

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1311042

平成 25 年度～平成 29 年度「私立大学戦略的研究基盤形成支援事業」 研究成果報告書概要

1 学校法人名 学校法人 関西大学 2 大学名 関西大学

3 研究組織名 ホログラフィ技術ユニット

4 プロジェクト所在地 大阪府吹田市山手町3-3-35

5 研究プロジェクト名 コンピュータホログラフィ技術を中心とした超大規模データ処理指向
コミュニケーション

6 研究観点 研究拠点を形成する研究

7 研究代表者

研究代表者名	所属部局名	職名
松島 恭治	先端科学技術推進機構・ システム理工学部	戦略研究総合副センター長・ 教授

8 プロジェクト参加研究者数 14名

9 該当審査区分 理工・情報 生物・医歯 人文・社会

10 研究プロジェクトに参加する主な研究者

研究者名	所属・職名	プロジェクトでの研究課題	プロジェクトでの役割
松島 恭治	先端科学技術推進機構・ システム理工学部・教授	コンピュータホログラムの生成と 電子的表示	コンピュータホログラフィによる 3D 映像の生成とその動画表示 技術の開発
棟安 実治	先端科学技術推進機構・ システム理工学部・教授	スケーラブル超大規模データ圧 縮技術の開発	コンピュータホログラムデータの 蓄積・伝送基盤の開発
梶川 嘉延	先端科学技術推進機構・ システム理工学部・教授	高度 3 次元音響技術の開発	コンピュータホログラフィと高度 に融合した 3 次元音響技術の 確立
四方 博之	先端科学技術推進機構・ システム理工学部・教授	超大規模データ伝送用動的無線 通信技術の開発	コンピュータホログラフィの特性 を考慮した超大規模データの効 率的な伝送技術
徳丸 正孝	先端科学技術推進機構・ システム理工学部・教授 (前:准教授)	コンピュータホログラフィを用い たテキスタイルデザイン支援シス テムの開発	潜在的なコンピュータホログラ フィ応用分野の探索
田原 樹	先端科学技術推進機構・ システム理工学部・助教	コンピュータホログラフィのため の光波撮像技術の開発	デジタルホログラフィ技術を用 いたコンピュータホログラフィ用 光波撮像技術
吉田 壮	先端科学技術推進機構・ システム理工学部・助教	スケーラブル超大規模データ圧 縮技術の開発	コンピュータホログラムの圧縮技 術の開発および評価
(共同研究機関等) Petar Popovski	Aalborg University・ Professor	超大規模データ伝送を実現する 動的無線資源割当・パラメータ 制御に関する研究	超大規模データの効率的な伝送
Woon-Seng Gan	Nanyang Technological University・Professor (前: Associate Professor)	パラメトリックアレイスピーカを用 いた 3 次元音響技術の確立	3 次元音響技術の確立とホロ グラム技術との融合による 3 次元相乗効果の確立

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1311042

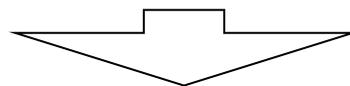
田口 亮	東京都市大学 知識工学部・教授	スケーラブル超大規模データ圧縮 技術の開発	コンピュータホログラフィ技術の 蓄積・伝送基盤の開発
山口 雅浩	東京工業大学 工学院情報通信系・ 教授	光線情報を用いたコンピュータホロ グラム生成	コンピュータホログラフィの高速 生成・計算技術の開発
坂本 雄児	北海道大学 大学院情報科学研究科・ 教授	多視点画像からのコンピュータホ ログラム生成と質感合成	高速かつフォトリアリスティックな コンピュータホログラム生成技術 の開発
伊藤 智義	千葉大学 大学院工学研究科・ 教授	GPU およびハードウェアによるコ ンピュータホログラム生成	ハードウェア支援によるホログラ ムの高速生成技術と電子的表示 技術の開発
下馬場 朋禄	千葉大学 大学院工学研究科・ 准教授	コンピュータホログラフィのための 波動光学計算技術の開発	高速なコンピュータホログラムの 合成と撮像技術の開発

<研究者の変更状況(研究代表者を含む)>

旧

プロジェクトでの研究課題	所属・職名	研究者氏名	プロジェクトでの役割
レーザーソングラフィによる 静止画コンピュータホロ グラムの作製	先端科学技術推進機構 研究員	中原 住雄	コンピュータホログラムの作 製技術の開発および計算・生 成技術の評価

(変更の時期:平成 28 年 4 月 1 日)



新

変更前の所属・職名	変更(就任)後の所属・職名	研究者氏名	プロジェクトでの役割
	先端科学技術推進機構・ システム理工学部・助教	吉田 壮	コンピュータホログラムの圧 縮技術の開発および評価

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1311042

11 研究の概要(※ 項目全体を10枚以内で作成)

(1) 研究プロジェクトの目的・意義及び計画の概要

【研究プロジェクトの目的・意義】

日本がかつて得意としたオーディオビジュアル技術を活かし、電子立国日本の再生を目指して 3D 映像等の超臨場感コミュニケーションのプロジェクトが産官学を挙げて推進されている。しかし、従来の 3D 映像技術の延長では、従来とは次元が違うほどのインパクトがある映像を産み出せていないのが現状である。

一方、コンピュータホログラフィ技術は究極の 3D 映像表示技術と言われながら、そのデータ処理規模の巨大さから大きな進展が見られなかった技術であった。しかし、関西大学で開発された大規模ホログラフィ映像の合成技術によって、静止画ではあるものの実用的なコンピュータホログラフィ映像が表示されるようになり、現状の 3D 技術とは根本的に異なったその映像が世界的に高く評価されるようになった。

本プロジェクトは、関西大学が世界をリードするこのコンピュータホログラフィ技術を中心として、それを用いた近未来的な情報・通信技術やその応用に世界に先駆けて取り組み、わが国の科学技術の進展に寄与することを目的とする。

【計画の概要】

ホログラフィ技術を開発するグループ(以下、ホログラフィグループ)では、コンピュータホログラフィの設計評価機構として関西大学内に「関大デジタルホロスタジオ」を開設して国内外のコンピュータホログラフィ研究者やアーティストにコンピュータ合成ホログラムの描画技術を提供しながら、像生成、撮像の 2 つのテーマで研究を進めた。一方、コンピュータホログラフィを用いた近未来コミュニケーションのための周辺技術を研究するグループ(以下、近未来コミュニケーショングループ)では研究開始時点から 10 年後の ICT インフラを想定し、コンピュータホログラフィの巨大な映像データのみならず、それに見合う音響データ等を処理・伝送・再生する技術、またその最適なアプリケーションの探索等、4 つの主題から広範な基礎技術の開発を行った。

(2) 研究組織

本プロジェクトはホログラフィ技術を中心に据えている一方、項目(1)に記したように、ホログラフィ技術(光学技術)とは全く異なった分野であるデータ処理、音響、通信、アプリケーション等の研究者でチームを構成しているため、ホログラフィグループと近未来コミュニケーショングループにチームを分けて研究を推進した。ホログラフィグループには、3名の学内研究者と4名の学外研究者、2名の客員研究員が所属し、像生成と撮像を主題として研究を行った。なお、中原は当初研究分担者であったが、退職後も客員研究員として研究に参画し続けた。近未来コミュニケーショングループには4名の学内研究者と2名の学外研究者、1名の客員研究員が所属し、立体音響、データ圧縮、伝送技術、アプリケーションの4つの主題で研究を行った。

【研究代表者、各研究者の役割分担や責任体制】

研究代表者である松島は、責任者としてプロジェクト全体を統括するとともに、ホログラフィグループのリーダーの役割を担っており、コンピュータホログラフィの研究を主導した。一方、近未来コミュニケーショングループについては、学内研究分担者の棟安がリーダーの役割を担った。また、ホログラフィグループには、コンピュータホログラフィの設計評価機構として「関大デジタルホロスタジオ」を設置しており、研究代表者がその代表を務めた。この関大デジタルホロスタジオに設置しているレーザーソングラフィ装置の運用と保守、ならびに描画サービスの事務やプロジェクトの予算集計を担う派遣スタッフ1名を雇用了。

【研究支援体制】

関西大学先端科学技術推進機構がプロジェクト全体の運営事務、予算管理、試薬や機器等の購入、PD の雇用などを担う他、大学の法人部局や進捗状況をチェックする研究推進部の支援を得た。

【大学院生・PD 及び RA の人数・活用状況】

ポスト・ドクトラル・フェロー、本学大学院生である準研究員、リサーチ・アシスタントがプロジェクトに参加している。これらの研究補助者は、次世代の若手研究者育成の一環として、それぞれ項目 11(4)の研究成果や項目 13 の研究発表の大きな部分を担っており、活発に研究活動を行っている。以下に年度ごとのこれらの研究補助者の人数を下記の表にまとめた。

	平成 25 年度	平成 26 年度	平成 27 年度	平成 28 年度	平成 29 年度
準研究員	8 名	6 名	16 名	24 名	35 名
PD	1 名	1 名	1 名	1 名	1 名
RA (後期課程院生を含む)	0 名	0 名	2 名	3 名	4 名

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1311042

【研究グループ間の連携状況】

研究補助者と学内研究員全員がシステム理工学部に属しており、また、ホログラフィグループと近未来コミュニケーショングループのリーダーは同一の学科に属しているため、ほぼ毎日メール・電話等で連絡を取り合い、年1~2回程度プロジェクトミーティングを行った。

【共同研究機関等との連携状況】

学外者とはメールや学会を通じ、随時打合せを行った。なお、千葉大学とは、ホログラムの高速生成アルゴリズム等で連携する予定であったが、電子ホログラフィ装置やレーザーリソグラフィ装置の運用開始が遅れたためや連携計画が遅れた。しかし、プロジェクト後半においては十分に連携が取れるようになり、千葉大学の研究者が得意とする Graphic Processing Unit を用いたホログラム像生成などにおいて大きな成果が得られた。

(3) 研究施設・設備等**【研究施設の面積及び使用者数】**

- ・第1実験棟1階・2階研究室:165.4m² 使用人数:13名
- ・学術フロンティア・コア F22-1室(39.00m²) 使用人数:2名、F23室(40.62m²) 使用人数:5名、F24室(58.50m²) 使用人数:3名、F25室(19.50m²) 使用人数:2名、F26室(19.50m²) 使用人数:2名、F28室(40.62m²) 使用人数:2名、F47室(42.25m²) 使用人数:5名

【主な研究装置、設備の名称及びその利用時間数等】

- ・レーザーリソグラフィ装置:静止画ホログラムを描画するための装置。ホログラムサイズや精度により変わるが、描画時には連続的に2~20時間程度稼働する(無人運転)。装置本体の使用時間は、現在のところ20~60時間/月程度であるが、付随するデータ変換装置等の稼働時間はその数倍になった。
- ・ドラフトチャンバー:レジストの現像や金属膜のエッチングに使用。これらの処理は短時間で終了するため稼働時間は10時間/月以下であった。
- ・クリーンブース(温度制御装置):上記のレーザーリソグラフィ装置とドラフトチャンバーを納めている。レーザーリソグラフィ装置が±1度以下の温度制御を要求するため(停止時含む)、原則として1日24時間無停止で稼働した。
- ・三次元音響計測用防音装置:3次元音響技術の実験に用いる。週に5回、各6時間程度使用した。

【外部資金の導入状況】

本プロジェクトの学内メンバーによる外部資金導入状況は、以下のとおりである。

		平成25年度	平成26年度	平成27年度	平成28年度	平成29年度	合計
科学研究費		6件 8,060千円	7件 13,650千円	5件 9,490千円	5件 5,330千円	5件 10,270千円	28件 46,800千円
学外共同 研究費	民間企業・ 財団・ その他	4件 1,630千円	6件 2,050千円	3件 2,800千円	1件(研究費 の支給なし)	6件 1,518千円	20件 7,998千円
受託 研究費	民間企業・ 財団・ その他	5件 9,413千円	3件 8,740千円	3件 42,660千円	5件 14,997千円	7件 43,535千円	23件 119,345千円
指定寄付 等	民間企業・ 財団・ その他	4件 3,650千円	5件 4,650千円	1件 800千円	1件 300千円	2件 800千円	13件 10,200千円

(4) 研究成果の概要 ※下記、13及び14に対応する成果には下線及び*を付すこと。**1. ホログラフィグループ**

本プロジェクトの中核をなすコンピュータホログラフィを研究するグループであり、単に本学における研究のみを志向するのではなく、この分野における研究拠点形成を目指した活動も行った。当初計画で、ホログラフィグループが目指した研究課題は主として下記の3項目がある。

(i) 数値モデルからのコンピュータホログラム映像を発生する超大規模データ処理(研究分担者:松島、中原、山口、坂本、伊藤、下馬場)

本研究課題では、CGと同様、主として数値的な物体モデルから3D映像を発生させる。この時、物体モデルから発せられる光を物理演算によって求める必要があり、これが莫大なデータ処理を要求する。例えば、現代のCGで扱う画素の数が10の6乗~7乗であるのに対し、ホログラフィでは比較的小さな10cm角程度の映

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1311042

像でも、その画素数は 10 の 10 乗～11 乗に達する。また、CG が一つの方向に進む光だけを扱うのに対して、ホログラフィでは全方位の光を計算するため、そのデータ処理量はおおよそ CG の 1000 万倍から 1 億倍程度になる。このような大規模データを処理して、実用的な時間内で静止画ホログラムを計算することを課題とした。また単に計算だけではなく、静止画ではあるが、それを一定の時間内で実際に描画し映像を再生・表示することも課題とした。さらに、従来のホログラフィでよくあるモノクロ映像だけではなく、コンピュータホログラフィによってフルカラー3D 映像を再生することもこの研究課題の重要な 1 項目であった。

(ii) 超大規模映像を電子的に表示するための電子ホログラフィシステム(研究分担者:松島、伊藤、下馬場)

前述の研究課題(i)が静止画 3D 映像の発生を目標としたものであるのに対して、この研究課題はコンピュータホログラフィによる動画映像再生の基礎技術開発を目指したものである。しかしながら、前述のとおりホログラフィでは 10 の 10 乗～11 乗の画素を表示する必要がある。通常の 2D 映像の最高峰であるスーパーハイビジョンであっても表示画素数は高々 3×10^7 であるので、本課題はその 1000～1 万倍の画素数を表示するという極めて野心的なものである。もちろん、5 年間の研究期間でこれを達成することはほぼ不可能であるため、この課題においては、将来的にこの画素数表示が可能となるような技術の基礎を開発することを目的とした。

(iii) 実物体光をキャプチャするためのホログラフィック撮像システム(研究分担者:田原、松島)

最終的にコンピュータホログラフィによる双方向コミュニケーションを実現するためには、単に映像を再生するだけでなく、撮像ができなければならない。また、コミュニケーションまでとは行かなくとも、研究課題(i)で述べた CG モデルからの像再生だけではなく、実物体を 3D 表示したい場合はよくある。研究課題(i)では静止画を表示することから、この場合には撮像は必ずしもリアルタイムである必要はない。そこで本課題では、リアルタイムの撮像とそうではない撮像に分けて研究を行った。また、それぞれにおいてモノクロとカラーの撮像を目的とした。

以上のようなホログラフィグループの研究課題を達成するため、グループ内をさらに像再生技術を開発するグループと(以下、「(1a)像生成技術開発」と表記)と、リアルタイムのホログラフィック撮像技術を開発するグループ(以下、「(1b)撮像技術開発」と表記)に分けて研究課題に取り組んだ。このうち(1a)像生成技術開発グループでは、上記の(i)と(ii)の技術、および(iii)のリアルタイムでない撮像技術の開発を目指した。これは、これらの技術がほぼ不可分に相互にリンクしているためである。一方、(1b)撮像技術開発では、(iii)のリアルタイムホログラフィック撮像に特化した取り組みを行った。以下、これらのグループ別に研究成果の概要を記述する。

<優れた成果があがった点>

(1a) 像生成技術開発

CG モデルからの像生成のためのアルゴリズム、静止画ホログラム描画技術、静止画フルカラー再生技術、動画再生技術、非リアルタイムのホログラフィック撮像技術等が研究項目であるが、このうちアルゴリズムにおいては、コンピュータホログラフィにおいて最も難しい処理である隠面消去のアルゴリズムを完成し、複雑な形状の物体の 40 億ピクセル規模のホログラムが 2 時間以下で計算できるようになった*論文(11)(12)学会(24)(29)(31)。これにより、従来必要であった人間によるマスク位置の判断が不要となり、どのような複雑な形状であっても、CG 等のモデルデータから自動的にホログラム干渉縞を生成できるようになった。また、本プロジェクトでは大規模なホログラムを短時間で計算するために用いているポリゴン法という計算手法では滑らかな鏡面を計算できない問題点があったが、ポリゴン面の位相を局所的に変調することによりポリゴン数を増やすことなく鏡面性の曲面を計算する技術の開発に成功した*論文(4)。透明な物体についても、特定の制約下での物理シミュレーションによる手法*学会(4)と CG レンダリングと光線サンプリングの手法*学会(3)(63)からホログラムを作成できるようになった。

描画技術については、リソグラフィ技術により 5 cm 四方で空間周波数 1250 本/mm 以上のホログラムが 3 時間程度で製作可能になり、当初計画の目標を達成できた。また、この技術を広く開放するために「関大デジタルホロススタジオ」を設立し*学会(72)(79)、その利用規約等を制定し公開している[参考資料 4]。この描画サービスは、国立研究開発法人情報通信研究機構(NICT)による利用もあり、直接ホログラムを描画するだけではなく、ホログラフィック撮像技術における光学素子作製等にも利用されている。

静止画フルカラー表示技術については、3 原色に相当する 3 波長で計算し、それを描画したホログラム 3 枚を光学的に重ね合わせるダイクロイックミラー方式*学会(25)(80)(82)では静止画で非常に美しい再生像を得ることに成功した。しかしながら、この方式ではダイクロイックミラーを用いた像合成光学系が重厚長大で可搬性に欠けており、また、その光学系調整にも長時間を要するため、実際にカラーホログラムを展示することは困難であった。そこで、液晶パネルやカラーイメージセンサ等と同様のカラーフィルタを用い、3 原色のホログラムを空間分割により 1 枚のホログラムとして作製してカラーフィルタを貼り合わせるカラーフィルタ方式*論文(5)(6)学会(8)(9)(68)(70)(73)(76)特許(2)の技術を開発した。これにより、ホログラムの可搬性が従来のモノクロの物と同レベルまで向上し、フルカラー再生像を展示できるようになった。

また、動画表示技術としては、従来より提案していた光源スイッチング方式時分割多重化技術の高フレームレート表示デバイスとして DMD(Digital Mirror Device)を用いた電子ホログラフィ技術を実証した*学会(71)(74)(77)。この技術には、高次回折像が再生像を劣化させるという重大な問題点があったが、偏光特性を利用してこれを大きく軽減できる技術の開発に成功した*学会(10)(57)(59)(66)特許(1)。

非リアルタイムのホログラフィック撮像技術としては、デジタルホログラフィと称して、ホログラフィ干渉縞をイメージセンサで撮像し、高解像度コンピュータホログラフィで再生する技術を提案していたが、本プロジェクトで

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1311042

はそれをさらに推し進め、3 原色に相当する 3 波長で撮影しフルカラーホログラムとして再生することにも成功している*学会(2)(16)(60)(62)(67)(78)。また、光線サンプリング面の手法を用いることにより、実物体の多視点画像からモノクロ*学会(64)およびカラー*学会(5)のホログラムを作成することにも成功した。これらはホログラフィック撮像ではないが、ホログラフィに必要な遮光や除振環境が不要であることから実用的な手法と考えられる。

さらに、本プロジェクトのうち静止画像に関する研究成果については実用化の試みが始まっている。例えば、(株)エガリムとは主としてポートレート(人物像)、また、オムロンアミューズメント(株)とはアミューズメント機器への静止画ホログラムの応用を念頭においた共同研究をスタートさせている。

(1b) 撮像技術開発

既存の代表的な色情報取得デバイスである Bayer 型のカラーイメージセンサを用いた光学システムでは、30cm 四方にわたる実空間のカラー3 次元ホログラフィック画像表示の達成が困難であった。原因として、色情報を取得するためにデジタルホログラムのサンプリング間隔が広がり、3 次元的な視野狭窄を招くためであり、他の色情報取得方式が必要であった。そこで、ホログラフィと信号理論の駆使により単板単色撮像素子で広範囲のカラーホログラフィック光波を撮像する技術を開発した。そして、硬貨などの実在する物体を忠実にカラー3 次元画像記録できることを実証した*論文(21)(23)(24)(26)(27)図書(2)学会(104)(106)(131)。また、分担者らが2013年に提案した波長選択抽出位相シフト法と呼ばれる、極座標面で分光する多波長イメージング技術が本課題の解決に適しているのではないかと考え、並行して研究を推進した。そして、波長選択抽出位相シフト法とホログラフィを融合させた、単板単色撮像素子で広範囲の多波長光波を波長多重記録し、光学と信号の理論に基づき分離再生する多波長デジタルホログラフィック撮像技術並びに光学システムを提案し、実証した*論文(17)(22)(25)(30)図書(1)学会(103)(131)。その後、マルチカラーホログラフィック 3 次元画像記録技術として、波長選択抽出位相シフト法に基づく、マルチカラーホログラフィック 3 次元イメージング法を提案し、実証した*論文(20)。試作システムにより、理論的に 1.4 m 離れた 30 cm 四方の物体のマルチカラー3 次元イメージングが可能であることを突き止めた。よって、当初の目的を達成するマルチカラーホログラフィック 3 次元画像記録システムの開発に成功しただけでなく、世の中に新しいマルチカラーホログラフィック 3 次元光波画像取得技術を生みだし、光学システム試作、実証までを達成することができた。

<課題となった点>

(1a) 像生成技術開発

本プロジェクトで完成した隠面消去のアルゴリズムでは、ポリゴン単位のシルエットマスクにより光波遮蔽処理を行う。しかし、シルエットマスクは光軸に対して垂直なマスクであるため、一部に光波の漏れが生じ、これが光学再生像でポリゴン間のわずかな隙間として観察されることがある。これを防ぐためには、シルエットマスクではなくポリゴンその物をマスクとすれば良いが、その手法ではサンプリング密度を増加する必要があることから、計算時間のかなりの増加を招くことがわかった*学会(33)(39)(83)(87)。今後は、サンプリング密度と漏れ光波の関係を解析し、サンプリング密度を大きく増加せずに厳密な光波遮蔽を行う手法を検討する。

ホログラム描画技術では、本報告書執筆時点では実用的に描画可能なホログラムの画素サイズが 0.8 μm までに留まった。レーザーソグラフィ装置の仕様上は、より広い視野が得られる 0.6 μm ピッチでの描画が可能であるが、描画したホログラムが暗く鑑賞に堪えない結果となった。この点については、引き続き描画パラメータの最適化が必要である。また、描画技術を提供する関大デジタルホロススタジオが、本プロジェクト以外の研究者からは計画ほどには利用されていない課題もある。これは、この分野の先端的研究者がそもそも本プロジェクトの学外研究者となっていること、また、関大デジタルホロススタジオで描画する大規模なホログラムを計算するために必要な高性能大容量計算機やソフトウェアなどのインフラストラクチャが普及していないためと考えられる。今後は、モデルデータからの計算処理自体をインフラストラクチャの揃ったスタジオ側で行うなどの対応が必要と考えられる。

カラーフィルタ方式を用いたカラーホログラムでは、シミュレーションを繰り返して得たパラメータと液晶パネル用カラーフィルタ製作技術でカラーフィルタを作成しているが、入手可能な材料ではフィルタのスペクトル特性が未だ広帯域であり、像がぼける問題が発生している。これを防ぐために、体積型ホログラムに転写し*論文(7)学会(58)、体積型ホログラムの高い波長選択性によりボケを防ぐ技術が必要である。

(1b) 撮像技術開発

当初提案していた広範囲撮像技術では、視野の角度が未だ足りないという課題があった。さらに、既存の代表的な色情報取得デバイスである Bayer 型のカラーイメージセンサを用いた光学システムでは、色情報を取得するために視野半径が半分、視野面積が 4 分の 1 となるため、30 cm 四方にわたる実空間のカラー3 次元ホログラフィック画像表示の達成が困難であった。そのため、視野を拡大するために単色の撮像素子を用いた波長情報を記録する方針を取った。その折、波長情報を多重記録し信号処理で分離抽出する方法を考案したため、時間分解能にも考慮し採用した。本研究期間では、当初の技術よりも面積比 9 倍の広範囲にわたり、実物体光波をキャプチャするカラーデジタルホログラフィ撮像方式を提案し、光学システムの設計、実証を行った。また、ホログラフィに適した撮像素子の選定などのハードウェア方面の改良を試みた。以上の試みにより、課題を達成す

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1311042

るための光学システムを開発できた。

<研究成果の副次的効果>

(1a) 像生成技術開発

本学で製作したホログラムをホログラフィ展示会で展示^{*その他(2)(4)(5)}した。また、その産業的価値を認められ、イノベーションジャパン(大学見本市)でも展示された^{*その他(3)}。さらに、デジタルアートとしての高い価値が認められ、マサチューセッツ工科大学ミュージアムの正式な收藏品となった[参考資料 6]^{*その他(6)}。これらのホログラム技術に関連して、カラーフィルタを用いたフルカラーホログラムの技術^{*特許(2)}とその転写技術^{*特許(2)}、また動画再生の技術^{*特許(1)}について合計3件の特許出願を行った。

(1b) 撮像技術開発

多波長デジタルホログラフィック撮像技術に関し2件^{*特許(3)(4)}の特許出願を行った。また、ホログラフィック撮像技術の産業的価値が認められ、イノベーションジャパン(大学見本市)での展示^{*その他(7)}や報道^{*その他(8)}がなされた。

<研究期間終了後の展望>

(1a) 像生成技術開発

像生成技術全般に渡って、本プロジェクト終了後も本プロジェクトを継承した研究開発を広く行っていく。コンピュータホログラフィの計算規模が巨大であることから、高性能大容量の計算機が必要であることが、この技術普及の足かせの一つとなっていることは否めない。この問題を解決させる一つの方向性は近年発展の著しい Graphic Processing Unit (GPU)を用いた計算技術である^{*学会(6)}。GPUは巨大な計算能力を持つことから、メモリ容量の低いマシンであっても、部分的なホログラム計算を繰り返すことにより、デスクトップパソコンレベルでの計算機でもホログラムを計算できる可能性がある。プログラミングの技術がないデザイナーや、またホログラフィの非専門家であっても容易にホログラムを計算するための グラフィカルユーザーインターフェースを備えたソフトウェア^{*学会(36)(88)}の洗練とあわせて、もっと手軽に静止画ホログラムをデザイン・計算できる環境の構築を行う。このようなインフラ整備を行い、静止画像を製作する関大デジタルホロスタジオの利用率を向上し、コンピュータホログラフィによる3次元画像の啓蒙と普及を行っていく。

また、後述の実用化の観点からは、コンピュータホログラフィによる静止画ホログラムを量産する技術の開発が急がれる。計算時間と描画時間を合わせると、現時点では比較的小さなホログラムでも6時間以上の製作時間が必要である。これでは、美術品としての用途以外を見出すことは困難である。その解決策の一つは、コンピュータホログラフィで作成したホログラムを コンタクトコピー技術により体積型ホログラムに転写することである^{*論文(7)学会(58)}。転写時間はかなり短くできると考えられることから、前述の狭帯域化による像品質の向上と合わせて、この技術により静止画ホログラムの実用化・普及に大きく近づくことが期待できる。

静止画ホログラムの実用的な価値を高めるために必要な技術のもう一つは、ホログラム照明システムである。ホログラムの照明には空間的・時間的に高いコヒーレンスを持った光が必要であり、本プロジェクトでは従来、特に選定したLEDをホログラム前部に配置することにより照明を行っていた。しかし、この照明方法では照明光源自体が邪魔でホログラムの視認性が低下するだけではなく照明光源を含めたホログラム画像の薄型化が困難であり、実用的な応用の障害となる。そこで、ホログラフィック光学素子の技術を応用したパネル型のコヒーレント光源の開発がカギとなる。この技術については、ホログラフィック光学素子に高い技術を持つベンチャー企業である(株)エガリムと連携し、コンピュータホログラフィに適した照明光源を開発していく予定である。

動画像については、本プロジェクトで開発に成功した偏光特性により高次回折像を防ぐ光源スイッチング方式電子ホログラフィを用い、直近では、高フレームレート表示デバイスの像を4×4倍に多重化したシステムを開発する。このシステムを用い、今後の発達と普及が見込まれるスーパーハイビジョン用の8K×4K表示デバイスを多重化すると、その画素数はおよそ32K×16Kとなる。これにより関大デジタルホロスタジオで製作できる静止画にかなり近い像が得られることになるため、本格的なホログラフィックディスプレイに一步近づくことができると考えられる。

(1b) 撮像技術開発

撮像技術開発において、本プロジェクト終了後も研究を継続し、広い3次元空間にわたる実物体光波のマルチカラーホログラフィック撮像システムの開発に努める。また、エイリアシングの意図的利用やデジタル信号の周期性などの信号理論を駆使する方法に基づき、動体の高速3次元動画イメージングを行う光学システムの開発を推進する。特に、当該方式の単一露光で多波長情報を記録できる点に着目すれば、マルチカラーホログラフィックビデオカメラの創出を強力に推進できるものと期待される。カメラのフレームレートで多波長デジタルホログラムを記録し、時間方向にも情報量を格段に増大させることで、超臨場感3次元動画像の提示を実現できる。将来展望として、多次元情報が2次元画像に圧縮記録されるホログラフィの特長を活かし、全世界に転送できるホログラフィックTVのための撮像部開発を目指す。

2. 近未来コミュニケーショングループ

本事業の主体となるホログラフィグループで確立された技術を利用するための周辺技術開発を行う近未来コ

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1311042

コミュニケーショングループは、コンピュータホログラフィの実用的な動画再生が可能になると予測されている 10 年先の ICT インフラを見通しつつ、コンピュータホログラフィによる放送・コミュニケーションに必要な周辺技術の開発とその潜在的なアプリケーション予測に取り組むグループである。そのため、コンピュータホログラフィを用いたコミュニケーションにおいて必須となる 3 次元音響の要素技術の開発、画像圧縮、無線通信を独立して進めるとともにその具体的なアプリケーション像の検討を進めた。これらの研究を効率的に推し進めるため、主に 4 つのテーマで要素技術の開発を行ってきた。

(i) 立体音響技術開発(研究分担者: 梶川、棟安、W.S.Gan)

一つ目は、3 次元音響技術の開発である(以下、「(2a)立体音響技術開発」と表記。)コンピュータホログラフィによる 3 次元映像コミュニケーションには、それに対応する新しい 3 次元音響技術が不可欠である。従来の 3 次元音響技術で用いられたヘッドホンでは装着の不快感や疲労感をユーザに与える問題があり、またラウドスピーカでは適切な 3 次元音響情報を物理的に伝搬することが困難である。そこで、本研究では超指向性を有するパラメトリックアレイスピーカを用いることで近未来の高臨場感コミュニケーションに相応しい立体音響技術の開発を行った。

(ii) ホログラムデータ圧縮技術開発(研究分担者: 棟安、田口、吉田)

二つ目は、ホログラフィ映像のストレージに不可欠な技術が超大規模データ圧縮技術である(以下、「(2b)ホログラムデータ圧縮技術開発」と表記)。近年用いられている MPEG2 や MPEG4、H.264 などの従来技術は、本研究で目指す大規模なデータの圧縮を想定していない。また、画面サイズのスケラビリティが異なり、コンピュータホログラフィ画像と人間の視覚特性の関係も明らかでないため、従来規格が依存してきた人間の視覚特性を用いることは適切でない。そのため、ホログラフィに適した超大規模データを圧縮する技術に関する開発を行った。

(iii) 伝送技術開発(研究分担者: 四方、P. Popovski)

近未来コミュニケーショングループの大きな課題の一つは、コンピュータホログラフィ映像のような超大規模データの伝送である。特に、今後益々重要性が増すワイヤレスコミュニケーションを想定した場合、広帯域かつ高品質な無線通信回線を確保する必要がある。しかし、無線通信回線の帯域や品質は一般に時空間的に大きく変動する。また、ホログラム像には一部が欠落しても全体の再生には支障が無い等の特有の性質がある。そのため無線通信技術の開発(以下、「(2c) 伝送技術開発」)では、このような帯域や品質の変動に応じたコンテンツの超大規模データ伝送制御技術の確立を目的とし、無線通信路の帯域変動に応じて動的にホログラフィ映像やコンテンツの要求条件にマッチした無線通信資源を割当するための基礎技術の開発に取り組んだ。

(iv) アプリケーションシステムの開発(研究分担者: 徳丸)

最後に、本研究が目指す近未来的コミュニケーションが実現できた場合の新たなアプリケーションの創成に関しても研究を行った(以下、「(2d)アプリケーションシステム開発」と表記)。ここでは、典型的なアプリケーションイメージとしてファッションデザイナーのためのテキストスタイルデザイン支援システムの構築を行った。この研究では、色、模様、図柄、質感などの様々な要素を考慮する必要があるテキストスタイルデザインをコンピュータが生成し、それを着衣した状態のホログラフィ映像をリアルタイムに生成することにより、従来の 2 次元画像によるテキストスタイルデザインとは次元の違う実在感をデザイナーに与えるシステムの開発を目指した。これは本プロジェクトで開発された技術の統合によるシステムアプリケーションのイメージの確立を狙ったものである。

<優れた成果があがった点>

(2a) 立体音響技術開発 (梶川、棟安、W. S. Gan)

立体音響技術では、超指向性を有するパラメトリックスピーカ(PAL)の指向性は立体音響技術を実現する上で非常に重要な役割を演じる。そこで、PAL による立体音響技術の実現に関わる様々な課題について検討を行った。PAL は音質が悪いため立体音響技術を実現する上で、その音質改善は必要不可欠である。そこで音質劣化の原因である非線形歪みを補正するための非線形信号処理技術に関する検討を行った*論文(33)(35)(36)学会(140)(144)(145)(147)(153)(158)(161)(163)(166)(168)(172)(174)(175)(180)。この検討においては Volterra フィルタと呼ばれる非線形フィルタを利用することで、実験的に 10~15dB 程度の非線形歪みを低減することに成功し、音質評価においてもその効果を実証することができた。また、PAL の前処理(変調方法および自動ゲイン調整)を工夫することで音質を改善する方法についても検討を行った*学会(142)(143)(146)(148)(150)(151)(169)(173)(177)(179)(181)。本検討により非線形歪みの発生そのものを抑え、音質を改善できることを実証した。一方で、PAL をホログラム技術と融合する際にはホログラムのプレートに PAL からの音響ビームを与えることで、あたかもホログラムから音が放射されているように感じる事が可能である。そのためには、PAL の指向性制御が重要となるため、それについても検討を行った*論文(37)-(39)学会(159)。その結果、指向性を理論的に解析する方法はこれまで確立されていなかったが、本プロジェクトが世界で初めて実現するとともに、その指向性を理論的に把握することで実装に役立つ配置方法(ホログラムからの距離や角度など)を明らかにした*論文(38)。また、PAL による立体音響技術の実現において重要となる演算量の低減も実証した*論文(34)学会(138)(139)(152)(154)(157)(162)(165)(167)(176)(178)(182)-(185)。具体的には、PAL の超指向性の性質を活かして、クロストークの影響を抑えることで演算量を 30%程度低減することに成功した。

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1311042

(2b) ホログラムデータ圧縮技術開発 (棟安、田口、吉田)

データ圧縮技術の開発では、既存の圧縮技術とそのホログラフィへの適用可能性について調査を行い^{*学会(205)}、既存技術をホログラムデータ圧縮に適応した場合の問題点を明らかにした。干渉縞においても光波分布においても、これまで画像圧縮の原理であった画素の近傍類似性を利用することができないこと、さらにロッキー圧縮を行った場合、ホログラム画像は自由な視点から見る事が出来るため、これまでのフレーム単位での客観的画質評価が直接的に適用できないことである。そこで直接干渉縞をランレングス符号化を用いることにより、ロスレス圧縮を行う手法を検討し、その優位性を実験的に示した^{*学会(203)(204)}。さらに、この手法を発展させ、干渉縞では白と黒の画素の交番についても一種のランと見なす交互ランレングス符号化法を開発した。この結果、さらにロスレス圧縮の効率を高めることに成功した。ロッキー圧縮でも、自由度を考慮して光波データの圧縮手法を開発した^{*学会(200)(201)}。ここでは圧縮を近似問題と考え、振幅データへの特異値分解の適用と位相データへの再量子化手法を組み合わせた。画質評価についても5方向からの評価を考慮した評価手法を考案し、実際の評価に用いた。

(2c) 伝送技術開発 (四方、P. Popovski)

無線通信路の帯域変動およびユーザの要求条件に応じた動的無線通信資源割当技術として、WiFi データオフロード法に注目し、ユーザの生活・移動パターンに適応したデータオフローディングを提案した^{*学会(216)}。WiFi ユーザの時空間的な分布の変化に影響を受けないオフロード法を提案するとともに、提案法の詳細評価を行い、既存オフロード法に対する提案法の有効性を示した^{*学会(211)}。これにより、従来の方式では取り入れられていない「ユーザの移動パターン予測」を活用することで通信特性の改善が可能であることを確認できた。また、同時伝送可能データ量・ユーザ数の大規模化技術としてアクセス制御方式に注目し、超高密度にユーザが存在する環境での特性評価を行い、定量的な収容ユーザ数の限界を示した^{*学会(209)}。そして、各ユーザのデータ伝送量を削減するためのデータ処理方式を提案し、その有効性を示した^{*学会(206)-(208)(212)-(215)}。これにより、従来の集中制御的なシステムと比較し、ユーザ側でデータ処理を分散的に行うことで、システム全体の送信データの削減が可能となることを確認できた。さらに、通信が必要な通信ノードのみをコンテンツに応じて適応的に起床させることで無線通信帯域を有効に活用する通信制御方式を共同研究者の P. Popovski 教授とともに考案し、特性評価を実施した。従来の方式では、多くの通信ノードが帯域を共有することで輻輳が発生し、通信帯域および電力を無駄に消費していたが、提案方式を用いることで帯域の有効利用・通信ノードの省電力化が可能になることを示した。

伝送技術開発で提案したユーザの生活・移動パターンに応じた遅延許容型データオフローディングは、従来予測が困難であると考えられてきた将来の無線資源利用可能性を、ユーザの生活サイクルを活用することで予測可能とする斬新なアイデアに基づいている^{*学会(216)}。さらに、WiFi ユーザの時空間的な分布については、通信実績に基づく逐次的な予測修正を行うことで予測の不完全性に対応し、特性劣化抑制が可能であることを示している^{*学会(211)}。これらの結果は、帯域予測に基づく通信制御方式設計に新たな知見を与える成果となっている。ユーザ数の大規模化の評価では、従来研究では未検討のレベルの超高密度な環境での定量的評価を行っており、無線通信システム設計に新たな知見を与えるデータとなっている^{*学会(209)}。また、分散的なデータ処理を行うことにより送信データ量を削減し、通信帯域の逼迫を抑える提案法は、データ処理と通信制御のジョイント設計という斬新なアプローチに基づいている^{*学会(206)-(208)(212)-(215)}。さらに、コンテンツの内容に応じて通信ノードを起床させる通信制御方式は、従来の ID ベースの通信制御方式とは全く異なる独創的なアイデアであり、通信ノードの起動・通信制御方式設計に新たな知見を与える成果である。

(2d) アプリケーションシステム開発 (徳丸)

対話型進化計算を用いたデザイン生成システムで問題となるユーザの評価負担を軽減するための評価インタフェースとして、トーナメント式の評価手法を用いた一対比較評価インタフェースを開発した。開発した評価手法を実装したアプリケーションシステムとして、デジタルサイネージに3次元人体モデルに施した衣服コーディネートを投稿し、複数のユーザの投票により衣服デザインを進化させるデザイン支援システムを構築した^{*論文(42)学会(224)(233)(236)}。さらに、膨大な衣服デザインからユーザの好みの衣服を効率よく検索する手法として、感性検索エージェントによるレコメンドシステムを開発し、衣服の感性検索ならびに楽曲のレコメンドなど、複数のアプリケーションシステムに実装し、評価実験を行った^{*学会(220)(222)(223)(234)(235)}。衣服や音楽などの情報は、その特徴を定量化することが極めて困難であるが、深層ニューラルネットワークを用いた衣服の特徴抽出手法を開発し、膨大な衣服データの特徴を自動抽出してユーザの好みの衣服を検索するシステムの開発に成功した^{*論文(41)学会(229)(231)}。また、3次元画像によるデザイン最適化のアプリケーション例としてネイルアートデザインをユーザの好みに最適化するシステムを開発した^{*学会(221)}。

<課題となった点>

(2a) 立体音響技術開発

まず、PAL の特性をより正確にモデル化するための理論の確立があげられる。遠距離場での指向性のモデ

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1311042

ル化 *論文(38)を近距離場に理論的に拡張できるかどうか検討を行ったが、実測値との誤差が許容範囲をやや上回っていたため、さらなる検討が必要と考えられる。また、PALの音質改善においてVolterraフィルタを利用する *論文(33)学会(150)ことで、音質の改善を定量的ならびに主観評価により実証したが、Volterra フィルタそのものがPALの入力信号レベルに大きく依存することも新たに明らかになった。その改善方法を提案 *論文(33)したが、音声などに限定すれば適用可能であるが、よりダイナミックレンジの広い音楽などに適用するには更なる改善が必要と考えられる。

(2b) ホログラムデータ圧縮技術開発

圧縮方式の検討では、仮想的に動画を生成する方式についての検討が十分ではないという問題点があったが、光波データおよび干渉縞の性質の検討結果 *学会(200)(201)(203)(204)(205)から、位相情報の保持と移動量の検出により動画の圧縮も可能である見込みが明らかになってきている。しかし、ホログラムはデータ量が膨大であるため、テスト用の動画データを作成することが困難で十分な検証を行うことが出来ていない。基本的に従来の画像圧縮のアプローチと類似しているため、問題は少ないと考えられるが、今後検討が必要である。

(2c) 伝送技術開発

提案したデータオフローディング法の評価では、少人数の生活・移動パターンデータを用いてシミュレーションを行った。今後はサンプル数を増加させ、様々な移動パターンモデルを導入した評価を行う必要がある。特に今回はシミュレーションによる評価に留まっているが、実際にユーザのスマートフォンなどに提案法を実装し、実用的な環境での実験評価が必要である。分散データ処理方式についても、実際に通信ノードに実装し、計算負荷や消費電力に関する実験評価が実用性の立証のために必要である。また、コンテンツ要求に基づいた起床・通信制御方式については、適用範囲拡大のため、多様なコンテンツを想定した詳細評価が必要である。

(2d) アプリケーションシステムの開発

コンピュータホログラフィによりリアルタイムに衣服デザインを生成することは非常に困難であり、対話型進化計算によるデザイン生成システムに応用することは難しい。この問題を解決するため、デザイン候補となる素材をコンピュータホログラフィにより予め大量に作成しておきデータベース化することで、データベース内のデザイン候補を検索することでユーザの好みに合うデザインを提示することが可能となる感性検索フレームワークを開発した。しかし、本手法を実用化するためにはコンピュータホログラフィにより作成されるデザイン候補の特徴を数値化し、デザイン候補を特徴空間にマッピングする必要がある。したがって、コンピュータホログラフィを生成するための光学パラメータとデザインの特徴量との関係を解析する手法や、効率的な特徴量抽出手法の開発が課題として残されている。

<研究期間終了後の展望>

(2a) 立体音響技術開発

PALの特性(指向特性)をより正確にモデル化するとともに、通常のスピーカなどで発生される音場との融合手法について検討することを考えている。また、非線形信号処理技術を駆使することでPALの高音質化をある程度実現できたが、よりダイナミックレンジの広い音源に対応するための構成を検討することも考えている。さらに、ホログラムが移動するような状況に対応するために、PALの指向特性をリアルタイムで制御する方法も開発する予定である。したがって、引き続き当該関連技術の検討を継続して行う予定である。

(2b) ホログラムデータ圧縮技術開発

ロスレス圧縮、ロッシー圧縮の両手法について、これまでに新たな展開が得られた。また、両手法を組み合わせることにより、さらなる性能向上も見込める。そのため、本事業の設備を活用し、今後も継続して研究を進めていく。今後の研究の方針としては、特に光波データを中心とした圧縮手法の改良に注力し、ランレングス符号化を含めたロスレス圧縮の知見も活用して、位相成分の圧縮手法の開発に重点的に取り組んでいく。また、画質評価についても、これまでの知見を踏まえて、客観的評価手法の開発を行う。

(2c) 伝送技術開発

研究期間終了後は、提案通信制御法を通信機器に実装し、実験評価を行う予定である。まず、これまでのシミュレーション評価で有効性を確認した各種方式を通信機器に実装する際の計算負荷や消費電力の見積もりを行い、実装する機器の仕様を決定する。そして、提案方式を実機に実装し実験評価を行うことで提案方式の実環境での有効性を明らかにする。

(2d) アプリケーションシステムの開発

コンピュータホログラフィを用いた衣服デザイン支援システムの実用化に向けて、深層ニューラルネットワークを中心に大規模データからの特徴量抽出法についてさらなる検討を行うとともに、効率的なデザイン支援を行うための対話型進化計算手法についても引き続き研究する予定である。また、システムの実用化にあたり、シス

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1311042

テムの利用環境を想定した関連技術についても検討する。例えば、店舗やアーケードなどにコンピュータホログラフィを用いた 3D 映像を表示するシステムを設置すると、一般ユーザの注目を集めることが容易となる。そこで、不特定多数のユーザの視線情報を利用した対話型進化計算技術を用いてデザインを最適化するなど、様々な応用が期待できる。既に対話型進化計算のための視線インタフェース*学会(230)や効率的な解探索手法*学会(232)についての開発に着手しており、これらの技術をコンピュータホログラフィ映像表示と組み合わせることにより新たなシステムの開発を目指す。

<研究成果の副次的効果(実用化や特許の申請など研究成果の活用の見通しを含む。)>

(2a) 立体音響技術開発

立体音響技術の周辺技術の一つとしてアクティブノイズコントロール技術への適用についても検討した*論文(34)学会(138)(139)(152)(154)(157)(162)(165)(176)(178)(182)-(185)。その結果、PAL を利用して通常のスピーカを利用した場合に比べて、30%程度の演算量を低減するとともに、同等の騒音低減効果を実現することに成功した。この成果は、騒音問題に適用可能であるため、当該分野での波及効果が期待される。

(2b) ホログラムデータ圧縮技術開発

ホログラムデータの圧縮はこれまで多視点映像の立場から検討されてきたが、光波データそのものの信号処理的な特徴は明らかではなかった*学会(200)(201)(205)。しかし、本研究によりそれが明らかになりつつある。具体的には、位相成分の重要性である*学会(200)(201)(205)。これらはこれまであまり考えられてこなかったホログラムと信号処理の関連についての知見を与える。そのため、圧縮だけではなく電子透かしの適用など、これまで考えられなかった応用に発展する可能性がある。したがって、圧縮方式の検討が十分に進んだ時点で、これらの展開も含めて積極的に特許申請を行うことが望ましいと考えられ、標準化への波及も期待される。

(2c) 伝送技術開発

伝送方式の検討におけるユーザ数の大規模化評価では、生体情報を収集するセンサネットワークへの適用を視野に入れ、通信モデルの整理と通信特性の定量的評価を行った*学会(209)。また、分散データ処理方式を用いることで、超高密度に通信ノードが存在し得るセンサネットワークへの適用が可能である*学会(206)-(208)(212)-(215)。さらに、コンテンツ要求に基づいた起床・通信制御方式は、通信ノードの省電力化を達成することが可能であるため、通信ノードのバッテリー時間延長が大きな課題の一つであるセンサネットワークに適用することが可能である。これらの成果は、今後爆発的にノード数が増加すると予想される M2M/IoT の分野に活用できる。

(2d) アプリケーションシステムの開発

衣服デザインの生成支援システムでは、2 台のデジタルサイネージに異なるデザインの衣服を着用した 2 体の 3 次元人体モデルを表示し、通りがかりの人に好みのデザインに投票してもらうことにより、衣服デザインを最適化するシステムを構築し、運用実験により有効性が確認できた*論文(42)学会(224)(233)(236)。本システムは、アパレル店舗に設置することで顧客の潜在的な好みの調査や、人気商品の調査などのマーケティング分野への応用も期待できる。また、衣服の感性検索システムのために開発した深層ニューラルネットワークによる特徴抽出法と感性検索エージェントモデル*論文(41)学会(229)(231)は、コンピュータホログラフィをはじめとする 3 次元画像や、3 次元音響などのマルチメディアコンテンツの特徴量を自動抽出し、ユーザの好みのコンテンツをレコメンドするシステムへの実用化が期待できる。

3. プロジェクト全体

以上のように、グループ別また研究テーマ別に個々の研究課題を追求する一方で、構想調書で述べたとおり、コンピュータホログラフィとその関連技術の研究拠点形成を目指して関大デジタルホロススタジオを設立した。外部評価においては、本スタジオにおける描画サービスが高い評価を得ている。

プロジェクト全体としては、毎年先端科学技術シンポジウムでプロジェクトセッションを実施し、本プロジェクトの最新の研究成果を披露した。またそれだけではなく、平成 28 年 7 月に関西大学先端科学技術推進機構後援の下、3 次元立体画像に関する国内有数のコンファレンスである 3 次元画像コンファレンスを本学千里山キャンパスにて開催し、特別展示として「関西大学コンピュータホログラフィ展」を実施する等により研究拠点形成の一助とした。[参考資料 5]

今後も、本プロジェクトにより開発した研究技術を関大デジタルホロススタジオに逐次応用展開し、企業との連携をとりつつ、外部への描画サービス等を提供しながら研究拠点として継続をしていく。

<自己評価の実施結果と対応状況>

プロジェクト内での研究者による自己評価を年 2~3 回の割合で実施し、特に研究資金の適切な配分や PD・RA 等の若手研究者の雇用・育成について逐次見直しを行った。

前述のとおり、本プロジェクトでは大きくホログラフィグループと近未来コミュニケーショングループに分かれて研究活動を行ったが、この両者にはその研究課題の性質に起因する大きな相違があった。そこで、この相違点

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1311042

を考慮した研究リソースの配分を行った。

まず、ホログラフィグループは主として応用物理学・光学に軸足を置く研究課題であり、実験が大きなウェイトを占めている。特に、(1a)生成技術開発では、初年度に整備したレーザーソグラフィ装置の運用・維持のために研究員を雇用し、装置の運用に十分な費用をかけ、活用した。また、光学実験を実施するための研究費にも重点的に配分し、計画通りに進むよう配慮した。さらに、像生成計算のための高性能計算機も必要であったため十分な研究費用を配分した。(1b)撮像技術開発においても、同様に光学実験が大きな役割を果たすため実験装置や周辺機器に十分な研究費用を配分した。

