

大阪大学極限科学研究センター 教授

遠藤 将一

「超高圧・超強磁場・極低温－複合極限の生成と物性研究」

## 1. 研究実施の概要

極限条件の生成は自然をより深く理解する上で必須である。液体ヘリウム温度における超伝導や超流動といった驚くべき現象の発見がそのことを如実に物語っている。磁場や高圧の極限も同様の役割を担ってきた。強磁場は磁性の根源であるスピンの制御を可能にし、超高压は高密度相を誘起して新しい現象を産み出してきた。圧力、磁場、低温の3つの極限条件を複合化することにより、更なる多様な物性研究を展開し、物質の本質をより多元的に追求しようというのが本研究の課題である。

それぞれ異なる極限に属する研究者（阪大極限科学研究センター：遠藤将一、金道浩一、小林達生、石塚 守、阪大院基礎工学研究科物性物理科学分野：天谷喜一、那須三郎、鈴木 直、小林融弘、宮城 宏、長柄一誠、清水克哉）が持てる力を結集し、CREST雇用の研究員、招聘外国人研究者を加えて、緊密な連携のもとに、「複合極限環境の生成および測定技術の開発」と「複合極限環境下の物性実験と理論的研究」に一丸となって当たった。以下に、主な成果を列挙する。

### 1) 極低温・超高压複合極限の生成：

${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$  希釈冷凍機と超高压発生用ダイヤモンドアンビルセル（DAC）を組み合わせることで 30mK・100GPa（1GPa $\approx$ 1万気圧）級の複合極限環境の生成に成功した。その下での物性測定についても、高感度電気・磁気及び光学測定技術の開発に成功した。以上、性能的にはいずれも現時点で世界最先端を行く水準にある。

### 2) パルスマグネットの開発とそれを用いた複合極限条件下の物性研究：

我々は 100T 近くの強磁場下で物性研究を行うことの出来る非破壊パルスマグネットを開発することを目的として本研究を行った。現段階で最も成功を収めているのは、コイル部分を銅銀合金線で作成し、これをマルエージング鋼で補強する方法である。本研究で最も強い磁場を発生したマグネットの内径は 10mm で、内側から 1 層、3 層、5 層そして 9 層の各コイル間に補強材を入れている。この 18 層マグネットが発生した 80.8T は世界記録である。このようにして開発されたマグネットを用いることにより極低温下および高圧下での強磁場磁化測定が可能となった。具体的には、60mK で 60T までをまたヘリウム温度で 70T までの測定が可能となった。これらにより量子スピン系物質、特に一次元ハイゼンベルグ型反強磁性体においてそのスピンの 1 である時に現れる非磁性基底状態の解明とそのエネルギーギャップの振る舞いを明らかにした。また、高圧下測定としては 1GPa の圧力下で 60T までの測定が可能となった。これにより、強相関伝導電子系物質において磁場中で観測される相転移現象に対する圧力と磁場の相関を明らかにした。

### 3) 超高压・パルス強磁場下の磁化測定：

パルス磁場による渦電流の影響（発熱や磁気シグナルの擾乱）を避けるため、絶縁体を

ガスケットに用いたダイヤモンドセルと非破壊パルスマグネットを組み合わせた新しいシステムを開発し、FePt インバー合金について低温、4GPa 付近で強磁性状態から別の磁気状態への転移を観測した。

#### 4) 超高压・低温下の精密磁化測定 :

超高压下での高感度かつ高精度な磁化測定を行うために SQUID 振動コイル型磁束計を開発し、超伝導や強磁性転移のみならず反強磁性転移の観測も可能にした。圧力に関しては最高 218GPa を達成し、測定温度範囲は 1.4 K-100 K で、 $10^{10}$  emu の高感度測定が可能になった。

#### 5) 高压・低温・強磁場下のメスバウアー分光 :

ダイヤモンド・アンビル・セル (DAC) を超高压発生デバイスとして用い、物質の超高压下での性質、圧力誘起構造相転移や圧力による磁性や原子価状態など電子状態の変化をメスバウアー分光測定から明らかにすることを目的としている。DAC の対向した 2 つのダイヤモンド間に作り出された試料空間は極めて小さく、試料量が極微量となるため、低温・高压下 in-situ 測定は困難を伴い、長時間測定を余儀なくされるので、本研究では高密度ガンマ線源の使用や DAC 内蔵可能なクライオスタットの用意などを新たに行い、低温・高压・強磁場下メスバウアー分光測定を可能にした。これらの極限状態でのメスバウアー分光測定からペロブスカイト型鉄酸化物の温度・圧力・磁気状態図を明らかにし、金属鉄高压相イプシロン鉄の磁性を明らかにした。20GPa 4.5K でのイプシロン鉄のメスバウアー分光測定を 7T までの強磁場下で行い、誘起超微細磁場が観測されないことから、パウリ常磁性と結論している。

#### 6) 複合極限下の超伝導探索 :

上記複合極限技術を駆使し、種々の物質について絶縁体—金属転移の観測、及び低温における超伝導探索を行い、成功を収めた。具体的には元素物質 (Ca, I, Br, O, S, Fe) を始め、イオン結晶 (CsI, BiI)、有機分子結晶 ( $C_6I_4O_2$ ,  $C_6I_6$ ) 等の他、重い電子系として注目を集めている一群の Ce 化合物、U 化合物についても極低温・超高压下の圧力誘起超伝導の観測に成功した。

酸素や鉄は単になじみ深い元素というだけでなく、それらが低圧下で示す反強磁性及び強磁性といった強い磁性が圧力で抑止されたところで超伝導性が出現するという興味ある結果が得られ、磁性がからむ超伝導として今後の他の磁性金属への展開が期待されている。

#### 7) バナジウムの超伝導転移温度の圧力効果 :

バナジウムの超伝導転移温度  $T_c$  を SQUID 振動コイル型磁束計を用いて 160GPa 付近まで測定した。 $T_c$  は 120GPa 付近まで 0.1K/GPa の割合で増加し、120GPa 以上ではほぼ一定

であることがわかった。120GPa での超伝導オンセット温度 17.2K はこれまでに報告されている単体金属元素では最高の値である。

#### 8) 水素結合型結晶 KDP と DKDP の強誘電性相転移機構 :

$T_c$  の同位元素効果について半世紀を越えて議論のある 2 つの結晶の誘電率を高圧下で測定し、DKDP では 6GPa で  $T_c$  が消滅すること、相転移機構が途中で変位型に転換すること、両結晶とも高圧低温ではこれまでペロブスカイト型結晶で見出されていた量子常誘電性が現れることを発見した。

#### 9) 高圧力下における反強磁性体の分光学的研究 :

ラマン散乱により、反強磁性体 (固体酸素、NiO、MnO) のマグノンを観測し、酸素の低温高圧下での磁気相図を初めて確定し、新たな結晶構造相転移を見出した。NiO では交換相互作用定数の圧力依存性を解明した。

#### 10) 半導体および絶縁体の圧力誘起金属相の分光学的研究 :

従来未知であった高圧金属相の電子物性を決定する新たな実験法として赤外反射分光法を開発し、MnO の絶縁物-金属相転移をはじめて観測したほか、ZnSe では半導体相から金属相に相転移する直前に中間相が存在する事を証明した。

#### 11) 圧力誘起相転移の第一原理的研究 :

電子状態、格子振動、電子格子相互作用の第一原理計算に基づいて、以下に示す成果を得た。(1) 固体酸素の圧力誘起絶縁体-金属転移はバンドオーバーラップによるものであり、100GPa 以上では分子性結晶の非磁性金属状態が実現されている。(2) Se の  $\beta$ -Po 構造から bcc 構造への転移に際し、超伝導転移温度  $T_c$  が大きな跳びを示して、10K 以上の  $T_c$  になることを予測した。(3) V の  $T_c$  が示す特異な圧力依存性は、圧力誘起フォノン異常によるものであることを解明した。(4)  $\epsilon$ -鉄の 100GPa における超伝導転移温度は高々 0.5K 程度であると予測した。

#### 12) 超高圧下の水素及び圧縮ハロゲン族分子性固体の理論的研究 :

金属化及び分子解離に対して量子固体の水素が高圧下でハロゲン固体と同様かどうかは興味ある点である。LDA に基づく第一原理バンド計算の手法を用いて次のような事を調べた。固体ヨウ素・臭素・塩素分子相については、ラマン活性 Ag モードの振動数の圧力変化を調べ、実験とのよい一致を得た。金属化圧のスケーリング則が計算の上でも成立し、ヨウ素・臭素・塩素の間に定性的な差異は認められなかった。次に水素に対し、分子相及び原子相での実現可能性の高い構造を知るためエンタルピー、分子相でのヴィブロン振動数の圧力変化、分子解離圧へのプロトンの量子効果の影響を調べた。原子相の構造として

は Cs-IV 構造、分子相では 200GPa までは  $Cmc2_1$  かこれに近い構造、さらに高圧では  $Cmca$  に近い構造の実現性が高い。プロトンの零点エネルギーは分子解離圧を 100GPa 以上も下げることがわかった。

本プロジェクトで開発した複合極限（超高圧・強磁場・極低温）下の物性測定の手段は、いずれも世界に類を見ない、かつ、最高のレベルのものであり、今後続々と卓越した新しい成果を産み出せるものと確信している。

