

自由視点テレビの開発と国際標準化

谷 本 正 幸

I. まえがき

テレビは遠隔地の情景を居ながらにして見たいという人類の夢を実現した。1926年の高柳健次郎博士による世界初の電子式受像実験の成功以来、テレビは1953年の商用放送開始、1960年のカラー化、1991年のハイビジョン放送、2003年の地上デジタル放送などの大きな変革を経て、現在に至っている。この80年間にテレビは飛躍的な進歩を遂げた。図1に示すように、テレビの走査線数は40本から4000本に増加し、きめ細かな画像となった。これは画素数に換算すると1万倍以上の増加となる。

しかし、今なお実現に至っていないことがある。現実の世界では、私たちは移動したり視線を動かしたりして、さまざまな視点から異なるシーンを見ている。しかし、これまでのテレビでは、それを見ている私たちがどのように視点を変えても同じシーンしか見ることができない。すなわち、テレビが20世紀に実現したものは、1視点の映像の伝達であり、しかもユーザは自分の意志でその視点位置を変えることができない。これは現実の世界で体験していることとは全く異なるものである。

21世紀には、テレビはこの制約を打ち破り、ユーザがあたかもその場にいるかのように、自ら視点を移動して遠隔地の情景を見る

ことができるようになる。私たちは、このようなユーザが自ら自由に視点を移動して3次元シーンを見ることができると映像システムを提唱し、自由視点テレビ (Free viewpoint TV, FTV) [1], [2] と名付けた。

私たちはFTV[3]-[9]を構築するための技術開発を進め、図2に示す撮影から表示までのすべてをリアルタイムで行うFTVシステムを世界で初めて構築した[10], [11]。その後、新しい画像生成法によるFTVを構築するとともに、パソコン1台での自由視点画像生成にも成功している。FTVは、経済産業省、総務省、JEITA、及び各社の支援を受けて



図1 80年間のテレビの進歩

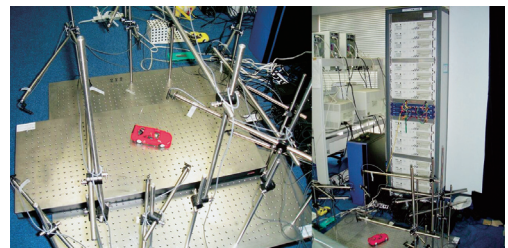


図2 自由視点鳥瞰システム (世界初のFTV)

MPEG (Moving Picture Experts Group) に提案され、最も挑戦的な映像メディアとして高く評価された [12] - [15]。JEITA FTV 委員会の構成を図 3 に示す。現在、MPEG 及び ITU-T (International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector) において FTV の国際標準化が進められている。

本稿では FTV の開発と国際標準化の現状を紹介する。

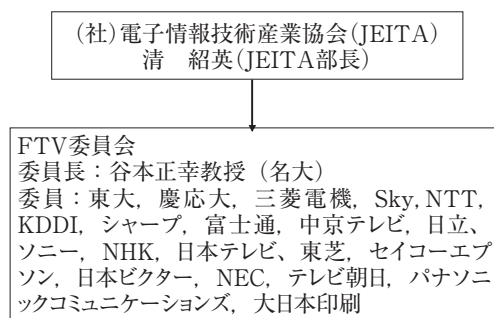


図3 JEITA FTV 委員会の構成

II. FTV は究極の 3 次元テレビ

コンピュータグラフィックスが取り扱う、モデル化された仮想世界では、ウォークスルーのように自由視点の実現は容易である。しかし、これを現実世界で実現することは難しい。

従来の 1 視点テレビから自由視点テレビへ発展する過程の映像システムとして、映画マトリックスや EyeVision で実現された多視点テレビがある。これは、図 4 のように、多数のカメラでシーンを撮影し、これによって得た多視点画像を切り替え表示して視点の移動を実現する。しかし、これは視点の移動がカメラ位置に限られるため、自由視点テレビではない。

これに対して、自由視点テレビでは、図 5

に示すように多視点画像から自由視点画像を生成し、これによって自由な視点移動を実現する。

複数の視点を持つ画像システムの例として、2 眼式や多眼式の 3 次元テレビがある。しかし、その視点数は高々数十程度である。これに対して、FTV では視点を任意の位置に置くことができる。すなわち、FTV の視点数は無限大である。このため、FTV は 2 眼式や多眼式の 3 次元テレビを遙かに凌ぐ、全空間情報を伝達・記録する究極の 3 次元テレビであるといえる。

さらに、時空間での自由な移動を可能とする FTV は、臨場感の高いヒューマンインタフェース、高い表現力を有する革新的なメディアアートやコンテンツの制作ツール、社会の安全性を高める情報インフラなどとして位置付けられる。このように、FTV は社会的、

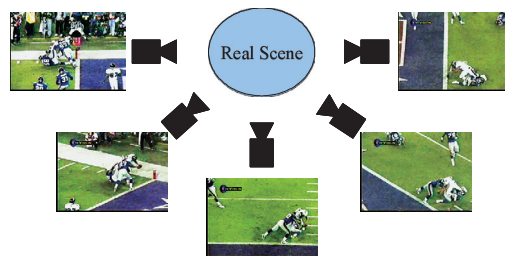


図4 多視点テレビ：撮影画像を切り替え表示

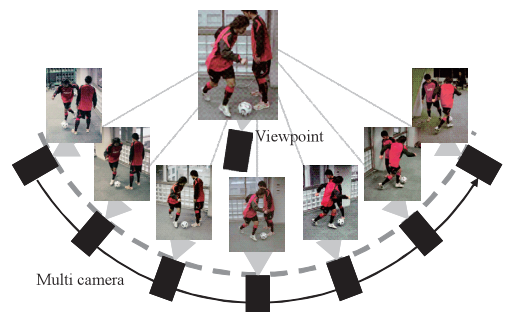


図5 FTV：撮影画像から自由視点画像を生成・表示

文化的にも大きな意義を持ち、その実現は社会に大きなインパクトを与える。

FTVは画像情報の根元である光線を取得、処理、再生するシステムである。私たちは光線再現型FTVの開発を通して、画素ではなく光線をベースとする新しい光線画像工学を創成している。

