

令和 6 年 4 月 25 日現在

機関番号：62615

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H04216

研究課題名（和文）稠密光線場処理に基づく超多眼映像の高速かつ高能率な圧縮符号化技術の研究

研究課題名（英文）Study on multi-view video compression with fast and efficient encoding of dense light fields

研究代表者

児玉 和也（Kodama, Kazuya）

国立情報学研究所・コンテンツ科学研究系・准教授

研究者番号：80321579

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 11,400,000円

研究成果の概要（和文）：代表者らは従来から静的な稠密光線場の焦点ボケ構造を介した高能率符号化を提案しており、本研究では動的な稠密光線場である超多眼映像の圧縮にこれを拡張することを目的とした。具体的には、撮影対象の3次元分布と良く対応した焦点ボケ画像群上で、視差情報全体が統合的に表現可能な奥行き方向も合わせた動き補償を導入する超多眼映像の高能率符号化を提案し、その軽量化や高速実装による実時間伝送まで含め実証的評価を行った。とくに、基盤となる焦点ボケ画像群への変換の最適化やその残差の符号化に関わるフィルタ設計等も包括的に検討し、強く構造化された動的稠密光線場の本質的冗長性をまとめて抽出削減する圧縮方式を確立した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

3次元画像技術は、単にステレオ映像を用いて両眼立体視したり、静的な撮影対象を自由な視点から観察したり、といった実装規模を抑えやすい課題を越え、超多眼化と動画化が並行して進んでいる。実際、「像」ではなく、それを発生させる「光線」そのものを情報として扱い、いわば「完全な光線場」を取得、再現しようとする先進的な視覚環境の構築が、新たに重要な課題となってきた。本研究では、こうした稠密かつ動的な光線情報が有する莫大なデータを、高速、高能率に圧縮する符号化を提案、その簡便な蓄積や伝送を実現した。これにより、当該の高度な視覚環境も柔軟に共有可能となり、本格的な実証段階への展開を拓いた。

研究成果の概要（英文）：We have previously proposed high efficiency multi-view image compression via multi-focus images synthesized from dense light fields. In this study as its extension, we aimed to develop an encoding scheme that can be applied to multi-view videos composed of dynamic light fields. Instead of ordinary 2-D motion compensation analyzing various kinds of disparity on multi-view videos independently, our novel 3-D motion compensation effectively works for synthesized multi-focus videos corresponding to the 3-D scene, where fast and efficient encoding of dense light fields can be achieved. We also studied lightweight transform between multi-view videos and multi-focus videos and adaptive filters dealing with its residuals. They are integrated into our novel multi-view video compression, that robustly eliminates structured redundancy on dynamic light fields.

