



JAEA-Data/Code

2020-018

DOI:10.11484/jaea-data-code-2020-018

瑞浪超深地層研究所  
研究坑道におけるラドン濃度測定データ集

Data of Radon Measurement in Underground Facilities of  
Mizunami Underground Research Laboratory

青木 克憲 山中 浩揮 渡辺 和彦 杉原 弘造

Katsunori AOKI, Hiroki YAMANAKA, Kazuhiko WATANABE and Kozo SUGIHARA

核燃料・バックエンド研究開発部門  
東濃地科学センター

Tono Geoscience Center

Sector of Nuclear Fuel, Decommissioning and Waste Management Technology Development

February 2021

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

JAEA-Data/Code

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 (<https://www.jaea.go.jp>)  
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, 2021

瑞浪超深地層研究所 研究坑道におけるラドン濃度測定データ集

日本原子力研究開発機構  
核燃料・バックエンド研究開発部門 東濃地科学センター

青木 克憲, 山中 浩揮\*1, 渡辺 和彦\*2, 杉原 弘造

(2020年11月2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、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行っており、瑞浪超深地層研究所（以下、研究所）の研究坑道を深度 500m レベルまで展開している。

花崗岩には一般的に微量のウランが含まれており、花崗岩地域の坑道内では、通気の状態により坑道内の空気中のラドン濃度が高くなる可能性がある。このため、研究所では研究坑道の掘削や通気方法の変更等に合わせ、適宜、ラドン濃度測定を実施してきた。この測定データは花崗岩地域の地下空間におけるラドン濃度の実測値として貴重なデータと言える。このため、平成 22 年度から令和元年度までの測定結果を、ラドン濃度に影響を与える坑内通気や気温の情報とともにデータ集として取りまとめ、合わせて実測値に基づいて平衡係数の検討を行った。

その結果、坑内のラドン濃度は、季節による坑内と外気との温度差で発生する自然通気の影響を受け夏季は高く冬季は低くなること、また、通気開始時におけるラドンの平衡係数の一時的な上昇は、坑内の粉塵の巻き上げ等によるエアロゾルの増加が原因と考えられる等の知見が得られた。

---

東濃地科学センター：〒509-5102 岐阜県土岐市泉町定林寺 959-31

\*1 検査開発株式会社

\*2 株式会社ペスコ

Data of Radon Measurement in Underground Facilities of  
Mizunami Underground Research Laboratory

Katsunori AOKI, Hiroki YAMANAKA \*<sup>1</sup>, Kazuhiko WATANABE\*<sup>2</sup> and Kozo SUGIHARA

Tono Geoscience Center  
Sector of Nuclear Fuel, Decommissioning and Waste Management Technology Development  
Japan Atomic Energy Agency  
Izumi-cho, Toki-shi, Gifu-ken

(Received November 2, 2020)

Mizunami Underground Research Laboratory (MIU) Project is pursued by Japan Atomic Energy Agency (JAEA) in the crystalline host rock (granite) as a part of geoscientific study of JAEA, and underground facilities of MIU are constructed down to 500m below the ground surface.

As small amount of Uranium is normally contained in granite, high concentration of radon is sometimes detected in the air of the underground facilities constructed in granitic rocks depending on their ventilation conditions. Radon concentrations in underground facilities of MIU have been measured according to the excavation progress of underground facilities or the change of ventilation system. It is recognized that the data obtained by the actual measurement of radon concentration in such underground facilities are rare and valuable. This report summarizes the measured data from fiscal 2010 to fiscal 2020, together with the information of ventilation conditions and air temperature which affect radon concentrations in underground facilities. The variation of the equilibrium factors of radon is also examined with the actually measured data.

As a result, it has been found that radon concentration in the drift is high in summer and low in winter according to the natural ventilation caused by the seasonal temperature difference between in and out of the underground facilities. Furthermore, the temporary increase in the equilibrium factor of radon in the drift at the start of ventilation is supposed to be due to the aerosol increase by the ventilation flow, such as the dust blown up.

Keywords: MIU, Granite, Ventilation, Radon Concentration, Air Temperature, Monitoring Data, Equilibrium Factor of Radon, Seasonal Variation

---

\* 1 Inspection Development Company Ltd.

\* 2 PESCO Co., Ltd.

目次

1. はじめに .....	1
2. 瑞浪超深地層研究所の概要 .....	2
2.1 施設 .....	2
2.2 地質 .....	2
3. 測定方法 .....	9
3.1 測定方法 .....	9
3.2 測定時期と測定場所 .....	9
4. 坑内通気の情報 .....	11
4.1 坑内通気システム .....	11
4.1.1 坑内通気の概要 .....	11
4.1.2 坑内通気の変遷 .....	14
4.2 送風機稼働時間の記録 .....	19
4.3 気温の記録 .....	20
5. 測定結果 .....	22
5.1 平成 22 年 5 月から平成 25 年 12 月までの測定結果 .....	22
5.2 平成 26 年の 4 月から 7 月までの測定結果 .....	22
5.3 平成 26 年 8 月から平成 27 年 7 月までの測定結果（深度 300m のみ） .....	22
5.4 平成 27 年 8 月以降の測定結果（平成 27 年 7 月の深度 500m の測定結果を含む） .....	22
5.5 深度 300m ステージにおけるラドン濃度の推移 .....	22
5.6 深度 500m ステージにおけるラドン濃度の推移 .....	22
6. 平衡係数の検討 .....	30
6.1 坑内気温と外気温 .....	30
6.2 春季（平成 27 年 5 月）の測定結果 .....	34
6.3 夏季（平成 26 年 9 月）の測定結果 .....	37
6.4 冬季（平成 27 年 2 月）の測定結果 .....	40
6.5 測定結果のまとめ .....	40
7. まとめ .....	43
謝辞 .....	43
参考文献 .....	44
付録 CD-ROM .....	45
付録 1：送風機稼働時間のデータファイル	
付録 2：気温のデータファイル	
付録 3：ラドン濃度のデータファイル	

Contents

1. Introduction.....	1
2. Overview of Mizunami Underground Research Laboratory .....	2
2.1 Facilities .....	2
2.2 Geology.....	2
3. Measurement method .....	9
3.1 Method .....	9
3.2 Period and location.....	9
4. Information of underground ventilation .....	11
4.1 Underground ventilation system.....	11
4.1.1 Outline of underground ventilation .....	11
4.1.2 Change of underground ventilation .....	14
4.2 Record of operation time of ventilation fans.....	19
4.3 Record of temperature .....	20
5. Measurement data .....	22
5.1 Data from May 2010 to December 2013 .....	22
5.2 Data from April to July 2014 .....	22
5.3 Data from August 2014 to July 2015 (only depth of 300m).....	22
5.4 Data from August 2015 (including depth of 500m in July 2015) .....	22
5.5 Time variation of radon concentration in -300m Stage .....	22
5.6 Time variation of radon concentration in -500m Stage .....	22
6. Examination of equilibrium factor .....	30
6.1 Air temperature in and out of underground facilities .....	30
6.2 Measurement results of spring (May 2015) .....	34
6.3 Measurement results of summer (September 2014).....	37
6.4 Measurement results (February 2015).....	40
6.5 Summary of measurement results .....	40
7. Conclusion .....	43
Acknowledgement .....	43
References .....	44
Appendix CD-ROM .....	45
Appendix 1. Data files of operation time of ventilation fans	
Appendix 2. Data files of temperature	
Appendix 3. Data files of radon concentration	

## 1. はじめに

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（以下、原子力機構）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）を対象とした超深地層研究所計画<sup>1)</sup>を行ってきた。超深地層研究所計画では、瑞浪超深地層研究所（以下、研究所）において、研究所の地下施設である研究坑道を深度 500m レベルまで展開している。

花崗岩には一般的に微量のウランが含まれており、花崗岩地域のトンネル内では、通気の状態により坑道内の空気中のラドン濃度が高くなる可能性がある。一方で、通常、トンネル掘削現場等地下の作業場では十分な通気量が確保されており、ラドン濃度が問題になるほど高くなることはないと考えられる。このため、坑内環境としてラドンがモニタリングされることは無く、坑道内のラドン濃度が継続して計測された例はほとんどないと言える。

研究所においては、研究坑道が、この地域のウラン鉱床の胚胎母層と同一の地層及び花崗岩中に展開すること、また、立坑を中心として両側に水平坑道が展開する特殊な坑道配置により十分な通気量の確保が容易でないこと等から、研究坑道内のラドン濃度が場所によっては高くなる可能性があることが考えられた。このため、研究坑道の本格掘削開始後の平成 17 年 7 月以降、坑内環境の確認の一環として、研究坑道の掘削や通気方法の変更等に合わせて、適宜、ラドン濃度測定を実施してきた。この測定データは、花崗岩地域の地下空間におけるラドン濃度の実測値として貴重なデータであることから、平成 22 年度から令和元年度までの測定結果を、ラドン濃度に影響を与える坑内通気や気温の情報とともに、データ集として取りまとめ、合わせて、実測値に基づいて平衡係数の検討を行った。

## 2. 瑞浪超深地層研究所の概要

### 2.1 施設

瑞浪超深地層研究所の施設は、地上施設と研究坑道からなる (Fig.2-1)。地上施設は、櫓設備、巻上設備、コンクリートプラント、排水処理設備、受変電設備、非常用発電設備、管理棟等からなる。

研究坑道は、深度 500m の 2 本の立坑 (主立坑, 換気立坑)、深度 100m ごとに主立坑と換気立坑をつなぐ水平坑道 (予備ステージ)、深度 300m 及び深度 500m に展開する水平坑道 (深度 300m ステージ, 深度 500m ステージ) からなる。主立坑 (内径 6.5m) と換気立坑 (内径 4.5m) の中心間距離は 40m である。研究坑道の断面図を Fig.2-2 に、深度 300m ステージの平面図を Fig.2-3 に、深度 500m ステージの平面図を Fig.2-4 に、主な水平坑道の断面形状を Fig.2-5 に示す。坑道壁面の状態は、立坑については厚さ約 40cm のコンクリート壁、また、水平坑道は厚さ約 10cm の吹付けコンクリートとなっている。そのうち、深度 300m 研究アクセス坑道及び深度 500m 研究アクセス北坑道・南坑道の片側壁面は、地質観察のため、床面から約 1.5m の高さまで岩盤が露出している。

なお、研究坑道掘削工事の内容については建設工事記録<sup>2)~10)</sup>にまとめられている。

### 2.2 地質

研究所用地周辺においては、基盤をなす後期白亜紀の花崗岩 (土岐花崗岩) を新第三紀中新世の堆積岩 (瑞浪層群) が不整合に覆い、さらにそれを固結度の低い新第三紀中新世~第四紀更新世の砂礫層 (瀬戸層群) が不整合に覆っている (Fig.2-6)<sup>11,12)</sup>。また、土岐花崗岩中には、石英斑岩の岩脈が分布する。研究所用地の北方、西方及び東方には美濃帯堆積岩類が、北東方には濃飛流紋岩がそれぞれ分布する。

瑞浪層群は、美濃帯堆積岩類、土岐花崗岩及び濃飛流紋岩を基盤として、新第三紀中新世~第四紀更新世の瀬戸層群に不整合で覆われる。岩相によって下位から土岐夾炭累層、本郷累層、明世累層、生俵累層に区分される<sup>13)</sup>。

瀬戸層群は、美濃帯堆積岩類、濃飛流紋岩、土岐花崗岩及び瑞浪層群を不整合に覆い、層相によって下位から土岐口陶土層と土岐砂礫層に区分される<sup>14)</sup>。

Fig.2-7 に研究坑道付近の地質断面<sup>15)</sup>を示す。堆積岩 (瑞浪層群) と花崗岩 (土岐花崗岩) の境界の深度は立坑の位置で約 170m であり、花崗岩は、割れ目の特徴や傾度の違いから、立坑位置で深度 460m 付近を境に上部割れ目帯と下部割れ目低密度帯に区分される。上部割れ目帯中 (深度 200m 付近) には低角度の割れ目が集中した部分が存在し、低角度傾斜割れ目集中帯と呼ばれる。また、研究所用地周辺には多数の断層が存在し、規模の大きな断層は、その両側に岩盤が断層活動の影響を受けた領域 (ダメージゾーン) を伴う。これらの断層は活断層ではなく、過去に活動が終息した地質断層である。主立坑は、主立坑断層と呼ばれる、ほぼ鉛直の断層に沿って掘削されている。

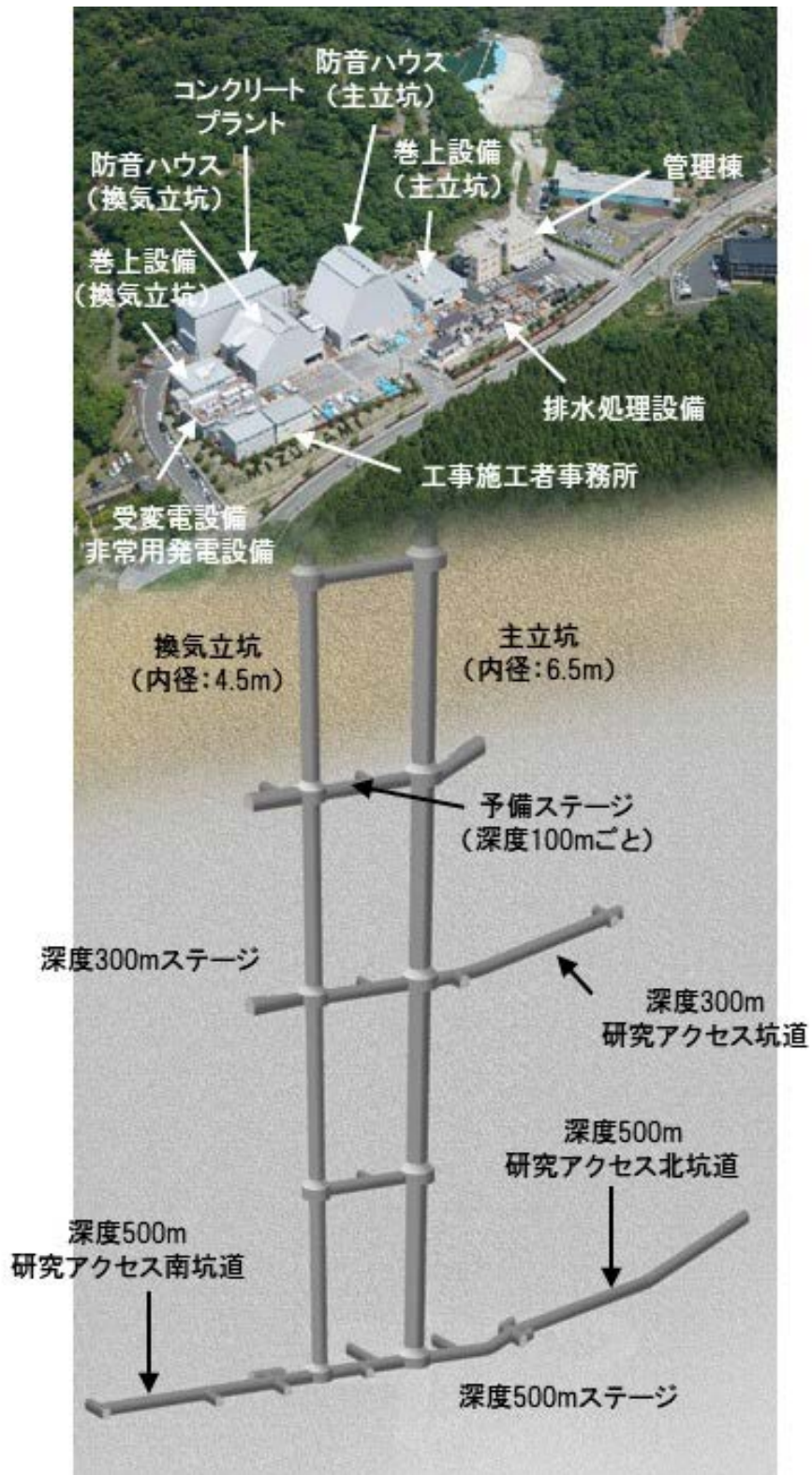


Fig.2-1 瑞浪超深地層研究所の施設概要

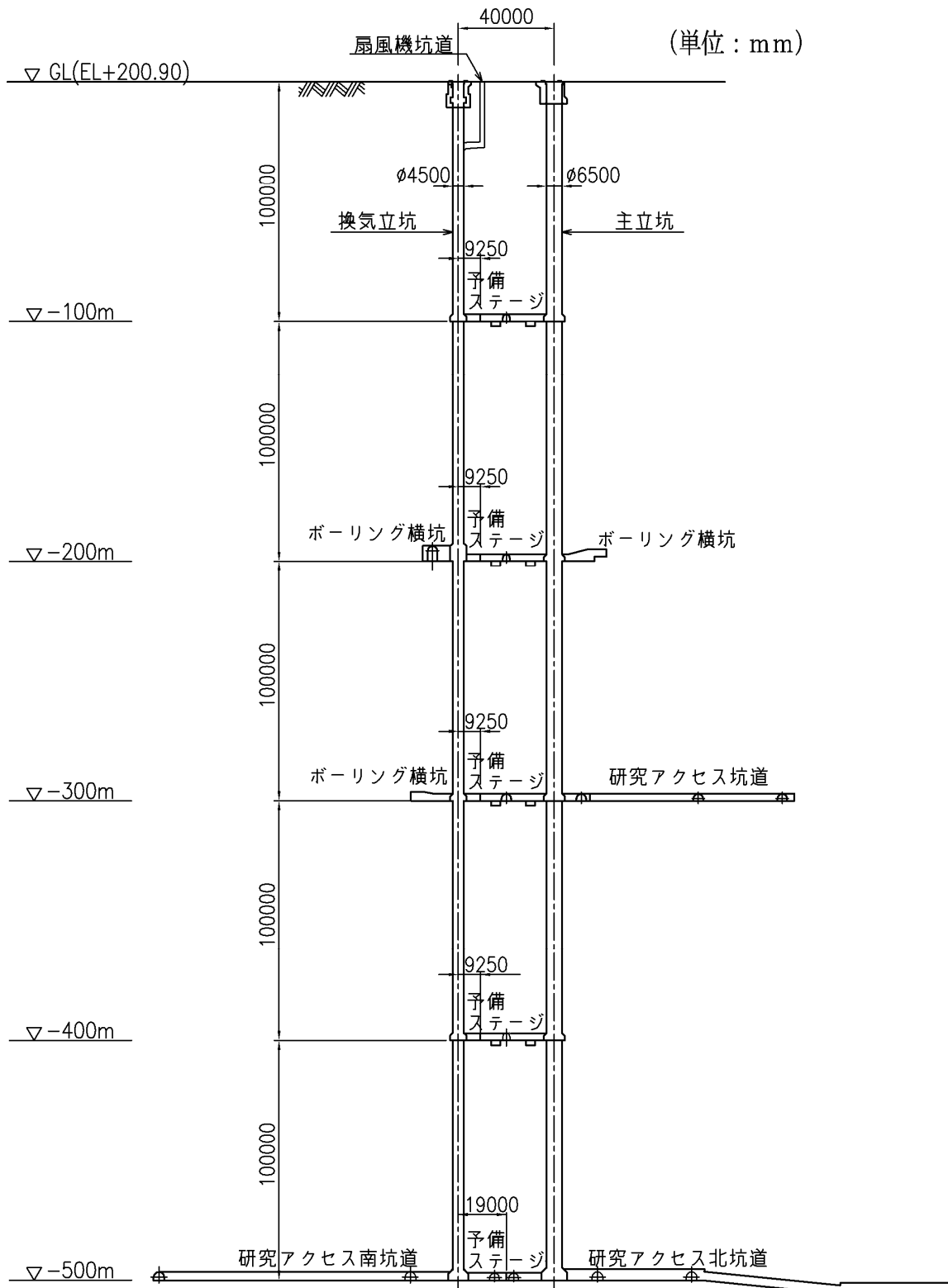


Fig.2-2 研究坑道 断面図



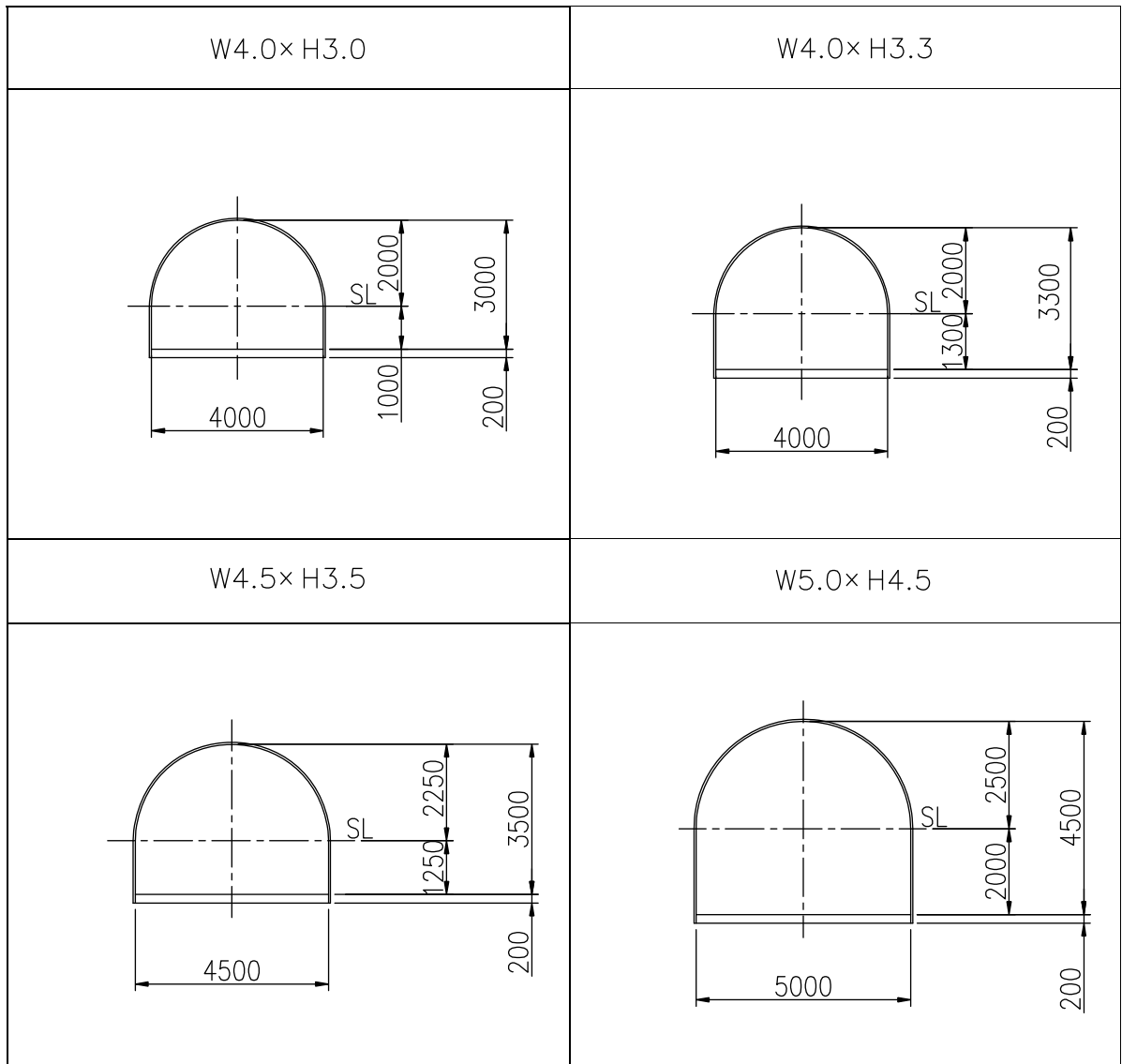


Fig.2-5 水平坑道 断面図  
 (断面名称中の数値の単位は m, 図中の寸法の単位は mm)

