

令和 2 年 6 月 26 日現在

機関番号：16301

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K18806

研究課題名(和文) ナノ多結晶ダイヤモンドの高圧地球科学への応用：マントル最下部の圧力温度精密発生

研究課題名(英文) Application of nano-polycrystalline diamond to high-pressure technique using multi anvil apparatus

研究代表者

國本 健広 (Kunimoto, Takehiro)

愛媛大学・地球深部ダイナミクス研究センター・特定研究員

研究者番号：20543169

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,900,000円

研究成果の概要(和文)：マルチアンビル装置のアンビル材としてナノダイヤモンド多結晶(NPD)を採用した6-8-2式を用いて高圧発生技術の開発を行い、D"層からCMBに至る圧力(125-135 GPa)を発生可能な装置の実現を目指した。その結果、地球のマントル核領域を完全に網羅する圧力である150 GPaを超える圧力発生を達成した。本結果によって地球のマントル最下部までの高圧条件を、従来の装置よりも大型の試料容積を用いた上で発生できることとなり、より複雑な、実際のマントル鉱物に近い化学組成の試料を用いた実験が可能となる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地球内部、特にマントル最下部条件(CMB)の物質科学的研究は主にダイヤモンドアンビル装置(DAC)を用いて行われてきた。しかしながらDACの場合、高温発生や温度測定において大きな誤差を含むため、研究内容によっては信頼性に乏しい場合もある。

本研究ではマルチアンビル装置を用いてCMBに相当する圧力発生を可能とした。そのため、これまでDACで実施された相境界の決定などの再現実験や実際のマントルに近い組成の試料を用いた実験を行うことで、これまで明らかにされてきた地球内部環境を再確認し、さらに新たな知見を加える事が期待できる。

研究成果の概要(英文)：The pressures available in Kawai-type multianvil apparatus (KMA), using tungsten carbide or sintered diamond, have been limited to about 30 GPa and 60 GPa, respectively. Recent efforts in introductions of new materials and improvements in cell assemblies significantly expanded these limits to 60 GPa for WC anvils and 120 GPa for SD anvils.

We have been trying to improve the cell for the 6-8-2 cell to generate the pressure equivalent to the Earth's core-mantle boundary (CMB), for better understanding of this heterogeneous region.

Experiments were conducted using the KMA at SPring-8. Generated pressures were determined from the unit cell volumes of Au using adequate equation of state. We reached pressures of about 150 GPa in two independent runs, which are the highest pressure ever reported in KMA. The pressure achieved in these runs completely cover the entire D" region (approx. 125-135 GPa), and some attempts have also been made to produce high temperatures under such pressures.

研究分野：地球内部科学

キーワード：ナノ多結晶ダイヤモンド 高圧発生 マルチアンビル装置

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

川井式マルチアンビル装置 (KMA) は大容量試料の確保や安定した圧力と温度の発生が可能であり多様な実験手法を実現することができる高圧装置として地球内部の物質科学的研究にとって重要な装置である。特に大容量の試料容積や安定した加熱システムは複雑な化学組成の試料に対して有効であり、多様な実験手法を実現することができる。しかし再現可能な地球内部環境は下部マントル中域にとどまり、今後は化学的に、動的に複雑な領域である地球の D' 層から核-マントル境界 (CMB) に至る圧力である約 125-135 GPa 程度までの拡大が望まれる。

KMA を用いた高圧発生の要は加圧部に用いるアンビル材の選択と試料部構成と言える。アンビル材としては一般的には炭化タングステン (WC) が用いられ約 30 GPa までカバーできる。さらに高い圧力を要する場合は焼結ダイヤモンド (SD) を用いた上で特殊な形状のアンビルを採用することによって最大 120 GPa 程度の圧力発生に成功した例もあるがコストや再現性など克服すべき点も抱えている。

2. 研究の目的

川井式マルチアンビル装置 (KMA) などの大容量高圧発生装置を用いて CMB に相当する圧力発生技術の開発を行い、同領域下での鉱物相転移の観察を行う。特にマントル主要鉱物であるブリッジマナイトの相転移は大型高圧装置を用いて実現された例が無い。KMA でこれを実現することができれば従来の手法より精密な相境界の決定やさらに複雑な化学組成の試料での実験も可能となり、地球深部の温度構造やダイナミクスに制約を与えることができる。

3. 研究の方法

我々は CMB 条件を発生する手法として、Endo and Ito (1982) によってはじめて開発された 6-8-2 式を採用した。さらに第 3 段目アンビルとしてナノダイヤモンド多結晶体 (NPD) を採用して高圧発生技術の開発を進め、D' 層から CMB に至る圧力 (125-135 GPa) を発生可能な装置の実現を目指した。実験はダイヤモンド合成については愛媛大学で行い、高圧発生試験は放射光施設 SPring-8 で行った。圧力は試料中の Au の格子体積から状態方程式を用いて計算した。圧力媒体中に設置される NPD アンビルは先端 0.4 もしくは 0.6 mm を使用した。出発試料には予め合成した MgSiO₃ 組成のブリッジマナイトと Au の混合焼結体を用いた。

