

多視点高速度カメラを用いた、高速度現象の 3D 可視化について

渡辺 達男*¹

About 3D Visualized Images of a High-Speed Phenomenon using Multi-View High-Speed Camera.

Tatsuo WATANABE

A high-speed phenomenon was caught by multi-aspect streak camera in this time. It was caught by 6 viewpoints at the same time strictly. It created an image of 3D by Photogrammetry from the 6 pictures. As a result, a high-speed phenomenon could be made 3D models.

KEYWORDS : Multi-View High-Speed Camera, 3D Visualized Images, High-Speed Phenomenon.

1. はじめに

昨今、「みえる」「視覚化」などの言葉を良く耳にする。様々な現象を、いわゆる「みえる」形にすると直感的に、そして解析的にも非常に効果が上がることが期待される。

特に様々な物理現象、物体の破壊現象、電気的な現象、例としては放電弧などを見える形で捉えることは有意義である。

最近では「みえる」と言っても、立体視が主流になっている。顕著な分野ではドローンなどを用いて、多数の上空からの写真を撮影し、ソフトウェアにより 3D モデル化することが行われている。フォトグラメトリーというこの技術は、最近特に進歩している。放電弧に関しては、雷の稲妻を 2 カ所以上からの撮影画像により放電弧の 3D 化を行った例もある^{1,2)}。

物理現象としては、高速度・短時間のものが無

数にあり、それらの 3D 可視化は大変興味のあるところである。

今回、幸いなことに多視点高速度カメラを入手することができた。2021年3月に小山高専電気電子創造工学科に導入されたが、4ヶ月程度試験的に使用した状況での撮影結果の速報をここで紹介したい。

現時点でまだ実験途上であるが、撮影した多視点高速度動画をフォトグラメトリーを用いて、完全な高速度 3D 動画を作成することが可能である。

また最終的な応用としては、超高電圧での放電弧の精密な 3D 動画を撮影し、放電の詳細な解析を行うことを考えている。これにより今までは困難であった、放電弧の 3D 解析を一挙に進めることが可能であると考えられる。

2 章は多視点高速度カメラとフォトグラメトリーに関する紹介にあてられる。3 章は実際の撮影例を紹介する。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. 多視点高速カメラとフォトグラメトリー

高速カメラといえば、今まで1視点撮影のものがほとんどであった。過去においては、高速カメラはフィルムカメラで、フィルムを高速で巻き取り撮影するものであった。この状況では多視点で同期させた高速撮影は非常に難しい技術であった。

しかし電子技術の向上と共にイメージセンサの技術が発達し、同時多視点で高速撮影を行えるようになった。

今回導入した多視点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

フルHDで同時に18視点からの撮影が可能な機器である。ただし実用的には2000～3000fpsで良い画像を撮影できる。

撮影には、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り、撮影までの準備には相当な時間がかかる。ただし、ピントなどのレンズ調整はPCから可能である。

この手のカメラは、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2000fpsでは3～4秒間の撮影ができる。

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。

一般的に高速カメラ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。

カメラはハブと呼ばれる装置で接続され、PCに接続される。外観を図1(a)(b)に示す。

今回は18台すべては起動せず、6台のみで試験的に撮影を行った。照明も4投のみにした。それでも、三脚やケーブルの処理が大変である。



(a) 高速カメラ (1台)



(b) カメラ接続ハブ (8台同時接続可能)

図1 多視点高速カメラ

フォトグラメトリー (Photogrammetry) とは、物体を様々な方向から写真撮影し、それらの写真を元にPCで3Dモデルを作成する技術である。最近では様々なアプリケーションが開発されている。一例を挙げると、

- ・Metashape³⁾
- ・VFSM
- ・3DF Zephyr
- ・Reality Capture

などがある。それぞれ良し悪しがあるが、今回は程々の解像度と価格も安いMetashapeを使用した。最近ではドローンが一般化して、上空から多数の写真を撮影し、それらを元に地形を3Dモデル化するニーズがある。それに伴いフォトグラメトリーの技術も向上し、かなりの解像度で3Dモデルが構築できるようになっている。ただし良いモデルを得るには、多くの写真が必要(最低でも100

枚以上)が必要とされる。

3. 多視点高速撮影と3Dモデル化

実際に6台のカメラを用いて、比較的高速度と思われる現象を撮影した。

カメラの配置は被写体を中心とした扇型に配置した。被写体との距離は約70cm、扇の角度は約120度。またカメラは1台ごとに、高さを変えた。約1mと70cmの二段に設置した。

被写体は、1) 風船の破裂、2) パーティー用クラッカー破裂などを撮影した。これ以外にも玩具のピストルからの弾丸発射等、いくつかの撮影した。背景は暗幕とした。

1) 風船の破裂

風船を膨らませて、破裂する現象を高速度で6視点で撮影した。破裂最中の多視点からの静止画像を図2に示す。撮影データは、

- ・フレームレート：2000fps
- ・シャッタースピード：100 μ s

である。ページの関係上2視点のみ示す。

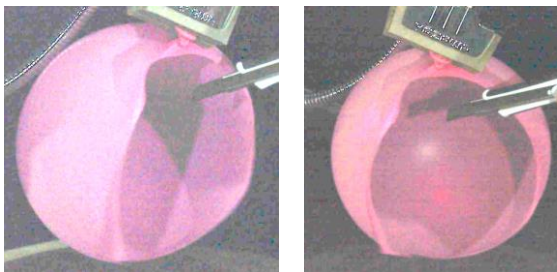


図2 風船の破裂

色が照明の関係で少し変化しているが、同時刻の画像を捉えている。割れ始めてから4コマ目であるので、2ms後である。コントラストが悪いのは、LED照明が暗いからである(4投)。画像はPCで処理し明るくしてある。これ以上シャッタースピードを遅くすると、静止画にならない。逆に速くすると画像が非常に暗くなる。この画像をMetashapeで3D化しようとする、上手くいかない。

