

高圧NMRによる高密度液体水素の分子運動観測 High pressure NMR of high density liquid molecular hydrogen

奥地 拓生^{1*}

OKUCHI, Takuo^{1*}

¹ 岡山大学地球物質科学研究センター

¹Institute for Study of the Earth's Interior, Okayama University

Microscopic dynamics of molecular hydrogen in liquid state is important for understanding its transport properties. Nuclear magnetic relaxation times of compressed liquid molecular hydrogen were measured at room temperature using a diamond anvil cell. We determined spin relaxation times of molecular hydrogen at pressures up to 1.8 GPa at 294±1 K temperature, where active dynamics of the molecules are quantitatively described from the observed results [1]. The dynamics of molecules in highly-compressed hydrogen is in reasonable agreement with the standard kinetic theory assuming hard-sphere molecules.

[1] T. Okuchi, J. Phys. Chem. C, 116, 2179 (2012)

水素ハイドレート Filled Ice 相の第一原理分子動力学 First principles molecular dynamics study on filled ice hydrogen hydrate under pressure

張静雲¹, 郭哲来², 飯高 敏晃^{3*}

Jingyun Zhang¹, Jer-Lai Kuo², IITAKA, Toshiaki^{3*}

¹Institute of High Performance Computing, ²中央研究院, ³理化学研究所

¹Institute of High Performance Computing, ²Academia Sinica, ³RIKEN

We present a study on the structural and vibrational properties of filled ice C2 hydrogen hydrate under compression by first principles molecular dynamics (FPMD). It is essential to note that the experimentally reported cubic Fd-3m (space group) C2 phase reflects the symmetry at high (room) temperature when the hydrogen bond network is disordered and the hydrogen molecules are orientationally disordered. In this sense, the "cubic" symmetry would definitely be lowered at low temperature where the hydrogen bond network is ordered and the hydrogen molecules are aligned. Indeed, we found tetragonal symmetry (P41212 and Pna21 space group) in our FPMD at low temperature. This finding demonstrates that the thermal effects play an essential role in stabilizing the structure to appear as cubic below 40 GPa. We also observed an indication of transition to an unknown high pressure phase above 40 GPa which is consistent with the experimental findings. Moreover, we extend our efforts to determine the phase boundary line between hydrogen bond ordered (disordered) phases and the H2 rotation and non-rotation phases at a rough approximation. The vibrational frequencies are extracted from Fourier analysis of the MD trajectories, which are in good agreement with experimental data. Hydrogen bond is predicted to symmetrize below 60 GPa based on the analysis of O-H stretching frequencies and radial distribution function $g(\text{OH})$. In comparison with the pure ice VII, the hydrogen bond symmetrization pressure in C2 hydrogen hydrate is much lower as reduced by a factor two.

(1) E. D. Sloan, Clathrate Hydrates of Natural Gases. (Marcel Dekker, New York, 1990).

(2) T. Iitaka and T. Ebisuzaki, Physical Review B 68 (17), 4 (2003).

<http://www.iitaka.org/>

(3) W. L. Mao, H. K. Mao, A. F. Goncharov, V. V. Struzhkin, Q. Z. Guo, J. Z. Hu, J. F. Shu, R. J. Hemley, M. Somayazulu, and Y. S. Zhao, Science 297 (5590), 2247 (2002).

(4) W. L. Vos, L. W. Finger, R. J. Hemley, and H. K. Mao, Physical Review Letters 71 (19), 3150 (1993); W. L. Vos, L. W. Finger, R. J. Hemley, and H. K. Mao, Chemical Physics Letters 257 (5-6), 524 (1996).

(5) H. Hirai, S. Ohno, T. Kawamura, Y. Yamamoto, and T. Yagi, Journal of Physical Chemistry C 111 (1), 312 (2007); S. Machida, H. Hirai, T. Kawamura, Y. Yamamoto, and T. Yagi, Journal of Chemical Physics 129 (22) (2008).

