

## 解 説

## 学術貢献賞を受賞して（油圧と可視化技術）\*

築地 徹浩\*\*

\* 平成 29 年 6 月 17 日原稿受付

\*\*上智大学理工学部，〒102-8554 東京都千代田区紀尾井町 7-1

## 1. はじめに

この度は、学術貢献賞という名誉ある賞をいただき、大変光栄に思っている。これまでに、日本フルードパワーシステム学会に学術的な貢献がどれほどできたかという、それほどできていないという気がするが、約 40 年前から学会の諸先般方や皆様方のお蔭で、私の研究活動を進めることができ、その結果今回の受賞につながったのではと学会の皆様への感謝の念でいっぱいである。今回、学術貢献賞をいただくことを機会に、これまでの自分の研究生活を振り返り、執筆させていただくことにする。

## 2. 油圧の道を歩む

約 30 年前の油圧と空気圧，第 19 巻，第 1 号に「油圧の道を歩む」という題目で随想を書かせていただいた。今この学会誌を手にとって原稿を読み、その頃を振り返ってみると、航空技術研究所（現在、独立行政法人宇宙航空研究開発機構（JAXA））での卒業研究，大学院生時代，小松製作所小山工場エンジン開発センターでの研究生活，米国 Wisconsin 州立大学 Madison 校での在外研究などがなつかしく思い出される。本稿では、学術貢献賞をいただいたことに対する感謝の意味を込めこれまでの研究生活を振り返ってみたい。ここでは、特に、可視化技術を用いた油圧に関する研究について述べる。

## 3. 可視化技術を用いたこれまでの主な研究

## 3.1 スプール弁内の流れ解析

学位論文のテーマであったこともあり、スプール弁内の流れ解析に関する研究から始めた。当時は、スプール弁のケーシングを透明なアクリル樹脂で製作し内部の油の流れの観察を容易にした。スチールカメラでの撮影であり、撮影実験後の画像処理技術も進んでおらず、数値流体力学も層流計算程度で、乱流現象の解明や乱流数値解法の開発が当時の流体力学の研究の対象になっていた。まず、スチールカメラで撮影した研究の初期段階での可視化の結果の一例を紹介する。スプール弁の二次元モデルを用いた弁開度 1mm の時の噴流の様子を図 1 に示す<sup>1)</sup>。レイノルズ数は、紙面に垂直方向単位幅あたりの流量を動粘度で割ったもので 335.2 である。作動油は、ダフニ・ハイドロリックフルイド #32 であり、白く見えるものが油中の気泡である。実験撮影後は、暗室に入り自分で現像をしていた。自分でフォートランを用いて流れの解析も行った。このころの講演論文はワープロでなく手書きであり関連研究の発表も行った。これらの結果も含んで大学院博士後期課程で行った研究を基に、「スプール弁絞りからの噴流に関する研究」という題目で平成元年度、日本機械学会賞奨励賞を 1990 年 4 月 1 日にいただいた。

現在、この研究は継続され、実際に使用されている弁内の三次元乱流解析が行われている。例として、 $k-\epsilon$  乱流モデルを用いた弁開度 0.5mm の時の弁内部の流れの速度ベクトル分布を図 2 に示す<sup>2)</sup>。現在、この種の研究も市販のプログラムパッケージで多少の時間は要するがパソコンレベルで可能になっている。

3.2 ボール弁の可視化解析<sup>3)</sup>

つぎに形状が非常に単純なボール弁内の可視化に関して述べる。弁内部のボールやバネの動きを可視化するために、X線を用いてそれらの動きを透過撮影した。ボールの動きを見やすくするためにボールサポートは樹脂で製作されており X線は透過する。X線はボール弁を透過して、イメージインテンシファイヤにあたる。そこでの画像が増感されたものがスクリーンにでき、その画像を高速度ビデオカメラで撮影した。また、

