

高速度ビデオカメラを利用した研究
Studies using High-speed Video Camera

元木 加世・駒城 素子

Kayo MOTOKI, Motoko KOMAKI

(お茶の水女子大学大学院 人間文化研究科 ライフサイエンス専攻)

1. はじめに

高速度ビデオカメラとは、100 コマ/秒以上の撮影速度で、100 コマ以上の連続画像を撮影できる電子式カメラのことを言う¹⁾。一般的な家庭用ビデオカメラに比べて3倍から3万倍も早く画像を取り込むことができるため、瞬間の高速現象をスローモーションとして再生することができる。人間の目では捉えきれない高速現象を見たいとする分野では、高速度ビデオカメラの役割は大きく、現在では理工学研究、新製品の開発、不良原因の究明、運動動作の解明など多くの利用目的を果たすために活用されている。筆者も洗浄において機械力がどのように寄与するかを研究する一端として布や水の動きを観察することを試みた。

本稿では、高速度ビデオカメラの性能や高速度ビデオカメラを利用した近年の研究例ならびに筆者の衝撃圧縮洗浄研究について紹介する。

2. 高速度ビデオカメラの性能²⁾

高速度ビデオカメラの撮影速度は、主に使用するセンサー(固体撮像素子)に依存する。現在使用されているセンサーには主に CCD 型と CMOS 型がある。CCD 型は、1 画素に取り込んだ電荷をバケツリレーのように転送する構造であるのに対して、CMOS 型は、画素ごとに直接アクセスして電荷を取り出す構造であるため、CCD 型に比べてより高速度なデータの読み出しが可能である。表 1 に CCD 型と CMOS 型固体撮像素子の性能比較を示す。現在の高速度ビデオカメラは CMOS 固体撮像素子と IC メモリを利用したデジタルカメラに移行しており、コンピューターによる制御やデータ取り込みも可能である。また、解像度は、1000 コマ/秒で 1000 × 1000 pixel, 5000 コマ/秒で 500 × 500 pixel のものが主流である。

表 1. CCD 型と CMOS 型の比較²⁾

	CCD	CMOS
感度	高	低
電子シャッター	あり	無し(現在はあり)
消費電力	高	低(GCDの1/3~1/5以下)
データ転送クロック	低	高
ノイズ	少	多
製造プロセス	複雑、特殊なプロセス必要	CMOSプロセスで製造可能
コスト	高	低
その他		データの並列読み出し、ランダムアクセス読み出し可能

3. 高速度ビデオカメラの応用例

高速度ビデオカメラの歴史は、1972 年米国 Video Logic 社が開発した 120 コマ/秒の白黒ビデオカメラに始まる³⁾。以来、改良が進み、近年では撮影速度が 100 万コマ/秒の高速度ビデオカメラが開発されている¹⁾。

環境や安全に配慮したクルマ作りが必要とされる自動車分野では、自動車衝突実験、エアバックの起動確認、エンジン燃焼の解析などのために高速度ビデオカメラが利用されることが多い⁴⁾。

図 1²⁾ に、様々な高速度現象とその解析に必要なとされる撮影速度を示す。

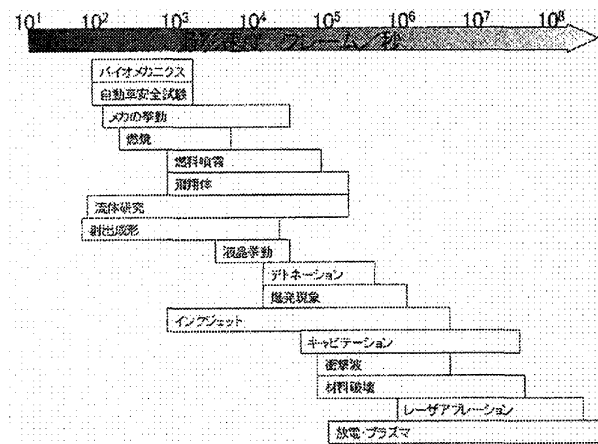


図 1. 種々の高速度現象と撮影速度²⁾

3-1. 気泡表面における微小粒子の挙動⁵⁾

Anh V.Nguyenらは、撮影速度1000コマ/秒の高速ビデオカメラを利用して、気泡表面における微小ガラス粒子($\phi 300\mu\text{m}$ 以下)の挙動を観察した。

ガラス粒子は気泡表面に接触した後、しばらくは粒子と気泡間に生じる水の膜をスライドするが、やがて水の膜が消滅すると、気泡と粒子が接触した相を形成しながら移動する。粒子が疎水性である場合は、水の膜は生じず、それゆえ気泡との接触が起こらないことも観察された。

