

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 28 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23340129

研究課題名(和文)鉄合金メルトの固体珪酸塩中における浸透率の研究

研究課題名(英文)Permeable flow of liquid Fe alloy through silicate grain boundary

研究代表者

浦川 啓(Urakawa, Satoru)

岡山大学・自然科学研究科・教授

研究者番号：30201958

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 16,000,000円

研究成果の概要(和文)：太陽系の歴史のごく初期に、原始惑星の内部では鉄合金メルトがケイ酸塩から重力分離し、惑星中心部に沈降して核を形成した。この分離プロセスを高圧装置で再現し、放射光を用いたX線マイクロCTで観察した。その結果、半径が数100kmより小さい原始惑星の内部では鉄合金メルトが固体のケイ酸塩の粒界を浸透することにより、核とマンツルの分離が進行することがわかった。

研究成果の概要(英文)：At the early history of the solar system, molten iron alloy is separated from silicate mantle to form an iron core at the center of the protoplanets. We investigated this process by using high-pressure and high-temperature experiments combined with synchrotron X-ray micro computed tomography. We found that a permeable flow of liquid iron alloy through the crystalline silicate grain boundary is a dominant core-mantle separation process in the protoplanets with which the radius is smaller than several hundred km.

研究分野：数物系科学・地球惑星科学・固体地球物理学

キーワード：惑星形成・進化 核形成過程

1. 研究開始当初の背景

核・マントル分離過程は惑星形成期における主要な分化過程である。地球などの大きな天体では、集積にともない形成されたマグマオーシャンの中で鉄合金メルトが重力分離して核を形成する。一方、半径数 100 km 程度の微惑星や原始惑星ではマグマオーシャンが形成されないため、浸透（パーコレーション）により固体マントルから核が分離した可能性が示されている。浸透による核形成に関しては、従来、高温高压から急冷回収された試料の観察から、鉄合金メルトの浸透現象が起きる条件（メルト分率や圧力など）が研究されてきた。しかしながら、鉄合金メルトと珪酸塩が共存する組織は急冷により形状が変化するため、急冷回収試料の組織観察から得られた結論には問題がある。

2. 研究の目的

微惑星や原始惑星の内部構造の形成プロセスを解明するためには、浸透による核マントル分離過程を詳細に検討する必要がある。そのためには、惑星内部の高温高压状態で浸透現象を直接観察することが望ましい。本研究では、放射光 X 線を用いたマイクロ CT による 3 次元イメージングと高温高压実験を組み合わせた、これまでにない新しい研究手法の確立を目指した。さらに、その地球惑星科学的応用として、浸透による核マントル分離過程の解明を目指す実験的研究を行った。

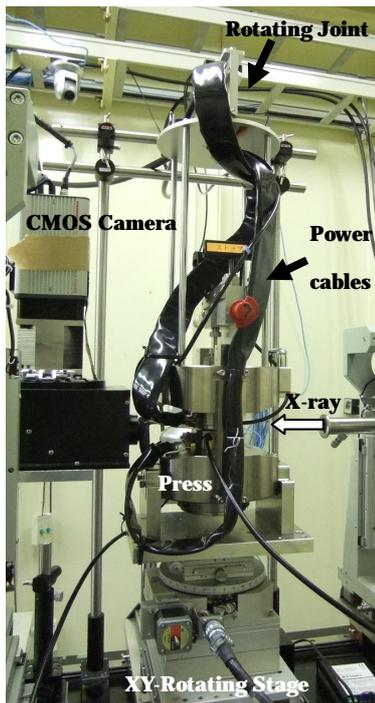


図 1 CT 用プレス

3. 研究の方法

核マントル分離過程のモデル実験は、SPring-8 のイメージングビームライン BL20B2 と BL20XU で、小型プレスを用いた高温高压その場 X 線マイクロ CT 測定により進めた。CT 用プレスは最大荷重 80 トンで、トロイダル型対向アンビルを使用する(図 1)。これにより試料の上下方向にも広い視野を確保できる。CMOS カメラで X 線透過像を検出し、プレスを回転させて CT 測定を行った。またフラットパネル検出器で X 線回折測定を行った。

