

神奈川工科大学

ヒューマンメディ研究センター

研究報告

第 15 号

2019 年度

目次

デジタルファブ리케이션による造形物への情報埋め込み技術に関する研究

情報ネットワーク・コミュニケーション学科 上平員丈

高効率駆動機構を備えた自転車の最適化研究

—駆動機構の評価および設計指針の導出—

ロボット・メカトロニクス学科 高尾秀伸

スマートフォンが送受可能な非可聴音を用いた高精度屋内測位法と測位基盤の構築

情報工学科 田中博

プログラミング授業の先生を支援するティーチングアシスタントロボットの構築

ロボット・メカトロニクス学科 吉野和芳

XRのための裸眼3Dディスプレイ

情報メディア学科 谷中一寿

デジタルファブリケーションによる造形物への情報埋め込み技術に関する研究

研究者代表者名：情報ネットワーク・コミュニケーション学科 上平員丈

1. 研究の目的

3D プリンタの発展と応用領域拡大に寄与する 3D プリンタ造形物の高付加価値化を目指し、3D プリンタ造形物の内部に情報を埋め込む技術および埋め込んだ情報を外部から非破壊で読み出す技術の確立を目的とする。

2. 研究の必要性及び従来の研究

近年、3D プリンタなどの 3D モデルデータから実物体を造形するデジタルファブリケーションが注目されている。最近では、個人でも購入可能な安価な 3D プリンタが発売されており、今後、3D プリンタは広く普及すると予想される。3D プリンタが普及すれば、ユーザは従来のように「もの」としての商品を購入するのではなく、インターネットを介して商品を製造するためのデータを購入し、自宅やオフィスで「もの」としての商品を製造できることになる。このことが、3D プリンタは将来、製造業や物流に変革をもたらす可能性があると言われる所以である。

我々は、これまでに 3D プリンタ造形物の高付加価値化を目的に造形物内部に情報を埋め込む方法を研究してきた。3D プリンタ造形物の内部に情報を埋め込み、これを情報端末により必要に応じて読み出せれば IoT における「もの (Things)」としても活用でき、これより 3D プリンタ活用の範囲を一層拡大することができる。また、従来のデジタルファブリケーションでは、3D モデルデータを不正に入手して製造された実物体に対して著作権を保護する有効な手段がなく、今後、この分野でのコンテンツビジネスを健全に発展させる上でコンテンツの著作権問題は避けて通れない課題となっている。そこで、本技術により造形物内部に著作権情報を埋め込むことができればこの問題の解決が可能となる。

3D プリンタ造形物内部に情報を埋め込む研究はマイクロソフトの研究所からも報告されている。しかし、その方法では情報を表現する内部パターンを別部品として製作し、この部品が内部に含まれるように 3D プリンタで造形した数点の部品を組み合わせることで最終製品を成型する。これに対して、本研究では内部構造は最初から製品の 3D モデルデータに一体として含まれており、ユーザは単に一つのデータを 3D プリンタに入力するだけで自動的に内部パターンが形成されて情報が埋め込まれた造形物ができる。したがって、本方法はユーザに特別な組み立て工程を行わせないという点で従来法とは基本コンセプトを異にしている。

3. 期待される効果

従来、特に普及型の 3D プリンタでは、置物、飾り物などの単に形状のみに価値を有す

る造形物しか製造できなかったが、本研究で開発を目指す技術により、造形物の付加価値が高まり 3D プリンタの応用領域拡大に大きく貢献することが期待される。

また、本技術は 3D モデルデータの著作権問題を解決できる有効な方法と考えられ、3D プリンタのコンテンツビジネス発展にも大きく貢献すると予想される。

4. 研究の経過及び結果

3D プリンタでは数十マイクロンの薄い層を一層一層積み上げながらものを造形する「積層造形」とよばれる特徴的な製造法が用いられており、我々はこの製法に着目した。すなわち、この方法により「もの」を造形する際に、同時にその内部に任意の構造を形成できると考え、その構造が情報を表現するような構造とすれば、造形物内部に情報を埋め込むことができる考えた。そして、情報表現に適した内部構造とその内部構造を外部から非破壊で解析して埋め込んだ情報を読み出す方法について検討を進めてきた。2019 年度は昨年度に続き、造形物の高機能化を狙い内部構造を機能性材料で形成する方法を検討した。

(1) 蛍光色素による内部の構造化

近赤外領域で蛍光性を有する色素を含有する樹脂で内部に微細なパターンを形成化する方法の検討を昨年度に続いて継続した。この色素は波長 λ_A の近赤外線光を照射すると波長 λ_B の近赤外線光を発光する。いずれも人間の目には見えない波長であるが、パターンを形成する樹脂にこの色素を含有させればパターン自らが発光するので近赤外線カメラで撮像すると明るいパターン像が得られる。しかし、近赤外線は樹脂を透過するが、今回使用した色素の蛍光波長は比較的短いので樹脂を透過する際に散乱を受ける。したがって、表面から深い位置にパターンを形成すればパターン像がぼける。本研究ではこのぼけを利用して埋め込み情報量の倍増を検討した。図 1 に示すように異なる 2 つの深さにおけるパターンの有無で 4 つの状態、すなわち 2 ビットの情報を表現する。深さによって像のボケの程度が異なること、また、2 つの深さにパターンが存在するときは、輝度分布はそれぞれの深さにだけ存在するときの分布の合成となること、これらから輝度分布を調べれば 4 つの状態を識別できると期待できる。本研究ではディープラーニングを用いて 4 つの状態の識別を試みた。

