

近畿大学理工学部 正会員○ 江藤剛治

近畿大学理工学部 正会員 竹原幸生

近畿大学理工学部 正会員 高野保英

1. 開発の経緯

筆者らは1989年以来流れの可視化計測技術の開発を続けてきた^{1)~5)}。最も重要な要素技術は高性能のビデオカメラである。1991年には画素数 256×256 画素で、撮影速度が4,500枚/秒のビデオカメラを開発したが⁶⁾、これは昨年まで10年間、世界最高速のビデオカメラとして、世界中で様々な科学技術計測に使われてきた。

水工学における多くの現象は4,500枚/秒で撮影した画像で解析できる。しかし実際に使ってみると、下記の例のように、この撮影速度では不十分な場合が生じる。また 256×256 画素の空間解像力は不十分である。したがって、次の2つの方針でより高性能のビデオカメラを開発する必要性を指摘してきた⁷⁾。以下の仕様は現在の撮像素子開発の技術水準と、その後筆者らが行ったアンケート調査結果等を参考にして若干修正している。

(1) 並列読み出し型：撮影速度1,000枚/秒、画素数100万画素、連続撮影枚数1,000枚

(2) 画素周辺記録型：撮影速度100万枚/秒、画素数10万画素、連続撮影枚数100枚

前者については、今年この仕様を満たす機種が市販される。

後者については、筆者らが既に撮像素子の設計を完了し、現在試作中である。

本報告では、これらのビデオカメラの水工学での利用の可能性と将来展望について紹介する。

2. 高解像 PTV (粒子追跡画像計測法)

これまで相関法などで代表される PIV (Particle Image Velocimetry) は解像力が高いが、PTV (Particle Tracking Velocimetry) は解像力が低いと言われてきた。しかし最近、相関法等よりもはるかに解像力が高い PTV アルゴリズムが開発された⁵⁾。PTV の最大の利点は3次元流速計測への拡張可能性が高いということである。

Fig.1 にその例を示す。この場合、連続する画像上の9204個の粒子が対応付けられ、その数だけの流速ベクトルが直接得られた。カメラは100万画素である (KODAK MEGA-Pixel)。

土木工学における水工学上の多くの問題は、1,000枚/秒程度の並列読み出し型の高速ビデオカメラで撮影し、解析できる。上記のように、この場合空間解像力としては、少なくとも100万画素程度は欲しい。

3. 超高速撮影の必要な事例：水表面での気泡の破裂

1,000枚/秒の撮影速度では不十分な現象もある。その例を示す。

海洋表面を通した水、炭酸ガス、酸素、海塩のような物質輸送やエネルギー交換の評価は地球環境問題を考える上で非常に重要な課題である。その輸送機構として、次の2つのケースがあると言われている⁸⁾。

(1) 風速 12m/s 以下：水表面上下での乱流輸送が支配的である。

(2) 風速 12m/s 以上：ホワイト・キャップによる輸送が支配的となる。

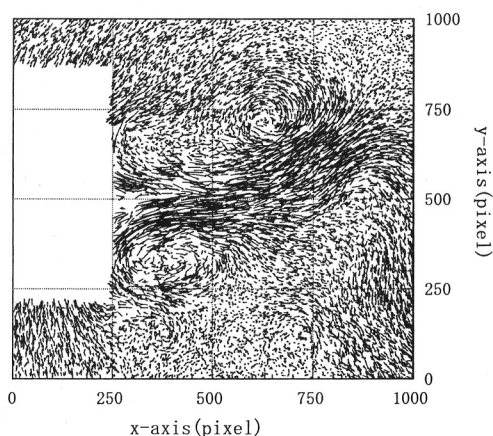


Fig.1 PTV による計測結果の例

第2のケースでは、局部碎波による水中への気泡の連行と、それらが海表面に浮上した後、破裂して多数の微水滴を放出し、それらが強風に乗って大気中に飛散される過程が重要と考えられている。この過程は冬季の日本海や北海のように、連続的に強い風が吹くような場合にとくに支配的になると考えられる。

このような指摘は日本では鳥羽により⁹⁾、海外でも複数の研究者により¹⁰⁾、¹¹⁾ 1950年代から指摘されてきた。しかし海表面での気泡の連行と水滴の飛散の連鎖過程については、有効な計測手段が無いままに今日に至るまでほとんど解明されていない。

