

高速度カメラを用いた火花放電現象の 多視点同期動画撮影について

渡辺 達男*¹

Synchronized Multi-View Video recording of Spark Electric Discharge Phenomenon
using High-Speed Camera.

Tatsuo WATANABE

Synchronized multi-view video recording of spark discharge phenomena was performed using a high-speed camera. As a result, synchronous high-speed images from different angles of view of the spark discharge phenomenon could be performed. Based on the captured images, the possibility of creating 3D animation of the spark discharge phenomenon is suggested.

KEYWORDS : Multi-View High-Speed Camera, High-Speed Recording, Spark Discharge Phenomenon.

1. はじめに

高速度現象は我々の肉眼では細かな変化は見えないが、わずかな時間の中に驚くべき変化が生じている。技術の進歩とともに高速度現象を捉える高速度カメラが発展して、様々な現象を捉えられるようになってきた。

例えば物体の破壊現象、電気的な現象などは高速度であり、我々の肉眼では細かな変化は見えない。しかし高速度カメラを用いると、時間を引き伸ばして現象を具に見ることができる。

ひと昔前には高速度カメラといえば、ムービーフィルムを高速度で動かし撮影していた。最近ではデジタル技術を駆使して、様々な電子の高速度カメラが市販されている。

昨年度小山高専電気電子創造工学科に導入された、多視点高速度カメラはデジタル技術を駆使し

て、同時に 18 視点からの高速度現象の完全同期撮影が行える。

昨年度は導入として、パーティー用クラッカの破裂、風船の破裂などを多視点から捉え、それらを合成して、3D イメージ作成に成功したことを報告した¹⁾。

今回は、さらに高速な高電圧放電現象を多視点で捕らえることができたので、ここに報告する。

高電圧放電現象の多視点からの観測は先行研究が非常に少ない。例えば、古くは国分らが放電の 3D 化を試みている²⁾。最近では稲妻を 2 方向から撮影し、静止画を 3D 化する報告もある³⁾。

今回、不完全ながら動画として多視点からの火花放電の撮影を報告するが、おそらく世界的にもほとんど例を見ないものであるかと思われる。

2 章は多視点高速度カメラの紹介について、3 章では実際に撮影された映像について説明する。4 章は考察、5 章はまとめである。

*1 電気電子創造工学科(Dept. of Innovative Electrical and Electronic Engineering), E-mail: watanabe@oyama-ct.ac.jp

2. 多視点高速カメラ

今回使用した高速カメラは、電子技術の向上により、多視点からの完全同期高速撮影が行えるカメラである。

本校電気電子創造工学科に導入された高速カメラは以下のものである。

- ・機種名：MEMRECAM MX
- ・製造：ナックイメージテクノロジー社
- ・カメラ：FullHD、最大100000fps
- ・同時撮影カメラ台数：18台
- ・カメラ内蔵メモリ：8GB

フル HD で同時に18視点からの撮影が可能な機器である。撮影カメラ台数はさらに増加できるが今回は18台のカメラで完全同期撮影のシステムを導入した。なお、フレームレートは最大100000fps であるが、実用的には2000~3000fps で鮮明な HD 画像を撮影できる。

撮影するにあたり、1台毎に、カメラの画角調整、ズーム、ピント調整を行う必要があるため、撮影までの準備には相当な時間と人手がいる。ピント、ズームなどのレンズ調整は PC もしくはタブレット端末から Wi-Fi 経由で行える。

カメラ内にメモリを持っており、そのメモリに撮影したデータを蓄える方法をとっている。従って、撮影時間は内蔵メモリの容量(8GB)による。今回のカメラでは10000fps では2秒間程度の撮影ができる。

18台のカメラは全てコマごとに同期されて撮影される。撮影データは静止画としても取得でき、同番号の静止画は全て同時刻の別視点からの画像になる。

カメラはカメラハブに接続される。1台のカメラハブには8台のカメラが接続される。さらにカメラハブはGX-HUBと呼ばれるハブで接続されGX-HUBをPC操作することにより、接続されている18台すべてのカメラが完全同期撮影可能になる。

高速カメラの撮影では圧倒的に光量が不足するので、それを補うため全部で24投のLED照明を投光できる。それらを同時に行うと、装置としては大変大掛かりになる。今回は自己発光火花放電現象撮影であるので、照明は用いなかった。

カメラおよびカメラハブの外観を図1 (a) (b)

に示す。

本来なら、18台で撮影したいが、画角調整などで大変な手間がかかるので、今回はカメラ3台のみでの撮影を行った。



(a) 高速カメラ (1台)



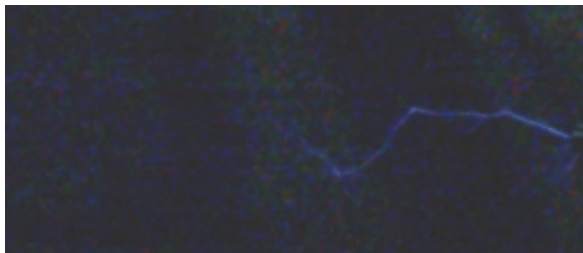
(b) カメラハブ (8台同時接続可能)

図1 多視点高速カメラ

3. 放電現象の多視点高速同期撮影

実際に3台のカメラを用いて、火花放電現象を同期撮影した。

なお、放電に用いた装置は島津理化製誘導コイル ISC-100 を用いた⁴⁾。放電電極間隔は安定した放電が得られる8cmとした。正極は針電極、負極は円形平板電極とした。電極間電圧は測定していないが、およそ100kV程度と思われる。この誘導コイルを用いた理由は、放電間隔が長く取れ、さらには簡易な装置であるので撮影が容易だからである。撮影には3台のカメラを誘導コイルから60cmの距離をおき、3台がおおよそ30度の角度で誘導コイルを中心とした円周上に設置した。