## 2. 研究構想

超高圧、超強磁場に極低温を加えた3つの極限環境を複合的に発生し、その下での新しい測定手段を開発して、新現象を探索することを目標とした。申請に際して掲げた具体的な研究項目は以下の通りである。

### (A) 複合極限環境の生成および測定技術の開発

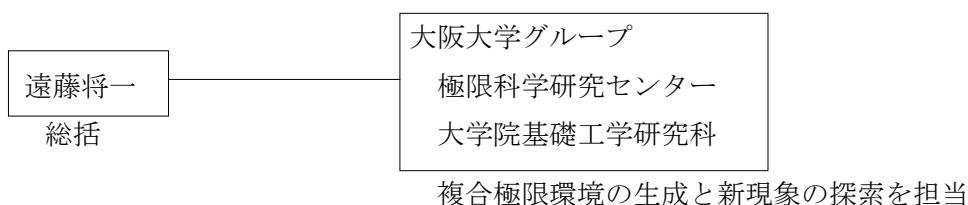
極低温・超高圧の発生、150T (テスラ) 非破壊パルスマグネットの開発、極低温・超高圧下の電気抵抗測定、超高圧・低温下の精密磁化測定、超高圧・パルス強磁場下の磁化測定、超高圧下のNMR、ESRの開発、

### (B) 複合極限環境下の物性研究

極低温・超高圧下の圧力誘起超伝導、強相関電子系の超伝導とメタ磁性、圧力誘起軌道再配列と磁気相転移、低次元磁性体の量子効果、新しい強誘電相の探索

当初の約2年間、主に(A) それら複合環境場の実現と新しい測定手段の開発に全力を傾注し、その後の3年間を測定手段の性能アップを行いながら、(B) 物性研究と新現象の探索に取り組むこととした。その間、大阪大学極限科学研究センターと基礎工学研究科の教官、技官、大学院生、CREST雇用の研究員、研究補助員、招聘外国人、文部科学省非常勤研究員からなる構成員は、単一グループとして活動した。

## 3. 研究実施体制



## 4. ワークショップ・シンポジウム等

なし

## 5. 主な研究成果

(1) 論文発表 (国内 55 件、海外 164 件)

(国内)

1. 石塚 守、天谷喜一、遠藤将一：“超高压下精密磁化測定装置の開発”、日本応用磁気学会誌、21, No.2 (1997) 75.
2. H. Manaka, I. Yamada, T. Kitazawa, M. Kobayashi, M. Ishizuka and S. Endo: “Observation of Pressure-Induced Structural Transition in  $K_2CuF_4$  by Phonon-Raman Scattering Experiments: Change of the Orbital Ordering by Pressure”, J. Phys. Soc. Jpn. 66, No.10 (1997) 2989.
3. T. Kakeshita, T. Saburi, K. Kindo and S. Endo: “Effect of Magnetic Field and Hydrostatic Pressure on Martensitic Transformation and Its Kinetics”, Jpn. J. Appl. Phys. 36, No.12A (1997) 7083.
4. S. Kometani, K. Shimizu, M. I. Eremets, M. Kobayashi and K. Amaya: “Pressure Induced Superconductivity of Sulfur”, J. Phys. Soc. Jpn., 66 (1997) 2564.
5. 那須三郎、樋野村徹：“メスバウアー分光でみた鉄窒化物の磁性”、まてりあ、36 (1997) 35.
6. 樋野村徹、那須三郎、金清裕和、広沢 哲：“Nb-Fe-B 系ナノコンポジット磁石の磁気的性質”、日本金属学会誌、61, 2 (1997) 184.
7. 樋野村徹、那須三郎、金清裕和、上原 稔、広沢 哲：“Cr 添加 Nd-Fe-B 系ナノコンポジット磁石の磁気的性質”、日本金属学会誌、61, 8 (1997) 765.
8. Y. Kobayashi, S. Endo, K. Deguchi, L. C. Ming, S. R. Shieh, T. Ashida, O. Shimomura, T. Kikegawa and H. Fujishita: “X-Ray Diffraction and Dielectric Measurements of  $PbZrO_3$  under High Pressures”, Rev. High Pressure Sci. Technol. 7 (1998) 310.
9. M. Ishizuka and S. Endo: “Magnetization Measurements under High Pressure in a Diamond-Anvil Cell Using a SQUID Vibrating Coil Magnetometer”, Rev. High Pressure Sci. Technol. 7 (1998) 484.
10. F. Ono, K. Sonoda, S. Kyuji, S. Endo and C. Ishizaka: “Magnetic Properties in  $Sm_2Fe_{17}N_x$  under High Pressure”, Rev. High Pressure Sci. Technol. 7 (1998) 559 .
11. S. Kyuji, S. Endo, F. Ono and T. Kanomata: “Pressure Dependence of the Curie Temperature in FePt and CoPt Alloys”, Rev. High Pressure Sci. Technol. 7 (1998) 562 .
12. M. Hagiwara, K. Minami, Y. Narumi, K. Tatani and K. Kindo: “Magnetic Properties of a Quantum Ferrimagnet:  $NiCu(pba)(D_2O)_3 \cdot 2D_2O$ ”, J. Phys. Soc. Jpn. 67, 7 (1998) 2209.

13. 天谷喜一、清水克哉、川井 昭：“極低温・超高压下の物性実験”、圧力技術、36, 4 (1998) 11.
14. 天谷喜一、清水克哉：“超高压下固体酸素の金属化と超伝導”、FSST NEWS No.70 (1998) 1.
15. 天谷喜一、清水克哉：“酸素も超伝導となる”、パリテイ、14, 5 (1998) 18.
16. 天谷喜一：“酸素分子が超伝導になる”、固体物理、No.9 (1998) 53.
17. N. Takeshita, S. Kometani, M. I. Eremets, K. Shimizu, K. Amaya and N. Hamaya: “Pressure Induced Superconductivity of SnI<sub>4</sub>”, Rev. High Pressure Sci. & Technol., 7 (1998) 595.
18. K. Shimizu, M. I. Eremets, K. Suhara and K. Amaya: “Oxygen under High Pressure-Temperature Dependence of Electrical Resistance”, Rev. High Pressure Sci. & Technol., 7 (1998) 784.
19. M. I. Eremets, K. Amaya, M. Kobayashi, K. Shimizu, S. Shimomura, O. Stephan, V. Blank and S. Endo: “Nanosecond Pulse Laser Heating of Graphite in DAC”, Rev. High Pressure Sci. & Technol., 7 (1998) 1013.
20. T. C. Kobayashi, T. Miyazu, N. Takeshita, K. Shimizu, K. Amaya, Y. Kitaoka and Y. Onuki: “Enhancement of superconducting transition temperature in CeCu<sub>2</sub>Ge<sub>2</sub> under high pressures”, J. Phys. Soc. Jpn. 67 (1998) 996.
21. K. Amaya, K. Shimizu, S. Kometani, M. I. Eremets, A. Onodera, T. C. Kobayashi, T. Mizutani, M. Ishizuka, S. Endo, M. Takai, N. Hamaya and I. Shirovani: “Pressure-induced superconductivity in some simple systems”, Rev. High Pressure Sci. & Technol. 7 (1998) 688.
22. M. I. Eremets, K. Amaya, K. Shimizu and T. C. Kobayashi: “High pressure methods at low temperatures and high magnetic fields”, Rev. High Pressure Sci. & Technol. 7 (1998) 469.
23. 那須三郎、樋野村 徹：“メスバウアー分光による Fe-N 系合金の磁性評価とクラスター計算”、まてりあ、37, 7 (1998) 592.
24. 那須三郎、樋野村 徹、友田 陽：“ $\gamma$ -FeMn および  $\epsilon$  Fe-Mn 合金の <sup>57</sup>Fe メスバウアー分光”、日本金属学会誌、62, 7 (1998) 635.
25. 那須三郎：“メスバウアー分光による物性研究”、放射線、24, 4 (1998) 71.
26. M. Otani, K. Yamaguchi, H. Miyagi and N. Suzuki: “First-Principles Calculations of Electronic Band Structures of High Pressure Phases of Solid Oxygen”, Rev. High Press. Sci. Tech. 7 (1998) 178.



