



JAEA-Data/Code

2007-005



JP0750057

高レベル放射性廃棄物地層処分安全評価の シナリオ解析のための計算機支援ツールの開発

Development of a Computer Tool to Support Scenario Analysis
for Safety Assessment of HLW Geological Disposal

牧野 仁史 川村 淳 若杉 圭一郎* 大久保 博生* 高瀬 博康*

Hitoshi MAKINO, Makoto KAWAMURA, Keiichiro WAKASUGI*
Hiroo OKUBO* and Hiroyasu TAKASE*

地層処分研究開発部門
システム性能研究グループ

Performance Assessment Research Group
Geological Isolation Research and Development Directorate

February 2007

日本原子力研究開発機構

JAEA
Data/Code

本レポートは日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<http://www.jaea.go.jp/index.shtml>)
より発信されています。このほか財団法人原子力弘済会資料センター*では実費による複写頒布を行つております。

〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4
日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920

* 〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4 日本原子力研究開発機構内

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,
Japan Atomic Energy Agency
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920

高レベル放射性廃棄物地層処分安全評価のシナリオ解析のための計算機支援ツールの開発

日本原子力研究開発機構 地層処分研究開発部門
地層処分基盤研究開発ユニット

牧野 仁史^{*1}・川村 淳^{*}・若杉 圭一郎^{*1}・大久保 博生^{*2}・高瀬 博康^{*3}

(2007年1月10日受理)

第2次取りまとめでは、国際的なコンセンサスの得られていた体系的なアプローチを踏襲しつつシナリオの作成を行い、一定の評価を得ているものの、シナリオから解析ケース設定までの手順の透明性の向上が課題として指摘された。そこで、第2次取りまとめ以降のシナリオ解析の研究においては、シナリオの作成、それに引き続くモデル化および解析ケースの選定までをシナリオ解析の対象として含め、そこでの個々の作業プロセスの効率化、および作業内容や判断根拠の追跡性と透明性の確保・向上を図ることに重点をおいたシナリオ解析手法の改良に係わる検討を進めている。

本稿では、改良された手法に基づく FEP の相関関係の整理の効率的な実施を支援するために開発した計算機支援ツール (FepMatrix) について報告する。なお、本ツールはシナリオ解析研究の専門家を主な対象とした。本ツールにより、膨大な数の FEP を相関関係マトリクス等として計算機上に構造的に整理し、かつ多面的な切り口からスクリーニングやグルーピングなどの分析を行うことが可能となった。これにより、追跡性と透明性を確保した FEP の相関関係とその関連情報の体系的な取り扱いが可能となると同時に、膨大な数の情報を扱う際に発生しがちなヒューマンエラーの可能性の低減を図ることができる見通しを得、目的に応じたシナリオ解析の作業効率を向上させる環境を整備することができた。

核燃料サイクル工学研究所（駐在）：〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松 4-33

+1 研究開発統括ユニット

※ 技術開発協力員

*1 原子力発電環境整備機構

*2 株式会社三菱総合研究所

*3 株式会社クインテッサジャパン

Development of a Computer Tool to Support Scenario Analysis
for Safety Assessment of HLW Geological Disposal

Hitoshi MAKINO⁺¹, Makoto KAWAMURA^{*}, Keiichiro WAKASUGI^{*1},
Hiroo OKUBO^{*2} and Hiroyasu TAKASE^{*3}

Geological Isolation Research Unit
Geological Isolation Research and Development Directorate
Japan Atomic Energy Agency
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received January 10, 2007)

In "H12 Project to Establishing Technical Basis for HLW Disposal in Japan" a systematic approach that was based on an international consensus was adopted to develop scenarios to be considered in performance assessment. Adequacy of the approach was, in general term, appreciated through the domestic and international peer review. However it was also suggested that there were issues related to improving transparency and traceability of the procedure. To achieve this, improvement of scenario analysis method has been studied.

In this study, based on an improvement method for treatment of FEP interaction a computer tool to support scenario analysis by specialists of performance assessment has been developed. Anticipated effects of this tool are to improve efficiency of complex and time consuming scenario analysis work and to reduce possibility of human errors in this work. This tool also enables to describe interactions among a vast number of FEPs and the related information as interaction matrix, and analysis those interactions from a variety of perspectives.

Keywords: HLW Disposal, Performance Assessment, Scenario Analysis, FEPs

+1 Research and Development Integration Unit

※ Cooperative Staff

*1 Nuclear Waste Management Organization of Japan; NUMO

*2 Mitsubishi Research Institute, Inc.

*3 Quintessa Japan, Inc.

目 次

1. はじめに	1
2. FEP の相関関係の整理手法の概要と計算機支援ツールの機能要件	3
2.1 FEP の相関関係の整理手法の概要	3
2.2 計算機支援ツールの機能要件	10
3. 計算機支援ツールの機能	11
3.1 マトリクスの設定・編集の機能	11
3.2 プロパティ情報の設定・編集の機能	15
3.3 マトリクスおよびプロパティ情報を用いた分析の機能	16
3.4 本ツールの試行	17
4. まとめと今後の予定	23
謝辞	23
参考文献	24
付録 1 計算機支援ツール「FepMatrix」の技術仕様	25
付録 2 計算機支援ツール「FepMatrix」の利用マニュアル	26

Contents

1. Introduction	1
2. An outline of treatment method of FEPs and requirements for computer tool development	3
2.1 An outline of treatment method of FEPs	3
2.2 Requirements for computer tool development	10
3. Functions of computer tool to define and edit	11
3.1 Functions to define and edit matrix	11
3.2 Functions to define and edit properties	15
3.3 Functions to analysis scenarios	16
3.4 Trial of the tool	17
4. Conclusion and future plan	23
Acknowledgement	23
References	24
Appendix 1: Technical specifications of computer tool “FepMatrix”	25
Appendix 2: User’s manual of computer tool “FepMatrix”	26

図表目次

図 2-1 相関関係のマトリクス形式での整理のイメージ	5
図 2-2 階層化のイメージ	7
図 3-1 マトリクス形式での整理と階層化による相関関係の整理の例	13
図 3-2 簡易ネットワーク表示機能の適用例	16
図 3-3 人工バリアシステムにおける安全機能層	19
図 3-4 人工バリアシステムにおける FEP 層	21
表 3-1 プロパティ情報の属性と内容の例	15

This is a blank page.

1. はじめに

シナリオ解析（Scenario Analysis）については、1992年のNEAシナリオワーキンググループでは、「放射性廃棄物処分場の安全性に関する代替的な将来像を抽出し、それらの概要を記述するとともに、評価の信頼性を確保するために考慮すべきものを選出すること」であると定義している(OECD/NEA, 1992)¹⁾。

一方、その後の研究開発や性能評価の経験から、シナリオに関する国際的な議論（たとえば、OECD/NEA(2001)²⁾において、シナリオの解析の役割として以下のことが合意されている：

- ・安全性に関する特性（Features）、イベント（Events）、プロセス（Processes）（以下、「FEP」とする）のリストの同定と記述により、性能評価の対象とする範囲の完全性、包括性、あるいは十分性を示すこと。
- ・性能評価においてどのFEPを取り込み、どう取り扱うかを示すこと。これは、重要性の低いFEPのスクリーニング、どのFEPを定量的モデルとして取り扱うべきか、どのFEPはスコーピング解析^注で取り扱うことができるか、どのFEPがシナリオを区分する要素として考えられるべきか、などの決定を含む。
- ・データや情報から評価シナリオ、モデルおよび評価ケースの評価への追跡性を提示すること。
- ・異なる聴衆に性能評価の結果の透明性（理解し易さの改善）を提供すること。これは、事業者、規制者、公衆の間のコミュニケーションツールとして機能することを含む。
- ・研究開発の優先度、データ取得、資金の配分に関わる意思決定をガイドすること。

ここでシナリオ解析は、FEPの同定、科学的理解に基づく幅広い評価モデルの統合、そして評価ケースの選定までを含んでいる。また、シナリオ解析が、解析ケースやそれぞれについての計算結果を、情報不足に起因するバイアスや不備も含めて総合的に議論するための全体的な枠組みを与えることが指摘されている。

1999年に公開した「わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性－地層処分研究開発第2次取りまとめ」（核燃料サイクル開発機構、1999³⁾、以下、「第2次取りまとめ」とする）におけるシナリオ解析では、前述のOECD/NEA(1992)¹⁾の考え方、国際的に合意が得られていた体系的なアプローチ(OECD/NEA, 1991⁴⁾, 1992¹⁾)を踏襲しながらシナリオの作成を行った。その結果、「基本シナリオ及び変動シナリオ体系が構築されることにより、想定される地層処分システムの将来のふるまいと人間環境への影響について論理的に記述されており、地層処分の安全性を評価するためのシナリオを作成する手法が明らかにされていると判断できる」(原子力委員会 原子力バックエンド対策専門部会、2000⁵⁾)とされており、場所を特定しない幅広い地質環境を対象とした調査研究段階の取組みとして、国から評価を受けた。一方、第2次取りまとめに対する国際レビュー(OECD/NEA, 2000⁶⁾)では、シナリオから解析ケースの設定までの流れについて、より分りやすく提示する必要があるとの指摘を受けた。この指摘は、前述のOECD/NEA(2001)²⁾にまとめられたような、幅広い役割を含むシナリオ解析への展開を求めるものであると理解できる。

以上のことから、第2次取りまとめ以降、国が評価を受けた第2次取りまとめでの手順などを基盤としつつ、2章に述べるFEPの相関関係の整理に重点をおいたシナリオ解析手法の改良に係

^注 調査研究計画などに反映させるために、重要なプロセスを抽出した上で優先的に取り組むべきモデル開発やデータ取得などの課題を抽出するために、簡略化したモデルや解析解などを用いておこなわれる解析。

わる検討を進めてきている（核燃料サイクル開発機構, 2005⁷⁾ ; 牧野ほか, 2005⁸⁾）。

本報では、上記の改良された手法に基づくFEPの相関関係の整理の効率的な実施を支援するために開発した計算機支援ツール（FepMatrix）について報告する。まず、2章において改良したFEPの相関関係の整理手法の概要と計算機支援ツールに求められる機能要件を述べ、3章において開発したシナリオ解析のための計算機支援ツールの機能を述べる。また、今回開発した計算機支援ツール「FepMatrix」の技術仕様と利用マニュアルを付録に示す。

2. FEP の相関関係の整理手法の概要と計算機支援ツールの機能要件

2.1 FEP の相関関係の整理手法の概要

本節では、改良した FEP の相関関係の整理手法（核燃料サイクル開発機構、2005⁷⁾；牧野ほか、2005⁸⁾）の概要を述べる。

まず、前章に既述したシナリオに関する国際的な議論を踏まえ、第 2 次取りまとめ以降の検討で対象とするシナリオ解析の作業プロセスを以下のように設定した：

- ・FEP の同定
- ・FEP の相関関係の整理
- ・FEP のスクリーニング
- ・評価シナリオの作成
- ・評価シナリオのモデル化および評価ケースの選定

なお、第 2 次取りまとめでも基本的に同様なプロセスを行っているが、シナリオ解析としては主に「FEP の同定」から「シナリオの作成」までを主な対象としていた。

上記プロセスの中で、FEP の相関関係の整理は、シナリオ解析の作業プロセス全体に關係する重要な作業であり、百を超える FEP の複雑な相関関係を取り扱うシナリオの検討・構築を実施した第 2 次取りまとめでの経験からも最も複雑で時間を要する作業であった。そのため、FEP の整理手法の向上はシナリオ解析を実施する立場から特に重要と考えられた。また、FEP の相関関係の整理は、幅広い役割を含むシナリオ解析への展開において留意すべき以下の点（OECD/NEA、2001²⁾）とも密接に關係する：

- ・可能性のあるシナリオの全てを完全に列挙することは不可能であり、合理的な十分性を目指すことが重要。
- ・作業プロセスの透明性が重要であり、方法や結果が追跡できること、オープンであることおよび簡単であること（結果が複雑な場合でも、方法は明確に述べることができること）が重要。
- ・体系的なアプローチの採用により、FEP の取扱いおよび種々の判断や決定（何が評価に含まれたか／含まれないかなど）を記録に残すことが重要。
- ・シナリオ開発を実施する事業側と科学的専門家、安全規制側あるいは公衆との交流のインターフェイスを提供することが重要。

さらに、実際の地質環境を対象としたシナリオ解析においては、対象とする地質環境の条件や現象に関する理解の進展に応じて、シナリオの検討をくり返し行う必要が生じることとなり、このようなくり返しの作業にも対応できるようにすることが必要となる。

以上のことと踏まえ、第 2 次取りまとめ以降のシナリオ解析手法の改良として、まず FEP の相関関係の整理手法の向上を図ることとした。整理手法の検討においては、上記の留意点に対応するために以下の技術開発ポイントを設定した：

ポイント 1：100 件を超える（場合によっては 1,000 件を超える）FEP の複雑な相関関係を、作業しやすくかつその結果を追跡しやすい形で整理・表現する仕組みとする。
あわせて、合理的な十分性を達成しやすい仕組みとする。

ポイント 2：FEP の相関関係の整理・表現を検討する段階から下流側の作業であるモデル化

This is a blank page.

や解析ケースの選定につながりやすくすることに配慮する。

ポイント3：作業プロセスや内容および判断についても、その記録をマトリクスに集約することで追跡性を確保しやすい仕組みとする。

上記の3つのポイントに対応するためのFEPの相関関係の整理手法として、

- ①相関関係のマトリクス形式での整理（上記のポイント1～3に対応）
- ②階層化（上記のポイント1と2に対応）

を特徴とする概念を構築した。以下に、これらの概念を示す。

①相関関係のマトリクス形式での整理

FEPの相関関係については、FEPを矢印でつなぎフロー形式で整理するプロセス・インフルエンス・ダイアグラム（Process Influence Diagram：以下「PID」とする）を用いた表現が従来から行われてきた。第2次取りまとめでもPIDを用いてFEPの相関関係を整理・表現した。

これに対して、本検討では、マトリクス形式により相関関係を整理することとした。この整理手法の特徴を、FEPの相関関係を例に説明すると以下のようになる（図2-1）：

- ・場の特性や状態を表す特性（Features）（以下、「特性FEP」とする）を対角要素に配置
- ・それら特性FEP間での影響の伝播に関するプロセスや事象を表すプロセス（Processes）やイベント（Events）（以下、「プロセスFEP」とする）を対角要素間の交点となる非対角要素に配置

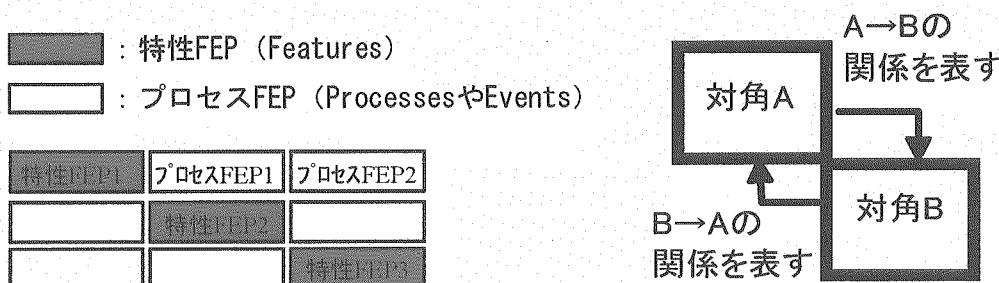


図2-1 相関関係のマトリクス形式での整理のイメージ

FEPの相関関係をこのようなマトリクス形式で整理する利点は以下のとおりである。

- ・マトリクスの構造を活かして、要素ごとに他の要素との相関関係をその意味を明示しつつひとつひとつ確認しながら整理することができるため、重要な相関関係の見落としなどの可能性を小さくすることができる。これにより、従来のPIDを用いた手法に対して合理的な十分性を確保する。
- ・あるまとまった意味を有する特性FEPとプロセスFEPの相関関係が、特性FEPとプロセスFEPの構造的なかたまりとしてマトリクスのある領域に集約されたため、その領域におけるFEPの相関関係が示す安全機能などの意味を把握しやすくなる。
- ・特性FEPおよびプロセスFEPが構造的なかたまりを有することは、各評価モデルが有する「入力→プロセスに応じた内部処理→出力」の処理の流れの関係と対応しやすくなる。
- ・相関関係がマトリクス上で構造的に整理されるため、PIDを用いて相関関係を整理する場

This is a blank page.

