

TRU廃棄物処分システムの 性 能 評 價 手 法 の 檢 討 (II)

(動力炉・核燃料開発事業団 委託研究成果報告書)

1994年 2月

東洋エンジニアリング株式会社

この資料は、動燃事業団の開発業務を進めるため、特に限られた関係者だけに開示するものです。については複製、転載、引用等を絶対に行わないよう、また第三者への開示又は内容漏洩がないよう管理して下さい。また今回の開示目的以外のことには使用しないよう特に注意して下さい。

本資料についての問合せは下記に願います。

〒 319-11 茨城県那珂郡東海村大字村松 4-33
動力炉・核燃料開発事業団
東海事業所
技術開発推進部・技術管理室

要 目

限 定 資 料
PNC ZJ1277 94-001
1994年 2月

TRU廃棄物処分システムの性能評価手法の検討（Ⅱ）

藤田 義夫*
山本 幹彦**
佐原 聰**
寺村 政浩***

要 旨

再処理事業等の本格化に伴って、今後 α 核種等の長寿命核種を有意に含む TRU 廃棄物の発生量増大が予想される。このため原子力委員会においてもその処分方策について検討が行われ、1990年代後半までに処分方法の目処を得るよう勧告がなされている。TRU 廃棄物の処分方法を具体化する上では処分の長期安全性の評価が不可欠であり、このためには、個別の現象の抽出、評価モデルの開発とデータの収集、モデルの妥当性の検証等からなる研究開発によって、安全性に影響する主要な現象の評価が可能な総合的安全評価手法の構築が必要である。

そこで、本研究は上記の考え方に基づき、総合的性能評価手法の構築に必要な基礎データを与えると共に、研究開発課題、開発工程の明確化を目的として以下の範囲について調査、検討を実施するものである。

- (1) TRU 廃棄物処分に特有な個別現象のモデル化の調査・検討
- (2) ガスの発生・移行に関する処分システムへの影響評価
- (3) 研究項目の優先順位付け及び研究工程の検討

以上の調査検討により、TRU 廃棄物の構成物質、処分環境条件において性能評価対象とすべき現象のモデル化の状況を把握すると共に、処分場内でのガス発生の影響について感度解析を実施することにより主要因子の寄与の程度を明らかにした。さらに、性能評価対象とすべき各現象の重要度に従って研究項目の優先順位付けを行い、これに従った研究開発工程について検討した。

本報告書は、東洋エンジニアリング株式会社が動力炉・核燃料開発事業団の委託により実施した研究の成果である。

契約番号：050D0307

事業団担当部課室及び担当者：環境技術開発部 地層処分開発室 間野 正

* 原子力・電力事業本部

** 原子力・電力事業本部 原子力・電力エンジニアリング部

*** 原子力・電力事業本部 原子力・電力プロジェクト部

COMMERCIAL PROPRIETARY
PNC ZJ1277 94-001
March, 1994

Performance Assessment Method for Transuranic Waste
Isolation System and Development Plan (II)

Yoshio Fujita*
Mikihiko Yamamoto**
Satoshi Sahara**
Masahiro Teramura***

A b s t r a c t

At the present time, almost all radioactive wastes contaminated by transuranic elements (Transuranic waste) are generated at a reprocessing plant and a MOX fuel fabrication plant operated by PNC. But it is expected that the volume of transuranic waste will increasingly accumulate in the near future, after the start of operating commercial fuel cycle facilities. In the circumstances more comprehensive and reasonable programme for disposal of transuranic waste is required. We started this study from 1990 for the purpose structuring a basic concept to ensure a safety geological disposal of transuranic wastes.

In 1994, the subjects listed below were investigated for those purposes.

- (1) Investigation of modeling studies for phenomena related to transuranic waste disposal
- (2) Analysis for influence of gas generation and migration at the transuranic waste repository
- (3) Priority of investigation of phenomena

Based on these investigations, a state of the art of the model development for performance assessment of transuranic waste disposal was clarified. And the parameters that have significant efficiency for performance were identified by sensitivity assessment of gas generation and migration. Also, Important phenomena and parameters have been given priority to research, and R&D plan was reviewed according to the priority.

Work performed by Toyo Engineering Corporation under contract with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.

PNC Liaison : Isolation System Research Program (Tadashi Mano)

* Nuclear and Electric Power

** Nuclear and Electric Power Div. Engineering Dept.

*** Nuclear and Electric Power Div. Project Dept.

まえがれ

まえがき

現在我が国では核燃料サイクルの完結を目指し、フロント及びバックエンドの各ステップにおいて事業化を目的とした研究開発、法規・体制の整備が行われつつある。

これまでに、低レベル放射性廃棄物に対しては法整備、実施主体の設立が行われ、発電所の均質固化体については平成4年12月に埋設が開始された。また、高レベル放射性廃棄物に対しては昭和55年に原子力委員会放射性廃棄物対策専門部会において基本的な考え方方が示され、平成5年5月に国、研究機関、電気事業者の協調の下高レベル事業推進準備会が設立され、実施主体設立の準備が行われている。一方、技術開発に関しては重点的な開発項目とその進め方が示され研究開発が実施されている。

TRU核種を含む放射性廃棄物に対しては、原子力委員会において、昭和63年10月より放射性廃棄物対策専門部会の下にTRU廃棄物分科会を設置して鋭意審議検討を実施し、平成3年7月に「TRU核種を含む放射性廃棄物の処分について」をとりまとめ、TRU廃棄物の区分目安値(全 α 核種：約1GBq/t)を示すと共に、処分方法の見通しを1990年代後半までに得ることを勧告している。さらに、諸外国における α 廃棄物の処分スケジュールを見た場合、高レベル放射性廃棄物の処分に先立って α 廃棄物またはILWの処分を実施するとしているフランス、イス等の国も多く、我が国においても早急に区分に応じた適切な処分方法を確立する必要がある。

本研究はこのような状況を踏まえ、処分方法を具体化する上で不可欠となる長期の安全評価手法の確立に資することを目的として、TRU廃棄物の処分に対する性能評価において評価対象とすべき固有、重要な現象の抽出とその評価手法について調査検討を行うと共に、必要となる研究課題を明らかにしようとするものである。

本年度は、性能評価対象とすべき基本シナリオに含まれる主要な現象に対する評価手法の調査検討を継続した。また、これらの諸現象のうち、代表的なものとしてガス発生による影響について特性試験結果を反映して評価すると共に、各パラメータの感度解析を行った。さらに、主要な現象に対して研究開発の優先度を設定し、研究開発工程の検討を行った。

目 次

目 次

1. TRU廃棄物処分に特有な個別現象のモデル化の調査・検討	1
1.1 コロイドの移行と生成.....	1
1.1.1 TRU廃棄物処分場環境委のけるコロイドの挙動	2
1.1.2 地下水コロイドの挙動	11
2. ガス発生・移行に関しての処分システムへの影響評価.....	17
2.1 2相流評価パラメータの調査	17
2.1.1 パラメータの調査	17
2.1.2 パラメータ間の相互関係	32
2.2 2相流パラメータの感度解析	35
2.2.1 感度解析パラメータの設定	35
2.2.2 パラメータ値の設定	40
2.2.3 感度解析	61
3. 研究項目の優先順位付け及び研究工程の検討	125
3.1 研究項目の優先度の検討.....	125
3.1.1 各現象に対する認識	125
3.1.2 各現象に対する理解の現状	135
3.1.3 研究開発項目の優先度の検討	139
3.2 研究工程の検討.....	147
参考文献.....	151
付 錄.....	155

表 リ ス ト

表 リ ス ト

1. TRU廃棄物処分に特有な個別現象のモデル化の調査・検討

表1.1.1-1 基本シナリオを構成する個別現象	1
表1.1.1-2 各種コロイドの収着性	8
表1.1.2-1 Gorleben地下水系の物理的化学的特性	13

2. ガス発生・移行に関する処分システムへの影響評価

表2.1.1-1 深度別透過係数の頻度分布 ³⁾	23
表2.1.1-2 亀裂性岩盤に関する透過係数の頻度分布 ³⁾	23
表2.1.1-3 多孔質岩盤に関する透過係数の頻度分布 ³⁾	24
表2.1.1-4 母岩の特性値	25
表2.1.1-5 ゆるみ域の特性	28
表2.1.1-6 緩衝材、粘土物質の特性値	30
表2.1.1-7 セメント、コンクリートの特性値	31
表2.2.2-1 感度解析ケース [ボルトタイプ]	56
表2.2.2-2 解析ケース [サイロタイプ]	59
表2.2.3-1 感度解析結果の比較	121

3. 研究項目の優先順位付け及び研究工程の検討

表3.1.3-1 研究項目の優先順位	144
--------------------	-----

図 リ ス ト

図　リ　ス　ト

1. TRU廃棄物処分に特有な個別現象のモデル化の調査・検討

図1.1.1-1 セメント浸出水中の微細粒子	5
図1.1.1-2 シリカ、粘土粒子のコロイドの安定性とCa ²⁺ 濃度との関係	7
図1.1.1-3 シリカコロイドの粉碎岩石カラム中の流下特性	10
図1.1.2-1 Gorleben地下水コロイドの粒径分布	12
図1.1.2-2 濁液中Cm濃度のpH依存性	14

2. ガス発生・移行に関する処分システムへの影響評価

図2.2.3-1 ポールトタイプ処分施設概念	62
図2.2.3-2 サイロタイプ処分施設概念	63
図2.2.3-3 ポールトタイプ解析モデル	64
図2.2.3-4 サイロタイプ解析モデル	65
図2.2.3-5 間隙圧力の経時変化（ポールトcase1）	68
図2.2.3-6 ガス飽和度の経時変化（ポールトcase1）	68
図2.2.3-7 間隙圧力分布（ポールトcase1：7年）	69
図2.2.3-8 ガス飽和度分布（ポールトcase1：7年）	69
図2.2.3-9 間隙圧力分布（ポールトcase1：260年）	70
図2.2.3-10 ガス飽和度分布（ポールトcase1：260年）	70
図2.2.3-11 間隙圧力分布（ポールトcase1：1700年）	71
図2.2.3-12 ガス飽和度分布（ポールトcase1：1700年）	71
図2.2.3-13 間隙圧力分布（ポールトcase1：5000年）	72
図2.2.3-14 ガス飽和度分布（ポールトcase1：5000年）	72
図2.2.3-15 地下水流ベクトル（ポールドcase1：330年）	73
図2.2.3-16 ガス流ベクトル（ポールドcase1：800年）	73
図2.2.3-17 廃棄対内地下水流速の経時変化（ポールcase1）	74
図2.2.3-18 廃棄対内ガス流速の経時変化（ポールトcase1）	74
図2.2.3-19 緩衝材内地下水流の経時変化（ポールトcase1）	75

図2.2.3-20	緩衝材内ガス流速の経時変化（ポールト case1）	75
図2.2.3-21	母岩内地下水流速の経時変化（ポールト case1）	76
図2.2.3-22	母岩内ガス流速の経時変化（ポールト case1）	76
図2.2.3-23	間隙圧力の経時変化（ポールト case2-a）	79
図2.2.3-24	ガス飽和度の経時変化（ポールト case2-a）	79
図2.2.3-25	地下水流ベクトル（ポールト case2-a：110年）	80
図2.2.3-26	ガス流ベクトル（ポールト case2-a：190年）	80
図2.2.3-27	間隙圧力の経時変化（ポールト case2-b）	81
図2.2.3-28	ガス飽和度の経時変化（ポールト case2-b）	81
図2.2.3-29	地下水流ベクトル（ポールト case2-b：2680年）	82
図2.2.3-30	ガス流ベクトル（ポールト case2-b：5000年）	82
図2.2.3-31	間隙圧力の経時変化（ポールト case3-a）	85
図2.2.3-32	ガス飽和度の経時変化（ポールト case3-a）	85
図2.2.3-33	地下水流ベクトル（ポールト case3-a：300年）	86
図2.2.3-34	ガス流ベクトル（ポールト case3-a：760年）	86
図2.2.3-35	間隙圧力の経時変化（ポールト case3-b）	87
図2.2.3-36	ガス飽和度の経時変化（ポールト case3-b）	87
図2.2.3-37	間隙圧力分布（ポールト case3-b：280年）	88
図2.2.3-38	ガス飽和度分布（ポールト case3-b：1700年）	88
図2.2.3-39	地下水流ベクトル（ポールト case3-b：320年）	89
図2.2.3-40	ガス流ベクトル（ポールト case3-b：900年）	89
図2.2.3-41	相対透過係数モデルによる相対透過係数の変化	92
図2.2.3-42	間隙圧力の経時変化（ポールト case4）	93
図2.2.3-43	ガス飽和度の経時変化（ポールト case4）	93
図2.2.3-44	緩衝材内地下水流速の経時変化（ポールト case4） タイトル	94
図2.2.3-45	緩衝材内ガス流速の経時変化（ポールト case4）	94
図2.2.3-46	毛管圧評価モデルによる毛管圧の変化	97
図2.2.3-47	間隙圧力の経時変化（ポールト case5）	98
図2.2.3-48	ガス飽和度の経時変化（ポールト case5）	98

図2.2.3-49 間隙圧力の経時変化（ポールト case6-a）	101
図2.2.3-50 ガス飽和度の経時変化（ポールト case6-a）	101
図2.2.3-51 地下水流ベクトル（ポールト case6-a：110年）	102
図2.2.3-52 ガス流ベクトル（ポールト case6-a：180年）	102
図2.2.3-53 間隙圧力の経時変化（ポールト case6-b）	103
図2.2.3-54 ガス飽和度の経時変化（ポールト case6-b）	103
図2.2.3-55 緩衝材間隙圧力に対する感度 (ポールト：バリア物性, ガス発生速度)	105
図2.2.3-56 母岩間隙圧力に対する感度 (ポールト：バリア物性, ガス発生速度)	105
図2.2.3-57 廃棄体ガス飽和度に対する感度 (ポールト：バリア物性, ガス発生速度)	107
図2.2.3-58 緩衝材間隙圧力に対する感度 (ポールト：バリア物性, ガス発生速度)	109
図2.2.3-59 緩衝材ガス流速に対する感度 (ポールト：バリア物性, ガス発生速度)	109
図2.2.3-60 相対透過係数モデル、毛管圧の感度（ポールト：各種状態量）	112
図2.2.3-61 間隙圧力の経時変化（ポールト case7）	114
図2.2.3-62 ガス飽和度の経時変化（ポールト case7）	114
図2.2.3-63 間隙圧力分布（ポールト case7：0年）	115
図2.2.3-64 ガス飽和度分布（ポールト case7：0年）	115
図2.2.3-65 間隙圧力分布（ポールト case7：440年）	116
図2.2.3-66 ガス飽和度分布（ポールト case7：440年）	116
図2.2.3-67 間隙圧力分布（ポールト case7：3,700年）	117
図2.2.3-68 ガス飽和度分布（ポールト case7：3,700年）	117
図2.2.3-69 地下水流ベクトル（ポールト case7：0年）	118
図2.2.3-70 地下水流ベクトル（ポールト case7：3,700年）	118
図2.2.3-71 間隙圧力の経時変化（サイロ）	120
図2.2.3-72 ガス飽和度の経時変化（サイロ）	120

3. 研究項目の優先順位付け及び研究工程の検討

図3.2.1-1 優先度ランク“A”項目の研究開発行程 148

第 1 章

1. TRU廃棄物処分に特有な個別現象のモデル化の調査・検討

昨年度までの検討によって摘出されたTRU廃棄物処分に特有、あるいは重要と考えられる現象のうち、本年度は特に近年より研究が開始されたため相対的にモデル化に対する検討が遅れている分野について調査を継続した。

1.1 コロイドの生成と移行

昨年度の検討で摘出された基本シナリオを構成する現象を表1.1.1-1に示す¹⁾。同表は処分場に地下水が浸入することによって生じる原因事象から連鎖的に生じる核種の移行に対する影響事象、プロセスを段階的に示したものである。

表1.1.1-1 基本シナリオを構成する個別現象

原因事象	現象（レベル1）	現象（レベル2）	現象（レベル3）	現象（レベル4）
処分構造物と地下水との接触	CHSゲルの溶出、移行	珪藻酸塩の溶出、移行	間隙水中Ca ²⁺ 等イオン濃度の変化	CaCO ₃ の析出 ペントナイト成分とのイオン交換
緩衝材と地下水との接触	鉄の腐食 微生物活動	鉄イオンの溶出、移行 ガスの生成（H ₂ , CH ₄ , CO ₂ ）	間隙水pHの変化 間隙水中Fe ⁿ⁺ 等鉄イオン濃度の変化	無機コロイドの生成、放射性核種の吸着
廃棄体と地下水の接触	崩壊熱の発生	O ₂ , H ₂ の消費 腐食生成物の析出 劣化生成物の生成、移行 温度の変化	圧力の変化 間隙水飽和度の変化 間隙水Ehの変化 酸化物、水酸化物等の生成量、濃度の変化 間隙水中有機物濃度の変化 廃棄体からの核種の溶出	有機コロイドの生成、放射性核種の吸着 錯体の生成 ガスの放出、移行

上記の現象のうち、セメントの溶解による影響、鉄の腐食等によるガスの発生については、昨年度までにモデル化の調査が行われている。また、微生物活動については処分の安全性の評価に適用し得るモデルは現在基礎的研究段階である。したがって、本節では処分場で生成する可能性のあるコロイド及び地下水中に存在する天然コロイドの生成、移行に係わる機構とそのモデル化に関する研究について調査を実施した。

MIRAGE(Migration of Radionuclide through the Geosphere)プロジェクトはCECによって企画、計画された放射性廃棄物管理に係わる研究開発計画のうち、放射性核種の地層中の移行に関する研究開発計画であり、その1分野としてコロイドの生成、核種移行への影響評価を行うCoCo(Colloids and Complexes)計画が進行中である。ここではその第2フェーズの成果の概要を中心として、TRU廃棄物の処分において考慮すべき現象に関する研究について報告の抜粋を示す。

1.1.1 TRU廃棄物処分場環境におけるコロイドの挙動

TRU廃棄物処分場の環境条件は、設置される人工バリア及び処分される廃棄体の特性によって決定される。即ち、人工バリアとして適用が考慮されているセメント溶出成分による高pH、高イオン強度の Ca^{2+} 等、あるいは、廃棄物に含有される可能性のある有機物及びその分解生成物の存在、廃液中に含まれる NO_3^- が高濃度で存在すること等があげられる。以下ではこれらのうち、セメント存在下におけるコロイドの生成、移行等に関する研究例を示す。

(1) セメント浸出水中におけるコロイドの形成

現在検討されているTRU廃棄物の処分概念では、高アルカリ性を維持する化学的緩衝作用による核種溶解度の低減効果、及びコスト上の観点から人工バリア材料としてセメント系材料が主要な候補としてあげられている。したがって、多量のセメントが存在する地下水環境下におけるコロイドの形成、移行はTRU廃棄物の処分研究にとって重要な検討課題である。

セメントの存在する環境における性能評価研究は、特にイギリスにおいて研究が盛んであるが、人工バリアにセメントを用いた低／中レベル放射性廃棄物処分場におけるコロイドの影響についても、やはりイギリスを中心として研究が行われている。研究成果の概要を以下に示す²⁾。

(i) セメント浸出水中におけるコロイドの特性

セメント成分が浸出した溶液中に生成、存在するコロイドの特性を把握することを目的として、以下に示す試験、評価が実施されている。

(a)限外ろ過による特性評価

セルローズ系の”ミリポアフィルタ”とポリカーボネート系の”ニュークリポアフィルタ”について粒度分布の測定に対する適用性の評価を行っている。後述する他の粒度分布評価手法との比較により、ろ材の相異によるろ過機構の違いのためセルローズ系の”ミリポアフィルタ”では、公称孔径を超える粒子もろ材を通過する場合があるところから明確な粒度の設定が困難であるとし、粒度分布測定を目的とする場合には、後者のスクリーンタイプのフィルタの方が優れるとしている。

(b)動的光散乱法 (DLS) による特性評価

この手法は光子相関分光法 (PCS: photon correlation spectroscopy)、強度変動分光法 (IFS: intensity fluctuation spectroscopy)、動的光散乱法 (DLS: dynamic light scattering)、あるいは疑似弾性光散乱法 (quasielastic light scattering)とも呼ばれ、分散粒子の拡散係数を測定し、これより流体力学的径を評価する手法である。孔径の異なる”ニュークリポアフィルタ”を通過させたろ液の測定により、以下の点が明らかになったとしている。

- ・普通ポルトランドセメント (OPC) の浸出液については、多くの粒子が $1\text{ }\mu\text{m}$ 以上の孔径を通過する。
- ・公称孔径の小さいフィルタを通過した粒子ほど、フィルタの孔径に比較して流体力学的径が大きく評価される傾向が見られることから、各粒子は変形可能なより小さい粒径の骨材の集合体である可能性がある。
- ・スラグセメント (OPC/BFS) の浸出液については、ほとんどの粒子が $0.5\text{ }\mu\text{m}$ 以下の孔径を通過することから、コロイド形成挙動が異なると考えられるが、骨材の生成については同様と考えられた。

(c)電気泳動光散乱法 (ELS) による特性評価

この手法はコロイドを電気泳動させた場合に、荷電粒子の易動度と拡散係数の関係から散乱光に特定の周波数のピークが現れることを利用したものである。本手法による測定結果は以下の通りである。

- ・普通ポルトランドセメント (OPC) の浸出液については、散乱光のスペクトルに2つのピークが現れ、 $5\text{ }\mu\text{m}$ のフィルタを用いてろ過したろ液ではピークが1つに減

少した。

- ・ろ過前後共に発生するピークはPCS測定で観測されたコロイドによるものであり、pHによる易動度の変化は非晶質シリカと同様の挙動を示す。
- ・もう1方のピークは微細に分割された、もしくはコロイド状の炭酸カルシウム粒子によるものと推測される。実際、60°C以上での浸出液には比表面積の大きい（～180 m²/g）、微小な空隙（<1 μm）を持つカルサイトが相当量検出される。

(d)走査型電子顕微鏡（SEM）による特性評価

ろ材上に保持された粒子の大きさと形状を把握するため、走査型電子顕微鏡による観察を行った。

- ・普通ポルトランドセメント（OPC）の浸出液について、ろ材上に捕集された粒子は、クリストバライトの棒状粒子の集合体と考えられる比較的大きな破片と、球状粒子が鎖状につながった骨材（直径3～5 μm）の2種類が見られた。
- ・球状骨材の断面は同心円構造を持ち、浸出液中で成長するものと考えられた。（図1.1.1-1参照）
- ・スラグセメント（OPC/BFS）の浸出液については、OPC浸出液に比較して粒子数が著しく少ないこと、形状も不規則であることが観察された。

(e)エネルギー分散型X線分析（EDAX）による特性評価

ろ材上に保持された粒子の元素組成を把握するため、SEM/SDAXによる観察を行った。なお、本手法で得られる情報は、0.5 μm以上の粒子に対する半定量的な元素組成に留まる。

- ・普通ポルトランドセメント（OPC）の浸出液について、ろ材上に捕集された球状の粒子はSi及びCaが豊富に含まれ、これらは同程度の元素濃度を有する。他の形状の粒子は不均質であり、Caが主成分であることからCa(OH)₂の結晶ではないかと推測している。
- ・スラグセメント（OPC/BFS）の浸出液については、粒子形状、元素組成とも一定ではなく、小粒子の集合体の形状を採るSiが主成分の粒子と、Caが主成分の結晶状の粒子にほぼ2分される。

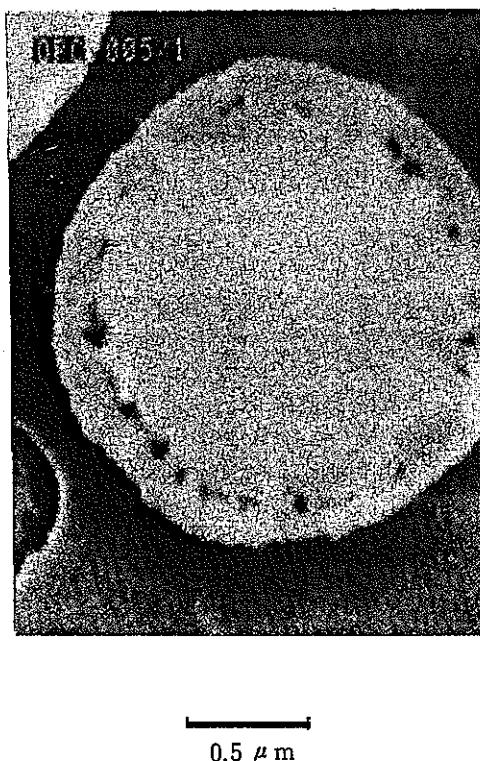


図1.1.1-1 セメント浸出水中の微細粒子

(f) X線回折による特性評価

ろ材上に保持された粒子の化学組成と粒子構造を把握するため、X線回折による測定を行った。

- ・普通ポルトランドセメント（OPC）の浸出液について、60°Cで浸出させた場合、コロイド粒子の元素組成は $[Ca] : [Si] = 1.12$ であり、90°Cで浸出させた場合には $[Ca] : [Si] = 2.1$ となり、より結晶化が進んでいた。
- ・固体粒子の生成過程は、最初にセメント水和物中の $Ca(OH)_2$ の溶解により Ca 濃度が上昇し、 Si の溶解は緩慢に起こる。溶解が進行してC-S-H相の溶解度に達するとコロイドが形成される。さらに浸出が継続すると Ca^{2+} が高イオン強度であるため凝集が起こり、粒子が成長するものと推測された。
- ・温度の上昇により凝集が加速され、大径の粒子が成長し、沈殿する。

(g) 誘導結合プラズマ発光分光法（ICP-ES）による特性評価

本手法により固／液相中の元素分析を行い、粒子の形成機構を検討するまでの基礎データを得ている。

- ・普通ポルトランドセメント（OPC）の浸出液について、60°Cで浸出させた場合には、室温での浸出に比較してAl, Si, S, Feの浸出速度が著しく増加する。さらに長時間の浸出の後には、Ca, Siの濃度は液相に比べ固相でより高くなり、固相中のCa/Si濃度比も室温での浸出時に比較してより急速に1に近づく。
- ・浸出温度が増加するほど液相中のAl濃度が低下するところから、温度の上昇がAlコロイド粒子の成長、あるいは析出粒子への取り込みを加速するものと推測できた。

(ii) コロイドの形成と核種放出の機構

(a) セメントからの元素の溶出に関する速度論的検討

pHは浸出開始後すぐに上昇し、高pH値に達する（～12）が、その後の各元素の浸出挙動は以下の3種類のカテゴリに分けることができる。

- ① アルカリ金属（Na, K）濃度が上限に達する。
- ② アルカリ土類金属（Ca, Sr, Ba）濃度、及び硫黄濃度が増加する。なお、これらの元素の濃度は温度の上昇により増加するが、Caのみが溶解度（ $5 \times 10^{-3} \text{ mol}$ ）に近づく。
- ③ Si, Al, Caが浸出液中に形成されるコロイド、及び他の粒子に取り込まれるため、Si、及びAlの濃度の増加が停止、あるいは濃度の減少が始まる。なお、この傾向は温度の上昇によりより顕著となる。

(b) 核種放出とコロイドへの取り込み

安定核種を加えた試料に対して浸出試験を行い、浸出液を誘導結合プラズマ質量分析法（ICP-MS）によって測定し、含有元素組成の定量を行った。また、この他にCo-60を用いた浸出試験も行っている。

- ・低溶解度で、水中で容易に加水分解しコロイド及び水酸化物の沈殿を生成するCe, Eu, Th, Uの各元素は、浸出温度の上昇（20°Cから60°C）により浸出液中の濃度が 10^2 から 10^4 倍増加する。
- ・一方、Co, Niといった易溶性の元素については温度の影響は相対的に小さい。
- ・以上より、添加されたそれぞれの元素は、セメントを構成する異なる相の溶解に従って放出されることが示唆されている。

(iii)ニアフィールド水化学のコロイド特性への影響

シリカ，モンモリロナイト，カオリナイト等を分散させた系に対する $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 濃度の影響を，動的光散乱法（DLS），及び電気泳動光散乱法（ELS）によりコロイドの流体力学的径及び拡散係数の変化として測定した。結果を図1.1.1-2に示す。

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ 濃度が $10^{-3}\text{ mol}/\text{dm}^3$ 前後になると，凝集によりコロイドの流体力学的径が増大し，コロイドの安定性が減少する。これはについては負の表面電荷を有するコロイド粒子に対し， Ca^{2+} イオンがカウンターアイオンとして働き電気2重層の厚さが減少するため，あるいは粒子表面に Ca^{2+} イオンが吸着して表面電化が中性化するため，コロイド粒子が凝集し易くなることによると推測している。

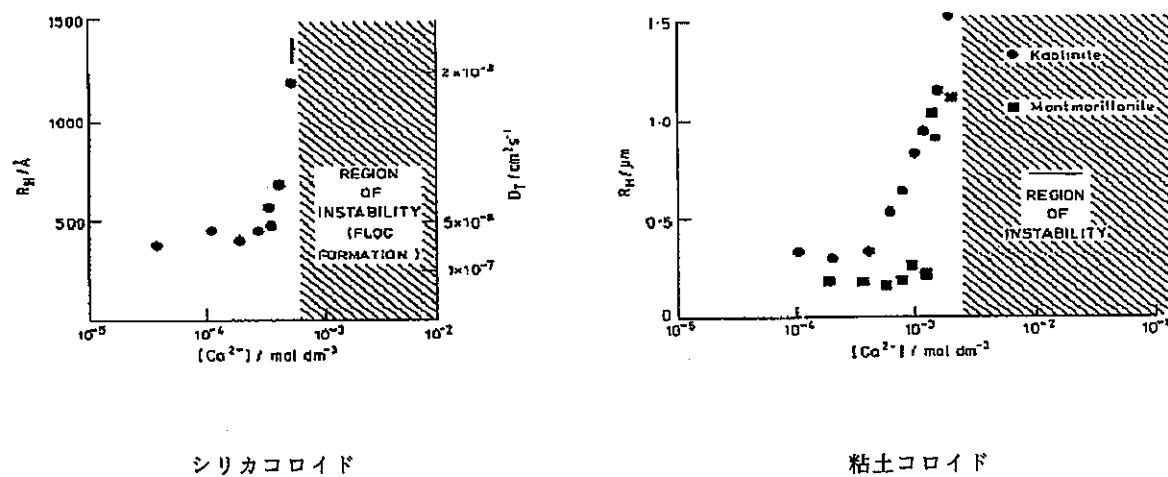


図. 1.1-2 シリカ，粘土粒子のコロイドの安定性と Ca^{2+} 濃度との関係

注) コロイドの安定性は，流体力学的径（縦軸）として評価

(2) セメント浸出水中におけるコロイドの挙動

(i) コロイドへの吸着挙動

処分場環境条件下におけるコロイドへの吸着機構と吸着が起こる対象範囲について検討するため，化学トレーサーを用いた単一材料によるコロイド系での吸着試験，及びより実際的であり複雑な系として母岩，充填材中で得られるコロイド系について吸着試験を行っている。評価はICP-ESとICP-MSを用いて，懸濁液及び遠心分離処理後の上澄液

中の元素濃度を測定しすることにより行った。得られた各種元素の見かけの分配係数を、单一材料のコロイド系について表1.1.1-2に示す。また、これに基づく検討結果を以下に示す。

・コロイド構成物質として使用した材料について、その収着性は概略以下の順となつた。このうち各元素に対する収着性は、モンモリロナイトが特に高い。

モンモリロナイト > ヘマタイト > シリカ > カオリナイト～微粉化雲母

・各元素の収着性の高さは、Th > Ce,Eu > U \geq Co,Ni > Csであり、原子価の大きいものほど収着性が高い。これは固相表面のカウンターアイオンの交換においてクローリン相互作用が支配的なことを示すものであり、したがってイオン交換が収着の主要な現象である。

表1.1.1-2 各種コロイドの収着性

コロイド系	コロイド濃度 ($\mu\text{g ml}^{-1}$)	見かけの分配係数 (ml g^{-1})						
		Co	Ni	Cs	Ce	Eu	Th	U
微粉化雲母	5000	~32	~17	~18	$\sim 1 \times 10^2$	$\sim 2 \times 10^2$	$> 3.6 \times 10^6$	1.3×10^3
	500	-	-	4×10^2	-	$\sim 3 \times 10^2$	5.2×10^3	$\sim 1 \times 10^2$
	500(1)	-	-	-	-	-	5.2×10^3	$\sim 4 \times 10^2$
	50	-	-	-	-	-	1.8×10^4	$\sim 3 \times 10^3$
モンモリロナイト	5000	6.2×10^3	5.5×10^3	4×10^2	2.6×10^4	3.4×10^4	7×10^5	6.6×10^2
	500	$\sim 3 \times 10^2$	$\sim 4 \times 10^2$	-	4.5×10^4	3.9×10^4	$> 6 \times 10^7$	1×10^3
	500(2)	6.9×10^3	6.8×10^3	-	2.6×10^5	$\sim 2 \times 10^6$	2.4×10^5	3.8×10^3
	50	-	-	-	-	-	$\sim 4 \times 10^5$	-
カオリナイト	5000	-	-	-	2.7×10^2	2.4×10^2	9×10^3	~ 32
	500	-	-	-	-	-	1.2×10^4	-
	50	-	-	-	-	-	7×10^3	$\sim 3 \times 10^3$
シリカ	5000	~11	~13	~18	1.4×10^3	1.4×10^3	1×10^5	1×10^4
	500	-	-	-	-	-	1.4×10^4	2×10^2
	50	-	-	-	-	-	$\sim 6 \times 10^3$	2.5×10^3
ヘマタイト	50	-	-	9×10^3	$\sim 1 \times 10^2$	$\sim 4 \times 10^3$	2.5×10^5	$\sim 4 \times 10^3$

(1)同一条件下での試験

(2)収着元素の溶液濃度を1/10とした場合

(ii) 浸出物質とニアフィールド材料との相互作用

ニアフィールドに存在する可能性の高い物質を共存させた条件下において浸出試験を実施し、ICP-ES等による溶解成分、析出物の元素組成を測定することにより、各成分による浸出性への影響を評価している。

(a) ホウ珪酸ガラス

- ・無色の析出物の量がガラスが存在しない場合より多くなり、この時のガラスの重量減は約0.5%であった。
- ・析出物の主成分は、Ca、及びSiであり、一方、液相中ではガラスの存在によりNa、K、Si、Bが増加し、S、Ca、Sr、Ba、Alが減少した。

(b) 砂岩及び花崗岩

- ・共存する岩石の溶解、収着による浸出液中の元素組成変化はほとんどない。
- ・岩石表面にCaを主成分とする白色の析出物が付着し、これによる花崗岩の重量増は約0.7%であった。
- ・花崗岩との相互作用は温度の上昇により著しく加速し、析出物の量は大きく増加する。

(c) 鉄

- ・無酸素条件下における浸出試験では、溶液、析出物中の鉄の含有率は極めて小さい($< 10^{-6} \text{ mol/dm}^3$)。

(iii) コロイドの移行とそのモデリング

シリカ、あるいは粘土コロイドの形成は、これらコロイドへの放射性核種の収着、結合により有効溶解度の変動と核種の遅延に影響を与えることが予想される。またこのプロセスはコロイドの安定性と収着性を決定するpHと Ca^{2+} 濃度に影響される。そこでここでは、粉碎岩石による予備的な透過試験を行い、コロイドによる移行、遅延効果を観測している。

106~212 μm の粒径を有する花崗岩粉碎粒子を充填したカラムに、80 μm のシリカゾル懸濁液を透過させた試験によって測定された、流出液中のシリカゾル濃度変化をを図1.1.1-3に示す。

岩石充填層がシリカコロイドによって破過するまでの時間遅れ、及びその後の純水流下によるコロイド濃度の低下の緩慢さから、コロイド粒子と岩石との間の相互作用によってコロイド粒子の移行遅延が起きているものと推定している。また、その機構について

は、岩石粒子、コロイドの双方が負に帯電した粒子間の静電的反発力による分散力が原因の1つであるとしている。

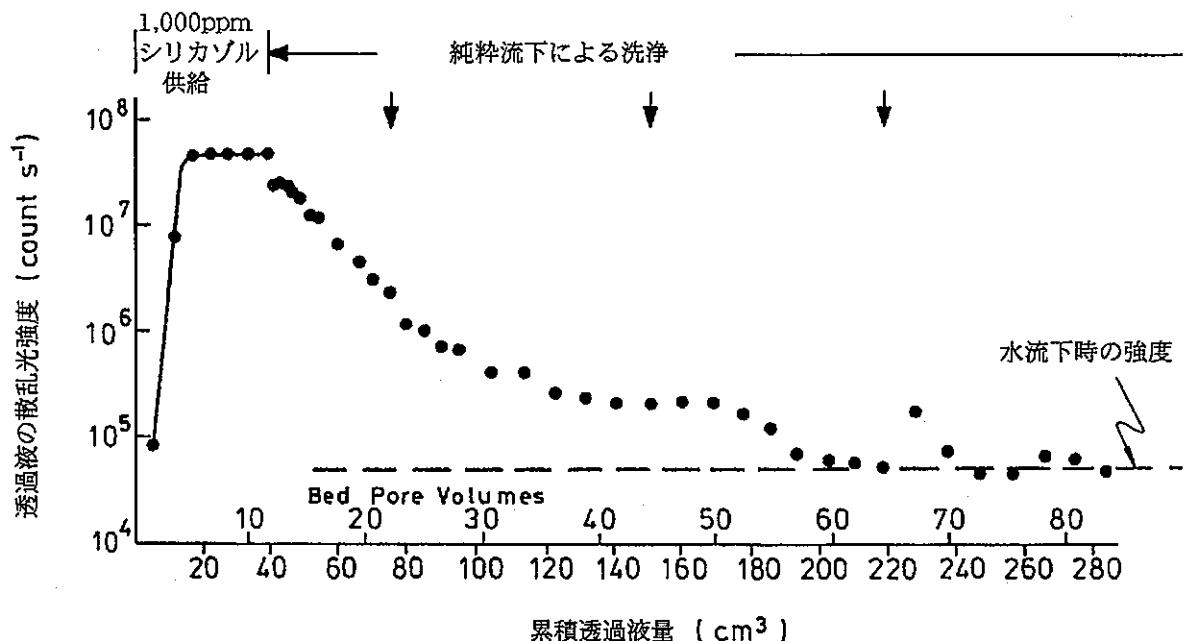


図1.1.1-3 シリカコロイドの粉碎岩石カラム中の流下特性

(3) 結論

以上の試験結果と考察について以下にまとめる。

(i) コロイドの形成

- ・セメント浸出水中におけるコロイドの形成は、主にカルシウム珪酸塩水和物による核生成とその成長による非晶質の形成によって生じる。
- ・コロイドの構造は複雑であり、それ自身が微細な空孔を持つ $1\text{ }\mu\text{m}$ 以下の骨材によって形成されている。

(ii) ニアフィールド水化学のコロイド特性への影響

- ・上記粒子の形成は浸出液の温度が 60°C 以上の高温で著しく促進される。
- ・セメントコロイドは多価希土類及びアクチニド類などの放射性核種と著しい結合性を有することから、ソースタームに大きく影響を及ぼす可能性がある。

(iii) セメント浸出水とニアフィールド物質との相互作用

- ・花崗岩、砂岩、あるいは粘土との接触によって生じ、天然の地下水中に存在する典型的なシリカ、粘土粒子等のコロイドはpH、 Ca^{2+} 濃度等の地下水条件に大きく影響される。
- ・特にコロイドの安定性は Ca^{2+} 濃度の影響が大きく、ニアフィールドで達し得る 10^{-3} mol/dm^3 以上の濃度では沈殿を生じる。
- ・さらに、 Ca^{2+} は核種吸着の競争物質としても重要である。

(iv) コロイド移行挙動

- ・セメント浸出液とニアフィールドの地層との相互作用は、多孔質物質の沈着等によるコロイド移行遅延などのため非常に複雑な現象となり、今後研究が必要である。

1.1.2 地下水コロイドの挙動

T R U 廃棄物の処分施設は浅地層以外の地層中に設置されると考えられている。処分施設からの放射性核種の放出は、処分場に地下水が浸入することによって生じ、ここに溶出した放射性核種が地下水を移行媒体として地層中を移行し、人間の生活圏に至るものと考えられている。したがって、地下水中に存在するコロイドが放射性核種の移行に影響を与える可能性が指摘され、地下水コロイドの特性についても研究が行われている。

ここでは近年実施されたGorlebenの地下水系における地下水コロイドと放射性核種との相互作用に関する研究例を示す³⁾。

(1) 地下水コロイドの特性

地下水の多くは無機及び有機双方のコロイドを含むのが一般であるが、その濃度、化学組成、粒径はそれぞれの地下水系の地球化学的特性によってさまざまに変化する。結晶質岩では相対的にコロイド濃度が低く、一方亜炭を伴う多孔質繊維物を含む地層の地下水系では相当量の粒子が存在することが知られている⁴⁾。また、天然コロイドの粒子径は $0.03\text{ }\mu\text{m}$ 以下と非常に小さいため、低濃度域では各種特性の測定に特別な技術が必要とされている。

(i) 地下水コロイドの粒径と粒径分布

フミン物質が多いとされるGorlebenの岩塩ドーム上部地層の地下水について限外ろ過によつて評価したコロイドの粒径分布を図1.1.2-1に示す。コロイド粒子濃度 $10^{15}/\text{L}$ について、その97%以上は 30 nm 以下の粒子であることが示されている。なお、この粒径分布はGorleben

地下水系のように有機物の多い地下水中のコロイド粒径分布として典型的なものであるとしている。

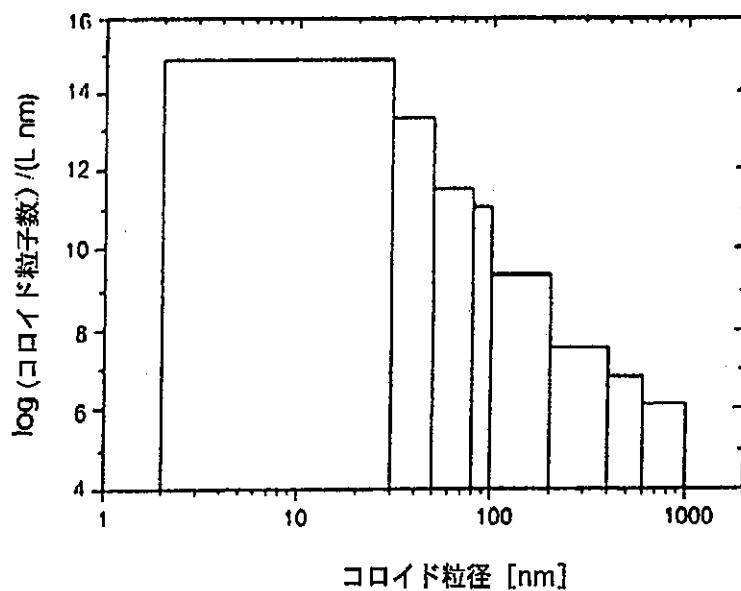


図1.1.2-1 Gorleben地下水コロイドの粒径分布

(ii) 地下水及びコロイドの化学組成

深度の異なる地層から採取された地下水の特性を表1.1.2-1に示す。微量元素成分の測定には誘導結合プラズマ発光分光法 (ICP-ES) , 誘導結合プラズマ質量分析法 (ICP-MS) , 及び高性能クロマトグラフィー (HPIC) , 放射化分析, レーザー蛍光分光法 (TRLFS) を用い, 溶存有機炭素濃度 (DOC) は赤外分光光度法及び可視紫外吸光光度法によって測定を行った。

DOCの比較的高い数値を示す地下水は, 褐炭成分を含む層付近で採取された地下水である。DOCはフミン酸とフルボ酸の混合比によって決定され, フミン酸成分が多いほどDOCの値が大きくなる。各地下水のフミン酸成分は67.1%~87.8%であった。また, DOCに寄与する成分は1 nmの口径の限外ろ過を行うことにより92.6%~95.2%が除去されるが, この比はフルボ酸の構成比が高い場合には低くなる。これらの試験結果より, フミンコロイドの大部分は50 nm以下, 1 nm以上の粒径範囲にあることが推定された。

また、これらフミンコロイドに結合している金属イオンについては、アルカリ土類金属を除く2価の金属イオンの30%程度しかフミンコロイドと結合していないのに対して、3価以上の高度に酸化された微量金属元素については、その80%以上がコロイドに執着しているものと考えられたとしている。これらは、3価のFe及び希土類元素、4価のZr、Hf、Th、5価のTa、6価のUである。

表1.1.2-1 Gorleben地下水系の物理的化学的特性

項目	地下水系					
	水系-162	水系-532	水系-1271	水系-2211	水系-2226	水系-2227
深度 [m]	42-45	65-68	80-82	83-85	160-162	128-130
pH	7.9±0.1	8.8±0.2	8.3±0.1	8.3±0.1	7.6±0.2	7.8±0.1
Eh [mV]	33±5	26±60	75±63	35±4	26±11	25±70
電導率 [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	448±30	955±20	3,000±30	4,885±115	11,860±160	4,662±187
陽イオン濃度 [meq/l]	4.94	8.83	29.7	46.6	126	43.1
陰イオン濃度 [meq/l]	4.99	8.70	30.0	45.4	124	42.1
DOC [mg C/l]	7.8±0.6	26.0±1.3	42.2±2.1	94.0±5.6	39.1±3.9	71.9±7.2

(iii) 地下水及コロイドとアクチニドイオノとの相互作用

Gorlebenの地下水系について、地下水コロイドによるアクチニド元素の疑似コロイド生成プロセスに関する研究が実施され、以下の結果が報告されている。

(a) 3価イオン

- Am(III)は99%以上がフミンコロイドに吸着する。
 - 時間解析レーザー蛍光分析法(TPLFS)を用いた測定により、Cm(III)の支配的な化学種は、pH>2ではフミン錯体としてフミンコロイドに吸着した状態で存在し、pH<2ではCm³⁺とフミン酸キュリウム/フルボ酸キュリウムの混合物が存在する。
- フミンコロイドを含む地下水中のCm濃度とこれを1nmのフィルタでろ過した後液中

のCm濃度のpHによる変化を図1.1.2-2に示す。pHが高くなるほど疑似コロイドとして濾過されるCmの量が増加することが明らかである。

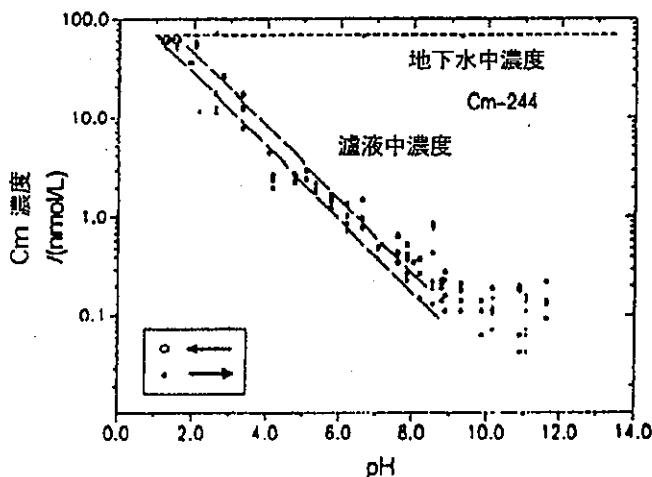


図1.1.2-2 濾液中Cm濃度のpH依存性

(b) 4価イオン

- ・pH > 4ではTh(IV)の99.9%以上がフミンコロイドに収着した状態で存在する。
- ・pH < 4とした場合のフミンコロイドからのTh(IV)の脱着は、脱着後Th⁴⁺の多核加水分解生成物がフミン錯体を構成するため、見かけ上脱着は可逆的でないように見える。

(c) 5価イオン

- ・NpO₂²⁺のフミン酸錯体はほとんど生成せず、フミンコロイドに対する収着はほとんど無視できる。
- ・但し、NpO₂²⁺は還元性の地下水中では容易にNp⁴⁺に還元され、Np⁴⁺はフミンコロイドと強い親和性を示すものと考えられる。

(d) 6価イオン

6価のアクチニド元素を用いた試験はこの段階では実施されていないが、天然のウラニルイオンの挙動を基に以下のように推定されている。

- ・天然ウランの約87%が1 nm以上の径のフミンコロイドに収着していることから、比較的大きな有効電荷を持つ二酸化アクチニルイオンは、3価のアクチニドイオンと同等の

フミンコロイドとの反応性が予測される。

以上の試験結果よりまとめると以下の結論が得られるとしている。

- ・ 3価，4価，6価のアクチニド元素はフミンコロイドの多い地下水コロイドに強く吸着し，疑似コロイドを形成する。
- ・ 地下水コロイドへの吸着と脱着は，pHの変化に可逆的である。
- ・ NpO^{2+} の吸着は無視できる程度である。
- ・ 3価のCmについて時間解析レーザー蛍光分析法（TPLFS）による相互反応の解析が行われ，フミン酸，フルボ酸による錯形成がアクチニド疑似コロイドの生成プロセスの支配的反応であることが明らかになった。

第 2 章

2. ガス発生・移行に関する処分システムへの影響評価

TRU廃棄物は多種多用な物質を含むことから、処分場内において様々な化学的、物理学的现象が生じることが指摘されており、その中の一つに金属の腐食、微生物活動による有機物分解によって生じる各種ガスの発生がある。処分場内において発生したガスは、内圧の上昇による人工バリアの物理的特性の劣化、処分場内概での地下水流速の増加等の影響を考えられる。

本章ではTRU廃棄物処分施設内において発生するガスの蓄積、移行挙動について各種パラメータについて感度解析を行うことにより現象の重要度、パラメータの影響度を把握すると共にモデルパラメータの取得方法、移行評価手法について調査することにより、今後の特性試験の実施、評価モデルの改良に資するものである。ことにより、処分場閉鎖後長期間のバリア性能に対する影響を評価するものである。

2.1 2相流パラメータの調査

本節ではガスの蓄積、移行挙動に対する感度解析を実施するに当たり、パラメータ値とその変動範囲、パラメータ相互の関係を設定、把握するため、各人工バリア候補物質に対して2相流評価に係わる特性値と、それらの相互関係について文献調査を行った。

2.1.1 パラメータの調査

2相流の解析に用いるデータの適性化を計るために、地層、あるいは多孔質媒体中の気体、液体の移行に係わる各種文献について調査を実施し、岩盤、コンクリート、粘土物質等の特性値を整理した。

(1) 調査対象パラメータ

本解析は昨年度に引き続き、ローレンスパークレイ研究所において開発された2相流評価コードである"TOUGH"^①を用いて行う。したがってここではTOUGHコードに採用されている数学モデルを解くために必要なパラメータをデータ収集の対象とした。

(a) 2相流評価モデル

以下に2相流を支配する基本式である、質量及びエネルギー保存式、及び評価上重要な2相流パラメータである相対透過係数の評価モデル、及び毛管圧の評価モデルを示す。

(b) 調査対象パラメータ

質量保存式には移行媒体の間隙率，流体の密度，粘性係数，気相の拡散係数，エネルギー保存式には，移行媒体について粒子密度，費熱，熱伝導度，流体について比内部エネルギー，熱伝導度，比エンタルピといったパラメータが必要であることがわかる。また2相流パラメータとしての相対透過係数，毛管圧と間隙中の気，液の飽和度との関係を表わすモデルからは，気，液の残留飽和度，毛管排除圧等，他モデル固有の係数のデータが必要であることがわかる。さらに，これらの他ガスの間隙水中への溶解も重要であるため，TOUGHコードでは気体の溶解度をヘンリー則に従って評価している。

ここではこれまでの研究例を参考として2相流の評価に必要となるデータを適切に分類，整理することにより，後段において実施するデータ取得の基礎とする。

Jeffriesらは2相流におけるガス／水の挙動に影響を及ぼす因子の摘出と分類を行っている²⁾。同報告では各データをガスの特性，間隙水の特性，固体マトリクス（移行媒体）の特性，に分けて摘出しており，ここでもこの3種類に大別して分類し，各パラメータと現象との関係を整理するものとした。

(i) ガスの特性に関するパラメータ

2相流評価モデルを用いて処分場のガス，水の移行を解析する上で必要となる，ガスの特性に関するパラメータには以下のものがある。

- ・ガス発生量（発生速度，期間）

；処分施設内のガスの蓄積状況，即ち最大圧力とその出現時期，及び気泡，間隙水の移行状況に影響する。

- ・密度

；気相の質量，及びエネルギーバランスの評価，移行時の重力の影響の評価に用いる。

分子量及び物理状態量より算出する。

- ・粘度

；各流体の透過係数を決定し，ガスフラックスの算定に用いる。

- ・熱伝導度

；気相のエネルギーバランス，熱移行，温度変化を決定する。

- ・多成分拡散係数（ガス，水蒸気混合系）

；気相の拡散による移行量を決定する。

- ・比エンタルピ

- ；気相のエネルギーバランス，熱移行，温度変化を決定する。
- ・溶解度（水に対する）
 - ；気相として存在するガスの量を決定し，圧力上昇，気泡の移行状況に影響する。
- ・Henry定数
 - ；圧力による溶解度の変化を決定する。

(ii) 間隙水の特性に関するパラメータ

2相流評価モデルを用いて処分場及び周辺地層中のガス，水の移行を解析する上で必要となる，間隙水の特性データには以下のものがある。

- ・密度
 - ；液相の質量，及びエネルギーバランスの評価，移行時の重力の影響の評価に用いる。
- ・粘度
 - ；各流体の透過係数を決定し，間隙水フラックスの算定に用いる。
- ・熱伝導度
 - ；液相のエネルギーバランス，熱移行，温度変化を決定する。
- ・比エンタルピ
 - ；液相のエネルギーバランス，熱移行，温度変化を決定する。

(iii) 移行媒体の特性に関するパラメータ

2相流評価モデルを用いて処分場のガス，水の移行を解析する上で必要となる，移行媒体，即ち処分場の人工バリア，天然バリアの特性データには以下のものがある。

- ・密度
 - ；固相のエネルギーバランスの評価に用いる。溶質の移行を考慮する場合は吸着量に影響する。
- ・間隙率
 - ；バリア中の流体量を決定することから，圧力の変化，ガス，水の移行量に影響する。
- ・熱伝導度
 - ；固相のエネルギーバランス，熱移行，温度変化を決定する。
- ・透過係数（飽和度の関数）
 - ；バリア中の流体の移行特性を決定し，圧力の変動，ガス，水の移行量に影響する最も基本的なパラメータである。

また，これら2相流評価モデルの質量，及びエネルギー収支式に直接現われるパラメータ

の他にも、相対透過係数、及び毛管圧と間隙水飽和度との関係、間隙構造の変化等の気、液の移行に影響する因子を考慮した場合、さらに以下に示すデータが必要である。

・水の残留飽和度

; ガス、水の相対透過係数と間隙水飽和度による変化を決定するパラメータであり、間隙水が移行可能な飽和度の範囲を規定する。また、毛管圧の変化にも影響する。

・ガスの残留飽和度

; ガス、水の相対透過係数と間隙水飽和度による変化を決定するパラメータであり、間隙中の気相が移行可能な飽和度の範囲を規定する。また、毛管圧の変化を決定するパラメータとしているモデルもある。

・毛管排除圧

; 水で飽和した間隙中に連続した気相の流路を形成するために必要な圧力であり、間隙中に作用する毛管圧の最小値を規定するパラメータ。

・屈曲度

; 媒体の最短流路長と間隙中の平均的移行流路長の比によって媒体中の移行の容易さを示すパラメータ。気相の拡散係数を決定する。

・熱膨張係数

; 温度による間隙構造の変化を考慮する場合に用い、温度による間隙率の変化を決定する。

・圧縮特性

; 応力による間隙構造の変化を考慮する場合に用い、圧力による間隙率の変化を決定する。

・亀裂密度、亀裂走向等亀裂特性

; 亀裂性媒体の特性を反映する場合、亀裂の状態を記述する特性値が必要となる。

ここに挙げたパラメータは全てTOUGH コードに用いられているモデルに含まれるものであるが、今回の解析では廃棄物の発熱については考慮しないことから、熱の移行に係わるパラメータは重要ではない。また、TOUGH コードでは、気体は全て空気の特性によって評価され、液体は全て純水の特性値を用いて評価されるが、これらの空気、純粋に対する物性値はコード内に設定されている。したがって、流体の密度、粘度、気体の拡散係数、溶解度、ヘンリイ定数等の内部設定データについては調査対象から除くものとした。さらに、本年度の解析では移行媒体は均質な多孔質として評価し、不均質な亀裂性の媒体につ

いでは今後モデルの調査、評価、選定を行った後に解析を実施する予定であることから、亀裂特性に関するデータについても調査対象から除くものとした。

本年度の調査は以下のパラメータを中心として行うものとする。

- ・間隙率 ; 移行媒体について、他のパラメータとの相関に重要。
- ・密度 ; 移行媒体について、他のパラメータとの相関に重要。
- ・透過係数 ; 移行媒体（流体）の種類に因らない移行媒体固有の透過性を示す「絶対透過係数」、及びガス、水の間隙中飽和度によって変化する透過性を記述する、「ガスの相対透過係数」、「水の相対透過係数」に対する評価モデルが調査対象となる。
- ・毛管圧 ; ガス、水の間隙中飽和度によって変化する毛管圧を記述する評価モデルが調査対象となる。
- ・水の残留飽和度
- ・ガスの残留飽和度
- ・毛管排除圧
- ・ガス発生量 ; ガスの種類と発生速度、発生期間が重要

(2) 調査結果

調査対象とした移行媒体は、昨年度の検討において「人工バリア構成」で設定したいかのバリア候補材料とした。

- ・廃棄物パッケージ ; セメント系材料
- ・緩衝材(充填材) ; ベントナイト、及びベントナイト／珪砂混合物、
(セメント系材料)
- ・構造物 ; セメント系材料
- ・地層(母岩、ゆるみ域) ; 亀裂系結晶質岩、多孔質堆積岩

(a) 母岩

(i) 絶対透過係数（固有透過係数）

表2.1.1-1～3は、動燃事業団によって「高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術報告書-平成3年度-」（以下H-3レポート）³⁾で纏められた、我が国における地層の透水係数の調査結果をもとに、透水係数[m/s]の値を、液相が常温の純水であるとして絶対透過係数[m²]に換算したものである。

絶対透過係数の値は、1,000mまでの深さでは $10^{-14}[\text{m}^2]$ の桁を中心として分布しており、また、岩種別に整理されたデータにおいても、他と比較して透水性の高い砂、礫、及び砂岩、礫岩を除き、ほぼ頻度分布のピークは $10^{-14}[\text{m}^2]$ の桁にあるものと思われる。

一方、透過係数の測定、設定例を見ると、2相流に対する解析研究が、これまで主に油田、ガス田等の資源開発関連分野を中心に発展してきたことからも、表2.1.1-4に示したように硬岩、結晶質岩系の測定例は極めて少ないと見えるが、堆積岩系の岩種であっても $10^{-16} \sim 10^{-18}[\text{m}^2]$ 以下の比較的低い透過性が得られた測定例も相当数存在する。

(ii) 相対透過係数評価関数

相対透過係数と間隙水飽和度との関係を測定した例は比較的豊富に存在するが、表2.1.1-4に示すように、数学モデルの開発、既存のモデルの適用性について評価した例は稀であり、基本的なモデルでの近似を試みた例、あるいは一部、Brooks and Corey modelの適用を試みた例があるにとどまる。また、残留飽和度等の関連パラメータの測定例も少ない。しかしながら、今回の調査結果は2相流に係わる試験研究例のごく一部であることは明らかであり、これまでの評価例ではCorey modelを適用している例が多いことからも、今後も調査を継続することによりデータの充実を図る必要があると考えられる。

(iii) 毛管圧評価関数

相対透過係数と同様に、毛管圧の間隙水飽和度による変化について測定した例は比較的豊富に存在するが、表2.1.1-4に示すように、基本的なモデルでの近似を試みた例、あるいは一部、Leverett model、Brooks and Corey modelによるフィッティングを試みた例がある程度であった。一方、これまでの評価例では、Narasimhan model、Sandia model適用例がある。上述のように今回の調査結果は2相流に係わる試験研究例のごく一部であり、今後も調査を継続することによって毛管排除圧等の関連パラメータデータの充実を図ることが重要であると考えられる。

表2.1.1-1 深度別透過係数の頻度分布³⁾

深度区分[m]	絶対透過係数のオーダ[m ³]						
	10 ⁻¹⁰	10 ⁻¹¹	10 ⁻¹²	10 ⁻¹³	10 ⁻¹⁴	10 ⁻¹⁵	10 ⁻¹⁶
0 ~ 50	1	4	12	52	42	17	4
50 ~ 100	0	0	0	5	11	4	1
100 ~ 500	0	0	2	2	3	1	2
500 ~ 1,000	0	0	0	0	2	2	0
1,000 ~	0	0	0	1	1	3	0

表2.1.1-2 亀裂性岩盤に関する透過係数の頻度分布³⁾

岩石の種類	絶対透過係数のオーダ[m ³]							
	10 ⁻¹⁰	10 ⁻¹¹	10 ⁻¹²	10 ⁻¹³	10 ⁻¹⁴	10 ⁻¹⁵	10 ⁻¹⁶	10 ⁻¹⁷
花崗岩類	0	2	3	22	23	4	3	4
流紋岩・ディサイト類	0	0	1	11	15	4	0	0
安山岩・玄武岩類	0	1	1	18	23	1	2	0
先新第三紀堆積岩	0	0	2	20	30	4	1	0
石灰岩	2	0	0	2	0	1	0	0
片岩	0	0	2	8	9	2	0	0
第四紀火山岩類	1	1	5	11	11	8	2	0

表2.1.1-3 多孔質岩盤に関する透過係数の頻度分布³⁾

岩石の種類	絶対透過係数のオーダ[m ³]							
	10 ⁻¹⁰	10 ⁻¹¹	10 ⁻¹²	10 ⁻¹³	10 ⁻¹⁴	10 ⁻¹⁵	10 ⁻¹⁶	10 ⁻¹⁷
新第三紀堆積岩								
泥岩・頁岩	0	1	1	2	7	5	2	0
泥岩・砂岩の互層等	0	0	1	4	1	5	1	0
砂岩・礫岩	0	1	10	10	4	1	0	1
凝灰岩	0	0	0	5	8	4	2	0
風化部	0	0	0	4	2	1	0	0
破碎帶	0	0	1	0	0	5	0	0
第四紀堆積層								
粘土・シルト	0	0	0	2	6	11	6	7
同上(砂・礫を含む)	0	0	4	0	2	2	0	0
砂・礫	11	45	60	27	3	0	0	0

表2.1.1-4 母岩の特性値

(1/2)

岩種	真密度 [kg/m ³]	間隙率 [—]	絶対透過係数 [m ¹]	相対透過係数 評価関数	毛管圧 評価関数	係数	備考
砂岩	2.6×10^3 $\sim 2.80 \times 10^3$	0.2 ~ 0.3	1.0×10^{-13} $\sim 1.0 \times 10^{-12}$		Leverett		測定値 ⁴⁾
砂岩 (北海油田)			1.0×10^{-14} $\sim 1.0 \times 10^{-12}$		Leverett	$S_{fr}; 0.06 \sim 0.3$	測定値 ⁴⁾
白雲石		0.118	1.0×10^{-14} $\sim 1.0 \times 10^{-13}$				測定値 ⁵⁾ K_g
白雲石 ／堆積物		0.003	1.0×10^{-21} $\sim 1.0 \times 10^{-16}$			$Pe; 0.3 \times 10^6 [Pa]$ $\sim 0.7 \times 10^6 [Pa]$	測定値 ¹⁰⁾
堆積岩		0.1 ~ 0.2	1.0×10^{-15} $\sim 1.0 \times 10^{-13}$				測定値 ⁶⁾
凝灰岩 Yucca Mt.			1.0×10^{-12} $\sim 1.0 \times 10^{-11}$				測定値 ⁷⁾
泥灰岩		0.02 ~ 0.04	1.0×10^{-17} $\sim 1.0 \times 10^{-15}$	Capillary bundle model	Pore size distribution		測定値 ⁹⁾
石灰岩		0.02 ~ 0.04	1.0×10^{-16} $\sim 1.0 \times 10^{-14}$	Capillary bundle model	Pore size distribution		測定値 ⁹⁾
頁岩		0.03 0.05	1.0×10^{-21} 1.0×10^{-18} $\sim 1.0 \times 10^{-16}$			$Pe; 5.5 \times 10^6 [Pa]$ $\sim 7.1 \times 10^6 [Pa]$ $Pe; 1.0 \times 10^6 [Pa]$ $Pe; 5.0 \times 10^4 [Pa]$	測定値 ¹⁰⁾
シルト岩 ／粘土岩	2.79×10^3	0.021	1.0×10^{-17}				測定値 ¹⁰⁾
粘土岩 ／石灰岩	2.76×10^3	0.09	1.0×10^{-18}				測定値 ¹⁰⁾
炭層		0.027 ~ 0.036	1.0×10^{-16}	Brooks and Corey	Brooks and Corey	$S_{fr}; 0.02 \sim 0.14$ $Pe; 8.6 \times 10^5 [Pa]$ $\eta = 0.87$	測定値 ⁸⁾
硬岩		0.001	1.0×10^{-17} $\sim 1.0 \times 10^{-16}$				測定値 ⁶⁾

