

次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト
次世代火山研究推進事業

課題 B2-2 :

火山観測に必要な新たな観測技術の開発

位相シフト光干渉法による多チャンネル火山観
測方式の検討と開発

令和 3 年度
成果報告書

令和 4 年 5 月
文部科学省研究開発局
国立大学法人京都大学

本報告書は、文部科学省の令和3年度科学技術試験研究委託事業による委託業務として、京都大学が実施した令和3年度「火山観測に必要な新たな観測技術の開発（位相シフト光干渉法による多チャンネル火山観測方式の検討と開発）」の成果を取りまとめたものです。

グラビア



高温対応光センサの光センサの大深度観測井への設置作業風景

はじめに

位相シフト光干渉法振動観測システム試作機（以下、光センサシステム）を火山観測に実際に投入して運用し実用化に向けての改良点を洗い出すことを目的として本課題をひきつづき実施し、一定の成果を得たことを報告する。

火山研究も火山防災も基本は現地における観測である。火山観測システムのセンサは火山の内部で今起きていることをとらえるための「耳」である。火山性地震や火山性微動として火山の地下から発せられる地震波や火山の地下を通ってくる地震波は、火山の地下で今起きていることを知らせてくれる貴重な情報である。直接目に見えない火山活動をとらえるためには、なにか変わったことが起きていないかどうか、この「耳」を常に働かせていち早く情報を検知する必要がある。

火山地帯で「耳」を常に働かせいち早く情報を検知するために、火山観測システムのセンサが一番厳しい環境に置かれる。腐食性の火山ガスが充満する場所、高温にさらされる場所、雷常襲地の火山の山腹などにこそセンサが必要である。より早く異常を検知しようとすればするほどセンサを取り巻く環境条件は厳しい。腐食性の火山ガスが充満する場所、高温にさらされる場所、雷常襲地の火山の山腹などにこそセンサが必要である。このような場所では従来のセンサでは腐食による急速な劣化による維持労力の増大や、あるいは落雷による焼損が頻繁に発生する。

本事業で取り扱う光センサシステムはこのような場所でこそ大きなアドバンテージを持つ。光センサシステムはセンサ部に電気回路を持たない。光センサシステムでは地震波による地面の動きをレーザー光の位相差として検出する。光センサシステムではセンサで検出された位相差を光信号として光ファイバで直接送ることができる。光センサは従来システムにつきまとう接触不良、絶縁破壊などの電氣的トラブルとは無縁である。したがって光センサは高温と腐食性ガスにも耐え、さらには雷サージのような電気ショックにも耐えることができる。

令和3年度の本事業では令和2年度に開発したボアホール型の耐熱耐圧光センサを深井戸に設置し、観測を開始した。また、令和元年度に桜島火山にて実施した光センサシステムによる観測データからの耐雷性能評価をさらに進めた。これらの取り組みによって、今後の課題遂行の基礎が形成された。

目次

1. 研究概要の説明	1
(1) 研究者別の概要	1
(2) 研究実施日程（京都大学）	1
(3) 研究実施日程（白山工業）	1
2. 研究成果の説明	2
2. 1 位相シフト光干渉法による多チャンネル火山観測方式の検討と開発（京都大学）	2
(1) 業務の内容	2
(a) 業務題目	2
(b) 担当者	2
(c) 業務の目的	2
(d) 10 か年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）	3
(e) 令和3年度における成果の目標及び業務の方法	7
(2) 令和3年度の成果	7
(a) 業務の要約	7
(b) 業務の成果	8
(c) 結論	17
(d) 引用文献	17
(e) 成果の論文発表・口頭発表等	17
(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定	17
(3) 令和4年度の業務計画案	17
2. 2 位相シフト光干渉法による多チャンネル火山観測方式の検討と開発（白山工業）	18
(1) 業務の内容	18
(a) 業務題目	18
(b) 担当者	18
(c) 業務の目的	18
(d) 10 か年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）	18
(e) 令和3年度における成果の目標及び業務の方法	22
(2) 令和3年度の成果	22
(a) 業務の要約	22
(b) 業務の成果	22
(c) 結論	32
(d) 引用文献	32
(e) 成果の論文発表・口頭発表等	32
(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定	33
(3) 令和4年度の業務計画案	33

3. 会議録	33
4. むすび	34

別添 学会等発表実績

1. 研究概要の説明

本委託業務では、位相シフト光干渉法によるセンサを用いた振動観測システム（以下、「光センサシステム」という。）を火山観測に実際に投入して運用し実用化するにあたり、原理的に耐雷性を有する光センサシステムの観測データから火山性地震観測能力と耐雷性能を評価した。また、耐圧耐熱容器の光センサによる深井戸における地震観測を開始した。

(1) 研究者別の概要

所属機関・ 部局・職名	氏名	分担した研究項目 及び研究成果の概要	研究 実施 期間	配分を 受けた 研究費	間接 経費
京都大学・防 災研究所・准 教授	中道治久	光センサシステムの総合評価と総括とプロジェクト運営を担当した。そして、新潟工科大学の観測井へのセンサ設置の立ち会いをし、得られたデータの評価を行った。	R3. 4. 1～ R4. 3. 31	990, 000	228, 461
白山工業 基盤開発部 部長 副部長 防災システム事業部 公 共防災グループ	平山 義治 池田 敏晴 安藤 浩	①高温対応用センサの設置 観測 以上の業務を行い、新潟工科大観測井の地下 1978m にセンサを設置して観測を行い、100℃以上の高温環境下でも地動を測定できていることを示した。	R3. 4. 1～ R4. 3. 31	3, 504, 143	808, 648
東京工業大学 工学院准教授	水谷 義弘	坑井への設置方法等に関するアドバイス	R3. 4. 1～ R4. 3. 31	—	—

(2) 研究実施日程（京都大学）

研究実施内容	実 施 日 程											
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
①光センサシステムの 総合評価と総括	←											→
②プロジェクト運営	←											→

(3) 研究実施日程（白山工業）

研究実施内容	実 施 日 程											
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
①高温対応用センサの設置観測						←						→
②総括											←	→

2. 研究成果の説明

2. 1 位相シフト光干渉法による多チャンネル火山観測方式の検討と開発（京都大学）

(1) 業務の内容

(a) 業務題目

課題B 2－2 火山観測に必要な新たな観測技術の開発

「位相シフト光干渉法による多チャンネル火山観測方式の検討と開発」

(b) 担当者

所属機関	機関種別	役職	氏名
京都大学防災研究所	課題責任機関	准教授	中道 治久

(c) 業務の目的

本委託業務では、位相シフト光干渉法によるセンサを用いた振動観測システム（以下、「光センサシステム」という。）を、火山地帯における多点（多成分）アレイ観測用システムに拡張し、次世代の火山観測に適した観測システムの諸元と仕様を確立することを目的とする。

平成 28 年度に実施した桜島の観測坑道内におけるフィージビリティスタディの成果を踏まえて、JOGMEC-Phase1 光センサ試作機を用いた各種検証業務を行う。【①火山での実際の観測環境による検証、②光センサシステムの原理的な特徴である耐雷等の検証】また、これら検証結果等を踏まえ、光センサシステムを用いた多チャンネル観測システムの実用化に向けた要素技術の開発・組み込みと検証を行うことにより、観測システムの諸元と仕様を確立する。この光センサシステム開発については、東京工業大学 未来産業技術研究所と連携して進めることとし、センサ形状や特性把握等に関しては、東京工業大学と協力して有限要素法解析等における設計検証を行い、このシステムに適した振動子の設計等を行う。

なお、平成 30 年度以前は、関東で活動的な火山であり雷が多い（＝雷の影響調査に適した）浅間山に光センサシステムを配置して検証を行うこととし、平成 29 年度から東京工業大学のほか東京大学地震研究所を協力機関に加え、東京大学地震研究所浅間火山観測所において観測を実施してきた。委託業務遂行にあたっての環境の変化のため、平成 31

年度以降は光センサ配置場所を、九州で活動が非常に活発な火山である桜島火山に変更するとともに、一部業務内容を書き換えて実施することとする。変更した業務内容によっても本来の業務目的は達成される見込みであり、また本変更は平成 30 年度総合協議会にて了承済である。

本委託業務は、火山研究人材育成コンソーシアムに対して、新しい観測方法の創出に向けインスピレーションをもたらすことで火山防災の充実に寄与できる可能性がある。すなわち、火山研究人材育成コンソーシアムの参加者に本委託業務で行う観測を見学してもらうことにより、本委託業務の担当者が思いつかなかったような新しい火山の観測法に気がついてもらうチャンスを提供できる。さらに、発見的学習の機会を提供することによって、火山に強い関心と深い理解をもつ人材の育成に貢献することが期待される。

本委託業務で得られた成果は、光センサシステムを火山のモニタリングシステムとして実用的に使用できることになる。この光センサシステムの利点を考えれば、海底火山のモニタリングへの展開が一番に考えられ、また 200 ℃ 程度であれば、地中深部観測にも有効な展開ができると考えられる。なお、このシステムは性質上、例えば、海底での観測網の展開に威力を発揮すると考えられるので、将来は海底火山の観測、海底でのカルデラ火山のモニタリングにも展開することを考えている。このシステムの開発検討にあたっては、気象庁や火山研究機関などのユーザーに広く利用されるよう、ニーズの調査を行い、要素技術の改良点の抽出・把握や必要に応じた改良及び転用技術の開発に向けた情報収集を行うとともに、これらの機関の火山観測システムの次回更新時に導入に向けて、機関向けの開発研究の方向性について、関係者と検討を行う。

(d) 10 か年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）

1) 平成 28 年度：

（課題 E 「位相シフト光パルス干渉法を用いた振動観測システムの総合的評価」および「位相シフト光パルス干渉法を用いた振動観測システムによる火山観測の実施」として実施）

光センサシステムを使用して、桜島火山構造探査にあわせて桜島のフィールドで観測を行って、桜島に既設のセンサの結果との比較検証を行うことにより、光センサシステムの火山観測での有効性を検証した。振幅レベル、検出可能な周波数帯域、ノイズレベル等の観測と比較、地下構造（深部構造、マグマだまり）の把握に資する記録かどうかの検証を行った。

2) 平成 29 年度：

平成 29 年度は浅間火山に光センサシステムを設置して試験観測を実施し、浅間山で発生した A 型地震 1 回、B 型地震 51 回を記録するとともに、自然地震 417 回を記録した。課題責任機関は主に以下の項目を実施した。