一方、近未来コミュニケーショングループが必要とするリソースはかなり方向性が異なっている。(2a)立体音響技術開発では、初年度に整備した防音装置を活用することで、他装置等をほとんど必要とせず研究を行うことができた。近未来コミュニケーショングループの他のチーム、(2b)ホログラムデータ圧縮技術開発、(2c)伝送技術開発、(2d)アプリケーションシステムの開発は、実験装置等はほとんど必要とせず、その研究はほぼ理論と計算機ベースで行われる。そのため、こちらのグループにはPDやRAなどの若手研究者の人的リソースを重点的に配分する戦略とした。

実際には、スタートアップの平成25年度の当初予算については装置・設備を除く研究費をホログラフィグループの研究用器具備品・消耗品としてまず配分し、雑費を除く研究費残額全体を全研究員に均等に配分する計画とした。しかし、年度途中で進捗状況を議論した結果、近未来コミュニケーショングループの研究力強化のため年度途中からPDを1名雇用し、研究費の再配分を実施した。

平成26年度以降についても、近未来コミュニケーショングループの研究力強化のために初年度に引き続きPD1名を継続的に雇用し、他にも本学大学院生をRAや準研究員として多数登用し、積極的に若手研究者の育成を図ってきた。また、毎年度ホログラフィグループの研究に必要な器具備品類をまずリストアップし、ホログラフィグループに重点的に当初予算配分した。同時に、年度途中において全体の進捗状況と費用対効果を勘案し、年度当初の予算配分を見直して、近未来コミュニケーショングループとホログラフィグループで予算の再配分を実施した。

また、平成26年9月に自己点検として作成した研究進捗状況チェックシートに基づき、学内の外部資金審査・評価部会による内部評価を行った。その結果、主に研究体制面、研究成果の公表などについて更なる強化が求められたので、研究体制が整ったことを示すとともに成果の公表を強化するため、平成26年度末に関大デジタルホロスタジオのウェブサイト^{*研究成果の公開状況 A}を公開し、描画サービスの規約等も公開した。[参考文献 4] さらに、平成27年度末には同サイト英語版ページを整備し、英語規約等の公開を始めている。このホロスタジオについては、国内^{*学会(72)}と国外^{*学会(26)}の講演を通じて情報公開に努めた。

平成29年9月にも学内の外部資金審査・評価部会による内部評価を行った。その結果、最高の4.00点満点の評価を得た。コンピュータホログラフィ技術については十分な成果が得られているとされ、特に関大デジタルホロスタジオが研究拠点形成の点で高い評価を受けた。近未来コミュニケーショングループについても成果は十分であるとの評価を受けた。ただし、コンピュータホログラフィとの関連がやや小さい印象であるとのコメントもあったが、近未来コミュニケーショングループは、ホログラフィグループで確立された技術を利用するための周辺技術開発を行うグループであるため、ホログラフィグループの開発状況を踏まえた後発研究となる部分が多く、今後本拠点を活用しながら連携した開発を進めていく。

<外部(第三者)評価の実施結果と対応状況>

平成27年7月に産業界、国立研究所、大学の3名の評価委員による外部評価を実施し、良好な評価を得た。[参考資料 1]

外部評価において、本プロジェクトが目指す最終目標では要求される技術的水準があまりに高すぎるため、中間段階で派生した研究成果を医療やデザイン、アート等の特定分野に向けて展開するべきである旨の指摘を受けた。これを受け、まずアートへの展開を目指して、世界的ホログラフィ美術家を客員研究員として迎え、本プロジェクトで開発した技術によるアート作品を発信すべく制作を進め、実際にその一部を公開している^{*その他(2)}。さらに、現時点でかなりの技術水準に達している静止画ホログラムについては、(株)エガリムおよびオムロンアミューズメント(株)との共同研究・受託研究契約を結び、連携を深めている。前述のとおり、エガリム社とはポートレートを中心とした展開、またオムロンアミューズメント社とはアミューズメント機器への搭載を目指した連携を行っている。今後は両社と本学の3者による連携へ進む見込みである。

最終年度の平成29年5月には、同じ評価委員による外部評価を再度実施した結果、やはり大変良好な評価を得ている。ホログラフィグループについては、特にコンピュータホログラフィ技術をアートレベルまで高めることができたことや、カラー再生を可能にしたことなど、また関大デジタルホロスタジオを通じた描画サービスの試みなどが高く評価された。[参考資料 2]

また、近未来コミュニケーショングループはホログラフィ情報の圧縮などの研究が高く評価された。一方、国際的な連携や超臨場感コミュニケーションの枠に収まらない、バイオメディカルの応用、教育、さらには自動運転に至るまで今後の展開についてのコメントが多く寄せられた。

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1311042

12 キーワード(当該研究内容をよく表していると思われるものを8項目以内で記載してください。)

- (1) 3次元立体画像 (2) 3次元立体イメージング (3) 3次元立体音響
 (4) ホログラフィデータ圧縮 (5) 大規模データ処理 (6) 大規模データ通信
 (7) 高臨場感コミュニケーション (8) 対話型デザインシステム

13 研究発表の状況(研究論文等公表状況。印刷中も含む。)

上記、11(4)に記載した研究成果に対応するものには*を付すこと。

<雑誌論文>(※特筆すべき業績には、【★】を付記している。)

論文名、著者名、掲載誌名、査読の有無、巻、最初と最後の頁、発表年(西暦)について記入してください(左記の各項目が網羅されていれば、項目の順序を入れ替えても可)。また、現在から発表年次順に遡り、通し番号を付してください。

<ホログラフィグループ>

(1a) 像生成技術開発に関する成果は以下の通りである。(16件)

- (1) K. Matsushima, N. Sonobe, Full-color digitized holography for large-scale holographic 3D imaging of physical and nonphysical objects, Applied Optics, 57(1), A150-A156 (2017). [査読有]
- (2) 松崎昭太, 小林昂一郎, 松島恭治, フルカラーコンピュータホログラフィ用ソフトウェアツール群の開発, HODIC Circular, 37(3), 6-9 (2017.9). [査読無]
- (3) 五十嵐勇祐, 松島恭治, カラーフィルタを用いたフルカラー体積型転写 CGH の作製, HODIC Circular, 37(3), 10-13 (2017.9).[査読無]
- (4) * H. Nishi, K. Matsushima, Rendering of specular curved objects in polygon-based computer holography, Applied Optics, 56(13), F37-F44 (2017). [査読有]
- (5) * Y. Tsuchiyama, K. Matsushima, Full-color large-scaled computer-generated holograms using RGB color filters, Optics Express, 25, 2016-2030 (2017). [査読有] 【★】
- (6) * 土山泰裕, 松島恭治, カラーフィルタ方式フルカラー高解像度 CGH とその光学再生像, HODIC Circular 36(3), 11-14 (2016). [査読無]
- (7) * 中尾弘希, 松島恭治, 反射型高解像度 CGH のコンタクトコピーによるフルカラー体積型転写CGHの作成, HODIC Circular 36(3), 19-22 (2016). [査読無]
- (8) 中辻憲昭, 松島恭治, 伊藤智義, 下馬場朋禄, 点光源法と GPU で計算した全方向視差高解像度 CGH の再生像, HODIC Circular 36(3), 15-18 (2016). [査読無]
- (9) 中原住雄, 増田幸勇, 松島恭治, レーザリソグラフィによるサブミクロンピクセル CGH の作製, HODIC Circular, 34(4), 26-30 (2014). [査読無]
- (10) 松島恭治, コンピュータホログラフィ研究と作品制作のためのソフトウェア環境, HODIC Circular, 34(4), 31-38 (2014). [査読無]
- (11) * K. Matsushima, M. Nakamura, S. Nakahara, Silhouette method for hidden surface removal in computer holography and its acceleration using the switch-back technique, Optics Express 22, 24450-24465 (2014). [査読有]
- (12) * 増田幸勇, 松島恭治, 中原住雄, コンピュータホログラフィにおけるスイッチバック法を用いた隠面消去の高速化手法, HODIC Circular, 34(3), 6-9 (2014). [査読無]
- (13) 藤田大知, 松島恭治, 中原住雄, デジタルホログラフィにおける複数マスクを用いた隠面消去処理, HODIC Circular, 33(4), 18-23 (2013). [査読無]
- (14) 村田峻平, 松島恭治, 中原住雄, コンピュータホログラフィにおけるデザイナーと研究者のための統合的なデザインシステムの開発状況, HODIC Circular, 33(3), 11-14 (2013). [査読無]
- (15) 西井渉, 松島恭治, 空間位相変調器を用いた体積型計算機合成ホログラム描画用波面プリンタ, HODIC Circular, 33(3), 15-18 (2013). [査読無]
- (16) 松島恭治, 大規模光伝搬シミュレーション技術とそのコンピュータホログラフィへの応用, OITDA オプトニュース, 8(1), 6-11 (2013). [査読無]

(1b) 撮像技術開発に関する成果は以下の通りである。(15件)

- (17) * T. Tahara, R. Otani, Y. Arai, Y. Takaki, Dual-wavelength digital holography based on phase-division multiplexing using four wavelength-multiplexed phase-shifted holograms and zeroth-order diffraction-image suppression, International Journal of Automation Technology, 11(5), 806-813 (2017). [査読有]
- (18) T. Tahara, T. Akamatsu, Y. Arai, T. Shimobaba, T. Ito, T. Kakue, Algorithm for extracting multiple object waves without Fourier transform from a single image recorded by spatial frequency-division

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1311042

- multiplexing and its application to digital holography, Optics Communications, 402, 462-467 (2017). [査読有]
- (19) T. Tahara, T. Kanno, Y. Arai, T. Ozawa, Single-shot phase-shifting incoherent digital holography, Journal of Optics, 19, 065705 (2017). [査読有]
- (20)* T. Tahara, R. Otani, K. Omae, T. Gotohda, Y. Arai, Y. Takaki, Multiwavelength digital holography with wavelength-multiplexed holograms and arbitrary symmetric phase shifts, Optics Express, 25(10), 11157-11172 (2017). [査読有]
- (21)* T. Tahara, Y. Arai, Multiwavelength off-axis digital holography with an angle of more than 40 degrees and no beam combiner to generate interference light, Applied Optics, 56(13), F200-F204 (2017). [査読有]
- (22)* T. Tahara, R. Mori, Y. Arai, Y. Takaki, Four-step phase-shifting digital holography simultaneously sensing dual-wavelength information using a monochromatic image sensor, Journal of Optics, 17, 125707(10 pages) (2015). [査読有]
- (23)* 田原樹, 汎用単板単色カメラを用いた瞬間複数波長 3次元ホログラフィック画像センシング, 画像ラボ, 12, 13-18 (2015). [査読無]
- (24)* T. Tahara, Y. Takahashi, T. Komura, T. Kaku, Y. Arai, Single-shot multiwavelength digital holography using angular multiplexing and spatial bandwidth enhancement for extending the field of view, IEEE/OSA Journal of Display Technology, 11(10), 807-813 (2015). [査読有]
- (25)* T. Tahara, R. Mori, S. Kikunaga, Y. Arai, Y. Takaki, Dual-wavelength phase-shifting digital holography selectively extracting wavelength information from wavelength-multiplexed holograms, Optics Letters, 40, 2810-2813 (2015). [査読有]
- (26)* T. Tahara, T. Kaku, Y. Arai, Single-shot multiwavelength phase unwrapping using a single reference beam and a monochromatic image sensor, Optical Review, 22, 415-421 (2015). [査読有]
- (27)* T. Tahara, T. Kaku, Y. Arai, Digital holography based on multiwavelength spatial-bandwidth-extended capturing-technique using a reference arm (Multi-SPECTRA), Optics Express, 22, 29594-29610 (2014). [査読有]
- (28) 田原樹, 粟辻安浩, 夏鵬, 西尾謙三, 裏升吾, 並列位相シフトデジタルホログラフィと高速 3次元動画画像記録および生体 4次元顕微鏡応用, 光技術コンタクト, 52(7), 3-10 (2014). [査読無]
- (29) T. Tahara, Y. Takahashi, Y. Arai, Image-quality improvement in space-bandwidth capacity-enhanced digital holography, Optical Engineering, 53(11), 112313 (6 pages) (2014). [査読有]
- (30)* 田原樹, 新井泰彦, 高木康博, 波長情報を選択的抽出可能な位相シフトデジタルホログラフィ, O plus E, 36, 533-537 (2014). [査読無]
- (31) T. Tahara, Y. Lee, Y. Ito, P. Xia, Y. Shimozato, Y. Takahashi, Y. Awatsuji, K. Nishio, S. Ura, T. Kubota, O. Matoba, Superresolution of interference fringes in parallel four-step phase-shifting digital holography, Optics Letters, 39, 1673-1676 (2014). [査読有]

<近未来コミュニケーショングループ>

(2a) 立体音響技術開発に関する成果は以下の通りである。(8件)

- (32) K. Iwai, Y. Kajikawa, Modified second-order nonlinear infinite impulse response (IIR) filter for equalizing frequency response and compensating nonlinear distortions of electrodynamic loudspeaker, Applied Acoustics, 132, 202-209 (2018).
- (33)* Y. Hatano, C. Shi, Y. Kajikawa, Compensation for nonlinear distortion of the frequency modulation-based parametric array loudspeaker, IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, 25(8), 1709-1717 (2017). [査読有]
- (34)* K. Tanaka, C. Shi, Y. Kajikawa, Binaural active noise control using parametric array loudspeakers, Applied Acoustics, 116, 170-176 (2017). [査読有]
- (35)* C. Shi, Y. Kajikawa, Volterra model of the parametric array loudspeaker operating at ultrasonic frequencies, Journal of the Acoustical Society of America, 140(5), 3643-3650 (2016). [査読有]
- (36)* C. Shi, Y. Kajikawa, Effect of the ultrasonic emitter on the distortion performance of the parametric array loudspeaker, Applied Acoustics, 112, 108-115 (2016). [査読有]
- (37)* C. Shi, Y. Kajikawa, W.-S. Gan, Generating dual beams from a single steerable parametric loudspeaker, Applied Acoustics, 99, 43-50 (2015). [査読有]
- (38)* C. Shi, Y. Kajikawa, A Convolution Model for Computing the Far-field Directivity of a Parametric Loudspeaker Array, Journal of the Acoustical Society of America, 137(2), 777-784 (2015). [査読有]
- (39)* C. Shi, Y. Kajikawa, W.-S. Gan, An Overview of Directivity Control Methods of the Parametric Array Loudspeaker, APSIPA Trans. on Signal and Information Processing, 3, e20 (12 pages) (2014). [査読有]

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1311042

(2b) ホログラムデータ圧縮開発に関する成果は以下の通りである。(1件)

(40) 藤井健作, 澤田拓也, 吉岡拓人, 棟安実治, ダブルトークとエコー経路の変化を識別して通話回路に挿入する減衰量を調整するハンズフリー通話システム用制御アルゴリズム, 電子情報通信学会論文誌 A, J100-A(3), 142-150 (2017). [査読有]

(2d) アプリケーションシステムの開発に関する成果は以下の通りである。(2件)

(41)* 太田茂, 竹之内宏, 徳丸正孝, 深層ニューラルネットワークによる特徴抽出を用いた衣服の感性検索, 日本感性工学会論文誌, 16(3), 277-283 (2017). [査読有]

(42)* 坂井将之, 竹之内宏, 徳丸正孝, デジタルサイネージを用いた複数のユーザの投票によるデザイン生成支援システム, 日本感性工学会論文誌, 15(4), 503-511 (2016). [査読有]

<図書>

図書名、著者名、出版社名、総ページ数、発行年(西暦)について記入してください(左記の項目が網羅されていけば、項目の順序を入れ替えても可)。また、現在から発表年次順に遡り、通し番号を付してください。

(1b) 撮像技術開発に関する成果は以下の通りである。(2件)

(1)* T. Tahara, R. Otani, Y. Arai, Y. Takaki (Chapter 9), I. Naydenova ed., Multiwavelength Digital Holography and Phase-Shifting Interferometry Selectively Extracting Wavelength Information: Phase-Division Multiplexing (PDM) of Wavelengths, in Holographic Materials and Optical Systems, InTech, 205-223 (2017.3).

(2)* 田原樹 (分担執筆), 三次元画像センシングの新展開〜リアルタイム・高精度に向けた要素技術から産業応用まで〜, 監修:岩堀祐之, エヌ・ティー・エス, 153-158 (2015.5).

<学会発表>

学会名、発表者名、発表標題名、開催地、発表年月(西暦)について記入してください(左記の項目が網羅されていけば、項目の順序を入れ替えても可)。また、現在から発表年次順に遡り、通し番号を付してください。

(1a) 像生成技術開発に関する成果は以下の通りである。(89件)

[国際学会]

(1) S. Igarashi, T. Nakamura, K. Matsushima, M. Yamaguchi, Continuous tiling Fresnel diffraction and its application to over 10-gigapixel computer-generated holograms, The 24th Congress of the International Commission for Optics, Tokyo, Japan (2017.8).

(2) *K. Matsushima, Y. Tsuchiyama, N. Sonobe, S. Masuji, M. Yamaguchi, Y. Sakamoto, Full-color large-scaled computer-generated holograms for physical and non-physical objects, Holography: Advances and Modern Trends V, Czech Republic (2017.4).

(3) *S. Igarashi, T. Nakamura, K. Matsushima, M. Yamaguchi, 3D Physically based rendering of computer generated holograms by orthographic ray-sampling, Information Photonics 2017, IP-21AM-2-1, Kanagawa, Japan (2017.4).

(4) *H. Nishi, K. Matsushima, Rendering of transparent objects in polygon-based computer holography, Information Photonics 2017, IP-21PM-1-8, Kanagawa, Japan (2017.4).[Outstanding Poster Paper Award 受賞]

(5) *Y. Tsuchiyama, K. Matsushima, S. Nakahara, M. Yamaguchi, Y. Sakamoto, Full-color high-definition CGH reconstructing hybrid scenes of physical and virtual objects, Practical Holography XXXI: Materials and Applications, USA (2017.2).

(6) *N. Nakatsuji, K. Matsushima, Comparison of computation time and image quality between full-parallax 4G-pixels CGHs calculated by the point cloud and polygon-based method, Practical Holography XXXI: Materials and Applications, USA (2017.2).

(7) S. Igarashi, T. Nakamura, K. Matsushima, M. Yamaguchi, Calculation and Fabrication of photorealistic hologram using orthographic ray-sampling plane, The 6th Japan-Korea Workshop on Digital Holography and Information Photonics (DHIP2016), Hokkaido, Japan (2016.12).

(8) *K. Matsushima, Y. Tsuchiyama, Full-color high-definition CGH employing RGB color filters, International Workshop on Holography and related technologies, Taiwan, (2016.11). [招待講演]

(9) *Y. Tsuchiyama, K. Matsushima, S. Nakahara, Y. Sakamoto, Full-color high-definition CGH using color filter and filter design based on simulation, OSA Imaging and Applied Optics 2016, Germany (2016.7).

(10)* Y. Higashino, T. Tsuchioka, K. Matsushima, Light-source switching time-division multiplexing holographic display and reduction of degradation by higher order diffraction images, OSA Imaging and Applied Optics 2016, Germany (2016.7).

(11) S. Igarashi, T. Nakamura, K. Matsushima, M. Yamaguchi, Efficient calculation method for realistic deep 3D scene hologram using orthographic projection, Practical Holography XXX: Materials and

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1311042

- Applications, USA (2016.2).
- (12) K. Matsushima, Scale expansion beyond a hundred billion pixels in computer holography, International Symposium on Holography, Bridging Art and Technology (HODIC in Taiwan 2015), Taiwan (2015.12).
- (13) K. Matsushima, Occlusion Processing in Computer Holography -With a Focus on Switch-Back Technique-, The 22nd International Display Workshops (IDW '15), Shiga, Japan (2015.12). [招待講演]
- (14) Y. Tsuchiyama, K. Matsushima, S. Nakahara, Y. Sakamoto, A Simulation technique for selection of color filter used for full-color high-definition CGH, International Symposium on Holography and Related Technologies 2015 (IWH2015), Okinawa, Japan (2015.12).
- (15) N. Nakatsuji, K. Matsushima, T. Ito, T. Shimobaba, Comparison of computation time and image quality between CGHs calculated by the point cloud and polygon-based method, International Symposium on Holography and Related Technologies 2015 (IWH2015), Okinawa, Japan (2015.12).
- (16)* N. Sonobe, Y. Tsuchiyama, K. Matsushima, Capture of Large-Scaled Wave Fields for Full-Color Digitized Holography, International Symposium on Holography and Related Technologies 2015 (IWH2015), Okinawa, Japan (2015.12).
- (17) K. Matsushima, S. Nakahara, Computer holography as an application of computational optics, Computational Optics (SPIE Optical System Design 2015), Germany (2015.9).
- (18) K. Matsushima, Digital signal processing of light in holographic 3D imaging, Applications of Digital Image Processing XXXVIII, USA (2015.8) [招待講演]
- (19) K. Matsushima, Y. Tsuchiyama, N. Sonobe, S. Nakahara, New techniques in high-definition computer holography, 10th International Symposium on Display Holography 2015, Russia (2015.7).
- (20) S. Nakahara, K. Matsushima, Reconstruction of multi-images on coaxial depth direction using computer holography, 10th International Symposium on Display Holography 2015, Russia (2015.7).
- (21) K. Matsushima, Y. Tsuchiyama, Reduction of memory usage and full-color reconstruction in high-definition computer holography, 14th Workshop on Information Optics 2015, Kyoto, Japan (2015.6). [招待講演]
- (22) K. Matsushima, S. Nakahara, Frequency filtering for reduction of memory usage in computer holography, OSA Topical Meeting on Digital Holography and Three-Dimensional Imaging 2015, China (2015.5).
- (23) S. Nakahara, K. Matsushima, Laser lithography for fabricating computer generated hologram with submicron pixel- size for wide viewing angle, 7th International Congress on Laser Advanced Materials Processing, Fukuoka, Japan (2015.5).
- (24)* S. Masuda, K. Matsushima, S. Nakahara, Optimization of the switch-back technique used for fast occlusion-processing in computer holography, Practical Holography XXIX: Materials and Applications, USA (2015.2).
- (25)* T. Miyaoka, K. Matsushima, S. Nakahara, Optimization of design-wavelength for unobtrusive chromatic aberration in high-definition color computer holography, Practical Holography XXIX: Materials and Applications, USA (2015.2).
- (26)* K. Matsushima, S. Nakahara, S. Masuda, T. Miyaoka, Research Facilities for Computer Holography at Kansai University and Several Recent Topics, International Workshop on Holography and Related Technologies 2014, China (2014.10).
- (27) S. Nakahara, K. Matsushima, M. Takita, Y. Okino, Reconstructed mulita-images on coaxial depth direction from computer generated hologram, International Symposium on Optical Memory 2014, Taiwan (2014.10).
- (28) K. Matsushima, S. Nakahara, Computer holography and a great future of spatial 3D imaging, The 14th International Meeting on Information Display, Korea (2014.8). [招待講演]
- (29)* K. Matsushima, S. Masuda, S. Nakahara, Performance of the switch-back technique for fast hidden-surface removal in computer Holography, OSA Topical Meeting on Digital Holography and Three-Dimensional Imaging 2014, USA (2014.7).
- (30) S. Nakahara, K. Matsushima, Fabrication of computer generated holograms constituted from sub-micrometer pixel for wide viewing angle using laser lithography, OSA Topical Meeting on Digital Holography and Three-Dimensional Imaging 2014, USA (2014.7).
- (31)* K. Matsushima, S. Nakahara, Switch-back method: A fast technique for hidden-surface removal in computer holography, Workshop on Information Optics 2014, Switzerland (2014.7). [招待講演]
- (32) S. Nakahara, K. Matsushima, Laser lithography to producing computer generated holograms with 3D image and wide-field of view, Lithuania (2014.6).
- (33)* S. Masuda, K. Matsushima, S. Nakahara, Techniques for applying rigorous light-shielding to high-definition computer holography, Practical Holography XXVIII: Materials and Applications, USA (2014.2).
- (34) W. Nishii, K. Matsushima, A wavefront printer using phase-only spatial light modulator for producing computer-generated volume holograms, Practical Holography XXVIII: Materials and Applications,

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1311042

- USA (2014.2).
- (35) K. Matsushima, S. Nakahara, S. Masuda, D. Fujita, Recent Techniques for Hidden Surface Removal in Computer Holography, The 3rd Korea-Japan Workshop on Digital Holography and Information Photonics, Korea (2013.11). [招待講演]
- (36)* S. Murata, K. Matsushima, S. Nakahara, Development of an integrated design system for computer holography, International Workshop on Holography and Related Technologies 2013, Hokkaido, Japan (2013.10).
- (37) W. Nishii, K. Matsushima, A wavefront printer using complex-amplitude modulation by using phase-only SLM, International Workshop on Holography and Related Technologies 2013, Hokkaido, Japan (2013.10).
- (38) K. Matsushima, S. Nakahara, Computer holography: a perfect digital 3D technique for real and virtual objects, 5th EOS Topical Meeting on Optical Microsystems, Italy (2013.9). [招待講演]
- (39)* S. Masuda, K. Matsushima, S. Nakahara, Rigorous light-shielding for hidden-surface removal in high-definition computer holography, Three Dimensional System and Application 2013, Osaka, Japan (2013.6).
- (40) D. Fujita, K. Matsushima, S. Nakahara, Digital resizing of reconstructed object images in digitized holography, OSA Topical Meeting on Digital Holography and Three-Dimensional Imaging 2013, USA (2013.4).
- [国内学会]
- (41) 松島恭治, 関大デジタルホロスタジオにおける大規模 CGH 描画・作成技術, 平成 30 年第 1 回ホログラフィック・ディスプレイ研究会, 東京 (2018.3).[招待講演]
- (42) 松島恭治, 大規模計算機合成ホログラムによる 3 次元立体画像 —近年の進展—, レーザー学会学術講演会第 38 回年次大会, 京都 (2018.1). [招待講演]
- (43) 増地将哉, 松島恭治, 棟安実治, デジタル光波データのデータサイズ削減手法, 第 22 回関西大学先端科学技術シンポジウム, 大阪 (2018.1).
- (44) 松崎昭太, 松島恭治, フルカラー計算機合成ホログラムのデザインと計算のためのソフトウェアツール, 第 22 回関西大学先端科学技術シンポジウム, ポスターNo.18, 大阪 (2018.1).
- (45) 五十嵐勇祐, 松島恭治, フルカラーCGH の転写手法, 第 22 回関西大学先端科学技術シンポジウム, ポスターNo.19, 大阪 (2018.1).
- (46) 土岡智旭, 西川凌, 松島恭治, 光源スイッチング方式電子ホログラフィにおける多重化数の拡張, 第 22 回関西大学先端科学技術シンポジウム, ポスターNo.20, 大阪 (2018.1).
- (47) 齋藤智崇, 橋村直柔, 松島恭治, 軸外れデニシユク型光学系を用いた波面プリンタ, 第 22 回関西大学先端科学技術シンポジウム, ポスターNo.21, 大阪 (2018.1).
- (48) 石上智也, 橋本翼, 松島恭治, 合成開口カラーデジタルホログラフィにおける露出制御, 第 22 回関西大学先端科学技術シンポジウム, ポスターNo.22, 大阪 (2018.1).
- (49) 中清裕貴, 松島恭治, 高解像度 CGH におけるスイッチバック法隠面消去処理の GPU を用いた高速化, ホログラフィック・ディスプレイ研究会(HODIC)2017 年第 4 回研究会, 石川 (2017.11). [招待講演]
- (50) 増地将哉, 松島恭治, 棟安実治, 光波振幅分布の非線形量子化による光波データ量削減, Optics & Photonics Japan 2017, 31aP5, 東京 (2017.10).
- (51) 西川凌, 土岡智旭, 松島恭治, 光源スイッチングによる時分割多重化ホログラフィックディスプレイ, Optics & Photonics Japan 2017, 31aP14, 東京 (2017.10).
- (52) 松島恭治, 大規模コンピュータホログラフィによる空間像の表示, セミナー「次世代映像技術」, 応用光学懇談会, 日本光学会, 超臨場感コミュニケーション産学官フォーラム, 講演 3, 大阪 (2017.10). [招待講演]
- (53) 下馬場朋禄, 松島恭治, 角江崇, 伊藤智義, 波面記録法とウェーブレット変換を用いたホログラム計算の高速化, 3 次元画像コンファレンス 2017, 千葉 (2017.7).
- (54) 西川凌, 土岡智旭, 松島恭治, 光源スイッチング方式ホログラフィックディスプレイにおけるカラーフィルタを用いたカラー再生の検討, 3 次元画像コンファレンス 2017, P-1, 千葉 (2017.7).
- (55) 増地将哉, 松島恭治, 棟安実治, 線形・非線形量子化による光波データ量の削減, 3 次元画像コンファレンス 2017, P-2, 千葉 (2017.7).
- (56) 齋藤智崇, 松島恭治, デニシユク型光学系を用いた波面プリンタの基礎研究, 3 次元画像コンファレンス 2017, P-3, 千葉 (2017.7).
- (57)* 土岡智旭, 西川凌, 松島恭治, 光源スイッチング方式ホログラフィックディスプレイにおける偏光マスクの改良と拡張, 3 次元画像コンファレンス 2017, P-4, 千葉 (2017.7).
- (58)* 中尾弘希, 松島恭治, フルカラー高解像度体積型 CGH の作成, 3 次元画像コンファレンス 2017, P-10, 千葉 (2017.7).
- (59)* 土岡智旭, 西川凌, 松島恭治, 時分割電子ホログラフィにおける再生像の改善, 第 21 回関西大学先端

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1311042

- 科学技術シンポジウム, ポスターNo.2, 大阪 (2017.1).
- (60)* 園部徳晃, 土山泰裕, 松島恭治, フルカラーデジタイズドホログラフィ, 第 21 回関西大学先端科学技術シンポジウム, ポスターNo.3, 大阪 (2017.1).
- (61) 松島恭治, 中原住雄, コンピュータホログラフィによる自然で奥行き深い 3 次元画像の生成, 平成 28 年電気関係学会関西連合大会, 大阪 (2016.11). [招待講演]
- (62)* 園部徳晃, 土山泰裕, 松島恭治, フルカラーデジタイズドホログラフィによる CG モデルと実在物のハイブリッドシーンの再生, Optics & Photonics Japan 2015, 東京 (2016.11).
- (63)* 五十嵐俊亮, 中村友哉, 松島恭治, 山口雅浩, 正射影光線サンプリング面を用いた計算機合成ホログラムによる質感表現, 映像情報メディア学会研究会, 東京, (2016.10).
- (64)* 伊藤真人, 松島恭治, 山口雅浩, 光線サンプリング面の手法を用いて合成した実物体の高解像度計算機合成ホログラム, 3 次元画像コンファレンス 2016, 大阪 (2016.7). [優秀論文賞]
- (65) 中辻憲昭, 松島恭治, 伊藤智義, 下馬場朋禄, 高解像度計算機合成ホログラムにおける点光源法とポリゴン法による速度・画質比較, 3 次元画像コンファレンス 2016, 大阪 (2016.7).
- (66)* 東野好伸, 土岡智旭, 松島恭治, 光源スイッチング方式時分割電子ホログラフィにおける偏光特性を用いた高次回折像軽減, 3 次元画像コンファレンス 2016, 大阪 (2016.7).
- (67)* 園部徳晃, 土山泰裕, 松島恭治, フルカラーデジタイズドホログラフィとその光学再生像, 3 次元画像コンファレンス 2016 講演, 大阪 (2016.7).
- (68)* 土山泰裕, 松島恭治, 中原住雄, 坂本雄児, フルカラー高解像度 CGH 用カラーフィルタの設計とその光学再生像, 3 次元画像コンファレンス 2016, 大阪 (2016.7).
- (69) 五十嵐俊亮, 中村友哉, 松島恭治, 山口雅浩, 正射影光線サンプリング面による大規模計算機合成ホログラムの分割計算, 第 9 回計算光学研究会, 東京 (2016.7).
- (70)* 土山泰裕, 松島恭治, 中原住雄, 高解像度計算機合成ホログラムのフルカラー化, 第 20 回関西大学先端科学技術シンポジウム, ポスターNo.8, 大阪 (2016.1).
- (71)* 東野好伸, 土岡智旭, 松島恭治, 電子ホログラフィの解像度拡大, 第 20 回関西大学先端科学技術シンポジウム, ポスターNo.9, 大阪 (2016.1).
- (72)* 松島恭治, 中原住雄, 井伊美穂, 石井勢津子, 山口雅浩, 坂本雄児, 伊藤智義, 下馬場朋禄, 計算機合成ホログラム出力センタの設立とその活動 — 関大デジタルホロススタジオにおける取り組み —, 超臨場感コミュニケーション産学官フォーラム, 超臨場感立体映像技術に関する調査 WG セミナー2, 東京 (2015.11). [招待講演]
- (73)* 土山泰裕, 松島恭治, 中原住雄, 坂本雄児, カラーフィルタ方式フルカラー高解像度計算機合成ホログラムの再生シミュレーション, Optics & Photonics Japan 2015, 東京 (2015.10).
- (74)* 東野好伸, 土岡智旭, 松島恭治, 光源スイッチング時分割方式による電子ホログラフィの視域拡大, Optics & Photonics Japan 2015, 東京 (2015.10).
- (75) 松島恭治, コンピュータホログラフィによる空間立体像の生成, 電子情報通信学会スマートインフォメディアシステム研究会, 大阪 (2015.9). [招待講演]
- (76)* 土山泰裕, 松島恭治, 中原住雄, 坂本雄児, カラーフィルタ方式によるフルカラー高解像度計算機合成ホログラムの作成, 3 次元画像コンファレンス 2015, 神奈川 (2015.7).
- (77)* 東野好伸, 上月拓弥, 松島恭治, 高フレームレート SLM を用いた光源スイッチング方式時分割電子ホログラフィ, 3 次元画像コンファレンス 2015, 神奈川 (2015.7).
- (78)* 園部徳晃, 土山泰裕, 松島恭治, フルカラーデジタイズドホログラフィと自由視点画像のための高解像度光波の取得, 3 次元画像コンファレンス 2015, 神奈川 (2015.7).
- (79)* 松島恭治, 中原住雄, コンピュータホログラフィの研究を支援する関大デジタルホロススタジオ, 第 19 回関西大学先端科学技術シンポジウム, 大阪 (2015.1).
- (80)* 宮岡貴史, 松島恭治, 中原住雄, Kinect Fusion を用いた高解像度フルカラー CGH の作成と再生, 3 次元画像コンファレンス 2014, 東京 (2014.7).
- (81) 増田幸勇, 松島恭治, 中原住雄, スイッチバック法を用いたポリゴン単位隠面消去処理の性能とその改良, 3 次元画像コンファレンス 2014, 東京 (2014.7).
- (82)* 宮岡貴史, 松島恭治, 中原住雄, 高解像度コンピュータホログラフィにおけるフルカラー化の試み, 第 18 回関西大学先端科学技術シンポジウム, 大阪 (2014.1).
- (83)* 増田幸勇, 松島恭治, 中原住雄, 高解像度コンピュータホログラフィにおける光波の回転変換を用いた厳密な光波遮蔽法, Optics & Photonics Japan 2013, 奈良 (2013.11).
- (84) 西井渉, 松島恭治, 位相型 SLM の複素振幅変調効果を用いた波面プリンタのノイズ軽減, Optics & Photonics Japan 2013, 奈良 (2013.11).
- (85) 藤田大知, 松島恭治, 中原住雄, デジタイズドホログラフィにおけるオクルージョンエラーの軽減手法, Optics & Photonics Japan 2013, 奈良 (2013.11).
- (86) 西井渉, 岩田直大, 松島恭治, 体積型 CGH 描画用波面プリンタにおける疑似複素振幅変調の効果, 3

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1311042

次元画像コンファレンス 2013, 東京 (2013.7).

- (87)* 増田幸勇, 松島恭治, 中原住雄, 高解像度コンピュータホログラフィにおける厳密な光波遮蔽, 3次元画像コンファレンス 2013, 東京 (2013.7).
- (88)* 村田峻平, 松島恭治, 中原住雄, コンピュータホログラフィのためレンダリングソフトウェアツールの開発, 3次元画像コンファレンス 2013, 東京 (2013.7).
- (89) 宮岡貴史, 松島恭治, 中原住雄, 高解像度 CGH のフルカラー再生のための色収差低減手法, 3次元画像コンファレンス 2013, 東京 (2013.7).

(1b) 撮像技術開発に関する成果は以下の通りである。(47 件)

[国際学会]

- (90) T. Tahara, R. Otani, Y. Arai, Y. Takaki, Multidimensional imaging with phase-shifting interferometry, The 7th Korea-Japan Workshop on Digital Holography and Information Photonics, Inv21p-3, South Korea (2017.12) [invited].
- (91) T. Tahara, T. Gotohda, R. Otani, Y. Takaki, Investigation of image quality against bit depth in phase-shifting interferometry selectively extracting multiwavelength information, The 24th Congress of the International Commission for Optics, Th1F-06, Tokyo, Japan (2017.8).
- (92) T. Tahara, R. Otani, Y. Takaki, Three-wavelength digital holographic microscopy with seven wavelength-multiplexed holograms and arbitrary symmetric phase shifts, Digital Holography and Three-Dimensional Imaging, South Korea (2017.5).
- (93) T. Tahara, T. Kanno, Y. Arai, T. Ozawa, Incoherent digital holography system utilizing single-shot phase-shifting interferometry, Biomedical Imaging and Sensing Conference, Proc. SPIE 10251, 102510F, Kanagawa, Japan (2017.4). [Best Paper Award 受賞]
- (94) T. Tahara, R. Otani, K. Omae, Y. Arai, Y. Takaki, Three-wavelength phase-shifting interferometry selectively extracting wavelength information from wavelength-multiplexed images with arbitrary symmetric phase shifts, Biomedical Imaging and Sensing Conference, Proc. SPIE 1025111, Kanagawa, Japan (2017.4).
- (95) T. Kaku, I. Sato, S. Lee, T. Ito, O. Iwata, Y. Arai, Y. Ozeki, K. Goda, T. Tahara, Simultaneous three-wavelength holographic motion-picture imaging by multi-wavelength digital holography with dual reference arms, International Symposium on Optomechatronic Technology 2016, B5-2 Tokyo, Japan (2016.11).
- (96) T. Kaku, T. Tahara, Y. Arai, Simultaneous high-speed three-dimensional motion-picture recording of multiple visible and invisible wavelengths by digital holography, The 31st International Congress on High-Speed Imaging and Photonics, IP-22, Osaka, Japan (2016.11).
- (97) T. Tahara, K. Omae, R. Otani, Y. Arai, Y. Takaki, Relationship between the image quality and constant phase shifts in phase-shifting interferometry selectively extracting wavelength information, JSAP-OSA Joint Symposia 2016, 14a-C301-2, Niigata, Japan (2016.9).
- (98) T. Tahara, T. Shimobaba, T. Ito, Image-reconstruction algorithm with no use of Fourier transform in interferometric imaging using spatial frequency-division multiplexing, 2016 Imaging and Applied Optics, JW4A.35, Germany (2016.7).
- (99) T. Tahara, R. Otani, Y. Arai, Y. Takaki, Multiwavelength digital holography based on phase-division multiplexing using arbitrary symmetric phase shifts, Imaging and Applied Optics 2016, DW5E.2, Germany (2016.7).
- (100) T. Tahara, K. Omae, R. Otani, Y. Arai, Y. Takaki, Algorithm for removing the limitation of intensity ratio in four-step dual-wavelength digital holography based on phase-division multiplexing, The 2nd Biomedical Imaging and Sensing Conference 2016, BISCp6-9, Kanagawa, Japan (2016.4).
- (101) T. Tahara, R. Otani, Y. Arai, Y. Takaki, Multi-wavelength digital holography based on phase-division multiplexing, International Workshop on Holography and Related Technologies 2015, Okinawa, Japan (2015.12).
- (102) T. Tahara, R. Mori, Y. Arai, Y. Takaki, Four-step in-line digital holography simultaneously sensing dual-wavelength information using wavelength-multiplexed holograms, JSAP-OSA Joint Symposia 2015, Aichi, Japan (2015.9).
- (103)* T. Tahara, Y. Arai, Y. Takaki, Multiwavelength 3-D imaging based on phase-division multiplexing, 5th Japan-Korea Workshop on Digital Holography and Information Photonics, Korea (2015.9). [招待講演]
- (104)* T. Tahara, T. Kaku, Y. Arai, Single-shot multispectral digital holographic microscopy, 14th Workshop on Information Optics, Kyoto, Japan (2015.6). [招待講演]
- (105) T. Tahara, T. Kaku, Y. Arai, Simultaneous high-speed motion-picture sensing of visible and invisible light with a monochromatic image sensor by using digital holography, Digital Holography and Three-Dimensional Imaging, China (2015.5).
- (106)* T. Tahara, Y. Arai, Single-shot multiwavelength digital holography using a monochromatic image sensor and a single reference beam, Optics & Photonics Taiwan, International Conference – Annual Meeting of Taiwan Photonics Society, Taiwan (2014.12). [招待講演]

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1311042

- (107) T. Tahara, T. Kaku, Y. Arai, Multiwavelength digital holography utilizing the space-bandwidth capacity-enhance, SPIE/COS Photonics Asia, China (2014.10).
- (108) T. Tahara, T. Kaku, Y. Arai, Single-shot color digital holography based on spatial frequency-division multiplexing and space-bandwidth capacity-enhance, JSAP-OSA Joint Symposia 2014, Hokkaido, Japan (2014.9).
- (109) T. Tahara, S. Kikunaga, Y. Arai, Y. Takaki, Phase-shifting interferometry capable of selectively extracting multiple wavelength information and its applications to sequential and parallel phase-shifting digital holography, Digital Holography and Three-Dimensional Imaging 2014, USA (2014.7).
- (110) T. Tahara, P. Xia, Y. Awatsuji, K. Nishio, S. Ura, T. Kubota, O. Matoba, Multi-parameter motion-picture recording with wide space-bandwidth by parallel phase-shifting digital holography, SPIE DSS Three-Dimensional Imaging, Visualization, and Display 2014, USA, (2014.5). [招待講演]
- (111) T. Tahara, Y. Arai, Extension of the Space-bandwidth Product in Single-shot Multiwavelength Interferometry Using a Single Reference Beam, Biomedical Imaging and Sensing Conference 2014, Kanagawa, Japan (2014.4).
- (112) T. Tahara, P. Xia, T. Kakue, Y. Awatsuji, K. Nishio, S. Ura, T. Kubota, O. Matoba, 3-D motion-picture recording by parallel phase-shifting digital holographic microscopy, 2013 International Conference on Optical Instrument and Technology, China (2013.11). [招待講演]
- (113) T. Tahara, Y. Arai, Space-bandwidth extension in single-shot off-axis digital holography using dual-wavelength phase unwrapping, JSAP-OSA Joint Symposia 2013, Kyoto, Japan (2013.9)

[国内学会]

- (114) 田原樹, 赤松孝則, 新井恭彦, 下馬場朋禄, 伊藤智義, 角江崇, 空間周波数分割多重記録を行なうデジタルホログラフィにおける高速像再生アルゴリズム, ホログラフィック・ディスプレイ研究会 (HODIC)2017 年第4回研究会, 3, 石川 (2017.11). [招待講演]
- (115) 田原樹, 大谷礼雄, 新井恭彦, 小澤岳昌, 高木康博, 位相シフト干渉法を用いた波長情報の取得と自然光の単一露光デジタルホログラフィックイメージング, Optics and Photonics Japan 2017, 1aE55, 東京 (2017.11).
- (116) 田原樹, 大谷礼雄, 高木康博, 波長選択抽出位相シフトデジタルホログラフィック顕微鏡法, 3次元画像コンファレンス 2017, 千葉 (2017.7). (採録決定済)
- (117) 加来徹, 田原樹, 佐藤いまり, L. SangWook, 伊藤卓郎, 岩田修, 新井恭彦, 2参照光路を用いる複数波長デジタルホログラフィによる3波長同時ホログラフィック動画イメージング, 2016年度精密工学会秋季大会, B03, 茨城 (2016.9).
- (118) 田原樹, 大前快人, 大谷礼雄, 新井恭彦, 高木康博, 位相分割多重方式に基づくマルチカラーデジタルホログラフィ, 3次元画像コンファレンス 2016, 大阪 (2016.7). [2016年度優秀論文賞]
- (119) 田原樹, 森亮太, 新井恭彦, 高木康博, 位相分割多重記録に基づく2波長並列5段階位相シフトデジタルホログラフィ, レーザー学会学術講演会第36回年次大会, 愛知 (2016.1).
- (120) 田原樹, 大谷礼雄, 新井恭彦, 高木康博, 緩和された条件下で波長情報を位相分割多重記録するデジタルホログラフィ, Optics and Photonics Japan 2015, 東京 (2015.10).
- (121) 田原樹, 下馬場朋禄, 伊藤智義, 空間周波数分割多重記録を行なうデジタルホログラフィにおける簡素な像再生アルゴリズム, Optics and Photonics Japan 2015, 東京 (2015.10).
- (122) 田原樹, 新井恭彦, 高木康博, 位相分割多重記録に基づく複数波長イメージング, Optics and Photonics Japan 2015, 東京 (2015.10).
- (123) 田原樹, 森亮太, 新井恭彦, 高木康博, 波長情報を選択的抽出可能な位相シフトデジタルホログラフィの実証, 3次元画像コンファレンス 2015, 神奈川 (2015.7).
- (124) 加来徹, 田原樹, 新井恭彦, 複数波長デジタルホログラフィック顕微鏡法による4波長同時4.2万fps 3次元動画記録, 3次元画像コンファレンス 2015, 神奈川 (2015.7).
- (125) 田原樹, デジタルホログラフィ顕微鏡, Senspec2015 光応用技術シンポジウム, 神奈川 (2015.6). [招待講演]
- (126) 田原樹, 加来徹, 新井恭彦, 50°超の入射角をなす単一参照光路を用いる単一露光複数波長デジタルホログラフィ, Optics and Photonics Japan 2014, 東京 (2014.11).
- (127) 田原樹, 森亮太, 菊永修平, 新井恭彦, 高木康博, 波長情報を選択的抽出可能な位相シフト干渉法におけるホログラム記録枚数低減, Optics and Photonics Japan 2014, 東京 (2014.11).
- (128) 田原樹, 加来徹, 高橋祐樹, 新井恭彦, 高木康博, 位相を利用し多波長情報を取得するデジタルホログラフィ, Optics and Photonics Japan 2014, 東京 (2014.11).
- (129) T. Tahara, T. Kaku, Y. Arai, Y. Takaki, Digital holography for simultaneously sensing multiple wavelength information, 第5回デジタルオプティクス研究会 CIS-Japan Collaboration Symposium, 東京 (2014.11).

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1311042

- (130) 田原樹, 加来徹, 新井恭彦, 単色撮像素子と単一参照ビームを用いるシングルショットカラーデジタルホログラフィ, 精密工学会 2014 年秋季大会, 鳥取 (2014.9).
- (131) *田原樹, 多次元画像情報を同時記録するホログラフィ, 第 23 回 日本バイオイメージング学会学術集会, 大阪 (2014.9). [招待講演]
- (132) 田原樹, 高橋祐樹, 新井恭彦, デジタルホログラフィにおける逆フィルタ補正による画質向上, 第 39 回光学シンポジウム, 東京 (2014.6).
- (133) 田原樹, 新井恭彦, 単一参照ビームを用いる単一露光複数波長位相接続法における空間帯域幅積拡大法, 2014 年 第 61 回 応用物理学会春季学術講演会, 神奈川 (2014.3).
- (134) 田原樹, 新井恭彦, 角度多重記録を用いる多波長位相接続法における空間周波数帯域拡張法, Optics and Photonics Japan 2013, 奈良 (2013.11).
- (135) 田原樹, 菊永修平, 新井恭彦, 高木康博, 波長情報の選択的抽出可能な位相シフト干渉法と単一単色撮像素子を用いたカラー3次元イメージング, Optics and Photonics Japan 2013, 奈良 (2013.11).
- (136) 田原樹, 新井恭彦, デジタル信号の周期性を利用するデジタルホログラフィ~エイリアシングの導入による利害~, ホログラフィック・ディスプレイ研究会/映像情報メディア学会, 千葉 (2013.9)

(2a) 立体音響技術開発に関する成果は以下の通りである。(49 件)

[国際学会]

- (137) K. Iwai, Y. Kajikawa, Modification of Second-Order Nonlinear IIR Filter for Compensating Linear and Nonlinear Distortions of Electrodynamic Loudspeaker, 25th European Signal Processing Conference, Greece (2017.8).
- (138) *S. Edamoto, C. Shi, Y. Kajikawa, Virtual Sensing Technique for Feedforward Active Noise Control, 5th Joint Meeting of the Acoustical Society of America and Acoustical Society of Japan, USA (2016.12).
- (139) *S. Edamoto, C. Shi, Y. Kajikawa, Directional feedforward ANC system with virtual sensing technique, 2016 International Workshop on Smart Info-Media Systems in Asia, Thailand (2016.9).
- (140) *S. Kinoshita, Y. Kajikawa, Integrated direct sub-band adaptive Volterra filter and its application to identification of loudspeaker Nonlinearity, 2016 24th European Signal Processing Conference, Hungary (2016.8).
- (141) K. Fujii, M. Muneyasu, A method stably working feedback type active noise control system for preventive panel of sound leakage, 45th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering, Germany (2016.8).
- (142) *C. Shi, Y. Kajikawa, Automatic Gain Control for Parametric Array Loudspeakers, 2016 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, China (2016.3).
- (143) *C. Shi, Y. Kajikawa, Synthesis of Volterra Filters for the Parametric Array Loudspeker, 2016 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, China (2016.3).
- (144) *Y. Hatano, C. Shi, S. Kinoshita, Y. Kajikawa, Linearization of the Parametric Array Loudspeaker upon Varying Input Amplitudes, Asia-Pacific Signal and Information Processing Association 2015 Annual Summit and Conference, China (2015.12).
- (145) *Y. Hatano, C. Shi, S. Kinoshita, Y. Kajikawa, A study on Compensating for the Distortion of the Parametric Array Loudspeaker with Changing Nonlinearity, 12th Western Pacific Acoustics Conference, Singapore (2015.12).
- (146) *C. Shi, Y. Kajikawa, Fast Evaluation of Preprocessing Methods of the Parametric Array Loudspeaker, 12th Western Pacific Acoustics Conference, Singapore (2015.12).
- (147) *Y. Hatano, C. Shi, S. Kinoshita, Y. Kajikawa, A Linearization System for Parametric Array Loudspeakers Using the Parallel Cascade Volterra Filter, 23rd European Signal Processing Conference, France (2015.9).
- (148) *C. Shi, Y. Kajikawa, Ultrasound-to-Ultrasound Volterra Filter Identification of the Parametric Array Loudspeaker, 2015 IEEE International Conference on Digital Signal Processing, Singapore (2015.7).
- (149) K. Fujii, M. Muneyasu, A study on feedback path estimation method for feedforward type active noise control, 22th International Congress on Sound and Vibration, #416, Italy (2015.7).
- (150) *C. Shi, Y. Kajikawa, Identification of the Parametric Array Loudspeaker with a Volterra Filter Using the Sparse NLMS Algorithm, 2015 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 3372-3376, Australia (2015.4).
- (151) *C. Shi, Y. Kajikawa, A Comparative Study of Preprocessing Methods in the Parametric Loudspeaker, Asia-Pacific Signal and Information Processing Association 2014 Annual Summit and Conference, Cambodia (2014.12).
- (152) *K. Tanaka, C. Shi, Y. Kajikawa, Multi-channel Active Noise Control Using Parametric Array Loudspeakers, Asia-Pacific Signal and Information Processing Association 2014 Annual Summit and Conference, Cambodia (2014.12).