図 2 に実験で使用した試料のレイアウトを示す。試料は ABS 樹脂で製作した。内部パターンは 1%未満の蛍光樹脂を含む母体と同一の ABS 樹脂で形成した。

図 3 はこの試料の近赤外線像である。位置により輝度分布が異なっていることが確認できる。

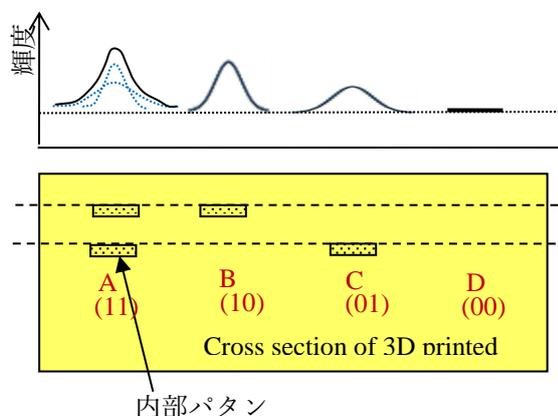


図 1 提案法の断面構造

図4に使用したディープラーニングのモデル構成を示す。図3に示す各位置の近赤外線像を位置ごとに150枚、合計600枚使ってディープラーニングのモデルを学習させた。学習済みのモデルで未知の近赤外線像100枚に対して認識をさせて正答率を評価した。その結果、正答率は95%であった。学習に使用した画像の数が少ない割には高い正答率を得ることができた。今後、学習量を増やすことにより正答率は100%に近づくと予想され、本方法が埋め込み情報量を増加させる手段として有効であると考えられる。

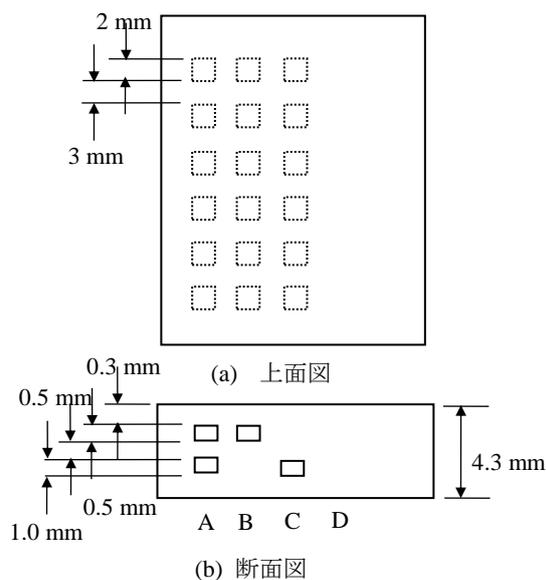


図2 使用した試料のレイアウト

(2) 磁性材配合樹脂による内部の構造化
この方法は、造形物の内部に磁性材を配合した樹脂で微細領域を形成し、この領域を外部から磁化したり、磁化を検出したりすることで3Dプリンタ造形物内部に書き換え可能に情報を埋め込む方法である。昨年度は実験により実現性を確認した。本年度は、内部構造の設計指針を得る目的で磁性領域の構造と表面磁界強度の関係を調べた。

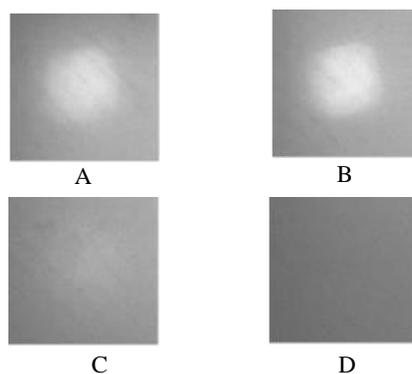


図3 内部パターンの近赤外線像

図5に評価実験のために製作した試料の上面から見たときのレイアウトと試料中の磁性領域のサイズを示す。ここでは、体積が一定で上面から見たときの(上面図上での)面積を異ならした試料を3つ用意した。3つの試料で磁性領域の体積は、それぞれ 8mm^3 、 32mm^3 、 64mm^3 とした。各磁性材領域の上部から表面磁界が2000 Gaussのネオジム磁石($60 \times 10 \times 3\text{mm}$)で磁界を印加して磁性領域を磁化した。磁化後に、試料表面の各磁性領域の上部の磁界を測定した。

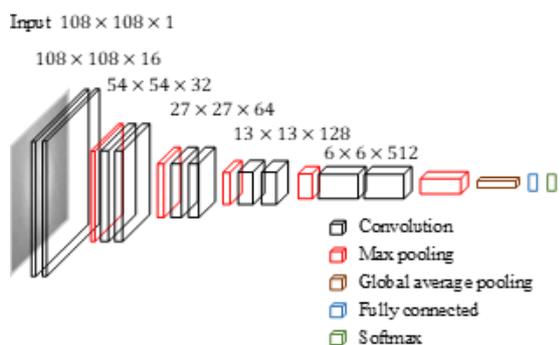


図4 使用したディープラーニングの構成

図 6 に表面磁界強度の測定結果を、磁性領域の体積依存性として示す。各測定は磁石の N 極と S 極でそれぞれ 1 回ずつ磁化したときの 2 回の測定値の平均値である。図 6 から、表面磁界強度は体積に依存し、表面の面積には依存しないことがわかる。この結果から、磁性領域は表面の面積を小さくした縦長の形状にすることにより情報の埋め込み密度を高められることがわかった。

5. 今後の計画

3D プリンタ造形物内部に造形時に磁気記録領域を形成する方法は 3D プリンタ造形物の新たな応用を開拓する技術として学会でも注目されている。今後はこの技術に重点をおいて、特に以下の研究を進める。

(1) 3D プリンタで形成するために、配合比など最適な磁性材フィラメントの形成条件を明らかにする。

(2) 磁性領域へ情報の書き込みや読み出しのためのリーダ・ライターの具体的なデバイス構造を検討する。

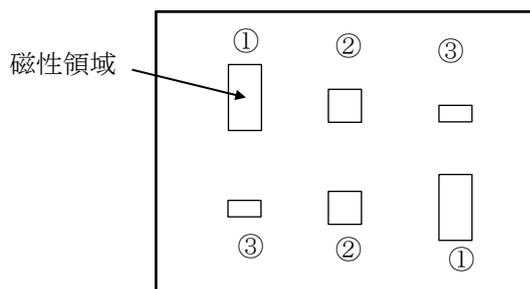
6. 研究成果の発表

[1] Hideo Kasuga, Piyarat Silapasuphakornwong, Hideyuki Torii, Masahiro Suzuki, Kazutake Uehira, “Technique to embed information in 3D printed objects using near infrared fluorescent dye”, IEEEJ Transactions on Image Electronics and Visual Computing, Vol. 8, No. 1 (2020.6)、掲載決定済み

[2] Piyarat Silapasuphakornwong, Hideyuki Torii, Kazutake Uehira, et. al, “Embedding information in 3D printed objects using double layered near infrared fluorescent dye”, Proc. of Int. Conference on Imaging, Signal Processing and Communication, (2019.7)

