B208 物づくり 人づくり 流れの可視化 53年

明石 光一郎 (崇城大学)

Creating and Educating Through 53 Years of Flow Visualization

Kouichirou Akashi*

Abstract

Since I started my career in an industry in 1949, I had been engaged in research and development concerning experimental techniques as an experimental engineer. In particular, I devised various flow visualization techniques that were eventually employed for development and innovation of such products as Machineries and plants. In 1985, I moved to the present University where I continued to improve flow visualization techniques using a smoke wind tunnel and produced significant results in transferring those techniques to educating. Looking back these fifty three years, I am going to introduce to you results, I obtained from the flow visualization as long as I am allowed.

Key words : Flow visualization, smoke wind tunnel, education

1. はじめに

著者は、1949年三菱重工業に入社し、現長崎研究所にて流体実験計測技術の開発を担当して、過給機をはじめターボ機械の実験法や地熱発電用坑井特性の試験法等の開発、流れセンサーや整流装置の研究開発を行った。一方では事業所の製品の開発・改良を支援する実験に各種の流れの可視化法を多用し、成果を挙げてきた。

1985年、熊本工業大学(現崇城大学)に移籍して以来、煙風洞による可視化技術の向上の研究と、各種の模型まわりの流れの現象の解明や証明の為の可視化情報応用研究を行っている。特に、これらの研究を学生が体験・実施する卒業研究の指導に力を入れているが、その成果を実験授業や流体の力学の授業に生かすシステムづくりをし、実行している。その概要について述べる。

2. 物づくりと流れの可視化

著者の入社初仕事は、九州電力戸畑発電所のボイラ節炭器入口の偏流是正対策で、おがくずをトレーサとした表面浮遊法による可視化実験によって成功した。この方法は、その後長い間製品改良に迅速かつ低コストの実験法として広く行われて効果を挙げ続けた。1973年、東大宇航研主催の「流れの可視化に関するシンポジウム」は、歴史に残る熱気溢れる催しであった。著者は流体研究課を代表して「流体力学実験における流れの可視化」という題名で発表したが、流跡トレーサ法による上記の方法の他、水流実験には色素流脈法、空気流実験には水素気泡法、シュリレン法、マッハツェンダー干渉法、煙流脈法及びタフト法が含まれていた。

その後、著者はヘリウムシャボン玉法を開発しブラフボディまわりの可視化に利用。次いで製品化された国内初の火花放電装置を用いた火花追跡法で、著者らが開発した非一様多孔板式整流装置の実験にて直径204.7mmの管内流速分布を、これ迄の火花追跡法の記録を破る最長

距離の可視化を行った。また、工場煙突等の大気汚染防止のための排気観測水槽において色素流脈法による可視化を実施し、いずれも研究グループとして成功した。

著者は、前記の可視化シンポジウムの準備委員に引続いて設立された流れの可視化学会の理事を務めた。1982年、第一回地方講演会(現全国講演会)を長崎にてお世話した。その昼休みにオートスライド作品「長崎研究所における可視化技術」を制作・上映した。この中には風洞・流体機器・船型水槽・エンジン内の流れはもとより、応力・変位・振動・騒音・燃焼なども含まれており、現可視化情報を先取りしたと言える。また、学会に映像委員会設立を提案し、1984年初代委員長を務め、全国の大学・企業のご協力を得て映像委員会として初の流れの可視化啓蒙ビデオ「流れは生きている」を制作。これまた著者が提案した学会創立5周年記念「見えない流れの世界展」を1986年、委員会(浅沼委員長)の方々のご努力により西武デパートで開催し、流れの可視化学会の存在と流れの可視化の価値をアピールできた。1977年には国際シンポジウム国内組織委員、可視化ハンドブックの編集委員と一部の執筆を担当させて頂き経験を重ねた。

3. 人づくりと流れの可視化

(1) 煙風洞可視化技術

吸込式二次元煙風洞は1986年に導入された。測定部の高さが800mmで幅150mmの中型風洞で、使い易くて手軽な反面、模型の形状・寸法・表面粗さに精密さを要すること、ノズル内径が1mmと小さくその取扱い、保守に手がかかるなどの欠点もあり、鮮明で美しいミスト流脈を得るに至るまで相当の苦勞をした。模型にかかる揚力・抗力・モーメントは三分力トランスデューサからの出力をストレンメータで計測している。このための模型と風洞との隙間を最小にせねばならない。隙間が及ぼす模型のまわりの流れや諸性能への影響も入念に調べた。

当初はノズルのピッチは大型風洞と同じ20mmであった。模型に当たるミスト流脈一本が可視化対象の場合に

* Sojo University .4-22-1, Ikeda, Kumamoto 〒860-0082

は問題はないが、模型まわりの流れの様態を可視化したとき、例えば飛行機の翼の上側と下側とのミスト流脈の間隔の差、すなわち迎え角と揚力との相関を問題にする場合の他、ブラフボディ後方の剥離渦を一層明瞭に可視化したい場合は、模型の両側から後方に流れるミストの量、すなわち模型の幅当りのミスト流脈の数が多い方が渦の可視化が明瞭になる。しかし、これ迄はピッチが10mmではミスト流脈の干渉が懸念されていた。