III. FTVの原理

自由視点システム [16] を実現する手法にはさまざまなものがある [17], [18]。コンピュータグラフィックスではなく、現実世界の自由視点システムを生成する手法は、大きく光線ベース法とモデルベース法に分けられる。光線ベース法では光線を再現し、モデルベース法ではシーンのモデル化を行う。

私たちはFTVを光線ベース法の代表的な手法である光線空間法 [19] - [22] によって実現した。光線空間法では、3次元実空間の1本の光線を、それをあらわすパラメータを座標とする多次元空間の1点であらわす。この仮想的な空間を光線空間という。光線空間全体は3次元実空間のすべての光線を過不足なく表現する。光線空間は、多くの視点から撮影した画像を集めることによって作られる。光線空間の点の値は画像の画素値と同じであるから、画像から光線空間への変換は単なる座標変換である。

V.で述べるように、光線空間の信号処理によって、画像生成、シーンの編集など、FTVのさまざまな機能が実現される。光線空間は光線処理のプラットフォームである。

光線空間として図6に示す直交光線空間と図7に示す極座標光線空間を定義した。直交光線空間は3次元シーンを一方向から見るときに、極座標光線空間は3次元シーンをさま

ざまな方向から取り囲むようにして見るときに用いる。

垂直方向の視差を無視した場合の直交光線空間と極座標光線空間を得るためのFTVのカメラ配置をそれぞれ図8(a), (b)に示す。水平カメラ配置によって直交光線空間、円形カメラ配置によって極座標光線空間が得られる。

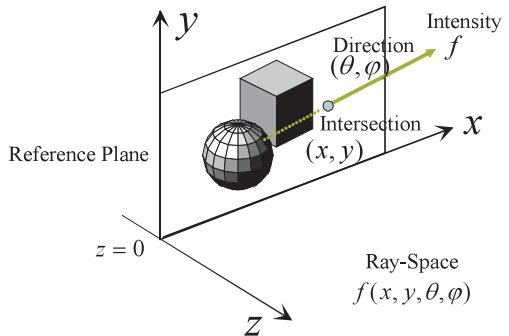


図6 直交光線空間の定義

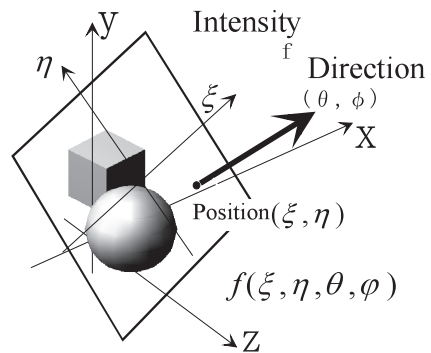


図7 極座標光線空間の定義

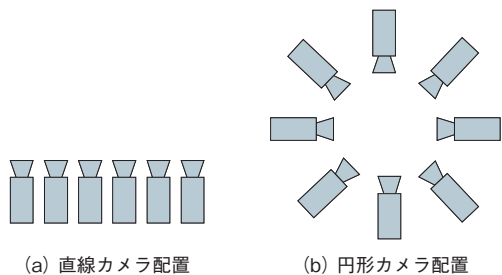


図8 FTVのカメラ配置の例

FTVの撮影の仕方を図9に示す。撮像部では多くのカメラで実空間を撮影する。撮影した画像を順に衝立状に配列すると、カルタを重ねたような立体ができる。これが光線空間、すなわちFTV信号である。カメラ配置は、水平方向の自由視点のみを実現する場合には直線配置や円形配置とし、水平方向と垂直方向の両方の自由視点を実現する場合には平面配置や球面配置とする。

衝立状に配列された画像の間にはデータがない。カメラ間隔が広いと衝立の間隔が広がり、光線空間が疎になる。このような場合には、光線空間を補間して密な光線空間を得る[23]-[27]。このとき、光線空間の水平断面が直線カメラ配置の場合には直線構造、円周カメラ配置の場合には正弦波構造となることを利用する。光線空間の補間が上手に行えるほど、撮影時のカメラ間隔を広くすることができ、少ないカメラ数で撮影できる。補間は光線空間全体ではなく必要な部分のみに、送信側または受信側で行うことができる。

直交座標光線空間の構造を図10に示す。垂直断面が2次元画像で、水平断面が直線構造となることが特徴である。

図11に示すように、表示部では立体状のFTV信号を垂直に切ることによって自由視点画像を生成し、表示する。視点を指定すると切断する位置が定まる。視点の移動は切断面を変えることで容易に実現できる。FTVは究極の3次元テレビであるため、その表示には3次元ディスプレイが適しているが、2次元ディスプレイを用いて、視点に応じた2次元画像を表示してもよい。3次元ディスプレイを用いれば、ユーザは運動視差と立体視差を認識でき、自由視点テレビの持つ3次元情報を有効に利用できる。多眼式3次元ディ

スプレイに表示するには、同時に眼数分の断面を作る。

極座標光線空間の構造を図12に示す。極座標光線空間の水平断面は正弦波構造とな

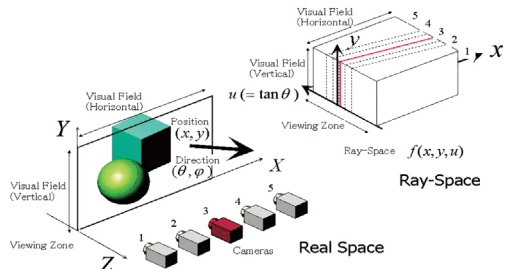


図9 FTV信号の作り方(直線カメラ配置の場合)

