

新任教員紹介

航空宇宙学科 航空宇宙学専攻・助教授 水書稔治

略歴

- 1966.9 東京都生まれ
- 1985.3 埼玉県立春日部高校、1991.3 東京理科大学理工学部物理学科卒業
- 1991.4 動力炉・核燃料開発事業団（現 日本原子力研究開発機構）入社
- 2001.3 東北大学大学院工学研究科航空宇宙工学専攻 博士課程修了
- 2001.4 米国航空宇宙局ラングレー研究所 客員研究員
- 2002.4 防衛庁技術研究本部第1研究所 防衛技官
- 2005.4 インド科学大学航空宇宙工学科 客員研究員
- 2006.4 現職



担当科目

- 高速空気力学、計算工学、高速空気力学特論、航空宇宙基礎実験（共担）
- 航空宇宙学通論（共担）

研究活動内容

先進的衝撃波計測技術

衝撃波は媒質中をその音速を超えて伝播する。標準大気の音速は約 340 m/s であるから、伝播マッハ数 1（媒質音速と衝撃波速度の比）の衝撃波は 1 m の距離を約 300 μs で通過する。また、衝撃波は大気中以外の液体中、固体中で観測される現象である。音速は、一般的に媒質の密度が高くなるほど増加する（標準状態の水の音速は約 1500 m/s）。そのため、同一マッハ数であっても、固体中の衝撃波計測は気体中のそれと比して格段に高速応答性が求められる。衝撃波誘起現象の精緻な測定を可能とするため、レーザー光を利用した先進的計測法の研究を実施してきた。

図 1(a)は、レーザー誘起熱音響波（Laser-Induced Thermal Acoustics: LITA）を利用した衝撃波誘起現象の温度計測装置（LITA 法）である。衝撃波背後では、媒質温度が急峻に立ち上がり、極短時間で減衰し、元の状態に戻る。そのため、熱電対のような接触型の温度測定法では、衝撃波による媒質の温度変化に追従できない。また、十分な計測精度を担保するためには、μs オーダーの時間精度が不可欠となる。LITA 法は衝撃波背後の温度変化を非接触かつ極短時間で計測可能な点が特長である。パルス幅数十 ns のパルスレーザー光（励起光）を測定媒質中に交差させ、光の干渉作用で超音波である LITA を強制的に発生させる。第 2 の連続発信レーザー光（プローブ光）を Bragg の条件を満たすよう入射させると回折光（信号光）が観測される。信号光の強度変化を観測することで、LITA の伝播速度（媒質の音速）が決定できる。媒質の音速は、温度の関数であるため、信号光の周波数解析で、媒質温度が評価できる。図 1(b)は純水温度計測結果である。純水を準静的に温度変化させ、LITA 法で計測した。この結果から測定精度は、約 2% と評価された。

[参考文献]

- 水書稔治：日本機械学会論文集 B 編，Vol. 71, No. 701, pp. 52-57 (2005)
- T. Mizukaki et. al: Applied Optics, Vol. 44, No. 14, pp. 2818-2826 (2005) など

