

## 微小空間の超スローモーション立体観察カメラの開発

報告者	理工学部機械工学科	教授	青山 邑里
共同研究者	理工学部社会環境工学科	教授	江藤 剛治
	理工学部電気電子工学科	教授	神戸 尚志
	理工学部社会環境工学科	助教授	竹原 幸生
	理工学部社会環境工学科	講師	沖中 知雄
	村田機械株式会社		竹内 秀年

### 1. 背景

撚糸加工は非常に高速な現象（亜音速域，約 200m/sec）であり，しかも高速運動する危険な機械系内部の，微小な領域（内径数 mm）で行われる。紡績機械における撚糸現象の詳細な可視化計測が可能となれば，革新的な撚糸部の設計ができる可能性がある。しかし，通常の顕微鏡や高速ビデオカメラでは，実際の紡績機械内部を可視化計測するのは困難である。

近畿大学では，2001 年に 1 秒間に 100 万枚の速度で撮影できる世界最高速の高速ビデオカメラを開発している。開発された高速ビデオカメラを用いて色々な分野に適用されはじめ，これまで観察できなかった現象のいくつかが報告され始めている。本研究では，この高速ビデオカメラを用いて，実際の紡績機械内部の撚糸現象を詳細に計測できる技術の開発を行う。

本研究の成果は，紡績機械ばかりでなく，これまで観察できなかった種々のマイクロ・スケールの高速現象，例えば高速回転体（ハードディスク等）やそれに付随する高速流れによって生じる境界層の構造や乱れ，微細切削加工時に生じる様々な高速現象等を立体的に超スローモーションで，その場で観察することが可能になる。東大阪地域を中心とする産学が連携した「ものづくり」に多大な貢献をすることは言うまでもない。

### 2. 目的

まず，近畿大学で開発した超高速ビデオカメラを用いて，実際の紡績機械内部の微小領域を高速撮影するための光学系を開発する。図-1 に紡績機械の撚糸加工部の概略図を示す。綿花の繊維がスピンドル外辺部に巻きつくように回転しながら，スピンドルの先端部分から撚られて取り込まれていると予想されている。撚糸現象に関しては，これまで実際に観測するのは困難であり，撚られた糸や他の外部からの計測により推定するしかなかった。

