

## バーチャルリアリティ装置でプラズマの世界を探検しよう

大谷 寛 明

3次元テレビや3次元映画、3次元ゲーム機などをみなさんは見たり使ったりしたことがありますか？まるで目の前にモノが浮かんでいるように見えて、とても驚いたのではないのでしょうか。これは立体視という手法を使って、平面に映し出された画像を立体的に見せています。人間は右目と左目でわずかに異なる映像を見て（これを視差といいます）、その左右の違いを脳が認識してモノを立体的に見ています。この視差を利用した立体視の手法を3次元テレビなどでは採用しています（実際に人間が立体的にモノを見るときは、視差の他に、眼球の動きや水晶体の厚さの変化、影の付き方、対象の大きさなど、様々な要因を統合しています）。

核融合科学研究所（NIFS）には、あたかも目の前にモノがあるかのように見せることができるバーチャルリアリティ装置“CompleXcope（コンプレックスコープ）”があります（図1）。モノが浮かんで見える仕組みは3次元テレビなどと同じですが、CompleXcopeでは、大きなスクリーンで囲まれた部屋の中でモノが浮かんで見えるので、自分がまるでそのモノに取り囲まれたように感じることができます。また、見ている人が体を使っていろいろと視点を変えることができるので、そのモノを中から見たり外から見たり、

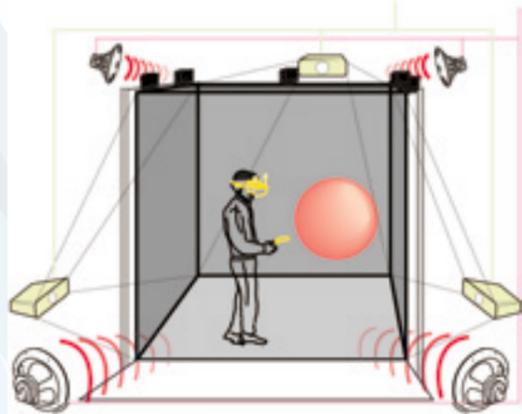


図1 没入型バーチャルリアリティ装置“CompleXcope”の模式図。

いろいろな方向から見ることでも、コントローラーで動かしたりすることもできます。CompleXcopeで映し出される映像はコンピュータによって作り出され、様々な動きが制御されています。例えば飛んでいるボールがあれば、そのボールを飛ばし続けることもできます。このように、本当はそこにモノが存在しないが、まるでモノがあるように見えたり感じたりできる世界をバーチャルリアリティの世界と呼びます。

図1のような没入型バーチャルリアリティ装置は1993年に発表されて以来、世界中に普及しています。その中でも科学的な可視化を行うことを目的として日本で最初に導入されたのがNIFSのCompleXcopeです。それ以来、シミュレーションデータの可視化だけでなく、観測データの可視化、構造物の設計支援システム、医学分野への応用などを行ってきました。現在も神戸大学や兵庫県立大学、甲南大学、海洋研究開発機構などとの共同研究でCompleXcopeを使った可視化研究を進めています。ここでは、最新の成果として、シミュレーションと実験装置データの同時可視化と時系列データのバーチャルリアリティ可視化の研究について紹介します。

磁場に閉じ込められた高温のプラズマは複雑な振る舞いを示します。この複雑な現象を調べるため、スーパーコンピュータなどを使ったシミュレーション研究が行われています。シミュレーション研究は複雑な高温プラズマの様子をコンピュータの中で再現します。再現されたプラズマの中で、3次元的に複雑な構造を示す磁場や荷電粒子の運動の様子を様々な視野方向から観測してより直感的に現象を探索するため、CompleXcopeを使った可視化研究を推進しています。図2は、NIFSの大型ヘリカル装置（LHD）の平衡プラズマのシミュレーション結果をLHD真空容器の内部に表示した結果です。真空容器の内部は実験装置の設計で使われているデータを使っているので、プラズマを加熱するためのアンテナや、プラズマ周辺からやってくる不純

物などを排気するダイバータ板の配置も忠実に再現しています。真空容器の中にプラズマのシミュレーション結果を表示することで、プラズマと実験装置の空間的な関係を調べたり、複雑な磁場の構造を直感的に調べたりすることができます。図2では、プラズマを閉じ込めている磁気面（閉じた磁気面）や、周囲の磁場の構造から孤立して島状になった磁気島、磁力線の構造が複雑になっているストカスティック領域の様子が描かれています。

