く
ア
の
い

JAEA-Research 2016-009 DOI:10.11484/jaea-research-2016-009



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 Shaft500 から Stage500 地質構造モデルへの更新 -

Development of Geological Models in the Mizunami Underground Research Laboratory Project - Updating from "Shaft500 Geological Model" to "Stage500 Geological Model" in Phase II-

> 酒井 利啓 野原 壯 石橋 正祐紀 Toshihiro SAKAI, Tsuyoshi NOHARA and Masayuki ISHIBASHI

バックエンド研究開発部門 東濃地科学センター 地層科学研究部 Geoscientific Research Department Tono Geoscience Center Sector of Decommissioning and Radioactive Waste Management

July 2016

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

本レポートは国立研究開発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。

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 研究連携成果展開部 研究成果管理課 〒319-1195 茨城県那珂郡東海村大字白方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 Institutional Repository Section,

Intellectual Resources Management and R&D Collaboration Department, Japan Atomic Energy Agency.

2-4 Shirakata, 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, 2016

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 Shaft500 から Stage500 地質構造モデルへの更新 -

日本原子力研究開発機構 バックエンド研究開発部門 東濃地科学センター 地層科学研究部

酒井 利啓*, 野原 壯, 石橋 正祐紀

(2016年4月18日受理)

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構東濃地科学センターでは、「高レベル放射性廃棄物の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)を主な対象とした超深地層研究所計画を進めている。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」を全体目標として定め、「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段階に区分して調 査研究を進めている。

第2段階においては、研究坑道の掘削の際に行った物理探査,壁面地質調査およびボーリング調査の結果に基づいて、地質構造モデルの妥当性の確認と更新を実施してきた。これらの一連の調査・解析作業を通じて、モデル構成要素の地質学的性状や分布の確認と、それらの調査手法の精度と不確実性についての整理を行ってきた。

この報告書では、深度500mの研究坑道(深度500mステージ)の地質・地質構造の情報を加えて、 第2段階における地質構造モデルの更新を行った。さらに、その結果を踏まえて、第1段階で構築 したサイトスケールの地質構造モデルの妥当性を確認した。

東濃地科学センター:〒509-6132 岐阜県瑞浪市明世町山野内 1-64 ※ 技術開発協力員 Development of Geological Models in the Mizunami Underground Research Laboratory Project - Updating from "Shaft500 Geological Model" to "Stage500 Geological Model" in Phase II-

Toshihiro SAKAI*, Tsuyoshi NOHARA and Masayuki ISHIBASHI

Geoscientific Research Department Tono Geoscience Center Sector of Decommissioning and Radioactive Waste Management Japan Atomic Energy Agency Akiyo-cho, Mizunami-shi, Gifu-ken

(Received April 18, 2016)

Tono Geoscience Center (TGC) of Japan Atomic Energy Agency (JAEA) is pursuing a geoscientific research and development project namely the Mizunami Underground Research Laboratory (MIU) Project in crystalline rock environment in order to construct scientific and technical basis for geological disposal of High-level Radioactive Waste (HLW). The MIU Project has three overlapping phases: Surface-based Investigation phase (Phase I), Construction phase (Phase II), and Operation phase (Phase III).

In the Phase II, the geophysical and geological surveys, and the borehole investigation of the research galleries were carried out and the results obtained were used to validate and update the geological model. Through these surveys and analysis work, we confirmed the geological properties and the distribution of model components and evaluated the accuracy of these research methods.

This report presents the geological model updated based on the information of the distributions of lithofacies and geological structures at depth 500m research galleries, and besides, the validity of the geological model of the site scale developed in the Phase I is confirmed by comparing with the updated model.

Keywords: Mizunami Underground Research Laboratory (MIU) Project, Crystalline Rock, Geological Model, Site-scale

ℜ Collaborating Engineer

目 次

1.	は	じめに	1
2.	モ	デル化対象領域周辺の地質の概要	3
3.	モ	デル化要素と地質構造モデル	4
	3.1	モデル化要素	4
	3.2	地質構造モデルのモデル化手法と命名則	5
4.	第	2段階における地質構造モデルの更新とその結果	7
	4.1	第2段階における地質構造モデル更新の変遷	7
	4.2	これまでの地質構造モデル更新の概要	7
	4.3	Stage500 地質構造モデル	12
	4.	3.1 追加・使用データと更新時に検討した項目	12
	4.	3.2 Shaft500 地質構造モデルからの更新内容とその結果	13
5.	第	1段階における地質構造モデルの妥当性の確認	18
6.	ま	とめ	20
参	考文	「献	21
付	録	第1段階地質構造モデル(SB3 地質構造モデル)と第2段階地質構造モデル	
		(Stage500 地質構造モデル)の対比(深度 100m ごとの水平断面図)	24

Contents

1.	Introduction			
2.	Overview of geology around the MIU site			
3.	Ele	ements, modeling method and naming rule of geological model	4	
	3.1	Elements of geological model	4	
	3.2	Modeling method and naming rule of geological model	5	
4.	Up	pdating and the result of geological models at the Phase II	7	
2	4.1	Overview of geological model updating at the Phase II	7	
2	4.2	Previous geological model updating	7	
2	4.3	Stage500 geological model	12	
	4.	3.1 Data sets and consideration points	12	
	4.	3.2 Updating points and results from Shaft500 geological model	13	
5.	Co	onfirmation of the validity of geological model in the Phase I	18	
6.	5. Summary			
Re	References			
Ap	Appendix Comparison of horizontal cross sections at 100m intervals of SB3 geological model			
		and Stage500 geological model	24	

表リスト

表 3-1	地質構造モデルのモデル化要素	4
表 3-2	地質構造モデルを構成する個別のモデル	6
表 4-1	Stage500 地質構造モデルの検討時に追加した調査項目とデータセット	12
表 4-2	更新した断層モデルとその内容	13