表2.1.1-4 母岩の特性値

(2/2)

岩種	真密度 [kg/m ³]	間隙率 [—]	絶対透過係数 [m']	相対透過係数 評価関数	毛管圧 評価関数	係数	備考
堆積岩系		0.01	1.0×10^{-17}	Grant, Corey	Narashiman an	$S_{lr}; 0.25$ $S_{sr}; 0$ $S_{lr}; 0.2 (P_{cap})$ $P_e; 0 [Pa],$ $5.0 \times 10^4 [Pa]$ $\eta = 1.0$	設定値 ¹¹⁾
泥灰岩		0.03	1.0×10^{-17}	Corey		$S_{lr}; 0.3$ $S_{sr}; 0.05$	設定値 ¹²⁾
岩塩 WIPP		0.01	1.0×10^{-22} $\sim 1.0 \times 10^{-20}$	Brooks and Corey	Brooks and Corey Sandia	$S_{lr}; 0.2$ $S_{sr}; 0.2$ $P_o;$ $2.3 \times 10^7 [Pa]$ $\eta = 0.7$	設定値 ¹³⁾

(b) ゆるみ域

(i) 厚さ

今回の調査結果では、ゆるみ域の厚さについては 0m~11m の範囲にあるが、岩種、深度、掘削空洞の規模が様々であり、これらとの相関を把握するにはデータ不足であった。一方、これまでの評価例では 15~35 m の範囲であり、保守側の値を設定する傾向が見られる。

(ii) 絶対透過係数（固有透過係数）

表2.1.1-5 に示すように、透水係数 [m/s] から換算した絶対透過係数 [m^2] の値は乱されていない母岩の値に比較して全く変化のない場合から、6 枠の増加を示す例まで広く分布している。これはゆるみ域の厚さと同様に、周辺地層の状態による影響が大きいものと思われる。

一方、評価時の設定例を見ると、インタクトな母岩に対して 2 枠の増加を仮定することが一般であった。

表2.1.1-5 に示したように、これまでゆるみ域についてはその厚さと透水性についていくつかの測定値、数値モデルによる解析手法、及び性能評価上の設定値が報告されている。ゆるみ域の範囲と特性は、空洞周辺の地質条件を初めとして、適用された掘削技術、支保工、空洞の規模、形状、隣接する空洞との相関、あるいは掘削後の経過時間等によって影響されることが知られており、一概にはその規模、特性を設定することは困難であると考えられる。

表2.1.1-5 ゆるみ域の特性

処分施設タイプ	設定／測定値	条件	備考
坑道 (9m H × 8m W)	厚さ ; 0.4~0.9m K ; 10^{-12} : (母岩= 10^{-15} :)	深度 ; 60m 岩種 ; 石灰岩頁岩互層	測定値 ¹⁴⁾ Darlington取水トンネル
坑道	厚さ ; 0.5~0.75m K ; 変化なし	深度 ; 610m 岩種 ; 珪岩	測定値 ^{14,15)} Denison Min U鉱
坑道 (3m H × 5m W)	厚さ ; 0.5~1.15m K ; 10^{-12} : (母岩= 10^{-18} :)	深度 ; 100m 岩種 ; 粗粒花崗岩質片麻岩 にペグマタイト, 黒雲母片岩, 石英のレンズが散在	測定値 ^{14,15)} Colorado鉱山学校 試験坑(Idaho Springs)
ボールト (22m H × 18m W)	厚さ ; 2.0~4.8m (高／低透水性層が相互に存在)	深度 ; 150m	測定値 串木野 地下原油備蓄施設
坑道 (1.1m W × 3.2m L)	厚さ ; 0~0.5m K ; 変化なし	深度 ; 240m 岩種 ; 花崗岩	測定値 ^{14,15)} Canada URL
坑道 (9.7m H × 1,500m L)	厚さ ; 0m K ; (母岩= $10^{-18} \sim 10^{-15}$:) ϕ ; (母岩=0.1)	深度 ; 1,090m 岩種 ; oolite 鉄鉱床	測定値 ¹⁶⁾ Konrad
坑道 (6.0m ϕ)	厚さ ; ~11m K_R ; 10~80 (母岩=1.0)	深度 ; 1,000m 岩種 ; 花崗岩質片麻岩	測定値 ¹⁷⁾ Piz Pian Grand
坑道 (5.0m ϕ)	厚さ ; ~10m 変異 ; $\leq 10\text{mm}$	深度 ; 217m 岩種 ; 粘土 (Boom Clay)	測定値 ¹⁸⁾ Mol
サイロ (15m H × 7.5m ϕ)	厚さ ; 15m K ; 10^{-15} : (母岩= 10^{-17} :) ϕ ; 0.10 (母岩=0.01)	深度 ; 250m	設定値 ¹⁹⁾ Switzerland
ボールト (16m H × 14m W × 466m L)	厚さ ; 25~35m K ; 10^{-15} : (母岩= 10^{-17} :) ϕ ; 0.03 (母岩=0.03)	深度 ; 200~1,200m 岩種 ; 泥灰岩	設定値 ²⁰⁾ Oberbauensteinstock
坑道 (5.2m ϕ × 1,640m L)	厚さ ; 5~10m K ; 10^{-15} : (母岩= 10^{-17} :)	深度 ; 200~1,200m 岩種 ; 泥灰岩	設定値 ²⁰⁾ Oberbauensteinstock

(c) 緩衝材

スウェーデンにおける仕様済み燃料処分の緩衝材に関する研究、ベルギーの高レベル／TRU廃棄物処分場候補地であるBoom clayに対する研究例を中心にデータを収集した。結果を表2.1.1-6に示す。

(d) 構造物、充填材

構造物及び処分空洞への充填材としてはセメント系の材料を対象として調査を行った。コンクリート中の気体の移行については、特にスイス、イギリスにおいて研究が進展しており、2相流パラメータについても比較的データがとられている材料であるといえる。結果を表2.1.1-7に示す。

表2.1.1-6 緩衝材, 粘土物質の特性値

岩種	乾燥密度 [kg/m ³]	間隙率 [—]	絶対透過係数 [m ¹]	相対透過係数 評価関数	毛管圧 評価関数	係数	備考
ペントナイト	1.80×10 ³ 1.35×10 ³ 0.90×10 ³	0.13 0.35 0.57	1.0×10 ⁻²¹ ~1.0×10 ⁻²⁰ 1.0×10 ⁻²⁰ ~1.0×10 ⁻¹⁹ 1.0×10 ⁻²⁰ ~1.0×10 ⁻¹⁸			Pe; ~2.1×10 ⁷ [Pa] Pe; ~1.6×10 ⁶ [Pa] Pe; ~6.0×10 ⁴ [Pa]	測定値 ²¹⁾
ペントナイト 50/50砂 ペントナイト 20/80砂			1.0×10 ⁻¹⁹ ~1.0×10 ⁻¹⁸ 1.0×10 ⁻¹⁸ ~1.0×10 ⁻¹⁷			Pe; 5.0×10 ⁵ [Pa] ~1.5×10 ⁶ [Pa] Pe; 1.0×10 ⁵ [Pa] ~3.0×10 ⁵ [Pa]	設定値 ²²⁾
ペントナイト 10/90砂	1.80×10 ³ 1.60×10 ³ 2.35×10 ³ ~2.20×10 ³		1.0×10 ⁻¹⁸ 1.0×10 ⁻¹⁷ 1.0×10 ⁻¹⁷ ~3.0×10 ⁻¹⁷				測定値 ²³⁾
ペントナイト 50/50砂 ペントナイト 30/70砂	1.88×10 ³ 1.95×10 ³		~4.0×10 ⁻²¹ 1.0×10 ⁻¹⁸ ~3.0×10 ⁻¹⁷			Pe; 5.0×10 ⁵ [Pa] ~1.5×10 ⁶ [Pa]	^{24,25)} 測定値
London Clay			1.0×10 ⁻¹⁸ ~1.0×10 ⁻¹⁶				測定値 ²⁶⁾
粘土		0.20	1.0×10 ⁻¹⁹ ~1.0×10 ⁻¹⁸				測定値 ⁶⁾
粘土		0.15	1.0×10 ⁻¹⁶	Corey	Leverett	S _{lr} ; 0.10 S _{sr} ; 0.0 Pt; 3.5×10 ⁶ [Pa]	設定値 ²⁷⁾
粘土 Boom Clay				K _l vs. S _w	P _e vs. K		測定値 ²⁸⁾

表2.1.1-7 セメント、コンクリートの特性値

岩種	真密度 [kg/m ³]	間隙率 [—]	絶対透過係数 [m ¹]	相対透過係数 評価関数	毛管圧 評価関数	係数	備考
コンクリート		0.13	$K_g; 1.0 \times 10^{-16}$ $K_l; 1.0 \times 10^{-18}$	Corey	Narasimhan	$S_{tr}; 0.3$ $S_{sr}; 0.18$ $P_e; 1.0 \times 10^5 [\text{Pa}]$ $P_o; 1.2 \times 10^6 [\text{Pa}]$ $\eta = 1.3$	測定値 ²⁹⁾
コンクリート		0.107 0.244	1.0×10^{-20} $\sim 1.0 \times 10^{-14}$			$P_e; 5.0 \times 10^5 [\text{Pa}]$ $\sim 1.0 \times 10^7 [\text{Pa}]$	測定値 ³⁰⁾
モルタル/ コンクリート			1.0×10^{-21} $\sim 1.0 \times 10^{-14}$		P_e vs. K	$P_e; 1.0 \times 10^5 [\text{Pa}]$ $\sim 1.5 \times 10^6 [\text{Pa}]$	測定値 ³¹⁾
モルタル/ コンクリート SRPC PFA-OPC	2.48×10^3 2.43×10^3	0.13 0.12	2.0×10^{-17} 1.0×10^{-21} $\sim 1.0 \times 10^{-17}$				測定値 ³²⁾
BFS-OPC	1.89×10^3	0.3~0.4	1.0×10^{-21} $\sim 1.0 \times 10^{-16}$ 1.0×10^{-20} $\sim 1.0 \times 10^{-16}$ 1.0×10^{-15} $\sim 1.0 \times 10^{-14}$				鉄筋 打継ぎ

2.1.2 パラメータ間の相互関係

2相流の解析を行ううえで各パラメータの間に相互関係が存在する場合、それらに従った、各パラメータ間で整合性のとれた条件を設定することが重要である。本項では、移行媒体の各特性値間の相互関係に対して実施された試験、研究例について調査した³³⁾。

多孔質系媒体の基本物性、あるいは状態量と2相流パラメータとの相互関係については、石油、石炭、ガス関係の資源開発関連分野を初めとして、土木建築分野等において研究が進められており、以下に示すパラメータ間の関係についてモデルの開発、実証試験が実施されている。

(1) 2相流パラメータと媒体の基本物性、状態量との関係

不飽和系でのガス、水の移行挙動を直接決定する、ガス、水に対する相対透過係数、及び毛管圧と移行媒体の物性値、状態を示すパラメータとの関係について調査した。

(a) 毛管圧vs.毛管半径、表面張力

円筒状毛管モデル；毛管圧の基本モデルであり、地層物質等への適用には拡張の必要がある。

$$P_c = \frac{2\sigma \cos \theta}{r}$$

P_c ; 毛管圧 [Pa]

θ ; 接触角度 [rad]

r ; 円筒状毛管半径 [m]

(b) 透過係数vs.間隙率、粒子径

Kozeny - Carman の式；球状粒子充填層に対する透過性の評価モデル。地層物質等への適用には拡張の必要がある。

$$\sqrt{\frac{k}{\phi}} = \frac{\phi R}{\sqrt{45(1-\phi)}} = \frac{r_h}{\sqrt{5}}$$

k ; 透過係数 [m^2]

ϕ ; 間隙率 [-]

R ; 多孔質粒子半径 [m]

r_h ; 水力半径 [m]

(c) 透過係数vs.媒体密度（間隙率）

粘土系物質については、乾燥密度と透過係数（透水係数）との関係が整理された例があるが、鉱物組成、粒径分布によって挙動は異なることが考えられる。

(d) 毛管圧（毛管排除圧）vs.媒体密度（間隙率）

粘土系物質について、乾燥密度と毛管圧（毛管排除圧）との関係が整理された例があるが、鉱物組成等の相異によって挙動は異なることが考えられる。

(e) 毛管圧（毛管排除圧）vs.透過係数

粘土系物質について、比較的広い絶対透過係数の範囲に対して関係が整理された例がある。

(f) 毛管圧vs.間隙水飽和度

間隙水飽和度の低下によって毛管圧は上昇することが知られているが、その挙動は各物質の間隙構造によって決定される。この挙動を記述する関係式として数種類のモデルが提案されているが、各物質との対応は特性試験により確認する必要がある。

(g) 相対透過係数vs.間隙水飽和度

間隙水飽和度の変化によってガスおよび水の透過係数は変化することが知られているが、その挙動は毛管圧と同様に各物質の間隙構造によって決定される。この挙動を記述する関係式として数種類のモデルが提案されているが、各物質との対応は特性試験により確認する必要がある。

(2) 2相流パラメータ相互の関係

ここでは相対透過係数と毛管圧との相互関係について調査を行った。

(a) 毛管圧vs.透過係数（間隙水飽和度、間隙率、表面張力）

Leverettの関係；間隙水飽和度と毛管圧との関係を記述し、間隙構造の類似性が評価可能。

間隙水飽和度に対する $J(S)$ の関係が平行な2曲線については、一方の相対透過係数の変化が既知であれば、他方の相対透過係数の飽和度に対する関係を評価できる。

$$J(S) = \frac{P_c(S) r_p}{\sqrt{8}\sigma}$$

$P_c(S)$; 毛管圧 [Pa]

$J(S)$; 無次元毛管圧 [-]

r_p ; 間隙半径 [m]

S ; 間隙水飽和度 [-]

(b) 毛管圧vs.透過係数（間隙水飽和度，間隙率，表面張力，屈曲度）

Pursell の手法；毛管圧と間隙水飽和度との関係から，相対透過係数と間隙水飽和度との関係を評価する。

間隙水飽和度に対する無次元毛管圧 $J(S)$ [-] の関係が同様な曲線群から間隙構造因子を決定し，毛管圧から透過係数を算定する。

$$\frac{k}{\phi} = M_I \int_0^1 P_c^x(S_n) dS_n$$

$P_c(S)$; 毛管圧 [Pa] $J(S)$; 無次元毛管圧 [-]

r_p ; 間隙半径 [m] S ; 間隙水飽和度 [-]

移行媒体の透過性及び毛管圧の変化の特長を決定する 2 相流パラメータは間隙構造の相違を反映する。したがって，類似の間隙構造，鉱物組成を有する粘土物質等の狭い範囲内については透過性と基本物性との間にある関係が参考となるが，2 相流パラメータと間隙水の飽和度については物質ごとに少なくとも一方の特性曲線を把握することが必要である。また，2 相流パラメータ相互の関係についても，間隙構造の類似する物質間についてのみ，毛管圧から相対透過係数への換算が可能な状況である。

2.2 2相流パラメータの感度解析

本節では感度解析対象とすべきパラメータを選定し、感度解析条件を設定することにより、主要なパラメータについてガスの蓄積、移行に対する影響度を把握することにより、今後特性試験を実施すべきパラメータの優先度の設定に資する。

2.2.1 感度解析パラメータの選定

(1) 選定上の観点

感度解析対象とするパラメータは、以下に示す3種類の観点により概略評価を行って選定するものとする。

- ① 過去の解析結果において影響の大きいパラメータ
- ② データが不足するパラメータ
- ③ 相互関係の不明確なパラメータ

(2) 過去の解析例による評価

(a) NAGRA1991年評価¹⁾

NAGRAが1991年に報告している仮想的低／中レベル廃棄物処分場におけるガス発生影響評価では、地下約250mの深度にある15m H×7.5m W断面、厚さ1mの内張りコンクリートをもつ空洞に、2m H×2m Wの廃棄体パッケージを6列×6段積みした概念について解析を行っている。

同評価では2相流パラメータの感度解析を実施しており、変動パラメータ及びその変動幅は以下の通りである。

- ・絶対透過係数（充填材(セメント)） ; 土1 枠
- ・絶対透過係数（母岩） ; 土n 枠
- ・相対透過係数評価モデル ; Grant model → Corey model
(充填材、母岩、ゆるみ域)
- ・毛管排除圧(充填材、母岩、ゆるみ域) ; 0 → 0.5MP

以上の条件による感度解析結果より、各パラメータによる影響の程度を以下のように評価している。

- ・絶対透過係数（充填材(セメント)）の変化は処分場内の圧力上昇に著しい影響を及ぼす。
- ・絶対透過係数（母岩）の変化は処分場内の圧力上昇及び間隙水の放出量にほとんど影響を及ぼさない。
- ・相対透過係数評価モデル（充填材、母岩、ゆるみ域）をCorey modelにすることで処分

場内の最大圧力が増加し、最大圧力に達するまでの期間が増加することにより、間隙水の放出量が増大する。

- ・毛管排除圧（充填材、母岩、ゆるみ域）を考慮することにより処分場内の最大圧力が増加し最大圧力に達するまでの期間が増加することにより、間隙水の放出量が増大する。

(b) Sandia 国立研究所1991年報告²⁾

Sandia 国立研究所が1991年に報告しているWIPPにおけるガス発生影響評価では、地下約650mの深度の岩塩層に建設されている、4mH×10mW×90mLの空洞内に約6,800本の200ℓドラム缶を定置した概念について解析を行っている。

同評価でも同様に感度解析を実施しており、変動対象としたパラメータ及びその変動幅は以下の通りであった。

- ・絶対透過係数（高透過性層） ; +1桁
- ・絶対透過係数（母岩） ; ~ -2桁
- ・相対透過係数評価モデル（高透過性層） ; Brooks & Corey model → Sandia model
- ・ガス／間隙水残留飽和度（高透過性層） ; 0.2 → 0, 0.4
- ・毛管排除圧（高透過性層） ; 0.3 → 2.1MPa
- ・間隙率（高透過性層） ; 0.01 → 0.03
- ・重力 ; 無し → 考慮

以上の条件による感度解析結果より、各パラメータの変化によるガス移行に対する影響度は以下のように評価されている。

- ・絶対透過係数（高透過性層）を変化させることにより処分場内の最大圧力と気泡の移行距離に及ぼす影響は大きい。
- ・絶対透過係数（母岩）を変化させた場合でも、他に移行の卓越する透過性の大きいエリアが存在する場合にはその影響はほとんど現われない。
- ・相対透過係数評価モデル（高透過性層）により処分場内圧力及び気泡の移行距離が大きく異なることがある。
- ・ガス／間隙水残留飽和度（高透過性層）の変化による処分場内圧力及び気泡の移行距離に及ぼす影響は、相対透過係数の評価モデルにより大きく異なる。
- ・毛管排除圧（高透過性層）を変化させた場合には、処分場内の最大圧力変化は毛管排除圧の変化量と同程度である。
- ・間隙率（高透過性層）の変化による影響は気泡の移行距離に現われる。

・重力を考慮することによる処分場内圧力及び気泡の移行距離への影響は小さい。

(c) 動燃事業団1993年評価³⁾

昨年度、本研究において実施した予備的試算では、地下約200mの深度に建設された直径約12mのボルトタイプ処分施設、及び直径30m、高さ約55mのサイロタイプ処分施設について解析を実施している。

同試算でも概略的に感度解析を実施しており、変動対象としたパラメータ及びその変動幅は以下の通りであった。

- ・絶対透過係数（緩衝材） ; -1 柄
- ・毛管排除圧（全領域） ; 0 → 0.5 MPa

以上の条件による感度解析結果より、各パラメータの変化によるガス移行に対する影響度は以下のように評価されている。

- ・処分施設内の圧力上昇に対する緩衝材の絶対透過係数による影響は大きい。
- ・毛管圧も処分施設内の圧力上昇に対して影響するが、透過係数ほど大きくはない。
- ・ガス発生速度は処分施設内の圧力上昇速度の重要な決定因子の一つである。

以上の結果から、代表的な過去の評価例において影響度の大きいとされたパラメータをまとめると、以下の3項目に要約される。

- ・ガスの透過を支配する層に対する絶対透過係数
- ・ガスの透過を支配する層に対する相対透過係数の評価モデル
- ・毛管圧評価パラメータ

(3) データの不足度による評価

本試算における入力データを設定するに当たり、前項において各種バリア候補材料に対して2相流パラメータを初めとする特性値等に対して文献調査を行った。調査結果は表2.1.1-1~7に示す通りである。

透過特性の指標に関しては、飽和系における透水係数の測定値は比較的豊富に存在するものの、不飽和系における相対透過係数のデータについては砂岩、頁岩等一部の堆積岩系の岩盤を除いて測定例は極めて少ない。毛管圧の飽和度による変化についても同様のデータ取得状況にあることが把握できる。イギリスAEAの調査結果⁴⁾にも、2相流移行に係わる移行媒体の物性に関しては「低透水性の結晶質岩、粘土物質に対する相対透過係数、及び毛管圧の変化に関して、データの取得はほとんどなされていない。」と述べられていることからも、これ

らのデータの不足は明らかである。また、セメント系材料については近年データの取得が開始されつつあるが、これらについてもセメント組成との関係において、データは十分とはいえないと考えられる。

さらに、各種ガスの発生速度、発生量に関しても、処分場環境におけるデータの取得状況は必ずしも充分なものではないと考えられる。

以上より本観点から感度解析対象とすべきパラメータは以下の項目となる。

- ・ガス発生速度、及び発生期間
- ・周辺地層及び緩衝材の相対透過係数
- ・周辺地層及び緩衝材の毛管圧

(4) 相互関係の不明確さによる評価

多孔質系媒体の基本物性、あるいは状態量と2相流パラメータとの相互関係については、前節において調査結果を示した。

その結果、上述のように類似の間隙構造、鉱物組成を有する粘土物質等の狭い範囲内については透過性と基本物性との間にある関係が参考となるが、2相流パラメータと間隙水の飽和度については物質ごとに少なくとも一方の特性曲線を把握することが必要であること、また、2相流パラメータ相互の関係についても、間隙構造の類似する物質間についてのみ毛管圧から相対透過係数への換算が可能な状況であり、そのためには多数の試料についてのデータが必要であることが判明した。

以上より粘土系物質に対する絶対透過係数、及び毛管排除圧と密度との関係を除き2相流パラメータ相互、及び媒体の基本物性との一般的な関係は未確定の状態にあることから、現時点では各移行媒体ごとに独立に以下の関係を設定せざるを得ないものと考えられる。

- ・地層及び緩衝材等の相対透過係数評価モデル
- ・地層及び緩衝材等の毛管圧評価モデル

(5) 感度解析対象とすべきデータ項目

(a) 感度解析パラメータ

以上の3種類の観点から抽出された、感度解析対象とすることが望ましいパラメータは以下のようにまとめられる。

- ・ガスの透過を支配する層に対する絶対透過係数
- ・ガスの透過を支配する層に対する相対透過係数評価モデル
- ・地層及び緩衝材等の毛管圧評価モデル

- ・毛管圧評価パラメータ（毛管排除圧）

- ・ガス発生速度、及び発生期間

これらのうち、毛管圧評価モデルについては現時点で複数のモデルについて必要となるパラメータ値に関するデータが不足することから、本評価では代表的モデルについてのみ解析を行うこととした。

また、ここで抽出されたパラメータの他に、ガスの発生速度等にも影響の大きいと考えられる処分場閉鎖後の再冠水の状況について把握することが重要であることから、初期条件として設定する処分場の間隙水飽和度及び間隙圧力についても変動対象とした。

以上より選定された変動対象パラメータは以下の通りである。

- ・地層、緩衝材層に対する絶対透過係数

- ・地層、緩衝材層に対する相対透過係数評価モデル

- ・毛管圧評価パラメータ（毛管排除圧）

- ・ガス発生速度、及び発生期間

- ・初期条件（処分場間隙水飽和度、間隙圧力）

(b) 感度解析ケース

本感度解析では試算対象とする処分施設形態のうち、比較的バリア構成の単純なボルトタイプを代表モデルとして上記選定項目全てについてパラメータを変動させることとし、サイロタイプについてはボルトタイプとの相異を示すことを目的として、基本ケースのみについて解析を行うものとした。

ボルトタイプに対しては以下に示すバリア、パラメータのガス発生に対する影響度を把握することを目的として感度解析を行う。

- ①緩衝材層の絶対透過係数の変化

- ②地層の絶対透過係数の変化

- ③各バリア層に適用する相対透過係数評価モデルの相違

- ④各バリア層の毛管圧（毛管排除圧）考慮の有無

- ⑤ガス発生速度、及び発生期間の変化

- ⑥処分場の再冠水挙動の把握

なお、ガス発生の影響度を評価する上での評価指標は、昨年度の解析と同様に、間隙圧力、間隙中のガス、水の飽和度、及び地下水流速とする。

2.2.2 パラメータ値の設定

パラメータ値の設定方法は過去の評価例、及び移行媒体に対する特性試験結果を調査し、これらを参考として相互に矛盾のない値を設定することとした。

(1) ボールトタイプ

上述のように感度解析はボールトタイプを対象として下記のケース、算定条件に対して実施するものとした。以下にパラメータ設定根拠を記述する。

(a) ケース1；基本ケース

(i) 廃棄体

①密度

； [本解析では発熱の評価は考慮しないため算定結果に影響しないパラメータである] 日本原燃産業⑩六ヶ所事業所廃棄物埋設事業許可申請書⁵⁾におけるセメント固化体相当。BWR濃縮廃液の高炉Cセメント (2.46×10^3 [kg/cm³]) 相当と仮定 (2.40×10^3 [kg/cm³])。

②間隙率

； 日本原燃産業⑩六ヶ所事業所廃棄物埋設事業許可申請書⁵⁾におけるセメント固化体相当。BWR濃縮廃液の高炉Cセメント (0.32[-]) と相当と仮定 (0.30[-])。

③絶対透過係数

； BFS/OPCグラウト⁶⁾, w/c=0.4, 骨材/セメント=0, $\phi \approx 0.3$ ($K = 10^{-21} \sim 10^{-16}$ [m²]) の高透過性側の値を設定 ($K = 10^{-16}$ [m²])。

④熱伝導度

； [本解析では発熱の評価は考慮しないため算定結果に影響しないパラメータである] 動燃事業団「高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術報告－平成3年度－」(以下H-3レポート)⁷⁾における堆積岩系岩盤に同等 (2.3 [W/m°K]) と仮定。

⑤比熱

； [本解析では発熱の評価は考慮しないため算定結果に影響しないパラメータである] 動燃事業団「高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術報告－平成3年度－」(以下H-3レポート)⁷⁾における堆積岩系岩盤に同等 (840 [J/kg°K]) と仮定。

⑥相対透過係数モデル

； スイス建築材料研究所試験データ⁸⁾, 普通ポルトランドセメント, w/c=0.4~0.7, 骨材/セメント=4.2~8.0, $\phi \approx 0.06 \sim 0.14$ (Corey model, $S_{lr}=0.30, S_{sr}=0.18$) を適用。

⑦初期条件

- ・間隙水飽和度；処分場閉鎖後直ちに地下水によって間隙が飽和するものと仮定した。
(1.0[-])
- ・間隙圧力；各深度における水頭圧に等しいと仮定。
- ・温度；深度方向に $3[^\circ\text{C}/100\text{m}]$ の温度勾配を仮定し、深度200[m]に相当する $21[^\circ\text{C}]$ に設定した。

(ii) 充填材

①密度

； [本解析では発熱の評価は考慮しないため算定結果に影響しないパラメータである]
日本原燃産業⑩六ヶ所事業所廃棄物埋設事業許可申請書⁵⁾におけるセメント充填材
($2.56 \times 10^3 [\text{kg}/\text{cm}^3]$)相当と仮定($2.60 \times 10^3 [\text{kg}/\text{cm}^3]$)。

②間隙率

； 日本原燃産業⑩六ヶ所事業所廃棄物理設事業許可申請書⁵⁾におけるセメント充填材
(0.28[-])同等と仮定。

③絶対透過係数

； BFS/OPCグラウト⁶⁾, w/c=0.4, 骨材/セメント=0, $\phi \approx 0.3$ ($K = 10^{-21} \sim 10^{-16} [\text{m}^2]$) の中
間的な値を設定($K = 10^{-17} [\text{m}^2]$)。

④熱伝導度

； [本解析では発熱の評価は考慮しないため算定結果に影響しないパラメータである]
H-3レポート⁷⁾における堆積岩系岩盤に同等($2.3 [\text{W}/\text{m}^\circ \text{K}]$)と仮定。

⑤比熱

； [本解析では発熱の評価は考慮しないため算定結果に影響しないパラメータである]
動燃事業団「高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術報告－平成3年度－」
(以下H-3レポート)⁷⁾における堆積岩系岩盤に同等($840 [\text{J}/\text{kg}^\circ \text{K}]$)と仮定。

⑥相対透過係数モデル

； スイス建築材料研究所試験データ⁸⁾, 普通ポルトランドセメント, w/c=0.4~0.7, 骨材/
セメント=4.2~8.0, $\phi \approx 0.06 \sim 0.14$ (Corey model, $S_{tr}=0.30, S_{sr}=0.18$) を適用。

⑦毛管圧

； 基本ケースでは毛管圧の寄与は考慮しない。

⑧初期条件

- ・間隙水飽和度；処分場閉鎖後直ちに地下水によって間隙が飽和するものと仮定した(1.0[-])。
- ・間隙圧力；各深度における水頭圧に等しいと仮定。
- ・温度；深度方向に $3[^\circ\text{C}/100\text{m}]$ の温度勾配を仮定し、深度200[m]に相当する $21[^\circ\text{C}]$ に設定した。

(iii) 緩衝材

①密度

；[本解析では発熱の評価は考慮しないため算定結果に影響しないパラメータである]動燃事業団が実施している高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の成果を適用した($2.70 \times 10^3 [\text{kg}/\text{cm}^3]$)。なお、乾燥密度は $1.80 \times 10^3 [\text{kg}/\text{cm}^3]$ とする。

②間隙率

；動燃事業団が実施している高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の成果を適用した0.33[-])。

③絶対透過係数

；動燃事業団が実施している高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の成果を適用した($K=2.5 \times 10^{-21} [\text{m}^3]$)。

④熱伝導度

；[本解析では発熱の評価は考慮しないため算定結果に影響しないパラメータである]H-3レポート⁷⁾における緩衝材(飽和状態)に同等($1.7[\text{W}/\text{m}^\circ\text{K}]$)と仮定。

⑤比熱

；[本解析では発熱の評価は考慮しないため算定結果に影響しないパラメータである]H-3レポート⁷⁾における緩衝材(飽和状態)に同等($1,000[\text{J}/\text{kg}^\circ\text{K}]$)と仮定。

⑥相対透過係数モデル

；CECのPEGASUSプロジェクトにおいてBoom Clayの相対透過係数を模擬した例⁹⁾に同等の条件を仮定する(Corey model, $S_{tr}=0.10$, $S_{sr}=0.10$)を適用。

⑦毛管圧

；基本ケースでは毛管圧の寄与は考慮しない。

⑧初期条件

- ・間隙水飽和度；処分場閉鎖後直ちに地下水によって間隙が飽和するものと仮定した(1.0[-])。

- ・間隙圧力；各深度における水頭圧に等しいと仮定。
- ・温度；深度方向に $3[^\circ\text{C}/100\text{m}]$ の温度勾配を仮定し、深度 $200[\text{m}]$ に相当する $21[^\circ\text{C}]$ に設定した。

(iv) 母岩

①密度

; [本解析では発熱の評価は考慮しないため算定結果に影響しないパラメータである] 表一4に示す岩石、及びPAGISプロジェクト¹⁰⁾等に用いられている岩石密度と同等の値を想定($2.70 \times 10^3 [\text{kg}/\text{cm}^3]$)。

②間隙率

; H-3レポート⁷⁾における亀裂性媒体に同等(0.01[-])と仮定。

③絶対透過係数

; H-3レポート⁷⁾等の調査結果より、中央値より比較的良好な岩体が選択されるものとした($K = 1.0 \times 10^{-16} [:\text{:}]$)。

④熱伝導度

; [本解析では発熱の評価は考慮しないため算定結果に影響しないパラメータである] H-3レポート⁷⁾における結晶質岩系岩盤に同等($2.9 [\text{W}/\text{m}^\circ\text{K}]$)と仮定。

⑤比熱

; [本解析では発熱の評価は考慮しないため算定結果に影響しないパラメータである] H-3レポート⁷⁾における結晶質岩系岩盤に同等($840 [\text{J}/\text{kg}^\circ\text{K}]$)と仮定。

⑥相対透過係数モデル

; セメント／コンクリートで実証例のあるモデルを適用し、係数は同様の特性を仮定したNAGRAの評価例(Corey model, $S_{lr}=0.25$, $S_{sr}=0$)を適用する。

⑦毛管圧

; 基本ケースでは毛管圧の寄与は考慮しない。

⑧初期条件

- ・間隙水飽和度；処分場閉鎖後直ちに地下水によって間隙が飽和するものと仮定した(1.0[-])。
- ・間隙圧力；各深度における水頭圧に等しいと仮定。
- ・温度；深度方向に $3[^\circ\text{C}/100\text{m}]$ の温度勾配を仮定し、深度 $200[\text{m}]$ に相当する $21[^\circ\text{C}]$ に設定した。

(v) ゆるみ域

ゆるみ域の厚さは、結晶質岩としては比較的大きい値と考えられる掘削半径と同等の厚さとした。

①密度

；[本解析では発熱の評価は考慮しないため算定結果に影響しないパラメータである]
母岩と同一値とした(2.70×10^3 [kg/cm³])。

②間隙率

；亀裂系媒体の平行平板モデルに従うものとし、間隙率の増加率は母岩に対する透過係数増加率の立方根に等しいものとした(0.05[-])。

③絶対透過係数

；表2.1.1-5に示す評価例より母岩に対して2桁の増加を仮定した($K=1.0 \times 10^{-14}$ [m²])。

④熱伝導度

；[本解析では発熱の評価は考慮しないため算定結果に影響しないパラメータである]
母岩と同一値とした(2.9[W/m°K])。

⑤比熱

；[本解析では発熱の評価は考慮しないため算定結果に影響しないパラメータである]
母岩と同一値とした(840[J/kg°K])。

⑥相対透過係数モデル

；母岩と同一値とした(Corey model, $S_{lr}=0.25$, $S_{sr}=0$)。

⑦毛管圧

；基本ケースでは毛管圧の寄与は考慮しない。

⑧初期条件

- ・間隙水飽和度；処分場閉鎖後直ちに地下水によって間隙が飽和するものと仮定した(1.0[-])。
- ・間隙圧力；各深度における水頭圧に等しいと仮定。
- ・温度；深度方向に3[°C/100m]の温度勾配を仮定し、深度200[m]に相当する21[°C]に設定した。

(vi) ガス発生速度

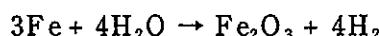
以下に検討したガス発生量より、最も発生量の大きい金属の腐食によるガス発生についてのみ考慮するものとした。

①金属の腐食

；地層処分場におけるガス発生の影響評価において、鋼の腐食速度は各国における試験／設定値によれば、ほぼ0.04~7[$\mu\text{m}/\text{y}$]の間にあるとされる¹¹⁾ところから、ここでは中間的な値として1[$\mu\text{m}/\text{y}$]と仮定した。

定置廃棄物密度を0.79[200ℓドラム缶/m³]とし、ドラム缶と同一比表面積の鋼製廃棄物が収納されていると仮定することにより、0.022[(STP) m³/m³y]の発生速度と1,700[年]発生期間が想定できる。

想定した反応式は以下の通りである。



②アスファルトの微生物分解

；NAGRAの研究結果¹²⁾(ガス発生速度；0.15~0.40[ℓ/m³y]、分解速度；20~50[g/:y])より、ガス発生速度；0.25[ℓ/m³y]、分解速度；35[g/m³y]と設定した。

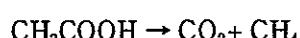
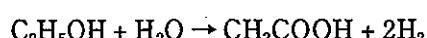
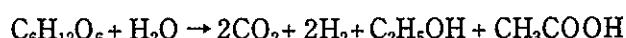
定置廃棄物密度を0.79[200ℓドラム缶/m³]、アスファルト充填率を60[vol%]と仮定することにより、0.00044[(STP) m³/m³y]の発生速度と1,500[年]発生期間を設定した。

③有機物の微生物分解

；有機物の微生物による分解については、ガス発生速度と分解速度について試験条件によって系統的に整理された例がほとんどないため、ここでは1.0[kg/200ℓドラム缶]の割合でセルロースが充填された廃棄物が、500年間かかって均等に分解する場合を想定した。

定置廃棄物密度を0.79[200ℓドラム缶/m³]と仮定することにより、0.0022[(STP) m³/m³y]の発生速度が想定できる。

想定した反応式は以下の通りである。



(b) ケース2；緩衝材の絶対透過係数変動ケース

(iii) 緩衝材

③絶対透過係数

；基本ケースを中心に2桁増減させた場合について評価する。

ケース 2-a ; $K = 2.5 \times 10^{-19} [\text{m}^2]$, ケース 2-b ; $K = 2.5 \times 10^{-23} [\text{m}^2]$ 。

(c) ケース 3 ; 母岩の絶対透過係数変動ケース

(iv) 母岩

③絶対透過係数

; 基本ケースを中心に 2 枠増減させた場合について評価する。

ケース 3-a ; $K = 1 \times 10^{-14} [\text{m}^2]$, ケース 3-b ; $K = 1 \times 10^{-18} [\text{m}^2]$ 。

(v) ゆるみ域

; 母岩の透過係数に連動するものとし, 基本ケースを中心に 2 枠増減する。

ケース 3-a ; $K = 1 \times 10^{-12} [\text{m}^2]$, ケース 3-b ; $K = 1 \times 10^{-16} [\text{m}^2]$ 。

(d) ケース 4 ; 相対透過係数評価モデル変更ケース

(iii) 緩衝材

⑥相対透過係数モデル

; 基本ケースで採用したCorey model に対してガス及び水の相対透過係数変化が異なる Sandia model を適用する。 S_{lr}, S_{sr} 及び λ については, 動燃事業段の圧密ベントナイト(乾燥密度 = $1.8 [\text{g} / \text{cm}^3]$, $\phi \approx 0.33$)の水分特性に係わる試験結果より得られた値を適用した。(Sandia model, $S_{lr} = 0.09, S_{sr} = 0, \lambda = 0.52$)

(e) ケース 5 ; 毛管圧考慮ケース

(i) 廃棄体

⑥毛管圧モデル

; セメント系の材料で実証例のあるNarasimuhan model を適用する。 S_{lr}, S_{sr} は相対透過係数についてCorey model で設定した数値と同じとし, P_e, P_0, η についてはスイス建築材料研究所試験データ⁸⁾, 普通ポルトランドセメント, $w/c = 0.4 \sim 0.7$, 骨材/セメント = $4.2 \sim 8.0$, $\phi \approx 0.06 \sim 0.14$ での値を適用した。

(Narasimuhan model, $S_{lr} = 0.30, S_{sr} = 0.18, P_e = 1.0 \times 10^5 [\text{Pa}], P_0 = 1.2 \times 10^6 [\text{Pa}], \eta = 1.3$)

(ii) 充填材

⑥毛管圧モデル

; セメント系の材料で実証例のあるNarasimuhan model を適用する。係数については廃棄体と同一値を適用した。

(Narasimuhan model, $S_{lr} = 0.30, S_{sr} = 0.18, P_e = 1.0 \times 10^5 [\text{Pa}], P_0 = 1.2 \times 10^6 [\text{Pa}], \eta = 1.3$)

(iii) 緩衝材

⑥毛管圧モデル

; 動燃事業団が実施している圧密ベントナイトの水分特性試験の成果を適用した。適用モデルはSandia modelである。

S_{lr}, S_{sr} は相対透過係数についてSandia modelで設定した数値と同じとし、 P_0, P_{max}, λ については動燃事業段の測定値(乾燥密度 = 1.8[g/cm³], $\phi = 0.33$)を適用した。

(Sandia model, $S_{lr} = 0.09, S_{sr} = 0, P_0 = 3.0 \times 10^8$ [Pa], $P_{max} = 2.4 \times 10^7$ [Pa], $\lambda = 0.52$)

(iv) ゆるみ域

⑥毛管圧モデル

; 過去の評価例で母岩に適用され、セメント系の材料で実証例のあるNarasimuhan modelを適用する。係数については母岩と同一値を適用した。

(Narasimuhan model, $S_{lr} = 0.25, S_{sr} = 0, P_e = 1.0 \times 10^5$ [Pa], $P_0 = 1.2 \times 10^6$ [Pa], $\eta = 1.3$)

(v) 母岩

⑥毛管圧モデル

; 過去の評価例で母岩に適用され、セメント系の材料で実証例のあるNarasimuhan modelを適用する。 S_{lr}, S_{sr} は相対透過係数についてCorey modelで設定した数値と同じとし、 P_e, P_0, η についてはコンクリートに対する設定値を適用した。

(Narasimuhan model, $S_{lr} = 0.25, S_{sr} = 0, P_e = 1.0 \times 10^5$ [Pa], $P_0 = 1.2 \times 10^6$ [Pa], $\eta = 1.3$)

(f) ケース 6 ; ガス発生量変動ケース

; 基本ケースを中心に1桁増減させた場合について評価する。

ケース 6-a ; 0.22[m³(STP)/m³y](170年間発生),

ケース 6-b ; 0.0022[m³(STP)/m³y](17,000年間発生)

(g) ケース 7 ; 再冠水評価ケース

(i) 廃棄体

⑦初期条件

・間隙水飽和度；処分場閉鎖直後の間隙水飽和度を、WIPPに対する評価例(0.44[-])を参考に設定した。(0.4[-])

・間隙圧力 ; 処分場閉鎖直後の間隙水飽和度を、WIPPに対する評価例(0.1[MPa])を参考に地表の大気圧に設定した。(0.1[MPa])

(ii) 充填材

⑦初期条件

- ・間隙水飽和度；廃棄体と同一値に設定した。(0.4[-])
- ・間隙圧力 ; 廃棄体と同一値に設定した。(0.1[MPa])

(iii) 緩衝材

⑦初期条件

- ・間隙水飽和度；廃棄体と同一値に設定した。(0.4[-])
- ・間隙圧力 ; 廃棄体と同一値に設定した。(0.1[MPa])

(2) サイロタイプ

サイロタイプに対してはボルトタイプとの相違を把握することを目的として、基本条件について解析を行う。各入力パラメータについては、同一、類似のバリア材料については、ボルトタイプと同一の値を設定した。以下に算定条件の根拠を記述する。

(a) ケース1；基本ケース

(i) 廃棄体

ボルトタイプと同一値を設定した。

①密度

; [本解析では発熱の評価は考慮しないため算定結果に影響しないパラメータである]
日本原燃産業⑩六ヶ所事業所廃棄物埋設事業許可申請書⁵⁾におけるセメント固化体相当。BWR濃縮廃液の高炉Cセメント(2.46×10^3 [kg/cm³])相当と仮定(2.40×10^3 [kg/cm³])。

②間隙率

; 日本原燃産業⑩六ヶ所事業所廃棄物埋設事業許可申請書⁵⁾におけるセメント固化体相当。BWR濃縮廃液の高炉Cセメント(0.32[-])相当と仮定(0.30[-])。

③絶対透過係数

; BFS/OPCグラウト⁶⁾, w/c=0.4, 骨材/セメント=0, $\phi = 0.3$ ($K = 10^{-21} \sim 10^{-16}$ [m²]) の高透過性側の値を設定($K = 10^{-16}$ [m²])。

④熱伝導度

; [本解析では発熱の評価は考慮しないため算定結果に影響しないパラメータである]
H-3レポート⁷⁾における堆積岩系岩盤に同等(2.3[W/m°K])と仮定。

⑤比熱

; [本解析では発熱の評価は考慮しないため算定結果に影響しないパラメータである]
H-3レポート⁷⁾における堆積岩系岩盤に同等(840[J/kg°K])と仮定。

⑥相対透過係数モデル

; スイス建築材料研究所試験データ⁸⁾, 普通ポルトランドセメント, $w/c=0.4\sim0.7$, 骨材/セメント = 4.2~8.0, $\phi \approx 0.06\sim0.14$ (Corey model, $S_{tr}=0.30, S_{sr}=0.18$) を適用。

⑦初期条件

- ・間隙水飽和度; 処分場閉鎖後直ちに地下水によって間隙が飽和するものと仮定した。
(1.0 [-])
- ・間隙圧力; 各深度における水頭圧に等しいと仮定。
- ・温度; 深度方向に $3[^\circ\text{C}/100\text{m}]$ の温度勾配を仮定し, 深度 $200[\text{m}]$ に相当する $21[^\circ\text{C}]$ に設定した。

(ii) 充填材

ボルトタイプと同一値を設定した。

①密度

; [本解析では発熱の評価は考慮しないため算定結果に影響しないパラメータである]
日本原燃産業⑩六ヶ所事業所廃棄物埋設事業許可申請書⁵⁾におけるセメント充填材
($2.56 \times 10^3 [\text{kg}/\text{cm}^3]$) 相当と仮定 ($2.60 \times 10^3 [\text{kg}/\text{cm}^3]$)。

②間隙率

; 日本原燃産業⑩六ヶ所事業所廃棄物埋設事業許可申請書⁵⁾におけるセメント充填材
(0.28 [-]) 同等と仮定。

③絶対透過係数

; BFS/OPCグラウト⁶⁾, $w/c=0.4$, 骨材/セメント = 0, $\phi \approx 0.3$ ($K=10^{-21}\sim10^{-16}[\text{m}^3/\text{s}]$) の中間的な値を設定 ($K=10^{-17}[\text{m}^3/\text{s}]$)。

④熱伝導度

; [本解析では発熱の評価は考慮しないため算定結果に影響しないパラメータである]
H-3レポート⁷⁾における堆積岩系岩盤に同等 ($2.3[\text{W}/\text{m}^\circ\text{K}]$) と仮定。

⑤比熱

; [本解析では発熱の評価は考慮しないため算定結果に影響しないパラメータである]
H-3レポート⁷⁾における堆積岩系岩盤に同等 ($840[\text{J}/\text{kg}^\circ\text{K}]$) と仮定。

⑥相対透過係数モデル

; スイス建築材料研究所試験データ⁸⁾, 普通ポルトランドセメント, $w/c=0.4\sim0.7$, 骨材/セメント = 4.2~8.0, $\phi \approx 0.06\sim0.14$ (Corey model, $S_{tr}=0.30, S_{sr}=0.18$) を適用。

⑦毛管圧

; 基本ケースでは毛管圧の寄与は考慮しない。

⑧初期条件

・間隙水飽和度；処分場閉鎖後直ちに地下水によって間隙が飽和するものと仮定した(1.0[-])。

・間隙圧力；各深度における水頭圧に等しいと仮定。

・温度；深度方向に $3[^\circ\text{C}/100\text{m}]$ の温度勾配を仮定し、深度200[m]に相当する $21[^\circ\text{C}]$ に設定した。

(iii) 車体

間隙率を除き充填材と同一値を設定した。

①密度

; [本解析では発熱の評価は考慮しないため算定結果に影響しないパラメータである]日本原燃産業⑩六ヶ所事業所廃棄物埋設事業許可申請書⁵⁾におけるセメント充填材($2.56 \times 10^3 [\text{kg}/\text{cm}^3]$)相当と仮定($2.60 \times 10^3 [\text{kg}/\text{cm}^3]$)。

②間隙率

; スイス建築材料研究所試験データ⁸⁾、普通ポルトランドセメント、 $w/c=0.4 \sim 0.7$ 、骨材/セメント=4.2~8.0、 $\phi=0.06 \sim 0.14$ を適用(0.13[-])。

③絶対透過係数

; スイス建築材料研究所試験データ⁸⁾、普通ポルトランドセメント、 $w/c=0.4 \sim 0.7$ 、骨材/セメント=4.2~8.0、 $\phi=0.06 \sim 0.14$ ($K_t=10^{-18} [\text{m}^3]$, $K_g=10^{-16} [\text{m}^3]$)の中間的な値を設定($K=10^{-17} [\text{m}^3]$)。

④熱伝導度

; [本解析では発熱の評価は考慮しないため算定結果に影響しないパラメータである]H-3レポート⁷⁾における堆積岩系岩盤に同等($2.3 [\text{W}/\text{m}^\circ \text{K}]$)と仮定。

⑤比熱

; [本解析では発熱の評価は考慮しないため算定結果に影響しないパラメータである]H-3レポート⁷⁾における堆積岩系岩盤に同等($840 [\text{J}/\text{kg}^\circ \text{K}]$)と仮定。

⑥相対透過係数モデル

; スイス建築材料研究所試験データ⁸⁾、普通ポルトランドセメント、 $w/c=0.4 \sim 0.7$ 、骨材/セメント=4.2~8.0、 $\phi=0.06 \sim 0.14$ (Corey model, $S_{lr}=0.30$, $S_{sr}=0.18$) を適用。

⑦毛管圧

；基本ケースでは毛管圧の寄与は考慮しない。

⑧初期条件

・間隙水飽和度；処分場閉鎖後直ちに地下水によって間隙が飽和するものと仮定した
(1.0[-])。

・間隙圧力；各深度における水頭圧に等しいと仮定。

・温度；深度方向に $3[^\circ\text{C}/100\text{m}]$ の温度勾配を仮定し、深度 $200[\text{m}]$ に相当する $21[^\circ\text{C}]$ に設定した。

(iv) 緩衝材

ボルトタイプと同一値を設定した。

①密度

；[本解析では発熱の評価は考慮しないため算定結果に影響しないパラメータである]
動燃事業団が実施している高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の成果を適用した
($2.70 \times 10^3 [\text{kg}/\text{cm}^3]$)。なお、乾燥密度は $1.80 \times 10^3 [\text{kg}/\text{cm}^3]$ とする。

②間隙率

；動燃事業団が実施している高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の成果を適用した
 $0.33[-]$ 。

③絶対透過係数

；動燃事業団が実施している高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の成果を適用した
($K = 2.5 \times 10^{-21} [\text{m}^3]$)。

④熱伝導度

；[本解析では発熱の評価は考慮しないため算定結果に影響しないパラメータである]
以下H-3レポート⁷⁾における緩衝材（飽和状態）に同等($1.7[\text{W}/\text{m}^\circ\text{K}]$)と仮定。

⑤比熱

；[本解析では発熱の評価は考慮しないため算定結果に影響しないパラメータである]
H-3レポート⁷⁾における緩衝材（飽和状態）に同等($1,000[\text{J}/\text{kg}^\circ\text{K}]$)と仮定。

⑥相対透過係数モデル

；動燃事業団の実施したペントナイトの水分特性試験のデータに基づいて設定した。(Sandia model, $S_{1r} = 0.09, S_{sr} = 0, \lambda = 0.52$)を適用。

⑦毛管圧

; 基本ケースでは毛管圧の寄与は考慮しない。

⑧初期条件

- ・間隙水飽和度；処分場閉鎖後直ちに地下水によって間隙が飽和するものと仮定した(1.0[-])。
- ・間隙圧力；各深度における水頭圧に等しいと仮定。
- ・温度；深度方向に $3[^\circ\text{C}/100\text{m}]$ の温度勾配を仮定し、深度200[m]に相当する $21[^\circ\text{C}]$ に設定した。

(v) 母岩

ボルトタイプと同一値を設定した。

①密度

; [本解析では発熱の評価は考慮しないため算定結果に影響しないパラメータである]表2.1.1-4に示す岩石、及びPAGISプロジェクト⁹⁾等に用いられている岩石密度と同等の値を想定($2.70 \times 10^3 [\text{kg}/\text{cm}^3]$)。

②間隙率

; H-3レポート⁷⁾における亀裂性媒体に同等(0.01[-])と仮定。

③絶対透過係数

; H-3レポート⁷⁾等の調査結果より、中央値より比較的良好な岩体が選択されるものとした($K = 1.0 \times 10^{-16} [\text{m}^3]$)。

④熱伝導度

; [本解析では発熱の評価は考慮しないため算定結果に影響しないパラメータである]H-3レポート⁷⁾における結晶質岩系岩盤に同等($2.9 [\text{W}/\text{m}^\circ \text{K}]$)と仮定。

⑤比熱

; [本解析では発熱の評価は考慮しないため算定結果に影響しないパラメータである]H-3レポート⁷⁾における結晶質岩系岩盤に同等($840 [\text{J}/\text{kg}^\circ \text{K}]$)と仮定。

⑥相対透過係数モデル

; セメント／コンクリートで実証例のあるモデルを適用し、係数は同様の特性を仮定したNAGRAの評価例(Corey model, $S_{lr}=0.25, S_{sr}=0$)を適用する。

⑦毛管圧

; 基本ケースでは毛管圧の寄与は考慮しない。

⑧初期条件

- ・間隙水飽和度；処分場閉鎖後直ちに地下水によって間隙が飽和するものと仮定した(1.0[-])。
- ・間隙圧力；各深度における水頭圧に等しいと仮定。
- ・温度；深度方向に $3[^\circ\text{C}/100\text{m}]$ の温度勾配を仮定し、深度200[m]に相当する $21[^\circ\text{C}]$ に設定した。

(vi) ゆるみ域

ゆるみ域の厚さは、結晶質岩としては比較的大きい値と考えられる掘削半径と同等の厚さとした。また各入力値はボルトタイプと同一値を設定した。

①密度

；[本解析では発熱の評価は考慮しないため算定結果に影響しないパラメータである]
母岩と同一値とした($2.70 \times 10^3 [\text{kg}/\text{cm}^3]$)。

②間隙率

；亀裂系媒体の平行平板モデルに従うものとし、間隙率の増加率は母岩に対する透過係数増加率の立方根に等しいものとした(0.46[-])。

③絶対透過係数

；表一5に示す評価例より、母岩に対して2桁の増加を仮定した($K=1.0 \times 10^{-14} [\text{m}^3/\text{s}]$)。

④熱伝導度

；[本解析では発熱の評価は考慮しないため算定結果に影響しないパラメータである]
母岩と同一値とした($2.9 [\text{W}/\text{m}^\circ \text{K}]$)。

⑤比熱

；[本解析では発熱の評価は考慮しないため算定結果に影響しないパラメータである]
母岩と同一値とした($840 [\text{J}/\text{kg}^\circ \text{K}]$)。

⑥相対透過係数モデル

；母岩と同一値とした(Corey model, $S_{tr}=0.25, S_{sr}=0$)。

⑦毛管圧

；基本ケースでは毛管圧の寄与は考慮しない。

⑧初期条件

- ・間隙水飽和度；処分場閉鎖後直ちに地下水によって間隙が飽和するものと仮定した(1.0[-])。
- ・間隙圧力；各深度における水頭圧に等しいと仮定。

・ 温度 ； 深度方向に $3[^\circ\text{C}/100\text{m}]$ の温度勾配を仮定し、深度 $200[\text{m}]$ に相当する $21[^\circ\text{C}]$ に設定した。

(vii) ガス発生速度

以下に検討したガス発生量より、最も発生量の大きい金属の腐食によるガス発生についてのみ考慮するものとした。

① 金属の腐食

； 無酸素条件下における鋼の腐食速度は各国における試験結果¹¹⁾によれば、ほぼ $0.04\sim 7[\mu\text{m}/\text{y}]$ の間にあるとされるところから、ここでは中間的な値として $1[\mu\text{m}/\text{y}]$ と仮定した。

定置廃棄物密度を $0.79[200\ell \text{ドラム缶}/\text{m}^3]$ とし、ドラム缶と同一比表面積の鋼製廃棄物が収納されていると仮定することにより、 $0.022[(\text{STP}) \text{m}^3/\text{m}^3\text{y}]$ の発生速度と $1,700[\text{年}]$ 発生期間が想定できる。

想定した反応式は以下の通りである。



② アスファルトの微生物分解

； NAGRAの研究結果¹²⁾（ガス発生速度； $0.15\sim 0.40[\ell/\text{m}^3\text{y}]$ 、分解速度； $20\sim 50[\text{g}/\text{m}^3\text{y}]$ ）より、ガス発生速度； $0.25[\ell/\text{m}^3\text{y}]$ 、分解速度； $35[\text{g}/\text{m}^3\text{y}]$ と設定した。

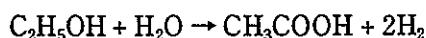
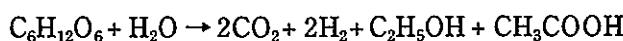
定置廃棄物密度を $0.79[200\ell \text{ドラム缶}/\text{m}^3]$ 、アスファルト充填率を $60[\text{vol}\%]$ と仮定することにより、 $0.00044[(\text{STP}) \text{m}^3/\text{m}^3]$ の発生速度と $1,500[\text{年}]$ 発生期間を設定した。

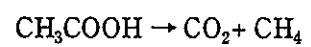
③ 有機物の微生物分解

； 有機物の微生物による分解については、ガス発生速度と分解速度について試験条件によって系統的に整理された例がほとんどないため、ここでは $1.0[\text{kg}/200\ell \text{ドラム缶}]$ の割合でセルロースが充填された廃棄物が、500年間かかって均等に分解する場合を想定した。

定置廃棄物密度を $0.79[200\ell \text{ドラム缶}/\text{m}^3]$ と仮定することにより、 $0.0022[(\text{STP}) \text{m}^3/\text{m}^3\text{y}]$ の発生速度が想定できる。

想定した反応式は以下の通りである。





以上に設定したケースをまとめて表2.2.2-1~2に示す。

表2.2.2-1 感度解析ケース [ボールトタイプ] (1/3)

パラメータ	ケース1 (基本ケース)	ケース2 (緩衝材)	ケース3 (母岩)	ケース4 (透過性)	ケース5 (毛管圧)	ケース6 (ガス量)	ケース7 (再冠水)	
パリア形状・寸法【解析対象モデル；直方体近似（2次元），単位長さ当たりのフラックスを算定】								
処分施設外形	11mH× 13mW							
廃棄体	7mH× 7mW							
充填材	1mT	同左	同左	同左	同左	同左	同左	
緩衝材厚さ	1&2mT							
躯体厚さ	—							
ゆるみ域厚さ	5mT							
パリア物性								
密度 [kg/m ³]								
廃棄体	2.4×10 ³							
充填材	2.6×10 ³	同左	同左	同左	同左	同左	同左	
緩衝材	2.7×10 ³							
躯体	—							
ゆるみ域	2.7×10 ³							
母岩	2.7×10 ³							
間隙率 [-]								
廃棄体	0.30							
充填材	0.28	同左	同左	同左	同左	同左	同左	
緩衝材	0.33							
躯体	—							
ゆるみ域	0.05							
母岩	0.01							
絶対透過係数 [m ¹]								
廃棄体	1.0×10 ⁻¹⁶	緩衝材； 2-a; 2.5×10 ⁻¹⁹ 2-b; 2.5×10 ⁻²¹	ゆるみ域； 3-a; 1.0×10 ⁻¹² 3-b; 1.0×10 ⁻¹⁶	母岩； 3-a; 1.0×10 ⁻¹⁴ 3-b; 1.0×10 ⁻¹⁸	ケース1に 同じ	ケース1に 同じ	ケース1に 同じ	ケース1に 同じ
充填材	1.0×10 ⁻¹⁷							
緩衝材	2.5×10 ⁻²¹							
躯体	—							
ゆるみ域	1.0×10 ⁻¹⁴							
母岩	1.0×10 ⁻¹⁶							
熱伝導度 [W/m °C]								
廃棄体	2.30							
充填材	2.30	同左	同左	同左	同左	同左	同左	
緩衝材	1.70							
躯体	—							
ゆるみ域	2.90							
母岩	2.90							
比熱 [J/kg °C]								
廃棄体	840.							
充填材	840.	同左	同左	同左	同左	同左	同左	
緩衝材	1,000.							
躯体	—							
ゆるみ域	840.							
母岩	840.							

表2.2.2-1 感度解析ケース [ボルトタイプ]

(2/3)

パラメータ	ケース1 (基本ケース)	ケース2 (緩衝材)	ケース3 (母岩)	ケース4 (透過性)	ケース5 (毛管圧)	ケース6 (ガス量)	ケース7 (再冠水)
2相流パラメータ							
相対透過係数モデル 廃棄体, 充填材	Corey モデル $S_r=0.30, S_{sr}=0.18$			Corey モデル $S_r=0.30, S_{sr}=0.18$			
緩衝材	Corey モデル $S_r=0.10, S_{sr}=0.10$	同左	同左	Sandia モデル $S_r=0.09, S_{sr}=0$ $\lambda=0.52$	ケース1に同じ	ケース1 に同じ	ケース1 に同じ
軸体 母岩, ゆるみ域	— Corey モデル $S_r=0.25, S_{sr}=0$			— Corey モデル $S_r=0.25, S_{sr}=0$			
毛管圧評価モデル 廃棄体, 充填材					Narasimhan モデル $P_e=1.0 \times 10^5 [\text{Pa}],$ $P_o=1.2 \times 10^6 [\text{Pa}]$ $\eta=1.3$ Sandia モデル $P_{max}=3 \times 10^6 [\text{Pa}]$ $P_o=2.4 \times 10^7 [\text{Pa}]$ $\lambda=0.52$	ケース1 に同じ	ケース1 に同じ
緩衝材	無視	同左	同左	同左	— Narasimhan モデル $P_e=1.0 \times 10^5 [\text{Pa}],$ $P_o=1.2 \times 10^6 [\text{Pa}]$ $\eta=1.3$	ケース1 に同じ	ケース1 に同じ
軸体 母岩, ゆるみ域							
重力の効果	考慮する	同左	同左	同左	同左	同左	同左
その他の初期条件							
間隙水飽和度 [-] 廃棄体	1.0						0.4
充填材	1.0	同左	同左	同左	同左	同左	0.4
緩衝材	1.0						0.4
軸体	—						—
母岩, ゆるみ域	1.0						1.0
温度	30 [°C]	同左	同左	同左	同左	同左	同左
間隙圧力 [Pa] 廃棄体	(深度200[m]位置) 2.0×10^6						1.0×10^5
充填材	2.0×10^6	同左	同左	同左	同左	同左	1.0×10^5
緩衝材	2.0×10^6						1.0×10^5
軸体	—						—
母岩, ゆるみ域	2.0×10^6						2.0×10^6

表2.2.2-1 感度解析ケース [ボールトタイプ]

(3/3)

パラメータ	ケース1 (基本ケース)	ケース2 (緩衝材)	ケース3 (母岩)	ケース4 (透過性)	ケース5 (毛管圧)	ケース6 (ガス量)	ケース7 (再冠水)
ガス発生速度 [m ³ (STP)/m ³ y] (発生ガスは全てair と して解析する)	鉄の腐食 H ₂ ; 0.022 [m ³ /m ³ y] (1,700年間)	同左	同左	同左	同左	鉄の腐食; 5-a; 0.22 [m ³ /m ³ y] (170年間) 5-b; 0.002 [m ³ /m ³ y] (17,000年間)	考慮 しない

表2.2.2-2 解析ケース [サイロタイプ]

(1/2)

パラメータ	ケース1 (基本ケース)
パリア形状・寸法 [解析対象モデル：円柱近似（3次元）]	
処分施設外形	55.5mH×30m φ
廃棄体	48.0mH×23m φ
充填材	1.0m T
躯体厚さ	1 & 1.5m T
緩衝材厚さ	1.5m T
ゆるみ域厚さ	15.0m T
パリア物性	
密度 [kg/m ³]	
廃棄体	2.4×10 ³
充填材	2.6×10 ³
躯体	2.6×10 ³
緩衝材	2.7×10 ³
ゆるみ域	2.7×10 ³
母岩	2.7×10 ³
間隙率 [-]	
廃棄体	0.30
充填材	0.28
躯体	0.13
緩衝材	0.33
ゆるみ域	0.05
母岩	0.01
絶対透過係数 [m ³ /s]	
廃棄体	1.0×10 ⁻¹⁶
充填材	1.0×10 ⁻¹⁷
躯体	1.0×10 ⁻¹⁷
緩衝材	2.5×10 ⁻²¹
ゆるみ域	1.0×10 ⁻¹⁴
母岩	1.0×10 ⁻¹⁶
熱伝導度 [W/m °C]	
廃棄体, 充填材	2.30
躯体	2.30
緩衝材	1.70
ゆるみ域	2.90
母岩	2.90
比熱 [J/kg °C]	
廃棄体, 充填材	840.
躯体	840.
緩衝材	1,000.
ゆるみ域	840.
母岩	840.

