

F1.7 レンズを用いた高速度カメラによる 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 Shooting of Spark Discharge Phenomenon by High-Speed Camera using F1.7 Lenses

Tatsuo WATANABE

A multi-view synchronized movie of the spark discharge phenomenon was taken by a high-speed camera with F1.7 lenses. As a result, we were able to capture the spark discharge phenomenon brighter and at a higher speed. Furthermore, it became possible to see the spatial structure of the discharge, which was not well understood until now.

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

1. はじめに

高速度カメラはひと昔前に比べて非常に身近になっている。例えばスマホでは240fps や数千 fps の動画も撮影することができる機種が販売されている。以前では撮影することも、見ることも難しかった高速度現象の撮影が比較的容易に行える時代になってきた。

高速度カメラは、さまざまな高速度現象、例えば破壊現象、放電現象などを時間を引き延ばして捉えることができる。高速度現象の物理を解析する必須のカメラである。一瞬の現象でもその中にはさまざまな物理的特徴があることが見て取れる。

一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、同時に18視点からの高速度現象を完全同期撮影をすることができる¹⁾。高速度カメラというと、1視点からの撮影が主であったが、現在では同期撮影で現象を多くの視点から撮影することができるようになった。

また撮影された動画をもとに高速度現象の3D動画を構築することも不可能ではなくなった。

この論文では本校に導入された18視点高速度カメラを用いて、高速度現象である高電圧火花放電を多視点から撮影することを目的とする。

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。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⁾。

昨年度の報告では火花放電を3視点から完全同期撮影ができたことを報告した。しかし画像が暗いなどの欠点が多々あった⁴⁾。

今回、画像の暗さを克服し、さらにはフレームレートを高めた多視点同期撮影ができたので報告する。

おそらくこのような画像の紹介は世界的に見てもあまり無いのではないかとと思われる。

2章は高速度カメラの概要を、3章は撮影された画像について報告する。4章は考察に、5章はまとめに当てられる。

*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、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10000fps
- ・同時撮影カメラ台数：18台
- ・カメラ内蔵メモリ：8GB

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、画角調整やレンズなどの都合で、今回もカメラ3台のみでの撮影で行った。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。

カメラの詳細は、前論文を参照されたい⁴⁾。

今回の改良点として、前論文では画像が暗く、発光現象であるのにあまりよく撮影できたとは言えなかった。理由はレンズがF3.5のマイクロフォーザーズであったからである。そこで、今回はレンズをF1.7、20mmの明るいパンケーキレンズに交換し撮影した。ただしズーム機能はない。従って、火花放電からの距離を短くして撮影を行った。今回の撮影では、放電現象の影響がカメラに及ばないと思われる距離は確保した。



(a) 高速カメラ (1台)



(b) カメラハブ (8台同時接続可能)

図1 多視点同期高速カメラ

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、F1.7レンズ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前論文と同じ島津理化製誘導コイルISC-100を用いた⁵⁾。今回、放電電極間隔は安定した放電が得られる6cmとした。前回と比較して電極間隔は2cm短縮した。理由はフレームレートを高くすると、放電の事象間のコマ数が非常に多くなり、放電を探す手間が大きくなったためである。電極間隔を狭くすることにより、放電事象の数が増えて、放電現象を探すことが容易になった。肉眼で見ていると放電現象は頻繁に起こっているようであるが、実際には放電と放電の間隔時間は非常に長い。数万コマの中から目的の放電現象を探すのは手間がかかる。正極は針電極、負極は円形平板電極、そして今回は負極に針電極も用いた。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。撮影には3台のカメラを誘導コイルから40cmの距離をおき、3台がおおよそ40度の角度で誘導コイルを中心とした円周上に設置した。距離を短くしたのも、ズーム機能が無いレンズを用いたためであり、また3D化も考えて、角度を大きくした。また背景には暗幕を設置した。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。

図2、3に撮影された放電現象を示す。図2は針電極、円形平板電極を用いた20000fpsの放電現象の連続画像である。向かって右側が針電極、左が円形平板電極である。図3は針電極、針電極である。シャッタースピードはオープンとした。

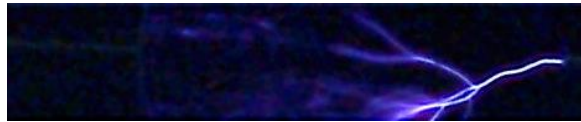
右カメラ、中央カメラ、左カメラとは、放電に向かって、右にあるカメラ、中央にあるカメラ、左にあるカメラという意味である。

図を見ると、前回は撮影できなかった20000fpsでも明るく放電現象が撮影されているのがわかる。明らかにレンズのF値を下げたことが功を奏している。前回の画像は画像処理(明度増加)していたが、今回の画像は無処理である。20000fpsにしたことで、放電経過も明瞭に撮影されている。

