

地層処分システム性能評価の 品質保証に関する研究

(動力炉・核燃料開発事業団 研究委託内容報告書)

1997年3月

三菱重工業株式会社

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。ついては、複製、転載、引用等を行わないよう、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い合わせは下記に願います。

〒107 東京都港区赤坂 1-9-13
動力炉・核燃料開発事業団
技術協力部 技術管理室

地層処分システム性能評価の品質保証に関する研究

前田 一人*²、房枝 茂樹*¹、片岡 伸一*³、根本 和明*²
柳沢 一郎*¹、福井 裕*²、土井基尾*²、有川 浩*³
上田 憲明*¹

要 旨

本研究では、性能評価で用いる解析コード及びデータを対象として、それらの品質を保証するための手順と品質に関する情報の管理・運用手法について、地層処分システムの性能評価結果の信頼性の保証という観点からの検討を行う。本年度は、地層処分システムの性能評価で考慮すべき品質保証項目に対する品質保証の手順を、国内外での品質保証の実績等を踏まえて整理するとともに、解析コードの検証手法やデータの分類手法を以下のとおり検討した。

(1)品質保証項目の抽出と既存の品質保証手法の調査・整理

- ・原子力分野、航空宇宙分野、YMP、WIPPの品質保証要求事項を調査・整理した。
- ・データ、解析コードの利用に於いて、エラー防止と品質保証の観点から確認を行うべき項目を抽出した。

(2)品質保証手続きのフレームワークの作成

- ・抽出した品質保証項目を確認項目と記録項目に分類し、性能評価解析における要求事項を管理フローとして示した。
- ・管理フローに基づき、計算機システムへ展開した場合における品質管理システム構築のための基本要件について検討した。

(3)解析コードの検証方法の構築

動燃殿のニアフィールド性能評価コードである、MESHNOTE、PHREEQE、MATRICSを対象とした検証マニュアルを作成した。さらに、検証結果を判定するための基準ならびに適用範囲の設定方針について検討した。

(4)データの分類管理手法の構築

- ・データの取得から処理段階の全過程のデータ管理を行うため、取得方法や中間処理方法及び信頼性に基づいたデータの階層構造を構築した。
- ・上記で構築した階層構造及びデータの性能評価計算への影響度を考慮したデータベース構造を検討した。

本報告書は、三菱重工業株式会社が動力炉・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：080D0314

事業団担当部課室および担当者：環境技術開発部地層処分開発室 石原義尚

*1:原子力プラント技術部 新製品開発課

*2:原子力プラント技術部 新型炉計画課

*3:新型炉・燃料サイクル技術部 ウェストシステム技術課

The Study on the Quality Assurance of Performance Assessment for Geological Disposal System

Kazuto Maeda*², Shigeki Fusaeda*¹, Shinichi Kataoka*³

Kazuaki Nemoto*², Hiroshi Fukui*², Ichiro Yanagisawa*²

Motoo Doi*², Hiroshi Arikawa*¹, Noriaki Ueda*¹

Abstract

This paper discusses the quality control and operation procedure for guaranteeing the quality of analysis codes and data used in the performance assessment of geological disposal system, with a view to assuring the reliability of the performance assessment results. This year, we have summarized the quality assurance procedure corresponding to the quality assurance items to be taken into account in the performance assessment, based upon the results of survey of existing quality assurance procedures in and out of the country. Also we have discussed the methods for verifying the analysis codes and classifying the data.

(1) Identification of Quality Assurance Items, and Survey of Existing Quality Assurance Procedures

- Quality assurance requirements which have been used in the fields such as nuclear industries, aerospace industries and the YMP and WIPP in the United States, have been surveyed.
- Items to be checked in the use of analysis codes and data have been identified in regard of the error prevention and quality assurance.

(2) Development of Framework for Quality Assurance Procedure

- The Identified quality assurance items were classified into check items and record items, and the QA requirements in performance assessment analysis summarized as a control flow.
- The basic requirements were discussed to configure a computer-based quality control system based upon the control flow.

(3) Development of Verification Methodology

Verification manuals for MESHNOTE, PHREEQE and MATRICS, which are near field performance assessment codes of PNC, have been prepared. We have also studied the strategy to establish applicable limitation and criteria for each performance assessment codes.

(4) Development of Data Management Methodology

- In order to maintain various types of data used in performance assessment calculations, data hierarchy has been developed by considering data acquisition process, data processing methods, and reliability.
- Database structure based on the data hierarchy and influence in the performance assessment calculations has been investigated.

Work performed by Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. under contract with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.

PNC Liaison: Waste Technology Development Division, Geological Isolation Technology Section,
Yoshinao Ishihara

*1: New Products Development Section, Nuclear Plant Engineering Department

*2: Advanced Nuclear Plant Engineering Section, Nuclear Plant Engineering Department

*3: Waste Systems Engineering Section, Advanced Reactor & Nuclear Fuel Cycle Engineering Department

目 次

1. ま え が き	1
2. 品質保証項目の抽出と既存の品質保証の調査・整理	3
2.1 品質保証項目の抽出	7
2.1.1 コード開発／改良／運用時の品質保証項目	7
2.1.2 データの品質保証項目	21
2.2 品質保証手法の調査	29
2.2.1 原子力分野における品質保証	29
2.2.2 航空・宇宙分野における品質保証	32
2.2.3 ユッカマウンテンの品質保証	37
2.2.4 W I P P の品質保証	45
2.3 品質保証項目の整理	55
2.3.1 抽出した品質保証項目の網羅性	55
2.3.2 品質保証手続き構築のための整理	55
3. 地層処分システムの性能評価のための品質保証手順の検討	59
3.1 品質保証手続きのフレームワークの作成	59
3.1.1 フレームワークの設定方針	59
3.1.2 フレームワーク	59
3.1.3 計算機イメージの作成	63
3.2 解析コードの検証手法の構築	66
3.2.1 検証マニュアルの作成	66
3.2.2 判定基準の設定方針の検討	69
3.3 データ分類管理手法の構築	75
3.3.1 分類管理基準の検討	75
3.3.2 データ階層構造	78
3.3.3 他研究との整合性の確認	91
4. あ と が き	94
参 考 文 献	96
謝 辞	97
付 録－1	コード運用時のエラー要因と品質保証項目
付 録－2	データ取得段階におけるエラー要因と品質保証項目
付 録－3	フレームワーク
付 録－4	ユッカマウンテンにおけるデータベース管理
付 録－5	P A R T レビュー
付 録－6	P H R E E Q E の検証マニュアル
付 録－7	M E S H N O T E の検証マニュアル
付 録－8	M A T R I C S の検証マニュアル
付 録－9	D O E / R W - 0 3 3 3 P (抜粋)
付 録－10	C A O - 9 4 - 1 0 1 2 (抜粋)
付 録－11	原子力発電所の安全審査指針

図表 目 次

図2.1.2-1	試験データの遷移プロセス	25
図2.1.2-2	溶解度データに関する階層構造概念	26
図2.2.1-1	原子力発電所の品質保証体系	31
図2.2.3-1	ユッカマウンテン・プロジェクトの品質保証体系	40
図2.2.3-2	ユッカマウンテンの解析に関する品質保証体系	41
図2.2.4-1	W I P P の品質保証体系	49
図2.2.4-2	W I P P の解析に関する品質保証体系	50
図3.1.1-1	品質保証活動の構成要素	61
図3.1.1-2	全体フレームワーク	62
図3.1.3-1	計算機イメージ	65
図3.2.2-1	参照値の不確定性の概念	74
図3.3.2-1	データの階層構造	80
図3.3.2-2	パラメータと入力データセットの関係	81
図3.3.2-3	品質に基づくデータの階層構造	82
図3.3.2-4	フレームワーク（データ管理）とデータ階層構造の関係	86
図3.3.3-1	熱力学データベースの構成	93

表2-1	I S O 9 1 2 6 / J I S X 0 1 2 9 品質特性・	
	品質副特性の一覧……………	6
表2.1.1-1(1/4)	M H I におけるソフトウェアの品質保証概要……………	14
表2.1.1-1(2/4)	I S O 9 0 0 0 / 3 の品質保証概要……………	15
表2.1.1-1(3/4)	J I S 規格における品質保証概要……………	16
表2.1.1-1(4/4)	J E A G における品質保証概要……………	17
表2.1.1-2	一般の品質保証プログラムにおける要求事項……………	18
表2.1.1-3	品質保証項目の抽出 (性能評価解析コード M A T R I C S 運用段階)……………	19
表2.1.1-4	コード開発／改良／運用時の品質保証項目……………	20
表2.1.2-1	品質保証項目の抽出 (性能評価データ 分配係数取得段階)……………	27
表2.1.2-2	データの品質保証項目……………	28
表2.2.3-1	D O E / R W / 0 3 3 3 P の概要……………	42
表2.2.3-2	D O E / R W / 0 3 3 3 P の概要……………	43
表2.2.3-3	ユッカマウンテンの品質保証項目……………	44
表2.2.4-1	W I P P の申請書の品質保証記載項目……………	51
表2.2.4-2	C A O - 9 4 - 1 0 1 2 の概要……………	52
表2.2.4-3	Computer Software and Codes……………	53
表2.2.4-4	W I P P の品質保証項目……………	54
表2.3.1-1	品質保証項目の網羅性の確認……………	57
表2.3.2-1	性能評価研究における品質保証手続き (作成資料の役割)……………	58
表3.2.2-1	一般的な判定基準の一例……………	72
表3.2.2-2	判定基準に関する文献調査要項……………	72
表3.2.2-3	解析コードの検証容認基準の設定に関する文献調査結果……………	73
表3.3.3-1	分散係数と拡散係数のデータベース……………	92

1. まえがき

地層処分システムの性能評価は、様々なデータ及びモデルに基づく解析コードを用いて地層処分システムの長期的な性能を予測するものであり、第2次取りまとめレポートでは、ニアフィールド性能の定量化が大きな目標の一つになっている。この目標を達成するには、まず、ニアフィールドにおいてシステム性能に影響を与える可能性のある現象を過不足なく抽出し、実験等を通じてその現象を理解するとともに、データの取得、現象のモデル化並びにそれに基づく解析コードの開発・改良を行い、それら現象の影響を定量的に評価できるようにする必要がある。また、評価結果の信頼性を示していくことも重要であり、そのためにはデータ、モデル及び解析コードという個々の品質を保証するとともに、解析者によるコードの運用やデータ取得に係わるプロセスについても十分な信頼性を持たせ、それらの品質を総合して評価結果の信頼性を保証していく必要がある。

これまでの研究から、様々な現象について、現象理解、データ取得、モデル化及び解析コードの開発・改良がなされ、地層処分システムの性能を評価するために必要な情報・手法が充実してきている。また、データ、モデル及び解析コードの運用については、解析におけるデータ受渡しの自動化、及び解析実施内容、データ、コード、解析結果等のデータベースによる一元管理を可能とする計算管理システムを開発してきている。

しかし、地層処分システムの性能評価結果の品質を保証していくためには、このような既存の研究のみならず、さらに、データ、モデル及びコードの妥当性、適用性に関する個別の情報を整え、これらの品質も保証していく必要がある。

そのためには、体系的な品質保証の手順を明確化するとともに、ガイドラインを設定することによって、データや解析コードに係わる個々の品質保証の整合性を高め、更に、それらに基づいて得られる情報を適切に管理することが必要となる。また、評価結果の信頼性を保証するためには、個々の品質についての情報を実際の評価作業へ適切に反映し、評価結果の総合的な品質を明示する手法が必要になる。更に、こらら品質情報の追尾性を向上させることも、評価結果の信頼性を保証していく上で不可欠である。

本研究では、性能評価で用いる解析コード及びデータを対象として、それらの品質を保証するための手順と品質に関する情報の管理・運用手法について、地層処分システムの性能評価結果の信頼性の保証という観点からの検討を行うとともに、それらを具体的に性能評価の枠組みに含まれる解析コードやデータに適用するために、既存の研究の成果である解析管理システムを基盤として、第2次取りまとめに反映できる品質保証のプログラムを整備し、評価結果の信頼性を保証する総合的な品質保証システムを開発することを目的と

する。

以上の目標に基づき、本年度は、地層処分システムの性能評価で考慮すべき品質保証項目及びその項目に対する品質保証の一般的な手順を、動力炉・核燃料開発事業団殿（以下、事業団殿）における性能評価の枠組み及び国内外での品質保証の実績等を踏まえて整理するとともに、性能評価結果の信頼性を保証する観点からの解析コードの検証手法やデータの分類手法の検討を行う。

2. 品質保証項目の抽出と既存の品質保証の調査・整理

本研究では、信頼性の高い解析結果を得るための品質保証手法について検討する。
そこで、先ず、解析結果の”品質”と”品質保証”について定義する。

(1) 品質保証の定義

JIS Z 9900では、品質保証の規格を示しており、品質及び品質保証を次のとおり定義している。

品質の定義

製品又はサービスが、明示してある又は暗黙の要望を満たす能力として持っている特性の全体。

品質保証の定義

製品又はサービスが、所与の品質要求を満たしていることの妥当な信頼感を与えるために必要な全ての計画的及び体系的活動

このJIS規格は、次のとおり解釈される。

<品質の解釈>

・明示してある又は暗黙の要望

明示してある要望については、設計や仕様書などに明記されている条件と解釈される。暗黙の要望については、解釈が極めて困難であるが、一般的にソフトウェアの品質は表2-1の品質特性として定義されている。また、表2-1にはないが、追跡性や一貫性なども品質を定義する一つとして考えられる。

<品質保証の解釈>

①所与の品質要求を満たしていること：

製品又はサービスと品質要求を比較し、品質要求が満足されていることを確認すること。

②妥当な信頼感を与えること：

品質要求が満足されていたことを確認した結果を記録し、確認の結果を示すこと。

③必要な全ての計画的及び体系的活動：

確認と記録の活動を品質保証計画としてフレームワークなどにより体系化すること。

この解釈より、品質保証とは、品質を確認するものに、設計仕様や表2-1な

どのような特性が完備されていることを計画的かつ体系的に確認することと理解できる。

さらに、原子力委員会からは、“高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発等の今後の進め方について（案）”（平成８年１１月）が提示されており、この添付資料においては、次のとおり解析の品質を解析コードとデータに分けて定義している。

解析

性能評価では、構築されたシナリオに基づき、モデルとデータを用いて地層処分システムのふるまいを予測する。この際、シナリオに対応して適切にモデルが選ばれること、そのモデルに合わせて正しく計算機プログラムが作られること、そのプログラムに適切にデータを対応させて解析が行われることが重要である。また、モデルについては、適切に現象を表すことができることを、実験結果に照らして確認しておくことが重要である解析に関わる品質保証とは、これら一連の手続きが適切に行われることを保証することである。

データ

データに関する品質保証とは、データ採取試験に際して適切な試験方法で正しく条件を制御し、得られた１次データを適切な方法で評価するという一連の手続きによって、信頼性の高いデータを得ることをいう。または、既存のデータにおいてこうした適切な手続きが取られていることを確認することによって、信頼性の高いデータを評価選定することをいう。

以上をまとめると、解析の品質保証を行う際には、解析コードとデータに対して、品質保証の体系を構築することが要求されると考えられる。そこで、本研究では、解析コードと解析に使用するデータに分けて品質保証の体系を構築する。

(2) 検討手順

一般に、品質保証とは不適合（エラー）の再発防止とその管理方法を定めたものであるため、品質保証体系を構築するに当たっては次の手順にて実施する。

- ①エラー要因分析を行い、品質の確認を実施すべき対象事項/確認を実施すべき対象物を整理する（エラー要因分析と品質保証項目の抽出）。
- ②次に、高度な解析が要求されている分野における品質保証手法を調査する。（品質保証手法の調査）
- ③①と②を比較し、抽出した品質保証項目が十分であることを確認する。（網羅性の確認）
- ④③の結果に基づき、品質保証手続きを構築し、品質保証体系を構築する。（フレームワークの作成）

表 2-1 ISO 9126/JIS X 0129品質特性・品質副特性の一覧

	品質特性	品質副特性	
機能性	機能の集合の存在それらの明示された性質の存在をもたらし属性の集合、機能は、明示的又は暗示的な必要性を満たすものとする。	合目的性	明示された仕事に対する機能の集合が存在し、適切であることをもたらしソフトウェアの属性
		正確性	正しい結果若しくは正しい効果、又は同意できる結果若しくは同意できる効果をもたらしソフトウェアの属性
		相互運用性	明示されたシステムと相互作用できる能力をもたらしソフトウェアの属性
		標準適合性	ソフトウェアを応用分野に関係する規格若しくは用法、又は応用分野に関する法律及び類似の法規における規則を遵守したものとするソフトウェアの属性
		セキュリティ	プログラム及びデータに対し、偶発的か又は故意にかかわらず、不当なアクセスを排除する能力をもたらしソフトウェアの属性
信頼性	明示された条件の下で、明示された期間。ソフトウェアの達成のレベルを維持するソフトウェアの能力をもたらし属性の集合	成熟性	ソフトウェアに潜在する障害による故障の頻度に影響するソフトウェアの属性
		障害許容性	ソフトウェアの障害部分を実行した場合、又は仕様化されたインターフェース条件に違反が発生した場合に、仕様化された達成のレベルを維持する能力をもたらしソフトウェアの属性
		回復性	故障時に、ソフトウェアの達成レベルを再確立したり、直接に影響を受けたデータを回復したりする能力をもたらしソフトウェアの属性、並びにそれらに必要な時間及び労力に影響するソフトウェアの属性
使用性	明示的又は暗示的な利用者の集合が、使用するために必要とする労力及び個々の使用結果による評価に影響属性の集合	理解性	ソフトウェアの理論的な概念及びそれがどう適用できるかを理解するための利用者の労力に影響するソフトウェアの属性
		習得性	ソフトウェアの適用（例えば、運用管理、入力、出力）を習得するための利用者の労力に影響するソフトウェアの属性
		運用性	ソフトウェアの運用と運用管理を行うための利用者の労力に影響するソフトウェアの属性
効率性	明示的な条件の下で、ソフトウェアの達成のレベルと使用する資源の量との間に影響する属性の集合	時間効率性	ソフトウェアの機能を実行する際の、応答時間、処理時間及び処理能力をもたらしソフトウェアの属性
		資源効率性	ソフトウェアの機能を実行する際の、使用した資源の量及びその使用時間をもたらしソフトウェアの属性
保守性	仕様化された改訂を行うために必要な労力に影響する属性の集合	解析性	欠陥若しくは故障の原因の診断又は改訂すべき部分の識別に必要な労力に影響するソフトウェアの属性
		変更性	改訂。障害の除去又は環境の変化への対応に必要な労力に影響するソフトウェアの属性
		安定性	改訂によって予期せぬ影響を与える危険性をもたらしソフトウェアの属性
		試験性	改訂したソフトウェアの妥当性の確認に必要な労力に影響するソフトウェアの属性
移植性	ソフトウェアのある環境から他の環境へ移す際のそのソフトウェアの能力をもたらし属性の集合	環境適合性	対象ソフトウェアにあらかじめ容易された以外の付加的な作業又は手段なしに、特定の異なる環境にソフトウェアを適用する可能性をもたらしソフトウェアの属性
		設置性	特定の環境に設置するために必要な労力に影響するソフトウェアの属性
		規格適合性	ソフトウェアを移植性に関係する規格又は規約を遵守したものとするソフトウェアの属性
		置換性	特定の環境で動作する他のソフトウェアの代わりに、対象ソフトウェアで置き換えて使用する可能性及びそのための労力に影響するソフトウェアの属性

2.1 品質保証項目の抽出

ここでは品質を確認するソフトウェア及びデータに対して、確認の対象物となる物を抽出する。なお、品質保証項目の抽出に当たっては、以下のニアフィールド性能評価解析コードを対象とする。

- ・ O R I G E N
- ・ P H R E Q E
- ・ M E S H N O T E
- ・ M A T R I C S

以下では、コードの開発、改良、運用時に分け、品質保証項目抽出の考え方と抽出結果について述べる。

2.1.1 コード開発／改良／運用時の品質保証項目

(1) コード開発時の品質保証項目

a. 抽出の考え方

コード開発作業は、コードに対する計画作業、設計作業、製作作業、検証作業に大きく分類される。これらの具体的な作業は、それぞれ開発内容によって異なり、容易に品質保証項目を抽出することは困難である。

そこで、本研究では、以下のソフトウェアの品質保証標準類に基づき、これら全てを包括するよう、品質保証項目を抽出する。

- ・ M H I におけるソフトウェアの品質保証
- ・ I S O - 9 0 0 0 におけるソフトウェアの品質保証

さらに、ソフトウェアについての品質保証ではないが、解析コードを製品として置き換えた場合の次の規格の品質保証についても合わせて調査し、品質保証項目として漏れないよう検討する。

- ・ J I S 規格で定める品質保証
- ・ J E A G で定める品質保証

b. 一般の品質保証プログラムの調査

以下に、調査結果について述べる。

① M H I におけるソフトウェアの品質保証

表2.1.1-1(1/4)は、M H I におけるソフトウェアの品質保証である。M H I では、各開発工程において関連部門のレビューを要求している他、不適合があった場合についての管理要領を定めている。

② I S O - 9 0 0 0 におけるソフトウェアの品質保証

表2.1.1-1(2/4)は、I S O - 9 0 0 3 で定めるソフトウェアの品質保証上の要求事項である。I S O - 9 0 0 3 では、一般の工業製品の規格を定めた I S O -

9001をソフトウェアに置き換えたもので、MHIと同様、各開発工程において、関連グループのレビューを実施することを定めている他、不適合管理、形態管理についても、その管理要領を示している。

③ J I S規格で定める品質保証

表2.1.1-1(3/4)は、J I S規格の品質保証上の要求事項を整理したものである。本規格は、ソフトウェアについての規格を示してはいないものの、概ね、I S O - 9 0 0 0 と大差ない状況にある。

④ J E A Gで定める品質保証

J E A Gは原子力発電所の品質保証計画を定めたものであり、MHIの品質保証計画もJ E A Gに準拠し、作成されている。表2.1.1-1(4/4)は、原子力発電所の品質保証計画として定められているJ E A Gの品質保証上の要求事項を整理したものである。本指針は、ソフトウェアについての規格を示してはいないものの、概ね、I S O - 9 0 0 0 と大差ない状況にある。

c. 抽出結果

ここでは、調査結果をもとに品質保証項目を抽出する。表2.1.1-2は、上記の調査における品質管理を一覧表として整理したものであるが、MHIの品質管理は、基本的にJ I SやJ E A G、I S Oなどの一般規格を包括している。

そこで、コードの開発時の品質保証項目を、MHIの品質管理をもとに、各管理段階毎に抽出する。

<計画管理>

MHIでは、基本仕様や体制、工程を含めた開発計画書を作成すること、及び、レビューの実施を要求している。

計画段階においては、ユーザー要求を分析・定義（開発目的）し、開発計画を立案する。この時、設計、製作、検証などの下流工程でソフトウェアに対する要求事項（開発目的、機能等の基本仕様）やソフトウェアを作成するためのアプローチ方法が確実にソフトウェアに反映されていることを確認するためには、開発目的や機能等の基本仕様を要求仕様書や開発計画書に記載し文書化する必要がある。

したがって、開発段階の品質保証項目として要求仕様や開発計画書の内容を確認すれば、開発目的とソフトウェア機能の整合性を確認することが可能であり、品質特性としての合目的性が開発計画書に組み込まれることとなる。

以上より、計画段階における品質保証項目は次の2項目となる。

- ・ 要求仕様書（開発目的、基本仕様などを記載）
- ・ 開発計画書（開発工程、アプローチ方法などを記載）

<設計管理>

MHIでは、設計段階において、開発条件やプログラム構成、ハードウェアの構成、付随ソフトウェア等を設計仕様書に記載すること、及び、これらのレビューの実施を要求している。

設計段階では、要求仕様に合致した設計を行なうため、設計範囲と設計内容を実確にするためのコーディング方針・方法を明確にする必要がある。したがって、ソフトウェアの設計書に、要求仕様に適合していることを示した設計範囲を明記し、プログラマーの理解が容易となるよう、アルゴリズムを把握できるフローチャート等によりコーディング方法を記載する必要がある。

以上より、設計段階における品質保証項目は次のとおりである。

- ・ソフトウェアの設計書

<製作管理>

MHIでは、開発計画書及び設計書に基づきプログラムを作成し使用説明書を作成すること、及び、レビューの実施を要求している。

原則的に、プログラムは設計仕様が全て反映された結果である。設計仕様を全てプログラムへ反映するためには、製作段階において、設計仕様どおりにプログラムが動作するか確認する必要がある。また、取扱い説明書に正常に動作させるための内容が十分に記述されていることも必要である。

したがって、インストールの結果報告書と取扱い説明書により、プログラムが設計仕様を満足しているか確認できれば、製作段階で要求される品質を保証することが可能である。

以上より、製作段階における品質保証項目は次のとおりである。

- ・インストール報告書
- ・取扱い説明書

<検証管理>

MHIでは、検証計画を立案し、適切な方法により検証を行うことを要求している。

検証は、要求仕様がプログラムに全て反映されていることを確認するための作業であり、検証計画が要求仕様全てを確認できるよう計画されていることを確認する必要がある。さらに、計画に基づいた検証結果は報告書となり、数値誤差や適用範囲を明確にすることができる。これにより、ソフトウェアを使用する際に、信頼性の高い結果を得ることが可能である。

一方、性能評価解析は、科学的に解明されていない現象を計算する。このた

め、信頼性の高い解析結果を得るためには、解析モデルについて現象を、どの程度再現しているかについて確認する必要がある。これは、いわゆる確証であり、性能評価解析の特徴を考慮すれば、確証作業についての管理も必要となる。モデルの妥当性を確認する際には、再現範囲を包括するよう、確証問題などを立案・計画し、現象の再現度を報告書としてまとめ、そのモデルの適用範囲を明確にする必要がある。これにより、ソフトウェアを使用する際に信頼性の高い結果を得ることが可能となる。

以上より、検証／確証段階における品質保証項目は次のとおりである。

- ・ 検証／確証計画書（問題の設定）
- ・ 検証／確証完了書（結果の記述）
- ・ 検証／確証報告書（評価を含む）

<出荷管理>

MHIでは、検査項目や出荷の判定基準などを設けることを要求している。これは、基本的に検証／確証作業であり、品質保証項目は検証／確証管理と同様である。

<不適合管理>

MHIでは、不適合が発生した場合の是正措置、再発防止の管理要領を定め、要領に従って適切に処置することを要求している。不適合が発見されるのは、運用時であり、これは、運用管理に含まれるものでもあり、品質保証項目は次のとおりである。

- ・ 不適合管理要領書

<形態管理>

MHIでは、ソフトウェアのバージョン及び図書を管理台帳などにより管理することを要求している。形態管理は、主にソフトウェアに加えられた変更が利用者に理解され、誤って使用されないことを目的としている。

以上より、品質保証項目は次のとおりである。

- ・ 管理台帳

<登録及び通知>

形態管理の1つの作業であり、品質保証項目は形態管理と同様である。

<使用管理>

MHIでは、使用するソフトウェアが適切に管理されており、技術的な制約条件を超える場合には、検証を行うことを要求している。本管理の品質保証項目については、後述する” (3)コード運用時の品質保証項目”で検討する。

<保管管理>

形態管理に含まれる1つの作業であり、品質保証項目は形態管理と同様である。

<調達管理>

MHIでは、発注先に作成依頼をする場合の管理要領を定めることを要求している。基本的に本項は、ソフトウェアの製作管理に該当するものであり、品質保証項目は製作段階と同様である。

<廃棄管理>

形態管理に含まれる1つの作業であり、品質保証項目は形態管理と同様である。

(2)コード改良時の品質保証項目

コードの改良においては、基本的に、コード開発と同様の手順にて品質を保証すべきである。ただし、異なる点は、改良とは機能の付加及び変更であり、開発時に作成した資料の改訂と他機能への影響がないことを確認する必要があることである。

したがって、コード改良段階の検証では、改良機能の検証はもとより、改良による予想外の不具合が発生しないことを確認することを検証目的の一に含め、改良した部分に関連する変数、計算上のパス（経路）に係わる機能を含む問題を全て選定し、改良前の機能検査結果と比較評価する必要がある。

また、確証は、コード開発時と同様、改良部分の実現象への適用性を確認することを目的として実施する。

以上より、改良段階の品質保証項目は開発時のものと同様であるが、開発時に作成した資料を改訂し構成管理することと、改良による他機能への影響がないことを確認することが、管理上、必要となる。

(3)コード運用時の品質保証項目

a. 抽出の考え方

性能評価解析では、以下に示すエラー要因が特徴として考えられ、コード運用時には、これらのエラーを排除する必要がある。

- ①超長期に渡る予測解析（誤差の蓄積等）
- ②核種濃度やフラックス等核種移行計算の出力情報は非常に小さい。（アンダーフローや丸め誤差等）
- ③複数のコードの連続的運用（データの一貫性、単位換算）
- ④天然現象モデルの選定と妥当性確認
- ⑤複合現象モデルの妥当性確認
- ⑥物理・化学データのバラツキ

①～③については計算機の数値や解析の考え方の品質に関する要因であり、③～⑥はデータの品質に関連する要因である。これらのエラー要因は、解析コード開発からデータ取得・運用までの関連性を有し、コードの入出力情報に集約される。このため、コード運用時の品質保証項目には入出力データが不可欠である。さらに、入力データのエラーには、ヒューマンエラーがかんがえられる。

そこで、以下では、上述の①～⑥のエラー要因にヒューマンエラーを加えた要因を網羅的に品質保証項目へ反映することを目的として、コード運用時の実績に基づくエラー要因の検討を行うとともに、品質保証項目を抽出する。

b. エラー要因分析と品質保証項目

ここでは、ニアフィールド性能評価解析コードであるORIGEN、PHREEQE、MESHNOTE、MATRICSを対象として、出力情報をもとに、以下の手順にて、コード運用時において考え得るエラーの発生要因を検討し、エラーを低減するための確認事項と品質保証項目を抽出する。

- 1)コード運用実績に基づくエラーの発生事例の抽出
- 2)エラーが発生した原因（エラー要因）の分析
- 3)エラー要因を排除するための確認項目（品質保証項目）と対策の検討
- 4)品質保証マニュアルの概要等の具体的な作業へ展開

なお、ここではMATRICSを例に示し、ORIGEN、PHREEQE、MESHNOTEについては付録－1に示す。

<MATRICSの品質保証項目>

入力データには、幾何学形状などを設定するパラメータの他、放射能濃度を時系列的に算出するために、崩壊系列、半減期といった核定数や分配係数、拡散係数といった核種移行に関連するパラメータが必要である。このため、エラーの抽出に当たっては、入力データに起因する要因が考えられる。

そこで、入力データを対象にエラー要因及び品質保証項目を抽出した。抽出結果を表2.1.1-3に示す。

結果では、計算モデルや入力データの設定根拠などを記載した計算書その他、解析計画書、入出力データが品質保証項目となる。

MHIの品質保証プログラム、性能評価コード運用時の情報に基づき、コード開発、改良、運用時の抽出した品質保証項目を表2.1.1-4に示す。また、合わせて、それぞれの品質保証項目に対する品質特性を示す。個々の品質保証項目は、合目的性、正確性などの品質特性を担保しており、解析コードと解析結果に対して、これらの品質が確認できる結果となっている。

表2.1.1-1(1/4) MHIにおけるソフトウェアの品質保証概要

作業項目	要求内容
計 画	製品の基本仕様、開発体制、開発工程を含めた開発計画書を作成すること。また、関連部門のレビューを受けること。
設 計	設計仕様書を作成し、関連部門のレビューを受けること。設計仕様書を変更した場合、変更理由、内容等を文書化する。
製 作	開発計画書、設計仕様書に基づきソフトウェアの開発及び変更を行う。さらに、使用説明書の作成及び変更を行う。また、関連部門のレビューを受ける。
検 証	ソフトウェア作成者以外の検証者を選定し、手計算との対比やレビュー、公的機関による検証を行うなど適切な方法により検証する。また、検証範囲や検証方法を文書化する。
出 荷	開発担当者以外の第三者により検査し、結果を検査報告書としてまとめる。検査報告書には、検査項目、方法、手順及び判定基準などを含め、最終的に以下の資料内容を基に出荷を承認する。 ・ 開発計画書 ・ 設計仕様書 ・ 検証報告書 ・ 検査報告書
不適合管理	不適合管理要領を定め、適切に処置する。
形態管理	計画書や仕様書を含めソフトウェアの付番体系を定め、変更が生じた場合は、改訂内容、改訂理由等の改訂履歴表を作成する。さらに、出荷時のバージョン管理を行う。
登録及び通知	入手したソフトウェアを含め、管理台帳を作成し管理状況を把握できるようにし、開発、変更、入手を関連部門に通知する。
使 用	機能の維持、及び、技術的制限条件を超えて使用する場合は妥当性を確認し使用すること
保 管	保管形態の多重化など、バックアップを含め保管要領を定める。
調達管理	調達管理要領を定め、これに従って実施する。
廃 棄	関連部門の了承を得て、廃棄理由を管理台帳へ記録する。

表2.1.1-1(2/4) ISO 9000/3の品質保証概要

	要求内容
開発計画	開発計画書は要求条件に合致し、引き続くフェーズに進めるための受入基準を記載し、レビューを実施する。
設計	入出力仕様に加え、インターフェイスの定義を明確にし、適切な設計方法論を採用する。過去の設計経験を活用するとともに、テスト、保守、運用が実施し易いよう設計する。また、レビューを実施する。
製造	プログラミング規則、命名規則、コメント記述規則を規定する。さらに、適切な製造方法とツールを使用する。また、レビューを実施する。
テスト	以下の事項を含むテスト計画・手順を立案しレビューする。 ・テスト項目 ・テスト環境 ・ユーザー用文書 ・テスト完了判断基準 ・ソフトウェア・アイテム 等 修正に当たっては影響範囲を明確にし、再テストを実施。
検収	検収テスト計画を立案し評価手順、受入基準などを明確にする。
不適合管理	不適合の原因を調査し是正措置を講ずること。また、それが効果的であることを確実にするため管理手順を設定し実施すること。
形態管理	各ソフトウェア・アイテムの正式のバージョンを識別・管理し追跡する機構を提供する。また、使用中の旧バージョンも維持し管理する。
文書管理	ISO-9000の内容に関係する全ての文書を管理する以下の項目を含む手順を設定し、維持する。 ・文書管理手順に従うべき文書の決定 ・承認と発行の手続き ・廃棄、リリースを含む変更手順
保守管理	保守活動は問題解決、インターフェイス変更、機能拡充（性能改善）に分類され、要求に合致していることを検証する手順を作成し維持する。
調達管理	供給者は購買品又はサービスが指定要求事項に適合していることを保証する。

表2.1.1-1(3/4) J I S規格における品質保証概要

	要求内容
設計管理	供給者は規定要求事項に確実に適合させるために、製品の設計を管理し、以下の項目を検証する手段を設定・維持する。 ・設計及び開発の計画 ・設計インプット ・設計アウトプット ・設計検証 ・設計変更
文書管理	関連する全ての文書及びデータを管理する手段を設定し、文書発行に先立ち適切性について審査・承認する。さらに、文書変更は最初に審査・承認した同一の組織が審査・承認する。
購買	供給者は購買品が規定要求事項に確実に適合するよう、下請負契約者の評価、購買データの管理、購買品の検証を実施する。
購入者による支給品	供給者は納入製品に組み込むために購入者が支給した物品の検証、保管及び維持について、手順を設定し維持する。
製品の識別及びトレーサビリティ	製造、引渡し及び据付けの全段階において、適用する図面、仕様書又はその他の文書に基づいて、製品の識別に必要な手順を確立し維持する。
検査・試験	完成品が規定要求事項に適合していることの証拠を完全にするために、記録の採取、試験装置の校正、製品のラベリングなどを行う品質保証計画又は手順書に従って、全ての最終検査及び最終試験を実施する。
不適合品の管理	規定要求事項に適合しない製品が不注意に使用又は据え付けられるのを防ぐことを確実にする以下の手順を確立し維持する。 ・不適合品の識別、文書化、評価、隔離 ・是処処置 ・関係部門への通知
その他	上記の他、工程管理、取扱い、保管、包装及び引渡し、品質記録、内部品質監査、教育・訓練、付帯サービス、統計手法について定めている。

表2.1.1-1(4/4) J E A Gにおける品質保証概要

	要求内容
文書管理	文書の作成、審査及び承認、発行及び配布、変更について管理方法を定めなければならない。
設計管理	法令、基準、規格、基本的設計条件等の設計要求事項を設計文書に正しく反映させるための以下の管理方法を定めなければならない。 ・ 設計取合い ・ 設計検証 ・ 設計変更 さらに、設計文書は原設計者以外のものが評価できるように作成しなければならない。
調達管理	適切な品質の製品及び役務を調達するために、発注先の評価、購入品の品質記録の確認など、品質に関する要求事項を調達文書中に明確にする方法を定めなければならない。
材料及び機器の管理	材料及び機器の適切な識別の方法を定めなければならない。また、取扱い、保管、出荷、輸送方法についても定めなければならない。
製作及び据付の管理	法令、基準、規格、設計文書等の要求事項に適合する製品の品質を確保するため、製作及び据付に関する作業、設備、作業員の技量等を管理しなければならない。さらに、新工法の場合にはその妥当性を確認しなければならない。
検査及び試験の管理	製品及び役務が、仕様書、要領書、指示書及び図面に適合していることを検証するために、検査計画をたて、検査を実施しなければならない。また、試験結果と合否の判定は文書化し、検査状態を示すタグ等により、製品を管理しなければならない。
運転及び保守の管理	運転・保守は定められた要領書、手順書によって、定められなければならない。
不適合管理	不適合品の発生原因及び再発防止対策を立案、決定するとともに不注意な使用又は受入れを防止するための識別の方法及び取扱いについて審査・処置方法を定めなければならない。
その他	上記の他、品質記録の管理、監査について定めている。

表2.1.1-2 一般の品質保証プログラムにおける要求事項

管理項目	M H I	J I S	ISO9000	J E A G
計画管理	開発計画書の作成	○	○	○
	関連部門のレビュー	○	○	○
設計管理	設計仕様書の作成	○	○	○
	関連部門のレビュー	○	○	○
製作管理	ソフトウェアの開発	○	○	○
	使用説明書の作成	×	○	○
	関連部門のレビュー	×	○	×
検証管理	検証結果の文書化	○	○	○
	関連部門のレビュー	○	○	×
出荷管理	検査報告書の作成	×	○	○
不適合管理	管理要領の策定	○	○	○
形態管理	バージョン管理	○	○	○
	文書の改訂管理	○	○	○
登録及び通知	管理台帳作成	○	○	○
使用管理	使用前の機能確認	×	×	×
	機密管理の実施	×	×	×
保管管理	保管要領の策定	×	×	×
調達管理	調達管理要領の遵守	○	○	○
廃棄管理	管理台帳への記録	○	○	×

表2.1.1-3 品質保証項目の抽出（性能評価解析コード MATRICS運用段階）

場	コード	出力情報	入力に必要な情報	不具合・エラー発生事例案	不具合・エラー発生要因案	品質保証項目	品質保証を行うための作業の概要
周辺岩体および岩体	MATRICS	(1)放射性核種濃度 (2)外側境界フラックス a. 希薄還元高pH系 b. 希薄還元低pH系 c. 濃厚還元高pH系 d. 濃厚還元低pH系	①半減期 ②内側境界条件 ③外側境界条件 ④周辺岩体幾何形状 ⑤拡散係数 ⑥分配係数 ⑦空隙率 ⑧実流速 ⑨分散長 ⑩亀裂幅 ⑪崩壊連鎖・崩壊系列	- 数値誤差 - ワニガタセグの出力 - 実測値と不一致	- 単位換算 - タルボット処理のパラメータ - ORIGENとの不整合性 - コードバージョンの違いによる入力ミス - 数値解法 - 数値処理モジュールでの収束性 - 使用データの信頼性⇒データ品質管理 - 原位置試験の信頼性⇒データ品質管理 - 室内試験の信頼性 ⇒データ品質管理 - モデル（境界条件込み）の取扱い⇒	1) 入出力データドキュメント 2) 入力データ設定根拠 3) コード機能ドキュメント 4) 検証⇒INTRACON検証問題の解析 検証⇒ベンチマーク解析 検証⇒適用範囲の明確化 5) 検証⇒INTRACON検証問題の解析 検証⇒INTRAVAL検証問題の解析 検証⇒MHI室内試験検証解析	1) 入出力データ・設定根拠ドキュメント 2) 入力データの全項目について数値・単位ならびに数値の設定根拠を記載する。また、使用したパラメータは、解析コードの適用範囲内であることを確認する。更に、計算結果及び計算したコードのバージョン名を記載しておく。本資料では、付録として入出力データ、ソースプログラムを添付する。これらのデータ量が多い場合は、計算機内のデータセット名または磁気テープのラベル名を記載する。 3) コード機能ドキュメント コードの開発・改良時点におけるマニュアルを対象とする。 4) 検証に係わるドキュメント ①ワニガタセグの原因ならびに、本セグが出力された際の誤差を明確にすることにより、モデルの適用範囲（パラメータの使用範囲）を示すチャートをベンチマーク解析に基づき作成する。 ②INTRACONの検証問題を解析し、他機関の結果と比較する。 ③INTRACON の検証条件が不明確な場合ならびにコードの適用範囲内における検証の網羅性を確保する目的としてベンチマーク解析を実施する。ベンチマーク解析は、解析解または数値解析モデル（例えばROCK）を採用する。 ④上記の適用範囲内において EWS, CRAY などの計算機依存性を明確にする。 上記成果を概要集、内容報告書として纏める。 5) 検証に係わるドキュメント ①各試験データに対応する検証基準に関する資料を作成する。 ②左記の検証問題を解析し、資料化する。 上記成果を概要集、内容報告書として纏める。 上記1)の資料を併用する。
		性能評価レポート作成、ファーフールド、生物圏へのデータ受渡し (1)パラメータ解析結果			(1)入出力対応ミス	(1)入出力データドキュメント	

表2.1.1-4 コード開発/改良/運用時の品質保証項目

管理項目	要求される確認内容	品質保証項目	品質特性
計画管理	・ ユーザー要求の分析と定義化 ・ 開発計画の確認 (アプローチ方法、工程、体制等)	要求仕様書 開発計画書	合目的性 相互運用性
設計管理	・ 設計範囲、コーディング方針・方法を明確化	設計書	効率性 使用性
製作・実装管理	・ 正常機能の確認 ・ 単位換算等の誤操作防止	インストール報告書 機能・操作説明書	
検証/確認管理	・ 数値誤差、適用範囲等の明確化 ・ 現象モデルの正確さ	検証/確認計画書 検証確認完了書 検証/確認報告書	正確性 移植性
構成管理	・ バージョン管理 (解析コード、文書)	管理台帳 不適合管理	使用性、追跡性 効率性、再現性
運用管理	・ 影響評価管理 ・ 入出力データ確認	解析計画 入力データ 解析結果	正確性 信頼性

2.1.2 データの品質保証項目

性能評価解析に用いるデータには、燃料条件や処分環境を示した幾何学条件などの解析上の設定条件となる入力データの他、室内試験や原位置試験から得られる試験データと、P H R E E Q E から導出される溶解度等のような性能評価解析（連成解析）から導出される解析データが存在する。

解析上の設定条件となる入力データについては解析コードの運用段階の品質保証項目の摘出で検討したとおり、解析計画書や計算書に設定根拠を記載することにより、入力データの品質を保証することが可能である。しかしながら、試験データや解析データについては、これらのデータを得るために、多数の手続きを踏むため、これらの手続きに対しても品質保証を行なう必要がある。

そこで、ここでは、(1)試験データと(2)解析データの2つについて、品質保証項目を摘出する。

(1)試験データの品質保証項目

a. 摘出の考え方

室内試験や原位置試験から得られるデータは、図2.1.2-1に示すとおり、試験を実施し測定値（1次データ）を得て、これを物理化学的に意味を持つ公知の値に変換（加工）することにより、溶解度や分配係数などの一般的な値（データ）となる。さらに、性能評価解析においては、これら一般的な値を収集（登録）し、これらの中から技術的に妥当であるとしたデータを解析コードに入力（選択）する。

そこで、試験データの品質保証項目を摘出するに当たっては、測定値の取得～解析コードへの入力までの次の段階に分け、コード運用時と同様にエラー発生要因を検討し品質保証項目の検討を行なう。

- ① 1次データの取得段階
- ② 1次データの加工段階
- ③ データ登録段階
- ④ データ選択段階

b. 摘出結果

表2.1.2-1に、上記の考え方にに基づき、分配係数に対して品質保証項目を摘出した例を示す。以下では、摘出の手順について詳細に解説する。

① 1次データの取得段階

信頼性の高い1次データを得るためには、試験測定における影響因子を可能な限り排除することが必要である。逆に、影響因子を排除できなかった場合には、1次データに次の現象が起こりうる。

- 1) 文献値と取得した測定濃度で差が見られる。

- 2) 濃度データのバラツキが大きい。
- 3) 沈殿や固相の変色など予想外の現象が見られた。
- 4) モデルの予測値と一致しない。または、モデルの予測値と同一傾向を示さない。

これらの現象が起こりうる原因としては、文献の実験条件の不確実性を考慮していないことや実験者が熟練していないこと、モデルと実験体系に不整合があること等、種々の要因が考えられる。

一方、これらの要因を可能な限り排除するためには、文献の実験条件を正確に解釈することや実験者を訓練すること、実験計画を適切に立案することが要求される。すなわち、上記1)～4)の影響因子を排除するためには、実験計画を適切に立案していることを確認する等、各影響因子に対して妥当であることの確認を行なう必要がある。

確認項目としては、表2.1.2-1に示した品質保証項目案が考えられ、1次データの品質を保証するためには、試験方法の標準化を図り、実験計画書に実験目的、試験報告書に試験条件などを記述し、その妥当性を確認する必要がある。

以上より、1次データ取得段階の品質保証項目は次のとおりである。

- ・ 実験計画書
- ・ 試験方法標準
- ・ 試験報告書

② 1次データ加工段階

1次データの加工段階では、測定したデータを一般的に知られている公知の値に変換する。この場合のエラー発生事例としては次の現象が起こりうる。

- 1) 文献値と取得した分配係数で差が見られる。
- 2) 既存の取得分配係数と新規取得の分配係数で差が見られる。

これらの原因としては、比較する文献の実験条件に関する情報の不足等、1次データと同様のことが考えられる他、実験体系と算出モデルに不整合があることや算出式に使用した物理定数、物質移行パラメータに不整合があることが考えられる。

したがって、これらのエラー要因を排除するためには1次データの品質保証項目を確認する他、データ変換の算出根拠についても適切であることを確認する必要がある。

以上より、1次データ加工段階における品質保証項目は次のとおりである。

- ・ データ変換算出根拠
- ・ 技術資料

③データ登録段階

収集したデータをデータベースなどに記録/保管する場合には、データの品質を確認するために、1次データの取得段階と加工段階で摘出した品質保証項目を合わせて記録する必要がある。また、データの損失防止やデータ検索を正確に行なうためには、収集したデータをデータベース化し、効率良く保管することが望ましい。

したがって、データ登録段階の品質保証項目は次のとおりとなる。

- ・データ補助情報
- ・データベース

④データ選定段階

データ選定作業（スクリーニング）は収集したデータの中から、性能評価解析の目的に適合したデータを選び出す作業である。この作業の妥当性を示すためには、スクリーニング基準を設け、理論的に適切であることを示す必要がある。

したがって、データ選定段階の品質保証項目は次のとおりとなる。

- ・スクリーニング基準

(2)解析データの品質保証項目

a. 摘出の考え方

解析データは、種々のデータを組み合わせて導出されるデータである。そこで、解析データの品質保証項目を摘出するに当たっては、データの構成要素を分析し、それぞれの構成要素に対する品質保証項目を検討する。

なお、対象とする解析データは、性能評価解析で取り扱う最も複雑な溶解度とする。

b. データ構成と摘出結果

図2.1.2-2は、P H R E E Q Eから導出される溶解度を例としたデータの階層構造である。この図によれば、溶解度は、熱力学データベースと原位置試験データ、室内試験データ、前段階の解析データから構成されている。

解析コードが検証/確証済みとの前提であれば、妥当性を確認すべき項目は解析の入力として使用されているデータであり、データベース、原位置試験データ、室内試験データが、これに該当する。

原位置試験データと室内試験データの品質保証項目は、前項(1)の試験データの品質保証項目であり、熱力学データは、試験データから導出されるものであるため、これについても品質保証項目は試験データのものと同等である。

