

地層処分システムの設計・安全評価体系の  
システム化に関する研究（ ）

研究概要

（核燃料サイクル開発機構 業務委託報告書）

2003年2月

三菱重工業株式会社

本資料の全部または一部を複写・複製・転写する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319 - 1184 茨城県那珂郡東海村村松4番地49

核燃料サイクル開発機構

技術展開部 技術協力課

**Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:**

**Technical Cooperation Section,**

**Technology Management Division,**

**Japan Nuclear Cycle Development Institute**

**4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1184,**

**Japan**

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)

2003

# 地層処分システムの設計・安全評価体系の システム化に関する研究( )

- 研究概要 -

(核燃料サイクル開発機構 業務委託報告書)

石原義尚<sup>\*1</sup>, 福井 裕<sup>\*1</sup>, 佐川 寛<sup>\*1</sup>, 伊藤隆哉<sup>\*1</sup>,  
松永健一<sup>\*1</sup>, 小華和治<sup>\*1</sup>, 桑山有紀<sup>\*1</sup>

## 要 旨

本研究では、統合解析システムの開発に資するため、第2次取りまとめに向けて構築されてきた設計・安全評価の体系を整理し、多種・多様な技術情報の網羅性と詳細度を考慮した上で体系化を図り、これらを知識ベースとしてシステム化するための検討を行った。

- (1) これまでの性能評価レポートで採用されている手法を参考に、技術情報をシステム化するのに適した形態を整理した上で、設計・性能評価の両分野におけるワークフロー（ワーク項目）に基づく情報整理と、安全評価で対象とする現象・特性フロー（現象項目）に基づく情報整理を行い、技術情報の体系化を行った。
- (2) 地層処分の研究3分野間の技術情報およびデータセットとの関連性ならびに追跡性を確保するため、技術情報の体系化の検討結果に基づき、システムへの展開・構築に必要なデータベース構造およびシステム機能を明確にした。
- (3) 設計および性能・安全評価の解析作業を支援していくため、解析作業で使用される多種多様なコードを対象に、統合解析システム上で統一的に使用・制御する方法について調査し、実現可能性を整理した。

---

本報告書は、三菱重工業株式会社が核燃料サイクル開発機構との委託研究契約により実施した研究成果に関するものである。

機構担当部課室：東海事業所 環境保全・研究開発センター 処分研究部 システム解析グループ

\* 1 三菱重工業株式会社

**Study on Systematic Integration Technology of Design and Safety Assessment  
for HLW Geological Disposal (II)  
- Summary Report -**

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

Yoshinao Ishihara<sup>\* 1</sup>, Hiroshi Fukui<sup>\* 1</sup>, Hiroshi Sagawa<sup>\* 1</sup>,  
Kenichi Matsunaga<sup>\* 1</sup>, Takaya Ito<sup>\* 1</sup>, Osamu Kohanawa<sup>\* 1</sup>,  
Yuki Kuwayama<sup>\* 1</sup>

**ABSTRACT**

The present study was carried out relating to basic design of the “Geological Disposal Technology Integration System” that will be systematized as knowledge base for design analysis and safety assessment of HLW geological disposal system by integrating organically and hierarchically various technical information in three study field. The key conclusions are summarized as follows:

- (1) As referring to the current performance assessment report, the technical information for R&D program of HLW geological disposal system was systematized hierarchically based on summarized information in a suitable form between the work flow (work item) and processes/characteristic flow (process item).
- (2) As the result of the systematized technical information, database structure and system functions necessary for development and construction to the computer system were clarified in order to secure the relation between technical information and data set for assessment of HLW geological disposal system.
- (3) The control procedure for execution of various analysis code used by design and safety assessment in HLW geological disposal study was arranged possibility in construction of “Geological Disposal Technology Integration System” after investigating the distributed computing technology.

---

This work was performed by Mitsubishi Heavy Industries, LTD. under contract with Japan Nuclear Cycle Development Institute.

JNC Liaison : Waste Management and Fuel Cycle Research Center, Waste Isolation Research Division, System Analysis Group

\*1 Mitsubishi Heavy Industries, LTD.

目 次

1. はじめに.....	1
2. 技術情報の体系化 .....	2
2.1 既存手法の調査 .....	2
2.2 体系化の方針 .....	3
2.3 ワーク項目（ワークツリー）の設定 .....	6
2.4 ワーク項目に基づく技術情報の整理 .....	6
2.5 現象フローに基づく技術情報の整理 .....	19
2.6 ワーク項目と現象フローの対応整理 .....	21
3. データ追跡性機能の検討.....	22
3.1 技術情報データベースとパラメータセット・データベースの整合.....	22
3.2 システム機能の検討 .....	25
4. 解析コード制御機能の検討 .....	29
5. おわりに.....	33
参考文献 .....	34

図目次

図 2-1	技術情報の体系化概念図 .....	5
図 2-2	処分技術（設計）分野のワークツリー・ワークシート・ワークフロー相関図 ....	8
図 2-3	性能評価分野のワークツリー・ワークシート・ワークフロー相関図.....	14
図 2-4	安全評価に係わる現象・特性フロー .....	20
図 3-1	データの階層構造と管理 .....	22
図 3-2	技術情報データベースのテーブル構造.....	25
図 3-3	超深地層研究分野における統合化データフロー .....	27
図 4-1	CAPASA システムにおける解析コードの実行制御の概念.....	30
図 4-2	複数分散計算機環境における解析コードの制御概念 .....	32

表目次

表 2-1	ワーク項目に関する技術情報（ワークシート）の整理項目.....	6
表 2-2	現象・特性フローに関する技術情報（総括的 FEP 辞書）の整理項目 .....	19
表 3-1	設計ワーク項目とパラメータセットの相関マトリクス.....	23
表 3-2	性能評価ワーク項目とパラメータセットの相関マトリクス.....	24

## 1. はじめに

サイトを特定しない第2次取りまとめにおいては、仮想的な地質環境に例示的な処分システムが構築され、これが所期の安全機能をすべて発揮することを前提に性能・安全評価を行ってきた。今後は、処分事業の進展に伴って、処分地（候補地等を含む）が持つ具体的な地質環境条件を適切に考慮した設計・シナリオに基づいて評価モデルおよびパラメータを設定し、安全評価が実施可能な環境を整備していくことが重要となる。このため、サイクル機構に対しては、第2次取りまとめまでの研究成果ならびに今後 ENTRY、Quality および深地層の研究施設等で得られる新たな研究成果を活用して、地層処分技術の信頼性の確認や安全評価手法の高度化に向けた研究開発が求められている。

地層処分システムの長期の安全性は、シナリオで表現される長期間の複合的な現象を考慮して処分システム全体の性能を定量化することによって示される。特に、安全評価の基本となる地下水移行シナリオに関しては、今後進められる個別詳細研究の成果を取り込みつつ、シナリオの成立性（例えば、ニアフィールドに関連するものとして、緩衝材の幾何形状、温度変化、完全飽和の達成、還元条件の回復、拡散場の形成、変質・劣化など）を確認し、これを安全評価に適切に反映していくことが重要である。このためには、地層処分システムの設計（長期健全性評価含む）で得られる知見を組み合わせた適切なシナリオに基づく条件設定と、これに応じた一連の安全評価において必要となる技術情報を統合する統合解析システムの開発が必要である。

本研究では、統合解析システムの開発に資するため、第2次取りまとめに向けて構築されてきた設計・安全評価の体系を整理し、今後の研究開発で得られる成果も考慮した上で、これらを知識ベースとしてシステム化するための検討を行う。



## 2. 技術情報の体系化

地層処分システムの研究開発における多種・多様な技術情報（現象理解，データ取得，処理，判断，解析結果，ノウハウ等）の体系化においては，網羅性と詳細度に十分配慮して進める必要がある。このため，昨年度に作成したワークフロー（石原ほか，2002）を参考として，各分野間の情報，特に性能評価の実施を支援することに重点を置いたデータの連携・相関を，網羅性と詳細度を考慮して整理する。ここでは，これまでの性能評価レポートで採用されている，FEP (Feature Event Process) / PID (Process Influence Diagram)に基づく整理手法，THMC ダイアグラムに基づく整理手法，ならびに RES マトリクスよる整理手法を参考に，技術情報を知識ベースとしてシステム化するのに適した形態を検討した上で，体系化を行う。

### 2.1 既存手法の調査

技術情報の整理方法ならびに相関関係の図示方法については，これまでの性能評価レポートで採用されている手法として，下記が挙げられる。

PID の例としては，第2次取りまとめ(核燃料サイクル開発機構，1999)や SITE-94( SKI，1996 )等がある。FEP をインフルエンスにより繋ぎ合わせて因果関係を示す方法であり，上流 / 下流の関係が明示されるため全体を俯瞰し網羅性を確保するのに適した手法と考えられる。しかし，FEP の数が多くなると複雑になること，繋ぎ合わせの矢印の意味を別途定義し明確に示す必要がある。

RES マトリクスの例としては，第2次取りまとめの生物圏評価がある。対角要素間の相互作用が非対角要素（ODE）に置かれ，ODE は少なくとも一つの FEP が一致することが要求される。本マトリクスは，各要素間の相互作用は分かり易いが，その生起の時間的順序は表現しておらず，現象の最初と最後（流れ）が分かり難い。また，特性が，熱，水理，化学，力学，物質移行，放射線影響と複数あることから，1枚のマトリクスで表現することは困難である。

THMC ダイアグラムは SR97 (SKB，1999) で用いられた手法で，熱，水理，化学，力学，物質移行，放射線影響ごとに，特性（システムの状態を表す変数）と現象（プロセス）の関係を図示したものである。ただし，THMC ダイアグラムは関係を記述する一手段に過ぎず，SR97 では現象毎に別途詳細な記述を準備している。また，構成要素（サブシステム）毎に THMC ダイアグラムを作成している。

このように，技術情報の整理方法ならびに相関関係の図示方法としては，どれも一長一

短がある。一方、第2次取りまとめの安全評価においては、解析対象とするレファレンスケースで考慮している現象をまとめた現象・特性フローを整理している。本フローは FEP に拘わらず現象をフローで図示したものであり、PID よりも簡潔に整理されているため、安全評価を実際に行うときには、非常に参考になる。このような現象・特性フローを整理しておくことは、「モデルありき」を前提として作成された昨年度のワークフローを補間するとともに、第2次取りまとめ以降の研究開発におけるワーク項目（例えば、新規モデル開発）への対応に有効であると考えられる。

## 2.2 体系化の方針

地層処分研究開発 3 分野の連携において重要となる技術情報（現象理解、データ取得、処理、判断、解析結果、ノウハウ等）は、サイクル機構殿の各ユーザの立場により、その活用の視点が異なる。技術情報の体系化は、その活用スタイルから「個別研究」と「評価」の二面性を考慮して進める必要がある。サイクル機構殿が考えられている統合解析システムとしては、各ユーザの目的に応じて、次の 3 つの視点から利用可能なシステムを構築することにある。

### 個別研究での技術情報の管理・活用

主に、調査・実験・モデル化研究を行う研究者の視点（個別研究作業実施の視点）からの運用。

### 評価・取りまとめでの技術情報の管理・活用

主に、解析・評価研究を行う研究者の視点（評価・取りまとめ作業実施の視点）からの運用。

### プロジェクトマネジメントでの技術情報の管理・活用

主に、プロジェクトマネージャーの視点からの運用。

以上のようなサイクル機構殿のニーズに基づき、3 つの視点からの技術情報の管理・運用を目指して、技術情報の体系化を以下の観点で実施する。

- 作業の観点：ワークフローと技術情報（ワークシート）

実際に試験（観測含む）、解析・評価等の作業を行う観点から、昨年度のワークフローに基づき、各ワーク項目に対する技術情報をワークシートの形で整理する。ここで整理する技術情報は、基本的に試験／解析等で設定されるデータと、その設定根拠（条件含む）とする。これらのデータ項目の伝播はワークフローで示される。

