

【論文】

交直流運転によるユニバーサルモータに発生する 整流火花の検討

花澤民雄, 大坪広明, 江頭虎夫

The Commutation Spark Developed in Universal Motors by AC/DC Operation

Tamio HANAZAWA, Hiroaki OTSUBO, Torao EGASHIRA

Attempts are being made to elucidate the production mechanism of commutation spark produced on universal motor from the surface of images, by using a high-speed camera. Last time, we reported at what position of the brush that the commutation spark during an AC operation is liable to be produced. This time, we took pictures during a DC operation, and compared them with those taken during an AC operation. As a result, it has become clear that, although commutation spark is liable to be produced on the left side in both AC and DC operation, this production of commutation spark is liable to take place at a position further to the left during a DC operation.

Keywords: commutation spark, universal motor, high-speed camera

1. 緒言

家電品の掃除機や電動工具等には単相交流整流子電動機（以後、ユニバーサルモータと称す）が用いられるが、このモータは高速回転中にブラシと整流子の間で整流作用（電流の転流）が行われるため両者が離れる瞬間に整流火花を発生する。したがって、この火花発生が電磁妨害波やブラシ摩耗による機器寿命の原因として問題となっている。

整流火花は直流機で数多くの研究^{1)~5)}がなされ、そのほとんどが電氣的解明で、画像面から解明された報告はほとんど見られない。そこで、高速度カメラを用いてユニバーサルモータが高速回転中に発生する整流火花を捉え画像化を行う撮影実験と整流情報が現れるブラシ整流子片間電圧（ブラシと整流子片の間の電圧）を計測することで、画像・電気の両面から整流火花の発生メカニズムを解明する試みを行ってきた^{6)~8)}。

今回、ユニバーサルモータを交流・直流電源で駆

動して整流火花の撮影実験を行い、交流・直流駆動時におけるブラシ位置の火花発生分布について求め比較検討を行った。また、実験中に直流電源駆動時では電流の流れる方向、すなわち、正ブラシ（ブラシから整流子へ電流が流れる方向）と負ブラシ（整流子からブラシへ電流が流れる方向）の電源極性によって整流火花が撮影出来ない現象が見られ、その原因を探るため撮影実験を行った。その結果、負ブラシでは正ブラシの撮影時に比べ数%の撮影しか出来なかった。そこで、正ブラシ、負ブラシにおける整流火花の発生現象について検討を行ったので報告する。