デジタルビデオカメラでも撮影した。結果の一例として、上流圧力が 9MPa の時の可視化結果を図 3 に示す。左側の図は通常のデジタルビデオカメラ（取り込み間隔 1/30sec）で撮影した画像である。ピー音と言われているキャビテーション音を発してボールは振動し内部のボールは確認できない。右図は、高速度カメラを用いて X 線撮影をした一コマである。バネとボールの輪郭が鮮明に捉えられている。画像より、ボール、ボールサポートおよびバネが連動してほぼ軸と垂直方向（横方向方向）に振動している様子がわかった。キャビテーション気泡も周期的に発生していた。この研究で、2005 年度（財）油空圧機器技術振興財団顕彰を 2006 年 5 月 26 日に受賞した。

### 3.3 アキシアルピストンポンプ内の流れ解析<sup>4)</sup>

アキシアルピストンポンプ内のノッチからの噴流の流れ解析を行った。代表的な例として、可視化実験と CFD シミュレーションにおいて、5MPa, 300rpm の場合の噴流キャビテーションの発生の様子を図 4 に示す。ピストン軸と垂直方向からの流れを撮影した結果を CFD 結果とともに示している。撮影速度は 4500FPS (0.0002sec 間隔) であり、ノッチ円弧の半径が 32.5 mm であるから、600rpm 時のノッチ開度で $\pm 0.23\text{mm}$  の誤差がある。図の左側が実験結果であり、黄色に光っている雲のような部分がキャビテーション気泡である。気泡の可視化を容易にするため油を多少着色しているため鮮明に高速度撮影されている。ノッチ開度が 0.68mm から 2.50mm の間の各ノッチ開度における撮影結果である。対応する CFD により得られた噴流の中心断面での気泡含有率を図の右側に示している。実験結果の画像より、ノッチ開度が 0.68mm から 1.13mm の間は、キャビテーション噴流が弁板に対して約 20 度程度の角度を持って流入しているが、ノッチ開度が 1.59mm 付近から弁板に付着してノッチ開度が 2.04mm から 2.5mm 付近でシリンダポート壁面に衝突する様子がわかる。この現象を CFD 結果の気泡含有率の分布はよく表している。ノッチ開度が 3.4mm の時に吸い込みポートが閉じるため、気泡含有率が 3~10% の気泡がシリンダポート壁面に衝突していることが予想される。高速度撮影時の光の当て方により、キャビテーション気泡の見え方が微妙に変わることもあり、実験結果の画像から気泡含有率を推定することは容易でなかった。以上のように、実際の作動状態でのアキシアルピストンポンプ内のノッチ付近でのキャビテーション噴流の状態が、実験的な可視化技術と CFD 技術により捉えられており、CFD の解析精度が現在かなりの程度まで向上していることがわかる。本研究は、平成 23 年度、一般社団法人日本フルードパワーシステム学会の学術論文賞を受賞した。

## 4. おわりに

自分の研究生活の一部を振り返り、思い出の残るいくつかの可視化技術を用いた研究を紹介させていただいた。油圧回路に例えるならば、約 30 年前の油圧と空気圧に「油圧の道を歩む」という題目で随想を書かせていただいた頃は、タンクを出たところであったが、現在、何とか負荷を動かし仕事をしてタンクへ戻るところであろうか、あるいは、別の負荷を動かすところであろうか、何はともあれひと段落しつつ、つぎの目標を定めて勢い込まず一歩前へ進みたい。

## 参考文献

- 1) 築地徹浩, 高橋浩爾: スプール弁絞りからの噴流, 流れの可視化, Vol.4, Suppl., p.7-10 (1984)
- 2) 今井貴之: 上智大学 2016 年度修士論文, p.50 (2017)
- 3) 築地徹浩, 松本学, 佐倉青蔵, 永田精一, 吉田太志: 可視化技術を用いた油圧用ボール弁の改良, 日本フルードパワーシステム学会論文集, 第 35 巻, 第 6 号, (2004 年 11 月) p.103-108.
- 4) 築地徹浩, 高瀬拓也, 野口恵伸: アキシアルピストンポンプ内のノッチからのキャビテーション噴流の可視化解析, 日本フルードパワーシステム学会論文集, 第 42 第 1 号, p.7-12, 2011 年 1 月号

