

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 6 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26610141

研究課題名(和文)大型レーザーを用いた重力不安定性の実験的研究：初期地球分化への応用

研究課題名(英文) Experimental study of gravitational instability using high power laser: Implication to early Earth differentiation

研究代表者

寺崎 英紀 (Terasaki, Hidenori)

大阪大学・理学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：50374898

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：地球型惑星の重力不安定による核/マントル分離様式を解明することを目的として、本研究では高温高圧下における鉄合金融体の重力不安定性その場観察を行った。実験は鉄合金試料箔に大型レーザーを用いて重力を付加し、重力不安定による鉄試料の表面擾乱の時間変化をX線透過像から測定した。この結果、鉄合金試料は時間と共に表面擾乱が成長していることがわかった。さらに軽元素やケイ酸塩膜の有無により擾乱成長率に変化が生ずることが明らかとなった。本課題によって鉄合金融体の重力不安定による擾乱成長を初めてその場観察することに成功した。これより中心核形成過程およびタイムスケールに関する重要な知見を得ることが出来た。

研究成果の概要(英文)：In order to clarify the core/mantle differentiation process controlled by gravitational instability, we have carried out in situ observation of gravitational instability of Fe-alloy under high pressure and temperature. By adding gravity to the sample using high power laser (GEKKO-XII), a surface perturbation of the sample was measured based on X-ray absorption imaging. It is found that an amplitude of the perturbation increased with time and that growth rate of the perturbation changed depending on the sample composition and existence of silicate layer on the sample. In this study, we successfully measured the perturbation growth of Fe-alloy samples caused by gravitational instability. The obtained results give us important information regarding terrestrial core formation mechanism and its time scale.

研究分野：高圧地球科学

キーワード：惑星核形成 重力不安定 鉄合金 レーザー衝撃実験 核-マントル分離

### 1. 研究開始当初の背景

地球型惑星の中心核形成過程は、核を構成する鉄合金とマントルを構成する珪酸塩鉱物間の分離様式が鍵となる。この核とマントルとの分離様式(中心核形成メカニズム)は、主に下記の2つの領域での分離が進行すると考えられる。

(I) 惑星表面からある程度の深さ領域では惑星集積による熱エネルギーで、表層から大規模な全溶融状態(マグマオーシャン)が形成される。マグマオーシャン中では鉄合金は珪酸塩メルトの中を密度差によりスムーズに沈降する。

(II) マグマオーシャンより下部では、沈降した鉄合金は界面張力が大きいため、マグマオーシャン底の固体マントル上部へ溜まる[e.g., Terasaki et al. 2007, 2008]。密度の大きい鉄合金が軽い固体マントル上に溜まると、重力不安定により鉄合金と珪酸塩間の界面擾乱が成長し、核物質とマントル物質入れ替わるオーバーターンが起こり、これが核形成の主要メカニズムと考えられている。

ここで(II)の重力不安定による核形成は、これまでに多くの計算シミュレーションや室内のアナログ物質を用いて、このプロセスが提唱されてきた[e.g., Honda et al. 1993, Ricard et al. 2008]。しかしながら実際の鉄合金と珪酸塩物質を用いて行われた実験例はこれまでになく、実際の核形成時の条件である高温高压下で行われた研究例も皆無であり、このプロセスの実験的検証が切望されてきた。

### 2. 研究の目的

本研究では実際の鉄合金を用いて、高温高压条件下での重力不安定性を観察することで、鉄合金の分離様式、移動速度を実測することを目指す。レーザー照射による試料の加速の反動によって重力を付加し、その際の重力不安定現象をその場観察する。これらの情報は、実験的に解明されておらず、これまでの重力不安定による核形成の理論研究の検証を行う点で非常に大きな意義を持つ。

高压プレスやダイヤモンドアンビルセルなどの静的圧縮装置を用いて、高压状態にある混合液体のダイナミクス、特に重力不安定性を直接観測することは現状では非常に困難である。一方レーザーによる動的圧縮法では、これまでにプラズマ科学の分野において、主にレーザー核融合で使用される物質に対しての重力不安定性に関する実験が多数行われ報告されてきた(e.g., Sakaiya et al. 2002)。そこで本研究ではこの技術を地球科学物質に応用して、鉄合金・珪酸塩についての重力不安定性による分離様式の観察を行う。試料界面の重力不安定による擾乱を実際に観察して、分離の成長速度を求め、核マントルの分離速度に制約を与える事を目的とする。

