

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 4 月 28 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009～2014

課題番号：21500095

研究課題名(和文)インテリジェント・ビジュアリゼーションによる流体・振動現象の可視化表現と特性抽出

研究課題名(英文)Visual Representation and Characteristic Extration on Fluid and Vibration
Phenomenon by Intelligent Visualization

研究代表者

坂井 良夫 (Sakai, Yoshio)

東京大学・工学(系)研究科(研究院)・助手

研究者番号：50272373

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は流れ場や自由表面を有する振動場などの物理現象を把握するため、短時間で精度良く解くことを主眼に数値流体計算コードの改善、開発を行っている。これらの結果は2次元、3次元翼まわりの流れや液体振動である2次元スロッシングのコンピュータ・グラフィックスに適用され、知的可視化表現に結びつけられている。また、Excelを用いた熱伝導などの解析問題への取組が教育的視野で実施され、操作の容易さと可視化を用いた簡潔な説明により、初学者の理解を深めることに寄与している。

研究成果の概要(英文)：This study performs the improvement and the development of the computational fluid dynamics codes in order to grasp the phenomena of the flow and the free surface vibration to be obtained accurate results in a short time. These results are applied to the computer graphics of 2D- and 3D-airfoil flow and 2D-sloshing, and the computer graphics are related to the intelligent visual representation. In addition, an action to the problems of analysis such as the heat transfer using Excel is carried out in vision of an educational field and contributes to assist of deep understanding for beginners by the easy operation and the concise explanation using the visualization.

研究分野：振動工学

キーワード：可視化 流体力学 振動工学 教育 数値計算

1. 研究開始当初の背景

(1) 物理現象の可視化表現は流体力学の分野でいち早く他に先駆けて試みられ、可視化実験や実験を模擬したコンピュータ・グラフィックスが確立され、流れ場の解明に大きな貢献を果たしている。流体力学において可視化は流れを知る上に必要不可欠な存在であり、可視化技術の発展は必然的なことと言える。流れは計測方法により、流線、流脈線、流跡線の異なる3つの軌跡として表現される。定常状態では全ての軌跡が一致するが、非定常な状態ではそれぞれ異なる曲線となって現れる。また、相対場で観察するか、絶対場で見るかによっても、見かけ上異なった流れ場と認識される。このように同じ物理現象であっても観察の仕方により、様々な画像に変化するため、これらの違いを認識するとともに、実験計測の方法や描画方法を含めた十分な理解も要求される。これはまた、観察方法の工夫により従来得られなかった特性抽出を可能とし、現象のより深い理解に繋げられる可能も示唆している。

物理現象の多くは理論式や物理量のグラフ表示による表現に留まっており、流体力学のように流れの可視化に重点が置かれることは少ないといえる。これは可視化表現がし辛いことや必要性の少なさによると考えられる。しかし、可視化表現の工夫により現象の理解が深められることは事実である。また、表現方法による違いを認識することは重要であるが、初学者にとってその違いを理解することは難解でもある。このように同じ流れであっても、見方により様々な表情や多極的な性質をもっている。これらを直感的で明解に表現することや、また逆に見えなかった現象を捉えられることへの興味や期待が研究の動機づけとなっている。

2. 研究の目的

本研究の目的は伝統的な可視化方法を基盤として、流体现象に限らず、振動やその他の物理現象について、可視化を通した分かりやすい表現方法の導出や新しい特性量を抽出することであり、新しい発見に結びつく知見に寄与することを目指している。

流体现象については、まず可視化実験の結果に、より近い映像をコンピュータ・グラフィックスにより実現することである。これには従来の主な可視化手法をシステムに組み込むとともに、高精度な数値流体計算の構築を図り、実験との対応関係が取りやすい可視化表現を行うことである。これらを基盤に知的可視化へ発展させ、実験では可視化できない特性量の探求を通して明解さや定量性を持った映像表現を構築する。

振動現象は、数値計算によるリアルタイム・シミュレーションを行うことから始め、物体運動のアニメーション化を行う。この映像に種々の特性量を付加し、振動現象と特性量との関係を明解に表現することを目指し