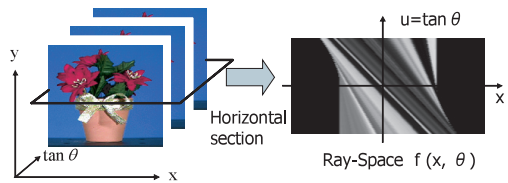


図10 直交光線空間の構造

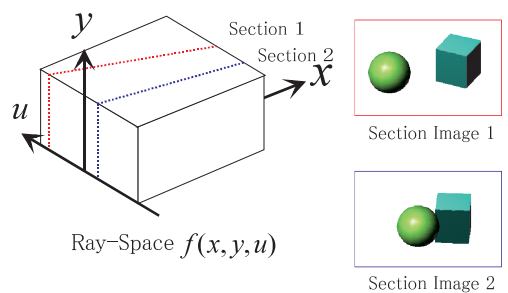


図11 自由視点画像の生成

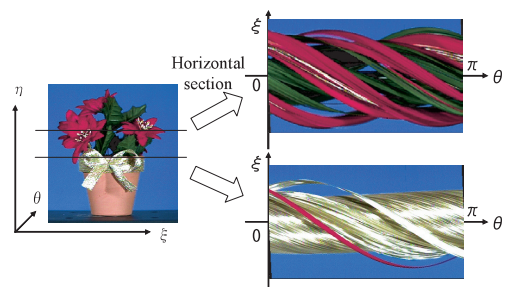


図12 極座標光線空間の構造

る。極座標光線空間を正弦波曲面で切断すると自由視点画像が得られる。

IV. FTV システムの開発

1. FTV システムの構成

FTV のリアルタイム装置 [28], [29] を構築した。

FTV システムの構成を図 13 に示す。撮像部では多くのカメラでシーンを撮影する。撮影したカメラ画像は、カメラ配置の誤差やカメラ性能の個体差を含んでいるため、その補正を行う。これを衝立状に配列して FTV 信号とする。

FTV 信号はデータ量が多いため、圧縮して伝送する。

受信部では、復号後、衝立状に配列された画像の間を補間して光線空間を得る。これをディスプレイの眼数分だけ垂直に切ることによって自由視点画像を生成し、表示する。

FTV システムの各部を以下に説明する。

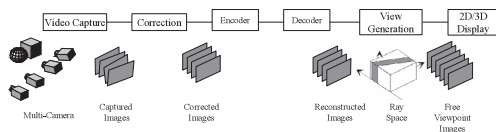


図 13 FTV システムの構成

2. 撮影

FTV の撮像及び表示部の例を図 14 に示す。これは円弧状に配置した 15 台のカメラで取得した実写画像を元にして、水平面で前後左右に自由に視点を移動させたシーンを生成するものである。

大規模な 3 次元空間の FTV を実現するため、名古屋大学 IMI-COE と谷本研究室は 100 台のハイビジョンカメラからなる 100 眼システム [30] を構築した。100 眼システム

の使用を表 1 に示す。

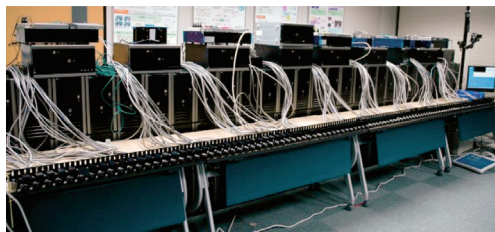
100 眼システムのカメラ配置は撮影したい空間に応じて、さまざまに設定できる。直線配置、円周配置、平面配置の 100 眼システムをそれぞれ図 15 (a), (b), (c) に示す。このシステムを用いて撮影した、図 16 (a), (b) に示す 2 つの多視点画像シーケンス Rena と Akko&Kayo が、後に述べる MPEG テスト画像として採用された。



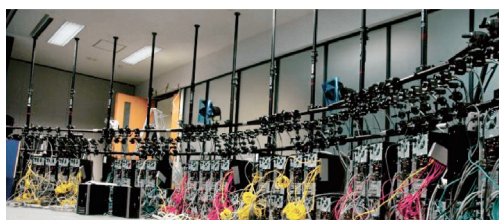
図 14 FTV の撮影及び処理部

表 1 100 眼システムの仕様

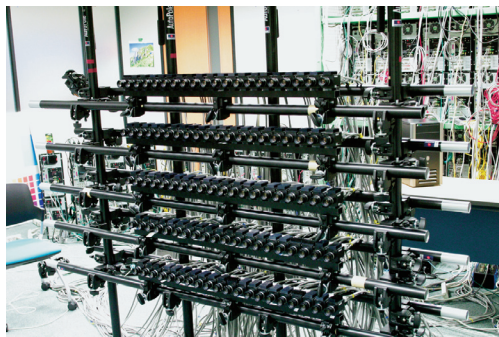
Image resolution	1392 (H) x 1040 (V)
Frame rate	29.4118 [fps]
Color	Bayer matrix
Synchronization	Less than 1 [us]
Sampling rate of A/D	96 [kS/s] maximum
Maximum number of nodes	No limit. (128 max for one sync output)



(a) linear arrangement



(b) circular arrangement



(c) planar arrangement

図 15 100 眼システム



(a) "Rena"

(b) "Akko & Kayo"

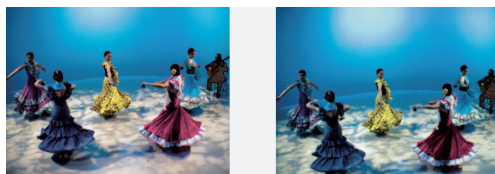
図 16 100 眼システムで撮影した MPEG テスト画像

3. 補正

カメラ配置の誤差やカメラ性能の個体差を補正するため、撮影したカメラ画像のレクティフィケーション [31], [32] と色補正 [33] を行った。カメラ画像間の対応点を求めて、補正パラメータを決定した。この測定はカメラ設置後に 1 回行えばよい。

