

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 5 月 22 日現在

機関番号：73905  
研究種目：基盤研究(B) (一般)  
研究期間：2013～2015  
課題番号：25289117  
研究課題名(和文)自由視点テレビの新しいフレームワークの構築

研究課題名(英文)New Framework of Free-viewpoint Television

研究代表者  
谷本 正幸(TANIMOTO, Masayuki)

公益財団法人名古屋産業科学研究所・その他部局等・上席研究員

研究者番号：30109293

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：多様なカメラ配置の多視点映像からの自由視点画像生成を可能とするワーブ方式やアップサンプリング方式などの新しい画像生成方式を研究した。これにより革新的な3Dアプリケーションを実現する自由視点テレビFTVの新しいフレームワークを構築し、広い視域を持つ超多視点3D表示や3Dシーン内を自由に移動するフリーナビゲーションの実現を目指すMPEG-FTVと呼ばれる新しい国際標準化活動を開始することができた。

研究成果の概要(英文)：View synthesis methods that generate free-viewpoint images from multi-camera views in variety of camera configurations are studied. Based on this study, new framework of FTV (Free-viewpoint Television) is developed to realize such 3D applications that revolutionize viewing of 3D scenes. Furthermore, a new international standardization activity of FTV called MPEG-FTV started in MPEG, targeting super multiview 3D display application with wide viewing zone and free navigation application such as walk-through and fly-over perspectives of a 3D scene.

研究分野：通信・ネットワーク工学

キーワード：自由視点テレビ

## 1. 研究開始当初の背景

申請者は、3次元空間をユーザが自由に視点を移動させて見ることが出来る自由視点テレビFTV (Free-viewpoint Television) を提唱し、実世界の3次元空間情報の取得から表示までをリアルタイムで行うシステムの実現に世界で初めて成功した。FTVは3次元空間情報のすべてを伝達する究極の3次元テレビであり、IEEE ProceedingsにFTVの招待論文が掲載されるなど、次世代映像メディアとして世界的にも高く評価されている。2022FIFA ワールドカップ日本招致委員会は、サッカースタジアムの感動を再現して世界に配信する技術としてFTVに注目し、これを招致コンセプトの重要な柱とした。

申請者はFTVをMPEGに提案し、FTVの第1フェーズとして多視点映像符号化 (Multi-view Video Coding, MVC)、第2フェーズとして3Dビデオ (3D Video, 3DV) の国際標準化を推進した。MVCでは複数のカメラで撮影した映像信号の効率的な圧縮符号化の標準化を実現し、Blu-ray 3D ディスクに採用された。3DVでは、2台または3台のカメラで撮影した映像から多数の映像を生成し、同一映像コンテンツを様々な眼数の多眼式3Dディスプレイに表示する仕組みの標準化を行った。

MVCの標準化に際して、申請者はハイビジョンカメラ100台からなる多視点撮影システムを構築し、多視点映像テストシーケンスを制作・提供して、世界の多視点映像研究をリードした。3DVの標準化では、申請者は、移動する多視点カメラで撮影した新しい多視点映像テストシーケンスに加えて、デプス推定レファレンスソフトと画像生成レファレンスソフトを提供した。これらは標準化活動の枠を越えて、世界中の研究者に利用され、国際ジャーナルや国際会議論文に引用されている。このような申請者の活動は、世界的に多視点映像及び自由視点映像の研究が盛んとなる契機となった。

MPEGではこれまで、デプス情報を利用して自由視点画像生成を行うdepth方式のFTVについて標準化を行ってきた。しかし、depth方式では、自由視点の位置がカメラ位置から離れるに従って、デプス情報の誤りに起因する生成画像の劣化が大きくなる。kinectカメラやz-カメラなどのデプスカメラを用いても、自由視点画像生成に必要なデプス精度は得られない。視点を広範囲に自由に移動できるFTVアプリケーションを実現するため、従来のdepth方式に代わるFTVの仕組みが強く求められている。このため、自由なカメラ配置で撮影した多視点映像から自由視点映像を生成する、革新的な自由視点映像生成法を研究し、FTVの新しいフレームワークを構築とすることとした。

