



JAEA-Data/Code

2018-001

DOI:10.11484/jaea-data-code-2018-001

幌延の地下施設における地下水の
地球化学モニタリング装置を用いた
物理化学パラメータ測定結果

Records of Physico-chemical Parameters by Geochemical Monitoring System
in the Horonobe Underground Research Laboratory

女澤 徹也 望月 陽人 宮川 和也 笹本 広

Tetsuya MEZAWA, Akihito MOCHIZUKI, Kazuya MIYAKAWA and Hiroshi SASAMOTO

バックエンド研究開発部門
幌延深地層研究センター
深地層研究部

Horonobe Underground Research Department
Horonobe Underground Research Center
Sector of Decommissioning and Radioactive Waste Management

March 2018

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 (<http://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, 2018

幌延の地下施設における地下水の地球化学モニタリング装置を用いた
物理化学パラメータ測定結果

日本原子力研究開発機構 バックエンド研究開発部門
幌延深地層研究センター 深地層研究部
深地層研究部
女澤 徹也[※], 望月 陽人, 宮川 和也, 笹本 広

(2018年2月23日 受理)

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構は、北海道幌延町において、深地層の研究施設を活用した地層科学研究および地層処分研究開発を実施している。幌延深地層研究センターでは、地層科学研究の一環として、地下施設内の調査坑道において、岩盤中の地下水の水圧・水質変化の観測を目的として開発された地下水の地球化学モニタリング装置を用い、観測を継続している。本報では、140m 調査坑道、250m 調査坑道および 350m 調査坑道に設置された地下水の地球化学モニタリング装置を用い、2017年3月31日（平成28年度末）までに取得した水質（物理化学パラメータ）の測定結果をとりまとめた。

Records of Physico-chemical Parameters by Geochemical Monitoring System
in the Horonobe Underground Research Laboratory

Tetsuya MEZAWA✧, Akihito MOCHIZUKI, Kazuya MIYAKAWA and Hiroshi SASAMOTO

Horonobe Underground Research Department
Horonobe Underground Research Center
Sector of Decommissioning and Radioactive Waste Management
Japan Atomic Energy Agency
Horonobe-cho, Teshio-gun, Hokkaido

(Received February 23, 2018)

Japan Atomic Energy Agency has been conducting "geoscientific study" and "research and development on geological disposal" in the Horonobe Underground Research Laboratory (URL) for safe geological disposal of high-level radioactive waste. Geochemical parameters of groundwater pressure, pH, and oxidation-reduction potential in the deep groundwater have been continuously monitored with monitoring systems which were developed in the Horonobe URL Project. This report presents the physico-chemical parameters of groundwater which have been obtained by the monitoring systems installed at the 140 m, 250 m and 350 m gallery. The data acquired by the end of March 2017 was summarized along with related information such as the specifications of boreholes and the state of excavation of the URL.

Keywords: Physico-chemical Parameters, Horonobe URL, Monitoring System

✧ Collaborating Engineer

目 次

1. はじめに	1
2. 物理化学パラメータ測定の概要	1
2.1 観測位置	1
2.2 地球化学モニタリング装置	12
3. 物理化学パラメータの測定データ	16
3.1 測定方法	16
3.1.1 多項目水質観測機の特徴と仕様	16
3.1.2 測定手順	16
3.1.3 データの取り出し	18
3.2 データ処理	18
3.3 採用値の決定	19
3.3.1 採用値決定の必要性	19
3.3.2 採用値の決定方法	19
3.4 データシートの構成	20
3.5 収録データ	23
4. 結果	24
4.1 測定結果	24
4.2 各観測項目の経時変化	33
4.2.1 pH	33
4.2.2 Eh	37
4.2.3 電気伝導度	40
4.2.4 溶存酸素濃度	44
4.2.5 水温	47
4.2.6 観測に影響すると考えられる諸要素	52
5. おわりに	54
謝辞	54
参考文献	54
付録1 データシート	(PDF データを CD に収録)
付録2 物理化学パラメータ測定結果	(CSV データを CD に収録)

Contents

1. Introduction	1
2. General description	1
2.1 Location	1
2.2 Monitoring system	12
3. Monitoring data	16
3.1 Monitoring methods	16
3.1.1 Characteristics and specifications of probes	16
3.1.2 Monitoring procedure	16
3.1.3 Data extraction	18
3.2 Data processing	18
3.3 Determination of the representative values	19
3.3.1 Necessity of determining the representative values	19
3.3.2 Criteria	19
3.4 Datasheet	20
3.5 Data record	23
4. Results	24
4.1 Monitoring results	24
4.2 Temporal variations in the parameters	33
4.2.1 pH	33
4.2.2 Eh	37
4.2.3 Electric conductivity	40
4.2.4 Dissolved oxygen concentration	44
4.2.5 Water temperature	47
4.2.6 Possible factors affecting the monitoring results	52
5. Conclusions	54
Acknowledgement	54
References	54
Appendix 1 Datasheets	(PDF data in CD)
Appendix 2 Records of physico-chemical parameters	(CSV data in CD)

図 リスト

図 2.1-1	各観測孔の位置	2
図 2.1-2	140m 調査坑道における観測孔位置図	4
図 2.1-3	08-E140-C01 孔における観測区間の詳細図	5
図 2.1-4	250m 調査坑道における観測孔位置図	6
図 2.1-5	09-V250-M02 孔における観測区間の詳細図	6
図 2.1-6	試験坑道 2 および 4 の周辺における観測孔位置および観測区間の模式図	7
図 2.1-7	13-350-C05 孔における観測区間の詳細図	7
図 2.1-8	13-350-C06 孔における観測区間の詳細図	8
図 2.1-9	試験坑道 4 周辺における観測孔位置および観測区間の模式図	8
図 2.1-10	13-350-C07～C09 孔における観測区間の詳細図	10
図 2.1-11	14-350-C04 孔の位置および観測区間の模式図	11
図 2.1-12	14-350-C04 孔における観測区間の詳細図	12
図 2.2-1	2009 年以前に開発された装置の概要図	14
図 2.2-2	2009 年以降に開発された装置の概要図	14
図 3.1-1	水質モニタリングユニットの概要図	17
図 3.3-1	データシートの例	22
図 4.2-1	pH の経時変化 (08-E140-C01 区間 3)	33
図 4.2-2	pH の経時変化 (08-E140-C01 区間 5)	33
図 4.2-3	pH の経時変化 (13-350-C05 区間 2)	34
図 4.2-4	pH の経時変化 (13-350-C05 区間 3)	34
図 4.2-5	pH の経時変化 (13-350-C06 区間 1)	34
図 4.2-6	pH の経時変化 (13-350-C06 区間 2)	35
図 4.2-7	pH の経時変化 (13-350-C06 区間 3)	35
図 4.2-8	pH の経時変化 (13-350-C08 区間 2)	35
図 4.2-9	pH の経時変化 (14-350-C04 区間 5)	36
図 4.2-10	pH の経時変化 (14-350-C04 区間 6)	36
図 4.2-11	Eh の経時変化 (13-350-C05 区間 2)	37
図 4.2-12	Eh の経時変化 (13-350-C06 区間 1)	37
図 4.2-13	Eh の経時変化 (13-350-C06 区間 2)	38
図 4.2-14	Eh の経時変化 (13-350-C08 区間 2)	38
図 4.2-15	Eh の経時変化 (14-350-C04 区間 5)	38
図 4.2-16	Eh の経時変化 (14-350-C04 区間 6)	39
図 4.2-17	電気伝導度の経時変化 (08-E140-C01 区間 3)	40
図 4.2-18	電気伝導度の経時変化 (08-E140-C01 区間 5)	40
図 4.2-19	電気伝導度の経時変化 (13-350-C05 区間 2)	41
図 4.2-20	電気伝導度の経時変化 (13-350-C05 区間 3)	41

図 4.2-21	電気伝導度の経時変化 (13-350-C06 区間 1)	41
図 4.2-22	電気伝導度の経時変化 (13-350-C06 区間 2)	42
図 4.2-23	電気伝導度の経時変化 (13-350-C06 区間 3)	42
図 4.2-24	電気伝導度の経時変化 (13-350-C08 区間 2)	42
図 4.2-25	電気伝導度の経時変化 (14-350-C04 区間 5)	43
図 4.2-26	電気伝導度の経時変化 (14-350-C04 区間 6)	43
図 4.2-27	溶存酸素濃度の経時変化 (08-E140-C01 および 09-V250-M02)	44
図 4.2-28	溶存酸素濃度の経時変化 (13-350-C05)	44
図 4.2-29	溶存酸素濃度の経時変化 (13-350-C06)	45
図 4.2-30	溶存酸素濃度の経時変化 (13-350-C07~C09)	45
図 4.2-31	溶存酸素濃度の経時変化 (14-350-C04)	45
図 4.2-32	水温の経時変化 (08-E140-C01 区間 3)	47
図 4.2-33	水温の経時変化 (08-E140-C01 区間 5)	47
図 4.2-34	水温の経時変化 (13-350-C05 区間 2)	48
図 4.2-35	水温の経時変化 (13-350-C05 区間 3)	48
図 4.2-36	水温の経時変化 (13-350-C06 区間 1)	48
図 4.2-37	水温の経時変化 (13-350-C06 区間 2)	49
図 4.2-38	水温の経時変化 (13-350-C06 区間 3)	49
図 4.2-39	水温の経時変化 (13-350-C08 区間 2)	49
図 4.2-40	水温の経時変化 (14-350-C04 区間 5)	50
図 4.2-41	水温の経時変化 (14-350-C04 区間 6)	50
図 4.2-42	日平均気温の経時変化 (アメダス豊富)	51
図 4.2-43	比較電極交換後の経過月数と ORP 検定値との関係	52
図 4.2-44	観測機別に示した Eh の経時変化 (全観測区間)	53
図 4.2-45	観測機別に示した Eh の経時変化 (13-350-C05 区間 2)	53

表 リスト

表 2.1-1	水質観測データを取得した観測孔に関わる情報	3
表 2.1-2	08-E140-C01 孔の諸元一覧	4
表 2.1-3	09-V250-M02 孔の諸元一覧	6
表 2.1-4	13-350-C05 孔の諸元一覧	7
表 2.1-5	13-350-C06 孔の諸元一覧	8
表 2.1-6	13-350-C07 孔の諸元一覧	9
表 2.1-7	13-350-C08 孔の諸元一覧	9
表 2.1-8	13-350-C09 孔の諸元一覧	9
表 2.1-9	14-350-C04 孔の諸元一覧	11
表 2.2-1	幌延地下研究施設における地下水の地球化学モニタリング装置の一覧	15
表 3.1-1	多項目水質観測機の測定項目仕様	16
表 3.2-1	多項目水質観測機における水温と変数 U_0 との関係	18
表 4.1-1	観測区間ごとの採用値取得数一覧	25
表 4.1-2	測定結果一覧表	26-32

List of Figures

Figure 2.1-1	Locations of boreholes at the Horonobe URL	2
Figure 2.1-2	Location of the borehole at the 140 m gallery	4
Figure 2.1-3	Schematic illustration of the monitoring zones of the borehole 08-E140-C01	5
Figure 2.1-4	Location of the borehole at the 250 m gallery	6
Figure 2.1-5	Schematic illustration of the monitoring zones of the borehole 09-V250-M02	6
Figure 2.1-6	Locations of the boreholes around the 350 m gallery at Niche No.2 and 4	7
Figure 2.1-7	Schematic illustration of the monitoring zones of the borehole 13-350-C05	7
Figure 2.1-8	Schematic illustration of the monitoring zones of the borehole 13-350-C06	8
Figure 2.1-9	Locations of the boreholes around the 350 m gallery at Niche No. 4	8
Figure 2.1-10	Schematic illustration of the monitoring zones of the boreholes 13-350-C07 to C09	10
Figure 2.1-11	Location of the borehole 14-350-C04	11
Figure 2.1-12	Schematic illustration of the monitoring zones of the borehole 14-350-C04	12
Figure 2.2-1	Schematic illustration of the monitoring system developed before 2009	14
Figure 2.2-2	Schematic illustration of the monitoring system developed after 2009	14
Figure 3.1-1	Schematic illustration of the water chemistry monitoring unit	17
Figure 3.3-1	Example of datasheet	22
Figure 4.2-1	Temporal variations in pH (08-E140-C01 zone3)	33
Figure 4.2-2	Temporal variations in pH (08-E140-C01 zone5)	33
Figure 4.2-3	Temporal variations in pH (13-350-C05 zone2)	34
Figure 4.2-4	Temporal variations in pH (13-350-C05 zone3)	34
Figure 4.2-5	Temporal variations in pH (13-350-C06 zone1)	34
Figure 4.2-6	Temporal variations in pH (13-350-C06 zone2)	35
Figure 4.2-7	Temporal variations in pH (13-350-C06 zone3)	35
Figure 4.2-8	Temporal variations in pH (13-350-C08 zone2)	35
Figure 4.2-9	Temporal variations in pH (14-350-C04 zone5)	36
Figure 4.2-10	Temporal variations in pH (14-350-C04 zone6)	36
Figure 4.2-11	Temporal variations in Eh (13-350-C05 zone2)	37
Figure 4.2-12	Temporal variations in Eh (13-350-C06 zone1)	37
Figure 4.2-13	Temporal variations in Eh (13-350-C06 zone2)	38
Figure 4.2-14	Temporal variations in Eh (13-350-C08 zone2)	38
Figure 4.2-15	Temporal variations in Eh (14-350-C04 zone5)	38
Figure 4.2-16	Temporal variations in Eh (14-350-C04 zone6)	39
Figure 4.2-17	Temporal variations in electric conductivity (08-E140-C01 zone3)	40
Figure 4.2-18	Temporal variations in electric conductivity (08-E140-C01 zone5)	40
Figure 4.2-19	Temporal variations in electric conductivity (13-350-C05 zone2)	41

Figure 4.2-20	Temporal variations in electric conductivity (13-350-C05 zone3)	41
Figure 4.2-21	Temporal variations in electric conductivity (13-350-C06 zone1)	41
Figure 4.2-22	Temporal variations in electric conductivity (13-350-C06 zone2)	42
Figure 4.2-23	Temporal variations in electric conductivity (13-350-C06 zone3)	42
Figure 4.2-24	Temporal variations in electric conductivity (13-350-C08 zone2)	42
Figure 4.2-25	Temporal variations in electric conductivity (14-350-C04 zone5)	43
Figure 4.2-26	Temporal variations in electric conductivity (14-350-C04 zone6)	43
Figure 4.2-27	Temporal variations in dissolved oxygen concentration (08-E140-C01 and 09-V250-M02)	44
Figure 4.2-28	Temporal variations in dissolved oxygen concentration (13-350-C05)	44
Figure 4.2-29	Temporal variations in dissolved oxygen concentration (13-350-C06)	45
Figure 4.2-30	Temporal variations in dissolved oxygen concentration (13-350-C07 to C09)	45
Figure 4.2-31	Temporal variations in dissolved oxygen concentration (14-350-C04)	45
Figure 4.2-32	Temporal variations in water temperature (08-E140-C01 zone3)	47
Figure 4.2-33	Temporal variations in water temperature (08-E140-C01 zone5)	47
Figure 4.2-34	Temporal variations in water temperature (13-350-C05 zone2)	48
Figure 4.2-35	Temporal variations in water temperature (13-350-C05 zone3)	48
Figure 4.2-36	Temporal variations in water temperature (13-350-C06 zone1)	48
Figure 4.2-37	Temporal variations in water temperature (13-350-C06 zone2)	49
Figure 4.2-38	Temporal variations in water temperature (13-350-C06 zone3)	49
Figure 4.2-39	Temporal variations in water temperature (13-350-C08 zone2)	49
Figure 4.2-40	Temporal variations in water temperature (14-350-C04 zone5)	50
Figure 4.2-41	Temporal variations in water temperature (14-350-C04 zone6)	50
Figure 4.2-42	Temporal variations in daily average air temperature (AMeDAS Toyotomi)	51
Figure 4.2-43	Relationship between the elapsed time after the replacement of the reference electrode and the calibration value of ORP	52
Figure 4.2-44	Temporal variation in Eh for each monitoring probe (all monitoring zones)	53
Figure 4.2-45	Temporal variation in Eh for each monitoring probe (13-350-C05 zone2)	53

List of Tables

Table 2.1-1	Monitoring periods and number of monitoring zones of each boreholes	3
Table 2.1-2	Specifications of the borehole 08-E140-C01	4
Table 2.1-3	Specifications of the borehole 09-V250-M02	6
Table 2.1-4	Specifications of the borehole 13-350-C05	7
Table 2.1-5	Specifications of the borehole 13-350-C06	8
Table 2.1-6	Specifications of the borehole 13-350-C07	9
Table 2.1-7	Specifications of the borehole 13-350-C08	9
Table 2.1-8	Specifications of the borehole 13-350-C09	9
Table 2.1-9	Specifications of the borehole 14-350-C04	11
Table 2.2-1	Monitoring systems developed in the Horonobe Underground Research Laboratory Project	15
Table 3.1-1	Specifications of the monitoring sensors	16
Table 3.2-1	Relationship between water temperature and a variable U_0	18
Table 4.1-1	The number of the representative values obtained in each monitoring zone	25
Table 4.1-2	Monitoring results	26-32

1. はじめに

幌延深地層研究計画における深地層の科学的研究では、高レベル放射性廃棄物の地層処分における事業や規制で必要となる技術基盤を整備するために、調査技術や調査機器の開発を進めている¹⁾。幌延深地層研究計画は、地上からの調査研究段階（第1段階）、坑道掘削時の調査研究段階（第2段階）、地下施設での調査研究段階（第3段階）の3段階に分けて実施されており、第2・3段階では、地下施設の建設が周辺の地質環境に及ぼす影響を調査するための調査技術が開発されている。その一環として、水圧・水質を連続観測するための地下水の地球化学モニタリング装置の開発が進められている²⁾。本報告は、140m 調査坑道、250m 調査坑道および350m 調査坑道に設置された地下水の地球化学モニタリング装置によって得られた2017年3月（平成28年度末）までの物理化学パラメータ（水温、電気伝導度、pH、溶存酸素濃度、酸化還元電位）の測定結果をデータ集として取りまとめたものであり、地下施設の建設が地下水流動や地球化学的環境に与える影響を評価するための研究開発の基盤となる情報を整理することを目的としている。

2. 物理化学パラメータ測定の概要

2.1 観測位置

表 2.1-1 に地下施設内における各観測孔の観測開始日や観測区間に関する情報を示し、図 2.1-1 に地下施設内における各観測孔の位置を示す。また、各深度（140m、250m、350m）の調査坑道における観測孔の位置図と各孔の観測区間の詳細図を図 2.1-2～図 2.1-12 に、各孔の諸元（孔口高さ、掘進長・方向・方位、区間延長等）を表 2.1-2～表 2.1-9 に示す。各観測孔とこれら図表との対応については、表 2.1-1 中に記載している。なお、諸元一覧中の観測孔の掘進方向（角度）、掘進方位（方位）および深度の記載方法については、3 頁脚注を参照されたい。

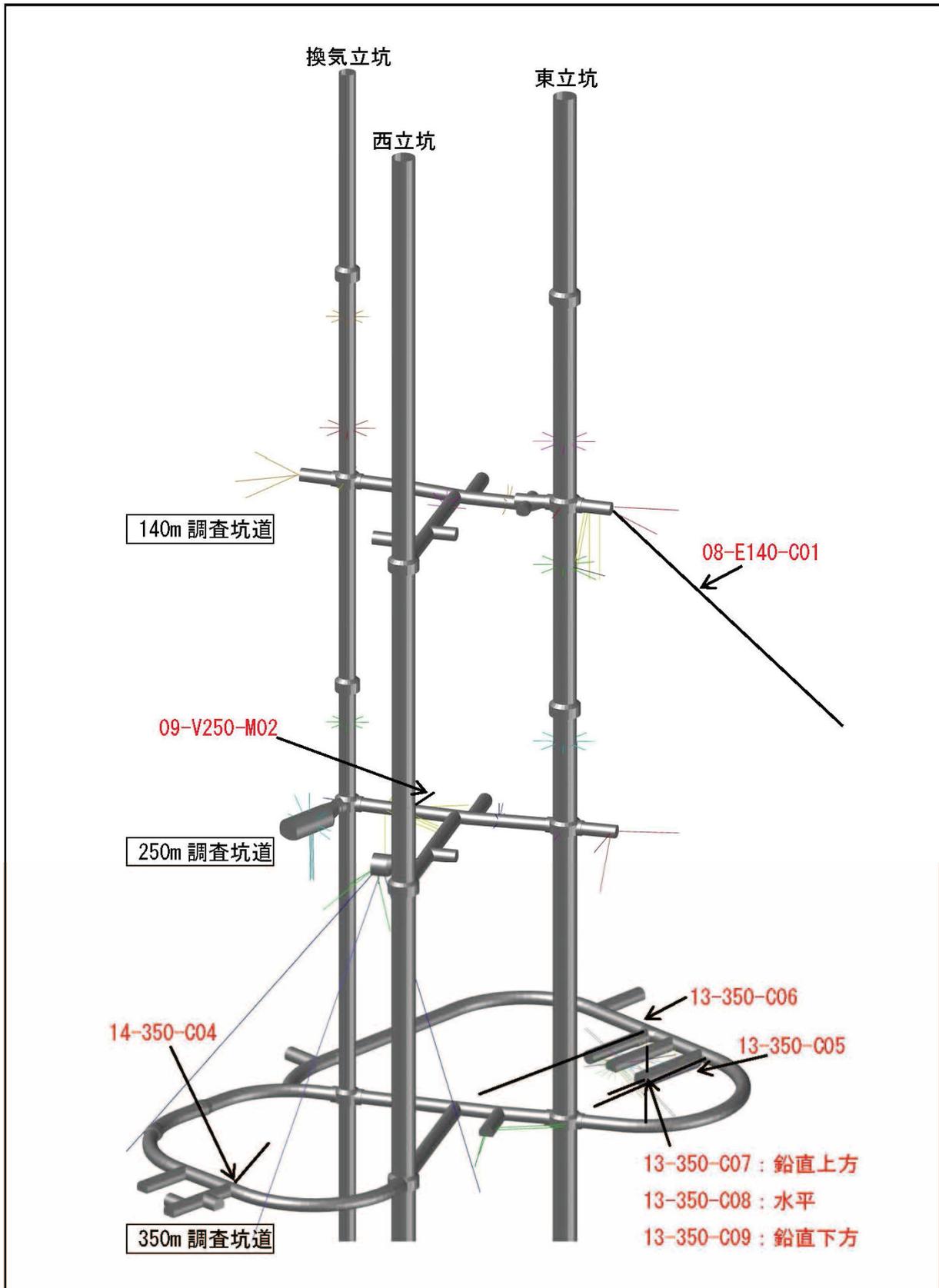


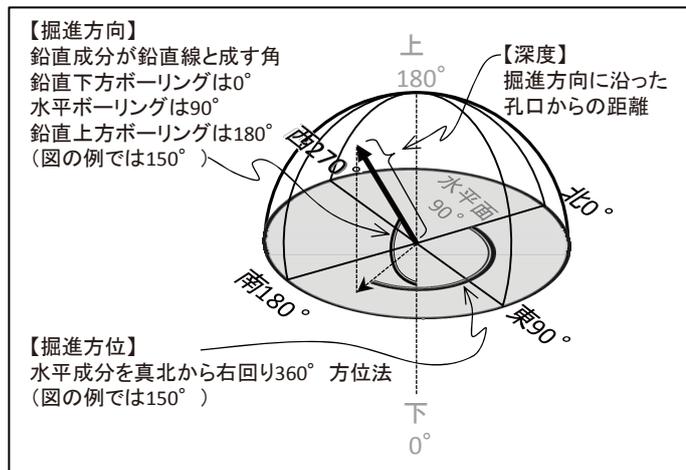
図 2.1-1 各観測孔の位置

表 2.1-1 水質観測データを取得した観測孔に関する情報

孔番	測定開始日	観測区間に関する情報			備考	詳細図表等の番号		
		観測区間数	測定履歴のある区間数	2017/3現在測定可能な区間数		観測孔位置図	諸元一覧表	観測区間の詳細図
08-E140-C01	2012/11/2	5	3	2	区間3,4が連通（区間3を測定継続中）	図 2.1-2	表 2.1-2	図 2.1-3
09-V250-M02	2015/1/8	3	1	1	—	図 2.1-4	表 2.1-3	図 2.1-5
13-350-C05	2013/4/24	4	4	1	—	図 2.1-6	表 2.1-4	図 2.1-7
13-350-C06	2013/7/30	4	4	2	区間3,4が連通（測定終了）		表 2.1-5	図 2.1-8
13-350-C07	2014/2/21	4	3	0	—	図 2.1-9	表 2.1-6	図 2.1-10
13-350-C08	2014/3/20	4	3	1	区間2,3が連通（区間2を計測継続中）		表 2.1-7	
13-350-C09	2014/4/8	4	1	0	—		表 2.1-8	
14-350-C04	2014/10/15	6	3	2	—	図 2.1-11	表 2.1-9	図 2.1-12

《脚注》 諸元一覧のボーリング孔の掘進方向（角度）と掘進方位（方位）、深度の記載方法

- 掘進方向は、ボーリング孔の削孔方向の鉛直成分が鉛直線となす角度を示す³⁾。
- 掘進方位は、斜めボーリング孔の場合に、ボーリング孔の削孔方向の水平成分を真北から右回り 360° 方位法で示す³⁾。
- 深度は、ボーリング孔の掘進方向に沿った孔口からの距離を示す。



掘進方向と掘進方位の記載方法概念図
(文献³⁾をもとに筆者作成)

