

東京工業大学応用セラミックス研究所 教授

近藤 建一

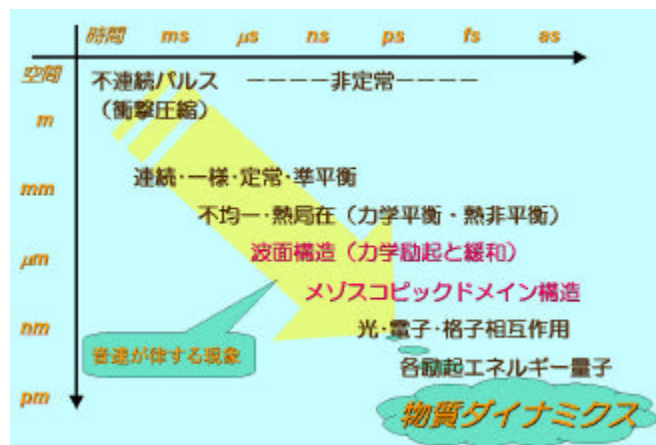
「衝撃波面形成過程と新化学反応プロセス」

## 1. 研究実施の概要

物質を1千万気圧(1TPa、テラパスカル)を越える圧力下におくと、どの物質でも原子当たりの体積は同じようになって、原子の個性が失われてくる。このような超高压力の極限状態は、衝撃圧縮法以外で実現することが困難である。しかも、実験で得られる圧力やエネルギーの絶対値は、圧力目盛りの一次基準となっている。しかし、その圧縮状態には様々な微細構造が存在し、連続・一様を仮定した流体力学的あるいは熱力学的取り扱いには注意を要する。

一方、衝撃圧縮はパルス的であるから、物質がパルス的な刺激に対してどのような応答をするのかというダイナミクスの観点からも、衝撃圧縮法は重要な研究手法となっている。応答が準平衡もしくは定常に達しているか?、また、その状態に至る過程はどのような経路を通るのか?といった視点からも興味深い問題がある。

ここで注目している衝撃圧縮とは、液体又は固体中(凝縮系物質)を衝撃波が通過中の現象である。そもそも、音波は特別に弱い衝撃波であるから、あらゆる物質が音を伝えるように、衝撃波の伝播は物質に普遍的な音速が支配する現象のひとつである。しかし、強い衝撃波のフロント面は、超高压力、超高温、超加速度と、それらが空間的にも時間的にも大きな勾配をもった非平衡反応場となっており、パルス的な刺激に対して物質が応答している最中の振る舞いを見せているところである。まさに、衝撃波面は未開拓の極限環境である。



上図は時間軸と空間軸の平面で、衝撃波現象のヒエラルキー(階層構造)を模式的に示したものである。同一の衝撃波であっても、それを調べる視点が、連続体として扱う従来の場合から一歩進めて、黄色の線(勾配が音速)に沿って原子・分子のレベルへ近づくためには、より短時間の分解能をもった診断法が必要となる。なぜならば、原子・分子の小さな擾乱でも音速で伝播するからである。もし、1 ps の時間分解能をもったプローブがあれば、音速を10 km/sとして、10 nmのドメインを分解して、過渡的な現象を調べることができる。

本研究では2つの大目標を設定した。ひとつは、衝撃波伝播中の結晶格子歪みを検出するためにX線回折法を用い、高い時間分解能を得るために可能な限り短時間のX線パルスを発生させ、衝撃波を格子波形としてX線によって擾乱なく診断することである。他のひとつは、テラパスカル台の超高压力の発生と診断と回収の技術を開発して、テラパスカル高压科学を拓くことである。前者を衝撃圧縮ダイナミクスと呼び、格子点の位置に加えて格子振動を視野に入れ、可視光をプローブとしたラマン分光技術の開発についても目標とした。後者において基本となるのは状態方程式的研究であり、レーザーと衝撃銃と爆薬の技術の高度化を図り、衝撃波面背後の微細構造すなわち励起状態と緩和現象にも着目した。

上記の目標を縦系とするならば、横系として、別の切り口からの目標が本研究にはある。それは、小型の卓上型(テーブルトップ)レーザー衝撃圧縮法の基礎技術を構築することである。特殊な世界であった衝撃波の実験が光学テーブル上で行えることは、ダイヤモンドアンビルセル(DAC)が静的高圧力科学分野の世界観を変えたように、物質ダイナミクスの研究分野が飛躍的に発展することを予感させるからである。パルスレーザーのもつ様々な特質、たとえば短時間性、エネルギーの高密度性と易制御性、計測システムとの易同期性と繰り返し性など、多くの利点を用いることにより、従来の衝撃実験の概念を超えることが可能になる。時間をパラメーターとした思考は現代の物質科学に不足しているが、この技術は不可逆過程の基礎科学に重大な影響を及ぼすに違いない。

本研究チームは下記の3グループから構成した。それぞれ、衝撃銃、爆薬と数値計算、レーザープラズマなど、衝撃波を共通項としながらも、異なる得意分野からなる。

近藤グループ：東京工業大学応用セラミックス研究所及び大学院総合理工学研究科

吉田グループ：工業技術院物質工学工業技術研究所(現産業技術総合研究所)

田中グループ：大阪大学レーザー核融合研究センター

本研究では、ブレイクスルーすべき多くの技術課題を設定したが、それらを全てクリアした。まず、近年のレーザー技術の発展を十分に取り入れて、レーザーによる新しい衝撃波の発生と計測の技術開発に重心を置き、対象とする圧力範囲をテラパスカル領域へ拡大するとともに、一般的な物理学・化学で有用な、いわゆるポンプ・プローブ手法と同様に、卓上型の繰り返し衝撃圧縮法と診断法を開発した。すなわち衝撃圧縮中のピコ秒時間分解型パルスX線回折とナノ秒時間分解型ラマン分光の方法を開発した。

前者では、高出力のフェムト秒レーザーを金属に集光照射してピコ秒パルスX線を発生させ、一部分岐したレーザーによる衝撃波発生と同期したX線回折実験によって、Si結晶中の格子レベルでの衝撃波面形成と緩和を、空間的・時間的に変化しながら進行している状況として9 psの時間分解能で観察し、衝撃波面形成が9 ps以下の時間幅で生じることを見出した。

