

高速度衝突現象の高速度撮影と測光観測

柳澤正久（電通大）、田中孝治、相馬央令子、長谷川直（宇宙研）
塩田一路（サレジオ高専）、小林正和（東海大）、木下尋可（工学院大）

1. 背景と目的

高速度衝突実験では、ジェットインク雲や衝突蒸気雲からの放射以外に、弾丸直径を衝突速度で割った時間にほぼ等しい極短い継続時間をもつスパイク光が衝突の瞬間に観測されることがある。スパイクの原因としては、ジェットインク現象開始時の弾丸と標的の境界からの放射が提唱されている[1]。一方、半透明なナイロン弾丸が、高温高圧領域からの放射で光っている様子が超高速度カメラで撮影されている[2, 3]。スパイク光を更に詳しく調べるために、弾丸材質、標的材質、衝突角度を変えた実験を行った。

2. 実験方法

宇宙研/JAXA の新二段式軽ガス銃で、表 1 に示す 16 回の実験を行った。

表 1. 実験パラメータ

Shot #	衝突速度 v_0 [km/s]	弾丸材質 (注 1)	標的材質 (注 2)	衝突入射角 θ [°] (注 3)	標的面と視線 のなす角 [°]	真空度 [Pa]
2211	6.399	ナイロン	CFRP (3)	60	6	9.7
2212	6.091	Al	CFRP (3)	60	6	5.5
2213	6.436	ナイロン	CFRP (3)	0	11	6.4
2214	6.106	Al	CFRP (3)	0	16	5.8
2215	6.302	ナイロン	CFRP (3)	30	14	6.5
2216	6.124	Al	CFRP (3)	30	15	8.5
2217	6.411	ナイロン	CFRP (3)	-30	15	< 0.1
2218	6.065	Al	CFRP (3)	-30	15	5.3
2219	6.358	ナイロン	Cu (3)	30	15	7.4
2220	6.717	ナイロン	Al (25)	0	12	5.8
2221	6.686	ナイロン	Al (10)	0	12	5.6
2222	6.486	ナイロン	ガラス (20)	0	12	10.1
2223	6.638	ナイロン	Al (50)	0	12	9.8
2224	6.628	ナイロン	Al (2)	0	12	5.8
2225	6.652	Al	Al (30)	0	12	7.3
2226	6.686	ナイロン	ガラス (19)	0	14	3.4

(注 1) 球形、直径 d と質量 m は、ナイロン 66 では 7 mm, 0.218 g、Al では 3 mm, 0.047 g。

(注 2) ()内は厚さ、単位は mm。

(注 3) 標的表面に立てた法線と弾道のなす角。マイナスは標的面が下向きの場合。本質的な差はない。

衝突の様子は超高速度カメラ島津 HPV-X でモニターした。衝突閃光の測光は以下に示すコンポーネントから成るフォトメータで行った。(a) PIN Si フォトダイオード(浜松フォトニクス S3071、感度波長範囲は約 400-1100 nm) ; (b) アンプ(浜松フォトニクス C8366) ; (c) レンズ(焦点距離 55 mm 又は 8 mm、フィルタなし)。遮断周波数は約 40 MHz

である。使ったレンズの焦点距離によって視野は異なるが、どちらの場合でもスパイク光を発している領域は十分に含まれている。フォトメータと標的表面のなす角も表1に記載した。

3. 結果と考察

規格化時間、規格化放射強度を以下のように定義する。なお、光は衝突点から等方的に 4π ステラジアンに放射されるとして放射強度 P を計算した。

$$\tau = \frac{t}{t_0} \left(t_0 = \frac{d}{v_0 \cos \theta} \right) \quad \Pi = \frac{P}{P_0} \left(P_0 = \frac{\frac{1}{2} m v_0^2}{t_0} \right)$$

衝突現象のごく初期のスパイク光部分について、強度の時間変化を、ナイロン弾丸(図1(a)(b))とAl弾丸(図1(c))の場合に分けて、また標的材質で分けて示す。

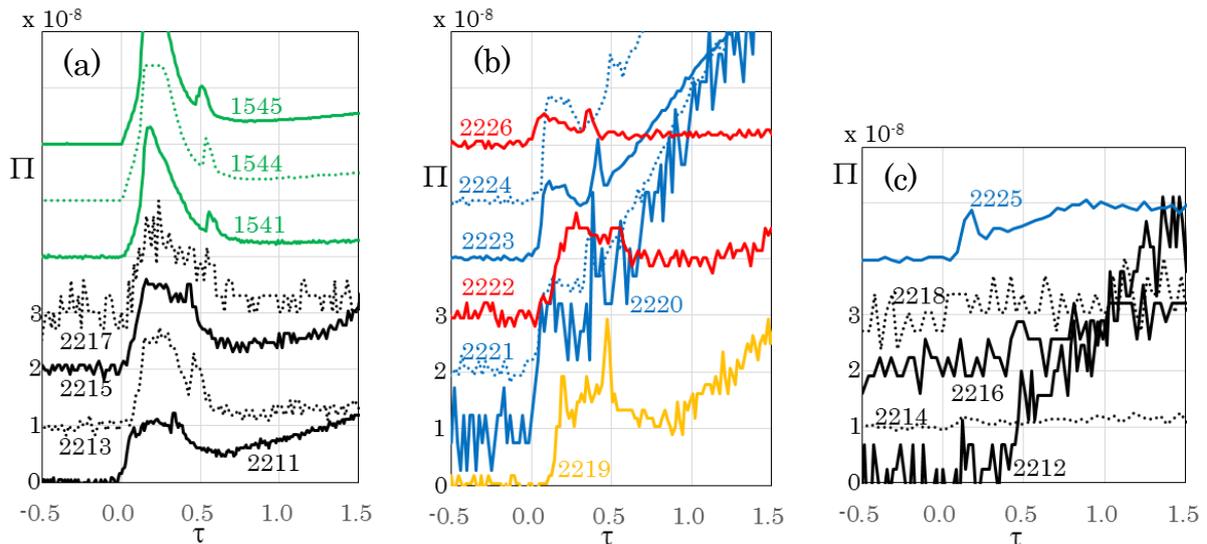


図1. 規格化放射強度の規格化時間変化。各曲線に付けた数字は Shot # である。(a)(b)はナイロン弾丸についての結果を、(c)はAl弾丸についての結果と示す。標的材質は次の通りである。(a)下4つがCFRP、上3つがナイロン[2, 3]。(b)一番下がCu、下から2, 3, 5, 6番目がAl、下から4, 7番目がガラス。(c)下4つがCFRP、一番上がAl。

スパイクは、弾丸が不透明なAlでは(図1(c))、標的がCFRPの場合には存在しない。標的がAlの場合には短く弱いスパイクが見られる(図1(c)一番上)。ジェットング現象開始時の弾丸と標的の境界からの放射[1]であろう。半透明なナイロン弾丸の場合、はっきりとしたスパイク光が観測されるが、その強度も時間積分した放射エネルギーも標的物質にあまり依存しないようである。なお、実験によっては、スパイクの後、放射強度が単調に増加しているが、これはジェットング雲の発光によるものと考えられる。

参考文献

[1]Jean and Rollins, *AIAA J*, **8**, 1742-1748, 1970. [2]柳澤正久, 他, スペース・プラズマ研究会, 2012. 2. [3]柳澤正久, 他, 天体の衝突物理の解明VIII, 北大低温科学研究所, 2012. 11.

謝辞：本研究は宇宙研/JAXA スペースプラズマ共同研究設備の支援を得て行われた。また、柳澤は当研究会参加に関して北大・低温研究所の支援を受けた。