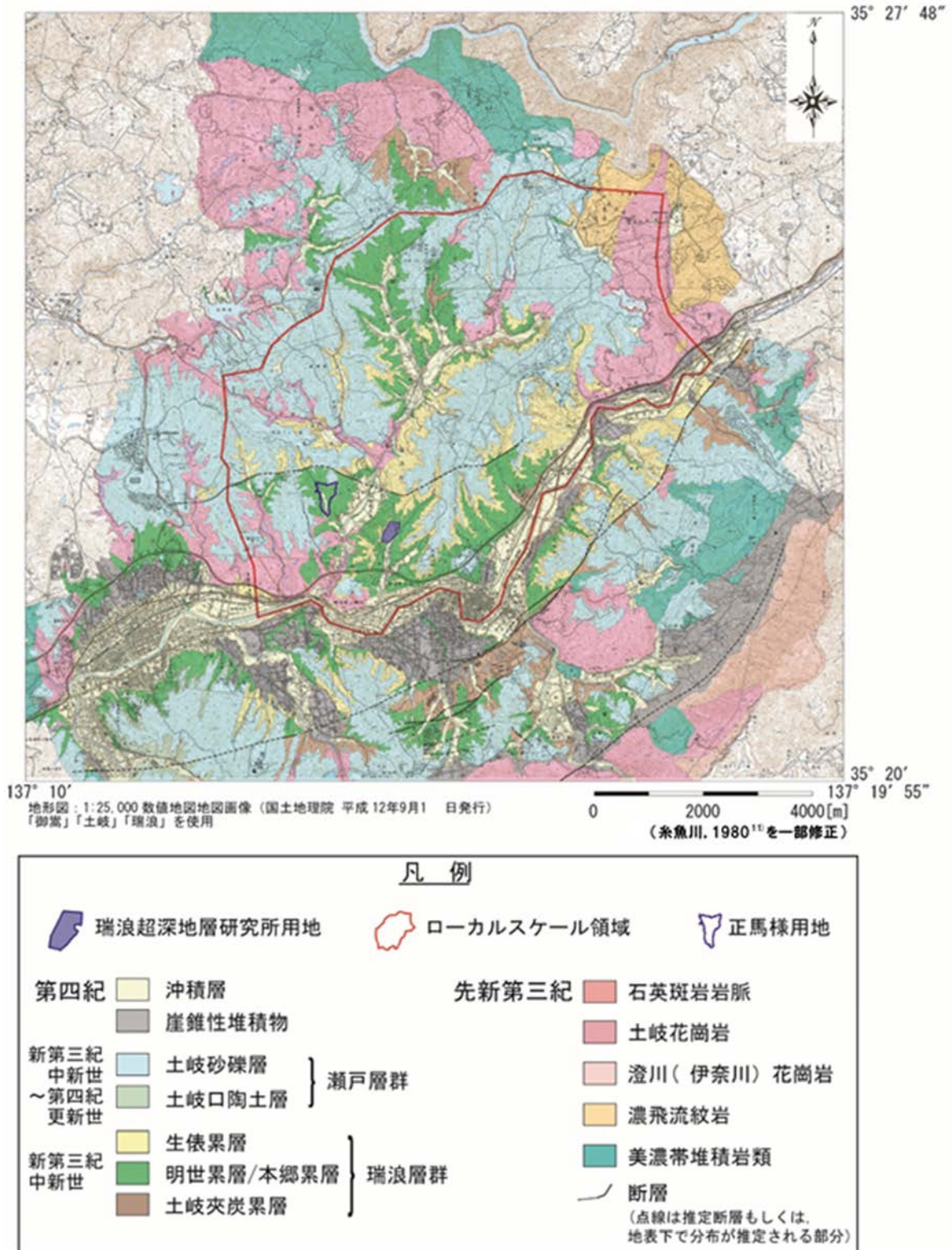


Fig.2-6 瑞浪超深地層研究所周辺の地質概要

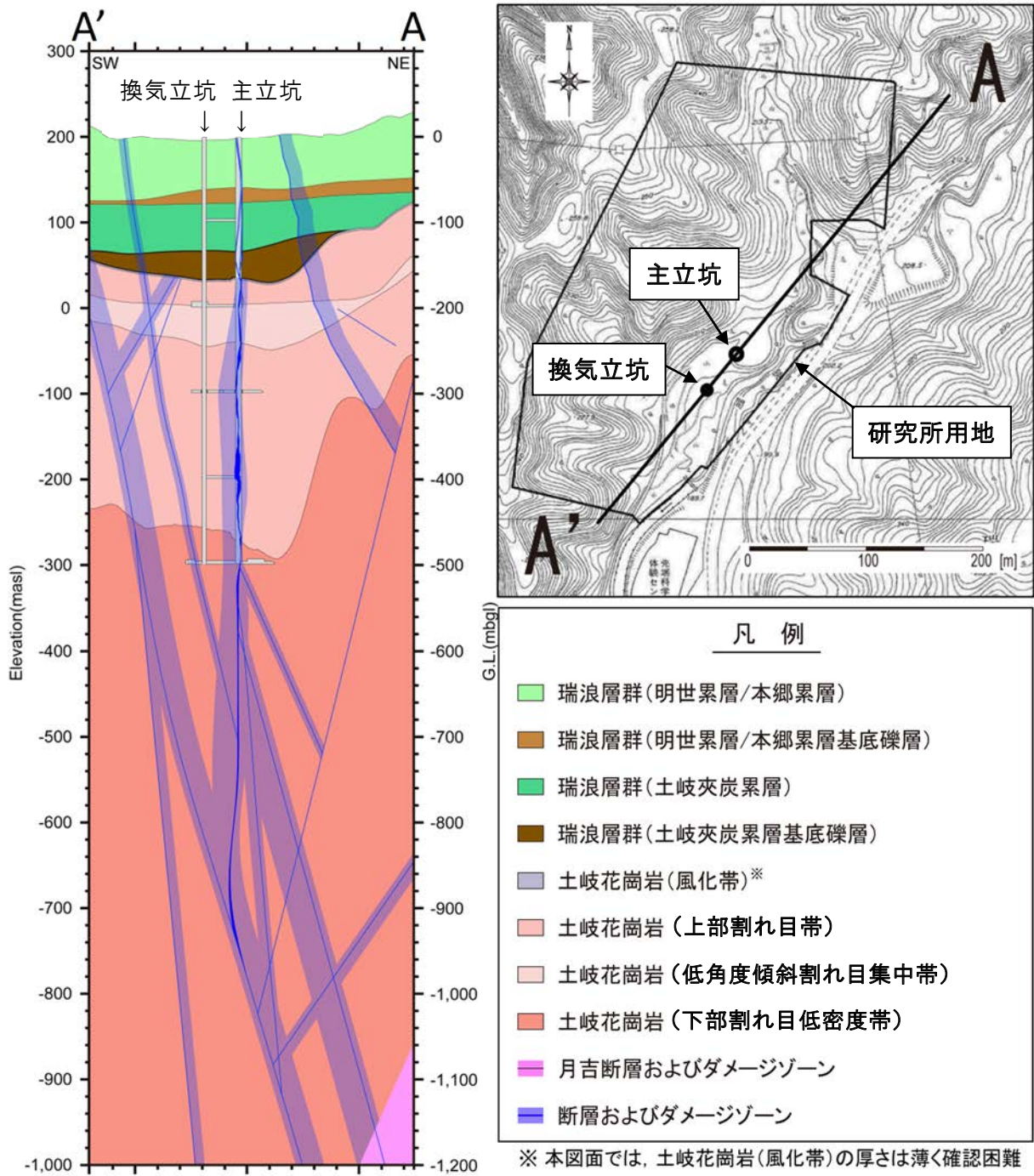


Fig.2-7 瑞浪超深地層研究所 研究坑道付近の地質断面図 15)

### 3. 測定方法

#### 3.1 測定方法

ラドン濃度の測定には、電離箱、平衡等価ラドン濃度測定器、ラドン濃度測定器の3種類の測定器を用いた。使用機器の一覧をTable 3-1に示す。

電離箱による測定では、大倉電気製のガス用電離箱と柴田科学製ミニポンプを用いて、坑道内の空気（ラドンガス）を電離箱内に吸引し、その電離作用からラドン濃度を求めた。ポンプでの吸引時間は5分間とした。平衡等価ラドン濃度測定器による測定ではTracerLab社製のWLM-PLUS/ASF-200及びBWLM-plusを設置し連続測定を行い、1時間毎の値を記録した。また、ラドン濃度測定器による測定では、SAPHYMO社製のAlpha GUARDを設置し連続測定を行い、1時間毎の値を記録した。

Table 3-1 使用機器一覧

測定器		名称・型式	メーカー
電離箱	ガス用電離箱	I-409601	大倉電気
	振動容量型電位計	RD5100	大倉電気
	ミニポンプ	MP-Σ500	柴田科学
MP-Σ500 II		柴田科学	
平衡等価ラドン濃度測定器		WLM-PLUS/ASF-200	TracerLab (独)
		BWLM-plus	TracerLab (独)
ラドン濃度測定器		Alpha GUARD	SAPHYMO (独)

#### 3.2 測定時期と測定場所

平成22年度から平成25年度までは、坑道内におけるラドン濃度が高くなると推測される地点にて、電離箱を用いたサンプリング方式によるラドン濃度測定や、平衡等価ラドン濃度測定器及びラドン濃度測定器を用いた連続測定を不定期に実施した。

平成26年4月から平成27年7月までは、それまでの測定で比較的高い測定値が得られた深度300mステージの2地点（Fig.3-1）において、平衡等価ラドン濃度測定器を用いた2週間程度の連続測定を毎月実施した。また、平成26年8月から平成27年7月までは、深度300m研究アクセス坑道100m計測横坑の測定時に平衡等価ラドン濃度測定器の隣にラドン濃度測定器を設置し、参考値としてのラドン濃度測定も実施した。

深度300mステージの2地点の測定は、平成27年8月以降は測定器を平衡等価ラドン濃度測定器からラドン濃度測定器へ変更するとともに、測定頻度を月毎から3か月毎へ変更した。

平成27年7月から平成28年6月までは、深度500mステージの8地点（Fig.3-2）において、ラドン濃度測定器を用いた測定を毎月実施した。

深度500mステージの8地点の測定は、平成28年8月以降は測定頻度を月毎から3か月毎へ変更した。

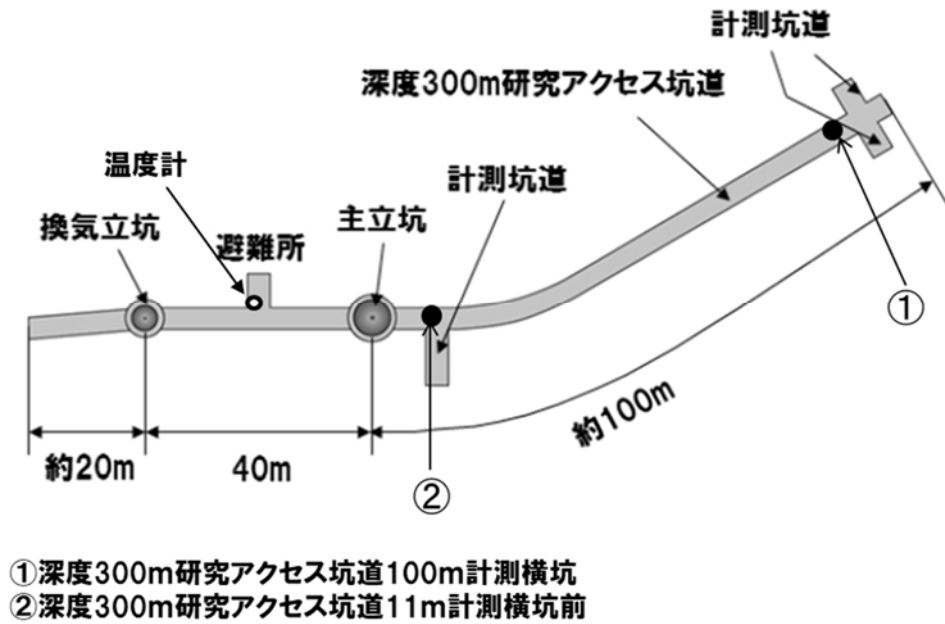


Fig.3-1 深度 300m ステージでの測定地点 (①, ②)

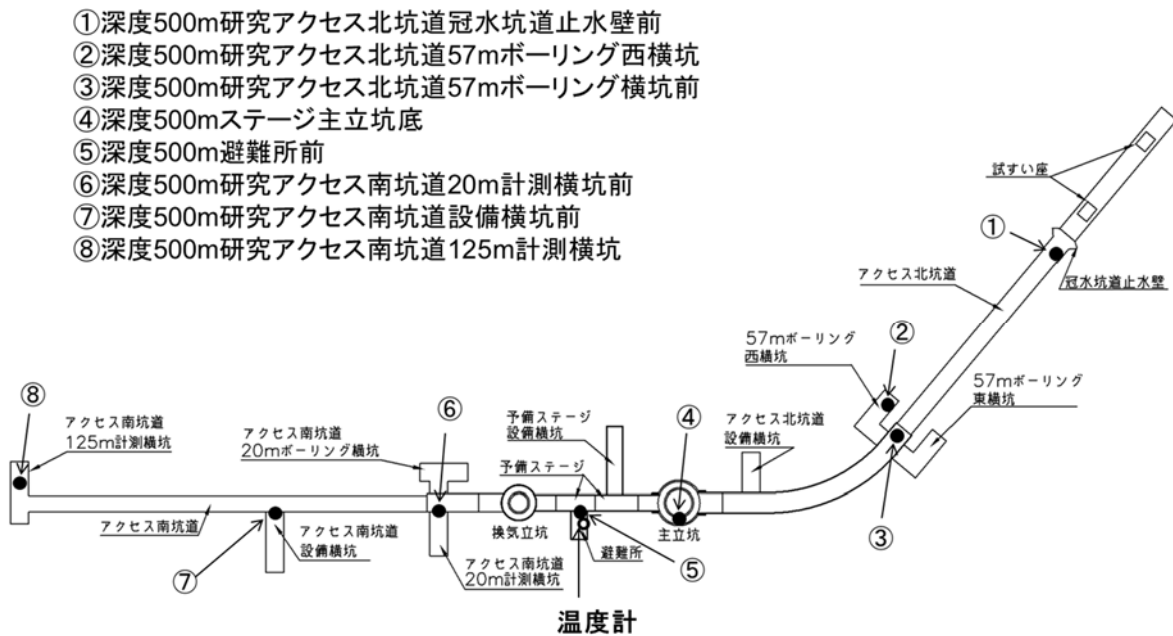


Fig.3-2 深度 500m ステージでの測定地点 (①~⑧)

4. 坑内通気の情報

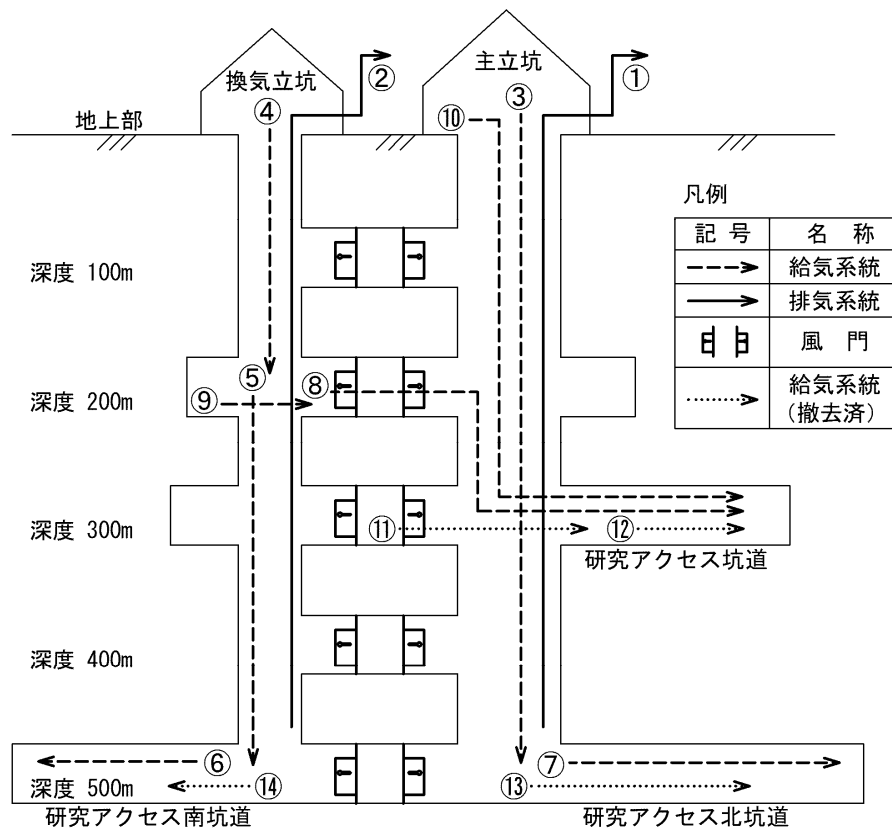
4.1 坑内通気システム

4.1.1 坑内通気の概要

立坑内の通気方法は、各立坑の坑口防音ハウス内に設置した送風機による坑道内への送り出しと、集塵機による深度 500m 付近からの吸出しによる風管換気である。また、深度 300m と 500m の水平坑道は坑道先端へ送気することにより風量を確保している。Fig.4-1 に坑道内の通気システムを示すが、令和元年 12 月現在のシステムが番号①～⑩であり、過去に使用及び撤去されたシステム（番号⑪～⑭）も併せて記載している。

参考として、風管一覧表を Table 4-1、換気設備一覧表を Table 4-2 と Table 4-3 に示す。また、送気設備の名称については、補助的に使用される小型のタイプを「送気ファン」、大型のタイプを「送風機」としている（Fig.4-2）。

両立坑を結ぶ予備ステージ内は、主立坑側と換気立坑側にそれぞれ風門が設置されている。深度 100m～400m の各風門は常時開放されており、火災等の異常時に閉じることを原則としている。一方、深度 500m については、風門開放時に換気立坑側から主立坑側に自然通気が発生し、地上からの通気が研究アクセス南坑道に行き届かず主立坑側に流れる傾向が確認されたため、主立坑側・換気立坑側双方の風門を常時閉じることにより研究アクセス南坑道内の風量を確保している。



※) ⑪～⑭は過去に設置・撤去された設備系統

Fig.4-1 坑道内の通気システム（令和元年 12 月現在）

Table 4-1 風管一覧表

名称	規格	管径	系統番号
スパイラル風管	コルゲート（薄鋼板）製	φ 900mm	①（2本）
〃	〃	φ 600mm	②（2本）
ビニール風管	ポリ塩化ビニル製（難燃性）	φ 450mm	③④⑤⑥⑭
〃	〃	φ 900mm	⑦
〃	〃	φ 400mm	⑧⑫⑬
〃	〃	φ 300mm	⑨⑩⑪

Table 4-2 換気設備一覧表（令和元年12月現在）

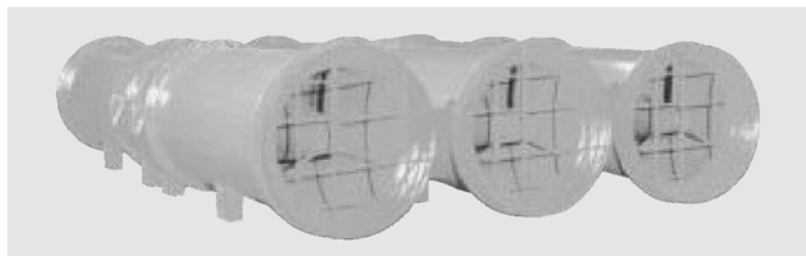
系統番号	名称	参考仕様
①	1,200m <sup>3</sup> /min 集塵機	処理風量 : 1,200m <sup>3</sup> /min×4.9kPa (500mmAq) 清浄度 : 0.1mg/m <sup>3</sup> 以下 電源 : AC440V 動力 : コントラファン 110kW コンプレッサー 3.7kW 総重量 : 15,470kg
②	500m <sup>3</sup> /min 集塵機	処理風量 : 500m <sup>3</sup> /min×4.9kPa (500mmAq) 清浄度 : 0.1mg/m <sup>3</sup> 以下 電源 : AC220V 動力 : コントラファン 60kW コンプレッサー 1.5kW 総重量 : 4,825kg
③	500m <sup>3</sup> /min 送風機	処理風量 : 500m <sup>3</sup> /min×4.4kPa (450mmAq) 電源 : AC220V 動力 : コントラファン 30kW×2台 総重量 : 1,000kg
④⑤ ⑥⑦	300m <sup>3</sup> /min 送風機	処理風量 : 300m <sup>3</sup> /min×3.9kPa (400mmAq) 電源 : AC220V 動力 : コントラファン 15kW×2台 総重量 : 700kg
⑧	20m <sup>3</sup> /min 送風機	処理風量 : 200m <sup>3</sup> /min×0.78kPa (80mmAq) 電源 : AC220V 動力 : コントラファン 3.7kW×2台 総重量 : 255kg
⑨	80m <sup>3</sup> /min 送気ファン	処理風量 : 80m <sup>3</sup> /min×0.44kPa (45mmAq) 電源 : AC220V 動力 : サイレントファン 1.5kW 総重量 : 65kg
⑩	90m <sup>3</sup> /min 送風機	処理風量 : 90m <sup>3</sup> /min×14.7kPa (1,500mmAq) 電源 : AC220V 動力 : ターボブロワ 37kW 総重量 : 1,400kg

Table 4-3 換気設備一覧表（過去に使用し令和元年12月現在は撤去済）

系統番号	名称	参考仕様
⑪	80m <sup>3</sup> /min 送気ファン	処理風量 : 80m <sup>3</sup> /min×0.44kPa (45mmAq) 電源 : AC220V 動力 : サイレントファン 1.5kW 総重量 : 65kg
⑫⑬⑭	200m <sup>3</sup> /min 送風機	処理風量 : 200m <sup>3</sup> /min×0.78kPa (80mmAq) 電源 : AC220V 動力 : コントラファン 3.7kW×2台 総重量 : 255kg



送気ファン（サイレントファン）



送風機（コントラファン）



送風機（ターボブロワ）

Fig.4-2 送気設備 参考図

## 4.1.2 坑内通気の変遷

## (1) 深度 300m

深度 300m ステージが完成した時点の深度 300m 研究アクセス坑道への通気方法は、予備ステージに設置した設備（⑪，⑫送風機）によって換気立坑側から強制的に送気を行うものであった（Fig.4-3）。