Fig. 2に、4,500枚/秒のビデオカメラで撮影した、直径約20mm (Fig. 2(a))と、約2mm (Fig. 2(b))の気泡が破裂したときに水滴を放出する瞬間の映像の例を示している。とくにFig. 2(b)では、4,500枚/秒では撮影速度が不足するので、撮影時の画素数を半分に減らし、9,000枚/秒で撮影した。

これらの画質は、ストロボで1枚だけを撮影する場合に比べてはるかに悪い。しかし運動を計測するには、連続撮影可能なビデオカメラを使う必要がある。

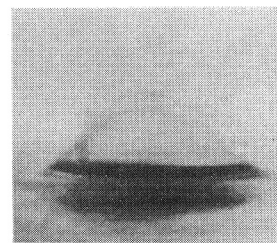
水工学における重要ではあるが未解明の現象の一つに、大気・地表面境界での蒸発量や熱輸送現象がある。界面での微視的な機構を解明する場合には、風速が5m/s以上で1mm単位の計測を必要とすると考えられる。この場合も5,000枚/秒以上の撮影速度が必要になる。

以上のように、水工学においても1,000枚/秒以上の撮影速度を必要とする重要な研究課題がある。筆者らの経験では、研究に高速ビデオカメラを使い始めると、次々により早い速度が必要になってくる。

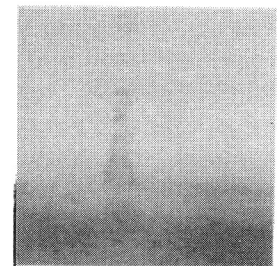
まず100万枚/秒で連続16枚撮影できる撮像素子を試作した。Fig. 3にこのカメラで撮影した風船の割れる瞬間の連続画像の例を示す。引き続き連続104枚撮れる素子を試作中である。

この場合も、100万画素程度の空間解像力があることが望ましいが、現在のところ、10万画素程度の撮像素子を作るのが技術的限界である。筆者らはさらに新しい原理で100万枚/秒、100万画素、連続300枚程度の撮像素子を開発することを計画している¹²⁾。

[参考文献] 1) 江藤・竹原, 土論, No.533/II-34, pp.9-20, 1996. 2) 江藤他, 土論, No.533/II-34, pp.87-106, 1996. 3) 竹原他, 土論, No.533/II-34, pp.107-126, 1996. 4) 江藤他, 水工学論文集, Vol.40, pp.1051-1508, 1996. 5) K.Takehara, et.al., Exp. in Fluids, Suppl., pp.S34-S41, 2000. 6) 江藤, テレビジョン学会誌, Vol.46, No.5, pp.543-545, 1992. 7) T.G. Etoh, 8) 角野他, 土論, No.656/II-52, pp.269-287, 2000. 9) 鳥羽, 海と空, 第41巻, 第3,4合併号, pp.71-117, 1966. 10) Day, J.A., Quant.J.Ray.Met.Soc, 90, pp.72-78, 1964. 11) Newitt, D.M. et.al., Trans Instn Chem.Engrs, Vol.32, pp.244-261, 1954. 12) 江藤, 学術の動向, 1999.3.



(a)直径約 20mm



(b)直径約 2mm

Fig.2 気泡の破裂
(4,500 枚/秒のカメラで撮影)

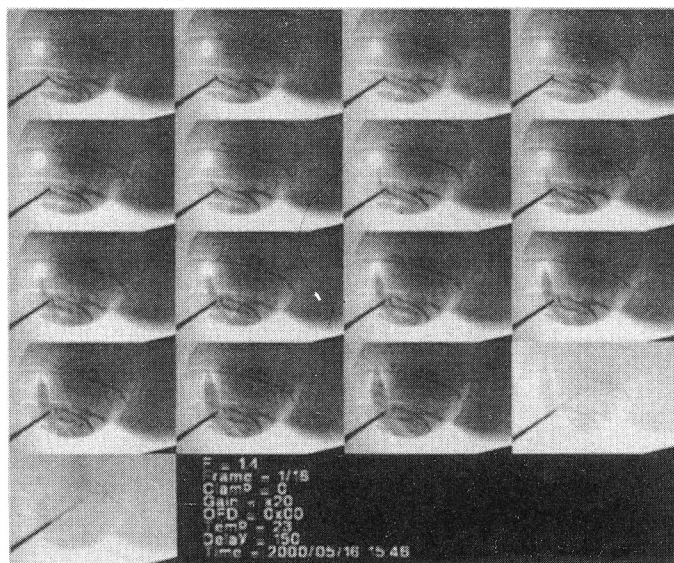


Fig.3 風船の割れる瞬間(100 万枚/秒のカメラで撮影)