

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月 8日現在

機関番号：82626

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22760057

研究課題名（和文） 起爆感度制御を目指したペンスリット爆薬の衝撃起爆機構の解明と起爆感度因子の特定

研究課題名（英文） Study on shock-induced initiation dynamics and sensitivity factor of pentaerythritol tetranitrate explosive aiming for controlling initiation sensitivity

研究代表者

若林 邦彦（WAKABAYASHI KUNIHICO）

独立行政法人産業技術総合研究所・安全科学研究部門・研究員

研究者番号：00371089

研究成果の概要（和文）：ペンスリット爆薬の衝撃起爆機構を明らかにするために、レーザー誘起衝撃波によって衝撃圧縮されたペンスリット単結晶の時間分解ラマン分光実験を実施した。その結果、衝撃圧縮誘起の振動数シフトは振動モードに依存することが示された。ペンスリットのニトロ基が関わる振動が衝撃起爆に影響する可能性があることが分かった。

研究成果の概要（英文）：We performed time-resolved Raman spectroscopy to investigate initiation dynamics of pentaerythritol tetranitrate (PETN) single crystal compressed by laser-driven shock wave. Shock induced frequency shift of the peaks showed the different behavior depending on each vibrational mode. It was found that there was a possibility that the vibrations related with NO<sub>2</sub> group had effect on shock-induced initiation.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎・応用物理学一般

キーワード：火薬学、衝撃起爆機構、起爆感度、レーザー誘起衝撃波、レーザー速度干渉計、ラマン分光法、分子性固体、ペンスリット

## 1. 研究開始当初の背景

爆薬の衝撃起爆現象は高速かつ不可逆な単発破壊の現象である。そのため、衝撃起爆の詳細については明らかになっておらず、現在もなお、爆薬の衝撃起爆機構と起爆感度の評価は現象論的であると言える。

代表的な爆薬の一種であるペンスリット（C(CH<sub>2</sub>ONO<sub>2</sub>)<sub>4</sub>）に関する既往の衝撃圧縮実験によると、起爆感度に結晶方位の依存性がある可能性が示唆されているが、この結果は静

的圧縮による実験結果と一致しておらず細は明らかとなっていない。衝撃圧縮のような動的な一軸加圧方法特有の条件が衝撃起爆に強く影響している可能性が示唆されるが、衝撃起爆機構は未だ十分には解明されていない。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、起爆感度因子（起爆に影響を与えるパラメーター）を特定し、爆薬の



衝撃実験を行うことが可能となった（図3、4）。この装置と標準物質（フッ化リチウム）を用いた検証実験を実施した。レーザー加速飛翔体衝突法によって標準的な窓材料であるフッ化リチウムを[100]軸方向に衝撃圧縮し、レーザー速度干渉計による粒子速度の測定手法とその精度について検証したところ、衝撃銃や爆薬法などの従来型手法によるものと同程度の精度で状態方程式パラメータを測定できることを実証した。

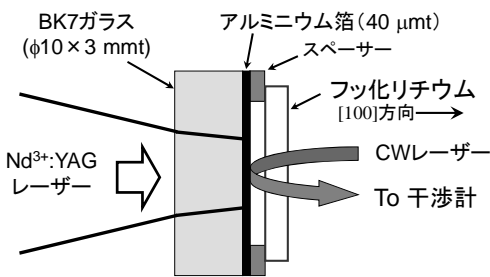


図3 ターゲットの例

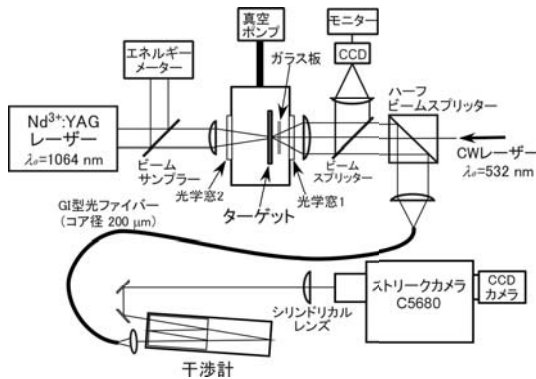


図4 レーザー衝撃圧縮実験装置の模式図

この結果を踏まえ、作製したペンスリット単結晶に前述の方法を適用し、衝突実験を行った。レーザー照射によって加速された初期厚さ40 μmのアルミニウム箔を最大1.75 km/sでペンスリットの[110]軸方向に衝突させ、粒子速度履歴を測定した（図5）。

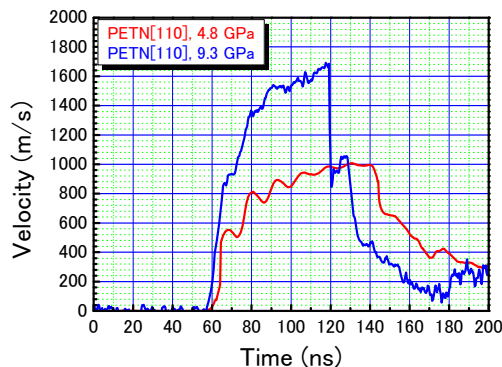


図5 見かけの粒子速度履歴

インピーダンスマッチング法から導出された真の粒子速度 ( $u_{Act}$ ) とレーザー速度干渉計によって測定された見かけの粒子速度 ( $u_{App}$ ) の関係が一次関数で表現できることが示され（図6）、圧縮領域の屈折率が密度に比例すること等が示唆された。屈折率の変化を考慮した衝撃圧の推定方法を用いることによって、衝撃圧力4.9~10万気圧までの圧縮状態を精密測定することが可能となった。

