

平成 21 年 5 月 12 日現在

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2006～2008

課題番号：18340168

研究課題名 (和文) 沈み込み帯鉱物の単結晶高温高压構造の研究

研究課題名 (英文) Single crystal study on high-temperature high-pressure structure of subduction zone minerals

研究代表者

工藤 康弘 (KUDOH YASUHIRO)

東北大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：30107693

研究成果の概要：

地球のマントル中に主として存在すると考えられている無水相のマグネシウム珪酸塩鉱物中に微量の水が、沈み込み帯の含水マグネシウム珪酸塩相を通じて高温高压下で取り込まれるメカニズムを、単結晶法による X 線回折や赤外吸収スペクトルの解析により検討し、水素原子に置換される原子のイオン半径と電気的中性則の観点から明らかにした。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	5,000,000	1,500,000	6,500,000
2007 年度	4,200,000	1,260,000	5,460,000
2008 年度	4,300,000	1,290,000	5,590,000
年度			
年度			
総計	13,500,000	4,050,000	17,550,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：岩石・鉱物・鉱床学

キーワード：地球惑星物質

1. 研究開始当初の背景

マントル中の無水相の鉱物中に水が存在する可能性について、Martin and Donnay は 1972 年にマントル中に広く存在する無水の pyroxene や olivine に少量含まれて存在する可能性を指摘したが、その様な可能性を実験的に調べることが出来るようになったのは 20 年程前からで、顕微赤外分光法の進歩により極微量の水を赤外吸収スペクトルの積分強度から定量できるようになってからのことである。一方、最近の高温高压合成実験に

よって、数 wt% の H₂O を含む含水マグネシウム珪酸塩相 (Dense Hydrated Magnesium Silicate, DHMS) の存在が明らかとなった。無水相と DHMS 相の結晶構造は各々明らかにされているが、互いの結晶構造がどのように関係付けられるかは明らかとなっていない。

2. 研究の目的

沈み込み帯では、温度・圧力条件の変化に伴う結晶構造の変化、相転移や分解等の相変

化が、順次生じると考えられる。含水高压相の結晶構造に共通する重要な特徴は、酸素原子が最密充填し、水素原子は最密充填の酸素間に他の陽イオンを置き換えて水素結合を形成している点である。この様な構造は含水高压鉍物に共通に見られる特徴であり、これ故に他の含水相や、無水の相との構造的関係を解明する手がかりが得られる。

本研究の目的は沈み込み帯のスラブに関連する鉍物相の結晶構造を解析して、その構造変化を温度・圧力・化学組成の関数として求めることにより、構造と相変化の様相を明らかにすることにある。

3. 研究の方法

地球の上部マントルの沈み込み帯には高压含水マグネシウム珪酸塩鉍物の存在が考えられているが、これら高压含水鉍物の結晶構造におよぼす温度や圧力の影響には不明な点が多い。本研究では、これら高压含水鉍物の結晶構造をマイクロヒーター高温装置、ダイヤモンドアンビル高压セル等を用い、単結晶 X 線回折法、FTIR 顕微赤外分光法等で測定解析する。

4. 研究成果

- (1)地球の上部マントル上部から下部、オリビン構造から変型スピネル構造に変る手前の温度圧力に相当する 13.5 GPa, 1300 °C で合成され、0.38wt%の H₂O を含有する含水オリビン hydrous forsterite の結晶構造を単結晶 X 線回折と赤外吸収スペクトルの測定で解析し、vacancy が M-site と T-site に存在すること、無水の forsterite の構造に較べ、Mg-O の結合のうち最も短い結合の距離が有意に伸びていることを見出し、H の配位している O を特定した。同様の現象は地球の上部マントル下部に安定領域をもつ含水変形スピネル hydrous wadsleyite, でも起こっていることを見出した。
- (2)13.5 GPa, 1400 °C で合成され、Fe を含む含水オリビンの結晶構造を単結晶 X 線回折で解析し、赤外吸収スペクトルのデータとの対応を解析した。その結果、Fe を含まない含水オリビンの結果 ((1) の研究) と vacancy に関して異なる結果を得、Fe と vacancy との関係を結晶構造の観点から説明することができた。
- (3)Fe を含まない含水オリビンと Fe を含む含水オリビンで、結晶構造中に水を取り込む機構が異なることを手掛かりとして、温度圧力化学組成によるオリビンの格子定数変化の異方性を定性的に説明することが