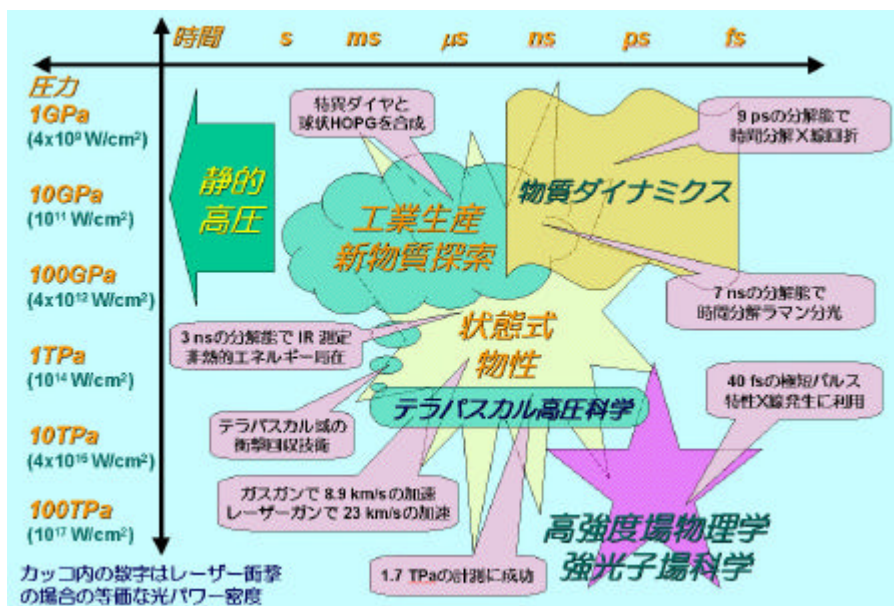
後者では、ナノ秒YAGレーザービームを分岐して、一方を衝撃波のドライバーに、他を2倍高調波のラマンプローブとして用い、テフロン分子の過渡的な化学結合切断やベンゼン分子の過渡配向と振動緩和の現象を見出した。前者の研究手法は、原子集団の安定性な

どの動的振る舞いについて、周波数領域の振動分光のみならず、極短時間領域で結晶格子を直接観察し得ることを意味しており、この両者を組み合わせた研究手法は未開拓のメゾスコピックドメインダイナミクス研究への道を拓いたといえる。

一方、テラパスカル高圧力科学を拓く技術開発として、核融合研究用巨大レーザーを用い、Ta 中 1.7 TPa の衝撃圧力発生と計測および Ta 箔の 23 km/s までの平面状加速に成功した。在来型衝撃技術の高度化では、衝撃銃によって 0.6 g の飛行体を 8.9 km/s まで加速することに成功し、円筒爆縮法によって 1 TPa に圧縮された物質の回収に成功した。また、広帯域高速放射温度計の開発と衝撃温度測定によって、良く知られた熱局在現象以外に、非熱的なエネルギー局在現象及び局在エネルギーと相転移ドメインとのカップリング現象を見出し、連続体モデル圧力スケールの問題点を明らかにした。

衝撃波現象の材料科学的応用では、衝撃圧縮凍結法によって準安定ダイヤモンドを作成し、その生成条件を明らかにした。また、球状高配向黒鉛結晶を合成した。さらに、卓上型パルスレーザーによる高集積型新物質探索法や微細加工法、ナノスポール実験法などを開発して、レーザーと物質との相互作用とその機構、高歪み速度のスポール現象などを明らかにした。さらに、大規模衝撃波数値シミュレーション手法を確立した。

本研究の対象範囲は極めて広く、その領域を時間軸と圧力軸の図上に一覧で示し、研究成果のピークの一部をプロットすると、下図のように表すことができよう。



## 2 . 主な研究成果

( 1 ) 論文発表 (国内 20 件、海外 70 件(含む国内英文誌))