図リスト

図 1-1	瑞浪超深地層研究所における研究坑道および調査ボーリング孔のレイアウト	2
図 2-1	研究所周辺の地質概要	3
図 4-1	地質構造モデルの変遷イメージ	7
図 4-2	Shaft180 地質構造モデル(左:深度 200m 水平断面図,右:鉛直断面図)	9
図 4-3	Pilot500 地質構造モデル(左:深度 200m 水平断面図,右:鉛直断面図)	10
図 4-4	Substage200 地質構造モデル(左:深度 200m 水平断面図,右:鉛直断面図)	10
図 4-5	Stage300 地質構造モデル(左:深度 200m 水平断面図,右:鉛直断面図)	11
図 4-6	Shaft460 地質構造モデル(左:深度 500m 水平断面図,右:鉛直断面図)	11
図 4-7	Shaft500 地質構造モデル(左:深度 500m 水平断面図,右:鉛直断面図)	12
図 4-8	Stage500 地質構造モデルの更新結果	14
図 4-9	Shaft500 地質構造モデルの深度 500m 水平断面図における SH460_15_3 断層	16
図 4-10	13MI41 号孔コア写真(深度 15.0~16.6m)	16
図 5-1	第1段階と第2段階の地質構造モデルの比較(鉛直断面図)	18
図 5-2	立坑を通過する不連続構造の不確実性	19

This is a blank page.

1. はじめに

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構東濃地科学センターでは、「高レベル放射性廃棄物の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)を主な対象とした超深地層研究所計画を進めている¹⁾。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」を全体目標として定め、「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段階に区分して、 調査研究を進めている。第1段階の調査研究では、既存情報や地上からの調査によって新たに取得 した情報に基づき地質環境モデルを構築し、次ステップでの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)を活用して進められてきた¹⁾。

地質環境モデルは、既存および新たな調査によって得られる情報に基づいて、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等を可視化したものである¹⁾。これは、モデル 構築の目的や記述する情報の種類により、地質構造モデル、水理地質構造モデル、地球化学モデ ル等に分けられる¹⁾。このうち、地質構造モデルは地質・地質構造要素(地質や地質構造)の幾 何学的な空間分布を定義する数値モデルである。第1段階の地質構造モデルでは、既存情報の整 理、地表地質調査、リニアメント調査、地表からの反射法弾性波探査、浅層ボーリング調査,深 層ボーリング調査および孔間トモグラフィ探査等の結果に基づき、岩相および地質構造の三次元 的な分布を表現した¹⁾。地質構造モデルに関する第2段階の調査研究は、図1-1に示す研究坑道で の壁面地質調査や研究坑道からのボーリング調査等によって新たに取得される情報を用いて地質 構造モデルの更新を行い、その更新過程や結果を通して第1段階において構築した地質構造モデ ルの各地質・地質構造要素の分布、連続性や形状等の妥当性を評価し、第1段階で適用した一連 の調査・解析技術の有効性を確認することを主な目的としている²⁾。

第2段階では、研究坑道の掘削や調査の進展に伴って取得された情報に基づいて地質構造モデルを更新してきた。同時に、これらの一連の調査・モデル化・解析作業を通じて、モデル構成要素の地質学的性状や分布位置の直接的な確認と、その空間分布の推定するための調査手法の精度と不確実性についての整理を行ってきた^{3,4)}。

本報告書では、モデル化対象領域としたサイトスケール(東西約 2km,南北約 2km,地下 2km) ¹⁾の地質構造モデルについて、深度 500mの研究坑道(深度 500m ステージ)で認められた地質・ 地質構造の情報を加え、Shaft500 地質構造モデル⁴⁾を更新するとともに、第1段階において構築し た地質構造モデルの妥当性を確認した。



図 1-1 瑞浪超深地層研究所における研究坑道および調査ボーリング孔のレイアウト

2. モデル化対象領域周辺の地質の概要

モデル化対象領域は,瑞浪超深地層研究所(以下,研究所)を中心とするサイトスケール領域¹⁾ (東西約 2km,南北約 2km,地下 2km;図 2-1)である。

研究所の周辺地域には、白亜紀の花崗岩(土岐花崗岩)が南北約14km、東西約12kmにわたって分布する⁵⁾。この花崗岩の上位に、新第三紀中新世の前期〜中期に堆積した堆積岩(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固結度の低い砂礫層(瀬戸層群)が不整合に 覆って分布する⁶⁻⁹⁾(図2-1)。

研究所の北方約 1km には、東西走向の月吉断層が分布する⁶。月吉断層は見かけ上は逆断層で ある。土岐花崗岩と瑞浪層群を変位させているが瀬戸層群を変位させていないことから、最終活 動時期は瑞浪層群堆積後から瀬戸層群堆積前の間と考えられている⁶。



図 2-1 研究所周辺の地質概要^{8)を-部改変}

[※]地形図は,『1/25000 数値地図地図画像』(国土地理院:平成 12 年 9 月 1 日発行)「御嵩」,「武並」,「土岐」,「瑞浪」 を使用。陰影図は,『基盤地図情報数値標高モデル(10m メッシュ)』(国土地理院)より作成。

3. モデル化要素と地質構造モデル

3.1 モデル化要素

第1段階および第2段階で構築してきた地質構造モデルにおけるモデル化要素は、地形、岩相 および不連続構造に大別される³⁾(表 3-1)。

地形は,地質構造モデルの上限とした地形面モデルとして国土地理院などの既存情報を用いて 構築されている。

岩相は堆積岩と花崗岩に分けた上で,堆積岩は層序や堆積物の粒径に応じて区分している。不 整合面直下の花崗岩体上部には風化帯が確認されており¹⁰,研究所およびその近傍では数 m の厚 さで分布する。これは水理学的な不均質性に対応し比較的高い透水性を示すことから,風化帯と その他の花崗岩に区分している^{3,11}。堆積岩と花崗岩の境界は物性の大きな境界でもあり,その不 整合面もモデル化要素としている。

不連続構造は、割れ目帯と断層に着目している。土岐花崗岩中には割れ目の発達がみられることから、割れ目の密度などに基づいて、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)が区分されている⁴⁾。さらに、UHFD 内部で低角度傾斜の割れ目の密度が有意に高い区間として、低角度傾斜(0~30°傾

