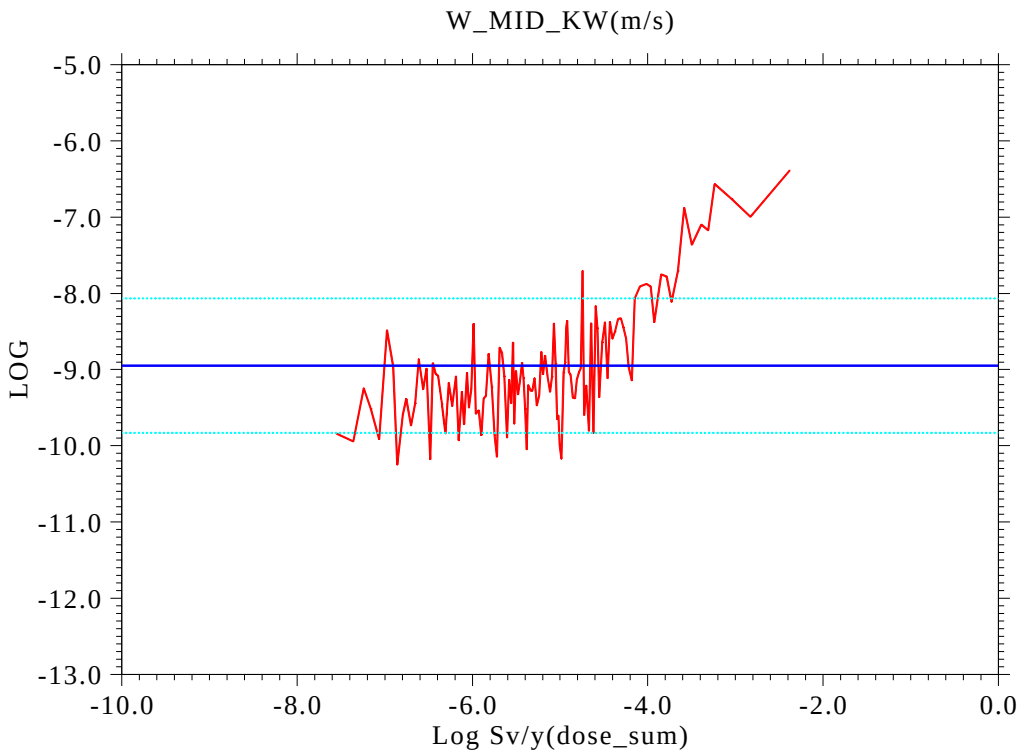


図 4.1.6-64 グループ１地層処分の廃棄体劣化時の透水係数の感度分析結果（緩衝材なし）

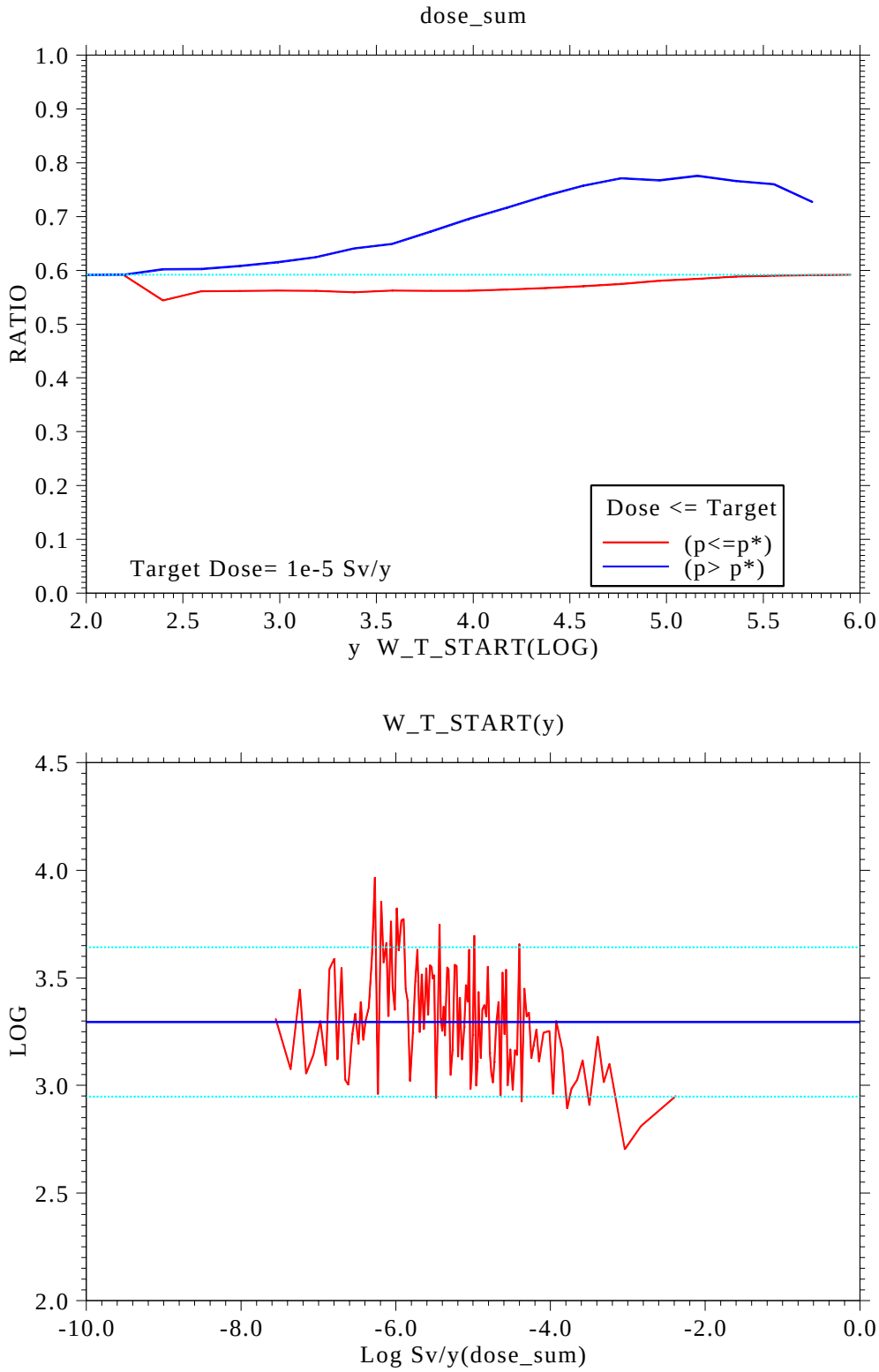


図 4.1.6-65 **グループ１地層処分の廃棄体劣化開始時刻の感度分析結果（緩衝材なし）**

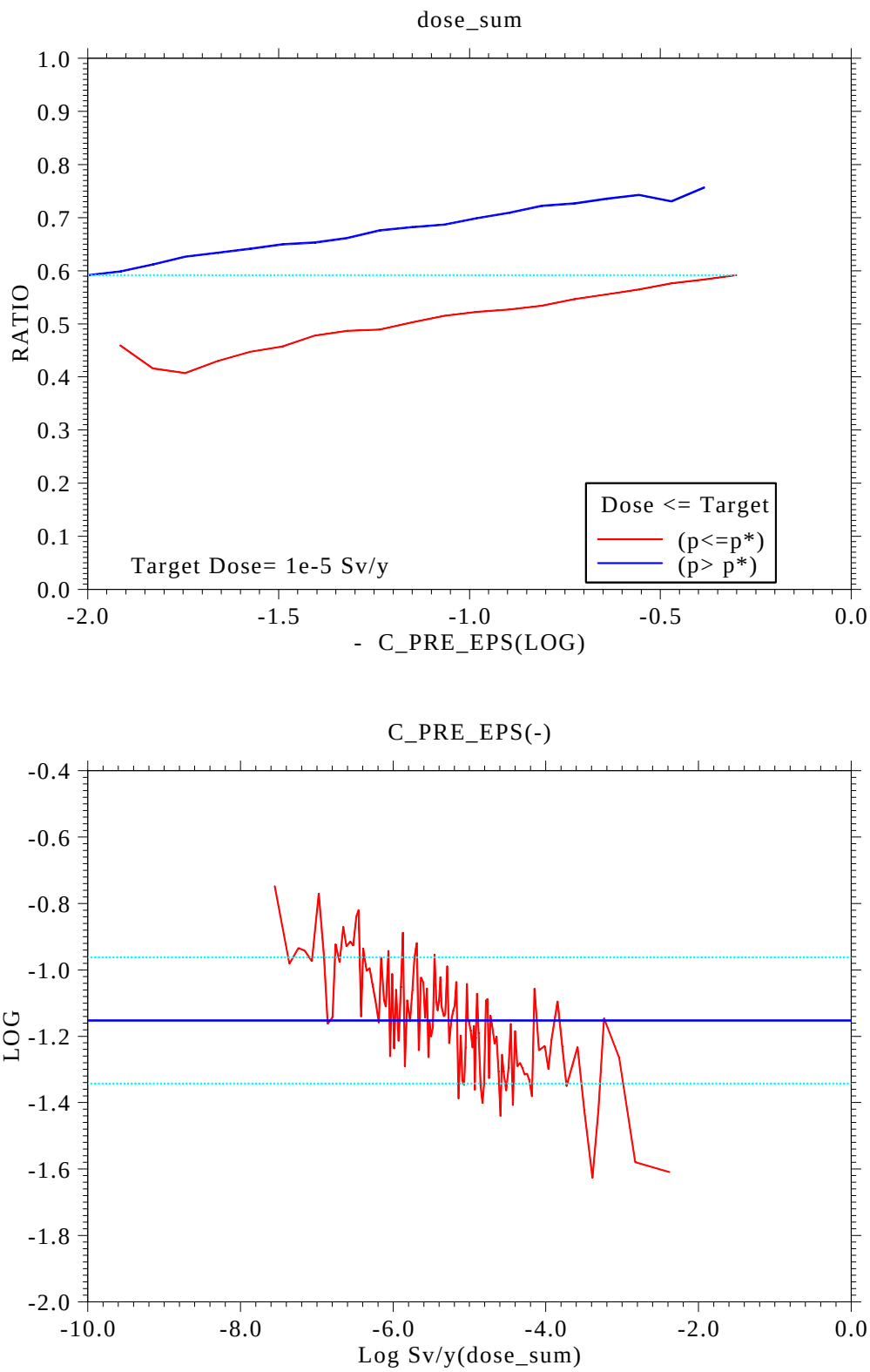
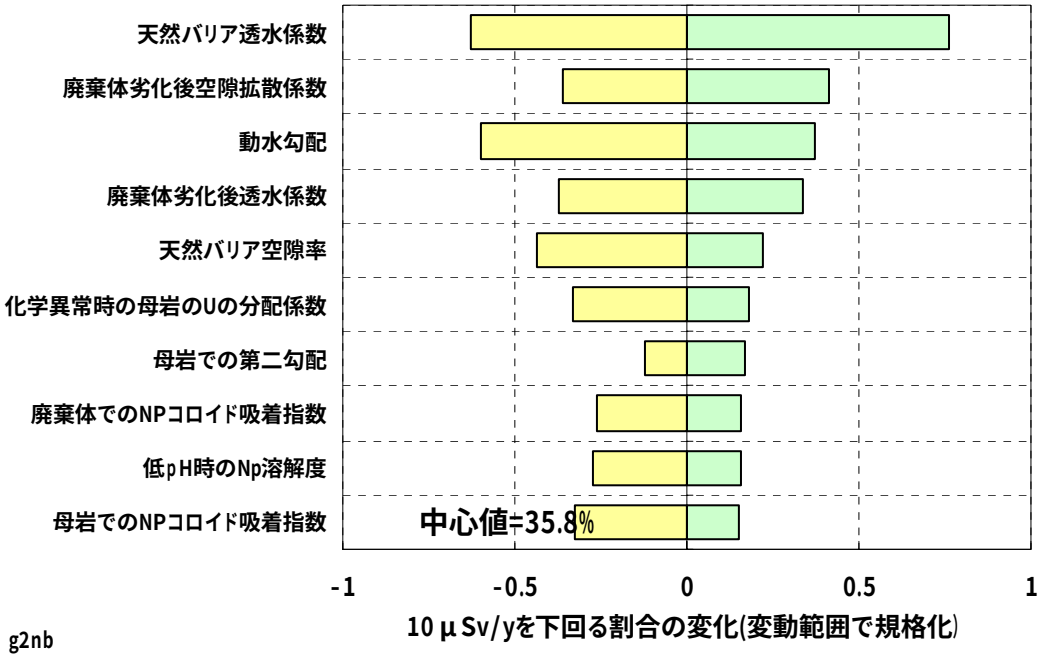


図 4.1.6-66　**グループ１地層処分の天然バリア空隙率の感度分析結果（緩衝材なし）**



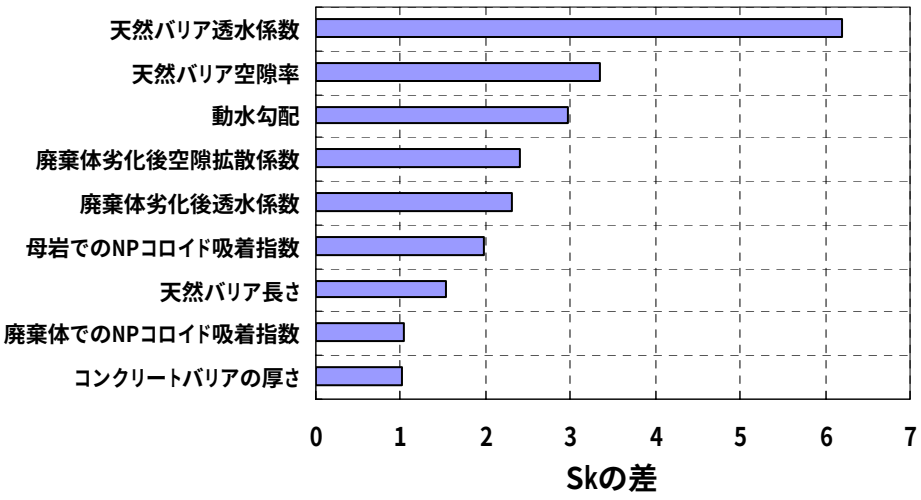


図 4.1.6-67　**グループ２地層処分の感度分析結果の比較（合計，緩衝材なし）**

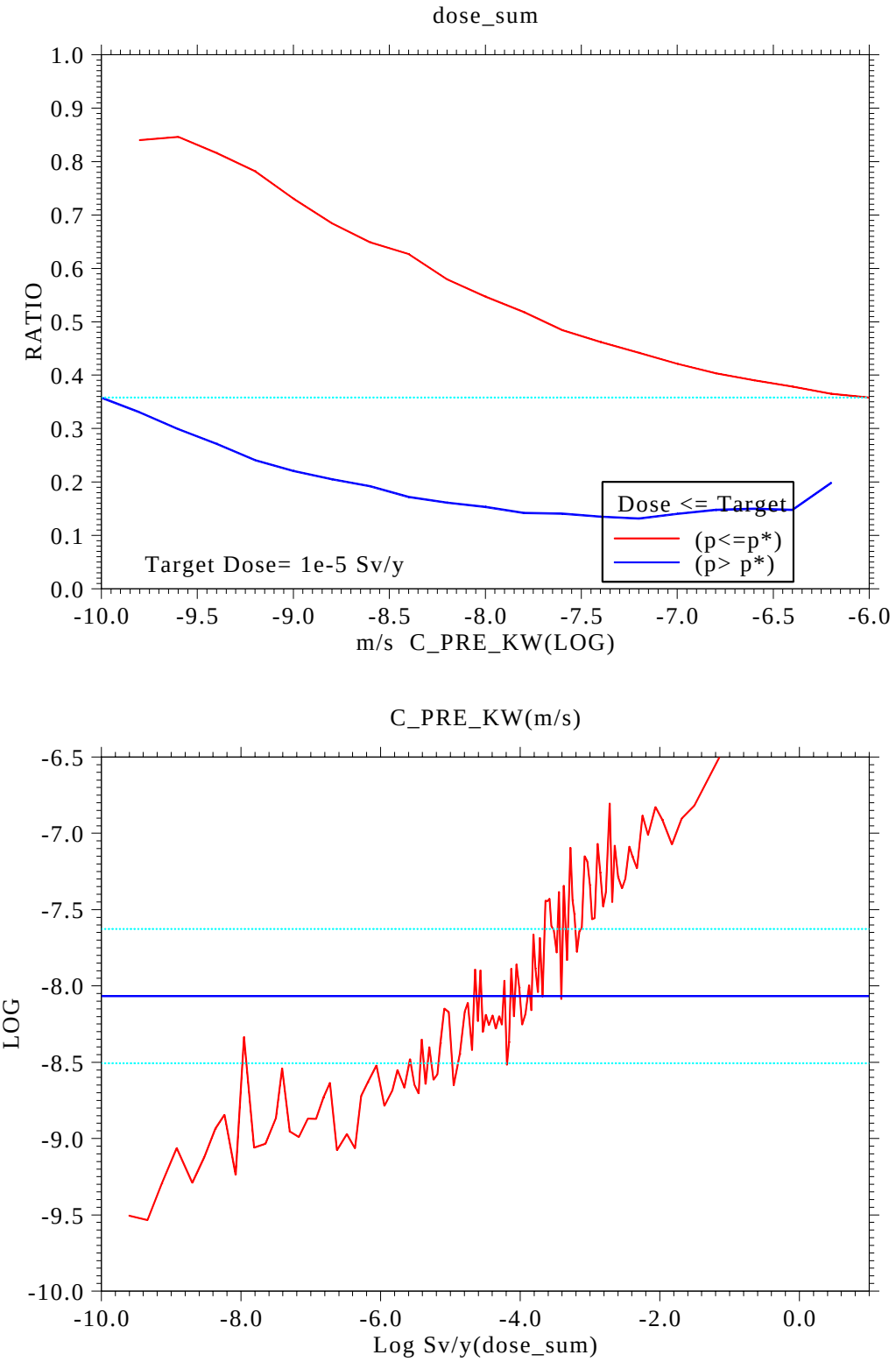
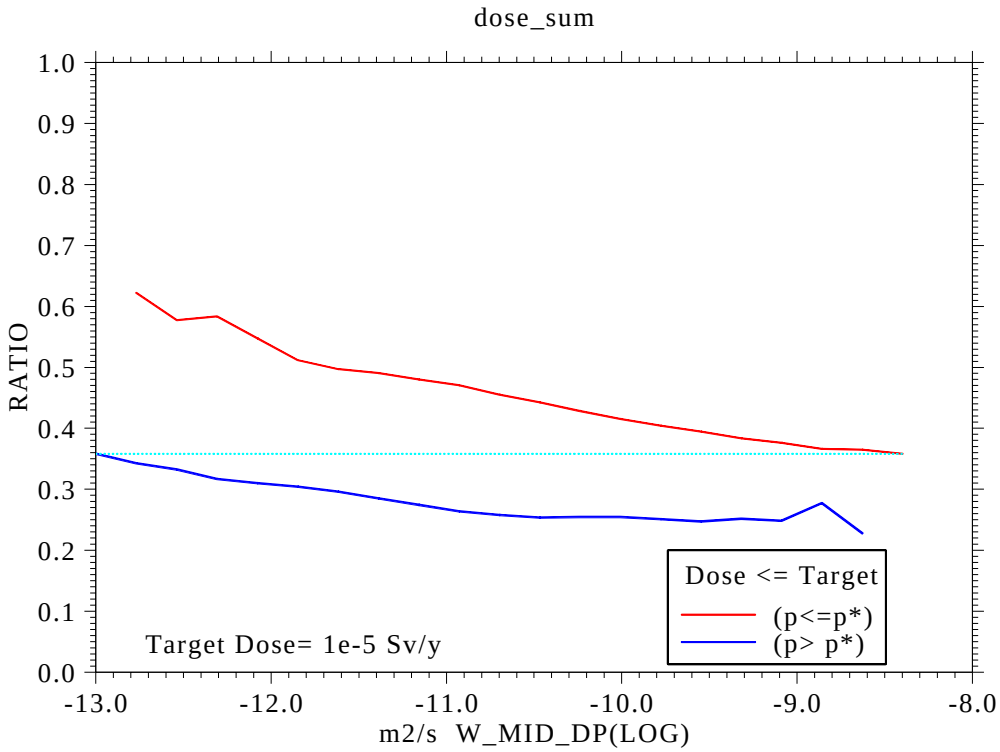


図 4.1.6-68 **グループ２地層処分の天然バリア透水係数の感度分析結果（緩衝材なし）**



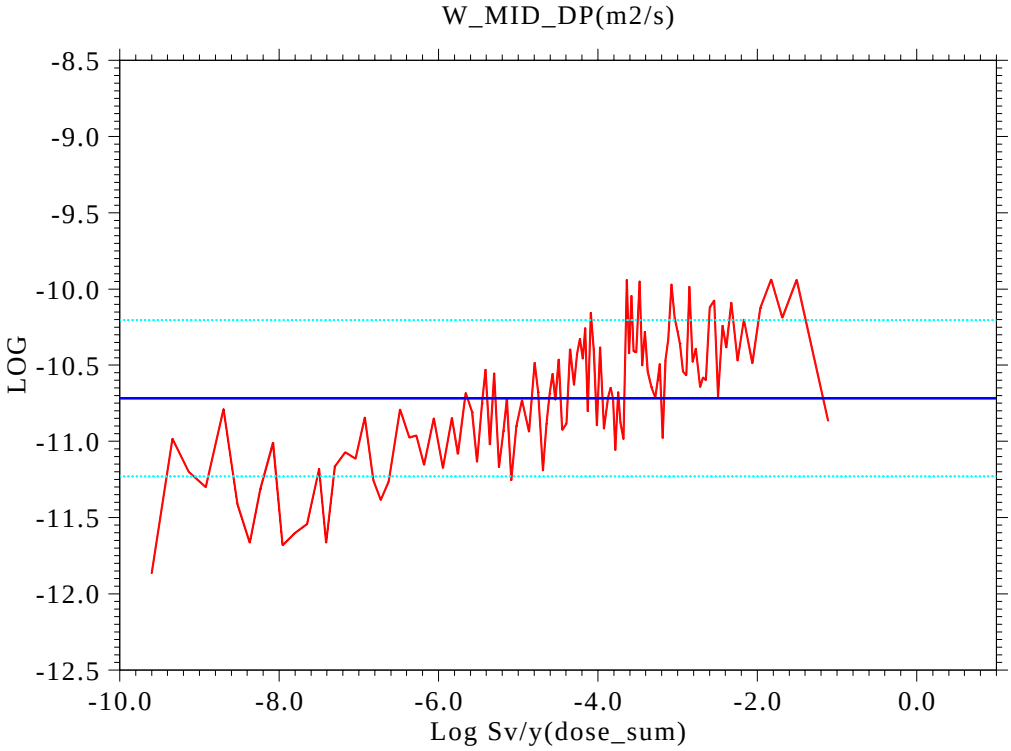


図 4.1.6-69 グループ２地層処分の廃棄体劣化時の空隙拡散係数の感度分析結果（緩衝材なし）

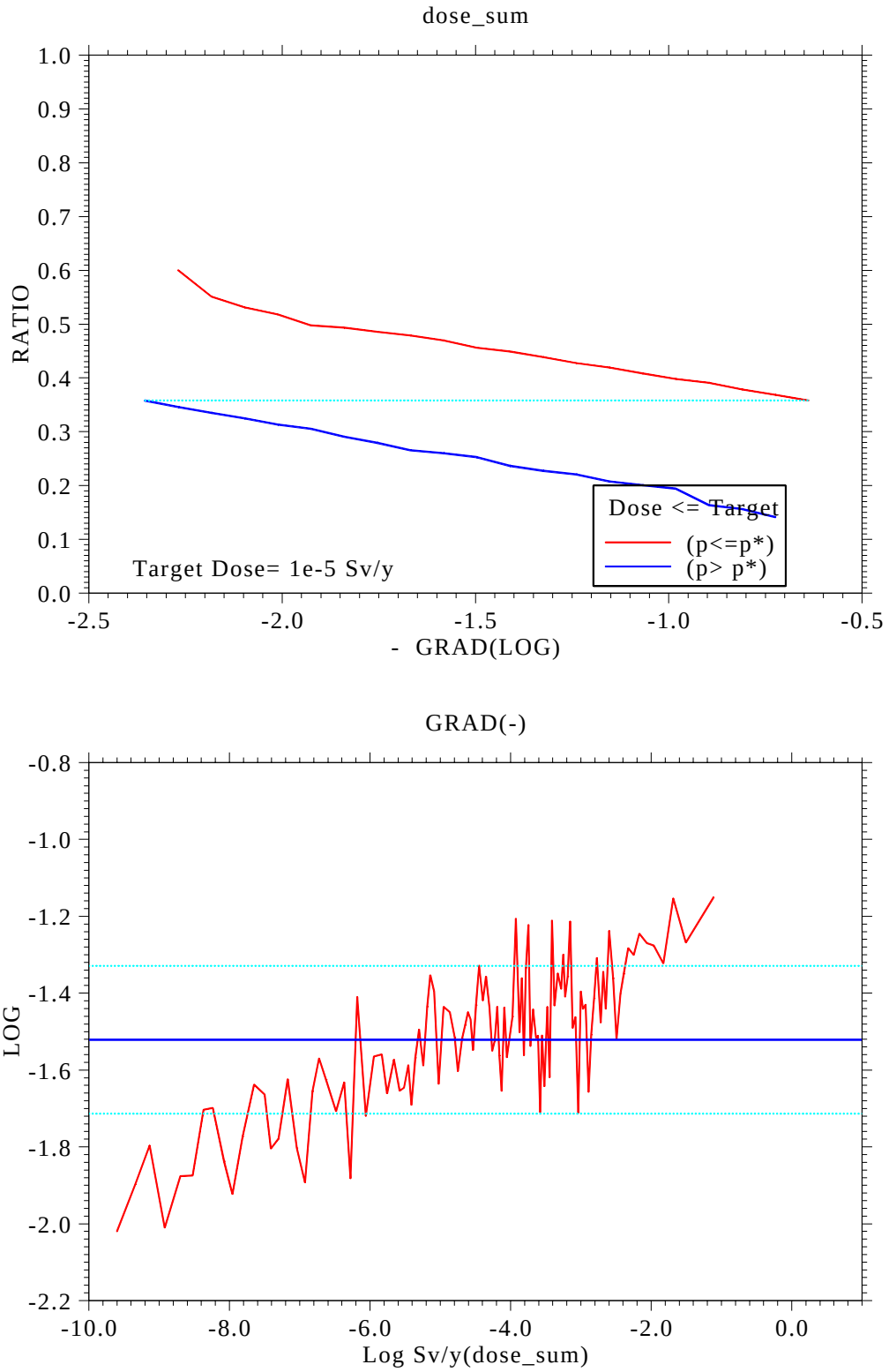
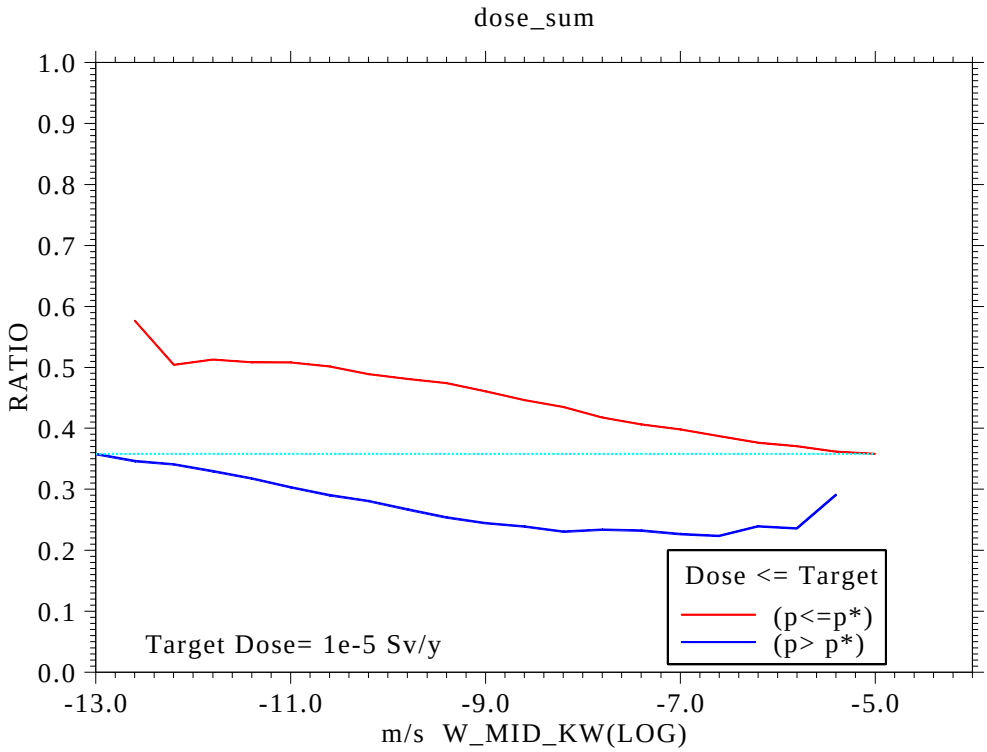