- K. SAXENA, Y. HIRONAKA, H. HIRAI and K. KONDO: Shock-Induced Polarization in Normal-Hexane, *Appl. Phys. Lett.*, **68** [7], 920-922 (1996).
- 近藤建一: カーボン七変化, *トライポロジスト*, **41** [ 9], 706-711 (1996).
- K. KONDO, Y. HIRONAKA, O. V. FAYANOV, A. YAMAMOTO and S. OZAKI: Developments of the Three-Stage Light-Gas Gun with Preheating Stage, in *Advances in High Pressure Research in Condensed Matter*, eds S. K. Sikka, S. C. Gupta and B. K. Godwal (Nat. Inst. Sci. Commun., New Delhi, India, 1997) pp. 28-36.
- Y. HIRONAKA and K. KONDO: Shock Induced Polarization in Liquids, in *Advances in High Pressure Research in Condensed Matter*, eds S. K. Sikka, S. C. Gupta and B. K. Godwal, (Nat. Inst. Sci. Commun., New Delhi, India 1997) pp.452-457.
- H. SUGIURA, R. IKEDA, K. KONDO and T. YAMADAYA: Densified silica glass after shock compression, *J. Appl. Phys.*, **81**[4], 1651-1655 (1997).
- H. HIRAI, K. KONDO, M. KIM, H. KOINUMA, K. KURASHIMA and Y. BANDO: Transparent nanocrystalline diamond ceramics fabricated from C<sub>60</sub> fullerene by shock compression, *Appl. Phys. Lett.*, **71**[20], 3016-3018 (1997).
- K. KONDO: Magnetic Response of Powders to Shock Loading and Fabrication of Nanocrystalline Magnets, in *High-Pressure Shock Compression of Solids*, eds by L. Davison, Y. Horie and M. Shahinpoor, (Springer, New York, N.Y. 1997) pp.309-330.
- M. HARA, K. A. TANAKA, M. NAKANO, M. YOSHIDA, N. OZAKI, Y. SASATANI, H. TAKENAKA, K. NISHIHARA, S. I. ANISIMOV and K. KONDO: Experiment of Multi-Layered Flyer Accelerated by Laser Shock Waves, Annual Progress Report 1997, Inst. Laser Engr., Osaka Univ., 137-140 (1997).
- N. OZAKI, K. A. TANAKA, M. NAKANO, M. YOSHIDA, M. HARA, Y. SASATANI, H. TAKENAKA, K. NISHIHARA, K. KONDO and S. I. ANISIMOV: Simulation of Multi Layered Flyer Accelerated by Laser Shock Waves, Annual Progress Report 1997, Inst. Laser Engr., Osaka Univ., 133-136 (1997).
- Y. SASATANI, K. A. TANAKA, M. YOSHIDA, M. NAKANO, H. TAKENAKA, M. HARA, N. OZAKI, K. NISHIHARA and K. KONDO: Design of Multi Layered Flyer Accelerated by Laser Shock Waves, Annual Progress Report 1997, Inst. Laser Engr., Osaka Univ., 131-132 (1997).
- T. OGURA, Y. HIRONAKA, M. F. NICOL and K. KONDO: Shock-Induced Electromotive Force in Aqueous Solution: from Weak to Concentrated Solutions, *Rev. High Pressure Sci. Tech.*, **7**, 939-941 (1998).
- Y. HIRONAKA, M. F. NICOL and K. KONDO: Shock Induced Polarization in Liquid Crystalline Material (MBBA), *Rev. High Pressure Sci. Tech.*, **7**, 918-920 (1998).
- H. HIRAI and K. KONDO: Transparent Platelets Consisting of amorphous Diamond and Nanocrystalline Diamond Synthesized from C<sub>60</sub> Fullerene by Shock Compression, *Rev. High Pressure Sci. Tech.*, **7**, 966-968 (1998).
- H. HIRAI and K. KONDO: A WIDE VARIETY OF CARBON BEHAVIOR -AMORPHOUS DIAMOND FABRICATED FROM C<sub>60</sub> FULLERENE BY SHOCK COMPRESSION AND RAPID QUENCHING-, in *Shock Compression of Condensed Matter-1997*, (edited by Schmidt/Dandekar/Forbes, AIP Conf. Proc. 429, Woodbury, N.Y., 1998), 675-680 (1998).
- Y. HIRONAKA, M. F. NICOL and K. KONDO: SHOCK INDUCED POLARIZATION IN SOME LIQUIDS, in *Shock Compression of Condensed Matter-1997*, (edited by Schmidt/Dandekar/Forbes, AIP Conf. Proc. 429, Woodbury, N.Y. 1998), 773-776 (1998).
- M. YOSHIDA, Y. FUJIMOTO, Y. HIRONAKA, K. G. NAKAMURA, K. KONDO, M. OHTANI and H. TSUNEMI: Generation of picosecond hard x-rays by tera watt laser focusing on a copper target, *Appl. Phys. Lett.*, **73** [17], 2393-2395 (1998).
- K. KONDO, H. HIRAI and M. YOSHIDA: Amorphous and Nanocrystalline Diamond Synthesized by SCARQ: Shock Compression and Rapid Quenching, in *Ceramic Engineering and Science Proceedings: 22nd Annual Conference on Composites, Advanced Ceramics, Materials and Structures*, **19** [4], 433-444 (1998).
- K. KONDO, M. YOSHIDA and K. A. TANAKA: Shock-Wave Dynamics and Stimulated New Chemical Processes, in *Proc. 3rd Japan-China High Pressure Seminar (1998)*, su1-su4 (1998).
- M. YOSHIDA, K. WAKABAYASHI, N. KOZU, M. HARA, K. A. TANAKA and K. KONDO: Flyer Acceleration by Laser Plasma, in *Proc. 3rd Japan-China High Pressure Seminar (1998)*, su5-su8 (1998).
- Y. FUJIMOTO, Y. HIRONAKA, K. NAKAMURA, M. YOSHIDA, M. OHTANI, H. TSUNEMI and K. KONDO: Target material dependence of hard x-ray generation by femtosecond laser irradiation, in *The Int. Conf. On Optical Technology and Image Processing in Fluid, Thermal, and Combustion Flow (VSJ-SPIE98)*, AB115-1-AB115-8 (1998).
- Y. HIRONAKA, Y. FUJIMOTO, K. NAKAMURA, K. KONDO and M. YOSHIDA: Intensity Enhancement of Pulsed X-Rays Generated from Metal Target Irradiated by Femtosecond Laser, in *The Int. Conf. On Optical Technology and Image Processing in Fluid, Thermal, and Combustion Flow (VSJ-SPIE98)*, AB116-1-AB116-4 (1998).
- M. YOSHIDA, Y. FUJIMOTO, Y. HIRONAKA, K. NAKAMURA, K. KONDO, M. OHTANI, K. HAYASHIDA and H. TSUNEMI: Derivation of an x-ray spectrum from charge-coupled-device (CCD) image data, in *The Int. Conf. On Optical Technology and Image Processing in Fluid, Thermal, and Combustion Flow (VSJ-SPIE98)*, AB119-1-AB119-5 (1998).
- H. HIRAI and K. KONDO: New Materials of Carbon, Amorphous Diamond and Nanocrystalline-Diamond Ceramics, from C<sub>60</sub> Fullerene, in *5<sup>th</sup> NIRIM Int. Symp. on Advanced Materials (ISAM ' 98)*, 193-196 (1998).
- 平井寿子, 近藤建一: フラークから透明ナノ結晶ダイヤモンドプレートレットの合成, *NEW DIAMOND*, **14** [ 2], 24-25 (1998).

