

デジタル一眼レフカメラによる鋼球の自由落下の瞬間写真撮影 — 現象とフラッシュ照明の同期 —

横山直樹（総合科学技術研究所）

Synchronization of Digital Camera and Event in Windows and Linux Environment

Naoki Yokoyama (Research Institute of Science and Technology)

キーワード：デジタル一眼レフカメラ 自由落下 同期 フラッシュ

Keywords: Digital Camera, Free fall of steel ball, Synchronization, Flash

Abstract

Suitable synchronization between camera and free fall event was discussed in previous paper. Delay between trigger point and actual shutter timing was about several hundreds milli-seconds. That is fatally large in critical conditions. In this paper method was introduced to avoid such delay using flash illumination. But in this case synchronization between flash and event is needed and discussed.

1. はじめに

比較的あたらしいデジタルカメラ（一眼レフタイプに限らない）では、カメラ本体に USB インタフェースを備えるものが多い。その第一の目的は、Windows や MacOS から接続したカメラをストレージデバイスとして認識し、カメラ内部に保存された画像を PC 側から読み込むことを簡単に行うためである。さらに USB 経由で制御することができるカメラも多数存在する。カメラを PC 等から制御する目的で、各社は自前のアプリケーションを開発するための SDK (Software Development Kit) を配布している場合がある。具体例としては、Canon 製のカメラ (EOS シリーズ) に対しては、EDSDK という SDK が配布されており、これを用いて PC からカメラに対して多様な制御を行うことが可能である。また USB 経由でカメラのシャッター制御を行い、現象との同期をはかる場合には、そのタイムラグが問題となる。前報では、対象現象として鋼球の自由落下を採り上げ、EDSDK を使ってカメラのシャッター制御を行った場合、カメラのレリーズ接点のオン-オフを直接 PC から制御してシャッター制御を行った場合を Windows あるいは、Linux で実験し、瞬間写真の同期において最適な手法を比較検討した。[1] その結果シャッターを電氣的に切った時点から、実際のシャッター動作が行われるまでの時間遅れ (レリーズタイムラグ) は 200ms 程度であることがわかった。

2. 実験方法

本研究で用いた対象現象は直径 25.5mm の鋼球を白色塗装したものを、直流リレーから取り外した電磁石でつり下げておき、その励磁電流をカットした際の自由落下である。PC 側からの制御回路は前報 Fig. 1 と同様なので掲載を省略する。電磁石 (コイル) と並列に入っているダイオードは誘導逆起電力による回路の損傷を防ぐためのものである。電磁石に印加する電圧は Fig. 1 にあるように 28V 程度で十分に鋼球の吸着が可能であるから、オープンコレクタ型の外部 I/F であれば、直接 I/O カードからドライブすることもできる。後半のレリーズコントロールやフラッシュ照明の駆動は I/O カードの DO (Digital Out) から行った。

Fig.1 において、図右側のスケールは位置の概略を測定するために配置している。また長さの校正のためにも使用した。カメラのシャッター制御は、EDSDK によるものと、レリーズを I/F を介してオン・オフする二つの方式を用いた。後者は、汎用の DIO ボード(Interface 社 PEX-285122) を用いた。このボードは、Windows のみならず、Linux のドライバも供給されているので、Linux から自由落下とカメラのシャッター制御さらにはフラッシュと現象の同期を行った。