この装置を用いて、微惑星内部の固体マントルと鉄合金メルトの共存状態を再現して CT 測定を行った。再構築して得られた試料の 3 次元イメージからケイ酸塩中の鉄合金メルトの分布状態を調べた。

4. 研究成果

(1) X 線マイクロ CT 用高温高压装置の高度化

高压装置の加圧と加熱の自動化をはかり、高精度で圧力温度を制御して X 線マイクロ CT 測定を行った。プランジャーポンプを用いた加圧システムにより 0.5MPa の範囲で油圧の制御が可能となった。また直流安定化電源を用いた加熱システムを導入することにより、1W 以下の範囲で電力制御が可能となった。実際の試料の圧力と温度の制御幅はアンビルとヒーターのサイズに依存するが、概ね圧力で 0.1GPa、温度で 5K 程度の精度で制御できる。これにより、ラボで行われる通常の高圧実験と同程度の精度を持つ温度圧力制御が実現された。

(2) 高温高压 X 線マイクロ CT

マントルのケイ酸塩としてかんらん石を用いて Fe-S 合金メルトとの共存状態を調べた。圧力・温度条件を変えて固体のかんらん石中の Fe-S 合金メルトの分布を調べた。

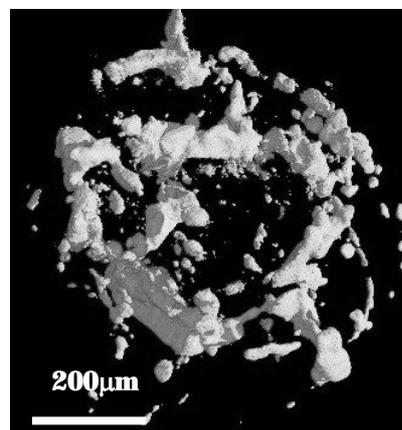


図 2 かんらん石中の Fe-S メルトのチャンネル

その結果、3GPa 以上では Fe-S メルトはかんらん石中の独立したメルトポケットに分布するが、より低圧ではメルトチャンネルが形成されていることが確認された(図 2)。微惑星内部で浸透による核形成が進行していることが、高温高压その場観察から、初めて確認された。

マントルケイ酸塩としてかんらん石と玄武岩を用いて、マントルが部分溶融した状態における Fe-S 合金メルトの状態を観察した。チャンネル形成に必要な Fe-S メルトの割合は、部分溶融状態の方が完全な固体状態の場合より高いことがわかった。界面張力の差から Fe-S メルトはケイ酸塩メルト中で孤立する傾向があるためと考えられる。この結果は、微惑星の核マントル分離プロセスに制約を与える。

SPring-8 の BL20XU では X 線 CT において 1 ミクロン程度の高い空間分解能が期待できるため、詳細な鉄合金メルトの空間分布データが得られることを期待した。しかしながら、圧力媒体による小角散乱のため、ケイ酸塩と鉄合金メルトの平衡組織の微細構造の観察に必要な解像度を得ることができなかった。高压セルを改良して圧力媒体からの小角散乱を減らすことが本質的な解決につながる。また、結像光学系を用いることにより小角散乱の影響を軽減できる可能性があり、今後、高压下の X 線 CT への応用が期待される。

(3) CT 法による吸収密度測定

X 線マイクロ CT 法と X 線吸収法とを組み合わせた金属メルトの密度の精密測定法を開発した。X 線吸収法ではランベルト・ベールの法則に基づき密度を求める。

$$I = I_0 \exp(-\mu \rho t)$$

CT 測定で得られる透過像から入射 X 線強度 I_0 と透過 X 線強度 I を、再構築した 3 次元イメージから試料長 t を見積もることにより(図 3)、密度測定が可能である。これに対し、