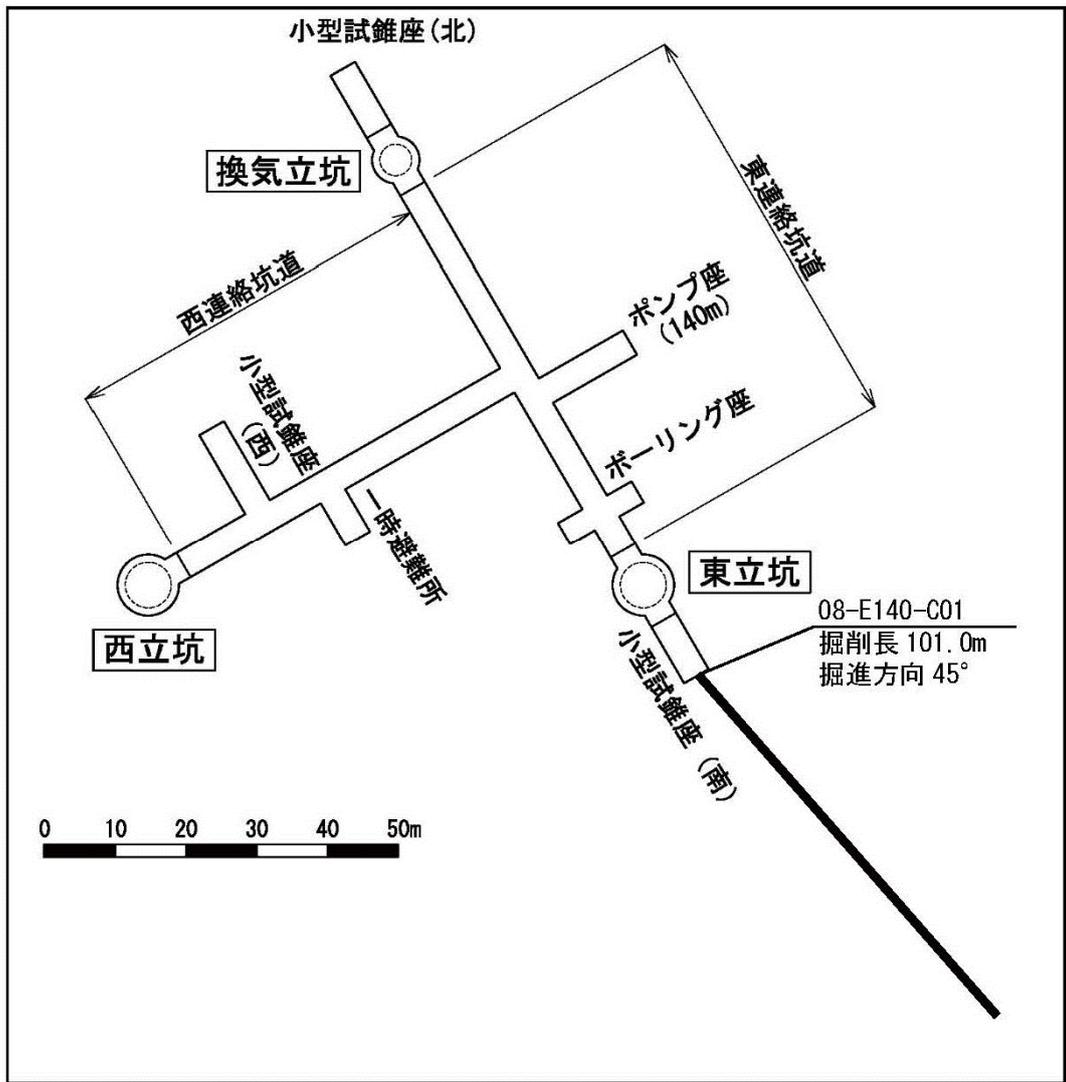


図 2.1-2 140m 調査坑道における観測孔位置図

表 2.1-2 08-E140-C01 孔の諸元一覧

孔口高さ (GL-(m))	140.032 m	観測 区間	区間深度 (m)		区間延長 (m)
掘進長	101.0 m		浅部	深部	
掘進方向	45 °	区間5	24.0	37.5	13.5
掘進方位	139 °	区間4	38.5	46.0	7.5
孔径 [※]	105 mm	区間3	47.0	71.0	24.0
装置径	89.1 mm	区間2	72.0	89.0	17.0
パッカーφ108mm対応, 収縮時95mm		区間1	90.0	101.0	11.0

※孔径は、最終的な拡孔において 115mm で掘削されたが、孔壁の縮小などがあり、孔径検層では 102~105mm と観測されているため、105mm とした。

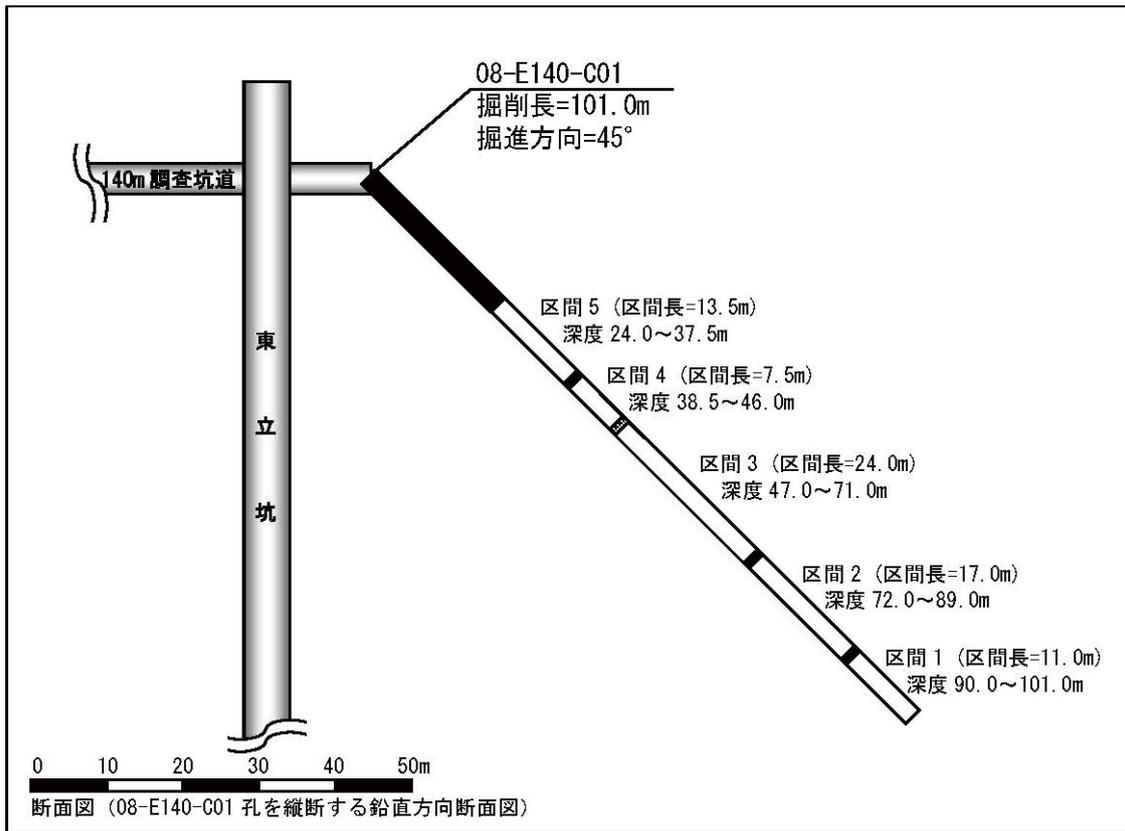


図 2.1-3 08-E140-C01 孔における観測区間の詳細図

ボーリング孔中の白抜き部は観測区間を示し、黒塗り部は保孔あるいはパッカー部を示す。観測孔は実寸よりも大きく表示されている。

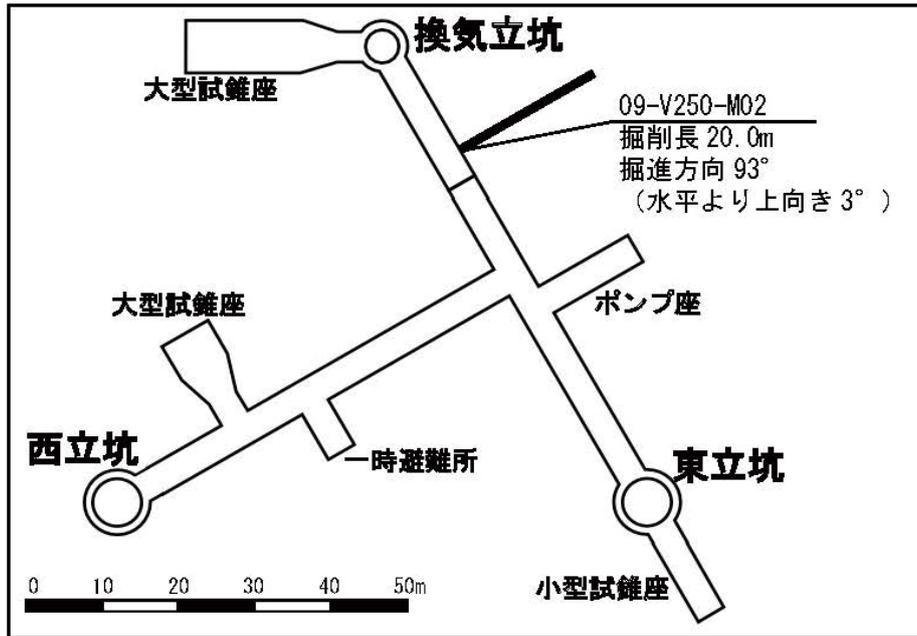


図 2.1-4 250m 調査坑道における観測孔位置図

表 2.1-3 09-V250-M02 孔の諸元一覧

孔口高さ (GL-(m))	-248.099 m				
掘進長	20 m	観測 区間	区間深度 (m)		区間延長 (m)
掘進方向	93 °		浅部	深部	
掘進方位	60 °	区間3	2.6	3.6	1
孔径	76 mm	区間2	4.6	5.6	1
装置径	48.6 mm	区間1	6.6	20	13.4
パッカー φ76~86mm対応、収縮時59mm					



図 2.1-5 09-V250-M02 孔における観測区間の詳細図

ボーリング孔中の白抜き部は観測区間を示し、黒塗り部は保孔あるいはパッカー部を示す。観測孔は実寸よりも太く表示されている。

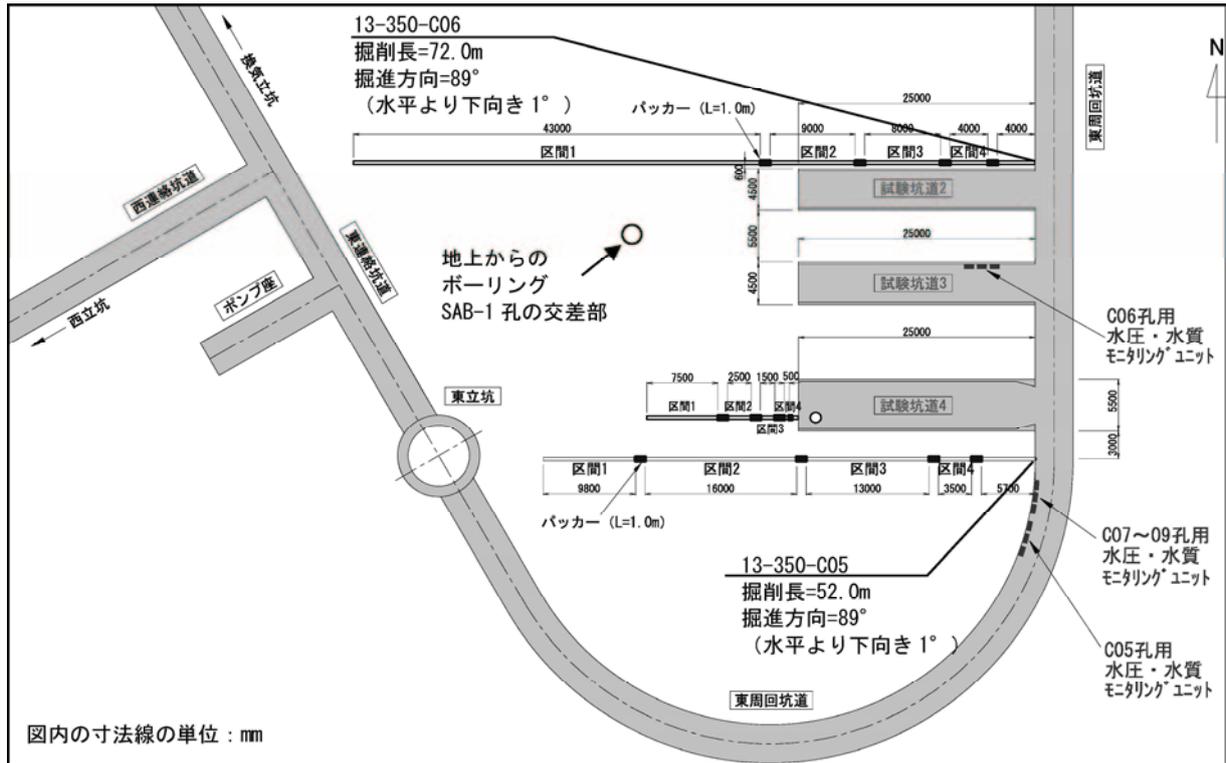


図 2.1-6 試験坑道 2 および 4 の周辺における観測孔位置および観測区間の模式図

表 2.1-4 13-350-C05 孔の諸元一覧

孔口高さ (GL-(m))	347.863 m	観測 区間	区間深度 (m)		区間延長 (m)
掘進長	52.0 m		浅部	深部	
掘進方向	89 °	区間4	6.7	10.2	3.5
掘進方位	270 °	区間3	11.2	24.2	13.0
孔径	86 mm	区間2	25.2	41.2	16.0
装置径	60.5 mm	区間1	42.2	52.0	9.8
パッカー標準φ86mm孔用, 収縮時76mm					

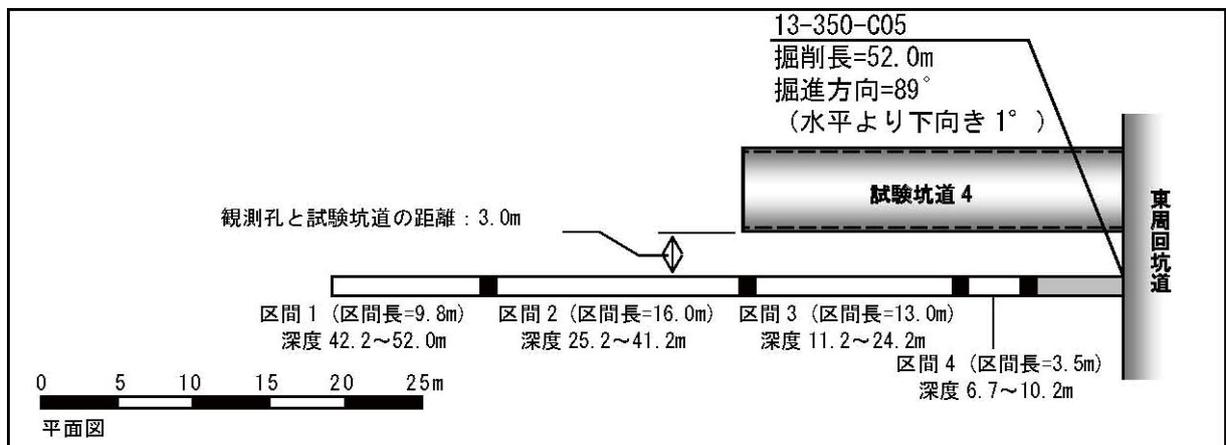


図 2.1-7 13-350-C05 孔における観測区間の詳細図

ボーリング孔中の白抜き部は観測区間を示し、黒塗り部は保孔あるいはパッカー部を示す。観測孔は実寸よりも太く表示されている。

表 2.1-5 13-350-C06 孔の諸元一覧

孔口高さ (GL-(m))	347.486 m			観測 区間	区間深度 (m)		区間延長 (m)
掘進長	72.0 m	浅部	深部				
掘進方向	89°	区間4	5.0	9.0	4.0		
掘進方位	270°	区間3	10.0	18.0	8.0		
孔径	86 mm	区間2	19.0	28.0	9.0		
装置径	60.5 mm	区間1	29.0	72.0	43.0		
パッカー標準φ86mm孔用, 収縮時76mm							

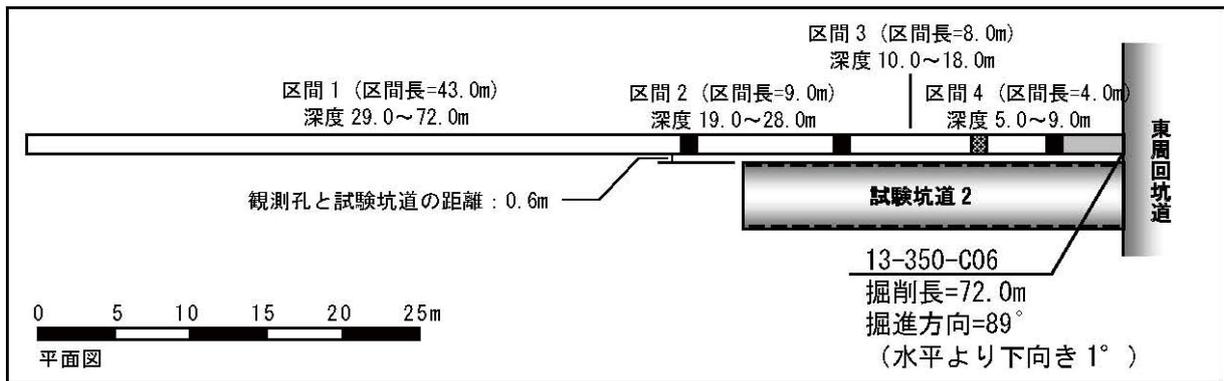


図 2.1-8 13-350-C06 孔における観測区間の詳細図

ボーリング孔中の白抜き部は観測区間を示し、黒塗り部は保孔あるいはパッカー部を示す。観測孔は実寸よりも太く表示されている。

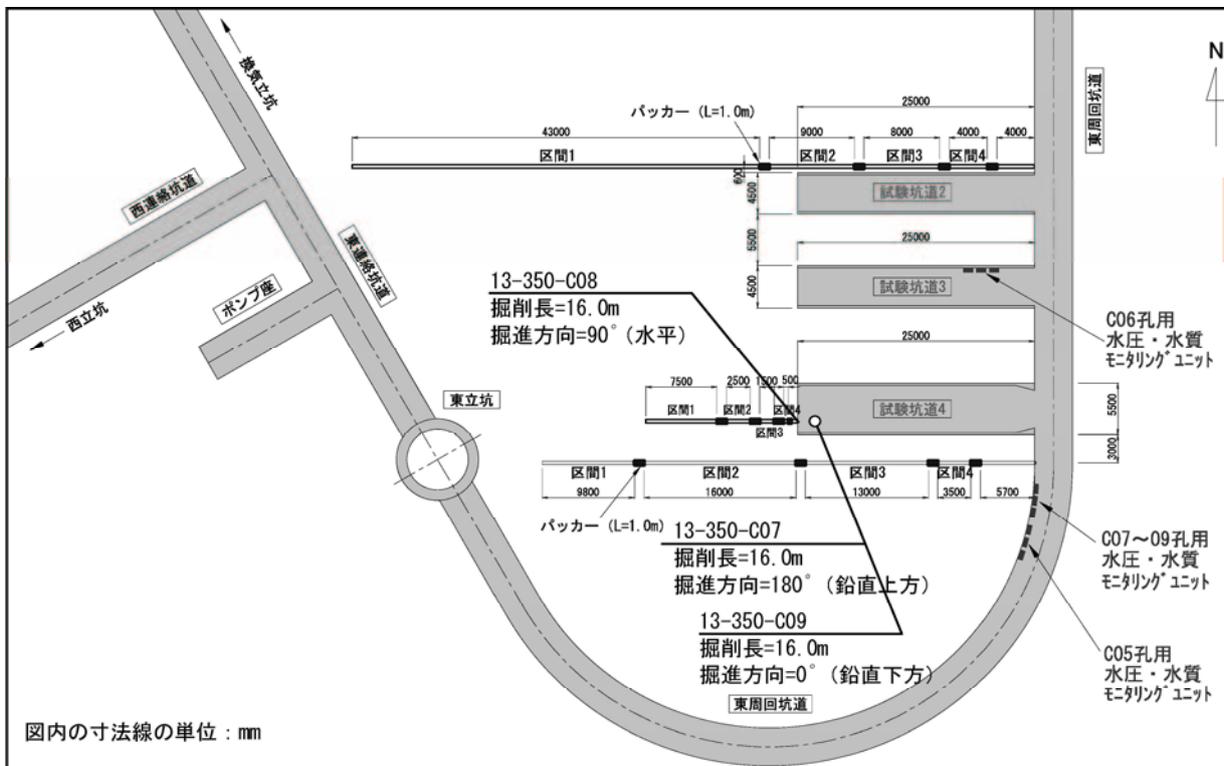


図 2.1-9 試験坑道 4 周辺における観測孔位置および観測区間の模式図

表 2.1-6 13-350-C07 孔の諸元一覧

孔口高さ (GL-(m))	346.278 m	観測 区間	区間深度 (m)		区間延長 (m)
掘進長	16.0 m		浅部	深部	
掘進方向	180 °	区間4	1.7	3.2	1.5
掘進方位	0 °	区間3	4.2	5.7	1.5
孔径	86 mm	区間2	6.7	8.2	1.5
装置径	60.5 mm	区間1	9.2	16.0	6.8
パッカー標準φ86mm孔用, 収縮時76mm					

表 2.1-7 13-350-C08 孔の諸元一覧

孔口高さ (GL-(m))	348.939 m	観測 区間	区間深度 (m)		区間延長 (m)
掘進長	16.0 m		浅部	深部	
掘進方向	90 °	区間4	1.0	1.5	0.5
掘進方位	270 °	区間3	2.5	4.0	1.5
孔径	86 mm	区間2	5.0	7.5	2.5
装置径	60.5 mm	区間1	8.5	16.0	7.5
パッカー標準φ86mm孔用, 収縮時76mm					

表 2.1-8 13-350-C09 孔の諸元一覧

孔口高さ (GL-(m))	350.660 m	観測 区間	区間深度 (m)		区間延長 (m)
掘進長	16.0 m		浅部	深部	
掘進方向	0 °	区間4	1.0	1.5	0.5
掘進方位	0 °	区間3	2.5	4.0	1.5
孔径	86 mm	区間2	5.0	7.5	2.5
装置径	60.5 mm	区間1	8.5	16.0	7.5
パッカー標準φ86mm孔用, 収縮時76mm					

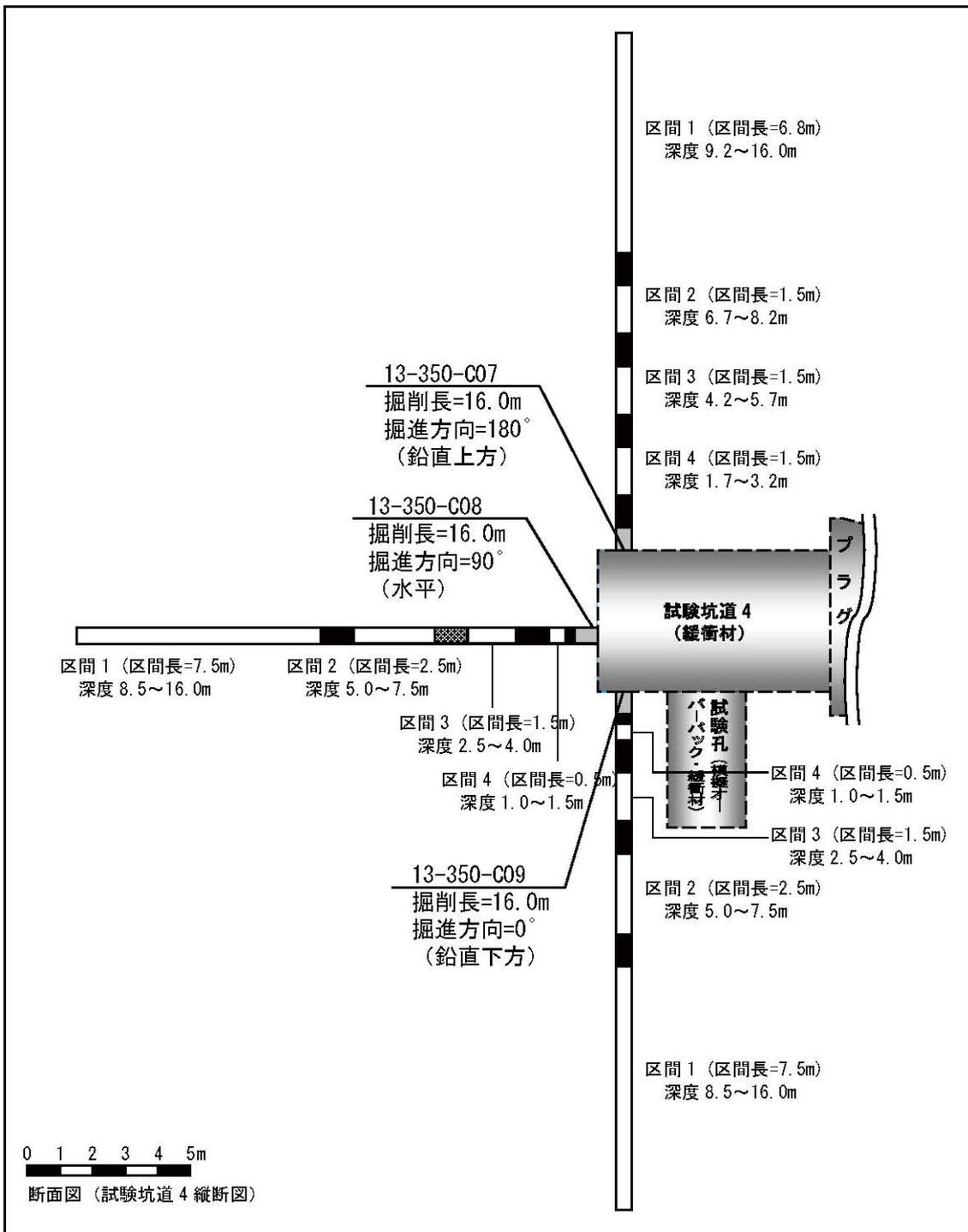


図 2.1-10 13-350-C07~C09 孔における観測区間の詳細図

ボーリング孔中の白抜き部は観測区間を示し、黒塗り部は保孔あるいはパッカー部を示す。観測孔は実寸よりも大きく表示されている。

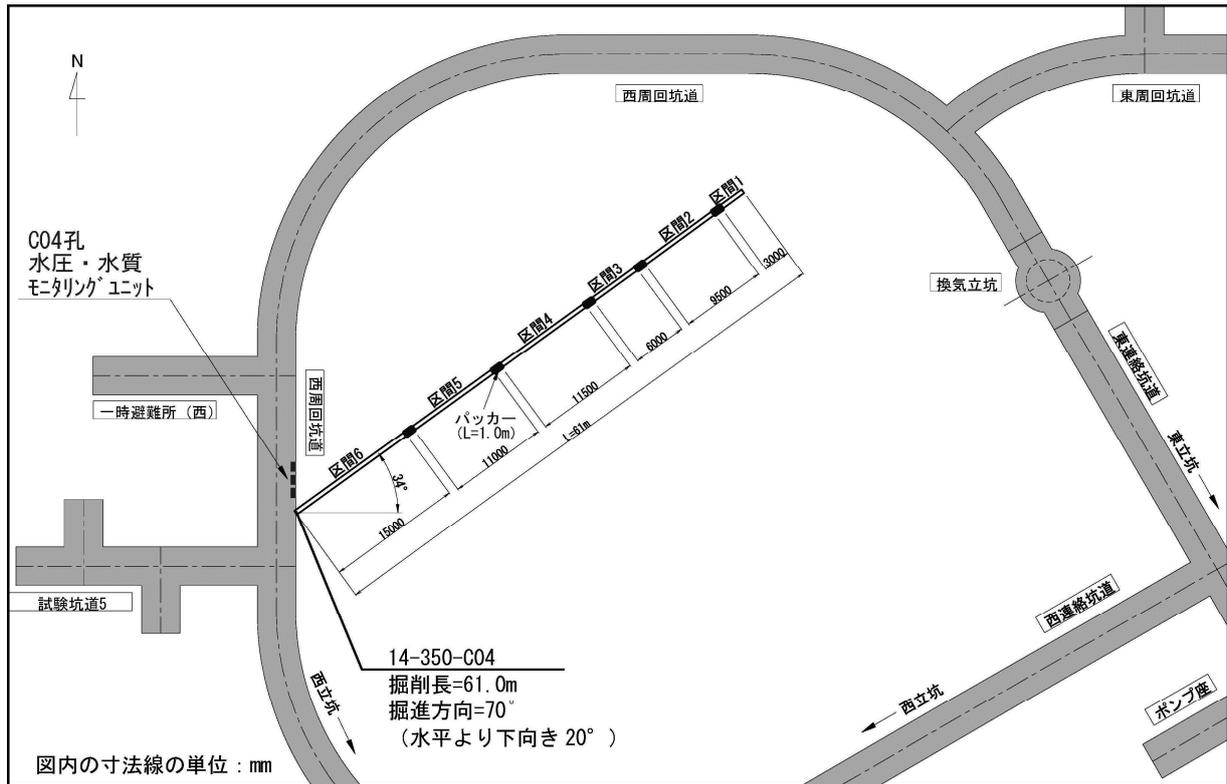


図 2.1-11 14-350-C04 孔の位置および観測区間の模式図

表 2.1-9 14-350-C04 孔の諸元一覧

孔口高さ (GL-(m))	348.570 m	観測区間		区間深度 (m)		区間延長 (m)	
掘進長	61.0 m			浅部	深部		
掘進方向	70 °						
掘進方位	56 °						
孔径	76 mm						
装置径	60.5 mm						
パッカー標準φ86mm孔用, 収縮時76mm							
		区間6	区間5	区間4	区間3	区間2	区間1
		0.0	16.0	28.0	40.5	47.5	58.0
		15.0	27.0	39.5	46.5	57.0	61.0
		15.0	11.0	11.5	6.0	9.5	3.0