- 小倉俊幸, オレグ・V・ファティアノフ, マルコム・F・ニコル, 近藤建一: 赤外放射温度計の製作と衝撃温度測定への応用, 火薬学会誌, **59** [6], 310-315 (1998).
- Y. HIRONAKA, T. TANGE, T. INOUE, Y. FUJIMOTO, K. G. NAKAMURA, K. KONDO and M. YOSHIDA: Picosecond Pulsed X-ray Diffraction from a Pulsed Laser Heated Si(111), *Jpn. J. Appl. Phys.*, **38** [P1, 8], 4950-4951 (1999).
- Y. HIRONAKA, Y. FUJIMOTO, K. G. NAKAMURA, K. KONDO and M. YOSHIDA: Enhancement of hard x-ray emission from a copper target by multiple shots of femtosecond laser, *Appl. Phys. Lett.*, **74** [12], 1645-1647 (1999).
- H. HIRAI, M. TERAUCHI, M. TANAKA and K. KONDO: Band gap of essentially four-fold coordinated amorphous diamond synthesized from C<sub>60</sub> fullerene, *Phys. Rev. B* **60** [9], 6357-6361 (1999).
- T. KOHAMA, H. TAMURA and K. KONDO: Spallations of Silicon and Aluminum Induced by Short-Pulsed Laser, in *Time Dependent Mechanical Response of Engineering Ceramics*, eds. E. Yasuda, F. Wakai, L. M. Manocha and Y. Tanabe, CSJ Series -Publications of the Ceramic Society of Japan-, (Trans Tech Publ., Switzerland, 1999) **4**, 117-119 (1999).
- K. WAKABAYASHI, K. G. NAKAMURA, K. KONDO and M. YOSHIDA: Time-resolved Raman spectroscopy of polytetrafluoroethylene under laser driven shock-compression, *Appl. Phys. Lett.*, **75** [7], 947-949 (1999).
- H. HIRAI, M. TERAUCHI, M. TANAKA and K. KONDO: Estimating band gap of amorphous diamond and nanocrystalline diamond powder by electron energy loss spectroscopy, *Diamond and Related Materials*, **8**, 1703-1706 (1999).
- K. A. TANAKA, K. KONDO and M. YOSHIDA, IV-03 EOS related experiments using laser induced shock waves, Annual Progress Report 1998, Inst. Laser Engr., Osaka Univ., 13-13 (1999).
- Y. SASATANI, K. TANAKA, M. YOSHIDA, M. NAKANO, H. TAKENAKA, N. OZAKI, T. NORIMATSU, K. NAGAI, K. NISHIHARA and K. KONDO: EOS Measurement of polystyrene by Laser-driven Shock Waves, Annual Progress Report 1998, Inst. Laser Engr., Osaka Univ., 101-102 (1999).
- Y. FUJIMOTO, Y. HIRONAKA, K. G. NAKAMURA, K. KONDO, M. YOSHIDA, M. OHTANI and H. TSUNEMI: Spectroscopy of hard x-rays (2-15 keV) generated by focusing tera-watt laser on metal targets, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **38** [12], 6754-6756 (1999).
- Y. HIRONAKA, T. INOUE, Y. FUJIMOTO, K. G. NAKAMURA, K. KONDO and M. YOSHIDA: Time-resolved x-ray shadowgraph experiment of laser ablation of aluminum using laser-induced picosecond pulsed x-rays, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **38** [P2, 3A], L242-L244 (1999).
- 中村一隆, 弘中陽一郎, 藤本靖, 丹下知之, 井上智春, 近藤建一, 吉田正典: フェムト秒レーザー誘起プラズマによるパルス硬X線発生とピコ秒時間分割X線回折, *表面科学*, **20** [3], 48-51 (1999).
- 近藤建一, 中村一隆, 弘中陽一郎, 丹下知之, 井上智春, 吉田正典: 極短パルスX線の発生と衝撃・高速現象への応用, *非破壊検査*, **48** [7], 407-413 (1999).
- 近藤建一, 中村一隆, 吉田正典, 田中和夫: 衝撃波研究の新展開, *生産と技術*, **51** [1], 109-112 (1999).
- N. OZAKI, K. A. TANAKA, M. M. YOSHIDA, Y. SASATANI, T. KADONO, K. FUJITA, K. TAKAMATSU, H. TAKENAKA, K. NAGAI, T. NORIMATSU, Y. YAMAUCHI, M. NAKANO and K. KONDO: Equation of State Experiments at Osaka University by Laser Driven Shock Waves, Annual Progress Report 1999, Inst. Laser Engr., Osaka Univ., 191-192 (2000).
- K. FUJITA, M. YOSHIDA, T. KADONO, Y. SASATANI, I. MATSUSHIMA, E. TAKAHASHI, Y. OWADANO, H. TAKENAKA, M. NAKANO, N. OZAKI, K. A. TANAKA and K. KONDO: EOS measurement by using an optically recording velocity interferometer system (ORVIS), Annual Progress Report 1999, Inst. Laser Engr., Osaka Univ., 193-194 (2000).
- Y. HIRONAKA, A. YAZAKI, F. SAITO, K. G. NAKAMURA and K. KONDO: Picosecond Time-Resolved X-Ray Diffraction From Si(111) under High-Power Laser Irradiation, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **39** [P2, 10A], 984-986 (2000).
- Y. HIRONAKA, A. YAZAKI, F. SAITO, K. G. NAKAMURA, K. KONDO, H. TAKENAKA and M. YOSHIDA: Evolving shock-wave profiles measured in a silicon crystal by picosecond time-resolved x-ray diffraction, *Appl. Phys. Lett.*, **77** [13], 1967-1969 (2000).
- O. V. FATANOV, T. OGURA, M. F. NICOL, K. G. NAKAMURA and K. KONDO: Time-resolved two-band infrared radiometry of carbon tetrachloride under shock compression up to 10 Gpa, *Appl. Phys. Lett.*, **77** [7], 960-962 (2000).
- A. ZHIDKOV, A. SASAKI, T. UTSUMI, I. FUKUMOTO, T. TAJIMA, F. SAITO, Y. HIRONAKA, K. G. NAKAMURA, K. KONDO and M. YOSHIDA: Prepulse effects of the interaction of intense femtosecond laser pulses with high-Z solids, *Phys. Rev. E* **62** [5], 7232-7240 (2000).
- T. KADONO, M. YOSHIDA, E. TAKAHASHI, I. MATSUSHIMA, Y. OWADANO, N. OZAKI, K. FUJITA, K. A. TANAKA, H. TAKENAKA and K. KONDO: Flyer acceleration by a high-power KrF laser with a long pulse duration, *J. Appl. Phys.*, **88** [5], 2943-2947 (2000).
- T. HOMAE, T. MORITOH, K. OOYA, K. G. NAKAMURA and K. KONDO: A simple fiber-optic pin for detecting a shock-wave front, *Rev. Sci. Instrum.*, **71** [11], 4192-4194 (2000).
- K. KONDO, Y. HIRONAKA, F. SAITO, A. YAZAKI, K. G. NAKAMURA and M. YOSHIDA: Propagating of shock-induced lattice strain directly measured by picosecond, time-resolved x-ray diffraction, *Proc. In 4th Japan-China High-Pressure Seminar*, 29-32 (2000).
- Y. HIRONAKA, K. G. NAKAMURA and K. KONDO: Angular distribution of X-ray emission from a copper target irradiated with a femtosecond laser, *Appl. Phys. Lett.*, **77** [25], 4110-4111 (2000).
- T. KADONO, M. YOSHIDA, N. KOZU and K. KONDO, Investigation of the Hugoniot equation of state in laser-driven shock experiments by a line-imaging optically recording velocity interferometer system, *Rev. Sci. Instrum.*,