粒子の挙動はミリ秒単位の速さであり、特に水の膜が破裂する現象は非常に速いので高速ビデオカメラでの観察が不可欠であった。

3-2. 衝撃波現象の計測⁶⁾

高山は、アジ化銀10mgを水中でレーザー起爆させた際に瞬間的に生じる衝撃波の様子を撮影速度50万コマ/秒の高速ビデオカメラにおさめた。

爆発によって生成された気体は球状のピストンとなって、球状衝撃波を前面に発生させる。水面に球状衝撃波がぶつかると、水面が空気側に押し上げられるので膨張波が反射し、その背後にはキャビテーション気泡が生じる。一方、空気中には弱い衝撃波が発生し、白い線となって現れる。

このように1コマ撮り画像では観察できない球状衝撃波の発生、加速過程を高速ビデオカメラによって時系列的に観察することができた。

3-3. 衝撃圧縮洗浄における布、水の動き⁷⁾

粒子汚れを含んだ汚染布と白布を交互に積み重ねた積層布に洗剤液を含ませ、その表層に円柱を落下させると、汚染布については、円柱の接触面の周縁部分(B-I)が白くリング状に洗浄される。最上層の汚染布については、B-Iのさらに周縁に、汚染布の端よりはよく洗浄される部分(B-II)が生じる。また、含水率が高いほどB-Iはよく洗浄され、B-IIの幅も大きいこともわかった。

そこで筆者は、撮影速度6000コマ/秒、解像度 512×256 pixel、シャッター速度1/20000秒に設定した高速ビデオカメラを用いて、円柱落下時の積層布の断面を撮影し、布の屈曲や水しぶきの様子を撮影し、汚れの除去要因を探った。

図2に洗剤液を含ませた積層布に円柱を落下させた瞬間の積層布断面の画像を示す(円柱が布に接触してから0~1/300秒後)。積層布を載せた底板に2つの黒い印があるが、洗浄後の汚染布でよく洗浄されている部位B-Iは左側の印よりも左側部分、B-IIはおよそ2つの印の間に相当する。

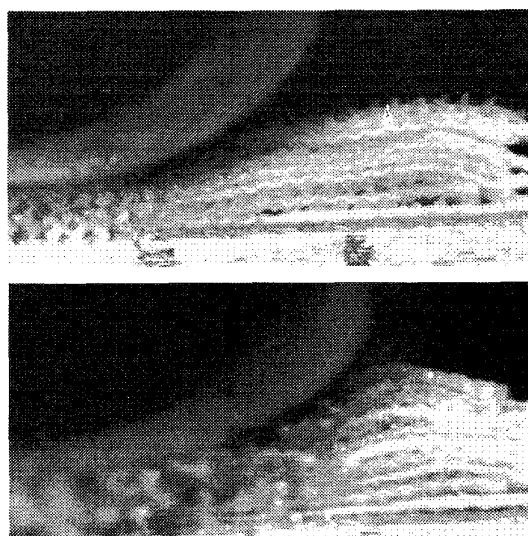


図2. 衝撃時の布の屈曲と水しぶきの様子
(上: 低含水率, 下: 高含水率)

カメラによる観察から、B-Iに相当する部分では他に比べて水しぶきが多く発生していること、含水率が高いほど生じる水しぶきの量が多いことがわかった。またB-II部分を見ると、最上層の布の屈曲が最も大きいこと、含水率が高いほど布の屈曲が大きいことがわかった。

4. まとめ

ユーザーがもつ当然の要求として、より高速度、高画質のビデオカメラが求められている。カメラの性能は確実に上昇することが予想され、今後はさらに高速度な瞬間現象を鮮明に可視化することが期待される。

5. 引用および参考文献

- 1) 江藤剛治, 可視化情報学会誌, **23**(89) 7-10 (2003)
- 2) 佐々木裕康, 可視化情報学会誌, **23**(89), 2-6 (2003)
- 3) <http://www.anfoworld.com/TopicHistries.html>
- 4) 安藤幸司, 日本機械学会誌, **109**(1054), 4-5 (2006)
- 5) Anh V.Nguyen, Geoffrey M.Evans, J.Colloid Inteface.sci., **273**, 271-177 (2004)
- 6) 高山和喜, 可視化情報学会誌, **23**(89), 15-20 (2003)
- 7) 元木加世, 駒城素子, 長谷川富市, 第38回洗浄に関するシンポジウム, 39-42(2006)