1) 光センサシステムで取得されたデータを火山学的に解析し、火山性地震の識別、火山性地震の振動軌跡解析、火山性地震の到来方向解析を施した。その結果、地震波の到来方向に系統的な偏りがあることが明らかになった。

2) 平成 29 年度光観測網内部の表層地震波速度調査を実施し、地表面から約 20 m までの深さの地震波速度を明らかにした。光観測網内はほぼ水平成層であるほかに、局所的に高速度体が存在していることが明らかになった。

共同実施機関は火山観測とその実施準備を行い、主に以下の項目を実施した。

- 1) 約 3 ヶ月にわたる観測運用を行い、長期運用時の安定性を検証した。
- 2) バイアス電圧ジャンプによる欠測現象を低減させる改良を施し検証を行い、欠測時間が短縮した。

3) 平成 30 年度：

課題責任機関は以下の項目を実施した。

- 1) 平成 29 年度に得られたデータのより精密な火山学的解析および検討
- 2) 光センサシステムの総合評価と総括
- 3) プロジェクト運営

共同実施機関は以下の項目を実施した。

- 4) 第一次分の増設センサの製作
- 5) 光センサシステムへの増設チャンネルの試験実装

1)は観測データに表層構造探査結果に基づいた走時補正值を与えることにより精密化された解析を行った。4)は新たに汎用のシングルモードファイバを使用した新センサを 2 組製作した。これにより、これまでの試験観測で用いてきたセンサに比べて小型化に成功した。また、プロジェクト運営会議等を通してユーザーニーズの把握に努めた。

4) 平成 31 年度（令和元年度）：

課題責任機関は以下の項目を実施した。

- 1) 観測データの火山学的解析
- 2) 光センサシステムの総合評価と総括
- 3) リアルタイムデータ処理の検討
- 4) プロジェクト運営

共同実施機関は火山観測とその準備を行い、以下の項目を実施した。

- 5) 3 成分光センサの作成
- 6) 新しい光センサによる活火山の観測

共同実施機関は課題責任機関と連携して、本業務を推進し遂行するための準備をするとともに、項目 5)にあるように平成 30 年度に作成したものと同様の 3 成分センサを 1 セット作成し、平成 30 年度に作成した 3 成分センサユニット 2 式と合わせて、日本で最も活発な活火山である桜島で三角形アレイを構築して火山観測を行った（項目 6）。なお、光送受信装置については、共同実施機関所有の装置を使用した。また、プロジェクト運営会議等を通してユーザーニーズの把握と集約に努めた。

5) 令和 2 年度：

課題責任機関は以下の項目を実施した。

- 1) 観測データの評価による光センサシステムの火山性地震観測性能評価
- 2) 観測データの評価による光センサシステムの耐雷性能評価
- 3) 光センサシステムの試験観測候補地選定
- 4) プロジェクト運営

共同実施機関は以下の項目を実施し、火山観測に適した高温対応用センサ作成と室内検証を行った。

- 5) 高温対応 3 成分光センサの試作
- 6) 高温対応光センサの検証
- 7) ボアホール用高温対応筐体の作成

光センサシステムの本質的な利点の一つである高温対応に関するセンサの作成と、室内高温環境試験を行い、火山観測により適したセンサシステムを構築した。さらに課題責任機関とともに翌年度の屋外での高温実証実験を行う場所を決定し、その観測点で使用可能なボアホール用高温対応筐体を試作し、室内の高温環境で検証を行った。また、プロジェクト運営会議等を通して引き続きユーザーニーズの把握に努めた。

6) 令和 3 年度：

課題責任機関は以下の項目を実施した。

- 1) 光センサシステムの総合評価と総括

共同実施機関とともに光センサシステムの実地観測の準備を令和 3 年度前半に行い、実地観測を令和 3 年度後半に実施した。そして、観測から得られた試験結果から、令和 3 年度観測および光センサシステムを総合的に評価し総括した。

- 2) プロジェクト運営

火山研究運営委員会や研究集会などに参加し、次世代火山研究・人材育成総合プロジェクトの次世代火山研究推進事業の他課題や火山研究人材育成コンソーシアム構築事業と連携した取り組みを実施し、プロジェクトの推進に貢献した。

共同研究機関は令和 2 年度に作成した高温対応用センサ及びボアホール用筐体を実フィールドに設置して連続観測を行い、光センサシステムの高温環境における有効性を検証した。具体的には新潟工科大所有の観測井で、地下約 2000m にあるボアホールのケーシングの段差（ライナーハンガー）部分を利用してセンサを設置し、連続観測を開始した。

7) 令和 4 年度：

課題責任機関は以下の項目を実施する。

- 1) 観測データの火山学的精密解析
- 2) 光センサシステムの総合評価と総括
- 3) プロジェクト運営

共同実施機関は以下の項目を実施する。実証試験は室内で行う。

- 4) システムの多点化プロトタイプの改修

5) 第五次分増設センサの製作を行う

前年度の観測結果及び課題 B の方々の意見を踏まえた改良を行う。もし開発が早まれば、課題 B と連携し、可能な限り課題 B-4 の対象火山に投入して観測を行う。プロジェクト運営会議等を通してユーザーニーズの把握を継続し集約に努める。

共同実施機関は、令和 3 年度に設置した高温対応用センサを継続して連続観測を行い、高温下での長期安定性を実フィールドで検証する。

8) 令和 5 年度：

課題責任機関は以下の項目を実施する。

- 1) 観測データの火山学的解析
- 2) 光センサシステムの総合評価と総括
- 3) 令和 5 年度光システム観測網の表層地震波速度調査
- 4) プロジェクト運営

共同実施機関は火山観測とその準備を行い、以下の項目を実施する。

- 5) 多点プロトタイプシステムの検証と、火山運用実績の獲得
- 6) 合計 24 成分でのアレイ観測の火山地帯における実施

もし開発が順調に進んでいる場合、課題 B と連携し、可能な限り課題 B-4 の対象火山に投入して実証実験を行う。プロジェクト運営会議等を通してユーザーニーズの把握を継続する。

9) 令和 6 年度：

課題責任機関は以下の項目を実施する。

- 1) 観測データの火山学的精密解析
- 2) 光センサシステムの総合評価と総括
- 3) プロジェクト運営

共同実施機関は以下の項目を実施し、室内検証を中心に行う。

- 4) 多点実用システムへの改装を行う。
- 5) 多点化実用システムの構築と室内検証

前年度の観測結果及び課題 B の方々の意見を踏まえた改良を行う。もし開発が想定以上に進捗した場合には、可能な限り課題 B-4 の対象火山に投入して観測運用を実施する。プロジェクト運営会議等を通してユーザーニーズの把握を継続する。

10) 令和 7 年度：

課題責任機関は以下の項目を実施する。

- 1) 観測データの火山学的解析

- 2) 光センサシステムの総合評価と総括
- 3) 令和 7 年度光センサシステム観測網の表層地震波速度調査
- 4) プロジェクト運営

共同実施機関は火山観測とその準備を行い、下記の項目を実施する。

- 5) 光センサシステムを適用した火山観測システムとして最終評価を確定する。
- 6) 課題 B-4 で実施中の火山において、24 成分のアレイ観測を行い、多点化実用システムの火山運用実績の獲得を行う。

(e) 令和 3 年度における成果の目標及び業務の方法

以下の項目を共同実施機関（白山工業株式会社）と連携して該当年度の事業を行う。

①光センサシステムの総合評価と総括

共同実施機関とともに光センサシステムの実地観測の準備を令和 3 年度前半に行い、実地観測を令和 3 年度後半に実施する。そして、観測から得られた試験結果から、令和 3 年度観測および光センサシステムを総合的に評価し総括する。

②プロジェクト運営

火山研究運営委員会や研究集会などに参加し、次世代火山研究・人材育成総合プロジェクトの次世代火山研究推進事業の他課題や火山研究人材育成コンソーシアム構築事業と連携した取り組みを実施し、プロジェクトの推進に貢献する。以下の連携を目指す。

1) 次世代火山研究推進事業 課題 A: 「各種観測のデータの一元化」

試験観測の結果について、オフラインデータを提供する形で連携する。

2) 次世代火山研究推進事業 課題 B 「先端的な火山観測技術の開発」 —サブテーマ 4 : 「火山内部構造・状態把握技術の開発」

本課題で行う試験観測結果を提供することと、各種委員会等に参加して他課題担当者と意見交換の機会を持ちユーザーのニーズを把握して今後の改良に反映することによって他課題と連携する。

3) 火山研究人材育成コンソーシアム構築事業

実施機関中に、求めに応じ、火山研究人材育成コンソーシアム参加者に実際の観測を見学する機会を提供する。

(2) 令和 3 年度の成果

(a) 業務の要約

令和 3 年度は以下の 2 つの主要な業務をおこなった。

①光センサシステムの総合評価と総括

②プロジェクト運営

①光センサシステムの総合評価と総括

共同実施機関とともに光センサシステムの実地観測の準備を令和 3 年度前半に行い、実地観測を令和 4 年 2 月に開始した。そして、観測から得られた試験結果から、令和 3 年度観測および光センサシステムを総合的に評価し総括した。

②プロジェクト運営

火山研究運営委員会や研究集会などに参加し、次世代火山研究・人材育成総合プロジェクトの次世代火山研究推進事業の他課題や火山研究人材育成コンソーシアム構築事業と連携し、プロジェクトの推進に貢献した。以下の連携を目指した。

1) 次世代火山研究推進事業 課題 A：「各種観測のデータの一元化」との連携

試験観測の結果について、オフラインデータの提供方法を検討した。

2) 次世代火山研究推進事業 課題 B：「先端的な火山観測技術の開発」ーサブテーマ 4：「火山内部構造・状態把握技術の開発」との連携

本課題で行う試験観測結果を提供することと、各種委員会等に参加して他課題担当者との意見交換の機会を持ちユーザーのニーズを把握して今後の改良に反映することによって他課題と連携した。

