

課題番号 :2015A-E20
利用課題名 (日本語) :迅速計測システムを用いた液体 Fe-Ni-Si の密度・音速の圧力依存性
Program Title (English) :Pressure dependence on density and sound velocity of liquid Fe-Ni-Si using fast measurement system
利用者名(日本語) :寺崎英紀¹⁾, 下山裕太¹⁾, 田窪勇作¹⁾, 浦川啓²⁾, 岸本俊八²⁾, 町田晃彦³⁾, 綿貫徹³⁾, 片山芳則³⁾, 近藤忠¹⁾
Username (English) :H. Terasaki¹⁾, Y. Shimoyama¹⁾, Y. Takubo¹⁾, S. Urakawa²⁾, S. Kishimoto²⁾, A. Machida³⁾, T. Watanuki³⁾, Y. Katayama³⁾, T. Kondo¹⁾
所属名(日本語) :1) 大阪大学大学院理学研究科, 2) 岡山大学理学部地球科学科, 3) 日本原子力研究開発機構
Affiliation (English) :1) Osaka University, 2) Okayama University, 3) Japan Atomic Energy Agency
キーワード: 液体、高圧、惑星核、音速、密度

1. 概要 (Summary)

BL22XU ビームラインにて超音波法-X線密度吸収法を組み合わせた鉄合金融体の密度-音速同時測定を実施した。本申請課題では、2014B で立ち上げたこのシステムを本格的に用いて Fe-Ni-Si、Fe-C、Fe-Ni-C 融体の音速・密度同時測定を実施した。

2. 実験(目的,方法) (Experimental)

本研究では、2014B で立ち上げたこのシステムを本格的に用いて Fe-Ni-Si、Fe-C、Fe-Ni-C 融体の音速・密度同時測定を実施した。測定する試料は水星核組成の候補の1つである Fe-Ni-Si 組成および Fe-Ni-C 組成を用いた。Si 含有量異なる(Si=30 at%)試料を複数の圧力条件で測定することにより、圧力の音速と密度に与える影響を調べた。これは近々実施予定の水星探査から得られる水星内部観測データとの比較対象を目的とした惑星内部の高温高圧条件下の物性測定データを得ておくためである。これにより惑星核の内部構造に制約を与えることが期待できる。

出発試料には、水星の核候補組成とされる Fe-Ni-Si 組成の混合粉末(Si=30 at%)および Fe-3.5 wt%C、Fe-Ni-4wt%C を用いた。高圧装置には BL22XU 設置の 180ton キュービックアンビルプレス(SMAP-180)を用い、先端サイズは 6mm の超硬アンビルを用いた。X線は 35 keV の単色 X線を用い、X線吸収測定は 50×50 μm にビームを絞り、イメージ測定では 1.5×1.5 mm のビームサイズで行った。加熱には直流加熱装置を導入し、ヒーターはグラファイト円筒を用いた。圧媒体には X線吸収の少ないボロンエポキシを用いた。

圧力測定には MgO と h-BN の混合粉末を用いた。高温高圧下における圧力マーカーの回折パターンをフラットパネル検出器により取得し、測定迅速化に対応した。実験圧力は圧力マーカーの格子体積から算出した。また試料の融解判定および固体試料の密度を、試料の回折 X線から求めた。

音速測定は超音波法(パルスエコーオーバーラップ法)を用いた。超音波法では一方向から超音波を試料に入射し、試料端から反射した波の時間差と試料長から速度を算出する。アンビル底面に貼付した圧電素子にパルス電気信号を与え超音波を発生させ、試料の上部と下部の境界面の反射波をオシロスコープで測定し、試料中の波の伝搬時間差を算出した。波形ジェネレーターより発生した電気信号(周波数帯域:20-40MHz)をアンビル底面の圧電素子へ伝え、圧電効果により素子は超音波を発生する。試料を透過した反射波をオシロスコープ(解像度は 5GS/s)を用いて検出し、入射波と反射波の到達時間差から試料中の伝搬時間を求めた。試料長は、X線イメージング(試料からの透過 X線を YAG 蛍光板で可視光化し、高感度 CMOS カメラを用いて検出)より測定した。密度測定は、液体の密度測定に適した X線密度吸収法を用いた。入射 X線と透過 X線の強度はそれぞれプレス上流と下流に設置したイオンチャンバーを用いて測定する。プレスを 10μm 刻みで動かしながら X線強度測定を行なうことで試料の精密な X線吸収プロファイルを得ることができる。この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した。

3. 結果と考察 (Results and Discussion)

本課題では、まず試料セル部の温度・圧力分布を調べるために試料部に h-BN, MgO の混合粉末を入れて、2つの物質の格子定数と状態方程式から試料部各所の温度と圧力を求めた。実験は、プレスの荷重 40ton(約 1.8GPa)の条件で 1273 K まで加熱し、さらに 60ton(約 2.7GPa)まで再加圧して 1473 K まで加熱して、音速用試料部・密度用試料部・圧力マーカー部の3つ領域のの圧力測定をおこなった。この結果、高温条件では試料部の圧力分布はほとんど均一であり、圧力マーカー部と大きな圧力・温度差はないことがわかった。

Fe-Ni-Si 試料の測定では、3.2 GPa, 1823 K までの圧力・温度条件で測定し、得られた音速・密度は圧力と共に増加し、これまでの結果と整合的な結果が得られた。また音速は、測定した 30at%までの組成領域ではこれまでに我々が得ている結果と比較すると Si 含有量と共に増加する傾向にあることがわかった。

Fe-Ni-4wt%C の測定では 1.2 GPa, 1823 K までの測定を行い、Fe-3.5 wt%C 試料の測定では 1.15 GPa, 1725 K までの圧力・温度にて測定を行った。その結果、音速値 4180 ± 30 m/s の値を得た。この結果は前回までに得ている音速・密度の圧力変化と比較して調和的な結果となった。

加えて、密度測定のキャリブレーションのために、複数種類の Fe ロッドとサファイアロッドのX線吸収プロファイルの測定についても実施した。

4. その他・特記事項 (Others)