したがって、解析データの品質保証項目は、用いられているデータに対する試

験データの品質保証項目となる。

以上、データの品質保証項目をまとめると表2.1.2-2となる。

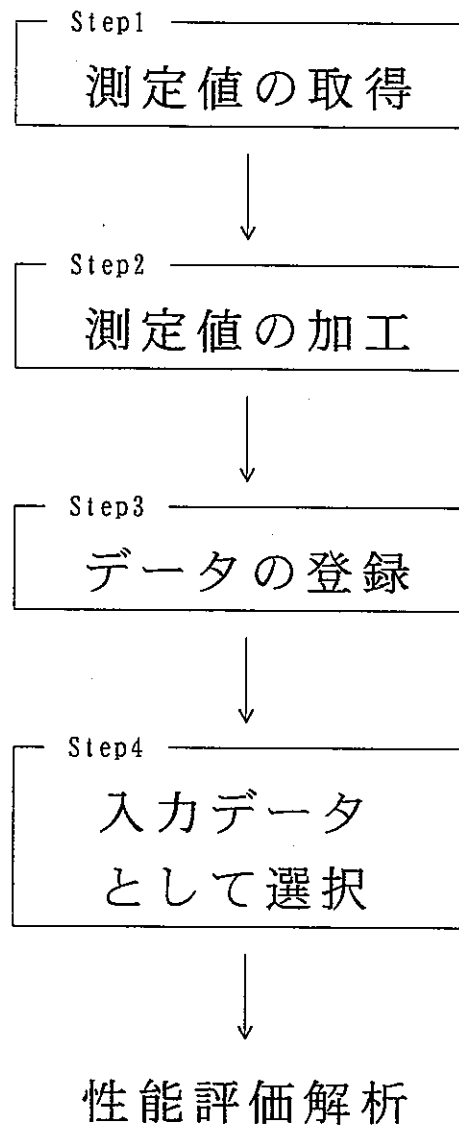


図 2. 1. 2-1 試験データの遷移プロセス

図2.1.2-2 溶解度データに関する階層構造概念

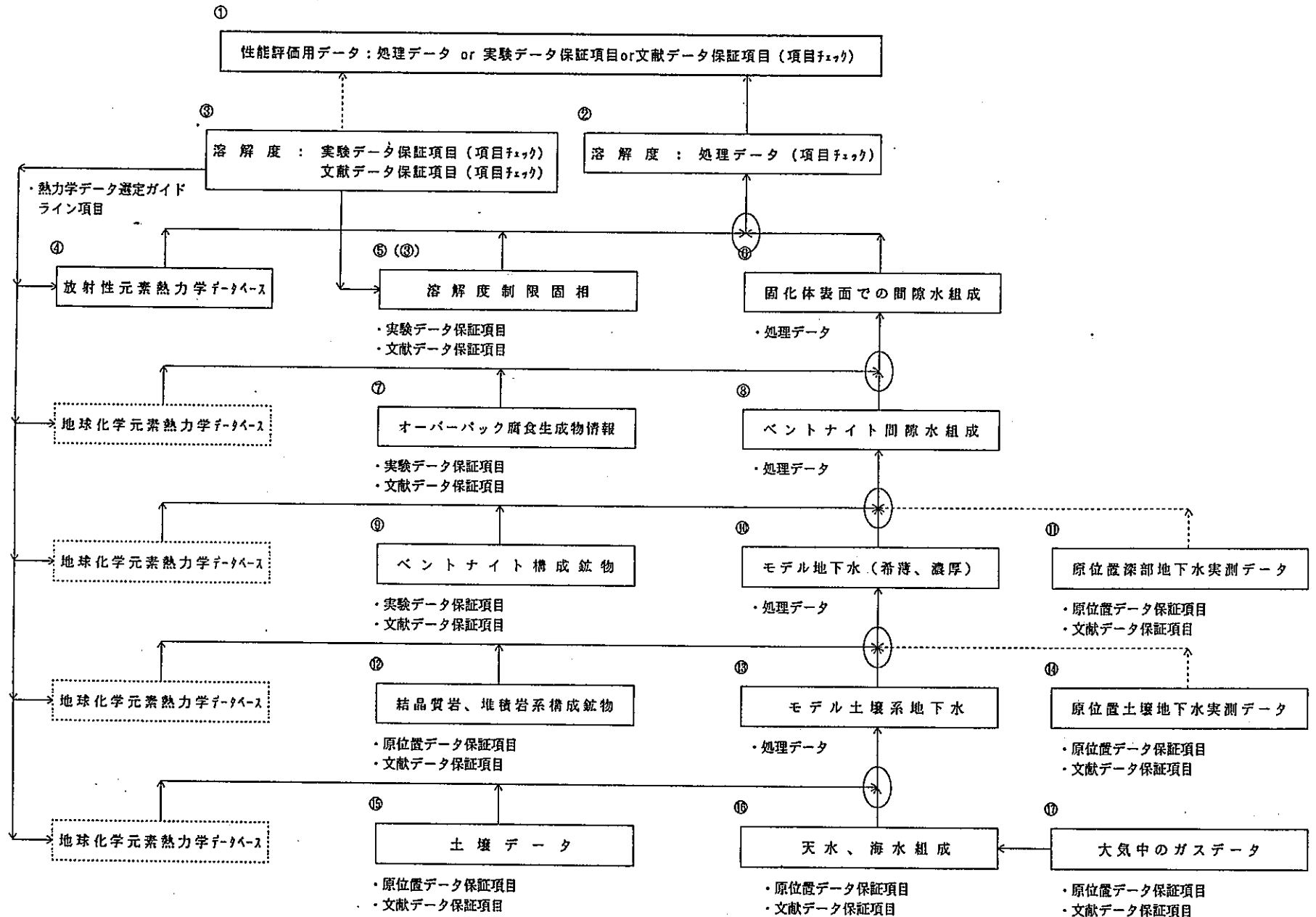


表 2. 1. 2-1 品質保証項目の抽出（性能評価データ 分配係数取得段階）

データ項目	段階	実験情報	不具合・エラー発生事例案	不具合・エラー発生要因案	品質保証項目案	品質保証を行うための作業の概要
分配係数	1 次データ取得（実施計画・生データ）	測定情報 (1)pH (2)Eh (3)液相：初期／試験後核種（元素濃度） (4)固相：試験後核種（元素濃度） (5)試験液性 (6)雰囲気ガス (7)温度	1. 文献値と取得した測定濃度で差が見られる。 2. 濃度データのバラツキがある。 3. 予想外の現象が見られる。 （沈殿、固相の変色） 4. モデルの予測値と一致しない。 モデルの予測値と同一傾向を示さない。	①文献情報不足 ②文献情報誤植 ③文献情報と取得実験条件の不整合 ④実験者が熟練でない。 ⑤雰囲気濃度制御（酸素等）不十分 ⑥試験期間の不整合性 ⑦雰囲気温度制御不十分 ⑧初期溶液の整合性が取れていない。 ⑨固相物性の整合性が取れていない。 ⑩客先推奨方法に従っていない。 ⑪実験目的の理解不足 ⑫核種の溶解度情報不足 ⑬実験体系の現象理解不足 ⑭実験条件の不確実性を考慮していない。 ⑮モデルと実験体系の不整合 ⑯モデルの信頼性が無い ⑰入力データの指定ミス	(a) 結果の解釈 (b) 予備試験・訓練 (c) 影響度試験評価 ・濃度 ・時間 ・温度 ・調整法、・組成、・還元材、・体積 ・調整法、・組成、・質量、・表面積 ・表面特性 (d) 試験方法標準 ①ろ過方法 ②N数の確保 ③容器材料 ④粒径 ⑤検出器限界 ⑥検出器精度 ⑦試験手順 (e) 実験計画 (f) 実験計画 予備試験・解析 (g) 結果の解釈 (h) 結果の解釈 (i) 実験計画 (j) 検証・確認 (k) 入力データの指定ミス	A 実験計画書 (b), (e), (f), (i) の項目 実験計画書では、可能な限り以下の記述をすることとする。 ・目的、・溶解度に係わる予備解析または予備試験、試験体系で対象となる現象について記載すること。予備試験・訓練が必要な場合は、本計画書に記載すること。 海外共同研究を通じてドキュメント（結果の解釈）のレビューを専門家に依頼する。 B 試験方法標準 (d) の項目 試験方法標準をマニュアル化すること。 C 試験報告書 (a), (c), (g), (h) の項目 試験報告書では、可能な限り以下の記述をすることとする。 1) 試験方法 試験方法標準に基づき必要事項記載する。 2) 結果の解釈 (a), (g), (h) の項目 取得したデータが既存データと異なる場合は、定量的な考察を行い、解釈をすること。 3) 結果の解釈 (c) の項目 試験条件の依存性を示すための 上記資料を全て用意しない場合はデータ加工、登録の手続きはしないこととする。
		入力情報 (3)核種濃度 元素濃度 出力情報 (8)Kd (9)イオン強度	5. 文献値と取得した分配係数で差が見られる。 6. 既存の取得分配係数と新規取得の分配係数で差が見られる。	⑮ (①、②、③) ⑯ (④、⑤、⑥、⑦、⑧、⑨、⑩) ⑳Kd、イオン強度算出式の整合性 ㉑算出式で使用する物理定数、物質移行パラメータの整合性	(l) (a) (m) (b), (c), (d) (n)データ変換算出根拠 ・算出式 ・使用データ	D 算出根拠書 (m) の項目 Kd、イオン強度の算出根拠書には、算出式、使用データ（生データ、物理定数、物質移行パラメータ）について記載する。 E 結果の解釈 (l), (m) の項目 本規定は、取得Kdの適切性（他のデータとの比較、化学的ナッジの視点、E ₀ との比較のいずれかの方法）について考察する。 上記A～Eの資料を室・所内査読、学会査読、海外の専門家のいずれかのレビューを受け承認された場合は、データベースに登録する。 データ登録した際は資料を作成すること。
登録		入力情報 (1)pH、(2)Eh、(3)液相：初期／試験後核種（元素）濃度、(4)固相：試験後核種（元素）濃度、(5)試験液性、(6)雰囲気ガス、(7)温度、(8)Kd、(9)	入力情報 品質保証項目案のうち計算機上に展開可能な情報を入力する。			
選択		性能評価解析担当グループへ受け渡すためのスクリーニング実施				F スクリーニング基準の選定、分配係数、補助情報の受渡し資料を作成すること。

表2.1.2-2 データの品質保証項目

段階	要求される確認内容	品質保証項目	品質特性
1次データ取得	・実験目的の理解徹底 ・実験者の訓練 ・実験方法の標準化 ・試験環境/条件の明確化	①実験計画書 ②試験方法標準 ③試験報告書	合目的性 正確性 再現性
1次データ加工	データ変換算出根拠の明確化	④算出根拠書 ⑤技術資料	追跡性 一貫性
データ登録	・データ補助情報の明確化 ・データの誤処理防止	⑥データ補助情報 ⑦データベース	使用性 効率性
データ選択	データの選定プロセスの明確化	⑧スクリーニング基準	追跡性

2.2 品質保証手法の調査

本項では、2.1項で摘出した品質保証項目の妥当性を確認するため、以下の設計解析分野に用いられている品質保証手法を調査した。

- 1) 高度な解析が要求されている原子力分野、航空・宇宙分野
- 2) 実際の地層処分施設の品質保証手法を調査する目的からユッカマウンテン、WIPP
以下に調査結果について述べる。

2.2.1 原子力分野における品質保証

原子力分野の品質保証手法は2.1項で述べたとおり、図2.2.1-1の体系にてJEAGにより定められている。

さらに、設計解析においては、品質保証計画策定指針(JEAG 4102)と設計管理指針(JEAG 4104)において、コード運用段階の品質保証として、次のことが要求されている。

(1) 原子力発電所の品質保証計画策定指針(JEAG 4102)

本指針では、主に、品質保証計画書、品質管理要領書の作成要領について述べたものであり、設計解析に係る事項については、特に、詳細な記述はない。

ただし、品質保証活動の明確化として、設計検証の実施範囲を明確にすることを次のとおり示している。

(JEAG 4102の抜粋)

「設計の妥当性を検証するため、設計の方法に応じ、設計審査、代替計算、実証試験などの実施範囲を明確にすること。」

(2) 原子力発電所の設計管理指針(JEAG 4104)

原子力発電所の品質保証指針(JEAG 4101)に基づき、原子力発電所の設計管理の方法を確立し、遂行するための基本事項を示したものである。この内、設計解析における要求事項は次のとおりである。

- 設計手順の計画に基づいて、設計解析を実施し、設計解析書を作成すること。
- 設計解析書には、確実に設計検証ができるように必要に応じて次の項目を含めるか、又は、それらを確認できるようにしておくこと。

① 解析の目的

② 解析の方法

③ 解析する上で設定した仮定及び条件

④ 設計要求事項

⑤ 参考にした資料及びデータ

⑥ コンピュータのプログラム、インプット及びアウトプット

⑦ 単位系

この他、安全審査においても解析結果の信頼性を向上させるため、解析に使用するデータや解析コード、安全性の判断基準などについて安全審査指針が原子力委員会から示されており、これについては、原子炉の反応度投入事象の指針を例として付録－３に示す。

以上より、原子力分野における品質保証項目は、2.1項の調査結果に次の項目が追加される。

- ①解析の目的
- ②解析の方法
- ③解析する上で設定した仮定及び条件
- ④設計要求事項
- ⑤参考にした資料及びデータ
- ⑥コンピュータのプログラム、インプット及びアウトプット
- ⑦単位系

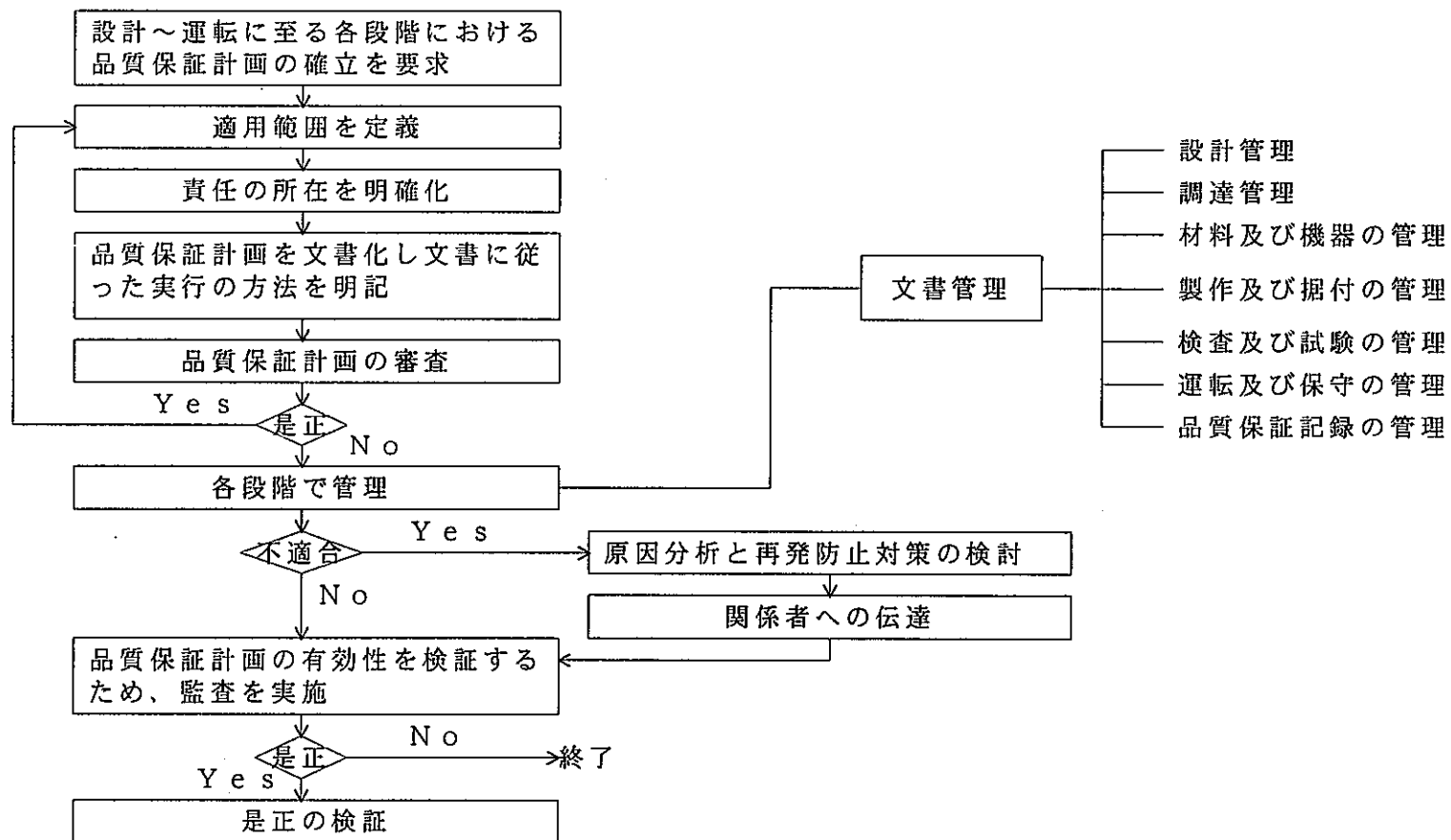


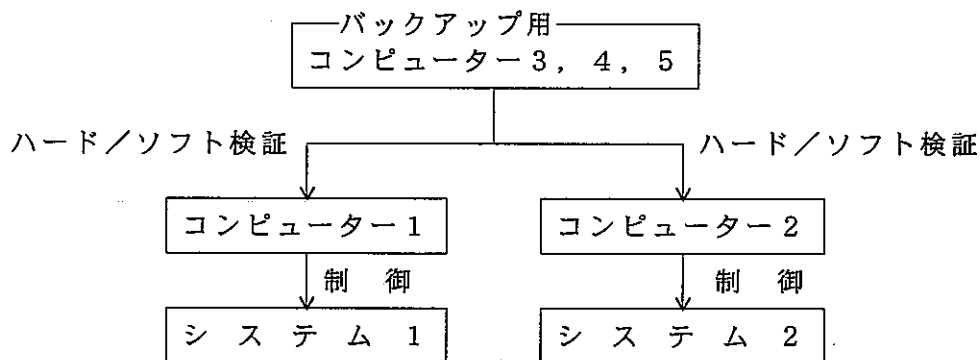
図 2 . 2 . 1 - 1 原子力発電所の品質保証体系

2.2.2 航空・宇宙分野における品質保証

本項では、航空・宇宙分野で用いられている設計解析に関する品質保証方法として、NASAのプログラムを調査した。NASAの品質保証プログラムはISO-9000に準拠しており、以下に、その概要を示す。

(1) コンピューターシステム

航空・宇宙分野では、人命に係わるため、制御システムのリアルタイム処理での検証が要求される。このため、スペースシャトルでは、次図のとおり、5つのコンピューターを用いて、制御システムでのリアルタイムの検証を行っている。



また、コンピューター5台の内、4台は同一のソフトウェアを搭載しているが、1台は異なった設計のプログラムが導入されている。これにより、システム制御におけるハードとソフトの両面での多重防護が実施されている。

(2) ソフトウェア

NASAでは、ソフトウェアの品質を保証するため、次の事項を要求している。

- ① どのソフトウェアが安全上、重要であるか安全解析により確認すること。
- ② 安全解析により、性能に影響する要素を確認すること。
- ③ ソフトウェアの設計と作成は、安全上の要求事項に適合すること。
- ④ ソフトウェアの検証/確認は、安全性の要求を満足するものであることを確認すること。
- ⑤ ソフトウェアの試験計画と手順は、検証を行うための要求事項を満足すること。

これらの最初のステップはソフトウェアの品質保証計画を策定することであり、ソフトウェアのライフサイクルの各段階を通して要求事項が文書化され、実行されている。そして、エラーが発見されれば修正が行われる。さらに、NASAでは、安全解析に基づいてソフトウェアをクラス分け（重要度分類）している。

また、NASAのソフトウェア品質管理では、次のことを行っている。

- ① 基準と検証プロセスの評価を行い、検証管理が基準に一致しているか確認する。
- ② ソフトウェアに関連する生産物の品質評価を行い、信頼性、メンテナンス性等

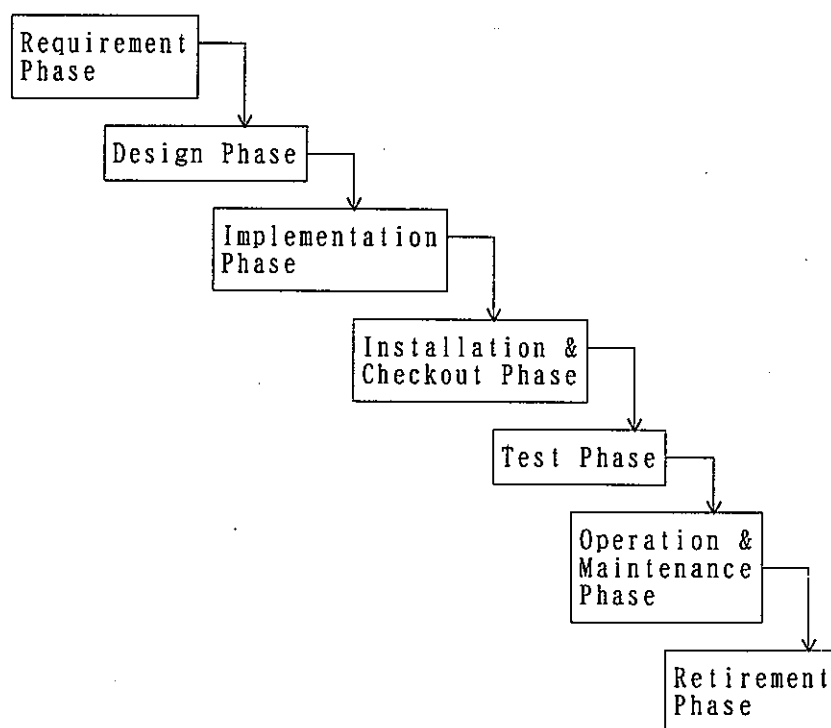
を設計へ反映する。

- ③ 要求事項が確実に設計へ反映されているか等、各開発段階で、正しいアウトプットとなるよう管理する。
- ④ システムの安全性を担保するため、各々のソフトウェアの要素の重要性評価、信頼性解析、プロセス変更等が行われる。
- ⑤ 変更が管理されない状況で行われることを防止するため、データとソフトウェアの使用管理を行っている。

また、米国では、一般的に、ソフトウェアは以下のとおり管理されており、ここでは、NASAでの対応についても合わせて述べる。

(a) ライフサイクルの定義

米国では、ライフサイクルの標準を次のとおり定義している。



このライフサイクルは、対象とするプロジェクトによって管理レベルが決定されている。実際、NASAでは設計段階を何段階かに細分化している。さらに、NASAでは要求事項が各段階で確実にソフトウェアに反映されていることを確認することにより、ユーザーのリスクを極力低減している。ユーザーのリスクは、ソフトウェアの設計上の限界を把握することで低減できるとの考え方である。

また、このように、ライフサイクルを定義することにより、管理方法を説明する上で容易である。

(b) Requirements Phase (要求段階)

この段階では、設計要求事項を最終的に決定せねばならない。理想的には、次の手順により要求事項を具体化する。

手 順	留 意 事 項
要求事項の検討	ソフトウェアがどのように動作するかを要求すると共に、動作環境（コンピューター環境）を定義する必要がある。定義されなければ、エラーが検出されない可能性も生じる。
↓	
プロトタイプコード作成	要求事項を詳細に検討し、要求段階におけるエラーを低減するため、ツールとして作成する。あくまでも、このコードは使捨てである。
↓	
感度解析の実施	パラメータや数学モデルの特徴を把握し、要求事項を具体化する。
↓	
設計要求を決定	コンピューター環境を定義し、要求を文書化する。（複雑かつ大きいソフトウェアについては、インターフェイスの要求をまとめることが必要である。）
↓	
レビューの実施	文書化された要求をレビューし、妥当性の検証を行う。レビューはコンピューターの専門家を含めることが望ましい。

(NASAの対応)

- NASAでは、この段階で、システム要求と潜在リスクを確認し、リスク管理を行っている。スペースシャトルでは、誤操作を防止するためチェックルーチンが開発されている。
- NASAの品質保証プログラムでは、設計インプットとなる危険な命令の確認や制御限界、制約条件の関係、事象のシーケンス、ロジック、許容される失敗事項等に対し、ソフトウェア要求を定義するよう要求している。

また、図2.2.2-1は、NASAのソフトウェアエラーを原因と段階に分類したもので、エラーの50%は要求段階に起因している。

(c) Design Phase

この段階では、要求事項を次のとおり設計へ展開する。①サブルーチン間のデータの受渡し、計算データの流れ等、アルゴリズム、数式制御ロジック、データ構造を定義し、フローチャートを作成する。②そして、設計書を作成し、コーディング上のエラーの発見のため、テストケースを検討する。③この後テスト計画が立案されレビューが実施される。

(NASAの対応)

- インターロックや制御方法等の安全特性が確認されている。

(d) Implementation Phase

この段階では、サブルーチン単位やデータの呼出しが一定の方法で行われる等、コーディングが一定の基準で行われることが要求される。すなわち、誰がコーディングを実施してもソフトウェアのメンテナンスが容易となるようコーディング規約書を作成する。この段階では、ソースコードやプログラマーのノートブック、開発文書が記録となる。

最終的には、ソースコードやコーディング規約書のレビューがこの段階の検証として行われる。

(NASAの対応)

- コードの安全上の重要性がソースコードに注釈され、ソフトウェアの安全性を損なうGOTO文等に対し、制約を設けている。

(e) Installation & Checkout Phase

この段階では、ソースコードがコンパイルされ実行形式（テストに使用）が作成される。取得ソフトに対しては、コンピューター環境で確実に動作するか保証する上で、この段階は重要である。

そして、一般的にインストール報告書が作成され、性能検査が実施され、技術的なレビューが行われる。

(f) Test Phase

この段階では、ソフトウェアがユーザーの要求に適合していることを確認する。発見されたエラーは修正の必要性が評価され、信頼性の高いソフトウェアとなる。

テストとしては感度解析により、その許容動作範囲を特定することが出来、これを行わない場合は、ユーザーはリスクを負うこととなる。

さらに、テスト結果はレポートとして報告され、技術的なレビューが実施される。

(NASAの対応)

- 検証では全てのロジック（パス）に対して正しくプロセスフローが作成されていることを確認するわけではなく（重点は置かれておらず）、要求項目が全て反映されていることを確認する。例えば、不適切な値が入力された場合の影響の評価を行い、安全システムの応答を検証している。また、この時のソフトウェアの応答が危険性の予想範囲内にあるかについても検証されている。

(g) Operation and Maintenance Phase

この段階では、ソフトウェアの変更（改良）やエラー修正が管理されている。

重要なポイントは、エラーの原因となる変更がソフトウェアに施されないことで、ソフトウェアへのアクセスを制限することである。

(h) Retirement Phase

バージョンアップ等により、これまで使用していたソフトウェアが不要となる段階である。

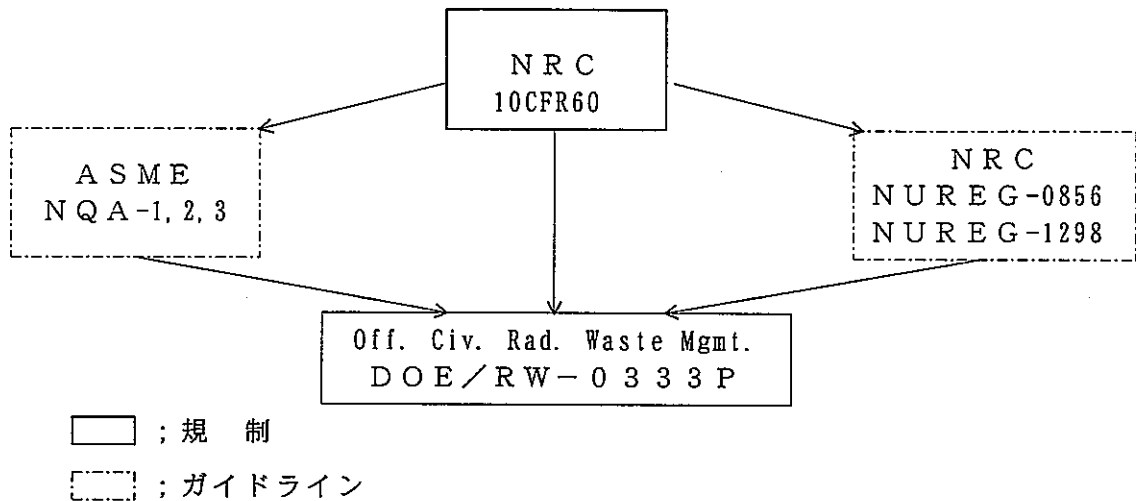
以上、品質保証項目をまとめると、次のとおりである。

- ・ 要求仕様書
- ・ 開発計画書
- ・ ソフトウェア設計書
- ・ インストール報告書
- ・ 取扱説明書
- ・ 検証計画書
- ・ 検証報告書

2.2.3 ユッカマウンテンの品質保証

(1) 品質保証の体系

10CFR60では、品質保証を実施することを定めている他、ユッカマウンテンに対しては、米国エネルギー省（DOE）のOCRWM（Office of Civilian Radio active Waste Management）から品質保証に関して要求事項がまとめられている。この要求文書（DOE/RW-0333P）は、次図のとおり、米国の規制、ガイドラインを統合化したもので、ユッカマウンテンにのみ適用されるものである。



上図のASME NQA-1では、品質保証の全般事項を、NQA-2ではソフトウェアの品質保証事項を述べている。また、NQA-3ではデータの収集に関する要求を述べている。NUREG-0856, 1298も同様に、NRCからガイドラインとして提示されたソフトウェアとデータに関する品質保証の要求事項である。

これらの要求事項をまとめたものが、ユッカマウンテンの品質保証要求事項としてDOE/RW-0333Pが作成されている。図2.2.3-1にDOE/RE-0333Pの体系を示す。

(2) 品質保証プログラムの概要

a. 品質保証システムの概要

表2.2.3-1は、DOE/RW-0333Pの全体概要を示したもので、性能評価に関する項目は、次のとおりである。

- ①品質保証プログラム(Quality Assurance Program)
- ②設計管理(Design Control)
- ③調達文書管理(Procurement Document Control)
- ④文書管理(Document Control)
- ⑤調達品及びサービス管理(Control of Purchased Items and Services)
- ⑥試験管理(Test Control)

- ⑦視察、試験、運転状況(Inspection, Test and Operation Status)
- ⑧不適合管理(Nonconformances)
- ⑨是正活動(Corrective Action)
- ⑩品質保証記録(Quality Assurance Records)

さらに、DOE/RW-0333Pでは、表2.2.3-2に示すとおり、5つの付録(Supplement)において、ソフトウェアと研究開発で取得したデータの品質保証上の要求事項を定めている。また、図2.2.3-2は、DOE/RW-0333Pの品質保証システムを性能評価解析に読み替え、解析に関連する品質保証体系を示したものである。これによれば、ユッカマウンテンでは、ソフトウェアとデータを以下のとおり分類し、品質管理を行っている。

<ソフトウェア>

- ・開発／改良コード
- ・購入コード

<データ>

- ・品質保証されたデータ
- ・品質保証されていないデータ

これらの詳細内容については、次項または本報告書の付録に示すが、基本的には、DOE/RW-0333PのSupplement I (ソフトウェア)とSupplement III (研究開発)に表2.2.3-1で、動燃殿の性能評価解析に関連性があるとした要求事項が全て反映されている。特に、Supplement III (研究開発)においては、解析コードの運用の他、データの品質保証についての要求事項を定めている。

そこで、次項のb.及びc.では、Supplement IとSupplement IIIについて、レビューの実施／方法、ソフトウェアの検証／確証／管理方法、データの開発／管理方法等の要求内容を解説する。

b. ソフトウェアに対する品質保証

①コード開発／改良

コードの開発／改良に当たっては、コードのライフサイクルを定義し、管理することを要求している。また、コード設計管理としては、要求仕様が全て設計に反映されていること確認するため、レビューを行うことや文書として機能要求情報、設計情報、取扱いなどのユーザー情報を文書化することを要求している。

一方、モデルの開発管理として、モデル開発の開発内容を文書化することの他、数学的な再現性があること、技術的レビューを実施することを要求している。

②検証／確証管理

検証は、コードに要求仕様が全て反映されていることを確認することを目的としており、確証は、実験データ等との比較やレビューを行うことにより、その妥当性を確認することを要求している。また、検証／確証内容、方法、終了したことの基準を設定し文書化することの他、開発・改良に関わっていない第3者が検証／確証を実施することを要求している。

また、購入したコードについては、調達管理として調達先の品質管理を確認することを要求している。

③形態管理

変更理由、変更点を文書化し、変更に伴い関連するソフトウェア要素（フロピディスク、取扱説明書、設計文書等）についてバージョン管理することを要求している。さらに、個々のソフトウェア要素が対応を付けられるよう管理し、変更点についてはユーザーへ伝達することを要求している。

④運用管理

選定したコードが適切であること及び確証範囲内であることを確認することを要求している。さらに、使用の内容を文書化することについても要求している。

c. 研究開発に対する品質保証

データの取得においては試験目的や実施内容、参照文書、サンプルを文書化し、再現できる内容であることを要求している。さらに、技術的な妥当性を確認するため、レビューを実施することを要求している。レビューに当たっては、付録－9に示すレビュー方法(Peer Review)を規定している。

また、この品質保証プログラムでは、安全重要度が高いデータを次の何れかの方法または組み合わせにより品質を保証することを示している。

- ①データを取得した組織の品質保証プログラムが、DOE/RW-0333Pと同等のものであること。
- ②再試験により、データが確認できた場合
- ③確証済のデータを用いて説明できる場合
- ④テクニカルレビューによりデータの妥当性が確認できた場合

以上、ユッカマウンテンの品質上の要求事項と保証項目をまとめると表2.2.3-3となる。

なお、ユッカマウンテンでは、データをデータベース管理しており、この管理手法については付録－4に、その概要を示す。

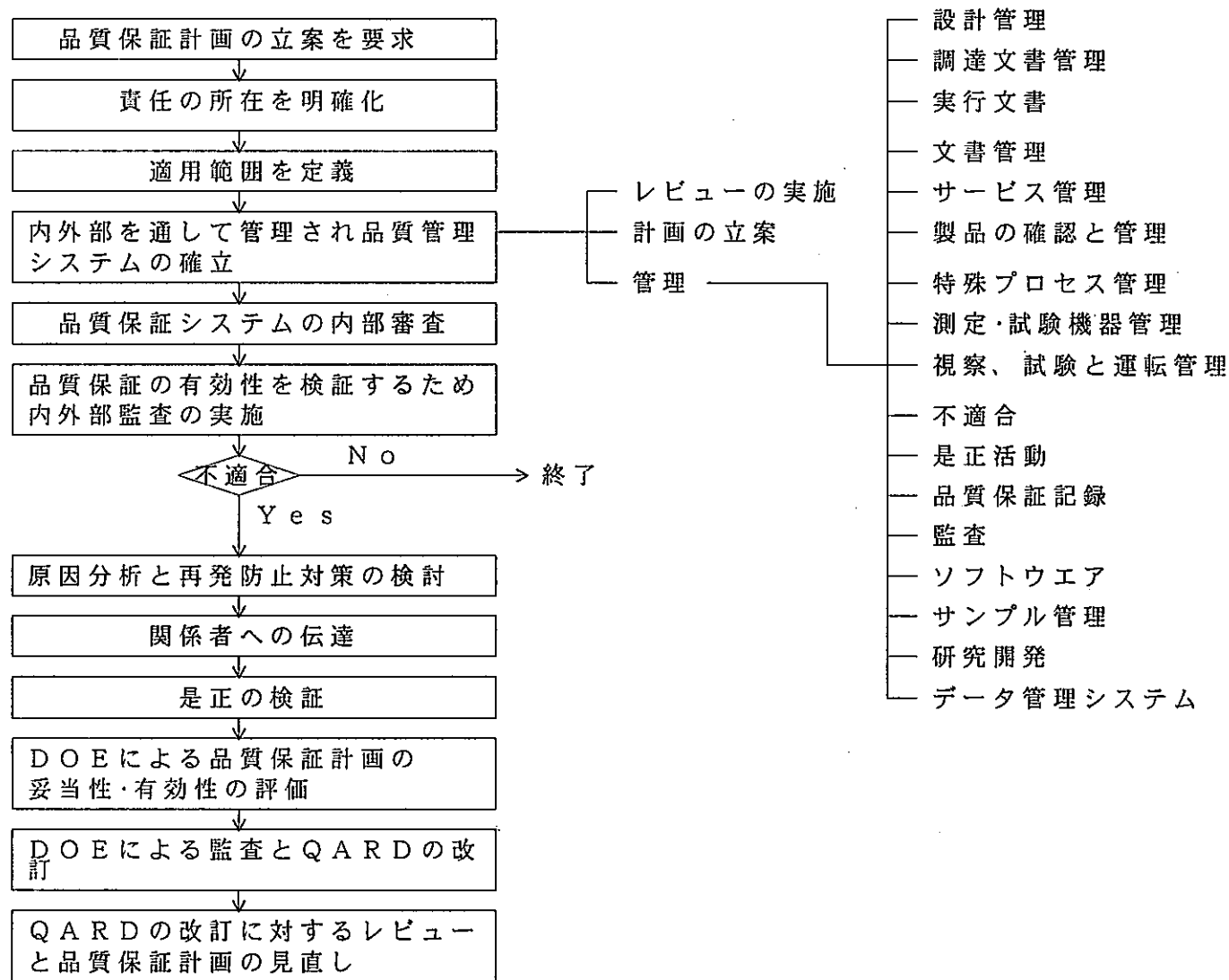


図 2. 2. 3 - 1 ユッカマウンテン・プロジェクトの品質保証体系

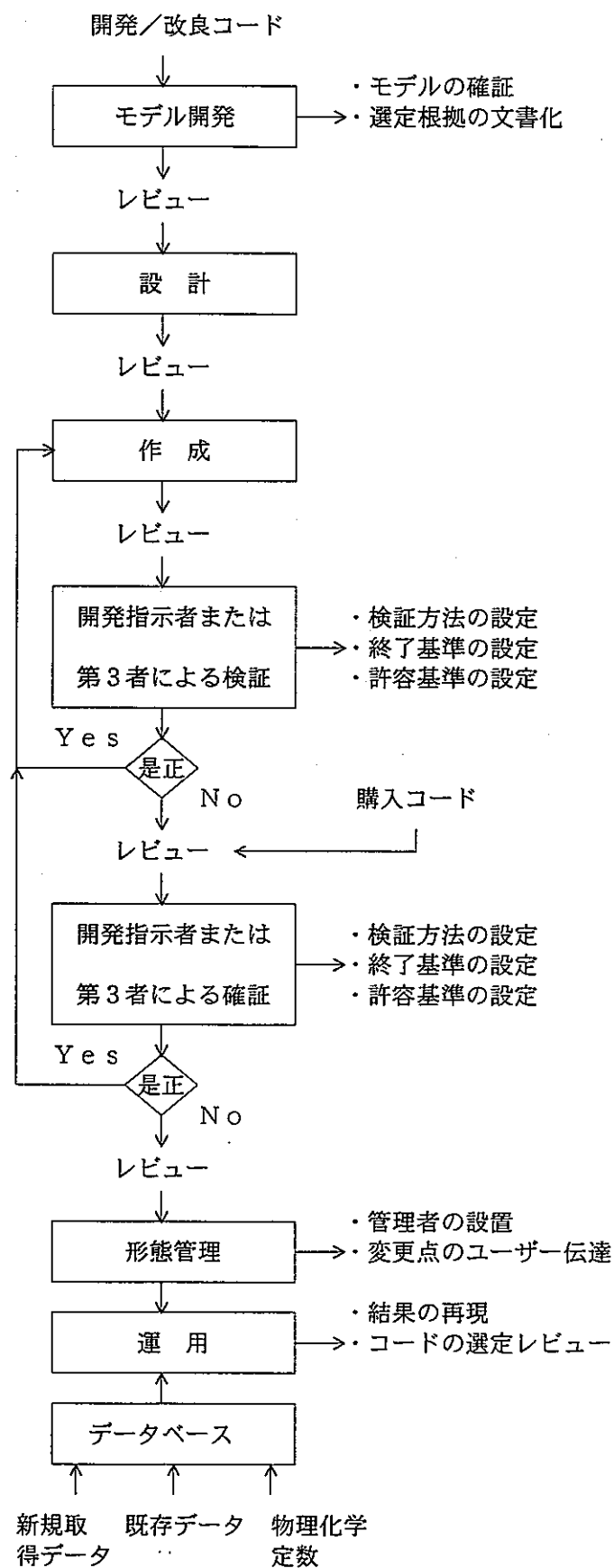


図2.2.3-2 ユッカマウンテンの解析に関する品質保証体系

表 2.2.3 - 1 DOE/RW/0333P の概要

	目 次	概 要	動燃殿の性能評価解析との関連性	関連有無
1	Organization	関連組織は、外内部のインターフェイス、組織構造、責任の範囲を文書化することを要求している。	ユッカマウンテン固有のものであり、関連性はない。	×
2	Quality Assurance Program	QAの計画、実行、維持に関する要求事項を示している。	品質保証全般の要求であり、性能評価解析は対象である。	○
3	Design Control	設計インプット情報や解析等についての要求事項を示している。	性能評価解析に用いるソフトウェアの設計は対象である。	○
4	Procurement Document Control	サービス、製品の調達に関する技術文書、QA文書の作成レビューなどを要求している。	発注した開発コードが対象となるため、関連性を有する。	○
5	Implementing Documents	技術的要求、規制側からの要求、制約事項などを文書に定めることを要求している。	性能評価解析に対する規制は、国内には存在しない。	×
6	Document Control	文書のレビュー方法、分類、内容の変更等に関する文書管理の方法について要求事項を示している。	解析に関連する文書も含まれるため、関連性を有する。	○
7	Control of Purchased Items and Services	調達の計画、実行における要求事項を示している。	発注した開発コードが対象となるため、関連性を有する。	○
8	Identification and Control of Items	使用、導入機器を確認するための要求事項(容器のラベル No. など)を示している。	プラントの使用・導入機器に対する要求であり、関連性は小さい。	×
9	Control of Special Processes	熱処理、化学洗浄、非破壊検査などの特別な作業に対する要求事項を示している。	プラントの使用・導入機器に対する要求であり、関連性はない。	×
10	Inspection	品質保証上の監査の計画、実行に対する要求事項を示している。	動燃殿には、品質監査機関はない。	×
11	Test Control	コンピュータコードを含む試験の計画、実行、データ収集における要求事項を示している。	性能評価解析に用いる解析コードの検証/確認等に関連する。	○
12	Control of Measuring and Test Equipment	測定、試験機器の制御、校正、保守に関する要求事項を示している。	プラントの使用・導入機器に対する要求であり、関連性はない。	×
13	Handling, Storage, and Shipping	ハンドリング、貯蔵、輸送等に対する要求事項を示している。	プラントの使用・導入機器に対する要求であり、関連性はない。	×
14	Inspection, Test and Operation Status	監査、試験、運転状況を確認するための要求事項を示している。	解析コードのバージョン管理に関連する。	○
15	Nonconformances	要求事項に合致しないものの文書化、評価やその対策、技術的判断事項を示すことを記述している。	性能評価解析に用いる解析コードの検証/確認等に関連する。	○
16	Corrective Action	要求事項に合致しないことの判断基準の設定、合致しないことの傾向の把握、訂正事項の検証を行うことを要求。	性能評価解析に用いる解析コードの検証/確認等に関連する。	○
17	Quality Assurance Records	QA上の記録を作成、保持することの要求事項を示している。	性能評価解析の品質が保証されていることを示す上で関連性を有する。	○
18	Audits	内部及び外部の監査を行うことを要求している。	性能評価解析の外部監査は、科技庁が実施すべき事項である。	×

注記:

Supplement I Software

Supplement II Sample Control

Supplement III Scientific Investigation

Supplement IV Field Surveying

Supplement V Control of the Electronic Management of Data

表 2.2.3 - 2 D O E / R W / 0 3 3 3 P の 概 要

項 目	概 要	性能評価解析の 関連性評価
Supplement I : Software	ソフトウェアの品質管理に関し、次の事項について要求事項を示している。 ①ライフサイクルの定義、ベースライン（マニュアル等）の管理 ②検証／確証 ③文書 ④設計変更管理 ⑤欠陥報告と対策 ⑥使用管理	○
Supplement II : Sample Control	サンプル管理に対する要求事項を示している。 ①トレーサビリティ ②確認 ③サンプルの保管環境 ④ハンドリング、貯蔵、輸送 ⑤要求事項に適合しないサンプルの廃棄	×
Supplement III : Scientific Investigation	モデル開発やデータの取得を行う研究に関して要求事項を定めている。 ①研究計画 ②研究の実施 ③データの確認 ④データのレビュー ⑤データの使用 ⑥モデル開発と使用	○
Supplement IV : Field Surveying	サイト特性調査、掘削などのフィールド試験に対する要求事項を示している。 ①調査システム ②文書	×
Supplement V : Control of the Electronic Management of Data	設計解析、プロセス制御、研究において用いられるデータの管理に関する要求事項を示している。	○

表2.2.3-3 ユッカマウンテンの品質保証項目

	確認事項	文書内容の要求	品質保証項目
モデル	①モデルの開発内容が文書化 ②数学的再現性があること	①モデル開発内容	①モデル選定根拠 ②数学モデル
開発改良	①文書に右記の内容が記述されていること	①(機能要求情報) ソフトウェアの特徴と目的、使用上の要求事項 (取扱情報) 入出力オプション、データファイル、入出力データ、デフォルト、ファイルフォーマット、エラーと対応、ハード/ソフトウェア環境、サンプル問題、インストール手順 (要求仕様と設計仕様) 性能要求と設計条件、外部データ及びハード/ソフトのインターフェイス、言語バージョン、メンテナンス性、信頼性、効率 機能要求に対する物、内部インターフェイスや制御ロジック、データ構造・フローなどのソフトウェア構造、モデルと数学手法、ソースコード	①機能要求情報、ユーザー情報、設計情報
検証	①要求事項が満足されていること	①検証内容、検証方法、検証を達成したことの許容基準、結果	①検証問題、方法終了基準、許容基準
確証	①実験データなどとの比較、レビューを行うことにより確認	①確証内容、確証方法、確証問題、許容基準、結果	①確証問題、方法終了基準、許容基準
形態管理	①管理されていること ②バージョンと出力 ③各々のソフトウェア関連要素の対応	変更点、変更理由、影響するソフトウェア関連要素	①関連図書、変更点、変更理由、バージョン
運用	①結果が再現できること？ ②選定コードが適切であること ③確証範囲内であること	①使用の内容	①入出力データ ②選定理由 ③適用範囲
新規データ	①文書に右記の内容が記述されていること(再現できること) ②技術的な妥当性	①目的、実施内容、参照文書、試験手法、計算コード、サンプル、測定機器、手法の変更点、実施者、結果、日付	①試験内容 ②判断基準
既存データ	①追跡性 ②次の何れかで品質保証されていること。 ・品質保証計画が適切 ・確証データである ・試験により確認 ・技術的レビュー	②品質保証方法を決定した要因、許容基準、レビュー内容	①出典 ②-1品質保証方法

2.2.4 WIPPの品質保証

(1) 品質保証の体系

WIPP (Waste Isolation Pilot Plant) の品質保証プログラムは、主にNQA-1, 2, 3の要求事項を満足するよう、作成されており、概ね、ユッカマウンテンの品質保証プログラムの要求事項と大差ない。

また、WIPPはDOEに管理責任があり、安全審査は米国環境保護庁 (EPA) が行っている。さらに、性能評価解析はSNL (Sandia National Laboratory) が実施しており、表2.2.4-1のとおり、性能評価解析の品質について申請している。

DOEからは、品質保証上の要求事項として品質保証プログラム (CA0-94-1012) を作成しており、その概要は表2.2.4-2に示すとおりである。図2.2.4-1に、CA0-94-1012の体系を示す。

(2) 品質保証プログラムの概要

a. 品質保証システムの概要

表2.2.4-2は、CA0-94-1012の全体概要を示したもので、基本的に、全項目が性能評価解析の品質に関連する。さらに、WIPPでは、一般的に管理対象物をクラス分類し、各クラスの重要度に応じて、管理レベルを変えて管理を行っている。

一方、申請書では、表2.2.4-1に示したとおり、SNLは、廃棄体の特徴と仮定、コンピューター、コード、モデル、設計、データ収集を適用範囲として、以下の項目について品質を保証している。

- ① 品質保証プログラムの管理
- ② 設計管理
- ③ 文書管理
- ④ サービス管理
- ⑤ 製品管理
- ⑥ プロセス管理
- ⑦ 測定・試験機器管理
- ⑧ 是正処置
- ⑨ 品質保証記録
- ⑩ 監査
- ⑪ コンピュータソフトウェアの品質保証
- ⑫ 研究開発
- ⑬ 品質保証プログラムの実行

さらに、図2.2.3-2は、CA0-94-1012の品質保証システムを性能評価解析に読み

替え、解析に関連する品質保証体系を示したものである。これによれば、W I P Pでは、ソフトウェアとデータを以下のとおり分類し、品質管理を実施している。

<ソフトウェア>

- ・開発／改良コード
- ・購入コード

<データ>

- ・取得データ
- ・既存データ

これらの詳細内容については、次項または本報告書の付録に示すが、主にCA0-94-1012のソフトウェア要求(Software Requirments)と研究開発(Scientific Investigation Requirments)が、動燃殿の性能評価解析に関連性があり、これ以外は監査やマネージメント管理評価に関する要求事項で関連性は少ない。

そこで、次項のb.及びc.では、Software RequirmentsとScientific Investigation Requirmentsについて、レビューの実施／方法、ソフトウェアの検証／確証／管理方法、データの開発／管理方法等の要求内容を解説する。

b. ソフトウェアに対する品質保証

CA0-94-1012では、ソフトウェア管理の適用範囲をデータを発生させるコードとしている。したがって、オペレーティングシステムやコンパイラなどのソフトウェアについては管理対象とはしていない。以下に、CA0-94-1012のソフトウェアに対する要求事項を解説する。

①コード開発／改良

コードの開発／改良に当たっては、コードのライフサイクルを次のとおり定義し、管理することを要求している。

- ・要求段階(definition of requirements)
- ・設計段階(design)
- ・製作段階(implementation)
- ・試験段階(testing)
- ・インストール段階(installation and checkout)
- ・使用／保守段階(operations and maintenance)
- ・廃棄段階(retirement)

また、コード設計管理としては、要求仕様が全て設計に反映されていることと確認するため、レビューを行うことや文書として機能要求情報、設計情報、取扱いなどのユーザー情報を文書化することを要求している。

一方、モデルについてはCA0-94-1012では特に言及されていないが、申請書

ではFEP'sの絞り込みと設定について品質保証を行ったことを述べている。

なお、申請書では、FEP'sの具体的な品質保証手順についての記述はなく、非公開であるSNL内部の品質保証プログラム(QAP9-1 "Quality Assurance Requirments for Conducting Analyses")に従い、FEP'sのスクリーニングを実施したとしている。

②検証／確証管理

基本的には、ユッカマウンテンのDOE/RW-0333Pと大差ないものの、以下の点がWIPPでは特徴的である。

- ・コンピュータの故障や電子的なドリフトにより、計算結果に影響がないか、自動チェックルーチン等により、定期的に確認する。
- ・検証と確証の計画書は要求段階で作成し、設計段階で修正／変更する。
- ・コンピューター環境が変わった場合においても、動作確認試験を実施する。
- ・CA0-94-1012に合致しない品質保証プログラム下で開発された購入ソフトウェアについては、ユーザー情報（取扱い説明書など）や既存の検証／確証結果をもとに評価する。
- ・ソフトウェアに変更を加えた場合、意図していない効果がソフトウェアを用いた結果に表れないことを確認する。
- ・インストールは、検証／確証が終了した後に行う。

さらに、検証については、次の方法により行い、確証については、コードの能力と使用限度を証明することを目的としている。

- ・手計算
- ・比較が可能な証明済みの計算結果
- ・確認済みのデータとの比較
- ・検証済みのコードとの比較

③形態管理

WIPPでは、表2.2.4-3に示すとおり、54個の解析コード（各コードの詳細は不明）を用いており、これらのコードを次の3つに分類し、管理している。

- ・PA SES ; 性能評価解析を行うコード（核種移行計算）
- ・PA NON-SES ; 一般的なユーティリティプログラムやライブラリで、SESコード間のデータ受渡処理を行う。
- ・NON-PA SES ; PA計算のパラメータを算出するコードで、処分ルームにおけるアクチニドの溶解度や処分ルームの圧力を変数とした密封

性を計算する。これらのコードからの出力結果は直接PAに使用されるわけではなく、溶解度は酸素の関数として溶解度範囲となり、密封性は時間と圧力の関数として多孔率となる。

特徴的であるのは、NON-PA SESコードは形態管理されていないことである。これは、長年に渡る性能評価解析で、使用するコードが多数存在し、全てのコードの品質管理を行うことが困難となり、性能評価解析でデータを取り扱うコードにのみ、管理対象を限定したためと解釈される。

④運用管理

ソフトウェアへのアクセス制限を設けている他、特に定めていないが、設計管理として、設計文書に解析目的、入力データと根拠、文献検索結果、仮定、コンピューター、計算結果を含めることを要求している。また、手計算や代替計算などにより設計検証を実施することも要求している。

c. 研究開発に対する品質保証

データの取得においては試験計画を立案し、試験方法などの試験の詳細を文書化すると共に、レビューを行うことを規定している。また、ユッカマウンテン同様、CA0-94-1012では既存データに対して、次の何れかの方法または組み合わせにより品質を保証することを要求している。

- ①データを取得した組織の品質保証プログラムが、NQA-1, 2, 3と同等のものであること。
- ②再試験により、データが確認できた場合
- ③確証済のデータを用いて説明できる場合
- ④NUREG-1297("Peer Review"を定義)に従い、データの妥当性が確認できた場合

以上、WIPPの品質保証上の要求事項と品質保証項目をまとめると表2.2.4-となる。

なお、WIPPは軍事施設から発生したTRU廃棄物を地層処分する実証試験として位置付けられているプラントであり、性能評価解析モデルの妥当性を確認するために、技術的なレビューがDOEの主催により行われている。そこで、参考として、PA結果は現状のものとは異なるが、1991年に行われたWIPPの性能評価解析のレビュー結果を付録-5に示す。