27. N. Suzuki, Y. Matsumoto and I. Kitagawa: "Electronic Structure, Electron-Lattice Interaction, and Lattice Dynamics in FCC Solid Bromine", *Rev. High Press. Sci. Tech.* 7 (1998) 730.
28. K. Yamaguchi and H. Miyagi: "First-Principles Calculations of Hyperfine Parameters of Solid Iodine under High Pressure", *Rev. High Pressure Sci. Technol.* 7 (1998) 157.
29. K. Nagao and H. Nagara: "Atomic and Molecular Phases of Hydrogen at Megabar Pressures", *Rev. of High Press. Science and Technology* 7 (1998) 775.
30. I. Kakeya, T. Kakeshita, K. Kindo, Y. Yamamoto and T. Saburi: "High field magnetization in DyCu", *J. Phys. Soc. Jpn.* 68, 3 (1999) 31025.
31. M. Hagiwara, Y. Narumi, K. Minami, K. Tatani and K. Kindo: "Magnetization Process of the  $S=1/2$  and 1 Ferrimagnetic Chain and Dimer", *J. Phys. Soc. Jpn.* 68, 7 (1999) 2214.
32. 天谷喜一: "超高圧と酸素の超伝導現象", *高圧ガス*, 36, No.7 (1999) 42.
33. 清水克哉、天谷喜一: "DAC の超伝導探索への応用", *高圧力の科学と技術*, 9, No.4 (1999) 293.
34. K. Amaya, K. Shimizu and M. I. Eremets: "Search for Superconductivity at Ultra-high Pressures", *Proc. 3<sup>rd</sup> Int'l Conf. Low Temp. Chemistry* (Nagoya, July 1999) 205.
35. Y. Kobayashi, S. Nasu, T. Nakamichi, M. Sato, M. Seto and Y. Yoda: "Nuclear Resonant Scattering of Ferromagnetic Amorphous Ribbon", *Jpn. J. Appl. Phys.* 38 (1999) Suppl. 38-1, 412.
36. 遠藤将一、出口 潔: "水素結合型強誘電体  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  と  $\text{KD}_2\text{PO}_4$  の圧力効果", *高圧力の科学と技術*, 10, No.1 (2000) 12.
37. 遠藤将一、出口 潔: "圧力誘起相転移", *固体物理*, 35 (2000) 715.
38. T. Fukuda, T. Kakeshita, N. Tamura, T. Saburi and S. Endo: "Hydrostatic pressure dependence of transformation temperatures of Ti-Ni-Cu alloys", *Proc. Int. Symp. Shape Memory Materials, Kanazawa, Japan, 1999*, *Materials Science Forum* 327-328 (2000) 115.
39. M. Ishii, H. Tanaka, M. Hori, H. Uekura, Y. Ohashi, K. Tatani, Y. Narumi and K. Kindo: "Gapped Ground State in the Spin-1/2 Trimer Chain System  $\text{Cu}_3\text{Cl}_6(\text{H}_2\text{O})_2 \cdot 2\text{H}_8\text{C}_4\text{SO}_2$ ", *J. Phys. Soc. Jpn.* 69, 2 (2000) 340.
40. K. Onizuka, H. Kageyama, Y. Narumi, K. Kindo, Y. Ueda and T. Goto: "1/3 Magnetization Plateau in  $\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$ -Stripe Order of Excited Triplet-", *J. Phys. Soc. Jpn.* 69, 4 (2000) 1016.

41. D. Aoki, N. Watanabe, Y. Inada, R. Settai, K. Sugiyama, H. Harima, T. Inoue, K. Kindo, E. Yamamoto, Y. Haga and Y. Onuki: "Fermi surface properties of the enhanced Pauli paramagnet  $UAl_3$ ", J. Phys. Soc. Jpn. 69, 8 (2000) 2609.
42. 天谷喜一、清水克哉、鈴木 直: "圧力誘起超伝導"、日本物理学会誌、55, No.1 (2000) 10.
43. S. Tsutsui, Y. Kobayashi, M. Nakada, S. Nasu, E. Yamamoto, Y. Haga and Y. Onuki: " $^{57}\text{Fe}$  Mössbauer Spectroscopic Study of  $U_6\text{Fe}$ ", J. of Phys. Soc. Jpn., 69 7 (2000) 1764.
44. K. Kuzushita, S. Morimoto, S. Nasu and S. Nakamura: "Charge Disproportionation and Antiferromagnetic Order of  $\text{Sr}_3\text{Fe}_2\text{O}_7$ ", J. Phys. Soc. Jpn. 69 (2000) 2767.
45. T. Kakeshita, T. Fukuda, K. Kindo and S. Endo: "Martensitic transformation in shape memory alloys under magnetic field and hydrostatic pressure", Trans. Mater. Res. Soc. Jpn. 26 (2001) 209.
46. M. Ishizuka, S. Endo, T. Takeuchi, R. Settai and Y. Onuki: "Pressure dependence of the Neel temperature for a dense Kondo compound  $\text{PrSn}_3$  up to about 10 GPa", J. Phys. Soc. Jpn. 70 (2001) 1855.
47. D. Aoki, N. Suzuki, K. Miyake, Y. Inada, R. Settai, K. Sugiyama, E. Yamamoto, Y. Haga, Y. Onuki, T. Inoue, K. Kindo, H. Sugawara, H. Sato and H. Yamagami: "Electronic states of the antiferromagnet  $UGa_3$ ", J. Phys. Soc. Jpn. 70, 2 (2001) 538.
48. S. Maruyama, H. Tanaka, Y. Narumi, K. Kindo, H. Nojiri, M. Motokawa and K. Nakaga: "Susceptibility, Magnetization Process and ESR studies on the Helical spin system  $\text{RbCuCl}_3$ ", J. Phys. Soc. Jpn. 70, 3 (2001) 859.
49. 天谷喜一、清水克哉: "超高压下では酸素も超伝導になる!", 化学、56, No.6 (2001) 33.
50. 天谷喜一、清水克哉、鈴木 直、大貫惇睦: "鉄の超伝導"、固体物理、36 (2001) 49.
51. T. C. Kobayashi, H. Tatewaki, A. Koda, K. Amaya, Y. Narumi, K. Kindo, N. Aizawa, T. Ishii and M. Yamashita: "Field-induced long range ordering in Haldane gap system  $\text{NDMAZ}$ ", J. Phys. Soc. Jpn. 70 (2001) 813.
52. T. Kawakami, S. Nasu, T. sasaki, S. Morimoto, S. Endo, S. Kawasaki and M. Takano: "Charge Disproportionation and magnetic Order of  $\text{CaFeO}_3$  under High Pressure up to 65 GPa", J. Phys. Soc. Jpn. 70 (2001) 1491.
53. T. Muramatsu, N. Tateiwa, T. C. Kobayashi, K. Shimizu, K. Amaya, D. Aoki, H. Shishido, Y. Haga and Y. Onuki: "Transport properties of  $\text{CeRhIn}_5$  under high pressures up to 8.5 GPa",

*Proc. SCES2001*, in press.

54. N. Tateiwa, T. C. Kobayashi, K. Amaya, Y. Haga, R. Settai and Y. Onuki: "Heat capacity of pressure-induced superconductivity in itinerant ferromagnet UGe<sub>2</sub>", *Proc. SCES2001*, in press.
55. A. Masago, H. Katayama-Yoshida and N. Suzuki: "Group Theoretical Classification of Broken Symmetry States of Doubly Degenerate Orbital Systems with Cubic Structure", *J. Phys. Soc. Jpn. Suppl.*, in press.

(海外)

1. Y. Kobayashi, S. Endo, K. Deguchi, O. Shimomura and T. Kikegawa: "Crystal Systems and Dielectric Constants of High-Pressure Phases of KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>", *Phys. Rev. B* 55, No.5 (1997) 2850.
2. M. Ishizuka, Y. Kai, R. Akimoto, M. Kobayashi, K. Amaya and S. Endo: "Pressure-Induced Ferromagnetism in EuTe", *J. Magn. Magn. Mater.* 166 (1997) 211.
3. T. Kakeshita, T. Fukuda, T. Saburi, K. Kindo and S. Endo: "Effects of Magnetic Field and Hydrostatic Pressure on Martensitic Transformation Process in Some Ferrous Alloys", *Physica B* 237-238 (1997) 603.
4. S. Kyuji, S. Endo, T. Kanomata and F. Ono: "Pressure Dependence of the Curie Temperature in Ni<sub>2</sub>MnSn Heusler Alloy", *Physica B* 237-238 (1997) 523.
5. F. Ono, X. Hu, N. Fujii, K. Hayashi, N. Okada, S. Endo and T. Kanomata: "Magnetization Curves in MnZnSb around the Curie Temperature", *Physica B* 237-238 (1997) 162.
6. Y. Akahama and S. Endo: "Transport Study on Pressure-Induced Band Overlapped Metallization of Layered Semiconductor Black Phosphorus", *Solid State Commun.* 104, No.6 (1997) 307.
7. S. R. Shieh, S. Hemmi, L. C. Ming, A. Jayaraman, S. Endo, O. Shimomura and T. Kikegawa: "A High Pressure X-Ray Diffraction Study of KTb(MoO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>: Pressure-Induced Phase Transition and Equation of State", *J. Phys. Chem. Solids* 58, No.12 (1997) 2069.
8. K. Amaya: "Pressure Induced Superconductivity in Some Simple Molecular Crystals", *Proc. Adriatico Research Conf.* at ICTP (Trieste, Italy, July 1-4, 1997) 34.
9. K. Shimizu, K. Suhara and K. Amaya: "Electrical Resistance Measurement for Metallic Oxygen", *Proc. Adriatico Research Conf.* at ICTP (Trieste, Italy, July 1-4, 1997) 104.
10. Y. Kobayashi, S. Nasu, T. Emoto and T. Shinjo: "<sup>197</sup>Au Mössbauer Study of Au/TM (TM = Fe, Co, Ni) Multilayers and Alloys", *Physica B*, 237-238 (1997) 249.