合に必要となる、FEP を配置しそれらを相関関係に応じて矢印でつなぐという煩雑な作業が不要になり、FEP の追加や相関関係の変更にも対応しやすくなる。これにより、相関関係の設定の作業の方法が体系的で明確なものとなる。また、FEP に関する作業のプロセスや内容および判断の記録を相関関係のマトリクスと関係づけながら記録することが容易となる。

②階層化

多数の FEP の相関関係により表現される影響の伝播について、個別を詳細に理解しつつ全体も適切に理解するという、相反する要求に対応できるようにするために、個々の FEP とその相関関係からシナリオを検討するというボトムアップ的なアプローチと、システムの性能あるいはそれへの影響の視点からシナリオを検討するというトップダウン的なアプローチが考えられる。第 2 次取りまとめにおいては、ボトムアップ的なアプローチを中心としつつ、その結果を安全機能の観点から確認するというトップダウン的なアプローチも一部取り込んでいた。本研究では、それをより進めて両アプローチを密に連携させることを考えた。具体的には、「詳細レベル」と「概要レベル」の 2 つの階層を考え結合する概念を導入した（図 2-2）。「詳細レベル」としては FEP により構成される層を考え、「概要レベル」としてはトップダウン的な視点としてシステムの性能に直結したものが適切と考え、システムの各要素に期待する機能を表す安全機能により構成される層を考えることとした。

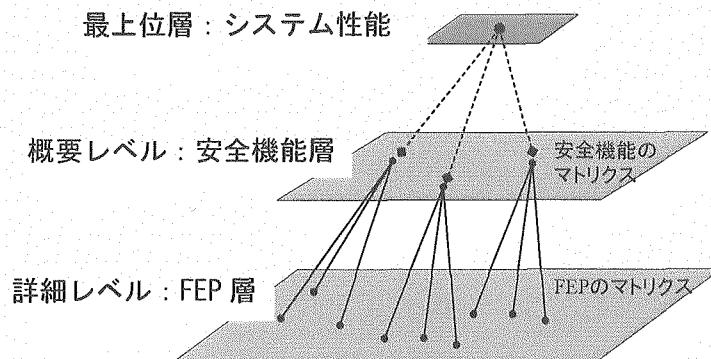


図 2-2 階層化のイメージ

また、階層化の概念と相関関係のマトリクス形式での整理の概念は、以下のような考え方で結合することができる。

- ・FEP 層においては、FEP の相関関係を①で述べた方法で整理する。
- ・安全機能層では、(FEP の相関関係と同様な方法で) 対角要素に場の特性や状態に関係する安全機能を、非対角要素に影響の伝播に関するプロセスや事象を表す安全機能を配置するなどして、安全機能の発現あるいは擾乱要因の影響を表現する。
- ・安全機能層に対して、FEP 層は個々の安全機能の発現や低下のメカニズムとその程度あるいは擾乱要因の影響のメカニズムをより詳細なレベルで表現するものと位置づける。
- ・この階層構造の中では、さらに最上位の層として安全機能の結果として表現されるシステムの性能（たとえば、各バリア外側での移行率の低減）を位置づけることができる。

このような 2 つの概念とその結合により相関関係を整理する利点は以下のとおりである。

This is a blank page.

- ・安全評価の最終的な目標であるシステム性能を、安全機能の相関関係を用いて全体的に表現しつつ、個々の安全機能の発現や低下あるいは擾乱要因の影響を FEP レベルで詳細に記述するという構造的かつ包括的な枠組みを与えることができ、概要レベルで全体像を俯瞰する場合と、詳細レベルで個別の現象を中心にはじめ検討を行う場合とで解像度を切り替えながら相関関係の整理作業を体系的に行うことができる。
- ・また、それぞれの層内での要素間の相関関係を、トップダウンの視点とボトムアップの視点の両方から確認することで、その十分性を向上させることができる。

2.2 計算機支援ツールの機能要件

2.1 節で述べた、相関関係の整理手法としてのマトリクス形式による整理と階層化の概念の導入により、作業の結果としての相関関係の表現のみならず、相関関係を同定する作業なども定型的で構造化されたものとすることができる。この特徴は計算機上に展開するうえで有利であり、また計算機上に展開することによりこの特徴をより活かすことができるようになると考えられる。

以下に、2.1 節で述べた相関関係の整理手法の実施を支援するために開発する計算機支援ツール（FepMatrix）に求められる機能要件を整理する。

機能要件 1：相関関係の設定・編集のための定型的なインターフェイスの提供

これにより、マトリクス形式での相関関係の同定・編集、およびマトリクスの階層的な関係の設定・編集の作業の手順の体系化と効率的な実施、および作業内容の追跡性の向上を図る。

機能要件 2：相関関係の要素に補足的な情報を関係づける機能と定型のフォーマットの提供

これにより、それぞれのマトリクスの要素（FEP、安全機能）の特徴など、相関関係の整理のみならず、モデル化や解析ケースの選定に係わる作業においても参考とできる情報を一元的に管理できるようにする。

機能要件 3：シナリオについて多様な切り口からの分析ができる機能の提供

機能要件 1 による構造的な整理、機能要件 2 による補足的な情報との関係付けを活用し、相関関係のグルーピングやスクリーニングなど、多様な切り口でシナリオの分析を行えるようにする。

なお、シナリオ解析の役割として、2.1 節に述べたように「多様なステークホルダー間での交流のインターフェイスの提供」が求められるが、本ツールの開発では、まずは、シナリオ解析の実施者や性能評価に係わる専門家を主な対象とした交流のインターフェイスを提供することを目指すこととした。

3. 計算機支援ツールの機能

本章では、2.2節で述べた機能要件を踏まえて開発したシナリオ解析のための計算機支援ツール「FepMatrix」が有する以下の主要な機能を説明する。なお、各機能はそれぞれ2.2節で整理した機能要件と対応したものとなっている。

- ・マトリクスの設定・編集の機能（機能要件1と機能要件2に対応）
- ・プロパティ情報の設定・編集の機能（機能要件2に対応）
- ・マトリクスおよびプロパティ情報を用いた分析の機能（機能要件3に対応）
 - インフルエンスダイヤグラムの表示
 - スクリーニング機能、グルーピング機能
 - 連鎖検索機能、不確実性伝播機能

なお、本ツールの技術仕様、および本ツールの機能とその使い方をより詳細に説明した利用マニュアルを、それぞれ付録1と付録2に示す。

3.1 マトリクスの設定・編集の機能

本機能では、
 ・概要レベルと詳細レベルのそれぞれの層内での相関関係のマトリクス形式での整理
 ・概要レベルと詳細レベルの層の関係付けによる階層化
 を、設定・編集する共通的なインターフェイスを提供する。

各層のマトリクスの新規作成は、画面上の空白のセルからなるスプレッドシートに対角要素および非対角要素を設定することを繰り返すことで実施する（図3-1(a)）。この画面のイメージやスクロールの操作感覚などは、既存の表計算ソフト（マイクロソフト社製のMicrosoft® Excel®など）と類似したものであり、構造的かつ定型的なインターフェイスとなっている。ただし、マトリクスが正方形であること、対角行列の背景が強調表示されていることなどによりマトリクス作成作業がしやすくなっている点が特徴である。また、相関関係の設定を進める際の基本ルールとして、非対角要素（例えば、FEP層のプロセス FEP）を配置するためには、連鎖の入力側と出力側に相当する対角要素（例えば、FEP層の特性 FEP）を事前に設定する必要があるなどの制約を課している。

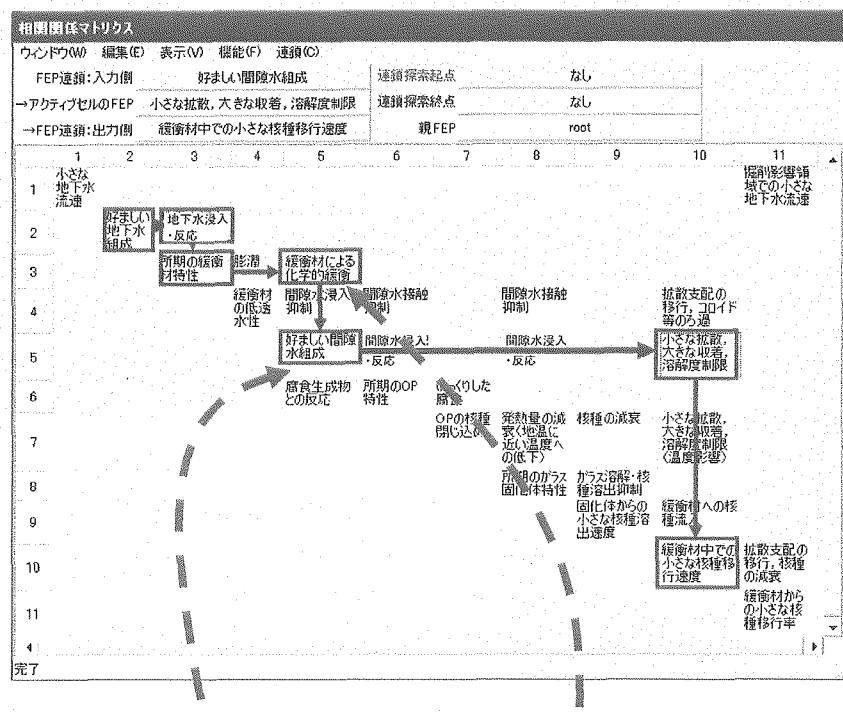
なお、マトリクスの空白のセルへの要素の名称等の入力は、後節3.2で述べる「プロパティ情報の設定・編集の機能」を利用して行う。

階層化については、詳細レベルのマトリクスを、概要レベルのマトリクスのひとつつの対角要素あるいはひとつの非対角要素をさらにマトリクス形式で細分化したものとして関係付ける（図3-1(b)）。そのため、概要レベルのマトリクスの要素が設定されていない箇所に詳細レベルのマトリクスを設定することは出来ないようにしている。

これらの機能により、相関関係の整理作業を画面上でのマトリクスの設定・編集に集約させることができ、また整理作業の結果がマトリクスの形で一元的に管理できる。また、2.2節で述べた相関関係のマトリクス形式での整理と階層化を実施することができる。

This is a blank page.

(a) 概要レベルの例
(安全機能層の例)



(b) 詳細レベルの例
(FEP 層の例)

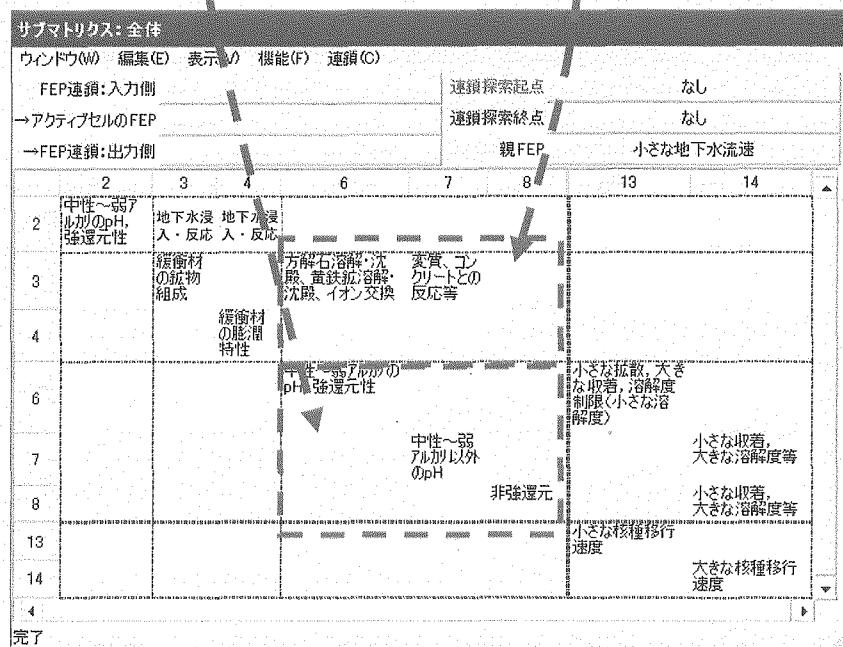


図 3-1 マトリクス形式での整理と階層化による相関関係の整理の例

This is a blank page.

さらに、相関関係の整理作業において想定されるユーザーのニーズに対応できるように以下の機能を準備することで、整理作業の効率向上さらにはヒューマンエラーの低減を支援できるようにした。

- ・マトリクスの大きさは、新規作成時に初期画面上でユーザーが自由に設定することができる。また、整理作業の過程において新たな空白セルが必要となる場合には、行や列を任意の場所に新たに挿入できる。
- ・一方、整理作業の過程において既存の対角要素あるいは非対角要素を削除することができる。ただし、連鎖の構造に不整合が生じないように、非対角成分に要素が残っている場合には対角成分は削除できない、詳細レベルのマトリクスに要素がある場合にはそれを含む概要レベルのマトリクスの要素は削除できない、などの制約を課している。さらに、誤操作による影響を最小にする観点から、関連する要素をまとめて削除する、複数要素を同時に削除する、などの操作は禁止することとし、要素は一つ一つ削除するようにしている。
- ・上記のセルの追加や削除等の編集作業の内容を逐次ログファイルとして記録することで、いつどのような作業を行ったかを追跡できる。

3.2 プロパティ情報の設定・編集の機能

本機能では、マトリクスの空白セルに新規に要素を設定した場合、プロパティ設定画面が開いて各要素の名称等の情報とともに補足的な情報を登録できる。また、すでに設定した要素に対しても、同様の画面から既定値を逐次変更することができる。

現状のツールでは、表 3-1 に示す属性に関して情報を登録できる。この機能により、マトリクスの各要素の特徴、モデル化や解析ケースの選定に係わる作業で参考すべき情報を、分散させずにマトリクスとの対で一元的に管理でき、さらにこれら情報を後節 3.3 で言及する各種分析の基礎情報として活用することができる。

表 3-1 プロパティ情報の属性と内容の例

属性	内容
要素の情報	名称、番号、種類
発生、影響に係わる情報	連鎖生起可能性、連鎖影響、安全機能重要性 等
時期	操業中 閉鎖後（緩衝材冠水時、冠水後、オーバーパック開口後）
領域	ガラス固化体、オーバーパック、プラグ、グラウト、 緩衝材、母岩
現象種類	熱、力学、水理、化学、放射線、核種移行、物質移動
解析モデル	核種移行モデル、地下水流动モデル、核種溶解度、 核種吸着、化学モデル、ガラス溶解、放射線分解、 熱伝導、変形・破壊、母岩応力
不確実性に係わる情報	有無、種類、程度、所在 等
コメント	上記以外の内容を自由記述

3.3 マトリクスおよびプロパティ情報を用いた分析の機能

3.1 節で示した機能による要素の構造的な整理、3.2 節で示した機能による要素と情報の関係づけを活用し、本機能では以下の切り口でシナリオの分析を行えるようにした。

(1) インフルエンスダイヤグラムの表示

マトリクス形式で表現されている連鎖を、インフルエンスダイヤグラムの形式で表示する機能として、簡易ネットワーク表示機能を設けている。この機能では、マトリクス上と同じ位置関係で要素が配置され、関連する要素間を矢印で連結した形式で表示される（図 3-2）。

この機能により、マトリクス形式では陽に現れてこない連鎖の伝播に着目した確認や分析が効率的に実施できる。また、マトリクス形式での相関関係の整理結果を、必要に応じて、従来から利用されているプロセスインフルエンスダイアグラムと類似の形式でも提示できることで、コミュニケーションの促進を図ることができる。

