

平成 28 年度 研究成果報告
Research Achievements FY2016

平成 29 年 3 月
(2017.3)



九州大学 カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所
International Institute for Carbon-Neutral Energy Research, Kyushu University

CO₂ 貯留研究部門 (辻 健)
CO₂ Storage Division (Takeshi TSUJI)

辻研究室 メンバー

Takeshi TSUJI (准教授)

Tatsunori IKEDA (助教)

Shiwani SINGH (学術研究員)

Jihui JIA (学術研究員)

Chandoeun ENG (博士課程 2 年)

Kakda KRET (博士課程 1 年)

Chanmaly CHHUN (博士課程 1 年)

Cong CAO (修士課程 2 年)

REZKIA DEWI ANDAJANI (修士課程 1 年)

Kengo IKUO (学部 4 年)

Hiro NIMIYA (学部 4 年)

Tomomi YAMAGUCHI (テクニカルスタッフ)

Fei JIANG (客員助教)



2017年2月3日 I²CNER International Workshop (CO₂ Storage Division) にて

平成 28 年度 研究成果一覧

List of Research Achievements in FY2016

(1) 学会誌（査読あり） / Peer-Reviewed Journals

T. Ikeda, T. Tsuji, T. Watanabe, and K. Yamaoka, Development of surface-wave monitoring system for leaked CO₂ using a continuous and controlled seismic source, *International Journal of Greenhouse Gas Control*, Vol.45, 94-105, doi:10.1016/j.ijggc.2015.11.030, 2016.

J. Jia, T. Tsuji, and T. Matsuoka, Gas hydrate saturation and distribution in the Kumano Forearc Basin of the Nankai Trough, *Exploration Geophysics*, doi:10.1071/EG15127, 2016.

H. Yamabe, T. Tsuji, Y. Liang, and T. Matsuoka, Influence of fluid displacement patterns on seismic velocity during supercritical CO₂ injection: Simulation study for evaluation of the relationship between seismic velocity and CO₂ saturation, *International Journal of Greenhouse Gas Control*, Vol.46, 197-204, doi:10.1016/j.ijggc.2016.01.011, 2016.

T. Tsuji, F. Jiang, and K. Christensen, Characterization of immiscible fluid displacement processes with various capillary numbers and viscosity ratios in 3D natural sandstone, *Advances in Water Resources*, Vol.95, 3-15, doi:10.1016/j.advwatres.2016.03.005, 2016.

F. Jiang and T. Tsuji, Numerical investigations on the effect of initial state CO₂ topology on capillary trapping efficiency, *International Journal of Greenhouse Gas Control*, Vol.49, 179-191, doi:10.1016/j.ijggc.2016.03.006, 2016.

J. Jia, Y. Liang, T. Tsuji, S. Murata, and T. Matsuoka, Microscopic Origin of Strain Hardening in Methane Hydrate, *Scientific Reports*, 6, 23548, doi:10.1038/srep23548, 2016.

K. Ishitsuka, T. Tsuji, and T. Matsuoka, Pixel-based interferometric pair selection in InSAR time series analysis with baseline criteria, *Remote Sensing Letters*, Vol.7, Issue 7, 711-720, doi:10.1080/2150704X.2016.1182660, 2016.

T. Tsuji, T. Ikeda, T.A. Johansen, and B.O. Ruud, Using seismic noise derived from fluid injection well for continuous reservoir monitoring, *Interpretation*, 4(4), SQ1-SQ11, doi: 10.1190/INT-2016-0019.1, 2016.

T. Ikeda, and T. Tsuji, Surface wave attenuation in the shallow subsurface from multichannel-multishot seismic data: a new approach for detecting fractures and lithological discontinuities, *Earth, Planets and Space*, 68:111, doi: 10.1186/s40623-016-0487-0, 2016.

F. Jiang and T. Tsuji, Estimation of three-phase relative permeability by simulating fluid dynamics directly on rock-microstructure images, *Water Resources Research*, Vol.53, Issue 1, 11-32, doi:10.1002/2016WR019098, 2017.

T. Tsuji, J. Ishibashi, K. Ishitsuka, and R. Kamata, Horizontal sliding of kilometre-scale hot spring area during the 2016 Kumamoto earthquake, *Scientific Reports*, 7, 42947, doi:10.1038/srep42947, 2017.

