



空間的な移動を考慮した 3 次元視聴覚ディスプレイシステムとコンテンツデザインシステム

藤澤 理央^{*1} 梅田 尚哉^{*1} 比良 圭佑^{*1} 山本 知仁^{*1}

Spatial Audiovisual Display and Web-based Contents Design System Considering Spatial Movement

Rio Fujisawa^{*1}, Naoya Umeta^{*1}, Keisuke Hira^{*1} and Tomohito Yamamoto^{*1}

Abstract – Many types of display systems have been developed to provide a spatial viewing experience, and surround sound systems, to express high levels of presence. However, these types of visual or auditory display systems may require the specialized equipment and they tend to be expensive. Therefore we have developed a mobile-based spatial audiovisual display system and a web-based design system that allows average users to enjoy high realistic contents at low cost. However these systems have only dealt with one spatial point and could not display connected spatial points. Therefore, in this study, we have realized the expression of spatial connection of the contents in the display and design system.

Keywords: VR, Spatial audiovisual display, Contents design system, Spatial movement

1. はじめに

近年、映像や音響などの情報を立体的、空間的に表現することで、高い臨場感を提示できるディスプレイシステムが開発されてきている^[1-3]。これらのシステムのうち 4K ハイビジョンテレビや、PlayStation VR, Oculus Rift といった高性能な HMD などが、既に一般家庭に向けて導入されている。将来的には 8K スーパーハイビジョン^[4]や、22.2 マルチチャンネル音響システム^[5]のような、さらに高い臨場感を提供できるシステムが開発され、家庭に導入されることが予想される。

その一方で、このような高臨場感システムは、大型のスクリーンやマルチチャンネルスピーカ、高性能な PC など特別なデバイスや設備を必要とし、臨場感が向上するのに伴いコストが高くなる傾向がある。また、Web 上における膨大な数の動画や音楽といったコンテンツに比べ、高い臨場感を提供できるコンテンツの数は、それほど多くはない。このような背景のもと、われわれの研究グループでは一般に広く普及している市販のモバイル端末を用い、ユーザ環境に応じてスケラブルにそのシステム規模や構成を合わせることのできる 3 次元視聴覚ディスプレイシステムを開発してきた^[6-8]。同時に、一般ユーザが視聴覚空間のデザインと共有を可能にする Web ベースのシステムも開発してきた^[9-10]。これらのシステムを利用することで、高い臨場感を提供できるコンテンツが増加し、コンテンツの多様化が今後、実現されると考えられる。一方で、これまでのシステムで表現できるコン

テンツは、ある 1 地点における空間に限られていた。この 1 地点の空間と、また別の地点の空間を結び付け、さらにこれらの地点を相互に移動できるような仕組みを実現できれば、建物などの構造的な空間や、ある地域といった広い空間を表現できるコンテンツも実現できるようになる。そこで本研究では、空間的な移動を考慮した 3 次元視聴覚ディスプレイシステムと、コンテンツデザインシステムを提案する。

これまでモバイル端末で提示される仮想空間の移動を考慮した研究として、ユーザの歩行をモバイル端末の加速度センサで検出し、全方位画像から構成される仮想空間での並進移動に反映した研究がある^[11]。また、スマートフォンの位置情報とあらかじめ撮影された全方位画像を用いて、スマートフォン上にその位置の過去の街並みを提示する研究なども行われている^[12]。このように、モバイル端末と全方位画像を用いた移動表現を扱う研究はこれまででも行われているが、モバイル端末群を用いて構築した 3 次元的な視聴覚空間における空間的な移動を扱った研究は、ほとんど存在しない。よって本研究では、既存のディスプレイシステムをベースに空間の移動を実現するシステムと、このシステム上で再生できる複数の空間からなるコンテンツをデザインできるシステムを構築する。

以下、2 章では空間的な移動を考慮した 3 次元視聴覚ディスプレイシステムについて述べる。3 章では複数の空間から構成されるコンテンツのデザインを実現する Web ベースのシステムについて述べ、4 章で本研究をまとめる。

^{*1}: 金沢工業大学大学院 工学研究科 情報工学専攻

^{*1}: Graduate Program in Information and Computer Engineering, Graduate School of Engineering, Kanazawa Institute of Technology