- 評価の観点：現象・特性フローと技術情報（総括的 FEP 辞書）

性能評価（全体性能評価に重点）の観点からは，評価対象とする現象を中心とした情報の流れ（現象の連関）が必要となる。理想的には，Full PID に基づいて，どの現象を対象としているかを把握しながら評価することが望ましいが，PID が複雑になるため実用性には疑問が残る。このため，より現実的な現象の連関のみを整理した現象・特性フローを作成し，このフローの各項目に対する技術情報を整理する。ここで整理する技術情報は，解析・評価における現象の取扱いに焦点をあてた内容とする。

現象・特性フローにおける技術情報の基礎となる知識・知見は，実際の作業（ワーク）から得られたものであり，現象・特性フローの項目とワークフローのワーク項目の対応関係を定義しておく。

- プロジェクトマネジメント

プロジェクトマネジメントは，評価に取り込んだ現象とその結果を見て，研究の重要度・優先度を決定することであり，ワークフローおよび現象・特性フローに関連する技術情報，ならびに処分場モデル上に表示された評価結果を基に，マネージャーが判断する。システムは判断に資する情報を提供するため，例えば，ワーク項目や現象項目に関する技術情報のステータス等を表示する。

以上の観点から，ワークフローに基づく情報整理と，現象・特性フローに基づく情報整理を纏めた体系化の概念図を図 2-1 に示す。本概念に基づき，作業に即したワークフローと技術情報（ワークシート），評価に即した現象フローと技術情報，ならびにパラメータセットの対応付けを行い，技術情報の体系化を図る。

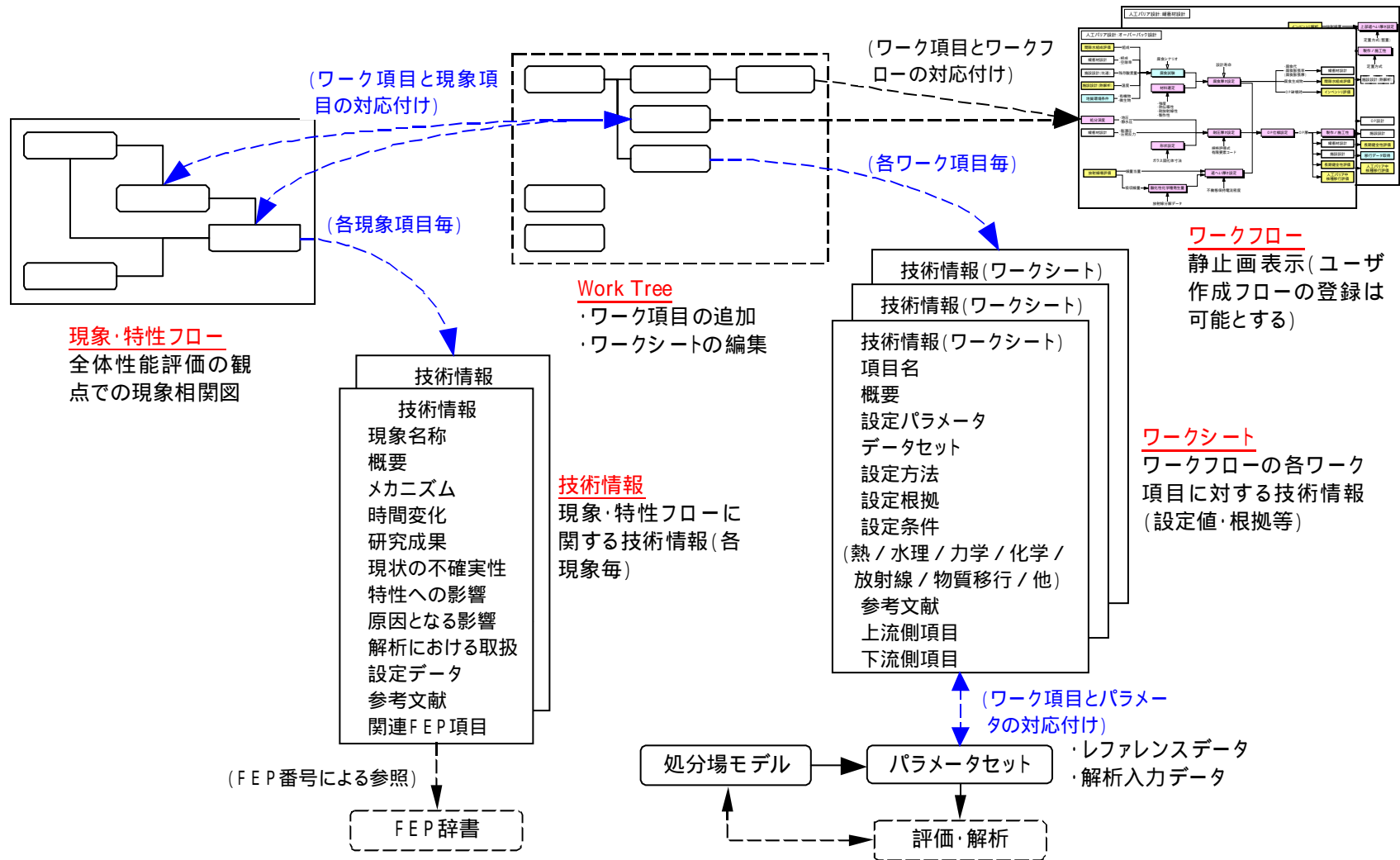


図2-1 技術情報の体系化概念図

### 2.3 ワーク項目(ワークツリー)の設定

ワークフローの作成および技術情報(ワークシート)を纏めるための単位としてワーク項目を選定する。昨年度のワークフローを参考として設定したワーク項目を、処分技術(設計)および性能・安全評価に分けて、図 2-2 および図 2-3 にそれぞれ示す。

設定したワーク項目は、技術情報の登録や検索などの操作性を考慮し、ワークツリーとして表示するとともに、管理を行う(Windows の Explorer によるフォルダ/ファイルの管理・表示と同様)。これは、将来の研究の進展に伴ってワーク項目の追加・削除・再分類が行われることを想定し、ユーザによるワーク項目管理の観点で有効な方法であり、ワーク項目の追加等への対応がシステム製作の面からも容易に実現可能である。

### 2.4 ワーク項目に基づく技術情報の整理

実際に試験(観測含む)、解析・評価等の作業を行う観点から、前記 2.3 項で設定した各ワーク項目に対する技術情報をワークシートの形で整理する。ここで整理する技術情報は、基本的に試験/解析等で設定されるデータと、その設定根拠(条件含む)とする。これらのデータ項目の伝播はワークフローで示される。ワーク項目に対する技術情報の整理項目を表 2-1 に示す。

表 2 - 1 ワーク項目に関する技術情報(ワークシート)の整理項目

No.	項目	内容
1.	識別番号	識別名称
2.	ワーク項目	項目名
3.	概要	当該ワークの概要
4.	設定パラメータ	当該ワークで設定されるパラメータの種類
5.	データセット	当該ワークで設定されたデータセット(デジタル値, 分布, テーブル形式)
6.	設定方法	文献, 試験, 解析, 判断
7.	設定根拠	データ設定に係わる設定根拠(判断内容等)
8.	設定条件(熱的条件)	試験条件, 解析条件等の記述(文書, グラフ等)
9.	設定条件(水理学的条件)	同上
10.	設定条件(力学的条件)	同上
11.	設定条件(化学的条件)	同上
12.	設定条件(放射線学的条件)	同上
13.	設定条件(物質移行条件)	同上
14.	設定条件(その他)	同上
15.	参考文献	参考文献名称(あるいは文献番号)
16.	上流側ワーク項目	当該ワークの上流側のワーク項目名(入力先)
17.	下流側ワーク項目	当該ワークの下流側のワーク項目名(出力先)

また、ワーク項目（ツリー表示）、技術情報（ワークシート）、およびワークフローの対応関係を、図 2-2（設計）および図 2-3（安全評価）に示す。ワーク項目とワークシートの関係は、表 2-1 の形式で整理したワークシートがどのワーク項目に対応しているかを表している。また、ワーク項目とワークフローは複数の対応関係が定義されるが、表示が煩雑になるため、代表的な項目に対するリンク関係を示した。

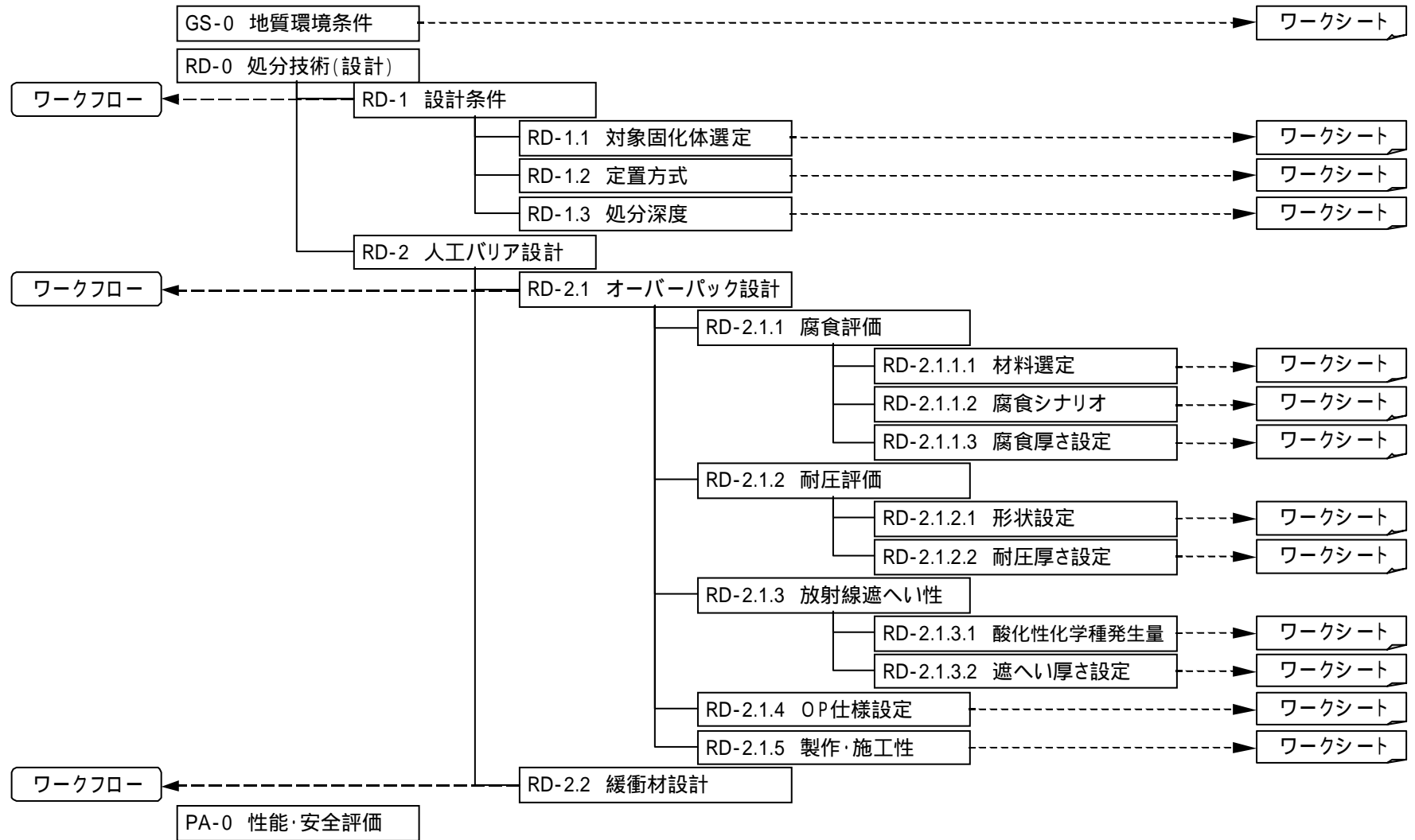


図2 - 2 処分技術(設計)分野のワークツリー・ワークシート・ワークフロー相関図(1)