1996年に、煙風洞高性能計画の一環として、ピッチを10mmに改善、結果として測定部観察面積のミスト流脈密度を2倍に増加させ、大型風洞並にすることができた。

本風洞の特徴の一つに、縮流部(縮流比 15:1)の内部にあるミストノズルの位置を風洞軸方向に100mmおきに大幅に移動可能という点がある。この特徴を生かして測定部の流速0.7m/sから13m/s迄の各流速毎に、鮮やかなミスト流脈が測定部後方までのほぼ3m持続できるノズルの最適位置が決定された。煙発生装置及びノズルま

でのプロセスの、温度・吐出圧力・アトマイズ圧力・主弁とバイパス弁の開度を、可視化の目的、模型の大きさ、実験流速、風洞周囲の雰囲気及び撮影手段と条件によって、微細に調整するノウハウを取得できた。さらに連続照明装置とは別に、市販カメラのストロボを利用して測定部上下に設置した4個のストロボを同時発光させて瞬間撮影できるシステムを共同考案した。この利用により、これまでに例のない可視化画像が取得できた。模型回転装置も装備し、合わせて可視化対象も広がった。

(2) 研究テーマ

煙風洞可視化技術の向上の研究をはじめ、ブラフボディ、飛行機の主翼とメカニカル高揚力装置、その他の研究を行った。以下可視化写真に沿って説明する。

i) ブラフボディ

剥離剪断流混合層不安定渦を円柱の $Re = (1.2 \sim 1.6) \times 10^3$ でシャッター速度 1/125 秒 (図 1a, b)、カルマン渦列の発生のルーツを、正四角柱で $Re = 2.2 \times 10^3$ (図 2)、

円柱で $Re=3.0 \times 10^4$ で (図 3)、いずれもシャッター速度 $1/2000$ 秒で可視化した。円柱と正四角柱の抗力係数と、模型の風洞とのブロックage比との関係を求めた結果ブロックage効果により円柱では 2%、正四角柱では 2%以下でない抗力係数は一定値を示さないことが解明された (図 4)。円柱の後方に置いた円柱直径 d と長さ l の比 $l/d=1$ のスプリッタプレートが、上から順に図 5a、ない場合、b、密着の場合に比べて、c、円柱との間隔 g と d との比が $g/d=1.84$ の場合はカルマン渦列が分断されているが、 d 、 $g/d=2.12$ の場合はカルマン渦列の分断の効果が失われている (図 5a~d)。この円柱の風洞に対するブロックage比は 14.5%で、 $g/d=2.1$ がその効果の臨界値であるが、ブロックage比 7.5%では g/d の臨界値は 2.5 と解明され、抗力係数はスプリッタプレートにより前者では約 30%、後者では 15~22%低いという違いがあることが分かった (図 6)。正四角柱から角の丸みを次第に変化させ円柱に至る模型について、その剥離剪断流と模型とのなす角と抗力係数の関係を求めた (図 7a~d)。また、角の丸みに対する抗力係数の関係を求めた (図 7e)。

平板のカルマン渦列は、シャッター速度 $1/125$ 秒 $Re=7.9 \times 10^4$ (図 8a, b) で、その他正三角柱等の模型の取付角を変化させたり、建造物のまわりの流れやビル風も可視化した。船舶の水面下の、ある断面の二次元船型模型の可視化写真では、順に、大型タンカー・大型クルー

ザー・駆逐艦と、すべてミス流れ脈は模型に全く沿っており流線形を証明している。(図 9a~c)

ii) 飛行機主翼、メカニカル高揚力装置

翼型は主として NACA4412 とクラーク Y、他に NACA4415、23015 について、翼弦長 200mm の模型を用いた。クラーク Y 単独翼の離着陸の迎え角 $\alpha=10^\circ$ シャッター速度 $1/15$ 秒 (図 10a)、失速時 $\alpha=16^\circ$ 、 $1/8000$ 秒 (図 10b) とともに $Re=5.5 \times 10^4$ 。NACA4415 の $\alpha=10^\circ$ 、 16° 単独翼のシャッター速度 $1/15$ 秒 (図 11a, b) とともに $Re=8 \times 10^4$ はタフトグリット法を併用して可視化した。メカニカル高揚力装置は NACA4412 を基準翼として、プレーンフラップの他、シングルロッテッドフラップのフラップ形状とフラップ角とスロットの変化 (図 12)、ダブルロッテッドフラップのフラップ形状と各フラップ角、各スロットの変化 (図 13)、スラットスロットに出来た渦 (図 14)、フラップスロットに出来た渦 (図 15)、スラット付ダブルロッテッドフラップ (ブレイドとフラップの 2 パートからなる) 付翼の着陸姿勢の一形態 (図 16) で、 $\alpha=10^\circ$ シャッター速度 $1/15$ 秒で可視化した。いずれも $Re=10^4$ 代である。