2. 空間的な移動を考慮したディスプレイシステム

2.1 ディスプレイシステムの概要

近年、高い臨場感を提示できる様々なシステムが開発されてきているが、その多くはコストが高くなる傾向があった。そこでわれわれの研究グループでは、可搬性と汎用性の高いモバイル端末を複数台用いた 3 次元視聴覚ディスプレイシステムの開発を行なってきた^[8]。このシステムは、従来の高臨場感システムと比べて低コストで導入することができ、高いスケーラビリティ、ポータビリティを有している。このシステムの概略図を図 1 に示す。

本システムは、視覚用サーバ端末（以下、サーバ端末）と複数台の視覚用、聴覚用クライアント端末（以下、クライアント端末）から構成される。各モバイル端末は無線 LAN に接続され、ネットワークを通して視聴覚情報の送受信を行う。モバイル端末には、Apple 社の iOS を搭載する iPad や iPod Touch などが使用される。

サーバ端末は、後述するコンテンツデザインシステムにより、ユーザが任意に構築した空間コンテンツをシミュレートし、無線 LAN を通してクライアント端末に情報を送信する。また、仮想空間上に 3D スフィアモデルを生成し、全方位カメラなどで作成された全方位画像や動画をマッピングして表示する。この球体状のモデル内部に仮想的なユーザを配置し、その位置からサーバ端末のジャイロセンサで取得したユーザの視線方向の映像を表示することで、全方位の映像を提示する。

クライアント端末は、サーバから送信された音空間に関する位置情報を取得する。取得した位置情報と、ユーザが任意に指定したサーバ端末とクライアント端末との距離情報から、音源の再生音量を計算し出力する。そして、それぞれのクライアント端末を 1ch のスピーカとして音源を再生することで、立体音響を実現している。

なお、本システムではネットワークのトラフィックを減少させるために、実際にクライアント上で提示されるオブジェクトモデルや音源は、あらかじめアプリケーション内に保持させている。また、本システムはすべての端末が独立して存在し、通信方式にはコネクションの確立や損失パケットの再送制御を行わない UDP マルチキ

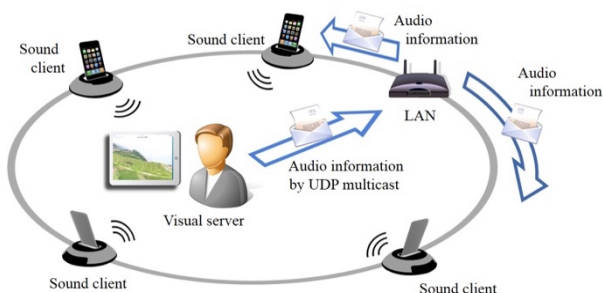


図 1 3次元視聴覚ディスプレイシステム
Fig.1 Spatial audiovisual display system

ャストを採用している。この通信方式を用いることで、サーバ・クライアント間の通信に大きな処理時間をかけず、またシステムを構築する端末の数を自由に変更することができるため、システムの規模を使用環境に合わせてスケーラブルに設定することが可能である。

2.2 空間間の移動手法

先行研究^[13]において、移動に伴う全方位画像の切り替えを行う場合、近い距離で撮影された共通部分が多い場合と、ドアや壁などの遮蔽物で区切られ共通部分が少ない場合とでは、切り替える方式を変えた方がユーザに与える印象が良いことが示唆されている。そこで本研究では、これら 2 つの状況に対応した空間の切り替え方式を視聴覚ディスプレイに導入する。

2.2.1 連続性のある空間間の移動

室内を歩き回るような近い距離の移動においては、空間間の情報は連続しており、視覚情報において大きな変化が生じることはあまりない。このことを考慮すると、数 m 程度の近い距離で撮影された全方位画像間での移動を表現する場合には、複数の連続的な全方位画像と、それぞれの空間に配置された音源ができるだけ滑らかに変化の方が自然である。よってこのような移動手法を実現する。

