

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 林 淳哉

本論文は「全周囲裸眼立体提示撮像システムを用いた空間共有に関する研究」と題し、6章からなる。近年、自分が現存する場所にいながらにして、ロボットの働く遠隔環境にあたかも存在するような臨場感を有して空間を観察し、その空間で行動することを可能とする技術が確立されつつあり、テレグジスタンスと呼ばれている。一方、遠隔地間でのコミュニケーションのためのテレビ電話などが開発されているが、自分がその場にいるような臨場感や、相手が目の前にいるような存在感を得るにはいたっておらず、実際に面談しているようなコミュニケーションを可能とする新しいシステムが求められている。本論文はコミュニケーションのための空間共有を可能とする、裸眼の全周囲立体映像提示機能と全周囲からの使用者の撮像機能とを合わせ持った臨場的三次元映像相互提示システムを提案し、空間共有のためのシステムの設計法を明らかにするとともに、実際のハードウェアを構成してその効果を実証して、今後の実用と応用への道を拓いたものである。

第1章は「序論」で、遠隔地にいる人間同士が互いに目の前にいるのと同等の状態で対面している状況を作り出す「相互テレグジスタンス」という概念を述べ、相互テレグジスタンスを実現するための提示・撮像機構の要件を、「3次元性」「実時間性」「没入性」の観点から論じている。表情などの非言語情報の重要性を考慮すると、顔面への装着物なしに立体映像を見られることが望ましく、空間を共有する必要があることから全周囲の提示が必要となる。この要件を満足する方式が TWISTER (Telexistence Wide-angle Immersive STEReoscope) であり、1996年にその基本概念が提唱され、これまでに試作機が作られてきているが、使用者を撮像する機能を組み込み、空間共有を実現するには至っていなかった。使用者の全周囲からの映像を取り込み、それを相互に提示しあって相互テレグジスタンスを実現するための撮像機構を、提示機構と物理的に干渉することなく配置可能なシステムとして提案し、具体的に設計し製作して、その有効性を実証するという本研究の目的と立場と意義とを明らかにしている。

第2章は、「撮像機能を持つ没入型裸眼立体ディスプレイの設計と製作」と題し、TWISTER における提示・撮像原理を述べ、既存の試作機 (TWISTER III) の問題点を踏まえ、新しい試作機 (TWISTER IV) の設計と実装について論じている。小型フルカラーLED (1.6mm x 1.5mm、) を使用し、データ伝送に光信号を用い、高速なディスプレイ走査 (60Hz) を行うことで全周 3168 画素、垂直 600 画素の高精細画像を約 2.0mm ピッチで安定に提示しつつ、36 台の高速移動カメラを提示機構と物理的に干渉することなく配置し、全周囲からの撮像を可能とした TWISTER IV が設計され実装されている。特に、撮像情報と提示情報は、光信号に変換され、光ロータリージョイントによって回転接続されており、提示機能には DVI、撮像機能には IEEE1394 を用い 5.94Gbps という広帯域のデータ伝送が可能となっている。

第3章は「内向き円筒型ステレオ立体ディスプレイのためのレンダリング手法」と題し、円筒形状の TWISTER ディスプレイ面にステレオの立体映像を提示するためのレンダリング手法について論じている。TWISTER 内部の使用者の視点位置の自由度を首振り方向の 1 自由度に限定することで、視点位置の追跡なしにステレオ映像の提示を可能とする方法を示している。全周の視野角を有限個の領域に分けて

それぞれ描画計算を行なって、円筒補正をかける方法と、バーチャル空間の物体の描画において物体を正面方向に見据えた使用者の視点位置を仮定し、物体の存在位置に応じて仮定する視点位置を連続的に移動させながら描画する手法が有効だとしている。前者は、各描画計算における視錐台が左右対称であることから計算上有利であり、また想定された位置から映像を見ると空間的に広がりのある立体映像が見られるものの視点位置の変化に対して脆弱であるが、後者では、正面以外の周辺視領域においては立体映像に歪があるものの、視点位置の変化に対して安定性が見られたという。

第4章は「高速移動多カメラを用いた撮像システム」と題し、円筒状に 36 個のカメラが配置されて使用者の周りを高速移動する TWISTER の撮像機構を活用した撮像方式について述べ、さらにそれを用いた自由視点映像合成に関する理論を展開している。使用者の周りを高速に旋廻する複数カメラのシャッタタイミングを制御し、複数カメラで水平方向 360 度の任意の角度から使用者を撮影した映像ストリームを合成することで、多様な映像出力を得るものである。本手法のメリットは、提示機構と干渉することなく撮像機構を備えられる点であり、映像を鑑賞する使用者の正面方向からでも鑑賞映像を阻害することなく撮影することができる。また、各カメラのシャッタタイミングの制御によって、撮影位置とフレームレートを自由に調整し、複数の撮影位置から低フレームレートで映像を取得したり、1つの撮影位置から高いフレームレートで映像を取得したりすることが可能になる。カメラを円筒状に固定して被写体を高速に回転させる被写体回転系を用いて予備実験を行った後、TWISTER IV 本体にカメラを搭載して、実際の撮像機構を構築し、12 台のカメラを制御して、約 10fps の映像ストリームを取得している。

第5章は「TWISTER を利用した相互通信システムの構築」と題し、空間共有に関するこれまでの研究事例を踏まえ、提示と撮像という TWISTER の 2 つの機能を活かした相互通信システムについて述べ、実装例として TWISTER - SeeLinder (外向き全周立体映像提示装置)間の通信、と TWISTER - TWISTER 間の通信を取り上げている。TWISTER - SeeLinder 間の通信に際しては、外向き全周への立体映像提示という SeeLinder の提示特性と、内向きで 360 度任意の位置から使用者を撮像可能な TWISTER の撮像機構を組み合わせ、TWISTER 内部の使用者が SeeLinder に提示されるようにしている。ただし、SeeLinder および TWISTER の機能制約から、使用者を複数方向から撮影した映像を同時に扱うことが困難であったため、SeeLinder 側の観察者に磁気位置センサを持たせ、観察者の位置に応じて、TWISTER 内部の使用者が見られるようにしている。TWISTER - TWISTER 間通信に関しては、TWISTER IV と同等機能を持った TWISTER V を日本科学未来館に設置し、Dynamic Billboard という概念を提案して、VR 空間上の互いの使用者の位置に応じて、対面相手が正しい方向から撮影され、互いに描画されることを可能とする方法を示している。また、TWISTER IV 単体の提示機構・撮像機構を直結し、TWISTER IV を体験する自分自身をリアルタイムに観察することもあわせて行っている。

第6章は「結論」で、本論文の結論をまとめ、今後を展望している。

以上これを要するに、本研究では、遠隔地間での臨場的な面談コミュニケーションを工学的に達成するための空間共有方式を提案し、裸眼で全周囲立体動画映像を臨場的に提示しつつ、それを使用する使用者の映像を全周囲の任意視点から映像を阻害することなく撮影可能な装置を設計し、実際のハードウェアを構成して評価することにより提案方式の効果を実証して、今後の実用と応用への道を拓いたものであって、システム情報学及び人工現実感工学に貢献するところが大きい。

よって、本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。