(6) M. Benoit and D. Marx, Chemphyschem 6 (9), 1738 (2005).

キーワード: 水素, ハイドレート, 高圧力, 相転移, 分子間相互作用, 分子動力学

Keywords: hydrogen, hydrate, high pressure, phase transition, molecular interaction, molecular dynamics

メタンハイドレート filled ice Ih 構造の高圧下における格子定数変化 Changes in lattice parameters of filled ice Ih structure of methane hydrate under high pressure

田中 岳彦^{1*}, 平井 寿子¹, 八木 健彦², 大石 泰生³, 松岡 岳洋⁴, 山本 佳孝⁵, 大竹 道香⁵

TANAKA, Takehiko^{1*}, HIRAI, Hisako¹, YAGI, Takehiko², OHISHI Yasuo³, MATSUOKA Takehiro⁴, YAMAMOTO Yoshitaka⁵, OHTAKE Michika⁵

¹ 愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター, ² 東京大学物性研究所, ³ 高輝度光科学研究センター, ⁴ 大阪大学極限量子科学研究センター, ⁵ 産業技術総合研究所

¹Geodynamics Research Center, Ehime University, ²The Institute for Solid State Physics, Tokyo University, ³Japan Synchrotron Radiation Research Institute, ⁴Center for Quantum Science and Technology under Extreme Conditions, Osaka University, ⁵The National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

メタンハイドレート filled Ice Ih 構造は、ラマン分光法により 15GPa ~ 20GPa において、ゲストのメタン分子の配向が秩序化することが著者らの研究グループによって報告されている。また、Sasaki 等の研究グループはラマン分光法により、15GPa 付近で格子振動の変化をとらえ、状態変化が起きることを報告している。しかし、X 線回折ではその圧力領域における明瞭な変化は報告されていなかった。今回、X 線回折実験により、軽水および重水置換のメタンハイドレート filled Ice Ih 構造について室温および低温下において、格子定数を精密に測定した。その結果 15 ~ 20GPa 付近でその軸比が変化することが観察され、ラマン分光によって観察された結果との関連を検討した。

キーワード: メタンハイドレート, X 線回折, 高圧, ラマン分光

Keywords: Methane Hydrate, X ray diffraction, high pressure, Raman spectroscopy

Filled ice II 構造水素及びヘリウムハイドレートの低温高圧下の安定性 Stabilities of filled ice II structure of hydrogen and helium hydrates at low temperatures and high pressures

平井 寿子^{1*}, 梅田 晶子¹, 八木 健彦², 山本 佳孝³, 大竹 道香³

HIRAI, Hisako^{1*}, UMEDA Akiko¹, YAGI Takehiko², YAMAMOTO Yoshitaka³, OHTAKE Michika³

¹ 愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター, ² 東大物性研, ³ AIST

¹GRC, ²ISSP, ³AIST

filled ice II 構造水素ハイドレート及びヘリウムハイドレートについて低温高圧実験をダイヤモンドアンビルセルとクライオスタットを用いて行った。実験条件は前者については 0.2 から 4.5 GPa で 130 から 300 K であり、後者については 0.2 から 5.0 GPa で 200 から 300 K である。水素ハイドレートについては、クラスレート sII 構造や filled ice II 構造、filled ice Ic 構造の存在がよく知られているが、これらの構造間の相変化を直接観察した報告はなされていない。本研究では X 線回折により低温下において一連の相変化を観察した。また、filled ice II 構造中において軸比が変わることが観察され、同様の圧力でラマン分光測定でも filled ice II 構造中においてビブロンや OH 振動モードに変化が生じることが観察された。

ヘリウムハイドレートについては、水素ハイドレート同様に filled ice II 構造は filled ice Ic 構造に変化することが予測されていたが、本実験では filled ice Ic 構造には変化せず、分解することが示された。両ハイドレートの圧縮率の違いを安定性との関連において検討した。

