

## SAMTK-3D を用いた多地点間仮想空間 コミュニケーションとその応用

浅井 俊晴<sup>†1</sup> 中山 裕美<sup>†1</sup>  
梶 克彦<sup>†1</sup> 河口 信夫<sup>†1</sup>

ネットワーク、PC の発達に伴い、プレゼンテーションなどのネットワークを通じた中継が広く普及しつつあり、それには動画配信、ビデオコミュニケーションシステム、3次元仮想空間上でのコミュニケーションサービスなどが用いられる。しかし、それらの既存のシステムでは、展示会やポスターセッション、学会などへの相互コミュニケーションを伴う遠隔参加を実現することは難しい。これに対し、我々は、3次元仮想空間コミュニケーションシステム SAMTK-3D の開発を行っている。このシステムでは、仮想空間上に実空間で行われているイベントを再現し、実空間と仮想空間の間での相互のコミュニケーションが可能な遠隔参加を目指している。本稿では、SAMTK-3D を用いたイベントへの遠隔参加の実験を行い、その可能性と、問題点を検証する。実験はポスターセッションと研究ミーティングへの遠隔参加の2つを行い、利用者が感じるストレスなどに関する知見を得られた。

### Multipoint Virtual Space Communication and Applications using SAMTK-3D

TOSHIHARU ASAI,<sup>†1</sup> YUMI NAKAYAMA,<sup>†1</sup>  
KATSUHIKO KAJI<sup>†1</sup> and NOBUO KAWAGUCHI<sup>†1</sup>

Recent development of the internet and PCs enables remote presentations over networks. Video streaming, video communication systems and communication services in 3 dimensional virtual space also utilize network services. However currently it is difficult for the existing systems to achieve remote participation that require mutual communication such as exhibitions, conferences and poster sessions. In contrast to this, we are developing SAMTK-3D which is a communication system in 3 dimensional virtual space that aims at reproducing the event held on a real space onto a virtual space and realize remote participation such that the mutual communications between a real space and virtual space are possible. In this paper, we perform experiment of the remote

participation with SAMTK-3D and verify the possibilities of such participation and the possible problems. We performed two experiments, one is a poster session and the other is a research meeting and we obtained knowledge of the stress which users receive while using this system.

#### 1. はじめに

ネットワークや PC の発展と共に、多地点のテレビ会議システムや 3次元仮想空間上でのコミュニケーションサービスの普及が広がっている。

多地点のテレビ会議システムとしては、専用の機器を用いることで、高画質、高音質なコミュニケーションが可能な Polycom<sup>1)</sup> や Cisco Telepresence<sup>2)</sup> といったシステムが存在し、多くの企業や大学で導入されている。Web 会議システムには 1000 人が同時に接続可能なシステム<sup>3)</sup> も存在し、移動に伴う経費や時間の削減に有効である。しかし、これらの会議システムは、基本的には画面に表示される相手との会話を行なうのみであるので、用途が会議や講演会に限られてしまう。多数のブース間の移動を伴う展示会や、ポスターセッション、学会などの、内容だけでなく、会場の雰囲気や人との接触も重要となるイベントは、それらのシステムでは再現し難い。そういったイベントは、実空間で人が行き交う様子を再現できるようなシステム上で行うことが望ましく、現実世界と同様に空間内を移動できるような、3次元空間仮想空間上で行うことが適していると考えられる。

3次元仮想空間サービスとしては、ユーザによって仮想世界を構築した Second Life<sup>4)</sup> が世界的に有名であり、その成功に続いて日本国内でも多くの仮想空間サービスが開始された<sup>5)6)</sup>。また、最近では、会議やプレゼンテーションを目的とした仮想空間サービス<sup>7)8)</sup> も作られ、世の中に浸透しつつある。しかし、これらの仮想空間サービスは、アバターを用いているものがほとんどであり、カメラの映像を用いているものの中には存在するが、自分の周囲の数人の参加者の映像がディスプレイの端に表示されるのみである。相手の表情やうなずき、動作といった非言語情報はコミュニケーションをするに当たって重要な要素であるため、より臨場感を高めるために、仮想空間上の参加者の位置にそれぞれのカメライメージが表示されることが望ましいが、そのような 3次元空間上での多地点遠隔ビデオコミュニケーションシステムは実用化されていない。