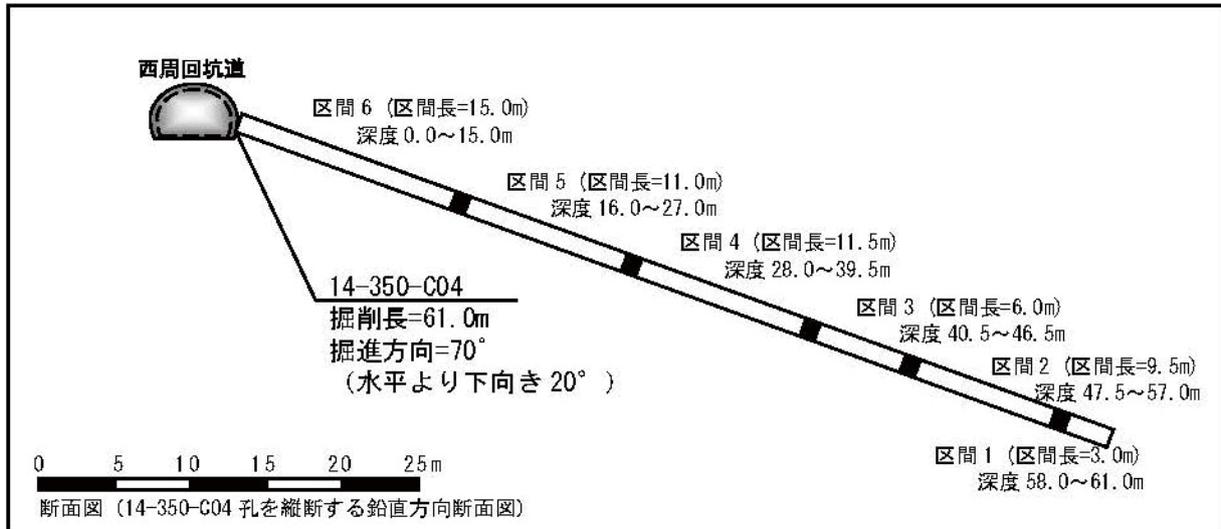


図 2.1-12 14-350-C04 孔における観測区間の詳細図

ボーリング孔中の白抜き部は観測区間を示し、黒塗り部は保孔あるいはパッカー部を示す。観測孔は実寸よりも太く表示されている。

2.2 地球化学モニタリング装置

地下水の地球化学モニタリング装置の開発では、単一のボーリング孔を用い、任意の深度区間でパッカーにより遮蔽された多区間において、嫌気・被圧状態を維持しつつ、水圧・水質を連続観測可能とすることを目標としている。幌延深地層研究計画の中で、これまでに開発された地下水の地球化学モニタリング装置の一覧を表 2.2-1 に示す。表では、2017 年 3 月時点において各装置が設置されているボーリング孔名、水圧・水質観測機能、装置開発・設置時期、装置開発や設置の目的について、各々まとめている。

地球化学モニタリング装置の開発は 2007 年頃から開始されており、2009 年 3 月に地下施設内へ装置が設置され、その後も開発・改良が行われてきた^{2,4)}。2009 年以前に開発された装置の概要図を図 2.2-1 に、2009 年以降に開発された装置の概要図を図 2.2-2 にそれぞれ示す。いずれの装置も、観測機器は孔外 (坑道等) に設置されており、孔内の地下水が嫌気・被圧状態を維持したまま孔外へ導出され、水圧・水質が測定される。水質モニタリングユニットでは、地下水をポンプにより観測区間とフローセルとの間で循環させ、フローセル内に挿入した多項目水質観測機を用いて、嫌気・被圧状態を維持した状態で地下水の物理化学パラメータを測定している。装置の構造上、水圧モニタリングユニットでは全区間同時にデータを取得できるが、水質モニタリングユニットにおいて一度の観測でデータが取得できるのは、地下水を循環させている任意の一区間のみとなっている。2009 年以前に開発された装置では、地下水の循環用経路 (チューブ) は水圧観測と水質観測とで兼用されているのに対し (図 2.2-1)、2009 年以降の装置では、これらのチューブは分離されている (図 2.2-2)。これは、チューブが兼用された場合、地下水の循環時や採水時に圧力の低下により遊離した地下水中の溶存ガスがチューブ内に滞留し、水圧・水質観測に影響を及ぼす可能性があるためである。地下水の循環や採水時に使用するポンプについては、2009 年以前はネジポンプ式のモノポンプ (兵神装備社製) が使用されているが、2009 年以降は小型でかつ軸部からの漏出可能性を排したマグネット駆動でギヤポンプ式のマイクロポンプ

(マイクロポンプ社製)に変更されている。このようなポンプの形式変更により、地下水の循環や採水時におけるチューブ内での脈動が抑制され、圧力変化に伴うガスの分離が低減されている。また、多項目水質観測機により測定されたデータを確認するためには、観測機とコンピューターを専用ケーブルで接続する必要があるが、2008年以降開発の水圧連続観測機能を有する装置にはデータ収録ユニットが搭載されており、坑道内 LAN (Local Area Network) を通じて地上のコンピューターとも接続されている。これにより、物理化学パラメータの測定値が坑道のモニタからリアルタイムで確認できるとともに、地上からの操作によるデータの確認も可能となっている。

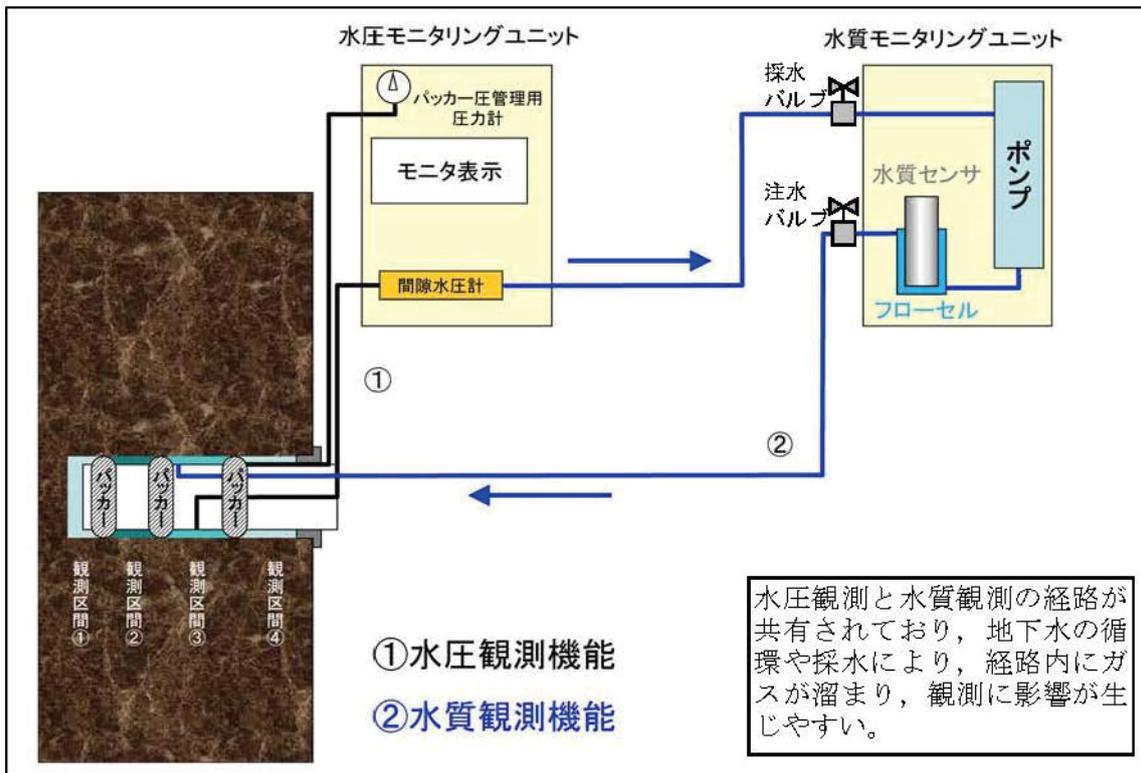


図 2.2-1 2009 年以前に開発された装置の概要図

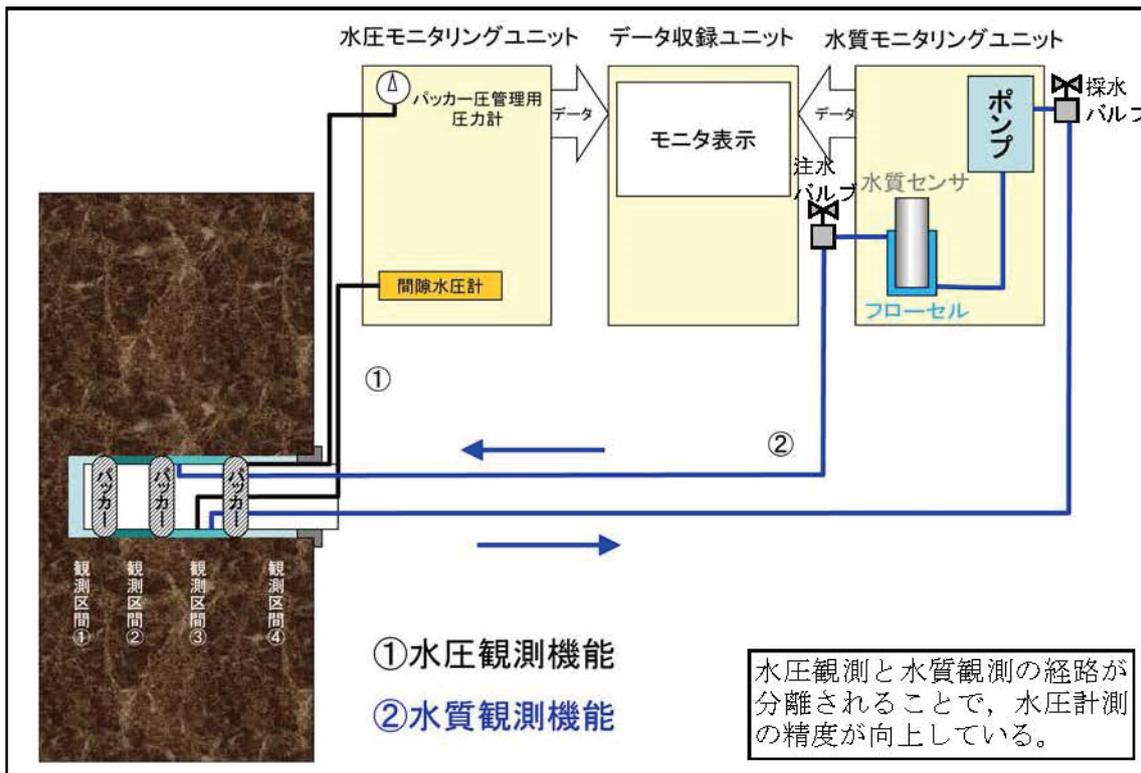


図 2.2-2 2009 年以降に開発された装置の概要図

表 2.2-1 幌延地下研究施設における地下水の地球化学モニタリング装置の一覧

計測対象孔	孔番	水圧観測機能		採水	水質観測機能		データ収録・表示機能	装置開発年月	設置年月	装置開発や設置の目的	備考
		水圧連続観測	観測経路の独立		水質循環試験	循環ポンプの種類					
○	08-E140-C01	○	×	○	○	モニ/ポンプ	水圧のみ	2007年3月	2009年3月	第1段階（地上からの調査研究段階）の調査解析結果の妥当性を検証する上で重要な地球化学パラメータを第2段階（坑道掘削時の調査研究段階）において取得するための技術開発を目的とし、開発・設置された地球化学モニタリング装置は、「幌延地層研究計画」における第2段階の調査研究計画（H20-21）」の中の「坑道内採水装置の開発と地下水のpH、酸化還元電位、溶存ガス組成の把握」に相当する装置である ⁶⁾ 。	
-	-	○	×	○	○	モニ/ポンプ	○	2008年9月	-		
○	14-350-C04	○	×	○	○	モニ/ポンプ	○	2014年9月	2014年9月	第3段階（地下施設での調査研究段階）における調査研究・技術開発として、地下施設建設が周辺地下水環境に与える影響を評価するために、深度350m調査坑道において、地下水の水圧・水質を連続モニタリングすることを目的に開発・設置された。なお、水圧・水質モニタリング装置の開発・改良にあたり、深度140mおよび深度250m調査坑道における装置の適用試験で提起された課題（溶存ガスの脱ガスなどに伴う観測データの品質低下）を踏まえ、観測区間内外で生じる差圧環境や脱ガスを考慮した設計が行われている ⁶⁾ 。	上記2008年開発装置を改良し使用。
-	07-V140-M03	×	○	○	○	マイクロポンプ	×	2009年11月	2009年9月		
-	08-E140-M02	×	○	○	○	マイクロポンプ	×	"	"	第2段階（坑道掘削時の調査研究段階）における調査研究の一環として、地球化学特性の形成に関わる微生物、コロイド/有機物の影響評価のために開発された装置である。深度140mおよび深度250m調査坑道において掘削されたボーリング孔に適用し、pH、酸化還元電位、溶存酸素濃度、水質、ガス濃度、微生物量および微生物種等の変化についてデータを取得した。また、原位置で得られたデータをもとに、岩盤および地下水が有する化学的緩衝能力に関わるシミュレーション解析を行い、施設建設時から閉鎖後の環境回復過程の予測評価に反映することを目的としている ⁶⁾ 。	
○	09-I250-M02	×	○	○	○	マイクロポンプ	×	2011年2月	2011年2月		
○	13-350-C05	○	○	○	○	マイクロポンプ	○	2014年1月	2013年4月	第3段階（地下施設での調査研究段階）における調査研究・技術開発として、水平坑道の掘削に伴う周辺岩盤中の地下水の水圧・水質への影響を評価（掘削影響試験評価）するため、深度350m調査坑道において、水圧・水質を連続モニタリングすることを目的に開発・設置された。なお、本装置の開発・改良においても、深度140mおよび深度250m調査坑道における装置の適用試験で提起された課題を踏まえた設計が行われている ⁶⁾ 。	
○	13-350-C06	○	○	○	○	マイクロポンプ	○	"	2013年7月		
○	13-350-C07	○	○	○	○	マイクロポンプ	○	2014年5月	2014年1月		C07～C09は坑道モニタリング装置を共有する。
○	13-350-C08	○	○	○	○	マイクロポンプ	○	"	"		"
○	13-350-C09	○	○	○	○	マイクロポンプ	○	"	"		"

表内の「○」は該当や機能有りを示し、「×」と「-」は非該当や機能無しを示す。

3. 物理化学パラメータの測定データ

3.1 測定方法

3.1.1 多項目水質観測機の特徴と仕様

水質モニタリングユニットに設置する多項目水質観測機には、深度 350 m の間隙水圧と同等以上の耐圧性能 (5 MPa) を有する OceanSeven305 およびその後継機である OceanSeven305Plus (いずれも、IDRONAUT 社製) を用いた。両機種の測定範囲や精度はほぼ同一である。これらの観測機には、水圧 (P)、水温 (T) および電気伝導度 (EC) のセンサーが標準装備されており、pH、酸化還元電位 (ORP) および溶存酸素濃度 (DO) の各センサーをオプションとして追加している。

観測機の各センサーの仕様を表 3.1-1 に示す。測定範囲等に軽微な変更がある場合は、最も狭い範囲で表記した。

表 3.1-1 多項目水質観測機の測定項目仕様

測定項目	測定範囲	精度	分解能	反応速度	測定原理
水圧	0~500dbar	0.05%FS	0.0015%	0.05S	ひずみゲージ
水温	-1~+50℃	0.005℃	0.001℃	0.05S	白金抵抗温度センサー
電気伝導度	0~64mS/cm 0~6,400 μ S/cm	0.007mS/cm 5 μ S/cm	0.001mS/cm 0.1 μ S/cm	0.05S 0.05S	7 極白金電極セル
pH	0~14	0.01	0.001	3S	ガラス電極法
酸化還元電位	-1,000~+1,000mV	1mV	0.1mV	3S	白金電極法
溶存酸素濃度	0~50ppm 0~500%sat	0.1ppm 1%sat	0.01ppm 0.1%sat	3S (空中) 3S	ポーラログラフ式酸素センサー

3.1.2 測定手順

多項目水質観測機は、観測の都度水質モニタリングユニットに設置し、終了後に回収する。この作業手順を以下に述べる。また、水質モニタリングユニットの概要図を図 3.1-1 に示す。

- ①フローセルを水質モニタリングユニットから取り外す。
- ②観測を行う区間の採水バルブと注水側のドレンバルブを開き、ドレンバルブから観測区間の地下水を流出させる。フローセルと多項目水質観測機を共洗いする。
- ③フローセルを観測区間の地下水で満たし、採水バルブを閉じる。
- ④フローセルに多項目水質観測機を挿入し、水質モニタリングユニットの地下水循環チューブに接続する。
- ⑤観測区間の採水バルブを開放し、注水側のドレンバルブを閉じる。水圧が緩やかに (約 10 kPa/s 以下) 上昇するように、バルブは少しずつ操作する。水圧を急激に上昇させると、多項目水質観測機のセンサーが損傷するおそれがある。
- ⑥多項目水質観測機で測定される水圧が、水圧モニタリングユニットでの測定値と同程度まで上昇したのを確認し、観測区間の注水バルブを開放する。ポンプの電源を入れ、地下水の循環と水質観測を開始する。
- ⑦観測開始より 3 週間程度経過後、観測を終了する。ポンプを停止し、観測区間の採水バルブと注水バルブを閉じる。

- ⑧注水側のドレンバルブを開放し、水質モニタリングユニットの地下水循環経路内の圧力を大気圧まで低下させる。この際も、水圧が緩やかに減少するように、バルブを少しずつ操作する。水圧を急激に減少させると、水圧上昇時よりもセンサーへの影響は大きく、比較電極内部液（KClゲル）での気泡発生やゲル流出の促進、DOセンサーメンブランの膨張破裂などが生じ、センサーが損傷するおそれがある。
- ⑨フローセルを水質モニタリングユニットから取り外し、多項目水質観測機をフローセルから取り出す。
- ⑩多項目水質観測機は地上に持ち帰り、収録データを適宜取り出す（3.1.3項参照）。センサー部を蒸留水に浸して保管し、次の観測の直前に水圧、pH、溶存酸素濃度センサーの校正およびORPセンサーの検定を行う。

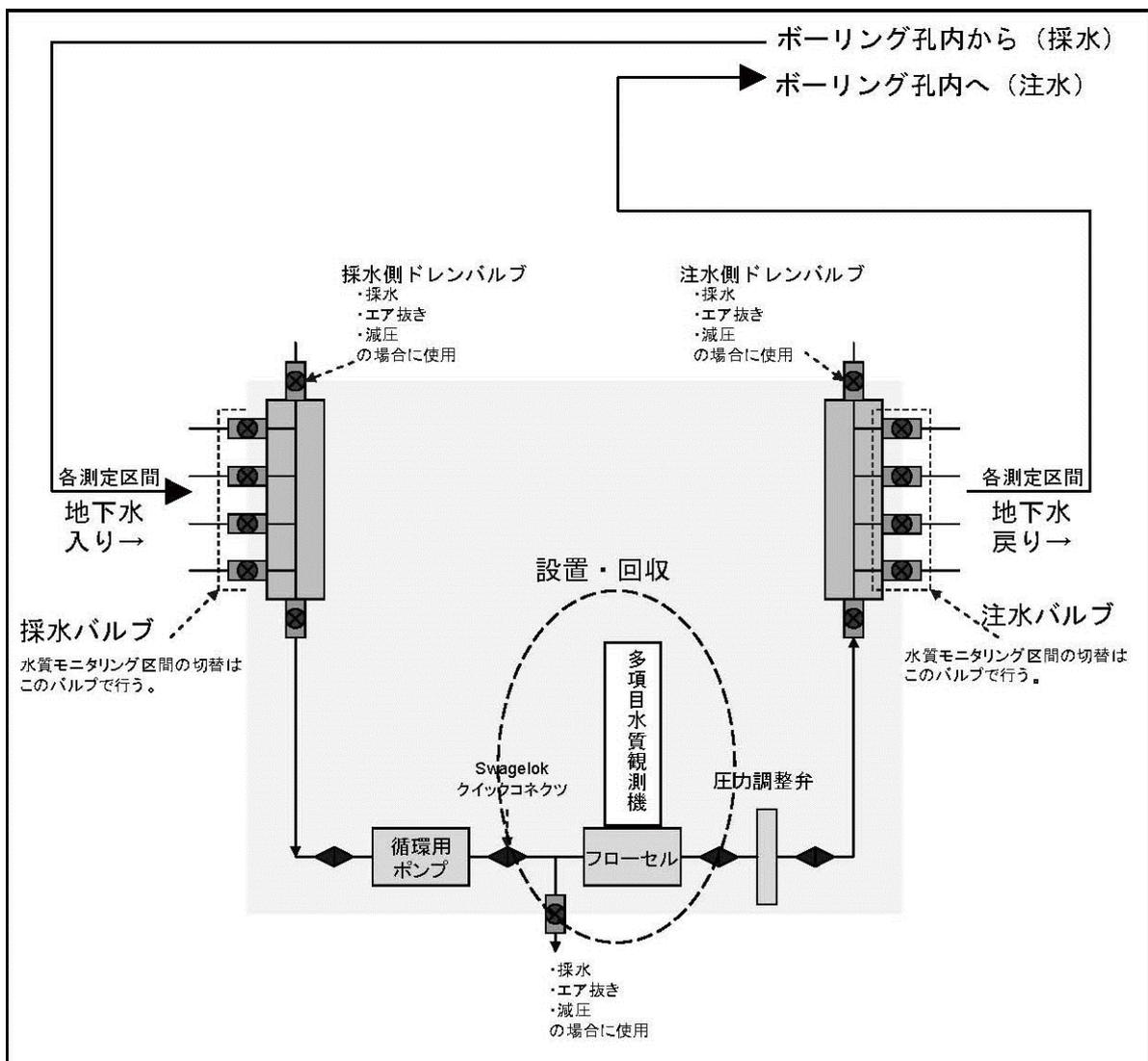


図 3.1-1 水質モニタリングユニットの概要図

3.1.3 データの取り出し

データ収録ユニットが搭載されている装置については、坑道内 LAN に接続された研究所内のコンピューターよりデータを取り出す。搭載されていない装置については、多項目水質観測機内部のメモリーに記録されたデータを、専用ケーブルを通して直接接続したコンピューターにより取り出す。

3.2 データ処理

本報では、取得された物理化学パラメータのデータに対して以下の処理を施した。

- ・ 5 分間隔で取得された連続観測データから、1 時間間隔でデータを抽出する。これは、次項で述べる採用値の決定を効率的に行うためである。
- ・ 電気伝導度の単位を mS/cm から mS/m に、酸化還元電位の測定値 (ORP_{Obs.}) を、標準水素電極を基準とした値 (Eh) に変換する。後者については、(1) 式に示すように、ORP_{Obs.} に変数 U₀ を加えることにより変換した。U₀ は水温 T の関数であり、その値は (2) 式により算出した。これは、表 3.2-1 に示す観測機メーカー提供の変換表のうち、本報で記録された水温の範囲である 10~25 °C の値 (表中の点線部) にもとづいて線形近似で求めたものである。なお、(2) 式により算出した 10, 15, 20, 25 °C における U₀ の値と表 3.2-1 中の U₀ の値との差はいずれも 0.1 mV 未満であり、観測機の分解能 (表 3.1-1) よりも小さいことを確認している。

$$Eh \text{ (mV)} = ORP_{Obs.} \text{ (mV)} + U_0 \quad (1)$$

$$U_0 = -0.968 \times T \text{ (}^\circ\text{C)} + 221.24 \quad (2)$$

表 3.2-1 多項目水質観測機における水温と変数 U₀ との関係

Temperature (°C)	U ₀ (mV)
0	220,5
5	216,1
10	211,5
15	206,8
20	201,9
25	197
30	191,9
35	186,7
40	181,4
45	176,1
50	170,7
55	165,3
60	159,8
65	154,3

- ・ 1 時間間隔で抽出したデータをもとに、各物理化学パラメータの経時変化グラフを作成する。物理化学パラメータの値は一般的に、観測開始直後に大きく低下し、その後徐々に収束して、定常値に達する。このような変化とは異なる急激な値の変化が見られた場合には、センサーの不調、坑内停電によるモニタリング装置の停止、ポンプの循環停止などの観測期間中に生じた事象と照らし合わせ、その要因を確認する。

