早期公開
—事例報告—

近距離連続射撃を受けた自動車用窓ガラスの射撃残渣鑑定事例

柴崎一成^{1,2}, 中村 勝¹

¹千葉県警察本部刑事部科学捜査研究所
〒260-0024 千葉県千葉市中央区中央港 1-71-1

²科学警察研究所
〒277-0882 千葉県柏市柏の葉 6-3-1

Identification case report of gunshot residues deposited on a vehicle window subjected to multiple shots at close range

Kazunari Shibasaki^{1,2} and Masaru Nakamura¹

¹*Forensic Science Laboratory of Chiba Pref. Police H.Q.
1-71-1, Chuoko, Chuo-ku, Chiba-shi, Chiba, 260-0024 Japan*

²*National Research Institute of Police Science
6-3-1, Kashiwanoha, Kashiwa-shi, Chiba, 277-0882 Japan*

(Received 27 January 2021; accepted 6 January 2022;

Published online 9 February 2022 in J-STAGE DOI: 10.3408/jafst.810)

The multiple shots from the close range to a vehicle had occurred, and seven entrance holes were observed on the side window of the vehicle. After the analysis of the residues collected around the holes, the part of the residues had included the specific elements: lead, barium, and antimony. Based on the analysis results, the residues were concluded as GSR. However, the collected samples had included few numbers of the particle consisted of the specific three components comparing to the one or two components. So, we arranged the firing experiment to clarify the reason why the less amount of three components particles was detected.

The experimental results showed that the total amount of lead-containing particles had increased and the ratio of three components particles had decreased, with the shooting distance getting close.

In this paper, we suggested the two points below for the identification of GSR collected from the target subjected to a close-range shot.

- (1) Analyze as many particles as possible using the automatic analysis function so as not to miss the three components particles.
- (2) Focus on not only the three components particles but also particles containing the one or two specific elements to improve the reliability of the positive results.

Key words: Close-range shot, Gunshot residue, EPMA/EDS, Automatic analysis

緒 言

自動車に対するけん銃発砲事案が発生し、近距離からの連続射撃により窓ガラスには複数の射入口が形成された。本件は、発生時の状況からけん銃の使用が明らかな事案であったが、事件立証上の必要性から射撃残渣の鑑定が嘱託された。各射入口の周囲から採取された付着物に対し鑑定を実施した結果、全てについて固有粒子を検出した。

一般に射撃残渣とは、銃器の射撃により生じる粒子の総称であり、発射薬成分、雷管成分、弾丸成分などの残渣のことをいい、特に雷管成分および弾丸成分に由来する金属粒子の検出は、射手鑑別の鑑定に重要とされている。鑑定手法としては、走査型電子顕微鏡とエネルギー分散型検出器から成るシステムに粒子解析ソフトを組合せ、観察画像の取得条件、同時分析の対象元素および粒子の探索範囲を制御する自動分析が主流となっている¹⁻³⁾。本鑑定では、エネルギー分散型検出器を備えた電子線マイクロアナライザによる自動分析を行っており、必要に応じて波長分散型検出器による手動分析を併用している。鉛、バリウム、アンチモンの三成分を同時に含有する金属粒子は、トリシネート系実包を射撃した場合に生じる固有粒子と考えられている。固有粒子の検出は、「銃を撃ったのが対象者であるのか」あるいは「その環境に対象者は滞在していた可能性があるのか」の判別にあたり、着目点の一つとして活用されている。

本事例では、全ての射入口において多量の金属粒子が確認されたものの、いずれも固有粒子の割合が非常に少なかった点に着目したい。至近距離からの発砲では燃焼ガスが直接被射体に到達し、付着する金属粒子の総数が増大するため、固有粒子の検出は容易に行えるとの予測の下鑑定に着手した。しかし、実際は類似した輝度を示す粒子が多量に付着する中での探索となったため、固有粒子の検出に想定以上の時間を要する鑑定となった。

以下では、まず鑑定事例の概要について説明する。次に鑑定終了後、固有粒子の割合が少なくなった理由を考察するため射距離に着目し、過去に実施した試射実験の結果を引用すると共に追加実験を