3) 火山研究人材育成コンソーシアム構築事業

同コンソーシアムには見学可能の申し入れを実施しなかった。

(b) 業務の成果

1) 光センサシステムの総合評価と総括

a) 大深度観測井における高温対応光センサシステムによる地震観測

i) 高温対応光センサシステムの設置

共同実施機関（白山工業株式会社）が東京パワーテクノロジー株式会社の協力のもと、高温対応光センサシステムを新潟工科大学（図 1）の敷地内に設置した。設置日程は 2022 年 2 月 15 日から 22 日であった。光センサは新潟工科大学の 3000m 級大深度観測井の深さ 2000 m 付近への設置が 2 月 18 日から 19 日に行われた。そして、光送受信装置の調整が 2 月 19 日から 2 月 22 日に行われ、2 月 22 日に観測を開始した。課題責任機関は 2 月 18 日から 20 日の日程にて光センサ設置（写真 1）および光センサシステムの調整作業（写真 2）に立ち会った。事前調査および光センサシステムの設置の詳細については共同実施機関の報告書を参照されたい。光センサは前述の大深度観測井 2000m 付近に設置されたのとほぼ同じタイミングにて、地表設置型の光センサが設置された（詳細は共同実施機関の報告書参照のこと）。



図1 新潟工科大学と防災科学技術研究所広帯域地震観測網(F-net)柏崎観測点(N. KZKF)の位置



写真1 高温対応光センサの大深度観測井への設置作業風景

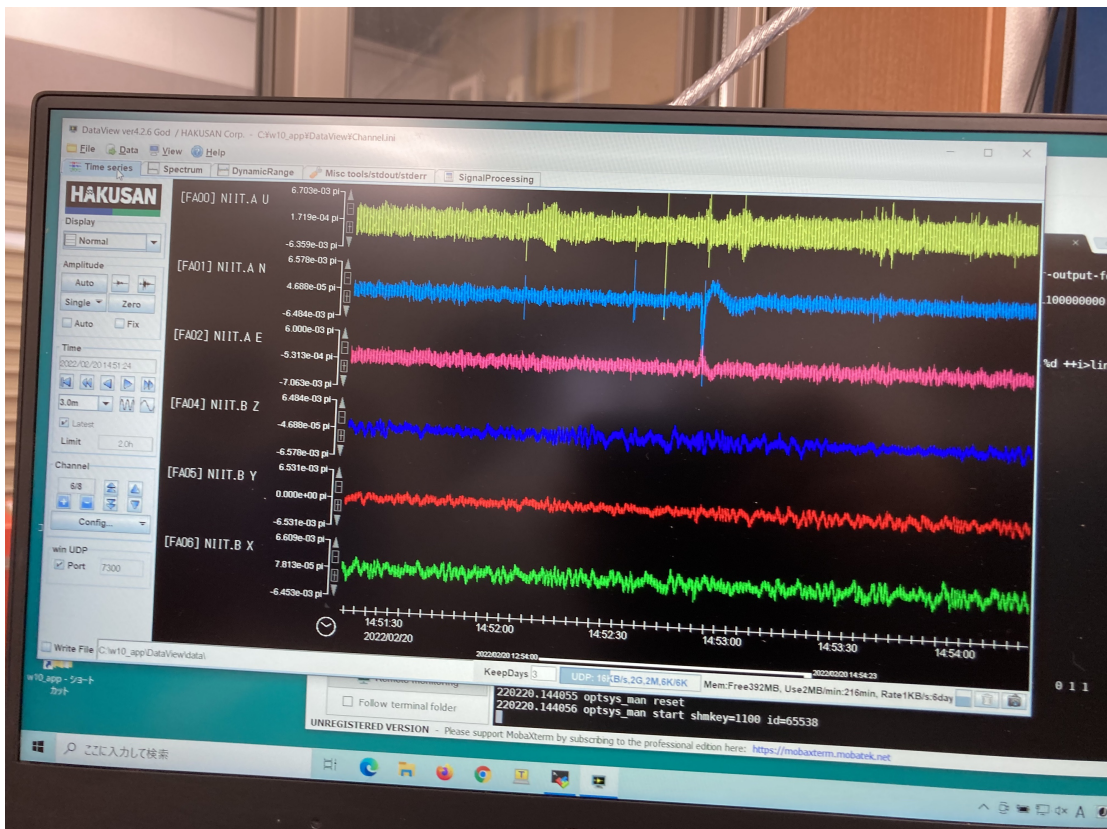


写真2 光センサシステムの光送受信装置の調整風景

ii) 観測データの評価

2022 年 2 月 22 日の観測開始以降の大深度観測井と地表に設置された光センサによる地震記録の評価を行った。連続地震波形は 1kHz サンプルングデータとして光送受信装置にて保存されており、光送受信装置から 2022 年 4 月 6 日までのデータをコピーした。そして、連続波形データをリサンプリングして、包絡線（エンベロープ）波形を求めた。図 2 は観測開始から 2022 年 4 月 6 日までの連続地震波形データからエンベロープ波形を計算して示した図である。なお、リサンプリング処理後のサンプリング間隔は 1 s である。地表設置型光センサと大深度観測井に設置された光センサによるエンベロープ波形を見ると、まずこの観測期間においてはデータの欠落がないことが分かる。エンベロープ波形において縦棒状に見える時間において地震が観測されているが、地表設置型光センサと大深度観測井の光センサの両者において確認されている（図 2）。地震が観測されていない時間は地動ノイズを光センサシステムにて記録されている。エンベロープ波形で見ると、地表設置型光センサの地動ノイズレベルは 5 mgal 程度であるに対し、大深度観測井の光センサの地動ノイズレベルは 0.5 mgal 程度である（図 2）。図 2 の矢印は、大深度観測井の光センサには地震として認識できた時間かつ、地表設置型光センサでは地震として認識出来なかった時間を示している。この時間における地表設置型と大深度観測井の地震波形を図 3 に示す。

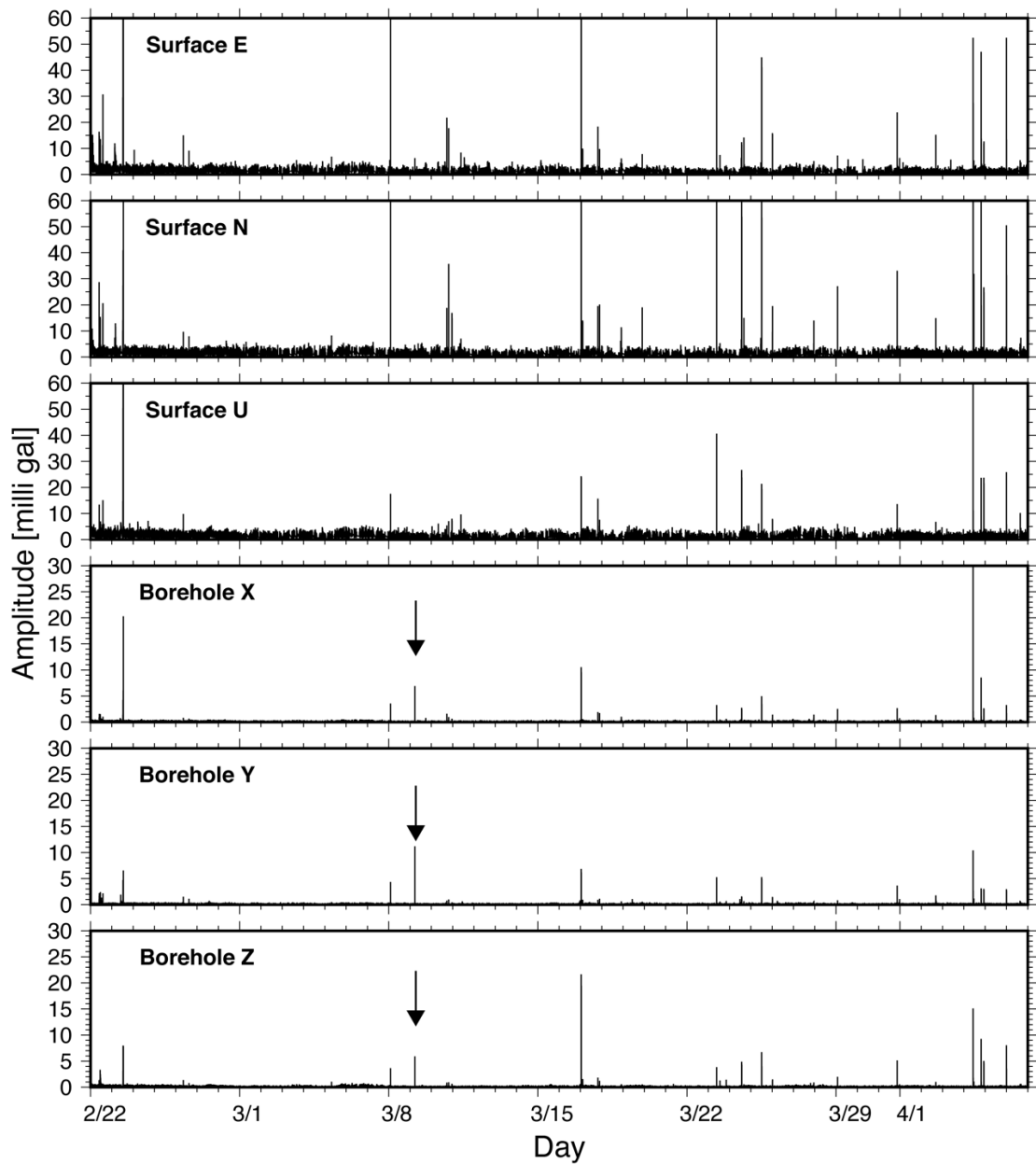


図2 光センサシステムによるエンベロープ地震波形（2022年2月22日～4月6日）。Surfaceと記載の上の3段は地表設置型の光センサで、下の3段は大深度観測井に設置された光センサの波形を示す。UとZは上下動成分、NとEはそれぞれ南北成分と東西成分を示す。XとYは共に水平動成分で、Xは北から時計回りに234°の方向、Yが北から時計回りに144°の方向を向いている。下向矢印は地震が観測されている時刻を表す。