3.3 採用値の決定

3.3.1 採用値決定の必要性

3.1の方法で取得された、約3週間の連続観測データそれぞれに対して、各観測項目の代表的な観測値（採用値）を決定する。先行研究⁷⁾では、各観測項目の測定値が観測開始から数日間で定常値に達することを確認し、その値を採用値としている。しかし、本報で取得された連続観測データについて、水圧、水温および電気伝導度は比較的速やかに定常値に達し、その後も顕著な変動を示さずに一定の範囲内で推移する傾向にあるのに対し、pH、ORPおよびDOは測定値の安定に時間を要し、定常値を示した後に再度変動することも多い。したがって、観測期間中に複数の定常値が観測される場合や、観測期間を通じて測定値が変動し続ける場合には、採用値の決定基準を明確にしなければ、同一の観測データに対して異なる採用値を与えてしまう可能性がある。以上のことから、本報では物理化学パラメータの各観測項目に対して、採用値の決定方法を定める。

3.3.2 採用値の決定方法

各観測項目における採用値の決定方法を以下に述べる。なお、ここで示す方法は、あくまでも観測データにもとづいて各項目の代表的な観測値を決定するためのものであり、観測データや得られた採用値の科学的な妥当性に関しては、別途判断を要する。

特に断りがない限り、測定値の変動幅が通常よりも大きい場合や、定常値を示した後に測定値が再度変動する場合など、採用値は取得できるもののその信頼性が低いと考えられるデータは「参考値」とした。また、観測期間全体を通じて測定値が大きく推移するなど、採用値の取得が難しいデータは「不採用」とした。装置の設定不備やセンサーの故障に起因する異常値を含むデータは、その程度に応じて参考値または不採用とした。

(1) pH

観測期間全体の測定値の平均を採用値とした。また、Ehとの比較のため、後述するEh採用値を算出した期間におけるpHの平均値も併せて示した。後者について、対象期間におけるpH測定値をもとに参考値および不採用の判定を行うとともに、Ehが参考値あるいは不採用と判定されている場合には、pHも同様の判定とした。

(2) Eh

5時間の測定値の変化量が ± 0.5 mV/h以下である状態が、観測開始後初めて50時間継続した期間において、測定値の平均を採用値とした。これは、1時間での測定値の変化量が観測機の測定精度の半分以内に収まっており、かつその状態が約2日間継続していれば、測定値が十分安定していると考えられるためである。

(3) 電気伝導度

観測期間全体の測定値の平均を採用値とした。

(4) 溶存酸素濃度

測定値が安定しており定常状態にあると判断される期間の平均値をとり、その値が 1 mg/L 以下である場合に採用値とした。DO は他の観測項目に比べて時間変動が激しく、また測定値が安定していても、当該期間の水温における飽和溶存酸素量の数倍の値を示すなど、原位置地下水中の値を明らかに反映していないと考えられる測定結果も見受けられた。観測機回収時にフローセルに残った地下水のハンディタイプ計測器による DO 測定値が 0.02~0.77 mg/L であったことから、嫌気状態にある原位置地下水中の DO は大きく見積もっても 1 mg/L 以下であると推測される。したがって、本報では便宜的に 1 mg/L を基準値とし、測定値が安定を示す期間の平均値がこの値以下である場合に採用値とした。安定状態にある期間の平均値が基準値の 2 倍である 2 mg/L よりも大きい場合は不採用、1 mg/L よりも大きく 2 mg/L 未満である場合には参考値とした。また、負の値を示す測定値が含まれる場合は平均値を 0 mg/L とし、参考値とした。

(5) 水温

観測期間全体の測定値の平均を採用値とした。

(6) 水圧

観測期間全体の測定値の平均を採用値とした。地下水圧は、水圧モニタリングユニットによっても継続的に観測されており、2016 年 3 月末までのデータが既にとりまとめられている⁸⁾。このため本報では、水質モニタリングユニットによる水圧の観測データを提示するに留め、その特徴などに関する考察は行わない。

3.4 データシートの構成

観測データ全 185 点について、上記の方法に基づき各観測項目の採用値を決定するとともに、図 3.3-1 に例示されるデータシートを作成した。同図中の丸数字で示した各項目は、それぞれ以下の内容を示す。

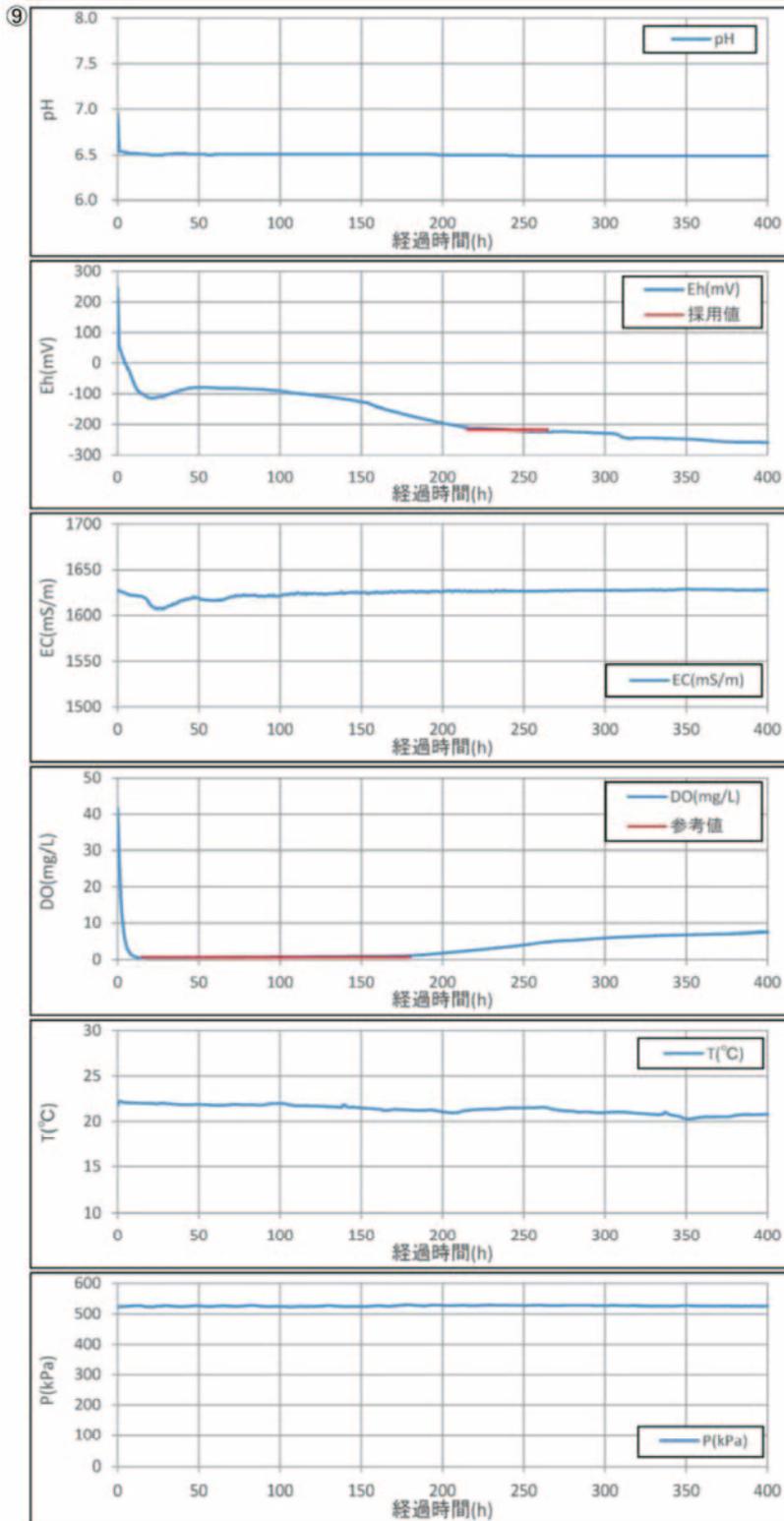
- ① 整理番号：孔番号、観測区間、観測日時の順でデータを並び替えた際の通し番号。本報においてのみ有効な番号である。
- ② データ番号：各観測データに割り当てられた固有の番号。他の報告書や論文等でも共通して使用することを想定している。
- ③ 孔番号：観測を行ったボーリング孔の番号。
- ④ 観測区間：各ボーリング孔において観測を行った区間の番号。
- ⑤ 観測開始日時：水質モニタリング観測を開始した日時。
- ⑥ 連続観測時間：観測開始から終了までの時間数。
- ⑦ 使用した観測機：使用した多項目水質観測機の略称。本報に記載の物理化学パラメータは、計 8 台の多項目水質観測機により測定された。うち 3 台は OceanSeven305 であり、それぞれ OS-1, OS-2, OS-3 の略称を付している。残りの 5 台は OceanSeven305Plus であり、それぞれ Plus-1, Plus-2, Plus-3, Plus-4, Plus-5 の略称を付している。使用した観測機に関する特記事項は特記欄に示した。また、同欄内の右端に記載の数字は、各観測機の比

較電極交換後の経過月数を意味する。

- ⑧ 備考：観測に影響すると考えられる事象（坑内の停電，ポンプの停止など）の履歴。
- ⑨ グラフ：各観測項目の測定値を縦軸に，観測開始からの経過時間を横軸に示したグラフ。
横軸の最大値はいずれのグラフも 400 時間とした。一定期間における測定値の平均を採用値とした Eh と DO については，採用値を取得した期間を赤色の直線で示した。
- ⑩ 採用値一覧表：各観測項目の採用値を算出した期間における，測定値の平均，標準偏差，最大値および最小値。平均値は，測定値よりも 1 桁小さい有効桁数で示した。Eh と DO は，採用値を算出した期間について，観測開始からの経過時間も記載した。参考値および不採用と判定された値については，次項目の凡例に従って表の欄内を着色するとともに，判定理由等を各観測項目の備考欄に記載した。
- ⑪ 凡例：参考値および不採用と判定された値について，表欄内の色凡例。

①整理番号 : 84

②データ番号	66	③孔番号	13-350-C06	④観測区間	1
⑤観測開始日時	2015/10/7 15:15		⑥連続観測時間	503 時間	
⑦使用した観測機	機種番号	Plus-4	特記		
⑧備考					



【pH】	
Eh安定時の平均	
平均値	6.50
標準偏差	0.00
最大値	6.50
最小値	6.49
期間全体平均	
平均値	6.50
標準偏差	0.02
最大値	6.95
最小値	6.49
備考	
【Eh (mV)】	
安定時平均	
平均値	-218
標準偏差	5
最大値	-210
最小値	-225
時間(自)	215
時間(至)	265
備考	
【EC (mS/m)】	
平均値	1,625
標準偏差	4
最大値	1,630
最小値	1,607
備考	
【DO (mg/L)】	
安定時平均	
平均値	0.7
標準偏差	0.2
最大値	1.1
最小値	0.3
時間(自)	15
時間(至)	180
備考	
【T (°C)】	
代表値 (期間全体平均)	
平均値	21.15
標準偏差	0.63
最大値	22.26
最小値	19.79
備考	
【P (kPa)】	
代表値 (期間全体平均)	
平均値	526
標準偏差	2
最大値	530
最小値	521
備考	

参考値
不採用

図 3.3-1 データシートの例

3.5 収録データ

本報で収録した水質観測データの概要は以下の通りである。

- 物理化学パラメータの連続観測データ（CSV形式）およびそれらをもとに作成したデータシート（図 3.3-1; PDF形式）は、いずれも電子データとして CD-R に収録した（付録 1, 2）。
- 収録した連続観測データは、各装置において観測開始から 2017 年 3 月 31 日（平成 28 年度末）までに取得されたもののうち、採用値の判定が可能なデータである。
- 連続観測データには、データシートの作成に用いた各観測項目の 1 時間間隔のデータ、およびデータシートのグラフに示していない 400 時間以降の観測データも含めている。
- データシートは整理番号順に並べ、1 つのファイルにまとめて収録した。

4. 結果

4.1 測定結果

2017年3月31日までに取得された全185点のデータについて、3章に述べた方法により、採用値を取得した。観測区間ごとの採用値取得数を表4.1-1に示す。

水温、水圧、pH（観測期間全体の平均）はいずれも90%以上、電気伝導度は80%以上のデータで採用値が取得された。参考値および不採用と判定されたデータは、ポンプの不調による地下水の循環停止、モニタリング装置の設定不備、センサーの不調など、いずれも装置の不調に起因するものであった。一方、Ehおよび溶存酸素濃度の採用値取得率はそれぞれ65%と57%であり、他の観測項目と比べて低かった。Ehは測定値が観測終了時まで安定状態を示さないため、溶存酸素濃度は予測される原位置地下水中の値から大きく乖離していたために、参考値および不採用と判定されたデータが多かった。

測定結果の一覧表を表4.1-2に示す。図3.3-1中の凡例に準拠して、参考値および不採用と判定された値の欄内を着色している。なお、pHと水温は、データシートに記載の値よりも1桁小さい有効桁数で示した。

表 4.1-1 観測区間ごとの採用値取得数一覧

孔番号	観測区間	データ点数	観測項目毎の採用値抽出数						
			pH		Eh	EC	D0	T	P
			Eh安定時	全体					
08-E140-C01	1	3	1	3	1	3	1	3	3
	2	0	—	—	—	—	—	—	—
	3	10	4	10	4	7	8	10	10
	4	0	—	—	—	—	—	—	—
	5	8	0	7	0	7	6	8	8
09-V250-M02	1	4	4	4	4	4	3	4	4
	2	0	—	—	—	—	—	—	—
	3	0	—	—	—	—	—	—	—
13-350-C05	1	4	2	4	2	2	4	4	4
	2	37	25	37	25	30	23	37	37
	3	5	3	5	3	5	2	5	5
	4	2	1	1	2	1	1	2	2
13-350-C06	1	25	22	25	22	25	19	25	25
	2	13	10	12	10	12	10	12	13
	3	5	3	5	3	5	4	5	5
	4	1	1	1	1	1	1	1	1
13-350-C07	1	1	0	1	0	1	0	1	1
	2	3	1	3	1	3	1	3	3
	3	1	0	0	1	0	1	1	1
	4	0	—	—	—	—	—	—	—
13-350-C08	1	1	1	1	1	1	0	1	1
	2	30	22	29	22	22	7	29	29
	3	3	1	3	1	3	1	3	3
	4	0	—	—	—	—	—	—	—
13-350-C09	1	0	—	—	—	—	—	—	—
	2	1	1	1	1	1	1	1	1
	3	0	—	—	—	—	—	—	—
	4	0	—	—	—	—	—	—	—
14-350-C04	1	0	—	—	—	—	—	—	—
	2	0	—	—	—	—	—	—	—
	3	0	—	—	—	—	—	—	—
	4	1	1	1	1	0	1	1	1
	5	11	2	6	5	7	7	11	11
	6	16	11	13	11	12	4	16	16
計		185	116	172	121	152	105	182	184
データ採用率		—	63%	93%	65%	82%	57%	98%	99%

表 4.1-2 測定結果一覧表 (1/7)

整理 番号	データ 番号	孔番	区 間	使用 機種	観測開始日時	pH		Eh (mV)	EC (mS/m)	DO (mg/L)	T (°C)	備 考
						ORP安定 時平均	全体平均					
1	151 08-E140-C01	10S-3	10S-3	30S-1	2012/11/2 14:35	7.3	7.3	-219	764	54.8	13.7	観測開始から11/11まで、遊離ガスとみられる圧力の乱れあり。
2	152 08-E140-C01	10S-3	10S-3	30S-1	2013/8/8 16:20	7.1	7.1	-316	759	23.8	23.5	8/10~11、一時的な停電と循環停止。
3	153 08-E140-C01	10S-2	10S-2	30S-1	2014/4/22 14:37	7.3	7.3	89	751	0.1	14.6	4/22からのOS-2のデータのみ使用。(開始時のOS-1のデータは削除) 圧力が細かく変動しており、遊離ガスの影響が示唆される。
4	1 08-E140-C01	30S-1	30S-1	30S-1	2012/12/21 16:30	7.1	7.1	-39	815	0.3	8.5	
5	2 08-E140-C01	30S-1	30S-1	30S-1	2013/1/7 14:00	7.2	7.2	-127	815	29.7	8.4	
6	3 08-E140-C01	30S-1	30S-1	30S-1	2013/4/12 10:40	6.9	7.1	-52	773	15.4	13.8	
7	4 08-E140-C01	30S-2	30S-2	30S-2	2014/8/1 17:44	6.9	7.0	65	938	0.3	24.1	
8	5 08-E140-C01	30S-1	30S-1	30S-1	2015/4/10 10:10	6.7	6.8	-117	931	0.2	18.2	ポンプ故障(循環不鳥)、344時間後、ECに明らかなフローセル内水位低下の影響がみられており、全体平均値においてはこの時間以降を使用しない。
9	6 08-E140-C01	30S-1	30S-1	30S-1	2015/6/1 16:30	6.7	6.7	-243	932	0.2	19.9	6/9坑内作業停電(問題なし)
10	7 08-E140-C01	30S-1	30S-1	30S-1	2015/8/20 15:20	6.7	6.7	-255	931	0.3	22.9	
11	8 08-E140-C01	30S-1	30S-1	30S-1	2016/2/17 12:10	7.1	7.1	-207	946	0.1	12.5	200時間を超えた付近でECを中心とした異常値は、循環停止あるいは高水が要因とみられる。
12	9 08-E140-C01	30S-1	30S-1	30S-1	2016/7/12 13:50	7.1	7.1	-231	940	0.4	21.9	遊離ガスによる循環停止多発。全体平均は408時間までを対象とする。
13	10 08-E140-C01	30S-1	30S-1	30S-1	2016/8/22 13:50	7.0	7.1	40	935	0.6	23.7	ORPの激しい起伏は、ガスによる循環不調の可能性がある。
14	11 08-E140-C01	50S-1	50S-1	50S-1	2013/1/15 16:00	7.1	7.1	-119	823	23.8	11.7	脈動激しく、安定しない。ガス影響によるフローセル内の高水(激しい水位上下)と思われる。
15	12 08-E140-C01	50S-1	50S-1	50S-1	2013/5/23 11:40	6.9	6.9	18	1289	0.6	18.2	
16	13 08-E140-C01	50S-3	50S-3	50S-3	2013/6/19 11:45	6.9	6.9	-128	1289	12.5	19.0	
17	14 08-E140-C01	50S-1	50S-1	50S-1	2014/3/5 14:45	7.1	7.1	-191	1279	0.1	11.6	
18	15 08-E140-C01	50S-2	50S-2	50S-2	2014/10/20 11:25	6.5	6.5	-128	1287	0.2	15.7	pHとORPのデータの上下が激しいが、ECには特に影響がないことから、地下水や循環システムではなく、観測機の一部センサーの不具合と思われる。
19	16 08-E140-C01	50S-1	50S-1	50S-1	2015/7/6 14:30	6.7	6.8	-254	1183	0.2	22.6	7/31~8/3電気異常のため循環停止。ほか停止多く、管路の詰まりも確認あり。ECが527時間以降異常に高い値を示す。
20	17 08-E140-C01	50S-1	50S-1	50S-1	2016/1/5 14:00	6.8	6.9	-63	1265	0.1	12.0	1/18~1/21、一時回路から外し(排水のため)。1/21復帰時(385時間後)、Ehに大きなデータの差位が見られる。
21	18 08-E140-C01	50S-1	50S-1	50S-1	2016/3/30 12:00	7.0	7.0	-149	1318	0.1	12.9	
22	154 09-V250-M02	1Plus-1	1Plus-1	1Plus-1	2015/1/8 14:18	7.2	7.3	-294	907	1.8	16.6	
23	155 09-V250-M02	10S-1	10S-1	10S-1	2015/2/25 15:10	7.1	7.2	-197	893	0.3	16.3	
24	156 09-V250-M02	10S-1	10S-1	10S-1	2015/11/18 11:20	6.8	6.7	-236	901	0.2	14.7	12/13、14排水、12/21排水器設置。
25	157 09-V250-M02	10S-1	10S-1	10S-1	2016/5/20 11:40	7.1	7.1	-175	886	0.3	18.0	
26	158 13-350-C05	1Plus-1	1Plus-1	1Plus-1	2013/8/23 16:20	6.8	6.9	-295	1599	0.4	23.3	9/6~8停電等より循環停止、装置停止。9/10に一時的なポンプ停止あり。
27	159 13-350-C05	1Plus-2	1Plus-2	1Plus-2	2014/2/26 16:10	6.8	6.8	-105	1622	0.9	12.8	

不採用 参考値

表 4.1-2 測定結果一覧表 (2/7)

整理 番号	データ 番号	孔番	区 間	使用 機種	観測開始日時	pH		Eh (mV)	EC (mS/m)	DO (mg/L)	T (°C)	備 考
						ORP安定 時平均	全体平均					
28	16013-350-005	1	Plus-1		2014/3/14 14:35	6.7	6.7	-206	1571	0.4	11.5	
29	16113-350-005	1	Plus-2		2014/6/25 10:00	6.7	6.7	-171	1633	1.0	19.5	開始直後の6/26~27、ポンプ停止。
30	1913-350-005	2	OS-1		2013/7/8 16:15	6.9	6.9	-241	1580	3.0	23.1	
31	2013-350-005	2	Plus-1		2013/8/1 10:25	6.7	6.7	-311	1578	0.5	23.9	ポンプ停止8/10 8:25~8/11 18:25
32	2113-350-005	2	Plus-1		2014/1/24 10:30	6.7	6.7	113	1596	0.3	14.0	ポンプ停止2/4 17:30~2/6 13:30。ポンプ再始動後にORPの再低下がみられる。
33	2213-350-005	2	Plus-1		2014/4/8 15:50	6.8	7.0	-264	1599	0.9	16.7	
34	2313-350-005	2	Plus-1		2014/5/30 11:35	6.8	6.9	-299	1596	0.7	18.9	水質観測機の検定値が不良のため、この回以降しばらく休止する。
35	2413-350-005	2	Plus-2		2014/8/1 15:45	6.6	6.6	-207	1586	1.4	22.2	ポンプ停止8/2 8:45~8/2 14:45
36	2513-350-005	2	Plus-2		2014/8/19 14:05	6.5	6.5	-175	1584	0.7	21.7	ポンプ停止9/9 10:05~9/11 10:05。ほか観測
37	2613-350-005	2	Plus-2		2014/9/24 15:55	6.5	6.5	-190	1586	0.9	19.8	ポンプ停止10/9 11:55~10/14 14:55。および360~480時間後のデータに乱れあり。
38	2713-350-005	2	Plus-2		2014/11/13 10:30	6.6	6.6	24	1593	1.4	18.0	排水のためポンプ一時停止12/1
39	2813-350-005	2	Plus-2		2014/12/16 10:55	6.6	6.6	-288	1632	0.9	16.9	12/25 13~16時データ欠損。水圧異常。循環ミスと思われる。
40	2913-350-005	2	Plus-2		2015/1/7 16:05	6.7	6.7	-193	1600	0.4	15.0	
41	3013-350-005	2	OS-1		2015/1/30 14:10	6.7	6.7	-99	1588	0.4	15.7	
42	3113-350-005	2	Plus-1		2015/3/4 10:25	6.7	6.7	-399	1606	0.7	17.0	3/8深夜より短時間の異常値あり(110時間後付近)。
43	3213-350-005	2	Plus-1		2015/3/25 15:20	6.6	6.6	-382	1608	1.8	16.1	4/7深夜より短時間の異常値がみられる(320時間後付近)。
44	3313-350-005	2	Plus-1		2015/4/20 14:20	6.4	6.4	-344	1603	0.1	17.9	
45	3413-350-005	2	Plus-1		2015/5/13 14:45	6.5	6.5	-333	1607	0.4	18.6	5/21頃より異常値がみられる(180~200時間付近)。
46	3513-350-005	2	Plus-1		2015/6/11 10:50	6.7	6.7	-366	1600	0.0	20.7	湯水の兆候あり
47	3613-350-005	2	Plus-1		2015/7/10 14:15	6.5	6.5	-383	1599	-0.2	21.3	メンテナンスのため、観測を短期で終了。
48	3713-350-005	2	Plus-1		2015/8/7 13:45	6.6	6.6	-398	1599	3.1	22.6	8/14観測。回収時は水が循環していない状態
49	3813-350-005	2	Plus-1		2015/9/2 15:45	6.5	6.5	-375	1598	0.3	22.6	9/29水が循環していないのを確認
50	3913-350-005	2	Plus-1		2015/10/8 11:55	6.5	6.4	-386	1604	0.5	20.1	回収時は水が循環していない状態
51	4013-350-005	2	Plus-1		2015/11/11 14:45	6.8	6.8	-312	1605	0.7	17.3	
52	4113-350-005	2	Plus-1		2015/12/8 14:55	6.7	6.7	-327	1604	1.0	17.8	
53	4213-350-005	2	Plus-3		2016/1/12 14:45	6.8	6.8	-140	1311	0.5	17.6	ECセンサー不調。水不足のため1/5設置。1/12から循環開始。回収時は水が循環していない状態。
54	4313-350-005	2	Plus-3		2016/2/19 10:45	6.8	6.8	58	1418	1.0	17.1	ECセンサー不調

不採用 参考値

表 4.1-2 測定結果一覧表 (3/7)