研究分野：画像情報処理

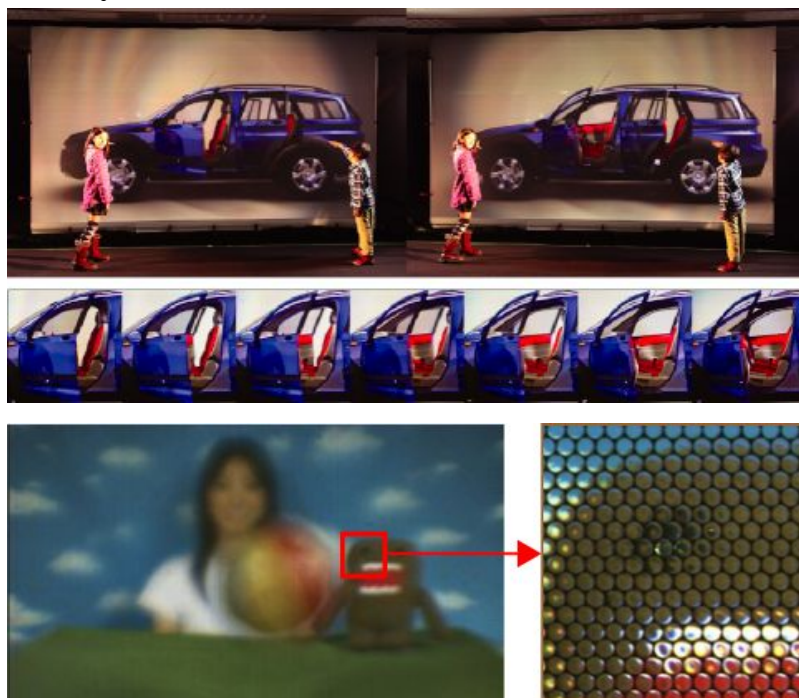
キーワード：3次元画像 光線 多眼 圧縮 符号化

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

#### (1) 超多眼化と動画化が並行して進む3次元画像技術

3次元画像技術は2010年代に入り、単にステレオ映像を用いて両眼立体視したり、静的な撮影対象を自由な視点から観察したり、といった実装規模を抑えやすい課題を越え、莫大なデータを要する超多眼化と動画化が並行して進んでいた。実際、下図左上段のように水平200方向や60方向といった様々な視点に対応する超多眼映像の表示系が開発され始めた。これらは、アレイ状のプロジェクタやレンズを用いることで、単一のスクリーンや紙面から各視点に向け異なる光線を送り出し、同時に様々な方向から視点に応じた観察を可能とする。また、同図左下段の「インテグラル・イメージング」では、水平に加え垂直視差も含む、いわば「完全な光線場」の取得と再現を実映像で試みている。光線場を取得する撮像系に関しては、このようにレンズアレイを用いる以外にも、既に2000年頃から下図右のとおり100眼や64眼で様々なカメラアレイが構築利用されており、25眼のコンパクトな商品も発売された。米Stanford大の研究をもとに製品化された「ライトフィールドカメラ」は焦点合わせ合成のためレンズアレイを用いて非常に稠密な光線場を取得していたが、その動画化も上述のとおり取り組みの進む状況であった。



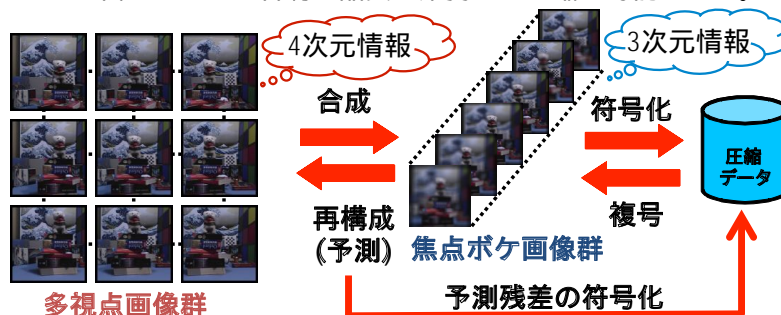
表示系：水平200方向視差（上）、水平垂直視差（下）



様々な撮像系

#### (2) 稠密光線場の焦点ボケ構造を介した高能率符号化

まず、代表者らの従前の成果により、前項のような稠密光線場を実際に撮像取得した多視点画像群は本来より低次元の焦点ボケ画像群から良好に再構成可能となっていた。これに基づき代表者らは、さらに下図のとおり膨大なデータ量を持つ稠密光線場をそこから変換合成した焦点ボケ画像群の符号化により高能率に圧縮する手法を提案済みであった。この枠組では次元削減に加え、撮影対象の3次元分布に対応した鮮鋭領域にのみ情報が集約され、本質的な冗長性の削減が達成される。実際、焦点ボケ画像群中で他の領域は焦点ボケにより低周波に成分が集ち、1000:1といった低レートでも容易に品質を維持した圧縮が可能となる。



