

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：15301

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2012～2015

課題番号：24684038

研究課題名(和文)地球中心核条件における鉄の融点測定

研究課題名(英文)Melting temperature determination in the Earth's core conditions

研究代表者

館野 繁彦(Tateno, Shigehiko)

岡山大学・地球物質科学研究センター・准教授

研究者番号：30572903

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 18,500,000円

研究成果の概要(和文)：純鉄、鉄-ケイ素系、鉄-硫黄系における融点および相平衡関係を200GPaを超える圧力領域において決定した。レーザー加熱ダイヤモンドアンビルセルによる高温高压実験を行い、放射光X線を用いた高温高压下その場観察に加え、回収試料の化学分析に基づき各試料の融点が決定された。得られた融解曲線から内核外核境界の温度が議論された。

研究成果の概要(英文)：Phase relations were investigated for Fe, Fe-Si, and Fe-S systems over 200 GPa. High-pressure and -temperature experiments were performed by laser-heated diamond anvil-cell technique. Presence/absence of melting upon heating was determined by a combination of in-situ and ex-situ analysis of synchrotron X-ray and chemical analysis on a recovered sample. Obtained melting curve of core materials tightly constrained the inner-core/outer-core boundary temperature of the present Earth.

研究分野：実験岩石学

キーワード：地球中心核 高温高压実験 ダイヤモンドアンビルセル

1. 研究開始当初の背景

地球中心核は、液体鉄からなる外核と固体鉄からなる内核で構成されている。核のダイナミクスを議論する上で決定的に足りない情報は超高压下における鉄の融解曲線である。外核内核境界(329GPa)における鉄の融点はその場所の温度を直接与え、融解曲線の傾きは内核の成長速度などのダイナミクスに関する議論を可能にする。また同時に核に含まれる軽元素の効果を検討する必要があった。鉄、鉄軽元素合金いずれの融解曲線についても 200GPa を超える実験結果はなく、100GPa 以上の外挿が必要であった。さらに既報の融解曲線においても一致した結果が得られておらず、外核内核境界における鉄の融点は 4800-6200K と不確実性が大きかった。

2. 研究の目的

先行研究で到達されていなかった圧力まで実験を拡大し、外挿に頼らず鉄および鉄合金の融点を決定する。融点決定において最も重要な融解判定についても、実験回収試料の分析に基づいた手法を提案する。以上より得られる融解曲線から外核内核境界における鉄および鉄合金の融点を制約する。

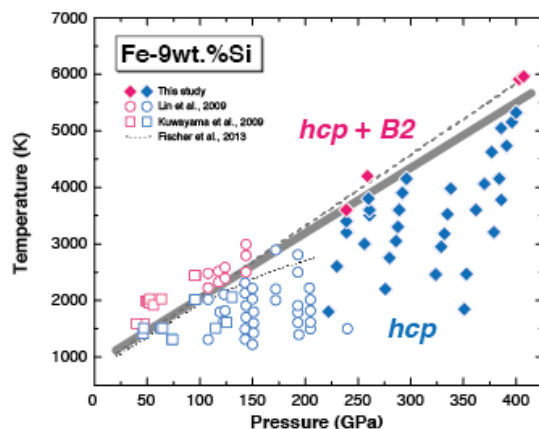
3. 研究の方法

レーザー加熱ダイヤモンドアンビルセルを用いて鉄および鉄軽元素合金の融解曲線を決定する。この際に用いる融解の判定基準についてはX線回折による液体からの散漫散乱の出現、固体回折線の消失に加えて、実験回収試料の微細組織観察に基づく。また同時に固相および融解相平衡関係も決定する。放射光実験は大型放射光施設 SPring-8 および欧州シンクロトロン放射光研究所(ESRF)において行った。また回収試料はイオンミリングおよび収束イオンビーム装置を用いて加工され、FE-SEM および FE-EPMA により観察および組成分析が行われた。

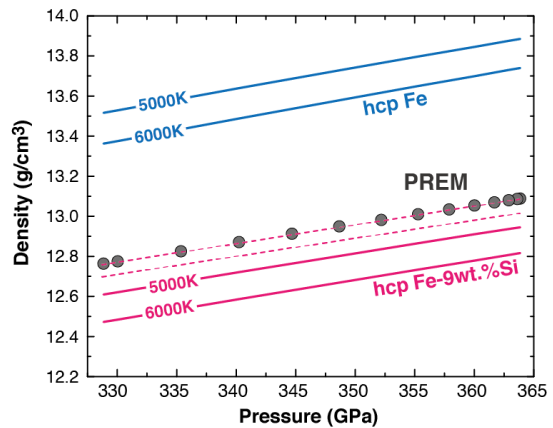
4. 研究成果

(1)鉄-ケイ素系状態図

Fe-9wt%Si 合金について、410GPa, 5900K まで高温高压下におけるその場 X 線観察を行った。地球内核条件ではこの量のケイ素は全て



六方最密充填構造に溶け込みうるものが明らかになった。実験温度範囲内では、X線回折測定の結果は液体に特徴的なパターン(液体からの散漫散乱の出現、固体回折線の消失、急激な粒成長)を示さなかった。このことから内核外核境界における融点は 5000K 以上であると制約された。また、構築した状態方程式から内核に含まれるケイ素量の上限は 7wt% と制約された。