整理 番号	データ 番号	孔番	区 間	使用 機種	観測開始日時	pH		Eh (mV)	EC (mS/m)	DO (mg/L)	T (°C)	備 考
						ORP安定 時平均	全体平均					
55	44	13-350-005	2	Plus-3	2016/3/14 11:20	6.8	6.8	65	1323	1.1	17.1	ECセンサー不調
56	45	13-350-005	2	Plus-3	2016/4/4 16:20	6.8	6.9	18	1328	2.5	17.2	ECセンサー不調、濁水の高中断
57	46	13-350-005	2	Plus-3	2016/4/27 11:20	6.8	6.8	22	1328	1.7	17.1	ECセンサー不調
58	47	13-350-005	2	Plus-3	2016/5/19 15:45	6.6	6.7	1	1300	0.7	19.4	ECセンサー不調、5/24~25濁水ガス抜きのため循環停止、6/13順以降ポンプ故障
59	48	13-350-005	2	Plus-5	2016/7/19 15:15	6.9	7.0	83	1588	0.1	23.4	7/30~7/31作業停電のため停止
60	49	13-350-005	2	Plus-5	2016/8/22 14:30	6.9	6.9	-251	1591	0.2	22.9	
61	50	13-350-005	2	Plus-3	2016/9/27 11:30	6.8	6.8	-197	1593	0.0	21.2	回収時は水が循環していない状態
62	51	13-350-005	2	Plus-3	2016/11/1 15:40	6.8	6.8	-217	1596	0.3	17.8	11/19~20坑内作業停電で循環停止
63	52	13-350-005	2	Plus-3	2016/11/29 10:35	6.8	6.9	-167	1606	0.1	16.3	12/5~9濁水のため停止
64	53	13-350-005	2	Plus-3	2017/1/11 14:10	6.8	6.9	-204	1596	0.1	15.7	濁水のため1/19以降複数回のガス抜き実施、120時間までのデータのみ採用とする。
65	54	13-350-005	2	Plus-3	2017/2/13 11:10	6.9	6.8	-224	1595	0.2	14.8	
66	55	13-350-005	2	Plus-3	2017/3/7 14:55	6.8	7.0	-93	1600	0.3	15.5	回収時ガスにより循環していない状態
67	162	13-350-005	3	OS-1	2013/6/13 12:00	6.8	6.8	-247	1550	4.4	20.8	6/19~6/28 (141~359時間後) ポンプ停止。
68	163	13-350-005	3	OS-3	2013/10/30 11:05	6.6	6.7	-434	1557	0.4	19.2	10/30~11/150S-3、比較センサー不良、11/9~11/12ポンプ停止。
69	164	13-350-005	3	OS-3	2013/11/15 16:30	6.6	6.6	-396	1563	0.3	16.8	
70	165	13-350-005	3	Plus-1	2013/11/29 12:40	6.8	6.8	-289	1566	2.5	14.1	11/29~12/16P Plus1、未校正、終了はバルブ故障のため、12/4~12/5、12/11~14ポンプ停止。
71	166	13-350-005	3	Plus-1	2013/12/27 10:15	6.8	6.8	-265	1569	12.0	13.8	12/27~1/21Plus1、バルブ修理済、試験坑道掘削終了まで、12/15~16停電あり。
72	167	13-350-005	4	Plus-1	2013/4/24 15:30	7.0	7.0	-261	850	0.5	17.7	桁数設定ミス者、5/6~5/7ポンプ停止者。
73	168	13-350-005	4	Plus-1	2013/5/29 9:15	6.8	6.8	-193	874	3.2	19.8	装置設定ミス者、6/6~6/11装置停止。
74	56	13-350-006	1	OS-3	2013/11/29 12:00	6.8	6.8	-390	1665	0.2	14.4	12/4~5、12/6~12/9に循環停止あり。
75	57	13-350-006	1	Plus-4	2014/6/4 14:16	6.9	6.9	-155	1640	1.0	19.2	6/26~27に循環停止あり。
76	58	13-350-006	1	Plus-4	2014/8/19 14:10	6.7	6.8	-198	1606	10.7	23.2	8/21停電のため一時的な停電、循環停止者。
77	59	13-350-006	1	Plus-4	2014/11/13 10:40	6.6	6.6	-138	1633	0.0	19.8	12/1採水のため一時的な停電、循環停止者。
78	60	13-350-006	1	Plus-4	2015/2/24 11:05	6.9	6.9	-129	1630	0.0	18.2	
79	61	13-350-006	1	Plus-4	2015/4/13 15:35	6.6	6.6	-199	1647	2.0	18.8	
80	62	13-350-006	1	Plus-4	2015/6/3 15:15	6.7	6.7	84	1636	1.0	21.8	6/9停電による一時的な循環停止
81	63	13-350-006	1	Plus-4	2015/7/2 14:05	6.5	6.5	69	1614	0.2	22.9	7/15~16、SAB-1噴出影響

不採用 参考値

表 4.1-2 測定結果一覧表 (4/7)

整理番号	データ番号	孔番	区間	使用機種	観測開始日時	pH		Eh (mV)	EC (mS/m)	DO (mg/L)	T (°C)	備考
						ORP安定時平均	全体平均					
82	6413-350-006	1	Plus-4	1	2015/8/3 15:40	6.6	6.6	-236	1625	1.6	24.1	8/5と14に停電等による一時的な循環停止有
83	6513-350-006	1	Plus-4	1	2015/8/25 15:00	6.5	6.5	-227	1621	0.9	24.4	9/2一時的な循環停止
84	6613-350-006	1	Plus-4	1	2015/10/7 15:15	6.5	6.5	-218	1625	0.7	21.2	
85	6713-350-006	1	Plus-4	1	2015/11/11 15:25	6.7	6.7	-196	1623	0.4	17.9	開始1,2日,メンテナンスによる一時循環停止,11/27瞬間停電による一時循環停止。
86	6813-350-006	1	Plus-4	1	2015/12/9 14:10	6.8	6.8	-119	1633	0.4	17.2	12/15メンテナンスによる一時循環停止。
87	6913-350-006	1	Plus-2	1	2016/1/5 15:15	6.6	6.6	-93	1641	0.3	16.7	
88	7013-350-006	1	Plus-5	1	2016/3/9 15:45	6.9	6.9	-47	1633	0.1	16.6	圧力値より,回路内の詰まりが生じていると思われる。
89	7113-350-006	1	Plus-5	1	2016/3/30 11:15	6.8	6.8	-192	1633	0.0	16.9	
90	7213-350-006	1	Plus-2	1	2016/4/21 14:55	6.9	7.0	-8	1643	0.3	17.2	
91	7313-350-006	1	Plus-2	1	2016/6/2 15:20	6.6	6.7	-103	1641	0.4	19.7	
92	7413-350-006	1	Plus-2	1	2016/7/12 15:25	6.7	6.7	-257	1639	0.7	22.2	7/14作業停電で停止約1日,電気点検で早期終了。
93	7513-350-006	1	Plus-2	1	2016/8/1 14:20	6.6	6.6	-143	1636	2.0	24.1	
94	7613-350-006	1	Plus-2	1	2016/8/23 14:30	6.5	6.6	-119	1635	3.9	24.0	
95	7713-350-006	1	Plus-5	1	2016/9/27 11:00	6.8	6.9	-106	1631	0.1	21.6	
96	7813-350-006	1	Plus-5	1	2016/11/1 14:45	6.6	6.7	-103	1636	0.1	17.3	11/18~21,坑内作業停電による循環停止。
97	7913-350-006	1	Plus-2	1	2017/1/11 15:00	6.8	6.8	-58	1644	0.3	15.5	
98	8013-350-006	1	Plus-2	1	2017/3/7 14:15	6.8	6.8	-134	1643	0.4	16.5	
99	8113-350-006	2	Plus-1	1	2013/11/6 11:10	6.7	6.7	-280	1601	0.6	18.3	11/12~18はほとんど循環無し。
100	8213-350-006	2	OS-3	1	2013/12/9 15:15	6.5	6.5	-389	1604	0.3	13.9	頻繁なポンプ停止が発生。
101	8313-350-006	2	Plus-4	1	2014/4/8 14:25	7.2	7.2	-217	1492	0.1	16.1	5/9一時的なポンプ停止が発生。
102	8413-350-006	2	Plus-4	1	2014/7/22 15:10	7.2	7.2	-84	1310	2.8	23.3	8/2~4装置停止。
103	8513-350-006	2	Plus-4	1	2014/10/15 14:05	6.9	6.9	-158	1399	0.0	20.8	10/23一時的にポンプ停止。
104	8613-350-006	2	Plus-4	1	2014/12/15 11:38	7.1	7.1	-93	1117	0.4	18.3	1/27~2/10ポンプ故障のため装置停止(1/27以降のデータは割愛)。ORPの脈動,ECのドリフトから見て,初期からポンプは不調だったとみられる。
105	8713-350-006	2	Plus-4	1	2015/3/17 15:00	7.0	7.1	-220	1399	0.4	17.8	
106	8813-350-006	2	Plus-4	1	2015/5/12 14:10	7.0	7.0	-233	1440	0.1	20.0	
107	8913-350-006	2	Plus-4	1	2015/9/15 15:05	6.7	6.7	48	1330	0.5	22.9	
108	9013-350-006	2	Plus-5	1	2016/2/17 14:15	7.1	7.1	-159	1409	0.3	16.5	

不採用 参考値

表 4.1-2 測定結果一覧表 (5/7)

整理 番号	データ 番号	孔番	区 間	使用 機種	観測開始日時	pH		Eh (mV)	EC (mS/m)	DO (mg/L)	T (°C)	備 考
						ORP安定 時平均	全体平均					
109	91	13-350-006	2	Plus-2	2016/5/12 13:50	6.9	6.9	-184	1476	0.4	18.8	
110	92	13-350-006	2	Plus-2	2016/11/29 11:10	7.2	7.1	-231	1424	0.2	16.8	12/5~6、循環一時停止
111	93	13-350-006	2	Plus-2	2017/2/13 11:40	7.1	7.1	-194	1459	0.5	15.9	開始翌日に濡れ確認、復旧。
112	180	13-350-006	3	OS-3	2013/10/18 15:25	7.1	7.0	-461	1574	0.7	20.2	10/22~25 (87~166時間後)、ポンプ停止。
113	181	13-350-006	3	OS-3	2014/1/27 10:25	6.9	6.9	-430	1522	0.0	13.4	2/4停電により200~358時間後ポンプ停止。
114	182	13-350-006	3	Plus-4	2014/2/26 14:50	7.2	7.2	-151	1458	0.0	13.4	
115	183	13-350-006	3	Plus-4	2014/7/1 10:20	7.1	7.1	-232	1502	0.2	21.7	
116	184	13-350-006	3	Plus-4	2014/9/16 11:00	6.9	6.9	-237	1427	5.8	22.4	設置直後の9/17 (21~74時間後)と9/20 (95~189時間後)にポンプ停止有。
117	185	13-350-006	4	Plus-2	2013/7/30 16:00	6.9	6.9	-365	1562	0.0	25.0	停電等によるポンプ停止発生 (8/6~8/11 (152~290時間後)、8/13~8/14 (321~354時間後))。システムトラブルが生じた8/19以降のデータは除外。
118	169	13-350-007	1	Plus-3	2014/6/25 9:45	6.9	6.9	106	1416	6.9	19.2	6/26~6/27ポンプ停止
119	170	13-350-007	2	Plus-3	2014/5/22 12:05	6.9	6.9	-200	1463	7.8	16.7	
120	171	13-350-007	2	Plus-3	2014/8/5 14:25	6.6	6.7	42	1469	5.8	22.3	8/21一時的なポンプ停止有
121	172	13-350-007	2	Plus-3	2014/11/12 14:35	6.9	6.9	-228	1452	0.0	16.1	12/1一時的なポンプ停止有
122	173	13-350-007	3	Plus-3	2014/2/21 14:43	7.0	7.0	-215	1643	0.0	10.7	有効桁数設定ミス有。設置初期、誤りハバ/解放忘れと思われる異常高圧有。
123	174	13-350-008	1	Plus-3	2014/7/9 13:55	6.8	6.9	-225	1599	4.7	20.8	
124	94	13-350-008	2	Plus-3	2014/6/13 15:10	6.8	6.8	-208	1591	1.7	17.5	
125	95	13-350-008	2	Plus-3	2014/10/17 10:30	6.8	6.8	-236	1573	0.0	18.0	長時間循環後の濁水 (循環の停止あるいは間欠的な循環停止) 発生の可能性あり。
126	96	13-350-008	2	Plus-3	2014/12/15 11:20	6.2	6.3	-236	1592	0.0	18.1	長時間循環後の濁水 (循環の停止あるいは間欠的な循環停止) 発生の可能性あり。
127	97	13-350-008	2	Plus-3	2015/1/6 15:50	6.5	6.6	-249	1592	0.0	15.5	長時間循環後の濁水 (循環の停止あるいは間欠的な循環停止) 発生の可能性あり。
128	98	13-350-008	2	Plus-3	2015/1/28 13:45	6.6	6.6	-257	1595	0.3	14.8	長時間循環後の濁水 (循環の停止あるいは間欠的な循環停止) 発生の可能性あり。
129	99	13-350-008	2	Plus-3	2015/2/24 10:50	6.7	6.7	-89	1577	0.0	16.7	回収時は濁水し循環していない状態。
130	100	13-350-008	2	Plus-3	2015/3/19 9:15	6.7	6.7	-374	1592	0.3	16.3	
131	101	13-350-008	2	Plus-3	2015/4/13 15:20	6.6	6.6	-220	1228	0.0	17.6	ECセンサー不調。観測後、バックアップが怪かったことを発見、対応。
132	102	13-350-008	2	Plus-3	2015/5/18 10:25	6.7	6.7	-303	1197	0.1	19.2	ECセンサー不調。観測終了直前の6/9に作業停電あり。
133	103	13-350-008	2	Plus-3	2015/6/16 13:50	6.6	6.6	-319	1257	0.4	21.5	ECセンサー不調。7/13バックアップが破損し、区間2と3が不通。
134	104	13-350-008	2	Plus-3	2015/8/7 14:10	6.6	6.6	-178	1245	0.0	23.6	ECセンサー不調。8/14落雷による停電で約2H循環停止。
135	105	13-350-008	2	Plus-3	2015/8/28 15:30	6.5	6.5	-296	1228	0.0	23.1	ECセンサー不調。

不採用 参考値

表 4.1-2 測定結果一覧表 (6/7)

整理番号	データ番号	孔番	区間	使用機種	観測開始日時	pH		Eh (mV)	EC (mS/m)	DO (mg/L)	T (°C)	備考
						ORP安定時平均	全体平均					
136	10613-350-008	2	Plus-3	2	2015/10/14 11:05	6.5	6.5	-298	1287	34.4	19.5	ECセンサー不調。戻り圧大きく循環不成立(溜め水を計測)のため、不採用とする。
137	10713-350-008	2	Plus-3	2	2015/11/11 15:00	6.8	6.8	-197	1318	0.0	16.9	ECセンサー不調。回収時、水少なくて循環していないのを確認。
138	10813-350-008	2	Plus-3	2	2015/12/14 15:20	6.8	6.8	54	1307	7.6	18.8	ECセンサー不調。
139	10913-350-008	2	Plus-1	2	2016/1/12 14:25	6.7	6.7	-346	1606	3.4	16.8	水不足のため1/5設置、1/12から循環開始。
140	11013-350-008	2	Plus-1	2	2016/2/9 14:30	6.8	6.8	-345	1609	4.0	16.5	2/13坑内作業停電、循環停止。2/26以降湯水による循環停止の可能性あり。
141	11113-350-008	2	Plus-1	2	2016/3/14 10:55	6.8	6.9	-362	1601	4.1	16.4	3/24メンテナンスのため一時循環停止。
142	11213-350-008	2	Plus-1	2	2016/4/4 15:55	6.7	6.8	-343	1603	7.4	16.6	
143	11313-350-008	2	Plus-1	2	2016/4/27 11:45	6.9	7.0	-378	1599	7.9	18.1	
144	11413-350-008	2	Plus-1	2	2016/5/19 16:15	6.7	6.7	-376	1600	7.7	19.7	
145	11513-350-008	2	Plus-1	2	2016/7/12 15:05	6.8	6.7	-332	1600	1.2	22.3	7/13~14作業停電のため循環停止
146	11613-350-008	2	Plus-1	2	2016/8/1 14:40	6.8	6.8	-338	1611	1.5	24.0	回収時ポンプ空転(8/19から発生していた可能性)
147	11713-350-008	2	Plus-1	2	2016/8/29 10:10	6.8	6.8	-352	1602	23.1	23.2	8/23設置、水不足のため8/29より循環開始。
148	11813-350-008	2	Plus-1	2	2016/9/28 11:00	6.8	6.8	-350	1603	9.3	21.5	9/30メンテナンスによる循環一時停止
149	11913-350-008	2	Plus-1	2	2016/11/1 15:15	6.7	6.8	-347	1605	1.4	18.0	11/18~21、坑内作業停電に伴う設置一時停止
150	12013-350-008	2	Plus-5	2	2016/11/29 10:55	6.8	6.8	-226	1614	0.7	16.1	12/5~6ポンプメンテナンスのため循環一時停止
151	12113-350-008	2	Plus-5	2	2017/1/11 14:25	6.8	6.8	-233	1618	0.2	14.5	1/28以降湯水
152	12213-350-008	2	Plus-1	2	2017/2/13 11:20	6.8	6.9	-261	1598	0.6	15.3	
153	12313-350-008	2	Plus-1	2	2017/3/7 14:35	6.8	6.8	-310	1606	2.1	15.9	
154	17513-350-008	3	Plus-3	3	2014/3/20 14:20	7.0	6.9	163	1572	0.2	11.5	3/24~3/25停電有。
155	17613-350-008	3	Plus-3	3	2014/7/22 15:00	6.8	6.7	14	1593	4.9	22.2	8/2停電とポンプ停止有。
156	17713-350-008	3	Plus-3	3	2014/8/22 13:40	6.7	6.7	26	1582	7.7	21.4	
157	17813-350-009	2	Plus-3	2	2014/4/8 16:00	6.8	7.0	-186	1586	0.2	14.1	4/15再設置(設置設定あるいは水不足による再設置の可能性)
158	17914-350-004	4	OS-1	4	2014/10/15 16:15	6.6	6.6	-199	1705	0.8	18.2	装置の設定桁数不良、10/27(280時間後)以降ポンプ停止。
159	12414-350-004	5	OS-1	5	2014/11/12 13:45	6.5	6.5	-81	1700	0.6	18.3	単位や有効桁数のエラー有。11/13ポンプ停止有、工区のプロセカール落ち。
160	12514-350-004	5	OS-1	5	2015/1/6 15:25	6.5	6.6	-81	1700	1.0	16.7	モニタリング装置に単位や有効桁数のエラー有。
161	12614-350-004	5	Plus-2	5	2015/3/27 10:40	6.5	6.5	-52	1753	0.7	14.3	単位や有効桁数のエラー有。
162	12714-350-004	5	Plus-2	5	2015/6/8 15:35	6.3	6.3	-147	1047	1.6	19.3	ECセンサー不調。6/9坑内メンテナンスで停電、循環一時停止。

不採用 参考値

表 4.1-2 測定結果一覧表 (7/7)

整理番号	データ番号	孔番	区間	使用機種	観測開始日時	pH		Eh (mV)	EC (mS/m)	DO (mg/L)	T (°C)	備考
						ORP安定時平均	全体平均					
163	12814-350-C04	5Plus-2			2015/6/30 14:25	6.4	6.4	43	1046	0.7	19.9	ECセンサー不調。7/21採水器取り外しに伴う一時停止。
164	12914-350-C04	5OS-1			2015/9/8 14:10	6.3	6.3	49	1758	0.0	19.3	
165	13014-350-C04	5OS-1			2015/10/8 11:20	6.3	6.3	60	1757	0.3	19.5	
166	13114-350-C04	5Plus-2			2015/11/18 14:35	6.7	6.7	165	1764	0.4	14.7	11/27以降、汚水のため循環せず。
167	13214-350-C04	5Plus-4			2016/11/1 13:55	6.6	6.6	-216	1782	3.2	16.6	11/18~21作業停止に伴う循環停止。観測開始日にも採水による一時的な循環停止有
168	13314-350-C04	5Plus-4			2016/11/29 11:35	6.6	6.7	-168	1781	1.4	16.3	
169	13414-350-C04	5Plus-5			2017/2/14 14:05	6.7	6.7	-125	1776	0.1	16.5	
170	13514-350-C04	6OS-1			2014/12/16 10:30	6.8	6.8	-131	1603	1.0	16.5	単位や有効桁数のエラー有。12/15以降データ欠損。
171	13614-350-C04	6Plus-2			2015/1/27 14:32	6.7	6.7	-42	1600	0.5	16.7	単位や有効桁数のエラー有。
172	13714-350-C04	6Plus-2			2015/4/23 17:30	6.7	6.7	194	1118	1.0	13.6	汚水によりエラー。
173	13814-350-C04	6Plus-2			2015/5/21 16:20	5.8	7.0	76	1096	3.4	14.8	汚水によりエラー
174	13914-350-C04	6Plus-4			2016/1/5 15:30	6.7	6.7	-145	1681	0.0	14.5	
175	14014-350-C04	6Plus-4			2016/2/9 15:35	6.8	6.8	-107	1690	2.5	14.0	
176	14114-350-C04	6Plus-4			2016/3/2 16:10	6.6	6.6	-106	1689	1.6	13.8	3/16と3/22にメンテナンスのため一時循環停止有。
177	14214-350-C04	6Plus-4			2016/3/30 10:50	7.0	7.0	-260	1716	1.2	12.9	データのゆっくりとした変化は、循環状態（ポンプ調子等）の不良の可能性が考えられる。
178	14314-350-C04	6Plus-4			2016/4/21 15:55	6.7	6.8	-201	1686	0.3	16.1	
179	14414-350-C04	6Plus-4			2016/5/12 14:15	6.6	6.7	-246	1686	0.7	17.8	
180	14514-350-C04	6Plus-4			2016/6/2 14:45	6.5	6.6	-256	1685	0.3	18.6	
181	14614-350-C04	6Plus-4			2016/7/20 14:15	6.7	6.7	-202	1670	1.6	22.9	7/29~8/1坑内作業停止による欠測
182	14714-350-C04	6Plus-4			2016/8/22 15:15	6.7	6.7	-209	1670	1.1	23.6	
183	14814-350-C04	6Plus-4			2016/9/28 10:40	6.7	6.8	-214	1690	4.0	20.9	
184	14914-350-C04	6Plus-4			2017/1/11 15:20	6.9	6.9	-193	1691	1.3	16.2	
185	15014-350-C04	6Plus-5			2017/3/7 14:00	6.9	6.9	-161	1693	0.4	15.8	

不採用 参考値

4.2 各観測項目の経時変化

採用値が5点以上（溶存酸素濃度は1点以上）取得された観測区間を対象に、各観測項目の経時変化を示すグラフを作成した。

4.2.1 pH

約3週間の観測期間におけるpHの平均値について、その経時変化を図4.2-1～図4.2-10に示す。pHにおける誤差は±0.2と仮定した（脚注参照）。

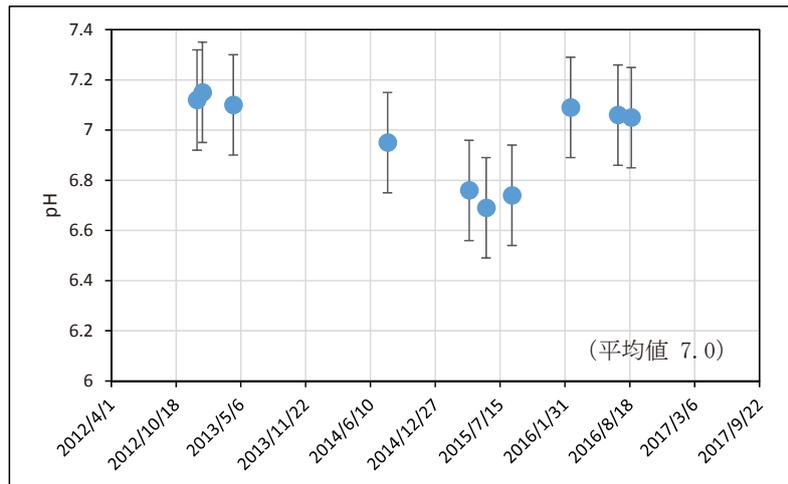


図 4.2-1 pHの経時変化 (08-E140-C01 区間 3)

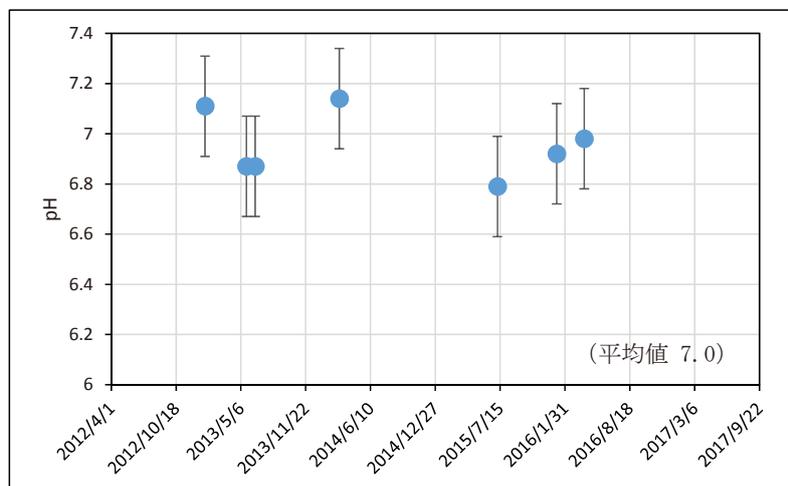


図 4.2-2 pHの経時変化 (08-E140-C01 区間 5)

《脚注》 pHの誤差の仮定

- pHについては、原位置との炭酸ガス分圧の違いにより、地下水からのCO₂ガスの脱ガスや、地下水へのCO₂ガスの溶解が生じる可能性がある。このような影響により、pHの測定値には、0.2～0.4程度の不確実性（誤差）が考えられる⁹⁾。本報告で使用した地下水モニタリング装置では、測定時の減圧の影響を低減すると共に、原位置の地下水と大気との接触を低減させた環境で測定可能であり、上述したような影響は小さいと考えられるため、pHの測定誤差として、±0.2程度を仮定した。

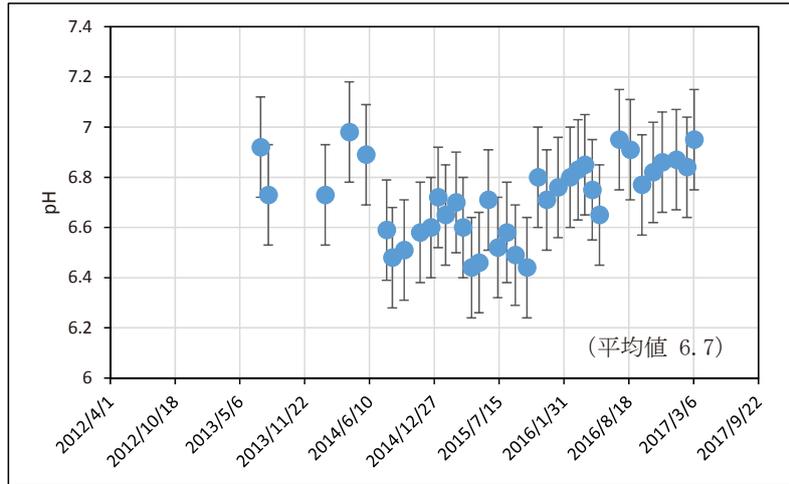


図 4.2-3 pHの経時変化 (13-350-C05 区間2)

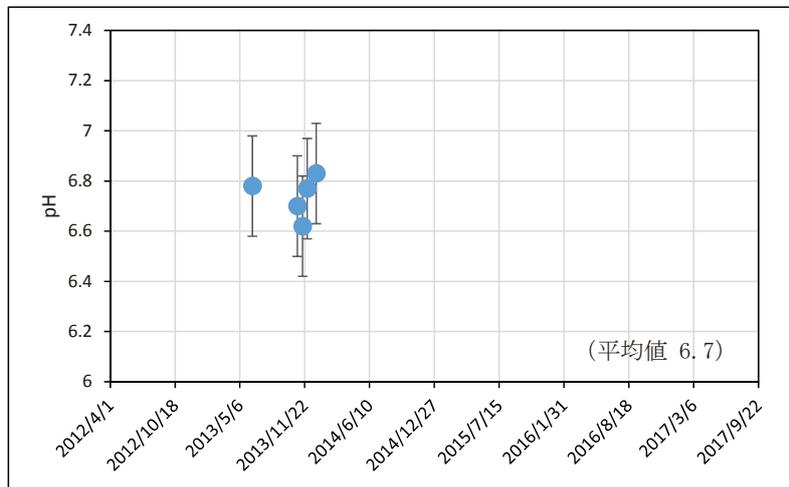


図 4.2-4 pHの経時変化 (13-350-C05 区間3)