## 2. 研究の目的

申請者は、究極の3次元テレビである自由視点テレビFTVを世界に先駆けて開発すると

共に、動画像技術の標準化団体であるMPEG (Motion Picture Experts Group) においてFTVの国際標準化を推進してきた。これまでのFTVは、直線上に配置した多数のカメラで撮影した多視点映像からデプス (奥行き) 情報を利用して自由視点画像を生成するdepth方式で構築されている。現在の標準化はこのフレームワークで行われているが、この方式はデプス情報の影響を強く受け、デプス情報が正確でないと生成画像に歪が発生する。MVC、3DVに続く新しいFTV標準化のため、多様なカメラ配置からの画像生成を可能とするFTVの仕組みが強く求められている。本研究では、多視点映像から自由視点映像生成を行う、新しい自由視点映像生成法を研究し、FTVの新しいフレームワークを構築し、FTV第3フェーズ標準化の開始に貢献することを目的とする。

## 3. 研究の方法

MPEG会議に参加し国際標準化の動向を調査しながら、多視点映像から自由視点映像を生成する方式を研究する。

### (1) MPEG採用方式の改良

FTVによって超多視点3D表示やフリーナビゲーションアプリケーションのような新しい3Dアプリケーションを実現するには、多様なカメラ配置での多視点映像取得が前提となる。しかし、MPEGにおけるFTV第2フェーズ標準化で採用された画像生成方式は、多様な多視点カメラ配置に対応していない。このため、MPEG採用方式の限界を探索し、多様な多視点カメラ配置からの自由視点映像生成が可能となるようにMPEG採用方式を改良する。

### (2) 多視点映像のワープ方式

多視点映像のワープに基づく画像生成方式を研究する。まず、1視点ワープ方式のソフトウェアを作成する。多視点テストシーケンスに対して、カメラ位置とする視点と画像を生成する視点を定めて画像生成実験を行う。生成画像を実画像と比較し、問題点があればソフトウェアを修正する。このソフトウェアを用いて、様々な多視点テストシーケンスに対して、1視点ワープ方式の性能を調べる。1視点のワープ方式の問題点を抽出し、問題点の原因と解決策を探索する。

次に、1視点ワープ方式の研究結果を元に、多視点ワープ方式を研究する。ソフトウェアを作成し、多視点テストシーケンスに対して、カメラ位置とする視点と画像を生成する視点を定めて画像生成実験を行う。その結果を実画像と比較し、問題点があればソフトウェアを修正する。様々な多視点テストシーケンスに対して、カメラ位置とする視点と画像を生成する視点を変えながら実験し、多視点ワープ方式の性能を調べる。その結果を分析し、多視点ワープ方式の問題点を抽出し、問題点の原因と解決策を探索する。アルゴリズムの

ブラッシュアップを行い、自由視点画像生成方式としての性能を検証する。

(3) EPI のアップサンプリング方式  
撮影した多視点画像を垂直に並べ、その水平断面を取って EPI (Epipolar Plane Image) を作成する。EPI のアップサンプリングによる画像生成を研究するため、ラインを間引いた EPI から全ラインの EPI を生成する仕組みを研究する。EPI から多数のブロックを切り出し、間引いた EPI と全ラインの EPI の対応関係を学習させ、ルックアップテーブルを作成する。学習に用いた EPI と異なる EPI に対してルックアップテーブルを適用し、間引いた EPI から全ラインの EPI を生成する実験を行う。生成した EPI を実 EPI と比較し、その差が最少となるように、ルックアップテーブルを修正する。

ルックアップテーブルに登録されているパターン以外にも対応できるようにするため、ルックアップテーブルに登録されている入力を類似したパターン毎に分類し、それぞれのパターン毎に入力と出力を結び付ける適応フィルタを設計する。設計した適応フィルタを用いて、間引いた EPI から全ラインの EPI を生成する実験を行う。生成した EPI を実 EPI と比較し、その差が最少となるように、入力パターンの分類法と適応フィルタの設計法を改良する。

