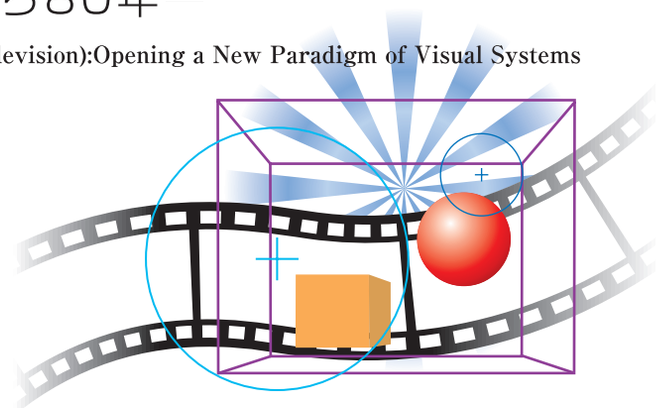
自由視点テレビFTV
ー「イ」の字から80年ー

FTV(Free Viewpoint Television):Opening a New Paradigm of Visual Systems



谷本　正幸

1. まえがき

20世紀はテレビの時代ともいわれる．20世紀において，テレビは遠隔地の情景をい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から80年の間に，テレビ技術は飛躍的な進歩を遂げた．

しかし，今なお実現に至っていない重要なことがある．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，様々な視点から視覚情報を得ている．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，20世紀のテレビが実現したものは，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．このような，ユーザが自ら自由に視点を移動して三次元シーンを見ることができるテレビが自由視点テレビ（FTV：Free Viewpoint Television）[(1)~(6)]である．

私たちはFTVを構築するための技術開発を進め，そのリアルタイム実験に世界で初めて成功した[(7),(8)]．FTVは，経済産業省，JEITA，及び各社の支援を受けてMPEGに提案され，新しい映像メディアとして高く評価された．現在，MPEGはFTVの入力信号である多視点映像の圧縮符号化の標準化を進めている．

本稿ではFTVの意義，FTVシステム，国際標準化などについて述べるとともに，新しい光線画像工学の創成への取組みを紹介する．

谷本正幸　正員：フェロー　名古屋大学大学院工学研究科電子情報システム専攻
E-mail　tanimoto@nuee.nagoya-u.ac.jp
Masayuki TANIMOTO, Fellow (Graduate School of Engineering, Nagoya University, Nagoya-shi, 464-8603 Japan).
電子情報通信学会誌　Vol.89 No.10 pp.866-870 2006年10月

2. ＦＴＶの意義

FTVは無限の眼を持つ画像システムである．複数の眼を持つ画像システムとして，2眼式や多眼式の三次元テレビがある．しかし，その眼数は高々10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の眼数は無限大である．このため，FTVは2眼式や多眼式の三次元テレビをはるかにしのぎ，現実世界の時空間情報のすべてを獲得することができる究極の三次元テレビであるといえる．

更に，無限の眼を持ち，時空間での自由な移動を可能とするFTVは，高い表現力を有する映像表現ツール，社会の安全性を高める情報インフラとして位置付けられ，新世代映像メディアとして大きな意義を持つ．

FTVは放送や通信だけでなく，エンターテインメント，広告，販売，自然観察，観光，博物館，美術館，アーカイブ，教育，芸術，医療，保守，セキュリティ，交通など，幅広い分野に適用できる．しかし，無限の眼を持つFTVは，これまでの1視点テレビや映画マトリックスで用いられた多視点テレビなどとは，量だけでなく質においても異なるものであり，全く新しい利用形態が出現する可能性がある．

3. ＦＴＶの原理

私たちはFTVを光線空間法[(9)~(11)]によって実現した．光線空間法では，三次元実空間の1本の光線を，それを表すパラメータを座標とする多次元空間の一点で表す．この仮想的な空間を光線空間（ray-space）という．光線空間全体は三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

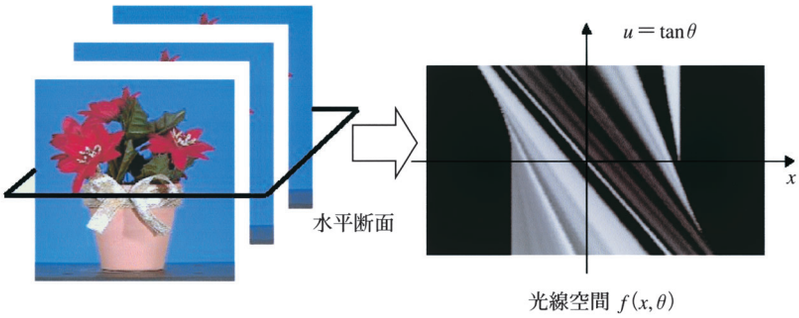


図１　直交座標光線空間の例

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．

光線空間の作り方を，垂直方向の視差を考慮しない場合について説明する．多くのカメラを一直線上に配置する場合，多数のカメラで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．これが光線空間となる．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．