11. S. Nasu, T. Hinomura, S. Hirosawa and H. Kanekiyo: "Magnetic Properties of Nd-Fe-B Nanocrystalline Composite", *Physica B*, 237-238 (1997) 283.
12. T. Hinomura and S. Nasu: "<sup>57</sup>Fe Mössbauer Study of Fe-N Alloys", *Physica B*, 237-238 (1997) 557.
13. T.Hinomura, S.Nasu, H.Kanekiyo, M.Uehara and S.Hirosawa: "Properties of Nd-Fe-B-Cr Nanocrystalline Comosite Magnets", *Materials Trans., JIM*, 38, 12 (1997) 1106.
14. M. Ishizuka, M. Terai, M. Hidaka, S. Endo, I. Yamada and O. Shimomura: "Pressure-Induced Structural Phase Transition in the Two-Dimensional Heisenberg Ferromagnet K<sub>2</sub>CuF<sub>4</sub>", *Phys. Rev. B* 57, No.1 (1998) 64.
15. S. Endo, A. Honda, K. Koto, O. Shimomura, T. Kikegawa and N. Hamaya: "Crystal Structure of High-Pressure Phase-IV Solid Hydrogen Sulfide", *Physica B* 57, No.10 (1998) 5699.
16. S. Endo, S. Nakaike, M. Ishizuka and F. Ono: "High-Pressure Synthesis and Magnetic Properties of C14-TbMn<sub>2</sub>", *J. Magn. Magn. Mater.* 177-181 (1998) 1075.
17. M. Ishizuka, M. Terai, S. Endo, M. Hidaka, I. Yamada and O. Shimomura: "Pressure-Induced Magnetic Phase Transition in the Two-Dimensional Heisenberg Ferromagnet K<sub>2</sub>CuF<sub>4</sub>", *J. Magn. Magn. Mater.* 177-181 (1998) 725.
18. J. Tang, M. Kai, Y. Kobayashi, S. Endo, O. Shimomura, T. Kikegawa and T. Asida: "A High-Pressure High-Temperature X-Ray Study of Phase Relations and Polymorphism of HfO<sub>2</sub>". *Properties of Earth and Planetary Materials at High Pressure and Temperature*, (American Geophysical Union, Washington, 1998) pp.401.
19. L. C. Ming and S. R. Shieh, Y. Kobayashi, S. Endo, O. Shimomura and T. Kikegawa: "An in situ High Pressure X Ray Diffraction Study on Perovskite-Structured PbZrO<sub>3</sub> and PbTiO<sub>3</sub> to 57 GPa", *Properties of Earth and Planetary Materials at High Pressure and Temperature*, (American Geophysical Union, Washington, 1998) pp.441.
20. S. Endo, K. Kindo, S. Imada, J. Yamada and M. Ishizuka: "A Magnetization Measurement under High Pressure and Pulsed High Magnetic Field", *Proc. 3rd China-Japan High Pressure Seminar* (1998) 141.
21. F. Ono, N. Fujii, K. Hayashi, S. Wei, X. Hu, N. Okada, S. Endo and T. Kanomata: "Two-Dimensional Properties in MnGaGe around the Curie Temperature", *Inst. Phys. Conf. Ser.* 152 (1998) 853.
22. N. Suzuki, T. Kanomata, T. Suzuki, K. Sato, T. Kaneko, M. Yamagishi and S. Endo: "Thermal Expansion of MnRhP", *Journal of Alloys and Compounds* 281 (1998) 77.

23. Y. Narumi, R. Sato, K. Kindo and M. Hagiwara: "Magnetic property of an  $S=1$  antiferromagnetic dimer compound", *J. Mag. Mag. Mat.* 177-181, (1998) 685.
24. R. Sato, K. Kindo, Y. Narumi and M. Hagiwara: "Thermodynamics of the  $S=1$  quantum spin chains with bond alternation", *J. Mag. Mag. Mat.* 177-181 (1998) 645.
25. M. Hagiwara, Y. Narumi, K. Kindo, M. Kohno, H. Nakan, R. Sato and M. Takahashi: "Experimental Verification of the Gapless Point in the  $S=1$  Antiferromagnetic Bond Alternating Chain", *Phys. Rev. Lett.* 80, 6 (1998) 1312.
26. M. Hagiwara, Y. Narumi, K. Kindo, T. Nishida, M. Kaburagi and T. Tonegawa: "High-field magnetization process of a spin liquid system  $\text{Cu}_2(1,4\text{-diazacycloheptane})_2\text{C}_{14}$ ", *Physica B* 246-247 (1998) 234.
27. M. Matsuda, K. Katsumata, Y. Narumi and K. Kindo: "Magnetization measurements of the quasi-one-dimensional magnet  $\text{Sr}_{14}\text{Cu}_{24}\text{O}_{41}$ ", *Physica B* 246-247 (1998) 516.
28. Y. Narumi, M. Hagiwara, R. Sato, K. Kindo, H. Nakano and M. Takahashi: "High field magnetization in an  $S=1$  antiferromagnetic chain with bond alternation", *Physica B* 246-247 (1998) 509.
29. T. Hamamoto, Y. Narumi, K. Kindo, K. Mukai, Y. Shimobe, T. C. Kobayashi, T. Muramatsu and K. Amaya: "Phase diagram of a new spin-Peierls compound: p-CyDOV", *Physica B* 246-247 (1998) 36.
30. R. Sato and K. Kindo: "Magnetization process of the  $S=1$  ferromagnetic-antiferromagnetic alternating Heisenberg chain", *Physica B* 246-247 (1998) 372.
31. K. Shimizu, K. Suhara, M. I. Eremets and K. Amaya: "Superconductivity in Oxygen", *Nature*, 393 (1998) 767.
32. T. C. Kobayashi, T. Miyazu, K. Shimizu, K. Amaya, Y. Kitaoka, Y. Onuki, M. Shirase and T. Takabatake: "Magnetic-to-nonmagnetic transition in the ferromagnetic heavy-fermion compound  $\text{CeRu}_2\text{Ge}_2$  at high pressures", *Phys. Rev. B* 57 (1998) 5025.
33. M. I. Eremets, K. Shimizu, T. C. Kobayashi and K. Amaya: "Metallic CsI at pressures up to 220 Gigapascals", *Science* 281 (1998) 1333.
34. K. Amaya, K. Shimizu, M. I. Eremets, T. C. Kobayashi and S. Endo: "Observation of pressure-induced superconductivity in the megabar region", *J. Phys.: Condens. Matter* 10 (1998) 11179.

35. M. I. Eremets, K. Shimizu, T. C. Kobayashi and K. Amaya: “Metallization and superconductivity in CsI at pressures up to 220 GPa”, *J. Phys.: Condens. Matter* 10 (1998) 11519.
36. Y. Kobayashi, S. Nasu, T. Emoto and T. Shinjo: “<sup>197</sup>Au Mössbauer Study of Au/TM (TM = Fe, Co, Ni) Multilayers”, *Hyperfine Int.*, 111 (1998) 129.
37. S. Nasu, T. Hinomura, S. Hirosawa and H. Kanekiyo: “Magnetic Properties of Nanocrystalline in Nd-Fe-B System”, *Hyperfine Int.*, 111 (1998) 151.
38. T. Hinomura and S. Nasu: “A Study of Fe-N Alloy System”, *Hyperfine Int.*, 111 (1998) 221.
39. S. Nasu: “Mössbauer Spectroscopy and its Application to Materials Research”, *High Temperature Materials and Processes*, 17, 1-2 (1998) 45.
40. T. Hinomura and S. Nasu: “<sup>57</sup>Fe Mössbauer Study on Distribution and Interaction of N Interstitials in  $\gamma$ -FeN Austenite and  $\alpha'$ -FeN Martensite”, *Materials Trans. JIM*, 39, 7 (1998) 700.
41. S. Nasu: “High Pressure Experiments with Synchrotron Radiation”, *Hyperfine Int.*, 113 (1998) 97.
42. S. Morimoto, K. Kuzushita and S. Nasu: “Mössbauer Study on the Oxygen-deficient Layered Perovskite Sr<sub>3</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>7-x</sub> with Fe<sup>4+</sup>”, *Hyperfine Int. C*, 3 (1998) 197.
43. Y. Kobayashi, T. Shinjo, S. Nasu and T. Emoto: “<sup>197</sup>Au Mössbauer Study of Au/M (M=Mn, Fe, Co, Ni) Multilayers”, *Hyperfine Int. C*, 3 (1998) 393.
44. T. Hinomura, S. Nasu, H. Kanekiyo, M. Uehara and S. Hirosawa: “Mössbauer Study on Magnetic Properties of Cr-added Nd-Fe-B Nanocrystalline Composite”, *Hyperfine Int. C*, 3 (1998) 189.
45. M. Kobayashi, T. Nanba, M. Kamada and S. Endo: “Proton Order-Disorder Transition of Ice Investigated by Far-Infrared Spectroscopy under High Pressure”, *J. Phys. Condens. Matter*, 10, No.49 (1998) 11551.
46. M. Otani, K. Yamaguchi, H. Miyagi and N. Suzuki: “Pressure-Induced Insulator-Metal Transition of Solid Oxygen — Band Structure Calculations”, *J. Phys. Condens. Matter* 10 No.49 (1998) 11603.
47. K. Yamaguchi and H. Miyagi: “Structural Properties of Molecular Solid Iodine under Pressure: First-Principles Study of Raman-active Ag modes and Hyperfine Parameters”, *Phys. Rev. B* 15 57 (1998) 11141.