- 71 [12], 4674-4676 (2000).
- F. SAITO, Y. HIRONAKA, K. G. NAKAMURA and K. KONDO: Characteristic X-Ray Pulse Generation for Pump-Probe Diffraction Experiments by a Femtosecond Terawatt Laser, in *Science and Technology of High Pressure, Proc. AIRAPT-17*, eds M. H. Manghnani, W. Nellis and M. F. Nicol (Univ. Press. Hiderabad, 2000), **1**, 172-179 (2000).
- K. A. TANAKA, M. YOSHIDA, K. KONDO, S. I. ANISIMOV, Y. FUJIMOTO, M. HARA, N. KOZU, K. G. NAKAMURA, M. NAKANO, K. NISHIHARA, N. OZAKI, Y. SASATANI, H. TAKENAKA, K. WAKABAYASHI and T. YAMANAKA: Laser driven multilayered flyers for high pressure equation of state studies, in *Science and Technology of High Pressure, Proc. AIRAPT-17*, eds M. H. Manghnani, W. Nellis and M. F. Nicol (Univ. Press. Hiderabad, 2000), **1**, 180-185 (2000).
- K. KONDO, O. V. FATYANOV, Y. HIRONAKA, T. MORITOH and S. OZAKI: PERFORMANCE OF THE THREE-STAGE LIGHT-GAS GUN WITH A PREHEATING STAGE, in *Shock Compression of Condensed Matter-1999*, part 2, edited by M.D.Furnish, L.C.Chhabildas, and R.S.Hixon (AIP, 2000), 1167-1179 (2000).
- O. V. FAT'ANOV, M. F. NICOL, T. OGURA and K. KONDO: PRECISE TIME-RESOLVED MID-INFRARED RADIOMETRY OF SHOCKED CCL<sub>4</sub>, in *Shock Compression of Condensed Matter-1999*, part 2, edited by M.D.Furnish, L.C.Chhabildas, and R.S.Hixon (AIP, 2000), 959-962 (2000).
- O. V. FAT'ANOV, M. F. NICOL, T. OGURA and K. KONDO: EQUATION OF STATE FOR CCL<sub>4</sub>, in *Shock Compression of Condensed Matter-1999*, part 1, edited by M.D.Furnish, L.C.Chhabildas, and R.S.Hixon (AIP, 2000), 117-120 (2000).
- Y. HIRONAKA, F. SAITO, A. YAZAKI, Y. FUJIMOTO, K. G. NAKAMURA, K. KONDO and M. YOSHIDA: PUMP-PROBE X-RAY DIFFRACTION FOR CONDENSED MATTER IN PICOSECOND TIME DOMAIN, in *Shock Compression of Condensed Matter-1999*, part 2, edited by M.D.Furnish, L.C.Chhabildas, and R.S.Hixon (AIP, 2000), 1061-1064 (2000).
- K. WAKABAYASHI, S. HATTORI, T. TANGE, Y. FUJIMOTO, M. YOSHIDA, N. KOZU, K. A. TANAKA, N. OZAKI, Y. SASATANI, H. TAKENAKA, K. G. NAKAMURA and K. KONDO: Laser-induced Shock Compression of Tantalum to 1.7 TPa, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **39** [P1, 4A], 1815-1816 (2000).
- K. A. TANAKA, M. HARA, N. OZAKI, Y. SASATANI, S. I. ANISIMOV, K. KONDO, M. NAKANO, K. NISHIHARA, H. TAKENAKA, M. YOSHIDA and K. MIMA: Multi-layered Flyer Accelerated by Laser Induced Shock Waves, *Phys. Plasmas*, **7** [2], 676-680 (2000).
- 近藤建一、中村一隆、吉田正典、田中和夫: ハイパーレーザー衝撃圧縮と状態方程式, *固体物理*, **35** [5], 329-334 (2000).
- 近藤建一、中村一隆、弘中陽一郎: 硬X線ピコ秒パルスの発生とポンプ・プローブ超高速時間分解X線回折, *固体物理*, **35** [7], 475-484 (2000).
- 近藤建一: 結晶格子の動きを止めて見る, *東京工大クロニクル*, **344**, 3-4 (2000).
- 近藤建一: グループ紹介/近藤・中村グループ, *EXPLOSION*, **10** [2], 94-95 (2000).
- 近藤建一、中村一隆、小倉俊幸: ナノ秒応答赤外放射温度計と衝撃温度測定, *COE<sup>o</sup> 理工研究* 成果報告書, 112-118 (2000).
- 中村一隆、近藤建一、若林邦彦: 時間分解測定による材料の光応答反応の研究, *COE<sup>o</sup> 理工研究* 成果報告書, 119-126 (2000).
- 近藤建一: 衝撃合成法の展開, *ニューダイヤモンド* 4月号 1996, **16** [4], 37-41 (2000).
- 中村一隆、近藤建一: フェムト秒レーザー誘起によるレーザープラズマ超短パルスX線, *放射線化学会誌*, **69**, 28-31 (2000).
- T. OGURA, Y. HIRONAKA, M. F. NICOL, K. G. NAKAMURA and K. KONDO: Shock-Induced Electromotive Force in Aqueous Solution of Potassium Fluoride, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **40** [P1, 4A], 1-3 (2001).
- K. G. NAKAMURA, Y. HIRONAKA, A. YAZAKI, F. SAITO and K. KONDO: Picosecond time-resolved X-ray diffraction from a silicon crystal under laser induced breakdown, in *Ultrafast Phenomena XII*, eds T. Elsaesser, S. Mukamel, M. M. Murnane and N. F. Scherer, Springer Series in Chemical Physics, Proc. 12<sup>th</sup> Int. Conf. Charleston, SC, USA (Springer, Berlin, 2001), 284-286 (2001).
- Y. HIRONAKA, F. SAITO, A. YAZAKI, K. G. NAKAMURA and K. KONDO, Shock-waves observed by picosecond time-resolved X-ray diffraction, in *Advanced Materials 2001, Proc. 8th NIRIM Int. Symp. On Advanced Materials (ISAM2001)*, March 4-8, 2001, 7-8 (2001).
- N. OZAKI, Y. SASATANI, K. KISHIDA, M. NAKANO, M. MIYANAGA, K. NAGAI, K. NISHIHARA, T. NORIMATSU, K. A. TANAKA, Y. FUJIMOTO, K. WAKABAYASHI, S. HATTORI, T. TANGE, K. KONDO, M. YOSHIDA, N. KOZU, M. ISHIGUCHI and H. TAKENAKA: Planar shock wave generated by uniform irradiation from two overlapped partially coherent laser beams, *J. Appl. Phys.*, **89** [5], 2571-2575 (2001).
- H. TAMURA, T. KOHAMA, K. KONDO and M. YOSHIDA: Femtosecond-laser-induced spallation in aluminum, *J. Appl. Phys.*, **89** [6], 3520-3522 (2001).
- O. V. FATYANOV, T. OGURA, M. F. NICOL, K. KONDO: Temperatures of shocked CCl<sub>4</sub> measured by precise two-band time-resolved radiometry in the 7-12 μm spectral range, *Infrared Physics and Technology*, **42**, 55-60 (2001).
- 中村一隆、弘中陽一郎、近藤建一: レーザープラズマX線によるピコ秒時間分解X線回折, *日本結晶学会誌*, **43**, 4-8 (2001).
- 近藤建一、中村一隆、歩前友高: 衝撃温度履歴に依存したC60フラーレンの衝撃変成, *COE<sup>o</sup> 理工研究* 成果報告書 平成12年度, 169-178 (2001).
- 中村一隆、近藤建一、若林邦彦: 凝縮相物質の光誘起衝撃応答ダイナミクス, *COE<sup>o</sup> 理工研究* 成果報告書 平成12年度, 5-11 (2001).
- 田中和夫、近藤建一、吉田正典: レーザー衝撃波の新展開, *日本物理学会誌*, **56**, [5] 338-342(2001).

岡野泰彬, 岸村浩明, 矢崎秋夫, 齋藤文一, 弘中陽一郎, 中村一隆, 近藤建一, 小栗慶之: 高強度フェムト秒レーザー照射によるCu表面からのイオン・硬X線発生, 表面科学, 印刷中.