## 2. 研究の目的

### (1) 焦点ボケ画像群上での動き補償の導入に基づく超多眼映像の高効率圧縮符号化手法の提案

本研究では、上述の稠密光線場の符号化を超多眼映像のような動的な光線場の高効率圧縮へと拡張するため、時間軸方向に3次元焦点ボケ画像群の動き補償を導入する。その際、3次元動的な動き解析等が必要となるが、ここでも焦点ボケが良好に作用するという知見を生かす。一般的な静止画と動画の圧縮率の比率を考慮し、残差符号化も含め10000:1程度の圧縮率においても画像内容が維持される品質を前提に、まず、演算量の許容できる蓄積向けの圧縮を確立する。

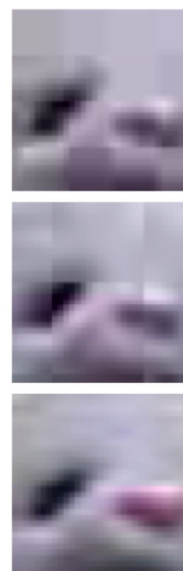
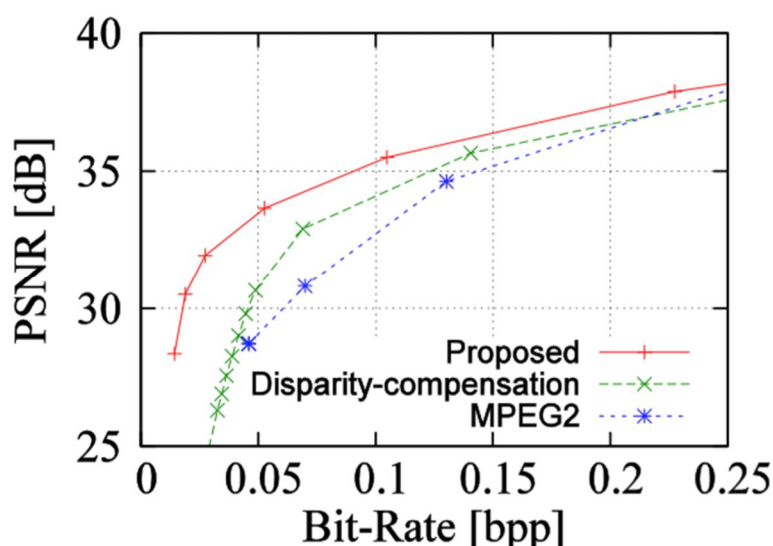
### (2) 超多眼映像のリアルタイム伝送に向けた圧縮符号化の検討と高速実装による実証的評価

代表者らは、焦点ボケ画像群からの多視点画像群の再構成について、その効率化、実時間化に成功し特許申請も済ませている。これにより、提案する高効率圧縮においても一般の符号化同様に復号は軽量であり、あとは圧縮符号化そのものが効率化されれば、取得した超多眼映像のリアルタイム伝送も期待できる。実際、焦点ボケ画像群からの各視点画像の予測品質が十分に高いことから、大幅な品質劣化は抑えつつ適宜、残差符号化を省略する等して圧縮処理の実時間化を達成する。

## 3. 研究の方法

極めて疎で一般に構造化もされていない光線場に相当する多視点画像群の圧縮に関してはMPEG等で様々に動画像符号化の標準化までが進んでいる。一方、超多眼の稠密光線場に対しては膨大なデータ量に応じた十分な圧縮率が見込めず、初期のベクトル量子化や視差補償符号化からいまだ基本的に静的な実画像の一部を背景が除去されたオブジェクト単位でCGの素材として扱うような用途に限定される状況であった。そこで、代表者らは既に示していた稠密な多視点画像群と焦点ボケ画像群の相互変換に着目、より低次元で滑らかな後者を介し対象シーン全体を扱う高効率な圧縮手法を導出した。実際、同手法は下図のとおり他の予測符号化でブロックノイズ等が生じ画像内容が復元困難となる1000:1を超える圧縮率においても30dB以上の十分に有意な復元品質が維持できる。多視点画像群の有する構造に対し、これを無視し動画像とみなした際のMPEG2の動き補償はもちろん、視差として間接的に利用した補償と比べても、焦点ボケ画像群はその本質的冗長性を的確に抽出削減できている。しかも、この枠組は符号化部と独立なため、近年のHEVC等の高圧縮技術も容易に取り込める。