ている。

前述のような学術的な側面とともに教育的な側面も探求する。如何に分かりやすく、目に見えない現象を表現するかに力を注ぐ。

3. 研究の方法

研究内容を大別すると、(1) 数値シミュレーションに関する従来型可視化技術の構築、(2) 高精度な数値シミュレーションの構築、(3) 知的可視化への取り組み、(4) 教育的課題への取り組みに分類できる。

研究の主目的は知的可視化表現であるが、その基になる高精度な数値解析結果が必要となる。数値流体力学にも力を注ぎ、翼まわりの流れなどでは高精度な計算結果が揚力・抗力係数、翼面上の圧力分布などに対して得られるよう研究開発を行っている。また、動翼面上の限界流線は油膜実験の結果を良く再現できる可視化方法を構築している。このような基礎的な流れも可視化対象であるが、流体機械など、より総合的なシミュレーションを目指しており、高精度で複雑な形状が計算できるコードの構築を行っている。

実験や数値シミュレーションによる可視化は物理現象の解明に大きな貢献を果たしてきている。可視化は現象の定性的な解釈に効果的で、流れ場全体を把握するとき力を発揮する。とはいえ、定量的な評価は可視化の性質上難しい課題である。例えば、2つの流れ場を比較し、どのように異なるかは評価できるが、どの程度異なるかを単純に示すことはできず、評価関数などを定義して評価せざるを得ない。本研究における知的可視化への位置づけを「定性的な評価から定量的な評価」として、これに的を絞って実施する。

物事を理解する上で可視化の効果は大きく、理論式や目に見えない現象を視覚化することにより納得できる明解な表現を構築し、理科学教育への一助とする。これも知的可視化の一つと捉えており、単なる可視化からそこに理解を助けるメッセージを包含している点が知的可視化を意味している。ここでの可視化はコンピュータ・グラフィックスのみではなく、ここでは、如何に目に見える形にするかをキーポイントにして実施する。

4. 研究成果

研究を推進するため、高精度な数値流体計算コードの開発と可視化ツールの開発により、流体・振動現象を表現と特性抽出を行った。また、現象の明解な説明を構築した。

(1) 可視化ツールの開発

数値流体計算結果と可視化描画するため図1、図2に示す2次元、3次元可視化ツールの開発を行い、計算結果を描画し、研究を推進した。開発の主眼は複雑化せず、描画機能を限定することで、簡単な操作と新たな可視化機能の追加が容易であることをコンセプトとした構成となっている。

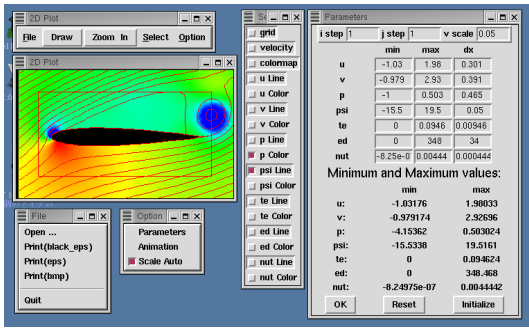


図1 2次元可視化ツール

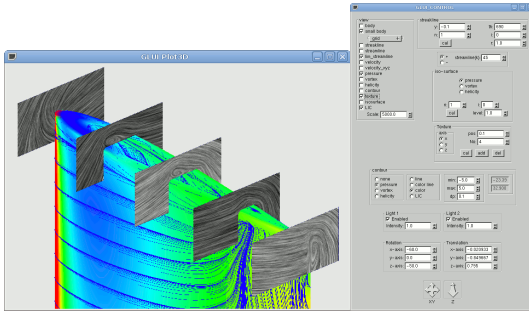


図2 3次元可視化ツール

(2) スロッシングの可視化

振動問題として、高精度な数値流体計算コードの開発と可視化として実施した一例として、左右に振動させたスロッシングの解析結果を図に示している。緩やかな水面変動とは異なり、内部は複雑な流れが生じることが可視化により明らかとなった。

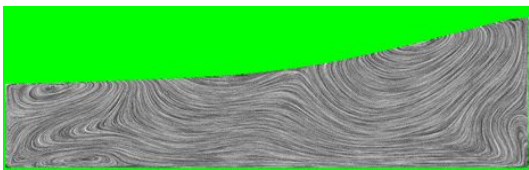
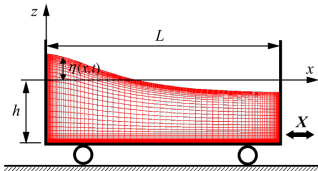