表2.2.2-2 解析ケース [サイロタイプ]

(2/2)

パラメータ	ケース1 (基本ケース)
2相流パラメータ	
相対透過係数モデル 廃棄体, 充填材	Corey モデル $S_{lr}=0.30, S_{sr}=0.18$
躯体	廃棄体(充填材)と同値
緩衝材	Corey モデル $S_{lr}=0.10, S_{sr}=0, \lambda=0.10$
母岩, ゆるみ域	Corey モデル $S_{lr}=0.25, S_{sr}=0$
毛管圧評価モデル 廃棄体, 充填材	無視
躯体	
緩衝材	
母岩, ゆるみ域	
重力の効果	考慮する
その他の初期条件	
間隙水飽和度 [-] 廃棄体, 充填材	1.0
躯体	1.0
緩衝材	1.0
母岩, ゆるみ域	1.0
温度	30 [°C]
間隙圧力 [Pa] 廃棄体, 充填材	2.0×10^6
躯体	2.0×10^6
緩衝材	2.0×10^6
母岩, ゆるみ域	2.0×10^6

パラメータ	ケース1 (基本ケース)
ガス発生速度 [m ³ (STP)/ m ³ y] (発生ガスは全て airとして解析する)	鉄の腐食 $H_2 ; 0.022 [m^3 / m^3 y]$ (1,700年間)

2.2.3 感度解析

(1) 解析条件

TRU廃棄物処分場におけるガス発生の影響に対する感度解析の基本条件を以下に示す。

(a) 解析コード

本解析にはローレンスパークレイ研究所において開発された、2相流、熱移行解析コードである“TOUGH”コードを使用する。

同コードの機能、特徴は以下の通りである。

(b) 解析モデル

上述のように本感度解析ではボールトタイプ、サイロタイプの2種類の処分施設概念について評価を行う。それぞれの施設概念、廃棄物の定置状況を図2.2.3-1～2に示す。また、“TOUGH”コードは空間の離散化に有限差分法を採用して数値解を得る手法を探っているが、評価対象とする空間の範囲と主要部分の寸法、評価対象エリアのメッシュ分割の状態を図2.2.3-3～4に示す。

ボールトタイプについては2次元直交座標系を採用し、ボールト断面垂直軸に対し1/2対象として解析範囲を設定した。断面の厚さは1mとしてボールト単位長さ当たりのフランクスを算定するようにしている。また、サイロタイプについては3次元円柱座標系を採用し、中心部からの距離の増加に従った分散の効果を反映可能としている。

境界条件については双方の処分概念とも垂直上方の外側境界は大気開放とし、垂直下方については不透水層の存在を仮定して物質移行は起こらないものと仮定した。水平向外側境界については境界内側エレメントと等圧条件で物質移行が生じるように設定した。さらに、ガスの発生領域については“※”が記入された空間エレメントよりガスが発生するものとして解析を行った。ガスは一定期間一定速度で発生するものとした。

また、初期間隙圧力は双方の施設タイプとも深度に応じた水頭圧を考慮し、水の密度と重力加速度によって決定される圧力勾配を設定した。同様に基本ケースの間隙中地下水飽和度に関する初期条件は、処分場閉鎖直後に地下水によって飽和されるものとし、1に設定した。

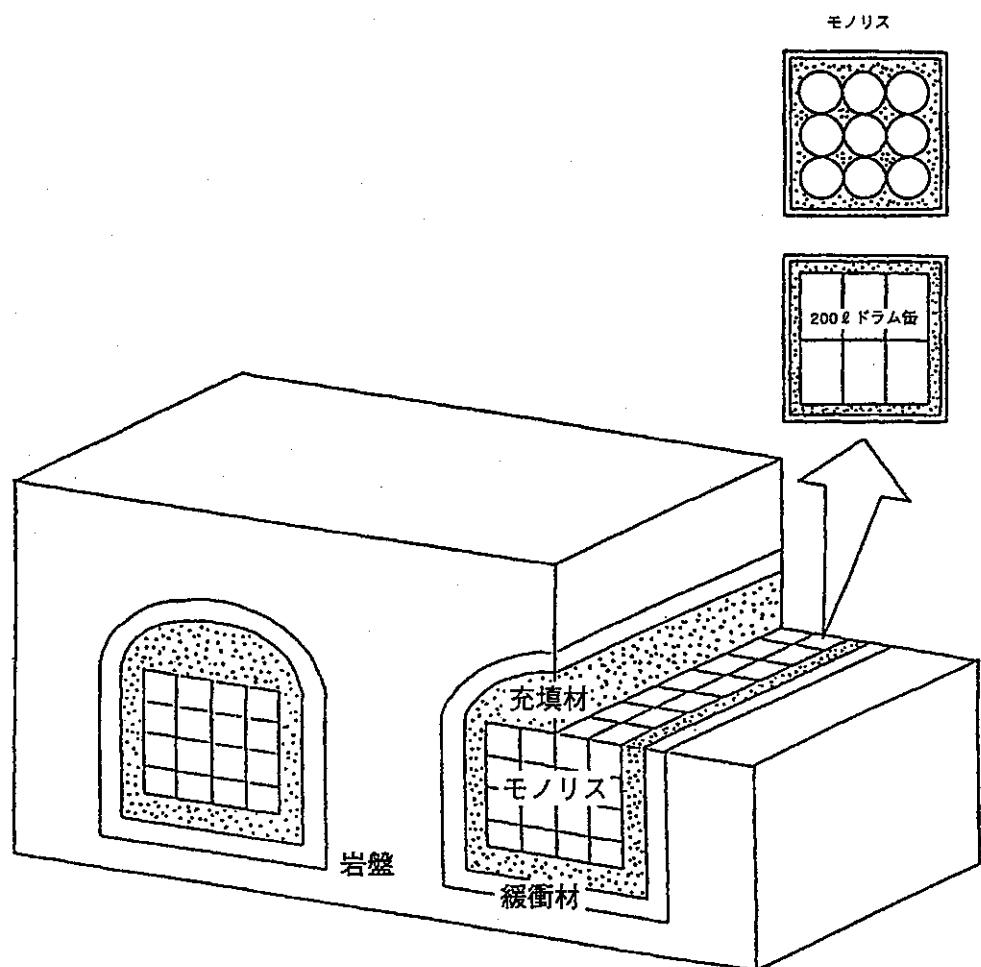
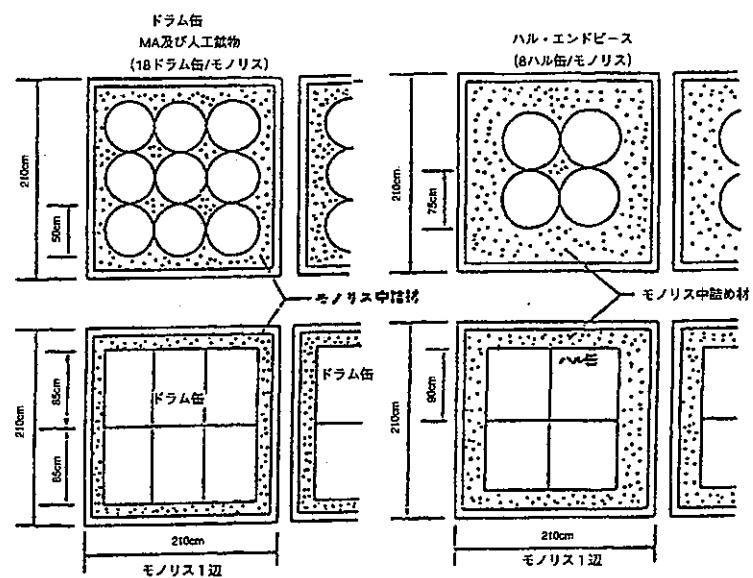


図2.2.3-1 ボールトタイプ処分施設概念

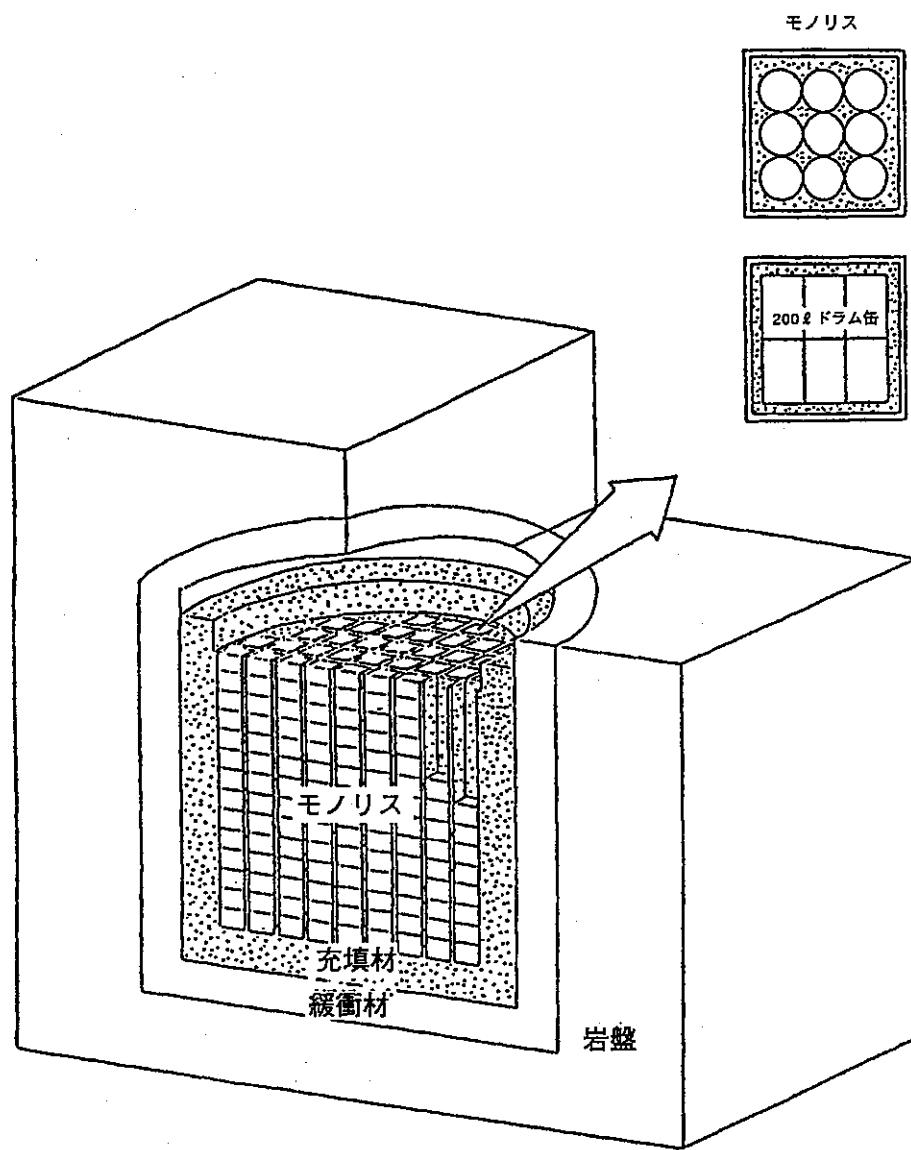
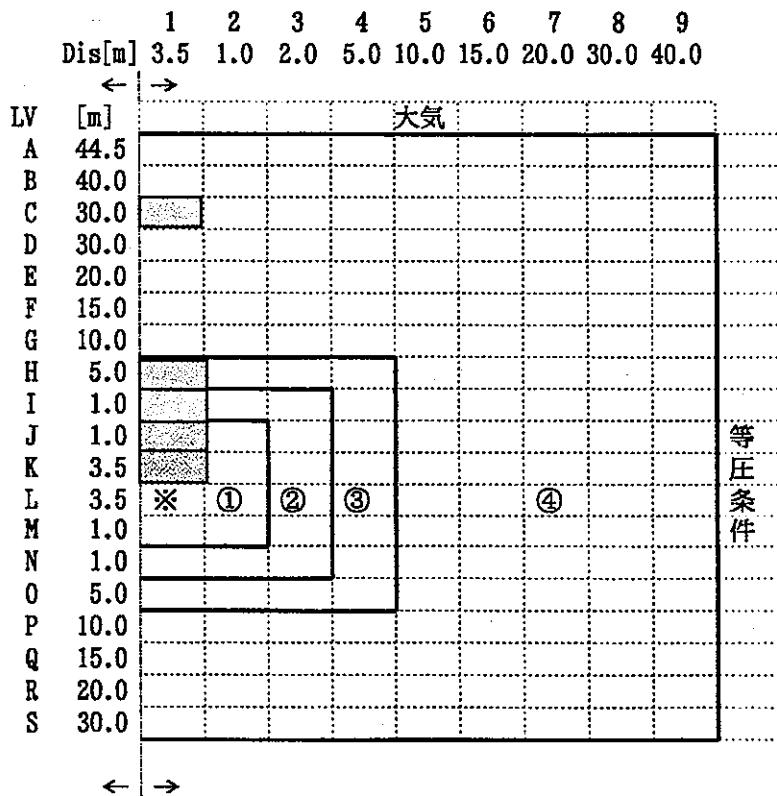
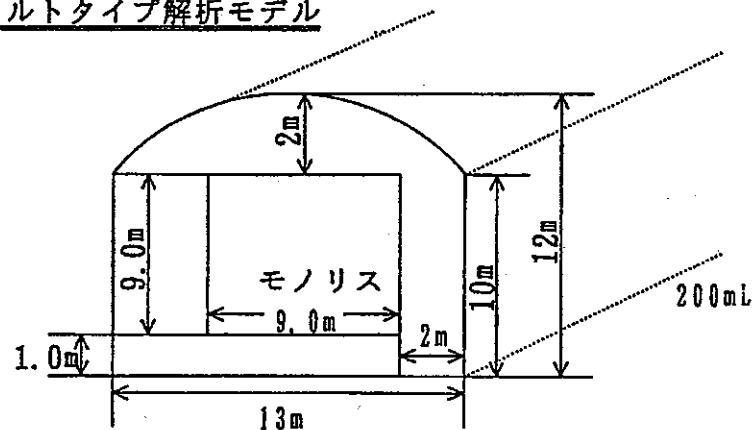


図 2.2.3-2 サイロタイプ処分施設概念

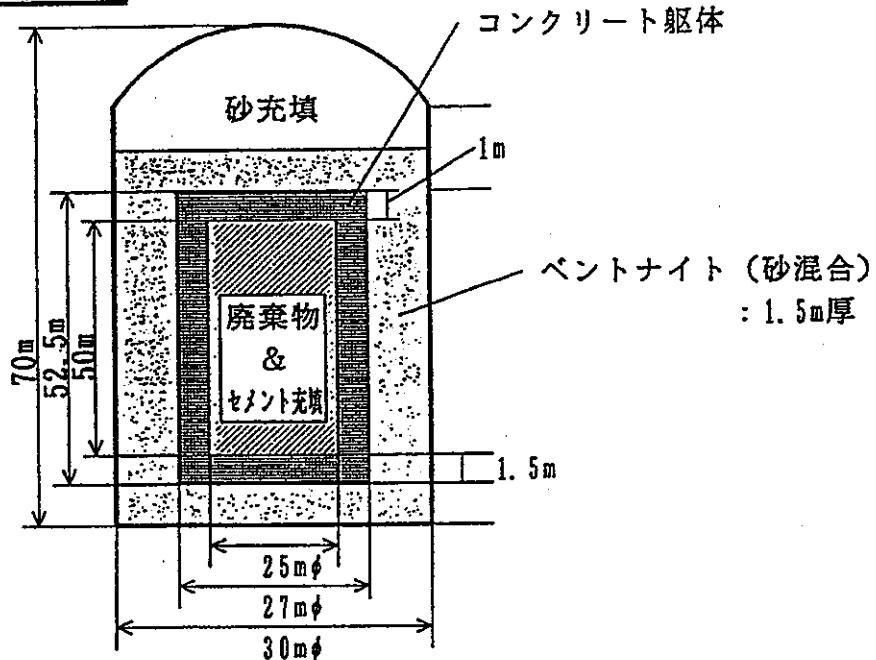
ボルトタイプ解析モデル



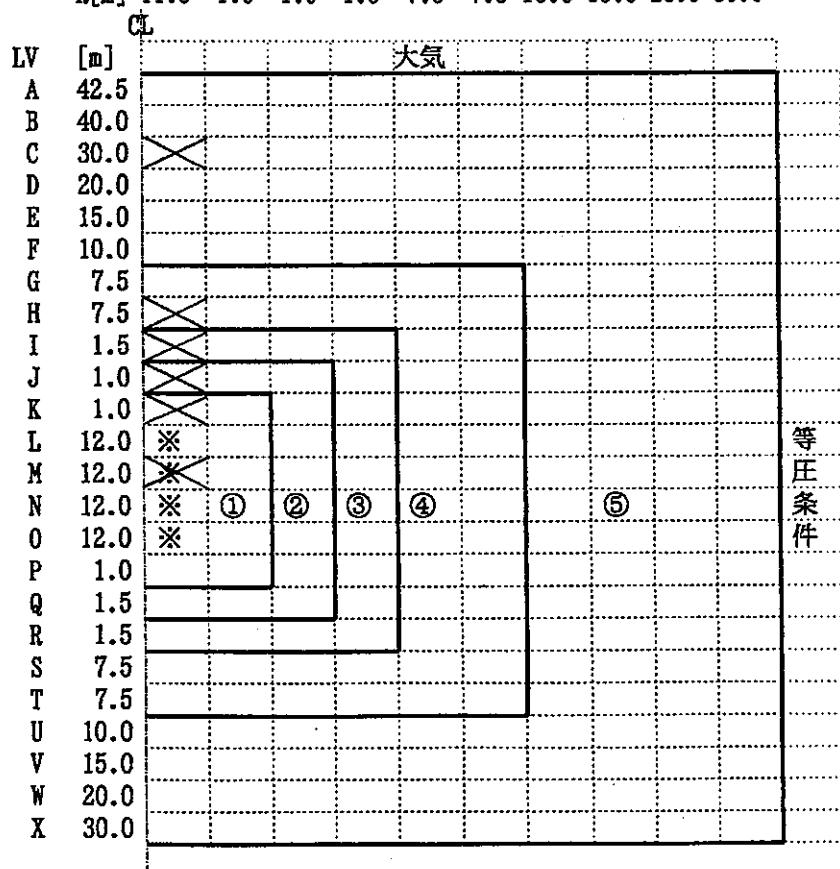
- モデルを $1/2$ 対称とし
2次元直交座標系で設定した。
- 断面の奥行きは 1m とした。
- LV A の上側に大気を設定した。
- 一定深度以下では不透水層を
仮定し、LV S の下側では
流れが生じないようにした。
- 岩盤（領域④）外側境界は
等圧条件とした。
- ① 廃棄体及び充填材
- ② 緩衝材
- ③ ゆるみ域
- ④ 母岩
- * ガス発生要素

図 2.2.3-3 ボルトタイプ解析モデル

サイロタイプ解析モデル



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
R[m]	11.5	1.0	1.0	1.5	7.5	7.5	10.0	15.0	20.0	30.0	



○モデルを3次元円柱座標系で設定した。

○LV A の上方に大気を設定した。

○岩盤（領域⑤）外側境界は等圧条件とした。

- ① 廃棄体及び充填材
- ② コンクリート構造物
- ③ ベントナイト
- ④ ゆるみ域
- ⑤ 岩盤
- * ガス発生要素

図 2.2.3-4 サイロタイプ解析モデル

(2) 解析結果

(a) ボールトタイプ

(i) ガス発生による間隙圧力、飽和度及び移行速度の経時変化

計算結果より、ガス発生による地下水／気相の移行は絶対透過係数がバリア構成要素のなかで最も小さい緩衝材によって制限され、したがって、本解析条件においては処分場内の状態は緩衝材層が決定するといってよい。そこで、以下では主に緩衝材中における地下水／気相の移行状態によって処分場内状態を代表させて記述することとした。

ここで緩衝材中の地下水／気相の移行状態は、概略以下のように区分できる。

Phase-1：地下水のみが移行する状態 ($Sg=0$)

Phase-2：気相が存在しているが、地下水のみが移行する状態 ($0 < Sg \leq S_{ls}$)

Phase-3：二相流状態であるが、地下水の移行が支配的な状態 ($S_{ls} < Sg$)

Phase-4：二相流状態であるが、気相の移行が支配的な状態 ($Sg < S_{ls}$)

1) 基本ケース（ケース1）

試算結果を図2.2.3-5～22に示す。上記の移行状態の変遷に基づいて、モデル全体における間隙圧力、飽和度及び移行速度の経時変化は以下のように説明できる。

①地下水のみが移行する状態 ($Sg=0$)

0年； ガスの発生が開始する。発生したガスは地下水中に溶解するため、間隙圧力は増加しない。

6年； 廃棄体中に気相が生成する。処分施設内では気相生成に伴う地下水の移行が緩衝材によって制限されているため、間隙圧力が増加し始める。間隙圧力の増加に従って緩衝材における地下水フラックスも大きくなる。

②緩衝材に気相が生成しているが、地下水のみが移行する状態 ($0 < Sg < S_{ls}$)

260年； 廃棄体から上方の充填材、緩衝材に気相が移動し始める。また、廃棄体及び充填材の間隙圧力が最大となっている。この時点より、廃棄体の地下水は上方の充填材への流れから、気相と入れ替わる形で処分施設下部への流れと変化している。充填材では地下水のフラックスが小さくなり、気相の移行が支配的となる。このように、施設の上部に“ガスクッション”が形成される傾向がみられる。

緩衝材中のガスの飽和度がS_{ls}以下であるため、地層へは地下水のみが移行している。以降、緩衝材中のガスの飽和度が増加するにつれて液相の相対透過係数が減少するため、緩衝材の間隙圧力の増加が大きくなる。

③緩衝材中の気液移行は二相流状態となるが、地下水移行が支配的な状態 ($S_{ls} \leq S_g$)

330年； 地層中に気相が移行し始める。また、緩衝材中の地下水フラックスが最大となっている。以降、緩衝材中のガスの飽和度が増加するにつれて相対透過係数が変化することにより、地下水フラックスは減少し、気相のフラックスが増加している。

緩衝材を通過する地下水、気相のフラックスは、絶対透過係数の大きい地層中では緩衝材に比較して微小な間隙圧力差で移行可能なため、地層中に間隙圧力の増加がみられない。

④緩衝材の気液移行が二相流状態であり、気相移行が支配的な状態 ($S_{ls} \leq S_g$)

380年； 緩衝材の間隙圧力が最大となる。以降、緩衝材中では気相移行が支配的となるため、処分施設内の間隙圧力が減少する。緩衝材中の気相の流速はガス発生開始後800年頃まで増加している。しかしながら、間隙圧力の減少に伴って緩衝材中の気相のフラックスも減少するため、間隙圧力の低下速度は徐々に小さくなっていく。

⑤ガス発生停止以降

1700年； ガスの発生が停止し、処分施設内の間隙圧力の減少速度が大きくなる。ガス発生停止後も、処分場内では密度差の小さい気相は鉛直上方へ（間隙圧の差に従って地下水が下方へ）移行するため、処分施設の上部のガス飽和度は低下しない。

3700年； 処分施設の間隙圧力がガス発生開始時と同程度まで低下し間隙圧力差が逆転することにより、処分施設下部の地層から施設内へ地下水の浸入が始まる。

4800年； さらに処分施設内の間隙圧力がガス発生開始時の間隙圧力まで低下し、施設上部の地層からも緩衝材への地下水の進入が始まる。処分場上部のガス飽和度は高いままであり、密度の小さい気相は緩衝材から地層への移行が継続している。

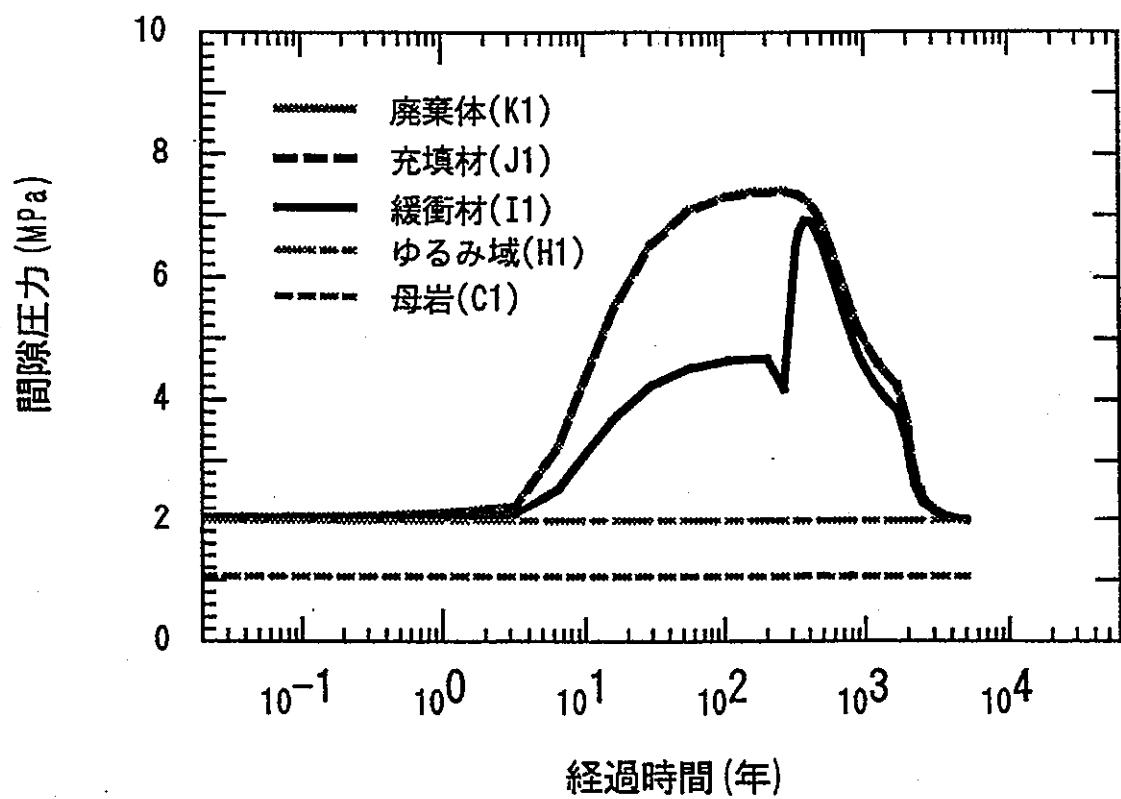


図 2.2.3-5 間隙圧力の経時変化
(ボールトcase1)

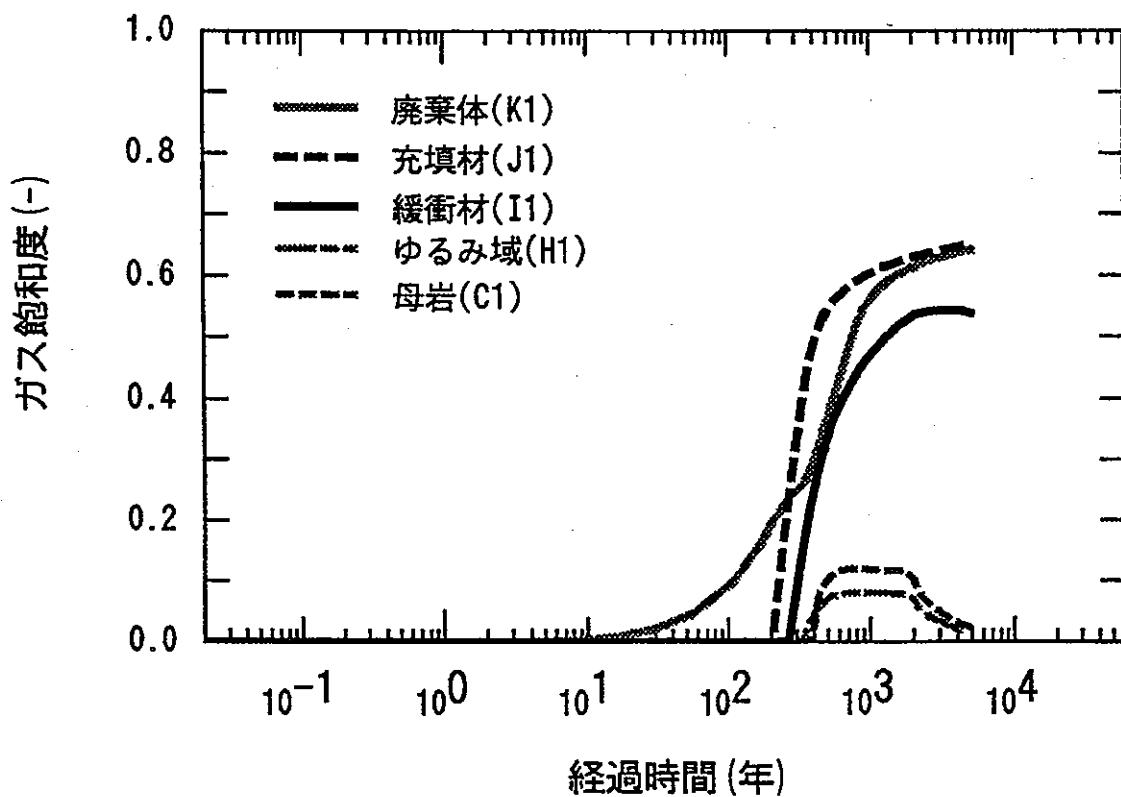


図 2.2.3-6 ガス飽和度の経時変化
(ボールトcase1)

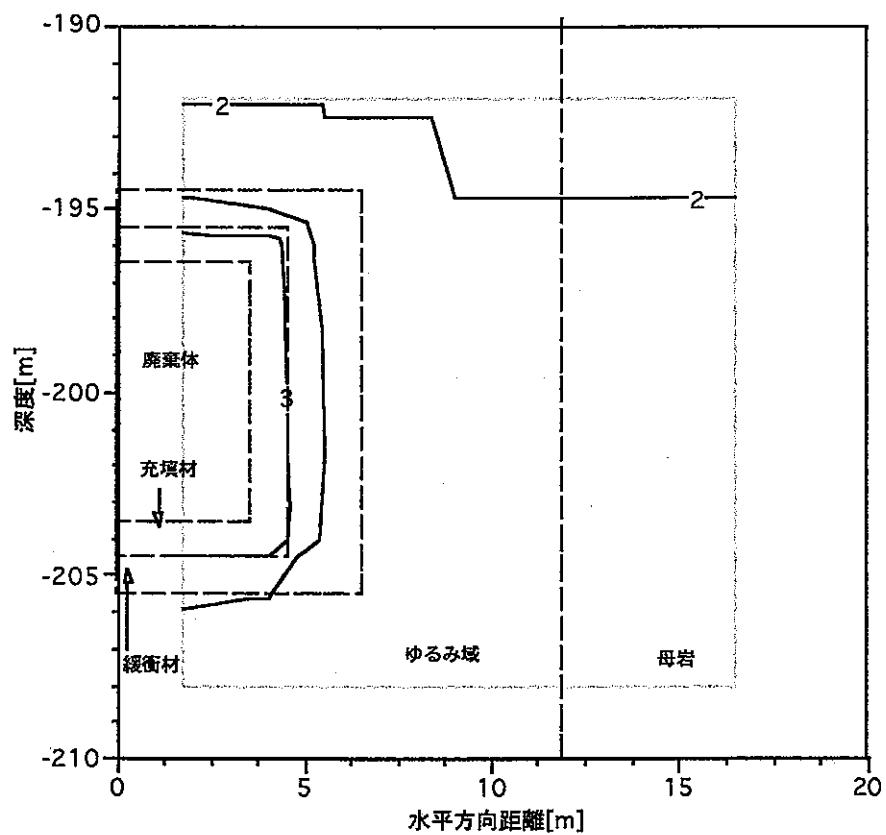


図 2.2.3-7 間隙圧力分布
(ボルト case1 : 7年)

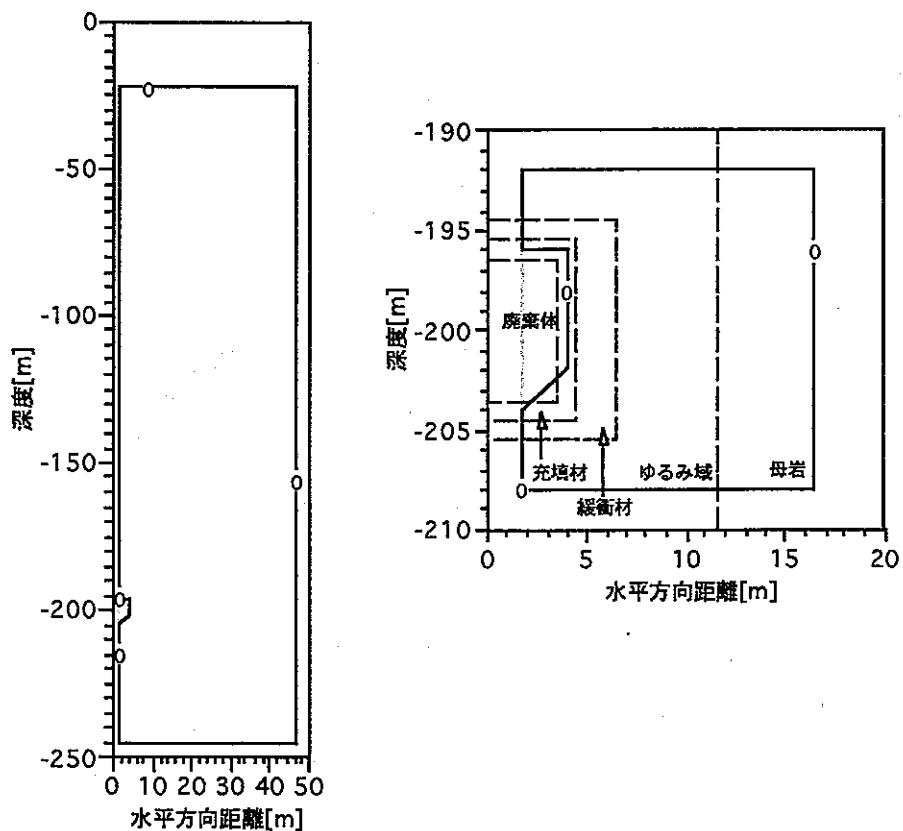


図 2.2.3-8 ガス飽和度分布
(ボルト case1 : 7年)

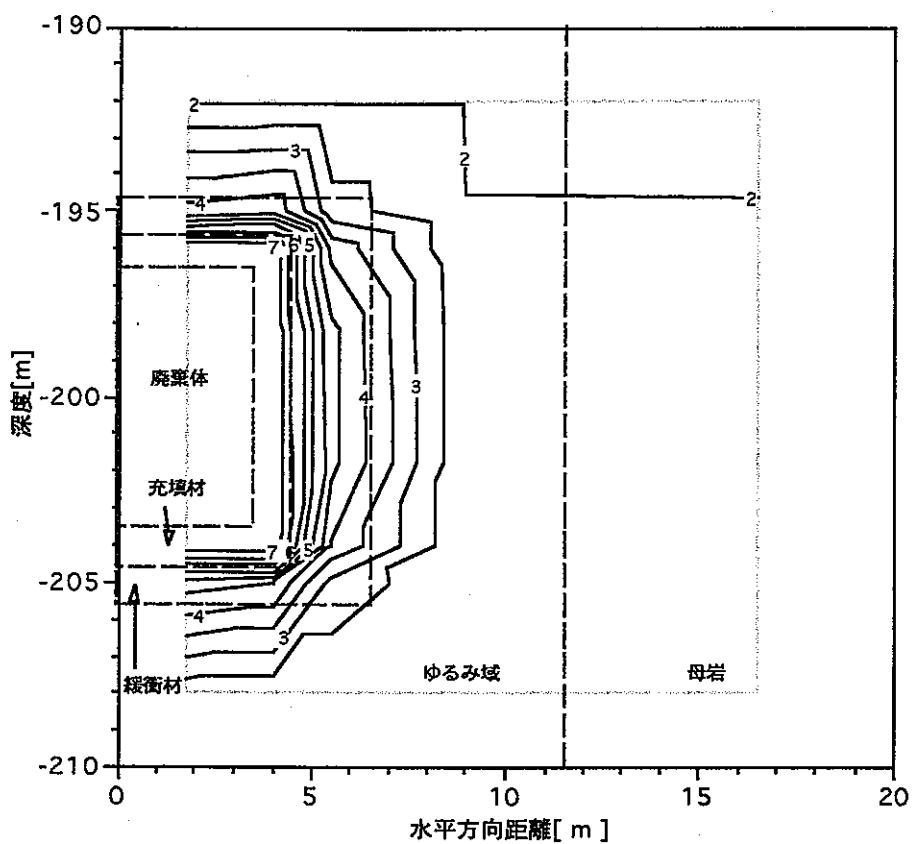


図 2.2.3-9 間隙圧力分布
(ボールト case1 : 260年)

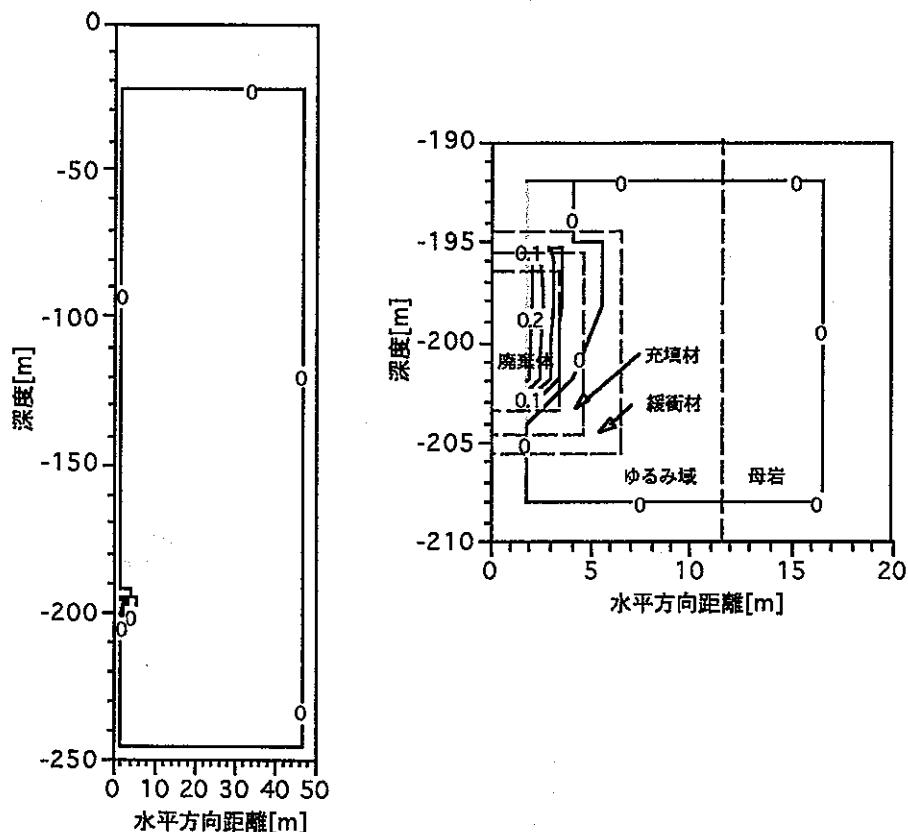


図 2.2.3-10 ガス飽和度分布
(ボールト case1 : 260年)

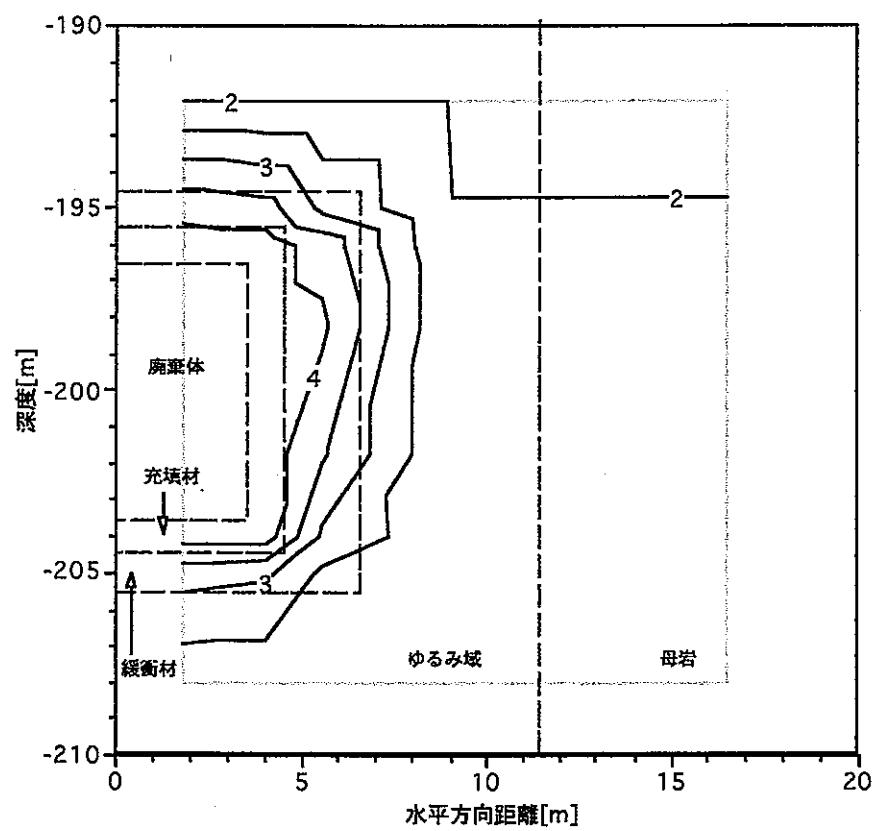


図 2.2.3-11 間隙圧力分布
(ボールト case1 : 1,700年)

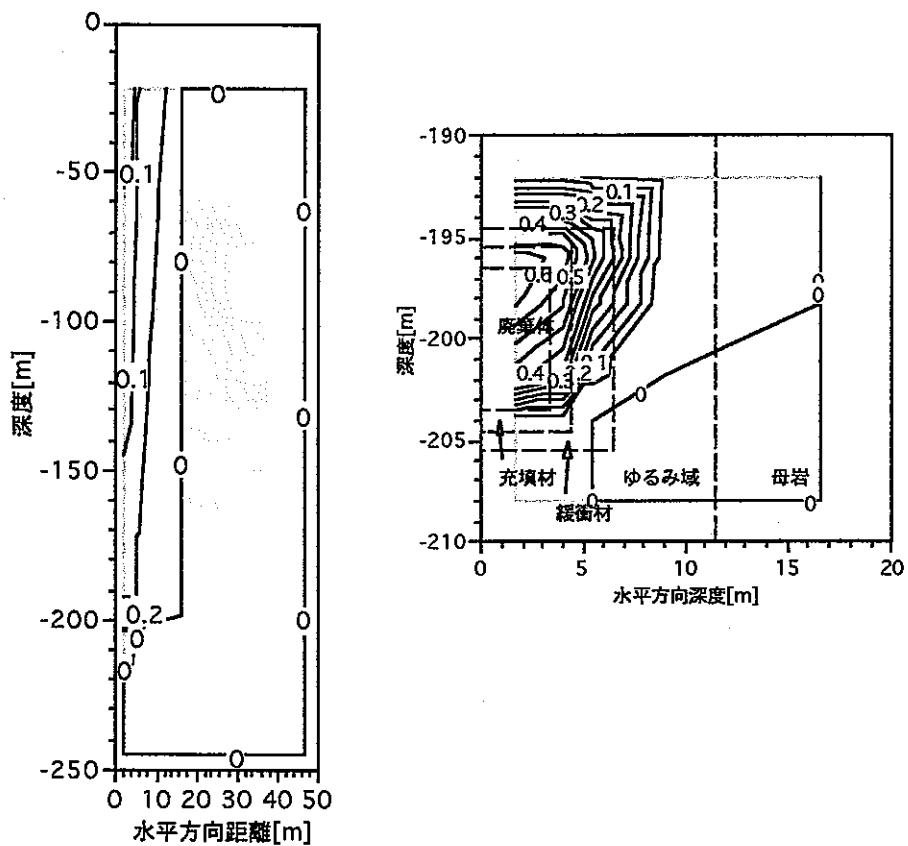


図 2.2.3-12 ガス飽和度分布
(ボールト case1 : 1,700年)

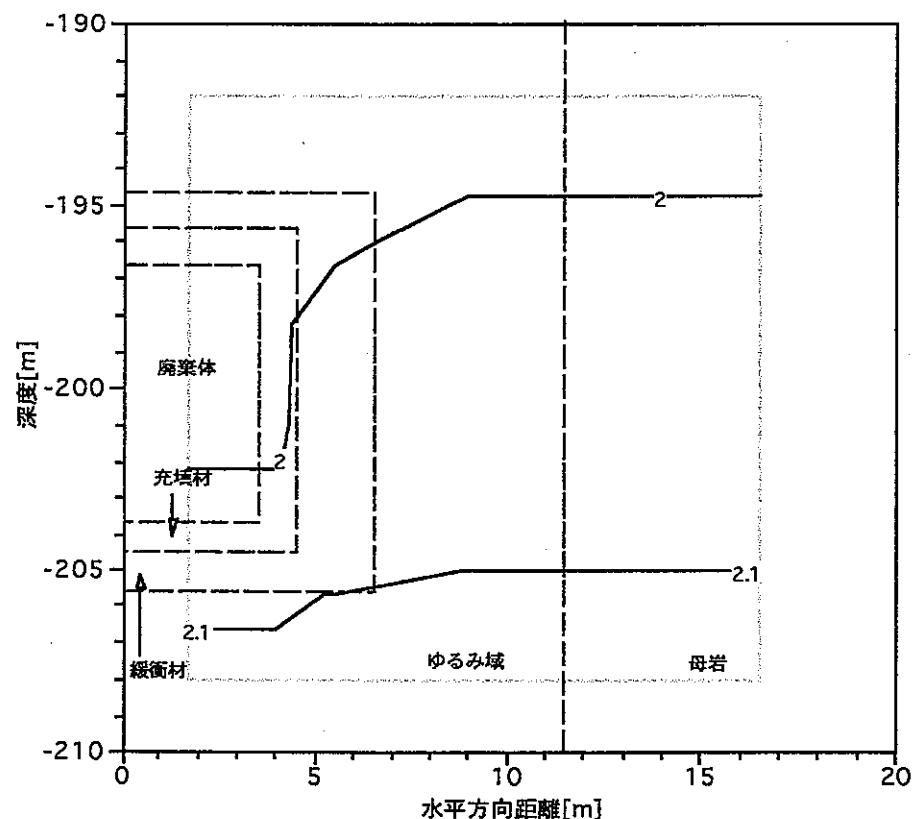


図 2.2.3-13 間隙圧力分布
(ボールト case1 : 5,000年)

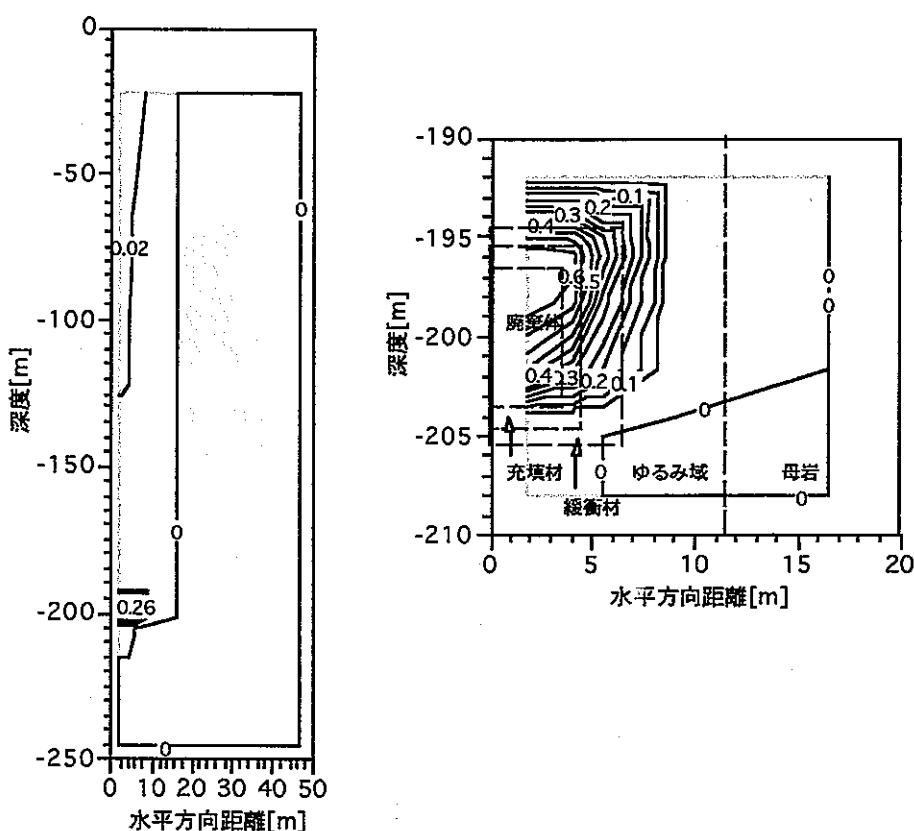


図 2.2.3-14 ガス飽和度分布
(ボールト case1 : 5,000年)

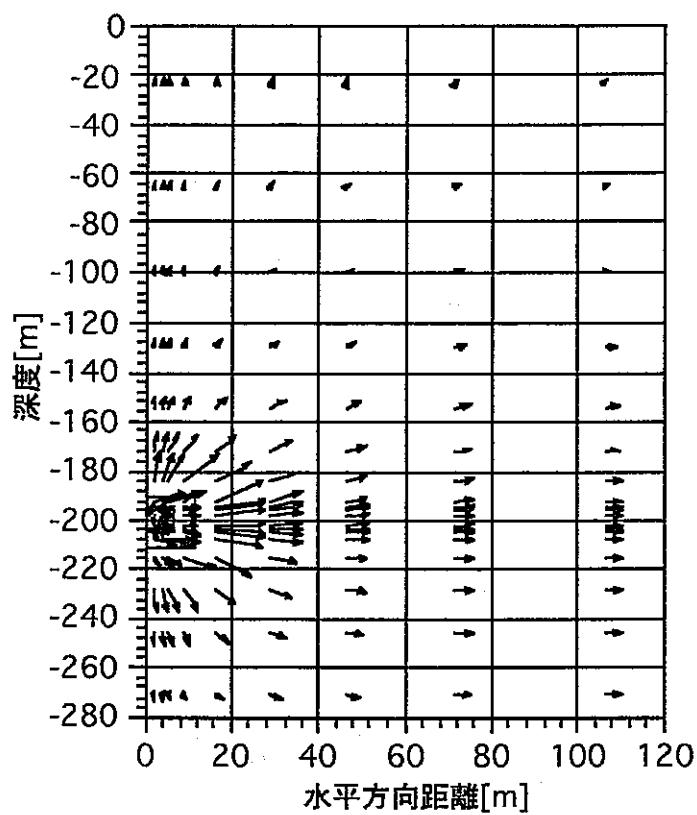


図 2.2.3-15 地下水流ベクトル
(ボールト case1 : 330年)

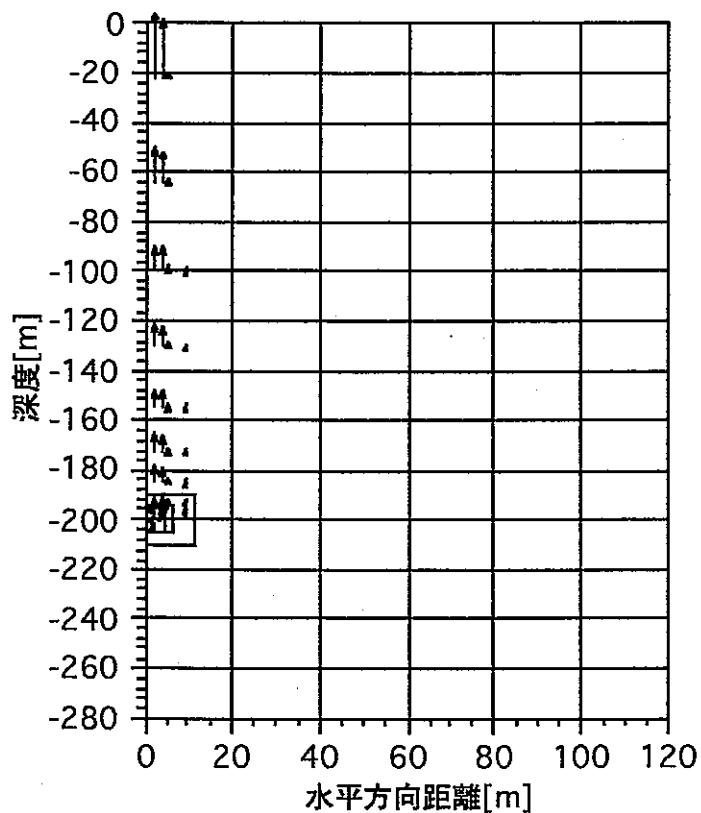


図 2.2.3-16 ガス流ベクトル
(ボールト case1 : 800年)

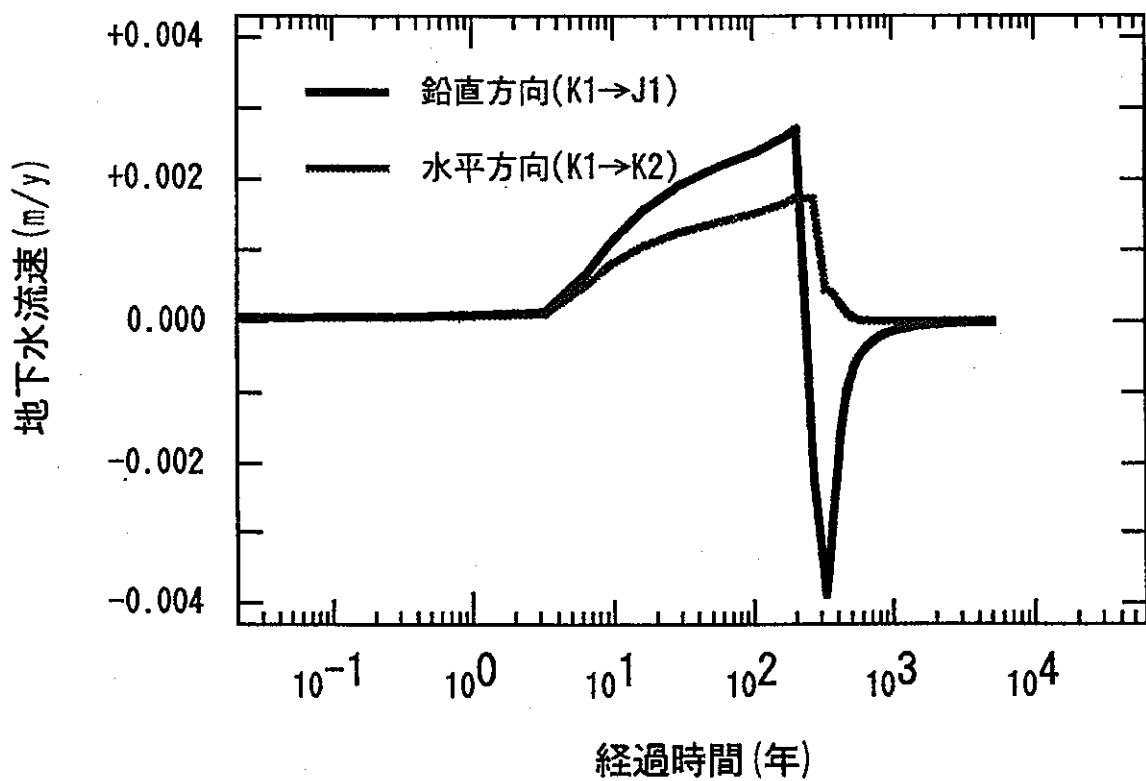


図 2.2.3-17 廃棄体内地下水流速の経時変化
(ボールト case1)

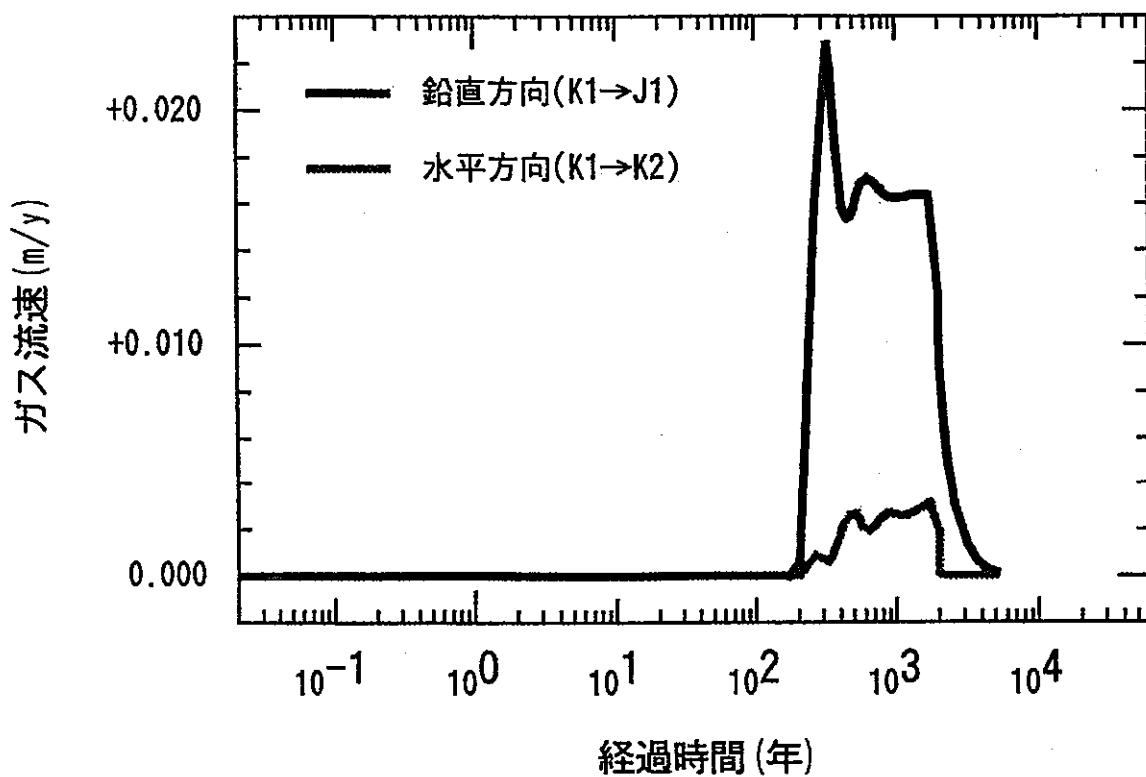


図 2.2.3-18 廃棄体内ガス流速の経時変化
(ボールト case1)

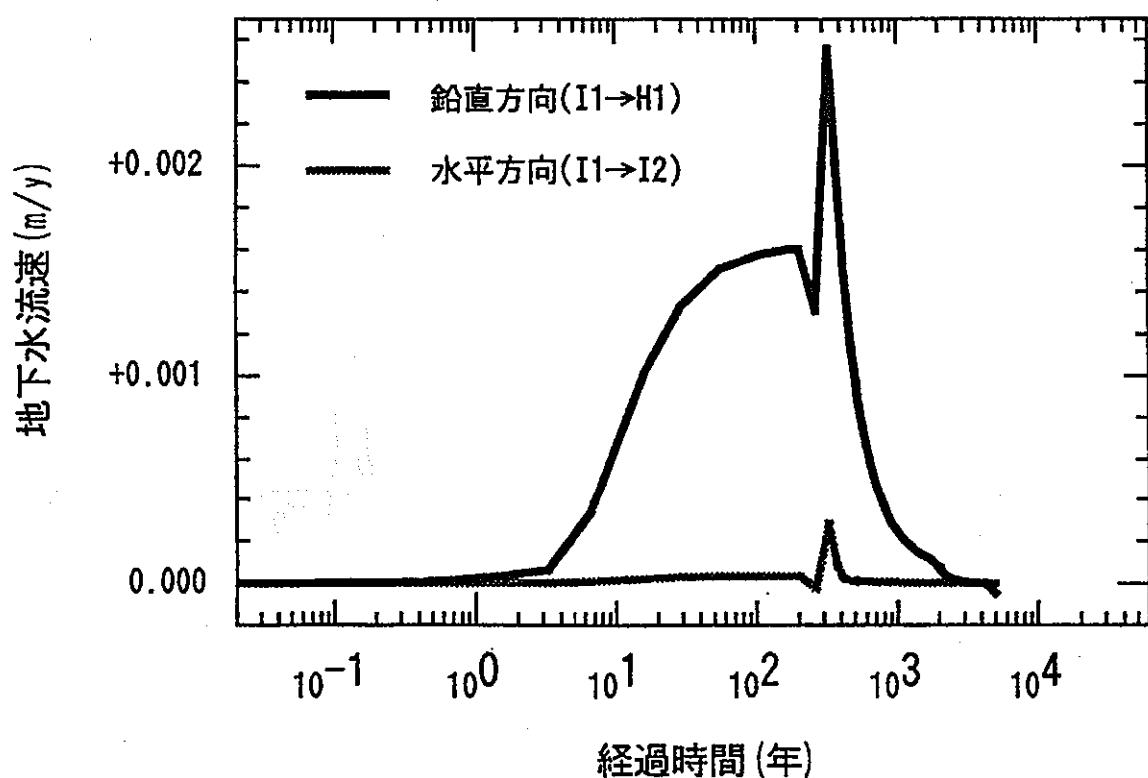


図 2.2.3-19 緩衝材内地下水水流速の経時変化
(ボールト case1)

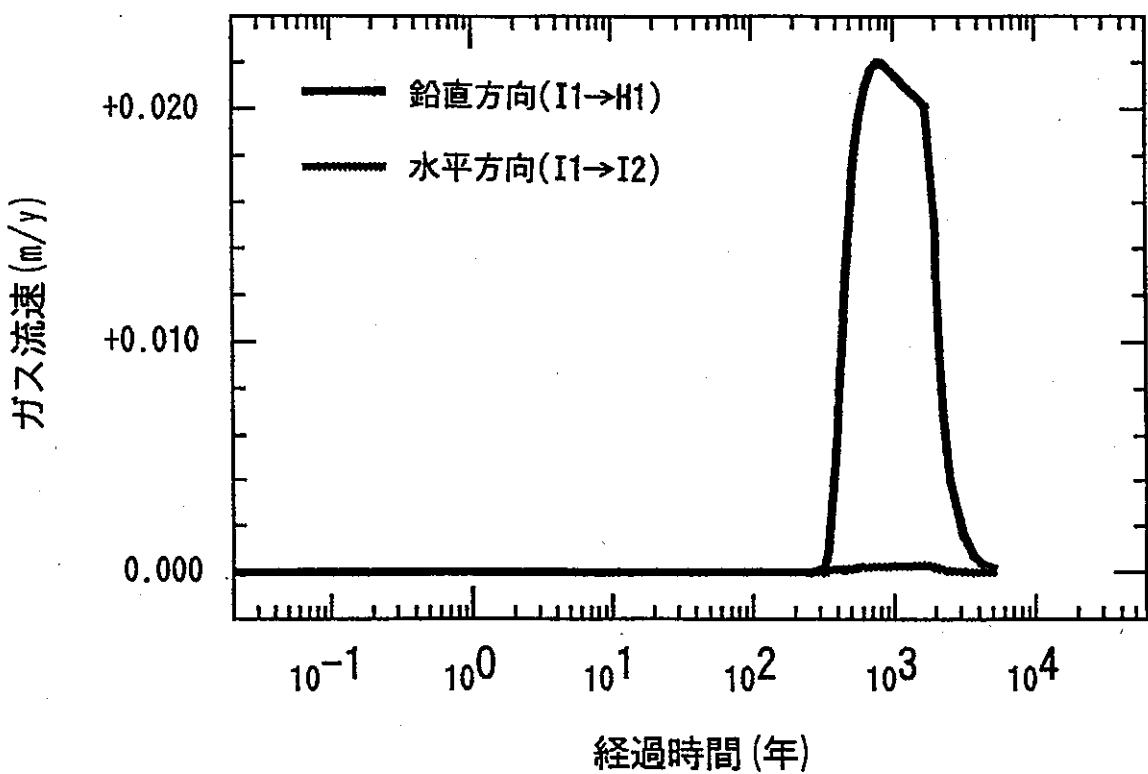


図 2.2.3-20 緩衝材内ガス流速の経時変化
(ボールト case1)