行ったので、その内容について述べる。最後に、近距離射撃を受けた被射体から採取した射撃残渣の鑑定を行う際に留意すべき点を提言する。

鑑定事例

自動車に対する連続発砲事件が発生し、自車および他車に搭載されていたドライブレコーダには、至近距離から左後部ガラスを射撃している状況が記録されていた。被射体は強化ガラスであったが、室内側に遮光フィルムが施工されていたため、射入口の位置やガラスの表面状態など、射撃直後の外観状態は保存されていた。使用された銃は、口径0.38インチ回転弾倉式けん銃と推定された。

Fig. 1 に射入口の外観を示す。射入口は e1 から e7 までの計 7 箇所である。各射入口の周囲から採取された付着物が鑑定資料として持ち込まれ、射撃残渣付着の有無を鑑定した。検証時に射入口 e4 と e5 はまとめて扱われているため、鑑定資料は計 6 点である。Fig. 1 には、射入口と鑑定資料の対応も併記した。射入口形状の観察結果より、射入口 e1 から e3 は斜め方向からの射撃、射入口 e4 から e7 は垂直射撃により形成されたものと判断した。また、射入口 e7 の周囲には、顕著な変色が生じていた。

なお、発砲から採取までの経過時間は 2 時間から 3 時間、車両の移動距離は約 3 km であり、射撃残渣の採取活動は車両発見場所にて実施された。

鑑定方法および鑑定結果

1 鑑定資料の採取方法

付着物の採取には、Fig. 2 に示すアルミニウム製ピンタイプ試料台（スタブ）を使用した。スタブ表面には導電性のカーボンテープを貼り、タップ動作によりカーボンテープの粘着面と被射体表面を複数回接触させ、付着物を採取した。いずれの鑑定資料においても、付着物の採取範囲および採取時のタップ回数は不明であり、統一されていない。

2 鑑定資料の分析方法

スタブ表面にカーボン蒸着を施し、フィールドエミッション電子線マイクロアナライザ（日本電子 JXA-8530F plus）による自動分析を行った。加速

(a) General view of the vehicle window subjected to multiple shots.

(b) Enlarged view of entrance holes.

(c) Correspondence of entrance holes and evidential samples.

Entrance hole ID.	Sample ID.
e1	A
e2	B
e3	C
e4	D
e5	
e6	E
e7	F

Fig. 1 Entrance holes observed on the vehicle window.

電圧20 kV，照射電流 5 nA，エネルギー分散型検出器による分析時間 1 s，単画像の解像度1024 px × 768 px とし，最大長 1 μm 以下の粒子は無視する設定とした．分析時間の都合により粒子解析の上限粒子数は5000粒子とし，収集した粒子が上限粒子数に達した時点で解析を終了した．

検出された元素より，本事例で使用されたのはいずれもトリシネート系の雷管が装着された実包と判

断し，鉛 (Pb)，バリウム (Ba)，アンチモン (Sb) の三元素に着目して粒子解析を進めた．エネルギー分散型検出器による出力結果のうち組成が 2 mass% 未満の元素は計算から除外し，上記 3 元素の相対質量組成に換算後，含有元素により以下の 7 種類に分類した．

Type 1 (Pb) Pb を含有し，Ba と Sb を含有しない粒子

Type 2 (Ba) Ba を含有し, Sb と Pb を含有しない粒子

Type 3 (Sb) Sb を含有し, Pb と Ba を含有しない粒子

Type 4 (PbBa) Pb と Ba を含有し, Sb を含有しない粒子

Type 5 (BaSb) Ba と Sb を含有し, Pb を含有しない粒子

Type 6 (SbPb) Sb と Pb を含有し, Ba を含有しない粒子

Type 7 (PbBaSb) Pb, Ba, Sb を含有する粒子

ここで, Type i の粒子数を N_i とする. 上記 7 種類の合計粒子数に対する一成分粒子の割合を一成分粒子率 (R_{1comp}), 二成分粒子の割合を二成分粒子率 (R_{2comp}), 三成分粒子の割合を三成分粒子率 (R_{3comp}) と定義し, 以下の式により求めた. 本報告において「三成分粒子」と「固有粒子」は同義で

あり, 以降表現を「三成分粒子」に統一する.

$$R_{1comp} = \frac{\sum_{k=1}^3 N_k}{\sum_{k=1}^7 N_k} \cdot 100$$

$$R_{2comp} = \frac{\sum_{k=4}^6 N_k}{\sum_{k=1}^7 N_k} \cdot 100$$

$$R_{3comp} = \frac{N_7}{\sum_{k=1}^7 N_k} \cdot 100$$

発砲事件の初動捜査では, 付着した鉛を可視化するための手法として, 呈色反応や元素マッピングなどが用いられている. 銃器鑑識上, 鉛は重要な指標として使用されていることから, 粒子解析においても主成分元素の挙動を観測するため, 鉛の付着量について検討を行った. スタブ上に粒子は均一に分布していると仮定し, 単位面積当たりの鉛含有粒子数 (N_{Pb_all}) を定義した. S は実際の分析面積である.