図 4.1.6-70　**グループ２地層処分の動水勾配の感度分析結果（緩衝材なし）**



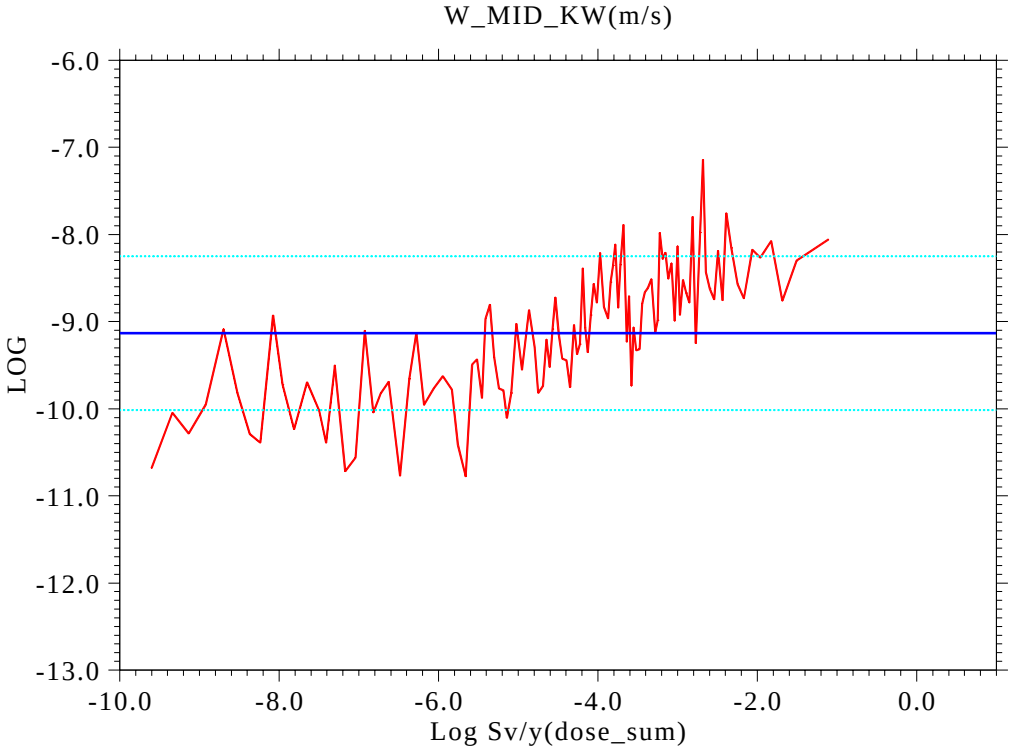


図 4.1.6-71　グループ２地層処分の廃棄体劣化時の透水係数の感度分析結果（緩衝材なし）

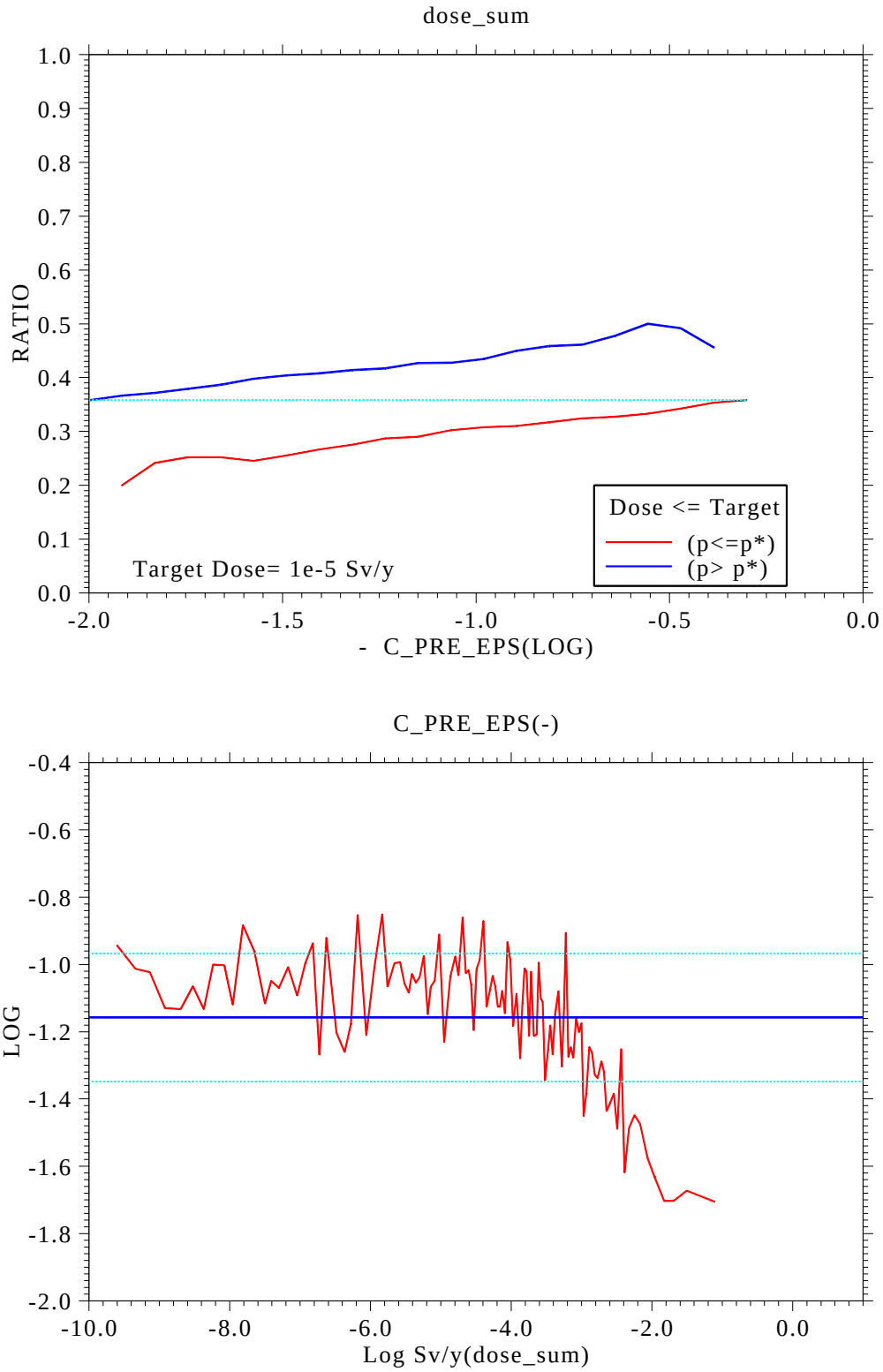
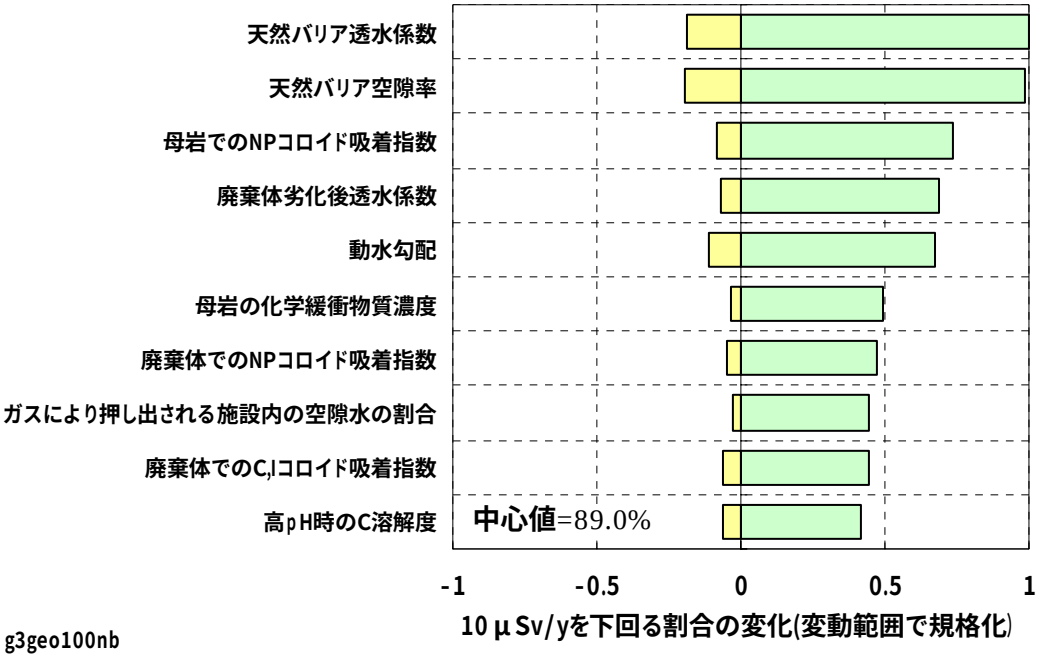


図 4.1.6-72　**グループ２地層処分の天然バリア空隙率の感度分析結果（緩衝材なし）**



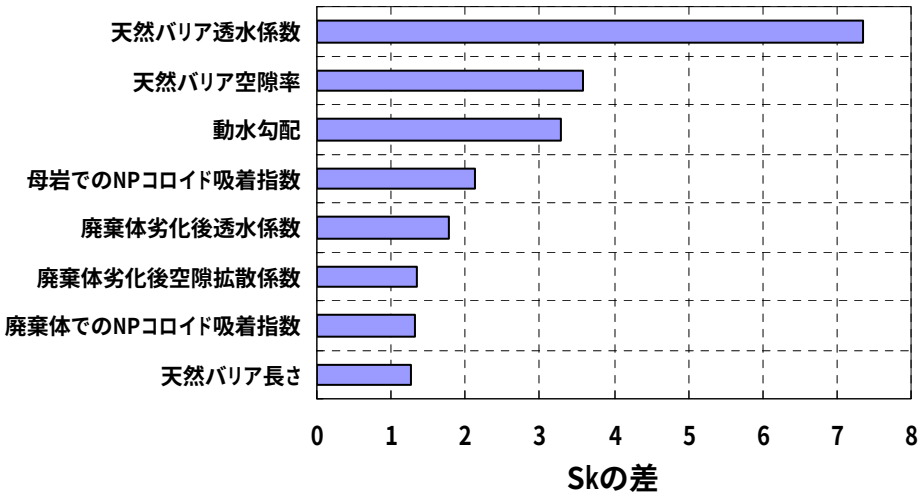
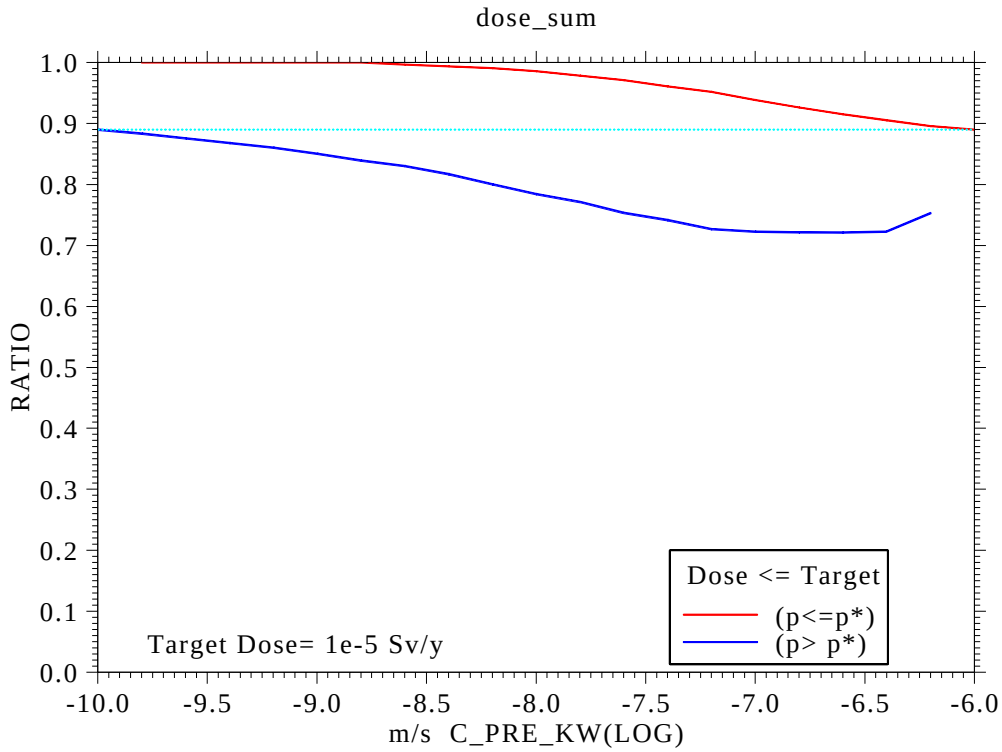


図 4.1.6-73　**グループ３地層処分の感度分析結果の比較**
（50GBq/ton**，合計，緩衝材なし）**



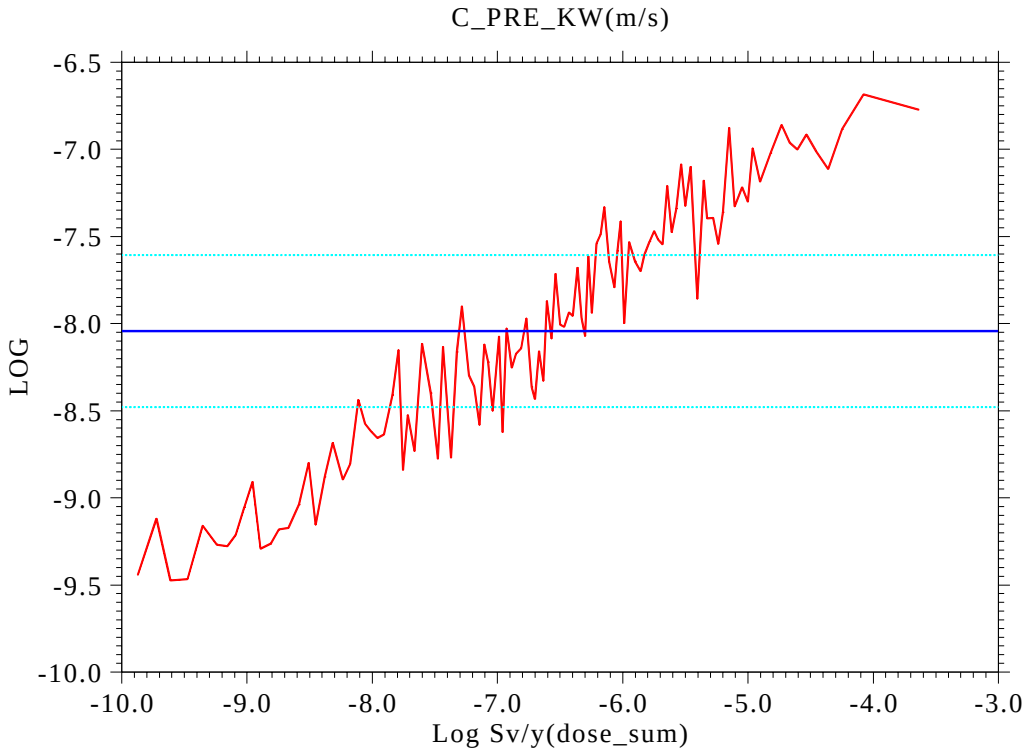


図 4.1.6-74 **グループ３地層処分の天然バリア透水係数の感度分析結果**
（50GBq/ton**，緩衝材なし）**

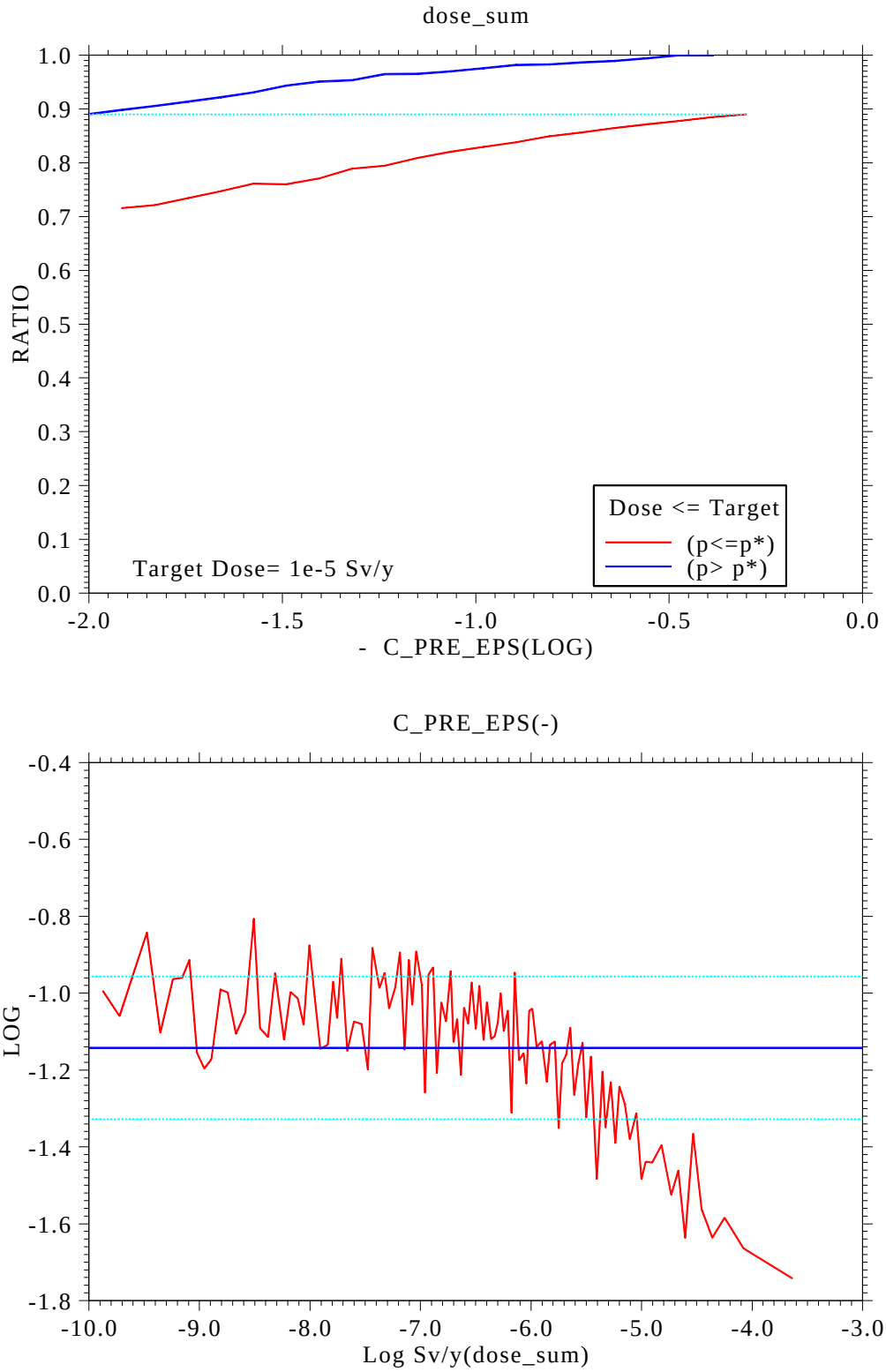


図 4.1.6-75　**グループ３地層処分の天然バリア空隙率の感度分析結果**
（50GBq/ton**，緩衝材なし）**

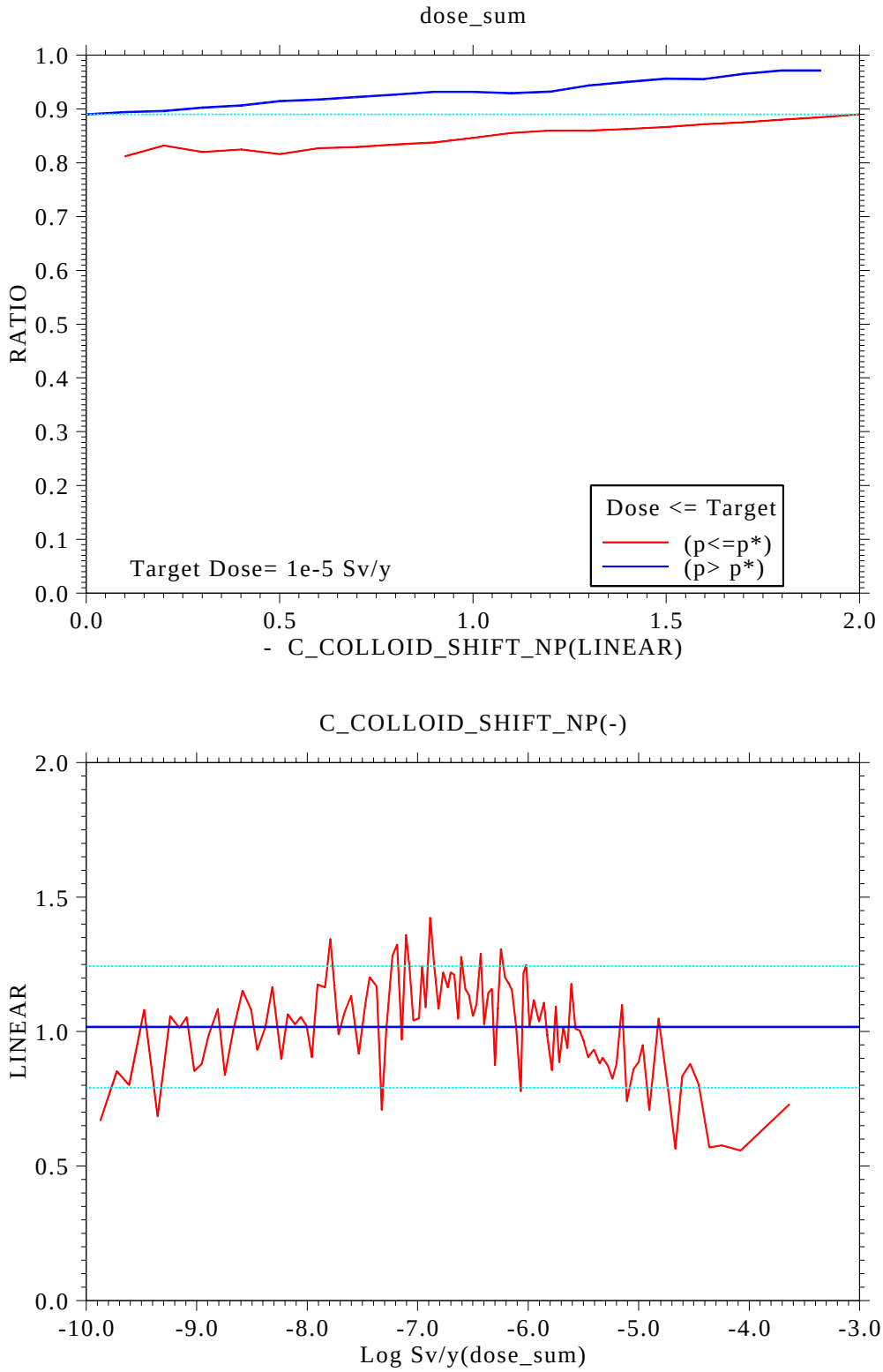
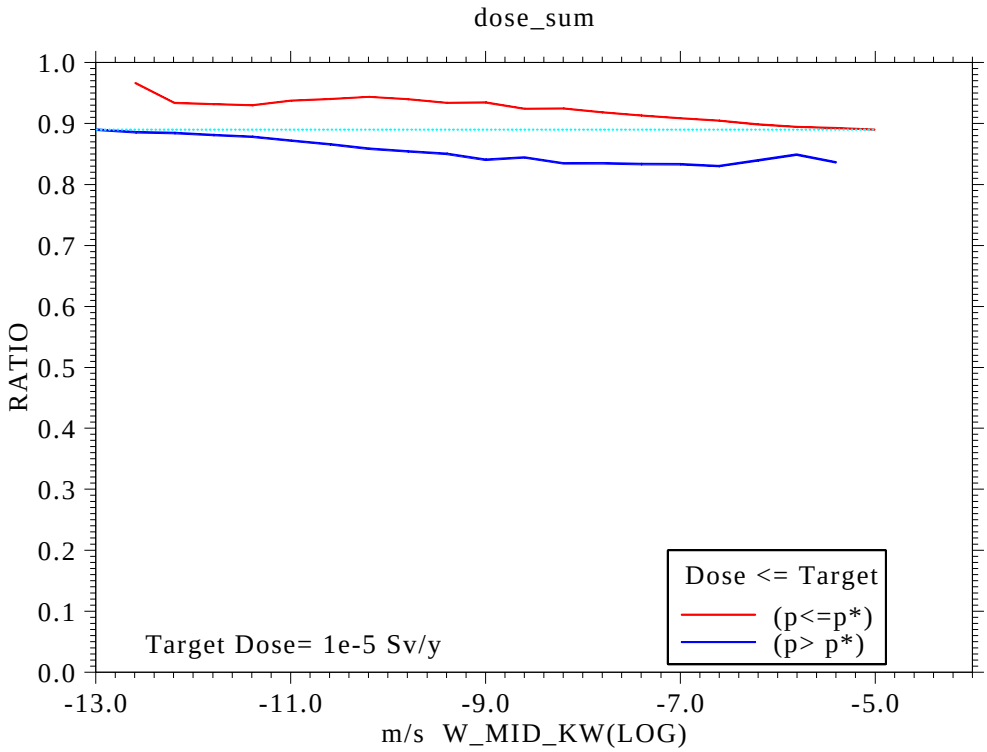


図 4.1.6-76　**グループ３地層処分の天然バリアでの** NP **コロイド吸着指数の感度分析結果**（50GBq/ton，**緩衝材なし**）



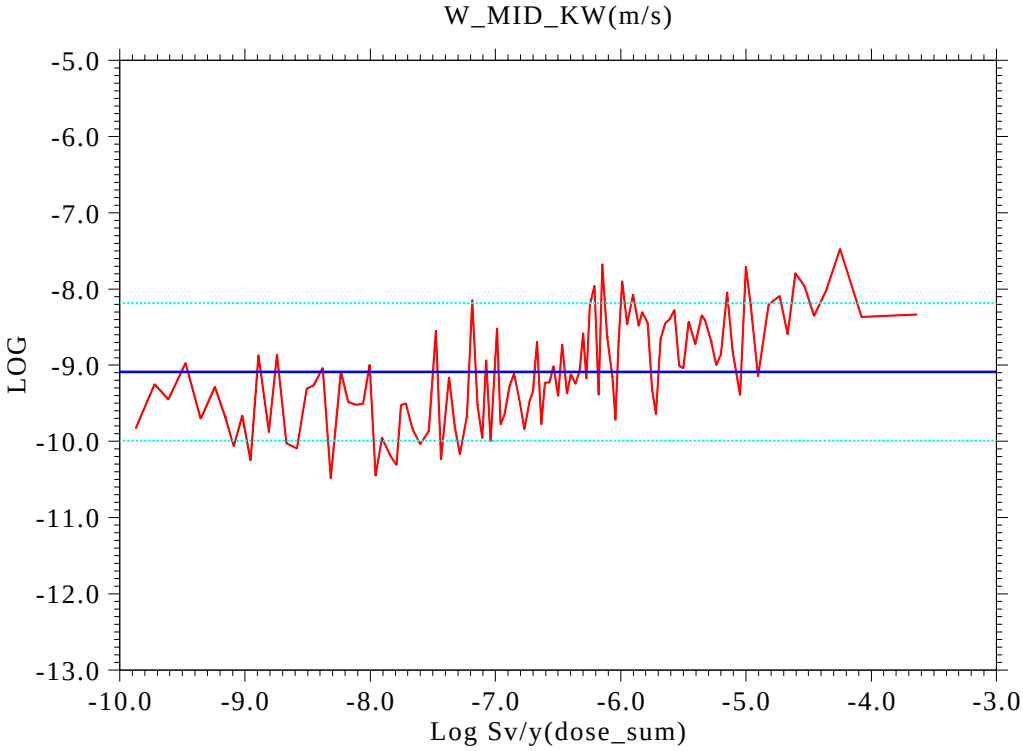
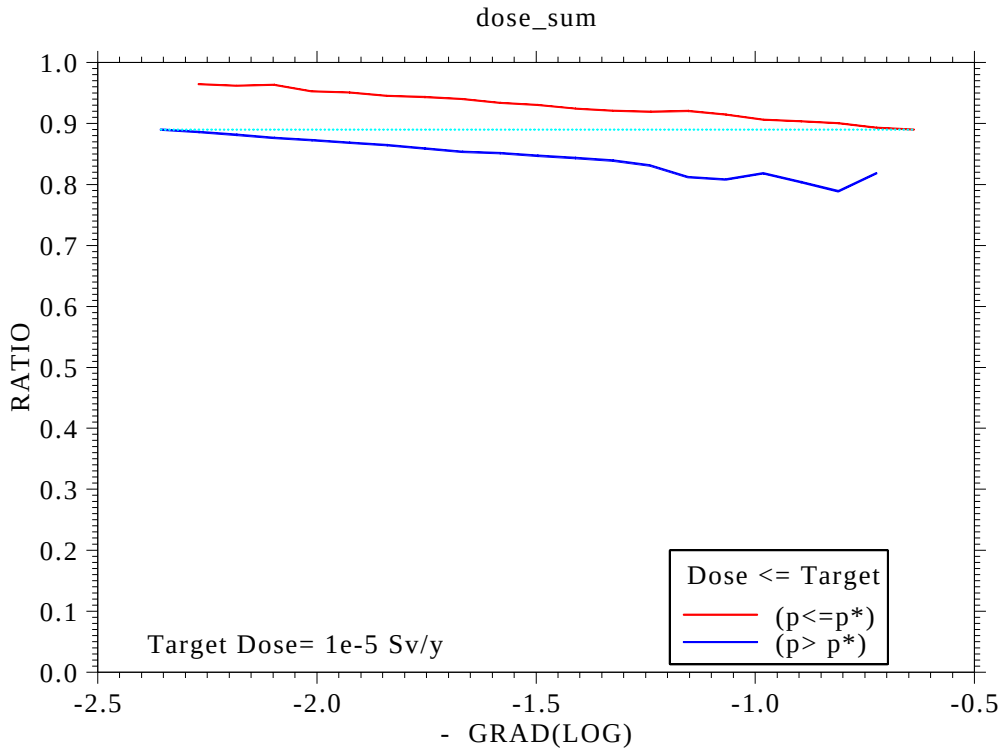


図 4.1.6-77 **グループ３地層処分の廃棄体劣化後透水係数の感度分析結果**
（50GBq/ton**，緩衝材なし）**



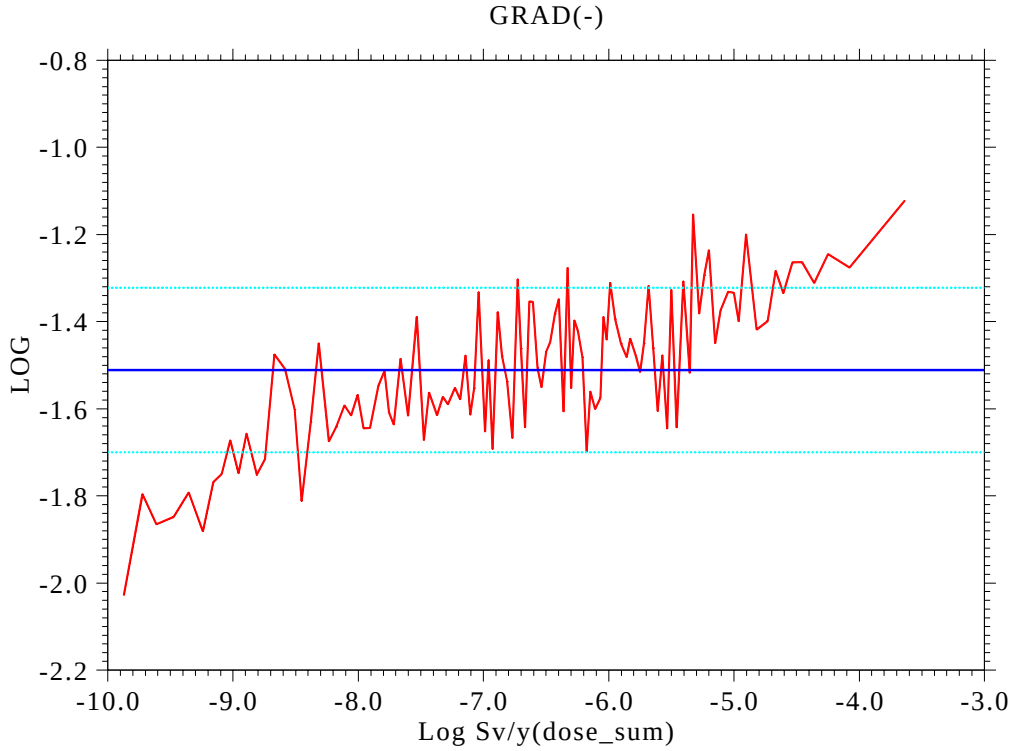
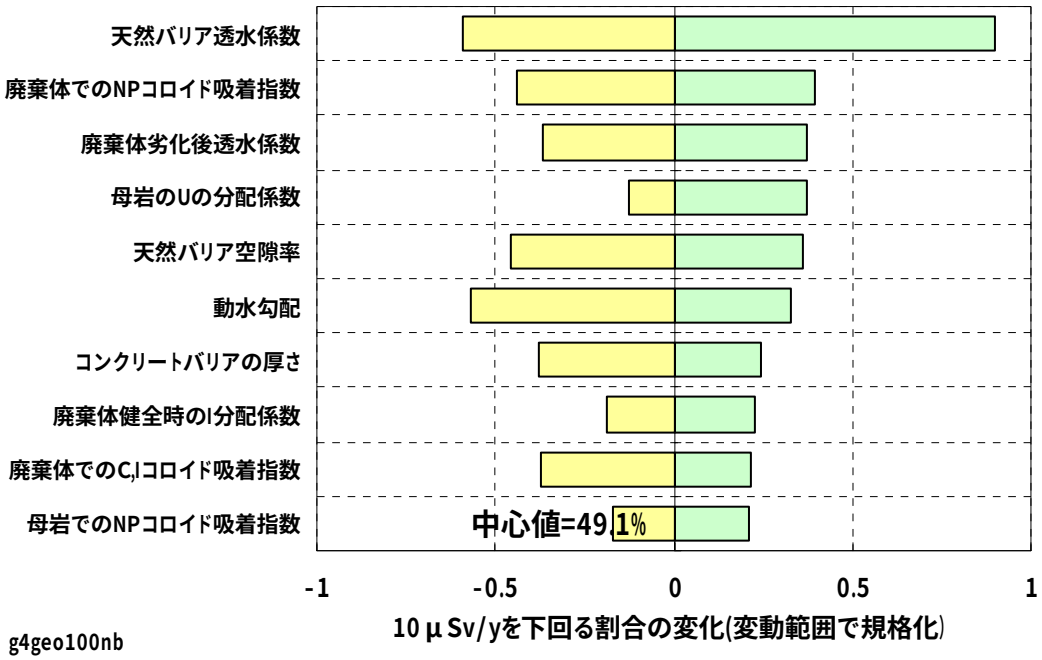


図 4.1.6-78　**グループ３地層処分の動水勾配の感度分析結果**（50GBq/ton，**緩衝材なし**）



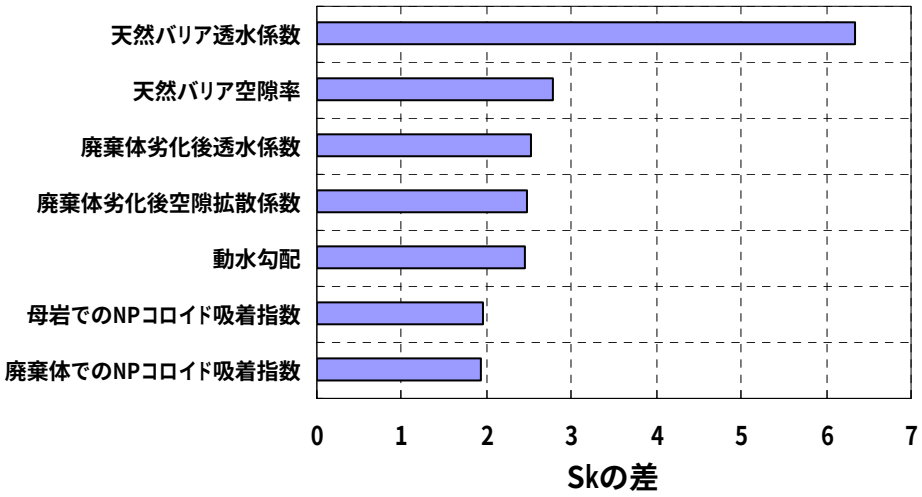
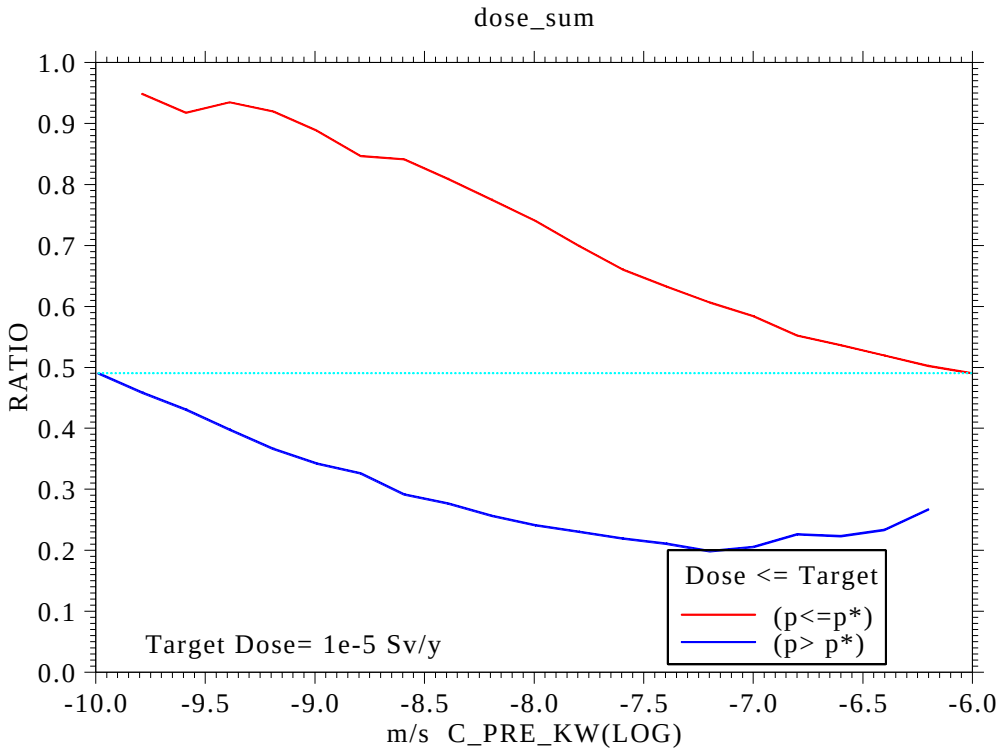


