

平成 22 年 4 月 1 日現在

研究種目：若手研究（スタートアップ）  
 研究期間：2008 ～ 2009  
 課題番号：20860051  
 研究課題名（和文） デジタルホログラフィック P I V による流体と構造体の 3 次元連成運動の計測法開発  
 研究課題名（英文） Measurement of three-dimensional flow-induced vibration by holographic Particle-Image Velocimetry  
 研究代表者  
 田中 洋介（TANAKA YOUSUKE）  
 京都工芸繊維大学・工芸科学研究科・助教  
 研究者番号：80509521

## 研究成果の概要（和文）：

本研究では、デジタルホログラフィック PIV を用いて、3次元速度場だけではなく同時に構造体の3次元変形の計測を行うことで、流体と構造体の3次元連成運動の計測を可能とする計測法の開発を行った。得られた成果は、(1) 構造体の3次元応力場計測法、(2) 複雑境界周りの3次元速度場の計測法、(3) 流体と構造体の3次元連成運動の計測法、以上の3つの計測法を確立したことである。

## 研究成果の概要（英文）：

In this study, we observe a three-dimensional flow-induced vibration by holographic Particle-Image Velocimetry (PIV). The main results are (1) Measurement method for a three-dimensional stress field, (2) Measurement method for a three-dimensional velocity field around a complex boundary and (3) Measurement method for a three-dimensional flow-induced vibration.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	690,000	207,000	897,000
2009年度	780,000	234,000	1,014,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,470,000	441,000	1,911,000

## 研究分野：計測システム工学

科研費の分科・細目：機械工学・流体力学

キーワード：(1) 3次元連成解析 (2) HDPIV (3) ホログラム (4) ホログラフィ  
 (5) 粒子計測 (6) 3次元応力場計測 (7) 3次元速度場計測 (8) RPモデル

## 1. 研究開始当初の背景

数値流体力学 (CFD: Computational Fluid Dynamics) において、複雑境界周りの流れ、

3次元連成運動などの計算モデルの妥当性を検証するために、実験データとの比較が求められている。しかし、実験流体力学 (EFD:

Experimental Fluid Dynamics) では、3次元速度場計測がようやく可能となったところであり、計算モデルの妥当性の検証に使用できるまでには至っていない。

実験流体力学では、熱線流速計 (Hot wire) やレーザードップラー流速計 (LDV) に代表される1点計測から発展し、デジタルカメラの普及と共に2次元粒子画像計測法 (2DPIV) に代表される2次元速度場の計測が、工業・研究分野で一般化している。3次元速度場は、ホログラフィを利用したデジタルホログラフィック PIV (DHPIV) の研究が進んでいる。しかしながら、流体と構造体との3次元連成解析は未だなされてはいない。

## 2. 研究の目的

本研究室で開発したデジタルホログラフィック PIV を用いて、(1) 構造体の3次元応力場計測法と(2) 複雑境界周りの3次元速度場の計測法を個別に開発する。これら2つを合わせることで、本研究の目的である(3) 流体と構造体の3次元連成運動の計測法を開発する。

## 3. 研究の方法

ホログラムパターンを記録する光学装置を用いて、測定対象内部に分散する粒子を計測する。3次元記録が可能なホログラフィ法を用いて、粒子の3次元位置を記録・再生する。

### (1) 構造体の3次元応力場計測法

3次元変形の測定対象として、解析的に変位が求まるはりを屈折率マッチングで調整した溶液を満たす水槽に設置した。はりは、トレーサー粒子を埋め込んだ透明アクリル樹脂で作成した。3次元応力場の測定は、本研究室で開発したデジタルホログラフィック PTV を用いた。屈折率マッチングには、水槽内の流体としてヨウ化カリウム溶液を用いた。

### (2) 複雑境界周りの3次元速度場の計測法

複雑境界周りの3次元速度場の測定対象として、円管内部に粒子を充填した充填層を計測した。流体はマッチング液を用いて、トレーサー粒子を混入した。充填層内部の観測領域では、マッチング液と屈折率が同じアクリル球を用いた。3次元速度場の測定は、本研究室で開発したデジタルホログラフィック PTV を用いた。

