

受入年度：2021 年度 前期

提出日：2022 年 5 月 30 日

共同利用の種類： 一般共同利用

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：岡山大学理学部地球科学科・学部 4 年生

分担者氏名：三浦 巧

分担者所属・職名：大阪大学大学院理学研究科・M2

研究報告：

### **研究目的**

鉄-軽元素合金における固体-液体間の浸透特性は、微惑星や惑星の中心核（コア）内部で液体コアから固化する際に、固体粒子間に液体成分が捕獲されるか否かを決定する情報である。固体鉄中に液体成分が捕獲され取り込まれると、固体コアの組成、融点や密度、圧縮特性に大きく影響する。特に小天体内部条件で鉄に富む Fe-S 組成の場合には、固体鉄が浅部の低圧側で晶出し、液体コア中を沈降し、固体鉄が集積した際に固体粒子間に液体が捕獲される可能性が高い。

これまで高圧下の固体鉄中での鉄-軽元素系液体の浸透特性はよくわかっていなかった。

我々は 2020 年度の共同利用課題において、1 GPa の条件で固体鉄中の Fe-S 液体の浸透性について、固液間の二面角を測定することにより調べた。2021 年度の本課題では、微惑星から原始惑星サイズの小天体の Fe-S コアの固化プロセスについて明らかにすることを目的として、以下の 3 種類の実験を実施した。

①Fe-S 液体の浸透性について、Fe-S 液体と固体鉄間の二面角の圧力依存性および時間依存性について調べた。圧力依存性については微惑星から原始惑星サイズの小天体内部条件を想定した 0.5-3.0 GPa の条件で調べた。

②コア中の軽元素として S に続いて有力な候補とされる Si の効果についても固液間の浸透特性について調べた。

③小天体の内部分化に関連して、浸透によるコア・マントル分離過程（コア形成過程）の可能性を明らかにするために、Fe-S 液体の斜方輝石に対する浸透性についても調べた。

## 実施内容

①試料には Fe-FeS(S=2 wt%)の組成を用いた。カプセルには、BN, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の3種類を用いた。MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> カプセルは酸化環境, BN カプセルは還元環境を想定している。本実験では一つのセルに二つのカプセルを同時に封入した。高温高圧実験は、惑星物質研のピストンシリンダー高圧装置(MS-800)を用いて、0.5-3.0 GPa, 1323 K の条件で実施した。実験保持時間は保持時間の効果を調べる実験では15分-8時間の範囲で時間を変えた。

回収試料の組織観察を惑星物質研のSEM(JSM-7001F, JEOL)および岡山大学自然生命科学研究支援センターのEPMA(JXA-8230, JEOL)を用いて行った。組成分析はEPMA(JXA-8230, JEOL)を用いておこなった。固液界面の二面角測定は、反射電子像の画像解析から実施した。

②Fe-Si 試料については、Fe-FeSi(S=5,9,13 wt%)組成を用いた。カプセルにはBNを用いた。Fe-Si系は相図がよくわかっていないため、まず固液共存の条件を調べるため、実験条件は温度を変えて、1 GPa, 1533~1653 K, 15 min で実施した。

③斜方輝石は、惑星研の雰囲気制御炉を用いて1523 K の条件で合成した。ピストンシリンダー高圧装置を用いて、0.5-2.5 GPa, 1523 K の条件で実施した。