4. 研究成果

圧力発生試験の結果、最終的には地球の CMB を完全に網羅する圧力である 150 GPa を超える圧力発生を達成した (図 1 参照)。これまでに KMA を用いて達成された最大圧力は地球の D' 層直上に相当する 120 GPa であったが、本研究で達成された圧力は D' 層を網羅し、CMB まで十分カバーできる (図 2 参照)。また M3054 (図 1) では代表的なマントル鉱物であるブリッジマナイトを試料として実験を行い、その相転移の観察を試みたが最終的にはアンビルの破損によって叶わず、今後の試料部構成の改良が求められる。

本結果によって地球のマントル最下部までの高圧条件を従来の装置よりも大型の試料容積を用いた上で発生できることとなり、さらなる技術改良によって、より複雑な、実際のマントル鉱物に近い化学組成の試料を用いた実験が可能となる。

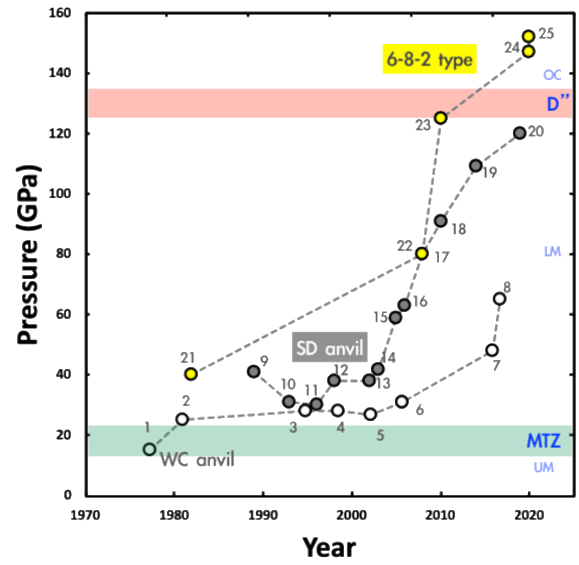
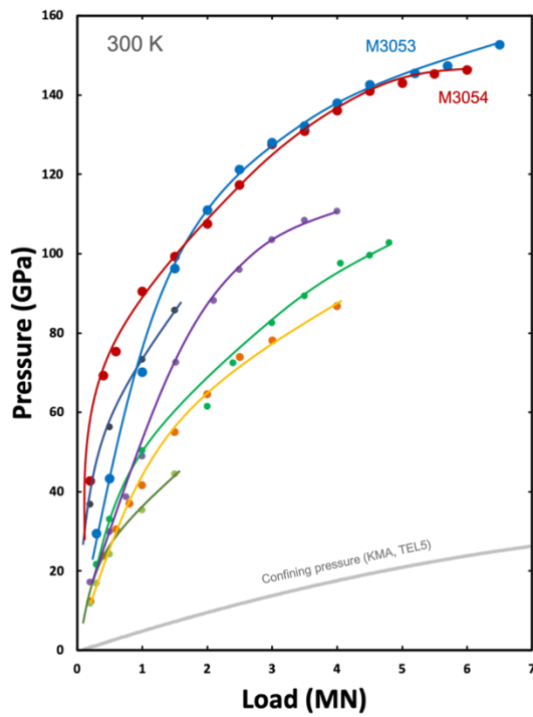


図 1 (左) 本研究で試験された圧力発生結果

M3053, M3054 によって最大 150 GPa の圧力発生に成功した。一般的な KMA による圧力発生効率は図中の confining pressure に相当する。

図 2 (右) KMA を用いた圧力発生の年推移

WC : タングステンカーバイド製アンビルを用いた圧力発生結果

SD : 焼結ダイヤモンドアンビルを用いた圧力発生結果

6-8-2 type: 6-8-2 式を用いて達成された圧力発生結果。本研究によって実施された結果は図中の 24, 25

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Irifune, T., Kunimoto, T., Shinmei, T. and Tange, Y.	4. 巻 未定
2. 論文標題 High-pressure generation in Kawai-type multianvil apparatus using nano-polycrystalline diamond anvils,	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 C R Geosci,	6. 最初と最後の頁 未定
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.crte.2018.07.005	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 入船徹男, 上田千晶, 境毅, 國本健広, 有本岳史, 新名亨, 門林宏和, 大藤弘明, 八木健彦, 河口沙織, 河口彰吾
2. 発表標題 ナノ多結晶ダイヤモンドの圧縮挙動
3. 学会等名 第59回高圧討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 國本健広、入船徹男
2. 発表標題 X線その場観察実験と電気抵抗測定によるGaP, GaAs, ZnS, ZnTeの構造相転移と圧力誘起金属化の観察
3. 学会等名 第59回高圧討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takehiro Kunimoto, and Tetsuo Irifune
2. 発表標題 Generation of ~90 GPa in Kawai-type multianvil apparatus using nano-polycrystalline diamond anvils.
3. 学会等名 JpGU-AGU joint meeting 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takehiro Kunimoto, Masayuki Nishi, and Tetsuo IRIFUNE
2. 発表標題 High-pressure generation to 150 GPa in multianvil apparatus using the 6-8-2 system with nano-polycrystalline diamond anvils.
3. 学会等名 JpGU-AGU joint meeting 2020: Virtual
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----