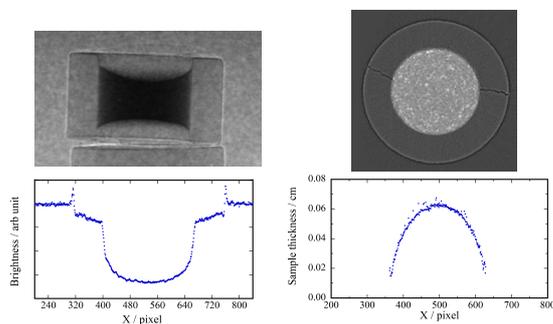


図 3 Fe-S 系試料の X 線吸収プロファイルと試料長

従来の吸収密度測定では試料の等方的圧縮を仮定して試料長を求めていた。また、CT 法では 2 次元データを用いるためデータ数が飛躍的に多くなり、精度の高い密度測定が可能となる。

Fe-S 合金メルトの密度の CT 法による測定値を図 4 に示す。約 6 GPa までの圧力で高温メルトの密度測定が可能となった。弾性波速度測定とこの密度測定法を組み合わせることにより、メルトの弾性的性質を単一の実験から調べることが可能となる。この手法が可能なのは国内外を含め SPring-8 のイメージングビームライン (BL20XU) だけであり、ここを拠点として惑星核を構成する鉄合金メルトの高压高温物性の研究が進むことが期待される。

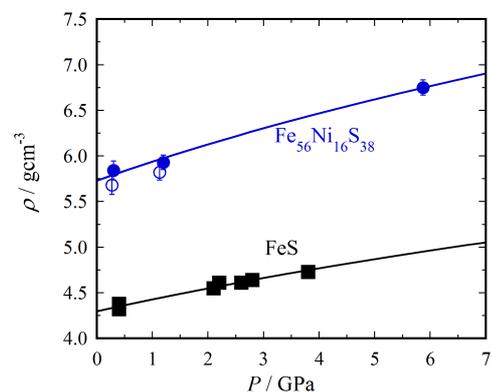


図 4 Fe-S 合金メルトの密度の圧力変化

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 22 件)

- 1) Urakawa S, Nakatsuka, A, Terasaki, H, Uesugi, K, Density measurement of Fe-Ni-S liquid using X-ray micro-CT at high pressures, SPring-8 Research Report, **3**, (in press). 査読有
- 2) Urakawa S, Terasaki, H, Uesugi, K, In situ observation of 3-D fine texture of Fe-Ni-S melt in olivine under high pressure and temperature using X-ray micro-CT, SPring-8 Research Report, **3**, (in press). 査読有
- 3) Kamada, S., Ohtani, E., Terasaki, H. et al. The sound velocity measurements of Fe3S, American Mineralogist, **99**, 98-101, 2014. 査読有 doi: 10.2138/am.2014.4463
- 4) Terasaki, H. et al. Repulsive nature for hydrogen incorporation to Fe3C up to 14 GPa, ISIJ International, **54**, 2637-2642, 2014. 査読有 doi: 10.2355/isijinternational.54.2637
- 5) Shibasaki, Y., Terasaki, H. et al., High-pressure and high-temperature phase diagram for Fe_{0.9}Ni_{0.1}-H alloy, Physics of