図 4.1.6-79　**グループ４地層処分の感度分析結果の比較**（50GBq/ton，**緩衝材なし**）



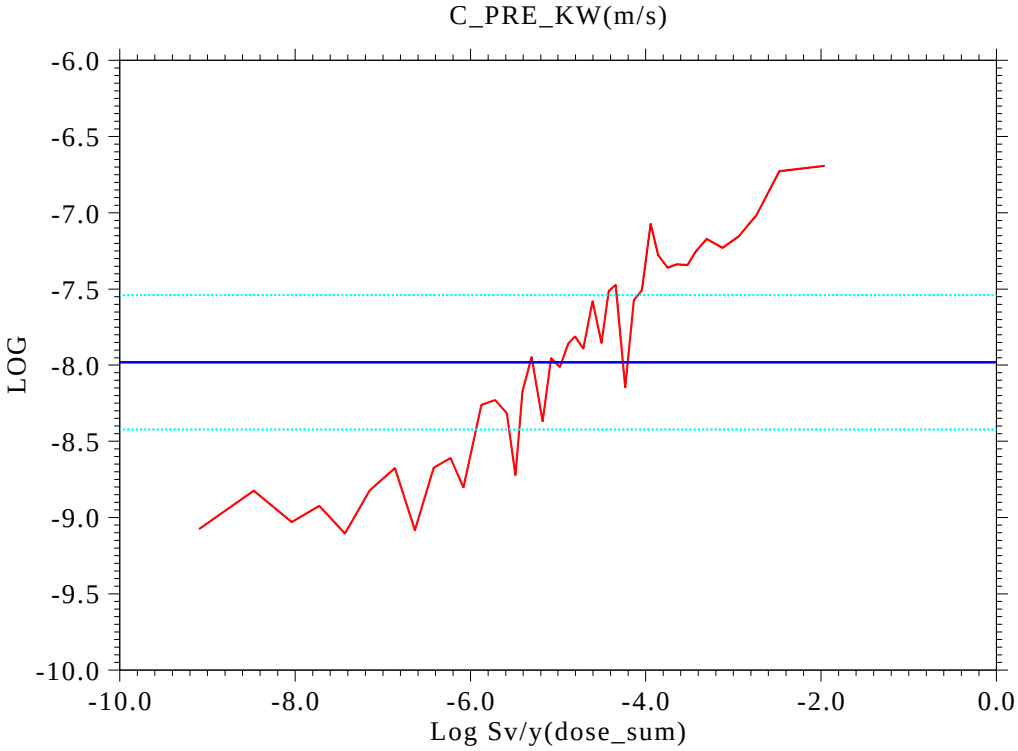


図 4.1.6-80 **グループ４地層処分の天然バリア透水係数の感度分析結果**
（50GBq/ton**，緩衝材なし）**

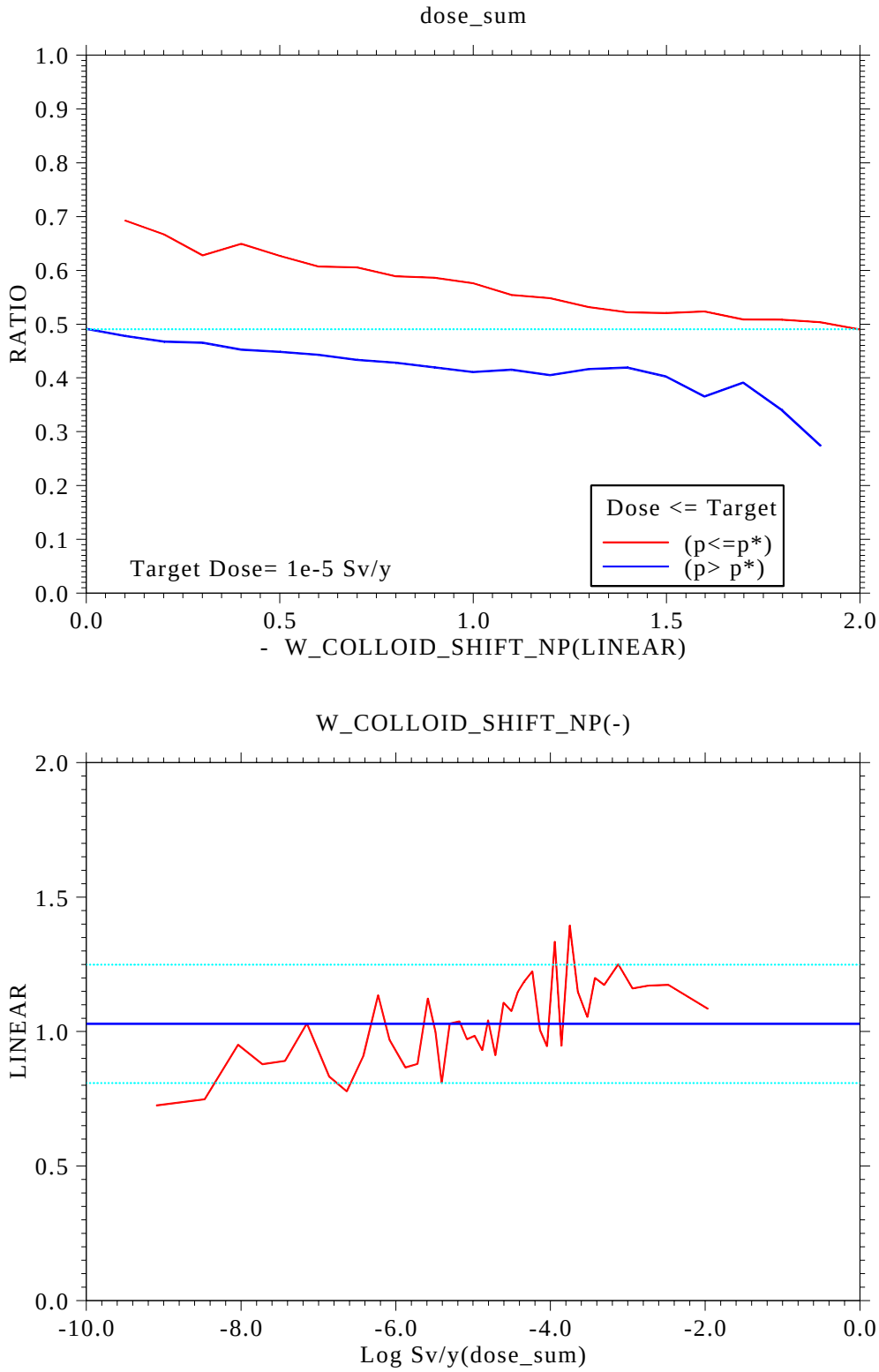


図 4.1.6-81　グループ４地層処分の廃棄体中での NP コロイド吸着指数の感度分析結果（50GBq/ton，緩衝材なし）

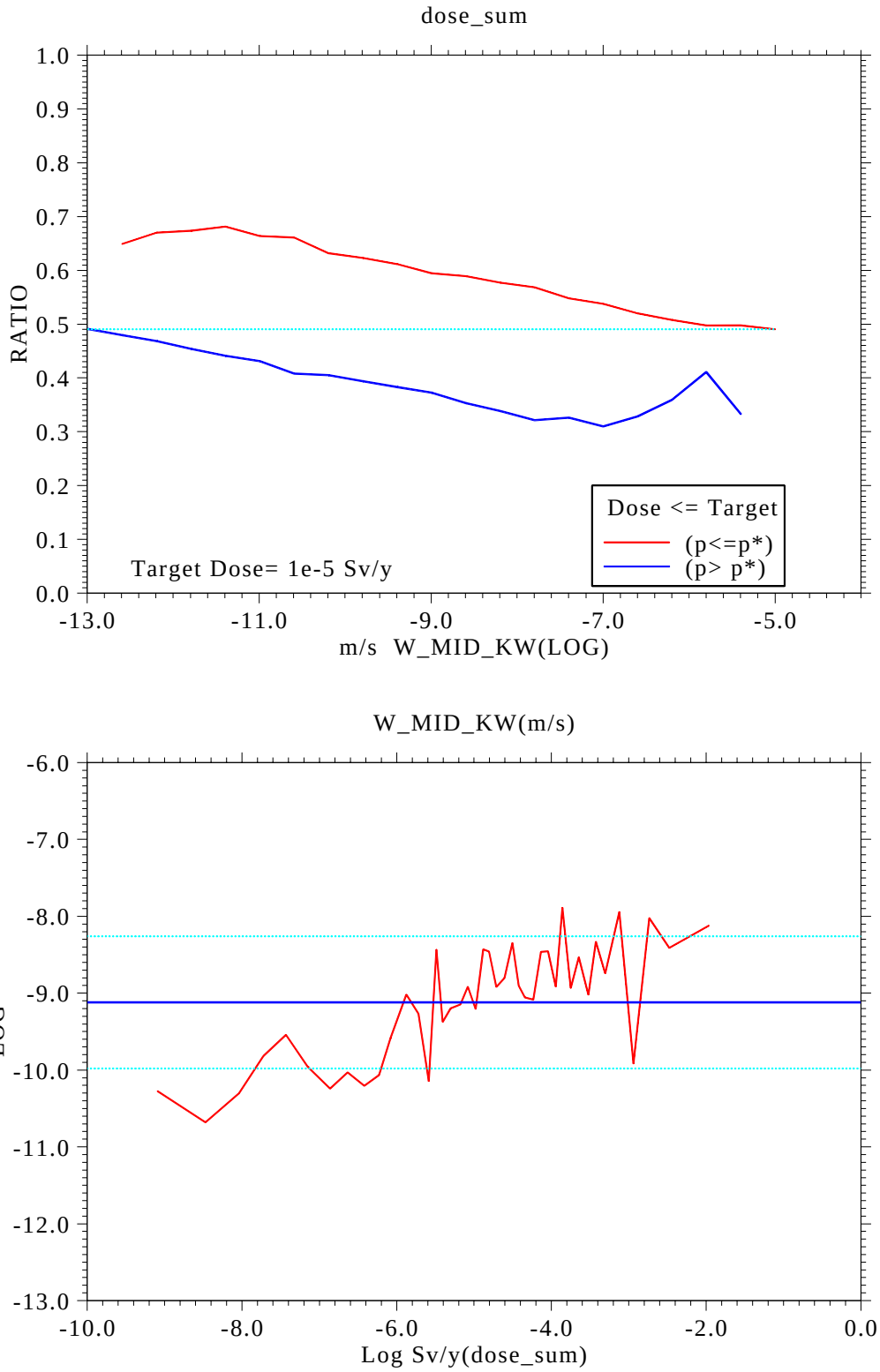


図 4.1.6-82 **グループ４地層処分の廃棄体劣化時の透水係数の感度分析結果**
（50GBq/ton**，緩衝材なし）**

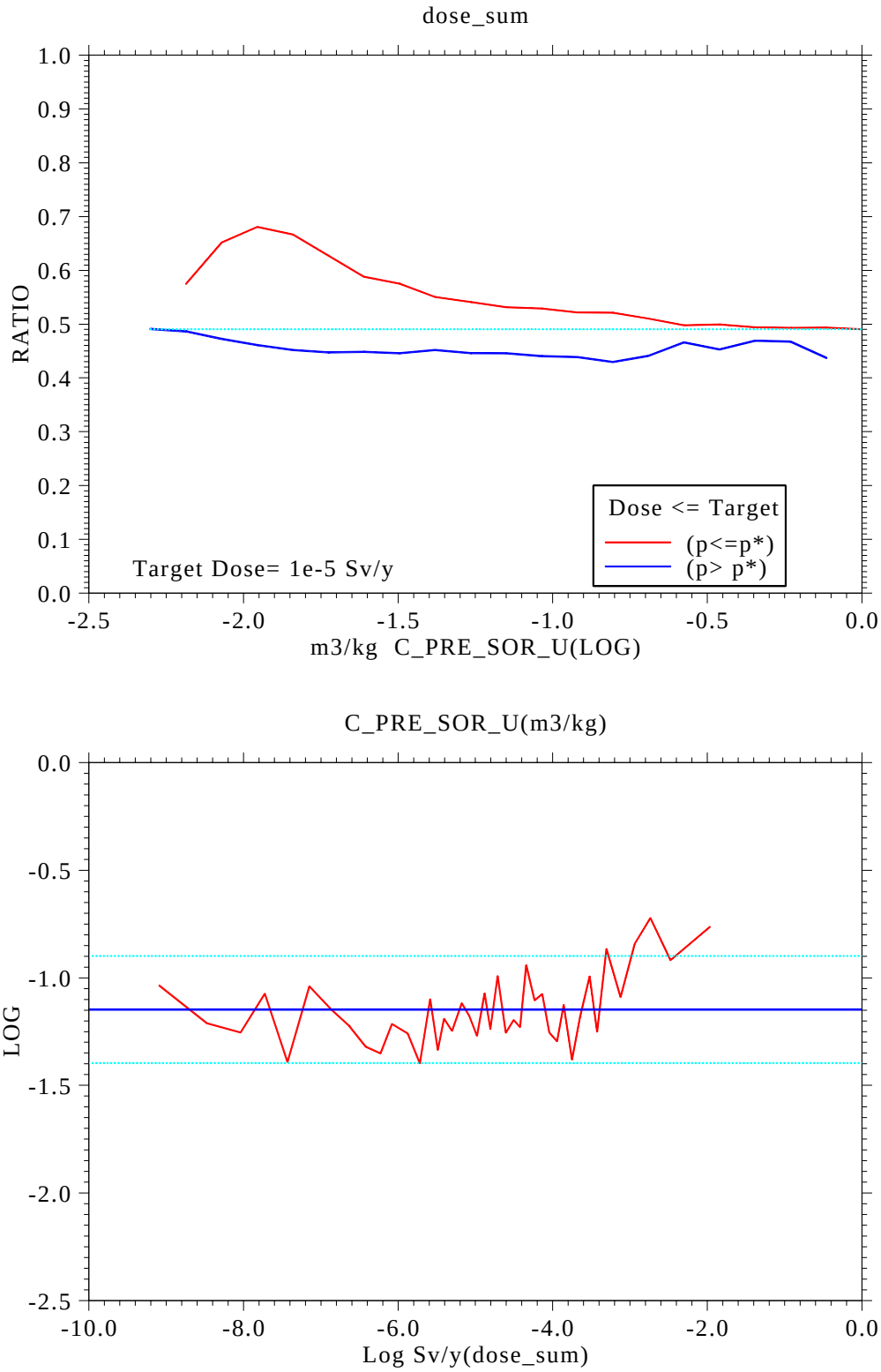


図 4.1.6-83 **グループ４地層処分の天然バリアでの** U **の分配係数の感度分析結果**
（50GBq/ton**，緩衝材なし）**

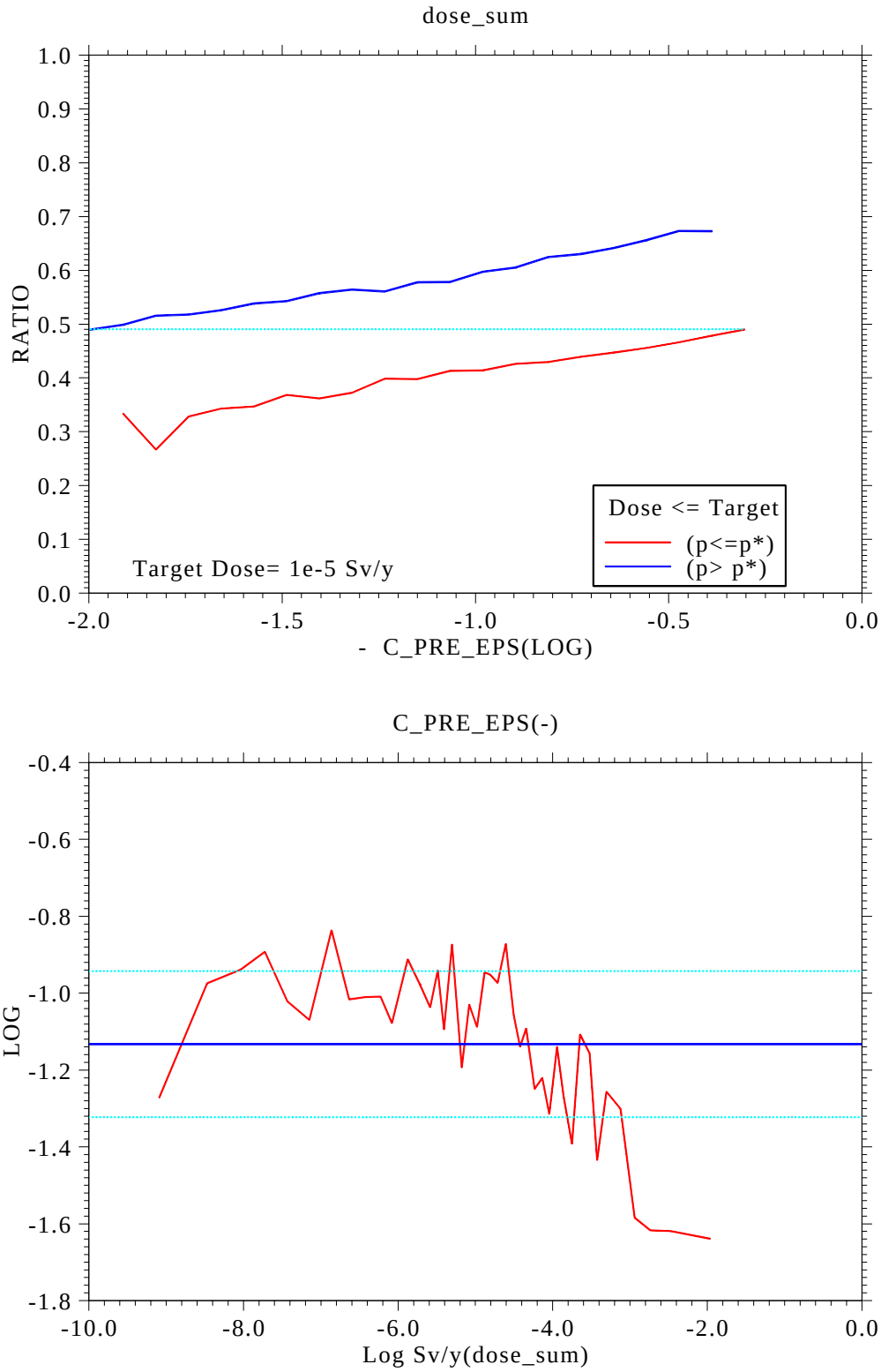
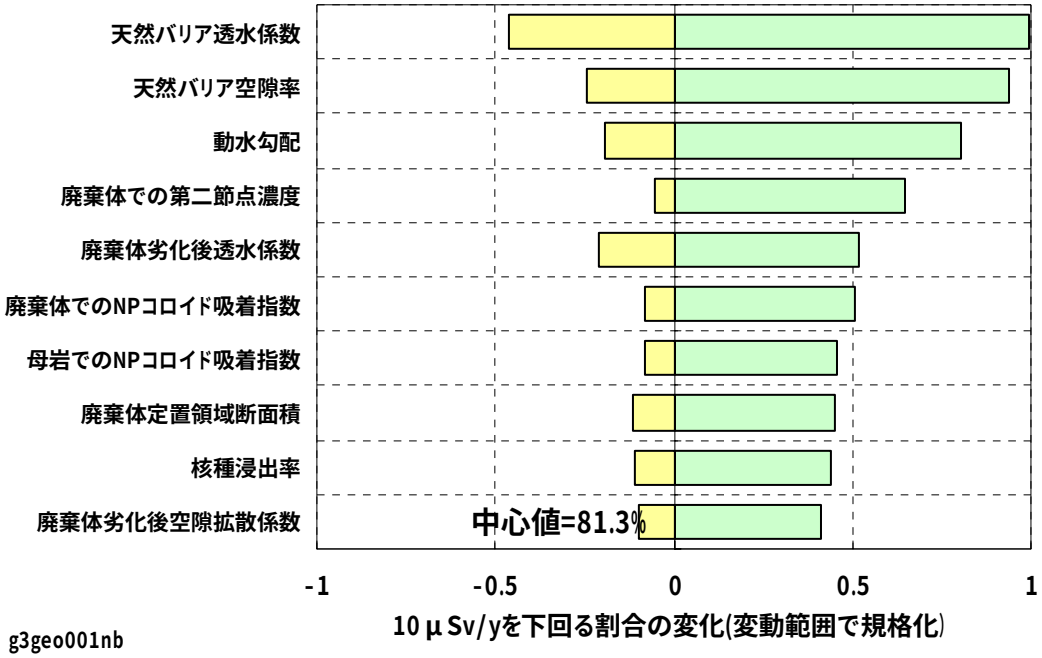


図 4.1.6-84　**グループ４地層処分の天然バリア空隙率の感度分析結果**
（50GBq/ton**，緩衝材なし）**



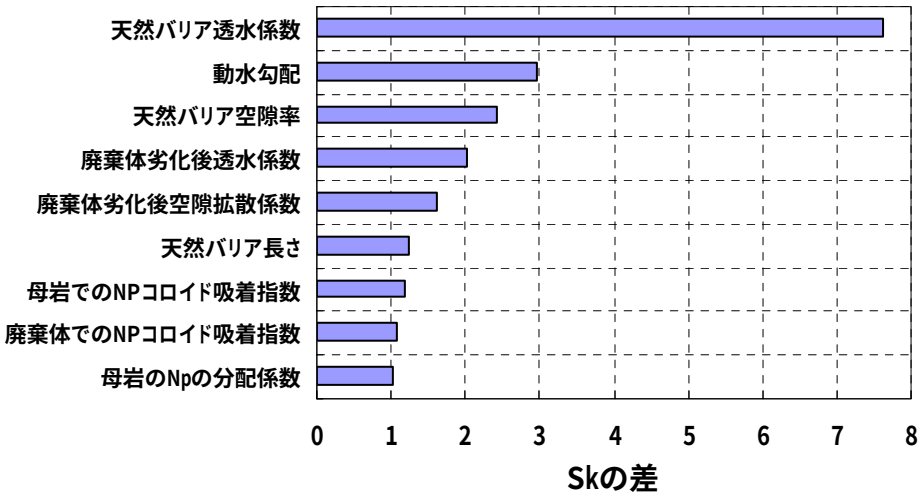
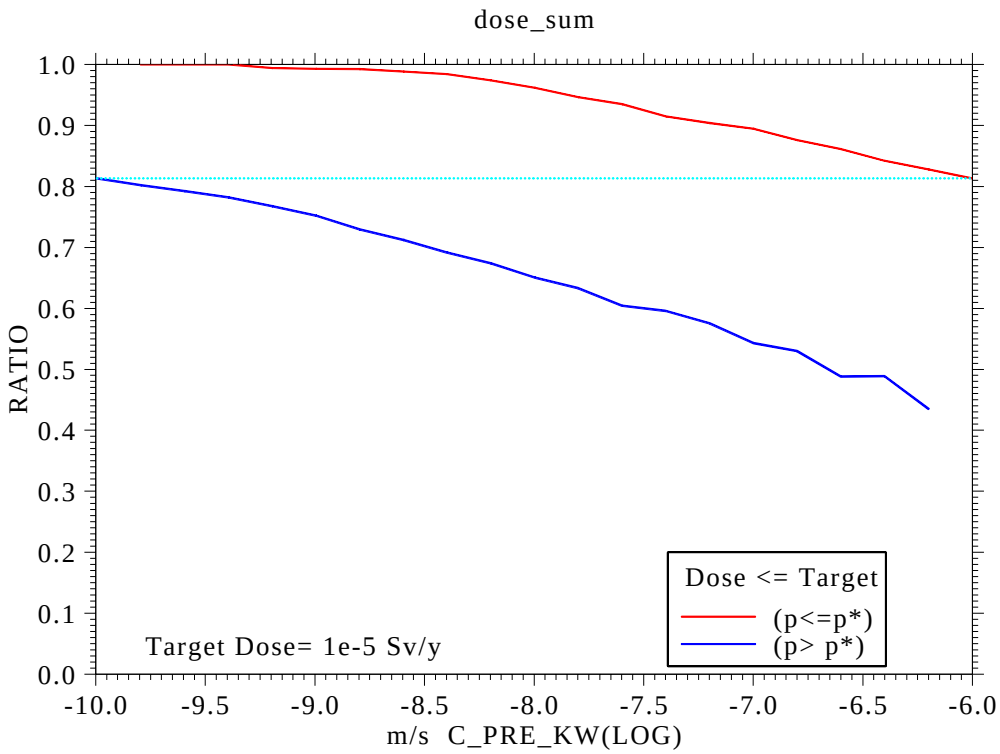


図 4.1.6-85　**グループ３地層処分の感度分析結果の比較**（1GBq/ton，**緩衝材なし**）



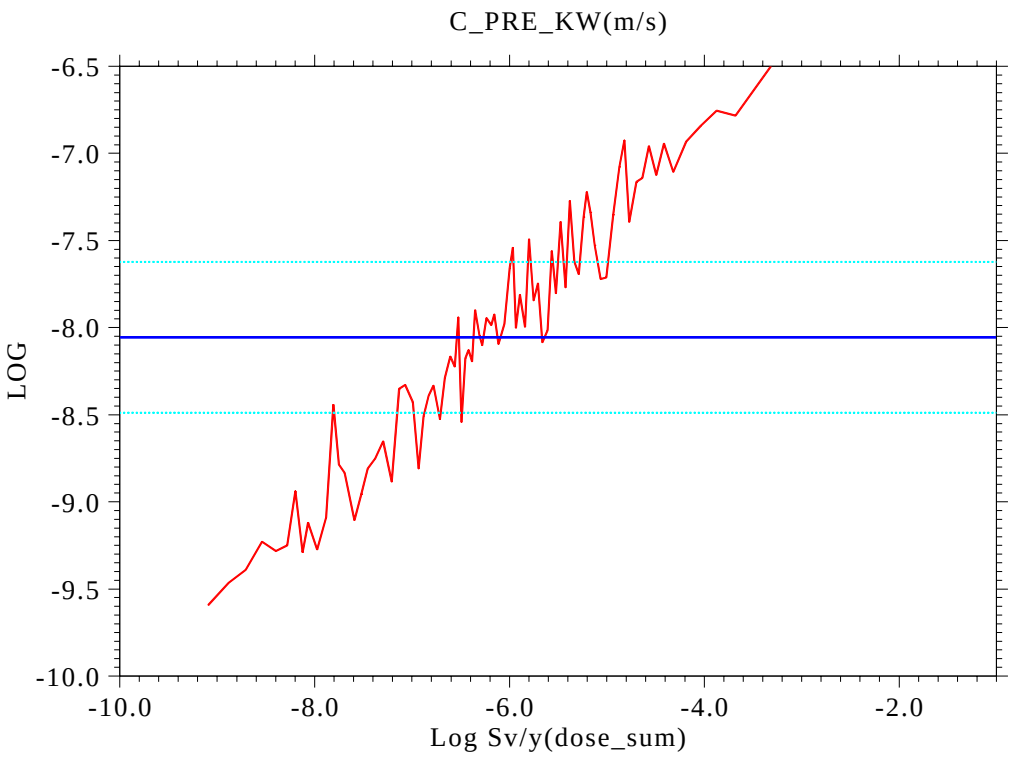
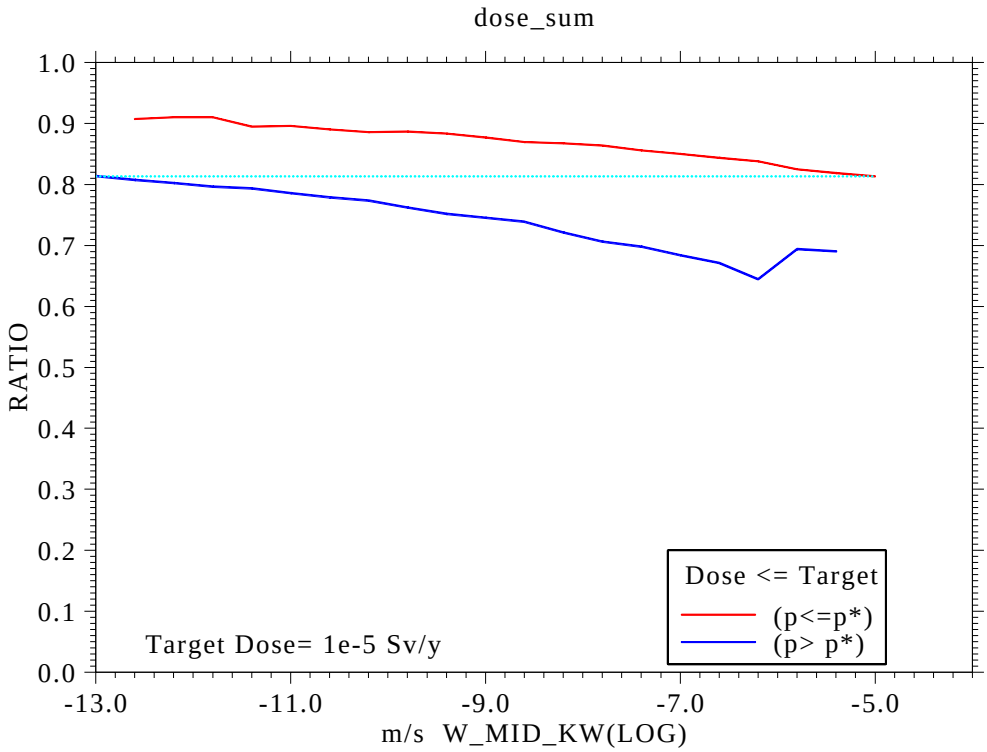