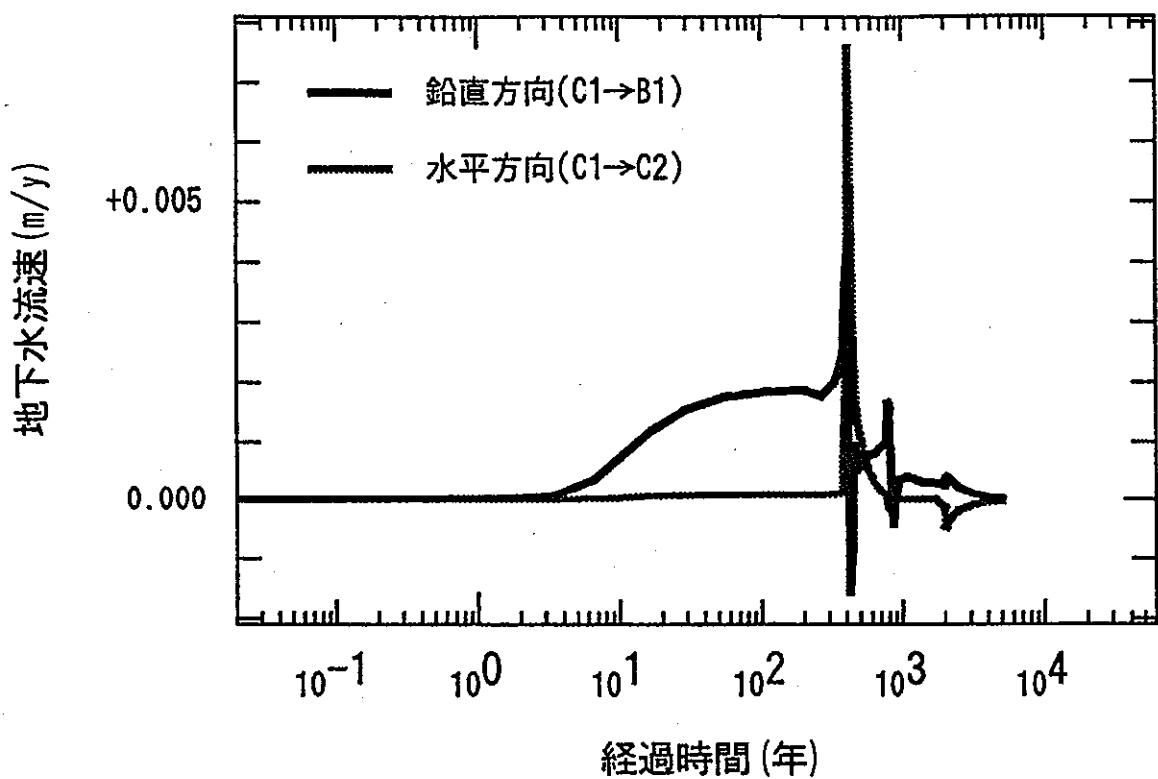


図 2.2.3-21 母岩内地下水流速の経時変化
(ボールト case1)

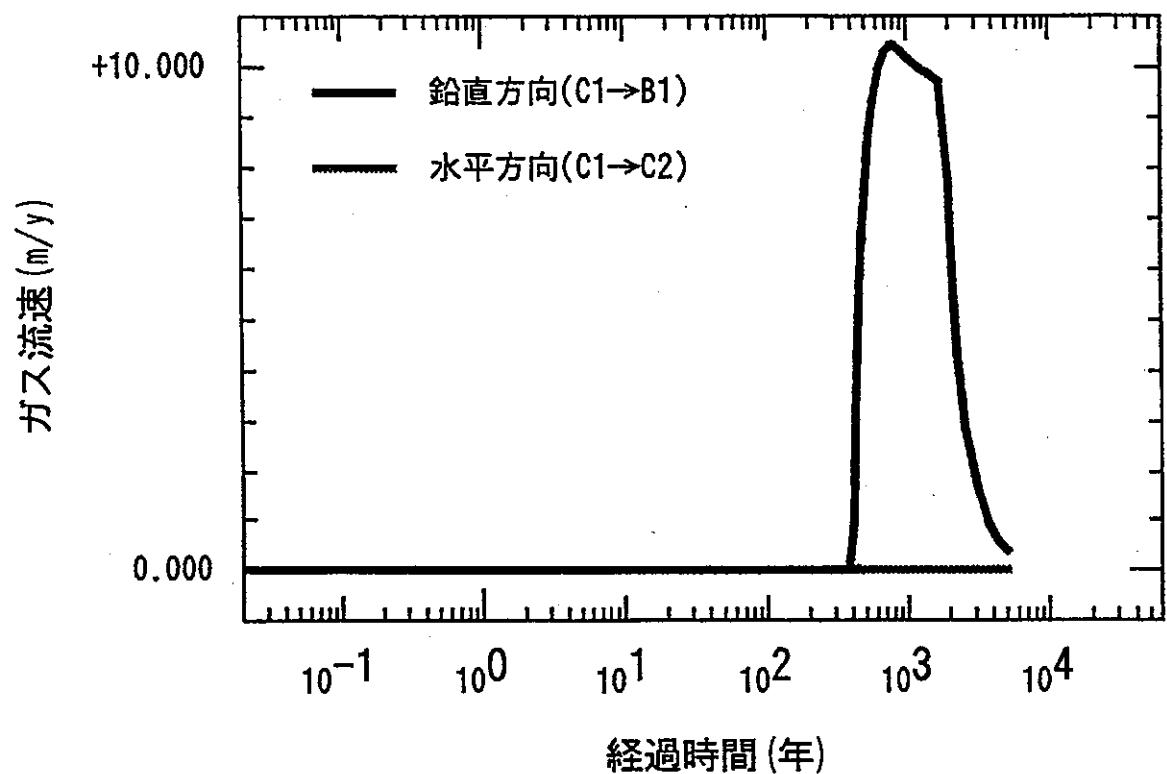


図 2.2.3-22 母岩内ガス流速の経時変化
(ボールト case1)

(ii) 緩衝材の絶対透過係数の影響

1) ケース 2-a (緩衝材の絶対透過係数を100倍とした場合)

試算結果を図2.2.3-23～26に示す。緩衝材の絶対透過係数を100倍とした場合の間隙圧力、飽和度及び移行速度の経時変化は以下のように予測された。

①地下水のみが移行する状態 ($Sg=0$)

廃棄体に気相が生成する時期は等しい。Phase-1状態では、緩衝材中では地下水移行の制限がケース1より緩やかであることから、同一のガス発生速度条件下では間隙圧力の増加は0.1MPa程度と小さくなり、一方地下水フラックスは大きくなる。

②緩衝材に気相が生成しているが、地下水のみが移行する状態 ($0 < Sg < Sls$)

ガス発生後90年に緩衝材に気相が移行してPhase-2状態となっており、地下水の移行速度は大きくなっている。

③緩衝材中の気液移行は二相流状態となるが、地下水移行が支配的な状態 ($Sls \leq Sg$)

ガス発生110年後にPhase-3状態、120年後にPhase-4状態となっており、緩衝材中の間隙圧力の増加は0.2MPa程度と小さい。

④緩衝材の気液移行が二相流状態であり、気相移行が支配的な状態 ($Sls \leq Sg$)

処分施設内の地下水は、緩衝材を通過して地層に移行するだけではなく、気相と入れ替わる形で処分施設下部に移動しており、ケース1と同様に施設の上部に気相が溜まる傾向がみられる。

⑤ガス発生停止以降

ガス発生が停止すると、施設上部の地層から処分施設内へ地下水が浸入し始めるこにより、処分施設内のガス飽和度の減少速度が大きくなる。処分施設外への気相の移行は、ガス発生時より非常に小さいが依然として継続している。

2) ケース 2-b (緩衝材の絶対透過係数を1/100とした場合)

試算結果を図2.2.3-27～30に示す。緩衝材の絶対透過係数を1/100とした場合の間隙圧力、飽和度及び移行速度の経時変化は以下のように予測された。

①地下水のみが移行する状態 ($Sg=0$)

廃棄体に気相が生成する時期は等しい。Phase-1状態では緩衝材層における地下水の移行の制限がケース1より厳しいことから、同一のガス発生速度条件下では、間隙圧力の増加が40.8MPaと大きくなり、一方地下水のフラックスは小さくなる。

②緩衝材に気相が生成しているが、地下水のみが移行する状態 ($0 < Sg < Sls$)

ケース1に比較して高い間隙圧力のため、廃棄体及び緩衝材中のガスの飽和度は小さくなっている。ガス発生が停止するまでPhase-1状態が継続し、廃棄体及び充填材の圧力は60MPaまで増加しているが、地層の間隙圧力は初期値からほとんど変化していない。

③緩衝材中の気液移行は二相流状態となるが、地下水移行が支配的な状態 ($S_{ls} \leq S_g$)

ガス発生開始後約1700年に気相が充填材に移行し始め、廃棄体、充填材層の間隙圧力が低下し始める。

処分施設内の地下水は緩衝材を通じて地層に移行するだけではなく、気相と入れ替わる形で処分施設下部に移動しており、施設の上部に気相が溜まる傾向がみられる。

④緩衝材の気液移行が二相流状態であり、気相移行が支配的な状態 ($S_{ls} \leq S_g$)

ガス発生開始後約2230年に緩衝材、地層に気相が移行し始め、緩衝材層の間隙圧力が減少していく。

3) まとめ

① 緩衝材中で地下水の移行のみが生じている状態では、廃棄体中でのガス発生に伴って処分施設の間隙圧力と緩衝材を通過する地下水フラックスが増加する。この状態では、間隙圧力の圧力勾配は緩衝材領域で大きくなっているが、充填材から緩衝材へ気相が移行するようになると緩衝材の間隙圧力が増加する。さらに緩衝材から地層中に気相が移行し始め、緩衝材中のガス飽和度の造化に従って気相の対透過係数が増加することにより、処分施設の間隙圧力が全体的に低下している。

② 地下水の移行は、ガス発生領域を取り囲んでいる緩衝材の絶対透過係数に大きく依存しており、緩衝材の絶対透過係数の値が大きいほど、ガス発生初期から緩衝材を通過する地下水フラックスも大きくなってしまい、処分施設の間隙圧力の増加は小さくなっている。

③ 緩衝材の絶対透過係数の値が小さくなると、緩衝材から地層への気相移行が始まるまでの期間が長くなる。

④ 緩衝材の絶対透過係数の値が大きい場合には、ガス発生停止時以前に処分施設の間隙圧力が十分低下しているため、ガス発生が停止後速やかに施設上部の地層から処分施設内へ地下水が浸入する傾向がある。

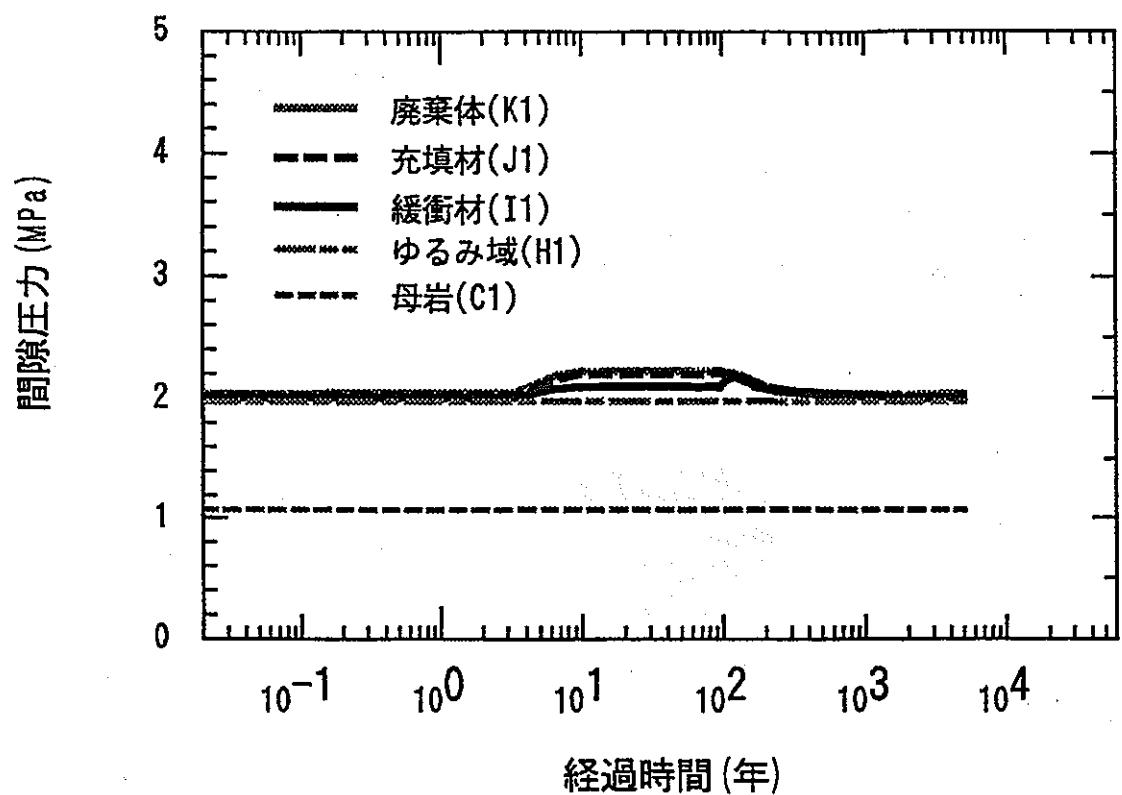


図 2.2.3-23 間隙圧力の経時変化
(ボルト case2-a)

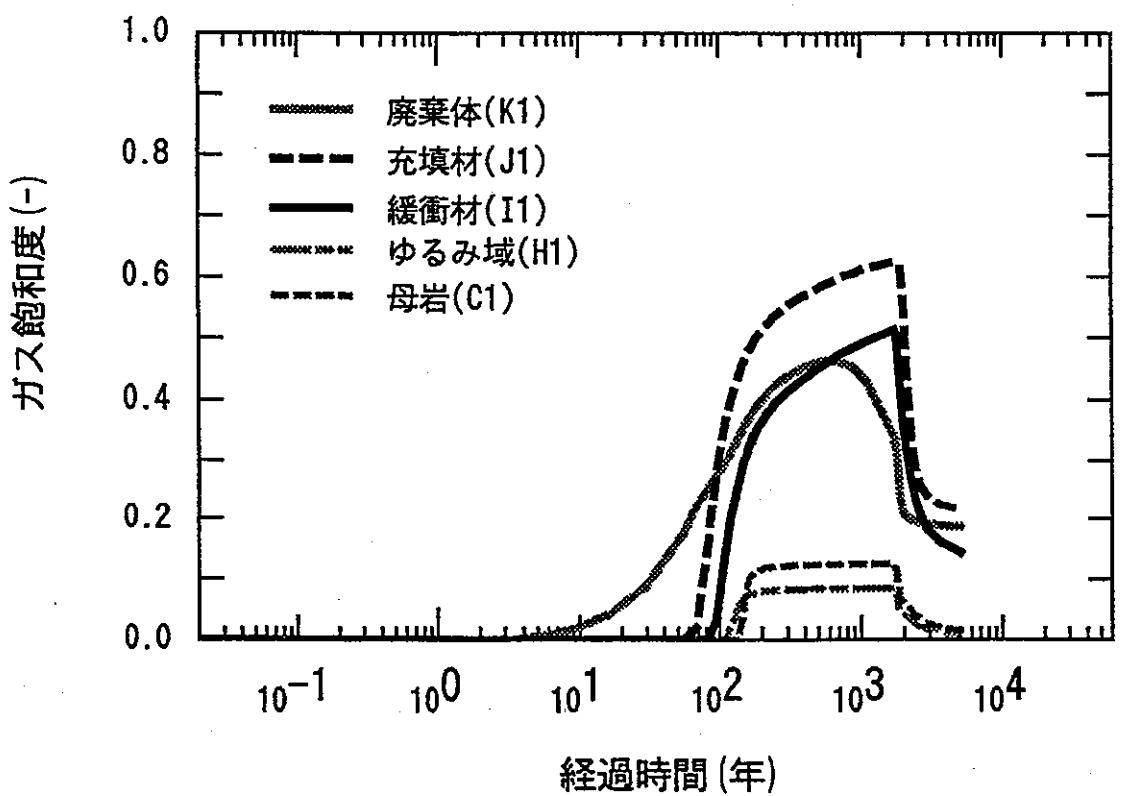


図 2.2.3-24 ガス飽和度の経時変化
(ボルト case2-a)

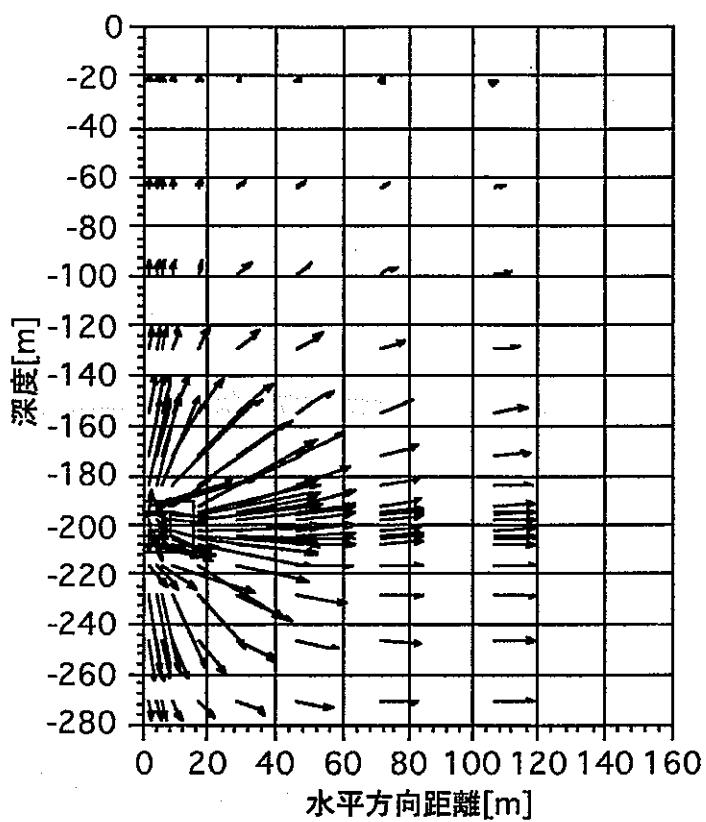


図 2.2.3-25 地下水流ベクトル
(ボールト case2-a : 110年)

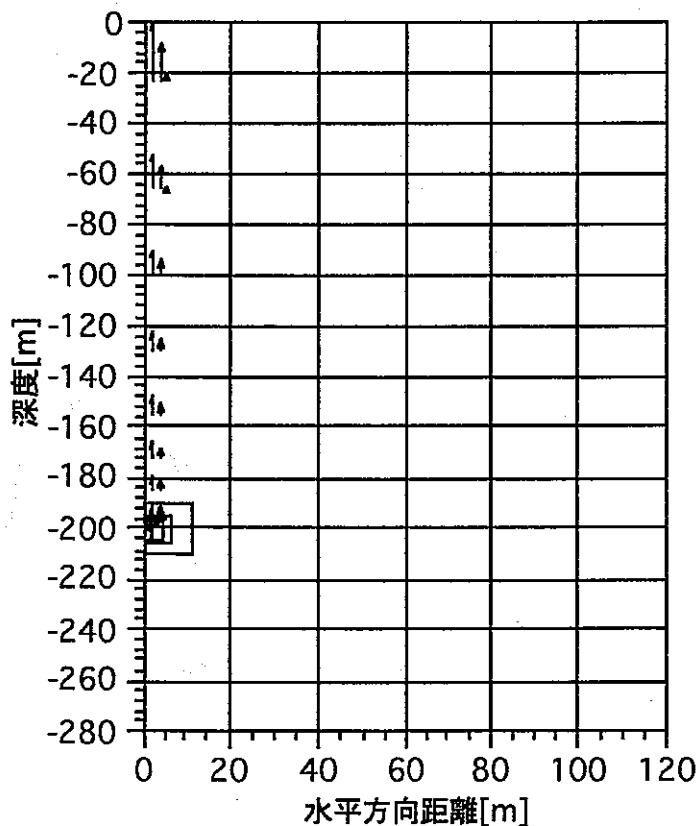


図 2.2.3-26 ガス流ベクトル
(ボールト case2-a : 190年)

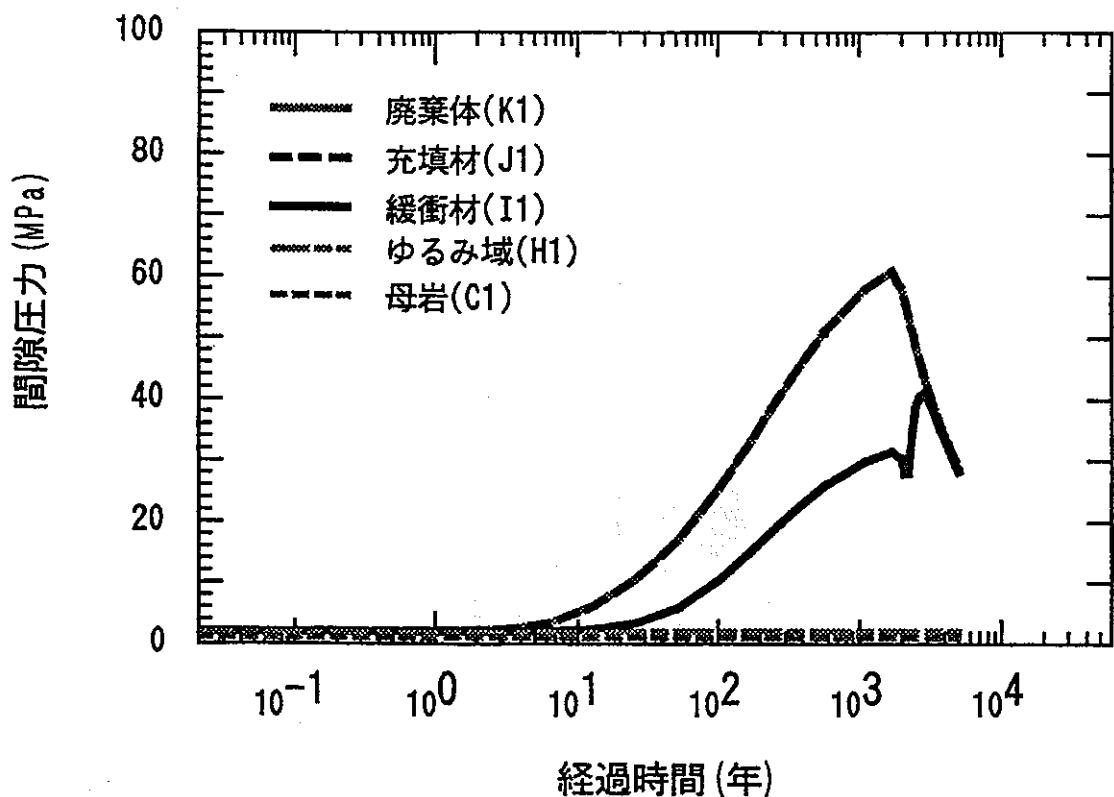


図 2.2.3-27 間隙圧力の経時変化
(ボルト case2-b)

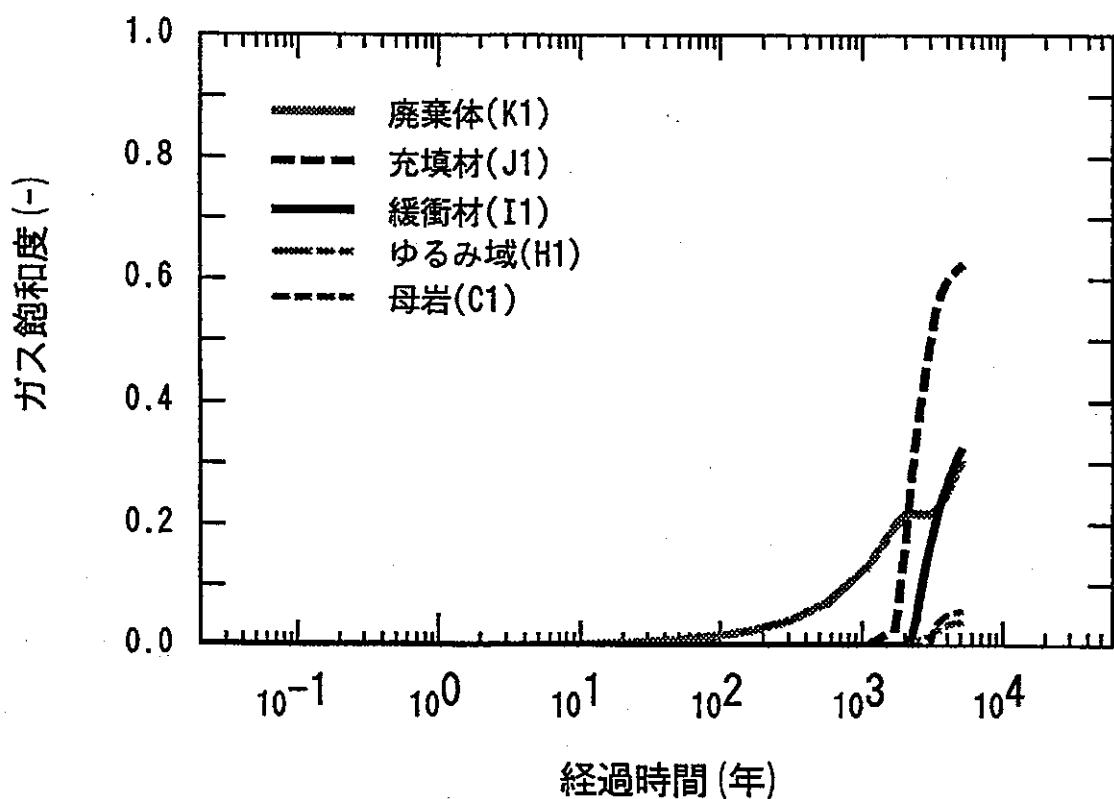


図 2.2.3-28 ガス飽和度の経時変化
(ボルト case2-b)

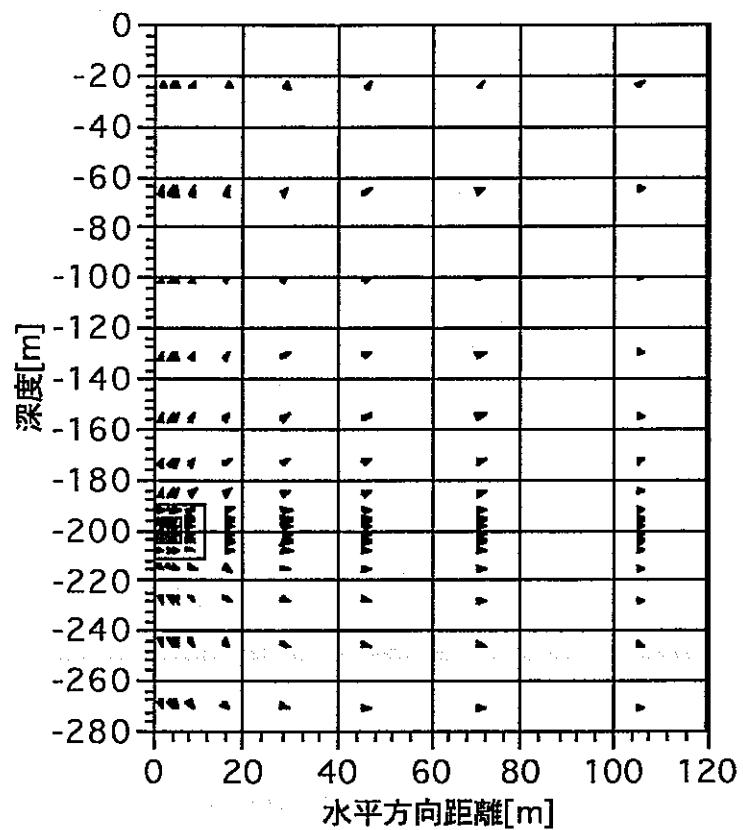


図 2.2.3-29 地下水流ベクトル
(ボールトcase2-b : 2,680年)

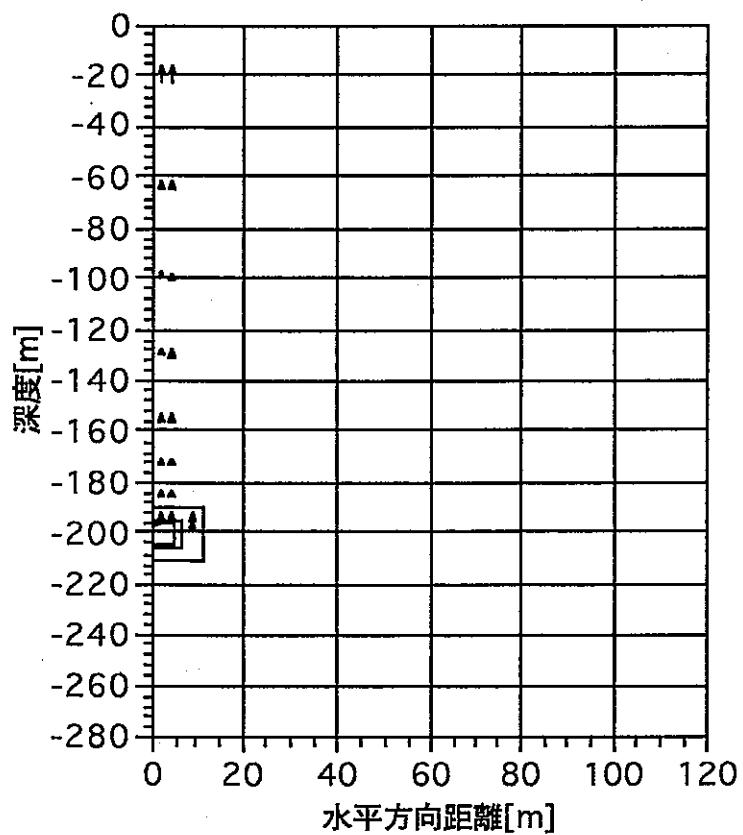


図 2.2.3-30 ガス流ベクトル
(ボールトcase2-b : 5,000年)

(ii) 母岩及びゆるみ域の絶対透過係数の影響

1) ケース 3-a (母岩及びゆるみ域の絶対透過係数を100倍とした場合)

試算結果を図2.2.3-31～34に示す。母岩及びゆるみ域の絶対透過係数を100倍とした場合の間隙圧力、飽和度及び移行速度の経時変化は以下のように予測された。

①地下水のみが移行する状態 ($Sg=0$)

ケース1と比較して、処分施設内の間隙圧力及びガス飽和度の経時変化に違いはない。

②緩衝材中の気液移行は二相流状態となるが、地下水移行が支配的な状態 ($Sls \leq Sg$)

処分施設外へ気相が移行した後、母岩及びゆるみ域のガス飽和度はケース1と比較して透過性が高いことから、予測される圧力勾配において必要な気相のフラックスを得るためにガス飽和度はケース1に比較して小さくなっている。

地層中の地下水流速は緩衝材層を通過する地下水のフラックスによって決定されるため、ケース1とケース3-aでほとんど変化していないが、気相の流速はガスの飽和度が小さくなり流路の断面積が減少していることからも、ケース3-aの方が大きくなっている。

2) ケース 3-b (母岩及びゆるみ域の絶対透過係数を1/100とした場合)

試算結果を図2.2.3-35～40に示す。母岩及びゆるみ域の絶対透過係数を1/100とした場合の間隙圧力、飽和度及び移行速度の経時変化は以下のように予測された。

①地下水のみが移行する状態 ($Sg=0$)

処分施設内の間隙圧力及びガス飽和度等の経時変化は、ケース1とほとんど等しい。

②緩衝材中の気液移行は二相流状態となるが、地下水移行が支配的な状態 ($Sls \leq Sg$)

処分施設外へ気相が移行した後、地層中の気相の移行速度は透過係数が減少したことからケース1に比較して小さくなっている。

緩衝材層から放出される気相のフラックスにより、透過係数の小さいケース3-bでは、相当するフラックスを得るために地層中の間隙圧力及びガス飽和度が上昇すると共に、より間隙圧の影響を受けることから気相の水平方向への移行が増加している。

地層における地下水流速は、ケース1とケース3-aではほとんど変化していないが、気相流速はガスの飽和度が増加していることからもケース3-bの方が小さくなっている。

3) まとめ

- ① 地層の絶対透過係数は、ガス発生に伴う処分施設内の間隙圧力の変化にほとんど影響を及ぼさない。
- ② 地層の絶対透過係数の値が小さい場合には、緩衝材から地層へ気相が移行するようになると、地層中の圧力が上昇することによって地層中に有意な間隙圧の圧力勾配をもつようになる。
- ③ 緩衝材と地層間の間隙圧力の勾配は、これら2層の絶対透過係数のバランスによって大きく変化する可能性がある。
- ④ 地層の絶対透過係数は地層中における地下水流速に大きな影響を与えないが、気相の移行挙動に対して影響を及ぼしており、地層の絶対透過係数が小さいほど地層中に間隙圧力の勾配が生じることから、水平方向に気相が拡がりやすくなっている。

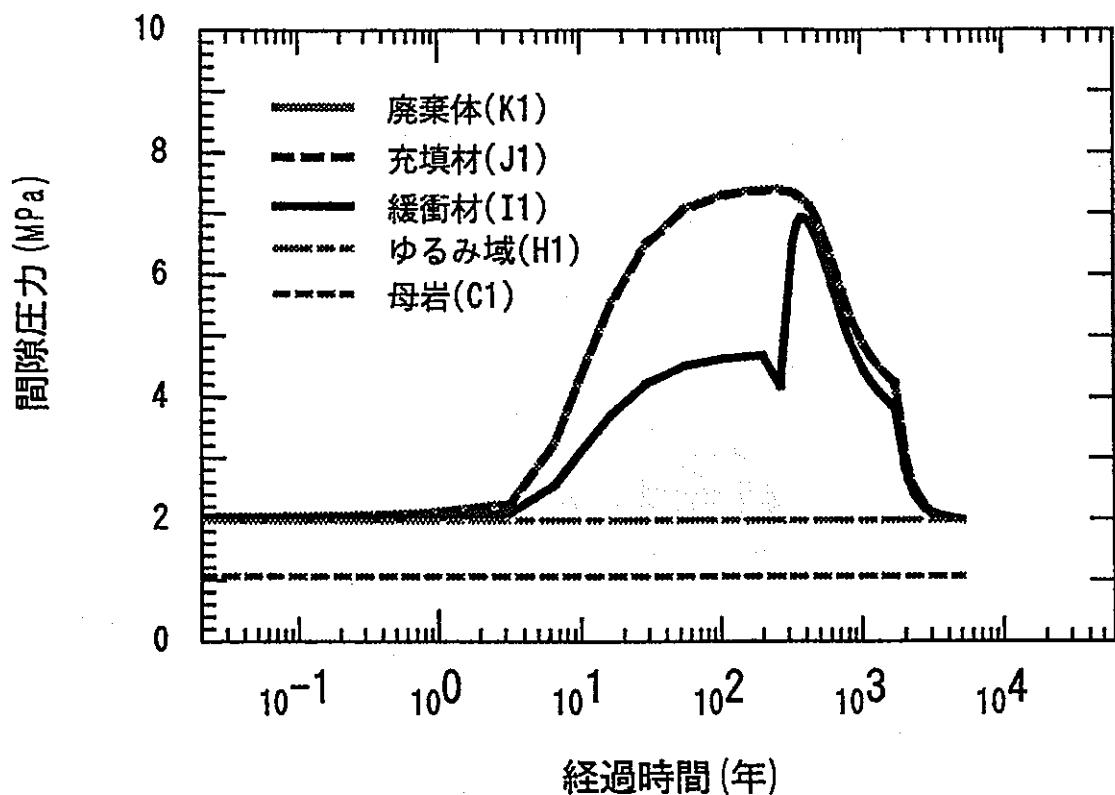


図 2.2.3-31 間隙圧力の経時変化
(ボールトcase3-a)

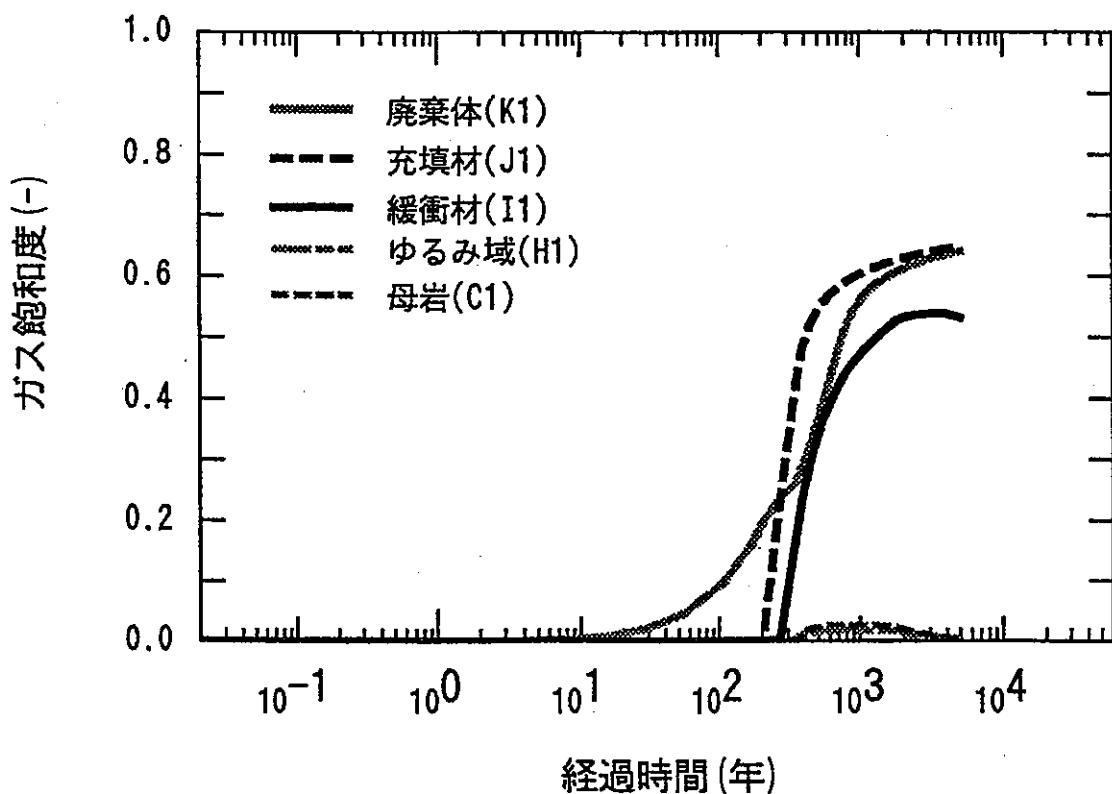


図 2.2.3-32 ガス飽和度の経時変化
(ボールトcase3-a)

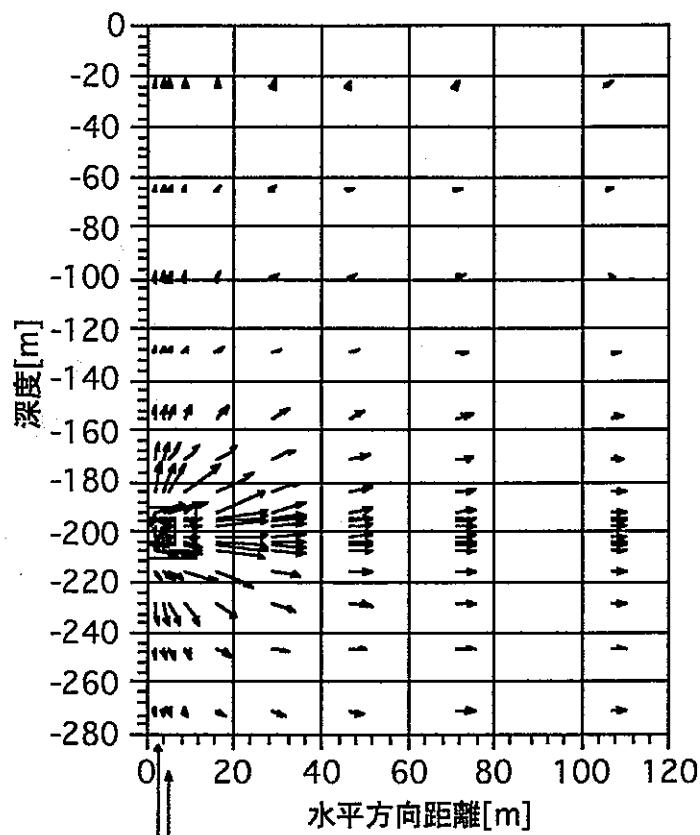


図 2.2.3-33 地下水流ベクトル
(ボルト case3-a : 330年)

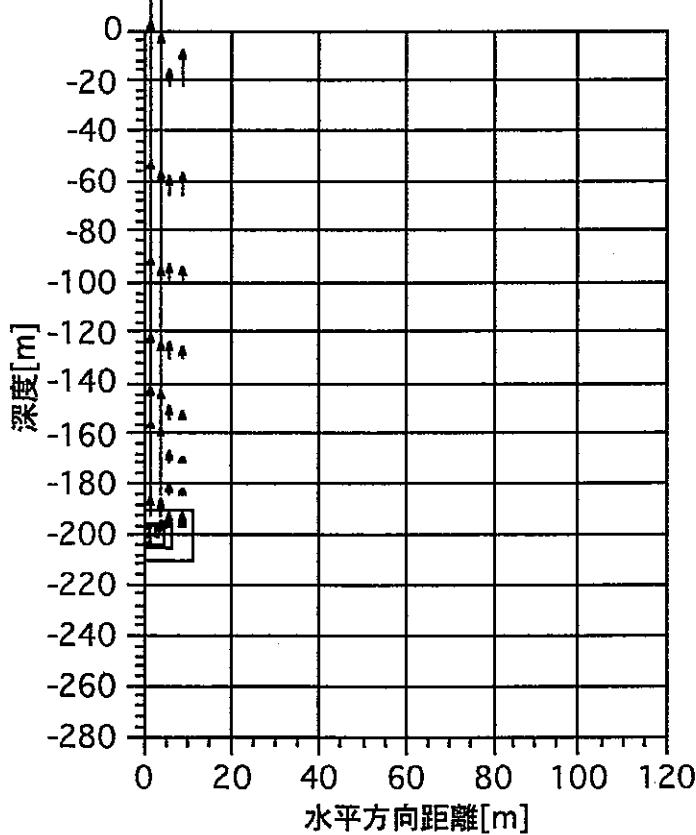


図 2.2.3-34 ガス流ベクトル
(ボルト case3-a : 760年)

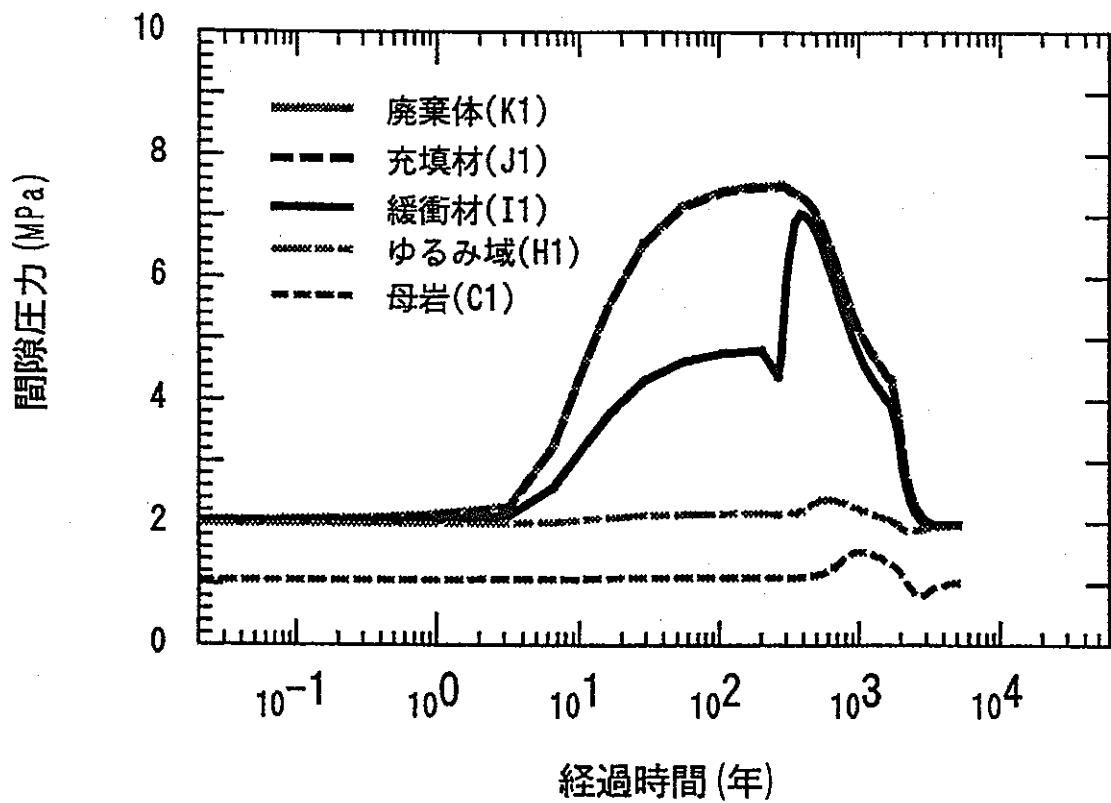


図 2.2.3-35 間隙圧力の経時変化
(ボールトcase3-b)

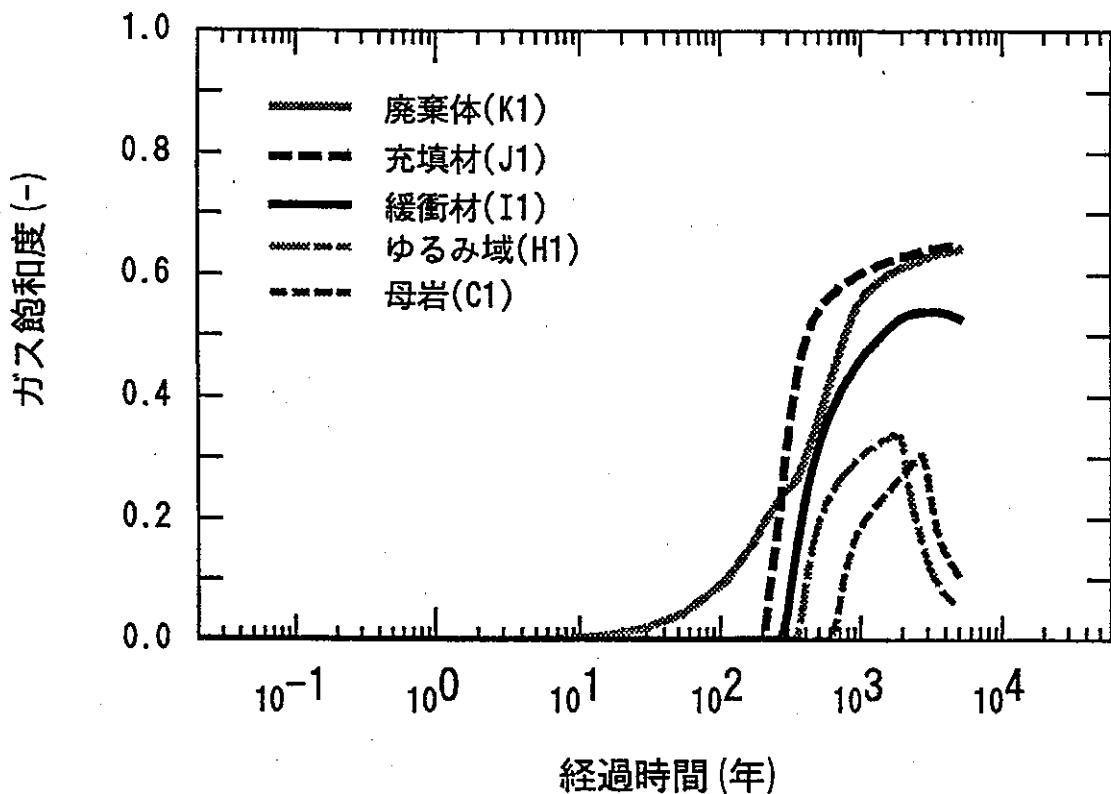


図 2.2.3-36 ガス飽和度の経時変化
(ボールトcase3-b)

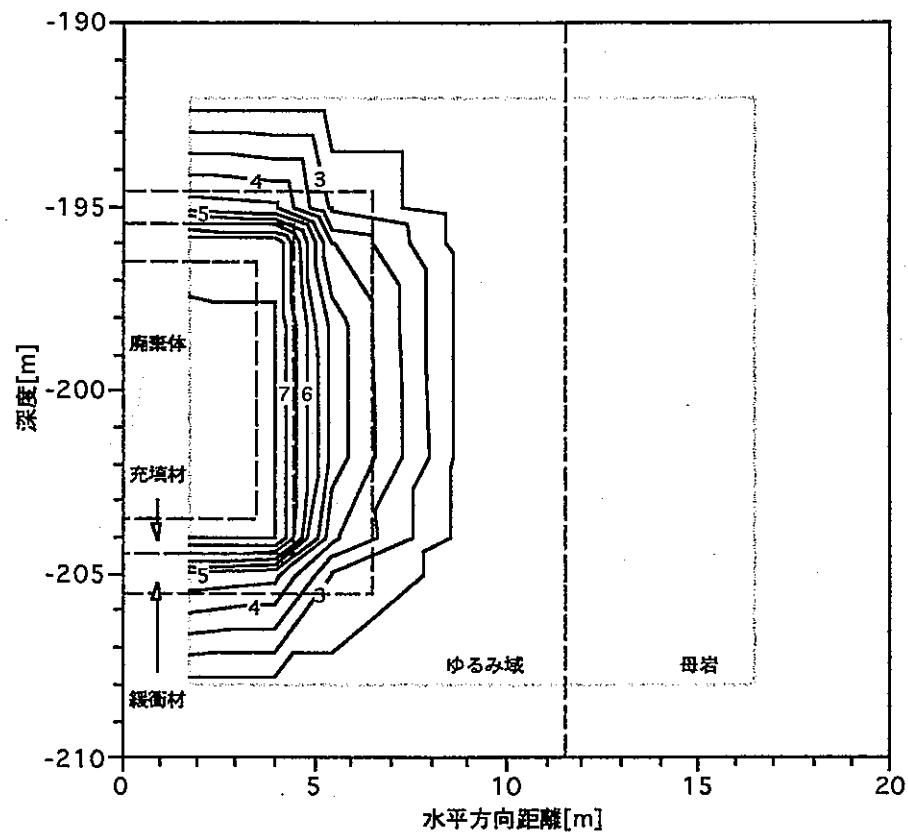


図 2.2.3-37 間隙圧力分布
(ボールト case3-b : 280年)

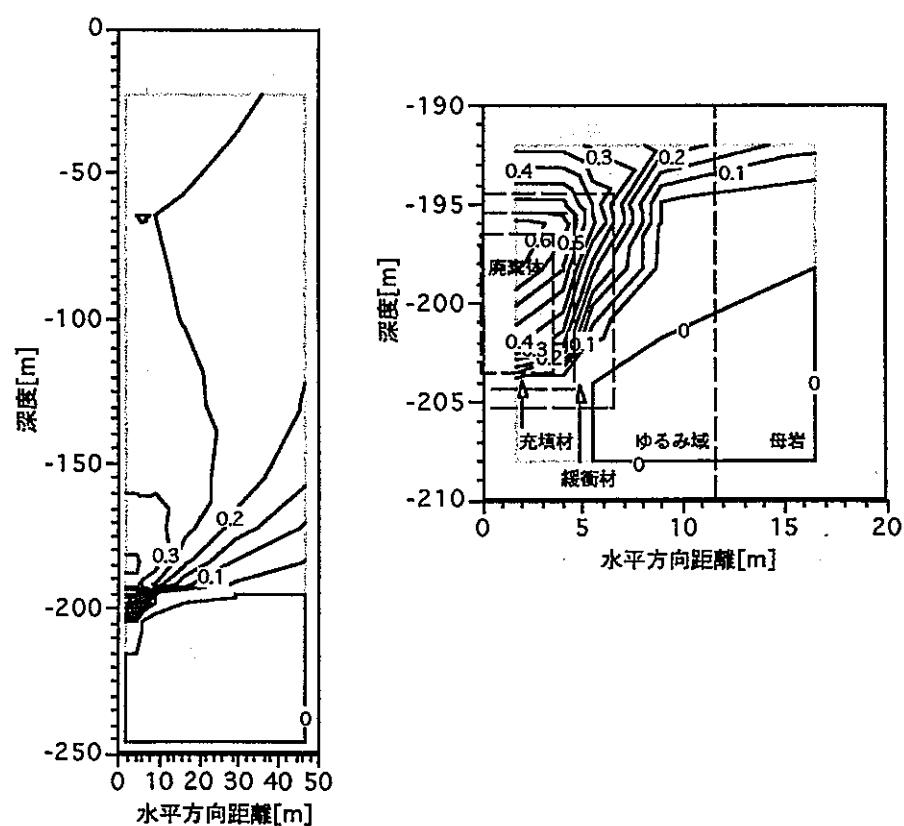


図 2.2.3-38 ガス飽和度分布
(ボールト case3-b : 1,700年)

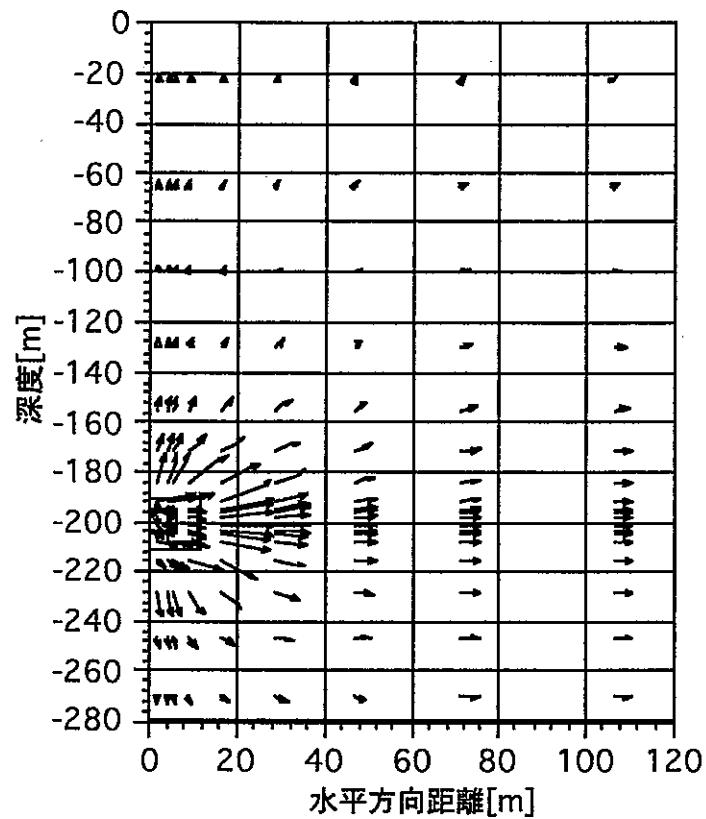


図 2.2.3-39 地下水流ベクトル
(ボールトcase3-b : 320年)

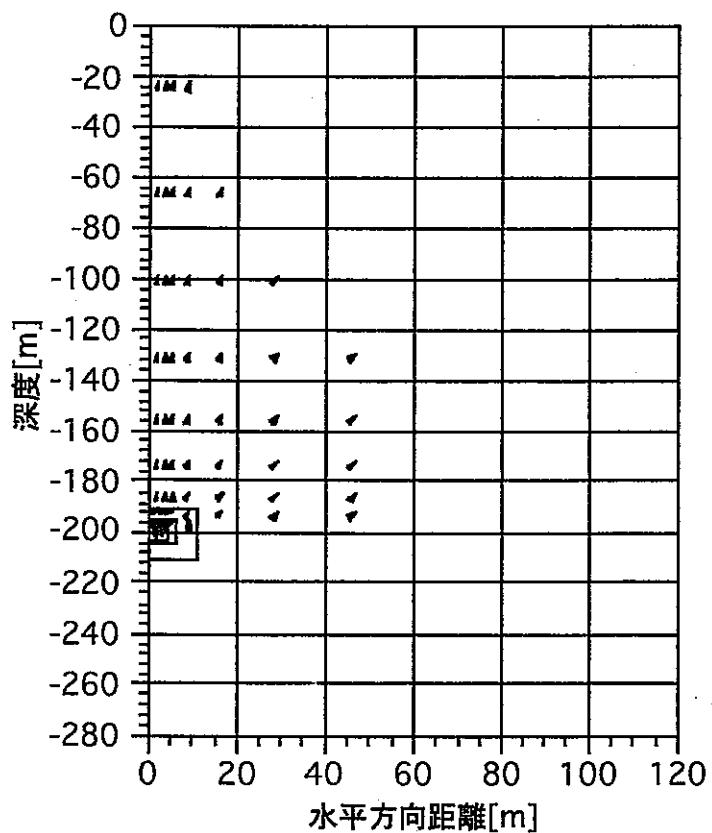


図 2.2.3-40 ガス流ベクトル
(ボールトcase3-b : 900年)

(iii) 緩衝材の相対透過係数モデルの影響

1) ケース 4 (緩衝材の相対透過係数モデルをSandiaモデルとした場合)

設定したSandiaモデルにおける相対透過係数と飽和度との関係を図2.2.3-41に示した。

また、試算結果を図2.2.3-42～45に示した。緩衝材に対する相対透過係数評価モデルをCoreyモデルからSandiaモデルに変更した場合の間隙圧力、飽和度及び移行速度の経時変化は以下のように予測された。

①地下水のみが移行する状態 ($Sg=0$)

緩衝材層に気相が生成する以前(200年)に緩衝材中の間隙圧力が最大となっており、

処分施設の間隙圧力はPhase-1状態において最大となっている。

②緩衝材に気相が生成しているが、地下水のみが移行する状態 ($0 < Sg < Sls$)

ガス発生開始後約270年に緩衝材中に気相が生成している。この時点までのガス発生の影響はケース1にほとんど等しい。

③緩衝材中の気液移行は二相流状態となるが、地下水移行が支配的な状態 ($Sls \leq Sg$)

緩衝材に気相が生成すると同時にゆるみ域に気相が移行しており、Phase-4状態となる。緩衝材のガス飽和度が小さくとも気相の移行が生じる相対透過係数モデルを設定しているため、緩衝材中のガス飽和度はケース1に比較してあまり高くならない。

④緩衝材の気液移行が二相流状態であり、気相移行が支配的な状態 ($Sls \leq Sg$)

充填材から緩衝材、地層へ気相が移行開始後、廃棄体、充填材の間隙圧力はケース1と比較して速やかに減少している。一方、地層中の地下水流速はケース1と大きな相違はないが、ガス飽和度の極く小さい時期での気相の流速は著しく大きい。

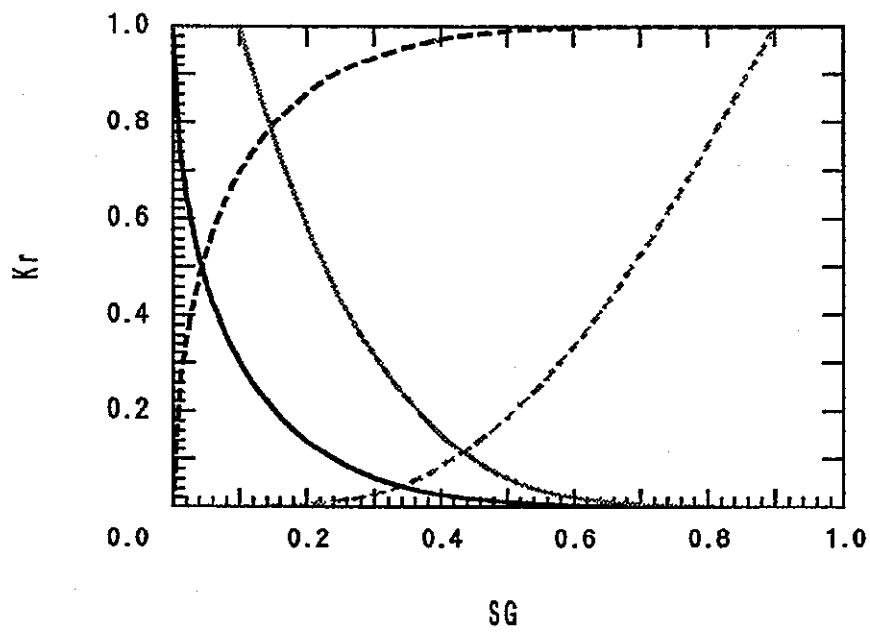
⑤ガス発生停止以降

ガスの発生が停止すると、施設上部の地層から施設内へ地下水が移行することにより、処分施設内のガス飽和度の減少が大きくなっている。処分施設外への気相の移行は、ガス発生時より小さいが依然として継続している。

2) まとめ

① Sandiaモデルは図2.2.3-41に示すように、ガス飽和度が小さい領域においても気相の相対透過係数が高く、気相の移行が容易なため充填材から緩衝材へ気相が移行開始後、処分施設の間隙圧力の減少はケース1に比べて大きくなっている。また、処分施設から地層への気相移行に関して、ガス飽和度の極く小さい時期に気相の流速が著しく大きくなっているが、その期間は短い。

② 設定したガス発生速度の条件下では、緩衝材の相対透過係数モデルとしてSandiaモデルを適用した場合、ガスの透過性が高いためガス発生停止時において処分施設の間隙圧力が既に低下していること、及び緩衝材中のガス飽和度が相対的に小さいことから、施設上部の地層から処分施設への地下水の浸入が速やかに生じる。



