**JAEA-Research** 

2012-018



# 超深地層研究所計画における サイトスケール地質構造モデルの構築

- 第2段階における Shaft180 から Stage300 地質構造モデルへの更新 -

Development of Geological Models in the Mizunami Underground Research Laboratory Project - Updating from "Shaft180 Geological Model" to "Stage300 Geological Model" in Phase II-

石橋 正祐紀 栗原 新 松岡 稔幸 笹尾 英嗣

Masayuki ISHIBASHI, Arata KURIHARA, Toshiyuki MATSUOKA and Eiji SASAO

地層処分研究開発部門 東濃地科学研究ユニット

Tono Geoscientific Research Unit Geological Isolation Research and Development Directorate

日本原子力研究開発機構

July 2012

Japan Atomic Energy Agency

本レポートは独立行政法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。 本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。 なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ(<u>http://www.jaea.go.jp</u>) より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根2番地4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

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

© Japan Atomic Energy Agency, 2012

超深地層研究所計画におけるサイトスケール地質構造モデルの構築 - 第2段階における Shaft180 から Stage300 地質構造モデルへの更新 -

日本原子力研究開発機構

地層処分研究開発部門 東濃地科学研究ユニット

石橋 正祐紀,栗原 新\*,松岡 稔幸,笹尾 英嗣

(2012年5月24日受理)

独立行政法人日本原子力研究開発機構東濃地科学センターでは、「地層処分技術に関する研究 開発」のうち深地層の科学的研究(地層科学研究)の一環として、結晶質岩(花崗岩)を対象と した超深地層研究所計画を進めている。本計画は、「第1段階;地表からの調査予測研究段階」, 「第2段階;研究坑道の掘削を伴う研究段階」,「第3段階;研究坑道を利用した研究段階」の3 段階からなる約20年の計画であり、現在は第2段階および第3段階の調査研究を進めている。超深 地層研究所計画は、「深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備」および「深地層にお ける工学技術の基盤の整備」を第1段階から第3段階までを通した全体目標として定め、そのうち 第2段階では「研究坑道の掘削を伴う調査研究による地質環境モデルの構築および研究坑道の掘削 による深部地質環境の変化の把握」を段階目標の一つとして調査研究を進めている。

第2段階では、研究坑道の掘削に伴う研究坑道の壁面地質調査結果や研究坑道から実施したボー リング調査結果などに基づき、第1段階に構築した地質構造モデル(SB3地質構造モデル)の更新 を行なっている。現在までに、Shaft180地質構造モデル、Pilot500地質構造モデル、Substage200地 質構造モデル、Stage300地質構造モデルと4回の更新を実施してきている。

地質構造モデルは,調査データを基に更新した地質・地質構造の空間分布を示しているため, 調査段階ごとに構築した地質構造モデルを比較することで,調査の進展に伴う地質・地質構造の 分布,情報の過不足,不確実性の変遷を総合的に評価する上で有効である。そのため,本報告書 では第2段階の調査研究として,これまでに更新してきた地質構造モデルの更新内容と更新時に使 用したデータを整理し,取りまとめたものである。

東濃地科学センター(駐在):〒509-6132 岐阜県瑞浪市明世町山野内 1-64 ※ 技術開発協力員(現所属:株式会社 ダイヤコンサルタント)

#### JAEA-Research 2012-018

Development of Geological Models in the Mizunami Underground Research Laboratory Project - Updating from "Shaft180 Geological Model" to "Stage300 Geological Model" in Phase II-

Masayuki ISHIBASHI, Arata KURIHARA\*, Toshiyuki MATSUOKA and Eiji SASAO

Tono Geoscientific Research Unit Geological Isolation Research and Development Directorate Japan Atomic Energy Agency Akiyo-cho, Mizunami-shi, Gifu-ken

(Received May 24, 2012)

Japan Atomic Energy Agency (JAEA) at Tono Geoscience Center (TGC) is developing a geoscientific research project named the Mizunami Underground Research Laboratory (MIU) project in crystalline rock environment in order to establish scientific and technological basis for geological disposal of HLW. Geoscientific research at MIU is planned to be carried out in three phases over a period of 20 years; Surface-based Investigation Phase (Phase I), Construction Phase (Phase II) and Operation Phase (Phase III). Currently, the project is under the Construction Phase and the Operation Phase.

In the phase II, the geological models has been updated four times (Shaft180 geological model, Pilot500 geological model, Substage200 geological model and Stage300 geological model) based on the increasing data of geological mapping and borehole investigations at the shafts and research galleries.

These geological models represent distributions of lithofacies and geological structures based on each geological investigation. In order to evaluate relationship between understanding of geological environments and progress of investigations, to organize the history of geological models updating is important. Thus this document describes the history of geological models at the Phase II.

Keyword: Mizunami Underground Research Laboratory (MIU) Project, Crystalline Rock, Construction Phase (Phase II), Geological Model, Site-scale

\* Collaborating Engineer (Presently, DIA CONSULTANTS COMPANY LIMITED)

# 目 次

1.	はじめに		1
2.	モデル化対	対象領域周辺の地形・地質の概要	2
3.	第1段階の	)地質構造モデル	4
3	. 1 地質構	<b>輩造概念モデル</b>	4
3	. 2 モデバ	レ化要素	6
	3. 2. 1	地形	6
	3. 2. 2	岩相	6
	3. 2. 3	不連続構造	7
3	. 3 地質構	ちょうしょう ちょうしょう しゅうしょう しゅう しゅうしょう しゅうしょう しゅうしょう しゅうしょう しゅう しゅうしょう しゅうしょう しゅう しゅう しゅう しゅう しゅう しゅう しゅう しゅう しゅう しゅ	7
	3. 3. 1	地形面モデル	8
	3. 3. 2	岩相境界面モデル	8
	3. 3. 3	不連続構造モデル	9
4.	地質構造す	=デルの更新とその結果	12
4	. 1 Shaft1	80 地質構造モデル	13
	4. 1. 1	追加・使用データと更新時に検討した項目	13
	4. 1. 2	SB3 地質構造モデルからの更新点	14
	4. 1. 3	SB3 地質構造モデルからの更新結果	17
4	. 2 Pilot5	00 地質構造モデル	19
	4. 2. 1	追加・使用データと更新時に検討した項目	19
	4. 2. 2	Shaft180 地質構造モデルからの更新点	19
	4. 2. 3	Shaft180 地質構造モデルからの更新結果	22
4	. 3 Substa	ge200 地質構造モデル	24
	4. 3. 1	追加・使用データと更新時に検討した項目	24
	4. 3. 2	Pilot500 地質構造モデルからの更新点	24
	4. 3. 3	Pilot500 地質構造モデルからの更新結果	27
4	. 4 Stage	300 地質構造モデル	29
	4. 4. 1	追加・使用データと更新時に検討した項目	29
	4. 4. 2	Substage200 地質構造モデルからの更新点	29
	4. 4. 3	Substage200 地質構造モデルからの更新結果	33
5.	地質構造刊	テデルの構築で得られた知見	35
参考	<b>予</b> 文献		37

# 【付録:CD-ROM内】

I. 地質構造モデルの更新結果(深度100m毎の水平断面図)

# Contents

1.	Introduction	1	1
2.	Overview o	f geology and topography around the MIU site	2
3.	Geological	model at the Phase I	4
3.	1 Geolog	gical conceptual model	4
3.	2 Elemen	nts of geological model	6
	3. 2. 1	Topography	6
	3. 2. 2	Lithofacies	6
	3. 2. 3	Faults and fractures	7
3.	3 Geolog	gical model	7
	3. 3. 1	Surface model of Topography	8
	3. 3. 2	Surface model of lithofacies boundary	8
	3. 3. 3	Surface model of faults and fractures	9
4.	Result of ge	eological models updating	12
4.	1 Shaft1	80 geological model	13
	4. 1. 1	Date sets and consideration points	13
	4. 1. 2	Updating point from SB3 geological model	14
	4. 1. 3	Result of updating from SB3 geological model	17
4.	2 Pilot50	00 geological model	19
	4. 2. 1	Date sets and consideration points	19
	4. 2. 2	Updating point from Shaft180 geological model	19
	4. 2. 3	Result of updating from Shaft180 geological model	22
4.	3 Sustag	e200 geological model	24
	4. 3. 1	Date sets and consideration points	24
	4. 3. 2	Updating point from Pilot500 geological model	24
	4. 3. 3	Result of updating from Pilot500 geological model	27
4.	4 Stage3	00 geological model	29
	4. 4. 1	Date sets and consideration points	29
	4. 4. 2	Updating point from Substage200 geological model	29
	4. 4. 3	Result of updating from Substage200 geological model	33
5.	Discussions	3	35
Refe	rence		37

# [Appendix in CD-ROM]

I . Result of geological models updating  $\$  (horizontal cross sections per 100m  $\ )$ 

表

- 表 3.2.3-1 地質構造モデルに表現される断層
- 表 3.3.1-1 地形面モデルと使用した DEM
- 表 3.3.3-1 断層モデルのための前提条件
- 表 4.1.1-1 Shaft180 地質構造モデルの検討に使用した調査項目とデータセット
- 表 4.1.2-1 主立坑における各岩相の下面深度
- 表 4.1.2-2 割れ目帯境界面モデルの深度
- 表 4.1.2-3 主立坑の壁面地質調査により確認した断層とその特徴
- 表 4.1.2-4 更新した断層モデルとその理由
- 表 4.2.1-1 Pilot500 地質構造モデルの検討に使用した調査項目とデータセット
- 表 4.2.2-1 割れ目帯境界面モデルの深度
- 表 4.2.2-2 更新した断層モデルとその理由
- 表 4.3.1-1 Substage200 地質構造モデルの検討に使用した調査項目とデータセット
- 表 4.3.2-1 更新した断層モデルとその理由
- 表 4.4.1-1 Stage300 地質構造モデルの検討で使用した調査項目とデータセット
- 表 4.4.2-1 各地質構造モデルにおけるダメージゾーンの幅
- 表 4.4.2-2 更新した断層モデルとその理由
- 表 5-1 第2段階の地質構造モデルにおける各モデルと主立坑中心との遭遇深度とSB3 地質 構造モデルとの差
- 表 5-2 第 2 段階の地質構造モデルにおける各モデルと換気立坑中心との遭遇深度と SB3 地 質構造モデルとの差

义

- 図 2-1 東濃地域の地形と主な断層
- 図 2-2 東濃地域の地質

図 4-1

- 図 3.1-1 地質構造概念モデルの構築フローダイアグラム
- 図 3.3.2-1 風化部の厚さとチャンネル部に分布するボーリング孔との関連性
- 図 3.3.3-1 (左図) UHFD と被覆堆積岩の層厚の関係

(右図)LAFZ(下限)から花崗岩不整合面までの距離と堆積岩の層厚の関係 地質構造モデルの変遷

- 図 4.1.2-1 (左図) 主立坑の壁面地質調査により確認した断層の走向傾斜とその分布 (右図) F146.60 断層と深度 100m予備ステージ小規模断層との関係
- 図 4.1.3-1 地質構造モデルの更新結果の比較(鉛直断面図)
- 図 4.1.3-2 Shaft180 地質構造モデルの更新結果の比較(水平断面図)
- 図 4.2.2-1 (左図) UHFD と堆積岩の層厚の関係 (右図) LAFZ(下限)から不整合面までの距離と堆積岩の層厚の関係

- 図 4.2.3-1 地質構造モデルの更新結果の比較(鉛直断面図)
- 図 4.2.3-2 Pilot500 地質構造モデルの更新結果の比較(水平断面図)
- 図 4.3.2-1 (左図) 不整合面分布と地表露頭で認められた断層の走向傾斜 (右図) 地表露頭で認められた断層と月吉チャンネルに関する概念モデル
- 図 4.3.3-1 地質構造モデルの更新結果の比較(鉛直断面図)
- 図 4.3.3-2 Substage200 地質構造モデルの更新結果の比較(水平断面図)
- 図 4.4.2-1 Substage200 地質構造モデルにおける LAFZ の境界(左)と 07MI08 号孔の割れ目密度 分布(右)
- 図 4.4.2-2 LAFZ 境界の更新に関する検討内容
- 図 4.4.2-3 S200\_M\_SHAFT モデルの更新結果
- 図 4.4.2-4 堆積岩部に分布する主立坑断層の派生断層
- 図 4.4.3-1 地質構造モデルの更新結果の比較(鉛直断面図)
- 図 4.4.3-2 Stage300 地質構造モデルの更新結果の比較(水平断面図)
- 図 5-1 SB3 地質構造モデルと Stage300 地質構造モデルの比較(鉛直断面図)