近藤建一: 衝撃物質科学の新しい領域と発展—戦略的基礎研究事業「衝撃波面形成過程と新化学反応プロセス」を終了して—, EXPLOSION, 印刷中.

W. H. ZHU, M. YOSHIDA, H. TAMURA, K. KONDO and S. TANIMURA: Multiple Spalling of Aluminum Subjected to a Picosecond Stress Pulse, *J. Mater. Sci. Lett.*, in press,

W. H. ZHU, M. YOSHIDA, H. TAMURA, K. KONDO: Multiple Spalling in Aluminum Induced by Ultra-Short Pulses, in *Proc. Int. Conf. on Processing and Manufacturing of Advanced Materials, Dec. 4-8, 2000, Las Vegas, USA*, in press.

T. HOMAE, K. WAKABAYASHI, K. G. NAKAMURA, K. KONDO and M. YOSHIDA: Raman scattering and photoluminescence of amorphous diamond fabricated from C<sub>60</sub> fullerene by shock compression, *J. Mater. Sci. Lett.*, in press.

K. WAKABAYASHI, K. G. NAKAMURA and K. KONDO: Nanosecond time-resolved Raman spectroscopy of polytetrafluoroethylene under laser driven shock compression at 2.7 GPa, *J. Chem. Phys.* submitted.

Y. OKANO, H. KISHIMURA, Y. HIRONAKA, K. G. NAKAMURA and K. KONDO: Fast ion emission from an iron target by high-power femtosecond laser irradiation, *Appl. Phys. Lett.*, submitted.

T. MORITOH, N. KAWAI, K. G. NAKAMURA and K. KONDO: Optimization of a compact two-stage light-gas gun aiming at a velocity of 9 km/s, *Rev. Sci. Instr.* Submitted.

T. HOMAE, K. G. NAKAMURA, K. KONDO and K. NIWASE: Transformation to highly ordered graphite from C<sub>60</sub> fullerene powder by shock-compression to 57 Gpa studied by Raman spectroscopy, *Solid State Communications*, submitted.

K. WAKABAYASHI, A. MATSUDA, K. G. NAKAMURA and K. KONDO: Molecular orientation of benzene under shock compression studied by nanosecond time-resolved Raman spectroscopy, in preparation.

T. OGURA, K. G. NAKAMURA and K. KONDO: High-pressure equation of state of NaCl determined from shock temperature measurements, as a high-pressure standard, in preparation.

T. OGURA, K. G. NAKAMURA and K. KONDO: Shock temperatures of NaCl measured with wide-band optical radiometry, in preparation.

T. HOMAE, K. WAKABAYASHI, K. G. NAKAMURA, K. KONDO, M. YOSHIDA and K. HIRABAYASHI: Mid-gap state of shock synthesized amorphous diamond determined by photoluminescence and cathodoluminescence measurements, in preparation.

K. WAKABAYASHI, A. YAZAKI, K. G. NAKAMURA and K. KONDO: Uniform acceleration of flyer by laser irradiation using multi-lens array, in preparation.

K. NIWASE, T. HOMAE, K. G. NAKAMURA and K. KONDO: Generation of carbon bubbles from C<sub>60</sub> fullerene, in preparation.

( 2 ) 口頭発表 ( 国内 144 件、海外 52 件 ( 国内開催国際会議 23 件を含む ) )

K. KONDO: What is the Anomaly under Shock Compression?, *Gordon Research Conf. at High Pressure*, Meriden, June 23-28 (1996).

K. KONDO and H. HIRAI: Exploring New Phases of Carbon by Shock-Compression and Rapid Quenching (SCARQ) Method, 3rd NIRIM Int'l. Symp. on Advanced Materials (ISAM'96), Tsukuba, Mar. 4-8 (1996).

K. KONDO, Y. HIRONAKA, O. V. Fat'yanov and S. OZAKI: Developments of the Three-Stage Light-Gas Gun with a Preheating Stage, *Int. Conf. on Condensed Matter under High Pressure (ICCMHP-India 1996)*, Mumbai, India, Nov.11-15, (1996).

Y. HIRONAKA and K. KONDO: Shock Induced Polarization in Liquids, *Int. Conf. on Condensed Matter under High Pressure (ICCMHP-India 1996)*, Mumbai, India, Nov.11-15, (1996).

M. YOSHIDA, N. KOZU, K. WAKABAYASHI, K. KONDO and K. TANAKA: Shock Wave Generation by Laser Plasmas, *Int. Workshop on Industrial Applications of Explosion, Shock-Wave and High Pressure Phenomena (ESHP WORKS)*, Kumamoto, Oct. 27-28, (1997).

H. HIRAI and K. KONDO: A WIDE VARIETY OF CARBON BEHAVIOR -AMORPHOUS DIAMOND FABRICATED FROM C<sub>60</sub> FULLERENE BY SHOCK COMPRESSION AND RAPID QUENCHING-, *APS Topical Conference on Shock Compression of Condensed Matter-1997*, Amherst, USA, July 27-August 1, (1997).

Y. HIRONAKA, M. F. NICOL and K. KONDO: Shock-Induced Polarization in Some Liquids, *APS Topical Conference on Shock Compression of Condensed Matter-1997*, Amherst, USA, July 27-August 1, (1997).

H. HIRAI and K. KONDO: New Materials of Carbon, Amorphous Diamond and Nanocrystalline-Diamond Ceramics from C<sub>60</sub> Fullerene, 5th NIRIM Int'l. Symp. on Advanced Materials (ISAM'96), Tsukuba, March 1-5, (1998).

H. HIRAI and K. KONDO: Transparent Platelets Consisting of Amorphous Diamond and Nanocrystalline Diamond Synthesized from C<sub>60</sub> Fullerene by Shock Compression, *AIRAPT-16 & HPCJ-38*, Aug. 25-29, (1997).

M. YOSHIDA, K. TANAKA, S. I. Anishimov and K. KONDO: Flyer acceleration by laser plasmas, *AIRAPT-16 & HPCJ-38*, Aug. 25-29, (1997).

Y. HIRONAKA, M.F. Nicol and K. KONDO: Shock Induced Polarization in liquid crystalline materials (MBBA), *AIRAPT-16 & HPCJ-38*, Aug. 25-29, (1997).

T. OGURA, Y. HIRONAKA, M. F. NICOL and K. KONDO: Shock Induced Electromotive Force in Aqueous Solution: from Weak to Concentrated Solutions, *AIRAPT-16 & HPCJ-38*, Aug. 25-29, (1997).