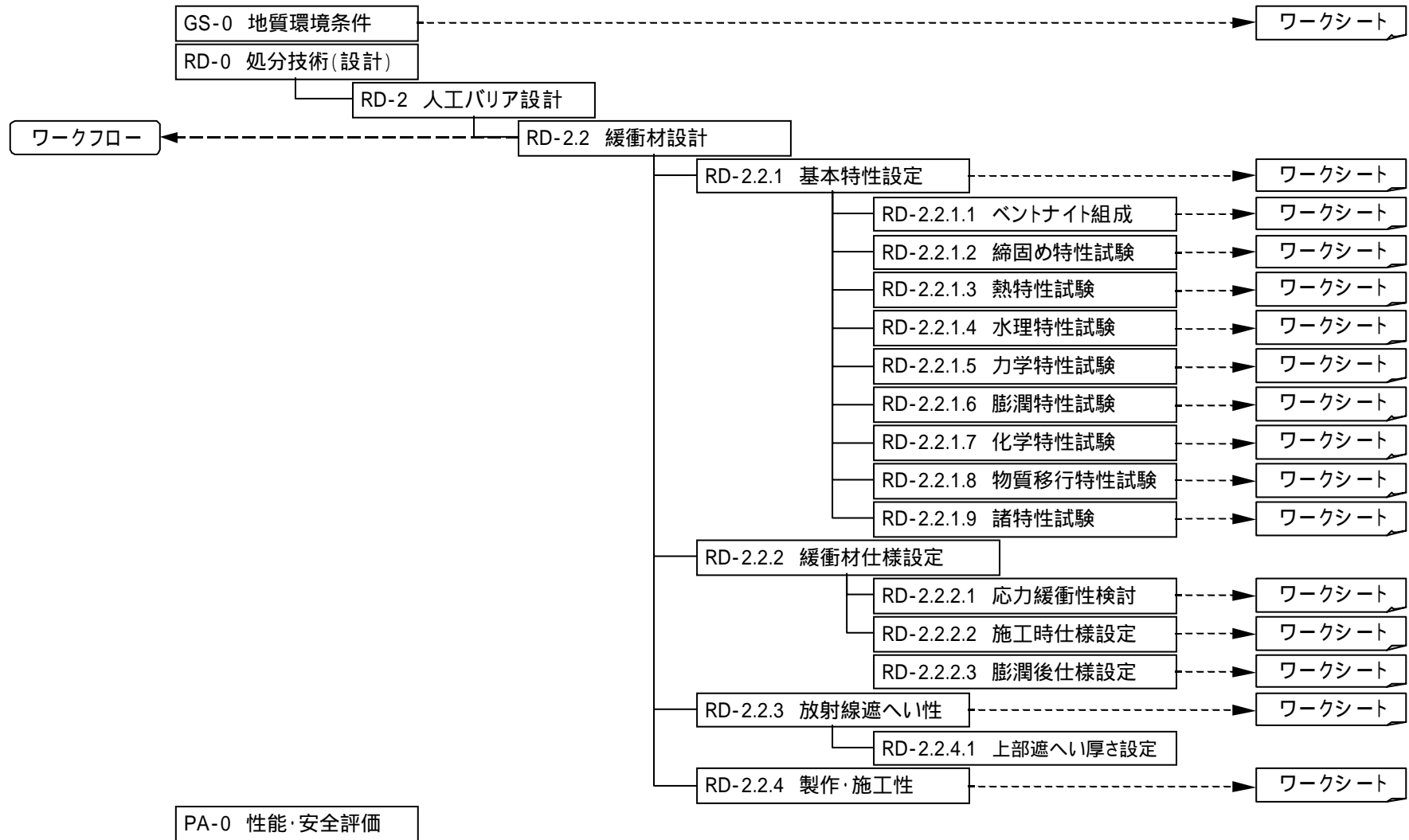


図2 - 2 処分技術(設計)分野のワークツリー・ワークシート・ワークフロー相関図(2)



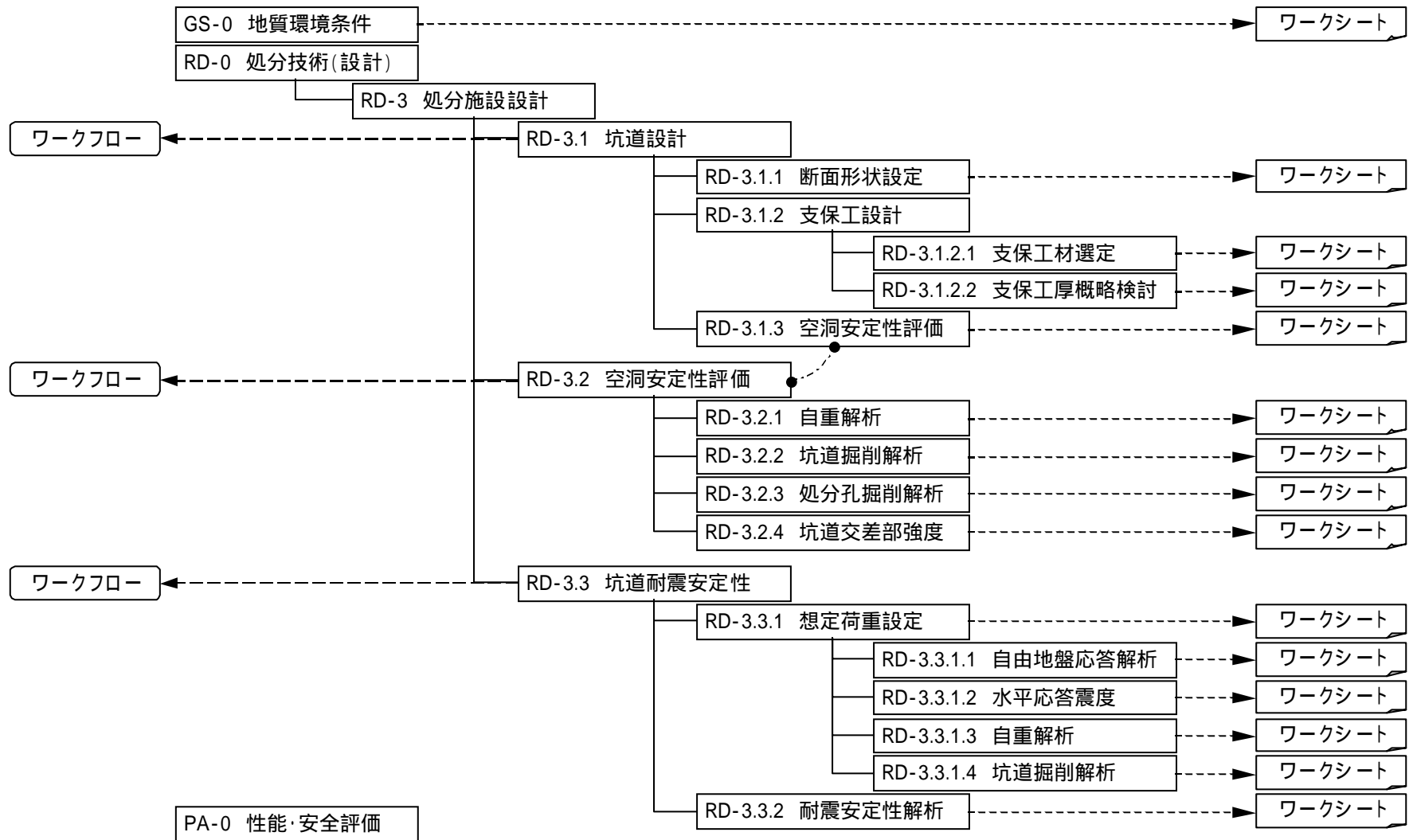


図2 - 2 処分技術(設計)分野のワークツリー・ワークシート・ワークフロー相関図(3)

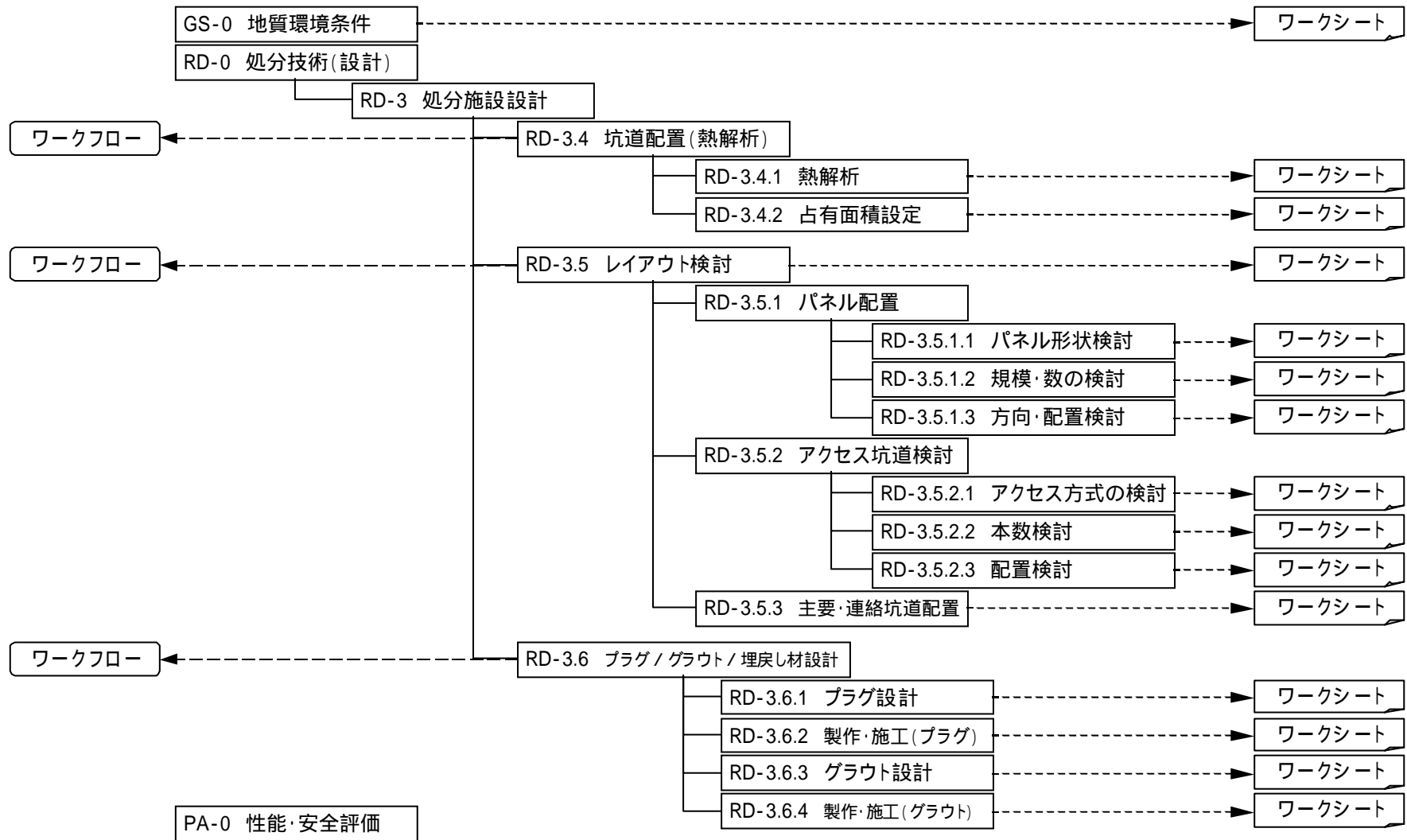


図2 - 2 処分技術(設計)分野のワークツリー・ワークシート・ワークフロー相関図(4)