キーワード: 水素ハイドレート, ヘリウムハイドレート, filled ice II 構造, 安定性

Keywords: hydrigen hydrate, helium hydrate, filled ice II structure, stability

第一原理電子状態計算による含水リングウッドイトの振動特性 Vibrational properties of hydrous ringwoodite, first principles investigation

土屋 旬^{1*}

TSUCHIYA, Jun^{1*}

¹ 愛媛大学上級研究員センター

¹Senior Research Fellow Center, Ehime University

Wadsleyite and ringwoodite are primary constituent minerals in the Earth's transition zone. These phases can contain up to a few wt% H₂O in the crystal structure and are thought to be the most important water reservoirs in the Earth. We have investigated the high pressure protonation sites in hydrous wadsleyite using first principles calculation and found that the oxygen O₁ site is the most favorable for protonation in wadsleyite because of the electric imbalance of this site. On the other hand, the crystal structure of ringwoodite does not have such peculiar protonation sites and the reason of such high retention of water in ringwoodite has been unclear so far. In present study, I have calculated the vibrational properties of hydrous ringwoodite under pressure with various protonation models by first principles. Comparing with the IR and Raman measurements, I will discuss the protonation sites in hydrous ringwoodite.

Research supported in part by special coordination funds for promoting science and technology (Supporting Young Researchers with Fixed-term Appointments) and Grants-In-Aid for Scientific Research from the Japan Society for the Promotion of Science 20103005 and 21740380.

キーワード: 含水リングウッドイト, 第一原理計算, 振動特性

Keywords: hydrous ringwoodite, first principles, vibrational property

中性子回折を用いた $\text{Mg}(\text{OD})_2$ の高温での構造変化の研究 A high-temperature neutron diffraction study on $\text{Mg}(\text{OD})_2$

永井 隆哉^{1*}, 佐野 亜沙美², 飯塚 理子³, 鍵 裕之³
NAGAI, Takaya^{1*}, SANO, Asami², IIZUKA, Riko³, KAGI, Hiroyuki³

¹ 北海道大学・院理, ² 日本原子力研究開発機構, ³ 東京大学・院理
¹Hokkaido University, ²JAEA, ³The University of Tokyo

The structure of deuterated brucite, $\text{Mg}(\text{OD})_2$, was investigated by measuring neutron diffraction at high temperature and at atmospheric pressure to see the dynamic behavior of D atoms with increasing temperature. The neutron diffraction experiments from 202K to 600K were carried out at the beamline of Wide-Angle Neutron Diffractometer (WAND) in the High Flux Isotope Reactor (HRIR), Oak Ridge National Laboratory, USA. Rietveld analysis was performed with both the single D site model and the three-site D model. D atom sits at a crystallographic $2d$ site on the 3-fold rotation axis in the single D site model and at a $6i$ site with occupation factor of $1/3$ in the three-site D model. Analysis for 600 K data was not successful using the single D site model but was successfully converged using the three-site D model. This is possibly due to the strongly anisotropic D motion.

キーワード: ブルーサイト, 重水素原子, 高温, 動的挙動, 中性子回折
Keywords: brucite, Deuterium, high temperature, dynamic behavior, neutron diffraction

高压下における Fe-C および Fe-Si 合金中への水素固溶度 Hydrogen solubility into Fe-C and Fe-Si alloys at high pressure

寺崎 英紀^{1*}, 柴崎 裕樹², 西田 圭佑², 高橋 豪², 石井 美帆², 大谷 栄治², 肥後 祐司³

TERASAKI, Hidenori^{1*}, SHIBAZAKI, Yuki², NISHIDA, Keisuke², TAKAHASHI, Suguru², ISHII, Miho², OHTANI, Eiji², HIGO, Yuji³

¹ 大阪大学, ² 東北大学, ³ 高輝度光科学研究センター

¹Osaka Univ., ²Tohoku Univ., ³JASRI

The most of the Fe-Ni cores of terrestrial planets are considered to contain light elements, such as S, Si, O, C and H. Hydrogen is considered to be one of the plausible light elements in the planetary cores. It is important to understand the effect of coexisting light elements, i.e. C and Si, on the solubility of H into Fe. Here, we have carried out in-situ X-ray diffraction experiments on the Fe₃C-H and FeSi-H systems to investigate the solubility of hydrogen into Fe-C and Fe-Si alloys under high pressure.