図3 スロッシングによる流線

(3) 進行波と可視化

波の運動で興味深い点は波の進行と同時に流体塊が移動してはいないことである。単に波の動きを見るだけでは波の伝わり方が理解できない。この現象を理解するためにリアルタイム・シミュレーションやアニメーション、静止場(図)や波速で移動する相対場(図)の流れとともに、速度ベクトルや流線と融合させることで、分かりやすく解説表現を実現した。

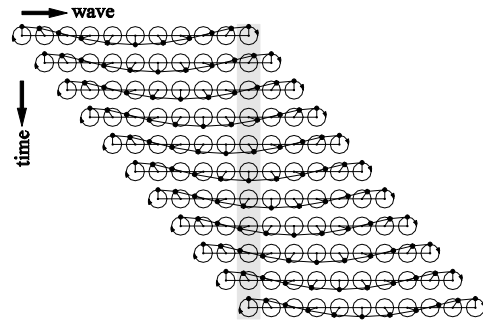


図4 円運動する流体粒子と波面の進行

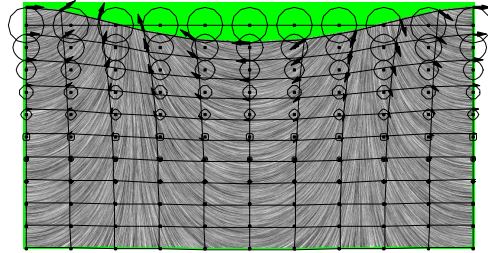


図5 静止場の速度ベクトル、流線と波面

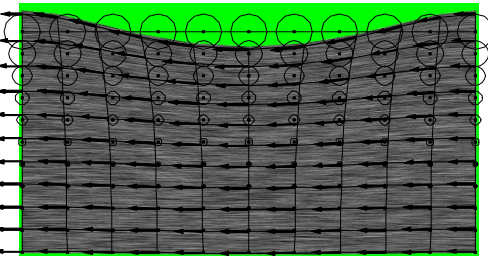


図6 相対場の速度ベクトル、流線と波面

(4) 回転翼流れの可視化

回転翼の流れは流線および流脈線で表現される。回転座標系では定常な流れでも静止座標系では非定常である。このため、静止座標系の流線と流脈線は一致せず、図に示すように流線は緑色の螺旋線、流脈線は翼端から直線的に流れている。流線は同一時間における速度ベクトルの包絡線であり、容易に描画できるが、流脈線は静止場の1点から流出するインクの流れを表すため、数値計算と同時に流脈線を算出するか、非定常計算による各時間のデータを保存し、その膨大なデータを用いて描画する必要がある。本研究では定常計算結果から容易に静止場の流脈線を描画する方法を提案し(図中の左図)、図中の右図を描画している。