- the Earth and Planetary Interiors, **228**, 192-201, 2014. 査読有 doi: 10.1016/j.pepi.2013.12.013
- 6) Kamada, S., Ohtani, E., Terasaki, H. et al., Equation of state of Fe₃S at room temperature up to 2 megabars, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, **228**, 06-113. , 2014. 査読有 doi: 10.1016/j.pepi.2013.11.001
 - 7) Y. Shimoyama, H. Terasaki, E. Ohtani, S. Urakawa, Y. Takubo, K. Nishida, A. Suzuki, and Y. Katayama, Density of Fe-3.5 wt% C liquid at high pressure and temperature and the effect of carbon on the density of the molten iron, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, **224**, 77-82, 2013. 査読有 doi:10.1016/j.pepi.2013.08.003
 - 8) T. Sakamaki, A. Suzuki, E. Ohtani, H. Terasaki, S. Urakawa, Y. Katayama, K. Funakoshi, Y. Wang, J. W. Hernlund, and M. D. Ballmer, Ponded melt at the boundary between the lithosphere and asthenosphere, *Nature Geoscience*, **6**, 1041-1044, 2013. 査読有 doi:10.1038/ngeo1982
 - 9) K. Nishida, Y. Kono, H. Terasaki, S. Takahashi, M. Ishii, Y. Shimoyama, Y. Higo, K. Funakoshi, T. Irifune, E. Ohtani, Sound velocity measurements in liquid Fe-S at High pressure: Implications for Earth's and lunar cores, *Earth and Planetary Science Letters*, **362**, 182-186, 2013. 査読有 doi:10.1016/j.epsl.2012.11.042
 - 10) H. Terasaki, S. Urakawa, D.C. Rubie, K. Funakoshi, T. Sakamaki, Y. Shibasaki, S. Ozawa, and E. Ohtani, Interfacial tension of Fe-Si liquid under high pressure: Implication for liquid Fe-alloy droplet size in the magma oceans, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, **202-203**, 1-6, 2012. 査読有 doi:10.1016/j.pepi.2012.05.002
 - 11) Kamada, S, Ohtani, E, Terasaki, H., Sakai, T, Miyahara, M, Ohishi, Y, Hirao, N, Melting relationships in the Fe-Fe₃S system up to the outer core conditions, *Earth and Planetary Science Letters*, **359**, 26-33, 2012. 査読有 doi:10.1016/j.epsl.2012.09.038
 - 12) Terasaki, H., Ohtani, E, Sakai, T, Kamada, S, Asanuma, H, Shibasaki, Y, Hirao, N, Sata, N, Ohishi, Y, Sakamaki, T, Suzuki, A, Funakoshi, K. Stability of Fe-Ni hydride after the reaction between Fe-Ni alloy and hydrous phase (delta-AlOOH) up to 1.2 Mbar: Possibility of H contribution to the core density deficit, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, **194**, 18-24, 2012. 査読有 doi:10.1016/j.pepi.2012.01.002
 - 13) Sakai, T, Ohtani, E, Kamada, S, Terasaki, H., Hirao, N, Compression of Fe_{88.1}Ni_{9.1}S_{2.8} alloy up to the pressure of Earth's inner core, *Journal of Geophysical Research*, **117**, B02210, 2012. 査読有 doi:10.1029/2011JB008745