The experiments were performed up to 19 GPa and 2073 K for FeSi-H system and up to 17 GPa and 1973 K for Fe₃C-H system. Hydrogen dissolved in FeSi and FeSiH_x hydride was formed above 10 GPa. This hydrogenation pressure is much larger than that of Fe, suggesting that presence of Si in Fe metal increases the minimal pressure for H incorporation. Hydrogen content (x) increases from 0.07 to 0.22 with increasing pressure for P > 10 GPa and the H content in FeSiH_x is lower than that in FeH_x. The effect of carbon on hydrogenation pressure and H solubility will also be discussed.

Keywords: Hydrogen, hydride, Fe-alloy, diffraction

Fe-Ni-Si-H₂O 反応と地球核中の水素 Hydrogen in the core inferred from high P-T reaction of Fe-Ni-Si-H₂O

近藤 忠^{1*}, 吉田祐基¹, 亀卦川卓美²
KONDO, Tadashi^{1*}, Yuki Yoshida¹, Takumi Kikegawa²

¹ 大阪大学大学院理学研究科, ² 物質構造科学研究所

¹Graduate School of Science, Osaka University, ²Institute of Material Structure Science

Iron-nickel alloy containing some light elements is considered to be main constituent of the Earth core. We have reported the effect of nickel on iron-water reaction under high pressure and temperature at the Joint Meeting in 2010, which suggests a significant extending of oxyhydroxide phase to higher pressure than pure iron-water system. We have further studied the reaction of iron-nickel alloy and water by adding silicon which is one of the most plausible light elements of the core using a laser-heated diamond anvil cell combined with X-ray diffraction measurements at KEK-PF:AR-NE1A. The starting material of iron-nickel-silicon alloy was prepared in an arc furnace in a pure Ar atmosphere. The foiled iron-nickel-silicon alloy was loaded into the sample hole of Re gasket, with distilled water. Pressures were calculated using the equation of state of ice VII phase. The sample was heated with Nd:YAG laser using a double-sided heating techniques. The temperatures were determined by the thermal radiation from the heated sample. The experimental conditions were up to about 40GPa and 2000K. In situ observation at pressures and temperatures is essential to identify the reaction phase because the iron rich hydride produced in the reaction is unquenchable to the ambient condition. We observed the reaction between the iron-nickel-silicon alloy and water and phase transition of each phase at high pressure and temperature. In the present study, oxyhydroxide and metal hydride were stable to 38GPa and 1000K, while oxide and metal hydride was produced at higher pressure and 1650K. The stability field of oxyhydroxide expands more than Fe-Ni-water system to higher pressure of 42GPa. The produced hydride phase with a dhcp structure transformed to an fcc structure at higher temperature at 1900K 42GPa. The results indicate that hydrogen was much partitioned to mantle phase by silicon and nickel in the core material.