<sup>†1</sup> 名古屋大学大学院 工学研究科

Graduate School of Engineering, Nagoya University

我々は、3次元仮想空間上に、実空間で行われているイベントを再現し、実際に参加しているような感覚を味わえるイベントへの遠隔参加を目指している。そのために、3次元仮想空間上で多数の参加者が同時に接続可能で、多様なイベントが実現可能なビデオコミュニケーションシステムとして、SAMTK-3Dの開発を行っている。SAMTK-3Dでは、3次元仮想空間内を参加者が自由に移動しながら、映像と音声によるコミュニケーションが可能である。参加者それぞれがカメラデバイスから取り込んだビデオ映像が、全ての参加者分表示され、お互いの表情や動作を常に見ながらのコミュニケーションが可能である。さらに、仮想空間サーバの導入<sup>9)</sup>により、ユーザ間の距離や向きに応じてデータ送信を行うかどうかを判断することで、トラフィックの抑制を可能としている。また、仮想空間上での臨場感を高めるためには、音響についても実空間に近づける必要がある。会話の際、ユーザの位置関係を考慮せずに音声を再生してしまうと、ユーザの仮想空間上での位置を音声から読み取れず、実環境で感じられるような雰囲気失われてしまう。仮想空間においてより実空間に近い臨場感をえるために、SAMTK-3Dの拡張機能として、OpenAL<sup>10)</sup>を用いて3次元音響を実装した。仮想空間上での座標を変換し、OpenALのプロパティとして与えて音声を再生し、仮想空間上の位置関係を音声に反映させ、臨場感を高めることができた。

本稿では、SAMTK-3Dのシステムとその拡張機能、それを用いたイベントへの遠隔参加の検証実験について述べる。2章では関連する他の研究について、3章では本稿で利用するSAMTK-3Dについて、4章ではSAMTK-3Dに導入した拡張機能について、5章では検証実験について述べる。

## 2. 関連研究

3次元仮想空間上でのコミュニケーションに関する研究として、中西らのFreeWalk<sup>11)</sup>がある。FreeWalkでは、3次元仮想空間上を自由に動き回り、映像と音声によるコミュニケーションを図るものであるが、特に、日常会話のようなカジュアルなミーティングを目的としたものである。FreeWalkの評価実験として、FreeWalkと標準的なデスクトップビデオ会議システムとface-to-faceのミーティングの3つによって比較した結果、FreeWalkにおける参加者の発言権の移動が最も頻繁に行なわれると共に、参加者の発言頻度が最も平等になることが明らかになった。また、FreeWalkよりもface-to-faceの方がより多く雑談が行なわれていたが、一方で、ビデオ会議システムではほとんど雑談が起らなかったことも示されている。このことから、人間関係の維持や協調作業に必要なと言われるカジュアルなミーティングにおける3次元仮想空間の有効性が示されたと述べられている。しかし、ビデオコ

ミュネーションのような環境だけを提供することで、遠隔地間の日常会話を支援するのは不可能ではないかという意見もあり、中西らは次第に研究の方向性を変化させ、現在では、仮想空間上での災害シミュレーションの実現や、仮想空間上に現実世界を再現し、その街を訪れる人が事前に計画を立てたり、ルートを確認するための案内エージェントを配置した仮想都市の構築を進めている<sup>12)</sup>。本研究では、仮想空間上に実空間を再現するだけでなく、実空間で行われているイベントをリアルタイムで仮想空間上に再現し、実空間と仮想空間での相互コミュニケーションを目指す。そして、システムを構築するだけでなく、実際のイベントでの運用を重ねることにより、より有用なシステムとすることを目指している。