できた。

- (4)地球の上部マントル下部に安定領域をもつ ringwoodite について放射光と単結晶 X 線用ダイヤモンドアンビル(DAC)を用いて 17.9 GPa までの高压下で単結晶 X 線回折強度を測定し、酸素原子の位置が圧力の増加とともに細密充填に近づく傾向を見出した。
- (5)地球の上部マントルに沈み込んだスラブ (hot slab) が上部マントルの最下部に達したときの温度圧力に相当する 22 GPa, 1050 °C で合成された phase G 単結晶について放射光と単結晶 X 線用ダイヤモンドアンビル(DAC)を用いて高压下で単結晶 X 線回折強度を測定し、その体積弾性率と結晶格子の線圧縮率を測定した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 18 件)

- (1) Y. Kudoh: Crystal structural features of hydrous forsterite: Effect of Fe on the M-site vacancies, possible hydrogen positions and variation of the unit cell dimensions. J. Mineral. Petrol. Sci., 103, 371-375, (2008) 査読有
- (2) H. Fukui, T. Katsura, T. Kuribayashi, T. Matsuzaki, A. Yoneda, E. Ito, Y. Kudoh, S. Tsutsui, A.Q.R. Baron: Precise determination of elastic constants by high-resolution inelastic X-ray scattering. J. Synchrotron Rad., 15, 618-623, (2008) 査読有
- (3) T. Kuribayashi, M. Tanaka, Y. Kudoh: Synchrotron X-ray analysis of norbergite, Mg_{2.98}Fe_{0.01}Ti_{0.02}Si_{0.99}O₄(OH_{0.31}F_{1.69}) structure at high pressure up to 8.2 GPa. Phys. Chem. Minerals, 35, 559-568, (2008) 査読有
- (4) T. M. Khobaer, T. Kuribayashi, K. Komatsu, Y. Kudoh: The partially dehydrated structure of natural heulandite: An in situ high temperature single crystal X-ray diffraction study. J. Mineral. Petrol. Sci., 103, 61-76, (2008) 査読有
- (5) Y. Kudoh, T. Kuribayashi, H. Mizobata, E. Ohtani, S. Sasaki, M. Tanaka: Effect of pressure on the crystal structure of phase G(D), Mg_{1.24}Si_{1.76}H_{2.48}O₆. KEK Activity Report 2006 #24, Part B, 179, (2007) 査読無
- (6) K. Takahara, T. Kuribayashi, Y. Kudoh: Pressure induced amorphization of portlandite, Ca(OH)₂ around 6 GPa. KEK Activity Report 2006 #24, Part B, 180, (2007) 査読無
- (7) Y. Kudoh, T. Kuribayashi, K. Litasov, E. Ohtani: Cation vacancies and possible hydrogen atom positions in Fe-bearing hydrous forsterite, Mg_{1.85}Fe_{0.14}Si_{0.99}H_{0.06}O₄, synthesized