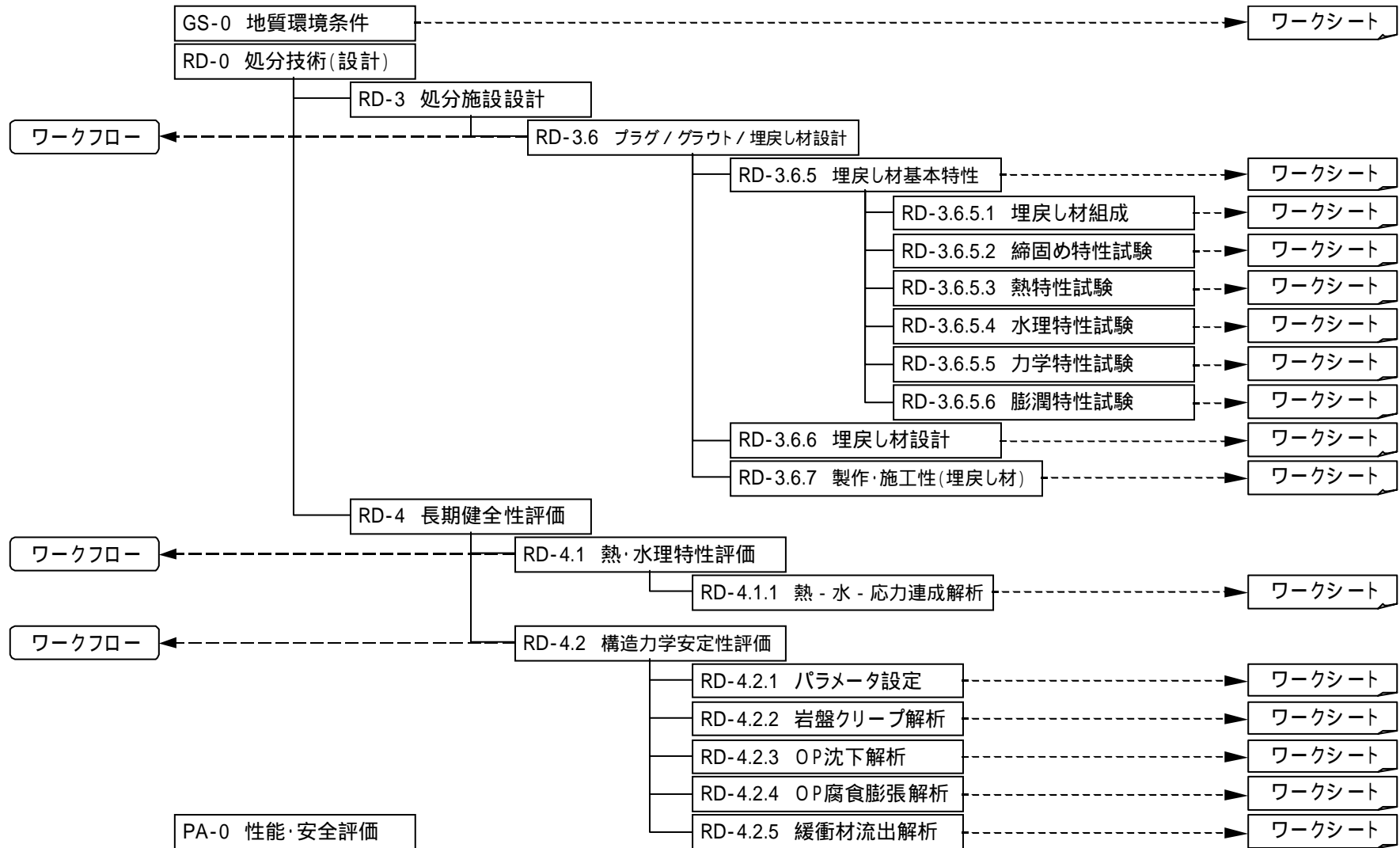


図2 - 2 処分技術(設計)分野のワークツリー・ワークシート・ワークフロー相関図(5)

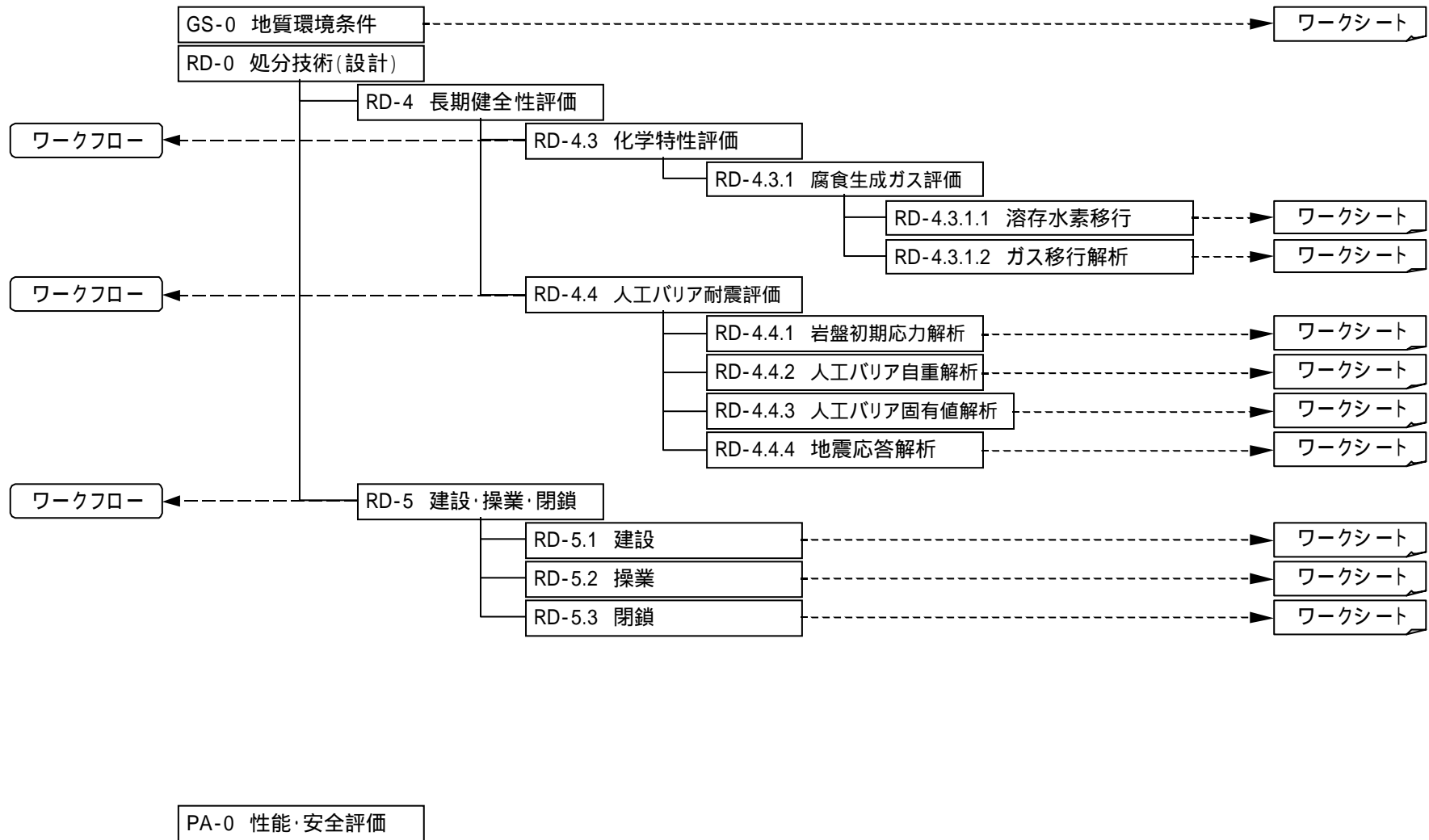


図2 - 2 処分技術(設計)分野のワークツリー・ワークシート・ワークフロー相関図(6)

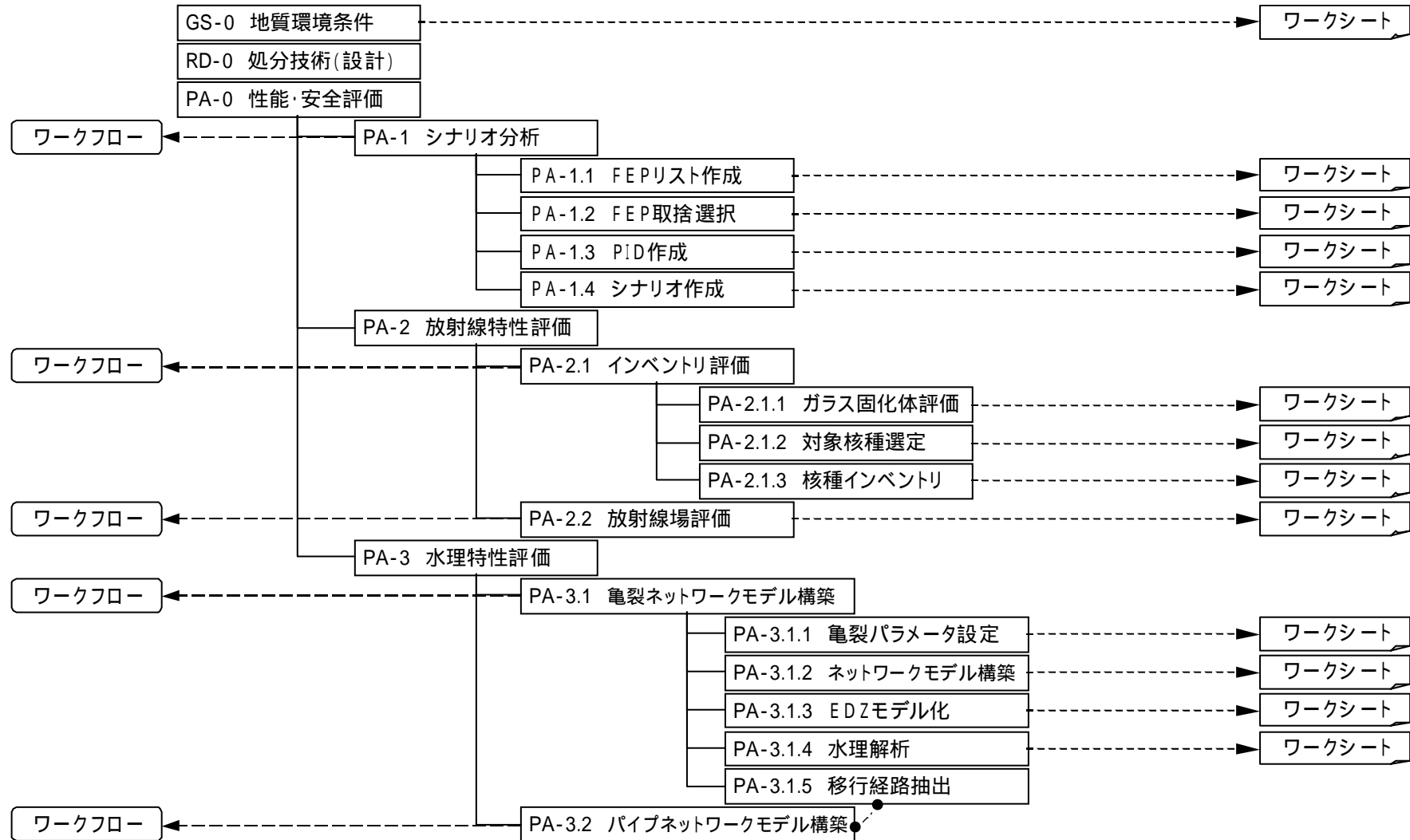


図2 - 3 性能評価分野のワークツリー・ワークシート・ワークフロー関連図(1)

