

岡山大学 惑星物質研究所 共同利用・共同研究 成果報告書

受入年度：2022 年度 前期

提出日： 2023 年 5 月 23 日

共同利用の種類： 国際共同利用・一般共同利用・設備共同利用・ワークショップ

課題名： 高圧下における固体鉄中の Fe 合金液体の浸透特性

共同研究員氏名： 寺崎 英紀

所属・職名： 岡山大学学術研究院環境生命自然科学学域・教授

分担者氏名： 芳野 極

分担者所属・職名： 岡山大学惑星物質研究所・教授

分担者氏名： 松原 潮李

分担者所属・職名： 岡山大学大学院自然科学研究科・M1

分担者氏名： 小林 幸太郎

分担者所属・職名： 岡山大学理学部地球科学科・学部4年生

研究報告：

研究目的

惑星や惑星の直接の材料となる微惑星の内部において、天体の冷却に伴い液体コアが固化する過程は、天体の磁場や内部ダイナミクスに影響する。コアの固化過程に関し、固体鉄粒間に液体成分が捕獲されるか否かは鉄-合金液体と固体鉄間における浸透特性に左右される。微惑星のコアとされる鉄隕石では、微量元素分析などに基づく先行研究（例えば、Wasson 1999）により、鉄合金中に Fe-S メルトが捕獲されるモデルが提唱されている。軽元素を多く含む鉄合金メルトが、固体鉄粒間に捕獲されると、内核の密度や弾性定数、コアの融点降下に大きく影響するため、コアの固化過程は重要な問題である。我々は 2021 年度の共同研究において Fe-S メルトと固体鉄間の濡れ性（二面角）を小惑星～原始惑星内部を想定した 0.5～3.0 GPa の条件で調べた。これらの条件においては二面角は濡れの閾値である 60°を下回り、液体は固体の粒界を濡らすことが明らかになった。そこで 2022 年度の共同研究では、固体鉄中の Fe-S メルトの分布と移動度合いに焦点を当て、分離過程を評価することを目的として研究を行った。

加えて、微惑星内部条件下でのコア-マントルの分離過程についても明らかにすることを目的にして、FeS メルトを Opx 層で挟んだ浸透実験を行った。これまでに明らかとなっていない Opx の初期空隙率や焼結度の影響について、初期空隙率の大きい Opx 粉末ペレットと低空隙かつ焼結された Opx 焼結体の 2 つの出発物質を使って、FeS メルトの浸透への影響を調べた。

実施内容

固体鉄中の Fe-S メルトの分布と移動度合いに関し、①Fe-S メルトの分布については、高圧実験の回収試料の X 線トモグラフィ(CT)測定を行い、固体鉄中の Fe-S メルトの 3 次元分布を調べた。②メルトの移動度合いについては、セル内に温度勾配をつけ、メルトの移動の有無を調べた。いずれも高圧実験は岡山大学惑星物質研究所のピストンシリンダー型高圧装置を使用した。P-T 条件は 1.0-3.0 GPa, 1323 K で行い、2 h または 8 h で保持をした。X 線 CT 測定はエジンバラ大学にて実施した。温度勾配のセルは、ヒーター下端付近まで試料を入れて行った。セル内の温度分布は、熱電対の縦方向の位置を変えて複数回実験を行い温度勾配を調べた。

FeS-Opx の浸透実験では、試料は FeS 粉末ペレットを Opx 粉末ペレットまたは焼結体で挟み層状に配置した。高圧実験には、ピストンシリンダー型高圧装置を使用した。温度は 1250 °C、圧力は 0.75 GPa と 2.5 GPa、保持時間は 15, 60 分で実施した。こちらの試料についても、一部で SEM 観察をおこない、一部を X 線 CT 測定をおこなって、FeS メルトの分布を調べた。

研究成果

X線 CT による Fe-S メルト分布解析の結果、1.5 GPa の試料では鉛直上方向に向かってメルトフラクションが増加する傾向にあった (図 1)。また、3.0 GPa の試料では、カプセル側面部に沿ってメルトプールが観察された (図 2)。1.5 GPa と 3.0 GPa の実験結果を踏まえると、メルトの分離速度は高压のほうが速い可能性がある。次にメルト移動を調べた実験では、高温側にメルトプールが観察され高温側へのメルト移動が示唆される。これらの得られた結果を踏まえ、今後はメルト移動の圧力による違いおよび保持時間を変えてメルトの移動速度も明らかにし、微惑星コアでのメルトの移動速度と固化の関係について解明していく予定である。