以上のこれまでの成果をもとに、代表者らは、当該の圧縮符号化の枠組を基盤として時間軸にそった補償を導入することで、超多眼映像のような動的な稠密光線場に適した新しい圧縮方式を確立していく。MPEG等で標準化の進む動き補償や視差補償をバラバラに組み合わせた一般的な多視点拡張とは異なり、3次元シーンを本質的に集約した焦点ボケ画像群の時系列上で直接に補償を行う高効率符号化を提案し、超多眼映像等の活用を大いに促進するコンパクトな蓄積、伝送を実証する。



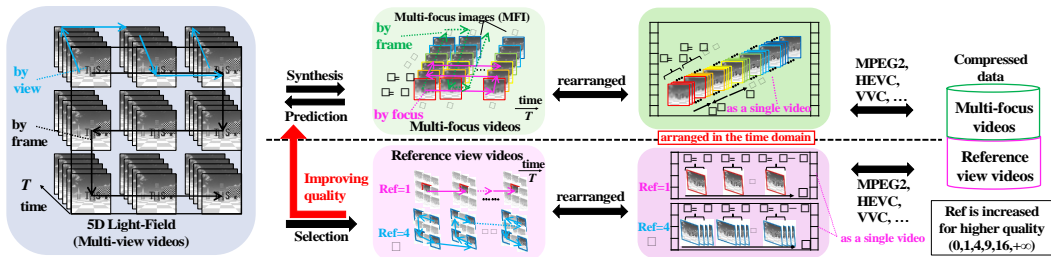
焦点ボケ変換に基づく静止多眼画像の圧縮符号化

(左) 圧縮符号化特性：圧縮率[bpp]と圧縮品質[dB]の関係

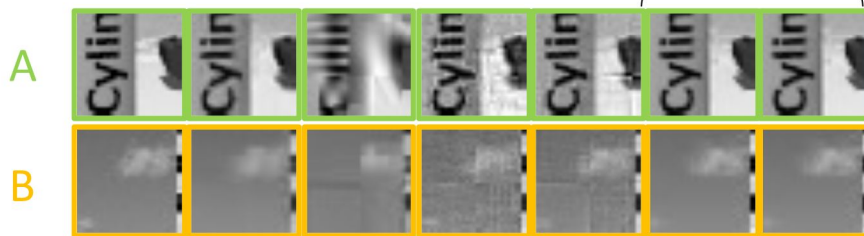
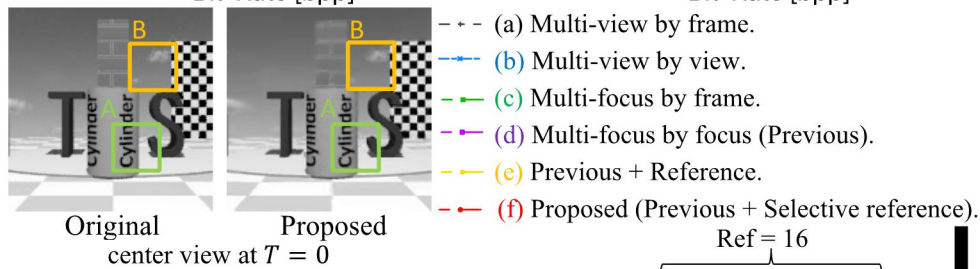
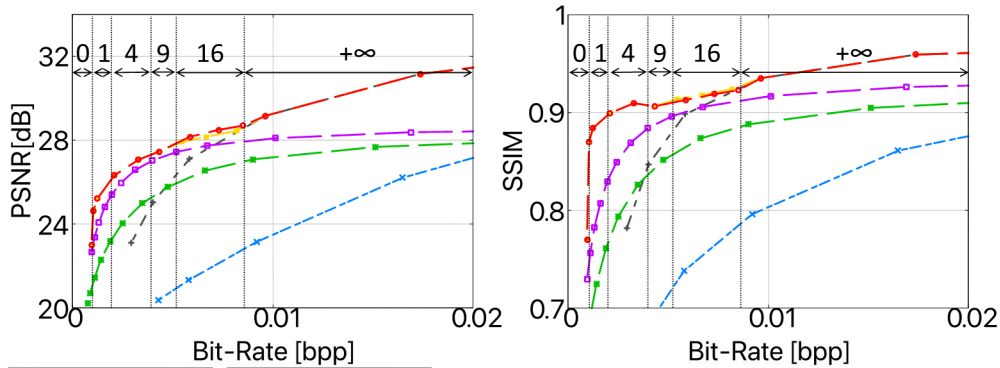
(右) 圧縮画像：上から MPEG2(522:1), 視差補償(615:1), 焦点ボケ変換(1091:1)を適用