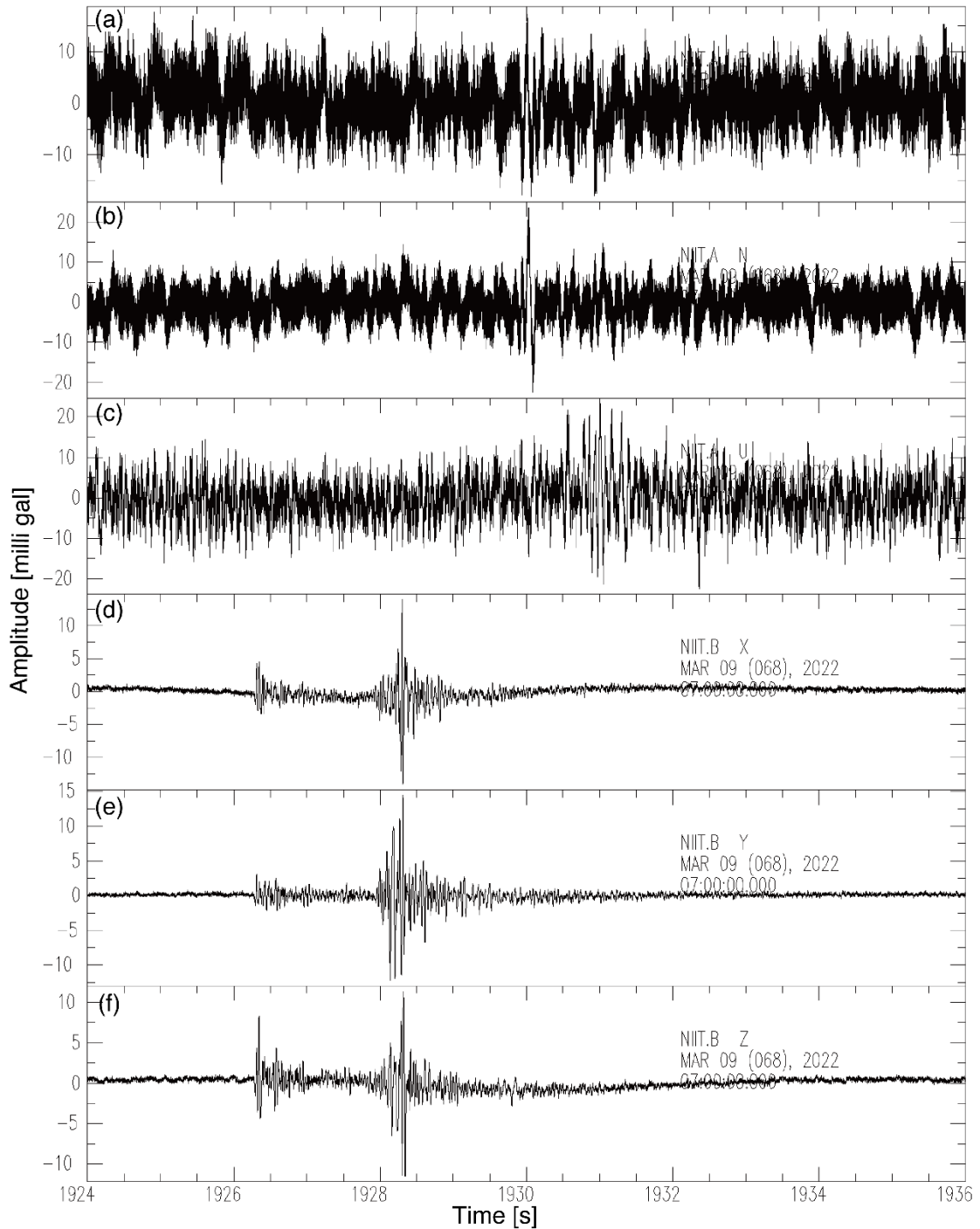


図3 2022年3月9日7時32分頃に観測された地震の波形。(a)、(b)、(c)はそれぞれ地表設置型光センサの東西成分(E)、南北成分(N)、上下動成分(U)である。(d)、(e)、(f)はそれぞれ大深度観測井の光センサの水平動X成分、Y成分、上下動成分(Z)である。

2022年3月16日23時36分ごろ、福島県沖でM7.4の地震が発生した。この地震により柏崎市で震度3が観測された。この地震の波形を図4に示す。図4は光センサシステムの地表設置型光センサと大深度観測井の光センサとF-net 柏崎観測点の速度型強震計と広帯域地震計の記録の比較を示している。光センサの出力は加速度

であるが、時間積分することで速度に変換した。図 1 に示す通り、新潟工科大学と F-net 柏崎観測点は 6 km 程度の水平距離がある。そのため、光センサの地震記録と F-net の地震記録に距離の影響による差は生じるはずである。しかし、図 4 に示す通り、速度波形で比較すると 3 成分とも光センサと F-net の波形に顕著な相違は見られない。なお、最大振幅を比較すると、最大が地表設置型光センサで、次が F-net 観測点、そして最小が大深度観測井の光センサとなる。振幅の大小は、F-net が観測坑道の奥に地震計が設置されているため、地表効果の影響が軽減されていること、そして、大深度観測井の深さ 2000 m に設置されているため、地表効果の影響がない事に起因する。

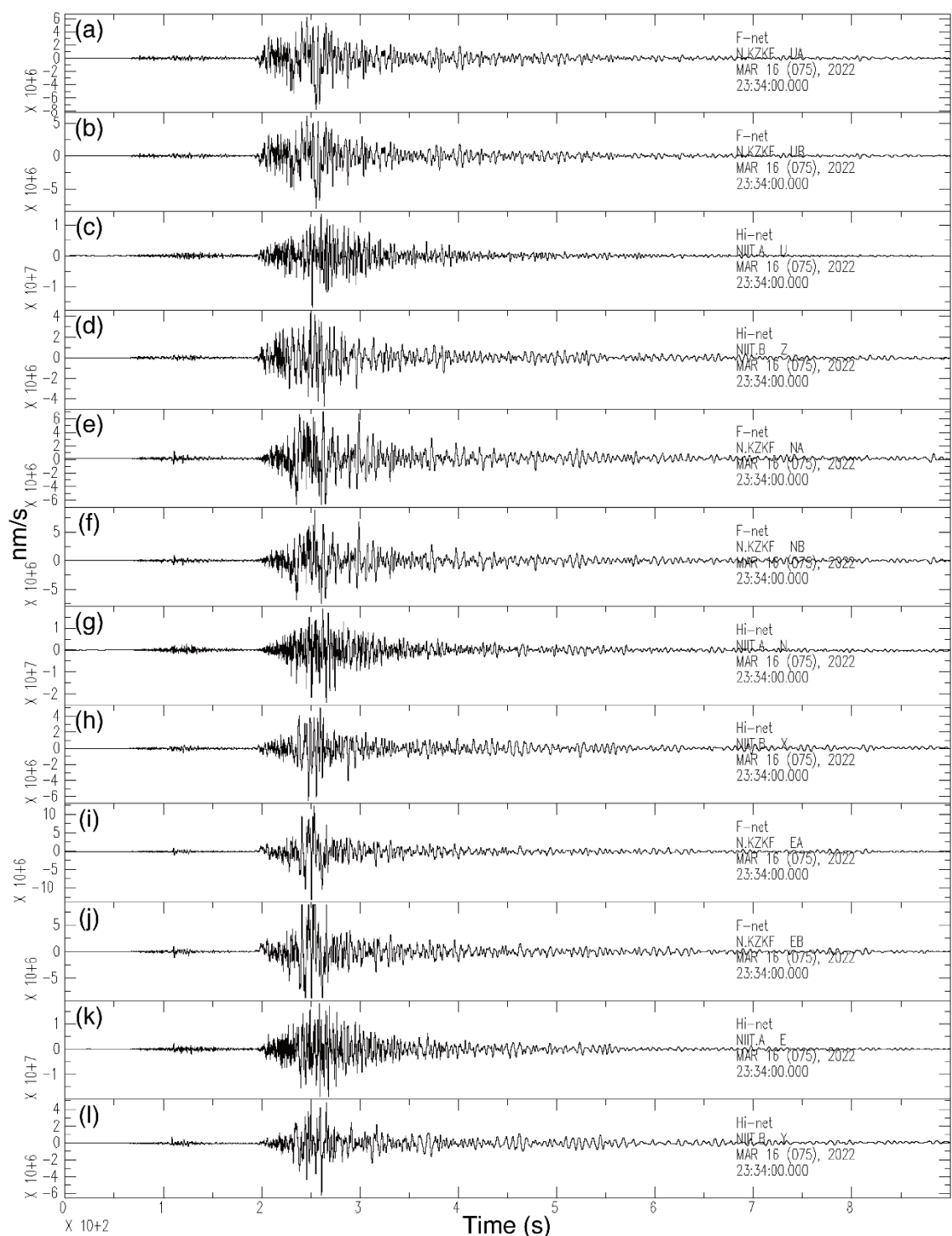


図4 2022年3月16日23時36分頃に福島県沖で発生したM7.4の地震波形。速度振幅で示されており、単位は nano m/s である。(a)～(d)は上下動成分、(e)～(h)は水平動成分 (N成分もしくはX成分)、(i)～(l)は水平動成分 (E成分もしくはY成分)を表す。(a)、(e)、(i)はF-net 柏崎観測点 (図1) の速度型強震動計 (VSE-355G3)。(b)、(f)、(j)はF-net 柏崎観測点 (図1) の広帯域地震計 (STS-1)。(c)、(g)、(k)は新潟工科大学の観測井の管理棟に設置した地表型光センサ (共同実施機関の報告書参照)。(d)、(h)、(l)は新潟工科大学の観測井の深さ 2000 m に設置された高温対応光センサ (共同実施機関の報告書参照)。光センサの出力は加速度であるが、時間積分に

て速度波形に変換した。高温対応光センサの水平動方位は N や E に向いていないため、N に近い方位を X 方向、E に近い方位を Y 方向とした。(j) のみ最大計測可能振幅で記録が飽和している。

b) 耐雷性能評価

昨年度報告した令和元年 6 月から 12 月に実施した桜島火山のハルタ山観測室敷地内における、落雷発生時に従来型の加速度地震計 (JU210) に見られ、光センサには見られなかった、パルス状のノイズ (昨年度報告書の 27 ページの図 21 参照) について振幅の頻度分布を調べた。昨年度報告書の 25 ページの図 20 に桜島周辺の雷発生状況が示されている。観測期間全体において、1 時間あたりの発生頻度が 1 以上の時間帯について、JU210 の波形を確認してパルス状のノイズの有無を確認し、44 個のパルスを検出した。そして、パルス状ノイズの継続時間が 0.1 s 程度であることが分かった。また、JU210 にてパルス状ノイズが確認できた時間においては、JU210 と同じ場所に設置されていた光センサ (Opt. A) の波形にはパルス状ノイズは確認出来なかった。パルス状ノイズのピークを中心として 0.1 s の時間窓を設定して、Opt. A と JU210 の波形から RMS 振幅を計算した。JU210 と Opt. A の RMS 振幅の頻度分布を図 5 (a) に示す。JU210 のパルス状ノイズの RMS 振幅は 0.04~0.20 gal に分布しているのに対し、対応する時間帯における Opt. A の RMS 振幅は 0.00~0.03 gal に分布している。Opt. A はパルス状ノイズが見られないことから、パルス状ノイズではない地動ノイズの振幅に対応している。また、JU210 でパルス状ノイズが確認された時間帯における Opt. A と JU210 の振幅比を計算した。なお、振幅比は Opt. A の RMS 振幅を JU210 の RMS 振幅にて割ることで求めた (図 5 b)。振幅比は 0.01~0.20 に分布しており、過半数が 0.01~0.10 に分布していることが分かる。よって、Opt. A のノイズレベルの 10 倍程度が JU210 のパルス状ノイズの振幅であると言える。