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1311042

- (153) *Y. Hatano, C. Shi, Y. Kajikawa, A Study on Linearization of Nonlinear Distortions in Parametric Array Loudspeakers, 2014 International Workshop on Smart Info-Media Systems in Asia (SISA2014), Vietnam (2014.10).
- (154) *K. Tanaka, C. Shi, Y. Kajikawa, Study on Active Noise Control System Using Para-metric Array Loudspeakers, Forum Acusticum 2014, Poland (2014.9).

[国内学会]

- (155) 岩居健太, 山岸昌夫, 梶川嘉延, 非凸二次制約付き最適化による Mirror フィルタのパラメータ推定の推定精度向上に関する検討, 第 32 回信号処理シンポジウム, 岩手 (2017.11).
- (156) 藤井健作, 棟安実治, 能動騒音制御下における帰還系の再推定法に関する検討, 日本音響学会春季研究発表会, 1-P-1, 東京 (2017.3).
- (157) *枝元祥馬, 史創, 梶川嘉延, ヘッドレスト ANC システムの実現に向けた検討, 電子情報通信学会信号処理研究会, 沖縄 (2017.3).
- (158) *岩居健太, 山岸昌夫, 梶川嘉延, 非凸二次制約付き最適化を利用した Mirror フィルタのパラメータ推定～実測振動板変位を用いた推定, 電子情報通信学会信号処理研究会, 沖縄 (2017.3).
- (159) *今元涼介, 史創, 梶川嘉延, 室内パラメトリックアレイの空間伝搬についての検討, 電子情報通信学会信号処理研究会, 沖縄 (2017.3).
- (160) 藤井健作, 棟安実治, 能動騒音制御下における帰還系再推定法に関する検討, 応用音響研究会, 45, EA2016-78, 京都 (2017.1).
- (161) *岩居健太, 山岸昌夫, 梶川嘉延, 非凸二次制約付き最適化を利用した Mirror フィルタのパラメータ推定法, 第 31 回信号処理シンポジウム, 大阪 (2016.11).
- (162) *枝元祥馬, 梶川嘉延, バーチャルセンシングを用いたフィードフォワード ANC システムにおける経路追従性に関する検討, 第 31 回信号処理シンポジウム, 大阪 (2016.11).
- (163) *岩居健太, 梶川嘉延, 動電型スピーカの線形特性の補正を可能にする非線形 IIR フィルタ構造, 日本音響学会 2016 年秋季研究発表会, 富山 (2016.9).
- (164) 藤井健作, 棟安実治, 巡回型予測のフィードバック型能動騒音制御への適用効果について, 日本音響学会 2017 年秋季研究発表会, 1-P-29, 富山 (2016.9).
- (165) *枝元祥馬, 史創, 梶川嘉延, バーチャルセンシングを用いたフィードフォワード ANC システムに関する検討, 電子情報通信学会信号処理研究会, 青森 (2016.6).
- (166) *羽田野佑太, 木下聡, 史創, 梶川嘉延, パラメトリックスピーカの 2 次非線形歪み補正効果の聴感上での評価, 電子情報通信学会技術研究報告 信号処理, 大分 (2016.3).
- (167) *別所宏晃, 史創, 梶川嘉延, パラメトリックスピーカの音場特性解析に関する検討, 電子情報通信学会技術研究報告 信号処理, 大分 (2016.3).
- (168) *羽田野佑太, 木下聡, 史創, 梶川嘉延, パラメトリックスピーカの歪み補正に関する検討, 第 30 回信号処理シンポジウム, 福島 (2015.11).
- (169) *C. Shi, Y. Kajikawa, Objective Evaluation of Preprocessing Methods of the Parametric Array Loudspeaker, 日本音響学会 2015 年秋季研究発表会, 福島 (2015.9).
- (170) 藤井健作, 棟安実治, ハンズフリー通話システムの安定動作の検証に不可欠なレベルダイヤグラムに関する検討, 応用音響研究会, 東京 (2015.7).
- (171) 藤井健作, 棟安実治, エコー経路の変化とダブルトークを識別して通話回路に挿入する減衰量を調整する音響エコーキャンセラ用適応アルゴリズム, 応用音響研究会, 東京 (2015.7).
- (172) *羽田野佑太, 木下聡, 史創, 梶川嘉延, パラメトリックスピーカにおける非線形歪み補正に関する検討～被変調信号の振幅を変えた場合について～, 電子情報通信学会信号処理研究会, 北海道 (2015.6).
- (173) *C. Shi, Y. Kajikawa, Investigation of Using Volterra Filters to Model a Parametric Array Loudspeaker, 日本音響学会 2015 年春季研究発表会, 東京 (2015.3).
- (174) *羽田野佑太, 史創, 梶川嘉延, Volterra フィルタによるパラメトリックスピーカの 3 次非線形歪みの補正, 日本音響学会 2015 年春季研究発表会, 東京 (2015.3).
- (175) *羽田野佑太, 木下聡, 史創, 梶川嘉延, パラメトリックスピーカにおける非線形歪み補正に関する検討～Volterra フィルタの演算量削減と補正効果について～, 電子情報通信学会信号処理研究会, 沖縄 (2015.3).
- (176) *田中貴大, 史創, 梶川嘉延, 工場内騒音に対するパラメトリックスピーカを用いたマルチチャンネル ANC システムの有効性に関する検討, 電子情報通信学会信号処理研究会, 沖縄 (2015.3).
- (177) *C. Shi, Y. Kajikawa, Evaluation of Modified Amplitude Modulation Methods in the Parametric Array Loudspeaker, 電子情報通信学会信号処理研究会, 沖縄 (2015.3).
- (178) *田中貴大, 史創, 梶川嘉延, パラメトリックスピーカによる低演算量マルチチャンネル ANC システムの実現に関する検討, 第 29 回信号処理シンポジウム, 京都 (2014.11).

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1311042

- (179) *C. Shi, Y. Kajikawa, Volterra Filters for Representing the Parametric Acoustic Array in Air, 第 29 回信号処理シンポジウム, 京都 (2014.11).
- (180) *羽田野佑太, 史創, 梶川嘉延, パラメトリックスピーカにおける非線形歪み補正に関する検討, 第 29 回信号処理シンポジウム, 第 29 回信号処理シンポジウム, 京都 (2014.11).
- (181) *C. Shi, Y. Kajikawa, A Preprocessing Method for the Parametric Array Loudspeaker, 電子情報通信学会 2014 年ソサイエティ大会, 徳島 (2014.9).
- (182) *田中貴大, 史創, 梶川嘉延, パラメトリックスピーカを用いたマルチチャンネル ANC システムに関する検討, 電子情報通信学会信号処理研究会, 大阪 (2014.7).
- (183) *田中貴大, 梶川嘉延, アクティブノイズコントロールにおける付加的技術について, 第 58 回システム制御情報学会研究発表講演会, 京都 (2014.5).
- (184) *田中貴大, 梶川嘉延, パラメトリックスピーカを用いた ANC システムの各種検討, 第 28 回信号処理シンポジウム, 沖縄 (2013.11).
- (185) *田中貴大, 梶川嘉延, パラメトリックスピーカを用いた ANC システムの実現方法に関する検討, 電子情報通信学会 2013 年ソサイエティ大会, 福岡 (2013.9).

(1c) ホログラムデータ圧縮開発に関する成果は以下の通りである。(20 件)

[国際学会]

- (186) T. Nishigaito, M. Muneyasu, K. Matsushima, S. Yoshida, A. Taguchi, A New Method of Lossless Coding for Binary Holographic Interference Fringes, 2017 International Workshop on Smart Info-Media Systems in Asia, RS1-1, Fukuoka, Japan (2017.9).
- (187) S. Oohara, Y. Ikeshita, M. Muneyasu, S. Yoshida, M. Nakashizuka, Image Regularization with Morphological Gradient Priors Using Optimization of Structuring Element, 2017 International Workshop on Smart Info-Media Systems in Asia, RS1-13, Fukuoka, Japan (2017.9).
- (188) T. Fujii, S. Yoshida, M. Muneyasu, Feedback assisted multi-modality reranking for Web video search, 2017 International Workshop on Smart Info-Media Systems in Asia, RS1-16, Fukuoka, Japan (2017.9).
- (189) M. Liji, M. Muneyasu, K. Matsushima, S. Yoshida, A. Taguchi, Lossy Coding of Wave-Field Data Using Singular Value Decomposition, 2017 International Workshop on Smart Info-Media Systems in Asia, RS2-7, Fukuoka, Japan (2017.9).
- (190) Y. Ikeshita, M. Muneyasu, M. Nakashizuka, S. Yoshida, Image Regularization with Morphological Gradient Priors Considering Optimization of SE, 2017 Taiwan and Japan Conference on Circuits and Systems, 4, Okayama, Japan (2017.8).
- (191) S. Abe, M. Muneyasu, S. Yoshida, A Design Technique of Impulse Detector Using Neural Network, 2017 Taiwan and Japan Conference on Circuits and Systems, 19, Okayama, Japan (2017.8).
- (192) K. Fujii, M. Muneyasu, A Method for Re-estimating Feedback Path under Active Noise Control, 24th International Congress on Sound and Vibration, United Kingdom (2017.7).
- (193) S. Yoshida, T. Ogawa, M. Haseyama, M. Muneyasu, Heterogeneous graph-based topic learning for web video search reranking, 2016 International Workshop on Smart Info-Media Systems in Asia, RS1-8, Thailand (2016.9).
- (194) T. Nishigaito, M. Muneyasu, K. Matsushima, A. Taguchi, Lossless compression algorithm for binary holographic interference fringes based on run-length coding, 2016 International Workshop on Smart Info-Media Systems in Asia, RS2-1, Thailand (2016.9).

[国内学会]

- (195) 藤井健作, 棟安実治, 適応フィルタの係数収束検知法の提案, 第 32 回信号処理シンポジウム, P-2, 岩手 (2017.11).
- (196) 西垣内崇宏, 棟安実治, 松島恭治, 吉田壮, 田口亮, 2 値ホログラフィ干渉縞データの非可逆圧縮の一手法, スマートインフォメディアシステム研究会, 奈良 (2017.10).
- (197) 藤井健作, 棟安実治, 音響経路推定完了検知法に関する検討, 日本音響学会秋季研究発表会, 2-P-29, 愛媛 (2017.9).
- (198) 吉岡真一郎, 棟安実治, 吉田壮, 特徴点軌跡とパーティクルフィルタによる動作認識の一手法, 2017 年電子情報通信学会ソサイエティ大会, 東京 (2017.9).
- (199) 大原翔矢, 池下雄大, 棟安実治, 吉田壮, 中静真, GA による構造要素の最適化を用いたモルフォロジカル勾配に基づく画像の正則化, スマートインフォメディアシステム研究会, SIS2017-3, 大分 (2017.6).
- (200) *茅立基, 棟安実治, 松島恭治, 吉田壮, 田口亮, 固有値分解を用いた光波データの圧縮, 第 21 回関西大学先端科学技術シンポジウム, 大阪 (2017.1).
- (201) *茅立基, 棟安実治, 松島恭治, 吉田壮, 田口亮, 特異値分解による光波データの非可逆圧縮, スマートインフォメディアシステム研究会, SIS2016-30, 広島 (2016.12).
- (202) 吉田壮, 小川貴弘, 長谷山美紀, Web 映像検索を目的としたリランキングの高精度化に関する検討,

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1311042

電子情報通信学会ソサイエティ大会, A-15-5, 北海道 (2016.9).

- (203) *棟安実治, 松島恭治, 田口亮, 2 値ホログラム干渉縞データのロスレス符号化の検討, 第 20 回関西大学先端科学技術シンポジウム, 大阪 (2016.1).
- (204) *西垣内崇宏, 棟安実治, 松島恭治, 田口亮, 2 値ホログラフィ干渉縞のロスレス符号化に関する検討, 電子情報通信学会スマートインフォメディアシステム研究会, 大阪 (2014.9).
- (205) *棟安実治, 松島恭治, 画像圧縮と CGH, 第 18 回関西大学先端科学技術シンポジウム, 大阪 (2014.1).

(2c) 伝送技術開発に関する成果は以下の通りである。(11 件)

[国際学会]

- (206) *T. Nagata, N. Nakamura, M. Miyatake, A. Yuuki, H. Yomo, T. Kawabata, S. Hara, VO₂ estimation using 6-axis motion sensor with sports activity classification, 38th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, ThCT13.1, USA (2016.8).
- (207) *N. Nakamura, T. Nagata, M. Miyatake, A. Yuuki, H. Yomo, T. Kawabata, S. Hara, Applying neural network to VO₂ estimation using 6-axis motion sensing data, 38th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, ThCT13.2, USA (2016.8).
- (208) *M. Miyatake, N. Nakamura, T. Nagata, A. Yuuki, H. Yomo, T. Kawabata, S. Hara, VO₂ Estimation using 6-axis Motion Sensing Data, 10th International Symposium on Medical ICT, USA (2016.3).
- (209) *H. Yomo, D. Nakamura, S. Hara, Human Group Sensing and Networking: Scenario Development and Feasibility Study, 9th International Symposium on Medical ICT, Kanagawa, Japan (2015.3).

[国内学会]

- (210) 三木智仁, 四方博之, K. Huang, C. Stefanovic, P. Popovski, ウェイクアップ受信機適用無線センサネットワークのためのコンテンツベースウェイクアップ法の提案と評価, 電子情報通信学会知的環境とセンサネットワーク研究会, ASN2017-63, 山形 (2017.11).
- (211) *結城祥, 四方博之, AP の通信負荷を考慮した AP 選択型遅延オフロード法, 2017 年電子情報通信学会総合大会, B-15-14, 愛知 (2017.3).
- (212) *宮武聖人, 永田貴志, 中村直耀, 結城祥, 四方博之, 河端隆志, 原晋介, モーションセンサを用いた運動者の酸素摂取量推算-実験概要と基本特性評価-, 2016 年電子情報通信学会総合大会, 福岡 (2016.3).
- (213) *結城祥, 永田貴志, 中村直耀, 宮武聖人, 四方博之, 河端隆志, 原晋介, モーションセンサを用いた運動者の酸素摂取量推算-6 軸データの活用-, 2016 年電子情報通信学会総合大会, 福岡 (2016.3).
- (214) *永田貴志, 中村直耀, 宮武聖人, 結城祥, 四方博之, 河端隆志, 原晋介, モーションセンサを用いた運動者の酸素摂取量推算-決定木を用いた運動分類の有効性-, 2016 年電子情報通信学会総合大会, 福岡 (2016.3).
- (215) *中村直耀, 永田貴志, 宮武聖人, 結城祥, 四方博之, 河端隆志, 原晋介, モーションセンサを用いた運動者の酸素摂取量推算-ニューラル ネットワークの適用-, 2016 年電子情報通信学会総合大会, 福岡 (2016.3).
- (216) *岡本裕太, 四方博之, 生活行動・移動パターンを活用した WiFi オフロード法, 2014 年電子情報通信学会総合大会, 新潟 (2014.3).

(2d) アプリケーションシステムの開発に関する成果は以下の通りである。(20 件)

[国際学会]

- (217) Y. Fuse, H. Takenouchi, M. Tokumaru, A Robot Model in Limited Scenarios to Create a Suitable Decision-making Criterion by Interacting with People in a Group, 2017 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence, #1284, USA (2017.11).
- (218) S. Ota, H. Takenouchi, M. Tokumaru, Kansei clothing retrieval system using features extracted by autoencoder, 2017 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence, #1584, USA (2017.11).
- (219) Y. Fuse, H. Takenouchi, M. Tokumaru, A Model for Robot of Decision Making for Selecting Cooperative Behaviors in a Group, The 18th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, F1c-3, Korea (2017.10).
- (220) *M. Inoue, H. Takenouchi, M. Tokumaru, Music Recommendation System Improvement Using Distributed Genetic Algorithm, 2016 Joint 8th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 2016 17th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, Hokkaido, Japan (2016.8).
- (221) *M. Tokumaru, A. Yonezawa, Nail art design system using interactive evolutionary computation with VR, 18th International Conference on Human-Computer Interaction, Canada (2016.7).
- (222) *M. Inoue, H. Takenouchi, M. Tokumaru, Music Recommendation System Using Kansei Agent and Music Fluctuation Properties, 16th International Symposium on Advanced Intelligent Systems,

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1311042

<p>Korea (2015.11).</p> <p>(223) *M. Inoue, H. Takenouchi, <u>M. Tokumaru</u>, Music Recommendation System Using Kansei Agent and Music Fluctuation Properties, 16th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, Korea (2015.11).</p> <p>(224) *M. Sakai, H. Takenouchi, <u>M. Tokumaru</u>, Design Support System with Votes from Multiple People using Digital Signage, 2014 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence, USA (2014.12).</p> <p>[国内学会]</p> <p>(225) <u>徳丸正孝</u>, 立体物を多人数で評価するための IEC システム「ホロキューブ」の試作, 日本知能情報ファジィ学会評価問題研究部会 第 22 回曖昧な気持ちに挑むワークショップ, 熊本 (2017.10).</p> <p>(226) 下野雄大, 竹之内宏, <u>徳丸正孝</u>, IEC インタフェースに向けたタッチデバイス上の操作によるユーザの嗜好推定, 日本知能情報ファジィ学会 第 33 回ファジィシステムシンポジウム, TD3-4, 山形 (2017.9).</p> <p>(227) 布施陽太郎, 竹之内宏, <u>徳丸正孝</u>, 集団内での協調的なふるまい選択のためのロボットの意思決定モデル, 日本知能情報ファジィ学会 第 33 回ファジィシステムシンポジウム, TD3-3, 山形 (2017.9).</p> <p>(228) 太田茂, 竹之内宏, <u>徳丸正孝</u>, 衣服の感性検索システムの性能と画像特徴の相関分析, 日本知能情報ファジィ学会 第 33 回ファジィシステムシンポジウム, TF1-4, 山形 (2017.9).</p> <p>(229) *太田茂, 竹之内宏, <u>徳丸正孝</u>, 深層ニューラルネットワークによる特徴抽出を用いた衣服の感性検索, 第 12 回日本感性工学会春季大会, 2D-08, 大阪 (2017.3).</p> <p>(230) *磯田太基, 竹之内宏, <u>徳丸正孝</u>, 多人数参加型 IEC のための視線投票インタフェースの検討, 第 12 回日本感性工学会春季大会, 2D-14, 大阪 (2017.3).</p> <p>(231) *太田茂, 竹之内宏, <u>徳丸正孝</u>, 衣服の感性検索システムにおける深層ニューラルネットワークの有効性の検討, 日本知能情報ファジィ学会 第 32 回ファジィシステムシンポジウム, 佐賀 (2016.8).</p> <p>(232) *曾我祐介, 竹之内宏, <u>徳丸正孝</u>, 不都合個体選択による対話型進化計算インタフェースの検討, 第 32 回ファジィシステムシンポジウム, 佐賀 (2016.8).</p> <p>(233) *坂井将之, 竹之内宏, <u>徳丸正孝</u>, デジタルサイネージを用いた複数のユーザの投票によるデザイン生成支援システム, 第 11 回日本感性工学会春季大会, 兵庫 (2016.3).</p> <p>(234) *林優太, 奥良太, 竹之内宏, <u>徳丸正孝</u>, 食材の購入を考慮した食生活支援システム, 第 31 回ファジィシステムシンポジウム, TE-1, 東京 (2015.9).</p> <p>(235) *井上正祥, 竹之内宏, <u>徳丸正孝</u>, 感性エージェントと音楽ゆらぎ特徴を用いた楽曲推薦システムの提案, 第 31 回ファジィシステムシンポジウム, TA2-4, 東京 (2015.9).</p> <p>(236) *坂井将之, 竹之内宏, <u>徳丸正孝</u>, デジタルサイネージを用いた複数のユーザの投票によるデザイン生成支援システム, 第 30 回ファジィシステムシンポジウム, 高知 (2014.9).</p>

<研究成果の公開状況> (上記以外)

<p>シンポジウム・学会等の実施状況、インターネットでの公開状況等 ※ホームページで公開している場合には、URL を記載してください。</p> <p><既に実施しているもの></p> <ul style="list-style-type: none"> ・プロジェクトホームページ http://holography.ordist.kansai-u.ac.jp/index.html ・<u>関大デジタルホロスタジオホームページ</u>*A [参考資料 4-1] http://holography.ordist.kansai-u.ac.jp/digitalholostudio/index.html ・WaveField Tools 公式ホームページ http://www.laser.ee.kansai-u.ac.jp/WaveFieldTools/index.html ・<u>関西大学先端科学技術シンポジウム</u> ・第 22 回関西大学先端科学技術シンポジウム, 関西大学 100 周年記念会館 (2018.1.18-19). ・第 21 回関西大学先端科学技術シンポジウム, 関西大学 100 周年記念会館 (2017.1.19-20). ・第 20 回関西大学先端科学技術シンポジウム, 関西大学 100 周年記念会館 (2016.1.21-22). ・第 19 回関西大学先端科学技術シンポジウム, 関西大学 100 周年記念会館 (2015.1.22-23). ・第 18 回関西大学先端科学技術シンポジウム, 関西大学 100 周年記念会館 (2014.1.23-24). (URL: http://www.kansai-u.ac.jp/ordist/symposium/index.html)

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1311042

14 その他の研究成果等

「13 研究発表の状況」で記述した論文、学会発表等以外の研究成果、企業との連携実績があれば具体的に記入してください。また、上記、11(4)に記載した研究成果に対応するものには下線及び*を付してください。

※ 論文や学会発表等になじまない研究である場合は、本欄を充実させること

<特許>

- (1) *松島恭治, 東野好伸, ホログラフィ表示装置, 特開 2017-227677 (2016.6.20 出願).
- (2) *松島恭治, 土山泰裕, フルカラー高解像度計算機合成ホログラム表示装置、その作製方法及びその作製装置, 特開 2017-219824 (2016.6.20 出願).
- (3) *田原樹, 加来徹, 新井泰彦, デジタルホログラフィ装置およびデジタルホログラフィ方法, 特願 2014-155520 (2014.7.30 出願).
- (4) *田原樹, 新井泰彦, デジタルホログラフィ装置およびデジタルホログラフィ方法, 特願 2013-175005 (2013.8.26 出願).

<その他>

・ホログラム展示

- (1) 松島恭治, Amazing Art Holograms and Digital-Processed Holograms, IDW and HODIC Joint Exhibition in International Display Workshop '17, Miyagi, Japan (2017.12.6-8).
- (2) *石井勢津子, 松島恭治, 中原住雄, 平成 29 年ホログラフィックディスプレイ研究会, 東京 (2017.3.28)
- (3) *松島恭治, 眼鏡が不要な高画質立体カラー画像表示技術, イノベーション・ジャパン 2016, 東京ビッグサイト, 東京 (2016.8.25-26).
- (4) *松島恭治, 中原住雄, 平成 28 年ホログラフィックディスプレイ研究会, 栃木 (2016.3.8).
- (5) *松島恭治, 中原住雄, 平成 27 年ホログラフィックディスプレイ研究会, 東京 (2015.3.6).
- (6) *松島恭治, 中原住雄, マサチューセッツ工科大学ミュージアム(MIT Museum)にホログラムを寄贈, 権利譲渡契約を交わし同ミュージアムの正式な収蔵品となった (2014.10). [参考資料 6]
- (7) *イノベーション・ジャパン 2014 にて展示
田原樹, 単眼単色市販カメラを用いる瞬時マルチカラー 3 次元画像記録システム, 東京ビッグサイト(東京国際展示場) (2014.9.11-12).

・新聞報道

- (8) *田原樹, 加来徹 他, 「関西大、多波長 3 次元カラー画像を瞬時に記録できるシステム開発」, 日刊工業新聞, 2014 年 11 月 20 日付.

・受賞

- (9) 【2016 年度優秀論文賞】
伊藤真人, 松島恭治, 山口雅浩, 光線サンプリング面の手法を用いて合成した実物体の高解像度計算機合成ホログラム, 3 次元画像コンファレンス 2016 (2017.7.6).
- (10) 【2016 年度優秀論文賞】
田原樹, 大前快人, 大谷礼雄, 新井泰彦, 高木康博, 位相分割多重方式に基づくマルチカラーデジタルホログラフィ, 3 次元画像コンファレンス 2016 (2017.7.6).
- (11) 【Best Paper Award】
T. Tahara, T. Kanno, Y. Arai, T. Ozawa, Incoherent digital holography system utilizing single-shot phase-shifting interferometry, Biomedical Imaging and Sensing Conference 2017, (2017.4.21).
- (12) 【Outstanding Poster Paper Award】
H. Nishi, K. Matsushima, Rendering of transparent objects in polygon-based computer holography, Information Photonics 2017, (2017.4.21).
- (13) 【平成 28 年文部大臣表彰(若手科学者賞)】
田原樹, 超高速 3 次元動画画像顕微鏡の創成と高機能化の研究 (2016.4.20).

・その他

- (14) 田原樹, デジタルオプティクスが可能にする多次元情報同時センシング & イメージング, 国内研究グループによる推薦を受けて若手研究者として第 4 回 先端フォトニクスシンポジウムにてポスター発表, 東京 (2014.8).

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1311042

15 「選定時」及び「中間評価時」に付された留意事項とそれへの対応

<「選定時」に付された留意事項>

企業連携を十分に配慮されたい。また成果評価も回数を増やし十分に考慮されたい。

<「選定時」に付された留意事項への対応>

企業連携については、各研究者が学会などでの議論を通じて企業研究者との連携を意識しつつ、課題に取り組んだ。また本プロジェクト前半で開発された個別の技術、例えば、カラーホログラム表示技術、多波長デジタルホログラフィック撮像技術、3次元音響技術から派生したアクティブノイズコントロール技術等は、本プロジェクトからのスピノフとしてそれ単体で実用性があり、それらを軸に積極的に企業連携につなげた。

実際、ホログラフィグループでは、大学見本市と銘打たれた大規模イベントであるイノベーション・ジャパンにおいて本プロジェクトで作製したモノクロとカラーのホログラムを展示した^{*その他(3)}ことが、企業連携とのきっかけになった。本報告ですでに記載した企業連携以外にも数多くの問い合わせがあり、本技術の注目度の高さが窺える。今後、関西大学デジタルホロスタジオを中心として若手研究者の育成や技術移転により外部との連携を進め、分野での研究拠点としての役割を継続していきたい。

評価については、毎年自己点検を行い、進捗と資金配分および人的リソース配分の点検を行うとともに研究者間の連携を強化しつづけてきた。プロジェクトスタートアップ当初、レーザーソグラフィ装置の設置が遅れた結果、一部の学外研究者との連携が十分に取れていなかったが、プロジェクト後半においては、連携の強化を行い、研究開発の成果が十分に得られてきている。また、基礎技術開発を行った前半は外部評価で概ね高評価を頂いており、応用的研究がある程度活発化した後半も、外部評価でアートへの展開などが評価された。これは、外部評価で頂いたコメントを活かしたためと思われる。

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1311042

16 施設・装置・設備・研究費の支出状況(実績概要)

(千円)

年度・区分	支出額	内 訳						備 考
		法人負担	私学助成	共同研究 機関負担	受託 研究等	寄付金	その他(科研費・助成金)	
平成 25 年度	施設	0						
	装置	58,590	29,295	29,295				
	設備	7,822	2,607	5,215				
	研究費	91,470	14,740	13,547		11,043	3,650	48,490 国・企業等
平成 26 年度	施設	0						
	装置	0						
	設備	0						
	研究費	72,646	15,834	10,432		10,790	4,650	30,940 国・企業等
平成 27 年度	施設	0						
	装置	0						
	設備	0						
	研究費	93,968	17,060	10,888		45,460	800	19,760 国・企業等
平成 28 年度	施設							
	装置							
	設備							
	研究費	64,378	16,306	9,375		14,997	300	23,400 国・企業等
平成 29 年度	施設							
	装置							
	設備							
	研究費	90,358	15,698	8,787		45,053	800	20,020 国・企業等
総 額	施設	0	0	0	0	0	0	0
	装置	58,590	29,295	29,295	0	0	0	0
	設備	7,822	2,607	5,215	0	0	0	0
	研究費	412,820	79,638	53,029	0	127,343	10,200	142,610
総 計	479,232	111,540	87,539	0	127,343	10,200	142,610	

※ 平成29年度は予定額

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1311042

17 施設・装置・設備の整備状況（私学助成を受けたものはすべて記載してください。）
《施設》（私学助成を受けていないものも含め、使用している施設をすべて記載してください。）（千円）

施設の名 称	整備年度	研究施設面積	研究室等数	使用者数	事業経費	補助金額	補助主体
関西大学 学術フロンティア・コア	平成9年度	2,078.50m ²	17	60名	620,000	294,500	私学助成
第4学舎3実験棟	昭和58年度	2,131.510 m ²	43	1,240名	620,000	-	法人負担
第4学舎5実験棟	平成9年度	9,886.50 m ²	130	1,340名	2,740,443	-	法人負担

※ 私学助成による補助事業として行った新增築により、整備前と比較して増加した面積

0 m²

《装置・設備》（私学助成を受けていないものは、主なもののみを記載してください。）（千円）

装置・設備の名称	整備年度	型 番	台 数	稼働時間数	事業経費	補助金額	補助主体
(研究装置) レーザーリングラフィ装置	25	DWL66+	1	20~60 h/月	58,590	29,295	私学助成
(研究設備) 三次元音響計測用 無響室	25	組立式木製タイプ (特注サイズ)	1	120 h/月	7,822	5,215	私学助成
(情報処理関係設備) 該当なし				h			

18 研究費の支出状況（千円）

年 度	平成	25	年度	積 算 内 訳	
小 科 目	支 出 額	主 な 使 途	金 額	主 な 内 容	
教 育 研 究 経 費 支 出					
消 耗 品 費	8,753	研究用物品	8,753	研究用消耗品類(3,822)、研究用図書資料(200)、器具類(2,371)、ソフトウェア(2,360)	
光 熱 水 費	589	電気代	589	学術フロンティア・コア電気代(589)	
通 信 運 搬 費	0		0		
印 刷 製 本 費	60	研究成果報告書	60	研究成果報告書(60)	
旅 費 交 通 費	1,573	出張旅費	1,573	研究調査出張費(1,293)、準研究員交通費等(280)	
報 酬 ・ 委 託 料	1,254	講演料 情報関係業務委託	1,254	学外講演者講演料等(189)、業務委託費(805)、英文校正(260)	
(設備修繕費)	286	装置修理費	286	装置修理費(286)	
(その他の雑費)	155	宿泊費・参加費	155	準研究員宿泊費等(96)、学会講演参加費等(55)、講演会に伴う昼食代(4)	
計	12,670		12,670		
ア ル パ イ ト 関 係 支 出					
人件費支出 (兼務職員)	0		0		
教育研究経費支出					
計	0		0		
設 備 関 係 支 出 (1個又は1組の価格が500万円未満のもの)					
教育研究用機器備品	13,343	研究用器具備品	13,343	単一周波数CW DPSSLレーザー(1,774)、小型パルスレーザー(1,617)、クリーンブース(4,410)、Apple Mac Pro(754)、Raytrek MD-6カスタマイズパソコン(267)、DLP Discovery 4100 developer kit(3,068)、塩ビドラフト水槽付型一式(1,453)	
図 書	0				
計	13,343		13,343		
研 究 ス タ ッ フ 関 係 支 出					
リサーチ・アシスタント	0		0	学内0人、学外0人、外国0人	
ポスト・ドクター	2,274	共同研究者	2,274	学内1人、学外0人、外国0人、学振0人	
研究支援推進経費	0		0	学内0人、学外0人、外国0人	
計	2,274		2,274	学内1人、学外0人、外国0人、学振0人	

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1311042

(千円)

年度	平成 26 年度		
小科目	支出額	積算内訳	
		主な用途	金額
教育研究経費支出			
消耗品費	10,194	研究用物品	10,194
光熱水費	531	電気代	531
通信運搬費	9	小荷物運搬費	9
印刷製本費	60	研究成果報告書	60
旅費交通費	3,509	出張旅費	3,509
報酬・委託料	2,306	講演料	2,306
(その他の雑費)	429	情報関係業務委託	429
(会議会合費)	22	宿泊費・参加費	22
(諸会費)	239	会議に伴う食事代	239
計	17,299	論文掲載料	239
アルバイト関係支出			
人件費支出 (兼務職員)	0		0
教育研究経費支出 計	0		0
設備関係支出(1個又は1組の価格が500万円未満のもの)			
教育研究用機器備品	4,419	研究用器具備品	4,419
図書			
計	4,419		4,419
研究スタッフ関係支出			
リサーチ・アシスタント	0		0
ポスト・ドクター	4,548	共同研究者	4,548
研究支援推進経費	0		0
計	4,548		4,548

(千円)

年度	平成 27 年度		
小科目	支出額	積算内訳	
		主な用途	金額
教育研究経費支出			
消耗品費	7,449	研究用物品	7,449
光熱水費	483	電気代	483
通信運搬費	5	小荷物運搬費	5
印刷製本費	86	研究成果報告書	86
旅費交通費	5,022	出張旅費	5,022
報酬・委託料	1,982	研究補助報酬、講演料	1,982
(その他の雑費)	633	人材派遣業務委託	633
(設備修繕費)	4,806	宿泊費・参加費	4,806
計	20,466	装置修理費	4,806
アルバイト関係支出			
人件費支出 (兼務職員)	0		0
教育研究経費支出 計	0		0
設備関係支出(1個又は1組の価格が500万円未満のもの)			
教育研究用機器備品	1,302	研究用器具備品	1,302
図書			
計	1,302		1,302
研究スタッフ関係支出			
リサーチ・アシスタント	1,632	研究補助者	1,632
ポスト・ドクター	4,548	共同研究者	4,548
研究支援推進経費	0		0
計	6,180		6,180

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1311042

(千円)

年度	平成 28 年度			
小科目	支出額	積算内訳		
		主な用途	金額	主な内容
教 育 研 究 経 費 支 出				
消耗品費	5,737	研究用物品	5,737	研究用消耗品類(5,151)、器具類(586)
光熱水費	422	電気代	422	学術フロンティア・コア電気代(422)
通信運搬費	9	小荷物運搬費	9	宅急便配送料(9)
印刷製本費	66	研究成果報告書	66	研究成果報告書(60)、論文別刷代(6)
旅費交通費	4,362	出張旅費	4,362	研究調査出張費(3,063)、 学外研究員・準研究員交通費等(1,299)
報酬・委託料	3,088	研究補助報酬 人材派遣業務委託 設備修繕・保守	3,088	講演料(131)、英文校正(150)、人材派遣(1,359)、 研究補助報酬(484)、設備修繕・保守費等(900)、 試験委託(64)
(その他の雑費)	992	宿泊費・参加費	992	学外研究員日当・宿泊費、参加費(38)、準研究員 日当・宿泊費・参加費(943)、講演者宿泊費(11)
(諸会費)	553	論文掲載料	553	論文掲載料(553)
計	15,229		15,229	
ア ル バ イ ト 関 係 支 出				
人件費支出 (兼務職員)	0		0	
教育研究経費支出	0		0	
計	0		0	
設 備 関 係 支 出(1個又は1組の価格が500万円未満のもの)				
教育研究用機器備品	3,456	研究用器具備品	3,456	小型全固体OPSLレーザ(1,382)、ワークステーション (633)、単一縦モードDPSSLレーザ(1,441)
図 書				
計	3,456		3,456	
研 究 ス タ ッ プ 関 係 支 出				
リサーチ・アシスタント	2,448	研究補助者	2,448	学内3人、学外0人、外国0人
ポスト・ドクター	4,548	共同研究者	4,548	学内1人、学外0人、外国0人、学振0人
研究支援推進経費	0		0	学内0人、学外0人、外国0人
計	6,996		6,996	学内4人、学外0人、外国0人、学振0人

(千円)

年度	平成 29 年度			
小科目	支出額	積算内訳		
		主な用途	金額	主な内容
教 育 研 究 経 費 支 出				
消耗品費	9,599	研究用物品	9,599	研究用消耗品類(4,022)、器具類(164)、 ソフトウェア(5,413)
光熱水費	406	電気代	406	学術フロンティア・コア電気代(406)
通信運搬費	12	小荷物運搬費	12	宅急便配送料(12)
印刷製本費	67	報告書印刷代、別刷代	67	研究成果報告書(60)、論文別刷代(7)
旅費交通費	2,543	出張旅費	2,543	研究調査出張費(1,810)、 学外研究員・準研究員交通費等(733)
報酬・委託料	3,282	講演料、設備保守費、 業務委託、外部評価料	3,282	講演料(67)、人材派遣(1,409)、業務委託(432)、 設備保守費(1,344)、外部評価報酬(30)
(その他の雑費)	542	宿泊費・参加費	542	準研究員日当・宿泊費・参加費等(542)
(会議会合費)	10	会議に伴う食事代	10	会議に伴う食事代(10)
(諸会費支出)	221	論文掲載料	221	論文掲載料(221)
計	16,682		16,682	
ア ル バ イ ト 関 係 支 出				
人件費支出 (兼務職員)	0		0	
教育研究経費支出	0		0	
計	0		0	
設 備 関 係 支 出(1個又は1組の価格が500万円未満のもの)				
教育研究用機器備品	1,239	研究用器具備品	1,239	ワークステーション(1,239)
図 書				
計	1,239		1,239	
研 究 ス タ ッ プ 関 係 支 出				
リサーチ・アシスタント	2,016	研究補助者	2,016	学内4人、学外0人、外国0人
ポスト・ドクター	4,548	共同研究者	4,548	学内1人、学外0人、外国0人、学振0人
研究支援推進経費	0		0	学内0人、学外0人、外国0人
計	6,564		6,564	学内5人、学外0人、外国0人、学振0人

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1311042

学 校 法 人 名	関 西 大 学	大 学 名	関 西 大 学
研 究 プロジェクト名	コンピュータホログラフィ技術を中心とした 超大規模データ処理指向コミュニケーション		

**平成 25 年度選定
私立大学戦略的研究基盤形成支援事業
研究成果報告書**

参 考 資 料

- 資料 1 外部評価資料(中間)
- 資料 2 外部評価資料(最終)
- 資料 3 技苑「プロジェクト研究報告概要」
- 資料 4 関大デジタルホロスタジオ資料
- 資料 5 3次元画像コンファレンス 2016 資料
- 資料 6 マサチューセッツ工科大学寄贈契約書

資料1.

外部評価 (中間)

「コンピュータホログラフィ技術を中心とした 超大規模データ処理指向コミュニケーション」

◆ 外部評価委員

- ・山本 健詞 国立研究開発法人 情報通信研究機構
ユニバーサルコミュニケーション研究所 超臨場感映像研究室 室長
- ・橋本 信幸 シチズンホールディングス株式会社 開発部
- ・吉川 浩 日本大学 理工学部 応用情報工学科 教授

◆ 評価日 平成27年7月

◆ 評価項目

- 【1】 研究組織(研究実施体制)の適切性
- 【2】 研究プロジェクトの進捗状況・研究成果

評価 コ メ ン ト (ま と め)	【本プロジェクトは、当初の計画に沿って着実に進展しているか？】
	・ホログラフィグループと近未来コミュニケーショングループとも、当初の計画に沿って着実に進展している。計画には表れない論文発表などの業績についても、質と量ともに高く、学術的に社会に貢献している。 ・外部研究者や機関との連携を効果的に行い、ほぼ沿った進展を示し、結果として本分野の発展に貢献している。実用的なカラー化への見通しが課題である。 ・個々のグループは十分な成果を上げていると思います。
	【特に優れている点】
	・世界をリードする研究を実施するだけでなく、計算機合成ホログラム干渉縞の描画サービスを開始している。技術開発のすそ野を広める取り組みは、我が国の科学技術を進展させるのに大変有効であり、高く評価できる。 ・高速計算手法に関連し、CGHに実物体から計算された画像を重畳させる際の遮蔽処理や、3D特有のオクルージョン処理におけるスイッチバック法の提案は実用化において重要な成果である。 ・ホログラム描画サービスにより共同研究を行うことは、この分野の進歩に大きく貢献すると考えられます。
	【問題点・今後の課題】
	・研究については計画や業績がわかるが、その一方で大学の研究支援体制や具体的な支援内容がわかりにくい。研究支援の担当者が、これらの評価資料に記載するのが望ましい。 ・ホログラフィを用いた超臨場感コミュニケーションは究極の技術であり、また社会基盤になると考えられる。一方で要求される技術レベルが飛躍的に高い、そのため途中で派生した研究成果を医療やデザイン、アート等の特定分野に向けて展開することが期待される。
【期待される研究成果】	
・個々のグループの成果が、最終的にどのように統合されるのか、期待しています。 ・多岐に渡るが、本研究分野の発展と人材育成そして将来の日本の競争力と産業発展にむけた布石となる(期待する)。 ・着実に進展しており、高い目標ではあるものの、予定通りの研究成果目標を最終年度に達成できることが期待できる。また、本プロジェクトにより、コンピュータホログラフィ技術とそれに対応する情報通信技術とを進展させることで、我が国が得意とするオーディオビジュアル技術に寄与できると期待できる。	

資料2.

外部評価（最終）

「コンピュータホログラフィ技術を中心とした 超大規模データ処理指向コミュニケーション」

◆ 外部評価委員

- ・山本 健詞 国立研究開発法人 情報通信研究機構
 ユニバーサルコミュニケーション研究所 超臨場感映像研究室 室長
- ・橋本 信幸 シチズンホールディングス株式会社 開発部
- ・吉川 浩 日本大学 理工学部 応用情報工学科 教授

◆ 評価日 平成29年5月

◆ 評価項目

- 【1】 研究組織(研究実施体制)の適切性
- 【2】 研究プロジェクトの進捗状況・研究成果

評価コメント(まとめ)	【本プロジェクトは、当初の計画に沿って着実に進展しているか?】
	<ul style="list-style-type: none"> ・ホログラフィグループと近未来コミュニケーショングループの両グループとも論文で期待以上の成果が出ている。また、論文に加え、描画サービスの効果は大きく、国内有数の研究拠点として他の研究期間に着実に認識されている。これらの活動を通して、コンピュータホログラフィを継続的に発展させること、およびその研究拠点を形成するという目的は期待以上に達成できている。 ・着実に進行していると言える。特に、CGHの画質をアートに迫る領域にまで進化させたのは特筆に値する。 ・計画に沿って高い成果を上げていていると考えられる。
	【特に優れている点】
	<ul style="list-style-type: none"> ・大学院生や若手研究者、客員研究者などがバランスよく活用されている。 ・高く評価される研究が多く、その結果が招待講演数に表れている。 ・ホログラム分野ではとりわけ有名なMITミュージアムにホログラムの寄贈を許されている。これは歴史に残る成果であると国際的に認識されているからであり、特に高く評価できる。 ・民間企業からの委託研究や共同研究を複数実施しており、採択時にコメントされた企業連携に十分応えている。 ・ホログラムデータ圧縮と通信という、国内外でもあまり先行研究例のない課題にたいし、従来の圧縮手法の適用のみならず、固有値解析も含めて多面的な研究が遂行されている。また、芸術家との連携が可能となるCGHを構築できていることは素晴らしい。 ・フルカラーホログラムで高画質の出力を実現しており、外部との共同研究でも十分な成果が得られている。
	【問題点・今後の課題】
	<ul style="list-style-type: none"> ・コンピュータホログラフィに基づく産業を大きな規模にするには、ホログラムデータ計算技術向上、描画速度向上、描画コスト削減などは更なる進展が必要である。これらへの取り組みを継続する必要がある。 ・国内有数の研究拠点としての地位を確立できているので、現状を維持できるような次のプロジェクトの発案と実施につなげてもらいたい。特に描画サービスは、国際的にも高く評価されており、継続が強く望まれる。 ・CGHという特性上、計算及び情報工学、深層学習等の技術を積極的に取り込んで効率的に研究が進められている。一方で、光学ホログラムに蓄積された技術をうまく実装(光学系、ホログラム光学構造)することにも、もっと考慮するといいいのではないか。 ・ホロスタジオの出力装置は、世界的にも稀な設備であり、引き続き有効な活用を期待する。
【期待される研究成果】	
<ul style="list-style-type: none"> ・カラー化技術などの基礎技術を確立したことから、サイネージや医療、芸術などの産業に徐々に展開されることが期待できる。 ・ホログラムは、光の干渉現象や回折現象を眼で見て体験できる。科学館などに展示することで、科学技術に興味を持たせる教育としての展開が期待できる。 ・超高臨場感コミュニケーションのみならず、自動運転(3D画像取得とその情報処理)、バイオメディカルそしてエンターテインメントやアート等、その波及効果は非常に大きい。その一方で理想的技術であるが故に社会実装には課題が山積みされていると言える。本研究プロジェクトがさらに拡大、進展することを期待する。 ・ これまでも充分な成果が得られているが、今後さらに多くの成果が期待できる。 	

2013年度 技苑「プロジェクト研究報告概要」

戦略的研究基盤形成支援事業プロジェクト

コンピュータホログラフィ技術を中心とした
超大規模データ処理指向コミュニケーション

研究代表者：松島 恭治
研究担当者：棟安 実治・梶川 嘉延・中原 住雄・
四方 博之・徳丸 正孝・田原 樹

1. はじめに

松島恭治*

本プロジェクトは、平成25年度に採択され活動を始めたプロジェクトである。採択連絡の時期が平成25年6月後半にずれこんだため、本年度は本格的に始動する前の準備期間に近いものとなった。短い期間ではあったが、行った研究の概要を以下に報告する。なお、本プロジェクトは、大きくホログラフィグループと近未来コミュニケーショングループに分かれて研究活動を行っている。ホログラフィグループは、ホログラフィによる3次元映像の取得と再生、近未来コミュニケーショングループは、その映像技術に伴う圧縮・伝送や音響技術、さらにはその潜在的アプリケーションの研究を行っている。以下、ホログラフィグループ、近未来コミュニケーショングループの順序で本年度の研究概要を掲載している。

2. 計算機合成ホログラム数値合成技術

松島恭治

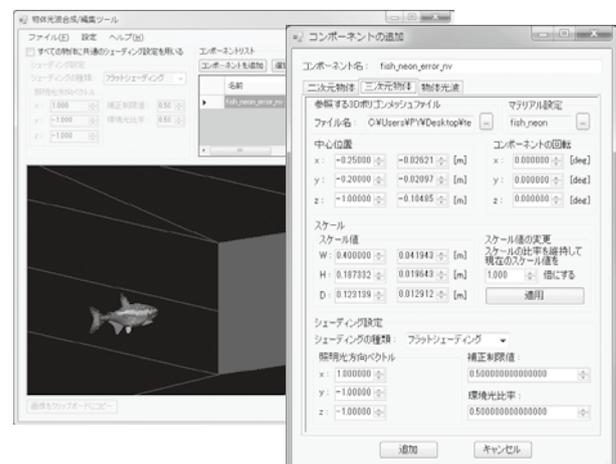
ホログラフィグループの中でも、主としてソフトウェアやアルゴリズムの開発を行っており、付加的にレーザーホログラフィ以外のホログラフィ描画技術の開発を行っている。

2.1. コンピュータホログラフィにおけるデザイナー
と研究者のための統合的なデザインシステム

コンピュータホログラフィにより、現時点までにすでに様々なホログラム作品が制作されている。しかしながら、これらの作品のデザインは、物体光波を計算するプログラムのソースコードで記述され、デザインと手法が分離されていないという大きな問題があった。また、従

来型の光学ホログラフィはアートの分野が発達しており、ホログラファーと呼ばれるアーティストが作品を発表している現状があるが、コンピュータホログラフィでは、光学やコンピュータが専門でないアーティストやデザイナーによる作品制作は望めない状況にあった。

そこで、物体光波を計算するための会話型のソフトウェアツール (Fig. 1) とデザインした3DシーンをXML記述したデータとして読み書きするためのC++ライブラリを開発した。これにより、ホログラムが非専門のアーティストがデザインした3DシーンをXMLファイルで保存し、研究者の研究プログラムで読み込むといったことができるようになった。

Fig. 1 会話型デザインツールの画面例¹⁾

2.2. デジタルドホログラフィにおける複数視点からのシルエットを用いた光波遮蔽

光学ホログラフィには、感光性材料にホログラム干渉縞を記録する過程がある。この干渉縞を計算機によって発生するのがコンピュータホログラフィであるが、一方、光学ホログラフィと同様に光学的に発生した干渉縞をイメージセンサにデジタル記録する技術もある。ただし、一般に現在のイメージセンサの分解能と解像度は、記録した干渉縞を光学再生するには全く不十分であるため、

* システム理工学部教授 博士 (工学)

3D映像技術ではなく、主として計測技術として扱われている。

我々は、合成開口等の技術を駆使することによりイメージセンサの制約を乗り越え、高密度高解像度で光学的な干渉縞を記録し、コンピュータホログラフィによる3D映像として再生する技術をすでに開発している。完全にデジタル化したホログラフィという意味で、この技術を特にデジタルホログラフィと呼んでいる。

このデジタルホログラフィでは、デジタル的に記録した実物体の光波を3Dシーン内に埋め込んで再生する際に、シルエット法を用いて光波遮蔽処理を行っている。これは、物体の背面より入射する光波を遮蔽しないと物体が透けて再生されるためである。しかし、高解像度のコンピュータホログラフィでは、特定の方向から見たときのシルエットをマスクとして遮蔽したとき、他の方向から見ると物体の形状とシルエットマスクの形状が一致せず、完全な遮蔽ができない問題があった。そこで、複数の方向から見たときのシルエットをマスクとして用い、その方向には対応するマスクで遮蔽する技術を開発した。Fig. 2に示す通り、これによりマスクずれによる問題をかなりの程度解消することができた。



Fig. 2 再生像シミュレーションの結果²⁾

2.3. 波面プリンタの開発

本プロジェクトにおいて、計算機合成したホログラム干渉縞を描画する主たる技術は、レーザーソグラフィ技術である。これは、高度に発達した技術であり、非常に高品質なホログラムを作成することができる。しかしながら、レーザーソグラフィ技術で描画できるのは2次元の干渉縞であるため、ホログラムの再生に単色光が必要であるという問題がある。この問題を解決し、室内照明等で再生可能なホログラムを作成するには、光学ホログラフィと同様に3次元的な干渉縞である体積ホログラムを描画する必要がある。

このために開発を進めているのが、波面プリンタである。これは、コンピュータホログラフィで数値合成した光波を空間光変調器 (SLM) で発生し、それを3次元干渉縞として光学的に記録して体積ホログラムを描画する機器である。本年度は、位相型SLMで発生するわず

かな偏光角度変調を利用して部分的に複素振幅変調を行ってノイズを減少する方式を考案し、試作機でテストを行った。その結果、わずかなノイズ減少効果はあったが、残念ながら顕著な改善効果は見られなかった。

参考文献

- 1) S. Murata, K. Matsushima, S. Nakahara, Development of an integrated design system for computer holography, International Workshop on Holography and Related Technologies 2013 (IWH2013), 17a-3 (2013).
- 2) 藤田大知, 松島恭治, 中原住雄, HODIC Circular, **33** (4), 18-23 (2013).