### 3. 研究の方法

本研究では鉄合金試料表面に予め凹凸(擾乱)を付加して、レーザーアブレーションによる試料の加速の反動によって重力場を生成し、その界面で発生するレイリー・テイラー不安定性成長の観測を行った。実験は大阪大学レーザーエネルギー研究センター設置の大型レーザー激光 XII 号を用いて行った。以下に項目毎にその詳細を示す。

#### <試料>

試料には厚み 5-20  $\mu\text{m}$  の純鉄の箔およびアーク炉で合成した Fe-Si10wt% の合金を 10-20  $\mu\text{m}$  の厚みまで調整した箔を用いた。鉄箔および鉄合金試料の表面にレーザー加工による初期擾乱(凹凸)を付加した。レーザー加工は、波長の強度分布を持つよう光学調整した YAG レーザーで加工する方法と微細加工レーザーによりサイン波に近い形状加工する方法の2種類の方法を用いておこなった。加工した試料箔表面の擾乱の振幅や波長は、0.1 nm の深さ分解能を持つレーザー顕微鏡(VK-X100, キーエンス)を用いて精密測定した。

初期擾乱の振幅(0.8-5.1  $\mu\text{m}$ )や波長(20-80  $\mu\text{m}$ )を様々に変化させた試料を用い、X線透過像の観察への最適化を行った。

また一部の試料には鉄試料表面にケイ酸塩膜(フォルステライト、 $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ )を RF スパッタ装置にて蒸着し、測定を行った。

#### <その場観察実験>

実験測定は下記の3種類の測定を実施した。

1. 試料正面からの擾乱振幅の時間変化観察  
ドライブレーザー照射方向の対向に X 線ストリークカメラを設置し、付加される重力方向と同じ向きから透過 X 線による測定を行った。この測定により透過 X 線強度変化から擾乱振幅の時間変化を求めることが可能となる。さらに擾乱成長をできるだけ長い時間スケールで観察するため、3本のドライブレーザーおよび2本の X 線発生用レーザーに遅延をかけて実験時間と測定時間を延ばす試みを行った。レーザー条件はすべての実験で同じ条件で行い、また X 線発生用試料には Ti ターゲットを使用した。

#### 2. 試料側面の擾乱形状の観察

ドライブレーザーを試料の擾乱正面から照射し、同時に Ti ターゲットから X 線を発生させ、付加重力と直交方向から X 線を照射し、X 線フレーミングカメラで試料側面の界面形状を X 線イメージで観察した。

#### 3. 試料の加速軌跡測定

実験圧力条件を求めるために、上記と同じ条件で試料の加速軌跡の測定(重力測定)も行った。ドライブレーザーにより加速された試料の加速軌跡を試料側面方向から X 線ストリークカメラで測定し重力評価を行った。さらに同時にストリークカメラ観測用カソードの感度分布についても検証を行った。

以上の3種類の測定から観察される界面擾乱形状と振幅の時間変化から、重力不安定による擾乱の成長速度を求めた。

#### 4. 研究成果

まずフレーミングカメラを用いた試料側面からの形状観察実験では、試料像が得られるまでの装置設定などタイミングを同期させるのに手間取ったが、試料側面からのX線像観察を得られるまでに至った。しかし側面からの像観察(擾乱振幅の直接測定)において試料表面状態、形状の有意な時間変化は確認できなかった。またX線ストリークカメラを用いた試料正面からの試料擾乱時間変化測定では、明瞭な試料表面の擾乱に伴うX線吸収コントラストを観察でき、得られた擾乱形状の分布も初期形状に対応させることができた。透過X線強度データを元に見積もった試料表面擾乱の振幅は初期擾乱振幅とほぼ同程度で、測定時間内においてこの振幅は時間に依存せずにはほぼ一定となった。この測定より擾乱成長速度が想定していた値よりかなり遅い結果が得られた。すなわち金属鉄においては擾乱の成長速度は、非常に遅い可能性があることがわかった。