緩衝材の相対透過係数モデル

- Sandia function(for Liquid)
- - - Sandia function(for Gas)
- Corey's curves(for Liquid)
- ~~~~ Corey's curves(for Gas)

図 2.2.3-41 相対透過係数モデルによる相対透過係数の変化

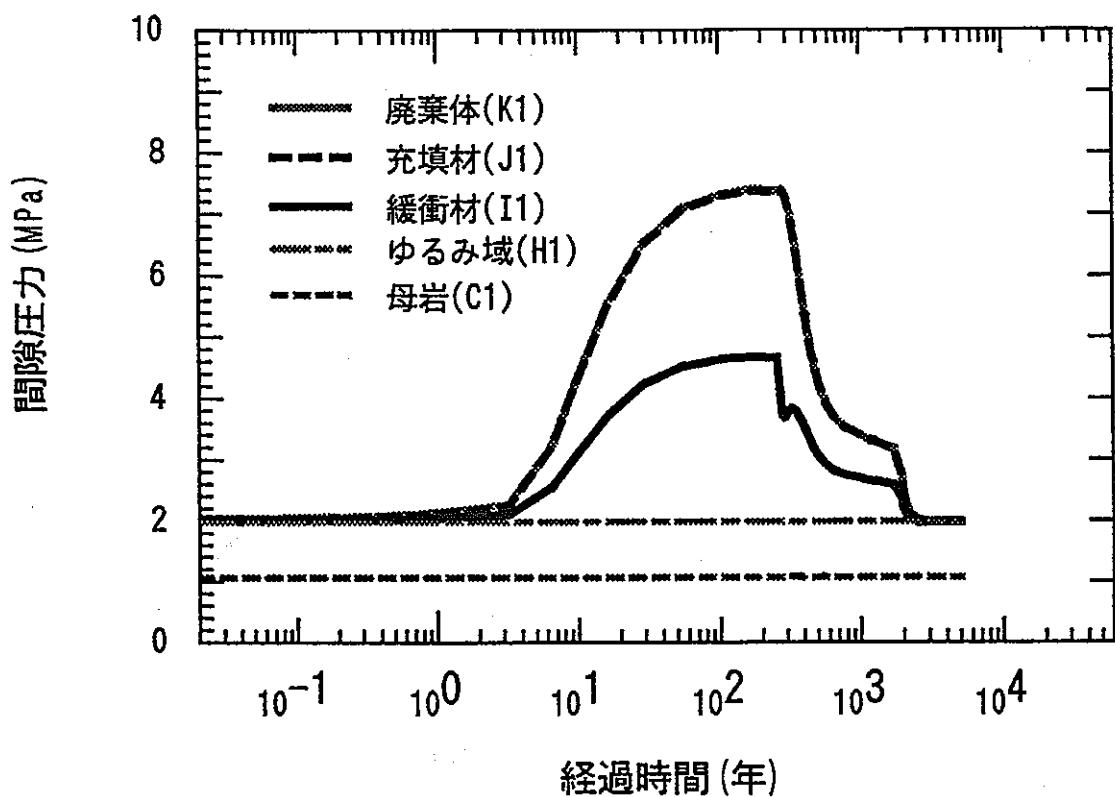


図 2.2.3-42 間隙圧力の経時変化
(ボールトcase4)

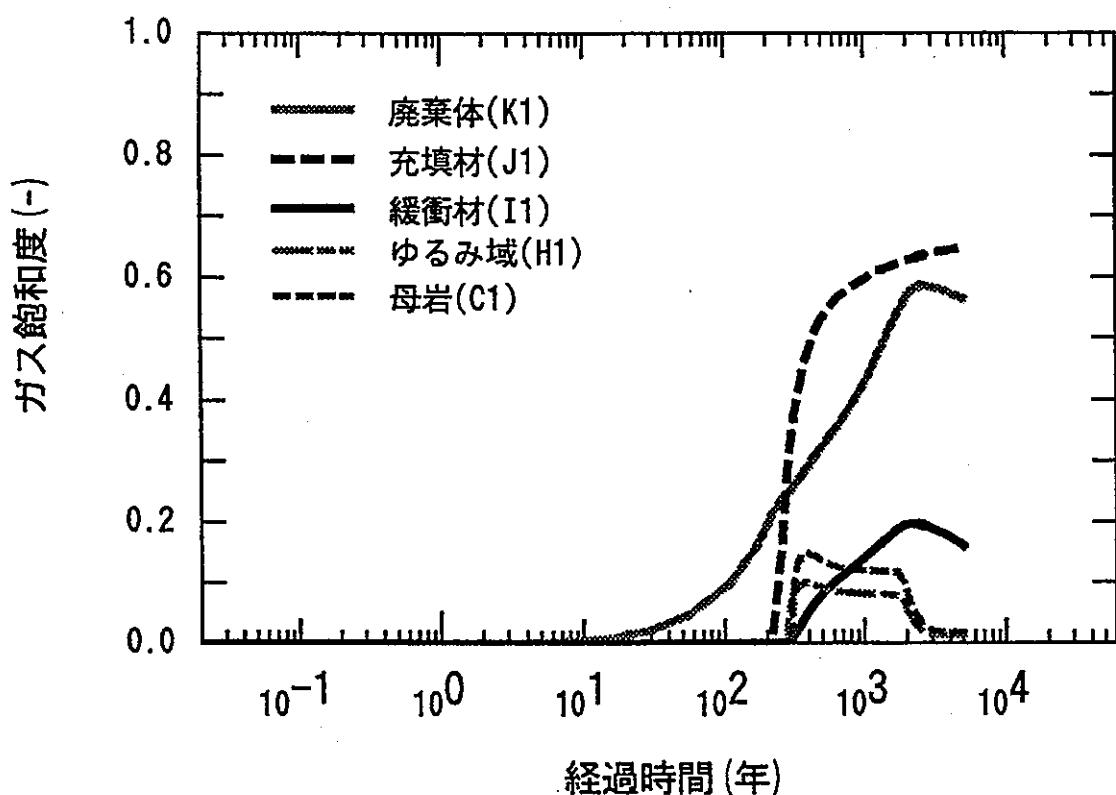


図 2.2.3-43 ガス飽和度の経時変化
(ボールトcase4)

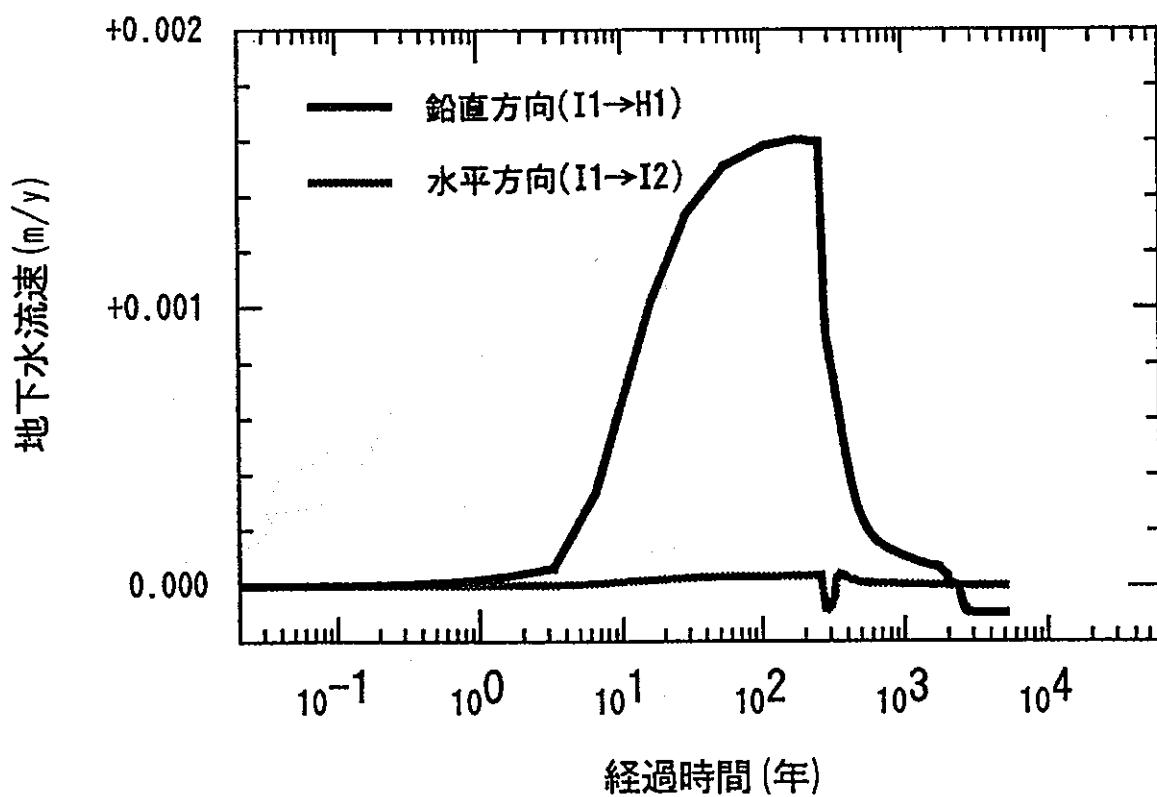


図 2.2.3-44 緩衝材内地下水流速の経時変化
(ボルトcase4) タイトル

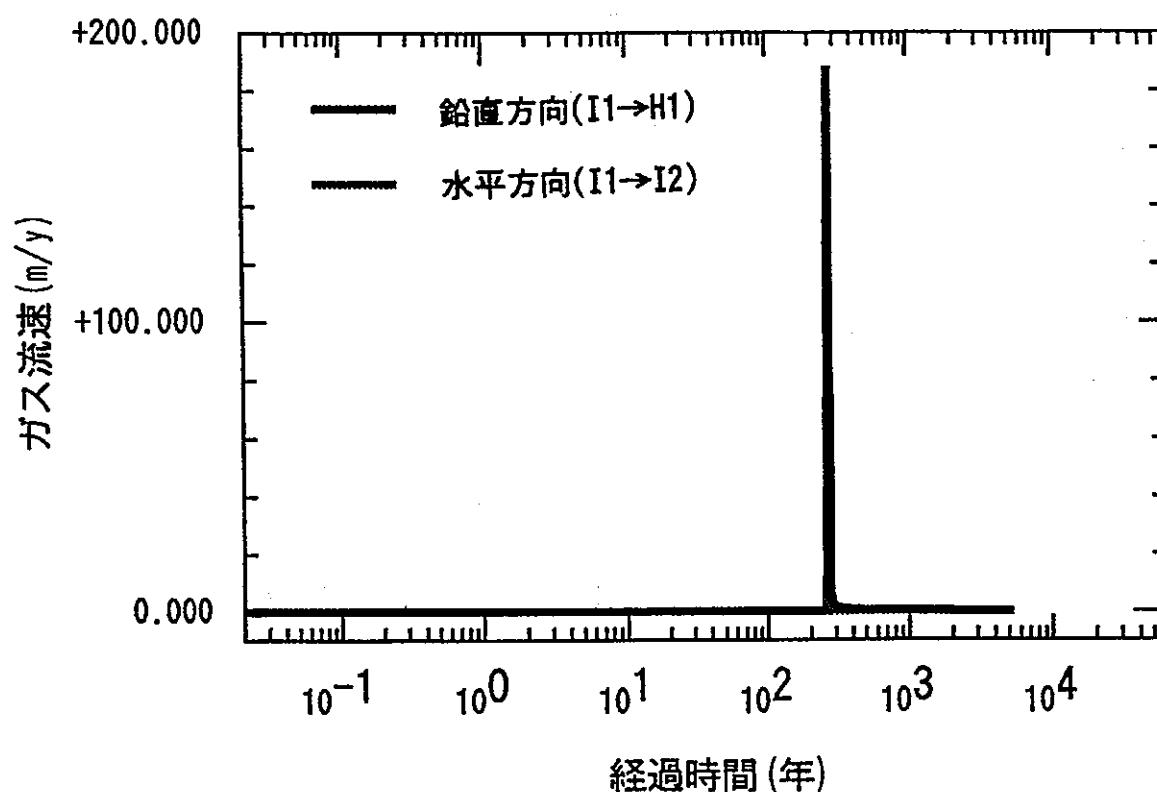


図 2.2.3-45 緩衝材内ガス流速の経時変化
(ボルトcase4)

(iv) 毛管圧の影響

1) ケース 5 (毛管圧を設定した場合)

設定したSandiaモデル及びNarasimhanモデルにおける毛管圧と飽和度との関係を図2.2.3-46に示した。また、試算結果を図2.2.3-47～48に示した。緩衝材に対する毛管圧評価モデルをSandiaモデルとし、廃棄体、充填材、及び地層に対する毛管圧モデルにNarasimhanモデルを適用した場合の間隙圧力、飽和度及び移行速度の経時変化は以下のように予測された。

①地下水のみが移行する状態 ($Sg=0$)

廃棄体及び充填材層で毛管圧を受けることにより、ケース1に比較して明らかに気相の移行が妨げられており、緩衝材にはガス発生後約380年に気相が移行している(ケース1では約260年)。

②緩衝材に気相が生成しているが、地下水のみが移行する状態 ($0 < Sg < S_{ls}$)

図2.2.3-46に示すようにPhase-1状態において廃棄体及び充填材で働く毛管圧は、緩衝材層に設定された低透過係数によって生じる間隙圧力の増加量と比べて小さいため、処分施設の間隙圧力はケース1と大きくは異ならない。

緩衝材に気相が移行してPhase-2状態となると、充填材から緩衝材への気相移行は大きな毛管圧のために妨げられている。このため間隙圧力が高まることにより、緩衝材のガス飽和度の増加は小さくなっている。緩衝材のガス飽和度は、ガス発生停止時点でも S_{ls} 以下 ($9.7\% < 10\% = S_{ls}$) であり、地層中へ気相が移行していない。処分施設の間隙圧力は、ガス発生停止時点まで増加し続けており、14.5MPaまで増加している。しかしながら、間隙水の移行フラックスによって決定される地下水流速はケース1と大きく変わらない。

③ガス発生停止以降

ガス発生停止後から廃棄体及び充填材の間隙圧力は減少していくが、緩衝材層のガス飽和度は10%程度のままであり、間隙圧力も低下しない。ガス発生停止後3000年を経過しても、緩衝材から地層への気相移行は生じていない。

2) まとめ

① 廃棄体、充填材の毛管圧は、緩衝材の透過係数によって決定される間隙圧力の上昇に比べて小さいため、緩衝材に気相が生成するまでの間隙圧力の増加挙動は、ケース1とケース5で大きな差がみられない。

② 緩衝材に気相が生成した後は、緩衝材で発生する毛管圧が非常に大きいため、緩衝材から地層中へ気相が移行せず処分施設の間隙圧力が大きく増加する。また、本試算で設定した毛管圧の条件では、地層への気相移行が生じない。

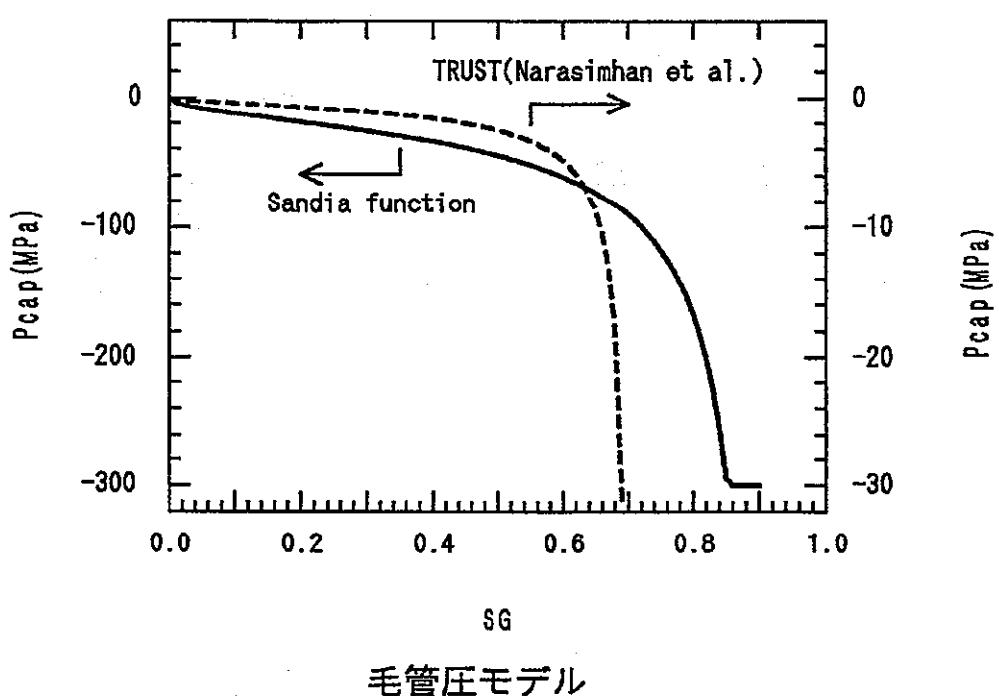


図 2.2.3-46 毛管圧評価モデルによる毛管圧の変化

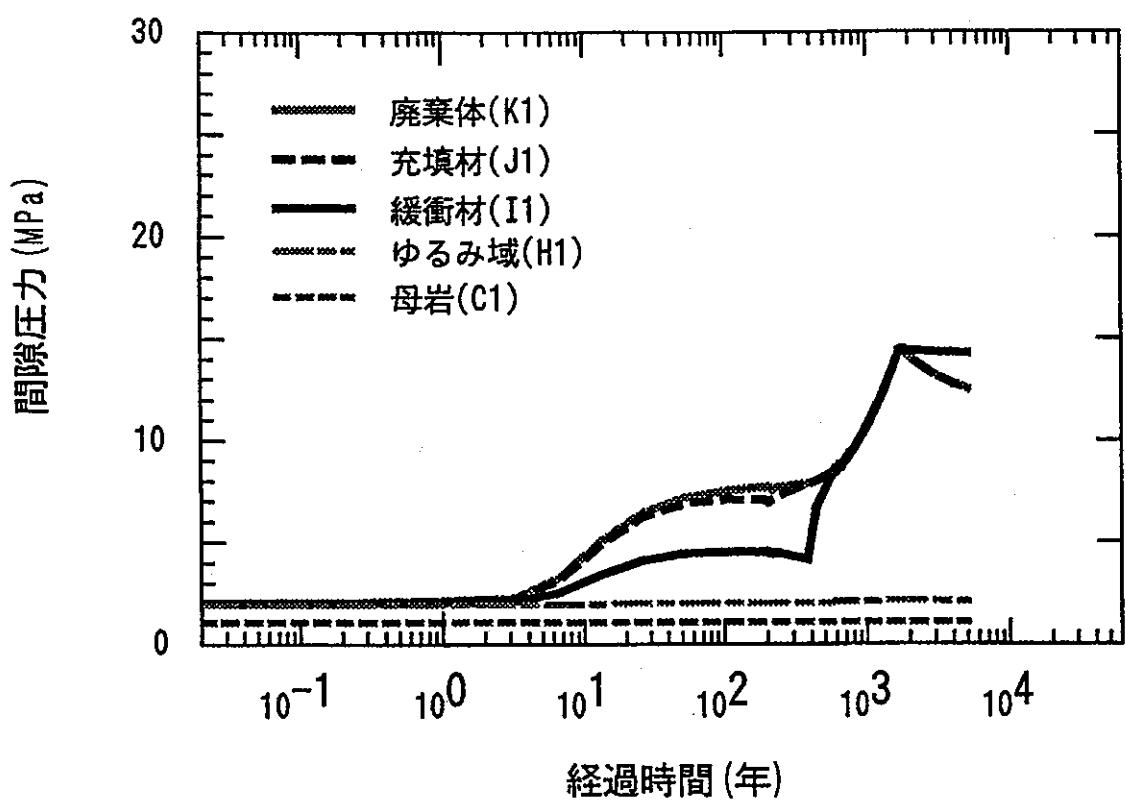


図 2.2.3-47 間隙圧力の経時変化
(ボールト case5)

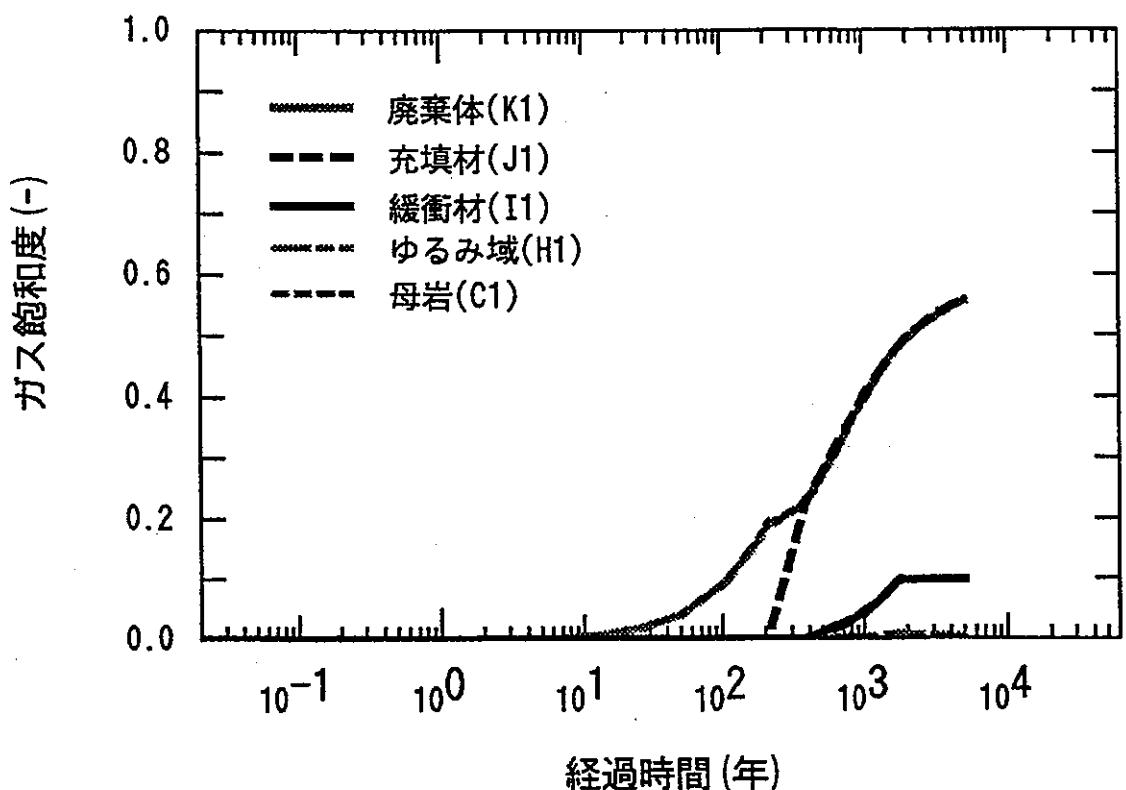


図 2.2.3-48 ガス飽和度の経時変化
(ボールト case5)

(v) ガス発生速度の影響

1) ケース 6-a (ガス発生速度を10倍とした場合)

試算結果を図2.2.3-49～52に示した。ガス発生速度を10倍とした場合の間隙圧力、飽和度及び移行速度の経時変化は以下のように予測された。

①地下水のみが移行する状態 ($S_g=0$)

ガス発生速度が大きいことからガス発生後0.8年で廃棄体に気相が生成しており、ケース1に比較し気相生成時期が早くなっている。

Phase-1状態においてケース1と緩衝材の絶対透過係数が等しい条件下で、地下水フラックス及び間隙圧力の増加がともにケース1より大きくなっている。廃棄体及び充填材の間隙圧力はそれぞれ20.8MPa、11.3MPaまで増加している。

②緩衝材に気相が生成しているが、地下水のみが移行する状態 ($0 < S_g < S_{1s}$)

③緩衝材中の気液移行は二相流状態となるが、地下水移行が支配的な状態 ($S_{1s} \leq S_g$)

ガス発生速度が大きいことにより地下水／気相の移行が促進されている。ガス発生後90年に緩衝材に気相が移行し、Phase-2状態となっている。同110年頃にPhase-3状態になり地層中に気相が移行し始め、同130年程でPhase-4状態になっている。

④緩衝材の気液移行が二相流状態であり、気相移行が支配的な状態 ($S_{1s} \leq S_g$)

処分施設内の地下水は、緩衝材を通じて地層に移行するだけではなく、気相と入れ替わる形で処分施設下部に移動しており、施設の上部に気相が溜まる傾向がみられる。

⑤ガス発生停止以降

母岩及びゆるみ域のガス飽和度は、ケース1より大きくなっているが、間隙圧力はほとんど変化していない。

ガス発生停止後も処分施設内のガス飽和度は高いままであり、気相の移行はガス発生時より非常に小さいが数千年に渡って継続している。なお、ガス発生後3000年頃より施設上部の地層から緩衝材を通じて施設内部に地下水が浸入し始めている。

2) ケース 6-b (ガス発生速度を1/10とした場合)

試算結果を図2.2.3-53～54に示した。ガス発生速度を1/10とした場合の間隙圧力、飽和度及び移行速度の経時変化は以下のように予測された。

①地下水のみが移行する状態 ($S_g=0$)

ガス発生速度が小さいことからガス発生後50年で廃棄体に気相が生成しており、ケー

ス1に比較し気相生成時期が遅くなっている。

②緩衝材に気相が生成しているが、地下水のみが移行する状態 ($0 < S_g < S_{ls}$)

Phase-1状態において、緩衝材の絶対透過係数がケース1と等しい条件下で、地下水フラックス及び間隙圧力の増加はともにケース1より小さくなっている。廃棄体及び充填材の間隙圧力はそれぞれ3.3MPa, 2.6MPaまで増加している。

③緩衝材中の気液移行は二相流状態となるが、地下水移行が支配的な状態 ($S_{ls} \leq S_g$)

ガス発生速度が小さいことにより地下水／気相の移行がケース1に比較し緩慢になっている。ガス発生後1200年頃に緩衝材に気相が移行し、Phase-2状態となっている。同約1400年にPhase-3状態になり地層中に気相が移行し始め、同約1500年でPhase-4状態に移行している。

④緩衝材の気液移行が二相流状態であり、気相移行が支配的な状態 ($S_{ls} \leq S_g$)

気相が処分施設外に移行した後、母岩及びゆるみ域のガス飽和度はケース1より小さくなっている。

⑤ガス発生停止以降

処分施設内の地下水は、緩衝材を通じて地層に移行するだけではなく、気相と入れ替わる形で処分施設下部に移動しており、施設の上部に気相が溜まる傾向がみられる。

ガス発生速度が小さい場合には、ガス発生停止時点での処分施設内の間隙圧力はケース1にて比較して小さくなっているが、上部の緩衝材のガス飽和度が高いままであるため、施設上部の地層から施設内への地下水浸入が起こりにくくなっている。施設下部からのみ地下水が浸入している。

3)まとめ

① ガスの発生によって生じる間隙圧力の増加は地下水／気相の移行の駆動力となっており、ガス発生領域を取り囲んでいる最も絶対透過係数が小さい緩衝材の透過特性に従って、処分施設のガスの発生による間隙圧力の増加とフラックスがバランスするよう地下の水の移行が生じる。

② 緩衝材で地下水の移行のみが生じている状態においては、ガス発生速度が大きいほど処分施設の間隙圧力及び地下水フラックスが増加する。ガス発生速度が小さい場合には逆の効果が現れる。

③ ガス発生速度が大きいほど緩衝材に気相が移行する時期が短縮される。ガス発生速度が小さい場合には逆の効果が現れる。

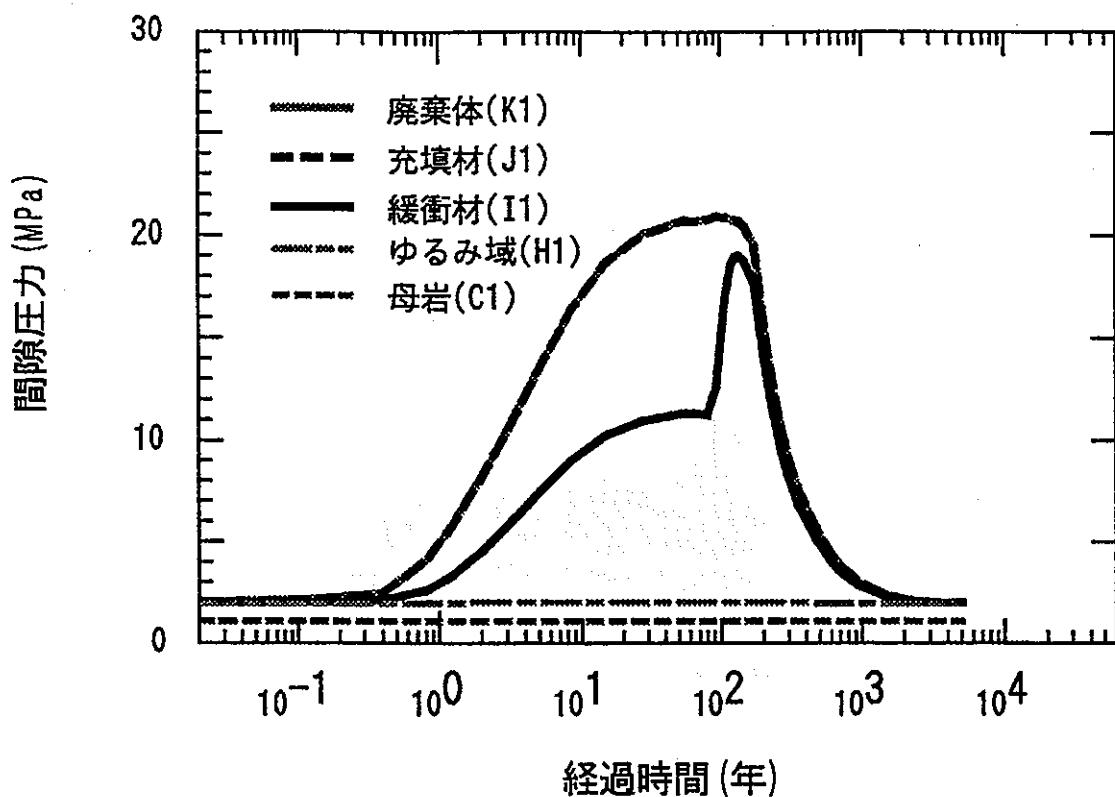


図 2.23-49 間隙圧力の経時変化
(ボールトcase6-a)

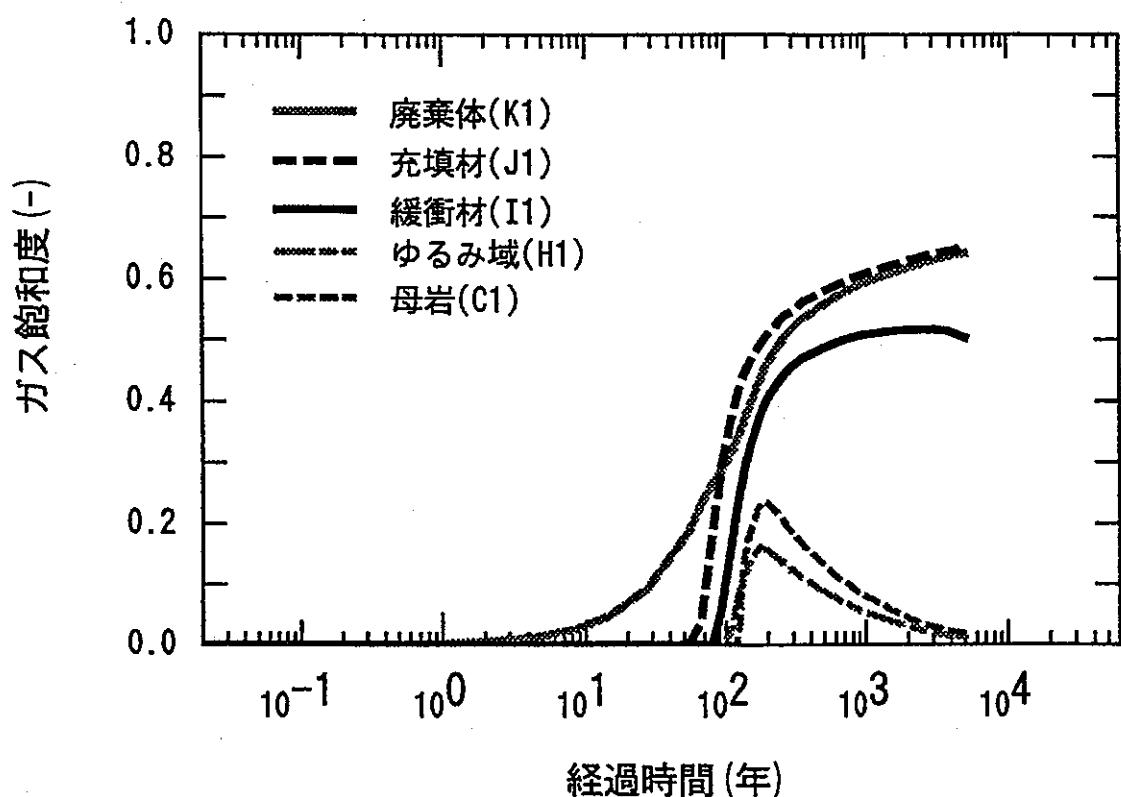


図 2.2.3-50 ガス飽和度の経時変化
(ボールトcase6-a)

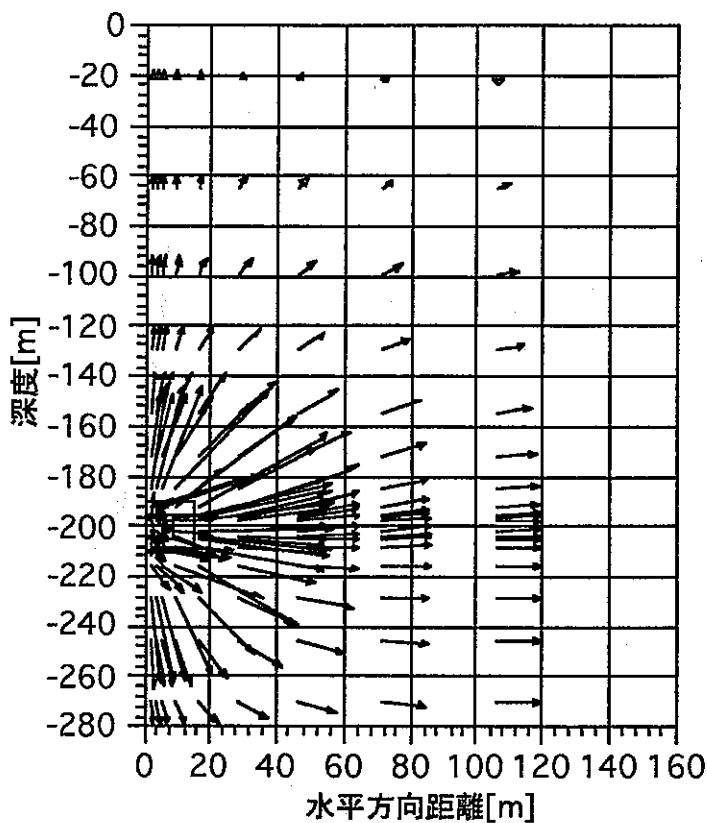


図 2.2.3-51 地下水流ベクトル
(ボールト case6-a : 110年)

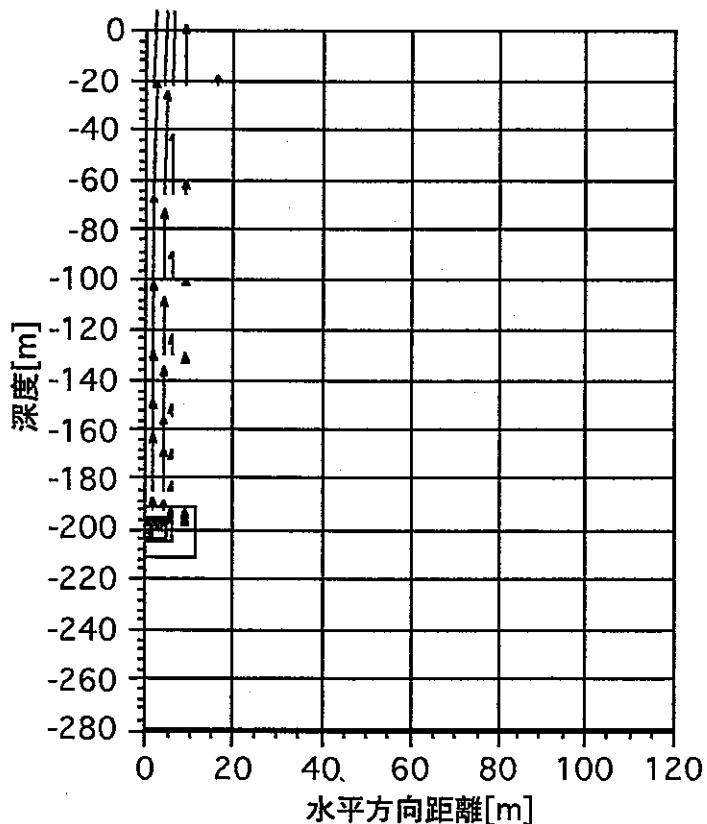


図 2.2.3-52 ガス流ベクトル
(ボールト case6-a : 180年)

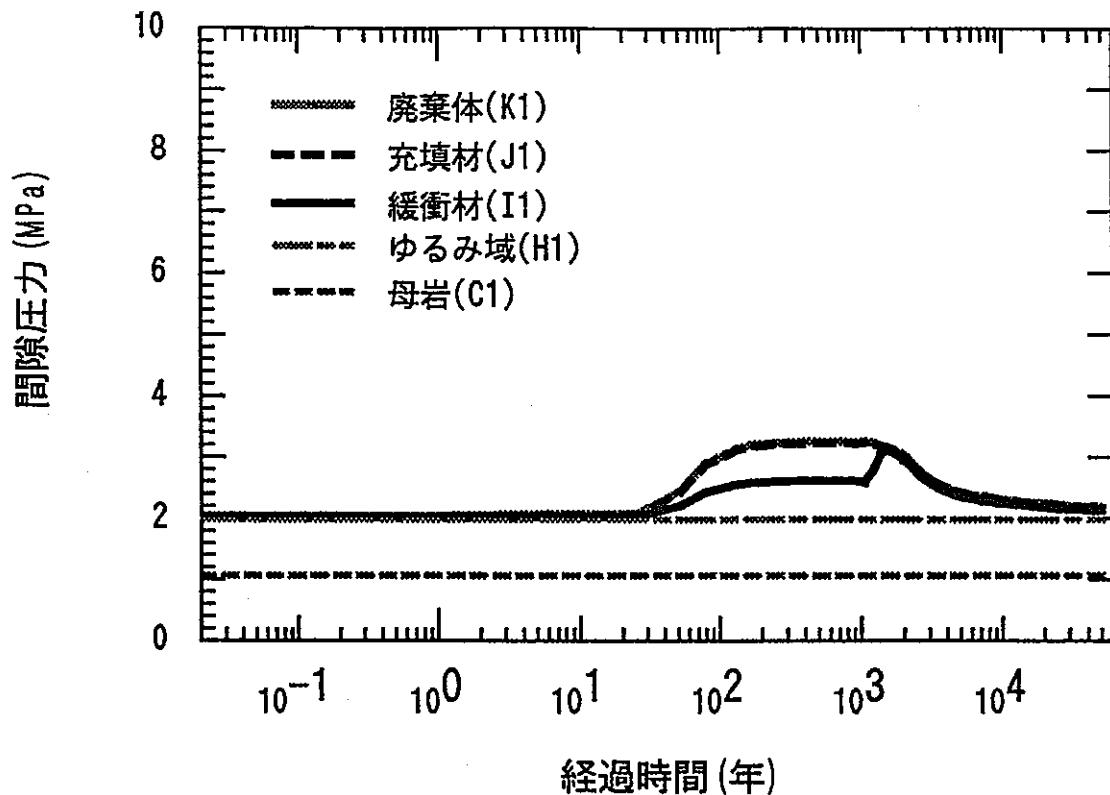


図 2.2.3-53 間隙圧力の経時変化
(ボルトcase6-b)

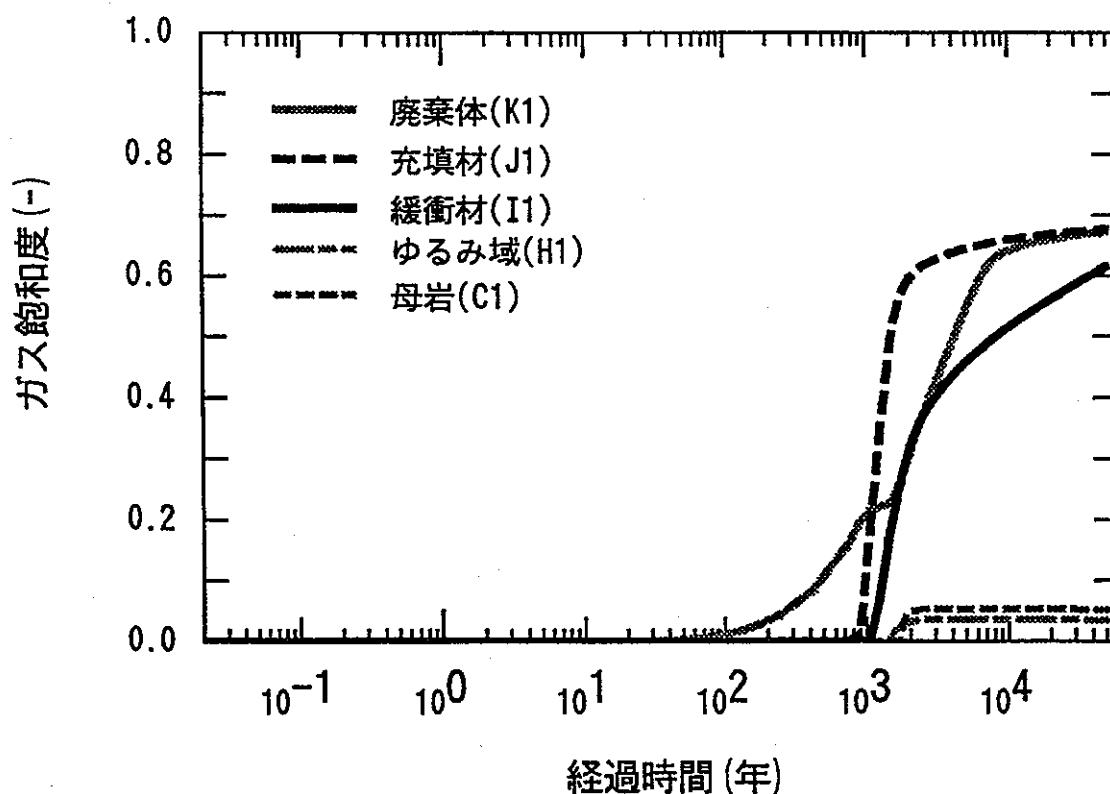


図 2.2.3-54 ガス飽和度の経時変化
(ボルトcase6-b)

(vi) 感度解析

1) 間隙圧力最大値に対する感度

処分場の間隙圧力の増加に対する主要パラメータの影響度を検討するため、各パラメータの単位変化量に対する緩衝材及び地層における最大間隙圧力の変化率をプロットした。結果を図2.2.3-55～56に示した。

a) 緩衝材の間隙圧力最大値に対する感度

①緩衝材の絶対透過係数

緩衝材の絶対透過係数が小さい（ケース2-b）ほど、緩衝材の間隙圧の力最大値の増加が大きくなっている。ケース2-bでは、間隙圧力が最大となる時点以前にガス発生が停止するため、ケース1, 2-aと同一の条件とはならないが、緩衝材の絶対透過係数が小さくなるほど、パラメータの変化に対する最大間隙圧力の増加が大きくなる傾向は明らかであり、本試算条件の範囲では緩衝材の絶対透過係数の緩衝材間隙圧力に対する感度は大きいといえる。

②ガス発生速度

ガス発生速度が大きいほど、緩衝材間隙圧力の最大値が大きくなっている。これらの間に明らかな相関関係がみられる。したがって、本試算条件の範囲ではガス発生速度の緩衝材間隙圧力に対する感度は大きいといえる。

③地層の絶対透過係数

本試算条件の範囲では地層の絶対透過係数は、廃棄体の間隙圧力の増加に対してほとんど影響を及ぼしていない。

b) 地層の間隙圧力最大値に対する感度

地層の間隙圧力の増加に対して、本試算条件の範囲では、緩衝材の絶対透過係数、ガス発生速度、地層の絶対透過係数、いずれのパラメータについても地層の間隙圧力最大値に大きな影響は及ぼしていない。

地層の絶対透過係数が小さい場合に、地層の間隙圧力の最大値が若干増加する傾向が見られる。緩衝材の絶対透過係数に対して地層の絶対透過係数が小さい場合には、処分場内及び地層の間隙圧力に対する地層の絶対透過係数の感度が大きくなることが予測される。

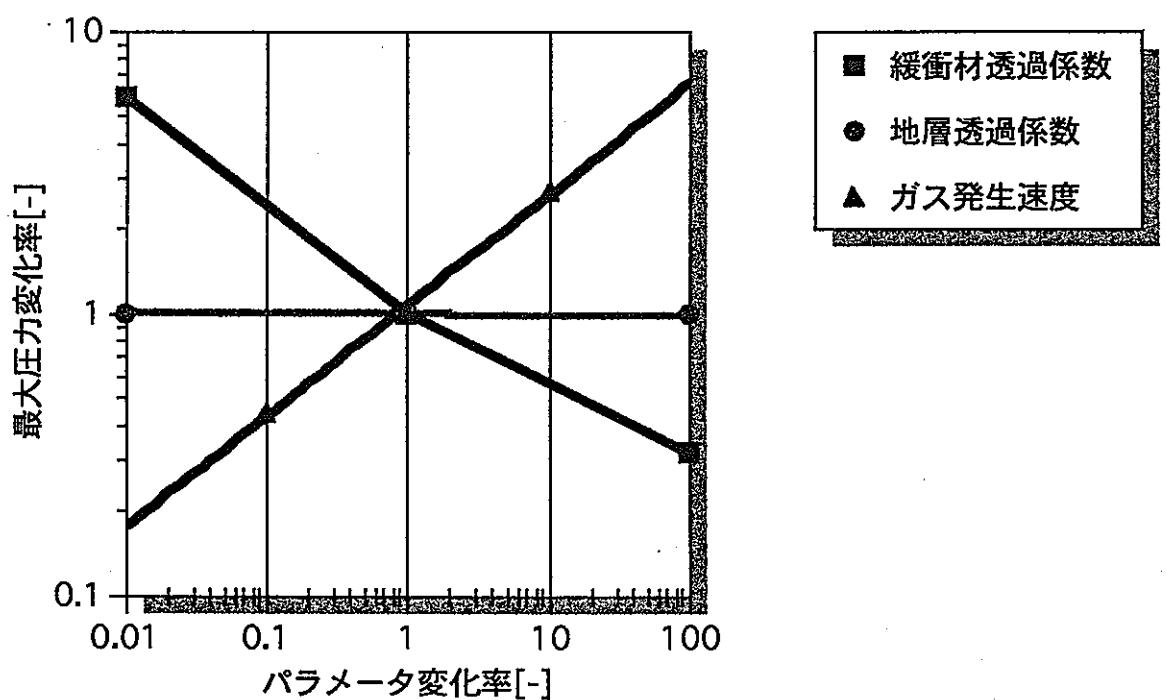


図 2.2.3-55 緩衝材間隙圧力に対する感度
(ボルト : バリア物性, ガス発生速度)

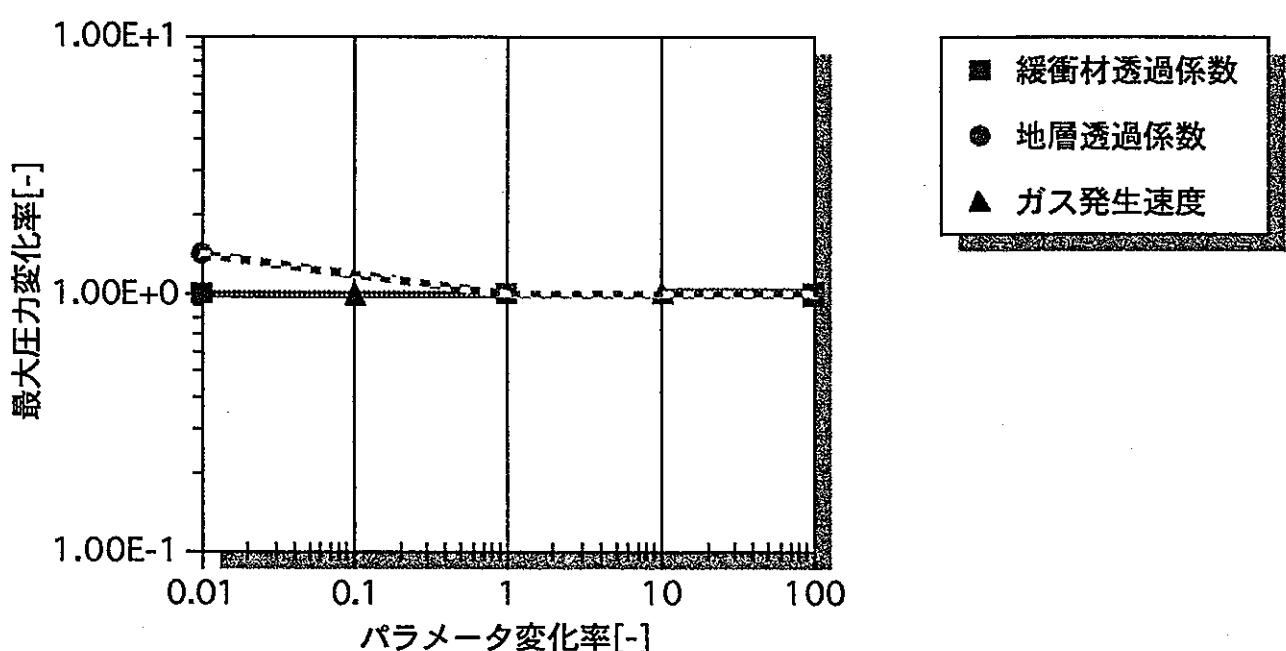


図 2.2.3-56 母岩間隙圧力に対する感度
(ボルト : バリア物性, ガス発生速度)

2) ガス飽和度最大値に対する感度

処分施設から地層へ移動する地下水量を比較するために、廃棄体におけるガス飽和度の最大値に対する各パラメータの影響度を比較した。なお、処分施設内間隙圧力により気相の状態（密度）が異なること、並びに処分施設全体のガスの飽和度を廃棄体で代表させていることから、この比較は概略的なものである。廃棄体中のガス飽和度最大値に対する主要パラメータの影響を検討するため、各パラメータの単位変化量に対する廃棄体における最大ガス飽和度の変化率をプロットした。結果を図2.2.3-57に示した。

a) 廃棄体中のガス飽和度最大値に対する感度

① 地層の絶対透過係数及びガス発生速度

本試算で設定した条件の範囲では、地層の絶対透過係数及びガス発生速度による廃棄体中のガス飽和度最大値に対する影響はみられない。

② 緩衝材の絶対透過係数

緩衝材の絶対透過係数が大きい場合（ケース2-a）には、地下水／気相の移行が容易になるため、廃棄体のガス飽和度最大値が若干小さくなっているが、パラメータの変動率に対しての感度は大きくない。

緩衝材の絶対透過係数が小さい場合（ケース2-b）には、処分施設内に地下水／ガスを閉じこめる傾向にあること、並びに気相が高い間隙圧力のため圧縮された状態で存在することから、廃棄体中のガス飽和度の最大値が小さくなっているが、ガス発生期間中に地層への気相の移行が起こっているケース1及びケース2-aとガス発生停止時まで地層中への気相の移行が起こらないケース2-bとでは同一条件下での傾向としての議論はできない。

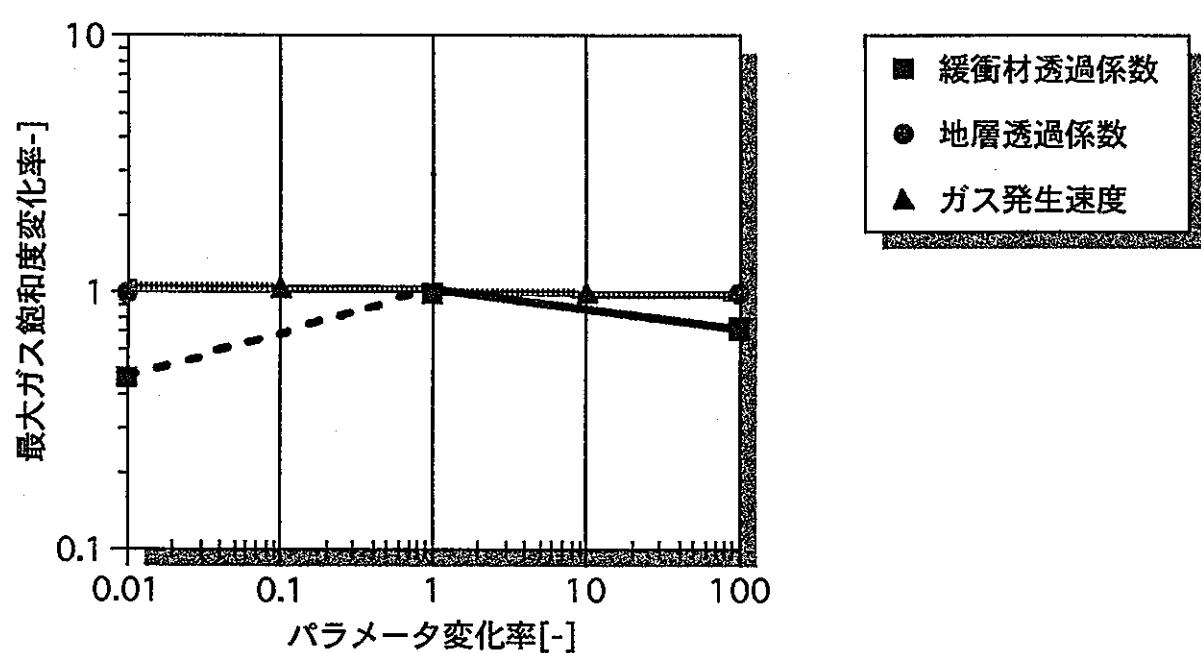


図 2.2.3-57 廃棄体ガス飽和度に対する感度
(ボルト: バリア物性, ガス発生速度)

3) 地下水／気相流速に対する感度

地下水／気相流速に対する主要パラメータの影響度を検討するため、各パラメータの単位変化量に対する緩衝材層における地下水／気相流速の変化率をプロットした。結果を図2.2.3-58～59に示した。

a) 緩衝材中の地下水／気相流速に対する感度

① 緩衝材の絶対透過係数

緩衝材の絶対透過係数の増加（減少）に従って緩衝材中の地下水／ガス流速も増加（減少）し、緩衝材中の地下水／気相流速に対する緩衝材の絶対透過係数の感度は大きいといえる。なお、緩衝材の絶対透過係数が減少した場合（ケース2-a）には、廃棄体、充填材等他のバリアの透過係数値に近付くため、パラメータの変化に対する地下水／気相流速最大値の変化率は小さくなっている。

② 地層の絶対透過係数

地層の絶対透過係数の変化は、緩衝材層における地下水／気相流速の最大値に対してほとんど影響を及ぼしていない。

③ ガス発生速度

ガス発生速度が大きいほど、緩衝材中の地下水／気相流速の最大値が大きくなり、またガス発生速度が小さいほど、緩衝材中の地下水／気相流速の最大値が小さくなってしまっており、これらの間に明らかな相関関係がみられる。緩衝材中の地下水／気相流速に対するガス発生速度の感度は大きいといえる。

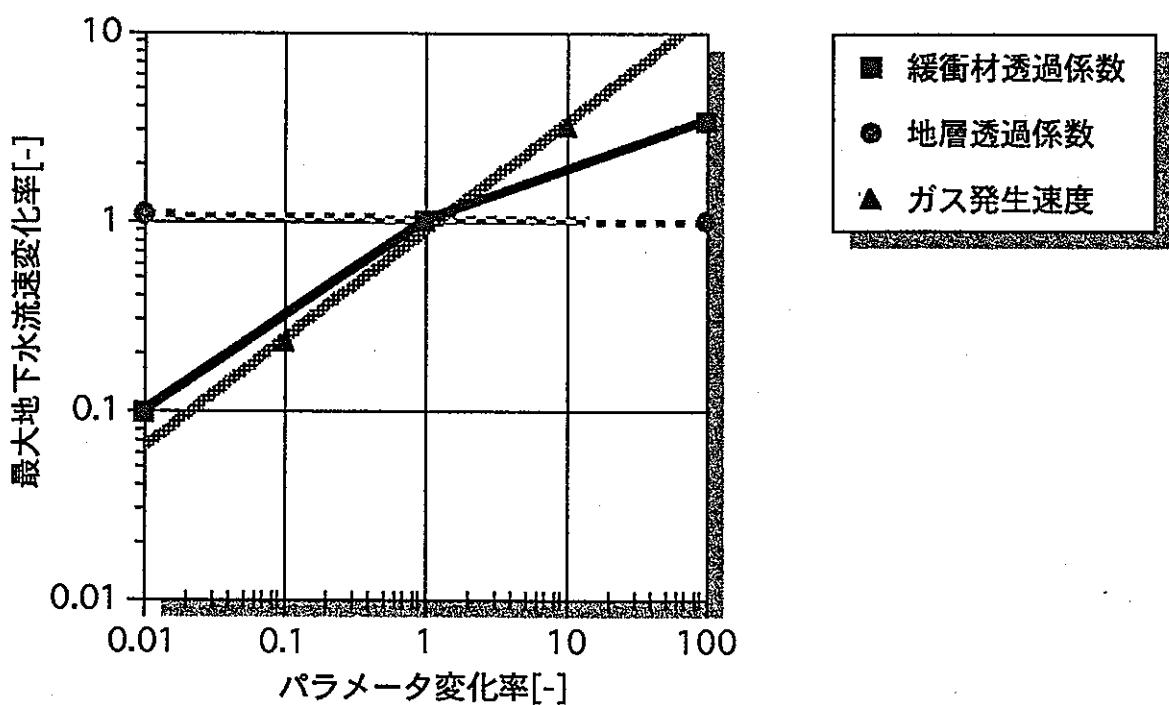
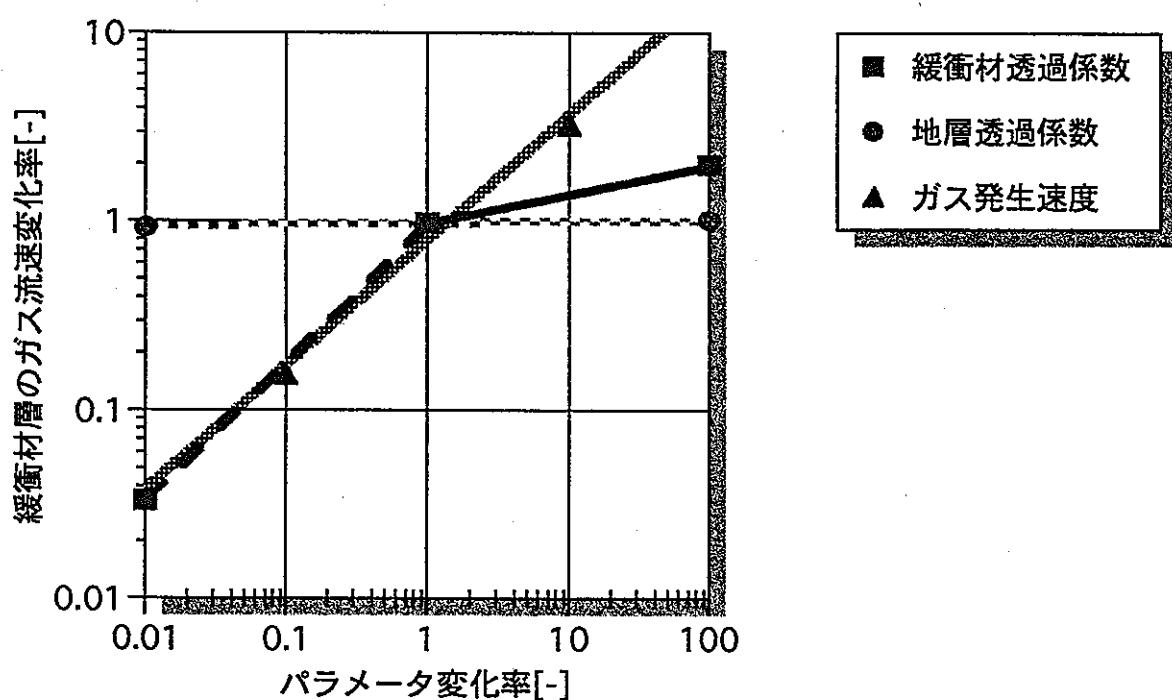


図 2.2.3-58 緩衝材間隙圧力に対する感度
(ボルト : バリア物性, ガス発生速度)



2.2.3-59 緩衝材ガス流速に対する感度
(ボルト : バリア物性, ガス発生速度)

4) 相対透過係数モデルの影響

相対透過係数評価モデルの違いによる地下水／気相流速，間隙圧力，ガス飽和度に対する影響度を検討するため，緩衝材の相対透過係数評価モデルをCoreyモデルからSandiaモデルに変更した場合について，廃棄体，緩衝材，地層中の間隙圧力最大値，廃棄体，地層中のガス飽和度最大値，緩衝材層における地下水／気相流速最大値の変化率をプロットした。結果を図2.2.3-60に示した。本レーダーチャートでは基本ケースで用いられたCoreyモデルによる計算結果を1とし，Sandiaモデルによる計算値を相対値で示した。目盛りは円の中心が1/10，最大値を10として表示した。

a) 緩衝材の相対透過係数モデルの影響

緩衝材の相対透過係数評価モデルによる間隙圧力，飽和度及び移行速度への影響は以下のようにまとめられる。

緩衝材の相対透過係数評価モデルにSandia モデルを適用した場合には，緩衝材中の間隙圧力の最大値が低下しており，気相流速の最大値が大きくなっている。一方，緩衝材中の地下水流速最大値は小さくなってしまっており，これらの項目に影響を及ぼすことが示された。

前述のように，Sandia モデルはCoreyモデルに比較してガスの飽和度が小さい領域から高い気相の相対透過係数を与える一方，液体の相対透過係数は相対的に小さいことが特長である。したがって，緩衝材中の気相流速が増加し地下水流速は減少することとなる。特に，ケース1に比べて緩衝材の気相流速最大値がかなり大きくなっているが，これはガスの飽和度が小さい時点でも相当程度に気相の透過係数が高いため，充填材層から流入した気相が即時に地層中へ移行するため，間隙流速が非常に高く評価されたものであると考えられる。これは空間及び時間の離散化による影響が大きいものと考えられ，空間メッシュの細分化，計算時間ステップの短期間化により改善が期待できる。

また，緩衝材中の最大間隙圧力は緩衝材中に移行した気相が速やかに地層中へ移行することから，気泡が成長せず最大圧力が低下するものと考えられる。

5) 毛管圧の影響

毛管圧を考慮することによる地下水／気相流速，間隙圧力，ガス飽和度に対する影響度を検討するため，緩衝材の毛管圧評価モデルにSandiaモデルを，廃棄体，充填材，地層の毛管圧評価モデルにNarasimuhanモデルを適用した場合について，廃棄体，緩衝材，地層中の間隙圧力最大値，廃棄体，地層中のガス飽和度最大値，緩衝材層における地下水／気

相流速最大値の変化率をプロットした。結果を図2.2.3-60に示した。本レーダーチャートでは毛管圧を考慮しない基本ケースの計算結果を1とし、毛管圧を考慮したケースの計算値を相対値で示した。目盛りは円の中心が1/10、最大値を10として表示した。

a) 毛管圧の影響

毛管圧の設定を行った場合（ケース5）、緩衝材中の地下水流速最大値が小さくなり、一方廃棄体及び緩衝材中の間隙圧力最大値が大きくなっているが、これらの状態に影響を及ぼしているが、母岩の間隙圧力最大値に対する影響はない。

毛管圧を設定することにより、気相は間隙圧力差に毛管圧を加えた差圧が生じないかぎり移行しないこととなる。したがって、設定された毛管圧に従って各層の最大圧力は増加する。ここで、同様の毛管圧を設定された廃棄体／充填材と地層とで最大圧力の増加率が異なるのは、廃棄体／充填材中の間隙圧力は気相が緩衝材層に移行した後、大きな毛管圧が設定された緩衝材層の気相移行特性によって決定されるのに対して、地層の最大間隙圧力は緩衝材層の気相の透過特性に影響されず、地層に設定された毛管圧は静水圧によって決定された間隙圧力と同程度以下にしかならない値であったためである。

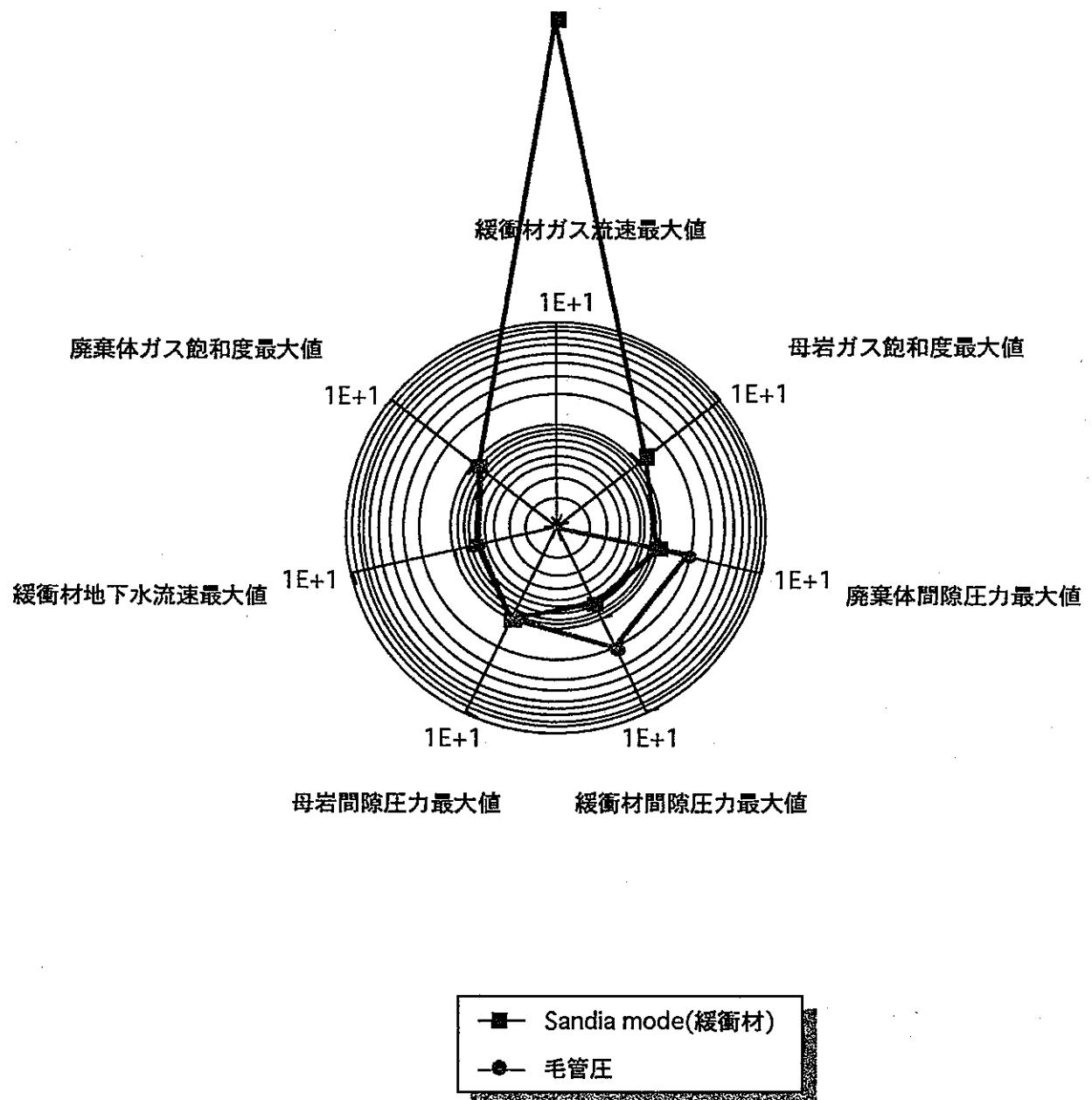


図 2.2.3-60 相対透過係数モデル、毛管圧の感度
(ボルト : 各種状態量)

(vii) 処分施設への地下水の浸入（再冠水現象）

廃棄物の定置が終了し、処分坑道等の埋め戻し、閉鎖が行われた時点では、処分場内には一定量の空気が残存し間隙は地下水によって飽和していないと考えることがより現実的である。また処分施設内の圧力も閉鎖直後の時点においては1気圧相当と考えることが妥当であろう。

処分場内の地下水の飽和度は、地下水／気相の移行フラックスに影響を与えるばかりでなく、金属の腐食速度、処分場の化学的雰囲気に与える影響も無視できないばかりがあるものと考えられる。したがって、ここでは処分場閉鎖後の地下水の浸入、処分場内に座流したく雨期の状態の変化に注目して、簡単のためガスの発生がない条件について、処分場内への再冠水現象について解析を行った。このため、初期条件として、処分場内の間隙水飽和度を0.4とし、間隙圧力を地上なみとして0.1MPaに設定して試算を行った。

試算の結果を図2.2.3-61～70に示す。これより、再冠水現象は以下のように進行すると予測された。

- ① 処分施設内の間隙圧力が低いため、間隙圧力の高い周辺地層からは緩衝材を通過して地下水があらゆる方向から浸入してくる。
- ② 間隙圧力が周辺地層の間隙圧と等しくなるまでの期間は、廃棄体、充填材、緩衝材ともほぼ3000年程度であった。
- ③ 処分施設内は下部から徐々に地下水に飽和され、密度差によって気相は上方へと移動する。このため、施設内上部のガス飽和度は増加している。
- ④ 緩衝材への地下水の浸入は閉鎖直後から開始し、処分場閉鎖後約400年ほどで緩衝材の地下水飽和度は95%を超える。
- ⑤ 緩衝材の透過性が小さい本試算条件下においては、処分場閉鎖後5000年経過しても地層への気相移行は生じていない。施設上部の気相は緩衝材を通過せず、廃棄体がほとんど地下水によって飽和されてしまうと、上部の充填材で圧縮された状態で存在する。

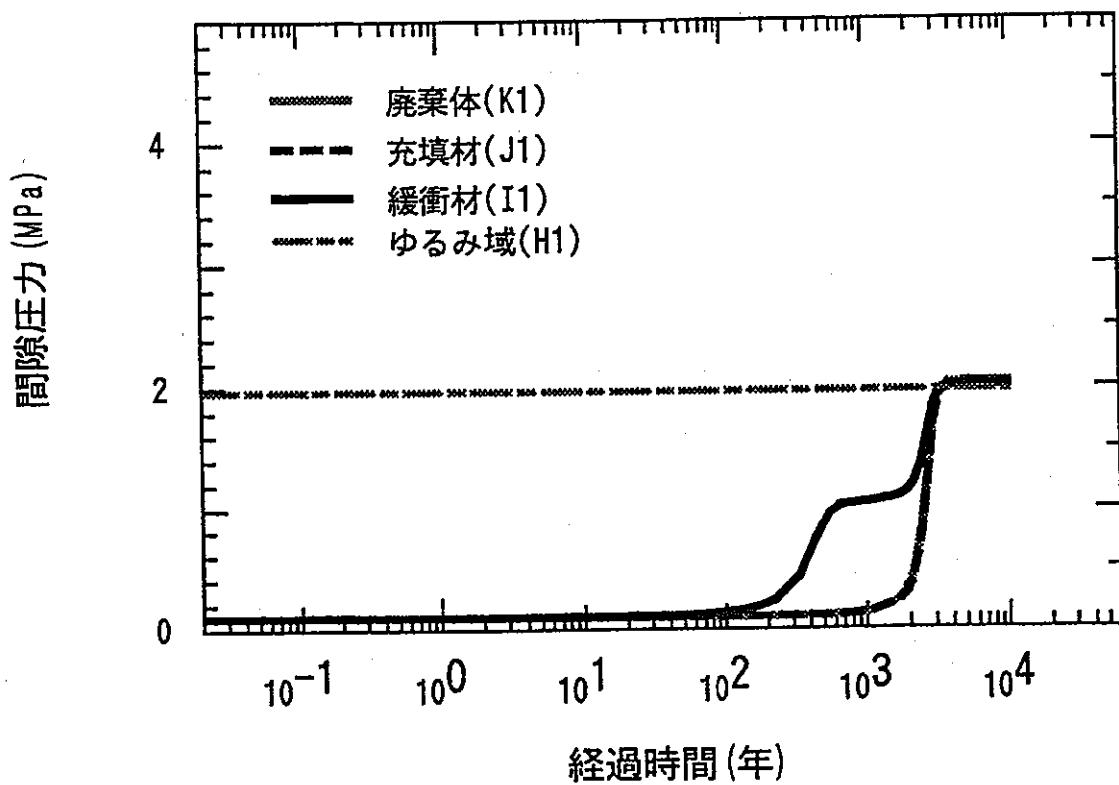


図 2.2.3-61 間隙圧力の経時変化
(ボールトcase7)

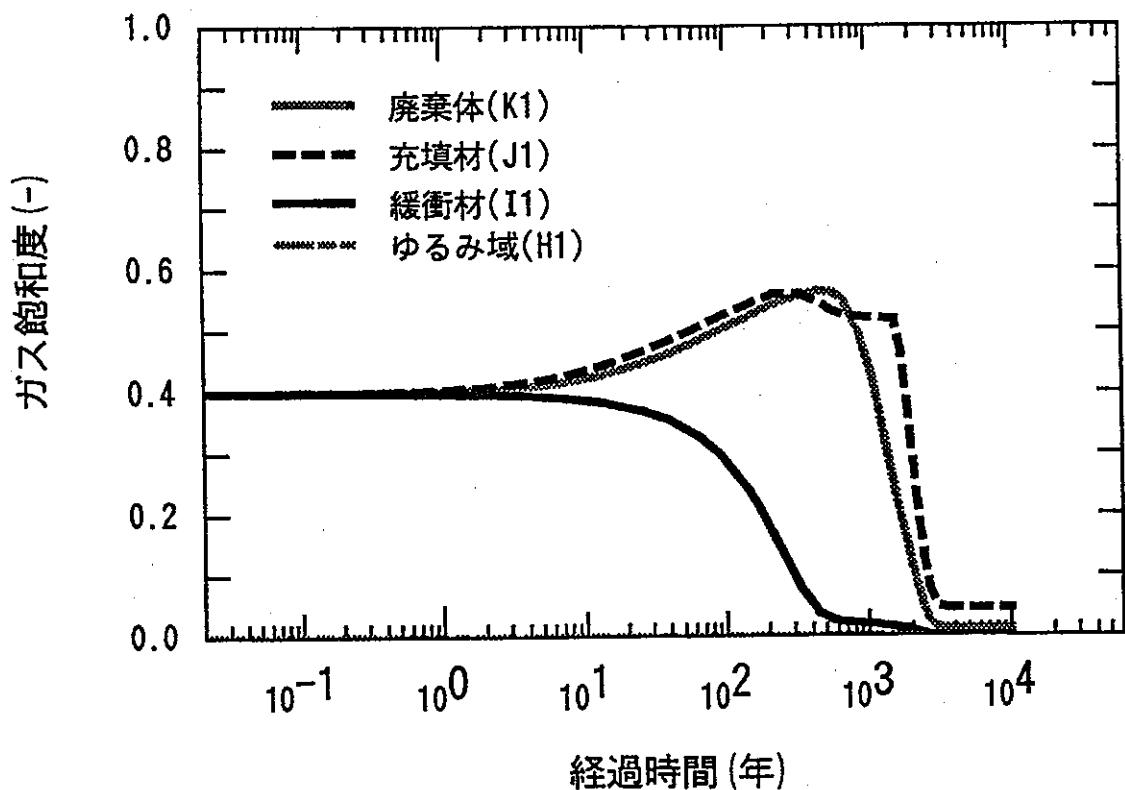


図 2.2.3-62 ガス飽和度の経時変化
(ボールトcase7)

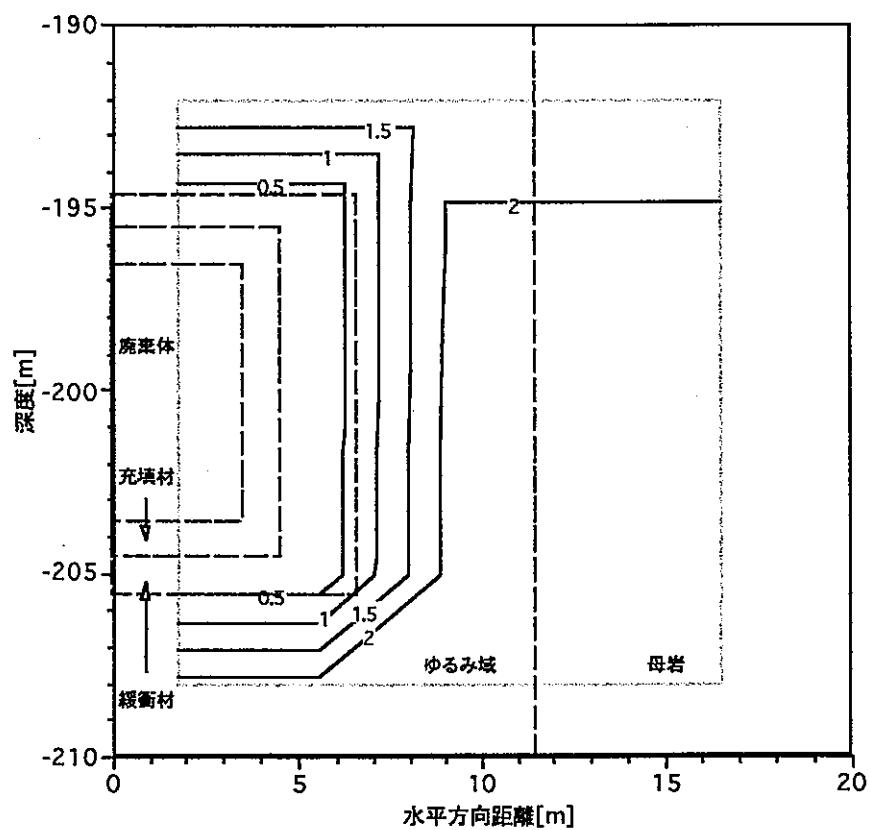


図 2.2.3-63 間隙圧力分布
(ボールト case7 : 0年)

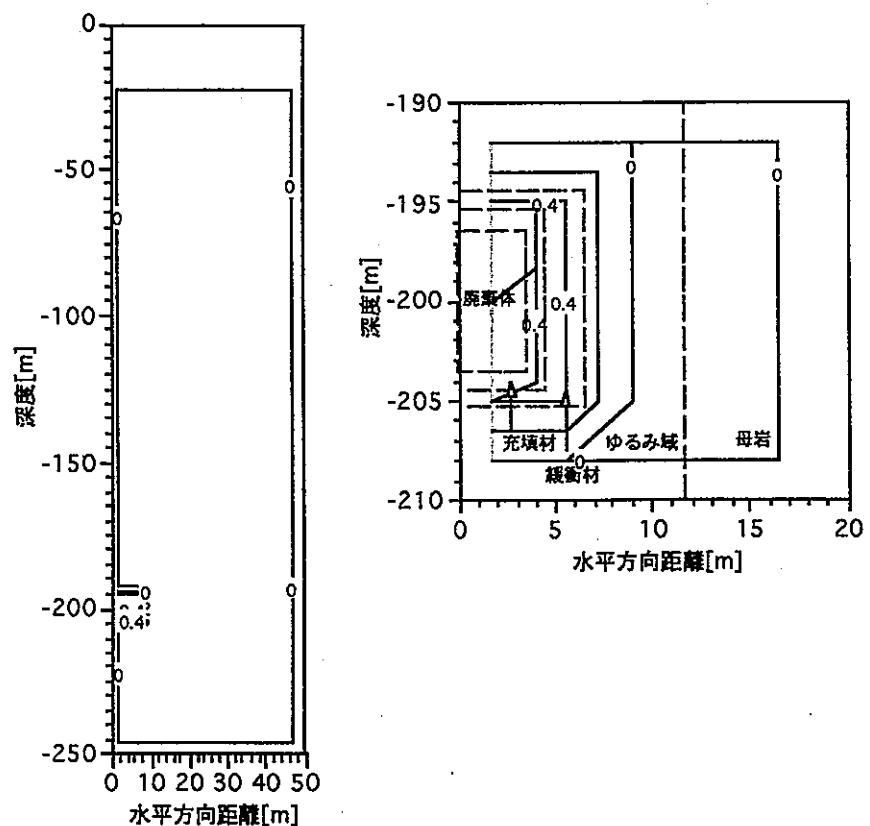


図 2.2.3-64 ガス飽和度分布
(ボールト case7 : 0年)

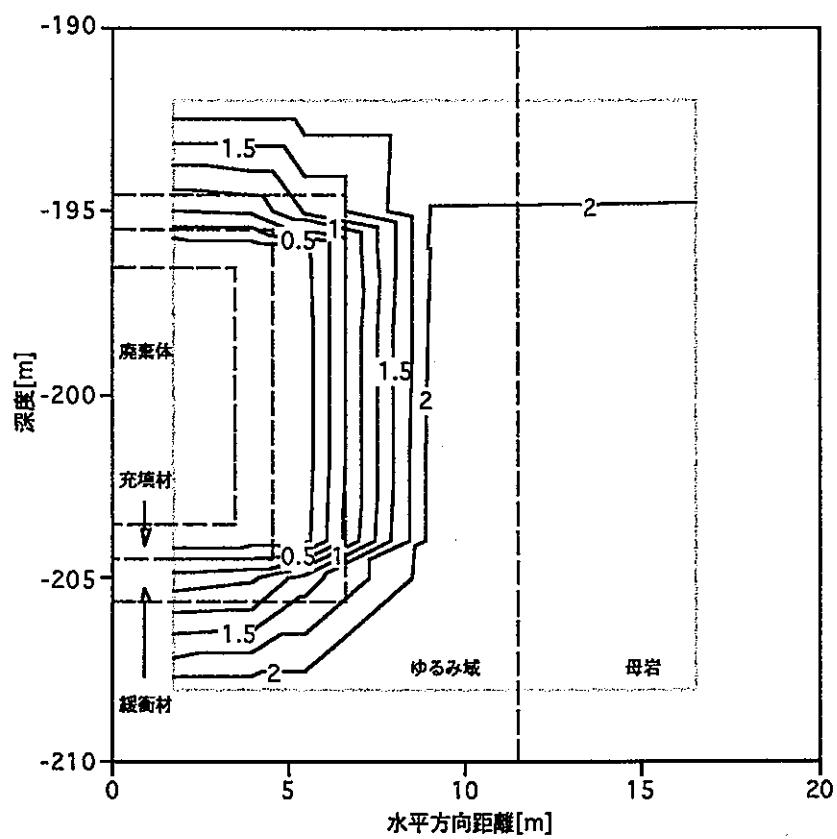


図 2.2.3-65 間隙圧力分布
(ボールト case7 : 440年)

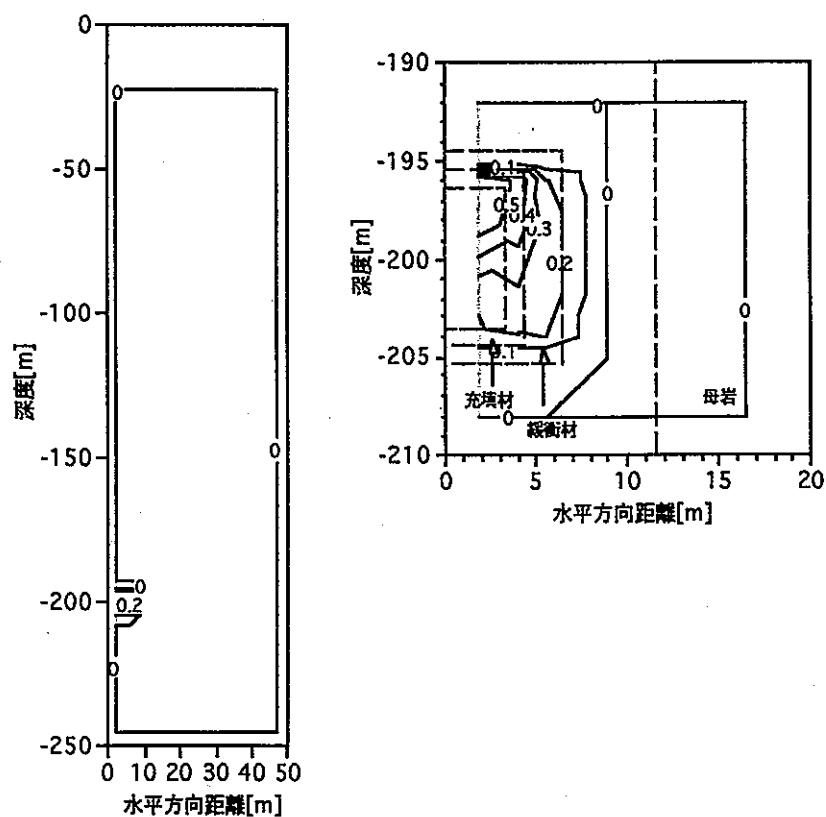


図 2.2.3-66 ガス飽和度分布
(ボールト case7 : 440年)

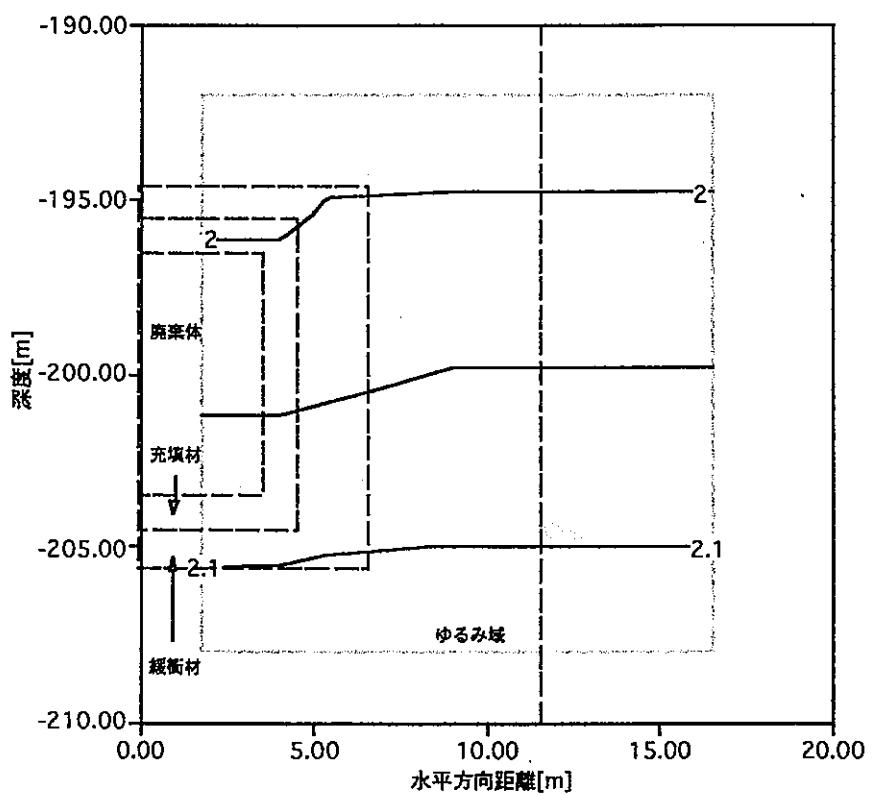


図 2.2.3-67 間隙圧力分布
(ボールト case7 : 3,700年)

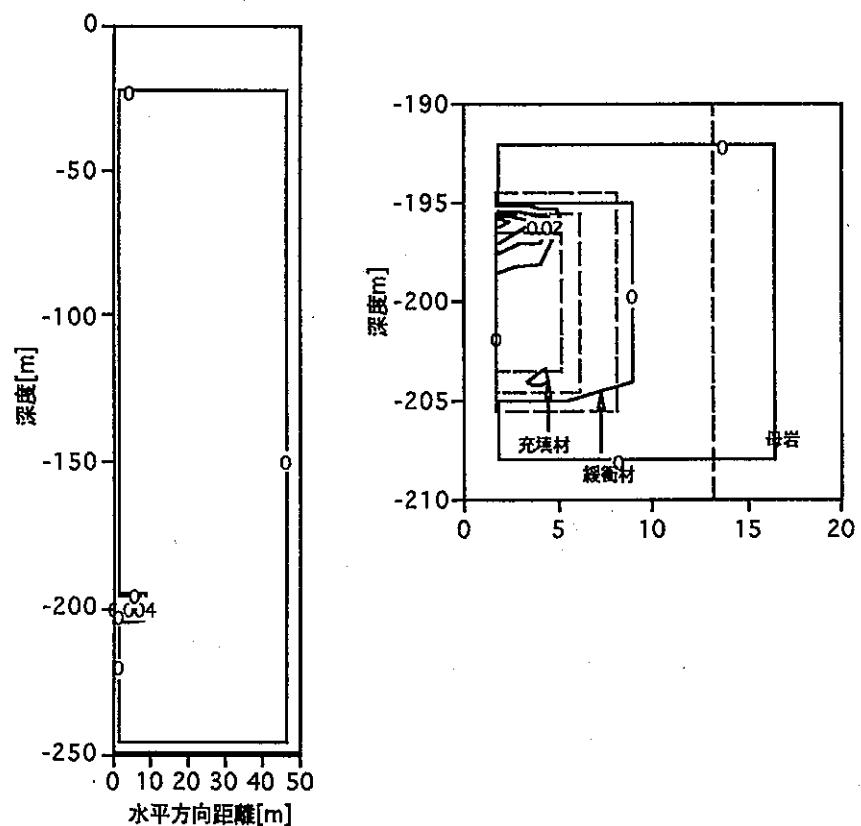


図 2.2.3-68 ガス飽和度分布
(ボールト case7 : 3,700年)

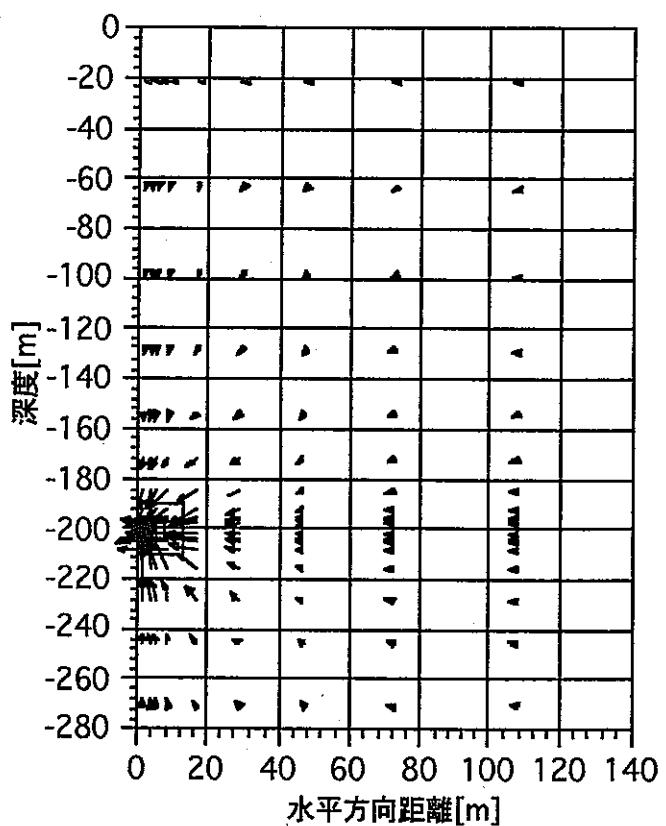


図 2.2.3-69 地下水流ベクトル
(ボールト case7 : 0年)

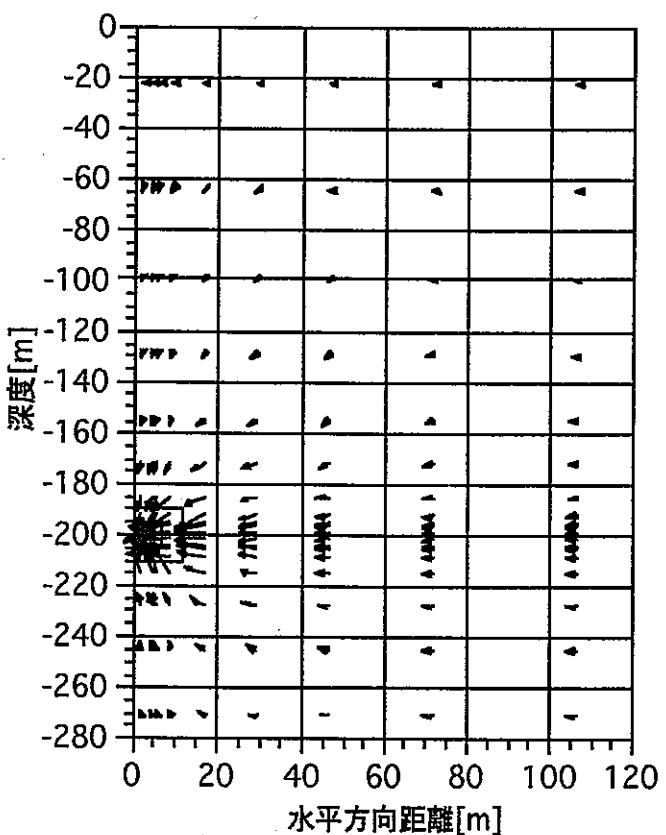


図 2.2.3-70 地下水流ベクトル
(ボールト case7 : 3,700年)

(b) サイロタイプ

(i) ボールトタイプとサイロタイプの比較

サイロタイプの処分施設については、ボールトタイプとの施設形状の相違による影響を把握することを目的として、基本ケースのみに対して試算を実施した。試算結果を図2.2.3-71～72に示す。また、以下にサイロタイプとボールトタイプとの移行挙動について比較した。

- ① 廃棄体に気相が生成する時期は等しい。
- ② 緩衝材中の地下水／気相の移行状態は、サイロタイプの場合もボールトタイプと同様にPhase-1状態からPhase-4状態を経て処分施設から地層へ地下水、気相が移行している。また、間隙圧力、飽和度についての経時変化の曲線をみれば、各バリア層を地下水／気相が移行する状況も、ボールトタイプと同様であることが推測できる。
- ③ サイロタイプはボールトタイプと比較して気相が緩衝材に移行するまでの期間が長くなっているが、これはガス発生量に対する緩衝材の内側体積の比が大きくなっているためと推測される。
- ④ サイロタイプはボールトタイプと比較して処分施設内における間隙圧力の増加が大きくなっているが、これもガス発生量に対する緩衝材の内側表面積の比が小さくなっているためと考えられる。

以上の試算結果について、主要な条件と試算結果をまとめて表2.2.3-1に示す。

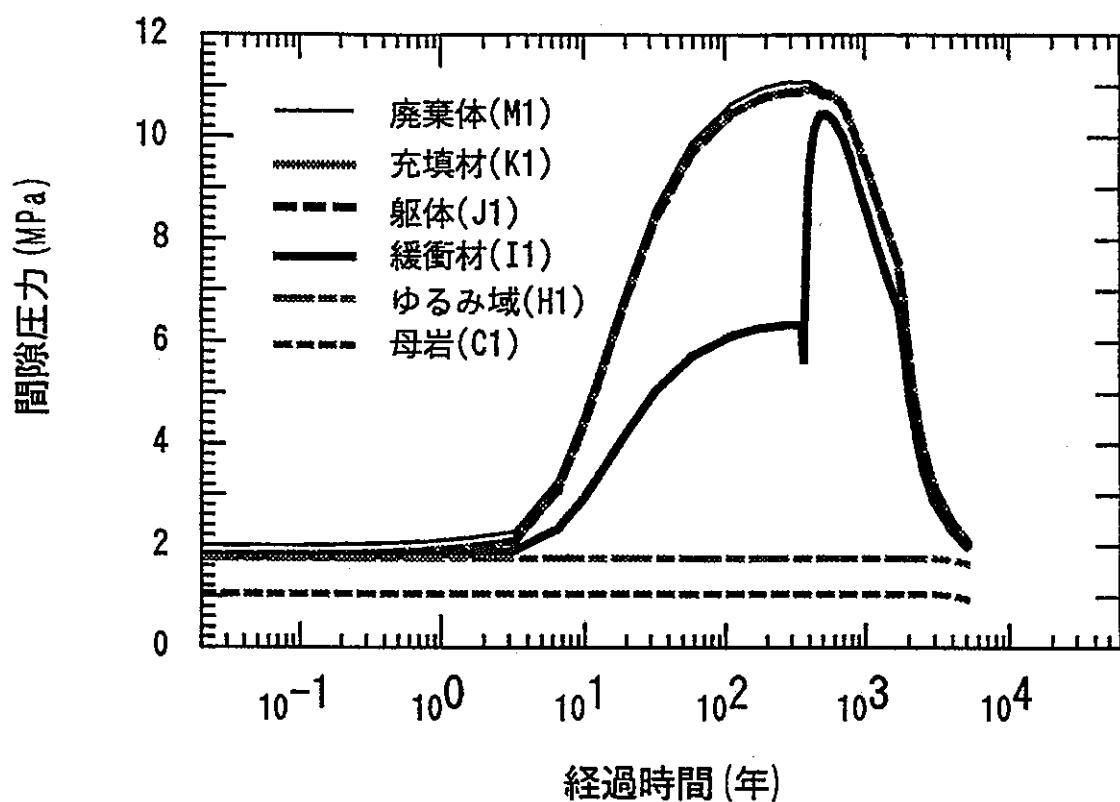


図 2.2.3-71 間隙圧力の経時変化
(サイロ)

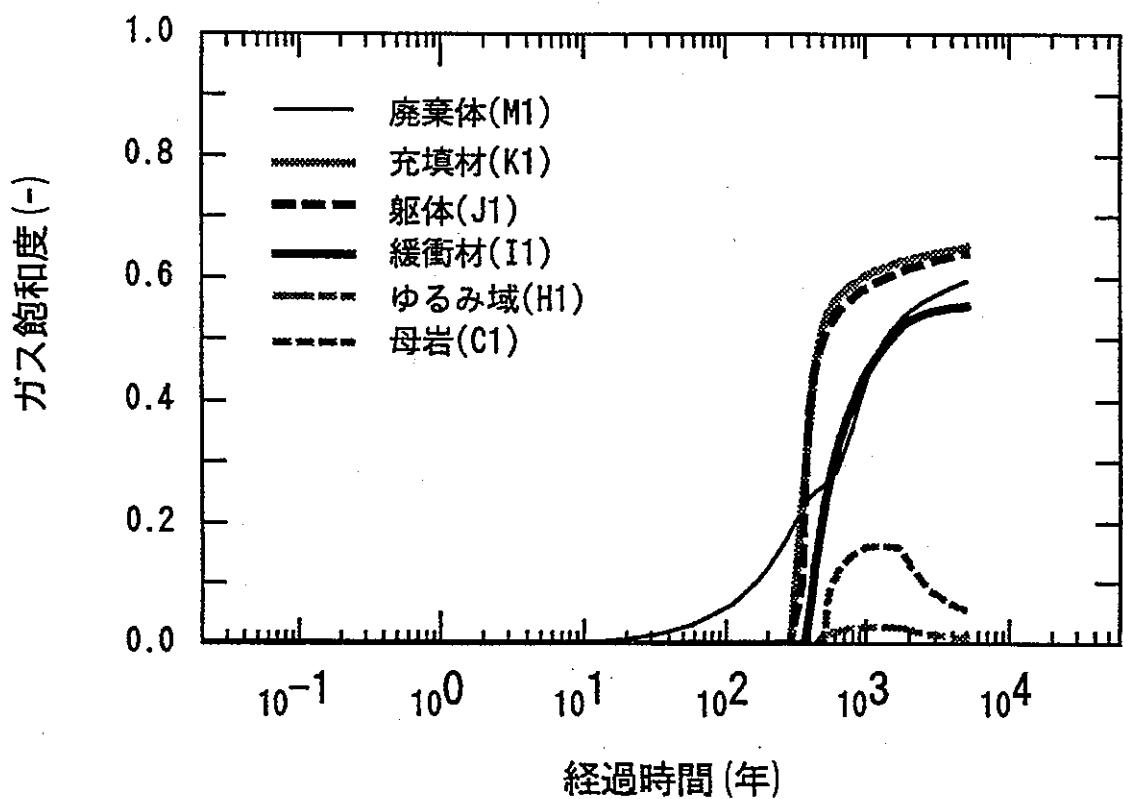


図 2.2.3-72 ガス飽和度の経時変化
(サイロ)

表 2.2.3-1 感度解析結果の比較

ケース名 変動パラメータ	v1 基本	s1 サイロ	v2-a 縦衝材 ボルト	v2-b 縦衝材 ボルト	v3-a 地盤 ボルト	v3-b 地盤 ボルト	v4 透過性 ボルト	v5 毛管圧 ボルト	v6-a ガス量 ボルト	v6-b ガス量 ボルト	v7 再冠水 ボルト
モデル	ボルト	サイロ	ボルト								
1/2対象 直交座標系 奥行き 1m	円柱座標系	1/2対象 直交座標系 奥行き 1m									
【構成要素の体積】											
腐葉体(m ³)	24.5	19944.0	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5
充填材(m ³)	16.0	4801.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0
総体 (m ³)	-	27328.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
合計 (m ³)	40.5	51873.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5
【縦衝材内側表面積】(m ²)	18.0	5598.9	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0
【ガス発生速度】											
モデルあたり (kg/sec)	2.05E-08	1.67E-06	2.05E-08	2.05E-08	2.05E-08	2.05E-08	2.05E-08	2.05E-08	2.05E-07	2.05E-08	ガス発生なし
腐葉体 単位体積あたり (kg/sec)	8.37E-10	8.37E-10	8.37E-10	8.37E-10	8.37E-10	8.37E-10	8.37E-10	8.37E-10	8.37E-09	8.37E-11	—
縦衝材内側 体積あたり (kg/sec)	5.06E-10	3.22E-10	5.06E-10	5.06E-10	5.06E-10	5.06E-10	5.06E-10	5.06E-10	5.06E-09	5.06E-11	—
縦衝材内側 表面積あたり (kg/sec)	1.14E-09	2.98E-09	1.14E-09	1.14E-09	1.14E-09	1.14E-09	1.14E-09	1.14E-09	1.14E-08	1.14E-10	—
腐葉体 (K1)	(K1)	(K1)	(K1)	(K1)	(K1)	(K1)	(K1)	(K1)	(K1)	(K1)	(K1)
気相生成(年)	6	6	6	6	6	6	6	6	0.8	52	—
充填材 (J1)	(J1)	(K1)	(J1)								
気相生成(年)	264	350	68	1700	264	264	217	211	67	893	—
総体 (J1)	—	350.217	—	—	—	—	—	—	—	—	—
縦衝材 気相生成直前(年)	201	365	81	2075	201	201	256	238	80	1054	—
腐葉体間隙圧力(MPa)	7.4	11.1	2.2	56.4	7.4	7.5	7.4	7.7	20.8	3.3	—
充填材間隙圧力(MPa)	4.7	10.9	2.1	27.9	4.7	4.8	4.7	4.5	11.3	2.6	—
総体間隙圧力 (MPa)	—	10.9	—	—	—	—	—	—	—	—	—
縦衝材 (II)	(II)	(II)	(II)	(II)	(II)	(II)	(II)	(II)	(II)	(II)	(II)
気相生成(年)	264	380	54	2225	264	280	272	377	93	1215	—
気相移行開始(年)	327	440	107	2876	327	351	272	—	106	1375	—
圧力最大時(年)	374	515	120	2826	384	414	201	1798	130	1496	—
最大間隙圧力(MPa)	6.9	10.4	2.2	40.8	6.9	7.0	4.7	14.5	19.0	3.1	—
ガス発生終了時(年)	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	170	17001	—
腐葉体間隙圧力(MPa)	4.2	7.6	2.0	60.8	4.2	4.3	3.2	14.4	19.6	2.2	—
充填材間隙圧力(MPa)	3.8	6.7	2.0	31.4	3.8	3.9	2.6	14.4	17.7	2.2	—
縦衝材(鉛直方向)											
地下水流速最大時(年)	327	425	107	2876	327	319	201	104	106	1375	—
(m/y)	2.56E-03	3.51E-03	8.71E-03	2.49E-04	2.56E-03	2.78E-03	1.80E-03	1.52E-03	8.13E-04	5.83E-04	—
ガス流速最大時(年)	797	1281	187	5000	762	901	272	—	177	2511	—
(m/y)	2.20E-02	3.53E-02	4.39E-02	7.31E-04	2.23E-02	2.06E-02	1.87E+02	—	7.24E-02	3.43E-03	—

(3) 試算の結論

(a) 感度解析

本試算条件下では感度解析によって以下の事項が明かとなった。

- ・本評価における処分施設設計、ガス発生条件、パラメータ変動範囲において下記の傾向が示した。
- ・緩衝材の絶対透過係数は処分施設内の圧力上昇に大きく影響する。
- ・ガス発生速度も処分施設内の圧力上昇に同程度院大きく影響する。
- ・緩衝材中の間隙水／ガスの速度に対しては、ガス発生速度の影響が最も大きく現われる。
- ・緩衝材の絶対透過係数も緩衝材中の間隙水／ガス移行速度に対して影響を及ぼすが、ガス発生速度に比較すると影響は小さい。
- ・地層（及びゆるみ域）の絶対透過係数の変化は、処分施設内圧力、緩衝材中の間隙水／ガス移行速度に影響を及ぼさない。
- ・母岩の間隙圧力に対しては母岩の絶対透過係数のみ影響するが、その寄与は小さい。
- ・廃棄体中のガス飽和度については緩衝材の絶対透過係数のみが影響するが、その寄与は小さい
- ・緩衝材の相対透過係数モデルは、緩衝材中のガス流速、間隙圧力に大きな影響を及ぼしうる。
- ・毛管圧は処分施設内の間隙圧力とガスの放出量に大きく影響する可能性がある。

(b) ガス発生による処分の安全性への影響

処分場内で発生するガスが処分お安全正に影響を及ぼすどのような現象を生じさせうるが、さらに、今後それらの影響を定量的に評価するために実施すべき課題について以下にまとめた。

- ・ガスの発生により処分施設内の圧力上昇、間隙水の排出による緩衝材層での間隙水流の発生、ガスの地層への放出等の現象が生じうることが確認された。
- ・低透過性物質を緩衝材として用いた処分概念では、緩衝材の特性が処分場内の圧力上昇、地下水水流速等への影響を決定する。
- ・粘土系緩衝材の透過特性についてデータを得る必要がある。
- ・地層の透過特性については緩衝材の透過性との相関でその影響度が決定されるが、地層中のガス移行挙動に対する影響は大きいことから、データの取得が必要である。

- ・毛管圧については処分場からのガス放出挙動に対して重要であり、データを取得する必要がある。
- ・低透過性のバリアが長期間にわたって健全である場合には、再冠水に相当の期間が必要である。なお、この期間は毛管圧の影響を受けるものと考えられ、さらに評価が必要である。
- ・ガス発生速度、及びその発生期間も処分場環境に影響が大きいことから、処分場環境条件下でのガス発生量の把握が求められる。

第 3 章

3 研究項目の優先順位付け及び研究工程の検討

これまで実施してきた、処分後の廃棄物からの放射性核種の浸出、移行に影響すると考えられる各種現象に対する検討を基礎として、各現象の処分の安全性に対する影響度を評価することにより、必要とされる研究項目の優先度について検討を行った。また、その結果を基に、高レベル放射性廃棄物の地層処分の研究開発工程と時系列で関連づけながら、TRU廃棄物処分の性能評価に係わる研究開発工程について検討した。

3.1 研究項目の優先度の検討

平成4年度の研究において設定した基本シナリオに係わる各種現象に対して、諸外国を含めたこれまでの調査検討結果を基礎として、各現象の処分後の長期安全性を確保するうえでの重要度、処分の性能評価に対する影響度について定性的に評価を行い、優先的に研究を実施すべき項目を摘出した。

3.1.1 各現象に対する認識

これまでの研究開発において性能評価に影響する各種現象が、現時点でどのように理解、認識されているかを簡潔にまとめた。

(1) OECD/NEAにおける見解

OECD/NEAでは1993年に放射性廃棄物処分場の安全性に対するニアフィールドの寄与に関する3回目のワークショップを開催し、高レベル放射性廃棄物のソースターム評価に係わる概念モデル、数学モデルに焦点を当てた検討、評価を行っている。本ワークショップでは6ワーキンググループによってそれぞれの課題について討議を行い、以下のような勧告、課題の指摘がなされた¹⁾。

設置されたワーキンググループと担当する課題を以下に示す。

- i ニアフィールド環境
- ii 廃棄体からの放射性核種の放出
- iii 放射性核種の移行と遅延
- iv ソースタームモデルとコード
- v ニアフィールド性能評価と全体性能評価との統合
- vi 岩塩層処分場特有の項目

6種類のワーキンググループによって取りまとめられたポジションペーパーの概要は以下の通りである。

i ニアフィールド環境

- ① 研究すべきであり、いくつかの処分研究との協力が望ましい項目
 - ・ニアフィールド環境に長期的影響を及ぼしうる化学的擾乱に着目した、「定置前期間」の半定量的シナリオ解析。
 - ・廃棄体周辺環境に多大な化学的擾乱を生じうる坑道ライナ、シール材等付加的人工構造物に関する検討。
 - ・性能評価上重要な元素、固体、及び溶存化学種に対するデータベースの慎重な見直し。
 - ・混合層における放射性核種の研究。
 - ・侵食とキャニスターの沈降に着目したベントナイト緩衝材の耐久性の確認。
 - ・放射性核種の化学種の評価に用いるため、時間と距離の関数としてのニアフィールド地下水化学のモデル化。データベース整備のための協力。
 - ・ニアフィールドにおける微生物活動のモデル化。概念モデル、数学モデルは異なった人工バリアシステム間で比較可能である。
- ② 研究すべきでない項目
 - ・ニアフィールド系がサイト環境と平衡状態に達する時期の決定は学問的に興味ある点であるが、性能評価について実用性はない。
 - ・CH₄の放射線分解。HLW処分概念に著しいCH₄が存在する環境はない。
 - ・廃棄体からのコロイド放出。圧密粘土層が組み込まれた廃棄物パッケージからのコロイドの放出は起こらないであろう。
- ③ 異なる人工バリアシステム個別、あるいは共通に研究すべき項目
 - ・LWR燃料と異なる方法によって処分する必要性の有無を把握するため、研究炉等から発生する特殊な燃料の特性について研究する必要がある。
 - ・人工バリアシステムの構成材料、及びその腐食、変質によって生成する二次的物質による核種取り込みの定量化。
 - ・レドックスフロントの進展とその影響に対するモデル、必要であれば核種移行に対するモデルの改良。
 - ・ガス発生、移行に対するモデルとデータベースの改良。

③ 人工バリアシステムの再設計

- ・人工バリアシステムの時間の経過による機能の向上（空隙の自己閉鎖）
- ・緩衝材への添加物の添加（getter等）
- ・容器材料の比較（銅と鉄等）
- ・新規キャニスタ材料の研究（高強度セラミック、複合材料等）

ii 廃棄体からの放射性核種の放出

① 使用済燃料

- ・使用済燃料は不均質であり、燃料被覆管上のクラッドから燃料マトリクス自体まで種々の形態で放射性核種が存在するが、特に燃料ペレット間の間隙からの放出が重要である。
- ・燃料マトリクスの溶解は α 線による放射線分解によって影響を受けうる。
- ・燃料マトリクスの放射線分解は核種放出に影響を及ぼさない。

② 高レベルガラス固化体

- ・実験的に決定された溶解速度とガラス表面からのシリカの移行に依存する溶解モデルは、長期的評価においては不確実性が存在するため、ガラスの溶解を制限するゲル層の役割とその範囲に関する研究が重要である。
- ・固相の放射線分解は核種放出に影響を及ぼさない。
- ・大規模実廃液固化体での浸出試験実施の必要がある。

③ その他の廃棄物形態

- ・放射性核種は様々な変質生成物中に構成要素として取り込まれ、低溶解度を示すことが予想されることから、適切な地球化学モデルとデータベースの整備が必要となる。
- ・適切なナチュラルアナログの適用により、適切な溶解モデルを選定することを勧告する。
- ・廃棄体の溶解によって生成するコロイド状の核種については、単分散系コロイドの移行試験で粘土バリアが重要な効果を有することが示されている。

④ 廃棄物に係わる研究項目の重要度

- 1) 放射性核種の溶解度の設定のため、熱力学データベースの慎重な見直しの継続
- 2) ナチュラルアナログによる廃棄体溶解モデルの検証

- 3) コロイド状ソースタームが幾つかの処分概念について重要な項目となりうる可能性の検討
- 4) 使用済燃料の処分における不均質性の考慮 (C^{14} の放出への影響等)
- 5) 使用済燃料の粒界からの優先的放出、変質層における核種の共沈、大規模実廃液固化体での浸出試験
- 6) 性能評価の改善に寄与しないと考えられる研究領域
 - ・ジルカロイからの核種放出（極めて遅い）
 - ・廃棄体固相に対する放射線損傷の影響
 - ・多量の純水を用い、静水圧をかけないような単純な浸出試験

iii 放射性核種の移行と遅延

① ガス圧の増加

- ・金属容器と低透過静充填材の組み合わせによる H_2 の蓄積と圧力増加範囲については未解決の問題であるが、この問題が存在したとしても最終的に設計で対応することは可能かもしれない。
- ・ペントナイトはガス放出前に応力のしきい値が存在する可能性が示されているところから、昇圧によるほか突然のガス放出によるペントナイト、母岩への機械的影響が考慮されるべきである。
- ・将来的に試験が実施される場合、フィールドにおける条件との比較に注意することが望ましい。
- ・ H_2 の蓄積による処分環境の還元性の維持、再冠水挙動に対する影響を確認することが重要である。

② 腐食生成物

- ・腐食生成物による充填材中の移行特性の変化と母岩に対する過度な応力の発生は、設計により回避できる。
- ・腐食生成物の収着能については、充填材が存在する限りその収着能に比較して極めて小さいことから、評価するための意味はない。ただし、廃棄体マトリクスの主成分に対する収着能は廃棄体の溶解特性に影響を及ぼす。
- ・鉄化合物による粘土系充填材の可塑性に対する影響についてはさらに情報が必要である。
- ・処分概念によっては腐食生成物の蓄積がオーバーパックをさらに損傷する恐れがある。

ある。

③ 充分に良い K_d の値

- ・充填材中における核種の保持は確かに信用すべき現象であるが、パラメータの適用に当たっては適切な保守性を考慮すべきである。
- ・感度解析を行い K_d のしきい値及び相対的に重要な元素を把握することにより、合理的に試験点数を削減できる。
- ・適切な K_d の測定方法は未解決の問題であり、現状適用されうるな測定技術／方法を見直すことが必要である。

④ コロイドのフィルトレーション

- ・低透過性の充填材、特に圧密ペントナイトはコロイド粒子に対して有効なフィルタとなるとの状況証拠がある。
- ・充填材から母岩へのコロイド状放射性核種の放出は、ニアフィールドの性能に対し重要であると考えない。但しファーフィールドの性能に対しては重要な役割を果たすと認識する。

⑤ 内部バリアの分析

- ・容器内の被覆管、フィルタ、安定材等は追加的な移行抑制バリアとして信頼しうるが、安全解析上は信頼しにくい。したがって、これらに対する特性評価は品質保証と記録保持とに有用なものとなる。

iv ソースタームモデルとコード

① ソースターム評価コードの役割

- ・ある評価条件の範囲内で、規制者に安全性が達成されることの証明を援助する。
 - ・研究者に解決すべき重要な問題を示す情報をフィードバックする。
- ② 評価コードの主要な不確実性、不安を感じる部分はモデリング過程で用いられた多くの仮定と概念化にあり、他は数値モデル化と解法によって生じる。
- ③ 不確実性に対する取り組みで最も重要なことは、全ての過程と概念化を明確に示し、それらがどのようにして正当化されたかを説明することである。
- ④ コードの相互比較は数学モデルのモデル化手法について検証可能であるが、モデル化の基礎となった仮定と概念化について徹底的な分析が為されないかぎり、当該モデルに信頼性が付与されることはない。

⑤ 一層の研究実施に値する課題

- ・処分場内の著しい変化、特に亀裂系の岩盤における地下水路と個々のキャニスターの相対位置の相異について、平均化、統計的手法等により処理する手法の開発。
- ・廃棄体からの核種放出モデルに係わる試験。現状のモデルと、プロセスの基本的な理解との間の関係が不明確である。
- ・キャニスターの損傷時期、及びその処分場内における分布は安全性の評価上重要であり、また、部分的に破損したキャニスターについての放出モデルは、安全性に決定的な影響を及ぼす恐れがある。
- ・温度と化学的あるいは機械的な因子との相互作用による効果について、これらを評価上無視する際の正当化の検討が必要。
- ・ニアフィールドモデリングにおけるナチュラルアナログの利用。
- ・試験結果によるニアフィールドモデルの実証。特に統合化されたプロセスについて実証すべきである。
- ・ガスの発生は地下水路、核種移行、化学的条件、機械的条件に影響を及ぼすが、これらの問題については未解決でありソースタームモデルへの反映はなされていない。
- ・再冠水に至るまでの期間。この期間は処分場内に大きな化学的、熱的勾配が存在し、このためニアフィールドの条件が変化する範囲が問題となる。
- ・核種放出及び移行が生じるエリアで、化学的条件を一定に単純化することの正当化。
- ・評価モデルを3次元から2次元あるいは1次元に簡略化する際のプロセスについて、充分な考慮がなされていない。特に流れの存在する場合には簡略化が困難である。
- ・遷移状態における物質輸送係数の導出と適用については、各ケースについて注意深く記述する必要がある。
- ・ゼロ能度、あるいはミキシングセル等の単純な境界条件の適用については、詳細な説明が必要である。
- ・特にCsについて非線形の等温線を適用することは有効であり、シャープな移行フロントが期待できる。
- ・U及びThといった天然放射性同位体の存在について、どのように評価に取り込むべきかは不明解である。

- ・ベントナイトと亀裂性岩盤などの界面では界面抵抗が存在する可能性があるため、連続な条件を仮定することは過度の簡略化である。
- ・単一の崩壊系列ごとに溶解度を決定することは、支配的な兄弟核種を無視することになり、過度に保守的である。
- ・拡散係数等のパラメータについては数多くの値が存在するため、結果の比較において混乱を避けるために慎重に設定する必要がある。

⑥ 要点

- ・性能評価モデルは研究の優先度の評価にフィードバックするために用いるべきである。
- ・主要な不確実性は、モデル化における仮定と概念化によって生じるが、これらについては充分に議論し記述せねばならない。
- ・キャニスター近傍の亀裂等、処分場の変化性は問題となる分野である。
- ・キャニスターの破損時期及び破損モードは安全性に重要でありさらに注意する必要がある。

Ⅴ ニアフィールド性能評価と全体性能評価との統合

① 統合と性能評価

1) なすべき事項

- ・システムの理解を進める。
- ・化学的知見を性能評価モデルに要約する。
- ・研究、設計、及びサイト特性評価にフィードバックする。

2) なすべきでない事項

- ・性能評価に要約せずに行う過度に強調されたプロセス計算。
- ・既存のモデルへの入力のためだけのデータ収集。
- ・フィードバックなき性能評価。
- ・過度の簡略化

② ニアフィールドとファーフィールドの役割（地層処分の選択の理由）

- ・地層は安定であり、また長期間にわたり安定であると予測できる。
- ・また地層の履歴は知られており、それが信頼性を与える。
- ・ナチュラルアナログはファーフィールドの挙動に対するわれわれの理解について

証拠を与える。

③ ニアフィールドとファーフィールドとの連成

- ・連成においては多くの場合、地下水の流速及び化学的特性について平均的な値を与えるが、ファーフィールドのモデリングは概念の不確実性と著しい空間的変動を取り扱わねばならないことから、ニアフィールドのモデリングにおいてもこれらを考慮したモデルの開発が必要である。
- ・他の重要な問題点は温度の影響とガスの発生である。

④ 主要なテーマ

1) 参照シナリオ

- ・熱の影響：高熱負荷の廃棄体の不飽和層での処分では、2相流とそれによる移行が主要となる。
一般に熱の影響は水力的特性、化学的特性の変動を含む。
- ・機械的影響：応力の変化、水力的特性の変動
熱による影響が加わることにより複雑な連成効果を形成する。
- ・化学的影響、放射線分解による影響
：放射線分解による酸化還元条件の変化
プロセスは良く理解され、影響の及ぶ範囲も評価されているが不確実性が残る。
- ・放射性核種の易動化による影響
：廃棄体の溶解については不確実性が残る。急速な放出が起こる可能性のある核種の特定と、急速に放出される割合を決定することが重要である。
- ・コロイドの移行、コロイドの形成
：ニアフィールドにおけるコロイドの形成については不明な点が多い。移行が可能であれば、最も研究が必要な分野であると認定する。
- ・廃棄体パッケージの腐食
：破損時期の平均化及びその保守性のほか、破損の分布に係わる課題がある。
- ・ガスの発生と移行

：アメリカにおける不飽和層での処分計画ではC¹⁴の発生と移行が関係する。

ガスの移行は放射性核種の急速な移行経路をもたらす恐れがある。

ガスの過剰な圧力はニアフィールドバリアに影響を及ぼしうるものである。

本分野に対する研究に高い優先度を与える。

・気候の変化：これまでに異なる程度で性能評価に考慮されてきている。

浸透速度，地下水流，地下水の化学的特性の変化を考慮すべきである。

2) 変動シナリオ