#### (4) 生成画像の修正方式

仮想視点の生成画像に画質劣化の大きい部分がある場合、残留する生成誤差を抑圧する画像処理を研究する。生成誤差が残留する部分を判別する手法を探索し、次にその抑圧手法を研究する。

### 4. 研究成果

#### (1) MPEG 採用方式の改良

MPEG における FTV 第 2 フェーズ標準化で採用された画像生成方式 (MPEG 採用方式) では、直線上に配置された収束カメラ配置で撮影した多視点画像を平行カメラ配置画像に変換する rectification を行った後、対応点の水平シフトによって画像生成を行っている。この MPEG 採用方式を円形カメラ配置の多視点画像からの自由視点画像生成に適用すると大きな歪が発生した。その原因を探索した結果、図 1 に示すように rectification 後の画像形状がひずみ、対応点探索が誤ることが原因であることが分かった。このため、図 2 に示すように rectification を行わずに対応点の斜めシフトによって画像生成を行う方式に変更した。その結果、対応点探索の誤りを軽減し、生成画像の品質を大幅に向上できた。これにより、MPEG 採用方式を多様な多視点カメラ配置に対応できるように改良することができた。

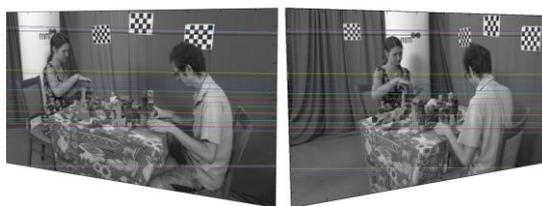


図 1. rectification 後の対応点の水平シフトによる画像生成 (MPEG 採用方式)

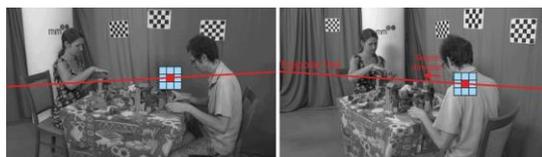


図 2. 対応点の斜めシフトによる画像生成 (MPEG 採用方式の改良)

#### (2) 多視点映像のワープ方式

多視点映像のワープによる画像生成方式を研究した。多視点映像を各カメラの時間方向に見るのではなく、同一時刻に撮影した多視点映像の各フレームをカメラの配置順に並べて再生すれば、移動するカメラで撮影した動画とみなすことができる。このとき、実カメラの中間の位置での画像を生成すれば、動画のフレームレートを増加させることになる。したがって、自由視点テレビにおける実カメラ間の画像生成は、多視点映像をカメラ順に並べた動画の高フレーム化処理とみなすことができる。そこで、動画のフレームレート変換で用いられている動きベクトル方式に基づく画像生成方式を研究した。隣接カメラ画像間の動きベクトルを求め、それを内分することにより参照画像をワープさせ、中間カメラ位置の画像を生成するアルゴリズムを作成した。MPEG 国際標準化で用いられている多視点映像テストシーケンスに対して画像生成実験を行った。1/4、2/4、3/4 に内分した位置の画像生成を行った結果、3/4 の位置の生成画像が最も劣化した。そこで、多視点映像をカメラ順に並べるとき、正方向と逆方向に並べた 2 つの動画を作り、各々に対して動きベクトル方式による画像生成を行い、2 つの生成画像のうち、参照画像からの距離が近い画像を選択することとした。正方向と逆方向の距離が等しい 1/2 の位置では、2 つの生成画像をブレンドした。このアルゴリズムにより様々な多視点映像テストシーケンスに対して画像生成実験を行った結果、MPEG 国際標準化で採用されている奥行情報を用いる画像生成方式と同程度の生成画像を得た。本研究により、奥行き情報を用いることなく、参照画像のワープによる画像生成を行うことができた。