坑道内のラドン測定結果から、夏季においてラドン濃度が高くなる傾向が認められたため、平成 24 年度に地上から深度 300m への送気設備（⑩送風機）を追加設置した（Fig.4-4）。しかし、風管に既存のφ150mmの鋼管（過去に排水管として利用）を使用したため、管内に蓄積していた土砂埃が継続して噴き出すこととなった。これを解消するため、土砂が堆積している水平区間の鋼管の使用を取り止め、新たに設置したφ300mmのビニール風管（⑩）に切り替えを行った。

平成 26 年度に通気状況の更なる改善として、換気立坑における送気設備の中継地点である深度 200m ボーリング横坑に送気設備（⑧送風機，⑨送気ファン）を設置した（Fig.4-5）。これにより、研究アクセス坑道への通気は主立坑及び換気立坑の地上から直接送る方式となった。

参考として Table 4-4 に深度 300m における通気設備の変遷を示す。

Table 4-4 深度 300m ステージにおける通気設備の変遷

年 月 日	記 事	備 考
H21.1.26	ボーリング横坑完成	
H21.2.5	予備ステージ完成	
H21.4.2	研究アクセス坑道完成	
H21.5.2	研究アクセス坑道に⑫200m <sup>3</sup> /min 送風機を設置	Fig.4.3
H22.5.22	予備ステージに⑪80m <sup>3</sup> /min 送気ファンを設置	〃
H24.10.17	地上に⑩90m <sup>3</sup> /min 送風機を設置（送気管はφ150 鋼管）	Fig.4.4
H25.3.25	⑩90m <sup>3</sup> /min 送風機からの送気管を水平坑道箇所のみφ300 ビニール風管に変更	〃
H26.3.28	研究アクセス坑道⑫20m <sup>3</sup> /min 送風機と予備ステージ⑪80m <sup>3</sup> /min 送気ファンを撤去	〃
H26.7.13	換気立坑深度 200m ボーリング横坑に⑨80m <sup>3</sup> /min 送気ファンを設置	Fig.4.5
H26.7.31	深度 200m 予備ステージに⑧200m <sup>3</sup> /min 送風機を設置	〃

(2) 深度 500m

深度 500m ステージの掘削工事が行われていた期間（平成 23 年 4 月～平成 25 年 7 月）については、掘削延長の進捗や作業エリアの確保のために送風設備の位置が変化している。また、作業工種別に補助的に使用されていた送気ファン等もあるため、掘削工事期間中における送気設備は代表的なもののみを記載している（Fig.4-3, Fig.4-4）。

深度 500m ステージが概ね完成した平成 25 年 7 月以降は換気設備の配置に変更はないが、研究アクセス南坑道への通気状況の改善を目的として平成 27 年 9 月に⑤風管と⑥風管の連結を行った（Fig.4-5）。しかし、風管を連結したことによる改善効果が見られなかったことから、平成 28 年 9 月に元の分割方式に変更を行った（Fig.4-5）。

参考として Table 4-5 に深度 500m における通気設備の変遷を示す。

Table 4-5 深度 500m ステージにおける通気設備の変遷

年 月 日	記 事	備 考
H23.4.18	換気立坑掘削深度 500m 到達	
H23.7.11	主立坑掘削深度 500m 到達	
H24.4.18	主立坑接続部に⑬200m <sup>3</sup> /min 送風機を設置	Fig.4.3
H24.7.30	予備ステージ貫通	
H24.8.2	換気立坑接続部に⑭200m <sup>3</sup> /min 送風機を設置	Fig.4.3
H24.10.2	主立坑接続部の⑬200m <sup>3</sup> /min 送風機を研究アクセス北坑道に移設	Fig.4.4
H25.2.14	研究アクセス北坑道の⑬200m <sup>3</sup> /min 送風機を⑦300m <sup>3</sup> /min 送風機に交換	Fig.4.5
H25.7.17	換気立坑接続部の⑭200m <sup>3</sup> /min 送風機を撤去し研究アクセス南坑道に⑥300m <sup>3</sup> /min 送風機を設置	〃
H26.5.12	予備ステージ完成	
H26.5.27	研究アクセス南坑道完成	
H26.8.21	研究アクセス北坑道完成	
H27.9.25 ～H28.9.8	⑤300m <sup>3</sup> /min 送風機からの送風管と⑥300m <sup>3</sup> /min 送風機の送風管を連結（⑤と⑥は直列配置であったが、この期間中は並列送気を行った。）	Fig.4.5
H28.9.9	⑤300m <sup>3</sup> /min 送風機からの送風管と⑥300m <sup>3</sup> /min 送風機の送風管を分割（並列送気から当初行っていた直列送気に変更）	〃

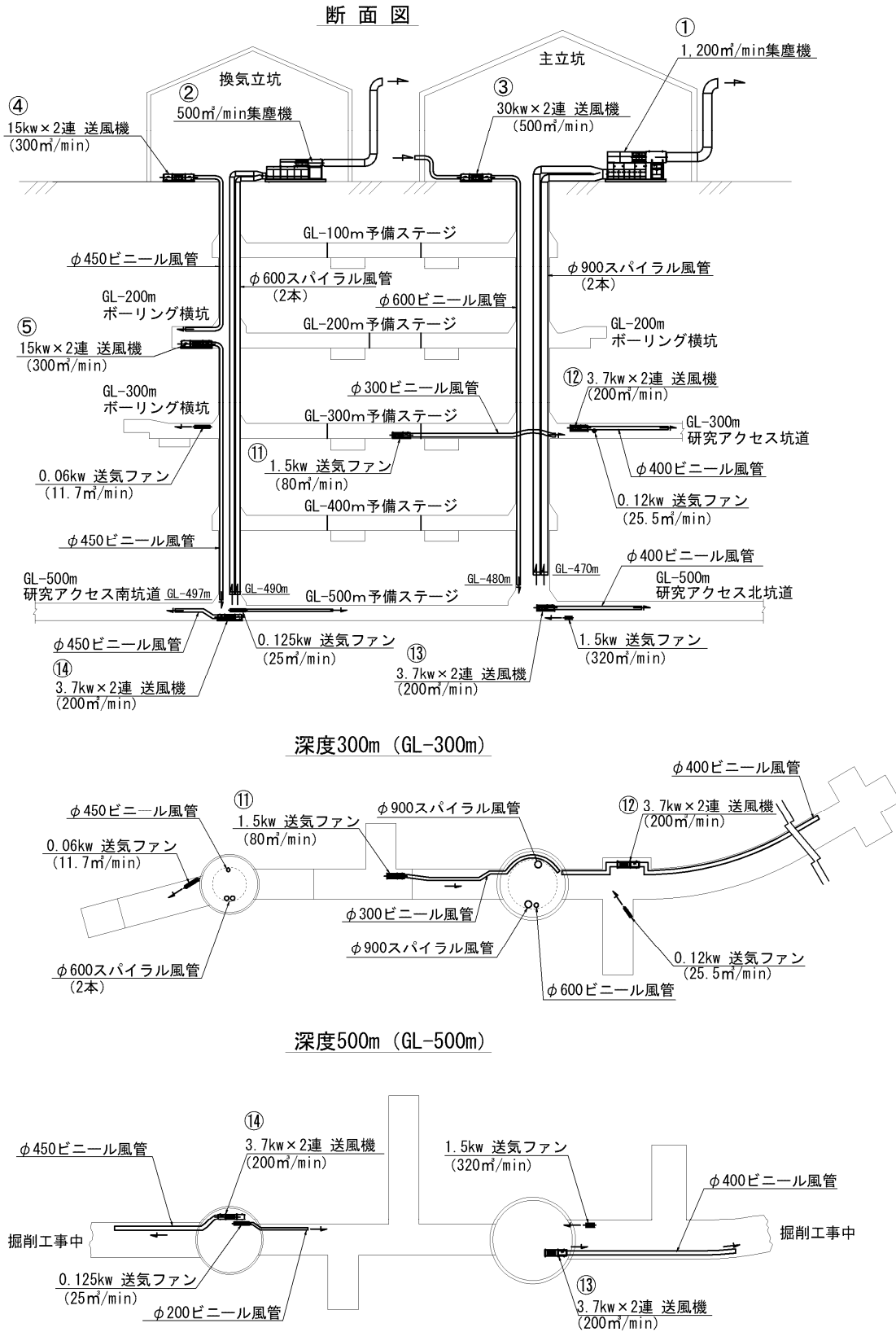


Fig.4-3 H22.5.22~H24.10.16の通気系統

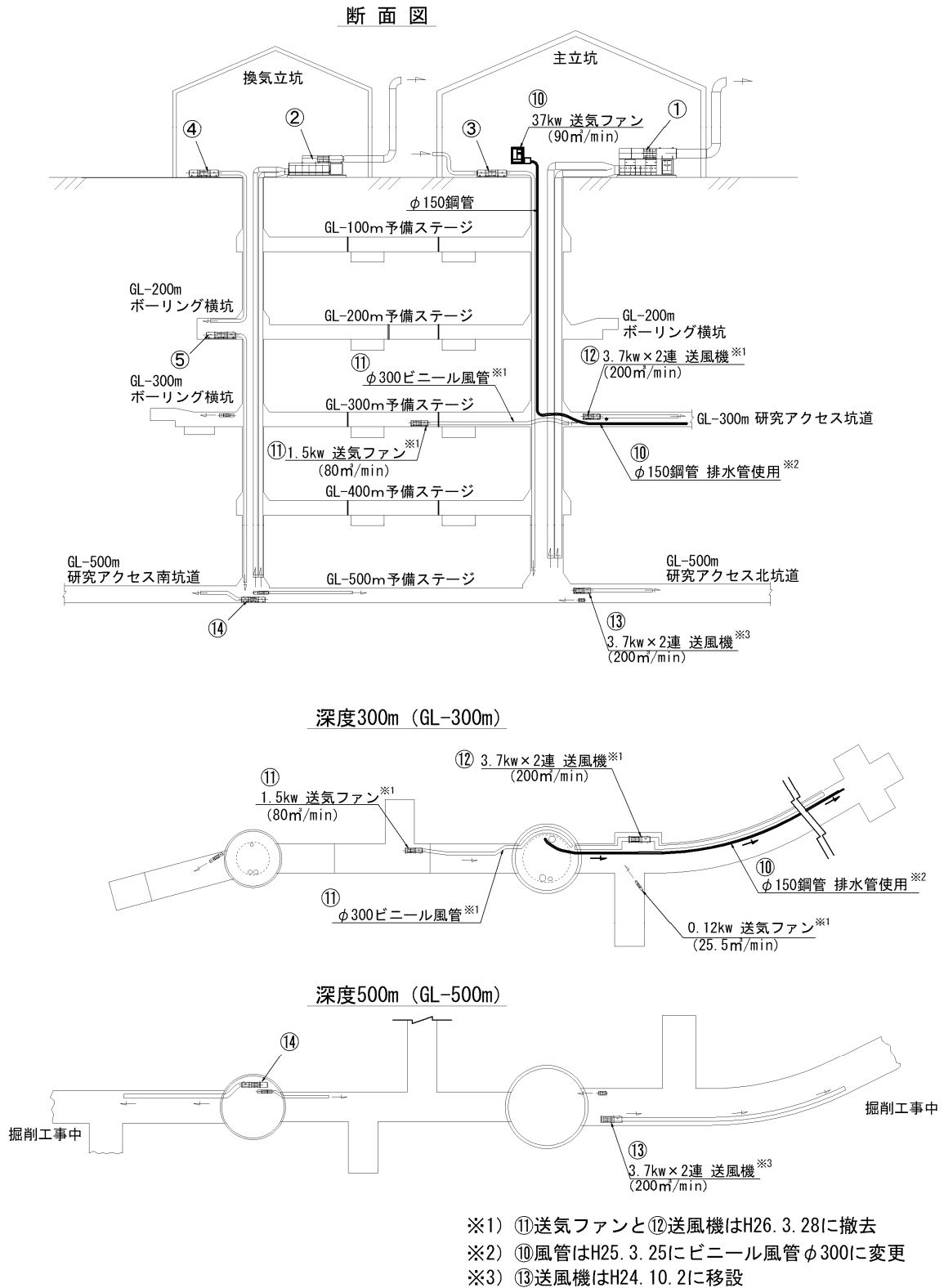


Fig.4-4 H24.10.17~H26.7.12 の通気系統

断面図

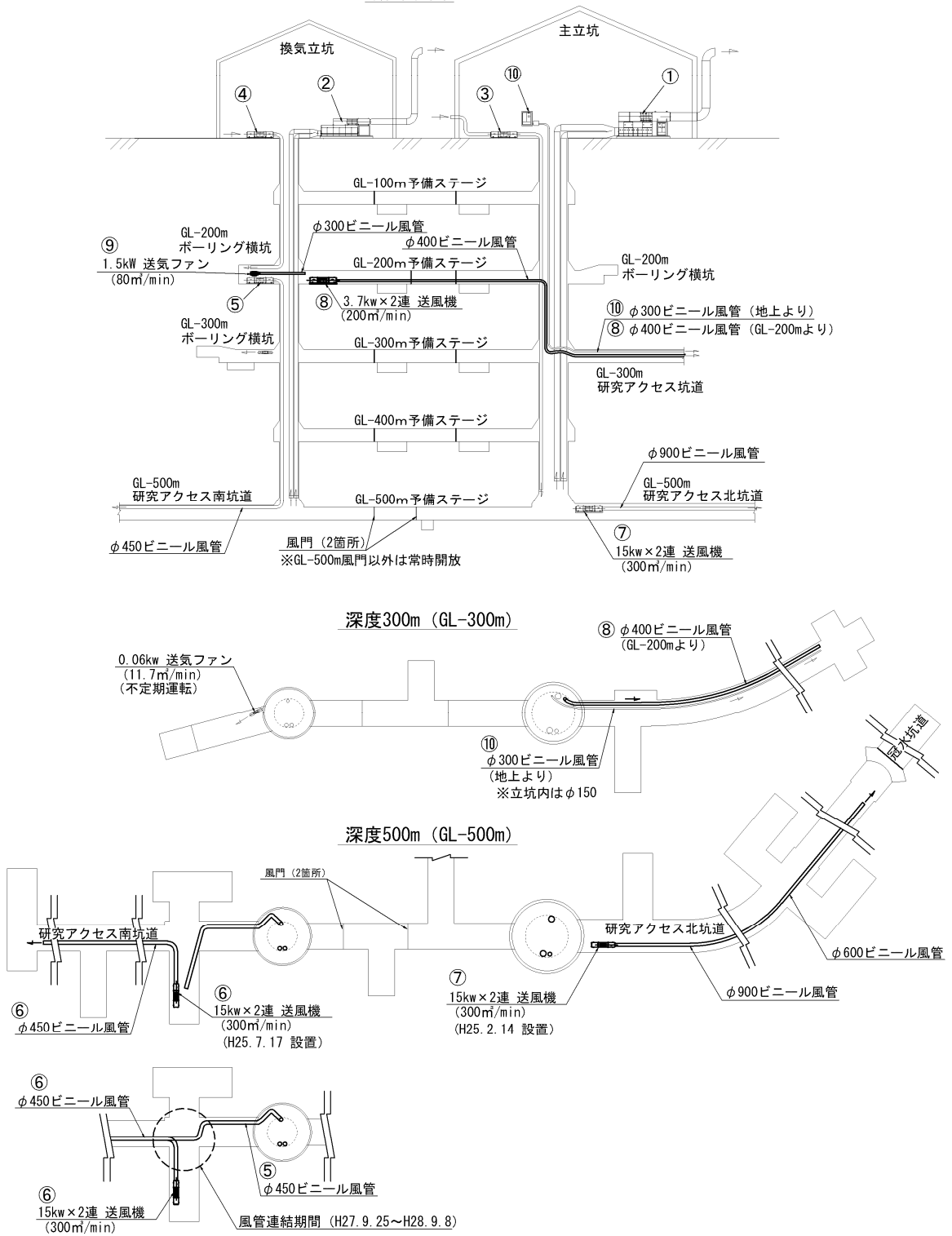


Fig.4-5 H26.7.31 以降の通気系統

4.2 送風機稼働時間の記録

研究坑道で実施する設備管理等の作業によっては、集塵機や送気ファンの運転を停止する場合があります。その場合、場所によっては空気の滞留が生じ、ラドン濃度が上昇する可能性があります。このように、坑道内のラドン濃度は通気の状態に左右されると考えられるため、坑内通気に大きく影響を及ぼすであろう集塵機や送気ファンの稼働時間（主立坑側（A工区）：平成26年7月～令和2年3月、換気立坑側（B工区）：平成28年5月～令和2年3月）をまとめた。ここでは、A工区及びB工区の送風機稼働時間の記録例を、それぞれTable 4-6, Table 4-7に示す。送風機稼働時間のデータについては、付録1に取りまとめた。

Table 4-6 A工区における送風機稼働時間の記録例（平成31年3月）

A工区送風機稼働時間(平成31年3月)

日付	地上→GL-500m送風機	GL-500m→地上集塵機	地上→GL-300m送風機	GL-500m送風機	GL-200m→300m送風機
3/1(金)	8:00～16:00	8:00～16:00	5:00～17:00	8:00～17:00	5:00～17:00
3/2(土)	稼働なし	稼働なし	稼働なし	稼働なし	稼働なし
3/3(日)	稼働なし	稼働なし	稼働なし	稼働なし	稼働なし
3/4(月)	8:00～16:00	8:00～16:00	5:00～17:00	8:00～17:00	5:00～17:00
3/5(火)	8:00～16:00	8:00～16:00	5:00～17:00	8:00～17:00	5:00～17:00
3/6(水)	8:00～16:00	8:00～16:00	5:00～17:00	8:00～17:00	5:00～17:00
3/7(木)	8:00～16:00	8:00～16:00	5:00～17:00	8:00～17:00	5:00～17:00
3/8(金)	8:00～16:00 17:00～20:00	8:00～16:00	5:00～17:00	8:00～17:00	5:00～17:00
3/9(土)	稼働なし	稼働なし	稼働なし	稼働なし	稼働なし
3/10(日)	稼働なし	稼働なし	稼働なし	稼働なし	稼働なし
3/11(月)	8:00～16:00	8:00～16:00	5:00～17:00	8:00～17:00	5:00～17:00
3/12(火)	8:00～16:00	8:00～16:00	5:00～17:00	8:00～17:00	5:00～17:00
3/13(水)	8:00～16:00	8:00～16:00	5:00～17:00	8:00～17:00	5:00～17:00
3/14(木)	8:00～16:00	8:00～16:00	5:00～17:00	8:00～17:00	5:00～17:00
3/15(金)	8:00～16:00	8:00～16:00	5:00～17:00	8:00～17:00	5:00～17:00
3/16(土)	稼働なし	稼働なし	稼働なし	稼働なし	稼働なし
3/17(日)	稼働なし	稼働なし	稼働なし	稼働なし	稼働なし
3/18(月)	8:00～16:00	8:00～16:00	5:00～17:00	8:00～16:00	5:00～17:00
3/19(火)	8:00～16:00	8:00～16:00	5:00～17:00	8:00～16:00	5:00～17:00
3/20(水)	8:00～16:00	8:00～16:00	5:00～17:00	8:00～16:00	5:00～17:00
3/21(木)	8:00～16:00	8:00～16:00	5:00～17:00	8:00～16:00	5:00～17:00
3/22(金)	8:00～16:00	8:00～16:00	5:00～17:00	8:00～16:00	5:00～17:00
3/23(土)	稼働なし	稼働なし	稼働なし	稼働なし	稼働なし
3/24(日)	稼働なし	稼働なし	稼働なし	稼働なし	稼働なし
3/25(月)	8:00～16:00	8:00～16:00	5:00～17:00	8:00～16:00	5:00～17:00
3/26(火)	8:00～16:00	8:00～16:00	5:00～17:00	8:00～16:00	5:00～17:00
3/27(水)	8:00～16:00	8:00～16:00	5:00～17:00	8:00～16:00	5:00～17:00
3/28(木)	8:00～16:00	8:00～16:00	5:00～17:00	8:00～16:00	5:00～17:00
3/29(金)	8:00～16:00	8:00～16:00	5:00～17:00	8:00～16:00	5:00～17:00
3/30(土)	稼働なし	稼働なし	稼働なし	稼働なし	稼働なし
3/31(日)	稼働なし	稼働なし	稼働なし	稼働なし	稼働なし

Table 4-7 B工区における送風機稼働時間の記録例（平成31年3月）

B工区送風機稼働時間(平成31年3月)

日付	地上→GL-200m送風機	GL-200m→ GL-500m送風機	GL-500m送風機	GL-500m補助送風機	GL-200m→A工区送風機	GL-500m→地上集塵機
3/1(金)	5:00~17:00	8:00~17:00	8:00~17:00	8:00~17:00	5:00~17:00	稼働なし
3/2(土)	稼働なし	稼働なし	稼働なし	稼働なし	稼働なし	稼働なし
3/3(日)	稼働なし	稼働なし	稼働なし	稼働なし	稼働なし	稼働なし
3/4(月)	5:00~17:00	稼働なし	8:00~17:00	8:00~17:00	5:00~17:00	8:00~17:00
3/5(火)	5:00~17:00	稼働なし	8:00~17:00	8:00~17:00	5:00~17:00	8:00~17:00
3/6(水)	5:00~17:00	稼働なし	8:00~17:00	8:00~17:00	5:00~17:00	8:00~17:00
3/7(木)	5:00~17:00	稼働なし	8:00~17:00	8:00~17:00	5:00~17:00	8:00~17:00
3/8(金)	5:00~17:00	稼働なし	8:00~17:00	8:00~17:00	5:00~17:00	8:00~17:00
3/9(土)	稼働なし	稼働なし	稼働なし	稼働なし	稼働なし	稼働なし
3/10(日)	稼働なし	稼働なし	稼働なし	稼働なし	稼働なし	稼働なし
3/11(月)	5:00~17:00	稼働なし	8:00~17:00	8:00~17:00	5:00~17:00	8:00~17:00
3/12(火)	5:00~17:00	稼働なし	8:00~17:00	8:00~17:00	5:00~17:00	8:00~17:00
3/13(水)	5:00~17:00	稼働なし	8:00~17:00	8:00~17:00	5:00~17:00	8:00~17:00
3/14(木)	5:00~17:00	稼働なし	8:00~17:00	8:00~17:00	5:00~17:00	8:00~17:00
3/15(金)	5:00~17:00	稼働なし	8:00~17:00	8:00~17:00	5:00~17:00	8:00~17:00
3/16(土)	稼働なし	稼働なし	稼働なし	稼働なし	稼働なし	稼働なし
3/17(日)	稼働なし	稼働なし	稼働なし	稼働なし	稼働なし	稼働なし
3/18(月)	5:00~17:00	稼働なし	8:00~17:00	8:00~17:00	5:00~17:00	8:00~17:00
3/19(火)	5:00~17:00	稼働なし	8:00~17:00	8:00~17:00	5:00~17:00	8:00~17:00
3/20(水)	5:00~17:00	稼働なし	8:00~17:00	8:00~17:00	5:00~17:00	8:00~17:00
3/21(木)	5:00~17:00	稼働なし	8:00~17:00	8:00~17:00	5:00~17:00	8:00~17:00
3/22(金)	5:00~17:00	稼働なし	8:00~17:00	8:00~17:00	5:00~17:00	8:00~17:00
3/23(土)	稼働なし	稼働なし	稼働なし	稼働なし	稼働なし	稼働なし
3/24(日)	稼働なし	稼働なし	稼働なし	稼働なし	稼働なし	稼働なし
3/25(月)	5:00~17:00	稼働なし	8:00~17:00	8:00~17:00	5:00~17:00	8:00~17:00
3/26(火)	5:00~17:00	稼働なし	8:00~17:00	8:00~17:00	5:00~17:00	8:00~17:00
3/27(水)	5:00~17:00	稼働なし	8:00~17:00	8:00~17:00	5:00~17:00	8:00~17:00
3/28(木)	5:00~17:00	稼働なし	8:00~17:00	8:00~17:00	5:00~17:00	8:00~17:00
3/29(金)	5:00~17:00	稼働なし	8:00~17:00	8:00~17:00	5:00~17:00	8:00~17:00
3/30(土)	稼働なし	稼働なし	稼働なし	稼働なし	稼働なし	稼働なし
3/31(日)	稼働なし	稼働なし	稼働なし	稼働なし	稼働なし	稼働なし

