

推進技術開発センターでは全長 75 m 最高達成よどみ点エンタルピー 20 MJ/kg の能力を持つ自由ピストン極超音速衝撃波風洞が稼働し始めた⁽⁵⁾。この実験装置は、宇宙船の大気圏再突入の熱防御の設計ばかりでなくスクラムジェットエンジンの試験装置としても有効で、日本が本格的に宇宙利用をめざしていることを内外に示すものである。また、この装置は、精密な数値解析を土台に設計されて、ほぼ解析の通りの性能を発揮していることは特筆に値する。

文部省宇宙科学研究所では MUSES-C 計画で、2002 年に M-V ロケットを小惑星ネリウスに向けて打ち上げて、ネリウスの表面の岩石を採取して 2006 年に地球に帰還する準備を進めている⁽⁶⁾。この計画は、日本の独自の着想で、成功の暁には太陽系の起源の手がかりを得るなど宇宙物理学の成果が期待されている。

7.2.5

弱い衝撃波

衝撃波が減衰して音波に近づく過程を、衝撃波の動力学の見地から追求する研究は必ずしも多くない。弱い衝撃波の振る舞いは複雑で、構造の変化ばかりでなく反射形態は解析的な予測と一致しないことが知られている⁽⁷⁾。高速列車のトンネル突入で弱い衝撃波が形成され、それがトンネルの出口から放出されるとき不快なトンネル・ソニック・ブームとなることが知られ⁽⁸⁾、新幹線の高速化を妨げる原因の一つである。その防止対策の確立は重要な研究課題で、多孔壁と衝撃波の干渉⁽⁸⁾、乱流場と衝撃波の干渉⁽⁹⁾、振動緩和の影響、また、音波に近い弱い衝撃波の可視化など解明すべき問題点が多く残されている。

7.2.6

凝縮媒体中の衝撃波

液体や固体中の衝撃波現象は、非常に短時間であるが高速の流動現象を伴い、その効果は流動が消滅した後も持続されているので、凝縮媒体中の衝撃波の動力学的な記述はますます重要となっている。従来、物性研究の一部として認知されていたこの研究分野に、圧縮性流れの研究の成果をどのように反映させるかということが今後の重要な研究課題となっている。特に、凝縮媒体中の衝撃波の相似則、衝撃波と生体との相互作用、レーザープレーションの瞬間にあらわれる凝縮媒体中の衝撃波の伝ばなど注目すべき学際研究課題が多い。

7.2.7

まとめ

最近話題となっている、圧縮性流れおよび衝撃波現象に関する研究の一部を紹介した。さらに詳細は、国際および国内の衝撃波シンポジウム論文集、あるいは国際衝撃波ジャーナルなどを検索されることを希望する。

[高山 和喜 東北大学]

7.3

画像処理応用流体計測

流れの実験および数値解析技術の発展は、複雑流れ場の詳細な構造を明らかにし、次世代技術に結びつく多くの知見を与えている。なかでも、最近急速に発展してきた画像応用計測技術は、流れの実験解析における空間多次元、高時間分解能、高精度ならびに複数物理量の同時計測などの要求にこたえることのできる流体計測法として注目されている。その代表的なものに、PIV (Particle Image Velocimetry) による二次元または三次元速度場計測法があり、実用的システムが普及しつつある。温度場や密度場の計測法としては、LIF (Laser Induced Fluorescence) 法あるいはレーザスペckル法などがあり、速度場と温度場の同時計測には、LIF 法と PIV との組み合わせや、感温液晶マイクロカプセルを懸濁した流れ場の PIV 計測の例が報告されている。これらの計測法の発展を支えているのは、高解像度・高感度のビデオカメラ、スチールカメラ、高解像フィルムスキャナ、高速・超高速ビデオカメラなどの画像取得装置と、デジタル画像記録装置の普及、パーソナルユース計算機の高機能化、画像処理ソフトの充実などに加え、レーザ光源の普及などがある。高解像度 CCD 素子としては 10^6 画素のものが一般用で使用され始め、 10^8 画素のもの開発が進んでいる。また、 2588×3886 画素/フレームで解像度 2720 dpi のフィルムスキャナが廉価で入手できる。高速カメラでは、 256×256 ドットフルフレーム 4500 コマ/秒で 1.13 秒記録可能なビデオカメラが比較的入手しやすくなり、超高速カメラでは 1 億コマ/秒の速度で 8 コマまで記録できるものが市販されている。

このような状況の中、画像応用計測法に関する情報交換の場も増えており、画像応用計測が主要なトピックスの一つとなっている “International Symposium on Applications of Laser Techniques to Fluid Mechanics”, “International Symposium on Flow Visualization”, “Optical Methods and Data Processing in Heat and Fluid Flow”, “SPIE Conference on Optical Technology in Fluid, Thermal, and Combustion Flow”, “International Workshop on PIV”, その他いくつかの国際会議が定期的に開催されている。加えて、流体関連の国際会議の多くで画像応用計測に関するセッションが設けられ、きわめて活発な議論が続けられている。

ここでは主に速度場計測の最近の傾向について述べる。PIV に関してはすでいくつかの優れた解説記事に加えて書籍も刊行されているが、最近のものとしては Grant⁽¹⁰⁾ や Adrian⁽¹¹⁾ によるレビューや解説がある。PIV の手法開発の中心は対応づけアルゴリズムの開発であり多くの手法が提案されてきたが、最近ではとくに回転やひずみを伴う流れ場での誤対応付けを少なくするアルゴリズムが検討され、ニューラルネットワーク処理⁽¹²⁾、ばねモデル⁽¹³⁾、速度こう配テンソル法⁽¹⁴⁾、弛 (し)