謝辞

本研究で蛍光色素を提供して頂いた DIC 株式会社様に感謝致します。



製作した試料の上面図

磁性材領域のサイズ

	①	②	③	体積
試料 A	2x4x1	2x2x2	2x1x4	8
B	1x4x8	4x4x2	8x4x1	32
C	8x8x1	8x4x2	4x4x4	64

単位：mm³

図 5 試料の上面から見たときのレイアウトと試料中の磁性領域のサイズ

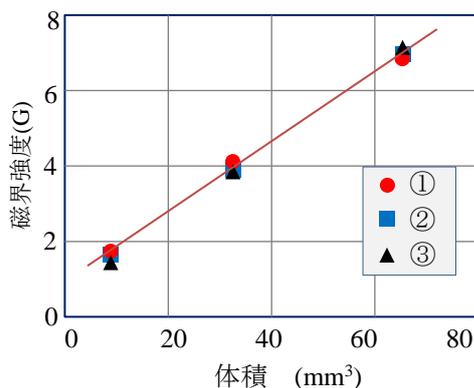


図 6 表面磁界強度の体積依存性

高効率駆動機構を備えた自転車の最適化研究

－ 駆動機構の評価および設計指針の導出－

ロボット・メカトロニクス学科 高尾秀伸

(2020年5月31日)

1. 研究の目的

本研究ではクランク長とシートバック角度を変化させ、様々な関節稼動域の条件で15分間の漸増負荷試験を行い、代謝という観点から、エネルギー消費効率、呼吸交換比、代謝性筋負担、複数の評価項目から総合的に判断する。本研究は、神奈川工科大学ヒト倫理審査委員会の承認を得て(倫理審査番号:20191216-11)実施された。

2. 研究の必要性および従来の研究

平成29年5月1日、国土交通省より自転車活用推進法が施行された。この法律では、高い安全性を備えた自転車の供給体制整備を促進するためのものである[1]。交通手段としての自転車の割合が増加し、以前よりも広く移動手段として利用されるようになると考えられる。自転車的一种であるリカンベント自転車は、背もたれのシートバックを利用することでリクライニング姿勢の乗車が可能となる。そのため、体幹の筋力に頼ることなくシートバックに体重を分散でき、上半身の負担を軽減できる。しかし、操縦者の力を最大限に発揮するための最適な設計条件についてはこれまで殆ど研究されていない。リカンベント自転車において人間-機械系のインタフェースが存在するのは、足が接するペダル・クランク部、臀部・体幹が接するシート部、そして手が接するハンドル部となる。そこで本研究ではペダル・クランク部とシート部の関係性に着目した。クランクの長さ(以下クランク長)とシートバックの角度が変化することにより、股関節、膝関節、足関節、各関節の稼動域が変化する。筋の発揮する張力は、その長さ及び速度が変化することにより変化する[2]そのため、関節を動かす筋肉の収縮の長さや速度によって筋の張力が変化すると考えられる。

3. 期待される効果

当該研究を推進することにより、以下の成果を得る可能性がある。

- ・世界中の自転車の設計指針(電動アシスト、身障者用を含む)を乗員にとって、より快適に速く走れるものに変え得る。
- ・自転車競技の世界記録を本研究によって得られる設計指針により更新できる可能性がある。

4. 研究の経過および結果

4.1 概要

本研究の目的として、クランク長とシートバック角度を変化させ、様々な関節稼動域の条件でエネルギー消費効率、呼吸交換比、代謝性筋負担度、主観的運動強度を評価する。また関節角度シミュレータを作成し、各実験条件による関節稼動域をシミュレートした。そしてこの3つの評価結果と関節角度のシミュレート結果から、エネルギー消費効率を向上させ、呼吸交換比と代謝性筋負担度を低減できる関節稼動域の乗車姿勢を明らかにすることを目的とした。

4.2 実験条件

シートバック角度:20度, 40度, 60度, 80度. クランク長:48%, 52%, 56%, 60%. (クランク長は標準化を図るために実験協力者の下腿長から上記の割合で統制した)

4.3 測定項目

酸素摂取量:各条件による v 運動中のエネルギー消費量を評価するために、自動代謝測定装置(ミナト医科学社:AE300S)を用いて酸素摂取量を測定した。血中乳酸濃度:各条件によるペダリング運動中の運動強度を評価するため血中乳酸濃度を測定した。表面筋電活動図:各条件による活動筋の働きをみるために表面筋電活動図を測定した。

4.4 実験手順

実験協力者は心身ともに健康な本学男子大学生(22±2歳)6名とした。実験協力者にインフォームドコンセントの確認とびデオ撮影および写真撮影の承諾、実験内容の教示と身体寸法の測定を行った。下肢の被験筋に筋電図センサを取り付けた。実験協力者を実験システムに乗車して頂き、体幹部をナイロンバンドで両肩から腰の位置までクロス状に固定した。シート・BB間距離を調整し、コンピューレーナーのキャリブレーションを行った。負荷50Wで走行し、3分間のウォームアップを行って頂いた。10分間の休息中に自動呼吸代謝測定装置のマスクを着用し、実験協力者自身に安静時の血中乳酸濃度を計測して頂いた。各計測器の記録を開始し、ペダリングを開始。ペダリング開始から30秒での実験者が指定するケイデンス(RPM)で走行し、15分間の漸増負荷試験を行った。負荷5段階で各3分間のペダリングを行う。各運動負荷で最後の30秒間に、ボルグスケール、血中乳酸値を計測し、運動負荷は20Wずつ増加させた。以上の手順でペダリング回転数を維持できなくなるか、または全負荷段階を完了するまで繰り返した。LTの値が10を超えた場合は、超えた時点の負荷条件で終了とした。※1. 運動負荷の条件は事前にプレテストを行い、LT(乳酸性作業閾値)を測定した。LTが測定された運動負荷から±40Wの運動負荷条件で行った。プレテストは上記の実験手順と同一で行った。50Wの負荷をかけて3分間のクールダウンを行った。

4.5 統計解析

解析には統計解析が行えるフリーソフトのjs-STARver9.7.8jを用いた。代謝性評価総合得点の結果とエネルギー消費効の実測値の結果に被験者内計画の二元配置の分散分析を行った。エネルギー消費効率の一定の条件のt検定を行った。