本ワーキンググループでは変動シナリオについて，天然の事象，処分場によってもたらされるシナリオ，人間活動を原因とするシナリオに分類して検討を行っている。ここでは，本研究においては地球物理学的あるいは天文学的諸現象，人間活動を原因とする事象，及び核種の直接放出に係わる現象については対象としないことから，「天然の事象，プロセス」，「人間活動を原因とするシナリオ」については記述を省略する。

・天然の事象及びプロセス

：気候の変動については参考シナリオに含めて検討されているため，ここでは地下水の流れ場に影響を与えるほか，人工バリアに直接損害を与える恐れがあることから，テクトニクスが主要な検討対象である。

場合によってはマグマの活動も含めて事象の起こりうる条件，生起確率の検討，性能評価モデルによる生じうる影響の評価等のアプローチを探るべきである。

・処分場によってもたらされるシナリオ

：熱的あるいは機械的影響については参考シナリオにおいて検討されているため，ここでは処分場の不完全なシールによる影響，処分場に迷い込んだ物質による影響の可能性が検討対象となる。

・人間活動によってもたらされるシナリオ

：最も明確な形態は処分場への直接の人間可侵入か処分場エリアへの

試錐孔の掘削であり、探査の目的による試錐の可能性は比較的高いと考えられる。したがって、今後この分野における性能評価モデルの開発課必要である。

vi 岩塩処分場に特有の事項

本ワーキンググループでは、確率論的性能評価による感度解析の結果として、処分施設の修練、ダムの透過性、塩水ポケットの体積、充填材の透過性、塩水の浸入時期、溶解度があげられるとしているが、我が国においては岩塩層における処分は検討対象とならないことから、ここではワーキンググループの検討結果については省略する。

以上6種類のワーキンググループによって取りまとめられた勧告の主要な内要は以下のようにまとめることができる。

[勧告及び指摘事項]

- ① ニアフィールドの性能評価は処分研究開発、処分場設計、及びサイト特性調査へのフィードバックと示唆を与える上で重要である。
- ② 操作期間、及び廃棄体、緩衝材以外の処分場構成材料（グラウト材等）のニアフィールド環境への影響は、少なくとも半定量的には評価しておくべきである。
- ③ 熱力学データベースは慎重に見直されるべきであり、性能評価からの指摘を考慮しつつ整備されるべきである。
- ④ 使用済燃料の処分については、燃料中の間隙及びハードウェアからの正確な放出量と、 α 放射線分解による影響の決定が重要である。
- ⑤ 軽水炉燃料との相異があるかも知れない、研究炉等からの特殊な燃料の処分方法についても決定する必要がある。
- ⑥ ガラス固化体の処分については、ガラスの溶解を制限するゲル層の役割に対する研究が重要である。
- ⑦ ガスの発生と緩衝材中のガスの移行は、どのような廃棄体パッケージの設計に対しても共通の課題である。
- ⑧ 廃棄体の溶解によって生じるコロイドの影響は、圧密粘土バリアを設置することで移行は起こりえないと仮定すれば重要な課題ではない。

- ⑨ 現在のソースタームモデルの不確実性、不完全性の最大の原因は、モデルの概念構築時に前提となった仮定によるものである。重要なことはこれらの明確な記述とそれらの正当化の根拠を示すことである。
- ⑩ 長寿命のキャニスターの使用を前提とした処分概念では、部分的に破損したキャニスターのバリア特性に対するモデリングと評価が重要である。
- ⑪ 岩塩層の処分場については、岩塩の変形とシール材の透水性が重要である。

3.1.2 各現象に対する理解の現状

上記のワーキンググループが各現象に対して示した認識の基礎となった、性能評価上考慮すべき各種現象の機構に対する理解の現状については、各分野の専門家によってまとめられている¹⁾。これらの内からTRU廃棄物処分の性能評価にも関係する代表的な現象を以下に示す。

(1) ニアフィールド環境

i 処分施設の再冠水

- ① 2層流評価モデルを用いた評価では、充填材の再冠水時間と母岩の透水性との間に以下の関係があり、充填材の間隙率等他のパラメータの感度は低いことが示されている。

$$\log(\text{充填材再冠水時間}) = -\log(\text{母岩の透過係数}) + b$$

上式の関係を図3.1.2-1に示す。

- ② 2層流評価モデルを用いた評価により、圧密ペントナイトの再冠水時間にペントナイトの毛管圧評価関数が重要な影響を及ぼすことが示される。
- ③ キャピラリバンドルモデルを用いた圧密粘土層に対する評価では、粘土物質は間隙径が数nm以下と極く小さいため毛管厚が極めて高い(10~100MPa)こと、径の大きい毛細管から早期に水／気体が移行していくことを確認している。

ii 化学的環境の変化

- ① 微生物活動による影響としては以下の因子が考慮できる。
 - ・微生物分解による破壊あるいはバリア機能の低下。
 - ・Eh, pH, 有機成分の変化を含む地下水化学の変化。
 - ・微生物による放射性核種の取り込みによる移行性への影響。
 - ・キレート剤の生成。

② 容器の化学反応によるガスの発生については、鉄系合金は水と直接反応して水素を発生する。水素は系の圧力、ガスの発生速度、及び移行速度に依存して、金属表面での溶解、溶解度を超えると気泡の発生、圧力の上昇、ガスの移行に伴う間隙水の移行が予測される。

圧密ペントナイト層と容器との間にキャピラリブレークのための砂層を置くことで、ガスの蓄積によるペントナイト層の破壊を抑制する方法が検討されている。

(2) 廃棄体からの核種放出

i 汚染された固体の溶解度

① コロイド（ここでは $10^9\sim10^6\text{m}$ の粒子と定義）には、放射性核種による真性コロイド、容器、充填材の劣化、侵食によって発生したコロイドに放射性核種が収着した疑似コロイドがある。廃棄体の溶解時に生成するコロイドのタイプ、粒径分布、長期安定性については未知の部分が多いが、問題はコロイドが人工バリア中を移行しファーフィールドに放出されるかどうかである。充填材を移行中にコロイドがろ過されて間隙水中から除去されることが確認できれば、コロイドの生成とその特性に対する広範な研究は必要ないこととなる。

② 放射性核種が微量元素として共沈する挙動については定量的に評価し、より実際的な評価に用いるべきである。アルミノ珪酸塩、炭酸塩、硫酸塩、磷酸塩、硫化物といった変質相に固溶体として取り込まれることは非常にありえうことである。廃棄体の溶解／変質過程において形成される放射性核種を帶びた相の等原子価元素の間の熱力学的データの傾向を比較することで有効な洞察が得られるかも知れない。

③ 多くの安全評価において最も重要な核種とされるものはFP核種である。これはFP元素の多くがその評価が困難であるため自然界における挙動が解明されていないことから、過度に保守的な仮定をおいていることも原因の1つであると考えられる。したがって、FP核種に対する特性評価はアクチニド核種に対する研究より適切かつ重要である。

(3) ニアフィールドにおける核種移行

i 移流による移行

圧密ペントナイトのような低透水性充填材を用いることにより、廃棄体周辺の物質移行を熱、濃度－浸透効果による拡散支配とすることができる。

ガスの移行に対しては、圧力の上昇が生じた場合にも間隙の大きな部分を通る部

分的なガスの流れによってガスが放出され圧力が低下するが、充填材の透過性に対する影響は残らないとする見解がある。

ii コロイドによる移行

Stokes-Einsteinの拡散モデルに従えば、コロイド粒子径の下限に近い直径 10^8m の粒子に対する拡散係数は約 $8 \times 10^4 \text{ m}^2/\text{y}$ と評価される。これは溶存化学種の典型的な拡散係数のほぼ $1/40$ であり、同モデルによれば球状粒子の拡散係数は粒子半径に逆比例ことより、コロイド状核種の拡散は拡散バリア中の放射性核種の移行を低下させる方向に働くと予測される。

また圧密ペントナイト層によるコロイドの物理的なろ過効果も最も重要な現象のひとつであり、コロイドによる放射性核種の移行はニアフィールドの問題ではなく、ファーフィールドの性能評価上の問題となる可能性があるが、疑う予知のない確固たる証拠は不足している。

(4) ニアフィールドにおける核種の遅延

i 収着モデルの適用

① どのニアフィールドバリア材のどの移行／収着パラメータについて今後さらに特性試験を実施すべきかについては、性能評価モデルを用いた感度解析によって決定すべきである。

② 表面錯体モデル等のメカニスティックな収着モデルは、比較的地球化学的環境条件が制限されたニアフィールドにおいて適用可能であろうが、圧密ペントナイト等の微小間隙媒体に対する適用性については未確認である。

一方、単純化された K_d モデルは保守的に設定された収着は短半減期及び長半減期核種に対する放出性能に必要な束縛をもたらすことから、十分により近似であるかもしれない。 K_d モデルの欠点は予測される間隙水の化学的条件の変化等による収着性の変化に対して対応できないことがある。

したがって、試験により収着挙動に対するメカニスティックな理解と環境因子による依存性に対する理解を深めることにより、環境条件を考慮した信頼性の高い K_d 値を設定する科学的基礎を与えることにより双方のモデルを組み合わせることが可能である。

ii コロイドの遅延

不透水性充填材中の放射性コロイドの拡散移行については、ろ過が生じるとそれ

ばほとんど起こりそうもないよう感じられることから、ニアフィールドにおいてこのような条件が適切に保持されること、またこのような現象が演繹的に予測可能であることが確証されるために慎重な研究が期待される。推測及び間接的な証拠を基礎としてコロイドによる移行は重要なニアフィールドにおける移行メカニズムであるとの予測は避けるべきである。したがって、これ以上の放射性コロイドの形成に係わる研究は行うべきでない。少なくとも性能評価の結果を考慮したうえで再構成すべきである。

3.1.3 研究開発項目の優先度の検討

以上の検討結果を考慮することにより、TRU廃棄物の処分に係わる研究開発項目について優先度を検討した。結果を表3.1.3-1に示す。

(1) 固化対特性評価

固化体特性、特に「核種インベントリ」についてはソースタームを決定する最も基本的なデータの1つであり、性能評価に不可欠であるところから、もっとも高い優先順位を設定するべきであると考えられる。また、「化学的特性」についてはニアフィールドの化学的特性に対する影響が大きく放射性核種の化学種の決定に重要であるところから、優先順位をAに設定した。

一方、廃棄体の圧縮強度、密度、重量等のその他の「物理的特性」については、処分の性能評価に直接大きな影響を与える可能性が低いこと、及び既知のデータが多く測定自体も比較的容易なところから優先順位はBに設定した。また、「廃棄体技術開発」については所要の特性を満足する廃棄体の製造技術の確率、及び当該製造技術によって製造される廃棄体に対する性能評価上のデータの信頼性向上に係わる手法、技術であり、性能評価を補助、保管する分野であると考えられるところから優先順位はBに設定した。

(2) ニアフィールド性能評価

「コンクリートの化学的緩衝作用」については、ニアフィールドのpH、Eh、共存化学種等の化学的特性を決定する上で極めて重要であり、以下に述べる核種の移行機構に対する主要な影響因子であるところから、もっとも高い優先順位であるAに設定した。

「ガスの発生」、「ガスの蓄積移行」については、OECD/NEAのワーキンググループの検討結果にもあるように処分場環境下におけるガス発生挙動、各種バリアに対する2相流パラメータの値が未知であるなど基本的に未解決の問題であり、地下水水流、核種移行、化学的条件、機械的条件への影響を評価する必要性が大きいとされているところから、優先順位はAに設定すべきであると考えられた。

「拡散移行」は放射性核種の主要な移行機構であり、また「溶解度」、「吸着特性」は核種移行フラックスを決定する重要な影響因子であることから、各種バリア材料、及び化学環境下におけるデータの蓄積が重要である。したがって、これらの課題に対しても優先順位はAに設定することとした。

「コロイド、錯体の生成／移行」については、特にコロイドによる影響の性能評価への取り込みに対する必要性については、OECD/NEAのワーキンググループの検討結果にお

いてもワーキンググループごとに結論が微妙に異なるところであるが、ここではコロイドの移行が重要となりうるかどうかを各処分概念ごとに検討、確認することが基本であると考え、優先順位はAに設定した。また、錯体の生成／移行については、処分場の化学的雰囲気との関係によって決定され、各種バリアに対する収着性、溶解度に対し影響を及ぼす等重要な影響因子であることから、研究開発の優先順位はAに設定すべきであると考えられた。

「特有核種対策」はTRU廃棄物に特有、あるいは処分の長期安全性に対して影響の大きい核種に対する移行防止対策を意図したものである。TRU廃棄物の処分の安全評価結果において、特に高レベル放射性廃棄物ガラス固化体に対する評価結果と比較して際だって異なる点はI-129の効果である。TRU廃棄物における処分の安全性を決定する核種の一つであるI-129に対しては、処理技術の分野においてもソースタームを低減可能な廃棄体特性の開発が求められるところであり、したがって、優先順位はAに設定するものとした。

一方、「熱／温度条件」については、TRU廃棄物では比較的発熱量の大きいハル・エンドピースについても高レベル放射性廃棄物ガラス固化体に比較して発熱量は相当低く、貯蔵中の核種の崩壊、処分場内での定置方法によってその影響はさらに低減することから、ここでは優先度をBに設定した。また、「応力条件」については処分施設形態の実現性に係わるいわば建設技術上の問題であり、バリア構成等の各種処分概念に対する性能評価手法／データの確率／取得に比較して優先度は一段低いと考え、優先度はBに設定した。

処分施設内／近傍の「水理条件」については、評価手法に関しては多孔質媒体近似であれば既にほぼ確立していると考えられ、評価を実施する上では各種バリアに対する透水性データの取得がよりクリティカルになるものと考えられる。したがって、優先度はBに設定した。

「廃棄体からの放射性核種の浸出」はソースタームを決定する上では重要であるが、現時点で考慮されているTRU廃棄物の廃棄体については、長期にわたって廃棄体の物理的閉じ込め機能に期待できる浸出機構は金属廃棄物溶融固化体等に対する腐食律速モデルがあるのみである。したがって、これらの廃棄体を除く浸出試験結果については性能評価への適用性が低く、また、長期浸出モデルについては廃棄物ごとに浸出特性の安全評価結果に安全評価結果に対する重要度を考慮して着手すべきであるほか、廃棄体の物質／化学構造の経時変化と浸出挙動を連成することは、今後熱力学データ、特性試験による物性データの蓄積が相当程度必要であるところから研究の負荷に対する評価上の効果が相対的に小

さいと見なせるため、ここでは優先度をBに設定した。「バリア材の劣化」に対しても、各バリア材料に対する透過特性、吸着特性等と廃棄体の物質／化学構造の経時変化とを連成することは、今後熱力学データ、特性試験による物性データの蓄積が相当程度必要であるところから、同様に優先度はBに設定した。但し、バリアの劣化が処分場の化学的雰囲気に影響する場合については、放射性核種の化学種、移行特性に影響が大きい場合があるため、優先度が高いものとして扱うべきである。

(3) シナリオ

シナリオ研究は、TRU廃棄物の処分概念が基本的に地層処分の形式を採ることから、高レベル放射性廃棄物の安全評価に係わるシナリオと共に通する部分が多い。高レベル放射性廃棄物の処分とTRU廃棄物の処分が異なる点は、廃棄体特性及び廃棄体特性の相違によって生じる諸現象の相違、処分施設の形状、設置される人工バリアの相違などがある。したがって、これらの条件を基礎としてTRU廃棄物処分に特有な現象を検討、摘出することは重要である。本研究では1993年にこれら固有の現象に対して検討を行い、TRU廃棄物処分の安全性に対して相対的に影響の大きいと考えられる現象とそれらの関連を摘出、検討することにより、"TRU廃棄物処分性能評価上の基本シナリオ"を設定している。今後はこのシナリオに包含される諸現象の影響を定量的に評価し、影響の大きさによる各現象の取捨、あるいは新規に検討が必要とされた現象の付加等によってシナリオの改訂を継続する段階にある。したがって、シナリオ研究については諸現象の評価の結果に従って逐次検討を行うものと考え、優先度のランクはBに設定した。

(4) ファーフィールド性能評価

「ガスの移行」については、放射性廃棄物の処分に適する比較的透過性の低い地層に対する2相流パラメータの値が未知であるなど、ニアフィールドの性能評価と同様にファーフィールドにおいても基本的に未解決の問題であり、地下水系、核種移行、化学的条件、機械的条件への影響を評価する必要性が大きいと予想されることから、優先順位はAに設定すべきであると考えられた。

一方、「吸着特性」については、高レベル放射性廃棄物ガラス固化体に含有されずTRU廃棄物の処分において問題となるヨウ素、あるいはTRU廃棄物中において有機物として存在する可能性のある炭素とうの元素以外については、高レベル放射性廃棄物の地層処分安全研究と共に通の課題であるため、相対的に優先度は低いと考えられ、優先度はBに設定するものとした。「コロイド、錯体の移行」についても、コロイドに吸着、あるいはコ

ロイド、錯体を形成する可能性の高い元素の多くは多価アクチニド元素であり、これらは高レベル放射性廃棄物の重要な核種と重複するものである。したがって、「吸着特性」と同様に相対的に優先度は低いと考えられ、優先度はBに設定するものとした。

総合的性能評価手法の整備は、各種現象に対するモデル化の進展、及び安全性に対する影響度の評価の進展に従って、逐次評価体系に組み入れるモデルの簡略化、モデル構成の見直しとデータの整備、体系化を行うものである。また、総合的性能評価も評価体系の整備の整備の進展に従って逐次実施されるものであり、モデル化の進展に従属する工程であることから、「総合的性能評価」の優先度ランクはBに設定するものとした。

ファーフィールド性能評価のうち、広域水理（広域水理評価、不飽和帯の水理の調査、評価手法）、及び移流分散（地層中核種移行モデルの開発、確認）については、不飽和帯の水理に係わる課題を除いて高レベル放射性廃棄物の地層処分安全性研究において研究開発が実施されている。また、帶水層上部に位置する不飽和土壌層の水分移行に関しては、低レベル放射性廃棄物の処分研究分野で比較的早期より研究が行われており、不飽和岩盤中の移行についてはアメリカのYucca Mountainにおける研究開発において成果が得られつつある。さらに、ガスの移行によって生じる不飽和層における地下水の移行はガス発生、移行の影響評価分野によって研究開発が実施されるところから、TRU廃棄物の処分研究において本課題を重点的に実施する必要性は少ない。したがって、これらの課題については高レベル放射性廃棄物の研究成果を流用することを基本とし、ここではランクCに分類した。

(5) 処分技術開発

処分技術開発のうち「人工バリアシステム」に関する人工バリアの基本概念設計、バリア材料の物性データ収集、及び人工バリアの設計検討については、性能評価対象とすべき現象を選定する上でも研究の初期段階において実現可能な処分施設概念と設置可能な人工バリアについて、主に構造安定性、施工性の観点からおおよその形態、規模等を示しておく必要がある。したがって、本課題については優先度ランクをAとする。

一方、「処分場」に関する開発課題は処分場の設計に必要となる地下深部等のデータの収集と、大規模空洞の設計技術の開発である。また、「人工バリア技術」に関する開発課題は所定の性能を有する人工バリアの工学規模における製作、施工技術の開発である。これらの課題については、前者は基本的に高レベル放射性廃棄物の処分研究と同一のデータであること、また後者は人工バリアの小規模特性試験の結果を待って実施すべきものであ

ると考えられることから、優先度はランクBに設定した。

「建設、操業、閉鎖技術」の開発については、建設及び操業技術はほぼ既存の技術とその改良で適用が可能であると考えられるほか、高レベル廃棄物の処分場建設と共通する技術が多い。また、閉鎖技術、機能確認モニタリング技術についても高レベル放射性廃棄物処分場と共通する部分が多く、処分場の建設時期を考えれば開発期間も比較的長いと考えられることから、優先度をCに設定した。

(6) 地質環境条件

地質環境条件については比較的浅い地層に対する地質環境データの取得が課題とされ、これらは岩盤力学データ、水理地質データ、地下水化学データ、地質／地質構造データに分類できる。これらのうち岩盤力学データ、及び地質／地質構造データに関しては、地質、鉱山、土木建築分野において比較的データが蓄積されていると考えられるが、水理地質データ、及び地下水化学データについては地表からの影響をより強く受けることにより、深地層とは各種条件が異なる場合があると考えられるところから、高レベル放射性廃棄物の地層処分研究とは別個に実施する必要がある。しかしながら、TRU廃棄物が処分可能な深度、あるいはTRU廃棄物が処分可能な深度と高レベル放射性廃棄物が処分可能な深度との間に有意な相違があるかどうかについては定見がなく、処分サイト条件によっても異なる場合があることも考えられる。したがって、今後の性能評価研究によって高レベル放射性廃棄物が処分対象として考える深地層とは明らかに特性の異なる、より浅い地層での処分の可能性を明らかにしたうえで本項目に上げられた課題に対する研究を実施すべきである。

以上より、ここでは地質環境データの取得は、ニアフィールド性能評価及び他のファーフィールド性能評価に係わる課題がより優先すると考えられたことから、優先度はBランクに分類するものとした。

表3.1.3-1 研究項目の優先順位

(1/3)

優先度	課題分類	行程分類	研究開発課題
A	固化体特性評価	核種インベントリ	<ul style="list-style-type: none"> ・測定対象核種選定 ・分析測定方法 ・非破壊測定技術 ・核種濃度確認手法
		化学的特性	<ul style="list-style-type: none"> ・構成物質の調査 ・影響物質摘出、測定方法 (コロイド、錯体、ガス、腐食、微生物)
	ニアフィールド 性能評価	コンクリートの 化学的緩衝作用	<ul style="list-style-type: none"> ・緩衝作用の機構の理解 ・評価モデル、確証試験
		ガス発生	<ul style="list-style-type: none"> ・ガス発生機構の理解 ・評価モデル、確証試験 (腐食、微生物活動)
		拡散移行	<ul style="list-style-type: none"> ・緩衝材の拡散試験、影響因子 (コロイド、錯体、ガス、腐食)
		溶解度	<ul style="list-style-type: none"> ・溶解度試験（処分場環境）、 影響因子 (コロイド、錯体、ガス、腐食, Eh, pH)
		吸着特性	<ul style="list-style-type: none"> ・吸着特性試験、影響因子 (コロイド、錯体、ガス、腐食, Eh, pH)
		ガスの蓄積移行	<ul style="list-style-type: none"> ・絶対透過係数測定 ・相対透過係数測定、モデル ・毛管圧モデル測定、モデル ・2相流モデル改良 (核種移行連成、不均質パス) ・ガス発生、移行対策
		特有核種対策	低透水性、高吸着性バリア 低溶解度化学形処理技術

優先度	課題分類	行程分類	研究開発課題
A	ファーフィールド 性能評価	コロイド、錯体の生 成/移行 ガスの移行 人工バリア システム	<ul style="list-style-type: none"> ・生成機構モデル、影響因子 ・試験による確認 ・移行機構モデル、影響因子 ・試験による確認 ・絶対透過係数測定 ・相対透過係数測定、モデル ・毛管圧モデル測定、モデル ・2相流モデル改良 (核種移行連成、不均質パス) ・バリア材料の物性データ収集 ・人工バリアの基本概念検討 ・人工バリアの設計検討
B	固化体特性評価 シナリオ ニアフィールド 性能評価	物理的特性 廃棄体技術開発 シナリオ研究 熱/温度条件 応力条件 水理条件 廃棄体からの 放射性核種の浸出	<ul style="list-style-type: none"> ・評価項目、基準/規格の整備 ・測定技術 ・廃棄体製造技術 (高減容技術、高機能廃棄体) ・品質保証体系の整備 ニアフィールド地下水移行 ニアフィールド地下水移行 気体状核種移行 温度分布/勾配 熱移行物性データ取得 構造安定性への影響 ガス圧による影響 処分施設内/近傍の地下水流动 長期浸出モデル 浸出試験による確認

優先度	課題分類	行程分類	研究開発課題
B	ファーフィールド 性能評価	バリア材の劣化	・劣化機構と影響因子 ・劣化モデル、確証試験 ・劣化生成物特性評価
		吸着特性	・吸着特性試験、影響因子 (コロイド、錯体、Eh、pH)
		コロイド、錯体の 移行	・移行機構モデル、影響因子 ・試験による確認
	処分技術開発	総合的性能評価	・総合的性能評価手法の整備 ・総合的性能評価
		処分場	・設計条件データ、設計技術
	地質環境条件	人工バリア技術	・人工バリア製作施工技術
		地質環境データ (比較的浅い地層)	・岩盤力学データ ・水理地質、地下水化学データ ・地質、地質構造データ
C	シナリオ ファーフィールド 性能評価	隔離性研究	・人間接近シナリオ ・自然現象の影響
		広域水理	・広域水理評価 ・不飽和帶水理
		移流分散	・地層中核種移行モデル
	処分技術開発	建設、操業、閉鎖 技術	・処分場建設技術 ・操業技術 ・閉鎖技術 ・機能確認モニタリング技術

3.2 研究工程の検討

表3.1.3-1に示した研究開発項目のうち優先度が高いとされた、優先度ランクAの課題について研究開発工程(案)を検討した。結果を図3.2.1-1に示す。

ここではターゲットとして、高レベル放射性廃棄物地層処分の安全性研究に対する第二次中間取りまとめが行われる平成10年を目処とした。この第二次中間取りまとめにおいてはニアフィールドの定量的評価、及びファーフィールドの概括的評価が目標となっている。したがって、TRU廃棄物の処分研究においても、この時期までにニアフィールドにおける諸現象に対して重点的に研究開発を実施しておくことが望ましいと言える。また、前節において選定された優先度の最も高いAランクの研究開発課題は、そのほとんどがニアフィールドにおいて発生する現象に対するものであった。唯一、ガスの移行のみがファーフィールドにおける現象からAランクに選定されている。これは、ガスの蓄積、移行が母岩におけるガスの透過性によっても直接影響を受ける場合のあること、透水性の低い母岩に対する2相流特性の試験はほとんど行われていないこと、さらにガスの移行は水の移行に比較して速度が大きいことから、人間環境に早期に影響が生じる恐れのあることなどから、ニアフィールドと一連の行程として評価を行うべきと考えられたことにもよる。

ここであげた研究開発課題に関する平成10年における研究成果については、各現象に対する個別の評価モデルの構築と、当該評価モデルによる特定条件下に対する評価の実施、確認が可能となるまでのデータの収集、蓄積が達成されることが目標になると考えられる。

なお、平成10年以降の行程については、高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発の最終取りまとめが平成15年を予定しているところから、同年までにさらに各種試験データの蓄積、得られた諸試験データのフィードバックによるモデルの改良を積み重ねると共に、適切なモデルの簡略化と組み合わせ、及び高レベル放射性廃棄物地層処分研究の成果の取り入れによって、各種モデルを統合した総合的性能評価システムの構築を行う段階になるものと考えられる。

図. 3.2.1-1 優先度ランク"A"項目の研究開発行程

(1/3)

日 程 項 目	1994	1995	1996	1997	1998
1. コンクリートの 化学的緩衝作用					
緩衝作用の機構検討	□				
評価モデルの検討	□		□		
熱力学データ収集		□			
セメント溶解試験		□		□	
解析評価			□		
2. ガス発生					
ガス発生機構の検討	□				
金属腐食モデル検討	□		□		
熱力学データ収集		□			
金属腐食試験		□		□	
解析評価			□		
微生物活動機構検討	□		□		
微生物活動モデル検討		□		□	
データ収集			□		
微生物活動試験		□			
解析評価			□		

日 程	1994	1995	1996	1997	1998
項 目					
3. ガスの蓄積、移行					
移行モデルの検討	▶		◆		
データ収集	▶	◆			
不飽和透過性試験	◆			◆	
毛管圧特性試験	▶			◆	
2相流パラメータの評価		◆	◆	◆	◆
解析手法の整備		◆	◆	◆	◆
解析評価	◆	◆	◆	◆	◆
4. コロイドの生成移行					
コロイドの生成機構検討	▶		◆		
データ収集		◆			
コロイド生成試験		◆		◆	
評価手法の整備			◆		
コロイドの移行機構検討	▶		◆		
データ収集			◆		
コロイド移行試験			◆		
評価手法の整備				◆	
解析評価				◆	◆

日 程	1994	1995	1996	1997	1998
項 目					
5. ガスの移行 (ファーフィールド)					
移行モデルの検討	◆	◆	◆	◆	◆
データ収集	◆	◆	◆		
不飽和透過性試験		◆	◆		◆
毛管圧特性試験		◆	◆		◆
2相流パラメータの評価			◆	◆	◆
解析手法の整備	◆	◆	◆	◆	◆
解析評価	◆	◆	◆	◆	◆
6. 溶解度					
処分環境の検討	◆				
主要化学形の溶解度試験		◆			◆
影響因子の評価			◆		
熱力学データの整備			◆		
7. 拡散移行					
処分環境の検討	◆	◆			
透水性試験		◆		◆	
核種拡散試験			◆	◆	◆
影響因子の評価				◆	

参 考 文 献

参考文献

1.1

- 1) 動力炉・核燃料開発事業団, T R U廃棄物処分システムの性能評価手法の検討, PNC ZJ 1277 93-001 (1993)
- 2) Ramsay, J. D. F., et al., "Colloids Related to Low Level and Intermediate Level Waste", EUR 13669 EN, pp.153 (1991)
- 3) Kim, J. I., et al., "Chemical Interactions of Actinide Ions with Groundwater Colloids in Gorleben Aquifer System", Radiochim. Acta 58/59, pp.147-154 (1992)
- 4) Kim, J. I., "Geochemistry of Actinides and fission Products in Natural Aquifer System", EUR 12858 EN, pp.105 (1990)

2.1

- 1) Pruess, K., "TOUGH User's Guide", LBL-20700, pp.78 (1987)
- 2) Jeffries, R. M., "Gas Migration in Deep Radioactive Waste Repositories ; A Review of Processes, Data and Models", DoE/HMIP/PR/91/029 pp.144 (1991)
- 3) 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-平成3年度-", PNC TN 1410 94-081 (1992)
- 4) Dixon, J. R., et al., " Comparison of Different Techniques for Obtaining Capillary Pressure Data in The Low-Saturation Region": Proceedings of The 1991 SPE Annual Technical Conference and Exhibition, SPE 22690, pp. 333-343 (1991)
- 5) Patterson, J., et al., "Gas Storage Reservoir Performance Optimization through Relative Permeability Studies", pp.1-17 (1993)
- 6) Rodwell, W. R., et al., "Mechanisms and Modelling of Gas Migration from Deep Radioactive Waste Repositories", NSS/R250, pp.86 (1993)
- 7) Amter, S., et al., "Simulation of Gas Flow Beneath Yucca Mountain, Nevada, with a Model Based on The Freshwater Head", Waste Management '90, 2, pp.915-925 (1990)
- 8) Hyman, L. A., et al., "Simultaneous Determination of Capillary Pressure and Relative Permeability in Coalbed Methane Reservoirs", Proceedings of the 1991 Coalbed Methane Symposium, pp.85-95 (1991)
- 9) Wiborgh, M., et al., "Gas Formation in a L/ILW Repository and Gas Transport in The Host

- Rock", NTB 85-17, pp.132 (1986)
- 10) Tomlinson, M. J., "Migration of Gases through Argillaceous Rocks A Literature Review", NSS/R146, pp.156 (1988)
 - 11) Mishra, S., et al., "Modelling Migration from a Low/Intermediate Level Nuclear Waste Repository", Gas Generation and Release from Radioactive Waste Repository, OECD/NEA, pp.253-264 (1992)
 - 12) Pruess, K., "Numerical Modelling of Gas Migration at a Potential Repository for Low and Intermediate Level Nuclear Waste at Oberbauenstein, Switzerland", NTB 89-28, pp.30 (1990)
 - 13) Webb, S. W., "Sensitivity Studies for Gas Release from the Waste Isolation Pilot Plant (WIPP)", Gas Generation and Release from Radioactive Waste Repository, OECD/NEA, pp.309-326 (1992)
 - 14) Jakubick, A. T., et al., "Vacuum Testing of the Permeability of the Excavation Damaged Zone : Assessment of Hydrogen Leakage from an Underground Repository", Gas Generation and Release from Radioactive Waste Repository, OECD/NEA, pp.225-241 (1992)
 - 15) Jakubick, A. T., et al., "Characteristics of the Excavation Response Zone as Applied to Shaft Sealing", Excavation Responses in Geological Repositories for Radioactive Waste, OECD/NEA, pp.157-174 (1989)
 - 16) Resele, G., et al., "Modelling of Gas Release from a Nuclear Waste Repository", Gas Generation and Release from Radioactive Waste Repository, OECD/NEA, pp.377-389 (1992)
 - 17) Lieb, R. W., et al., "Excavation Responses in Developing Underground Repositories in Fractured Hard Rock in Switzerland", Excavation Responses in Geological Repositories for Radioactive Waste, OECD/NEA, pp.91-101 (1989)
 - 18) Neerdael, B., et al., "Excavation Response Study in the Mol Facility", Excavation Responses in Geological Repositories for Radioactive Waste, OECD/NEA, pp.465-479 (1989)
 - 19) Mishra, S., et al., "Modelling Migration from a Low/Intermediate Level Nuclear Waste Repository", Gas Generation and Release from Radioactive Waste Repository, OECD/NEA, pp.253-264 (1992)
 - 20) Wiborgh, M., et al., "Gas Formation in a L/ILW Repository and Gas Transport in The Host Rock", NTB 85-17, pp.132 (1986)
 - 21) Pusch, R., "Outline of Models of Water and Gas Flow through Smectite Clay Buffers", SKB TR87-10, pp.49 (1987)

- 22) Albinsson, Y., et al., "Diffusion of Am, Pu, Np, Cs, I and Tc in Compacted Sand Bentonite Mixture", SKB TR89-22 (1989)
- 23) Pusch, R., "SFR-Buffertar av Bentonitbaserade Material i siloförande", SFR 85-08 (1985)
- 24) Pusch, R., et al., "Buffermaterial för Silor Slutsatser och Rekomendationer", SFR 84-04, (1984)
- 25) Pusch, R., et al., "Laboratoriebestämmning av Hydraulisk Konduktivitet och Gaskonduktivitet samt Svängnings - Egenskaper hos SFR-Buffertar", SFR 84-05, (1984)
- 26) Bamforth, P. B., et al., "A Large Scale Laboratory Investigation into the Movement of Gas and Water through Clay Barriers Exposed to the Environment", EUR 14816 EN, pp.83-95 (1993)
- 27) Geneste, P., et al., "Gas Pressure Build Up in Radioactive Waste Disposal : Hydraulic and Mechanical Effects", EUR 14816 EN, pp.129-139 (1993)
- 28) Volckaert, G., et al., "Modelling and Experiments on Gas Migration in Repository Host Rock", EUR 14816 EN, pp.142 (1993)
- 29) Jacobs, F., et al., "Long Term Behavior of Concrete in Nuclear Waste Repositories", Nuclear Engineering and Design, 138, pp.157-164 (1992)
- 30) Iriya, K., et al., "Cementitious Backfill Materials for a L/ILW Repository - Investigations of Gas Transport Properties", Nuclear Engineering and Design, 129, pp.49-55 (1991)
- 31) Pihlajavaara, "Long-Term Gas Permeability Properties of Concrete in Wet Repository Conditions", Nuclear Engineering and Design, 129, pp.41-48 (1991)
- 32) Harris, A. W., et al., "Transport of Gases through Concrete Barriers Task 3 Characterization of Radioactive Waste Forms", EUR 14194 EN, pp.83 (1993)
- 33) Shouxang, M., et al., "Correlation of Capillary Pressure Relationship and Calculations of Permeability", SPE 22685, pp.279-292 (1991)

2.2

- 1) Mishra, S., et al., "Modelling Migration from a Low/Intermediate Level Nuclear Waste Repository", Gas Generation and Release from Radioactive Waste Repository, OECD/NEA, pp.253-264 (1992)
- 2) Webb, S. W., "Sensitivity Studies for Gas Release from the Waste Isolation Pilot Plant (WIPP)", Gas Generation and Release from Radioactive Waste Repository, OECD/NEA, pp.309-326 (1992)
- 3) 動力炉・核燃料開発事業団, T R U廃棄物処分システムの性能評価手法の検討, PNC ZJ 1277 93-001

(1993)

- 4) Rodwell, W. R., et al, "Mechanisms and Modelling of Gas Migration from Deep Radioactive Waste Repositories", NSS/R250, pp.86 (1993)
- 5) 日本原年産業株式会社, "六ヶ所低レベル放射性廃棄物貯蔵センター 廃棄物理設許可申請書" (一部補正), (1989)
- 6) Geneste, P., et al, "Gas Pressure Build Up in Radioactive Waste Disposal :Hydraulic and Mechanical Effects", EUR 14816 EN, pp.129-139 (1993)
- 7) 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-平成3年度", PNC TN 1410 94-081 (1992)
- 8) Mayer, G. et al, "Experimental Determination and Numerical Simulation of the Permeability of Cementitious Materials", Nuclear Engineering and Design, 138, pp.171-177 (1992)
- 9) Geneste, P., et al, "Gas Pressure Build Up in Radioactive Waste Disposal :Hydraulic and Mechanical Effects", EUR 14816 EN, pp.129-139 (1993)
- 10) Cadelli, N., et al, "PAGIS Performance Assessment of Geological Isolation Systems for Radioactive Waste Summary", EUR 11775 EN pp.268 (1988)
- 11) 動力炉・核燃料開発事業団, "T R U廃棄物処分システムにおける固有の現象の抽出および評価手法の検討", PNC ZJ 1277 92-001 (1992)
- 12) Wolf, M., "Mikrobieller Abbau von Bitumen", NTB 89-14, pp.91 (1989)

3.1

- 1) OECD/NEA, "The Status of Near-Field Modelling", pp.389 (1993)

付 錄

付 錄

2相流解析に用いた"TOUGH"コードの入／出力イメージを以下に添付する。

対象とするケースは、ボールト（基本ケース）である。

① 入力ファイル（全内容）

② 出力ファイル（抜粋：ファイル先頭より初回のタイムステップまで(全行数は43,118)）

① 入力ファイル（全内容）

TOUGH IS A PROGRAM FOR TWO-PHASE TWO-COMPONENT FLOW OF WATER AND AIR, INCLUDING HEAT FLOW. IT WAS DEVELOPED BY K. PRUESS AT LAWRENCE BERKELEY LABORATORY.

SUMMARY OF OPTIONAL FILES