 - 14) T. Sakamaki, E. Ohtani, S. Urakawa, H. Terasaki, and Y. Katayama, Density of carbonated peridotite magma at high pressure using an X-ray absorption method, *American Mineralogist*, **96**, 553-557, 2011. 査読有 doi: 10.2138/am.2011.3577
 - 15) S. Urakawa, R. Matsubara, T. Katsura, T. Watanabe, and T. Kikegawa, Stability and bulk modulus of Ni₃S, a new nickel sulfur compound, and the melting relations of the system Ni-NiS up to 10GPa, *American Mineralogist*, **96**, 558-565, 2011. 査読有 doi: 10.2138/am.2011.3578
 - 16) K. Nishida, E. Ohtani, S. Urakawa, A. Suzuki, T. Sakamaki, H. Terasaki, and Y. Katayama, Density measurements of liquid FeS at high pressure, *American Mineralogist*, **96**, 864-868, 2011. 査読有 doi:10.2138/am.2011.3616
 - 17) A. Yamada, T. Inoue, S. Urakawa, K. Funakoshi, N. Funamori, T. Kikegawa, and T. Irifune, In situ X-ray diffraction study on pressure-induced structural changes in hydrous forsterite and enstatite melts, *Earth and Planetary Science Letters*, **308**, 115-123, 2011. 査読有 doi: 10.1016/j.epsl.2011.05.036
 - 18) Asanuma, H, Ohtani, E, Sakai, T, Terasaki, H., Kamada, S, Hirao, N, Ohishi, Y, Static compression of Fe_{0.83}Ni_{0.09}Si_{0.08} alloy to 374 GPa and Fe_{0.93}Si_{0.07} alloy to 252 GPa: Implications for the Earth's inner core, *Earth and Planetary Science Letters*, **310**, 113-118, 2011. 査読有 doi:10.1016/j.epsl.2011.06.034
 - 19) Sakai, T, Ohtani, E, Terasaki, H., Kamada, S, Hirao, N, Miyahara, M, Nishijima, M, Phase stability and compression study of (Fe-0.89, Ni-0.11)₃S up to pressure of the Earth's core, *American Mineralogist*, **96**, 1490-1494, 2011. 査読有 doi:10.2138/am.2011.3822
 - 20) Terasaki, H, Kamada, S, Sakai, T, Ohtani, E, Hirao, N, Ohishi, Y, Liquidus and solidus temperatures of a Fe-O-S alloy up to the pressures of the outer core: Implication for the thermal structure of the Earth's core, *Earth and Planetary Science Letters*, **304**, 559-564, 2011. 査読有 doi:10.1016/j.epsl.2011.02.041
 - 21) Shibasaki, Y, Ohtani, E, Terasaki, H., Tateyama, R, Sakamaki, T, Tsuchiya, T, Funakoshi, K, Effect of hydrogen on the melting temperature of FeS at high pressure: Implications for the core of Ganymede, *Earth and Planetary Science Letters*, **301**, 153-158, 2011. 査読有 doi:10.1016/j.epsl.2010.10.033
 - 22) Terasaki, H., Shibasaki, Y, Sakamaki, T, Tateyama, R, Ohtani, E, Funakoshi, K., Higo, Y, Hydrogenation of FeSi under high pressure, *American Mineralogist*, **96**, 93-99, 2011. 査読有 doi:10.2138/am.2011.3628

