展望・解説

3次元処理のための機器，ソフトウェアの 流れの可視化への応用*

斎藤史彦*，加納 裕**

Application of Stereo-3D Equipments for Flow Visualization

Fumihiko SAITO and Yutaka KANOU

1. はじめに

最近では，スーパーコンピュータやGWS（グラフィック・ワークステーション）の普及と高速化により，3次元流体の数値シミュレーションや3次元表示が一般的になってきている^{1)~3)}。また，流体の可視化実験の3次元計測結果をCGで再現することも行われてきている⁴⁾⁵⁾。

しかし，本来，3次元の空間中に見えるべき3次元流れの解析や実験結果は，通常の3次元ディスプレイでは簡単には認識できない場合が多い。多数の重なり合うパーティクルの軌跡，速度ベクトルの3次元的な向き，空間中の温度分布などは，十分に認識するために見る方向や表示する部分を何度も変更する必要がある。こうしたデータ表示に立体（ステレオ）表示を使用すると，奥行き知覚の効果により短時間かつ数少ない操作でデータを理解でき，プレゼンテーションにも効果がある。

本稿では，CGに利用可能な立体表示方式とこれを利用した立体GWSや立体アニメーション装置，そして，立体視を利用した流体ポストプロセッサを概説する。

2. 立体表示装置

2.1 立体表示技術^{6)~11)}

立体視は，人間が二つの眼に生じる対象位置のわずかなずれ（視差）を脳内で融合し，対象までの距離（奥行き）を知覚することで行われる（表

表1 立体感の要因と表示技術

（生体的）	
両眼視差，ふくそう——	立体映像
水晶体調節（ピント調節）	
（経験的）	
大きさ，空間的配置（方向，距離），	
表面輪郭——	透視変換
遮断輪郭——	隠面消去（Zバッファ）
照度，陰影——	ディプスキュー，シェーディング，ライティング，シャドウイング
運動方向，速度——	ダブルバッファアニメーション

表2 立体表示技術の分類

疑似3次元映像	3次元グラフィックディスプレイ
立体映像	並列面型
	2眼式—アナグリフ方式（赤青フィルタ），偏光方式，時分割（シャッタ，円偏光）方式，光学式
	多眼式—レンティキュラ方式（裸眼）
	マルチプレックスホログラフィ
	空間像形成型
	（裸眼）
	各種ホログラフィ
	バリフォーカルミラー方式
	液晶積層

*原稿受付 1989年6月29日

**（株）ソリッドレイ研究所

1¹²⁾参照)。こうした効果を人工的に再現して立体感(奥行き感)を作り出すのが立体表示(立体映像)である。

立体表示技術は, 表2¹⁰⁾に示すように並列面型と空間像形成型に大別される。理想的には裸眼で観察できる方式が望ましいが, 解像度とリアルタイム性のある手法としては2眼式が有効である。その中では, 時分割方式が高解像度ディスプレイを利用したフルカラーCGに最も適した方法である。

2.2 時分割方式立体映像装置^{13)~15)}

時分割方式は, 左右の映像を時分割で交互に表示し, それと同期して左右の眼を開閉する機構をもつシャッターメガネを利用する。

シャッター機構は, 機械式, PLZT (Lead (= Plumbum) Lanthanum Zirconate Titanate), 液晶等が利用できるが, 現在は液晶が主流である。液晶の使用箇所としては, メガネ側に用いるかCRT管面側に偏光スクリーンとして用いるかの2通りが考えられる(図1)。偏光メガネの種類として直線偏光と円偏光がある。

図1 液晶シャッターと円偏光スクリーンの動作

図2 パソコン用立体ボード

図3 立体表示時のフレームバッファ内イメージ

時分割方式で簡単に立体表示を行うには, ダブルバッファを利用する。左右眼の画像をそれぞれのバッファに描画し, シャッターと同期させて交互に表示する。パソコンPC-9801用立体ボード(図2)はこの方法で実現された例であり安価に立体視が実現できる。しかしこの方法では, CRTの垂直同期信号は55~60Hzであるから片眼30Hz程度の映像となりフリッカが生じる。また, ダブルバッファを占有するので動画ができなくなる。

これらの問題の解決法として高速走査法がある。人間の眼にちらつきを感じさせない周波数(垂直周波数が約55Hz以上)で左右眼の画像を切り換える必要があるため, 垂直同期信号を120Hzとし, それに同期させて液晶シャッターを開閉する。

GWS上で行う場合は, フレームバッファの表示領域の中央にブランキング領域をとり, 上側に左画像, 下側に右画像を描画する(図3)。この状態で倍にした垂直同期信号(120Hz)を用いると, 第1フィールドで上半分のフレームバッファが読み出され, 第2フィールドで下半分が読み出される。垂直120Hzで走査可能なCRTで表示すれば立体像が観察できる。画像が縦方向に約2倍に引き延ばされるので描画時は縦を1/2に圧縮しておかねばならない。この方式の欠点は, 垂直方向の解像度が通常の約1/2に低下することである。