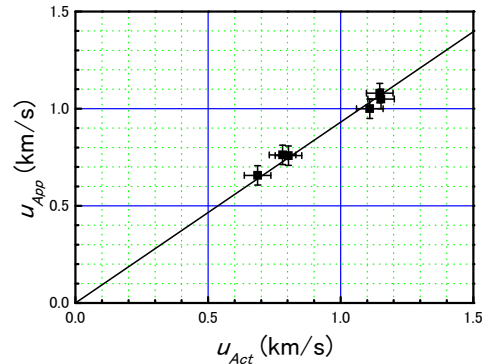


図6 PETN単結晶[110]の  $u_{Act}$ - $u_{App}$  関係

(3) レーザー衝撃圧縮装置を応用した時間分解ラマン分光装置の高度化においては、光学部品や励起光の照射・集光方法等を改善することによって、6 ナノ秒程度の単発励起光照射で十分な信号強度のラマンスペクトルを取得することが可能となった。

(4) 高度化されたレーザー衝撃圧縮実験装置とそれを応用した時間分解ラマン分光装置を用い、衝撃圧縮されたペンスリット単結晶の時間分解ラマン分光測定を行った。パルスレーザーを集光照射することによって発生させた高圧力パルスでペンスリット単結晶に印加し、[110]軸方向に最大ピーク圧力5.4万気圧の衝撃波を伝搬させ、衝撃波がペンスリット単結晶中を伝搬することによって誘起されたペンスリット分子の振動構造の変化をナノ秒時間分解型ラマン分光法で測定した。その結果、ペンスリット単結晶のラマンスペクトルのシフト量やピーク強度、スペクトル線幅の変化は衝撃圧依存性があることを見出した。同じ衝撃圧力で衝撃圧縮した場合においても、振動モードによってスペクトルの変化は異なっており、特にニトロ基の伸縮振動が関連する振動モード（873、1293 $\text{cm}^{-1}$ ）は他の振動モードと比較して衝撃圧に敏感に反応し、高波数側へのシフト量が大きくなることが分かった（図7）。これらの結果から、衝撃起爆現象においてはニトロ基が関わる振動が起爆に影響する可能性があることが分かった。

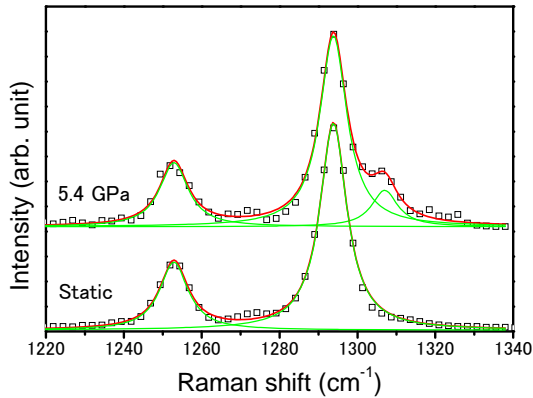


図7 ラマンスペクトルの変化の例  
常温常圧状態 (Static) 及び  
衝撃圧縮状態 (5.4 GPa)

## 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2件)

- ① K. Wakabayashi, T. Matsumura, Y. Nakayama and M. Koshi, "Particle velocity history of pentaerythritol tetranitrate shocked along [110] crystal orientation by laser-accelerated miniature flyer impact", Shock Compression of Condensed Matter-2011, 査読有, Vol. 1426, 2012, pp.1601-1604, DOI:10.1063/1.3686591
- ② K. Wakabayashi, T. Matsumura, Y. Nakayama and M. Koshi, "Accuracy of velocity correction for impact of a laser-accelerated miniature flyer with lithium fluoride shock-compressed along the [100] axis", Review of Scientific Instruments, 査読有, Vol. 82, 2011, pp. 026112-1-026112-3, DOI:10.1063/1.3553293

[学会発表] (計5件)

- ① K. Wakabayashi, T. Matsumura, Y. Nakayama and M. Koshi, "Particle velocity history of pentaerythritol tetranitrate shocked along [110] crystal orientation by laser-accelerated miniature flyer impact", American Physical Society Topical Group on Shock Compression of Condensed Matter, June 27, 2011, Chicago, USA.
- ② 若林邦彦、松村知治、中山良男、越光男、

「ペンシリット単結晶の[110]軸方向ナノ秒衝撃圧縮下の粒子速度履歴」、火薬学会 2011 年度春季研究発表会、2011 年 5 月 27 日、慶應義塾大学日吉キャンパス

- ③ 若林邦彦、松村知治、中山良男、越光男、「レーザー加速微小飛翔体の衝突によって衝撃圧縮されたフッ化リチウム[100]の見かけの粒子速度と真の粒子速度の関係 —関係式とその精度—」、火薬学会 2011 年度春季研究発表会、2011 年 5 月 27 日、慶應義塾大学日吉キャンパス
- ④ 若林邦彦、松村知治、中山良男、越光男、「レーザー加速飛翔体衝突によって[110]軸方向に衝撃圧縮されたペンシリット単結晶の粒子速度履歴」、平成 22 年度衝撃波シンポジウム、2011 年 3 月 18 日、青山学院大学相模原キャンパス
- ⑤ 若林邦彦、松村知治、中山良男、「レーザー衝撃圧縮下において速度干渉計によって測定されたフッ化リチウムの物質速度の補正」、第 71 回応用物理学会学術講演会、2010 年 9 月 15 日、長崎大学文教キャンパス

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

若林 邦彦 (WAKABAYASHI KUNHIKO)  
独立行政法人産業技術総合研究所・安全科学  
学研究部門・研究員  
研究者番号：00371089