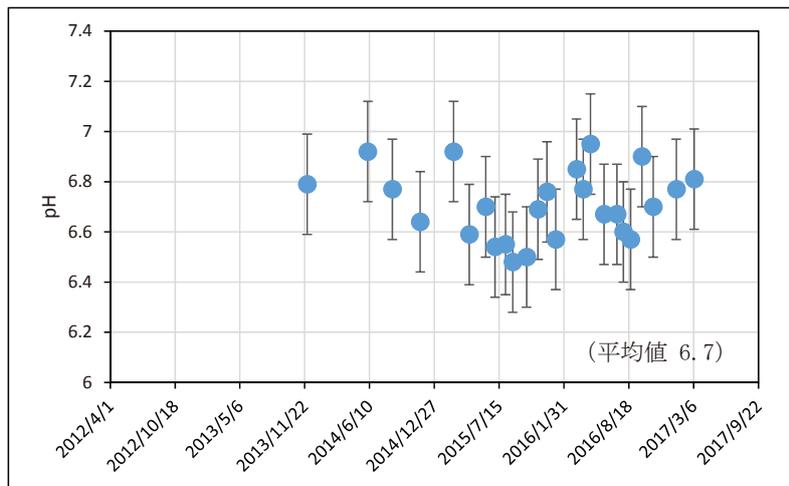


図 4.2-5 pHの経時変化 (13-350-C06 区間1)

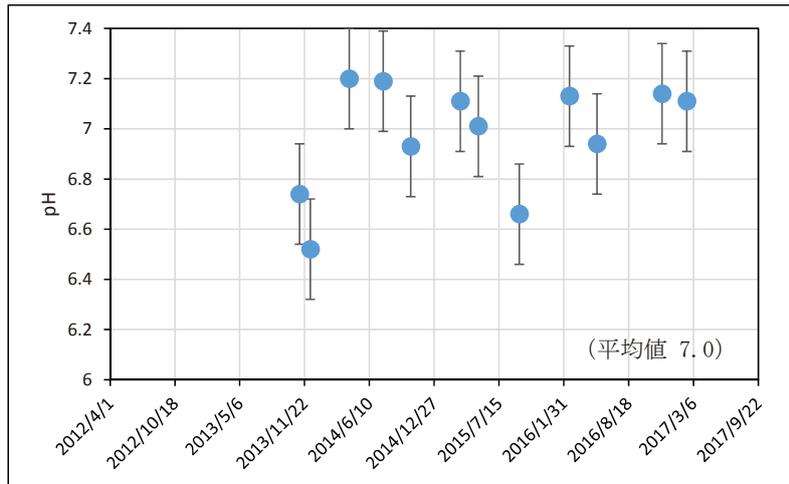


図 4.2-6 pHの経時変化 (13-350-C06 区間2)

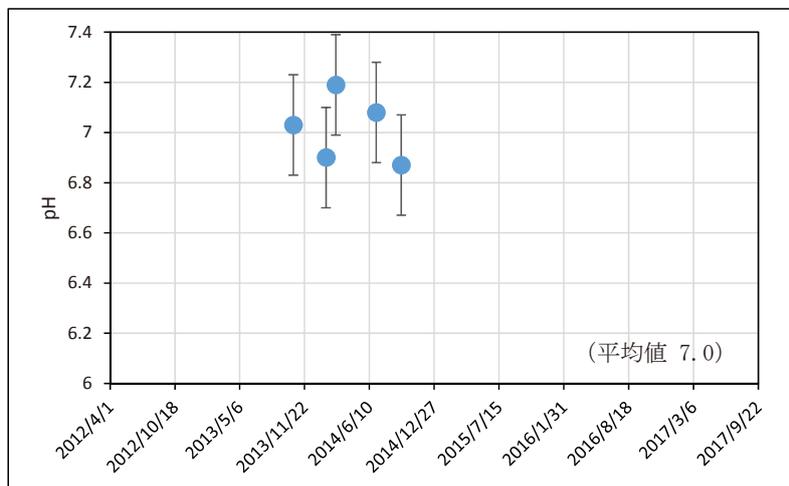


図 4.2-7 pHの経時変化 (13-350-C06 区間3)

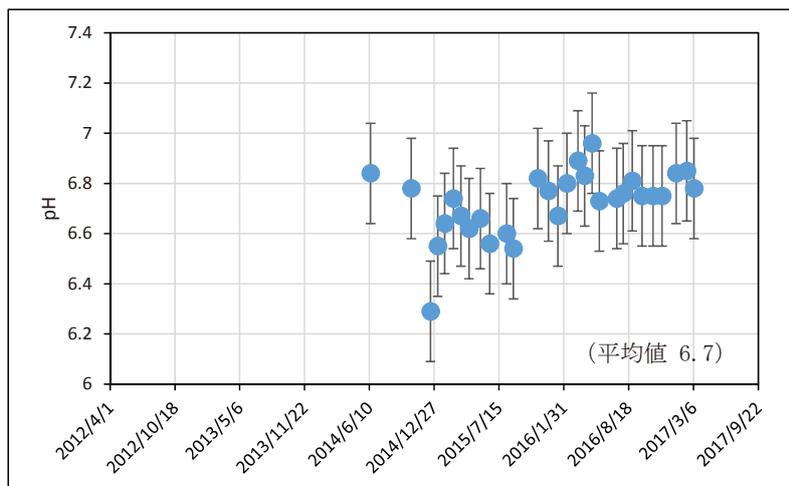


図 4.2-8 pHの経時変化 (13-350-C08 区間2)

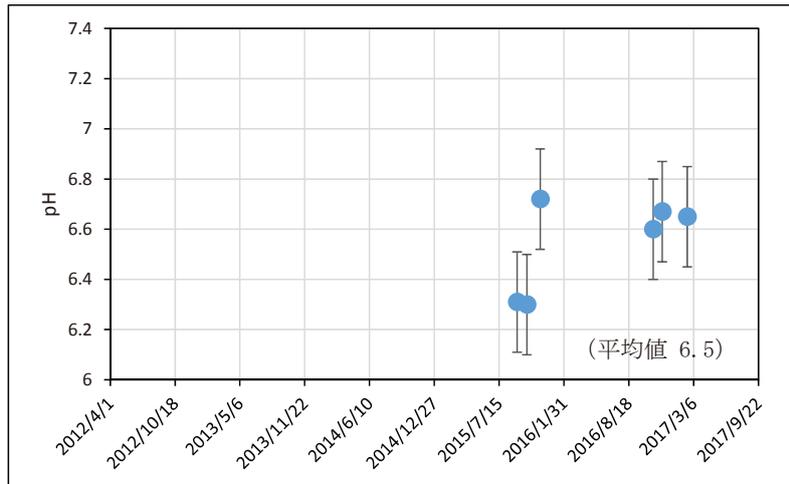


図 4.2-9 pH の経時変化 (14-350-C04 区間 5)

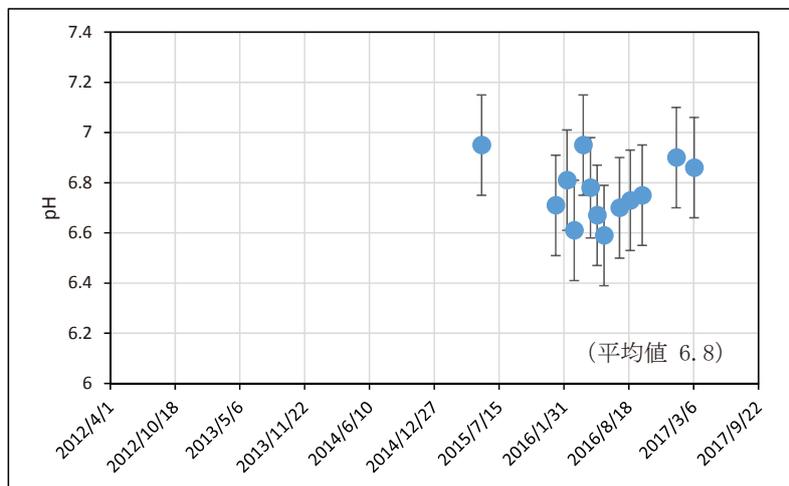


図 4.2-10 pH の経時変化 (14-350-C04 区間 6)

pH は、140m 調査坑道のボーリング孔では 6.7～7.2、350m 調査坑道のボーリング孔では 6.3～7.2 の範囲に位置し、いずれの区間においてもおおむね中性付近の値を示した。深度 140m 調査坑道に位置する 08-E140-C01 孔 (図 4.2-1, 図 4.2-2) ならびに深度 350m 調査坑道に位置する 13-350-C06 孔の区間 2 および区間 3 (図 4.2-6, 図 4.2-7) では、他の孔や区間に比べてやや高い pH が観測された。13-350-C06 孔におけるこの要因については、同孔の区間 2 を対象として年に一度実施されている透水試験において、区間内に水道水を注入したことによるものと考えられる。

一部の観測区間 (13-350-C05 孔の区間 2, 14-350-C06 孔の区間 6 など) では、2016 年頃より、pH が徐々に上昇する傾向が認められる。ただし、その上昇幅は 0.2～0.3 程度であるため、測定誤差や比較電極の経時劣化に起因するものとも考えられる。今後も観測を継続し、長期的な変動傾向にもとづいて判断する必要がある。

4.2.2 Eh

Eh の経時変化を図 4.2-11～図 4.2-16 に示す。Eh における誤差は±50mV と仮定した（脚注参照）。

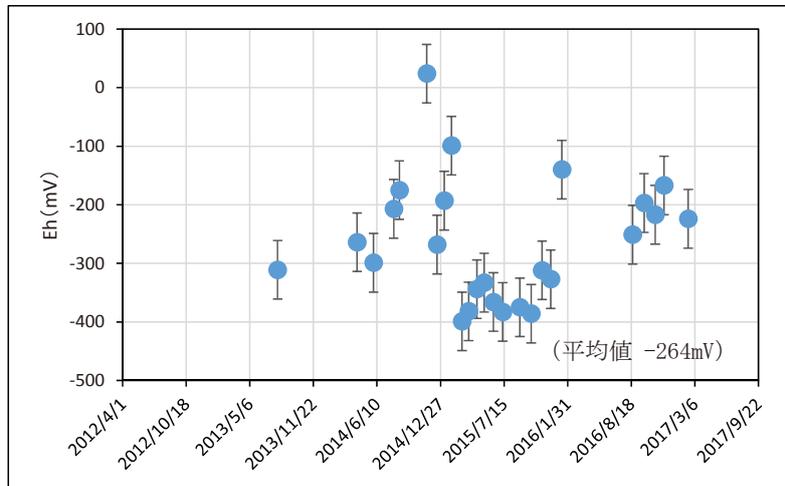


図 4.2-11 Eh の経時変化（13-350-C05 区間 2）

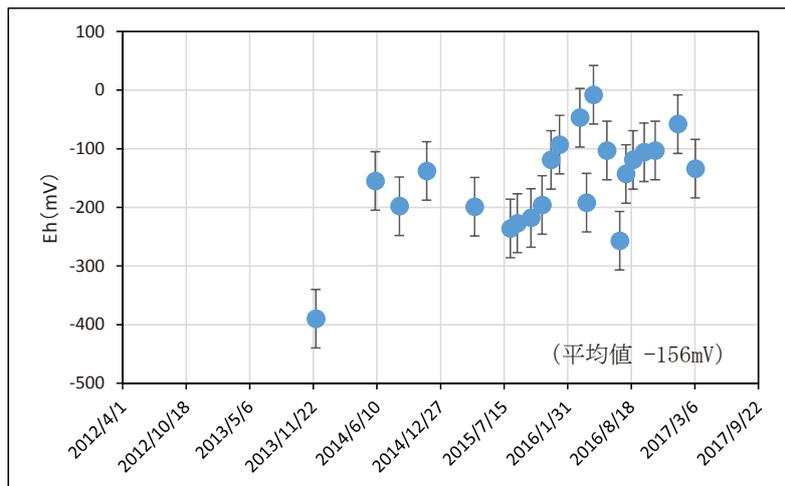


図 4.2-12 Eh の経時変化（13-350-C06 区間 1）

《脚注》 Eh の誤差の仮定

- Eh については、作用電極の反応性に依存し、安定値（平衡値）を得るには一般に長時間を要する。また、作用電極表面の汚れや参照電極の劣化等も安定な電位測定を得る上での妨げになる。このため、得られた測定値の適切性を確認するため、酸化還元反応に寄与していると考えられる反応を仮定した計算値との比較が行なわれる。たとえば、SKB のサイト特性調査で得られた地下水の Eh（実測値）と計算値の間には、±30～50 mV 程度の差が認められている⁹⁾。なお、幌延において行なった測定では、観測機の機体差による影響も示唆されたため、Eh の測定誤差としては大きめの±50 mV 程度を仮定した。

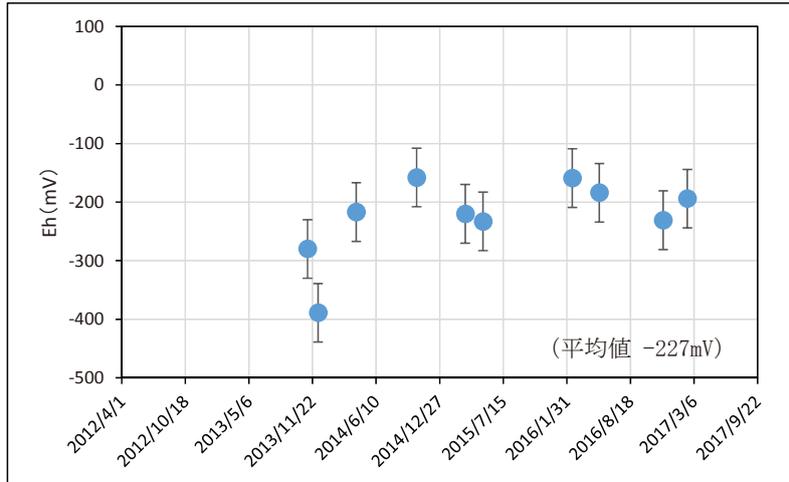


図 4.2-13 Ehの経時変化 (13-350-C06 区間 2)

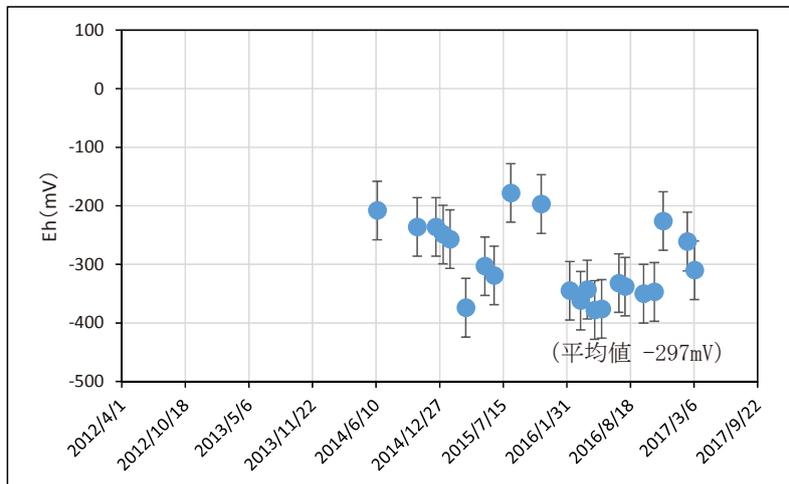


図 4.2-14 Ehの経時変化 (13-350-C08 区間 2)

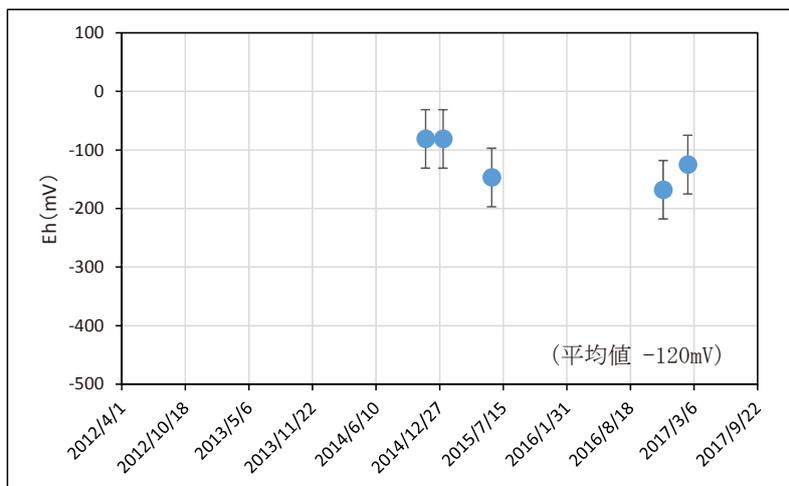


図 4.2-15 Ehの経時変化 (14-350-C04 区間 5)

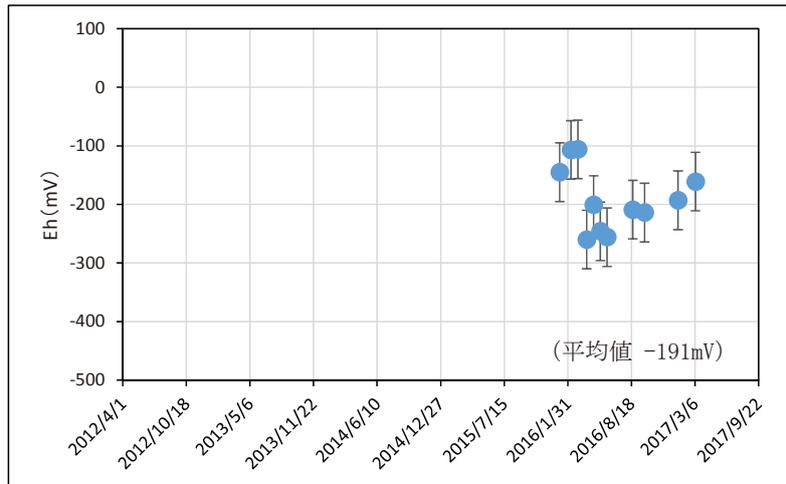


図 4.2-16 Eh の経時変化 (14-350-C04 区間 6)

Eh は大部分のボーリング孔で-200mV 前後であり，試験坑道の壁面に近い 13-350-C06 孔の区間 1(図 4.2-12) でやや高い値を，壁面から遠い 13-350-C05 孔の区間 2(図 4.2-11) や 13-350-C08 孔の区間 2 (図 4.2-14) でやや低い値を示した。ただし，このような傾向は各区間の坑道壁面からの距離ではなく，使用した観測機の機体差を反映している可能性もある。これに関しては，4.2.6 項で詳しく述べる。

一部の観測では，地下水の循環停止や測定値の不規則な変動のために，採用値の取得が困難であった (表 4.1-7)。本報で使用したモニタリング装置は，嫌気・被圧状態を維持した状態での水質観測が可能であるものの，地下水循環時の圧力低下とそれに伴う地下水中の溶存ガスの遊離は避けられない。発生した遊離ガスがチューブ内に滞留することで地下水の循環が停止し，また気泡としてセンサー表面に付着することで測定値が大きく変動した¹⁰⁾と考えられる。

一部の観測区間 (13-350-C05 孔の区間 2, 14-350-C04 孔の区間 6 など) では，2016 年頃より，Eh が徐々に上昇する傾向が認められる。これについても，データを継続的に取得し，長期的な変化の傾向をもとに議論する必要がある。また，地下水からの遊離ガスが測定に与える影響を軽減するための技術の開発も今後の課題である。

4.2.3 電気伝導度

電気伝導度の経時変化を図 4.2-17～図 4.2-26 に示す。縦軸に示す測定値の幅は基本的に 200 mS/m としているが、値の変化が大きい 13-350-C06 孔の区間 2 のみ 400 mS/m で示している。EC における誤差は測定値に対して±0.5%と仮定した（脚注参照）。

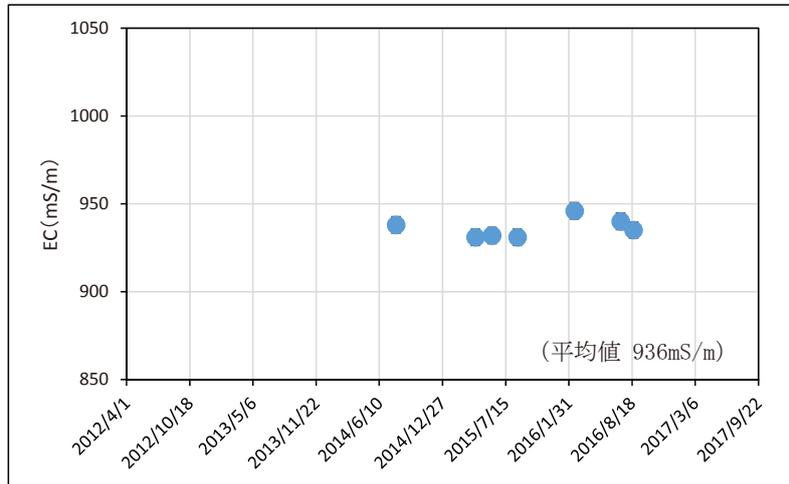


図 4.2-17 電気伝導度の経時変化（08-E140-C01 区間 3）

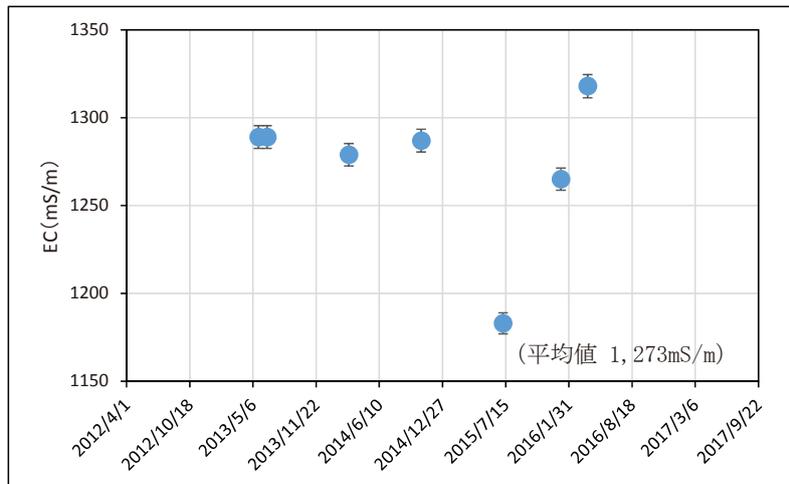


図 4.2-18 電気伝導度の経時変化（08-E140-C01 区間 5）

《脚注》 EC の誤差の仮定

- EC については、主に地下水中の溶存成分濃度に関係するため、測定方法や測定環境の違いによる測定値への影響は小さいと考えられる。このため、Ocean Seven305 (IDRONAUT 社製) の製品仕様に基づき、観測値に対し、±0.5%の誤差を仮定した。

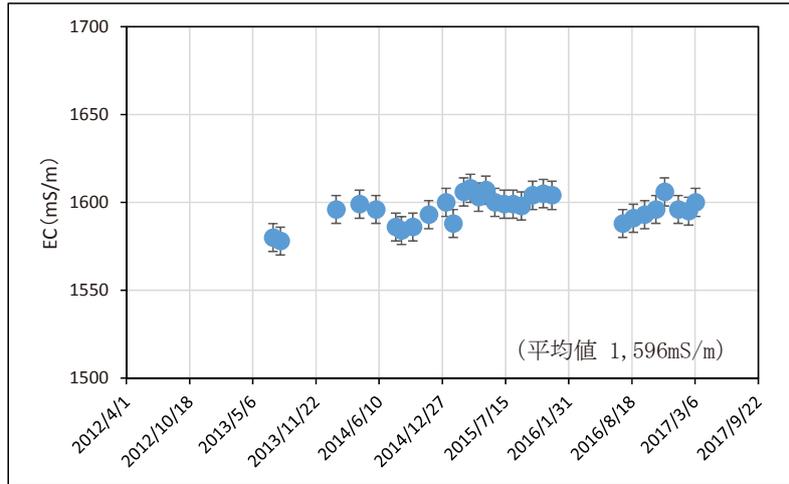


図 4.2-19 電気伝導度の経時変化 (13-350-C05 区間 2)

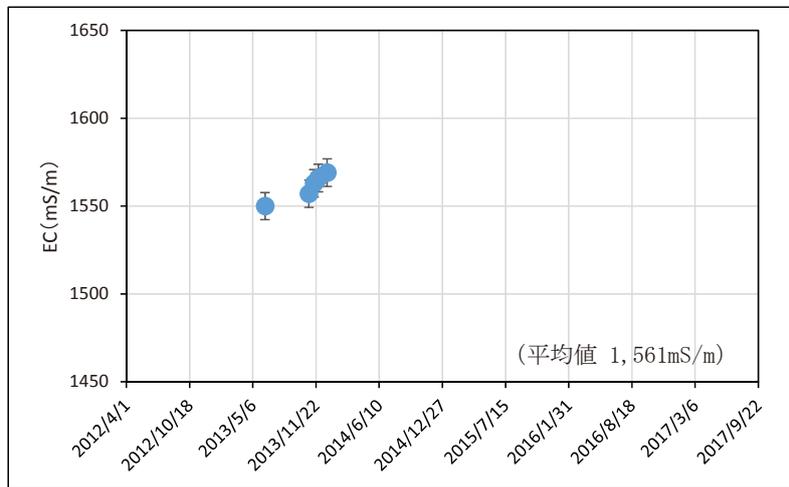


図 4.2-20 電気伝導度の経時変化 (13-350-C05 区間 3)

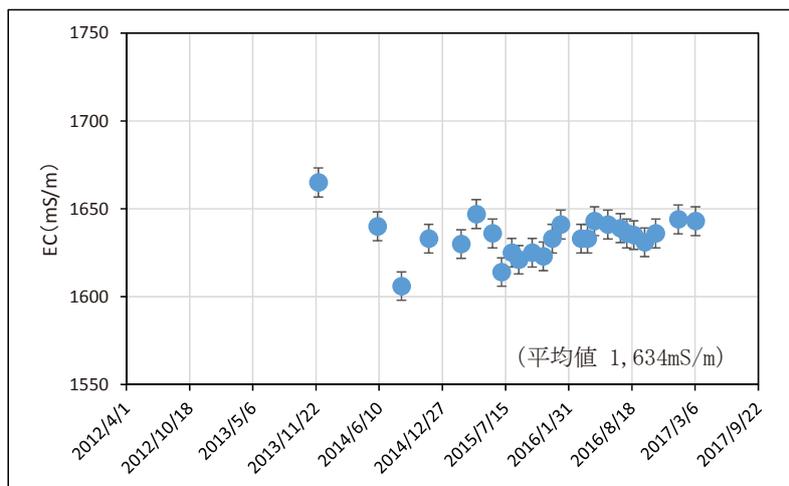


図 4.2-21 電気伝導度の経時変化 (13-350-C06 区間 1)