図 4.1.6-86 **グループ３余裕深度処分の天然バリア透水係数の感度分析結果**
（1GBq/ton**，緩衝材なし）**



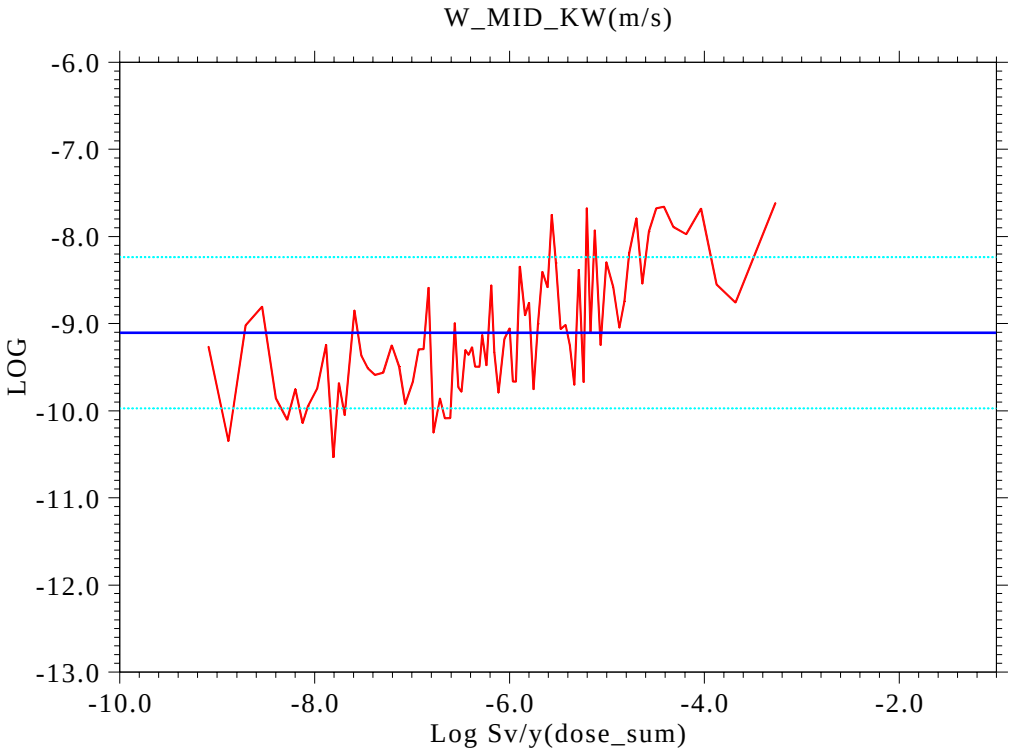
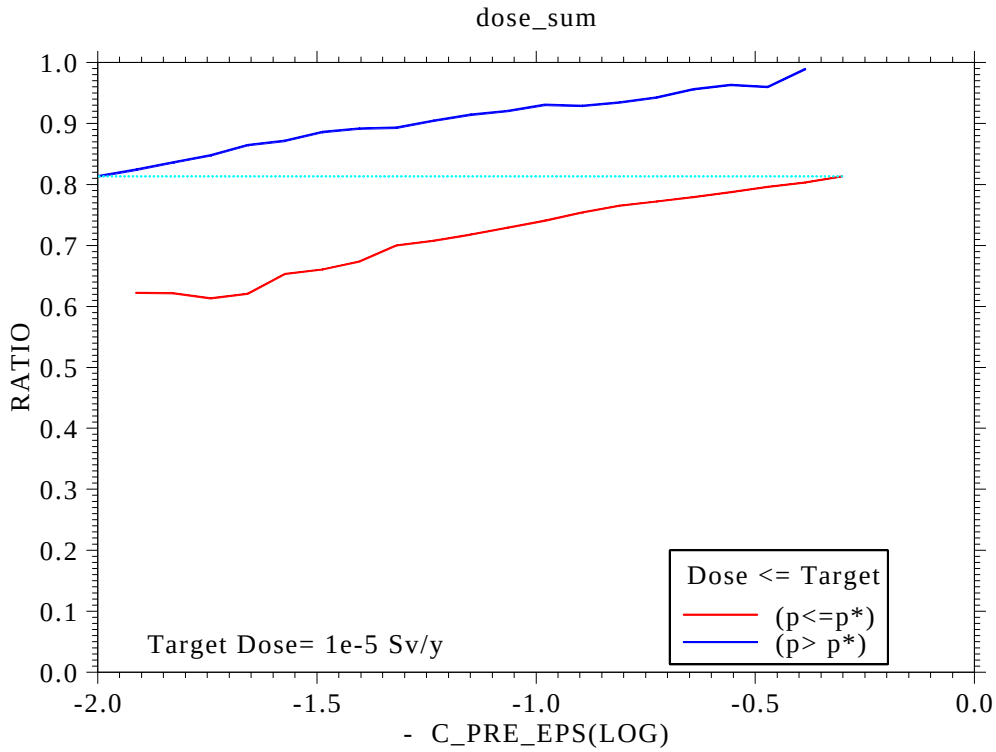


図 4.1.6-87 **グループ３余裕深度処分の廃棄体劣化後透水係数の感度分析結果**
（1GBq/ton**，緩衝材なし）**



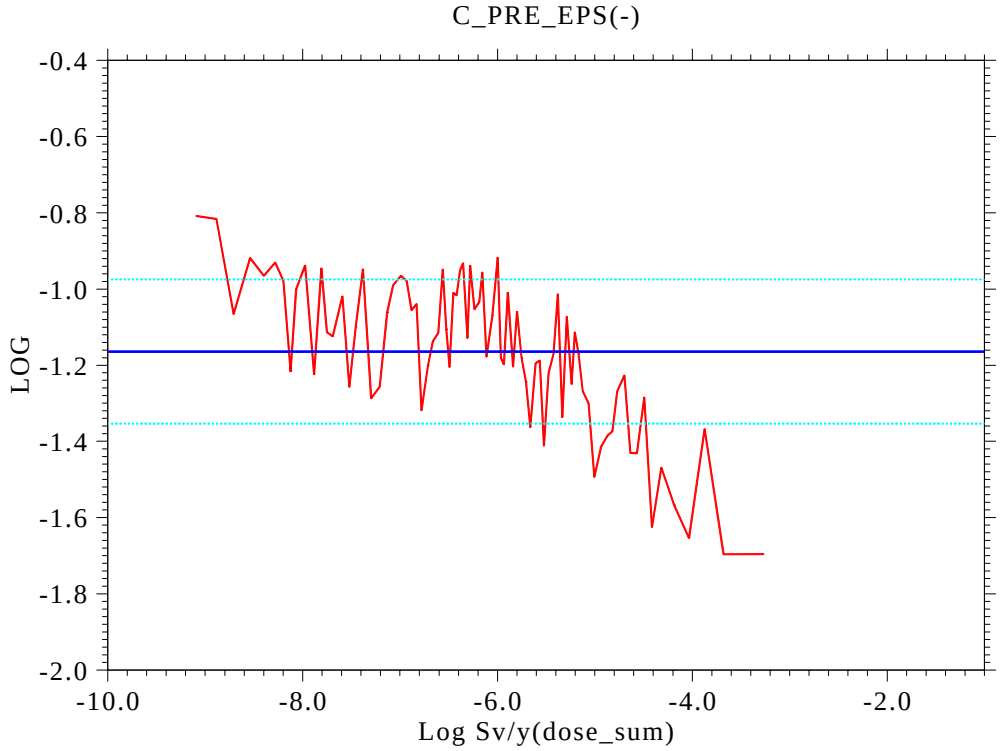


図 4.1.6-88　**グループ３余裕深度処分の天然バリア空隙率の感度分析結果**
（1GBq/ton**，緩衝材なし）**

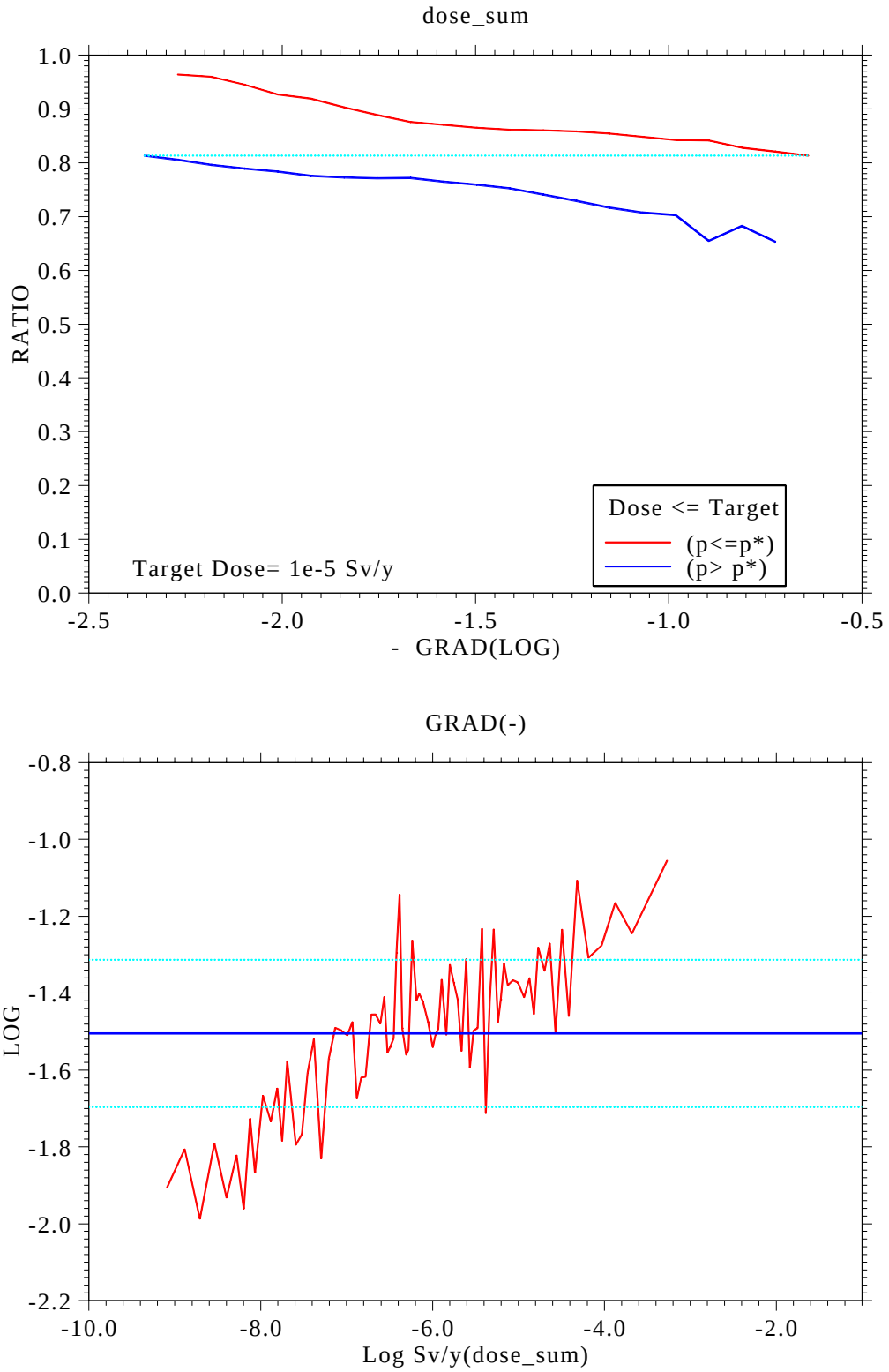
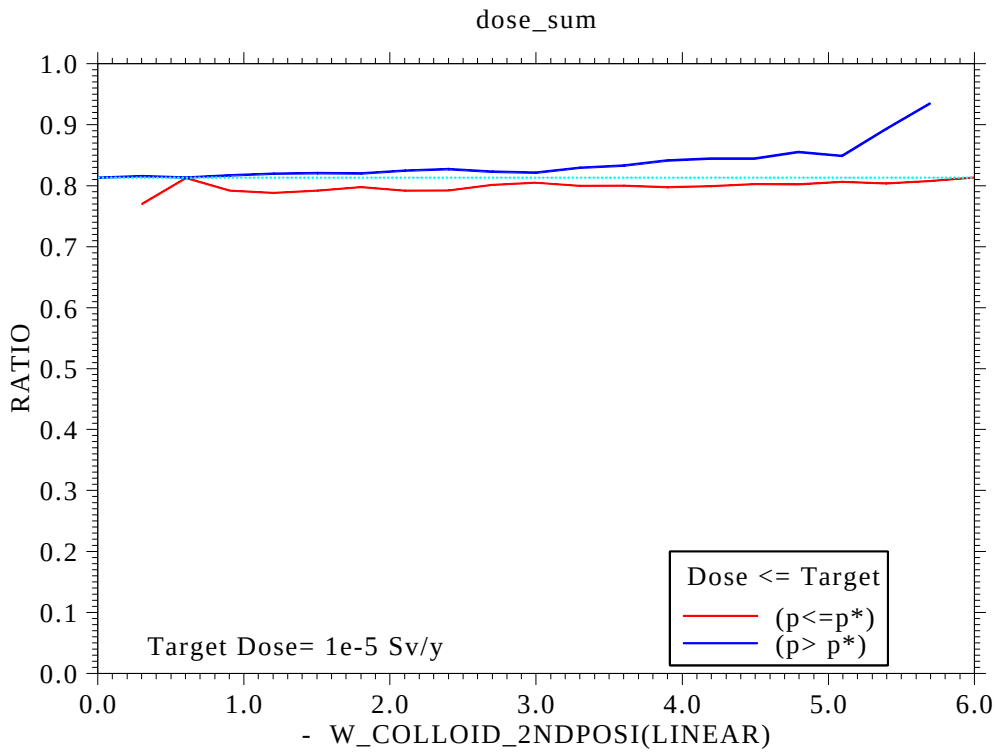


図 4.1.6-89　**グループ３余裕深度処分動水勾配の感度分析結果**
（1GBq/ton**，緩衝材なし）**



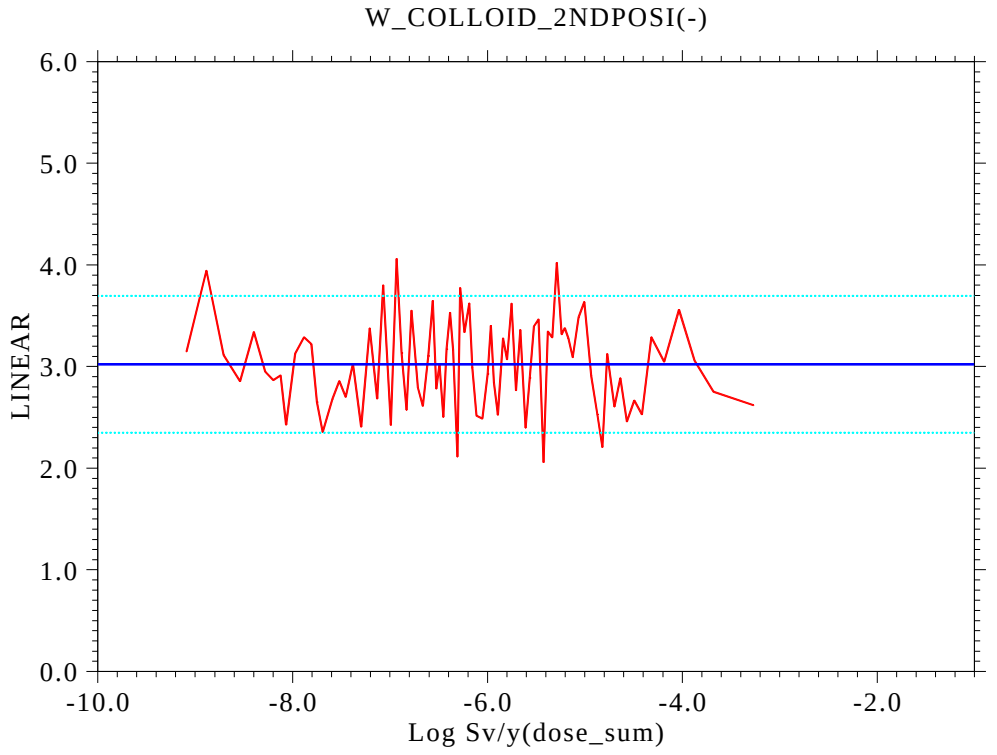
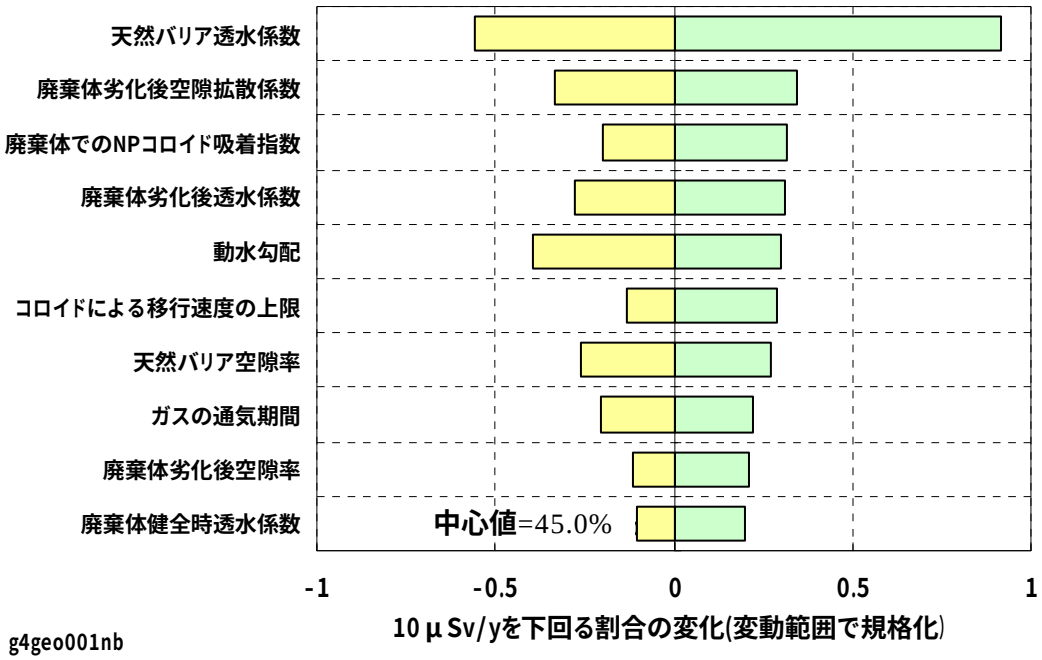


図 4.1.6-90　**グループ３余裕深度処分の第** 2 **接点濃度の感度分析結果**
（1GBq/ton**，緩衝材なし）**



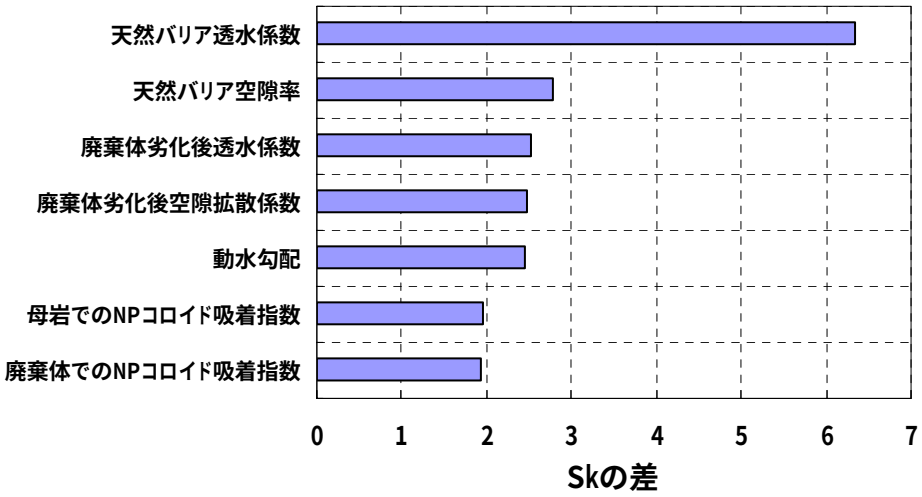


図 4.1.6-91　**グループ４地層処分の感度分析結果の比較**（1GBq，**緩衝材なし**）

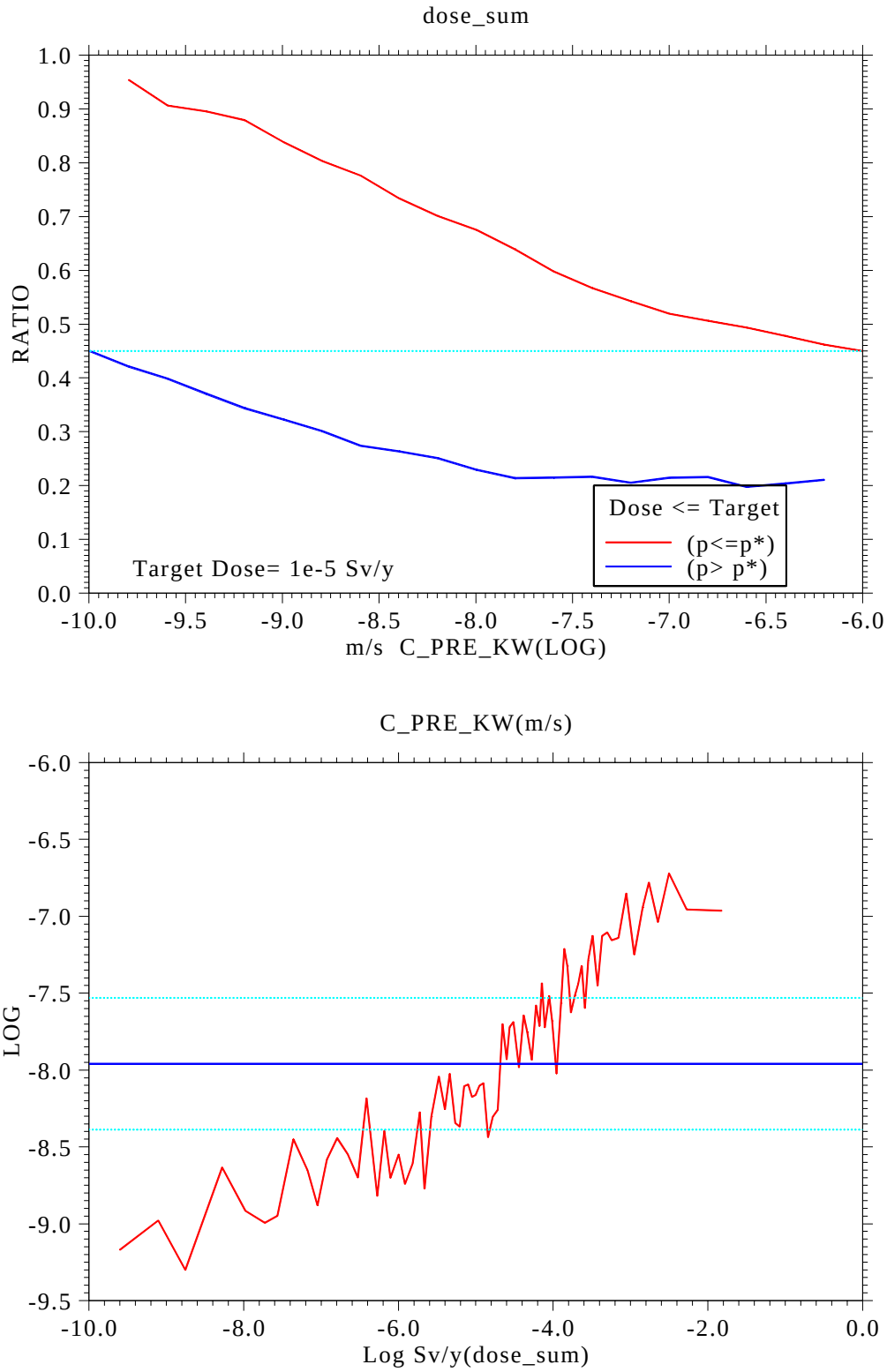
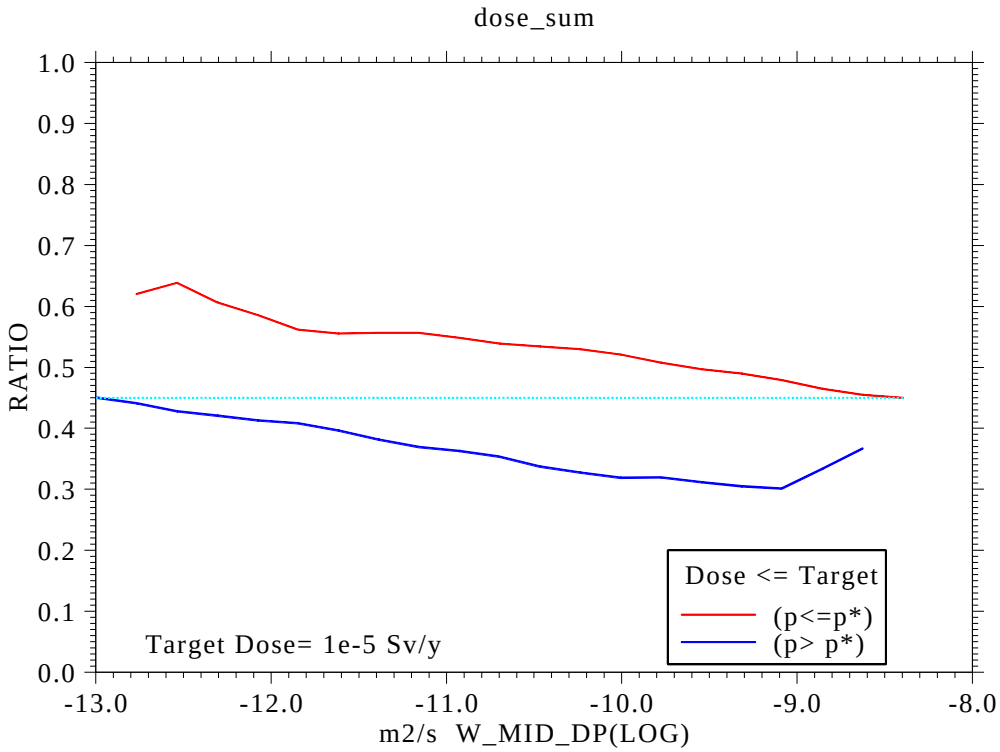


図 4.1.6-92 **グループ４地層処分の天然バリア透水係数の感度分析結果**
（1GBq/ton**，緩衝材なし）**



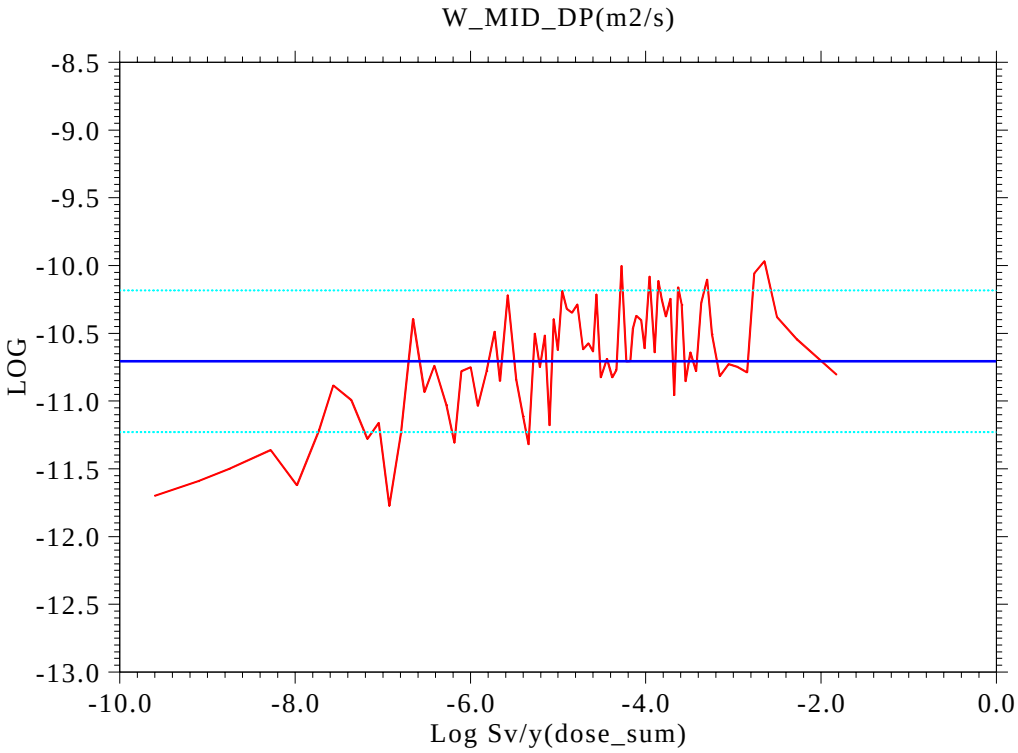


図 4.1.6-93 **グループ４地層処分の廃棄体劣化後空隙拡散係数の感度分析結果**
（1GBq/ton**，緩衝材なし）**

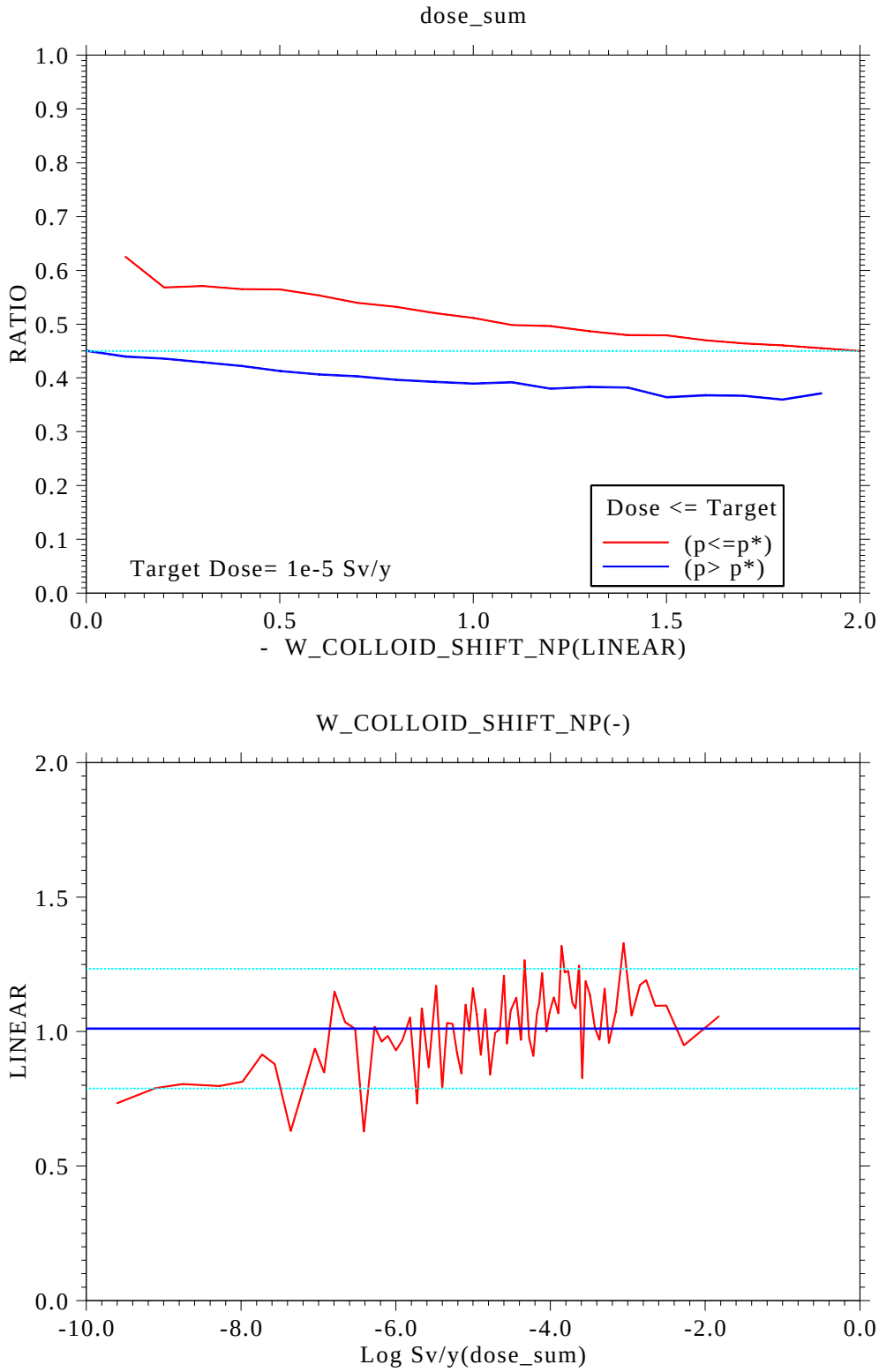
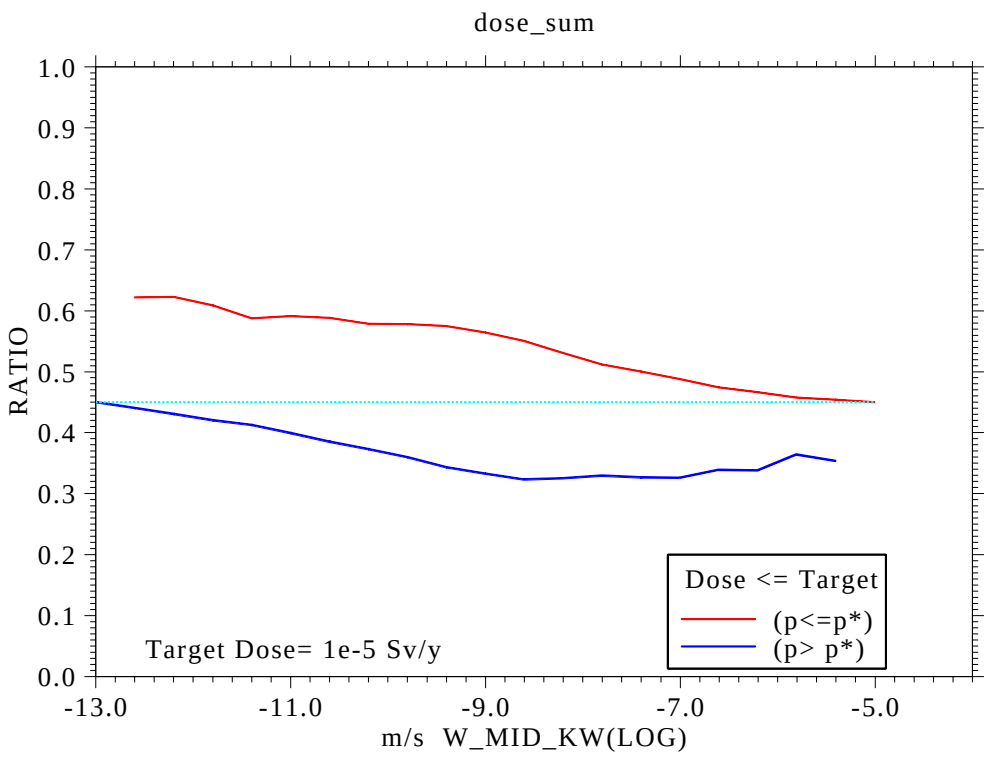