3. レーザリソグラフィを用いたサブミクロン領域のホログラフィック干渉縞の作製

中原住雄*, 松島恭治

3.1. はじめに

近年、微細加工分野の発展に伴い、バイナリオプティクスと称される、断面が階段形状で高い回折効率を有する回折光学素子が注目されている。回折光学素子は、溝の深さが波長程度であり、設計の自由度も大きいため、光学系の大幅な薄型・軽量化とともに、これまでの光学素子だけでは不可能であった新規機能の実現等、様々な効果が期待されている。最近では、CDプレイヤー用の光ピックアップや光磁気ディスクの光ヘッド、さらにはDVDの光ピックアップにも使用され、その応用範囲を広げている。

本研究では、ホログラフィを対象にする。一般のホログラフィ技術では、レーザー光等による干渉の効果を用いて、物体が発する光波を位相の情報も含めて干渉縞として記録する。この記録された媒体をホログラムというが、このホログラムの再生時には、干渉縞のパターンにより照明光が回折され、記録された光波そのものが再生される。この再生された光波は、実物を見ている時と原理的に同じであるため、物体に奥行き感がある場合には、他の3Dディスプレイ技術と異なり、観察者にとっては実物と同等の真の立体感が感じられる。

このホログラフィやCGHは長い歴史を有しているが、CGHはレーザー光と写真材料を用いた古典的なホログラムの迫力ある3D像と対抗出来ていなかった。CGHにおける再生像が観察できる視域は、ホログラムに記録されている干渉縞による回折角で制限される。

我々は、これらの干渉縞を計算機により干渉縞画像を

* システム理工学部准教授 工学博士

合成する計算機合成ホログラム (Computer Generated Hologram: CGH)の作製を行ってきた。その一例として、ホログラムに記録された干渉縞と、ホログラムからの再生像をFig. 3に示す。このCGHの最大回折角度は、記録された干渉縞画像を記録しているピクセルピッチにほぼ反比例する。具体的には可視光を用いるので、Fig. 3に示すように1 μm のピクセルピッチの場合、両側視域角は37度程度になる。

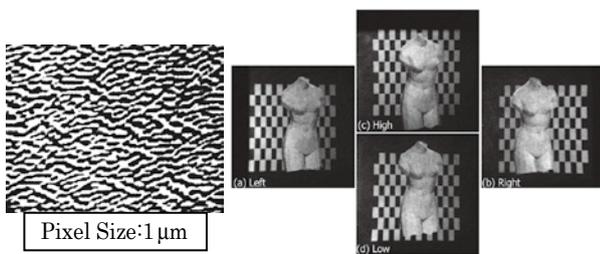


Fig. 3 描画ピッチ1 μm で描画した干渉縞の顕微鏡写真とその再生像¹⁾

計算機合成ホログラム (CGH) の作製において、今以上に視域を広げるためには再生像の回折角をより大きくする必要があり、このホログラムの干渉縞の空間周波数は500本/mm以上にすることが求められている。この要求を満たすためには、描画ピクセルの単位をサブ μm にする必要が迫られる。我々は、レーザリソグラフィとフォトレジストマスク基板を用い、サブミクロンサイズのピクセルで構成されたCGHを作製し、条件を満たす再生像を得た。

本研究では、レーザ直接描画装置を用いることにより、数十mm角の大型ホログラム素子の作製を行い、その評価・検討を行った。レーザ直接描画装置は、ラスタスキャンによって、ウェハやマスクなどのサブミクロンレンジのフォトレジスト露光やフォトエマルジョン露光を目的とした、非常に高い精度を持った装置である。本装置を用いることにより、描画・露光精度の向上、描画パターン及び描画サイズの自由度増大などが見込まれる。

我々は、ホログラム干渉縞パターンの出力装置としてハイデルベルグ・インストルメンツ社製レーザ直接描画装置DWL66を使用した。これは、フォトレジスト露光などを目的とした、ラスタスキャン法を利用した描画装置である。基板には、市販のガラス基板上にCr膜とフォトレジストが塗布されている基板を用いた。Fig. 4に基板の詳細図を示す。

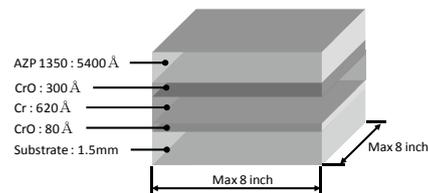


Fig. 4 フォトマスク材料

3.2. 実験結果

Fig. 5に、レーザ直接描画装置のパワーに対する基板のレジストの掘れる深さを示した関係を示す。

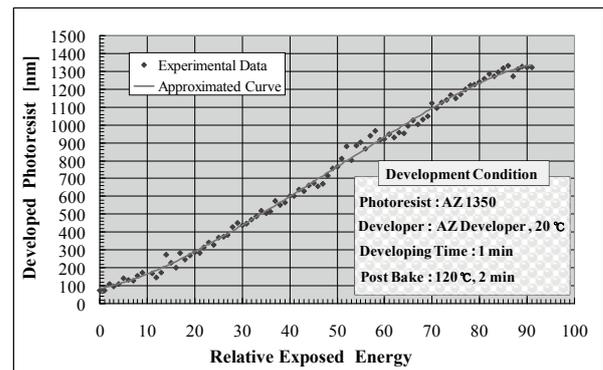


Fig. 5 露光条件

本実験においては、この描画装置の描画時間の短縮化を図るため2値化された情報を入力するモードを使用した。計算された干渉縞の強度分布を適当な閾値で2値化を行い、バイナリー型ホログラムとして描画した。レーザ直接描画後にフォトレジスト現像とクロムエッチングを行った後のものは、振幅型バイナリーホログラムとして参照光を照射すると再生像が確認できる。ここで作製したホログラムは、Cr膜を使用しているため、それをマイクロミラーとして使用することが出来るため、反射型、透過型両方の機能を持ったホログラムが同時に作製される。

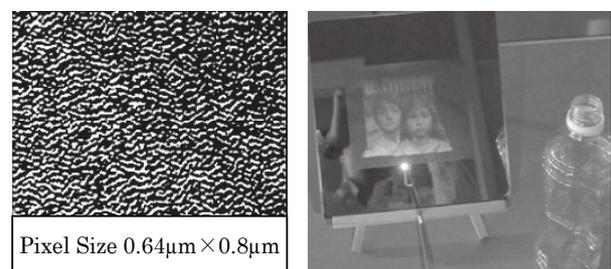


Fig. 6 描画ピッチ0.64 μm ×0.8 μm の干渉縞描画結果と光学再生像²⁾

我々は、Fig. 5のデータをもとに、レーザのパワーと減衰フィルター、レジストの現像時間を調節することによって、レジストの掘れる量をコントロールした。結果として、Fig. 6に示すようなピクセルサイズ0.64 μm ×0.8 μm の干渉縞を作製し、再生像を得た。

参考文献

- 1) K. Matsushima, S. Nakahara, App. Opt., **48**, H54-H63 (2009).
- 2) K. Matsushima, Computer holography: 3D imaging of virtual and real objects, SPIE Newsroom (2011).

4. デジタルホログラフィ技術を用いたコンピュータホログラフィ用光波撮像技術

田原 樹*

本プロジェクトの目的の一つである、面内 30 cm 四方のカラーホログラフィック撮像システム実現のため、本年度は基本技術とそのシステム構成の提案に注力した。カラー3次元画像情報を記録可能なカラーデジタルホログラフィでは、カラーフィルタアレイを用いると3次的に像がボケるため、時間分割または角度多重記録方式が一般的である。しかしながら、従来、カラー3次元画像を得るために時間分解能または撮影範囲が厳しく制限される。そこで、実在する物体への適用を見据え、(1)時間分解能の向上または(2)撮影範囲の拡大を達成する2方式を提案した。

従来、時間分割記録では広範囲記録が可能であるが、RGBに対応する3波長の情報記録に、最低9回の撮像と光源切り替えの機構が必要である。(1)では、光源切り替えの必要がなく、記録枚数も低減することで時間分解能を向上させるカラーデジタルホログラフィ方式を提案した¹⁾。当該方式では、複数波長の情報を単一・単色の撮像素子に多重記録し、位相シフト干渉法を利用することにより得たホログラムから波長情報を抽出する。波長数を N として、光源の切り替えなく $2N+1$ 枚のホログラムでカラー3次元画像再生可能であることから、時間分解能向上が期待できる。基本システム構成を示し、計算機シミュレーションにより良好な再生像を得られることを示した。また、装置構成を従来よりもコンパクトにできることから、小型カラーホログラフィック撮像システムへの発展が期待できる。

角度多重記録では、単一露光でカラー3次元画像記録が可能であるが、従来、時間分割記録に比べ2波長記録時に20分の1、3波長記録時に64分の1の撮影範囲しかとれない。広範囲カラーホログラフィック動画撮像を目指し、信号理論と光学系の最適設計により(2)の達成を試みた。エイリアシング、デジタル信号の周期性、干渉縞の空間周波数最適設計により、記録可能な空間周波数帯域を拡張できることを論じ²⁾、従来に比べ2波長

記録時に2.43倍、3波長記録時に1.44倍の広域化を示した^{3,4)}。また、コンパクト化されたシステムにおいても約2.6倍の広域化を示した⁵⁾。

また、上記の試みと並行して、微小な光学素子のアレイを用いることで撮影範囲を拡大するホログラフィック撮像方式による微小領域の広範囲・高速3次元動画記録とイメージングを示し⁶⁾、また更なる撮影範囲拡張を達成する方法を論じ実証した⁷⁾。

次年度は、参考文献1)~5)のシステムの試作を行い、参考文献6)~7)のシステムも踏まえ、目的達成に最適な撮像方式の選定を今後検討していく予定である。

参考文献

- 1) 田原樹, 菊永修平, 新井泰彦, 高木康博, “波長情報の選択的抽出可能な位相シフト干渉法と単一単色撮像素子を用いたカラー3次元イメージング”, Optics and Photonics Japan 2013, 13aE9 (2013).
- 2) 田原樹, 新井泰彦, “デジタル信号の周期性を利用するデジタルホログラフィ ~ エイリアシングの導入による利害 ~”, ホログラフィック・ディスプレイ研究会/映像情報メディア学会, 35-38 (2013).
- 3) T. Tahara, Y. Arai, “Space-bandwidth extension method for multi-wavelength phase unwrapping using angular multiplexing,” Technical Digest of International Workshop on Holography and Related Technology 2013 (IWH2013), 16a-3 (2013).
- 4) 田原樹, 新井泰彦, “角度多重記録を用いる多波長位相接続法における空間周波数帯域拡張法”, Optics and Photonics Japan 2013, 14pP21 (2013).
- 5) 田原樹, 新井泰彦, “単一参照ビームを用いる単一露光複数波長位相接続法における空間帯域幅拡大法”, 第61回応用物理学学会春季学術講演会 (2014).
- 6) T. Tahara, P. Xia, T. Kakue, Y. Awatsuji, K. Nishio, S. Ura, T. Kubota, O. Matoba, “3-D motion-picture recording by parallel phase-shifting digital holographic microscopy”, 2013 International Conference on Optical Instrument and Technology (OIT2013), 90420C-1-7 (2013). (invited)
- 7) T. Tahara, Y. Lee, Y. Ito, P. Xia, Y. Shimozato, Y. Takahashi, Y. Awatsuji, K. Nishio, S. Ura, T. Kubota, O. Matoba, Opt. Lett., **39**, 1673-1676 (2014).

* システム理工学部助教 博士 (工学)

5. 超大規模データの圧縮

棟安実治*

ホログラフィプロジェクトにおいて、画像コンテンツの流通・蓄積を考える場合、画像圧縮技術は避けることのできない課題である。今年度は、これまでの画像圧縮技術のアウトラインを調査することから始め、現在、標準化が進行している3次元映像符号化について調査を行った。その結果として、ホログラフィを圧縮する際の問題点とそれに関連する研究課題を明らかにした。

5.1. 圧縮技術の現状

超大規模データ圧縮技術は、伝送やホログラフィ映像の蓄積に不可欠な技術である。近年用いられているMPEG2やMPEG4、H.264/AVCなどの従来技術は、本研究で目指す大規模なデータの圧縮を想定していない。特に、画面サイズのスケラビリティが異なり、CGH (Computer Generated Holography) 画像と人間の視覚特性の関係も明らかでないため、従来規格が依存してきた人間の視覚特性を用いることは適切でない。

具体的には、ホログラフィ画像は、10 cm角程度の映像(静止画)でも画素数が 10^{10} から 10^{11} に達し、これを動画像にすれば 10^{16} から 10^{17} の規模に達するという超大規模データである。現在、一般的に取り扱われている画像データにおいて非圧縮と考えた場合でも、静止画で 10^4 から 10^6 程度、動画像で 10^{12} 程度となり、4から5桁程度違う。また、ホログラフィ画像のデータは通常の画像データの性質とは大きく異なるため、新たな原理に基づく画像圧縮の方法が求められる。

一方、3次元映像の符号化の規格については、一時期の3D映画のヒットを受けて、各社から立体視可能な3Dディスプレイが発売されたこともあり、標準化が盛んに行われている。例えば、両眼立体視のために左右眼に対する画像を1枚の画像にパッキングしたフレーム互換(FC)方式と呼ばれる方法がある。これは現在の3Dディスプレイに対応しており、例えばBlu-ray 3Dと呼ばれるBlu-ray Discのフォーマットでは前者が採用されている。しかし、基本的には従来の画像圧縮の技術が援用されており、このままの形でホログラムデータの圧縮に適用することは困難である。

5.2. 問題点と今後の課題

CGHの作成過程は、物体モデルの生成、光波合成、コーディング、表示(作成)のステップからなる。ホログラフィデータを圧縮伝送する際に、どの時点のデータを取り扱うかという点は、伝送・蓄積するデータ量に大きな

影響を与えると同時に、復号側の処理量にも大きな影響を与える。このため、全体のシステムとのバランスを考慮することが必要とされる。例えば、物体モデルの時点のデータを考えれば、最も少ないデータ量で伝送・蓄積を行えることになるが、復号処理に加えて、表示までの処理をすべて復号側で行うことになり膨大な処理量が必要となる。一方、表示時点の干渉縞データを伝送・蓄積することを考えれば、復号側は単に復号処理を行えば良いが、符号化すべき情報量は膨大になる。

CGH情報をどの時点で圧縮するかについては、次のように考えることができる。まず、モデルデータ時点で圧縮することを考えると、このデータは必ずしも画像データである必要はなく、既存の符号化(例えば、単純なエントロピー符号化など)でも圧縮可能で十分既存のインフラで伝送可能である。しかし、前述のように復号側に膨大な処理を必要とし、さらに復号器側のホログラフィアルゴリズムを規定してしまう可能性がある。そのため、単なる符号化ではなく全体の方式を規定する必要性があり、発展途上であるこの分野の研究としては、あまり望ましくないと考えられる。

また、干渉縞を伝送する場合は、すでに見てきたように、従来研究が存在し、これまでの既存のアプローチを適用可能であると考えられる。干渉縞のコーディングには、振幅、位相などの様々なコーディング法があり、それによって性質が異なる可能性もある。また、再生の方法を限定してしまうために、光学系を固定しなければならないという問題点もあり、さらに真の画像とともに不要な直接光と共役像が再生され、画質の点で好ましくないという問題もある。

これに対して、光波データを伝送するというアプローチも考えられる。干渉縞を生成する前なので、再生照明光を限定する必要がなく、再生光学系を想定する必要がなく、再生方式の自由度を高くすることができる。また、視点を自由に設定できるので、現在の3D映像技術で中心的な課題である自由視点映像として再生することも可能である。ただし、複素振幅画像データであるため、基本的にデータ量が2倍以上となる。また、従来浮動小数点データとして取り扱われているため、量子化などを行うと、どのような影響が表れるかについては、検討を必要とする。

本研究では、これらの問題点を踏まえて、新たな符号化のアプローチに取り組んでいきたいと考えている。自由視点画像の次の課題として、ホログラムの圧縮に関心が集まっており、光波データの符号化を当面の課題としたアプローチを取っていきたいと考えている。画質評価については、現状の3次元画像符号化の取り組みを参考にしつつ、評価手法の確立を行っていく予定である。

* システム理工学部教授 博士(工学)

6. 高度三次元音響技術の開発

梶川嘉延*

6.1. はじめに

コンピュータホログラフィによる三次元映像に対して、より没入感をユーザに与えるためには、視覚だけでなく聴覚への付加的な刺激が重要となる。そのためには、聴覚に対する三次元音響技術の開発が必須となる。三次元音響技術には、波面合成法、アンビソニックなどに代表される実音場における音波を忠実に再現する技術と、トランスオーラルシステムに代表される制御点における音響信号を再現する技術とがある。それぞれは、三次元映像技術におけるホログラフィと視差を利用した三次元テレビに相当する。前者の技術は、ユーザに対して没入感を与えるのには最適であるが、非常に多くの再生用スピーカを必要とするなど、実現面における課題が多数の残されている。一方、後者の技術は、容易に三次元音場をユーザに提示することが可能であるが、制御点が限定される、演算量が多いなどの問題点が残されている。本プロジェクトにおける初年度は、まずは後者のトランスオーラルシステムに関する検討を行った。また、音場再現技術と同様の技術となる能動騒音制御技術について主に検討を行った。騒音の制御（低減）技術は、三次元音場の再現技術と同様の原理に基づく上に、よりリアルタイム性を求められることから、騒音制御技術において達成できた技術は、すぐさま三次元音響技術に適用することが可能である。

6.2. 検討システムの概要

最もシンプルなトランスオーラルシステムでは、2つのスピーカによりユーザの両耳を制御する。すなわち、左側のスピーカで左耳を、右側のスピーカで右耳を制御することになる。しかしながら、一般的なスピーカは、音波をあらゆる方向に発生させるため、左スピーカから右耳へ、右スピーカから左耳へのクロストーク成分や、反射や散乱などによる影響を受けることになる。この場合、音場再現の再現性度が著しく劣化してしまう。したがって、一般的なトランスオーラルシステムでは、クロストークや残響成分を補正するために、音場の逆フィルタが必要となる。しかし、この音場の逆フィルタを形成するには、非常に多くの演算量を必要とするという問題点がある。

近年、従来のスピーカとはまったく原理が異なり超指向性を有するパラメトリックアレースピーカ（PAL）が開発され、注目されている。Fig. 7にPALの外観図を

示す。PALは、多数の超音波エミッタをアレー状に配置したもので、超音波に可聴音を変調し大音量で再生する。この場合、空気非線形性により自己復調が行われ、数m先では可聴音が再生される。音波は周波数が高くなるほど指向性が鋭くなるため、超音波に変調された可聴音も鋭い指向性を有することになる。よって、PALから細い音波のビームを放射することが可能である。そこで、このPALの超指向性の性質を三次元音場再生に適用することで、従来のスピーカで問題となっていたクロストークや残響の影響を避ける事が可能となる。その結果、音場の逆フィルタ処理も低演算で実現することが可能になると考えられる。



Fig. 7 パラメトリックアレースピーカ（PAL）

6.3. 実験結果

本年度は、PALを用いた三次元音場再現システムの構築に先立ち、2つのPALを用いて、実際にクロストークや残響成分が無視できるくらいに小さくなるかどうかを、実験を通じて検証を行った。Fig. 8に実験の配置の様子を示す。実験は、本プロジェクトにおいて導入された防音室内において行った。実験を行ったところ、スピーカを正面に対して水平角 ± 30 度以上に配置することで、クロストークや残響を低減できることがわかった。また、



Fig. 8 PALを用いた三次元音場制御技術の実験の様子

* システム理工学部教授 博士（工学）

仰角方向に関しては±30度以内のほうが良好な結果が得られることもわかった。したがって、PALを利用することでクロストークや残響の影響を抑えることができるため、低演算で三次元音場再現システムを実現できることがわかった。今後は、実際に三次元音場再現を実現するシステムの構築を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 田中貴大, 梶川嘉延, “パラメトリックスピーカを用いたANCシステムの各種検討”, 第28回信号処理シンポジウム, 178-179 (2013).

7. 生活行動・移動パターンを活用したWiFiオフロード法

四方博之*, 岡本祐太**

無線通信により大規模データ通信を収容するためには、現在逼迫が進む携帯電話回線のみでなく、WiFi等の無線通信システムも同時に活用する必要がある。本研究では、データトラフィックを携帯電話回線からWiFi回線に分散するデータオフロードに注目し、ユーザの生活・行動パターン推定を活用したオフロード法の検討を行った。

7.1. Delayed Offloading

参考文献1)では、オフロード効率を向上するためDelayed Offloadingが提案されている。Delayed Offloadingでは、ユーザがオフロード要求発生時刻にデッドライン時刻を指定する。デッドライン時刻までは、ユーザが接続可能なWiFi APカバレッジ内ではWiFiによるデータ転送を行い、カバレッジ外ではデータ転送を中断する。データ転送が未完了な状態でデッドライン時刻に達した場合は、携帯電話回線を活用し、データ転送を完了させる。ここで、携帯電話、WiFiの両回線が利用可能な場合は、WiFi回線の利用を優先する。従来方式では、デッドライン時刻までに十分余裕がある場合でも、接続可能なWiFi APカバレッジ内にユーザが位置すれば、APの品質や接続時間を問わず接続し、オフロードを実施する。このため、低品質なAPの利用が頻発し、通信時間の増大、消費電力の増加につながる。

7.2. 生活行動・移動パターンを考慮したAP選択方式

従来のDelayed Offloadingの問題点を解決するため、各ユーザの日々の行動パターンを予測し、オフロード要求発生時刻から、ユーザの指定したデッドライン時刻ま

で接続可能なAPを推定し、接続するAPを決定するオフロード法を提案する。提案オフロード法の機能ブロック構成をFig. 9に示し、各機能について以下に述べる。

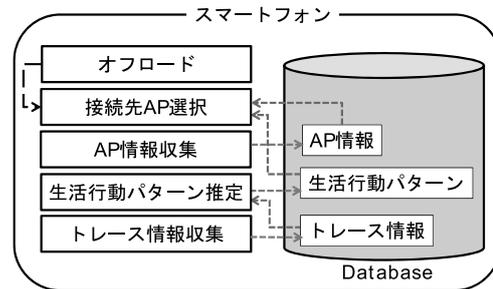


Fig. 9 機能ブロック

トレース情報収集機能: スマートフォンに搭載されたGPSにより、位置情報を収集する。位置情報は緯度、経度を中心とし、1辺が精度の2倍であるような正方形で表現する。また、この位置情報には測位時刻、測位曜日を付加している。同一日に収集した複数の位置情報をトレース情報とし、データベースに保持する。

生活行動パターン推定機能: データベースに保持された各曜日のトレース情報から、各曜日におけるユーザの生活行動パターンを特定する。ある時刻に取得した位置情報が、過去N個の位置情報と空間的に重複している場合、滞在と判定し、重複していない場合は移動と判定する。滞在と判定された位置情報が連続している場合、その連続した滞在判定位置情報は滞在位置情報群とする。生活行動パターンを特定するために、滞在位置情報群のうち、最も早い測位時刻が滞在地への到着時刻となり、最も遅い測位時刻が滞在地からの出発時刻となる。複数の滞在位置情報群の出発・到着時刻を特定することで、ユーザの生活行動パターンを推定する。

AP情報収集機能: ユーザがAPに接続した時の位置情報とAPのESSID、MACアドレス、平均伝送レート、接続時間等を収集し、データベースに保持する。

接続AP選択機能: データベースに保持された生活行動パターンとAP情報を関連付けることで、生活行動パターン上で接続可能なAPが予測可能となる。この予測したAPから、オフロード機能により入力された情報に基づいて接続先APを決定する。

オフロード機能: オフロード要求が発生した際のユーザの位置情報、指定したデッドライン時刻を入力情報とし、接続先AP選択機能により選択したAPに接続する。

7.3. 実験結果

実験では、ノートPCにWiFiアナライザを搭載し、被験者の一日の生活行動パターン上で接続可能なAPのRSSI、接続時間等を測定した。本被験者の接続可能な

* システム理工学部准教授 博士 (工学)

** 理工学研究科、先端科学技術推進機構構成員

APは、滞在地2箇所に存在するAPと移動経路上に存在する公衆無線LAN AP 11箇所であった。実験データを基に、ユーザのデータ転送時間の評価を行った。デッドラインまでを2時間、転送データサイズを6種類とした。

評価結果をFig. 10に示す。Fig. 10より従来方式に比べ提案方式の方が通信時間が減少していることが分かる。デッドライン時刻までに十分に余裕がある際、提案方式では移動経路上のWiFi APに接続することがなく、滞在地に存在する高スループットのWiFi APに接続している。一方、従来方式では、移動経路上の低スループットのWiFi APのカバレッジに入る毎に接続を行っている。これにより、提案方式の通信時間が減少している。

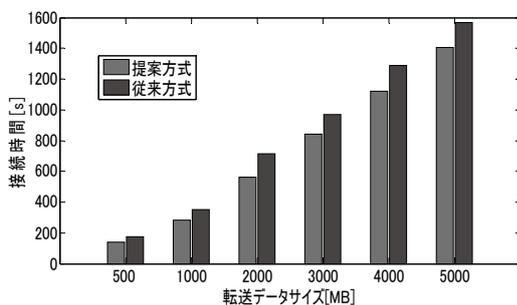


Fig. 10 実験結果

7.4. まとめ

本研究では、ユーザの生活行動・移動パターンを考慮したAP選択型Delayed Offloadingを提案し、提案方式によるAP接続時間低減を確認した。

参考文献

- 1) K. Lee, *et al.*, IEEE/ACM Transactions on Networking, 2 (2), 536-550 (2013).

8. デザイン支援システムのための対話型進化計算インタフェース

徳丸正孝*, 竹之内宏**

対話型進化計算(Interactive Evolutionary Computation: IEC)は、通常の進化計算における解候補評価を、ユーザの感性による評価に置き換えた手法である¹⁾。これまで、IECを用いた音声生成や画像検索など、様々なデザイン支援システムが提案されている。しかし、多くのIECシステムは、1個人のユーザの感性を利用したシステムであり、多くのユーザの感性を用いて、協調的な解候補探索を行うようなIECシステムは少ない。

そこで本研究では、不特定多数のユーザが好みのデザインに投票することで解候補を評価できる基本モデルとして、複数参加型トーナメント方式(Tournament Evaluation by Multiple People's Kansei: TBMP)を提案する²⁾。著者らは、これまでTBMPの解候補の進化性能に関する有効性を数値シミュレーションにより検証してきた。しかし、TBMPの実ユーザを対象とした有効性は検証されていない。本研究では、TBMPを組み込んだWebサイトデザイン支援システムを用いた評価実験を行い、TBMPの実ユーザを対象とした基本的性能を評価する。

8.1. 複数参加型トーナメント方式

TBMPでは、多くのユーザが満足のいくものや、流行の変化に対応した解候補を生成できると考えられる。また、TBMPにおけるユーザの解評価作業は、提示された2つの解候補のうち、好みの方に1票を投じるのみとなる。そのため、ユーザ1人1人の解評価における負担を軽減できると考えられる。

Fig. 11に、衣服コーディネート为例としたTBMPのシステム概要を示す。まず、初期遺伝子集団を生成し、生成された解候補をトーナメント表に配置する。次に、多くのユーザにWeb上で各対戦の2つの衣服コーディネートを提示し、好みの方に投票してもらう。TBMPでは、一定の期間内にユーザの投票を受け入れて、期間が過ぎれば次の対戦に移行する。決勝戦まで終了すれば、解候補を評価し、遺伝的アルゴリズム(Genetic Algorithm: GA)処理を行う。そして、新しい解候補を提示し、再びユーザに投票を求める。これらの処理を繰り返して、多くのユーザの感性を反映したデザインを作成する。

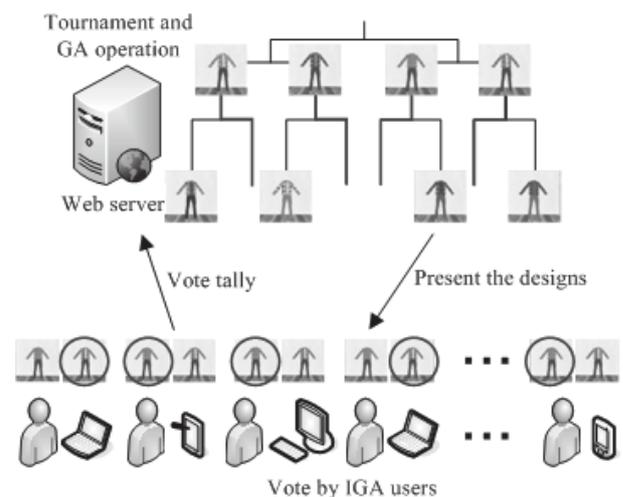


Fig. 11 TBMPのシステム概要

* システム理工学部准教授 博士(工学)

** 先端科学技術推進機構ポスト・ドクトラル・フェロー

8.2. 評価実験・結果

本実験では、Webサイトデザイン支援システムへユーザがアクセスし投票を行う。被験者は、20代の大学生17名である。また、被験者は、予め設けられた実験期間内であればいつでも投票可能とした。また、本実験では、TBMPの比較システムとして、トーナメント形式ではなく全解候補を一覧表示し、ユーザが好みの解候補に投票する通常の投票方式（General Voting Method: GVM）を用いたWebサイトデザイン支援システムを用いる。

評価実験の結果より、各システムにおける全体的な満足度は、TBMPの方がGVMより高いことが確認された。また、TBMPはGVMよりも有意水準1%で解評価が行いやすいことが確認された。したがって、TBMPはGVMより、解評価のしやすさという点では、ユーザの評価負担を軽減できると考えられる。

今後は、コンピュータホログラフィなど、立体像を利用した衣服のデザイン支援のための多人数投票型のシステムを構築し、有効性を検証する予定である。

参考文献

- 1) H. Takagi, "Interactive Evolutionary Computation: Fusion of the Capabilities of EC Optimization and Human Evaluation", Proceedings of the IEEE, **89** (9), 1275-1296 (2001).
- 2) H. Takenouchi, M. Tokumaru, N. Muranaka, Journal of Kansei Engineering International, **9** (2), 43-50 (2010).

謝辞

本研究の一部は、「文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業（平成25年度～平成29年度）」によって実施されたものである。

戦略的研究基盤形成支援事業プロジェクト

コンピュータホログラフィ技術を中心とした 超大規模データ処理指向コミュニケーション

研究代表者：松島 恭治
 研究担当者：棟安 実治・梶川 嘉延・中原 住雄・
 四方 博之・徳丸 正孝・田原 樹・
 Petar Popovski・Woon-Seng Gan・
 田口 亮・山口 雅浩・坂本 雄児・
 伊藤 智義・下馬場 朋禄

1. はじめに

松島恭治*1

本プロジェクトは、大きくホログラフィグループと近未来コミュニケーショングループに分かれて研究活動を行っている。ホログラフィグループはホログラフィによる3次元映像の取得と再生、近未来コミュニケーショングループはその映像技術に伴う圧縮・伝送や音響技術、さらにはその潜在的アプリケーションの研究を行っている。以下、ホログラフィグループ、近未来コミュニケーショングループの順序で本年度の研究概要を掲載している。

2. 計算機合成ホログラム数値合成技術と関大デジタル ホロスタジオ

松島恭治、宮岡貴史*2、増田幸勇*2

本年度はオクルージョンの処理方法で大きな成果があった。また、従来モノクロ再生であった高解像度CGHをフルカラーにする手法に進展があった。

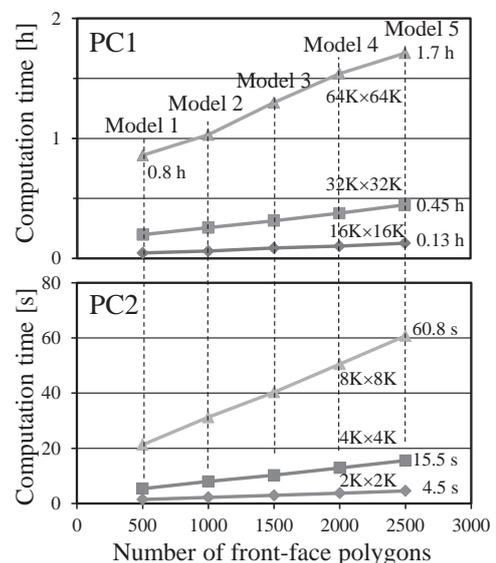
2.1. オクルージョン処理技術

肉眼で物体を見たとき、視点を動かすとそれまで物体の背後に隠れていた別の物体や背景が見えてくる。これを相互オクルージョンと呼ぶ。複雑な形状の単一の物体でもこれは起こる。その場合は自己オクルージョンと呼ばれている。オクルージョンは、人にとって物体の前後関係や深さを知覚する強い手がかりになる。そのため、オクルージョンを正しく処理することは3D映像技術のみならず、コンピュータグラフィックス(CG)でも重要であり、CGでは隠面消去技術と呼ばれている。

従来、相互オクルージョンは物体単位シルエット法と呼ぶ技術で比較的簡単に処理可能であったが、それでは

自己オクルージョンが処理できないため、複雑な形状のCGモデルからCGHを計算することはできなかった。自己オクルージョンの処理はポリゴン単位シルエット法を用いれば可能であったが、計算時間が極めて長くなる問題があった。スイッチバック法と呼ぶ、ポリゴン単位シルエット法を高速で処理するための手法は、この問題を解決した。

図2.1にスイッチバック法の計算時間例を示す¹⁾。この手法では、40億ピクセル規模の高解像度CGHで、2500ポリゴンが2時間以下、2K2Kの電子ホログラフィではわずか4.5秒で処理できる。この手法で作成した高解像度CGHの例を図2.2に示す。

図2.1 スイッチバック法による計算時間例¹⁾

また、この手法では計算時間短縮のために最適な分割数で物体を分割することが重要であり、その最適化手法も提案している²⁾。

*1 システム理工学部教授 博士(工学)

*2 理工学研究科

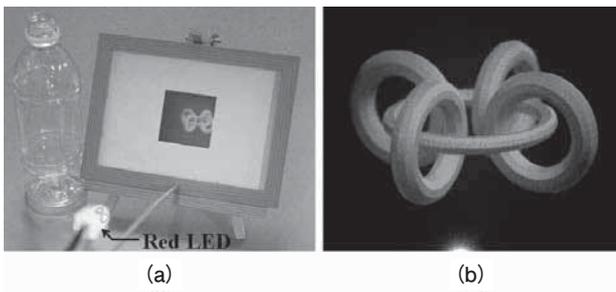


図2.2 スイッチバック法で作成した高解像度CGH¹⁾

2.2. ダイクロイックミラーを用いたフルカラーCGHとその設計波長最適化

高解像度CGHをフルカラー再生するためには、原理的にはRGB3原色用の波長でCGHを作成し、その波長で再生した像を重ね合わせればよい。

白色光源を用いてこれを行うのが、図2.3のダイクロイックミラーを用いた光学システムである。このシステムでは、白色LEDの光を2枚のダイクロイックミラーを通して赤、青、緑の色に分離し、3枚のCGHを再生している。我々が用いるレーザリソグラフィによるCGH作成方法では像が反射光として再生されるため、照明光と同じ光路を逆行した再生光が再びダイクロイックミラーに入射して重ねあわせられ、フルカラー再生像が得られる。

その再生像の例を図2.4に示す。CGHは単一の設計波長で計算されるのに対して、再生照明光には一定の波長バンド幅があるため、不適切な設計波長でこのような

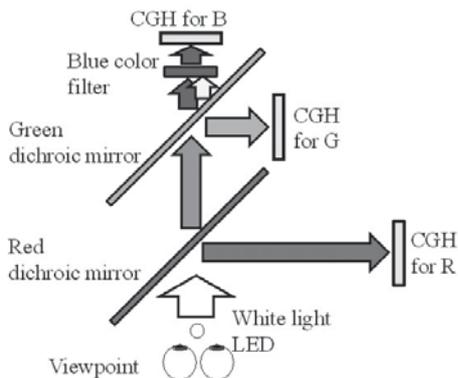


図2.3 ダイクロイックミラーを用いたフルカラー再生光学系³⁾



図2.4 フルカラー再生像の例³⁾

CGHを作成すると色収差による色ずれによりカラー再生像が劣化する。そこで、我々は3色の再生像の重なり合いが最大になるよう設計波長を最適化する手法により、色収差による像劣化を減少する手法を開発した³⁾。

2.3. 関大デジタルホロスタジオ

高解像度コンピュータホログラフィの研究開発基盤を研究者に提供するために、関大デジタルホロスタジオを開設した。このスタジオは、最小ピクセル間隔0.6 μ mで20cm角のCGH描画が可能な最新のレーザリソグラフィ装置を備えており、一定の条件を満たせば、誰でもCGH描画を依頼できる。

3. レーザリソグラフィによるサブミクロンピクセルCGHの作製

中原住雄^{*3}

3.1. はじめに

3次元画像分野において種々の技術や装置が開発されているが、本研究では真の3次元像の波面再生可能なホログラム光学素子の作製技術の開発を行っている。ホログラフィ技術の中でも計算機合成ホログラムに特化し、レーザリソグラフィシステムを駆使して、計算で得られた干渉縞のパターンをフォトマスク基板にダイレクトに描画し、フォトリソ現像+クロム膜エッチングをすることで反射タイプの振幅型のバイナリータイプのホログラムを得ている。ディスプレイ分野の機器において、広サイズ化、高精細化が年々進化しているが、計算機ホログラフィ分野においても、広視野角、広視域を実現するためには、ホログラムの拡大化、高精細化が望まれる。今までの描画手法においては、描画装置のスペックから1ミクロン前後のピクセルパターンを描画していたが、レーザ加工分野で行われているヒートモードリソグラフィ⁴⁾の手法をもとに、フォトリソに可視光の波長オーダーのピクセルパターンの描画を試みた。今回は、0.8 μ mピクセルピッチの干渉縞パターンをもとに縮小描画手法を用いて、640nm、500nm、320nmとサブミクロンのピクセルピッチのホログラム作製を行うことを目指した。

3.2. サブミクロン描画のヒートモードリソグラフィ概念

レーザ加工の分野では、ヒートモードリソグラフィという加工法がある。これは、光ディスク製造技術から派生したパターン形成技術である。いわゆるリソグラフィ

*3 システム理工学部准教授 工学博士

とは、レーザー光などに感光する材料を用いてパターンを形成する方法である。通常のリソグラフィではレーザービーム径内全域を感光させるのに対して、ヒートモードリソグラフィ技術ではビーム径の中心部分だけを熱反応させることで、従来よりもはるかに小さな径のパターンを形成することができる。レーザービーム径の約4分の1のサイズも形成できることが示されている。ある一定温度以上に過敏に熱反応する材料特性をパターン形成に利用することで、サイズが小さいだけでなく急峻で鮮明なパターンエッジとすることができる。

一般的なリソグラフィでは、パターンサイズは露光に用いるビーム径とほぼ等しくなることから、光の波長を短くすることでしかパターンサイズを縮小することができない。そのため、可視光の波長400~700nm程度かそれ以下の微細なパターンを形成するには、光源として電子線やX線を用いる高価な露光装置が必要になり、高コストな加工プロセスになる。一方、ヒートモードリソグラフィは、レーザー光の解像限界を超えたパターン形成技術であることから、安価なレーザー露光装置を用いて微細なパターンを大面積に形成することができる特徴がある。我々が用いる感光材料は、ポジ型のフォトリソレジストAZP1350であり、これに該当する特性を持っているか不明であるが、従来のフォトリソマスク基板に塗布されている金属クロム膜にホログラムの干渉縞のパターンを描画するという概念から離れて、フォトリソレジストに干渉縞の描画パターンを転写できれば良いという手法を用いた。従って、作成されるホログラムはレジストの厚みが変調成分を表すため、位相型ホログラムになる。

3.3. 実験結果

本レーザー描画装置はラスタースキャン方式であるので、スキャンによりビームの強度パターンの裾野が重なる部分が生じる。この時のレーザーのパワーや減衰フィルタなどによりレジストへの露光エネルギーを変化させ、現像後のレジスト除去量を調節する。そのため、レーザー直接描画装置のパワーに対する基板上的レジストが除去される量の関係を求める必要がある。本実験においては、この描画装置の描画時間の短縮化を図るため、2値化された情報を出力する。なお、今回使用したレーザー描画装置DWL66はグレースケール描画モードを保持しているが、描画速度が極端に遅く、今回は使用していない。装置のスペックとしては最小スポット径0.8 μm となっている。2つの点光源の分解能 δ の定義は色々あるが、例えばレーリーの基準によれば、 $\delta=0.61\times\lambda/\text{NA}$ 、 λ は光の波長(405nm)、NAは描画用レンズの開口数(0.55)、計算上は0.5 μm 程度が解像されることになる。しかし、レーザー照射条件や撮像系、レジストの現像条件、Cr膜のエツ

チング条件によって解像の極限值は変化するので、これが限界ではないと考えられる。ヒートモードリソグラフィと同様のパターンがレジスト上に得られるとするならば、最少スポット径の4分の1程度であるので、0.2 μm が限界かと思われる。

我々は、露光量とレジストの除去量のデータをもとに、レーザーのパワーと減衰フィルタ、レジストの厚み及び現像時間を調節することによって、レジストの除去量をコントロールした。レーザーリソグラフィとしては、0.8 μm ピクセルの干渉縞の元データを基に縮小露光($\times 0.8$, $\times 0.5$, $\times 0.4$)することにより、640nm、500nm、320nmのピクセルサイズのホログラムを描画作製した。その結果として、ピクセルサイズ640nm、500nmの干渉縞を作製し、広視野角の再生像を得た⁵⁾。なお、再生照明光にはレーザー+LEDの小型プロジェクターを用いた。

4. デジタルホログラフィ技術を用いたコンピュータホログラフィ用光波撮像技術

田原樹*⁴

本プロジェクトの目的の一つである面内30cm四方のカラーホログラフィック撮像システム実現のため、本年度は昨年度提案した基本技術の改良、光学システム試作、技術の実証に注力した。また、新奇多波長記録方式を提案した。

カラー3次元画像情報を記録可能なカラーデジタルホログラフィでは、カラーフィルタアレイを用いると3次元的に像がボケるため、時間分割または角度多重記録方式が一般的である。しかしながら、従来、カラー3次元画像を得るために時間分解能または撮影範囲が厳しく制限される。そこで、実在する物体への適用を見据え、時間分割方式の改良、角度多重記録方式における撮影範囲の拡大実証に加え、瞬間多波長カラー3次元画像記録可能な方式の提案と実証に着手した。

従来、時間分割記録では広範囲記録が可能であるが、RGBに対応するN波長の情報記録に最低3N回の撮像と光源切り替えの機構が必要である。昨年度に光源切り替えの必要がなく、ホログラム取得を2N+1種類にまで低減することで時間分解能を向上させるカラーデジタルホログラフィ方式を提案した。今年度は、新たに信号処理アルゴリズムを考案することで必要情報を2N種類にまで減らし⁶⁾、さらに、専用の光学素子アレイを用いることで波長数に依らず1回の記録で済ませる方法を提案・発表した⁷⁾。基本技術の実証、光学システム化が次年度の課題である。

*4 システム理工学部助教 博士(工学)

角度多重記録では単一露光でカラー3次元画像記録可能であるが、従来、狭い範囲しか撮像できず、無理に撮像するとノイズ光が物体の像に重畳する。広範囲カラーホログラフィック画撮像を目指し、信号理論と光学系の最適設計により撮影範囲広域化を試みた。そして、ノイズ光がなく鮮明なカラー3次元画像記録能力を実証した^{8,9)}。面内30cm四方記録のための光学系の工夫が、次年度の課題である。

前述の方法ではいずれも広範囲動画記録が可能であるが、特殊な素子の必要性に加え、波長数の増加に伴いシステムが複雑化するという課題を抱えている。既存の方法では、多波長を精度よく動画記録することができない。極めて鮮明なカラー動画を得るためには、多色情報の瞬時記録が必須であることに鑑み、波長数に依らずコンパクトな光学システムで実現可能な方式を考案した¹⁰⁾。そして、日本国硬貨の瞬時カラー3次元画像記録を実証し¹⁰⁾、光学システムの設計に応じて800nmの構造の瞬時複数波長3次元分解イメージングが可能であることを併せて実証した¹⁰⁾。また、ホログラフィの特徴を活用することによる透明な生物試料の3次元形状可視化を示し¹⁰⁾、複数波長の同時記録による透明物体可視化性能の向上を実験的に示した¹¹⁾。

次年度は上記システムの改良を行い、目的達成に最適な撮像方式を選定することを目指す。

5. 超大規模データの圧縮

棟安実治*¹⁾、田口亮*⁵⁾

5.1. はじめに

昨年度は、これまでの画像圧縮技術のアウトラインを調査することから始め、現在、標準化が進行している3次元映像符号化について調査を行った。その結果として、ホログラフィを圧縮する際の問題点とそれに関連する研究課題を明らかにした。今年度はその結果を受けて、CGH画像の干渉縞のロスレス圧縮技術の開発に取り組んだ。ロスレスに着目した理由として、ホログラフィの圧縮において大きな問題点となる画質評価を必要としないことがあげられる。ロッキー圧縮では、性能評価のためにこの点を避けて通ることができない。以下に、提案手法とその評価について報告する。

5.2. 提案手法

対象となる干渉縞は2値画像であり、0または255を取る。ここでは、これを0と1の2値画像と考えて、圧縮手法について考察した。干渉縞画像の例を図5.1に示す。

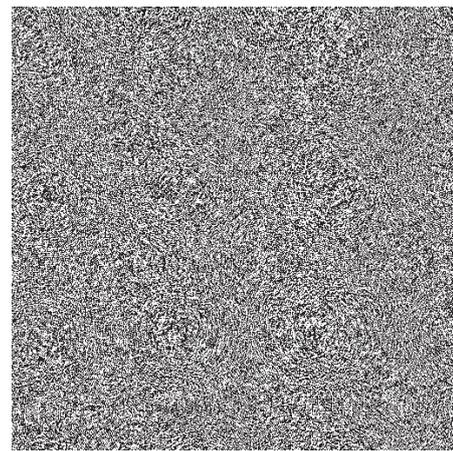


図5.1 干渉縞画像の例

この画像は、干渉光の振幅成分を誤差拡散法で2値化したものと考えられるため、誤差拡散の元来の性質を考慮すると、従来の画像圧縮に利用された画素値の類似性のようなものは期待しにくい。そのため、ここでは0または1の連続性を評価するランレングスに着目した。実際に図5.1の画像の左上4分の1に対してランレングスを求めると、図5.2のような結果を得た。この結果から2のランレングス長が多数現れるため、この部分を1ビットで符号化できれば、圧縮が行える。すなわち、ランレングス長の分布によって符号設計することで、圧縮が行えることがわかる。

具体的には、次のように符号化を行うものとした。

- 1) 画像を適切なサイズで分割し、画像ブロックを作成する。
- 2) 各ブロックのランレングスを計算する。
- 3) ランレングスのヒストグラムからHuffman符号を設計する。
- 4) Huffman符号の総ビット数と符号化結果の総ビット数から圧縮率を求める。
- 5) 圧縮率が1より小さければこの符号化を採用し、1より大きければ採用せず、このブロックについては圧縮を行わない。
- 6) 圧縮率が最も良くなるように、画像の分割並びにスキャン方向を変更する。

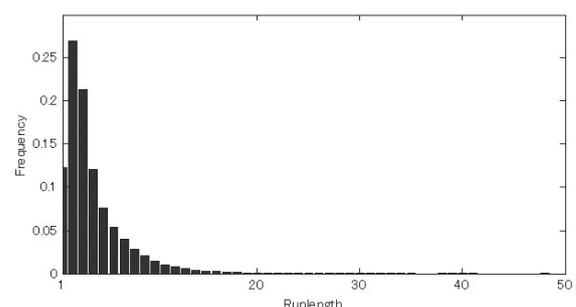


図5.2 ランレングスのヒストグラム

*5 東京都市大学 生体医工学科教授

5.3. 実験結果

2048×2048の画像2枚(実物体、ポリゴンとする)および4096×4096の画像(Mikuとする)を用いて評価を行った。評価に用いた指標Iは、

$$I = \left(1 - \frac{t+F}{M \times N}\right) \times 100 [\%]$$

である。ここで、 t はHuffman符号の符号量で、 F はそれによって符号化された画像の符号量を示す。また、 M と N は画像の縦と横の画素数である。この指標は100に近い方がより強く圧縮されていることになる。

表5.1にブロックサイズとスキニング方向(縦と横で表示)に関する各画像の指標値を示す。結果から、提案手法により一定の圧縮が行われていることがわかる。特に、“ポリゴン”のようなポリゴンモデルで生成された干涉縞には、より大きな圧縮性能が得られることがわかる。この指標では直接的に評価できないが、よく知られるZIPを使って圧縮した場合よりもよい結果が得られている。

表5.1 実験結果[%]

サイズ	実物体	ポリゴン	Miku
2048(横)			8.95
2048(縦)			4.68
1024(横)	6.02	0.80	11.25
1024(縦)	4.23	10.15	5.75
512(横)	5.93	5.51	11.99
512(縦)	4.15	10.29	5.73
256(横)	5.68	5.88	12.01
256(縦)	3.95	11.66	5.71