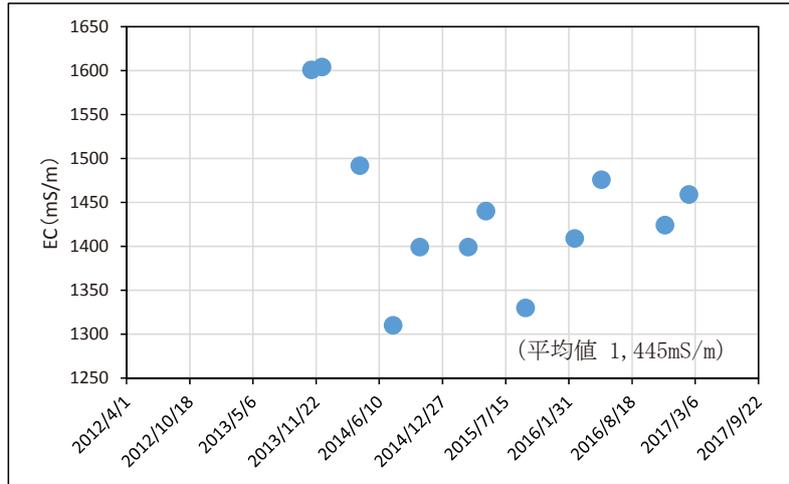


図 4.2-22 電気伝導度の経時変化 (13-350-C06 区間 2)

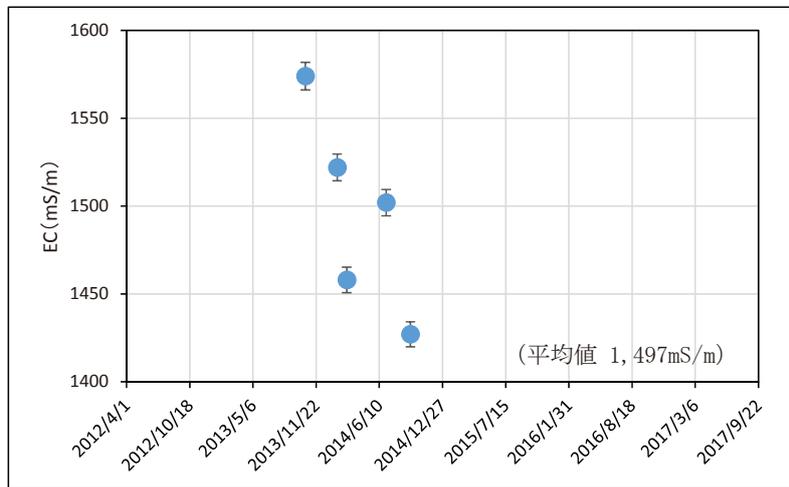


図 4.2-23 電気伝導度の経時変化 (13-350-C06 区間 3)

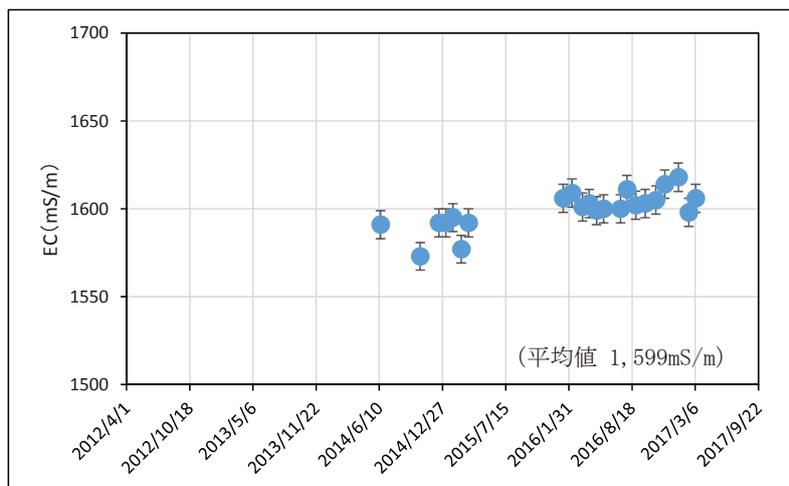


図 4.2-24 電気伝導度の経時変化 (13-350-C08 区間 2)

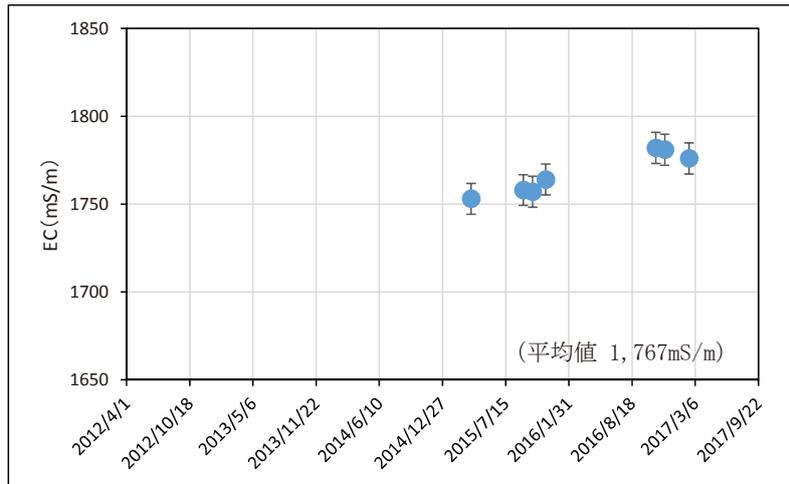


図 4.2-25 電気伝導度の経時変化 (14-350-C04 区間 5)

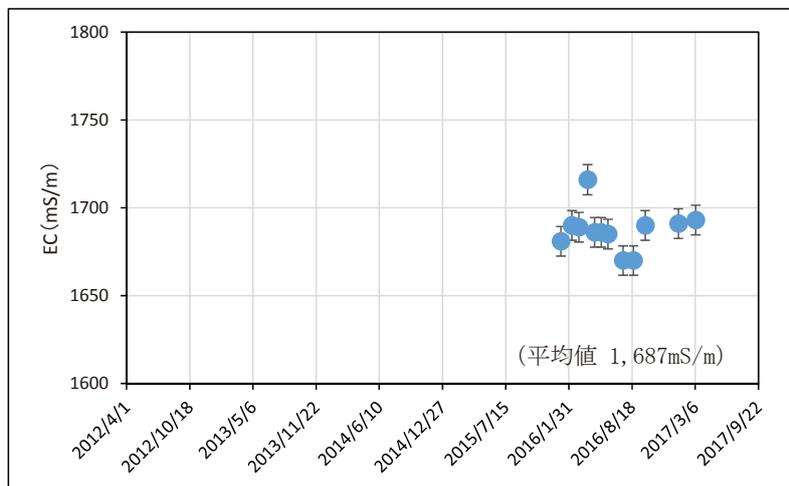


図 4.2-26 電気伝導度の経時変化 (14-350-C04 区間 6)

電気伝導度は、140m 調査坑道のボーリング孔では約 950～1,300 mS/m、350m 調査坑道のボーリング孔では約 1,300～1,800 mS/m の値を示し、採用値の経時変化が比較的小さかった。140m 調査坑道の孔における値が 350m 調査坑道と比べて低いのは、天水浸透による海水の洗い出しや希釈の影響が相対的に大きいためであると推察される。13-350-C06 孔の区間 2 における比較的大きな値の変動 (図 4.2-22) は、pH の場合と同様に、透水試験に伴う水道水注入の影響と考えられる。同孔の区間 3 は、2015 年以降、観測区間に循環可能な量の地下水が流入しなくなっている。このため、図 4.2-23 は、観測区間内に溜まる地下水量の減少に伴う電気伝導度の変化を反映している可能性がある。13-350-C04 孔の値は、350m 調査坑道の他の孔と比べて 100～200 mS/m 程度高いが、この理由は現在のところ不明である。

一部の観測区間 (13-350-C08 孔の区間 2、14-350-C04 孔の区間 5 など) では、電気伝導度が時間経過とともに徐々に上昇する傾向が認められる。ただし、測定誤差の影響とも考えられるため、今後も継続的な観測が必要である。

4.2.4 溶存酸素濃度

採用値が1点以上取得された観測区間を対象として、溶存酸素濃度の経時変化を、それぞれの関連ある観測孔ごとにまとめ、140m と 250m の観測孔のデータを図 4.2-27 に、350m の13-350-C05 孔のデータを図 4.2-28 に、13-350-C06 孔のデータを図 4.2-29 に、13-350-C07～9 孔のデータを図 4.2-30 に、14-350-C04 孔のデータを図 4.2-31 に示す。

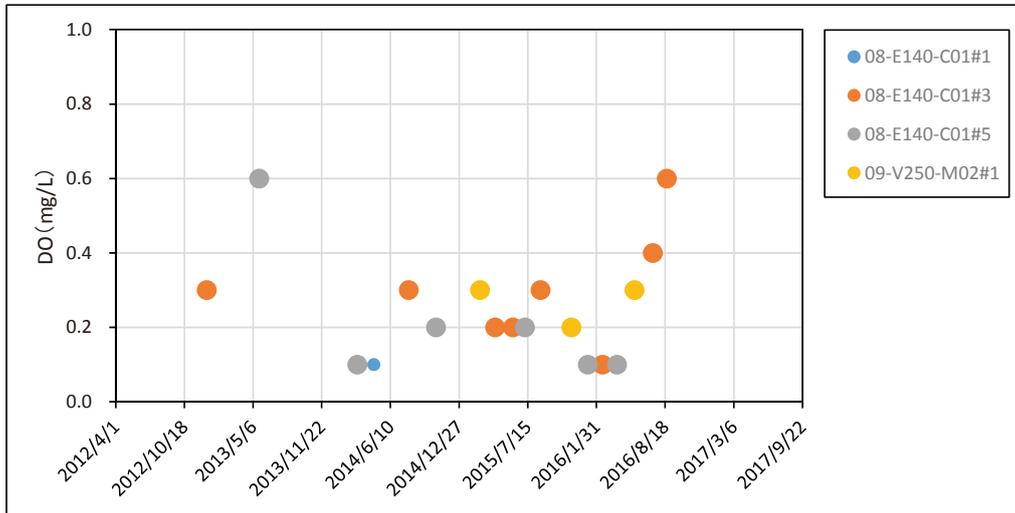


図 4.2-27 溶存酸素濃度の経時変化 (08-E140-C01 および 09-V250-M02)

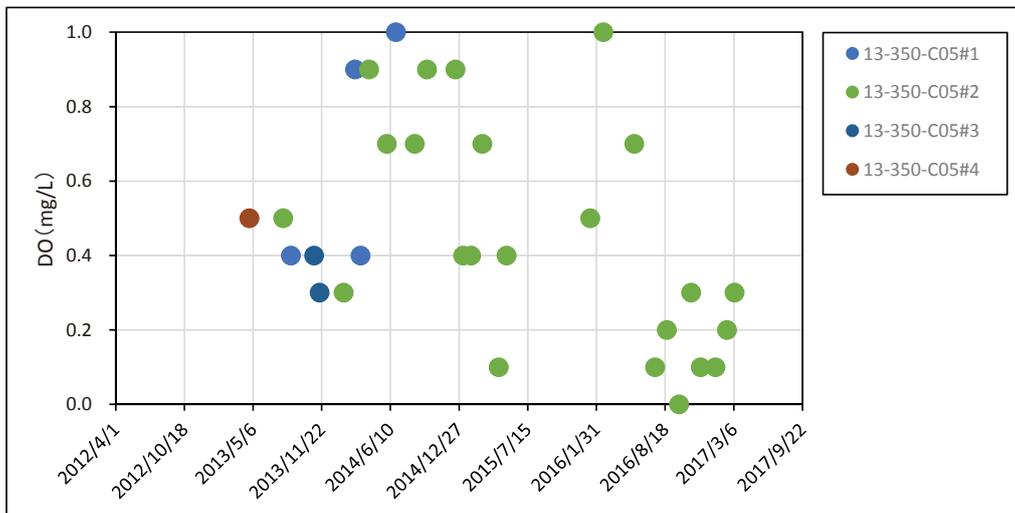


図 4.2-28 溶存酸素濃度の経時変化 (13-350-C05)

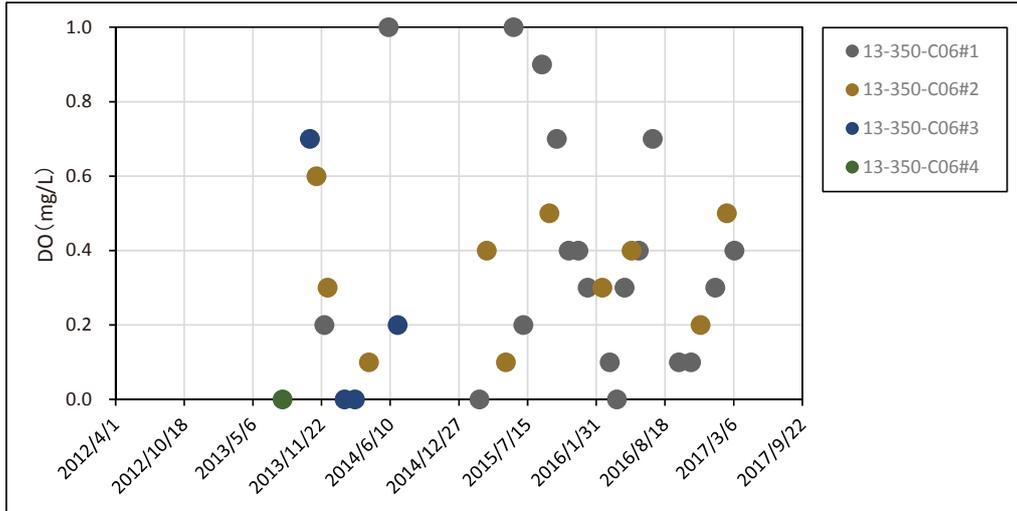


図 4.2-29 溶存酸素濃度の経時変化 (13-350-C06)

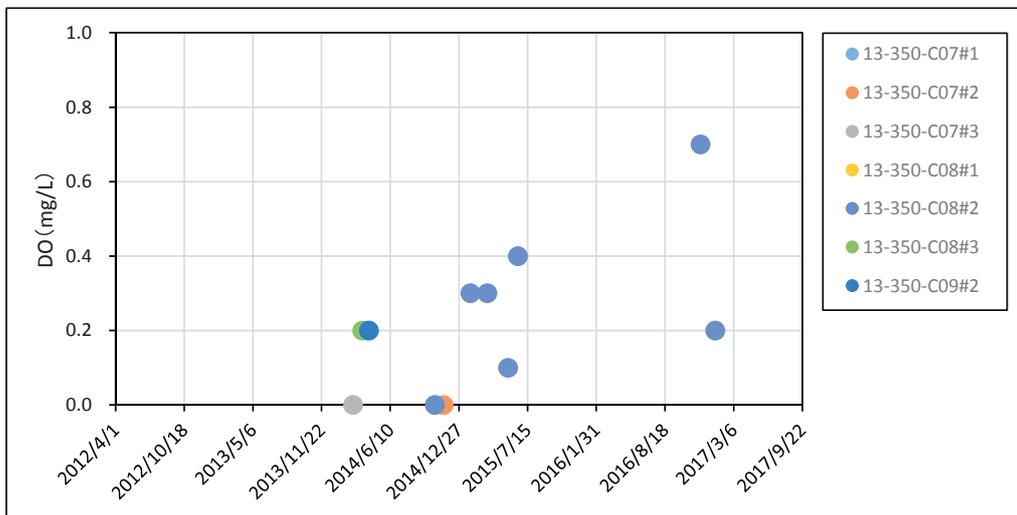


図 4.2-30 溶存酸素濃度の経時変化 (13-350-C07~C09)

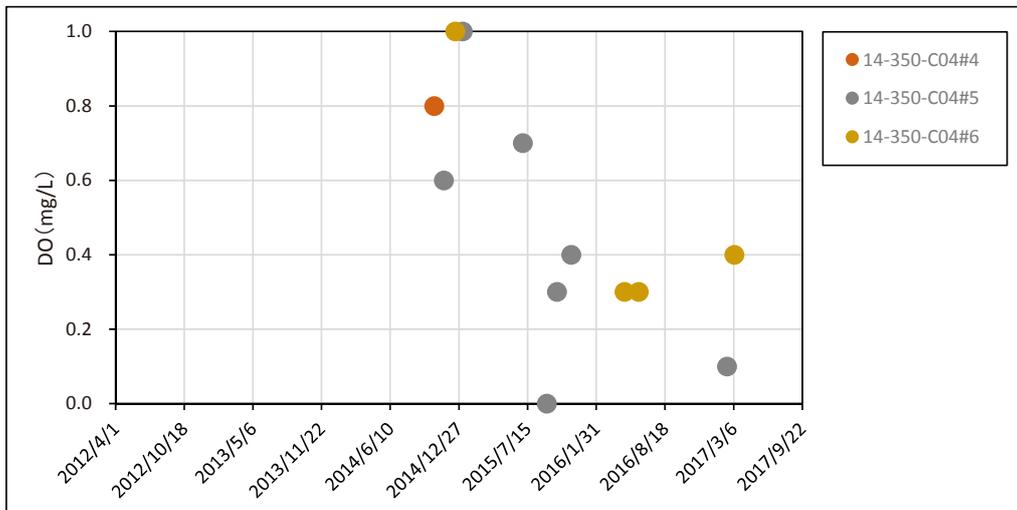


図 4.2-31 溶存酸素濃度の経時変化 (14-350-C04)

これらのグラフより、溶存酸素濃度については、経時変化や区間ごとの変化の傾向に明瞭な規則性が認められないことがわかる。幌延地域のように嫌気・還元環境にある地下水の溶存酸素濃度は、一般的に 0 mg/L あるいはそれに近い極めて低い値であるため、本報で使用した装置の測定精度（表 3.1-1）では原位置地下水中の値を正確に測定することは難しい。また、観測機の回収時、溶存酸素濃度センサーの電極部分を満たしている電解液中に、しばしば気泡の混入が認められた。これは、地下水圧の低下に伴い発生した地下水からの遊離ガスが、センサー先端のガス透過性膜を介して電解液中に移動したものと推測され、溶存酸素濃度の測定に大きな影響を与えていると考えられる。以上のことから、還元状態にあり溶存ガスを多量に含有する幌延の地下水環境においては、現状の装置で地下水中の溶存酸素濃度を正確に測定することは困難であるといえる。地下水循環システムの改良による気泡発生の抑制、酸素以外の溶存ガスの影響を受けにくいセンサーの開発などの対策方法を検討する必要がある。

4.2.5 水温

水温の経時変化を図 4.2-32～図 4.2-41 に示す。水温については、1 時間間隔の観測データをそのまま使用し、データを年度（4 月を区切りとした年度）ごとにまとめて経時変化のグラフを作成した。

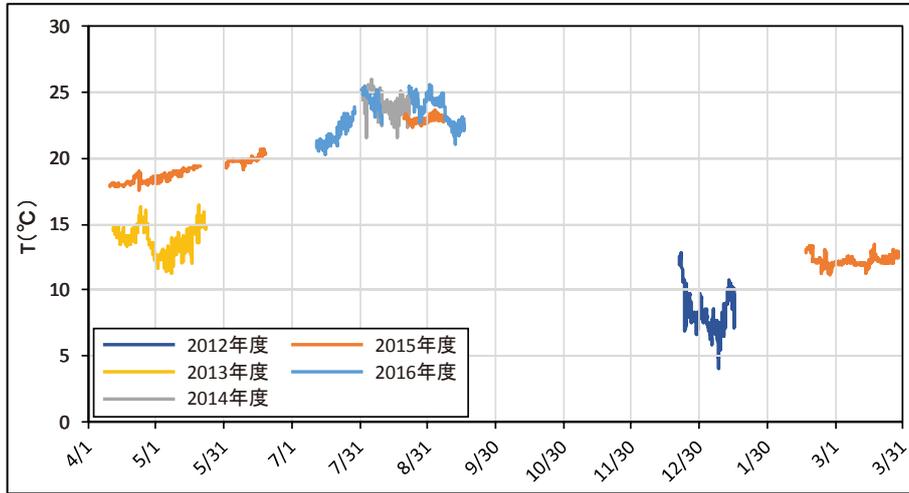


図 4.2-32 水温の経時変化 (08-E140-C01 区間 3)

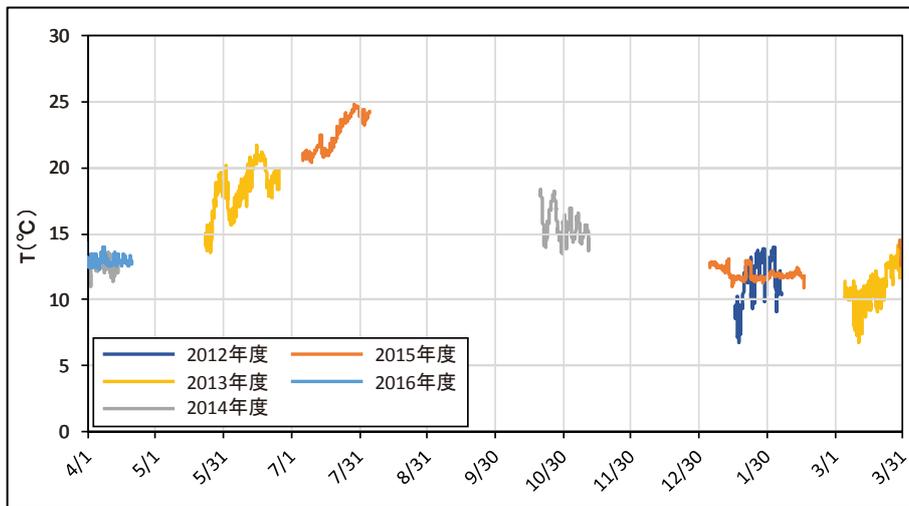


図 4.2-33 水温の経時変化 (08-E140-C01 区間 5)

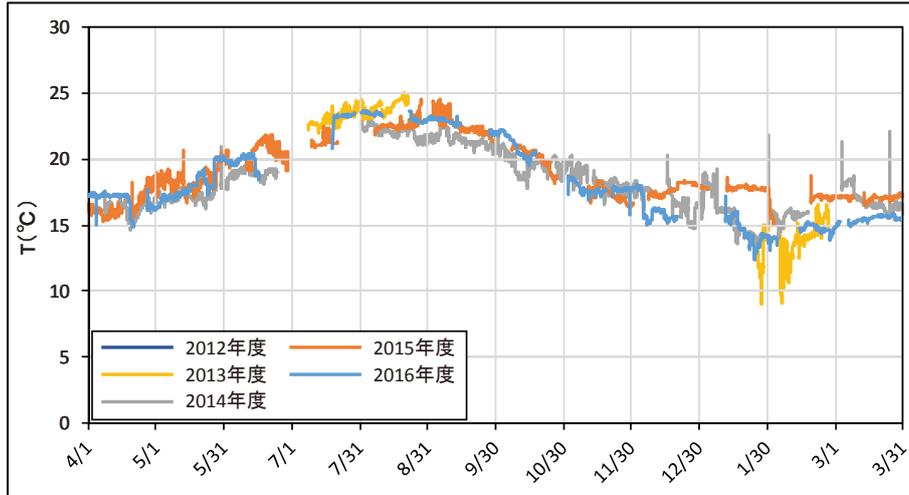


図 4.2-34 水温の経時変化 (13-350-C05 区間 2)

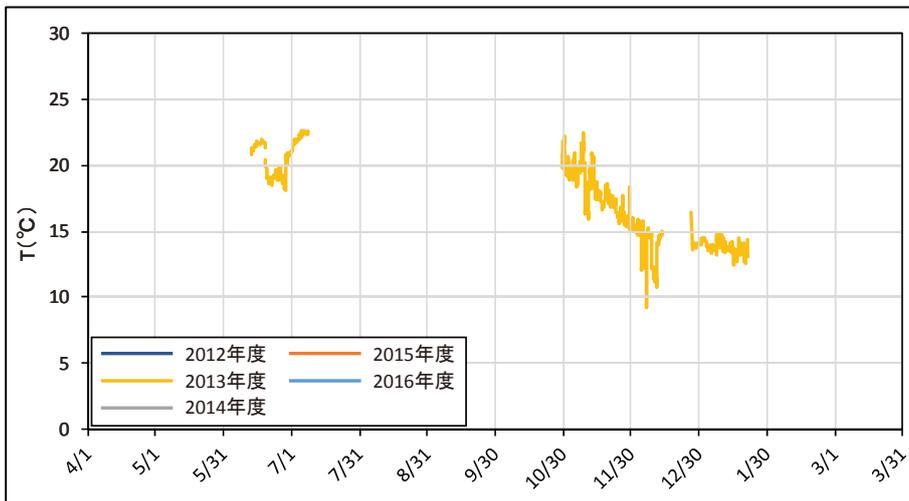


図 4.2-35 水温の経時変化 (13-350-C05 区間 3)

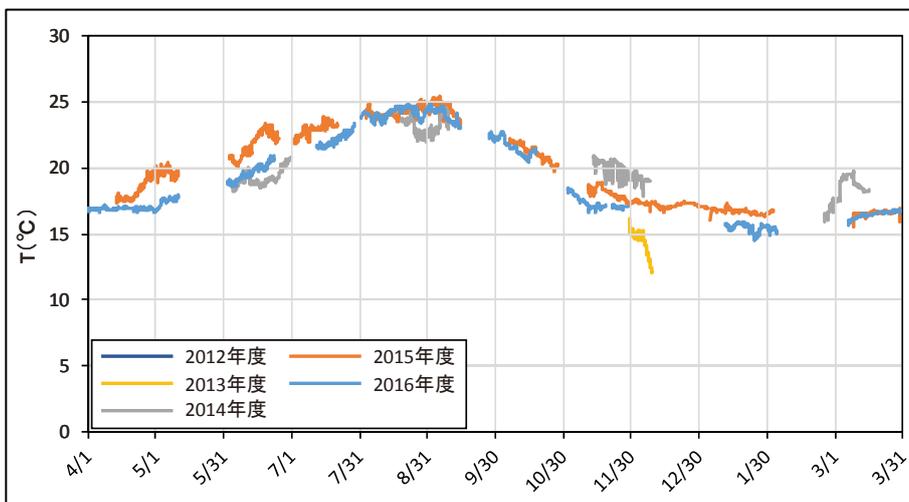


図 4.2-36 水温の経時変化 (13-350-C06 区間 1)

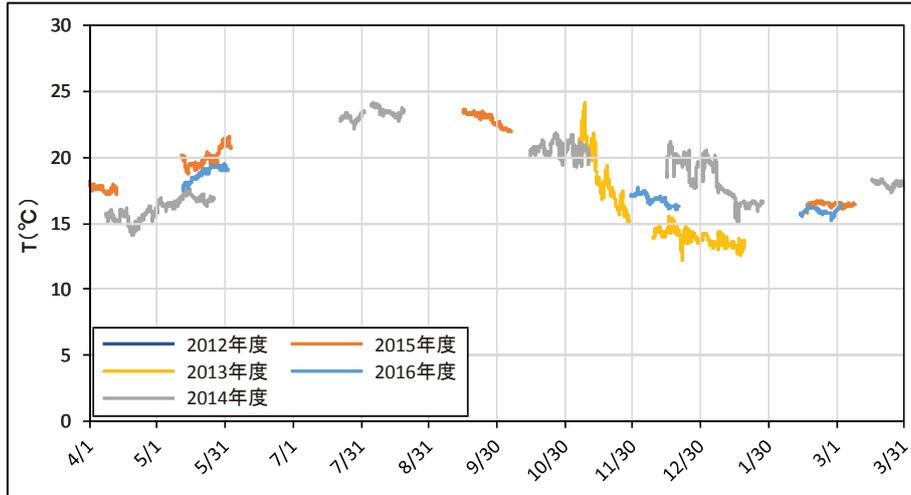


図 4.2-37 水温の経時変化 (13-350-C06 区間 2)