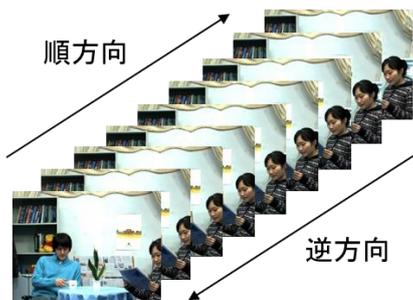


図 3. 多視点映像のワープ方式



図 4. 生成画像の例

### (3) EPI のアップサンプリング方式

EPI のアップサンプリングによる画像生成方式を研究した。多視点画像を垂直に並べ、その水平断面を取って EPI (Epipolar Plane Image) を作成し、中間視点の画像を生成するため、ラインを間引いた EPI をアップサンプリングして全ラインの EPI を生成する仕組みを研究した。EPI から多数の 2 次元ブロックを切り出し、間引いた EPI と全ラインの EPI の対応関係を学習させ、ルックアップテーブルを作成した。学習に用いた EPI と異なる EPI に対してルックアップテーブルを適用し、間引いた EPI から全ラインの EPI を生成する実験を行った。アップサンプリングした全ラインの EPI と間引き前の原 EPI を比較した結果、視覚上は良好な結果が得られた。そこで、これを全ての水平断面について行い、間引いたラインの位置で垂直断面を取って、中間視点の画像を生成した。生成した中間視点画像を間引き前の原画像と比較した結果、生成した中間視点画像には、原画像には見られない不自然な画質劣化が見られた。その原因を分析した結果、中間視点画像のライン間の滑らかさの欠如が原因であることが判明した。これは、アップサンプリングの処理を EPI 毎に独立に行っていることによる。そこで複数の EPI を重ねて 3 次元の EPI とし、これから切り出した多数の 3 次元ブロックに対して、間引いた 3 次元 EPI と全ラインの 3 次元 EPI の対応関係を学習させ、ルックアップテーブルを作成した。このルックアップテーブルを用いて、間引いた 3 次元 EPI をアップサンプリングして全ラインの 3 次元 EPI を生成するこ

ととした。この手法によって中間視点の画像を生成した結果、ライン間の滑らかさが向上し、良好な中間視点画像を生成することができた。

### (4) 生成画像の修正方式

生成画像に残留する生成誤差を抑圧する画像処理を研究した。誤差部分を抽出する Canny filter によるマスク生成と Gaussian filter によるマスク部分の smoothing により、生成誤差を抑圧することができた。残留誤差を含む生成画像を図 5、抑圧した生成画像を図 6 に示す。



図 5. 処理前の生成画像 (拡大図)



図 6. 処理後の生成画像 (拡大図)

### (5) MPEG 国際標準化活動への貢献

MPEG 国際標準化会合に参加し、自由視点テレビの新しい映像生成法の重要性とそれによる革新的なアプリケーションの創成を提案した。その結果、図 7 に示す枠組みの技術を標準化する MPEG-FTV と呼ばれる自由視点テレビ標準化プロジェクトの設立に成功した。MPEG-FTV の Chair には研究代表者が就任し、図 8 の超多視点 3D 表示と図 9 のフリーナビゲーションを実現する自由視点テレビの国際標準化活動を推進した。