4.6. 結果と考察

4.6.1 代謝性評価総合得点の結果と考察

実験協力者の2名が漸増負荷5段階目のケイデンスを維持できなくなり、実験の継続が不可能となり、4名の結果から解析を行った。代謝性評価総合得点の結果を表1に示す。シートバック角度40度の得点が高い結果となった。

表1 代謝性評価総合得点の結果

	シートバック角度20°				シートバック角度40°			
	ケラシク長40%	ケラシク長52%	ケラシク長56%	ケラシク長60%	ケラシク長40%	ケラシク長52%	ケラシク長56%	ケラシク長60%
実験協力者A	20	15	37	19	31	39	47	37
実験協力者B	27	24	39	28	31	26	23	33
実験協力者C	23	24	22	29	33	43	39	37
実験協力者D	18	7	22	32	39	36	38	27
	シートバック角度60°				シートバック角度80°			
	ケラシク長40%	ケラシク長52%	ケラシク長56%	ケラシク長60%	ケラシク長40%	ケラシク長52%	ケラシク長56%	ケラシク長60%
実験協力者A	19	31	10	9	34	30	16	14
実験協力者B	25	14	17	10	11	29	36	35
実験協力者C	14	14	27	21	11	31	28	12
実験協力者D	36	37	11	19	24	12	15	35

二元配置分散分析(Holm法)の結果、シートバック角度20度と40度、40度と60度、40度と80度に有意差がみられた(MSe=89.3750,*p<.05)。

代謝性評価総合得点の結果から、シートバック角度40度条件の得点が顕著に高く、他の20、60、80度条件との間に有意差が認められた。

血中乳酸濃度、呼吸交換比の結果から第3負荷から第4負荷にかけて急な上昇を示しており、速筋線維の動員が増加した傾向が推察され、脂肪分解と糖分解の比率が糖分解に大きく傾いた可能性が示唆される[3]。そしてエネルギー消費効率の結果をしてみると第4負荷から低下する傾向にあり、運動強度に対して酸素摂取量が少なくなり、酸素のエネルギー供給が不足していると考えられる。しかし、シートバック角度40度条件では、エネルギー消費効率の実験協力者の殆どが第5負荷でも上昇傾向にあり、呼吸交換比と血中乳酸濃度が低い傾向にある。他のシートバック条件と比較するとシートバック角度40度条件は運動負荷に対して速筋線維の動員が遅いということが要素の一つとして考えられる。速筋線維の動員が遅れた分だけ速筋線維を動員しないでより高い運動強度で運動できることが示唆された。

4.6.2 関節角度シミュレータの結果と考察

関節角度シミュレータの結果からシートバック角度の傾斜が緩やかになるにつれて股関節稼動域が伸展する傾向が観察された。シートバック角度40度条件の各評価項目の結果から、代謝的観点から負担が少ない関節稼動域がシートバック角度40度付近に存在していることが示唆された。

5. 今後の計画

(1)シートバック角度 40° 条件の股関節稼動域・膝関節稼動域では他のシートバック角度条件よりも、代謝という観点から負担が少ないということが示唆された。

(2)エネルギー消費効率、呼吸交換比、代謝性筋負担度の実測値に有意差は認められなかったが、近しい傾向は観察された。

以上より、シートバック角度 40 度条件の股関節稼動域・膝関節稼動域に代謝という観点から負担の少ない高効率な条件が存在している可能性が示唆された。だが、実験協力者が少なため、ケーススタディの域を出ない。今後、データを増加させることで一般化可能となるので引き続き実験を継続する予定である。

6. 研究成果の発表

[1] 山内伊織, 松元拓斗, 片山遼介, 高尾秀伸: リカンベント型自転車におけるペダリング動作解析システムの構築, 日本人間工学会第 28 回システム大会, 感覚・認知・インタフェースセッション, 2020.3.15.

引用・参考文献

[1] 国土交通省自転車活用推進事務局: 自転車活用推進法の施工について, 2017. www.mlit.go.jp/road/bicycleuse/pdf/about.pdf

[2] A.M.Gordon et al.: The variation in isometric tension with sarcomere length in vertebrate muscle fibres. J.Physiol. 184(1), pp.170-192, 1966.

[3] 八田秀雄: 乳酸と運動生理・生化学-エネルギー代謝の仕組み-, 市村出版, pp16-85, 2009.

スマートフォンが送受可能な非可聴音を用いた 高精度屋内測位法と測位基盤の構築

情報工学科 田中 博

1. 研究の目的

位置情報はナビゲーション、情報提供や物流管理などに利用され、極めて有用な情報である。屋外での位置情報取得手段としてはGPS/GNSSがすでに広く普及し、事実上の標準システムとなっている。しかし、屋内エリアでの位置情報取得のための測位方法は、一般に屋外よりも高精度な位置検出が要求されるものの、GPSのように一般的な方法としては確立していない。我々はこの問題点の解決手法の一つとして、広域な屋内エリアに適用可能な経済的かつユーザ要求（精度、エリア等）に柔軟に対応可能な測位方法の検討を進めている。具体的には電波を用いる方法に比べて高精度な測位が可能な音波を用いることを前提に取り組んできた。

適用領域の拡大を目標に、これまで音源として用いてきた超音波や拡散音源以外の任意の音源の位置の検出方法の検討にH30年度から着手した。また、検討しているシステムは音をセンシングする構成であり、ソフトウェア処理により音の識別の機能を実装することも可能である。同様にH30年度から室内音源の識別手法の検討に着手した。これらを通して、音を用いた測位、通信、識別機能を実現し、知的な空間を構成するための要素技術の確立を目的として進めている。

最終的には確立した要素技術をプラットフォームとしての基盤化を実現し、多様な応用システムへの展開を可能にする。さらに具体的事例として、実用的なアプリケーションシステムを構築、デモンストレーションによりその有効性を実証する。なお、ヒューマンメディア研究の一環として、聴覚障がい者を支援するための手話の自動翻訳の実現への寄与を目的とした手話動作に識別方法の研究も従来より並行して行っている。