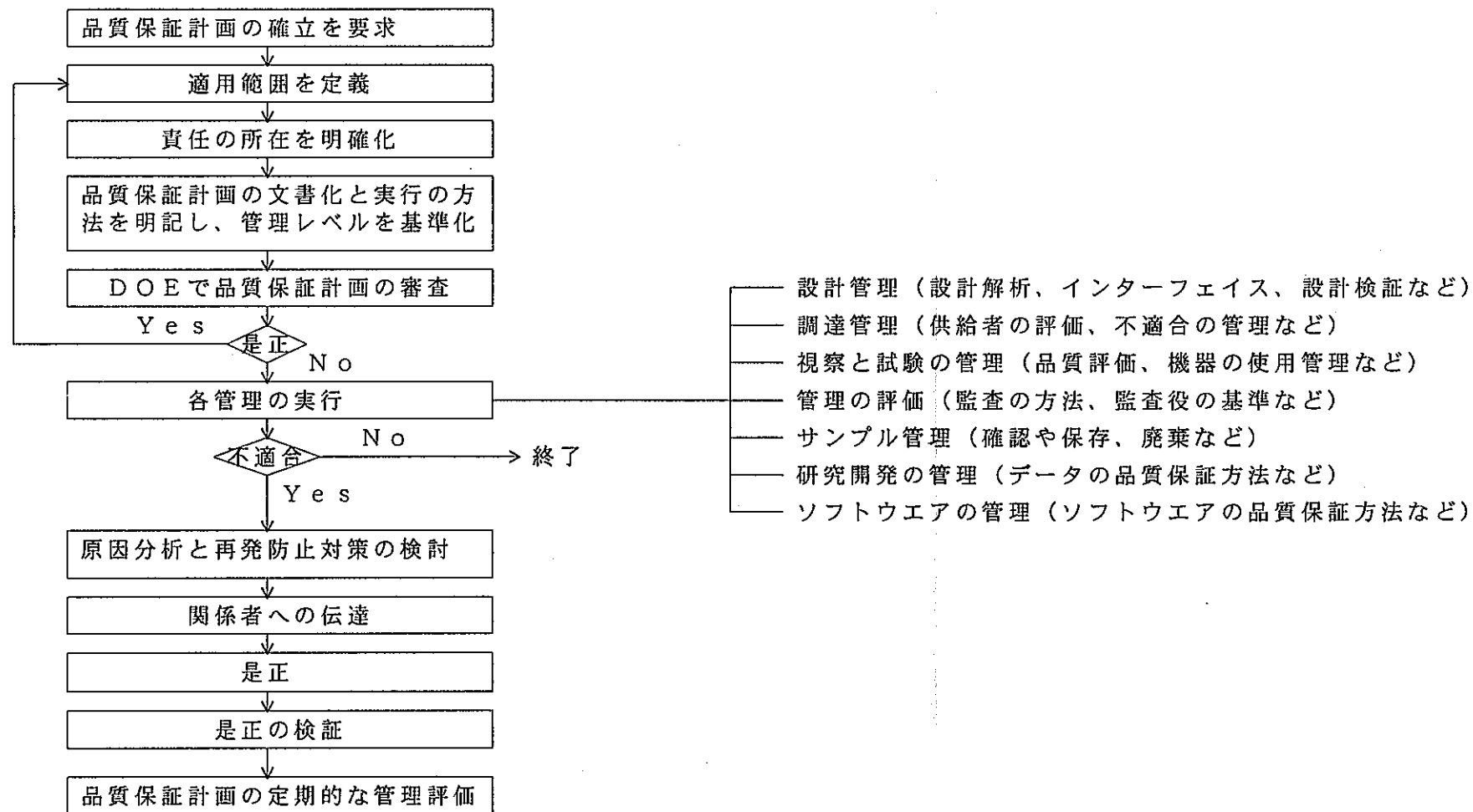


図 2. 2. 4 - 1

W I P P の品質保証体系

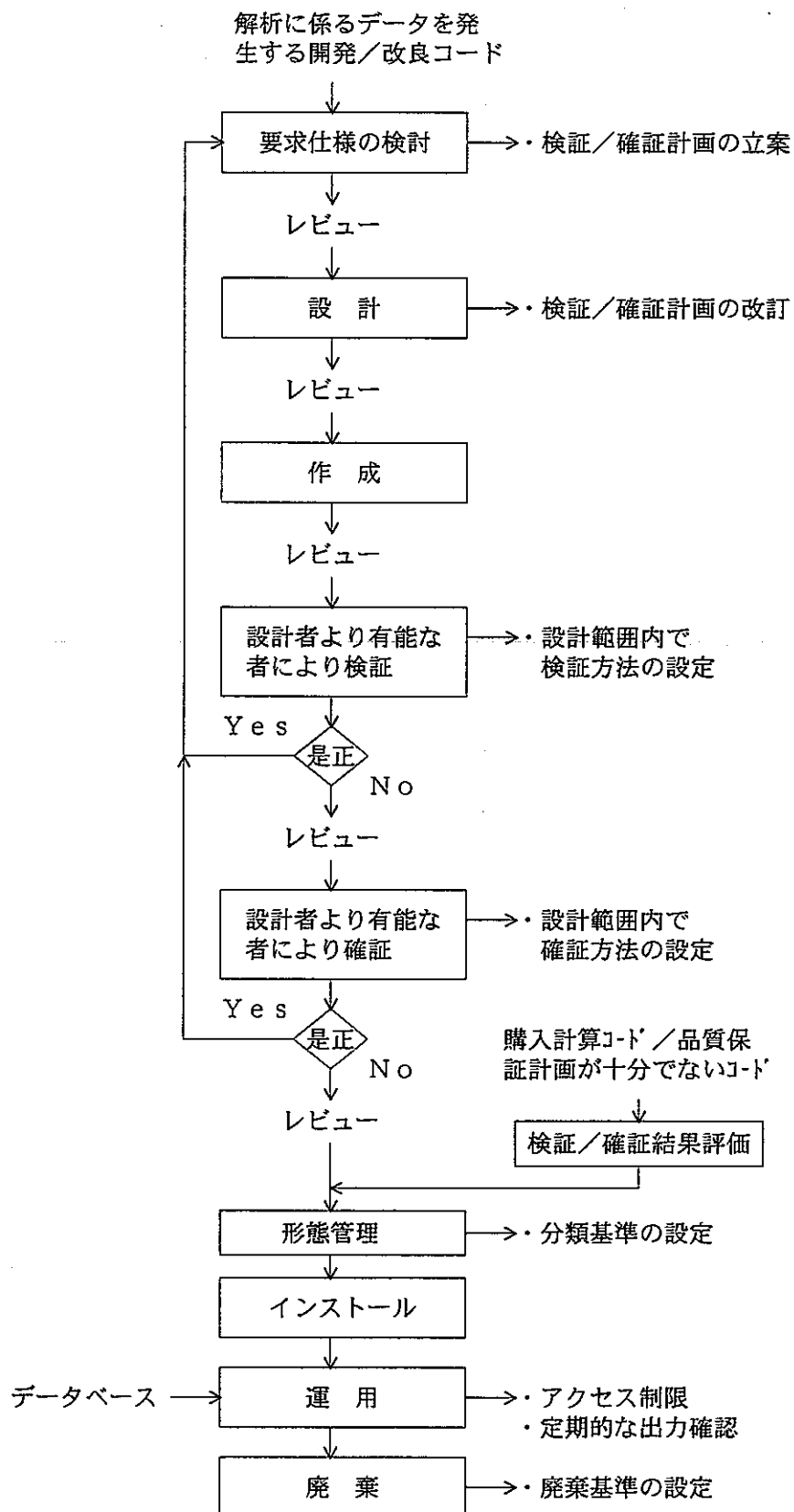


図2.2.4-2 WIPPの解析に関する品質保証体系

表2.2.4-1 WIPPの申請書の品質保証記載項目

	DOE	SNL	WID
1. 廃棄体の特定と仮定	○	○	×
2. 品質保証プログラム	○	○	○
3. 設計管理	—	○	○
4. 文書管理	○	○	○
5. サービス等の管理	○	○	○
6. 製品管理	—	—	○
7. プロセス管理	—	○	○
8. 検査（サービス、製品）	—	—	○
9. 試験管理	—	—	○
10. 測定と試験機器管理	—	○	○
11. ハンドリング、保管、輸送	—	—	○
12. 鑑査、テスト、運転状態	—	—	○
13. 不適合品管理	—	—	○
14. 改善活動	○	○	○
15. 品質保証レコード	○	○	○
16. 監査報告書とサーベイランス	○	○	○
17. コンピュータソフトQA	—	○	○
18. 研究開発	○	○	—
19. 品質保証プログラムの実行	○	○	○

（注記）

「—」：記載なし

「○」：品質保証プログラム有り、実行。

「×

「None」：存在しない。

表 2 . 2 . 4 - 2 C A O - 9 4 - 1 0 1 2 の 概 要

No	目 次		概 要	申請書との関連性
1	MANAGEMENT REQUIRMENTS		品質保証計画、実行、維持に関する要求事項を示している。	○
2	PERFORMANCE REQUIRMENTS	WORK PROCESSES	実行された仕事(WORK)で許容されるものを定義している。	○
		DESIGN CONTROL	設計検証などの設計管理について記述している。	○
		PROCUREMENT	調達製品の管理について記述している。	○
		INSPECTION AND TESTING	監査／検証を行うことを要求している。	○
3	ASSESSMENT REQUIRMENTS		品質管理に対する管理評価を行うことを要求している。	○
4	SAMPLE CONTROL REQUIREMENTS		サンプル管理に関する要求事項を示している。	○
5	SCIENTIFIC INVESTIGATION REQUIRMENTS	PLANNING SCIENTIFIC INVESTIGATION	研究開発の計画を立案することと、計画内容についての要求を示している。	○
		PERFORMING SCIENTIFIC INVESTIGATIONS	研究開発を行う際の品質管理上の要求事項について記述している。	○
		DATA DOCUMENTATION, CONTROL, AND VALIDATION	データに関連する文書、データ管理、データの確証方法について要求事項を示している。	○
		QUALIFICATION OF EXSITING DATA	既存データの品質保証方法について要求事項を示している。	○
6	SOFTWARE REQUIREMENTS	GENERAL	ソフトウェアの品質保証上の要求事項を定めることを宣言。	○
		APPLICABILITY	本要求の適用範囲を示している。	○
		SOFTWARE PROCUREMENT	購入したソフトウェアに対する要求事項を示している。	○
		SOFTWARE DEVELOPED UNDER OTHER QA PROGRAMS	本要求に適合しないで開発されたソフトウェアの品質保証方法について記述している。	○
		SOFTWARE DEVELOPMENT AND LIFE CYCLE	ソフトウェアのライフサイクルを定義している。	○
		SOFTWARE VERIFICATION AND VALIDATION	判断基準を設定すること等の検証／確証に対する要求事項を示している。	○
		SOFTWARE CONFIGURATION MANAGEMENT	ソフトウェアの変更点や変更理由等を管理する形態管理としての要求事項を示している。	○
		DOCUMENTATION	ソフトウェア文書の内容に関する要求事項を示している。	○
		PROBLEM REPORTING AND CORRECTIVE ACTION	品質保証上の問題点を文書化することと、原因分析し是正活動を行うことを要求している。	○
		ACCESS CONTROL	ユーザーのソフトウェアへのアクセスを管理することを要求している。	○

表2.2.4-3 Computer Software and Codes

PA SES ^{a, c}	PA NON_SES	NON_PA SES ^a
BRAGFLO	ALGEBRACDB	COLUMN
CCDFGF	BLOTADB ^b	EPAUNI
CUTTINGS_S	CAMCON_LIB ^b	EQ3/6
BRAGFLO_DBR	CAMDAT_LIB ^b	FMT
GEN II_A ^b	CAMSUPES_LIB ^b	GRASP-INV
NUTS	CCD2STEP	GTFM-PC
PANEL	CCDFSUM	NONLIN
SECOFL2D	GENMESH	ORIGEN2
SECOTP2D	BROPECDB ^b	SANTOS
	ICSET	SPECTROM-32
	LHS	SPECTROM-41
	LHS2STEP	SWIFT II
	MATSET	THEMM
	NUCPLT ^b	TOUGH28W
	PCCSRC ^b	
	PLT_LIB ^b	
	POSTBRAG	
	POSTGEN II ^b	
	POSTLHS	
	POSTSECOFL2D	
	POSTSECOTP2D	
	PREBRAG	
	PREGEN II ^b	
	PRELHS	
	PRESECOFL2D	
	PRESECOTP2D	
	RELATE	
	SDBREAD_LIB ^b	
	SPLAT ^b	
	STEPWISE ^b	
	SUMMARIZE	

^a PA SES codes model physical processes that describe the behavior of the repository system. NON-PA SES codes provide parameters for use in the performance assessment calculation. Most NON-PA SES codes provide their parameters to the performance assessment parameters database ; however, GRASP-INV and SANTOS provide their outputs directly to the performance assessment codes, as described in Appendix CODELINK.

^b PLT_LIB, CAMCON_LIB, CAMDAT_LIB, CAMSUPES_LIB, and SDBREAD_LIB are subroutine libraries used by the performance assessment codes. GROPECDB, PCCSRC, STEPWISE, PREGEN II, GEN II_A, POSTGEN II, BLOTADB, NUCPLT, and SPLAT are codes that are used to postprocess compliance certification application calculation results, such as for sensitivity analysis, plotting, and human dose calculation.

^c Appendix CODELINK describes all the codes except those in footnote b and NON_PA SES codes described in footnote a.

表2.2.4-4 WIPPの品質保証項目

	確認事項	文書内容の要求	品質保証項目
モデル	① F E P sの選定手順の確認	①品質保証記録	① F E P
開発	①設計と確認ができるよう十分詳細に文書化されていること	① (要求仕様) 機能(関数)、動作時間、制限、属性、外部インターフェイス (設計仕様) 主構成要素、理論、数学モデル、制御フロー、制御ロジック、データ構造、入出力範囲、コード変換方法 (ユーザー) セットアップ等のユーザー情報	①開発条件、ハードウェア構成、付随ソフトウェア制約条件、制御ルーチン、入出力データ、コーディング制約、エラーメッセージ、適用範囲、ユーザーマニュアル
改良	①出力結果に影響する想定外のエラーが発生しないこと ②右記の②が文書化されていること	②変更理由、変更点、F Dなど影響する物	①制御ルーチン ②変更理由、変更点、コード
検証	①要求事項が満足されていること	①検証/確認計画、検証確認の内容、レビュー・テスト結果、検証を達成したことの基準、ハードウェア、ソフトウェアの形態、確認範囲	①検証問題、適用範囲、検証されたことの基準、関連ハード/ソフト、レビュー結果
確認	①実験データとの比較、レビューを行うこと等により適用範囲を確認		①確認問題、適用範囲、確認されたことの基準、関連ハード/ソフト、レビュー結果
形態管理	①関連文書に追跡性があること。 ②変更範囲に対する検証/確認を行っていること。	②変更点	①バージョン ②変更点、変更理由
運用	①出力の定期的な確認を行っていること ②コンピュータ環境を変更した場合、確認を行うこと ③使用データ間に矛盾がないこと ④エラーの既解析への影響評価	①②④エラーを発生したソフトウェア、エラーのクラス、是正内容	①ソフトウェア確認問題 ②コンピュータ環境確認問題 ③データの一貫性 ④エラー
新規データ	①文書に右記の内容が記述されていること(再現できること) ②レビューなどによるデータの妥当性	①計画、目的、実施内容、試験手法、サンプル、測定機器、手法の変更点、試験パラメータ、誤差、実施者、結果、日付 ②確認方法、許容基準、レビュー結果	①試験目的、条件手法、誤差、測定値、 ②確認方法、判断基準、レビュー結果
既存データ	①追跡性 ②次の何れかで品質保証されていること。 ②-1品質保証計画が適切 ②-2確認データである ②-3試験により確認 ②-4技術的レビュー	②決定手順、品質保証方法の選定根拠、品質保証された根拠	①出典 ②確認方法

2.3 品質保証項目の整理

本項では、本研究で摘出した品質保証項目と原子力分野、航空宇宙分野、海外の地層処分施設における品質保証項目を比較し、その網羅性を確認するとともに、本研究における品質管理手続きを構築するための整理を行なう。

2.3.1 摘出した品質保証項目の網羅性

表2.3.1-1は、本研究で摘出した品質保証項目と原子力分野(JEAG)と航空宇宙分野(NASA)、地層処分施設(ユッカマウンテン、WIPP)の品質保証項目を比較することによる網羅性の確認を検討した結果である。

各分野によって、品質保証項目の表現の違いはあるものの、基本的には本研究で摘出した品質保証項目に全て包括されるものであり、本研究で摘出した品質保証項目は、一般的な品質保証プログラム及び海外の地層処分施設の品質保証プログラムで確認の対象となっている項目を包括していると考ええる。特に、本研究では運用段階の品質保証項目を導入している点が特徴的である。

一方、米国では専門家レビュー(Peer Review)を実施することを品質保証プログラムで定めており、レビュー範囲と判断基準を設定することやレビュー者の品質、レビュー者間で意見の相違があった場合にはレビュー報告書にその旨を記載することを規定している。実際、EPAに提出されたWIPPの申請書では、多数のレビュー結果が記載されている。日本では、Peer Reviewに関する米国のような規定は無いものの、研究成果を論文として公開する際の専門家による査読が、これに相当すると考えられる。

さらに、WIPPでは性能評価解析に用いる前処理プログラムも品質保証の対象としており、動燃殿においても性能評価解析の前処理と後処理プログラムを対象とすべきと考える。

2.3.2 品質保証手続き構築のための整理

これまでの検討においては、解析コードと解析に用いるデータを対象として、個々に検討を行なった。しかしながら、性能評価解析全体の品質を保証するためには、摘出した品質保証項目を、どのように組み合わせ、体系的に品質保証すべきか、品質保証手続きについての検討を行なう必要がある。

表2.3.2-1は、本研究で摘出した品質保証項目をもとに性能評価体系における品質保証手続きを整理した結果であり、次の各管理項目に対する品質保証項目(作成資料)の役割(確認の視点)を示している。

- (1) 品質保証プログラムの管理
- (2) ソフトウェア管理
- (3) データセット全体の管理

(4) 影響解析・性能評価

なお、体系的な品質保証手続きを考えた場合には、品質保証方法の妥当性を確認する必要があり、品質保証プログラムの開発自体が管理対象となる。よって、表2.3.2-1では、これまで検討対象としてきたソフトウェアとデータの品質管理に、品質保証プログラムの妥当性を確認するための管理を加えている。

次項の品質保証手続き(フレームワーク)の検討においては、これらの作成資料が担う役割(確認の視点)を考慮し、作成項目、検査項目を踏まえ検討を実施する。

(表2.3.2-1では、不適合管理をデータ・モデル取得改善要求票とし、データの品質保証項目として摘出した実験計画書については、データ入手計画書と試験実施計画に詳細化しており、動燃殿の実態に則した表現に見直している。)

表2.3.1-1 品質保証項目の網羅性の確認

摘出した品質保証項目			原子力分野	N A S A	ユッカマウンテン	WIPP	網羅性
コード	開発／改良	要求仕様書 開発計画書 ソフトウェア設計書 インストール報告書 取扱い説明書	要求仕様書 開発計画書 ソフトウェア設計書 インストール報告書 取扱い説明書	要求仕様書 開発計画書 ソフトウェア設計書 インストール報告書 取扱い説明書	モデル選定根拠 数学モデル 機能要求情報 設計情報 ユーザー情報	FEP's 要求仕様 設計仕様 ユーザー情報 制御ルーチン 改良点、理由	○
	検証／確証	検証／確証計画書 検証／確証報告書	検証計画書 検証報告書	検証計画書 検証報告書	検証確証問題 検証確証方法 終了、許容基準	検証確証問題 検証確証方法 終了、許容基準 適用範囲 関連ソフト/ハート レビュー結果	○
	運用	入力データ 解析計画書 解析結果 管理台帳	解析目的 解析方法 仮定と条件 参考資料 プログラム 入出力データ 単位系	none	入出力データ コード選定理由 適用範囲 関連図書 変更点/理由 ハ・シ・ョン	ソフトウェア確認問題 コンピュータ環境 データの一貫性 エラー ハ・シ・ョン 変更点と理由	○
データ	取得加工	実験計画書 試験方法 試験報告書 算出根拠書	none	none	試験内容/試験方法 品質保証判断基準 データの出典	試験内容/試験方法 確認方法 品質保証判断基準 レビュー結果	○
	登録選択	データ補助情報 データベース スクリーニング基準	none	none	none	unknown	○

none : 品質保証プログラムで要求されていない。

unknown : 非公開として存在する可能性がある。

表 2.3.2-1 性能評価研究における品質保証手続き（作成資料の役割）

品質管理項目	品質保証プログラム		作成資料：品質保証項目	記載要領チェック（確認の観点）
1. 品質保証プログラムの管理	1.1 使命の展開		性能評価品質保証要求	———
	1.2 品質保証項目の開発		品質保証プログラム	品質保証項目の網羅性
	1.3 品質保証手続き開発		品質保証手続き（マニュアル）	適合性、手続き方法の使用性、効率性
2. シリオ管理				
3. ソフトウェア管理	3.1 ソフトウェア選定	3.1.1 ソフトウェア選定	ソフトウェア要求仕様票	ソフトウェアの合目的性
		3.1.2 ソフトウェア改良・開発計画	計画書 or 機能仕様書	改良・開発計画書の合目的性、要求仕様の網羅性
	3.2 ソフトウェア設計・ソフトウェア作成	3.2.1 ソフトウェア設計	ソフトウェア設計書	設計書の正確性、改良・開発計画書の網羅性
		3.2.2 コーディング、インストール	インストール報告書	ソフトウェアの移植性、再現性
		3.2.3 ソフトウェア文書	利用マニュアル、プログラムマニュアル	マニュアルの正確性・一貫性・使用性
	3.3 検証・確認	3.3.1 検証・確認計画	計画書、検査要領書	検査の合目的性、テストケースの網羅性・正確性
		3.3.2 検証・確認実施	完了書	ソフトウェアの完全性、入出力データ：正確性、計画書の網羅性、再現性
		3.3.3 報告	速報、技術資料	V&V：合目的性、コード、モデル：信頼性、科学的防御性、一貫性
	3.4 構成管理		データ・モデル取得改善要求票	変更要求の合目的性、ソフトウェアの追跡性
4. データセット全体の管理	4.1 データ入手方法		データ入手計画書	データ入手の合目的性、データ入手要求事項の網羅性
	4.2 新規データ取得	4.2.1 試験計画	試験実施計画書	試験の合目的性、試験手法の一貫性、再現性
		4.2.2 試験実施・データの加工	試験完了書	加工データの正確性、加工方法の一貫性、追跡性
		4.2.3 報告	速報、技術資料	試験の合目的性、試験の信頼性、科学的防御性、一貫性
	4.3 既存データ収集		収集完了書	収集の合目的性、入手計画書・既存データの網羅性
	4.4 試験データグループデータベースの管理	4.4.1 データの登録	登録完了書	登録作業の完全性、取得・収集データ：追跡性、補助情報：正確性
		4.4.2 データのスクリーニング	速報、技術資料	登録作業の完全性、スクリーニングデータ：科学的防御性、選定記述の一貫性
		4.4.3 データベースの変換	速報、技術資料	入出力データの正確性、補助情報：正確性、追跡性、一貫性
5. 影響解析・性能解析	5.1 パラメータセットの管理		パラメータ登録完了書	登録作業の完全性、解析データの追跡性
	5.2 解析計画		解析計画書	解析の合目的性、設定条件の正確性・網羅性
	5.3 解析		解析完了書	出力データの正確性、解析の再現性、結果の妥当性
	5.4 報告		速報、性能評価報告書	解析の合目的性、解析の信頼性、科学的防御性、一貫性

3. 地層処分システムの性能評価のための品質保証手順の検討

3.1 品質保証手続きのフレームワークの作成

本項では、2.項で摘出／整理した品質保証項目をもとに、品質保証手続きを構築する。

3.1.1 フレームワークの設定方針

品質保証の活動とは、品質保証項目をもとにソフトウェアやデータに対して、品質特性（合目的性、正確性、信頼性、追跡性、保守性、移植性、科学的防御性）を担保するための作業である。また、品質特性を担保するためには、品質保証マニュアルまたは要領署で定めた文書管理などの管理要領に従い、確認を実施する必要がある。この考え方にに基づき、品質保証活動の構成要素を検討すると次の4項目となる。

- ・制約条件＝管理要領などの品質保証活動を支配するもの
- ・品質保証活動の入力＝ソフトウェア等の品質を確認する対象物
- ・資源＝品質保証済みのデータ等の品質を確認するための
検討材料
- ・品質保証活動の出力＝品質保証されたソフトウェア等

図3.1.1-1の左図は、これらの構成要素の相互関係をブロック図で示したものであり、図3.1.1-1の右図は、理解を容易にするため、建屋の建設を行なう場合を例にとったものである。建屋を建設する場合、図面と工程に基づき建設が行われるため、図面と工程が制約条件となる。また、入力条件となる建設材料や土地は、職人や工具といった資源の支援により、建屋という出力に変換される。

フレームワークは管理手順の相互関係を示すものであり、本検討においては、このブロック図を用いて、入出力と制約条件、及び、資源を明確にすることとする。

3.1.2 フレームワーク

図3.1.1-2は、上記の設定方針にて作成した性能評価全体のフレームワークであり、各管理ブロックは、階層構造(品質保証の分野ではWBS:Work Breakdown Structureと呼ぶ場合もある。)になっている。

下部階層の詳細については付録-3に示すが、各管理の制約条件となる品質保証プログラムは、安全確保の要求を受け、JEAGの設計管理指針等の制約から開発されている。さらに、ソフトウェアとデータは品質保証プログラムで定められた手順に基づき、品質特性を担保するための資料作成と検査が全てのブロックで規定され、最終的に品質保証されたソフトウェアとデータを用いた解析を実施し、解析時の検査が完了した後に、品質保証された性能評価レポートが作成される。

本フレームワークは、性能評価レポートを支援する技術資料の品質を保証できるように動燃殿の実態に配慮し、作成している。

したがって、本フレームワークは、動燃殿において運用が可能であると判断できる。

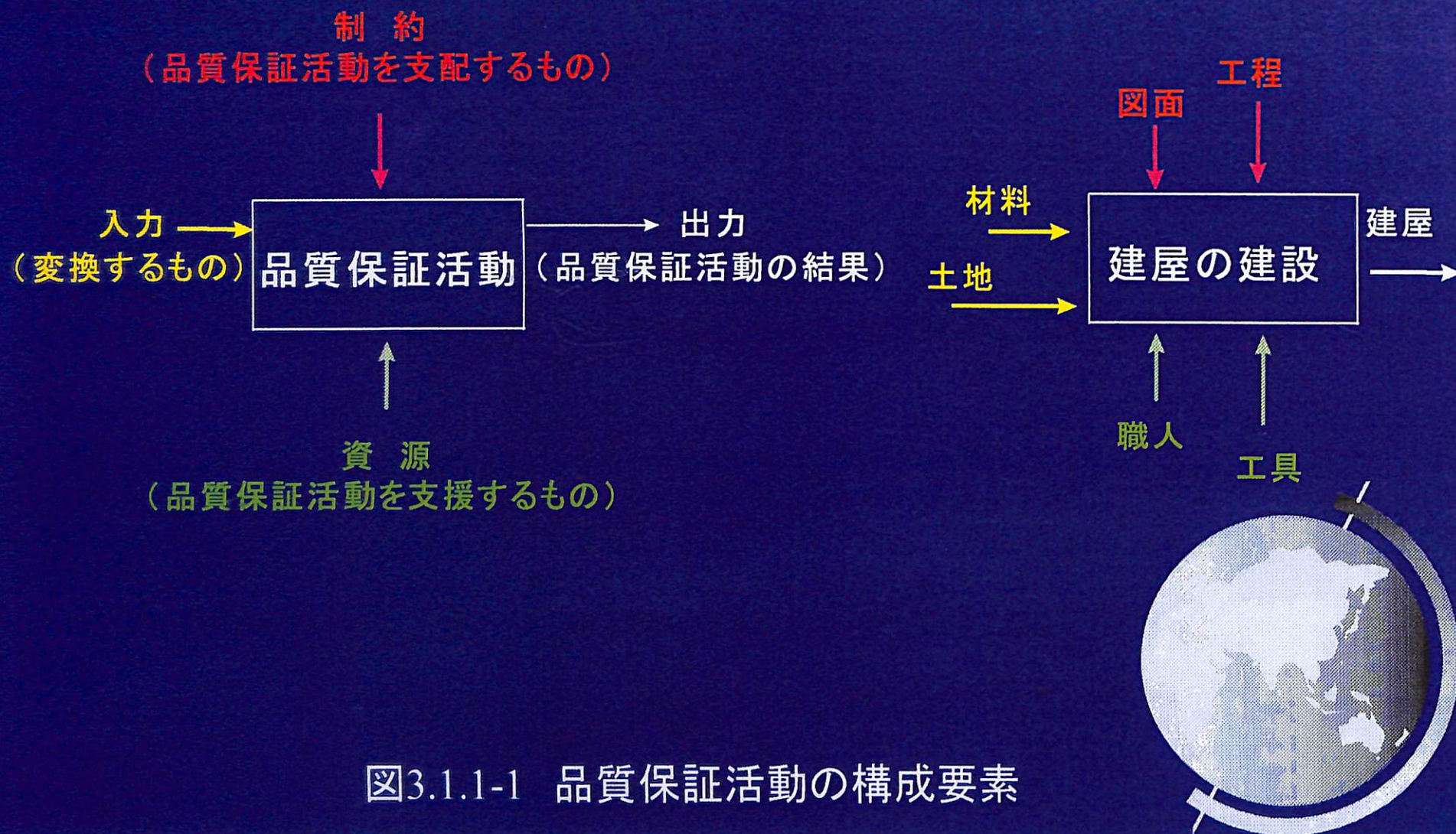
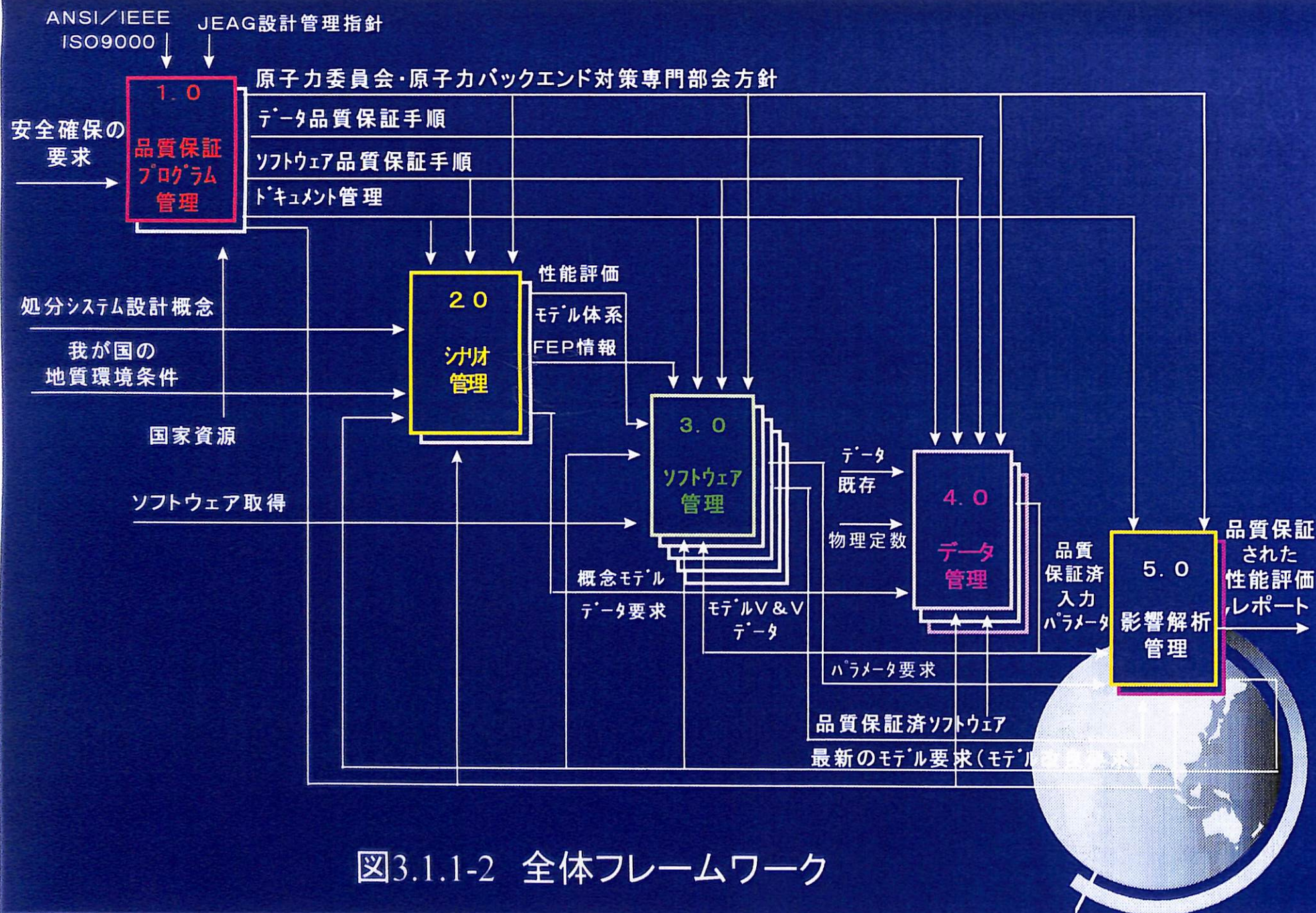


図3.1.1-1 品質保証活動の構成要素



3. 1. 3 計算機イメージの作成

(1)目的

本節では、2章で検討したデータとコードの品質保証項目及びフレームワークを元に、品質管理を計算機へ展開した場合のイメージを作成する。

(2)検討結果

品質保証手続きを計算機に展開する場合、以下の要因を含む作業を対象に行うことが有効である。

- a)作業中ヒューマンエラーが介在しやすい。
- b)大量かつ複雑なリソース（データ、文書等）を対象として作業を行う。
- c)繰返しまたは試行錯誤的な作業を必要とする。

これより、主に以下の品質保証手続きの支援を目的として計算機イメージを作成した。

- a)3.4 ソフトウェアの構成管理（付図3-3）
- b)4.4 実験Gr・性能評価Grデータベース管理（付図3-6）
- c)4.5 性能評価Grデータベース管理（付図3-6）
- d)5.1 入力データのチェック（付図3-8）
- e)5.2 解析結果のチェック（付図3-8）

計算機システムは、図3.1.3-1に示すように性能評価で用いるデータ（パラメータ、入出力データ）の品質管理を中心に、さらにソフトウェアの構成管理やフレームワークの表示を行う。本システムの構成は以下の通りである。

①変換データベース

変換データベースは、地球化学研究室等で取得されているデータ加工後の1次取得データを管理する。値（分配係数等）および表2.1.2-1に示すような品質保証項目案の一部が補助的な情報として格納される。

②パラメータデータベース

パラメータデータベースは、変換データベースから性能評価用にスクリーニングされたデータセットならびに文献や他機関データベースから取得されたORIGEN2用のライブラリ等を管理する。

③入力データ作成インタフェース／知識ベース

入力データ作成インタフェースは、専門家によるコード使用上のノウハウや検証・確認結果により導きだされた知識ベースを元に、整合性のある入力データの作成を支援する。

④構成管理データベース

構成管理データベースは、解析コード及び表2.3.2-2に示したソフトウェア管理上、必要となる仕様書等の作成資料を管理する。

⑤入力データセットデータベース／出力データセットデータベース

本データベースは、解析コードの入出力データを管理する。

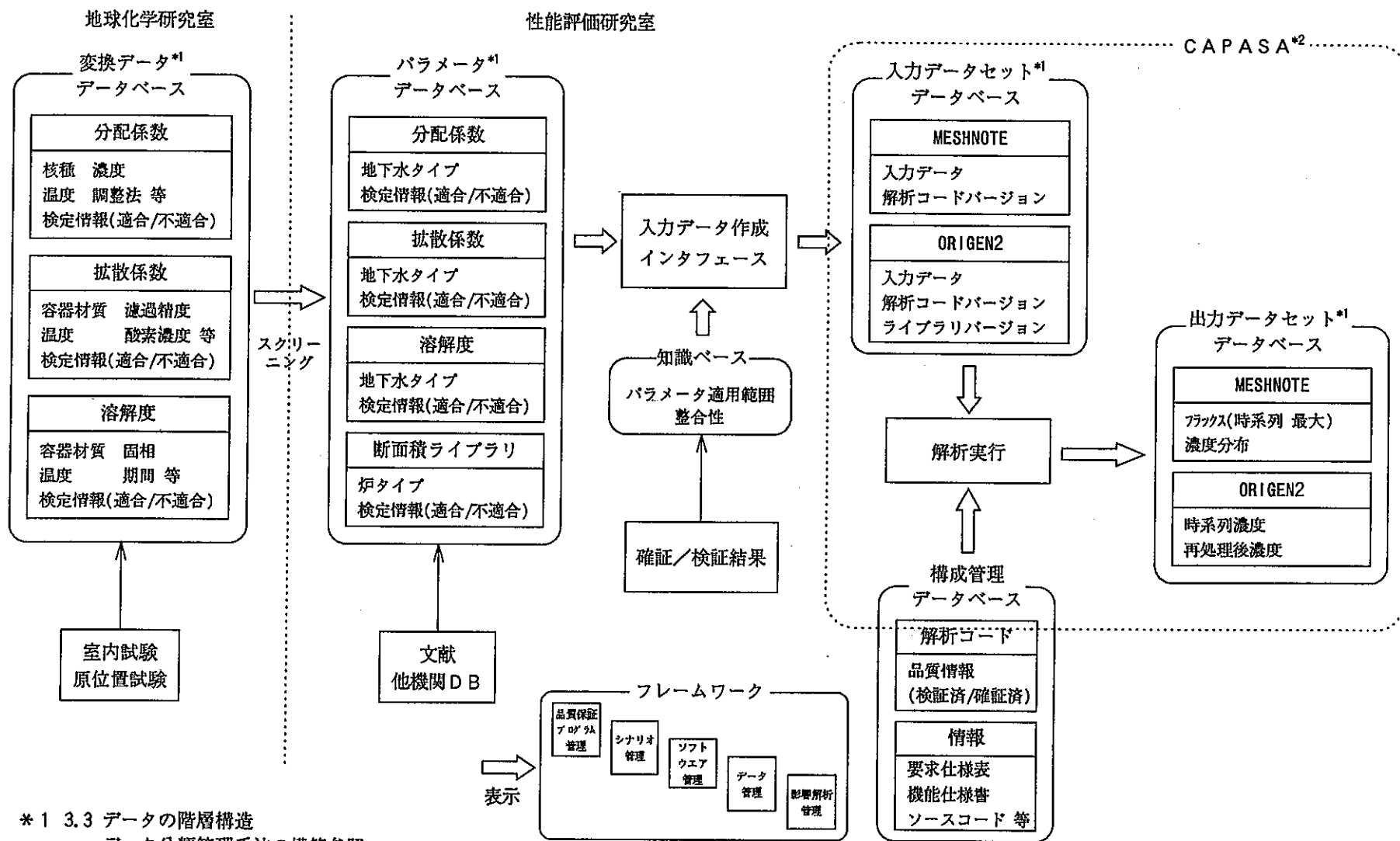
⑥フレームワーク

品質保証手続きの参考情報としてフレームワークを階層的に表示する。

なお、入出力データセット及び構成管理の一部は、「性能評価手法の統合的運用に関する研究」にて開発した解析内容管理システム「CAPASA」にて管理済みである。

(3)結論

品質保証手続きの中でデータ管理や影響解析管理等の作業は、計算機システム化することによりヒューマンエラーの防止や効率性、信頼性等を向上することが可能である。



* 1 3.3 データの階層構造
データ分類管理手法の構築参照

* 2 解析内容管理システム

図3.1.3-1 計算機イメージ

3.2 解析コードの検証手法の構築

解析コードの品質を確保するためには、表 2.3.2-1 に示した品質特性を念頭に置いた段階的な資料の作成・検査が不可欠である。本章では、「3.1 品質保証手続きのフレームワークの作成」に基づき、本活動への入力情報、制約情報ならびに導入される資源を具体化し、より一般的に適用でき、かつ使用性を考慮した検証マニュアルを作成した。また、ここで作成した一般的な検証マニュアルを、以下に示す性能評価解析コードを例に展開し、それぞれのコードに固有の検証マニュアルを作成した。

- | | |
|----------------|------------|
| ① 地球化学コード | : PHREEQE |
| ② 多孔質媒体物質移行コード | : MESHNOTE |
| ③ 亀裂性媒体物質移行コード | : MATRICS |

また、解析コードの検証結果が受入れ可能か否かを判断する判定基準の設定方法について、原子力分野あるいは他の工学分野の現状を踏まえ検討した。

3.2.1 検証マニュアルの作成

(1) 目的

解析コードの検証を行う主な目的は、当該コードの設計仕様がソースコードとして正しく実現されている事を確認し（解析コードの正確性）、その適用範囲（誤差の挙動）を明確にすることである。ここでは、「3.1 品質保証手続きのフレームワークの作成」で示したソフトウェアの検証手順（付図 3-5）が性能評価解析コード、あるいはその他のコードに適用できる一般的な検証マニュアルとなり得ることを示すとともに、例として PHREEQE、MESHNOTE および MATRICS の 3 コードに対して具体的に展開することを目的とする。

(2) 検討結果

解析コードの検証活動は、検証計画書の作成・チェック、解析結果のチェックおよび検証報告書の作成・チェックの 3 つの活動から構成されるものであり、コードの開発・改良に携わっていない第 3 者により実施されるべきものである（付図 3-5）。ここで記載する一般的な検証マニュアルは、主として検証計画書を作成する際の制約情報となるものであり、一種のガイドライン（ソフトウェアの品質保証手順）となるものである。

以下に、各活動の入力情報、制約情報および導入される資源を具体的に明示することを念頭に、それぞれの活動内容の詳細を記載する。

① 検証計画書の作成・チェック

検証計画書を作成する際の入力情報としては、使用説明書、プログラム説明書等の関連文書を含めたソフトウェア製品があり、本活動で必要となる資源としては、品質保証済みソフトウ

ウェア、データ（比較用の製品）ならびに計算機環境あるいは訓練された人員が投入される。制約条件としては、上記の一般的な検証手順の他、原子力委員会バックエンド対策専門部会方針案、FEP 情報、エラー発生事例および文書管理手順などが規定される。

FEP 情報は、検証すべき機能を限定する目的で利用される。一般にソフトウェアの検証においては、当該ソフトウェアの論理構造（制御構造、データ構造）を念頭に、あらゆるパスについての網羅性を確認しつつ（ホワイトボックステスト）、かつソフトウェアの外部仕様に基づいた包括的な機能の検証（ブラックボックステスト）が行われる。しかしながら、ここで対象としているソフトウェアの大部分が、一般ユーザ向けの汎用性を重視して開発されたものではなく、地層処分関連業務に従事する限られたユーザの利用を前提に開発されたものであること。また、原子力委員会バックエンド対策専門部会方針案に示されているように、動燃殿が取りまとめる第2次レポートに向けて、時間的、経済的資源が限られていること等を配慮すると、まずは第2次取りまとめで利用する機能の検証を最優先に実施するとともに、検証を実施していない機能あるいは適用範囲が不明確なものについては、コードの補助情報として一括管理することが重要である。従って、ここで与えられる FEP 情報及び原子力委員会バックエンド対策専門部会方針案で示されている要求事項を制約条件と考え、第2次取りまとめで利用する機能の特定を行う。なお、既に運用段階にあるコードで、これまでの使用実績からエラー発生事例等が整理されているものについては、これを参考に検証計画を設定する。

以上の諸条件の下で、具体的に検証活動を実施するための検証計画書を作成する。本計画書には、以下に示す4つの活動項目について、その具体的内容が明記されていなければならない。

(a) ソースコードのレビュー

これまでに運用実績のない新規開発コードについては、ソースコードのレビューを行い外部仕様（使用説明書、プログラムマニュアル）との相違、矛盾が無いか確認する。この机上デバック作業でどれだけ多くのエラーを発見することが出来るかが、その後の検証作業に係わる労力を大きく左右する。

(b) 検証問題の設定

検証問題の設定は、検証を行うべき機能あるいは利用可能な検証ツール（すなわち、ベンチマーク解析を行うための他コード、国際検証プロジェクト等で実施された既存の解析結果、解析解など）に大きく依存するものである。前記の通り、検証を行うべき機能の選定は FEP 情報などに基づき優先度の高いものに限定する。

(c) 判定基準の設定

多くの工学分野では、解析コードの検証としてベンチマーク解析や解析解との比較が行われており、双方の一致を定性的かつ主観的に確認することでコードの正確性を立証する論拠としている。しかしながら、特定の解析結果の定性的な確認のみをもって、あらゆる解析結果についての正確性が担保されているとは言い難い。むしろ、物理的根拠に基づいた定量的な基準（判定基準）を設け、当該コードの解析結果との差異を定量的に解釈・説明できることが重要であり、さらには、その判定基準との相違とコードの適

用範囲との関係を明確にすることが重要である。ここで重要なことは、判定基準を検証結果の合否を判断する絶対的な基準とすることではなく、判定基準を満足しない場合にその食違いの原因を考察し、その後の運用における対策をコードの補助情報として持たせてやることである。検証の判定基準の設定に関する詳細については、3.2.2 節にて後述する。

(d) 適用範囲の明確化

適用範囲の明確化は、当該コードの誤差の挙動を把握し、ユーザの誤った運用を防止する目的で行われる。例えば、物質移行計算コードへの入力となる単一の移行パラメータ、あるいはその組合せに対する感度解析を行い、誤差の挙動を定量的に把握するとともに、当該コードの補助情報として管理することが重要となる。

② 検証作業の実施

前項①で作成した検証計画書を入力情報とし、実際の検証活動を実施する。新規開発コードを対象にソースコードのレビューを実施した場合は、表 2.3.2-1 に示した品質特性を確保する観点から検査を実施する。検証解析の結果は、ソースコード、入出力データとともに所定の場所に保管し、検証完了書に記載する。なお、解析内容管理システム（CAPASA）を利用した場合は、PLAN 名称ならびにシステム上の保管場所を記載する。また、解析における人為的な誤り防止を目的とし、ここで実施した全ての解析ケースについて、入出力ファイルのチェックを義務づける。

③ 検証報告書の作成・チェック

前項②で作成した検証完了書を入力情報とし、検証結果の整理・考察を行い、検証報告書を作成する。報告書の内容は、原則として(1)目的、(2)検証方法(検証ツール)、(3)検証問題、(4)解析結果、(5)考察、(6)結論を記載し、入出力ファイルリストの添付を義務づける。検証計画書に明記された判定基準を満足しない場合は、その原因を定量的に考察し、その後の処置と対策を明確にする。当該ソフトウェアの不具合がある場合は、所定のフォーマットに従い改訂要求を発信しなければならない。本報告書は、表 2.3.2-1 に示した品質特性の観点ならびに文書管理手順に基づき所定の審査を受けることを義務づける。

以上の手順に基づき、前記 3 つの性能評価解析コードを例に具体的な検証マニュアルを作成した。それぞれのコードの検証問題の詳細は、付録 6～8 に記載した。

(3) 結論

「3.1 品質保証手続きのフレームワークの作成」に基づき、解析コードの一般的な検証マニュアルを作成した。本活動で作成すべき資料は、①検証計画書、②検証完了書および③検証報告書とし、表 2.3.2-1 に示した品質特性を確保する観点からの検査が必要である。

3.2.2 判定基準の設定方針の検討

(1) 目的

解析コードの検証結果が、受入れ可能か否かを判断する判定基準に関しては、例えば解析解や他コードの解析結果と定性的な傾向が一致していれば良いとすることが多く、比較的あいまいなものとなっている。しかしながら、コードの正確さを客観的に示すには、物理的な根拠に基づいた定量的な判定基準の下で、これを満足することを示すのが最も適当である。本節では、性能評価解析コードの検証に用いる定量的な判定基準を提示することを目的に、その設定根拠ならびに設定方法を検討した。

(2) 検討結果

当該コードの検証解析の結果は、解析解あるいは他の計算コードによるベンチマーク解析の結果と定量的に比較する必要がある。その際の判定基準は、解析者あるいは評価者の定性的かつ主観的な判断の下で暗黙に設定されることが多く、これを共通のルールとして標準化することは困難である。そこで本検討では、まず具体的に何が判定基準の設定を困難にしているのかについて考察をする。

今、仮に exact な正解値が何らかの手段を通じて得られたとすると、当該コードの解析結果は極力この正解値に一致することが望ましい。この正解値との差異は、最終的な意思決定を行う段階、例えば許容被爆線量に基づき安全審査を行う段階で、どれだけ影響を及ぼすかを勘案の上、受入れ可能か否かが決定される。この場合に限り、正解値との差異は、例えば解析結果に内在する数値誤差あるいはモデル化に際し設定した仮定等に起因する誤差と単純に解釈することが可能となる。しかしながら、実際のところは、様々な不確定因子や誤差が参照値（解析解、ベンチマーク解析結果などの比較の対象となる値）自体に内在しており、exact な正解値を得ることは事実上不可能である。その結果、不確定性、誤差を含む参照値と、誤差を含む解析結果の相対的比較を行っていることになる。両者の差異のどこまでが参照値の不確定性、誤差に依るところで、どこまでが解析結果の誤差に依るところであるかは対象としている解析コード、検証問題に依存し、これを明確に分離することは極めて困難である。これが定量的な判定基準の設定を困難している点である。

図 3.2.2-1 に解析解、ベンチマーク解析結果およびフィールドデータに於ける不確定性の概念を示す。解析解に内在する不確定性（無限級数の有限近似による打ち切り誤差、数値処理による誤差など）は、ベンチマーク解析結果あるいはフィールドデータに内在する不確定性に比べて非常に小さいと考えることができる。したがって、解析解を参照値として用いた場合は、判定基準を比較的厳しく設定することが現実的である。表 3.2.2-1 に、これらの不確定性を考慮した判定基準の一例を示す。この判定基準をさらに定量的な根拠をもつものとする為には、それぞれの参照値に内在する不確定性を厳密に分析する必要が生じる。すなわち、不確定性の支配因子を全て洗い出し、参照値の取り得る範囲を確率変数として規定することである。この支配因子

子としては、国際検証プロジェクト等で実施された多数のベンチマーク解析の結果を例にとると、例えば以下のものを考えることができる。

$$\begin{aligned} \text{ベンチマーク解析結果の不確定性} = & \text{ (① モデル化方法に依存する不確定性)} \\ & + \text{ (② 数学的なパラメータに依存する不確定性)} \\ & + \text{ (③ 物理的なパラメータに依存する不確定性)} \\ & + \text{ (④ 化学的なパラメータに依存する不確定性)} \\ & + \text{ (⑤ 計算機環境に依存する不確定性)} \\ & + \text{ (⑥ ヒューマンエラーに依存する不確定性)} \end{aligned}$$

①のモデル化方法に依存する不確定性は、異なる機関の解析結果の内、離散化方法やモデル化領域あるいは境界条件等が異なることに起因するものである。例えば、有限要素法と有限差分法のように異なる離散化方法を用いた場合の差異に相当するものである。また、②の数学的なパラメータに依存する不確定性とは、時間メッシュ分割幅や空間メッシュ分割幅等が異なることに起因するものである。物理的なパラメータに依存する不確定性は、分配係数、拡散係数、空隙率、亀裂幅、地下水流速、ダルシー流束、媒体密度などの諸条件設定の有効桁の相違によって生じるものである。④の化学的なパラメータに依存する不確定性は、放射性元素の溶解度、熱力学データならびに登録された水溶性化学種などの相違が考えられる。また、各機関で使用した計算機、OS等の環境の相違も不確定因子として挙げられる。⑥のヒューマンエラーに依存する不確定性は、入力データの作成ミスあるいは解析結果の整理ミス等に起因するものである。

実際のところは、ベンチマーク解析結果に内在する不確定因子を詳細に分析し、これを確率変数として規定することは、情報量が極めて少ないこと、あるいは標本数が少ないこと等を加味すると、極めて困難であることが予測される。しかしながら、上記のように不確定因子の関与を整理しておくこと自体は、参照値との差異を解釈する上で重要な情報となる。

動燃殿が内部で独自にベンチマーク解析を行う場合は、前記①～⑥の不確定性のうち①のみが対象となることから、厳格な判定基準が設定可能となる。また、動燃殿が委託研究または役務で検証解析を外部に発注する場合は、前記①～⑥の不確定性のうち①、⑤、⑥が対象となる。ただし、⑥については動燃殿のレビュー（入出力データのチェック）を実施することによって①、⑤にすることができ厳格な判定基準が設定可能となる。

検証の判定基準に関し、他の工学分野でいかなる対策を講じているかを把握するため、表 3.2.2-2 に示す要項で公開文献データベース JICST による情報収集を試みた。検索の結果、本研究との関連性に着目し 4 件の文献調査を実施したが、定量的な判定基準の設定事例あるいは判定基準の設定方法に関する記載は見あたらなかった（表 3.2.2-3 参照）。ただし、同表の「その他」に示すように検証の判定基準の考え方については、海外の性能評価実施実績を有する機関の情報を得ることが出来たため、判定基準設定のための判断材料として参考にした。

以上のことから、本研究では、明確な根拠に基づいた定量的な判定基準を設定することは事実上困難であるという認識に立つ一方、判定基準を満足することは絶対的な制約ではなく、差