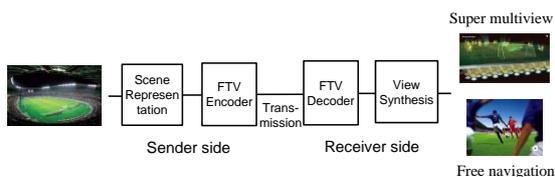


図 7. MPEG-FTV の枠組み

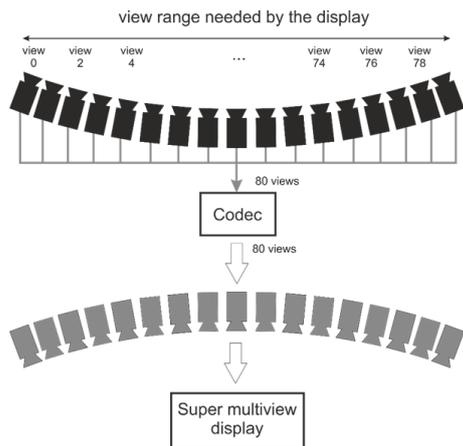


図 8. 超多視点 3D 表示

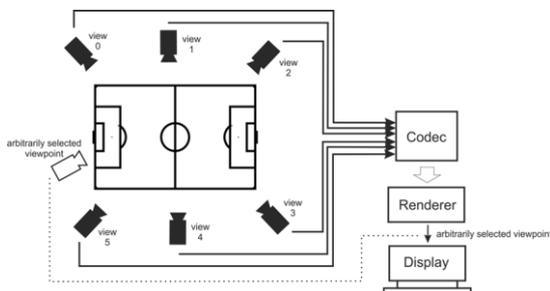


図 9. フリーナビゲーション

以上のように、本研究により自由視点テレビの新しいフレームワークを構築するとともに、超多視点 3D 表示とフリーナビゲーションアプリケーションを実現する国際標準化活動を開始することができた。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

① Masayuki Tanimoto and Kazuyoshi Suzuki, “Global view and depth (GVD) format for FTV/3DTV”, Proc. of SPIE, Vol. 8738, pp. 4-1–pp. 4-10, April 2013,

査読有. (Invited paper)

② Masayuki Tanimoto, “FTV Technologies and Standards”, IEEE COMSOC MMTCE-Letter, Vol. 10, No. 2, pp. 7-10, March 2015, 査読有.  
 ③ Masayuki Tanimoto, “FTV Standardization for Super Multiview and Free Navigation in MPEG”, Proc. of SPIE, Vol. 9495, pp. 28-1–28-13, April 2015, 査読有. (Invited paper)

[学会発表] (計 20 件)

① Krzysztof Wegner, Olgierd Stankiewicz, Masayuki Tanimoto, Marek Domanski, “Enhanced Depth Estimation Reference Software (DERS) for Free-viewpoint Television,” ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG2013/M31518, Geneva, Switzerland, October 2013.  
 ② Krzysztof Wegner, Olgierd Stankiewicz, Masayuki Tanimoto, Marek Domanski, “Enhanced View Synthesis Reference Software (VSRS) for Free-viewpoint Television,” ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG2013/M31520, Geneva, Switzerland, October 2013.  
 ③ Masayuki Tanimoto, “Free-viewpoint Television”, International Workshop on Advances in Image/Video Processing, Chengdu, China, 24 May 2013.  
 ④ Masayuki Tanimoto, “Free-viewpoint Television”, Workshop on “Art and Science Digital Renaissance, Tokyo, Japan, 12 June 2013.  
 ⑤ Masayuki Tanimoto, “Development and Standardization of FTV (Free-viewpoint Television)”, Visual Communications and Image Processing (VCIP) 2013, Kuching, Malaysia, Nov. 18, 2013.  
 ⑥ 谷本正幸, 自由視点テレビの開発と国際標準化, 信号処理シンポジウム, 下関, 2013年11月21日.  
 ⑦ 谷本正幸, “FTV 標準化の新しいフレームワーク”, 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 113, no. 339, CS2013-74, pp. 99-104, 2013年12月5日, 京都. (特別招待講演)  
 ⑧ Masayuki Tanimoto, “Super Multiview and Free Navigation by FTV”, Proc. of Electronic Imaging & Visual Arts 2014 Florence, pp. 75-80, May 8, 2014, Florence, Italy.  
 ⑨ Masayuki Tanimoto, “FTV Standardization in MPEG”, Proc. of 3DTV-CON2014, July 2, 2014, Budapest Hungary.  
 ⑩ Norishige Fukushima, Naoki Kodera, Yutaka Ishibashi, Masayuki Tanimoto, “Comparison between Blur Transfer and

Blur Re-generation in Depth Image Based Rendering”, Proc. of 3DTV-CON2014, July 2, 2014, Budapest Hungary.

