

高速度カメラを用いた火花放電現象の 2 視点同期動画撮影による立体動画構築について

渡辺 達男^{*1}

Creating 3D Video by Capturing Synchronous High-Speed Camera of Spark Discharge Phenomena.

Tatsuo WATANABE

3D Video was Constructed using Videos taken with a Multi-Viewpoint High-Speed Camera. As a result, a 3D Image was Created from a Series of Images. Compared to a Single-Viewpoint Image, It became Clear that the Discharge Arc was in fact Complex.

KEYWORDS : Multi-View High-Speed Camera, 3D Video, 3D Image, Spark Discharge Phenomenon.

1. はじめに

高速度カメラは現在、非常に身近になっている。一昔前には高速でムービーフィルムを撮影し高速度現象を捉えていた。非常に特殊なカメラとしてごく一部の人たちが撮影用、研究用に使用していた。しかし現在ではスマホでも 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。

高速度カメラは、様々な高速度現象、例えば爆発、放電など、通常のカメラでは捉えることが難しい高速度物理現象を視覚化できる。我々が通常見ることのできない、瞬間の物理現象をあらわにしてくれる。さらには工夫をこらして放電現象を撮影し 3D 化したものもある¹⁻²⁾。

数年前に本校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 視点から高速度現象を完全同期撮影することができる³⁻⁵⁾。高速

度カメラは通常 1 視点からの撮影がほとんどである。しかしこのシステムは多方向から同時に高速度現象を同期撮影し、その ss 物理現象を解析できるシステムである。特に多視点から捉えることにより、その完全立体動画を撮影できることが期待されている。

すでに多視点を用いた撮影により、風船の破裂、クラッカーの破裂などを多視点で捉え、一部は静止画ながら 3D 静止画を報告した³⁾。さらには放電現象を多視点で捉え、その多視点連続同期画像を報告した⁵⁾。

しかし、放電現象の連続 3D 動画は報告していない。理由は 3D 動画化するにあたり、既存のフォトグラメトリソフト (MetaShape) を用いていたからである⁶⁾。フォトグラメトリとは、物体を多視点から撮影し、その画像をもとに、3D モデルを作成するソフトである。既存のフォトグラメトリは画像内のパターンマッチングを各視点画像で行い、画像内の物体の位置のズレから奥行き情報

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

を計算する。これらは通常の静止した、特徴のはっきりした物体では成功する。だが放電現象では、放電弧がどの点も特徴がほとんどなく、パターンマッチングが使えない。実際にフォトグラメトリで3D化を行うと、放電弧が認識されず、全く3D化ができない。

そこで今回これを克服する方法として、手動でパターンマッチングを行い、3D画像制作し、さらには連続コマでCG作成した。これにより、写真としての意味合いは落ちるが放電弧が立体的にどのように変化していくかは観察できる。ただし、多視点では多変手間がかかるので、今回は2視点のみで行ったので報告する。

2章は使用した高速度カメラ、および3D画像作成の原理について述べる。3章は実際に撮影した画像から、2連続コマの作成3D画像を紹介する。4章は考察に、5章はまとめに当てられる。

2. 多視点高速度カメラ

今回使用した高速度カメラは、多視点からの完全同期高速度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度カメラは以下の仕様のものである。

- ・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

カメラおよびカメラハブの外観を図1 (a) (b) に示す。カメラの詳細は、他報告を参照されたい³⁾。

今回の報告では、前回の報告⁵⁾で用いた画像を用いて3D動画化を試みた。画像の撮影データは以下の通りである。

放電には島津理化製誘導コイルISC-100を用いた⁷⁾。放電電極間隔は安定した放電が得られる6cmとした。電極は陽極、負極とも針電極とした。放電電圧はおよそ100kV。カメラと放電との間隔は約40cm。放電弧を中心として、円弧状に40°の角度で同心円状にカメラを配置して撮影した。照明は自己発光現象なので用いない。

レンズはF1.7 20mmの単焦点パンケーキレンズを用いた。またカメラは3台配置した。実際に3D

化するのに使用したのは中央と右側の2カメラである。

これらの元で撮影を行い、特に明瞭に撮影されている画像を選んだ。

撮影速度は20000fps、シャッター速度はオープンとした。



(a) 高速度カメラ (1台)



(b) カメラハブ (8台同時接続可能)