今回は超高速ビデオカメラの解像度に対応した極細のファイバースコープを試作し，紡績機械の撚糸加工部極近傍までファイバーを導入できるように紡績機械を改良する。図-2

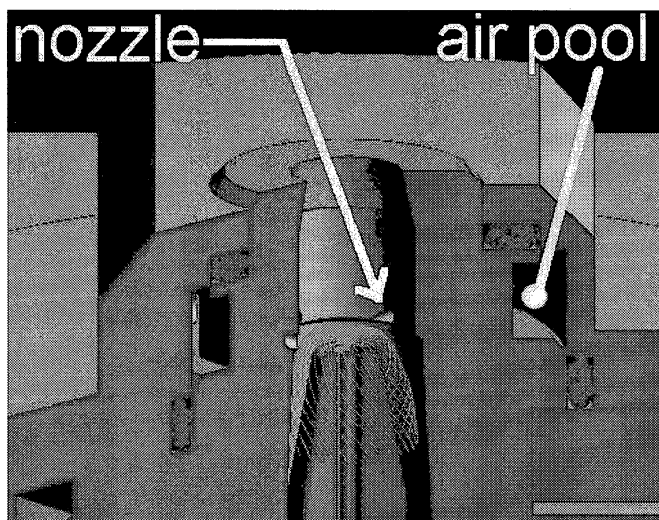


図-1 紡績機械における撚糸加工部の概略図

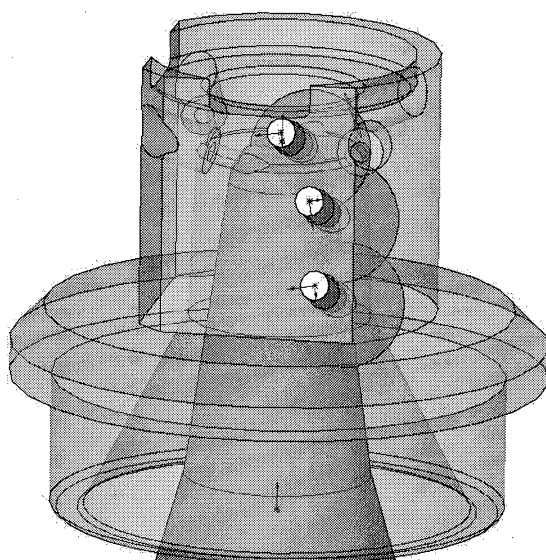


図-2 ファイバースコープ導入部

にファイバースコープ導入部を示す。また、紡績実機内部の微小領域照明のために照明用レーザー光を導入するためのファイバーも試作する。

さらに、3次元可視化のためにステレオ画像法のためのファイバースコープを開発する。超高速ビデオカメラ用撮像素子 ISIS (*In-situ Storage Image Sensor*) に、2本のファイバニグラスの一端を機械的、もしくは光学的に拡大したものを直接接合する。他端を機械系の内部の微細な観察領域に挿入する。したがって各1枚の画面中に、同期が完全に取れた2つの画像が記録される。

2つの光学系の光軸を、ポストデジタル処理により再生画面上で擬似的に一致させる。これを通常の画像処理エンジンで処理すると多大な時間がかかる。専用並列処理エンジン

を開発し、撮影後、直ちに立体動画観察できるシステムを開発する。

### 3. 研究組織

#### [近畿大学]

研究代表者	機 械 工 学 科・教 授・青山 昌 里	研究総括
共同研究者	社会環境工学科・教 授・江藤 剛 治	高速ビデオカメラの開発
共同研究者	電気電子工学科・教 授・神戸 尚 志	画像処理ソフトのハード化
共同研究者	社会環境工学科・助 教 授・竹原 幸 生	ファイバースコープの開発
共同研究者	社会環境工学科・講 師・沖中 知 雄	画像処理アルゴリズムの開発

#### [学外]

共同研究者	村田機械株式会社	竹内 秀 年	可視化実験, 数値シミュレーション
-------	----------	--------	-------------------

### 4. 研究方法

写真-1 に実験風景を示す。高速ビデオカメラ先端部分にファイバースコープアダプターを装着する。今回試作したファイバースコープは、直径 0.8mm、解像度の 12,000 本で、観察深度 2~3mm、視野角 70° であった。ファイバースコープの対物レンズ部は、紡績実機の撚糸加工部に達する孔が設けてあり、その孔に挿入する。図-3 に今回試作した高速ビデオカメラとファイバースコープのアダプター部の詳細図を示す。ファイバースコープの接眼