異が生じる場合は定量的な考察を加えるとともに、例えば1%以内に収まる適用範囲（パラメータ範囲）を明確にすることを義務づけることとする。これらの情報を解析コードとともに管理することで、コードの誤運用を防止することが可能となる。現段階では、暫定的に表 3.2.2-1 に示した判定基準を一律に採用することとする。

(3) 結論

性能評価解析コードの検証に用いる定量的な判定基準を提示することを目的に、その設定根拠ならびに設定方法を検討した。検討結果を以下に列挙する。

- ① 性能評価解析コードの定量的な判定基準は、解析解との比較の場合 5%、動燃殿が実施するベンチマーク解析結果との比較の場合 10%、ただし文献データならびに国際ベンチマークプロジェクトにおける解析結果との比較の場合は 20%を一律、暫定的に採用する。
- ② ①項の判定基準を満足しない場合は、その原因を定量的に考察するとともに、例えば 1%の差異に収まる適用範囲を明確にする等、解の相違と適用範囲の関係を明確にする。
- ③ ②項の内容は、補助情報として解析コードとともに管理する。

表 3.2.2-1 一般的な判定基準の一例

比較の基準（参照値）	不確定性の相対的程度	判定基準
解析解	小	5%以内の相違。
ベンチマーク解	中	20%以内の相違。
室内試験データ	中	20%以内の相違。対象とする問題に依存する。
フィールド試験データ	大	対象とする問題に強く依存する。

表 3.2.2-2 判定基準に関する文献調査要項

検索データベース	JICST
対象期間	1981 年～1986 年
キーワード	① ソフトウェア ② ソフトウェア ③ コード ④ プログラム検証 ⑤ 判定基準 ⑥ 評価基準
検索方法	(①.or.②.or.③) .and.④.and. (⑤.or ⑥)

表 3.2.2-3 解析コードの検証容認基準の設定に関する文献調査結果

	文 献 名	概 要	判定基準の 記載の有無	備 考
1	Validation and Verification of ORNL Monte Carlo Codes for Nuclear Safety Analyses.	ORNL におけるモンテカルロコード MORSE(放射線計算コード)および KENO(臨界計算コード)の V&V に関するものである。	無	
2	Good Manufacturing Practice for Modeling Air Pollution: Quality Criteria for Computer Models to Calculate Air Pollution.	大気汚染モデルの QA における品質基準 (Quality Criteria) の設定に関するものである。本基準は、より一般的に運用することを前提に性能特性 (performance feature) として定式化されている。	無	
3	Integrated Toolset for High Integrity System Verification and Validation Support.	V&V 支援統合システムの開発に関するものであり、アビオニクスソフトウェアへの適用例について記載されている。	無	
4	Evaluation Criteria for Functional Specifications.	導出したコードがその仕様を満足することを証明する技法を「関数論的正しさ」というが、本文献では、この技法を拡張するとともに、ある与えられたインプリメンテーションが存在する際のいわばスクリーニング手法に関するものである。これは設計者が主観的に割り当てた当該仕様の属性に対する重みに依存するものであるが、競合する 2 つのコードを定量的に評価するための客観的手法となるものである。ある 1 つのコードに注目した場合の検証に資する評価とは異なる。	無	
その他	The Scientific and Regulatory Basis for the Geological Disposal of Radioactive Waste (pp.382-383)	コードの検証は、継続的なプロセスであり、正確な解析結果を得るための半分の労力を必要とするに過ぎない。また、検証は絶対的なものではなく、信頼性を確立するため継続すべきものである。	有	Intera.Inf.Tech Ltd 公開情報
	M.Gross Private Letter(1997.5.2)	「検証の判定基準は事前に設定するものであるが、必ずしも最終的なハードルではない。検証は繰り返し実施されるテストサイクルの 1 つのプロセスである。仮に、判定基準を満足しない場合でも、その原因を調査することが重要である。これにより、バグの発見が可能になるとともに、コードのより良い利用方法、適用限界を習得する一助となる。」	有	SAIC 共同研究情報

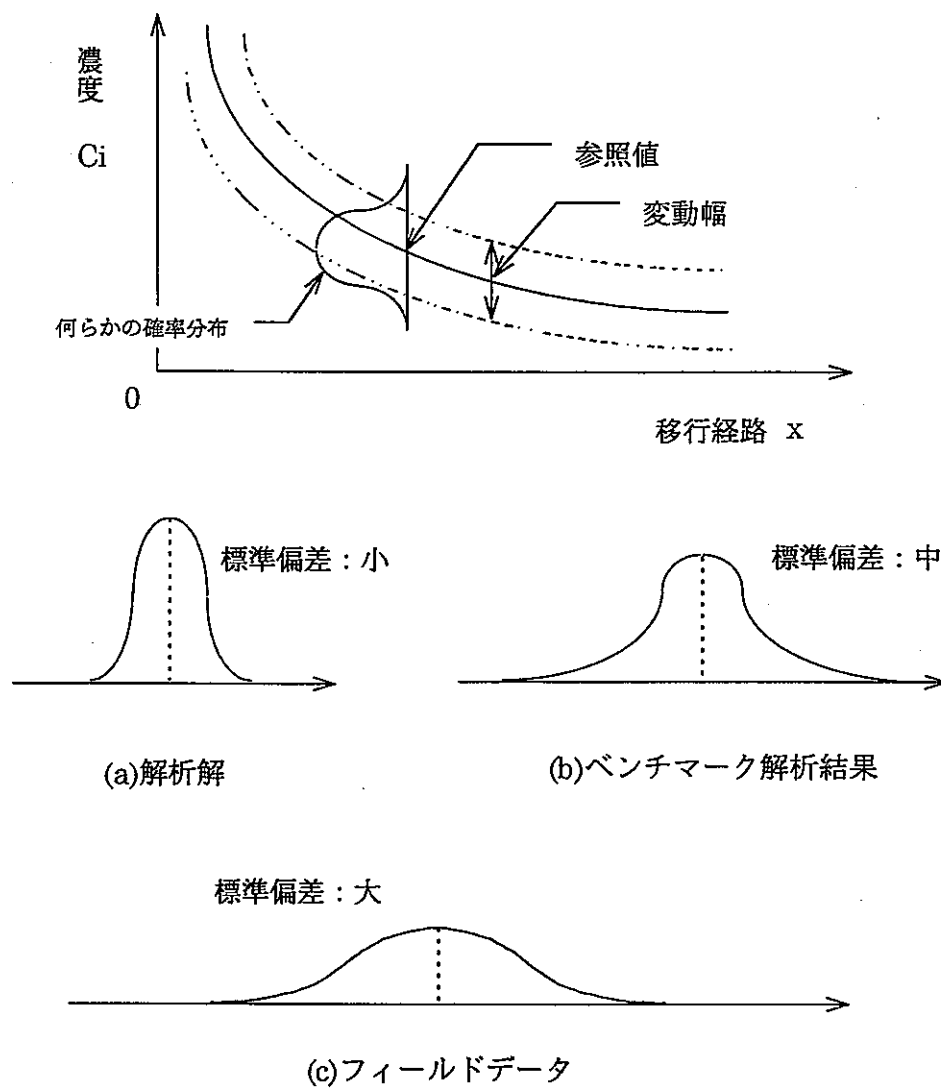


図 3.2.2-1 参照値の不確定性の概念

3. 3 データ分類管理手法の構築

性能評価で対象となるデータは、地下水地球化学、緩衝材空隙水化学、ニアフィールド・ファーフィールドでの核種移行データから構成されており、各データの品質特性を確保するためには、段階的な資料の作成・検査並びに体系的なデータの管理が必要となる。

本章では、「2.1.3 データの品質保証項目」ならびに「3.1 品質保証手続きのフレームワークの作成」で規定されたデータに係わる品質保証活動ならびに実施内容を、解析によって生成されるデータ、室内実験または野外試験により取得されるデータへ適用するためのガイドラインを示すことを目的として、三菱重工における現状の知見、米国の事例を踏まえデータ分類管理手法の検討を行った。

データ分類管理手法の検討では、前記の各段階での検査に関する項目（分類管理基準の検討）、データの品質特性を維持・確保するための方法論の検討項目（データ階層構造）、本検討結果の運用性を確認するための検討項目（整合性の確認）に関して、主に分配係数、溶解度、熱力学データベースを対象として実施した。

3. 3. 1 分類管理基準の検討

(1) 目的

試験データに係わる分類基準では、表2.1.2-1、表2.1.2-2に示す4段階における品質保証活動の項目、検査の合否基準を与えることである。合否基準は、表2.1.2-1の一次データ取得からデータ加工をまとめた資料の記載項目チェック並びに最終的な専門家によるレビューまでに時間を要する活動と、登録や選択などの計算機処理に基づく短時間な活動に分類することができる。また、図2.1.2-1に示すPHREEQEから導出される溶解度のような解析データに係わる分類基準では、解析コードの検証/確認が済んでいる場合には、各導出の段階で用いられるデータ（原位置試験データ、室内試験データ、熱力学データベース）の合否基準に相当したものとなる。

(2) 検討結果

時間を要する品質保証の分類基準に関しては、一次データ取得からデータ加工に移行するための基準として、本表の「品質保証を行うための作業概要」に記載された実験計画書・試験方法標準・試験報告書を作成し、グループ内の承認を得ることである。さらに、データ加工からデータ登録に移行するための基準としては、前記3種類の報告書または3種類の内容を記述した報告書に加えて、加工データの算出根拠書並びに取得したデータを支援するための解釈を追記した資料を作成し、事業団内部の第三者による査読または外部の専門家のレビューを受けることである。以上の検査を受けた実験データについては、本実験データを保管するためのデータベース（文書またはシステム）へ登録することが可能となる。

一方、文献データについては、第三者の専門家レビューが既に実施されていると考えられ

るため、すぐさまデータ並びに補助的な情報をデータベースへ登録することは可能となる。ただし、必ずしも公開文献には、表2.1.2-1に示す「品質保証項目案」が記述されているとは限らないため、データベースへの登録では、試験方法に関する情報を全て入力する必要がある。

試験データ並びに文献データの入力とは全て手作業になることから、登録作業の完全性を確保するための検査（登録予定の値・補助的な情報と入力した情報の比較）は必ず必要となる。この時の検査基準は完全一致を確認することである。

データの選択においては、任意の項目を満たすデータの検索並びに解析コードに依存した熱力学データベースの設定が含まれる。データの検査は、データの登録方法としてデータベースシステム化され、かつ選択項目による検索機能が装備され、さらにこのシステムの品質が保証されていれば（表2.2.1-1に記載されている内容を満たしていれば）、必ずしも資料による詳細な管理は必要としない。例えば、以下に示すような条件によりデータを検索・取得し、このデータを性能評価担当グループへ受け渡した場合を考える。

- ①還元性雰囲気取得しているデータ（酸化還元に敏感な元素に対して）
- ②還元・酸化性にこだわらず繰り返す数が確保されているデータ
- ③繰り返し数が確保していないがモデルによる支援情報が用意されているデータ
- ④ある範囲内のデータ

このケースの場合は、管理する項目としては、選択者、日付、検索条件および最終の出力情報となり、これらをファイル形式やデータベースシステムにより管理することとなる。

また、熱力学データベースの設定に係わる選定では、解析に依存した熱力学データベースに変換するためのインタフェースプログラムを起動させることから、変換作業にともなう検査（検証ならびにベンチマーク解析）が必要となる。この検査に合格した後、熱力学データベースは性能評価側へ受け渡されることとなる。

解析によって生成されるデータの分類管理基準は、性能評価で採用される解析データの手順を関連図として表わす。例えば、溶解度を例とした場合は、図2.1.2-2に示す様に、最大5ケースの解析が必要となり、さらに、文献情報、実験情報が解析の入力情報として必要となる。溶解度データの品質特性（本図のゴシック体数字は表2.3.2-1の品質保証項目並びに品質特性を示す）を確保するためには、各解析過程で必要となる情報を細分化することにより、データの分類が可能となり、分類の基準は、表2.3.2-1に示す品質保証項目を満足させるべく活動を行うことである。

（3）結論

- ①一次データの分類基準はグループ内資料の作成、グループ内レビューを受けること。
- ②加工データの分類基準は①の内容に算出根拠、結果の解釈を加え、第三者のレビューを受けること。
- ③データの登録では、登録作業の完全性を確保するためのチェックを行うこと。

- ④解析によって生成されるデータについては、データ階層構造概念の方法に基づき各生成プロセス毎に入出力情報を管理すること。

3. 3. 2 データ階層構造

(1) 目的

一次データ取得段階から加工、選択（スクリーニング）段階および性能評価解析段階の全段階のデータに対して、品質の管理を行う階層構造およびその階層構造に基づいたデータの分類管理手法を構築する。階層構造及び手法の構築に当たっては、表2.1.2-1及び表2.1.2-2に挙げた「品質保証項目」並びにコード運用時における入出力データを効率的に管理することを目的とし、さらに「品質保証を行うための作業の概要」に記載した作業を支援できるものとする。

(2) 検討結果

「2.1.2 データの品質保証項目」で述べたように性能評価解析に用いるデータは、試験データや解析データ等の様々なデータがあり、また、試験データは、さらにデータの取得段階、加工段階、登録・選択段階といったようにデータ自体もその状態を遷移していく。また、表2.1.2-1の分配係数の例にあるように品質保証項目は、そのデータの特性（段階）の違いにより異なる。

よって、データ階層構造の構築に当たっては、データの特性に応じた品質保証項目を管理することを目的とするため、以下に着目して行った。

- ・取得方法 データがどのような手順で取得されたか。
例) 実験データか、文献データか
- ・導出方法 データがどのような処理を経ているか。
例) 一次データか加工データか
- ・利用方法 データの利用目的は何か。
例) 解析コードの入力データとして用いられるのか。
- ・品質保証 品質保証項目は何か
例) 表2.1.2-1の品質保証項目案

上記に従うと、性能評価で用いられるデータは、図3.3.2-1に示すように5種類に分類される。各カテゴリーの内容は以下の通り。

①生データ

生データは、数学的な処理や変換を行うことなしに単純に実験装置等から得られる測定値を示す。これらのデータは、実験装置に接続されたコンピュータや実験者のノートに蓄えられる。例えば、分配係数を取得するためにカラム試験により測定された濃度等が生データに分類される。

②変換データ

生データに対して、データを物理化学的に意味のある物性値にするため、補正や何らか

のソフトウェアを用いて変換を行なったデータを示す。例えば、濃度プロファイル（生データ）を入力値として計算機コードにより分配係数を求めた場合は、この値は変換データとして分類される。また、一般的に文献等から得られるデータも変換データとして考えられる。

変換データは、データの追跡性を確保するため、データベースを用いて管理することが望まれる。

③パラメータ

変換データや文献からのデータ等からなる性能評価で用いられるデータセットを示す。パラメータは、複数の変換データから作成された分布データとなる。例えば、変換データとしてある地下水組成に対する分配係数が多数存在する場合に、それらを様々な地下水組成（希薄還元高pH系、濃厚還元低pH系等）に対してグルーピングして管理する場合に、それらはパラメータとなる。また、ORIGEN2のライブラリのような他機関等から取得したデータセットもパラメータとして分類される。

パラメータは、データの追跡性や整合性を確保するため、データベースを用いて管理されなければならない。

④入力データセット

入力データセットは、性能評価用解析コードの入力ファイルを示す。入力データセットは、様々なパラメータからデータを引用し、それを解析コード固有のフォーマットや単位に変換することにより作成される。例えば、図3.3.2-2に示すようにMESHNOTEの入力データセットは、核種量のパラメータや溶解度のパラメータから必要となるデータを引用し、これをMESHNOTEの入力データの該当部分に設定することにより作成される。

入力データセットは、解析に用いる解析コードのバージョンと共にデータベースを用いて管理されなければならない。

⑤出力データセット

性能評価解析コードの実行により得られた出力ファイルを示す。この出力データセットは、解析に用いた解析コードのバージョンと共にデータベースを用いて管理されなければならない。

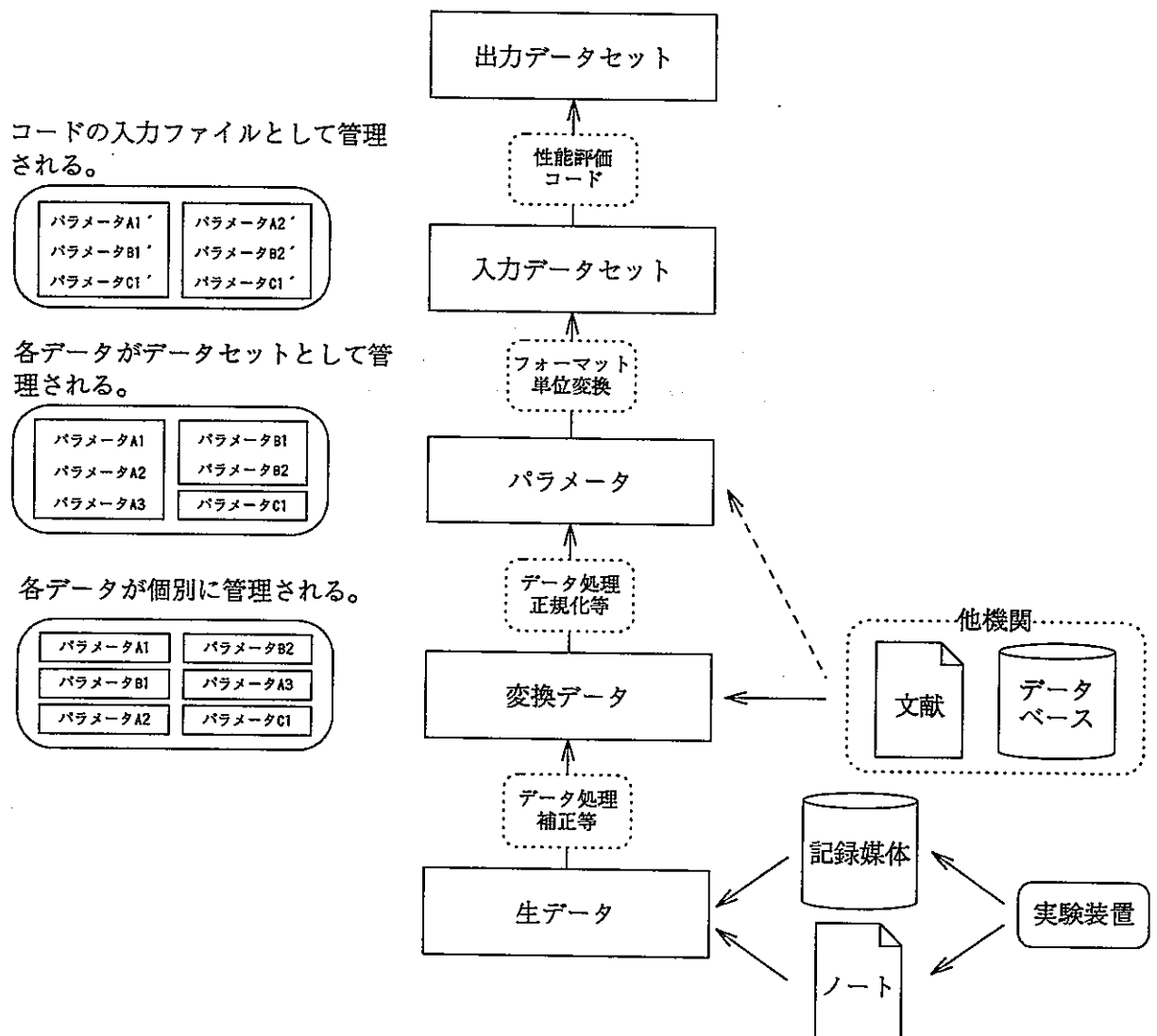


図3.3.2-1 データの階層構造

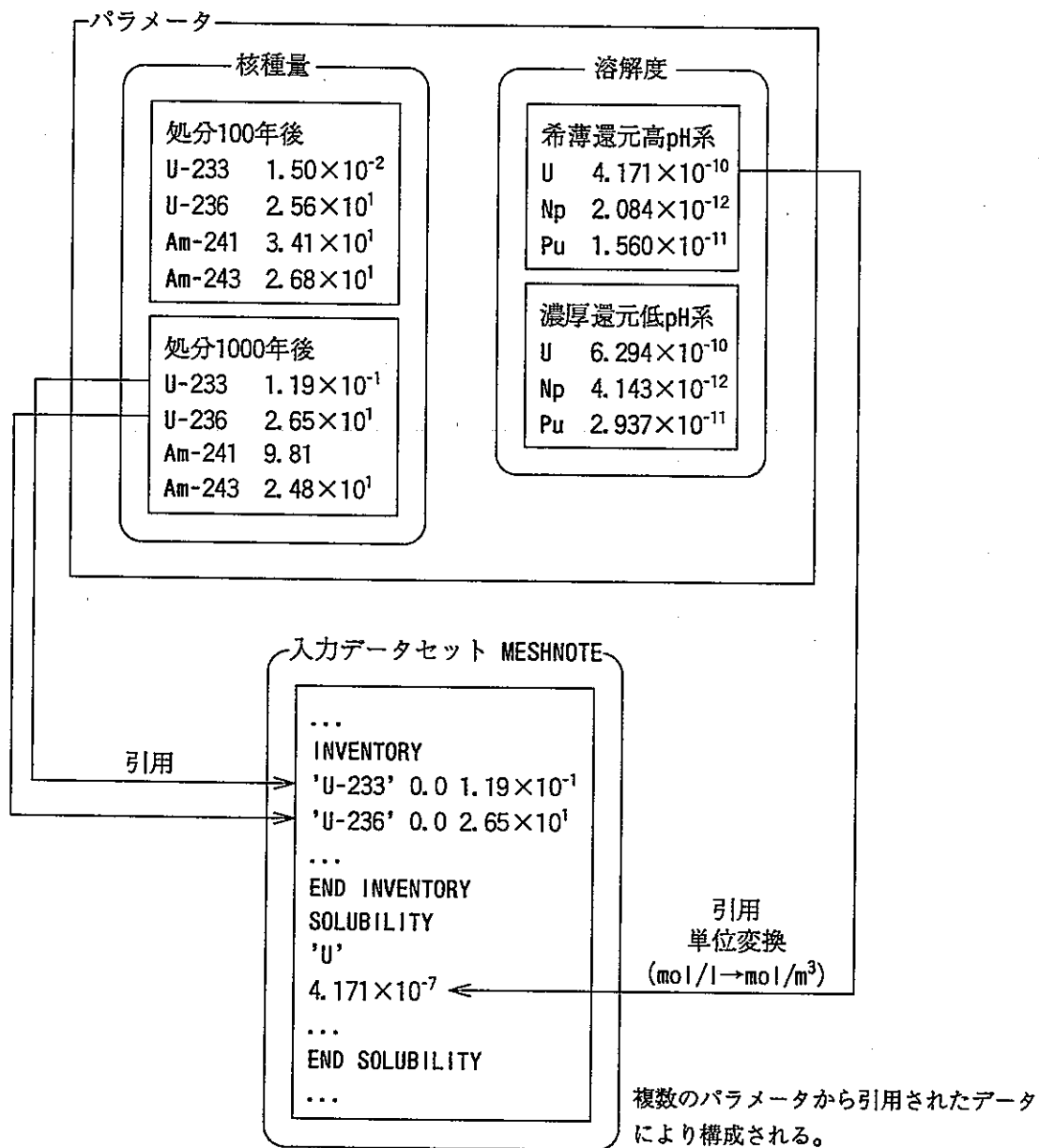


図3. 3. 2-2 パラメータと入力データセットの関係

次に品質管理の観点に立ったデータの分類管理手法について述べる。上記で示した各階層に属するデータは、品質が保証されているデータである適合データ及び品質が保証されていないデータである不適合データに分類される。また、この不適合データは、フレームワーク「4.3 既存データの検定」に従って専門家レビューや確証試験を行うことにより適合データに変更することが可能である。ここで、不適合データから適合データに変更する作業を検定作業と呼ぶ。

図3.3.2-3に品質管理の定義を加えたデータの階層構造を示す。なお、最終的な性能評価解析（次期とりまとめ用報告書に載せるための解析）を行う際には、出力データセット、入力データセットおよびパラメータに関しては、不適合データが存在することはないが、解析コードの予備検討や試運用の段階では存在することが考えられる。

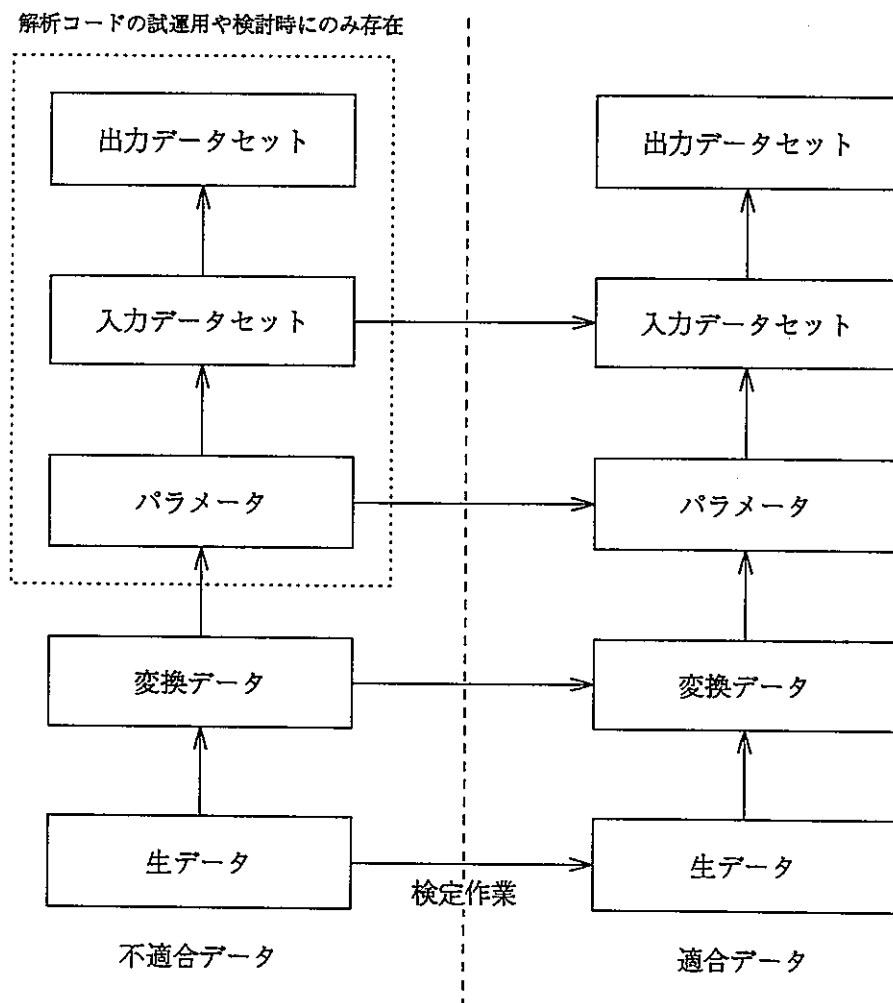


図3.3.2-3 品質に基づくデータの階層構造

データの検定作業は、検定対象となっているデータの元となっているデータを、順次廻り、その起源となっているすべてのデータを適合データにすることにより行う。入力データセットの検定作業は以下の手順で行う。

- ①入力データセットを構成しているパラメータの中で不適合データを洗い出す。
- ②上記で洗い出されたパラメータの元となった変換データの中で不適合データを洗い出す。
- ③上記で洗い出された変換データが末端（起源）のデータの場合（文献データ等の場合）には、フレームワーク「4.3 既存データの検定」に従い検定作業を行う。
- ④上記で洗い出された変換データの元となった生データの中で不適合データを洗い出す。
- ⑤上記で洗い出された生データに対しフレームワーク「4.3 既存データの検定」に従い検定作業を行う。

ここで、上記の③や⑤で述べている検定作業とは、以下に示す手順を複数組み合わせる。

- (a)既存データが何らかの別の品質保証要求に基づいた手順に沿って取得されたものであれば、その品質保証要求が品質保証プログラムと同等かどうかを判断する。同等であれば、その既存データは適合データとなる。例えば、既に事業団殿にて取得したデータに関して表2.1.2-2の品質保証項目に準じた補助的な情報が管理されていれば、このデータは適合データとなる。
- (b)検定作業の対象となっている不適合データと他の同一の条件で取得された適合データを比較することによりデータの確証を行う。
- (c)確証試験を実施する。
- (d)専門家によるレビューを実施する。

上記の検定作業やデータの品質管理を行う上で、データ（値）自体に加えて、表2.1.2-1の品質保証項目案を基本として様々な補助的な情報を管理することが必要となる。例えば、ユッカマウンテンの事例では、GENISISと呼ばれるデータベースにパラメータディクショナリとして、パラメータの役割や単位、取得位置等の要因及びパラメータの取得方法等の様々な補助情報を定義し、実際の値と共に管理している。（文献集 8. 海外の品質保証 調査・研究事例 5.3.1章参照）

以下に各階層における管理すべき補助情報について述べる。なお、生データは、通常、データベースを用いて管理されないため除外する。

①変換データ

- 1)取得者／実験装置／日付

一次データ取得の際の試験の実施者や実験装置の名称及びデータ取得日等を管理する。

2) 実験手法／条件

実験の手法（カラム試験、バッチ試験等）やpH、Eh、イオン濃度等の条件を管理する。管理項目の設定は、基本的には、表2.1.2-2における品質保証項目を満足するものとなる。例えば、分配係数では、表2.1.2-1の品質保証項目案の「(c)影響度試験評価」及び「(d)試験方法標準」に相当する。なお、管理項目は、データの種類や実験手法に応じて異なり、また、今後の実験装置の開発や改良等に応じて改訂される可能性がある。

3) 算出根拠

導出方法の妥当性を確認するため、算出根拠書に記載される項目を管理する。例えば、分配係数の場合には、算出式、使用データ（生データ、物理定数、物質移行パラメータ）について管理する。

4) 算出方法

算出に計算機コードを用いた場合には、そのコードの名称やバージョンを管理する。また、手計算により算出した場合は、必要であればその過程を管理する。例えば、図2.1.2-2に示す手順で溶解度を作成した場合には、図中の「○」で囲まれた部分で用いられるPHREEQEのバージョン及び算出に用いられた熱力学データベースと入力データを溶解度と共に管理する。

5) 解釈

実験結果に対して、試験条件の依存性や定量的な考察を行った解釈結果を管理する。

6) 文献情報

文献から取得されるデータの場合には、上記に加えて文献名、著者、発行年月日を管理する。

② パラメータ

1) 作成者／作成日

パラメータの作成者や作成日を管理する。また、パラメータへの新規データの追加や改訂があった場合には、その改訂履歴（改訂者、改訂日）も併せて管理する。

2) 目的

パラメータの目的や用途を管理する。

3) 導出方法

パラメータ作成に統計処理や解析等が行われた場合には、その方法やデータ作成に用いた計算機コードの名称やバージョンを管理する。

4) 履歴管理

変換データを処理することによりパラメータが作成された場合には、元となった変換データを識別する情報を管理する。例えば、変換データに識別番号を付加して管理し、パ

ラメータでは、元となった変換データの全情報を管理するのではなく、識別番号のみを管理する。

5)スクリーニング基準

変換データをスクリーニングすることによりパラメータを作成した場合には、スクリーニング基準を管理する。

③入力データセット

1)作成者／作成日

入力データセットの作成者や作成日を管理する。

2)目的

解析（入力データ）の目的やデータ内容の理解のための注釈を管理する。

3)解析コード

入力データセットが用いられる解析コードのバージョンを管理する。この情報は、入力データセットのフォーマットや単位系の整合性の確認に用いる。

4)履歴管理

パラメータと変換データの関係と同様に、入力データの作成の元となったパラメータを識別する情報を管理する。

④出力データセット

1)解析者／実施日

解析の実施者や実施した日付を管理する。

2)結果の解釈

解析結果の解釈を管理する。

また、上記以外に、各階層に共通に存在する補助情報として以下のものが考えられる。

・検定情報

検定作業を行った際の、レビュー者名及び日付、並びに適合データとした判断基準や解釈を管理する。

品質保証作業とデータ階層構造の関係を明確にするため、図3.2.2-3のデータ階層構造と3.1章で作成したフレームワーク（付図3-6）との関係について述べる。図3.3.2-4に示すように各段階での品質保証作業は、それぞれ階層構造中のデータを用いて行われる。

①4.1 データ入手方法のチェックの過程

データ（値）と共に管理されている補助情報を参考にして、既存データを確認すること

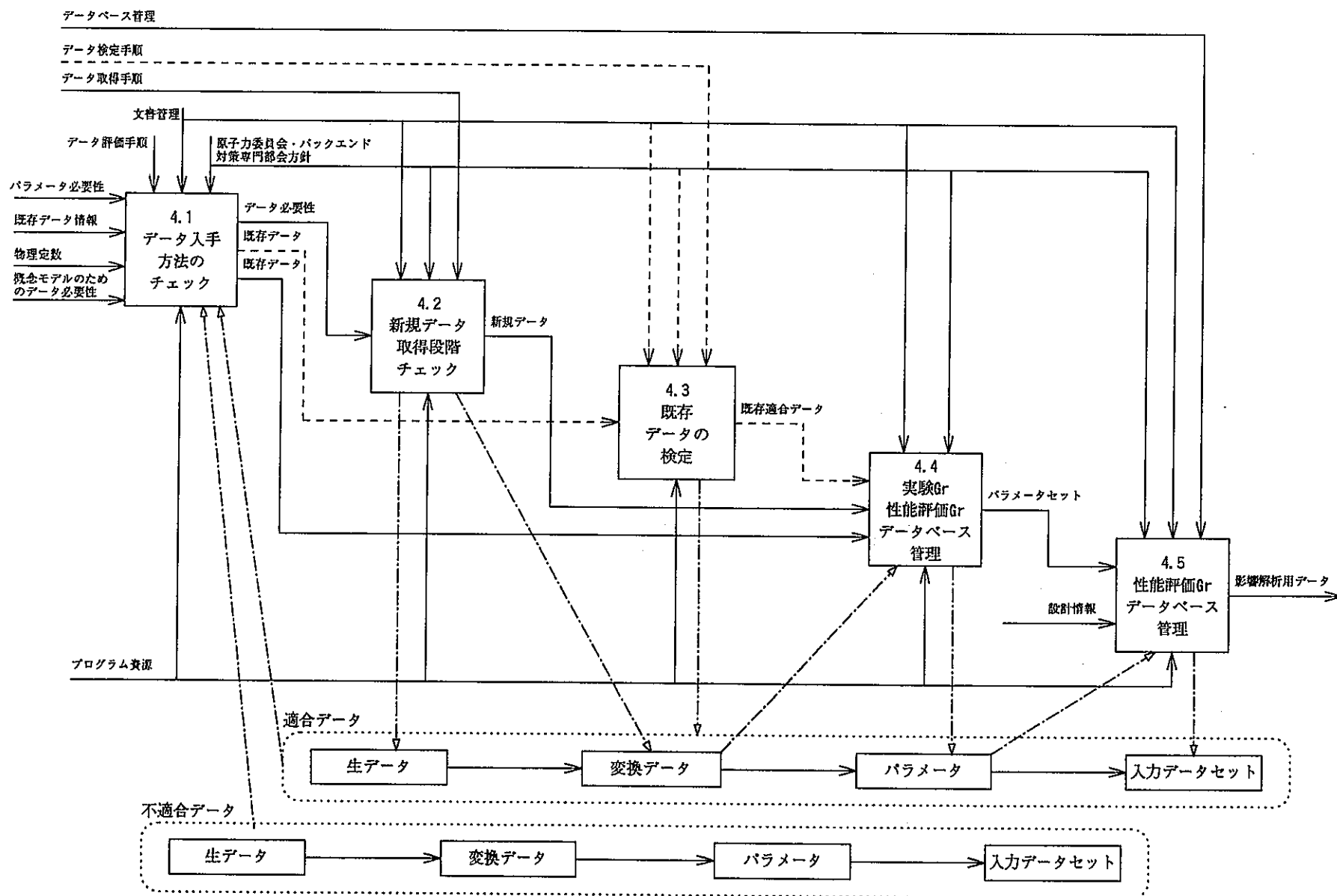


図3.3.2-4 フレームワーク（データ管理）とデータ階層構造の関係

によりパラメータの必要性を確認する。目的に合致するデータが存在し、且つそのデータが不適合データの場合には、「4.3既存データの検定」の作業を行うこととなる。

②4.2 新規データ取得段階のチェックの過程

品質保証要求を満足した手順で取得されたデータは、データの特성에応じて適合データである生データや変換データに分類される。データ取得時の品質保証項目は、補助情報として値と共に管理される。

③4.3 既存データの検定の段階

「4.1データ入手方法のチェック」において取得された不適合データは、本過程で検定作業が行われる。この検定結果は、データの特성에応じて適合データの階層構造に分類される。また、検定情報（レビュー者や判定基準・解釈等）も値と共に管理される。

④4.4 実験Gr・性能評価Grデータベース管理の過程

基本的に適合データである変換データに対しデータ処理や整理等が行われ、パラメータとして管理される。

⑤4.5 性能評価Grデータベース管理の過程

適合データである様々なパラメータが取得され、単位やフォーマットの変換等が行われ影響解析用のデータが作成される。この結果は、入力データセットに分類される。

性能評価で扱う全てのデータは、以上述べたデータの特性に基いた階層構造に分類される。ここで、分類されたデータ、特に変換データより上位の階層に位置するデータは、データベースを用いて適切に管理、保存することがデータの品質を保証する上、特に追跡性を確保する上では必要不可欠である。以下に、データベースを用いたデータの管理手法の検討結果について述べる。

性能評価で扱う変換データより上位の階層に位置するデータは、追跡性や使用性、セキュリティ等を確保するためデータベースを用いて管理されなければならない。データ管理方法としては、運用形態によって以下の2通りが考えられる。

①集中管理

性能評価で扱うすべてのデータを、1種類のデータベースを用いて集中的に管理する。WIPPのデータベースがこれに相当する。データ量が膨大になるため、データ管理専用の計算機やデータ管理を専門的に行うスタッフを用意することが必要となる。データベースは、比較的容易に作成することが可能である。また、セキュリティ、回復性、安定性等に優れたものとなる。

②分散管理

データの階層（変換データ、パラメータ等）やデータの種類（地球化学、水理等）に応じてデータベースを複数用意する。ユッカマウンテンのTDMS（Technical Database Management System）がこれに相当する。データが分散されることにより単一のデータベース当りのデータ量が少なくなるため、データ管理専用の計算機やデータ管理専門のスタッフを用意する必要はないが、データベース間のデータ遷移の履歴管理やデータ検索機能の強化等が必要となる。障害許容性、時間・資源効率性等に優れたものとなる。

事業団では、様々なデータが各部門（東海事業所性能評価室・地球化学研究室、東濃地化学センター、釜石等）で取得・作成されていることから、②の方法である分散管理が適当と思われる。例えば、溶解度、熱力学データ等の変換データやパラメータは、地球化学研究室で管理され、性能評価解析コードに用いる入力データセットは、性能評価解析室で管理されることが考えられる。そして、入力データセットを作成する場合には、地球化学研究室が管理しているデータから必要な情報（値及び補助的な情報）を取得し、それを用いて入力データセットを作成することとなる。

このように、他のデータベースからデータを取得し、より上位の階層のデータを作成する場合には、データの品質を管理するために以下の点を着目する必要がある。

①追跡性

新規データ作成の際の元となったデータの所在を管理する。例えば、MATRICSの入力データセットを作成する際に、そこで用いられる分配係数がどのデータベースから取得したか等のデータ取得の履歴を管理する。

②完全性

データベース間のデータの移行は、手作業（移行先のデータベースで再入力）により行うのではなく、ネットワークまたは最低限フロッピーディスク等を介して行う。これにより、読み取りミスやタイプミス等のヒューマンエラーを極力避けることが可能となる。

③整合性の維持

データが複数のデータベースに分散して存在するため、各々のデータベースが協調してデータの整合性を維持・管理する必要がある。例えば、地球化学研究室が管理しているデータベースから、性能評価に必要なデータをスクリーニングし、それを性能評価解析室に渡した場合には、元となった地球化学のデータの修正や削除が行われないようにする。このためには、「他部門に対して公開しているデータ（スクリーニング後のデータ）は、データの修正や削除を行ってはならない。」といった規則の制定、またはシステムによるデータ更新に対する強制的な制約を行う必要がある。（計算機システムでの整合性維持の方法の例は、文献集 8. 海外の品質保証 調査・研究事例 5.1章参照）

④セキュリティの確保

限定されたスタッフ以外のデータの書き込み・削除の禁止や特定データの参照不可等のデータのセキュリティを確保する必要がある。例えば、地球化学研究室で管理しているデータを性能評価室のスタッフが修正できないような機能を持ったデータベースを構築しなければならない。

⑤データ運用時の使用性

性能評価で扱うデータが複数のデータベースに分散して存在するため、利用者がデータの所在を意識することなく利用できる必要がある。このためには、ユッカマウンテンマウンテンの RIB (Reference Information Base) のような複数のデータベース間に渡るデータを管理するデータベースを構築することが理想的である。(ユッカマウンテンのデータベースの詳細は、文献集 6. YUCCA MOUNTAIN参照)

以上検討したデータの階層構造及びデータ管理方法に基づいたデータベースのイメージについて述べる。文献集「8. 海外の品質保証 調査・研究事例」の5.3.2章「The PNC Controlled Data Base」で記述されているような性能評価で扱うすべてのデータを管理するデータベースに要求される主要な機能は以下の通りである。

①階層機能

図3.3.2-1に示した階層構造に基づいたデータベース構造とすると共に、各階層間でのデータの遷移の履歴を管理する。

②補助情報機能

データ（値）自体に加えて品質保証項目を基本としたデータ取得条件等の補助的な情報を管理する。

③品質情報機能

データの品質として「適合データ」、「不適合データ」の区分をデータ（値）と共に管理する。また、検定作業に関する情報も併せて管理する。

④分散機能

データは分散環境で管理する。また、分散されたデータを効率的に検索する機能や整合性維持に関する機能を設ける。

⑤追跡機能

データベース間でデータの移動等が行われた場合には、その履歴を管理することにより追跡性を確保する。

⑥セキュリティ機能

データアクセスの権限を設定し、不用意な修正や削除を避ける。

(3) 結論

- ①データは、特性に応じて生データ、変換データ、パラメータ、入力データセット、出力データセットの各階層に分類される。
- ②各階層では、品質保証項目を基本とした補助的な情報やデータ遷移の履歴を値と共に管理する。
また、変換データより上位の層に位置するデータはデータベースシステムを用いて管理する。
- ③管理フローで定義されたデータに関する品質保証作業は、基本的に階層構造に分類されたデータを用いて行われる。
- ④データ管理作業の負荷の低減や事業団殿の運用形態を考慮すると、データは分散管理することが理想的である。

3. 3. 3 他研究との整合性の確認

(1) 目的

本研究で設定したデータに関する品質保証項目及びデータ分類管理手法が、地球化学研究室において管理されている分配係数、拡散係数および熱力学データに適用可能か否かを確認することを目的とする。

(2) 検討結果

①分配係数／拡散係数

分配係数は、図3. 3. 3-1(1)に示す項目を持ったスプレッドシート形式のデータベースで管理されている。ここで、表2. 1. 2-1の品質保証項目案は、このスプレッドシートの各項目を包含しているものとなっている。また、図3. 3. 3-1(2)に示すスプレッドシート形式で管理されている拡散係数も、分配係数と同様に、表2. 1. 2-2に記載した品質保証項目が各項目を包含している。

データ分類に関しては、分配係数や拡散係数は、データの階層構造の「変換データ」として分類され、値や補助情報の管理が可能となる。

②熱力学データベース

熱力学データの収集、解析コードに依存した熱力学データベースの作成・変換作業は、図3. 3. 3-2に示す手順で行われている。ここで、データベース変換コードの品質は、付図3-3に示すフレームワークにて管理可能である。また、変換作業における品質保証項目は、影響解析の項目（表2. 1. 1-3）の一部（入出力データドキュメント等）を適用することが可能である。

データ分類に関しては、熱力学データベースはデータ階層構造における「パラメータ」として分類される。また、熱力学データベースを構成している水溶性化学種や鉱物種などの各データは、変換データとして分類され、表2. 1. 2-2に示した品質保証項目が適用される。

(3) 結論

- ①「2. 1. 2 データの品質保証項目」で定義された品質保証項目は、事業団殿が運用している分配係数や拡散係数のデータベースの項目を包含している。
- ②データ階層構造は、熱力学データベース作成の過程での熱力学データ及びデータベースに適用可能である。
- ③データベースの品質はデータの品質保証項目が適用可能である。また、データベース変換コードには、影響解析やソフトウェア管理の品質保証項目が適用可能である。

(1) バッチ試験による分散係数のデータベース

項目	内容
element	元素
redox state	酸化還元状況
solid phase	固相
specific surf. area	固液面積
CEC	陽イオン交換容量
solution vol.	溶液体積
solid weight	溶液重量
s/w ratio	固液比
w/s ratio	固比
temp.	温度
water type	溶液タイプ
pH init	初期pH
pH end	試験後pH
C init	初期濃度
reaction time	反応時間
phase sep.	
Eh init	初期Eh
Eh end	試験後Eh
atm/redox condition	雰囲気酸化還元条件
Kd	Kd
type of Info.	タイプ
reference	備考
replicates. n	N数
additional information, remarks	追加情報、備考
code REF	コード参照
calculations	計算情報

(2) 拡散係数のデータベース

項目	内容
nuclide	核種
solid phase	固相 (媒体)
density	密度
porosity	空隙率
water type	溶液タイプ
pH init	初期pH
pH end	試験後pH
contact time	試験期間
temp.	温度
C init	初期溶液
stock solution	原液
Da	見かけの拡散係数
De	実行拡散係数
Dp	空隙水中の拡散係数
Eh init	初期Eh
Eh end	試験後Eh
atm./redox condition	雰囲気/酸化還元条件
rock capacity factor	液固比
Reference	出典
replicates. n	N数
additional information	追加情報
remarks	備考
code REF	参照コード

表3.3.3-1 分散係数と拡散係数のデータベース

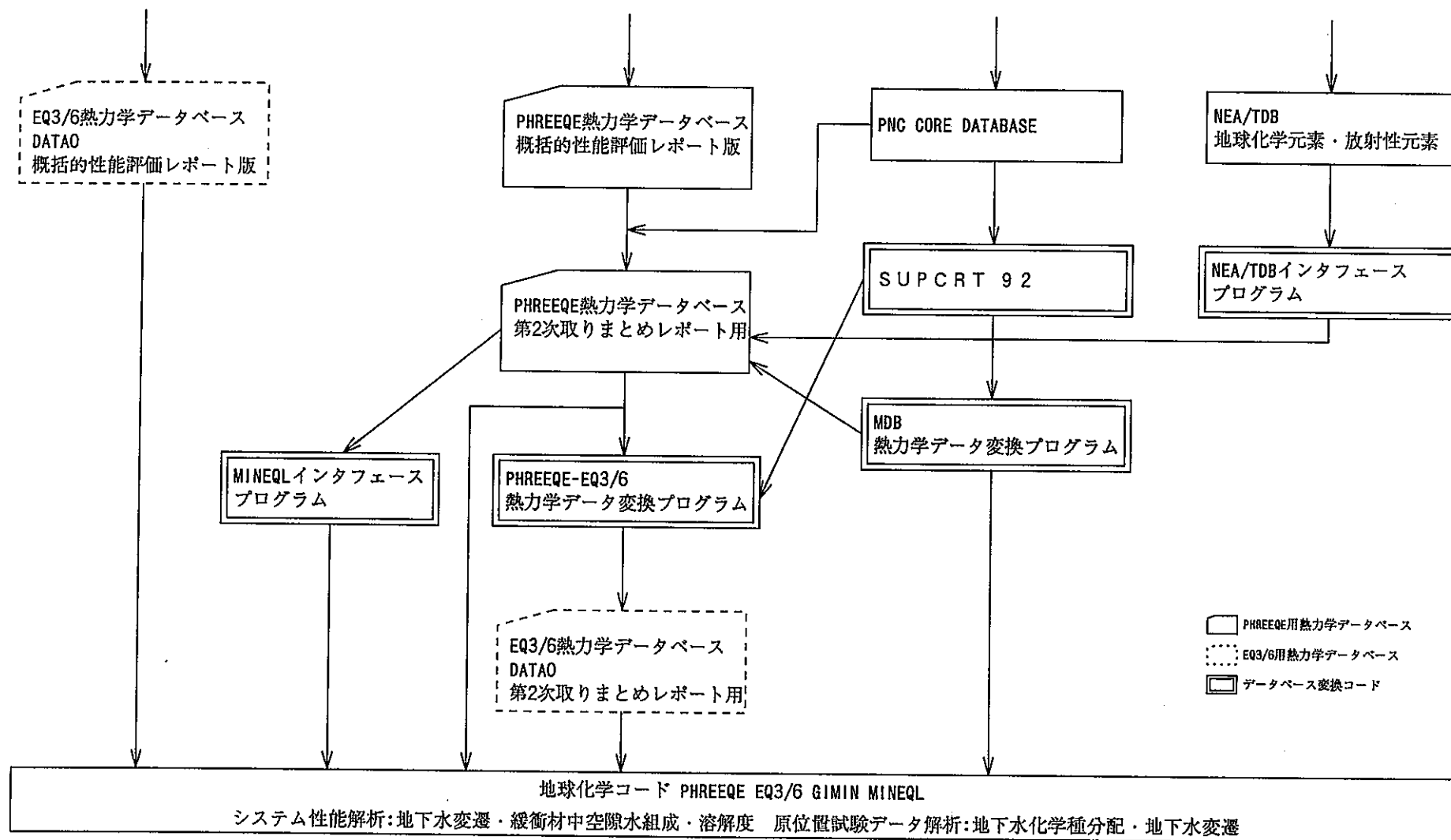


図3. 3. 3-1 熱力学データベースの構成

4. あとがき

本研究では、地層処分システムの性能評価で考慮すべき品質保証項目に対する品質保証の手順を、国内外での品質保証の実績等を踏まえて整理するとともに、解析コードの検証手法やデータの分類手法の検討を実施した。

(1) 品質保証項目の抽出と既存の品質保証手法の調査・整理

- ①設計解析に関する品質保証手法として、原子力分野においては主に安全審査指針、航空宇宙分野においてはNASAの実績、海外の地層処分施設においてはDOE（ユッカマウンテン、WIPP）の品質保証の要求事項を調査・整理した。
- ②データ、解析コードに対して、エラー要因と品質保証の観点から確認を行うべき項目として、入力データと解析モデルの適合性や適用範囲の明確化を行うこと等を摘出した。
- ③摘出した品質保証項目が、調査した設計解析の品質保証上の要求事項を満足するものであるか確認を行った。
- ④確認の結果、不十分な項目について、性能評価の品質保証要求事項としての必要性を検討し、必要な要求事項を動燃殿の性能評価の品質保証項目として補充した。

(2) 品質保証手続きのフレームワークの作成

- ①摘出した品質保証項目を確認項目と記録項目に分類し、性能評価解析における管理上の要求事項を管理フローとして整理した。
- ②解析コードについては、既存コードと開発改良コードに分け検討を行い、ライフサイクルを要求、設計と作成、V&V、運用、廃棄段階として設定した。
- ③データについては、既存データと新規取得データに分け検討し、さらに、解析パラメータを重要度分類し、各々のデータを管理することを提言した。
- ④管理フローに基づき、計算機へ展開した場合における品質管理システム構築のための基本要件について検討した。

(3) 解析コードの検証方法の構築

検証手法の構築に関する検討では、動燃殿のニアフィールド性能評価である、MESHNOTE、PHREEQE、MATRICSモデルを対象とした検証マニュアルを作成した。さらに、検証結果を判定するための基準ならびに適用範囲を設定するための方針について検討した。

(4) データの分類管理手法の構築

- ・データの分類管理手法や信頼性保証手法の構築手順としてトップダウンアプローチによる方法とボトムアップアプローチによる方法を検討した。
- ・データの取得方法や処理方法等の特性およびデータの品質に基づいたデータの階層構造を構築した。また、この階層構造間のデータの遷移方法について検討した。
- ・ユッカマウンテンにおけるデータ管理手法の調査を実施した。また、そのデータ管理手法の適用性について検討した。
- ・データの特性、品質及び性能評価計算への影響度に基づいたデータベース構造を構築した。また、このデータベース構造に具体的なデータを適用することにより、その網羅性を確認した。