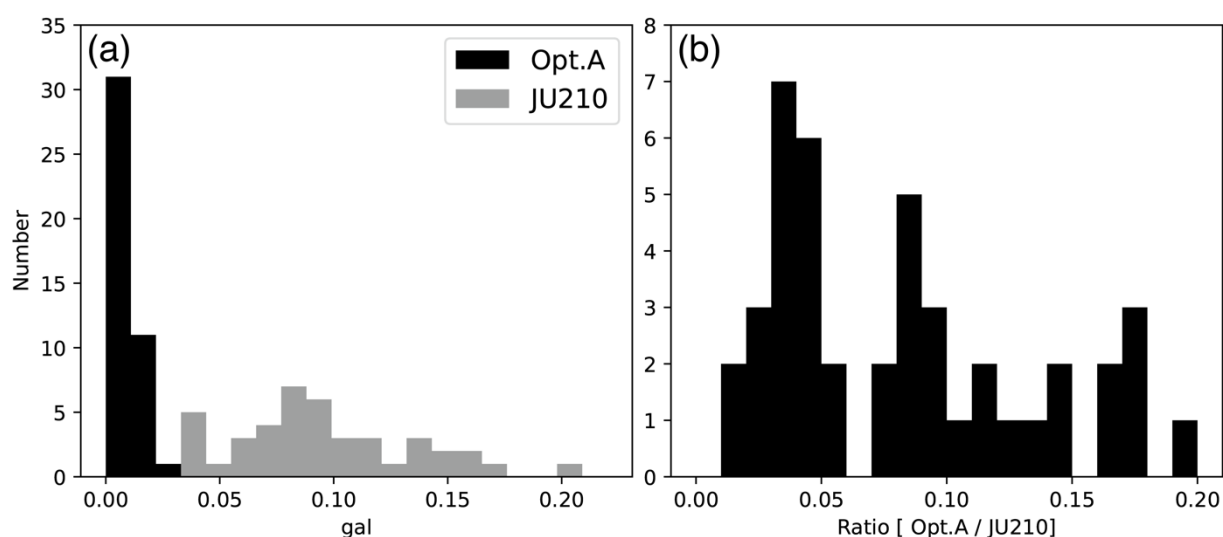


図 5 (a)落雷発生時間帯に JU210 に見られたパルス状ノイズの時間帯における RMS 振幅値。黒色は光センサ Opt. A を示し、灰色は従来型の加速度地震計 JU210 を示す。
(b)RMS 振幅から求めた振幅比。

2) プロジェクト運営

火山研究運営委員会などに参加し、次世代火山研究・人材育成総合プロジェクトの次世代火山研究推進事業の他課題や火山研究人材育成コンソーシアム構築事業と連携し、プロジェクトの推進に貢献した。なお、本業務遂行において会議および現地調査に担当者が出席した（3. 会議録参照のこと）。

(c) 結論

本年度は昨年度作成した高温対応用センサ及び高温対応用ボアホール筐体を実フィールドである新潟工科大観測井に設置し、観測を開始した。福島県沖の大地震の記録も取得するなど、順調に測定できることを確認した。

今後の課題としては、設置時期が諸般の事情で年度も迫ってきた2月になったことから、まだ観測を開始してからあまり時間がたっていない。来年度は観測を継続し、長期安定性を検証する予定である。

(d) 引用文献

なし

(e) 成果の論文発表・口頭発表等

別添「学会等発表実績」のとおり。

(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 令和4年度の業務計画案

以下の項目を共同実施機関（白山工業株式会社）と連携して業務を行う。

1) 光センサシステムの評価と総括

新潟工科大学の敷地内の深井戸に設置した光センサシステムの連続観測を行い、高温環境下における長期安定性と有効性を評価する。そのうえで、光センサシステムを総合的に評価し総括する。

2) プロジェクト運営

火山研究運営委員会や研究集会などに参加し、次世代火山研究・人材育成総合プロジェクトの次世代火山研究推進事業の他課題や火山研究人材育成コンソーシアム構築事業と連携した取り組みを実施し、プロジェクトの推進に貢献する。

2. 2 位相シフト光干渉法による多チャンネル火山観測方式の検討と開発（白山工業）

(1) 業務の内容

(a) 業務題目

課題 B 2-2 火山観測に必要な新たな観測技術の開発

「位相シフト光干渉法による多チャンネル火山観測方式の検討と開発」

(b) 担当者

所属機関	機関種別	役職	氏名
白山工業株式会社 基盤開発部	共同実施機関	部長	平山 義治
		副部長	池田 敏晴
白山工業株式会社 防災システム事業部 公共防災グループ	協力機関		安藤 浩
東京工業大学大学院理工学研究科		准教授	水谷 義弘

(c) 業務の目的

屋外での高温実証試験を行う場所を新潟工科大が所有する 3000m 級の観測井に決定し、昨年度作成した高温対応用センサ、およびボアホール用センサ筐体を設置して連続観測を開始する。また、プロジェクト運営会議等を通して引き続きユーザーニーズの把握に努める。

本委託業務で得られた成果は、光センサシステムを火山のモニタリングシステムをして実用的に使用できることになる。この光センサシステムの利点を考えれば、海底火山のモニタリングへの展開が一番に考えられ、また 200℃程度であれば、地中深部観測にも有効な展開ができると考えられる。このシステムが気象庁や火山研究機関などのユーザーに広く利用されるように、ニーズの調査を行い、要素技術の改良点の抽出・把握や、必要に応じた改良および転用技術の開発に向けた情報収集を行う。また、これらの期間の火山観測システムの次回更新時におけるこのシステムの導入に向けて、導入される機関向けの開発研究の方向性について、関係者と検討を行う。

(d) 10 か年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）

1) 平成 28 年度：

現在活動中の桜島において、位相シフト光パルス干渉法を用いた観測装置（以下、「光センサシステム」という。）を投入して順調に火山観測を行い、火山性地震および火山性微動、構造探査人工地震のデータを取得した。本計画では光センサシステムを実際の火山観測に投入し、運用することを通してフィージビリティスタディを行い、光センサシステムを用いた火山観測の実用化に向けたノウハウを蓄積した。

光センサシステムは11月11日から12月8日までの26日間連続運用され、その間に70回の地震イベント（火山性地震および火山性微動を含む）と14回の人工地震を記録することができた。これらの記録はこれまで火山観測で用いられてきた地震観測システムと同等の質を示し、基礎的な火山学的解析にも用いることが可能であることが本事業で検証された。

2) 平成29年度：

現在活動中の浅間山において、光センサシステムを投入して火山観測を行い、火山性地震および火山性微動、自然地震のデータを取得した。

光センサシステムで1か月以上のシステム安定性の検証と、昨年課題として現れた、耐雷性およびバイアス電圧ジャンプにともなう欠測現象の低減の検証のため、光センサシステムで2017年9月13日から2018年1月8日まで連続観測を行った。結果、観測期間中に計52回の火山性地震および火山性微動イベントを記録することができた。途中、雷サージ防止版の設置及びバイアスジャンプ対策のために10月12日にいったん会社に持ち帰り、社内動作確認後10月20日に再設置させた。雷サージ防止の効果については、浅間山の落雷シーズンを過ぎており、設置期間中に落雷現象は発生しなかったため、次年度以降引き続き検討を行うことにした。バイアスジャンプ対策については、平成28年度の桜島での観測時よりもドリフトの傾きは小さくなり、一定の効果があつた。ただしこの現象は長期観測で問題となるため、引き続き調査、開発を進めていくこととした。

3) 平成30年度：

平成28年、平成29年度の評価で指摘のあつた、火山観測に適した、固有振動数がより低いセンサを開発し、その固有振動数の確認および減衰定数の調整を行った。その結果、作成した6つのセンサの固有振動数は約23.8～24.0Hz、減衰定数が0.68～0.72に収まることを確認した。その後、3成分センサユニットとして筐体を作成して組み込んだ。新しいセンサユニット格納筐体は平成28、29年度に使用したJOGMEC Phase 1のサイズよりもかなりの小型化が達成された。

また、次年度以降の光センサシステムによる屋外観測実験を実施するために東京大学地震研究所浅間観測所とその周辺において予備調査を行った。浅間火山観測所は生活道路に隣接しており、より静穏な環境である、防災科研V-net小浅間観測点付近を選定した。浅間火山観測所と小浅間観測点間にはデータ伝送用に光ケーブルが敷設されているため、その予備回線があれば既設の光回線を使用した観測テストもできると考えたが、調査した結果、予備回線はなく、経路途中でつながっていないことが判明した。

なお、平成30年度末に課題責任者に異動が発生し、課題責任者異動後の秋田大学では平成31年度以降の本課題が実施できなくなることが判明した。これに伴い、平成31年度以降は課題責任機関を京都大学とし、屋外観測実施場所を桜島に変更することとした。

4) 平成31年度（令和元年度）：

共同研究機関は課題責任機関（京都大学）と連携して、本業務を推進し遂行するための準備をするとともに、項目5)にあるように平成30年度に作成したものと同様の3成

分センサを1セット作成し、平成30年度に作成した3成分センサユニット2式と合わせて、日本で最も活発な活火山である桜島で三角形アレイを構築して火山観測を行う（項目6）。なお、光送受信装置については、共同責任機関提供の装置を使用する。また、ユーザーニーズの把握と集約に関しては、プロジェクト運営会議等を通して努める。