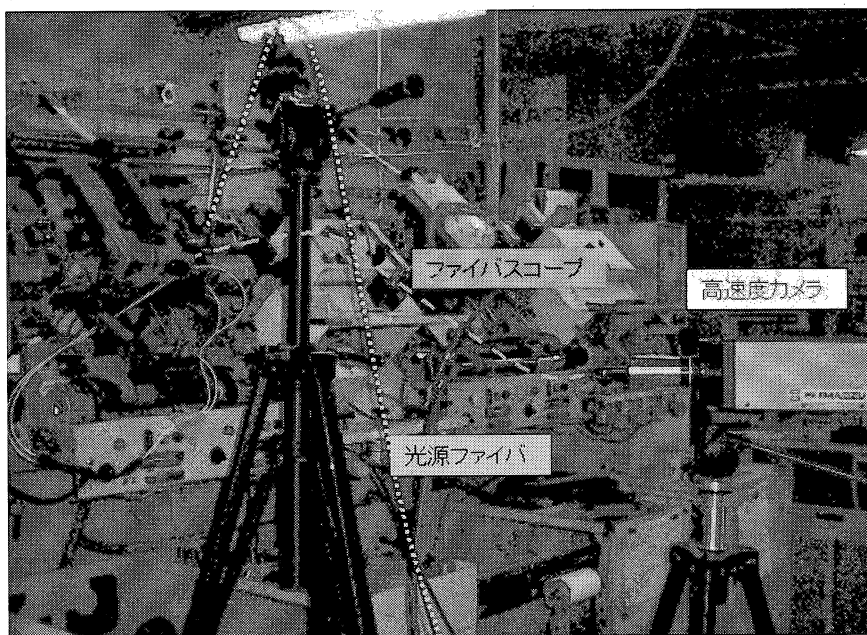


写真-1 実験風景

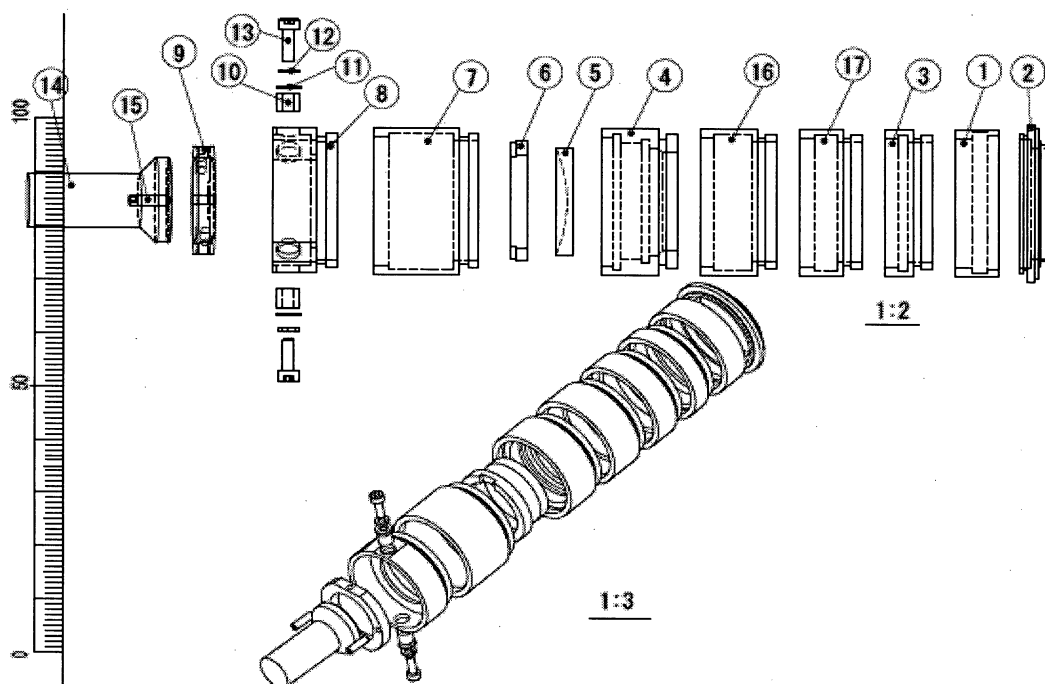


図-3 高速ビデオカメラとファイバースコープのアダプター部の詳細図

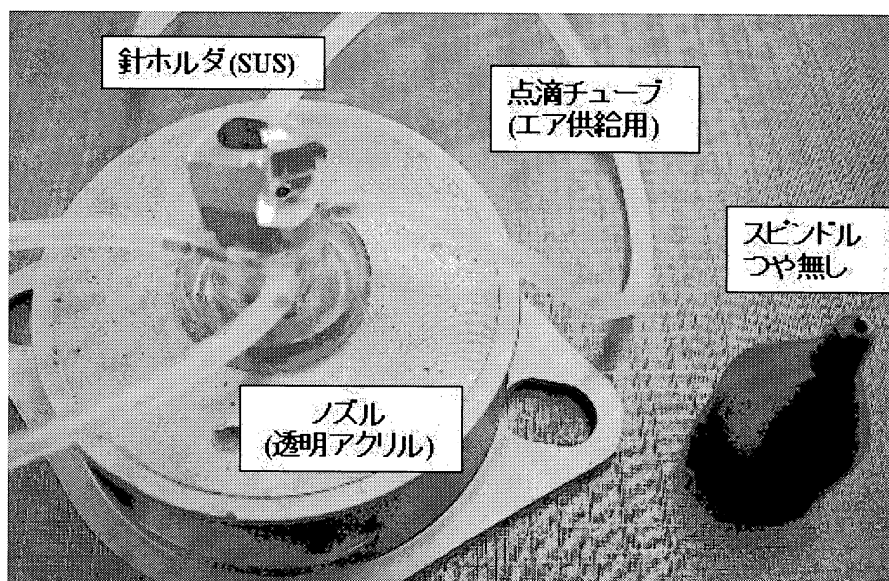


写真-2 実験に用いた燃糸加工部

部 (14)(15) からの像を、高速ビデオカメラの撮像素子上で光学的に結ぶように設計されている。

ファイバースコープを用いた高速撮影では、光学的なロスが生じるため、照明の光量が問題となる。照明には、5W 連続光 YAG レーザー (532 nm) を用いた。レーザー光はファイバーを通して撮影する燃糸加工部に直接照射する。