モデル化要素		概 要					
地形		地表の起伏					
岩相							
	堆積岩	粒度や堆積環境に基づいて6つに区分 ・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)					
	不整合面	・堆積岩と花崗岩の境界部(物性の境界面としてモデル化)					
	花崗岩	 ・風化帯 ・その他の花崗岩 					
不連	続構造						
	割れ目帯	花崗岩中の低角度傾斜(0~30 度傾斜)の割れ目密度などに基づいて区分 ・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)					
	断層	・断層主要部(断層岩類(断層ガウジや断層角礫)の分布範囲) ・ダメージゾーン(断層に伴うと考えられる割れ目帯)					

表 3-1 地質構造モデルのモデル化要素 4)を-部改変

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¹¹⁾。断層は、断層主要部の領域と断層に伴うと考えられる割れ目が発達する領域(以下、ダメージゾーン)の2つの領域に区分されている。

モデル化要素の詳細については、石橋ほか(2012)³⁾を参照されたい。

3.2 地質構造モデルのモデル化手法と命名則

地質構造モデルは、モデル化要素を数値化した個別モデル(地形面モデルや岩相境界モデル等) を複数組み合わせて構成される(表 3-2)。地質構造モデルの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 VulcanTM (Maptek Pty Ltd.製)を使用し、面状構造モデル (Surface Model)を構築している³⁾。

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たかを把 握できるように命名則を定めている³⁾。

また,第2段階以降の地質構造モデルの更新において,複数の地質構造モデルを識別するとと もに,地質構造モデルに基づいて作成される水理地質構造モデルなど異なる地質環境モデル相互 の関連を明確にするために,地質環境モデルコードが作成されている⁴⁾。本報告書では地質構造 モデルのみを記載することから,本文では地質構造モデル名称で示す。

なお、地質構造モデルを構成する個別モデルのモデル化手法および断層モデルの命名則の詳細 については石橋ほか(2012)³⁾を、地質環境モデルコードの詳細は石橋ほか(2013)⁴⁾の付録 A を それぞれ参照されたい。

表 3-2 地質構造モデルを構成する個別のモデル ^{4)を一部改変}

個別モデル		概 要
地形面モデル		 ・国土地理院地形図(1/25,000)より作成した 10m メッシュ DEM(GISMAP[®] Terrain)および東濃地域精密数値地図(1/2,500都市計画図)より作成した 5m メ ッシュ DEM¹³⁾データより構築
		・サイトスケールにおいては, 5m メッシュの地形面モデルを構築
岩村	目境界面モデル	
		 ・既存の文献情報,地表地質調査,反射法弾性波探査,壁面地質調査,ボーリング調査等で得られたデータに基づいて構築
	堆積岩境界面 モデル	 ・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データまたは堆積岩の境界という線データとして、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、モデル化に使用
		 ・ 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
	不敕今西	 ・堆積岩と花崗岩の境界を示すモデルで、地表地質調査やボーリング調査、反射 法弾性波探査、空中電磁法探査等で得られたデータに基づいて構築
	不並合面 モデル	 ・不整合面モデルについても堆積岩境界面モデルと同様に、データは面または線、 点データとしてモデル化に使用
	, , , ,	・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
	花崗岩	 風化帯の厚さは、ボーリング調査や地表地質調査で得られたデータに基づいて 構築
	モデル	・実データが無い範囲は、月吉チャンネルと風化帯の厚さとの関係式 ¹¹⁾ に基づい て風化帯の厚さを算出し、風化帯とその他の花崗岩に区分してモデル化
不運	連続構造モデル	
	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	・ UHFD, LSFD および LAFZ の境界深度が反射法弾性波探査やボーリング調査 で把握されている場合には、実データに基づき割れ目帯モデルを構築。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 厚さとの相関関係に基づいて補間 ³⁾
	割れ日帝 モデル	 ・LAFZ の境界深度については、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に基づいて補間³⁾
		 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、ボーリング調査によって実測値が 得られた場合には、実測値を使用
		・ 断層主要部とダメージゾーンを表現
	断層モデル	・断層モデルの構築には、地表地質調査、ボーリング調査、物理探査およびリニア メント判読等、精度が異なる複数のデータを整合的に組み合わせることが必要で あるため、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を設定 ³⁾
		 ・規模の小さい断層が規模の大きな断層を越えて分布しないように構築
		・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化

4. 第2段階における地質構造モデルの更新とその結果

4.1 第2段階における地質構造モデル更新の変遷

第2段階の調査研究の主な目標は,掘削中の研究坑道を利用した物理探査,研究坑道の壁面地 質調査および研究坑道からのボーリング調査等を実施して,モデル化対象領域としたサイトスケ ール(東西約2km,南北約2km,地下2km)¹⁾の地質構造モデルの更新および妥当性確認である。 さらに,一連の調査・モデル化・解析作業を通じて,モデル構成要素の地質学的性状や分布位置 の直接的な確認と,その空間分布の推定するための調査手法の精度と不確実性についての整理も 目標としている。

図 4-1 に地質構造モデルの変遷のイメージを示す。第1段階においては、既存情報の整理、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、孔間水理試験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(SB3 地質 構造モデル)。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 探査等の物理探査といった調査の進展に伴い、Shaft180、Pilot500、Substage200、 Stage300、Shaft460 および Shaft500 の順に地質構造モデルを更新してきた^{3,4)}。本報告書では新た に、第2段階の Stage500 地質構造モデルの更新を行った。



4.2 これまでの地質構造モデル更新の概要

(1) Shaft180 地質構造モデル

Shaft180 地質構造モデルの構築には、研究坑道の壁面地質調査(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¹⁴⁾を用い、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)と、割れ目帯モデル(UHFD, LSFD, LAFZ)の分布深度および断層モデルを更新した(図 4-2)。

(2) Pilot500 地質構造モデル

Pilot500 地質構造モデルの構築には、2本の立坑の深度約 180m の地点から実施した先行ボーリング調査(06MI02号孔:孔口は主立坑の深度 180.0m, 06MI03号孔:孔口は換気立坑の深度 191.0m)の結果¹⁵⁾を用いた。この先行ボーリングにより、深度約 500m までの主な不連続構造を確認し、割れ目帯モデルと断層モデルを更新した³⁾(図 4-3)。

(3) Substage200 地質構造モデル

Substage200 地質構造モデルの構築には,壁面地質調査(立坑深度約180~200m,深度200m予備ステージおよびボーリング横坑)¹⁶,既存の地質学的調査結果の再解釈^{17,18},水理学的調査¹⁾の結果を用いて,断層モデルを更新した³⁾(図4-4)。