この実験をふまえ、擾乱成長をできるため長い時間スケールで観察するため、2本のX線発生用レーザーに遅延をかけて測定時間を延ばす試みを行った。これにより遅延をかけていない場合と比較して1.5-2倍程度長いタイムスケールでの観測が可能となった。

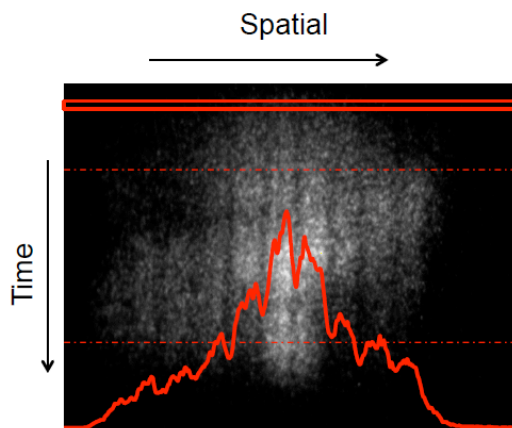


Fig. 1. X-ray radiography image of Fe sample. Bright and dark correspond to high and low intensities of transmitted X-ray, respectively. Red profile denotes intensity profile of solid red rectangle

Fig. 1にFe試料の透過X線画像を示す。これより擾乱に対応する明瞭な縞状のコントラストを確認することができる。表面擾乱の溝部分が透過X線強度の大きい部分、突起部分が透過X線強度の小さい部分に対応する。

擾乱振幅が変化すれば、画像のコントラストにも変化が現れることとなる。本課題での初期擾乱の波長・振幅の最適化により、画像解析を行うに当たってもより明確に擾乱判定を行うことが可能となった。

Fe試料については、画像の解析の結果、X線透過強度比が時間と共に単調に増加する傾向が見られた(Fig. 2)。これはすなわち突起と溝間の振幅が大きくなり擾乱が時間と共に成長していることを示している。最終的に2 nsの時間差において1.7倍ほど透過強度比が増加したことがわかった。

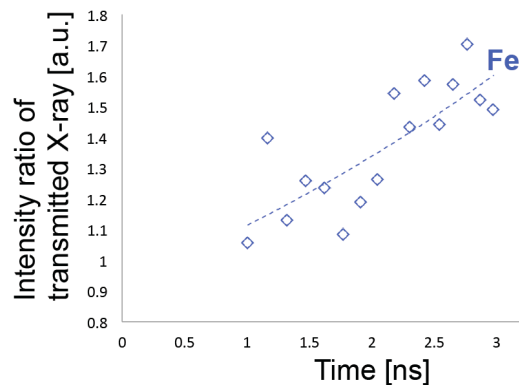


Fig. 2. Intensity ratio of transmitted X-rays between peak and valley areas on the Fe sample as a function of time.

一方、Feの擾乱表面に $Mg_2SiO_4$ 膜を蒸着した試料では、同じ2 nsの時間で、透過強度比の変化は非常に小さく、擾乱成長が抑えられていることがわかった。一般にレイリー・テイラー型重力不安定性において、試料の表面張力や粘性の効果を考えない場合、初期の線形成長領域では、擾乱の成長率は試料2相の密度差と擾乱波数および重力のみに依存する。このため $Mg_2SiO_4$ 膜がある場合、膜がない場合と比べ、Fe試料との密度差が小さくなるため、成長率が小さくなり、その結果透過強度の時間変化も小さくなったものと考えられる。以上の結果から、Fe試料について、高温高圧下でのレイリー・テイラー型重力不安定による擾乱成長を観察することができ、珪酸塩膜の効果も調べることができた。

またFe-10wt%Si試料を用いた測定においても擾乱振幅が時間と共に増加する結果が得られ、擾乱が時間と共に成長していることがわかった。Siを含む試料は、Fe試料に比べて擾乱振幅の時間変化が大きいことが明らかとなった。このことは核形成のタイムスケールの軽元素の影響を考える上で非常に興味深い結果である。さらにFe-10wt%Si表面にケイ酸塩(Fe)蒸着膜を施した試料では、蒸着膜がない場合と比べ擾乱の成長は抑えられており、Fe試料の結果と整合的な結果が