(2) 研究発表 / Presentations

【 国際発表 】

EGU General Assembly 2016, 17-22 April, 2016, Vienna, Austria

S. Minato, R. Ghose, T. Tsuji, M. Ikeda, and K. Onishi, Imaging hydraulic fractures at Median Tectonic Line, Japan using multiply generated and scattered tube waves in a shallow VSP experiment, *EGU General Assembly 2016*, EGU2016-15876, Austria, Vienna, 20 April, 2016.

8th International Conference on Porous Media & Annual Meeting, 9-12 May, 2016, Cincinnati, USA

F. Jiang, and T. Tsuji, Numerical Simulations of Three-Phase Relative Permeability in Berea Sandstone using Lattice Boltzmann Method, *8th International Conference on Porous Media & Annual Meeting*, 1114, Cincinnati, USA, 12 May, 2016.

T. Tsuji, F. Jiang, T. Ikeda, and K. Christensen, Immiscible fluid displacement patterns under various reservoir conditions and their influence on geophysical properties, *8th International Conference on Porous Media & Annual Meeting*, 1291, Cincinnati, USA, 12 May, 2016.

Goldschmidt 2016, 26 June - 1 July, 2016, Yokohama, Japan

J. Jia, Y. Liang, S. Murata, T. Tsuji, and T. Matsuoka, Diagram of Elastic Moduli of CH₄ and CO₂ Hydrate, *Goldschmidt 2016*, Pacifico Yokohama, 1 July, 2016.

25th International Conference on Discrete Simulation of Fluid Dynamics (DSFD), 4-8 July, 2016, Shenzhen, China

F. Jiang, X. Li, and T. Tsuji, A parallel implementation of three-phase LB model for CO₂-EOR, 25th *International Conference on Discrete Simulation of Fluid Dynamics (DSFD) 2016*, International Meeting Hall at Southern University of Science and Technology, Shenzhen, China, 5 July, 2016.

Crustal Dynamics 2016, 19-22 July, 2016, Takayama, Japan

T. Tsuji, T. Ikeda, and F. Jiang, Hydrologic and elastic modeling for time-evolved digital rock models, Insight into rock and fault evolution process, *Crustal Dynamics 2016: Unified Understanding of Geodynamic Processes at Different Time and Length Scales*, A10, Takayama, Gifu, 22 July, 2016.

T. Ikeda, and T. Tsuji, Spatial and temporal variation of stress state in east Japan during the 2011 Tohoku-oki Earthquake from S-wave splitting analysis for ambient noise records, *Crustal Dynamics 2016, Unified Understanding of Geodynamic Processes at Different Time and Length Scales*, AP05, Takayama, Gifu, 20 July, 2016.

AOGS 2016 13th Annual Meeting, 31 July-5 August, 2016, Beijing, China

T. Ikeda, F. Jiang, and T. Tsuji, Digital Rock Physics for Evaluating Effects of CO₂ Saturation on Seismic Velocity in Natural Sandstone, *AOGS 2016 13th Annual Meeting*, IG12-A007, Beijing, China, 2 August, 2016.

F. Jiang, and T. Tsuji, A Three Phase Numerical Simulation Method for CCS-EOR, *AOGS 2016 13th Annual Meeting*, IG12-A008, Beijing, China, 2 August, 2016.

SPWLA ASIA & AUSTRALIA REGIONAL CONFERENCE 2016, 29-31 August, 2016, Bangkok, Thailand

Y. Sanada, S. Saito, Y. Hamada, T. Tsuji, K. Shiraishi, K. Hsiung, C. Eng, K. Yoshimoto, Y. Kido, H. Kumagai, T. Nozaki, J. Ishibashi, L. Maeda, and CK16-01 Shipboard Party, New application with logging while drilling to deep water hydrothermal deposits with at Okinawa Trough, *SPWLA ASIA & AUSTRALIA REGIONAL CONFERENCE 2016*, Bangkok, Thailand, 30-31 August, 2016.