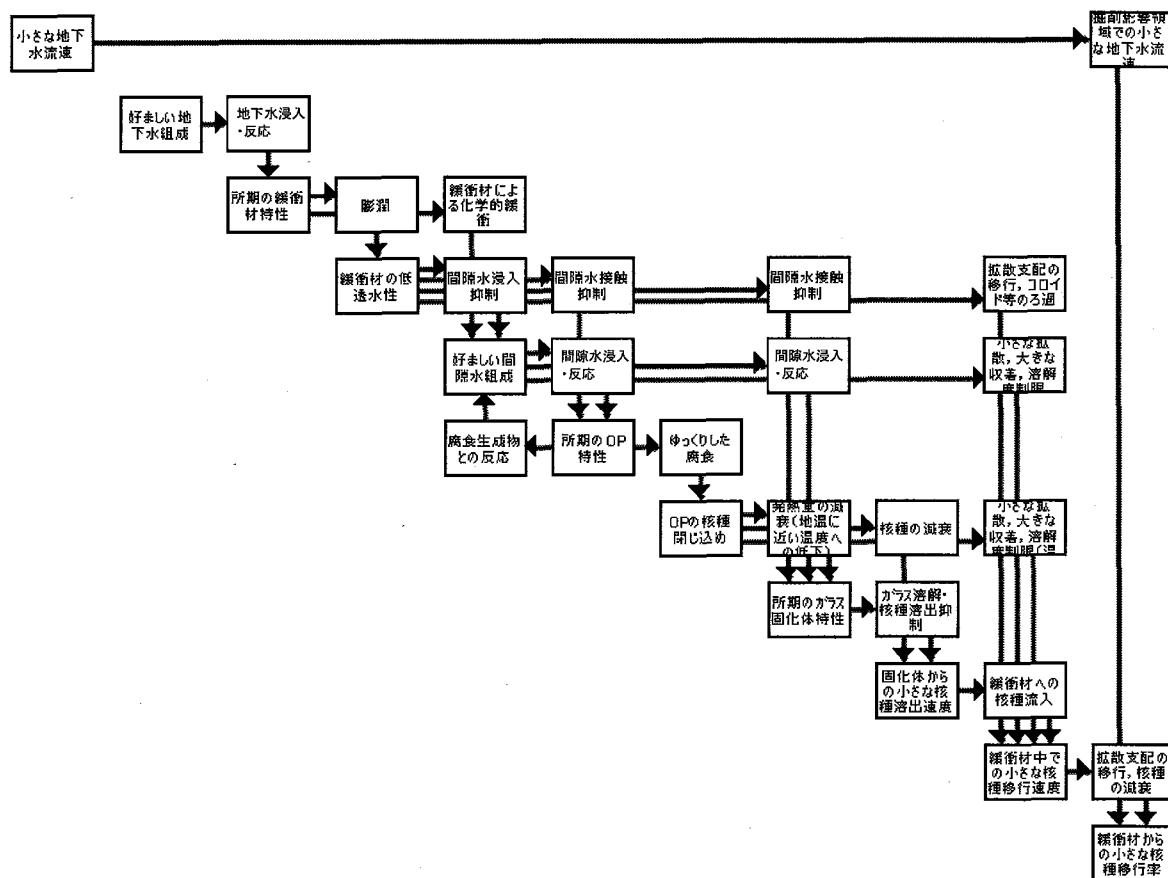


図 3-2 簡易ネットワーク表示機能の適用例
(図 3-1(a)の相関関係のインフルエンスダイヤグラムでの表示)

(2) スクリーニング機能、グルーピング機能

スクリーニング機能では、プロパティ情報（表 3-1 参照）に基づき、ある属性が条件を満たす要素のみで構成されるマトリクスの部分構造を抜き出す。

また、グルーピング機能では、表 3-1 に記したプロパティ情報に基づき、ある属性が同じ属性値をもつ要素同士と同じ色で表示することで、異なる属性値をもつ要素と視覚的に区別する。

これらの機能により、多種多様な要素を含むマトリクスの内容を、例えば発生時期、領域、現象の種類あるいは影響や発生可能性で区切りながら抽出することができ、シナリオの抽出の効率化に活用できる。たとえば、生起可能性の高い要素のスクリーニング、オーバーパック破損前の再冠水時に発生する要素のスクリーニング、特定のモデルに関係する要素のスクリーニング、さらには複数の属性を組み合わせたスクリーニングなどが実施できる。このような種々の着眼点でスクリーニングを実施することにより、多様なシナリオの分析が可能になる。また、このような機能を、マトリクスの編集時の設定・確認作業に適用することにより、作業の効率改善にも活用できる。

(3) 連鎖検索機能、不確実性伝播機能

連鎖の探索機能では、始点と終点の少なくとも一つを設定している状態で、始点となる要素から出て、終点なる要素へと入っていく連鎖を構成する一連の要素を探索する。一方が設定していない状況では、設定していない側の要素には制限を設けない。例えば、始点のみを設定した場合には、その始点となる要素から始まる連鎖に含まれるすべての要素をリストアップする。

また、不確実性の伝播機能では、プロパティ情報での不確実性に関する情報（不確実性の程度）を用いて、ある属性値以上の不確実性の程度を持つ要素を不確実性有りとして探索の始点とし、これら視点の少なくとも一つ以上と連鎖で結ばれているすべての要素をリストアップする。

これらの機能により、特定の要素を始点や終点として影響の伝播する範囲を探索することができ、シナリオの抽出の効率化に活用できる。また、このような機能を、マトリクスの設定・編集時の確認作業に適用することにより、作業の効率改善にも活用できる。

3.4 本ツールの試行

本ツールの試行として、人工バリアシステムを対象として安全機能層とそれに対応する FEP 層を構築した。その際、各安全機能についてプロパティ情報の一つである「領域」について（表 3-1 参照）、ガラス固化体、オーバーパック、緩衝材およびコンクリート支保の 4 つの領域に区分して入力した。

人工バリアシステムの物理的構造については、第 2 次取りまとめにおける人工バリア仕様を参考とした。本ツールの試行する際には、2.1 節に既述した「階層化」のイメージを具現化するものとし、ボトムアップ的なシナリオ解析における要素である FEP 層（詳細レベル）とトップダウン的な分析における要素である安全機能層（概要レベル）2 階層を設定した（図 2-2 参照）。それらの二つの層について、本ツールを用いて同時に構築することによって目的指向の検討と網羅的かつ客観的な振る舞いの表現とを適切に融合させた。

本ツールを用いて作成した人工バリアシステムの安全機能層のインフルエンスダイヤグラムの例を図 3-3 に示す。また、図 3-3 に対応する FEP 層におけるインフルエンスダイヤグラムの例を図 3-4 に示す。なお、図 3-3 および 3-4 中に示されているボックスは本ツールのグルーピング機能により 4 色に塗り分けられているが、

赤：ガラス固化体の安全機能（安全機構層）とそれらに対応する FEP（FEP 層）

This is a blank page.

黄：オーバーパックの安全機能（安全機構層）とそれらに対応する FEP（FEP 層）
灰：緩衝材の安全機能（安全機構層）とそれらに対応する FEP（FEP 層）
青：コンクリート支保の安全機能（安全機構層）とそれらに対応する FEP（FEP 層）
に、それぞれ対応する。

本ツールの試行により、膨大な数の FEP と関連する諸情報を体系的な手順で入力あるいは編集し、相関関係の設定を行うことが可能であることがわかった。また、現象の種類や領域あるいはモデルの種類といった基軸によるグルーピングや FEP の影響の程度と生起の可能性に着目したスクリーニングにより、シナリオ解析の目的に応じたシナリオの分析や抽出を効率的かつ効果的に行うための知見を得ることができることがわかった。更に、作業のプロセスや内容および判断をマトリクス上に一元的に集約することにし、追跡性が向上するとともに、上記の作業を行う際に発生しやすい相関関係の設定ミス等のヒューマンエラーの可能性を低減することができる見通しを得た。

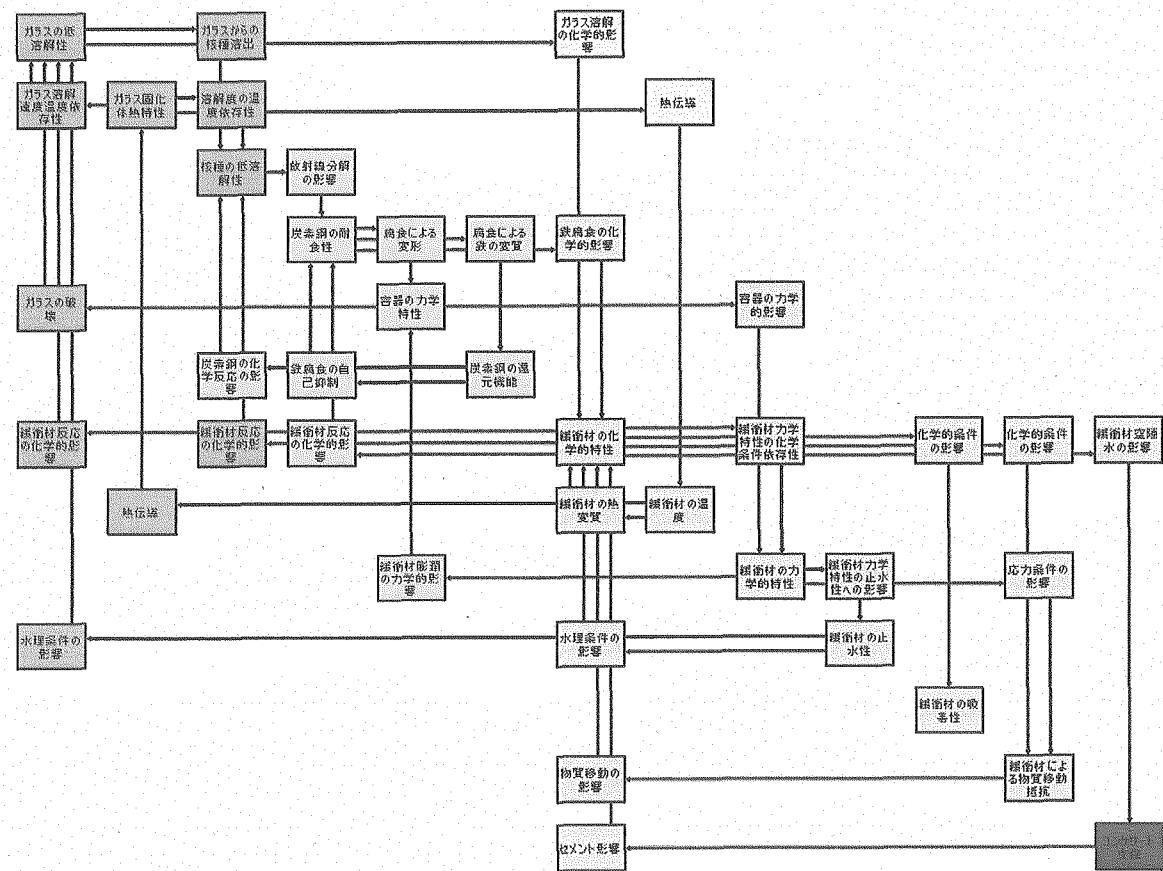


図 3-3 人工バリアシステムにおける安全機能層

This is a blank page.

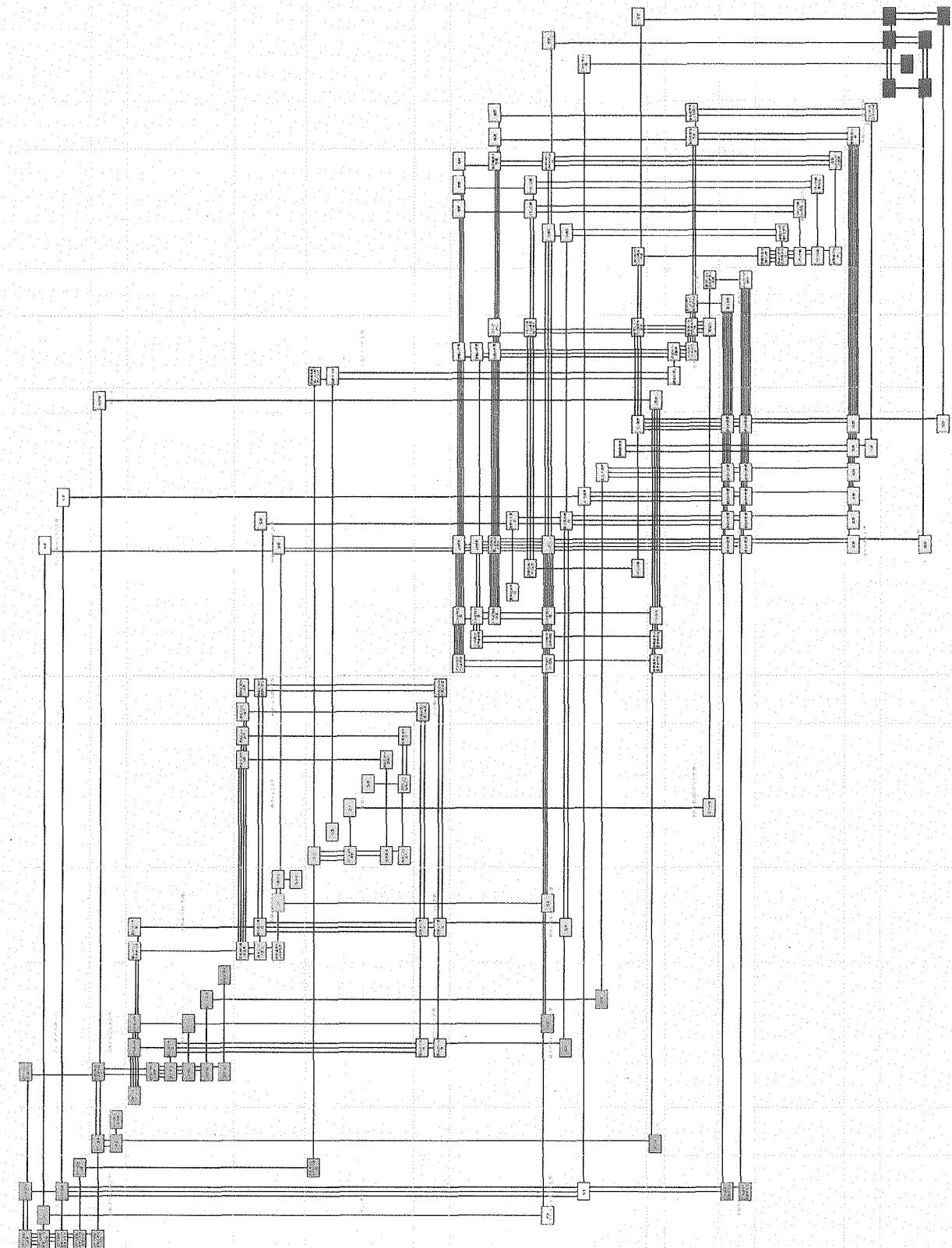


図 3-4 人工バリアシステムにおける FEP 層

This is a blank page.

4. まとめと今後の予定

本研究では、シナリオ解析の作業プロセス全体に関係する重要な作業であるとともに、第2次取りまとめでのシナリオの検討・構築の経験からも最も複雑で時間を要する作業であった、FEPの相関関係の整理手法の改良に基づき、その手法に基づくFEPの相関関係の整理の効率的な実施を支援するための計算機支援ツールを以下の機能要件を設定して開発した。

- ・ 相関関係の設定・編集のための定型的なインターフェイスの提供
- ・ 相関関係の要素に補足的な情報を関係づける機能と定型のフォーマットの提供
- ・ シナリオについて多様な切り口から分析ができる機能の提供

開発した計算機支援ツールの試行（図3-1参照）により、シナリオ解析に対する以下のメリットが明らかとなった。

- ・ 100件を超える膨大な数のFEPと関連する諸情報を体系的な手順で合理的な作業時間内に入力あるいは編集し、相関関係の設定を行うことが可能。
- ・ 上記の作業を行う際に発生しやすい相関関係の設定ミス等のヒューマンエラーの可能性を低減することが可能。
- ・ 作業のプロセスや内容および判断をマトリクス上に一元的に集約することにし、追跡性が向上。
- ・ 現象の種類や領域あるいはモデルの種類といった基軸によるグルーピングやFEPの影響の程度と生起の可能性に着目したスクリーニングにより、シナリオ解析の目的に応じたシナリオの分析や抽出を効率的かつ効果的に行うための知見を得ることが可能。

なお、本計算機支援ツールは、高レベル放射性廃棄物処分に関するシナリオ研究の一環として開発してきたものであるが、高レベル放射性廃棄物に限らず、同様の検討が必要とされる他の廃棄物処分に関するシナリオ解析にも適用可能なものである。

今後は、本計算機支援ツールを用いてシナリオ解析を実施する。特に、ツールのスクリーニングあるいはグルーピングの機能を活用し、シナリオの作成を実施する。具体的には、

- ・ 重要度を指標としたスクリーニングにおいて基準とする重要度の値を変えた場合のシナリオバリエーションの抽出
- ・ 主要なFEP要素に異なる重要度を与えた場合のシナリオの差異の把握
- ・ グルーピングの機能を用いた同様な検討

などの作業について本ツールを用いて試行する。また、これら作業を通してツールの適用性をより詳細に評価し、改良点を抽出しツールの機能向上を図る。例えば、今後はシナリオ解析研究の専門家以外のより幅広いユーザーを対象にできるように、ツールのユーザビリティの向上（種々の編集機能や検索機能、描画及びファイル出力機能等の充実）を図ることも重要と考えられる。

謝辞

本報告書を作成するにあたり、地層処分研究開発部門 地層処分基盤研究開発ユニット システム性能研究グループ 宮原要グループリーダーからは有益な助言を頂きました。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) OECD/NEA: "Safety Assessment of Radioactive Waste Repositories: Systematic Approaches to Scenario Development. A Report of the NEA Working Group on the Identification and Selection of Scenarios for Performance Assessment of Radioactive Waste Disposal", Organization for Economic Co-operation and Development / Nuclear Energy Agency, Paris (1992).
- 2) OECD/NEA: "Scenario Development Methods and Practice, An Evaluation Based on the NEA Workshop on Scenario Development", May 1999, Organization for Economic Co-operation and Development / Nuclear Energy Agency, Madrid, Spain (2001).
- 3) 核燃料サイクル開発機構: “わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性－地層処分研究開発第2次取りまとめ一分冊 3 地層処分システムの安全評価”, JNC TN1400 99-021 (1999).
- 4) OECD/NEA: "Review of Safety Assessment Methods, A Report of the Performance Assessment Advisory Group of the Radioactive Waste Management Committee", Organization for Economic Co-operation and Development / Nuclear Energy Agency, Paris (1991).
- 5) 原子力委員会 原子力バックエンド対策専門部会: “我が国における高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術的信頼性の評価”, 平成 12 年 10 月 11 日 (2000).
- 6) OECD/NEA: "OECD/NEA International Peer Review of the Main Report of JNC's H12 Project to Establish the Technical Basis for HLW Disposal in Japan", Organization for Economic Co-operation and Development / Nuclear Energy Agency International Review Group, NEA/WM/PEER(99)2 (2000).
- 7) 核燃料サイクル開発機構: “高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する知識基盤の構築－平成 17 年取りまとめ－ 分冊 3 安全評価手法の開発－”, JNC TN1400 2005-016 (2005).
- 8) 牧野仁史, 若杉圭一郎, 大久保博生, 高瀬博康: “地層処分安全評価におけるシナリオ解析フレームの構築”, 日本原子力学会「2005 年秋の大会」予稿集, L8, p.562 (2005).