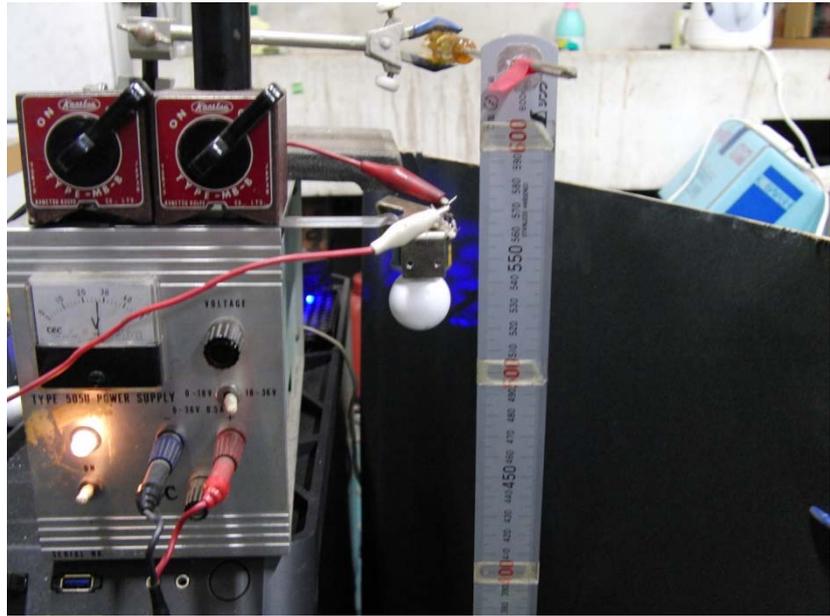


Fig. 1 Schematics of solenoid driver

3. 実験結果

まず鋼球を自由落下させ、適当なディレイタイムの後にシャッターを EDSDK 経由で切ることによって瞬間写真を得た。その結果を Fig. 2-1~2 に示す。この時のディレイタイムはゼロ (ディレイ無し) であった。Fig. 2-1 はシャッタースピードが 1/1600 秒の場合、2-2 は 1/3200 秒の場合である。レイアウト上紙面では鉛直方向が左右方向になっている。左端付近にソレノイドの端面を見ることができ、鋼球はソレノイド端面を離れ、右側へ落下していくことになる。



Fig. 2-1 Experimental Result 1 SS=1/1600



Fig. 2-2 SS=1/3200

シャッタースピードが短くなり、わずかに右側の画像が暗くなっているが、対象物体のブレはほぼ無視できる程度になっている。ここで問題なのは、ディレイタイムがゼロなのに、物体がすでに 115mm 程落下していることである。これは EDSDK のオーバーヘッドによるものと考えられ、タイミングを逆にすることで落下初期の物体を捕らえることは一応可能である。つまり EDSDK 経由でシャッターを切り、その後現象をトリガする。これを便宜上リバーストリガと呼び、通常のトリガをノーマルトリガと称している。前報の撮影結果から、設定遅延時間と鋼球の位置からカメラの応答時間

を解析した。カメラの応答時間は機械系であるから、回路の応答時間のばらつきに比べるとかなり大きいと考えられるが、初期のデジタル一眼レフカメラである、EOS Kiss Digital N は、レリーズ接点をショートしてから約 250ms の遅れでシャッターが切れるということがわかった。カメラには機種固有のレリーズタイムラグが存在しその値もメーカーから公表されているのであるが、その値の倍程度の結果になった。

次にこのレリーズタイムラグの影響をなるべく受けない形で現象とカメラを同期させるために、フラッシュ照明を使用する実験を行った。この場合は、暗視野にカメラを置き、通常バルブでシャッターは全開にしておき、現象と同期させたフラッシュ撮影を行う。ただし、環境によっては完全な暗視野が得られない場合もあるので、その場合は適宜シンクロ可能なシャッター速度を利用する。そうした場合は、カメラの同期を考慮する必要がある。次の Fig. 3 にフラッシュ撮影で記録した鋼球の自由落下の記録画像を示す。左側は、フラッシュのガイドナンバーを 28 に設定したものであり、通常使用可能な市販の汎用フラッシュストロボは、発光光量によって発光時間が変化する。この時に使用したのは、Panasonic の DMW-FL500 であり、スペック上は発光時間が 1/500~1/20000 秒となっているが、左側の場合で実際の発光時間は 1/250 秒程度だと思われ、この時間が物体速度に比べて十分に速くはないために、得られた画像はブレている。右側は、発光量を落とすべくガイドナンバーを 18 (フル発光の 1/4) に設定した撮影を行った結果である。以下の実験は全てこの条件で記録を行った。フラッシュ撮影の際に使用したカメラは Canon EOS 5D Mark III であった。