キーワード: 地球核, 水素, 鉄合金, 放射光 X 線, 高圧

Keywords: Earth's core, hydrogen, iron alloy, synchrotron X-ray, high pressure

PLANETにおける高圧中性子回折に向けた6-6型加圧方式の技術開発 Developments of 6-6 type compression for high-pressure neutron diffraction at PLANET

山田 明寛^{1*}, 井上 徹¹, 八木 健彦²
YAMADA, Akihiro^{1*}, INOUE, Toru¹, YAGI, Takehiko²

¹ 愛媛大学 地球深部ダイナミクス研究センター, ² 東京大学 物性研究所

¹GRC, Ehime Univ., ²ISSP, Univ. of Tokyo

6-6型加圧方式はJ-PARCの高圧ビームラインPLANETに導入予定の6軸プレスを用いた高圧中性子回折実験を行う上で有用な技術の一つである。本加圧技術は従来の一段式加圧方式の利点に加え、多くの利便性を有し、急冷回収実験のみならず放射光X線を用いた高温高圧その場観察実験にも広く用いられ始めている。本研究では、この手法を中性子回折実験に応用するために、これまで主に使用されてきたアンビル材、圧力媒体の材料の再検討や大型化を行ってきた。特に、線源の強度、コリメーションなどの問題から試料の大容量化は中性子回折実験では必要不可欠であり、解決すべき最重要課題の一つである。そこで本研究では従来の6-6型のアセンブリーをより大きな物へと変更し、試料容積を保ちつつ、より高圧力の条件を達成する事を目的とした技術開発を行っている。

高圧発生装置には、愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター設置のMADONNA DIA型プレス(1500 ton)を用いた。圧力媒体には、 $ZrO_2(OZ-8C)$ を使用し、圧力発生効率 η はBiの相転移に伴う電気抵抗変化(2.55, 7.7 GPa: Bean et al., 1986)を用いて見積もった。第一段アンビルには直径50 mmの円筒形の超合金(F09, フジロイ)を用いた。第二段アンビルにはNiをバインダーとして用いたMF10(フジロイ)で、底面の一边が26 mm、先端サイズは10 mmおよび7 mmのものを使用した。また、6-6型のアセンブリーは、アンビル接触部分のみを切り抜いた厚さ2 mmのアルミおよびプラスチック板で囲み、ブローアウトの際のガスケット、アンビル材の周囲への飛散防止対策についても検討した。

室温下における圧縮では、現在までのところ、アンビル先端10 mmの一边が17 mmの立方体の圧力媒体を用いて少なくともおよそ7.7 GPaまでの圧力発生を確認している。また加熱実験については、グラファイトを加熱材としたセルを用いて約8 GPaの圧力下で加熱を行い、1500 Kまでの安定的な加熱に成功した。高温下での圧力校正物質として封入した SiO_2 , Fe_2SiO_4 はそれぞれ、コーサイト、相へと相転移していた。これは、高温下において9 GPa未滿6 GPa以上の圧力が発生されていたことを示している。アルミおよびプラスチック板を用いたブローアウトによる圧媒体等の飛散試験実験では、これまでのガラスエポキシ板(0.5 mm)のみで行ったものに比べ飛躍的に改善がなされたものの、完全には防護壁中にとどめる事ができなかった。その原因の多くは分割型のフレームが分解する事によって生じる隙間からの飛散によるものであり、一体型のフレームを採用することで更に改善できると考えられる。

講演では、更にアンビルより小さい先端サイズのアンビルを用いた高温高圧発生実験の結果について紹介する予定である。

キーワード: 高圧中性子回折, 6-6型加圧方式, J-PARC

Keywords: high-pressure neutron diffraction, 6-6 type compression, J-PARC

温度・圧力を独立に制御可能な X 線・中性子散乱実験用セルの開発 Developments of pressure and temperature controlling system for x-ray and neutron scattering experiments

小松 一生^{1*}, 小泉 多麻美¹, 中山 和也¹, 鍵 裕之¹, 森山 正人²

KOMATSU, Kazuki^{1*}, Tamami Koizumi¹, Kazuya Nakayama¹, KAGI, Hiroyuki¹, Masato Moriyama²

¹ 東京大学大学院理学系研究科, ² 日本サーマルエンジニアリング株式会社

¹ Graduate School of Science, The University of Tokyo, ² Japan Thermal Engineering Co., Ltd.

