

国際共同研究事業 令和 2 (2020) 年度実施報告書

令和 3 年 4 月 1 日

独立行政法人日本学術振興会理事長 殿

[代表者所属機関・部局]
 東北大学・大学院環境科学研究科
 [職・氏名]
 准教授・渡邊 則昭

1. プログラム名 ドイツとの国際共同研究プログラム (JRPs-LEAD with DFG)

2. 研究課題名

(和文) HIGHER: 岩石き裂の高温高压下レオロジー: マグマシステム・熱水循環への影響

(英文) HIGHER: High-temperature and high-pressure rheology of rock fractures: impacts on hydrothermal fluids circulation in magmatic systems

3. 共同研究実施期間 (全採用期間)

平成 31 年 1 月 1 日 ~ 令和 3 年 12 月 31 日 (3 年 0 ヶ月)

4. 研究参加者 (代表者を含む)

(1) 日本側参加者 9 名 (2) 相手国側参加者 5 名

5. 主要な物品明細書 (一品又は一組若しくは一式の価格が 50 万円以上のものを購入した場合は記載)

| 物品名 | 仕様型・性能等 | 数 | 単価(円) | 金額(円) | 設置研究機関名 | 備考 |
|--|---------|---|-----------|-----------|--------------------|----|
| オリンパス社製 蛍光顕微鏡システム 一式 (岩石薄片用シ ステム顕微鏡、岩石 き裂イメージングシ ステム) | BX53F2 | 1 | 5,203,000 | 5,203,000 | 東北大学大学院 環境科学研究科 | |

※本事業の委託費と他の経費とを合算使用する際は、合算使用した旨を備考欄に記載した上で、金額は本事業の委託費で負担した額のみ記載してください。

※再委託先/共同実施先における支出である場合は、備考欄にその旨を記載してください。

7. 渡航実施状況

(1) 当該年度に相手国又は相手国以外の国を訪問した日本側参加者（委託費から支出した出張のみ記載。相手国以外の国における用務先には下線を付すこと。）

| 氏名 | 旅行期間* | 用 務 (用務先・用務内容) |
|------------|-------|-------------------|
| 該当なし | | |
| 計 名 (延べ人数) | | |

* 旅行期間の欄の記入例：「6月10～19日」（旅行開始日～旅行終了日）

(2) 当該年度に受入れた相手国側参加者

| 氏名 | 旅行期間* | 用 務 (用務先・用務内容) |
|------------|-------|-------------------|
| 該当なし | | |
| 計 名 (延べ人数) | | |

* 旅行期間の欄の記入例：「6月10～19日」（旅行開始日～旅行終了日）

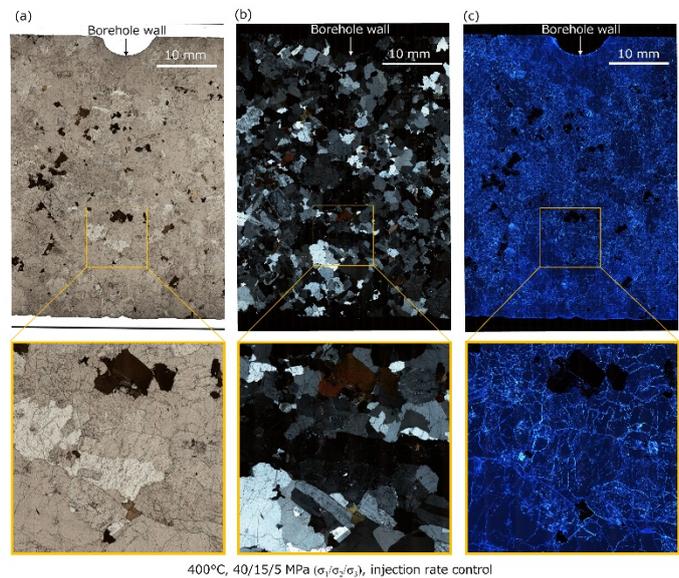
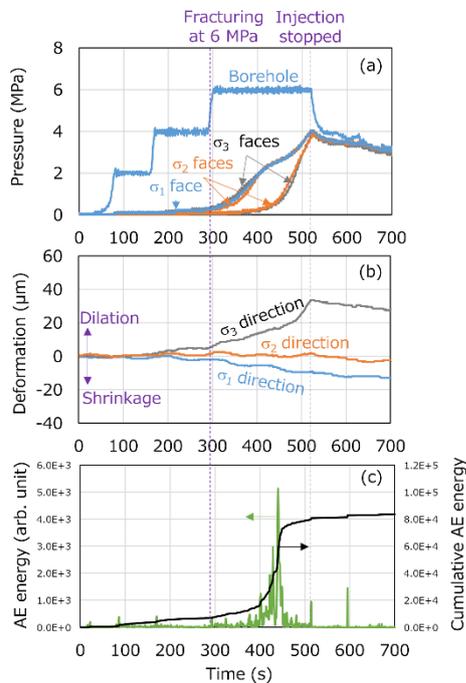
8. 研究実施状況

※当該年度実施計画書の「5. 本年度実施計画の概要」の内容と対応させつつ、当該年度の研究の実施状況を簡潔に記載してください。再委託又は共同実施を行った場合は、それぞれの研究の実施状況がわかるように記載してください。

※年度途中で当初計画を変更した場合にはその内容及び理由も記載してください。特に、各費目の増減が研究経費の 50%（この額が 300 万円を超えない場合は 300 万円）に相当する額を超えた場合は、変更理由と費目の内訳を変更しても研究の遂行に支障がなかった理由を記載してください。