図 2 に、空間の連続性を考慮した移動システムの概要を示す。このシステムでは、サーバ端末の画面に表示されるバーチャルパッドの操作によって、ユーザの位置が変更され、空間の移動が実現される。このとき、ユーザの位置に応じて、サーバ端末は表示する全方位画像とその提示サイズを決定し、クライアント端末にユーザと音源の位置情報を送信する。クライアント端末は、サーバ端末から送られてきた位置情報を基に再生される音源の音量を調節する。これらの処理を連続的に行うことにより、複数の空間間の移動をユーザに滑らかに提示することができる。

以上の空間の連続性を考慮した移動の具体的な処理手順を以下に示す。なお、手順(i) ~ (v)はサーバ端末、(vi) ~ (viii)はクライアント端末で処理を行い、それぞれの処

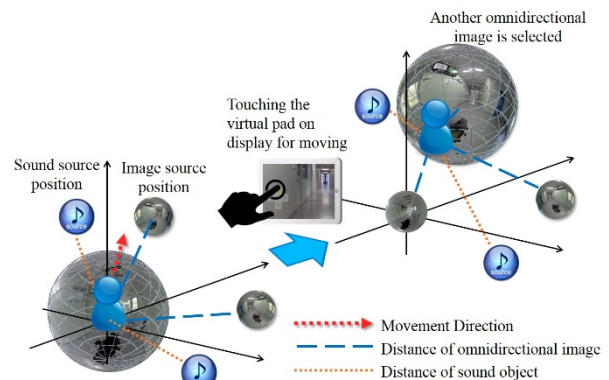


図 2 空間の連続性を考慮した移動
Fig.2 Movement in virtual space considering the continuity of the spaces

理手順は繰り返し行われる。

- (i) サーバ端末のジャイロセンサで取得したロール角 α , ピッチ角 β , ヨー角 γ から(1)式によりユーザの視線ベクトル \vec{E}_{xyz} を求める。

$$\vec{E}_{xyz} = \begin{bmatrix} C_\alpha C_\beta & C_\alpha S_\beta S_\gamma - S_\alpha C_\gamma & C_\alpha S_\beta C_\gamma + S_\alpha S_\gamma \\ S_\alpha C_\beta & S_\alpha S_\beta S_\gamma + C_\alpha C_\gamma & S_\alpha S_\beta C_\gamma - C_\alpha S_\gamma \\ -S_\beta & C_\beta S_\gamma & C_\beta C_\gamma \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

ここで,

$$S_\alpha = \sin(\alpha), C_\alpha = \cos(\alpha) \quad (2)$$

$$S_\beta = \sin(\beta), C_\beta = \cos(\beta) \quad (3)$$

$$S_\gamma = \sin(\gamma), C_\gamma = \cos(\gamma) \quad (4)$$

とする。

- (ii) パーチャルパッドの操作が行われると, 手順(i)で求めたユーザの視線ベクトル \vec{E}_{xyz} 方向に, 空間上でのユーザの位置 H_{xyz} を 1m 分 (この値は適宜設定される) 進める。
- (iii) ユーザの位置 H_{xyz} と, 接続される全方位動画像の仮想空間上での位置情報 I_{xyz} との距離 D を式(5)により求める。

$$D = \sqrt{(H_x - I_x)^2 + (H_y - I_y)^2 + (H_z - I_z)^2} \quad (5)$$

- (iv) ユーザの位置と最も近い全方位動画像, つまり距離 D が最も小さい全方位動画像を決定する。このとき, それまで表示していた全方位動画像と提示する全方位動画像が異なる場合, スフィアモデルの中心座標を最も近い全方位動画像の位置座標に移動する。同時に, スフィアモデルにマッピングされているテクスチャを, 最も近い全方位動画像に貼りかえる。
- (v) シミュレーション結果により更新された, 空間上でのユーザの位置情報 H_{xyz} , 及びユーザが任意に設定した音源の位置情報 S_{xyz} をクライアント端末に送信する。ここで, 送信する頻度は 1 秒毎 (この値は適宜設定される) としている。
- (vi) クライアント端末で, 手順(v)でサーバ端末から受信した情報と, 任意に設定したスピーカの位置 C_{xyz} から, それぞれの音源における音量を決定する。ここで, クライアント端末からそれぞれの音源を再生する音量は, 先行研究^[7]によりまず音量制御の基準値 B を(6)式で求める。なお, 仮想的なユーザの位置とそれぞれの音源との距離を HS , スピーカとユーザの距離を CH , スピーカと音源との距離を CS とする。