光線空間から自由視点画像を生成するには，視点に対応した位置で光線空間を垂直に切る．このときの断面がその視点から見た画像となる．複数の視点で同時に見るには，複数の切断面を作る．

カメラを直線上に配列した場合の光線空間を直交座標光線空間という．直交座標光線空間の例を図１に示す．垂直断面が二次元画像で，水平断面が直線構造となることが特徴である．

三次元空間を取り囲むように見たい場合には，カメラを円周上に配置し，極座標系の光線空間とする．極座標光線空間の水平断面は正弦波構造となる．

4.　ＦＴＶシステム

FTV のリアルタイム装置を構築した．カメラ配置は直線，平面，球面，円弧状などを試みた．

図２に示すように，撮像部では多くのカメラで実空間を撮影し，撮影した画像を光線空間内に衝立状に配列して FTV 信号とする．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周配置とし，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．

光線空間に衝立状に配列された画像の間にはデータがないため，これを補間によって作る[(12),(13)]．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

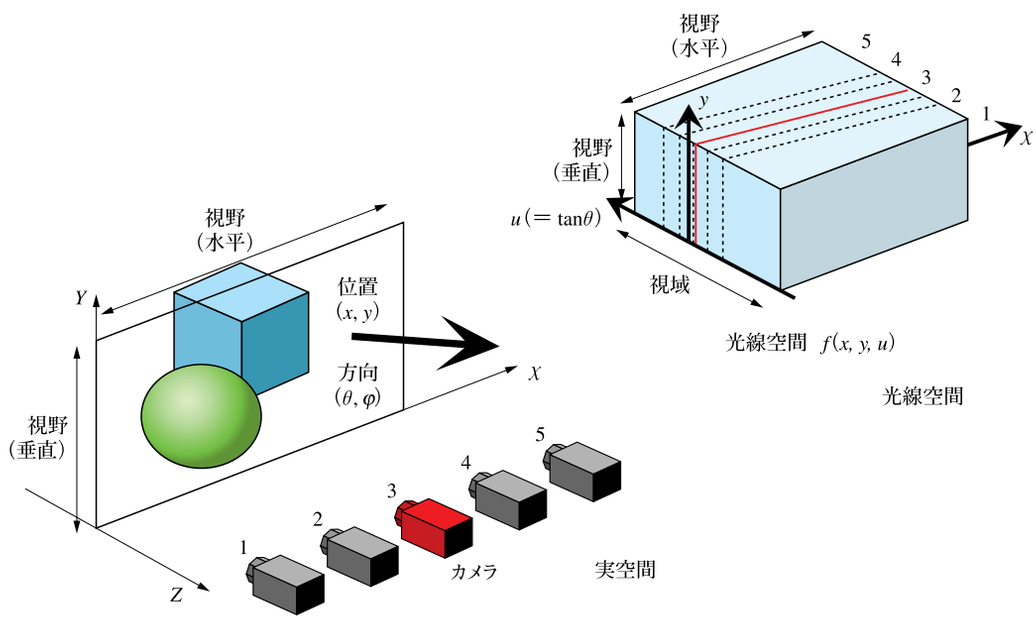


図２　FTV 信号の作り方

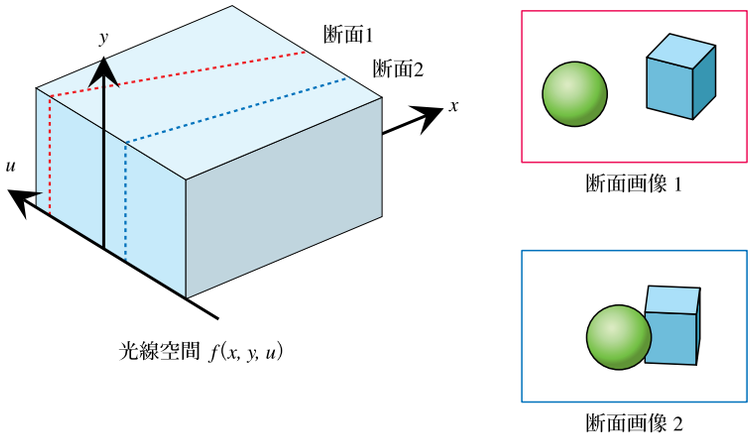
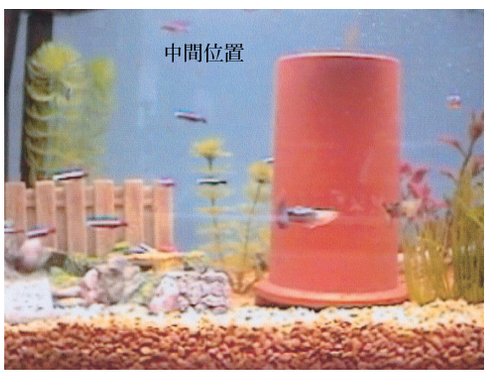
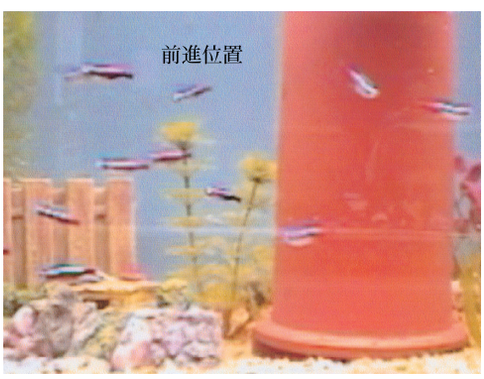