色補正の例を図 17 に示す。

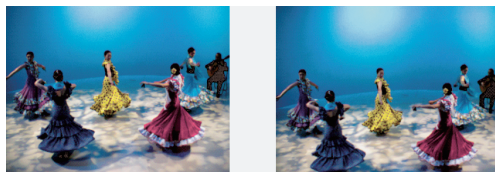
(a) Before correction



[Camera A]

[Camera B]

(b) After correction



[Camera A]

[Camera B]

図 17 カメラ間の色補正の例

4. 圧縮符号化

FTV 信号である多視点映像信号は従来のテレビ信号に比べてカメラの台数分だけ情報量が多くなるので、情報圧縮の必要性が非常に大きい。図 18 に示すように、多視点映像信号は、従来のテレビ信号の持つフレーム内、フレーム間の相関に加えて、視点間の相関が高い。現在、MPEG と ITU-T の合同会議である JVT (Joint Video Team) において、これを利用する新しい圧縮符号化方式の標準化が多視点映像符号化 (Multi-view Video Coding, MVC) として進められている。多視点映像符号化の詳細は VI 章で述べる。

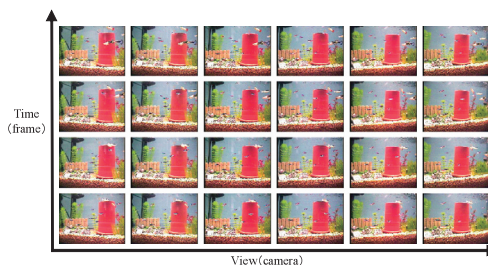


図 18 多視点映像の時間視点依存性

5. 自由視点画像生成

Ⅲ章で説明した手法を用いて生成した自由視点画像の例を図 19 に示す。カメラ間や前進した位置で、小さな魚や藻、気泡などを含む複雑なシーンを自然に生成できていることが分かる。

この実験では PC クラスタを用いて自由視点映像生成を行ったが、PC1 台による自由視点映像のリアルタイム生成にも成功している [26]。

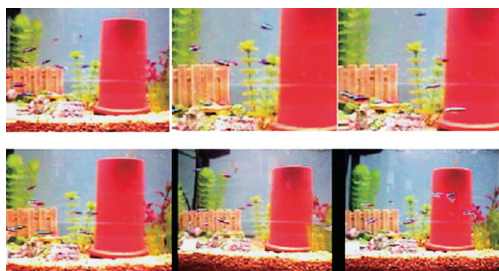


図 19 さまざまな時刻と視点で生成した自由視点画像

6. 表示

FTV では視点画像を自由に生成できるため、撮影のカメラ数とディスプレイの眼数を等しくする必要はなく、一つの FTV コンテンツを 2次元や 3次元のさまざまなディスプレイに表示できる。

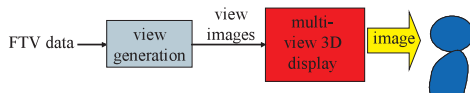
FTV の表示法を図 20 に示す。FTV は究極の 3次元テレビであるため、図 20 (1) のように、その表示には 3次元ディスプレイが適している。3次元ディスプレイを用いれば、ユーザは運動視差と立体視差を認識でき、自由視点テレビの持つ 3次元情報を有効に利用できる。多眼式 3次元ディスプレイに表示するには、同時に眼数分の断面を作る。

1人用の場合には、図 20 (2) のように、2次元ディスプレイを用いてユーザの視点に

応じた 2次元画像を表示してもよい。3次元ディスプレイに対しては、ユーザの視点に応じた多視点画像を表示することにより、視域を拡大することができる。

視点追従 2D ディスプレイでの表示を図 21 に、多眼 3D ディスプレイでの表示を図 22 に示す。

(1) 1人または複数人用



(2) 1人用

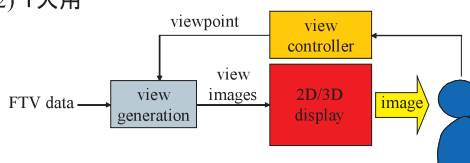


図 20 FTV の表示法

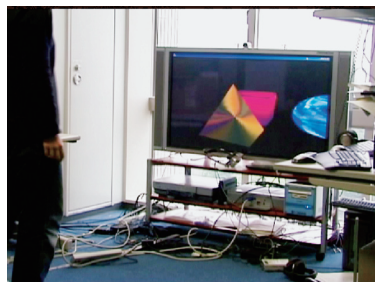


図 21 視点追従 2D ディスプレイでの表示

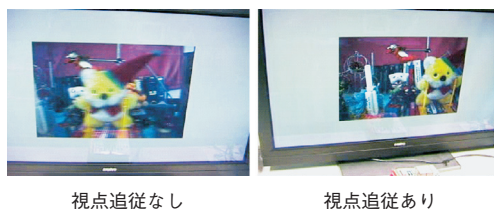


図 22 多眼 3D ディスプレイでの表示

V. 新しい学問分野の創成と社会へのインパクト

映像メディアの進歩を図 23 に示す。過去の映像メディアは写真、映画、テレビなどの

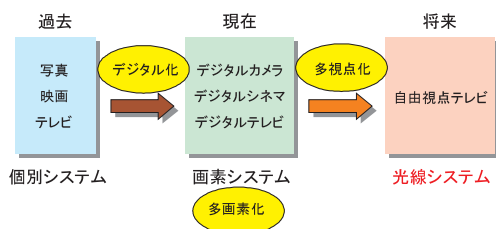


図 23 映像メディアの発展

個別のシステムであったが、デジタル化によって、現在では画素を共通のベースとして統一したプラットフォーム上で取り扱えるようになった。これらの画素システムでは、ハイビジョンやスーパーハイビジョン [34] に代表されるように画素数を増やす高解像度化が進められている。しかし、多画素化、高解像度化はスーパーハイビジョンで頂点に達し、今後は視点数の増加が要求される。