(4) Stage300 地質構造モデル

Stage300 地質構造モデルの構築には,壁面地質調査(立坑深度 200~300m,深度 300m 研究ア クセス坑道,予備ステージおよびボーリング横坑),孔間トモグラフィ探査,逆 VSP 探査および 研究坑道内で実施したボーリング調査^{19,20)}の結果を用いて,断層モデルを更新した³⁾(図 4-5)。

(5) Shaft460 地質構造モデル

Shaft460 地質構造モデルの構築では、まず深度 300m におけるボーリング調査(10MI22 号孔, 10MI23 号孔)の計画立案のために Shaft460_prov 地質構造モデル²¹⁾(壁面地質調査結果に基づき 主立坑に分布する断層(S300_M_SHAFT 断層)のみを更新した地質構造モデル)を構築した。そ の後に、ボーリング調査(10MI22 号孔, 10MI23 号孔)²²⁾および壁面地質調査(立坑深度 300~460m, 深度 400m 予備ステージ)^{22~25)}の結果を追加して断層モデルを更新した⁴⁾(図 4-6)。

(6) Shaft500 地質構造モデル

Shaft500 地質構造モデルの構築には,壁面地質調査(立坑深度 460~500m および深度 500m 予備ステージ・深度 500m 研究アクセス北坑道・深度 500m 研究アクセス南坑道の各連接部から約 5m の範囲)の結果⁴⁾を用いて,断層モデルを更新した⁴⁾(図 4-7)。



図 4-2 Shaft180 地質構造モデル³⁾(左:深度 200m 水平断面図,右:鉛直断面図)



凡例は図 4-2 を参照

図 4-3 Pilot500 地質構造モデル³⁾(左:深度 200m 水平断面図,右:鉛直断面図)



凡例は図 4-2 を参照

図 4-4 Substage200 地質構造モデル³⁾(左:深度 200m 水平断面図,右:鉛直断面図)



凡例は図 4-2 を参照

図 4-5 Stage300 地質構造モデル³⁾(左:深度 200m 水平断面図,右:鉛直断面図)



凡例は図 4-2 を参照

図 4-6 Shaft460 地質構造モデル⁴⁾(左:深度 500m 水平断面図,右:鉛直断面図)



凡例は図 4-2 を参照

図 4-7 Shaft500 地質構造モデル⁴⁾(左:深度 500m 水平断面図,右:鉛直断面図)

4.3 Stage500 地質構造モデル

Stage500 地質構造モデルは、Shaft500 地質構造モデルに壁面地質調査(深度 500m 予備ステージ・ 深度 500m 研究アクセス北坑道・深度 500m 研究アクセス南坑道)¹²⁾およびボーリング調査²⁶⁻²⁸⁾の結果を追加して構築した。

4.3.1 追加・使用データと更新時に検討した項目

Stage500 地質構造モデルの構築にあたっては,表 4-1 に示すデータセットを追加して,断層モデルについて検討を行った。

検討対象と必要なデータ	使用した調査項目とデータセット		
断層モデル ▶ 主要部およびダメージゾーン の位置・幅	壁面地質調査深度(500m 予備ステージ・深度 500m 研究アク セス北坑道・深度 500m 研究アクセス南坑道) ¹²⁾ ▶ 断層主要部およびダメージゾーンの位置・幅		
	深度 500m におけるボーリング調査(12MI32 号孔 ²⁶⁾ , 12MI33 号孔 ²⁸⁾ , 13MI41 号孔 ²⁸⁾)) 断層主要部およびダメージゾーンの位置・幅		

表 4-1 Stage500 地質構造モデルの検討時に追加した調査項目とデータセット

4.3.2 Shaft500 地質構造モデルからの更新内容とその結果

Stage500 地質構造モデルにおいて更新した断層モデルを表 4-2 に示す。更新した内容は以下の とおりであり,更新結果を図 4-8(深度 500mの水平断面図と2本の立坑を結ぶ方向の鉛直断面図) と巻末付録(深度 100m ごとの水平断面図)に示す。

モデル上の名称	更新前の名称	更新データソース	更新内容
S500_M_SHAFT	SH500_M_SHAFT	既存データの再解釈	壁面地質調査の結果の再解釈に 伴い,モデルを更新
S500_13	S200_13 S500_prov_26	壁面地質調査 500m 研究アクセス南坑道 ボーリング調査 12MI32	壁面地質調査および先行ボーリ ング調査の結果に基づき,断層 主要部およびダメージゾーンを 更新
S500_22	S500_prov_22	壁面地質調査 500m 研究アクセス北坑道 ボーリング調査 12MI33	壁面地質調査およびボーリング 調査の結果に基づき,新たにモ デル化
SH460_15_3_dz	SH460_15_3_dz	壁面地質調査 主立坑 ボーリング調査 13MI41	壁面地質調査およびボーリング 調査の結果に基づき、ダメージ ゾーンの幅を更新
IF_SB3_19	IF_SB3_19		
IF_SB3_13_1	IF_SB3_13_1		C200 12 新屋の再発に伴い 公
IF_SB3_13_3	IF_SB3_13_3		5200_15 岡暦の更新に件い、方
SH180_09	SH180_09		
SH180_09_1	SH180_09_1		新たな解釈を加えず分布範囲の
S200_MIZ1FZ06	S200_MIZ1FZ06		みの変更のため, 名称は未変更
S200_15	S200_15		

