

タイトル：実験風洞とスパコンを一体化したハイブリッド風洞の開発

担当分野：超実時間医療工学研究分野

1. 研究目的

流れの実現象を正確に再現することは、気象予測、高度医療、大規模プラントの安全管理等、様々な分野において重要な課題である。流れ場の情報を得るための実験計測と数値解析は、それぞれ長所と短所があり、単独では実際の流れ場において正確な状態量を全領域で得ることは困難である。そこで本研究では、この問題を解決するため、実験計測と数値解析を一体化した新しい解析手法として、風洞実験による実験計測とコンピュータによる数値解析を一体化し、実際の流れの状態量を再現するハイブリッド風洞を開発することを目的とする。

2. 研究成果の内容

ハイブリッド風洞の原理は、制御理論のオブザーバの理論を流れの数値シミュレーションに応用したもので、実験計測と数値解析により得られた状態量の差から得られるフィードバック信号を数値解析モデルに加えることで、数値解析解を実際の流れに収束させる。

本研究では、風洞中に設置した角柱後流に発生するカルマン渦列を対象として研究を行った(図1)。本手法によれば、角柱表面の3点の圧力の計測結果を数値解析にフィードバックすることにより、従来の数値シミュレーションでは困難であった実際の流れ場の正確な再現を、きわめて低い計算負荷で実現できる(図2)。これまで流れ場中の圧力分布を正確に再現することは困難な問題であったが、本手法によれば、リアルタイムで圧力場を再現することができる(図3)。また、3次元解析にも適用できる(図4)。

ハイブリッド風洞は、流れ場の計測と数値シミュレーションを一体化した新しい解析システムである。本システムは、PIV等の他の計測手法にも応用可能である。今後、ハイブリッド風洞による複雑な物体周りの流れ解析への応用が期待されている。

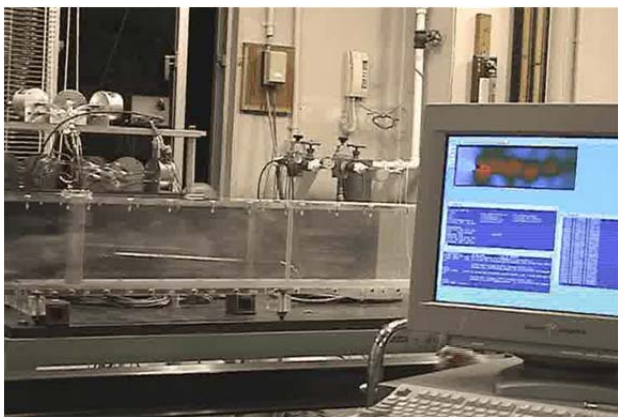


図1 ハイブリッド風洞システム

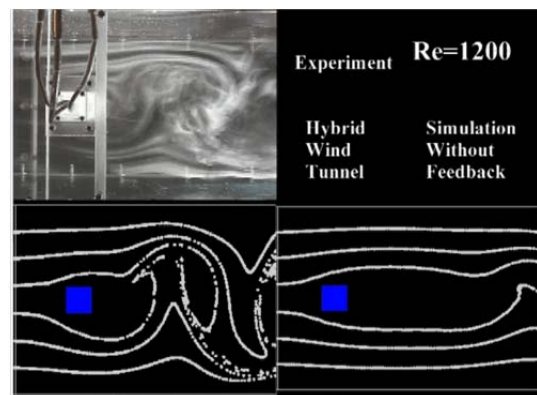


図2 カルマン渦の再現 (左上：実験、左下：ハイブリッド風洞、右下：通常の数値解析)