#### 4.3 気温の記録

坑内通気への影響を与える因子として地上と坑道内の気温差が挙げられる。地上の気温は季節によって大きく変動するのに対して、坑道内の気温も同様に変化はあるものの、その変動幅は地上より小さい。冬季は、坑道内の気温に対して地上気温が低いことにより対流が生じ、坑道内の空気が外気と自然換気される。一方、夏季では地上と坑道内の気温に大きな差がなく、冬季と比べると坑内通気における自然換気の割合が小さくなる。

地上の気温（1時間値）については、平成26年4月から平成28年3月までは、東濃鉱山に設置した気象観測装置の気温データを用いた。東濃鉱山の気象観測装置の撤去に伴い、平成28年4月から平成29年6月までは、瑞浪超深地層研究所に設置した気象観測装置の気温データを用いた。平成29年7月以降は、瑞浪超深地層研究所の気象観測装置撤去に伴い、気象庁が公表する気象データのうち、距離が最も近い恵那市の気温データを用いた。

坑道内の気温（1時間値）については、深度300mステージと深度500mステージに設置した温度計の気温データを用いた。温度計の位置をFig.3-1とFig.3-2に示す。

地上と坑道内の気温データ例をTable.4-8に示す。気温データについては、付録2に取りまとめた。

Table 4-8 地上と坑道内の気温データ例（平成 29 年 6 月）

年月日 時間	瑞浪研究所 気温（地上）	瑞浪研究所坑道 気温（GL-300m）	気温差	瑞浪研究所坑道 気温（GL-500m）	気温差（地上-500m）
平均	19.5	19.9	-0.5	26.0	-6.6
2017/6/1 0:00	17.8	20.1	-2.3	26.0	-8.2
2017/6/1 1:00	17.3	20.0	-2.7	25.9	-8.6
2017/6/1 2:00	17.3	20.1	-2.8	26.0	-8.7
2017/6/1 3:00	17.0	20.0	-3.0	25.9	-8.9
2017/6/1 4:00	17.0	20.0	-3.0	26.0	-9.0
2017/6/1 5:00	17.1	20.0	-2.9	26.0	-8.9
2017/6/1 6:00	17.0	20.0	-3.0	26.0	-9.0
2017/6/1 7:00	17.5	20.0	-2.5	26.0	-8.5
2017/6/1 8:00	18.7	20.0	-1.3	26.0	-7.3
2017/6/1 9:00	20.8	20.1	0.7	26.0	-5.2
2017/6/1 10:00	22.2	20.3	2.0	26.1	-3.9
2017/6/1 11:00	22.7	20.4	2.4	26.1	-3.4
2017/6/1 12:00	24.4	20.4	4.0	26.1	-1.7
2017/6/1 13:00	25.5	20.5	5.0	26.2	-0.7
2017/6/1 14:00	24.8	20.4	4.4	26.1	-1.3
2017/6/1 15:00	24.1	20.5	3.6	26.1	-2.0
2017/6/1 16:00	23.2	20.6	2.6	26.1	-2.9
2017/6/1 17:00	22.6	20.8	1.8	26.1	-3.5
2017/6/1 18:00	21.4	20.7	0.7	26.0	-4.6
2017/6/1 19:00	20.2	20.6	-0.4	26.0	-5.8
2017/6/1 20:00	19.6	20.6	-1.0	26.1	-6.5
2017/6/1 21:00	18.8	20.7	-1.9	26.1	-7.3
2017/6/1 22:00	18.5	20.6	-2.1	26.1	-7.6
2017/6/1 23:00	19.1	20.7	-1.6	26.1	-7.0
2017/6/2 0:00	16.7	20.6	-3.9	26.1	-9.4
2017/6/2 1:00	16.2	20.6	-4.4	26.1	-9.9
2017/6/2 2:00	15.4	20.6	-5.2	26.1	-10.7
2017/6/2 3:00	14.8	20.5	-5.7	26.1	-11.3
2017/6/2 4:00	14.0	20.3	-6.3	26.1	-12.1
2017/6/2 5:00	13.9	20.2	-6.3	26.1	-12.2
2017/6/2 6:00	15.0	19.9	-4.9	26.1	-11.1
2017/6/2 7:00	15.8	20.0	-4.2	26.1	-10.3
2017/6/2 8:00	16.6	20.0	-3.4	26.2	-9.6
2017/6/2 9:00	18.2	20.2	-2.0	26.1	-7.9
2017/6/2 10:00	19.5	20.3	-0.8	26.1	-6.6
2017/6/2 11:00	21.6	20.3	1.3	26.0	-4.4
2017/6/2 12:00	21.6	20.3	1.3	25.9	-4.3
2017/6/2 13:00	21.1	20.2	0.9	25.9	-4.8
2017/6/2 14:00	21.5	20.2	1.3	25.8	-4.3
2017/6/2 15:00	20.5	20.1	0.4	25.7	-5.2
2017/6/2 16:00	19.3	20.0	-0.7	25.6	-6.3
2017/6/2 17:00	18.0	20.0	-2.0	25.8	-7.8
2017/6/2 18:00	16.0	19.8	-3.8	25.8	-9.8
2017/6/2 19:00	13.9	19.8	-5.9	25.8	-11.9
2017/6/2 20:00	12.6	19.7	-7.1	25.8	-13.2
2017/6/2 21:00	11.5	19.4	-7.9	25.9	-14.4
2017/6/2 22:00	10.8	19.2	-8.4	25.9	-15.1
2017/6/2 23:00	10.0	18.9	-8.9	25.8	-15.8

## 5. 測定結果

### 5.1 平成 22 年 5 月から平成 25 年 12 月までの測定結果

平成 22 年 5 月から平成 25 年 12 月までに不定期に実施したラドン濃度測定結果のうち、電離箱を用いた測定結果例を Table 5-1 に、平衡等価ラドン濃度測定器を用いた測定結果例を Table 5-2 に示す。この期間における測定結果については、付録 3.1 に取りまとめた。

### 5.2 平成 26 年の 4 月から 7 月までの測定結果

平成 26 年の 4 月から 7 月までの深度 300m ステージの 2 地点で実施した平衡等価ラドン濃度測定器を用いた 2 週間程度の連続測定結果例を Table 5-3 に示す。なお、測定期間中の最小値、最大値、平均値を合わせて示している。この期間における測定結果については、付録 3.2 に取りまとめた。

### 5.3 平成 26 年 8 月から平成 27 年 7 月までの測定結果（深度 300m のみ）

平成 26 年 8 月から平成 27 年 7 月までの深度 300m ステージの 2 地点で実施した平衡等価ラドン濃度測定器とラドン濃度測定器を用いた 2 週間程度の連続測定結果例を Table.5-4, Fig.5-1 に示す。ここでも、測定期間中の最大値、最小値、平均値を合わせて示している。なお、Fig.5-1 の送風機は Fig.4-1 の番号で示すと、「300m 送風機」が⑩、「新設送風機」が⑧、「500m 送風機」が③で、各々、線が引かれている時間帯が運転時間である。この期間における測定結果については、付録 3.3 に取りまとめた。

### 5.4 平成 27 年 8 月以降の測定結果（平成 27 年 7 月の深度 500m の測定結果を含む）

平成 27 年 8 月以降の深度 300m ステージの 2 地点のラドン濃度測定結果例を Table 5-5 に、平成 27 年 7 月以降の深度 500m ステージの 8 地点のラドン濃度測定結果例を Table 5-6 に示す。なお、これらの測定については、11 時から 15 時における 1 時間値を測定している。また、得られたラドン濃度に平衡係数 0.4 を乗じることで平衡等価ラドン濃度への換算<sup>16)</sup>も実施した。この期間における測定結果については、付録 3.4 に取りまとめた。

### 5.5 深度 300m ステージにおけるラドン濃度の推移

平成 26 年度から平成 27 年 7 月までの深度 300m ステージの 2 地点における月毎のラドンの平均濃度の推移を Fig.5-2 に示す。ここでは、得られた平衡等価ラドン濃度のうち、11 時から 15 時における 1 時間値の平均値を平均濃度として示している。

同様に、平成 27 年 8 月から令和元年度までの深度 300m ステージの 2 地点における 3 か月毎のラドンの平均濃度の推移を Fig.5-3 に示す。

### 5.6 深度 500m ステージにおけるラドン濃度の推移

平成 27 年 7 月から平成 28 年 6 月までの深度 500m ステージの 8 地点における月毎のラドンの平均濃度の推移を Fig.5-4 に示す。また、平成 28 年度から令和元年度までの深度 500m ス

ページの 8 地点における 3 か月毎のラドンの平均濃度の推移を Fig.5-5 に示す。ここでも、得られた平衡等価ラドン濃度のうち、11時から15時における1時間値の平均値を平均濃度として示している。

Table 5-1 電離箱を用いた測定結果例（平成 22 年 5 月 26 日）

測定場所	備考	ラドン濃度 (Bq/m <sup>3</sup> )
主立坑エレベータデッキ(地上)		370
深度300m研究アクセス坑道 11m計測横坑前		810
深度300m研究アクセス坑道 100m計測横坑		660
深度300m避難所		180
深度300m換気立坑 ボーリング横坑	花崗岩露岩部より 1m程度の距離	390
主立坑深度460m切羽付近		110

Table 5-2 平衡等価ラドン濃度測定器を用いた測定結果例（平成 24 年 5 月～6 月）

H24年5月～6月分データ(平衡等価ラドン濃度)  
深度300m研究アクセス坑道11m計測横坑前

Date	月	火	水	木	金	土	日	月	火	単位 (Bq/m <sup>3</sup> )
	5/28	5/29	5/30	5/31	6/1	6/2	6/3	6/4	6/5	
0:00					379.55					測定期間中
1:00					375.34					最小値 192.0
2:00					371.09					最大値 421.1
3:00					367.37					平均値 358.0
4:00					368.34					
5:00					369.14					
6:00					363.75					
7:00					368.66					
8:00					374.30					
9:00					387.68					
10:00										
11:00										
12:00										
13:00										
14:00										
15:00										
16:00										
17:00										
18:00					192.00					
19:00					240.47					
20:00					341.34					
21:00					421.14					
22:00					414.00					
23:00					394.20					

Table 5-3 平衡等価ラドン濃度測定器を用いた測定結果例（平成 26 年 4 月）

H26年4月分データ(平衡等価ラドン濃度)  
 深度300m研究アクセス坑道11m計測横坑前

Date	水曜日	木曜日	金曜日	土曜日	日曜日	月曜日	火曜日	水曜日	木曜日	金曜日	単位 (Bq/m <sup>3</sup> )
	16日	17日	18日	19日	20日	21日	22日	23日	24日	25日	
0:00		319	395	335	149	108	155	150	142	196	測定期間中
1:00		264	368	325	122	108	151	127	117	151	最小値 62
2:00		223	356	311	107	105	149	114	97	126	最大値 452
3:00		184	349	287	99	106	142	101	85	110	平均値 187
4:00		159	332	247	96	101	135	88	76	103	
5:00		145	329	189	94	104	128	80	69	96	
6:00		129	322	148	94	101	112	71	65	92	
7:00		130	306	125	95	97	91	66	62	87	
8:00		138	289	122	97	103	91	72	71	93	
9:00		152	288	117	105	104	106	81	81	113	
10:00		135	260	204	111	99	109	79	82	112	
11:00		135	247	240	121	81	106	92	76	90	
12:00		170	231	253	134	83	118	113	78	92	
13:00		204	237	282	140	106	153	146	91	120	
14:00	181	228	248	296	140	120	174	157	118	137	
15:00	193	250	243	308	145	116	178	155	138	148	
16:00	204	262	250	320	146	116	170	188	156		
17:00	214	262	242	330	143	114	203	199	178		
18:00	232	273	257	329	141	140	254	222	213		
19:00	295	349	303	314	132	180	297	283	253		
20:00	349	417	332	299	126	186	318	323	299		
21:00	363	449	345	270	118	175	284	324	330		
22:00	364	452	340	222	110	164	224	267	324		
23:00	353	424	335	179	110	163	177	192	265		

深度300m研究アクセス坑道100m計測横坑

Date	水曜日	木曜日	金曜日	土曜日	日曜日	月曜日	火曜日	水曜日	木曜日	金曜日	単位 (Bq/m <sup>3</sup> )
	16日	17日	18日	19日	20日	21日	22日	23日	24日	25日	
0:00		425	495	419	244	227	242	262	252	307	測定期間中
1:00		378	469	411	221	226	234	242	216	262	最小値 39
2:00		334	455	396	206	224	236	225	199	233	最大値 543
3:00		296	441	370	198	223	234	215	189	217	平均値 235
4:00		272	432	332	197	217	235	204	185	212	
5:00		255	425	288	196	214	229	196	175	205	
6:00		245	424	251	195	212	205	189	171	201	
7:00		239	406	230	200	204	181	182	169	197	
8:00		248	391	226	203	208	177	187	177	202	
9:00		245	335	221	209	196	167	180	177	193	
10:00		184	181	161	214	126	105	121	127	126	
11:00		132	102	89	226	94	68	92	85	89	
12:00		99	89	147	235	72	55	79	64	73	
13:00		69	75	316	258	52	56	74	62	66	
14:00	105	41	64	393	244	45	59	69	61	61	
15:00	108	69	61	420	248	40	66	81	66	62	
16:00	110	78	70	439	256	39	72	92	74		
17:00	133	104	114	447	251	74	107	122	115		
18:00	255	260	267	445	254	178	278	259	253		
19:00	367	410	367	422	246	251	369	351	342		
20:00	441	499	407	403	238	262	406	404	388		
21:00	464	541	424	373	232	249	379	415	424		
22:00	461	543	424	319	230	246	336	372	422		
23:00	451	522	422	276	230	244	293	302	373		

Table 5-4 平衡等価ラドン濃度測定器及びラドン濃度測定器を用いた測定結果例  
(平成 26 年 8 月)

H26年8月分データ(平衡等価ラドン濃度)

深度300m研究アクセス坑道11m計測横坑前

Date	月曜日	火曜日	水曜日	木曜日	金曜日	土曜日	日曜日	月曜日	火曜日	水曜日	木曜日	金曜日	土曜日	日曜日	月曜日	単位 (Bq/m <sup>3</sup> )
	18日	19日	20日	21日	22日	23日	24日	25日	26日	27日	28日	29日	30日	31日	1日	
0:00		2179	2452	2551	2570	2200	2178	2830	1502	2223	2332	3083	4031	4670	4452	測定期間中
1:00		2365	2669	2774	2757	2310	2349	2921	1560	2376	2465	3288	3907	5124	4887	最小値 117
2:00		2486	2816	2942	2910	2396	2490	2993	1613	2535	2548	3435	3077	5549	5264	最大値 6078
3:00		2619	2935	3089	3027	2454	2543	3008	1681	2624	2595	3697	2011	5264	5690	平均値 1538
4:00		2695	3023	3195	3094	2514	2623	2993	1711	2684	2643	3873	1493	3849	6078	
5:00		2754	3102	3300	3140	2583	2749	2998	1728	2695	2704	3958	1400	2585	5420	
6:00		2494	2875	3141	2810	2178	2875	2532	1609	2369	2551	3990	2902	3588	4304	
7:00		1209	1405	1661	1429	967	2999	1044	694	1063	1295	1733	1477	1737	1788	
8:00		623	726	899	771	451	3062	412	281	488	642	597	521	599	574	
9:00		438	521	661	549	233	3070	229	161	317	419	268	257	268	227	
10:00		323	397	511	432	139	2981	178	132	253	324	192	223	210		
11:00		237	303	401	337	117	2885	222	137	230	308	170	229	227		
12:00		201	244	319	266	132	2845	236	149	192	294	185	258	257		
13:00		190	170	256	230	151	2641	236	169	172	262	216	278	296		
14:00		182	178	226	208	153	2663	205	168	156	242	236	304	323		
15:00		176	173	210	183	152	2639	195	176	155	226	246	349	358		
16:00	197	170	182	198	176	150	2580	188	185	157	220	254	416	392		
17:00	193	179	188	202	192	147	2581	189	236	162	255	254	498	429		
18:00	278	307	290	310	738	237	2558	258	340	257	381	335	653	518		
19:00	524	705	672	728	1062	642	2579	563	675	666	781	787	1238	1006		
20:00	960	1209	1211	1274	1411	1135	2600	910	1146	1197	1344	1514	2080	1807		
21:00	1379	1616	1665	1728	1675	1500	2652	1136	1537	1611	1901	2250	2898	2601		
22:00	1708	1944	2006	2062	1879	1762	2708	1279	1824	1925	2374	2933	3570	3282		
23:00	1962	2205	2288	2306	2069	1993	2781	1399	2041	2160	2772	3618	4151	3898		

深度300m研究アクセス坑道100m計測横坑

Date	月曜日	火曜日	水曜日	木曜日	金曜日	土曜日	日曜日	月曜日	火曜日	水曜日	木曜日	金曜日	土曜日	日曜日	月曜日	単位 (Bq/m <sup>3</sup> )
	18日	19日	20日	21日	22日	23日	24日	25日	26日	27日	28日	29日	30日	31日	1日	
0:00		3961	4699	4568	4790	4061	4003	4746	3613	-	4190	4792	5683	6157	5807	測定期間中
1:00		4401	5146	4954	5168	4273	4344	4847	3860	-	4445	5349	6436	6840	6428	最小値 40
2:00		4735	5497	5269	5441	4425	4601	4921	4063	-	4588	5900	7141	6323	5856	最大値 7237
3:00		4977	5785	5472	5643	4517	4760	4986	4233	-	4692	6358	6637	5794	6418	平均値 2465
4:00		5154	5997	5641	5798	4568	4881	5052	4396	-	4789	6772	6678	6457	5795	
5:00		5277	6190	5743	5888	4563	4983	5062	4482	-	4864	7237	6090	6483	5771	
6:00		3428	4156	4057	3977	2767	5062	3351	2970	-	3305	5159	6531	5776	6352	
7:00		1235	1552	1628	1541	982	5187	1140	933	-	1205	1706	2186	2360	2130	
8:00		496	639	745	667	368	5292	359	257	-	436	469	580	628	571	
9:00		277	363	483	400	138	5399	143	83	-	204	139	172	172	157	
10:00		162	226	323	271	69	5476	90	46	-	133	65	84	86		
11:00		99	148	226	182	54	5488	85	40	-	116	51	77	80		
12:00		75	103	160	123	60	5477	99	48	-	99	64	93	101		
13:00		66	59	125	85	61	5589	100	-	-	76	86	123	122		
14:00		59	53	99	76	58	5232	87	-	-	65	93	130	147		
15:00		54	51	81	67	54	5025	74	-	-	56	50	100	161	166	
16:00	47	47	58	72	61	50	4875	71	-	-	56	51	99	211	180	
17:00	62	62	64	83	284	51	4748	74	-	-	62	83	92	276	201	
18:00	101	166	148	256	979	177	4650	175	-	-	205	240	204	452	338	
19:00	293	678	659	915	1533	714	4578	698	-	-	811	886	855	1215	1017	
20:00	959	1614	1603	1923	2210	1558	4550	1506	-	-	1699	1837	1892	2386	2114	
21:00	1838	2616	2576	2885	2843	2369	4555	2258	-	-	2555	2749	2974	3579	3244	
22:00	2683	3471	3389	3680	3381	3058	4625	2856	-	-	3244	3535	3978	4563	4237	
23:00	3404	4134	4047	4321	3791	3593	4668	3291	-	-	3804	4197	4853	5404	5072	

<参考>ラドン濃度

深度300m研究アクセス坑道100m計測横坑

Date	月曜日	火曜日	水曜日	木曜日	金曜日	土曜日	日曜日	月曜日	火曜日	水曜日	木曜日	金曜日	土曜日	日曜日	月曜日	単位 (Bq/m <sup>3</sup> )
	18日	19日	20日	21日	22日	23日	24日	25日	26日	27日	28日	29日	30日	31日	1日	
0:00				8032	7648	7680	7872	9728	7488	7744	7456	8704	10944	10432	10496	測定期間中
1:00				8320	8448	8032	8384	9344	7936	8320	7584	9728	12160	11200	11968	最小値 91
2:00				9152	8640	8256	9024	9664	8320	8704	7968	10432	13760	12672	12352	最大値 17536
3:00				9472	9152	8384	8960	9664	8384	8576	8032	11328	14784	13760	14208	平均値 4633
4:00				9664	9152	8768	9280	9536	8640	8896	8384	11712	16512	14912	14720	
5:00				9664	9536	8768	9536	9600	8896	8896	8256	12672	17536	16320	15872	
6:00				4384	3456	2592	9280	3504	3008	3536	2544	3200	4096	3760	3968	
7:00				1408	1160	888	9664	720	502	820	724	386	302	378	344	
8:00				1032	816	756	9920	344	251	564	512	188	190	202	91	
9:00				1020	820	394	10432	366	215	498	490	262	308	254	203	
10:00				824	568	370	10112	388	248	412	422	300	310	376	237	
11:00				580	494	334	10240	356	270	392	438	270	472	418		
12:00				450	392	372	10176	402	280	320	374	434	512	484		
13:00				412	422	408	10048	366	418	324	398	382	482	500		
14:00				452	380	374	9920	370	362	334	372	416	528	544		
15:00				416	382	392	9344	358	348	396	342	434	520	552		
16:00				384	372	386	9472	382	328	308	328	384	600	648		
17:00				384	426	592	9472	392	532	314	502	422	664	644		
18:00				796	1072	1824	1064	9600	1128	1104	1424	1416	1384	1592	1456	
19:00				2096	2560	3520	2560	9024	2688	2592	3024	3168	3520	3920	3536	
20:00				3728	4064	4800	4352	9344	4256	4096	4256	4704	5248	5440	5440	
21:00				5408	5184	5920	5568	9344	5312	5504	5376	5984				