表 4-2 更新した断層モデルとその内容

JAEA-Research 2016-009



凡例は図 4-2 を参照

図 4-8 Stage500 地質構造モデルの更新結果

(1) SH500_M_SHAFT 断層と S200_13 断層の更新およびこれに伴い分布を変更した断層の更新

MIZ-1 号孔の深度 918.5~982.6m で遭遇した断層(以下,969 断層²⁹⁾)は、従来、地表からの反 射法弾性波探査や VSP 探査などによって得られたアノマリ分布を参考にしつつ、S200_13 断層に 連続する規模の大きな主断層で、派生するものが主立坑断層に連続すると考えられ、モデル化さ れていた³⁾。969 断層の産状は、断層主要部およびその周辺岩盤が強く変質を被り、かつ塩基性岩 脈を伴う断層である²⁹⁾。S200_13 断層は、深度 500m 研究ケクセス南坑道の掘削で遭遇すると予 測されていた。しかし壁面地質調査¹²⁾および深度 500m 研究坑道からの先行ボーリング調査 (12MI32 号孔²⁶⁾)の結果、複数の断層ガウジや断層角礫が確認されたが、その周辺岩盤は変質を 被っておらず、塩基性岩脈も確認されていない¹²⁾。その一方、主立坑断層は 969 断層と同様の産 状を示している³⁾。969 断層は主立坑で観察された主立坑断層の延長上(鉛直真下)にあり、同様 の走向を示し、969 断層の断層幅と主立坑断層のダメージゾーンの幅とはほぼ等しい。これらか ら 969 断層は主立坑断層に連続すると考えられた²⁹⁾。このためこれまで主立坑断層とした SH500_M_SHAFT 断層は 969 断層の主断層であると解釈し直し、主立坑から 969 断層を通り、ほ ぼ鉛直に月吉断層まで延長するものとし、S500_M_SHAFT 断層と名称を変更してモデルを更新し た。

他方, S200_13 断層の分布は複数の調査結果に基づき推定されており, 深度 500m 研究アクセス 南坑道でもほぼ予測された付近で断層ガウジが確認されていることから,主立坑断層より派生し て連続すると考えられている²⁹⁾。深度 500m 研究アクセス南坑道で確認された断層ガウジのうち, 走向傾斜が近い S500_prov_26 断層¹²⁾が S200_13 断層に連続するものと考え, S500_13 断層として モデルを更新した。S500_prov_26 断層ではダメージゾーンが確認されておらず¹²⁾,規模が大きい と考えられる主立坑断層から派生していると考えられることから,その下端は主立坑断層までと した。

S200_13 断層はこれまで深部の月吉断層まで延長すると考えていた³⁾が、これを更新したことに 伴い深部に分布しなくなった。このため深部(概ね標高-900m以深)で S200_13 断層に切られて いた断層(IF_SB3_19, IF_SB3_13_1, IF_SB3_13_3, SH180_09, SH180_09_01, S200_MIZ1FZ06, S200_15)は、そのままより規模が大きいと考えられる主立坑断層あるいは月吉断層まで延長した。 これらは新たに解釈を加えておらず、分布範囲のみの変更のため、命名則³⁾に則り名称は変更し ない。

(2) S500_prov_22 断層の更新

深度 500m ステージの壁面地質調査で認められた断層¹²⁾のうち、断層主要部の中の断層ガウジ の厚さからモデル化する基準(予測される断層の水平長さが 200m 以上³⁾)を満たす S500_prov_22 断層を新たにモデル化した。

S500_prov_22 断層は, 深度 500m 研究アクセス北坑道の掘削に伴う壁面地質調査で確認された¹²⁾。 本断層は主立坑の中心から約 59m 付近に認められ, 走向 N21~31°W, 傾斜 76~82°E で, 幅約 20cm の断層ガウジおよび断層角礫からなる断層主要部が認められた¹²⁾。この断層はその走向傾斜から, 深度 500m 研究アクセス北坑道 57m ボーリング西横坑で実施された先行ボーリング(12MI33 号孔) の深度 13.00m 付近および深度 15.17m 付近で確認された断層ガウジ²⁷⁾に対応するものと考えられ ている¹²⁾。また、断層主要部の両側には、幅 2~3mにわたって割れ目間隔 3~30cm 程度のダメージゾーンが分布する¹²⁾。この位置周辺には、既往の調査では断層は認められておらず、走向傾斜からも連続すると考えられる断層もない。このため新たに確認された断層として、観察された断層主要部の最大厚さ(150mm)から断層の水平長さを207.9mと算出し、走向N52^oW、傾斜 89^oEの平面形状でS500_22 断層としてモデル化した。ダメージゾーンは地質構造モデルに表記できるほどの幅を有しないため、モデル化していない。なお、北西側にはダメージゾーンを伴うSH460_15_3 断層が分布し、こちらの方が規模が大きいと考えられることから、北西端はSH460_15_3 断層までとした。

(3) SH460_15_3 断層のダメージゾーンの 幅の更新

深度 500m 冠水坑道から行われた 13MI41 号孔(掘削長 16.6m)では,深度 15.2m 以深 は Shaft500 地質構造モデルにおいてモデル 化されていた SH460 15 3 断層のダメージ ゾーンに入ると予測された(図 4-9 の赤丸 A 箇所)。しかしボーリング調査の結果,同孔 では断層は確認されておらず²⁸⁾, 15m 以深 のコアは ROD90%以上で割れ目が少なく (図 4-10), ダメージゾーンに相当する部分 も確認されない。また、同じく Shaft500 地 質構造モデルでは主立坑の壁面に SH460 15 3 断層の断層主要部が, そして主 立坑および研究アクセス北坑道の壁面にダ メージゾーンがモデル化されている (図 4-9 の赤丸 B 箇所)。主立坑の壁面地質調査の結 果では,N10°W付近で主立坑断層の断層主 要部が確認されている²⁵⁾。SH460 15 3 断層



図 4-9 Shaft500 地質構造モデルの深度 500m 水 平断面図における SH460_15_3 断層(坑道から延び る灰色線は調査ボーリング孔,その他の凡例は図 4-2 を参照)



図 4-10 13MI41 号孔コア写真(深度 15.0~16.6m)²⁸⁾

の主要部はこれに近い箇所にモデル化されているため区別はできない。主立坑断層のダメージゾーンは C_M 級岩盤の分布する範囲までとしており²⁵⁾, SH460_15_3 断層のダメージゾーンもその範囲を越えないと考えられる。

以上より,SH460_15_3 断層のダメージゾーンの東面境界については,少なくとも深度 500m で は西側にシフトしているものと考えられる。これまでダメージゾーンの幅は,MIZ-1 号孔の MIZ1FZ03 断層(深度 580.9~596.4m 区間)により水平幅で 8.3m と予測されていた。しかしダメー ジゾーンの東面は主立坑の壁面における C_M級岩盤の分布範囲とし,深度 500m より上方はダメー ジゾーンの水平幅を 5.6m とした。なお,断層主要部については新たな情報はなく既往解釈のまま であることから,命名則 3)に則り名称は変更しない。