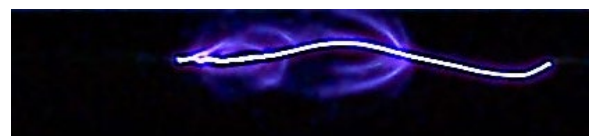
図1 多視点同期高速度カメラ

3. 2視点連続画像とその3D化

撮影された2視点画像の連続する2コマを図2に示す⁵⁾。



(a)右カメラ1コマ目



(b)右カメラ2コマ目



(c)左カメラ1コマ目



(d) 左カメラ 2 コマ目

図2 2視点高速カメラによる放電画像

ここで、1コマ目と2コマ目の時間間隔は0.05msであり、左右のカメラの画像は同時間の画像である。

本来ならさらに多くのコマ数を用いて3D動画を制作すべきであろうが、先に述べたようにこれらの画像を元に3D画像を市販のフォトグラメトリソフトで制作すると、うまくいかない。理由は先に述べたように、ほとんどの点が白（もしくは紫）と黒のぼんやりした画像なので、機械的なパターンマッチングを用いて画像の同じ場所を特定できないからである。

そこで、今回は手作業で左右両画像の同じ点と思われる場所を選び出し、左右の同位置の位置情報マップ（奥行き含む）を作成した。

作成手順は、

1) あるコマの左右両画像をビットマップ画像に変換する。

2) それらの同じ場所と思われる点を抽出し、画像上の位置を手作業で読み取る。

3) 読み取った左右の座標位置のずれ（視差）から奥行きを計算する。

4) 奥行き情報を含めた点の位置座標を3D描画する。描画には実際の画像は使わなかった。あくまでも放電弧の位置を読み取り、それらを単純に線で繋いだ。

5) これらをコマごとに繰り返す。
である。

3) の奥行き計算には次の式を用いた。左右同じ部分の左画像の横方向位置座標 x_1 、右画像の横方向位置座標 x_2 として、カメラ間距離 b 、カメラの焦点距離 f とすると奥行き d は、

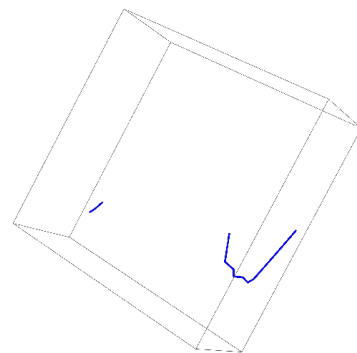
$$d = bf / (x_1 - x_2) \quad (1)$$

で与えられる。実際には適宜正規化して奥行き情報を得た。また $b = 1, f = 1$ と仮定した。

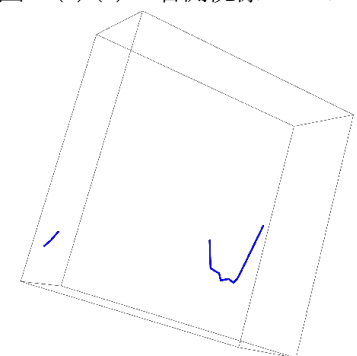
抽出する点は、左画像の中から屈曲点を選択し、それらに対する右画像の点を選択。それらの位置座標を読み取り、リスト化した。

リスト化したデータはMathematica⁸⁾を用いて、3Dラインプロットを行った。

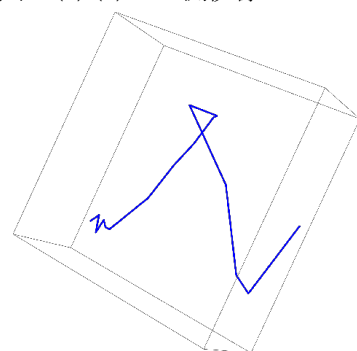
図2(a), (c)から得られた3Dプロット図を図3(a), (b)に示す。なお、分かりやすいように各軸はスケールを変えている。(a)は右方向から(b)は左方向から見た3Dプロット図である。手作業のため、点の位置が実際の画像とズレていることをご容赦願いたい。スケールを変えているため実際の画像と印象が異なることをお許しいただきたい。