48. H. Miyagi, K. Yamaguchi, H. Matsuo and K. Mukose: "First-Principles Study on Solid Iodine and Bromine under High Pressure", *J. Phys. C*10 (1998) 11203.
49. K. Nagao and H. Nagara: "Theoretical Study of Raman and Infrared Active Vibrational Modes in Highly Compressed Solid Hydrogen", *Phys. Rev. Lett.* 80 No.3 (1998) 548.
50. H. Nagara and K. Nagao: "Vibrons and Phonons in Solid Hydrogen at Megabar Pressures", *J. Low Temp. Phys.* 111 Nos.3/4 (1998) 483.
51. H. Nagara, K. Nagao and T. Takezawa: "Study of the structures of solid hydrogen at Megabar Pressures by first principles calculations", *J. Phys. Condens. Matter.* 10 No.49 (1998) 11191.
52. Y. Kobayashi, S. Endo, L.C. Ming, K. Deguchi, T. Ashida and H. Fujishita: "X-Ray Diffraction and Dielectric Measurements on PbZrO<sub>3</sub> at High Pressure: a Phase Transformation Study", *J. Phys. Chem. Solids* 60 (1999) 57.
53. H. Furuta, S. Endo, L. C. Ming and H. Fujihisa: "Phase Transitions in PbZrO<sub>3</sub> under High Pressure Studied by Raman Scattering", *J. Phys. Chem. Solids* 60 (1999) 65.
54. M. Ishizuka and S. Endo: "Measurements of Superconducting Transitions at Pressures up to 83 GPa", *Physica B* 265 (1999) 254.
55. T. Kakeshita, Y. Sato, T. Saburi, K. Shimizu, Y. Matsuoka, K. Kindo and S. Endo: "Effects of Static Magnetic Field and Hydrostatic Pressure on the Isothermal Martensitic Transformation in an Fe-Ni-Cr Alloy", *Mater. Trans., JIM* 40 No.2 (1999) 107.
56. S. Endo, J. Yamada, S. Imada, K. Ishizuka, K. Kindo, S. Miyamoto and F. Ono: "Development of Magnetization Measurement under High Pressure and Pulsed High Magnetic Field", *Rev. Sci. Instrum.* 70 No.5 (1999) 2445.
57. M. Ishizuka, S. Henmi, S. Endo, M. C. Moron and F. Palacio: "Magnetic behavior of CsMnF<sub>4</sub> under high pressure", *J. Magn. Magn. Mater.* 196-197 (1999)440.
58. S. Endo, T. Sawada, T. Tsukawake, Y. Kobayashi, M. Ishizuka, K. Deguchi and M. Tokunaga: "Vanishing of the ferroelectric state with a finite Curie constant in the hydrogen-bond crystal KD<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> at high pressure", *Solid State Commun.* 112 (1999) 655.
59. H. Furuta, S. Endo, L. C. Ming and M. Kobayashi: "Raman scattering study of PbZrO<sub>3</sub> under high pressure", *Physica B* 263-264 (1999) 816.
60. S. Endo, T. Sawada, T. Tsukawake, Y. Kobayashi, M. Ishizuka, K. Deguchi and M. Tokunaga: "Vanishing of ferroelectric phase transition in DKDP and KDP at high pressure", *J. Korean Phys. Soc.* 35 (1999) S1380.

61. Y. Kobayashi, S. Endo, T. Ashida, K. Deguchi, L. C. Ming T. Kikegawa and G. Zou: “KNbO<sub>3</sub> under High Pressure”, *J. Korean. Phys. Soc.* 35 (1999) S1452.
62. T. Kakeshita, T. Saburi, K. Kindo and S. Endo: “Martensitic transformations in some ferrous and non-ferrous alloys under magnetic field and hydrostatic pressure”, *Phase Transitions* 70 (1999) 65.
63. M. Azuma, T. Saito, Y. Fujishiro, Z. Hiroi, M. Takano, F. Izumi, T. Kamiyama, T. Ikeda, Y. Narumi and K. Kindo: “High-pressure form of (VO)<sub>2</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub>: A spin-1/2 antiferro alternating-chain compound with one kind of chain and a single spin gap”, *Phys. Rev. B* 60, 14 (1999) 10145.
64. Y. Narumi, K. Tatani, M. Hagiwara, H. Nakano and K. Kindo: “HIGH FIELD MAGNETIZATION PROCESS OF AN S=1 BOND ALTERNATING CHAIN COMPOUND: [Ni(tmeda)(N<sub>3</sub>)<sub>2</sub>]<sub>n</sub>”, *Proc. Phys. Phenomena at High Magnetic Fields-III* (1999) 307.
65. T. Hamamoto, K. Kindo, T. Muramatsu, T. C. Kobayashi, Y. Uwatoko, S. Araki, R. Settai and Y. Onuki: “Magnetization Measurements in pulsed magnetic field up to 50 T with a Be-Cu pressure cell”, *Proc. Phys. Phenomena at High Magnetic Fields-III* (1999) 307.
66. T. Yamauchi, Y. Narumi, J. Kikuchi, Y. Ueda, K. Tatani, T. C. Kobayashi, K. Kindo and K. Motoya: “Two Gaps in (VO)<sub>2</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub>: Observation Using High-Field Magnetization and NMR”, *Phys. Rev. Lett.* 83, 18 (1999) 3729.
67. K. Amaya, K. Shimizu and M. I. Eremets : “Search for Superconductivity under Ultra-high Pressure”, *Int'l J. Mod. Phys. B*, 13 (1999) 3623.
68. K. Amaya: “Search for Superconductivity at Mbar Region”, *Proc. IUCr XVIII Congress* (Glasgow, Aug. 1999) 113.
69. T. Muramatsu, S. Eda, T. C. Kobayashi, M. I. Eremets, K. Amaya, S. Araki, R. Settai, Y. Onuki: “Magnetic and transport properties of CeRh<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> under high pressures”, *Physica B* 259-261 (1999) 61.
70. A. Koda, T. C. Kobayashi, K. Amaya, M. Yamashita: “Field-induced 3D-LRO of Haldane-gap antiferromagnet NDMAZ”, *J. Magn. Magn. Mat.* 196-197 (1999) 443.
71. S. Tsutsui, M. Nakada, M. Saeki, S. Nasu, Y. Haga, E. Haga and Y. Onuki, “<sup>238</sup>U Mössbauer Spectroscopy of UGe<sub>2</sub>”, *Phys. Rev. B* 60 1(1999) 37.
72. S. Nasu: “Mössbauer Study of Defects and Local Structure in Solids”, *Radiat. Eff.* 148 (1999) 181.



73. M. Kobayashi, Y. Nakamura, S. Endo and W. Girit: "Anomalous Enhancement of IR Emission in  $Zn_{1-x}Mn_xS$  Retrieved after Pressure-Induced Phase Transition", *Phys. Stat. Sol. B* 211, No.1 (1999) 359.
74. S. Kokado and N. Suzuki: "Theoretical Study on EPR and ESR Spectra in  $CuGeO_3$ ", *Proc. 4th Int. Symp. on Advanced Physical Fields "Quantum Phenomena in Advanced Materials at High Magnetic Fields"*, (1999) 243.
75. M. Otani, H. Miyagi and N. Suzuki: "Theoretical Study on Magnetic Properties of Low-Dimensional Oxygen Molecular Assemblies", *Physica B* 265, No.1-4 (1999) 60.
76. S. Kokado and N. Suzuki: "Staggered Susceptibility of  $S=1/2$  Exchange-Alternating Chains Studied by Exact Diagonalization Method", *J. Mag. & Mag. Mater* 196-197 (1999) 566.
77. S. Kokado and N. Suzuki: "Magnetic Properties of Pseudo-1D  $S=1/2$  AF-F Alternating Chains under Magnetic Fields", *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* 335 (1999) 153.
78. K. Nagao, T. Takezawa and H. Nagara: "Ab initio calculation of optical-mode frequencies in compressed solid hydrogen", *Phys. Rev. B* 59 No.21 (1999) 13741.
79. M. Ishizuka, M. Iketani and S. Endo: "Pressure effect on superconductivity of vanadium at megabar pressures", *Phys. Rev. B*, 61 (2000) R3823.
80. Y. Kobayashi, S. Endo, T. Ashida, L. C. Ming and T. Kikegawa: "High-pressure phase above 40 GPa in ferroelectric  $KNbO_3$ ", *Phys. Rev. B* 61, No.9 (2000) 5819.
81. M. Tokunaga, S. Endo, T. Tsukawake, T. Sawada, Y. Kobayashi, M. Ishizuka and K. Deguchi: "Vanishing of order-disorder type phase transition in DKDP at high pressure", *Ferroelectrics* 237 (2000) 169.
82. H. Furuta, S. Endo, M. Kobayashi, J. Watanabe, M. Kasahara and T. Yagi: "Pressure-temperature phase diagram of zero-dimensional hydrogen-bonded crystal  $K_3H(SO_4)_2$  studied by Raman scattering", *Ferroelectrics* 242 (2000) 37.
83. T. Eto, S. Endo, M. Imai, Y. Katayama and T. Kikegawa: "Crystal structure of NiO under high pressure", *Phys. Rev. B* 61 (2000) 14984.
84. M. Yamagishi, H. Furuta, S. Endo, M. Kobayashi: "Raman scattering of solid  $H_2S$  under high pressure", *Science and Technology of High Pressure Proc. AIRAPT-17, Honolulu, 1999*, 1 (2000) 391.
85. T. Eto, S. Endo, M. Imai, Y. Katayama and T. Kikegawa: "Crystal structure of NiO under high pressure", *Science and Technology of High Pressure, Proc. AIRAPT-17, Honolulu, 1999*, 1