著者紹介



つきじ てつひろ

築地 徹浩君

1983 年上智大学大学院理工学研究科博士後期課程修了。同大学助手，足利工業大学助教授，教授を経て，1999 年上智大学工学部教授，現在に至る。油圧工学，流体工学の研究に従事。日本フルードパワーシステム学会，日本機械学会などの会員。工学博士。

E-mail: t-tukiji@sophia.ac.jp

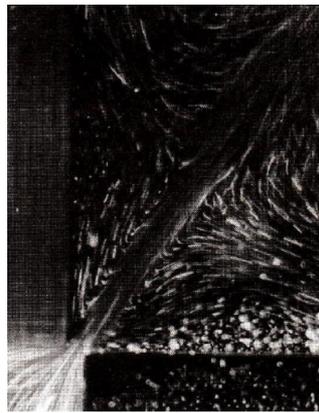


図1 スプール弁絞りからの二次元噴流

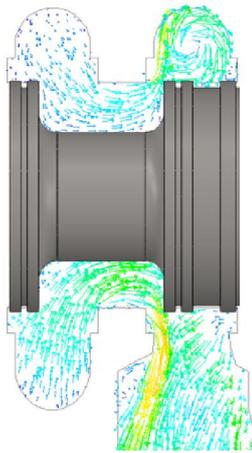


図2 スプール弁内の三次元乱流解析（開度 1.5mm, 150L/min）

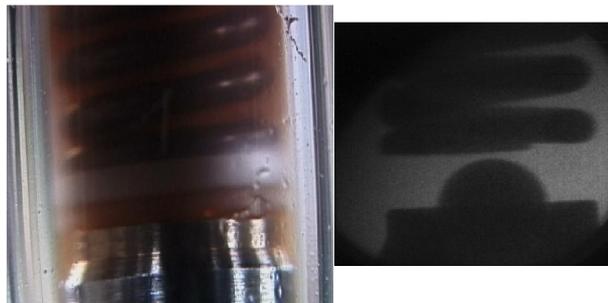


図3 ボール弁内部の様子

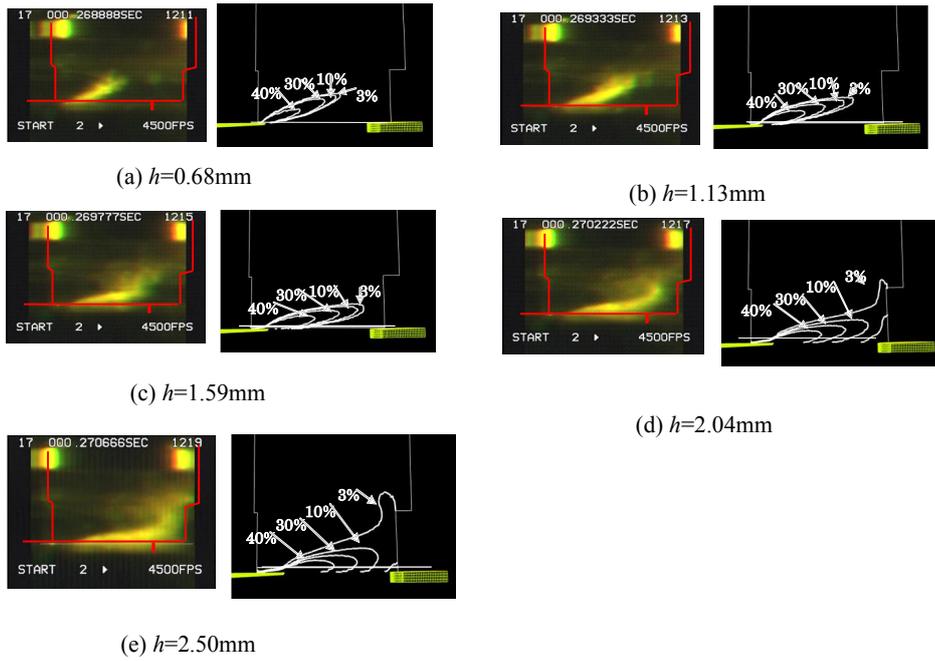


図4 アキシナルピストンポンプ内の可視化結果(5MPa, 300rpm)