#### 4. 研究成果

本研究では、下図上段のように動的視線情報の圧縮符号化において、多視点動画から生成される時系列の焦点ボケ画像群をフレーム方向に再配置し、これを単一の動画として符号化することに加え、多視点動画の一部の視点を同様に単一の動画として高品質に符号化、これを参照視点映像に用い焦点ボケ画像群からの予測視線情報の補正を図る手法を提案した。下図下段が、実際に多視点動画群を用いて各圧縮率における画像品質の評価を行った結果である。ビットレートごとの参照映像の視点数をグラフ上部に示す。グラフより低ビットレートから広い範囲で提案法の枠組による有意な品質向上が確認できる。とくに、最終的に導入した選択的補正が予測視線情報の品質を効果的に向上させていることが見て取れる。単なる一様な補正では画質改善の鈍化が避けられないが、こうしたアーティファクトも十分に抑制できている。例えば、圧縮率約 1300:1 での画像品質の比較では当該法が最も高い品質を維持した上、参照視点そのものではない中央視点でも、領域 A におけるオクルージョン境界の鮮鋭化、領域 B における低周波領域でのアーティファクトの抑制等を同時に実現し、視覚的にも良好な結果が得られている。また一方、圧縮率 10000:1 程度の超低ビットレートにおいても、画像内容の再現性をよく表す SSIM で 0.9 を上回る品質を達成しており、研究課題である稠密視線場の高能率符号化が実証できた。このほか、焦点ボケ変換等の高速化、高性能化、撮像系や表示系との協調、視線場上の劣化復元など、本提案の様々な構成要素もあわせ継続的に学会で報告、国内外の受賞も含め、その成果は高く評価された。



時系列上の焦点ボケ画像群と参照視点映像を用いる動的視線情報圧縮



	Original	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
PSNR[dB]	27.10	21.33	25.76	27.44	27.90	28.16	
bpp	0.0058	0.0058	0.0048	0.0052	0.0055	0.0059	