2. 研究の必要性及び従来の研究

前述に示したように屋内での測位法として確立されたものではなく、電波を用いた方法では精度的には数mの誤差が生じること、RFIDを用いた方法では広いエリアでの測位を実現しようとするRFIDを稠密に配置するために膨大な数量のRFIDが必要となり、現実的なシステムとはならない。一方、デッドレコニングと呼ばれる慣性センサを用いた測位も多く提案されているが、その蓄積誤差を補償する方法も提案されているが、精度的にはmオーダーであり、課題は解決されていない。

我々の提案手法と同じ原理である音波を用いた測位法の研究例はあるものの、これらは狭い空間や室内での位置を正確に測るという観点で検討されている状況にあり、広域への展開は考慮されておらず、実用レベルには至っていないのが現状である。一方、音を用いたデータ伝送技術、音の識別技術に対する個々の研究は行われているが、個別の技術、シス

テムとなっているのが現状であり、これらの機能を統合した音声処理空間として知的な空間の実現には至っていない。

3. 期待される効果

マイクセンサというセンシング要素は共通であり、その他は基本的にソフトウェア処理によって実現可能である。積極的に音を利用することにより、共通のシステム構成で測位、データ伝送や音の識別による環境推定、聴覚障がい者支援を展開できる。一元的なハード構成を意識してこれらを実現した研究事例は筆者らの知る限り見当たらず、この点を可能とする意義は大きいと考えられる。合わせて、プラットフォームとしてその上に実証システムとして実現するため、単なる学術的な成果という観点ではなく、有用性の実証という意味も大きい。

4. 研究の経過及び結果・評価

2019 年度は、前年度に検討に着手した各種室内音源を用いた測位手法の実際の室内空間での検証、音源識別の前段階での環境雑音の除去の効果、という 2 点に注力した。

(1) 各種室内音源による位置検出

昨年度から継続検討している各種室内音源の位置を求める手法（2019 年 9 月の国際会議で発表、Best Paper Award を受賞）を実際の室内空間での評価のために、研究室内の縦 3.8、横 5.1m の広さのエリアの天井に受信点となるマイクセンサを床から 2.74[m] の高さに計 30 個設置した実験環境を構築した。音源として測位用の音源である拡散音源、電子レンジの動作音、火災警報器、ドローンの飛行音を用いて測位精度を評価した。音源の種類と位置によって測位誤差は変化するものの、数 cm～数十 cm 以内の誤差に抑えられることを確認した。この成果を測位航法学会誌に投稿し、受理掲載された（添付論文 1）。

(2) 環境雑音除去による室内アラーム音源の識別

各種室内アラーム音源（窓、ガス、火災、タイマー）の識別における雑音（ホワイト、ピンク、掃除機）の除去方法と、除去による識別性能向上に取り組んだ。

(2-1) 環境雑音の除去

音源の識別時の劣化要因となる環境雑音の除去を目的として、識別処理の前段に、除去のための手法として Spectral Subtraction 法 (SS 法) と機械学習手法の一つである Denoising Autoencoder 法 (DAE 法) を適用してその効果を調査した。その検討過程の中で、最も雑音除去効果の高いパラメータを明らかにした。両手法の適用前後の音の波形（時間領域、周波数領域）からともに雑音は抑制されていること、波形から見る限り両者で顕著な差異がないことを確認した。

(2-2) 環境雑音除去後の識別性能

ノイズのレベルを変更し、各 SN 比の条件下での雑音除去による上記 4 種の音源の識別実験を行った。その結果、除去後の識別性能は SS 法の方が高く、SN 比が -10dB の場合でも 80%

前後の識別率を確保（除去なしの場合は、20～30%）できることを確認した。この結果を国際会議に投稿、受理された（添付論文2）

(3) 手話動作識別

2018 年度まで検討してきた、SVM などの複数の識別手法を用いたバギングによって識別する手法と実験結果をとりまとめた論文を投稿し掲載された。2019 度は主として深層学習を用いた識別の検討を行った。AlexNet などの学習済モデルを用いた特徴抽出とそれらの結果を組み合わせることによる識別精度の向上、少ない学習データの Augmentation による識別精度の向上の結果を 2020 年 7 月に開催予定の国際会議に投稿し、採択された。

5. 今後の計画

2020 年度は以下の項目に注力して検討を進める。各種音源による位置検出については、さらなる高精度化が一つの検討対象であるが、人的リソースや評価用環境構築等を鑑みると困難であると判断し、今年度は以下の点に注力した検討を行う。

(1) 雑音環境下での環境音の識別とその高精度化

(1-1) 対象の拡大

これまでは、室内での雑音除去とアラーム音に注力した識別方法を検討してきた。手法そのものは多くの適用領域が考えられる。例えば、車内雑音環境での各種アナウンスの認識も技術の適用領域であると考えられる。身近な生活空間、障がい者支援の観点から適用対象を検討する。

(1-2) 雑音除去効果の向上

引き続き SS 法、DAE 法の 2 つの手法を基本に、除去効果の向上を目指す。具体的には、環境雑音の変化への動的な対応手段、DAE におけるネットワーク構造、学習モデルの検討を行う。雑音が混入した学習データを用いた学習も視野に入れる。雑音の種類、レベルを変えて評価を行う。時系列波形、スペクトログラムなど可視化に加え、協力者による評価を行い、その効果を確認する。

(1-3) 雑音除去の効果の検証

上記、雑音処理後のデータを用いて識別を行う。雑音の種類、レベルと各雑音除去手法、識別方法による効果比較を行い、対象、環境に応じた最適な手法および達成可能な識別性能を明らかにする。

(2) 手話動作識別

(2-1) データ拡張による高精度化

学習データとしての手話動作の動画取得には多大な労力が必要となる。すでに静止画像の識別で実績のあるデータ拡張手法を適用し、効果のあることを前年度に確認している。この検討をさらに進め、多様な拡張方法によって得られるデータを統合して学習モデルを作成し、識別率向上への効果を検証する。あわせて、識別対象の手話動作数を増やす。

(2-2) カラー手袋を使用しない動画データの利用

これまでカラー手袋を装着し、色領域を抽出して手話動作の検出を行ってきた。前年度の検討から OpenPose の利用により、一定の信頼度で手話動作の動きを検出できることが分かった。このデータを学習データとして識別に適用する。従来手法と組み合わせたアンサンブル学習によって識別精度の向上を調査する。

6. 研究成果の発表

上記遂行によって、2019 年度に発表した主なものを以下に示す。

(1) K. Kawaguchi, Z. Wang, E. Ohta, H. Nishimura, H. Tanaka, “Basic Investigation of Sign Language Motion Classification by Feature Extraction using Pre-trained Network Models”, IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing (PACRIM2019), 4 pages, 2019.