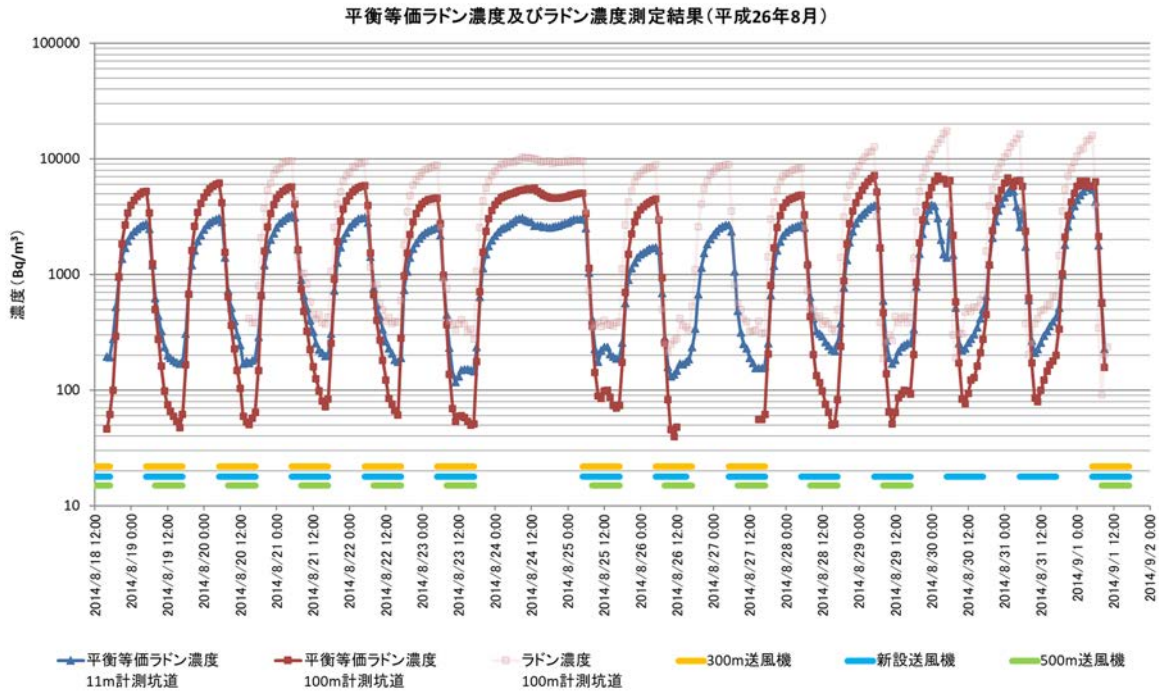


Fig.5-1 平衡等価ラドン濃度測定器及びラドン濃度測定器を用いた測定結果例  
(平成 26 年 8 月)

※送風機は Fig.4-1 の番号で、「300m 送風機」が⑩, 「新設送風機」が⑧, 「500m 送風機」が③。各々の線の時間帯が運転時間。

Table 5-5 ラドン濃度測定器を用いた深度 300m ステージの測定結果 (平成 27 年 8 月)

平成27年8月  
深度300m研究アクセス坑道 (Alpha GUARD)

測定地点:①

8月18日	ラドン濃度 (Bq/m <sup>3</sup> )	平衡等価 (Bq/m <sup>3</sup> )
11:00	314	126
12:00	253	101
13:00	258	103
14:00	270	108
15:00	260	104
最小値	253	101
最大値	314	126

測定地点:②

8月17日	ラドン濃度 (Bq/m <sup>3</sup> )	平衡等価 (Bq/m <sup>3</sup> )
11:00	1216	486
12:00	1288	515
13:00	1040	416
14:00	1056	422
15:00	1096	438
最小値	1040	416
最大値	1288	515

測定地点①: 深度300m研究アクセス坑道100m計測横坑  
測定地点②: 深度300m研究アクセス坑道11m計測横坑前

Table 5-6 ラドン濃度測定器を用いた深度 500m ステージの測定結果例（平成 28 年 6 月）

平成28年6月

深度500mステージ(Alpha GUARD)

測定地点:①

6月21日	ラドン濃度 (Bq/m <sup>3</sup> )	平衡等価 (Bq/m <sup>3</sup> )
11:00	130	52
12:00	148	59
13:00	129	52
14:00	127	51
15:00	131	52
最小値	127	51
最大値	148	59
平均値	133	53

測定地点:②

6月22日	ラドン濃度 (Bq/m <sup>3</sup> )	平衡等価 (Bq/m <sup>3</sup> )
11:00	258	103
12:00	220	88
13:00	216	86
14:00	206	82
15:00	210	84
最小値	206	82
最大値	258	103
平均値	222	89

測定地点:③

6月23日	ラドン濃度 (Bq/m <sup>3</sup> )	平衡等価 (Bq/m <sup>3</sup> )
11:00	262	105
12:00	239	96
13:00	235	94
14:00	214	86
15:00	258	103
最小値	214	86
最大値	262	105
平均値	242	97

測定地点:④

6月24日	ラドン濃度 (Bq/m <sup>3</sup> )	平衡等価 (Bq/m <sup>3</sup> )
11:00	256	102
12:00	284	114
13:00	247	99
14:00	253	101
15:00	260	104
最小値	247	99
最大値	284	114
平均値	260	104

測定地点:⑤

6月28日	ラドン濃度 (Bq/m <sup>3</sup> )	平衡等価 (Bq/m <sup>3</sup> )
11:00	286	114
12:00	324	130
13:00	344	138
14:00	374	150
15:00	378	151
最小値	286	114
最大値	378	151
平均値	341	137

測定地点:⑥

6月29日	ラドン濃度 (Bq/m <sup>3</sup> )	平衡等価 (Bq/m <sup>3</sup> )
11:00	312	125
12:00	288	115
13:00	310	124
14:00	256	102
15:00	268	107
最小値	256	102
最大値	312	125
平均値	287	115

測定地点:⑦

6月30日	ラドン濃度 (Bq/m <sup>3</sup> )	平衡等価 (Bq/m <sup>3</sup> )
11:00	568	227
12:00	470	188
13:00	480	192
14:00	434	174
15:00	454	182
最小値	434	174
最大値	568	227
平均値	481	193

測定地点:⑧

6月27日	ラドン濃度 (Bq/m <sup>3</sup> )	平衡等価 (Bq/m <sup>3</sup> )
11:00	410	164
12:00	442	177
13:00	422	169
14:00	410	164
15:00	432	173
最小値	410	164
最大値	442	177
平均値	423	169

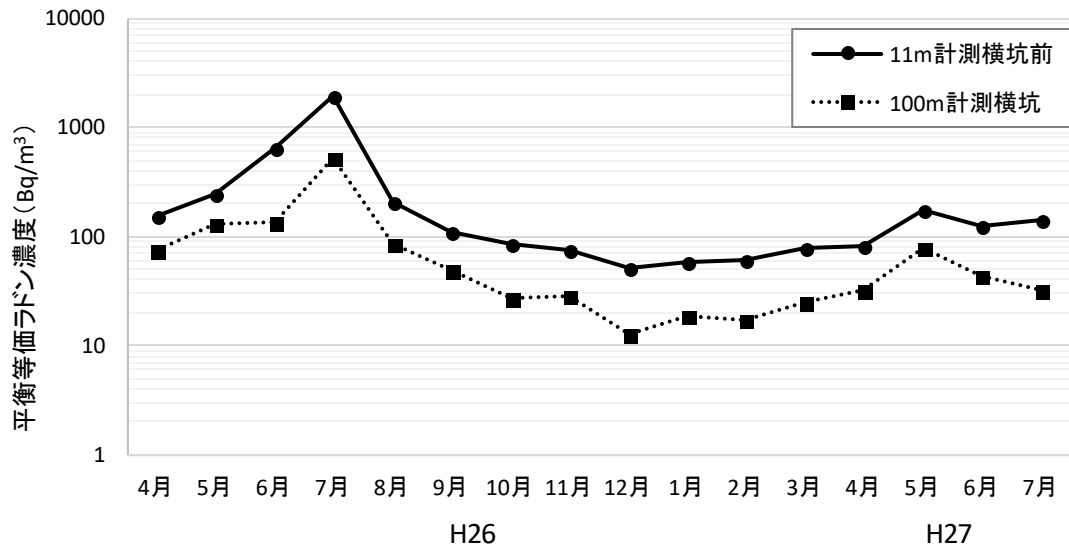


Fig.5-2 深度 300m ステージにおける月毎の平均濃度（平衡等価ラドン濃度）の推移  
（平成 26 年度から平成 27 年 7 月）

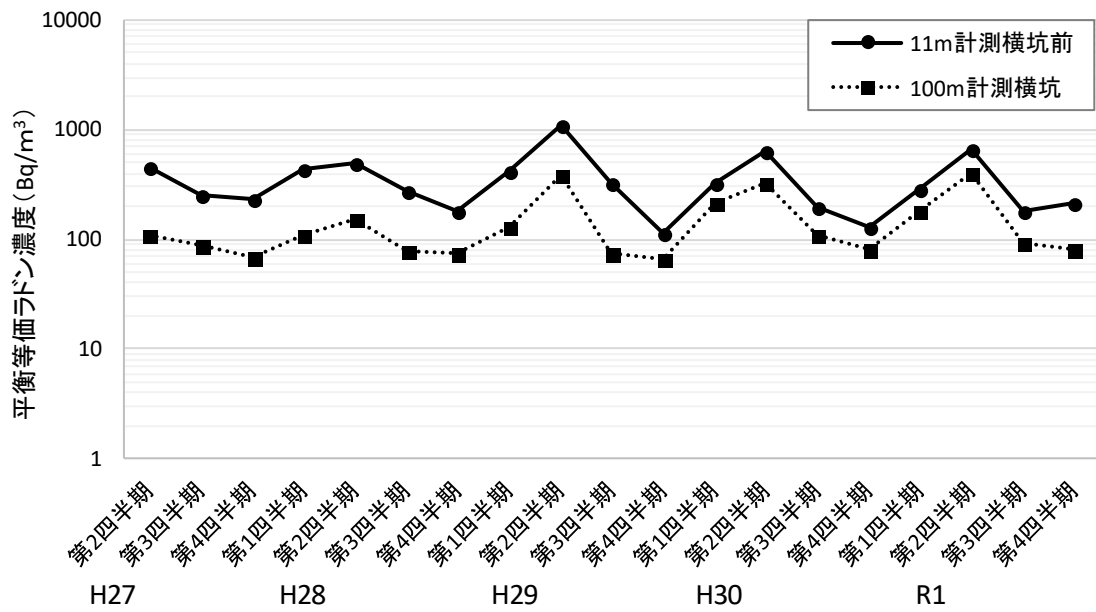


Fig.5-3 深度 300m ステージにおける 3 か月毎の平均濃度（平衡等価ラドン濃度）の推移  
（平成 27 年 8 月から令和元年度）

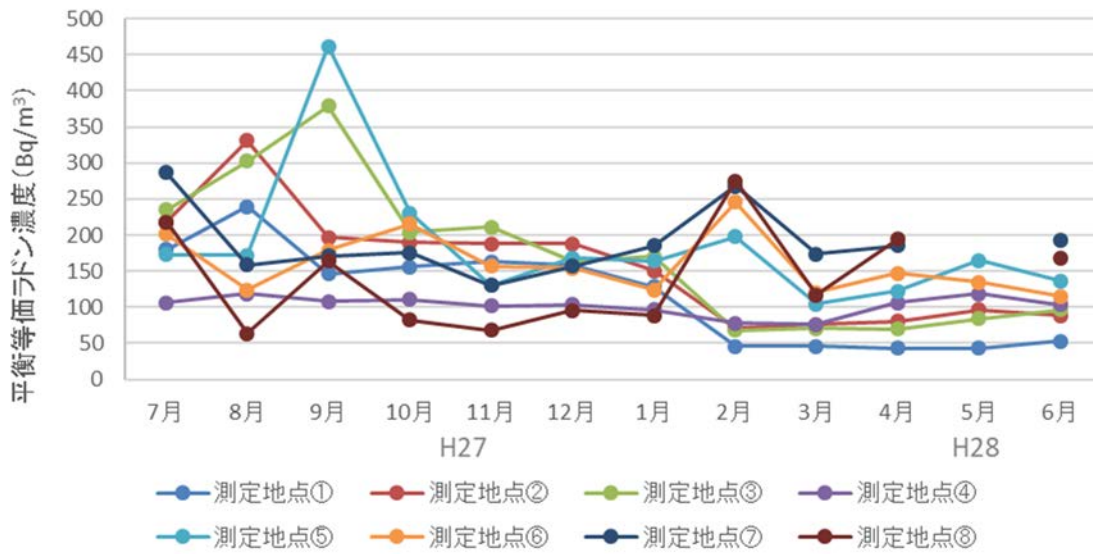


Fig.5-4 深度 500m ステージにおける月毎の平均濃度（平衡等価ラドン濃度）の推移  
（平成 27 年 7 月～平成 28 年 6 月）  
※坑道内の作業状況等により測定未実施の地点あり

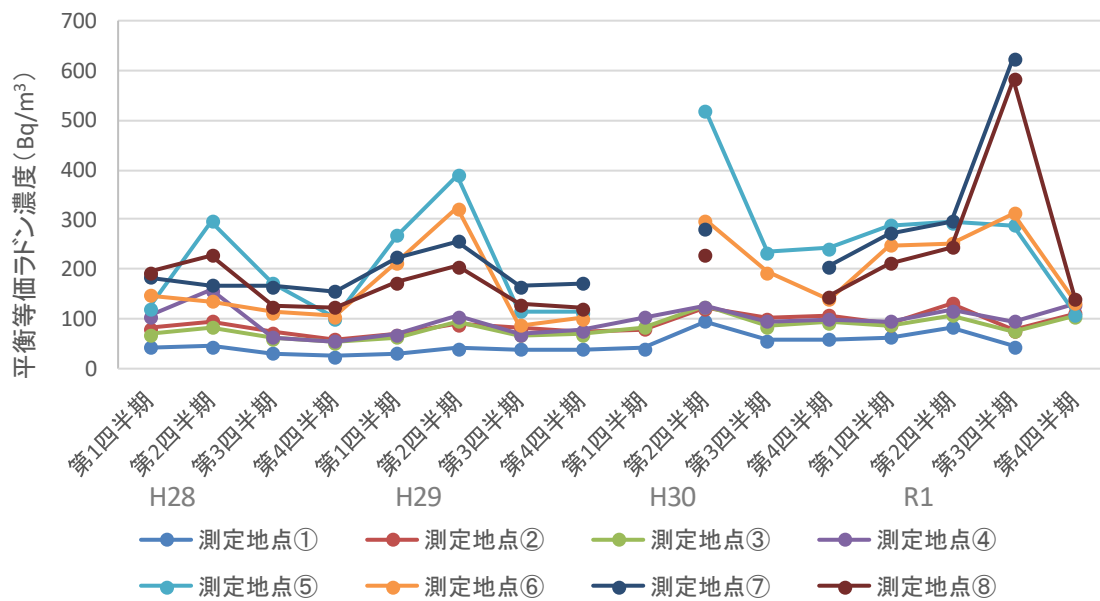


Fig.5-5 深度 500m ステージにおける 3 か月毎の平均濃度（平衡等価ラドン濃度）の推移  
（平成 28 年度～令和元年度）  
※坑道内の作業状況等により測定未実施の地点あり

## 6. 平衡係数の検討

平成 26 年 8 月から平成 27 年 7 月までの間は、深度 300m ステージの 2 地点においてラドン濃度と平衡等価ラドン濃度の両方が測定されており、平衡係数の検討が可能である。ここでは濃度変化の大きい 100m 計測横坑前での平衡係数の変化について検討する。なお、以下では、深度 300m の坑道へ空気を送っている送風機の運転時を通気中としている。

坑道内のラドン濃度は、通気が止まっている間は高く、通気中は低くなっている。これは、通気が止まっている間は岩盤や湧水からラドンが供給される一方、通気中はラドン濃度の低い外気が坑道内に供給されるためと考えられる。また、坑道内のラドン濃度は夏季に高く冬季に低くなっている。これは坑道内の空気と外気の温度差による自然通気が影響していると考えられる。

このため、以下では、坑内外の気温の状況を示したのち、代表的な時期として、春季（平成 27 年 5 月）、夏季（平成 26 年 9 月）、冬季（平成 27 年 2 月）のデータを元に、平衡係数の変化を検討する。

### 6.1 坑内気温と外気温

Fig.6-1 に平成 26 年度から令和元年度までの坑内外の月毎の平均気温を示す。これによると、深度 300m ステージの坑内気温の変化は 7.9～25.4℃の範囲であるのに対し、外気温は 0.5～27.2℃である。冬期は深度 300m ステージの坑内気温の方が外気温に比べ高い月が多くなっており、その差は最大約 10℃になっている。一方で、夏季の 7～8 月には外気温より 5℃近く低くなることもある。夏季以外の深度 300m ステージの坑内気温が外気温より高い時期は、対流による自然通気が多くなることが考えられる。なお、深度 500m ステージの坑内気温も平成 27 年 12 月から測定されており、月毎の平均気温は 21.5～27.6℃となっており、深度 300m ステージより気温が高く変化が少なくなっている。ほとんどの時期で深度 500m ステージの坑内気温は外気温より高く、その差は最大約 23℃に及んでいる。

Fig.6-2 に平成 27 年 5 月のラドン濃度と平衡等価ラドン濃度の両方が測定された期間（5 月 18 日 11 時～5 月 29 日 10 時）の外気温と深度 300m ステージの坑内気温の変化を示す。外気温は明け方に最低となり、日中の午後に最高となっている。深度 300m ステージの坑内気温は外気温より数時間遅れて変化している。外気温は 7.8～30.7℃、深度 300m ステージの坑内気温は 17.7～22.3℃である。外気温と深度 300m ステージの坑内気温の差は、日中は深度 300m ステージの方が最大 10℃近く低くなっているが、夜間は深度 300m ステージの方が最大 10℃近く高くなっている。

Fig.6-3 に平成 26 年 9 月のラドン濃度と平衡等価ラドン濃度の両方が測定された期間（9 月 22 日 11 時～9 月 29 日 15 時）の外気温と深度 300m ステージの坑内気温の変化を示す。日変化の基本的な特徴は 5 月と変わらないが、外気温は 10.9～29.6℃、深度 300m ステージの坑内気温は 21.6～24.9℃である。外気温は 5 月と大きくは変わらないが、深度 300m ステージの坑内気温は 3℃程度高くなっている。日中は深度 300m ステージの方が最大 5℃程度低くなっているが、夜間は深度 300m ステージの方が最大 11℃近く高くなっている。

Fig.6-4 に平成 27 年 2 月のラドン濃度と平衡等価ラドン濃度の両方が測定された期間（2 月 13 日 11 時～2 月 27 日 14 時）の外気温と深度 300m ステージの坑内気温の変化を示す。日変化の基本的な特徴は 5 月や 9 月と変わらないが、外気温は $-5.6\sim 13.9^{\circ}\text{C}$ 、深度 300m ステージの坑内気温は $8.6\sim 14.8^{\circ}\text{C}$ である。外気温も深度 300m ステージの坑内気温も 5 月や 9 月よりかなり低くなっている。日中でも深度 300m ステージの方が低くなることはほとんどなく、夜間は深度 300m ステージの方が最大  $15^{\circ}\text{C}$  近く高くなっている。