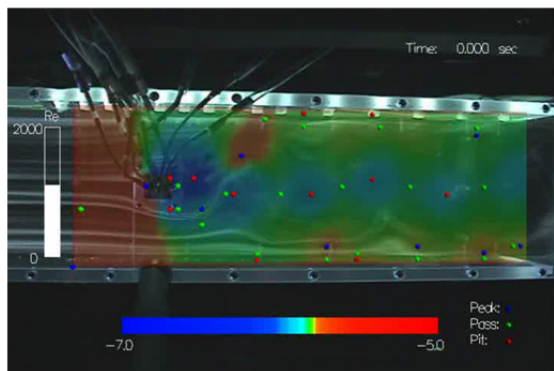


図3 圧力分布の解析結果と煙による可視化
実験結果の比較

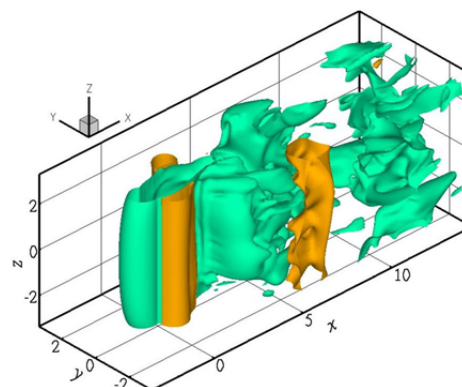


図4 ハイブリッド風洞による3次元解析結果
(主流速度の等値面)

研究成果

① 学術雑誌（査読付き国際会議，解説等を含む）

- 1) Keisuke Nisugi, Toshiyuki Hayase, and Atsushi Shirai, Fundamental Study of Hybrid Wind Tunnel Integrating Numerical Simulation and Experiment in Analysis of Flow Field, JSME International Journal, Ser. B, 47, 593-604 (2004).
- 2) Toshiyuki Hayase, Keisuke Nisugi, and Atsushi Shirai, Numerical Realization for Analysis of Real Flows by Integrating Computation and Measurement, International Journal for Numerical Methods in Fluids, 47, 543-559 (2005).
- 3) 早瀬 敏幸, 複雑な流れをリアルタイムで再現する計測融合シミュレーション技術, 原子力 eye, 51, 66-69 (2005).
- 4) 早瀬敏幸, 複雑な流れの圧力・速度のリアルタイム再現技術, 検査技術, 11, 12-16 (2006).
- 5) 早瀬敏幸, 計測とシミュレーションの融合による流れの実現象の再現, 日本応用数理学会誌, 16, 78-84 (2006).
- 6) 山縣貴幸, 柴田光, 早瀬敏幸, Kasper SMIT, ハイブリッド風洞による角柱後流のカルマン渦列の非定常圧力場の再現, 日本機械学会論文集 (B編), 74, 362-369 (2008).
- 7) 早瀬敏幸, 計測融合シミュレーションによる流れ解析, フルードパワーシステム, 39, 220-224 (2008).

② 国際会議・国内学会・研究会・口頭発表等

- 1) 早瀬敏幸, 計測と計算の融合による流れの実現象のリアルタイム再現技術 (基調講演), JSAE シンポジウム, 18-23 (2006).
- 2) Takayuki Yamagata, Hikaru Shibata, Toshiyuki Hayase, Atsushi Shirai, Yuriko Takeshima, Issei Fujishiro, Real-Time Analysis and Visualization of Karman Vortex Street Using Hybrid Wind Tunnel, Proceedings of The Third International Symposium on Transdisciplinary Fluid Integration, 47-48 (2006).
- 3) Takayuki Yamagata, Hikaru Shibata, Kasper Smit and Toshiyuki Hayase, Reproduction of a Real Flow with Karman Vortex Street by Integrating Flow Simulation and Pressure Measurement on an Obstacle, Proceedings of APCOM'07-EPMESC XI, CD-ROM, 1-9 (2007).