2. 高速度カメラによる撮影実験

〈2. 1〉撮影実験回路

高速回転中のユニバーサルモータに発生する整流火花を画像化するための高速度カメラの撮影実験構成図を Fig.1 に示す。この撮影実験装置は、毎

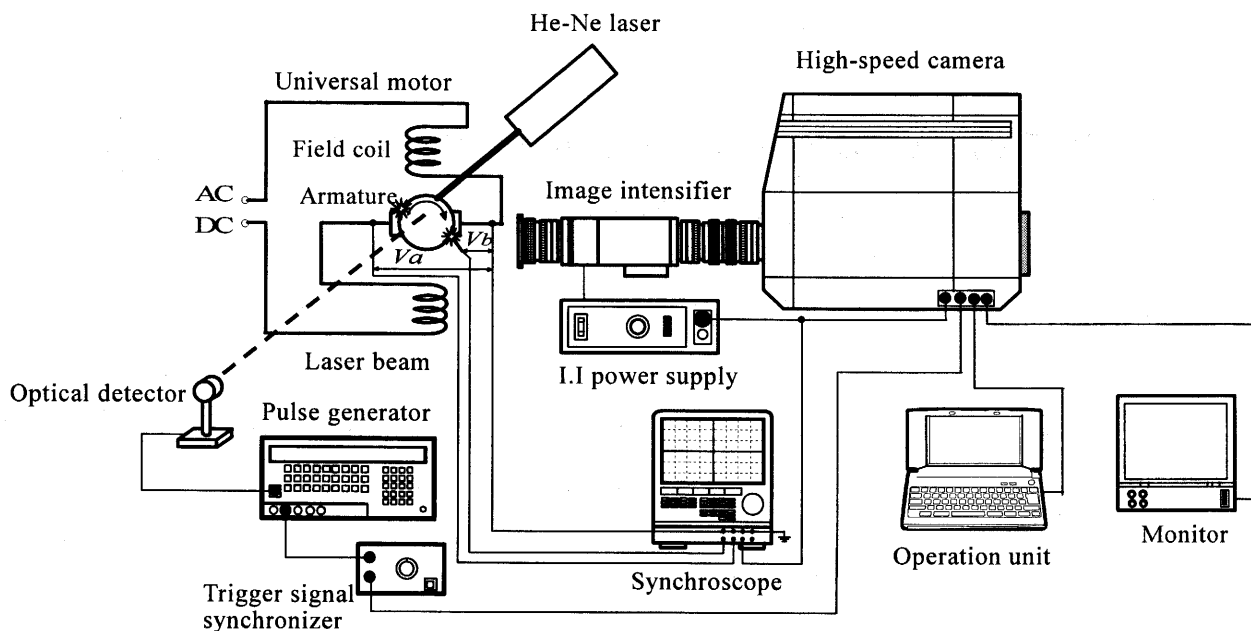


Fig.1 Experimental setup for photographing

秒 5,000~20,000,000 コマの撮影が可能な高速度カメラ、被写体が微弱な発光である場合に用いる光増幅器イメージンシファイア、画角とフォーカス調整をするモニタ、撮影条件を設定するオペレーション・ユニット、外部トリガ信号の遅延操作に用いるパルスジェネレータから構成されている⁹⁾。

高速度カメラのシャッターリングにレーザ光を外外部トリガ信号として用いる外部トリガ法を考案した。この外部トリガ法は高速回転するモータのファンに 1 mm 程度の穴を設け、この穴をレーザ光が通過するとカメラのシャッターリングのためのトリガ信号が発生し、この信号は光検出器、パルスジェネレータを経由して高速度カメラに入り、整流火花の撮影が開始される。Fig. 2 に外部トリガ法の詳細図を示す。

〈2. 2〉撮影条件の設定と撮影手順

ユニバーサルモータに発生する整流火花を撮影するため、モータが 1 回転する間に発生する全ての火花を撮影することにした。1 回転中に発生する火花を全て撮影するには 1 回転に要する時間と高速度カメラの撮影速度を求める必要がある。そこで、モータを $18,500 \text{ min}^{-1}$ 一定にして回転させ、レーザ光がファンを通過してトリガ信号として光検出器に入る過程のトリガ信号電圧の波形を計測すると、トリガ信号間の周期は 3.24 ms となり、これはモー

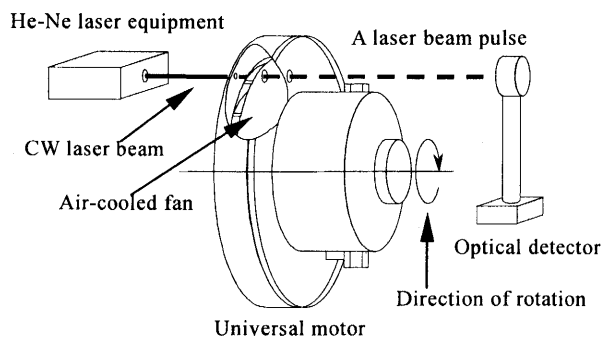


Fig.2 Detailed diagram of external trigger method

タ 1 回転の時間に相当する。また、この時のモータの整流周期は $232 \mu\text{s}$ である。

実験機に設けられた整流子片は 28 個で、整流火花の発生は 1 つ置きであるため、整流子片の 14 箇所を撮影すればよいことになる。したがって、記録枚数 15 コマにそれぞれ 1 コマずつ記録するには上述の周期等から撮影速度を $4,300 \text{ コマ/s}$ に設定した。この時、1 コマのインターフレームは約 $232 \mu\text{s}$ となり、これはモータの整流周期にも一致し、15 コマでは 3.48 ms までを記録することになる。ただし、記録枚数 15 コマ目は 1 コマ目と重なるためデータから削除し、14 コマ目を撮影データとした。