- at 13.5 GPa and 1400 C. J. Mineral. Petrol. Sci., 102, 306-310, (2007) 査読有
- (8) K. Komatsu, H. Kagi, T. Nagai, T. Kuribayashi, J.B. Parise, Y. Kudoh: Single crystal x-ray dioeraction study of high-pressure phases of KHCO_3 . Am. Mineral., 92, 1270-1275, (2007) 査読有
- (9) N. Araki, H. Ohsato, K. Kakimoto, T. Kuribayashi, Y. Kudoh, H. Morikoshi : Origin of piezoelectricity for langasite $\text{A}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ (A=La and Nd) under high pressure. [Journal of the European Ceramic Society, 27, 4099-4102, (2007) 査読有
- (10) Y. Kudoh, T. Kuribayashi, H. Mizobata, E. Ohtani, S. Sasaki, M. Tanaka: Pressure dependence of u parameter in ringwoodite up to 7.9 GPa. [J. Mineral. Petrol. Sci., 102, 8-11, (2007) 査読有
- (11) K. Komatsu, A. Sano, K. Momma, E. Ohtani and Y. Kudoh: Crystal structures of high-pressure phases in the alumina-water system: II. Powder X-ray dioeraction study of a new dense aluminum deuterioxide, $\delta\text{-Al}(\text{OD})_3$. Z. Kristallogr., 222, 13-22, (2007) 査読有
- (12) K. Komatsu, T. Kuribayashi, Y. Kudoh and H. Kagi: Crystal structures of high-pressure phases in the alimina-water system: I. single crystal X-ray diffraction and molecular dynamics simulation of $\eta\text{-Al}(\text{OH})_3$. Z. Kristallogr., 222, 1-12, (2007) 査読有
- (13) K. Komatsu, T. Kuribayashi, Y. Kudoh: Single crystal X-ray diffraction study of high pressure phase of gibbsite. [KEK Activity Report 2005 #23, Part B, 171, (2006) 査読無
- (14) Y. Kudoh, T. Kuribayashi, H. Mizobata, E. Ohtani, S. Sasaki, M. Tanaka: Bulk modulus and linear compressibilities of phase G, $\text{Mg}_{1.24}\text{Si}_{1.76}\text{H}_{2.48}\text{O}_6$. KEK Activity Report 2005 #23, Part B, 170, (2006) 査読無
- (15) T. Kuribayashi, M. Tanaka, Y. Kudoh: The crystal structures of natural norbergite at 4.7 and 6.3 GPa conditions. KEK Activity Report 2005 #23, Part B, 163 (2006) 査読無
- (16) 工藤康弘: 平均構造モデルから読みとれる不規則性の例. 日本結晶学会誌, 48 (1), 3-6, (2006) 査読有
- (17) K. Komatsu, T. Kuribayashi, A. Sano, E. Ohtani, Y. Kudoh: Redetermination of the high-pressure modiocation of AlOOH from single-crystal synchrotron data. Acta Crystallographica, E62, i216-i218, (2006) 査読有
- (18) Y. Kudoh, T. Kuribayashi, H. Kagi, T. Inoue: Cation vacancy and possible hydrogen positions in hydrous forsterite, $\text{Mg}_{1.985}\text{Si}_{0.993}\text{H}_{0.06}\text{O}_4$. J. Mineral. Petrol. Sci., 101265-269, (2006) 査読有
- [学会発表] (計 55 件)
- (1) Y. Kudoh: Crystal structural features of the M-site vacancies in Fe-free and Fe-bearing hydrous forsterites. American Geophysical Union 2008 Fall Meeting, San Francisco, U. S. A., December 15-19, (2008)
- (2) 門馬綱, 長瀬敏郎, 栗林貴弘, 工藤康弘 : 水晶の日本式双晶の成長組織と接合面の構造について, 日本鉱物科学会 2008 年年会. 秋田, 9月 20-22 日, (2008)
- (3) 小野明人, 栗林貴弘, 工藤康弘 : サメの歯エナメル質の水酸アパタイトの配向性, 日本鉱物科学会 2008 年年会. 秋田, 9月 20-22 日, (2008)
- (4) 西文人, 宮脇律朗, 工藤康弘, 栗林貴弘 : Ge を含む 3 種類の珪灰石の長周期構造について, 日本鉱物科学会 2008 年年会. 秋田, 9月 20-22 日, (2008)
- (5) 工藤康弘 : 含水フォルステライトにおける M-site 空席と可能な水素位置に関する結晶学的考察, 日本鉱物科学会 2008 年年会. 秋田, 9月 20-22 日, (2008)
- (6) 門馬綱一, 西久保勝己, 高田雅介, 高橋直樹, 本間千舟, 長瀬敏郎, 工藤康弘, 池田卓史 : 千葉県南房総市荒川から産出した包摂化合物結晶について, 日本鉱物科学会 2008 年年会. 秋田, 9月 20-22 日, (2008)
- (7) K. Momma, T. Nagase, Y. Kudoh, T. Kuribayashi: The role of Japanese twin boundary in quartz as a source of Brazil twin. XXI Congress of the International Union of Crystallography. Osaka, Japan, August 23-31, (2008)
- (8) Y. Kudoh: Structural features of the M-site vacancies and possible hydrogen positions in hydrous forsterite. XXI Congress of the International Union of Crystallography. Osaka, Japan, August 23-31, (2008)
- (9) F. Nishi, Y. Kudoh, T. Kuribayashi, R. Miyawaki: T, 2T and 4T wollastonites derived by the Ge substitution. XXI Congress of the International Union of Crystallography. Osaka, Japan, August 23-31, (2008)
- (10) T. Kuribayashi, T. Nagase, H. Kojitani, M. Akaogi, R. Hemly, H.K. Mao, Y. Kudoh: The effects of F-OH replacement on the compression of super hydrous phase B structure. XXI Congress of the International Union of Crystallography. Osaka, Japan, August 23-31, (2008)
- (11) 門馬綱一, 長瀬敏郎, 工藤康弘, 栗林貴弘 , : 水晶の日本式双晶接合面とブラジル双晶接合面の構造関係, 地球惑星科学連合 2008 年大会, 幕張, 5月 25- 30 日, (2008)
- (12) 猪塚幸, 工藤康弘 : オリビンにおける Fe