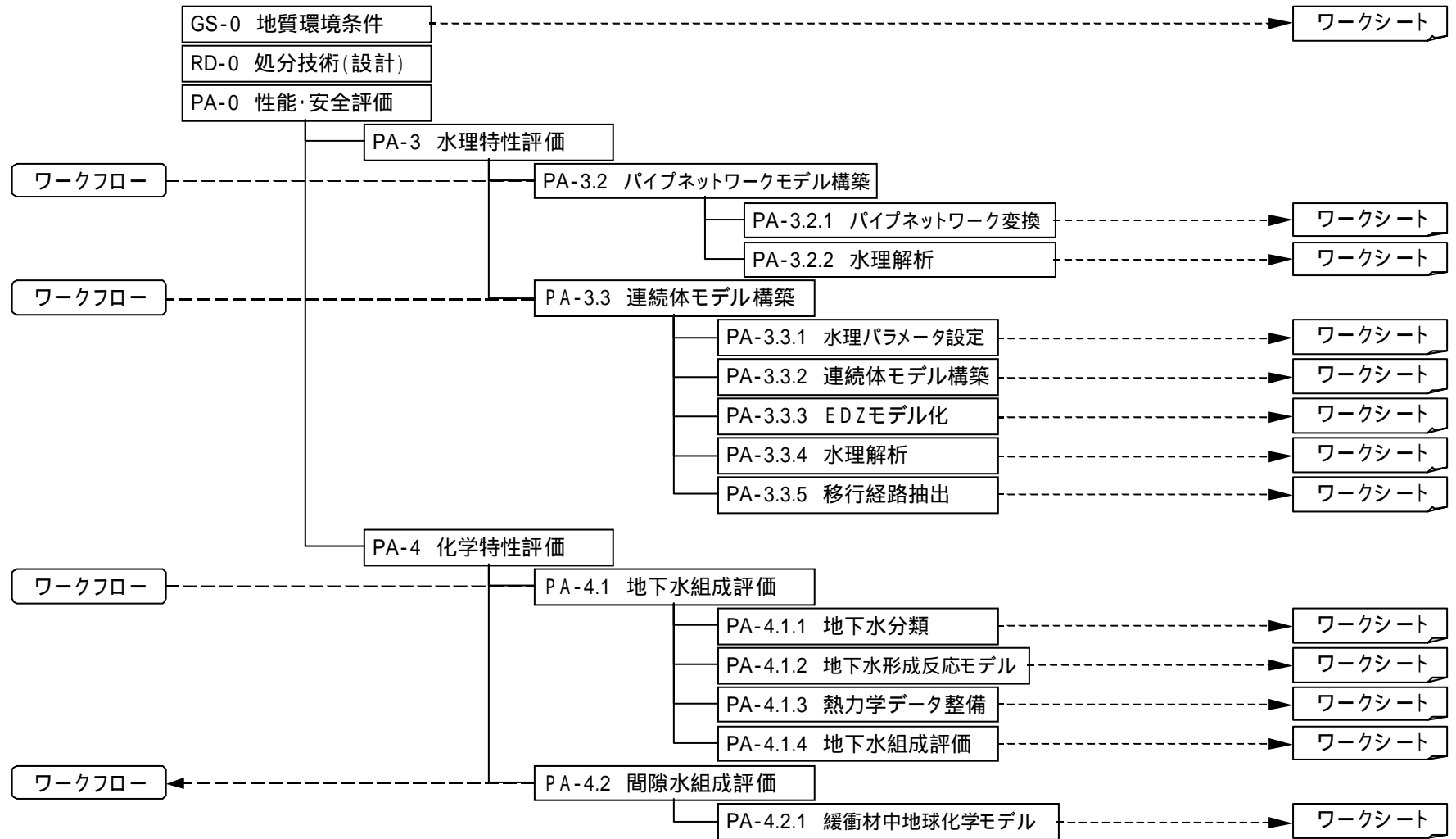


図2 - 3 性能評価分野のワークツリー・ワークシート・ワークフロー相関図(2)

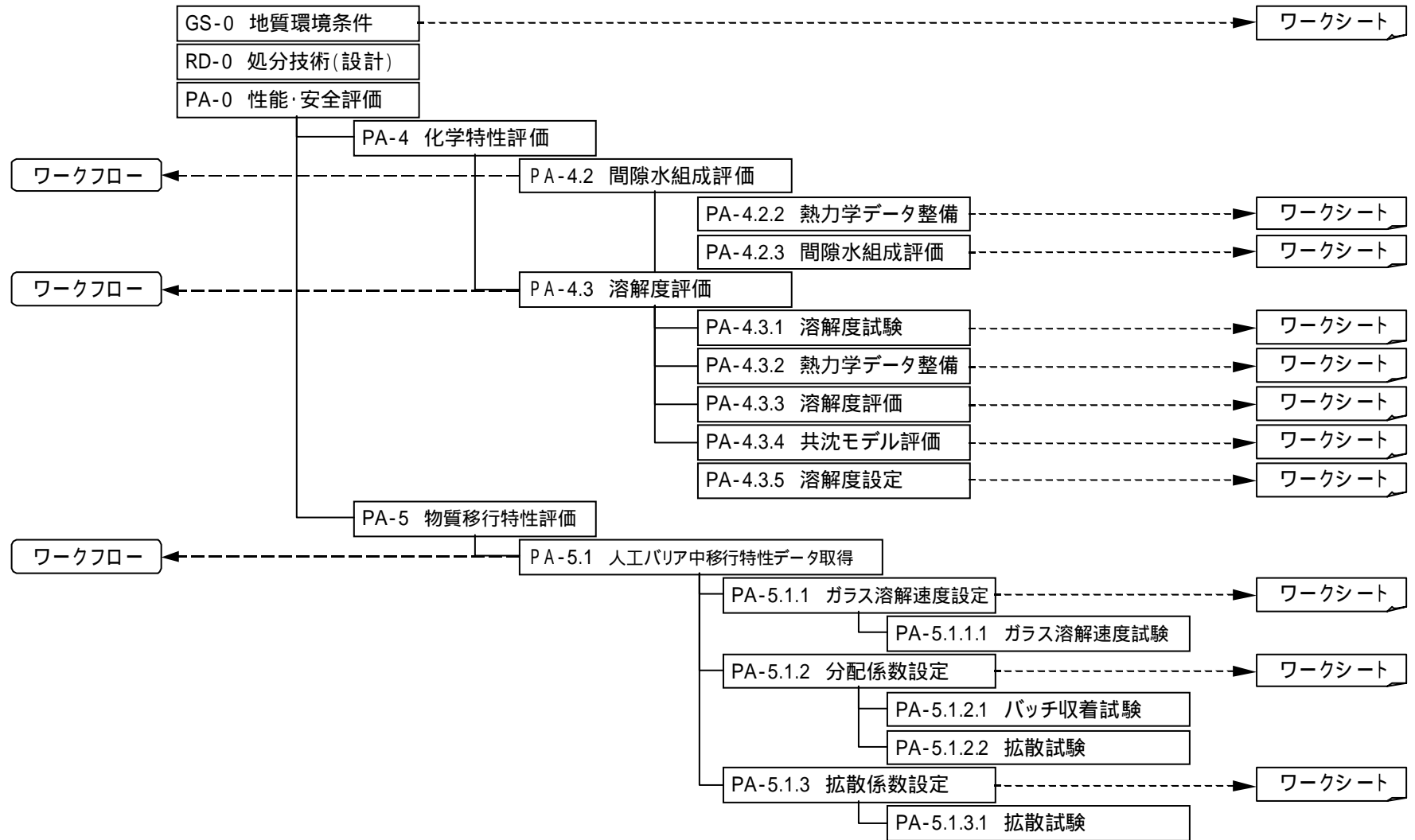


図2 - 3 性能評価分野のワークツリー・ワークシート・ワークフロー相関図(3)

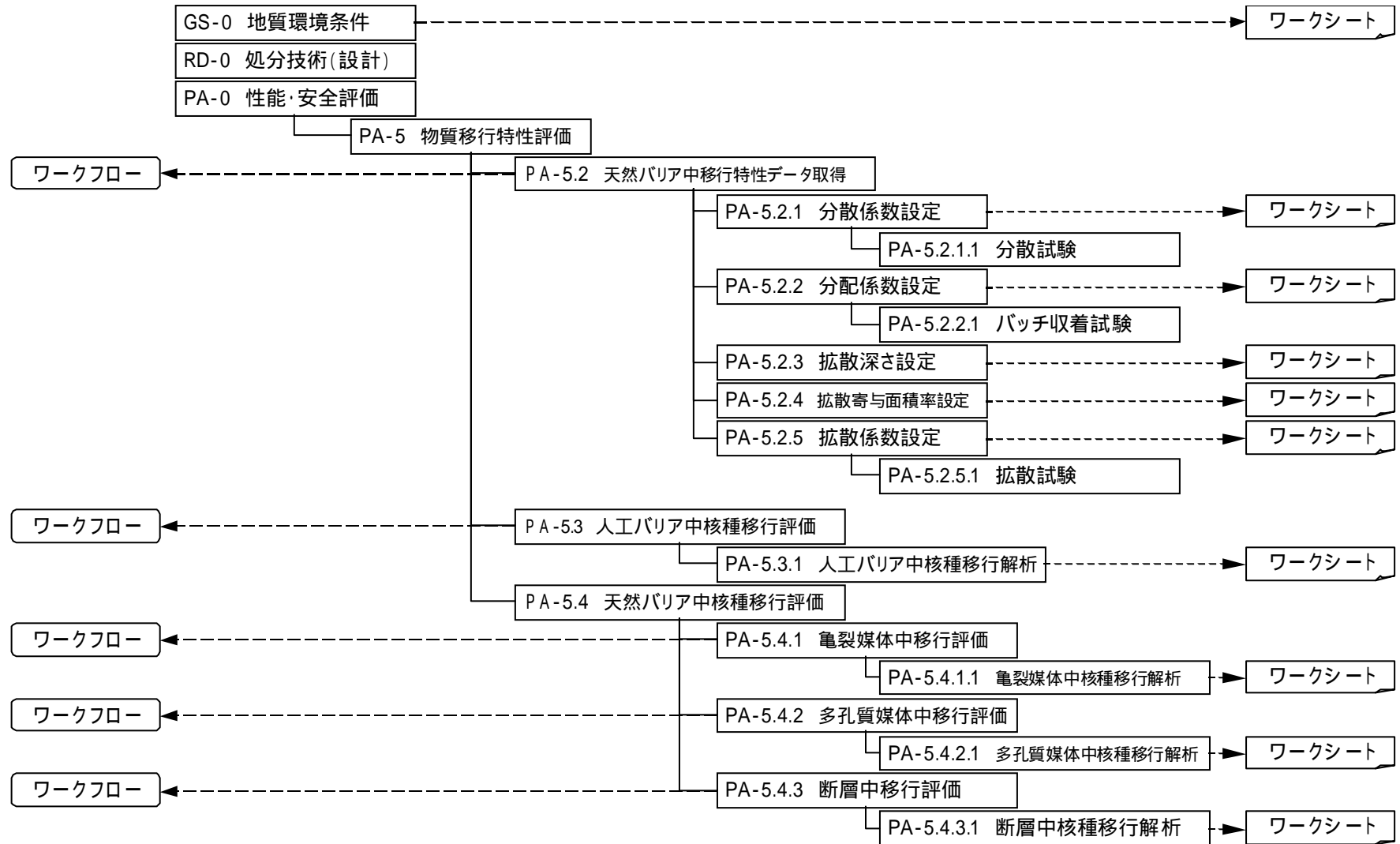


図2 - 3 性能評価分野のワークツリー・ワークシート・ワークフロー相関図(4)