また、堀内らは、1000人規模でのテレビ会議の実現を目指した研究を行っている<sup>13)</sup>。この研究では、P2P技術を用いたテレビ会議データ配信ネットワークを、ピアの利用可能帯域や発話量に応じて動的に再構成し、発話者から参加者へのデータの配信遅延を抑えている。シミュレーションの結果、1000人の参加者からなる会議において、活発な発話者が10数名程度の会議であれば、円滑なテレビ会議が行えるように発話者間の遅延を抑えることができた。しかし、ポスターセッションのようなイベントの場合、仮想空間内の参加者全員に対して発言する必要はなく、発表者の周りの参加者間でのみ、データをやり取りするだけで十分である。したがって、本研究が目指す、多様なイベントの参加者同士のコミュニケーションを伴う遠隔参加のための多地点コミュニケーションシステムとは異なる。本システムでは、距離と向きに応じて会話の必要がない参加者を判断し、その参加者間の通信を無くすことで、我々が対象とする場面に対して効率的なトラフィック制御を行っている。

## 3. 3次元仮想空間遠隔ビデオコミュニケーションシステム SAMTK-3D

SAMTK-3Dは、各参加者が起動するクライアントアプリケーションと1台のPCで起動する仮想空間サーバから成る。

### 3.1 SAMTK

SAMTK-3Dの実装には、SAMTK<sup>15)16)</sup>というライブラリを用いている。SAMTKとは、マルチプラットフォーム対応の多地点間通信基盤ソフトウェアであり、プロトコルに依存しない多地点間通信アプリケーションが構築可能である。SAMTKはオープンソースであり、C++と、GUIのツールキットとしてNokia社がオープンソースで提供するQtツールキットを利用し、マルチプラットフォームへの対応を実現している。SAMTK、及びそのサンプルのソースコードはSourceForge<sup>17)</sup>からダウンロード可能である。

### 3.2 クライアントアプリケーション

クライアントの実装に SAMTK を用いることにより、複数のクライアントとのパケットの送受信を P2P で容易に行う事が可能とした。各参加者はクライアントアプリを立ち上げると、まず自分の名前を入力する。入力を行うと自動的にサーバに接続され、サーバに名前と IP アドレスが登録される。参加者が仮想空間上を移動すると、その位置と向きがサーバに送信される。各クライアントの位置情報を用いてサーバが処理を行い、映像と音声の送信に関する制御パラメータのリストを作成し、移動したクライアントに送信し、クライアントは送信リストを元に UDP で直接宛先に送信する。SAMTK-3D クライアントの動作画面を図 1 に示す。画面左上には仮想空間上のユーザの位置を表す地図が表示されており、仮想空間上でのユーザの位置や向きを確認することができる。

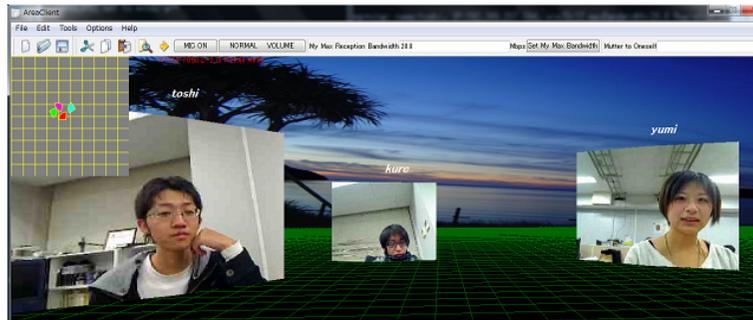


図 1 クライアント動作画面  
Fig.1 Client operation screen

### 3.3 仮想空間サーバ

仮想空間サーバは、TCP によってクライアントからの接続を受け付け、各クライアントの情報を管理する。仮想空間サーバとの通信の流れを図 2 に示す。新たなクライアントがサーバに接続すると、そのクライアントの情報を既にサーバに接続している他のクライアントに送信し、新たなクライアントに他の全クライアントの情報を送信する。そして、各クライアントが仮想空間上を移動する度に、クライアントの位置情報を受信し、クライアントの位置関係に応じた制御パラメータを含んだ映像と音声の送信リストを、各クライアントに送信する。つまり、クライアントとサーバ間のトラフィックは制御情報のみである。