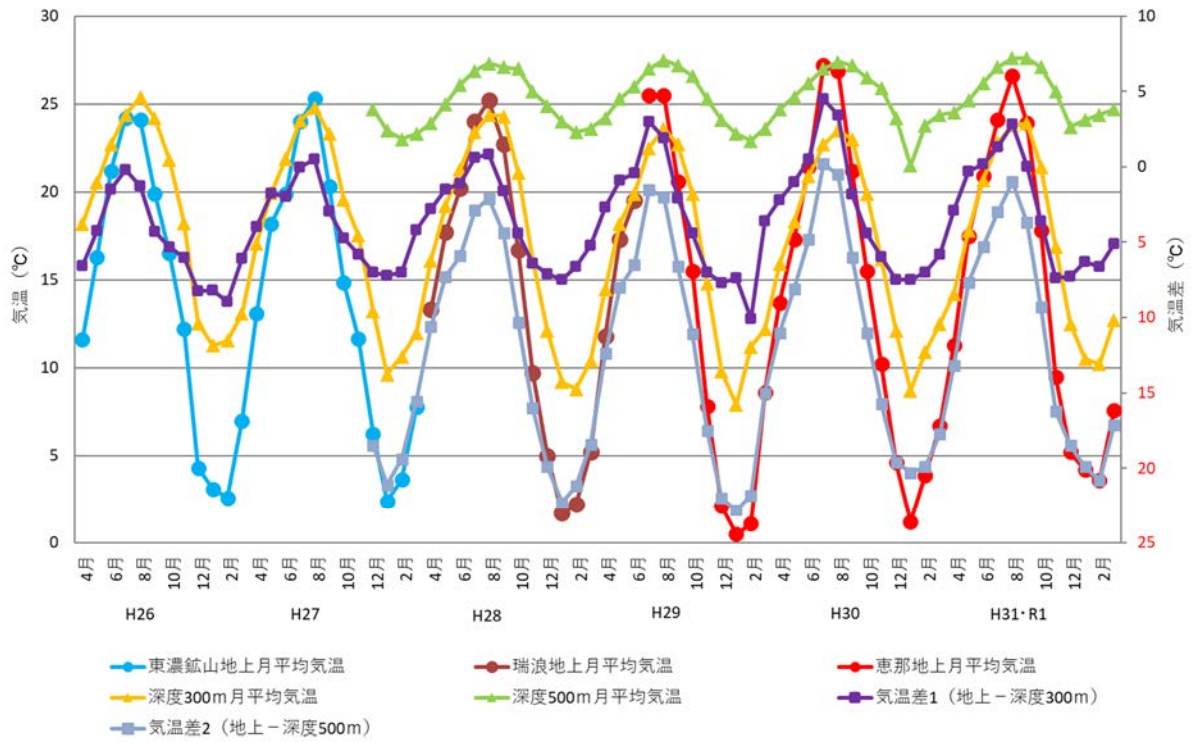


Fig.6-1 平成 26 年度～令和元年度の坑内外の月毎の平均気温の変化

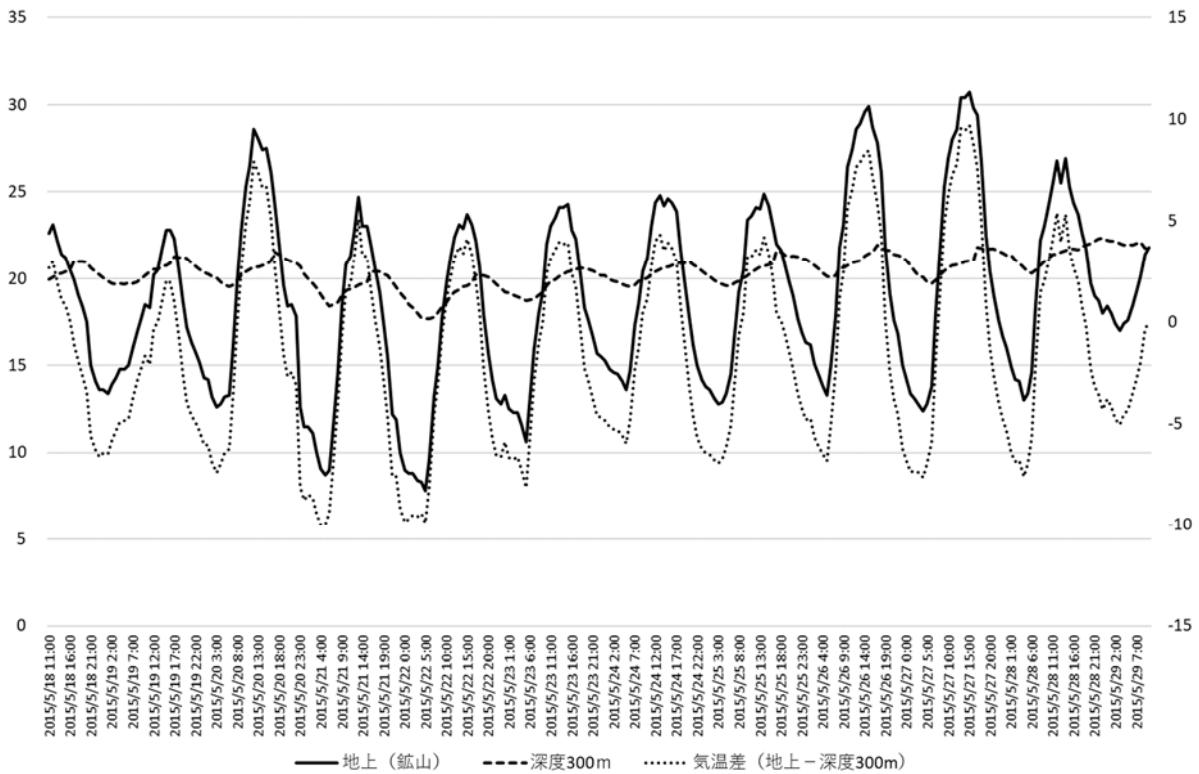


Fig.6-2 平成 27 年 5 月 18～29 日の外気温と深度 300m ステージの坑内気温の変化

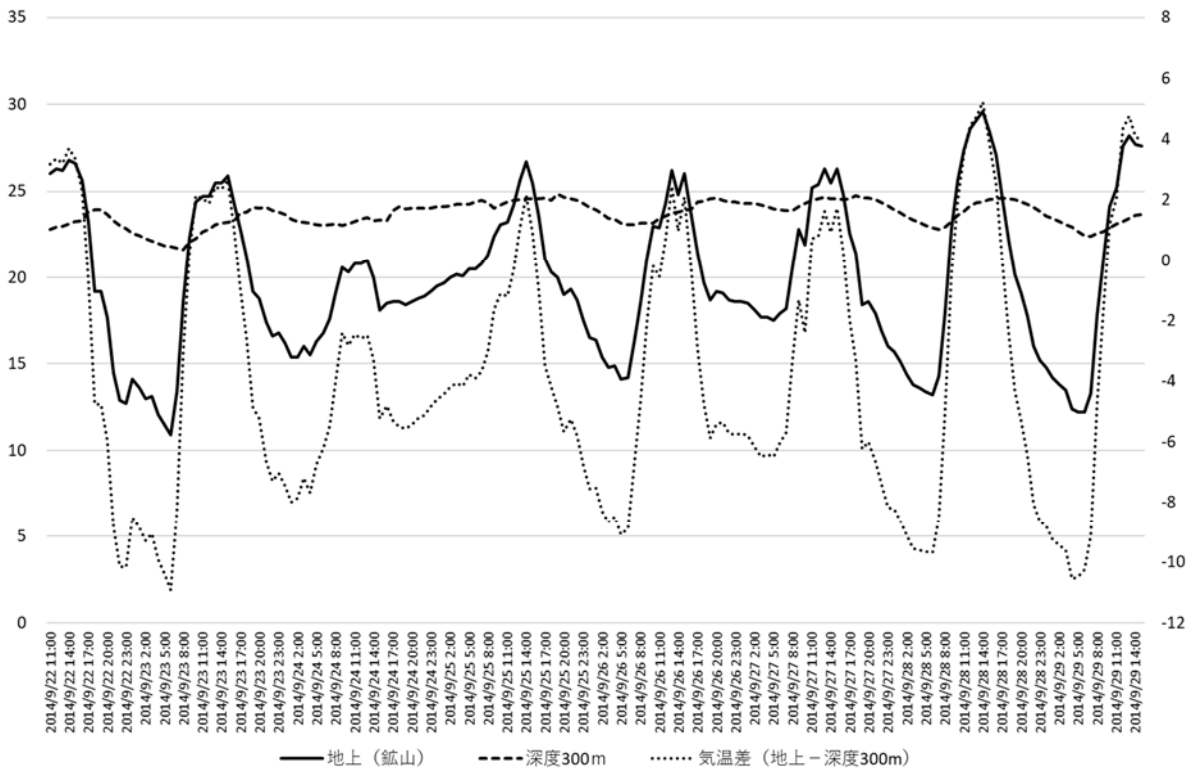


Fig.6-3 平成 26 年 9 月 22～29 日の外気温と深度 300m ステージの坑内気温の変化

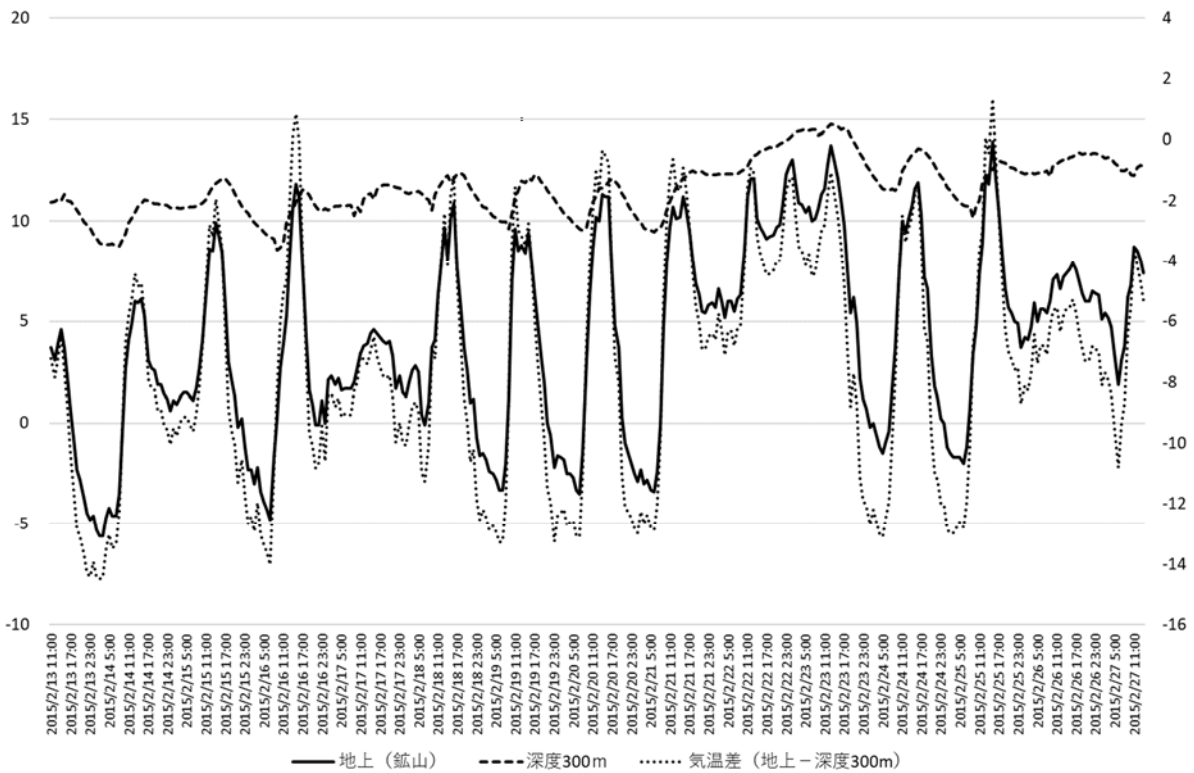


Fig.6-4 平成 27 年 2 月 13～27 日の外気温と深度 300m ステージの坑内気温の変化

## 6.2 春季（平成 27 年 5 月）の測定結果

春季の平成 27 年 5 月は、18 日 10 時から 29 日 10 時まで、ラドン濃度測定器(Alpha GUARD)と平衡等価ラドン濃度測定器（WLM）による連続測定が行われた。

Fig.6-5 に測定結果を示す。測定値から算出したラドンの平衡係数も合わせて示した。これによると、ラドン濃度及び平衡等価ラドン濃度は、通気中は低下しており、通気が停止すると上昇している。特に、通気開始後 1～2 時間で急速に低下し、その後の変化は少なくなるが徐々に増加している。一方、通気停止後は 4 時間程度の間で上昇し、その後は徐々に低下している。平衡係数については、通気開始後 2 時間でピークになっており、その後は正午前後に最小値となる。通気開始後 2 時間程度は高いが、全体的には通気時には低く通気停止時には高い。5 月 24 日は休日で終日通気が停止しているが、気温差による自然通気の影響と考えられる日変化が見られており、午前中は低く午後は高くなっている。平衡等価ラドン濃度は主にラドンの子孫核種の濃度であるが、子孫核種は空気中にエアロゾルとして、あるいはエアロゾルに付着して存在し、空気中のエアロゾル濃度が高いと平衡等価ラドン濃度が高くなると考えられる。このため、空気中のエアロゾルが、通気時には少なく通気停止時には多いと考えられ、特に、通気開始時には粉塵の巻き上げや坑壁等からの遊離により増加していることが考えられる。

1 時間毎の測定値を、縦軸を平衡等価ラドン濃度、横軸をラドン濃度として Fig.6-6 に示す。測定値とゼロ点を結んだ直線の傾きが平衡係数となるが、近似直線の傾きは 0.38 となっており、一般的に室内の平衡係数として知られる 0.4 に近い値となっている。ただし、送風機運転時と送風機停止時で濃度を含め明らかに分布が異なり、各々の中も、いくつかのグループに分かれるように見える。このことから通気との関係で平衡係数が変化することが考えられる。

通気開始から通気停止までの 1 時間毎の測定値を Fig.6-7 に、通気停止から通気開始までの 1 時間毎の測定値を Fig.6-8 に示す。各々、通気開始及び停止前後の 1 時間の測定値も合わせて示している。なお、Fig.6-7 及び Fig.6-8 では、送風機等の運転状況が通常と異なる場合（例えば、通常は運転している送風機が停止している等）の測定値は、他の測定値と大きく異なることがあるので省いている。

Fig.6-7 の通気開始前 1 時間と開始後 1 時間及び 2 時間の測定値を見ると、ラドン濃度及び平衡等価ラドン濃度が低下しているが、平衡係数は、0.1～0.5（平均で 0.3）、0.2～0.7（平均で 0.5）、0.3～0.8（平均で 0.6）と徐々に増加している。これは、ラドン濃度に比べ平衡等価ラドン濃度が低下していないことを示している。3 時間後になるとラドン濃度の変化はほとんどないが、平衡等価ラドン濃度が低下しており、平衡係数が低くなっている。4 時間以降は大きくは変化せず平衡係数は 0.1～0.4 程度となっている。

Fig.6-8 の通気停止後 1 時間及び 2 時間の測定値を見ると、ラドン濃度と平衡等価ラドン濃度が共に上昇しており平衡係数は 0.1～0.3 程度で変化していない。通気停止後 3 時間になるとラドン濃度と平衡等価ラドン濃度の上昇が続いているが、平衡等価ラドン濃度の上昇が大きく、平衡係数が 0.3～0.4 に増加している。通気停止後 4 時間以降になるとラドン濃度と平衡等価ラドン濃度は上昇しないが、直線状の分布の傾きは大きくなって、平衡係数は 0.5 を超えるものもある。通気の停止に伴って岩盤や湧水からラドンが供給されるが、エアロゾルの量も増えて相対的に平衡等価ラドン濃度が高くなっていることが考えられる。

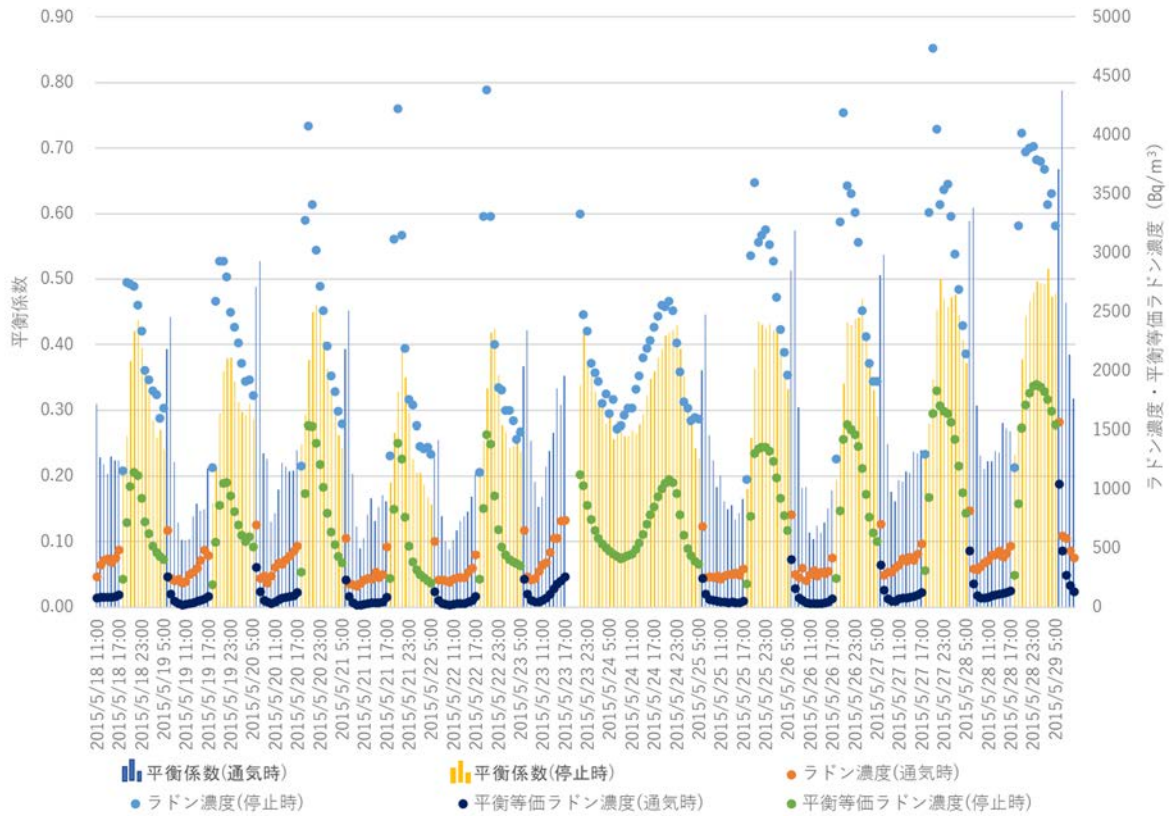


Fig.6-5 通気状態毎のラドン濃度と平衡等価ラドン濃度の測定結果及び平衡係数（平成 27 年 5 月）

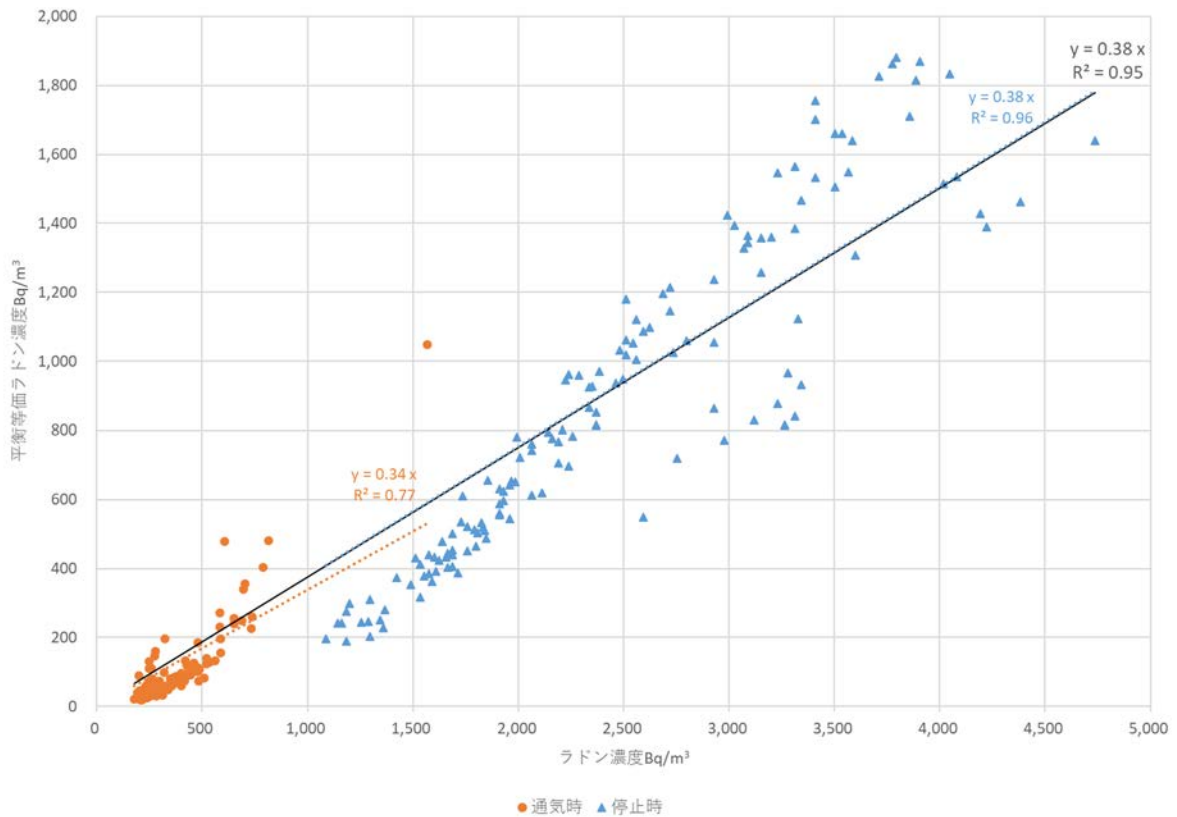


Fig.6-6 ラドン濃度と平衡等価ラドン濃度との関係（平成 27 年 5 月）

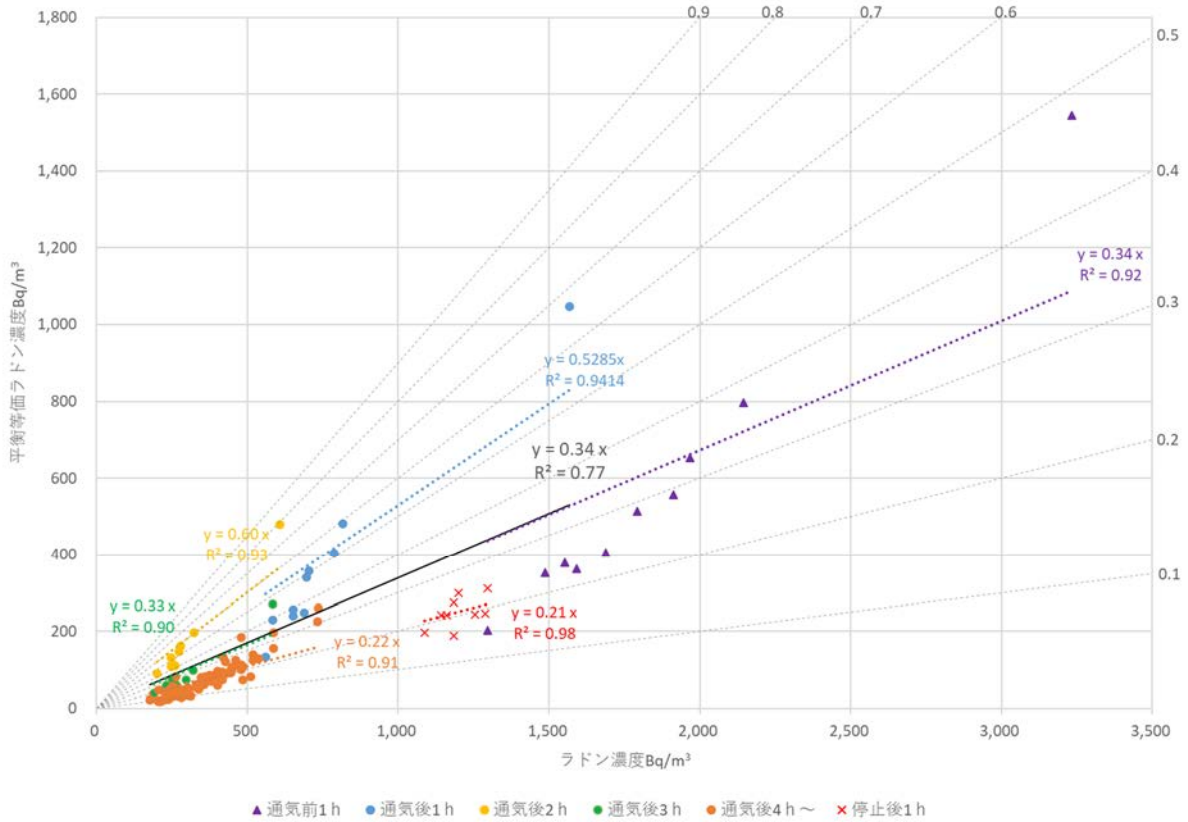


Fig.6-7 通気開始時からの平衡係数の時間変化（平成 27 年 5 月）

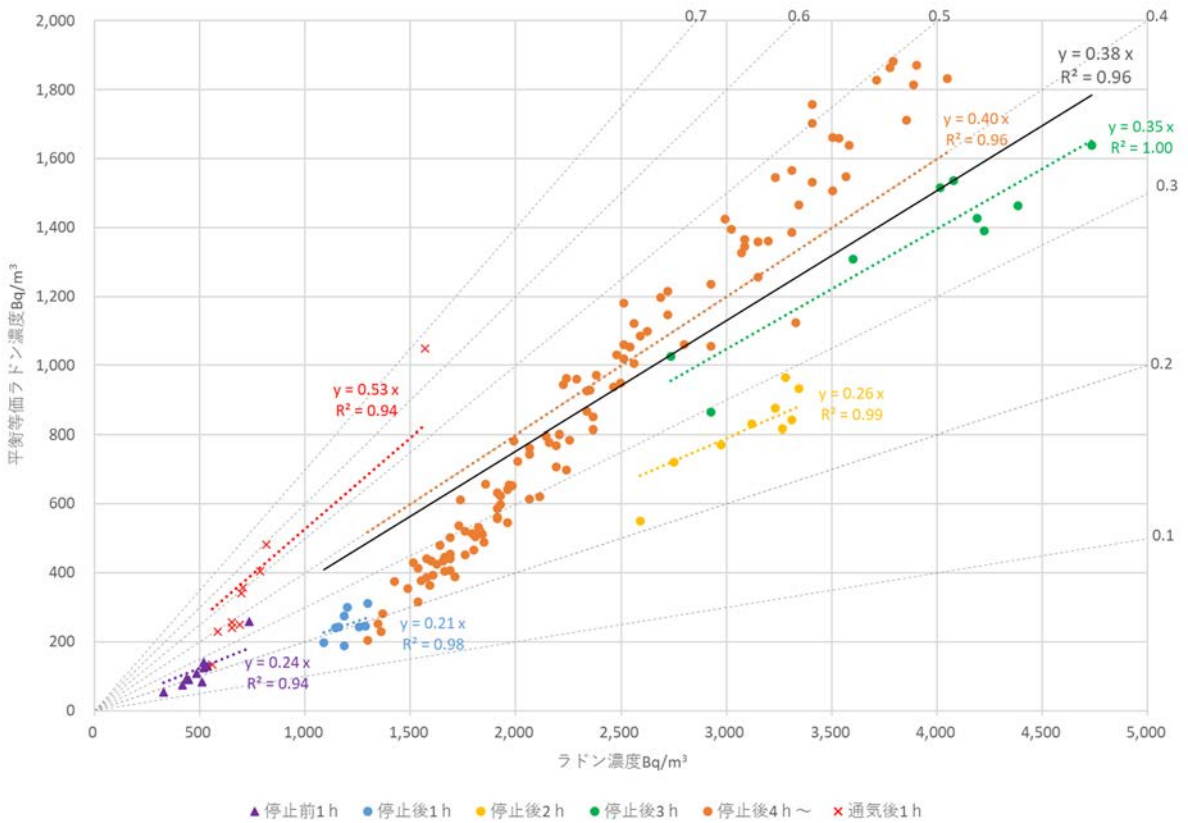


Fig.6-8 通気停止時からの平衡係数の時間変化（平成 27 年 5 月）の平衡係数

### 6.3 夏季（平成 26 年 9 月）の測定結果

夏季の平成 26 年 9 月は、22 日 10 時から 29 日 15 時まで、ラドン濃度測定器と平衡等価ラドン濃度測定器による連続測定が行われた。Fig.6-9 に測定結果を示す。