図3は、磁力線の再結合に関するシミュレーションの結果をCompleXcopeで解析している様子とその結果です。時々刻々変化するプラズマの様子を、その時間変化を含めてバーチャルリアリティ空間にムービーで再現したり、再結合した磁力線の様子やその電磁場の中で複雑な軌道を描くイオンの様子を調べたりすることができます。この研究により、磁力線再結合とイオンの複雑な軌道との関係を直接調べることができました。この研究によって、プラズマ中の粒子の急速な加熱現象等の解明が進み、核融合プラズマの理解がさらに進展するものと期待されます。

このようにCompleXcopeを使えばコンピュータが作る様々なバーチャルリアリティの世界に観測者が入り込むことができ、人間の空間を認

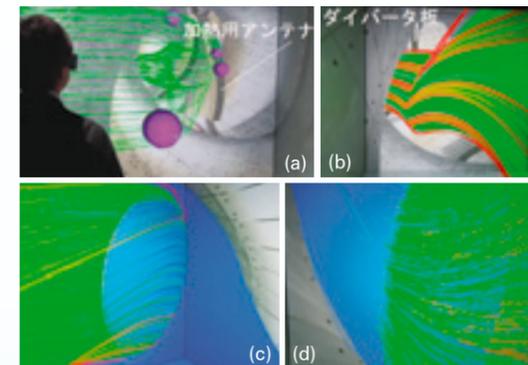


図2 LHDプラズマのシミュレーション結果を実験装置の中に表示。プラズマを加熱するためのアンテナやダイバータ板が図(a)と(b)に表示されています。図(a)のマゼンタの球はプラズマに閉じ込められた粒子です。CompleXcopeの中ではこの粒子が動く様子を見ることができます。緑と赤の線はそれぞれ1本の磁力線を表します。青い面の上には磁力線と青い面の交点が表示され、磁場の構造を調べることができます。図(c)の緑の磁力線は閉じた磁気面を、赤の磁力線は磁気島を形成しています。それらの3次元的な構造を図(b)のように見ることができます。図(d)では複雑な磁場構造（ストカスティック領域）を形成していることが分ります。

識する能力を総動員して物理現象を「目の当りに」観測することができます。また、時間の流れとともに複雑に変わっていくプラズマを、時間を進めたり止めたりしながら、プラズマの世界を探検することができます。プラズマを作っている粒子一つ一つの動きを見たり、プラズマを閉じ込めている磁場の構造が、いろいろと形を変えていることを知ったりすることもできます。さらに、CompleXcopeによる可視化はシミュレーション結果の解析だけではなく、実験結果の解析や炉設計でも大いに役立つと期待されています。今後、様々な分野の研究者と協力しながら、バーチャルリアリティ装置による可視化の研究を進めていきたいと思ひます。なお、CompleXcopeはNIFS施設見学コースのオプションコースのひとつですので、一般の方にも体験していただくことができます。みなさんもこのバーチャルリアリティの世界を探検してみませんか？

（基礎物理シミュレーション研究系・准教授）

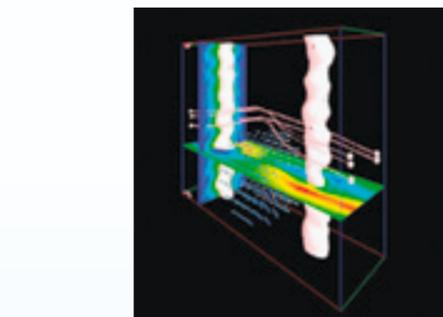


図3 磁力線の再結合のシミュレーション結果の可視化。上図で青線と白線はそれぞれ磁力線とイオンの粒子軌道を、赤球と青球は磁力線の出発点と終点を、緑の面はプラズマ圧力の等値面を表します。下図でピンク線は磁力線を、ピンクの面は粒子の等密度面を、2枚のカラーマップはそれぞれ磁場と等密度面の様子を、矢印は磁場の構造を表します。ムービーのようにプラズマの構造が複雑に時間変化していく様子を見ることができます。