付録1 計算機支援ツール「FepMatrix」の技術仕様

1. 開発環境

本ツールの開発環境は以下の通りである。

OS : Windows® XP Professional

開発環境 : Microsoft® Visual Studio® 2003 + Graoecity Spread for .NET Windows edition

開発言語 : Visual C#®

2. 動作環境

本ツールの動作環境を付表 1-1 に示す。

付表 1-1 動作環境

	動作環境	推奨環境
OS	Windows®2000, XP	Windows® XP
実行環境	.NET Framework 1.1 がインストールされていること	
CPU	Pentium® 4 1GHz 以上	Pentium® 4 2.5GHz 以上
メモリ	256MB 以上	512 MB 以上

注意事項 : Windows®に「.Net Framework1.1」をインストールしておく必要がある。なお、「.Net Framework1.1」は Windows Update などマイクロソフトのサイトから無償で入手可能である。

付録2 計算機支援ツール「FepMatrix」の利用マニュアル

1. はじめに

本付録では、計算機支援ツール「FepMatrix」の機能とその使い方をより詳細に説明する。

ただし、本付録でのツールに関する具体的で技術的な説明と、本文の2章での相関関係の整理手法の説明および3章でのツールの機能の概要説明では、同様な内容が異なる用語で表現されている場合がある。これは、計算機支援ツールの開発の開始後に、本文で示したような整理手法やツールの機能をよりわかりやすく整合的に説明するための文書化の作業を並行して進めたことにより、両者で一部表現上の違いが生じてしまったためである。

付表2-1に用語の対応を示す。本付録では付表2-1の右欄に示した用語を用いる。

付表2-1 手法の説明とツールの機能の説明での用語の対応表

説明しようとする内容	本文で用いた用語	本付録で用いる用語
概要レベルの層	安全機能層（のマトリクス）	相関関係マトリクス*1
(概要レベルの) 対角要素	場の特性や状態に関する安全機能	状態 FEP*2
(概要レベルの) 非対角要素	影響の伝播に関するプロセスや事象を表す安全機能	プロセス FEP*2
詳細レベルの層	FEP層（のマトリクス）	サブマトリクス*1
(詳細レベルの) 対角要素	場の特性や状態に関する FEP（特性 FEP）	サブステータス*2
(詳細レベルの) 非対角要素	影響の伝播に関するプロセスや事象を表す FEP（プロセス FEP）	サブプロセス FEP*2

*1：これらを区別せずに一般的に指す場合には「マトリクス」を用いる

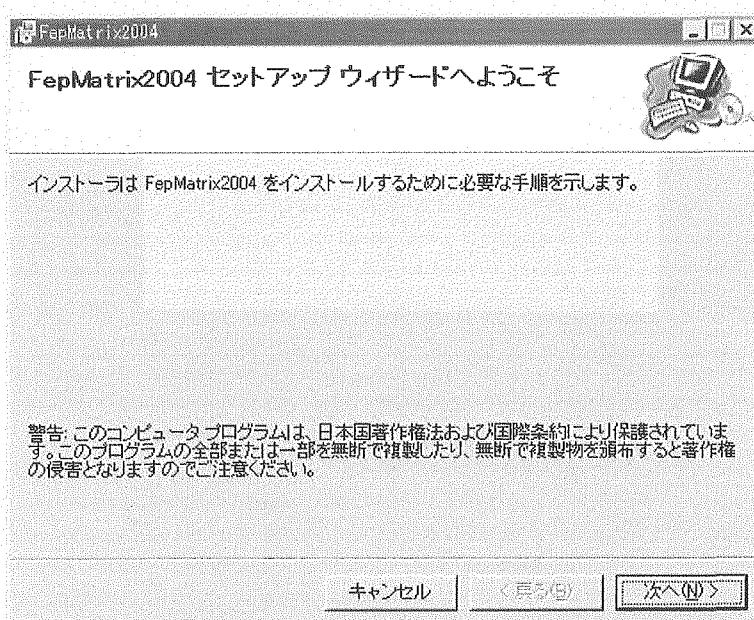
*2：これらを区別せずに一般的に指す場合には「FEP」を用いる

2. インストール方法／アンインストール方法

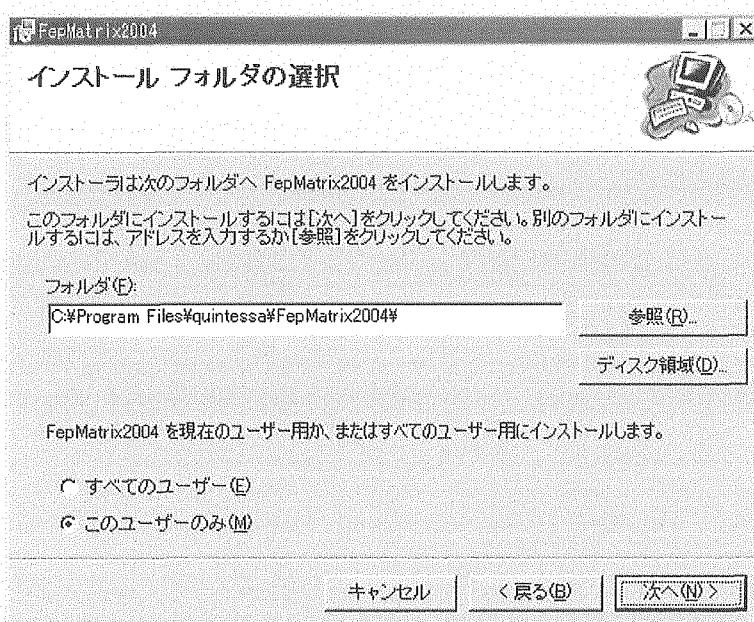
2.1 インストール

本ツールのインストーラーは、マイクロソフトインストーラ形式で提供している。

インストール方法は、インストーラー「FepMatrix2004.msi」をダブルクリックで起動した後、必要に応じてインストルフォルダなどを設定する。通常はすべて「次へ」をクリックすればよい。1台のマシンを複数人で共有してこのソフトを使用する場合は、インストルフォルダ選択画面で「すべてのユーザー」を選択する（付図2-1～付図2-4）。

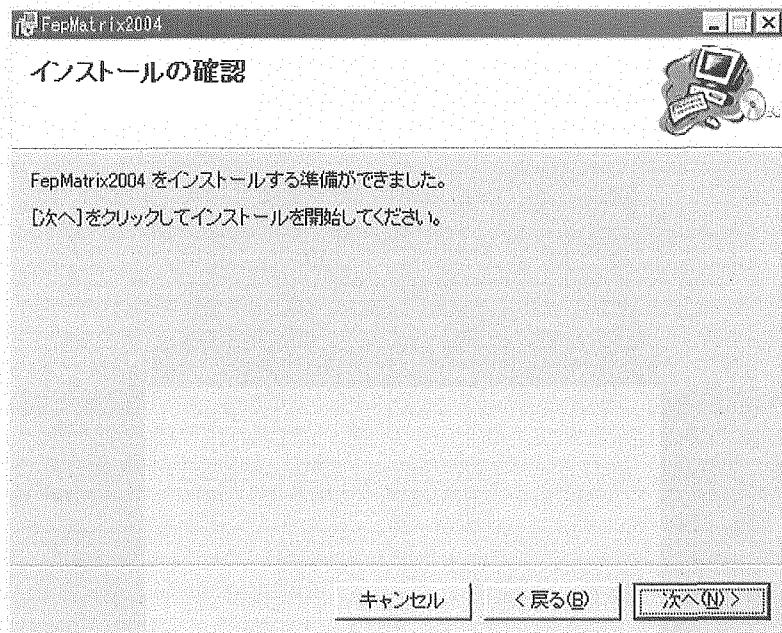


付図 2-1 FepMatrix セットアップ画面

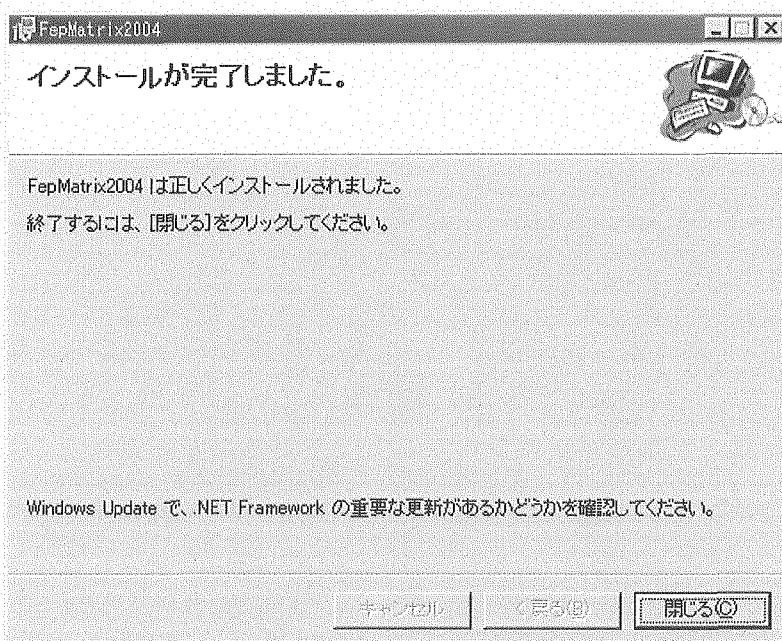


付図 2-2 インストールフォルダと使用するユーザーの選択画面

This is a blank page.



付図 2-3 インストール確認画面



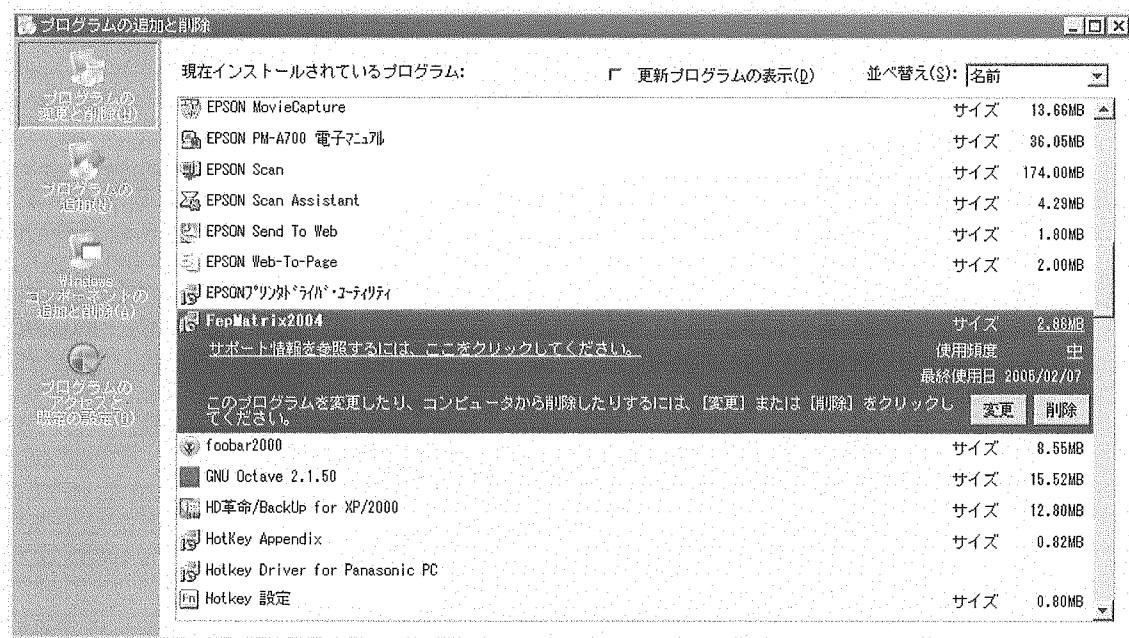
付図 2-4 インストール完了画面

This is a blank page.

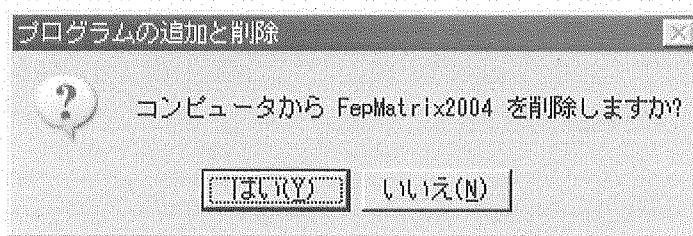
2.2 アンインストール

本ツールを使用しなくなった場合、アンインストールを実行する。また、ツールのバージョンアップを実施する際には、新バージョンのインストール前に旧バージョンのアンインストールが必要となる。

アンインストールの方法は、Windows の「コントロールパネル」の「プログラムの追加と削除」から行う（付図 2-5～付図 2-6）。



付図 2-5 プログラムの追加と削除画面



付図 2-6 アンインストール確認画面

This is a blank page.

3. 操作方法

本ツールでは、「初期画面」「マトリクス操作画面」「プロパティ設定画面」などを中心としてマトリクスの作成や編集を行うとともに、複数のサブ画面で各種機能を設定・実行する。

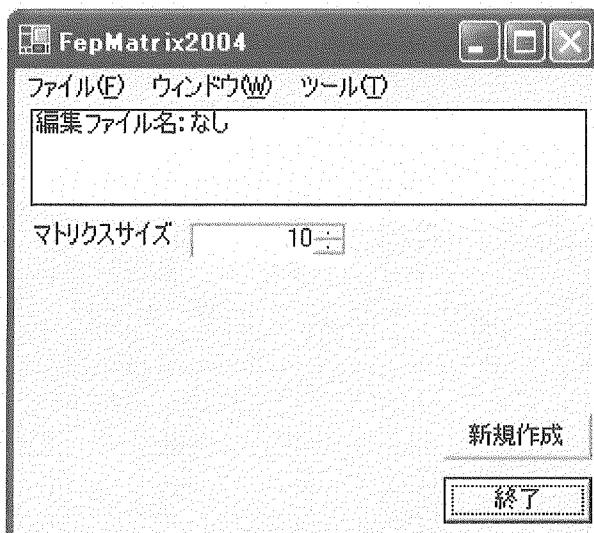
本章では、以下の機能について、関連する画面の説明と具体的な操作方法を説明する。

- ・ファイルの新規作成、既存ファイルの読み込み、保存（後述の 3.1 節参照）
- ・マトリクスの作成および編集（後述の 3.2 節参照）
- ・マトリクスの表示、簡易ネットワークの表示（後述の 3.3 節参照）
- ・スクリーニング、グルーピング、比較・分析、不確実性伝播の分析（後述の 3.4 節参照）
- ・連鎖探索（後述の 3.5 節参照）

3.1 ファイルの新規作成、既存ファイルの読み込み、保存

本ツールを起動すると、最初に「初期画面」が表示される（付図 3-1）。

初期画面においては、ファイルの新規作成、既存ファイルの読み込み、保存などファイル管理の操作を主に実行する。



付図 3-1 初期画面

(1) 初期画面の「ファイル」メニュー

以下、初期画面の「ファイル」メニューからの操作を示す。

① ファイルの新規作成：「ファイル」メニュー → 新規作成

FEP がまったく設定されていない空の相関関係マトリクス画面を新規作成する。

初期画面（付図 3-1）のマトリクスサイズの欄に作成したい相関関係マトリクスの大きさを入力し、新規作成ボタンを押すことにより、空の相関関係マトリクス画面（付図 3-2）が、「初期画面」とは別のウィンドウで開く。

This is a blank page.