例えば iceII, HDA, LDA などいくつかの氷の多形やアモルファス相は、水を低温下で圧縮することではじめて得られることが知られている。さらに、ice Ic, IV, XII, VII ' のような氷の準安定相は HDA を介して得られることがある。それゆえ、氷の研究には温度と圧力を独立に制御できる、すなわち、室温以外でも圧力が制御できる機構が本質的に重要である。

X 線回折実験では、ヘリウムガスでメンブレンをふくらませるタイプのダイヤモンドアンビルセル (DAC) を、ヘリウム圧縮機を伴う冷凍機に取り付ける方式が放射光施設などで広く使われている。しかしながら、このような冷凍機は、実験室の X 線回折装置にそのまま導入するには、大きさ、重さ、振動の点において問題がある。そこで我々は、液体窒素を循環させて DAC を冷却できる装置を開発した。本装置は、実験室の X 線回折装置に搭載できるようなサイズ・重量に収め、かつ X 線に対して広開口の窓を持つ。この特徴によって、粉末のみならず単結晶試料に対しても 80 K ~ 473 K, 0 ~ 10 GPa 程度の温度圧力領域における X 線回折を測定することが可能になった。さらに、ヘリウム圧縮機を使用していないため、それに伴う脈動もなく、結果として微小試料の測定に適したシステムになっている。

一方、中性子散乱の分野でも、パリ - エジンバラセルのピストンを高圧ヘリウムで加圧する方式が ISIS や ILL などで用いられている。これらのシステムは非常に洗練されているものの、しばしばヘリウムのリークによって加圧できないことや、低圧でのコントロールが困難なこと、また安全上・法規上の問題もある。そこで、液体窒素を試料部付近のみ循環させ、ピストン部分は室温に保つことで上記の問題を解決できるシステムを開発中である。

X 線用の温度圧力制御装置は 2011 年末にほぼ完成し、徐々に運用を初めている。中性子用の同システムも 2012 年の 3 月には完成する予定である。本報では、これらのシステムの概要とこれらを用いた予備的な実験結果を報告する。

キーワード: 低温, 高圧, 氷, X 線回折, 中性子回折

Keywords: Low temperature, High pressure, ice, x-ray diffraction, neutron diffraction

PLANET の中性子ビーム特性：計算と実測 Performance of PLANET beamline

有馬 寛^{1*}, 服部 高典², 佐野 亜沙美², 前川藤夫², 原田正英², 小松 一生³, 鍵 裕之³

ARIMA, Hiroshi^{1*}, HATTORI, Takanori², SANO, Asami², Fujio Maekawa², Masahide Harada², KOMATSU, Kazuki³, KAGI, Hiroyuki³

¹ 東北大学, ² 日本原子力研究開発機構, ³ 東京大学

¹Tohoku University, ²Japan Atomic Energy Agency, ³University of Tokyo

水素系物質の高圧下での振る舞いを理解することは地球科学のみならず材料科学、基礎科学の観点からも興味深い。J-PARC の超高圧中性子回折装置 PLANET は地球深部物質の水素位置の決定を目的として高圧実験専用設計された中性子粉末回折計である。本装置は 2011 年度中に完成する予定であり、2012 年 1 月から建設作業と並行して装置調整を開始した。本発表では装置性能の基本的なパラメータである中性子ビーム特性に関して、測定結果及びモンテカルロ計算による設計値との比較について述べる。

PLANET では微小な試料と限られた検出器立体角から S/N 比のよい回折データを広い Q 領域において取得することが重要である。また回折実験だけでなく高圧装置を用いたイメージング測定も研究目的のひとつである。従って多様な実験に応じてビーム特性を変えることが必要となる。