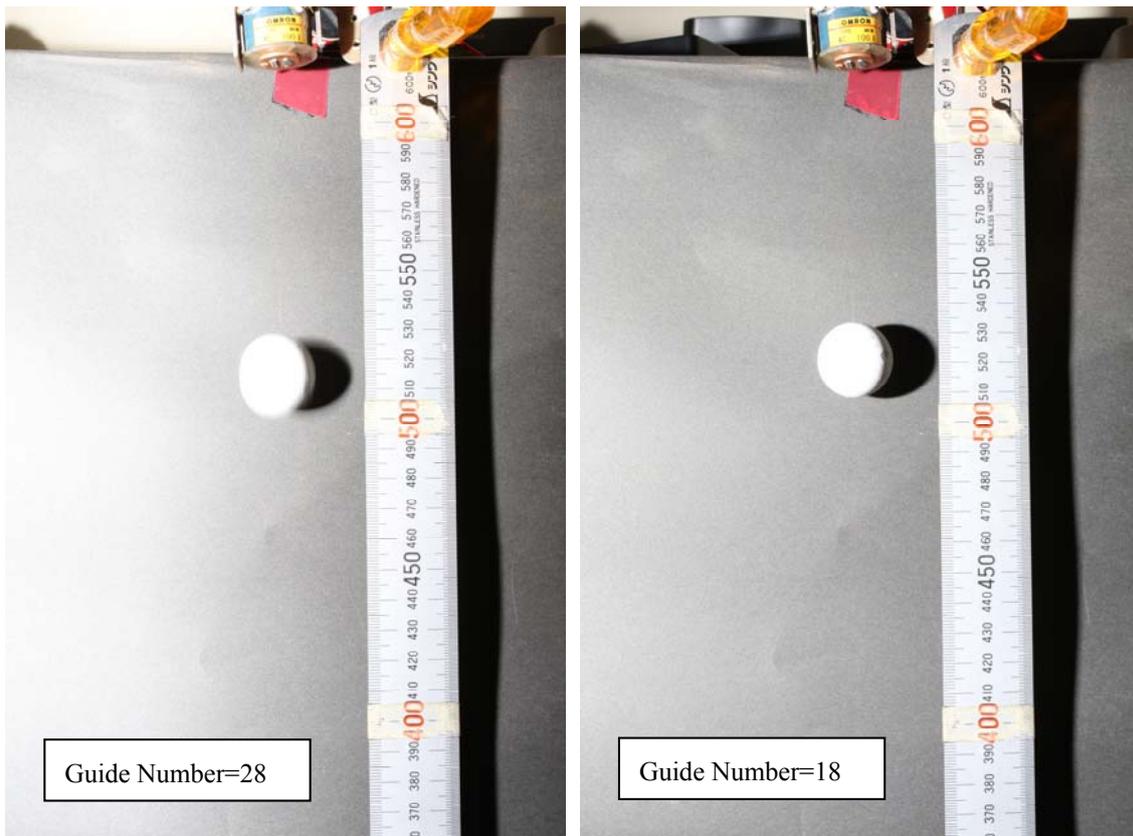


Fig. 3 Effects of Guide Number of Flash

簡単な光電変換系を用いて、フラッシュ発光時間をオシロスコープで観測した。その結果を Fig. 4 に示す。

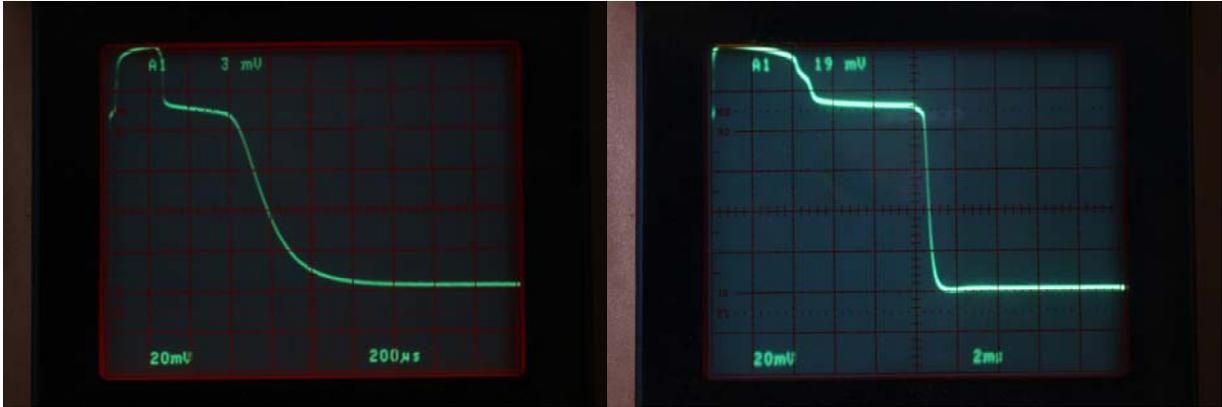


Fig.4 Flash lighting duration due to GN(Guide Number) left: GN=13 right: GN=50

Fig.4 において、左側はガイドナンバーが 13 の場合、右側が 50 の場合である。これらは前述の機種での両極端の場合であるが、一般に発光量が多い場合は、尖頭光強度は変化がなく、発光時間でエネルギー（明るさ=ガイドナンバー）を変化させていることがわかる。上図では発光時間幅は、半値幅で左が $750\mu\text{s}$ 右が 10ms 程度であった。Fig.3 の場合の $\text{GN}=28,18$ それぞれでは、発光時間は 1ms と 0.75ms 程度であるので、画面上の物体のブレ量と整合する。約 $10\text{cm}=0.01\text{m}$ 落下時の時刻は、落下開始時刻を 0 とすると、約 45ms なので、物体速度は $0.44[\text{m/s}]$ 程度のはずであるから、この速度にブレ時間をかけて、発光時にそれぞれ 0.885mm ないし 0.33mm 程度移動してしまう。従って、ブレ量が無視できる程度のガイドナンバーとして 18 を以降の実験では採用した。またフラッシュ照明を用いる場合は、現象とシャッターではなく、シャッターは開けておき、シャッターが開いている時間の中で現象に同期させてフラッシュ照明を行えば良いので、前報で問題となったレリーズタイムラグの影響を受けない。通常は暗視野でシャッターはバルブ動作などで、長時間開けておき、その間に現象とフラッシュを同期させるのであるが、完全な暗視野が得られない場合は、バックグラウンドの露光分を抑えるために $1/60$ 秒程度のシャッターを切ることが多い。この時間関係を次の Fig. 5 に示す。シャッターが開いている時間をゲート時間と呼ぶ。