Southeast Asian Conference on Geophysics (SEACG) 2016, 31 August-3 September, 2016, Bali, Indonesia

A. Miyakawa, K. Onishi, T. Tsuji, T. Takahashi, T. Matsuoka, A. Priyono, B. Sapiie, R. Sule, and W.G.A. Kadir, Case study of fault stability analysis in Indonesia "Gundih CCS project" on the basis of the fault orientation and stress state, *Southeast Asian Conference on Geophysics (SEACG)*, Fr R3

01, Bali, Indonesia, 2 September, 2016.

CEOS (The Committee on Earth Observation Satellites) Calibration and Validation Workshop 2016, 7-9 September, 2016, Tokyo, Japan

K. Ishitsuka, T. Tsuji, and T. Matsuoka, Optimal interferometric combinations selection for InSAR time-series analysis using coherence and baseline distribution, *CEOS(The Committee on Earth Observation Satellites) Calibration and Validation Workshop 2016*, Tokyo Denki University, Tokyo, 9 September, 2016.

The 22nd Formation Evaluation Symposium of Japan, 29-30 September, 2016, Chiba, Japan

C. Eng, T. Ikeda, and T. Tsuji, Elastic properties of fault core samples using digital rock physics: Insight into seismogenic fault characterization, *The 22nd Formation Evaluation Symposium of Japan*, JOGMEC-TRC, Chiba, 29 September, 2016.

2nd International Exchange and Innovation Conference on Engineering & Sciences, 14 October, 2016, Fukuoka, Japan

C. Cao, and T. Tsuji, The application of neural network for mineral classification, *2nd International Exchange and Innovation Conference on Engineering & Sciences*, Kyushu University, 14 October, 2016.

Society of Exploration Geophysicists Annual Meeting 2016, 16-21 October, 2016, Dallas, USA

S.Minato, R. Ghose, T. Tsuji, M.Ikeda, and K.Onishi, Modeling and imaging multiply generated and scattered tube waves due to multiple hydraulic fractures, *Society of Exploration Geophysicists Annual Meeting*, Kay Bailey Hutchison Convention Center, USA, 19 October, 2016.

T. Ikeda, T. Tsuji, M. Takanashi, I. Kurosawa, M. Nakatsukasa, D. White, K. Worth, and B. Roberts, Time-lapse monitoring of shallow subsurface in the Aquistore CO₂ storage site from surface-wave analysis using a continuous and controlled seismic source, *Society of Exploration Geophysicists Annual Meeting*, Kay Bailey Hutchison Convention Center, USA, 18 October, 2016.

GHGT-13, 14-18 November, 2016, Lausanne, Swiss

S. Singh, F. Jiang and T. Tsuji, Influence of slip flow at fluid-solid interface upon permeability of natural rock, *GHGT-13*, 216, The SwissTech Convention Center, Lausanne, Swiss, 17 November, 2016.

T. Tsuji, T. Ikeda, and F. Jiang, Hydrologic and elastic properties of CO₂ injected rock at various reservoir conditions: Insights into quantitative monitoring of injected CO₂, *GHGT-13*, 249, The SwissTech Convention Center, Lausanne, Swiss, 17 November, 2016.

T. Ikeda, and T. Tsuji, Robust subsurface monitoring using a continuous and controlled seismic source, *GHGT-13*, 253, The SwissTech Convention Center, Lausanne, Swiss, 17 November, 2016.

International Symposium on Earth Science and Technology (CINEST) 2016, 8-9 December, 2016, Fukuoka, Japan

C. Cao, and T. Tsuji, The application of neural network for mineral classification, *International Symposium on Earth Science and Technology (CINEST) 2016*, 16-14, Kyushu University, 8 December, 2016.

C. Eng, T. Ikeda, and T. Tsuji, Effect of Crack-Filling Materials on Seismic Velocity Using Digital Rock Physics, *International Symposium on Earth Science and Technology (CINEST) 2016*, 16-22, Kyushu University, 8 December, 2016.

AGU Fall Meeting 2016, 12-16 December, 2016, San Francisco, USA

M. Kido, J. Ashi, T. Tsuji, and F. Tomita, Measuring Relative Motions Across a Fault Using Seafloor Transponders Installed at Close Range to each Other Based on Differential GPS/Acoustic Technique, *AGU Fall Meeting*, G51B-1117, San Francisco, USA, 16 December, 2016.