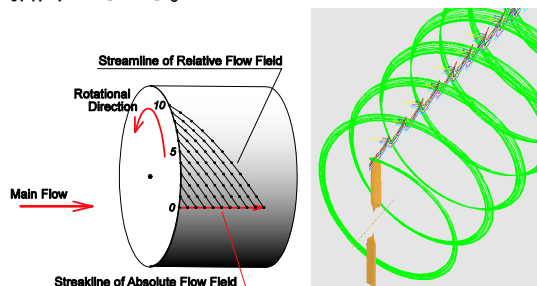


図7 回転翼の静止場による流線と流脈線

また、数値流体計算コードの計算精度向上に努め、その結果を開発した3次元可視化ツールにより、図や図に示すような描画、評価を実施している。

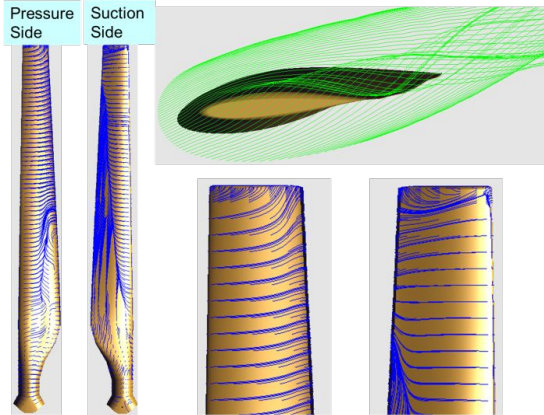


図8 回転翼面上の流れと翼端の流れ

(5) Excel による熱伝導解析と可視化

2次元熱伝導方程式をExcelで解き、描画している。数値計算により、熱伝導方程式を解く方法が直観的に分かりやすく理解できるように解説している。Excelを使用する場合、各セルに熱伝導方程式を記述すればよく、この離散式は数式を記述するセルと周囲4点の値を参照しているのみであり、全て同じ式となるため、1つのセルに数式を入力後、計算領域の他のセルにコピーすることで、解析が可能となる。この他、境界の設定(断熱、等温条件など)が必要となるが、数値計算の本質は各点が同じ式で表現され、周囲4点の影響のみで算出できることをビジュアルに初学者が理解できるようにし、容易に記述できる点であり、これらを満たすように構成している。また、境界条件もExcelシート上で手軽に入力でき、簡単な熱伝導問題が解けるように構築した。図5は作成したExcelシートで、時間とともに、変化する温度が数値と色により表現されている。

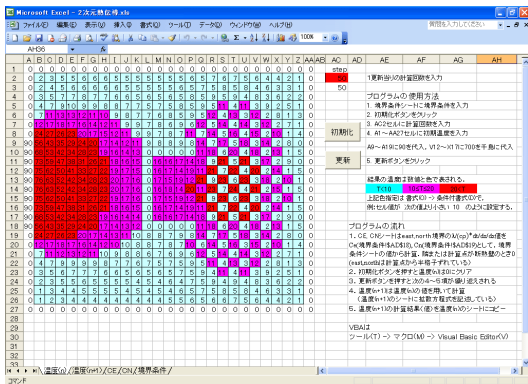


図9 Excelによる2次元熱伝導解析

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10件)

鈴木正己、数値流体計算による翼まわりの可視化表現、可視化情報学会誌、可視化情報全国講演会(米沢2009)講演論文集、査読無、29巻、2009、211-212

Masami SUZUKI, Prediction of Wind Turbine Characteristics by Practical CFD Simulation Using a Few Grid Points, Proceedings of the 13th International Symposium on Transport Phenomena and Dynamics of Rotating Machinery(ISROMAC-13), 査読無,2010, CDROM, Paper No.F41

鈴木正己、坂井良夫、2次元矩形スロッシングの数値解析と可視化、日本混相流学会年会講演会2010講演論文集、査読無、2010、180-181

鈴木正己、坂井良夫、数値流体計算によるスロッシングの基礎現象と可視化、可視化情報学会論文集、査読有、31巻、2号、2011、1-8

DOI: 10.3154/tvsj.31.1

鈴木正己、坂井良夫、数値流体計算による2次元矩形スロッシングの現象把握と可視化、第39回可視化情報シンポジウム講演論文集、査読無、2011、155-160

鈴木正己、坂井良夫、数値流体計算によるサボニウス風車特性の予測と可視化、可視化情報学会誌、査読無、32巻、2012、71-74

鈴木正己、数値解析による固定振動水柱型波力発電装置特性、日本混相流学会年会講演会講演論文集、査読無、2012、112-113

鈴木正己、CFDによる水平軸風車まわりの流れと性能予測、日本流体力学会年会2013講演論文集、査読無、2013、1-2

鈴木正己、数値流体計算によるウィンドサーフィン用セイルの性能解析、日本機械学会スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス2013講演論文集、査読無、2013、1-8

鈴木正己、空気砲による渦輪生成過程の数値シミュレーションと可視化、可視化情報学会誌、査読無、34巻、2014、129-130

6. 研究組織

(1)研究代表者

坂井 良夫 (SAMAI, Yoshio)
 東京大学・大学院工学系研究科・助手
 研究者番号：50272373

(2)研究分担者

鈴木 正己 (SUZUKI, Masami)
 琉球大学・工学部・教授
 研究者番号：30171250