図 4.1.6-94　**グループ４地層処分の廃棄体での** NP **コロイド吸着指数の感度分析結果**
（1GBq/ton**，緩衝材なし）**



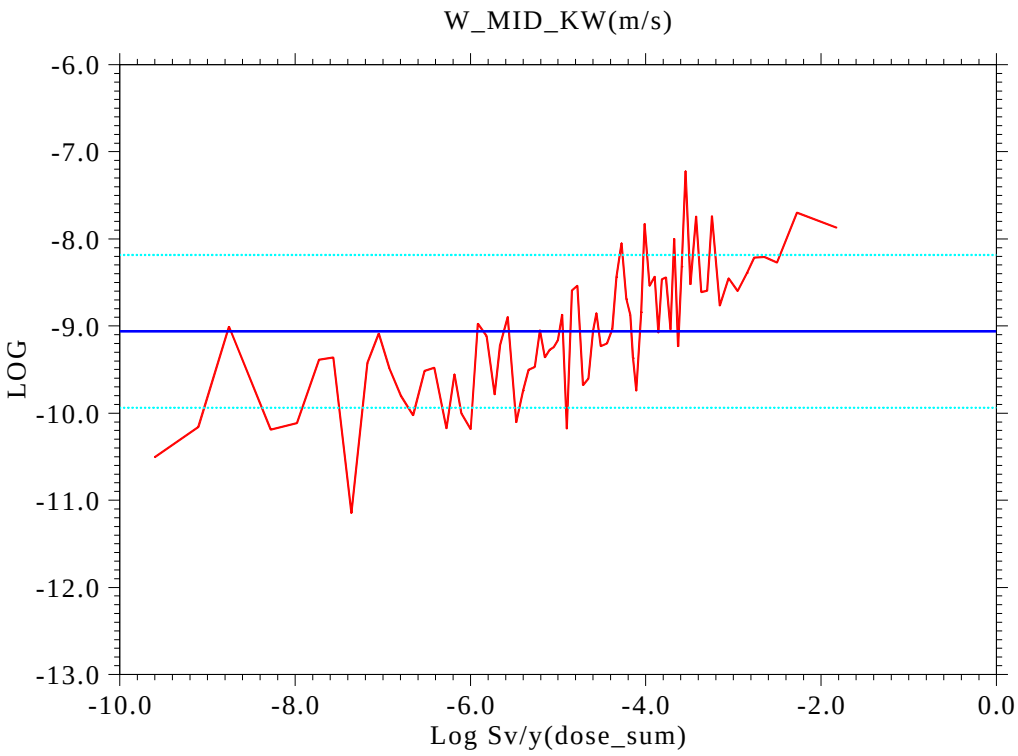
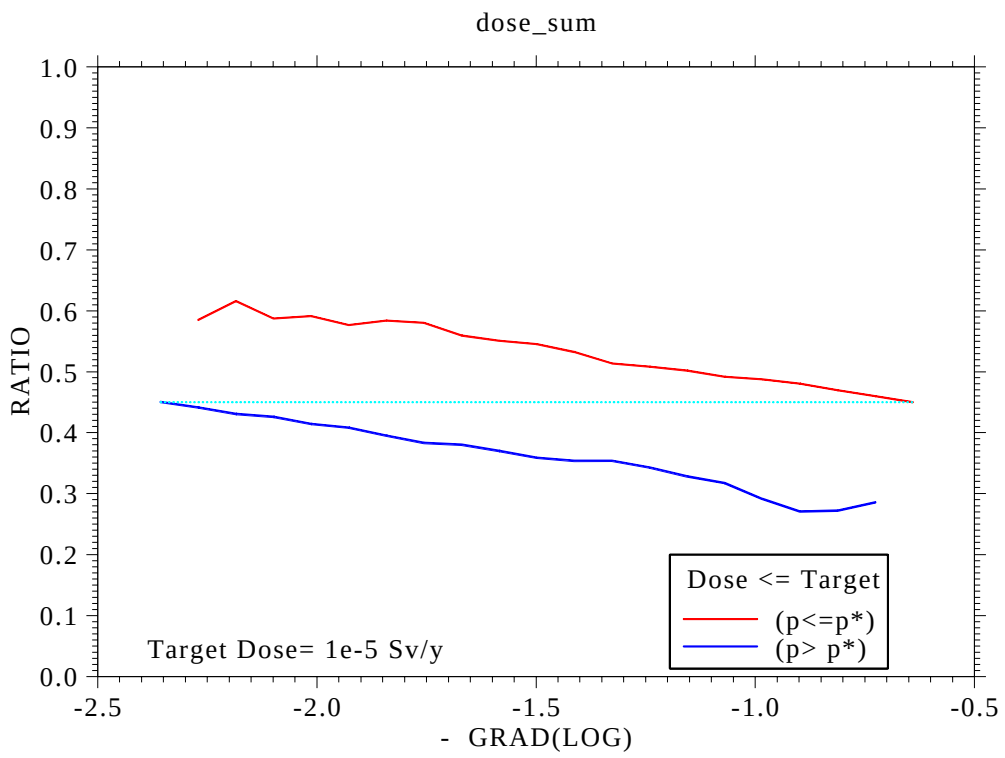


図 4.1.6-95 **グループ４地層処分の廃棄体劣化後透係数の感度分析結果**
（1GBq/ton**，緩衝材なし）**



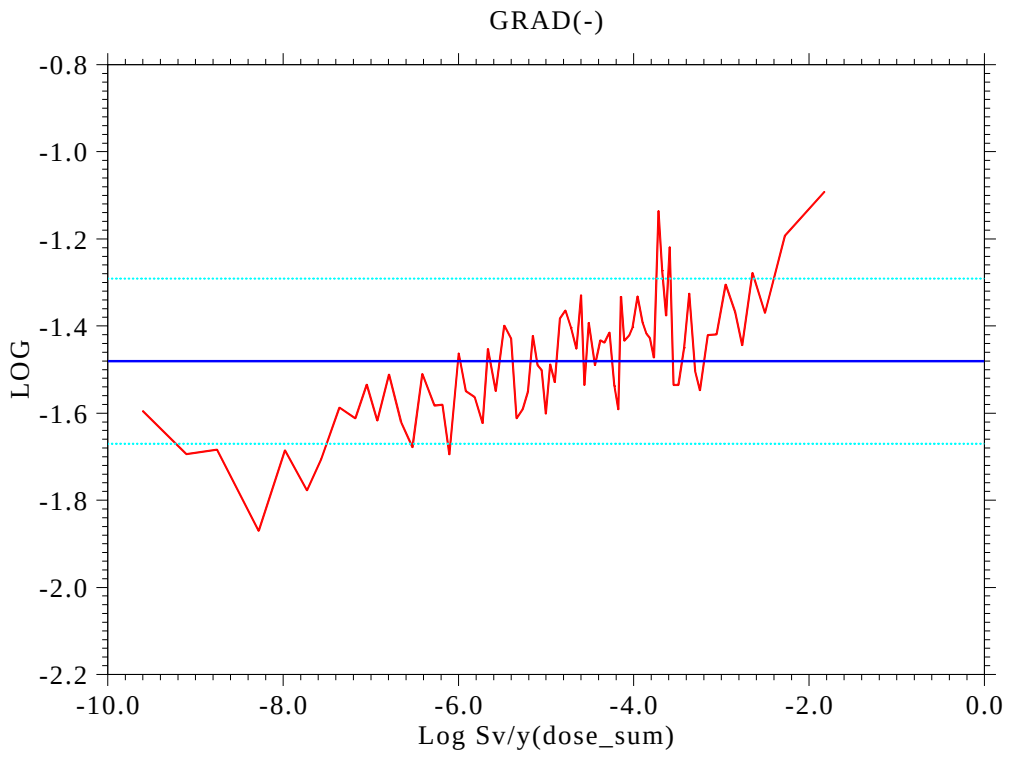


図 4.1.6-96　**グループ４地層処分の動水勾配の感度分析結果**
（1GBq/ton**，緩衝材なし）**

4.2 十分条件の抽出

4.1 で実施された、感度分析結果に基づき十分条件の網羅的抽出を行う。

十分条件を満たすパラメータの組み合わせは無限に存在し、これをリストまたは図として表すことは困難である。また、十分条件の抽出は、評価すべき処分システムの内容や目標とする線量によって実施すべきである。そのため、本研究では、感度分析のソフトウェアを改良し、目的に則した十分条件の抽出が可能となるよう試みた。

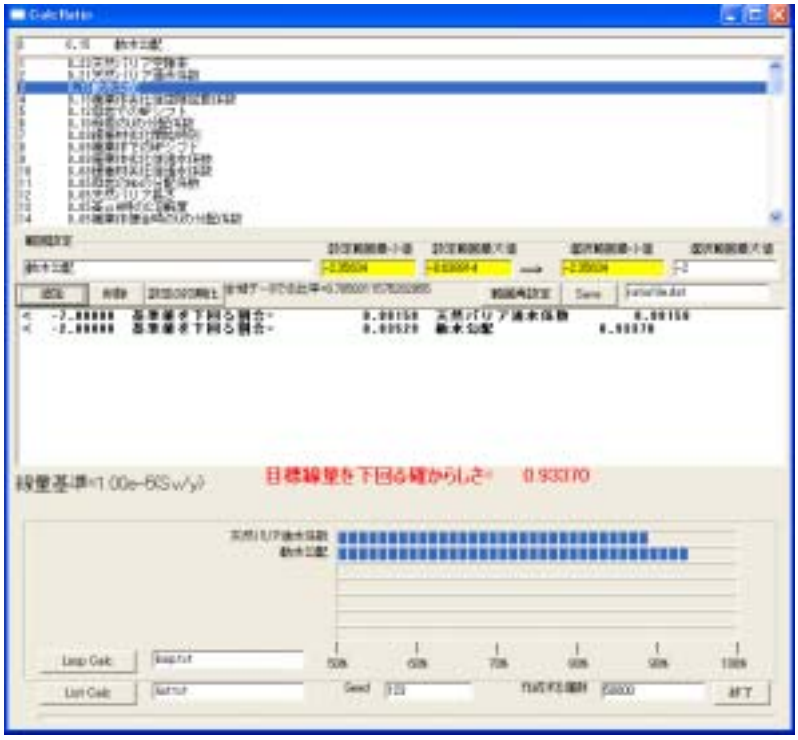
4.2.1 感度分析ソフトウェアの改良

ソフトウェアは、以下の機能を達成すべく機能追加を行った（図 4.2.1-1 参照）。

① 任意のパラメータについて、パラメータ値の範囲の制限が可能であること。
② パラメータ範囲の組み合わせを考慮した確からしさ「SI 値」が算出されること。

この２つの機能により、感度分析結果（のファイル）から、目標とする SI 値を達成するためのパラメータ範囲の組み合わせを抽出することが可能となった。ただし、パラメータ範囲の網羅的な抽出を行うと言う観点からは、この２つの機能を用いるだけでは、不十分である。そのため、図 4.2.1-2 に示す方法により、十分条件の網羅的な抽出を実施するものとした。②および③のステップを繰り返すことにより、パラメータ範囲の組み合わせは、増加し、それに伴い、目標とする線量を下回る組み合わせも増加する。④のリストから、条件に合致する組み合わせを抽出することにより、設計目標等の種々の目的に即したものが選択可能となるものとなる。

上記作業を実施するための、感度分析結果のファイルを添付ＣＤ－ＲＯＭに載せるものとする。



目標線量：１０μSv/y

目標線量：300μSv/y

図 4.2.1-1　**ＳＩ法による十分条件探索例**

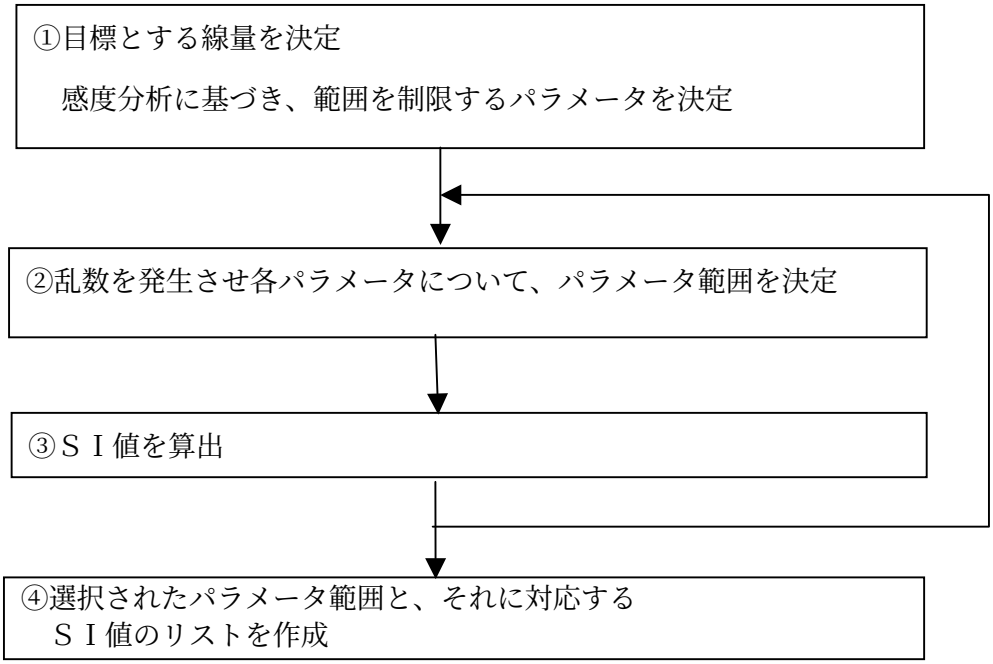


図 4.2.1-2　**網羅的なパラメータ範囲の選択とＳＩ値リストの作成フロー**

4.2.2 十分条件の抽出例

(1) 余裕深度処分における抽出例

表 4.2.2-1 にグループ 3 で 50GBq/ton 以上の廃棄体を余裕深度処分する場合の統計的解析の結果（予備解析を実施した結果を用いたことから、4.1.5 の結果と異なる）から、10μSv/y を下回る割合の変化（SI 値）で、大きな感度を有するパラメータをまとめる。

表 4.2.2-1　SI 法により抽出された大きな感度を有するパラメータ

パラメータ	上昇割合	低下割合
天然バリア空隙率	0.23	0.24
天然バリア透水係数	0.21	0.22
動水勾配	0.15	0.12
廃棄体劣化後空隙拡散係数	0.13	0.06
母岩での Np コロイド吸着指数	0.12	0.15
母岩の U の分配係数	0.1	0.12
緩衝材劣化開始時刻	0.09	0.06
廃棄体での Np コロイド吸着指数	0.09	0.08
廃棄体劣化後透水係数	0.08	0.08
緩衝材劣化後透水係数	0.08	0.05
母岩の Np の分配係数	0.05	0.03
天然バリア長さ	0.05	0.11
高pH 時の C 溶解度	0.05	0.01

この中から、上位４つのパラメータを選択し、これらを組み合せるごとにより、10μSv/y を下回る割合が 90%（または 95%）を超えるためのパラメータの範囲を策定するものとした。

上位３つのパラメータについては、特に大きな感度を有する。また、この３つ用いて導かれる母岩中の実地下水流速をパラメータとして評価を実施すること

が可能である。このことから、目標線量を下回る確からしさが、この３つのパラメータの範囲を組み合せることにより「確からしさが」どの様に変化するかを確認するものとした。また、地下水流速のとり得る範囲と第 4 位のパラメータである廃棄体劣化後の空隙拡散係数の取りうる範囲によって達成できる確からしさの範囲を調べるものとした。

(a) パラメータ範囲の抽出方法

パラメータ範囲の抽出は以下の手法により実施するものとした。

4 つのパラメータからの範囲の抽出（段階的抽出）

① ４つのパラメータが独立で、10μSv/y を下回る割合が 90%以上の確からしさをもつ各パラメータの範囲。

② 上位のパラメータに現実的な範囲を想定し、他のパラメータとの組み合わせにより、90%以上の確からしさを達成可能な各パラメータの範囲。

実地下水流速を律する３つのパラメータの組み合わせ

① SI 法の解析パッケージを用い、３つのパラメータについて 50000 ケースのパラメータ範囲の組み合わせとその確からしさを出力する。

② それら組み合わせの中から、目標線量を下回るための確からしさが 90 または 95%以上のケースを抽出し、パラメータ範囲の組み合わせを求める。

実地下水流速と廃棄体劣化後拡散係数の組み合わせ

① SI 法の解析パッケージを用い、実地下水流速および廃棄体劣化後空隙拡散係数について 50000 ケースのパラメータ範囲の組み合わせとその確からしさを出力する。

② それら組み合わせの中から、目標線量を下回るための確からしさが 90 または 95%以上のケースを抽出し、パラメータ範囲の組み合わせを求める。

(b) パラメータ範囲の段階的抽出

SI 法により抽出された上位４つのパラメータに関して、パラメータ範囲の変動による目標線量を下回るための確からしさの変化を図 4.2.2-1 に示す。 また、上位のパラメータを固定する場合の確からしさの変化を図 4.2.2-2～図 4.2.2-4 に示す。全域的な解析結果では、約 70%が 10μSv/y を下回るケースである。各パラメータ単独で範囲を絞り、目標とする線量を下回る確からしさ 90%以上を達成するためには、母岩の空隙率または母岩の透水係数を確からしさの上昇する側の狭いパラメータ範囲に限定する必要がある。動水勾配または廃棄体劣化後空隙拡散係数について、それぞれパラメータ範囲を絞り込んでも目標とする確からしさ 90%～95%以上のレベルには到達しない。どの４つパラメータの範囲を単独で絞り込んだとしても 95%以上の確からしさレベルには、達しなかった。

母岩の空隙率を 0.05（長谷川他、2001）以上に固定したケースでは、他の３つのパラメータ範囲を限定することにより、90%～95%以上の確からしさを達成できるものの、95%以上の確からしさレベルには、到達できない。

母岩の空隙率および透水係数を現実的な範囲に限定（透水係数 1×10^{-7} m/s、平成 12 年、原子力安全委員会、第３次中間報告での施設近傍での透水係数を想定）する場合には、動水勾配および廃棄体劣化後空隙拡散係数が全域的な変動範囲にあったとしても、90%以上の確からしさレベルは達成可能であった。表 4.2.2-2 参照）

95%以上の確からしさレベルを達成するためのパラメータ範囲は、より現実的なものとなっている。（表 4.2.2-3 参照）

表 4.2.2-2　90%以上の確からしさを達成するためのパラメータ範囲

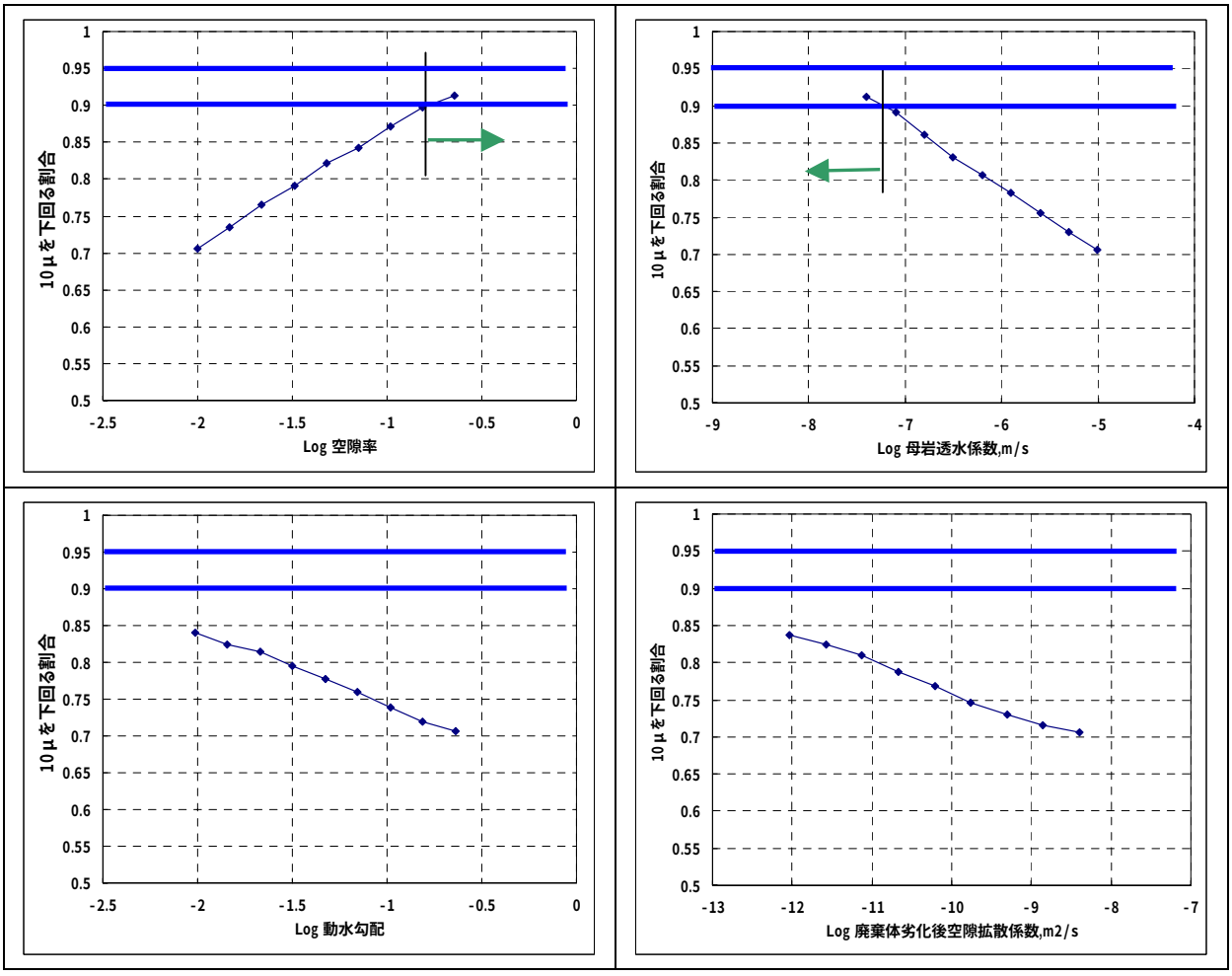
パラメータ		パラメータ独立		①範囲限定		
①天然バリア空隙率	-	>0.16	-	>0.050		
②天然バリア透水係数	m/s	-	$<6.3 \times 10^{-8}$	$<3.2 \times 10^{-7}$		-
③動水勾配	-	-	-	-	<0.013	-
④廃棄体劣化後空隙拡散係数	m2/s	-	-	-		$<1.6 \times 10^{-12}$

ハッチング部分は、固定したパラメータ

表 4.2.2-3　95%以上の確からしさを達成するためのパラメータ範囲

パラメータ		パラメータ独立	①範囲限定	①②範囲限定	
①天然バリア空隙率	-	-	>0.050	>0.050	
②天然バリア透水係数	m/s	-	$<3 \times 10^{-8}$	$<1.0 \times 10^{-7}$	
③動水勾配	-	-	-	<0.032	-
④廃棄体劣化後空隙拡散係数	m^2/s	-	-	-	$<1.0 \times 10^{-11}$

ハッチング部分は、固定したパラメータ



目標とした 10μSv/y を下回る割合（90%）

目標を達成するためのパラメータの範囲

図 4.2.2-1　SI 法により抽出された感度の大きなパラメータ単独で目標を達成するためのパラメータ範囲

堆積岩地層における空隙率　0.05 以上とする場合

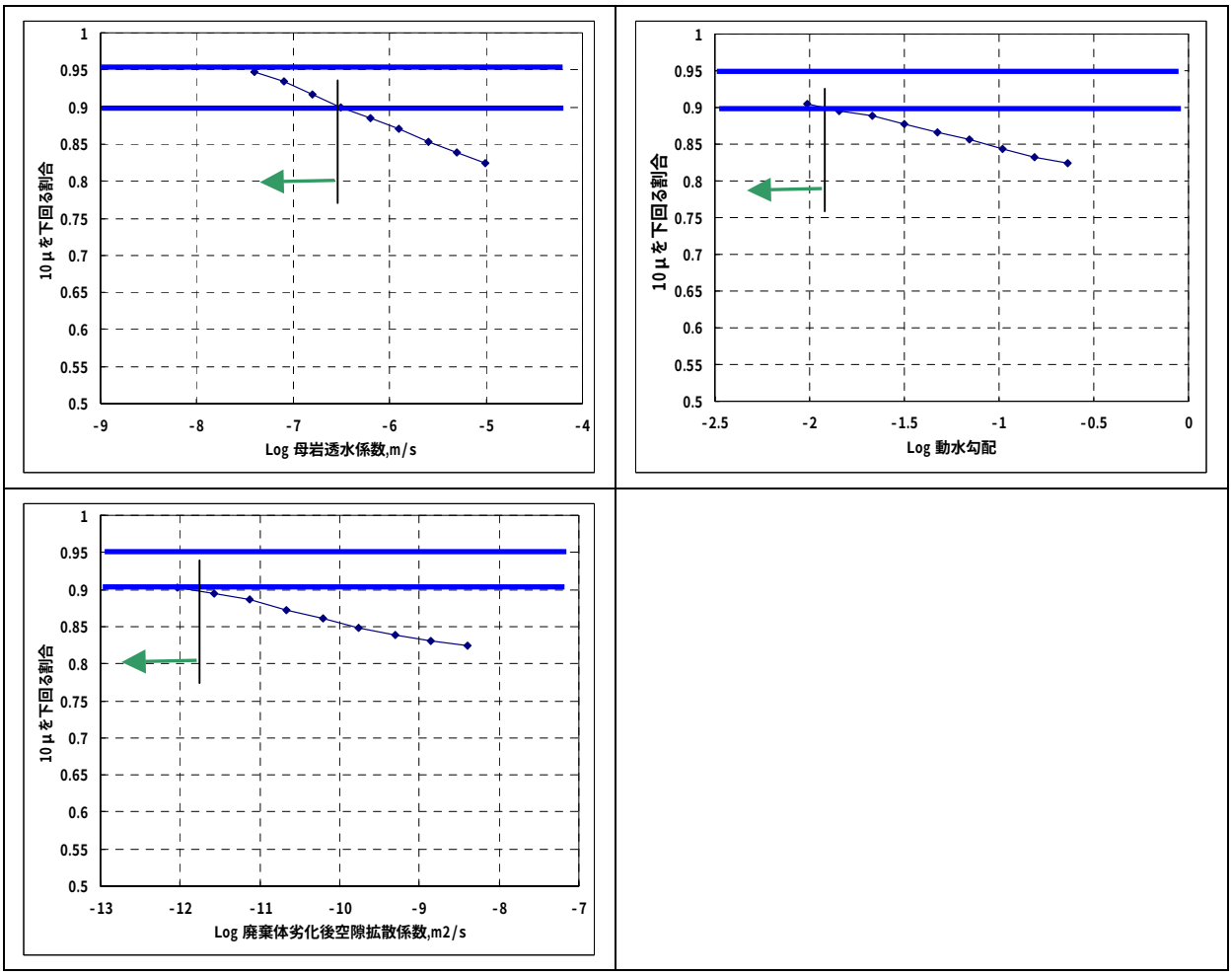


図 4.2.2-2　**空隙率を** 0.05 **以上とする場合に、他のパラメータのとり得る範囲の抽出**

堆積岩地層における空隙率　0.05 以上

母岩の透水係数を 1x10^{-7}m/s 以下とする場合

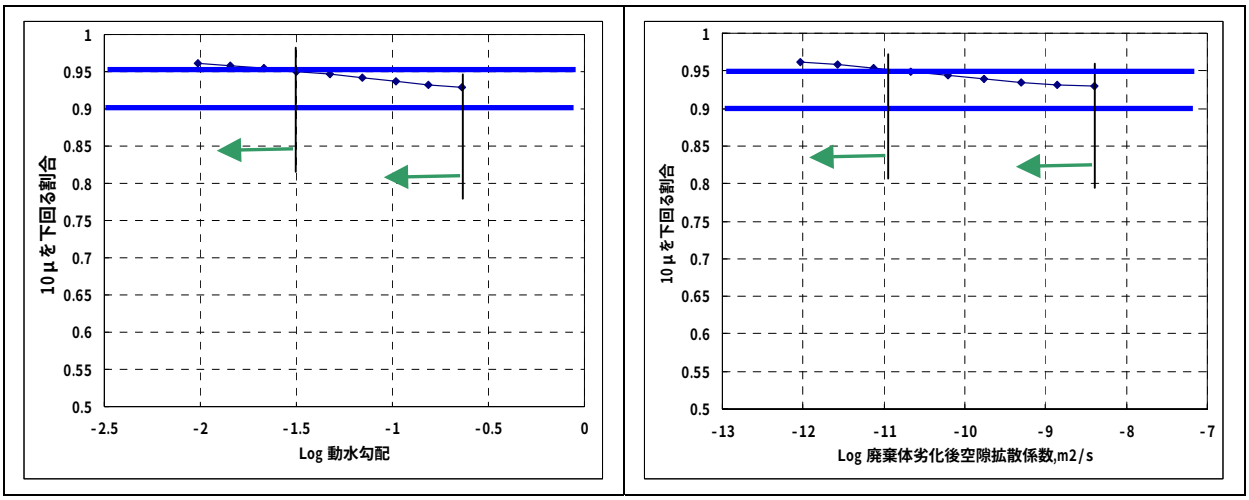


図 4.2.2-3　**上位２つのパラメータ範囲を固定する場合の他のパラメータのとり得る範囲**

堆積岩地層における空隙率　0.05 以上

母岩の透水係数を 1x10^{-7}m/s 以下

母岩の動水勾配を 0.01 以下とする場合

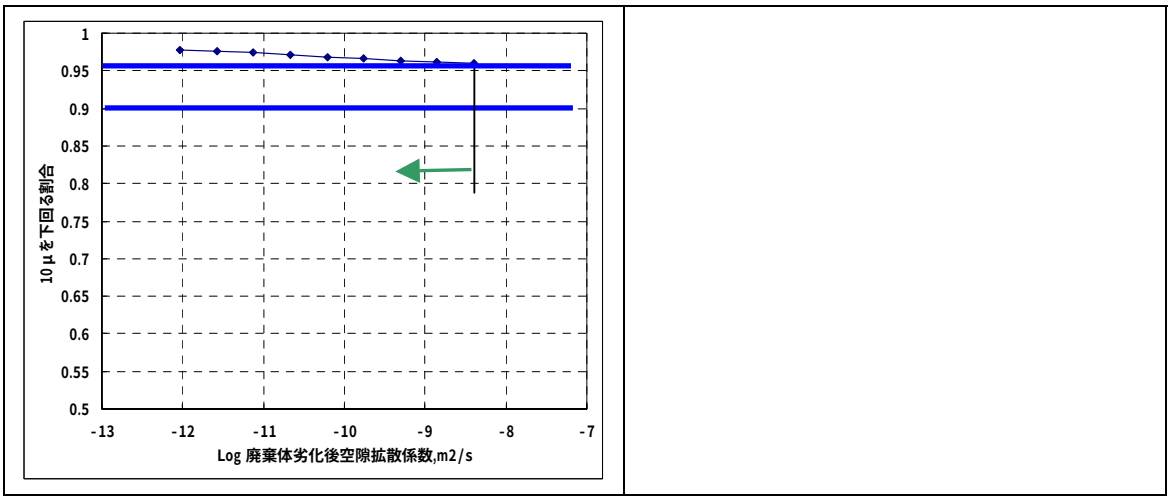


図 4.2.2-4　**上位３つのパラメータ範囲を固定する場合のためのパラメータのとり得る範囲**

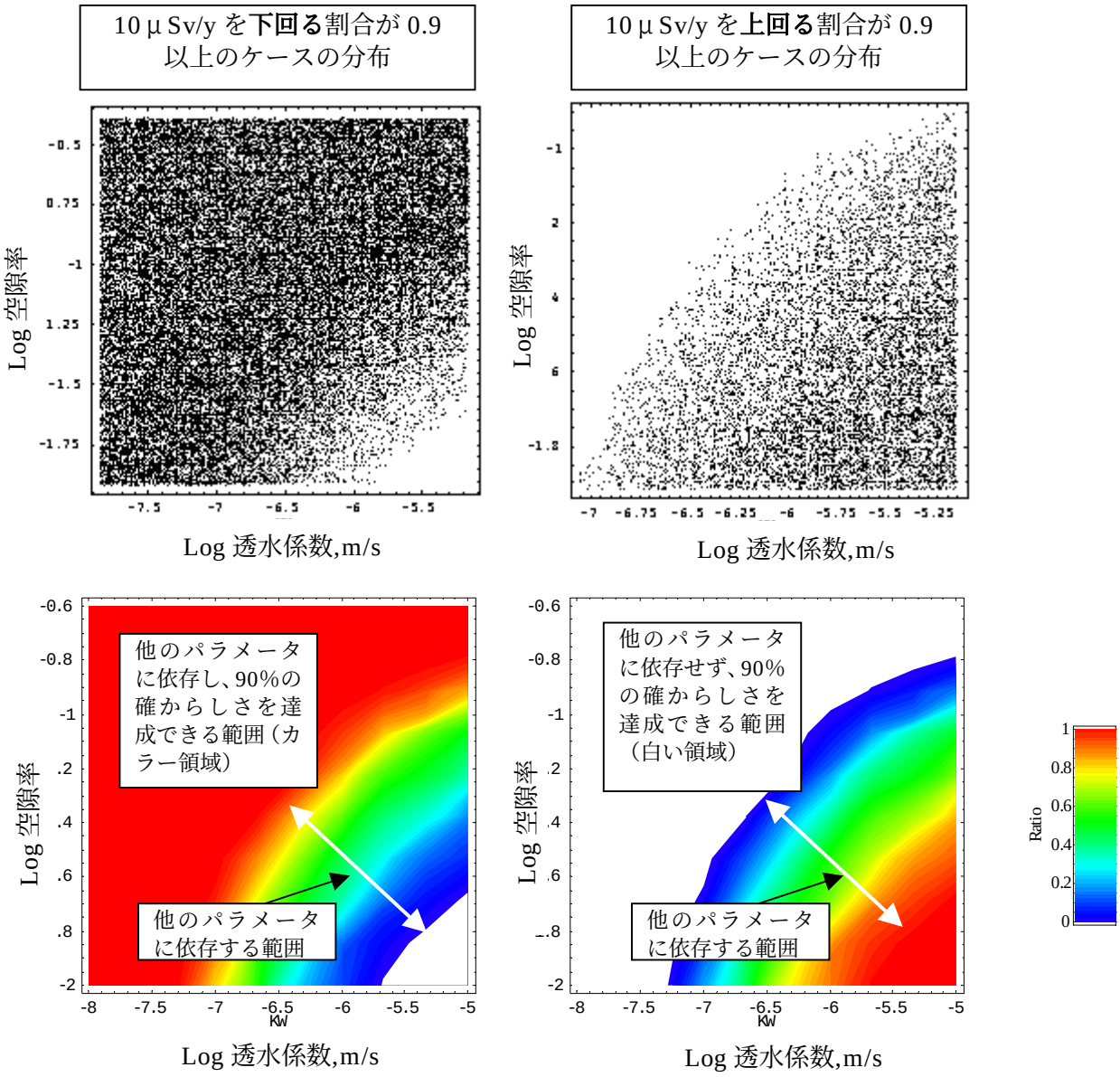
(c) 地下水流速に関するパラメータの組み合わせ

SI 法により抽出されたパラメータの上位３つは、母岩中での地下水流速を律するパラメータである。また、4.2.2(2)項の例で示したように、上位２つのパラメータを制限することにより、10μSv/y を下回るためのある程度の確からしさレベル（90%以上）には到達する。ここでは 90%以上の確からしさを達成するために、これら３つのパラメータの範囲の組み合わせを考えるものとした。

