

**先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム)
実施状況報告書(平成23年度)**

本様式の内容は一般に公表されます

研究課題名	全元素の超伝導化
研究機関・ 部局・職名	大阪大学・極限量子科学研究センター・教授
氏名	清水 克哉

1. 当該年度の研究目的

超伝導を発現する結晶構造のその場観察を可能にするために、高圧力・低温状態において、超伝導転移を観測すると同時に、SPring-8の強力な放射光 X 線を用いて構造解析を行う。

第一原理電子状態計算、数値計算シミュレーション等の計算解析手法を駆使し、未踏の高圧下における元素物質の結晶構造の予測と、その構造における超伝導性の予測を可能にする。さらに、積極的に新構造や化合物の提案や、超伝導転移温度に対する圧力効果について、理論予測を展開する。

2. 研究の実施状況

- ・大型放射光施設 SPring-8 において利用できる、放射光 X 線下極低温下物性測定装置を導入した。
- ・300 万気圧以上の圧力発生と計測測定を可能にするため、集束イオンビーム描画装置を利用して、試料室を形成すること、および圧力発生用ダイヤモンドの表面に微細な電極を作成することに成功した。
- ・水素の液化充填装置を利用して、ダイヤモンドアンビルセル高圧装置に高密度で水素を封入することを実現し、室温で 200 GPa までの Raman 散乱測定に成功した。測定結果は過去の報告と良い一致を見せ、200 GPa で水素は透明なままであること、水素分子の伸縮振動が 40 GPa を境に減少に転じることが観測された。
- ・単結晶ダイヤモンドを凌駕する高い硬度をもつとされる、ナノ多結晶ダイヤモンド(NPD)が超高压発生用ダイヤモンドアンビルセルのアンビル素材として有望視されている。加圧面の直径が 0.3 mm を超える NPD アンビルを用いて、従来のアンビルと比較して約 2 倍の圧力発生に成功した。さらに水素の加圧にも利用可能であることを確認した。
- ・カルシウムの超高压構造解析を行い、ホスト-ゲスト構造を持つ VII 相への構造相転移を発見した。VII 相の 216 GPa において超伝導転移温度が 29 K に達した。これにより、単体元素における最高転移温度を更新した。
- ・クラスター計算機の導入により、カルシウムの熱的効果による単純立方構造の安定化、リンの変調構造相における超伝導状態と電荷密度波状態との共存、金のポスト面心立方構造相の出現やインジウムとの合金化によって引き起こされる金の超伝導状態について、第一原理計算から明らかにした。