復号画像の品質比較

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 15件 / うち国際共著 5件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Rino Yoshida, Kazuya Kodama, Gene Cheung, Takayuki Hamamoto	4. 巻 2024(Poster A)
2. 論文標題 Efficient graph learning for 4D light field image denoising based on data augmentation using single-view images	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 International Workshop on Advanced Image Technology	6. 最初と最後の頁 1-1
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Akira Kubota, Daiki Tamura, Asami Ito, Kazuya Kodama	4. 巻 E106-D
2. 論文標題 Filter Bank for Perfect Reconstruction of Light Field from Its Focal Stack	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Information and Systems	6. 最初と最後の頁 1650-1660
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/transinf.2023PCP0006	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 前田 峻輔, 児玉 和也, 浜本 隆之	4. 巻 2023(P-1)
2. 論文標題 ミラーアレイを介した多視点撮像系における鏡像群を用いた単眼カメラの位置合わせの検討	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 3次元画像コンファレンス	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 吉田 莉乃, 児玉 和也, チョン ジーン, 浜本 隆之	4. 巻 2023(P-2)
2. 論文標題 色チャネルごとのグラフ学習に基づく4次元光線情報の雑音抑制	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 3次元画像コンファレンス	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Zhen Wang, Lan Huang, Kazuya Kodama	4. 巻 111(116896)
2. 論文標題 Robust extension of light fields with probable 3D distribution based on iterative scene estimation from multi-focus images	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Signal Processing: Image Communication	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.image.2022.116896	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Hidemichi Yoshino, Kazuya Kodama, Takayuki Hamamoto	4. 巻 2022
2. 論文標題 Dense view interpolation of 4D light fields for real-time augmented reality applications	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 APSIPA Annual Summit and Conference	6. 最初と最後の頁 1626-1631
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23919/APSIPAASC55919.2022.9979976	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Rino Yoshida, Kazuya Kodama, Huy Vu, Gene Cheung, Takayuki Hamamoto	4. 巻 2022
2. 論文標題 Unrolling Graph Total Variation for Light Field Image Denoising	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE International Conference on Image Processing	6. 最初と最後の頁 2162-2166
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ICIP46576.2022.9897244	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 吉田 莉乃, 児玉 和也, ヴュー フィ, チョン ジーン, 浜本 隆之	4. 巻 2022(P-5)
2. 論文標題 単視点から多視点へのデータ拡張に基づく4次元光線情報のグラフ学習型雑音抑制の効率化の検討	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 3次元画像コンファレンス	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Shuho Umebayashi, Kazuya Kodama, Takayuki Hamamoto	4. 巻 2022(3B2)
2. 論文標題 Study on 5-D light field compression using multi-focus images	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 SPIE International Workshop on Advanced Image Technology	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2625828	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shuho Umebayashi, Kazuya Kodama, Takayuki Hamamoto	4. 巻 2021
2. 論文標題 A Study on 4D Light Field Compression Using Multi-focus Images and Reference Views	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Visual Communications and Image Processing	6. 最初と最後の頁 1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/VCIP53242.2021.9675378	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 吉野 秀道, 兎玉 和也, 浜本 隆之	4. 巻 2021(7-2)
2. 論文標題 疎な4次元光線情報の奥行き分布に応じたリアルタイム稠密補間処理の検討	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 3次元画像コンファレンス	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 梅林 秀朋, 兎玉 和也, 浜本 隆之	4. 巻 2021(7-1)
2. 論文標題 焦点ぼけ画像群を介する5次元光線情報符号化方式の検討	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 3次元画像コンファレンス	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shunsuke Ishihara, Kazuya Kodama, Takayuki Hamamoto	4. 巻 2020
2. 論文標題 A Study on Light Field Denoising for 3D Consistent Visualization	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE International Conference on Image Processing	6. 最初と最後の頁 2800-2805
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ICIP40778.2020.9191291	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 梅林 秀朋, 児玉 和也, 浜本 隆之	4. 巻 11-5
2. 論文標題 焦点ぼけ画像群と参照視点画像を用いる4次元光線情報符号化方式の検討	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 3次元画像コンファレンス	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 石原 駿佑, 児玉 和也, 浜本 隆之	4. 巻 11-2
2. 論文標題 3次元映像メディアに適した光線空間上の劣化復元における視点間相関と画像内相関の協調の検討	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 3次元画像コンファレンス	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計13件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 渡辺 哲生, 児玉 和也, 浜本 隆之
2. 発表標題 障害物の透明化に向けた裸眼立体表示系の簡易な構成の検討
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会, D-11A-17, 1-1
4. 発表年 2024年