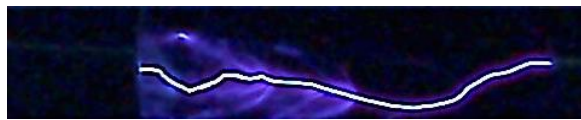
1回の放電で3視点、それぞれ6コマ記録されている。コマとコマの時間間隔は0.05msである。1回の放電時間はおよそ0.3msである。



(a)右カメラ1コマ目



(b)右カメラ2コマ目



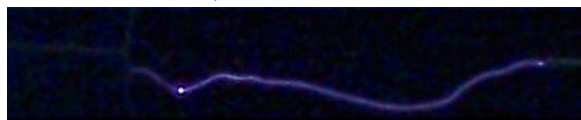
(c)右カメラ3コマ目



(d)右カメラ4コマ目



(e)右カメラ5コマ目



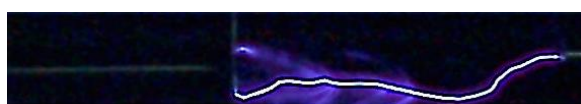
(f)右カメラ6コマ目



(g)中央カメラ1コマ目



(h)中央カメラ2コマ目



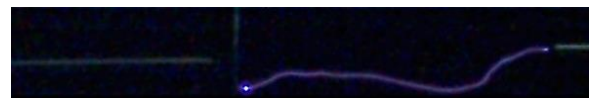
(i)中央カメラ3コマ目



(j)中央カメラ4コマ目



(k)中央カメラ5コマ目



(l)中央カメラ6コマ目



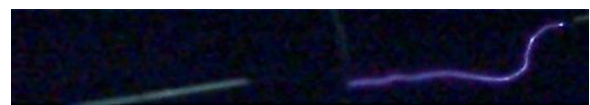
(m)左カメラ1コマ目



(n)左カメラ2コマ目



(o)左カメラ3コマ目



(p)左カメラ4コマ目



(q)左カメラ5コマ目



(r)左カメラ6コマ目

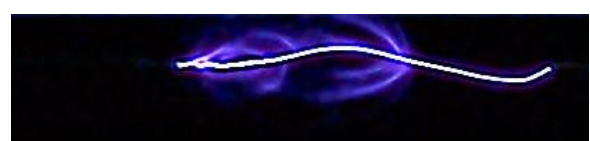
図2 多視点高速カメラによる放電画像
(平板対針電極)