5. 第1段階における地質構造モデルの妥当性の確認

第1段階において構築した SB3 地質構造モデルを,今回更新した第2段階の Stage500 地質構造 モデルと対比させて図 5-1 に2本の立坑を結ぶ方向の鉛直断面図を,巻末付録に深度100m から深 度1,000m までの100m 間隔の各深度における水平断面図を示す。

第1段階と第2段階の地質構造モデルにおいて,モデル化要素のうち岩相と不連続構造について比較した結果を,以下に述べる。

岩相(堆積岩,不整合面,花崗岩風化部の各モデル)および不連続構造のうち割れ目帯については,SB3地質構造モデルとほぼ同様である。これらについては,第1段階の調査の結果と地質構造モデルの妥当性が確認できた。

一方,不連続構造のうち断層モデルについては,おおまかに見ると深度 500m より浅部において,水平分布に顕著な違いがみられる(図 5-1)。両者の断層モデルの違いについて具体的にみると, Stage500 地質構造モデルは SB3 地質構造モデルに比べて,モデル化された断層の本数が減少



凡例は図 4-2 を参照

図 5-1 第1段階と第2段階の地質構造モデルの比較(鉛直断面図)

し、主立坑断層の断層モデルの分布が大きく変わっている。主立坑断層のモデル化の変遷をみる と、SB3 地質構造モデルで IF_SB3_02 断層は、主立坑断層に相当する。この断層モデルは、高角 傾斜の小規模な断層の地下深部における分布を予測したものであり、傾斜角の推定が難しいため、 その予測精度は一般に低い。これについて第1段階の初期に、当該断層の分布の不確実性が検討 されている(図 5-2)¹¹⁾。実際の主立坑断層の分布は予測の範囲であり、この不確実性の検討の結 果は妥当といえる。



※解釈の元データであるリニアメントに設定された傾斜角度の誤差幅(コン ターダイヤグラム上の分布範囲から設定)と露頭およびボーリング調査 (MSB-3号孔)において確認された傾斜角度を用いて、それぞれの範囲を設定

図 5-2 立坑を通過する不連続構造の不確実性¹¹⁾

6. まとめ

超深地層研究所計画における研究坑道の掘削を伴う研究段階(第2段階)において,前回構築 した Shaft500 地質構造モデルから,主に深度 500m 研究坑道の壁面地質調査および深度 500m 研究 坑道におけるボーリング調査の結果に基づき,Stage500 地質構造モデルへの更新を行った。この 地質構造モデルでは,断層モデルについて,以下の更新を行った。

- ➤ MIZ-1 号孔で確認されていた 969 断層は、これまで S200_13 断層に連続すると考えられてきたが、産状等から主立坑断層に連続するものと解釈し直した。これによりサイトスケールの範囲において主立坑断層の規模は最も大きく、主立坑断層はほぼ鉛直に月吉断層まで延長するものであり、S500 M SHAFT 断層として断層モデルの分布を更新した。
- ▶ S200_13 断層は主立坑断層から派生するものであると解釈し直し, S500_13 断層として更新した。
- ▶ S200_13 断層の見直しに伴い, S200_13 断層に切られていた断層モデル(IF_SB3_19, IF_SB3_13_1, IF_SB3_13_3, SH180_09, SH180_09_01, S200_MIZ1FZ06, S200_15)は、主 立坑断層あるいは月吉断層まで延長するものとして断層モデルの分布を更新した。
- ▶ 深度 500m ステージの研究坑道の掘削において確認した小規模な断層について、新たに S500 22 断層をモデル化した。
- ▶ SH460_15_3 断層は、深度 500m ステージの研究坑道の壁面地質調査およびボーリング調査の 結果より、深度 500m 付近でダメージゾーンの幅を狭くし断層モデルを更新した。

第1段階の地質構造モデルの妥当性について検討を行った結果,岩相と主な不連続構造のモデル化については妥当であることが確認された。

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,JAEA-Research 2007-043, 2007, 337p.
- 2) バックエンド研究開発部門 東濃地科学センター 地層科学研究部, 超深地層研究所 地層科 学研究基本計画, JAEA-Review 2015-015, 2015, 39p.
- 石橋正祐紀,栗原 新,松岡稔幸,笹尾英嗣,超深地層研究所計画におけるサイトスケールの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 -, JAEA-Research 2012-018, 2012, 48p.
- 4) 石橋正祐紀, 笹尾英嗣, 窪島光志, 松岡稔幸, 超深地層研究所計画におけるサイトスケールの地質構造モデルの構築-第2段階におけるShaft460およびShaft500地質構造モデルへの更新-, JAEA-Research 2013-019, 2013, 31p.
- 5) 石原舜三, 鈴木淑夫, 東濃地方のウラン鉱床の基盤花崗岩類, 地質調査所報告, No.232, 1969, pp.113-127.
- 6) 糸魚川淳二,瑞浪地域の地質,瑞浪市化石博物館専報, No.1, 1980, pp.1-50.
- 7) 動力炉・核燃料開発事業団,日本のウラン資源,PNC TN7420 94-006, 1994, 391p.
- 8) 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, JNC TJ7440 2000-001, 1998, 81p.
- 9) 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, JNC TN7420 2004-001, 2004, 14p.
- 10) 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, 1999, pp.101-110.
- 11) 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, 繰り返しアプローチに 基づく地質構造のモデル化(Step1およびStep2), JNC TN7400 2005-007, 2005, 99p.
- 12) 川本康司, 窪島光志, 村上裕晃, 石橋正祐紀, 笹尾英嗣, 超深地層研究所計画 地質・地質 構造に関する研究-深度500mステージの地質・地質構造-, JAEA-Research 2014-021, 2014, 30p.
- 13) 三箇智二, 東濃地域を対象とした精密数値地図作成作業, JNC-TJ7420 2005-081, 2002, 80p.
- 14) 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), JAEA-Review 2008-073, 2009, 99p.
- 15) 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, JAEA-Research 2008-098, 2009, 116p.
- 16) 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), JAEA-Review 2009-001, 2009, 110p.