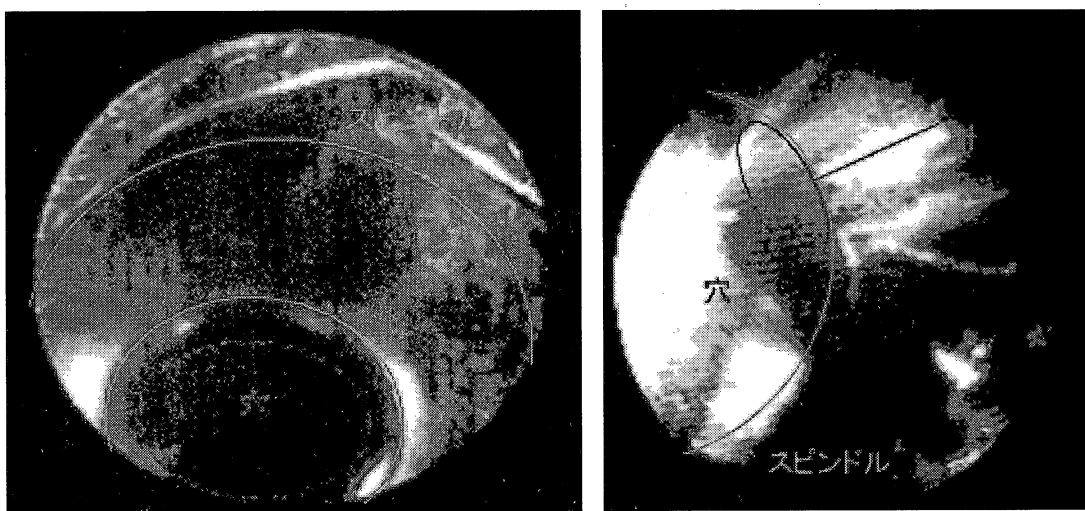
写真-2 に実験に用いた燃糸加工部の写真を示す。スピンドル部は可視化を容易にするために、つや消し黒色に塗装した。また、外部からの照明も可能なように燃糸加工部のノズルは透明アクリルで加工した。

## 5. 研究成果

近畿大学が開発した 100 万枚/秒の高速ビデオカメラに接合したファイバースコープと、照明用レーザー導光ファイバースコープを撚糸部に導くことにより、暗い背景の中で回転する白い糸状のものを撮影することができた。撮影速度は 20 万枚/秒であった。

写真-2 に撮影例を示す。写真-2(a)はスピンドル上方から、写真-2(b)はスピンドル側方から撮影した画像である。写真-2(a)より、スピンドル周辺に繊維が回転しているのが撮影された。写真-2(b)より、スピンドル先端の孔周辺の繊維の動きを観察することができた。これらの画像から繊維の回転速度等の情報等を計測できる。今後の紡績機械の開発に非常に有益な情報になると考えられる。

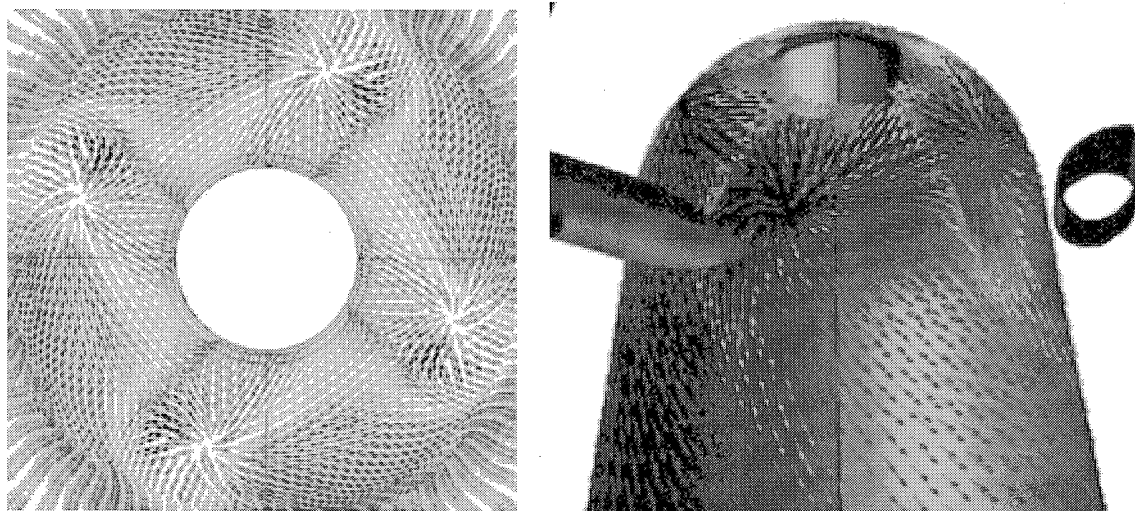
実際の紡績機械内部の高速ビデオカメラによる可視化計測と同時に、撚糸加工部の空気流の数値計算を行った。数値シミュレーション結果の 1 例を図-4 に示す。今回の撚糸加工ではスピンドルの側方に 4 方向から高速気流を噴流として流し込み、スピンドル頂点を中心とした旋回流を生じさせる。旋回流中に沿って繊維が撚られることにより、糸が形成される。図-4(a)より、スピンドル周辺部の旋回流の発生状況が分かる。また、図-4(b)より、スピンドルに沿った流れ場が分かる。このような数値計算結果と高速ビデオカメラによる計測結果との比較・検討を行うことにより、実際の流れ場の推定を行うことができる。また、撚糸加工部の改良を行う場合、数値計算により、予め改良案を絞り込むことが望まれるが、数値計算によって得られる結果が実際現象と乖離する場合が多いため、効率的に行うことが困難である。高速ビデオカメラの計測結果を基に、数値計算モデルを改良することができ、より効率的な機械の開発が可能となる。