#### 1. はじめに

独立行政法人日本原子力研究開発機構東濃地科学センターでは、「地層処分技術に関する研究 開発」のうち深地層の科学的研究(地層科学研究)の一環として,結晶質岩(花崗岩)を対象と した超深地層研究所計画を進めている<sup>1)</sup>。超深地層研究所計画では,地表からの調査予測研究段 階(第1段階),研究坑道の掘削を伴う研究段階(第2段階)および研究坑道を利用した研究段階 (第3段階)の3段階に区分して研究を進めている。第1段階の調査研究では,既存情報や新た に取得した情報に基づき地質環境モデルを構築し,次段階における調査研究の対象を抽出・特定 する手法(繰り返しアプローチ)に基づき進められた<sup>1)</sup>。

地質環境モデルは、既存および新たな調査による情報の解釈を踏まえつつ、地表から地下深部 の岩盤および地下水の性状や諸特性の空間分布などを可視化したものである<sup>1)</sup>。これは、可視化 する目的や記述する情報により、地質構造モデル、水理地質構造モデル、地球化学モデル、岩盤 力学モデル、物質移動モデルなどに分けられる<sup>1)</sup>。地質構造モデルは地質や地質構造(地質構造 要素)の幾何学的な空間配置を定義する数値モデルであり、他の地質環境モデルの基礎的なモデ ルに相当する。

第1段階の地質構造モデルでは,既存情報の整理,地表露頭調査,リニアメント調査,地表からのボーリング調査および反射法弾性波探査の結果に基づき,岩相および地質構造の三次元的な分布を表現した<sup>1)</sup>。第2段階の調査研究では,新たに取得される情報に基づき地質構造モデルの更新を行い,その更新結果を通して第1段階において構築した地質構造モデルの各地質構造要素の分布,連続性や形状などの妥当性を評価し,第1段階において適用した一連の調査・解析技術の有効性を確認することを実施内容として定めている<sup>2)</sup>。

地質構造モデルは、取得した地質・地質構造の空間分布に関するデータを反映していることか ら、調査の進展に合わせて地質構造モデルを更新し、前段階に構築した地質構造モデルと比較す ることは、調査の進展に伴う地質・地質構造の分布、情報の過不足、不確実性の変遷を総合的に 評価する上で有効である<sup>3)</sup>。このため、第2段階の途中においても、調査の進展に応じて地質構 造モデルの更新を行ってきた。

本報告書では、サイトスケール(モデル化対象領域:東西2km、南北2km、地下2km)の地質 構造モデルを対象として、第1段階の地質構造モデル(SB3地質構造モデル)を第2段階におけ る調査の進展ごとに更新してきた地質構造モデルの更新状況と更新に用いたデータおよび更新の 考え方について示す。

#### 2. モデル化対象領域周辺の地形・地質の概要

瑞浪超深地層研究所(以下,研究所)が位置する岐阜県東濃地域は,北西側の美濃/飛騨山地 と南東側の三河山地にはさまれた丘陵地帯である。南東部に位置する屏風山(標高 794.1m)付近 では,北東から南西方向に分布する屏風山断層によって急崖が形成されており,丘陵地帯と三河 山地が明瞭に隔てられている。屏風山断層の北西には,これに平行する山田断層帯が分布する。 また,屏風山断層にほぼ平行して土岐川が流れており,流域には沖積低地が形成されている。こ のような地形と地質分布との間には明瞭な対応関係があり,白亜紀後期の花崗岩類の分布域は山 地を形成し,新第三紀~第四紀の堆積岩類の分布域は丘陵地を形成している(図 2-1, 2)。

東濃地域では,新第三紀〜第四紀の堆積岩類が白亜紀後期の花崗岩類を不整合に覆って分布する<sup>4),5),6),7)</sup>(図 2-2)。新第三紀〜第四紀の堆積岩類は,新第三紀中新世の前期〜中期に堆積した瑞浪層群と,新第三紀中新世後期〜第四紀更新世に堆積した瀬戸層群である。瑞浪層群は,2 つの不整合(もしくは非整合)によって3つのユニットに区分される<sup>4)</sup>。各ユニットは下位から, 土岐夾炭累層(凝灰岩,砂岩,泥岩,礫岩等からなる淡水成堆積岩),本郷累層および明世累層 (砂岩泥岩互層,泥岩等からなる淡水成〜海成堆積岩),生俵累層(砂岩泥岩互層,泥岩等から なる海成堆積岩)である<sup>7)</sup>。瀬戸層群は,瑞浪層群を不整合に覆い,砂や粘土からなる湖成堆積 物と砂礫からなる河川成堆積物からなる<sup>7)</sup>。

白亜紀後期の基盤花崗岩類のうち土岐花崗岩は、地表においては南北約 14km、東西約 12km に わたって分布し<sup>8)</sup>、美濃帯の堆積岩類と濃飛流紋岩類に貫入する<sup>9)</sup>。土岐花崗岩は、主に石英、斜 長石、カリ長石、黒雲母のほか、少量のジルコン、モナズ石、燐灰石、褐廉石、不透明鉱物から なる<sup>10)</sup>が、既存のボーリング調査の結果から、土岐花崗岩の深部には細粒で有色鉱物の少ない岩 相が確認されており、岩石中の鉱物組み合わせ、モード、全岩化学組成の空間分布から、花崗岩 の内部ほど珪長質な正累帯深成岩体であることがわかっている<sup>11)</sup>。また、割れ目の発達形態や空 間分布からも岩体は一様ではなく<sup>12),13</sup>、低角度(傾斜が 0~30°)の割れ目の密度分布から上部 割れ目帯(以下 UHFD: Upper Highly Fractured Domain)と下部割れ目低密度帯(以下, LSFD: Lower Sparsely Fractured Domain)に区分されている<sup>14)</sup>。UHFD内部においても低角度傾斜を有する割れ 目の分布密度が有意に高い区間として、低角度傾斜を有する割れ目の集中帯(以下 LAFZ: Low-Angle Fractured Zone)が区分されている<sup>15)</sup>。また、土岐花崗岩の上部は不整合面から数 m の厚さで風化している<sup>3)</sup>。

研究所の北方約 1km には、東西走向を有する月吉断層が分布する<sup>4)</sup>。月吉断層は見かけ上が逆 断層であり、最終活動時期は、月吉断層は土岐花崗岩と瑞浪層群を切っているが瀬戸層群を切っ ていないことから、瑞浪層群堆積後から瀬戸層群堆積前の間(約 1500~1200 万年)と考えられて いる<sup>4),10)</sup>。

#### JAEA-Research 2012-018



図 2-1 東濃地域の地形と主な断層



図 2-2 東濃地域の地質<sup>1)</sup>

#### 3. 第1段階の地質構造モデル

#### 3.1 地質構造概念モデル

複雑な地質環境に対して合理的な調査・解析・評価を実施していく上では、既存の情報から地 質構成要素を階層構造的に抽出するとともに、その簡略化、安全評価の観点に基づく区分といっ た概念化を図ることが重要である<sup>16)</sup>。また、地質構造モデルは座標情報を基に地層境界や断層を 表現した数値モデルであり、取得されたデータだけでは地質構造の分布を一義的に決められない 場合がある。つまり、地質構造モデルを構築するためには、地質学的な知見に基づき、取得した データを整理し地質構造モデルに表現するモデル化要素を決めた上で、それぞれの要素について 概念化する必要がある。そのため、第1段階では、既存の情報および調査で取得した情報に基づ き、「地質・地質構造の細分化と構成要素の抽出」、「地質・地質構造要素の統合・簡略化」(図 3.1-1) を行い地質構造概念モデルの構築が行われてきた<sup>16)</sup>。第2段階においてもこの方法を踏襲し、地 質構造概念モデルに表現した地質・地質構造をモデル化要素として、その空間分布を数値化して 地質構造モデルとして構築してきている。なお、第1段階の最終段階において地質構造概念モデ ルに表現したモデル化要素については、3.2節に示す。



- 5 -

#### 3.2 モデル化要素

第1段階までに構築した地質構造モデルでは,図 3.1-1 に示した地質・地質構造要素をモデル化 要素としている<sup>1)</sup>。

第1段階のモデル化要素は、岩相と不連続構造に大別される(図 3.1-1)。岩相は堆積岩と花崗 岩に分けられ、堆積岩は層序や堆積物の粒径に応じて更に細分化され、花崗岩は風化帯とその他 の花崗岩に区分され、それぞれをモデル化要素としてきた<sup>15)</sup>。不連続構造は、断層と割れ目帯に 区分されており、断層では断層主要部と断層に伴うと考えられる割れ目帯(以下、ダメージゾー ン)を、割れ目帯では低角度割れ目が密集する割れ目帯(UHFD, LAFZ)と割れ目が密集してい ない割れ目低密度帯(LSFD)をモデル化要素としている。また、上記の他、地形面や不整合面も モデル化要素としている。以下に、それぞれのモデル化要素について述べる。

#### 3.2.1 地形

地形は岩相や不連続構造など様々な地質構造モデルの上限を定義するモデル化要素である。また,地下水の涵養域から流出域を抽出し,動水勾配に影響を与えると考えられる後背地の地形の 特性を把握するうえでも重要なモデル化要素である。

#### 3.2.2 岩相

#### (1) 堆積岩

堆積岩では、粒度、堆積構造などに基づき層序が区分される。本地域の堆積岩は、瀬戸層群、 瑞浪層群(生俵累層,明世累層,本郷累層,土岐夾炭累層)に区分されている<sup>4)</sup>。第1段階の地 質構造モデルでは、これらの層序に基づきつつ各堆積岩の粒度に着目し、モデル化要素を瀬戸層 群、瑞浪層群(生俵累層,明世/本郷累層,明世/本郷累層基底礫岩層,土岐夾炭累層,土岐夾炭 累層基底礫岩層)の6つに区分している<sup>1)</sup>。

#### (2) 不整合面

不整合面は堆積岩と花崗岩の境界部であると同時に、物性の境界面であることから、モデル化 要素としている<sup>1)</sup>。

#### (3) 花崗岩

第1段階で実施したボーリング調査の結果,土岐花崗岩の不整合面直下に風化帯が確認された。 この風化部は,水理試験などの結果から比較的高い透水性を有していることが確認されており, 数mの厚さを有して研究所およびその近傍に分布していることが確認されている<sup>1)</sup>。風化帯は地 下水流動などを考慮する上で重要であると考えられたことから,第1段階の地質構造モデルでは 花崗岩を風化帯とその他の花崗岩に区分し,それぞれをモデル化要素としている<sup>15)</sup>。

#### 3.2.3 不連続構造

#### (1) 割れ目帯

第1段階の調査研究の結果,研究所およびその周辺の土岐花崗岩は低角度傾斜(0~30°傾斜) を有する割れ目の密度(ボーリングコア 1m あたりの割れ目本数)が深度によって異なることが 確認された<sup>15)</sup>。第1段階の地質構造モデルでは,これらの割れ目密度の違いから,上部割れ目帯 (UHFD),下部割れ目低密度帯(LSFD),低角度傾斜を有する割れ目の集中帯(LAFZ)に区分さ れている<sup>15)</sup>。なお,第1段階の調査研究の結果,UHFDはLSFDに比較して低角度傾斜の割れ目 の分布密度が有意に高く,相対的に透水性が高い領域であり,LAFZはUHFD中の低角度傾斜を 有する割れ目の分布密度が特に高く,より透水性が高い領域とされている<sup>1)</sup>。

#### (2) 断層

断層は、表 3.2.3-1 に示すように断層主要部とダメージゾーンに区分しそれぞれをモデル化要素 とした。断層主要部とダメージゾーンは、ボーリングコアや露頭などの目視観察で断層岩が認め られた場合には、その観察結果に基づいて抽出されている。また、ボーリング調査に関しては、 調査時に断層ガウジの流出や、コア観察のみでの断層岩を認定する根拠は実施者によって異なる 可能性がある。そのため、コア観察やボアホールテレビ(BTV)観察結果に基づきつつ、同時に 物理検層値などを用いた多変量解析(主成分分析とクラスタ分析)<sup>20)</sup>の結果を複合的に解釈して 断層およびダメージゾーンの抽出を行っている。

表 3.2.3-1 地質構造モデルに表現される断層

	・断層ガウジや断層角礫など断層岩が分布する区間
ᄣᇛᆠᅖᄳ	・ 断層岩が認められた区間で物埋検層値が得られた場合は、物理
断 <b>眉土</b> 安部	検層値を用いた多変量解析の結果 <sup>20)</sup> でも,脆弱な区間である
	と判断可能な区間
	・ 断層近傍の有意に割れ目密度が高い区間
<i>ばぇい</i>	・ 断層近傍の物理検層値が得られた場合は、物理検層値を用いた
<i><i><i>yy</i>-<i>yy</i>-<i>y</i></i></i>	多変量解析の結果 <sup>20)</sup> と割れ目密度の分布から,脆弱な区間で
	あると判断可能な区間

