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:2010~201 課題番号:22760	0.5.7			
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 KUNIHIKO)				
独立行政法人産業技術総合研究所・女主科学研究部門・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 NO₂ 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 単発破壊的現象である。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(CH₂0NO₂)₄)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詳 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 衝撃起爆機構を分子論的な立場から明らか にすることである。代表的な爆薬の一種であ るペンスリットに着目し、起爆感度に及ぼす 影響をラマン分光法を用いて分子振動構造 の変化を通じて実験的に明らかにする。

3.研究の方法

本研究では原理的な起爆因子を明らかと するために、試料としてペンスリット単結晶 を作製し使用する。また、衝撃起爆現象は非 常に高速な単発現象であるため、レーザー衝 撃圧縮法とポンプ・プローブ時間分解型ラマ ン分光法を組み合わせた高時間分解計測法 を用いる。衝撃圧縮下におけるラマンスペク トルの変化を系統的に調査することによっ て衝撃起爆機構を明らかにし、起爆感度に支 配的な影響を与える因子を推定する。本研究 を実施するにあたり、基礎データとして必要 なペンスリット単結晶の衝撃圧縮状態の精 密測定を行う。

具体的な研究・開発課題は次の通りである。 (1)本実験において必要な数ミリ程度の大き さの高品位なペンスリットの単結晶を作製 する技術を確立する。

(2)ペンスリット単結晶の衝撃圧縮状態を正確に測定する技術を確立する。真空中においてレーザー照射による衝撃実験が行えるように、レーザー衝撃圧縮装置の高度化を行う。この装置と衝撃圧縮状態が既知である標準試料を用いて衝撃圧縮下における状態方程式パラメーター測定を行い、この検証実験から実験装置の有効性と実験手法の妥当性を明らかにする。この手法をペンスリットに適用し、衝撃圧縮状態における衝撃圧力等を正確に測定する技術を確立する。

(3) ラマン分光装置の光学系の高度化を行う。 単発励起光照射で十分な SN 比のスペクトル が取得できることを目指す。

(4)ペンスリット単結晶を衝撃圧縮し、分子・格子振動の変化を時間分解ラマン分光法 によってポンプ・プローブその場実時間測定 する。ペンスリット内部を伝播する衝撃波と ペンスリット分子との相互作用をラマンス ペクトルの変化として観測し、ラマンスペク トルのシフト量やスペクトル幅等の衝撃圧 力依存性や振動モード依存性について調査 し、起爆感度因子の推定や衝撃起爆現象との 関連性について調査する。

4. 研究成果

(1)ペンスリットの単結晶を作製する技術開 発を行った。アセトンにペンスリット粉末を 溶解し、常温大気圧下で静置することによっ てアセトンを揮発させペンスリットを再結 晶化させた。ペンスリットの濃度をパラメー ターとした再結晶化条件の最適化を行い、ペ ンスリット粉末1g/アセトン15 mlの溶液を 用いることによって本実験で必要とする単 結晶を得られることを見出した。本条件で再 結晶化させたペンスリットは透明であり、外 形は概ね直方体状であった。大きさは様々で、 大きなものでは長さが 2~3 ミリ程度に達す るものもあった(図1)。



図1 作製したペンスリット単結晶の例



図2 X線構造解析の結果

適当な大きさの試料を選び、単結晶 X 線構 造解析装置(Bruker AXS 社製)で評価したと ころ、結晶系は正方晶(図2)であること、 密度は 1.777 Mg/m³でほぼ理論密度であるこ とが分かった。結晶外形を形作っている各面 の指数付けを行ったところ、一番大きな結晶 表面は(110)面であり、[110]軸がこの面に対 して直交していることを確認した。これらの 結果が既往のペンスリット単結晶のデータ と良く一致することを確認した。以上の解析 結果から、作製した試料が非常に単結晶性の 高い高品位なものであることを確認すると ともに、本実験で必要とするクオリティのペ ンスリット単結晶を室温大気圧力下におい て結晶成長させる条件を見出した。衝撃実験 に際しては、光学顕微鏡観察によって結晶の 内部及び表面に気泡やクラック、不純物等が 混入していない結晶を選び、試料として使用 した。

(2) レーザー衝撃圧縮実験装置を高度化する ことによって、真空中でレーザー照射による 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 ーを測定できることを実証した。



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を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、 1293cm⁻¹) は他の振動モードと比較して衝撃 圧に敏感に応答し、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。



営業 (500)
 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)

- <u>K. Wakabayashi</u>, 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 <u>K. Wakabayashi</u>, 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 bv laser-accelerated miniature flyer impact", American Physical Society Topical Group on Shock Compression of Condensed Matter, June 27, 2011, Chicago, USA.
- ② <u>若林邦彦</u>、松村知治、中山良男、越光男、

「ペンスリット単結晶の[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 一関係式とその精度一」、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 <u>若林邦彦</u>、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スリ 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 <u>若林邦彦</u>、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 KUNIHIKO)
 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