5) 令和2年度：

共同実施機関は火山観測に適した高温対応用センサ作成と室内検証を主に行う。具体的には、光センサシステムの本質的な利点の一つである高温対応に関するセンサの作成（項目4）と、室内高温環境試験（項目5）を行い、火山観測により適したセンサシステムを構築する。さらに課題責任機関とともに翌年度の屋外での高温実証実験を行う場所を決定し、その観測点で使用可能なボアホール用高温対応筐体を試作（項目6）し、室内の高温環境で検証を行う。また、プロジェクト運営会議等を通して引き続きユーザーニーズの把握に努める。

6) 令和3年度：

共同研究機関は令和2年度に作成した高温対応用センサ及びボアホール用筐体を実フィールドに設置して連続観測を行い、光センサシステムの高温環境における有効性を検証する（項目1）。具体的には新潟工科大所有の観測井で、地下約2000mにあるボアホールのケーシングの段差（ライナーハンガー）部分を利用してセンサを設置し、連続観測を開始した。

7) 令和4年度：

課題責任機関は以下の項目を実施する。

- 6) 観測データの火山学的精密解析
- 7) 光センサシステムの総合評価と総括
- 8) プロジェクト運営

共同実施機関は以下の項目を実施する。実証試験は室内で行う。

- 9) システムの多点化プロトタイプの改修、
- 10) 第五次分増設センサの製作を行う。

前年度の観測結果及び課題Bの方々の意見を踏まえた改良を行う。もし開発が早まれば、課題Bと連携し、可能な限り課題B-4の対象火山に投入して観測を行う。プロジェクト運営会議等を通してユーザーニーズの把握を継続し集約に努める。

共同実施機関は、令和3年度に設置した高温対応用センサを継続して連続観測を行い、高温下での長期安定性を実フィールドで検証する。

8) 令和 5 年度：

課題責任機関は以下の項目を実施する。

- 7) 観測データの火山学的解析
- 8) 光センサシステムの総合評価と総括
- 9) 令和 5 年度光システム観測網の表層地震波速度調査
- 10) プロジェクト運営

共同実施機関は火山観測とその準備を行い、以下の項目を実施する。

- 11) 多点プロトタイプシステムの検証と、火山運用実績の獲得
- 12) 合計 24 成分でのアレイ観測の火山地帯における実施

もし開発が順調に進んでいる場合、課題 B と連携し、可能な限り課題 B-4 の対象火山に投入して実証実験を行う。プロジェクト運営会議等を通してユーザーニーズの把握を継続する。

9) 令和 6 年度：

課題責任機関は以下の項目を実施する。

- 4) 観測データの火山学的精密解析
- 5) 光センサシステムの総合評価と総括
- 6) プロジェクト運営

共同実施機関は以下の項目を実施し、室内検証を中心に行う。

- 4) 多点実用システムへの改装を行う。
- 5) 多点化実用システムの構築と室内検証

前年度の観測結果及び課題 B の方々の意見を踏まえた改良を行う。もし開発が想定以上に進捗した場合には、可能な限り課題 B-4 の対象火山に投入して観測運用を実施する。プロジェクト運営会議等を通してユーザーニーズの把握を継続する。

10) 令和 7 年度：

課題責任機関は以下の項目を実施する。

- 7) 観測データの火山学的解析
- 8) 光センサシステムの総合評価と総括
- 9) 令和 7 年度光センサシステム観測網の表層地震波速度調査
- 10) プロジェクト運営

共同実施機関は火山観測とその準備を行い、下記の項目を実施する。

- 11) 光センサシステムを適用した火山観測システムとして最終評価を確定する。
- 12) 課題 B-4 で実施中の火山において、24 成分のアレイ観測を行い、多点化実用システムの火山運用実績の獲得を行う。

(e) 令和 3 年度における成果の目標及び業務の方法

昨年度作成した高温対応用センサ及びボアホール用筐体をフィールドに設置し連続観測を行い、光センサシステムの高温環境における有効性を検証する。

①高温対応用センサの設置観測

課題責任機関とともに、令和 3 年度前半に光センサシステムの実地観測の準備を、令和 3 年度後半に高温対応用センサを設置して実地観測を行い、光センサシステムの高温環境における有効性を検証する。

②観測結果についての総括を行う。

(2) 令和 3 年度の成果

(a) 業務の要約

昨年度作成した高温対応用センサ及び高温対応用ボアホール筐体を設置し観測する場所として、新潟工科大が所有する 3000m 級の観測井を選定した。その観測井に関する資料や現地調査をもとに実施観測の準備を行い、その後埋設を行った。実際の埋設深度は結果的に地下約 1980m となった。まずセンサ筐体を埋設する前に温度検層を行って温度プロファイルを測定し、埋設予定箇所が 100℃を超えていることを確認した。次に地震計が入っていないダミー筐体を観測井に挿入し、筐体を固定する予定の、坑井の径が変わる段差部分に実際に固定できることを確認し、その深さが埋設予定箇所と一致していることを確認した。最後にセンサ入り筐体を埋設し、ダミー筐体で固定された深さで固定したことを確認した。現在、この状態で連続観測が行われており、光システムの高温環境における有効性を検証している。

(b) 業務の成果

1) 高温対応用センサの設置観測

a) 現場設置・調査

現場で設置を行う前に、令和 3 年 10 月 7 日に現地調査を行い、ケーブルの引き回しや、地上センサ及び光送受信装置の設置位置についての確認を行った。

新潟工科大学は柏崎市にある私立大学である（図 6）。



図6 新潟工科大の位置（グーグルマップより）

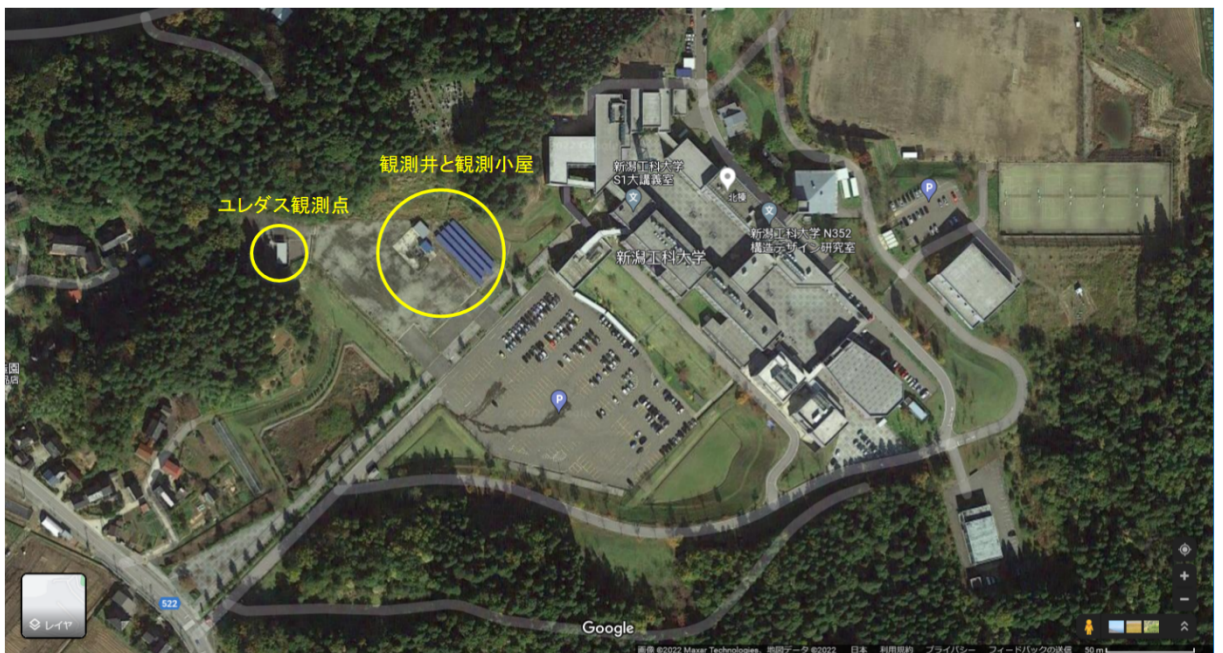


図7 新潟工科大航空写真（グーグルマップより）

図7の写真で示されるように、観測井の至近距離にユレダス観測点がある。大学側より、作業時に大きな振動を出すとユレダス観測点が反応する恐れがあるので、慎重に作業するようにとの話があった。

現地では観測井と観測小屋の位置関係や観測小屋内でのケーブル導入口などを確認し、地表でのケーブル配線には問題ないことを確認した。

観測小屋内に供給されている電力も、光送受信装置が必要とする量を十分供給できることを確認した。

立坑の状態に関しては、長い間触れられていないため、バルブを敷設した業者に状況を確認し、バルブの開け方などの操作方法を問い合わせることとなった。なお、敷設時に実際にバルブの操作を行う時は必ずその業者が作業することとした。



図 8 観測井と観測点

現場で寸法等を測定し、図面を作成した。観測点と観測井の写真を図 8、図面を図 9 に示す。

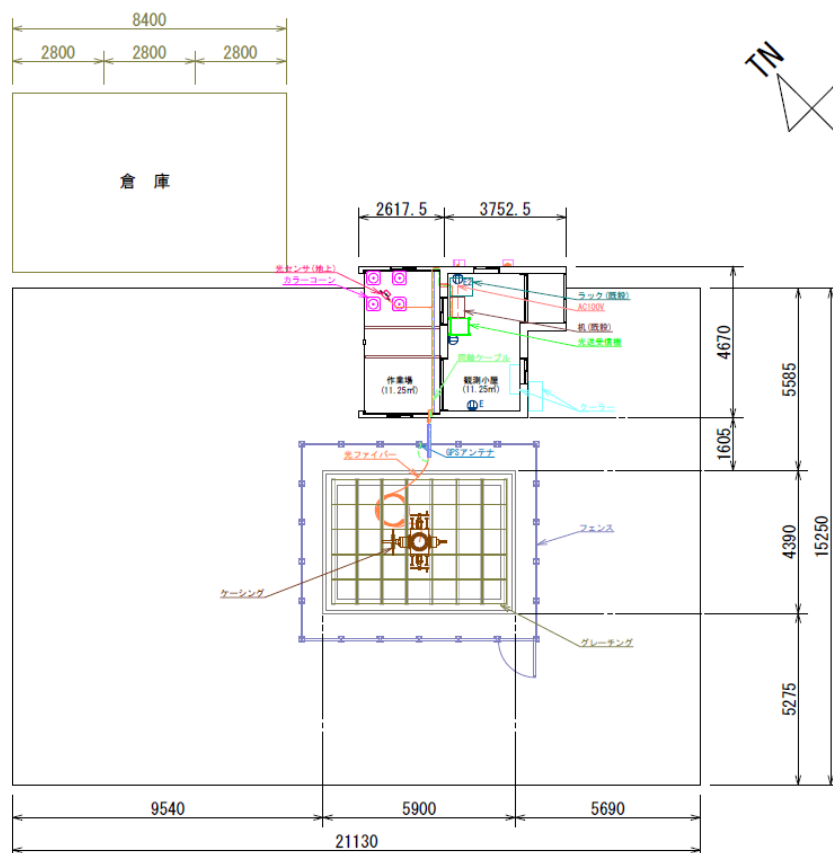


図 9 観測井と観測小屋の図面

立坑から引かれる光ケーブルを観測小屋の壁にあるケーブル導入口を通して観測小屋内に配線する。光ケーブルはアーマードであり、現場では簡単には切断してコネクタをつけることができないので、図 9 のように、立坑付近でケーブルの余剰分を丸めておくこととする（橙色の部分）。また、地上設置用センサは、観測小屋内の作業場奥（ピンクの場所）に、真北を北にして設置することとした。