- ⑪ 谷本正幸, “世界の映像メディアの頂点に立つ自由視点テレビ”, 日本学術振興会光ネットワークシステム技術第171委員会第51回研究会予稿集, 2014年8月7日, 浜松.
- ⑫ 谷本正幸, “超多視点とフリーナビゲーションを実現する自由視点テレビ”, 電子情報通信学会第27回情報伝送と信号処理ワークショップ予稿集, 2014年11月5日, 北海道知床.
- ⑬ Masayuki Tanimoto, “FTV (Free-viewpoint Television)”, 2015 Joint Conference of IWAIT and IFMIA, January 13, 2015, Tainan Taiwan. (Keynote Speech)
- ⑭ Masayuki Tanimoto, “FTV for Revolutionized 3D Viewing”, Proc. of Electronic Imaging & Visual Arts 2015, pp. 57-64, May 14, 2015, Florence Italy.
- ⑮ Masayuki Tanimoto, “Free-viewpoint Image Generation from Free Setup Cameras”, Proc. of Electronic Imaging & Visual Arts 2015, pp. 65-69, May 14, 2015, Florence Italy.
- ⑯ Gauthier Lafruit, Krzysztof Wegner, Tomasz Grajek, Takanori Senoh, Kovács Péter Tamás, Lode Jorissen, Beerend Ceulemans, Pablo Carballeira Lopez, Sergio García Lobo, Qing Wang, Masayuki Tanimoto, “FTV software framework,” ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG2013/N15349, Warsaw, Poland, June 2015.
- ⑰ 谷本正幸, “FTVの新しい展開”, 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 115, no. 123, CS2015-20, pp. 57-62, 2015年7月2日, 沖縄県久米島. (特別招待講演)
- ⑱ Masayuki Tanimoto, “FTV to Revolutionize 3D Viewing”, IEEE China Summit and International Conference on Signal and Information Processing (ChinaSIP) 2015, July 13 2015, Chengdu China. (Invited talk)
- ⑲ 谷本正幸, “FTV国際標準化とSIGGRAPH2015における3Dシステムの動向”, 映像情報メディア学会技術研究報告, Vol. 39, No. 39, ME2015-113, pp. 39-46, 2015年10月30日, 愛知県蒲郡市. (招待講演)
- ⑳ Gauthier Lafruit, Marek Domanski, Krzysztof Wegner, Tomasz Grajek, Takanori Senoh, Joël Jung, Péter Kovács, Patrik Goorts, Lode Jorissen, Adrian Munteanu, Beerend Ceulemans, Pablo Carballeira, Sergio García,

Qing Wang and Masayuki Tanimoto, “New visual coding exploration in MPEG: Super-MultiView and Free Navigation in Free viewpoint TV”, Proc. of IS&T Electronic Imaging 2016, SP27001, February 15 2016, San Francisco USA.

[その他]

- ① F T V国際セミナー開催  
“FTV Seminar～A Viewing Revolution in the Making～” 札幌国際会議場, 2014年7月8日.
- ② 国際放送会議でのF T V展示  
IBC (International Broadcasting Convention)2014, RAI Amsterdam Convention Center, Amsterdam, The Netherlands, 2014年9月12-18日. I B Cの注目展示 “What Caught My Eye” に選定.
- ③ IBC Daily 記事掲載  
「Free Viewpoint TV Project」2014年9月15日.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

谷本 正幸 (TANIMOTO MASAYUKI)  
(財) 名古屋産業科学研究所・その他部局等・研究員  
研究者番号 : 30109293

### (2) 連携研究者

福嶋慶繁 (NORISHIGE FUKUSHIMAI)  
名古屋工業大学大学院・工学研究科・助教  
研究者番号 : 80550508