(2) T. Kadokura, K. Watanabe, Y. Yanagiya, E. Shiombing, S. Wafiqi, Y. Sudo, and H. Tanaka, “Initial Investigation of a Notification System for Indoor Alarm Sounds using a Neural Network”, Human-Computer Interaction International (HCII2019), LNCS 11570, pp. 219-231, 2019.

(3) 門倉 丈, 橋爪裕貴, 五百蔵 重典, 田中 博, “各種室内音源を対象とした測位手法と基本実験結果”, 2019 信学ソ大, B-15-45, p. 288, 2019.

(4) 橋爪裕貴, 門倉 丈, 田中 博, “アラーム音源識別性能向上のための環境雑音除去の基本検討”, 2019 信学ソ大, B-15-2, p. 245, 2019.

(5) T. Kadokura, Y. hashizume, S. Ioroi, and H. Tanaka, “Initial Investigation of Position Determination of Various Sound Sources in a Room”, The Ninth International Conference on Ambient Computing, Applications, Services and Technologies (AMBIENT 2019), pp. 14-18, 2019.

Best Paper Award (<https://www.aria.org/conferences2019/AwardsAMBIENT19.html>)

(6) 門倉 丈, 川喜田 佑介, 五百蔵 重典, 田中 博, “白色化相互相関法を用いた受信時間差検出による屋内各種音源の測位手法とその実験的評価”, 測位航法学会論文誌, Vol. 10, No. 3 pp. 23-32, 2019. (添付論文 1)

(7) Y. Hashizume, T. Kadokura, Y. Kawakita, and H. Tanaka, “Study and evaluation of noise reduction method for alarm sound classification”, NSCP’20, RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing 2020, 1A-M1-1-4, pp. 271-274, 2020. (添付論文 2)

(8) 小澤 辰典, 西村 広光, 田中 博, “光学式カメラを用いた色領域の抽出に基づく手話認識手法”, 画像電子学会論文誌, Vol. 49, No. 1, pp. 12-24, 2020.

(9) 門倉 丈, 橋爪 裕貴, 川喜田 佑介, 田中 博, “アラーム音源の識別性能向上のための環境雑音除去の基礎的評価”, SeMI 研究会, SeMI2019-114, pp. 57-62, 2020.

(10) 川口 開都, Paporn Daraseneeyakul, Phaphimon Veerakiatikit, 西村 広光, 田中 博,

“データ拡張による手話動作識別性能の向上に関する実験的検討” , 2020 信学総大, D-12-48, p. 81, 2020.

(11) 門倉 丈, 橋爪 裕貴, 川喜田 佑介, 五百蔵重典, 田中 博, “アラーム音源の識別精度向上のための学習データへの雑音重畳に関する実験的検討” , 2020 信学総大, B-15-24, p. 481, 2020.

プログラミング授業の先生を支援する ティーチングアシスタントロボットの構築

ロボット・メカトロニクス学科 吉野 和芳

1. 研究の目的（以下タイトルは、11ポイント、MS ゴシック）

小学校においてプログラミングが必修化されるとのことから、プログラミング教育への関心が高まっている。一方、申請者は、子どもたちの理解度の違いや作業の進み具合の違いなどによって、つまづいている子どもたちに対応していると、円滑にプログラミング授業が進められないことを経験してきている。

そこで本研究では、プログラミング授業において、多様な子どもたちに対応して授業につまずく学習者を減らし、授業を効率よく、円滑に進めていけるようにするとともに、学習している子どもたち自身がプログラミングの能力を身に付けることができるような授業運営する教師たちをサポートすることを目的とし、授業中に、授業につまずきそうな学習者を見つけ、その子どもの状況に合わせて対応するティーチングアシスタントロボットの構築を目指す。

2. 研究の必要性及び従来の研究

小学校のように目標が定まっていない子どもたちや目標が異なる子どもたちが混在するクラスでプログラミングの授業を教師が一人で担当することは、進度の早い子どもたちでは、授業に飽きてしまったり、勝手なことを始めたりして、授業を円滑に進められなくなる可能性が考えられ、逆に、進度の遅い子どもたちでは、授業につまづいてしまい、どの教科でも当てはまることだが、特に、算数やプログラミングのようにこれまでの知識を利用して新しい知識を学習する、いわゆる、積み上げ式の授業では、少しでもつまづいてしまうと、その先の授業について行けず、学習意欲の喪失につながってしまう可能性が考えられ、それらをフォローするために教師の負担も増大することが予想される。

そこで、申請者は、プログラミングの授業を実施するにあたって、授業を円滑に進ませ、多様な子どもたちに対応することが重要であり、その上で、教師の負担を減らし、かつ、授業につまずく学習者たちも減らしていくための授業展開の工夫が必要であると考えます。

学習を支援するシステムとして e-Learning が代表され、家庭内だけでなく、学校現場や塾などでも活用されている。しかし、e-Learning システムでは、答が一意の問題は得意とするが、プログラミングのようにアルゴリズムが複数あるような問題には向いていないと考える。確かに、出題者が意図したアルゴリズムになるように誘導することで対応することは可能であるが、そのような指導法では学習者の創造力を伸ばすことができず、プログラミング学習ではないと考える。

3. 期待される効果

プログラミングでは、ある課題に対するアルゴリズム（解法）が複数ある。そのため、従来の e-Learning システムのように正解（模範解答）を一方的に伝えるという対応では、プログラミングを教える側としては不十分であり、また、このような方法では学習者自身がプログラミングできるようにならないと考える。そこで、本研究では、学習者の考えようとしているアルゴリズムや考えているアルゴリズムを会話やプログラムの実行の様子などから推測し、理解して、そのアルゴリズムに合わせたアドバイスを行うこととしている。これによって、学習者自身でアルゴリズムを考える方法や間違いを見つける方法などプログラミングに必要な能力を身に付けることができ、効率の良い授業展開が期待できる。さらに、ロボットとの発話によってコミュニケーションしながら授業を進めていくため、コミュニケーション力の向上を図ることも視野に入れたシステムである。