この手法は, Stereo Graphics 社および弊社が汎用立体装置として, Tektronix 社がGWS組込み機能として商品化, 販売している。左右画像の描画は, 前者の場合アプリケーションが生成するが, 後者の場合は組込まれている計算方法で行われる。

2.3 立体GWS

高速走査法の実現のためには, 垂直周波数120Hzで動作する立体用CRTと, 周波数変換およ

図4 立体GWSのシステム構成

図5 立体表示観察風景

びシャッターや円偏光切り換えのための立体コントローラが必要となる。また立体表示には、表1に示すように、隠面消去やライティング、アニメーションの効果も大きく、高速高機能なGWSやディスプレイが有効である。

図4に立体GWSと立体プロジェクタのシステム構成例を示す。GWSにシリコングラフィックス社のIRIS4Dシリーズを利用し高速でちらつきの少ない立体映像が実現できる。少人数で使用するのであれば、シャッター式液晶バイザを使用する(図5)。また最大120インチのスクリーンを使用できる立体プロジェクタを利用すると、視差が大きくとれて立体感や臨場感が増し、プレゼンテーションには非常に効果的である。この場合は観覧者が多人数になるので円偏光スクリーンと円偏光メガネ(専用サングラス)を使用する。

2.4 立体アニメーション装置

VTR, VDR (Video Disc Recorder) による立体アニメーションを行う方法を以下にいくつか示す。

- (1) 1台のVTRまたはVDRに左右画像を上下に記録し、垂直周波数を倍にして再生する。安価で簡便であるが、縦方向の解像度が通常のビ

図6 立体アニメーション装置構成

デオ画像の1/2になってしまう。

- (2) 2台のVTRまたはVDRを2台のプロジェクタで偏光板を通して同時に投射する。偏光メガネで観察する。映画でよく利用される方法である。
- (3) 2台のVTRまたはVDRと倍速変換装置を使用する。(2)も同様だが、2台の装置の同期をとる機器(シンクロナイザ、タイムベースコレクタ)が必要となる。VTRのかわりにCCDカメラを2台用いたカメラ画像立体視モニタシステムも可能。
- (4) 立体レーザディスク記録再生装置を使用する¹⁰⁾。

(1)(3)(4)では液晶シャッターメガネが必要。

(3)および(4)の方法(図6)では、左右の映像は1/2に時間圧縮され、1/120秒毎のフィールド単位で高速走査型テレビに交互に再生される。通常のNTSCは2:1インタレースであるが、この映像信号は4:1インタレース方式と呼ばれる。解像度は通常のビデオ画像と同様でフリッカも生じない。

2.5 立体表示上の注意点

時分割方式の立体表示使用上の注意点を述べる。

- (1)表示や投影をするもの(CRTやプロジェクタのスクリーン)の大きさによって立体感が異なるので、スクリーンの大きさと観察する位置を考慮にいった表示をする必要がある。
- (2)不自然または極端な立体視は眼を疲れさせる。
- (3)周囲が照明で明るい場合には、蛍光灯に同期してシャッターのちらつきが見えることがある。
- (4)CRT、プロジェクタによっては、蛍光体(特にGREEN)の残光時間が長く、残像が見えて

立体視できないことがある。

- (5)左右像に対応箇所がない部分は立体視できない
- (6)解像度の限界を越えると、左右画像の対応箇所が曖昧になり立体視しにくい。
- (7)描画の場合、立体表示時は表示に2倍弱の時間がかかる。
- (8)左右の視力が極端に異なる人は立体視しにくい場合がある。

3. 流体用立体表示ポストプロセッサ¹⁷⁾

立体応用ソフトウェアの例として、立体表示を採用した初めての流体用ポストプロセッサ「Flow Eyes」の概要と表示例を紹介する。なお、本ソフトウェアは2.3項で紹介した立体GWS上で動作する。

3.1 立体表示ポストプロセッサの機能

本ポストプロセッサは、流体研究者の3次元流体データのイメージ構築と理解、そしてプレゼンテーションを援助するためのツールであり、以下のような機能を持つ。

(1)立体(ステレオ)表示対応

立体一通常表示をワンタッチで切り換えられ、また、立体視状態の制御が簡単にできる。プレゼンテーションに立体プロジェクトを使用すれば一層効果的である。

(2)研究開発向けの簡単で高速な対話操作環境

基本操作はメニュー形式と簡単なキー操作。マウス操作によりズーム移動回転を対話的にリアルタイムに指定。光源計算を行うリアルタイムレンダリングやマルチウィンドウ化が可能。

(3)独自の柔軟なデータ表現方法(3.2項参照)

断面10個まで設定可能なので複数断面の指定により空間的な分布が表示できる。

(4)アニメーション、VTR機能

2000ステップ以上の非定常データやパーティクル軌跡の時間変化を観察できる。また視点の自動回転が可能。アニメーションやプレゼンテーションを行うシナリオ機能や、VTR自動コマ撮り機能をもつ。

(5)汎用解析コードに対応

データを本ソフトウェアで表示するためには、通常、GWS上に出力データを転送し、以下のよ

うなデータ変換プログラムで専用ファイルに変換する。

- ・STREAM, SCRYU, HOTFLOW II 等の汎用コード用
- ・公開のアスキーフォーマット用

3.2 表現方法と表示例

通常表示では分かりにくい表現でも、立体表示では効果のあるものがあり、こうした表現方法を採用することによって従来にはない表現も可能となる。

- ・グリッド：{外辺, 全外周面, 定義断面}
- ・障害物, ポリゴン：{ワイヤーフレーム, 光源

図7 ビル回りの圧力コンタ

図8 ビル回りの速度ベクトル(コーン表示)

図9 曲がり円管内速度ベクトル(コーン表示)

図10 曲がり円管内速度プロファイル

図11 ビル煙突からのトレーサ(点表示)

付きシェーディング}

- ・スカラー値: {グラデーション表示, コンタライン (図7), ハーフトーン表示, 面グラフ}
- ・ベクトル値: {矢印, コーン (図8, 図9), タフト, 速度プロファイル (図10)}
- ・パーティクル, 流跡, 流脈: {点 (図11), スモーク, ボール表示 (図12), パスライン, タイムライン}

4. おわりに

立体表示技術は, 立体映画などで徐々に普及が進んでおり, 今年度の横浜博でも幾つもの立体映像が展示され人気を呼んだ。産業, 研究分野でも各種デザインやビジュアルシミュレーションで利用されつつある。具体的に応用が進んでいる分野に医療関係¹⁸⁾があるが, 3次元的なイメージが重要な流体分野でも大きな効果を発揮するであろう。

なお, 本稿の曲がり円管の解析データは, 日本原子力研究所の功刀氏と宇都宮大学工学部の秋山教授^{19)~22)}, ビル煙突およびビル回りの解析データは東大生産技術研究所村上研究室, 清水建設株式会社の日比氏のご厚意により使用させていただきました。

参考文献

- 1) 高木, 高木, 川上: 流れの可視化技術の動向, 日本航空宇

図12 曲がり円管内のトレーサ(ボール表示)

宙学会誌, pp. 78-82, 37, 1988.

- 2) 藤井: スーパーコンピュータとGWS——流体解析における最近の利用, PIXEL, No. 76, 1988.
- 3) グラフィックス・スーパーとネットワーク技術がビジュアリゼーションを変革, 日経CG, 32, 1989, 5.
- 4) 山川, 岩重, 小林: TVカメラを用いた三次元流速分布測定システムの開発, 流れの可視化, 6-22, 1986.
- 5) 渡邊, 加賀, 井上, 山口, 吉川: VTRを用いたトレーサ追跡による流れ場の計測: 流れの可視化, 7-26, 1987.
- 6) D. F. Rogers, J. A. Adams, 山本富士夫訳: コンピュータグラフィックス, 日刊工業新聞社, 1979.
- 7) L. Lipton: Foundations of the Stereoscopic Cinema, Van Nostrand Reinhold, New York, 1982.
- 8) 安居院, 中嶋: ステレオグラフィックス&ホログラフィ/ザ3D, 秋葉出版, 1985.
- 9) 濱崎: 三次元映像と動画像, 3D映像, 1-1, 1987.
- 10) 井越: 三次元表示技術の展望, 精密工学会誌, 54, 2, 1988.
- 11) 井越: コンピュータグラフィックス用入出力装置, 情報処理, 29-10, 1988.
- 12) D. Marr, 乾, 安藤訳: ビジョン, 産業図書, 1982.
- 13) L. Lipton, L. Meyer: A Flicker-Free Field-Sequential Stereoscopic Video System, SMPTE. Journal, Vol. 93, No. 11, pp. 1047-1051, 1984.
- 14) L. Lipton, L. Meyer: A Time-Multiplexed Two-Times Vertical Frequency Stereoscopic Video System, SID International Symposium Digest vol. XV, 1984.
- 15) 首藤: 立体視可能な三次元グラフィックディスプレイ, 映像情報, 20-1, 1988.
- 16) T. Hioki, T. Toyama, Y. Morita, H. Watanabe, H. Isono, M. Yasuda, H. Kusaka, M. Yamada: Frictionless 3-D Laser Video System, SMPTE., Television Technology in Transition, pp. 96-106, 1988.
- 17) FlowEyes 取扱説明書, (株)ソリッドレイ研究所, 1988.
- 18) 岩崎: 三次元表示の医療分野への応用, 3D映像, 2-2, 1988.
- 19) 功刀, 横川, 秋山, 中西: 境界適合座標系による曲がり円管内流れの数値解析, 流れの可視化, 8-30, 1988.
- 20) 功刀, 横川, 住吉, 秋山, 中西: 両端に直管を接続した180°曲がり円管内層流の数値解析, 第2回数値流体力学シンポジウム, 1988.
- 21) 功刀, 横川, 住吉, 杉山, 秋山: 境界適合座標系を用いた曲り円管内層流の混合, 第26回日本伝熱シンポジウム講演論文集, pp. 334-336, 1989, 5.
- 22) 功刀, 横川, 住吉, 秋山, 中西: 境界適合座標系による曲り円管内層流の数値解析, 機械学会東海支部岐阜地方講演会論文講演, 1989, 7, 14, No. 88-1562A(論文集掲載予定).