図 4.2.2-5 に 90%以上の確からしさを達成するための、空隙率および母岩透水係数のパラメータの範囲を示す。図は、３つのパラメータの範囲を 50000 ケースランダムに生成し、SI 法により求めた「確からしさ」が 90%以上となるパラメータ範囲の組み合わせの分布を示したものである。

母岩空隙率と母岩透水係数の範囲の組み合わせによっては、他のパラメータの値に依存せず、90%以上の確からしさレベルを達成可能となる。しかしながら、他のパラメータがより現実的な範囲をとり得ることにより、母岩空隙率と母岩透水係数の範囲の制限は、大幅に緩やかになることが明瞭に確認できた。

図 4.2.2-6 に 95%および 90%以上の確からしさレベルにおいて、母岩空隙率と母岩透水係数および動水勾配の３つのパラメータ範囲を組み合せた場合の、各確からしさレベルに到達可能な、パラメータの範囲を示す。図の赤色（比率１）の部分が、無条件で 10μSv/y を下回る確からしさレベルが達成される範囲で、青色に近づくに従い、この３つのパラメータ以外の範囲を制限する必要性があることを示す。



変動を考慮したパラメータは、母岩の空隙率、透水係数、動水勾配の 3 つである。

カラーコンター図は、表示されている各軸のレンジを 10 等分し（2 次元で 100 メッシュ）、50000 ケースの SI 値の出力結果から、各メッシュ内で SI 値（ここでは 90%）を下回る（または上回る）割合のケース数を各メッシュ内の全ケース数で除した値を表示している。

図 4.2.2-5　90%以上の確からしさで空隙率と透水係数の取りうる範囲の比較

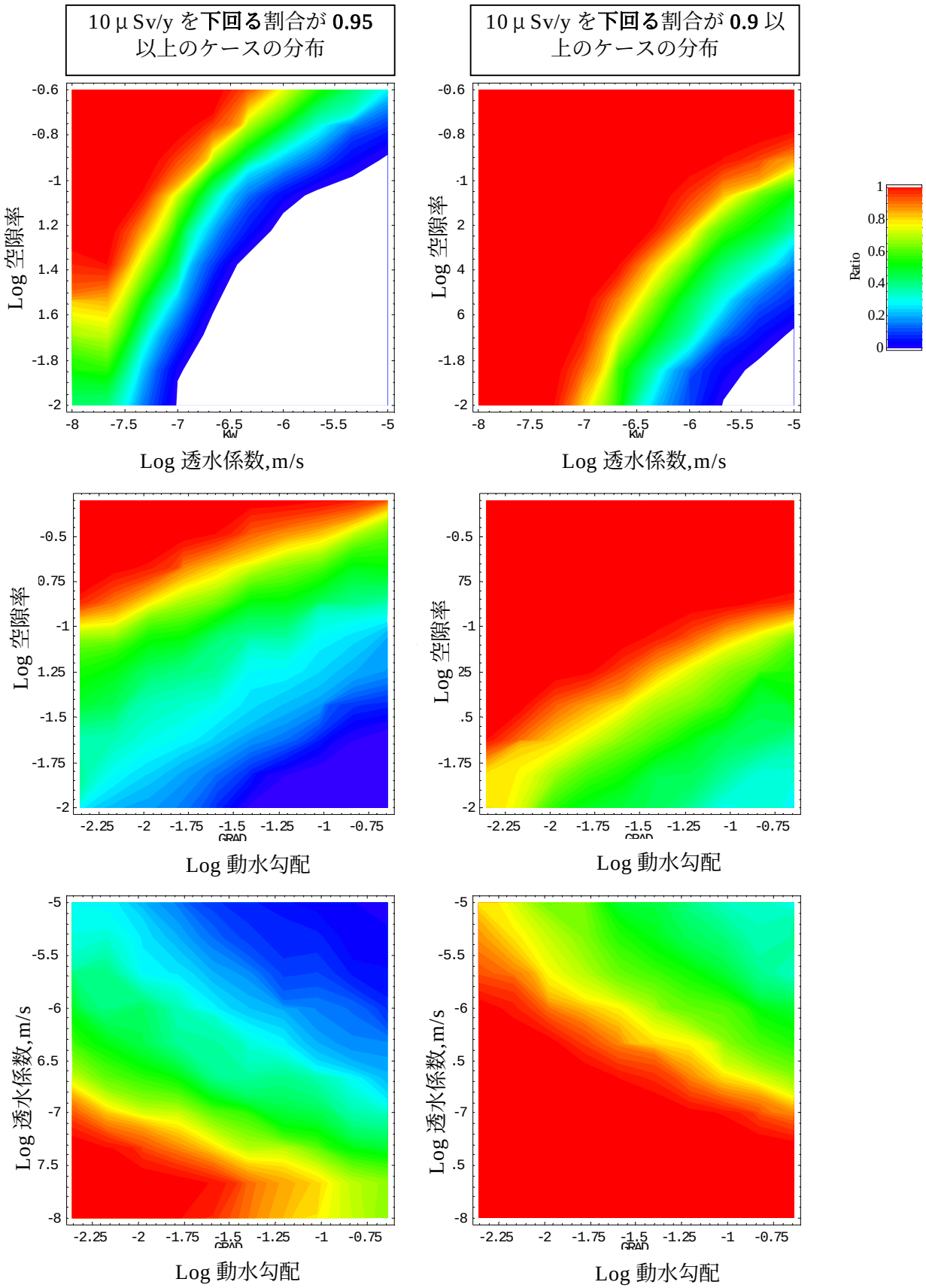
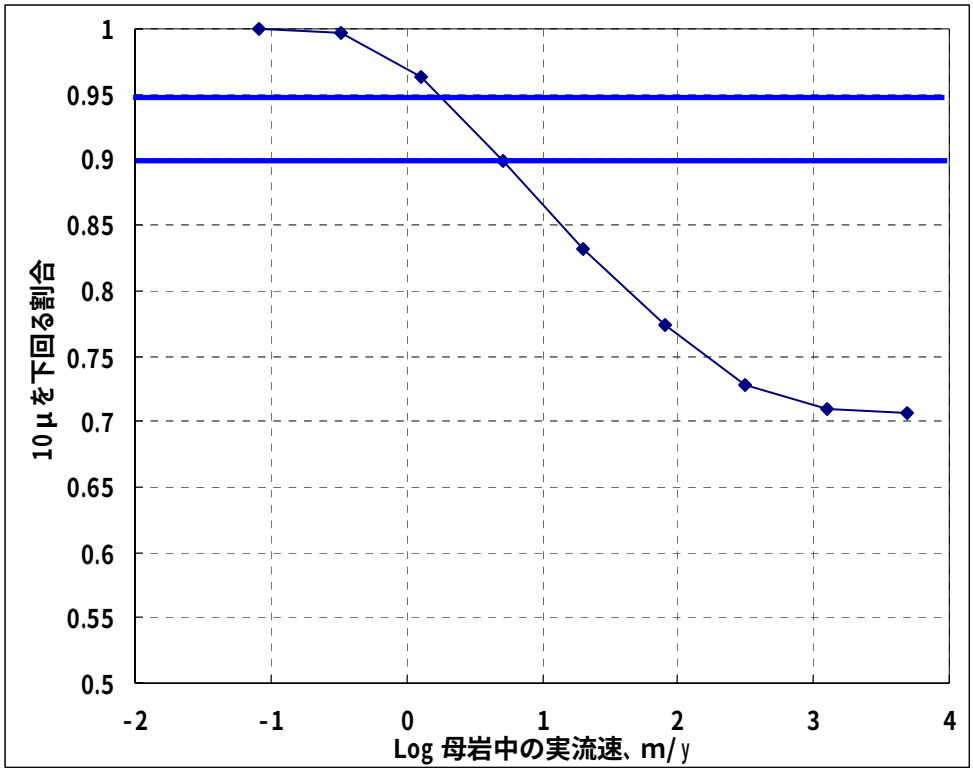


図 4.2.2-6　上位３パラメータの組み合わせによる確からしさを達成できる範囲

(d) 実流速を用いる場合のパラメータ範囲

既に述べたように、SI 法により抽出された上位３つのパラメータは、これを用いて「母岩中の実地下水流速」に置き換えることが可能である。

図 4.2.2-7 に３つのパラメータを用いて導出した地下水流速をパラメータとする場合の、確からしさレベルの変化を示す。10μSv/y を下回るケースの割合（SI 値）は、ほぼ、上位３つのパラメータにより支配されることが判る。これらのパラメータに、4 番目に感度の大きな「廃棄体劣化後空隙拡散係数」を組み合せた結果においても、拡散係数の寄与による 10μSv/y を下回るような流速の変動幅は、小さいという結果が得られている。



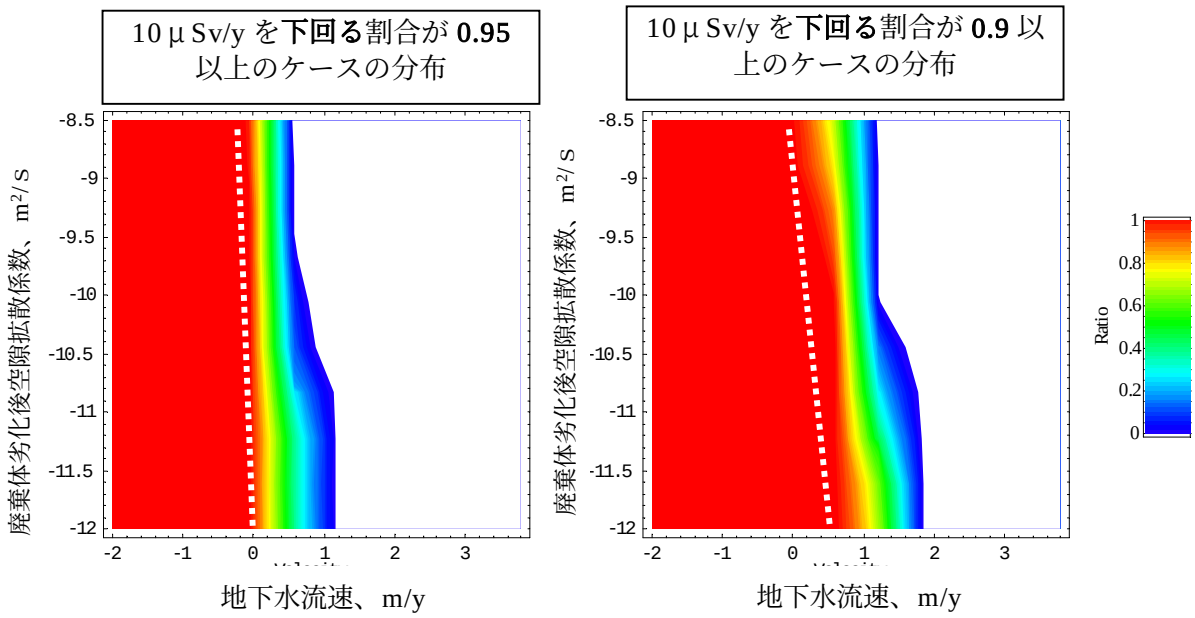
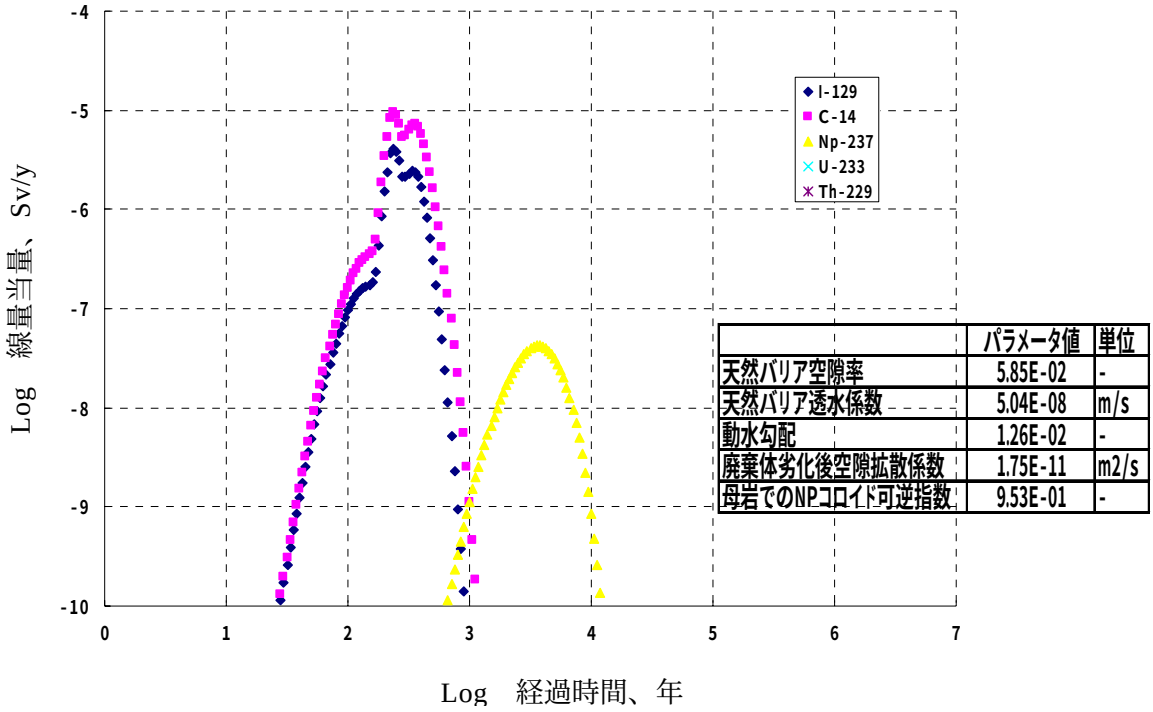


図 4.2.2-7　**実流速をパラメータとする場合のパラメータ範囲**

(e) 決定論的解析による確認

95%以上の確からしさ（SI 値）をもつ十分条件の組み合わせから２例を無作為に抽出し、決定論的な解析を実施した。(3)で示したパラメータ以外のパラメータについては、保守的な値と考えられる最大値、または、最小値に値を固定し、解析を実施した（図 4.2.1-4 参照）。いずれのケースも目標とした線量（10 μSv/y）を下回る結果であった。



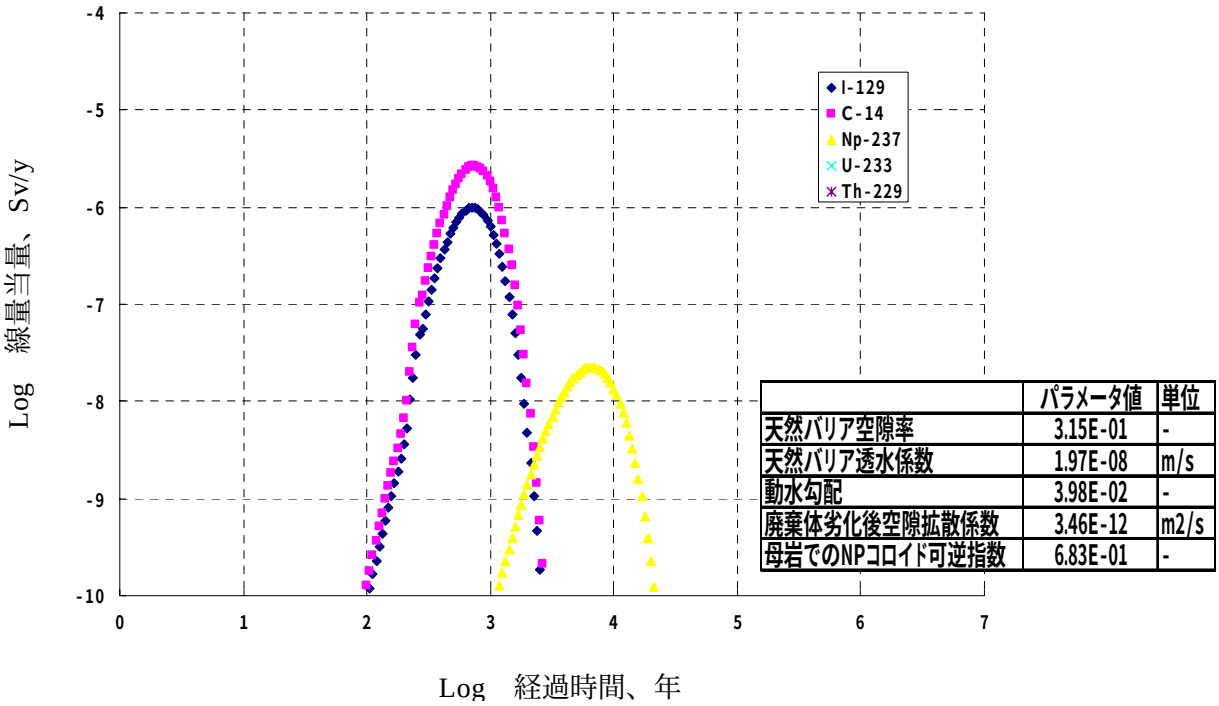


図 4.2.2-8　基準を下回るケースの例

(2) 地層処分における抽出例

地層処分（グループ１廃棄体）に対して、十分条件の抽出を実施する。ここでの目的は、十分条件の値の抽出のみではなく、抽出手法の検討にもあることから、(1)での検討とは、別の手法による抽出を試みた。ここで用いた十分条件の抽出にいたるステップを以下にまとめる。

① 全域的感度解析結果から大きな感度を持つパラメータを抽出する。
② 大きな感度有するパラメータに関して、具体的に、限定しうるパラメータ範囲を設定し、ＳＩ法により、十分性の確からしさを求める。
③ ②で想定したパラメータに関して、その値を固定（範囲の限定ではなく、固定することに注意）し、２次解析を実施する。
④ ②および③を繰り返し、十分性の確からしさを確認する。
⑤ 十分に大きな十分性の確からしさが得られた段階で、決定論解析を実施する。

(a) 核種放出率に大きな感度を有するパラメータの同定

4.1.6 章における感度分析結果から抽出された被ばく線量結果に大きな感度を有するパラメータ、および、それらのパラメータの範囲を絞る場合の具体的な変動範囲を表 4.2.2-4 まとめる。また、10μSv/y を超えるケースについて以下の手法によるχ2 乗検定を実施するとともに、これらケースについてパラメータ分布の歪度、尖度について統計的な処理を実施し、抽出されたパラメータについて、有意性の確認を行うものとする。

$$S_k = \frac{(\overline{\mu_P} - \overline{\mu_A})}{\sqrt{(\frac{1}{N_p} - \frac{1}{N_A})}\sigma_A}$$

$\overline{\mu_P}$ ：目標を超えるケースのパラメータ毎の平均値

$\overline{\mu_A}$ ：全ケースのパラメータ毎の平均値

N_p ：目標を超えるケース数

N_A　　：全ケース数

σ_A　　：全ケースのパラメータ毎の標準偏差

χ2 乗検定において、有意な差がない場合でも、歪度、尖度が全ケースについての歪度、尖度と大きく異なる場合には、高い線量を与える可能性のあるパラメータとして検討する必要があるものと考えられる。図 4.2.2-9 にχ2 乗検定の結果を、図 4.2.2-10、図 4.2.2-11 に歪度および尖度の結果を示す。グループ１の廃棄体に対する、これらの結果からは、SI 法による感度解析と同様なパラメータのい重要性が示唆されており、特異な感度を持つパラメータ（平均値付近で線量が高くなるようなパラメータ）は、見受けられなかった。

SI 法により抽出されたパラメータの中で単独で、確からしさが 90%以上を達成できるものは、

- 天然バリア透水係数
- 緩衝材劣化前空隙拡散係数
- 核種浸出率

の３つのパラメータである（図 4.2.2-12 参照）。また、目標を下回るケースの割合が９５％を越えるためには、母岩の透水係数が $10^{-8.4}$m/s 以下の範囲か、もしくは、複数のパラメータについて、範囲を制限する必要が生じる。

仮定として、処分場が建設される地域の地質環境調査が進み、核種放出率に感度の大きなパラメータの中で、地質環境に関与するパラメータの値が表 4.2.2-4 に示す範囲に収まるものとする。この３つのパラメータが、以下の範囲に制限される場合の SI 値は、97.3%と十分大きな値である。

天然バリア透水係数　10^{-8}m/s 以下

天然バリア空隙率　0.2 以上

動水勾配　0.01 以下

表 4.2.2-4 **感度分析の対象とするパラメータおよび限定する変動幅**

地層処分：グループ１廃棄体

地質環境と対象とする範囲の絞込み

抽出パラメータ	変動幅を限定する場合の範囲
天然バリア透水係数	10^{-8}m/s 以下
緩衝材健全時空隙拡散係数	-
核種浸出率	-
廃棄体劣化開始時刻	-
天然バリア空隙率	0.2（堆積岩の代表値／第２次取りまとめ）
動水勾配	0.01（平野の平均的な値／第２次取りまとめ）
廃棄体劣化後空隙拡散係数	-