$$B = \frac{-2HS + CH - CS}{CH - CS} \quad (6)$$

それぞれの音源に対して, 基準値 B を基に最大音量を V_{max} , 求められる音量を V としたときの再生音量を式(7)で求める。

$$V = \begin{cases} V_{max} - 10B & (0 \leq B \leq 1) \\ V_{max} - 20\log_{10}(B) - 10 & (1 < B) \end{cases} \quad (7)$$

- (vii) ユーザが任意に設定した音源すべてを, 手順(vii)で求めたそれぞれの音源に対する音量 V で同時に再生

する。

以上の手順により, 室内や道路といった連続した空間間の移動を表現することができる。

2.2.2 連続性の弱い空間間の移動

部屋と廊下のようなドアや壁などの遮蔽物で区切られた 2 つの空間は, それぞれ視覚的には大きく異なる情報を持つ。このような場合に, ユーザに違和感を与えずに空間の移動を提示するためには, 前述した移動手法とは異なり, 関連付けられた複数の空間をユーザの移動操作に合わせて離散的に提示することが適切である。以下, この手法について説明する。

図 3 に, 連続性の弱い空間間の移動システムの概略を示す。2.2.1 に示した移動手法では, パーチャルパッドを用いて移動操作を実現していたが, 連続性が弱い空間間の移動では, 移動用ポイントを仮想空間上に配置し, ユーザがそれを操作することによって移動を表現する。具体的には, ユーザは空間における任意の 3 次元座標上に移動用ポイントを設置し, 移動先の空間にあらかじめ登録されている ID 情報を設定する。その後, ユーザがディスプレイ上である空間を再生し, その移動ポイントの方向を向いている際に画面をタッチすると, 対応した ID を持つ別の空間が瞬時再生され空間が切り替わる。これらの操作により, 視覚的には遮られているが繋がっている複数の空間をユーザが移動していく表現を実現する。

この移動において, ユーザが移動ポイントに向いているかの判定は, ユーザの視線ベクトルとユーザと移動ポイントの位置情報を用いて行う。具体的な判定の処理手順を以下に示す。

- (i) サーバ端末のセンサから(1)式によりユーザの視線ベクトル \vec{E}_{xyz} を求める。
- (ii) (8)式に従って 2 ベクトルのなす角の余弦の値を算出し, その値から視線ベクトルと移動ポイントとのズレの角度を求める。

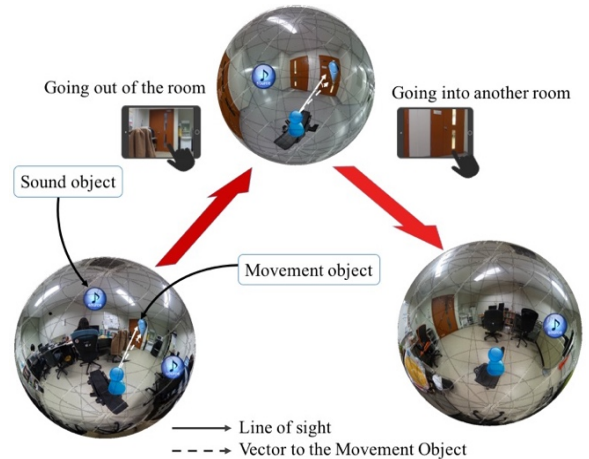


図 3 連続性の弱い空間間の移動

Fig.3 Movement between virtual spaces of weak discontinuity

$$\cos \theta = \frac{\overrightarrow{E_{xyz}} \cdot \overrightarrow{J_{xyz}}}{|\overrightarrow{E_{xyz}}| \cdot |\overrightarrow{J_{xyz}}|} \quad (8)$$