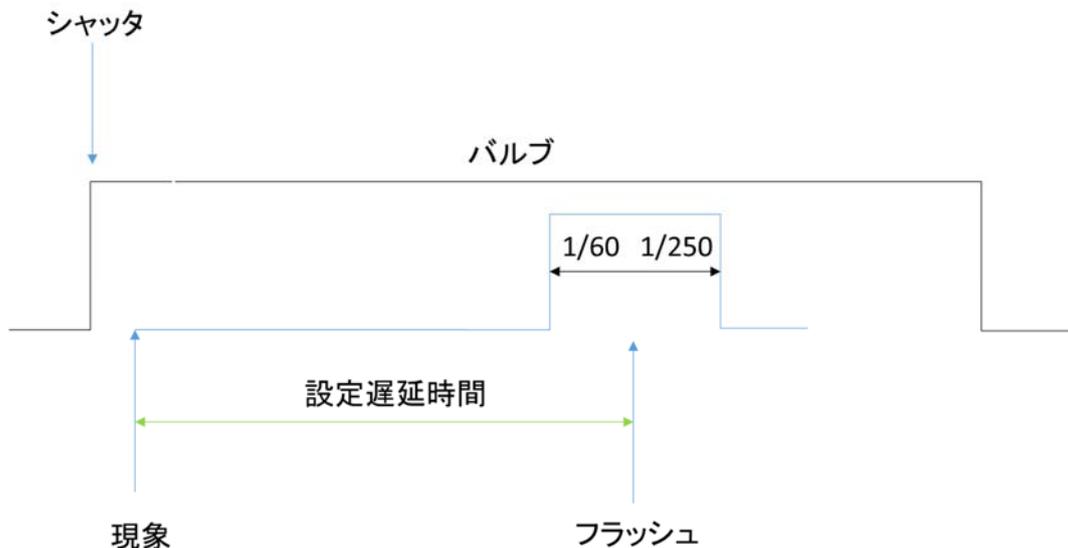


Fig.5 Timing Diagram of Event and Flash lighting relation

フラッシュ照明を用いて、シャッター時間 1/60 秒ないし 1 秒で同期撮影した実験結果の一部を以下の Fig. 6 に示す。

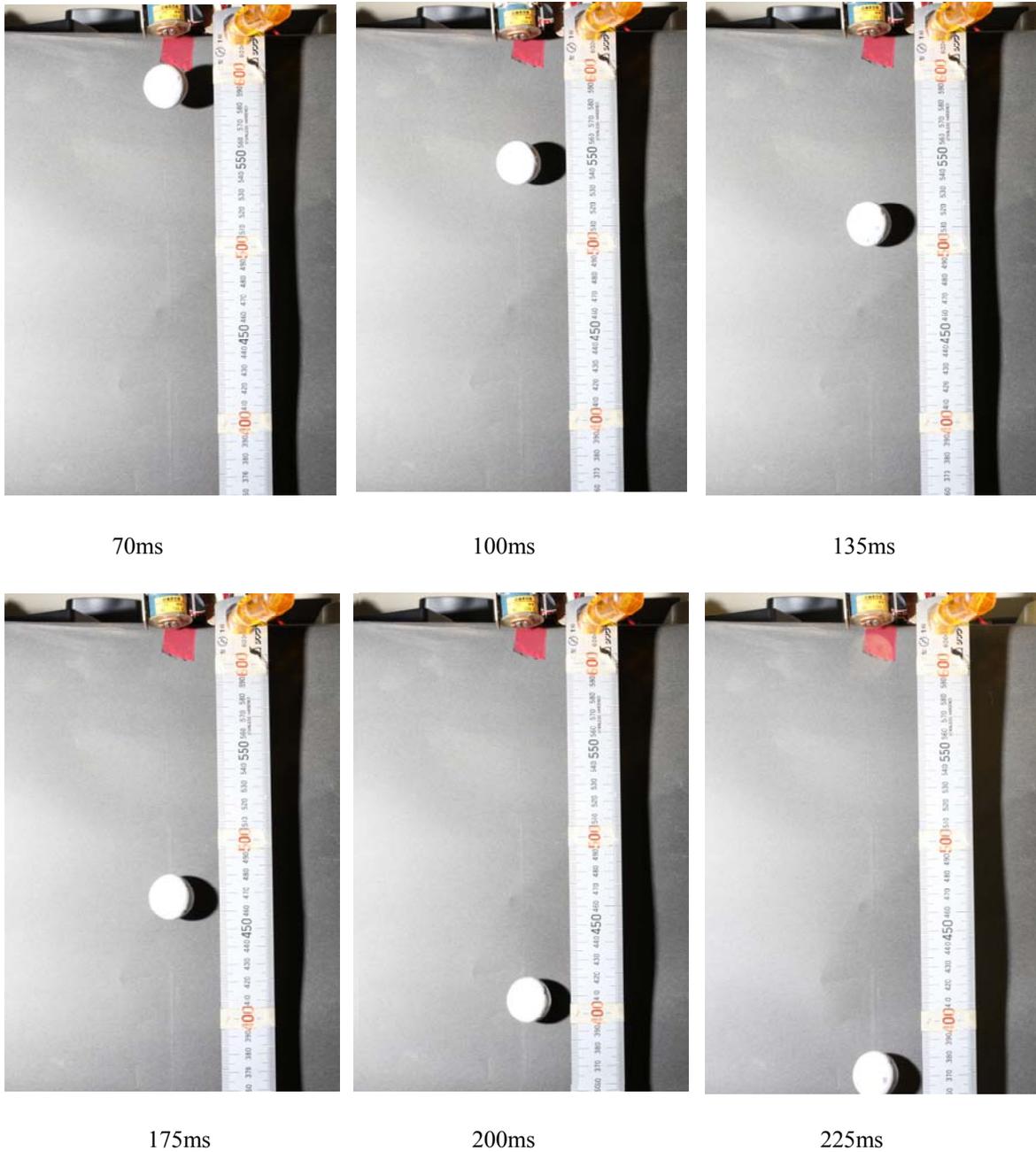


Fig. 6 Experimental results EOS5DMarkIII with flash delays are in milliseconds

Fig. 6 の一連の結果でそれぞれの画像はブレもなく鮮明に記録することができた。また遅延時間の設定も自由に、レリーズタイムラグの影響を受けない形で可能であった。

4. 結論

デジタル一眼レフカメラを PC から制御し、鋼球の自由落下を撮影した。制御は、カメラの USB 端子をカメラ専用の SDK からドライブする方法と、カメラのレリーズ端子を直接電氣的にショートする方法、さらにフラッシュを用いて現象と照明を同期させる三つの方法を用いた。前者の場合

は、瞬間写真としては致命的な現象欠落時間帯が現れてしまった。後者二つの方法では現象の駆動順序を工夫することで、比較的自由的な遅延時間を実現できた。カメラの応答時間としては EOS Kiss digital N で約 256ms、5D Mark III で約 140ms という結果となった。次にこの応答遅れ（レリーズタイムラグ）の影響を排除するために、フラッシュ照明を用いる実験を行った。この場合は、ゲート時間内に現象とフラッシュ照明をトリガするために、三つのタイミングを制御することを行った。その結果さらに遅延時間の設定の自由度が広がった。今後は各ステージの遅延時間のばらつきを評価し、時間計測という点での計測精度を評価し、さらに多重ストロボを利用して対象物体の平均速度あるいは平均加速度などの計測を行う予定である。

参考文献

- [1] デジタル一眼レフカメラによる鋼球の自由落下の瞬間写真撮影
— 現象とカメラの同期問題 —、横山 直樹、東海大学紀要 総合科学技術研究所、34、24-29、2015