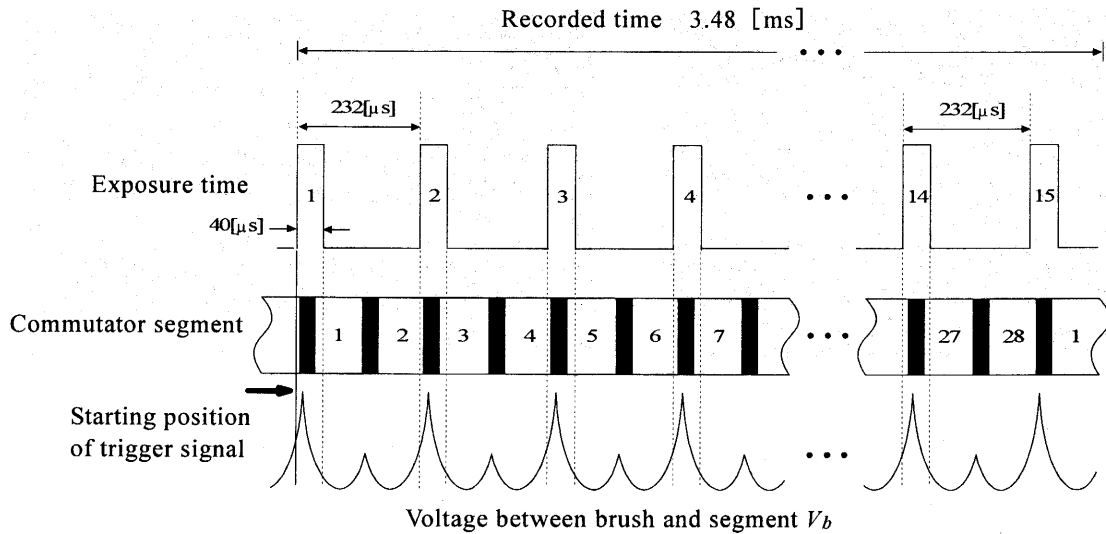


Fig.3 Exposed time of photographs and voltage between brush and segment V_b

露出時間については1コマ目から50 μs に設定し、ポラロイドフィルムに1コマずつ記録して、1回転中に発生する全ての火花撮影を行った。Fig.3に高速度カメラの撮影速度、露出時間等の設定について示した。

次に、撮影手順を述べる。撮影には撮影速度、インターフレーム、露出時間及びトリガ遅延時間等を操作コンソールから入力し、高速度カメラに情報を送り撮影準備を行う。モータを交直流電源により回転速度18,500 min^{-1} 一定に保ちながら回転させると、レーザー光がモータのファンの穴を通過することでカメラの外部トリガ信号が発生し、光検出器、パルスジェネレータを経由して高速度カメラに入り、整流火花の撮影が開始される。このような撮影手順でそれぞれ50回ずつ撮影を行い、画像解析により

火花が捉えられたブラシ発生位置と発生回数の火花発生分布を求めた。

〈2. 3〉 正ブラシと負ブラシの撮影

直流電源で行った撮影実験において、整流火花が撮影出来ない現象が見られたので、その原因を検討するため直流電源駆動による撮影実験を行った。モータが回転すると二箇所設けられたブラシと整流子の間を流れる電流の方向が違うことから、ブラシから整流子へ流れる場合を正ブラシ、整流子からブラシへ流れる場合を負ブラシと呼ぶ。Fig.4に正ブラシと負ブラシの電流の方向を示すが、モータの整流火花を撮影する位置は1箇所に設定した。また、GNDを同じ位置に取ることで電源の極性を切り替えて正ブラシ、負ブラシについて撮影実験を50回ずつ行った。

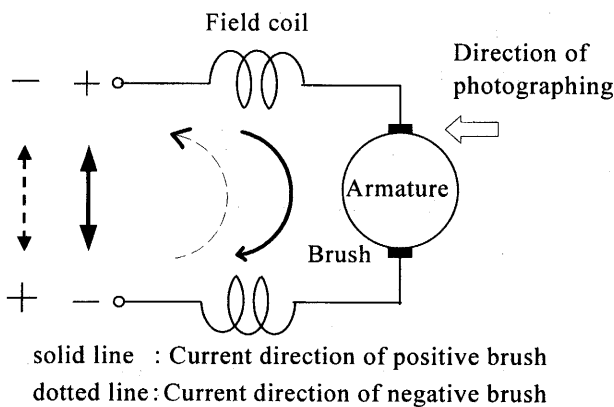


Fig.4 Current direction of positive brush and negative brush

3. 実験結果と考察

〈3. 1〉 火花発生分布

実験機の整流子片は28個設けられ、使用されているブラシサイズは10.0 \times 6.2 \times 28.4mmのカーボンブラシであり、整流火花は整流子片の1つ置きに発生するため、モータが1回転する間に整流子片の14箇所が発生する。そこで、モータを回転速度18,500 min^{-1} 一定に保ち、整流子片の14箇所を撮影枚数15コマに記録するには、1コマずつ1整流子片を撮影するようにした。そして、上述のような撮影速度と撮影条件で交直流電源を用いてそれぞれ50回の撮影を行い、火花が捉えられたブラシ位置にお