G. Kimura, H. Koge, T. Tsuji, and G.F. Moore, Latest-Miocene onset of Nankai Trough Subduction due to regional Change in Plate tectonic Framework, *AGU Fall Meeting*, T42C-03, San Francisco, USA, 15 December, 2016.

M. Hamahashi, T. Tsuji, S. Saito, W. Tanikawa, Y. Hamada, Y. Hashimoto and G. Kimura, Core-Log-Seismic Integrative Study of a Subduction Zone Megasplay Fault –An Example from the Nobeoka Thrust, Shimanto Belt, Southwest Japan, *AGU Fall Meeting*, T23A-2880, San Francisco, USA, 13 December, 2016.

2nd UNSW-I2CNER workshop, 2 February, 2017, Fukuoka, Japan

T. Tsuji, CO₂ behavior and reaction in geological formations, *2nd UNSW-I2CNER workshop*, Kyushu University, 2 February, 2017.

4th International Geoscience Symposium “Precambrian World 2017”, 3-5 March, 2017, Fukuoka, Japan

T. Tsuji, Modeling of Rock Evolution Process: Insight from Digital Rock Physics, *4th*

International Geoscience Symposium "Precambrian World 2017", O21, Nishijin Plaza, 5 March, 2017.

Lunar and Planetary Science Conference 48th (LPSC), 20-24 March, 2017, Texas, USA

T. Kawamura, Y. Ishihara, K. Ogawa, T. Tsuji, T. Kobayashi, R. Yamada, A. Araya, S. Tanaka, and N. Takeuchi, Conceptual study of small active seismic exploration package on moons and small bodies, *Lunar and Planetary Science Conference 48th(LPSC)*, Texas, USA, 23 March, 2017.

【 国内発表 】

日本リモートセンシング学会 第 60 回 (平成 28 年度春季) 学術講演会, 2016 年 5 月 12 日~13 日, 千葉

石塚 師也, 辻 健, 松岡 俊文, InSAR 時系列解析における推定精度を考慮したピクセル毎の基線長閾値の選定法, 日本リモートセンシング学会 第 60 回 (平成 28 年度春季) 学術講演会, B08, 日本大学, 千葉, 2016 年 5 月 12 日

物理探査学会 第 134 回学術講演会, 2016 年 5 月 16 日~18 日, 東京

石塚 師也, 辻 健, 松岡 俊文, PS 干渉 SAR 解析を用いた非都市域の地表変動モニタリングーニュージーランド・オハアキ地熱開発地域への適用, 物理探査学会 第 134 回学術講演会, 早稲田大学, 2016 年 5 月 16 日

日本地球惑星連合大会 2016, 2016 年 5 月 22 日~26 日, 千葉

K. Ogawa, S. Tanaka, N. Sakatani, M. Ueno, T. Hoshino, K. Sakamoto, T. Kawamura, Y. Ishihara, N. Takeuchi, P. Lognonné, A. Araya, R. Yamada, T. Tsuji, T. Kobayashi, K. Shirai, M. Grott, J. Grygorczuk, A. Hagermann, J. Knollenberg, T. Spohn, H. Miyamoto, H. Katsuragi, S. Shirono, T. Morota, and M. Arakawa, Geophysical experiments on Phobos proposed for JAXA Mars Moon Exploration mission, *Japan Geoscience Union Meeting 2016*, PCG10-P03, Makuhari Messe, Chiba, 22 May, 2016.

木戸 元之, 芦 寿一郎, 辻 健, 富田 史章, 近接設置した海底局からの音波の走時差を用いた局所地殻変動計測ー日本海溝断層地形の挙動のモニタリングー, 日本地球惑星連合大会 2016, SGD23-09, APA ホテル&リゾート(東京ベイ幕張), 2016 年 5 月 23 日

石原 吉明, 川村 太一, 山田 竜平, 小川 和律, 竹内 希, 新谷 昌人, ロニョーネ フィリップ, 白井 慶, 辻 健, 小林 泰三, 西川 泰弘, ドリロー メラニー, 田中 智, 小惑星/小天体内部構造探査のための地震探査パッケージの開発と検討, 日本地球惑星連合大会 2016, PCG20-P07, 幕張メッセ, 2016 年 5 月 24 日

T. Ikeda, and T. Tsuji, Spatial and temporal variation of stress state in east Japan during the 2011 Tohoku-oki earthquake: Insights from S-wave splitting analysis from ambient noise records, *Japan Geoscience Union Meeting 2016*, SSS02-19, Makuhari Messe, Chiba, 24 May, 2016.