緩法⁽¹⁵⁾などが提案されている。また、より高精度の対応づけや計測欠落部を補うことなどを目的として、数値解析とのハイブリッド処理法がいくつか提案されており⁽¹⁶⁾、今後の主要な傾向となるものと思われる。さらに、従来から提案されてきた多くのPIVアルゴリズムの特徴を抽出し、具体的計測適用時における手法の選択について適切な情報を与える標準化作業も進められている。

PIV法計測例の最近の特徴としては、混相流、流体機械内部流、高速流への適用などがある。固液混相流では分散粒子まわりの流れの計測例⁽¹⁷⁾が、気泡流では変形する気泡境界の影響を含む流れの計測例⁽¹⁸⁾が報告されている。流体機械内部流の例としては、ポンプ水車はね車内相対流れ⁽¹⁹⁾、多翼ファン翼間流れ⁽²⁰⁾、横流ファン内部流れ⁽²¹⁾、軸流圧縮機翼間流れ⁽²²⁾があり、高速流の例としては遷音速軸流圧縮機内の衝撃波を横切る翼間流れ計測例⁽²³⁾がある。今後ますます複雑流れ場、高速流計測への適用例が増えていくものと思われるが、その主要な要因として、ツインYAGレーザ、相関カメラおよび高速相関計算処理システムの組み合わせによる実用的計測システムの普及があげられる。このシステムの特徴は、ビデオのフレーム間つなぎ目の前後で連続する2画面を記録する相関カメラを用いていることであり、ビデオレートに制約されずに短い時間間隔で2時刻画像を記録でき、高速流の計測が可能になることである。

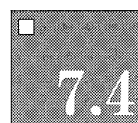
速度場計測における今後の課題は実用的な三次元計測法の確立であり、その現状について岡本らの解説⁽²⁴⁾がある。複数カメラを用いて粒子の三次元位置を追跡する従来の手法に対して、光学的手法を用いた三次元計測法の開発が進められている。なかでも特筆すべきは、三次元流速ベクトルの高精度、高密度計測が可能なHPIV (Holographic Particle Image Velocimetry)⁽²⁵⁾であり、乱流速度場の高空間解像度解析などへの適用が期待されている。他に、粒子像のボケの光学的性質を利用した三次元計測法⁽²⁶⁾が興味深い。

密度場、濃度場や温度場計測では、LIF、PLIF、O₂-LIPF、霧囲気LIF法や、レーザスペックル写真法、スペックル干渉

法などが用いられているが、1997年のSPIE会議⁽²⁷⁾でこれらの手法についていくつかの報告がなされている。他に、感温液晶を用いた乱流熱対流場の三次元計測例⁽²⁸⁾が報告されている。速度場と温度場の同時計測法としては、LIF法とPIVの組み合わせによる衝突噴流計測例⁽²⁹⁾⁽³⁰⁾、感温液晶粒子を温度および速度計測トレーサとして用いる手法⁽³¹⁾などの報告がある。

今後、画像記録素子の高密度化、高解像度化、高速化が急速に進むことが予想されることから、画像応用計測の適用範囲がますます広がり、多次元時系列流体計測法として確立していくものと期待される。

[川橋 正昭 埼玉大学]



7.4 水力機械

7.4.1 ポンプ

1997年中に生産されたポンプ（真空ポンプを除く）の台数は433万台で、1996年より約15%増加したが、金額は2642億円で約4%減であった（通商産業省・機械統計月報による）。代表的なものを表1から表5に示す。

表1の農地用ポンプのなかで、岩手県（藤崎）向け揚水ポンプの全揚程202.6mが目を引く。

表3の雨水排水ポンプのなかの大阪市（住之江）、東京都（神田川）にみられるように、都市部の大深度地下を利用した地下放水路・地下貯留池といった雨水排水設備が建設され、その設備で使用される高揚程ポンプが製作されている。

また、最近の動向として、河川事業における建設費の縮減を目的に、ポンプの小形化、水路の高流速化、ガスタービンの採用等による揚・排水機場のコンパクト化が進められていることがあげられる。

[佐伯 行信 石川島播磨重工業(株)]

表1 代表的農地用ポンプ

納入先	台数	形式	口径 mm	吐出量 m ³ /min	全揚程 m	回転数 rpm	原動機 kW, PS	備考	製作会社
東海農政局（尾西）	2	立軸斜流	2000	600	15.1	231	E-3000 PS	かんがい	日立
	2	立軸斜流	1800	450	14.1	248	E-2100 PS		
関東農政局（両総第2）	2	横軸両吸込渦巻	1200×700	176	44	493	M-1700 kW	かんがい	荏原
茨城県（鶴戸沼第二）	1	立軸斜流可動翼	2000	600	7.9	167	E-1550 PS	排水	西島
岩手県（藤崎）	2	横軸両吸込2段渦巻	400×300	20.8	202.6	1480	M-950 kW	揚水	電業社
北陸農政局（萱場）	3	立軸斜流	2000	560	5.9	264	T-1100 PS	排水	荏原
埼玉県（北川辺町）	2	立軸斜流	1500	270	7.5	245.9	E-670 PS	排水	西島
福井県（下野）	1	横軸斜流	1350	251.5	4.3	169	M-250 kW	排水	クボタ
マレーシア	25	水中モータ（軸流）	1100	180	3.3	493	M-150 kW	かんがい	荏原

原動機：M=モータ，E=エンジン，T=タービン