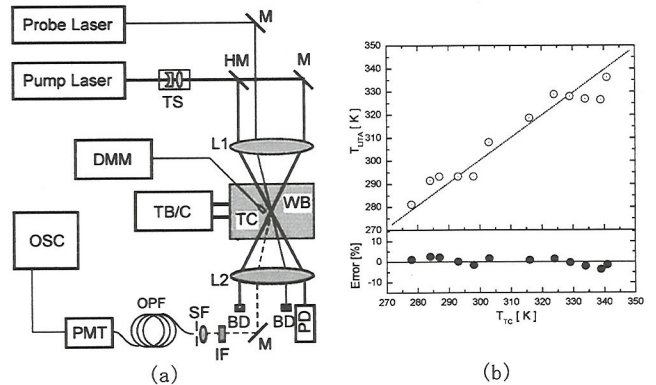


図 1. レーザ誘起熱音響波による非接触極短時間温度計測，(a)実験系構成，(b)温度計測結果（上）と誤差（下）

流体力学研究では、研究対象である現象を全視野的に把握するため、可視化計測法を多用する。衝撃波研究では、光学的可視化法が用いられる。光学的可視化法は、干渉計法、シュリーレン法、影写真法に大別される。このうち、干渉計法のみが定量的な流れ場情報を与える。干渉計法はさらに有限幅干渉縞を計測するもの（有限幅干渉縞法）と無限幅干渉縞を計測するもの（無限幅干渉縞法）に分類される。無限幅干渉縞法では、撮影画像中に現れる干渉縞が当密度線と同等の分布となるため、直感的な流れ場把握が容易である。一方、衝撃波伝播マッハ数が 1 に極めて近い微弱な衝撃波現象に対



しては、干渉縞は明暗の変化が間延びしてしまい、ついには当密度線として認識不可能となる。これは、衝撃波によって誘起される密度変化が極めて微弱となり、一般的な測定系では、感度限界となるためである。この点を改善するため、測定部での多重反射光学系などが提案されているが、光学系が複雑になる欠点がある。光学系を大きく変更することなく、微弱衝撃波背後の密度変化を定量的に精度良く計測する手法としてデジタル位相変位ホログラフィ干渉計法 (Digital Phase-Shift Holographic Interferometry: DPSHI) を開発し、産業分野が要請する各種課題 (自動車用排気消音器の消音特性、微小流体装置内部の流れ) に適用してきた。DPSHI は従来の二重露光ホログラフィ干渉計法を発展的に改良したものである。位相変位させた再生光を用いて記録用ホログラフィック・フィルムから濃淡分布の異なる複数枚の再生画像を得る。これらを CCD カメラでデジタル情報として保存し、それぞれの輝度情報を基に演算処理 (Carré 法) し、測定空間の密度分布を再構成する。DPSHI 法で伝播マッハ数 1.007 の微弱衝撃波背後の密度場を可視化計測した結果を図 2 に示す。

[参考文献]

水書稔治, 高山和喜: Science and Technology of Energetic Materials, Vol. 66, No. 1, pp.240-247 (2005) など

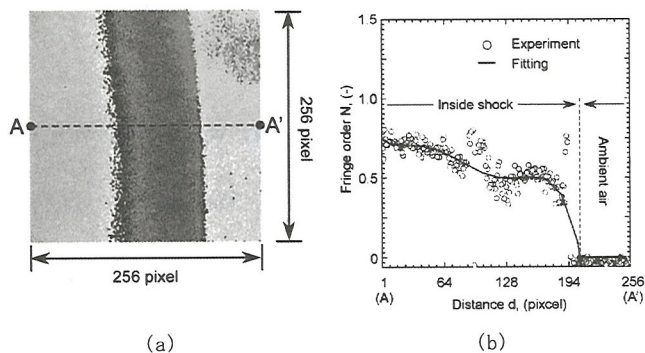


図 2. 微弱衝撃波背後の密度場の定量的可視化計測, (a)微弱球状衝撃波波面の DPSHI 画像, (b)画像解析による密度場

### 複雑空間中を伝播する衝撃波特性

堅牢で複雑な内部構造を有する建物内で爆発事故が発生した場合、爆発で発生した衝撃波は建物内部で複雑な反射・回折を繰り返しつつ伝播する。衝撃波が、密閉空間で反射を繰り返すことで、通常の防火構造では対処できない高負荷が建屋構造に加わる。また、爆源から比較的離れた場所であっても、衝撃波が減衰せず、思わぬ損害を与える。図 3 は、原子力施設の一部をモデル化した透明アクリル製 1/50 縮尺模型 (最大長さ 750 mm) 内部で微小爆薬 (アジ化銀 10 mg) をレーザー起爆させ、それによる衝撃波の伝播様態を可視化計測したものである。可視化は、二重露光ホログラフィ干渉計法で行った。図中の時刻は起爆後の経過時間である。また、上段は、可視化画像、下段は数値解析結果である。数値解析は、爆薬の起爆過程でのデトネーションから開始し、衝撃波が空气中に伝播した後は、3次元圧縮性オイラー方程式により実施した。数値解析結果は、実験画像を比較可能なように数値的に干渉縞画像に変換した。密閉空間での衝撃波伝播特性について、実験の数値解析的に評価を行っている。なお、本件研究に対して 2006 年火薬学会賞を受賞している。