これによると、ラドン濃度及び平衡等価ラドン濃度は、通気されていない状態では最高で  $14,699\text{Bq/m}^3$  及び  $8,852\text{Bq/m}^3$ （9 月 27 日 5 時）に達している。また、気温の低い春季と同様に、通気開始後 1～2 時間で急速に低下し、その後の変化は少なくなるが徐々に増加している。一方、通気停止後の上昇は 10 時間以上に及ぶことがあり、9 月 26 日の夕方から 27 日の朝の通気開始まで上昇が続いている。この夜の最低気温は  $18^\circ\text{C}$  程度と他と比較すると高く、自然通気が減少していることが考えられる。このため、通気開始時にラドン濃度が高く、日中のラドン濃度にも影響していると考えられる。休日のため終日通気が停止している 9 月 28 日は春季と同様の日変化が見られており、午前中は低く午後は高くなっている。平衡係数については春季と同じ傾向であり、通気開始後 2 時間でピークに達し、その後は正午前後に最小値となる。通気開始後は春季に比べてやや長く 3 時間程度は高いが、通気時には低く通気停止時には高いという全体的な傾向は変わらない。ただし、値自体は高く、通気開始後 2 時間では 1～2 に達しており、4 を超えることがある。

6.2 と同じように、1 時間毎の測定値を Fig.6-10 に、通気開始から通気停止までの 1 時間毎の測定値を Fig.6-11 に、通気停止から通気開始までの 1 時間毎の測定値を Fig.6-12 に示す。各々、通気開始及び停止前後の 1 時間の測定値も合わせて示しているが、通気開始前 1 時間の値が他の値より大幅に大きいものがあるので、見やすさのため Fig.6-11 には一部示されていない測定値がある。

Fig.6-10 の平衡係数に該当する近似直線の傾きは 0.56 となっており、春季や一般的な室内の平衡係数の 0.4 より高い値となっている。

Fig.6-11 を見ると、ラドン濃度と平衡等価ラドン濃度、及び平衡係数の値は大きいですが、通気開始に伴って両濃度は低下し平衡係数は上昇し、通気開始後 3 時間頃になると両濃度の変化は少なくなり平衡係数は低下するという春季と同じ変化の傾向が見られる。平衡係数は、通気開始後 3 時間までは 1 程度以上と高い値となっているが、通気開始後 4 時間後以降は 0.2 と低い値になっている。通気に伴う粉塵の巻き上げ等が影響していることが考えられる。

Fig.6-12 を見ると、ラドン濃度と平衡等価ラドン濃度が共に上昇していく。春季は通気停止後 4 時間以降になるとラドン濃度と平衡等価ラドン濃度は上昇しなくなるが、夏季は上昇が継続している。平衡係数は春季と同じ傾向で徐々に増加する。自然通気が少なく通気の停止に伴う両濃度の上昇が続き、エアロゾルの増加により平衡等価ラドン濃度が高くなっていることが考えられる。

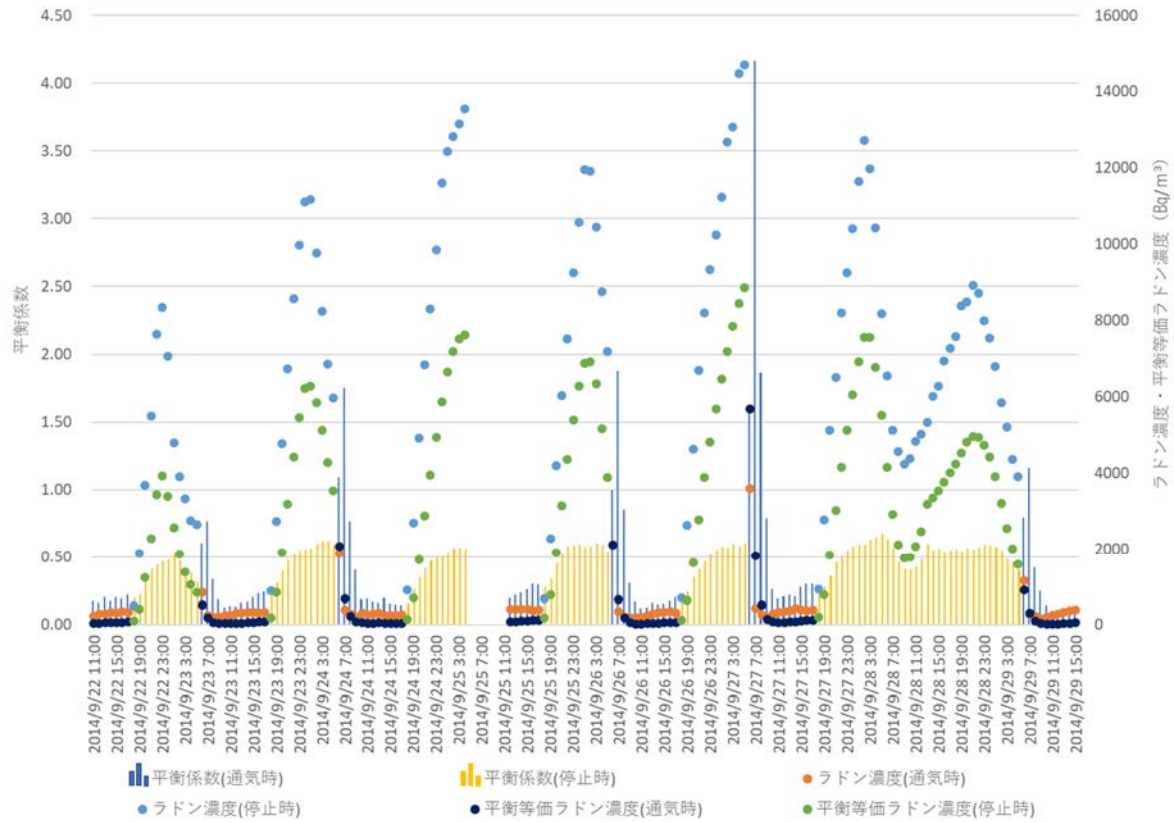


Fig.6-9 通気状態毎のラドン濃度と平衡等価ラドン濃度の測定結果  
及び平衡係数（平成 26 年 9 月）

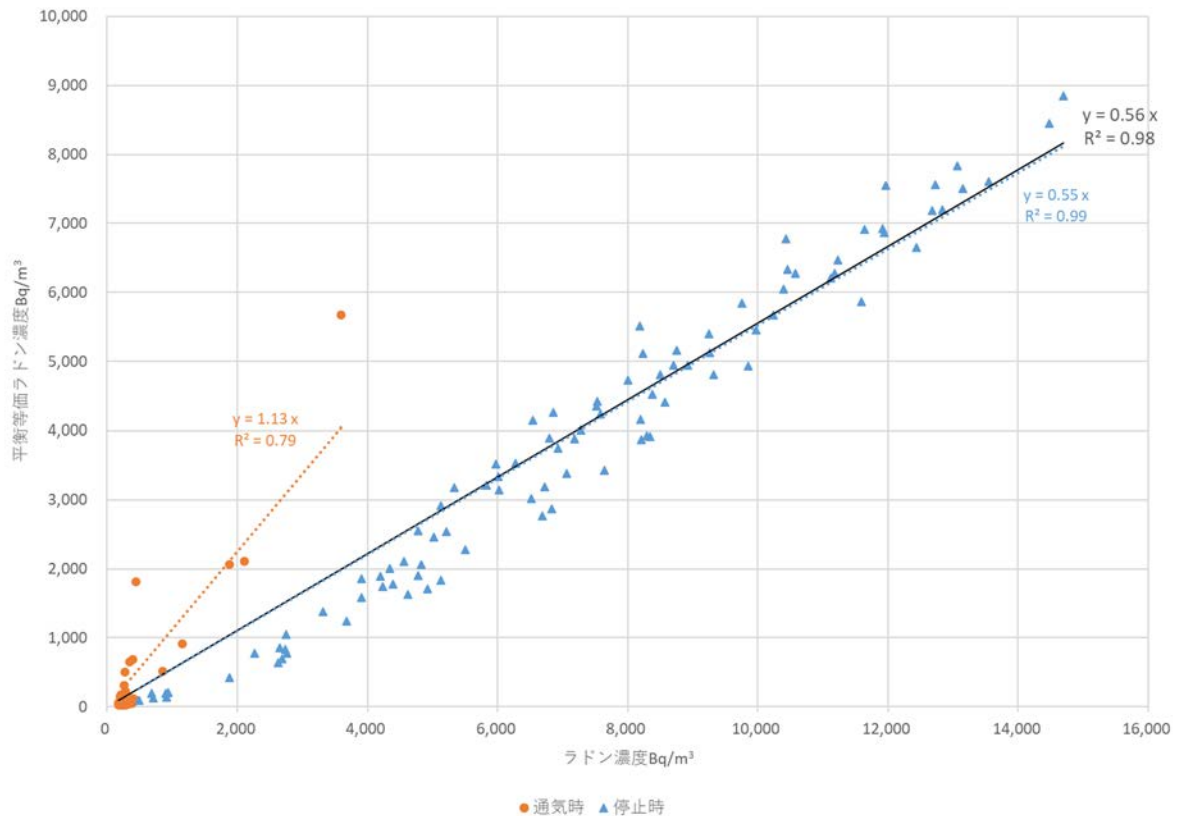


Fig.6-10 ラドン濃度と平衡等価ラドン濃度との関係（平成 26 年 9 月）

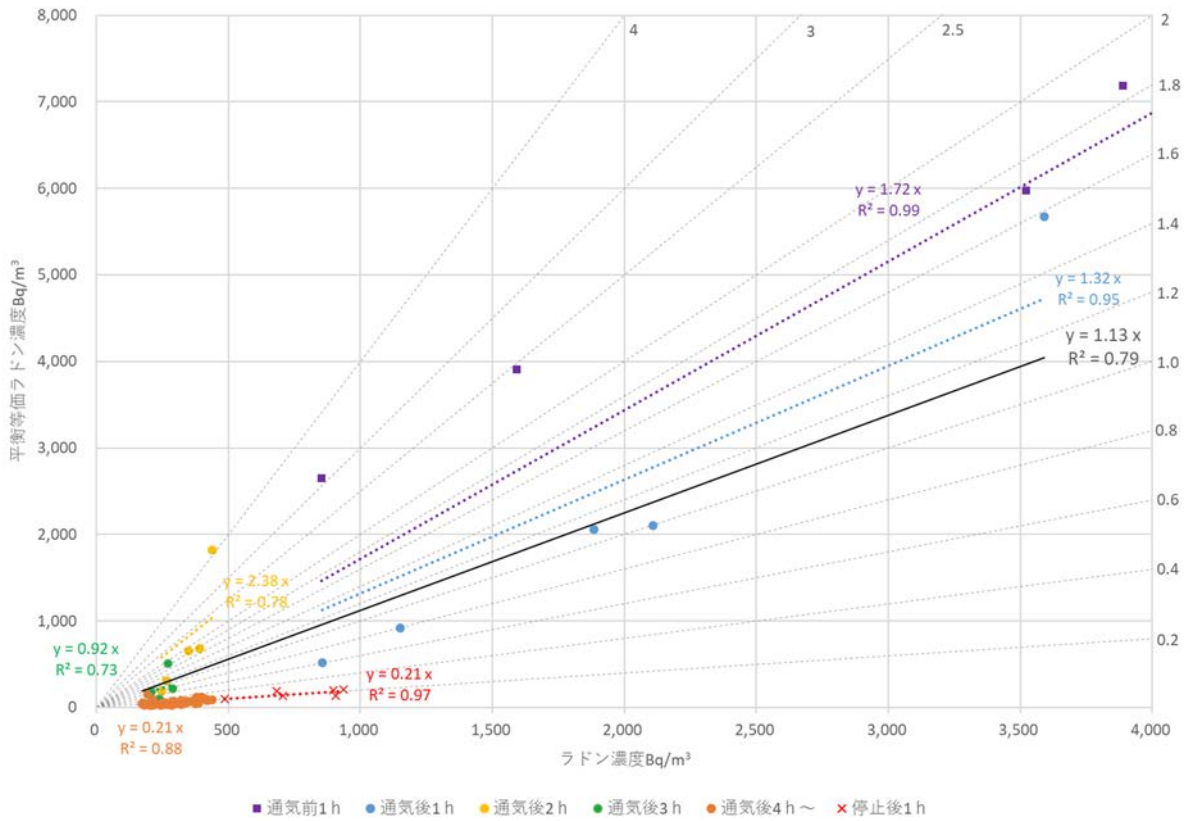


Fig.6-11 通気開始時からの平衡係数の時間変化（平成 26 年 9 月）

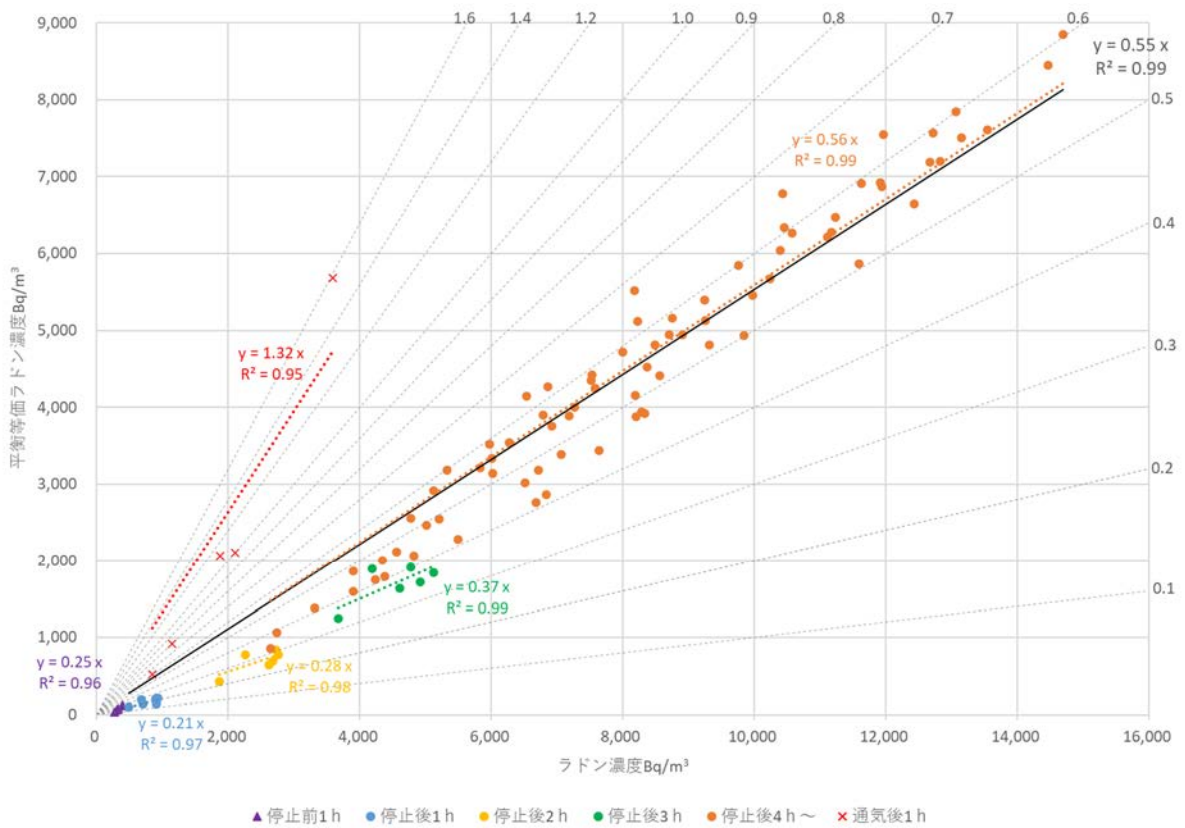


Fig.6-12 通気停止時からの平衡係数の時間変化（平成 26 年 9 月）

#### 6.4 冬季（平成 27 年 2 月）の測定結果

冬季の平成 27 年 2 月は、13 日 10 時から 27 日 14 時まで、ラドン濃度測定器と平衡等価ラドン濃度測定器による連続測定が行われた。Fig.6-13 に測定結果を示す。

これによると、ラドン濃度及び平衡等価ラドン濃度は全体に低く、最高でもラドン濃度が 20 日 19 時の  $1,472\text{Bq/m}^3$  及び平衡等価ラドン濃度が 26 日 19 時の  $228\text{Bq/m}^3$  に留まっている。これは坑内気温と外気温の差が大きく、自然通気が促進され外気が多く坑内へ供給されるためと考えられる。通気開始後及び通気停止後の変化は春季や夏季と傾向は大きくは変わらないが、値が小さいため変化も少なくなっている。終日通気が止まっている休日の変化も少ない。平衡係数については通気開始後に上昇する傾向は他の季節と変わらないが、通気時と通気停止時の差がほとんどなく、値自体も 0.25 以下と低い。自然通気によりエアロゾルが少ない状態が終日保たれていると考えられる。

1 時間毎の測定値を Fig.6-14 に、通気開始から通気停止までの 1 時間毎の測定値を Fig.6-15 に、通気停止から通気開始までの 1 時間毎の測定値を Fig.6-16 に示す。各々、通気開始及び停止前後の 1 時間の測定値も合わせて示している。

Fig.6-14 の平衡係数に該当する近似直線の傾きは 0.11 となっており非常に低い値である。

Fig.6-15 を見ると、通気開始に伴って両濃度は低下し平衡係数は上昇し、通気開始後 3 時間頃になると両濃度の変化は少なくなり平衡係数は低下するという変化の傾向は同じである。

Fig.6-16 を見ると、通気停止後はラドン濃度と平衡等価ラドン濃度が共に上昇していく。春季は通気停止後 4 時間以降になるとラドン濃度と平衡等価ラドン濃度は上昇しなくなり、夏季は上昇が継続しているが、冬季は通気停止後 2 時間頃が最も濃度が高い。また、平衡係数も通気停止後 2 時間以降の変化は少なく、これらは自然通気の増加による影響と考えられる。

#### 6.5 測定結果のまとめ

春季（平成 27 年 5 月）、夏季（平成 26 年 9 月）、冬季（平成 27 年 2 月）の測定データに基づき、通気状態と平衡係数の変化の傾向を検討した。その結果、以下のようなことが分かった。

- ① 坑道内のラドン濃度及び平衡等価ラドン濃度は、冬季に低く、夏季に高い。平衡係数も同様であり、通気停止中を含む値全体の平均で、2 月が 0.11、5 月が 0.38、9 月が 0.56 であった。
- ② 通気開始に伴ってラドン濃度及び平衡等価ラドン濃度は低下し平衡係数は上昇するが、通気開始後 3 時間頃になると両濃度の変化は少なくなり平衡係数は低下する。
- ③ 通気停止後はラドン濃度と平衡等価ラドン濃度は上昇していく。春季は通気停止後 4 時間以降はラドン濃度と平衡等価ラドン濃度は上昇しなくなるが、夏季は上昇が継続している。冬季は通気停止後 2 時間頃が最もラドン濃度と平衡等価ラドン濃度が高い。平衡係数は通気停止後、徐々に増加する。
- ④ これらの変化はラドンの子孫核種の濃度に関係する坑道内のエアロゾルの濃度に関係していることが考えられる。通気開始後の平衡係数の上昇は粉塵の巻き上げや坑壁等からの遊離によるエアロゾルの増加、通気停止後に平衡係数が徐々に増加するのはエアロゾルの蓄積が考えられる。
- ⑤ 季節によるラドン濃度及び平衡等価ラドン濃度や平衡係数の変化は、地表と坑道内の温度差により発生する自然通気が大きく影響していると考えられる。