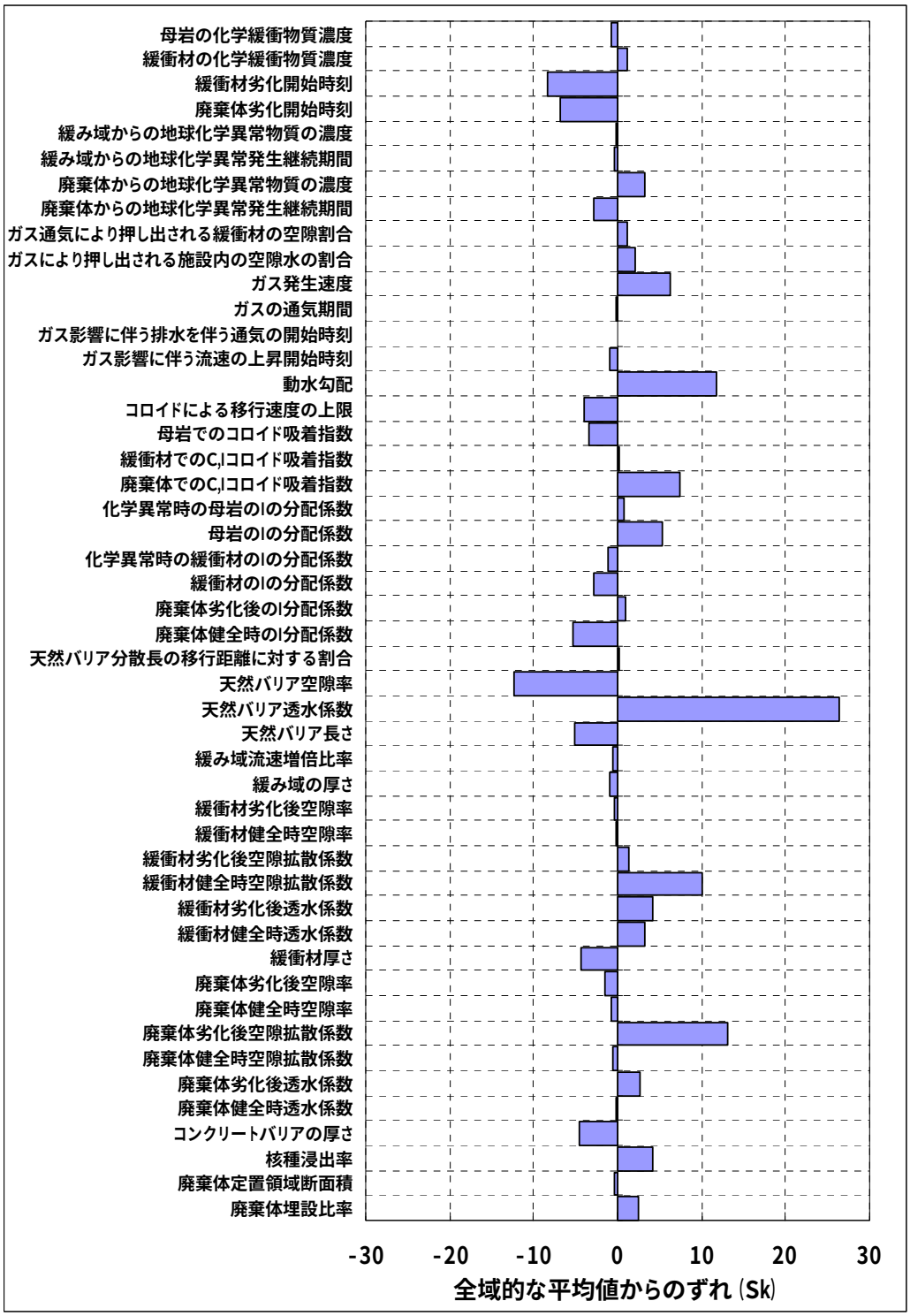


図 4.2.2-9　10μSv/y **を超えるケースのパラメータ毎の平均値の全ケース平均値からのずれ（全域的解析）**

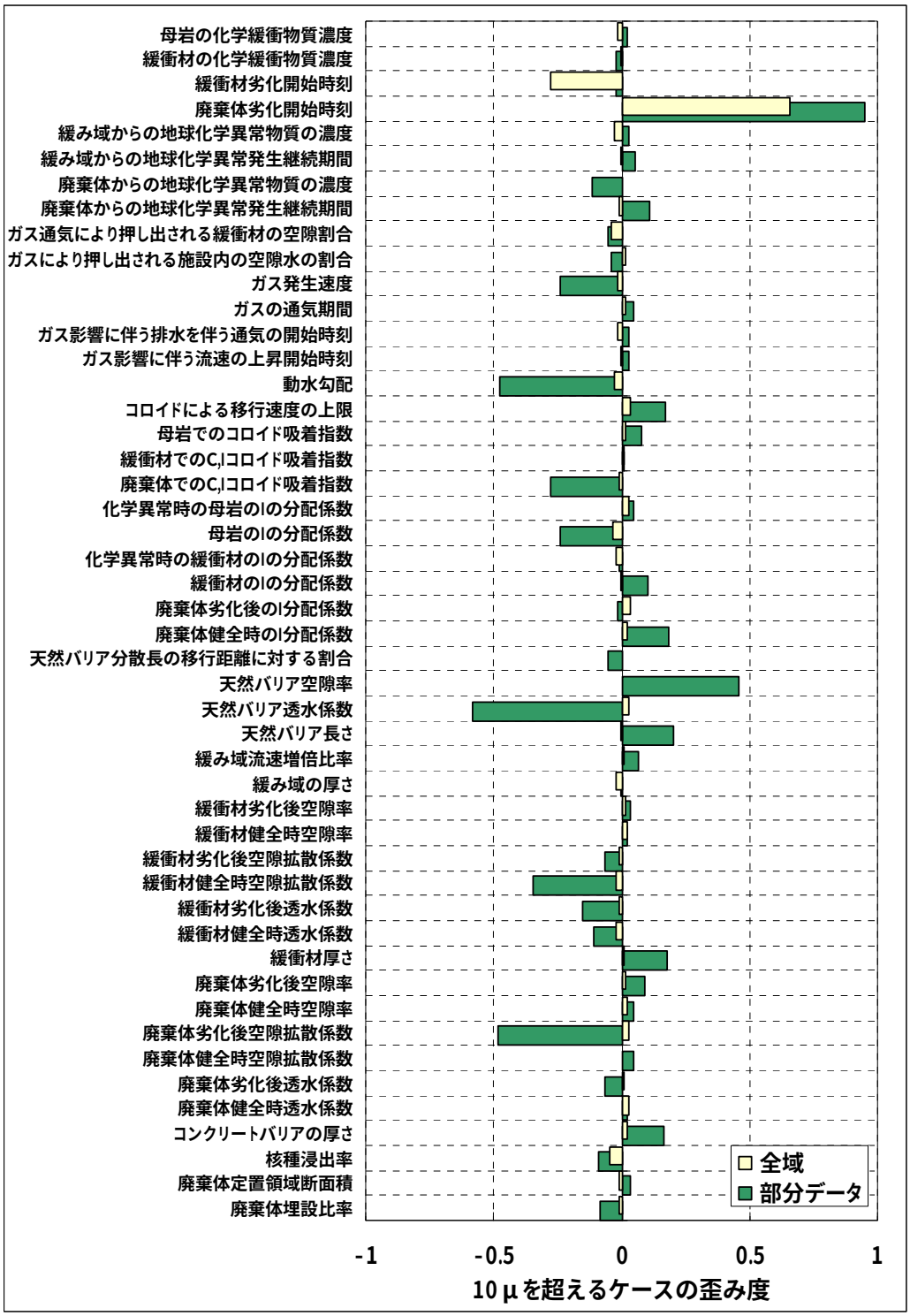


図 4.2.2-10　10μSv/y **を超えるケースの分布の歪み度**

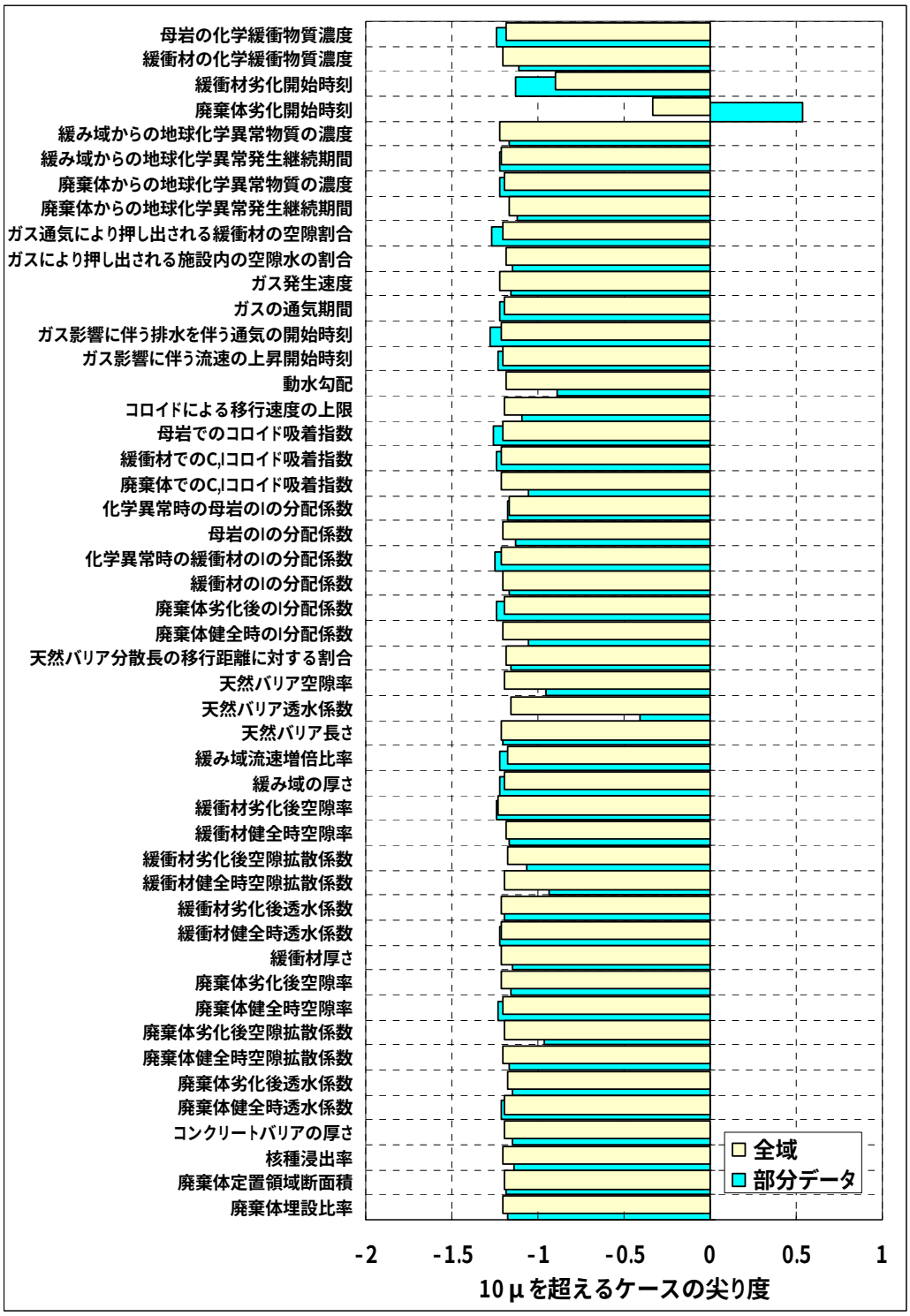


図 4.2.2-11　10μSv/y **を超えるケースのパラメータの分布の尖り度**

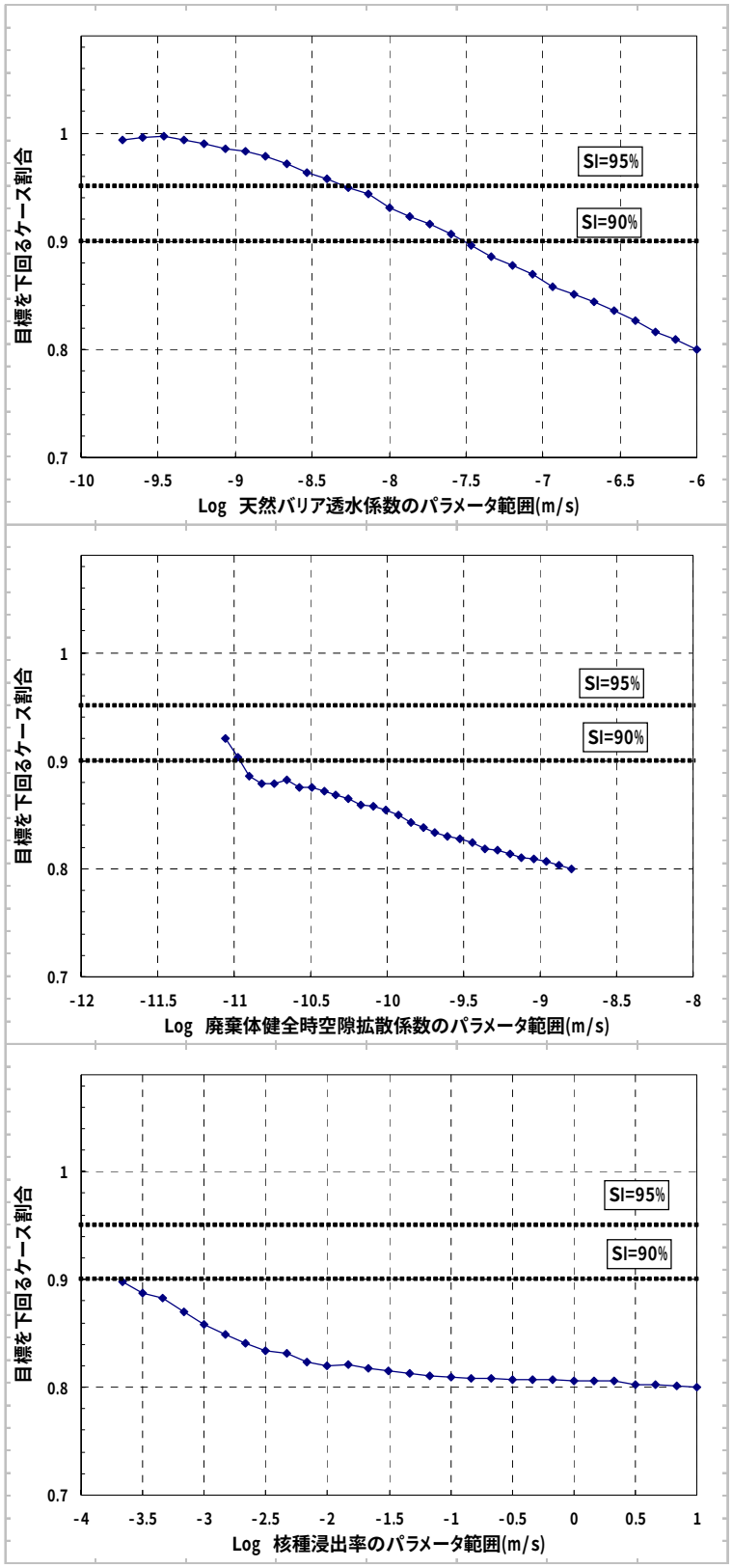


図 4.2.2-12 **グループ１廃棄体地層処分における感度分析結果**

(b) ２次解析

天然バリア透水係数、空隙率および動水勾配を以下の値に固定し 3,000 ケースの２次解析を行った。

天然バリア透水係数： $1x10^{-8}$m/s

天然バリア空隙率： 0.2

動水勾配： 0.01

この条件設定における統計的解析結果では、10μSv/y を下回る割合は、99.7%であった（図 4.2.2-13 参照；3,000 ケースの解析で 10 ケースのみ 10μSv/y を越えた）。この割合は、全域的解析に対する SI 法による予測結果（97.3%）を超える値となっている。SI 法では、上記パラメータの値がサンプリング範囲の上限または下限を用いたものであることから、パラメータを固定し実施した 2 次解析よりも 10μSv/y を超えるケース数の割合は、通常少なくなるはずである（すなわち、注目するパラメータを固定する場合に比較し、SI 値は上昇する）。しかしながら、2 次解析の基準を下回るケースの割合はこれを上回る結果となった。SI 法により複数のパラメータを重ねあわせることにより、ある確からしさを持ち予測されるパラメータの範囲（十分条件）は、保守的な範囲であるものと予想される。これが、すべてのパラメータについて同様であるかどうかは今後検討する必要があるが、仮に、この傾向が一般的であるとするなら、全域的解析結果に SI 法を適用することにより抽出されるパラメータの範囲の上限または下限値を、固定値のパラメータの候補値として用いることができる可能性がある。

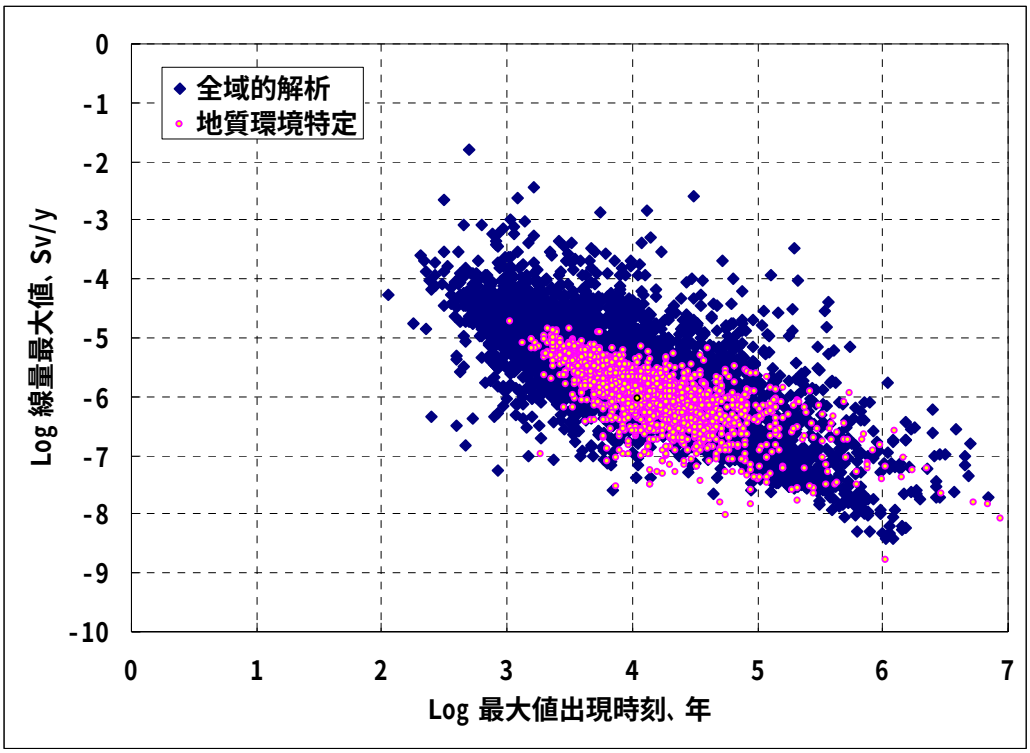


図 4.2.2-13 **グループ１地層処分（緩衝材を用いるケース）における２次解析結果**

２次解析では、以下のパラメータが核種放出率に対して感度の大きなパラメータとして抽出される。パラメータの抽出は、10μSv/y を超えるデータ数が１０ケースと少ないことから（a）で示した、χ2 乗検定を用いてパラメータの抽出を行った。

- コロイド移行速度の上限
- 母岩でのコロイド吸着指数
- 天然バリアの長さ（移行距離）

これらが、３σを超えて、全ケースの平均値からズレの生じているパラメータであり、これに続いて、

- 緩衝材劣化後透水係数
- 廃棄体健全時空隙拡散係数
- 廃棄体劣化後透水係数
- 核種浸出率

が２σを超えて、全ケースのパラメータの平均値よりずれが生じている。

10μSv/y を超えるケースは、これらのパラメータが同時に偏った値をとることにより、生じているものと予想される。３σを超える３つのパラメータは、何れも「核種の移行時間」に直接関与するパラメータであり、母岩の透水係数や動水勾配等の地下水流速を律するパラメータが現実的な範囲に固定された条件においても、なお、性能評価上重要となっている。

２～３σ内のずれを生じているパラメータは、主に、人工バリアからの核種の放出率を律するパラメータである。特筆すべきは、廃棄体健全時の空隙拡散係数が、小さい方が 10μSv/y を超えるケースに多いことにある。これは、初期に人工バリア内部に核種が閉じ込められ、廃棄体の劣化および緩衝材の劣化に伴って、速やかに人工バリア外部に放出されるケースであると予想される。したがって、「保守性を考慮する」ためには、経時変化するパラメータに関しては、核種の蓄積と放出に対する可能性を評価することが重要となる。特に、核種浸出率に関するパラメータ範囲を制限する場合には、核種浸出期間中、人工バリアによる核種閉じ込め性に優れ、核種の浸出が終了した後に、廃棄体や緩衝材が劣化するケースでは、「保守値」の設定条件について検討する必要があるものと考えられる。

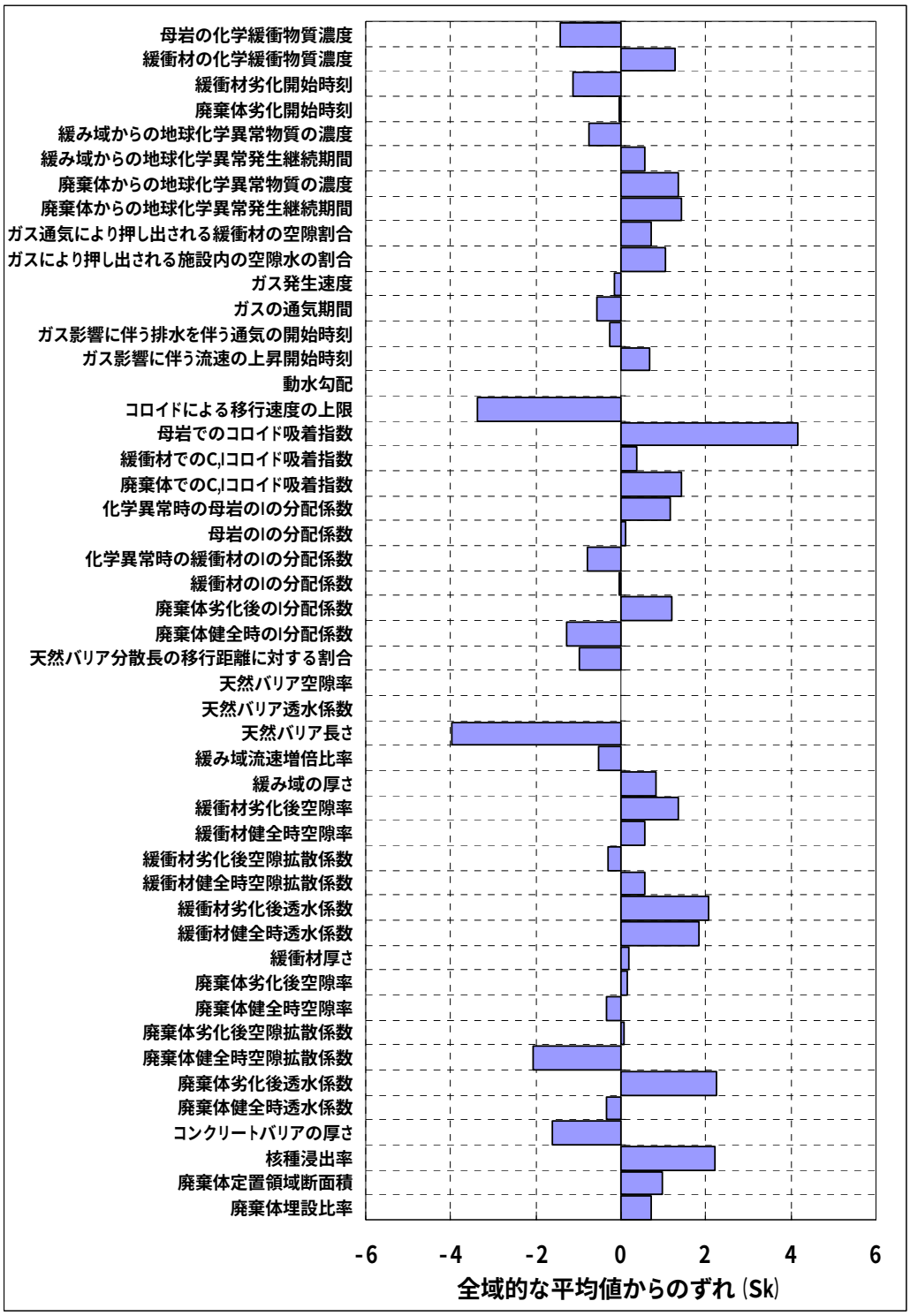


図 4.2.2-14　2 **次解析において感度の大きなパラメータ**

(c) 決定論解析

(b)で固定されたパラメータ値で算出された SI 値は 99.7%と十分に大きな値である。そこで、天然バリア透水係数と天然バリア空隙率および動水勾配を固定し、決定論解析を実施するものとした。この３つ以外のパラメータについては、「保守側」と考えられる値の最大値を設定し、解析を実施した。この３つのパラメータの固定のみで、見込まれる線量は、8×10^{-5}Sv/y であり（図 4.2.2-15 参照、保守値の値）、目標とする線量である 10μSv/y を超える結果となった。そこで、（ｂ）での感度解析の結果、核種放出率に影響の大きなパラメータとして抽出された以下のパラメータについて検討を加えた。

- コロイド移行速度の上限
- 母岩でのコロイド吸着指数
- 天然バリアの長さ（移行距離）

グループ１の廃棄体では、天然バリアにおけるヨウ素の分配係数の保守値は０である。そのため、母岩でのコロイド吸着指数はコロイド移行速度の上限に制限されることになる。そのため、天然バリアの長さおよびコロイド移行速度の上限について、値を変動させて決定論解析を実施した。

はじめに、核種移行距離を 50～300mまで変化させ決定論解析を行った。結果を図 4.2.2-15 に示す。移行距離を 300mまで想定可能であれば、線量は目標とする 10μSv/y のオーダーまで低下する。

次に、核種移行距離を 100mに固定（第 2 次取りまとめのレファレンスケース）し、コロイド移行速度の上限を $10^{0.5}$（地下水流速の約 3.2 倍）、$10^{0.2}$（地下水流速の約 1.6 倍）とする場合の解析結果を図 4.2.2-16 に示す。

コロイド移行速度の上限が３倍を下回るあたりから、線量の最大値は目標とした 10μSv/y を下回る結果となる。

したがって、グループ１における十分条件としては、

- 母岩透水係数　$1x10^{-8}$m/s
- 母岩空隙率　0.2
- 動水勾配　0.01
- 核種移行距離　100m
- コロイド移行速度の条件　1.6 倍

が得られた。

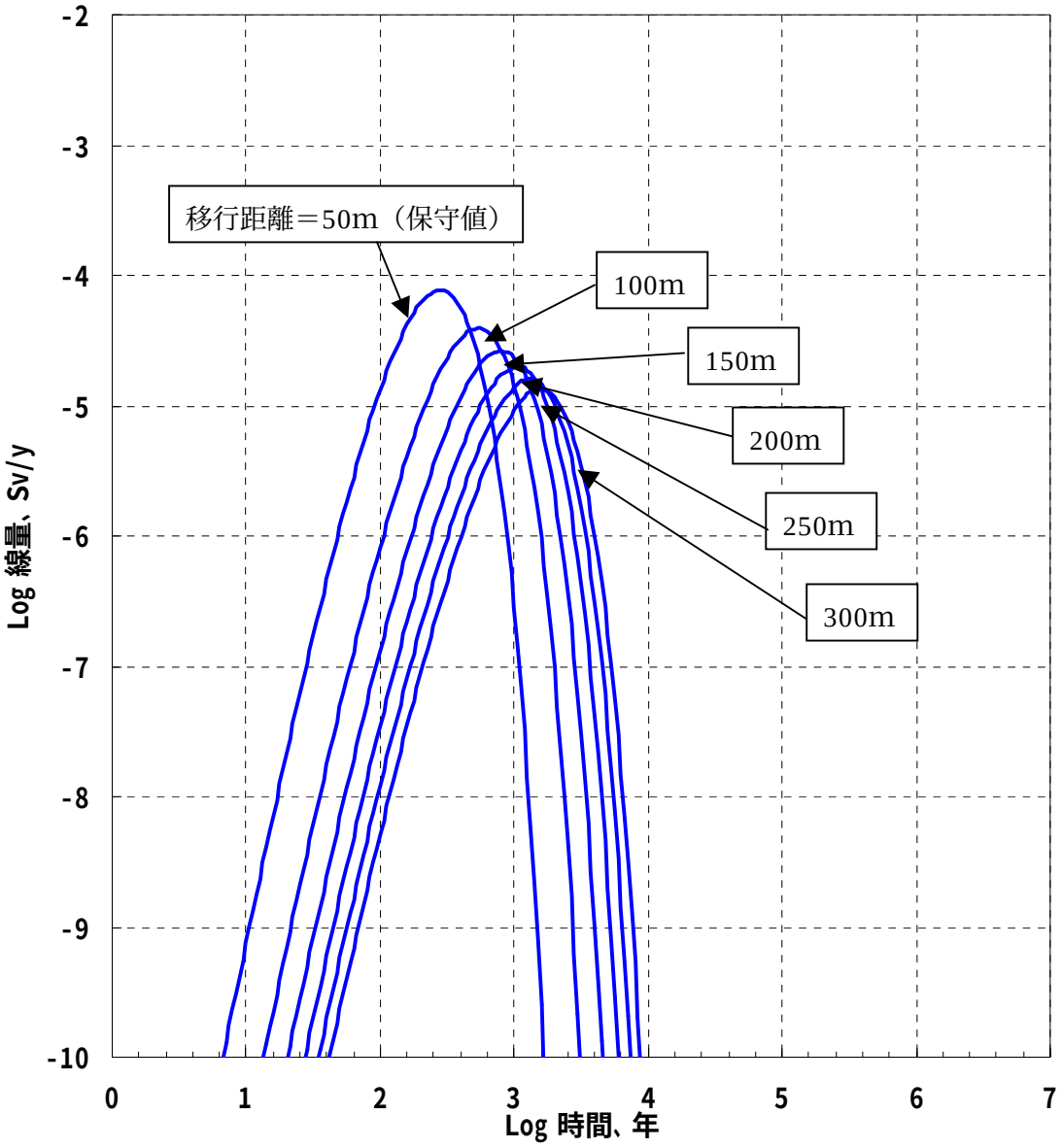


図 4.2.2-15　**天然バリアの距離を変動させ決定論解析を実施した線量評価結果**

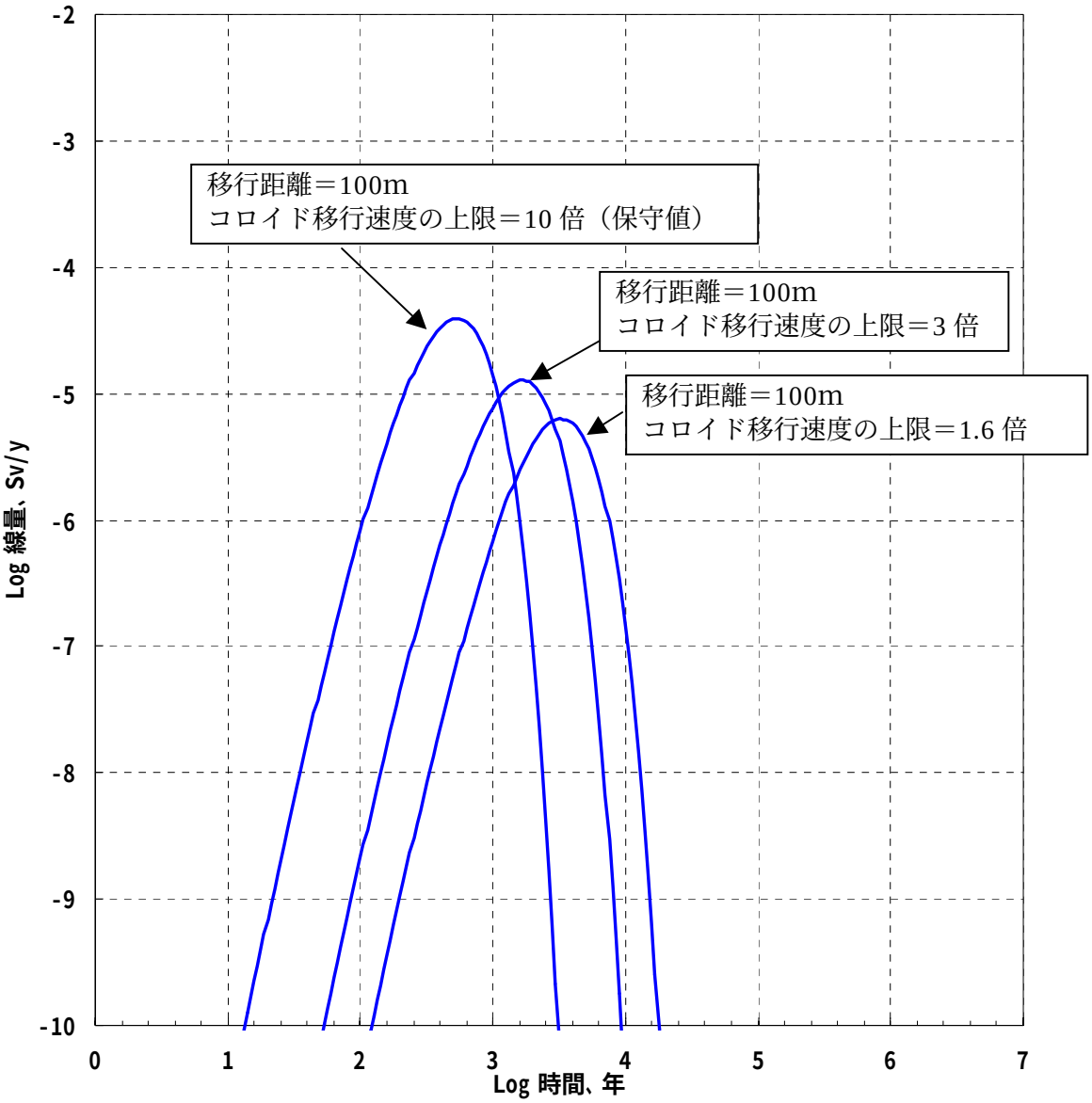


図 4.2.2-16　**コロイドによる移行速度の上限を制限する場合の線量評価結果**

4.3 SI 法を用いる場合の課題

SI 法を用い十分条件を抽出するために、

① 全域的解析
② 感度抽出
③ 核種放出率に影響の大きな感度をパラメータの範囲の検討
④ 2 次解析を実施し十分に SI 値の大きなパラメータの組み合わせを設定
⑤ 決定論解析により、値を決定したいパラメータについて解析
⑥ 十分条件の提示

の手順で検討を実施した。十分条件の抽出に至るまでの手順は、多くのバリエーションが考えられる。例えば、2 次解析の後、数個の注目するパラメータのみを変動させ、他のパラメータについては、保守側の設定を行う。これにより評価すべきパラメータ空間は狭くなり、少数の解析により目標を下回る組み合わせについての検討が可能になると思われる。

今後、SI 値の数値としての意味合い（90%、95%の確からしさとは何か）を明確にし、判断基準とする SI 値について検討を加える必要がある。

5. TRU 核種を含む放射性廃棄物の地層処分の影響等を考慮した場合の他の廃棄物の処分成立性の十分条件の例示的抽出

他の廃棄物とともに TRU 核種を含む放射性廃棄物が、仮に処分された場合の影響について検討する。この検討は、適切な区分に応じた合理的な処分方策の検討に資することを目的としており、スイスおよびフランスにおける処分概念のように地層処分場に高レベル放射性廃棄物と TRU 核種を含む放射性廃棄物が処分される場合を仮定する。

5.1 TRU 廃棄物からの影響の想定

前年度の研究において、TRU 廃棄物の特徴から、アルカリプルームの影響が示唆されている。高レベル廃棄物が TRU 廃棄物の下流側に位置する場合には人工バリアおよび核種移行経路への影響が、また、上流側に位置する場合には、核種移行経路への影響が懸念される。本研究では、処分場水理特性としての流向が長期的に逆転する可能性を考慮し、以下の２つの想定を行い、高レベル放射性廃棄物からの核種移行解析を実施するものとした。

① 人工バリアへの影響

アルカリプルームが人工バリアへ達した場合の影響としては、オーバーパック孔食に伴うオーバーパック早期の開口を想定した、また、早期開口時の温度影響によるガラス固化体の溶解速度の増加を想定する。

② 天然バリアへの影響

天然バリアへのアルカリプルームの影響としては、核種移行経路の母岩とアルカリプルームの反応に伴う母岩の透水性の変化が想定される。母岩とアルカリプルームの反応では、鉱物の溶解および沈殿が予想されるが、溶解する部分の透水性の上昇および沈殿部での透水性の低下を考慮すると、母岩の平均的な透水性変化の影響を設定することは難しいが、透水係数の不均質性が増大し、透水性が大きくなるものと仮定し解析を行うものとする。

TRU 廃棄物からのアルカリ影響を発端事象とする、高レベル放射性廃棄物バリアへの影響としては、上述の①②以外にも、多くのシナリオが考えられる。本研究では、影響解析

の手法検討を目的として、図 5.1.1-1 に示す影響の伝播を仮定し、①および②の事象の組み合わせを行い解析ケースを作成し、決定論解析を行った。決定論解析の結果に基づき、目標を下回るケースと上回るケースを同定し、想定されるシナリオが許容されるか否かの判断を行った。

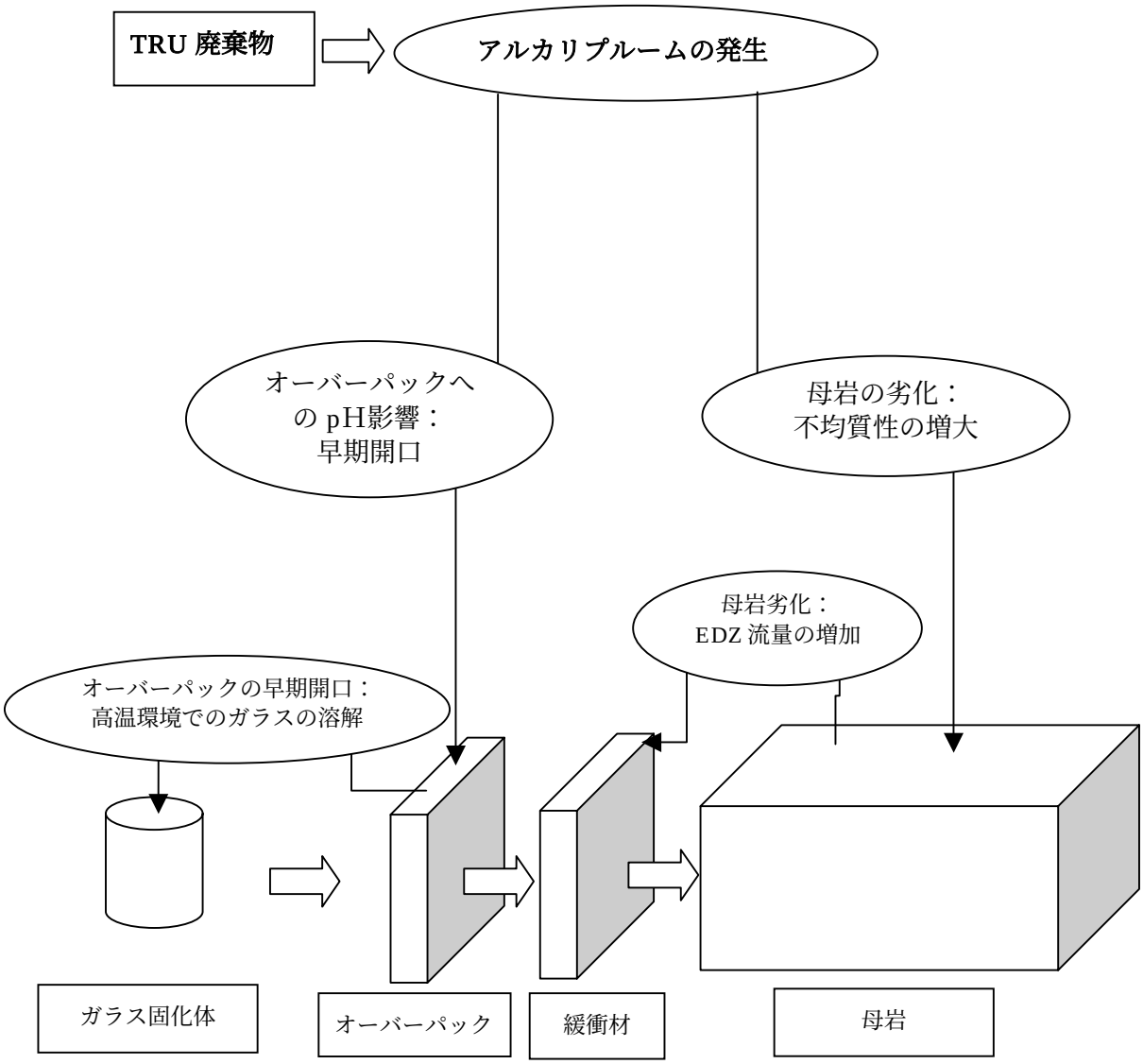


図 5.1.1-1　TRU **廃棄物からのアルカリ影響による高レベル廃棄物バリアへの影響模式図**

5.1.1 解析ケースの設定

天然バリアの条件としては、堆積岩地質環境、深度 500mでの処分を想定する。表 5.1.1-1～表 5.1.1-5 に標準としたパラメータをまとめる。また、アルカリプルーム影響により、人工バリア関連で変動するパラメータを表 5.1.1-6 にまとめる。

天然バリアの不均質性の評価においては、平行するマルチチャンネルでの評価を行うものとした。変動条件を表 5.1.1-7 にまとめる。

表 5.1.1-1 堆積岩地層における高レベル放射性廃棄物の核種移行パラメータの設定値

人工バリア

パラメータ	設定値
緩衝材厚さ	40ｃｍ
緩み域厚さ	2.5m 坑道直径 5m、廃棄体ピッチ　4m
緩み域透水係数	母岩健全部ｘ10 倍
緩み域流量	0.48m^3/y
オーバーパック開口まで時間	67500 年
ガラス溶解時間	30 ℃でのガラス溶解度を想定 4 x 10^{-5} g m^{-2} d^{-1} のガラス溶解速度 ガラス溶解時間は 1750000 年
分配係数、溶解度、拡散係数	第 2 次取りまとめと同じ（表 5.1.1-2~表 5.1.1-5 参照）

天然バリア

パラメータ	設定値
処分対象層移行距離	100m
処分対象層透水係数	1 x 10^{-8} m/s
処分対象層での地下水流速	5 x 10^{-3} m/y
処分対象層での分配係数、溶解度、拡散係数	第２次取りまとめ泥質・凝灰質岩と同じ（表 1～4 参照）
処分対象層空隙率	0.1
上部層移行距離	750m
上部層透水係数	5 x 10^{-8} m/s
上部層での地下水流速	2.5 x 10^{-2} m/y
上部層での分配係数、溶解度、拡散係数	第 2 次取りまとめ砂質岩と同じ（表 5.1.1-2 参照）
上部層空隙率	0.05