4. 研究の経過及び結果・評価

授業につまずきそうな学習者を見つけ、その子どもの状況に合わせて対応するティーチングアシスタントロボットの構築を目指し、2019年度は次の3点に絞って研究を進めた。

① 積極的な質問者の検出

TA ロボットの方を見ながら挙手した学習者を積極的な質問者として定義し、その学習者の検出を行った。具体的には、Pepper に設置されているビデオカメラ映像内から顔の位置を HaarLike 特徴検出手法を利用して検出し、その顔の位置を基準とした一定のエリア内に肌色の画素群があれば、それを手として検出し、対応する顔と合わせ、積極的な質問者として検出した。図1に質問者を検出した結果を示す。図中四角が顔の位置、青丸が手の位置を表している。



図1 質問者の検出結果

② 車輪型ロボット組み立て時における結線の確認

車輪型ロボットの本体とモータやセンサの結線のチェックは、LEGO MINDSTORMS EV3 ロボ

ットキットのプログラミングツールである EV3 ソフトウェアの機能としてあるハードウェアページを利用して行うこととした。このハードウェアページには本体と本体のそれぞれのポートに接続されているモータやセンサがアイコンとして表示される。そこで、モータやセンサだけの画像をテンプレート画像とし、ハードウェアページを撮影した画像からテンプレートマッチング法によってモータやセンサの位置を検出し、正しい位置と比較することによって、接続の正誤判定を行った。間違っている場合は、間違っている状況と接続しないおすポートを学習者にアドバイスすることとした。

図 2 と図 3 に結線を確認した結果を示す。緑色がモーター、青色がタッチセンサ、赤色がカラーセンサの位置を表し、図中の黄色枠位置がモータ、センサの正しい位置を表している。図 2 ではそれぞれが正しい黄色枠内に収まっているので、結線が正しいと評価された。一方、図 3 では、赤のカラーセンサーが黄色枠外にあることから結線ミスであることが分かり、学習者に「カラーセンサの接続を確認しましょう」とアドバイスした。

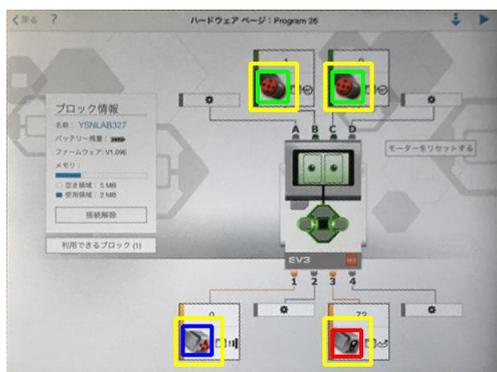


図 2 結線が正しい場合

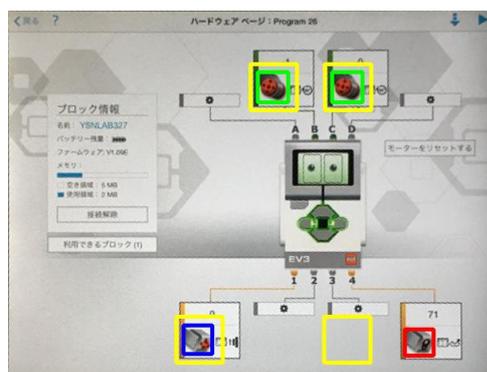


図 3 カラーセンサの結線位置が間違い

③ 基本プログラム練習時におけるプログラムの間違いの推定

基本プログラム練習時では、車輪型ロボットの正しい動きが既知であることから、学習者が動かした車輪型ロボットの軌跡を映像から抽出し、正しい動きと比較することによって、正誤判定を行い、間違っているときは、2つの軌跡の差分をとることで、どのように間違っているのかを間接的に推定し、どこを確認すると正しく修正できるのかをアドバイスすることとした。

ロボットの軌跡は、ロボットが映っていない画像を背景画像とし、ロボットが移動している映像とその背景画像との差分を求めることによって、それぞれのフレームにおけるロボットの領域を検出し、その重心を算出していくことによって得る。図 4 にロボットの位置を検出した結果を示す。

ロボットの軌跡の評価は、ロボットが正しく移動したときの軌跡と学習者のロボットの軌跡を求め、その2つの軌跡の差分を検出する。学習者のロボットの移動が正しければ差分は現れず、学習者のロボットの移動が間違っている場合、正しい軌跡から外れるため、差分

として現れる。

図 5 にライントレースの学習をしているときに学習者のロボットの移動が上手くいかなかった例を示す。(a)は正しいロボットの軌跡, (b)は学習者のロボットの軌跡で, 学習者のロボットの移動が途中でずれてしまったため, (a)と(b)の画像の差分を取ると, (c)のように正しいロボットの移動とずれている部分が現れる。この場合, TA ロボットはライントレースのスピードが速かったため, ラインから外れたと判断し, 「ライントレースのスピードの確認をしましょう」とアドバイスする。