- (2000) 487.
86. H. Furuta, S. Endo, L. C. Ming and M. Kobayashi: "Pressure-induced structural transition in  $\text{PbZrO}_3$ ", Science and Technology of High Pressure, *Proc. AIRAPT-17, Honolulu, 1999*, 1 (2000) 558.
  87. M. Ishizuka, M. Iketani and S. Endo: "Pressure effect on superconducting transition of vanadium at Megabar", Science and Technology of High Pressure, *Proc. AIRAPT-17, Honolulu, 1999*, 2 (2000) 709.
  88. T. Nishimura, M. Nishino, S. Endo, K. Kindo and F. Ono: "Magnetization measurements of a disordered  $\text{Fe}_{0.72}\text{Pt}_{0.28}$  Invar alloy under high pressure and pulsed high magnetic field", Science and Technology of High Pressure, *Proc. AIRAPT-17, Honolulu, 1999*, 2 (2000) 771.
  89. Y. Kobayashi, S. Endo, T. Ashida, K. Deguchi, L. C. Ming, T. Kikegawa and G. Zou: "X-ray diffraction and dielectric constant measurements of  $\text{KNbO}_3$  under high pressure", Science and Technology of High Pressure, *Proc. AIRAPT-17, Honolulu, 1999*, 2 (2000) 840.
  90. S. Endo, M. Nishino and F. Ono: "Pressure dependence of the Curie temperature in Fe-Ni Invar alloys", Science and Technology of High Pressure, *Proc. AIRAPT-17, Honolulu, 1999*, 2 (2000) 850.
  91. T. Eto, M. Yamagishi, M. Ishizuka, S. Endo, T. Ashida, T. Kanomata, T. Kikegawa and R. Zach: "Pressure-induced structural transition in intermetallic compounds  $\text{MnRhP}$  and  $\text{MnRhAs}$ ", *J. Alloys Comp.* 307 (2000) 96.
  92. T. Kanomata, N. Suzuki, T. Kaneko, H. Kato, N. Fujii, M. Ishizuka and S. Endo: "Low-temperature magnetic behavior of  $\text{Cr}_{48}\text{Te}_{52}$ ", *Physica B* 284-288 (2000) 1515.
  93. M. Nishino, N. Fujii, S. Endo, T. Kanomata and F. Ono: "Anomalous pressure dependence of the Curie temperature in  $\text{MnRhP}$ ", *Phys. Lett. A*, 276 (2000) 133.
  94. T. Hamamoto, K. Kindo, T. C. Kobayashi, Y. Uwatoko, S. Araki, R. Settai and Y. Onuki: "Metamagnetic transition of  $\text{CeRh}_2\text{Si}_2$  under high fields and high pressures at various temperatures", *Physica B* 281-282 (2000) 64.
  95. T. Inoue, K. Kindo, D. Aoki, K. Sugiyama, E. Yamamoto, Y. Haga and Y. Onuki: "High-field magnetization of  $\text{UCd}_{11}$ ", *Physica B* 281-282 (2000) 204.
  96. S. Kawasaki, N. Takamoto, Y. Narumi, K. Kindo, S. Hiura, F. Iga and T. Takabatake: "Temperature dependence of metamagnetic transition in  $\text{YbB}_{12}$ ", *Physica B* 281-282 (2000) 269.

97. S. Hiura, F. Iga, N. Takamoto, K. Kindo, I. Oguro and T. Takabatake: “High-field magnetization and magnetoresistance of single crystal  $\text{Yb}_{1-x}\text{Lu}_x\text{B}_{12}$  ( $x \leq 1/4$ )”, *Physica B* 281-282 (2000) 271.
98. M. Azuma, T. Odaka, M. Takano, D. A. Vander Griend, K. R. Poeppelmeier, Y. Narumi, K. Kindo, Y. Mizuno and S. Maekawa: “Antiferromagnetic ordering of  $S=1/2$  triangles in  $\text{La}_4\text{Cu}_3\text{MoO}_{12}$ ”, *Phys. Rev. B* 62, 6 (2000) R3588.
99. Z. Honda, K. Katsumata, Y. Narumi, K. Kindo and H. Hori: “Low-temperature high-field magnetization measurement on a quantum spin chain”, *Physica. B* 284-288, (2000) 1587.
100. K. Shimizu, M. Ikumo, T. Takezawa and K. Amaya: “Electrical Resistance Measurement of Solid Xenon”, *Science and Technology of High Pressure, Proc. AIRAPT-17, Honolulu, 1999*, 1 (2000) 388.
101. K. Shimizu, M. I. Eremets, T. C. Kobayashi and K. Amaya: “Electrical studies in DAC”, *Sci. & Tech. of High Pressure* (2000) 77.
102. K. Shimizu, T. C. Kobayashi, T. Muramatsu, K. Takeda, K. Hashimoto and K. Amaya: “Electrical resistance measurement in hydrostatic pressure up to 10 GPa using a diamond anvil cell”, *Sci. & Tech. of High Pressure* (2000) 1089.
103. T. C. Kobayashi, K. Hashimoto, S. Eda, K. Shimizu, K. Amaya and Y. Onuki: “Pressure dependence of quadrupole ordering temperature  $T_Q$  in  $\text{CeB}_6$ ”, *Physica B* 281&282 (2000) 553.
104. T. C. Kobayashi, T. Muramatsu, M. Takimoto, K. Hanazono, K. Shimizu, K. Amaya, S. Araki, R. Settai and Y. Onuki: “Pressure-dependence of superconducting behavior in  $\text{CeRh}_2\text{Si}_2$ ”, *Physica B* 281&282 (2000) 7.
105. M. Seto, Y. Kobayashi, S. Kitano, R. Haruki, T. Mitsui, Y. Yoda, S. Nasu and S. Kikuta: “Local Vibrational Densities of States of Dilute Fe Atoms in Al Cu Metals”, *Phys. Rev. B* 61 17(2000) 11420.
106. S. Nasu: “High Pressure Mössbauer Spectroscopy using Synchrotron Radiation and Radioactive Sources”, *Hyperfine Interactions*, 128 (2000) 101.
107. S. Nasu, K. Wada, K. Kuzushita, S. Morimoto and M. Takano: “Pressure Induced Ferromagnetism of  $\text{SrFeO}_3$ ”, *Science and Technology of High Pressure, Proc. AIRAPT-17, Honolulu, 1999*, 2 (2000) 763.
108. Y. Mita, M. Kobayashi and S. Endo: “Magnon Raman Scattering in Solid Oxygen under High Pressure”, *Phys. Rev. B* 62 (2000) 8891.

109. Y.Mita, Y.Sakai, M.Kobayashi and S.Endo: “Pressure Dependence of Magnon Raman Scattering in Solid Oxygen”, Science and Technology of High Pressure, *Proc. AIRAPT-17, Honolulu, 1999*, 1(2000) 411.
110. M. Kobayashi, Y. Higuchi, S. Endo and K. Nagata: “IR Reflection and Raman Spectra of Selenium Under High Pressure”, Science and Technology of High Pressure, *Proc. AIRAPT-17, Honolulu, 1999*, 2 (2000) 991.
111. M. Otani and N. Suzuki: “Theoretical Study on Electronic Structure and Lattice Dynamics of Solid O and Se under High Pressures”, *Rev. High Press. Sci. Tech.* 8 (2000) 364.
112. M. Otani and N. Suzuki: “First-Principles Study on Electronic Band Structure and Lattice Dynamics of Vanadium under High Pressure”, *Proc. 3rd Japan-Korea Joint Workshop on First-Principles Electronic Structure Calculations [JK2000]* (2000) p.32.
113. H. Furuta, S. Endo, M. Tokunaga, Y. Tomonaga and M. Kobayashi: “Local distortion of PO<sub>4</sub> tetrahedrons in the paraelectric phase in low temperature under high pressure in KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>”, *Solid State Commun.* 117 (2001) 7.
114. T. Eto, M. Ishizuka, S. Endo, T. Kanomata and T. Kikegawa: “Pressure-induced structural phase transition in a ferromagnet CrTe”, *J. Alloys Comp.* 315 (2001) 16.
115. N. Fujii, R. Zach, M. Ishizuka, F. Ono, T. Kanomata and S. Endo: “Pressure induced magnetic transition in MnRhAs”, *J. Magn. Magn. Mater.* 224 (2001) 12.
116. M. Ishizuka, H. Kato, T. Kunisue, S. Endo, T. Kanomata and H. Nishihara: “Pressure-induced magnetic phase transition in CrTe at approximately 7GPa”, *J. Alloys Comp.* 320 (2001) 24.
117. F. Ono, H. Inoue, S. Wei, A. Takahashi, S. Endo, N. Fujii, T. Kanomata, R. Zach, A. Iwase: “Magnetization curves in MnRhP around the Curie temperature”, *J. Alloys Compounds* 317-318 (2001) 254.
118. Y. Narumi, M. Hagiwara, K. Masanori and K. Kindo: “Evidence for the singlet-dimer ground state in an S=1 antiferromagnetic bond alternating chain”, *Phys. Rev. Lett.* 86, 2 (2001) 324.
119. S. Kimura, S. Hirai, Y. Narumi, K. Kindo and M. Hagiwara: “High-field ESR measurements of an S=1 antiferromagnetic dimer compound”, *Physica B* 294-295 (2001) 47.
120. S. Kimura, S. Hirai, Y. Narumi, K. Kindo, H. Nojiri, H. Kageyama, K. Onizuka and Y. Ueda: “High-field ESR measurements of SrCu<sub>2</sub>(BO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>”, *Physica B* 294-295 (2001) 68.
121. Y. Narumi, S. Kimura, S. Hirai, K. Kindo, H. Schwenk, S. Schmidt, B. Wolf, B. Leuthi, T. Saito, M. Azuma and M. Takano: “High-field magnetization measurements on single crystals