得られた。

以上の結果により、Fe および Fe-Si 合金試料の高温高圧下における重力不安定による擾乱成長を初めてその場観察することに成功した。軽元素の有無やケイ酸塩膜の有無により Fe 擾乱の成長率に変化が生ずることが明らかとなった。以上の結果は、核形成タイムスケールを制約する上で極めて重要な知見である。本課題の結果については、現在国際学術雑誌へ投稿準備中である。

#### 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 8 件)

1. Kuwabara, S., H. Terasaki, K. Nishida, Y. Shimoyama, Y. Takubo, Y. Higo, Y. Shibazaki, S. Urakawa, K. Uesugi, A. Takeuchi, T. Kondo, Sound velocity and elastic properties of Fe-Ni and Fe-Ni-C liquids at high pressure, *Physics and Chemistry of Minerals*, 43, 229-236, 2016.
2. Shibazaki, Y., K. Nishida, Y. Higo, M. Igarashi, M. Tahara, T. Sakamaki, H. Terasaki, Y. Shimoyama, S. Kuwabara, Y. Takubo, E. Ohtani, Compressional and shear wave velocities for polycrystalline bcc-Fe up to 6.3 GPa and 800 K, *American Mineralogist*, in press, 2016.
3. Shigemori, K., H. Kato, M. Nakai, R. Hosogi, T. Sakaiya, H. Terasaki, S. Fujioka, A. Sunahara, H. Azechi, Mitigation of Laser Imprinting with Diamond Ablator for Direct-Drive Inertial Confinement Fusion Targets, *Journal of Physics: Conference Series*, 688, 12107, 2016.
4. Takubo Y., H. Terasaki, Y. Shimoyama, S. Kuwabara, S. Urakawa, T. Kondo, A. Suzuki, K. Nishida, E. Ohtani, T. Watanuki, Y. Katayama, Density and Thermoelastic Properties of Liquid Fe-FeO at High Pressure, *SPRING-8 Section A: Scientific Research Report*, Vol. 4, No.1, 53-57, 2016.
5. Terasaki, H., Y. Shibazaki, K. Nishida, R. Tateyama, S. Takahashi, M. Ishii, Y. Shimoyama, E. Ohtani, K. Funakoshi, Y. Higo, Repulsive nature for hydrogen incorporation to Fe<sub>3</sub>C up to 14 GPa, *ISIJ international*, 54, 11, 2637-2642, 2014.
6. Shibazaki, Y., H. Terasaki, E. Ohtani, R. Tateyama, K. Nishida, K. Funakoshi, Y. Higo, High-pressure and high-temperature phase diagram for Fe<sub>0.9</sub>Ni<sub>0.1</sub>-H alloy, *Physics of Earth and Planetary Interiors*, 228, 192-201, 2014.

7. Kamada S., E. Ohtani, H. Terasaki, T. Sakai, S. Takahashi, N. Hirao, Y. Ohishi, Equation of state of Fe<sub>3</sub>S at room temperature up to 2 Megabars, *Physics of Earth and Planetary Interiors*, in press, 2014.
8. Kamada, S., E. Ohtani, H. Fukui, T. Sakai, H. Terasaki, S. Takahashi, Y. Shibazaki, S. Tsutsui, A.Q. Baron, N. Hirao, Y. Ohishi, The sound velocity measurements of Fe<sub>3</sub>S, *American Mineralogist*, 99, 98-101, 2014.

[学会発表] (計 36 件)

