

Title	Development of density measurement for metals using X-ray absorption imaging combined with externally heated diamond anvil cell
Author(s)	田窪, 勇作
Citation	大阪大学, 2018, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/70721
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

論文内容の要旨

氏 名 (田窪 勇作)

論文題名

Development of density measurement for metals using X-ray absorption imaging combined with externally heated diamond anvil cell
(外熱式ダイヤモンドアンビルセルを用いたX線吸収法による金属密度測定法の開発)

論文内容の要旨

X線イメージ吸収法と外熱式DACを組み合わせた高温高圧下における新たな密度測定技術を開発し、3.2-18.6 GPa、294-719 Kの圧力温度条件にて固体および液体Inの密度測定を行った。X線イメージ吸収法により測定された密度は、X線回折法により測定された密度と良い一致(2.0%未満の差)を示した。また、測定された密度から固体Inの等温体積弾性率を求めたところ、4-6までの K' を仮定した場合、500 Kの温度条件では 48.0 ± 1.1 - 40.9 ± 0.8 GPaであった。液体Inに関しては、液体Inの圧縮曲線が高圧下にて固体圧縮曲線に近づくものの、本実験条件の範囲においては交差し越えることはないという結果が得られた。

測定からは、Inの結晶軸比 (c/a) が温度の上昇に伴って小さくなり、そのIn結晶構造の温度依存性は圧力の上昇に伴い小さくなるという結果も得られた。a軸の熱膨張率は、7 GPaまで圧力上昇に伴い大きくなり、7 GPaより高い圧力条件では一定値を示す結果となった。その一方、c軸の熱膨張率は圧力の上昇に伴い単調的に大きくなり、7 GPaあたりの圧力条件で負の値から正の値へ転換する結果となった。この観察された固体Inの振る舞いは、7 GPaまでの圧力条件ではInの正方晶としての歪みを緩和する温度効果が支配的であり、その一方で7 GPaより高い圧力条件では結晶の歪みを増長する圧力効果が支配的となることを示唆している。

このようにして本実験技術は、物質の圧力-温度-密度の関係性を明らかとするために、幅広い圧力温度条件にて固体および液体の両方の密度を正確に求めることを可能とする。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (田 窪 勇 作)		
	(職)	氏 名
論文審査担当者	主 査	教授 近藤 忠
	副 査	教授 中嶋 悟
	副 査	教授 寺田 健太郎
	副 査	准教授 大高 理
	副 査	准教授 寺崎 英紀

論文審査の結果の要旨

金属融体の密度は、惑星における液体外核の組成や構造に対する強い制約条件となっており、深部天体の条件となる高温高圧力下における実験的な密度測定は極めて重要である。先行研究となるマルチアンビルプレスを用いた実験では圧力が 10 GPa 以下に限られ、より高圧下での測定を目的としたダイヤモンドアンビルセル (DAC) を用いた実験では、高温下での測定例は僅かしかない。本研究では、高温高圧下における金属融体の迅速な密度測定の確立を目指し、放射光を用いた X 線吸収イメージ法と、温度の精密な制御や安定性に優れる外熱式 DAC を組み合わせた新たな密度測定技術を開発した。試料密度は測定試料と標準試料に対する X 線の透過イメージの輝度値から算出される。画像取得が最短で数秒程度と、従来の方法に比べて迅速な密度測定のデータが得られ、通常の回折実験用光学系と共存ができるというメリットもある。実際の放射光実験では、3.2~18.6 GPa、294~719 K の圧力温度条件にて固体および液体インジウムに対して行った。X 線イメージ吸収法により測定された密度は、X 線回折法により測定された密度と 2.0%未満で良い一致を示した。また、測定された密度から得られる固体インジウムの等温体積弾性率 K は、その圧力微分係数 K' を 4~6 と仮定した場合、500 K の温度条件で $K=48.0 \pm 1.1 \sim 40.9 \pm 0.8$ GPa となった。液体インジウムに関しては圧縮曲線が高圧下で固体の圧縮曲線に近づくが、本実験条件の範囲では、先行実験で指摘されていた固液の密度逆転は無いという重要な指摘を行っている。また固体インジウムの結晶軸比 (c/a) は温度の上昇に伴って小さくなり、結晶構造の温度依存性は圧力の上昇に伴い減少するという結果も得られた。a 軸の熱膨張率は 7 GPa まで圧力上昇に伴い増加、7 GPa より高い圧力条件では一定値を示す結果となった。一方、c 軸の熱膨張率は圧力と共に単調増加し、7 GPa 付近で負から正へ逆転する結果となった。この固体インジウムの挙動は、7 GPa までの圧力条件ではインジウムが正方晶の歪みを緩和する温度効果が支配的であり、7 GPa より高圧力条件では結晶の歪みを増長する圧力効果が支配的となることを示唆している。このように本研究で開発された測定技術は、物質の圧力-温度-密度の関係性を明らかとし、固体や液体の高温高圧下での挙動を研究する上で大変有効であることが示された。

以上のように、本研究では惑星核の構造や物性の議論に重要な物質の密度測定を超高圧下において測定するための基礎技術を開発し、固体及び液体のインジウムの密度に対して圧力や温度の依存性を明らかにし、新たな知見を得ている。これらの研究の前半部は、“Development of density measurement for metals at high pressures and high temperatures using X-ray absorption imaging combined with externally heated diamond anvil cell” として *Comptes Rendus Geoscience* 誌 (Elsevier 社) に、また後半部は、“Variations of lattice constants and thermal expansion coefficients of Indium at high pressure and temperature” として *High Pressure Research* 誌 (Taylor&Francis 社) に筆頭著者として発表を行っている。よって、本論文は博士 (理学) の学位論文として十分な価値を有するものと認める。