表 5.1.1-2 緩衝材中の実効拡散係数

Cs	1.0 x 10^{-9}m2/s (100℃、50～100 年) 3.0 x 10^{-10}m2/s (30℃、200 年以降)
Se	2.2 x10^{-10}m2/s (100℃) 6.7x10^{-11}m2/s (30℃)
Cs,Se 以外	4.4x 10^{-10} m2/s (100℃) 1.3x10^{-10} m2/s (30℃)

表 5.1.1-3 緩衝材での分配係数

元素	分配係数 [m^3 kg^{-1}]	備考（Da 値の出典）
Se	0	Sato（1997a）*1
Zr	10	Sato et al.（1995）
Nb	1	嶺ほか（1999b）
Tc	0.1	Kuroda et al.（1997）*2, 加藤ほか（1999）*1
Pd	0.1	Tachi et al.（1999b）
Sn	1	小田ほか（1999c）
Cs	0.01	佐藤・澁谷（1994） Idemitsu et al.（1998）
Sm	1	Sato（1997b）
Pb	0.1	Ni (Sato,1999b)のアナログ*3
Ra	0.01	Tachi et al.（1999a）
Ac	1	Sm のアナログ
Th	1	U, Np のアナログ
Pa	1	Sn のアナログ
U	1	Idemitsu et al.（1994）*2, 加藤ほか（1999）*1
Np	1	加藤ほか（1999）*1
Pu	10	舘ほか（1999）
Am	10	佐藤・澁谷（1994）
Cm	10	Am のアナログ

*1 還元性溶液に浸漬した試料に対する拡散試験
*2 鉄腐食生成物を拡散させた試料に対する拡散試験
*3 Pb を用いた拡散試験における解析結果からも設定値の保守性が示唆されている（芦田ほか，1999）

第２次取りまとめ、分冊３より

表 5.1.1-4 **各岩種に対する分配係数一覧**［m^3kg^{-1}］

地下水	降水系地下水	
岩種	泥質・凝灰質岩	砂質岩
Se	0.01	0.001
Zr	1	0.1
Nb	1	0.1
Tc	1	1
Pd	1	0.1
Sn	5	1
Cs	0.1	0.05
Sm	5	5
Pb	1	0.1
Ra	0.5	0.5
Ac	5	5
Th	1	1
Pa	1	1
U	1	1
Np	1	1
Pu	1	1
Am	5	5
Cm	5	5

第 2 次とりまとめ、分冊 3 より

表 5.1.1-5 元素の溶解度（第２次取りまとめ、レファレンスケース）

元素	溶解度[mol l^{-1} at 25℃]	溶解度制限固相*3	主要溶存化学種*3
Se	3×10^{-8}	$FeSe_2$(cr)	HSe^-
Zr	1×10^{-8} *1	ZrO_2(am)	$Zr(OH)_4$(aq)
Nb	1×10^{-4} *1	Nb_2O_5(am)	$Nb(OH)_6^-$
Tc	4×10^{-8}	$TcO_2 \cdot 2H_2O$(am)	$TcO(OH)_3$(aq)
Pd	1×10^{-8} *1	Pd(cr)	$Pd(OH)_2$(aq)
Sn	5×10^{-8} *1	SnO_2(am)	$Sn(OH)_3^-$, $Sn(OH)_4$(aq)
Cs	可溶性	－	Cs^+
Sm	2×10^{-7}	$SmOHCO_3$(cr)	$Sm(CO_3)_2^-$, $Sm(CO_3)_3^{3-}$, $SmCO_3^+$
Pb	2×10^{-8}	$PbCO_3$(cr)	$PbCO_3$(aq), $Pb(CO_3)_2^{2-}$
Ra	1×10^{-12} *2	Ra-Ca-CO_3	Ra^{2+}
Ac	2×10^{-7}	$AcOHCO_3$(cr)	$Ac(CO_3)_2^-$, $Ac(CO_3)_3^{3-}$, $AcCO_3^+$
Th	5×10^{-8}	ThO_2(am)	$Th(OH)_3CO_3^-$
Pa	2×10^{-8}	Pa_2O_5(s)	$PaO(OH)_3$(aq)
U	8×10^{-8}	UO_2(am)	$U(OH)_2(CO_3)_2^{2-}$, $U(OH)_4$(aq)
Np	2×10^{-8}	NpO_2(am)	$Np(OH)_2(CO_3)_2^{2-}$, $Np(OH)_4$(aq)
Pu	3×10^{-8}	PuO_2(am)	$Pu(OH)_2(CO_3)_2^{2-}$, $Pu(CO_3)_2^-$, $Pu(CO_3)_3^{4-}$, $PuCO_3^+$
Am	2×10^{-7}	$AmOHCO_3$(cr)	$Am(CO_3)_2^-$, $Am(CO_3)_3^{3-}$, $AmCO_3^+$
Cm	2×10^{-7}	$CmOHCO_3$(cr)	$Cm(CO_3)_2^-$, $Cm(CO_3)_3^{3-}$, $CmCO_3^+$

*1：実測値に基づく設定
Zr：諏谷・油井（1998），
Nb：矢島ほか（1992）；矢島（1994），　（参考）計算値 7×10^{-7} mol l^{-1}
Sn：Oda and Amaya（1998），　（参考）計算値 2×10^{-7} mol l^{-1}
Pd：Oda et al.（1996），　（参考）計算値 ほぼゼロ
*2：Ca との簡易な共沈モデル（Berner,1995）と天然水の濃度上限の比較から大きな値を設定（表 5.3.1-7 参照）。
*3：固相の表記については，熱力学データベース開発での議論を踏まえて結晶質を(cr)，アモルファスを(am)及び現状ではこの両者に区分けできない固相(s)に分類している。電気的に中性の水溶性化学種については化学式の最後に(aq)を付記している（Yui et al.，1999b）。

第２次取りまとめ、分冊３より

表 5.1.1-6 人工バリアへの TRU 廃棄物の影響ケース

人工バリア

パラメータ	設定値
オーバーパック開口まで時間	50 年
ガラス溶解時間	オーバーパック開口後 150 年間 （処分後 50~200 年） 100℃でのガラス溶解速度 8×10^{-3} g m^{-2} d^{-1} 処分後 200 年~ 30℃でのガラス溶解度 4×10^{-5} g m^{-2} d^{-1}
他の条件：基本ケースと同じ	

表 5.1.1-7 天然バリアへの TRU 放射性廃棄物影響ケース

人工バリア

パラメータ	設定値
緩み域流量	母岩流速の算術平均値を用い設定 標準偏差 0.4 の場合 流量　1.44m^3/y 標準偏差 1.2 の場合 流量　58.6m^3/y

天然バリア

パラメータ	設定値
移行距離	100m
地下水流速	**対数正規分布を仮定** 対数平均値：　1×10^{-2} m/y 標準偏差：　0.4（ケース 3-1） 平均値から±３σの範囲を想定 流速算術平均値：1.5×10^{-2} m/y 標準偏差：　1.2（ケース 3-2） 平均値から±5 桁の範囲で設定 流速算術平均値：6.1×10^{-1} m/y
解析チャンネル数	10 本

5.1.2 解析結果

5.1.1 で示す条件に従い、決定論的な解析を実施した。核種移行解析結果を図 5.1.2-1～図 5.1.2-4 にまとめる。

人工バリアのみの劣化を考慮する場合の核種移行解析結果は、標準とするケースと大きく異なることはなく、Se-79 が被ばく線量の最大値に支配的となった。

天然バリア劣化ケースでは、劣化の程度により核種移行解析結果が大きく異なり、母岩透水係数の標準偏差（対数値の標準偏差）が大きくなる場合には、核種放出率は 2 桁程度上昇している。標準偏差の大小によらず、被ばく線量に支配的となる核種は Th-229 であった。

人工バリア劣化ケースと天然バリア劣化ケースを複合させた場合、標準偏差が 0.4 では、人工バリア劣化の影響として核種の放出が開始される時刻が早まるものの最大線量（Se-79、Cs-135）は変化しない。これに対して、標準偏差 1.2 の場合には、比較的半減期の短い Cs-137 が被ばく線量に寄与している。

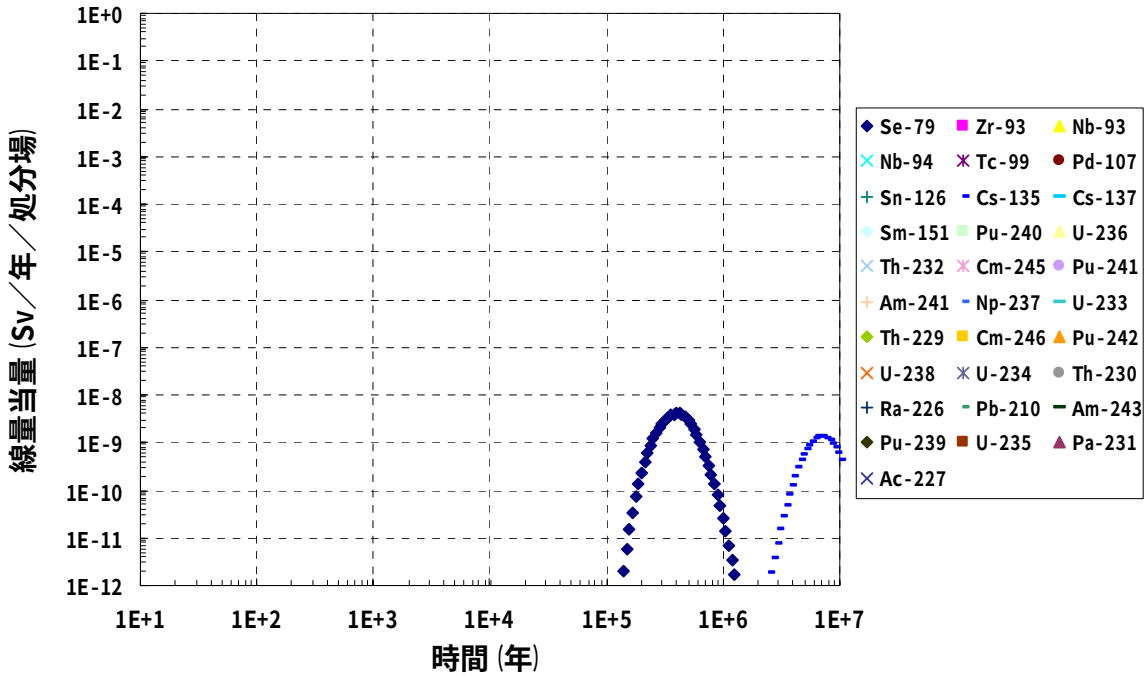


図 5.1.2-1 **標準設定における核種移行解析結果**

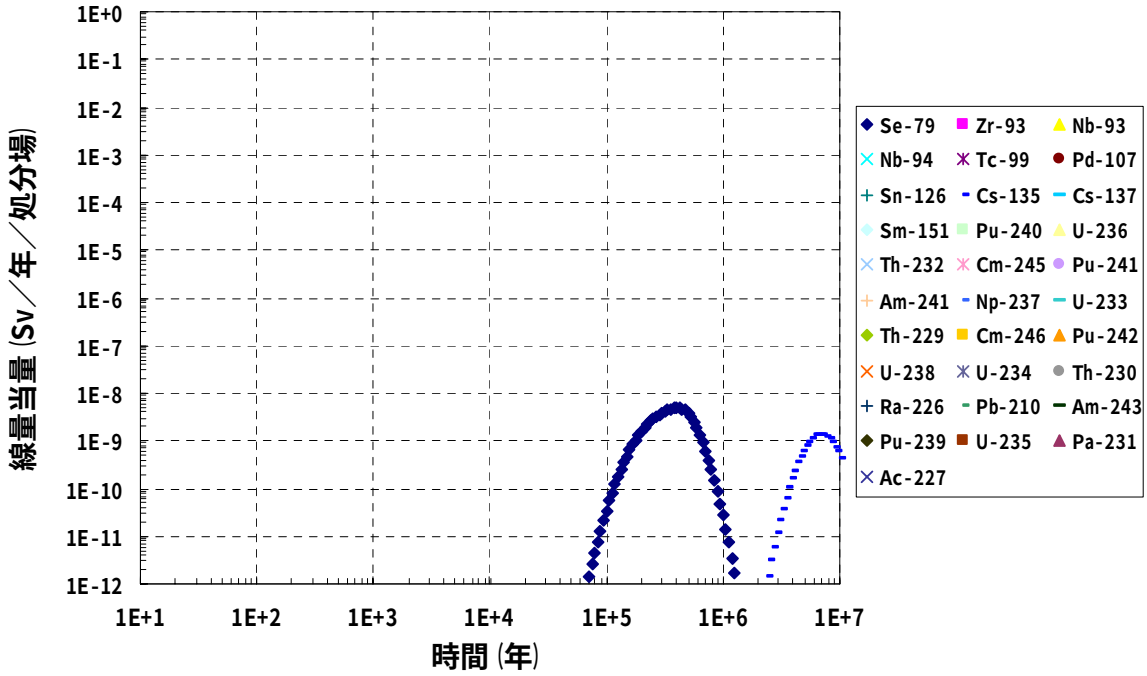
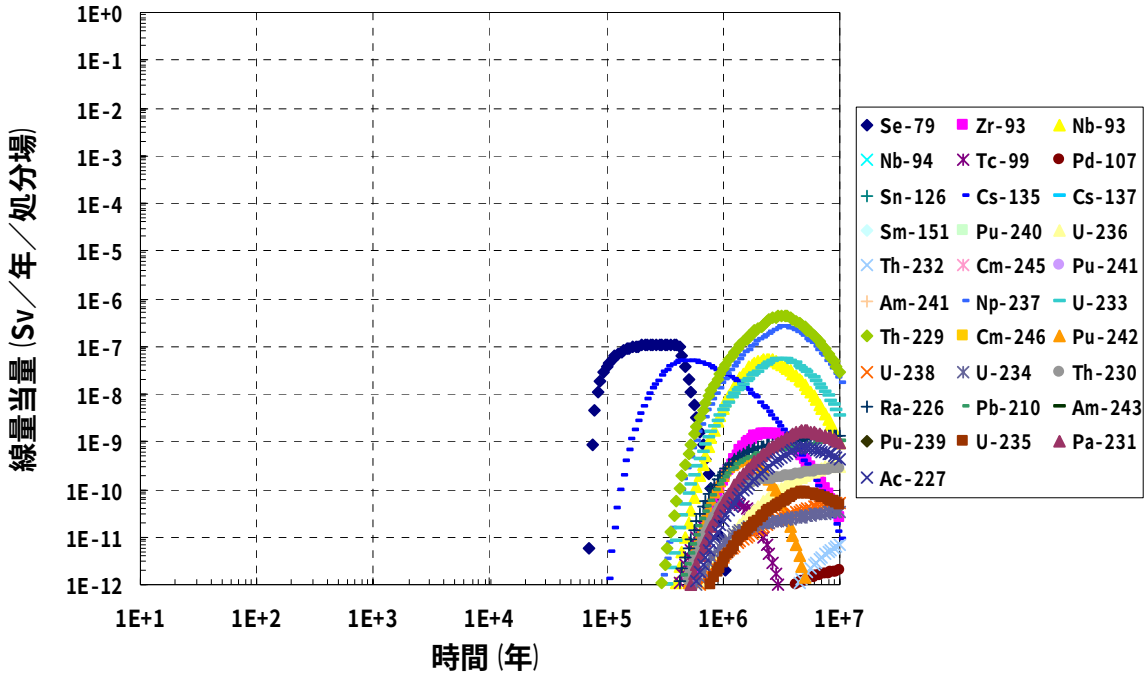


図 5.1.2-2 **人工バリア劣化ケースにおける核種移行解析結果**

（標準偏差 0.4）



（標準偏差 1.2）

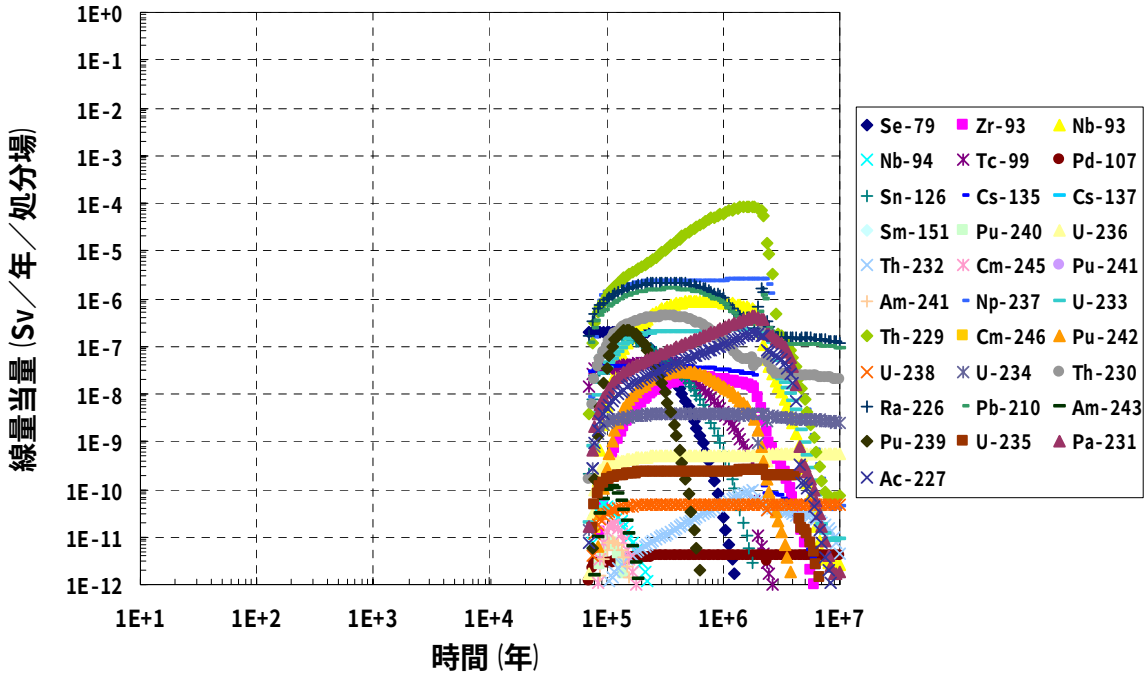
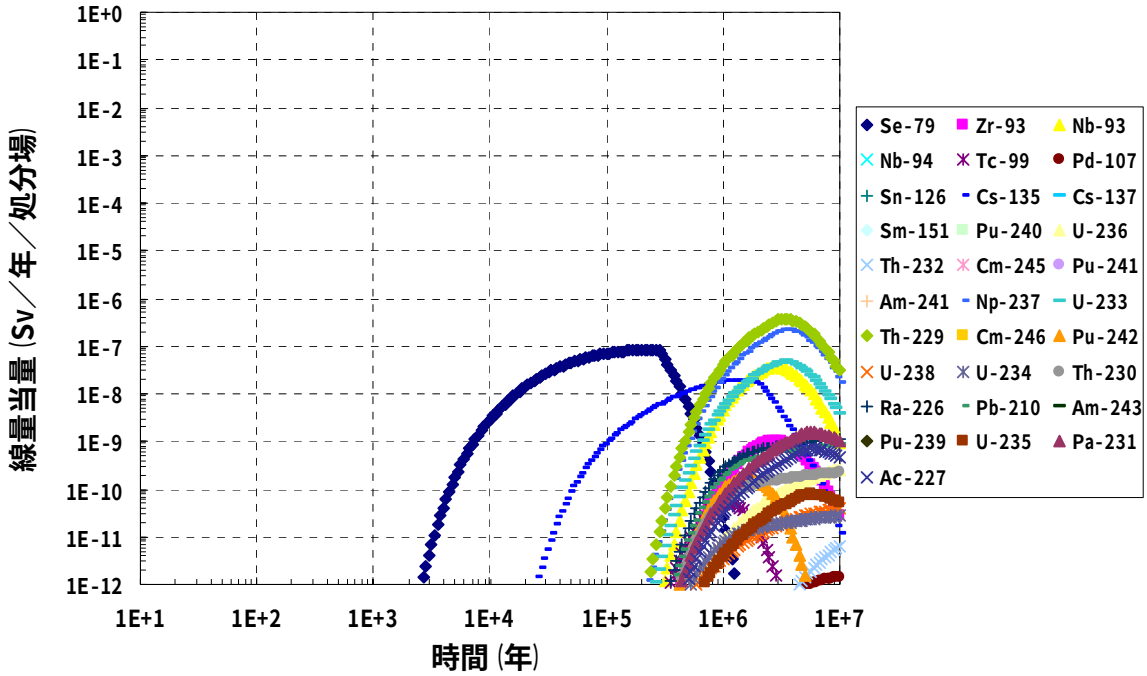


図 5.1.2-3 **天然バリア劣化ケース**

（母岩透水係数分布の標準偏差 0.4）



（母岩透水係数分布の標準偏差 1.2）

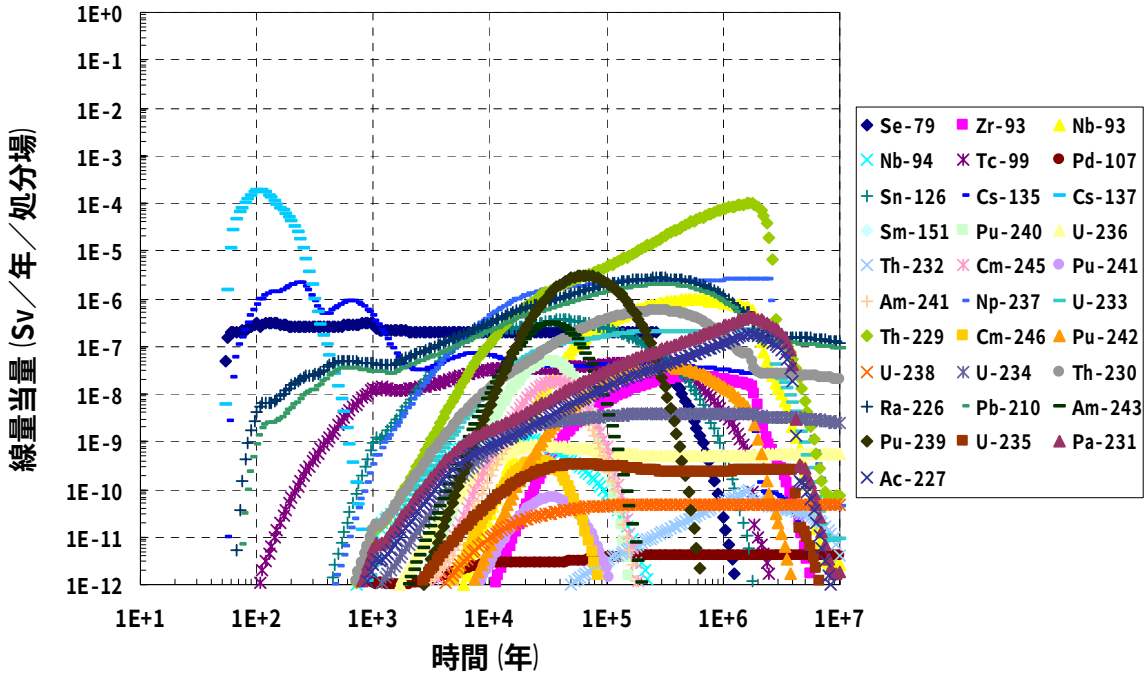


図 5.1.2-4 **人工バリアおよび天然バリア劣化ケース**

5.2　処分成立性の十分条件

図 5.2-1 に、検討を行ったケースの最大被ばく線量値を比較する。高レベル放射性廃棄物の処分成立性の条件を 10μSv/y とすると、人工バリアの劣化よりも、天然バリアの劣化の程度がより重要となるものと考えられる。また、人工バリアおよび天然バリアの劣化が複合するケースでは、Cs-137 等の短半減期・高毒性の影響を避けることが重要となり（図 5.1.2-4 参照）、アルカリ環境下でのオーバーパックの開口が 300 年以上、または、300 年間アルカリ環境によるオーバーパックの早期開口が生じないことが重要となる。

処分成立性の十分条件としては、

- アルカリ影響に伴う母岩劣化による、母岩透水係数の不均質性の程度が標準偏差で 0.4 以下に収まること

となる。

また、処分の成立性の条件として評価期間が設けられる場合を想定する（仮に 10 万年とする）と、人工バリアが健全で母岩透水係数の不均質性が 1.2 に増加する場合にも、10 万年以前に目標線量を超えることはない。ただし、これに、オーバーパックの早期開口が重複するケースでは、Cs-137 の影響により、目標を超える線量となった。Cs-137 の影響が顕著な期間でかつ温度の高い条件の継続は、約 300 年程度と予想されることから、以下の環境が整えば、処分は成立するものと予想される。

- アルカリ環境下でのオーバーパックの開口が 300 年以上、または、300 年間アルカリ環境とならないこと

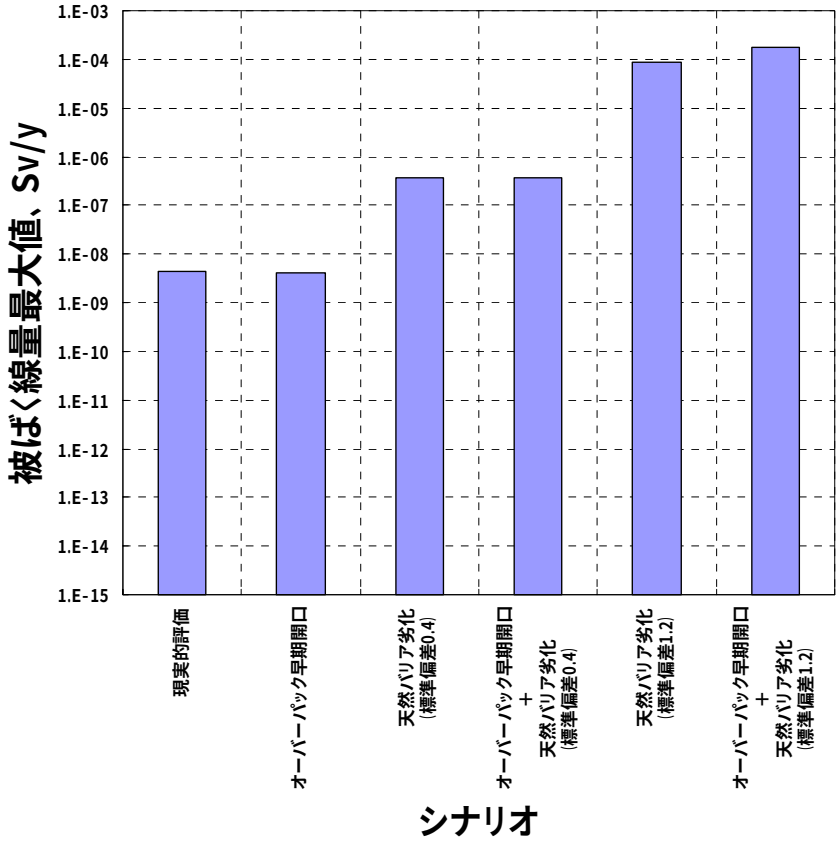


図 5.2-1　TRU **廃棄物の影響による高レベル放射性廃棄物からの核種放出率の変化の比較**

6. おわりに

今年度の研究では、感度解析の手法としてムービングバンド法による感度解析手法に加え、SI 法を開発し、十分条件の探索に用いた。また、統計的データ生成のステップから感度解析に至るステップまでのデータの流れを検討し、解析体系をまとめた。

コンクリートピット処分および余裕深度処分、地層処分を想定し、α濃度上限値で分類したＴＲＵ廃棄物を対象として、核種移行解析を実施した。これに上記ツールを用い感度分析を行い、安全評価上重要となる感度の大きなパラメータを抽出するとともに十分条件を探査する手法を確立した。

SI 法に関しては、今年度、新たに導入した感度分析手法であるが、この有用性が確認されたことから、今後、同手法の熟成が望まれる。また、今年度の解析対象とした、多孔質媒体以外の地質環境である、亀裂性媒体、亀裂と透水性多孔質媒体のハイブリットな地質環境のモデル化と、それら地質環境でのＴＲＵ廃棄物の処分を想定した感度解析、分析を実施し、包括的にＴＲＵ廃棄物処分の安全性とこれら廃棄物を処分する場合の十分条件を確認する必要がある。

7. 参考文献

朝野英一, 他：”TRU 廃棄物廃棄体の開発(1)開発計画”, 日本原子力学会「2002 秋の大会」予稿集 F34、p634（2002a）

朝野英一, 他：”TRU 廃棄物廃棄体の開発(7)チタン複合金属容器廃棄体の材料選定”, 日本原子力学会「2002 秋の大会」予稿集 F40、p640（2002b）

千葉保, 他：”ニアフィールドにおける酸化還元状態の変遷に関する予察的解析”、JNC TN8400 99-027 (1999e)

David Noy, David Savage: “Modelling of the Interactionof Bentonite withHyperalkaline Fluids:A sensitivity study”. QSR-Report 1008B-2 (2000).

動力炉・核燃料開発事業団：”高レベル放射性廃棄物　地層処分研究開発の技術報告書”、PNC　TN1410　92-081 (1992)

福本雅弘、須黒寿康：”廃ヨウ素吸着剤の銅マトリックス固化体の腐食速度測定試験（II）”, 日本原子力学会「2001 春の年会」予稿集 L11、p609 （2001）

G.Mayer, et al: “Experimental determination and numerical simulation of the permeability of cementitious materials” Nuclear Engineering and Design 138(1992)171-177 (1992)

原子力安全委員会放射性廃棄物安全基準専門部会：”低レベル放射性固体廃棄物の陸地処分の安全規制に関する基準値について（第２次中間報告）” (1993)

原子力安全委員会：”放射性廃棄物安全基準専門部会、低レベル放射性固体廃棄物の陸地処分の安全規制に関する基準値について（第三次中間報告）” (2000)

長谷川琢磨, 他：”沿岸海底下の地下水流動状況に対応する数値解析的検討”,日本地下水学会誌, Vol. 43, No.4, p289-300. (2001)

稲場房恵, 他：”セメント系材料中での実効拡散係数に及ぼす材料の物理的及び化学的変化の影響”, 日本原子力学会「1998 春の年会」（1998）

K. Idemitsu, et al: “Difuusion paths of cesium in water-saturated mortar”, Nuclear Thechnology, Vol. 118, No.3, p233-241. (1997)

核燃料サイクル開発機構：”高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する研究開発－平成 13 年度報告－”、JNC　TN1400　2002-003 (2002)

核燃料サイクル開発機構：”人工バリアシステム中のガスの移動に関する研究（５）－２相流モデルによる粘土系材料におけるガス影響評価結果の妥当性の検討－”、JNC TJ8400　2000-032 (2000)

核燃料サイクル開発機構, 電気事業連合会：”TRU 廃棄物処分概念検討書”、JNC　TY1400 2000-001、TRU　TR-2000-01 (2000)

核燃料サイクル開発機構：”わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性-地層処分研究開発第２次とりまとめ-総論レポート”、JNC　TN1400　99-020 (1999a)

核燃料サイクル開発機構：”わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性-地層処分研究開発第２次とりまとめ-分冊 1”、JNC　TN1400　99-021 (1999b)

核燃料サイクル開発機構：”わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性-地層処分研究開発第２次とりまとめ-分冊 2”、JNC　TN1400　99-022 (1999c)

核燃料サイクル開発機構：”わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性-地層処分研究開発第２次とりまとめ-分冊 3”、JNC　TN1400　99-023 (1999d)

M.D. Impey, et al: “Technical Evaluation of Gas Effects for the Rokkasho Phase II Shallow Land Burial Facility”, QuantiSci IE5011A-2 (1997)

三原, 他：”カルシウム型ベントナイトのトリチウム、セシウム、ヨウ素および炭素の実効拡散係数の取得”、JNC TN8430 99-011 (1999)

三木崇史：”浅地中処分想定廃棄体の処分適合性に関する検討”、JNC TJ8400 2002-056 (2002)

三木崇史, 他：”核種移行解析の網羅性の確認･評価（その３）”, JNC TN8400 2002-050 (2002)

日本原燃：六ヶ所低レベル放射性廃棄物貯蔵センター廃棄物埋設事業許可申請書一部補正 (1889)

岡田清, 他：土木材料学、国民科学社（1998）

坂口, 他：”中空円筒コンクリート構造物の長期透水性評価試験”、コンクリート工学年次論文報告集, Vol.19, NO.1, pp.643～648 (1997)

斎藤典之, 他：”放射性よう素の固定化技術の開発(1)”, 日本原子力学会「2001 秋の大会」予稿集 O28、p906 （2001）

九石正美, 他：”模擬アスファルト固化体からの可溶性元素の浸出挙動,” 日本原子力学会「1997 秋の年会」（1997）

高瀬博康, 他：”オンライン‐オブジェクト指向型性能評価環境の開発 （その１） オンライン‐オブジェクト指向型性能評価の方法論”、日本原子力学会春の年会要旨集、Vol. 40, 第３分冊 pp.663 (2002)