2) パーティー用クラッカー

パーティー用クラッカーを破裂させ、その様子を6視点で撮影した。まず、カメラ4の静止画像を図3に示す。なお、撮影データは以下の通りである。

- ・フレームレート：3000fps
- ・シャッタースピード：200 μ s



図3 多視点高速カメラ画像(1台分)

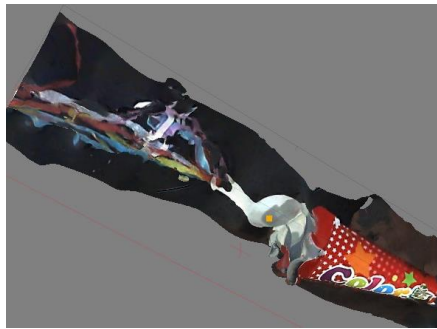
この図は破裂直後の写真であるが、シャッタースピードが遅く、噴出物がブレているのがわかる。コマ数からこの画像は破裂開始後の0.011s後の画像である。しかし明るく撮れている。

ブレた画像を用いるとMetashapeは3Dモデルを作れないので、比較的ブレの少ない0.042s後の画像を元に、3Dモデルを構築した。元となる画像を図4に、3Dモデルを異なった視点からみた図を図5(a)(b)に示す。

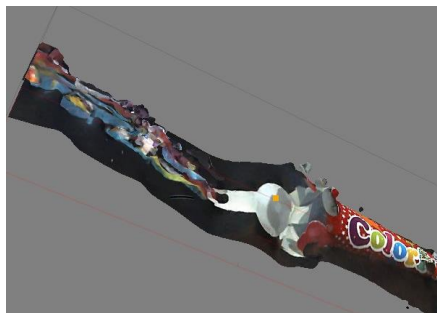
図ではわかりづらいが、Metashape上ではモデルの移動、スケーリング、回転などができるので、3Dモデルが構築されていることがわかる。さらには、既存の3Dソフトのファイルをエクスポートできるので、様々な加工、動画化も可能である。ただし、今回はカメラ数が少ないので、解像度やモデルの裏側に回ると画像が無く、裏から透けて見えるなどの欠点はある。



図4 クラッカー破裂元画像



(a) 3Dモデル画像1



(b) 3Dモデル画像2 (別視点)

図5 3Dモデル化

4. 考察

6視点の高速カメラで撮影した高速現象の画像をフォトグラメトリソフトMetashapeを用い3Dモデル化を行った。今回はカメラの立ち上げ及びテスト撮影という意味合いが強い。

カメラは18台あるので、解像度をあげることは可能であるが、6台の設置でも手間はかなりのかかる。今回6台のカメラの画角調整、ピントなどは筆者一人で行ったが、一人で行うには6台程度が限度かと思われる。

クラッカー破裂直後の画像は静止していない。これはシャッタースピードが遅いからである。シャッタースピードを $100\mu s$ 以上にすると静止した画像が得られるが、その代わりに光量が不足するので、画像は非常に暗くなる。そのため現在のLED4投をさらに増加する必要がある。

今回は試験的ということで4投で行ったが、4投ではシャッタースピードは $200\mu s$ が限界かと思われる。また照明の問題として、被写体を 360 度全方位からカメラで囲んだ時に、照明をどこから投じるかという問題がある。つまりカメラ

に直接光が入らないようにするにはどうするかという問題である。今のところ、上方と下方から円形にLEDを配置し、カメラに直接光が入らないようにするなどの工夫を考えている。高速カメラでの撮影は常に照明をどう行うかという課題を抱えている。我々が普通に使う照明では全く撮影できない。大光量が必須である。

ソフトはMetashape以外には試みていないが、他のソフトではもっと鮮明な画像が可能かもしれない。Metashapeでは画像同士の60%以上のオーバーラップが必要である。従って、ある程度遠方からの撮影になる。

構築した3Dモデルは汎用の3Dモデルファイルとしてエクスポートできるので、これらを繋いで3D動画を作成することは可能である。今後行う予定である。

最終目標としては放電現象等の自発光の撮影・3D化を行いたい。放電現象はカメラでは捉えることができる。しかし、多視点で撮影した画像をMetashapeで3D化しようとしても、単純には3D化ができないことを確認した。理由はおそらくMetashapeは色で画像の判断をしているようであるが、自発光現象は皆同じ色になってしまい、画像の重なり判別等が困難だからであろうと考えられる。また超高压下での放電現象の高速撮影はカメラを強大な電場から保護する必要もあり、現在検討中である。

5. まとめ

今回多視点高速カメラを入手し、それらを用いて、高速現象に対して6視点同時撮影を行った。

さらにはフォトグラメトリを用いて、3Dモデル化を試みた。その結果、完全では無いが3Dモデル化ができた。

今回は初めての試験的報告であるが、今後はカメラを18台フルに用いて、全周からの撮影を行い、より3Dモデル化を精密に行いたい。

また自発光現象に対しては撮影できるが、3Dモデル化が使用したフォトグラメトリソフトでは難しいので、他のソフトや、光点の位置を利用した位置解析を行い、3D化してみたい。

参考文献

- 1) <http://calculatedimages.blogspot.com/2013/05/3d-lightning.html>. (2021/09/01)
- 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) 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 2021年9月6日]