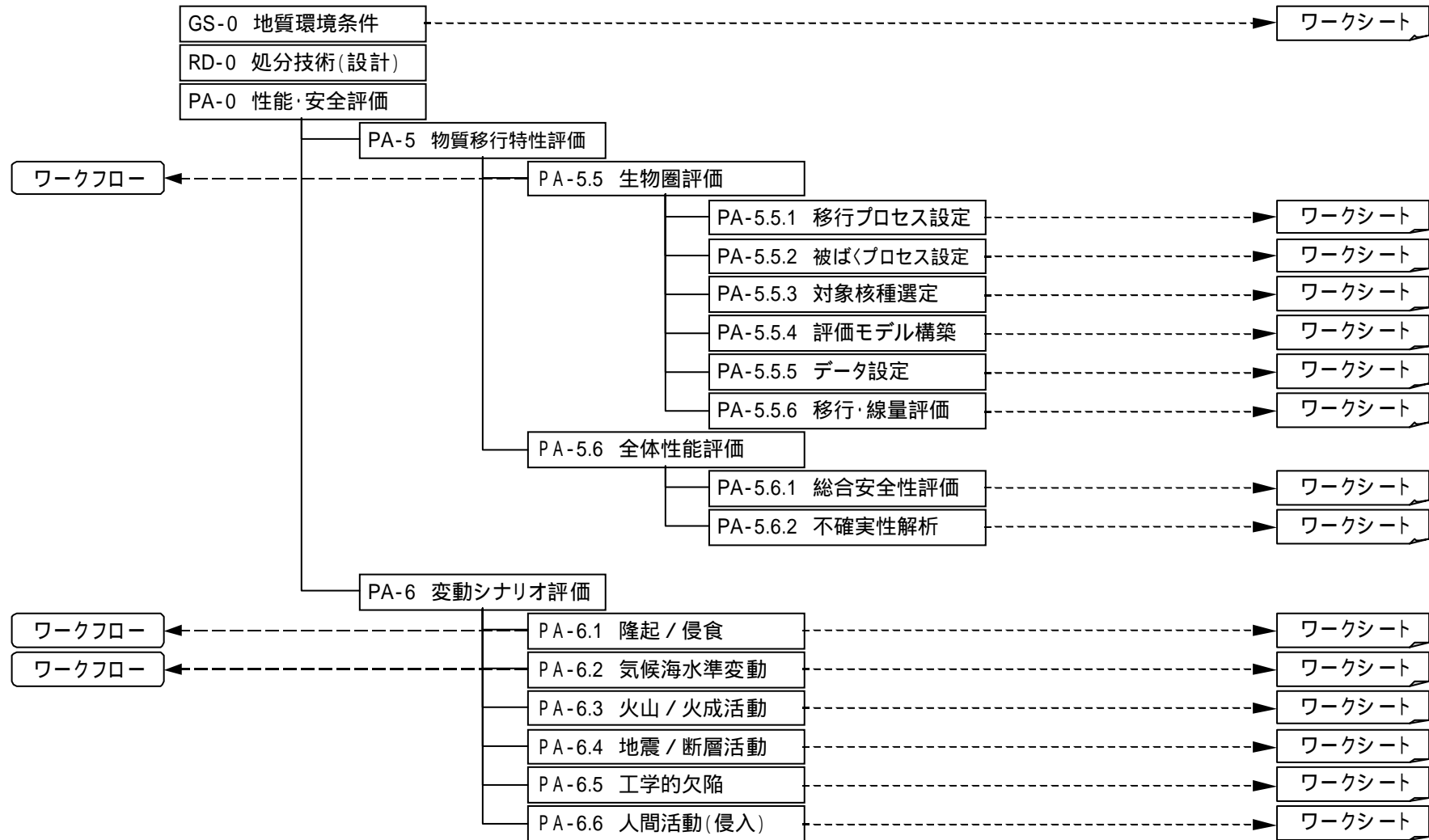


図2 - 3 性能評価分野のワークツリー・ワークシート・ワークフロー相関図(5)

## 2.5 現象フローに基づく技術情報の整理

性能評価(全体性能評価に重点)の観点からは,評価対象とする現象を中心とした情報の流れ(現象の連関)が必要となる。理想的には,Full PIDに基づいて,どの現象を対象としているかを把握しながら評価することが望ましいが,PIDが複雑になるため実用性には疑問が残る。このため,より現実的な現象の連関のみを整理した現象・特性フローを作成し,このフローの各項目に対する技術情報を整理する。ここで整理する技術情報は,解析・評価における現象の取扱いに焦点をあてた内容とする。

第2次取りまとめにおけるレファレンスケースの現象フローならびにFEPリストに基づいて作成した,安全評価に関連する現象/特性フローを図2-4に示す。また,図2-4に示したフローに基づき,各現象(ボックス)に対する技術情報を,SR97(Process Report)の記述(項目)を参考にして,表2-2に示す項目に関して整理した(相関関係の整理含む)。なお,整理する技術情報の記載内容は,第2次取りまとめベースの記述とした。

表2-2 現象・特性フローに関する技術情報(総括的FEP辞書)の整理項目

No.	項目	内容
1.	識別番号	識別名称
2.	現象名称	項目名
3.	概要(Description)	当該現象の一般的概要の記述
4.	現象のメカニズム	当該現象のメカニズムに関する科学的記述
5.	時間変化	当該現象の経時変化に関する記述(判断情報が含まれる場合もある)
6.	研究(成果)	当該現象に対する研究状況(試験,モデル化,データ取得,解析,ナチュラルアナログ等)
7.	現状の不確実性	当該現象の不確実性に関する記述(判断情報が含まれる場合もある)
8.	特性への影響(下流側現象)	当該現象の影響が伝播する下流側の現象項目(識別番号,複数の場合あり)
9.	原因となる影響(上流側現象)	当該現象に影響を及ぼす上流側の現象項目(識別番号,複数の場合あり)
10.	解析における取り扱い	当該現象の解析上の取り扱いに関する記述(判断情報含む,設定データと関連)
11.	設定データ	パラメータセット・データベースへのリンク情報(例えばデータID番号等)
12.	参考文献	参考文献名称(文献のうち,サイクル機構殿作成資料の場合は文書データ登録が可能なが望ましい)
13.	関連FEP項目	関連するFEP項目(番号・名称)

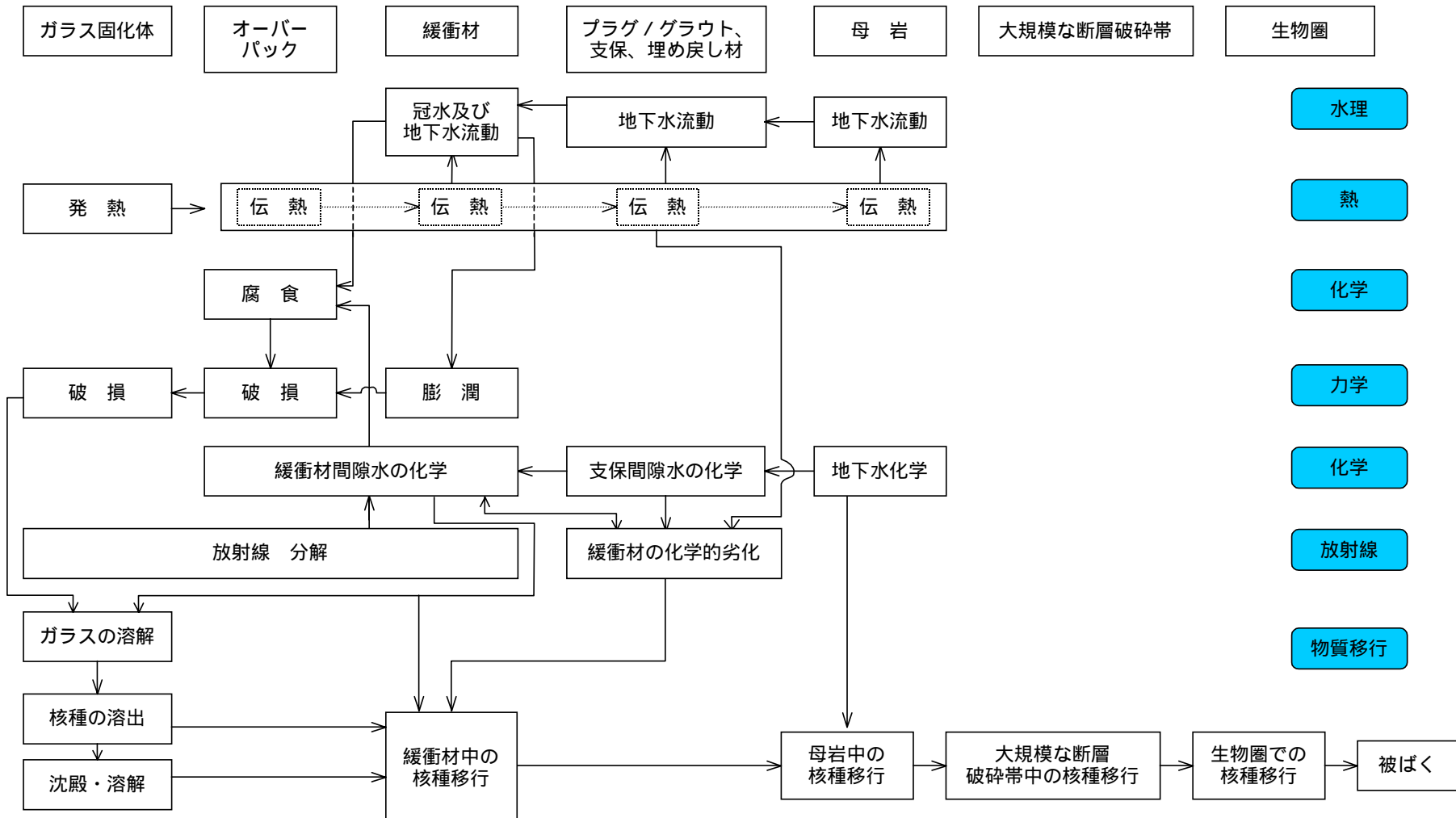


図2 - 4 安全評価に係わる現象・特性フロー

## 2.6 ワーク項目と現象フローの対応整理

現象 / 特性フローの現象項目および FEP 項目，ならびにワークツリーのワーク項目の対応関係（包含関係）について整理する。ここで，各項目間の関連付けの方法として，以下の方法が考えられる。

- ・現象 / 特性フローの現象項目に対して，関連する FEP 項目およびワーク項目の対応を整理する。この方法では，現象フローの作成時に抽出した現象に対して関連付けを行うため，網羅性を保証することはできない。（FEP 項目やワーク項目が全て対象になるとは限らない。）
- ・ワークツリーのワーク項目に対して，関連する現象項目および FEP 項目の対応を整理する。この方法でも，ワーク項目に抜け落ちがある可能性があり，網羅性を完全には保証できない。
- ・包括的 FEP リストの FEP 項目に対して，関連する現象項目およびワーク項目の対応を整理する。この方法は，全 FEP 項目を対象とすることにより網羅性は保証できるかもしれないが，シナリオ分析に近い作業となる。また，必ずしも対応するワーク項目が一对一に存在するとは限らない。

ここでは，評価・取りまとめ作業の実施を支援することに重点を置き，評価対象とする現象を中心とした情報の相関関係を整理するため 現象 / 特性フローで抽出された現象項目および関連する FEP 項目に対して，ワークツリーの各ワーク項目の対応を整理した。

3. データ追跡性機能の検討

地層処分の研究3分野間の技術情報(データや判断等)のリンクと追跡性を確保するため、技術情報の体系化の検討結果を参考に、技術情報の追跡機能に係わるデータベースの構造ならびにシステム機能の検討を行う。

3.1 技術情報データベースとパラメータセット・データベースの整合

統合解析システムは、ワークツリー(ワーク項目)および現象/特性フローに係わる情報は技術情報データベースとして構築・管理し、評価に必要な変数項目(デジタル値等)はパラメータセット・データベースとして構築・管理する構成を考えている。このため、データの整合性・追跡性等の要求事項に対して、パラメータセット・データベースと技術情報データベースのリンクを確保する必要がある。図3-1に示すように、技術情報へのアクセスは、処分場モデルからのアクセスとワークツリー(ワーク項目)からのアクセスの機能が求められる。