b) 高温対応用センサシステムの設置

当初 2021 年内に設置を行う予定であったが、予定が延期され、結局 2022 年 2 月 15 日から 23 日にかけての設置となった。なお、大深度へのセンサ設置のためには、昨年度までに作成したセンサと筐体の他にも、埋設用ケーブルの用意や、クレーン等を使用しての設置作業が必要である。これらについては、東京パワーテクノロジー株式会社のご協力をいただいている。

i) 設置位置の確定

筐体を設置する個所については、当初観測坑の最深部付近を想定していた（図 10）。しかし、最深部付近に残されている、過去に地震計を設置した時の固定具の状態が不明であり、使用しない方が良くと判断したことや、図面の寸法と実際の坑井の状況が異なっていて、作成した筐体の外径が最深部のケーシング内径とほぼ同じサイズであり、最深部のケーシング内にセンサを入れることが難しいことが判明した。その代わりとして、深さ 2000m 付近にある、ケーシング径が 9+5/8 インチから 5+1/2 インチに変化する段差を利用してセンサを設置することとなった（図 10）。

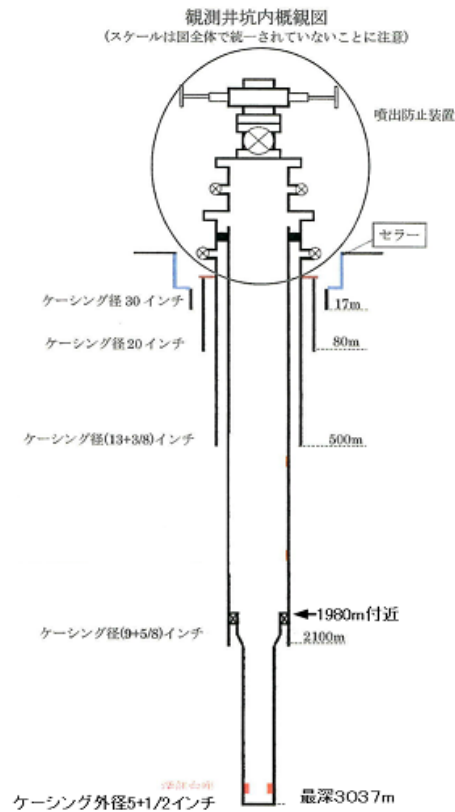


図 1 0 : 観測井坑内概観図

ii) 温度検層

設置する観測井は長年使用されていなかったもので、新潟工科大から資料としていただいた温度プロファイルが変化している可能性がある。そのため、センサを設置する前の令和 4 年 2 月 16 日に、まず温度検層を行った。

結果は下の図 1 1 右の通りである。図 1 1 の左には比較のために以前の温度プロファイルを掲載した。

観測井温度分布図

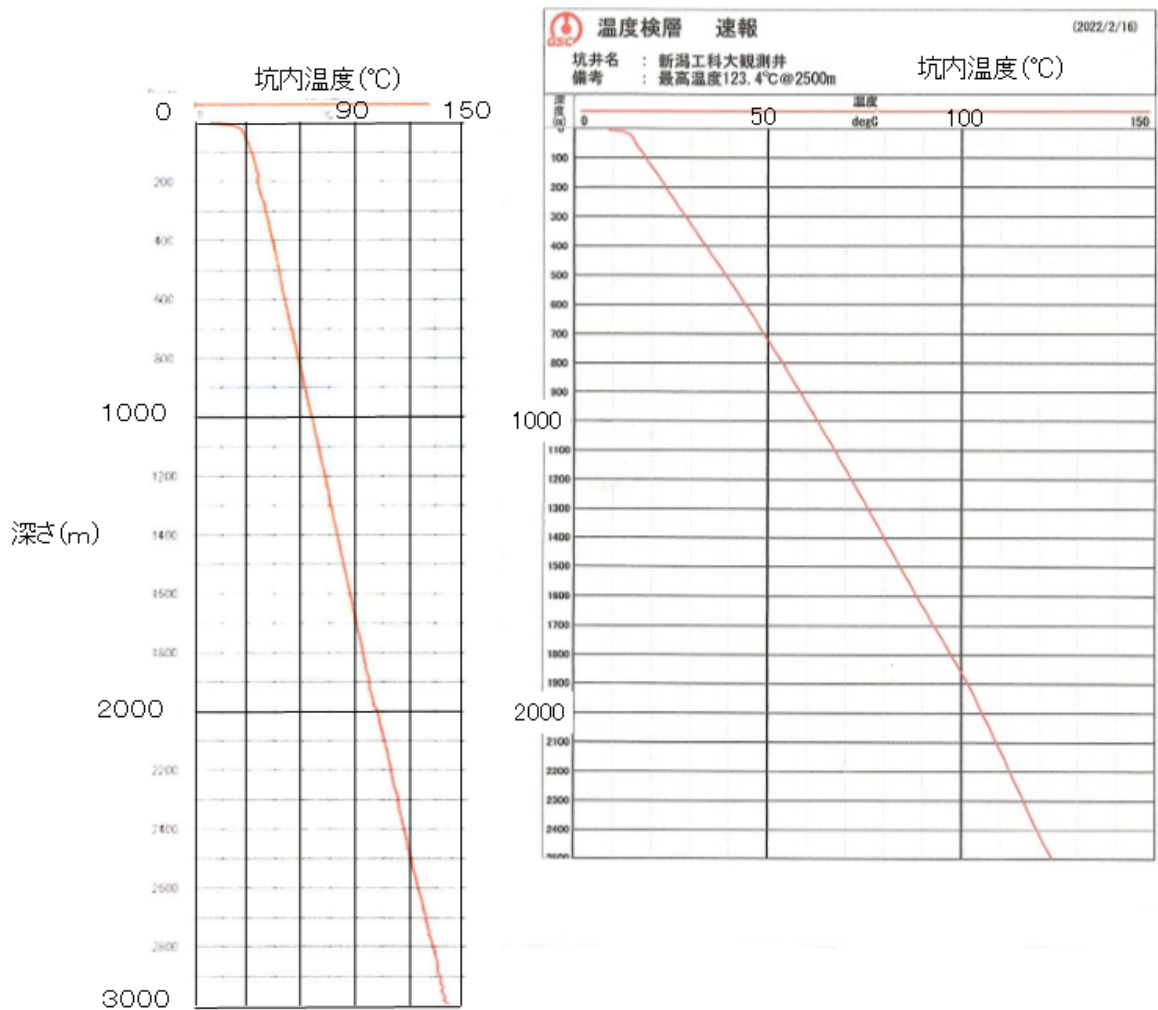


図 1.1 観測井の温度分布図。左が以前の記録、右が今回の記録。
紙面での記録を、縦軸（深さ）のスケールを合わせて調整。

温度分布図を比較すると、設置直前の井戸の温度分布は以前のものとほとんど変化していないことがわかる。設置ターゲットの深度（1980m 付近）は 100°C を超えて、105°C 前後である。

iii) ダミー管体投入試験

次に、温度検層を行った翌 2 月 17 日に、昨年度耐圧試験時に使用したダミー管体を観測坑に入れ、予定の箇所固定されるかどうかを確認した。このダミー管体は実際の地震計の管体と全く同じであり、ただセンサが入っていないだけである。



図 1 2 : ダミー地震計投入直前写真。

図 1 2 にダミー地震計を投入する前の写真を示す。ダミー地震計の真ん中少し上についている太い部分が、ケーシング径が変化する場所に固定する装置である。

この地震計を坑井内に入れたところ、深さ 1977.8m の所で停止した。この値は図 1 0 の 1980m 付近の位置と大体一致する。これにより、設置予定の場所で予定通り筐体が停止することが確認された。

iv) 光センサの埋設

上記までの事前テストを経たのち、光センサが入った筐体を埋設した。埋設は、2 月 18 日と 19 日の 2 日間かけて行った。



図 1 3 本地震計設置直前の写真

図 8 の写真の左部に見える赤い装置は、坑井内からのガス噴出を防止する装置であり、その下に坑井がある。このガス噴出防止装置の穴の径が小さく、センサ固定器をつけた管体の中を通らないので、まずセンサ固定器を外して管体のみの状態で噴出防止装置の中を通し、その後センサ固定器を装着した。次に、図 1 3 のように固定器をつけたセンサと噴出防止装置を別々のワイヤーで釣り、センサを坑井内に入れて固定器が坑井に入った状態で噴出防止装置を坑口に固定し、その後光センサを坑井深部に埋設した。

本地震計埋設時にも埋設しているケーブルの長さを測定することで埋設深度を測定している。その結果、1970.99m で固定されたことが確認された。この値はダミー地震計埋設時の 1977.8m に比べて 7m ほど短い結果となっている。これは、ダミー管体埋設時は何回も埋設に使用しているワイヤーを使用したのに対して、本番の管体は新品のワイヤーを使用したことから、埋設時に管体の重さやワイヤーの自重により多少伸びたためと推定される。従って、実際に埋設した深度は、1977.8m（1980m 弱）であると判断する。