多視点化は3次元テレビへの進化ともいえるが、3次元テレビの眼数が十数から数十程度になれば、FTVの補間技術を使うと眼数をいくらかでも増やすことができる。すなわちFTVが実現できる。したがって、多視点化によって映像メディアはFTVへ進化する。このとき、映像メディアは画素でなく光線をベースとするシステムになる。

画像工学はテレビジョンを代表とする現代のさまざまな映像メディアを支える学理である。しかし、FTVや3次元映像システムを考えたとき、現在の画像工学はその十分な学理となっていない。なぜなら、現在の画像工学は3次元空間情報をそのままの形では取り扱えず、平面に投影し2次元情報に縮退して、画素として処理しなければならないからである。3次元空間情報の本質に立ち返り、画像情報をその基本構成要素である光線によって表現することとし、画像工学の体系を再構築

する必要がある。

映像システムを構成する入力系・処理系・表示系を画素ではなく光線で統一的に捉え直す。これに基づいて光線取得・光線情報処理・光線再現ディスプレイの3つの要素からなる光線再現型FTVシステムを構築し、これをプラットフォームとして3次元空間情報を光線レベルで取り扱うことのできる新しい光線画像工学 [35] を創成している。

光線再現型FTVのために、図24に示すミラー走査光線取得装置 [36] と、図25に示す光線再現360度ディスプレイ [37] を開発した。ミラー走査光線取得装置は、ミラーによ

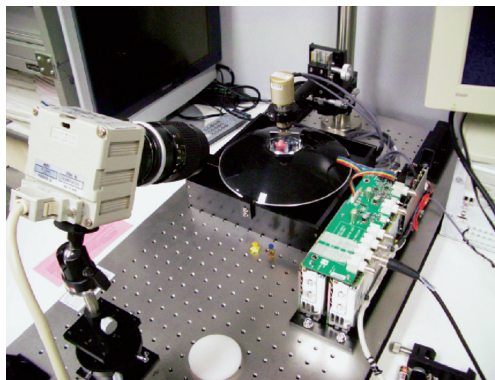


図 24 ミラー走査光線取得装置



図 25 光線再現360度ディスプレイ：SeeLinder

る走査光学系と高速度カメラを用いて、実時間で光線データを取得する。また、光線再現360度ディスプレイは、回転するLED列とスリットを用い、パララックスバリア方式により全方位に超高密度の光線を再現する。

図23に示したように、これまで画像システムでは画素数を増やす高解像度化が進んできたが、今後は画素数だけでなく視点数の増加が要求される。このため、画素数と視点数の積を画素視点積 (pixel-view product) と定義し、これを映像システムの性能指標とする。撮影と表示における画素視点積の進歩を図26に示す。私たちが開発した①100眼システム、②ミラー走査光線取得装置、③光線再現360度ディスプレイの画素視点積も図中に記されている。撮影、表示いずれについても、画素視点積が急速に向上していること、名古屋大学のシステムが世界の最高レベルにあることが分かる。

FTVは無数の眼を持つ時空間映像システムであり、写真、映画、テレビと発展してきた映像技術の頂点に立つものである。FTVによって実世界の完全な記録や時空間での自由な表現が可能となり、新しい文化や芸術が創造されることとなる。

FTVで獲得した光線空間信号は図27に示すように時空間情報のすべてを持つ多次元信号であり、これを加工することにより新しいシーンが創造できる [38], [39]。フィルタ処理によりシーンの分離を行った例を図28に示す [38]。フィルタ処理後のシーンではぬいぐるみの前の柵が消去されている。シーンの合成も可能である。

II. で述べたように、光線空間を平面や正弦波曲面で切断すると自由視点画像が得られる。この平面や曲面の形状を変えるとシーン

に特殊効果を与えることができる [40]。このように、光線空間の加工や切断によりさまざまな表現が可能となる。

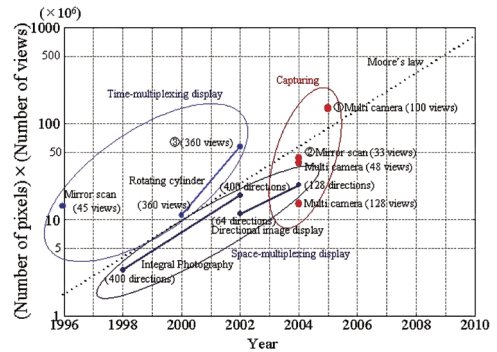


図26 撮影と表示における画素視点積の進歩

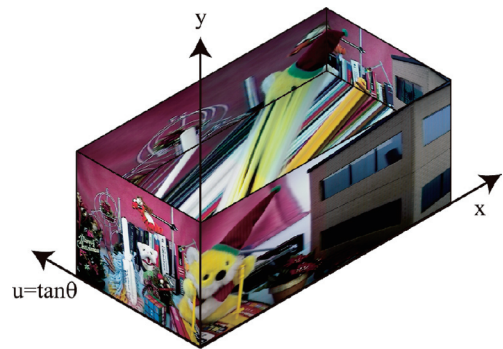


図27 直交光線空間とその水平断面

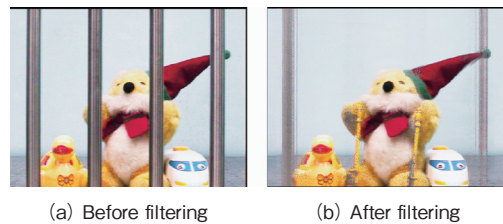


図28 シーンの分離

VI. FTVの国際標準化

新しい映像メディアの実用化にはデータフォーマットや圧縮方式の標準化が必要である。3次元画像システムにはさまざまな入力

方式や出力方式があり、信号形式も異なる。異なる3次元画像信号の伝達・記録や方式変換を容易にするため、さまざまな3次元画像システムに共通なデータフォーマットを定める必要がある。光線空間法の表現方式はシーンや入・出力方式に依存せず、カメラ画像からの変換も容易であるため、3次元画像システムの共通データフォーマットとして最適である。視点画像を光線空間で衝立状に並べるFTVのデータフォーマットは、フレーム画像を時空間で衝立状に並べる現行テレビのデータフォーマットの自然な拡張になっている。光線空間とホログラムの変換も検討されている[41]。