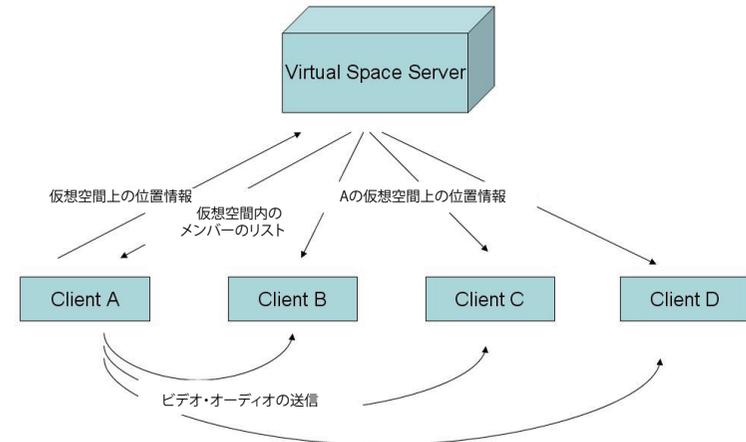


図 2 仮想空間サーバとクライアントの構成  
Fig.2 Composition of virtual space server and client

## 4. SAMTK-3D の拡張機能

### 4.1 SAMTK-3D における 3 次元音響機能

我々が SAMTK-3D に導入した 3 次元音響機能<sup>18)</sup> について述べる。クライアントアプリケーションで 3 次元音響を利用可能とするため、OpenAL<sup>10)</sup> を用いる。これは、SAMTK-3D のグラフィックスが OpenGL を用いて描かれており、OpenAL がそれに対応しているためである。SAMTK-3D では、OpenAL のリスナオブジェクトとなる自分とソースオブジェクトとなる他のクライアントの双方が移動する。西浦ら<sup>9)</sup> の音声送信リストの作成方法では、クライアント間の距離  $d$  と角度  $\theta$  の 2 つのパラメータにより、音量の制御を行っていた。この方法では、他のクライアントとの距離は判断可能だが、クライアントの位置判断は難しい。この問題を解決するために、クライアントの位置・向きを OpenAL のオブジェクトの位置・向きとし、クライアントから送信される音声を再生する。これにより、仮想空間上の各クライアントの位置から聞こえるように音声が再生され、クライアントの位置判断が可能になる。複数のクライアントから一度に音声データが送られてきた場合、音声データで満たしたバッファをクライアントごとのソースにアタッチすることで音声を再生する。複数クライアントから送信される音声の同時再生により、複数ストリームが合成され、仮想

空間上に 3 次元音響を再現できる。

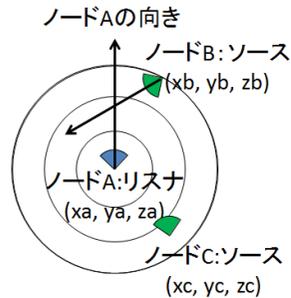


図 3 3次元音響機能を用いる際の音声再生方法

Fig. 3 Method of playing voice when three dimension sound function is used

#### 4.2 スマートフォンによる拡張

スマートフォンを利用した SAMTK-3D の拡張について述べる<sup>19)</sup>。SAMTK-3D は、PC にカメラとヘッドセットを接続して使用するが、使用者が移動する際やどこかに訪問する際に、必要な機器を持っていかなければコミュニケーションを行うことが出来ない。しかし、使用者が移動する際には、それまで行っていたコミュニケーションを途切れさせることなく、手元にある携帯端末を用いて簡易的なシステムによるコミュニケーションへの移行が望ましい。また、訪問先でのコミュニケーションの際には、自分が持ち運ぶのではなく、訪問先に設置されたメディア機器を用いて行うコミュニケーションシステムの利用が望ましい。そのために、スマートフォンを用いて、SAMTK-3D を基盤とするソフトウェアを組み込んだ、カメラやモニタなどのメディア機器を利用するシステムの構築を行った。このシステムでは、SAMTK-3D を組み込んだ PC を、カメラのみ、モニタのみ、またはその両方を持つメディア機器として扱い、スマートフォンを通して仮想空間上に設置できるよう、SAMTK-3D を拡張した。カメラデバイスであれば、PC に Web カメラを接続し、カメラに関する処理以外は行わないようにした SAMTK-3D をその PC に組み込むことで、実装する。