C. Eng, T. Ikeda, and T. Tsuji, Characterization of Nankai Seismogenic Fault by Applying Dynamic Wave Propagation Simulation to Digital Rock Models, *Japan Geoscience Union Meeting 2016*, SSS02-P09, Makuhari Messe, Chiba, 24 May, 2016.

齋藤 実篤, 濱田 洋平, 辻 健, 白石 和也, Hsiung Kan-Hsi, Eng Chandoeun, 吉本 佳太, 木戸 ゆかり, 真田 佳典, 熊谷 英憲, 野崎 達生, 石橋 純一郎, 前田 玲奈, CK16-01 乗船者一同, 沖縄トラフ熱水活動域における科学掘削: CK16-01 掘削同時検層速報, 日本地球惑星連合大会 2016, MIS16-03, 幕張メッセ, 2016 年 5 月 26 日

辻 健, 石塚 師也, 池田 達紀, 松岡 俊文, 干涉 SAR 解析と現地調査による 2016 年熊本地震で活動した断層と火山岩体との関係, 日本地球惑星連合大会 2016, MIS34-P35, 幕張メッセ, 2016 年 5 月 26 日

日本地質学会第 123 年学術大会, 2016 年 9 月 10 日~12 日, 東京

木村 学, 高下 裕章, 辻 健, Gregory F. Moore, Latest-Miocene onset of Nankai Trough Subduction due to regional Change in Plate tectonic Framework, 日本地質学会第 123 年学術大会, 日本大学文理学部キャンパス, 東京, R13-O-9, 2016 年 9 月 11 日

日本地震学会 2016 年度秋季大会, 2016 年 10 月 5 日~7 日, 名古屋

石原 吉明, 川村 太一, 辻 健, 小川 和律, 山田 竜平, 小林 泰三, 田中 智, MMX-SEIS 検討チーム, 小天体内部構造探査のための能動型地震探査パッケージの開発と検討, 日本地震学会 2016 年度秋季大会, S02-P15, 名古屋国際会議場, 2016 年 10 月 5 日

辻 健, 石橋 純一郎, 鎌田 龍一, 熊本地震における内牧温泉域の水平移動の直接観測, 日本地震学会, 2016 年度秋季大会, 名古屋国際会議場, S21-26, 2016 年 10 月 6 日

SIS Technology Day for Universities, 2016 年 11 月 25 日, 東京

辻 健, 南海トラフの地震探査データから明らかになってきた地質構造, SIS Technology Day for Universities, シュルベルジェ株式会社 東京オフィス, 2016 年 11 月 25 日

ブルーアース 2017, 2017 年 3 月 2 日~3 日, 東京

辻 健, Jihui Jia, Chandoeun Eng, Kakda Kret, 石橋 純一郎, 齋藤 実篤, 白石 和也, 真田 佳典, 木戸 ゆかり, 地震探査データと検層データの統合によって明らかとなってきた伊平屋北海丘の熱水循環をコントロールする地質構造, ブルーアース 2017, BE17-P5, 日本大学理工学部 駿河台キャンパス, 2017 年 3 月 3 日

(3) 招待講演 / Invited Lectures

T. Tsuji, Digitization of Natural Rocks for Estimation of The Hydrologic and Elastic Properties, *SEG-AGU Workshop: Upper Crust Physics of Rocks*, Hilo Hawaiian Hotel, Hilo, Hawaii, USA, 13 July, 2016.

T. Tsuji, Description of heterogeneous rock pore structures using mathematical methods, *Study Group Workshop 2016*, Institute of Mathematics for Industry, Kyushu University, 27 July, 2016.