- 量と軸長の関係について, 地球惑星科学連合 2008 年大会, 幕張, 5 月 25-30 日, (2008)
- (13) 工藤康弘: 含水フォルステライトにおける可能な水素位置に及ぼす Fe の影響, 地球惑星科学連合 2008 年大会, 幕張, 5 月 25- 30 日, (2008)
- (14) 福井宏之, 桂智男, 栗林貴弘, 松崎琢也, 工藤康弘, Baron Alfred: X 線非弾性散乱によるフェロペリクレイスの弾性定数決定, 地球惑星科学連合 2008 年大会, 幕張, 5 月 25-30 日, (2008)
- (15) Y. Kudoh: Effect of Fe on the possible hydrogen atom positions in hydrous forsterite. The 3rd COE-21 International Symposium "Origin, Evolution and Dynamics of the Earth". Misasa, Japan, March 21-23, (2008)
- (16) H. Fukui, T. Katsura, T. Kuribayashi, T. Matsuzaki, A. Yoneda, E. Ito, Y. Kudoh, S. Tsutsui, A.Q.R. Baron: Precise determination of elastic properties for MgO by means of inelastic x-ray scattering. The 3rd COE-21 International Symposium "Origin, Evolution and Dynamics of the Earth". Misasa, Japan, March 21-23, (2008)
- (17) Y. Kudoh, T. Kuribayashi, K. Litasov, E. Ohtani: Cation vacancies and possible hydrogen atom positions in Fe-bearing hydrous forsterite. American Geophysical Union 2007 Fall Meeting, San Francisco, U. S. A., December 10-14, (2007)
- (18) 大津大輔, 奥部真樹, 佐々木聡, 栗林貴弘, 工藤康弘: 高圧下 X 線熱散漫散乱法で求めた II-VI 族半導体 CdTe の弾性特性. 日本結晶学会 2007 年度年会東京都, 12 月 1-2 日, (2007)
- (19) 工藤康弘: 含水フォルステライトにおける可能な水素位置. 日本結晶学会 2007 年度年会, 東京都, 12 月 1-2 日, (2007)
- (20) 伊東洋典, 栗林貴弘, 工藤康弘, 宍戸統悦: CaAl_2O_4 の結晶構造に及ぼす圧力の影響. 第 48 回高圧討論会, 倉吉市, 11 月 20-22 日, (2007)
- (21) 栗林貴弘, 梶谷浩, 赤荻正樹, 工藤康弘: 単結晶法による 7.4GPa までの高圧下における super hydrous phase B の圧縮挙動の解析. 第 48 回高圧討論会, 倉吉市, 11 月 20-22 日, (2007)
- (22) 小野明人, 栗林貴弘, 工藤康弘: 珪化木中に含まれるシリカ鉱物の結晶性の変化. 日本鉱物科学会 2007 年度年会, 東京都, 9 月 22-24 日, (2007)
- (23) 酒井伸也, 栗林貴弘, 工藤康弘: ジルコニアの結晶構造におよぼす温度の影響. 日本鉱物科学会 2007 年度年会, 東京都, 9 月 22-24 日, (2007)
- (24) 平野曜, 栗林貴弘, 工藤康弘: Xonotlite, $\text{Ca}_6\text{Si}_6\text{O}_{17}(\text{OH})_2$ の赤外吸収スペクトルと多型. 日本鉱物科学会 2007 年度年会, 東京都, 9 月 22-24 日, (2007)
- (25) 金子陽一郎, 工藤康弘, 栗林貴弘: K 置換した heulandite の結晶構造について. 日本鉱物科学会 2007 年度年会, 東京都, 9 月 22-24 日, (2007)
- (26) 伊東洋典, 宍戸統悦, 栗林貴弘, 工藤康弘: CaAl_2O_4 の圧縮率. 日本鉱物科学会 2007 年度年会, 東京都, 9 月 22-24 日, (2007)
- (27) 工藤康弘: Hydrous forsterite の M-site, T-site vacancy と可能な水素位置について. 日本鉱物科学会 2007 年度年, 東京都, 9 月 22-24 日, (2007)
- (28) 猪塚幸, 栗林貴弘, 工藤康弘: オリビンにおける陽イオンの席選択性. 日本鉱物科学会 2007 年度年会, 東京都, 9 月 22-24 日, (2007)
- (29) 門馬綱一, 長瀬敏郎, 工藤康弘, 栗林貴弘: メノウ組織中における Al 含有量とモガナイト量の変動. 日本鉱物科学会 2007 年度年会, 東京都, 9 月 22-24 日, (2007)
- (30) K. Komatsu, A. Sano, H. Kagi, E. Ohtani, Y. Kudoh, J. Loveday: Effects of Mg and Si ions to the symmetry of dense aluminum oxide hydroxide. Advances in high pressure crystallography at large scale facilities, Oxford, U.K., September 3-7, (2007)
- (31) 福井宏之, 桂智男, 栗林貴弘, 松崎琢也, Baron Alfred, 工藤康弘: 高分解能 X 線非弾性散乱による MgO の弾性定数の決定. 地球惑星科学関連学会 2007 年合同大会, 幕張市, 5 月 19-24 日, (2007)
- (32) 住岡慶子, 栗林貴弘, 工藤康弘: Humite の結晶構造に与える温度の影響: 1023K までの X 線回折法及び 1323K までの赤外吸収スペクトルによる研究. 地球惑星科学関連学会 2007 年合同大会, 幕張市, 5 月 19-24 日, (2007)
- (33) 門馬綱一, 長瀬敏郎, 工藤康弘, 栗林貴弘: Moganite distribution and aluminum content in agate. 地球惑星科学関連学会 2007 年合同大会, 幕張市, 5 月 19-24 日, (2007)
- (34) 高原健士, 栗林貴弘, 工藤康弘: Portlandite 単結晶の高圧下における X 線回折法および赤外吸収スペクトルによる研究. 地球惑星科学関連学会 2007 年合同大会, 幕張市, 5 月 19-24 日, (2007)
- (35) 工藤康弘, 栗林貴弘, Litasov Konstantin, 大谷栄治: Fe-bearing hydrous forsterite の結