5.4. まとめ

CGH画像の干涉縞のロスレス圧縮技術について、ランレングスに基づく新たな手法について提案した。ポリゴン画像の場合、10%程度の符号量削減が行える。今後は、さらにこの手法の検討を行うとともに、ロッキー圧縮の手法についても検討する予定である。

6. 高度三次元音響技術の開発

梶川嘉延^{*1}、Shi Chuang^{*6}、Woon-Seng Gan^{*7}

6.1. はじめに

コンピュータホログラフィによる三次元映像に対して、より没入感をユーザに与えるためには、視覚だけでなく聴覚への付加的な刺激が重要となる。そのためには、聴覚に対する三次元音響技術の開発が必須となる。三次元音響技術には波面合成法、アンビソニックなどに代表される実音場における音波を忠実に再現する技術と、ト

ランスオーラルシステムに代表される制御点における音響信号を再現する技術とがある。それぞれは、三次元映像技術におけるホログラフィと視差を利用した三次元テレビに相当する。前者の技術はユーザに対して没入感を与えるのには最適であるが、非常に多くの再生用スピーカを必要とするなど、実現面における課題が多数残されている。一方、後者の技術は容易に三次元音場をユーザに提示することが可能であるが、制御点が限定される、演算量が多いなどの問題点が残されている。今年度は、前年度に引き続きトランスオーラルシステムに関する検討を行った。特に、再生装置のキーとなるパラメトリックアレイスピーカ(PAL)について、その音質を改善するための非線形信号処理技術について検討を行った。

6.2. 検討システムの概要

超音波を搬送波としたパラメトリックアレイスピーカ(PAL: Parametric Array Loudspeaker)は指向性の高い音が望まれる様々な実用的アプリケーションのための音響再生装置として研究されている。PALを用いたアクティブノイズコントロールにおける最近の実例では、2台のPALが使用者の左右の耳それぞれを騒音制御するために使用されている^{12,13)}。また、同様の構成は3D音場再現でも検討されている。しかしながら、PALの音質は再生原理が非線形音響に基づくため、副産物として生じる非線形歪みが多く満足のものではない。PALの開発以来、この問題を解決するため多くの前処理手法が提案されている。我々は、PALの非線形歪み補正としてVolterraフィルタを用いた線形化システムを提案した¹⁴⁻¹⁶⁾。この補正法では、PALの非線形性をVolterraフィルタによりモデル化し、そのVolterraフィルタを利用して非線形歪みの補正信号を生成する。

音波の振幅が十分に小さい場合、線形音響モデルは一般的に正確で適用が容易である。しかし、音波の振幅が大きいと非線形の音響効果が顕著になるため、音響モデルではその影響を無視することができない。この場合、音波は有限振幅音波といわれている。周波数の近い2つの有限振幅音波が放射されるとき、高調波の他に和や差の周波数において相互変調波が発生する。超音波領域で有限振幅音波が放射されるとき、差の周波数による仮想音源がエンドファイアアレイの形で形成されるため、差の周波数の音のみを聞くことができる。さらに、差の周波数の音波が遠方まで到達し、振幅が大幅に減少するよりも早く超音波は空気に吸収される。

可聴音入力超音波搬送波を用いて変調され、変調された信号は増幅され、超音波エミッタから放射される。変調信号の側波帯には、可聴音入力の情報が含まれており、空気中を伝搬する際、搬送波との相互作用により、

*6 先端科学技術推進機構ポスト・ドクトラル・フェロー

*7 Associate Professor, Nanyang Technological University

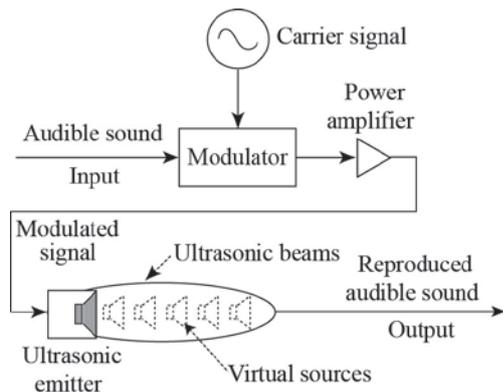


図6.1 PALの原理

それらの差の周波数が自己復調波としてもたらされる。この現象は、自己復調効果として知られ、自己復調波の指向性は搬送波と同様である。したがって、PALの放射音のビーム幅は同じエミッタサイズの他の音響再生装置と比較して非常に狭い。

6.3. 検討結果

補正実験を行うにあたり、まず、1次、2次Volterra核を同定した。そして、同定したVolterra核を用いて線形化システム(VF)を設計し、PALの2次非線形歪み補正実験を行った。その時の平均補正量を表6.1に示す。

表6.1 非線形歪み補正結果

高調波歪	和の相互変調歪	差の相互変調歪
21.7dB	18.3dB	20.0dB

表6.1より、PALの非線形歪みを約20dB程度補正できていることがわかる。また、演算量について検討したところ、Intel Corei7 3.10GHzのパソコンで、検証用信号(1分48秒)に対して要した処理時間は1分41秒であり、ほぼリアルタイムでの処理が可能であることもわかった。

7. 超高密度環境における通信品質評価およびデータオフロード法提案

中村大樹^{*2}、四方博之^{*8}

今後、無線通信機能を有する端末の数は年々増え続け、現在よりも超高密度な環境での無線通信が一般的になるものと考えられる。そこで、本研究では、超高密度環境を想定した場合の無線通信特性についてシミュレーションによる評価を行った。

7.1. 評価環境・モデル

無線通信端末が、100m×150m程度のエリアに数多く存在する環境を想定する。各端末は、通信範囲内に存在する受信ノードに対してデータを送信する。端末台数としては、100台規模および1000台規模の2種類の状況を想定し、それぞれの場合のフレームサイズを460Bytesおよび60Bytesとする。また、利用可能な無線帯域を50kbpsとする。Medium Access Control(MAC)プロトコルとしては、数多くの無線通信規格で採用されているCarrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance(CSMA/CA)の適用を考える。各端末は10秒に1回の周期でデータを送信するものとする。

7.2. シミュレーション結果

図7.1に100台規模の場合のノード数に対するパケット到達率特性を示す。なお、本評価では端末によるパケット再送あり・なしのそれぞれの場合について評価した。図中の“Average”は平均パケット到達率、“Worst”は全ての端末のうち、最も到達率が低い端末の到達率の平均(最低パケット到達率と呼ぶ)を示している。この結果から、再送ありの場合には、ノード数が少ない場合に特性を改善できるものの、ノード数の増加に伴いその特性が大きく劣化することが分かる。これは、再送を行うためのACKフレームのオーバーヘッドに起因する。また、再送を行わない場合は、最低パケット到達率が低くなっていることが分かる。いずれの場合もノード数が増えると、到達率が80%を下回っており、このような高密度で比較的大きいサイズのフレームを送信することの難しさが分かる。一方、図7.2に、1000台規模の場合のノード数に対するパケット到達率特性を示す。ここでは、再送なしの場合の結果のみを示す。この図より、1000台規模の場合には、平均パケット到達率、最低パケット到達率ともに低い値になることが分かる。1000台ものノードが同時にアクセスする場合には、たとえ60Bytesと小さいサイズのフレーム送信であっても、その到達率を高く維持することは非常に困難であることが分かる。

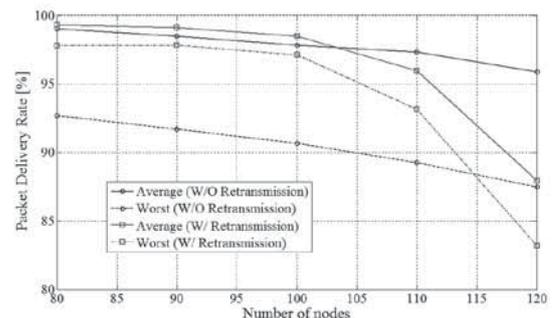


図7.1 ノード数に対するパケット到達率特性 (100台規模)

*8 システム理工学部准教授 博士(工学)

これらの結果より、超高密度環境にてCSMA/CAに基づくアクセスを行うためには、物理層を含めた通信方式・プロトコルの改良が必須であることを確認できた。

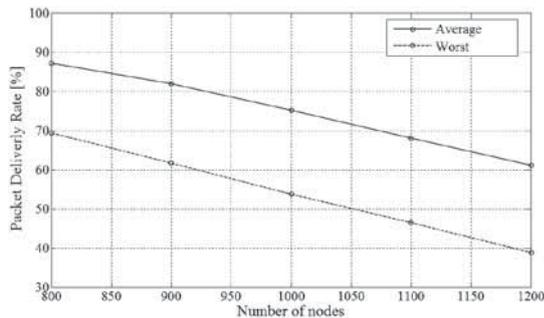


図7.2 ノード数に対するパケット到達率特性 (1000台規模)

7.3. データオフロード法評価

ユーザの生活行動・移動パターンを活用したWiFiオフロード法¹⁷⁾について、多数の端末が移動を行う環境での有効性評価を行った。また、このオフロード法で取り入れているDelayed Offloadingは、ユーザにとってのメリットが少ないため導入が難しい。そこで、ユーザの導入を促進する、あるいは通信事業者がオフロードの使用を強制するオフロード法の提案を行った。提案オフロード法は、ユーザが任意にオフロード実施・非実施を選択し、オフロード利用量に応じて利用料を減額するユーザ選択型、通信事業者の回線が逼迫したときのみオフロードの利用を強制する高負荷強制型、常にオフロードの利用を強制する常時強制型の3つからなる。これらのオフロード法により、通信事業者は、オフロード利用を促進することが可能となり、高密度・高負荷なセルの通信量抑制・制御が実現可能となる。

7.4. まとめ

本研究では、高密度・高負荷な環境での無線通信品質特性の明確化および高負荷環境を解消するためのオフロード法に関して検討を行った。

8. デジタルサイネージを用いたメンズファッションコーディネート生成システム

徳丸正孝^{*8}

8.1. はじめに

本研究では、2013年度に開発した一対比較投票による対話型進化計算システムを発展させ、通りすがりの多くの人から投票を得てデザインの最適化を行うシステムの開発を行った^{18,19)}。

本研究にて開発したメンズファッションコーディネー

ト生成システムは、デジタルサイネージを用いて様々な配色の衣服コーディネートを表示し、通行人などの多くのユーザから直感的に良いと感じるデザインに投票してもらうことで、獲得票数を解候補の評価値として進化計算を行うものである。したがって、投票に参加する多くのユーザの感性を反映したデザインの生成が期待できる。

8.2. システム概要

図8.1にメンズファッションコーディネート生成システムの概要を示す。提案システムにおける衣服コーディネートデザインは、ジャケット、Tシャツ、ボトムス、ソックスの4つの3D衣服モデルで構成される。それぞれの衣服の形状は固定されているが、各衣服は柄および配色の異なる複数のデザインが用意されている。プロトタイプとして作成した今回のシステムでは、実際に市販されている衣服を基に3D衣服データが作成され、ジャケット、Tシャツ、ソックスは、それぞれ16種類、ボトムスは、8種類のデザインを有している。したがって、衣服コーディネートの組み合わせは32,768通りとなる。

本システムではまず、乱数によって初期コーディネートデザイン群を生成し、対戦表を生成する。その対戦表を基に、デジタルサイネージを通してユーザにコーディネートデザインを提示する。ユーザは、各対戦において提示された2つのデザインのうち、好みの方に1票を投じるのみの簡単な評価を行う。

図8.2にシステムの投票用インタフェースを示す。本システムでは2台のデジタルサイネージを並べて配置し、それぞれのサイネージに1つずつコーディネートデザインを表示している。また、サイネージの前に大型の投票用ボタンを設置し、ユーザはボタンを押すことで好みのデザインに対して投票を行う。

本システムでは、ユーザが投票をする度、現世代の対戦表の中からランダムに1つの対戦が選択され、デジタルサイネージ上に表示される。提案システムは、予め定めた勝敗の決定に十分な票数を獲得した時点で、提示

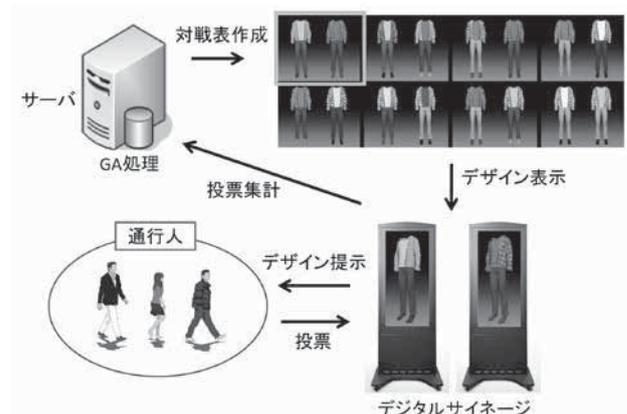


図8.1 システム概要



図 8.2 投票用インターフェース

した対戦の勝敗を決定する。また、勝敗が決定した対戦は、現世代の間ユーザに提示されないものとする。勝敗が決定した対戦は、対戦デザインが獲得した投票数を基にGA 処理が行われ、新たなデザインを生成する。そして、新たに生成したデザインを基に新たな対戦表を生成し、再度ユーザにデザインを提示する。

8.3. システム運用実験

提案システムを大学構内に設置し、10日間の運用実験を行った。その結果、合計で1,679票の投票を獲得し、20世代の最適化処理により衣服デザインが比較的類似したデザイン候補に収束した。これにより、提案システムは多くの人の感性を反映したデザイン生成が可能であることが確認できた。

謝辞

本研究は、「文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業（平成25年度～平成29年度）」によって実施されたものである。

参考文献

- 1) K. Matsushima, M. Nakamura, S. Nakahara, Silhouette method for hidden surface removal in computer holography and its acceleration using the switch-back technique, *Opt. Express*, 22(20), 24450 (2014).
- 2) S. Masuda, K. Matsushima, S. Nakahara, Optimization of the switch-back technique used for fast occlusion-processing in computer holography, *Practical Holography XXIX: Materials and Applications*, USA (2015).
- 3) T. Miyaoka, K. Matsushima, S. Nakahara, Optimization of design-wavelength for unobtrusive chromatic aberration in high-definition color computer holography, *Practical Holography XXIX: Materials and Applications*, USA (2015).
- 4) H. Miura, *et al.*, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 45, 1410 (2006).
- 5) 中原住雄, 松島恭治, レーザリソグラフィを用いた広視野角と視域拡大CGHの作製, *HODIC Circular*, 34(1), 8 (2014).
- 6) 田原樹, 森亮太, 菊永修平, 新井泰彦, 高木康博, 波長情報を選択的抽出可能な位相シフト干渉法におけるホログラム記録枚数低減, *Optics and Photonics Japan 2014 講演予稿集*, 6pP13 (2014).
- 7) T. Tahara, S. Kikunaga, Y. Arai, Y. Takaki, Phase-shifting interferometry capable of selectively extracting multiple wavelength information and its applications to sequential and parallel phase-shifting digital holography, *OSA Three-Dimensional Imaging 2014 (DH)*, DM3B.4, USA (2014).
- 8) 田原樹, 加来徹, 高橋祐樹, 新井泰彦, 高木康博, 位相を利用し多波長情報を取得するデジタルホログラフィ, *Optics and Photonics Japan 2014 講演予稿集*, 5aDS6 (2014).
- 9) T. Tahara, Y. Takahashi, T. Komura, T. Kaku, Y. Arai, Single-shot multiwavelength digital holography using angular multiplexing and spatial bandwidth enhancement for extending the field of view, submitted.
- 10) T. Tahara, T. Kaku, Y. Arai, Digital holography based on multiwavelength spatial-bandwidth-extended capturing-technique using a reference arm (Multi-SPECTRA), *Opt. Express*, 22, 29594 (2014).
- 11) T. Tahara, T. Kaku, Y. Arai, Single-shot multiwavelength phase-unwrapping using a single reference beam and a monochromatic image sensor, submitted.
- 12) K. Tanaka, C. Shi, Y. Kajikawa, Study on active noise control system using parametric array loudspeakers, *7th Forum Acusticum*, Poland (2014).
- 13) K. Tanaka, C. Shi, Y. Kajikawa, Multi-channel active noise control using parametric array loudspeakers, *2014 Asia Pacific Signal and Information Processing Association (APSIPA) Annual Summit and Conference*, Cambodia (2014).
- 14) Y. Hatano, C. Shi, Y. Kajikawa, A study on linearization of nonlinear distortions in parametric array loudspeakers, *2014 International Workshop on Smart Info-Media Systems in Asia*, Vietnam (2014).
- 15) C. Shi, Y. Kajikawa, W. S. Gan, An overview of directivity control methods of the parametric array loudspeaker, *APSIPA Transactions on Signal and Information Processing*, 3(E20), 1 (2014).

- 16) C. Shi, Y. Kajikawa, A comparative study of preprocessing methods in the parametric loudspeaker, Proceedings of the 2014 Asia Pacific Signal and Information Processing Association (APSIPA) Annual Summit and Conference, Cambodia (2014).
- 17) 岡本裕太, 四方博之, 生活行動・移動パターンを活用したWiFiオフロード法, 電子情報通信学会総合大会, 新潟 (2014).
- 18) 坂井将之, 竹之内宏, 徳丸正孝, デジタルサイネージを用いた複数のユーザの投票によるデザイン生成支援システム, 第30回ファジシステムシンポジウム, TA3-4, 378, 高知 (2014).
- 19) M. Sakai, H. Takenouchi, M. Tokumaru, Design Support System with Votes from Multiple People using Digital Signage, 2014 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI 2014), 26 (2014).

私立大学戦略的研究基盤形成支援事業プロジェクト（平成25～29年度）

コンピュータホログラフィ技術を中心とした 超大規模データ処理指向コミュニケーション

平成26年度 研究成果一覧表

論文

- (1) K. Matsushima, M. Nakamura, S. Nakahara, Silhouette method for hidden surface removal in computer holography and its acceleration using the switch-back technique, *Optics Express* 22(20), 24450-24465 (2014).
- (2) T. Tahara, T. Kaku, Y. Arai, Digital holography based on multiwavelength spatial-bandwidth-extended capturing-technique using a reference arm (Multi-SPECTRA), *Optics Express*, 22(24), 29594-29610 (2014).
- (3) T. Tahara, Y. Takahashi, Y. Arai, Image-quality improvement in space-bandwidth capacity-enhanced digital holography, *Optical Engineering*, 53(11), 112313 (2014).
- (4) C. Shi, Y. Kajikawa, W. S. Gan, An overview of directivity control methods of the parametric array loudspeaker, *APSIPA Transactions on Signal and Information Processing*, 3, e20 (2014).

国際学会

- (1) S. Masuda, K. Matsushima, S. Nakahara, Optimization of the switch-back technique used for fast occlusion-processing in computer holography, *Practical Holography XXIX: Materials and Applications*, 9386-22, USA (2015).
- (2) T. Miyaoka, K. Matsushima, S. Nakahara, Optimization of design-wavelength for unobtrusive chromatic aberration in high-definition color computer holography, *Practical Holography XXIX: Materials and Applications*, 9386-24, USA (2015).
- (3) S. Nakahara, K. Matsushima, M. Takita, Y. Okino, Reconstructed multiple images on coaxial depth direction from computer generated hologram, *24th International Symposium on Optical Memory*, We-J-41, Taiwan (2014).
- (4) K. Matsushima, S. Nakahara, S. Masuda, T. Miyaoka, Research facilities for computer holography at Kansai University and several recent topics, *International Workshop on Holography and Related Technologies 2014*, 16b01, China (2014).
- (5) K. Matsushima, S. Nakahara, Computer holography and a great future of spatial 3D imaging, *The 14th International Meeting on Information Display*, 3-2, Korea (2014).
- (6) K. Matsushima, S. Masuda, S. Nakahara, Performance of the switch-back technique for fast hidden-surface removal in computer holography, *Digital Holography and Three-Dimensional Imaging 2014*, DTu2B.7, USA (2014).
- (7) S. Nakahara, K. Matsushima, Fabrication of computer generated holograms constituted from sub-micrometer pixel for wide viewing angle using laser lithography, *Digital Holography and Three-Dimensional Imaging 2014*, JTu4A.10, USA (2014).
- (8) K. Matsushima, S. Nakahara, Switch-back method: A fast technique for hidden-surface removal in computer holography, *13th Workshop on Information Optics 2014*, Switzerland (2014).
- (9) S. Nakahara, K. Matsushima, Laser lithography to producing computer generated holograms with 3D image and wide-field of view, *15th International Symposium on Laser Precision Microfabrication*, P38, Lithuania (2014).
- (10) T. Tahara, Y. Arai, Single-shot multiwavelength digital holography using a monochromatic image sensor and a single reference beam, *Optics & Photonics Taiwan, International Conference, 2014-FRI-S0404-I003*, Taiwan (2014).
- (11) T. Tahara, T. Kaku, Y. Arai, Multiwavelength digital holography utilizing the space-bandwidth capacity-enhance, *SPIE/COS Photonics Asia*, 9279-34, China (2014).
- (12) T. Tahara, T. Kaku, Y. Arai, Single-shot color digital holography based on spatial frequency-division multiplexing and space-bandwidth capacity-enhance, *JSAP-OSA Joint Symposia 2014*, 20a-C4-6, Hokkaido (2014).
- (13) T. Tahara, S. Kikunaga, Y. Arai, Y. Takaki, Phase-shifting interferometry capable of selectively extracting

- multiple wavelength information and its applications to sequential and parallel phase-shifting digital holography, Digital Holography and Three-Dimensional Imaging 2014, DM3B.4, USA (2014).
- (14) T. Tahara, P. Xia, Y. Awatsuji, K. Nishio, S. Ura, T. Kubota, O. Matoba, Multi-parameter motion-picture recording with wide space-bandwidth by parallel phase-shifting digital holography, SPIE DSS Three-Dimensional Imaging, Visualization, and Display 2014, 9117-11, USA (2014).
 - (15) T. Tahara, Y. Arai, Extension of the space-bandwidth product in single-shot multi-wavelength interferometry using a single reference beam, Biomedical Imaging and Sensing Conference 2014, BISCp3-6, Kanagawa (2014).
 - (16) M. Muneyasu, T. Imai, Switching fuzzy weighted mean filters based on fuzzy C-means algorithm, 2014 International Workshop on Smart Info-Media Systems in Asia, RS1-01, Vietnam (2014).
 - (17) K. Tanaka, C. Shi, Y. Kajikawa, Multi-channel Active Noise Control Using Parametric Array Loudspeakers, Asia Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference 2014, 1286, Cambodia (2014).
 - (18) C. Shi, Y. Kajikawa, A comparative study of preprocessing methods in the parametric loudspeaker, 2014 Asia Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference, 1238, Cambodia (2014).
 - (19) Y. Kajikawa, Integration of Active Noise Control and Other Acoustic Signal Processing Techniques, 2014 IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems, 7256, Okinawa (2014).
 - (20) Y. Hatano, C. Shi, Y. Kajikawa, A study on linearization of nonlinear distortions in parametric array loudspeakers, 2014 International Workshop on Smart Info-Media Systems in Asia, RS2-03, Vietnam (2014).
 - (21) K. Tanaka, C. Shi, Y. Kajikawa, Study on Active Noise Control System Using Parametric Array Loudspeakers, 7th Forum Acusticum 2014, PJ02-4, Poland (2014).
 - (22) H. Yomo, D. Nakamura, S. Hara, Human group sensing and networking: Scenario development and feasibility study, 9th International Symposium on Medical ICT, THB2-3, Kanagawa (2015).
 - (23) M. Tokumaru, Implementation of the healthy eating habits support system based on user taste preferences and nutritional balance, International Conference on Kansei Engineering and Emotion Research 2014, 66, Sweden (2014).
 - (24) H. Takenouchi, H. Inoue, M. Tokumaru, Signboard Design System through Social Voting Technique, 2014 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence, ISIC'14 1-3, USA (2014).
 - (25) M. Sakai, H. Takenouchi, M. Tokumaru, Design support system with votes from multiple people using digital signage, 2014 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence, ISIC'14 1-5, USA (2014).

国内学会

- (1) 松島恭治, 中原住雄, コンピュータホログラフィの研究を支援する関大デジタルホロスタジオ, 第19回関西大学先端科学技術シンポジウム, 大阪 (2015).
- (2) 中原住雄, 増田幸勇, 松島恭治, レーザリソグラフィによるサブミクロンピクセルCGHの作製, 平成26年第4回ホログラフィック・ディスプレイ研究会, 5, 大阪 (2014).
- (3) 松島恭治, コンピュータホログラフィ研究と作品制作のためのソフトウェア環境, 平成26年第4回ホログラフィック・ディスプレイ研究会, 6, 大阪 (2014).
- (4) 増田幸勇, 松島恭治, 中原住雄: コンピュータホログラフィにおけるスイッチバック法を用いた隠面除去の高速化手法, 平成26年第3回ホログラフィックディスプレイ研究会, 2, 千葉 (2014).
- (5) 宮岡貴史, 市原瑞穂, 松島恭治, 中原住雄, Kinect Fusionを用いた高解像度フルカラーCGHの作成と再生, 3次元画像コンファレンス2014, P-13, 東京 (2014).
- (6) 増田幸勇, 松島恭治, 中原住雄, スイッチバック法を用いたポリゴン単位隠面除去処理の性能とその改良, 3次元画像コンファレンス2014, P-14, 東京 (2014).
- (7) 田原樹, 加来徹, 高橋祐樹, 新井泰彦, 高木康博, 位相を利用し多波長情報を取得するデジタルホログラフィ, Optics and Photonics Japan 2014, 5aDS6, 東京 (2014).
- (8) 田原樹, 加来徹, 新井泰彦, 50°超の入射角をなす単一参照光路を用いる単一露光複数波長デジタルホログラフィ, Optics and Photonics Japan 2014, 6pE1, 東京 (2014).

- (9) 田原樹, 森亮太, 菊永修平, 新井泰彦, 高木康博, 波長情報を選択的抽出可能な位相シフト干渉法におけるホログラム記録枚数低減, Optics and Photonics Japan 2014, 6pP13, 東京 (2014).
- (10) T. Tahara, T. Kaku, Y. Arai, Y. Takaki, Digital holography for simultaneously sensing multiple wavelength information, 第5回デジタルオプティクス研究会CIS-Japan Collaboration Symposium, 東京 (2014).
- (11) 田原樹, 加来徹, 新井泰彦, 単色撮像素子と単一参照ビームを用いるシングルショットカラーデジタルホログラフィ, 精密工学会2014年秋季大会学術講演会, F08, 鳥取 (2014).
- (12) 田原樹, 多次元画像情報を同時記録するホログラフィ, 第23回日本バイオイメーjing学会学術集会, S4-3, 大阪 (2014).
- (13) 田原樹, 高橋祐樹, 新井泰彦, デジタルホログラフィにおける逆フィルタ補正による画質向上, 第39回光学シンポジウム, 22, 東京 (2014).
- (14) 藤井健作, 棟安実治, フィードフォワード型能動騒音制御用帰還系推定法に関する検討, 電子情報通信学会応用音響研究会, EA2014-63, 京都 (2015).
- (15) 日山文, 棟安実治, 携帯端末を考慮した印刷画像からのデータ検出手法の改良, 電子情報通信学会スマートインフォメディアシステム研究会, SIS2014-51, 山形 (2014).
- (16) C. Shi, Y. Kajikawa, Investigation of using Volterra filters to model a parametric array loudspeaker, 日本音響学会2015年春季研究発表会, 2-10-7, 東京 (2015).
- (17) C. Shi, Y. Kajikawa, Evaluation of modified amplitude modulation methods in the parametric array loudspeaker, 電子情報通信学会応用音響研究会, EA2014-83, 沖縄 (2015).
- (18) 羽田野佑太, 木下聡, 史創, 梶川嘉延, パラメトリックスピーカにおける非線形歪み補正に関する検討~Volterraフィルタの演算量削減と補正効果について~, 電子情報通信学会応用音響研究会, EA2014-119, 沖縄 (2015).
- (19) 羽田野佑太, 史創, 梶川嘉延, パラメトリックスピーカにおける非線形歪み補正に関する検討, 第29回信号処理シンポジウム, P1-7, 京都 (2014).
- (20) C. Shi, Y. Kajikawa, Volterra filters for representing the parametric acoustic array in air, 第29回信号処理シンポジウム, P3-4, 京都 (2014).
- (21) 田中貴大, 史創, 梶川嘉延, パラメトリックスピーカによる低演算量マルチチャンネルANCシステムの実現に関する検討, 第29回信号処理シンポジウム, P5-8, 京都 (2014).
- (22) C. Shi, Y. Kajikawa, A preprocessing method for the parametric array loudspeaker, 2014年電子情報通信学会基礎・境界ソサイエティ大会, A-4-20, 徳島 (2014).
- (23) 坂井将之, 竹之内宏, 徳丸正孝, デジタルサイネージを用いた複数のユーザの投票によるデザイン生成支援システム, 第30回ファジィシステムシンポジウム, TA3-4, 高知 (2014).

その他

- (1) 田原樹, 栗辻安浩, 夏鵬, 西尾謙三, 裏升吾, 並列位相シフトデジタルホログラフィと高速3次元動画記録および生体4次元顕微鏡応用, 光技術コンタクト, 52(7), 3-10 (2014).
- (2) 田原樹, 新井泰彦, 高木康博, 波長情報を選択的抽出可能な位相シフトデジタルホログラフィ, O plus E, 36(5), 533-537 (2014).

2015年度 技苑「プロジェクト研究報告概要」

私立大学戦略的研究基盤形成支援事業プロジェクト

コンピュータホログラフィ技術を中心とした
超大規模データ処理指向コミュニケーション

研究代表者：松島 恭治
 研究分担者：棟安 実治・梶川 嘉延・中原 住雄・
 四方 博之・徳丸 正孝・田原 樹・
 学外研究分担者：Petar Popovski・Woon-Seng Gan・
 田口 亮・山口 雅浩・坂本 雄児・
 伊藤 智義・下馬場 朋禄

1. はじめに

松島恭治*1

本プロジェクトは、大きくホログラフィグループと近未来コミュニケーショングループに分かれて研究活動を行っている。ホログラフィグループはホログラフィによる3次元映像の取得と再生、近未来コミュニケーショングループはその映像技術に伴う圧縮・伝送や音響技術、さらには、その潜在的アプリケーションの研究を行っている。以下、ホログラフィグループ、近未来コミュニケーショングループの順序で本年度の研究概要を掲載している。

2. 計算機合成ホログラム数値合成技術と関大デジタルホロスタジオ

松島恭治、中原住雄*2、土山泰裕*3、東野好伸*3

本年度は、従来モノクロ再生であった高解像度計算機合成ホログラム(Computer-Generated Hologram, 以下CGH)をフルカラー化する手法に大きな進展があり、実際に展示可能なフルカラーCGHが作製された。

2.1. カラーフィルタを用いた高解像度フルカラー計算機合成ホログラムの作製とそのシミュレーション技術

静止画としてのCGHをフルカラー表示する手法は、いくつか考えられる。昨年度報告したダイクロミックミラーを用いたフルカラー再生もその一つである。この方式では、色の3原色に相当する3波長で計算した3枚の高解像度CGHを作製し、ダイクロミックミラーを用いた光学系で白色LED光源の分光と3色の再生像の重ね合わせを行うため、非常に美しい再生像が得られる。しかし、ダイクロミックミラーを用いた光学系が複雑かつ

高価で重量も重く、またその調整に時間がかかるため、手軽に展示できるようなものではなかった。

そこで本年度は、Fig.1に示したように一枚に高解像度CGHの干渉縞を空間的に分割し、液晶パネル等で用いられるカラーフィルタをこの干渉縞に装着し、フルカラー再生する手法と取り組んだ。本プロジェクトで用いている手法では、干渉縞は金属膜として作製されるため、この手法で反射型でも透過型でも、カラーCGHが作製できる¹²⁾。ここで、一般にカラーフィルタの分光特性は非常に悪いが、RGBマルチチップタイプの白色LEDと組み合わせると、比較的良好な結果が得られる。

この手法では、カラーフィルタの特性をホログラム用に調整することが非常に重要になる。実際、当初リバーサルフィルムで作製したカラーCGHは非常に像が暗く、展示に耐えられるものではなかった。そこで、Fig.2に示すように、金属膜干渉縞、ガラス基板、カラーフィルタ特性等の表面透過率/反射率をモデル化して再生シミュレーションする技術を開発し、それを繰り返して適切な条件を得た。その結果、Fig.3に示すように、適切な条件では明るいCGHが得られることを確認した³⁴⁾。実際に、この特性のカラーフィルタを用いてフルカラーCGHを作製したところ、十分展示に耐えるホログラムを作製することができた。

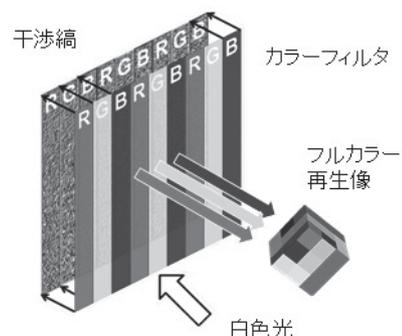


Fig. 1. カラーフィルタを用いた高解像度フルカラーCGHの原理¹⁾

*1 システム理工学部教授 博士(工学)

*2 先端科学技術推進機構研究員 工学博士

*3 理工学研究科、先端科学技術推進機構標準研究員

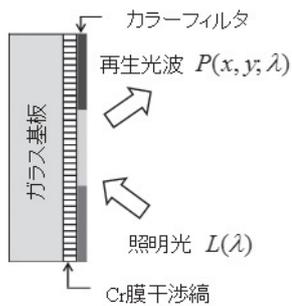


Fig. 2. カラーフィルタを用いたフルカラー高解像CGHの構造とシミュレーションモデル^{3,4)}

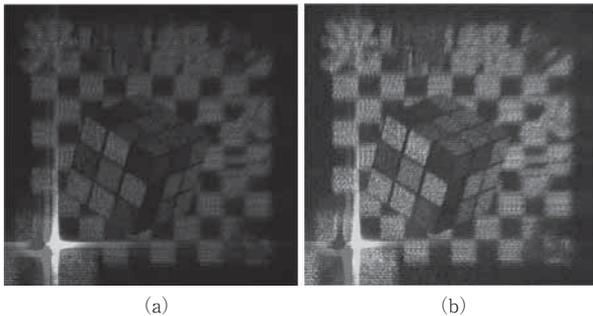


Fig. 3. カラーフィルタを用いたフルカラー高解像度CGHのシミュレーション結果^{3,4)}

2.2. 光源スイッチング方式電子ホログラフィの低フリッカ化と高次回折像の除去

ホログラムを動画再生するためには、空間光変調器 (Spatial Light Modulator, 以下、SLM) で動的に干渉縞を表示する必要がある。しかし、SLMは一般に解像度が低く、本プロジェクトで作製している程度の視域角と画像サイズホログラムを再生するには、SLM数千台に相当する解像度が必要である。そのため、空間的あるいは時間的に像を多重化する技術が必要になる。そこで本プロジェクトでは、光源スイッチング方式時分割多重化電子ホログラフィ⁵⁾の研究を進めている。

この方式では、1台のSLMを時分割して多重化するためコスト的に有利であるが、一方、SLMのフレームレートが低いと多重化後の再生像に激しいフリッカが生じる問題点がある。そこで本年度は、高フレームレートSLMとしてMEMS型のDigital Mirror Device (DMD)を導入した。このデバイスでは、毎秒1万フレーム以上のフレームレートで像が表示できるため、数倍程度の多重化では全くフリッカを感知できない再生像を達成できる^{6,7)}。

しかし、光源スイッチング方式には高次回折像が本体の再生像に混入して像を著しく劣化させる問題がある。この問題については、今年度新たに液晶シャッターを多重化面に敷き詰めて設置する手法を試みた。しかし、液晶シャッターにはわずかながら非変調領域(いわゆる額縁)があるため、新たにその額縁により像が一部遮蔽される問題が生じた。

2.3. 関大デジタルホロスタジオ

著名なホログラフィ美術家である石井勢津子氏を新たに客員研究員として迎え、高解像度CGHによる美術作品の制作を目指している。本報告書執筆時点ではまだ、展示可能な作品は完成していないが、近いうちに作品が発表できると期待している。

その他に、超臨場感コミュニケーション産学官フォーラムのセミナーにおいて、関大デジタルホロスタジオのような出力センタの意義とその活動について報告を行った⁸⁾。

3. デジタルホログラフィ技術を用いたコンピュータホログラフィ用光波撮像技術

田原樹*⁴

本プロジェクトの目的の一つである面内30cm四方のカラーホログラフィック撮像システム実現のため、本年度は平成25年度に提案した技術の光学システム構築と実証に注力した。また、臨場感を高めるために動画像記録、高速画像再生に関する研究に着手し、複数波長同時高速3次元動画イメージングにおける性能評価、高速3次元再生アルゴリズムの考案を手掛けた。

研究者が世界で初めて提案した位相分割多重技術に基づくカラーイメージング方式は、広範囲のカラー3次元ホログラフィック画像情報記録を達成可能である。本プロジェクトにおいて面内30cm四方のカラーホログラフィック撮像に応用すべく、基礎光学システムを構築し実験した。結果、波長多重記録された単色画像からカラー3次元イメージングを実証した⁹⁾。また、波長数をNとして、 $2N+1$ 個の変数が含まれた画像から、 $2N$ 枚の画像を用いたカラー3次元画像を再構成する技術を実証した¹⁰⁾。その成果は、2015年11月に国際学術論文誌Journal of Optics誌 (IOP Publishing発行)のHPトップにてPaper of the Weekとして紹介された(Fig.4)。他に、瞬時広範囲カラー3次元イメージングを達成する技術の実験的検討を行い、参考文献9、10の成果と共に結果を招待講演として対外的に発表した¹¹⁾。以上の成果より、当該技術を用いると現状では時間分解能を若干落とさざるを得ないが、本プロジェクトにおける目的達成に最適な撮像方式であると選定した。

臨場感を高めるためには、時間方向の情報、即ち動画像情報が必要不可欠である。映像として超臨場感の情報を与えるために、複数波長の3次元動画像情報を撮像する光学システムを構築した。結果、最高で毎秒4.2万コマの記録速度で3次元動画像記録し、複数波長同時の高速3次元動画イメージングを達成、可能性を示した^{12,13)}。

*4 システム理工学部助教 博士(工学)

ホログラフィック光波撮像し、得られた画像から3次元画像情報を再構成するためには、膨大な計算量が必要であることが指摘されている。臨場感を高めるためには、記録速度のみならず、像再生速度を加速度的に高める必要がある。像再生にかかる計算量は、2次元フーリエ変換が大きな割合を占める。そこで、フーリエ変換を必要としない像再生アルゴリズムを考案し、数値的に実現可能であることを明らかにした¹⁴⁾。今後は、実験により高速性を示すことが課題である。

次年度は面内30cm四方をカラー撮像すべく、選定システムに対し記録範囲拡張を行い、目的達成を目指す。また並行して、選定方式の時間分解能向上を目指す。

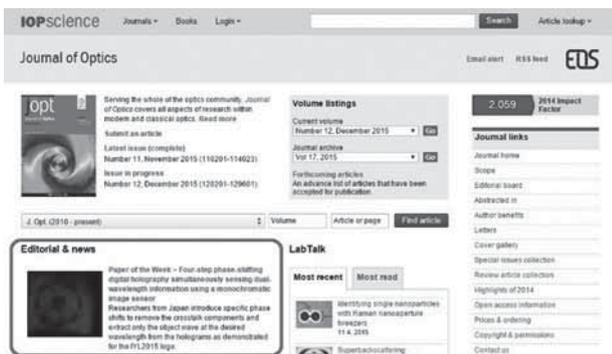


Fig. 4. Journal of Optics誌 (IOP Publishing発行) HPより Paper of the weekに選出。左下矩形内が参考文献10の紹介記事。

4. 超大規模データの圧縮

棟安実治^{*5}

4.1. はじめに

昨年度は、CGH画像の干渉縞の可逆圧縮技術の開発に取り組んだ。その中でランレングスに着目した手法について提案した。可逆圧縮に着目した理由として、ホログラムの圧縮において大きな問題点となる画質評価を必要としないことがあげられる。本年度は当初の計画通り、従来から存在している可逆圧縮の手法を適用するための干渉縞に対する前処理について検討を行った。これが可能となれば、現在の伝送・蓄積の技術を利用することができ、非常に有利であると考えられる。また、光波データを原データとする非可逆圧縮手法についても検討を開始した。以下に、各手法について現在得られている結果について報告する。

4.2. 可逆圧縮

ここでは、まず2値ホログラム干渉縞を多値化し、可逆圧縮手法であるJPEG2000、JPEG-LSとPNGを用いて圧縮を試みた。2値から多値への前処理手順を①から

④に示す。

- ① 縦1横8画素のブロックを取り出し、0と255の値を0と1で表し、0から255に多値化する。
- ② 縦8横1画素のブロックを取り出し、①と同じように多値化する。
- ③ Fig.5(a)のように縦2横4画素のブロックを取り出し、Fig.5(a)においてLSBを1、MSBを8になるように定め、①と同じように多値化する。
- ④ Fig.5(b)のように縦4横2画素のブロックを取り出し、Fig.5(b)のようにLSBを1、MSBを8になるように定め、①と同じように多値化する。

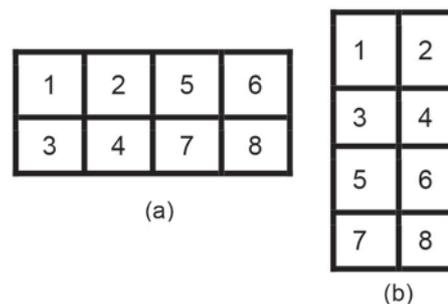


Fig. 5. ブロックの形状

ここで用いたデータは、ホログラム①とホログラム②は解像度2048×2048、ホログラム③は解像度4096×4096のデータである。各前処理と圧縮手法を組み合わせることで処理を行い、Table1のような結果を得た。Table1は、bmpで保存された原画像との比である。Table1の結果から、7分の1程度の圧縮が達成されており、PNGによる圧縮が最も優れていることがわかる。しかし、変換が単純であるため、十分な圧縮率が得られていないことがわかる。そのため、さらに圧縮効率を向上するための変換手法を開発する必要がある。

Table 1. 圧縮率

	ホログラム		
	①	②	③
JPEG2000			
1*8 bit	0.14	0.13	0.13
8*1 bit	0.14	0.13	0.13
2*4 bit	0.14	0.14	0.14
4*2 bit	0.14	0.14	0.14
JPEG-LS			
1*8 bit	0.14	0.13	0.13
8*1 bit	0.14	0.13	0.13
2*4 bit	0.14	0.14	0.14
4*2 bit	0.14	0.14	0.14
PNG			
1*8 bit	0.12	0.12	0.11
8*1 bit	0.12	0.11	0.12
2*4 bit	0.12	0.12	0.11
4*2 bit	0.12	0.11	0.14

*5 システム理工学部教授 博士(工学)

4.3. 非可逆圧縮

非可逆圧縮では、光波データを圧縮する手法の開発を行った。光波データは複素数データであるので、これの振幅と位相を求め、振幅と位相を固有値分解することによって、大きな固有値を持つ固有ベクトルのみを残し、他を削除する手法について検討した。実際の光波データの振幅に適用したところ、少数の大きな固有値と多数の小さな固有値に分解できることがわかり、この手法を適用可能であることが確認できた。

テストに用いたデータの振幅では、1つの大きな固有値のみが得られたため、ほぼ半分に圧縮可能であることが確認できた。PSNRを自由に制御できないという問題はあつたものの、かなり圧縮率を高めることができると期待される。

4.4. まとめ

従来から存在している可逆圧縮の手法を適用するための干渉縞に対する前処理について検討を行った。また、光波データを原データとする非可逆圧縮手法についても検討を開始した。現状として、必ずしも十分な結果が得られているとは言い難いが、圧縮率を高められる感度が両方の手法から得られている。今後、可逆圧縮についてはより圧縮率を高められると考えられるデータ変換方式の開発、非可逆圧縮については画質評価方法の確立が課題としてあげられる。

5. 高度三次元音響技術の開発

梶川嘉延^{*6}、Shi Chuang^{*7}、Woon-Seng Gan^{*8}

5.1. はじめに

コンピュータホログラフィによる三次元映像に対してより没入感をユーザに与えるためには、視覚だけでなく聴覚への付加的な刺激が重要となる。そのためには、聴覚に対する三次元音響技術の開発が必須となる。三次元音響技術には波面合成法、アンビソニックなどに代表される実音場における音波を忠実に再現する技術とトランスオーラルシステムに代表される制御点における音響信号を再現する技術とがある。それぞれは、三次元映像技術におけるホログラフィと視差を利用した三次元テレビに相当する。前者の技術は、ユーザに対して没入感を与えるには最適であるが、非常に多くの再生用スピーカを必要とするなど実現面における課題が多数残されている。一方、後者の技術は容易に三次元音場をユーザに提示することが可能であるが、制御点が限定される、演算

*6 システム理工学部教授 博士(工学)

*7 先端科学技術推進機構ポスト・ドクトラル・フェロー

*8 Associate Professor, Nanyang Technological University

量が多いなどの問題点が残されている。今年度は前年度に引き続き、トランスオーラルシステムに関する検討を行った。特に、再生装置のキーとなるパラメトリックアレイスピーカ(PAL)について、その指向性を制御するための信号処理技術について検討を行った。

5.2. 検討システムの概要

超音波を搬送波としたパラメトリックアレイスピーカ(PAL: Parametric Array Loudspeaker)は指向性の高い音が望まれる様々な実用的なアプリケーションのための音響再生装置として研究されている。PALを用いた3D音場再現システムにおける最近の実例では、2台のPALが使用者の左右の耳それぞれを制御するために使用されている。特に3D音場再生において重要となるのは、PALの指向性制御である。すなわち、必要なユーザにだけ必要な音情報を伝えたい際に、所望のユーザが移動したり、ユーザが切り替わったりした場合、固定の指向性では対応できないため、指向性制御が必要となる(Fig.6)。我々は指向性制御を信号処理技術により実現する方法について、特に2人のユーザに同時に音情報を伝える方法を提案し、その有効性を検証した。

提案した指向性制御手法のブロック図をFig.7に示す。提案システムではPALの各超音波エミッタへの入力に対して重み制御を行い、さらに入力信号に対して個別の遅延処理を行うことで、所望の2方向に音響ビームを形成することができる。

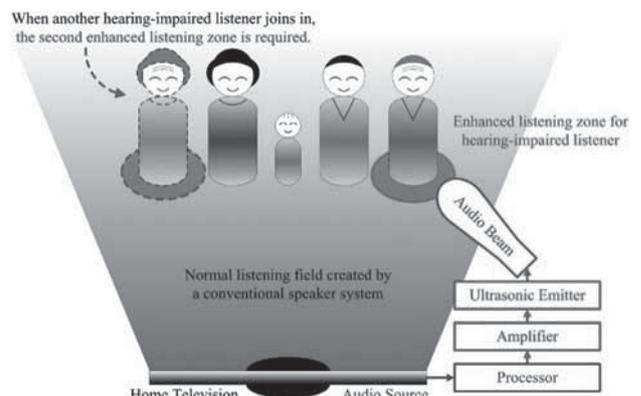


Fig. 6. PALの指向性制御による所望ユーザへの音情報伝達のイメージ

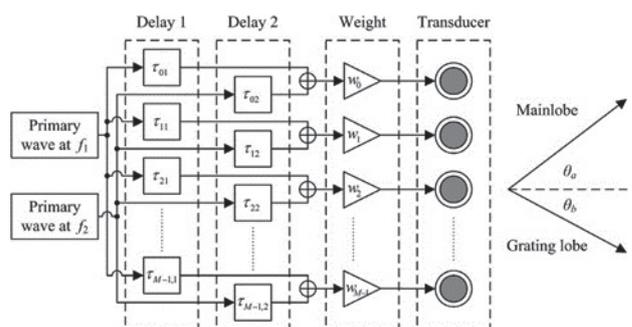


Fig. 7. PALの指向性制御手法のブロック図

5.3. 検討結果

Fig.8に指向性制御の実験例を示す。この図からも分かるように、提案システムを利用することで、2つの方向に鋭い音響ビームを形成できていることが分かる。

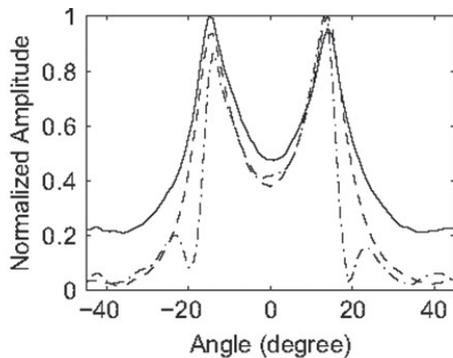


Fig. 8. 指向性制御の例

提案システムを利用することで、一台のPALにより2つの方向に音響ビームを向けることができるため、同時に2名のユーザに音情報を伝達することが可能となることがわかる。

6. 超高密度通信実現のためのデータ処理・通信制御方式

中村直輝*⁹、永田貴志*⁹、宮武聖人*⁹
結城祥*⁹、四方博之*¹⁰

今後、無線通信機能を有する端末の数は年々増え続け、現在よりも超高密度な環境での無線通信が一般的になるものと考えられる。超高密度通信を限られた周波数帯で収容するためには、送信データ量の削減と周波数有効利用通信制御が必要になる。そこで、本研究では通信端末側で得られるデータから、ユーザにとって重要な情報だけを抽出するデータ処理方式とデータの重要度に応じた通信制御法を考案し、その評価を行った。

6.1. モーションセンサデータを用いた酸素摂取量推算

通信機器として生体情報を送信するセンサノードを想定する。生体情報の一つであるエネルギー消費量は、酸素摂取量(VO_2)から算出可能である。一方、 VO_2 については、ユーザの利便性の観点から小型のモーションセンサ(加速度・ジャイロセンサ)の値を用いて推定することが望ましい。この時、超高密度に存在するセンサノードからモーションセンサの値を全て送信することは、通信帯域の圧迫に繋がる。そこで本研究では、センサ側でモーションセンサのデータから VO_2 を推算し、その値のみを送信することで通信帯域への負担を抑えることを目指す。このためには、モーションセンサデータから簡易な方法で高精度に VO_2 推算を行うことが必要である。

本研究では、まず、 VO_2 推算精度検証のために VO_2 の実測値とモーションセンサデータを同時に取得する実験を行った²¹⁾。実験では、被験者に6軸(3軸加速度+3軸角速度)センサ、呼気ガス分析装置を装着し、4、6、8、10、12、16 km/hの6通りの速度でトレッドミル上を走行させた時の加速度・角速度データと VO_2 の実測値を測定した。6軸センサは被験者の後腰部に装着し、センサデータのサンプリング周波数は10 Hzとしている。各速度において4分間測定を行い、定常状態となる最後の1分間のセンサデータを10秒毎に分割し、6組のサンプルデータとして被験者23人の全速度でのサンプルデータを生成した。