T. KOHAMA, H. TAMURA and K. KONDO: SPALLATIONS OF SILICON AND ALUMINUM INDUCED BY



- ULTRA-SHORT-PULSED LASER, 2<sup>nd</sup> Yamazaki Int. Symp., Tokyo, Sep. 3-4, (1998).
- O. FAT'YANOV, T. OGURA and K. KONDO: Temperature of shock compressed carbon tetrachloride from 2-band radiometric measurements in the mid-infrared, Int. Conf. on Shock Waves in Condensed Matter, Moscow, July 12-17, (1998).
- M. YOSHIDA, K. WAKABAYASHI, N. KOZU, M. HARA, K. TANAKA and K. KONDO: Flyer acceleration by laser plasmas, 3rd China-Japan High Pressure Seminar, Apr. 5-9, (1998).
- K. KONDO, M. YOSHIDA and K. TANAKA: Shock-Wave Dynamics and Stimulated New Chemical Processes, 3rd China-Japan High Pressure Seminar, Apr. 5-9, (1998).
- K. KONDO, H. HIRAI and M. YOSHIDA : Amorphous and Nanocrystalline Diamond Synthesized by SCARQ: Shock Compression and Rapid Quenching, 22nd Annual Cocoa Beach Conf. on Composites, Advanced Ceramics, Materials and Structures of The American Ceramic Society, Florida, Jan. 20-24, (1998).
- Y. HIRONAKA, Y. FUJIMOTO, K. NAKAMURA, K. KONDO and M. YOSHIDA: Intensity Enhancement of Pulsed X-Rays Generated from Metal Target Irradiated by Femtosecond Laser, Int. Conf. on Optical Technology and Image Processing in Fluid, Thermal, and Combustion Flow (VSJ-SPIE98), Yokohama, Dec. 6-10, (1998).
- M. YOSHIDA, Y. FUJIMOTO, Y. HIRONAKA, K. NAKAMURA, K. KONDO, M. OHTANI, K. HAYASHIDA and H. TSUNEMI: Derivation of an x-ray spectrum from charge-coupled-device (CCD) image data, Int. Conf. on Optical Technology and Image Processing in Fluid, Thermal, and Combustion Flow (VSJ-SPIE98), Yokohama, Dec. 6-10, (1998).
- Y. FUJIMOTO, Y. HIRONAKA, K. NAKAMURA, M. YOSHIDA, M. OHTANI, H. TSUNEMI and K. KONDO: Target material dependence of hard x-ray generation by femtosecond laser irradiation, Int. Conf. on Optical Technology and Image Processing in Fluid, Thermal, and Combustion Flow (VSJ-SPIE98), Yokohama, Dec. 6-10, (1998).
- N. OZAKI, M. HARA, Y. SASATANI, M. YOSHIDA, H. TAKENAKA, S. I. ANISIMOV and K. KONDO: Multi-layered flyer accelerated by laser induced shock wave, 40th Annual Meeting of the Division of Plasma Physics, New Orleans, Nov. 16, (1998).
- Y. HIRONAKA, K. NAKAMURA, M. YOSHIDA and K. KONDO: Spatial Distribution of X-ray Emission by femtosecond Laser Irradiation on Metal Target, 6th International Workshop on Femtosecond Technology (FST '99), Tsukuba, July 13-15, (1999).
- K. G. NAKAMURA, Y. HIRONAKA, M. YOSHIDA and K. KONDO: Pump-probe x-ray diffraction using ultrashort pulsed x-rays generated by femtosecond laser irradiation to metal targets, 6th Int. Workshop on Femtosecond Technology (FST '99), Tsukuba, July 13-15, (1999).
- K. KONDO, Y. HIRONAKA, K. G. NAKAMURA and M. YOSHIDA: Transparent nanocrystalline diamond ceramics synthesized by SCARQ: shock compression and rapid quenching, 3rd Int. Symp. on Synergy Ceramics, Osaka, Feb. 2-4, (1999).
- O. V. FAT'YANOV, T. OGURA, M. F. NICOL and K. KONDO: New technique and high accuracy experimental data for verifying EOS models for carbon tetrachloride, Int. Workshop on New Models and Predictive Methods for Shock Wave/Dynamic Processes in Energetic Materials and Related, Moscow, July 4-9, (1999).
- K. KONDO, O. V. FAT'YANOV, Y. HIRONAKA and S. OZAKI: Performance of the three-stage light-gas gun with a preheating stage, 11th Biennial Intl. Conf. of the APS Topical Group on SCCM, Salt Lake, Jun. 27-July 2, (1999).
- N. KOZU, M. ARAI, M. TAMURA, H. FUJIIHISA, K. AOKI, M. YOSHIDA and K. KONDO: Shock compression of nitrobenzene, 11th Biennial Intl. Conf. of the APS Topical Group on SCCM, Salt Lake, Jun. 27-July 2, (1999).
- M. YOSHIDA, K. WAKABAYASHI, N. KOZU, Y. SASATANI, H. TAKENAKA, K. A. TANAKA and K. KONDO: Acceleration of thin flyer plates by laser plasmas, 11th Biennial Intl. Conference of the APS Topical Group on SCCM, 11th Biennial Intl. Conf. of the APS Topical Group on SCCM, Salt Lake, Jun. 27-July 2, (1999).
- Y. HIRONAKA, T. TANGE, T. INOUE, Y. FUJIMOTO, K. G. NAKAMURA, K. KONDO and M. YOSHIDA: Picosecond x-ray diffraction of laser driven shock compressed state of Silicon, 11th Biennial Intl. Conf. of the APS Topical Group on SCCM, Salt Lake, Jun. 27-July 2, (1999).
- O. V. FAT'YANOV, M. F. NICOL, T. OGURA and K. KONDO: Equation of state for CCL<sub>4</sub>, 11th Biennial Intl. Conf. of the APS Topical Group on SCCM, Salt Lake, Jun. 27-July 2, (1999).
- O. V. FAT'YANOV, T. OGURA, M. F. NICOL and K. KONDO: Precise time-resolved mid-infrared radiometry of shocked CCl<sub>4</sub>, 11th Biennial Intl. Conf. of the APS Topical Group on SCCM, Salt Lake, Jun. 27-July 2, (1999).
- K. A. TANAKA: Laser driven multilayered flyers for high pressure equation of state studies, Int. Conf. on High Pressure Science and Technology (AIRAPT-17), Hawaii, July 25-30, (1999).
- K. KONDO, Y. HIRONAKA, Y. FUJIMOTO, K. G. NAKAMURA and M. YOSHIDA: Characteristic X-Ray Pulse Generation for Pump-Probe Diffraction Experiments by a Femtosecond Terawatt Laser, Int. Conf. on High Pressure Science and Technology (AIRAPT-17), Hawaii, July 25-30, (1999).
- W. H. ZHANG, M. YOSHIDA, H. TAMURA, K. KONDO, S. NAKAMURA: Spall of aluminum induced by picosecond laser pulses, Symp. on Shock Waves, Tokyo, March 18, (2000).
- Y. HIRONAKA, A. YAZAKI, Y. OKANO, F. SAITO, K. G. NAKAMURA, K. KONDO, H. TAKENAKA and M. YOSHIDA: A new powerful tool for shock-wave science of condensed matter: picosecond time-resolved X-ray diffraction, Symp. on Shock Waves, Tokyo, March 17, (2000).
- M. YOSHIDA, H. TAKENAKA, K. A. TANAKA and K. KONDO: A study of equations of state using laser-induced shock waves, Int. Workshop on Warm Dense Matter, Vancouver, May 29, (2000).