相関関係マトリクス									
FEP連鎖:入力側					連鎖探索起点				
→アクティブセルのFEP					連鎖探索終点				
→FEP連鎖:出力側					親FEP				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									

完了

付図 3-2 マトリクスの新規作成直後の相関関係マトリクス画面

② 既存ファイルの読み込み：「ファイル」メニュー → 開く

既存の相関関係マトリクス（FepMatrix ファイル：XML 形式）を読み込む。

既存の相関関係マトリクス画面（付図 3-3）は「初期画面」と別のウィンドウで開く。

相関関係マトリクス									
FEP連鎖:入力側					連鎖探索起点				
→アクティブセルのFEP					連鎖探索終点				
→FEP連鎖:出力側					親FEP				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 液相物質濃度	核種固定化								
2 核種動態化	同相核種量				同相核種の吸 射線影響				
3 核種溶出	核種固定化	ガラス化学特性	ガラス成分溶出		ガラスによる故 射線の消弱制				
4	核種固定化	ガラス溶解への 化学影響	ガラス空隙水化 率		ガラス空隙水化 率				
5			放射線分解		ガラス放射線特 性				
6					ガラス物理特性				
7					ガラス熱物性	熱導率			
8					ガラス温度				
9					ガラス力学特性				
10									
11									
12									

完了

付図 3-3 既存のファイルを開いたときの相関関係マトリクス画面

③ 上書き保存：「ファイル」メニュー → 上書き保存

編集しているファイルと同じファイル名で保存する。なお、新規作成でファイル名が未定の場合は自動的に別名保存（④参照）となる。

This is a blank page.

④ 別名保存：「ファイル」メニュー → 別名保存

編集しているファイルを、ファイル名指定して保存する。

⑤ 終了：「ファイル」メニュー → 終了

本ツールを終了する。なお、編集中のファイルが未保存の場合は保存するかどうかの確認が求められる。

(2) 初期画面の「ウィンドウ」メニュー

すべての相関関係マトリクス画面を閉じてしまった後で、最後に閉じられた画面を再度表示し編集を再開する。

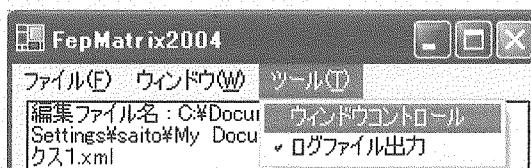
この機能は、本ツールにおいては、相関関係マトリクス画面やサブマトリクス画面がすべて閉じられた状態を編集が終了した状態と認識するため、その状態からの編集再開を容易にするための機能である。但し、ツールを一旦終了後、再起動した場合にはこの操作は不可能である。

(3) 初期画面の「ツール」メニュー

以下、初期画面の「ツール」メニューからの操作を示す。

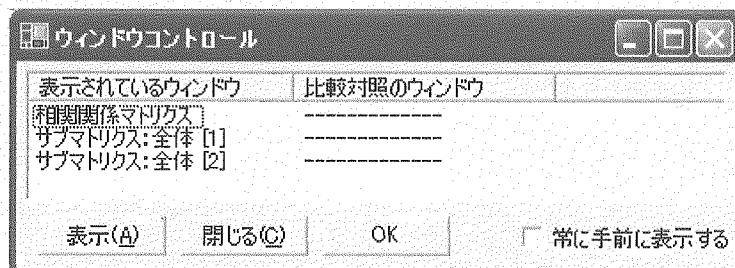
① 複数のウィンドウの管理：「ツール」メニュー → ウィンドウコントロール

本ツールではマトリクス画面が複数表示可能である。そのため、複数画面操作の煩雑さをコントロールするためのウィンドウコントロール画面を設定している（付図 3-4）。



付図 3-4 ウィンドウコントロール表示メニュー

ウィンドウコントロール画面には現在表示されているウィンドウの全てと、各ウィンドウと比較対照（後述の 3.4 節の「③比較・分析」参照）が可能なウィンドウが列挙される（付図 3-5）。操作したいウィンドウを選択し「表示」ボタンを押すことで最前面に表示され、「閉じる」ボタンを押すことでウィンドウを閉じることができる。ウィンドウコントロール画面を常に最前面に表示したい場合は、「常に手前に表示する」にチェックを入れる。なお、サブマトリクス画面においては、右クリック選択することで比較対照画面を選択することができる（後述する付図 3-18 参照）。



付図 3-5 コントロールウィンドウ画面

This is a blank page.

② 操作内容の記録：「ツール」メニュー → ログファイル出力

本ツールでの操作内容をログファイルに記録する。

ログファイルの必要／不必要は、出力／非出力のチェックを切り替えることにより選択することができる（付図 3-4）。ログファイルは CSV 形式で作成され、マイクロソフト社製の Microsoft® Excel®などで開くことができる。ログファイルは FepMatrix のインストールフォルダに日付ごとに作成される（付図 3-6）。

```
2006/04/04 14:48:13, ログヘッダー情報
日時, NewFile, マトリクスサイズ
日時, OpenFile, ファイル名
日時, SaveFile, ファイル名

2006/04/04 14:48:25, NewFile, 10
2006/04/04 15:00:58, ログヘッダー情報
日時, NewFile, マトリクスサイズ
日時, OpenFile, ファイル名
日時, SaveFile, ファイル名
日時, FEP イベント, 親 FEP, 入力側, 出力側, FEP 名称, FEP 番号, FEP 種類, 連鎖生起可能性, 連鎖影響, 安全機能重要性, 時期, 領域, 現象種類, 解析モデル, 不確実性の有無, 不確実性の程度, 不確実性の種類, 不確実性の所在, コメント, 使用中, ソートキー, 親 FEP

2006/04/04 15:01:16, NewFile, 10
2006/04/04 15:01:23, NewFile, 10
```

付図 3-6 ログファイルの例（「2006-04-04FepMatrixLog.csv」の例）

3.2 マトリクスの作成および編集

まず、マトリクス画面の見方を示す。

- ・ 新規作成で開いた状態のマトリクス画面（付図 3-2）では、対角セルの背景色が灰色、非対角セルの背景色が白色で表示される。この対角セルには状態 FEP を、非対角セルにはプロセス FEP を配置する（付図 3-3）。
- ・ マトリクス上部左側にあるボタンには、
 - マトリクス内でカーソルが指し示しているセル（アクティブセル）の FEP の名称
 - アクティブセルと連鎖を有する入力側・出力側の FEP の名称
 が表示される。これにより、マトリクスが大規模になり連鎖の全体像の視認性が低下した際にも、アクティブセルと連鎖を有する FEP を把握できるようにしている。
- ・ マトリクス上部右側にあるボタンには、連鎖探索（後述の 3.5 節参照）の条件となる始点・終点の FEP 名称が表示される。

以下、マトリクス画面の「編集」メニューからのマトリクスの作成および編集の操作を示す。

① マトリクスへの対角セルの追加：「編集」メニュー → 行・列の追加

既存のマトリクスに対し、新たな対角セルを追加する（マトリクスに空白の行と列を追加する）。これにより、新たな状態 FEP やステータスの設定、およびこれらを入出力とする連鎖の設定が可能になる。

但しこの操作は、マトリクス中の対角セルが選択されているときのみ実行可能。

② マトリクスからの対角セルの削除：「編集」メニュー → 行・列の削除

既存のマトリクスに対し、不要となった対角セルを削除する（マトリクスから行と列を削除する）。

但し誤操作による削除を防止するため、この操作は対象となる行と列が完全に空白になっている必要があります、空白になっていないセルが一つでもある場合には実行できない（セルを空白にする操作は後述の⑤参照）。

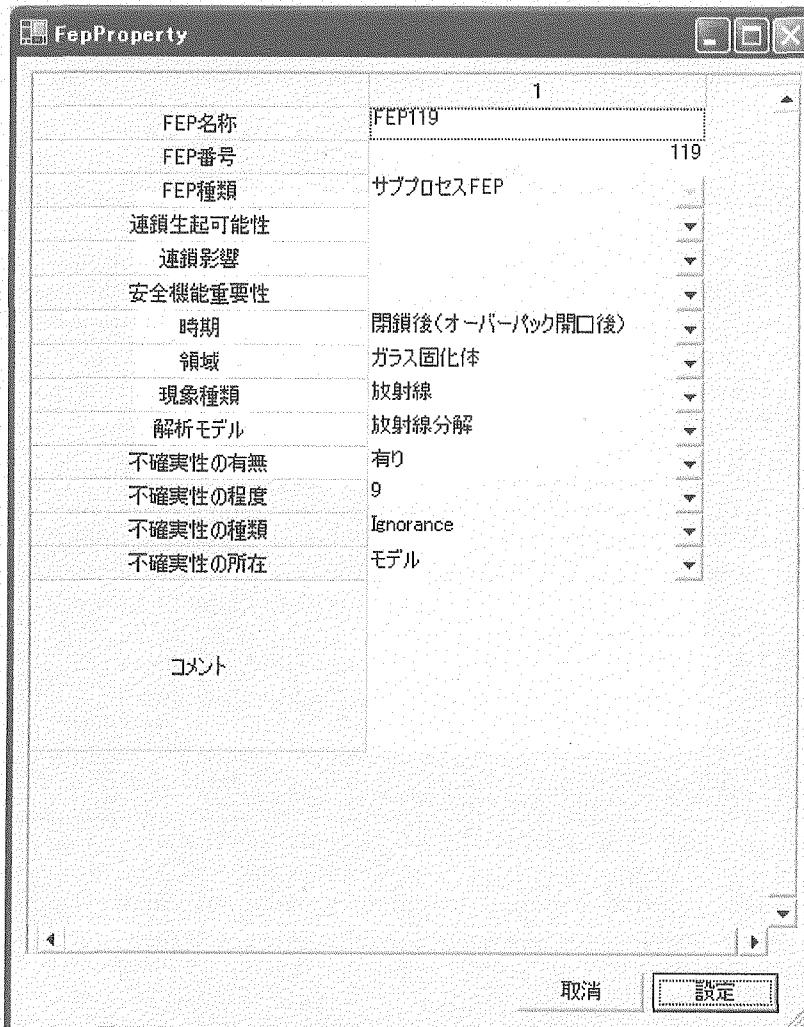
③ 新規の FEP の設置：「編集」メニュー → FEP の設定

セルに新たな FEP を設置する。ただし、対象とするセルが空白であることが必要。この操作を実行すると、個々の FEP の詳しい内容を定義するための画面であるプロパティ管理画面（付図 3-7）が自動的に開かれる。また、プロパティ管理画面により既存の FEP のプロパティ情報を編集することもできる（後述の④参照）。

プロパティ管理画面における入力項目は、「FEP 名称」、「FEP 番号」、「FEP 種類」、「連鎖生起可能性」、「連鎖影響」、「安全機能重要性」、「時期」、「領域」、「現象種類」、「解析モデル」、「不確実性の有無」、「不確実性の程度」、「不確実性の種類」、「不確実性の所在」および「コメント」の 15 項目である。これらは、本文の「表 3-1 プロパティ情報の属性と内容」と同じ項目となっている。入力方法は、「FEP 名称」、「FEP 番号」および「コメント」はテキスト入力、以外はプルダウンメニューで選択する。なお、初期状態では、「FEP 名称」はデフォルトでは「FEP+FEP 番号」の形式で与えられており、他の項目に関しては、相関関係マトリクス上の FEP（状態 FEP・プロセス FEP）では空白である。また、相関関係マトリクスの状態 FEP やプロセス FEP に対し

てサブマトリクスを新規に作成する場合には、サブマトリクス上の FEP のプロパティ情報は上位に対応する状態 FEP・プロセス FEP と同じ内容が与えられる。

なお、空白であるべきセルに情報を後設定することを確実に防止するためには、後述の⑨に示す「このセルに FEP はない」機能を有効にする。



付図 3-7 プロパティ設定画面

④ FEP の編集 : 「編集」メニュー → FEP の編集

既存の FEP のプロパティ情報を編集（変更、追加）する。プロパティ情報を編集したい FEP を選択しこの操作を実行すると、プロパティ編集画面（付図 3-7 参照）が開き編集可能となる。

⑤ FEP の削除（セルを空白にする）: 「編集」メニュー→編集 → FEP の削除

既に設定されている FEP（状態 FEP、プロセス FEP、ステータス、サブプロセス FEP）を削除する（セルを空白にする）。誤操作による削除を防止するため、対角要素の状態 FEP やステータスは対応する行・列上にプロセス FEP やサブプロセス FEP がない状態でないと削除できない。また、相関関係マトリクス上の状態 FEP やプロセス FEP は対応するサブマトリクス上のステータスや、サブプロセス FEP が空でないと削除できない。

This is a blank page.

⑥ サブマトリクスの編集：「編集」メニュー → サブマトリクス編集

相関関係マトリクスの状態 FEP やプロセス FEP に対応するサブマトリクスを表示し編集可能とする。サブマトリクス画面での編集の操作は、相関関係マトリクスの場合（前述の①～⑤）と同じである。

サブマトリクスは相関関係マトリクスとは別画面で開き、以下の 2 つの選択が可能である。

- 特性の状態 FEP やプロセス FEP に対応するサブマトリクスのみを表示（付図 3-8：部分表示）。複数の状態 FEP やプロセス FEP のサブマトリクスを同時に開くことが出来る。
- すべての状態 FEP やプロセス FEP に対応するサブマトリクスを表示する（付図 3-9：全体表示）。

リブマトリクス：固相移着の放射線影響										
ウインドウ(W) 編集(E) 表示(V) 機能(F) 連鎖(C)										
FEP連鎖:入力側		吸着核種量大		連鎖探索起点		なし				
→アクティブセルのFEP		吸着核種量大		連鎖探索終点		なし				
→FEP連鎖:出力側		吸着核種量大		規FEP		固相核種量				
1	吸着核種量大	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	吸着核種量大				吸着核種の △崩壊					
2	吸着核種量小					沈殿核種の △崩壊				
3		沈殿核種量大					沈殿核種の △崩壊			
4		沈殿核種量小						ガラスα線 強度高		
5					ガラスα線 強度高		ガラスα線 強度低			
6						ガラスα線 強度低	ガラスα線 強度高			
7							ガラスα線 強度高			
8							ガラスα線 強度低			
9								ガラスα線 強度高		
10									ガラスα線 強度低	
完了										