使用者 A が出張先から他の地点の同僚 B とコミュニケーションをとる場合を例として述べる、まず、A がスマートフォンでコミュニケーションを行う集まりである”グループ”を作成する。そして、B をそのグループ内に招待することで、コミュニケーションが形成される。スマートフォンは使用者が常に携帯するため、使用者の位置に関わらずグループは維持

される。スマートフォン間では、テキストチャットによるコミュニケーションが可能であるが、より高品質なコミュニケーションを行いたい時には、周囲のメディア機器を利用する。スマートフォンを用いて、メディア機器をグループで利用する仮想空間に登録することで、グループ内のユーザと仮想空間内でのコミュニケーションを行う。登録のためにメディア機器の情報を取得する際には、スマートフォンのカメラで図 4,5 のように張り付けられた QR コードを読み取り、簡易に取得可能である。A が出張先の企業から宿泊先のホテルに移動する際にも、コミュニケーションを継続したまま移動できる。メディア機器はコミュニケーション中に使用を取りやめたり、新たに追加することが可能なため、使用者が移動する際に一旦メディア機器の使用を取りやめてテキストチャットに切り替えられる。そして、ホテルに到着した際にはそこに設置されたメディア機器を新たに利用する、といったことが可能である。また、1 台のスマートフォンで複数台のメディア機器を扱うことも可能であり、図 6,7 のように、正面からだけでなく、横から写した画像も表示する、などといったことが可能である。



図 4 実装したカメラデバイス

Fig. 4 Implemented Camera device



図 5 実装したモニタデバイス

Fig. 5 Implemented monitor device



図 6 実空間上の機器の配置

Fig.6 Arrangement of equipment on real space

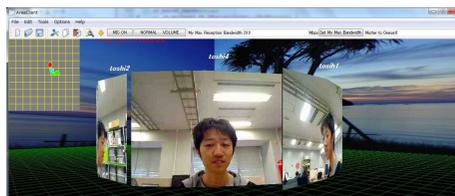


図 7 複数カメラを利用した表示

Fig.7 Display using two or more cameras

## 5. 評価実験

### 5.1 3次元音響の評価

3次元音響の有用性を評価するために、従来のSAMTK-3Dの音響機能と3次元音響機能の比較実験を行った。実験は全て被験者実験で行い、被験者がステレオヘッドホンで音を聞き、各評価項目に回答した。このとき、聴取点は静止し、向きも変化しない。音源はラジオを用い、静止4パターンと移動3パターンで検証を行った。被験者は全てのパターンをSAMTK-3Dと3次元音響機能の双方を聞き、音源が静止していた場合には音源位置とディスプレイに表示されている位置が合致しているか、音源が移動していた場合には音源の軌跡とディスプレイに表示されている軌跡が合致しているかそれぞれ5段階で評価した。

SAMTK-3Dと提案手法で、再生された音源位置と表示された位置が合致しているかの評価結果を表1に示す。表1より、全ての音源位置について提案手法は従来手法より高評価

表 1 音源位置と表示位置の合致度 (5段階評価)

Table 1 Identity frequency of sound source position and display position(Five stage)

| 音源位置 | SAMTK-3D | 提案手法 |
|------|----------|------|
| 右    | 2.3      | 5.0  |
| 左    | 2.2      | 5.0  |
| 前    | 3.5      | 4.2  |
| 後    | 2.4      | 3.2  |
| 左右移動 | 2.1      | 4.8  |
| 前後移動 | 1.8      | 5.0  |
| 斜め移動 | 1.7      | 4.4  |