1. 発表者名 前田 峻輔, 児玉 和也, 浜本 隆之
2. 発表標題 ミラーアレイを介した多視点撮像系における鏡像群を用いた単眼カメラ位置推定の検討
3. 学会等名 画像符号化/映像メディア処理シンポジウム(PCSJ/IMPS 2023), P2-08, 60-61
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 吉田 莉乃, 児玉 和也, チョン ジーン, 浜本 隆之
2. 発表標題 4次元光線情報のグラフ学習型雑音抑制における復元パッチ間の加重平均の検討
3. 学会等名 画像符号化/映像メディア処理シンポジウム(PCSJ/IMPS 2023), P4-01, 108-109
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 吉野 秀道, 児玉 和也, 浜本 隆之
2. 発表標題 リアルタイム光線伝搬の簡易実装に向けた稠密視点補間の効率化と超多眼出力系への展開
3. 学会等名 画像符号化/映像メディア処理シンポジウム(PCSJ/IMPS 2022), P2-14, 82-83
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 吉田 莉乃, 児玉 和也, チョン ジーン, 浜本 隆之
2. 発表標題 画素単位で重みを調整する忠実項を組み込んだグラフ学習に基づく4次元光線情報の高精度雑音抑制
3. 学会等名 画像符号化/映像メディア処理シンポジウム(PCSJ/IMPS 2022), P1-12, 36-37
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 梅林 秀朋, 児玉 和也, 浜本 隆之
2. 発表標題 焦点ぼけ画像群を用いた視点補間に基づく 4 次元光線情報の圧縮符号化
3. 学会等名 電子情報通信学会 画像工学研究会, 信学技報, IE2021-28, 121(346), 5-8
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 吉野 秀道, 児玉 和也, 浜本 隆之
2. 発表標題 疎な4次元光線情報の奥行き分布に応じた稠密補間処理の効率化
3. 学会等名 電子情報通信学会 画像工学研究会, 信学技報, IE2021-27, 121(346), 1-4
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 吉田 莉乃, 児玉 和也, ヴュー フィ, チョン ジーン, 浜本 隆之
2. 発表標題 グラフ学習に基づく光線空間上の雑音除去の検討
3. 学会等名 電子情報通信学会 画像工学研究会, 信学技報, IE2021-21, 121(269), 13-18
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 梅林 秀朋, 児玉 和也, 浜本 隆之
2. 発表標題 焦点ぼけ画像群を介する5 次元光線情報圧縮における参照視点映像を用いた高品質化
3. 学会等名 画像符号化 / 映像メディア処理シンポジウム(PCSJ/IMPS 2021), 113-114
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉野 秀道, 児玉 和也, 浜本 隆之
2. 発表標題 疎な4次元光線情報の奥行き分布に応じた稠密補間処理の効率化の検討
3. 学会等名 画像符号化 / 映像メディア処理シンポジウム(PCSJ/IMPS 2021), 69-70
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 児玉 和也
2. 発表標題 画像情報処理から光線情報処理へと展開する視覚メディア技術 ~ コロナ禍の中で、コロナ禍を超えて ~
3. 学会等名 電子情報通信学会 画像工学研究会, 信学技報, IE2020-40, 120(329), 19-20 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 梅林 秀朋, 児玉 和也, 浜本 隆之
2. 発表標題 焦点ぼけ画像群と参照視点画像を用いる4次元光線情報圧縮における残差符号化の検討
3. 学会等名 画像符号化 / 映像メディア処理シンポジウム(PCSJ/IMPS 2020), 61-62
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石原 駿佑, 児玉 和也, 浜本 隆之
2. 発表標題 3次元映像メディアに適した光線空間上での劣化復元における視点間相関と画像内相関の協調
3. 学会等名 画像符号化 / 映像メディア処理シンポジウム(PCSJ/IMPS 2020), 23-24
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	久保田 彰  (Kubota Akira)  (70398949)	中央大学・理工学部・准教授   (32641)	
研究協力者	浜本 隆之  (Hamamoto Takayuki)  (10297624)	東京理科大学・工学部・教授   (32660)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
カナダ	York University			
中国	天津財経大学			