付図 3-8 サブマトリクス画面（部分表示）

サブマトリクス：全件												
ウインドウ(W) 編集(E) 表示(V) 機能(F) 連鎖(C)												
FEP連鎖:入力側		溶存核種濃度高		連鎖探索起点		なし						
→アクティブセルのFEP		溶存核種濃度高		連鎖探索終点		なし						
→FEP連鎖:出力側		溶存核種濃度高		規FEP		溶相核種濃度						
1	溶存核種濃度高	2	真性コロイド生成	3		4		5	6	7	8	9
1	溶存核種濃度低	2	真性コロイド解離	3		4		5	6	7	8	9
5		6	吸着核種量大	7	沈殿核種量大	8	沈殿核種量小	9	ガラス液質層 算大	10	ガラス液質層 算小	11
6		7	吸着核種量小	8	沈殿核種量大	9	沈殿核種量小	10	ガラス液質層 算大	11	ガラス液質層 算小	12
7		8		9		10		11	ガラス液質層 算大	12	ガラス液質層 算小	13
8		9		10		11		12	ガラス液質層 算大	13	ガラス液質層 算小	14
9		10		11		12		13	ガラス液質層 算大	14	ガラス液質層 算小	15
10		11		12		13		14	ガラス液質層 算大	15	ガラス液質層 算小	16
11		12		13		14		15	ガラス液質層 算大	16	ガラス液質層 算小	17
12		13		14		15		16	ガラス液質層 算大	17	ガラス液質層 算小	18
13		14		15		16		17	ガラス液質層 算大	18	ガラス液質層 算小	19
14		15		16		17		18	ガラス液質層 算大	19	ガラス液質層 算小	20
15		16		17		18		19	ガラス液質層 算大	20	ガラス液質層 算小	21
16		17		18		19		20	ガラス液質層 算大	21	ガラス液質層 算小	22
17		18		19		20		21	ガラス液質層 算大	22	ガラス液質層 算小	23
18		19		20		21		22	ガラス液質層 算大	23	ガラス液質層 算小	24
19		20		21		22		23	ガラス液質層 算大	24	ガラス液質層 算小	25
20		21		22		23		24	ガラス液質層 算大	25	ガラス液質層 算小	26
21		22		23		24		25	ガラス液質層 算大	26	ガラス液質層 算小	27
22		23		24		25		26	ガラス液質層 算大	27	ガラス液質層 算小	28
23		24		25		26		27	ガラス液質層 算大	28	ガラス液質層 算小	29
24		25		26		27		28	ガラス液質層 算大	29	ガラス液質層 算小	30
25		26		27		28		29	ガラス液質層 算大	30	ガラス液質層 算小	31
26		27		28		29		30	ガラス液質層 算大	31	ガラス液質層 算小	32
27		28		29		30		31	ガラス液質層 算大	32	ガラス液質層 算小	33
28		29		30		31		32	ガラス液質層 算大	33	ガラス液質層 算小	34
29		30		31		32		33	ガラス液質層 算大	34	ガラス液質層 算小	35
30		31		32		33		34	ガラス液質層 算大	35	ガラス液質層 算小	36
31		32		33		34		35	ガラス液質層 算大	36	ガラス液質層 算小	37
32		33		34		35		36	ガラス液質層 算大	37	ガラス液質層 算小	38
33		34		35		36		37	ガラス液質層 算大	38	ガラス液質層 算小	39
34		35		36		37		38	ガラス液質層 算大	39	ガラス液質層 算小	40
35		36		37		38		39	ガラス液質層 算大	40	ガラス液質層 算小	41
36		37		38		39		40	ガラス液質層 算大	41	ガラス液質層 算小	42
37		38		39		40		41	ガラス液質層 算大	42	ガラス液質層 算小	43
38		39		40		41		42	ガラス液質層 算大	43	ガラス液質層 算小	44
39		40		41		42		43	ガラス液質層 算大	44	ガラス液質層 算小	45
40		41		42		43		44	ガラス液質層 算大	45	ガラス液質層 算小	46
41		42		43		44		45	ガラス液質層 算大	46	ガラス液質層 算小	47
42		43		44		45		46	ガラス液質層 算大	47	ガラス液質層 算小	48
43		44		45		46		47	ガラス液質層 算大	48	ガラス液質層 算小	49
44		45		46		47		48	ガラス液質層 算大	49	ガラス液質層 算小	50
45		46		47		48		49	ガラス液質層 算大	50	ガラス液質層 算小	51
46		47		48		49		50	ガラス液質層 算大	51	ガラス液質層 算小	52
47		48		49		50		51	ガラス液質層 算大	52	ガラス液質層 算小	53
48		49		50		51		52	ガラス液質層 算大	53	ガラス液質層 算小	54
49		50		51		52		53	ガラス液質層 算大	54	ガラス液質層 算小	55
50		51		52		53		54	ガラス液質層 算大	55	ガラス液質層 算小	56
51		52		53		54		55	ガラス液質層 算大	56	ガラス液質層 算小	57
52		53		54		55		56	ガラス液質層 算大	57	ガラス液質層 算小	58
53		54		55		56		57	ガラス液質層 算大	58	ガラス液質層 算小	59
54		55		56		57		58	ガラス液質層 算大	59	ガラス液質層 算小	60
55		56		57		58		59	ガラス液質層 算大	60	ガラス液質層 算小	61
56		57		58		59		60	ガラス液質層 算大	61	ガラス液質層 算小	62
57		58		59		60		61	ガラス液質層 算大	62	ガラス液質層 算小	63
58		59		60		61		62	ガラス液質層 算大	63	ガラス液質層 算小	64
59		60		61		62		63	ガラス液質層 算大	64	ガラス液質層 算小	65
60		61		62		63		64	ガラス液質層 算大	65	ガラス液質層 算小	66
61		62		63		64		65	ガラス液質層 算大	66	ガラス液質層 算小	67
62		63		64		65		66	ガラス液質層 算大	67	ガラス液質層 算小	68
63		64		65		66		67	ガラス液質層 算大	68	ガラス液質層 算小	69
64		65		66		67		68	ガラス液質層 算大	69	ガラス液質層 算小	70
65		66		67		68		69	ガラス液質層 算大	70	ガラス液質層 算小	71
66		67		68		69		70	ガラス液質層 算大	71	ガラス液質層 算小	72
67		68		69		70		71	ガラス液質層 算大	72	ガラス液質層 算小	73
68		69		70		71		72	ガラス液質層 算大	73	ガラス液質層 算小	74
69		70		71		72		73	ガラス液質層 算大	74	ガラス液質層 算小	75
70		71		72		73		74	ガラス液質層 算大	75	ガラス液質層 算小	76
71		72		73		74		75	ガラス液質層 算大	76	ガラス液質層 算小	77
72		73		74		75		76	ガラス液質層 算大	77	ガラス液質層 算小	78
73		74		75		76		77	ガラス液質層 算大	78	ガラス液質層 算小	79
74		75		76		77		78	ガラス液質層 算大	79	ガラス液質層 算小	80
75		76		77		78		79	ガラス液質層 算大	80	ガラス液質層 算小	81
76		77		78		79		80	ガラス液質層 算大	81	ガラス液質層 算小	82
77		78		79		80		81	ガラス液質層 算大	82	ガラス液質層 算小	83
78		79		80		81		82	ガラス液質層 算大	83	ガラス液質層 算小	84
79		80		81		82		83	ガラス液質層 算大	84	ガラス液質層 算小	85
80		81		82		83		84	ガラス液質層			

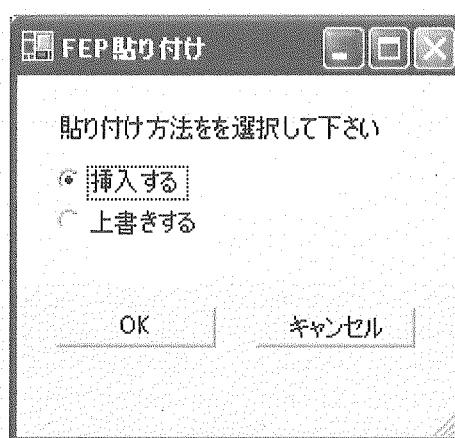
This is a blank page.

⑦ FEP のコピー：「編集」メニュー → FEP のコピー

既存の FEP と類似プロパティを持つ FEP を新規に設置する場合、その入力負担を軽減するために、既存の FEP をプロパティ情報ごとコピー&ペーストすることが可能となっている。本操作によります、コピー元の FEP を選択しコピーする。

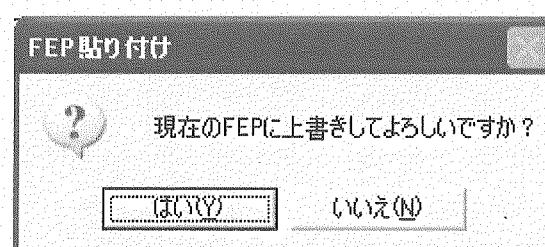
⑧ FEP のペースト：「編集」メニュー → FEP の貼り付け

⑦の操作によりあらかじめコピーした FEP を、希望するセルにペースト（貼り付け）する（付図 3-10～付図 3-11）。1 回のコピー&ペーストの操作は、ひとつの FEP のみを対象とし、複数の FEP を一度にコピー&ペーストすることはできない。また、状態 FEP やプロセス FEP をコピーしてもサブマトリクスの内容はコピーされず、ペースト後のサブマトリクスは空のままとなる。



付図 3-10 FEP のペースト(1)

（既存の FEP をコピー後、対角セルにペーストしようとすると表示される）



付図 3-11 FEP のペースト(2)

（既存の FEP をコピー後、非対角セルにペーストしようとすると表示される）

⑨ 空白セルであることの設定・解除：「編集」メニュー → このセルに FEP はない-設定

⑩ 空白セルであることの設定・解除：「編集」メニュー → このセルに FEP はない-解除

マトリクス上の空白セルにおいて、FEP を設定せずに空白セルとすることを確認しているセルと、これから確認すべき未確認セルとを区別するための機能である。設定と解除の選択で、相互に切り替えることができる。「このセルに FEP はない」状態のセルには FEP を設置することができない。

This is a blank page.

3.3 マトリクスの表示、簡易ネットワークの表示

以下、マトリクス画面の「表示」メニューからのマトリクスの表示と簡易ネットワークの表示に関する操作を示す。

- ① 相関関係マトリクスの表示：「表示」メニュー → 相関関係マトリクス
- ② サブマトリクスの表示：「表示」メニュー → サブマトリクス

相関関係マトリクスやサブマトリクスを編集している際に、一方が開いている状態で他方を別画面で同時に開いて編集可能な状態にする。すでに両者の画面が開いている場合には、編集できるアクティブ画面が切り替わる。このメニューで表示されるサブマトリクスは、相関関係マトリクス上のすべての FEP をサブマトリクスに展開した全体表示画面（付図 3-9 参照）である。

- ③ マトリクスの空白行・列を非表示：「表示」メニュー → 空白行・列を隠す
- ④ マトリクスの空白行・列を表示：「表示」メニュー → 空白行・列を表示する

対角成分に FEP が設置されていない箇所があり、マトリクスの空白が多く全体が確認しにくい場合、一時的に空白行・列を非表示にすることで画面を見やすくする。逆に、空白行・列を表示するように戻すこともできる。編集中の画面がいずれの状態にあるのかは、ステータスバーに表示される他、このメニューの両者のうちいずれが表示されているかでも判断することができる。

- ⑤ アクティブセルを入力側の対角成分へ移動：「表示」メニュー → 入力側の対角成分へ移動
- ⑥ アクティブセルを出力側の対角成分へ移動：「表示」メニュー → 出力側の対角成分へ移動

アクティブセルを非対角成分から対角成分へと移動する。行・列の追加（前述の 3.2 節参照）など、対角成分上に限定した命令を迅速に実行することができる。

- ⑦ マトリクス全体の表示：「表示」メニュー → マトリクス全体

行・列の一部を非表示にする命令（上述の③の空白行・列を非表示、連鎖探索、不確実性伝播など）を実行した後で、これらの内容をキャンセルして全体を表示する。

- ⑧ 簡易ネットワークの表示：「表示」メニュー → 簡易ネットワーク

現在表示されている画面に対応したインフルエンスダイヤグラムを簡易ネットワーク画面に表示する（付図 3-12）。簡易ネットワークでは、相関関係マトリクスやサブマトリクスに設定した個々の FEP の間に矢印を表示する形式で個々の FEP 間の関係を表示する。

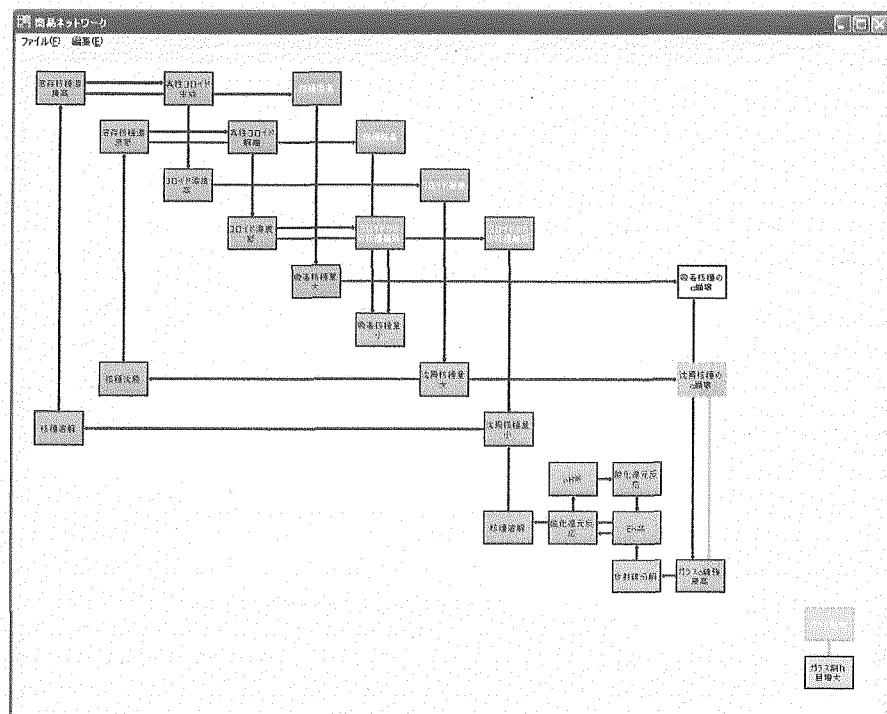
3.4 節で後述するスクリーニングを行うなどして FEP を部分的に表示にした場合などは、表示されている FEP 部分のみを含む簡易ネットワークを表示する。

この画面は相関関係マトリクスやサブマトリクスとは別画面として表示される。また、表示内容を画像として保存・印刷することができる。

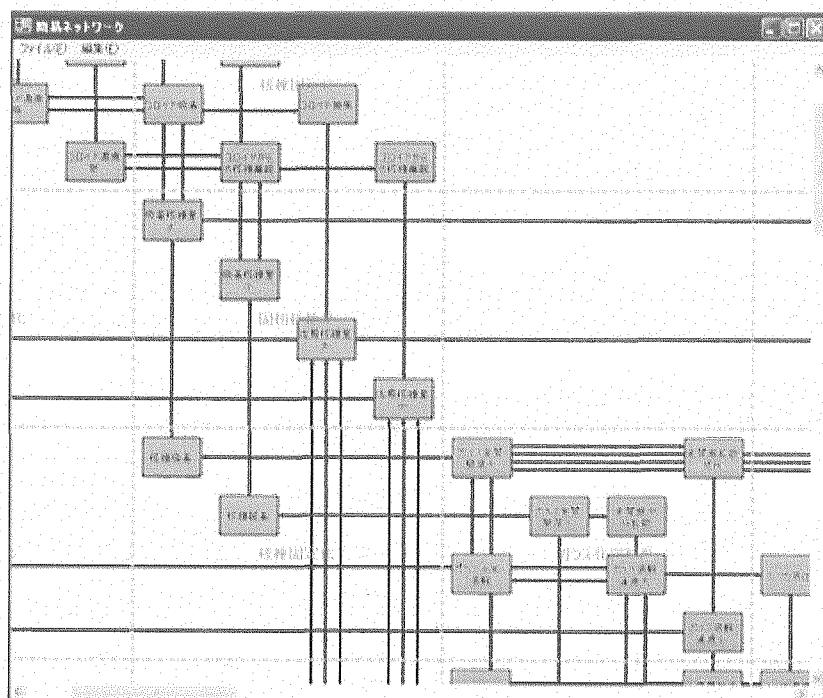
また、サブマトリクスの簡易ネットワークを表示した際、上位の相関関係マトリクスの各 FEP に対応する領域を破線で仕切ることによって表現するとともに、対応する相関関係マトリクスの FEP 名称を併記することにより、相関関係マトリクスとサブマトリクスの対応付けを行うことができる。付図 3-13 では、同じ相関関係マトリクスの FEP に対応するサブマトリクスの FEP が破線で囲まれ、対応する相関関係マトリクスの FEP 名称をその破線領域の中心に透過的に表示して

This is a blank page.

いる。なお、オプションとして、対応する相関関係マトリクスのFEP名称の表示を行わないことも可能である。



付図 3-12 簡易ネットワーク表示



付図 3-13 サブマトリクスの簡易ネットワーク表示の例
 (対応する上位の相関関係マトリクスの FEP 名称を透過的に表示している)

This is a blank page.