- of  $(\text{VO})_2\text{P}_2\text{O}_7$ ”, *Physica B* 294-295 (2001) 71.
122. M. Hagiwara, Y. Narumi, K. Minami and K. Kindo: “High-field magnetization of an  $S=1/2$  F-F-AF-AF tetramer chain”, *Physica B* 294-295 (2001) 30.
  123. M. Hagiwara, Y. Narumi, K. Kindo, N. Maeshima, K. Okunishi, T. Sakai and M. Takahashi: “High-field magnetization of an  $S=1/2$  zigzag chain compound  $(\text{N}_2\text{H}_5) \text{CuCl}_3$ ”, *Physica B* 294-295 (2001) 83.
  124. H. Kageyama, Y. Narumi, K. Kindo, K. Onizuka, Y. Ueda and T. Goto: “Quantized magnetization plateaux in the orthogonal dimer system”, *Journal of Alloys and Compounds* 317-318 (2001) 177.
  125. M. Sasaki, N. Miyajima, H. Negishi, M. Inoue, V.A. Kulbachinskii, K. Suga, Y. Narumi and K. Kindo: “A new type of quantized Hall effect in layered semiconductors  $\text{Bi}_{2-x}\text{Sn}_x\text{Te}_3$  and  $\text{Sb}_{2-x}\text{Sn}_x\text{Te}_3$ ”, *Physica B* 298 (2001) 510.
  126. M. Sasaki, N. Miyajima, H. Negishi, K. Suga, Y. Narumi and K. Kindo: “Anomalous quantum Hall effect in charge-density-wave material  $\eta\text{-Mo}_4\text{O}_{11}$ ”, *Physica B* 298 (2001) 520.
  127. V. A. Kulbachinskii, A. Y. Kaminskii, K. Kindo, Y. Narumi, K. Suga, P. Lostak and Svanda P: “Ferromagnetic transition in the new diluted magnetic semiconductor  $p\text{-Bi}_{2-x}\text{Fe}_x\text{Te}_3$ ”, *Phys. Lett. A* 285 (2001) 173.
  128. K. Shimizu, T. Kimura, S. Furomoto, K. Takeda, K. Kontani, Y. Onuki and K. Amaya: “Superconductivity in the Non-Magnetic State of Iron under Pressure”, *Nature* 412 (2001) 316.
  129. I. Shirotnani, J. Hayashi, K. Yakushi, K. Takeda, T. Yokota, K. Shimizu, K. Amaya, A. Nakayama and K. Aoki: “Pressure-induced insulator-to-metal transition and superconductivity in iodanil,  $\text{C}_6\text{I}_4\text{O}_2$ ”, *Physica B* 304 (2001) 6.
  130. T. C. Kobayashi, K. Tanaka, K. Fujiwara, K. Amaya, N. Aizawa, T. Ishii and M. Yamashita: “Proton NMR study of the field-induced long-range ordering in Haldane gap system NDMAP”, *J. Magn. Magn. Mat.* 226-230 (2001) 423.
  131. N. Tateiwa, T. C. Kobayashi, K. Hanazono, K. Amaya, Y. Haga, R. Settai and Y. Onuki: “Pressure-induced superconductivity in a ferromagnet  $\text{UGe}_2$ ”, *J. Phys.: Condens. Matter* 13 (2001) L17.
  132. M. Kobayashi: “Infrared Spectroscopy of Pressure-Induced Metallization in Semiconductors”, *Phys. Stat. Sol. B* 223 (2001) 55.

133. Y. Mita, Y. Sakai, D. Izaki, M. Kobayashi, S. Endo and S. Mochizuki: "Optical Study of MnO under High Pressure", *Phys. Stat. Sol. B* 223 (2001) 247.
134. M. Otani and N. Suzuki: "Structural and superconducting transition in selenium under high pressures", *Phys. Rev. B* 63 (2001) 4516.
135. M. Otani and N. Suzuki: "Pressure-induced insulator-metal transition and collapse of magnetism in molecular solid oxygen", *Polyhedron* 20, Nos.11-14 (2001) 1381.
136. T. Takezawa, K. Nagao and H. Nagara: "Zero-Point Energy of the Proton Motions and Its Effect on the Pressure of Molecular Dissociation in Dense Hydrogen", *J. Low Temp. Phys.* 123, Nos.5/6 (2001) 315.
137. S. Endo, K. Deguchi, M. Tokunaga: "Quantum Paraelectricity in DKDP and KDP under high pressure", *Phys. Rev. Lett.* in press.
138. Y. Kobayashi, S. Endo, K. Deguchi, L. C. Ming, and G. Zou: "The  $p$ - $T$  phase diagram of  $\text{KNbO}_3$  by a dielectric constant measurement", *Solid State Commun.* in press.
139. S. Endo, K. Deguchi and M. Tokunaga: "Vanishing of  $T_c$  and appearance of quantum paraelectricity in DKDP and KDP under high pressure", *Proc. Joint AIRAPT-18 & HPCC-11* (Beijing, 23-27 July, 2001) in press.
140. E. Suzuki, Y. Kobayashi, S. Endo and T. Kikegawa: "Structural phase transition in  $\text{ReO}_3$  under high pressure", *Proc. Joint AIRAPT-18 & HPCC-11* (Beijing, 23-27 July, 2001) in press.
141. M. Karuzawa, M. Ishizuka and S. Endo: "Pressure effect on the superconducting transition temperature of black phosphorus", *Proc. Joint AIRAPT-18 & HPCC-11* (Beijing, 23-27 July, 2001) in press.
142. M. Matsushita, T. Nishimura, S. Endo, M. Ishizuka, K. Kindo and F. Ono: "Anomalous magnetic moments in Fe-Pt and Fe-Pd Invar alloys under high pressure", *Proc. Joint AIRAPT-18 & HPCC-11* (Beijing, 23-27, July, 2001) in press.
143. S. Wei, R. Duraj, R. Zach, M. Matsushita, A. Takahashi, H. Inoue, F. Ono, H. Maeta, A. Iwase and S. Endo: "Pressure effect on the Curie temperature in Fe-Ni Invar mechanical alloys", *Proc. Joint AIRAPT-18 & HPCC-11* (Beijing, 23-27 July, 2001) in press.
144. M. Ishizuka and S. Endo: "Detection of antiferromagnetic signals in a DAC using a SQUID vibrating coil magnetometer", *Proc. Joint AIRAPT-18 & HPCC-11* (Beijing, 23-27 July, 2001) in press.
145. Y. Kobayashi, S. Sawada, H. Furuta, S. Endo and K. Deguchi: "Ferroelectric TGS under high

- pressure”, *Proc. Joint AIRAPT-18 & HPCC-II* (Beijing, 23-27 July, 2001) in press.
146. N. Fujii, R. Zach, M. Ishizuka, T. Kanomata, F. Ono and S. Endo: “Pressure dependence of the magnetic properties in MnRhX (X=P,As)”, *Proc. Joint AIRAPT-18 & HPCC-II* (Beijing, 23-27 July, 2001) in press.
  147. L. C. Ming, T. Eto, K. Takeda, Y. Kobayashi, E. Suzuki, S. Endo, S. K. Sharma and A. Jayaraman: “X-ray diffraction measurements of CuGeO<sub>3</sub> under high pressures to 81 GPa using synchrotron radiation and imaging plate”, *Proc. Joint AIRAPT-18 & HPCC-II* (Beijing, 23-27 July, 2001) in press.
  148. Y. Kobayashi, S. Endo, K. Deguchi, L. C. Ming and G. Zou: “Pressure-temperature phase diagram of KNbO<sub>3</sub> determined by a dielectric constant measurement”, *Ferroelectrics (Proc. 10th Int. Meeting of Ferroelectricity, Madrid, 3-7 September, 2001)*, in press.
  149. M. Tokunaga, K. Deguchi and S. Endo: “Vanishing of transition temperature in hydrogen-bond crystals under high pressure”, *Ferroelectrics (Proc. 10th Int. Meeting of Ferroelectricity, Madrid, 3-7 September, 2001)*, in press.
  150. Y. Narumi, N. Takamoto, K. Kindo, T. C. Kobayashi, N. Shimizu, F. Iga, S. Hiura, T. Takabatake and M. Verdager: “Magnetization and Magnetoresistance Measurements up to 60 T at 70 mK”, the conference proceedings of “VIIth International Conference on Megagauss Magnetic Field Generation and Related Topics” in press.
  151. M. Hagiwara, Y. Narumi, K. Kindo, R. Sato, H. Nakano, M. Kohno and M. Takahashi: “High Field Magnetization Processes of  $S=1$  Antiferromagnetic Chains with Bond Alternation”, the conference proceedings of “VIIth International Conference on Megagauss Magnetic Field Generation and Related Topics” in press.
  152. M. Hagiwara, Y. Narumi, K. Tatani, K. Kindo and K. Minami: “Magnetization of an  $S=1/2$  and 1 Ferrimagnetic Chain NiCu(pba) (D<sub>2</sub>O)<sub>3</sub> 2D<sub>2</sub>O in High Magnetic Fields”, the conference *Proc. VIIth International Conference on Megagauss Magnetic Field Generation and Related Topics*, in press.
  153. K. Shimizu, H. Ishikawa and K. Amaya: “Electrical Resistance Measurement in Lithium under High Pressure and Low Temperature”, *Proc. Joint AIRAPT-18 & HPCC-II* (Beijing, 23-27 July, 2001) in press.
  154. K. Amaya, S. Furomoto and K. Shimizu: “Search for Superconductivity of Magnetic Metals”, *Proc. Joint AIRAPT-18 & HPCC-II* (Beijing, 23-27 July, 2001) in press.