- 晶構造と可能な水素の位置. 地球惑星科学関連学会 2007 年合同大会, 幕張市, 5 月 19-24 日, (2007)
- (36) T. Kuribayashi, M. Tanaka, H. Kagi, Y. Kudoh: Structural variations of natural norbergite, $Mg_{2.98}Fe_{0.01}Ti_{0.02}Si_{0.99}O_4(OH_{0.31}F_{1.69})$, under high pressure conditions. 7th High pressure mineral physics seminar, Matsushima, Japan, May 8-12, (2007)
- (37) Y. Kudoh, T. Kuribayashi, K. Litasov, E. Ohtani: Crystal structure of Fe-bearing forsterite and its possible hydrogen positions. 7th High pressure mineral physics seminar, Matsushima, Japan, May 8-12, (2007)
- (38) Y. Kudoh, T. Kuribayashi, H. Kagi, T. Inoue: Cation vacancy and possible hydrogen positions in hydrous forsterite. American Geophysical Union 2006 Fall Meeting, San Francisco, U. S. A., December 11-15, (2006)
- (39) H. Itoh, F. Nishi, T. Kuribayashi, Y. Kudoh: Effect of pressure on the crystal structure of high-temperature polymorph of Ca_2SiO_4 . American Geophysical Union 2006 Fall Meeting, San Francisco, U. S. A., December 11-15, (2006)
- (40) K. Momma, T. Nagase, Y. Kudoh, T. Kuribayashi, M. Tanaka: Grain size effects on genesis of morganite and Brazil twin in quartz. Joint Conference of the Asian Crystallographic Association and the Crystallographic Society of Japan, Tsukuba, Japan, November 20-23, (2006)
- (41) K. Sumioka, T. Kuribayashi, Y. Kudoh: High temperature x-ray study on a single crystal of humite, $Mg_7Si_3O_{12}(OH,F)_2$ up to 1023 K. Joint Conference of the Asian Crystallographic Association and the Crystallographic Society of Japan, Tsukuba, Japan, November 20-23, (2006)
- (42) Y. Kudoh, T. Kuribayashi, Y. Sueda, T. Irifune: Crystal structure of high pressure phase of $MgAl_2O_4$ synthesized at conditions of 2200 K and 41.8 GPa. Joint Conference of the Asian Crystallographic Association and the Crystallographic Society of Japan, Tsukuba, Japan, November 20-23, (2006)
- (43) 工藤康弘, 栗林貴弘, 末田有一郎, 入船徹男: $MgAl_2O_4$ 単結晶の CT 型高压構造とその特徴. 第 47 回高压討論会, 熊本市, 11 月 9-11 日, (2006)
- (44) 高原健士, 栗林貴弘, 工藤康弘: 高压下における $Ca(OH)_2$: DAC と単結晶 X 線回折法による測定. 第 47 回高压討論会, 熊本市, 11 月 9-11 日, (2006)
- (45) 栗林貴弘, 田中雅彦, 工藤康弘: 高压下と低温下における phase A 相の構造の圧縮機構の比較. 第 47 回高压討論会, 熊本市, 11 月 9-11 日, (2006)
- (46) K. Komatsu, H. Kagi, W. G. Marshall, T. Kuribayashi, J. B. Parise, Y. Kudoh: Powder neutron dioeraction for topaz-OD under high pressure. 19th General Meeting of the International Mineralogical Association, Kobe, Japan, July 23-28, (2006)