[参考文献]

水書稔治ほか: Science and Technology of Energetic Materials, Vol. 65, No. 5, pp.180-188 (2004)

水書稔治, 高山和喜: Science and Technology of Energetic Materials, Vol. 66, No. 1, pp.248-254 (2005) など

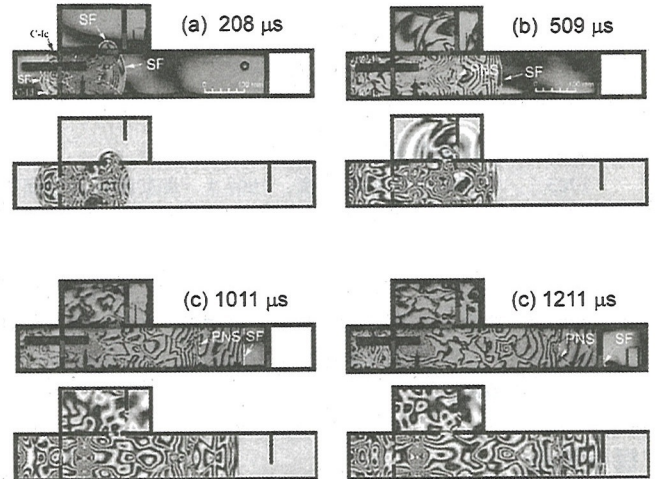


図 3. 縮尺模型内部での衝撃波伝播

### 高速飛しょう体・超音速噴流・爆発現象など

前述の研究課題以外に、超音速飛しょう体周囲の流れ場、超音速噴流の発達特性、あるいは爆発現象など、衝撃波関連現象の多くを研究課題として取り組んできた。図 4 は、自由ピストン衝撃波管の開口端から発する伝播マッハ数 2.89 の初期衝撃波によって誘起された超音速噴流の可視化計測画像である。強い衝撃波に誘起された高温の噴流は、不安定境界を伴い発達する。噴流周囲に発達する渦輪の研究は、多くがマッハ数 1.5 近傍で行われており、高いマッハ数で発生する大規模乱流渦については実験的研究が少ない。

[参考文献]

水書稔治ほか: 防衛庁技術研究本部技報, 第 6852 号 (2004)

水書稔治ほか: 防衛庁技術研究本部技報, 第 6871 号 (2004)

水書稔治ほか: 防衛庁技術研究本部技報, 第 6898 号 (2004)

など

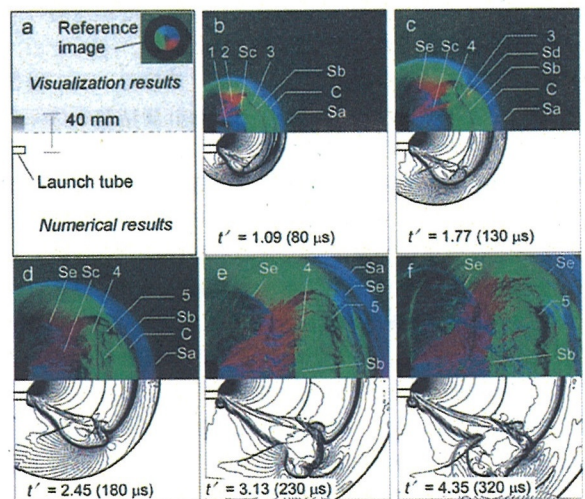


図 4. マッハ 2.89 の衝撃波で誘起される超音速噴流の発達