埋設後、噴出防止装置の上でワイヤーをクランプし、ケーブルがキンクしないように R をつけたガイドに光ケーブルを添わせた（図 1 4）。



図 1 4 坑口の状況。左：全体図 右：ケーブルクランプ部拡大

v) 地表地震計設置

2月20日に、埋設地震計の比較も兼ねて、地上置き光センサを図4のピンク色の部分、観測小屋の作業場奥に設置した(図15左)。コンクリートの地面の上にエアコンパテで固定した。方位は真北に合わせた(図15右)。



図 15 地上センサ。右は真上からの写真。

vi) 光送受信装置

地下および地表の光センサを接続する光送受信装置は、図9の観測小屋内、黄緑色の場所に設置した(図16)。光送受信装置は2月16日に立ち上げ、光センサシステムの埋設前後の動作確認も行っている。

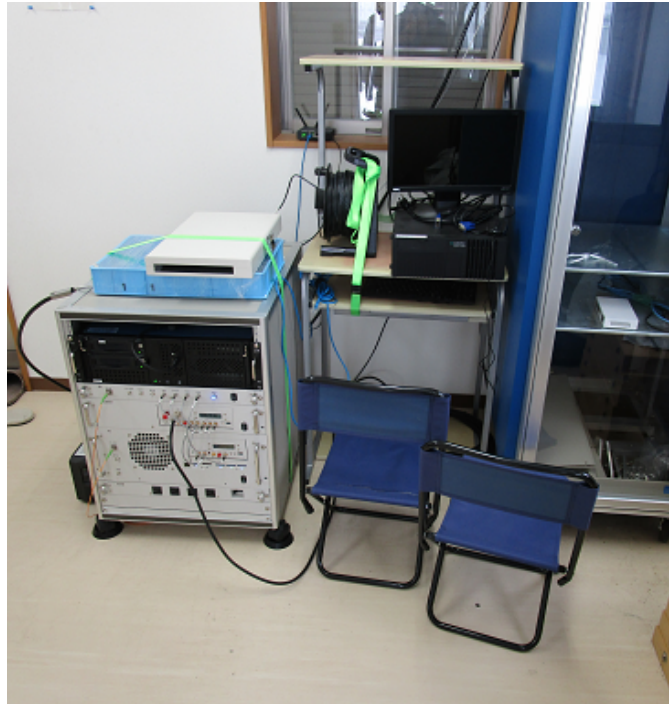


図 1 6 光送受信装置。右側は小屋内にあった既設のラック。

設置が完了し、連続観測を開始したのは 2 月 22 日である。

c) 観測記録

観測を始めてから約 1 か月後の 3 月 16 日 23 時 36 分ごろ、福島県沖で M7.4 の地震が発生した。この地震は新潟でも観測され、柏崎市で震度 3 が観測された。この地震の波形を図 1 7 に示す。

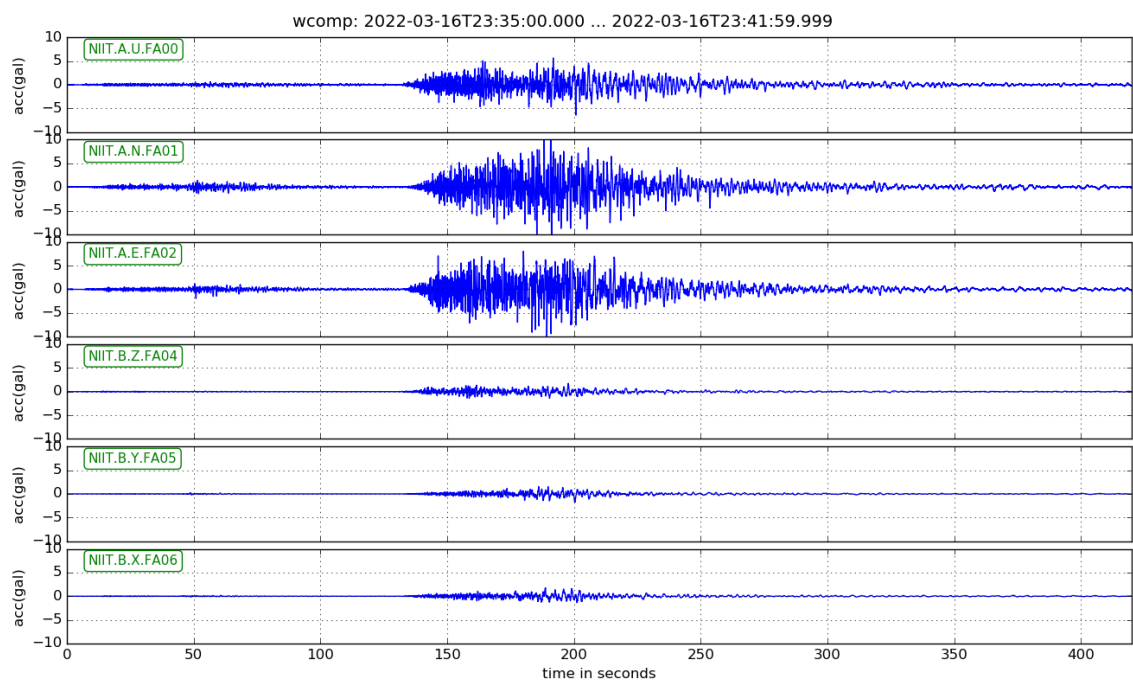


図 1 7 2022 年 3 月 16 日福島県沖地震の記録

図 17 の上 3 つが地表地震計による記録で、上から順番に U、N、E 成分である。下 3 つが地下約 1978m に埋設した地震計で、上から順番に U(Z) 成分と水平 2 成分である。この時点ではまだ地下埋設地震計の方位補正をしていないので、この標記としている。

地表の最大加速度が 10gal 程度であるので、このことから、現場での地表の揺れが震度 3 相当であったことが推測される。一方、地下約 1978m に設置した地震計の振幅はかなり小さい。地表で観測される地震動の振幅は大きく増幅されていることがわかる。

なお、データ全般に対しては、課題責任機関の報告書を参照されたい。

2) 総括

令和 3 年度は、令和 2 年度に作成した高温対応用センサ、および高温対応用ボアホール筐体を、新潟工科大学所有の 3000m 級坑井に埋設した。この坑井の温度分布は、昔の記録とほぼ変化が無かった。設置する位置である地下 1978m 付近の温度は約 105℃ である。また、地表設置用光センサ 1 台を観測小屋の作業場内に設置し、観測小屋内に設置した光送受信装置で連続観測を始めた。観測開始からしばらくして福島県沖で発生した M7.4 の地震による地震動を観測した。来年度は観測井内、地下深く 100℃ を超える環境下での連続観測を行う。

(c) 結論

本年度は昨年度作成した高温対応用センサ及び高温対応用ボアホール筐体を実フィールドである新潟工科大観測井に設置し、観測を開始した。福島県沖の大地震の記録も取得するなど、順調に測定できることを確認した。

今後の課題としては、設置時期が諸般の事情で年度も迫ってきた 2 月になったことから、まだ観測を開始してからあまり時間がたっていない。来年度は観測を継続し、長期安定性を検証する予定である。

なお、このプロジェクトに関して、東京パワーテクノロジー(株)地震グループの方々には、新潟工科大学との折衝、および埋設に必要なケーブルの準備及び設置作業の手配、さらには防災科学技術研究所藤原先生からのアドバイスをいただくための場を作っていたことなど、非常に多岐にわたってご尽力をいただきました。ここに記して感謝いたします。

(d) 引用文献

なし

(e) 成果の論文発表・口頭発表等

別添「学会等発表実績」のとおり。

(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 令和4年度の業務計画案

1) 高温実証試験

新潟工科大学の敷地内の深井戸に設置した光センサシステムの連続観測を行い、高温環境下での長期安定性・有効性を検証する。

2) 観測結果についての総括

高温での観測結果についての総括を行う。

3. 会議録

本業務遂行において以下の会議および現地調査に担当者が出席した。

令和3年5月6日 課題B2-2 打合せ

場所：オンライン会議

時間：10時～11時

出席者：中道、平山

令和3年7月9日 第8回火山研究運営委員会

場所：オンライン会議

時間：9時30分～12時

出席者：中道

令和3年7月14日 科学技術・学術審議会測地学分科会第4回火山研究推進委員会

場所：オンライン会議

時間：15時～17時

出席者：中道

令和3年10月20日～22日 日本火山学会秋季大会

場所：オンライン会議

出席者：中道、平山

令和 3 年 11 月 22 日 JVDN 利用者意見交換会

場所：オンライン会議

時間：15 時 30 分～17 時

出席者：中道

令和 3 年 11 月 29 日 第 9 回火山研究運営委員会

場所：オンライン会議

時間：9 時 30 分～12 時

出席者：中道

令和 3 年 12 月 14 日 第 8 回総合協議会

場所：オンライン会議

時間：13 時～16 時

出席者：中道、平山

令和 4 年 2 月 14 日～23 日 高温対応用センサ新潟工科大学観測井設置

場所：新潟工科大学

参加者：中道、平山、池田、安藤

令和 4 年 2 月 18 日 次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト評価会（フォローアップ）

場所：オンライン会議

時間：11 時 10 分～40 分

参加者：中道、平山

4. むすび

紆余曲折があったが、令和 3 年度内に大深度観測井に光センサシステムの設置を完了できた。令和 4 年 2 月下旬観測開始のため、今年度は 1 ヶ月半という短時間のデータ解析に留まったが、次年度にかけて高温対応光センサの年単位の長期運用における光センサシステムの安定性の評価を行う予定である。

様式第 2 1

学 会 等 発 表 実 績

委託業務題目「火山観測に必要な新たな観測技術の開発（位相シフト光干渉法による多チャンネル火山観測方式の検討と開発）」

機関名 京都大学防災研究所

1. 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表した場所 (学会等名)	発表した時期	国内・外の別
新しい位相シフト光干渉法振動観測システムによる桜島火山観測、口頭発表	中道治久・平山義治・池田敏晴・竹内敬二・安藤浩	日本火山学会2021年秋季大会	2021年10月	国内

2. 学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載した論文（発表題目）	発表者氏名	発表した場所 (学会誌・雑誌等名)	発表した時期	国内・外の別

(注1) 発表者氏名は、連名による発表の場合には、筆頭者を先頭にして全員を記載すること。
(注2) 本様式はexcel形式にて作成し、甲が求める場合は別途電子データを納入すること。