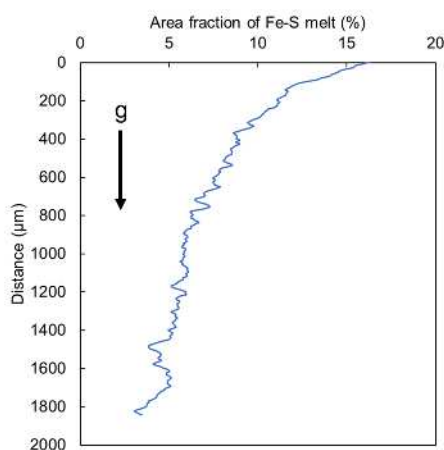


図 1 1.5 GPa の試料の鉛直方向のメルトフラクションの変化

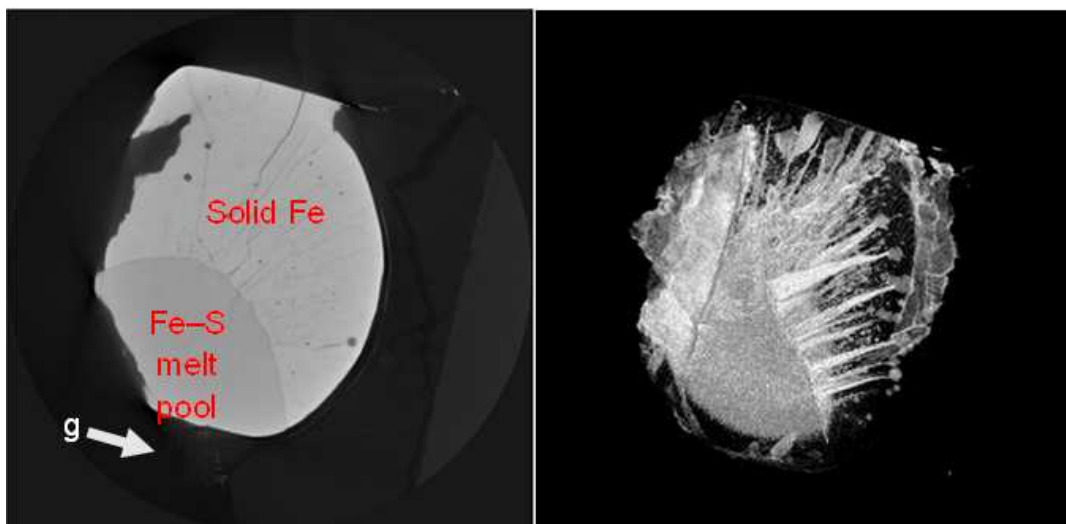


図 2 3.0GPa の試料の CT 断面像(左)と 3D 像(右)

FeS-Opx の浸透実験では、反射電子像および X 線 CT 像による組織観察の結果、0.75GPa 条件の試料について、Opx 粉末ペレットと Opx 焼結体を用いた試料の両方で、Opx 中への FeS メルトの浸透が観察された。2.5 GPa 条件での試料では、Opx とグラファイトカプセルとの境界付近に FeS メルトが見られた。CT 像から、FeS メルトフラクションとメルト移動距離を調べた。この結果、Opx 粉末ペレットを用いた試料の方が FeS メルトの移動距離が大きく、メルトフラクションが小さいという結果が得られた。これは、初期空隙率が大きい方がメルトの浸透距離が大きく、FeS メルトが

Opx 粒間に溜まらずにスムーズに移動していることを示唆している。また保持時間が長いほど FeS メルトの移動距離とメルトフラクションが大きくなる傾向が得られた。これは、保持時間が長い方が、メルトの浸透が進み、Opx 中に多く移動していることを示唆していると考えられる。

本研究に関して、以下の論文を *Meteoritics and Planetary Science* 誌に投稿した（現在リバイス中）
Matsubara, S., H. Terasaki, T. Yoshino, S. Urakawa, D. Yumitori, Wetting property of Fe–S melt in solid core: Implication to core crystallization process in planetesimals, *Meteoritics and Planetary Science*, in revision.

また 2022 年度に以下の本研究に関する学会発表を行った。特に 1 については、学生優秀発表賞（固体地球科学セクション）を受賞した。

1. S. Matsubara, H. Terasaki, T. Yoshino, D. Yumitori, S. Urakawa, Wetting ability of liquid Fe–S in solid core during planetesimal core crystallization, Japan Geoscience Union meeting 2022, May 22-27/2022. (International session) (学生優秀発表賞受賞)
2. H. Terasaki, T. Miura, T. Kondo, T. Yoshino, Experimental study on the timescale of core segregation in planetesimals, Japan Geoscience Union meeting 2022, May 22-27/2022. (International session)
3. T. Miura, H. Terasaki, T. Yoshino, S. Matsubara, O. Ohtaka, T. Kondo, Constraint on the condition of core melt segregation in pyroxene mantle of planetary embryo. Japan Geoscience Union meeting 2022, May 22-27/2022. (International session)
4. H. Terasaki, T. Miura, T. Yoshino, T. Kondo, Conditions of core melt segregation in planetesimals, Goldschmidt Conference, Hawaii, July 10-15, 2022. (招待講演)
5. 寺崎英紀、Fe–FeS 系合金における固液共存組織の時間と圧力変化、新結晶成長学シンポジウム, 2023/3/28-29, 山口. (招待講演)