FTV国際標準化の経緯を図29に示す。MPEGは2001年12月に3DAV(3 Dimensional Audio and Video)アドホックグループを立ち上げ、3次元映像を審議する場を設けた。私たちは2002年7月にFTVを提案した[12]。2002年12月の淡路会合ではMPEG 3DAV国際セミナーを主催し、MPEG 3DAV活動を推進した。

3DAVアドホックグループでは、以下の4項目について調査実験(Exploration Experiment, EE)を行った。

- EE1：全方位映像
- EE2：自由視点映像
- EE3：立体映像
- EE4：奥行き情報を持つ3次元TV

EE2は私たちがFTVを提案したことによって作られた項目であり、最も挑戦的な課題と位置付けられた。

リアルタイム実験や光線空間法の位置付け[13]-[15]などの報告をとおして、FTVの意義と実現性に対する理解がMPEG内で深められた。

2003年10月のトロンハイム会合で、幅広く3DAVに関する産業界の意見を聞くことを決定し、“Call for Comments on 3DAV”[42]を発行した。寄せられた意見を2004年3月のミュンヘン会合で集計した結果、FTVを支持する意見が大勢を占めた。

この結果を受けて、MPEGは今後の検討をFTVに絞ることとした。この時点では、データフォーマットはMPEGのスコープ外であり、視点画像生成も規格化の対象ではないという意見が大勢を占めた。このため、FTVの多視点映像の情報圧縮部分のみを標準化の対象とした。

2004年10月のマヨルカ会合で、利用可能な多視点映像圧縮(Multi-view Video Coding, MVC)の技術があるかどうかを確認するため、“Call for Evidence on Multi-view Video Coding”[43]を出した。2005年1月の香港会合にて提案方式の復元画像の評価を行い、

2002年 7月	FTVをMPEGに提案
2002年 10月	MPEG 3DAV国際セミナー開催
2003年 10月	Call for Comments on 3DAVを発行
2004年 3月	Call for Commentsに応じて、多くの企業がFTVを支持
2004年 10月	Call for Evidence on Multi-view Video Codingを発行
2005年 1月	FTVの圧縮部分のみをMVCとして標準化開始
2005年 7月	Call for Proposals on MVCを発行
2006年 1月	提案方式を評価、参照方式を決定
2006年 7月	JVT(ISOとITU-Tの合同)に標準化審議移行
2007年 4月	MPEGがFTV全体の標準化を開始、MPEG FTV設立

図29 FTV国際標準化の経緯

あきらかに良い技術があるとの結論を得た。この成功により、MPEGは新しい符号化の標準化を行うことを決定した。そして、2005年7月に“Call for Proposals on Multi-view Video Coding” [44]を発行し、2005年12月に提案募集を締め切った。

これに対して、図30に示す日本2件、韓国2件、ドイツ2件、アメリカ2件、合計8件の応募があり、2006年1月のバンコク会合でその評価が行われた [45]。テストに用いた画像は Akko&Kayo, Ballroom, Breakdancers, Exit, Flamenco2, Race1, Rena, Uli の8シーケンスである。Akko&Kayo と Rena は前述のように名古屋大学から提供したものである。

画質評価の結果を図31に示す。画質評価では、ドイツのHHI (Heinrich-Hertz Institut) の提案が1位、名古屋大学とNTTの共同提案が2位であったが、その差はわずかである。一方、復号に必要な遅延時間は、名古屋大学とNTTの共同提案では数フレームであるが、HHIの提案では0.5秒と非常に長い。

長い復号遅延は復号信号を表示する3Dディスプレイにとって不都合であるため、2006年4月のモントルー会合では、3Dコンソーシアムやディスプレイメーカーからの要望を受け、低遅延の要求条件を明確にするとともに、FTVの実現のために新しいFree viewpoint scalabilityの必要性を明記した。また、正式な標準化手続きのため、日本、韓国、中国、米国、ドイツ、スイス、フランス、オランダ、ポーランドの9カ国が賛同して、多視点映像符号化の標準化を開始する文書が作成された。

2006年7月のクラゲンフルト会合よ

り、MVCの審議がMPEGから、MPEGとITU-Tの合同会議であるJVT (Joint Video Team)に移行し、コア実験が精力的に進められた。

MVCの今後の予定は表2のようになっており、MPEG-4 AVC (H.264)の拡張規格として2008年には最終標準案ができる予定である。

FTVはMVCだけでは実現できないため、2006年7月のMPEGクラゲンフルト会合でFTV全体の標準化を提案した [46]。そし

Nagoya University, NTT	Japan
KDDI R&D Laboratories Inc.	Japan
Mitsubishi Electric Research Labs	USA
Thomson	USA
Sejong University, ETRI	Korea
KBS, Yonsei Univ.	Korea
Fraunhofer HHI	Germany
TU Berlin	Germany

図30 MVC Call for Proposalへの提案組織

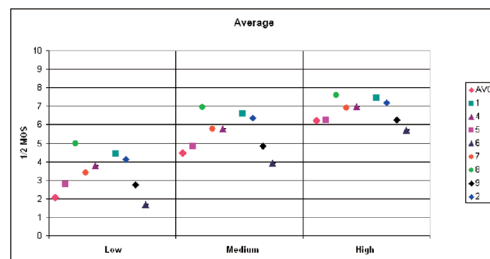


図31 提案方式の主観評価実験結果

表2 MVC標準化スケジュール

2006/10	WD (Working Draft/ 作業草案)
2007/07	CD (Committee Draft/ 委員会草案)
2008/01	FCD (Final Committee Draft/ 最終委員会草案)
2008/07	FDIS (Final Draft International Standards/ 最終国際規格案)