となった。特に移動した場合について大きな差が出た。

実験結果より、提案手法はSAMTK-3Dより仮想空間上に3次元音響環境を再現できているといえる。特に音源が移動した場合に評価の平均の差が大きくなっている。SAMTK-3Dでは、参加者間の距離と参加者の向きでのみの制御を行っていたため、どのように移動したかを判別出来なかった。しかし、提案手法では、位置も考慮した制御を行っているため、移動の軌跡が判別可能になったためだと考えられる。左右方向についても同様の理由が考えられる。SAMTK-3Dの評価において、音源位置が前の場合の評価が最も高くなっている。実験時に、被験者に最初に前の音として聞いてもらったため、被験者がこの時に聞いた音を基準として他の音の位置を判断したと考えられる。提案手法において、前後の評価に差があるのも同様であると考えられる。

以上より、参加者の仮想空間上の位置からの音声再生により、実環境により近い3次元音響空間が再現できることが分かった。

### 5.2 SAMTK-3Dによるイベントへの遠隔参加

SAMTK-3Dによる、大規模イベントへの仮想空間上での遠隔参加の可能性を検証するため、実空間で行われるイベントをSAMTK-3Dを用いて仮想空間上でも展開し、仮想空間を介した遠隔参加の実用性についての検証を行った。

#### 5.2.1 ポスターセッションへの遠隔参加

ポスターセッションは、通常の間頭発表とは違い、一つの会場の中で多数の発表者が同時に発表を行い、それを参加者が自由に聞いて回るといったものである。このような発表形式の場合、USTREAMなどのような、動画配信の形で中継を行うだけでは不十分である。なぜなら、ポスターセッションの大きな利点は、発表中に自由に質問をすることができ、活発な議論を望めることにあり、動画配信という一方向の中継では、その利点を無くしてしまうからである。また、通常のテレビ会議システムのような平面的なビデオコミュニケーションを利用しても、ポスターの周りに人々が集まって議論をするといった会場の雰囲気、参加者が味わうことは難しい。

我々は、2010年5月に名古屋大学で行われたWIDE研究会において、SAMTK-3Dによるポスターセッションへの遠隔参加検証実験を行った。本実験では、発表者とポスターを実空間上の位置関係を反映して仮想空間上に配置し、仮想空間上に実空間のポスターセッションを再現し、図8のようにしてインターネット経由での遠隔地からの参加を行った。

なお、この実験の際には、3次元音響は導入されていない。実験の結果、発表者を含む15名の参加者が、双方向の映像をスムーズにやりとりすることに成功し、SAMTK-3D上の仮



図 8 ポスターセッションの仮想空間への配置の様子  
Fig. 8 Arrangement in virtual space of poster session

仮想空間を通して、実空間のポスターセッションへ参加を実現した。一方、問題点としては、参加者同士での音声送受信の際に、多くのデータが失われてしまい、音声のやりとりがスムーズに行えなかった点、システムの構築に多くの手間がかかった点がある。

### 5.2.2 研究ミーティングへの遠隔参加

WIDE 研究会では、年に 2 度、3 月と 9 月に研究合宿が行われる。合宿は 3 泊 4 日で行われ、研究発表、ワーキンググループの BoF など、多くのセッションが催される。しかし、開催地や予定等の都合で合宿に参加できない方々も多く、そのような方々の為に、遠隔地からでも何らかの形で合宿に参加できることが望ましい。動画配信で各セッションを中継することも可能であるが、会場内を人が移動したり、談話スペースで議論や雑談をする様子を味わうことが出来ず、また、動画配信では各セッションを個別に中継しなければならず、合宿全体としての雰囲気を味わうことが出来ない。それに対し、我々は、SAMTK-3D を用いて合宿全体を仮想空間上に再現し、その仮想空間に遠隔地から参加することにより、合宿内の雰囲気を味わえる遠隔参加の実現を試みた。今回の実験で対象としたのは、2011 年 3 月に伊勢志摩で行われた WIDE 研究合宿である。合宿会場のネットワークの対外回線が 3Mbps と狭く、外部からの参加が困難であると判断したため、合宿内のみでの実験に留めた。当初は合宿内の各セッション会場にスクリーンを写すカメラをそれぞれ設置し、それを合宿会場に見立てた仮想空間上に表示することで合宿会場の再現を試みた。しかし、外部からの参加を行わず、また、合宿参加者の多くは何らかのセッションに参加しているため、仮想空間上から参加できる方々は少数であり、仮想空間上にはほとんど人がおらず、合宿の雰囲気を再