(a) スピンドル上方からの撮影

(b) スピンドル側方からの撮影

写真-2 撮影例



(a) 水平断面内の気流

(b) スピンドル上の気流の計算例

図-4 撚糸加工部周辺の気流の数値計算結果の1例

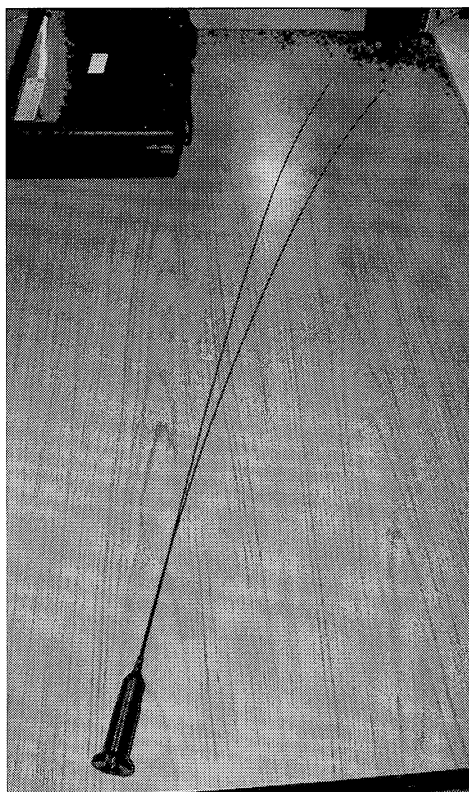
## 6. 今後の展開

紡績機械を具体的なターゲットとして、実機内部の微小領域内高速撮影技術の開発を行ってきた。近畿大学で開発した1秒間に100万枚撮影可能な高速ビデオカメラを用いて、ファイバースコープと組み合わせることにより、紡績機械実機内の高速撮影を可能とした。高速撮影により、これまで観察できなかった、撚糸加工部の現象の可視化ができた。

さらに、現象を理解するために、立体観察が可能な計測技術を開発する。立体可視化計測のためのファイバースコープの試作を行った。図-5に今回開発した立体可視化計測用のファイバースコープを示す。2本のファイバースコープを接眼部で近接させている。つまり、接眼部では2つのファイバースコープの画像が並んで見ることができる。ファイバーの長さは1本当たり1.0mで、外径は1.3mmである。また、1本当たりの解像度は30,000本であり、今回使う高速ビデオカメラ用CCD撮像素子に対して十分な解像度を持っている。視野角は $50^\circ$ 、観察深度は3.0~10.0mmである。

今後、この立体可視化計測用のファイバースコープを用いて以下のような技術の開発を行っていく。

- ・ 紡績機械実機の計測：初年度に開発した照明装置と3次元超高速ファイバースコープビデオカメラを用い紡績機械実機内の計測（江藤，竹内，シニアサイエンティスト）



(a) 立体可視化計測用ファイバースコープ

(b) 仕様表

外径	1.3 mm/1本
長さ	1.0 m/1本
解像度	30,000/1本
視野角	50度
観察深度	3.0~10.0 mm

図-5 今回試作した立体可視化計測用ファイバースコープ

- 3次元画像再構築のための並列処理エンジンの開発：初年度に開発したアルゴリズムのハード化（神戸，竹原）
- 3次元立体視のための3次元画像再構築アルゴリズムの開発（沖中）
- 3次元超高速ファイバースコープビデオカメラによるノズル部に発生するキャビテーションの3次元高速計測（青山，シニアサイエンティスト）
- 3次元超高速ファイバースコープビデオカメラによるファン整流翼付近の流動場の計測（竹原，シニアサイエンティスト）