- 17) 栗原 新, 天野健治, 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, 2008, pp.710-718.
- 18) 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), JAEA-Review 2011-007, 2011, 145p.
- 19) 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, 2011, 131p.
- 20) 竹内真司,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,平野 享,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(2008 年度),JAEA-Review 2010-014, 2010, 110p.
- 21) 國丸貴紀,見掛信一郎,西尾和久,鶴田忠彦,松岡稔幸,石橋正祐紀,上野孝志,徳安真吾, 大丸修二,竹内竜史,三枝博光,尾上博則,武田匡樹,狩野智之,水野 崇,萩原大樹,佐 藤稔紀,真田祐幸,丹野剛男,引間亮一,森川佳太,湯口貴史,尾方伸久,濱 克宏,池田 幸喜,山本 勝,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(2010年度), JAEA-Review 2012-020, 2012, 178p.
- 22) 鶴田忠彦,武田匡樹,上野孝志,大丸修二,徳安真吾,尾上博則,新宮信也,石橋正祐紀, 竹内竜史,松岡稔幸,水野 崇,田上雅彦,超深地層研究所計画 主立坑断層を対象とした ボーリング調査結果報告書, JAEA-Technology 2012-001, 2012, 134p.
- 23) 鶴田忠彦, 笹尾英嗣, 川本康司, 窪島光志, 石橋正祐紀, 超深地層研究所計画 地質・地質 構造に関する調査研究-深度300mから500mまでの地質・地質構造-, JAEA-Research 2013-014, 2013, 35p.
- 24) 川本康司,窪島光志,石橋正祐紀,鶴田忠彦,笹尾英嗣,池田幸喜,見掛信一郎,原 郁夫, 山本 勝,超深地層研究所計画 瑞浪超深地層研究所 研究坑道の壁面調査データ集, JAEA-Data/Code 2012-009, 2012, 47p.
- 25) 川本康司, 窪島光志, 石橋正祐紀, 鶴田忠彦, 笹尾英嗣, 池田幸喜, 見掛信一郎, 原 郁夫, 山本 勝, 超深地層研究所計画 瑞浪超深地層研究所 深度300m~500mの研究坑道の壁面 地質調査データ集, JAEA-Data/Code 2012-025, 2013, 32p.
- 26) 川本康司,黒岩 弘,山田信人,大貫賢二,大森一秋,竹内竜史,尾方伸久,大森将樹,渡 辺和彦,深度500m研究アクセス南坑道における先行ボーリング調査報告書(12MI32号孔), JAEA-Technology 2014-011, 2014, 92p.
- 27) 露口耕治,黒岩 弘,川本康司,山田信人,大貫賢二,岩月輝希,竹内竜史,尾方伸久,須 藤正大,見掛信一郎,深度500m研究アクセス北坑道における先行ボーリング調査報告書

(12MI27号孔, 12MI33号孔), JAEA-Technology 2013-044, 2014, 89p.

- 28) 長谷川隆,川本康司,山田信人,大貫賢二,大森一秋,竹内竜史,岩月輝希,佐藤稔紀,深 度500m研究アクセス北坑道におけるボーリング調査報告書(13MI38号孔~13MI44号孔), JAEA-Technology 2015-011, 2015, 135p.
- 29) 濱 克宏,見掛信一郎,石橋正祐紀,笹尾英嗣,桑原和道,上野哲朗,大貫賢二,別府伸治, 尾上博則,竹内竜史,三枝博光,宗本隆志,加藤利弘,岩月輝希,岩崎理代,池田幸喜,佐 藤稔紀,大澤英昭,小出 馨,超深地層研究所計画 年度報告書(2014年度), JAEA-Review 2015-024, 2015, 122p.

付録 第1段階地質構造モデル(SB3地質構造モデル)と第2段階地質構造モデル (Stage500地質構造モデル)の対比(深度100mごとの水平断面図)



※ 第1段階モデルの坑道図および第2段階モデルの深度500m以深の坑道図は、当初の計画。







JAEA-Research 2016-009



This is a blank page.

_

表 1. SI 基本単位					
甘大昌	SI 基本単位				
本平里	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			

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例					
AI 立長 SI 組立単位	SI 組立単位				
名称	記号				
面 積 平方メートル	m ²				
体 積 立方メートル	m ³				
速 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 毎メートル	m ⁻¹				
密度,質量密度キログラム毎立方メートル	kg/m ³				
面 積 密 度 キログラム毎平方メートル	kg/m ²				
比体積 立方メートル毎キログラム	m ³ /kg				
電 流 密 度 アンペア毎平方メートル	A/m ²				
磁 界 の 強 さ アンペア毎メートル	A/m				
量 濃 度 ^(a) , 濃 度 モル毎立方メートル	mol/m ⁸				
質量濃度 キログラム毎立方メートル	kg/m ³				
輝 度 カンデラ毎平方メートル	cd/m ²				
屈 折 率 ^(b) (数字の) 1	1				
比 透 磁 率 ^(b) (数字の) 1	1				
(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 ^(b)	rad	1 ^(b)	m/m
立体鱼	ステラジアン ^(b)	$sr^{(c)}$	1 (b)	m^2/m^2
周 波 数	ヘルツ ^(d)	Hz	-	s ⁻¹
力	ニュートン	Ν		m kg s ⁻²
E 力 , 応 力	パスカル	Pa	N/m ²	$m^{-1} kg s^{-2}$
エネルギー,仕事,熱量	ジュール	J	N m	$m^2 kg s^2$
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	$m^2 kg s^{\cdot 3} A^{\cdot 1}$
静電容量	ファラド	F	C/V	$m^{-2} kg^{-1} s^4 A^2$
電気抵抗	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	$m^{2} kg^{1} s^{3} A^{2}$
磁東	ウエーバ	Wb	Vs	$m^2 kg s^2 A^{-1}$
磁束密度	テスラ	Т	Wb/m ²	$kg s^{2} A^{1}$
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 ^(e)	°C		K
光東	ルーメン	lm	cd sr ^(c)	cd
照度	ルクス	lx	lm/m ²	m ⁻² cd
放射性核種の放射能 ^(f)	ベクレル ^(d)	Bq		s ⁻¹
吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ	グレイ	Gy	J/kg	$m^2 s^2$
線量当量,周辺線量当量, 方向性線量当量,個人線量当量	シーベルト ^(g)	Sv	J/kg	$m^2 s^{-2}$
酸素活性	カタール	kat		s ⁻¹ mol