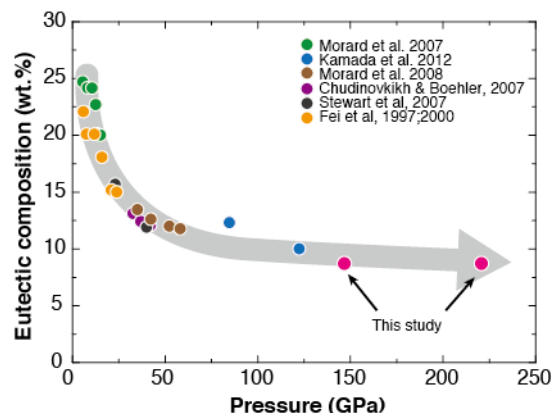


(2)鉄の融解実験

54GPa から 210GPa まで実験を行い、全ての回収試料について収束イオンビーム装置を用いて断面観察を行った。チャネリングコントラスト、圧力媒体への鉄の侵入など、融解の有無をこの分析により判定することができた。これに基づき得られた融解曲線によると内核外核境界における鉄の融点は 5500K であると制約された。

(3)鉄-硫黄系状態図

鉄に 8.7wt%の硫黄を含む試料を用いて融解実験を行った。欧州シンクロトロン放射光研究所(ESRF)ビームライン ID27 における X 線回折実験による。実験条件は 160-240GPa であった。X 線回折および試料への入力レーザーパワーに対する温度上昇の応答から融点を決定した。240GPa では融点は 3700K であった。先行研究と合わせて構築された融解曲線により、内核外核境界における 4600K と制約された。これは純鉄の融点に比べて 1600K の著しい融点降下である。さらに回折線の消失



から共融点組成を制約した。先行研究と合わせた外挿によると、圧力とともに共融点組成は著しく減少し、内核外核境界で8wt%であると見積もられる(上図)。地震波による観測結果を満たすためには、核全体の化学組成は共融点組成よりも鉄に富んでいる必要がある。このため、核中の硫黄量の上限は8wt%と見積もられる。

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 4件)

Y. Nakajima, S. Imada, K. Hirose, T. Komabayashi, H. Ozawa, S. Tateno, S. Tsutsui, Y. Kuwayama, A. Baron (2015), Carbon depleted outer core revealed by sound velocity measurements of liquid Fe-C alloy, *Nature. Communications* 査読有, 6, 8942, doi:10.1038/ncomms9942.

S. Tateno, Y. Kuwayama, K. Hirose, Y. Ohishi (2015), The structure of Fe-Si alloy in Earth's inner core, *Earth and Planetary Science Letters* 査読有. 418, 11-19, doi:10.1016/j.epsl.2015.02.008.

S. Tateno, K. Hirose, Y. Ohishi (2014), Melting experiments on peridotite to lowermost mantle conditions, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 査読有 119, 4684-4694, doi: 10.1002/2013JB010616.

S. Tateno, K. Hirose, T. Komabayashi, H. Ozawa, Y. Ohishi (2012), The structure of Fe-Ni alloy in Earth's inner core, *Geophysical Research Letters* 査読有 39, L12305, doi: 10.1029/2012GL052103.

[学会発表](計 11件)

S. Tateno, Phase relations in the Fe-FeS system to 260 GPa, MISASA IV, 2016/3/9. プランナール三朝, 鳥取県三朝町.

館野繁彦, B2型KClのP-V-T状態方程式, 第56回高圧討論会, 2015/11/10, JMS アステールプラザ, 広島県広島市.

館野繁彦, 超高压下における鉬物-メルト間の微量元素分配, 第55回高圧討論会, 2014/11/24, 徳島大学, 徳島県徳島市.

館野繁彦, 下部マントル鉬物-メルト間の元素分配, 地球惑星科学連合大会, 2014/5/13, パシフィコ横浜, 神奈川県横浜市.

館野繁彦, 高压下におけるマントル物質の融解実験: 融解相関係と鉬物-メルト間の元素分配, 第54回高圧討論会, 2013/11/15, 朱鷺メッセ, 新潟県新潟市.

S. Tateno, Crystal structure in Earth's inner core, Workshop on Transport Properties in the Earth's Core, 2013/10/15, 若草の宿丸

栄, 山梨県富士河口湖町.

館野繁彦, ダイヤモンドアンビルセル高圧発生装置による超高压地球化学, 日本鉱物科学会年会, 2013/9/11, 筑波大学, 茨城県つくば市.

館野繁彦, Crystal structure in Earth's inner core, Pre-SEDI2013, 2013/9/28, 湘南国際村, 神奈川県葉山町.

館野繁彦, 内核の結晶構造, 地球惑星科学連合, 2013/5/24, 幕張メッセ, 千葉県幕張市.

S. Tateno, The crystal structure of Fe-Ni and Fe-Si alloys in Earth's inner core conditions, American Geophysical Union Fall Meeting, 2012/12/4, San Francisco, USA.

館野繁彦, 内核条件下における鉄ニッケル合金および鉄ケイ素合金の相平衡, 第53回高圧討論会, 2012/11/7, 大阪大学, 大阪府大阪市.

[図書](計 1件)

増本健, 金森順次郎, 馬越佑吉, 福山秀敏, 友野宏, 中島英雄, 北田正弘編(共著), 朝倉書店, 鉄の事典, 2014年, 820(93-103).

[産業財産権]

出願状況(計 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
取得年月日:
国内外の別:

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

館野 繁彦 (SHIGEHICO TATENO)

岡山大学・地球物質科学研究センター・
特任准教授 研究者番号: 30572903

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3)連携研究者 ()

研究者番号：