#### 3.3 地質構造モデル

第1段階における地質構造モデルの構築方法や考え方について、モデル化要素ごとに示す。構築したモデルは、岩相や不連続構造の境界面である。モデル化にあたっては、三次元 GIS ソフトウェアと同等の機能を有する Vulcan<sup>TM</sup> (Maptek Pty. Ltd. 製)を使用し、水平方向の格子間隔が一定となる三角網モデル (Triangle Model) として面状構造モデル (Surface Model) を構築している。なお、サイトスケールの地質構造モデルにおける面状構造モデルは、格子間隔を 5m で構築している。

#### 3.3.1 地形面モデル

地形面モデルは、デカルト直交座標などの三次元座標値を有している数値地形モデル(以下, DEM: Digital Elevation Model)に基づく三次元座標値を Vulcan<sup>TM</sup> ヘインポートし、三次元空間上 に可視化することにより構築されている。

DEM の解像度については、モデル化領域のスケールや地形面モデルの利用目的に応じて選択し、 図化作業を行った。地形面モデルに使用した DEM の解像度は、主にモデル化領域の空間スケー ルに依存しており、サイトスケールにおいては、表 3.3.1-1 に示す DEM データを用いて、5m メッ シュの地形面モデルを構築している。

地形面モデル	使用した DEM	備考	
サイトスケール (格子間隔 5m)	10m メッシュ 南北(m) : -89995.000 ~ -30005.000 東西(m) : - 9995.000 ~ 39995.000	GISMAP <sup>®</sup> Terrain (国土地理院 1/25,000 地形図)	
サイトスケール (格子間隔 2.5m)	5m/2.5mメッシュ 南北(m):-74997.770~-61497.770 東西(m): 2.350~ 11999.850	東濃地域精密数値地図 (1/2,500 都市計画図)	

表 3.3.1-1 地形面モデルと使用した DEM

#### 3.3.2 岩相境界面モデル

#### (1) 堆積岩境界面モデル

堆積岩境界面モデルは、既存の地質図などの文献データと第1段階に実施した地表地質調査、 反射法弾性波探査、ボーリング調査で得られたデータに基づき構築されている。地質図や地表地 質調査のデータは堆積岩の広がりという面または線データとして、ボーリング調査や反射法弾性 波探査で得られたデータは分布位置という点データとして、モデル化の際に用いられている。こ れらの面または線、点データが得られていない範囲に関しては、多項式スプライン関数を用いて 補間してモデルを構築している。

#### (2) 不整合面モデル

この不整合面モデルは堆積岩と花崗岩の境界を示すモデルで、地層境界面モデルと同様のデー タの他に、空中電磁法探査において堆積岩と花崗岩の境界面が把握できていたことから、これら のデータも含めてモデルが構築されている。そのため、不整合面モデルについても堆積岩境界面 モデル同様に、面または線、点データを実測データとして用いている。実測データ間については 多項式スプライン関数を用いて補間してモデルを構築している。

# (3) 花崗岩モデル

花崗岩については、風化帯と風化帯以外の花崗岩をモデル化している。風化帯はボーリング調 査や地表地質調査の結果から数 m の規模を有しており、その厚さは月吉チャンネルの上流部と下 流部を結ぶ線に沿って正の相関が認められている(図 3.3.2-1)<sup>14)</sup>。そのため、実データの無い範 囲のモデル化に際しては、図 3.3.2-1 に示す最小二乗近似直線の傾きと切片を用いた。なお、DH-15 号孔はチャンネル下流を越えて位置しており、図 3.3.2-1 に示す相関式では風化帯が消滅する計算 になる。しかし、DH-15 号孔においても 1.75m の層厚で風化帯が認められたことから、風化帯の 最小厚は DH-15 号孔で確認された 1.75m とされている<sup>14)</sup>。



図 3.3.2-1 風化部の厚さとチャンネル部に分布するボーリング孔との関連性<sup>15)</sup>

# 3.3.3 不連続構造モデル

# (1) 割れ目帯モデル

土岐花崗岩中には,低角度の割れ目帯が水平方向に発達している<sup>1)</sup>。第1段階の調査研究では, UHFD, LSFD および LAFZ の境界深度は,反射法弾性波探査やボーリング調査で得られた面と線 および点データに基づき決定されている<sup>15)</sup>。これらの調査により実データを取得することができ た地点については,実データに基づき割れ目帯モデルを構築している。一方,実データが無い範 囲については,UHFD と LSFD の境界深度は堆積岩の層厚と UHFD の厚さに相関関係が認められ ていることから(図 3.3.3-1 (左)),この相関式に基づき補間を行っている<sup>15)</sup>。また,LAFZ の境 界に関する実データが無い範囲については,不整合面から LAFZ 下底面までの距離と堆積岩の層 厚に相関関係が認められることから(図 3.3.3-1 (右)),この相関式に基づき補間を行っている<sup>15)</sup>。 なお,LAFZ の厚さについては,DH-2 号孔における水理学的調査で確認された厚さ(39.12m)で 一定に分布するものと仮定しており<sup>15)</sup>,DH-2 号孔や MIZ-1 号孔などにおいて分布が確認できた 場所においては,その実測値に基づいている。

なお、これらの堆積岩の層厚と各割れ目帯の厚さの関連性から、これらの割れ目帯は、花崗岩 上部が削剥された結果、花崗岩中の上下方向の圧力の徐荷に伴い形成されたと考えられている<sup>1)</sup>。



(右図) LAFZ(下限)から花崗岩不整合面までの距離と堆積岩の層厚の関係

(2) 断層モデル

断層モデルとしては、断層主要部とダメージゾーンを表現している。

断層モデルを構築する上では、地表地質調査、ボーリング調査、物理探査およびリニアメント 判読などのデータの精度が異なる複数の断片的情報を整合的に組み合わせることが必要である。 そのため、各データの連結や断層の空間分布を解釈するにあたり、使用するデータの優先度や複 数データに基づく不連続構造の連結に関連する条件(表 3.3.3-1)<sup>15)</sup>を設定した。

第1段階調査で実施した地表地質調査では、実際に目視で確認された断層ガウジや断層角礫な どの断層岩を確認することで断層主要部を抽出している。ボーリング調査に関しては、調査時に 断層ガウジの流出や、コア観察のみで断層岩を認定する根拠が実施者により異なる可能性がある。 そのため、コア観察やボアホールテレビ(BTV)観察結果に基づきつつ、同時に物理検層値など を用いた多変量解析(主成分分析とクラスタ分析)<sup>20)</sup>の結果を複合的に解釈して断層の抽出を行 った。

また,弾性波探査などの物理探査測定に関しては,それぞれの測線上から断層と考えられるア ノマリを抽出し,これらのアノマリに連続すると考えられる断層が地表地質調査やボーリング調 査において認められた場合,断層モデルとしている。なお,実データの無い範囲については,多 項式スプライン関数にて補間しモデルを構築している。

	-
表 3.3.3-1	断層モデルのための前提条件 <sup>15)</sup>

番号	· 条件			
1	断層モデルは、断層主要部とダメージゾーンから構成されるものとする。			
2	断層モデルの対象とする断層の水平長は、研究所の最短横断距離に相当する 200m 以 上とする。			
3	<ul> <li>断層モデルに使用する断層の長さ、および断層主要部と断層に伴う割れ目帯の厚さは、</li> <li>想定しうる不確実性を大きく見積もっておくため、以下に示す計算式を用いて、①実</li> <li>測値、②実測した変位量またはトレース長・割れ目帯の厚さからの推定値<sup>21)、22)、23)</sup></li> <li>の最大値とする。</li> <li>d=100*t<sup>21)</sup></li> <li>D=L<sup>1.5</sup>/200<sup>22)</sup></li> <li>p=0.016*l<sup>23)</sup></li> <li>d : 変位量(m)</li> <li>t : 断層主要部の真の厚さ(m)</li> <li>D : 変位量(km)</li> <li>L : 断層の長さ(km)</li> <li>P : 割れ目帯の真の厚さの1/2(m)</li> <li>I : 断層の長さ(m)</li> </ul>			
4	断層モデルの傾斜角度は,使用した断層の断層主要部の中で,最も大きな変位が   認められる箇所の実測値とする。			
5	異なる種類の調査結果に基づく複数の断層を使用して断層モデルを構築する場合、個々の断層の信頼性は断層の空間分布にかかわる走向傾斜情報の有無に依存 するものと考え、以下の優先順に相対的信頼性が高いとする <sup>※1</sup> 。 ①地表地質調査結果、ボーリング調査結果に基づく断層 ②反射法弾性波探査に基づく断層 ③リニアメント調査に基づく断層			
6	地表地質調査,ボーリング調査,反射法弾性波探査の各結果と照らし合わせ,断 層として分布する可能性の低いリニアメント(評価にあたってはリニアメントの 判読誤差を考慮する)はデータとして使用せず,参考データとする。			
7	<ul> <li>リニアメントのみを使用して断層モデルを構築せざるを得ない場合、その傾斜角度は、モデル化対象領域において実施したボーリング調査に基づく断層の走向値傾斜値に対し、以下の統計解析を実施して推定する。</li> <li>1. 下半球シュミット網に断層の走向値・傾斜値をプロットする。</li> <li>2. 等値線を作成する。</li> <li>3. リニアメントと同じ走向に位置する2%以上(下半球シュミット網上で分布極を認定できる限界値以上)の集中部のうち、最頻値に相当する傾斜値を不連続構造モデルの傾斜角度とする。</li> </ul>			
8	<ul> <li>断層モデルを構築するにあたり、調査で確認した複数の断層を同定・連結して同 ーの不連続構造とする場合には、以下の状況を勘案する。</li> <li>1 複数の断層が走向延長線上に連続し、被覆層の分布形態による同一断層の断続 的な分布と判断できる。</li> <li>2 個々の断層について、走向傾斜、断層に伴う割れ目帯(ダメージゾーン)の幅、 変位量(反射法弾性波探査結果に基づく推定値を含む)、断層岩類の性状(変 質状況など)が類似し、定性的特徴として同定できる。</li> </ul>			

※1 調査で確認した単一断層どうしの相対的な信頼性に関する前提条件.

#### 4. 地質構造モデルの更新とその結果

第2段階の地質構造モデルでは、第1段階と同様に研究所を中心とした東西2km、南北2km、 地下2kmをモデル化対象領域(サイトスケール<sup>1)</sup>)として設定している。第1段階においては、3 章に示した考え方で地表地質調査、反射法弾性波探査、浅層ボーリング調査、深層ボーリング調 査、孔間トモグラフィ探査などの調査の進展に伴い地質構造モデルを構築・更新してきた(図4-1)。 第2段階においては、研究坑道における壁面地質調査、坑道内から実施したボーリング調査や逆 VSP探査などの物理探査といった調査の進展に伴い Shaft180地質構造モデル、Pilot500地質構造 モデル、Substage200地質構造モデル、Stage300地質構造モデルと4回の更新を行ってきた(図4-1)。



図 4-1 地質構造モデルの変遷

なお,モデル化要素,モデルの格子間隔,断層のモデル化における前提条件は,第1段階の考 え方(3章参照)に沿ってモデルの更新を行っている。

また、断層モデルについては、調査の進展ごとにどの断層がどの段階でどのように更新されて きているかが把握できるように、以下のように命名則を定めて断層モデルの更新を実施した。

- ▶ 第1段階において構築した断層モデルには、接頭辞"IF"("IF"は確認断層に対する解釈的断層 の Interpreted Fault を意味する)を付記する。
- ▶ 研究坑道の掘削に伴う壁面地質調査、ボーリング調査、物理探査などの結果に基づいて構築 した断層モデルには、接頭辞"IF"を付記しない。
- ▶ 断層モデルの構築ごとに、その調査段階におけるモデル名を付記する。
- ▶ 断層モデルの構築とともに通し番号,あるいはその断層を特徴付けるキーワード(ボーリン グ孔で確認した断層主要部およびダメージゾーン等の名称)を付記する。

- ▶ 構築する断層モデルが、別の断層の派生構造と解釈した場合には、別の断層モデルの通し番号またはキーワードに枝番号を付記する。
- ▶ 以下に示すように、接頭辞"IF"、モデル名、通し番号またはキーワード、派生構造を意味する枝番号の間に"\_"を付記する
   IF\_モデルコード\_通し番号またはキーワード\_派生構造を意味する枝番号
- ▶ 前モデルと同一の断層を、新たな解釈を加えて形状や延長範囲の修正等の変更を行った場合には、断層の通し番号および名称は前モデルと同一とし、モデル名を変更する
- ▶ 前モデルと同一の断層に新たな解釈を加えず、他モデルの構築・変更に伴う変更を行った場合には、名称を変更しない