(3) 卒業研究と流れの可視化

卒業研究は、学生が選んだテーマについて、模型を設計して煙風洞を用い、可視化と計測とを合わせて、現象を解明したり、最良の形状・寸法を求めることを目的としている。テーマは、パートナー同士で相談して決めるが一人ずつサブテーマを持ち、実験の際には他のチームの助勢を受けて実施し、主担当者がリーダーとなって進める。実験は当然、計画をよく練ってから実行するが、ジョブ毎に必ずといっていい程問題が発生する。その度に「考えなさい」と指導し、再挑戦する。泥臭いジョブの積重ねでデータや画像や映像が取得される。幸い可視化では徐々に目に見えて美しく鮮やかな成果が得られるので励みになっている。こうしてタイムスケジュールを改訂しつつも、漸く目標を完遂し、達成の喜びを味わう。このプロセスで“考える力とやり遂げる力”を養い“エンジニアとしての実践力”を身に付け、“努力と工夫、それに忍耐力”が必要だと理解・体感する。可視化情報利用ならではの卒業研究は、人づくりに十分効を奏している。卒業生の多くは、自ら取得した可視化画像の作品を部屋に飾って、企業でのきびしい仕事の遂行への励みと癒しにして頑張っていると聞いている。

4. 可視化情報応用教育システム

(1) 流体の力学教育システムの構築

図 17 に示す可視化情報を応用した流体の力学教育システムを構築した。まず、スチル写真の内、代表的なものを大全紙に引伸ばしたものが 19 枚、毎年制作してきた“卒業研究記念パネル”が 32 枚に達している。後者は研究成果のうちの代表的な写真とグラフと、出身高校入りの卒業研究生の名前を入れて編集したもので、多数の可視化写真が中心になる A1 版のパネルである。これらを実験室の壁に掲げて実験授業の教材にしている。さらに、“可視化情報でその謎を解き明かします”シリーズのパネルとして「空気より重い飛行機・空中に浮く」「魔法の翼」は離着陸のヒーロー」「渦流を断ち切るスプリッタープレート」「ボールの“飛び”の秘密はディンプル」「風上に避けた人を襲う焚火の煙」(A1 版)をパソコンで編集・制作しており、ゼミや授業に使っている。

一方、卒業研究で得られた映像をスローモーションにする等、編集したビデオを実験授業に使用している他、流体の力学の授業や卒業研究のゼミに使用する目的で、その後の映像を加えて編集したビデオ作品を制作している。「見えない流れを視る」「流れを視る夢を果たした若者たち」「ミスト流脈アラカルト」「流れのメカニズムの理解と感動」「夢・青春・卒業研究」等々である。また、これらの画像と映像を使ったインターネットホームページを平成 10 年開設した。「目で視る流れの科学—可視化の世界へどうぞ」がそうであるが、まだ計画半ばにも達していない。また卒業研究にて設計製作した模型は実験授業に用いている。以上の流体力学教育システムは、流れの可視化の研究の成果があってこそ構築し得たのである。

(2) 教育システムの利用

流体の力学の授業には毎回、中程に 10 分間のビデオを大型スクリーンに上映している。映像により流れの美しさ・不思議さ・迫力に感動し、興味と意欲を深めて、流れのメカニズムを理解する効果を狙っている。事実、毎時間の無記名アンケートによると極めて好評で効果も少

図 17

可視化情報を応用した流体の力学教育システム

なからず挙がっている。ビデオは 3 種類に分けられる。

- ① 流れのイメージを抱かせるもの
- ② 流れのメカニズムを理解させるもの
- ③ この学問が世の中でこう役立っている

このうち②が本教育システムで制作したオリジナルビデオ作品で、それ以外に気体・液体・固体、水深と水圧、標高と大気圧、流脈と流跡、定常流と非定常流、層流と乱流、常流と射流、剥離、管内流れ、揚力と抗力等々がある。①は、風、竜巻、小川から大川へ、滝、渦潮、モンスーン、ビル風、陸風と海風等々。③はダムと水車、風車、風力発電、橋梁、飛行機、ロケット、自動車、新幹線、船舶、ジェットコースター、スポーツ等々がある。

1991 年学会に可視化情報教育研究会の創設を提案、理事会のご承認を頂き、著者が主査を務めることになった。1997 年流体力学教育用ビデオ「流れをビデオで」第 1 集、第 2 集をまとめて学会員に実費頒布した。なお、2002 年 2 月 23 日、当研究会 10 周年を記念し、日本縦断可視化フォーラム第 1 回「可視化フォーラム・くまもと」を本学会主催で行うことを理事会でご承認を頂いた。小・中・高校の先生等へ可視化で得られた情報を提供し、未来の日本を担う科学好きの人間を育てて欲しいとの想いで企画したものでこれも学会の使命の一つと考える。

5. おわりに

物づくりへの流れの可視化の利用経験が、人づくりを支える役に立つ喜びを実感している。可視化の道に王道はない。従って地道な工夫と努力は当然である。しかも可視化には感性を揺さぶる魅力がある。これからも挑戦する人がいる以上、流れの可視化が物づくりと人づくりに効果を挙げ続けていくであろう。これまでの多くの方々のご指導とご援助に対して深く感謝の意を表する。