現しているとは言えない状況になってしまった。そこで、遠隔参加の対象を 1 つのセッション会場だけとし、実際にセッションに参加している方々にも仮想空間上に参加して頂くことで、セッション会場の再現を試みた。図 9 が実空間を写すカメラの配置、図 10 が仮想空間上でのカメラ映像を表示するオブジェクトの配置である。また、仮想空間上のセッション会場の様子を図 11 に示す。画面中の BoF2-center が図 9,10 の A、BoF2-2 が C に対応している。

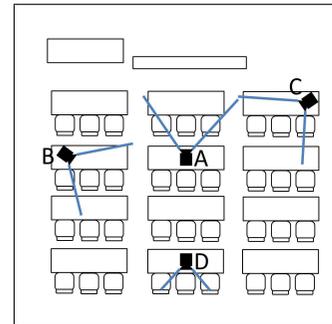


図 9 実空間を写すカメラの配置  
Fig. 9 Arrangement of cameras which copies real space

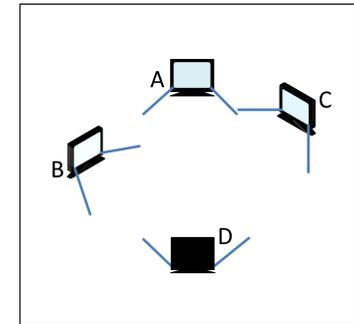


図 10 仮想空間上でのカメラ映像を表示するオブジェクトの配置  
Fig. 10 Arrangement of objects which displays camera image on virtual space

その結果、15 名程度の方々に実際に仮想空間に参加していただき、以下のような意見を頂いた。

- (1) SAMTK-3D を用いた会議のようなものを行うのは良いと思うが、会場移動の面倒さは再現しなくて良い部分ではないか。思い通りの場所に行くのが難しい。
- (2) UI がパソコンでなく少し変わっていると、より面白くなるだろうと思った。
- (3) 音声の取り方が悪い。話している人の声を重点的にとるべき。

1 について、SAMTK-3D では、仮想空間上での移動は、現在位置からの連続的な移動であり、指定された位置に移動するという移動方法は実装されていない。しかし、我々が目的とするポスターセッションや複数のセッションを伴う研究会のようなイベントで利用する場合には、話をしたいユーザの所や、セッション会場に直接移動できるような、仮想空間であることを生かした移動方法の実装が必要と考えられる。2 についても、現在は操作方法が



図 11 セッション会場への遠隔参加の様子  
Fig. 11 Remote participation to session hall

キーボード、またはマウス入力であるため、操作自体に楽しさを感じられるような入力インターフェースの検討も必要であると思われる。3 について、今回の実験では、会場全体の音声を録音し、それを仮想空間から参加している人全体に送信した。しかし、発表者がスクリーンを利用して発表する形式である場合、ほとんどの時間は発表者の話が主となるため、発表者の音声だけを高音質で聞けるほうが望ましい。発表者を含む各参加者にマイクを付けてもらい、発言時にのみ、その発言者の音声を仮想空間上に反映するなどの手法を適用すべきであると考えられる。また、今回の実験でのカメラ映像の仮想空間上への配置方法は、カメラ B と C が実空間上の向きと比較すると逆向きになってしまった。これは、そのままの向きで配置してしまうと、スライドが見える位置にいる参加者が実空間上の様子を見れなくなるため、配慮したためである。しかし、この表示方法では、仮想空間上に実空間の様子を再現できているとは言えないため、仮想空間上から正しく実空間の様子が見えるような配置方法の再検討が必要である。