### (3) 流体と構造体の3次元連成運動の計測法

流体と構造体の3次元連成運動の測定対象は、円管内部の長さ方向に垂直に円柱を設置して、その連成運動を計測した。流体はマッチング液を用いて、トレーサー粒子を混入し

た。円柱には、マッチング液と屈折率が同じアクリル材を用いて、内部にトレーサー粒子を用いた。3次元連成場の測定は、本研究室で開発したデジタルホログラフィック PTV を用いた。

## 4. 研究成果

本研究では、(1) 構造体の3次元応力場計測法、(2) 複雑境界周りの3次元速度場の計測法、(3) 流体と構造体の3次元連成運動の計測法の3つの計測法が確立できた。以下に詳細を示す。

### (1) 構造体の3次元応力場

従来の3次元応力場計測は、3次元光弾性を用いて行われてきた。しかし、静荷重の場合に計測が限定され、3次元応力場を得るために、構造体を機械的にスライスする必要がある、さまざまな条件で実験することが困難であった。本研究では、構造体内部に微小な粒子を一様に分散させ、構造体を機械的にスライスすることなしに3次元応力場計測が可能となった。さらに、静荷重だけでなく、動加重の場合も計測が可能となった。

(2)、(3)の準備として、計測システムの基礎を確立することができた。図1に示すような透明アクリル樹脂製に微小粒子を分散させた RP モデルを作成した。

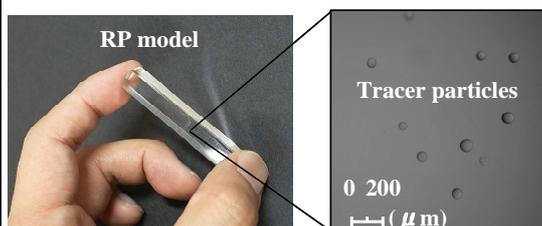


図1 RPモデルと内部分散する粒子

また、トレーサー粒子のホログラムパターンを撮影するために、図2に示すインラインホログラフィの光学装置を作成した。

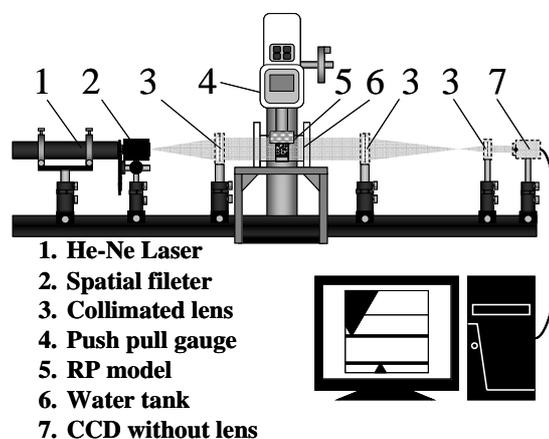


図2 ホログラムパターン記録光学装置

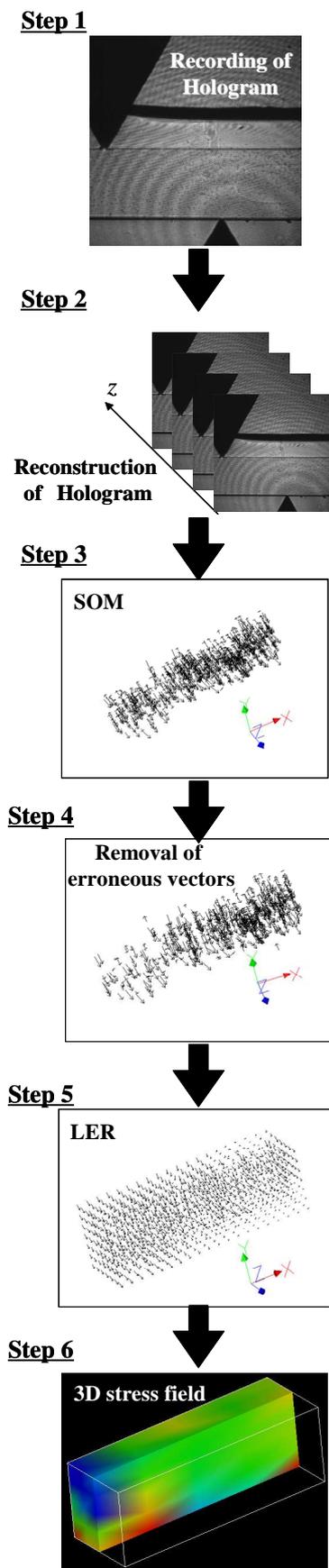


図3 3次元変位場から3次元応力場を得る手順

光学系で得られたホログラムパターンから、3次元応力場を得るには、図3に示すように6段階の処理が必要になる。

今後さらに(1)を一般化するには、用いたデジタルホログラフィの計測精度向上が必要である。すでに幾つかの改善策が提案されているので、解決可能な課題と認識している。

(2) 複雑境界周りの3次元速度場の計測法

従来の複雑境界周りの3次元速度場計測は、複数のカメラを用いたステレオ法を用いて行われてきた。しかし、カメラの設置やレンズ歪みの校正が難しく、計測には十分な経験が必要である。本研究では、レンズをマウントしないカメラ1台のみの計測で、3次元速度場計測が可能となった。

(3)の準備として、3次元速度場計測法の基礎を確立することができた。さらに(2)を一般化するには、デジタルホログラフィ再生

(図3のStep2)の計算時間の高速化が必要である。

(3) 流体と構造体の3次元連成運動の計測法

従来の流体と構造体の3次元連成運動計測は、流体運動は3次元で計測し、構造体は3次元で計測されることはなかった。本研究では、(1)と(2)の結果を組み合わせることで、流体と構造体の3次元連成運動計測が可能となった。(3)を一般化するには、流体と構造体それぞれのデータが膨大となるため、一度に処理が出来るシステムが必要である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

1. “Calibration of particle position on digital holography using transparent resin block with dispersed particles”, Yohsuke Tanaka, Tatsuya Yoshino, Daisuke Harada and Shigeru Murata, Journal of Physics: Conference Series, Vol.147, 012088, 2009. (査読有)