て、MPEG は 2007 年 4 月のサンノゼ会合で、データフォーマットを含む FTV 全体の標準化を行うことを決定し、アドホックグループ MPEG-FTV を設置した [47]。MPEG-FTV は 2007 年 7 月のローザンヌ会合で、奥行き情報を利用する FTV の調査実験を行うことを決定した。

FTV の参照モデルと標準化項目を図 32 に示す。MPEG-FTV では FTV データフォーマット、圧縮、補間の標準化、ITU-T では伝送データフォーマットとプロトコルの標準化を検討している。

FTV の標準化が実現すれば、図 33 に示すようにインターネットでダウンロードした FTV ファイルをパソコンで再生し、マウスで視点を制御して自由視点鑑賞できるようにする。

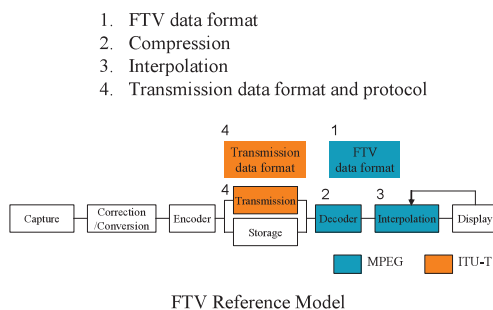


図 32 FTV の参照モデルと標準化項目



図 33 ダウンロードした FTV ファイルの自由視点再生

VII. むすび

FTV は、ユーザが視点を自由に選ぶことのできる全く新しい映像メディアであり、80 年に上る長いテレビジョンの歴史にこれまでにない大きな変革をもたらす。無限の眼を持つ FTV は極めて高いセンシングや表現の能力を持ち、産業や生活、社会、学術、文化の発展に大きな貢献が期待される。

光線を取り扱う FTV は産業上、学術上の新しいフロンティアである。私たちは光線再生型 FTV の開発をとおして、新しい光線画像工学の創成を目指している。

FTV の重要性は国際的にも認知され、国際標準化も進展している。名古屋大学発の FTV が世界標準となって実用化される日が来ることを期待している。

謝辞

FTV 標準化活動に対する JEITA 及び FTV 委員会のご支援に感謝する。本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金基盤研究 (A) 18206044, 2006, 総務省 (SCOPE) 041306003, 及び情報通信研究機構の高度通信・放送研究開発に係る委託研究「多並列・像再生型立体テレビシステムの研究開発」によって行われた。

参考文献

[1] 谷本正幸：“自由視点テレビ”，三次元映像フォーラム，Vol.15, No.3, pp.17-22 (2001.9)

[2] 谷本正幸：“自由視点テレビ”，映像情報メディア学会誌，巻頭，Vol.55, No.12 (2001-12)

[3] 谷本正幸：“自由視点テレビ FTV”，映

- 像情報メディア学会誌, Vol.58, No.7, pp.898-901, 2004年7月
- [4] Masayuki Tanimoto, "Free Viewpoint Television - FTV", Picture Coding Symposium 2004, Special Session 5, December 2004
- [5] Masayuki Tanimoto, "FTV (Free Viewpoint Television) Creating Ray-Based Image Engineering", Proc. of ICIP2005, pp.II-25 - II-28, September 2005
- [6] Masayuki Tanimoto, "Overview of Free Viewpoint Television", Signal Processing : Image Communication, vol.21, no.6, pp.454-461, July 2006
- [7] 谷本正幸: "自由視点テレビFTV—「イ」の字から80年—", 電子情報通信学会誌, vol.89, no.10, pp.866-870, 2006年10月
- [8] 谷本正幸: "自由視点テレビFTV", 電子情報通信学会論文誌A, vol.J89-A, no11, pp.866-872, 2006年11月(招待論文)
- [9] Masayuki Tanimoto, "Free Viewpoint Television", OSA Topical Meeting on Digital Holography and Three - Dimensional Imaging, DWD2, June 2007 (Invited Paper)
- [10] M. Sekitoh, T. Fujii, T. Kimoto, and M. Tanimoto, "Bird's Eye View System for ITS", IEEE Intelligent Vehicle Symposium, pp.119-123, May 2001
- [11] 関藤, 杏名, 豊田, 楊, 藤井, 木本, 谷本: "自由視点リアルタイム鳥瞰図生成システム", 3次元画像コンファレンス 2001, pp.41-44 (2001.7)
- [12] M. Tanimoto and T. Fujii, "FTV - Free Viewpoint Television", ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 M8595, July 2002
- [13] M. Tanimoto and T. Fujii, "Comparative Evaluation of Ray-Space Representation", ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 M8892, Oct. 2002
- [14] M. Tanimoto and T. Fujii, "Ray-Space Coding Using Temporal and Spatial Prediction", ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 M10178, Oct. 2003
- [15] Masayuki Tanimoto and Toshiaki Fujii, "FTV (Free Viewpoint Television): Achievements and Challenge", ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 M11259, Palma de Mallorca, Spain, October 2004
- [16] Masayuki Tanimoto, "Free Viewpoint Systems", Chapter 4 of "3D Video-communication", Wiley, pp.55-73, 2005
- [17] Aljoscha Smolic and Peter Kauff, "Interactive 3-D Video Representation and Coding Technologies", Proceedings of the IEEE, Vol.93, No.1, pp.98-110 (2005)
- [18] 谷本正幸, 藤井俊彰: "自由視点映像技術", 映像情報メディア学会誌, vol.60, no.1, pp.29-34, 2006年1月
- [19] 藤井: "3次元統合画像符号化の基礎検討", 東京大学工学系研究科 博士論文 (1994)
- [20] T.Fujii, T.Kimoto, M.Tanimoto, "Ray Space Coding for 3D Visual Communication", Picture Coding Symposium '96, pp.447-451, Mar. 1996