図 3　自由視点画像の生成

図 4　FTV 装置



(a) カメラ間の位置



(b) カメラから前進した位置

図 5　生成した自由視点画像の例

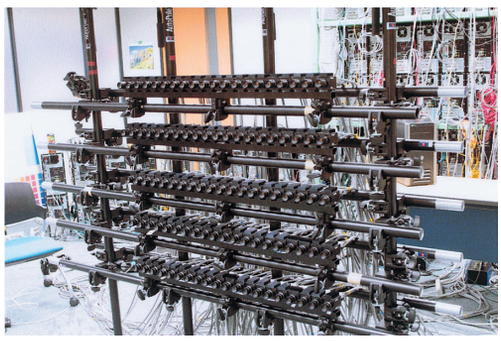


図 6　100 眼システム（平面配置の場合）

撮影できる．

図 3 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 は究極の三次元テレビであるため，その表示には三次元ディスプレイが適しているが，二次元ディスプレイを用いて，視点に応じた二次元画像を表示してもよい．多眼式三次元ディスプレイに表示するには，同時に眼数分の切断面を作る．

FTV 装置[14]の例を図 4 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，水平面内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．

FTV で生成した自由視点画像の例を図 5 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画像生成を行ったが，PC1 台による自由視点画像のリアルタイム生成にも成功している[15]．

大規模な三次元空間の FTV を実現するため，名古屋大学 IMI-COE と谷本研究室は 100 台の高解像度カメラからなる 100 眼システムを構築した．カメラ配置は撮影したい空間に応じて，直線，円，平面等，様々に設定で

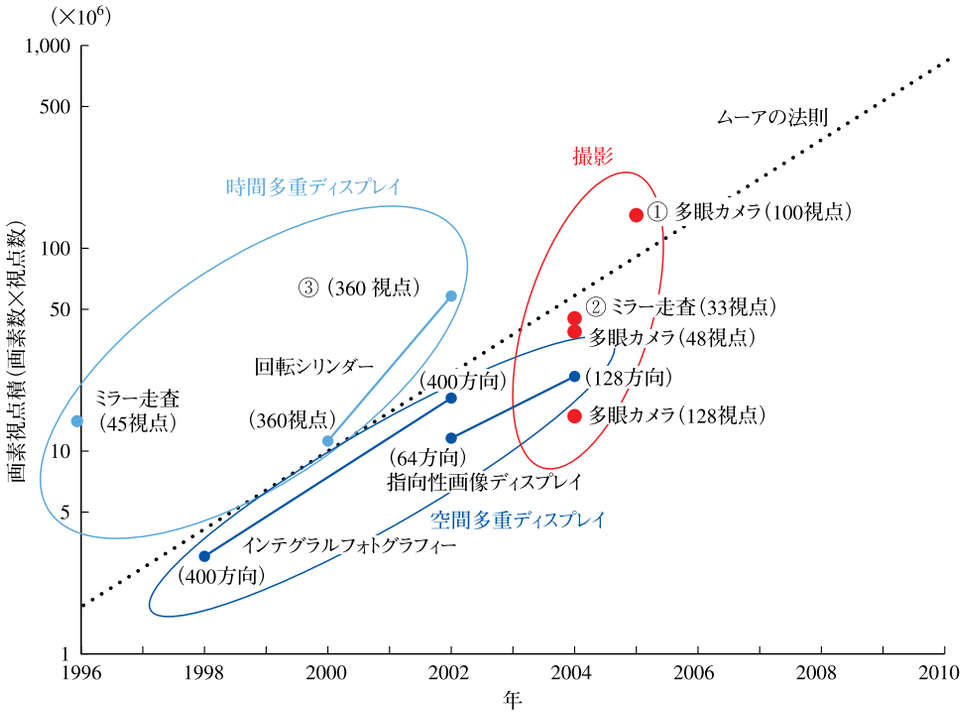


図7　撮像と表示における画素視点積の進歩

きる．平面配置の100眼システムを図6に示す．

5. 国際標準化

FTV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．

三次元画像システムには様々な入力方式や出力方式があり，信号形式も異なる．異なる三次元画像信号の伝達・記録や方式変換を容易にするため，様々な三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，三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．