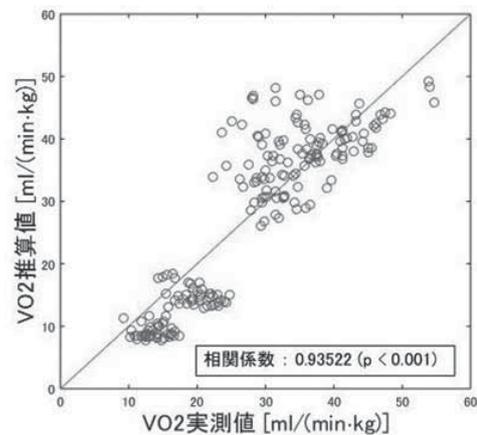


Fig. 9. 3軸データを用いた VO_2 推算結果

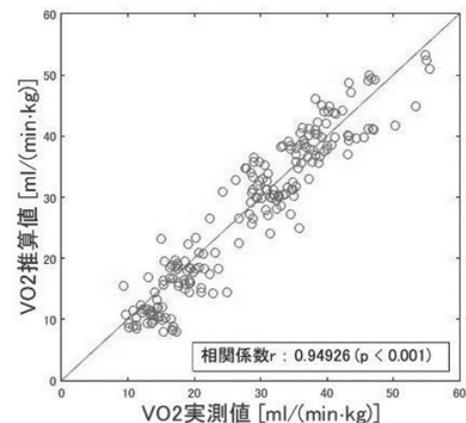


Fig. 10. 6軸データを用いた VO_2 推算結果結果

得られた6軸センサのデータから VO_2 を推定する線形回帰式として、各軸のデータ値を独立に用いた推算式を提案した²²⁾。3軸加速度データの12ノルムを用いた推算結果と6軸データと提案推算式を用いた推算結果をそれぞれFig.9とFig.10に示す。これらの図は、試行中、相関係数が最大となった試行の VO_2 実測値に対する VO_2 推算値を示している。図より、6軸データを用いることで推算精度が向上していることが分かる。また、3軸データを用いた場合の平均相関係数は0.90847 ($p < 0.001$)、6

*⁹ 理工学研究科、先端科学技術推進機構準研究員

*¹⁰ システム理工学部教授 博士(工学)

軸データを用いた場合は0.91988 ($p < 0.001$)となり、6軸データを活用することで推算精度が向上することを確認できた。

また本研究では、モーションデータを用いて初めに運動の種類を分類し、各分類に適した推算式を適用することで推算精度を向上する方式の提案も行った²³⁾。さらに、推算にニューラルネットワークを適用し、推算精度の向上および6軸データの活用が可能になることも確認した²⁴⁾。

6.2. アプリケーションデータに基づく通信制御

データの優先度や特徴に基づき通信制御を行い、通信システムの大容量化を行う方式の提案を行った。具体的には、送るべきデータの変動量がある一定値以上の時のみデータ通信を行うことで、通信量を抑えつつ、変化量の大きいデータを高確率で伝送可能となる方式を考案した。また、遅延を許容できるアプリケーションデータに対して、送信を遅らせることで、データのオフロード効率を向上する方式の詳細化も行った。

6.3. まとめ

本研究では、送信データ量の削減法と周波数有効利用通信制御法の検討を行った。今後は、これらの方式の詳細評価を行う予定である。

7. レコメンドシステムのための対話型進化計算インタフェースの開発と評価

徳丸正孝*¹¹

7.1. はじめに

本研究では、2015年度に開発したデジタルサイネージを用いたメンズファッションコーディネート生成システムに採用した、対話型進化計算インタフェースの性能評価を行った。また、コンピュータホログラフィを用いたマルチメディアコンテンツのデータベースが構築された際に必要となる、ユーザの好みのコンテンツを推薦するためのレコメンドシステムについて検討し、検索モデルおよび評価インタフェースの開発を行った。

7.2. デジタルサイネージを用いたメンズファッションコーディネート生成システムの性能評価

2015年度に開発したメンズファッションコーディネート生成システムは、ジャケット、Tシャツ、ボトムス、ソックスの4つの3D衣服モデルを合成して32,768通りのデザインパターンを作成することができる。これらのデザインパターンの中からランダムに抽出した2つのデザインを2台のデジタルサイネージに表示し、通りすがりの

ユーザに気に入ったデザインを選んでもらうことで、多くのユーザが好むデザインを作成することができる。

システムが提示するデザインは、一定数のユーザからの投票を受け付けた後に新たなデザインに更新され、対話型進化計算手法により多くのユーザが好むデザインに最適化される。

本研究では、2015年度に実施したシステム運用実験のログから、システムがユーザに提示したデザインの変遷やデザイン素材の使用頻度を解析した。この結果、本システムが一部のデザインに偏ることなく多様なデザインをユーザに提示できていることや、システムがユーザに提示するデザインが、最終的に一定の特徴を有するデザインへと収束していることが確認された²⁵⁾。

また、システムがデザイン最適化後にユーザの好みのデザインへと収束しているかを確認するために、142名の学生を対象に好みのデザインに関するヒヤリング調査を実施した。この結果、本システムによって最適化されたデザイン群は、システムがデザイン最適化の過程においてユーザに提示したデザイン群よりもユーザの好みに合致したものであることが確認できた。

7.3. ユーザの好みを考慮したレコメンドシステムフレームワークの検討

メンズファッションコーディネート生成システムでは、デザイン素材を組み合わせることで多様なデザイン案を生成している。システムがユーザに提示するデザイン案は、ユーザの評価に基づき対話型進化計算により最適化されるが、ユーザが好むデザインの特徴やユーザがそのデザインを好む理由など、本質的なユーザの好みを学習することはできない。この問題を解決するため、ユーザが対象コンテンツのどのような要素を好み、どのような要素を嫌うのかを学習するためのレコメンドシステムフレームワークを開発した。

本システムは、任意のコンテンツにおいて、ユーザがそのコンテンツを評価する際に影響すると思われる要素を列挙し、それらの要素が各コンテンツに含まれるか否かをビット列で表している。また、特定のユーザがどの要素を好むかを記号化した検索エージェントモデルを構築し、複数のエージェントを交配することによりユーザの好みを獲得する対話型進化計算インタフェースを開発した。

本研究では、先行研究において開発中である食生活支援システムに提案モデルを実装し、ユーザの生活環境を考慮した献立を提供することが可能になるとともに、ユーザの食に関する好みを獲得することが可能になった²⁶⁾。

さらに、映像や音楽など一般的なマルチメディアコンテンツを推薦するための検索エージェントモデルとし

*11 システム理工学部准教授 博士(工学)

て、ニューラルネットワークを用いた感性検索モデルを開発した²⁷⁾。本研究では、提案モデルの性能を評価するための検索用コンテンツとして楽曲を採用し、66種類の楽曲特徴量を入力とし、ユーザの好みの度合いを出力とする実数値型のニューラルネットワークによる感性検索エージェントを用いた楽曲推薦システムを開発した²⁸⁾。本システムのフレームワークは、コンピュータホログラフィを用いたマルチメディアコンテンツの推薦システムへの応用が期待できる。

謝辞

本研究は、「文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業（平成25年度～平成29年度）」によって実施されたものである。

参考文献

- 1) 土山泰裕, 松島恭治, 中原住雄, 坂本雄児, カラーフィルタ方式によるフルカラー高解像度計算機合成ホログラムの作成, 3次元画像コンファレンス2015, 3-4 (2015).
- 2) 松島恭治, 土山泰裕, フルカラー高解像度計算機合成ホログラム表示装置及びその作製方法, 特願2015-130267 (2015).
- 3) 土山泰裕, 松島恭治, 中原住雄, 坂本雄児, カラーフィルタ方式フルカラー高解像度計算機合成ホログラムの再生シミュレーション, Optics & Photonics Japan 2015, PD13 (2015).
- 4) Y. Tsuchiyama, K. Matsushima, S. Nakahara, Y. Sakamoto, A Simulation technique for selection of color filter used for full-color high-definition CGH, International Symposium on Holography and Related Technologies 2015 (IWH2015), Th2-4, Okinawa (2015).
- 5) 松田篤史, 松島恭治, 光源スイッチング方式時分割ホログラフィックディスプレイ, 電子情報通信学会論文誌 J96-D, 381-388 (2013).
- 6) 東野好伸, 上月拓弥, 松島恭治, 高フレームレートSLMを用いた光源スイッチング方式時分割電子ホログラフィ, 3次元画像コンファレンス2015, 3-2 (2015).
- 7) 東野好伸, 土岡智旭, 松島恭治, 光源スイッチング時分割方式による電子ホログラフィの視域拡大, Optics & Photonics Japan 2015, PD14 (2015).
- 8) 松島恭治, 中原住雄, 井伊美穂, 石井勢津子, 山口雅浩, 坂本雄児, 伊藤智義, 下馬場朋禄, 計算機合成ホログラム出力センタの設立とその活動 - 関大デジタルホロスタジオにおける取り組み -, 超臨場感コミュニケーション産学官フォーラム, 超臨場感立体映像技術に関する調査WG セミナー2 (2015).
- 9) T. Tahara, R. Mori, S. Kikunaga, Y. Arai, Y. Takaki, Dual-wavelength phase-shifting digital holography selectively extracting wavelength information from wavelength-multiplexed holograms, Optics Letters, 40 (12), 2810-2813 (2015).
- 10) T. Tahara, R. Mori, Y. Arai, Y. Takaki, Four-step phase-shifting digital holography simultaneously sensing dual-wavelength information using a monochromatic image sensor, Journal of Optics (IOP Publishing) 17(12), 125707 (10 pages) (2015).
- 11) T. Tahara, Y. Arai, Y. Takaki, Multiwavelength 3-D imaging based on phasedivision multiplexing, The 5th Korea-Japan Workshop on Digital Holography and Information Photonics (DHIP2015), Gangneung, South Korea (2015).
- 12) T. Tahara, T. Kaku, Y. Arai, Simultaneous high-speed motion-picture sensing of visible and invisible light with a monochromatic image sensor by using digital holography, Digital Holography and Three-Dimensional Imaging (DH2015), DT3A.6, Shanghai, China (2015).
- 13) T. Tahara, T. Kaku, Y. Arai, Single-shot multispectral digital holographic microscopy, 14th Workshop on Information optics (WIO2015), Kyoto (2015).
- 14) 田原樹, 下馬場朋禄, 伊藤智義, 空間周波数分割多重記録を行なうデジタルホログラフィにおける簡素な像再生アルゴリズム, Optics and Photonics Japan 2015, 29pE6 (2015).
- 15) C. Shi, Y. Kajikawa, W.-S. Gan, Generating Dual Beams from a Single Steerable Parametric Loudspeaker, Applied Acoustics, 99, 43-50 (2015).
- 16) C. Shi, Y. Kajikawa, Identification of the Parametric Array Loudspeaker with a Volterra Filter Using the Sparse NLMS Algorithm, Proc. of 2015 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 3372-3376, Brisbane, Australia (2015).
- 17) C. Shi, Y. Kajikawa, Ultrasound-to-Ultrasound Volterra Filter Identification of the Parametric Array Loudspeaker, Proc. of 2015 IEEE International Conference on Digital Signal Processing (DSP2015), Singapore (2015).
- 18) C. Shi, Y. Kajikawa, Fast Evaluation of Preprocessing Methods of the Parametric Array Loudspeaker, 12th Western Pacific Acoustics Conference (WESPAC2015), 369-372, Singapore (2015).
- 19) Y. Hatano, C. Shi, S. Kinoshita, Y. Kajikawa, A Study on Compensating for the Distortion of the Parametric Array Loudspeaker with Changing Nonlinearity, 12th Western Pacific Acoustics Conference (WESPAC2015),

- 334-337, Singapore (2015).
- 20) Y. Hatano, C. Shi, S. Kinoshita, Y. Kajikawa, Linearization of the Parametric Array Loudspeaker upon Varying Input Amplitudes, Asia-Pacific Signal and Information Processing Association 2015 Annual Summit and Conference (APSIPA ASC 2015), 515-519, Hong Kong, China (2015).
- 21) 宮武聖人, 永田貴志, 中村直耀, 結城祥, 四方博之, 河端隆志, 原晋介, モーションセンサを用いた運動者の酸素摂取量推算・実験概要と基本特性評価, 電子情報通信学会総合大会, 福岡 (2016).
- 22) 結城祥, 永田貴志, 中村直耀, 宮武聖人, 四方博之, 河端隆志, 原晋介, モーションセンサを用いた運動者の酸素摂取量推算 -6軸データの活用-, 電子情報通信学会総合大会, 福岡 (2016).
- 23) 永田貴志, 中村直耀, 宮武聖人, 結城祥, 四方博之, 河端隆志, 原晋介, モーションセンサを用いた運動者の酸素摂取量推算 -決定木を用いた運動分類の有効性-, 電子情報通信学会総合大会, 福岡 (2016).
- 24) 中村直耀, 永田貴志, 宮武聖人, 結城祥, 四方博之, 河端隆志, 原晋介, モーションセンサを用いた運動者の酸素摂取量推算 -ニューラルネットワークの適用-, 電子情報通信学会総合大会, 福岡 (2016).
- 25) 坂井将之, 竹之内宏, 徳丸正孝, デジタルサイネージを用いた複数のユーザの投票によるデザイン生成支援システム, 第11回日本感性工学会春季大会, 兵庫 (2016).
- 26) 林優太, 奥良太, 竹之内宏, 徳丸正孝, 食材の購入を考慮した食生活支援システム, 日本知能情報ファジィ学会第31回ファジィシステムシンポジウム, TE1-3, 600-605, 東京 (2015).
- 27) 井上正祥, 竹之内宏, 徳丸正孝, 感性エージェントと音楽ゆらぎ特徴を用いた楽曲推薦システムの提案, 日本知能情報ファジィ学会第31回ファジィシステムシンポジウム, TA2-4, 334-339, 東京 (2015).
- 28) M. Inoue, H. Takenouchi, M. Tokumaru, Music Recommendation System Using Kansei Agent and Music Fluctuation Properties, 16th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (ISIS2015), F1d-3, 760-768 (2015).

私立大学戦略的研究基盤形成支援事業プロジェクト（平成25～29年度）

コンピュータホログラフィ技術を中心とした 超大規模データ処理指向コミュニケーション

平成27年度 研究成果一覧表

論文

- (1) T. Tahara, R. Mori, Y. Arai, Y. Takaki, Four-step phase-shifting digital holography simultaneously sensing dual-wavelength information using a monochromatic image sensor, *Journal of Optics*, 17(12), 125707 (2015).
- (2) T. Tahara, Y. Takahashi, T. Komura, T. Kaku, Y. Arai, Single-Shot Multiwavelength Digital Holography Using Angular Multiplexing and Spatial Bandwidth Enhancement for Extending the Field of View, *Journal of Display Technology*, 11(10), 807-813 (2015).
- (3) T. Tahara, R. Mori, S. Kikunaga, Y. Arai, Y. Takaki, Dual-wavelength phase-shifting digital holography selectively extracting wavelength information from wavelength-multiplexed holograms, *Optics Letters*, 40(12), 2810-2813 (2015).
- (4) T. Tahara, T. Kaku, Y. Arai, Single-shot multiwavelength phase unwrapping using a single reference beam and a monochromatic image sensor, *Optical Review*, 22(3), 415-421 (2015).
- (5) C. Shi, Y. Kajikawa, W.-S. Gan, Generating Dual Beams from a Single Steerable Parametric Loudspeaker, *Applied Acoustics*, 99, 43-50 (2015).

国際学会

- (1) S. Igarashi, T. Nakamura, K. Matsushima, M. Yamaguchi, Efficient calculation method for realistic deep 3D scene hologram using orthographic projection, *Practical Holography XXX: Materials and Applications*, 977100, USA (2016).
- (2) K. Matsushima, Scale expansion beyond a hundred billion pixels in computer holography, *International Symposium on Holography, Bridging Art and Technology*, Taiwan (2015).
- (3) K. Matsushima, Occlusion processing in computer holography -With a focus on switch-back technique-, *The 22nd International Display Workshops*, 3D1-1, Shiga, Japan (2015).
- (4) Y. Tsuchiyama, K. Matsushima, S. Nakahara, Y. Sakamoto, A Simulation technique for selection of color filter used for full-color high-definition CGH, *International Symposium on Holography and Related Technologies 2015*, Th2-4, Okinawa, Japan (2015).
- (5) N. Nakatsuji, K. Matsushima, T. Ito, T. Shimobaba, Comparison of computation time and image quality between CGHs calculated by the point cloud and polygon-based method, *International Symposium on Holography and Related Technologies 2015*, Th2-3, Okinawa, Japan (2015).
- (6) N. Sonobe, Y. Tsuchiyama, K. Matsushima, Capture of large-scaled wave fields for full-color digitized holography, *International Symposium on Holography and Related Technologies 2015*, We5-P8, Okinawa, Japan (2015).
- (7) K. Matsushima, S. Nakahara, Computer holography as an application of computational optics, *Optical System Design 2015: Computational Optics*, 963010, Germany (2015).
- (8) K. Matsushima, Digital signal processing of light in holographic 3D imaging, *Applications of Digital Image Processing XXXVIII*, 95990H, USA (2015).
- (9) K. Matsushima, Y. Tsuchiyama, N. Sonobe, S. Nakahara, New techniques in high-definition computer holography, *10th International Symposium on Display Holography 2015*, Russia (2015).
- (10) K. Matsushima, Y. Tsuchiyama, Reduction of memory usage and full-color reconstruction in high-definition computer holography, *14th Workshop on Information Optics 2015*, W3-2, Kyoto, Japan (2015).
- (11) K. Matsushima, S. Nakahara, Frequency filtering for reduction of memory usage in computer holography, *Digital Holography and Three-Dimensional Imaging 2015*, DM4A.6, China (2015).

- (12) T. Tahara, R. Otani, R. Mori, Y. Arai, Y. Takaki, Multi-wavelength digital holography based on phase-division multiplexing, International Workshop on Holography and Related Technologies 2015, We4-5, Okinawa, Japan (2015).
- (13) T. Tahara, Y. Arai, Y. Takaki, Multi-wavelength 3-D imaging based on phase-division multiplexing, The 5th Korea-Japan Workshop on Digital Holography and Information Photonics, Session 5, Korea (2015).
- (14) T. Tahara, R. Mori, Y. Arai, Y. Takaki, Four-step in-line digital holography simultaneously sensing dual-wavelength information using wavelength-multiplexed holograms, JSAP-OSA Joint Symposia 2015, 15p-2F-4, Aichi, Japan (2015).
- (15) T. Tahara, T. Kaku, Y. Arai, Single-shot multispectral digital holographic microscopy, 14th Workshop on Information Optics, F1-3, Kyoto, Japan (2015).
- (16) T. Tahara, T. Kaku, Y. Arai, Simultaneous high-speed motion-picture sensing of visible and invisible light with a monochromatic image sensor by using digital holography, Digital Holography and Three-Dimensional Imaging 2015, DT3A.6, China (2015).
- (17) K. Fujii, M. Muneyasu, A study on feedback path estimation method for feedforward type active noise control, The 22nd International Congress on Sound and Vibration, #416, Italy (2015).
- (18) C. Shi, Y. Kajikawa, Automatic Gain Control for Parametric Array Loudspeakers, 2016 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, AASP-P10.2, China (2016).
- (19) C. Shi, Y. Kajikawa, Synthesis of Volterra Filters for the Parametric Array Loudspeaker, 2016 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, SPTM-L10.5, China (2016).
- (20) Y. Hatano, C. Shi, S. Kinoshita, Y. Kajikawa, Linearization of the Parametric Array Loudspeaker upon Varying Input Amplitudes, Asia-Pacific Signal and Information Processing Association 2015 Annual Summit and Conference, 158, China (2015).
- (21) Y. Hatano, C. Shi, S. Kinoshita, Y. Kajikawa, A Study on Compensating for the Distortion of the Parametric Array Loudspeaker with Changing Nonlinearity, 12th Western Pacific Acoustics Conference 2015, P11000151, Singapore (2015).
- (22) C. Shi, Y. Kajikawa, Fast Evaluation of Preprocessing Methods of the Parametric Array Loudspeaker, 12th Western Pacific Acoustics Conference 2015, P11000187, Singapore (2015).
- (23) Y. Hatano, C. Shi, S. Kinoshita, Y. Kajikawa, A Linearization System for Parametric Array Loudspeakers Using the Parallel Cascade Volterra Filter, 23rd European Signal Processing Conference, AASP-P4, France (2015).
- (24) C. Shi, Y. Kajikawa, Ultrasound-to-Ultrasound Volterra Filter Identification of the Parametric Array Loudspeaker, 2015 IEEE International Conference on Digital Signal Processing, We31.1, Singapore (2015).
- (25) C. Shi, Y. Kajikawa, Identification of the Parametric Array Loudspeaker with a Volterra Filter Using the Sparse NLMS Algorithm, 2015 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, SPTM-L4.6, Australia (2015).
- (26) M. Miyatake, N. Nakamura, T. Nagata, A. Yuuki, H. Yomo, T. Kawabata, S. Hara, VO_2 Estimation using 6-axis Motion Sensing Data, 10th International Symposium on Medical ICT, Technical Session 8, USA (2016).
- (27) M. Inoue, H. Takenouchi, M. Tokumaru, Music Recommendation System Using *Kansei* Agent and Music Fluctuation Properties, The 16th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, F1d-3, Korea (2015).

国内学会

- (1) 土山泰裕, 松島恭治, 中原住雄, 高解像度計算機合成ホログラムのフルカラー化, 第20回関西大学先端科学技術シンポジウム, 8, 大阪 (2016).
- (2) 東野好伸, 土岡智旭, 松島恭治, 電子ホログラフィの解像度拡大, 第20回関西大学先端科学技術シンポジウム, 9, 大阪 (2016).
- (3) 松島恭治, 中原住雄, 井伊美穂, 石井勢津子, 山口雅浩, 坂本雄児, 伊藤智義, 下馬場朋禄, 計算機合成ホログラム出力センタの設立とその活動 — 関大デジタルホロスタジオにおける取り組み —, 超臨場感コミュニケーション産学官フォーラム, 超臨場感立体映像技術に関する調査WG セミナー2, 講演1, 東京 (2015).

- (4) 土山泰裕, 松島恭治, 中原住雄, 坂本雄児, カラーフィルタ方式フルカラー高解像度計算機合成ホログラムの再生シミュレーション, Optics & Photonics Japan 2015, PD13, 東京 (2015).
- (5) 東野好伸, 土岡智旭, 松島恭治, 光源スイッチング時分割方式による電子ホログラフィの視域拡大, Optics & Photonics Japan 2015, PD14, 東京 (2015).
- (6) 松島恭治, コンピュータホログラフィによる空間立体像の生成, 電子情報通信学会スマートインフォメディアシステム研究会, 10, 大阪 (2015).
- (7) 東野好伸, 上月拓弥, 松島恭治, 高フレームレートSLMを用いた光源スイッチング方式時分割電子ホログラフィ, 3次元画像コンファレンス2015, 3-2, 神奈川 (2015).
- (8) 土山泰裕, 松島恭治, 中原住雄, 坂本雄児, カラーフィルタ方式によるフルカラー高解像度計算機合成ホログラムの作成, 3次元画像コンファレンス2015, 3-4, 神奈川 (2015).
- (9) 園部徳晃, 土山泰裕, 松島恭治, フルカラーデジタイズドホログラフィと自由視点画像のための高解像度光波の取得, 3次元画像コンファレンス2015, P-10, 神奈川 (2015).
- (10) 田原樹, 森亮太, 新井泰彦, 高木康博, 位相分割多重記録に基づく2波長並列5段階位相シフトデジタルホログラフィ, レーザー学会学術講演会第36回年次大会, H310aI03, 愛知 (2016).
- (11) 田原樹, 大谷礼雄, 新井泰彦, 高木康博, 緩和された条件下で波長情報を位相分割多重記録するデジタルホログラフィ, Optics and Photonics Japan 2015, 28aE2, 東京 (2015).
- (12) 田原樹, 下馬場朋禄, 伊藤智義, 空間周波数分割多重記録を行なうデジタルホログラフィにおける簡素な像再生アルゴリズム, Optics and Photonics Japan 2015, 29pE6, 東京 (2015).
- (13) 田原樹, 新井泰彦, 高木康博, 位相分割多重記録に基づく複数波長イメージング, Optics and Photonics Japan 2015, 30aES12, 東京 (2015).
- (14) 加来徹, 田原樹, 新井泰彦, 複数波長デジタルホログラフィック顕微鏡法による4波長同時4.2万fps 3次元動画記録, 3次元画像コンファレンス2015, H-3, 神奈川 (2015).
- (15) 田原樹, 森亮太, 新井泰彦, 高木康博, 波長情報を選択的抽出可能な位相シフトデジタルホログラフィの実証, 3次元画像コンファレンス2015, H-4, 神奈川 (2015).
- (16) 田原樹, デジタルホログラフィ顕微鏡, 光応用技術シンポジウム Senspec2015, 3, 神奈川 (2015).
- (17) 藤井健作, 棟安実治, 防漏音衝立用フィードバック型能動騒音制御の安定動作条件について, 応用音響研究会, EA2015-59, 大阪 (2016).
- (18) 藤井健作, 棟安実治, ハンズフリー通話システムの安定動作の検証に不可欠なレベルダイヤグラムに関する検討, 応用音響研究会, EA2015-8, 東京 (2015).
- (19) 藤井健作, 澤田拓也, 吉岡拓人, 棟安実治, エコー経路の変化とダブルトークを識別して通話回路に挿入する減衰量を調整する音響エコーキャンセラ用適応アルゴリズム, 応用音響研究会, EA2015-9, 東京 (2015).
- (20) 西垣内崇宏, 棟安実治, 松島恭治, 田口亮, 2値ホログラフィ干渉縞データのハフマン符号化を用いた圧縮, スマートインフォメディアシステム研究会, SIS2015-19, 大阪 (2015).
- (21) 藤井健作, 棟安実治, フィードフォワード型能動騒音制御における帰還系変化の影響と再推定手順に関する検討, 日本音響学会2015年秋季研究発表会, 1-P-1, 福島 (2015).
- (22) 藤井健作, 棟安実治, フィードフォワード型能動騒音制御システムにおいて騒音低減効果と安定性を向上させる2次系と帰還系, 応用音響研究会, EA2015-38, 熊本 (2015).
- (23) 羽田野佑太, 木下聡, 史創, 梶川嘉延, パラメトリックスピーカの2次非線形歪み補正効果の聴感上での評価, 信号処理研究会, 25, 大分 (2016).
- (24) 別所宏晃, 史創, 梶川嘉延, パラメトリックスピーカの音場特性解析に関する検討, 信号処理研究会, 44, 大分 (2016).
- (25) 羽田野佑太, 木下聡, 史創, 梶川嘉延, パラメトリックスピーカの歪み補正に関する検討, 第30回信号処理シンポジウム, B4-3, 福島 (2015).
- (26) C. Shi, Y. Kajikawa, Objective Evaluation of Preprocessing Methods of the Parametric Array Loudspeaker, 日本音響学会2015年秋季研究発表会, 1-P-10, 福島 (2015).
- (27) 羽田野佑太, 木下聡, 史創, 梶川嘉延, パラメトリックスピーカにおける非線形歪み補正に関する検討~被変調信号の振幅を変えた場合について~, 信号処理研究会, 19, 北海道 (2015).
- (28) 宮武聖人, 永田貴志, 中村直輝, 結城祥, 四方博之, 河端隆志, 原晋介, モーションセンサを用いた運動者の酸素摂取量

推算－実験概要と基本特性評価－, 2016年電子情報通信学会総合大会, B-20-8, 福岡 (2016).

- (29) 結城祥, 永田貴志, 中村直耀, 宮武聖人, 四方博之, 河端隆志, 原晋介, モーションセンサを用いた運動者の酸素摂取量推算－6軸データの活用－, 2016年電子情報通信学会総合大会, B-20-9, 福岡 (2016).
- (30) 永田貴志, 中村直耀, 宮武聖人, 結城祥, 四方博之, 河端隆志, 原晋介, モーションセンサを用いた運動者の酸素摂取量推算－決定木を用いた運動分類の有効性－, 2016年電子情報通信学会総合大会, B-20-10, 福岡 (2016).
- (31) 中村直耀, 永田貴志, 宮武聖人, 結城祥, 四方博之, 河端隆志, 原晋介, モーションセンサを用いた運動者の酸素摂取量推算－ニューラルネットワークの適用－, 2016年電子情報通信学会総合大会, B-20-11, 福岡 (2016).
- (32) 坂井将之, 竹之内宏, 徳丸正孝, デジタルサイネージを用いた複数のユーザの投票によるデザイン生成支援システム, 第11回日本感性工学会春季大会, S3-1, 兵庫 (2016).
- (33) 井上正祥, 竹之内宏, 徳丸正孝, 感性エージェントと音楽ゆらぎ特徴を用いた楽曲推薦システムの提案, 第31回ファジィシステムシンポジウム, TA2-4, 東京 (2015).
- (34) 林優太, 奥良太, 竹之内宏, 徳丸正孝, 食材の購入を考慮した食生活支援システム, 第31回ファジィシステムシンポジウム, TE1-3, 東京 (2015).

その他

- (1) 松島恭治, 土山泰裕, フルカラー高解像度計算機合成ホログラム表示装置及びその作製方法, 特願2015-130267 (2015).
- (2) 田原樹, 汎用単板単色カメラを用いた瞬間複数波長三次元ホログラフィック画像センシング, 画像ラボ, 26(12), 13-18 (2015).

2016年度 技苑「プロジェクト研究報告概要」

戦略的研究基盤形成支援事業プロジェクト

コンピュータホログラフィ技術を中心とした
超大規模データ処理指向コミュニケーション

研究代表者：松島 恭治
 研究分担者：棟安 実治・梶川 嘉延・四方 博之・
 徳丸 正孝・田原 樹・吉田 壮
 学外研究分担者：Petar Popovski・Woon-Seng Gan・田口 亮・
 山口 雅浩・坂本 雄児・伊藤 智義・下馬場 朋禄

1. はじめに

松島恭治*¹

本プロジェクトは、大きくホログラフィグループと近未来コミュニケーショングループに分かれて研究活動を行っている。ホログラフィグループはホログラフィによる3次元映像の取得と再生、近未来コミュニケーショングループはその映像技術に伴う圧縮・伝送や音響技術、さらにはその潜在的アプリケーションの研究を行っている。以下、ホログラフィグループ、近未来コミュニケーショングループの順序で本年度の研究概要を掲載する。

2. 計算機合成ホログラム数値合成技術と関大デジタル
ホロスタジオ

松島恭治、中原住雄*²、土山泰裕*³
 園部徳晃*³、土岡智旭*³

2.1. フルカラー高解像度計算機合成ホログラム

昨年度報告したカラーフィルタを用いた計算機合成ホログラム (CGH) のフルカラー表示技術がほぼ完成し、図1に示す40億ピクセル規模の約5cm角から、図2に示す160億ピクセル規模の約10cm角のフルカラー高解像度CGHが作成できるようになった¹⁾。また、イノベーション・ジャパン2016等展示会で実物の展示を行った²⁾ (図3)。

図1と図2に示したホログラムは、CGモデルの仮想物体をフルカラー再生しているが、実在の物体から3Dデータを取得することにより、実物体のフルカラー表示も可能である。図4(a)は、多視点画像から作成したCGHのフルカラー再生像である。これは、16,384枚(128枚×128枚)の多視点画像からRay-Sampling面の技術を用いて合成したものである³⁾。

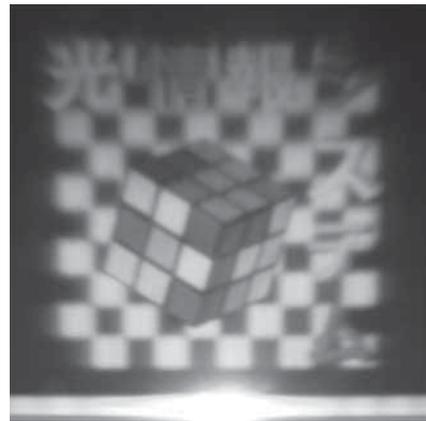


図1. フルカラー高解像度CGH「Color Cube」の光学再生像¹⁾、ピクセル数：64 K×64 K(1 K=1024)



図2. フルカラー高解像度CGH「Casino Chips」の光学再生像¹⁾、ピクセル数：128 K×128 K



図3. イノベーション・ジャパン2016での展示²⁾

*1 システム理工学部教授 博士 (工学)

*2 先端科学技術推進機構客員研究員 工学博士

*3 理工学研究科、先端科学技術推進機構準研究員

多視点画像からCGHを作成する手法には、通常的光環境下で映像データを取得できるという利点があるが、一方、ホログラフィの利点である輻輳調節が無矛盾な3D映像という特徴が犠牲になる。そこで、光の3原色に相当する3波長で実物体の光波を取得するカラーデジタイズドホログラフィによるカラーCGHの作成も試みられている。図4(b)は、この技術により取得した実物体の光波とCGモデルの仮想物体を一つの3Dシーンに合成して作成したカラーCGHの光学再生像である⁴⁾。

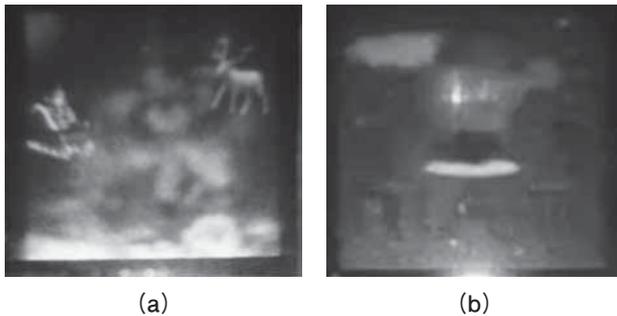


図4. 実物体のフルカラーCGH
(a)多視点画像³⁾, (b)デジタイズドホログラフィ⁴⁾

また、このようにして作成したフルカラーCGHを体積型ホログラムに転写する手法を考案し⁵⁾、実験的に立証しつつある。これは、体積ホログラムの波長選択性により再生像の品質を向上させることとフルカラーCGHの複製による大量生産を狙った技術である。

2.2. 光源スイッチング方式電子ホログラフィ

ホログラムを動画再生するために、空間光変調器としてDMD (Digital Mirror Device) を使い、時分割により実行的な解像度を増大する光源スイッチング電子ホログラフィを提案している。しかし、この方式には高次回折像が本体の再生像に混入して像を著しく劣化させる問題があった。昨年度、液晶シャッターを多重化面に敷き詰めて設置する手法を試みた。しかし、液晶シャッターにはわずかながら非変調領域 (いわゆる額縁) があるため、新たにその額縁により像が一部遮蔽される問題が生じた。そこで今年度、新たな方式として偏光マスクを用いて隣接する高次回折像を遮蔽する手法を考案し⁶⁾、実験的にその有効性を確認することができた^{7,8)}。

2.3. 写実的レンダリング技術

ポリゴン法により高解像度CGHを計算しているが、この方法では鏡面反射の滑らかな曲面をレンダリングできない問題点があった。これについて、ポリゴン法で用いる拡散位相に部分平面波を乗算することにより、ポリゴンを再分割することなく、滑らかな曲面を再生する技術を開発し、実際に高解像度CGHを作製してその有効性を確認することができた⁹⁾。

2.4. 産学連携

フルカラーCGHが作成できることになったこともあり、高解像度CGHの技術を実用化するべく、複数の企業との産学連携が始まっている。ホログラム再生用のプレート型コヒーレント光源を開発する(株)エガリムと共同でCGHを再生するフォトフレームの開発が始まっており、また、高解像度CGHをアミューズメント機器に応用する可能性をオムロンアミューズメント(株)と模索している。

3. デジタルホログラフィ技術を用いたコンピュータホログラフィ用光波撮像技術

田原樹*⁴⁾

本プロジェクトの目的の一つである面内30cm四方のカラーホログラフィック撮像システム実現のため、本年度は2013年度に提案した技術のマルチカラーイメージングを実現するアルゴリズムの構築と妥当性の確認を行った。また、臨場感を高めるために動画像記録、高速画像再生アルゴリズムに関する研究を進め、複数波長同時3次元イメージングの高速化を推進した。

研究者が世界で初めて提案した、波長選択抽出位相シフト法に基づくカラーイメージング方式は、広範囲のカラー3次元ホログラフィック画像情報記録を達成可能である。本プロジェクトにおいて面内30cm四方のマルチカラーホログラフィック撮像に応用すべく、位相変調に微小な機械駆動または空間光変調器を用いたマルチカラーデジタルホログラフィへと機能拡張した。結果、3波長多重記録された単色画像からカラー3次元イメージングが可能であることを数値シミュレーションにより確認した^{10,11)}。また、位相変調量に応じた再生像の画質を数値解析により評価し、適切な変調量に対する知見を得た¹²⁾。そして、3波長記録に必要な記録ホログラム枚数の提言を可能にする方法を紹介した¹³⁾。

臨場感を高めるためには、高画質且つ動画像の情報が必要不可欠である。映像として超臨場感の情報を与えるために、高画質且つ複数波長の3次元動画像情報を撮像する光学システムを構築した。結果、生体の複数波長3次元動画像記録・ホログラフィック動画イメージングを達成した^{14,15)}。

ホログラフィック光波撮像し得られた画像から3次元画像情報を再構成するためには、膨大な計算量が必要であることが指摘されている。臨場感を高めるためには、記録速度のみならず、像再生速度を加速度的に高める必要がある。像再生にかかる計算量は、2次元フーリエ変換が大きな割合を占める。そこで、フーリエ変換を必要

*4 システム理工学部助教 博士(工学)

としない像再生アルゴリズムの有効性を数値的に示した¹⁶⁾。結果として、従来のアルゴリズムに比べ1桁像再生速度を向上可能であると判明した。実験により高速性を示すこともできており、今後は動画イメージング応用可能性を検討する。

次年度は面内30cm四方をカラー撮像すべく、記録範囲拡張を行う光学システムの構築を目指す。また並行して、波長選択抽出位相シフト法の時間分解能向上を目指す。

4. 超大規模データの圧縮

棟安実治^{*5}、吉田壮^{*6}、田口亮^{*7}

4.1. はじめに

以前に検討したCGH (computer generated holography) 画像の光波データの性質に基づいて、光波データの非可逆圧縮技術について検討した。具体的な圧縮手法として、複素数のデータである光波データを振幅と位相に分け、振幅には特異値分解または固有値分解を、位相には量子化を用いる手法を検討した。以下では、特異値分解を利用した手法¹⁷⁾について述べる。

4.2. 開発した非可逆圧縮技術

光波データは、

$$g(m,n)=p(m,n)+iq(m,n) \quad (1)$$

と表される。ここで、 $p(m,n)$ は実数部 $q(m,n)$ は虚数部を表しており、 (m,n) はサンプル点の座標である。ここでは光波データが、実部、虚部ともに4バイトの単精度浮動小数点で表現されているものとする。提案手法では、光波データを

$$g(m,n)=a(m,n)\exp[i\phi(m,n)] \quad (2)$$

と表し、振幅分布 $a(m,n)$ と位相分布 $\phi(m,n)$ をまず求める。

得られた振幅分布に対して特異値分解を行い、特異値の分布を調べる。このとき、ある一定値以上の特異値のみを残し、それ以外の特異値とそれに対応する左特異行列と右特異行列の要素を0とすることでデータを圧縮する。位相分布については、振幅のように特異値の値に大きな差があるという特徴がない。そのため再量子化を行う。具体的には、最大値maxと最小値minを求め、予め設定したレベル数 n を用いてminからmaxまでの区間を n 個の区間に分割する。それぞれの区間に属する値を、分割された区間の中間値に置き換える。図5に処理手順の概要を示す。

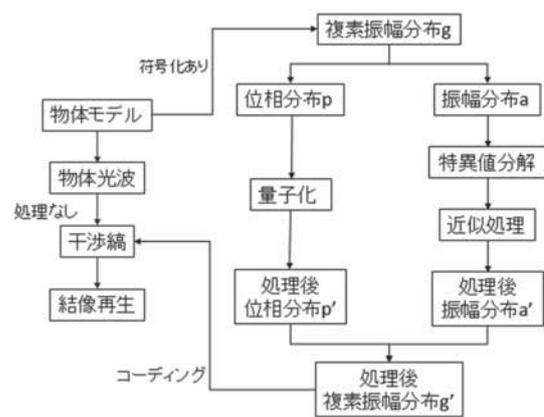


図5. 提案手法の手順

4.3. 評価実験

光波データの符号化による再生像への影響を評価するため、結像再生シミュレーションを用いて、圧縮後の光波データと圧縮前の光波データの両方から得られた再生像を比較した。振幅成分を1つの特異値のみで表現し、位相成分を表現する量子化レベル数を2から32まで変化させたときのPSNR (peak signal to noise ratio) および圧縮率について、表1と2にそれぞれ示す。これらの表から、良好な画質と圧縮率を実現できることがわかる。

表1. 量子化レベル数による画質の比較

レベル数	PSNR
2	32.51
4	32.63
8	34.23
16	34.54
32	34.54
振幅のみ	35.24

表2. 圧縮率の比較

量子化レベル	データ量(Byte)		圧縮率(%)
	位相	全体	
2	2,097,152	2,129,920	1.587
4	4,194,304	4,227,072	3.149
8	6,291,456	6,324,224	4.712
16	8,388,608	8,421,376	6.274
32	10,485,760	10,518,528	7.837
振幅のみ	67,108,864	67,141,632	50.024

4.4. まとめ

光波データを振幅成分と位相成分に分け、その振幅成分に特異値分解と近似処理を適用し、位相成分を再量子化しレベル数を削減することにより、光波データを圧縮する手法について提案した。その結果、振幅成分を特異値1個のみで表現し、位相成分の量子化レベルを4として再量子化することで、約3.1%の圧縮率が得られた。同時に、良好な再生像が得られることも確認した。今後の課題として、位相成分に関する圧縮率の向上と、画質評価方法の確立があげられる。

*5 システム理工学部教授 博士(工学)

*6 システム理工学部助教 博士(情報科学)

*7 東京都市大学 工学部生体医工学科教授

5. 高度三次元音響技術の開発

梶川嘉延*⁸、岩居健太*⁹、Shi Chuang*¹⁰
Woon-Seng Gan*¹¹

5.1. はじめに

コンピュータホログラフィによる三次元映像に三次元音響技術を組み合わせることで、より没入感をユーザに与えることが可能となる。三次元音響技術には波面合成法、境界音場制御などに代表される実音場における音波を忠実に再現する技術とトランスオーラルシステムに代表されるローカルポイントにおいて音響信号を再現する技術とがある。前者の技術はユーザに対して没入感を与えるのには最適であるが、非常に多くの再生用スピーカを必要とするなど実現面における課題が多い。一方、後者の技術は容易に三次元音場をユーザに提示することが可能であるが、非常に限られた領域でしか再現できない。さらに両者に共通することとして、現状では非常にサイズの小さいホログラフィ映像と組み合わせるにはふさわしいとは言えない。そこで、本研究においてはホログラフィ再生に用いる記録材料にパラメトリックスピーカから音を放射ならびに反射させることで、あたかも記録材料から音が再生されているような感覚を生じさせる高度三次元音響技術の開発に取り組んでいる。パラメトリックスピーカは超指向性の性質と、ものに反射させるとその反射点に点音源を実現させることができる。そのようなシステムを実現するには、パラメトリックスピーカの音響ビームの特徴を実験ならびに数値解析から得ることが重要である。そこで本研究では数値解析によりパラメトリックスピーカの指向性を詳細に検討した。¹⁸⁻²²⁾

5.2. 検討システムの概要

超音波を搬送波としたパラメトリックスピーカは指向性の高い音が望まれるさまざまな実用的なアプリケーションのための音響再生装置として研究されている。パラメトリックスピーカは超音波を搬送波としてオーディオ信号を変調し、空气中を伝搬させることで、空気非線形性によってオーディオ信号(可聴音)を再生する。超音波は、人に聴こえる可聴音よりも高い周波数の波であり、直進する性質をもっているため、パラメトリックスピーカによる再生音は通常のスピーカに比べて鋭い指向性をもち、所望の位置に可聴音を伝達することが可能である。また、パラメトリックスピーカから放射した超音波をホログラフィの記録材料に照射することで、記録

材料上に新たな音源を生成することも可能である。そのためには、パラメトリックスピーカの放射特性、特に指向特性を詳細に検討する必要がある。パラメトリックスピーカの音響特性はKZK方程式などの非線形ビーム音波により理論的に解析できることが広く知られている。そこで、パラメトリックスピーカを利用した三次元音場再生における音場特性を数値的に解析することを目的とし、KZK方程式の時間領域解法を利用して音場の解析を行う。

5.3. パラメトリックスピーカの音場特性解析

変調方式をDSBAM(Double Sideband Amplitude Modulation)として、角度を変化させた時の解析結果を検討する。図6に1 kHzにおける指向特性の解析結果を示す。図6より、角度が大きくなるごとに音圧レベルが下がっていることから、パラメトリックアレイの指向性を精度よく表すことができている。また、音源からの距離が遠くなるにつれて音圧レベルが下がるものの、指向特性については変化がないことがわかる。そして、今回の解析条件においては、おおよそパラメトリックスピーカからの距離が1 m程度のところにおいて放射ビーム幅が20 cm程度となることから、ホログラフィの記録材料からおよそ1 m程度離れた位置にパラメトリックスピーカを設置することで、記録材料からあたかも音が再生されているような感覚を生じさせる事が可能となると考えられる。

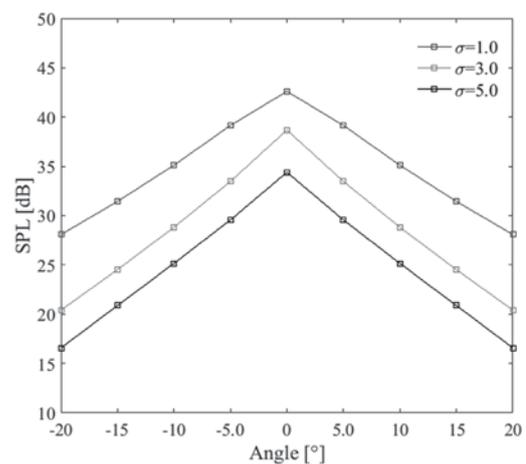


図6. パラメトリックスピーカの指向特性

6. 大容量無線通信実現のための通信制御方式

中村直耀*¹²、永田貴志*¹²、宮武聖人*¹²
結城祥*¹²、四方博之*¹³

スマートフォンの急速な普及に伴い、モバイルトラフィックが急増している。今後は、コンテンツの多様化

*8 システム理工学部教授 博士(工学)

*9 先端科学技術推進機構ポスト・ドクトラル・フェロー 博士(工学)

*10 Nanyang Technological University

*11 Nanyang Technological University, Associate Professor

*12 理工学研究科、先端科学技術推進機構準研究員

*13 システム理工学部教授 博士(工学)

により、更に大容量のデータを無線通信システムで収容する必要がある。そこで本研究では、大容量トラフィックを限られた無線資源で収容するためのオフロード方式を考案し、その評価を行った。

6.1. WiFi APの通信負荷を考慮した遅延オフロード法

ユーザが指定したデッドライン時刻までは携帯回線を使わず、Wi-Fi回線のみを用いる遅延オフロード法に対し、ユーザの生活・行動パターンを推定し、ユーザが高品質なWi-Fi APのみに接続することでオフロード時の通信品質を改善するAP選択型遅延オフロード法が提案されている²³⁾。しかし、従来の方法ではAPの品質を予測する際に、APの通信負荷による影響を考慮していない。その結果、デッドライン時刻までにデータ転送が完了しないユーザが発生し、これはオフロード効率の低下につながる。本稿では、APの通信負荷を考慮したAP選択型遅延Wi-Fiオフロード法の検討を行った。

参考文献23で提案されているAP選択型遅延オフロード法では、従来の遅延オフロード法と同様に、オフロード要求発生時刻にデッドライン時刻を指定する。その後、ユーザの位置や状態に基づいて、ユーザの移動経路と移動経路上に存在するAPの推定を行う。そして、オフロード要求発生時刻からデッドライン時刻までに接続可能なAPの中から最適なAPを選択し、接続するAPを決定する。APの品質予測は、各APに関連付けられた転送量により行う。転送量は各APの推定平均RSSIに関連付けられた平均伝送レートと、APとの推定接続時間の積により算出する。接続するAPの選択方法は、まずオフロード要求発生時刻からデッドライン時刻までに接続可能なAPのうち、最も転送量の大きいAPを選択する。選択したAPの転送量とデータサイズを比較し、転送量が上回れば接続するAPとして決定し、下回れば再度APの選択を行う。選択したAPの総転送量がデータサイズを上回るまで繰り返し接続するAPを決定する。ここで、実際にAPと通信を行う際の転送量は、平均RSSIのみでなく、各APの通信負荷の影響も受ける。そのため、予測時の品質と実際に通信を行った時の品質には大きな差異が発生し、デッドライン時刻までにデータ転送が完了せず、その結果、オフロード効率が低下する可能性がある。そこで本研究では、まず、各APの通信負荷も理想的に推定できる場合のAP選択型遅延オフロード法の特性評価を行った。しかし、APの接続ユーザ数は時空間的に変化し、その推定は困難である。そこで、APの接続ユーザ数を推定することなく、オフロード効率の劣化を抑制するAP再選択型遅延オフロード法を提案した²⁴⁾。AP再選択型遅延オフロード法では、まず従来のAP選択型遅延オフロード法と同様に接続APの選択を行う。そして、

実際に選択したAPでデータ転送を行い、想定していた転送量に達しなかった場合、その後の経路上で接続するAPの再選択を行う。APの再選択は上述の方法と同様の方法で行う。

シミュレーション評価では、AP選択無し（従来の遅延オフロード法）と従来のAP選択型遅延オフロード法において通信負荷既知、通信負荷未知、AP再選択型遅延オフロード法の比較評価を行った。評価指標はオフロード効率とデッドライン時刻までにデータ転送を完了したユーザのAPとの通信時間とした。図7にデッドライン時刻に対するオフロード効率を示す。図7より、AP選択無しではデッドラインまで接続可能なAPに品質問わず継続的に接続するため、オフロード効率が高くなる。AP選択型では通信負荷が未知の場合、品質予測の不完全性によりオフロード効率が低下していることが分かる。一方、通信品質を理想的に予測可能な通信負荷既知ではAPの接続ユーザ数を予測出来るため、品質予測精度が高くなりオフロード効率が高くなっている。AP再選択型は品質予測が不完全な場合にAPを再選択することでオフロード効率が向上し、通信負荷既知に近づいていることが分かる。次に、図8にAPとの通信時間を示す。AP選択無しは品質問わずAPに接続するため、