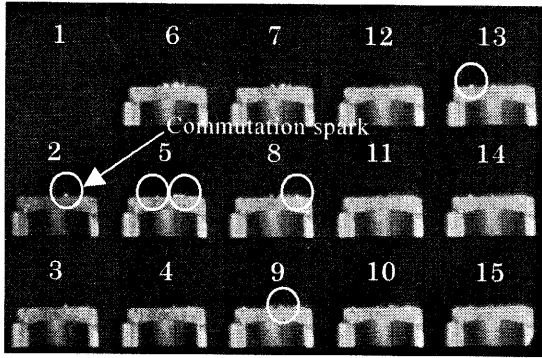


Fig.5 Commutation spark (AC)

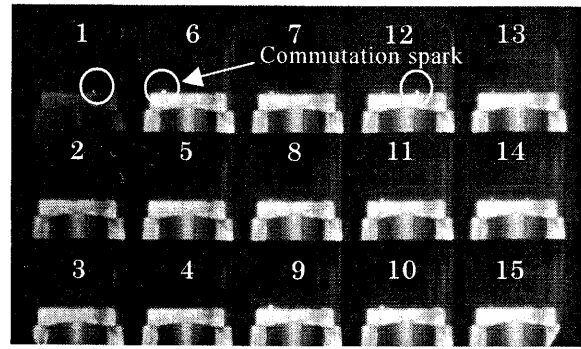


Fig.6 Commutation spark (DC)

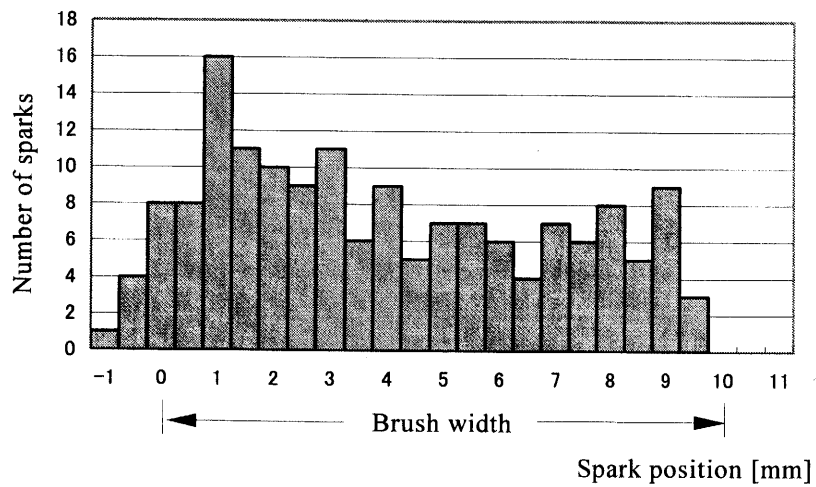


Fig.7 Position and number of spark generation (AC)

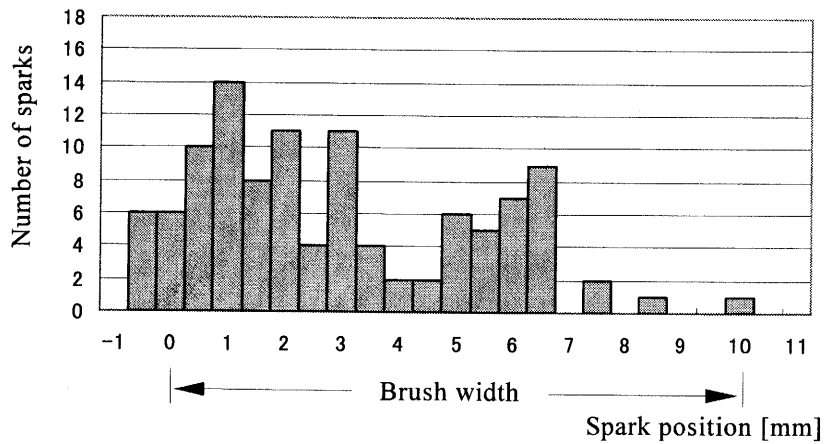


Fig.8 Position and number of spark generation (DC)