(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

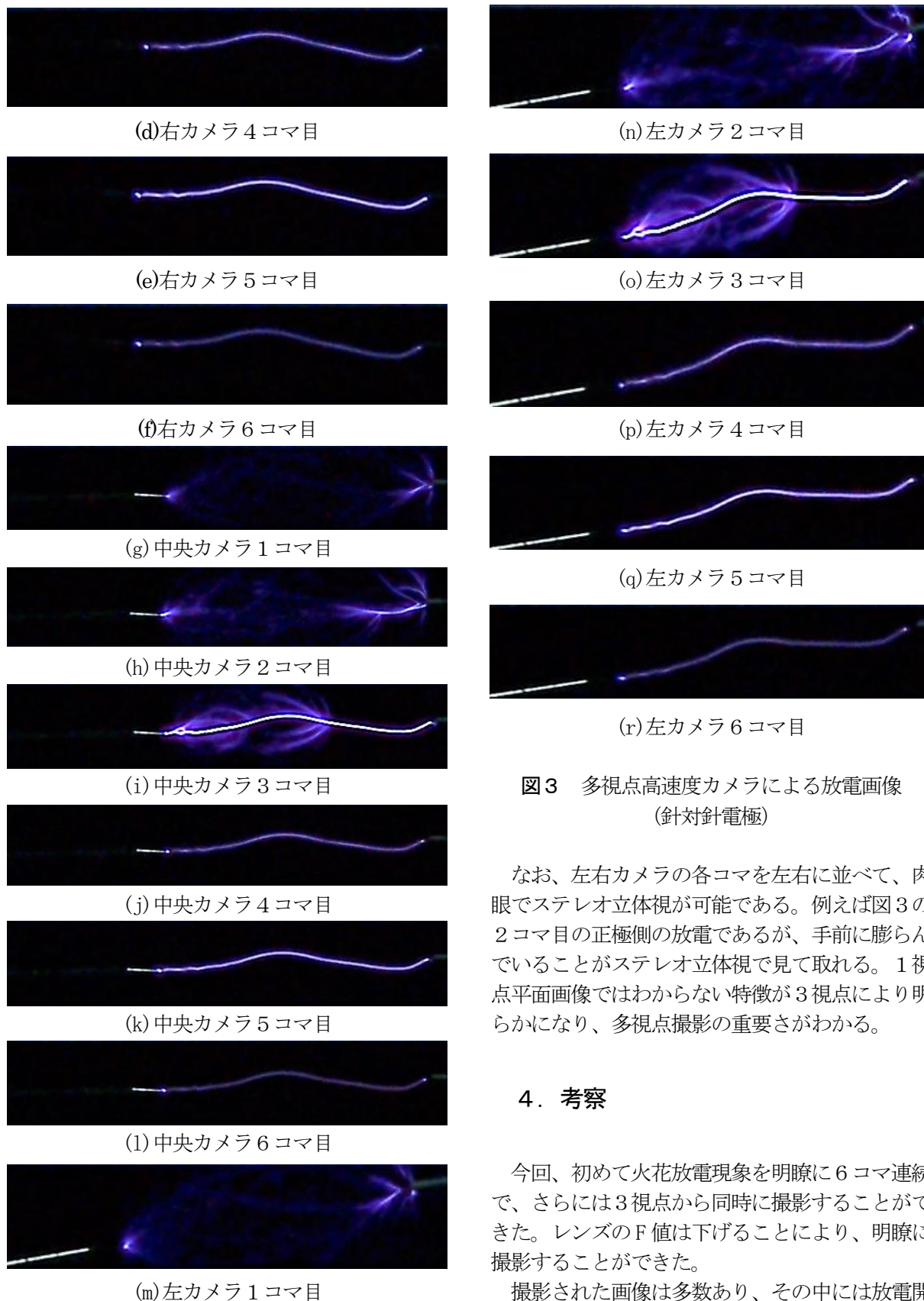


図3 多視点高速カメラによる放電画像
(針対針電極)

なお、左右カメラの各コマを左右に並べて、肉眼でステレオ立体視が可能である。例えば図3の2コマ目の正極側の放電であるが、手前に膨らんでいることがステレオ立体視で見て取れる。1視点平面画像ではわからない特徴が3視点により明らかになり、多視点撮影の重要性がわかる。

4. 考察

今回、初めて火花放電現象を明瞭に6コマ連続で、さらには3視点から同時に撮影することができた。レンズのF値は下げることにより、明瞭に撮影することができた。

撮影された画像は多数あり、その中には放電開始から放電弧が徐々に伸びていく画像もあった。しかし、途中で見えなくなってしまっており、今

回紹介した画像は、完全に放電が終了していると思われる画像の例を選んだ。

円形平板電極の場合、平板であるがゆえに放電が見えない部分が生じる。針対針電極放電のほうが観察しやすい。

F 値が小さいことで、ピント調整が難しいと思われたが、電極間距離が短いのとレンズを放電に近づけることで特に問題はなかった。ただし、本当に鮮明な画像を得るためには無理があると思われる。あくまで現象をとらえることを目的としたい。

レンズを明るくしたことで、電極自体も撮影されているものがある。照明は研究室内の通常の天井照明である。

本来ならレンズを18個用意し撮影すべきであったが、事情により今回は3個しか用意できず3視点での撮影となった。さらに15個用意し、18視点からの撮影を行いたい。そしてその画像データを用いて、3D 画像合成を行いたい。その際、既存のフォトグラメトリーアプリケーション⁶⁾では対応できないので、ドットごとの位置推定計算が必要になると思われる。

今回使用したレンズはズーム機能が無いため、放電に近接して撮影した。18視点を確保するには、カメラ配置を上手く行う必要がある。三脚を上手く配置しないと、18個のカメラを配置するスペースの確保が難しい。それらも含めて改善をしていきたい。

このような多視点高速度カメラによる、火花放電現象はおそらく他では例を見ないものかと思われる。現在20000fpsで撮影しているが、それ以上では解像度が落ちること、そしてさらに暗く映ることが予想され、今回は撮影しなかった。ただ、30000fps以上でも画質を調整することで撮影可能であると思われるので、さらに撮影を試みたい。

5. まとめ

今回、世界的にあまり例を見ないであろう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。その際、明るいF1.7レンズを用いることにより、明瞭に、フレームレートを上げて撮影することができた。

しかし、まだ3視点での撮影であるので、早急に18視点撮影を行いたい。そしてそれに伴い3D

動画化を行い、完全な放電現象の3D動画を完成させたい。

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回路の立体解析, Res. Lett. Atmos. Electr., 6, 35-42(1986).
- 3) <http://calculatedimages.blogspot.com/2013/05/3d-lightning.html>. (参照 2023/8/29)
- 4) 渡辺:小山高専紀要, Vol. 55, pp. 5-8(2022).
- 5) https://www.shimadzu-rika.co.jp/products/equipment/physics_electronic/134_170.html (参照 2023/8/29)
- 6) 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(2021).

[受理年月日 2023年8月30日]