様式19 別紙1

3. 研究発表等

<p>雑誌論文 計 7 件</p>	<p>(掲載済み一査読有り) 計 5 件</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. M. Sakata, Y. Nakamoto, <u>K. Shimizu</u>, T. Matsuoka, and Y. Ohishi “Superconducting state of Ca-VII below a critical temperature of 29 K at a pressure of 216 GPa” Physical Review, B 83, 220512(R) , 2011. 2. T. Matsuoka, H. Fujihisa, N. Hirao, Y. Ohishi, T. Mitsui, R. Masuda, M. Seto, Y. Yoda, <u>K. Shimizu</u>, A. Machida, and K. Aoki, “Structural and Valence Changes of Europium Hydride Induced by Application of High-Pressure H₂”, Phys. Rev. Lett. 107, 025501, 2011. 3. T. Sano, N. Ozaki, T. Sakaiya, K. Shigemori, M. Ikoma, T. Kimura, K. Miyanishi, T. Endo, A. Shiroshita, H. Takahashi, T. Jitsui, Y. Hori, Y. Hironaka, A. Iwamoto, T. Kadono, M. Nakai, T. Okuchi, K. Otani, <u>K. Shimizu</u>, T. Kondo, R. Kodama, K. Mima, “Laser-Shock Compression and Hugoniot Measurements of Liquid Hydrogen to 55 GPa”, Physical Review B, vol. 83, 054117, 7 pp, 2011. 4. 木村友亮、尾崎典雅、奥地拓生、佐野孝好、清水克哉、宮西宏併、遠藤恭、實井辰也、曾田智史、佐野智一、寺井智之、廣瀬明夫、掛下知行、坂和洋一、兒玉了祐 “高強度レーザー衝撃圧縮を用いたメガバール領域における水の状態方程式計測” 日本惑星科学会誌 (Planetary People, The Japanese Society for Planetary Sciences), vol. 20, pp. 36-41, 2011. 5. Y. Nakamoto, M. Sakata, H. Sumiya, <u>K. Shimizu</u>, T. Irifune, T. Matsuoka and Y. Ohishi, “High-pressure generation using nano-polycrystalline diamonds as anvil material”, Rev. Sci. Inst. 82, 066104, 2011. <p>(掲載済み一査読無し) 計 0 件</p> <p>(未掲載) 計 2 件</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. T. Ishikawa, H. Nagara, N. Suzuki and <u>K. Shimizu</u>, “First-principles molecular dynamics study on simple cubic calcium: comparison with simple cubic phosphorus”, High Pressure Research (in press). 2. A. Nakanishi, T. Ishikawa, H. Nagara, <u>K. Shimizu</u> and H. Katayama-Yoshida, “First-principles study on superconductivity of simple cubic, modulated and simple hexagonal phases in phosphorus”, High Pressure Research (in press).
<p>会議発表 計18件</p>	<p>専門家向け 計 18 件</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. <u>清水克哉</u>、超高圧力が誘起する元素の超伝導現象、大阪府、平成 23 年 5 月 11 日、レーザー研シンポジウム 2011 2. <u>清水克哉</u>、超高圧力・極低温下の超伝導検出、大阪府、平成 23 年 5 月 26 日、日本材料学会第 60 期通常総会極限環境フォーラム 3. <u>K. Shimizu</u>、Combined Conductivity and Diffraction Measurements under High Pressure and Low Temperature at SPring-8、ハンガリー、平成 23 年 8 月 27-9 月 3 日、49th EHPRG Conference 4. Y. Hashimoto, A. Miyake, <u>K. Shimizu</u>, T. Nagatochi, K. Kimura, H. Hyodo、Pressure Dependence of T_c in Rhombohedral Boron、トルコ、平成 23 年 9 月 11-17 日、ISSB2001 (International Symposium on Boron, Borides, and Related Materials) 5. <u>K. Shimizu</u>, T. Matsuoka, M. sakata, Y. Nakamoto, T. Ishikawa and T. Kagayama、Superconducting light elements under high pressure、オランダ、平成 23 年 9 月 18-23 日、EUCAS2011/Superconductivity Centennial Conference 2011 6. 坂田雅文、中本有紀、<u>清水克哉</u>、カルシウムの新規高圧相 Ca-VII における超伝導転移温度、富山県、平成 23 年 9 月 21-24 日、日本物理学会 2011 秋季大会 7. T. Matsuoka, M. Sakata, Y. Nakamoto, H. Fujihisa, T. Yabuuchi, S. Onoda, T. Kagayama, Y. Ohishi, <u>K. Shimizu</u>、Elemental superconductors under high pressures、インド、平成 23 年 9 月 25-30 日、AIRAPT2011 8. <u>清水克哉</u>・三宅厚志・永地健紀・木村薫・兵藤宏、超高圧力下における菱面体ホウ素の超伝導、沖縄県、平成 23 年 11 月 9-11 日、第 52 回高圧討論会 9. 石河孝洋・長柄一誠・鈴木直・<u>清水克哉</u>、第一原理分子動力学シミュレーションによるカルシウム単純立方相の安定性に関する研究、沖縄県、平成 23 年 11 月 9-11 日、第 52 回高圧討論会 10. 中本有紀・Svetlana KHARLAMOVA・山中高光・<u>清水克哉</u>・Yue MENG・Ho-kwang Mao・Russell J. Hemley、イットリウムの高圧下における結晶構造変化、沖縄県、平成 23 年 11 月 9-11 日、第 52 回高圧討論会 11. Z. Chi・H. Nguen・T. Matsuoka・T. Kagayama・N. Hirao・Y. Ohishi・<u>K. Shimizu</u>、Cryogenic implementation of charging diamond anvil cell with H₂ and D₂、沖縄県、平成 23 年 11 月