ただし、 $\overrightarrow{J_{xyz}}$ をユーザの座標から移動用オブジェクトへのベクトル、 θ を2ベクトルのなす角とする。

- (iii) θ が 5° 以下 (この値は適宜設定される) であった場合、画面上に移動用オブジェクトが表示される。そのオブジェクトをユーザがタッチすると表示する全方位画像の切り替えが行われる。また、クライアント端末へ空間切り替え命令を行うパケットを送信し、再生する音源の変更も同時に行う。

以上の手順により、壁やドアなどによって連続性が弱くなっている空間間の移動を表現することが可能となる。

3. 複数の空間からなるコンテンツのデザインシステム

3.1 デザインシステム概要

われわれの研究グループでは、これまで全方位画像に立体音響を組み合わせたコンテンツのデザインと共有を実現した Web システム^[10]を開発してきた。このシステムの概略を図4に示す。

本システムは、コンテンツの制作を行うデザインシステム、ユーザ個々に用意されるマイページと検索ページから成る共有システム、音源を波形表示し視覚的に編集ができる音編集システム、コンテンツの音源を 5.1ch 形式に変換するマルチチャンネル変換システムの4つから構成される。これらのシステムを用いることで、ユーザは全方位画像と音空間を組み合わせたコンテンツをデザインおよび共有できるようになっている。また、デザインされたコンテンツは、先述したディスプレイシステムや、5.1ch サラウンドシステムで視聴することが可能となっている。

コンテンツの制作を行うデザインシステムでは、ユーザが全方位画像や複数の音源を用いて音空間コンテンツをデザインすることができる。このデザインシステムの概要を図5に示す。図5の①に示される Sound Space は、一定範囲の空間を表現する 3D モデルと、その空間上における音源などの位置を可視化したオブジェクトから構成される。また、この空間ではキーボード操作で視点移

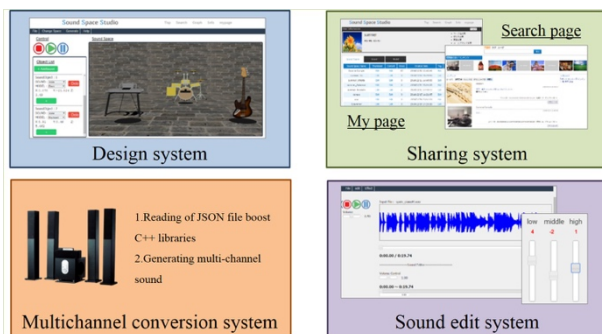


図4 コンテンツデザインシステム
Fig.4 Web-based contents design system

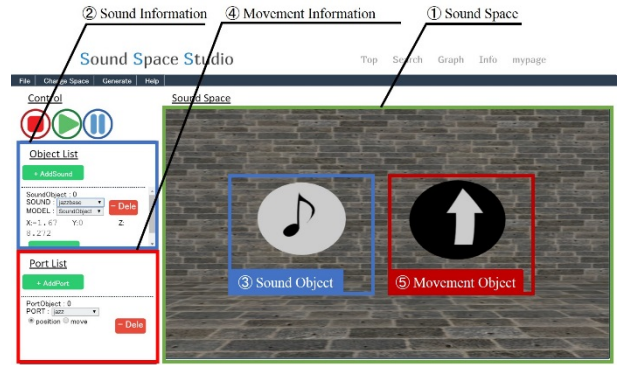


図5 空間コンテンツデザインページ
Fig.5 Design page of spatial contents

動、マウス操作でオブジェクトの移動を行うことができ、ユーザは、これらの操作を組み合わせることで空間内の任意の座標にオブジェクトを配置することが可能となっている。加えて、図5の②では音源の追加や変更、オブジェクトモデルの変更が可能となっている。

マイページと検索ページから構成される共有システムでは、ユーザのアカウント情報、ユーザの制作したコンテンツ、アップロードした各素材、及び共有したい他のユーザリストなどを管理することができる。コンテンツ制作に用いられる素材としては、音源とオブジェクトのモデルデータ、及び本研究で実現する任意の全方位画像などがある。

3.2 複数の空間からなるコンテンツの表現

これまでのシステムでは、図5に示したデザインページにおいて、制作できるコンテンツの空間情報はある1地点に限られていた。一方、この1地点のコンテンツと、また別の地点のコンテンツを結び付け、さらにこれらのコンテンツを相互に切り替えるような仕組みを本システムによって実現できれば、建物などの構造的な空間や、ある地域など広い空間を表現できるようになる。そこで本研究では、コンテンツ間に関連を持たせてそれらを切り替えることで複数地点間の移動を実現する機能を実装する。