(a) 右カメラ 1 コマ目



(b) 右カメラ 2 コマ目



(c) 右カメラ 3 コマ目



(d) 中央カメラ 1 コマ目



(e) 中央カメラ 2 コマ目



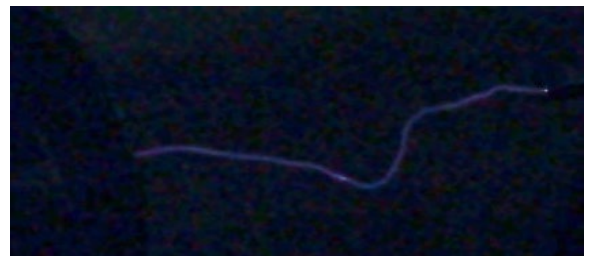
(f) 中央カメラ 3 コマ目



(g) 左カメラ 1 コマ目



(h) 左カメラ 2 コマ目



(i) 左カメラ 3 コマ目

図 2 多視点高速カメラによる放電画像

なお、誘導コイルから発生する高電圧、電磁波などがカメラに影響が出ないことを考慮に入れ撮影した。

図 2 に実際に撮影した画像の 1 例を示す。撮影はフレームレート 10000 fps、シャッタースピード開放で行った。またカメラゲインは最大にしてあるが、それぞれのカメラの 1 コマ目のみは PC で明るく加工してある。

1 つの放電で 3 視点、3 コマ記録されている。コマ間隔は 0.1 ms である。

右カメラ、中央カメラ、左カメラとは、放電に向かって、右にあるカメラ、中央にあるカメラ、左にあるカメラという意味である。

誘導コイルの右側電極は正極の針電極、左側は負極の円形平板電極であるが、左カメラ撮影の放電の一部は円形平板電極に隠れてしまっていて見えない。

2 コマ目を見比べると、同じ火花放電が同時に 3 方向から撮影されていることがわかる。

カメラは輻輳角をつけて設置してある。カメラの画角は手作業であわせたものであり、多少ずれていることを考慮に入れる必要がある。

なお、撮影した画像にはこれ以外にも非常に多くの放電が撮影されているが、比較的鮮明に撮影されているコマを 1 例選んだ。およそ 200 コマに 1 回程度放電が起きている。放電が起きているコマを探す必要があり、一回の撮影で 3000 コマ程度撮影する場合があります、撮影された全部のコマを手作業で探すのは大変な手間がかかる。

4. 考察

1 回の火花放電現象は非常に速い物理現象であり、3 コマで終了している。時間は約 0.3 ms である。今回は火花放電現象を 3 方向から同期撮影をすることができた。おそらくこのような撮影は世界的にもあまり例を見ないのではないと思われる。手間はかかるが、18 方向からの撮影を早急に行いたいと考えている。

前回の報告ではフォトグラメトリー (Photogrammetry) を用いて、3D 画像化まで行った⁵⁾。今回は行っていない。理由はフォトグラメトリーのアプリケーションの 3D 画像合成方法にある。前回用いたフォトグラメトリーのアプリケーション Metashape は画像の同じ色をもとにそれぞれのカメラの位置と方向を判断し、3D 画像を合成しているようである。今回のような、黒のバックグラウンドに明るい光の曲線画像ではカメラ位置が推定できず、3D 画像を合成できない。従って、画像から点を抜き出し、それらの位置を計算し、3D の画像を構成するなどの方法が必要となる。もしくは、色を判断材料としない、フォトグラメトリーアプリケーション用いることが必要である。これも早急に行いたい。

今回は 1 回の放電の画像のみを報告したが、実際には沢山の放電の画像が撮影されており、それぞれに興味深い画像を得られている。これらに関しては、別の機会に報告したい。

今回カメラに用いたレンズは F3.5~5.6 のマイクロフォーサーズレンズを用いており、かなり暗い。もう少し F 値が小さいレンズ、例えば F2 程度のレンズを用いることで、さらに明るく撮影できると思われる。放電自身の奥行きはほとんどないので、F 値が小さいものでも撮影可能であ

ると考える。しかしピント調整が多少難しくなることが予想される。

5. まとめ

今回はおそらく他ではあまり例を見ない火花放電現象の多視点高速度カメラによる動画 (連続画像) 同期撮影に成功した。

しかし、3D 化はまだ行えなかった。今後早急に行いたい。また画像が少々暗いので今後は F 値の小さなレンズを用いて撮影することが必要かと思われる。

今回は試験的に 3 視点からの撮影であったが、今後は早急に 18 視点からの撮影を行い、完全な 3D 動画化を行いたい。

参考文献

- 1) 渡辺: 小山高専紀要, Vol. 54, pp. 5-9 (2021)
- 2) 国分・荒木: 写真による電光放電路の立体解析, Res. Lett. Atmos. Electr., 6, 35-42 (1986).
- 3) <http://calculatedimages.blogspot.com/2013/05/3d-lightning.html>. (2021/09/01)
- 4) https://www.shimadzu-rika.co.jp/products/equipment/physics_electronic/134_170.html. (2022/8/30)
- 5) Agisoft Metashape Ver1.7 日本語操作マニュアル、株式会社ビジョンテック。

[受理年月日 2022 年 8 月 30 日]