以下に、それぞれの地質構造モデルの更新結果を示す。

## 4.1 Shaft180 地質構造モデル

(例) IF Sb3 13 2

Shaft180 地質構造モデルは,第1段階のステップ4で構築した SB3 地質構造モデル<sup>1)</sup>から更新 された地質構造モデルである。Shaft180 地質構造モデルは,研究坑道の壁面地質調査(立坑深度 約180mまで)と第1段階で実施したボーリング調査および MIZ-1 号孔を用いた逆 VSP 探査で取 得したデータを再解釈した結果<sup>24)</sup>に基づき更新したモデルである(表 4.1.1-1)。

# 4.1.1 追加・使用データと更新時に検討した項目

表 4.1.1-1 に示すデータセットを用いて,岩相境界面モデルや不連続構造モデルについて検討した。本地質構造モデルでは,壁面地質調査によって堆積岩の境界深度,不整合面および土岐花崗 岩中の風化帯の境界深度の情報が得られていることから,主に堆積岩境界面モデル,不整合面モ デルおよび花崗岩モデルの風化帯の分布深度について検討を行った。また,断層モデルについて は,壁面地質調査の結果に基づき分布や延長距離について検討を行った。

モデル更新の検討対象と必要なデータ	追加・整備されたデータセット
堆積岩境界面モデルの更新 ▶ 堆積岩の境界深度	壁面地質調査結果:記載・スケッチ ◇ 主立抗 · 深度 0~約 180 m
不整合面モデルの更新 ▶ 不整合面の分布深度	<ul> <li>▶ 換気立坑:深度 0~約 191 m</li> <li>▶ 深度 100m 予備ステージ</li> </ul>
<ul> <li>花崗岩モデルの風化帯の更新</li> <li>▶ 風化帯の分布深度</li> <li>割れ目帯モデルの更新(UHFD, LAFZ,</li> </ul>	ボーリング調査の再解釈結果 ▶ 堆積岩と割れ目帯モデルの層厚の関係
LSFD) ▶ 割れ目帯の分布深度	逆 VSP 探査結果
断層モデルの更新 ▶ ダメージゾーンの分布範囲(幅) ▶ 断層の位置	<ul> <li>▶ 反射面の解釈断面</li> <li>▶ IP 変換(再解析)に基づくアノマリの空間分布</li> </ul>

表 4.1.1-1 Shaft180 地質構造モデルの検討に使用した調査項目とデータセット<sup>24)</sup>

#### 4.1.2 SB3 地質構造モデルからの更新点

#### (1) 岩相境界面モデル

壁面地質調査の結果,第1段階に構築した地質構造モデルに比較して,換気立坑側の不整合面 が,約10m深い深度で認められた。その他の堆積岩の境界は,数m程度の差異が認められた<sup>24)</sup>。 そのため,各岩相境界面モデル(堆積岩境界面モデル,不整合面モデル,花崗岩モデルの風化帯) の分布深度を更新した(図4.1.3-1,2)。表4.1.2-1に更新した各岩相の主立坑における下面深度を 示す。

表 4.1.2-1 主立坑における各岩相の下面深度

モデル名称	SB3	Shaft180
岩相	(EL)	(EL)
明世/本郷累層下面深度	136.578	140.231
明世/本郷累層基底礫下面深度	119.842	122.873
土岐夾炭累層下面深度	72.326	65.851
土岐夾炭累層基底礫下面深度(不整合面)	32.09	34.615
風化帯下面深度	30.266	32.792

#### (2) 割れ目帯モデル

第1段階の調査研究の結果,UHFD と LSFD の境界深度や LAFZ の下底面深度は,堆積岩の層 厚と相関関係があることが把握されている<sup>1)</sup>。Shaft180 地質構造モデルでは,堆積岩境界面モデ ルを更新したため,割れ目帯モデルの深度についても既存の相関式<sup>15)</sup>を用いて更新した。更新し た結果の主立坑における深度を表 4.1.2-2 に示す。

モデル名称	SB3	Shaft180
割れ目(帯)	(EL)	(EL)
LAFZ上面深度	-12.983	-14.004
LAFZ下面深度	-43.997	-40.214
UHFD下面深度	-295.698	-287.45

表 4.1.2-2 割れ目帯境界面モデルの深度

#### (3) 断層モデル

Shaft180 地質構造モデルでは、壁面地質調査の結果に基づき、断層モデルを更新した。

主立坑の壁面地質調査の結果,立坑深度 9.14m の壁面全体にわたって小規模な断層(F9.14<sup>\*</sup>) が確認され,同規模の断層が,立坑深度 134.40m(F134.40), 144.94m(F144.94), 146.60m(F146.60) においても確認された。これらの断層およびその周辺の割れ目の卓越方位やその他の特徴を 表 4.1.2-3 に示す。

※ 壁面地質調査で認められた断層(Fault)について,遭遇した深度の前に接頭文字として "F"を付す。

断層名称	卓越方位 (走向傾斜)	認められた 岩相	見かけ幅	真の幅	変位	真の幅算出の ための諸元
F9.14	N20° W84° E	堆積岩	1cm未満~ 約47cm	1cm未満~ 約38cm	最大 約50cm	坑壁との角度:55° 傾斜角度:83.5°
F134.40	N45° W88° SW	堆積岩	1cm未満~ 約25cm	1cm未満~ 約24cm	最大 約14cm	坑壁との角度:79° 傾斜角度:80°
F144.94	N57° W82° SW	堆積岩	1cm未満~ 約20cm	1cm未満~ 約6cm	最大 約30cm	坑壁との角度:22° 傾斜角度:54°
E146.60		堆積岩	1cm未満~ 約52cm	1cm未満~ 約36cm	礫岩中の ため不明	坑壁との角度:45°
1 140.00	N40 VV80 NE	花崗岩	約61cm~ 約169cm	約42cm~ 約118cm	最大約1m	傾斜角度:80°

表 4.1.2-3 主立坑の壁面地質調査により確認した断層とその特徴

これら断層の走向を比較すると、いずれも北西-南東走向で類似した走向傾斜を示す。また、 分布位置と走向傾斜および真の幅から算出した延長可能な長さに基づいて断層の分布を可視化 した結果、それぞれ異なった分布を示すことが確認された(図 4.1.2-1 (左))。このことから、 これらは同一の断層ではなく独立した断層と解釈し、それぞれを断層モデルとしてモデル化し た。

F146.60 断層のモデル化にあたり、この断層の延長上に位置する深度 100m予備ステージで確認された小規模な断層(走向傾斜:N65°W70°N)との連続性について検討を行った。検討においては、両断層の分布を可視化し(図 4.1.2-1 (右))、深度 100m予備ステージにおける水平離隔距離を測定した。その結果、7m 程度の離隔が認められたが、両断層の走向傾斜の誤差を考慮し、これらの断層は同一の断層と解釈した。また、F9.14 断層についても、F146.60 断層と同様の考え方で MSB-3 号孔の 87.7~92.2mabh で認められた断層と比較した結果、同様の断層と解釈しモデル化を行った。

なお,壁面地質調査において SB3 地質構造モデルで立坑に遭遇すると考えられていた断層の うち,確認できなかった断層については,堆積岩以深に分布する伏在断層であると解釈し,花 崗岩部のみの分布に更新した。

更新した断層モデルとその更新理由を,表4.1.2-4に示す。



(右図)F146.60 断層と深度 100m予備ステージ小規模断層との関係

SB3 地質構造モデル 上の名称	Shaft180 地質構造 モデル上の名称	更新理由		
	SH180_F13440			
	SH180_F14494	壁面地質調査で,新たに認められたためモデル化		
	SH180_F14660			
IF_SB3_02_2	SH180_F914MSB3	F91.4 断層と MIS-3 号孔の断層の走向傾斜が類似し位置関係 としても矛盾が無いことから, 1 つの断層としてモデル化		
.= .=	SH180_2-D	堆積岩の範囲で SB3_02 断層が認められなかったことか		
IF_SB3-02	SH180_MIZ1FZ06*	MIZ1FZ06 が堆積岩まで連続しないと解釈し, 類似した走向   斜で分布していた2つの断層を分け, それぞれをモデル化		
IF_SB3_08	L213 SH180_08	はVSD 複数な用では1 空幕に明確した手段調査の用の指		
IF_SB3_07	L214 SH180_07	果, EW 走向断層は堆積岩まで連続しないと解釈されたため,		
IF_SB3_09	L221 SH180_09	リーアメントナーダとホーリング調査で認められた断層を分けて モデル化		
IF_SB3_09_1	SH180_09_1			
IF_SB3_02_3	SH180_2-E	大再新に とってエデリル と た 既屋の 坦塔に 比較して 小さい 既		
IF_SB3_02_4	SH180_2-C	平史初にようしてナル化した町眉の祝侯に比較しし、小さい町		
IF_SB3_02_1	SH180_3-CDE	眉 じのることから, てれらの町層を越えないようにモナル化		

表 4 1 2-4	更新し	た新層モ	デルと	その理由
12 7.1.2 7		/ こ 凹 / 一 に	,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,	

※ ボーリング調査で認められた断層は, "ボーリング孔名 FZ (Fault Zone) 孔口からの番号"の名称

で示す。

例) MIZ-1 号孔の孔口から5番目に認められた断層: MIZ1FZ05

4.1.3 SB3 地質構造モデルからの更新結果

SB3 地質構造モデルから更新した Shaft180 地質構造モデルを図 4.1.3-1 および図 4.1.3-2 に示す。 主な変更点は以下の通りである。

- ▶ 堆積岩(生俵累層,明世/本郷累層,明世/本郷累層基底礫岩層,土岐夾炭累層,土岐夾炭累層 基底礫岩層(不整合面))および花崗岩の風化帯の下面深度を変更した(4.1.2(1)参照)。
- ▶ 堆積岩の層厚の変更に伴い、UHFDの下面深度および LAFZの上下面深度を変更した(4.1.2 (2)参照)。
- ▶ 立坑深度約 9.14m, 134.40m, 144.94m, 146.60m において 4 条の新たな断層が認められたため、 それらの断層と同一であると考えられる断層を検討し、それぞれをモデル化した (SH180 F914, SH180 F13440, SH180 F14494, SH180 F14660)(4.1.2(3)参照)。
- ▶ 第1段階の調査研究の結果,堆積岩と花崗岩で認定した断層を同一の断層と解釈していた断層(IF\_SB3\_02)が,壁面地質調査において確認されなかった。そのため、この断層について花崗岩部(SH180\_MIZ1FZ06)と堆積岩部(SH180\_2-D)に分けてモデル化した(4.1.2(3)参照)。
- ▶ 逆 VSP 探査などの第1段階に実施した調査の再解釈や壁面地質調査の結果, EW 走向の断層 は堆積岩までは連続しないと考えられた。そのため、EW 走向の断層については、花崗岩中 のみをモデル化した(SH180\_08, SH180\_07, SH180\_09, SH180\_09\_1)。(4.1.2(3)参照)。





図 4.1.3-2 Shaft180 地質構造モデルの更新結果の比較(水平断面図)

#### 4.2 Pilot500 地質構造モデル

Pilot500 地質構造モデルは、Shaft180 地質構造モデルを更新した地質構造モデルである。Pilot500 地質構造モデルは、2本の立坑の深度約 180m の地点から深度約 500m まで掘削したパイロットボ ーリング (06MI02 号孔:主立坑の孔口深度約 GL-180m, 06MI03 号孔:換気立坑の孔口深度約 GL-191m) 調査の結果に基づき更新を行った。

#### 4.2.1 追加・使用データと更新時に検討した項目

パイロットボーリング調査では、Shaft180 地質構造モデルに表現されている割れ目帯の境界面 を全て通過している。そのため、本更新では割れ目帯モデルの更新について検討を行った。また、 パイロットボーリング孔で認められた断層について、断層モデル更新の検討を行った(表 4.2.1-1)。

なお、06MI02 号孔では、ボーリング孔全体に断層の主要部やダメージゾーンが分布しており、 コアロス区間が多く割れ目の走向傾斜の分布をみても UHFD や LSFD および LAFZ などの割れ目 帯の境界を決定することが不可能であった<sup>25)</sup>。そのため、割れ目帯モデルの更新は 06MI03 号孔 の結果のみを用いた。また、06MI03 号孔では断層が認められなかったため、断層モデルは 06MI02 号孔の結果のみを用いた。

モデル更新の検討対象と必要なデータ	追加・整備されたデータセット
割れ目帯モデルの形状の更新(UHFD, LSFD,	
LAFZ)	パイロットボーリング調査結果 <sup>25)</sup>
▶ 割れ目帯の境界深度	▶ 割れ目帯の境界を決定するための割れ
断層モデルの更新	目密度分布(06MI03 号孔結果)
▶ ダメージゾーンの分布範囲(幅)	▶ 断層の分布深度(06MI02 号孔結果)
▶ 断層の通過位置	