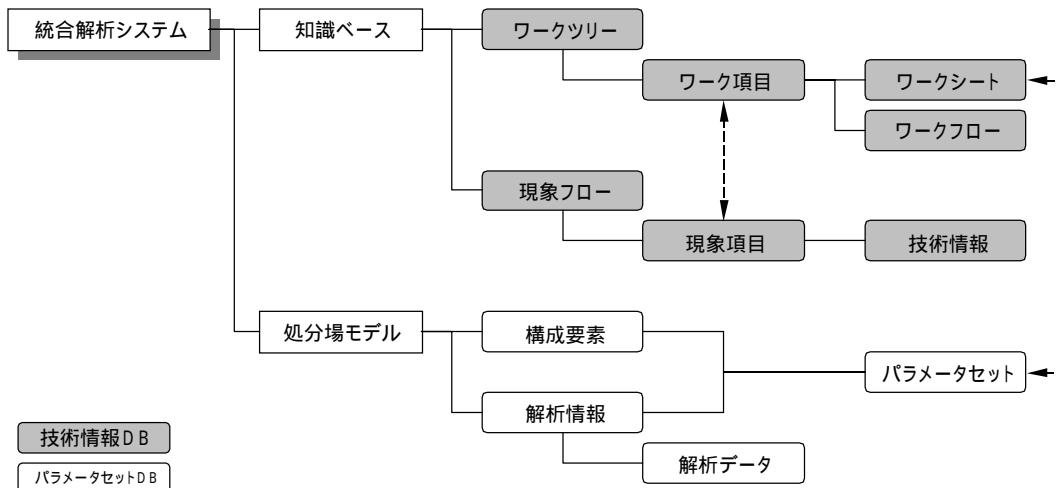


図3 - 1 データの階層構造と管理

このような機能を実現するため、SR97のTHMCダイアグラムと同様の形式で、ワークツリーのワーク項目とパラメータセットの対応関係について整理することが有効と考えられる。ここでは、図2-2および図2-3に示した設計および性能評価のワーク項目とパラメータセット(変数項目)の関連付けを行った。パラメータセットに対して、設計および性能評価のワーク項目との対応を整理したマトリクスを表3-1および表3-2に示す。なお、地質環境情報については、変数項目への入力情報を提供するものであり、変数項目を介して関連するワーク項目へ伝播することになる。





### 3.2 システム機能の検討

#### (1) データベース構造

技術情報データベースは、ワーク項目に関連したデータ（ワークシート、ワークフロー）および現象/特性フローに関連したデータ（現象項目、技術情報）から構成される。これらのデータは、2章で検討した対応関係に基づいて互いに関係付けられることにより、関連するデータの効率的な参照が可能となる。また、前記3.1項で検討したパラメータセットとの関連付けにより、設定データへの効率的なアクセス（もしくは設定データから技術情報へのアクセス）が可能となる。技術情報データベースのテーブル構造を図3-2に示す。

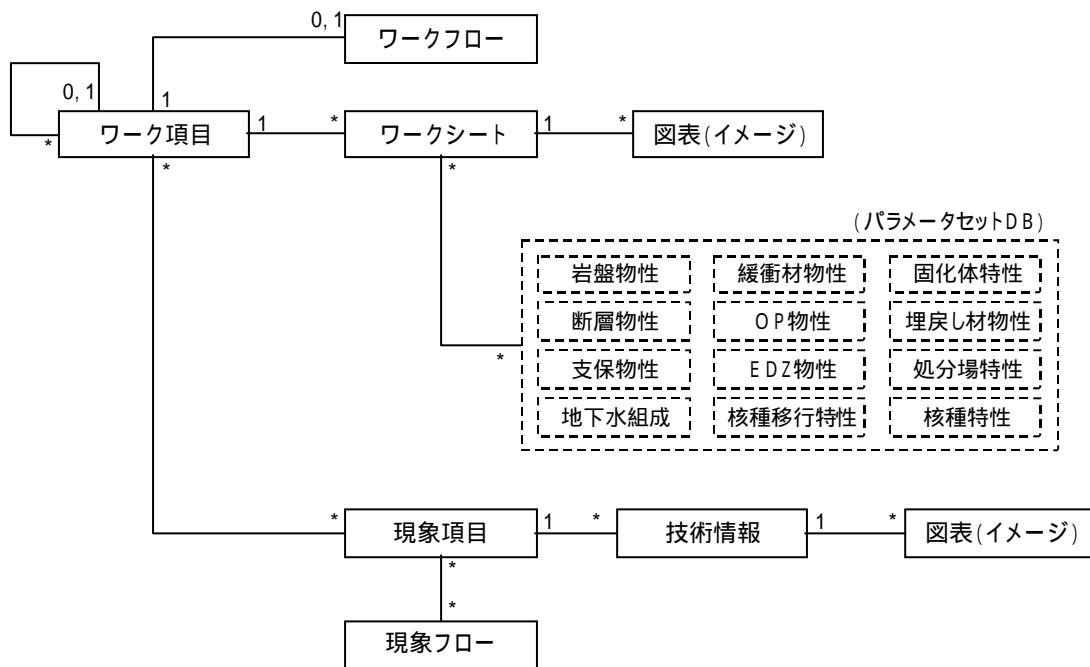


図3-2 技術情報データベースのテーブル構造

#### (2) 登録・運用手順の検討

表2-1の形式で纏めたワーク項目に係わる技術情報ならびに表2-2の形式で纏めた現象に係わる技術情報の登録・運用方法について検討し、データベースによるデータ管理方法、システム機能について整理する。

データベースによる技術情報の管理方法として、整理表の形式で一括して管理する方法と、整理表の各項目を分割して管理する方法の2つが考えられる。分割して管理するためには、専用の登録画面（GUI）上で項目毎に情報を入力する必要があり、登録作業が煩雑となることや、GUIの機能的な制約により数式や図表等の貼り付けが困難となる。また、



データベースの構造上も、項目毎にデータ管理することになり、テーブル構造が過度に複雑になることや、将来項目が変更された際の対応が困難となる。一方、一括して管理する場合は、ユーザがブランクの表に市販ソフトウェア（例えば、MS-Word 等）で情報を入力することが可能で、数式や図表の貼り付け等にも柔軟に対応できる。また、管理項目が少なくなるためデータベースの構造も簡素になる。このため、技術情報の管理は、表 2-1 もしくは表 2-2 の形式で一括して管理することとする。なお、ファイルを登録する際は、システム（ブラウザ）での表示が容易な PDF 形式とする。

### (3) 現象・特性フローの表示形態

2.5 節で述べた安全評価に係わる現象・特性フローのシステム化について検討する。図 2-4 に示したフローは、第 2 次取りまとめのレファレンスケースを参考に、安全評価（核種移行評価）と密接に関連すると考えられる現象を、それらの伝播（生起順序）を考慮して作成したものである。しかしながら、研究開発の進展に伴って考慮すべき現象（評価に取り込む現象）が変更された場合、その都度フローを作成する必要があり、ユーザの作業が煩雑になる恐れがある。

一方、時間的順列を考えないで現象リストとして利用する場合は、マトリクス形式の表示方法が有効となる。これは FEP リストと同様に、構成要素毎に各特性に関する現象を整理した形式となり、現象項目の変更（追加等）への対応も容易である。（システム製作の面でも、表示、変更対応に関する処理が容易となる。）なお、フロー表示の場合とマトリクス表示の場合で、データベース構造（テーブルの属性、リンク）を変更しなければいけない可能性があり、システム製作上はどちらかの方法を採用することが望ましい。

### (4) 地質環境条件に係わる 3 次元データとの親和性

処分場の設計・安全評価体系に係る統合解析システムと地質環境情報との有機的な連携手法について検討を行うことにより、3 分野の統合化に向けた枠組みの概念を示す。

#### (a) 対象とする地質環境条件

サイクル機構殿では、地質環境条件に係る統合化の研究が実施されていることや、別途、委託研究において、地質環境分野を対象とした統合化システムの検討で、生データから加工データまでの一元管理システムの設計が実施されている。

東濃地科学センター（Tono Geosciences Center，以下 TGC）で作成された統合化データフロー（図 3-3 参照）は、主に原位置調査、データ取得から当該流域を対象とした水理地質構造モデルの構築・シミュレーションまでの考え方や情報の流れを整理したもので

あり、解析結果やエンドユーザへのアウトプットに寄与する重要因子を把握することを意図したものである。



図3-3 超深地層研究分野における統合化データフロー  
(核燃料サイクル開発機構, 2002)

統合解析システムにおいて、これらの全ての情報を管理することは、計算機の負荷の増加、膨大なデータ登録の観点から現実的でない。処分技術や安全評価の観点からは、対象とするフィールドから得られる与条件（地質環境条件）とその考え方を正しく捉えることができればよく、我々が知り得る情報の蓄積とそれに伴い更新される地質環境条件を速やかに反映できる枠組みとしての役割が重要な位置づけとなる。このことから、本研究で対象とする地質環境に係る 3 次元データは、上述の統合化データフローにおける核種移行解析に反映するためのデータセットを基本とする。

(b) 3次元データと統合解析システムの親和性

上記のとおり、統合解析システムで対象とする地質環境条件としては、核種移行解析に反映するためのデータセットを基本とする。これらのデータセットについては、別途、製作中の統合解析プロトタイプシステムで導入予定の岩盤物性テーブルや核種移行特性テーブル等を用いて管理可能である。処分場設計や安全評価結果の追跡性の観点からは、上記データセットを設定するに至った考え方や前提とした水理地質構造モデルとの連携

を持たせておくことが重要である。データの設定根拠や考え方については、上記の物性・特性・テーブル内の属性として持たせること、あるいは設定根拠をまとめた技術情報（ワークシート）と関連付けることで対応できる。

(c) 統合解析システムとの連携情報

統合化データフローに示された核種移行解析に反映するためのデータセットは、統合解析システム内でトレースできるようにし、それらのデータの前提となった概念モデル、水理地質構造モデルとセットにした情報取得ができる必要がある。これは、別途製作中の統合解析プロトタイプシステムで導入予定の技術情報データベースやパラメータセット・データベースで管理することができ、さらに、地質環境評価と性能評価の間で整合性のとれたバックデータとして連携させることが可能である。

#### 4. 解析コード制御機能の検討

設計（主として人工バリアの長期健全性評価）および性能・安全評価の解析作業を支援していくためには、入力データの設定のみならず、統合解析システムと連携しつつ解析コードを実行できることが、品質保証の観点からも望ましい。地層処分システムに係わる解析作業には多種多様なコードが使用されており、これらの解析コードの実行を統合解析システムで制御する方法について検討する。

##### (1) 第2次取りまとめにおける解析コード

第2次取りまとめにおいて使用された設計・性能評価ツール（解析コード）のほとんどは、エンジニアリング・ワークステーション（以下、EWS）での利用を前提としており、一部でパーソナルコンピュータ（以下、PC）専用のパッケージソフトやEWS/PCの双方で運用できるものがある。ソースプログラムとして（またはソースレベルで）公開されているコードは、一般にユーザによるマシン間の移植が可能であり、運用（解析実行）上の制約は小さい。また、ソースレベルで改良可能なコードはデータベースや可視化システムとの連携や並列分散環境での運用を見据えた機能拡張が可能となる。一方、汎用アプリケーション（例えば、ABAQUS、GoldSim等）の多くはソースレベルでの入手・利用が困難なため、ブラックボックスとしての利用が前提となる。さらに、実行方法については、多くのコードがコマンドプロンプト上で実行可能であるが、専用のGUIを備えたコードも存在する。この際、GUIを介してのみ実行可能なコードでは、解析コードを起動した時点でユーザに入力（あるいはアクション）を要求することになり、システムによる自動制御（自動実行）は困難となる。

##### (2) 分散計算処理に関する事例調査

複数の計算機による分散計算処理に係わる動向を把握するため、公開情報に基づく調査を行った。多くの分散処理プロジェクトの中から、オブジェクト指向技術に準拠し、大規模な分散処理や高速化を行っているプロジェクトの概要を整理したところ、これらは、簡単な処理プログラムがクライアント計算機上でバックグラウンド処理されており、基本的にユーザのアクションを必要としない構成になっている。一方、統合解析システムの場合は、基本的に完成された解析コードを対象とした分散処理となり、基本的にユーザ・アクション（入力データ作成等）が伴う構成を考慮しておく必要がある。また、システムによる自動処理のためには、解析コードの入出力部と計算処理部（ソルバー）の分離などが必要になると考えられる。