3.4 スクリーニング、グルーピング、比較・分析、不確実性伝播

以下、マトリクス画面の「機能」メニューからの、スクリーニング、グルーピング、比較・分析、不確実性伝播、およびファイル出力の機能に関する操作を示す。

① スクリーニング：「機能」メニュー → スクリーニング/スクリーニングの解除

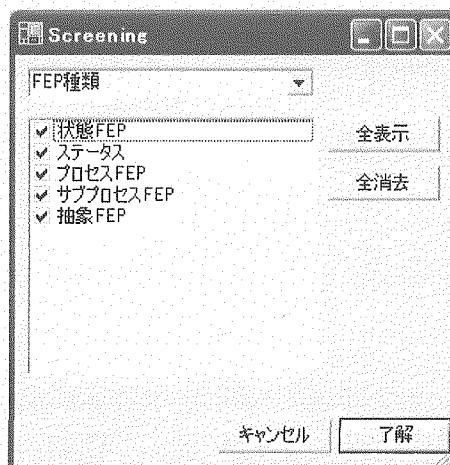
スクリーニング機能では、プロパティ情報に基づき、ある属性が条件を満たす要素のみで構成されるマトリクスの部分構造を抜き出して表示する。「スクリーニング」を選択すると下記のスクリーニング画面(付図3-14)が呼び出される。画面上部でスクリーニングの対象とするプロパティ項目を選ぶ。次いで、プロパティ項目の細かい条件を個々の選択肢についているチェックボックスを用いて設定する(付図3-15)。右側の全表示ボタンでは全選択肢を設定の状態に、全消去ボタンでは全選択肢を非設定の状態に変更する。

了解ボタンを押すと、設定した条件に合致するFEPのみを表示する(条件に合致しないFEPを非表示にする)。なお、複数のプロパティ項目で条件が設定された場合、それら条件をANDの関係で満たすFEPのみが表示される。

また、「スクリーニングの解除」を選択すると、全部のFEPを表示する状態に戻る。



付図3-14 スクリーニングするプロパティ項目の選択

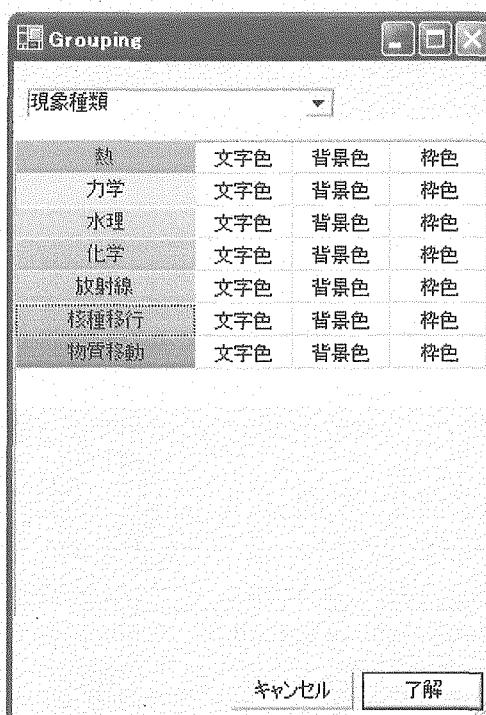


付図3-15 プロパティ項目の条件の設定

This is a blank page.

② グルーピング：「機能」メニュー → グルーピング

グルーピング機能では、プロパティ情報に基づき、ある属性が同じ属性値をもつ要素同士を同じ色で表示することで、異なる属性値をもつ要素と視覚的に区別する。グルーピング設定画面（付図 3-16）にて、グルーピングしたいプロパティ項目を選択した後、文字色・背景色・枠色を選択肢ごとに設定する。設定した色は、選択肢の表示欄に反映される（付図 3-16）。グルーピングの設定結果が反映されたマトリクス画面の例を付図 3-17 に示す。



付図 3-16 グルーピングの設定

相関関係マトリクス											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
液相核種濃度	核種固定化										
核種動態化	固相核種量										
核種溶出	核種固定化	ガラス化学特性	ガラス成分溶出	固相核種の放射線影響							
		ガラス溶解への化学影響	ガラス空隙水化学	ガラス成分溶出による放射線分解抑制							
核種固定化	ガラス溶解への化学影響	ガラス空隙水化学	放射線分解	ガラス放射線特性							
					ガラス水理特性						
6						ガラス熱物性	熱伝導				
7							ガラス温度				
8								ガラス力学特性			
9									ガラスへの応力		
10											
11											
12											
完了											

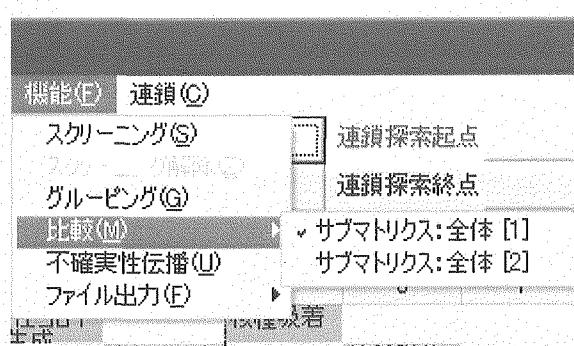
付図 3-17 相関関係マトリクス（グルーピング設定後）

This is a blank page.

③ 比較・分析：「機能」メニュー →比較

比較・分析機能は、複数のサブマトリクス画面のスクリーニングの違いを検出する。そのため、本機能を用いるためには、比較対照の一方もしくは双方に対して、(2)スクリーニングで述べた操作を実行する必要がある。

2つ以上のマトリクス画面を表示すると、マトリクス画面の「機能」メニューの中にある「比較」項目が有効化される（マトリクス画面の複数表示には、前述の 3.1(3)項の「①複数のウィンドウの管理」参照）。「比較」項目の上にマウスを置くと、さらにメニューがポップアップされ現在比較可能なマトリクス画面がリストアップされる（付図 3-18）。リストアップされているマトリクス画面から比較対照とするものを選択することで、マトリクス間の比較をすることができる。チェック表示されているものは、現在比較対照となっているマトリクス画面を指す。比較対照を解除したい場合は、チェックのついているマトリクス画面を再度選択する。尚、双方で比較を行う場合は互いに上記の操作を行う必要がある。



付図 3-18 比較対照選択メニュー

比較結果は上述の操作後自動的に付図 3-19 のように表示される。比較対照のマトリクス画面に表示されていない FEP 要素のセル右上部に「×」が表示される。この状態で簡易ネットワークを表示した場合、簡易ネットワーク画面上にも同様に該当箇所に「×」が表示される。

	1	2	3
1	溶存核種濃度		真性コロイド生成
2		溶存核種濃度低	
3			コロイド濃度高
4	比較対照に存在しない		
5	FEP要素		
6			
7		核種沈殿	
8	核種溶解		×

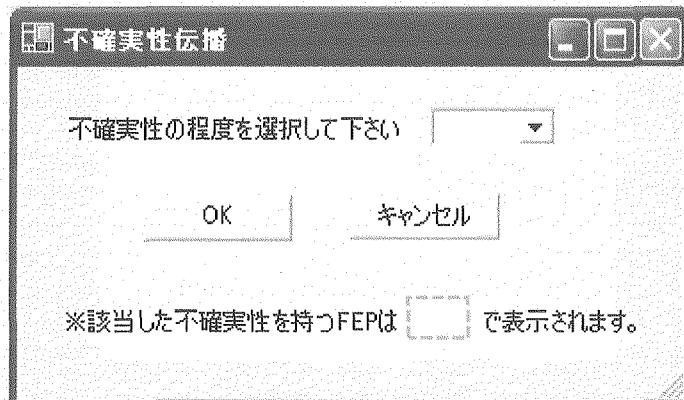
付図 3-19 比較結果

This is a blank page.

④ 不確実性伝播：「機能」メニュー→不確実性伝播

不確実性の伝播機能では、プロパティ情報での不確実性に関する情報（不確実性の程度）（前述の3.2節参照）を用いて、ある属性値以上の不確実性の程度を持つ要素を不確実性有りとして探索の始点とし、これらの少なくとも一つと連鎖で結ばれているすべての要素をリストアップする。

この機能を選択すると不確実性伝播レベル設定画面（付図3-20）が表示され、不確実性ありとする不確実性の程度の値を入力する。マトリクス画面では不確実性ありとなるセルが上流側となって連鎖でつながっているセルのみが表示される（付図3-21）。



付図3-20 不確実性伝播レベル設定画面

サブマトリクス: 全体		FEP連鎖: 入力側		連鎖探索起点		なし			
		→アクティブセルのFEP		ガラス破壊		連鎖探索終点		なし	
		→FEP連鎖: 出力側		ガラス割れ目増大		親 FEP		ガラス破壊	
4	5	6	7	8	17	18	22	42	47
1 真性コロイド 解離									
2 コロイド濃度 低	吸着核種量 大								
3		吸着核種量 大							
4			沈殿核種量 大						
5		吸着核種量 大				吸着核種の △崩壊			
6		吸着核種量 大							
7			沈殿核種量 大			沈殿核種の △崩壊			
8			沈殿核種量 小						
17				pH低	酸化還元反応				
18				酸化還元反応	pH高				
22					放射線分解	ガラスの線強度 高			
42									
47							ガラス割れ目 増大		

付図3-21 不確実性伝播設定後のサブマトリクス

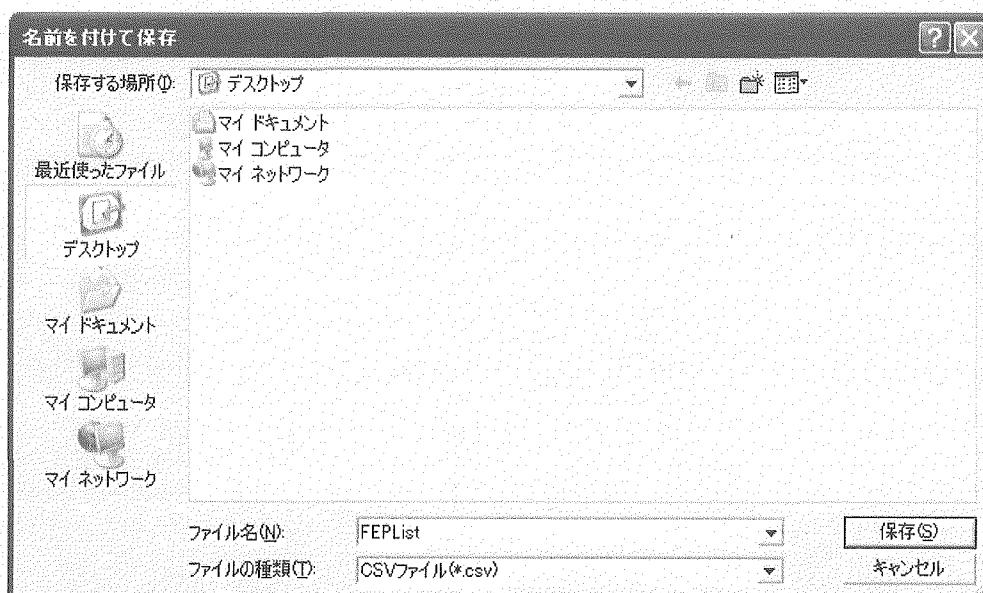
This is a blank page.

⑤ ファイル出力：「機能」メニュー→ファイル出力 → FEP リスト

⑥ ファイル出力：「機能」メニュー→ファイル出力 → マトリクス

設定した FEP の一覧あるいはマトリクスの情報を印刷により目視確認することを目的として、CSV ファイル形式で出力可能となっている。但し、本ツールでは印刷機能はないので、例えばマイクロソフト社製の Microsoft® Excel® のようなソフトウェアをもちいて CSV ファイルを開き、そのソフトウェアの印刷機能を利用して印刷する。付図 3-22～付図 3-25 に FEP リストを出力する手順を示す。付図 3-26～付図 3-27 にマトリクスを出力する手順を示す。

付図 3-22 FEP リストのファイル出力の選択画面



付図 3-23 FEP リストのファイル出力でのファイル名入力

This is a blank page.



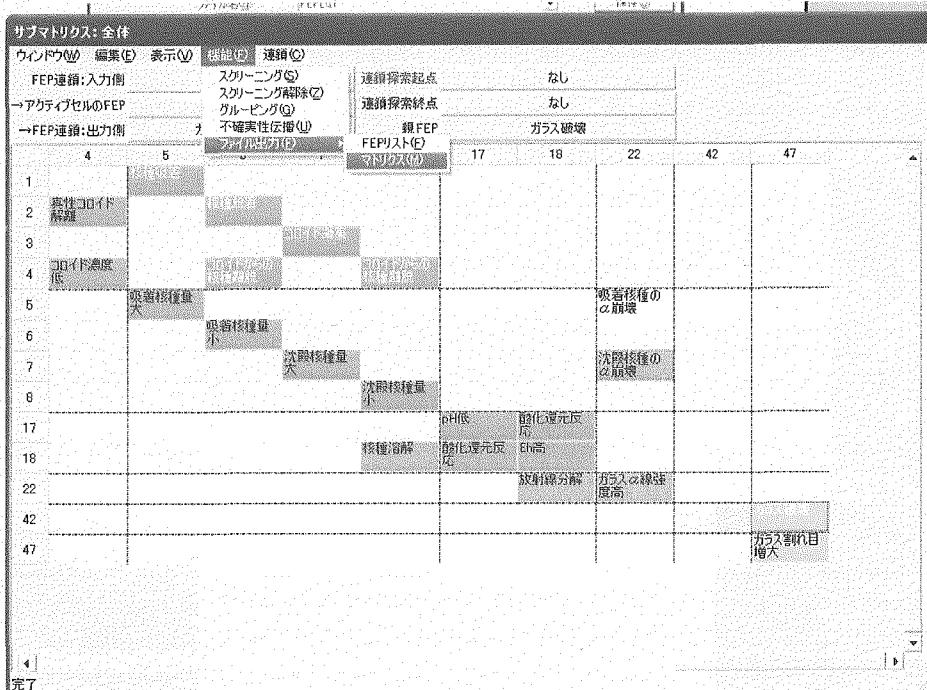
付図 3-24 FEP リストのファイル出力での確認画面

Microsoft Excel - FEPLIST.csv

L50	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
	FEP名前	FEP番号	FEP種類	連鎖生起可能性	連鎖影響	安全機能重要性	時期	領域	現象種別	解析モデル	不確実性の有無	不確実性の程
1	FEP名前	1	状態FEP				開鎖後(オーバーハック開口後)	ガラス固化体	移種移行	移種溶解	有り	
2	溶剤移種濃度	2	状態FEP				開鎖後(オーバーハック開口後)	ガラス固化体	移種移行	移種移行モデル	有り	
3	溶剤移種量	3	スタートス				開鎖後(オーバーハック開口後)	ガラス固化体	移種移行	移種溶解	有り	
4	コロイド濃度低	4	スタートス				開鎖後(オーバーハック開口後)	ガラス固化体	移種移行	移種移行モデル	有り	
5	沈殿移種量小	5	スタートス				開鎖後(オーバーハック開口後)	ガラス固化体	移種移行	移種溶解	有り	
6	沈殿移種濃度低	6	スタートス				開鎖後(オーバーハック開口後)	ガラス固化体	移種移行	移種溶解	有り	
7	沈殿移種濃度高	7	スタートス				開鎖後(オーバーハック開口後)	ガラス固化体	移種移行	移種溶解	有り	
8	コロイド濃度高	8	スタートス				開鎖後(オーバーハック開口後)	ガラス固化体	移種移行	移種溶解	有り	
9	吸着移種量大	9	スタートス				開鎖後(オーバーハック開口後)	ガラス固化体	移種移行	移種移行モデル	有り	
10	吸着移種量小	10	スタートス				開鎖後(オーバーハック開口後)	ガラス固化体	移種移行	移種移行モデル	有り	
11	沈殿移種量大	11	プロセスFEP				開鎖後(オーバーハック開口後)	ガラス固化体	移種移行	移種移行モデル	有り	
12	移種固定化	12	プロセスFEP				開鎖後(オーバーハック開口後)	ガラス固化体	移種移行	移種移行モデル	有り	
13	移種熱膨脹	13	プロセスFEP				開鎖後(オーバーハック開口後)	ガラス固化体	移種移行	移種溶解	無し	
14	移種吸着	14	プロセスFEP				開鎖後(オーバーハック開口後)	ガラス固化体	移種移行	移種移行モデル	有り	
15	移種脱着	15	サブロビスFEP	7	3		開鎖後(オーバーハック開口後)	ガラス固化体	移種移行	移種移行モデル	有り	
16	コロイド吸着	16	サブロビスFEP	5	3		開鎖後(オーバーハック開口後)	ガラス固化体	移種移行	移種移行モデル	有り	
17	コロイドからガラス離脱	17	サブロビスFEP	7	3		開鎖後(オーバーハック開口後)	ガラス固化体	移種移行	移種移行モデル	有り	
18	コロイド凝集	18	サブロビスFEP	7	3		開鎖後(オーバーハック開口後)	ガラス固化体	移種移行	移種移行モデル	有り	
19	コロイドからガラス離脱	19	サブロビスFEP	7	3		開鎖後(オーバーハック開口後)	ガラス固化体	移種移行	移種移行モデル	有り	
20	真性コロイド生成	20	サブロビスFEP	7	3		開鎖後(オーバーハック開口後)	ガラス固化体	移種移行	移種移行モデル	有り	
21	真性コロイド解離	21	サブロビスFEP	7	9		開鎖後(オーバーハック開口後)	ガラス固化体	移種移行	移種溶解	有り	
22	ガラス化特徴	22	サブロビスFEP	7	9		開鎖後(オーバーハック開口後)	ガラス固化体	移種移行	移種溶解	有り	
23	ガラス化特徴	23	状態FEP				開鎖後(オーバーハック開口後)	ガラス固化体	化學	ガラス溶解	無し	
24	ガラス化特徴水化学	24	状態FEP				開鎖後(オーバーハック開口後)	ガラス固化体	化學	化學モデル	有り	
25	ガラス化特徴特性	25	状態FEP				開鎖後(オーバーハック開口後)	ガラス固化体	状對線	狀射線分解	無し	
26	ガラス化特徴	26	状態FEP				開鎖後(オーバーハック開口後)	ガラス固化体	水提	地下水流動モデル	有り	
27	ガラス特徴	27	状態FEP				開鎖後(冠水後)	ガラス固化体	熱	熱伝導	無し	
28	ガラス温度	28	状態FEP				開鎖後(冠水後)	ガラス固化体	熱	熱伝導	有り	
29	ガラス力学特性	29	状態FEP				開鎖後(冠水後)	ガラス固化体	力学	変形・破壊	有り	
30	ガラスへの応力	30	状態FEP				開鎖後(冠水後)	ガラス固化体	力学	変形・破壊	有り	
31	ガラスの形状	31	状態FEP				開鎖後(冠水後)	ガラス固化体	力学	変形・破壊	有り	
32	ガラス表面層厚大	32	スタートス				開鎖後(オーバーハック開口後)	ガラス固化体	化學	化學モデル	有り	
33	ガラス表面層厚小	33	スタートス				開鎖後(オーバーハック開口後)	ガラス固化体	化學	化學モデル	有り	
34	ガラス溶解速度大	34	スタートス				開鎖後(オーバーハック開口後)	ガラス固化体	化學	化學モデル	有り	
35	ガラス溶解速度小	35	スタートス				開鎖後(オーバーハック開口後)	ガラス固化体	化學	化學モデル	有り	
36	未算定層析抵抗	36	サブロビスFEP	5	7		開鎖後(オーバーハック開口後)	ガラス固化体	化學	化學	有り	
37	未算定中和抵抗	37	サブロビスFEP	7	7		開鎖後(オーバーハック開口後)	ガラス固化体	化學	化學	有り	
38	ガラス中和溶解	38	サブロビスFEP	5	5		開鎖後(オーバーハック開口後)	ガラス固化体	化學	化學	有り	
39	シリカ濃度高	40	スタートス				開鎖後(オーバーハック開口後)	ガラス固化体	化學	化學モデル	有り	
40	シリカ濃度低	41	スタートス				開鎖後(オーバーハック開口後)	ガラス固化体	化學	化學モデル	有り	
41	pH強	42	スタートス				開鎖後(オーバーハック開口後)	ガラス固化体	化學	化學モデル	有り	
42	pH中	43	スタートス				開鎖後(オーバーハック開口後)	ガラス固化体	化學	化學モデル	有り	
43	pH弱	44	スタートス				開鎖後(オーバーハック開口後)	ガラス固化体	化學	化學モデル	有り	
44	EH酸	45	スタートス				開鎖後(オーバーハック開口後)	ガラス固化体	化學	化學モデル	有り	
45	有機物濃度高	46	スタートス				開鎖後(オーバーハック開口後)	ガラス固化体	化學	化學モデル	有り	
46	有機物濃度低	47	スタートス				開鎖後(オーバーハック開口後)	ガラス固化体	化學	化學モデル	有り	
47	酸化還元反応	48	スタートス				開鎖後(オーバーハック開口後)	ガラス固化体	化學	化學モデル	有り	
48	酸化還元反応	49	サブロビスFEP				開鎖後(オーバーハック開口後)	ガラス固化体	化學	化學モデル	有り	
49	酸化還元反応	50	サブロビスFEP				開鎖後(オーバーハック開口後)	ガラス固化体	化學	化學モデル	有り	
50	酸化還元反応	51	サブロビスFEP				開鎖後(オーバーハック開口後)	ガラス固化体	化學	化學モデル	有り	
		52	サブロビスFEP				開鎖後(オーバーハック開口後)	ガラス固化体	化學	化學モデル	有り	