- [21] M. Tanimoto, A. Nakanishi, T. Fujii, T. Kimoto, "The Hierarchical Ray-Space for Scalable 3-D Image Coding", Picture Coding Symposium 2001, pp.81-84, April 2001
- [22] Toshiaki Fujii, Masayuki Tanimoto, "Free-Viewpoint TV System Based on Ray-Space Representation", SPIE ITCOM 2002, Vol.4864-22, pp.175-189, Aug. 2002
- [23] 中西敦士, 藤井俊彰, 木本伊彦, 谷本正幸: "EPI 上の対応点軌跡を用いた適応フィルタによる光線空間データ補間", 映像情報メディア学会誌, Vol.56, No.8, pp.1321-1327 (2002)
- [24] M. Droese, T. Fujii and M. Tanimoto, "Ray-Space Interpolation based on Filtering in Disparity Domain", Proc. 3D Conference 2004, pp.213-216, Tokyo, Japan, June 2004
- [25] M. Droese, T. Fujii and M. Tanimoto, "Ray-Space Interpolation Constraining Smooth Disparities Based on Loopy Belief Propagation", Proc. of IWSSIP 2004, 11th International Workshop on Systems, Signals and Image Processing, pp.247-250, Poznań, Poland, Sept. 2004
- [26] 福嶋, 圓道, 藤井, 谷本: "光線に基づく実時間自由視点画像生成システム", 3次元画像コンファレンス 2005, pp.25-28 (2005.7)
- [27] N. Fukushima, T. Yendo, T. Fujii and M. Tanimoto, "An Effective Partial Interpolation Method for Ray-Space", Proc. of 3D Image Conference 2006, pp.85-88, July 2006
- [28] N. Bangchang, T. Fujii and M. Tanimoto, "Experimental System of Free Viewpoint Television", Proc. IST/SPIE Symposium on Electronic Imaging, Vol.5006-66, pp.554-563, Jan. 2003
- [29] P. Na Bangchang, M. Panahpour Tehrani, T. Fujii, M. Tanimoto, "Realtime System of Free Viewpoint Television", The journal of the institute of Image information and Television Engineers (ITE), Vol.59, No.8, pp.63-701, Aug. 2005
- [30] T. Fujii, K. Mori, K. Takeda, K. Mase, M. Tanimoto and Y. Suenaga, "Multipoint Measuring System for Video and Sound: 100-camera and microphone system", IEEE 2006 International Conference on Multimedia & Expo (ICME), pp.437-440, July 2006
- [31] K. Matsumoto, T. Yendo, T. Fujii and M. Tanimoto, "Multiple-Image Rectification for FTV", Proc. of 3D Image Conference 2006, P-19, pp.171-174 (2006)
- [32] 山本健詞, 圓道知博, 藤井俊彰, 谷本正幸: "自由視点テレビのためのマルチカメラの画像変換", 映像情報メディア学会誌, vol.60, no.2, pp.219-226, 2006年2月
- [33] Kenji Yamamoto, Tomohiro Yendo, Toshiaki Fujii, Masayuki Tanimoto, "Colour Correction for Multiple-camera System by using

- Correspondences”, The journal of the institute of Image Information and Television Engineers, vol.61, no.2, pp.213-222, February 2007
- [34] M. Sugawara, M. Kanazawa, K. Mitani, H. Shimamoto, T. Yamashita and F. Okano, “Ultrahigh-Definition Video System with 4000 Scanning Lines”, SMPTE Motion Imaging, 112, pp.339-346, October/November 2003
- [35] 谷本：“光線画像工学 — 3次元画像メディアの新しいフレームワーク—”, 映像情報メディア学会メディア工学シンポジウム, pp.13-19 (2005.3)
- [36] T. Fujii and M. Tanimoto, “Real-Time Ray-Space Acquisition System”, SPIE Electronic Imaging, vol.5291, pp.179-187, Jan. 2004
- [37] T. Endo, Y. Kajiki, T. Honda and M. Sato, “Cylindrical 3-D Video Display Observable from All Directions”, Proc. of Pacific Graphics 2000, pp.300-306, October 2000
- [38] 高野, 圓道, 藤井, 谷本：“光線空間におけるシーン分離処理”, IMPS2005, pp.31-32, 2005
- [39] Ryuji Takano, Tomohiro Yendo, Toshiaki Fujii, Masayuki Tanimoto, “Scene Separation and Synthesis Processing in Ray-Space”, Proc. of IWAIT2007, P6-23, pp.878-883, January 2007
- [40] Naoyuki Chimura, Tomohiro Yendo, Toshiaki Fujii, Masayuki Tanimoto, “New Visual Arts by Processing Ray-Space”, Proc. of Electronic Imaging & the Visual Arts (EVA) 2007 Florence, pp.170-175, March 2007
- [41] 田中, 圓道, 藤井, 谷本：“位相を考慮した光線空間—ホログラム間の変換”, 3次元画像コンファレンス 2005, pp.77-80 (2005)
- [42] “Call for Comments on 3DAV”, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 N6051, Oct. 2003
- [43] “Call for Evidence on Multi-view Video Coding”, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 N6720, Oct. 2004
- [44] “Call for Proposals on Multi-view Video Coding”, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 N7327, July 2005
- [45] “Subjective test results for the CfP on Multi-view Video Coding”, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 N7779, January 2006
- [46] M. Tanimoto, T Fujii, S. Sakazawa and H. Kimata, “Proposal on Standardization of Free Viewpoint TV (FTV)”, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, M13612 (JVT-T140), July 2006
- [47] “AHG on FTV (Free Viewpoint Television)”, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 N9170, April 2007

(たにもと まさゆき：名古屋大学大学院工学研究科電子情報システム専攻)