```
FILE *MESH* EXISTS --- OPEN AS AN OLD FILE  
FILE *INCON* EXISTS --- OPEN AS AN OLD FILE  
FILE *GENER* EXISTS --- OPEN AS AN OLD FILE  
FILE *SAVE* EXISTS --- OPEN AS AN OLD FILE  
FILE *LINEQ* EXISTS --- OPEN AS AN OLD FILE
```

PROBLEM TITLE: TRU5-Vault-Ver2 02, case 1

```

DOMAIN NO. 1 MATERIAL NAME -- atoms
DOMAIN NO. 2 MATERIAL NAME -- bound
DOMAIN NO. 3 MATERIAL NAME -- rock
DOMAIN NO. 4 MATERIAL NAME -- loose
DOMAIN NO. 5 MATERIAL NAME -- bent
DOMAIN NO. 6 MATERIAL NAME -- fill
DOMAIN NO. 7 MATERIAL NAME -- cani
WRITE FILE *MESH* FROM INPUT DATA

```

MESH HAS 200 ELEMENTS AND 361 CONNECTIONS (INTERFACES) BETWEEN THEM
GENER HAS 2 SINKS/SOURCES

END OF TOUGH INPUT JOB --- ELAPSED TIME = 0.0000 SECONDS

===== EQUATION OF STATE FOR WATER/AIR MIXTURES =====

TABLE OF PRIMARY VARIABLES, IN DEPENDENCE UPON COMPOSITION AND PHASES PRESENT

COMPONENTS * WATER AIR WATER AND AIR

THE PRIMARY VARIABLES ARE
P - PRESSURE (PA) T - TEMPERATURE (DEG-C) X - AIR MASS FRACTION S - GAS PHASE SATURATION

1***** VOLUME- AND MASS-BALANCES *****
***** \$KCYC,ITER! = \$ 0. 0! ***** THE TIME IS 0.00000E+00 SECONDS, OR 0.00000E+00 DAYS

PHASE VOLUMES IN PLACE
GAS 0.0000E+00 M**3; LIQUID 1.00000E+79 M**3

NO CONVERGENCE AT \$ 1, 1! --- DELTEX = 1.00000E+05 MAX. RES. = 8.40164E-05 AT ELEMENT *K 1* EQUATION 2
 K 1 (1, 2) ST = 1.00000E+05 DT = 1.00000E+05 DX1= 4.05983E+02 DX2= 2.96930E-07 T = 30.000 P = 2034871. S = 0.00000E+00
 ITCHS=VaultVar2 02 case 1 1984/4/15

OUTPUT DATA AFTER (1, 2)-2-TIME STEPS THE TIME IS 1.15741E+00 DAYS

```

TOTAL TIME      KCYC     ITER    ITERC     KON      DX1M      DX2M      DX3M      MAX. RES.      NER      KER      DELTEX
1.00000E+05      1        2        2        2   4.05890E+02   3.32730E-06   2.81007E-07   2.36094E-11      11        2   1.00000E+05

```

DELEM.	INDEX	P (PA)	T (DEG-C)	SG	SL	XAIRG	XAIRL	PSAT (PA)	PCAP (PA)	DG (KG/M**3)	DL (KG/M**3)
A	1	1	3.1666E+05	2.9999E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	3.7617E-17	4.2414E+03	0.0000E+00	0.9585E+02
B	1	2	7.2854E+05	2.9999E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	1.2022E-23	4.2414E+03	0.0000E+00	0.9603E+02
C	1	3	1.0702E+06	2.9999E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	4.2371E-21	4.2414E+03	0.0000E+00	0.9618E+02
D	1	4	1.3631E+06	2.9999E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	2.7203E-24	4.2414E+03	0.0000E+00	0.9631E+02
E	1	5	1.6072E+06	2.9999E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	1.6955E-30	4.2414E+03	0.0000E+00	0.9642E+02
F	1	6	1.7781E+06	2.9999E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	9.5681E-28	4.2414E+03	0.0000E+00	0.9650E+02
G	1	7	1.9002E+06	2.9999E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	4.3979E-25	4.2414E+03	0.0000E+00	0.9655E+02
H	1	8	1.9734E+06	2.9999E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	8.3273E-23	4.2414E+03	0.0000E+00	0.9658E+02
I	1	9	2.0027E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	4.2414E+03	0.0000E+00	0.9660E+02
J	1	10	2.0129E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	3.3110E-42	4.2414E+03	0.0000E+00	0.9660E+02
K	1	11	2.0349E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	2.8101E-07	4.2414E+03	0.0000E+00	0.9661E+02
L	1	12	2.0681E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	2.8100E-07	4.2414E+03	0.0000E+00	0.9662E+02
M	1	13	2.0910E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	1.3325E-21	4.2414E+03	0.0000E+00	0.9663E+02

N	1	14	2.1004E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	1.2206E-24	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9664E+02
O	1	15	2.1297E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	2.2880E-26	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9665E+02
P	1	16	2.2029E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	8.5846E-28	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9663E+02
Q	1	17	2.3250E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	8.8739E-31	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9674E+02
R	1	18	2.4960E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	7.9390E-34	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9681E+02
S	1	19	2.7402E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	1.5240E-30	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9682E+02
A	2	20	3.1666E+05	2.9999E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	1.1281E-16	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9585E+02
B	2	21	7.2854E+05	2.9999E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	8.8372E-18	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9603E+02
C	2	22	1.0702E+06	2.9999E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	4.4802E-15	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9618E+02
D	2	23	1.3631E+06	2.9999E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	1.3802E-18	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9631E+02
E	2	24	1.6072E+06	2.9999E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	2.0577E-25	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9642E+02
F	2	25	1.7781E+06	2.9999E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	8.3140E-25	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9650E+02
G	2	26	1.9002E+06	2.9999E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	4.2263E-22	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9655E+02
H	2	27	1.9734E+06	2.9999E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	7.6268E-20	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9658E+02
I	2	28	2.0027E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	5.2124E-31	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9660E+02
J	2	29	2.0128E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	1.9437E-35	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9660E+02
K	2	30	2.0348E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9661E+02
L	2	31	2.0690E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9662E+02
M	2	32	2.0910E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	2.6471E-20	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9663E+02
N	2	33	2.1004E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	2.6397E-23	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9664E+02
O	2	34	2.1237E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	1.9014E-23	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9665E+02
P	2	35	2.2029E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	1.0051E-25	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9668E+02
Q	2	36	2.3250E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	1.1806E-28	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9674E+02
R	2	37	2.4960E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	1.7178E-29	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9681E+02
S	2	38	2.7402E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	9.7830E-34	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9692E+02
A	3	39	3.1666E+05	2.9999E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	6.8836E-22	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9585E+02
B	3	40	7.2854E+05	2.9999E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	3.7157E-22	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9603E+02
C	3	41	1.0702E+06	2.9999E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	2.8317E-18	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9618E+02
D	3	42	1.3631E+06	2.9999E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	2.1095E-22	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9631E+02
E	3	43	1.6072E+06	2.9999E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	2.7665E-25	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9642E+02
F	3	44	1.7781E+06	2.9999E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	1.8660E-22	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9650E+02
G	3	45	1.9002E+06	2.9999E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	8.7824E-20	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9655E+02
IELEM.	INDEX	P	T	SG	SL	XAIRG	XAIRL	PSAT	PCAP	DG	DL	(KG/M ³)
		(PA)	(DEG-C)					(PA)	(PA)	(KG/M ³)	(KG/M ³)	
H	3	46	1.9734E+06	2.9999E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	1.5318E-17	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9658E+02
I	3	47	2.0027E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	4.0330E-22	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9660E+02
J	3	48	2.0125E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	2.1565E-20	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9660E+02
K	3	49	2.0345E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9661E+02
L	3	50	2.0686E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9662E+02
M	3	51	2.0906E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	6.1221E-24	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9663E+02
N	3	52	2.1040E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	3.1838E-27	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9664E+02
O	3	53	2.1297E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	3.5085E-21	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9665E+02
P	3	54	2.2029E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	2.9299E-23	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9668E+02
Q	3	55	2.3250E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	2.8898E-26	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9674E+02
R	3	56	2.4960E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	4.4581E-30	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9681E+02
S	3	57	2.7402E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	1.5888E-34	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9682E+02
A	4	58	3.1666E+05	2.9999E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	5.6153E-18	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9585E+02
B	4	59	7.2854E+05	2.9999E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	2.1387E-25	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9603E+02
C	4	60	1.0702E+06	2.9999E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	6.6828E-24	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9618E+02
D	4	61	1.3631E+06	2.9999E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	1.2064E-26	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9631E+02
E	4	62	1.6072E+06	2.9999E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	3.9339E-28	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9642E+02
F	4	63	1.7781E+06	2.9999E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	2.9678E-25	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9650E+02
G	4	64	1.9002E+06	2.9999E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	1.2558E-22	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9655E+02
H	4	65	1.9734E+06	2.9999E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	1.2872E-20	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9658E+02
I	4	66	2.0027E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	4.5590E-23	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9660E+02
J	4	67	2.0125E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	2.0870E-24	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9660E+02
K	4	68	2.0345E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	6.9257E-23	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9661E+02
L	4	69	2.0686E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	1.2482E-20	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9662E+02
M	4	70	2.0906E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	2.4744E-18	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9663E+02
N	4	71	2.1004E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	1.3372E-16	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9664E+02
O	4	72	2.1297E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	6.7215E-18	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9665E+02
P	4	73	2.2029E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	2.3543E-20	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9668E+02
Q	4	74	2.3250E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	1.7162E-23	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9674E+02
R	4	75	2.4960E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	9.5198E-27	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0	

M	6	108	2.0806E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	1.6099E-21	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9663E+02	
N	6	109	2.1004E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	1.1100E-22	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9664E+02	
O	6	110	2.1287E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	4.7588E-24	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9665E+02	
P	6	111	2.2029E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	8.9280E-27	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9666E+02	
Q	6	112	2.3250E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	7.2274E-30	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9674E+02	
R	6	113	2.4960E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	4.2702E-33	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9681E+02	
S	6	114	2.7402E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	1.3075E-36	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9692E+02	
A	7	115	3.1066E+05	2.9999E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	2.8869E-34	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9585E+02	
B	7	116	7.2354E+05	2.9999E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	3.4259E-31	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9603E+02	
C	7	117	1.0702E+06	2.9999E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	4.1583E-31	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9618E+02	
D	7	118	1.3631E+06	2.9999E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	2.6633E-34	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9631E+02	
E	7	119	1.6072E+06	2.9999E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	1.2034E-34	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9642E+02	
F	7	120	1.7781E+06	2.9999E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	9.5494E-32	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9650E+02	
G	7	121	1.9002E+06	2.9999E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	6.0252E-29	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9655E+02	
H	7	122	1.9734E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	2.6570E-26	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9658E+02	
I	7	123	2.0027E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	6.0964E-24	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9660E+02	
J	7	124	2.0125E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	2.6896E-22	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9660E+02	
K	7	125	2.0345E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	9.6872E-21	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9661E+02	
L	7	126	2.0686E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	3.9560E-23	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9662E+02	
M	7	127	2.0906E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	5.7395E-25	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9663E+02	
N	7	128	2.1004E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	2.4012E-26	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9664E+02	
O	7	129	2.1297E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	8.6702E-28	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9665E+02	
P	7	130	2.2029E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	1.6523E-30	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9668E+02	
Q	7	131	2.3250E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	1.2849E-33	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9674E+02	
R	7	132	2.4960E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	4.1623E-37	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9681E+02	
S	7	133	2.7402E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	9.0337E-41	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9682E+02	
A	8	134	3.1066E+05	2.9999E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	7.9148E-29	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9585E+02	
B	8	135	7.2854E+05	2.9999E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	4.9013E-35	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9603E+02	
C	8	136	1.0702E+06	2.9999E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	9.3853E-36	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9618E+02	
D	8	137	1.3631E+06	2.9999E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	8.2715E-35	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9631E+02	
E	8	138	1.6072E+06	2.9999E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	3.6375E-38	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9642E+02	
F	8	139	1.7781E+06	2.9999E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	2.8834E-35	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9650E+02	
G	8	140	1.9002E+06	2.9999E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	1.8370E-32	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9655E+02	
H	8	141	1.9734E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	8.2324E-30	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9658E+02	
I	8	142	2.0027E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	1.9357E-27	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9660E+02	
J	8	143	2.0125E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	9.1674E-26	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9661E+02	
K	8	144	2.0345E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	4.1605E-24	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9662E+02	
L	8	145	2.0686E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	5.9046E-22	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9663E+02	
M	8	146	2.0906E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	1.0771E-19	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9664E+02	
N	8	147	2.1004E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	4.9453E-18	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9664E+02	
O	8	148	2.1297E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	3.2358E-21	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9665E+02	
P	8	149	2.2029E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	5.3516E-24	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9668E+02	
Q	8	150	2.3250E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	5.7333E-27	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9674E+02	
R	8	151	2.4960E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	4.1589E-30	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9681E+02	
S	8	152	2.7402E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	1.4634E-33	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9682E+02	
A	9	153	3.1066E+05	2.9999E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	2.8365E-19	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9685E+02	
B	9	154	7.2854E+05	2.9999E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	4.0908E-26	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9693E+02	
C	9	155	1.0702E+06	2.9999E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	1.1434E-25	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9691E+02	
D	9	156	1.3631E+06	2.9999E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	9.6817E-29	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9631E+02	
E	9	157	1.6072E+06	2.9999E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	1.1835E-35	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9642E+02	
F	9	158	1.7781E+06	2.9999E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	2.8793E-39	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9650E+02	
G	9	159	1.9002E+06	2.9999E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	1.7899E-36	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9655E+02	
HELEM.	INDEX	P	(PA)	T	(DEG-C)	SG	SL	XAIRG	XAIRL	PSAT	PCAP	DG	DL
(PA)	(PA)	(PA)	(PA)	(PA)	(PA)	(PA)	(PA)	(PA)	(PA)	(KG/M**3)	(KG/M**3)		
H	9	160	1.9734E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	7.8705E-34	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9658E+02	
I	9	161	2.0027E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	1.8008E-31	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9660E+02	
J	9	162	2.0125E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	8.2923E-30	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9661E+02	
K	9	163	2.0345E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	3.7087E-28	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9661E+02	
L	9	164	2.0686E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	5.5216E-26	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9662E+02	
M	9	165	2.0906E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	8.7819E-24	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9663E+02	
N	9	166	2.1004E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	3.3561E-22	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9664E+02	
O	9	167	2.1287E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	2.5496E-25	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9665E+02	
P	9	168	2.2029E+06	3.0000E+01	0.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E+00	4.0740E-28	4.2414E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	9.9668E+02	
Q	9	169	2.3250E+06	3.00									

0	ELEM1	ELEM2	INDEX	FLOH (W)	FLOH/FLOF (J/KG)	FLOF (KG/S)	FLO(GAS) (KG/S)	FLO(LIQ.) (KG/S)	KCYC =	1 -	ITER =	2 -	TIME = 1.00000E+05
											VEL(GAS) (M/S)	VEL(LIQ.) (M/S)	
	TB	1	A 1 1	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	-2.7140E-15	0.0000E+00	-2.7140E-15	0.0000E+00	0.0000E+00
	A	1	B 1 2	1.7622E-06	-6.4932E+08	-2.7140E-15	0.0000E+00	-2.7140E-15	0.0000E+00	-2.7140E-15	0.0000E+00	-7.7858E-17	
	B	1	C 1 3	2.9900E-06	-6.7402E+08	-4.4360E-15	0.0000E+00	-4.4360E-15	0.0000E+00	-4.4360E-15	0.0000E+00	-1.2724E-16	
	C	1	D 1 4	3.5396E-06	-6.9908E+08	-5.0632E-15	0.0000E+00	-5.0632E-15	0.0000E+00	-5.0632E-15	0.0000E+00	-1.4521E-16	
	D	1	E 1 5	3.7131E-06	-7.5322E+08	-4.8901E-15	0.0000E+00	-4.8901E-15	0.0000E+00	-4.8901E-15	0.0000E+00	-1.4023E-16	
	E	1	F 1 6	3.6032E-06	-8.9602E+08	-4.0213E-15	0.0000E+00	-4.0213E-15	0.0000E+00	-4.0213E-15	0.0000E+00	-1.1530E-16	
	F	1	G 1 7	3.3827E-06	-1.2961E-08	-2.6098E-15	0.0000E+00	-2.6098E-15	0.0000E+00	-2.6098E-15	0.0000E+00	-7.4827E-17	
	G	1	H 1 8	3.1073E-06	-2.9192E+08	-1.0644E-15	0.0000E+00	-1.0644E-15	0.0000E+00	-1.0644E-15	0.0000E+00	-3.0518E-17	
	H	1	I 1 9	3.4797E-06	1.0015E+08	3.4745E-14	0.0000E+00	3.4745E-14	0.0000E+00	3.4745E-14	0.0000E+00	3.0185E-17	
	I	1	J 1 10	2.4838E-05	3.0229E+06	8.2164E-12	0.0000E+00	8.2164E-12	0.0000E+00	8.2164E-12	0.0000E+00	8.4127E-15	
	J	1	K 1 11	2.2743E-04	1.2330E+05	1.8445E-09	0.0000E+00	1.8445E-09	0.0000E+00	1.8445E-09	0.0000E+00	1.7626E-12	
	K	1	L 1 12	2.7760E-06	1.3358E+07	2.0782E-13	0.0000E+00	2.0782E-13	0.0000E+00	2.0782E-13	0.0000E+00	1.9859E-16	
	L	1	M 1 13	-2.2195E-04	1.2035E+05	1.8442E-09	0.0000E+00	-1.8442E-09	0.0000E+00	-1.8442E-09	0.0000E+00	-1.7623E-12	
	M	1	N 1 14	-1.9361E-05	2.3562E+06	-8.2173E-12	0.0000E+00	-8.2173E-12	0.0000E+00	-8.2173E-12	0.0000E+00	-8.4133E-15	
	N	1	O 1 15	1.9855E-06	-5.7273E+07	-3.4667E-14	0.0000E+00	-3.4667E-14	0.0000E+00	-3.4667E-14	0.0000E+00	-3.0116E-17	
	O	1	P 1 16	2.5834E-06	-2.1911E+08	-1.1790E-14	0.0000E+00	-1.1790E-14	0.0000E+00	-1.1790E-14	0.0000E+00	-6.7598E-17	
	P	1	Q 1 17	2.4067E-06	-2.8825E+08	-8.3492E-15	0.0000E+00	-8.3492E-15	0.0000E+00	-8.3492E-15	0.0000E+00	-2.3934E-16	
	Q	1	R 1 18	1.8543E-06	-3.7651E+08	-5.1906E-15	0.0000E+00	-5.1906E-15	0.0000E+00	-5.1906E-15	0.0000E+00	-1.4878E-16	
	R	1	S 1 19	1.2253E-06	-4.4238E+08	-2.7687E-15	0.0000E+00	-2.7687E-15	0.0000E+00	-2.7687E-15	0.0000E+00	-7.8384E-17	
	TB	2	A 2 20	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
	A	2	B 2 21	5.0350E-07	-6.4942E+08	-7.7531E-16	0.0000E+00	-7.7531E-16	0.0000E+00	-7.7531E-16	0.0000E+00	-7.7847E-17	
	B	2	C 2 22	8.5428E-07	-6.7409E+08	-1.2673E-15	0.0000E+00	-1.2673E-15	0.0000E+00	-1.2673E-15	0.0000E+00	-1.2723E-16	
	C	2	D 2 23	1.0113E-06	-6.9910E+08	-1.4466E-15	0.0000E+00	-1.4466E-15	0.0000E+00	-1.4466E-15	0.0000E+00	-1.4521E-16	
	D	2	E 2 24	1.0608E-06	-7.5900E+08	-3.9785E-15	0.0000E+00	-3.9785E-15	0.0000E+00	-3.9785E-15	0.0000E+00	-1.4029E-16	
	E	2	F 2 25	1.0287E-06	-8.9433E+08	-1.1514E-15	0.0000E+00	-1.1514E-15	0.0000E+00	-1.1514E-15	0.0000E+00	-1.1555E-16	
	F	2	G 2 26	9.6794E-07	-1.2917E+09	-7.4934E-16	0.0000E+00	-7.4934E-16	0.0000E+00	-7.4934E-16	0.0000E+00	-7.5196E-17	
	G	2	H 2 27	8.8212E-07	-3.0115E+08	-2.9624E-16	0.0000E+00	-2.9624E-16	0.0000E+00	-2.9624E-16	0.0000E+00	-2.9726E-17	
	H	2	I 2 28	9.5038E-07	-1.0721E+08	8.8647E-15	0.0000E+00	8.8647E-15	0.0000E+00	8.8647E-15	0.0000E+00	2.6895E-17	
	I	2	J 2 29	6.4658E-06	3.0615E+06	2.1120E-12	0.0000E+00	2.1120E-12	0.0000E+00	2.1120E-12	0.0000E+00	7.5685E-15	
	J	2	K 2 30	2.8084E-05	1.3333E+05	2.1071E-10	0.0000E+00	2.1071E-10	0.0000E+00	2.1071E-10	0.0000E+00	7.5512E-13	
	K	2	L 2 31	7.8759E-07	5.0983E+07	1.5448E-14	0.0000E+00	1.5448E-14	0.0000E+00	1.5448E-14	0.0000E+00	5.3558E-17	
	L	2	M 2 32	-2.6507E-05	1.2581E+05	-2.1069E-10	0.0000E+00	-2.1069E-10	0.0000E+00	-2.1069E-10	0.0000E+00	-7.5488E-13	
	M	2	N 2 33	-4.9183E-06	2.3285E+06	-2.1122E-12	0.0000E+00	-2.1122E-12	0.0000E+00	-2.1122E-12	0.0000E+00	-7.5682E-15	
	N	2	O 2 34	5.6857E-07	-6.4325E+07	-8.8390E-15	0.0000E+00	-8.8390E-15	0.0000E+00	-8.8390E-15	0.0000E+00	-2.6875E-17	
	O	2	P 2 35	7.4289E-07	-2.1438E+08	-3.4657E-15	0.0000E+00	-3.4657E-15	0.0000E+00	-3.4657E-15	0.0000E+00	-6.9545E-17	
	P	2	Q 2 36	6.8916E-08	-2.9131E+08	-2.3658E-15	0.0000E+00	-2.3658E-15	0.0000E+00	-2.3658E-15	0.0000E+00	-2.3736E-16	
	Q	2	R 2 37	5.5864E-07	-3.7933E+08	-1.4727E-15	0.0000E+00	-1.4727E-15	0.0000E+00	-1.4727E-15	0.0000E+00	-1.4775E-16	
	R	2	S 2 38	3.5012E-07	-4.4387E+08	-7.8880E-16	0.0000E+00	-7.8880E-16	0.0000E+00	-7.8880E-16	0.0000E+00	-7.9128E-17	
	TB	3	A 3 39	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	-7.1082E-15	0.0000E+00	-7.1082E-15	0.0000E+00	0.0000E+00
	A	3	B 3 40	1.0070E-06	-8.4950E+08	-1.5504E-15	0.0000E+00	-1.5504E-15	0.0000E+00	-1.5504E-15	0.0000E+00	-7.7837E-17	
	B	3	C 3 41	1.7086E-06	-6.7416E+08	-2.5344E-15	0.0000E+00	-2.5344E-15	0.0000E+00	-2.5344E-15	0.0000E+00	-1.2722E-16	
	C	3	D 3 42	2.0227E-06	-2.8825E+08	-2.8932E-15	0.0000E+00	-2.8932E-15	0.0000E+00	-2.8932E-15	0.0000E+00	-1.4521E-16	
	D	3	E 3 43	2.1220E-06	-7.5873E+08	-2.7968E-15	0.0000E+00	-2.7968E-15	0.0000E+00	-2.7968E-15	0.0000E+00	-1.4035E-16	
	E	3	F 3 44	2.0598E-06	-8.9287E+08	-2.3070E-15	0.0000E+00	-2.3070E-15	0.0000E+00	-2.3070E-15	0.0000E+00	-1.1576E-16	
	F	3	G 3 45	1.9383E-06	-1.2876E+09	-1.5054E-15	0.0000E+00	-1.5054E-15	0.0000E+00	-1.5054E-15	0.0000E+00	-7.5531E-17	
	G	3	H 3 46	1.7932E-06	-3.1148E+08	-5.7571E-16	0.0000E+00	-5.7571E-16	0.0000E+00	-5.7571E-16	0.0000E+00	-2.8885E-17	
	H	3	I 3 47	1.5443E-06	-1.8407E+08	-8.3897E-16	0.0000E+00	-8.3897E-16	0.0000E+00	-8.3897E-16	0.0000E+00	-8.4184E-18	
	I	3	J 3 48	1.5482E-06	-7.8527E+08	1.9728E-15	0.0000E+00	1.9728E-15	0.0000E+00	1.9728E-15	0.0000E+00	2.9983E-18	
	J	3	K 3 49	1.2697E-06	-1.4001E+11	-9.0689E-18	0.0000E+00	-9.0689E-18	0.0000E+00	-9.0689E-18	0.0000E+00	-1.3788E-20	
	K	3	L 3 50	1.1565E-06	-1.1750E+11	-9.8420E-18	0.0000E+00	-9.8420E-18	0.0000E+00	-9.8420E-18	0.0000E+00	-1.4963E-20	
	L	3	M 3 51	1.1584E-06	-4.8149E+11	-2.4059E-18	0.0000E+00	-2.4059E-18	0.0000E+00	-2.4059E-18	0.0000E+00	-3.6576E-21	
	M	3	N 3 52	1.0868E-06	-5.5448E+08	-1.9601E-15	0.0000E+00	-1.9601E-15	0.0000E+00	-1.9601E-15	0.0000E+00	-2.8788E-18	
	N	3	O 3 53	1.3725E-06	-1.4700E+08	9.3368E-16	0.0000E+00	9.3368E-16	0.0000E+00	9.3368E-16	0.0000E+00	8.3683E-18	
1	ELEM1	ELEM2	INDEX	FLOH (W)	FLOH/FLOF (J/KG)	FLOF (KG/S)	FLO(GAS) (KG/S)	FLO(LIQ.) (KG/S)	VEL(GAS) (M/S)	VEL(LIQ.) (M/S)			
	O	3	P 3 54	1.4972E-06	-2.1062E+08	-7.1082E-15	0.0000E+00	-7.1082E-15	0.0000E+00	-7.1082E-15	0.0000E+00	-7.1320E-17	
	P	3	Q 3 55	1.3809E-06	-2.9414E+08	-4.6947E-15	0.0000E+00	-4.6947E-15	0.0000E+00	-4.6947E-15	0.0000E+00	-2.3551E-16	
	Q	3	R 3 56	1.1177E-06	-3.8177E+08	-2.8277E-15	0.0000E+00	-2.8277E-15	0.0000E+00	-2.8277E-15	0.0000E+00	-1.4686E-16	
	R	3	S 3 57	7.0032E-07	-4.4514E+08	-1.5733E-15	0.0000E+00	-1.5733E-15	0.0000E+00	-1.5733E-15	0.0000E+00	-7.8910E-17	
	TB	4	A 4 58	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
	A	4	B 4 59	2.5176E-06	-6.4979E+08	-3.8745E-15	0.0000E+00	-3.8745E-15	0.0000E+00	-3.8745E-15	0.0000E+00	-7.7806E-17	
	B	4	C 4 60	4.2717E-06	-6.7437E+08	-6.3342E-15	0.0000E+00	-6.3342E-15	0.0000E+00	-6.3342E-15	0.0000E+00	-1.2718E-16	
	C	4	D 4 61	5.0571E-06	-6.9916E+08	-7.2331E-15	0.0000E+00	-7.2331E-15	0.0000E+00	-7.2331E-15	0.0000E+00</td		

Q	5	R	5	94	5.6148E-06	-4.2379E+08	-1.3248E-14	0.0000E+00	-1.3248E-14	0.0000E+00	-1.3282E-16	
R	5	S	5	95	3.5068E-06	-4.6525E+08	-7.5373E-15	0.0000E+00	-7.5373E-15	0.0000E+00	-7.5610E-17	
TB	6	A	6	96	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	
A	6	B	6	97	7.5592E-06	-6.5389E+08	-1.1560E-14	0.0000E+00	-1.1560E-14	0.0000E+00	-7.7383E-17	
B	6	C	6	98	1.2825E-05	-6.7776E+08	-1.8922E-14	0.0000E+00	-1.8922E-14	0.0000E+00	-1.2664E-16	
C	6	D	6	99	1.5184E-05	-7.0005E+08	-2.1690E-14	0.0000E+00	-2.1690E-14	0.0000E+00	-1.4515E-16	
D	6	E	6	100	1.5942E-05	-7.4536E+08	-2.1388E-14	0.0000E+00	-2.1388E-14	0.0000E+00	-1.4311E-16	
E	6	F	6	101	1.5521E-05	-8.1680E+08	-1.9002E-14	0.0000E+00	-1.9002E-14	0.0000E+00	-1.2713E-16	
F	6	G	6	102	1.4753E-05	-9.0975E+08	-1.6217E-14	0.0000E+00	-1.6217E-14	0.0000E+00	-1.0849E-16	
G	6	H	6	103	1.4056E-05	-8.5063E+08	-1.4786E-14	0.0000E+00	-1.4786E-14	0.0000E+00	-9.8912E-17	
H	6	I	6	104	1.3645E-05	-9.1341E+08	-1.4938E-14	0.0000E+00	-1.4938E-14	0.0000E+00	-9.9928E-17	
I	6	J	6	105	1.3555E-05	-8.0087E+08	-1.5047E-14	0.0000E+00	-1.5047E-14	0.0000E+00	-1.0065E-16	
J	6	K	6	106	1.3463E-05	-8.8684E+08	-1.5181E-14	0.0000E+00	-1.5181E-14	0.0000E+00	-1.0155E-16	
K	6	L	6	107	1.3122E-05	-8.2753E+08	-1.5857E-14	0.0000E+00	-1.5857E-14	0.0000E+00	-1.0607E-16	
L	6	M	6	108	1.2748E-05	-7.5750E+08	-1.6829E-14	0.0000E+00	-1.6829E-14	0.0000E+00	-1.1257E-16	
M	6	N	6	109	1.2635E-05	-7.3693E+08	-1.7146E-14	0.0000E+00	-1.7146E-14	0.0000E+00	-1.1469E-16	
N	6	O	6	110	1.2521E-05	-7.1642E+08	-1.7477E-14	0.0000E+00	-1.7477E-14	0.0000E+00	-1.1690E-16	
1	ELEM1	ELEM2	INDEX		FLOH (W)	FLOH/FLOF (J/KG)	FLOF (KG/S)	FLO(GAS) (KG/S)	FLO(LIQ.) (KG/S)	VEL(GAS) (M/S)	VEL(LIQ.) (M/S)	
O	6	P	6	111	1.1916E-05	-6.1866E+08	-1.8261E-14	0.0000E+00	-1.8261E-14	0.0000E+00	-1.2883E-16	
P	6	Q	6	112	1.0607E-05	-5.2646E+08	-2.0148E-14	0.0000E+00	-2.0148E-14	0.0000E+00	-1.3477E-16	
Q	6	R	6	113	8.4616E-06	-5.0077E+08	-1.6887E-14	0.0000E+00	-1.6887E-14	0.0000E+00	-1.1301E-16	
R	6	S	6	114	5.2726E-06	-5.0808E+08	-1.0378E-14	0.0000E+00	-1.0378E-14	0.0000E+00	-6.9401E-17	
TB	7	A	7	115	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	
A	7	B	7	116	1.0901E-05	-6.6096E+08	-1.5268E-14	0.0000E+00	-1.5268E-14	0.0000E+00	-7.6651E-17	
B	7	C	7	117	1.7121E-05	-6.8364E+08	-2.5044E-14	0.0000E+00	-2.5044E-14	0.0000E+00	-1.2571E-16	
C	7	D	7	118	2.0271E-05	-7.0248E+08	-2.8856E-14	0.0000E+00	-2.8856E-14	0.0000E+00	-1.4482E-16	
D	7	E	7	119	2.1293E-05	-7.3320E+08	-2.9041E-14	0.0000E+00	-2.9041E-14	0.0000E+00	-1.4574E-16	
E	7	F	7	120	2.0730E-05	-7.6483E+08	-2.7105E-14	0.0000E+00	-2.7105E-14	0.0000E+00	-1.3600E-16	
F	7	G	7	121	1.8680E-05	-7.8407E+08	-2.5100E-14	0.0000E+00	-2.5100E-14	0.0000E+00	-1.2594E-16	
G	7	H	7	122	1.8690E-05	-7.7223E+08	-2.4045E-14	0.0000E+00	-2.4045E-14	0.0000E+00	-1.2064E-16	
H	7	I	7	123	1.8106E-05	-7.6306E+08	-2.3728E-14	0.0000E+00	-2.3728E-14	0.0000E+00	-1.1905E-16	
I	7	J	7	124	1.7082E-05	-7.5383E+08	-2.3681E-14	0.0000E+00	-2.3681E-14	0.0000E+00	-1.1881E-16	
J	7	K	7	125	1.7856E-05	-7.5540E+08	-2.3638E-14	0.0000E+00	-2.3638E-14	0.0000E+00	-1.1859E-16	
K	7	L	7	126	1.7396E-05	-7.3950E+08	-2.3524E-14	0.0000E+00	-2.3524E-14	0.0000E+00	-1.1802E-16	
L	7	M	7	127	1.6907E-05	-7.2123E+08	-2.3442E-14	0.0000E+00	-2.3442E-14	0.0000E+00	-1.1760E-16	
M	7	N	7	128	1.6762E-05	-7.1580E+08	-2.3417E-14	0.0000E+00	-2.3417E-14	0.0000E+00	-1.1748E-16	
N	7	O	7	129	1.6615E-05	-7.1026E+08	-2.3393E-14	0.0000E+00	-2.3393E-14	0.0000E+00	-1.1736E-16	
O	7	P	7	130	1.5847E-05	-6.8200E+08	-2.3236E-14	0.0000E+00	-2.3236E-14	0.0000E+00	-1.1657E-16	
P	7	Q	7	131	1.4160E-05	-6.3351E+08	-2.2352E-14	0.0000E+00	-2.2352E-14	0.0000E+00	-1.1213E-16	
Q	7	R	7	132	1.1313E-05	-5.8915E+08	-1.9009E-14	0.0000E+00	-1.9009E-14	0.0000E+00	-9.5353E-17	
R	7	S	7	133	7.0471E-06	-5.7822E+08	-1.2188E-14	0.0000E+00	-1.2188E-14	0.0000E+00	-6.1129E-17	
TB	8	A	8	134	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	
A	8	B	8	135	1.5176E-05	-6.7418E+08	-2.2510E-14	0.0000E+00	-2.2510E-14	0.0000E+00	-7.5341E-17	
B	8	C	8	136	2.5741E-05	-6.9570E+08	-3.7000E-14	0.0000E+00	-3.7000E-14	0.0000E+00	-1.2382E-16	
C	8	D	8	137	3.0481E-05	-7.1056E+08	-4.2885E-14	0.0000E+00	-4.2885E-14	0.0000E+00	-1.4352E-16	
D	8	E	8	138	3.2006E-05	-7.2809E+08	-4.3959E-14	0.0000E+00	-4.3959E-14	0.0000E+00	-1.4706E-16	
E	8	F	8	139	3.1146E-05	-7.3923E+08	-4.2133E-14	0.0000E+00	-4.2133E-14	0.0000E+00	-1.4084E-16	
F	8	G	8	140	2.9534E-05	-7.4246E+08	-3.9779E-14	0.0000E+00	-3.9779E-14	0.0000E+00	-1.3306E-16	
G	8	H	8	141	2.8016E-05	-7.3904E+08	-3.7909E-14	0.0000E+00	-3.7809E-14	0.0000E+00	-1.2680E-16	
H	8	I	8	142	2.7130E-05	-7.3533E+08	-3.6894E-14	0.0000E+00	-3.6894E-14	0.0000E+00	-1.2340E-16	
I	8	J	8	143	2.6942E-05	-7.3443E+08	-3.6685E-14	0.0000E+00	-3.6685E-14	0.0000E+00	-1.2270E-16	
J	8	K	8	144	2.6751E-05	-7.3348E+08	-3.6472E-14	0.0000E+00	-3.6472E-14	0.0000E+00	-1.2199E-16	
K	8	L	8	145	2.6058E-05	-7.2976E+08	-3.5708E-14	0.0000E+00	-3.5708E-14	0.0000E+00	-1.1943E-16	
L	8	M	8	146	2.5326E-05	-7.2554E+08	-3.4906E-14	0.0000E+00	-3.4906E-14	0.0000E+00	-1.1675E-16	
M	8	N	8	147	2.5109E-05	-7.2424E+08	-3.4670E-14	0.0000E+00	-3.4670E-14	0.0000E+00	-1.1596E-16	
N	8	O	8	148	2.4890E-05	-7.2284E+08	-3.4428E-14	0.0000E+00	-3.4428E-14	0.0000E+00	-1.1515E-16	
O	8	P	8	149	2.3746E-05	-7.1597E+08	-3.3167E-14	0.0000E+00	-3.3167E-14	0.0000E+00	-1.1093E-16	
P	8	Q	8	150	2.1239E-05	-7.0123E+08	-3.0288E-14	0.0000E+00	-3.0288E-14	0.0000E+00	-1.0129E-16	
Q	8	R	8	151	1.6888E-05	-6.8246E+08	-2.4892E-14	0.0000E+00	-2.4892E-14	0.0000E+00	-8.3241E-17	
R	8	S	8	152	1.0587E-05	-6.6709E+08	-1.5870E-14	0.0000E+00	-1.5870E-14	0.0000E+00	-5.3067E-17	
TB	9	A	9	153	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	
A	9	B	9	154	2.0286E-05	-6.9151E+08	-2.9336E-14	0.0000E+00	-2.9336E-14	0.0000E+00	-7.3638E-17	
B	9	C	9	155	3.4435E-05	-7.1452E+08	-4.8184E-14	0.0000E+00	-4.8184E-14	0.0000E+00	-1.2095E-16	
C	9	D	9	156	4.0776E-05	-7.2738E+08	-5.6058E-14	0.0000E+00	-5.6058E-14	0.0000E+00	-1.4067E-16	
D	9	E	9	157	4.2798E-05	-7.3933E+08	-5.7888E-14	0.0000E+00	-5.7888E-14	0.0000E+00	-1.4525E-16	
E	9	F	9	158	4.1622E-05	-7.4661E+08	-5.5748E-14	0.0000E+00	-5.5748E-14	0.0000E+00	-1.3986E-16	
F	9	G	9	159	3.9442E-05	-7.5089E+08	-5.2526E-14	0.0000E+00	-5.2526E-14	0.0000E+00	-1.3177E-16	
G	9	H	9	160	3.7398E-05	-7.5290E+08	-4.9671E-14	0.0000E+00	-4.9671E-14	0.0000E+00	-1.2461E-16	
H	9	I	9	161	3.6207E-05	-7.5362E+08	-4.8044E-14	0.0000E+00	-4.8044E-14	0.0000E+00	-1.2052E-16	
I	9	J	9	162	3.5055E-05	-7.5375E+08	-4.7702E-14	0.0000E+00	-4.7702E-14	0.0000E+00	-1.1966E-16	
J	9	K	9	163	3.5700E-05	-7.5386E+08	-4.7356E-14	0.0000E+00	-4.7356E-14	0.0000E+00	-1.1879E-16	
K	9	L	9	164	3.4771E-05	-7.5421E+08	-4.6103E-14	0.0000E+00	-4.6103E-14	0.0000E+00	-1.1565E-16	
L	9	M	9	165	3.3790E-05	-7.5450E+08	-4.4785E-14	0.0000E+00	-4.4785E-14	0.0000E+00	-1.1234E-16	
M	9	N	9	166	3.3501E-05	-7.5455E+08	-4.4389E-14	0.0000E+00	-4.4389E-14	0.0000E+00	-1.1137E-16	
N	9	O	9	167	3.3208E-05	-7.5462E+08	-4.4006E-14	0.0000E+00	-4.4006E-14	0.0000E+00	-1.1038E-16	
1	ELEM1	ELEM2	INDEX		FLOH (W)							

	P	10	Q	10	188	3.5429E-05	-7.7431E+08	-4.5755E-14	0.0000E+00	-4.5755E-14	0.0000E+00	-9.1813E-17
	Q	10	R	10	189	2.8338E-05	-7.8167E+08	-3.6253E-14	0.0000E+00	-3.6253E-14	0.0000E+00	-7.2740E-17
	R	10	S	10	190	1.7661E-05	-7.9225E+08	-2.2292E-14	0.0000E+00	-2.2292E-14	0.0000E+00	-4.4724E-17
1	A	1	A	2	181	2.3528E-08	2.4904E+08	8.4475E-17	0.0000E+00	8.4475E-17	0.0000E+00	2.1318E-19
A	2	A	3	192	2.0437E-08	2.4027E+08	1.2252E-16	0.0000E+00	1.2252E-16	0.0000E+00	2.7647E-19	
A	3	A	4	193	4.1204E-08	2.3059E+08	1.7869E-16	0.0000E+00	1.7869E-16	0.0000E+00	4.0323E-19	
A	4	A	5	194	6.4325E-08	1.9645E+08	3.2744E-16	0.0000E+00	3.2744E-16	0.0000E+00	7.3888E-19	
A	5	A	6	195	1.2062E-07	1.9930E+08	6.0520E-16	0.0000E+00	6.0520E-16	0.0000E+00	1.3657E-18	
A	6	A	7	196	2.0285E-07	2.0265E+08	1.0015E-15	0.0000E+00	1.0015E-15	0.0000E+00	2.2599E-18	
A	7	A	8	197	2.7674E-07	1.8255E+08	1.5160E-15	0.0000E+00	1.5160E-15	0.0000E+00	3.4209E-18	
A	8	A	9	198	3.6395E-07	1.6526E+08	2.2023E-15	0.0000E+00	2.2023E-15	0.0000E+00	4.8696E-18	
A	9	A	10	199	2.5317E-07	6.8082E+07	3.6644E-15	0.0000E+00	3.6644E-15	0.0000E+00	8.2697E-18	
B	1	B	2	200	2.5160E-08	5.6246E+08	4.4732E-17	0.0000E+00	4.4732E-17	0.0000E+00	1.1228E-19	
B	2	B	3	201	3.2282E-08	5.6203E+08	5.7402E-17	0.0000E+00	5.7402E-17	0.0000E+00	1.4408E-19	
B	3	B	4	202	4.6606E-08	5.6077E+08	8.3112E-17	0.0000E+00	8.3112E-17	0.0000E+00	2.0861E-19	
B	4	B	5	203	8.1943E-08	5.5803E+08	1.4684E-16	0.0000E+00	1.4684E-16	0.0000E+00	3.6857E-19	
B	5	B	6	204	1.5041E-07	5.5243E+08	2.7227E-16	0.0000E+00	2.7227E-16	0.0000E+00	6.8340E-19	
B	6	B	7	205	2.4313E-07	5.4084E+08	4.4970E-16	0.0000E+00	4.4970E-16	0.0000E+00	1.1287E-18	
B	7	B	8	206	3.3507E-07	5.1065E+08	6.5792E-16	0.0000E+00	6.5792E-16	0.0000E+00	1.6514E-18	
B	8	B	9	207	3.8842E-07	4.5314E+08	8.5718E-16	0.0000E+00	8.5718E-16	0.0000E+00	2.1515E-18	
B	9	B	10	208	2.5635E-07	2.8428E+08	9.0173E-16	0.0000E+00	9.0173E-16	0.0000E+00	2.2633E-18	
C	1	C	2	208	2.5631E-08	-2.4472E+09	-1.0474E-17	0.0000E+00	-1.0474E-17	0.0000E+00	-3.5046E-20	
C	2	C	3	210	3.2887E-08	-2.4574E+09	-1.3383E-17	0.0000E+00	-1.3383E-17	0.0000E+00	-4.4781E-20	
C	3	C	4	211	4.7447E-08	-2.4710E+09	-1.9202E-17	0.0000E+00	-1.9202E-17	0.0000E+00	-6.4251E-20	
C	4	C	5	212	8.3390E-08	-2.5595E+09	-3.2585E-17	0.0000E+00	-3.2585E-17	0.0000E+00	-1.0903E-19	
C	5	C	6	213	1.5430E-07	-2.7081E+09	-5.6977E-17	0.0000E+00	-5.6977E-17	0.0000E+00	-1.8065E-19	
C	6	C	7	214	2.4520E-07	-3.6682E+09	-6.6882E-17	0.0000E+00	-6.6882E-17	0.0000E+00	-2.2379E-19	
C	7	C	8	215	3.3595E-07	-8.3822E+09	-4.0079E-17	0.0000E+00	-4.0079E-17	0.0000E+00	-1.3411E-19	
C	8	C	9	216	3.7626E-07	-6.5887E+10	-5.7107E-18	0.0000E+00	-5.7107E-18	0.0000E+00	-1.8109E-20	
C	9	C	10	217	2.4502E-07	-1.1855E+09	-2.0668E-16	0.0000E+00	-2.0668E-16	0.0000E+00	-6.9158E-19	
D	1	D	2	218	3.4398E-08	-2.7188E+08	-1.2648E-16	0.0000E+00	-1.2648E-16	0.0000E+00	-4.2315E-19	
D	2	D	3	219	4.4226E-08	-2.7238E+08	-1.6236E-16	0.0000E+00	-1.6236E-16	0.0000E+00	-5.4322E-19	
D	3	D	4	220	6.3648E-08	-2.7284E+08	-2.3320E-16	0.0000E+00	-2.3320E-16	0.0000E+00	-7.8020E-19	
D	4	D	5	221	1.1081E-07	-2.7462E+08	-4.0387E-16	0.0000E+00	-4.0387E-16	0.0000E+00	-1.3512E-18	
D	5	D	6	222	2.0076E-07	-2.8517E+08	-7.0400E-16	0.0000E+00	-7.0400E-16	0.0000E+00	-2.3553E-18	
D	6	D	7	223	3.0885E-07	-3.1781E+08	-9.7179E-16	0.0000E+00	-9.7179E-16	0.0000E+00	-3.2513E-18	
D	7	D	8	224	4.2543E-07	-4.0703E+08	-1.0452E-15	0.0000E+00	-1.0452E-15	0.0000E+00	-3.4969E-18	
1	ELEM1	ELEM2	INDEX	FLOH	FLOH/FLOF	FLOF	FLO(GAS)	FLO(LIQ.)	VEL(GAS)	VEL(LIQ.)	VEL(LIQ.)	VEL(M/S)
				(W)	(J/KG)	(KG/S)	(KG/S)	(KG/S)	(M/S)	(M/S)	(M/S)	(M/S)
D	8	D	9	225	4.6273E-07	-5.1515E+08	-8.9824E-16	0.0000E+00	-8.9824E-16	0.0000E+00	-3.0052E-18	
D	9	D	10	226	2.9853E-07	-2.8278E+08	-1.0593E-15	0.0000E+00	-1.0593E-15	0.0000E+00	-3.5439E-18	
E	1	E	2	227	3.4398E-08	-1.0716E+08	-3.2102E-16	0.0000E+00	-3.2102E-16	0.0000E+00	-1.6108E-18	
E	2	E	3	228	4.4060E-08	-1.0692E+08	-4.1207E-16	0.0000E+00	-4.1207E-16	0.0000E+00	-2.0677E-18	
E	3	E	4	229	6.2897E-08	-1.0648E+08	-5.9100E-16	0.0000E+00	-5.9100E-16	0.0000E+00	-2.8656E-18	
E	4	E	5	230	1.0732E-07	-1.0513E+08	-1.0208E-15	0.0000E+00	-1.0208E-15	0.0000E+00	-5.1222E-18	
E	5	E	6	231	1.8029E-07	-1.0438E+08	-1.7272E-15	0.0000E+00	-1.7272E-15	0.0000E+00	-8.6668E-18	
E	6	E	7	232	2.5872E-07	-1.2058E+08	-2.1455E-15	0.0000E+00	-2.1455E-15	0.0000E+00	-1.0766E-17	
E	7	E	8	233	3.2777E-07	-1.6827E+08	-1.9479E-15	0.0000E+00	-1.9479E-15	0.0000E+00	-9.7746E-18	
E	8	E	9	234	3.5238E-07	-2.5061E+08	-1.4061E-15	0.0000E+00	-1.4061E-15	0.0000E+00	-7.0558E-18	
E	9	E	10	235	2.2762E-07	-1.7382E+08	-1.3086E-15	0.0000E+00	-1.3086E-15	0.0000E+00	-6.5714E-18	
F	1	F	2	236	5.3800E-08	-8.7363E+07	-6.1582E-16	0.0000E+00	-6.1582E-16	0.0000E+00	-4.1198E-18	
F	2	F	3	237	6.7005E-08	-8.7190E+07	-7.9180E-16	0.0000E+00	-7.9180E-16	0.0000E+00	-5.2979E-18	
F	3	F	4	238	8.4085E-08	-8.2258E+07	-1.1438E-15	0.0000E+00	-1.1438E-15	0.0000E+00	-7.6519E-18	
F	4	F	5	239	1.4209E-07	-7.1019E+07	-2.0134E-15	0.0000E+00	-2.0134E-15	0.0000E+00	-1.3470E-17	
F	5	F	6	240	1.8562E-07	-5.6415E+07	-3.2902E-15	0.0000E+00	-3.2902E-15	0.0000E+00	-2.2012E-17	
F	6	F	7	241	2.2075E-07	-6.4839E+07	-3.4047E-15	0.0000E+00	-3.4047E-15	0.0000E+00	-2.2778E-17	
F	7	F	8	242	2.6333E-07	-1.0314E+08	-2.5532E-15	0.0000E+00	-2.5532E-15	0.0000E+00	-1.7081E-17	
F	8	F	9	243	3.2184E-07	-1.7711E+08	-1.5914E-15	0.0000E+00	-1.5914E-15	0.0000E+00	-1.0647E-17	
F	9	F	10	244	1.8255E-07	-1.3904E+08	-1.3129E-15	0.0000E+00	-1.3129E-15	0.0000E+00	-8.7834E-18	
G	1	G	2	245	1.1653E-07	-1.5793E+08	-7.3784E-16	0.0000E+00	-7.3784E-16	0.0000E+00	-7.4038E-18	
G	2	G	3	246	1.4678E-07	-1.5260E+08	-9.6182E-16	0.0000E+00	-9.6182E-16	0.0000E+00	-9.6515E-18	
G	3	G	4	247	1.9986E-07	-1.3937E+08	-1.4348E-15	0.0000E+00	-1.4348E-15	0.0000E+00	-1.4398E-17	
G	4	G	5	248	2.1208E-07	-6.9268E+07	-3.0617E-15	0.0000E+00	-3.0617E-15	0.0000E+00	-3.0723E-17	
G	5	G	6	249	1.5911E-07	-3.3882E+07	-4.6959E-15	0.0000E+00	-4.6959E-15	0.0000E+00	-4.7122E-17	
G	6	G	7	250	1.5045E-07	-4.0090E+07	-3.7529E-15	0.0000E+00	-3.7529E-15	0.0000E+00	-3.7659E-17	
G	7	G	8	251	1.7781E-07	-7.5897E+07	-2.3427E-15	0.0000E+00	-2.3427E-15	0.0000E+00	-2.3508E-17	
G	8	G	9	252	1.9347E-07	-1.4620E+08	-1.3233E-15	0.0000E+00	-1.3233E-15	0.0000E+00	-1.3278E-17	
G	9	G	10	253	1.2600E-07	-1.2292E+08	-1.0250E-15	0.0000E+00	-1.0250E-15	0.0000E+00	-1.0286E-17	
H	1	H	2	254	1.2540E-07	-1.2540E+07	-3.7210E-14	0.0000E+00	-3.7210E-14	0.0000E+00	-1.4935E-16	
H	2	H	3	255	1.7949E-07	-3.8526E+06	-4.6588E-14	0.0000E+00	-4.6588E-14	0.0000E+00	-1.8698E-16	
H	3	H	4	256	3.9251E-07	-8.7132E+06	-4.5048E-14	0.0000E+00	-4.5048E-14	0.0000E+00	-1.8081E-16	
H	4	H	5	257	1.7779E-07	-3.4971E+07	-5.0839E-15	0.0000E+00	-5.0839E-15	0.0000E+00	-2.0405E-17	
H	5	H	6	258	7.4182E-08	-1.9014E+07	-3.9015E-15	0.0000E+00	-3.9015E-15	0.0000E+00	-7.8297E-17	
H	6	H	7	259	6.9716E-08	-2.8916E+07	-2.4110E-15	0.0000E+00	-2.4110E-15	0.0000E+00	-4.8385E-17	
H	7	H	8	260	8.7978E-08	-6.5201E+07	-1.3493E-15	0.0000E+00	-1.3493E-15	0.0000E+00	-2.7078E-17	
H	8	H	9	261	9.7862E-08	-1.3358E+08	-7.3259E-16	0.0000E+00	-7.3259E-16	0.0000E+00	-1.4702E-17	
H	9	H										

	K	2	K	3	282	-1.4682E-05	3.5598E+06	-4.1241E-12	0.0000E+00	-4.1241E-12	0.0000E+00	-4.2228E-15
	K	3	K	4	283	-1.1457E-07	4.2706E-07	-2.6828E-15	0.0000E+00	-2.6828E-15	0.0000E+00	-2.3306E-18
1	K	4	K	5	284	3.3879E-08	-6.0898E+06	-5.5632E-15	0.0000E+00	-5.5632E-15	0.0000E+00	-3.1898E-17
K	5	K	6	285	2.8137E-08	-7.7497E+06	-3.6307E-15	0.0000E+00	-3.6307E-15	0.0000E+00	-1.0409E-16	
K	6	K	7	286	4.3155E-08	-2.2107E+07	-1.9521E-15	0.0000E+00	-1.9521E-15	0.0000E+00	-5.5964E-17	
K	7	K	8	287	6.0667E-08	-5.8894E+07	-1.0284E-15	0.0000E+00	-1.0284E-15	0.0000E+00	-2.9482E-17	
K	8	K	9	288	6.9009E-08	-1.2556E+08	-5.4960E-16	0.0000E+00	-5.4960E-16	0.0000E+00	-1.5756E-17	
K	9	K	10	288	4.5329E-08	-1.1105E+08	-4.0819E-16	0.0000E+00	-4.0819E-16	0.0000E+00	-1.1702E-17	
L	1	L	2	290	-2.2390E-04	1.2165E+05	-1.8405E-09	0.0000E+00	-1.8405E-08	0.0000E+00	-1.7588E-12	
L	2	L	3	291	-1.4704E-05	3.5650E+06	-4.1244E-12	0.0000E+00	-4.1244E-12	0.0000E+00	-4.2228E-15	
L	3	L	4	292	-2.5598E-07	9.7610E+07	-2.6226E-15	0.0000E+00	-2.6226E-15	0.0000E+00	-2.2783E-18	
L	4	L	5	293	-4.1114E-08	5.9106E+06	-6.8560E-15	0.0000E+00	-6.8560E-15	0.0000E+00	-3.9883E-17	
L	5	L	6	294	1.1307E-08	-2.7874E+06	-4.0566E-15	0.0000E+00	-4.0566E-15	0.0000E+00	-1.1629E-16	
L	6	L	7	295	3.9657E-08	-1.9304E+07	-2.0543E-15	0.0000E+00	-2.0543E-15	0.0000E+00	-5.8884E-17	
L	7	L	8	296	6.0083E-08	-5.6541E+07	-1.0626E-15	0.0000E+00	-1.0626E-15	0.0000E+00	-3.0464E-17	
L	8	L	9	297	6.9238E-08	-1.2196E+08	-5.6771E-16	0.0000E+00	-5.6771E-16	0.0000E+00	-1.6275E-17	
L	9	L	10	298	4.5582E-08	-1.0873E+08	-4.1924E-16	0.0000E+00	-4.1924E-16	0.0000E+00	-1.2018E-17	
M	1	M	2	299	-2.7163E-05	1.2912E+05	-2.1037E-10	0.0000E+00	-2.1037E-10	0.0000E+00	-7.5387E-13	
M	2	M	3	300	-3.6768E-06	3.4689E+06	-1.0598E-12	0.0000E+00	-1.0598E-12	0.0000E+00	-3.7982E-15	
M	3	M	4	301	-1.1858E-07	1.5883E+08	-7.4682E-16	0.0000E+00	-7.4682E-16	0.0000E+00	-2.2701E-18	
M	4	M	5	302	-2.3532E-08	1.0085E+07	-2.3311E-15	0.0000E+00	-2.3311E-15	0.0000E+00	-4.6780E-17	
M	5	M	6	303	7.0585E-10	-5.8251E+05	-1.2117E-15	0.0000E+00	-1.2117E-15	0.0000E+00	-1.2158E-16	
M	6	M	7	304	1.0752E-08	-1.8020E+07	-5.8665E-16	0.0000E+00	-5.8665E-16	0.0000E+00	-5.9867E-17	
M	7	M	8	305	1.7062E-08	-5.5427E+07	-3.0783E-16	0.0000E+00	-3.0783E-16	0.0000E+00	-3.0887E-17	
M	8	M	9	306	1.9818E-08	-1.2010E+08	-1.6514E-16	0.0000E+00	-1.6514E-16	0.0000E+00	-1.6570E-17	
M	9	M	10	307	1.3066E-08	-1.0771E+08	-1.2131E-16	0.0000E+00	-1.2131E-16	0.0000E+00	-1.2172E-17	
N	1	N	2	308	-1.6358E-08	6.9063E+07	-2.3686E-16	0.0000E+00	-2.3686E-16	0.0000E+00	-7.2017E-19	
N	2	N	3	309	-1.7666E-07	5.6593E+07	-3.1019E-15	0.0000E+00	-3.1019E-15	0.0000E+00	-9.4315E-18	
N	3	N	4	310	-1.2866E-07	5.5128E+08	-2.3341E-16	0.0000E+00	-2.3341E-16	0.0000E+00	-4.6840E-18	
N	4	N	5	311	-2.7477E-08	1.0888E+07	-2.5004E-15	0.0000E+00	-2.5004E-15	0.0000E+00	-5.0177E-17	
N	5	N	6	312	-2.8005E-10	2.2773E+05	-1.2297E-15	0.0000E+00	-1.2297E-15	0.0000E+00	-1.2339E-16	
N	6	N	7	313	1.0509E-08	-1.7526E+07	-5.9863E-16	0.0000E+00	-5.9863E-16	0.0000E+00	-6.0165E-17	
N	7	N	8	314	1.7017E-08	-5.4983E+07	-3.0843E-16	0.0000E+00	-3.0843E-16	0.0000E+00	-3.1048E-17	
N	8	N	9	315	1.9834E-08	-1.1918E+08	-1.6640E-16	0.0000E+00	-1.6640E-16	0.0000E+00	-1.6687E-17	
N	9	N	10	316	1.3084E-08	-1.0696E+08	-1.2232E-16	0.0000E+00	-1.2232E-16	0.0000E+00	-1.2274E-17	
O	1	O	2	317	-1.3374E-07	5.5579E+06	-2.4063E-14	0.0000E+00	-2.4063E-14	0.0000E+00	-8.6574E-17	
O	2	O	3	318	-2.0529E-07	6.9417E+06	-2.9574E-14	0.0000E+00	-2.9574E-14	0.0000E+00	-1.1869E-16	
O	3	O	4	318	-3.8474E-07	1.9093E+07	-2.0151E-14	0.0000E+00	-2.0151E-14	0.0000E+00	-8.0875E-17	
O	4	O	5	320	-1.6373E-07	1.0666E+07	-1.5351E-14	0.0000E+00	-1.5351E-14	0.0000E+00	-6.1609E-17	
O	5	O	6	321	-1.3840E-08	2.1897E+06	-6.3202E-15	0.0000E+00	-6.3202E-15	0.0000E+00	-1.2683E-16	
O	6	O	7	322	4.9154E-08	-1.6266E+07	-3.0220E-15	0.0000E+00	-3.0220E-15	0.0000E+00	-6.0642E-17	
O	7	O	8	323	8.4423E-08	-5.3878E+07	-1.5669E-15	0.0000E+00	-1.5669E-15	0.0000E+00	-3.1444E-17	
O	8	O	9	324	8.9391E-08	-1.1690E+08	-8.5022E-16	0.0000E+00	-8.5022E-16	0.0000E+00	-1.7062E-17	
O	9	O	10	325	6.5585E-08	-1.0528E+08	-6.2390E-16	0.0000E+00	-6.2390E-16	0.0000E+00	-1.2520E-17	
P	1	P	2	326	-9.8575E-08	3.9851E+07	-2.4736E-15	0.0000E+00	-2.4736E-15	0.0000E+00	-2.4818E-17	
P	2	P	3	327	-1.2353E-07	3.7448E+07	-3.2986E-15	0.0000E+00	-3.2986E-15	0.0000E+00	-3.3096E-17	
P	3	P	4	328	-1.6555E-07	3.2055E+07	-5.1644E-15	0.0000E+00	-5.1644E-15	0.0000E+00	-5.1816E-17	
P	4	P	5	329	-1.5145E-07	1.2579E+07	-1.2040E-14	0.0000E+00	-1.2040E-14	0.0000E+00	-1.2081E-18	
P	5	P	6	330	-2.6210E-08	2.7431E+06	-9.5547E-15	0.0000E+00	-9.5547E-15	0.0000E+00	-9.5665E-17	
P	6	P	7	331	8.9598E-08	-1.5665E+07	-5.6122E-15	0.0000E+00	-5.6122E-15	0.0000E+00	-5.6309E-17	
P	7	P	8	332	1.6640E-07	-5.3184E+07	-3.1281E-15	0.0000E+00	-3.1281E-15	0.0000E+00	-3.1385E-17	
P	8	P	9	333	1.9872E-07	-1.1264E+08	-1.7730E-15	0.0000E+00	-1.7730E-15	0.0000E+00	-1.7789E-17	
P	9	P	10	334	1.3252E-07	-1.0209E+08	-1.2981E-15	0.0000E+00	-1.2981E-15	0.0000E+00	-1.3024E-17	
Q	1	Q	2	335	-1.9292E-08	9.8766E+06	-1.9337E-15	0.0000E+00	-1.9337E-15	0.0000E+00	-1.2934E-17	
Q	2	Q	3	336	-2.3545E-08	8.4975E+06	-2.4791E-15	0.0000E+00	-2.4791E-15	0.0000E+00	-1.6581E-17	
Q	3	Q	4	337	-2.9874E-08	8.4142E+06	-3.5504E-15	0.0000E+00	-3.5504E-15	0.0000E+00	-2.3747E-17	
Q	4	Q	5	338	-2.8914E-08	4.7874E+06	-6.0272E-15	0.0000E+00	-6.0272E-15	0.0000E+00	-4.0313E-17	
1	ELEM1	ELEM2	INDEX		FLOH	FLOH/FLOF	FLOF	FLO(GAS)	FLO(LIQ.)	VEL(GAS)	VEL(LIQ.)	
	(W)	(J/KG)	(KG/S)		(J/KG)	(KG/S)	(KG/S)	(KG/S)	(KG/S)	(M/S)	(M/S)	
Q	5	Q	6	339	3.1176E-08	-4.1692E+06	-7.4778E-15	0.0000E+00	-7.4778E-15	0.0000E+00	-5.0015E-17	
Q	6	Q	7	340	1.4348E-07	-2.3040E+07	-6.2277E-15	0.0000E+00	-6.2277E-15	0.0000E+00	-4.1654E-17	
Q	7	Q	8	341	2.4924E-07	-5.8142E+07	-4.2867E-15	0.0000E+00	-4.2867E-15	0.0000E+00	-2.8672E-17	
Q	8	Q	9	342	3.0154E-07	-1.0913E+08	-2.7630E-15	0.0000E+00	-2.7630E-15	0.0000E+00	-1.8480E-17	
Q	9	Q	10	343	2.0092E-07	-9.7777E+07	-2.0544E-15	0.0000E+00	-2.0544E-15	0.0000E+00	-1.3744E-17	
R	1	R	2	344	1.4464E-08	-1.5041E+07	-9.6163E-16	0.0000E+00	-9.6163E-16	0.0000E+00	-4.8235E-18	
R	2	R	3	345	1.8753E-08	-1.5259E+07	-1.2290E-15	0.0000E+00	-1.2290E-15	0.0000E+00	-6.1644E-18	
R	3	R	4	346	2.7729E-08	-1.5826E+07	-1.7521E-15	0.0000E+00	-1.7521E-15	0.0000E+00	-8.7885E-18	
R	4	R	5	347	5.2536E-08	-1.7774E+07	-2.9559E-15	0.0000E+00	-2.9559E-15	0.0000E+00	-1.4827E-17	
R	5	R	6	348	1.1490E-07	-2.5013E+07	-4.5938E-15	0.0000E+00	-4.5938E-15	0.0000E+00	-2.3042E-17	
R	6	R	7	349	2.2241E-07	-4.2327E+07	-5.2546E-15	0.0000E+00	-5.2546E-15	0.0000E+00	-2.6357E-17	
R	7	R	8	350	9.4054E-07	-7.1109E+07	-4.7890E-15	0.0000E+00	-4.7890E-15	0.0000E+00	-2.4021E-17	
R	8	R	9	351	4.0543E-07	-1.0664E+08	-3.8020E-15	0.0000E+00	-3.8020E-15	0.0000E+00	-1.9071E-17	
R	9	R	10	352	2.7044E-07	-9.2811E+07	-2.9139E-15	0.0000E+00	-2.9139E-15	0.0000E+00	-1.4616E-17	
S	1	S	2	353	3.6104E-08	-5.2721E+07	-6.8481E-16	0.0000E+00	-6.8481E-16	0.0000E+00	-2.2896E-18	
S	2	S	3	354	4.6456E-08	-5.2902E+07	-8.7814E-16	0.0000E+00	-8.7814E-16	0.0000E+00	-2.9362E-18	
S	3	S	4	355	6.7098E-08	-5.3218E+07	-1.2608E-15	0.0000E+00	-1.2608E-15	0.0000E+00	-4.2157E-18	
S	4	S	5	356	1.1879E-07	-5.4321E+07	-2.1867E-15	0.0000E+00	-2.1867E-15	0.0000E+00	-7.3117E-18	
S	5	S	6	357	2.2195E-07	-5.8133						

PHASE VOLUMES IN PLACE

GAS 0.00000E+00 M**3; LIQUID 1.00000E+79 M**3

MASS IN PLACE

GAS 0.00000E+00 KG; LIQUID 1.80339E+82 KG; AIR 2.64442E+64 KG; VAPOR 0.00000E+00 KG; LIQUID WATER 1.80339E+82 KG

② 出力ファイル (抜粋 : ファイル先頭より初回のタイムステップまで(全行数は43,118))

File Name V202-1.INP Page 1