ける発生回数について画像解析を行って、火花発生分布を求め比較検討を行った。

交直流電源において 50 回づつ撮影を行った結果、撮影コマ数は 700 コマ (15 コマ目は 1 コマ目と重なるので

削除した) で、交流時には、火花発生が捉えられていたコマ数は 160 コマで、直流運転には 109 コマが撮影された。

Fig.5 に交流時の撮影結果の一例を示すが、この

撮影結果から火花は 2,5,8,9,13 コマ目 (○印) の 5 箇所から発生しているのが捉えられている。また、Fig.6 に直流運転時の撮影結果の一例を示すが、この撮影結果では、火花は 1,6,12 コマ目 (○印) の 3 箇所より発生しているのが捉えられている。これらの撮影結果から画像解析を行い、モータのブラシ幅が 10mm であるので、20 等分して 0.5mm ずつの範囲でブラシの火花発生位置と発生回数を求め、その結果を Fig.7, Fig.8 に示した。整流火花は交流運転時にはブラシ幅の全体で火花発生が見られるが、直流運転時には交流運転時に比べ、特にその傾向が強く出るのはのではないかとと思われる。

これは左側の方に電機子コイルが接続されているため、電流は電機子コイルの方に向かって流れるが、直流運転時は交流運転時に比べ、特にその傾向が強く出るのはのではないかとと思われる。

〈3. 2〉 正ブラシ、負ブラシにおける整流火花

直流電源における正ブラシと負ブラシでどのように整流火花が発生するか撮影実験を行った。撮影条件は上述〈2. 2〉と同様にして、それぞれ 50 回の撮影を行い、発生した整流火花の画像解析を行った。各 50 回の撮影結果より、撮影コマ数は 700 コマ (15 コマ目は 1 コマ目と重なるので削除した) で、Table 1 に火花が撮影されたコマ数を示すが、正ブラシでは火花発生が捉えられたコマ数は 194 コマ、負ブラシでは 2 コマであった。Fig.9 に正ブラシにおける撮影結果の一例を示すが、この撮影された写真では、2, 4, 5, 6, 7 コマ目 (○印) の 5 箇所から発生した整流火花が捉えられている。

このようにして求めた 50 回の撮影結果を Fig.10 にブラシ幅に対する火花発生位置を示した。正ブラシでは火花がブラシ幅 0 ~ 3.5mm の左側の方に集中して現れ、負ブラシで捉えられた 2 コマの火花は右側で発生している。ここで、火花が負ブラシにおいて何故正ブラシと比較して数%しか撮影出来なかった理由について検討した。

正ブラシ、負ブラシにおいて高速度カメラにより撮影を行うと上述の結果が得られた。そこで、ビデ

Table.1 Commutation spark by positive brush and negative brush

	Positive brush	Negative brush
Number of sparks	194	2

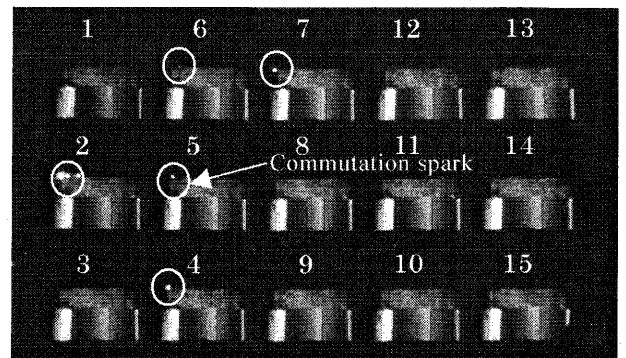


Fig.9 Commutation spark (4,300 frame/sec)