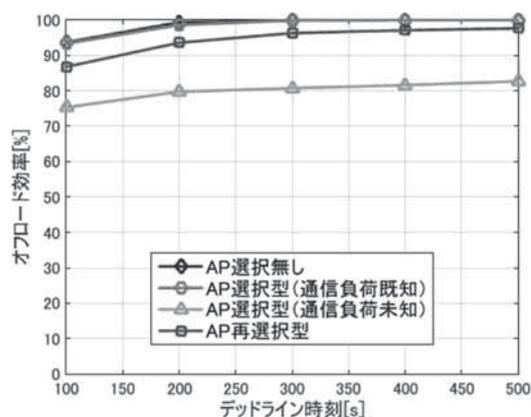


図7. オフロード効率の比較結果

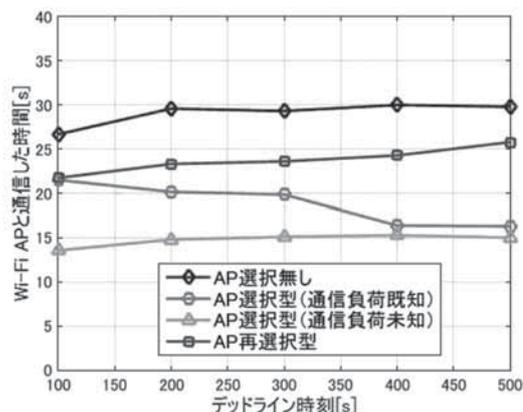


図8. APとの通信時間比較結果

APとの通信時間が長くなっている。これに対し通信負荷既知の場合は、品質の高いAPのみを適切に選択するためAPとの通信時間が短くなる。通信負荷未知の場合はAPとの通信時間は短い、これは選択したAPの実際の品質が良い場合のみの結果が反映されたためである。AP再選択型では高いオフロード効率を保ちつつ、AP選択無しに比べ低品質なAPの利用を抑え、APの通信時間を抑えることができることを確認できた。

また、将来の無線通信端末の高密度化に対する対策として、端末側でセンサからのデータを処理し、送信量を削減するためのデータ処理方式の開発も併せて行った^{25,26)}。

6.2. まとめ

本研究では、大容量データを無線通信システムで収容するためのデータオフロード法に関する検討を行った。今後は、提案方式の詳細評価を行う予定である。

7. レコメンドシステムのための対話型進化計算インタフェースおよびプロトタイプシステムの開発

徳丸正孝*¹⁴

7.1. はじめに

本研究では、これまでに開発した一対比較型の対話型進化計算インタフェースを用いたプロトタイプシステムとして、仮想空間内で3次元画像を評価するネイルアートデザイン支援システムを構築した。また、進化計算インタフェースの改良として、不都合個体選択方式による個体評価手法および、視線を利用した評価インタフェースの基礎的検討を実施した。さらに、大規模な視覚情報を用いたレコメンドシステムを想定して、深層ニューラルネットワークを用いた画像の感性特徴量抽出手法の検討を行った。

7.2. VRを用いたネイルアートデザイン生成システム

本研究では、カラー3次元ホログラフィック画像を用いた対話型進化計算システムのプロトタイプとして、VRを用いて仮想空間内にネイルアートデザインを施した手の3次元画像を生成し、ユーザの評価によりデザインを最適化するシステムを開発した³²⁾。

本システムは、配色やデザインの異なるネイルアートを約200万通り作成することができ、これらのデザインからランダムに選択された8種類のデザインを初期解候補として一対比較トーナメント方式の対話型進化計算によりデザインの最適化を行う。

まず、システムは8種類のデザインをトーナメント式に配置し、各対戦の2種類のデザインを仮想空間内に3

次元CGで作成した左右の手の爪に生成してユーザ提示する。ユーザは、これらのデザインのうち好みの方を選択し、好みのデザインが施された手で中央のボタンを押すことでデザインの優劣がシステムに通知される。ユーザがボタンを押した後は、システムは次の対戦のデザインを左右の手の爪に生成して再びユーザに提示する。このプロセスを繰り返すことにより、トーナメントにおける8種類のデザイン候補の優劣が決定される。対戦がすべて終了した段階で、システムは8種類の解候補の評価に基づいて次世代解候補を作成し、上記プロセスを繰り返す。ユーザによる評価実験では、3~4世代の進化計算によりユーザの好みに合うネイルアートデザインが生成されることが確認された。

7.3. 対話型進化計算インタフェースの検討

これまでに本プロジェクトで開発してきたレコメンドシステムのための進化計算インタフェースは、ユーザが好みの解候補を選択した後に、ボタンを押すなどの方法でシステムに解候補の優劣を通知していた。この方法では、多くのユーザの好み情報を獲得したり、すべてのユーザが満足するデザインを生成することが困難であるという問題があった。これらの問題を解決するために、本研究では新たに2種類の評価手法について検討した。

まず、ユーザの視線情報を用いてユーザの潜在的な好みを獲得する手法について検証した²⁸⁾。本実験では、並べて配置した2台のデジタルサイネージに2種類のデザインを提示し、ユーザがどちらのデザインを長い時間注視しているかを視線検知システムにより検出し、ユーザの好みとの相関を分析した。その結果、注視時間の長いデザインと好みのデザインの一致率が約63%であり、一対比較による進化計算手法を用いた場合において、十分に解候補を最適化することが可能である精度が得られることがわかった。

次に、複数のユーザによる合意形成を目的とした対話型進化計算の評価手法について検討した²⁹⁾。一般的な複数人による対話型進化計算では、多くのユーザが好む方向に解候補が収束し、一部のユーザが嫌うデザインに最適化されるという問題がある。この問題を回避するために、解評価に参加するユーザが「好みでない」解を選択することで、すべてのユーザの合意が得られる納得する解を生成する評価手法を開発した。

7.4. 深層ニューラルネットワークによる衣服画像の特徴抽出

本プロジェクトでこれまで開発してきたTシャツの感性検索システムでは、衣服の感性特徴量としてシャツの縞模様の有無や縞の間隔、配色などを用いてきた。しか

*14 システム理工学部教授 博士(工学)

し、この方法では多様なデザインに適用することが困難であることに加え、大規模な情報量を持つ画像からの感性特徴量抽出ができないという問題があった。この問題を解決するために、本研究では深層ニューラルネットワークを用いて画像の画素情報から特徴量を自動抽出する方法を開発し、Tシャツの感性検索システムに適用した³⁰⁾。この結果、画像の各画素のRGB値を入力とした3,072次元の入力信号を20次元に圧縮し、圧縮特徴量の20次元情報を入力とした感性エージェントによりユーザの好みを学習することが可能となった²⁷⁾。本手法は、本プロジェクトで開発中の楽曲レコメンドシステム³¹⁾への応用も期待できる。

謝辞

本研究の一部は、「文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業（2013年度～2017年度）」によって実施されたものである。

参考文献

- 1) Y. Tsuchiyama, K. Matsushima, Full-color large-scaled computer-generated holograms using RGB color filters, *Opt. Express*, 25, 2016-2030 (2017).
- 2) 松島恭治, 眼鏡が不要な高画質立体カラー画像表示技術, *イノベーション・ジャパン2016*, S-11 (2016).
[<https://www.ij2016.com/exhibitor/js20160147.html>]
- 3) Y. Tsuchiyama, K. Matsushima, S. Nakahara, M. Yamaguchi, Y. Sakamoto, Full-color high-definition CGH reconstructing hybrid scenes of physical and virtual objects, *Practical Holography XXXI: Materials and Applications*, 101270Y, Proc. SPIE #10127, USA (2017).
- 4) 園部徳晃, 土山泰裕, 松島恭治, フルカラーデジタイズドホログラフィによるCGモデルと実在物のハイブリッドシーンの再生, *OPJ 2015*, 1pP26, 東京 (2016).
- 5) 松島恭治, 土山泰裕, フルカラー高解像度計算機合成ホログラム表示装置、その作製方法及びその作製装置, *特願2016-113638* (2016).
- 6) 松島恭治, 東野好伸, ホログラフィ表示装置, *特願2016-121830* (2016).
- 7) 東野好伸, 土岡智旭, 松島恭治, 光源スイッチング方式時分割電子ホログラフィにおける偏光特性を用いた高次回折像軽減, *3次元画像コンファレンス2016*, 6-1 (2016).
- 8) Y. Higashino, T. Tsuchioka, K. Matsushima, Light-source switching time-division multiplexing holographic display and reduction of degradation by higher order diffraction images, *Imaging and Applied Optics 2016*, DM4E. 1, Germany (2016).
- 9) H. Nishi, K. Matsushima, Rendering of specular curved objects in polygon-based computer holography, *Appl. Opt.*, 56, F37-F44 (2017).
- 10) 田原樹, 大前快人, 大谷礼雄, 新井泰彦, 高木康博, 位相分割多重方式に基づくマルチカラーデジタルホログラフィ, *3次元画像コンファレンス2016*, 2-5, 大阪 (2016).
- 11) T. Tahara, R. Otani, Y. Arai, Y. Takaki, Multiwavelength digital holography based on phase-division multiplexing using arbitrary symmetric phase shifts, *Imaging and Applied Optics 2016 OSA Technical Digest (online)* (Optical Society of America, 2016), DW5E. 2, Germany (2016).
- 12) T. Tahara, K. Omae, R. Otani, Y. Arai, Y. Takaki, Relationship between the image quality and constant phase shifts in phase-shifting interferometry selectively extracting wavelength information, *JSAP-OSA Joint Symposia 2016*, 14a_C301_2, Niigata (2016).
- 13) T. Tahara, Y. Arai, T. Takaki, Three-wavelength phase-shifting digital holography using six wavelength-multiplexed holograms and 2π ambiguity of the phase, *OSJ-OSA Joint Symposia on Plasmonics and Digital Photonics*, 31pOD5, Tokyo (2016).
- 14) 加来徹, 田原樹, 佐藤いまり, Lee SangWook, 伊藤卓朗, 岩田修, 新井泰彦, 2参照光路を用いる複数波長デジタルホログラフィによる3波長同時ホログラフィック動画イメージング, *2016年度精密工学会秋季大会*, B03, 茨城 (2016).
- 15) T. Kaku, I. Sato, S. W. Lee, T. Ito, O. Iwata, Y. Arai, Y. Ozeki, K. Goda, T. Tahara, Simultaneous three-wavelength holographic motion-picture imaging by multi-wavelength digital holography with dual reference arms, *International Symposium on Optomechatronic Technology*, B5-2, Tokyo (2016).
- 16) T. Tahara, T. Shimobaba, T. Ito, Image-reconstruction algorithm with no use of Fourier transform in interferometric imaging using spatial frequency-division multiplexing, *Imaging and Applied Optics 2016 OSA Technical Digest (online)* (Optical Society of America, 2016), JW4A.35, Germany (2016).
- 17) 茅立基 他, 特異値分解による光波データの非可逆圧縮, *信学技法, スマートインフォメディアシステム研究会*, SIS2016-30 (2016).
- 18) K. Tanaka, C. Shi, Y. Kajikawa, Binaural Active Noise Control Using Parametric Array Loudspeakers, *Applied Acoustics*, 116, 170-176 (2017).
- 19) C. Shi, Y. Kajikawa, Volterra Model of the Parametric Array Loudspeaker Operating at Ultrasonic Frequencies,

- Journal of the Acoustical Society of America, 140(5), 3463-3650 (2016).
- 20) C. Shi, Y. Kajikawa, Effect of the Ultrasonic Emitter on the Distortion Performance of the Parametric Array Loudspeaker, *Applied Acoustics*, 112, 108-115 (2016).
 - 21) S. Edamoto, C. Shi, Y. Kajikawa, Directional Feedforward ANC System with Virtual Sensing Technique, 2016 International Workshop on Smart Info-Media Systems in Asia (SISA2016), Thailand (2016).
 - 22) S. Kinoshita, Y. Kajikawa, Integrated Direct Sub-band Adaptive Volterra Filter and Its Application to Identification of Loudspeaker Nonlinearity, 2016 European Signal Processing Conference, 11-15, Hungary (2016).
 - 23) 岡本祐太, 四方博之, 生活行動・移動パターンを活用した Wi-Fi オフロード法, 電子情報通信学会総合大会 (2014).
 - 24) 結城祥, 四方博之, APの通信負荷を考慮したAP選択型遅延オフロード法, 電子情報通信学会総合大会 (2017).
 - 25) N. Nakamura, T. Nagata, M. Miyatake, A. Yuuki, H. Yomo, T. Kawabata, S. Hara, Applying Neural Network to VO₂ Estimation using 6-axis Motion Sensing Data, *Proc. of EMBC 2016* (2016).
 - 26) T. Nagata, N. Nakamura, M. Miyatake, A. Yuuki, H. Yomo, T. Kawabata, S. Hara, VO₂ Estimation using 6-axis Motion Sensor with Sports Activity Classification, *Proc. of EMBC 2016* (2016).
 - 27) 太田茂, 竹之内宏, 徳丸正孝, 深層ニューラルネットワークによる特徴抽出を用いた衣服の感性検索, 第12回日本感性工学会春季大会, 大阪 (2017).
 - 28) 磯田太基, 竹之内宏, 徳丸正孝, 多人数参加型IEC のための視線投票インタフェースの検討, 第12回日本感性工学会春季大会, 大阪 (2017).
 - 29) 曾我祐介, 竹之内宏, 徳丸正孝, 不都合個体選択による対話型進化計算インタフェースの検討, 日本知能情報ファジィ学会第32回ファジィシステムシンポジウム, 佐賀 (2016).
 - 30) 太田茂, 竹之内宏, 徳丸正孝, 衣服の感性検索システムにおける深層ニューラルネットワークの有効性の検討, 日本知能情報ファジィ学会第32回ファジィシステムシンポジウム, 佐賀 (2016).
 - 31) M. Inoue, H. Takenouchi, M. Tokumaru, Music Recommendation System Improvement Using Distributed Genetic Algorithm, 2016 Joint 8th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 2016 17th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (SCIS&ISIS 2016), 627-630, Hokkaido (2016).
 - 32) M. Tokumaru, A. Yonezawa, Nail art design system using interactive evolutionary computation with VR, *HCI International 2016-Posters' Extended Abstracts Volume 618 of the series Communications in Computer and Information Science*, 552-557, Canada (2016).

私立大学戦略的研究基盤形成支援事業プロジェクト (2013~2017年度)

コンピュータホログラフィ技術を中心とした 超大規模データ処理指向コミュニケーション

2016年度 研究成果一覧表

論文

- (1) H. Nishi, K. Matsushima, Rendering of specular curved objects in polygon-based computer holography, *Applied Optics*, 56(13), F37-F44 (2017).
- (2) Y. Tsuchiyama, K. Matsushima, Full-color large-scaled computer-generated holograms using RGB color filters, *Optics Express*, 25(3), 2016-2030 (2017).
- (3) 藤井健作, 澤田拓也, 吉岡拓人, 棟安実治, ダブルトークとエコー経路の変化を識別して通話回路に挿入する減衰量を調整するハンズフリー通話システム用制御アルゴリズム, 電子情報通信学会論文誌A, J100-A(3), 142-150 (2017).
- (4) K. Tanaka, C. Shi, Y. Kajikawa, Binaural active noise control using parametric array loudspeakers, *Applied Acoustics*, 116, 170-176 (2017).
- (5) C. Shi, Y. Kajikawa, Volterra model of the parametric array loudspeaker operating at ultrasonic frequencies, *Journal of the Acoustical Society of America*, 140(5), 3643-3650 (2016).
- (6) C. Shi, Y. Kajikawa, Effect of the ultrasonic emitter on the distortion performance of the parametric array loudspeaker, *Applied Acoustics*, 112, 108-115 (2016).

国際学会

- (1) Y. Tsuchiyama, K. Matsushima, S. Nakahara, M. Yamaguchi, Y. Sakamoto, Full-color high-definition CGH reconstructing hybrid scenes of physical and virtual objects, *Practical Holography XXXI: Materials and Applications*, 101270Y, USA (2017).
- (2) N. Nakatsuji, K. Matsushima, Comparison of computation time and image quality between full-parallax 4G-pixels CGHs calculated by the point cloud and polygon-based method, *Practical Holography XXXI: Materials and Applications*, 101270Z, USA (2017).
- (3) S. Igarashi, T. Nakamura, K. Matsushima, M. Yamaguchi, Calculation and Fabrication of photorealistic hologram using orthographic ray-sampling plane, *The 6th Japan-Korea Workshop on Digital Holography and Information Photonics*, P20-15, Hokkaido, Japan (2016).
- (4) K. Matsushima, Y. Tsuchiyama, Full-color high-definition CGH employing RGB color filters, *International Workshop on Holography and Related Technologies*, 10, Taiwan (2016).
- (5) Y. Tsuchiyama, K. Matsushima, S. Nakahara, Y. Sakamoto, Full-color high-definition CGH using color filter and filter design based on simulation, *The 2016 Imaging and Applied Optics Congress*, DW5I4, Germany (2016).
- (6) Y. Higashino, T. Tsuchioka, K. Matsushima, Light-source switching time-division multiplexing holographic display and reduction of degradation by higher order diffraction images, *The 2016 Imaging and Applied Optics Congress*, DM4E.1, Germany (2016).
- (7) T. Kaku, I. Sato, S. W. Lee, T. Ito, O. Iwata, Y. Arai, Y. Ozeki, K. Goda, T. Tahara, Simultaneous three-wavelength holographic motion-picture imaging by multi-wavelength digital holography with dual reference arms, *International Symposium on Optomechatronic Technology*, B5-2, Tokyo, Japan (2016).
- (8) T. Kaku, T. Tahara, Y. Arai, Simultaneous high-speed three-dimensional motion-picture recording of multiple visible and invisible wavelengths by digital holography, *The 31st International Congress on High-Speed Imaging and Photonics*, IP-22, Osaka, Japan (2016).
- (9) T. Tahara, Y. Arai, Y. Takaki, Three-wavelength phase-shifting digital holography using six wavelength-multiplexed holograms and 2π ambiguity of the phase, *OSJ-OSA Joint Symposia on Plasmonics and Digital Photonics*, 31pOD5, Tokyo, Japan (2016).

- (10) T. Tahara, K. Omae, R. Otani, Y. Arai, Y. Takaki, Relationship between the image quality and constant phase shifts in phase-shifting interferometry selectively extracting wavelength information, JSAP-OSA Joint Symposia 2016, 14a-C301-2, Niigata, Japan (2016).
- (11) T. Tahara, T. Shimobaba, T. Ito, Image-reconstruction algorithm with no use of Fourier transform in interferometric imaging using spatial frequency-division multiplexing, 2016 Imaging and Applied Optics JW4A.35, Germany (2016).
- (12) T. Tahara, R. Otani, Y. Arai, Y. Takaki, Multiwavelength digital holography based on phase-division multiplexing using arbitrary symmetric phase shifts, Imaging and Applied Optics 2016, DW5E.2, Germany (2016).
- (13) T. Tahara, K. Omae, R. Otani, Y. Arai, Y. Takaki, Algorithm for removing the limitation of intensity ratio in four-step dual-wavelength digital holography based on phase-division multiplexing, The 2nd Biomedical Imaging and Sensing Conference 2016, BISCp6-9, Kanagawa, Japan (2016).
- (14) K. Fujii, M. Muneyasu, A method stably working feedback type active noise control system for preventive panel of sound leakage, 45th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering, Germany (2016).
- (15) S. Yoshida, T. Ogawa, M. Haseyama, M. Muneyasu, Heterogeneous graph-based topic learning for web video search reranking, 2016 International Workshop on Smart Info-Media Systems in Asia, RS1-8, Thailand (2016).
- (16) T. Nishigaito, M. Muneyasu, K. Matsushima, A. Taguchi, Lossless compression algorithm for binary holographic interference fringes based on run-length coding, 2016 International Workshop on Smart Info-Media Systems in Asia, RS2-1, Thailand (2016).
- (17) S. Edamoto, C. Shi, Y. Kajikawa, Directional feedforward ANC system with virtual sensing technique, 2016 International Workshop on Smart Info-Media Systems in Asia, RS1-9, Thailand (2016).
- (18) S. Kinoshita, Y. Kajikawa, Integrated direct sub-band adaptive volterra filter and its application to identification of loudspeaker nonlinearity, 2016 24th European Signal Processing Conference, Hungary (2016).
- (19) T. Nagata, N. Nakamura, M. Miyatake, A. Yuuki, H. Yomo, T. Kawabata, S. Hara, VO_2 Estimation using 6-axis motion sensor with sports activity classification, 38th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, ThCT13.1, USA (2016).
- (20) N. Nakamura, T. Nagata, M. Miyatake, A. Yuuki, H. Yomo, T. Kawabata, S. Hara, Applying neural network to VO_2 estimation using 6-axis motion sensing data, 38th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, ThCT13.2, USA (2016).
- (21) M. Inoue, H. Takenouchi, M. Tokumaru, Music recommendation system improvement using distributed genetic algorithm, 2016 Joint 8th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 2016 17th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, Sa7-2, Hokkaido, Japan (2016).
- (22) M. Tokumaru, A. Yonezawa, Nail art design system using interactive evolutionary computation with VR, HCI International 2016, 166, Canada (2016).

国内学会

- (1) 土岡智旭, 西川凌, 松島恭治, 時分割電子ホログラフィにおける再生像の改善, 第21回関西大学先端科学技術シンポジウム, 2, 大阪 (2017).
- (2) 園部徳晃, 土山泰裕, 松島恭治, フルカラーデジタイズドホログラフィ, 第21回関西大学先端科学技術シンポジウム, 3, 大阪 (2017).
- (3) 松島恭治, 中原住雄, コンピュータホログラフィによる自然で奥行の深い3次元画像の生成, 平成28年電気関係学会関西連合大会, G13-5, 大阪 (2016).
- (4) 園部徳晃, 土山泰裕, 松島恭治, フルカラーデジタイズドホログラフィによるCGモデルと実在物のハイブリッドシーンの再生, Optics & Photonics Japan 2016, 1pP26, 東京 (2016).
- (5) 五十嵐俊亮, 中村友哉, 松島恭治, 山口雅浩, 正射影光線サンプリング面を用いた計算機合成ホログラムによる質感表現, 映像情報メディア学会「画像技術, 視覚・画質関連, その他一般」研究会, 4, 東京 (2016).
- (6) 土山泰裕, 松島恭治, カラーフィルタ方式フルカラー高解像度CGHとその光学再生像, 平成28年度第3回ホログラフィック・ディスプレイ研究会, 3, 東京 (2016).

- (7) 中辻憲昭, 松島恭治, 伊藤智義, 下馬場朋禄, 点光源法とGPUで計算した全方向視差高解像度CGHの再生像, 平成28年度第3回ホログラフィック・ディスプレイ研究会, 4, 東京 (2016).
- (8) 中尾弘希, 松島恭治, 反射型高解像度CGHのコンタクトコピーによるフルカラー体積型転写CGHの作成, 平成28年度第3回ホログラフィック・ディスプレイ研究会, 5, 東京 (2016).
- (9) 土山泰裕, 松島恭治, 中原住雄, 坂本雄児, フルカラー高解像度CGH用カラーフィルタの設計とその光学再生像, 3次元画像コンファレンス2016, 2-1, 大阪 (2016).
- (10) 園部徳晃, 土山泰裕, 松島恭治, フルカラーデジタルホログラフィとその光学再生像, 3次元画像コンファレンス2016, 2-2, 大阪 (2016).
- (11) 伊藤真人, 松島恭治, 山口雅浩, 光線サンプリング面の手法を用いて合成した実物体の高解像度計算機合成ホログラム, 3次元画像コンファレンス2016, P-10, 大阪 (2016).
- (12) 中辻憲昭, 松島恭治, 伊藤智義, 下馬場朋禄, 高解像度計算機合成ホログラムにおける点光源法とポリゴン法の実験・画質比較, 3次元画像コンファレンス2016, P-12, 大阪 (2016).
- (13) 東野好伸, 土岡智旭, 松島恭治, 光源スイッチング方式時分割電子ホログラフィにおける偏光特性を用いた高次回折像軽減, 3次元画像コンファレンス2016, 6-1, 大阪 (2016).
- (14) 五十嵐俊亮, 中村友哉, 松島恭治, 山口雅浩, 正射影光線サンプリング面による大規模計算機合成ホログラムの分割計算, 第9回計算光学研究会, 2-1, 東京 (2016).
- (15) 加来徹, 田原樹, 佐藤いまり, L. SangWook, 伊藤卓郎, 岩田修, 新井泰彦, 2参照光路を用いる複数波長デジタルホログラフィによる3波長同時ホログラフィック動画イメージング, 2016年度精密工学会秋季大会, B03, 茨城 (2016).
- (16) 田原樹, 大前快人, 大谷礼雄, 新井泰彦, 高木康博, 位相分割多重方式に基づくマルチカラーデジタルホログラフィ, 3次元画像コンファレンス2016, 2-5, 大阪 (2016).
- (17) 池下雄大, 棟安実治, 中静真, 吉田壮, 多値構造要素の最適化を考慮したモルフォロジカル勾配に基づく画像の正規化, 電子情報通信学会総合大会, A-15-7, 愛知 (2017).
- (18) 阿部誠也, 棟安実治, 吉田壮, ニューラルネットワークによるインパルス検出器の一設計手法, 電子情報通信学会総合大会, A-15-8, 愛知 (2017).
- (19) 藤井健作, 棟安実治, 能動騒音制御下における帰還系の再推定法に関する検討, 日本音響学会春季研究発表会, 1-P-1, 東京 (2017).
- (20) 藤井健作, 棟安実治, 能動騒音制御下における帰還系再推定法に関する検討, 応用音響研究会, 45, EA2016-78, 京都, (2017).
- (21) 茅立基, 棟安実治, 松島恭治, 吉田壮, 田口亮, 固有値分解を用いた光波データの圧縮, 第21回関西大学先端科学技術シンポジウム, 大阪 (2017).
- (22) 茅立基, 棟安実治, 松島恭治, 吉田壮, 田口亮, 特異値分解による光波データの非可逆圧縮, スマートインフォメディアシステム研究会, SIS2016-30, 広島 (2016).
- (23) 吉田壮, 小川貴弘, 長谷山美紀, Web映像検索を目的としたランキングの高精度化に関する検討, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, A-15-5, 北海道 (2016).
- (24) 藤井健作, 棟安実治, 巡回型予測のフィードバック型能動騒音制御への適用効果について, 日本音響学会秋季研究発表会, 1-P-29, 富山 (2016).
- (25) 枝元祥馬, 史創, 梶川嘉延, ヘッドレストANCシステムの実現に向けた検討, 電子情報通信学会信号処理研究会, 44, SIP2016-180, 沖縄 (2017).
- (26) 岩居健太, 山岸昌夫, 梶川嘉延, 非凸二次制約付き最適化を利用したMirrorフィルタのパラメータ推定～実測振動板変位を用いた推定, 電子情報通信学会信号処理研究会, 46, SIP2016-182, 沖縄 (2017).
- (27) 今元涼介, 史創, 梶川嘉延, 室内パラメトリックアレイの空間伝搬についての検討, 電子情報通信学会信号処理研究会, 49, SIP2016-185, 沖縄 (2017).
- (28) 枝元祥馬, 史創, 梶川嘉延, バーチャルセンシングを用いたフィードフォワードANCシステムに関する検討, 電子情報通信学会信号処理研究会, 30, SIP2016-63, 青森 (2017).
- (29) 岩居健太, 山岸昌夫, 梶川嘉延, 非凸二次制約付き最適化を利用したMirrorフィルタのパラメータ推定法, 第31回信号処理研究会シンポジウム, B3-3, 大阪 (2016).
- (30) 枝元祥馬, 梶川嘉延, バーチャルセンシングを用いたフィードフォワードANCシステムにおける経路追従性に関する

検討, 第31回信号処理シンポジウム, C4-4, 大阪 (2016).

- (31) 岩居健太, 梶川嘉延, 動電型スピーカの線形特性の補正を可能にする非線形IIRフィルタ構造, 日本音響学会2016年秋季研究発表会, 1-P-8, 富山 (2016).
- (32) 結城祥, 四方博之, APの通信負荷を考慮したAP選択型遅延オフロード法, 2017年電子情報通信学会総合大会, B-15-14, 愛知 (2017).
- (33) 太田茂, 竹之内宏, 徳丸正孝, 深層ニューラルネットワークによる特徴抽出を用いた衣服の感性検索, 第12回日本感性工学会春季大会, 2D-08, 大阪 (2017).
- (34) 磯田太基, 竹之内宏, 徳丸正孝, 多人数参加型IECのための視線投票インタフェースの検討, 第12回日本感性工学会春季大会, 2D-14, 大阪 (2017).
- (35) 太田茂, 竹之内宏, 徳丸正孝, 衣服の感性検索システムにおける深層ニューラルネットワークの有効性の検討, 日本知能情報ファジィ学会第32回ファジィシステムシンポジウム, TE1-3, 佐賀 (2016).
- (36) 曾我祐介, 竹之内宏, 徳丸正孝, 不都合個体選択による対話型進化計算インタフェースの検討, 日本知能情報ファジィ学会第32回ファジィシステムシンポジウム, TF2-3, 佐賀 (2016).

その他

- (1) 松島恭治, 私の未来学: ホログラフィ技術を用いた高品質な立体画像-光の干渉縞をデジタル合成、眼鏡なしで3D鑑賞-, コンバーテック, 2017年1月号, 6-9, 株式会社加工技術研究会 (2017).
- (2) 松島恭治, 東野好伸, ホログラフィ表示装置, 特願2016-121830 (2016.6.20).
- (3) 松島恭治, 土山泰裕, フルカラー高解像度計算機合成ホログラム表示装置、その作製方法及びその作製装置, 特願2016-113638 (2016.6.7).
- (4) 田原樹, 3Dカラー動画暗所でも鮮明, 日経産業新聞, 2016年9月29日付, 朝刊先端技術欄.

2017年度 技苑「プロジェクト研究報告概要」

私立大学戦略的研究基盤形成支援事業プロジェクト

コンピュータホログラフィ技術を中心とした
超大規模データ処理指向コミュニケーション

研究代表者：松島 恭治
 研究分担者：棟安 実治・梶川 嘉延・中原 住雄・四方 博之・
 徳丸 正孝・田原 樹・吉田 壮
 学外研究分担者：Petar Popovski・Woon-Seng Gan・田口 亮・
 山口 雅浩・坂本 雄児・伊藤 智義・下馬場 朋禄

1. はじめに

松島恭治*1

本プロジェクトは、大きくホログラフィグループと近未来コミュニケーショングループに分かれて研究活動を行っている。ホログラフィグループは、ホログラフィによる3次元映像の取得と再生、近未来コミュニケーショングループは、その映像技術に伴う圧縮・伝送や音響技術、さらには、その潜在的アプリケーションの研究を行っている。以下、プロジェクト最終年度となる本年度の研究概要をホログラフィグループ、近未来コミュニケーショングループの順序で掲載している。

2. 計算機合成ホログラム数値合成技術と関大デジタル
ホロスタジオ

松島恭治、中原住雄*2

2.1. フルカラー高解像度計算機合成ホログラム

昨年度までにほぼ完成したカラーフィルタを用いた計算機合成ホログラム (CGH) のフルカラー表示技術を用い、実物体のCGHを製作できるようになった¹⁾。この手法では、イメージセンサを用いたデジタルホログラフィ技術によりRGBに対応する3波長で物体光波を取得し、それをカラーフィルタ方式CGHでカラー表示する。古典的な光学ホログラムの記録・再生の全過程をデジタル化することから、我々はこの手法をデジタルホログラフィと呼んでいる。作成したフルカラー高解像度CGHを図1に示す。

この様にカラーフィルタ方式は進展しているが、ただし、その画像品質は必ずしも満足のものではない。これには二つの要因がある。一つは、カラーレジストで作製しているカラーフィルタの帯域が広いと、物体モデルがホログラム面から離れるに従って、色収差による



図1. デジタルホログラフィにより作成したフルカラー高解像度CGH「Tea Time」の光学再生像¹⁾

像のぼけが大きくなってしまふことである。もう一つは、カラーフィルタ方式では干渉縞を空間的に分割し、かつ位置合わせ公差を大きくするためのガードギャップが必要となることである²⁾。これにより、かなり像品質が劣化することはシミュレーションでもはっきりと確認されている。

前者の問題を緩和し、さらにカラーフィルタ方式CGHの生産性に低さを改善するため、独自のコンタクトコピー技術によりカラーフィルタ方式CGHをRGBの3波長でそのまま体積ホログラムに転写する技術を開発している³⁾。現在のところ再生効率が低い、体積ホログラムの狭帯域な波長選択性により像品質が改善することは確認されており、効率が向上すればカラーCGHを量産する有力な方法となるであろう。

しかし、この手法でも後者の干渉縞空間分割に伴う問題は改善されない。これを改善するには、RGB三原色の3枚のCGHを作成し、その再生像を重ねる必要がある。そのため、上記のコンタクトコピーにより各色の原版CGHの転写を行って3枚の体積型CGHを作成し、これを重ねる積層型CGHの手法を開発している⁴⁾。図2にその再生像を示す。色収差によるぼけが少ない上に空間分割によるノイズが全くないため鮮明な再生像が得られる。しかし、転写CGHがガラス板上に形成されているため、再生像にガラス板の厚さによる収差が生じ、正面以外から見たときに色ずれが生じる問題がある。これに

*1 システム理工学部教授 博士 (工学)

*2 先端科学技術推進機構客員研究員 工学博士

については、計算機で干渉縞を発生する際にガラスの屈折率を補正する手法を開発しており、ほぼ問題を解消しつつある。



図2. 積層型転写CGHの再生像の例⁴⁾

2.2. 光波データのコーディング

CGH計算の過程では、光波データを取り扱う。これは平面上でサンプリングされた光波面の複素振幅データであり、計算機上では1サンプル点が実部・虚部の二つの単精度浮動小数点数で表される。そのため、1サンプル点あたり8バイトのデータ量となる。例えば、128 K × 128 KのCGH (1 K=1024、約10 cm角)の物体光波であれば、そのデータ量は約137 GBにもなる。そのため、光波データを2次ストレージにロード・セーブする際にも、ネットワークで転送する際にも大きな負担になる。

そこで、光波データを振幅・位相形式で表現し、個別に量子化することにより大幅にデータを削減する技術を開発した^{5,6)}。この手法では、振幅を非線形量子化し、位相を線形量子化する。図3は、振幅・位相の総ビット数を4、6、8、16ビットで一定として振幅のビット数を変化した時に光波の精度をシミュレーション再生像のPSNRで評価した結果を示す。総ビット数8ビットで最高40 dB、16ビットでは55 dB以上の結果が得られており、従来比で8分の1(8ビット)あるいは4分の1(16ビット)にデータ削減しても大きな影響がないことがわかる。この技術により、光波データの大幅な削減が可能となった。

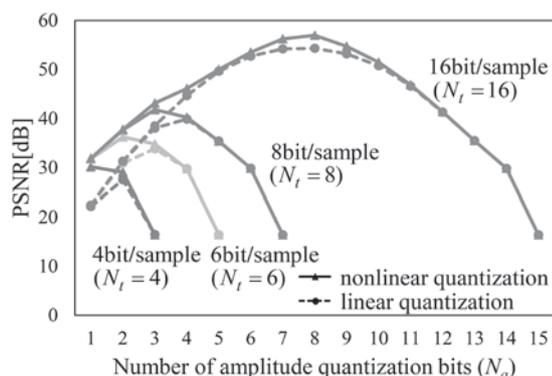


図3. 量子化ビット数に対する精度の評価⁶⁾

2.3. 光源スイッチング方式電子ホログラフィ

ホログラムを動画再生するために、空間光変調器としてDMD (Digital Mirror Device) を用い、時分割により実行的な解像度を増大する光源スイッチング電子ホログラフィを提案している。しかし、この方式には高次回折像が本体の再生像に混入して像を著しく劣化させる問題があった。そこで、偏光マスクを用いて隣接する高次回折像を遮蔽する手法を提案している。この手法を用い、DMD一つの再生像を4×2倍⁷⁾、さらに4×4倍に拡張した新しいホログラフィックディスプレイを構築することができた⁸⁾。図4に再生像の例を示す。紙面では示せないが、ホログラムが動画として再生されている。



図4. 光源スイッチング方式ホログラフィックディスプレイの再生像⁸⁾

2.4. その他の進展

昨年度、曲面レンダリングの技術を提案したが、今回は透明な物体内で屈折率を変化させる物理シミュレーションにより、透明な物体モデルを再生するホログラムをレンダリングする手法を開発し、実際にCGHを作成してその効果を確認することができた⁹⁾。

また、高解像度CGHを体積ホログラムに転写する2段階法ではなく、体積ホログラムを直接描画できる波面プリンタの開発を従来から進めてきた。今年度は、この波面プリンタに軸外れデニシユク光学系を導入することにより、大幅に構造を単純化し、描画光波の強度を向上した新方式を開発した¹⁰⁾。

3. デジタルホログラフィ技術を用いたコンピュータホログラフィ用光波撮像技術

田原樹*³

本プロジェクトの目的の一つである面内30 cm四方のカラーホログラフィック撮像システム実現のため、本年度は、2013年度に提案した技術のマルチカラーイメージングを実現するアルゴリズムの構築と妥当性の確認を行った。また、臨場感を高めるために動画像記録、高速画像再生アルゴリズムに関する研究を進め、複数波長同時3次元イメージングの高速化を推進した。

*3 システム理工学部助教 博士(工学)

研究者が世界で初めて提案した波長選択抽出位相シフト法に基づくカラーイメージング方式は、広範囲のカラー3次元ホログラフィック画像情報記録を達成可能である。本プロジェクトにおいて、面内30cm四方のマルチカラーホログラフィック撮像に応用すべく、位相変調に微小な機械駆動または空間光変調器を用いたマルチカラーデジタルホログラフィへと機能拡張した。結果、3波長多重記録された単色画像からカラー3次元イメージング可能であることを実証した¹¹⁾。また、微弱な物体光波に対し、高画質イメージングを行えるアルゴリズムを提案・実証した¹²⁾。そして、撮像素子のダイナミックレンジに対する再生像の画質を数値解析により評価し、1波長あたり4ビットの情報量があれば高画質イメージング可能との知見を得た¹³⁾。

ホログラフィック光波撮像し、得られた画像から3次元画像情報を再構成するためには、膨大な計算量が必要であることが指摘されている。臨場感を高めるためには、記録速度のみならず、像再生速度を加速度的に高める必要がある。像再生にかかる計算量は、2次元フーリエ変換が大きな割合を占める。そこで、フーリエ変換を必要としない像再生アルゴリズムを実証した¹⁴⁾。また、数値的評価結果として、従来のアルゴリズムに比べ、1桁像再生速度を向上可能であると判明した。当該アルゴリズムを適用可能なシステムにおいて、400nm程度の白黒線幅の干渉縞を記録できる方式を提案し、実証した¹⁵⁾。今後は動画イメージング応用可能性を検討する。

ホログラフィでは通常、ホログラムを得るためにレーザー光源が必要であったため、太陽光照明下において適用できなかった。そこで、自然光のホログラムを単一露光記録できる結像レンズレス瞬時3次元イメージング技術を提案し、また、技術の実証に成功した¹⁶⁾。

以上、5年間にわたる研究の成果として、本年度の試作システムにより1.4m離れた30cm四方の物体のマルチカラー3次元イメージングが達成可能である。よって、当初の目的を達成するマルチカラーホログラフィック3次元画像記録システムの開発に成功しただけでなく、世の中に新しいマルチカラーホログラフィック3次元光波画像取得技術を生みだし、光学システム試作、実証までを達成することができた。さらには、像再生を高速化するアルゴリズムの提案、単一露光自然光ホログラフィ方式を提案し、時間方向に高臨場感を与えるシステム、太陽光照明下に適用可能な高速ホログラフィックカメラシステムの創出までを示すことができた。

4. 超大規模データの圧縮

棟安実治*4、吉田壮*5、田口亮*6

4.1. はじめに

昨年提案したCGH (computer-generated hologram) 画像の光波データの圧縮技術に利用可能な非可逆圧縮の手法について検討した¹⁷⁾。ここでは、2値ホログラム干渉縞データのランレングスとエントロピー符号化を組み合わせた新たな可逆圧縮手法について提案する。特に、新たなランレングス符号化手法を提案し、ブロック分割されたホログラム干渉縞の領域ごとに、この手法と従来のランレングス符号化を選択して、領域の性質に適応した符号化を行う。

4.2. 提案手法

干渉縞のランレングスに関する統計的性質によれば、ランレングスを用いることがある程度有効である。さらに、画素値が交互に現れるような場合についても対応が必要である。これに加えて、画像の局所的な傾向にも対応できるような手法が好ましいといえる。ここでは、これらの考察を踏まえ、干渉縞にブロック分割を行い、各ブロックに対して適用する符号化手法を適応的に変更する手法を提案する。

各ブロックで良い符号化効率を得られる符号化手法が異なることから、干渉縞データをブロック分割した後、ブロック毎に、前処理とハフマン符号化を組み合わせたいくつかの符号化を行い、

$$C = \left(1 - \frac{t+F}{M \times N}\right) \times 100 [\%] \quad (1)$$

で示される符号化効率 C を調べる。ここで、 t はハフマン符号表の符号量、 F は符号化された画像の符号量を示す。 M と N は元データの縦と横の画素数である。符号化効率 C は、値が大きいくほど圧縮率が高いことを示す。最も符号化効率のよかった圧縮法をそのブロックの圧縮法として採用し、画像全体の符号化効率を記録する。さらに、ブロック分割数を変更して、同様の手順を繰り返し、符号化効率を評価して最も符号化効率の大きいものを圧縮した結果とする。

符号化法としては、以下の選択肢の組み合わせとする。
(1)通常ランレングスあるいは後述する交互ランレングス
(2)スキャン方向、具体的には、左から右にスキャンする「スキャンA」、上から下にスキャンする「スキャンB」
ブロック分割数としては、4、16、64分割とした。提案手法の概要を図5に示す。

*4 システム理工学部教授 博士 (工学)

*5 システム理工学部助教 博士 (情報科学)

*6 東京都市大学 知識工学部教授 工学博士

ここで提案する交互ランレングスは、白と黒が交互に続く長さをランとみなし、そのランレングスを符号化する手法である。例を図6に示す。

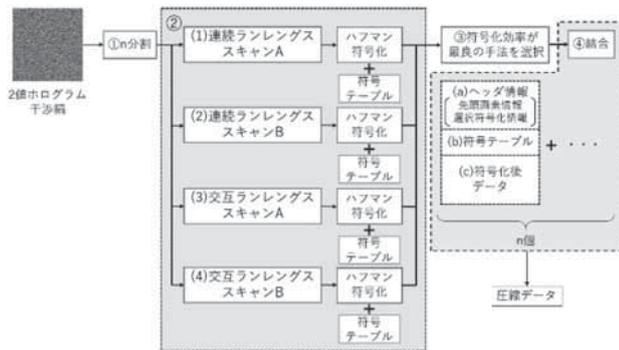


図5. 提案手法の概要

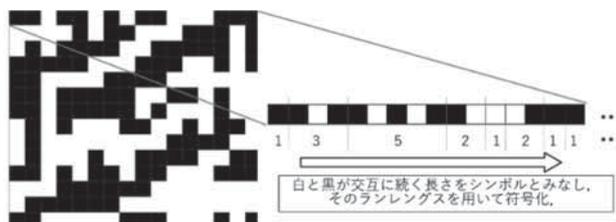


図6. 交互ランレングス

4.3. 評価実験

3種類の干渉縞データに提案手法を適用し、従来手法¹⁸⁾との比較を行った。その結果を表1に示す。この表から、提案手法により、符号化効率の向上が確認できる。

表1. 従来手法¹⁸⁾との符号化効率[%]の比較

	データ	4分割	16分割	64分割
従来手法	①	<u>6.02</u>	5.93	5.68
	②	10.15	10.29	11.66
	③	8.95	11.25	11.66
提案手法	①	<u>6.02</u>	<u>5.94</u>	<u>5.69</u>
	②	<u>16.13</u>	<u>20.58</u>	<u>21.62</u>
	③	<u>14.76</u>	<u>14.72</u>	<u>13.88</u>

4.4. まとめ

2値ホログラム干渉縞データに対して、同画素の連続数のランレングスだけでなく、新たに隣り合う画素が違う場合の連続数のランレングスを求めることにより、従来手法ではうまく符号化できなかった部分の符号化効率を改善する方法を提案した。その結果、最大で従来手法と比べて符号化効率が約2倍になり、元のデータ量を約22%削減することができた。

5. 高度三次元音響技術の開発

梶川嘉延^{*7}、岩居健太^{*8}、Woon-Seng Gan^{*9}

5.1. はじめに

コンピュータホログラフィに対して、より没入感をユーザに与えるために、三次元音響技術を組み合わせることは有効である。三次元音響技術としては波面合成法、境界音場制御などに代表される実音場における音波を忠実に再現する技術とトランスオーラルシステムに代表される局所領域において所望の音情報を再生する技術がある。前者の技術は、ユーザに対して没入感を与えるには最も適しているが、スピーカを多数必要とするとともに膨大な演算量が必要となるなど実現性において多数の課題が残されている。一方、後者の技術は三次元音場をユーザに容易に再現可能であるが、非常に限られた領域でしか再現できないため、ユーザの動きには追従できないなどの課題が残されている。さらに両者に共通する問題として、非常にサイズの小さいホログラフィ映像と組み合わせるという用途には不向きなことがあげられる。そこで、本研究においてはホログラフィ再生に用いる記録材料に対して、超指向性を有するパラメトリックスピーカにより音を放射し、記録材料にて反射させることで、あたかも記録材料から音が放射されているような感覚を生み出す高度三次元音響技術の開発に取り組んでいる。しかしながら、パラメトリックスピーカは超指向性の優位性に対して、音質が従来のスピーカに比べて劣るという欠点を有する。そこで、本研究ではパラメトリックスピーカの音質を改善するための新たな前処理システムとしてComplex Inverse Systemを提案¹⁹⁾し、その有効性を検討した。

5.2. パラメトリックスピーカの概要と問題点

超音波を搬送波としたパラメトリックスピーカは指向性の高い音が望まれる様々な実用的なアプリケーションのための音響再生装置として研究されている。パラメトリックスピーカは超音波を搬送波としてオーディオ信号を変調し、空气中を伝搬させることで、空気非線形性によってオーディオ信号(可聴音)を再生する。超音波は、人に聴こえる可聴音よりも高い周波数の波であり、直進する性質をもっているため、パラメトリックスピーカによる再生音は通常のスピーカに比べて鋭い指向性を持ち、所望の位置に可聴音を伝達することが可能である。また、パラメトリックスピーカから放射した超音波をホログラフィの記録材料に照射することで、記録材料上に

*7 システム理工学部教授 博士(工学)

*8 先端科学技術推進機構ポスト・ドクトラル・フェロー 博士(工学)

*9 Nanyang Technological University, Professor

新たな音源を生成することも可能である。一方で、パラメトリックスピーカの音質は非線形歪みによる影響で従来のスピーカに比べて低く、三次元音響再生においてはその音質劣化が大きな影響を与えるため、音質改善は必要不可欠な取組であると言える。音質を改善するためには、音質劣化の原因である非線形歪みを低減することが重要である。非線形歪みを低減する方法としてはVolterraフィルタなどの非線形デジタルフィルタを用いる方法が考えられるが、パラメトリックスピーカの場合には入力信号レベルに応じて、その非線形性が変化することが知られているため、入力信号レベルに応じてフィルタ特性を変化させる必要がある。

5.3. Complex Inverse System

上記のようにパラメトリックスピーカの非線形歪みを低減するためには入力信号レベルに応じて非線形デジタルフィルタの特性を変化させることが重要である。それを実現する方法として図7に示すようなComplex Inverse Systemを提案する。提案システムは入力信号レベルに応じて適切な非線形デジタルフィルタを選択するような構成となっている。図8に評価結果の一例を示す。図からもわかるように、入力レベルに対して適切なサブシステムを選択することで最も高い性能を示していることがわかる。よって、提案システムがパラメトリックスピーカの音質改善に有効であることがわかる。したがって、提案システムによる前処理を備えたパラメトリックスピーカを利用することで、より効果的な三次元

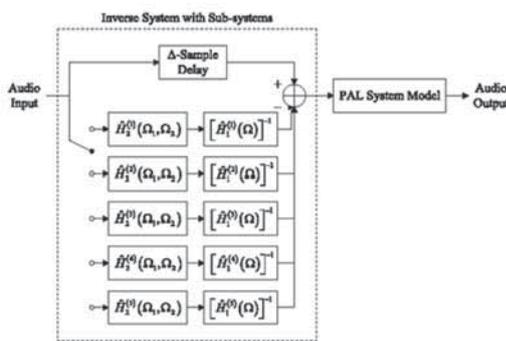


図7. Complex Inverse Systemによるパラメトリックスピーカの音質改善手法

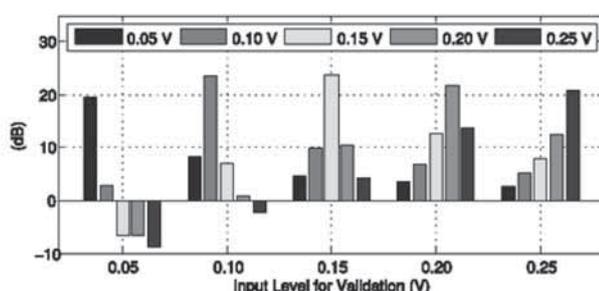


図8. 提案システムの評価

音響空間を生成することが可能であると言える。

6. 高密度環境における省電力通信実現のための通信制御方式

三木智仁*¹⁰、四方博之*¹¹、Petar Popovski*¹²

5G（第5世代移動通信システム）に代表される次世代無線通信システムでは、センサ等無線通信機能を有する端末による高密度通信が一般的になるものと考えられる。これらの端末のバッテリー交換コストを削減するためには、省電力通信の実現が必要になる。そこで、本研究ではセンサからセンシングデータを収集する通信にウェイクアップ受信機を適用し、所望のセンシングデータを有する端末のみリモート起動し、通信させることで省電力化を実現するウェイクアップ制御法の提案と評価を行った。

6.1. コンテンツベースウェイクアップ法

本研究では、センサノードにウェイクアップ受信機を適用するオンデマンド型WSN（Wireless Sensor Network）に注目した²⁰。オンデマンド型WSNでは、非通信時に各ノードの無線通信モジュールをスリープ状態とし、ウェイクアップ受信機のみが自身宛の通信要求を待ち受けるために起動状態を維持する。ウェイクアップ受信機は、ウェイクアップ信号を検出するだけのシンプルなハードウェア構成となっており、超低消費電力で動作することから、ノードの受信待機時の消費電力を削減することが可能である。既存のIDベースのウェイクアップ法²¹では、通信要求発生ノードが、通信対象センサノードの識別子であるウェイクアップIDを含むウェイクアップ要求をウェイクアップ信号として送信する。ウェイクアップ信号を受信したウェイクアップ受信機は、自身に割り当てられたウェイクアップIDを検出した場合、自身の無線通信モジュールをスリープ状態から起動状態に遷移させ、その後データ通信を行う。以上の動作により、オンデマンド型WSNでは、各ノードの受信待機時の消費電力を抑えつつ、高い応答性を実現することが可能である。

しかしながら、実用的なWSNでは全センサノードのセンシング情報が必ずしも必要ではない場合がある。例えば、ある閾値よりも大きい、あるいは小さい値を観測したセンサノードのIDとその観測値に関する情報収集や、全センサノードの観測値を降順に並べた時に、上位k番目までの値を観測したノードのIDとその観測値に関

*10 理工学研究科、先端科学技術推進機構構準研究員

*11 システム理工学部教授 博士（工学）

*12 Aalborg University, Professor, Ph.D.