```

TRU5:Vault-Ver2.02, case 1
ROCKS
atoms    2 1.250E+00      1.00 1.000E-02 1.000E-02 1.000E-02      0.00  1.0E+05
         0.0      0.0
         5       0.25      0.00
         3       0.0E+05      0.30      1.0      0.0E+05
bound    2 2.700E+03      0.01 1.000E-16 1.000E-16 1.000E-16      2.80  1.0E+05
         0.0      0.0
         3       0.25      0.00
         3       0.0E+05      0.30      1.0      0.0E+05
rock     2 2.700E+03      0.01 1.000E-16 1.000E-16 1.000E-16      2.80  840.0
         0.0      0.0
         3       0.25      0.00
         3       0.0E+05      0.30      1.0      0.0E+05
lose     2 2.700E+03      0.05 1.000E-14 1.000E-14 1.000E-14      2.80  840.0
         0.0      0.0
         3       0.25      0.00
         3       0.0E+05      0.30      1.0      0.0E+05
bent    2 2.700E+03      0.33 2.500E-21 2.500E-21 2.500E-21      1.70  1000.0
         0.0      0.0
         3       0.10      0.10
         3       0.0E+05      0.30      1.0      0.0E+05
fill1   2 2.600E+03      0.28 1.000E-17 1.000E-17 1.000E-17      2.30  840.0
         0.0      0.0
         3       0.30      0.18
         3       0.0E+05      0.30      1.0      0.0E+05
cani    2 2.400E+03      0.30 1.000E-16 1.000E-16 1.000E-16      2.30  840.0
         0.0      0.0
         3       0.30      0.18
         3       0.0E+05      0.30      1.0      0.0E+05

START
PARAM
 8 2 100      11000300 000100 400      2.13E-05      1.80
         1.578E+11 1.000E+05 1.578E+11K      1      9.80
 1.000E-05 1.000E+00      0.1      1.0      1.0 1.000E-08
         2.000E+06      30.0      0.0

RPCAP
         3       0.25      0.00
         3       0.0E+05      0.25      1.0      0.0E+05
TIMES
 5      5
 5.364E+09 5.364E+10 6.312E+10 1.578E+11 5.365E+11

ELEM2
A 1      3 0.156E+03
B 1      3 0.140E+03
C 1      3 0.105E+03
D 1      3 0.105E+03
E 1      3 0.700E+02
F 1      3 0.525E+02
G 1      3 0.350E+02
H 1      4 0.175E+02
I 1      5 0.350E+01
J 1      6 0.350E+01
K 1      7 0.122E+02
L 1      7 0.122E+02
M 1      6 0.350E+01
N 1      5 0.350E+01
O 1      4 0.175E+02
P 1      3 0.350E+02
Q 1      3 0.525E+02
R 1      3 0.700E+02
S 1      3 0.105E+03
A 2      3 0.445E+02
B 2      3 0.400E+02
C 2      3 0.300E+02
D 2      3 0.300E+02
E 2      3 0.200E+02
F 2      3 0.150E+02
G 2      3 0.100E+02
H 2      4 0.500E+01
I 2      5 0.100E+01
J 2      6 0.100E+01
K 2      6 0.350E+01
L 2      6 0.350E+01
M 2      6 0.100E+01
N 2      5 0.100E+01
O 2      4 0.500E+01
P 2      3 0.100E+02
Q 2      3 0.150E+02
R 2      3 0.200E+02
S 2      3 0.300E+02
A 3      3 0.890E+02
B 3      3 0.800E+02
C 3      3 0.600E+02
D 3      3 0.600E+02
E 3      3 0.400E+02
F 3      3 0.300E+02
G 3      3 0.200E+02
H 3      4 0.100E+02
I 3      5 0.200E+01
J 3      5 0.200E+01
K 3      5 0.700E+01
L 3      5 0.700E+01
M 3      5 0.200E+01
N 3      5 0.200E+01
O 3      4 0.100E+02
P 3      3 0.200E+02
Q 3      3 0.300E+02
R 3      3 0.400E+02

```

S	3	3 0.600E+02
A	4	3 0.222E+03
B	4	3 0.200E+03
C	4	3 0.150E+03
D	4	3 0.150E+03
E	4	3 0.100E+03
F	4	3 0.750E+02
G	4	3 0.500E+02
H	4	4 0.250E+02
I	4	4 0.500E+01
J	4	4 0.500E+01
K	4	4 0.175E+02
L	4	4 0.175E+02
M	4	4 0.500E+01
N	4	4 0.500E+01
O	4	4 0.250E+02
P	4	3 0.500E+02
Q	4	3 0.750E+02
R	4	3 0.100E+03
S	4	3 0.150E+03
A	5	3 0.445E+03
B	5	3 0.400E+03
C	5	3 0.300E+03
D	5	3 0.300E+03
E	6	3 0.200E+03
F	5	3 0.150E+03
G	5	3 0.100E+03
H	5	3 0.500E+02
I	5	3 0.100E+02
J	5	3 0.100E+02
K	5	3 0.350E+02
L	5	3 0.350E+02
M	5	3 0.100E+02
N	5	3 0.100E+02
O	5	3 0.500E+02
P	5	3 0.100E+03
Q	5	3 0.150E+03
R	5	3 0.200E+03
S	5	3 0.300E+03
A	6	3 0.668E+03
B	6	3 0.600E+03
C	6	3 0.450E+03
D	6	3 0.450E+03
E	6	3 0.300E+03
F	6	3 0.225E+03
G	6	3 0.150E+03
H	6	3 0.750E+02
I	6	3 0.150E+02
J	6	3 0.150E+02
K	6	3 0.525E+02
L	6	3 0.525E+02
M	6	3 0.150E+02
N	6	3 0.150E+02
O	6	3 0.750E+02
P	6	3 0.150E+03
Q	6	3 0.225E+03
R	6	3 0.300E+03
S	6	3 0.450E+03
A	7	3 0.800E+03
B	7	3 0.800E+03
C	7	3 0.600E+03
D	7	3 0.600E+03
E	7	3 0.400E+03
F	7	3 0.300E+03
G	7	3 0.200E+03
H	7	3 0.100E+03
I	7	3 0.200E+02
J	7	3 0.200E+02
K	7	3 0.700E+02
L	7	3 0.700E+02
M	7	3 0.200E+02
N	7	3 0.200E+02
O	7	3 0.100E+03
P	7	3 0.200E+03
Q	7	3 0.300E+03
R	7	3 0.400E+03
S	7	3 0.600E+03
A	8	3 0.134E+04
B	8	3 0.120E+04
C	8	3 0.900E+03
D	8	3 0.900E+03
E	8	3 0.600E+03
F	8	3 0.450E+03
G	8	3 0.300E+03
H	8	3 0.150E+03
I	8	3 0.300E+02
J	8	3 0.300E+02
K	8	3 0.105E+03
L	8	3 0.105E+03
M	8	3 0.300E+02
N	8	3 0.300E+02
O	8	3 0.150E+03
P	8	3 0.300E+03
Q	8	3 0.450E+03
R	8	3 0.600E+03
S	8	3 0.900E+03
A	9	3 0.178E+04
B	9	3 0.160E+04
C	9	3 0.120E+04
D	9	3 0.120E+04

B 9	3 0.800E+03
F 9	3 0.600E+03
G 9	3 0.400E+03
H 9	3 0.200E+03
I 9	3 0.400E+02
J 9	3 0.400E+02
K 9	3 0.140E+03
L 9	3 0.140E+03
M 9	3 0.400E+02
N 9	3 0.400E+02
O 9	3 0.200E+03
P 9	3 0.400E+03
Q 9	3 0.600E+03
R 9	3 0.800E+03
S 9	3 0.120E+04
A 10	3 1.000E+80
B 10	3 1.000E+80
C 10	3 1.000E+80
D 10	3 1.000E+80
E 10	3 1.000E+80
F 10	3 1.000E+80
G 10	3 1.000E+80
H 10	3 1.000E+80
I 10	3 1.000E+80
J 10	3 1.000E+80
K 10	3 1.000E+80
L 10	3 1.000E+80
M 10	3 1.000E+80
N 10	3 1.000E+80
O 10	3 1.000E+80
P 10	3 1.000E+80
Q 10	3 1.000E+80
R 10	3 1.000E+80
S 10	3 1.000E+80
TB 1	1 0.100E+81
TB 2	1 0.100E+81
TB 3	1 0.100E+81
TB 4	1 0.100E+81
TB 5	1 0.100E+81
TB 6	1 0.100E+81
TB 7	1 0.100E+81
TB 8	1 0.100E+81
TB 9	1 0.100E+81
TB 10	1 0.100E+81

CONN						
TB 1A	1	1	0.100E-09	0.222E+02	0.350E+01	0.100E+01
A 1B	1	1	0.222E+02	0.200E+02	0.350E+01	0.100E+01
B 1C	1	1	0.200E+02	0.150E+02	0.350E+01	0.100E+01
C 1D	1	1	0.150E+02	0.150E+02	0.350E+01	0.100E+01
D 1E	1	1	0.150E+02	0.100E+02	0.350E+01	0.100E+01
E 1F	1	1	0.100E+02	0.750E+01	0.350E+01	0.100E+01
F 1G	1	1	0.750E+01	0.500E+01	0.350E+01	0.100E+01
G 1H	1	1	0.500E+01	0.250E+01	0.350E+01	0.100E+01
H 1I	1	1	0.250E+01	0.500E+00	0.350E+01	0.100E+01
I 1J	1	1	0.500E+00	0.500E+00	0.350E+01	0.100E+01
J 1K	1	1	0.500E+00	0.175E+01	0.350E+01	0.100E+01
K 1L	1	1	0.175E+01	0.175E+01	0.350E+01	0.100E+01
L 1M	1	1	0.175E+01	0.500E+00	0.350E+01	0.100E+01
M 1N	1	1	0.500E+00	0.500E+00	0.350E+01	0.100E+01
N 1O	1	1	0.500E+00	0.250E+01	0.350E+01	0.100E+01
O 1P	1	1	0.250E+01	0.500E+01	0.350E+01	0.100E+01
P 1Q	1	1	0.500E+01	0.750E+01	0.350E+01	0.100E+01
Q 1R	1	1	0.750E+01	0.100E+02	0.350E+01	0.100E+01
R 1S	1	1	0.100E+02	0.150E+02	0.350E+01	0.100E+01
TB 2A	2	1	0.100E-09	0.222E+02	0.100E+01	0.100E+01
A 2B	2	1	0.222E+02	0.200E+02	0.100E+01	0.100E+01
B 2C	2	1	0.200E+02	0.150E+02	0.100E+01	0.100E+01
C 2D	2	1	0.150E+02	0.150E+02	0.100E+01	0.100E+01
D 2E	2	1	0.150E+02	0.100E+02	0.100E+01	0.100E+01
E 2F	2	1	0.100E+02	0.750E+01	0.100E+01	0.100E+01
F 2G	2	1	0.750E+01	0.500E+01	0.100E+01	0.100E+01
G 2H	2	1	0.500E+01	0.250E+01	0.100E+01	0.100E+01
H 2I	2	1	0.250E+01	0.500E+00	0.100E+01	0.100E+01
I 2J	2	1	0.500E+00	0.500E+00	0.100E+01	0.100E+01
J 2K	2	1	0.500E+00	0.175E+01	0.100E+01	0.100E+01
K 2L	2	1	0.175E+01	0.175E+01	0.100E+01	0.100E+01
L 2M	2	1	0.175E+01	0.500E+00	0.100E+01	0.100E+01
M 2N	2	1	0.500E+00	0.500E+00	0.100E+01	0.100E+01
N 2O	2	1	0.500E+00	0.250E+01	0.100E+01	0.100E+01
O 2P	2	1	0.250E+01	0.500E+01	0.100E+01	0.100E+01
P 2Q	2	1	0.500E+01	0.750E+01	0.100E+01	0.100E+01
Q 2R	2	1	0.750E+01	0.100E+02	0.100E+01	0.100E+01
R 2S	2	1	0.100E+02	0.150E+02	0.100E+01	0.100E+01
TB 3A	3	1	0.100E-09	0.222E+02	0.200E+01	0.100E+01
A 3B	3	1	0.222E+02	0.200E+02	0.200E+01	0.100E+01
B 3C	3	1	0.200E+02	0.150E+02	0.200E+01	0.100E+01
C 3D	3	1	0.150E+02	0.150E+02	0.200E+01	0.100E+01
D 3E	3	1	0.150E+02	0.100E+02	0.200E+01	0.100E+01
E 3F	3	1	0.100E+02	0.750E+01	0.200E+01	0.100E+01
F 3G	3	1	0.750E+01	0.500E+01	0.200E+01	0.100E+01
G 3H	3	1	0.500E+01	0.250E+01	0.200E+01	0.100E+01
H 3I	3	1	0.250E+01	0.500E+00	0.200E+01	0.100E+01
I 3J	3	1	0.500E+00	0.500E+00	0.200E+01	0.100E+01
J 3K	3	1	0.500E+00	0.175E+01	0.200E+01	0.100E+01
K 3L	3	1	0.175E+01	0.175E+01	0.200E+01	0.100E+01
L 3M	3	1	0.175E+01	0.500E+00	0.200E+01	0.100E+01
M 3N	3	1	0.500E+00	0.500E+00	0.200E+01	0.100E+01
N 3O	3	1	0.500E+00	0.250E+01	0.200E+01	0.100E+01
O 3P	3	1	0.250E+01	0.500E+01	0.200E+01	0.100E+01

P	3Q	3	1	0.500E+01	0.750E+01	0.200E+01	0.100E+01
Q	3R	3	1	0.750E+01	0.100E+02	0.200E+01	0.100E+01
R	3S	3	1	0.100E+02	0.150E+02	0.200E+01	0.100E+01
TB	4A	4	1	0.100E-09	0.222E+02	0.500E+01	0.100E+01
A	4B	4	1	0.222E+02	0.200E+02	0.500E+01	0.100E+01
B	4C	4	1	0.200E+02	0.150E+02	0.500E+01	0.100E+01
C	4D	4	1	0.150E+02	0.150E+02	0.500E+01	0.100E+01
D	4E	4	1	0.150E+02	0.100E+02	0.500E+01	0.100E+01
E	4F	4	1	0.100E+02	0.750E+01	0.500E+01	0.100E+01
F	4G	4	1	0.750E+01	0.500E+01	0.500E+01	0.100E+01
G	4H	4	1	0.500E+01	0.250E+01	0.500E+01	0.100E+01
H	4I	4	1	0.250E+01	0.500E+00	0.500E+01	0.100E+01
I	4J	4	1	0.500E+00	0.500E+00	0.500E+01	0.100E+01
J	4K	4	1	0.500E+00	0.175E+01	0.500E+01	0.100E+01
K	4L	4	1	0.175E+01	0.175E+01	0.500E+01	0.100E+01
L	4M	4	1	0.175E+01	0.500E+00	0.500E+01	0.100E+01
M	4N	4	1	0.500E+00	0.500E+00	0.500E+01	0.100E+01
N	4O	4	1	0.500E+00	0.250E+01	0.500E+01	0.100E+01
O	4P	4	1	0.250E+01	0.500E+01	0.500E+01	0.100E+01
P	4Q	4	1	0.500E+01	0.750E+01	0.500E+01	0.100E+01
Q	4R	4	1	0.750E+01	0.100E+02	0.500E+01	0.100E+01
R	4S	4	1	0.100E+02	0.150E+02	0.500E+01	0.100E+01
TB	5A	5	1	0.100E-08	0.222E+02	0.100E+02	0.100E+01
A	5B	5	1	0.222E+02	0.200E+02	0.100E+02	0.100E+01
B	5C	5	1	0.200E+02	0.150E+02	0.100E+02	0.100E+01
C	5D	5	1	0.150E+02	0.150E+02	0.100E+02	0.100E+01
D	5E	5	1	0.150E+02	0.100E+02	0.100E+02	0.100E+01
E	5F	5	1	0.100E+02	0.750E+01	0.100E+02	0.100E+01
F	5G	5	1	0.750E+01	0.500E+01	0.100E+02	0.100E+01
G	5H	5	1	0.500E+01	0.250E+01	0.100E+02	0.100E+01
H	5I	5	1	0.250E+01	0.500E+00	0.100E+02	0.100E+01
I	5J	5	1	0.500E+00	0.500E+00	0.100E+02	0.100E+01
J	5K	5	1	0.500E+00	0.175E+01	0.100E+02	0.100E+01
K	5L	5	1	0.175E+01	0.175E+01	0.100E+02	0.100E+01
L	5M	5	1	0.175E+01	0.500E+00	0.100E+02	0.100E+01
M	5N	5	1	0.500E+00	0.500E+00	0.100E+02	0.100E+01
N	5O	5	1	0.500E+00	0.250E+01	0.100E+02	0.100E+01
O	5P	5	1	0.250E+01	0.500E+01	0.100E+02	0.100E+01
P	5Q	5	1	0.500E+01	0.750E+01	0.100E+02	0.100E+01
Q	5R	5	1	0.750E+01	0.100E+02	0.100E+02	0.100E+01
R	5S	5	1	0.100E+02	0.150E+02	0.100E+02	0.100E+01
TB	6A	6	1	0.100E-08	0.222E+02	0.150E+02	0.100E+01
A	6B	6	1	0.222E+02	0.200E+02	0.150E+02	0.100E+01
B	6C	6	1	0.200E+02	0.150E+02	0.150E+02	0.100E+01
C	6D	6	1	0.150E+02	0.150E+02	0.150E+02	0.100E+01
D	6E	6	1	0.150E+02	0.100E+02	0.150E+02	0.100E+01
E	6F	6	1	0.100E+02	0.750E+01	0.150E+02	0.100E+01
F	6G	6	1	0.750E+01	0.500E+01	0.150E+02	0.100E+01
G	6H	6	1	0.500E+01	0.250E+01	0.150E+02	0.100E+01
H	6I	6	1	0.250E+01	0.500E+00	0.150E+02	0.100E+01
I	6J	6	1	0.500E+00	0.500E+00	0.150E+02	0.100E+01
J	6K	6	1	0.500E+00	0.175E+01	0.150E+02	0.100E+01
K	6L	6	1	0.175E+01	0.175E+01	0.150E+02	0.100E+01
L	6M	6	1	0.175E+01	0.500E+00	0.150E+02	0.100E+01
M	6N	6	1	0.500E+00	0.500E+00	0.150E+02	0.100E+01
N	6O	6	1	0.500E+00	0.250E+01	0.150E+02	0.100E+01
O	6P	6	1	0.250E+01	0.500E+01	0.150E+02	0.100E+01
P	6Q	6	1	0.500E+01	0.750E+01	0.150E+02	0.100E+01
Q	6R	6	1	0.750E+01	0.100E+02	0.150E+02	0.100E+01
R	6S	6	1	0.100E+02	0.150E+02	0.150E+02	0.100E+01
TB	7A	7	1	0.100E-08	0.222E+02	0.200E+02	0.100E+01
A	7B	7	1	0.222E+02	0.200E+02	0.200E+02	0.100E+01
B	7C	7	1	0.200E+02	0.150E+02	0.200E+02	0.100E+01
C	7D	7	1	0.150E+02	0.150E+02	0.200E+02	0.100E+01
D	7E	7	1	0.150E+02	0.100E+02	0.200E+02	0.100E+01
E	7F	7	1	0.100E+02	0.750E+01	0.200E+02	0.100E+01
F	7G	7	1	0.750E+01	0.500E+01	0.200E+02	0.100E+01
G	7H	7	1	0.500E+01	0.250E+01	0.200E+02	0.100E+01
H	7I	7	1	0.250E+01	0.500E+00	0.200E+02	0.100E+01
I	7J	7	1	0.500E+00	0.500E+00	0.200E+02	0.100E+01
J	7K	7	1	0.500E+00	0.175E+01	0.200E+02	0.100E+01
K	7L	7	1	0.175E+01	0.175E+01	0.200E+02	0.100E+01
L	7M	7	1	0.175E+01	0.500E+00	0.200E+02	0.100E+01
M	7N	7	1	0.500E+00	0.500E+00	0.200E+02	0.100E+01
N	7O	7	1	0.500E+00	0.250E+01	0.200E+02	0.100E+01
O	7P	7	1	0.250E+01	0.500E+01	0.200E+02	0.100E+01
P	7Q	7	1	0.500E+01	0.750E+01	0.200E+02	0.100E+01
Q	7R	7	1	0.750E+01	0.100E+02	0.200E+02	0.100E+01
R	7S	7	1	0.100E+02	0.150E+02	0.200E+02	0.100E+01
TB	8A	8	1	0.100E-08	0.222E+02	0.300E+02	0.100E+01
A	8B	8	1	0.222E+02	0.200E+02	0.300E+02	0.100E+01
B	8C	8	1	0.200E+02	0.150E+02	0.300E+02	0.100E+01
C	8D	8	1	0.150E+02	0.150E+02	0.300E+02	0.100E+01
D	8E	8	1	0.150E+02	0.100E+02	0.300E+02	0.100E+01
E	8F	8	1	0.100E+02	0.750E+01	0.300E+02	0.100E+01
F	8G	8	1	0.750E+01	0.500E+01	0.300E+02	0.100E+01
G	8H	8	1	0.500E+01	0.250E+01	0.300E+02	0.100E+01
H	8I	8	1	0.250E+01	0.500E+00	0.300E+02	0.100E+01
I	8J	8	1	0.500E+00	0.500E+00	0.300E+02	0.100E+01
J	8K	8	1	0.500E+00	0.175E+01	0.300E+02	0.100E+01
K	8L	8	1	0.175E+01	0.175E+01	0.300E+02	0.100E+01
L	8M	8	1	0.175E+01	0.500E+00	0.300E+02	0.100E+01
M	8N	8	1	0.500E+00	0.500E+00	0.300E+02	0.100E+01
N	8O	8	1	0.500E+00	0.250E+01	0.300E+02	0.100E+01
O	8P	8	1	0.250E+01	0.500E+01	0.300E+02	0.100E+01
P	8Q	8	1	0.500E+01	0.750E+01	0.300E+02	0.100E+01
Q	8R	8	1	0.750E+01	0.100E+02	0.300E+02	0.100E+01
R	8S	8	1	0.100E+02	0.150E+02	0.300E+02	0.100E+01
TB	9A	9	1	0.100E-09	0.222E+02	0.400E+02	0.100E+01
A	9B	9	1	0.222E+02	0.200E+02	0.400E+02	0.100E+01

B	9C	9	1	0.200E+02	0.150E+02	0.400E+02	0.100E+01
C	9D	9	1	0.150E+02	0.150E+02	0.400E+02	0.100E+01
D	9E	9	1	0.150E+02	0.100E+02	0.400E+02	0.100E+01
E	9F	9	1	0.100E+02	0.750E+01	0.400E+02	0.100E+01
F	9G	9	1	0.750E+01	0.500E+01	0.400E+02	0.100E+01
G	9H	9	1	0.500E+01	0.250E+01	0.400E+02	0.100E+01
H	9I	9	1	0.250E+01	0.500E+00	0.400E+02	0.100E+01
I	9J	9	1	0.500E+00	0.500E+00	0.400E+02	0.100E+01
J	9K	9	1	0.500E+00	0.175E+01	0.400E+02	0.100E+01
K	9L	9	1	0.175E+01	0.175E+01	0.400E+02	0.100E+01
L	9M	9	1	0.175E+01	0.500E+00	0.400E+02	0.100E+01
M	9N	9	1	0.500E+00	0.500E+00	0.400E+02	0.100E+01
N	9O	9	1	0.500E+00	0.250E+01	0.400E+02	0.100E+01
O	9P	9	1	0.250E+01	0.500E+01	0.400E+02	0.100E+01
P	9Q	9	1	0.500E+01	0.750E+01	0.400E+02	0.100E+01
Q	9R	9	1	0.750E+01	0.100E+02	0.400E+02	0.100E+01
R	9S	9	1	0.100E+02	0.150E+02	0.400E+02	0.100E+01
TB	10A	10	1	0.100E-09	0.222E+02	0.500E+02	0.100E+01
A	10B	10	1	0.222E+02	0.200E+02	0.500E+02	0.100E+01
B	10C	10	1	0.200E+02	0.150E+02	0.500E+02	0.100E+01
C	10D	10	1	0.150E+02	0.150E+02	0.500E+02	0.100E+01
D	10E	10	1	0.150E+02	0.100E+02	0.500E+02	0.100E+01
E	10F	10	1	0.100E+02	0.750E+01	0.500E+02	0.100E+01
F	10G	10	1	0.750E+01	0.500E+01	0.500E+02	0.100E+01
G	10H	10	1	0.500E+01	0.250E+01	0.500E+02	0.100E+01
H	10I	10	1	0.250E+01	0.500E+00	0.500E+02	0.100E+01
I	10J	10	1	0.500E+00	0.500E+00	0.500E+02	0.100E+01
J	10K	10	1	0.500E+00	0.175E+01	0.500E+02	0.100E+01
K	10L	10	1	0.175E+01	0.175E+01	0.500E+02	0.100E+01
L	10M	10	1	0.175E+01	0.500E+00	0.500E+02	0.100E+01
M	10N	10	1	0.500E+00	0.500E+00	0.500E+02	0.100E+01
N	10O	10	1	0.500E+00	0.250E+01	0.500E+02	0.100E+01
O	10P	10	1	0.250E+01	0.500E+01	0.500E+02	0.100E+01
P	10Q	10	1	0.500E+01	0.750E+01	0.500E+02	0.100E+01
Q	10R	10	1	0.750E+01	0.100E+02	0.500E+02	0.100E+01
R	10S	10	1	0.100E+02	0.150E+02	0.500E+02	0.100E+01
A	1A	2	2	0.175E+01	0.500E+00	0.445E+02	0.000E+00
A	2A	3	2	0.500E+00	0.100E+01	0.445E+02	0.000E+00
A	3A	4	2	0.100E+01	0.250E+01	0.445E+02	0.000E+00
A	4A	5	2	0.250E+01	0.500E+01	0.445E+02	0.000E+00
A	5A	6	2	0.500E+01	0.750E+01	0.445E+02	0.000E+00
A	6A	7	2	0.750E+01	0.100E+02	0.445E+02	0.000E+00
A	7A	8	2	0.100E+02	0.150E+02	0.445E+02	0.000E+00
A	8A	9	2	0.150E+02	0.200E+02	0.445E+02	0.000E+00
A	9A	10	2	0.200E+02	0.100E-08	0.445E+02	0.000E+00
B	1B	2	2	0.175E+01	0.500E+00	0.400E+02	0.000E+00
B	2B	3	2	0.500E+00	0.100E+01	0.400E+02	0.000E+00
B	3B	4	2	0.100E+01	0.250E+01	0.400E+02	0.000E+00
B	4B	5	2	0.250E+01	0.500E+01	0.400E+02	0.000E+00
B	5B	6	2	0.500E+01	0.750E+01	0.400E+02	0.000E+00
B	6B	7	2	0.750E+01	0.100E+02	0.400E+02	0.000E+00
B	7B	8	2	0.100E+02	0.150E+02	0.400E+02	0.000E+00
B	8B	9	2	0.150E+02	0.200E+02	0.400E+02	0.000E+00
B	9B	10	2	0.200E+02	0.100E-08	0.400E+02	0.000E+00
C	1C	2	2	0.175E+01	0.500E+00	0.300E+02	0.000E+00
C	2C	3	2	0.500E+00	0.100E+01	0.300E+02	0.000E+00
C	3C	4	2	0.100E+01	0.250E+01	0.300E+02	0.000E+00
C	4C	5	2	0.250E+01	0.500E+01	0.300E+02	0.000E+00
C	5C	6	2	0.500E+01	0.750E+01	0.300E+02	0.000E+00
C	6C	7	2	0.750E+01	0.100E+02	0.300E+02	0.000E+00
C	7C	8	2	0.100E+02	0.150E+02	0.300E+02	0.000E+00
C	8C	9	2	0.150E+02	0.200E+02	0.300E+02	0.000E+00
C	9C	10	2	0.200E+02	0.100E-08	0.300E+02	0.000E+00
D	1D	2	2	0.175E+01	0.500E+00	0.300E+02	0.000E+00
D	2D	3	2	0.500E+00	0.100E+01	0.300E+02	0.000E+00
D	3D	4	2	0.100E+01	0.250E+01	0.300E+02	0.000E+00
D	4D	5	2	0.250E+01	0.500E+01	0.300E+02	0.000E+00
D	5D	6	2	0.500E+01	0.750E+01	0.300E+02	0.000E+00
D	6D	7	2	0.750E+01	0.100E+02	0.300E+02	0.000E+00
D	7D	8	2	0.100E+02	0.150E+02	0.300E+02	0.000E+00
D	8D	9	2	0.150E+02	0.200E+02	0.300E+02	0.000E+00
D	9D	10	2	0.200E+02	0.100E-08	0.300E+02	0.000E+00
E	1E	2	2	0.175E+01	0.500E+00	0.200E+02	0.000E+00
E	2E	3	2	0.500E+00	0.100E+01	0.200E+02	0.000E+00
E	3E	4	2	0.100E+01	0.250E+01	0.200E+02	0.000E+00
E	4E	5	2	0.250E+01	0.500E+01	0.200E+02	0.000E+00
E	5E	6	2	0.500E+01	0.750E+01	0.200E+02	0.000E+00
E	6E	7	2	0.750E+01	0.100E+02	0.200E+02	0.000E+00
E	7E	8	2	0.100E+02	0.150E+02	0.200E+02	0.000E+00
E	8E	9	2	0.150E+02	0.200E+02	0.200E+02	0.000E+00
E	9E	10	2	0.200E+02	0.100E-08	0.200E+02	0.000E+00
F	1F	2	2	0.175E+01	0.500E+00	0.150E+02	0.000E+00
F	2F	3	2	0.500E+00	0.100E+01	0.150E+02	0.000E+00
F	3F	4	2	0.100E+01	0.250E+01	0.150E+02	0.000E+00
F	4F	5	2	0.250E+01	0.500E+01	0.150E+02	0.000E+00
F	5F	6	2	0.500E+01	0.750E+01	0.150E+02	0.000E+00
F	6F	7	2	0.750E+01	0.100E+02	0.150E+02	0.000E+00
F	7F	8	2	0.100E+02	0.150E+02	0.150E+02	0.000E+00
F	8F	9	2	0.150E+02	0.200E+02	0.150E+02	0.000E+00
F	9F	10	2	0.200E+02	0.100E-08	0.150E+02	0.000E+00
G	1G	2	2	0.175E+01	0.500E+00	0.100E+02	0.000E+00
G	2G	3	2	0.500E+00	0.100E+01	0.100E+02	0.000E+00
G	3G	4	2	0.100E+01	0.250E+01	0.100E+02	0.000E+00
G	4G	5	2	0.250E+01	0.500E+01	0.100E+02	0.000E+00
G	5G	6	2	0.500E+01	0.750E+01	0.100E+02	0.000E+00
G	6G	7	2	0.750E+01	0.100E+02	0.100E+02	0.000E+00
G	7G	8	2	0.100E+02	0.150E+02	0.100E+02	0.000E+00
G	8G	9	2	0.150E+02	0.200E+02	0.100E+02	0.000E+00
G	9G	10	2	0.200E+02	0.100E-08	0.100E+02	0.000E+00
H	1H	2	2	0.175E+01	0.500E+00	0.500E+01	0.000E+00

S 3S 4	2 0.100E+01 0.250E+01 0.300E+02 0.000E+00
S 4S 5	2 0.250E+01 0.500E+01 0.300E+02 0.000E+00
S 5S 6	2 0.500E+01 0.750E+01 0.300E+02 0.000E+00
S 6S 7	2 0.750E+01 0.100E+02 0.300E+02 0.000E+00
S 7S 8	2 0.100E+02 0.150E+02 0.300E+02 0.000E+00
S 8S 9	2 0.150E+02 0.200E+02 0.300E+02 0.000E+00
S 9S 10	2 0.200E+02 0.100E-08 0.300E+02 0.000E+00

ENDCY

++

191 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9 10
10 11 11 12 12 13 13 14 14 15 15 16 16 17 17 18 18 19 192 20
20 21 21 22 22 23 23 24 24 25 25 26 26 27 27 28 28 29 29 30
30 31 31 32 32 33 33 34 34 35 35 36 36 37 37 38 193 39 39 40
40 41 41 42 42 43 43 44 44 45 45 46 46 47 47 48 48 49 49 50
50 51 51 52 52 53 53 54 54 55 55 56 56 57 194 58 58 59 59 60
60 61 61 62 62 63 63 64 64 65 65 66 66 67 67 68 68 69 69 70
70 71 71 72 72 73 73 74 74 75 75 76 195 77 77 78 78 79 79 80
80 81 81 82 82 83 83 84 84 85 85 86 86 87 87 88 88 89 89 90
90 91 91 92 92 93 93 94 94 95 196 96 96 97 97 98 98 99 99 99 100
100 101 101 102 102 103 103 104 104 105 105 106 106 107 107 108 108 109 109 110
110 111 111 112 112 113 113 114 187 115 115 116 116 117 117 118 118 119 119 120
120 121 121 122 122 123 123 124 124 125 125 126 126 127 127 128 128 129 129 130
130 131 131 132 132 133 188 134 134 135 135 136 136 137 137 138 138 139 139 140
140 141 141 142 142 143 143 144 144 145 145 146 146 147 147 148 148 149 149 150
150 151 151 152 188 153 153 154 154 155 155 156 156 157 157 158 158 159 159 160
160 161 161 162 162 163 163 164 164 165 165 166 166 167 167 168 168 169 169 170
170 171 200 172 172 173 173 174 174 175 175 176 176 177 177 178 178 179 179 180
180 181 181 182 182 183 183 184 184 185 185 186 186 187 187 188 188 189 189 190
1 20 20 39 39 58 58 77 77 96 96 115 115 134 134 153 153 172 2 21
21 40 40 59 59 78 78 97 97 116 116 135 135 154 154 173 3 22 22 41
41 60 60 70 70 98 98 117 117 136 136 155 155 174 4 23 23 42 42 61
61 80 80 89 99 98 118 118 137 137 156 156 175 5 24 24 43 43 62 62 81
81 100 100 119 119 138 138 157 157 176 6 25 25 44 44 63 63 82 82 101
101 120 120 139 139 158 158 177 7 26 26 45 45 64 64 83 83 102 102 121
121 140 140 159 159 178 8 27 27 46 46 65 65 84 84 103 103 122 122 141
141 160 160 179 9 28 28 47 47 66 66 85 85 104 104 123 123 142 142 161
161 180 10 29 29 48 48 67 67 86 86 105 105 124 124 143 143 162 162 181
11 30 30 49 49 68 68 87 87 106 106 125 125 144 144 163 163 182 12 31
31 50 50 69 69 88 88 107 107 126 126 145 145 164 164 183 13 32 32 51
51 70 70 89 89 108 108 127 127 146 146 165 165 184 14 33 33 52 52 71
71 90 90 109 109 128 128 147 147 166 166 185 15 34 34 53 53 72 72 91
91 110 110 129 129 148 148 167 167 186 16 35 35 54 54 54 73 73 92 92 111
111 130 130 149 149 168 168 187 17 36 36 55 55 74 74 93 93 112 112 131
131 150 150 169 169 188 18 37 37 56 56 75 75 94 94 113 113 132 132 151
151 170 170 189 19 38 38 57 57 76 76 95 95 114 114 133 133 152 152 171
171 190