1. Kuwabara Soma, Terasaki Hidenori, Shimoyama Yuta, Nishida Keisuke, Higo Yuji, Takubo Yusaku, Shibazaki Yuki, Tahara Masaki, Igarashi Mako, Sakamaki Tatsuya, Tange Yoshinori, Kondo Tadashi, The effect of Ni and C on sound velocity of liquid Fe at high pressure, 日本地球惑星科学連合 2015 年大会, 2015 年 5 月 24-28 日、幕張メッセ、千葉
2. 境家 達弘, 細木 亮太, 近藤 忠, 寺崎 英紀, 重森 啓介, 弘中 陽一郎, 地球核条件下にレーザー衝撃圧縮された Fe-Si 合金の音速、日本地球惑星科学連合 2015 年大会, 2015 年 5 月 24-28 日、幕張メッセ、千葉
3. 柴崎 裕樹, 西田 圭佑, 肥後 祐司, 五十嵐 愛子, 田原 政紀, 坂巻 竜也, 寺崎 英紀, 下山 裕太, 桑原 荘馬, 田窪 勇作, 大谷 栄治、Sound velocity measurements of solid iron under high pressure and high temperature using an ultrasonic method、日本地球惑星科学連合 2015 年大会, 2015 年 5 月 24-28 日、幕張メッセ、千葉
4. Hidenori Terasaki, Yuta Shimoyama, Soma Kuwabara, Yusaku Takubo, Satoru Urakawa, Shun-pachi Kishimoto, Tetsu Watanuki, Akihiko Machida, Yoshinori Katayama, Tadashi Kondo, Sho Sasaki, Density and sound velocity of liquid Fe-alloys under high pressure: Implication for Mercury core, Messenger-BepiColombo Joint Science Meeting, 2016/6/16-18, Berlin, Germany.
5. Hidenori Terasaki, Yuta Shimoyama, Yusaku Takubo, Soma Kuwabara, Keisuke Nishida, Yuji Higo, Satoru Urakawa, Shunpachi Kishimoto, Yuki Shibazaki, Tatsuya Sakamaki, Masaki Tahara, Mako Igarashi, Tetsu Watanuki, Akihiko Machida, Yoshinori Tange, Yoshinori Katayama, Tadashi Kondo, Development