$$N_{Pb_all} = \frac{N_1 + N_4 + N_6 + N_7}{S}$$

3 鑑定結果

Table 1 は, 6 点の鑑定資料 A から F に対する粒子解析の結果であり, いずれも三成分粒子と共に二成分粒子および一成分粒子が検出された. Table 1 から R_{1comp} , R_{2comp} , R_{3comp} , N_{Pb_all} を求め Table 2 を作成した. R_{3comp} は最大 4.9% (鑑定資料 F), 最小 3.4% (鑑定資料 D) であり, いずれも低い値となっ

Fig. 2 Schematic of a sample table.

Table 1 The particle analysis results of evidential samples.

Sample ID.	Counts of particles [—]								Analyzed area S [mm ²]
	N_1 (Pb)	N_2 (Ba)	N_3 (Sb)	N_4 (PbBa)	N_5 (BaSb)	N_6 (SbPb)	N_7 (PbBaSb)	sum	
A	2565	13	0	120	1	2009	211	4919	0.880
B	2562	5	1	114	5	2071	202	4960	1.160
C	2548	1	0	109	2	2034	212	4906	1.410
D	1709	26	1	161	3	1198	110	3208	4.000
E	1862	59	0	155	0	1060	147	3283	3.390
F	2483	5	0	136	0	462	160	3246	0.630

Table 2 The derived parameters of evidential samples.

Sample ID.	R_{1comp} [%]	R_{2comp} [%]	R_{3comp} [%]	N_{Pb_all} [mm ⁻²]
A	52.4	43.3	4.3	5574
B	51.8	44.1	4.1	4266
C	52.0	43.7	4.3	3477
D	54.1	42.5	3.4	795
E	58.5	37.0	4.5	951
F	76.7	18.4	4.9	5144

た． N_{Pb_all} は 1 mm² あたり最大 5574 個（鑑定資料 A），最小 795 個（鑑定資料 D）と多数分布していた． N_{Pb_all} を構成する粒子群と三成分粒子は輝度が類似しているため，反射電子像の段階で三成分粒子のみを明確に分離することは困難であった．結果に「いずれも射撃残渣の付着が認められる」と記載し，鑑定を終了した．

試射実験

1 試射条件

鑑定終了後，三成分粒子の含有率が少なくなった理由を考察するため，過去に実施した試射実験の結果を引用すると共に追加実験を実施した．

試射実験の条件を Table 3 に示す．作動方式の異なるけん銃での挙動を見るため，過去に実施した実験の中から口径 0.45 インチ自動装填式けん銃の結果を使用した（実験試料 1 から 6）．また，射入口 e7 に顕著な変色が生じていることや，鑑定の結果，全体的に鉛を含む粒子が多く検出されていることに着目し，追加実験として口径 0.38 インチ回転弾倉式けん銃と鉛弾丸を用いた試射を行った（実験試料 7 から 12）．追加実験では，各射距離につき後述する 2 種類の方法で射撃残渣を採取した．

各条件での試射は 1 回ずつであり，結果の再現性は確認していない．使用実包は，ラウンドノーズ型鉛弾付口径 0.45 インチ自動装填式けん銃用実包（LRN-45ACP），ラウンドノーズ型被甲弾付口径 0.45 インチ自動装填式けん銃用実包（FMJ-45ACP），ラウンドノーズ型鉛弾付口径 0.38 インチ

Table 3 Experimental conditions.