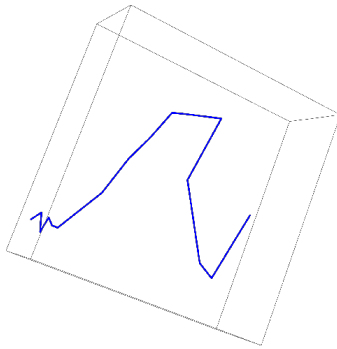
(a) 図2(a)(c)の右側視線の3Dプロット



(b) 図2(a)(c)の左側視線の3Dプロット



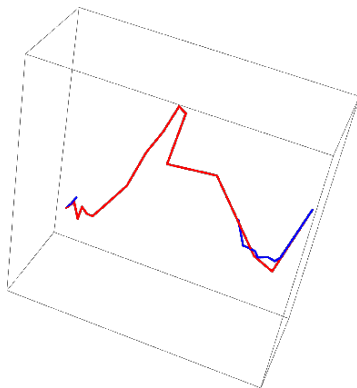
(c) 図2(b)(d)の右側視線の3Dプロット



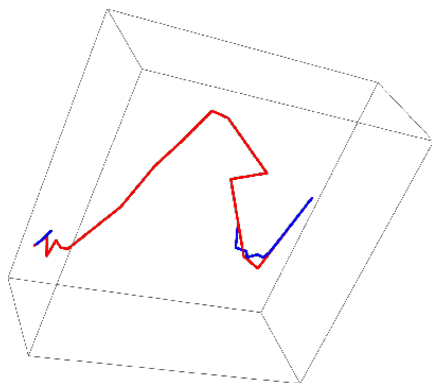
(d) 図2 (b) (d) の左側視線の 3D プロット

図3 放電画像の 3D プロット

さらに、これら2つのプロットを重ねた図を図4に示す。図で青は図2 (a), (c) による、赤は (b), (d) による。



(a) やや右側視線の 3D プロット



(b) やや左側視線の 3D プロット

図4 放電弧の成長

図4は、まず青の放電弧が現れ、その0.05ms後に赤の放電弧に成長する。これら一連の作業を繰り返すこと、および他の薄い色の放電弧も丁寧に含めることにより、CGプロット図ではある

が、3D 動画化が可能となる。

4. 考察

今回 3D プロットは2コマだけであるが、放電現象を 3D で連続コマで可視化ができた。

図4を見ると、1視点からの画像ではわからない、奥行き方向の構造がよく見える。右から始まり、一度手前に来て、奥に入り、電極に戻る構造が見て取れる。

これ以降のコマは、図2 (b), (d) と同じ軌跡でだんだん色が薄れていく。放電は終わり放電発光が徐々に消えていく過程である。

今回は手作業で行った。左右画像のそれぞれ対応する15点を選び、それぞれの画像上の座標を手作業で読み取った。画像をビットマップに変換しているのは、画像の拡大、縮小で画像の位置座標がズレることを防止するためである。

この作業は通常のフォトグラメトリーでは自動化して行っている。今回の画像では自動化できないので手作業で行った。作業量はかなり多い。そこでもう少し簡便に、左右画像の対応する点をクリックすることで、自動的に対応点のリストを作ることは可能かと思う。ただ根本的解決にはならない。特徴がほとんど無いパターンのパターンマッチングを行える精度の高い openCV、AI などの利用もしくは新しいアルゴリズムが必要であろう。

今回2視点画像でのみで3D化を行ったが、実際には18視点の画像が撮影できるのであるから、18視点をういた3D化を行えることが可能ではある。しかしこれを手作業で行うのはほぼ困難である。やはり自動化が必要であろう。

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カメラによる動画(連続画像)同期撮影による、2視点連続コマ画像から、3Dプロット図の連続画像を作成した。

静止画の放電弧の3D画像は幾つも報告があるが¹⁻²⁾、連続でしかも3D画像は世界でもあまり例を見ないであろう。

今回、既存のフォトグラメトリーソフトが使える

ないため手作業で3D化を行った。

今後は多視点画像を用いた3D化、3D化の自動化が課題となる。

特にパターンマッチングをこのような曖昧な画像に特化した方法が必要かと思われる。

参考文献

- 1) 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).
- 2) <http://calculatedimages.blogspot.com/2013/05/> (参照 2024/9/5)
- 3) 渡辺:小山高専紀要, Vol. 54, pp. 5-9 (2021).
- 4) 渡辺:小山高専紀要, Vol. 55, pp. 5-8 (2022).
- 5) 渡辺:小山高専紀要, Vol. 56, pp. 5-9 (2023).
- 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).
- 7) https://www.shimadzu-rika.co.jp/products/equipment/physics_electronic/134_170.html (参照 2024/9/5)
- 8) Mathematica Ver13.2, Wolfram Research (2023).

[受理年月日 2024年9月5日]