図6に、有向グラフによって表現されるコンテンツの関連付けの概略を示す。本システムにおいてコンテンツ

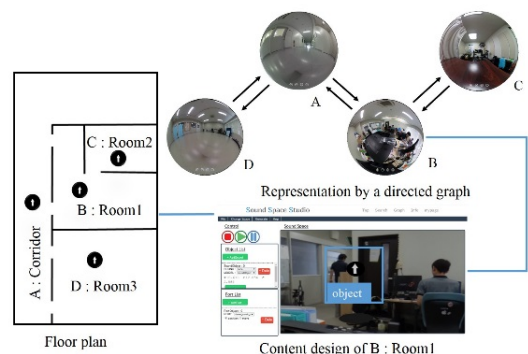


図6 コンテンツの関連性を示した有向グラフ
Fig.6 Representation of the relation between the contents

の関連付けは、独立した各コンテンツをノードとし、エッジを位置情報と移動先コンテンツ情報を持つオブジェクトによって表現することで実現する。

具体的な関連付けは以下のようになる。まず本システムのコンテンツにおいて、仮想空間はスフィアモデルに全方位の画像をマッピングすることで表現している。このモデル内の任意の座標に移動用オブジェクト（図5中の⑤）を作成・配置する。このオブジェクトは2章の移動ポイントに対応しており、空間の連続性に関して設定できるようになっている。また、移動先コンテンツは、共有システムで管理されているユーザ自身がデザインしたものから選択ができるようになっている。この操作により、現在表示されているコンテンツからオブジェクトの持つ移動先のコンテンツへ関連付けが行われる。この関連付けは移動先コンテンツへの一方向的なものとなっており、相互移動に関しては移動の前後それぞれのコンテンツにオブジェクトを配置することで実現される。また、コンテンツの切り替えは、マウスでオブジェクトをクリックすることにより行われる。以上の操作により、空間間の関連付けが可能となり、複数の空間をもつ建物や地域といったコンテンツの表現が可能となる。

3.3 全方位画像のアップロード機能

これまでのデザインシステムにおいて、空間を表現するモデルにマッピングできる全方位画像はシステム側で用意されたものしか扱うことができなかった。一方、マッピング用の全方位画像を、ユーザが任意にアップロードできるようになれば、ユーザが制作したい空間を自由にデザインできるようになり、コンテンツの増加にもつながる。そのため、本研究では全方位画像のアップロード機能についても実装を行なった。

図7に、全方位画像のアップロード機能の概要を示す。ユーザはスマートフォンや、全方位カメラで撮影した全方位画像をWebシステムからサーバにアップロードすることができる。アップロードを行うと全方位画像はサーバにあらかじめ用意されているスフィアモデルとともに同一ディレクトリに保存される。これにより、全方位画像はスフィアモデルのテクスチャとして扱われ、コンテ

ンツのデザインに用いることができるようになる。画像データはサーバにアップロードされるとともに、データベースに画像の所有者やpathなどの情報が登録・管理される。

このアップロード機能を追加したことで、ユーザは音源・全方位画像のどちらも任意のものを扱えるようになり、先の複数の空間表現と合わせることで、自宅や生まれ育った町など、広がりをもった空間を保存できるようになった。

4. まとめ

本研究では、これまで開発してきた3次元視聴覚ディスプレイシステムに、連続性のある空間と連続性の弱い空間の場合で移動手法を使い分けることができる、空間移動の機能を実現した。また、コンテンツデザインシステムに、各コンテンツ間に関連を持たせることで空間間の移動を可能とする機能、およびユーザが撮影した任意の全方位画像をアップロードできる機能を実装した。これにより、ユーザは身の周りにある広がりがある空間を自由にデザイン、体験できるようになり、高臨場感コンテンツのさらなる多様化が実現されたといえる。