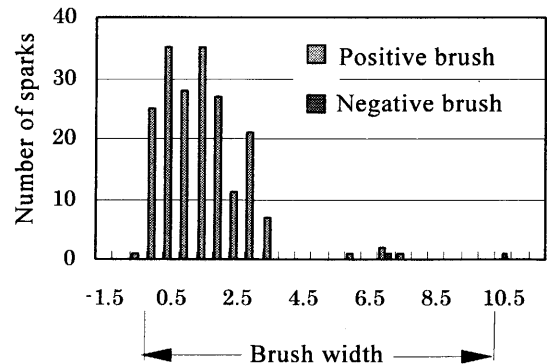
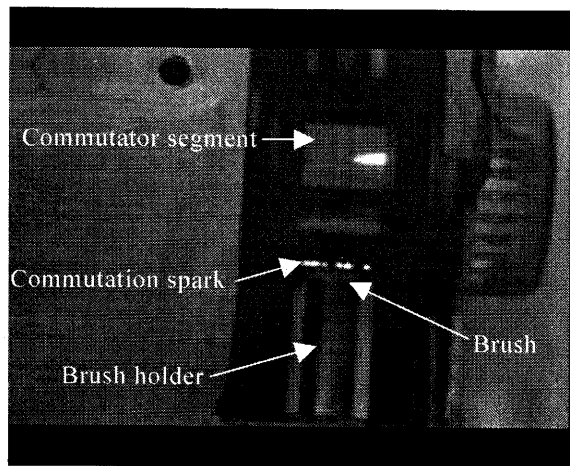


Fig.10 Position and number of spark generation

オカメラにより撮影を行ったところ明らかに違いが現れ、正ブラシでは火花がブラシの縁で放電し、負ブラシではブラシと整流子面の中で放電するために捉えにくいことが明らかになった。Fig.11 に正、負ブラシのビデオカメラによる撮影結果を示す。

この原因は、ブラシは炭素 (C)、整流子は銅 (Cu) の材質により形成され、正ブラシでは整流子が陰極、負ブラシではブラシが陰極になり、両者の融点や沸点が大きく違うため両者のアーク継続時間は正ブラシの方が長くなる¹⁰⁾。したがって、陰極が銅 (Cu) である正ブラシは炭素 (C) より金属蒸気を発生し易く、アークを維持し易いため火花がブラシの縁まで引っ張られて放電するものと推察される。また、負ブラシではアークを維持する時間が短いため、ブラシの縁まで維持して放電することが出来ず、ブラシと整流子の中で放電現象を起こすものと考えられる。



(a) Positive brush



(b) Negative brush

Fig.11 Video shot of commutation spark

4. 結言

交流・直流電源駆動によるユニバーサルモータの整流火花を捉えるため、高速度カメラを用いてモータ1回転中に発生する全ての火花撮影を行い、火花がブラシ幅のどの位置で発生するか火花発生分布を求めた。また、直流運転時の正ブラシ、負ブラシの撮影では、負ブラシにおいて整流火花が撮影できない現象が見られたので、その原因について比較検討を行い、以下のような結果が得られた。

- (1) 整流火花はブラシ位置の左側で集中して発生し易い。
- (2) 整流火花の発生は直流電源駆動時の方がブラシ左側で発生し易いことが顕著である。
- (3) 整流火花はアーク継続時間の違いにより、正ブラシではブラシの縁で、負ブラシではブラシの中で発生する。

今後は、整流火花の単数個、複数個発生が起こる原因等について検討したい。

参考文献

- 1) 山村龍男山崎正悟：電気学会雑誌,80,860, pp.598-605 (1960).
- 2) 松田敏彦,鈴木好夫：電気学会論文誌,101,10, pp.603-610(1981).
- 3) 小原木春雄,田原和雄,石井吉太郎,鈴木俊：電気学会論文誌,115, 4,pp.488-494(1995).
- 4) 中田高義,高橋則雄,棗田直行,児玉保久,藤原俊明：

電気学会論文誌,104,12,pp.809-816(1981).

- 5) T.fujii, T.Hanazawa : Commutation of Universal Motors, Conference, Record, IEEE, ISA, Annual Meeting, pp. 265-271(1989).
- 6) 花澤民雄,松尾佳太郎,黒岩慎吾,江頭虎夫：高速度撮影とフォトニクスに関する総合シンポジウム 1999, pp. 65-70.
- 7) 花澤民雄,宮川要人,石田崇道,江頭虎夫：高速度撮影とフォトニクスに関する総合シンポジウム 2001,pp.189-194.
- 8) 花澤民雄,緒方幸治,内村真一,アルマズルイ・アリ,江頭虎夫：高速度撮影とフォトニクスに関する総合シンポジウム 2003,pp.203-208.
- 9) 安藤幸司：高速度撮影とフォトニクスに関する総合シンポジウム 1993, pp.93-96.
- 10) 小泉俊彰,高橋久美雄,江原康生,曾根秀昭,根元義章：信学技報,pp.73-77(1996).