酸素活性(1) ダール kat [s¹ mol]
 (w)SH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。
 (h)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。
 (a)測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)へルツは周期現象についてのみ、ペラ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。 セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。それシウス度とケルビンの
 (a)やレシウス度はケルビンの特別な名称で、温度器や温度開隔を表す整備はとおらの単位で表しても同じである。
 (b)放射性核種の放射能(activity referred to a radionuclide) は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。
 (g)単位シーベルト(PV,2002,70,205) についてはCIPM物告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

	SI 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 ⁻¹ kg s ⁻¹
カのモーメント	ニュートンメートル	N m	m ² kg s ⁻²
表 面 張 九	リニュートン毎メートル	N/m	kg s ⁻²
角 速 度	ラジアン毎秒	rad/s	m m ⁻¹ s ⁻¹ =s ⁻¹
角 加 速 度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s^2	$m m^{-1} s^{-2} = s^{-2}$
熱流密度,放射照度	ワット毎平方メートル	W/m^2	kg s ⁻³
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 ⁻³ K ⁻¹
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m ⁻¹ kg s ⁻²
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	m kg s ⁻³ A ⁻¹
電 荷 密 度	クーロン毎立方メートル	C/m ³	m ⁻³ s A
表面電荷	「クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² s A
電東密度, 電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ² s A
誘 電 卒	コアラド毎メートル	F/m	$m^{-3} kg^{-1} s^4 A^2$
透 磁 率	ペンリー毎メートル	H/m	m kg s ⁻² A ⁻²
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 ⁻¹ s A
吸収線量率	ダレイ毎秒	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 ² m ⁻² kg s ⁻³ =kg s ⁻³
酵素活性濃度	カタール毎立方メートル	kat/m ³	$m^{-3} s^{-1} mol$

表 5. SI 接頭語						
乗数	名称	記号	乗数	名称	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	E	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^{-12}	ピコ	р	
10^{6}	メガ	М	10^{-15}	フェムト	f	
10^3	+ 1	k	10^{-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	v	

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=60 s		
時	h	1 h =60 min=3600 s		
日	d	1 d=24 h=86 400 s		
度	۰	1°=(π/180) rad		
分	,	1'=(1/60)°=(π/10 800) rad		
秒	"	1"=(1/60)'=(π/648 000) rad		
ヘクタール	ha	1 ha=1 hm ² =10 ⁴ m ²		
リットル	L, 1	1 L=1 l=1 dm ³ =10 ³ cm ³ =10 ⁻³ m ³		
トン	t	$1 t=10^3 kg$		

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	ボル	ŀ	eV	1 eV=1.602 176 53(14)×10 ⁻¹⁹ J
ダル	- F	\sim	Da	1 Da=1.660 538 86(28)×10 ⁻²⁷ kg
統一原	子質量単	単位	u	1 u=1 Da
天 文	単	位	ua	1 ua=1.495 978 706 91(6)×10 ¹¹ 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
バール	bar	1 bar=0.1MPa=100 kPa=10 ⁵ Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1 mmHg≈133.322Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1nm=100pm=10 ⁻¹⁰ m
海 里	Μ	1 M=1852m
バーン	b	$1 \text{ b}=100 \text{ fm}^2=(10^{-12} \text{ cm})^2=10^{-28} \text{ m}^2$
ノット	kn	1 kn=(1852/3600)m/s
ネーパ	Np	ci単位しの粉結的な間接け
ベル	В	対数量の定義に依存。
デシベル	dB -	

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	
エルグ	erg	1 erg=10 ⁻⁷ J	
ダイン	dyn	1 dyn=10 ⁻⁵ N	
ポアズ	Р	1 P=1 dyn s cm ⁻² =0.1Pa s	
ストークス	St	$1 \text{ St} = 1 \text{ cm}^2 \text{ s}^{\cdot 1} = 10^{\cdot 4} \text{ m}^2 \text{ s}^{\cdot 1}$	
スチルブ	$^{\mathrm{sb}}$	$1 \text{ sb} = 1 \text{ cd cm}^{-2} = 10^4 \text{ cd m}^{-2}$	
フォト	ph	1 ph=1cd sr cm ⁻² =10 ⁴ lx	
ガ ル	Gal	1 Gal =1cm s ⁻² =10 ⁻² ms ⁻²	
マクスウエル	Mx	$1 \text{ Mx} = 1 \text{ G cm}^2 = 10^{-8} \text{Wb}$	
ガウス	G	1 G =1Mx cm ⁻² =10 ⁻⁴ T	
エルステッド ^(a)	Oe	1 Oe ≙ (10 ³ /4 π)A m ⁻¹	
(a) 3元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「 ▲ 」			

は対応関係を示すものである。

表10. SIに属さないその他の単位の例						
名称				記号	SI 単位で表される数値	
キ	ユ		IJ	ſ	Ci	1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq
$\scriptstyle u$	\sim	ŀ	ゲ	\sim	R	$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{C/kg}$
ラ				K	rad	1 rad=1cGy=10 ⁻² Gy
$\scriptstyle u$				L	rem	1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv
ガ		$\boldsymbol{\mathcal{V}}$		7	γ	$1 \gamma = 1 \text{ nT} = 10^{-9} \text{T}$
フ	T.		N	11		1フェルミ=1 fm=10 ⁻¹⁵ m
メー	ートル	/系	カラゞ	ット		1 メートル系カラット= 0.2 g = 2×10 ⁻⁴ kg
ŀ				ル	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
標	準	大	気	圧	atm	1 atm = 101 325 Pa
+1	ы		11	_		1 cal=4.1858J(「15℃」カロリー), 4.1868J
15	Ц		9		cal	(「IT」カロリー), 4.184J(「熱化学」カロリー)
3	ク			~	u	$1 \mu = 1 \mu m = 10^{-6} m$