表 4.2.1-1 Pilot500 地質構造モデルの検討に使用した調査項目とデータセット<sup>25)</sup>

#### 4.2.2 Shaft180 地質構造モデルからの更新点

#### (1) 割れ目帯モデル

LAFZ および UHFD (表 4.2.2-1)の境界面については、06MI03 号孔における各面の通過点 に合致するようにモデル化した。また、第1段階で示されている堆積岩の層厚と割れ目帯の 境界深度の関係を06MI02号孔の結果と比較したところ、両者は整合的であることが確認で きた。そのため、実データが無い範囲については、06MI03号孔で得られたデータを既存のデ ータに追加し、新たな相関式に基づきLAFZの上下面深度とUHFD下面深度の更新を行った (図 4.2.2-1)。なお、更新した結果の主立坑における分布深度を表 4.2.2-1に示す。

モデル名称	Shaft180	Pilot500
割れ目(帯)	(EL)	(EL)
LAFZ上面深度	-14.004	4.053
LAFZ下面深度	-40.214	-40.481
UHFD下面深度	-287.45	-271.587

表 4.2.2-1 割れ目帯境界面モデルの深度<sup>25)</sup>



(右図)LAFZ(下限)から不整合面までの距離と堆積岩の層厚の関係

(2) 断層モデル

06MI02 号孔の調査結果に基づき,表 4.2.2-2 に示すように断層モデルの更新を行った。以下に,特に形状を更新した断層モデルと,新規にモデル化したものについて示す。

a. SH180 F14660 のダメージゾーンの更新

主立坑の壁面調査結果に基づく SH180\_F14660 は、パイロットボーリング調査におけるコア観察および物理検層値を用いた多変量解析の結果<sup>25)</sup>、ダメージゾーンの幅を認定することができたことから、ダメージゾーンをモデル化した。

b. 06MI02 号孔に基づく断層モデルの更新

06MI02 号孔のコア観察および物理検層値を用いた多変量解析の結果,06MI02 号孔の 深度12.76~90.60mおよび146.80~221.46mが特に脆弱な範囲であることを確認した<sup>25)</sup>。 そのため,それぞれをP500\_06MI02\_1およびP500\_06MI02\_2としてモデル化した。ただ し,ボーリング調査だけではこれらの断層と他の断層との交差関係を推定することが困 難であることから,便宜的に断層モデル IF\_SB3\_02 と P500\_F14660 に挟まれた領域のみ に分布するものとした。

c. IF\_SB3\_02 および IF\_SB3\_13\_2 の形状変更

断層モデル IF\_SB3\_02 に相当する断層が、06MI02 号孔で確認されなかったことから、06MI02 号孔と交差しないよう、IF\_SB3\_02 断層の走向傾斜の卓越方位の範囲内でモデルの形状を更新した。また、同じく断層モデル IF\_SB3\_13\_2 に相当する断層や割れ目帯が、06MI03 号孔で確認されなかったことから、同様の考え方で断層モデルの形状を 06MI03 号孔と交差しないよう更新した。

Shaft180 地質構造 モデル上の名称	Pilot500 地質構造 モデル上の名称	更新理由
SH180_MIZ1FZ06	P500_MIZ1FZ06	SB3_13 断層に比較して破砕の幅が狭く規模が小さいと判断し, SB3_13 断層を越えないように更新
IF_SB3_13_2	P500_13_2	06MI03 号孔で認められなかったことから, 走向傾斜の密集部の幅 の範囲で, 06MI03 号孔に遭遇しない形状に更新
SH180_3-CDE	P500_3-CDE	P500_MIZ1FZ06の形状の更新に伴い, 形状を更新
SH180_F13440	P500_F13440	56190 514660 の再発に伴い、影響を再発
SH180_F14494	P500_F14494	51100_F14000 の更新に件い、形状を更新
SH180_F14660	P500_F14660	06MI02 号孔の結果からダメージゾーンを構築し, P500_06MI02_1 断層の規模に比較して SH180_F14660 が小規 模であることから,形状を更新
	P500_06MI02_1_DZ	06MI02 号孔の 12.76~90.60mabh で認められた脆弱部をダメー ジゾーンとしてモデル化。断層主要部はコアロス等により未確認の ため、ダメージゾーンのみでモデルを更新
IF_SB3_13_2_1	P500_06MI02_2	06MI02 号孔の深度 146.80~221.46m で認められた断層および 主要部と MIZ-1 号孔で認められた MIZ1FZ03(深度 580.90-596.40m)断層が同一断層であると解釈しモデルを更新

表 4.2.2-2 更新した断層モデルとその理由

# 4.2.3 Shaft180 地質構造モデルからの更新結果

Shaft180 地質構造モデルから更新した Pilot500 地質構造モデルを図 4.2.3-1 および図 4.2.3-2 に示す。主な変更点は以下の通りである。

- ▶ 換気立坑で実施したパイロットボーリング調査結果に基づき,UHFDの下面深度およびLAFZの上下面深度を変更した(4.2.2(1)参照)。
- ▶ 主立坑で実施したパイロットボーリング調査結果に基づき、新たに主立坑に分布する断層についてモデル化した(P500\_06MI02\_2)(4.2.2(2)参照)。
- ▶ 主立坑で実施したパイロットボーリング孔で認められた脆弱部について、ガウジ等の断層岩 がコアロスのため断層主要部を決定できなかったため、ダメージゾーンのみをモデル化した (P500\_06MI02\_1\_DZ)(4.2.2(2)参照)。
- ▶ Shaft180 地質構造モデルでは、パイロットボーリング孔と遭遇すると考えられた断層で、実際には認められなかった断層については、各断層の走向傾斜の卓越方位の範囲内でモデルの形状を更新した(P500\_13\_2)(4.2.2(2)参照)。



図 4.2.3-1 地質構造モデルの更新結果の比較(鉛直断面図)



図 4.2.3-2 Pilot500 地質構造モデルの更新結果の比較(水平断面図)

#### 4.3 Substage200 地質構造モデル

Substage200 地質構造モデルは, Pilot500 地質構造モデルを更新したモデルである。Substage200 地質構造モデルは,壁面地質調査(立坑深度約180~200m,深度200m予備ステージ・ボーリン グ横坑)結果,地質学的解釈結果に基づき,水理学的調査結果も考慮して更新を行った。

# 4.3.1 追加・使用データと更新時に検討した項目

本更新では以下のデータセットを用いて,断層モデルの形状や分布位置について検討を行った。 また,第1段階の調査研究の再解釈の結果および立坑深度200mまでの調査研究の結果に基づき, 実データがない領域における断層モデルの分布および形状について検討を行った。主なデータセ ットを表4.3.1-1に示す。

モデル更新の検討対象と必要なデータ 追加・整備されたデータセット 壁面地質調査結果:記載・スケッチ 断層モデルの更新 主立坑:180~200m  $\geq$ ▶ ダメージゾーンの分布範囲(幅) 换気立坑:191~200m 断層の通過位置 深度 200m 予備ステージ・ボーリング横  $\triangleright$ ▶ 断層の形状 坑(主立坑・換気立坑) 地質構造の分布に関する検討結果 断層の分布 水圧観測結果に基づく断層の交錯関係に関する 解釈結果 ▶ 断層の交錯関係 第1段階に実施した反射法弾性波探査結果の再 解釈結果 断層の傾斜 断層の分布

表 4.3.1-1 Substage 200 地質構造モデルの検討に使用した調査項目とデータセット<sup>26), 27)</sup>

# 4.3.2 Pilot500 地質構造モデルからの更新点

#### (1) 主立坑に分布する断層の断層モデル

主立坑の壁面地質調査結果, 概ね北西 - 南東走向で雁行状に分布し, 高角度傾斜の小規模な断層が複数確認されていた<sup>27)</sup>。このため, Pilot500 地質構造モデルまでは, これらの断層を別の断層として一つ一つモデル化してきた。しかし, 以下の検討結果から主立坑を通過し, 北西 - 南東 走向を示す複数の断層を一連の断層として 1 つの断層モデル(以下, 主立坑断層(モデル名: S200 M\_SHAFT))に統合することとした。

- a. 比抵抗トモグラフィの比抵抗値の分布から,主立坑を通過する北西 南東方向に岩盤物性の 境界が存在することが確認されている<sup>27),28)</sup>。
- b. 第1段階および第2段階における水理試験や間隙水圧モニタリングの結果から,主立坑に分 布する断層を境に水理学的な差異が確認されている<sup>1)</sup>。
- c. 水理学的な差異を生じさせる可能性がある断層が,他の透水性が高い断層に切断されるとは 考え難く,この断層が断続的に分布することは,水理地質構造モデルへの反映を考慮すると 不適切である。

これらのことから,主立坑で認められる断層(主立坑断層)モデルは,既存の複数の断層主要 部とダメージゾーンを,全て包括するものとしてダメージゾーンの幅を広げてモデルを更新した。 したがって,主立坑断層の断層モデルのダメージゾーンは,複数の小規模な断層の主要部が含ま れる。

なお、主立坑の花崗岩中に認められる断層は、第1段階の時点では MIZ-1 号孔の MIZ1FZ06 断 層(深度:826.00~873.35m)の延長部と考えられていたが、壁面地質調査で認められた主立坑の 断層と MIZ1FZ06 断層の性状が異なっていることが確認された。また、06MI02 号孔調査でのコア 観察および物理検層結果や壁面地質調査結果で把握した断層の性状を比較すると MIZ1FZ07 断層 (深度:918.50~982.60m)と類似することが確認された。そのため、主立坑断層は MIZ1FZ07 断 層に連結すると解釈し、主立坑断層の延長部を更新した。

#### (2) その他の断層モデル

これまでに取得してきたデータを整理し再解釈した結果,既存の断層モデルの分布や形状について以下のように更新した。更新した断層モデルについては,表4.3.2-1に示す。

- a. 京都大学との共同研究による古応力解析およびアナログ実験の結果<sup>28</sup>)から,月吉チャンネル は日本海拡大の時期にプルアパート盆地として形成されたと考えられた<sup>29)</sup>。この結果,第1 段階の地表地質調査において認められた北西 - 南東走向の断層群は,このプルアパート盆地 形成に関与したと推定された<sup>13)</sup>。これらに基づいて,月吉チャンネルに平行に分布する断層 については,図4.3.2-1に示すように月吉チャンネルに沿うプルアパート盆地を形成したと解 釈し,これに基づいて断層の分布(傾斜方向)を更新した。
- b. 月吉チャンネル南西部に認められた断層は、MIZ-1 号孔でのダメージゾーンの幅が研究所の 近傍ではもっとも広く、反射法弾性波探査においても最も明瞭な反射面が認められている。 そのため、この断層は研究所の近傍において最も規模が大きな断層であると考えられた。し たがって、断層モデルの構築の考え方(表 3.3.3-1)に従い、規模の小さい断層が規模の大き い断層を越えない形状に断層モデルを更新した。
- c. 第1段階の調査研究においては、反射法弾性波探査で得られたアノマリでは傾斜を判断する ことが困難であった。しかし、本更新段階までに得られた知見に基づき、既存の反射法弾性 波探査の結果を再解釈した結果、同一の断層と考えられるアノマリが土岐夾炭累層の上面と 下面(不整合面)において認められ、傾斜を判読することが可能となった。そのため、これ らの断層について既存のデータと比較し、齟齬がないようにアノマリで抽出された傾斜も考 慮して断層の分布を更新した。



図 4.3.2-1 (左図) 不整合面分布と地表露頭で認められた断層の走向傾斜 (右図) 地表露頭で認められた断層と月吉チャンネルに関する概念モデル

	表 4.3.2-1	更新した断層モデルとその理由
--	-----------	----------------

Pilot500 地質構造	Substage200 地質構	百些理由
モデル上の名称	造モデル上の名称	史新理田
P500_06MI02_1		0004002 4 (0004002 日71 の 河 庄 42.70 00 00
P500_F14494	SOO M SHAFT	U0MIU2_1 (U0MIU2 亏扎の深度 12.76-90.00m) 町暦,
SH180_2-D	5200_WI_SHAFT	MIZIF207 (MIZ-1 ちれの床皮 918.30-982.00m) 断唐やての
SH180_F914MSB3		他の主立現現道壁面で認められた断層を基にモナルを更新
IF_SB3_13	S200_13	
IF_SB3_15_2	S200_15_2	2 反射弾性波珠重ナータ 寺の 再解釈に伴い 形状の 更新
	\$200 MIZ1EZ06	S200_M_SHAFT 断層の構築に伴い,本断層を越えない形状
	3200_10121F200	に更新
	S200_13_2	MIZ1FZ04(MIZ-1号孔の深度653.0-725.7m)断層とDH2FZ03
P500 13 2		(DH-2 号孔の深度 413.10-160.18m)断層のコアの性状が異
1 300_13_2	S200_MIZ1FZ04	なることや反射法弾性波探査データの再解釈に伴い形状を更
		新
P500_3-CDE	S200_3-CDE	
SH180_2-E	S200_2-E	
SH180_2-C	S200_2-C	S200_M_SHAFI 町間の構業に伴い, 本町間を越えない形状
P500_06MI02_2	S200_06MI02_2	
P500_F13440	S200_F13440	
D500 E14660	0000 514000	S200_M_SHAFT 断層の構築に伴い, S200_M_SHAFT 断層の
P500_F14660	S200_F14660	派生断層として更新
	0200_15	月吉チャンネルとの関連性があるものと解釈し、モデル形状
IF_SB3_15	5200_15	を更新