- K. G. NAKAMURA, Y. HIRONAKA, A. YAZAKI, F. SAITO and K. KONDO: Picosecond time-resolved X-ray diffraction from a laser irradiated Si (111), FST 2000 (7th Int. Workshop on Femtosecond Technology), Tsukuba, June 29-30, (2000).
- K. G. NAKAMURA, Y. HIRONAKA, A. YAZAKI, F. SAITO, K. KONDO: Picosecond time-resolved X-ray diffraction from a silicon crystal under laser-induced breakdown, UP 2000 (12<sup>th</sup> Int. Conf. on Ultrafast Phenomena and Tabletop Exhibit), Charleston, S. Carol., July, 9-13, (2000).
- I. FUKUMOTO, A. ZHIDOKOV, A. SASAKI, T. UTSUMI, M. YOSHIDA, K. KONDO and T. TAJIMA:  $K\alpha$  emission from high-Z solids irradiated by intense femtosecond laser pulses, BEAMS 2000 (13th Int. Conf. on High-Power Particle Beams), Niigata, June 25-30, (2000).
- Y. HIRONAKA, A. YAZAKI, F. SAITO, K. G. NAKAMURA and K. KONDO: Picosecond Time-Resolved X-Ray Diffraction on Shock-Compressed Silicon Crystal, Int. Workshop on Crystallography at High Pressure and High Temperature using X-rays and Neutrons (3rd Int. Workshop by the IUCr), Hyogo, Sept. 30-Oct. 3, (2000).
- K. KONDO, Y. HIRONAKA, F. SAITO, A. YAZAKI, K. G. NAKAMURA and M. YOSHIDA: Propagation of shock-induced lattice strain directly measured by picosecond, time-resolved x-ray diffraction, 4th Japan-China High Pressure Seminar, Kyoto, Nov., 8-12, (2000).
- M. YOSHIDA, K. A. TANAKA and K. KONDO: Generation of High Dynamic Pressures, 4th Japan-China High Pressure Seminar, Kyoto, Nov. 8-12, (2000).
- K. KONDO, Y. HIRONAKA, F. SAITO, A. YAZAKI and K. G. NAKAMURA: A NEW METHOD FOR DIAGNOSIS OF DYNAMIC RESPONSE OF BRITTLE SOLIDS, 1<sup>st</sup> Israel-Japan Bi-national workshop on Dynamic Response of Brittle Solids, Neve-Ilan, Israel, Jan. 28-30, (2001).
- K. A. TANAKA, M. YOSHIDA and K. KONDO: Laser shock and related studies for accurate EOS study above Mbar (100GPa), ISAM 2001 (Int. Symp. on Advanced Materials), Tsukuba, March 4-8, (2001).
- Y. HIRONAKA, F. SAITO, A. YAZAKI, K. G. NAKAMURA and K. KONDO: Shock-waves observed by picosecond, time-resolved X-ray diffraction, ISAM 2001 (Int. Symp. on Advanced Materials), Tsukuba, March 4-8, (2001).
- T. MORITOH, N. KAWAI, K. G. NAKAMURA and K. KONDO: Projectile acceleration aiming at velocities above 9 km/s by a compact gas gun, 12th Int. Conf. of APS Topical Group on Shock Compression of Condensed Matter, Atlanta, Jun. 24-29, (2001).
- K. G. NAKAMURA, K. KONDO, K. WAKABAYASHI: Transient bond scission of polytetra-fluoroethylene under laser-induced shock compression studied by nanosecond time-resolved Raman spectroscopy, 12th Int. Conf. of APS Topical Group on Shock Compression of Condensed Matter, Atlanta, Jun. 24-29, (2001).
- Y. HIRONAKA, F. SAITO, A. YAZAKI, K. G. NAKAMURA and K. KONDO: Picosecond Time-resolved X-ray Diffraction: estimation of local pressure, 12th Int. Conf. of APS Topical Group on Shock Compression of Condensed Matter, Atlanta, Jun. 24-29, (2001).
- T. OGURA, K. NAKAMURA, K. KONDO and H. TAKENAKA: Shock temperature of NaCl measured with wide-band optical radiometry, 12th Int. Conf. of APS Topical Group on Shock Compression of Condensed Matter, Atlanta, Jun. 24-29, (2001).
- T. HOMAE, A. OKAMOTO, K. G. NAKAMURA, K. KONDO, M. YOSHIDA, K. HIRABAYASHI and K. NIWASE: Cooling rate threshold in transformation of C 60 fullerene to amorphous diamond and highly disordered carbon in SCARQ experiments, 12th Int. Conf. of APS Topical Group on Shock Compression of Condensed Matter, Atlanta, Jun. 24-29, (2001).
- A. YAZAKI, Y. HIRONAKA, F. SAITO, K. G. NAKAMURA and K. KONDO: Transition from expansion to shock compression in laser irradiated Si by multiple shots, 12th Int. Conf. of APS Topical Group on Shock Compression of Condensed Matter, Atlanta, Jun. 24-29, (2001).
- K. WAKABAYASHI, K. G. NAKAMURA and K. KONDO: Shock-induced orientation of Benzene molecules studied by nanosecond time-resolved Raman spectroscopy, 12th Int. Conf. of APS Topical Group on Shock Compression of Condensed Matter, Atlanta, Jun. 24-29, (2001).
- 他国内学会、シンポジウム 144 件

( 3 ) 特許出願 ( 国内 4 件、海外 0 件 )

国内

- 吉田正典, 近藤建一, 中村一隆, 藤本靖, 常深博: 結晶構造データと構成元素データを同時に計測するシステム及び方法, 特願平 11-125020, 1999.4.30.
- 近藤建一, 弘中陽一郎, 中村一隆: 増強型マイクロX線ビーム生成方法および装置.
- 近藤建一, 弘中陽一郎, 中村一隆, 齋藤文一: 水和電子生成を用いたX線パルス幅測定方法及び装置.
- 近藤建一, 弘中陽一郎, 中村一隆: レーザー誘起プラズマによるX線集光方法及び装置.