一方、現状のディスプレイシステムではサーバ画面上に表示されるバーチャルパッド等を操作することでしか空間を移動することができない。今後は、より実際に近い移動表現を実現するために、ユーザの歩行動作と連動した移動についても実現することを考えている。また、デザインシステムにおいて全方位画像を用いた教育教材や観光情報といった需要の高いコンテンツを制作する際には、詳細情報をテキストや画像で提示することが必要となる。よって今後は、これらの利用目的に対応するために、テキストや画像を空間に配置できるアノテーション機能を追加することを考えている。

参考文献

- [1] DeFanti, T., Dawe, G., et al.: The StarCAVE, a third-generation CAVE and virtual reality OptIPortal; Future Generation Computer Systems, **Vol.25**, pp.169-178 (2009)
- [2] Jones, B., Sodhi, R., et al.: RoomAlive: Magical experiences enabled by scalable, adaptive projector-camera units; Proceedings of the 27th annual ACM symposium on User interface software and technology, pp.637-644 (2014)
- [3] Dorta, T., Kinayoglu, G., Hoffmann, M.: Hyve-3D: A New Embodied Interface for Immersive Collaborative 3D Sketching; Proceeding of ACM SIGGRAPH 2014, Studio, p.37 (2014)
- [4] Shishikui, Y., Fujita, Y., Kubota, K.: Super Hi-Vision – the star of the show!; EBU Technical Review, pp.4-16 (2009)
- [5] Hamasaki, K., Nishiguchi, T., et al.: A 22.2 Multichannel Sound System for Ultrahigh-Definition TV (UHD TV); SMPTE Motion Imaging Journal, **Vol.117**, No.3, pp.40-49 (2008)
- [6] Takahashi, K., Ikeda, S., Tomohito, Y.: Light Aural Display

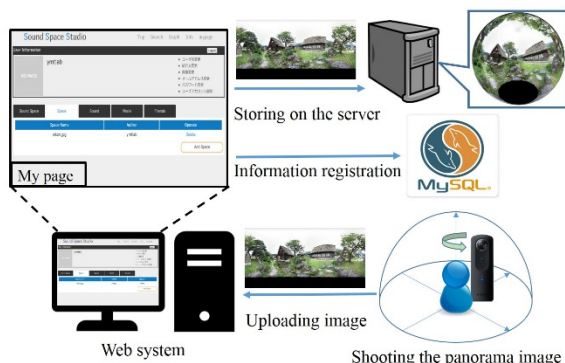


図7 全方位画像アップロードシステム
Fig.7 Uploading system of panorama image

Using Network Connected Multiple Computers;Proceeding of HCI Internatinal 2009,Posters, pp.401-405 (2009)

- [7] Takahashi, K., Yamamoto, T.: 3D Audio-Visual Display Using Mobile Devices; Proceeding of ACM SIGGRAPH 2010 Posters, p.5 (2010)
- [8] Hironishi, M., Motomura, W., Yamamoto, T.: Mobile-based Streaming System for Omnidirectional Contents; Proceeding of ACM SIGGRAPH Asia 2015, Symposium on Mobile Graphics and Interactive Applications, p.35 (2015)
- [9] Matsuda, S., Yamamoto, T.: A web system for creating and sharing 3D auditory contents; Proceeding of ACM SIGGRAPH 2010 Posters, p.80 (2010)
- [10] Wataru, M., Mami, Y., Tomohito, Y.: Mobile-based Streaming System of Spatial Audiovisual Contents and Web-based Design System; Proceedings of ACM International Conference on Interactive Experiences for Television and Online Video, WP-106 (2014)
- [11] 榑原, 田中, 鳴海 : モバイル端末を用いた全天周アーカイブ鑑賞のための歩行移動インタフェース;電子情報通信学会信学技法, **Vol.115**, No.125, pp.45-50 (2015)
- [12] 佐藤, 岡谷, 山口 : 過去の街並みを可視化するスマートフォンを用いた拡張現実;電子情報通信, 研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア(CVIM), **Vol.182**, No.3, pp.1-4 (2012)
- [13] 大神, 吉田, 三宅, 荒屋 : パノラマ画像ベース仮想空間における疑似ナビゲーション;電子情報通信学会信学技法, **Vol.109**, No.469, pp.47-52 (2010)