#### 4.3.3 Pilot500 地質構造モデルからの更新結果

Pilot500 地質構造モデルから更新した Substage200 地質構造モデルを図 4.3.3-1 および図 4.3.3-2 に示す。主な変更点は以下の通りである。

- ▶ 立坑深度 200m までの地質学的調査の結果に基づきつつ、水理学的調査の結果も考慮し主立 坑に認められる断層を一連の断層(主立坑断層)としてモデル化した(S200\_M\_SHAFT)(4.3.2 (1)参照)。
- ▶ 第1段階に実施した地表地質調査結果や物理探査結果の再解釈により、研究所およびその周辺に分布する断層は、月吉チャンネルのチャンネル軸に向かって傾斜しており、月吉チャンネルの成因と関連があると考えられた<sup>29)</sup>。そのため、この概念に基づき、実データと矛盾が無い範囲で、月吉チャンネルの分布に沿うように断層の形状を更新した(S200\_13, S200\_15, S200\_15\_2)(4.3.2(2))。
- ▶ 既存の調査結果からダメージゾーンの幅に基づき断層の規模を解釈し、3.3.3 (2) に示したモデル構築の考え方に従い、規模の小さい断層が規模の大きい断層を越えない形状にモデル化した (S200\_3-CDE, S200\_2-E, S200\_2-C, S200\_F13440, S200\_06MI02\_2) (4.3.2 (2))。



# JAEA-Research 2012-018



図 4.3.3-2 Substage200 地質構造モデルの更新結果の比較(水平断面図)

# 4.4 Stage300 地質構造モデル

Stage300 地質構造モデルは, Substage200 地質構造モデルを更新した地質構造モデルである。 Stage300 地質構造モデルは,研究坑道における壁面地質調査(立坑深度 200~300m と深度 300m ステージ)の結果,孔間トモグラフィ探査結果,逆 VSP 探査および研究坑道内で実施したボーリ ング調査の結果に基づき更新を行った。更新結果を図 4.4.3-1 および図 4.4.3-2 に示す。

# 4.4.1 追加・使用データと更新時に検討した項目

本更新では、以下のデータセットを用いて割れ目帯モデルや断層モデルの更新について検討を 行った。主なデータセットを表 4.4.1-1 に示す。

表 4.4.1-1 Stage300 地質構造モデルの検討で使用した調査項目とデータセット<sup>29)</sup>

モデル更新の検討対象と必要なデータ	整備されたデータセット
低角度傾斜を有する割れ目の集中帯(LAFZ)	ボーリング調査結果:総合柱状図
下底面モデルの形状修正	07MI07, 07MI08, 07MI09 号孔, 08MI13 号孔
➢ LAFZ 下底面の深度	
▶ LAFZ 下底面(密度境界面)の空間分布	壁面地質調査結果:記載・スケッチ
割れ目帯を伴う断層(不連続構造)モデルの構	主立坑 :約 200~300 m
築	換気立坑:約 200~300 m
▶ 割れ目帯分布範囲(幅)	深度 300m ステージ
▶ 断層の通過位置	
主立坑に分布する断層(2.3.3参照)の形状	孔間トモグラフィ探査結果(06MI03-07MI08 号孔間)
修正(主要部・ダメージゾーンなど)	弾性波速度分布図,比抵抗分布図
▶ 割れ目帯分布範囲(幅)	
▶ 断層の通過位置	逆 VSP 探査結果
▶ 脆弱部・変質部の空間分布	反射面の解釈断面
	IP 変換(再解析)に基づくアノマリの空間分布

# 4.4.2 Substage200 地質構造モデルからの更新点

# (1) 割れ目帯モデル

第2段階における立坑の壁面地質調査,06MI03 号孔,07MI08 号孔,07MI09 号孔および逆 VSP 探査の結果の再解釈に基づき,割れ目帯モデルである LAFZ の分布深度に関する検討を行った。 その結果,換気立坑で実施した壁面地質調査結果と07MI09 号孔の BTV 観察結果は,Substage200 モデルに概ね整合的であった。07MI08 号孔では,全体的に割れ目の密度が低く,割れ目の密度分 布から LAFZ の範囲を判断することが困難であったが,孔口付近は有意に低角度割れ目の密度が 高いことから,孔口から深度 20m の区間までが LAFZ であると判断した。しかし,Substage200 地質構造モデルで示した LAFZ の下面境界深度と比較すると約 22m の差が認められた。(図 4.4.2-1)。そのため,モデルの更新の際に LAFZ の分布と07MI08 号孔の結果について検討を実施 した。



検討では、以下の3つのケースを想定した。

- ▶ LAFZ の厚さが主立坑断層を境に異なると仮定し、主立坑断層の北東側に分布する LAFZ の 下底面を 07MI08 号孔で設定した LAFZ 下底深度にあわせるケース(ケース1;図 4.4.2-2(左))
- ▶ 07MI08 号孔の BTV 観察結果に基づき, 滑らかに LAFZ の境界深度を変更するケース (ケース 2;図 4.4.2-2 (右))
- ▶ 07MI08 号孔の割れ目密度分布からは LAFZ の判断を行わないケース (ケース 3)



図 4.4.2-2 LAFZ 境界の更新に関する検討内容

LAFZ などの割れ目帯モデルは、花崗岩上部が削剥された結果、花崗岩中の上下方向の圧力の 徐荷に伴い形成されたと考えられている<sup>1)</sup>。ケース1を考える場合、LAFZ の形成以降(堆積岩形 成後)に主立坑断層が数十m移動する必要があると考えられる。しかし、堆積岩中で認められる 主立坑断層の変位は 1m 程度であり、数十mもの変位は確認されていない。そのため、ケース1 は除外した。

ケース2については、第1段階の調査で把握した UHFD の層厚と堆積岩の層厚の比例関係があ る事実と異なっている。また、07MI08 号孔の LAFZ の深度にモデルを変更する場合、局所的に LAFZ の下底面が変化することとなり、不自然な形状であると判断した。そのため、ケース2は 除外した。

07MI08 号孔の低角度傾斜の割れ目密度は,換気立坑で掘削した 06MI03 号孔の低角度傾斜割れ 目の密度に比較して少なく,粗密の判断は困難である。そのため,07MI08 号孔の低角度割れ目の 密度分布を考慮した LAFZ の下底面については,より恣意的になると考えられた。また,逆 VSP 探査の結果からは,LAFZ 下底面は滑らかに分布すると考えられる<sup>30)</sup>。そのため,Stage300 地質 モデルにおいては LAFZ の下底面に関する変更は行わないこととした。

#### (2) 断層モデル

Substage200 地質構造モデルから Stage300 地質構造モデルに更新する際に用いたデータセット のうち,壁面地質調査および各ボーリング調査の結果,割れ目が密集し脆弱になる区間が認めら れている。しかし,これらの調査では新たな断層は認められていない。そのため,Stage300 地質 構造モデルでは,主に主立坑断層の分布とダメージゾーンについて更新を行った。

主立坑の深度 200~300m の壁面地質調査結果から, Substage200 地質構造モデルに比べ, ダメー ジゾーンの分布幅が狭いことが把握された。そのため, Stage300 地質構造モデルではダメージゾ ーンの幅を狭く変更した(表 4.4.2-1)。また, 深度 300mまでの壁面地質調査結果を再確認した結 果, 一連のものとしてモデル化していた堆積岩中と花崗岩中でのダメージゾーンの幅が異なるこ とを確認した。そのため, 堆積岩と花崗岩では, 異なるダメージゾーンの幅としてモデル化した (表 4.4.2-1, 図 4.4.2 - 3)。

堆積岩中のダメージゾーンの幅の変更に伴い, Substage200 地質構造モデルでダメージゾーンに 含まれた断層(SH180\_F914MSB3, P500\_F14494 断層モデル)が, Stage300 地質構造モデルの主 立坑断層(モデル名:S300\_M\_SHAFT)のダメージゾーンの範囲を越えて分布することとなった。 そのため,堆積岩中に分布する主立坑断層から上方へ分岐する派生断層と解釈し,再度モデル化 した(図4.4.2-4)。更新した断層モデルと更新理由を,表4.4.2-2 に示す。

モデル名	岩相/深度	ダメージゾーンの幅
Substage200	花崗岩/300m	11.766 m
Store 200	堆積岩/100m	3.562 m
Stage 300	花崗岩/300m	6.045 m

表 4.4.2-1 各地質構造モデルにおけるダメージゾーンの幅



図 4.4.2-4 堆積岩部に分布する主立坑断層の派生断層

Substage200 地質構造 モデル上の名称	Stage300 地質構造 モデル上の名称	更新理由
S200_M_SHAFT	SH180_F914MSB3 P500_F14494 S200_2-C S200_2-E S200_3-CDE	S300_M_Shaft のダメージゾーンの更 新に伴い, 既存の断層がダメージゾーン の範囲を越えて分布することとなった ため, 再度モデル化
	S300_M_SHAFT	壁面地質調査の結果に基づくダメージ ゾーンおよび断層形状の更新

表 4.4.2-2 更新した断層モデルとその理由

# 4.4.3 Substage200 地質構造モデルからの更新結果

Substage200 地質構造モデルから更新した, Stage300 地質構造モデルを図 4.4.3-1 および図 4.4.3-2 に示す。主な変更点は以下の通りである。

- ▶ LAFZ の下面深度について深度 200m ボーリング横孔(主立坑)から掘削した 07MI08 号孔の BTV 観察結果も含めて検討を行った。その結果,07MI08 号孔の低角度割れ目の頻度分布に 関するデータから LAFZ の下底面を設定する場合,割れ目密度の差が不明瞭であり,恣意的 となる可能性があること,逆 VSP 探査の結果では LAFZ 下底面は滑らかに分布すると考えら れること<sup>30</sup>から,Substage200 地質構造モデルで示した深度を変更することはしないことと した(4.4.2(1))。
- ▶ 立坑深度 200~300m における壁面地質調査の結果から、主立孔断層のダメージゾーンの分布 幅は Substage200 地質構造モデルで示したよりも狭いことが把握されため、実データに基づき、 ダメージゾーンの幅を変更した(S300 M SHAFT)(4.4.2 (2))。
- ▶ 深度 300m までの壁面地質調査結果に基づいて、主立坑断層のダメージゾーンの幅について 検討をした結果、堆積岩中と花崗岩中でダメージゾーンの幅が異なることが明確となった。 そのため、堆積岩中と花崗岩中でダメージゾーンの幅を変えてモデルを更新した (S300\_M\_SHAFT)(4.4.2 (2))。



# JAEA-Research 2012-018



図 4.4.3-2 Stage300 地質構造モデルの更新結果の比較(水平断面図)

## 5. 地質構造モデルの構築で得られた知見

第2段階において,研究坑道の壁面地質調査の結果,坑道内からのボーリング調査結果および 既存のデータの再解釈結果に基づき,各調査段階に応じて地質構造モデルの更新を行った。その 結果と第1段階に構築した地質構造モデルとの比較も含め,得られた知見について以下に述べる。

Pilot500 地質構造モデルまでに堆積岩境界面モデル,不整合面モデル,花崗岩モデルや割れ 目帯モデルといった,水平方向に広がる地質・地質構造を更新してきた(図 5-1)。その結 果,表 5-1 および表 5-2 に示すように,第1段階と第2段階で構築した地質構造モデルにお いて,堆積岩の境界深度では最大10m程度,割れ目帯の境界深度については最大で24m程 度の差が認められた。割れ目帯の境界深度については,第2段階の調査研究の進捗に伴い 第1段階で用いた割れ目帯の分布深度の推定手法(3.3参照)の不確実性の程度が約24m 程であったことを示していると考えられる。