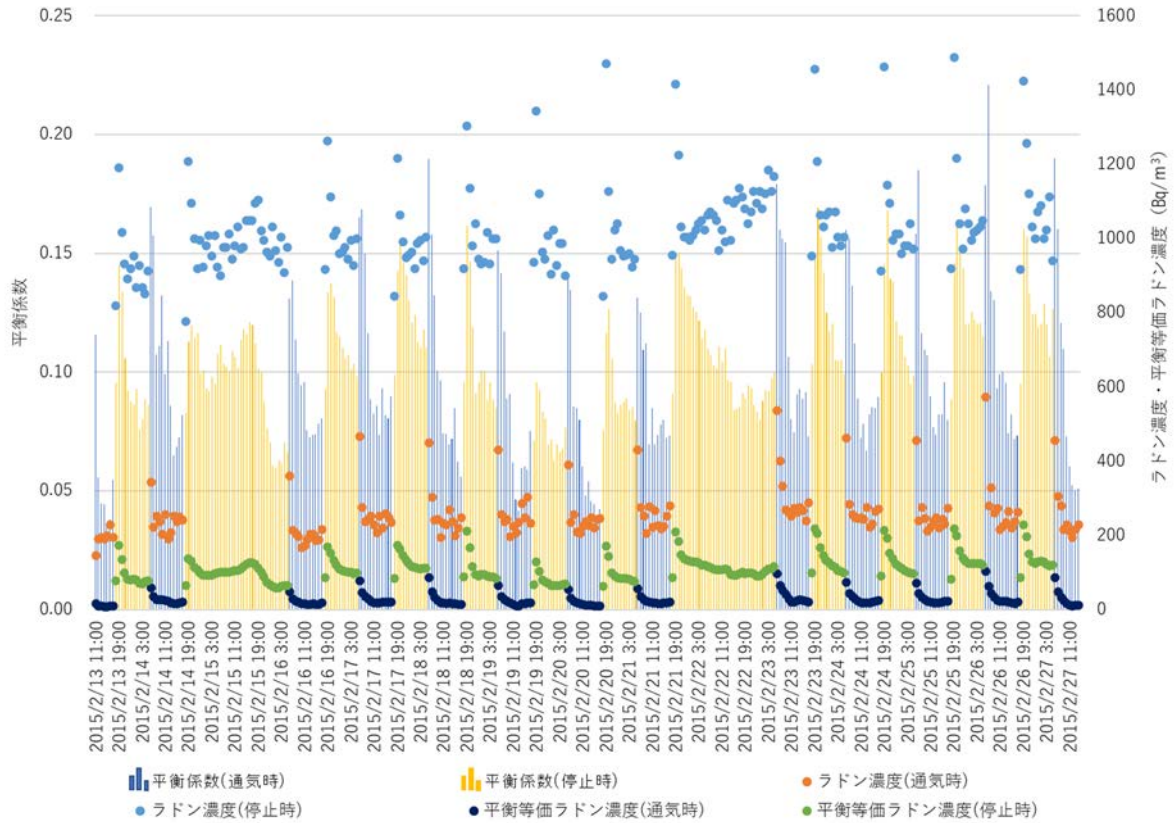


Fig.6-13 通気状態毎のラドン濃度と平衡等価ラドン濃度の測定結果及び平衡係数（平成 27 年 2 月）

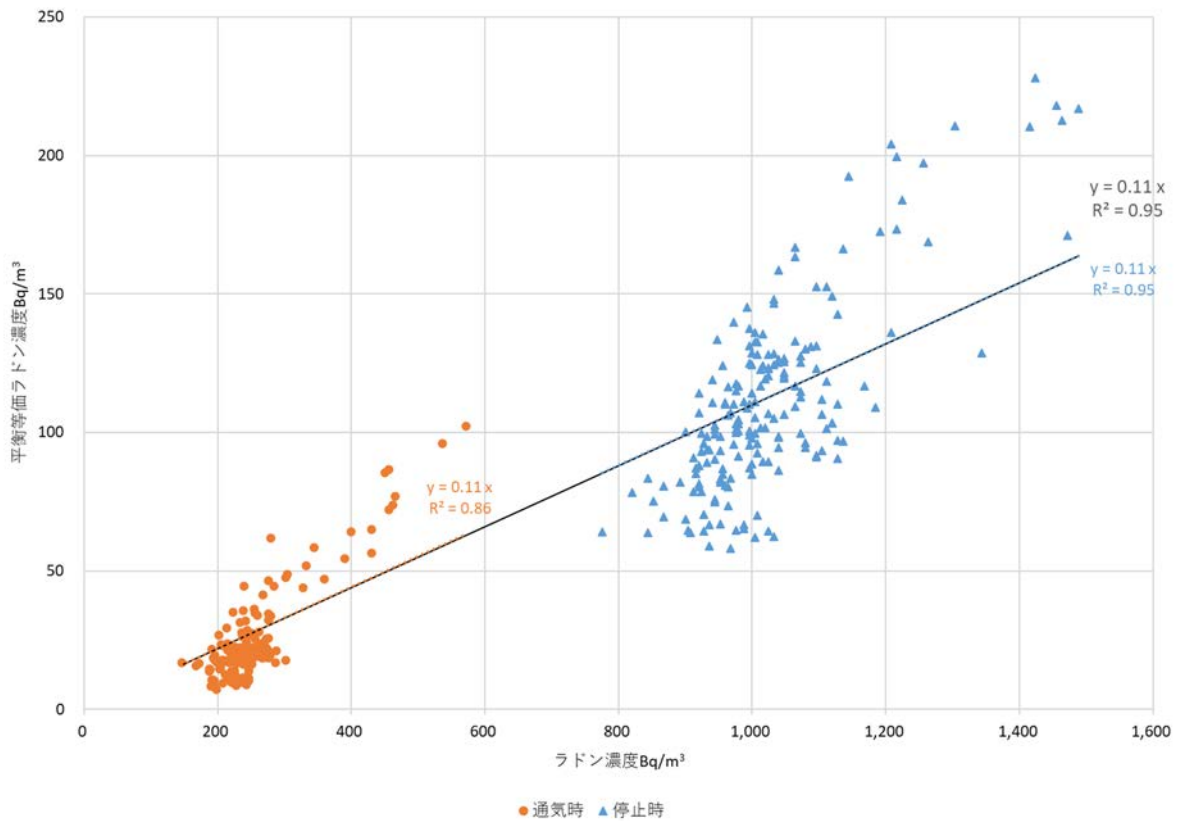


Fig.6-14 ラドン濃度と平衡等価ラドン濃度との関係（平成 27 年 2 月）

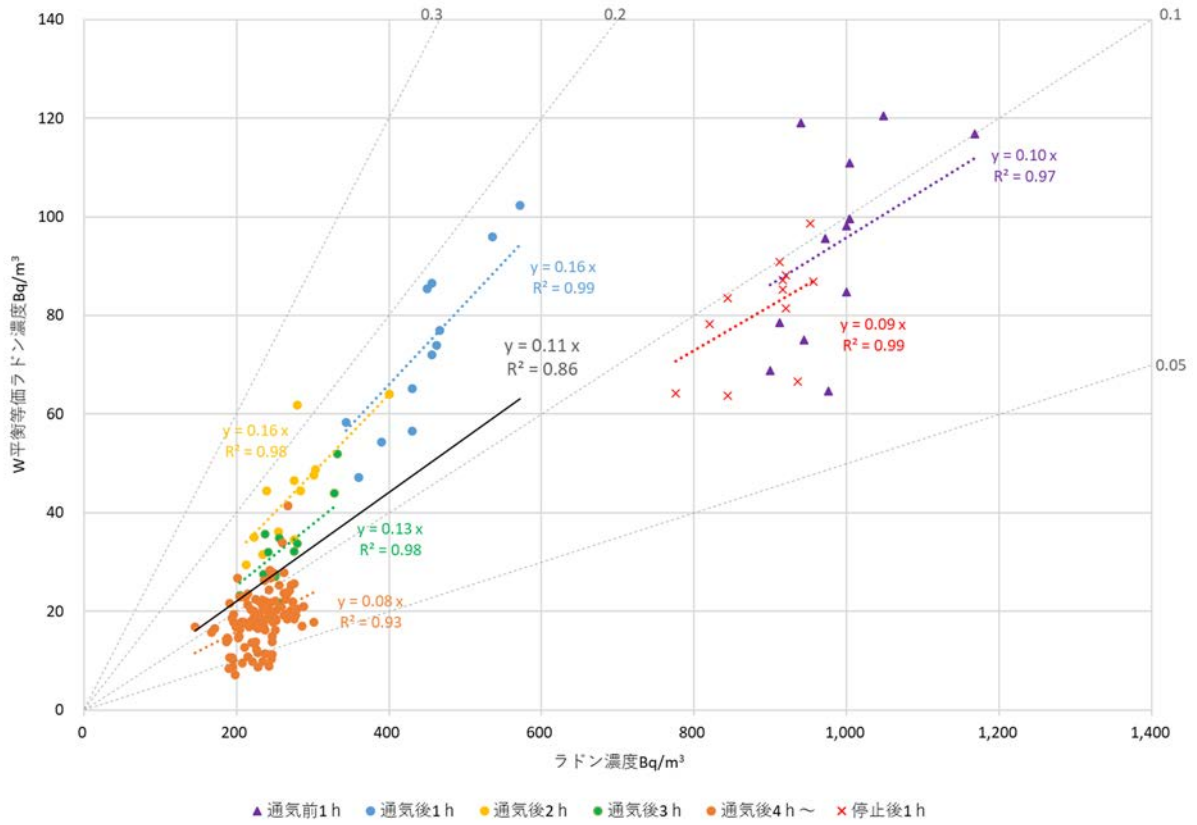


Fig.6-15 通気開始時からの平衡係数の時間変化（平成 27 年 2 月）

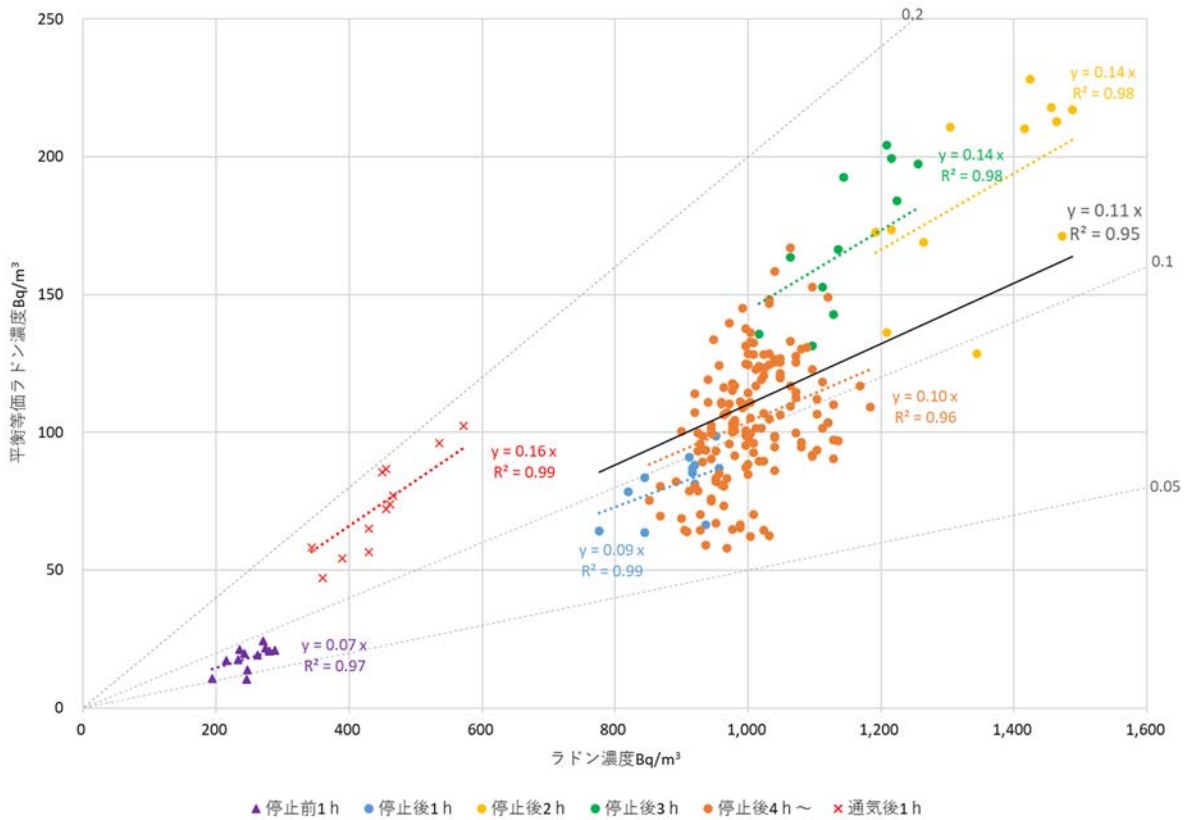


Fig.6-16 通気停止時からの平衡係数の時間変化（平成 27 年 2 月）

## 7. まとめ

瑞浪超深地層研究所の研究坑道で行った坑道内のラドン濃度測定の結果をデータ集として取りまとめるとともに、実測値に基づいて坑道内のラドン濃度や平衡係数の変化の要因等を検討した。

その結果、通気によってラドン濃度が大きく変化していること、季節により坑道内と外気の温度差で発生する自然通気の影響で坑道内のラドン濃度等が変化し、夏季は高く冬季は低くなっていること、通気開始時における平衡係数の上昇は、粉塵の巻き上げ等によるエアロゾルの増加が原因の一つになっていることが考えられること等が分かった。

今回取りまとめた情報が今後のラドン研究に役立てば幸甚である。

## 謝辞

瑞浪超深地層研究所の研究坑道内で行ったラドン濃度測定関連業務は、古田定昭副所長の指導の下、施設建設課の池田幸喜課長、見掛信一郎マネージャー等の方々、保安管理課の尾方伸久課長、永崎靖志マネージャー、小椋秀樹氏等の方々とともに行った（課名、肩書は当時）。また、現場での測定にあたっては、瑞浪超深地層研究所研究坑道掘削工事の大林・大成・安藤ハザマ特定建設工事共同企業体、清水・鹿島・前田特定建設工事共同企業体の方々にご協力いただいた。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 東濃地科学センター施設建設課：瑞浪超深地層研究所研究坑道掘削工事 平成14年度から平成17年度までの建設工事記録（平成18年度の一部を含む）, JAEA-Review 2012-026, 2012, 252p.
- 3) 東濃地科学センター施設建設課：瑞浪超深地層研究所研究坑道掘削工事 平成18年度建設工事記録, JAEA-Review 2012-038, 2012, 235p.
- 4) 東濃地科学センター施設建設課：瑞浪超深地層研究所研究坑道掘削工事 平成19年度建設工事記録, JAEA-Review 2012-051, 2013, 184p.
- 5) 東濃地科学センター施設建設課：瑞浪超深地層研究所研究坑道掘削工事 平成20年度建設工事記録, JAEA-Review 2010-061, 2011, 156p.
- 6) 東濃地科学センター施設建設課：瑞浪超深地層研究所研究坑道掘削工事 平成21年度建設工事記録, JAEA-Review 2014-032, 2014, 112p.
- 7) 東濃地科学センター施設建設課：瑞浪超深地層研究所研究坑道掘削工事（その4） 平成22年度、23年度建設工事記録, JAEA-Review 2014-036, 2014, 149p.
- 8) 東濃地科学センター施設建設課：瑞浪超深地層研究所研究坑道掘削工事（その5） 平成24年度、25年度建設工事記録, JAEA-Review 2016-002, 2016, 116p.
- 9) 東濃地科学センター施設建設課：瑞浪超深地層研究所研究坑道掘削工事（その6） 平成26年度、27年度建設工事記録, JAEA-Review 2016-027, 2017, 190p.
- 10) 東濃地科学センター施設建設課：瑞浪超深地層研究所研究坑道掘削工事（その7） 平成28年度、29年度建設工事記録, JAEA-Review 2018-026, 2019, 92p.
- 11) 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.
- 12) 陶土団体研究グループ：岐阜県瑞浪市南部の瀬戸層群—瀬戸層群の堆積盆地の発生から発展に関する研究（2）—, 島孤変動, 地団研専報, no.24, 1982, pp.143-155.
- 13) 糸魚川淳二：瑞浪層群の地質, 瑞浪市化石博物館研究報告, no.1, 1974, pp.9-42.
- 14) 日本の地質「中部地方Ⅱ」編集委員会：日本の地質5, 中部地方Ⅱ, 共立出版, 1988, 310p.
- 15) 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.
- 16) 日本保健物理学会：ラドンの防護規準に関する専門研究会活動報告書, 日本保健物理学会専門研究会報告書シリーズ, vol.8, no.1, 2012, p.53.

## 付録 CD-ROM

以下のデータを添付 CD-ROM に格納している。

### 付録 1：送風機稼働時間のデータファイル

- 付録 1.A-1：主立坑側（A 工区）送風機稼働時間の平成 26 年度（平成 26 年 7 月以降）
- 付録 1.A-2：主立坑側（A 工区）送風機稼働時間の平成 27 年度
- 付録 1.A-3：主立坑側（A 工区）送風機稼働時間の平成 28 年度
- 付録 1.A-4：主立坑側（A 工区）送風機稼働時間の平成 29 年度
- 付録 1.A-5：主立坑側（A 工区）送風機稼働時間の平成 30 年度
- 付録 1.A-6：主立坑側（A 工区）送風機稼働時間の平成 31（令和元）年度
- 付録 1.B-1：換気立坑側（B 工区）送風機稼働時間の平成 28 年度（平成 28 年 5 月以降）
- 付録 1.B-2：換気立坑側（B 工区）送風機稼働時間の平成 29 年度
- 付録 1.B-3：換気立坑側（B 工区）送風機稼働時間の平成 30 年度
- 付録 1.B-4：換気立坑側（B 工区）送風機稼働時間の平成 31（令和元）年度

### 付録 2：気温のデータファイル

- 付録 2-1：平成 26 年度
- 付録 2-2：平成 27 年度
- 付録 2-3：平成 28 年度
- 付録 2-4：平成 29 年度
- 付録 2-5：平成 30 年度
- 付録 2-6：平成 31（令和元）年度

### 付録 3：ラドン濃度のデータファイル

- 付録 3-1-1：平成 22 年 5 月～平成 24 年 12 月
- 付録 3-1-2：平成 25 年 6 月～平成 25 年 12 月
- 付録 3-2：平成 26 年 4 月～7 月
- 付録 3-3：平成 26 年 8 月～平成 27 年 7 月（深度 300m のみ）
- 付録 3-4-1：平成 27 年 8 月～平成 28 年 3 月（平成 27 年 7 月の深度 500m を含む）
- 付録 3-4-2：平成 28 年度
- 付録 3-4-3：平成 29 年度
- 付録 3-4-4：平成 30 年度
- 付録 3-4-5：平成 31（令和元）年度

This is a blank page.

# 国際単位系 (SI)

表1. SI 基本単位

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

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m <sup>2</sup>
体積	立方メートル	m <sup>3</sup>
速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s <sup>2</sup>
波数	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 <sup>2</sup>
比体積	立方メートル毎キログラム	m <sup>3</sup> /kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m <sup>2</sup>
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
量濃度 <sup>(a)</sup> , 濃度	モル毎立方メートル	mol/m <sup>3</sup>
質量濃度	キログラム毎立方メートル	kg/m <sup>3</sup>
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m <sup>2</sup>
屈折率 <sup>(b)</sup>	(数字の)	1
比透磁率 <sup>(b)</sup>	(数字の)	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

組立量	SI 組立単位			
	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 <sup>(e)</sup>	1 <sup>(b)</sup>	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
周波数	ヘルツ <sup>(d)</sup>	Hz		s <sup>-1</sup>
力	ニュートン	N		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 <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup>
電荷, 電気量	クーロン	C		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 <sup>2</sup> kg <sup>-1</sup> s <sup>4</sup> A <sup>2</sup>
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup> A <sup>-2</sup>
コンダクタンス	ジーメン	S	A/V	m <sup>2</sup> kg <sup>-1</sup> s <sup>3</sup> A <sup>2</sup>
磁束	ウェーバ	Wb	Vs	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> A <sup>-1</sup>
磁束密度	テスラ	T	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	H	Wb/A	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> A <sup>-2</sup>
セルシウス温度	セルシウス度 <sup>(e)</sup>	°C		K
光路長	メートル	lm	cd sr <sup>(e)</sup>	cd
放射線量	グレイ	Gy	J/kg	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>
放射線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量	シーベルト <sup>(g)</sup>	Sv	J/kg	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>
酸素活性化	カタール	kat		s <sup>-1</sup> mol

(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。  
 (c) 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) 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、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、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

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	SI 基本単位による表し方
粘力のモーメント	パスカル秒	Pa s	m <sup>-1</sup> kg s <sup>-1</sup>
表面張力	ニュートンメートル	N m	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup>
角加速度	ニュートン毎メートル	N/m	kg s <sup>-2</sup>
角加減	ラジアン毎秒	rad/s	m m <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> =s <sup>-1</sup>
熱流密度, 放射照度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s <sup>2</sup>	m m <sup>-1</sup> s <sup>-2</sup> =s <sup>-2</sup>
熱容量, エントロピー	ワット毎平方メートル	W/m <sup>2</sup>	kg s <sup>-3</sup>
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup>
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 <sup>2</sup> s <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup>
比エントロピー	ジュール毎キログラム	J/kg	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>
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	ジュール毎立方メートル	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> s A
電表面積	クーロン毎平方メートル	C/m <sup>2</sup>	m <sup>-2</sup> s A
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> s A
誘電率	ファラド毎メートル	F/m	m <sup>3</sup> kg <sup>-1</sup> s <sup>4</sup> A <sup>2</sup>
透磁率	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 <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> mol <sup>-1</sup>
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 <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> mol <sup>-1</sup>
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> s A
吸収線量率	グレイ毎秒	Gy/s	m <sup>2</sup> s <sup>-3</sup>
放射線強度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m <sup>4</sup> m <sup>-2</sup> kg s <sup>-3</sup> =m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup>
放射線輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m <sup>2</sup> 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 <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> mol

表5. SI 接頭語

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

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	°	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 <sup>2</sup> =10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>
リットル	L, l	1 L=1 l=1 dm <sup>3</sup> =10 <sup>3</sup> cm <sup>3</sup> =10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>
トン	t	1 t=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
電子ボルト	eV	1 eV=1.602 176 53(14)×10 <sup>-19</sup> J
ダルトン	Da	1 Da=1.660 538 86(28)×10 <sup>-27</sup> kg
統一原子質量単位	u	1 u=1 Da
天文単位	ua	1 ua=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
バール	bar	1 bar=0.1MPa=100 kPa=10 <sup>5</sup> 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 <sup>-10</sup> m
海里	M	1 M=1852m
バイン	b	1 b=100fm <sup>2</sup> =(10 <sup>12</sup> cm) <sup>2</sup> =10 <sup>-28</sup> m <sup>2</sup>
ノット	kn	1 kn=(1852/3600)m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的関係は、 対数量の定義に依存。
ベレル	B	
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 <sup>-7</sup> J
ダイン	dyn	1 dyn=10 <sup>-5</sup> N
ポアズ	P	1 P=1 dyn s cm <sup>-2</sup> =0.1Pa s
ストークス	St	1 St=1cm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> =10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>
スチルブ	sb	1 sb=1cd cm <sup>-2</sup> =10 <sup>4</sup> cd m <sup>-2</sup>
フオト	ph	1 ph=1cd sr cm <sup>-2</sup> =10 <sup>4</sup> lx
ガリ	Gal	1 Gal=1cm s <sup>-2</sup> =10 <sup>-2</sup> ms <sup>-2</sup>
マクスウェル	Mx	1 Mx=1 G cm <sup>2</sup> =10 <sup>-8</sup> Wb
ガウス	G	1 G=1Mx cm <sup>-2</sup> =10 <sup>-4</sup> T
エルステッド <sup>(a)</sup>	Oe	1 Oe <sub>e</sub> =(10 <sup>3</sup> /4π)A m <sup>-1</sup>

(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
キュリー	Ci	1 Ci=3.7×10 <sup>10</sup> Bq
レントゲン	R	1 R=2.58×10 <sup>-4</sup> C/kg
ラド	rad	1 rad=1cGy=10 <sup>-2</sup> Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10 <sup>-2</sup> Sv
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 <sup>-9</sup> T
フェルミ	f	1 フェルミ=1 fm=10 <sup>-15</sup> m
メートル系カラット		1 メートル系カラット=0.2 g=2×10 <sup>-4</sup> kg
トル	Torr	1 Torr=(101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm=101 325 Pa
カロリ	cal	1 cal=4.1858J (「15°C」カロリ), 4.1868J (「IT」カロリ), 4.184J (「熱化学」カロリ)
マイクロン	μ	1 μ=1μm=10 <sup>-6</sup> m