- of sound velocity and density measurement for liquid Fe-alloys using multi-anvil apparatus up to 11 GPa, Joint AIRAPT-25 & EHPRG-53 (International conference on High pressure science and technology), 2015/8/30-9/4, Madrid, Spain.
6. Yusaku Takubo, Hidenori Terasaki, Tadashi Kondo, Shingo Mitai, Takumi Kikegawa, Density measurement of indium using X-ray imaging absorption combined with external heated diamond anvil cell, Joint AIRAPT-25 & EHPRG-53 (International conference on High pressure science and technology), 2015/8/30-9/4, Madrid, Spain.
  7. 寺崎 英紀, 桑原 莊馬, 下山 裕太, 西田 圭佑, 肥後 祐司, 田窪 勇作, 柴崎 裕樹, 浦川 啓, 近藤 忠, Fe-Ni および Fe-Ni-C 融体の音速の圧力依存性, 日本高压討論会, 2015 年 11 月 10-12 日, 広島
  8. 浦川 啓, 寺崎英紀, 桑原莊馬, 田窪勇作, 下山裕太, 岸本俊八, X線マイクロCT を用いた高压下の液体物性測定, 日本高压討論会, 2015 年 11 月 10-12 日, 広島
  9. Seiji Kamada, Takanori Sakairi, Akihiro Takahata, Kota Kobayashi, Hiroto Takada, Suguru Takahashi, Hidenori Terasaki, Eiji Ohtani, Naohisa Hirao, Yasuo Ohishi, Melting relationships of the Fe-light element systems under high pressures, 日本高压討論会, 2015 年 11 月 10-12 日, 広島
  10. 田窪勇作, 寺崎英紀, 近藤忠, 三田井慎吾, 亀卦川卓美, 外熱式 DAC を用いた X 線イメージング吸収法による In の密度測定, 日本高压討論会, 2015 年 11 月 10-12 日, 広島
  11. 下山裕太, 寺崎英紀, 浦川啓, 田窪勇作, 岸本俊八, 近藤忠, 綿貫徹, 片山芳則, Fe-C 系融体の密度-音速 同時測定による熱弾性的性質 の解明, 日本高压討論会, 2015 年 11 月 10-12 日, 広島
  12. 三田井慎吾, 近藤忠, 田窪勇作, 寺崎英紀, 山下智也, 亀卦川卓美, 高温高压下における Fe-S-O-H 系の反応関係, 日本高压討論会, 2015 年 11 月 10-12 日, 広島
  13. 柴崎 裕樹, 西田 圭佑, 肥後 祐司, 五十嵐 愛子, 田原 政紀, 坂巻 竜也, 寺崎 英紀, 下山 裕太, 田窪 勇作, 桑原 莊馬, 大谷 栄治, 超音波法を用いた高温高压下での固体鉄の弾性波速度・密度測定, 日本高压討論会, 2015 年 11 月 10-12 日, 広島
  14. Hidenori Terasaki, Soma Kuwabara, Keisuke Nishida, Yuta Shimoyama, Yusaku Takubo, Yuji Higo, Yuki Shibazaki, Satoru Urakawa, Tadashi Kondo, The effects of pressure and alloying Ni and C on sound velocity of liquid Fe-alloys, American Geophysical Union 2015 Fall meeting, 2015/12/14-18, San Francisco, USA.
  15. Yuta Shimoyama, Hidenori Terasaki, Satoru Urakawa, Yusaku Takubo, Tetsu Watanuki, Yoshinori Katayama, Tadashi Kondo, Thermal elastic properties of liquid Fe-C at high pressure, American Geophysical Union 2015 Fall meeting, 2015/12/14-18, San Francisco, USA.
  16. Terasaki, H., K. Nishida, S. Urakawa, S. Kuwabara, Y. Shimoyama, Y. Takubo, K. Uesugi, A. Takeuchi, Y. Suzuki, Y. Kono, Y. Higo, Y. Katayama, T. Watanuki, T. Kondo, Relationship between sound velocity and density of liquid alloys under pressure, 日本地球惑星科学連合 2014 年大会, 4/28-5/2, 2014, パシフィコ横浜、横浜.
  17. Y. Shimoyama, H. Terasaki, Y. Takubo, S. Urakawa, S. Kuwabara, Y. Katayama, Simultaneous measurement of liquid Fe-C density and sound velocity at high pressure, 日本地球惑星科学連合 2014 年大会, 4/28-5/2, 2014, パシフィコ横浜、横浜.
  18. R. Hosogi, N. Yokoyama, T. Sakaiya, T. Kondo, H. Terasaki, K. Shigemori, Y. Hironaka, Sound velocity and density measurement of liquid FeSi alloy by laser-shock compression, 日本地球惑星科学連合 2014 年大会, 4/28-5/2, 2014, パシフィコ横浜、横浜.
  19. T. Sakaiya, N. Yokoyama, R. Hosogi, T. Kondo, H. Terasaki, K. Shigemori, Y. Hironaka, Sound velocities of laser-shocked Fe-Ni alloys under Earth core conditions, 日本地球惑星科学連合 2014 年大会, 4/28-5/2, 2014, パシフィコ横浜、横浜.
  20. 寺崎英紀, 桑原莊馬, 下山裕太, 田窪勇作, 浦川啓, 西田圭佑, 鈴木芳生, 竹内晃久, 上杉健太郎, 肥後祐司, 片山芳則, 近藤忠, 鉄合金融体の音速・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, 9/8-9, 2014, 大阪大学、大阪.
  21. 西田圭佑, 寺崎英紀, 鈴木昭夫, 若林大佑, 柴崎裕樹, 桑原莊馬, 下山裕太, 肥後祐司, 船守展正, 高温高压下における Fe-S メルトの音速測定精度の現状, 月・火星・水星内部研究会, 9/8-9, 2014, 大阪大学、大阪.
  22. 柴崎裕樹, 大谷栄治, 寺崎英紀, Yingwei Fei, 肥後祐司, 高压下での Fe-S-H 系融点測定から探る火星核, 月・火星・水星

