

## Fe-Si 融体の密度測定と体積弾性率の組成依存性

The effect of Si content on density and bulk modulus of liquid Fe-Si

立山 隆二<sup>1)</sup> 浦川 啓<sup>2)</sup> 寺崎 英紀<sup>1)</sup> 西田 圭佑<sup>1)</sup>  
中塚 明日美<sup>2)</sup> 片山 芳則<sup>3)</sup> 大谷 栄治<sup>1)</sup>

Ryuji TATEYAMA Satoru URAKAWA Hidenori TERASAKI Keisuke NISHIDA

Asumi NAKATSUKA Yoshinori KATAYAMA Eiji OHTANI

<sup>1)</sup> 東北大学 <sup>2)</sup> 岡山大学 <sup>3)</sup> 原子力機構

## (概要)

X線吸収法を用いて Fe-10wt%Si 融体の密度測定を行った。1873 K における密度は 0.6~3.7 GPa の範囲で 6.59~6.88 g/cm<sup>3</sup> という値をとった。また 1873 K での Fe-Si 融体の体積弾性率  $K_{OT}$  は Vinet 状態方程式を使用し  $K' = 4$  のとき  $58.4 \pm 5.1$  GPa となるが、1 気圧のデータを含めて解析すると  $K_{OT} = 7.1 \pm 2.3$  GPa、 $K' = 39.9 \pm 7.7$  と求められた。 $K' = 4$  とした場合の  $K$  について、報告されている異なる Si 含有量の Fe-Si 融体の  $K_{OT}$  と比較すると、本実験で得られた  $K_{OT}$  はやや小さな値をとり、純鉄の  $K_{OT}$  と比べると小さくなることがわかった。

## キーワード:

密度、液体、Fe-Si、高圧、体積弾性率

(1行あける)

## 1. 目的

地球や惑星の中心核について、地球・火星核は一部溶融状態にあるとされ、核中には硫黄やケイ素といった軽元素が含まれると考えられている。密度と密度の圧力依存性(体積弾性率)から P 波の弾性波速度を求めることができるため、地震波観測による情報と密度測定より求められる弾性波速度を比較することにより、地球外核の組成についての制約を与えることが可能となる。

高圧下での融体の密度測定は、基本的かつ重要な物性であるが測定の困難さから、X線吸収法、浮沈法以外の測定法は未だ確立されていない。X線吸収法は温度・圧力依存性を効率的かつ精度よく求めるためには最も適した手法である。このため我々はこの手法を用いて、中心核を構成する鉄合金融体の密度測定を行った。

申請者らのグループらのこれまでの実験では、Fe-10wt%S および Fe-10wt%Si 中間組成での密度の温度・圧力依存性を 3 PGa までの条件で求め、鉄合金融体の密度における S と Si の効果の違いを明らかにした。しかしながら精密な状態方程式を決定するには、より広範の圧力、温度条件で密度測定を行う必要がある。そこで本研究ではさらに圧力範囲を拡張し、Fe-10wt%S および Fe-10wt%Si 合金の正確な状態方程式決定および Si の液体鉄密度への効果の評価を目的に密度測定を行った。

## 2. 方法

高温高圧実験は 180ton キュービックマルチアンビルプレス (SMAP-180, BL22XU 設置) を用いて行った。圧力を発生させる超硬アンビルの先端サイズは 6 mm のものを使用した。単色 X 線 (35 keV) をコリメーターで 50  $\mu\text{m} \times 50 \mu\text{m}$  に絞り、試料部に導入し、入射 X 線と試料を通しての透過 X 線の強度はイオンチャンパーを用いて測定した。密度測定に必要な試料の吸収プロファイルはプレスをスキャンさせることにより求めた。得られた吸収プロファイルとランベルト・ベールの式により密度を導出することが可能となる。

試料には、Fe-10wt%Si および Fe 粉末を使用した。試料容器には、高圧下における変形が小さいと考えられる円筒状の単結晶サファイアを用いた。実験は圧力条件 0.5 から 4 GPa、温度条件は試料融点以上の条件である 1673~2173 K で行った。

また試料の相同定、融解判定および圧力決定については、試料および圧力マーカー物質 (hBN, MgO) からの回折 X 線をイメージングプレートを用いて収集することにより決定した。

### 3. 研究成果

本研究では Fe-Si 融体の密度測定を 0.5—4 GPa, 1673–2173 K で行い、密度の温度、圧力依存性を明らかにすることができた。融解前の固相では密度は温度上昇と共に減少するが、融解後には温度による密度減少はほとんどみられなかった。各実験圧力範囲で  $d\rho/dT$  を計算すると、 $2.0\sim 5.5\times 10^{-4}$  となり、1 気圧の熱膨張率に比べて 1 桁近く小さいことがわかった。また密度の圧力依存性は Vinet 状態方程式を用いて、よくフィッティングできた。1 気圧の密度を含め解析した場合、 $K_{0T}=7.1\pm 2.3$  GPa、 $K' =39.9\pm 7.7$  と求められ、1 気圧の密度をフリーパラメータとすると、 $K' =4$  のときは  $K_{0T}=58.4\pm 5.1$  GPa であった。

### 4. 結論・考察

本実験で求めた密度は、17wt%と 25wt%の Si 濃度で求めた先行研究と調和的であり、高圧下での密度の組成依存性が認められた。しかし本実験で求めた体積弾性率  $K_{0T}$  は先行研究の Si-rich Fe-Si 融体の  $K_{0T}$  に比べて低めの値を取ることがわかった。このため、求めた密度と体積弾性率から導かれる縦波速度  $V_p$  は実験条件で純鉄の  $V_p$  よりも低い値を示した。この傾向は従来の報告と異なる傾向となることを示唆している。

### 5. 引用(参照)文献等

- Sanloup G, Fiquet G, Gregoryanz E, Morard G, and Mezouar M (2004) Effect of liquid Fe compressibility: Implications for sound velocity in core materials. *Geophys Res Lett* 31:811-814
- Kawai Y, Mori K, Kishimoto M, Ishikura K, Shimoda T (1974) Surface tension of liquid Fe-C-Si alloys. *Tetsu-to-Hagané* 60:29-37
- Hixson RS, Winkler MA, Hodgdon ML (1990) Sound speed and thermophysical properties of liquid iron and nickel. *Amer Phys Rev* B42:6485-6491