	SB3(Step4)	Shaft180	SB3モデル	Pilot500	SB3モデル
	(masl)	(masl)	との差(m)	(masl)	との差(m)
明世/本郷累層下面深度	136.578	140.231	3.653	140.231	3.653
明世/本郷累層基底礫下面深度	119.842	122.873	3.031	122.873	3.031
土岐夾炭累層下面深度	72.326	65.851	6.475	65.851	6.475
土岐夾炭累層基底礫下面深度(不整合面)	32.09	34.615	2.525	34.615	2.525
風化帯下面深度	30.266	32.792	2.526	32.792	2.526
LAFZ上面深度	-12.983	-14.004	1.021	4.053	17.036
LAFZ下面深度	-43.997	-40.214	3.783	-40.481	3.516
UHFD下面深度	-295.698	-287.45	8.248	-271.587	24.111

表 5-1 第2段階の地質構造モデルにおける各モデルと主立坑中心との 遭遇深度と SB3 地質構造モデルとの差

# 表 5-2 第2段階の地質構造モデルにおける各モデルと換気立坑中心との 遭遇深度と SB3 地質構造モデルとの差

	SB3(Step4)	Shaft180	SB3モデル	Pilot500	SB3モデル
	(masl)	(masl)	との差(m)	(masl)	との差(m)
明世/本郷累層下面深度	136.374	138.289	1.915	138.289	1.915
明世/本郷累層基底礫下面深度	119.098	121.817	2.719	121.817	2.719
土岐夾炭累層下面深度	71.257	67.08	4.177	67.08	4.177
土岐夾炭累層基底礫下面深度(不整合面)	41.58	32.37	9.21	32.37	9.21
風化帯下面深度	39.82	30.611	9.209	30.611	9.209
LAFZ上面深度	0.012	-11.607	11.619	2.475	2.463
LAFZ下面深度	-26.379	-41.346	14.967	-45.195	18.816
UHFD下面深度	-257.888	-287.16	29.272	-256.699	1.189

第1段階の時点で低角度傾斜を有する割れ目の成因として、花崗岩の削剥に伴う応力解放 が主である可能性が高いとの考え方が提示された<sup>1)</sup>。この考え方に基づき、堆積岩の層厚 と割れ目帯の幅の関係に着目してデータ整理を行った結果、堆積岩の層厚と割れ目帯の層 厚に良い相関関係が得られており、この相関関係に基づき地質構造モデルが構築されてき ていた<sup>1)</sup>。第2段階の調査研究結果からも,被覆堆積岩の層厚と地質構造区分ごとの層厚 には良い相関が得られている(4.2.2(1)参照)。これらの結果は,地質構造の成因を考慮 し,その分布を推定することの重要性を示唆していると考えられる。

- ▶ 高角度傾斜を有する断層の深度方向の連続性や分布については、第1段階とは異なる結果 が得られた(図 5-1)。これは、第2段階調査の進捗に伴い、花崗岩中の断層の性状が把握 できてきた結果であると考えられる。特に、主立坑に認められる断層は、第1段階の時点 では MIZ-1 号孔の MIZ1FZ06 断層(深度:826.00-873.35m)の延長部と考えられていた。 しかし、その性状が壁面地質調査で認められる断層の性状と異なっていたことから、類似 した性状を有する MIZ1FZ07 断層(深度:918.50-982.60m)と連結すると解釈し、Stage200 地質構造モデルで更新した。
- 第1段階のデータのみで構築されているモデル化要素については、第2段階において不確 実性が低減していない。一方で、主立坑断層や岩相のように第2段階で調査されたモデル 化要素については、不確実性が低減していると考えられる。つまり、一つ一つのモデル化 要素の不確実性は異なると考えられるが、現状の地質構造モデルでは不確実性が表現でき ていない。今後は、不確実性を考慮した地質構造モデルの表現方法についても検討を行う 必要があると考えられる。



図 5-1 SB3 地質構造モデルと Stage300 地質構造モデルの比較(鉛直断面図)

#### 参考文献

- 三枝博光,瀬野康弘,中間茂雄,鶴田忠彦,岩月輝希,天野健治,竹内竜史,松岡稔幸,尾上博 則,水野崇,大山卓也,濱克宏,佐藤稔紀,久慈雅栄,黒田英高,仙波毅,内田雅大,杉原弘造, 坂巻昌工: "超深地層研究所計画における地表からの調査予測研究段階(第1段階)研究成果 報告書",日本原子力研究開発機構,JAEA-Research 2007-043 (2007).
- 日本原子力研究開発機構: "超深地層研究所 地層科学研究基本計画",日本原子力研究開発 機構,JAEA-Review 2010-016 (2010).
- 3) 太田久仁雄, 天野健治, 須山泰宏, 三枝博光: "広域地下水流動研究における三次元地質構造 モデルの構築", サイクル機構技報, No. 4, pp. 101-110 (1999).
- 4) 糸魚川淳二: "瑞浪地域の地質", 瑞浪市化石博物館専報, 第1号, pp. 1-50 (1980).
- 5) 動力炉・核燃料開発事業団: "日本のウラン資源", 動燃事業団技術資料, PNC TN7420 94-006 (1994).
- 山井忠世,若松尚則,和知剛,小田川信哉: "地表地質および水圧調査",サイクル機構技術 資料(契約業務報告書:アジア航測株式会社),JNC TJ7440 2000-001 (1998).
- 7) 笹尾英嗣, 佐々木圭一, 鶴田忠彦, 太田久仁雄: "瑞浪層群の層序区分について", サイクル 機構技術資料, JNC TN7420 2004-001 (2004).
- 8) 石原瞬三,鈴木淑夫: "Ⅲ.I.2 東濃地方のウラン鉱床の基盤花崗岩類",地調報告書,232, pp.113-127 (1969).
- 9) 山下昇, 粕野義夫, 糸魚川淳二: "日本の地質 5, 中部地方Ⅱ", 共立出版株式会社 (1988).
- 西本昌司, 鵜飼恵美, 天野健治, 吉田英一: "地下深部花崗岩の変質プロセス解析-土岐花崗岩 と例にして-", 応用地質, Vol. 49, No.2, pp.94-104 (2008).
- 11) 湯口貴史, 鶴田忠彦, 西山忠男: "中部日本土岐花崗岩体の岩相と化学組成の累帯変化", 岩石鉱物科学, vol. 39, No.2, pp.50-70 (2010).
- 中野勝志,大澤英昭: "超深地層研究所計画における地表からの調査予測研究段階の現状", サイクル機構技報, No.12, pp. 91-106 (2001).
- 13) 栗原新, 天野賢治, 劉 春学, 小池 克明: "花崗岩体上部に発達する低角度亀裂の空間分布 特性と地質学的解釈-瑞浪超深地層研究所周辺の土岐花崗岩からの知見-", Journal of MMIJ, Vol.124, No.12, pp.710-718 (2008).
- 14) 三枝博光,前田勝彦,稲葉薫: "水理地質構造モデル化概念の違いによる深部地下水流動への 影響評価(その6)-不連続構造の水理特性及び水理学的境界条件に着目した水理地質構造の モデル化及び地下水流動解析-", 亀裂性岩盤における浸透問題に関するシンポジウム論文集, pp.299-308 (2001).
- 15) 松岡稔幸, 熊崎直樹, 三枝博光, 佐々木圭一, 遠藤令誕, 天野健治: "繰返しアプローチに基づく地質構造のモデル化(Step1 および Step2)", 核燃料サイクル開発機構, JNC TN7400 2005-007 (2005).

- 16) 大澤英昭,太田久仁雄,濱克宏,澤田淳,竹内真司,天野健治,三枝博光,松岡稔幸,宮本哲雄, 豊田岳司,岩月輝希,前川恵輔,國丸貴紀,新里忠史,浅森浩一,平賀正人,山中義彰,重廣道 子,島田顕臣,阿部寛信,梅木博之: "「地質環境総合評価技術高度化開発-次世代型サイト特 性調査情報統合システムの開発-」平成 19 年度成果報告書",日本原子力研究開発機構, JAEA-Research 2008-085 (2008).
- 17) 三枝博光, 須山泰宏: "超深地層研究所計画における地質構造モデルの構築及び地下水流動 解析",サイクル機構技報, No. 9, pp. 89-101 (2000).
- 18) 柳澤孝一, 今井久, 尾方伸久, 大澤英昭, 渡辺邦夫: "立坑掘削に伴なう地下水流動影響調査 研究-東濃ウラン鉱山試験立坑を例として-", 応用地質, Vol. 33, pp. 276-293 (1992).
- 19) 島崎英彦, 新藤静夫, 吉田鎮男(編): "放射性廃棄物と地質科学-地層処分の現状と課題-", 東京大学出版会, 第4章, pp. 69-103 (1995).
- 20) 鐙顕正, 天野健治: "多変量解析を利用した断層分布区分の判定", 一般社団法人日本応用地 質学会 平成18年研究発表会講演集, pp.263-266 (2006).
- 21) C.H.Scholz: "Wear and Gouge Formation in Brittle Faulting", Geology, Vol.15, pp.493-495 (1987).
- 22) Cowie, P. A. and Scholz, C. H. : "Displacement-Length Scaling Relationship for Faults; Data Synthesis and Discussion", Journal of Structural Geology, Vol. 14, pp. 1149-1156 (1992).
- 23) Vermilye, J. M., and Scholz, C. H.: "The process zone: A microstructural view of fault growth", Journal of Geophysical Research, Vol. 103, No. B6, pp. 12,233-12,237 (1998).
- 24) 西尾和久,松岡稔幸,見掛信一郎,鶴田忠彦,天野健治,大山卓也,竹内竜史,三枝博光,濱克宏, 吉田治生,水野崇,齋正貴,中間茂雄,瀬野康弘,弥富洋介,島田顕臣,黒田英高,尾方伸久,仙波毅,池 田幸喜,山本勝,内田雅大,杉原弘造: "超深地層研究所計画 年度報告書(2005 年度),日本原 子力研究開発機構,JAEA-Review 2008-073 (2008).
- 25) 鶴田忠彦,竹内真司,竹内竜史,水野崇,大山卓也: "瑞浪超深地層研究所における立坑内からのパイロットボーリング調査報告書",日本原子力研究開発機構, JAEA-Research 2008-098 (2008).
- 26) 西尾和久,松岡稔幸,見掛信一郎,鶴田忠彦,天野健治,大山卓也,竹内竜史,三枝博光,濱克 宏,吉田治生,水野崇,齋正貴,中間茂雄,瀬野康弘,弥富洋介,島田顕臣,黒田英高,尾方伸久,仙波毅, 池田幸喜,山本勝,内田雅大,杉原弘造,"超深地層研究所計画 年度報告書(2006 年度),日本 原子力研究開発機構,JAEA-Review 2009-001 (2009).
- 27) 西尾和久,松岡稔幸,見掛信一郎,鶴田忠彦,天野健治,大山卓也,竹内竜史,三枝博光,濱克 宏,水野崇,齋正貴,平野享,弥富洋介,島田顕臣,松井裕哉,尾方伸久,池田幸喜,山本勝, 内田雅大,杉原弘造: "超深地層研究所計画 年度報告書(2007年度),日本原子力研究開発 機構,JAEA-Review 2009-002 (2009).
- 28) 見掛信一郎,山本勝,池田幸喜,杉原弘造,竹内真司,早野明,佐藤稔紀,武田信一,石井洋司,石田英明,浅井秀明,原雅人,久慈雅栄,南出賢司,黒田英高,松井裕哉,鶴田忠彦,竹内竜史,三枝博光,松岡 稔幸,水野崇,大山卓也: "結晶質岩を対象とした坑道掘削における湧水対策の計画策定と施工 結果に関する考察",日本原子力研究開発機構,JAEA-Technology 2010-026 (2010).

- 29) 鶴田忠彦, 松岡稔幸, 程塚保行, 田上雅彦, 石田英明, 早野明, 栗原 新, 湯口貴史: "超深 地層研究所計画 地質・地質構造に関する調査研究(2008 年度)報告書", JAEA-Research 2010-039 (2010).
- 30) 國丸貴紀,見掛信一郎,西尾和久,鶴田忠彦,松岡稔幸,早野明,竹内竜史,三枝博光,大山卓 也,水野崇,丹野剛男,平野享,竹内真司,尾方伸久,濱克宏,池田幸喜,山本勝,弥富洋介, 島田顕臣,松井裕哉,伊藤洋昭,杉原弘造:"超深地層研究所計画 年度報告書(2009年度),日 本原子力研究開発機構,JAEA-Review 2011-007 (2011).

This is a blank page.



Shaft180地質構造モデルの深度100mごとの水平断面図

付録



Pilot500地質構造モデルの深度100mごとの水平断面図

付録



Substage200地質構造モデルの深度100mごとの水平断面図





Stage300地質構造モデルの深度100mごとの水平断面図



表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例 表1. SI 基本単位

甘木県	SI 基本ì	単位
基个里	名称	記号
長さ	メートル	m
質 量	キログラム	kg
時 間	秒	s
電 流	アンペア	Α
熱力学温度	ケルビン	Κ
物質量	モル	mol
光 度	カンデラ	cd

	100			
和大量		SI 基本単位		
和立里		名称	記号	
面	積	平方メートル	m <sup>2</sup>	
体	積五	立法メートル	m <sup>3</sup>	
速さ,速	度 >	メートル毎秒	m/s	
加速	度 >	メートル毎秒毎秒	$m/s^2$	
波	数每	毎メートル	m <sup>-1</sup>	
密度,質量密	度 =	キログラム毎立方メートル	kg/m <sup>3</sup>	
面 積 密	度	キログラム毎平方メートル	$kg/m^2$	
比 体	積ゴ	立方メートル毎キログラム	m <sup>3</sup> /kg	
電流密	度フ	アンペア毎平方メートル	$A/m^2$	
磁界の強	さフ	アンペア毎メートル	A/m	
量濃度 <sup>(a)</sup> ,濃	度刊	モル毎立方メートル	mol/m <sup>3</sup>	

第一の「「濃度」」の「ホルー」」の「加加」」 豊度 (a)、濃度 モル毎立方メートル mol/m<sup>3</sup> 量濃度 キログラム毎立法メートル  $g^{\dagger}$  加加/m<sup>3</sup> 度 カンデラ毎平方メートル cd/m<sup>2</sup>折率 (b) (数字の) 1 1 透磁率 (b) (数字の) 1 1 質 輝 屈 透磁 比

(a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学の分野では物質濃度 (substance concentration) ともよばれる。
 (b) これらは無次元量あるいは次元1をもつ量であるが、そのこと を表す単位記号である数字の1は通常は表記しない。

#### 表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

	SI 組立単位					
組立量	名称	記号	他のSI単位による 表し方	SI基本単位による 表し方		
平 面 角	ラジアン <sup>(b)</sup>	rad	1 <sup>(b)</sup>	m/m		
立 体 角	ステラジアン <sup>(b)</sup>	$sr^{(c)}$	1 <sup>(b)</sup>	$m^{2}/m^{2}$		
周 波 数	(ヘルツ <sup>(d)</sup>	Hz		s <sup>1</sup>		
力	ニュートン	Ν		m kg s <sup>'2</sup>		
圧力,応力	パスカル	Pa	N/m <sup>2</sup>	m <sup>-1</sup> kg s <sup>-2</sup>		
エネルギー,仕事,熱量	ジュール	J	N m	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup>		
仕事率, 工率, 放射束	ワット	W	J/s	$m^2 kg s^{-3}$		
電荷,電気量	クーロン	С		s A		
電位差 (電圧),起電力	ボルト	V	W/A	m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup> A <sup>-1</sup>		
静電容量	ファラド	F	C/V	$m^{2} kg^{1} s^{4} A^{2}$		
電 気 抵 扩	オーム	Ω	V/A	$m^2 kg s^{-3} A^{-2}$		
コンダクタンス	ジーメンス	S	A/V	$m^{2} kg^{1} s^{3} A^{2}$		
磁床	(ウエーバ	Wb	Vs	$m^2 kg s^2 A^1$		
磁束密度	テスラ	Т	Wb/m <sup>2</sup>	kg s <sup>-2</sup> A <sup>-1</sup>		
インダクタンス	ヘンリー	Н	Wb/A	$m^2 kg s^2 A^2$		
セルシウス温度	セルシウス度 <sup>(e)</sup>	°C		K		
光 束	[ルーメン	lm	cd sr <sup>(c)</sup>	cd		
照良	ルクス	lx	$lm/m^2$	m <sup>-2</sup> cd		
放射性核種の放射能 <sup>(f)</sup>	ベクレル <sup>(d)</sup>	Bq		s <sup>-1</sup>		
吸収線量,比エネルギー分与,	グレイ	Gv	J/kg	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>		
カーマ		C, j	0/11g	111 0		
線量当量,周辺線量当量,方向 地線量当量,個人線量当量,	シーベルト (g)	Sv	J/kg	$m^2 s^2$		
融 表 活 州	カタール	kat		e <sup>-1</sup> mol		
RX 215 10 1		nat		5 1101		

(a)SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはや

(a)SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはや コヒーレントではない。
 (b)ラジアンとステラジアンは数字の1に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。 実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の1は明 示されない。
 (o)剤光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。
 (d)ヘルツは周期現象についてのみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。
 (e)セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス選びを大しに使用される。セルシウス度とケルビンの 単位の大きさは同一である。したかって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。
 (f)放射性核種の放射能(activity referred to a radionuclide)は、しばしば認った用語で"radioactivity"と記される。
 (g)単位シーベルト(PV,2002,70,205)についてはCIPM勧告2(CI-2002)を参照。

表4. 単位の	中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

	S. S.	I 組立単位	
組立量	名称	記号	SI 基本単位による 表し方
粘度	パスカル秒	Pa s	m <sup>-1</sup> kg s <sup>-1</sup>
カのモーメント	ニュートンメートル	N m	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup>
表 面 張 九	ニュートン毎メートル	N/m	kg s <sup>-2</sup>
角 速 度	ラジアン毎秒	rad/s	m m <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> =s <sup>-1</sup>
角 加 速 度	ラジアン毎秒毎秒	$rad/s^2$	m m <sup>-1</sup> s <sup>-2</sup> =s <sup>-2</sup>
熱流密度,放射照度	ワット毎平方メートル	$W/m^2$	kg s <sup>'3</sup>
熱容量、エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	$m^2 kg s^{-2} K^{-1}$
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	$m^2 s^{-2} K^{-1}$
比エネルギー	ジュール毎キログラム	J/kg	$m^{2} s^{2}$
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s <sup>-3</sup> K <sup>-1</sup>
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m <sup>3</sup>	m <sup>-1</sup> kg s <sup>-2</sup>
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	m kg s <sup>-3</sup> A <sup>-1</sup>
電 荷 密 度	クーロン毎立方メートル	C/m <sup>3</sup>	m <sup>-3</sup> sA
表 面 電 荷	クーロン毎平方メートル	$C/m^2$	m <sup>-2</sup> sA
電束密度, 電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m <sup>2</sup>	m <sup>-2</sup> sA
誘 電 卒	ファラド毎メートル	F/m	$m^{-3} kg^{-1} s^4 A^2$
透磁 卒	ヘンリー毎メートル	H/m	m kg s <sup>-2</sup> A <sup>-2</sup>
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	$m^2 kg s^2 mol^{-1}$
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	$m^{2} kg s^{2} K^{1} mol^{1}$
照射線量 (X線及びγ線)	クーロン毎キログラム	C/kg	kg <sup>-1</sup> sA
吸収線量率	グレイ毎秒	Gy/s	$m^2 s^{-3}$
放 射 強 度	ワット毎ステラジアン	W/sr	$m^4 m^{2} kg s^{3} = m^2 kg s^{3}$
放射輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	$W/(m^2 sr)$	m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup> kg s <sup>-3</sup> =kg s <sup>-3</sup>
酵素活性濃度	カタール毎立方メートル	kat/m <sup>3</sup>	$m^{3} s^{1} mol$

表 5. SI 接頭語								
乗数	接頭語	頭語 記号 乗数		接頭語	記号			
$10^{24}$	э 9	Y	$10^{-1}$	デシ	d			
$10^{21}$	ゼタ	Z	$10^{.2}$	センチ	с			
$10^{18}$	エクサ	Е	$10^{-3}$	ミリ	m			
$10^{15}$	ペタ	Р	$10^{-6}$	マイクロ	μ			
$10^{12}$	テラ	Т	$10^{-9}$	ナノ	n			
$10^{9}$	ギガ	G	$10^{\cdot 12}$	ピョ	р			
$10^{6}$	メガ	М	$10^{.15}$	フェムト	f			
$10^{3}$	キロ	k	$10^{\cdot 18}$	アト	а			
$10^{2}$	ヘクト	h	$10^{.21}$	ゼプト	z			
$10^{1}$	デ カ	da	$10^{-24}$	ヨクト	У			

表6. SIに属さないが、SIと併用される単位				
名称	記号	SI 単位による値		
分	min	1 min=60s		
時	h	1h =60 min=3600 s		
日	d	1 d=24 h=86 400 s		
度	۰	1°=(п/180) rad		
分	,	1'=(1/60)°=(п/10800) rad		
秒	"	1"=(1/60)'=(п/648000) rad		
ヘクタール	ha	1ha=1hm <sup>2</sup> =10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>		
リットル	L, l	1L=11=1dm <sup>3</sup> =10 <sup>3</sup> cm <sup>3</sup> =10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>		
トン	t	1t=10 <sup>3</sup> kg		

#### 表7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で

表される数値が実験的に得られるもの						
名称				記号	SI 単位で表される数値	
電	子 オ	゛ル	Ч	eV	1eV=1.602 176 53(14)×10 <sup>-19</sup> J	
ダ	ル	ŀ	$\sim$	Da	1Da=1.660 538 86(28)×10 <sup>-27</sup> kg	
統-	一原子	質量単	〔位	u	1u=1 Da	
天	文	単	位	ua	1ua=1.495 978 706 91(6)×10 <sup>11</sup> m	

表8.SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位						
	名称		記号	SI 単位で表される数値		
バ	_	ル	bar	1 bar=0.1MPa=100kPa=10 <sup>5</sup> Pa		
水銀	柱ミリメー	トル	mmHg	1mmHg=133.322Pa		
オン	グストロ・	- 4	Å	1 Å=0.1nm=100pm=10 <sup>-10</sup> m		
海		里	М	1 M=1852m		
バ		$\sim$	b	1 b=100fm <sup>2</sup> =(10 <sup>-12</sup> cm)2=10 <sup>-28</sup> m <sup>2</sup>		
1	ツ	ŀ	kn	1 kn=(1852/3600)m/s		
ネ		パ	Np	ロ光伝しの粉はめた眼接は		
ベ		ル	В	51単位との数値的な関係は、 対数量の定義に依存。		
デ	ジベ	ル	dB -	X19X ± 17 AC44 (19 A 11 6		

表9. 固有の名称をもつCGS組立単位						
名称	記号	SI 単位で表される数値				
エルク	erg	1 erg=10 <sup>-7</sup> J				
ダイン	dyn	1 dyn=10 <sup>-5</sup> N				
ポアフ	P	1 P=1 dyn s cm <sup>-2</sup> =0.1Pa s				
ストークフ	St	$1 \text{ St} = 1 \text{ cm}^2 \text{ s}^{\cdot 1} = 10^{\cdot 4} \text{m}^2 \text{ s}^{\cdot 1}$				
スチルフ	sb	1 sb =1cd cm <sup>-2</sup> =10 <sup>4</sup> cd m <sup>-2</sup>				
フォト	ph	1 ph=1cd sr cm $^{2}$ 10 <sup>4</sup> lx				
ガル	Gal	$1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm s}^{-2} = 10^{-2} \text{ ms}^{-2}$				
マクスウェル	Mx	$1 \text{ Mx} = 1 \text{G cm}^2 = 10^{-8} \text{Wb}$				
ガウジ	G	$1 \text{ G} = 1 \text{Mx cm}^{-2} = 10^{-4} \text{T}$				
エルステッド <sup>(c)</sup>	Oe	1 Oe ≜ (10 <sup>3</sup> /4π)A m <sup>-1</sup>				
(。) 2 元 系のCCC単位 系しCIでけ直接比較できないため 年早 [ △						

3元系のCGS単位系とSI Cは は対応関係を示すものである。

			表	10.	SIに 属	属さないその他の単位の例
	3	名利	К		記号	SI 単位で表される数値
キ	ユ		IJ	ĺ	Ci	1 Ci=3.7×10 <sup>10</sup> Bq
$\nu$	$\sim$	ŀ	ゲ	$\sim$	R	$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{C/kg}$
ラ				ĸ	rad	1 rad=1cGy=10 <sup>-2</sup> Gy
$\nu$				Д	rem	1 rem=1 cSv=10 <sup>-2</sup> Sv
ガ		$\boldsymbol{\nu}$		7	γ	1 γ =1 nT=10-9T
フ	r		ル	i.		1フェルミ=1 fm=10-15m
メー	ートル	系	カラッ	ット		1メートル系カラット = 200 mg = 2×10-4kg
ŀ				ル	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
標	準	大	気	圧	atm	1 atm = 101 325 Pa
力	Ц		IJ	_	cal	1cal=4.1858J(「15℃」カロリー), 4.1868J (「IT」カロリー) 4.184J(「熱化学」カロリー)
ŝ	ク			$\sim$	μ	$1 \mu = 1 \mu m = 10^{-6} m$

この印刷物は再生紙を使用しています