〔学会発表〕(計 39 件)

- 1) 寺崎英紀, 浦川 啓, 上杉 健太郎, 他, 高圧下における合金融体の音速と密度の関係, 日本地球惑星科学連合 2014 年大会, パシフィコ横浜(横浜), 平成 26 年 4 月 28 日-5 月 2 日
- 2) 岡本美宝, 浦川 啓, Experimental approach to the core-mantle boundary region of Mercury, 日本地球惑星科学連合 2014 年大会, パシフィコ横浜(横浜), 平成 26 年 4 月 28 日-5 月 2 日
- 3) 下山裕太, 寺崎英紀, 浦川 啓, 他, X 線吸収法と超音波法を併用した高圧下における Fe-C 融体の密度-弾性波同時測定, 日本地球惑星科学連合 2014 年大会, パシフィコ横浜(横浜), 平成 26 年 4 月 28 日-5 月 2 日
- 4) S. Urakawa, M. Okamoto, On the electrical conductive layer at the core mantle boundary of Mercury, The 14th Symposium of SEDI, Kanagawa (Japan), August 3-8, 2014.
- 5) 寺崎英紀, 浦川 啓, 上杉健太郎, 他, 鉄合金の音速・密度に与える軽元素の効果: 惑星外核の組成解明に向けて, 月・火星・水星内部研究会, 大阪大学(大阪), 平成 26 年 9 月 8-9 日
- 6) 下山裕太, 寺崎英紀, 浦川 啓, 他, 高圧下における鉄-炭素系融体の密度-弾性波速度同時測定と惑星外核への適用, 月・火星・水星内部研究会, 大阪大学(大阪), 平成 26 年 9 月 8-9 日
- 7) 桑原荘馬, 寺崎英紀, 浦川 啓, 上杉健太郎, 他, 超音波を用いた高圧下における Fe-Ni および Fe-Ni-C 融体の音速測定, 月・火星・水星内部研究会, 大阪大学(大阪), 平成 26 年 9 月 8-9 日
- 8) Y. Shimoyama, H. Terasaki, S. Urakawa, et al., Development of simultaneous measurement of liquid Fe-C density and sound velocity at high pressure, American Geophysical Union Fall Meeting, San Francisco (USA), December 15-19, 2014.
- 9) H. Terasaki, S. Urakawa, K. Uesugi et al., Sound velocity and density of liquid Fe-Ni-Si under pressure: Application to the composition of planetary molten core, American Geophysical Union Fall Meeting, San Francisco (USA), December 15-19, 2014.
- 10) 岸本俊八, 浦川 啓, X 線イメージングを用いた核マントル分離過程の実験的研究, 第 2 回愛媛大学先進超高压科学研究拠点(PRIUS)シンポジウム, 愛媛大学(松山), 平成 27 年 2 月 23 日
- 11) 寺崎英紀, 西田圭佑, 浦川 啓, 上杉健太郎, 他, 高圧下における合金融体の音速・密度測定, 日本地球惑星科学連合 2013 年大会, 幕張メッセ国際会議場(千葉), 平成 25 年 5 月 19-24 日
- 12) 下山裕太, 寺崎英紀, 大谷栄治, 浦川 啓, 他, 高圧下における Fe-C 融体の密度と弾性的性質へ及ぼす炭素の影響, 日本地球惑星科学連合 2013 年大会, 幕張メッセ国際会議場(千葉), 平成 25 年 5 月 19-24 日
- 13) H. Terasaki, Measurements on physical properties of liquid alloys under high pressure, Paris-Edinburgh Cell Workshop, Chicago (USA), May 23, 2013.
- 14) 田窪勇作, 寺崎英紀, 下山裕太, 浦川 啓, 他, 高温高圧下における Fe-O メルトの熱弾性特性, 第 54 回高圧討論会, 朱鷺メッセ(新潟), 平成 25 年 11 月 14-16 日
- 15) 下山裕太, 寺崎英紀, 浦川 啓, 他, Fe-C 融体の密度の組成依存性と外核への適用, 第 54 回高圧討論会, 朱鷺メッセ(新潟), 平成 25 年 11 月 14-16 日
- 16) Y. Shimoyama, H. Terasaki, S. Urakawa, et al., The effect of carbon content on density of liquid Fe-C at high pressure, International Workshop "Approach to the center of the Earth", Sendai (Japan), February 20-22, 2013.
- 17) H. Terasaki, S. Urakawa, K. Uesugi et al., The effects of pressure and temperature on sound velocity and density of Ni-S liquid, American Geophysical Union Fall Meeting, San Francisco (USA), December 9-13, 2013.
- 18) 田窪勇作, 下山裕太, 寺崎英紀, 浦川 啓, 他, X 線吸収法を用いた高温高圧下における Fe-O 融体の密度測定, 日本地球惑星科学連合 2012 年大会, 幕張メッセ国際会議場(千葉), 平成 24 年 5 月 20-25 日
- 19) 下山裕太, 大谷栄治, 寺崎英紀, 浦川 啓, 他, 高温高圧下における Fe-C 融体の密度測定, 日本地球惑星科学連合 2012 年大会, 幕張メッセ国際会議場(千葉), 平成 24 年 5 月 20-25 日
- 20) 中塚明日美, 浦川 啓, 寺崎英紀, 上杉健太郎, 西田圭佑, 舟越賢一, 火星のコアの大きさに対する実験的制約, 日本地球惑星科学連合 2012 年大会, 幕張メッセ国際会議場(千葉), 平成 24 年 5 月 20-25 日
- 21) H. Terasaki, S. Urakawa, K. Uesugi, E. Ohtani, Permeability of core-forming melt in asteroids based on in-situ X-ray tomography, G-COE Symposium 2012, Sendai (Japan), September 25-28, 2012.
- 22) Y. Shimoyama, H. Terasaki, S. Urakawa, et al., The dependence of pressure and temperature on liquid Fe-3.5wt%C density, G-COE Symposium 2012, Sendai (Japan), September 25-28, 2012.
- 23) 浦川 啓, 渡邊 了, 亀卦川卓美, 高圧