- (47) T. M. Khobaer, K. Komatsu, T. Kuribayashi, Y. Kudoh: In situ high temperature single crystal X-ray dioeraction study of natural heulandite at 150 °C. 19th General Meeting of the International Mineralogical Association, Kobe, Japan, July 23-28, (2006)
- (48) T. Kuribayashi, H. Kagi, M. Tanaka, Y. Kudoh: High-pressure single-crystal x-ray dioeraction studies using synchrotron radiation and FT-IR observation on norbergite 19th General Meeting of the International Mineralogical Association, Kobe, Japan, July 23-28, (2006)
- (49) Y. Kudoh, T. Kuribayashi, T. Inoue: Crystal structure of hydrous forsterite with 0.38 wt% H_2O . 19th General Meeting of the International Mineralogical Association, Kobe, Japan, July 23-28, (2006)
- (50) K. Momma, T. Nagase, Y. Kudoh, T. Kuribayashi: Molecular dynamics simulation of twin boundaries in quartz. 19th General Meeting of the International Mineralogical Association, Kobe, Japan, July 23-28, (2006)
- (51) 門馬綱一, 長瀬敏郎, 工藤康弘, 栗林貴弘, 田中雅彦: 微晶質石英におけるブラジル双晶の形成に対する表面エネルギーの影響. 地球惑星科学関連学会 2006 年合同大会, 幕張市, 5 月 12-18 日, (2006)
- (52) 小松一生, 鍵裕之, 栗林貴弘, Parise John B., Nelmes Richard G., Bull Craig, Guthrie Malcolm, Tucker Matthew G., 工藤康弘: Powder neutron dioeraction and Raman spectra for bayerite at high pressure. 地球惑星科学関連学会 2006 年合同大会, 幕張市, 5 月 12-18 日, (2006)
- (53) 小松一生, 佐野亜沙美, 大谷栄治, 鍵裕之, 栗林貴弘, 工藤康弘: Crystal structure of high pressure $Al(OH)_3$ polymorphs: II. Powder X-ray dioeraction study of delta- $Al(OH)_3$. 地球惑星科学関連学会 2006 年合同大会, 幕張市, 5 月 12-18 日, (2006)
- (54) 小松一生, 栗林貴弘, 鍵裕之, 工藤康弘: Crystal structure of high pressure $Al(OH)_3$ polymorphs: I. Single crystal X-ray dioeraction study of eta- $Al(OH)_3$. 地球惑星科学関連学会 2006 年合同大会, 幕張市, 5 月 12-18 日, (2006)
- (55) 工藤康弘, 栗林貴弘, 井上 徹: 0.38wt% H_2O を含む forsterite の結晶構造と水素の位置. 地球惑星科学関連学会 2006 年合同大会, 幕張市, 5 月 12-18 日,

(2006)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0 件)

○取得状況(計 0 件)

〔その他〕

6. 研究組織

(1) 研究代表者

工藤 康弘 (KUDOH YASUHIRO)
東北大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号：30107693

(2) 研究分担者

栗林 貴弘 (KURIBAYASHI YAKAHIRO)
東北大学・大学院理学研究科・助教
研究者番号：20302086

(3) 連携研究者

鍵 祐之 (KAGI HIROYUKI)
東京大学・大学院理学系研究科・准教授
研究者番号：70233666

佐々木 聡 (SASAKI SATOSHI)
東京工業大学・応用セラミックス研究所・教授
研究者番号：10162364