上記の要求に対して、設計値からみた PLANET のビームの特徴として以下の 3 点がある。3 × 3 mm² の試料サイズの場合、(1) エネルギープロファイルにおいて 0.02 nm の短波長までスーパーミラーガイド管が効いている(強度の利得がある)、(2) どの実験波長においても試料位置においてビーム発散が連続である(位相空間で軌道をプロットしたときにギャップがない)、(3) ビーム輸送部途中にある 2 つの四象限スリットを調整することで高分解能モード、高強度モード、低発散(イメージング)モードが実現する。

ビーム特性試験として PLANET ではこれまでにイメージングプレートによる 2 次元ビーム形状の観察と金箔放射化法による中性子強度測定を行った。結果は講演において述べる。

J-PARC 内”PLANET ” の 6 軸型マルチアンビルプレスの現状 6-rams Multi Anvil Press installed in BL11

佐野 亜沙美^{1*}, 服部 高典¹, 有馬 寛³, 田幡 諭史², 近藤 真弘², 中村 昭浩²

SANO, Asami^{1*}, HATTORI Takanori¹, ARIMA Hiroshi³, TABATA Satoshi², KONDO Masahiro², NAKAMURA Akihiro²

¹ 日本原子力研究開発機構, ² 東北大学, ³ 住友重機械テクノフォート(株)

¹Japan Atomic Energy Agency, ²Tohoku University, ³Sumitomo Heavy Industries Techno-Fort Co.,Ltd.

地球深部の条件に相当する高温高压下での中性子回折実験を目指して、J-PARC MLF の BL11(PLANET) には大型の高圧発生装置 6 軸型マルチアンビルプレス(圧姫)が導入される。本装置は各々独立の油圧により作動する 6 つの油圧シリンダにより、立方体の試料部に等方的に荷重を印加し、高圧を発生させる装置である。6 軸型プレスは広い開口角をとれることから、ラジアルコリメーターや入射スリットを試料のごく近傍に設置しなくてはならない中性子実験に適している。

プレス内部の試料体をビーム位置に調整するために、プレスはアライメントステージの上に据え付けられる(z 軸, x 軸, y 軸)。BL11 では小型プレスを用いた実験も行われるため、プレス本体が実験位置から下流側(z 軸)へ退避する機構も備えている。

1 つのラムの最大発生荷重は 500 ton であり、最大荷重は DIA 型装置に換算すると 1500 ton 相当となる。上下方向の荷重が 6 方向のアンビルの均等な進みに機械的に分散される DIA 型装置とは異なり、6 軸型プレスではアンビルの均等な進みを制御する必要がある。そこで等方的な圧縮実験の場合、下軸は入力された荷重を目標値として加圧・脱圧を行い、他の 5 軸は、下軸のストローク値を目標値として追従するように制御される。各アンビルのストロークは、プレスのフレームにとりつけられたマグネスケールで測定される。しかし高荷重下ではプレスのフレームは伸びてしまうため、その変形量をあらかじめ実測し、それを補正したストロークを実際の制御に用いる。

6 方向から均等に荷重をかける上記の等方圧縮実験以外に、上下 2 つのラムのみを用いて実験する 1 軸圧縮実験モード、および高压下で水平面内の対向する 2 つのラムを進める変形実験モードが用意されている。本装置は H24 年 2 月末に BL11 への搬入、据付を予定しており、発表では装置の現状を報告する。

キーワード: 中性子回折実験, 6 軸型マルチアンビルプレス

Keywords: neutron diffraction, 6-rams press

J-PARC BL11 "PLANET" ビームライン導入の中性子カメラについて Neutron Camera Installed in BL11 "PLANET" Beamline in J-PARC

井上 徹^{1*}, 有馬 寛², 寺崎 英紀³, 服部 高典⁴, 佐野 亜沙美⁴

INOUE, Toru^{1*}, ARIMA, Hiroshi², TERASAKI, Hidenori³, HATTORI, Takanori⁴, SANNO, Asami⁴