155. T. C. Kobayashi, K. Hanazono, N. Tateiwa, K. Amaya, Y. Haga, R. Settai and Y. Onuki: “Pressure-induced superconductivity in a ferromagnet UGe<sub>2</sub> -Resistivity measurement in magnetic field-”, *Proc. Joint AIRAPT-18 & HPCC-II* (Beijing, 23-27 July, 2001) in press.
156. K. Fujiwara and T. C. Kobayashi: “Spin dynamics of LiV<sub>2</sub>O<sub>4</sub> under pressure”, *Proc. SCES2001*, in press.
157. T. Muramatsu, N. Tateiwa, T. C. Kobayashi, K. Shimizu, K. Amaya, D. Aoki, H. Shishido, Y. Haga and Y. Onuki: “Superconductivity of CeRhIn<sub>5</sub> under high pressure”, *J. Phys. Soc. Jpn.*, in press.
158. N. Tateiwa, K. Hanazono, T. C. Kobayashi, K. Amaya, T. Inoue, K. Kindo, Y. Koike, N. Metoki, Y. Haga, R. Settai and Y. Onuki: “Magnetic properties of a pressure-induced superconductor UGe<sub>2</sub>”, *J. Phys. Soc. Jpn.*, in press.
159. Y. Mita, Y. Sakai, M. Kobayashi, S. Endo and S. Mochizuki: “Magnetic Phase Transition of Antiferromagnetic Materials under High Pressure”, *Physica Status Solidi A*, in press.
160. Y. Mita, Y. Ishida, M. Kobayashi and S. Endo: “Pressure Effects on First-order Magnetic Raman Scattering in NiO”, *J. Phys.: Condens. Matter*, in press.
161. Y. Mita, M. Kobayashi and S. Endo: “Pressure Induced Phase Transition in Solid Oxygen at 1.8K”, *High Pressure Res.*, in press.
162. N. Suzuki and M. Otani: “Theoretical Study on Lattice Dynamics and Electron-phonon interaction of Vanadium under High Pressures”, *Rev. High Press. Sci. Tech.*, in press.
163. K. Mukose, R. Fukano, H. Miyagi and K. Yamaguchi: “First-Principles Study on Solid Halogens under High Pressure: Scaling rules of properties among I<sub>2</sub>”, Br<sub>2</sub> and Cl<sub>2</sub>, in press.
164. M. I. Eremets, K. Takemura, H. Yusa, D. Goldberg, Y. Bano, Y. Sato, K. Watanabe, K. Amaya, O. Stephan and V. D. Blank: “Laser Heating of Boron Nitride and Graphite in Diamond Anvil Cell”, (to be Published) .

(2) 特許出願

なし

(3) 受賞、新聞報道等

① 受賞

1. 那須三郎、平成9年5月 “日本高圧力技術協会科学技術賞” 社団法人日本高圧力技術協会誌「高圧力の科学と技術」に執筆した解説記事「ダイヤモンド・アンビル・セル



を用いた高圧下メスバウアー分光」が圧力技術に関する学術上大いに貢献するものと認められ受賞。

2. 清水克哉、平成 10 年 6 月 “Van Valkenberg 賞 (Gordon Research Conference)” 隔年で開催される高圧力の科学と技術に関するゴードン国際会議において、ダイヤモンドアンビル技術において功績のあった若手の研究者に贈られる。その高圧下における酸素の金属化と超伝導を観測した点において受賞。
3. 天谷喜一、清水克哉 (他 1 名) 平成 11 年 5 月 “科学技術振興賞 (日本高圧力技術協会)” 日本高圧力技術協会誌に掲載された論文のうちで、技術上優秀と認められるものに贈られる。我々はその共著論文「極低温・超高压下の物性研究」において受賞。
4. 清水克哉、平成 12 年 10 月 “Sir Martin Wood 賞 (ミレニアムサイエンスフォーラム)” 日本の研究期間において凝縮系科学における優れた業績をあげた 40 歳以下の研究者に贈られる。超高压下の超伝導探索において受賞。

## ② 新聞報道

1. 朝日新聞 (1998 年 6 月 25 日) “酸素も超伝導体に 超高压と極低温で 阪大など確認” 酸素分子が百万気圧以上の超高压と絶対零度ぎりぎりの極低温で電気抵抗がゼロの超伝導状態になることを大阪大と日本原子力研究所のグループが実験で確かめた。超伝導が起きる仕組みの解明にも役立つと見られる。同日発行の英科学誌「ネイチャー」に発表した。他、日本経済新聞や産経新聞等、多数掲載された。
2. 日本経済新聞 (1998 年 9 月 5 日) “食塩の仲間も超電導状態に?” 阪大グループ、兆候発見。電流を通さない絶縁体の塩化ナトリウム (食塩) のようなイオン結晶も極低温・超高压なら電気抵抗がゼロの超電導状態になる? 大阪大学の天谷喜一教授と M.I. エレメツ客員教授らはイオン結晶のヨウ化セシウムを使った実験で超電導の兆候を見つけた。
3. 毎日新聞 (2001 年 7 月 19 日) “鉄も超電導” 鉄に超低温下で高い圧力をかけると電気抵抗ゼロの超電導になることを大阪大学大学院基礎工学研究科の清水克哉助手 (高圧物性物理学) らのグループが実験で証明した。英科学誌ネイチャーに発表した。

## ③ 招待講演

1. S. Endo (Osaka Univ.), “A Magnetization Measurement under High Pressure and Pulsed High Magnetic Field”, 3rd China-Japan High Pressure Seminar, (Chengdu, China, 5-9 April, 1998).

非破壊型パルスマグネットと単結晶ダイヤモンドアンビルを用いたドリッカマーセルを組み合わせた独自の方式で、超高圧・強磁場・低温の複合極限環境下での磁化測定法の実現とそれによる FePt インバー合金の測定結果について講演した。

2. M. Kobayashi (Osaka Univ.), “Infrared Spectroscopy of Pressure-Induced Metallization in Semiconductors”, 9th Int. Conf. on High Pressure Semiconductor Physics (HPSP-9), (Sapporo, Japan, 24-28 September, 2000).

ダイヤモンドアンビルを用いて、高圧力下で試料とダイヤモンドの界面の絶対反射率スペクトルを赤外領域で測定するシステムを構築し、高圧金属相および半金属相のキャリアー濃度とキャリアーの衝突緩和時間、および静的誘電率を決定する方式を確立し、いくつかの半導体に適用してその有効性を証明した。

3. S. Endo (Osaka Univ.), “Vanishing of  $T_c$  and Appearance of Quantum Paraelectricity in DKDP and KDP under High Pressure”, Int. Conf. High Pressure Science and Technology (AIRAPT-18), (Beijing, China, 23-27 July, 2001).

半世紀を越えて追求されてきた、水素結合結晶 KDP と DKDP の強誘電性相転移機構を、高圧・低温下で誘電測定により追求した。また、転移温度が低温になるにつれて出現した量子常誘電性について Barrett の式に基づいて考察した。

#### ④ プレス発表

1. 清水克哉、天谷喜一 “酸素も超伝導体に 超高圧と極低温で 阪大など確認” 朝日新聞 (1998年6月25日)
2. 清水克哉、天谷喜一 “酸素で超電導現象 極低温・超高圧状態で 阪大グループが発見” 日本経済新聞 (1998年6月25日)
3. 清水克哉、天谷喜一 “酸素の超電導現象を確認” 産経新聞 (1998年6月25日)
4. 清水克哉、天谷喜一 “固体酸素に超電導現象 阪大、超高圧・極低温で確認” 日経新聞 (1998年6月25日)
5. 清水克哉、天谷喜一 “酸素に超電導現象 阪大の研究グループ 超高圧、極低温冷却で” 日本工業新聞 (1998年6月25日)
6. 清水克哉、天谷喜一 “固体酸素で超電導現象 阪大研究グループ 超高圧・低温下で発見” 日刊工業新聞 (1998年6月25日)

7. 清水克哉、天谷喜一 “原研など 固体酸素に超電導現象 極低温・超高压下で発見” 電気新聞 (1998年6月25日)
8. 清水克哉、天谷喜一 “酸素に超電導現象 原研—科学技術振興事業団グループ 超高压・極低温で確認” 化学新聞 (1998年6月25日)
9. 清水克哉、天谷喜一 “食塩の仲間も超電導状態に?” 日本経済新聞 (1998年6月25日)
10. 清水克哉 “夢中人 超高压で新しい物性を開拓” 朝日新聞 (1998年10月2日)
11. 清水克哉、天谷喜一 “鉄も超電導” 毎日新聞 (2001年7月19日)
12. 清水克哉、天谷喜一 “鉄でも超電導確認 高压・低温で非磁性体に” 日刊工業新聞 (2001年7月23日)
13. 清水克哉、天谷喜一 “鉄でも超伝導 阪大チームが成功” 朝日新聞 (2001年7月23日)