FTV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．FTV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でこれを利用する新しい圧縮方式の標準化が進められている．

MPEGでの提案募集に対して8件の圧縮方式の提案があり，2006年1月のバンコク会合でその評価が行われた．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．これらの点を踏まえ，審議が続けられている．

6. 光線再現型FTVと光線画像工学の創成

画像工学はテレビジョンを代表とする現代の様々な映像メディアを支える学理である．しかし，究極の映像メディアであるFTVや三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，現在の画像工学は三次元空間情報をそのままの形では取り扱えず，平面に投影し二次元情報に縮退して処理しなければならないからである．

私たちは，三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している．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とらえ直す．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三つの要素からなる光線再現型FTVシステムを構築し，これをプラットホームとして三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[16]を創成する．

光線再現型FTVのために，ミラー走査光線取得装置[17]と光線再現360度ディスプレイ[18]を開発した．ミラー走査光線取得装置は，ミラーによ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，パララックスバリヤ方式により全

方位に超高密度の光線を再現する．

これまで，映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と定義し，これを映像システムの性能指標とする．撮像と表示における画素視点積の進歩を図7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．撮像，表示いずれについても，画素視点積が急速に向上し，FTVを実用化する技術環境が整いつつあることが分かる．

7. 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は映像の持つセンシングや表現の能力を飛躍的に発展させるものであり，産業や社会，生活，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の開発を通して，新しい光線画像工学の創成を目指している．

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, Sept. 2001.

（2） 谷本正幸，“自由視点テレビ，”映情学誌，巻頭， vol.55, no.12, Dec. 2001.

（3） 谷本正幸，“自由視点テレビFTV，”映情学誌， vol.58, no.7, pp.898-901, July 2004.

（4） M. Tanimoto, “Free viewpoint television - FTV,” Picture Coding Symposium 2004, Session 5, Dec. 2004.

（5） M. Tanimoto, “FTV (Free Viewpoint Television) Creating Ray-Based Image Engineering,” Proc. of ICIP2005, pp. Ⅱ-25-Ⅱ-28, Sept. 2005.

（6） M. Tanimoto, “Free viewpoint systems,” Chapter 4 of “3D Videocommunication,” Wiley, pp.55-73, 2005.

（7） 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.

（8） 関藤，沓名，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, July 2001.

（9） 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.

（10） T. Fujii, T. Kimoto, and M.Tanimoto, “Ray space coding for 3D visual communication,” Picture Coding Symposium ’96, pp.447-451, March 1996.

（11） T. Fujii and M. Tanimoto, “Free-viewpoint TV system based on ray-space representation,” SPIE ITCom, vol.4864-22, pp.175-189, Aug. 2002.

（12） 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，”映情学誌， vol.56, no.8, pp.1321-1327, 2002.

（13） M. Droese, T. Fujii, and M. Tanimoto, “Ray-space interpolation constraining smooth disparities based on loopy belief propagation,” Proc. of IWSSIP’04, 11th International Workshop on Systems, Signals and Image Processing, pp.247-250, Poznań, Poland, Sept. 2004.

（14） P. Na Bangchang, M. Panahpour Tehrani, T. Fujii, and M. Tanimoto, “Realtime system of free viewpoint television,” J. Inst. Image Inf. Telev. Eng., vol.59, no.8, pp.63-701, Aug. 2005.

（15） 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, July 2005.

（16） 谷本正幸，“光線画像工学ー三次元画像メディアの新しいフレームワークー，”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, March 2005.

（17） T. Fujii and M. Tanimoto, “Real-time ray-space acquisition system,” SPIE Electronic Imaging, vol.5291, pp.179-187, Jan. 2004.

（18） T. Endo, Y. Kajiki, T. Honda, and M. Sato, “Cylindrical 3-D video display observable from all directions,” Proceedings of Pacific Graphics 2000, pp.300-306, 2000.

（平成18年5月17日受付　平成18年5月23日最終受付）

谷本（たにもと）　正幸（まさゆき）（正員：フェロー）

昭45東大・工・電気卒．昭51同大学院博士課程了．同年名大助手．平3同教授．通信方式，画像情報圧縮，画像処理の研究に従事．本会業績賞など受賞．本会評議員，東海支部長，通信方式研究専門委員会委員長，映像情報メディア学会副会長，画像符号化シンポジウム運営委員会委員長など歴任．