様式19 別紙1

	<p>9-11日、第52回高圧討論会</p> <p>12. 林大輝・清水克哉・加賀山朋子・太田雄介・村上睦明、グラファイトの面間電気伝導の圧力及び温度依存性、沖縄県、平成23年11月9-11日、第52回高圧討論会</p> <p>13. 窪田和久・松岡岳洋・三宅厚志・清水克哉・大石泰生、ベリリウムの高圧下における電気抵抗の温度依存性、沖縄県、平成23年11月9-11日、第52回高圧討論会”</p> <p>14. 清水克哉、固体ヨウ素の圧力誘起金属化と超伝導の再考、沖縄県、平成23年11月12日、第11回琉球大学物性研究会</p> <p>15. 橋本 祥史・清水 克哉・三宅 厚志・永地 健紀・木村 薫・兵藤 宏、超高圧力下における菱面体(α, β)ホウ素の超伝導、東京都、平成23年12月3日、第7回 国内ホウ化物研究会</p> <p>16. 田中有, 清水克哉, 田中茂揮, 浅倉康弘、高圧下における固体ヨウ素分子相の電気的性質、兵庫県、平成24年3月24-27日、日本物理学会第72回年次大会</p> <p>17. 石河孝洋, 中西章尊, 長柄一誠, 鈴木直, 清水克哉、高圧下でのリンで出現する変調構造相の超伝導特性に関する第一原理的研究、兵庫県、平成24年3月24-27日、日本物理学会第73回年次大会</p> <p>18. 加藤恭仁子, 石河孝洋, 野村真矢, 鈴木直, 清水克哉、最密充填構造間のエネルギー比較からみる高圧下における金の結晶構造、兵庫県、平成24年3月24-27日、日本物理学会第75回年次大会</p> <p>一般向け 計0件</p>
<p>図書</p> <p>計1件</p>	<p>Katsuya Shimizu “Elemental Superconductors” 100 years of Superconductivity 4-8, 278-282, CRC Press, Taylor & Francis, (2011), 総ページ数:830 ISBN:978-1-4398-4946-0</p>
<p>産業財産権 出願・取得状況</p> <p>計0件</p>	<p>(取得済み) 計0件</p> <p>(出願中) 計0件</p>
<p>Webページ (URL)</p>	<p>大阪大学・最先端・次世代研究開発支援プログラム http://www.osaka-u.ac.jp/ja/research/program_next</p> <p>大阪大学大型教育研究プロジェクト支援室・最先端・次世代研究開発支援プログラム http://www.lserp.osaka-u.ac.jp/index_jisedai.html</p> <p>大阪大学極限量子科学研究センター清水研究室 http://www.hpr.cqst.osaka-u.ac.jp/</p>
<p>国民との科学・技術対話の実施状況</p>	<p>・大学祭(5月3日および11月4日)において、「超高圧・極低温の世界へようこそ」と題して、研究室公開を行った。参加者は近隣の一般の方から小中高大学生の約20名。高圧力を使ったデモンストレーションとプログラムの紹介。</p> <p>・「第1回 NEXT セミナー」を開催。小中学生とその保護者を対象として、プログラムの概要や簡易実験を行うセミナーを11月23日(祝)に、千葉県立現代産業科学館にて開催。第1回は同プログラム採択者の折茂慎一教授(東北大学)と共同開催。参加者約30名。</p>
<p>新聞・一般雑誌等掲載 計0件</p>	<p>該当なし。</p>
<p>その他</p>	<p>プレスリリース1件</p> <p>平成23年6月27日「カルシウムが元素の超伝導転移温度の最高記録を更新 - 高温の超伝導材料設計への発展に期待 -」</p>

4. その他特記事項

実施状況報告書(平成23年度) 助成金の執行状況

本様式の内容は一般に公表されず

1. 助成金の受領状況(累計) (単位:円)

	①交付決定額	②既受領額 (前年度迄の 累計)	③当該年度受 領額	④(=①-②- ③)未受領額	既返還額(前 年度迄の累 計)
直接経費	129,000,000	67,800,000	4,200,000	57,000,000	0
間接経費	38,700,000	20,340,000	1,260,000	17,100,000	0
合計	167,700,000	88,140,000	5,460,000	74,100,000	0

2. 当該年度の収支状況 (単位:円)

	①前年度未執 行額	②当該年度受 領額	③当該年度受 取利息等額 (未収利息を除 く)	④(=①+②+ ③)当該年度 合計収入	⑤当該年度執 行額	⑥(=④-⑤) 当該年度未執 行額	当該年度返還 額
直接経費	65,980,400	4,200,000	0	70,180,400	70,180,400	0	0
間接経費	20,340,000	1,260,000	0	21,600,000	797,544	20,802,456	0
合計	86,320,400	5,460,000	0	91,780,400	70,977,944	20,802,456	0

3. 当該年度の執行額内訳 (単位:円)

	金額	備考
物品費	55,404,604	実験装置・実験試薬・ヘリウムガス等
旅費	3,796,849	研究成果発表旅費(高圧討論会等)等
謝金・人件費等	10,440,848	特任助教人件費
その他	538,099	学会誌投稿料・機器使用料等
直接経費計	70,180,400	
間接経費計	797,544	
合計	70,977,944	

4. 当該年度の主な購入物品(1品又は1組若しくは1式の価格が50万円以上のもの)

物品名	仕様・型・性能 等	数量	単価 (単位:円)	金額 (単位:円)	納入 年月日	設置研究機関 名
クラスタ計算機システム	(株)コンカレントシステムズ製	1	5,866,087	5,866,087	2011/6/23	大阪大学
半導体レーザー	セキテック/トロン(株)製 DL532-50A, 532nm, 50mW	1	735,000	735,000	2011/9/6	大阪大学
デジタルマイクロスコプシステム	(株)ハイロックス製・KH-1300M-system2他	1	4,191,075	4,191,075	2011/9/26	大阪大学
無冷媒断熱消磁冷凍機システム	独国Entropy社製	1	32,322,150	32,322,150	2011/3/9	大阪大学