Sample no.	Shot no.	Bullet	Cartridge	Shooting distance [cm]	Sampling method
1	1	LRN	45ACP	5	direct
2	2	LRN	45ACP	20	direct
3	3	LRN	45ACP	50	direct
4	4	FMJ	45ACP	5	direct
5	5	FMJ	45ACP	20	direct
6	6	FMJ	45ACP	50	direct
7	7	LRN	38SPL	5	direct
8	8	LRN	38SPL	20	direct
9	9	LRN	38SPL	50	direct
10	7	LRN	38SPL	5	tap
11	8	LRN	38SPL	20	tap
12	9	LRN	38SPL	50	tap

回転弾倉式けん銃用スペシャル型実包（LRN-38SPL）の 3 種類である．使用けん銃は，口径 0.45 インチコルトダブルイーグル自動装填式けん銃（銃身長 128 mm），口径 0.38 インチスミス・ウェッスン 60-3 型回転弾倉式けん銃（銃身長 47 mm）の 2 種類である．3 種類の実包について，発泡プラスチック上に固定した白色綿タオルに対し，5 cm，20 cm，50 cm の射距離から垂直射撃を実施した．

2 実験試料の採取方法

(1) 直接採取

実験試料 1 から 9 については，予め射入口から 5 cm 離れた地点にスタブを設置し，試射を行った．スタブ表面には導電性のカーボンテープを貼付し，銃口から流出する燃焼ガスとカーボンテープの粘着面を直接接触させることにより射撃残渣を採取した．以下ではこの採取方法を直接採取と呼ぶ．直接採取では，採取地点を通過する射撃残渣の性質が反映されると考えられる．

(2) タップ採取

試料 10 から 12 については，試射の実施後に被射体表面から採取した射撃残渣である．射入口から外側へ渦を描くようにスタブのタップ動作を行い，個々の動作でカーボンテープを接触させた領域が重ならないよう留意した．採取時の接触回数は，カーボン

Table 4 The particle analysis results of experimental samples.

Sample no.	Counts of particles [—]								Analyzed area S [mm ²]
	N_1 (Pb)	N_2 (Ba)	N_3 (Sb)	N_4 (PbBa)	N_5 (BaSb)	N_6 (SbPb)	N_7 (PbBaSb)	sum	
1	1151	1	0	27	0	3797	10	4986	0.461
2	839	25	0	77	0	2133	29	3103	4.223
3	1955	37	4	218	3	1944	112	4273	42.363
4	2343	417	22	892	0	565	44	4283	16.891
5	2960	511	2	468	7	621	107	4676	46.147
6	756	169	4	246	4	643	137	1959	67.565
7	4200	525	0	184	0	22	3	4934	2.905
8	2452	843	1	240	4	82	29	3651	16.891
9	65	81	1	25	2	1	17	192	67.565
10	3729	218	0	744	4	153	129	4977	0.615
11	2100	111	1	242	11	135	94	2694	1.056
12	1353	409	5	293	10	1549	898	4517	52.160

テープの粘着力を考慮して60回と定めた．直径12.5 mm のスタブを60回接触させたときの面積は74 cm² となることから，射入口を中心とした直径約10 cm の円内（79 cm²）を採取範囲の目安とした．以下ではこの採取方法をタップ採取と呼ぶ．

3 分析方法

全ての実験試料についてカーボン蒸着による表面処理を行った後，鑑定資料と同条件で電子線マイクロアナライザによる自動分析および粒子解析を実施した．

結果および考察

1 実験試料の粒子解析結果

Table 4 は，実験試料 1 から12に対する粒子解析の結果であり，いずれも三成分粒子と共に二成分粒子および一成分粒子が検出された．Table 4 から R_{1comp} , R_{2comp} , R_{3comp} , N_{Pb_all} を求め Table 5 を作成した．

2 射距離による粒子構成の変化

射距離による粒子構成の変化を Fig. 3 に示す．粒子構成とは，各実験試料における R_{1comp} , R_{2comp} , R_{3comp} を指す．粒子構成を見ると， R_{1comp} と R_{2comp} の和は最大99.9%（実験試料 7），最小80.1%（実験試料12）となっており，どの射距離であっても粒子

Table 5 The derived parameters of experimental samples.

Sample no.	R_{1comp} [%]	R_{2comp} [%]	R_{3comp} [%]	N_{Pb_all} [mm ⁻²]
1	23.1	76.7	0.2	10805
2	27.9	71.2	0.9	729
3	46.7	50.7	2.6	100
4	65.0	34.0	1.0	228
5	74.3	23.4	2.3	90
6	47.4	45.6	7.0	26
7	95.7	4.2	0.1	1518
8	90.3	8.9	0.8	166
9	76.7	14.5	8.8	2
10	79.3	18.1	2.6	7726
11	82.1	14.4	3.5	2435
12	39.1	41.0	19.9	78

群の大部分は一成分粒子または二成分粒子より構成されており，三成分粒子が主成分となる試料は存在しなかった．

3 射距離による鉛含有粒子数の変化

射距離による N_{Pb_all} の変化を Fig. 4 左軸（対数軸）に示す．全ての実験試料において射距離の増加

 Fig. 3 Composition of R_{1comp} , R_{2comp} , R_{3comp} with shooting distance.