##### (3) 解析コードの制御方法

第2次取りまとめにおける性能評価においては、プラットフォームとして位置付けられる

解析管理システム「CAPASA」(石原ほか, 1999)を用いて, 接続解析ならびに解析の品質管理や作業の効率化を行った。この CAPASA システムの持つ品質管理の方法や解析コードの組合わせによる接続解析の概念は, 統合解析システムの解析プラットフォーム(解析コードの実行制御機能)を構築する際にも, 参考になると考えられる。CAPASA システムにおける解析コードの制御概念を図 4-1 に示す。本システムでは, PLAN と呼ばれる解析コードの実行シーケンス(解析コードの組合せと実行順序)を表すパスを GUI 上で定義し解析を実行すると, PLAN で表された実行順序に応じて, システムが自動的に解析コードを順次実行する。この際, 品質管理の観点から, 解析コードの入出力データは全てシステムが自動で管理している。

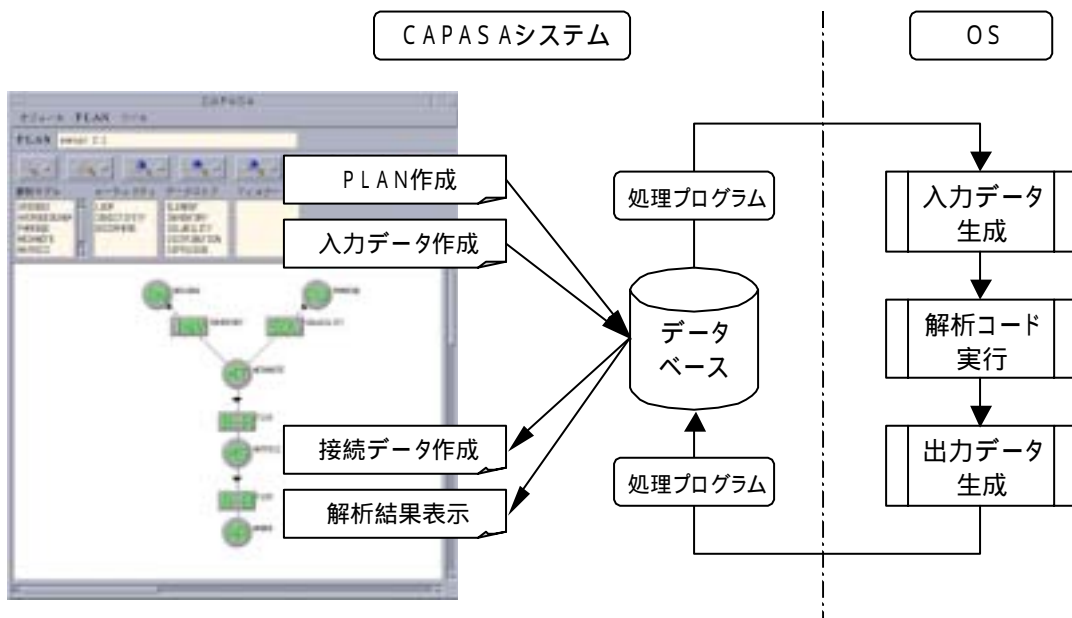


図4 - 1 CAPASAシステムにおける解析コードの実行制御の概念

しかしながら, CAPASA システムでは, 複数計算機による分散計算処理やプレポスト処理等に対する機能は実現されていない。これに対して, 異機種複数計算機環境における解析コードの実行制御を検討した例として, 数値地層処分システムの検討(房枝ほか, 2000)がある。これは, EWS および PC を複数台利用した分散計算機環境上で, 解析コード等のプロセスの実行制御やプロセス間のデータ通信を行いながら, 接続解析や連成解析等の解析評価を目指したシステムである。本システムにおける解析コードの制御概念を図 4-2 に示す。解析コード等のプロセスの実行制御は, メインコントローラとクライアントコントローラの 2 つのモジュールで行われる。

メインコントローラは, ユーザが WWW ブラウザ上に提供された GUI を用いて作成した解析ネットワーク(上述した CAPASA の PLAN に相当)に基づき, 実行可能なオブ

ジェクトを判定し，その結果をクライアントコントローラに送信する。  
クライアントコントローラは，メインコントローラから送信された情報に基づき，オブジェクト（プレポスト処理プログラム，解析コード）やデータフロー（インターフェイスプログラム）に関連付けられているソフトウェアを起動する。クライアントコントローラは，様々な機種上のソフトウェアの起動を制御するため，JAVA 言語および C 言語と MPI<sup>\*)</sup>ライブラリを利用した開発が試みられた。

図 4-2 に示した概念により，異機種分散環境での解析コード等のプログラム制御が実現可能であることが分かっている。ただし，複数のプログラミング言語や MPI ライブラリを用いているため，プロセスの高速起動や解析のバックグラウンド処理などに課題が残っているが，近年普及しつつある JAVA / RMI 等の技術を適用して開発言語を統一したり，プログラム構成等の見直しを図ることにより，統合解析システムで対象とする様々な設計・性能評価コードの制御が実現できると考えられる。

---

<sup>\*)</sup> Message Passing Interface の略。異機種間でのデータ通信やプロセス制御等を行うための並列化処理ライブラリ（関数群）。

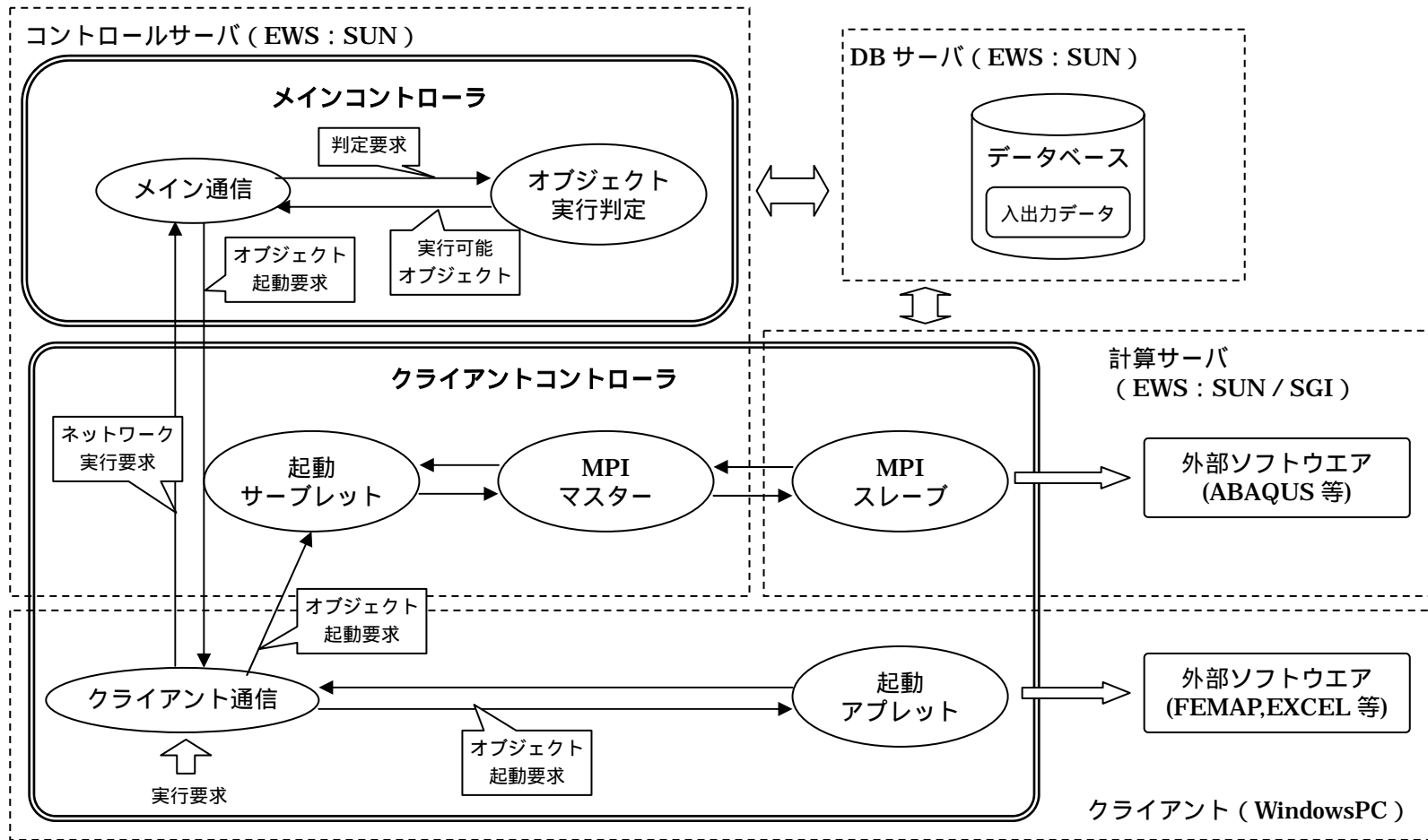


図4 - 2 複数分散計算機環境における解析コードの制御概念

## 5. おわりに

地層処分システムの長期の安全性は、シナリオで表現される長期間の複合的な現象を考慮して処分システム全体の性能を定量化することによって示される。特に、安全評価の基本となる地下水移行シナリオに関しては、今後進められる個別詳細研究の成果を取り込みつつ、シナリオの成立性（例えば、ニアフィールドに関連するものとして、緩衝材の幾何形状、温度変化、完全飽和の達成、還元条件の回復、拡散場の形成、変質・劣化など）を確認し、これを安全評価に適切に反映していくことが重要である。このためには、地層処分システムの設計（長期健全性評価含む）で得られる知見を組み合わせた適切なシナリオに基づく条件設定と、これに応じた一連の安全評価において必要となる技術情報を統合する統合解析システムの開発が必要である。

本研究では、統合解析システムの開発に資するため、第2次取りまとめに向けて構築されてきた設計・安全評価の体系を整理し、多種・多様な技術情報の網羅性と詳細度を考慮した上で体系化を図り、これらを知識ベースとしてシステム化するための検討を行った。

### (1) 技術情報の体系化

これまでの性能評価レポートで採用されている手法を参考に、技術情報をシステム化するのに適した形態を整理した上で、設計・性能評価の両分野におけるワークフロー（ワーク項目）に基づく情報整理と、安全評価で対象とする現象・特性フロー（現象項目）に基づく情報整理を行い、技術情報の体系化を行った。

### (2) データ追跡性機能の確認

地層処分の研究3分野間の技術情報およびデータセットとの関連性ならびに追跡性を確保するため、技術情報の体系化の検討結果に基づき、システムへの展開・構築に必要なデータベース構造およびシステム機能を明確にした。

### (3) 解析コード制御機能の検討

設計および性能・安全評価の解析作業を支援していくため、解析作業で使用される多種多様なコードを対象に、統合解析システム上で統一的に使用・制御する方法について調査し、実現可能性を整理した。



参考文献

石原義尚，牧野仁史ほか：“地層処分システム性能評価のための解析管理システム”，サイクル機構技報，No.2，pp.19-28.

石原義尚，福井裕ほか：“地層処分システムの設計・安全評価体系のシステム化に関する研究”，サイクル機構技術資料(業務委託報告書，三菱重工業株式会社)，JNC TJ8400 2002-042 (2002).

核燃料サイクル開発機構：“わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性 - 地層処分研究開発第2次とりまとめ - 分冊3 地層処分システムの安全評価”，JNC TN1400 99-023 (1999).

房枝茂樹，柳沢一郎ほか：“処分場の設計評価等に関する統合化システムの開発”，サイクル機構技術資料(業務委託報告書，三菱重工業株式会社)，JNC TJ1400 2000-004 (2000).

SKB：“Deep repository for spent nuclear fuel; SR97 – Post-closure Safety, Main Report”，SKB Technical Report TR-99-06 (1999).

SKI：“The SKI Deep Repository Performance Assessment Research Project SITE-94”，SKI Report 96:36 (1996).