本年度は実施計画書に記載の計画通り、水圧破碎発生後の岩石の変形実験および流動実験を実施した。具体的には、これまでに実施してきた実験結果に基づいて代表的な実験条件を選定し、その実験条件のもとで網状き裂の形成をともなう水圧破碎を発生させ、その後の岩石の変形挙動および透水特性の変化を変位計測、AE 計測ならびに弾性波速度測定、X 線 CT および薄片観察等の複数の手法を用いて解析し、明らかにした（例えば図 1）。なお薄片観察を実施するために新たにオリンパス社製蛍光顕微鏡システム一式（岩石薄片用システム顕微鏡および岩石き裂イメージングシステム）を購入した。加えて本成果を国際共著論文として *Rock Mechanics and Rock Engineering* 誌に投稿し、同誌への掲載が確定した。

400°C, 40/15/5 MPa ($\sigma_1/\sigma_2/\sigma_3$), injection pressure control



400°C, 40/15/5 MPa ($\sigma_1/\sigma_2/\sigma_3$), injection rate control

図 1：400°C，真三軸応力下の花崗岩の水圧破碎－変形－透水同時実験結果の例。（左図）上から水圧，変形および AE エネルギーの経時変化，（右図）左から単ニコル，クロスニコルおよび紫外線下での実験後の岩石の薄片写真。

加えてドイツ側研究者の要望に応じて、ドイツ側研究者の岩石変形・破壊モデルを検証・改良する目的で来年度実施予定の孔壁破壊実験の準備を行った。その結果、孔壁破壊実験により、脆性、半脆性および延性条件下において、真三軸応力下の孔を有する花崗岩に作用する主応力を変化させて、孔壁を破壊し、薄片観察等を通じて破壊の特徴を明らかにし、モデルシミュレーションの結果と比較できるようになった。また、ドイツ側研究者より、水圧破碎モデルを検証・改良するため、粘度の大きく異なる流体（高温の水および溶融樹脂）での岩石破壊実験を実施して、薄片観察等を通じて破碎の特徴を明らかにし、モデルシミュレーションの結果と比較することが重要であることが提案された。そのため本実験を来年度に実施するための準備も開始した。さらに昨年度実施した PMMA を用いた研究の成果を国際共著論文として *Scientific Reports* 誌へ投稿した（現在査読中）。

9. 研究発表（当該年度の研究成果）

〔雑誌論文〕 計（ 3 ）件 うち査読付論文 計（ 3 ）件

| 通番 | 共著の有無*1 | 論文名、著者名等*2 |
|----|---------|--|
| 1 | ◎ | 論文名：Creating Cloud-Fracture Network by Flow-induced Microfracturing in Superhot Geothermal Environments 著者名：R. Goto, N. Watanabe, K. Sakaguchi, T. Miura, Y. Chen, T. Ishibashi, E. Pramudyo, F. Parisio, K. Yoshioka, K. Nakamura, T. Komai, N. Tsuchiya 掲載誌名：Rock Mechanics and Rock Engineering 巻号や頁等：掲載確定，巻号等未定 発表年：2021 |
| 2 | | 論文名：Formation of amorphous silica nanoparticles and its impact on permeability of fractured granite in superhot geothermal environments 著者名：N. Watanabe, H. Abe, A. Okamoto, K. Nakamura, T. Komai 掲載誌名：Scientific Reports 巻号や頁等：11, Article number: 5340 発表年：2021 |
| 3 | | 論文名：高温環境における岩石き裂のすべり特性と透水性 著者名：武山 詳・後藤 遼太・渡邊 則昭・坂口 清敏・土屋 範芳 掲載誌名：日本地熱学会誌 巻号や頁等：43(2), 掲載確定，頁未定 発表年：2021 |

〔学会発表〕 計（ 2 ）件 うち招待講演 計（ 0 ）件

| 通番 | 共著の有無*1 | 標題、発表者名等*2 |
|----|---------|---|
| 1 | | 標題：超臨界地熱環境下におけるアモルファスシリカ粒子の形成と花崗岩き裂の透水性への影響 発表者名：阿部 光, 渡邊 則昭, 中村 謙吾, 岡本 敦, 駒井 武 学会等名：日本地熱学会 令和2年学術講演会 発表年：2020年 |
| 2 | ◎ | 標題：超高温水圧破碎における高密度き裂ネットワークの形成プロセス 発表者名：後藤 遼太, 渡邊 則昭, 坂口 清敏・PRAMUDYO Eko, 駒井 武, 土屋 範芳, 陳 友晴, 石橋 琢也, PARISIO Francesco, 吉岡 慶太 学会等名：日本地熱学会 令和2年学術講演会 発表年：2020年 |

〔図書〕 計（ 0 ）件

| 通番 | 共著の有無*1 | 題名、著者名等*2 |
|----|---------|-----------|
| 1 | | |

*1 相手国研究代表者との共著（共同発表）がある場合は○、相手国研究代表者との共著であり謝辞等に事業名を明記している場合は◎と記入。

*2 当該発表等を同定するに十分な情報を記載すること。例えば学術論文の場合は、論文名、著者名、掲載誌名、巻号や頁等、発表年（西暦）、学会発表の場合は標題、発表者名、学会等名、発表年（西暦）、著書の場合はその書誌情報、など（順番は入れ替わってもよい）。

*3 足りない場合は適宜行を追加すること。