に伴い N_{Pb_all} は減少していた。これは、銃口から流出した燃焼ガスが時間経過に伴い膨張し、遠方にある被射体と接触するときの単位面積中に含まれる粒子数が減少するためと考えられ、主成分元素を含む粒子数と射距離の間には相関が見られると推定される。

4 射距離による三成分粒子率の変化

射距離による R_{3comp} の変化を Fig. 4 右軸に示す。基となるデータは Fig. 3 と同じであるが、変化をわかりやすくするため縮尺を変更して表示した。すべての試料において射距離の増加に伴い R_{3comp} は増加していた。

Wolten ら⁴⁾、Basu⁵⁾は射撃残渣の生成メカニズムに関する報告の中で、Pb, Ba, Sb が均質に共存す

る微粒子は起爆薬の燃焼の初期段階に生成すると述べている。その後、時間経過に伴い元素分布に偏りを持つ粒子や核と外層に分かれた粒子が生成し、さらに凝縮過程で Cu や Fe などの弾丸由来の元素を取り込む場合もあると述べている。すなわち、全ての射撃残渣が同時に生成するのではなく、時間経過に伴い元素の分布特性の異なる粒子が生成すると考察している。銃口から噴出した燃焼ガスが膨張する過程において、熔融状態の一成分粒子および二成分粒子が結合し、元素分布に偏りを持つ三成分粒子が新たに生成した結果、 R_{3comp} が増加したと考えられる。今回の事例では、三成分粒子の生成過程の途中で被射体に到達し、冷却されたため、一成分粒子や二成分粒子の状態で組成が固定し、 R_{3comp} が少なく

Fig. 4 N_{Pb_all} and R_{3comp} with shooting distance.

なった可能性がある。

5 経過時間と移動距離の影響

参考として Fig. 4(d)に鑑定資料の N_{Pb_all} と R_{3comp} の範囲を併記した。実験試料は試射直後の採取、鑑定資料は発砲後の時間経過と移動を伴う採取であるため、両者を直接比較することはできない。発砲から採取までに経過した時間と被射体が移動した距離は、粒子数の減少に影響する可能性があり、今後の

検討課題とする。

結 論

試射実験の結果は再現性が未確認であり、かつスタブ全面を分析したものではないため限定的な解釈となるが、射距離に近いほど鉛を含有する粒子の総量は多くなり、三成分粒子の割合は少なくなる傾向が得られた。粒子構成を見ると、三成分粒子は二成

分粒子と一成分粒子を伴って存在していた。本事例では、上限5000個とした設定で十分であったが、人体が被射体となる事案では、血液に由来するFeが加わるため、状況に応じて上限粒子数をさらに上げる必要がある。

したがって、近距離射撃を受けた被射体に付着した射撃残渣の鑑定では、類似した輝度を有する粒子が多く分布する中から極めて少量の三成分粒子を探索する状況となる可能性がある。このようなケースでは数千個単位の粒子を分析し、目的とする三成分粒子を見落とさないようにするため、自動分析が有効である。また、三成分粒子の付着有りと判定する場合は、結果の信頼性を向上させるため、三成分粒子が1個検出された時点で分析を終了するのではなく、固有元素の一部を含有する粒子の存在も確認する必要がある。

文 献

- 1) Romolo F. S. and Margot P., Identification of gunshot residue—A critical review. *Forensic Sci. Int.*, **119**, 195–211, 2001.
- 2) Dalby O., Butler D. and Birkett J. W., Analysis of gunshot residue and associated materials—A review. *J. Forensic Sci.*, **55**, 924–943, 2010.
- 3) Maitre M., Kirkbride K. P., Horder M., Roux C. and Beavis A., Current perspectives in the interpretation of gunshot residues in forensic science: A review. *Forensic Sci. Int.*, **270**, 1–11, 2017.
- 4) Wolten G. M. and Nesbitt R. S., On the mechanism of gunshot residue particle formation, *J. Forensic Sci.*, **25**, 533–545, 1980.
- 5) Basu S., Formation of gunshot residues, *J. Forensic Sci.*, **27**, 72–91, 1982.