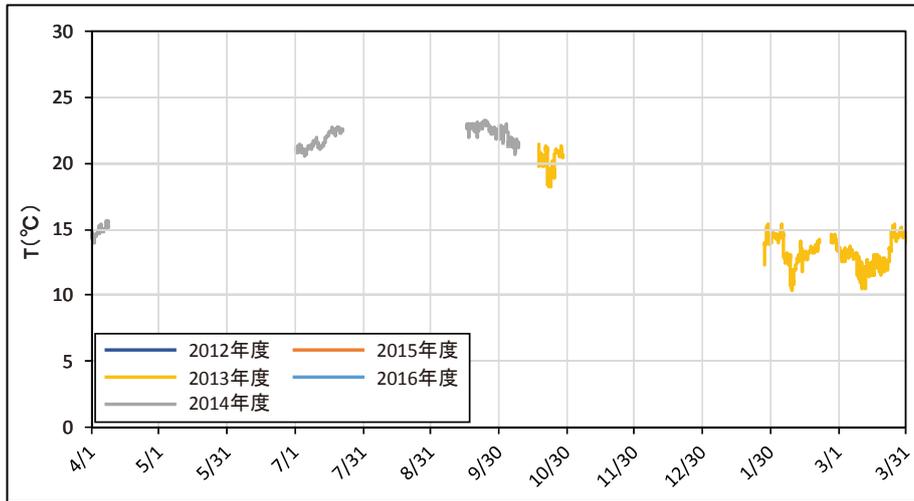


図 4.2-38 水温の経時変化 (13-350-C06 区間 3)

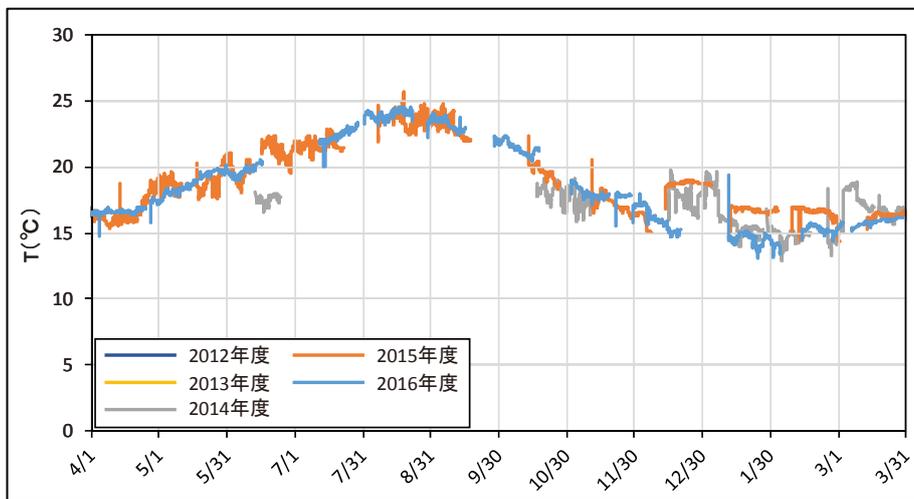


図 4.2-39 水温の経時変化 (13-350-C08 区間 2)

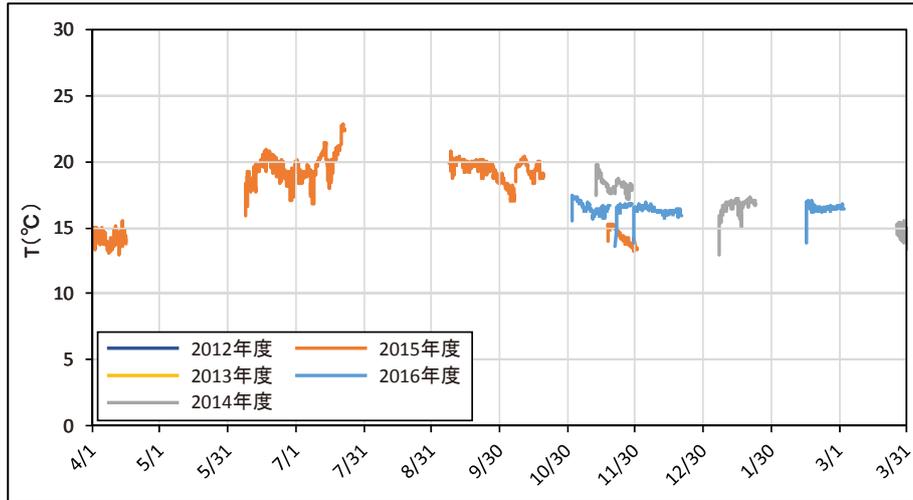


図 4.2-40 水温の経時変化 (14-350-C04 区間 5)

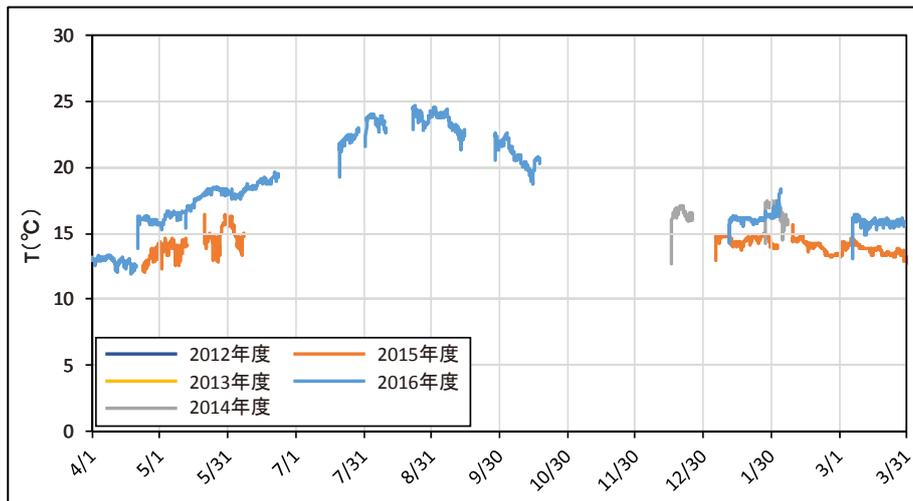


図 4.2-41 水温の経時変化 (14-350-C04 区間 6)

水温は、2月から8月にかけて上昇し、翌年の2月にかけて減少する傾向を示した。ただしこの変化は、モニタリング装置を循環する地下水が、坑道内に導入された大気の気温変化の影響を受けたうえで、坑道内に設置された多項目水質観測機で観測されたものであり、原位置における地下水温の変化を反映した値ではない。実際に、地下施設の近隣に設置されている地域気象観測システム(アメダス)「豊富」観測点における日平均気温の変化(図 4.2-42; 気象庁ホームページ (<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>)よりダウンロードしたデータをもとに作成)は、観測された地下水温の変化(図 4.2-32~図 4.2-41)ともおおむね一致する。

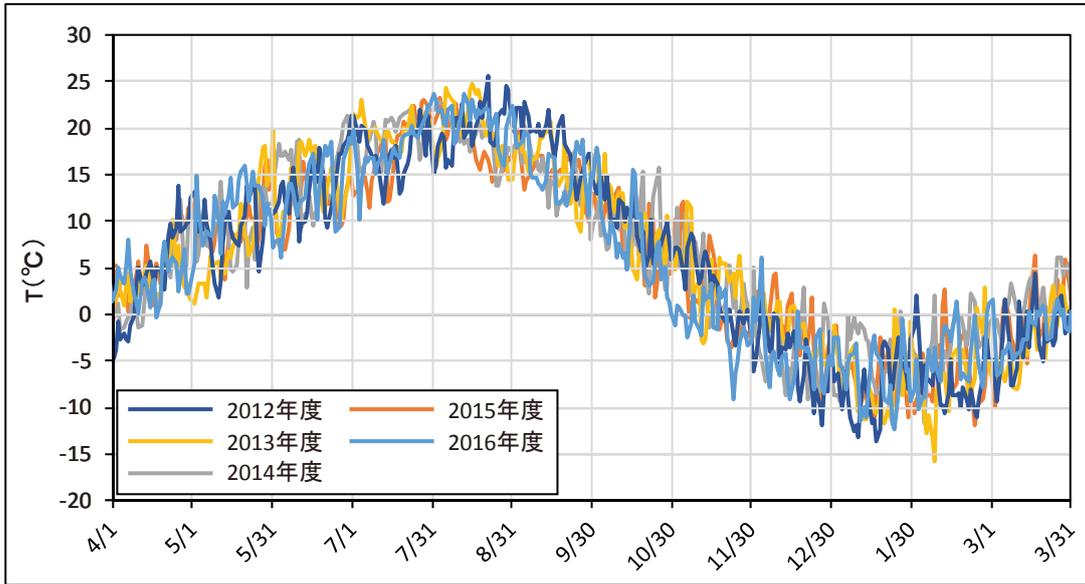


図 4.2-42 日平均気温の経時変化（アメダス豊富）

4.2.6 観測に影響すると考えられる諸要素

(1) ORP センサー比較電極の経時劣化

図 4.2-43 には、ORP センサーの比較電極を交換してからの経過月数と、毎回の観測前に取得した ORP センサーの検定値との関係を示す。センサーの検定には、25°Cにおける参照値が 257.6 ±15 mV であるキンヒドロソル標準溶液を用いた。最小二乗法で得られた近似直線では、決定係数 R^2 が約 0.4 とデータに多少の不揃いは見られるものの、検定値は比較電極交換後の 1 年間で約 50 mV 低下する傾向にある。検定に用いた標準溶液と還元状態にある地下水とでとりうる値の範囲が大きく異なることに注意すべきではあるが、地下水の観測においても同様に、比較電極の経時劣化に起因する測定値の変化が生じていることが示唆される。

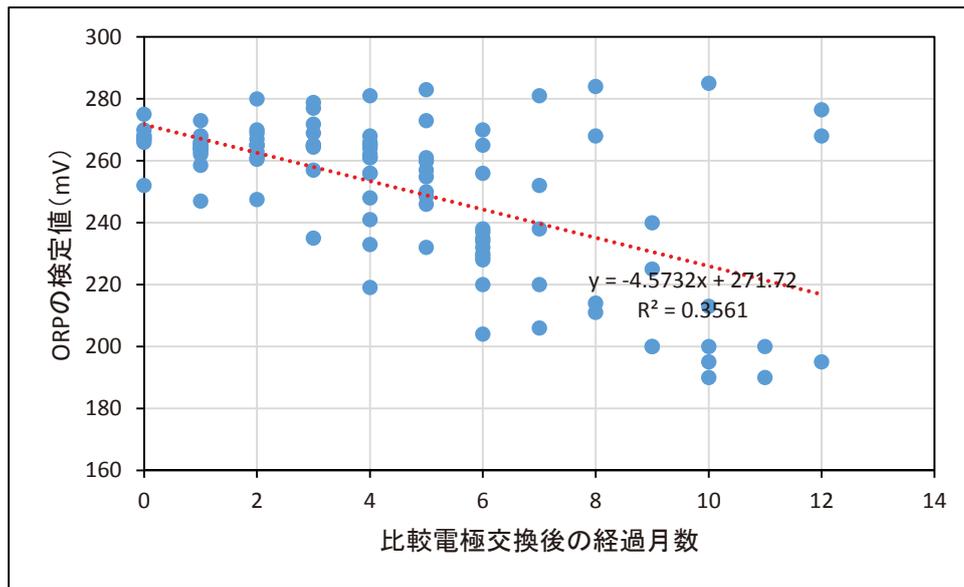


図 4.2-43 比較電極交換後の経過月数と ORP 検定値との関係

(2) 観測機の機体差

図 4.2-44 には、全観測区間における Eh 採用値の経時変化を、観測機別に示す。使用した 8 台の多項目水質観測機のうち、OS-3 および Plus-1 が相対的に低い値を示している。図 4.2-45 に例示するように、単一の観測区間であってもこの傾向は同様である。以上の結果は、同一の地下水を複数の観測機で同時に測定したデータではないものの、これら機体間の測定値の差が最大で約 100~200 mV に及ぶことを示唆している。異なる観測機で取得したデータを比較する場合には、各観測機が示す測定値の傾向にも注意する必要がある。

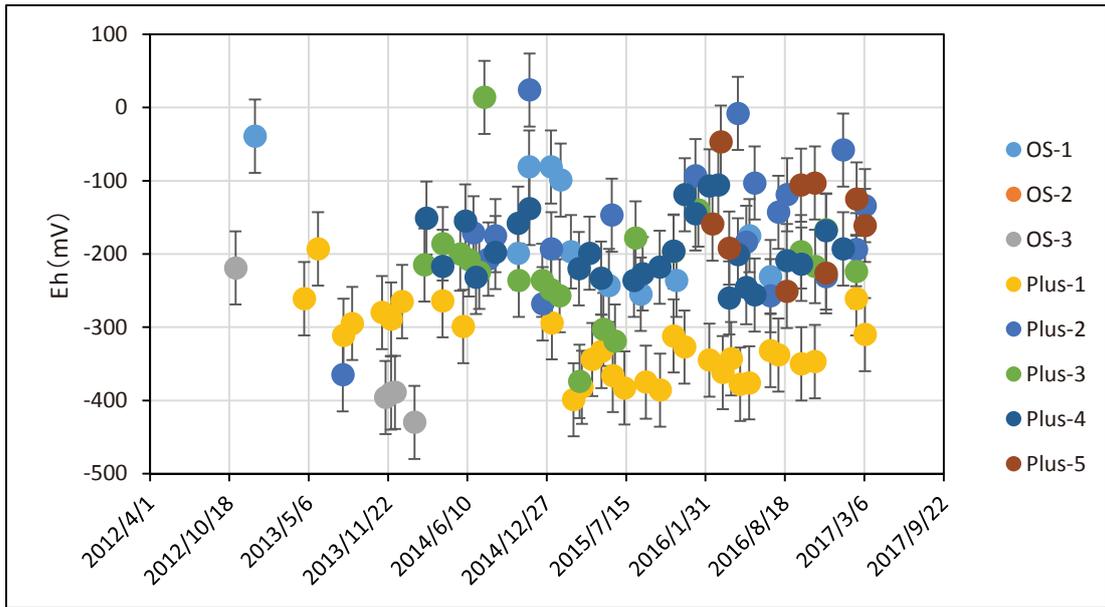


図 4.2-44 観測機別に示した Eh の経時変化 (全観測区間)

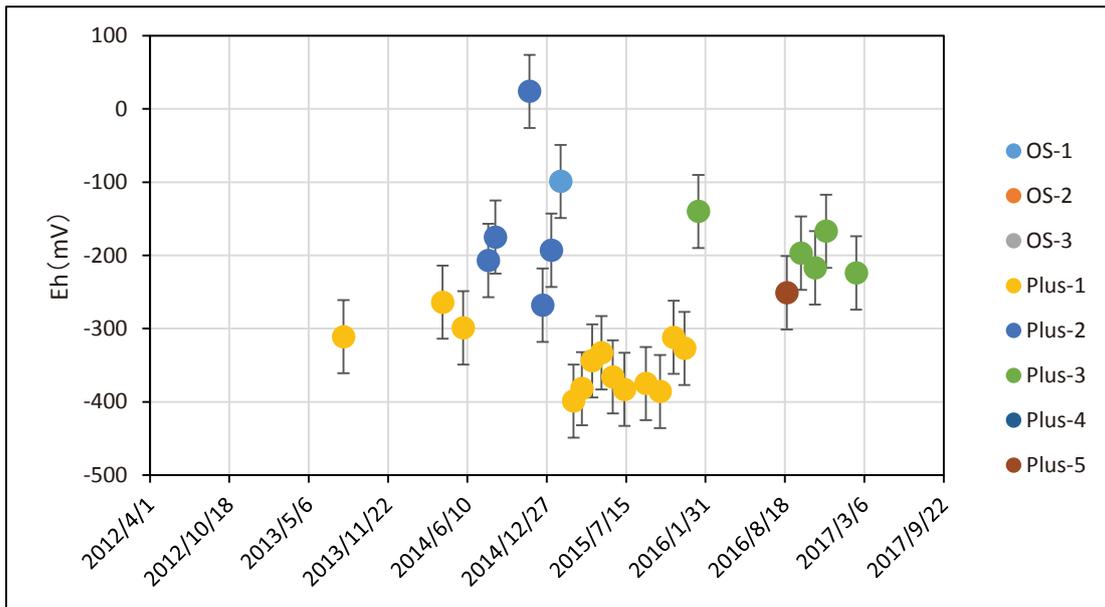


図 4.2-45 観測機別に示した Eh の経時変化 (13-350-C05 区間 2)

5. おわりに

幌延深地層研究センターの地下施設において、低透水性ならびに溶存ガスを含む地下深部の堆積岩環境を対象に、原位置の嫌気・被圧を維持した状態での水圧・水質データを取得するための地球化学モニタリング装置が開発・改良されてきた。本報告では、140m 調査坑道、250m 調査坑道および 350m 調査坑道から掘削されたボーリング孔に設置された地球化学モニタリング装置において、2012 年 11 月～2017 年 3 月の期間に得られた地下水の物理化学パラメータの測定結果をデータ集としてとりまとめた。

観測結果の概要は次の通りである。pH はおおむね 6.5～7.0, Eh は-200 mV 前後の値を示し、中性・還元的な状態が観測開始時から現在まで維持されていた。ただし、一部の観測区間では、時間経過とともにこれら観測項目および電気伝導度の値が徐々に上昇する傾向が認められた。幌延のように溶存ガスを含む地下水の観測においては、地下水圧の低下に伴う遊離ガスの発生が、Eh や溶存酸素濃度の測定に影響を及ぼすことが示された。Eh については、比較電極の経時劣化や観測機の機体差が測定に与える影響も考慮すべきである。これら観測項目について、より信頼性の高い観測結果を得るために、地下水からの遊離ガスが測定に与える影響を軽減するための技術の開発が必要である。

謝辞

140m 調査坑道および 250m 調査坑道における地球化学モニタリング装置の運用にあたっては、株式会社ダイヤコンサルタントの南條功氏（当時の技術開発協力員として日本原子力研究開発機構に従事）には、終始、ご協力を賜った。この場を借りて厚く御礼申し上げる。また、深度 350 m の地質環境条件への対応を念頭に置いた水圧・水質モニタリング装置の開発は、民間資金等活用事業（Private Finance Initiative : PFI 事業）：地下研究施設整備（第Ⅱ期）等事業（平成 23 年 1 月 31 日～平成 31 年 3 月 31 日）における研究支援業務の一部として行われた。PFI 事業の研究部門として装置のメンテナンスに携わった大成建設株式会社の白瀬光泰氏，小野誠氏，株式会社ダイヤコンサルタントの細谷真一氏，若浜洋氏，森川佳太氏に、この場を借りて、謝意を表す。

参考文献

- 1) 核燃料サイクル開発機構：“深地層研究所（仮称）計画” 17p. (1998) .
- 2) 南條功，天野由記，岩月輝希，國丸貴紀，村上裕晃，細谷真一，森川佳太：“幌延深地層研究センター東立坑 140m 調査坑道における地下水の地球化学モニタリングに関する研究開発” JAEA-Research 2011-048, 162p. (2011) .
- 3) 一般社団法人全国地質調査業協会連合会 社会基盤情報標準化委員会：“ボーリング柱状図作成及びボーリングコア取扱い・保管要領（案）・同解説” 138p. (2015) .
- 4) 女澤徹也，宮川和也，笹本広，曾我弘一：“幌延深地層研究センター350m 調査坑道における

- 地下水の地球化学モニタリング装置の改良・開発” JAEA-Technology 2016-003, 25p. (2016) .
- 5) (編) 岩月輝希, 佐藤治夫, 棚井憲治, 稲垣学, 澤田淳, 新沼寛明, 石井英一, 前川恵輔, 戸村豪治, 真田祐幸, 國丸貴紀, 浅森浩一, 新里忠史, 常盤哲也, 杉田裕, 山崎雅直, 中村隆浩, 藤田朝雄, 谷口直樹, 小林保之, 林克彦, 齋藤雄也, 館幸男, 飯島和毅, 笹本広: “幌延深地層研究計画における第 2 段階の調査研究計画 (H20-21)” JAEA-Research 2009-002, 156p. (2009) .
- 6) (編) 岩月輝希, 佐藤治夫, 野原壮, 棚井憲治, 杉田裕, 天野健治, 藪内聡, 大山卓也, 天野由記, 横田秀晴, 新里忠史, 常盤哲也, 稲垣大介, 阿部寛信, 中山雅, 操上広志: “幌延深地層研究計画 第 2 期中期計画 (平成 22 年度~平成 26 年度) 調査研究計画書” JAEA-Research 2011-009, 73p. (2011) .
- 7) 岩月輝希, 森川佳太, 細谷真一, 吉川英樹: “深部地下水の物理化学パラメータ (pH, 酸化還元電位) の測定とその留意点” 地下水学会誌 第 51 巻第 3 号, pp.205-214 (2009) .
- 8) 女澤徹也, 望月陽人, 宮川和也, 笹本広: “幌延深地層研究センター調査坑道における地下水の地球化学モニタリング装置による地下水圧の連続観測結果” JAEA-Data/Code 2017-010, 63p. (2017) .
- 9) Bath, A: “Variability and uncertainties of key hydrochemical parameters for SKB sites”, SKI report 2007:3. (2007) .
- 10) 青才大介・萩原大樹・新宮信也・山本祐平・福田朱里・水野崇: “地下水地球化学データの品質管理ー地下水の物理化学パラメータの測定条件に起因する測定誤差ー” 日本地球化学会第 58 回年会講演要旨集, 講演番号 1D12. (2011) .

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 ²
体積	立方メートル	m ³
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 ³
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
比透磁率 ^(b)	(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 ^(b)	rad	1 ^(b)	m/m
立体角	ステラジアン ^(b)	sr ^(e)	1 ^(b)	m ² /m ²
周波数	ヘルツ ^(d)	Hz		s ⁻¹
力	ニュートン	N		m kg s ⁻²
圧力, 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	C		s A
電位差 (電圧), 起電力	ボルト	V	W/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻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	S	A/V	m ² kg ⁻¹ s ³ A ²
磁束	ウェーバ	Wb	Vs	m ² kg s ⁻² A ⁻¹
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²	kg s ⁻² A ⁻¹
インダクタンス	ヘンリー	H	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
光照射量	ルーメン	lm	cd sr ^(e)	cd
放射線量	グレイ	Gy	J/kg	m ² s ⁻²
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
酸素活性化	カタール	kat		s ⁻¹ 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 ⁻¹ kg s ⁻¹
表面張力	ニュートンメートル	N m	m ² kg s ⁻²
角加速度	ニュートン毎メートル	N/m	kg s ⁻²
角加減	ラジアン毎秒	rad/s	m m ⁻¹ s ⁻¹ = s ⁻¹
熱流密度, 放射照度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s ²	m m ⁻¹ s ⁻² = s ⁻²
熱容量, エントロピー	ワット毎平方メートル	W/m ²	kg s ⁻³
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	m ² kg s ⁻² K ⁻¹
比エネルギー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	m ² s ⁻² K ⁻¹
熱伝導率	ジュール毎キログラム	J/kg	m ² s ⁻²
体積エネルギー	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s ⁻³ K ⁻¹
電界の強さ	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m ⁻¹ kg s ⁻²
電荷密度	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m kg s ⁻³ A ⁻¹
電表面電荷	クーロン毎立方メートル	C/m ³	m ⁻³ s A
電束密度, 電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² s A
誘電率	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² s A
透磁率	ファラド毎メートル	F/m	m ³ kg ⁻¹ s ⁴ A ²
モルエネルギー	ヘンリー毎メートル	H/m	m kg s ⁻² A ⁻²
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル	J/mol	m ² kg s ⁻² mol ⁻¹
照射線量 (X線及びγ線)	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹
吸収線量率	クーロン毎キログラム	C/kg	kg ⁻¹ s A
放射線強度	グレイ毎秒	Gy/s	m ² s ⁻³
放射輝度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m ⁴ m ⁻² kg s ⁻³ = m ² kg s ⁻³
酵素活性濃度	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
	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	ヨタ	Y	10 ¹	デシ	d
10 ²¹	ゼタ	Z	10 ²	センチ	c
10 ¹⁸	エクサ	E	10 ³	ミリ	m
10 ¹⁵	ペタ	P	10 ⁶	マイクロ	μ
10 ¹²	テラ	T	10 ⁹	ナノ	n
10 ⁹	ギガ	G	10 ¹²	ピコ	p
10 ⁶	メガ	M	10 ⁻¹⁵	フェムト	f
10 ³	キロ	k	10 ⁻¹⁸	アト	a
10 ²	ヘクト	h	10 ⁻²¹	ゼプト	z
10 ¹	デカ	da	10 ⁻²⁴	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 ² =10 ⁴ m ²
リットル	L, l	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
電子ボルト	eV	1 eV=1.602 176 53(14)×10 ⁻¹⁹ J
ダルトン	Da	1 Da=1.660 538 86(28)×10 ⁻²⁷ 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 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	M	1 M=1852m
バイン	b	1 b=100fm ² =(10 ¹² cm ²) ² =10 ⁻²⁸ m ²
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 ⁻⁷ J
ダイン	dyn	1 dyn=10 ⁻⁵ N
ポアズ	P	1 P=1 dyn s cm ⁻² =0.1Pa s
ストークス	St	1 St=1cm ² s ⁻¹ =10 ⁻⁴ m ² s ⁻¹
スチルブ	sb	1 sb=1cd cm ⁻² =10 ⁴ cd m ⁻²
フオト	ph	1 ph=1cd sr cm ⁻² =10 ⁴ lx
ガリ	Gal	1 Gal=1cm s ⁻² =10 ⁻² ms ⁻²
マクスウェル	Mx	1 Mx=1 G cm ² =10 ⁻⁸ Wb
ガウス	G	1 G=1Mx cm ⁻² =10 ⁻⁴ T
エルステッド ^(a)	Oe	1 Oe _e =(10 ³ /4π)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
キュリー	Ci	1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq
レントゲン	R	1 R=2.58×10 ⁻⁴ C/kg
ラド	rad	1 rad=1cGy=10 ⁻² Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 ⁻⁹ T
フェルミ	f	1 フェルミ=1 fm=10 ⁻¹⁵ 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 ⁻⁴ 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	μ	1 μ=1μm=10 ⁻⁶ m