## 6. ま と め

本稿では、多地点間仮想空間コミュニケーションソフトウェア SAMTK-3D を用いたイベントへの遠隔参加を提案した。実験の結果被験者の方々から様々な意見をいただき、システムの課題点を確認することが出来た。また、ステレオヘッドホンによる 3 次元音響を

OpenAL を用いて実現し、多地点間の仮想空間コミュニケーションシステムにおいて実環境の音場を再現することにより、仮想空間上で音源の位置を判別可能とした。今後の課題としては、ストレスの無い遠隔参加を行うための、更なるユーザビリティの向上、参加方法の検討が必要であると考えられる。また、3 次元音響については、複数音源を定位させたときの音場再現性を確かめること、岸田ら<sup>20)</sup>のように通信にロバスト性を持たせること、実際のイベント時に仮想空間上での多地点間コミュニケーションでシステムを運用することなどが挙げられる。

## 参 考 文 献

- 1) Polycom, <http://www.polycom.co.jp/>
- 2) Cisco Telepresence, <http://www.cisco.com/web/JP/solution/telepresence/index.html/>
- 3) LiveOn, <http://www.liveon.ne.jp/>
- 4) second Life, <http://secondlife.com/>
- 5) meet-me, <http://www.meet-me.jp/>
- 6) splume, <http://splume.jp/>
- 7) Tixeo, <http://www.tixeo.com/>
- 8) 3DXplorer, <http://www.3dexplorer.com/static-v3/index.html/>
- 9) 西浦俊太郎, 河口信夫, “3 次元仮想空間を用いた多地点ビデオコミュニケーションシステム”, 情報学ワークショップ (WiNF), pp343-346, 2009
- 10) OpenAL, <http://connect.creativelabs.com/openal>
- 11) Hideyuki Nakanishi, Chikara Yoshida, Toshikazu Nishimura, and Toru Ishida, “FreeWalk: A 3D Virtual Space for Casual Meetings”, IEEE Multimedia, April-June 1999, pp.20-28(1999)
- 12) Hideyuki Nakanishi, Toru Ishida, “FreeWalk/Q: Social Interaction Platform in Virtual Space”, VRST'04, November 10-12, 2004, Hong Kong(2004)
- 13) 堀内英斗, 若宮直紀, 村田正幸, “多人数参加型 P2P テレビ会議システムのための論理網構築手法の提案と評価”, 信学技報, IEICE Technical Report, NS2006-185, pp.143-148(2007)
- 14) OpenGL, <http://www.opengl.org/>
- 15) SAMTK homepage, <http://www.samtk.org/>
- 16) Nobuo Kawaguchi, “SAMTK: A Toolkit for Scalable Adaptive Multicast”, IETF69, SAMRG meeting materials, <http://www3.ietf.org/proceedings/07jul/slides/SAMRG-2/samrg-2.ppt>
- 17) SAMTK(SourceForge), <http://sourceforge.net/projects/samtk/>
- 18) 中山裕美, 梶克彦, 河口信夫, “多地点間仮想空間コミュニケーションのための 3 次元音響機能”, 情報処理学会第 73 回全国大会, March 2-4, 2R-5, 2011.

- 19) 浅井俊晴, 梶克彦, 河口信夫, “ 仮想空間コミュニケーションのための携帯端末を用いたメディア機器の動的連携手法 ”, 情報処理学会第 73 回全国大会, March 2-4, 3ZB-5, 2011.
- 20) 岸田崇志, 河野英太郎, 前田香織, 天野橘太郎, “ 多目的な音声伝送システムの設計 ”, 情報処理学会研究報告, 2002-DSM-26-3, pp.13-18, 2002.