¹ 愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター, ² 東北大学金属材料研究所, ³ 大阪大学大学院理学研究科, ⁴ 日本原子力研究開発機構

¹Geodynamics Research Center, Ehime University, ²Institute for Materials Research, Tohoku University, ³Graduate School of Science, Osaka University, ⁴Japan Atomic Energy Agency

2011年12月22日(木)にJ-PARC BL11 "PLANET" ビームラインに(株)東芝製特注品の中性子カメラが導入された。導入にあたっては数年前から検討がなされてきた。その機構は、入力面には濃縮ホウ素 B-10 を反応膜として用い、 $^{10}\text{B}(n, \gamma)$ 反応で発生した γ 線で CsI 蛍光体を発光させるシステムになっている。この方式では、 γ 線の飛程は約 $4 \mu\text{m}$ であるため、従来用いられてきた Gd タイプよりも高空間分解能で高精細なイメージングが可能とされている。(Gd タイプとは $\text{Gd}(n, \gamma)$ 反応で γ 線と内部転換電子が放出され、その内部転換電子が CsI 蛍光体を発光させるシステムで、その発光に寄与する内部転換電子の飛程は約 $20 \mu\text{m}$ とされている [1,2]。)また、パルス中性子である特徴を生かすため、エネルギー選別した画像も収集できるようにブランキング機能を搭載させている。画像の空間分解能をできるだけよくするためには、カメラの入力面は高圧装置に可能な限り近づける必要があり、そのためには従来の装置よりコンパクトなものにする必要があり、その工夫もなされている。尚、この B (ボロン) タイプを入力面に使用したタイプは国内外を見てもまだ数例しかなく、またこの装置にブランキング機能を搭載したものは世界初となる [3]。また、超高圧発生装置と組み合わせて使用できるように工夫を施した装置は世界に例がない。

本講演では、本中性子カメラの特徴について概説するとともに、北海道大学 45MeV 電子線形加速器施設 (北大 LINAC) のパルス中性子源を使用して行った予備実験の結果について報告する。J-PARC BL11 "PLANET" ビームラインでの中性子イメージング実験は、ビームラインの建設途上の都合上まだ実現していないが、発表当日までには予備実験が行える見込みであり、その内容も含めて紹介する予定である。

このカメラの導入により、大型超高圧発生装置を用いて実現された高温高圧条件下での各種試料の観察 (イメージング) が可能となる。特に、中性子は X 線では困難である試料中の水素や水のイメージングが得意であり、これらを含む試料のイメージングがターゲットとなる。(もちろんこのカメラは小型プレスやプレスを用いない状態でのイメージングも可能である。) さらに、試料を回転させることにより、このカメラを用いた試料の 3 次元トモグラフィー像 (3 次元分布像) の収集も考えている。特に小型プレスの 1 つであるパリエジンバラプレスを利用すれば、高温高圧下での試料の 3 次元トモグラフィー像の収集も可能でありその開発も進めて行く予定である。

(謝辞) 本中性子カメラの導入に際し、(株)東芝の日塔光一氏、(株)東芝原子力エンジニアリングサービスの小長井主税氏、(株)東芝電力検査サービスの木村博信氏には大変お世話になりました。この場を借りて感謝いたします。

(参考文献)

- 1) 日塔光一: 東芝レビュー, 64, 7, (2009), pp.70-71.
- 2) K.Nittoh, C.Konagai, T.Noji, K.Miyabe: Nucl. Instr. And Meth. A 605, (2009), pp.107-110.
- 3) 日塔光一、金子 哲治、小長井 主税、長谷川 克史、第 72 回応用物理学会学術講演会 講演予稿集 (2011 秋 山形大学) 1a-T-13: カラーイメージインテンシファイアの中性子エネルギー選別イメージング

キーワード: 中性子イメージング, 水, 地球内部, 中性子カメラ

Keywords: neutron imaging, water, the Earth's interior, neutron camera