- 内部研究会, 9/8-9, 2014, 大阪大学、大阪.
23. 近藤忠、山下智也、吉田祐基、寺崎英紀、亀卦川卓美, 惑星核中の水素について, 月・火星・水星内部研究会, 9/8-9, 2014, 大阪大学、大阪.
  24. 鎌田誠司, 大谷栄治, 平尾直久, 鈴木那奈美, 寺崎英紀, 高橋豪, 福井宏之, 浜田麻希, Baron A. Q., 増田亮, 三井隆也, 大石泰生, 高圧力下での Fe<sub>3</sub>S の磁性的弾性的特徴: 地球型惑星核への応用, 月・火星・水星内部研究会, 9/8-9, 2014, 大阪大学、大阪.
  25. 境家達弘、横山直也、細木亮太、近藤忠、寺崎英紀、弘中陽一郎、重森啓介, 惑星深部条件における鉄合金の音速と密度 月・火星・水星内部研究会, 9/8-9, 2014, 大阪大学、大阪.
  26. 下山裕太、寺崎英紀、浦川啓、桑原荘馬、田窪勇作, 高圧下における鉄-炭素系融体の密度-弾性波同時測定と惑星外核への適用, 月・火星・水星内部研究会, 9/8-9, 2014, 大阪大学、大阪.
  27. 桑原荘馬、寺崎英紀、西田圭佑、下山裕太、肥後祐司、田窪勇作、浦川啓、鈴木芳生、竹内晃久、上杉健太郎、近藤忠, 超音波法を用いた高圧下における Fe-Ni 及び Fe-Ni-C 融体の音速測定, 月・火星・水星内部研究会, 9/8-9, 2014, 大阪大学、大阪.
  28. 細木亮太、境家達弘、横山直也、近藤忠、寺崎英紀、重森啓介、弘中陽一郎, レーザー衝撃圧縮法による FeSi 融体の音速密度測定, 月・火星・水星内部研究会, 9/8-9, 2014, 大阪大学、大阪.
  29. 高橋豪, 大谷栄治, 寺崎英紀, 伊藤嘉紀, 柴崎裕樹, 石井美帆, 舟越賢一, 肥後祐司, 高温高圧下における過剰炭素が存在する C-Mg-Fe-Si-O 系の相平衡・融解関係: 月サイズ天体内部への応用, 月・火星・水星内部研究会, 9/8-9, 2014, 大阪大学、大阪.
  30. 寺崎英紀、桑原荘馬、下山裕太、田窪勇作、浦川啓、西田圭佑、鈴木芳生、竹内晃久、上杉健太郎、肥後祐司、片山芳則、綿貫徹、近藤忠, X線 CT と超音波法を用いた合金融体の弾性特性測定, SPring-8 高圧物質科学研究会・地球惑星科学研究会合同研究会 (招待講演), 9/14, 2014, 東京大学、東京.
  31. 寺崎英紀、境家達弘、秋本耕作、細木亮太、重森啓介、加藤弘樹、近藤忠, 地球型惑星の中心核形成プロセス, 第 55 回高圧討論会(招待講演), 11/22-24, 2014, 徳島大学、徳島.
  32. 桑原荘馬、寺崎英紀、西田圭佑、下山裕太、肥後祐司、田窪勇作、浦川啓、鈴木芳生、竹内晃久、上杉健太郎、近藤忠, 超音波法及び X線 CT を用いた高圧下における Fe-Ni-C 及び Fe-Ni 融体の音速、密

- 度の同時測定, 第 55 回高圧討論会, 11/22-24, 2014, 徳島大学、徳島.
33. 細木亮太、境家達弘、横山直也、近藤忠、寺崎英紀、重森啓介、弘中陽一郎, レーザー衝撃圧縮法による FeSi 融体中を伝わる音速の測定, 第 55 回高圧討論会, 11/22-24, 2014, 徳島大学、徳島.
  34. 重森啓介、加藤弘樹、中井光男、境家達弘、寺崎英紀、弘中陽一郎、藤岡慎介、砂原淳、清水克哉、畦地宏, 物質の硬さに着目したレーザー核融合ターゲットの設計, 第 55 回高圧討論会, 11/22-24, 2014, 徳島大学、徳島.
  35. Terasaki, H., S. Kuwabara, Y. Shimoyama, Y. Takubo, S. Urakawa, K. Nishida, A. Takeuchi, Y. Suzuki, K. Uesugi, Y. Higo, T. Watanuki, Y. Katayama, T. Kondo, Sound velocity and density of liquid Fe-Ni-Si under pressure: Application to the composition of planetary molten core, AGU Fall Meeting, 12/15-19, 2014, San Francisco, USA.
  36. Y. Shimoyama, H. Terasaki, Y. Takubo, S. Urakawa, S. Kuwabara, Y. Katayama, Simultaneous measurement of density and sound velocity of liquid Fe-C at high pressure, AGU Fall Meeting, 12/15-19, 2014, San Francisco, USA.

[図書] (計 1 件)

1. Terasaki, H., Physical properties of the outer core, In *Deep Earth: Physics and Chemistry of the Lower Mantle and Core* (Eds. H. Terasaki, R. Fischer), AGU monograph series, AGU/Wiley, ISBN: 978-1-118-99247-0, 312 pages, 2016.

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

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

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者

境家 達弘 (SAKAIYA, Tatsuhiko)

大阪大学・大学院理学研究科・助教

研究者番号: 60452421