付図 3-25 FEP リストのファイル出力 (CSV) の Excel®での読み込み結果

This is a blank page.



付図 3-26 マトリクスのファイル出力の選択画面

付図 3-27 マトリクスのファイル出力 (CSV) の Excel®での読み込み結果

This is a blank page.

3.5 連鎖探索

連鎖の探索機能では、始点と終点の少なくとも一つを設定している状態で、始点となる要素から出て、終点なる要素へと入っていく連鎖を構成する一連の要素を探索する。一方が設定されていない状況では、設定していない側の要素には制限を設けない。例えば、始点のみを設定した場合には、その始点となる要素から始まる連鎖に含まれるすべての要素をリストアップする。

以下、マトリクス画面の「連鎖」メニューの操作を示す。

① 連鎖の始点の設定：「連鎖」メニュー → 設定 → 始点

アクティブとなっている対角成分にある状態 FEP あるいはステータスを連鎖探索の始点に設定する。マトリクス画面上部の「連鎖探索起点」ボタン（付図 3-2 と付図 3-3 の右上）を押しても同様の設定が行われる。設定結果は、マトリクス画面上部の「連鎖探索起点」ボタンの名称に反映される。

② 連鎖の終点の設定：「連鎖」メニュー → 設定 → 終点

アクティブとなっている対角成分にある状態 FEP あるいはステータスを連鎖探索の終点に設定する。マトリクス画面上部の「連鎖探索起点」ボタン（付図 3-2 と付図 3-3 の右上）を押しても同様の設定が行われる。設定結果は、マトリクス画面上部の「連鎖探索起点」ボタンの名称に反映される

③ 始点のクリア：「連鎖」メニュー → 消去 → 始点

連鎖探索始点を未設定の状態にクリアする。

④ 終点のクリア：「連鎖」メニュー → 消去 → 終点

連鎖探索終点を未設定の状態にクリアする。

⑤ 始点と終点の両方のクリア：「連鎖」メニュー → 消去 → 始点 & 終点

連鎖探索始点と終点を同時に未設定の状態にクリアする。

⑥ 探索の実施、解除：「連鎖」メニュー → 探索

⑦ 探索の実施、解除：「連鎖」メニュー → 探索解除

すでに連鎖探索始点・終点が設定されている状態で、起点から終点へと流れる連鎖を探索し、該当する FEP のみ表示する（付図 3-28～付図 3-29）。始点の FEP を赤い点線で、終点の FEP を青い点線で表示する。

また、探索解除により、連鎖探索によって部分表示になっている状態を解除し、全体表示の状態に戻す。

This is a blank page.

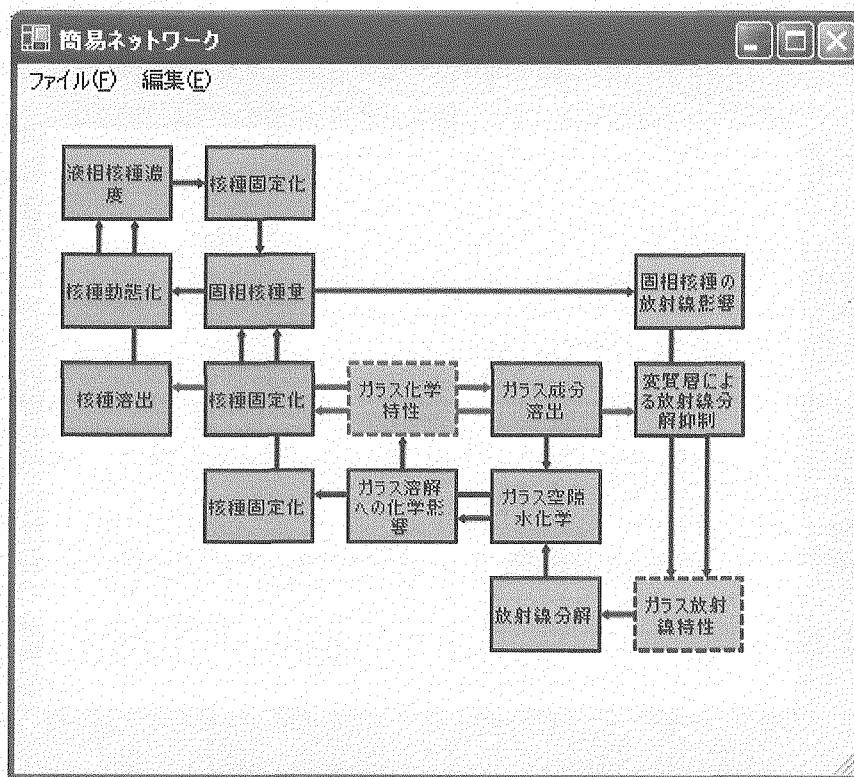
相関関係マトリクス

ウィンドウ(W) 編集(E) 表示(V) 機能(F) 連鎖(C)

	FEP連鎖:入力側	ガラス放射線特性	連鎖探索起点	ガラス化学特性
→アクティブセルのFEP	ガラス放射線特性	連鎖探索終点	ガラス放射線特性	
→FEP連鎖:出力側	ガラス放射線特性	親FEP	root	
	1	2	3	4
1 液相核種濃度	核種固定化			
2 核種動態化	固相核種量		固相核種の放 射線影響	
3 核種溶出	核種固定化	ガラス化学特性	ガラス成分溶出	変質層による放 射線分解抑制
4	核種固定化	ガラス溶解への 化学影響	ガラス空隙水化	
5		放射線分解	ガラス放射線特 性	

完了

付図 3-28 連鎖探索後の相関マトリクス画面



付図 3-29 連鎖探索後の简易ネットワーク画面

This is a blank page.

国際単位系 (SI)

表1. SI 基本単位

基本量	SI 基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI 基本単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m ²
体積	立方メートル	m ³
速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s ²
密度(質量密度)	メートル毎立方メートル	m ⁻¹
質量体積(比体積)	立法メートル毎キログラム	kg/m ³
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m ²
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
(物質量)濃度	モル毎立方メートル	mol/m ³
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m ²
屈折率(数の)	1	1

表5. SI 接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10 ²⁴	ヨタ	Y	10 ⁻¹	デシ	d
10 ²¹	ゼタ	Z	10 ⁻²	センチ	c
10 ¹⁸	エクサ	E	10 ⁻³	ミリ	m
10 ¹⁵	ペタ	P	10 ⁻⁶	マイクロ	μ
10 ¹²	テラ	T	10 ⁻⁹	ナノ	n
10 ⁹	ギガ	G	10 ⁻¹²	ピコ	p
10 ⁶	メガ	M	10 ⁻¹⁵	フェムト	f
10 ³	キロ	k	10 ⁻¹⁸	アト	a
10 ²	ヘクト	h	10 ⁻²¹	ゼット	z
10 ¹	デカ	da	10 ⁻²⁴	ヨクト	y

表3. 固有の名称とその独自の記号で表されるSI組立単位

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	他のSI単位による表し方
平面角	ラジアン ^(a)	rad	$m \cdot m^{-1} \cdot s^{(b)}$
立体角	ステラジアン ^(a)	sr ^(c)	$m^2 \cdot m^{-2} = 1^{(b)}$
周波数	ヘルツ	Hz	s^{-1}
力	ニュートン	N	$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m^2
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	$N \cdot m$
功率, 放射度	ワット	W	J/s
電荷, 電気量	クーロン	C	$s \cdot A$
電位差(電圧), 起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	フアラード	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	$m^2 \cdot kg \cdot s^3 \cdot A^2$
コンダクタンス	シーメンス	S	A/V
磁束密度	テスラ	T	Wb/m^2
インダクタンス	ヘルツ	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度 ^(d)	°C	K
光度	ルーメン	lm	$cd \cdot sr^{(c)}$
(放射性核種の)放射能	ベクレル	Bq	lm/m^2
吸収線量, 質量エネルギー	グレイ	Gy	J/kg
線量当量, 周辺線量当量	シーベルト	Sv	J/kg
方向性線量当量, 人線量当量	シーベルト	Sv	$m^2 \cdot s^{-2}$

(a) ラジアン及びステラジアンの使用は、同じ次元であっても異なる性質をもった量を区別するときの組立単位の表し方として利点がある。組立単位を形作るときのいくつかの用例は表4に示されている。

(b) 実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号“1”は明示されない。

(c) 測光学では、ステラジアンの名称と記号srを単位の表し方の中にそのまま維持している。

(d) この単位は、例としてミリセルシウス度m°CのようにSI接頭語を伴って用いても良い。

表4. 単位の中に固有の名称とその独自の記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	SI 基本単位による表し方
粘度	パスカル秒	Pa·s	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-1}$
表面張力	ニュートンメートル	N·m	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
角速度	ラジアン毎秒	N/m	$kg \cdot s^{-2}$
角加速度	ラジアン毎平方秒	rad/s	$m \cdot m^{-1} \cdot s^{-1} = s^{-2}$
熱流密度, 放射照度	ワット毎平方メートル	W/m ²	$kg \cdot s^{-3}$
熱容量, エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
質量熱容量(比熱容量)	ジュール毎キログラム	J/(kg·K)	$m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
質量エネルギー	モル毎ケルビン	J/kg	$m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m·K)	$m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot K^{-1}$
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m ³	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	$m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
体積電荷	クーロン毎立方メートル	C/m ³	$m^{-3} \cdot s \cdot A$
電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m ²	$m^{-2} \cdot s \cdot A$
誘電率	ファラード毎メートル	F/m	$m^{-3} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m	$m \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^2$
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot mol^{-1}$
モルエントロピー	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol·K)	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$
モル熱容量	ビン	C/kg	$kg^{-1} \cdot s \cdot A$
照射線量(X線及びγ線)	クーロン毎キログラム	Gy/s	$kg^{-1} \cdot s^{-3}$
吸収線量	グレイ毎秒	W/sr	$m^4 \cdot m^{-2} \cdot kg \cdot s^{-3} = m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
放射強度	ワット毎ステラジアン	W/(m ² ·sr)	$m^2 \cdot m^{-2} \cdot kg \cdot s^{-3}$
放射輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m ² ·sr)	$m^2 \cdot m^{-2} \cdot kg \cdot s^{-3}$

表6. 国際単位系と併用されるが国際単位系に属さない単位

名称	記号	SI 単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1h = 60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86400 s
度	°	1° = ($\pi/180$) rad
分	'	1' = (1/60)° = ($\pi/10800$) rad
秒	"	1" = (1/60)' = ($\pi/648000$) rad
リットル	L	1L = 1 dm ³ =10 ⁻³ m ³
トン	t	1t=10 ³ kg
ネーベル	Np	1Np=1
ベル	B	1B=(1/2)ln10(Np)

表7. 国際単位系と併用されこれに属さない単位でSI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
電子ボルト	eV	$1eV=1.60217733(49) \times 10^{-19} J$
統一原子質量単位	u	$1u=1.6605402(10) \times 10^{-27} kg$
天文単位	ua	$1ua=1.49597870691(30) \times 10^{11} m$

表8. 国際単位系に属さないが国際単位系と併用されるその他の単位

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
海里	里	1海里=1852m
ノット	ト	1ノット=1海里毎時=(1852/3600)m/s
アール	a	1a=1 dm ² =10 ⁻² m ²
ヘクタール	ha	1ha=1 hm ² =10 ⁴ m ²
バール	bar	1bar=0.1MPa=100kPa=1000hPa=10 ⁵ Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1nm=10 ⁻¹⁰ m
バーン	b	1b=100fm ² =10 ⁻²⁹ m ²

表9. 固有の名称を含むCGS組立単位

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
エルグ	erg	$1 erg=10^{-7} J$
ダイナ	dyn	$1 dyn=10^{-5} N$
ボアズ	P	$1 P=1 dyn \cdot s/cm^2=0.1 Pa \cdot s$
ストップス	St	$1 St=1cm^2/s=10^4 m^2/s$
ガウス	G	$1 G=10^{-4} T$
エルストップス	Oe	$1 Oe=(1000/4\pi) A/m$
マックスウェル	Mx	$1 Mx=10^{-8} Wb$
スチール	sb	$1 sb=1cd/cm^2=10^4 cd/m^2$
ホタル	ph	$1 ph=10^4 lx$
ガル	Gal	$1 Gal=1 cm/s^2=10^{-2} m/s^2$

表10. 国際単位に属さないその他の単位の例

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
キュリ	Ci	$1 Ci=3.7 \times 10^{10} Bq$
レントゲン	R	$1 R=2.58 \times 10^{-4} C/kg$
ラド	rad	$1 rad=1cGy=10^{-2} Gy$
レム	rem	$1 rem=1 cSv=10^{-2} Sv$
X線単位	γ	$1 \gamma=1 n=10^{-9} T$
ガンマ	Jy	$1 Jy=10^{-26} W \cdot m^{-2} \cdot Hz^{-1}$
フェルミ	fermi	$1 fermi=1 fm=10^{-15} m$
メートル系カラット		$1 metric carat = 200 mg = 2 \times 10^{-4} kg$
トル	Torr	$1 Torr = (101325/760) Pa$
標準大気圧	atm	$1 atm = 101325 Pa$
カリ	cal	
ミクロ	μ	$1 \mu=1 \mu m=10^{-6} m$