する情報収集が求められる²²⁾。しかし、オンデマンド型WSNの既存ウェイクアップ法であるIDベースのウェイクアップ法では、データ収集ノードは、センシングデータによらずIDに基づきノードをウェイクアップさせる。このウェイクアップ法では、所望の条件を満たすセンシング情報を保持していないセンサノードも起動させる必要があるため、センサノードは無駄な電力を消費することとなる。そこで、本研究では、センサノードの観測したセンシング情報に応じてウェイクアップ制御を行うコンテンツベースウェイクアップ法を提案した²³⁾。コンテンツベースウェイクアップ法では、データ収集ノードが収集すべきセンシング情報の条件に基づきウェイクアップ信号を変化させる。各センサノードのウェイクアップ受信機は自身の観測値に基づいて、起動処理を行うべきウェイクアップ信号を設定する。これにより、特定の条件を満たすセンシング情報を保持するセンサノードのみをウェイクアップさせ、無駄なウェイクアップを抑制する。

本研究では提案コンテンツベースウェイクアップ法をtop-kデータ収集に適用したカウントダウンコンテンツウェイクアップ法 (CD-COWu) のシミュレーション評価を行った。ノード数に対するエネルギー消費量およびデータ収集遅延特性を図9、図10にそれぞれ示す。これらの図より、提案CD-COWuはどのノード数に対しても従来のIDベースウェイクアップ法 (Unicast) よりも消費電力を抑制できていることが分かる。また、ノ

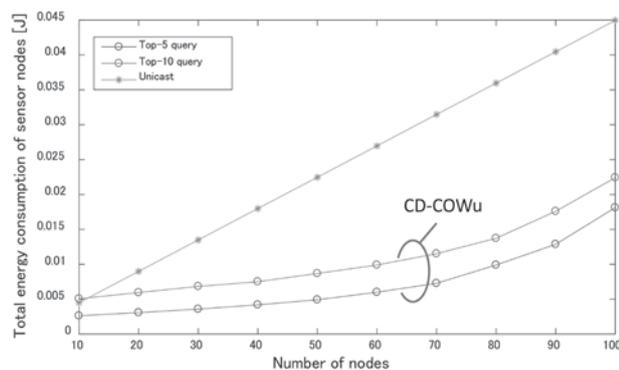


図9. ノード数に対するエネルギー消費量特性

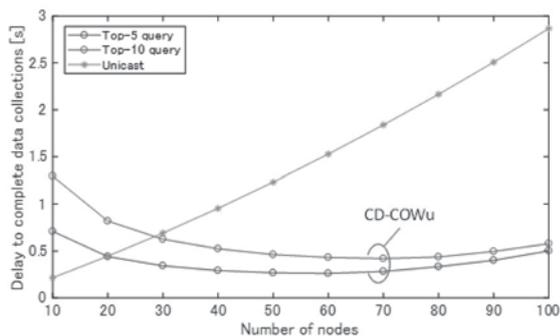


図10. ノード数に対する遅延特性

ド数が増加するにつれ、データ収集遅延の観点からのCD-COWuのUnicastウェイクアップに対する優位性も大きくなることが確認できる。

6.2. まとめ

本研究では、高密度通信環境において省電力通信を実現するコンテンツベースウェイクアップ法の提案と評価を行った。今後は、この方式の理論計算および実験による評価を行う予定である。

7. 多人数参加型の対話型進化計算インタフェースおよびプロトタイプシステムの開発

徳丸正孝*¹³

7.1. はじめに

本研究では、コンピュータホログラフィを用いた多人数参加型の3次元オブジェクト協調デザイン支援システムのプロトタイプ「ホロキューブ」を開発した²⁴⁾。また、協調デザイン支援に人工知能を搭載したロボットが介入し、人とAIが共同でデザインを行う場合を想定し、多人数コミュニケーションにおけるロボットの意思決定モデルを開発した²⁵⁾。さらに、前年度に開発した衣服の感性検索システムについて、感性検索精度と画像特徴の相関分析を行った²⁶⁾。

7.2. 多人数参加型IECシステム「ホロキューブ」の開発

本研究で開発したHolo-Cube (ホロキューブ) は、半透過スクリーンに投影された3Dオブジェクトを回転させることで、デザイン対象である立体物を360度すべての視点で観察して評価することが可能なシステムである²⁴⁾。

図11にシステム概要を示す。本システムは、2個の3Dオブジェクト (解A、解B) を上下に並べて提示することができる。装置の上部と下部には正方形液晶モニタが設置されており、各モニタが表示する映像はアクリル製の半透過スクリーンに投影される。それぞれのモニタに対してピラミッド形状の半透過スクリーンが設置されているため、ユーザの視点からは透明のキューブの中に2個の3Dオブジェクトが浮かんでいるように見える。

Holo-Cubeに投影する3Dオブジェクトは、ゲームエンジンUnityを用いて仮想環境上に作成され、4台の仮想カメラがオブジェクトの周りを回転しながら個々の角度でオブジェクトを撮影する。それぞれのカメラで撮影された映像は、正方形モニタを上下左右に分割した4箇所の領域に表示される。これらの4個の画像が半透

*13 システム理工学部教授 博士 (工学)

過スクリーンを構成する4個の面に投影されるため、Holo-Cubeの周囲どこからでも回転する3Dオブジェクトを視認することができる。

デザイン生成に参加するユーザは、Holo-Cubeの周りに着席し、上下に表示される3Dオブジェクトの回転体を比較し、どちらのデザインが好みかをBluetooth無線接続のテンキーを用いてシステムに通知する。システムはユーザからの評価を集約し、対話型進化計算によりデザインを最適化する。4名の被験者による実験により、Holo-Cubeを用いることで立体物を複数視点で確認しながら協調的にデザインを生成できることが確認された。

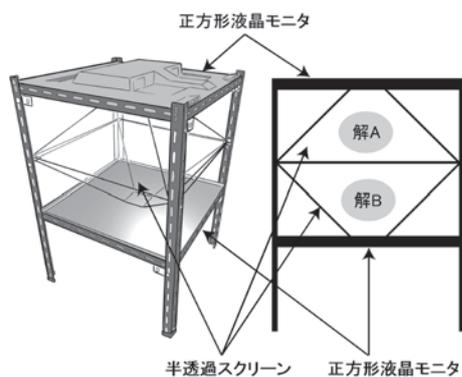


図11. ホロキューブの概要

7.3. 多人数コミュニケーションのための意思決定モデル

対話型システムでは、人工知能を搭載したロボットが人間とロボットが混合するコミュニティにおいて、協調しながら意思決定を行う必要がある。そこで、本研究では人間集団内に発生する集団規範を学習し、自らの振舞いを人間に合わせるができる意思決定モデルを開発した²⁵⁾。集団規範とは人間集団内において発生する不文律のことである。本研究では、(1)仮想空間上の複数のロボットを用いたシミュレーション、(2)被験者と提案モデルに従うだけの被験者の集団の限定的なシナリオにおける実験を実施した。(1)において、提案モデルを搭載した複数のロボットの集団はお互いの振舞いを観察し集団規範を形成した。(2)において、被験者が提案モデルに従って人間集団内で振舞っても、その集団は提案モデルに基づく人間の振舞いを考慮した集団規範を形成した。将来的に、提案モデルを搭載したロボットが複数の人間と協調しながらデザイン支援システムを操作し、デザインの最適化を行うことを目指す。

7.4. 衣服の感性検索システムの性能と画像特徴の相関分析

本研究では、昨年度までに開発してきた衣服の感性検索システムにおいて、個々のユーザに対して有効な検索

結果を提示するための感性検索モデルを提案し、画像特徴との相関を分析することにより性能の検証を行った²⁶⁾。感性検索では、ユーザの感性に基づく評価の推定によって情報検索を行っている。そのため、検索対象の情報から、評価に影響を与える特徴を認識する必要があり、提案モデルは幅広く高度な特徴を扱うことが期待できる。本研究では、予め収集したユーザの評価を用いて、ユーザの好み推定のシミュレーションを実施した。実験結果から、提案モデルはユーザの評価を高精度で推定でき、ユーザに提示する検索結果からも有効性を確認することができた。

謝辞

本研究は、「文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業（2013年度～2017年度）」によって実施されたものである。

参考文献

- 1) K. Matsushima, N. Sonobe, Full-color digitized holography for large-scale holographic 3D imaging of physical and nonphysical objects, *Appl. Opt.*, 57, A150-A156 (2017).
- 2) Y. Tsuchiyama, K. Matsushima, Full-color large-scaled computer-generated holograms using RGB color filters, *Opt. Express*, 25, 2016-2030 (2017).
- 3) 五十嵐勇祐, 松島恭治, カラーフィルタを用いたフルカラー体積型転写CGHの作製, *HODIC Circular*, 37(3), 10-13 (2017).
- 4) 中尾弘希, 松島恭治, フルカラー高解像度体積型CGHの作成, 3次元画像コンファレンス2017, P-10 (2017).
- 5) 増地将哉, 松島恭治, 棟安実治, 線形・非線形量子化による光波データ量の削減, 3次元画像コンファレンス2017, P-2 (2017).
- 6) 増地将哉, 松島恭治, 棟安実治, 光波振幅分布の非線形量子化による光波データ量削減, *Optics & Photonics Japan 2017*, 31aP5 (2017).
- 7) 西川凌, 土岡智旭, 松島恭治, 光源スイッチング方式ホログラフィックディスプレイにおけるカラーフィルタを用いたカラー再生の検討, 3次元画像コンファレンス2017, P-1 (2017).
- 8) 西川凌, 土岡智旭, 松島恭治, 光源スイッチングによる時分割多重化ホログラフィックディスプレイ, *Optics & Photonics Japan 2017*, 31aP14 (2017).
- 9) 齋藤智崇, 松島恭治, デニシユク型光学系を用いた波面プリンタの基礎研究, 3次元画像コンファレンス2017, P-3 (2017).
- 10) H. Nishi, K. Matsushima, Rendering of transparent

- objects in polygon-based computer holography, *Information Photonics* 2017, IP-21PM-1-8 (2017).
- 11) T. Tahara, R. Otani, K. Omae, T. Gotohda, Y. Arai, Y. Takaki, Multiwavelength digital holography with wavelength-multiplexed holograms and arbitrary symmetric phase shifts, *Opt. Express*, 25, 11157-11172 (2017).
 - 12) T. Tahara, R. Otani, Y. Arai, Y. Takaki, Dual-Wavelength Digital Holography Based on Phase-Division Multiplexing Using Four Wavelength-Multiplexed Phase-Shifted Holograms and Zeroth-Order Diffraction-Image Suppression, *Int. J. Automation Technol.*, 11, 806-813 (2017).
 - 13) T. Tahara, R. Otani, Y. Takaki, Investigation of image quality against bit depth in phase-shifting interferometry selectively extracting multiwavelength information, *The 24th Congress of the International Commission for Optics, Th1F-06*, Tokyo, Japan (2017).
 - 14) T. Tahara, T. Akamatsu, Y. Arai, T. Shimobaba, T. Ito, T. Kakue, Algorithm for extracting multiple object waves without Fourier transform from a single image recorded by spatial frequency-division multiplexing and its application to digital holography, *Opt. Commun.*, 402, 462-467 (2017).
 - 15) T. Tahara, Y. Arai, Multiwavelength off-axis digital holography with an angle of more than forty degrees and no beam combiner to generate interference light, *Appl. Opt.*, 56, F200-F204 (2017).
 - 16) T. Tahara, T. Kanno, Y. Arai, T. Ozawa, Single-shot phase-shifting incoherent digital holography, *J. Opt. (IOP Publishing)*, 19, 065705 (2017).
 - 17) 西垣内 他, 2値ホログラフィ干渉縞データの非可逆圧縮の一手法, *信学技法, SIS研究会, SIS2017-23* (2017).
 - 18) 西垣内 他, 2値ホログラフィ干渉縞データのハフマン符号化を用いた圧縮, *信学技法, SIS研究会, SIS2015-19* (2015).
 - 19) Y. Hatano, C. Shi, Y. Kajikawa, Compensation for Nonlinear Distortion of the Frequency Modulation Based Parametric Array Loudspeaker, *IEEE/ACM Trans. Audio, Speech, and Language Processing*, 25(8), 1709-1717 (2017).
 - 20) H. Yomo, T. Kawamoto, K. Abe, Y. Ezure, T. Ito, A. Hasegawa, T. Ikenaga, ROD-SAN : Energy-efficient and High-response Wireless Sensor and Actuator Networks employing Wake-up Receiver, *IEICE Transactions on Communications*, E99-B(9), 1998-2008 (2016).
 - 21) I. Demirkol, C. Ersoy, E. Onur, Wake-Up Receivers for Wireless Sensor Networks: Benefits and Challenges, *IEEE Wireless Communications*, 16(4), 88-96 (2009).
 - 22) B. Malhotra, M. A. Nascimento, I. Nikolaidis, Exact Top-K Queries in Wireless Sensor Networks, *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 23(10), 1513-1525 (2011).
 - 23) 三木智仁, 四方博之, K. Huang, C. Stefanovic, P. Popovski, ウェイクアップ受信機適用無線センサネットワークのためのコンテンツベースウェイクアップ法の提案と評価, *信学技報*, 117(310), ASN2017-64, 7-12 (2017).
 - 24) 徳丸正孝, 立体物を多人数で評価するための IEC システム「ホロキューブ」の試作, *日本知能情報ファジィ学会 評価問題研究部会 第22回曖昧な気持ちに挑むワークショップ*, 1a-3 (2017).
 - 25) Y. Fuse, H. Takenouchi, M. Tokumaru, A Robot Model in Limited Scenarios to Create a Suitable Decision-making Criterion by Interacting with People in a Group, *2017 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence Proceedings*, 104-110 (2017).
 - 26) S. Ota, H. Takenouchi, M. Tokumaru, Kansei clothing retrieval system using features extracted by autoencoder, *2017 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence Proceedings*, 281-287(2017).

私立大学戦略的研究基盤形成支援事業プロジェクト (2013~2017年度)

コンピュータホログラフィ技術を中心とした
超大規模データ処理指向コミュニケーション
2017年度 研究成果一覧表

論文

- (1) K. Matsushima, N. Sonobe, Full-color digitized holography for large-scale holographic 3D imaging of physical and nonphysical objects, *Applied Optics*, 57(1), A150-A156 (2017).
- (2) 松崎昭太, 小林昂一郎, 松島恭治, フルカラーコンピュータホログラフィ用ソフトウェアツール群の開発, *HODIC Circular*, 37(3), 6-9 (2017).
- (3) 五十嵐勇祐, 松島恭治, カラーフィルタを用いたフルカラー体積型転写CGHの作製, *HODIC Circular*, 37(3), 10-13 (2017).
- (4) H. Nishi, K. Matsushima, Rendering of specular curved objects in polygon-based computer holography, *Applied Optics*, 56(13), F37-F44 (2017).
- (5) T. Tahara, R. Otani, Y. Arai, Y. Takaki, Dual-wavelength digital holography based on phase-division multiplexing using four wavelength-multiplexed phase-shifted holograms and zeroth-order diffraction-image suppression, *International Journal of Automation Technology*, 11(5), 806-813 (2017).
- (6) T. Tahara, T. Akamatsu, Y. Arai, T. Shimobaba, T. Ito, T. Kakue, Algorithm for extracting multiple object waves without Fourier transform from a single image recorded by spatial frequency-division multiplexing and its application to digital holography, *Optics Communications*, 402, 462-467 (2017).
- (7) T. Tahara, T. Kanno, Y. Arai, T. Ozawa, Single-shot phase-shifting incoherent digital holography, *Journal of Optics*, 19, 065705 (2017).
- (8) T. Tahara, R. Otani, K. Omae, T. Gotohda, Y. Arai, Y. Takaki, Multiwavelength digital holography with wavelength-multiplexed holograms and arbitrary symmetric phase shifts, *Optics Express*, 25(10), 11157-11172 (2017).
- (9) T. Tahara, Y. Arai, Multiwavelength off-axis digital holography with an angle of more than 40 degrees and no beam combiner to generate interference light, *Applied Optics*, 56(13), F200-F204 (2017).
- (10) K. Iwai, Y. Kajikawa, Modified second-order nonlinear infinite impulse response (IIR) filter for equalizing frequency response and compensating nonlinear distortions of electrodynamic loudspeaker, *Applied Acoustics*, 132, 202-209 (2018).
- (11) Y. Hatano, C. Shi, Y. Kajikawa, Compensation for nonlinear distortion of the frequency modulation-based parametric array loudspeaker, *IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, 25(8), 1709-1717 (2017).
- (12) 太田茂, 竹之内宏, 徳丸正孝, 深層ニューラルネットワークによる特徴抽出を用いた衣服の感性検索, *日本感性工学会論文誌*, 16(3), 277-283 (2017).

国際学会

- (1) S. Igarashi, T. Nakamura, K. Matsushima, M. Yamaguchi, Continuous tiling Fresnel diffraction and its application to over 10-gigapixel computer-generated Holograms, *The 24th Congress of the International Commission for Optics*, Tokyo, Japan (2017).
- (2) K. Matsushima, Y. Tsuchiyama, N. Sonobe, S. Masuji, M. Yamaguchi, Y. Sakamoto, Full-color large-scaled computer-generated holograms for physical and non-physical objects, *Holography: Advances and Modern Trends V*, Czech Republic (2017).
- (3) S. Igarashi, T. Nakamura, K. Matsushima, M. Yamaguchi, 3D Physically based rendering of computer generated holograms orthographic ray-sampling, *Information Photonics 2017, IP-21AM-2-1*, Kanagawa, Japan (2017).

- (4) H. Nishi, K. Matsushima, Rendering of transparent objects in polygon-based computer holography, Information Photonics 2017, IP-21PM-1-8, Kanagawa, Japan (2017).
- (5) T. Tahara, R. Otani, Y. Arai, Y. Takaki, Multidimensional imaging with phase-shifting interferometry, The 7th Korea-Japan Workshop on Digital Holography and Information Photonics, Inv21p-3, South Korea (2017).
- (6) T. Tahara, T. Gotohda, R. Otani, Y. Takaki, Investigation of image quality against bit depth in phase-shifting interferometry selectively extracting multiwavelength information, The 24th Congress of the International Commission for Optics, Th1F-06, Tokyo, Japan (2017).
- (7) T. Tahara, R. Otani, Y. Takaki, Three-wavelength digital holographic microscopy with seven wavelength-multiplexed holograms and arbitrary symmetric phase shifts, Digital Holography and Three-Dimensional Imaging, South Korea (2017).
- (8) T. Tahara, T. Kanno, Y. Arai, T. Ozawa, Incoherent digital holography system utilizing single-shot phase-shifting interferometry, Biomedical Imaging and Sensing Conference, Proc. SPIE 102510F, Kanagawa, Japan (2017).
- (9) T. Tahara, R. Otani, K. Omae, Y. Arai, Y. Takaki, Three-wavelength phase-shifting interferometry selectively extracting wavelength information from wavelength-multiplexed images with arbitrary symmetric phase shifts, Biomedical Imaging and Sensing Conference, Proc. SPIE 1025111, Kanagawa, Japan (2017).
- (10) T. Nishigaito, M. Muneyasu, K. Matsushima, S. Yoshida, A. Taguchi, A New Method of Lossless Coding for Binary Holographic Interference Fringes, 2017 International Workshop on Smart Info-Media Systems in Asia, RS1-1, Fukuoka, Japan (2017).
- (11) S. Oohara, Y. Ikeshita, M. Muneyasu, S. Yoshida, M. Nakashizuka, Image Regularization with Morphological Gradient Priors Using Optimization of Structuring Element, 2017 International Workshop on Smart Info-Media Systems in Asia, RS1-13, Fukuoka, Japan (2017).
- (12) T. Fujii, S. Yoshida, M. Muneyasu, Feedback assisted multi-modality reranking for Web video search, 2017 International Workshop on Smart Info-Media Systems in Asia, RS1-16, Fukuoka, Japan (2017).
- (13) M. Liji, M. Muneyasu, K. Matsushima, S. Yoshida, A. Taguchi, Lossy Coding of Wave-Field Data Using Singular Value Decomposition, 2017 International Workshop on Smart Info-Media Systems in Asia, RS2-7, Fukuoka, Japan (2017).
- (14) Y. Ikeshita, M. Muneyasu, M. Nakashizuka, S. Yoshida, Image Regularization with Morphological Gradient Priors Considering Optimization of SE, 2017 Taiwan and Japan Conference on Circuits and Systems, 4, Okayama, Japan (2017).
- (15) S. Abe, M. Muneyasu, S. Yoshida, A Design Technique of Impulse Detector Using Neural Network, 2017 Taiwan and Japan Conference on Circuits and Systems, 19, Okayama, Japan (2017).
- (16) K. Fujii, M. Muneyasu, A Method for Re-estimating Feedback Path under Active Noise Control, 24th International Congress on Sound and Vibration, United Kingdom (2017).
- (17) K. Iwai, Y. Kajikawa, Modification of Second-Order Nonlinear IIR Filter for Compensating Linear and Nonlinear Distortions of Electrodynamical Loudspeaker, 25th European Signal Processing Conference, Greece (2017).
- (18) Y. Fuse, H. Takenouchi, M. Tokumaru, A Robot Model in Limited Scenarios to Create a Suitable Decision-making Criterion by Interacting with People in a Group, 2017 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence, #1284, USA (2017).
- (19) S. Ota, H. Takenouchi, M. Tokumaru, Kansei clothing retrieval system using features extracted by autoencoder, 2017 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence, #1584, USA (2017).
- (20) Y. Fuse, H. Takenouchi, M. Tokumaru, A Model for Robot of Decision Making for Selecting Cooperative Behaviors in a Group, The 18th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, F1c-3, Korea (2017).

国内学会

- (1) 松島恭治, 関大デジタルホロスタジオにおける大規模CGH描画・作成技術, 平成30年第1回ホログラフィック・ディスプレイ研究会, 東京 (2018).
- (2) 松島恭治, 大規模計算機合成ホログラムによる3次元立体画像 —近年の進展—, レーザー学会学術講演会第38回年次

- 大会, 京都 (2018).
- (3) 増地将哉, 松島恭治, 棟安実治, デジタル光波データのデータサイズ削減手法, 第22回関西大学先端科学技術シンポジウム, 大阪 (2018).
 - (4) 松崎昭太, 松島恭治, フルカラー計算機合成ホログラムのデザインと計算のためのソフトウェアツール, 第22回関西大学先端科学技術シンポジウム, ポスターNo.18, 大阪 (2018).
 - (5) 五十嵐勇祐, 松島恭治, フルカラーCGHの転写手法, 第22回関西大学先端科学技術シンポジウム, ポスターNo.19, 大阪 (2018).
 - (6) 土岡智旭, 西川凌, 松島恭治, 光源スイッチング方式電子ホログラフィにおける多重化数の拡張, 第22回関西大学先端科学技術シンポジウム, ポスターNo.20, 大阪 (2018).
 - (7) 齋藤智崇, 橋村直柔, 松島恭治, 軸外れデニシユク型光学系を用いた波面プリンタ, 第22回関西大学先端科学技術シンポジウム, ポスターNo.21, 大阪 (2018).
 - (8) 石上智也, 橋本翼, 松島恭治, 合成開口カラーデジタルホログラフィにおける露出制御, 第22回関西大学先端科学技術シンポジウム, ポスターNo.22, 大阪 (2018).
 - (9) 中清裕貴, 松島恭治, 高解像度CGHにおけるスイッチバック法隠面消去処理のGPUを用いた高速化, ホログラフィック・ディスプレイ研究会(HODIC)2017年第4回研究会, 石川 (2017).
 - (10) 増地将哉, 松島恭治, 棟安実治, 光波振幅分布の非線形量子化による光波データ量削減, Optics & Photonics Japan 2017, 31aP5, 東京 (2017).
 - (11) 西川凌, 土岡智旭, 松島恭治, 光源スイッチングによる時分割多重化ホログラフィックディスプレイ, Optics & Photonics Japan 2017, 31aP14, 東京 (2017).
 - (12) 松島恭治, 大規模コンピュータホログラフィによる空間像の表示, セミナー「次世代映像技術」, 応用光学懇談会, 日本光学会, 超臨場感コミュニケーション産学官フォーラム, 講演3, 大阪 (2017).
 - (13) 下馬場朋禄, 松島恭治, 角江崇, 伊藤智義, 波面記録法とウェーブレット変換を用いたホログラム計算の高速化, 3次元画像コンファレンス2017, 千葉 (2017).
 - (14) 西川凌, 土岡智旭, 松島恭治, 光源スイッチング方式ホログラフィックディスプレイにおけるカラーフィルタを用いたカラー再生の検討, 3次元画像コンファレンス2017, P-1, 千葉 (2017).
 - (15) 増地将哉, 松島恭治, 棟安実治, 線形・非線形量子化による光波データ量の削減, 3次元画像コンファレンス2017, P-2, 千葉 (2017).
 - (16) 齋藤智崇, 松島恭治, デニシユク型光学系を用いた波面プリンタの基礎研究, 3次元画像コンファレンス2017, P-3, 千葉 (2017).
 - (17) 土岡智旭, 西川凌, 松島恭治, 光源スイッチング方式ホログラフィックディスプレイにおける偏光マスクの改良と拡張, 3次元画像コンファレンス2017, P-4, 千葉 (2017).
 - (18) 中尾弘希, 松島恭治, フルカラー高解像度体積型CGHの作成, 3次元画像コンファレンス2017, P-10, 千葉 (2017).
 - (19) 田原樹, 赤松孝則, 新井泰彦, 下馬場朋禄, 伊藤智義, 角江崇, 空間周波数分割多重記録を行なうデジタルホログラフィにおける高速像再生アルゴリズム, ホログラフィック・ディスプレイ研究会(HODIC)2017年第4回研究会, 3, 石川 (2017).
 - (20) 田原樹, 大谷礼雄, 新井泰彦, 小澤岳昌, 高木康博, 位相シフト干渉法を用いた波長情報の取得と自然光の単一露光デジタルホログラフィックイメージング, Optics and Photonics Japan 2017, 1aES5, 東京 (2017).
 - (21) 田原樹, 大谷礼雄, 高木康博, 波長選択抽出位相シフトデジタルホログラフィック顕微鏡法, 3次元画像コンファレンス2017, 6-3, 千葉 (2017).
 - (22) 藤井健作, 棟安実治, 適応フィルタの係数収束検知法の提案, 第32回信号処理シンポジウム, P-2, 岩手 (2017).
 - (23) 西垣内崇宏, 棟安実治, 松島恭治, 吉田壮, 田口亮, 2値ホログラフィ干渉縞データの非可逆圧縮の一手法, スマートインフォメディアシステム研究会, SIS2017-23, 奈良 (2017).
 - (24) 藤井健作, 棟安実治, 音響経路推定完了検知法に関する検討, 日本音響学会2017年秋季研究発表会, 2-P-29, 愛媛 (2017).
 - (25) 吉岡真一郎, 棟安実治, 吉田壮, 特徴点軌跡とパーティクルフィルタによる動作認識の一手法, 2017年電子情報通信学会ソサイエティ大会, A-15-8, 東京 (2017).
 - (26) 大原翔矢, 池下雄大, 棟安実治, 吉田壮, 中静真, GAによる構造要素の最適化を用いたモルフォロジカル勾配に基づく

- 画像の正規化, スマートインフォメディアシステム研究会, SIS2017-3, 大分 (2017).
- (27) 岩居健太, 山岸昌夫, 梶川嘉延, 非凸二次制約付き最適化によるMirrorフィルタのパラメータ推定の推定精度向上に関する検討, 第32回信号処理シンポジウム, A8-1, 岩手 (2017).
- (28) 三木智仁, 四方博之, K. Huang, C. Stefanovic, P. Popovski, ウェイクアップ受信機適用無線センサネットワークのためのコンテンツベースウェイクアップ法の提案と評価, 電子情報通信学会知的環境とセンサネットワーク研究会, ASN2017-63, 山形 (2017).
- (29) 徳丸正孝, 立体物を多人数で評価するための IEC システム「ホロキューブ」の試作, 日本知能情報ファジィ学会評価問題研究部会 第22回曖昧な気持ちに挑むワークショップ, 熊本 (2017).
- (30) 布施陽太郎, 竹之内宏, 徳丸正孝, 集団内での協調的なふるまい選択のためのロボットの意思決定モデル, 日本知能情報ファジィ学会 第33回ファジィシステムシンポジウム, TD3-3, 山形 (2017).
- (31) 下野雄大, 竹之内宏, 徳丸正孝, IECインタフェースに向けたタッチデバイス上の操作によるユーザの嗜好推定, 日本知能情報ファジィ学会 第33回ファジィシステムシンポジウム, TD3-4, 山形 (2017).
- (32) 太田茂, 竹之内宏, 徳丸正孝, 衣服の感性検索システムの性能と画像特徴の相関分析, 日本知能情報ファジィ学会 第33回ファジィシステムシンポジウム, TF1-4, 山形 (2017).

その他

・受賞

- (1) 伊藤真人, 松島恭治, 山口雅浩, 光線サンプリング面の手法を用いて合成した実物体の高解像度計算機合成ホログラム, 3次元画像コンファレンス2016, 2016年度優秀論文賞, 2017年7月6日受賞.
- (2) 田原樹, 大前快人, 大谷礼雄, 新井泰彦, 高木康博, 位相分割多重方式に基づくマルチカラーデジタルホログラフィ, 3次元画像コンファレンス2016, 2016年度優秀論文賞, 2017年7月6日受賞.
- (3) T. Tahara, T. Kanno, Y. Arai, T. Ozawa, Incoherent digital holography system utilizing single-shot phase-shifting interferometry, Biomedical Imaging and Sensing Conference 2017, Best Paper Award, 2017年4月21日受賞.
- (4) H. Nishi, K. Matsushima, Rendering of transparent objects in polygon-based computer holography, Information Photonics 2017, Outstanding Poster Paper Award, 2017年4月21日受賞.

資料4-1.

関大デジタルホロスタジオ ホームページ

<http://holography.ordist.kansai-u.ac.jp/digitalholostudio/>

コンピュータホログラフィを推進する

関西大学

関大デジタルホロスタジオ Kan-Dai Digital Holo-Studio

[Japanese](#) [English](#)

CONCEPT

TOP PAGE CONCEPT PRINT SERVICE

高解像度計算機合成ホログラムの描画・作成手段を提供します

関大デジタルホロスタジオは、コンピュータホログラフィの発展を促進するために設立されました。コンピュータホログラフィでは、従来型の光学ホログラフィとは異なり、干渉縞を計算機により合成することにより3次元映像を再生します。その研究には、干渉縞あるいはその元となる物体光波を数値的に合成するためのアルゴリズム等の研究が欠かせません。しかし、アルゴリズムを研究しても、実際に干渉縞を作成する技術が無ければ、それを再生して観察することができません。

たとえ、コンピュータホログラフィに研究者として興味があっても、実際にその映像を見ることができなければ、研究の意味を失ってしまいます。また、コンピュータホログラフィによって作成される高解像度計算機合成ホログラム(HD-CGH)の再生像を実際に見ると、それは従来のいわゆる立体画像とは一線を画す驚きの映像であることに気が付きます。そのため、アートとしてこのような映像を作ってみたいと考えるアーティストもいるでしょう。しかし、それを実際に作成する手段がありません。

関大デジタルホロスタジオは、このようなコンピュータホログラフィに携わりたい研究者とアーティストのために設立されました。その目的は、研究者やアーティストにHD-CGHの描画手段やそれによるアートを作成する手段を提供することです。

研究者・アーティストに対する支援内容

関大デジタルホロスタジオはハイデルベルグ・インスツルメンツ社製のレーザー描画装置DWL-66+とそれに付随するリソグラフィ設備を備えており、次の方法で研究者とアーティストをサポートします。

- 干渉縞描画サービス
利用者が独自に合成した干渉縞パターンを描画するサービスです。研究契約等不要で、ほぼすべての権利を利用者が保持します。
- 共同研究
研究契約等が必要な場合があります。

関大デジタルホロスタジオの成り立ち

関大デジタルホロスタジオは、文部科学省の私立大学戦略的研究基盤形成支援事業の支援を受けたプロジェクトであるコンピュータホログラフィ技術を中心とした超大規模データ処理指向コミュニケーションの一環として設立されました。また、このプロジェクトは関西大学先端科学技術推進機構によりサポートを受けており、その一部でもあります。

関大デジタルホロスタジオ

〒564-8680
大阪府吹田市山手町3-3-35
関西大学
先端科学技術推進機構
ホログラフィ技術ユニット(Webページ)
E-mail: r141048@kansai-u.ac.jp

◀ このページの先頭へ

資料4-2.

関大デジタルホロスタジオ利用規約

関大デジタルホロスタジオ描画サービス利用規約

制定 平成27年3月17日

第1条 関西大学先端科学技術推進機構が所管する戦略的研究基盤形成支援事業プロジェクト「コンピュータホログラフィ技術を中心とした超大規模データ処理指向コミュニケーション」(以下、「プロジェクト」)に「関大デジタルホロスタジオ」を置く。

第2条 関大デジタルホロスタジオは、コンピュータホログラフィ技術の社会への認知向上を目的とし、計算機によって合成されたホログラム(以下、「ホログラム」)の干涉縞描画サービス(以下、「描画サービス」)を提供する。本規約は、学外研究者・アーティスト等のプロジェクト外部の利用者による描画サービスの利用基準を定める。

第3条 描画サービスの利用者(以下、「利用者」)は次の項目に該当する目的で描画サービスを利用できるものとする。従って、企業・組織内部のみでの展示や研究利用、営利を目的とした利用、私的な鑑賞を目的とした利用等は認めない。

- 1 論文等による公開を最終目的としたディスプレイ用コンピュータホログラムの製作
- 2 博物館・展示会等の公開の場における展示を目的とした製作

第4条 描画サービスの利用目的を以下のとおり分類する。

- 1 研究利用
コンピュータホログラフィにおける新規なアルゴリズム等によって計算したホログラムの再生像確認を目的とした利用
- 2 アート利用
公開の場での展示のための作品制作を目的とした利用

第5条 利用者は描画サービスの利用に際し以下の義務を負う。

- 1 成果物の公開
研究利用：原著論文、国際会議、学会での成果物の公開
アート利用：展示会等での成果物の公開
- 2 成果物公開時における著作者の明示
研究利用：論文等の共著者として1名以上の本プロジェクト学内研究者の氏名およびその所属の明示
アート利用：共同制作者として1名以上の本プロジェクト学内研究者の氏名およびその所属の明示
- 3 成果物の公開を本プロジェクトに報告すること。
- 4 利用者は、次の事項を遵守しなければならない。

- (1) 研究利用又はアート利用以外の目的の利用を行わないこと
- (2) 営利を目的とした利用を行わないこと
- (3) 本描画サービスによって製作したホログラムを販売または譲渡しないこと
- (4) 本描画サービスによって製作したホログラムを第3者に貸与しないこと
- (5) その他関大デジタルホロスタジオが禁止する事項

第6条 描画サービス利用に係る申請、審査は以下のとおりとする。

- 1 描画サービスの利用希望者は所定の利用申請書・誓約書を作成し本プロジェクトに提出する。
- 2 本プロジェクトでは、提出された利用申請書・誓約書に基づき書面審査を実施する。利用者は申請に際し、事前に第3者の著作権を侵害していないことを確認する必要がある。主に以下に該当する場合は、描画サービスの利用を受けられないことがある。

利用目的共通

- (1) 成果物の発表計画が不十分と判断される場合
- (2) 描画されるデータが公序良俗に反する場合
- (3) 描画されるデータが著作権を侵害している恐れがある場合

研究利用

- (1) 新規性や研究成果が期待できない場合
- 3 書面審査で描画サービス利用が承認された場合、利用希望者は干涉縞データを本プロジェクトに提出する。この時、再生像を予想するシミュレーション結果等のデータを添えるものとする。添付されたデータまたは本プロジェクト独自に実施したシミュレーション等で有効な再生像が確認できない場合、描画を中止する場合がある。

第7条 利用者はレーザー直接描画装置の利用料金や材料費等を負担しない。

第8条 本描画サービスによって描画した製作物の所有権は原則として関大デジタルホロスタジオに帰属するものとする。

第9条 利用者は、製作物を研究・展示目的で原則3年間借用する権利を有する。

第10条 関大デジタルホロスタジオと利用者の合意により必要に応じて借用期限を更新することができる。

第11条 利用者は干涉縞の描画パターンあるいはその元となったシーンデザイン等の著作権を保持する。

第12条 本プロジェクトでは本プロジェクトの成果として利用者名や描画内容を公開する場合がある。

第13条 本プロジェクトでは、利用者との合意に基づき、干渉縞データを再利用してホログラムを描画し、本プロジェクトの成果として展示・公開することがある。その場合、利用者とは本プロジェクトの間で合意を確認する文書を交わすものとする。

第14条 免責事項

- 1 本描画サービスは利用者が用意した干渉縞の完全な描画を保証するものではない。
- 2 本描画サービスは、いかなる形でも描画した干渉縞から得られる再生像の品質を保証するものではない。
- 3 本描画サービス利用によって利用者が被ったいかなる損害についても関大デジタルホロスタジオは責を負わない。
- 4 意図的・非意図的を問わず、利用者が描画サービス利用を通して第三者に与えた損害について、関大デジタルホロスタジオは一切その責を負わない。
- 5 関大デジタルホロスタジオは、本規約に違反している等の理由により、製作物の貸与または貸与更新の拒否、あるいは貸与中の製作物の返還を要請することがある。

第15条 本規約に定めのない事項については、別途利用者と関大デジタルホロスタジオで協議して決定するものとする。

以上

資料4-3.

関大デジタルホロスタジオ 利用申請・誓約書

関大デジタルホロスタジオ描画サービス利用申請・誓約書

戦略的研究基盤形成支援事業プロジェクト「コンピュータホログラフィ
技術を中心とした超大規模データ処理指向コミュニケーション」研究代表者 殿

西暦_____年__月__日

申請者（所属・職名）_____

（氏名：自署）_____ 印

私（利用者）は、この度、関大デジタルホロスタジオによる計算機合成ホログラム干渉縞の描画サービスの利用を申請します。利用に際して、関大デジタルホロスタジオ描画サービス利用規約を理解しそれを順守することを誓約します。

なお、私は、関大デジタルホロスタジオ描画サービス利用規約に違反する行為があった場合、貴殿より製作物の貸与の拒否、貸与期限の更新を拒否されても不服を申し立てません。またその際、貸与中の製作物がある場合は直ちにそれを返還することを誓約します。

描画サービス利用条件(抜粋)

- 研究利用又はアート利用以外の目的で利用しないこと。
- 本描画サービスによって製作したホログラムを販売または譲渡しないこと。
- 本描画サービスによって製作したホログラムを第3者に貸与しないこと。
- 研究利用の場合は、研究成果を必ず論文誌、学会等に発表すること。また、公開に際して、共著者としてプロジェクト学内メンバーの氏名・所属を明示すること。
- アート利用の場合は、製作物を必ず展示会等の公開の場で展示すること。また、公開に際して、共同制作者としてプロジェクト学内メンバーの氏名・所属を明示すること。
- 上記の成果物の発表、製作物の展示等を本プロジェクトに報告すること。
- 干渉縞の描画品質や再生像の品質が不十分であっても不服を申し立てないこと。
- 本描画サービスによって何らかの不利益を被ったとしても、本プロジェクトの責任を一切問わないこと。

注意事項

- 書面審査あるいは干渉縞検査によって描画を拒否することがある。
- 製作物の所有権は原則として関大デジタルホロスタジオに帰属するが、利用者は3年間これを借用することができる。また、合意によりこれを更新できる。
- 利用者名や描画内容をホームページ等で開示する場合がある

申請事項

申請日: 年 月 日

申請者	氏名: 所属・職名:
申請者連絡先	住所: 電話番号: メール:
利用目的	研究利用 アート利用
研究内容要旨 (研究利用) 制作内容 (アート利用)	
成果物の発表予定 製作物の展示予定	
共著/共同制作として 記載する研究者名	
干渉縞ピクセル間隔 (水平方向×垂直方向)	
干渉縞ピクセル数 (水平方向×垂直方向)	
再生照明光	入射方向と角度(平面波の場合) 光源の中心位置(球面波の場合)
予想再生像を示す データ	
その他の連絡事項	

ホロスタジオ利用欄 -----

書面審査: 合 否 (理由:)

干渉縞検査: 合 否 (理由:)

貸与期間: 年 月 日 ~ 年 月 日

3次元画像コンファレンス2016 参加のご案内

3次元画像に関連する研究調査活動を行っている学会・研究会が一堂に会した研究発表・討論の場として、3次元画像コンファレンス2016を開催いたします。本コンファレンスは、3次元画像の入力・表示・処理・通信や立体視などに関わる研究発表の場であると同時に、技術的視点を離れた社会的側面から3次元画像の応用についても議論する場にして行きたいと考えます。どうぞふるってご参加ください。

講演論文集はアブストラクト集およびCD-ROMにて発行いたします。第1日目には懇親会を予定しております。コンファレンスと合わせ、研究者同士の交流を深める場としてご活用ください。

- ◆会期 2016年7月13日(水)、14日(木)
- ◆会場 関西大学 千里山キャンパス 100周年記念会館
(大阪府吹田市山手町3丁目3番35号/最寄り駅:阪急千里線「関大前」駅下車 徒歩5分)
キャンパスマップ
<http://www.kansai-u.ac.jp/global/guide/mapsenri.html>
交通アクセス
<http://www.kansai-u.ac.jp/global/guide/access.html>

◆参加費 **事前登録特典!**

参加区分 \ 申込日	～7月6日 15:00 まで	7月6日 15:00 ～当日
協賛学会会員	13,000円	15,000円
非会員	18,000円	20,000円
学生	5,000円	7,000円
学生 (聴講のみ、資料なし)	1,000円	1,000円

※参加費は論文集代(アブストラクト集、CD-ROM)を含みます。
なお、論文集、参加証は当日会場でのお渡しとなります。

- ◆懇親会 7月13日(水) 18:00より開催
参加費 2,000円(当日受付にてお支払いください)
- ◆概要 招待講演3件、一般講演:口頭発表23件+ポスター発表14件
詳細については、<http://www.3d-conf.org/> をご参照ください。
- ◆主催 3次元画像コンファレンス実行委員会 [担当 電子情報通信学会 画像工学研究会]
- ◆後援 関西大学先端科学技術推進機構

○お申込・送金方法は下記をご参照ください。

【申込,送金方法】

- ◆下記必要事項を記入の上、<http://goo.gl/forms/bIq6d3pokZ> からお申し込みください。
- ◆お支払い方法は銀行振込、またはVISAカードにてお願いいたします。

【懇親会 7月13日(水) 18:00～】

- ◆参加を 希望する/希望しない/未定

【3次元画像コンファレンス2016 参加申込み記載必須事項】

- ◆参加者氏名(ふりがな) ◆所属・部署 ◆〒・住所・TEL・E-mail
- ◆参加区分:協賛学会会員(協賛学会名)/非会員/学生/学生(聴講のみ)(いずれかを選択してください)
- ◆参加費振込予定日 ※請求書の発行が必要な場合はお申しつけください。
- ◆懇親会:参加 不参加(いずれかを選択してください)
- ※VISAカードでのお支払いの場合 カード番号/有効期限 年 月/カード名義人名
注意)VISAカードでのお支払いの場合はFAXでのカード情報通知をおすすめします。

【振り込み口座】 みずほ銀行 新宿西口支店 (普)1832792 「3次元画像コンファレンス実行委員会」

【問い合わせ先】

3次元画像コンファレンス実行委員会事務局
TEL 03-3367-0571 FAX 03-3368-1519 info@3d-conf.org

==Press Release==

3次元画像コンファレンス実行委員会

3次元画像に関する国内最大の総合コンファレンスを開催

来る2016年7月13日(水)、14日(木)の2日間にわたり、関西大学 千里山キャンパス 100周年記念会館において、3次元画像コンファレンス2016(第24回)を開催いたします。

本コンファレンスは、3次元画像に関する国内最大の総合コンファレンスです。先端学術研究発表の他、機器展示、招待講演等を実施します。招待講演では、自動運転や医療分野への3次元画像技術の応用に関する最新の動向をご紹介します。特別企画として、ホログラフィ技術で世界的に著名な久保田敏弘 京都工芸繊維大学名誉教授のホログラム作品展をはじめとするホログラフィ関連技術や自動運転を実現する3次元センサーフュージョンを無料で公開いたします。その他、一般講演やポスター講演では、関連する様々な技術分野の先進的な注目事例など多くの発表を予定しています。

本件についてのお問い合わせ先(プレスパス発行を含む)：

〒169-0073 東京都新宿区百人町2-21-27 アドコム・メディア(株)気付

3次元画像コンファレンス2016 実行委員会 (担当：喜多)

電子メール：info@3d-conf.org, 電話：03-3367-0571, FAX：03-3368-1519

■3次元画像コンファレンス2016について

本会は、3次元画像に関わる各種学術団体が一堂に会し、最新の研究成果を発表する場です。1993年以来毎年開催され、本年度は第24回を迎えます。プログラム委員会の審査により選ばれた論文が、口頭とポスター形式で発表されます。

当コンファレンスの沿革、詳細等につきましては、<http://www.3d-conf.org/>をご参照ください。

■プログラム概要(技術トピック)

- ・特別展示：開催期間中全日(7月13日(水)、14日(木))

特別展示1：「久保田敏弘アナログホログラム作品展」(どなたでも参加費無料でご覧になれます)

久保田 敏弘(京都工芸繊維大学名誉教授)

ホログラフィ技術で世界的に著名な久保田名誉教授の素晴らしい作品を公開します。

まるでそこにあるようにしか見えない、究極のホログラムをお楽しみください！

特別展示2：「関西大学コンピュータホログラフィ展」(どなたでも参加費無料でご覧になれます)

関西大学光情報システム研究室

世界最高レベルのコンピュータホログラフィによる3次元画像作品を公開します。コンピュータ

ホログラフィによって作り出された奥行きのある3次元映像の世界をお楽しみください！

特別展示3：「3次元センサーフュージョン」(どなたでも参加費無料でご覧になれます)

東京大学 加藤研究室、株式会社ティアフォー/名古屋大学

完全自動運転のキーワードは3次元！

マサチューセッツ工科大学寄贈契約書

June 4, 2014

Kyoji Matshushima
Kansai University
3-3-35 Yamate-cho
Suita, 564-8680
Osaka, Japan

Dear Professor Matshushima,

The Massachusetts Institute of Technology is pleased to accept your generous gift to MIT for the MIT Museum's collection. Enclosed are Deed of Gift forms for the donation.

Kindly sign and date the Deeds. If you would like to specify wording for the credit line, write your preference in the space provided. Please return all copies of the Deed to us in the envelope provided; they will be countersigned by MIT and a copy returned to you for your files.

The MIT Museum's mission is to engage the wider community with MIT's science, technology and other areas of scholarship in ways that best serve the nation and the world in the 21st century. The Museum's collections are used for historical research and exhibition purposes.

Your generous donation contributes greatly to supporting our mission. Thank you for this gift.

Sincerely,

John Durant
Director

Enc.



DEED OF GIFT - COPYRIGHT



ACQUISITION NUMBER 2014.031

Kyoji Matsushima ("Donor") of Kansai University 3-3-35 Yamate-cho Suita, 564-8680
Osaka, Japan

hereby gives and transfers to the Massachusetts Institute of Technology ("Institute") for the
use and benefit of the MIT Museum, certain property ("Property") described as follows:

Hologram, Brothers, Kyoji Matsushima and Sumio Nakahara 2012.
High resolution digital hologram (25 billion hogels [holographic pixels]) from 3D computer model
constructed from laser scan data of human subjects; mathematically-generated interference pattern
printed on chrome-coated glass plate with laser lithography.
sits on easel with light source attached

The Donor represents and warrants that they are the rightful owner of title or claim of
ownership in said Property and that neither the Property nor the assignment thereof infringes
or otherwise conflicts with any title or claim of ownership whatsoever for any other person or
party.

The Donor is making this gift to the Institute for its educational, scientific, and research
purposes *without* further restrictions as to its use and disposition and hereby surrenders to the
Institute all right, title, or claim of ownership it has or may have in this property.

The Donor acknowledges that because of limited exhibition space and periodically changing
exhibits, the MIT Museum has not promised and is in no way obligated to exhibit the above
described property in its galleries.

The Donor represents and certifies that: **(please choose one)**

The Donor is the Copyright holder and the Donor hereby assigns Copyright in the
Property to the Institute.

The Donor is the Copyright holder and the Donor hereby assigns to the Institute a non-
exclusive royalty free license for use of the works for the duration of its Copyright in all
languages, throughout the world, in all media. A non-exclusive license will allow the Institute
to make reproductions of the work only for scholarly, educational, and promotional purposes.

The Donor does not own Copyright. Copyright of the works remain with the
artist/representative. MIT Museum/Institute will refer to the Creator/Representative for all
requests for reproduction received from researchers outside MIT and all commercial
requests. MIT Museum/Institute shall credit the Creator/Representative in connection with
the use of its works.

Contact information for Creator/Representative:

SIGNED THIS 6th DAY OF OCTOBER, 2014 Kyoji Matsushima 松島 京二
Kyoji Matsushima

ACCEPTED THIS 23rd DAY OF October, 2014 Kathy D. Vitale
Kathy D. Vitale, MIT DIRECTOR OF GIFT ADMINISTRATION