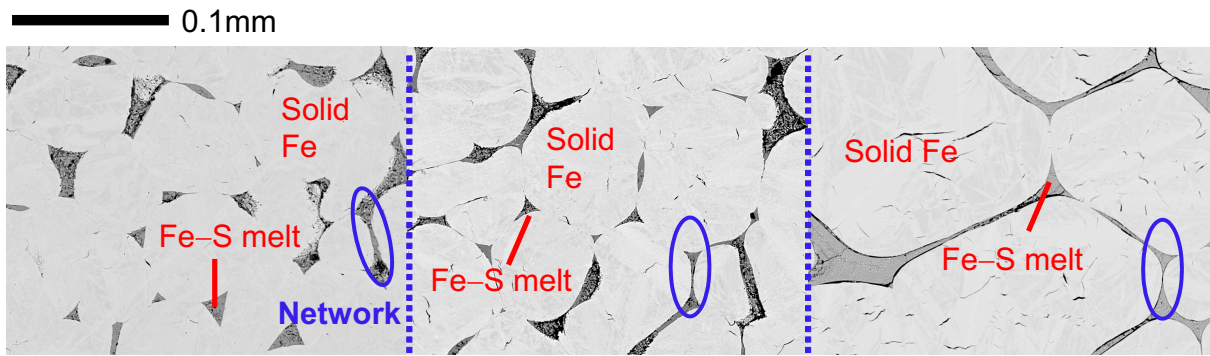
## 研究成果

①まず1.0 GPa で二面角の保持時間の影響を調べた結果、2-6時間で二面角はほぼ一定となっていた。このため、圧力依存性の実験では全て2時間の保持時間で実施した。次に圧力依存性を調べた結果について、Fig. 1 に各圧力における反射電子像を示す。0.5-3.0 GPa の条件において、固体鉄の粒界にFe-Sメルトが連結しネットワークを形成している組織が観察された(Fig. 1)。測定した二面角は、本実験条件において二面角は30-43°の値をとり浸透の閾値である60°を大きく下回った。さらに二面角は圧力増加と共に減少傾向にあることが分かった。

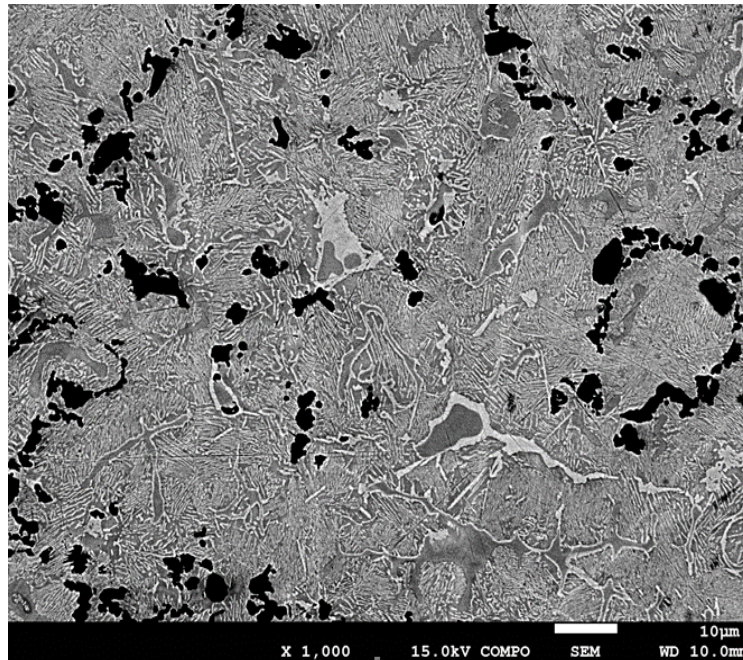
②Fe-Si系試料については、反射電子像をFig.2に示す。この図からもわかるように、回収試料の組織は単純ではなく、固体には複数相の存在が観察された。これは温度変化により固相相転移が複数あったことに由来すると考えられる。さらに固液の共存領域が非常に狭いこともわかった。このため固液の部分熔融領域の制約は行ったが、複数固相の存在もあり固液間の二面角を測定するまでには至らなかった。

③斜方輝石/Fe-Sメルト間の濡れ性については、二面角は圧力と共に増加傾向にあり、特に1 GPa 付近以下でメルトが輝石粒間にネットワークを形成することが分かった。この傾向はメルト中の酸素含有量との相関があることも分かった。この傾向から小天体の輝石マントルにおけるコア形成過程についての制約を得ることができた。

今後は本研究で得られたFe/Fe-S固液間の濡れおよび斜方輝石/Fe-S間の濡れの結果について、論文投稿を行う予定である。



**Fig. 1.** Back-scattered electron image of Fe-S sample. From left to right, the conditions are 0.75, 1.5, and 3.0 GPa. Fe-S melt formed interconnected network around solid Fe grains.



**Fig. 2.** Back-scattered electron image of Fe-Si sample (Si=9 wt%) at 1 GPa, 1633 K.

本結果は、2022年5/22-27に開催された地球惑星科学連合大会の惑星中心核セッションにて、以下の2件の口頭発表と1件のポスター発表を行った。

Shiori Matsubara\*, Hidenori Terasaki, Takashi Yoshino, Satoru Urakawa, “Wetting ability of liquid Fe-S in solid core during planetesimal core crystallization”

Takumi Miura, Hidenori Terasaki\*, Takashi Yoshino, Shiori Matsubara, Osamu Ohtaka, Tadashi Kondo, “Constraint on the condition of core melt segregation in pyroxene mantle of planetary embryo”

Hidenori Terasaki\*, Takumi Miura, Tadashi Kondo, Takashi Yoshino, “Experimental study on the timescale of core segregation in planetasimals”