[学会発表] (計5件)

1. “Deflection measurement of a cantilever beam with dynamic load by using Holographic Particle-Tracking Velocimetry”, Yohsuke Tanaka (発表者) and Shigeru Murata, International Conference on Precision Instrumentation and Measurement, A047, Kiryu, Gunma, Japan, March 18, 2010, The Institute of Electrical Engineers of Japan. (査読有)

2. “Development of Three-Dimensional Stress Analysis of Rapid Prototyping Model using Digital Holography and Index Matching”, Yohsuke Tanaka (発表者) and Shigeru Murata, 4th International Symposium on Advanced Fluid/Solid Science and Technology in Experimental Mechanics, 0-III-1, Niigata, Japan, November 30, 2009, The Japanese Society for Experimental Mechanics. (査読有)

3. “デジタルホログラフィと屈折率マッチングを用いた構造体の3次元変位計測”, 田中洋介 (発表者), 吉野達也, 原田大輔、村田滋, 2009年度年次大会, 岩手, 9月16日, 2009, 日本機械学会. (査読無)

4. “デジタルホログラフィック PIV による構造体の3次元変位計測”, 吉野達也 (発表者), 田中洋介, 原田大輔、村田滋, 日本機械学会関西支部 2008年度関西学生会学生員卒業研究講演会, , 大阪, 3月15日, 2009, 日本機械学会. (査読無)

5. “Evaluation of the accuracy of digital holography in particle measurement using particles dispersed in a transparent resin block”, Yohsuke Tanaka (発表者), Tatsuya Yoshino, Daisuke Harada and Shigeru Murata, The 6th International Symposium on Measurement Techniques for Multiphase Flows, 89, Naha, Okinawa, Japan, December 17, 2008, The Japanese Society for Multiphase Flow. (査読有)

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: 応力計測装置及び応力計測方法

発明者: 田中洋介

権利者: 京都工芸繊維大学

種類: 特許権

番号: 特願 009-270501 号

出願年月日: 2009年11月27日

国内外の別: 国内

[その他]

ホームページ等

<http://www.measlab.kit.ac.jp/y-tanaka.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

田中 洋介 (TANAKA YOUSUKE)

京都工芸繊維大学・工芸科学研究科・助教

研究者番号: 80509521

(2) 研究分担者  
( )

研究者番号:

(3) 連携研究者  
( )

研究者番号: