

## 2.6 仮想現実空間における立体音響システムの開発と数値シミュレーションモデルへの適用

田村祐一	tamura@toki.theory.nifs.ac.jp	核融合科学研究所
陰山聡	kage@nifs.ac.jp	核融合科学専攻・核融合科学研究所
佐藤哲也	sato@toki.theory.nifs.ac.jp	核融合科学専攻・核融合科学研究所

One of the most practical objectives to use virtual reality system in science is to make it easy to intuitively percept complex physical phenomena. A virtual reality system, called CompleXcope, was proposed. This virtual reality system can represent “real” 3D visual and auditory environment. Since attractive physical phenomena becomes more and more complex, it becomes unavoidable recognize by using “real” 3D representable tools such a virtual reality tool. But it is insufficient to recognize such complex phenomena by only using visual sense, so we were developed virtual reality system with 3D sound. We present an example produced by this system.

### 2.6.1 はじめに

近年コンピュータ技術の発展とともに、コンピュータシミュレーションも大規模かつ複雑なものになってきている。これまで数値シミュレーション結果の表現方法として、2次元グラフ等による表現手法が用いられてきたが、2次元的な表現手法のみでは、複雑な物理現象を十分に把握することが難しくなってきたため、3次元モデルの可視化ソフトの活用が進んでいる。

さらに最近の数値シミュレーションでは、モデルの複雑性がますます高まり、3次元可視化ソフトの使用のみでは、物理現象の把握が難しいまでになっている。核融合プラズマの数値シミュレーションに見られるような非線型、多次元かつ時間発展問題などは、典型的な一例である[1][2]。そこで、このような複雑かつ大規模な数値シミュレーション結果を表現するため、バーチャルリアリティシステムの利用が進みつつある。バーチャルリアリティ空間では、表現された物理モデルに没入し、様々な角度からシミュレーション結果を検討することが可能であるため、現象の把握が従来の3次元ビジュアライゼーションソフトと比較して容易であることが特徴であり、大きな効果を上げている。

現在核融合科学研究所でも、バーチャルリアリティシステムを数値シミュレーション結果の可視化に利用しているが、物理現象の詳細な把握には大局的な現象把握と局所的な現象把握を同時に行うことが重要であることも少なくない。しかしながら、バーチャルリアリティの利点である没入感が逆に大局的な情報を失わせる原因にもなっている。つまり、詳細部分を表示しその部分に没入した場合、大局的な認識が難しくなるということがしばしばおこる。そこで今回視覚情報以外に聴覚情報を加えることにより、局所的な現象を見ているにも関わらず大局的な現象も同時に認識可能な立体音響仮想現実システム (CompleXcope) の研究を行った。そのシステム構成および本システムを利用し、核融合実験装置の数値シミュレーション結果をバーチャルリアリティ空間内に表現したアプリケーションについて述べる。

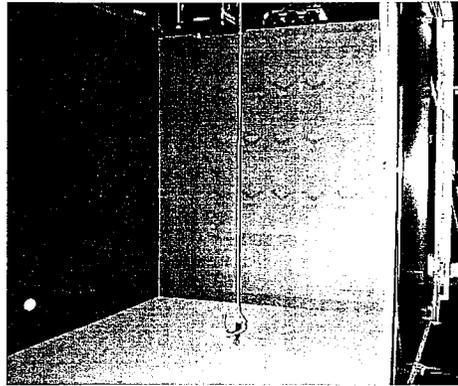


図 1: バーチャルリアリティーシステム外観

## 2.6.2 CompleXcopeシステム概要

### 2.6.2.1 仮想現実システム構成

今回開発したバーチャルリアリティーシステムはUniversity of Illinois at ChicagoのElectronic Visualization Laboratory(EVL)で開発されたCAVEシステム[3]を基礎としている。4面のスクリーン(約3m x 3m 床面、正面、左面、右面)と4台のプロジェクター(Electrohome MARQUEE9500LC-3D)、視点および入力デバイスの位置・角度をトラッキングするシステム(Ascension Technology, Flock of Birds)とステレオ画像の生成および制御を行うグラフィックワークステーション(SGI Onyx2; 8 x R12000 CPU, 4 x Infinite Reality 2)から構成されている。ステレオ画像は、正面・左右スクリーンについては、後方より投影され、床面に関しては上方より投影される。図2にCompleXcopeシステムの構成を示す。

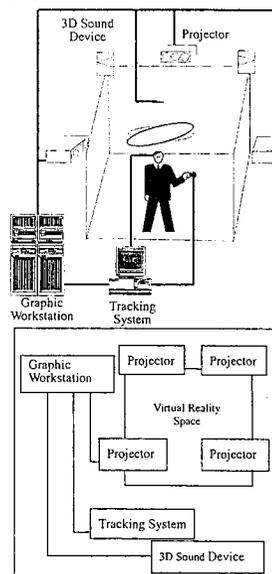


図 2: CompleXcopeシステム構成

ステレオ画像の記述にはOpenGLもしくはSGI Performerを通じてVRMLをはじめとする様々な3Dデータが使用可能となっている。このベースシステムに後述する立体音響システムをリンクし、立体音響仮想現実空間を実現している。

### 2.6.2.2 立体音響システム構成

立体音響に関する研究は古くから行われ ([4]、[5]等)、実用化されている分野も少なくない。また数値シミュレーション結果の音を使った表現法については、[6],[7]のような研究が行われ、音をインタラクティブにコントロールする研究も[8]のように行われている。しかしながら、観測者の頭の位置がリアルタイムで変化したり、空間の画像がリアルタイムで書き換えられるバーチャルリアリティ空間における立体音響技術については、まだまだ不十分な部分が多い。

バーチャルリアリティ空間におけるステレオイメージはトラッキングシステムから得られる観測者の頭の位置、角度、さらには観測者が仮想現実システムに与えるアクション等により逐次更新される。この観測者の頭の位置および角度情報をトラッキングシステムからワークステーション上に取り込み、ワークステーション上でリアルタイムに計算された音源位置データとの相対位置関係を求める。その相対位置データを使いスピーカーから出る音を制御し、立体音響空間を実現する。

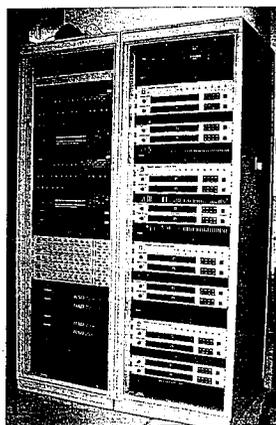


図 3: 立体音響システム外観

立体音響システムは主に5台の音源モジュール (Roland AR-2000 x 2, Roland JP-8080 x 2, Roland JV-2080 内1台は切り換えにより使用)、16台の立体音響生成装置 (Roland RSS-10 x 16)、4台のサウンドミキサー、8台のスピーカーからなっている。

アプリケーションの起動とともに、バーチャルリアリティ空間のパラメータ (床面の反射係数、観測者の床面からの距離、壁面の反射係数等) がMIDIインターフェイスを通して立体音響生成装置に送られる。その後、アプリケーション内で逐次音源データ (音の大きさ、ピッチ等) を定義し、リアルタイムで音源モジュールに転送し、与えられた各音源データに応じて、音が生成される。その後音源データは立体音響生成装置に送られ、相対位置情報から頭部伝達関数を求め、それぞれのスピーカーでの出力を決定する。また本システムでは前回処理した時の相対位置情報を保持しておくことにより、ドップラー効果を入れることも可能である。このようにして求められた音データをサウンドミキサーで混合し、最終的にスピーカーから出力することで立体音響空間を実現する。

### 2.6.3 音響システムを利用したアプリケーション例

立体音響システムを利用した、核融合プラズマ実験装置LHD (Large Helical Device) のシミュレーション結果を可視化し、音響効果を付加したアプリケーションについて説明する。

核融合実験装置は図5に示すような、直径10mのらせん形状の超伝導コイル2対からなっている。

このコイル間に非常に強い磁場を発生させ、その磁場内にプラズマ粒子を閉じ込める実験装

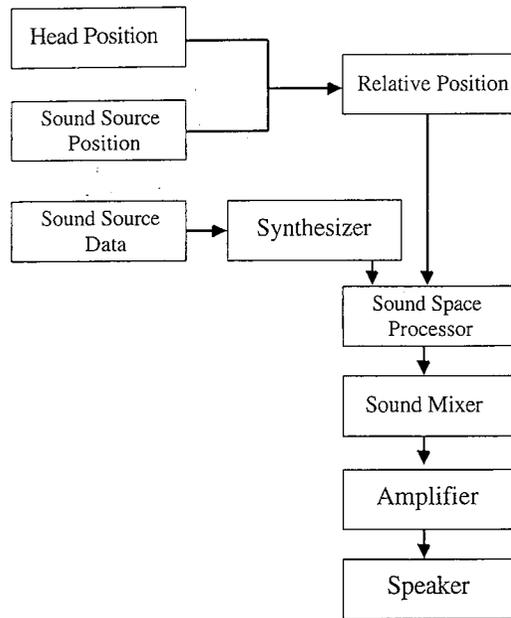


図 4: 立体音響システム構成

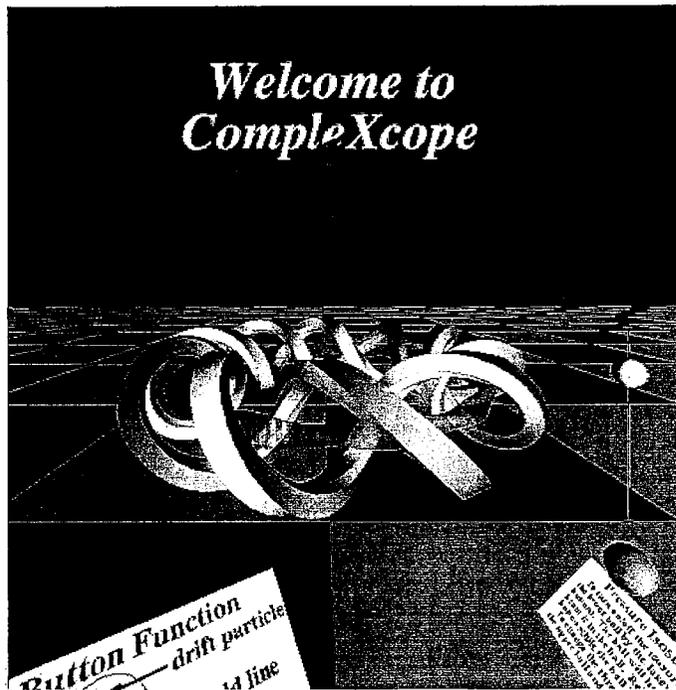


図 5: Large Helical Device

置である。将来的に核融合反応を実現するためには、プラズマ粒子の密度を高くし、プラズマ粒子同士の衝突確率を高める必要があるが、プラズマ粒子密度は、磁場構造に大きく依存している。数値シミュレーション[9]により、最適な磁場構造およびプラズマ粒子の物理的振る舞いを突き止めることは核融合装置の実現にとって非常に重要であるとともに、科学的にも非常に興味深い課題である。しかしながら、コイル間の磁場構造およびプラズマ粒子の運動は非常に複雑であるため、従来の表現手法でその物理的な振る舞いを理解することは難しかった。そこで複雑な振る舞いを容易に理解するため、バーチャルリアリティ空間にこのモデルを構築した。

図6に示すように、プラズマ粒子の磁場内での運動は大きく2種類のパターンに分けられる。コイル内をスムーズに回転する運動パターン(a)と磁力線にトラップされ往復運動を行いながら、コイル内を回転するパターン(b)である。(b)のような運動をバーチャルリアリティースペース内で観



図6: (a)スムーズに回転するパターン、(b)往復運動を行うパターン

測しようとする、局所的な往復運動と、大局的な回転運動を同時に把握する必要がある。しかしながら、視覚情報だけではその二つを同時に観測することは非常に難しいため、立体音響システムを利用し、大局的な運動は聴覚で、局所的な運動は視覚で観測するアプリケーションを作成した。このシステムを利用することにより、現在のプラズマ粒子の位置情報および運動モードを聴覚により認識することが可能となり、物理現象の把握を深めることを可能とした。

#### 2.6.4 むすび

今回仮想現実空間に立体音響システムをリンクさせた立体音響仮想現実システム(CompleXcope)を開発した。また、本システムを利用した数値シミュレーション結果の可視化アプリケーションの例について報告した。立体音響技術を仮想現実装置に適用することにより、これまで同時に観測することが難しかった大規模シミュレーションにおける大局的および局所的な物理現象を同時に把握することが容易となった。同様に従来手法では表現が難しい多次元数値シミュレーション等の結果

表現方法に非常に有効であると考えられる。他のケースとして、物理現象を複数人で議論する場合や、他の人に説明を行う場合など、シミュレーション結果を見ながら、多人数で議論することも少なくない。シミュレーションを行った本人には物理現象が明確に解っても、他の人にとっては理解し難いことが複雑なシミュレーションの場合しばしば起こる。このような場合、今回報告したシステムを利用することにより、情報量を視覚情報のみの場合より、多くすることが可能である。このことにより、理解が深まり、より緊密な議論が行えると考えられる。

#### 文献

- [1] 陰山聡, 田村祐一, 佐藤哲也: CAVEシステムComplexScopeとその物理学研究への応用, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌(submitted), 1999.
- [2] 陰山聡, 佐藤哲也: VRによる核融合シミュレーションデータの可視化, Computer Visualization Symposium '98論文集, pp. 61-64, 1998.
- [3] C. Cruz-Neira, D. J. Sandin, and T. A. DeFanti: "Surround-Screen Projection-Based Virtual Reality: The Design and Implementation of the CAVE.", Proceedings of SIGGRAPH '93 Computer Graphics Conference, pp. 135-142, 1993.
- [4] 鈴木陽一, 浅野太, 曾根敏夫: 音響系の伝達関数の模擬をめぐって (その1), 日本音響学会誌, Vol. 44, No. 12, pp. 936-942, 1988.
- [5] 鈴木陽一, 浅野太, 曾根敏夫: 音響系の伝達関数の模擬をめぐって (その2), 日本音響学会誌, Vol. 45, No. 1, pp. 44-50, 1989.
- [6] S. Barras: "A Perceptual Framework for the Auditory Display of Scientific Data", Proceedings of the Second International Conference on Auditory Display ICAD'94, pp. 131-144, 1994.
- [7] S. Smith, H. Levkowitz, R. M. Pickett, and M. Torpey: "A System for Psychometric Testing of Auditory Representations of Science Data", Proceedings of the Second International Conference on Auditory Display ICAD'94, pp. 217-230, 1994.
- [8] S. Das, T. Defanti, and D. Sandin: "An Organization For High-Level Interactive Control of Sound", Proceedings of the Second International Conference on Auditory Display ICAD'94, pp. 217-230, 1994.
- [9] K. Harafuji, T. Hayashi, and T. Sato: J. Comput. Phys., Vol. 81, 169, 1989.