- 下における Fe-C 系メルトの X 線構造解析, 第 53 回高圧討論会, 大阪大学 (大阪), 平成 24 年 11 月 7-9 日
- 24) 下山裕太, 大谷栄治, 寺崎英紀, 浦川 啓, 他, 高温高圧下における Fe-C メルトの密度, 第 53 回高圧討論会, 大阪大学 (大阪), 平成 24 年 11 月 7-9 日
- 25) 田窪勇作, 寺崎英紀, 下山裕太, 浦川 啓, 他, 鉄融体の密度に与える酸素の効果, 第 53 回高圧討論会, 大阪大学 (大阪), 平成 24 年 11 月 7-9 日
- 26) 寺崎英紀, 西田圭佑, 浦川 啓, 他, 高温高圧下における液体の密度・音速同時測定法の開発, 第 53 回高圧討論会, 大阪大学 (大阪), 平成 24 年 11 月 7-9 日
- 27) H. Terasaki, S. Urakawa, K. Uesugi, et al., Development for sound velocity and density measurements of liquid metal at high pressure, American Geophysical Union Fall Meeting, San Francisco (USA), December 3-7, 2012.
- 28) Y. Shimoyama, H. Terasaki, S. Urakawa, et al., The effect of carbon on density of liquid Fe-C at high pressure, American Geophysical Union Fall Meeting, San Francisco (USA), December 3-7, 2012.
- 29) Y. Takubo, H. Terasaki, S. Urakawa et al., The effect of oxygen on density of liquid iron at high pressure, American Geophysical Union Fall Meeting, San Francisco (USA), December 3-7, 2012.
- 30) 中塚明日美, 浦川 啓, 寺崎英紀, 上杉健太郎, 舟越賢一, X 線マイクロトモグラフィを用いた吸収法による高圧密度測定技術の開発, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会, 幕張メッセ国際会議場 (千葉), 平成 23 年 5 月 22-27 日
- 31) 浦川 啓, 中塚明日美, 寺崎英紀, 他, 高圧下における鉄メルトの密度と構造, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会, 幕張メッセ国際会議場 (千葉), 平成 23 年 5 月 22-27 日
- 32) 立山隆二, 寺崎英紀, 浦川 啓, 他 X 線吸収法による Fe-Si 合金融体の密度測定, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会, 幕張メッセ国際会議場 (千葉), 平成 23 年 5 月 22-27 日
- 33) 中塚明日美, 浦川 啓, 寺崎英紀, 上杉健太郎, 舟越賢一, X 線マイクロ CT を用いた吸収密度測定, 鉱物科学会 2011 年年会, 茨城大学 (水戸), 平成 23 年 9 月 9-11 日
- 34) 寺崎英紀, 浦川 啓, 高温高圧 CT 測定による Fe-Ni-S 融体の浸透特性に対する圧力・組成の効果, 第 52 回高圧討論会, 沖縄キリスト教学院 (沖縄), 平成 23 年 11 月 9-11 日
- 35) S. Urakawa, H. Terasaki et al., Density measurement of liquid Fe, 49th EHPRG international Conference, Budapest (Hungary), August 28- September 2, 2011.
- 36) S. Urakawa, H. Terasaki, et al., Structure of pure liquid Fe at high pressure based on in-situ X-ray observation, American Geophysical Union Fall Meeting, San Francisco (USA), December 5-9, 2011.
- 37) H. Terasaki, S. Urakawa, K. Uesugi, A. Nakatsuka, K. Funakoshi, E. Ohtani, Boundary pressure of inter-connection of Fe-Ni-S melt in olivine based on in-situ X-ray tomography: Implication to core formation in asteroids, American Geophysical Union Fall Meeting, San Francisco (USA), December 5-9, 2011.
- 38) S. Urakawa et al., Structure of liquid iron at high pressures, Joint Symposium of Misasa-2012 and Geofluid-2, Misasa (Japan), March 18-21, 2012.
- 39) H. Terasaki, S. Urakawa, K. Funakoshi et al., Droplet size of liquid Fe-alloy in terrestrial magma ocean, Joint Symposium of Misasa-2012 and Geofluid-2, Misasa (Japan), March 18-21, 2012.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

浦川 啓 (URAKAWA Satoru)
岡山大学・大学院自然科学研究科・教授
研究者番号: 30201958

(2) 研究分担者

寺崎英紀 (TERASAKI Hidenori)
大阪大学・大学院理学研究科・准教授
研究者番号: 50374898

(3) 連携研究者

舟越賢一 (FUNAKOSHI Ken-ichi)
総合科学研究機構・東海事業センター・利用推進部・次長
研究者番号: 30344394

(4) 連携研究者

上杉健太郎 (UESUGI Kentaro)
高輝度光科学研究センター・研究員
研究者番号: 80344399

(5) 連携研究者

はしもとじょーじ (HASHIMOTO George)
岡山大学・大学院自然科学研究科・准教授
研究者番号: 10372658