辻 健, 次世代の貯留層モデリングとモニタリングに向けたデジタル岩石物理, 講演会“資源開発工学の展望～探査工学・海底資源開発の最前線”, 早稲田大学, 2016年7月28日

辻 健, 天然岩石の間隙形状の数学的な記述方法, 日本数学会 数学連携ワークショップ --物質材料科学に潜む『数理』を探る--, 関西大学, 大阪, 2016年9月16日

辻 健, 貯留層の連続モニタリングに向けた試み, JOGMEC-TRC ウィーク 2016「未来に向けて～リソース&テクノロジー～」, JOGMEC TRC, 千葉, 2016年10月13日

辻 健, JAPEX 社内セミナー講師, 石油資源開発(株) (JAPEX), 2016年11月9日

T. Tsuji, Mathematical descriptions of rock pore geometry and its evolution, *Forum "Math-for-Industry" 2016*, Queensland University of Technology, Brisbane, Australia, November 23, 2016.

T. Tsuji, Fault displacement and fluid in the earth, *Hungary-Japan (HAS-JSPS) Workshop on Physics of Rheology and Fracture*, Kyushu University, December 5, 2016.

辻 健, 不均質な岩石間隙を流れる流体挙動と鉱物化プロセスのモデル化, A3 foresight program 勉強会, 北海道大学, 2017年1月14日

辻 健, デジタルロックを利用した地盤のモデル化と探査データの解釈, 物理探査学会・深田地質研究所共催シンポジウム「物理探査の評価と解釈の最前線」, 東京大学, 2017年1月26日

T. Tsuji, Horizontal sliding of Uchinomaki hot spring area during the 2016 Kumamoto earthquake: Insight from satellite data, field observations and direct borehole measurements, *International Workshop on the 2016 Kumamoto Earthquake -Japan-US Joint Workshop*, Kyushu University, 6 March, 2017.

(4) 書籍・学術資料等 / Books and Academic articles

石塚 師也, 辻 健, 松岡 俊文, 2016年熊本地震に伴う江津湖・水前寺周辺の局所的な地表変動, *Journal of The Remote Sensing Society of Japan*, Vol. 36, No. 3, 2016.

辻 健, 海洋底科学の基礎, 日本地質学会「海洋底科学の基礎」編集委員会, 共立出版, 306-307, 2016.

辻 健, 科学雑誌ニュートン, “見えてきた実用的な地震予測”, 2016年9月号 (2016年9月7日発行), 60-61, 協力

辻 健, 科学雑誌ニュートン 別冊 地震研究の最前線, “見えてきた実用的な地震予測”, 2016年11月5日発行, 88-89, 協力

辻 健, CCSの概要と技術開発, 電気計算, 2016年10月号, 20-27, 2016.

T. Tsuji, I²CNER - efforts to achieve effective, safe CO₂ storage, Carbon Capture Journal, Nov/Dec 2016, Issue 54, 4-6, 2016.

(5) 新聞 / Newspapers

CO₂ 地中貯留を効率化 九大など 適地選定、岩石を分析, 日経産業新聞, 2016年4月13日(8面)

内陸型、3番目に多く 震源の浅さが影響か, 日本経済新聞, 2016年4月15日 (夕刊14面)

CO₂ 効率的に地層へ 圧力調整で貯留増, 日刊工業新聞, 2016年4月28日 (24面)

解剖 先端拠点 九州大学 カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所 異分野交流で新領域開拓, 日経産業新聞, 2016年5月10日 (8面)

熊本地震 阿蘇、地域ごと横滑り, 西日本新聞, 2016年10月10日 (朝刊19面)

阿蘇・内牧温泉が、熊本地震で一時的に止まった理由が初めて明らかに

(地下で生じた水平滑りが原因、泉源には影響ないことが判明)【プレスリリース】

毎日新聞, 2017年2月21日 (朝刊31面)

朝日新聞, 2017年2月21日 (朝刊30面)

産経新聞, 2017年2月21日 (朝刊20面)

読売新聞, 2017年2月21日 (朝刊37面)

西日本新聞, 2017年2月21日 (朝刊33面)

日本経済新聞, 2017年2月22日 (夕刊15面)

(6) 表彰 / Award

辻 健, 文部科学大臣表彰 若手科学者賞, 地震探査データの解析に基づくプレート境界地震断層の研究, 2016 年 4 月

C. Eng, T. Ikeda, and T. Tsuji, Best Presentation Award, Effect of Crack-Filling Materials on Seismic Velocity Using Digital Rock Physics, International Symposium on Earth Science and Technology (CINEST) 2016, Kyushu University, 8 December, 2016.