- 4) Takayuki Yamagata, Toshiyuki Hayase, Measurement-Integrated Simulation of Three-Dimensional Flow Behind a Square Cylinder Using Pressure Measurement on the Cylinder, BULLETIN OF THE AMERICAN PHYSICAL SOCIETY, 53, 36-37 (2008).
 - 5) Takayuki Yamagata, Toshiyuki Hayase, Reproduction of Three-Dimensional Flow with Karman Vortex Street by Integrating Flow Simulation and Pressure Measurement, Proceedings of Eighth International Symposium on Advanced Fluid Information and Transdisciplinary Fluid Integration, , 50-51 (2008).
 - 6) 早瀬敏幸, 複雑な実現象流れ場の計測融合リアルタイムシミュレーション (基調講演), 平成 21 年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, , 1-4 (2009).
- ③ その他 (特許, 受賞, マスコミ発表等)
- 1) 受賞
 - i. 日本機械学会流体力学部門フロンティア表彰, 早瀬敏幸 (2007 年 11 月 17 日)
 - ii. 計測自動制御学会学術奨励賞, 壁面圧力計測と流れのシミュレーションの融合による実流れの圧力場の再現, 山縣貴幸 (2008 年 2 月 21 日)
 - 2) マスコミ発表 :
 - i. ハイブリッド風洞を用いたカルマン渦の計測融合シミュレーションが ウオッチンミヤギにて紹介, 東北放送 (2005 年 1 月 25 日)
 - ii. 流れの圧力・速度リアルタイムに再現, 日刊工業新聞 (2005 年 3 月 16 日)

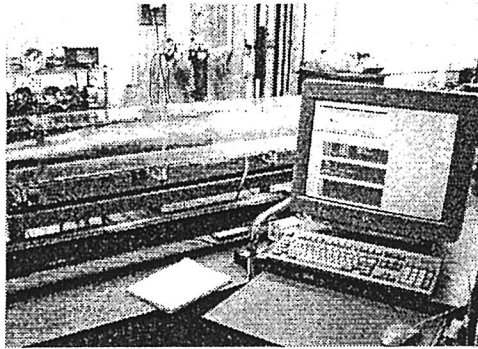
流れの圧力・速度 リアルタイムに再現

東北大 3点計測と解析融合

【仙台】東北大学流体力学研究所附属流体融合研究センターの早瀬敏幸教授らの研究グループは、流れの中に設置した少数のセンサー信号とコンピュータシミュレーションを融合し、複雑な流れの圧力や速度など流れ場中の任意の情報を画面上でリアルタイムで再現する新技術の実験に成功した。原子力発電所の配管の減肉予測、血管内の血液モニターなどへの応用を見込む。

原発配管や血管診断に応用

流れの圧力、速度を計測する際には、流線の中心で計算することはできず、複雑な流れの圧力、速度をリアルタイムで計算することは困難とされてきた。早瀬教授らは、計算精度が落ちない範囲内で高速化した計算プログラムと、計測器とコンピュータを同期させて動



開発したハイブリッド風洞システム

かす通信部分の工夫を行い、リアルタイム化を実現した。今回の実験では、アクリル製ダクトの中に四角柱を設置し、空気の流れを発生させた状態で、四角柱表面の3点の圧力センサーで測定。そのデータをコンピュータシミュレーション結果と比較して、その差があれば逐次計算を補正することにより、シミュレーション結果を実際の流れに一致させるハイブリッド風洞システムを開発した。時間的に変化する流れの中の圧力を非接触で計測することは従来の技術では難しかったが、物体表面の3点の圧力を計測することにより、物体周り1200点の圧力と速度の値をリアルタイムで得ることができた。

また流路の壁面に沿った圧力分布も流路壁面にセンサーを取り付けることなく計測することができ

る。応用分野としては、原子力発電所の配管の減肉予測による保守や、血管内の血流モニターによる医療診断などを期待している。

また流路の壁面に沿った圧力分布も流路壁面にセンサーを取り付けることなく計測することができ

る。応用分野としては、原子力発電所の配管の減肉予測による保守や、血管内の血流モニターによる医療診断などを期待している。