参考文献

- (1)W. D. Altman, J. P. Donnelly, J. E. Kennedy(1988), U. S. NRC, "Peer Review for High-Level Nuclear Waste Repositories; Generic Technical Position ", NUREG-1297
- (2)W. D. Altman, J. P. Donnelly, J. E. Kennedy(1988), U. S. NRC, "Qualification of Existing Data for High-level Nuclear Waste Repositories; Generic Technical Position ", NUREG-1298
- (3)Bryan C. Bower, Charles F. Voss, pp605, "PERFORMANCE ASSESSMENT REVIEW TEAM'S INDEPENDENT ASSESSMENT OF THE WASTE ISOLATION PILOT PLANT'S PERFORMANCE ASSESSMENT ACTIVITIES"
- (4)ISO 9000-3(First Edition 1991-06-01), "Quality Management and Quality Assurance Standards -PART 3: Guidelines for the application of ISO 9001 to the development, supply and maintenance of software"
- (5)IEEE, ANSI/IEEE Std 1012-1986, "An American National Standard IEEE Standard for Software Verification and Validation Plans"
- (6)社団法人 日本電気協会, JEAG 4604 (1993), "原子力発電所安全防護系の設計指針"
- (7)社団法人 日本電気協会, JEAG 4104 (1986), "原子力発電所の設計管理指針"
- (8)社団法人 日本電気協会, JEAG 4102 (1986), "原子力発電所の品質保証計画策定指針"
- (9)JIS Z 9900, (1991), "品質管理及び品質保証の規格－選択及び使用の指針"
- (10)JIS Z 9901, (1991), "品質システム－設計・開発, 製造, 据付け及び付帯サービスにおける品質保証モデル"
- (11)JIS Z 9902, (1991), "品質システム－製造及び据付けにおける品質保証モデル"
- (12)JIS Z 9903, (1991), "品質システム－最終検査及び試験における品質保証モデル"
- (13)JIS Z 9904, (1991), "品質管理及び品質システムの要素－指針"
- (14)U. S. DOE OCRWM, YMP/93-09, Rev. 0, (1993), "YUCCA MOUNTAIN SITE CHARACTERIZATION PROJECT TECHNICAL DATA MANAGEMENT PLAN"
- (15)YAP-SIII. 3Q, "PROCESSING OF TECHNICAL DATA ON THE YUCCA MOUNTAIN CHARACTERIZATION PROJECT"
- (16)DOE/CAO 1996-2184, (1996), "Title 40CFR Part191 Compliance Certification Application ; 5.0 QUALITY ASSURANCE"

謝 辞

本研究を実施するに当たり、種々の御指導、御助言を頂いた動力炉・核燃料開発事業団 環境技術開発部地層処分開発室の諸賢に感謝の意を表します。

コード運用時のエラー要因と品質保証項目

付表－1 性能評価における品質保証項目及び対策（解析モデル：ORIGEN）

場	コード	出力情報	入力に必要な情報	不具合・エラー発生事例案	不具合・エラー発生要因案	品質保証項目	品質保証を行うための作業の概要
ガ ラ ス 固 化 体	ORIGEN-2	a. FP核種 アチド核種 放射化核種 生成量	(1) 入力データ ① 初期燃料組成および構造材組成 ② 燃焼条件 (燃焼度, 比出力, 燃料サイクル濃縮度)		－単位換算 (gまたはg-atcm) －コードバージョンの違いによる 入力ミス －核定数ライブラリー参照ミス －入子の指定 －初期燃料生成比の指定ミス －入力データの不確かさ (組成, 燃焼履歴, 期間, 再処理条件) －数値処理方法 －燃焼ステップの粗密 －decay step	(1) <u>コード・入力・出力データ</u> 1) 入出力データドキュメント 2) 入力データ設定根拠 3) コード機能ドキュメント 4) 検証□計算機依存性の確認 検証□(燃焼ステップの影響度) 検証□(decay stepの影響度)	(1) 入出力データ・設定根拠ドキュメント 1) 入力データの全項目について数値・単位 2) ならびに数値の設定根拠を記載する。また、使用したパラメータは、解析コードの適用範囲内であることを確認する。更に、計算結果及び計算したコードのバージョン名を記載しておく。本資料では、付録として入出力データ、ソースプログラムを添付する。これらのデータ量が多い場合は、計算機内のデータセット名または磁気テープのラベル名を記載する。 3) コード機能ドキュメント コード開発・改良時点のマニュアルを対象とする。
		b. 放射エネルギー c. 崩壊熱 d. α放射エネルギー e. 即発核分裂による中性子生成量 f. γ線生成量 g. 毒性指数	③ 再処理条件 (冷却期間, 元素の除去率) ④ 固化条件 (固化までの貯蔵期間) ⑤ 処分条件 (中間貯蔵期間)	－アンダーフロー(EMS) NaNの出現 －数値誤差		(2) 核定数ライブラリー 1) 登録記録ドキュメント 2) ライブラリー情報	
緩 衝 材	MESHNDTE	MESHNDTE への入力情報 (1) パラメータ解析結果 (2) 任意時刻での核種の生成量 (3) 報告書用出力パラメータ			(1) 入出力対応ミス (2) 単位換算	(1) <u>入出力データドキュメント</u> (2) <u>算出根拠</u>	

付表－２ 性能評価における品質保証項目及び対策（解析モデル：個別現象コード単独運用の場合）

場	コード	出力情報	入力に必要な情報	不具合・エラー発生事例案	不具合・エラー発生要因案	品質保証項目	品質保証を行うための作業の概要
岩 体 人 工 バ リ ア	PHREEQE	A. モデル地下水 a. 希薄還元高pH系 b. 希薄還元低pH系 c. 濃厚還元高pH系 d. 濃厚還元低pH系 (pH, Eh, イオン濃度)	(1)入力データ ①起源（風送塩、海水） ②溶解・沈澱反応 ③風化反応 ④酸化還元反応 ⑤有機物の反応 ⑥原位置地下水データ (2)熱力データ(地球化学元素)	－物質収支不一致 [(1)、(3)、(5)] －再現性無し [(1)～(6)] －電荷バランス不整合 [(2)、(4)、(6)] －数値の受渡し不一致 [A⇒B⇒C]	－解析オプション指定ミス －pe変化オプション指定ミス －溶液組成単位換算 －REACTION指定ミス －SOLUTION参照ミス －MINBRALS指定ミス ⇒ －溶液組成参照ミス －コードバージョンの違いによる入力ミス －熱力学データベース参照ミス －化学種識別番号不整合 －活量補正の指定ミス －入力データの不確かさ －数値の初期化扱い	(1)コード・入力・出力データ 1) 入出力データドキュメント 2) コード機能ドキュメント 3) 入力データ設定根拠 4) 検証⇒CHEMVAL検証問題の解析 検証⇒ベンチマーク解析 ⇒ 検証⇒適用範囲の明確化	(1) 入出力データ・設定根拠ドキュメント 1) 入力データの全項目について数値・単位ならびに数値の設定根拠を記載する。また、使用したパラメータは、解析コードの適用範囲内であることを確認する。更に、計算結果及び計算したコードのバージョン名を記載しておく。本資料では、付録として入出力データ、ソースプログラムを添付する。これらのデータ量が多い場合は、計算機内のデータセット名または磁気テープのラベル名を記載する。 3) コード機能ドキュメント コード開発・改良時点のマニュアルを対象とする。 4) 検証に係わるドキュメント ①イオン強度の高い溶液系への本モデルの適用性を把握するため、感度解析を行う。また、収束性の悪い解の精度に対応したモデルの適用範囲を明確にする。更に、モデル適用範囲内での計算機依存性について明確にする。 ②CHEMVAL(stage-1)の検証問題を解析し、他機関の結果と比較する（熱力学データベースはCHEMVALと同一条件とする。） ③CHEMVAL(stage-1)の検証条件が不明確な場合を想定し、他の平衡モデルによるベンチマーク解析を行う。例えば、EQ3NR との比較を行う。
		B. 間隙水組成 a. 希薄還元高pH系 b. 希薄還元低pH系 c. 濃厚還元高pH系 d. 濃厚還元低pH系 (pH, Eh, イオン濃度)	(3)入力データ ①モデル地下水 ②イオン交換 ③溶解・沈澱反応 ④腐食生成物 ⑤実験系溶液データ (4)熱力データ(地球化学元素)	－他コードと不一致 [(2)、(4)、(6)] －計算機依存の解 [(1)、(3)、(5)] －収束性 [(1)、(3)、(5)] ⇒ －電荷バランス不整合 [(2)、(4)、(6)] ⇒ －実測値と不一致 [(1)～(6)]	－熱力学データの登録ミス ⇒ －熱力学データの信頼性 ⇒ －原位置試験の信頼性⇒データ品質管理 ⇒ －室内試験の信頼性 ⇒データ品質管理	(2)熱力データ(地球化学・放射性元素) 1) 登録記録ドキュメント 2) 熱力学データ選定ガイドライン 確認⇒CHEMVAL確認問題の解析 確認⇒EDAS試験確認問題の解析 確認⇒東濃・釜石実測データ解析 ⇒専門家によるレビュー	(2) 熱力学データに関するドキュメント 1) ①登録記録（選定ガイドライン、出典）に関するドキュメントを作成する。 2) ②CHEMVAL(stage-2)の確認問題を解析し、他機関の結果と比較する（熱力学データベースはCHEMVALと同一条件とする。） ③CHEMVAL(stage-2)の確認条件が不明確な場合を想定し、動燃殿の室内試験ならびに原位置試験のデータ解析を行う。 以上の検証・確認の成果を概要集、報告書としてまとめる。
		C. 溶解度 a. 希薄還元高pH系 b. 希薄還元低pH系 c. 濃厚還元高pH系 d. 濃厚還元低pH系 (pH, Eh, イオン濃度)	(5)入力データ ①モデル地下水 ②間隙水組成 ③溶解度制限固相 ④実験系溶液データ (6)熱力データ(地球化学元素・放射性元素)	－収束性 [(1)、(3)、(5)] ⇒ －相律破綻 [(1)、(3)、(5)]	－溶解／沈澱のモデル化	(3)モデル化方法ドキュメント	
緩 衝 材	MESHNOTE	MESHNOTEへの入力情報 (1)パラメータ解析結果 (2)難溶性放射性元素：溶解度			(1)入出力対応ミス (2)単位換算	(1)入出力データドキュメント (2)算出根拠	(3) モデル化方法ドキュメント 可能な場合：確認解析を通じてモデル化のマニュアル作成。可能で無い場合：ベンチマーク解析にて確認 上記(1)の資料を併用する。

付表－3 性能評価における品質保証項目及び対策（解析モデル：個別現象コード単独運用の場合）

場	コード	出力情報	入力に必要な情報	不具合・エラー発生事例案	不具合・エラー発生要因案	品質保証項目	品質保証を行うための作業の概要
緩衝材	MESHNOTE	(1)放射性核種濃度 (2)外側境界フラックス (3)SiO ₂ 溶解速度 (4)放射性元素の沈殿フロント a. 希薄還元高pH系 b. 希薄還元低pH系 c. 濃厚還元高pH系 d. 濃厚還元低pH系	①放射性核種インベントリ ②半減期 ③放射性元素の溶解度 ④人工バリア幾何形状 ⑤時間・空間メッシュ分割 ⑥外側境界条件 ⑦拡散係数 ⑧ α (K _d ×真密度) ⑨空隙率 ⑩崩壊連鎖・崩壊系列 ⑪アルファシリカの溶解速度定数 (k ₊ , K _R) ⑫リザーバ・ミキシングセルの体積 ⑬ミキシングセルの流量	ー数値誤差 ⇒ ー解析コードの運用方法 ⇒ ー計算時間 ⇒ ー数値誤差 ⇒ ー他コードと不一致 ⇒ ー厳密解と不一致 ⇒ ーアンダーフロー(EWS) ⇒ ー実測値と不一致 ⇒	ー単位換算 ⇒ ーORIGENとの不整合性 ⇒ ーコードバージョンと入力対応ミス ーコード運用に関する情報不備 ⇒ ーaccuracy parameterの設定値 ⇒ ー空間メッシュ分割の粗密性 ー拡散係数 ー溶解度 ー分配係数 ー沈殿濃度・再溶解濃度 ー初期濃度 ー数値解法の実扱い ⇒ ー数値処理方法 ⇒ ーモデル（境界条件込み）の実扱い⇒ ー原位置試験の信頼性⇒データ品質管理 ー室内試験の信頼性 ⇒データ品質管理 ー使用データの信頼性⇒データ品質管理	1) 入出力データドキュメント 2) 入力データ設定根拠 3) コード機能ドキュメント 分析⇒コード運用マニュアル 4) 検証⇒INTRACON検証問題の解析 検証⇒ベンチマーク解析 検証⇒適用範囲の明確化 5) 確認⇒INTRACON確認問題の解析 確認⇒INTRAVAL確認問題の解析 確認⇒PNC室内試験確認解析	1) 入出力データ・設定根拠ドキュメント 2) 入力データの全項目について数値・単位ならびに数値の設定根拠を記載する。また、使用したパラメータは、解析コードの適用範囲内であることを確認する。更に、計算結果及び計算したコードのバージョン名を記載しておく。本資料では、付録として入出力データ、ソースプログラムを添付する。これらのデータ量が多い場合は、計算機内のデータセット名または磁気テープのラベル名を記載する。 3) コード機能ドキュメント コードの開発・改良時点におけるマニュアルを対象とする。 4) 検証に係わるドキュメント ①accuracy parameter、 ΔX 、拡散係数、分配係数、溶解度、初期濃度、リザーバ・ミキシングセルに関する設定条件の組合せをベンチマークとして、ベンチマーク解析を行う。また、各ベンチマークの適用範囲を明確にする。 ②沈殿・再溶解機能の検証は、HYDROGEOCHEMとのベンチマーク解析により確認する。 ③INTRACONの検証問題を解析し、他機関の結果と比較する。 ④上記の適用範囲内において EWS, CRAY などの計算機依存性を明確にする。 上記成果を概要集、内容報告書として纏める。 5) 確認に係わるドキュメント ①各試験データに対応する確認基準に関する資料を作成する。 ②左記の確認問題を解析し、資料化する。 上記成果を概要集、内容報告書として纏める。 上記1)の資料を併用する。
周辺岩体	MATRICES	MATRICESへの入力情報 (1)パラメータ解析結果 (2)放射性核種フラックス			(1)入出力対応ミス (2)換算計算	(1)入出力データドキュメント (2)算出根拠	

データ取得段階におけるエラー要因と品質保証項目

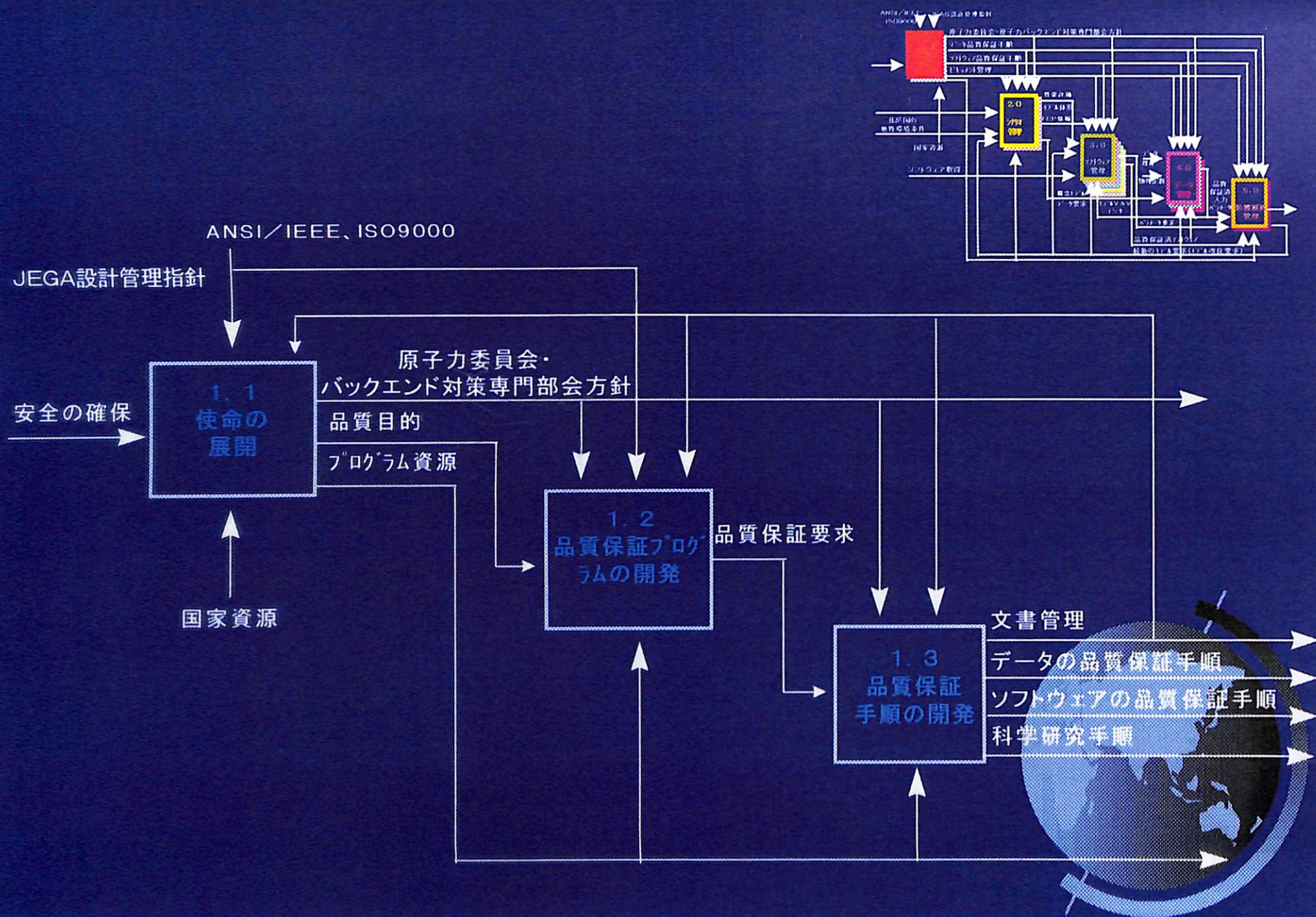
付表2-1 データ取得における品質保証項目及び対策

データ種類	出力情報	不具合・エラー発生事例案	確認事項	品質保証項目	品質保証項目の対策
溶解度	元素濃度 (mol/m ³)	<現象> -過去の文献あるいは、以前に行った実験結果と比較すると値がずれている。 -既に構築されたモデルの解析結果と比較すると値がずれている。 -測定回数が少ない、あるいは繰り返し測定した値にバラツキが生じている。 -実験プロセスにおいて、予想外の現象が見られた。(例：沈殿、液の濁り、固相の変色) <管理上起因する原因> -実施者が熟練でない、あるいは経験が少ない。 -実験の作業要領に測っていなかった。	-容器への吸着の可能性 -試験液の前処理 -容器への吸着の可能性 -温度の変動 -(純水or蒸留水or超純水) -アング・サレ・ションorオ・ン・サレ・ション -平衡状態かどうか -固相の確認ができていますかどうか -酸素の影響度 -Ar, N₂, H₂, CO₂ -Fe, 7ニシ酸 -溶媒の化学組成 -B Gの影響は無視小か -補正は許容量か -誤差は許容範囲か -分析手法に問題点はないか	(1)試験目的 (2)試験手法 -容器材質 -フィルタ濾過精度 -試験液保管方法 -温度 -(試験液グレード) -測定方法 -試験期間 -固相 -酸素濃度 -雰囲気ガス種類 -還元剤種類 -試験液組成 -検出限界値 (3)補正方法 (4)誤差 (5)平均化 -データ数 -分散 (6)モデルとの合致性 -誤差内 -理論的裏付け (7)再現性 -他データとの比較結果 -データ数 (8)手法の標準度 -標準化手法であるか -妥当性の確認の有無	(1)ドキュメント化 ①適切な試験方法 試験目的、試験手法及び測定結果に影響の大きい対象核種、pH、Eh、初期イオン濃度、固相などを記録・文書化する。更に、全ての測定値を記録・保管し、適時提示できるように管理する。また、試験方法が妥当であることの根拠についても合わせて記述する。 ②適切な方法で評価 補正方法の妥当性、再現性の証明、既取得データや理論計算との整合性を証明するための左記の品質保証項目を記録・文書化する。また、評価の妥当性を示すための前提条件、根拠、判断基準についても合わせて記述する。 (2)テクニカルレビュー ①適切な試験方法、②適切な評価方法であることを(1)でドキュメント化された文書をもとに、専門家によるレビューを実施し、妥当性の判断基準・見解を文書化する。

表 2-2 データ取得における品質保証項目及び対策

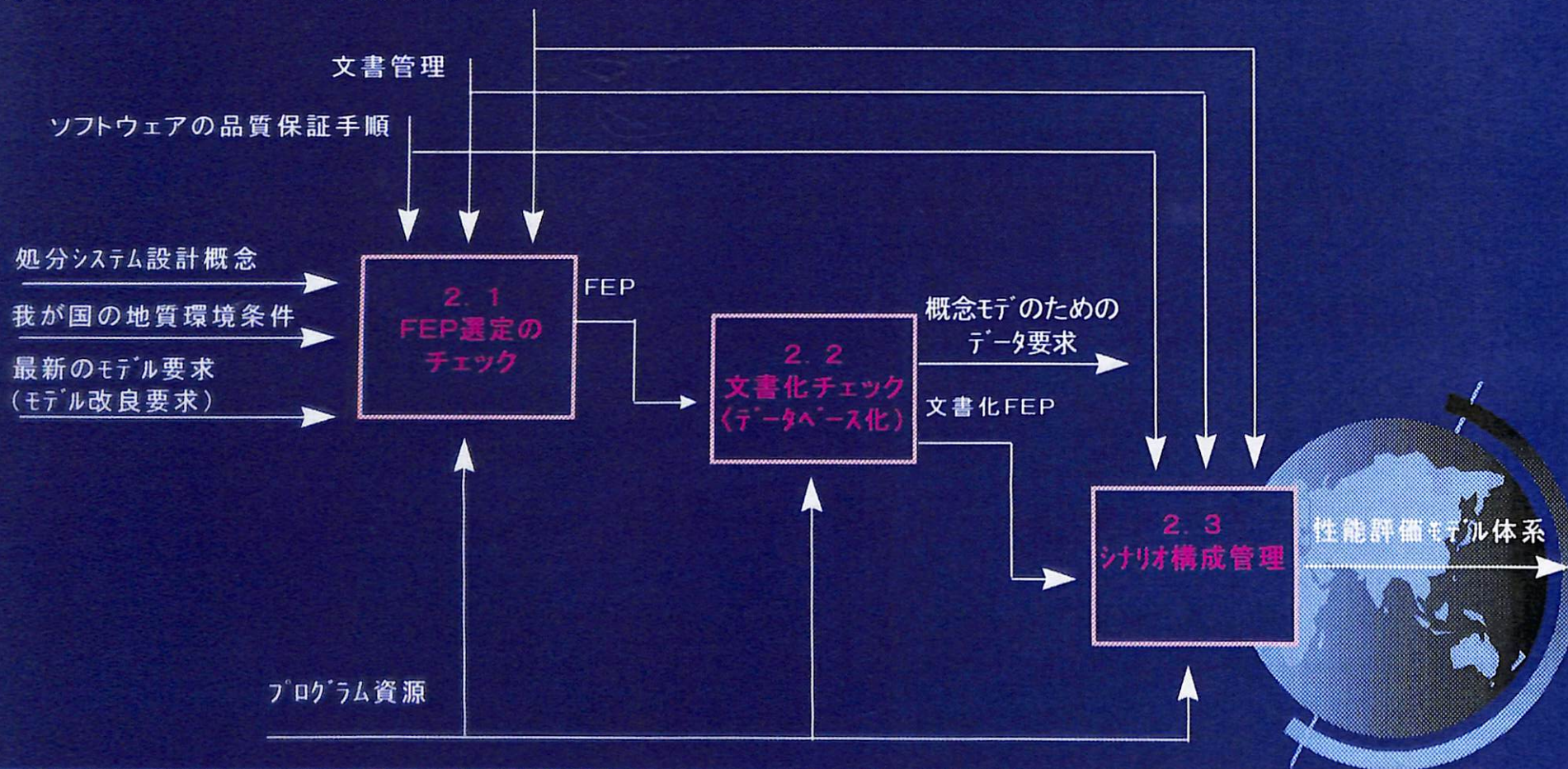
データ種類	出力情報	不具合・エラー発生事例案	確認事項	品質保証項目	品質保証項目の対策
拡散係数	見掛け拡散係数 (m^2/y)	<現象> -過去の文献あるいは、以前に行った実験結果と比較すると値がずれている。 -既に構築されたモデルの解析結果と比較すると値がずれている。 -測定回数が少ない、あるいは繰り返し測定した値にバラツキが生じている。 -実験プロセスにおいて、予想外の現象が見られた。(例：沈殿、液の濁り、固相の変色) <管理上起因する原因> -実施者が熟練でない、あるいは経験が少ない。 -実験の作業要領に測っていなかった。	-容器への吸着の可能性 -試験液の前処理 -容器への吸着の可能性 -温度の変動 -(純水or蒸留水or超純水) -インジュージョンorスルーフインジュージョン -酸素の影響度 -Ar, N₂, H₂, CO₂ -Fe, 7ニシ酸 -溶媒の化学組成 -空隙率 -岩石種類, ベントナイト種類 -BGの影響は無視小か -補正は許容量か -誤差は許容範囲か -分析手法に問題点はないか	(1)試験目的 (2)試験手法 -容器材質 -フィルタ濾過精度 -試験液保管方法 -温度 -(試験液グレード) -測定方法 -酸素濃度 -雰囲気ガス種類 -還元剤種類 -試験液組成 -充填率 -化学組成 -検出限界値 (3)補正方法 (4)誤差 (5)平均化 -データ数 -分散 (6)モデルとの合致性 -誤差内 -理論的裏付け (7)再現性 -他データとの比較結果 -データ数 (8)手法の標準度 -標準化手法であるか -妥当性の確認の有無	(1)ドキュメント化 ①適切な試験方法 試験目的、試験手法及び測定結果に影響の大きい対象核種、pH、Eh、初期イオン濃度、固相などを記録・文書化する。更に、全ての測定値を記録・保管し、適時提示できるように管理する。また、試験方法が妥当であることの根拠についても合わせて記述する。 ②適切な方法で評価 補正方法の妥当性、再現性の証明、既取得データや理論計算との整合性を証明するための左記の品質保証項目を記録・文書化する。また、評価の妥当性を示すための前提条件、根拠、判断基準についても合わせて記述する。 (2)テクニカルレビュー ①適切な試験方法、②適切な評価方法であることを(1)でドキュメント化された文書をもとに、専門家によるレビューを実施し、妥当性の判断基準・見解を文書化する。

フレームワーク

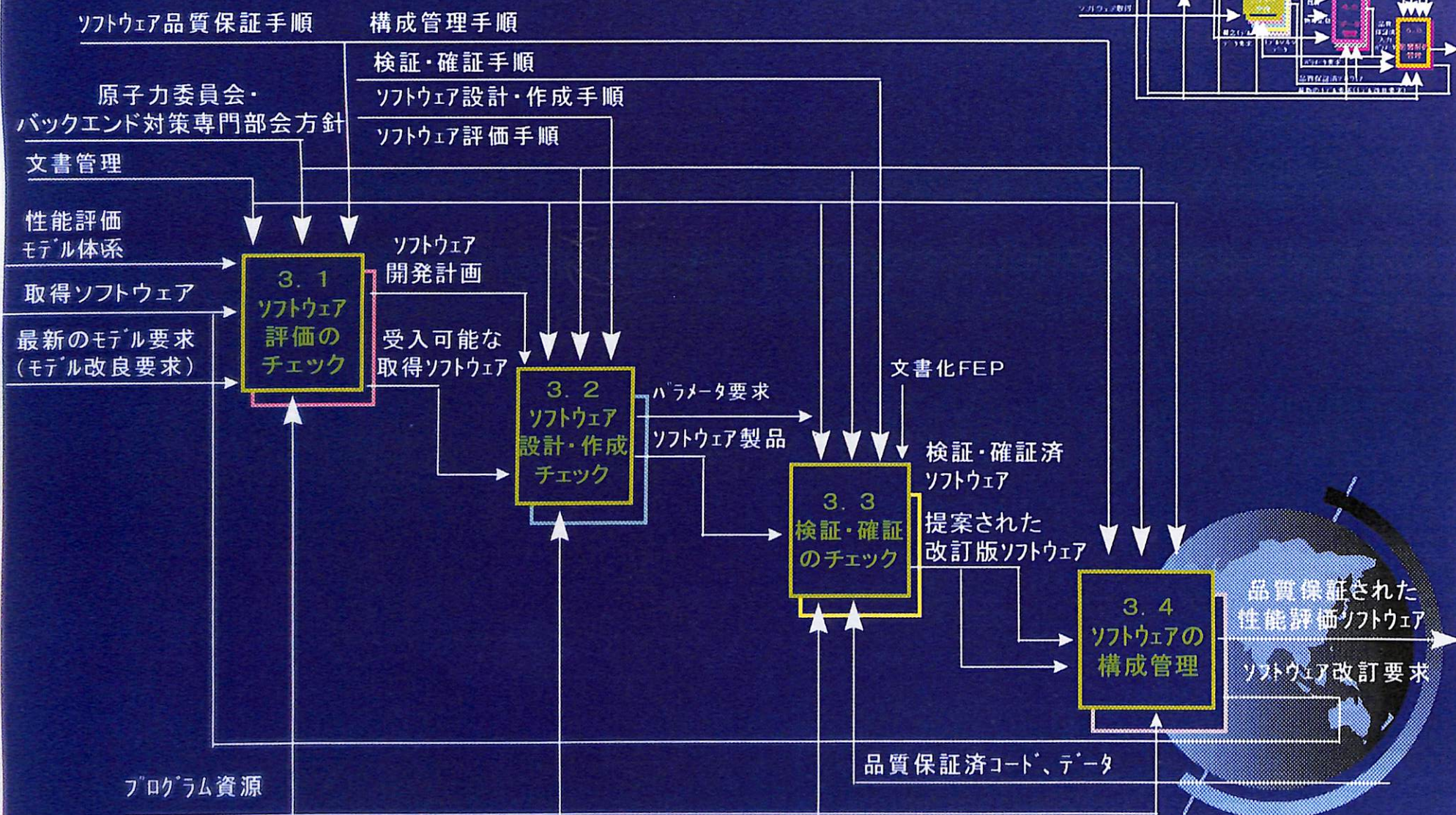


付図3-1 品質保証手続きのフレームワーク (品質保証プログラムの管理)

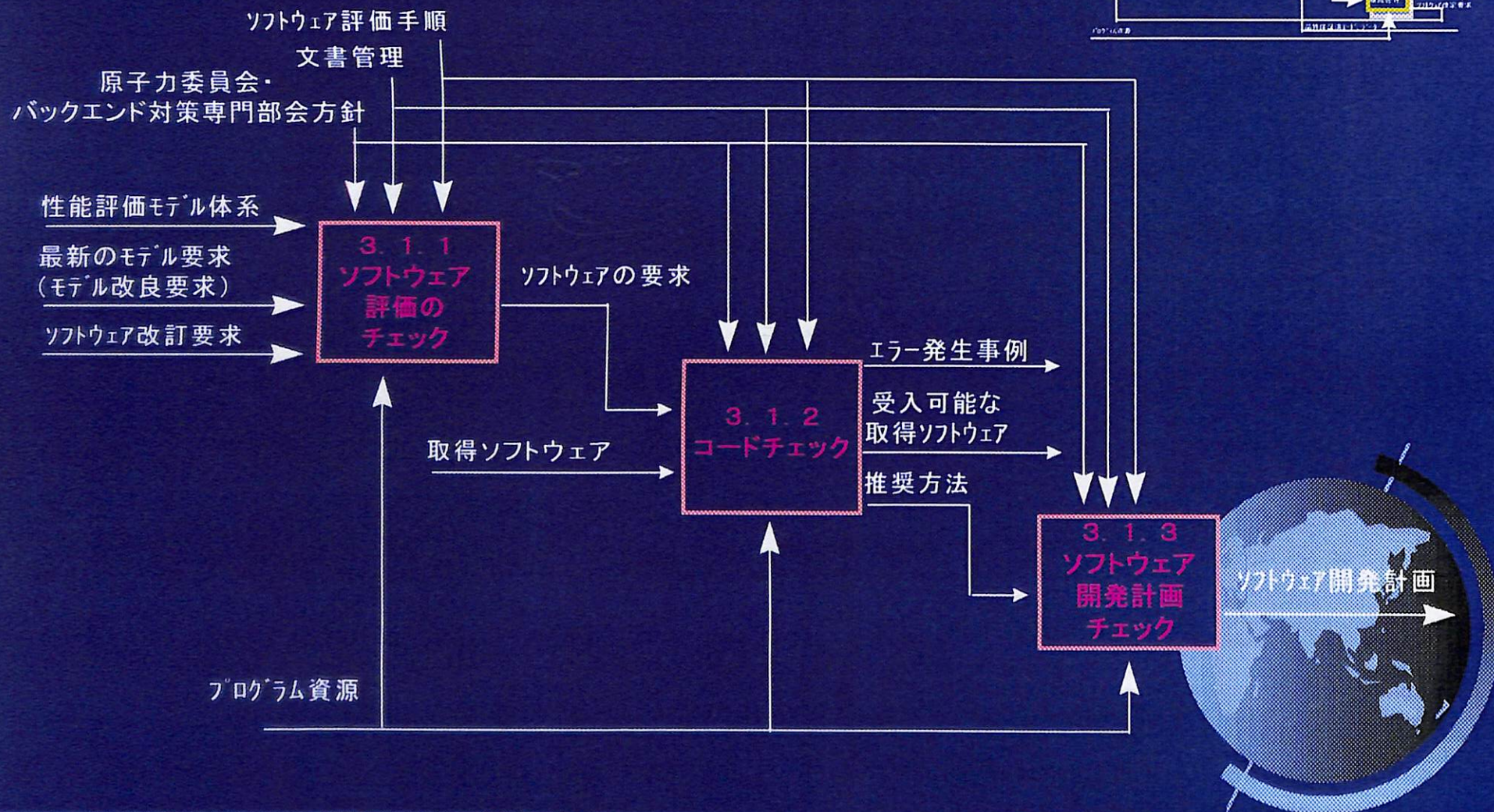
原子力委員会・バックエンド対策専門部会方針



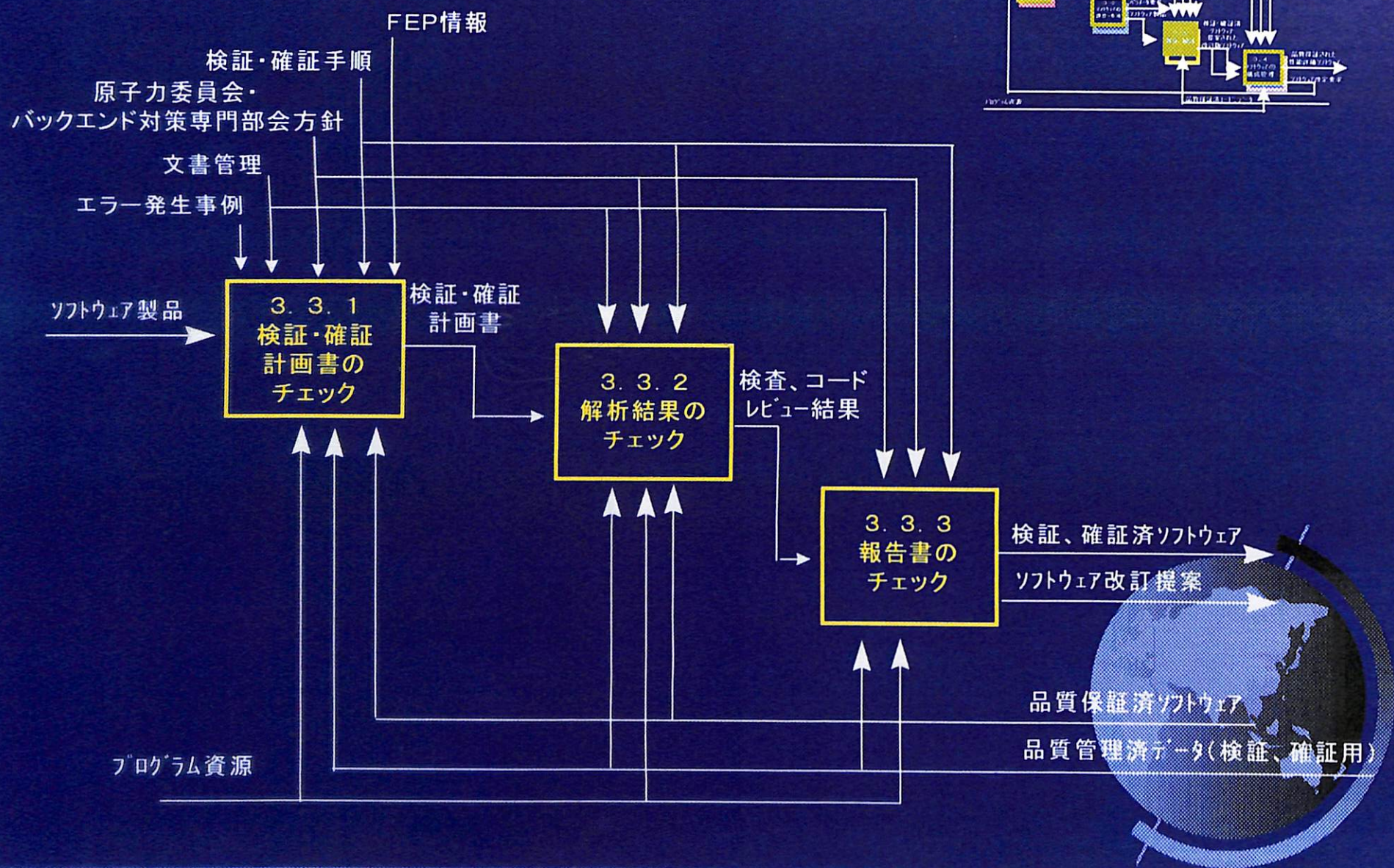
付図3-2 品質保証手続きのフレームワーク (ソフトウェア全体の管理)



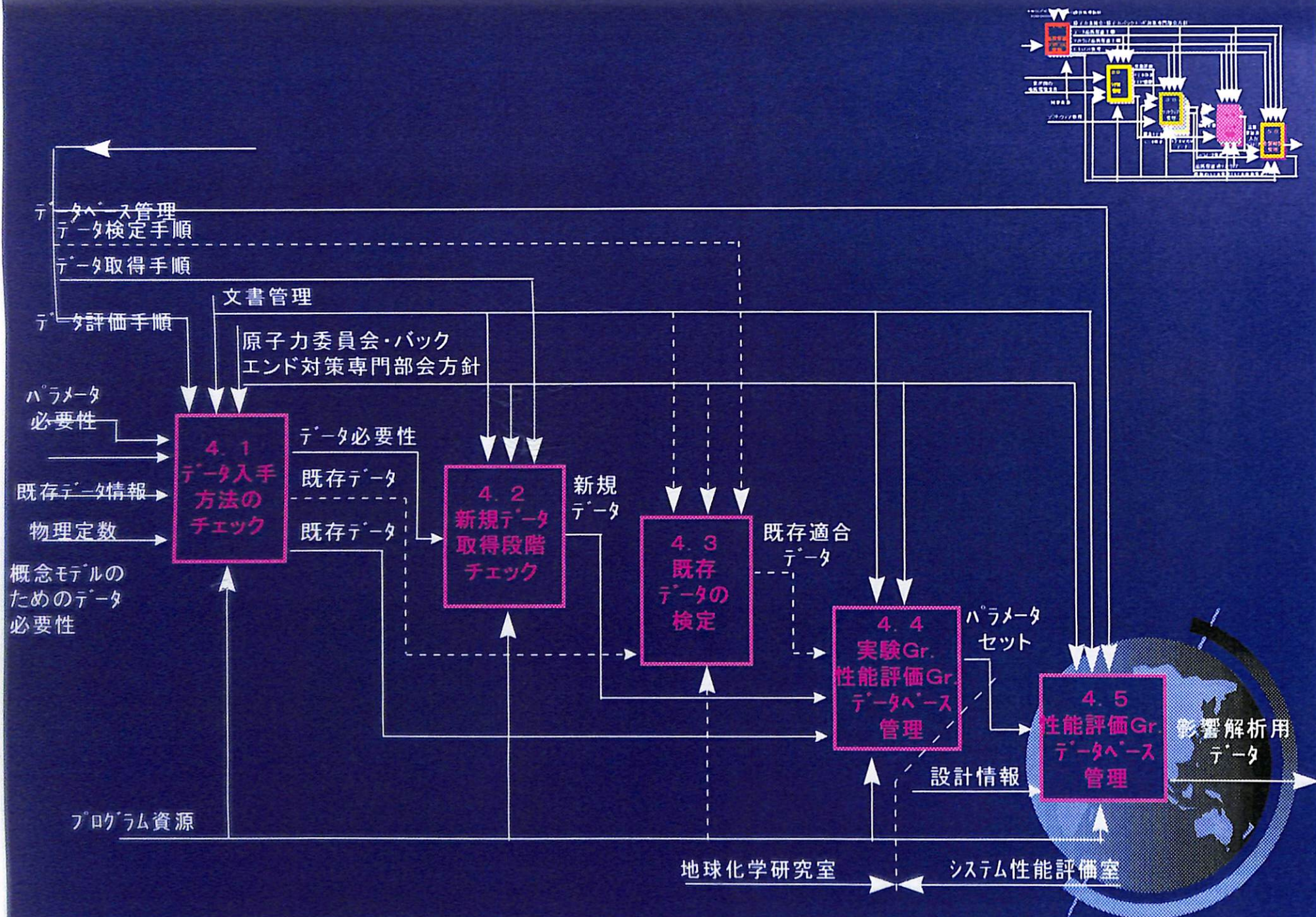
付図3-3 品質保証手続きのフレームワーク（ソフトウェア評価の管理）



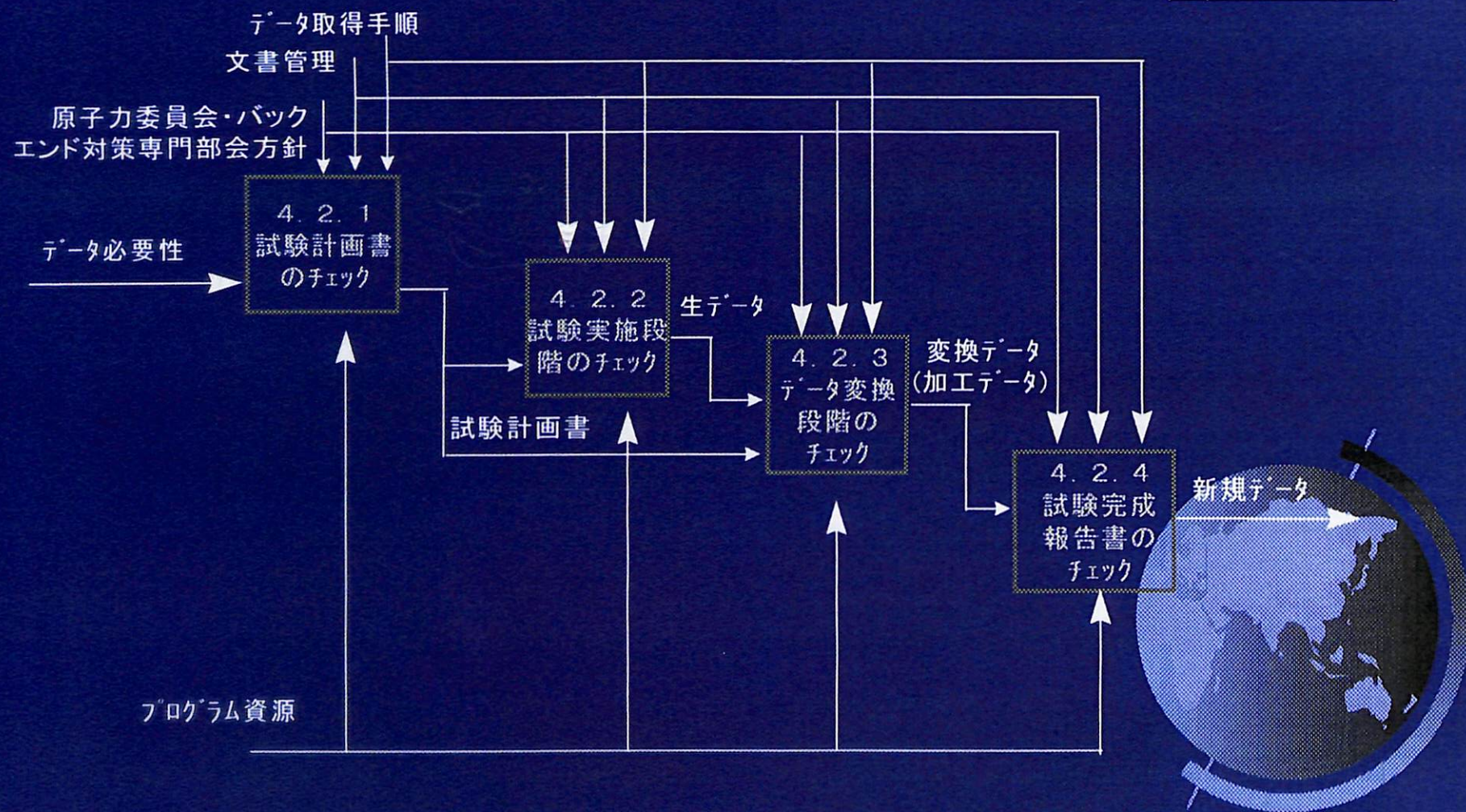
付図3-4 品質保証手続きのフレームワーク (ソフトウェアの開発・改良)



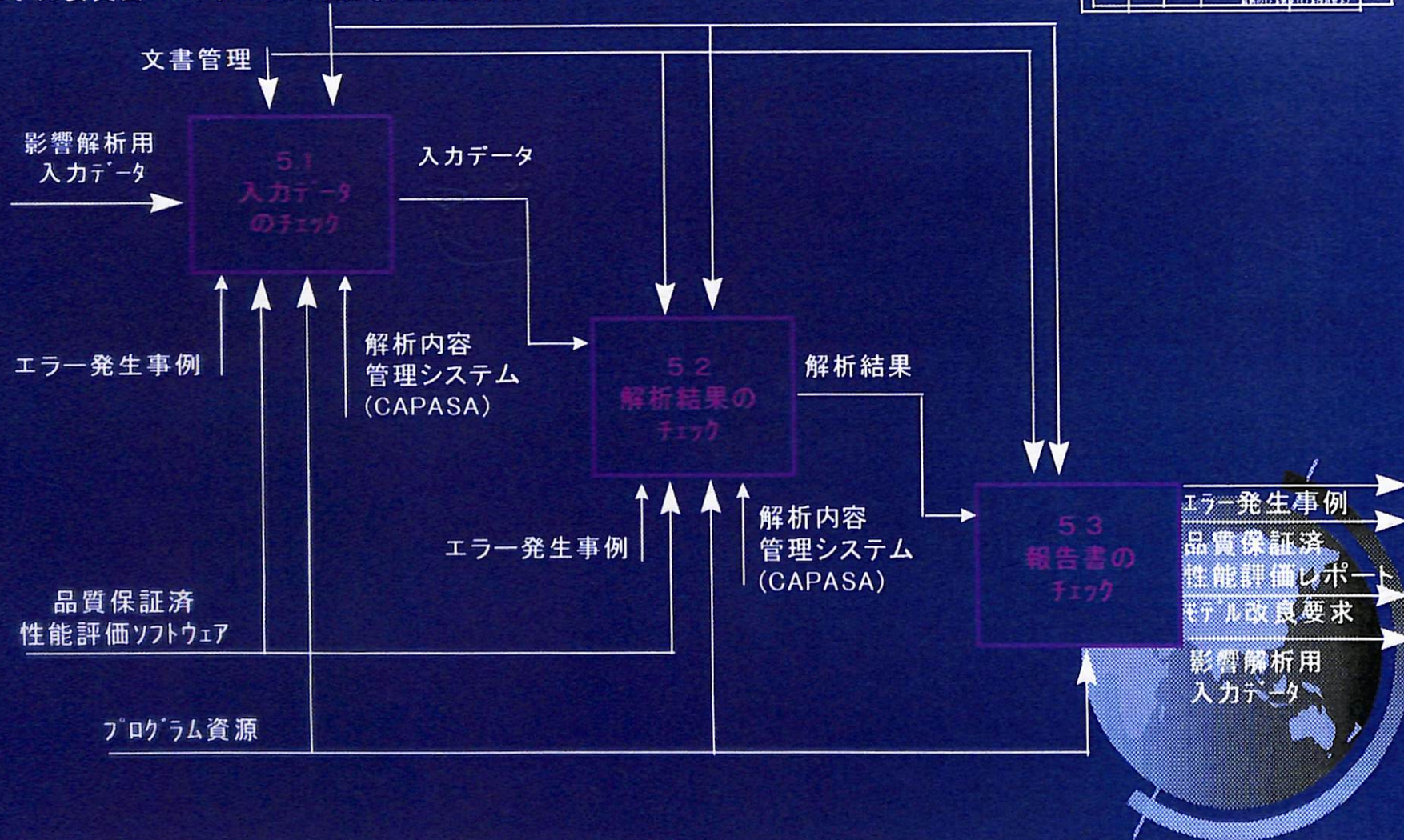
付図3-5 品質保証手続きのフレームワーク (ソフトウェアの検証と確認)



付図3-6 品質保証手続きのフレームワーク (データセット全体の管理)



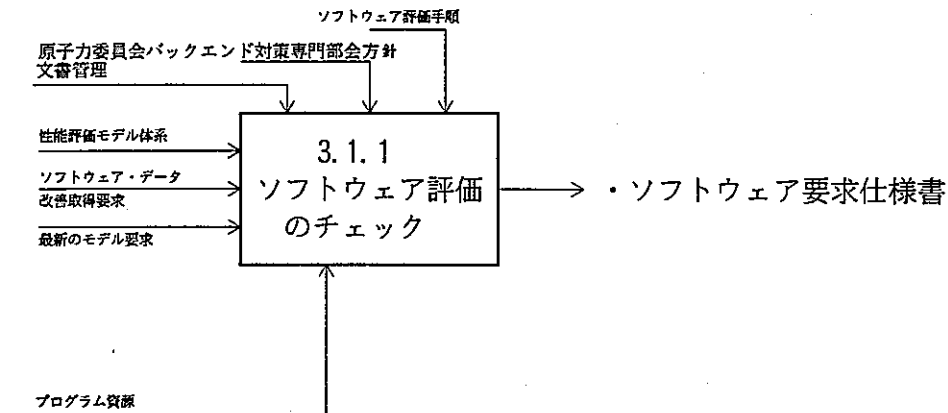
原子力委員会・バックエンド対策専門部会方針



付図3-8 品質保証手続きのフレームワーク（影響解析の管理）

付表 3 - 1 ソフトウェア評価のチェックに関する管理手順

3.1.1 ソフトウェア評価のチェック

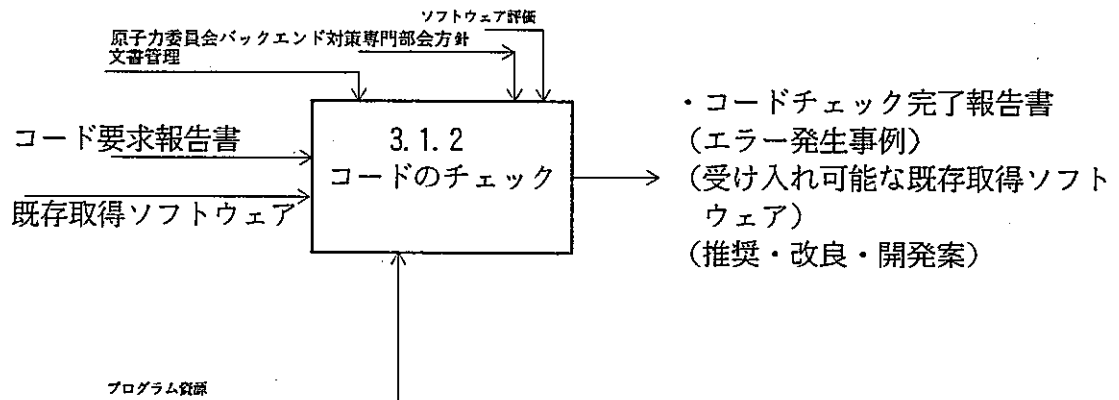


3.1.1 ソフトウェア評価のチェック

ここでは、性能評価で要求されるモデルに対応したソフトウェアを評価し、ソフトウェアの要求仕様書を作成する。本要求仕様書は、動燃殿が委託研究で開発したソフトウェアについて、仕様書または打合せにおける内部資料に要求仕様が記載されている場合は、不要とする。

付表 3 - 2 コードのチェックに関する管理手順

3.1.2 コードのチェック



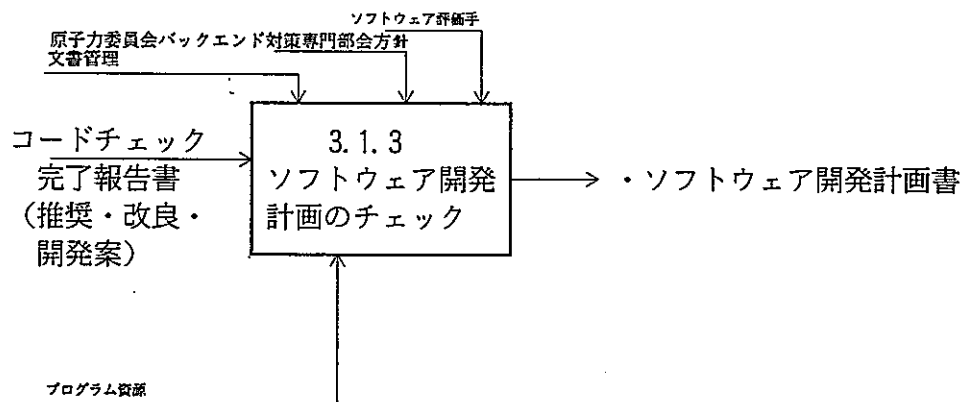
3.1.2 コードのチェック

コードのチェック者（解析実施者）は、決められた様式に基づきコードチェック完了報告書を作成すること。完了報告書には、以下の内容を記述すること。

- ① 目的：本資料の目的では、エラー発生事例、受け入れ可能な既存取得ソフトウェア、推奨／改良／開発案の何れについて記述するのかを明記すること。
- ② 既存入手コード名・バージョン：既存入手コードの名称およびバージョン番号を記述する。
- ③ 既存コードの入手方法：対象とするコードを何処の機関から、何時、誰が入手または購入したのかを記載する。
- ④ 利用マニュアルの検査：「コード要求報告書」の要求事項を満足しているか否かについて確認するため、利用マニュアルを参照したチェックを行う。本資料では、利用マニュアルの全部を付録として添付すること。
- ⑤ 試解析に基づく検査：試解析に基づく検査は実際に計算機を用いた検査を行うこと。本項目では、以下の内容を記述すること。
 - (1) 使用計算機
 - (2) 入力・出力（取得・購入時点で用意されているデータまたは新規作成データ）、ソースプログラム、データライブラリーまたはデータベース毎にディレクトリーまたはデータセット名を用意し、ここにデータを格納していることを記述する。
 - (3) 利用マニュアルに記載されている例題（コード要求報告書に関する例題）解析を実施し、利用マニュアルの結果と一致していることを確認すること。または、実験系の解析もしくは他モデルとの比較が可能であれば適用例として記載すること。解析結果の詳細は、付録に添付すること。
- ⑥ 結論：前記の検査に基づき検査結果のまとめを記載すること。
- ⑦ その他：エラー発生事例を改訂する場合は、本資料と併せて添付すること。

付表 3 - 3 ソフトウェア開発計画チェックに関する管理手順

3.1.3 ソフトウェア開発計画チェック



3.1.3 ソフトウェア開発計画のチェック

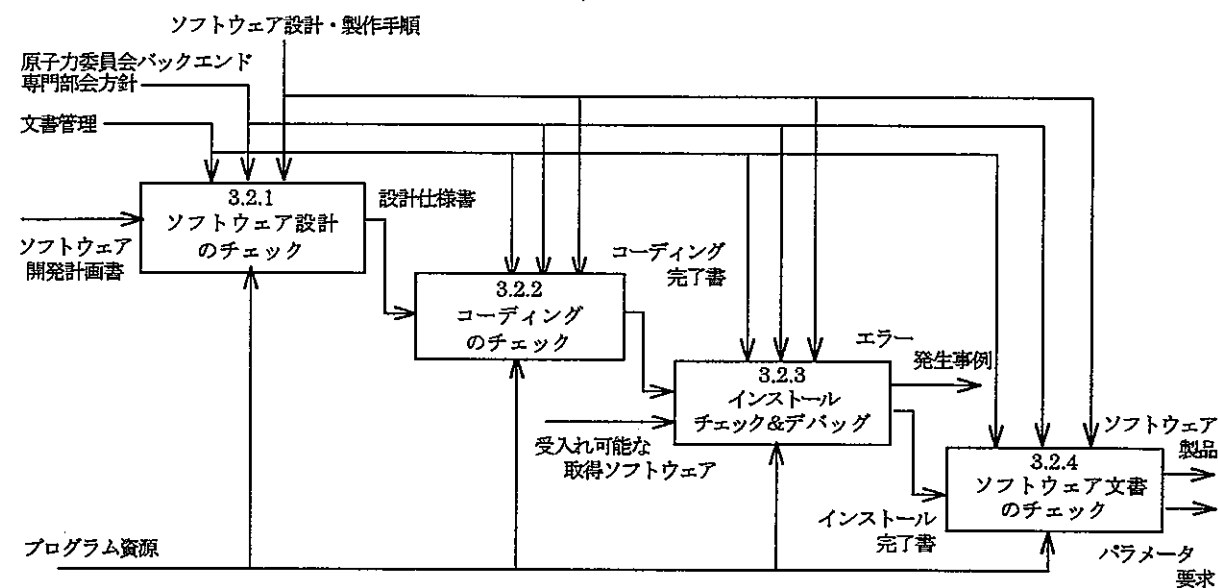
解析者はコードチェック完了報告書において、推奨・改良・開発案の必要性を記述した場合は、決められた様式に基づきソフトウェア開発計画書を作成すること。ソフトウェア開発計画書には、以下の内容を記述すること。

尚、委託研究の実施計画書または仕様書にソフトウェア計画が記載されている場合は、コードチェック完了報告書の付録に添付し所定のチェックを受けること。

- ① 目的：改良または開発の明記をする。
- ② 改良・開発項目：ここでは開発・改良する機能の項目について記述する。
- ③ 改良・開発内容：ここでは、開発・改良の方法を参考文献などを参照して概要の記述をする。

表 3-4 ソフトウェア設計と作成の管理

3.2 ソフトウェア設計と作成の管理



3.2.1 ソフトウェア設計のチェック

ソフトウェアの設計・製作手順に基づき、前行程より引渡された開発計画から実際にソフトウェアを設計・製作するための設計仕様書を作成する。ここで対象となるソフトウェアは、新規開発コードあるいは改良コードである。設計仕様書には、原則として、①数学モデル・前提条件、②設計方針、③設計方法、④フローチャートおよび⑤サブルーチン・変数リストを記載すること。なお、本仕様書は、文書管理手順に基づき審査を受けなければならない。

3.2.2 コーディングのチェック

設計仕様書に記載されたフローチャートおよびサブルーチン・変数リストに基づき、プログラムのコーディングを行う。コーディング終了の後、正常終了を確認するテストランを行い、コーディング完了書を作成すること。テストランで用いる入力データは、設計仕様書に従い簡単なものを作成すること。なお、作成したソースコードのバージョン登録は、「3.3 ソフトウェアの検証と確証の管理」を終了した後に行うこと。

3.2.3 インストール、チェック、デバッグ

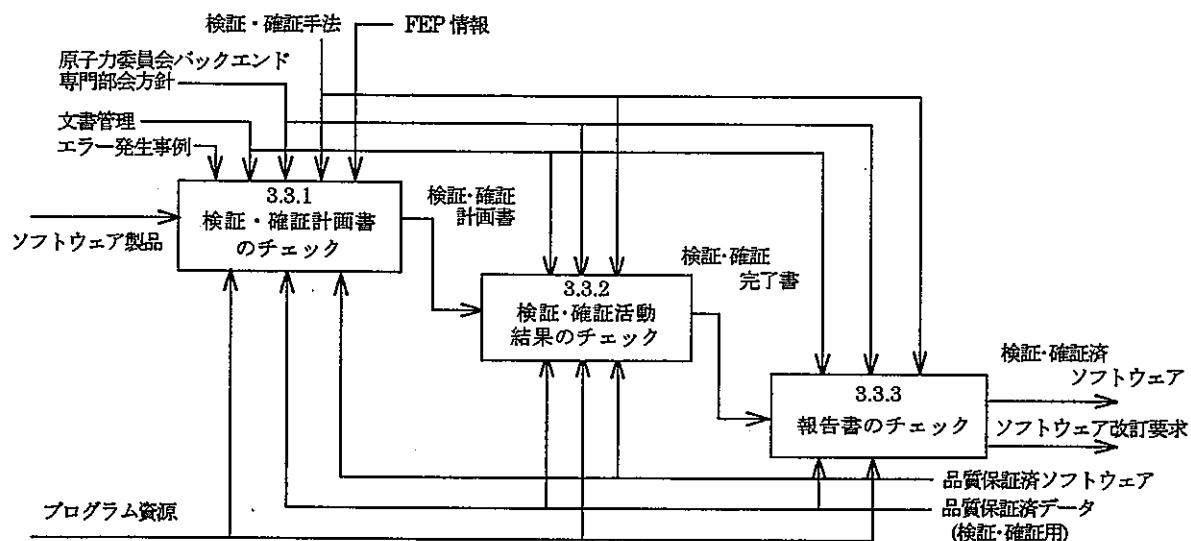
作成したソースコードを、定められた計算機にインストールする。既存のコードを利用する場合は、本工程以降が管理対象となる。インストールが終了したのち、前工程と同一のテストランを行い、対象計算機、ソースコード、入出力ファイルの保管場所を明記したインストール完了書を作成すること。計算機に依存した不具合が発見された場合は、所定のフォーマットに従い記録すること。

3.2.4 ソフトウェア文書のチェック

インストールしたソースコードを基に、次工程（3.3 ソフトウェアの検証と確証）に提供するソフトウェア製品（ソースコード、使用説明書、プログラム説明書）を完成させる。使用説明書ならびにプログラム説明書は、文書管理手順に基づき作成し所定の審査を受けること。但し、委託研究報告書等で既に該当する図書がある場合は、新たに作成する必要はない。なお、使用説明書には当該プログラムで必要とするパラメータ、即ち入力ファイル内容を全て明記しなければならない。（パラメータ要求）。

表 3-5 ソフトウェアの検証と確認の管理手順

3.3 ソフトウェアの検証と確認の管理



3.3.1 検証計画書のチェック

一般的な検証手法に基づき、当該ソフトウェアに対する検証計画書を作成する。ここで、入力情報となるソフトウェア製品については、関連文書の記載内容（使用説明書、プログラム説明書、検証程度等）を事前に確認すること。本計画書には、目的、検証問題、検証ツール、検査項目および容認基準を明記すること。検証問題の設定に際しては、FEP 情報を参考にしつつ、検証ケースの絞り込みを行うこと。また、既に運用実績があり、エラー発生事例が整理されているコードについては、そこに記載されている対策を反映すること。検証ツールとしては、手計算、ベンチマーク解析、厳密解および既存の解析結果のうち、いずれか1つあるいは複数のものを選択すること。検査項目および容認基準は、利用した検証ツールあるいは検証問題に応じて適時設定すること。これまで、運用実績が少ないコードあるいは新規開発コードについては、ソースコードレビューを実施し、机上デバックを行う旨明記すること。また、解析支援システム(CAPASA)を利用した場合は、その旨明記すること。なお、本計画書には検証実施者、レビュー部門ならびに検証スケジュールを明記するとともに、文書管理手順に基づく審査を受けること。

3.3.2 検証・確認活動結果のチェック

検証計画書に従い、検証作業を行う。ソースコードレビューを実施した場合は、チェックリストを作成すること。検証問題の解析結果は、入出力データとともに所定の場所に保管すること。また、解析における人為的な誤り防止を目的とし、ここで実施した全ての解析ケースについて、入出力ファイルのチェックを行うこと。全ての作業が終了した後、検証完了書を作成すること。

3.3.3 報告書のチェック

検証結果の整理・考察を行い、検証報告書を作成する。報告書の内容は、原則として①目的、②検証方法(検証ツール)、③検証問題、④解析結果、⑤考察、⑥結論を記載し、入出力ファイルのリストを添付すること。検証計画書に明記した容認基準をクリアしない場合は、その原因を考察し、その後の処置と対策を明確にすること。当該ソフトウェアの不具合がある場合は、所定のフォーマットに従い改訂要求を発信すること。本報告書は、文書管理手順に基づき所定の審査を受けること。

付表 3 - 6 データ入手方法の管理手続き

4.1 データ入手方法の管理	改 正
<pre> graph TD DHM[データ入手方法] --> C[4.1 データ入手方法の管理] ACFE[原子力委員会バックエンド専門部会方針案] --> C WM[文書管理] --> C PR[プログラム資源] --> C PNB[パラメータ必要性] --> C PD[物理定数・既存データ情報] --> C CM[概念モデルのためのデータの必要性] --> C C --> EHP[実験計画書] C --> EDDP[既存データ取得計画書] C --> ED[既存データ] </pre>	作成年月日 平成 年 月 日
4.1 データ入手方法の管理の概要 性能評価で使用するデータの入手方法が決定した場合は、入手方法に関する資料を作成し入手方法が適切であることをチェックすること。 作成する資料 データの入手方法に関する資料では、以下の項目を記述すること。 ①目的：データ入手の必要性を記述する。本資料が実験計画書、既存データ取得計画書、既存のデータセットであることを明記する。ここでは、入力情報が何であることを明記すること。 ②入手概要：データ取得・収集を実施する際の要求事項を記述すること。 ③添付資料：専門家が推奨した既存のデータセットが有る場合は付録として添付すること。 ただし、委託研究の起案書、仕様書、速報のいずれかに①～③が記載されていれば、ここで規定した資料は作成しないこととする。 チェック (a)作成した資料が、前記の記載要領に準拠しているか否かのチェックすること。 (b)データ入手の必要性は、データ入手のための入力情報と整合性が取れていることをチェックすること。 (c)本資料の位置づけが明記されていることをチェックすること。 (d)データ取得・収集の要求事項が入力情報と整合性が取れていることをチェックすること。 (e)入手方法に関係無く既存のデータを採用する場合は、添付資料が有ることをチェックすること。 (f)以上のチェックを行った者は所定のシートに日付とサインをする。	

付表 3 - 7 新規データ取得の管理手続き

4.2.1 試験計画の立案とチェック	改 正
データ取得手順 データ入手計画書 実験計画書 原子力委員会バックエンド専門部会方針案 文書管理 4.2.1 試験計画の立案と チェック プログラム資源 作成年月日 平成 年 月 日 試験実施計画書	
4.2.1 試験計画の立案とチェック 性能評価で使用するデータを室内実験または野外試験にて取得する場合は、試験計画に関する資料を作成し、計画書が適切であることをチェックする。 作成する資料 試験計画書では以下の項目を記述すること。 ①目的：データ入手のための試験の必要性について記述すること。 ②試験方法：試料の準備・実験・分析（測定）にいたるまでの過程で実施したことを項目毎に記述すること。ただし、確立された試験方法標準を準拠している場合は、その旨を記述すること。 ③評価方法：取得したデータの信頼性を示すための方法について記述すること。 ④工程：試験の開始から報告書の作成にいたるまでのスケジュールを記述すること。 <u>ただし、委託研究の仕様書、実施計画書、速報のいずれかに①～④が記述されていれば、ここで規定した資料は作成しないこととする。</u> チェック (a)作成した資料が、前記の記載要領に準拠しているか否かのチェックすること。 (b)目的で記述した内容が、「データ入手方法の管理」で作成された内容と整合性が取れていることのチェックをすること。 (c)試験の再現性を確保するために、試験方法では適切なN数（3以上）を設定しているか否かのチェックをすること。N数が限定されている場合、前記の記載要領「評価方法」にて信頼性を担保する方法が記述されていることのチェックをすること。 (d)確立された試験方法標準を運用できるか否かの確認がされていることのチェックをすること。 (e)評価方法の条件ならびに検討フローが適切であることをチェックすること。また、生データを加工する場合は、変換式ならびに使用物性値を記述するとともに出典を明記されているか否かについてチェックすること。 (f)設定された工程（季節による温度差など）は、試験系、試料を乱すことが無いことをチェックすること。 (g)以上のチェックを行った者は所定のシートに日付とサインをする。	

付表 3 - 8 新規データ取得の管理手続き

4.2.2 試験実施・データ加工の報告とチェック	改 正
原子力委員会バックエンド専門部会方針案 データ取得手順 → データ入手計画書 → 試験実験計画書 → 4.2.2 試験実施・データ加工 の報告とチェック → 試験完了書 文書管理 プログラム資源	作成年月日 平成 年 月 日
4.2.2 試験実施・データ加工の報告とチェック 性能評価で使用するデータ取得のための試験ならびにデータ加工が終了した場合は、試験の完了書を作成し、試験が適切であることをチェックすること。 作成する試料 ①試験内容：試験実施計画書に記述した内容に従って実施したことを示すメモ、記録シート、分析結果を全て記述しないしは添付すること。 ②評価結果：データ加工で使用した式、物性値、結果を記述すること。また、モデル・コードによる評価を行った場合は、モデル・コードの信頼性を示す資料の出典を明記するとともに、コードのバージョン・データベース・実行モジュール・入出力データ名を付録として添付する。 <u>ただし、委託研究の打合せ用資料、成果報告書のいずれかに①、②が記載されていれば、ここで規定した資料は作成しないこととする。</u> チェック (a)作成した資料が、前記の記載要領に準拠しているか否かのチェックすること。 (b)試験実施計画書の内容と整合性が取れていることのチェックをすること。 (c)評価結果において計算機を用いた場合、資料／計算機内のデータ名称が正確であることをチェックすること。 (d)評価において使用した入力データが適切であることのチェックをすること（例えば、計画書に記載された条件との整合性、質量収支のチェック、単位、使用オプションなど）。 (e)データ加工で使用した式・物性性は一貫性が確保されていることのチェックをする。 (f)以上のチェックを行った者は所定のシートに日付とサインをする。	

付表 3 - 9 新規データ取得の管理手続き

4.2.3 報告書の作成とチェック	改 正 作成年月日 平成 年 月 日
データ取得手順 → データ入手計画書 → 実験計画書 → 原子力委員会バックエンド専門部会方針案 文書管理 4.2.3 報告書の作成と チェック プログラム資源 → ・速報 → ・技術資料	
4.2.3 報告書の作成とチェック 性能評価で使用するデータを取得した場合は、成果を報告書としてまとめ第三者のチェックまたは審査を受けること。 作成する資料 ①目的：データ取得の必要性を記述すること。 ②試験方法：試験実施計画書に記載した内容を漏れなく記述すること。 ③結果と考察：試験結果またはモデル解析結果の解釈を記述すること。 ④結論と今後の課題：試験で得られた成果に加え本研究に対する改善項目を記述すること。 <u>ただし、学会等への研究論文、予稿、技術資料、速報ならびに委託研究の成果報告書のいずれかに①～④が記載されていれば、ここで規定した資料は作成しないこととする。</u> チェック (a)作成した資料が、前記の記載要領に準拠しているか否かのチェックすること。 (b)資料の目的が試験実施計画書に基づいたものとなっていることのチェックをする。 (c)試験は信頼性を担保する方法で実施されているか否かのチェックをする。 (d)取得したデータは再現性が確保されているか否かのチェックをする。 (e)結果と考察により取得したデータの解釈が十分にできていることのチェックをする。 (f)用語、単位などの一貫性が確保されているか否かのチェックをする。 (g)以上のチェックを行った者は所定のシートに日付とサインをする。	

付表－１０ 既存データ取得の管理手続き

4.3 既存データ取得の管理	改 正
<pre> graph TD A[データ収集計画書] --> C[4.3 既存データ取得管理] B[原子力委員会バックエンド専門部会方針案] --> C D[文書管理] --> C E[プログラム資源] --> C C --> F[既存データ収集報告書] </pre>	作成年月日 平成 年 月 日
4.3 既存データ取得の管理 性能評価で使用するデータを既存のデータから引用する場合は、既存データの取得に関する資料を作成し、既存のデータ取得が適切であることをチェックすること。 作成する資料 既存のデータ収集に関する資料では、以下の項目を記述すること。 ①目的：既存データの収集に関する必要性を記述すること。 ②取得方法：検索方法、検索、収集する文献の選定にいたるまでの過程で実施したことを項目毎に記述すること。 ③添付資料：検索～文献購入において入手した情報は全て付録として添付すること。 <u>ただし、委託研究の仕様書、実施計画書、成果報告書、文献集、速報、技術資料のいずれかに①～③が記述されていれば、ここで規定した資料は作成しないこととする。</u> チェック (a)作成した資料が、前記の記載要領に準拠しているか否かのチェックをすること。 (b)目的で記述した内容が、「データ入手方法の管理」で作成された内容と整合性が取れていることのチェックをすること。 (c)既存データ取得計画書で記述された方法が漏れなく実施されているか否かのチェックをすること。 (d)検索段階のキーワードに漏れの無いことをチェックすること。 (e)検索では複数のデータベースを用いて、入手文献に漏れが無いことをチェックすること。 (f)以上のチェックを行った者は所定のシートに日付とサインをする。	

付表－１１ 実験グループのデータベース管理手続き

4.4.1 データ登録の報告とチェック	改 正 作成年月日 平成 年 月 日
データベース管理 既存データ収集報告書 新規データ取得報告書 既存データ 原子力委員会バックアップ専門部会方針案 文書管理 4.4.1 データ登録の報告と チェック プログラム資源 登録完了書	
4.4.1 データ登録の報告とチェック 性能評価で使用するデータの取得または収集が終了し、計算機内の管理用ファイル（データベースシステム）または資料として登録した場合、データの登録完了に関する資料を作成し、誤りの無いことをチェックすること。 作成する資料 登録完了に関する資料では、以下の項目を記述すること。 ①登録作業内容：入力情報であるデータ記載資料を明記し、データ項目・数値・単位・登録した補助情報をテーブル化または計算機出力させること。 チェック (a)作成した資料が、前記の記載要領に準拠しているか否かのチェックをすること。 (b)入力したデータ（数値・単位・補助情報）が正確に登録されているか否かのチェックをすること。 (c)入力したデータの出典が明記されていることのチェックをすること。 (d)以上のチェックを行った者は所定のシートに日付とサインをする。	

付表－１２ 実験グループのデータベース管理手続き

4.4.2 データ選定の報告とチェック	改 正
<pre> graph TD DBM[データベース管理] --> C[4.4.2 データ選定の報告とチェック] AEC[原子力委員会バックエンド専門部会方針案] --> C WM[文書管理] --> C RW[登録完了書] --> C PR[プログラム資源] --> C C --> O[・速報 ・技術資料] </pre>	作成年月日 平成 年 月 日
4.4.2 データ選定の報告とチェック 登録されたデータにおいて信頼性の観点から、性能評価で使用するデータを選定した場合は、データ選定に関する資料を作成し選定方法が適切であることをチェックすること。さらに、選定したデータを解析コード用のファイルに登録した場合は、本資料に登録内容を記述すること。 作成する資料 データ選定に関する資料では、以下の項目を記述すること。 ①目的 : データ選定の目的（元素または核種、データの幅・保守性・現実性）を記述すること。 ②選定の手順 : 対象とするデータベース、データ、選定基準を明記すること。選定基準は、試験情報の優劣、数値のばらつき、実施機関などを明記すること。 ③選定結果 : 選定基準に基づき得られた結果ならびに適切であることを明記すること。 ④登録内容 : 選定したデータを解析コード用のファイルに入力する場合は、必ずバージョンアップさせたファイル名・番号として、登録したことを明記すること。また、登録した部分のハードコピーのまたは全てのデータセットを付録として添付すること。 <u>ただし、委託研究の成果報告書、速報、技術資料のいずれかに①～③が記載されていればここで規定した資料は作成しないこととする。</u> チェック (a)作成した資料が、前記の記載要領に準拠しているか否かのチェックをすること。 (b)選定手順は他の元素・核種に対して整合性が確保されていることのチェックをすること。 (c)選定前後のデータが添付され、かつ正確に選定されていることをチェックすること。 (d)選定されたデータが現実的であることを示す内容が記述されているか否かについてチェックすること。 (e)以上のチェックを行った者は所定のシートに日付とサインをする。	

付表－１３ 実験グループのデータベース管理手続き

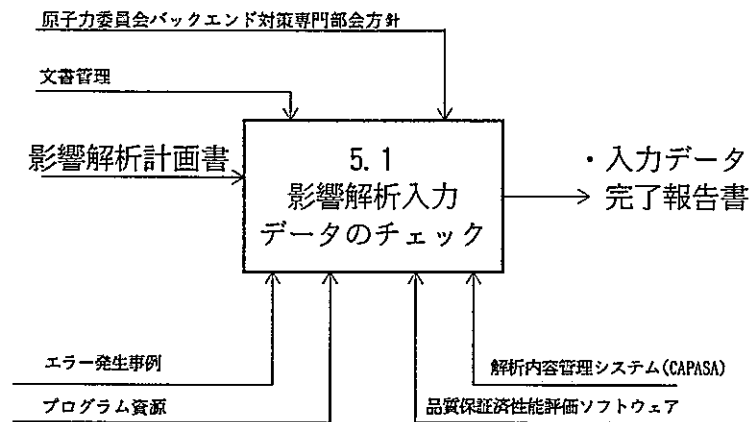
4.4.3 データベース変換の報告とチェック	改 正 作成年月日 平成 年 月 日
<pre> graph TD DBM[データベース管理] --> C[4.4.3 データベース変換の報告とチェック] AEC[原子力委員会バックエンド専門部会方針案] --> C WM[文書管理] --> C P[速報・技術資料] --> C PR[プログラム資源] --> C C --> R[速報・技術資料] </pre>	
4.4.3 データベース変換の報告とチェック 既存のデータベースファイルに登録したデータを、更に変換ソフトウェアを用いて他の解析コード用のデータベースファイルに変換した場合はデータベースの変換に関する資料を作成し、データ変換が適切であることをチェックすること。 作成する資料 データベース変換に関する資料では、以下の項目を記述すること。 ①目的 : 本作業が必要であることの目的を記述する。 ②変換作業 : 変換作業のフローを明記すること。フローは、元データベースから変換データデータベースまでの情報の関連性を示すこと。変換計算の結果が正確であることを示すためのベンチマーク計算問題の仕様を明記すること。 ③変換結果 : 変換前後のデータファイル・変換プログラムのバージョン・実行ファイル名・入力データ名を明記すること。変換結果が正確であることをベンチマーク解析結果を明記すること。 ④添付資料 : データ登録の際にリンクしている補助情報（実験条件、測定項目など）のリストまたは画面のハードコピーを付録として添付すること。また、ベンチマーク解析結果のリストを添付すること。 <u>ただし、委託研究の成果報告書、速報、技術資料のいずれかに①～④が記載されていればここで規定した資料は作成しないこととする。</u> チェック (a)作成した資料が、前記の記載要領に準拠しているか否かのチェックをすること。 (b)変換作業のフローにおいて、変換データは、データの登録・データの選定に係る関連性を漏れなく記述しているか否かをチェックすること。 (c)補助情報が変換結果と対応していることをチェックすること。 (d)計算機上のファイル名と資料に記載されたファイル名が一致していることをチェックすること。 (e)ベンチマーク解析の結果が正確であることのチェックをすること。 (f)以上のチェックを行った者は所定のシートに日付とサインをする。	

付表 3 - 1 4 影響解析データ取扱い管理手続き

4. 5 システム性能評価解析室影響解析データ取扱い管理	改 正
<pre> graph LR A[原子力委員会バックエンド対策専門会方針] --> B[データベース管理] A --> C[文書管理] B --> D[4.5.1 影響解析データの管理] C --> D E[データセットアップ報告書] --> D F[パラメータセット報告書] --> D G[設計情報] --> D H[物理定数] --> D I[核定数ライブラリー・核定数] --> D J[プログラム資源] --> D D -- "・影響解析データ登録完了書" --> K[4.5.2 影響解析計画書の管理] K -- "・解析計画書" --> L[] </pre>	作成年月日 平成 年 月 日
4. 5. 1 影響解析データの管理 影響解析用のデータが決定した場合、データ登録が終了した時点で登録完了書を作成し、本作業が適切であることをチェックすること。 作成する資料 ①目的 ②データ登録方法 ③データの登録内容（データ名、数値、単位、解析条件、補助情報） ④熱力学データベース・核定数ライブラリーのデータセット名 チェック (a)記載要領 (b)登録作業の完全性 (c)入力情報 (d)審査 4. 5. 2 影響解析計画書の管理 性能評価を行うための解析計画書を作成し、適切な計画書となっているかチェックする。 作成する資料 ①目的 ②実施内容 ③使用コード ④解析支援システム（CAPASA）情報または入出力データセット名 ⑤解析作業スケジュール ⑥添付資料：データシート チェック (a)記載要領 (b)解析目的 (c)設定条件の正確性、網羅性 (d)審査	

付表 3 - 1 5 影響解析入力データのチェックに関する管理手順

5.1 影響解析入力データのチェック



5.1 影響解析入力データのチェック

解析者が影響解析計画書に基づき入力データを作成した際は、入力データ作成完了報告書を作成し、以下に定めた項目を検査し、担当者（解析を依頼した職員）またはグループリーダーに報告すること。チェック項目は以下の通りとする。

①指定した数値のチェック

入力ファイルに指定した数値が影響解析計画書の値と一致していること。

②指定した数値のカラムチェック

入力ファイルに指定した数値の位置（カラム）が、コード利用マニュアルに記載された位置と一致していること。

③指定した数値の単位チェック

入力ファイルに指定した数値の単位が、影響解析計画書ならびにコード利用マニュアルに記載された単位と一致していること。

CAPASAを用いた場合は、以下に示すチェックを行うこと。

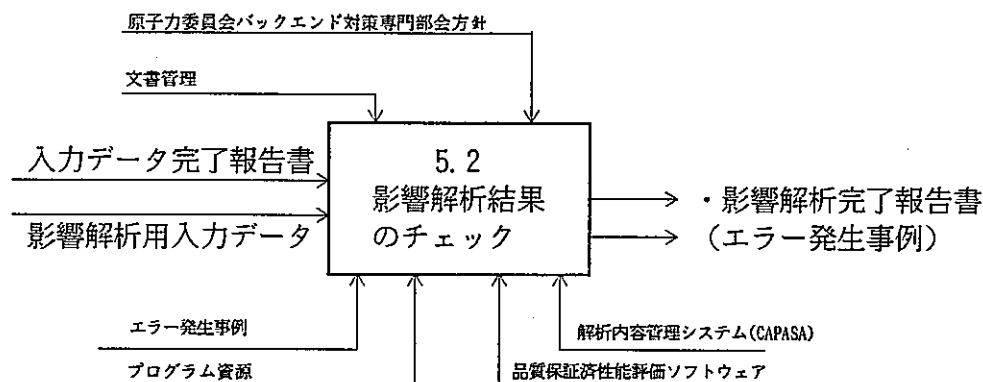
①CAPASAに導入されているテンプレート入力機能を用いた場合は、変更した箇所について影響解析計画書の値、単位ならびに指定した数値の位置（カラム）が、コード利用マニュアルと一致していること。

②今後CAPASAに導入されると考えられる知識ベース（システム性能解析入力データ支援機能）を用いた場合、入力データのチェックは行わない。

以上のチェックは、入力データ完了報告書に添付資料としてして入力データ（ハードコピー）を示し、参照できるようにしておく。

付表 3 - 1 6 影響解析結果のチェックに関する管理手順

5.2 影響解析結果のチェック



5.2 影響解析結果のチェック

解析者は、解析終了時点で決められた様式に基づき解析完了報告書を作成し、担当者（解析を依頼した職員）またはグループリーダーに報告すること。出力結果のチェックの内容を以下に示す。

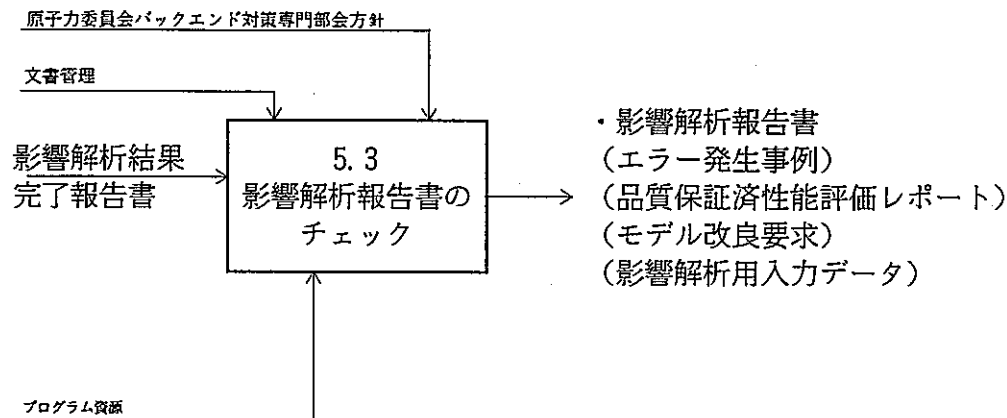
- ①個別の性能評価コードを用いた場合は、入力データのエコーが入力データ完了報告書の値と一致していることを確認すること。または、個別性能評価コードからの結果を入力情報とした場合の解析では、入力データのエコーが影響解析報告書（影響解析用入力データ）の値と一致していることを確認すること。また、CAPASAによる連成解析を行った場合においても個別コードの結果についてチェックを行うこと。
- ②定性的な解釈（分布の傾向、他の文献との類似性）をすること。
- ③任意の時間・空間・点において質量収支が成立していることを確認すること。
- ④または、本解析が検証・確認で得られた解析コードの適用範囲内であることを、関連資料番号を引用して記述すること。適用範囲外または不明の場合はその旨を記述すること。
- ⑤エラー発生事例が計算結果として出力されていないことを確認すること。エラー発生が判明した場合は、「ソフトウェア・データ改善取得要求票」を作成し、本資料と併せて提出すること。または、新たなエラーが発生した場合は、エラー発生事例の改訂版と改善取得要求票を併せて提出すること。

CAPASAを用いた場合は、以下に示すチェックを行うこと。

- ①今後CAPASAに導入されると考えられる知識ベース（システム性能解析の確認事項支援機能）を用いた場合は、「5.出力結果の検査」に用いた機能を記述すること。

付表－１７ 影響解析報告書のチェックに関する管理手順

5.3 影響解析報告書のチェック



5.3 影響解析報告書のチェック

解析者は影響解析結果完了報告が承認された後、以下の項目から構成される影響解析報告書を作成すること。

- ①目的：本報告書は、エラー発生事例・品質保証済性能評価レポート・モデル改良要求・後続の影響解析用入力データの何れを目的としているのかを明記すること。
- ②条件：入力条件、データベースまたはライブラリの情報・バージョン名を明記すること。または、CAPASAを使用した場合は、解析情報機能のリストを添付すること。
- ③解析結果：本報告書では解析結果を図または表にまとめるとともに、参考資料として「入力データ・解析完了報告書」を付録として添付すること。
- ④その他：
 - (1)エラー発生事例に関する報告書の場合は、エラー発生事例の改訂版も作成・提出すること。
 - (2)モデル改訂要求に関する報告書の場合は、改良ならびに追加項目を記載するとともに、プログラムリストを参照して具体的な記述をすること。
 - (3)後続の影響解析用入力データに関する報告書の場合は、解析結果の入出力リストの全部または一部を付録に添付すること。

ユッカマウンテンにおけるデータベース管理

米国NRCからは10CFR60で、以下の事項を記録することが要求されている。

- a. 掘削, シャフト, ボーリングの調査等
- b. 存在物質
- c. 地層マップと断面
- d. 浸出液の場所と量
- e. 機器, 方法, 進捗, 順序の詳細
- f. 建設上の問題
- g. 特異点(Anomalous conditions encountered)
- h. 機器配置, 表示, 解析
- i. サポートシステムの配置と内容
- j. 排水システムの配置と内容
- k. 定置の方法と封入場所

このため、ユッカマウンテンでは、現在、サイト特性調査が行われており、上記項目を保存するための大規模なデータベース開発が行われている。このデータベースの特徴を以下に述べる。

ユッカマウンテンのデータベースには自動テクニカルデータ検索システムが装備されており、データの検索照会が可能なシステムで、モデラーの要求に適合したパラメータ値を供給する。このデータベースの構造は、次の2つに大きく分類され、これらの内、②のRIBに保存されているデータが性能評価解析のインプットデータとなっている。

①テクニカルデータベース (TDB)

②参照情報ベース (RIB)

さらに、各データベースの特徴は次のとおりである。

①テクニカルデータベース (TDB)

取得された生データ等が保存されている。ユッカマウンテンの研究、設計者は、テクニカルデータベース (TDB) から参照情報ベース (RIB) へデータを移すため、互い、技術的なレビューを実施している。さらに、研究、設計者等の間においては、RIBに記録されていないデータへのアクセスについても記録管理されている。

また、データの種類が多様なため、1つのデータベースには収まらない。このため、テクニカルデータベース (TDB) は、主に、次のデータベースに細分化されている。

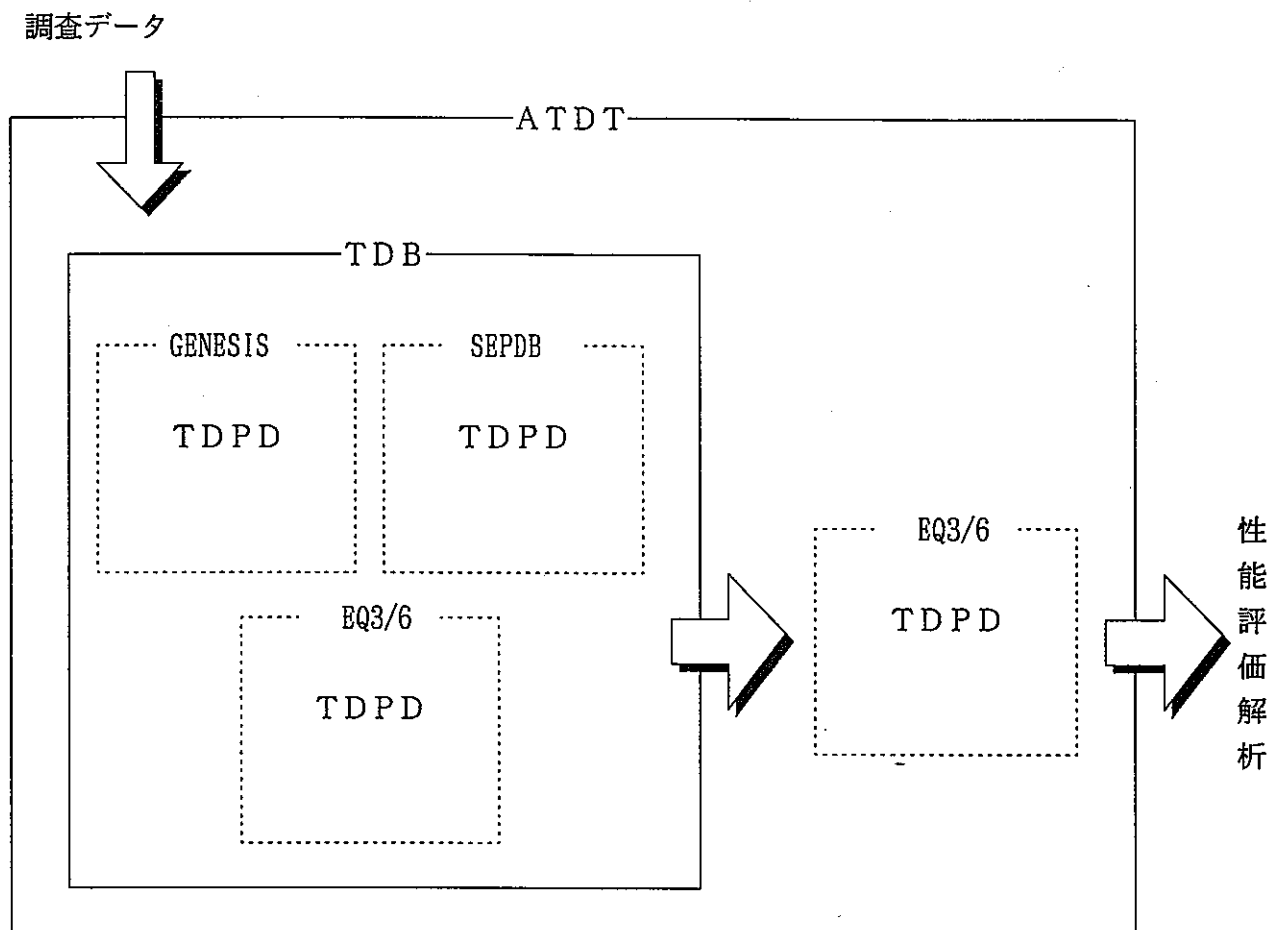
- ・SEPDB (水理関連の研究データ)
- ・GENISIS (地形等の空間データ)

②参照情報ベース（RIB）

RIBは、テクニカルデータに関する幅広い情報を持っており、参照情報を提供し、常に改訂され、認可申請で更新される。情報としては、統計情報（標準偏差、確率分布の型など）、情報源、情報の制限、品質情報等が入力されている。

また、インプットデータの選定のための参照情報やデータの詳細情報を提供している。この参照情報ベース（RIB）を利用することにより、データを使用する時に共通の根拠を持つことができ、結論に信頼性を持つことができる。ただし、データの選定はユーザーの判断に委ねられている。

また、テクニカルデータベース（TDB）、参照情報ベース（RIB）には、それぞれ管理者がおり、付図4-2のとおり、データベースの管理フローが確立している。管理手順は、先ず、データベース管理者が登録対象のデータの品質を確認し、この後、データベースへ登録し関係者へ通知することとなっている。



(注記)

- ATDT : Automated Technical Data Tracking System
 TDB : Technical Data Base
 GENESIS : Geographic Nodal Information Study and
 Evaluation System(GIS data base)
 SEPDB : Site Engineering Properties Data Base
 TDPD : Technical Data Parameter Dictionary
 EQ3/6 : data base to suport the EQ3/6 code
 RIB : Reference Information Base

付図4-1 ユッカマウンテンのデータベース概念図

ELECTRONICALLY CONTROLLED COPY

YAP-SIII.3Q

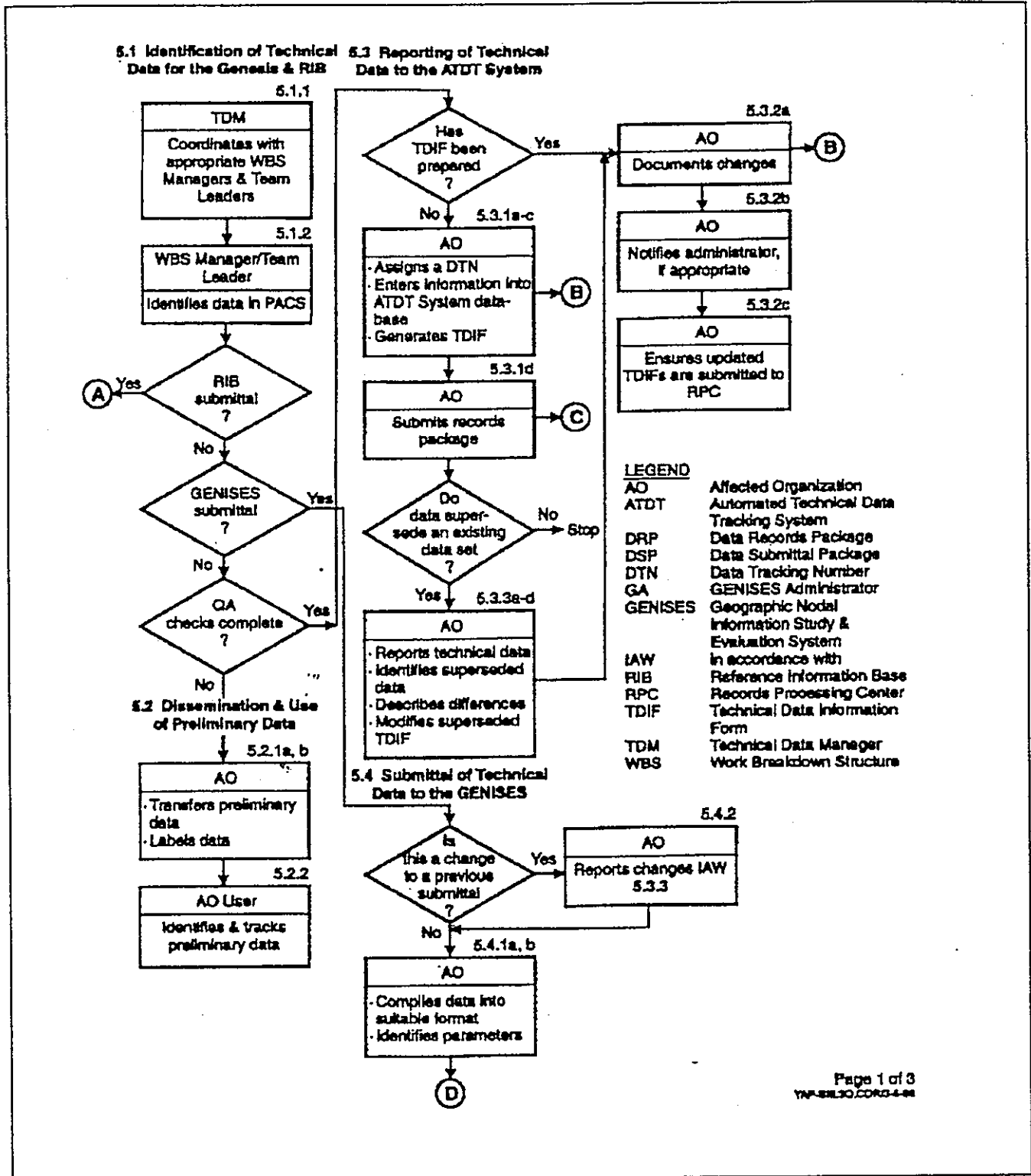
PROCESSING OF TECHNICAL DATA ON THE
YUCCA MOUNTAIN SITE CHARACTERIZATION PROJECT

1

0

11

27



付図4-2 (1/3) ユッカマウンテンのデータベース管理フロー

ELECTRONICALLY CONTROLLED COPY

YAP-SIII.3Q

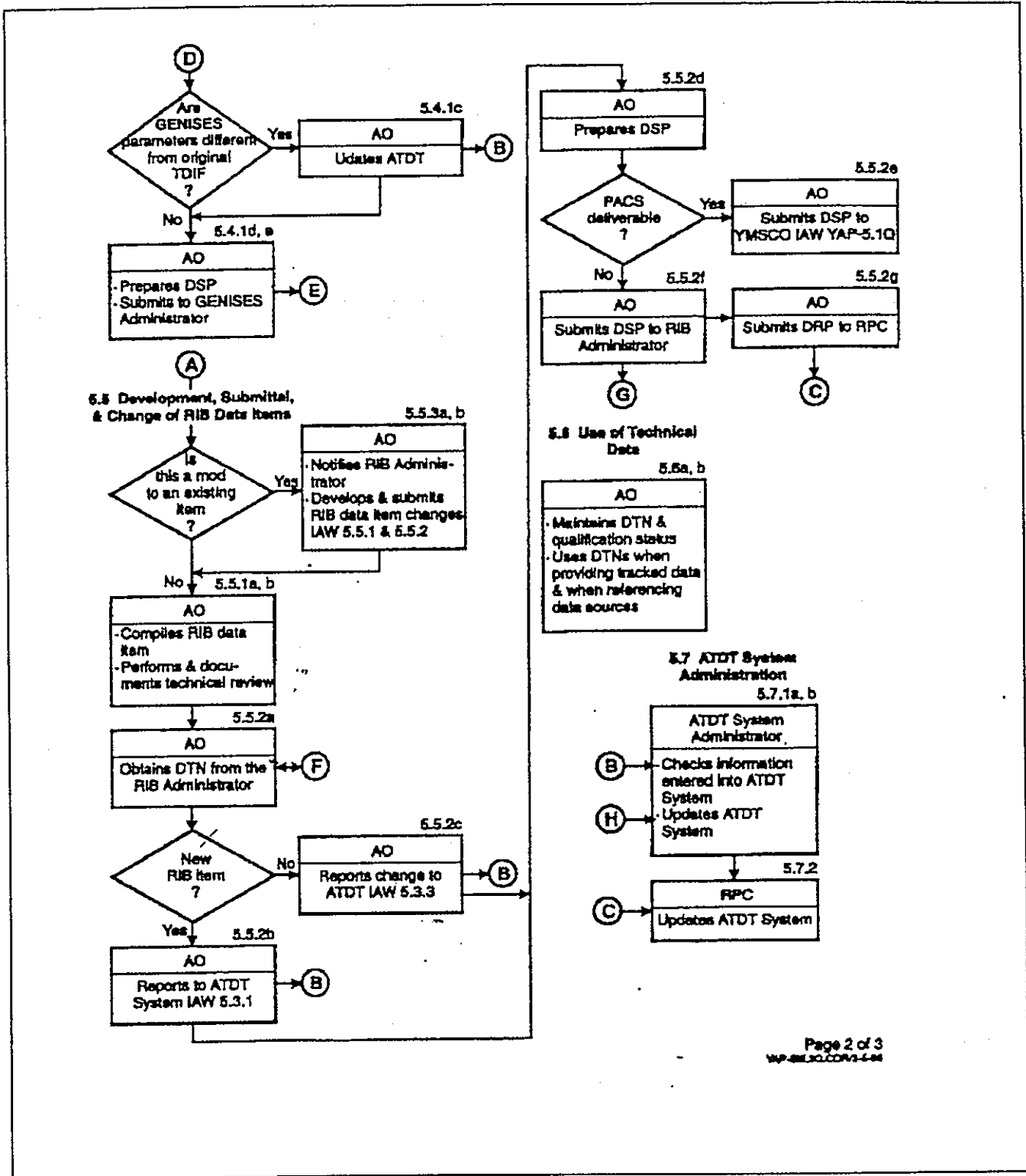
PROCESSING OF TECHNICAL DATA ON THE
YUCCA MOUNTAIN SITE CHARACTERIZATION PROJECT

1

0

12

27



ELECTRONICALLY CONTROLLED COPY

YAP-SIII.3Q

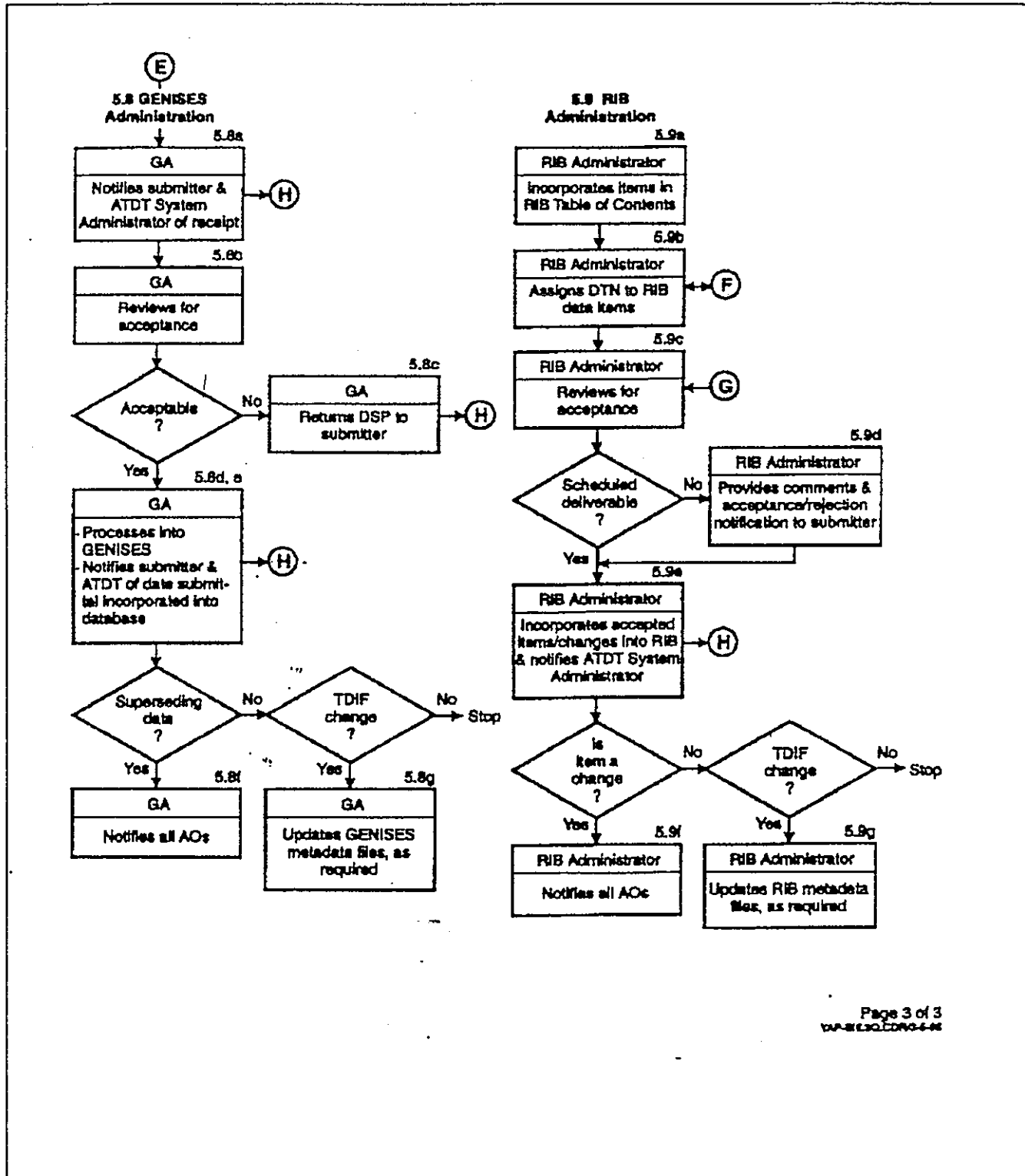
PROCESSING OF TECHNICAL DATA ON THE
YUCCA MOUNTAIN SITE CHARACTERIZATION PROJECT

1

0

13

27



Page 3 of 3
YAP-SIII.3Q.COR-4-44

付図4-2 (3/3) ユッカマウンテンのデータベース管理フロー

PARTレビュー

1991年の性能評価モデルに対するレビューがDOEを責任者として学識者や10年以上の廃棄物管理の実績を持つ企業人から構成されるPART (Performance Assessment Review Team)により行われた。PARTが行ったレビュー項目は次のとおりである。

- i) 主な性能評価文書のレビュー
- ii) 概念モデルと性能評価解析に用いられたインプットパラメータの妥当性評価
- iii) 性能評価結果に基づく、一万年間のバリア性能に対する信頼度の評価

PARTのレビュー結果は、WIPPの性能評価解析に妥当性はないと結論付けている。この理由は以下のとおりである。

1. 性能評価プロセスと記録文書

性能評価解析に関連する問題点、仮定、論争、解決策の記述内容が不十分である。つまり、性能評価解析で用いられた概念モデルの形成に関する記述やそれらに関連する主要な問題点の追跡性が乏しい。問題点を明確にすることは、モデルによる予測に対して公衆に信頼感を与え、性能評価問題の位置付けと理論的に説明するため必要である。

2. 統合と文書

WIPPの研究開発においては、様々なプログラムを詳細に組織化し、統合するための体制が存在しない。実際、EEG (Environmental Evaluation Group) は、WIPPの性能評価について1991年のSandiaの報告書 (Volume 4, SAND91-0893) は極めてロジカルであるが、更に全ての情報を統合する必要があると言及している。

性能評価文書は、規制側や公衆に安全性の証拠を示す手段であり、問題点と現在の状況を明確に述べ、その重要性を示す必要がある。例えば、仮に、報告書に問題点が示されていないと読者が感じ、必要とされる文書を見つけることが出来ない場合、読者はその報告書は妥当でないと結論付ける可能性がある。したがって、性能評価解析では、問題点と前提条件を文書に記述すると共に、解決策の妥当性を示すことが重要である。

もう一つの問題点は、WIPP関係者の人員削減による知識の欠損である。規制を満足していることを示すため、性能評価の問題点、研究開発、問題の解決策の個々を結びつける知識は、関係者の記憶にあるのみである。SNLは、これを重視し、その対策を文書化している。

(PARTの提言)

- ① 性能評価文書には未解決の問題をまとめ、解析の妥当性を議論し、詳細に各々の問題点に解決策の指標を与えるべきである。
- ② 性能評価文書では、概念モデルの考え方とモデルの根拠となった情報を統合した理由について記述する必要がある。
- ③ 性能評価文書には前提条件と合わせ、手計算結果を示し、モデル選定の根拠となった解析と判断した理由を文書化する。
- ④ 問題解決のための文書は、フォーマットを用意し、WIPP雇用者の削減に伴う知識の損失を防止するため、問題点をフォーマットに記述する必要がある。また、問題点に関連する文献、ワークショップ、重要な会議等の年表を作成し、解決策をまとめ、結論と異論を文書化する。これは、QAプログラムの下で行われるべきである。

3. 性能評価プロセス

WIPPの性能評価プログラムで欠如しているものは、確認手順、性能評価問題の解決手順等、評価プロセスを文書化するための定型的な手順である。性能評価解析者と研究者が共にいかにして概念モデルを決定したか明確でない。あるケースにおいては、処分システム要素内の挙動について、モデラーと実験者の意見の一致が欠如していた。PARTはWIPPの性能評価問題について、問題点の評価、解決アプローチの決定などの方法が、定型的に文書化されることが性能評価プログラムに必要と考える。また、問題点が解決されたことの理由を定型的に確認し文書化せねばならない。

さらに、問題点の解決においては、次のことを提示すべきである。

- ・問題の確認と定義の方法
- ・個々の問題点の評価メカニズム（未解決問題の重要性評価を含む評価メカニズム）
- ・問題が解決され得るか否かの決定メカニズム（ある問題は科学的に未解決、時間、コストの理由から、我々の能力の及ばないことがある。）
- ・様々な問題のクラス分けの方法
- ・問題の追跡方法と最終解決策

以上を達成するには完全なシステムモデルが必要であるが、WIPPのモデルでは、性能評価プログラムに工学バリアのモデルが欠落していることが確認された。少なくとも、処分システムの主構成要素の全てを表現せねば感度解析、不確実性解析の結果には、疑問点が残る。

(PARTの提言)

- ① 高品質の理論的な予測を保証するためには、問題点と解決状況を文書化する必要がある。
- ② 性能評価は解決と未解決の問題をまとめ、文書に参考事項を提示すべきである。
- ③ これらの文書はQAプログラム（外部レビューが行われる）下で用意されるべきである。

4. 設計変更管理

WIPPの処分施設設計は、現在の規制が制定される以前、及び、サイト試験・測定が終了する以前に確立している。設計レビューの結果、PARTは次の疑問点を持った。

- ・ 処分施設の設計は決定しているか。それは何故。
- ・ もし、設計が決定していない場合、性能評価の成果とサイト特性調査の結果をどのように設計へ反映するのか。
- ・ 誰が設計変更を管理するのか。（現設計と変更点の整合）
- ・ 設計変更の形式的プロセスはあるのか。

(PARTの提言)

設計経緯を文書化し、設計変更の手順を開発すべきである。

5. モデルとシナリオの不確定性

モデルについては、PARTは、地下水移行で地質が異なった場合やシャフトの影響による流量特性を把握することや地下深部に存在する塩水ポケットの範囲を特定すること等、天然システムに関連した問題点を指摘している。また、現モデルでは考慮されていない処分ルームにおけるクリープの影響を反映したモデル（Munson-Dawsonモデル）を導入すべきことを指摘している。

シナリオについては、ガス、塩水、塩の3相の流動解析を行うことや処分ルームの空隙量の時間依存性を考慮することや、人間侵入シナリオでは核種移行を $K_d = 0$ で評価しており非現実的であることも指摘している。

6. 性能評価

WIPPの評価は複雑であり、処分施設で生じる複合事象がモデリングされていない等、WIPPでは完全な処分システムがモデル化されていない。例えば、天然バリアに重点が置かれているが、全システムを評価する必要がある、工学バリアのモデルを開発する必要がある。

(PARTの提言)

工学バリアを含む単純化したシステムモデルを開発するべきである。

以上をまとめると、付表5-1となる。

付表5-1 W I P P の性能評価解析レビュー内容の整理結果

	問 題 点	改 善 方 策
P A 文 書	①問題点、仮定、焦点、解決策に関する記述が不十分である。 ②概念モデルの形成や関連する問題の追従性が乏しい。 ③文書のプロセスが定型化されていない。 ④未解決の問題点が述べられていない。	文書化のフォーマットを用意し、問題点、モデルの根拠、判断等を示す。また、その経緯を印すことも重要である。これらは、品質保証プログラム下で準備されるべきである。
設 計	①現設計と変更点の整合をとる管理体制となっていない。 ②サイト特性調査結果を、今後、どのように設計へ反映するのが不明確である。 ③設計変更の定形的プロセスがない。	設計経緯を文書化し、設計変更のプロセスを開発する。
モ デ ル	①モデルの評価と実測値が合致しない。 ②モデルが適切でない。 ③処分ルームがモデル化されておらず、規制を満足していない。	トレーサー試験、ボーリング調査を継続する。さらに、シャフト、パネル等の封入度の構造モデル化する。
シナリオ	①人間侵入シナリオのパラメータ設定が適切でなく、評価結果に都合のいいように設定している。 ②侵入の時間依存性を考えている。 ③経年的に変化する物性を持つものに対してのモデル化が不十分である。	改善したモデルの導入を行うと共に、現実的なパラメータ設定を行う。
全 般	天然バリアに重点を置いているが、完全なシステムがモデル化されていない。特に、複合事象がモデル化されていない。	単純化したシステムモデルを開発する。

PHREEQE の 検 証 マ ニ ュ ア ル

1. はじめに

PHREEQEはピーカー系の化学平衡（溶液の化学種分配、固相の飽和指数）を電気的中性、電子保存、質量バランス、鉱物の質量作用、水溶性化学種の質量作用に関する支配方程式に基づき数値的に解法している。数値解法は、一般的に広く使用されているニュートンラプソン法を採用している。

PHREEQEの計算は、ユーザーにより溶液・固相の初期状態または平衡後の溶液情報などを取り扱う問題に応じて入力する。例えば、初期溶液に任意の鉱物を投入した場合における元素の濃度ならびに平衡時に生成されると考えられる固相の飽和指数を結果として出力する。さらに、溶液情報のみを指定することにより、鉱物の飽和指数を算出することも可能である。

他の入力情報としては、前記の支配方程式にて引用される化学種の電荷、OPV（化学種の価数に相当）、化学種を定義している解離・生成反応式および化学量論係数、化学種の平衡定数などの数値が格納されている熱力学データベースが必要となる。PHREEQEの熱力学データベースは、親化学種、水溶性化学種（生成反応式を親化学種により定義する）、鉱物・ガス化学種（解離反応式を親化学種または水溶性化学種により定義する）により構成されている。この熱力学データベースは、ユーザーによって自由に変更が可能であるが、熱力学データの一貫性（例えば、親化学種の生成自由エネルギーは全ての水溶性・鉱物・ガス化学種において統一させる必要がある。また、生成自由エネルギー算出・選定においても同一レベルの規定に基づく必要がある）を確保するため、不特定多数のユーザーが変更することは、重要な品質特性である一貫性が確保できなくなる可能性が発生するため実施すべきでない。

一般的にPHREEQEは、前記のユーザー指定情報ならびに熱力学データベースを入力情報として以下の化学プロセスを取り扱うことができる。

- ①化学種分配
- ②溶液混合の平衡
- ③イオン交換平衡
- ④固液の溶解・沈澱平衡
- ⑤酸化還元反応
- ⑥反応経路解析

PHREEQEコードは、緩衝材中の核種移行解析の境界条件の提供ならびに個別現象試験の支援モデル（溶解度試験、緩衝材・水相互作用、実測された深部地下水組成の確証）として、性能評価研究で広く利用されていることから、解析コードから得られる結果の信頼性を保証するためには、解析コード・モデル・熱力学データベース全てについて広範な検査をすべきである。ただし、検証はモデルが正確にコード化されていることを確認することを目的としていることから、モデルならびに熱力学データベースの検査では、検証から除外すべきと考えた。従って、本検証マニュアルでは、解析コードの機能性、正確性

のみに着目する。従って、モデル・熱力学データベースの検査については、検証マニュアルに記述することとする。

ここでは、以上の背景ならびに、「3.2.1 検証マニュアルの作成」に規定した項目に基づきPHREEQEの検証マニュアルを作成する。

2. ソースコードレビュー

基本的にPHREEQEコードは、米国のソフトウェア検査要領に基づき作成されていることから（公開資料の内容の網羅性）、オリジナルのPHREEQEコードを使用する場合、新たなソースコードレビューは不要である。ただし、動燃殿で使用予定のPHREEQEコード（以後PHREEQE60と呼ぶ）は、熱力学データベースの拡張を配慮し、プログラム変数の配列に修正を加えている。従って、修正作業の完全性を確保するためのソースコードレビューは必要となる。ただし、本修正はOECD/NEAにて実施されたものであり、改良時点での検査ドキュメントの入手または確認ができればソースコードレビューは不要となる。

3. 検証問題の設定

PHREEQEの計算処理は、非線型方程式を線型に近似した後、多元連立方程式の解法をニュートンラプソン法、前進消去・後退代入法により数値解法している。検証ツールとしては、極めて単純な化学系（化学種分配）に対してはマニュアル計算（解析解）との比較が可能となる。複雑な化学系（固液平衡）に対しては、ベンチマーク解析による方法が考えられる。検証問題の限定については、FEPの情報に基づき地質環境条件の温度範囲により、最大温度 100℃以下のテストケースを設定することが可能となる。さらに、原子力委員会バックエンド対策専門部会方針案に基づき、モデル地下水、緩衝材中の間隙水組成、ガラス固化体表面での組成、放射性元素の溶解度の問題に限定することが可能となる。すなわち、PHREEQEコードの溶解・沈澱（MINERALS、固相平衡のオプション）、イオン交換（REACTION、STEP、反応のオプション）、pH変化オプション、連続計算オプションの機能を確認するための検証問題を採用する。PHREEQE60の検証は、平成3年度に動燃殿の受託研究(PNC ZJ1214 92-002(3))で実施しており多岐にわたる問題を設定していることから、今後、PHREEQEの改良に際しては以下に示す問題を実施することとする。

解析解との比較

- | | |
|--------------------|------------------|
| (1) pHの計算 | (支配方程式のコーディング検査) |
| (2) イオン活量係数計算 | (活量補正式のコーディング検査) |
| (3) 気相平衡を含む化学種分配計算 | (支配方程式のコーディング検査) |

- (4)水溶性化学種の化学種分配計算（支配方程式のコーディング検査）
- (5)溶解度計算（ ” ）
- (6)p e の計算（ ” ）
- (7)溶解度の温度依存性（支配方程式、ファントホッフ式コーディング検査）

他コードとの比較

- (1)化学種分配（支配方程式のコーディング検査）
- (2)海水問題（ ” ）
- (3)気相平衡を含む溶解度（ ” ）
- (4)酸化還元を含む鉱物平衡（ ” ）

なお、他コードとの比較を行う場合は、コーディングの検査に注目していることから、同一の熱力学データを使用することが前提条件となる。他コードとしては、MINEQLまたはEQ3NRが候補となる。

一方、検証問題の網羅性を確保するために、放射性廃棄物分野における国際検証プロジェクトCHEMVAL（ステージ1：地球化学コードの検証）の問題についても本検証マニュアルに加えた。CHEMVALプロジェクトの検証問題は、付表6-1に示す様に種々の現象範囲を網羅しており、かつ5種類の幅を考慮した種々の地下水組成（高pH～低pH）を想定し、各々の溶液組成に基づき、化学種分配、溶解・沈澱、イオン強度、温度、酸化還元反応、溶液混合、岩石の風化反応の問題をえっていしている。幅を考慮した溶液組成を付表6-2に示す。初期溶液は、パラメータスタディー（還元性～酸化性、炭酸ガス分圧ならびに反応量）も含まれており、これらのパラメータを現実的な範囲内で拡張することにより、解析コードの適用範囲（パラメータに応じた誤差の明確化）についても明確となる。

CHEMVALプロジェクトの検証問題の仕様についてまとめたものを付表6-3に示す。CHEMVALプロジェクトでは、各機関で独自の熱力学データベースを用いたり、CHEMVALプロジェクト共通の熱力学データベースを用いたケースが混在する。本検証問題を採用した場合は、熱力学データの信頼性も含めた内容の検証となる。

4. 判定基準

3.2.2節に示したとおり、解析解との比較を行う場合は5%とする。また、動燃殿の所有する地球化学コード（EQ3NR、MINEQL）を用い、かつ同一の熱力学データベースを採用した場合は10%とする。CHEMVALプロジェクトの検証問題を採用した場合は、初期溶液または固相に関する入力情報ならびに熱力学データの不確実性を考慮し判定基準を20%とする。PHREEQE60の解析結果が本判定基準に収まらない場合は、その原因を定量的に考察し、PHREEQEの補助情報として管理する。

5. 適用範囲の明確化

(1) PHREEQE 60 の溶液安定領域

温度に依存する水の安定領域を超えるか、またはその近傍において初期溶液を定義した場合は、ニュートンラプソン法の収束性が悪くなる傾向が見られる。従って、pHならびに p_e をパラメータとして、単純な系を対象とした化学種分配に関する解析解とPHREEQE 60の結果を比較する。

(2) PHREEQE 60 の固相安定領域

熱力学データベースの情報に基づき作成できる $Eh-pH$ 線図内の鉱物安定領域において、境界部分ならびに境界近傍の条件で平衡計算をさせた場合は、ニュートンラプソン法の収束性が悪くなる傾向が見られる。従って、pHならびに p_e をパラメータとして、単純な系を対象とした固液平衡に関する解析解とPHREEQE 60の結果を比較する。

付表 6 - 1

CHEMVAL (ステージ 1) の現象範囲

PROCESSES	SYSTEM				
	CEMENT Am, Pu, Cs, Sr	CLAY Am, Sr	SANDSTONE Am, Pu, Sr, Co	GRANITE U, Tc, Sr	LIMESTONE U, Sr
AQUEOUS SPECIATION	*	*	*	*	*
PRECIPITATION - DISSOLUTION	*	*	*	*	*
pH BUFFERING	*	*	*	*	*
AQUEOUS REDOX EQUILIBRIA	*	*	*	*	*
IRREVERSIBLE OXIDATION/REDUCTION	*	*	*		
ORGANIC COMPLEXATION	*	*			*
TEMPERATURE VARIATION				*	
SALINITY EFFECTS		*	*		*
SOLUTION MIXING		*	*	*	*
SILICATE HYDROLYSIS				*	
pCO ₂ VARIATION				*	*

Table 5.1 - Principal features of model systems

付表 6 - 2 P H R E E Q E の検証条件 (溶液条件)

テストケース 溶液組成*1	セメント浸出液 ケース 1 *3	粘土系地下水 ケース 2 *3	砂岩系地下水 ケース 3 *3	花崗岩系地下水 ケース 4 *3, *4	備 考
C a [4] *2	2.0×10^{-2}	5.5×10^{-3}	1.5×10^{-4}	1.0×10^{-3}	
M g [5]	8.0×10^{-6}	1.5×10^{-2}	8.0×10^{-5}	5.0×10^{-4}	
N a [6]	8.0×10^{-3}	8.0×10^{-3}	3.0×10^{-3}	1.0×10^{-2}	
K [7]	3.0×10^{-3}	1.2×10^{-3}	(8.0×10^{-5})	2.5×10^{-2}	
S r [12]	(8.0×10^{-5})	(1.0×10^{-5})	—	—	
F e [8]	(4.0×10^{-6})	(1.0×10^{-6})	2.5×10^{-5}	3.0×10^{-6}	
A l [10]	—	—	—	1.0×10^{-6}	
M n [9]	(1.0×10^{-6})	(1.0×10^{-6})	—	—	
S i [13]	(1.0×10^{-5})	(1.0×10^{-5})	(2.0×10^{-4})	5.0×10^{-6}	
C O ₃ [15]	1.5×10^{-2}	4.5×10^{-3}	1.3×10^{-3} 1.0×10^{-3}	4.0×10^{-3}	stage-1の値 stage-3の値
S O ₄ [16]	2.0×10^{-5}	2.0×10^{-2}	4.0×10^{-4}	3.0×10^{-3}	
C l [14]	1.0×10^{-2}	2.0×10^{-3}	1.5×10^{-3}	1.5×10^{-3}	
F [20]	—	—	—	6.5×10^{-5}	
p H (—)	12.0	7.5	8.0	7.0	
E h (mV)	50.0	50.0	-100.0 ~ 100.0	50.0	ケース4は仮定
p e (—)	0.833	0.833	-1.667, -0.833 0.0 1.667, 0.833	0.833	ケース4は仮定

* 1 : 全元素とも mol dm^{-3} (mol/l) の単位で全濃度を示す。

* 2 : 動燃殿概括的性能評価レポートバージョンPHREEQE 熱力学データベースの親化学種認識番号。[] 内整数値

* 3 : CHEMVAL stage-1 の報告書 (表 6. 1) で記載有り。CHEMVAL stage-3 の報告書 (表 8. 2) で記載無し。() 内実数

* 4 : ケース 4 については、CHEMVAL stage-3 の報告書において記載無し。

付表 6 - 3 P H R E E Q E の 検 証 問 題

A : CEMENT LEACHATE	B : CLAY GROUNDWATER	C : SANDSTONE GROUNDWATER	D : GRANITE GROUNDWATER	E : LIMESTONE GROUNDWATER
A. 1 地球化学元素化学種分配 : 表-1の溶液 Eh= 50(mV), 温度= 25°C (1)化学種濃度 (2)飽和指数	B. 1 地球化学元素化学種分配 : 表-1の溶液 Eh= 50(mV), 温度= 25°C (1)化学種濃度 (2)飽和指数	C. 1 地球化学元素化学種分配 : 表-1の溶液 Eh= 100(mV), 温度= 25°C (1)化学種濃度 (2)飽和指数	D. 1 溶解度 : 表-1の溶液 平衡固相: UO_2 or $UO_2 \cdot 2H_2O$ TcO ₂ (am), celestite Eh= 50(mV), 温度= 25°C (1)U, Tc, Sr の溶解度 (2)U, Tc の支配化学種 (3)水溶性化学種の濃度	E. 1 平衡・分配 : 表-1の溶液(CO ₂ 削除) Eh= 50(mV), 温度= 25°C pCO ₂ (gas)= $10^{-2.5}$ (atm) 平衡固相: calcite +U (tot) = $1.0e-8$ (mol dm ⁻³) +Sr (tot) = $1.0e-6$ (mol dm ⁻³) (1)溶液のpH, (2)水溶性化学種濃度 (3)U支配化学種濃度 (4)鉱物の飽和指数
A. 2 放射性元素化学種分配: A.1+Am+Pu+Cs (1)支配的な化学種濃度 (2)飽和指数	B. 2 Amの溶解度 : B.1 (1)溶解度 (2)溶解度制限固相 (3)支配化学種	C. 2 放射性元素の溶解度 : 表-1の溶液 (1)Co, Sr, Pu, Amの溶解度 (2)Co, Sr, Pu, Amの溶解度制限固相	D. 2 温度変化 : 表-1の溶液 T= 5, 15, 35, 45, 55, 65, 75°C 平衡固相: UO_2 or $UO_2 \cdot 2H_2O$ TcO ₂ (am), celestite (1)U, Tc, Sr の溶解度 (2)水溶性化学種の濃度	E. 2 過飽和鉱物の沈澱 : E.1溶液 U (tot) = $1.0e-6$ (mol dm ⁻³) Sr (tot) = $5.0e-4$ (mol dm ⁻³) (1)U の溶解度、溶解度制限固相 (2)Srの溶解度、溶解度制限固相
A. 3 過飽和固相の沈澱 : A.2 平衡固相: calcite, Am(OH) ₃ , Pu(OH) ₃ , (1)Am, Puの溶解度	B. 3 イオン強度の効果: 濃厚系溶液 pH= 5.9, Eh= -100(mV), 温度= 25°C Davies equation (1)溶解度 (2)溶解度制限固相 (3)支配化学種	C. 3 pHと炭酸濃度の変化 : 表-1の溶液 pH=4, 5, 6, 7, 8, 9 (1)Co, Sr, Pu, Amの溶解度 (2)Co, Sr, Pu, Amの支配化学種 Sideriteが過飽和になれば沈澱考慮 C (tot) = $1.0e-2$ (mol/dm ³) (1)Co, Sr, Pu, Amの溶解度	D. 3 炭酸分圧の増加 : 表-1の溶液(CO ₂ 削除) pCO ₂ (gas)= $10^{-2.0}$, $10^{-2.5}$, $10^{-3.0}$, $10^{-3.5}$, $10^{-4.0}$ (atm) (1)水溶性化学種の濃度 (2)鉱物の飽和指数	E. 3 海水混合 : 表-1の 溶液に与えられた海水(0, 10, 30, 50, 70, 90, 100%)を混合 Eh= 50(mV), 温度= 25°C limestone sea-water Sr $1.0e-4$ $5.5e-4$ (M-dm ⁻³) U $1.0e-7$ $1.0e-7$ (M-dm ⁻³) (1)鉱物の飽和指数
A. 4 酸化還元平衡 : A.3 Eh= 50, 0, -50, -100, -150, -200(mV) 平衡固相: calcite (1)安定固相(U, Pu)の推定 (2)U, Puの溶解度 (3)U, Puの支配化学種濃度 (4)U(IV)/U(V+VI) (5)Pu(III+IV)/Pu(V+VI)	B. 4 有機物錯体 B. 5 pHの変化 : B.3溶液(const vol.) + A.1(0, 10, 25, 50, 75, 90, 100%) 平衡固相: calcite過飽和になったら沈澱 (1)溶液のpH (2)Am溶解度 (3)Am溶解度制限固相 (4)Am支配化学種	C. 4 溶液混合による還元 : 表-1の溶液 に汚染したB.3 溶液(10, 20, 30, 40, 50%)を混合 Eh= -200(mV) 平衡固相: Pu固相 (1)最終Eh (2)Puの溶解度 (3)Puの支配化学種 (4)支配的なS化学種濃度 (5)支配的なFe化学種濃度	D. 4 セメント溶液との混合 : 表-1の溶液 セメント溶液(0, 10, 25, 50, 75, 90, 100%)を混合 Eh= -50(mV) Calciteが過飽和になれば沈澱考慮 平衡固相: 適切なU, Tc, Sr の固相 (1)pH (2)U, Tc, Sr の溶解度 (3)U, Tc, Sr の溶解度制限固相	E. 4 有機物錯体
A. 5 不可逆酸化反応 : 表-1の溶液 Eh= -200(mV) 平衡固相: calcite, pyrite, Pu(OH) ₃ , (1)Fe(OH) ₃ (am)が沈澱するまでのO ₂ (aq) の添加量 (2)最終のEh (3)pyrite最終飽和指数 (4)Pu溶解度、支配化学種	B. 6 有機炭素による還元 : pyriteが沈澱す るまでB.1 溶液に有機炭素を添加 (1)添加した有機炭素量 (2)最終pH (3)最終Eh (4)支配的なS化学種濃度 (5)支配的なFe化学種濃度	B. 5 海水混合 : 表-1の溶液 に与えられた海水(0, 10, 30, 50, 70, 90, 100%)を混合 (1)鉱物の飽和指数 * 活量補正に関する記載なし。	D. 5 ケイ酸塩の加水分解 : 表-1の溶液 * 反応経路計算 (Orthoclase+Albite) pCO ₂ (gas)= $10^{-2.0}$ (atm) 風化による中間生成鉱物の設定: 自由 (例: kaolinite, muscovite) (1)風化過程の反応によって決定されるpH	E. 5 溶液混合: A.1溶液(pH=12, Eh=-200 mV)にD.1 初期溶液(Eh=-50mV)を 混合し、この溶液にE.1(0, 10, 25, 50, 75, 90, 100%)を混合さ せ、pH/Eh 条件を決める。3 種類 の溶液のU(tot)= $1.0e-8$ (M-dm ⁻³) 平衡固相: calcite (1)溶液のpH, Eh (2)Uの溶解度、溶解度制限固相 (3)Uの支配化学種 (4)U系鉱物の飽和指数
A. 6 硫酸の反応 : 表-1の溶液 Eh= 50(mV) 平衡固相: Am(OH) ₃ , MgSO ₄ , 量: 0.0, 0.005, 0.010, 0.015 (1)飽和指数, Am-C・Am-S化学種濃度				
A. 7 有機物錯体				

MESHNOTE の検証マニュアル

1. はじめに

MESHNOTEは緩衝材中の拡散による核種移行挙動を有限差分法により数値的に解法しており、概括的性能評価レポートのモデルと同一であるが、数値解法上の処理が異なっている。例えば、MESHNOTEは崩壊系列・連鎖の項を解析解として取り扱っているのに対して、概括的性能評価レポートでは数値解法を行っている。さらに、境界条件についてもMESHNOTEはリザーバならびにミキシングセルの機能が備わっており、また、可溶性の放射性元素についてはアモルファスシリカの溶解速度定数を与えることによって境界濃度を規定することができる。さらに、MESHNOTEは解の精度を保証しつつ計算時間の効率化を目的として、自動時間メッシュ分割の機能も兼ね備えている。

2. ソースコードレビュー

基本的には、概括的性能評価モデルRELEASEと異なる部分のソースコードレビューが必要となる。ただし、先行的にベンチマーク解析が実施され、運用段階における修正が実施されていれば、新たにソースコードレビューは不要となる。

3. 検証問題の設定

MESHNOTEの検証は、十分に検証済みの概括的性能評価レポートで採用されたRELEASEコードとの比較（ベンチマーク解析）を行うことにより、拡散による物質移行・崩壊連鎖／系列・遅延・自動時間メッシュ分割機能については検証可能と考えられる。また、新しい機能と考えられるミキシングセルについては、体積を極端に大きくしたり、流速を小さくさせることによりディリクレ境界条件との比較が可能となる。さらに、パラメータ解析を行い傾向分析を行うことにより検証が可能となる。

4. 判定基準

3.2.2節に示したとおり、解析解との比較を行う場合は5%とする。また、動燃殿の所有するRELEASEを採用した場合のベンチマーク解析では10%とする。MESHNOTEの解析結果が本判定基準に収まらない場合は、その原因を定量的に考察し、MESHNOTEの補助情報として管理する。

5. 適用範囲の明確化

コードの適用範囲は、MESHNOTEの入力データに対する出力変動の把握を目的としたパラメータ解析を実施する。

- ① MESHNOTE モデルの近似に係わる打ち切り誤差ならびに丸め誤差の変動幅を明確にするため、まず分配係数、崩壊の項を0として厳密解と最も一致する様なaccuracy parameter, Δx の設定をする。この計算により、打ち切り誤差ならびに丸め誤差の最小値を見積もる。

- ②次に拡散係数をパラメータとした計算を行い、各時刻における誤差を評価するため厳密解との比較を行う（本計算により、拡散機能の検証、適用範囲に係わる誤差情報が取得できる）。拡散係数については、概括的性能評価レポートで採用されている値に対して±1桁の範囲内でパラメータを設定する。また、本計算結果に基づき任意の拡散係数を固定し、accuracy parameter、 Δx をパラメータとした計算を行い、各時刻における誤差を算出する。（本計算により、accuracy parameter、 Δx の検証、適用範囲に係わる誤差情報が取得できる）。
- ③「②」のケースに対して更に分配係数をパラメータとした計算を行い、誤差を算出する。分配係数については、概括的性能評価レポートで採用されている幅に対して±1桁の範囲内でパラメータを設定する。（本計算により、分配係数を考慮した場合の検証、適用範囲に係わる誤差情報が取得できる）。
- ④「③」のケースに対して更に崩壊連鎖項をパラメータとした計算を行い、誤差を算出する。崩壊定数については、概括的性能評価レポートで採用されている重要核種を対象として最大・最小の範囲内でパラメータを設定する。（本計算により、崩壊連鎖を考慮した場合の検証、適用範囲に係わる誤差情報が取得できる）。
- ⑤「④」のケースに対して更に放射性元素の溶解度をパラメータとした計算を行い、誤差を算出する。溶解度については、概括的性能評価レポートで採用されている重要元素を対象として最大・最小の範囲内でパラメータを設定する。（本計算により、放射性核種の沈澱それに続く再溶解を考慮した場合の検証、適用範囲に係わる誤差情報が取得できる）。

M A T R I C S の 検 証 マ ニ ュ ア ル

1. はじめに

MATRICES は 1 次元形状の亀裂を対象とした核種移行計算を解析解に基づき処理するものである。本解析解は、Tang、Hodgkinson 等の手法（1981,1984）と同様に、ラプラス変換を用いて導出されているが、時間領域への逆変換を数値的に対処する点が特徴的である。き裂入口の境界条件としては、濃度規定ならびに濃度勾配規定の双方を任意に取り扱うことができ、より一般的なものとなっている。本コードで対象とする物理的・化学的プロセスは、以下のとおりである。

- ① き裂方向の移流・分散（横方向の分散は考慮しない）
- ② 母岩のマトリクス拡散
- ③ マトリクス内およびき裂表面の吸着
- ④ 核種の崩壊連鎖

吸着に関しては、線形平衡吸着を仮定しており、速度論的な取り扱いは考慮されていない。対象とする系の幾何形状モデルとして平板、球および円筒の 3 種類（これを、ブロックタイプという）を扱うことが可能であり、これらを単独で用いる場合あるいは組み合わせて用いる場合に対処可能である。

ここでは、「3.2.1 検証マニュアルの作成」に示した 4 項目の活動内容に基づき、現時点で考えられる検証計画案を示すこととする。

2. ソースコードのレビュー

MATRICES の検証は動燃殿で既に一部実施されていること、また、これまでにある程度の運用実績があること等を考慮し、新規開発コードで実施すべきとしたソースコードのレビュー作業は不要と考える。

3. 検証問題の設定

亀裂性媒体を対象とした物質移行モデルとしては、解析解では Tang 等のモデル（D.H.Tang, E.O.Frind 他, 1981）、Lester 等のモデル（D.H.Lester, G.Jasen 他, 1975）、数値解析コードでは ROCK（動燃殿, 1991）、FTRANS（ONWI, 1983）等、幾つかのものが考案されている。また、国際プロジェクト INTRACOIN（1984,1986）では、9 カ国 21 機関のコードが参加しており、Level 1～3 で構成されるベンチマーク解析が実施されている。MATRICES の検証ツールとして、いずれのものも利用可能ではあるが、検証ツール自体の正確性が客観的に確認できていること、また、多くの解析コードとの比較ができ、その相対的關係が把握できることが望ましい。従って、ここでは公式に多数の機関が参加した INTRACOIN の検証問題ならびに解析結果を検証ツールとして採用することとした。ただし、MATRICES のソースタームモデルの正確性を確認できる検証問題が設定されていないため、これに関しては前記の Lester の解

析解を検証ツールとして採用することとした。以上をもとに、全15ケースからなる検証問題Ⅰ～Ⅲを設定した。（付表8-1参照）

検証問題ⅠはINTRACOINのLevel.3（1986）に基づくものであり、基本プロセス（移流、分散、表面吸着、マトリクス拡散およびマトリクス遅延効果）を個別に、あるいは組み合わせた場合の比較的単純な系を対象としたものである（全7ケース）。また、検証問題ⅡはINTRACOINのLevel.1（1984）に基づくものであり、複数核種の崩壊連鎖ならびに2種類の分配係数（亀裂岩体、岩塩）を想定するものである。検証問題Ⅰより幾分複雑な系を対象としている（全2ケース）。検証問題Ⅲは、前記Lester等の解析解に基づくものであり、上流に於ける2種類のソースタムモデル（バンド状の浸出モデル、デルタ関数を用いた浸出モデル）を用いた差異の地圏モデルの応答を比較するためのものである。崩壊連鎖は、上記と同様、複数の核種を対象とするものである（全4ケース）。検証問題Ⅳは、検証問題Ⅲと同様、Lester等の解析解に基づくものであり、崩壊を伴うバンド状の浸出モデルならびにインパルス状の浸出モデルを用い、MATRICSの時刻層入力機能を検証するためのものである（全2ケース）。

(1) 検証問題Ⅰ：INTRACOIN－Level.3 との比較

INTRACOINのLevel.3は、基準ケースおよび変動ケースの全13ケースで構成されており、本検証ではこのうちの基準ケースと変動ケース1～5および8の全7ケースを対象とするものである。基準ケースは、単一核種 ^{237}Np の移流・分散を考慮するものであり、吸着による遅延プロセスは亀裂表面に於ける線形平衡を仮定したものである。上流の境界条件は崩壊を伴うバンド状の浸出モデルを用いおり、下流の境界条件としては無限遠方に於ける濃度をゼロとしている。計算結果は100m地点でのフラックスを時間軸に対して整理する。付表8-2に基準ケースのデータセットを示す。

(2) 検証問題Ⅱ：INTRACOIN－Level 1 との比較

INTRACOINのLevel.1は、移行媒体の材料特性が一定、層状および連続的に変化する1次元および2次元の系を対象とするものであり、全7ケースで構成されている。付表8-3～付表8-11に、これらの解析ケースと関連情報を示す。MATRICSは一定材料の媒体を対象とした1次元モデルを前提としているため、このうちのケース1と5がベンチマーク解析の対象となる。

ケース1は、全てのパラメータを一定とした場合の1次元移流・分散モデルを対象とするものである。崩壊連鎖は付表8-4に示す長半減期核種ならびに短半減期核種に対するものを採用している。また、遅延係数は各核種に対し2種類想定され、付表8-6に示す値が採用されている。これより、全4ケースの計算を設定することができる。なお、上流の境界条件は崩壊を伴うバンド状の浸出モデルを用いており、下流は無限遠方に於ける濃度をゼロとしている。計算結果は、500m地点でのフラックスを時間軸に対して整理されている。一方、ケース5はマトリクス拡散を考慮した1次元移流・分散モデルを対象とするものである。本ケースでは亀裂間隔5mの無限平板形状を仮定しており、岩体内の拡散および吸着が考慮されている。亀裂表面に於ける拡散・吸着は考慮されていない。境界条件は、上流・下流ともにケース1の場合と同様である。計算結果は500m地点でのフラックスを時間軸に対して整理する。

(3) 検証問題Ⅲ：解析解との比較－その１－

本ケースは、前述の Lester 等の解析解と比較するものである。ここで扱う崩壊系列は、必要に応じて拡張することが可能である。なお、マトリクス拡散は考慮されていない。以下に示す 4 ケースの検証問題を選定した。

- ① 検証問題Ⅲ.1：デルタ関数を用いた浸出モデルを用いるものであり、崩壊連鎖としては $^{237}\text{Np} \rightarrow ^{233}\text{U}$ を考慮する。本ケースは、MATRICS のデルタ関数を用いた浸出モデルを検証するためのものである。
- ② 検証問題Ⅲ.2：崩壊を伴うバンド状の浸出モデルを用いるものである。浸出期間は一万年を想定しており、崩壊連鎖は上記Ⅲ.1 と同一である。
- ③ 検証問題Ⅲ.3：デルタ関数を用いた浸出モデルを用いるものである。このとき崩壊連鎖として $^{239}\text{Pu} \rightarrow ^{235}\text{U} \rightarrow ^{231}\text{Pa}$ を考慮する。第 2 核種の半減期が非常に長く、フラックスが大きく変化することが予測されるため、MATRICS の数値アルゴリズムを検証することが可能となる。
- ④ 検証問題Ⅲ.4：崩壊を伴うバンド状の浸出モデルを用いるものである。浸出期間は 333 年を想定しており、崩壊連鎖は $^{246}\text{Cm} \rightarrow ^{242}\text{Pu} \rightarrow ^{238}\text{U} \rightarrow ^{234}\text{U} \rightarrow ^{230}\text{Th} \rightarrow ^{226}\text{Ra}$ を考慮する。本ケースは、多数の核種を用いた崩壊連鎖の処理能力を検証するものである。

検証問題Ⅲ.1～Ⅲ.4 では、吸着媒体として 16km の土壌カラムを想定する。地下水の流速は 0.11km/year、軸方向の分散係数は $4.2 \times 10^{-7} \text{km}^2/\text{year}$ である。下流の境界条件としては、無限遠方で濃度をゼロに固定する。計算結果は、16km 地点でのフラックスを時間軸に対して整理する。本検証で対象とする核種の半減期と平衡定数を付表 8-11 に示す。なお、初期のインベントリは、以下に示す値を採用する。

検証問題Ⅲ.1、検証問題Ⅲ.2

^{237}Np	: 8.07×10^4	Curies	^{233}U	: 1.88×10^4	Curies
-------------------	----------------------	--------	------------------	----------------------	--------

検証問題Ⅲ.3

^{239}Pu	: 9.65×10^5	Curies	^{235}U	: 22.6	Curies
^{231}Pa	: 1.57×10^4	Curies			

検証問題Ⅲ.4

^{246}Cm	: 2.634×10^5	Curies	^{242}Pu	: 9.457	Curies
^{238}U	: 24.38	Curies	^{234}U	: 1.01×10^5	Curies
^{230}Th	: 63.27	Curies	^{226}Ra	: 1.558	Curies

(4) 検証問題Ⅳ：解析解との比較－その２－

MATRICS の時刻暦入力機能を検証するため、検証問題Ⅲより 2 つのケースを選択した。データセットは全て検証問題Ⅲ.1 および検証問題Ⅲ.2 と同一である。

- ① 検証問題Ⅳ.1：検証問題Ⅲ.1 と同様であるが、上流の境界条件としてデルタ関数を用いた任意の時刻暦データを与える点が異なる。
- ② 検証問題Ⅳ.2：検証問題Ⅲ.2 と同様であるが、上流の境界条件としてバンド状の浸出モデルを用いた任意の時刻暦データを与える点が異なる。

4. 判定基準の設定

3.2.2 節に示したとおり、INTRACOIN のベンチマーク解析結果との比較では 20%、Lester 等の解析解との比較では 5% の判定基準を一律、暫定的に採用することとする。ただし、INTRACOIN の解析結果は、参加機関によって大きく異なるものがあるため、データのばらつきを加味し付表 8-12 のように定めた。MATRICS の解析結果が判定基準に収まらない場合は、その原因を考察し、MATRICS の補助情報として管理する。

5. 適用範囲の明確化

MATRICS の適用範囲に関しては、これまでに動燃殿で実施された感度解析を通じて、何らかの知見が得られている見通しである。今後、これらの知見を集約するとともに不足している感度解析を行い、MATRICS の適用範囲を体系的に整理することとする。

付表 8-1 MATRICS の検証解析ケース

	検 証 問 題 I							検証問題II		検 証 問 題 III				検証問題IV	
	I.1	I.2	I.3	I.4	I.5	I.6	I.7	II.1	II.2	III.1	III.2	III.3	III.4	IV.1	IV.2
移物質行関連															
移 流	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
分 散	○					○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
表面吸着	○			○	○		○			○	○	○	○	○	○
マトリクス拡散			○		○		○		○						
porous sorption									○						
崩壊系列数															
1	○	○	○	○	○	○	○								
2										○	○			○	○
3								○	○			○			
6													○		
境界条件															
インパルス										○		○			
バンド	○	○	○	○	○	○	○	○	○		○		○		
濃 度								○	○						
任意の時刻暦データ														○	○
ブロック形状															
平板	○	○	○	○	○	○	○		○						
球															
円筒															

付表 8-2 基準ケース (INTRACON Level 3)

インベントリ (^{237}Np)	1.5 Curies (2.114Kg)
半減期 (^{237}Np)	2.1×10^6 years
浸出時間	100,000 years
移行経路長	100 m
岩体の密度	2,700 kg/m ³
地下水流束	0.0002 m ³ /m ² •year
空隙率	0.0001
亀裂間隔	5 m
分配係数	5 m ³ /kg
分散長	20 m

付表 8-3 INTRACON Level.1 の解析ケース

		1	2	3	4a	4b	5	6a	6b	7
核種インベントリ	I ₁	付表 8-4	"	"	"	"				"
	I ₂	付表 8-4	"	"	"	"	"	"	"	"
浸出時間	T ₁ [yr]	1×10 ³								
	T ₂ [yr]	1×10 ⁶	"	"	"	"	"	"	"	"
境界条件	B ₁	付表 8-5	"	"	"	"	"	"	"	"
	B ₂	付表 8-5	"	"	"	"	"	"	"	"
移行経路	L ₁ [m]	500	"	"	"	"	"	"	"	"
	L ₂ [m]	5000								
地下水流速	v [m/yr]	1.0	"	"	"	付表 8-9	500(亀裂)	"	付表 8-9	1.0
分散長	ar [m]				5.0	"		5.0	"	
亀裂幅	2b[m]						1×10 ⁻⁴	"	"	
亀裂間隔	s[m]						5	"	"	
岩体マトリクス of 拡散係数	D _o [m ² /yr]						1×10 ⁻¹²	"	"	
岩体マトリクス of 空隙率	ε _p						5×10 ⁻³	"	"	
亀裂空隙率								2×10 ⁻⁵	"	
岩体マトリクス of 密度	ρ [kg/m ³]						2700	"	"	
岩体マトリクス of 分配係数	K _v						付表 8-10	"	"	
ペクレ数	P ₁	1000 or ∞								
	P ₂	10	"	"	"	"	"(亀裂)	"	"	"
	P ₃	1								
遅延係数	R ₁	付表 8-6	付表 8-7	付表 8-8						付表 8-6
	R ₂	付表 8-6	付表 8-7	付表 8-8	"	"				付表 8-6
固液の Mass Transfer Coefficient	K _m ・A									0 10 ⁻⁵ 10 ⁻⁴ 10 ⁻² ∞

 : MATRICS の検証で利用する解析ケース

付表 8-4 核種インベントリ

	核 種 k	半減期 $t_{1/2}$ [year]	規格化した放射能 強度
長半減期核種 I ₁	²³⁴ U 1	2.455×10^5	1.000
	²³⁰ Th 2	7.7×10^5	0.010
	²²⁶ Ra 3	1.600×10^3	0.004
短半減期核種 I ₂	²⁴⁵ Cm 1	8.500×10^3	0.700
	²³⁷ Np 2	2.14×10^6	1.000
	²³³ U 3	1.592×10^5	0.004

付表 8-5 境界条件

境 界 条 件 B ₁	Concentration Boundary Condition $c_k(0,t) = \frac{I_k(t)}{v\varepsilon FT}$ v : 地下水流速(1m/year) ε : 有効空隙率(0.01) F : 入口での代表断面積(100m ²)
境 界 条 件 B ₂	Source Boundary Condition $F_k(t) = \frac{I_k(t)}{T}$

付表 8-6 遅延係数(case 1)

	R ₁	R ₂
Cm	5000	60
Np	700	200
U	300	60
Th	20000	500
Ra	10000	20

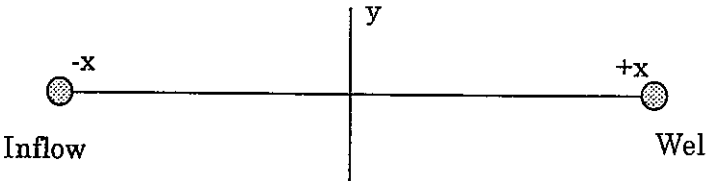
付表 8-7 遅延係数(case 2)

元 素	R ₁			R ₂		
	領域 1	領域 2	領域 3	領域 1	領域 2	領域 3
Cm	10000	5000	2500	500	60	30
Np	1400	700	350	700	200	100
U	600	300	150	300	60	30
Th	40000	20000	10000	5000	500	250
Ra	20000	10000	5000	200	20	10

付表 8-8 遅延係数(case 3)

	距離依存式	元 素	G	H
R ₁	$R = G + H \cdot \frac{x}{l}$	Cm	10000	-7500
		Np	1400	-1050
		U	600	-450
		Th	40000	-30000
		Ra	20000	-15000
R ₂		Cm	500	-470
		Np	700	-600
		U	300	-270
		Th	5000	-4750
		Ra	2000	-1990

付表 8-9 地下水速度場(case4a, case6b)

	
速度ポテンシャル $\Phi = \frac{q}{4\pi} \ln \left(\frac{(x-x_1)^2 + y^2}{(x+x_1)^2 + y^2} \right)$	x 軸方向速度 $u = \frac{-q}{2\pi} \left(\frac{x-x_1}{(x-x_1)^2 + y^2} - \frac{x+x_1}{(x+x_1)^2 + y^2} \right)$
	y 方向速度 $w = \frac{-q \cdot y}{2\pi} \left(\frac{1}{(x-x_1)^2 + y^2} - \frac{1}{(x+x_1)^2 + y^2} \right)$

付表 8-10 岩体マトリクス分配係数(case5, case6a)

元 素	K _v	備 考
Cm	570	$K_v = \rho_p \cdot K_d$ ρ_p : 岩体マトリクス密度 K_d : 分配係数
Np	80	
U	30	
Th	2300	
Ra	1100	

付表 8-11 検証問題Ⅲで用いた核種の半減期と平衡定数

放射性核種	半減期（年）	平衡定数
^{226}Ra	1,600	500
^{230}Th	77,000	50,000
^{231}Pa	32,500	17,000
^{233}U	158,000	14,000
^{234}U	244,000	14,000
^{235}U	704,000,000	14,000
^{237}Np	2,140,000	100
^{238}U	4,470,000,000	14,000
^{239}Pu	24,390	10,000
^{242}Pu	387,000	10,000
^{246}Cm	4,760	3,000

付表 8-12 MATRICS の検証で用いる判定基準

検証問題		制限条件 ^(注)	定量的検査項目	判定基準	備 考
I		$\phi > 10^{-8} \text{ Ci/yr}$	①最大フラックス ②最大フラックスに達する時刻	① 20%以内 ② 50%以内	ϕ : フラックス C_i : 濃 度 A.U. : Activity Unit
II	ケース 1	$C_i > 10^{-8} \text{ A.U.}$	①最大濃度 ②最大濃度に達する時刻	① 20%以内 ② 20%以内 ③ 40%以内	
	ケース 5		③最大濃度の 10%に達する時刻	① 2 倍以内 ② 20%以内 ③ 40%以内	
III, IV		$\phi > 10^{-8} \text{ Ci/yr}$ $C_i > 10^{-8} \text{ A.U.}$	①最大フラックス ②最大濃度	① 2 倍以内 ② 20%以内	

(注) MATRICS の解析結果が、この条件を満足する場合のみ、本表に示した判定基準を参照することができる。

D O E / R W - 0 3 3 3 P (抜 粋)

付表9-1 DOE/RW-0333Pの品質保証要求

	要 求 項 目
設計管理	① 設計インプット管理 ・設計情報の確認と文書化及びレビュー ・入力の詳細化 ・変更とその理由を確認し文書化 ・仮定に基づく入力の確認し管理
	② 設計手順 ・設計指示事項を詳細に文書化 ・設計文書の活用（建設、運転、製造） ・適用基準の文書化とレビュー ・適用基準の変更の文書化 ・設計方法、材料、機器を選定し、レビュー ・経験からの情報は設計者に活用 ・決定図書で機器を確認 ・図面や設計アウトプットは監査を受け、受入基準を確認
	③ 設計解析 ・解析の計画と管理、文書化 ・解析文書は判り易く、再現性があり、検索可能 ・コンピューターソフトは、開発または品証されSupplement I の要求を満足すること。 ・設計解析の文書は次の事項を含む。 ・解析目的 ・インプットと出典 ・文献検索結果またはバックデータ ・仮定の確認 ・計算の確認（コンピューターの型、プログラム、バージョン、インプット、アウトプット等） ・解析者、レビューアー、承認者
	④ 設計検証 - 文書レビューを行うと共に、次の事項を行う。 ・設計検証は、レビュー、別計算、確認試験の何れかによって行う。 - 検証方法を確認し判定する。 - 検証結果を文書化 - 検証は設計者以外の者が行う。 - 検証は適切な時期に行う。 - 検証範囲は重要度に応じて設定する。 - 検証手順は設計をトレースする必要はない。 - 証明済の設計を使用する場合は次のとおり管理する。 ・既設計の適用性を検証（インプットの確認） ・問題点と影響評価 ・変更点の再検証（影響評価含む）
	⑤ 設計レビュー ・設計インプットが正しく選定され使用されているか ・仮定が適切に述べられているか ・適切な設計方法、計算コードが用いられているか ・設計アウトプットはインプットに対して妥当か ・必要な設計情報が設計文書に述べられているか
	⑥ 検証計算 仮定（前提）、インプットデータ、コンピュータープログラム、他の計算方法の妥当性をレビューし、それらの結果を別解析手法により確認する。

付表9-2 DOE/RW-0333Pの品質保証要求

	要 求 項 目
設計管理	⑦ 性能試験 ・試験管理要領に従うこと（設計の妥当性を検証するのなら） ・試験条件を定義し，文書化 ・設計に反する条件下で妥当性を示す ・特定の設計項目のみ検証するのなら，他の項目は他の方法により検証する。 ・試験結果が改良が必要であることを示した場合，改良点を文書化し，再度検証する。 ・試験をモデル，モックアップで行う場合，スケーリング基準を確立しレビューすること。
	⑧ 設計変更管理（省略）
	⑨ 設計インターフェイス管理（省略）

付表9-3 DOE/RW-0333Pの品質保証要求

	要 求 事 項
是正活動	① 状況確認 要求された品質に合致しない状況を確認する。
	② 状況のクラス分け A. 品質に合致しない状況を重要度分類する。 B. 次の2つのカテゴリーを確立する。 1. 品質に合致しない状況 2. 品質に合致しない重要な状況
	③ 品質に合致しない状況 A. この状況を文書化し、適切な管理側とQA組織へ報告する。 B. 責任を負う管理側は、この状況の範囲を決定し、改善を速やかに行う。 C. QA組織は、この改善活動に協力する。
	④ 重要な状況 A. この状況とした基準を確立する。 B. この状況を文書化し、責任を負う管理側、さらにその上の管理側、QA組織に報告する。 C. QA組織は作業を中止した場合を評価する。 1. QA組織は確認後、作業中止命令を出す。 2. QA組織は解決策に基づいて適切な行動をとる。 D. 責任を負う管理側は、影響と範囲を決定するための研究開発を行い結果を報告する。 E. 責任側は決定、文書化、改善活動を完全に行い、再発防止のため、原因を究明する。 F. QA組織は全面的に協力する。
	⑤ フォロー QA組織は報告されている訂正活動が全て正しく行われているか検証する。
	⑥ 傾向（不適合の原因） A. QA側は傾向を決定する基準を確立する。 B. 不適合レポートを傾向、原因を確認するため評価する。 C. 傾向分析は一定の方法で頻度を評価する。 D. 関連する組織（影響を受ける）が傾向分析を行う。 E. 責任ある組織管理側へ傾向を報告する。

注記：QA＝品質保証

付表9-4 DOE/RW-0333Pの品質保証要求

	要求事項
P e e r R e v i e w s	A. 情報の妥当性、文書の適合性、目的に合致した手法か否かについて、試験や別計算及び参照された標準を通して確立できない時、レビューを実施する。 次の状況が該当する。 1. データの収集や調査の計画立案等を行う時に、重要な考え方、決定が重大な不確実さに直面した場合。 2. 性能評価の結果に影響のある考え方、決定が行われる場合。 3. 新しい計画、試験、解析等が用いられる場合。 4. 技術基準や標準が使用できない場合。 5. 試験結果が再現できない、再現性がない場合。 6. データまたは考え方があいまいな場合。 7. データの妥当性に疑問がある場合。（確立した品質保証がなく、データ収集がされている場合） B. 別手法の適用性には重大な問題があるが、その手法によって、情報の妥当性を確立する時、Peerレビューを行う。 C. 手計算等によって検証され得るソフトは、次の限られた要求事項となる。 1. レビューアーの数が、レビュー対象の複雑さ、重要性、技術的難度等に対して十分か。 2. レビューアーの技量 3. レビュー範囲が適切に割り当てられている。 4. 技術的、組織的な不公平さが最小化されている。 5. レビューアーグループの取まとめを置く。

付表9-5 DOE/RW-0333Pの品質保証要求

	要求事項
P e e r R e v i e w s	Peerレビューは次のような個人によって行われる。 1. 技術的に高い能力をもつ。 2. 技術的な保証書をもつ。 3. レビュー対象とは関係のない者。いない場合には、その理由をレビューレポートに文書化する。
	Peerレビューの最初に次のような計画書を作成する。 1. レビュー範囲 2. レビューグループの大きさの特徴 3. スケジュールと手法 4. 以下のレビュー基準 a. 仮定の妥当性 b. 代替案 c. 要求と基準の妥当性 d. レビュー方法と用いた文書の妥当性と制約事項 e. 適用の妥当性 f. 計算の正確さ g. 結論の妥当性 h. 誤っていた場合の影響と結果の不確かさ
	Peerレビューの責任者は次のようなレポートを提出する。 1. レビューアーのサインまたはサインしなかった理由 2. レビュー内容、結論 3. 異論をとなえたレビューアーの見解 4. レビューアーの経歴とリスト

付表9-6 DOE/RW-0333Pの品質保証要求

		要求事項
S u p p l e m e n t I	ソフトウェア及びベースラインと管理	A. 開発／改良のソフトウェアについては、各々の関連組織が文書化し、開発／改良前にソフトウェア固有のライフサイクルを確認する。 1. ソフトウェアのベースライン要素（設計書、ソースコード等）が文書化される時点までに、ライフサイクルを定義する。ライフサイクル中では、繰り返しまたはシーケンシャルに作業が行われる。 2. ライフサイクルが定義されれば、検証／確認、文書化の要求が明確になる。 3. ベースラインのレビューが各々の管理段階で実施され、文書化される。 B. 開発済のソフトに対しては、以下の事項が要求される。 1. 動作環境でソフトウェアに対して要求されている事項が十分に動作するか、インストールし、確認する。 2. 開発者が関係せずに考えられた確認問題を行う。 3. 文書化する。（要求は別途） 4. ベースラインのレビューと文書化。 5. 形態管理を行うこと。 6. 欠陥レポートを作成し、対策を体系化する。 7. ソフトの使用管理を行う。 C. 手計算等によって検証され得るソフトは、次の限られた要求事項となる。 1. ベースラインバージョンのリストとソフトの変更点のリスト。 2. 入力パラメータの特定範囲で正しい結果が得られるとの文書。
	検証／確認	A. 検証／確認は、ソフトが公開される前に行う。検証／確認前に公開されたソフトについては、その一部が確認、管理され、妥当性を文書化する。 B. 検証／確認は、開発／改良にたずさわっていない第3者が行う。開発／改良を指示した者が、行っても良い。
	検証	A. 検証はベースライン要素が要素事項を満足しているか確認するため実施され、文書化される。 B. 検証文書は、タスク、方法、文書の作成、検証が終了したことの基準について述べる。 C. 検証結果には、許容基準に適合することの評価を含む。
	確認	A. 確認作業（テスト計画やテストケース等）は、ソフトウェアのライフサイクルの中に組込まれる。 B. テストを確認で最も重要なものとする。 C. 公開ソフトを改良した場合にも確認は必要。 D. 確認は計画に基づいて行う。 E. 要求事項に合致していることを確認するため、確認の方法とテストケースを文書化する。 F. 確認文書には、タスク、方法、文書作成、確認が終了したことの基準について述べる。 G. 確認結果には、許容基準に適合することの評価を含む。

付表9-7 DOE/RW-0333Pの品質保証要求

		要求事項
S u p p l e m e n t I	文 書	ソフトに関連する文書は、要求に合致していることを確認するため、次の事項を含む。 A. 機能要求情報 1. 全体的な特徴と目的 2. 使用上の要求（注意事項） B. ユーザー情報 1. インプット／アウトプットオプション 2. データfile, インプットとアウトプットデータ, デフォルト, file形式 3. 入出力の許容範囲 4. 装備されているエラーメッセージとユーザーの対応 5. ハードとソフトの環境 6. サンプル問題 7. インストール手順 C. 要求事項と設計情報 1. 動作要求と設計制約事項 2. 外部データ, ハードウェア, 他ソフトのインターフェイス 3. 適用可能なソフト, ハードの問題点（言語, バージョン, 効率等） 4. 機能要求に応じたソフトウェアのアイテム 5. 内部インターフェイス, 制御ロジック, データ構造と流れ等のソフトウェア構造 6. モデルと数学的解法 7. ソースコード
	ソ フ ト ウ ェ ア 設 計 変 更 管 理	次項の確認のための体系を構築する。 A. 設計の識別 1. ベースライン要素（設計書、ソースコード等）の定義 2. バージョン等の個々のソフトウェア・アイテムの識別（ラベリング等） 3. 文書と関連ソフトウェア・アイテムの管理者の設置 B. 設計管理 1. ベースライン要素に対する公開と管理手順 2. 廃棄及び使用の中止を含む、ベースライン要素の変更は、管理し文書化する。文書には変更点、変更理由、関連ベースライン要素について記述する。 a. 変更点を評価する。 b. 変更はベースラインに対して行う。 c. 変更に関する情報は全ユーザーに伝達する。 d. 変更点がソフトウェア文書に反映されているか、文書の追従性が維持されているか確認するため、ソフトの検証を行う。 e. 必要ならば、検証を行う。 C. 設計の状況 1. ベースライン要素と識別者のリスト 2. ベースライン要素に行われた変更点の状況 3. 各バージョンの変更点の年表
	欠 陥 報 告 と 解 明	A. 欠陥報告と解明する体系をコンフィグレーション管理で構築する。 B. 欠陥報告と解明体系は以下の管理を含む。 1. 欠陥は文書化され解明される。 2. 欠陥の影響評価。 3. 変更前に解明内容がレビューされる。 4. ユーザーへの伝達 C. 欠陥が影響する場合、不適合管理要領に従って文書化、管理する。
	使 用 管 理	A. 結果を再現できるように、管理、文書化する。 B. ソフトウェアの使用はレビューされ、選定されたソフトが適切か確認される。 C. 検証範囲外で使用できないなら、使用前に確認する。

付表9-8 DOE/RW-0333Pの品質保証要求

		要求事項
S u p p l e m e n t III	研究開発の計画	A. 研究開発は、品質保証のQAプログラムに基づいて行う。 B. 計画は、インプットを提供する組織または、その結果を使用する組織と共に立案する。 C. 計画は正確さ、精度の決定と再現性があるよう規定する。
	研究開発の実施	A. 研究開発はノートブックや文書を用いること。 B. ノートブックは次の事を記述する。 1. 目的, 実施内容, 参照文書 2. 使用された手法と計算コード 3. 使用されたサンプルや測定器, 機器 4. 実施者名, 結果, 内容, 日付 5. 用いられた手法の変更点 C. ノートブックが次のことを検証するのに十分かレビューする。 1. 研究開発の再現と結果の確認。 2. 他者が行って繰返し同じ結果を得ること。
	データの確認	A. 文書に従ってデータの再現を確認する。 B. データのライフタイムを通して、確認と追従性を維持する。
	レビュー	技術的な妥当性を確認するため、データのレビューを行う。

付表9-9 DOE/RW-0333Pの品質保証要求

		要求事項
S u p p l e m e n t III	データの 使用	A. 品証されなければ、研究開発及び設計において、そのデータは使用しない。 品証されていないデータとして追従性を維持する。 B. データの変更は他の者が再現できるよう述べる。 C. エンジニアリングハンドブック、密度、動等の確立した事実として考えられているデータは品証を要求されない。 D. 直接安全性に係わる品証されていないデータは、次の方法によって品証データとする。 1. 次の何れかの方法または組合せ a. データ取得の管理が、本書と同等であると評価する。 b. 確証済データを用いて妥当性を説明する。 c. 試験による確認 d. P e e rレビュー 2. 品証は計画され文書化され、次の事を述べる。 a. 品証方法の選択で使用された要素と品証データとして決定した受入基準 b. 上記のa., b., c. での文書化されたレビュー
	モデル 開発と 使用	A. 現象モデルの開発を文書化する。 B. 数学的再現を確認するため、現象モデルを確認する。 C. モデルの確認は実験等のデータと解析結果を比較することにより行う。 1. データがない場合は、別の方法により行い、その方法を文書化する。 2. 別の方法としてP e e rを行う。 D. 現象モデルの選定と使用は評価し文書化する。

付表9-10 DOE/RW-0333Pの品質保証要求

		要求事項
S u p p l e m e n t V	データ 管理	関連する組織は、次のことを確認するための管理を確立する。 A. データインプットの完備と正確さ。 B. データインプットの継続的な変更の完備と正確さ。 C. データの保証を維持する。 D. データに問題があるよう検索された場合、使用の際関連組織の要求を満たすものであるか、問題点を確認する。

付 録 ー 1 0

C A O - 9 4 - 1 0 1 2 (拔 粹)

第5章 ー 科学的調査の要件

この章は、WIPPのプロジェクト（WIPP Compliance Application）を支援する全ての科学的調査と設計開発データの収集活動に適用し、科学的調査を定義し、管理確認文書化するものとする。科学的調査に影響を及ぼすプロセス変数は測定・管理されるものとする。さらに試験プロセスは、2.4項＜検査と試験＞、2.4.2.4項＜試験要件＞と2.4.3項＜監視、測定、試験とデータ収集設備＞の他、この章によって補足される要求事項に従って管理されるものとする。

5.1 科学的調査の計画

- A. 相互的に調査に影響を及ぼす変数を、各関連調査において適宜特定し、管理する。
- B. データの使用は、データ処理計画の一環として、収集の前に文書化する。
- C. 計画に際しては、データ処理と、各段階で使用する概念モデルまたは数学モデルとの互換性を考慮する。
- D. 科学的調査を実施するための手順書の技術的妥当性と実行は、作成した者以外の有資格者が検討し、承認する。さらに、手順書の変更は、原手順書に準拠した方法で検討し、承認する。
- E. 科学的調査の新手法または手順書を制定するために使用される開発活動は文書に記録するものとする。開発試験の結果は、妥当性について検討され、データ収集のためにその手順書が実行される前に、有資格者により承認を得る。
- F. 計画の立案は、調査における入力を提供または結果を使用する組織と協議するものとする。

G. 得られたデータが有効で文書に記録された要件を適宜満足することを保証するため、計画の立案には、下記の特徴についてデータ品質評価における合格基準の制定を含める：データの精密さ（precision）；データの精度（accuracy）；データの再現性（representativeness）；データの両立性：データの完成度（completeness）。

H. 計画の立案には、疑わしいか、または実施組織が品質を保証できない入力データの他、エラーと不確実さの要因を特定することを含める。

5.2 科学的調査の実施

A. 科学的調査は、試験計画書、手順書と科学的ノートブックに記載された要件に従って実施する。

B. 試験手順書の規定から逸脱することが適切であると見なされる場合（例：国家に承認された試験基準が存在しない）、修正された試験手順書または新しい試験手順を再現できるように詳細に文書に記録するものとし、所轄の技術組織による妥当性の評価と承認を受ける。

C. 科学的ノートブックは、最低限、下記を記載する。

1. 目的および、実施されるべき作業の内容または参照された計画書
2. 使用された方法
3. サンプルの特定
4. 使用された設定設備と試験設備
5. 得られた結果、作業を行う者の氏名、イニシャルまたは署名（適宜）
6. 適宜、使用される方法に加えられた変更
7. 試験結果が有効であることを保証するために制御測定せねばならない試験計画、手順及びパラメータにおける不確実さとエラーの潜在的源

D. ノートブックで調査が実行可能であるよう結果を確認するのに十分詳細であることを検証するため、または原調査者に頼ることなく調査を再現し、比較可能な結果を得るため、調査結果を有資格者が定期的にレビューする。

E. 技術的に妥当で適切に選択されたことを保証するため、データの取得解析するために使用された手法、技術、機器とマニュアルまたはコンピュータ化された方法は検証する。これらのプロセスが適当に実行されていることを確実にするため、管理方法を確立するものとする。

F. データの収集と解析は、そのプロセスを再現するのに十分、詳細な手順書によって管理する。可能であれば制御チャート；ブランク；試薬チェック；または別の解析方法等の承認された方法を使用して、品質管理チェックを行う。

G. 試験媒体（例：流体）を使用する場合は、試験手順書に従って試験媒体の特徴を文書に記録し、管理する。

H. 科学的ノートブックと技術実行文書を維持するものとする。

5.3 データの文書記録、管理と検証

5.3.1 データの確認と使用

A. データが得られた試験、実験、研究またはその他、出典までデータを明確に追跡確認できるよう、全てのデータを記録する。さらに、データの確認と追跡の可能性を維持する。

B. データの紛失を回避し、検索を可能にするため、データ記録の方法（例：科学的ノートブック、データ・シートまたはコンピュータ計装システム）を管理する。データの記録は常に、データの完全性と安全性が維持されていることを保証し、管理方法を設定する。管理方法は、媒体、条件、位置、保持期間、安全性（security）とアクセスに関して、特定のタイプのデータをどのように記憶するかを規定する。データは、規定された期間の間、破損されないよう保護され、直ちに検索することができるものとする。

C. データ転送がエラー・フリーであり（または、規定の許容エラー以内であること）転送中にデータが失われずかつ、入力が完全に復現可能であるよう、データ転送と保持方法を設定する。さらに、他の有資格者による独立した再現を可能にするよう、データの再現を可能にするよう、データの転送と保持を管理する。

データ転送には、ノートブックからコンピュータ化されたデータ・フォームへの生データのコピー、または、コンピュータ・テープからディスクへのコピーが含まれる。

D. 不適であると決定されたデータは、そのようなデータを誤って使用することを防止するよう管理する。データの管理には、不適切なデータの特典、分離と廃棄が含まれるものとする。エラーのあるデータを廃棄する理由の正当性を証明し、文書に記録するものとする。

E. データの表現形態または品質、値、データ項目の数（データ変換）のいずれかを変更する全プロセスは、変換プロセスを有効化する規定の方法で管理する。

F. 結果が使用されるか報告される前に、データの収集と解析を厳密にレビューし、疑問点を解決するものとする。さらに、データの使用の前に、不確実さの限度をデータに設定するものとする。

5.3.2 データの確証

データの確証は、所用のデータ品質特徴が得られていることを保証するためにデータをレビューする体系的プロセスである。レビューの結果、データ使用に関し、条件を付けることが必要になることがある。

A. 確証法を計画し、文書に記録する。記録文書には、データが妥当であることを決定する判断基準を含める。

B. 収集されたデータは全て確証するものとする。確証には下記を含める：

1. 技術的妥当性、使用上の適用性、および、品質保証記録の妥当性を評価するため、関連記録文書をレビューすること。

2. データレビューの結果を文書に記録すること

3. レビュー者はデータ収集活動に関与していないこと

C. 他の独立した有資格者による再現が可能なよう、データの確証を管理する。

D. 工学ハンドブック・データ等のような、確立した事実として認められているデータは、確証不要である。

5.4 既存データの認定

この章には、本品質保証プログラムの前にWIPPプロジェクトを支援するため収集されたデータと情報の認定の要件を記載する。認定プロセスは本管理要件に従って行われるものとするが、対象となるデータ、または、認定プロセスの技術要件をここでは特定しない。認定プロセスは、決定プロセスの記録文書、認定方法の選択に至るまでに使用した要素等を記載したデータの認定を決定する承認済みの手順書に従って行う。

既存するデータは、下記の方法の一つまたは組み合わせにより認定する。

- A. データがASME NQA-1-1989 edition ; ASME NQA-2a-1990、パート2.7 ; ASME NQA-2-1989 edition ; およびNQA-3-1989と同等の品質保証プログラムに基づいて収集された場合
- B. 確証データを用いてデータの関係が明瞭に確認され、妥当性が証明された場合
- C. 同一試験の実施と文書への記録
- D. NUREG-1297<Peer Review for High-Level Nuclear Waste Repositories>と互換する方法で行われる専門レビュー

第6章 ソフトウェアの要件

6.1 総 括

この章は、安全性と廃棄物の特性付けにとって重要なコンピュータ・ソフトウェアの開発、調達、維持または使用について関係者のためのソフトウェア品質保証（SQA）に関する要件を制定する。

6.2 適用範囲

A. この章に記載した要件は、廃棄物の封じ込め、廃棄物の特性付け、廃棄物の輸送、及び廃棄物の受入プロセスに関する設計、解析、操作に用いられ、決定を行うために依存するデータを操作または生成するコンピュータ・ソフトウェアに適用する。これらの要件は、計画書、製作書、手順書または指示書の中で規定する。

B. 「システム・ソフトウェア」（例；オペレーティング・システム、アドミニストレーションまたはマネージメント・システム、システム・ユーティリティ、コンパイラ、アセンブラ、トランスレータ、インタープリタ、照会言語、ワード・プロセッシング・プログラム、スプレッドシート、データベース・マネージャとグラフィック・プログラム）、または、結論に関連するデータを生成しない他のソフトウェアは、この章の要件から除外する。ただし、これらの種類のソフトウェアで使用するために書かれた、上記6.2 A項を支援するもの（例：詳細な公式またはマクロ）であって、手計算またはその他の手段によって確認することができる場合は、下記の要件を満たすものとする：

1. 使用したソフトウェアのバージョンリスト
2. 規定された入力パラメータの範囲内で正しく出力することの文書記録

6.2.1 ソフトウェアの状況

ソフトウェア名、バージョン、分類、除外状況、オペレーティング環境、および、ソフトウェアの責任を負う者と組織を特定するため、ソフトウェアの状況を維持する。

6.2.2 ソフトウェアのクラス分類

本品質プログラムの適用範囲であるソフトウェアはクラス分類する。分類基準を文書に記録し、工学、科学試験、データ収集、設計、解析におけるソフトウェアの使用に関する使用目的、および、情報管理におけるソフトウェアの重要度を位置付ける。

6.2.3 ソフトウェアの品質保証

ソフトウェアのライフサイクル初期においては、ソフトウェアの品質を保証するための計画書を作成する。調達するソフトウェアの場合、ソフトウェアの品質保証計画書は、そのソフトウェアを購入する前に作成する。計画書は、各ソフトウェアに対し個々に作成し、組織内で作成・調達されるソフトウェアに適用する文書として存在すると共に総合的な品質保証プログラムに組込まれる。前記計画書では下記を確認するものとする：

- A. 品質保証計画書が適用されるソフトウェア製品
- B. ソフトウェアの設計、開発、製作、テスト、使用期間に作成、レビュー、維持されるべき文書の種類
- C. 品質保証を遂行し、ソフトウェアの品質に責任を負う組織
- D. ソフトウェアのエラーを報告して文書に記録し、エラーが以前の計算に及ぼす影響を評価すると共に適切な是正活動を行うための手順
- E. 要求事項を反映するために用いられる方法の他、ソフトウェアの開発を支援する標準、技術または方法
- F. データ、数学モデルと出力ファイルを確立し、完全性を維持・使用するための手順

6.3 ソフトウェアの調達

- A. ソフトウェアと関連サービスの調達は、調達管理要領に従って実行する。この章は、ソフトウェア受領後の、調達したソフトウェアのスポンサー組織の責任を定める。
- B. ソフトウェアのインストール後、使用前に、ソフトウェアの機能および支援文書（例；ユーザ・マニュアル、技術仕様書と検査結果）の妥当性を確認するため、スポンサー組織は受け入検査を行う。

- C. 調達ソフトウェアの供給者はスポンサー組織にソフトウェアのエラーと故障を報告する。また、スポンサー組織は、ソフトウェアのエラーを供給者に報告する。

6.4 他の品質保証プログラムに基づいて開発されたソフトウェア

本品質プログラムに従わず開発承認されたソフトウェアは、本章で規定する基準を用いて評価する。ソフトウェアは、スポンサー組織によって受容され、評価に先立ち、独自の方法で確認・管理されているものとし、構成管理の下に置かれるものとする。この評価は下記の根拠を示すものとする：

- A. 使用と保守を支援する現存する検証と確認およびソフトウェア文書の妥当性の決定
- B. 実行される活動、および、使用するソフトウェアを受容するために必要な文書の確認と構成管理を行い、評価は文書に記録し、最低限、下記を含む：

- 1. ユーザ要求
- 2. ソフトウェアの妥当性を検証するために要求されるテスト計画とテストケース
- 3. 6.8.6項に従ったユーザ文書

6.5 ソフトウェアの開発とライフサイクル

- A. ソフトウェアの開発は対話式 (iterative) アプローチまたは逐次式 (sequential) アプローチとし、このアプローチは、研究されている問題の解析、解析から設計への変換、ソフトウェアの設計の実行、および、要求事項がソフトウェアに反映されていることを示すのに十分な文書が作成されるために支援する。
- B. ソフトウェア開発のアプローチは、各開発段階でソフトウェア・ベースライン要素を代表する下記の段階からなる。

- 1. 要 求
- 2. 設 計
- 3. 製 作
- 4. テ ス ト
- 5. インストールとチェックアウト
- 6. 使用と保守および、
- 7. 廃 棄

C. ソフトウェア品質計画書の開発の後，ソフトウェア開発活動を遂行する厳密な順序は要求されない（すなわち，連続または循環して活動を行うことができる）。ただし，ソフトウェア開発の各段階で規定された要件が全て満たされ，意図された要件が覆されないことが条件である。

6.5.1 要 求

ソフトウェア要件を規定し，文書に記録し，レビューする。この要件は，6.8.2項で説明した通り，機能，性能，設計上の拘束，データ属性と外部インターフェイス（例：ハードウェアの限定）に関するものである。各要件は，設計と検証を行うことができるよう十分詳細に規定する。ソフトウェア要件は，ライフサイクル全体を通して追跡可能であるものとし，検証／確証計画書は，ソフトウェア要件の文章記録と承認が完了した時点で作成する。

6.5.2 設 計

ソフトウェア設計はソフトウェア要件に基づき実施し，文書化されレビューを受ける。設計は全体構造（制御とデータの流れ），および，全体的な解法（アルゴリズム，方程式，制御ロジックとデータ構造）を規定する。また，設計では要求文書および検証／確証計画書の修正を必要とすることがある。

6.5.3 製 作

ソフトウェアの設計は，コンピュータ処理に適した形式（例：プログラム言語）に変換する。さらに，エラーを特定し訂正するため，実行可能なソフトウェアで解析する。

6.5.4 テ ス ト

A. テスト要件と合格基準を規定文書化し，レビューするものとする。テスト要件と合格基準は，設計またはその他の関連技術文書に基づくものとする。

検証試験，ハードウェア結合試験等のような試験は管理する。試験計画書，試験ケースと試験結果は，ソフトウェアの妥当性を検証の主たる方法である。

B. ソフトウェアの試験では、意図されない機能が確認・レビューされ、そのような機能の影響が決定・訂正される。適切である場合は、要求、設計、製作または試験計画書と試験ケースの改良が要求されるか否か決定する。

6.5.4.1 検証試験

検証試験は設計確認試験であり、ソフトウェア文書によって定義されたとおりの使用範囲を包含する試験問題により、ソフトウェアの能力を確認するために実施される。ソフトウェアの試験では、機能または処理の全範囲にわたって所定の性能を確認するものとする。検証方法は下記から成る：

- A. 手 計 算
- B. 証明済みの問題と比較可能な計算
- C. 確認公表されたデータとの相関関係または技術文献から得られるデータと情報
- D. 類似の目的を有する他の検証済みソフトウェアとの比較
- E. グラフ化のような目視検査等、数値の操作が関与しない手検査または定量的チェック

6.5.4.2 確 証

確証試験は要求確認試験であり、ソフトウェア実行の結果と他の許容される手段によって得られた客観的証拠とを比較することによりソフトウェアを検証するために実行される。評価においては、ソフトウェア文書に記載された能力と限度を証明するために十分な範囲と深度を有するものとする。

6.5.5 インストレーションとチェックアウト

A. インストレーションとチェックアウトの間、ソフトウェアは、適用可能なソフトウェア構成要素、ハードウェアとデータから成るシステムの一部になる。ソフトウェアを他の適用可能なコンポーネントに結合するためのプロセスは、ハードウェアとソフトウェア両方のインストレーション、データベースの初期化または作成、および全システムコンポーネントがインストレーションの中に含まれたことの確認から構成される。ソフトウェアのオペレーション環境におけるソフトウェア性能が許容内であることを確認することができるよう、試験問題を設定し、文書化する。ソフトウェアのインストレーションとチェックアウトは下記から成る：

1. インストレーションと結合のための試験の実行
2. 使用のためのソフトウェア許容性の文書化
3. 使用に先立つ、ソフトウェアの構成管理の実施

B. ソフトウェアのインストレーションとチェックアウト活動が完了すると、ソフトウェア・ベースラインが制定される。

6.5.5 使用と保守

A. ソフトウェアの使用は、ユーザー文書に記載された指示に従い、ユーザーによって行われる。ソフトウェアが利用可能であれば、ソフトウェア要件と設計の完全性を維持する。維持活動は、追跡可能であって計画された秩序正しい方法で行う。

B. ソフトウェア使用前に、ソフトウェアの検証／確証を完了させ、必要であれば承認された是正活動を実施する。

6.5.5.1 インストール後の保守

潜在的エラーを排除するため（訂正メンテナンス）、または新しい要件や改定された要件に呼応するため（向上メンテナンス）、さらに、オペレーション環境中の変化にソフトウェアを適応させるため（適応メンテナンス）、ソフトウェアのメンテナンスを行うものとする。ソフトウェアの修正は、承認を受け、文書に記録、確認、検証し、管理する。

6.5.5.2 使用中の試験

- A. ソフトウェアが異なったコンピュータ上にインストールされた場合、また、ハードウェアまたはシステム・ソフトウェアの構成に大きな変更が加えられた場合には、試験問題を実行する。これらの試験は、文書に記録し、技術的に適切な者が試験を行う。なお本試験はソフトウェアが規定された要件を満たすか否かを決定することを目的とする。
- B. コンピュータの故障または電子的ドリフトが出力に影響を及ぼすことがある場合は、定期的な手動または自動化自己チェック・ルーティンを規定し、試験を実施する。

6.5.6 廃 棄

ソフトウェアの廃棄基準を設定し、管理されていないソフトウェアの使用を防止するための方法を開発するものとする。なお、廃棄後、ソフトウェア製品への支援は終結される。

6.6 ソフトウェアの検証／確認

- A. ソフトウェアの検証と確認は、ソフトウェアが下記であることを確認するため、ソフトウェア活動、記録文書と試験のレビュー含む：
1. ソフトウェアが所定の機能すべてを適切かつ正確に遂行すること
 2. ソフトウェア単体または他の機能と結合した場合、ソフトウェアの所定の結果を劣化させる意図しない機能をソフトウェアが遂行しないこと
- B. 検証と確認は、ソフトウェアの設計を行った者以外の者またはグループが実施するが、その者は、設計者の監督者を含め、ソフトウェアの設計を行った者と同じ組織に属することができる。ただし、監督者は下記であることが条件である。：
1. 単独で設計アプローチを規定しなかったこと
 2. 特定の設計条件を排除しなかったこと
 3. 設計入力を制定しなかったこと
 4. 検証／確認を行う資格を有する、組織内で唯一の者であること

6.6.1 検証

検証は、ソフトウェアのライフサイクル全体を通して実行される公式の確認活動である。検証は、確認を行う者と確認を承認する者を含め、明確に文書化する。レビューされた文書は更新し、構成管理する。レビューコメントの保持とコメントの廃棄は管理する。反映されなかったコメントとそのコメントの処分は、制定された手順書に従う。

6.6.1.1 要求

ソフトウェア要件のレビューは、6.5.1項に記載されている通り、要件が完成していること、試験により確認が可能であること、一貫性があること、および、技術的に実現可能であること確認するものとする。

6.6.1.2 設計

ソフトウェア設計の検証レビューは、設計アプローチの技術的妥当性を評価し、全要件が反映されていること、および、6.5.2項に記載されている通り設計が完了していること、検証可能であること（試験計画と試験ケースの使用を通して）、一貫性があること、技術的に実行可能であること、および、ソフトウェア要件まで追跡可能であることを保証するものとする。

6.6.1.3 製作

ソフトウェアの製作検証は、標準と協定(convention)の遵守を保証し、および、6.5.3項に記載されたとおり設計が確実に実行されたことを確認するためのソフトウェア・ロジックとソース・コードの検査から成る。

6.6.1.4 テ ス ト

ソフトウェア試験の検証は、6.5.4項に記載されている通り、規定された試験基準、期待される結果、ソフトウェア開発文書が満たされていることのレビューから成るものとする。

6.6.1.5 インストラクションとチェックアウト

インストラクションとチェックアウト活動の検証は、ソフトウェア・ベースラインが制定されたことを保証するためのレビューから成るものとする。

6.6.2 確 証

- A. ソフトウェアの確証は、主として、インストラクションとチェックアウトの前に遂行される公的な試験活動である。ソフトウェアの確証は、ソフトウェアに設定されたモデルが、所定のプロセスまたはシステムを許容範囲内で表現することを確認するため、および、採用された各パラメータについて規定された限度内において正確な解答が得られることを実証するために実施する。
- B. 確証方法、テストデータ、出力結果と結論は、技術的な資格を有しソフトウェアを使用する独立した個人が理解できる書式に記録する。この章の要件を満たすことを確認するため、文書の妥当性と正確さ、および、使用の可否を評価するため、ソフトウェアをレビューする。
- C. テスト、代替計算、または既に確立した規格または手法の参照を通して概念モデル、数字モデルもしくはコンピュータ・モデルの妥当性、または、手順と方法の適合性を制定することができない場合は、ソフトウェア確証要件を満たすため、文書化された技術レビュー(peer review)を行う。
- D. ソフトウェア改良の確証は、下記の試験対象であるものとする。：
 - 1. システムまたはシステム・コンポーネントの改良時に出力されたエラーの検出
 - 2. 改良により意図しない悪い効果が生じないことの確認
 - 3. 改良後のシステムまたはシステム・コンポーネントがなお規定された要件を満たしていることの確認

6.7 ソフトウェア構成の管理

ベースラインの作成と変更管理手順は、構成の管理の基本である。ベースラインは、ソフトウェア開発で承認された全ての要求の集合である。各構成要素は総合に管理され、正式な変更管理手順を通してのみ変更でき、さらなる開発とメンテナンスのための基礎として役割を果たす。変更管理はベースラインに対する変更の提案を評価し、承認または拒絶するためのプロセスである。

6.7.1 構成の識別

各構成品目が承認されたとき、ソフトウェアを構成管理下に置くものとする。ソフトウェア・ベースラインは、承認された最新のソフトウェア構成を規定する。構成品目と記録文書は、相互に追跡可能で下記のラベル表示システムを有する。：

1. 各構成品目を独自の方法で識別する
2. 改訂またはバージョン識別子によって、構成品目に対する変更を識別する
3. 利用することができる改定後のソフトウェアの構成を独自の方法で識別する能力を提供する。

6.7.2 構成変更の管理

A. ソフトウェア・ベースラインの更新に先立ち変更を行うことの影響と理由が十分に査定されることを保証するため、ソフトウェアに対する変更の提案、評価、文書記録と承認は体系的になされるものとする。すでに受容されたソフトウェアに対する変更は、原ソフトウェアの場合と同じレベルで管理する。

B. 承認された変更に関する情報を、影響を被るすべての組織に通達するものとする。変更を承認する権限が別の組織にある場合を除き、すべての変更は、原設計の責任を負う組織によって正式に評価されるものとする。認可された変更のみがソフトウェア・ベースラインになるものとする。変更についてのソフトウェア検証活動は、その変更がソフトウェア文書に適切に反映されることを保証し、文書の追跡可能性が維持されることを保証するために行われるものとする。ソフトウェア確認の程度は、変更の性質と範囲に応じたものとする。

6.7.3 構成状態の説明

ソフトウェア・ベースラインの現状を把握した情報を維持する。その情報には、承認された構成の識別とバージョン、および、ベースライン要素に対して提案・承認された変更の状態が含まれる。ソフトウェアの指定ユーザ全員に対して、要求した場合、この情報を利用することができるものとする。

6.8 記録文書

ソフトウェアは、独立した検証を可能にするために十分なユーザ指示、技術的基礎、機能要件とメンテナンス関係情報を詳細に記した一つまたは複数の文書の中に記載され、ソフトウェアまでの文書の追跡を提供する。記録文書は、ソフトウェアを使用する技術分野において資格を有する個人がレビューする。レビューは、記録文書がシステムを構成するソフトウェアを適切かつ正確に反映していること、および、ソフトウェア要件を確実に反映していることを客観的に実証するために十分な内容であることを確認するものとする。

さらに、指定ユーザ全員が、適切な記録文書を利用することができるものとする。

6.8.1 調達文書

調達文書は品質保証要件を規定し、要求されるベンダ支給ソフトウェア文書、計画書と手順書が、ソフトウェア調達文書の中で特定されるものとする。

6.8.2 要求文書

A. ソフトウェア要件文書は、提案されたソフトウェアが満足せねばならない要件を説明するものとする。ソフトウェア要求文書は下記のとおりである。：

1. 機能性 — そのソフトウェアが果たすべき機能
2. 性能 — 速度、回復時間、応答時間等のような、ソフトウェア・オペレーションの時間にかかわる事項
3. 拘束 — 製作時に課される拘束 — すなわち、設計オプションを制限することになる要素
4. 属性 — 可搬性、合格基準、アクセス管理、メンテナンス性等のような、ソフトウェア・オペレーションの時間にかかわらない事項
5. 外部インターフェイス — ユーザとハードウェア及び他のソフトウェアとのインターフェイス

B. ソフトウェア要件は、ソフトウェア開発のサイクル全体を通して追跡可能であるものとする。

6.6.3 設計と製作の記録文書

ソフトウェアの設計と製作の記録文書は、下記である1冊の記録文書またはシリーズから構成される：

1. ソフトウェア要件に関係する場合、ソフトウェア設計の主要要素を説明するもの。
2. ソフトウェアの理論的根拠、具体化された数字モデル、制御フロー、制御ロジックとデータ構造を説明するもの
3. 入力と出力に関して、許容または規定範囲を説明するもの
4. コードに変換できる方法として設計を説明したもの

6.8.4 検証／確認の記録文書

A. ソフトウェアの検証と確認の記録文書は関連する計画書から構成され、レビューと試験の結果を含む諸活動、および、ソフトウェア開発全体を通してソフトウェアの検証を達成するための基準を説明するものとする。また、ソフトウェアの検証と確認の記録文書は、検証／確認に関係するハードウェアとソフトウェアの構成を規定するものとする。

B. ソフトウェアの検証と確認の記録文書は、ソフトウェア要件からソフトウェア設計及びソフトウェアの能力の検証までの追跡を可能にする方法で構成されるものとする。

6.8.5 変更の記録文書

ソフトウェアに対する変更は、正式に文書化されるものとする。記録文書は、変更、変更の理由、および影響を被るソフトウェア・ベースラインの構成品目の説明を記載する。

6.8.6 ユーザ文書

ユーザ文書は、資格を有するユーザ（すなわち、適切な技術を有するユーザ）がソフトウェアをセットアップして実行させ、エラーに対して適切に応答することができる十分なものでなければならない。ユーザ文書は、最低でも下記を含むものとする：

- A. ソフトウェア名とバージョン識別子
- B. ハードウェアを含む機能要件とシステム限度の記載
- C. ソフトウェア設計において使用された数学モデルおよび数値解法導出の経緯の記載。ソフトウェアに固有の能力と限度の説明とともに、ソフトウェアの基礎となった物理的仮定と数学的仮定を含めるものとする。
- D. ソフトウェアとユーザの対話、不適当な入力があった場合のユーザ・メッセージ、ユーザが応答するための方法、入出力の仕様とフォーマットの指定と説明、および、入力パラメータを説明するユーザ指示書
- E. ソフトウェアを使用するために必要な要求される訓練の説明
- F. ユーザ支援とメンテナンス支援を得るためのユーザ情報

6.8.7 エラー記録文書

インストラクションとチェックアウト後の使用中に検出されたエラーの記録文書は維持する。この記録文書は、改良及び将来のソフトウェアの開発とメンテナンス時のエラー再発防止のために使用する。この記録文書は、ソフトウェアの確認、ソフトウェア出力の完全性に対するエラーの重要度に基づく、エラー分類、および、エラー是正活動の性質を記載する。

6.9 問題点の報告とエラーの訂正

A. ソフトウェアの問題点（リリースされたバージョン）と関連する訂正行動を報告し、問題点を分析、追跡、報告するためのシステムを制定・維持する。

さらに、影響を被る組織に問題点を直ちに報告し、正式に解決策を検討する。

B. ソフトウェアまたは出力結果に問題点が発見された場合、スポンサ組織は、影響を被ったユーザからの十分な情報に基づいて、以前の使用に対する影響と訂正行動の必要性を決定する。訂正行動は下記を保証する。

1. 問題点が特定され、評価・文書化され、必要な場合は訂正されていること
2. 問題点に対してソフトウェアの過去と現在の使用に及ぼす影響が査定されていること
3. ソフトウェアに対する変更が、この章のソフトウェア構成管理要件に従っていること
4. 影響を被るユーザに、改訂されたソフトウェア文書とともに結果が提供されること

C. 以前にソフトウェアを使用して決定した事に対して、重大な影響を及ぼすことがある問題点、または、ソフトウェアに対し重要な修正を必要とする問題点は、全ユーザが確認できるものとする。品質に悪影響を及ぼすと決定されたエラーは、別途定める管理方法に従うものとする。

6.10 アクセスの制御

この章に従って受容されたソフトウェアに対しては、認可によりアクセスを可能にし、無認可のアクセスを防止するための管理方法を制定するものとする。

原子力発電所の安全審査指針

原子力発電所の安全審査は、付図11-1の手続きで実施されており、以下の指針が原子力安全委員会から示されている。原子力発電所の設計解析においては、原子炉等規制法を厳守することはもとより、これらの指針についても遵守している。

発電用軽水型原子炉施設に関する原子力安全委員会安全審査指針

	指針名
設計	・ 発電用軽水型原子炉施設に関する安全審査指針 ・ 発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針 ・ 発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針 ・ 発電用軽水型原子炉施設の火災防護に関する審査指針 ・ 発電用軽水型原子炉施設における事故時の放射線計測に関する審査指針 ・ 放射性液体廃棄物処理施設の安全審査に当たり考慮すべき事項ないしは基本的な考え方
安全評価	・ 発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針 ・ 発電用加圧水型原子炉の炉心熱設計評価指針 ・ 軽水型動力炉の非常用炉心冷却系の性能評価指針 ・ 発電用軽水型原子炉施設の反応度投入事象に関する評価指針 ・ BWR、MARK I型格納容器圧力制御系に加わる動荷重の評価指針 ・ BWR、MARK II型格納容器圧力制御系に加わる動荷重の評価指針 ・ 発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針
線量目標値	・ 発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に関する指針 ・ 発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に対する評価指針 ・ 発電用軽水型原子炉施設における放出放射性物質の測定に関する指針
その他	・ 「我が国の安全確保対策に反映させるべき事項」について（審査、設計及び運転管理に関する事項）

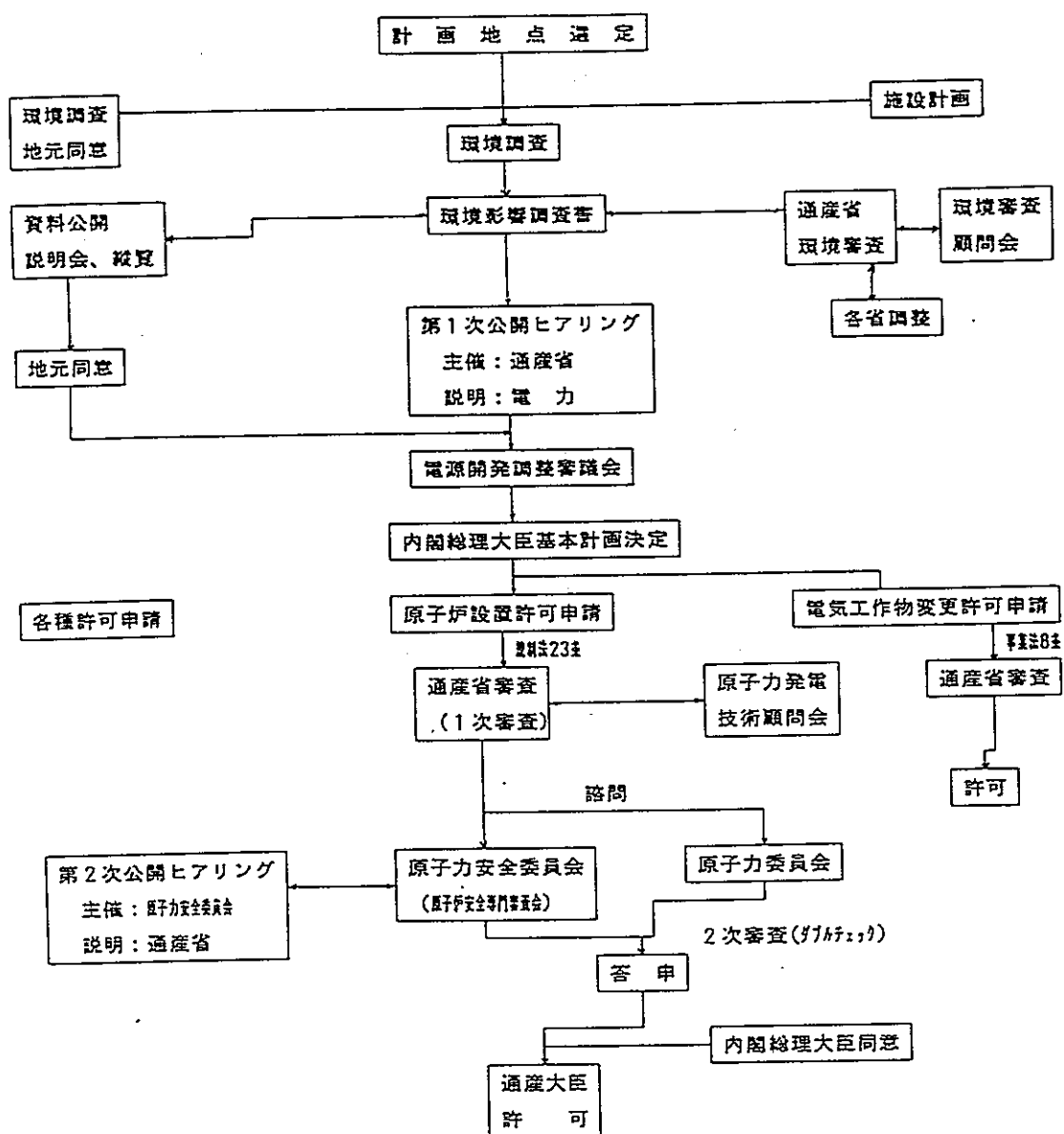
また、付表11-1に設計解析に関する評価指針の一例として、「発電用軽水型原子炉施設の反応度投入事象に関する評価指針」の概要をまとめる。この整理結果から、原子力発電所の安全評価指針においては、概ね、次の事項が要求されている。

要求事項

- ①解析項目 : 解析の対象項目を明確に示している。
- ②判断基準 : 実験データを整備し、妥当とする値を提示している。
- ③計算コード : 原則として実験データ等によって妥当性が示されなければならないとしている。（確証の実施）
- ④入力値 : モデル化のための仮定、前提条件を確認できる説明書を要求している。
- ⑤感度解析 : 感度解析を行い検証を実施することを定めている。

また、原子力発電所の安全性を示すため、次の対応を行っている。

- 解析コードについては、M I T I 主催による大学の先生方などの有識者から構成されるコード検討会が開かれ、解析コードの妥当性が審査されている。
- 審査され妥当と判断された解析コードについては、検討会の報告書などが公開されている。
- さらに、解析結果自体の妥当性については、第3機関により、クロスチェックが行われている。
- 安全審査指針では、安全性の判断基準が示されている他、解析については実測値に基づいたデータ及びコードが推奨されている。



付図 11-1 原子力発電所の安全審査手順

付表11-1 発電用軽水型原子炉施設の反応度投入事象に関する評価指針（一部抜粋）

	指 針	解 説
解析に当たっての要求事項	解析に当たって必要とされる事項を以下に示すが、各要求及び指定事項からはずれたものを用いて解析を行う場合には、適切な方法によって、その妥当性を示す必要がある。 (1) 初期条件 (2) 動特性計算 (3) 燃料挙動解析 (4) 圧力サージ計算 (5) 浸水燃料の破裂による機械的エネルギー発生応答解析 （詳細は略す。）	1. 反応度投入率の事象別要求 規定した各々の反応度投入事象の解析結果が十分妥当なものとするために、制御棒による反応度の投入率を大きく評価する必要がある。このため、以下のような条件を各事象について考慮する。（以下、略） 2. 反応度フィードバック計算の詳細要求 …（略）…、すなわち、各種の反応度フィードバック効果の計算に当たっては、当該事象における燃料及び減速材の温度条件、燃焼度、炉心パターン等を考慮しも十分妥当なものとなるよう取扱わなければならない。また、動特性計算において、反応度フィードバック効果の時間的及び空間的变化を妥当に評価するために、燃料及び減速材の温度変化、炉心の中性子束分布の変化等を適切に取扱う必要がある。等
判断基準	(1) 運転時の異常な過渡変化にあつては、 ・ 原子炉冷却材圧力バウダリにかかる圧力は、最高使用圧力の1.1倍以下であること。等 (2) 事故にあつては、 ・ 燃料エンタルピーの最大値は、$230 \text{ cal/g} \cdot \text{UO}_2$を超えないこと。等	詳細は略すが、以下の項目について、原研のNSRR実験を基に判断基準の考え方、根拠が示されている。 (1) 燃料エンタルピーについて (2) 判断基準の根拠となる実験データ (3) 燃料の許容設計限界 (4) 圧力波発生限界 (5) 浸水燃料の破裂限界 (6) 浸水燃料の破裂に伴う機械的エネルギーの評価方法について等
評価のための必要資料	反応度投入事象の解析の評価に当たっては前記の要求事項を満足していることを確認する必要がある。このため、次の資料の内容が評価されていることが必要である。 (1) 技術的検討を行うのに十分な解析手法及び解析モデルの詳細説明を含む計算プログラムの説明書。 (2) 解析に用いた主要入力値。 (3) 上記計算プログラムの感度解析結果	1. 計算プログラム …（略）…プログラムの構成や解析モデル、加えて使用した相関式、物性値等の妥当性を明らかにしておかなければならない。従つて、本指針ではこれらの内容が理解し得る詳細な説明書を要求している。…（略）… 2. 入力データ 計算プログラムの入力データは、プログラムの前提条件やモデル化の際の仮定を含めて、その特性を十分考慮して作成することが重要である。従つて、入力データの作成の際に用いたモデル化のための仮定や前提条件の妥当性を確認するための説明書を必要とする。 3. 感度解析を必要とするパラメータ …（略）…計算プログラムによっては、入力データの僅かな差異、プログラムに含まれるオプションの選択の相違等が解析結果に影響を及ぼすことがある。以上の理由により、対象とする事象の代表的なものについて、解析結果に影響を及ぼすと考えられる入力データや計算プログラムのオプションについて感度解析を行い、計算の適切さを示す必要がある。…（略）…
付則	指針の要求事項に従つて解析を行うに当たり、使用されるモデル、式、数値等は、一見して明らかなものを除き、それらが採用されている計算コードの特性とあいまって、原則として、実験データ等によって、その妥当性が示されなければならない。（略） 1. 燃料の物性値等 「指針4. (2)-5) 燃料の物性値等」の内、燃料棒の表面熱伝達及び比熱について、次の式ないしデータを使用することは妥当と認める。 (1) 燃料の表面熱伝達 1) 単相強制対流 Dittus-Boelterの式	（以下略）