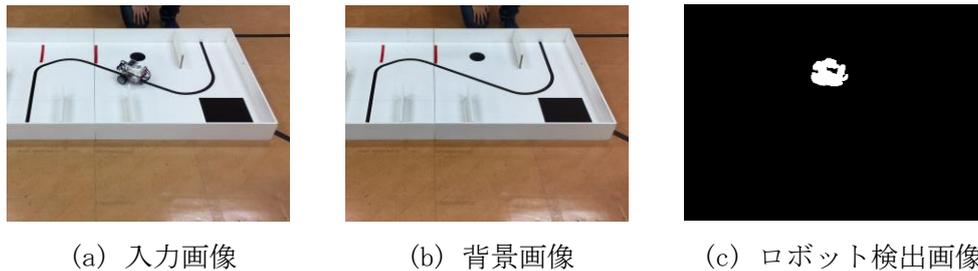


図 4 ロボット位置の検出

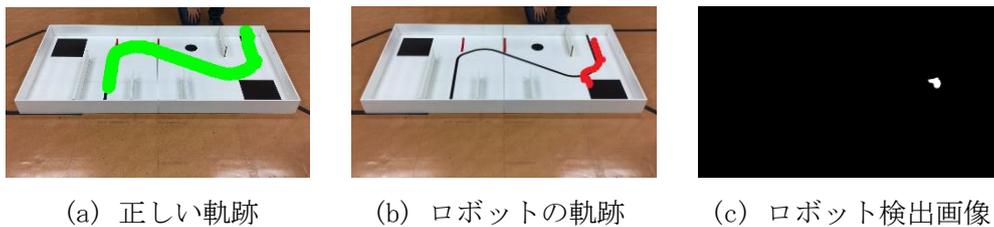


図 5 ロボット移動の評価

5. 今後の計画

今後は, つまづいている学習者が教室内に複数人いた場合の検出方法の確立とアドバイスしていく順序の決定方法の検討, ロボットプログラミングの基礎学習時においてよく起こるプログラムの間違いとその判断方法について検討していく。また, LEGO MINDSTORMS EV3 のロボットプログラミングだけでなく, 小学校でのプログラミング学習で利用されると予想されている MIT メディアラボが考案した Scratch (スクラッチ) などのビジュアルプログラミング言語への拡張についても検討していく。

6. 研究成果の発表

本研究の成果は, 下記のように学術論文で掲載予定である。

Kazuyoshi Yoshino and Shanjun Zhang : “Evaluation of Teaching Assistant Robot for Programming Classes”, International Journal of Information and Education Technology, Vol. 10, No. 5, pp. 327-334 (May 2020)

XRのための裸眼 3D ディスプレイ

研究者名：情報メディア学科 谷中 一寿

1. 研究の目的

我々が日常生活生している現実空間に加え、コンピュータ内に作られた仮想空間が拡大しつつある。仮想空間のみを体験するのが VR（仮想現実）であり、仮想空間と現実空間と重なっていれば AR（拡張現実）または MR（複合現実）であり、これら 3 者は XR と総称される。いずれの場合でもディスプレイは仮想空間と現実空間とのインターフェースとして重要である。ヘッドマウントディスプレイ (Head Mounted Display, 以下 HMD と略す) を用いる方式では、通常、両眼視差による立体表示が提供され、高い没入感が得られる利点があるが、その反面、重量感、圧迫感、実空間の視野の狭さなどの問題がある。HMD のかわりに裸眼 3D ディスプレイを用いれば、利用者は何も装着しなくて良い。裸眼 XR は通行人にも使って頂くことができ、非接触のため衛生面でも有利なので、手術室や調理室にも向いている。本研究ではそのような新しい裸眼 3D ディスプレイシステムを構築することを目的とする。

2. 研究の必要性及び従来の研究

裸眼 3D ディスプレイの中でも 1908 年にリップマンが提案したインテグラルフォトグラフィは、水平方向だけでなく垂直方向にも視差がある点でホログラフィにも似た優れた特徴を有する方式である。従来は高精細液晶ディスプレイ (LCD) と、レンズピッチが LCD の画素ピッチの整数倍であるようなフライアイレンズが必要であった。この条件が偶然に満たされる可能性はほぼゼロなので、LCD の仕様に合わせてフライアイレンズを特注する必要があった。これは少量生産の場合、非常に高価なものになってしまう問題があった。筆者が提案した拡張フラクショナルビュー (EFV) 方式を用いれば、図 1 に示すようにフライアイレンズのピッチと LCD の画素ピッチの比率が整数に限定されないので、安価な既製のフライアイレンズで IP を実現することができる。しかしながらこの方式をミクストリ

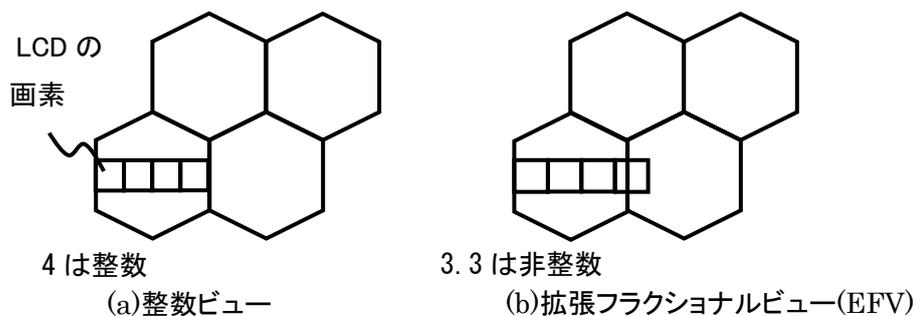


図 1 整数ビューと拡張フラクショナルビューの違い

アリティに適用するには、立体表示の飛出し量の増大や大画面化をはじめ、ゲームエンジンを用いた立体視コンテンツ制作法の確立、ビデオオーシースルーに向けた実写 IP 画像の入力など、解決すべき課題が残されているので、さらなる研究が必要である。

3. 期待される効果

本研究によって、従来 EFV 方式で実現されてきたものよりも飛出し量を多く確保でき、仮想空間と現実空間が重なる領域が広がるので、インタラクションが容易になる。また、ユーザの操作に応じて実時間で立体表示された物体を動かすことができるようになる。それにより、バーチャルリアリティやミックストリアリティなど、人とコンピュータがより自然にインタラクションを行うことが要求される用途に適用できるようになる。

4. 研究の経過及び結果

平成 31・令和元（2019）年度には、以下のような進捗があった。

4. 1 マイクロミラーアレイと奥行き反転インテグラルフォトグラフィを用いた空中ディスプレイ [1]

（株）アスカネットの ASKA3D では、プレートの内部に集積された多数の 2 面直交リフレクターの働きにより、プレート面の反対側の、プレート面について対称な位置に実像を原寸で表示できるので、何もない空間に画像を表示する「空中ディスプレイ」を構築できる。ASKA3D は、2D の物体は 2D のまま、3D の物体は 3D のまま、プレートの反対側に浮いて表示できる。ただし 3D のものは、奥行きが反転して、まるで「お面」を裏側から見たような不自然な像になってしまう。実物体のかわりに IP のディスプレイを置いても、図 2（1）に示すように、奥行きが反転して表示される。筆者らはこの問題を解決するため、図 2（2）に示すように、IP 画像を合成する際、水平方向、垂直方向の視差番号をそれぞれ反転させることにより、意図的に奥行きを反転させた IP 画像を合成し、それを LCD に

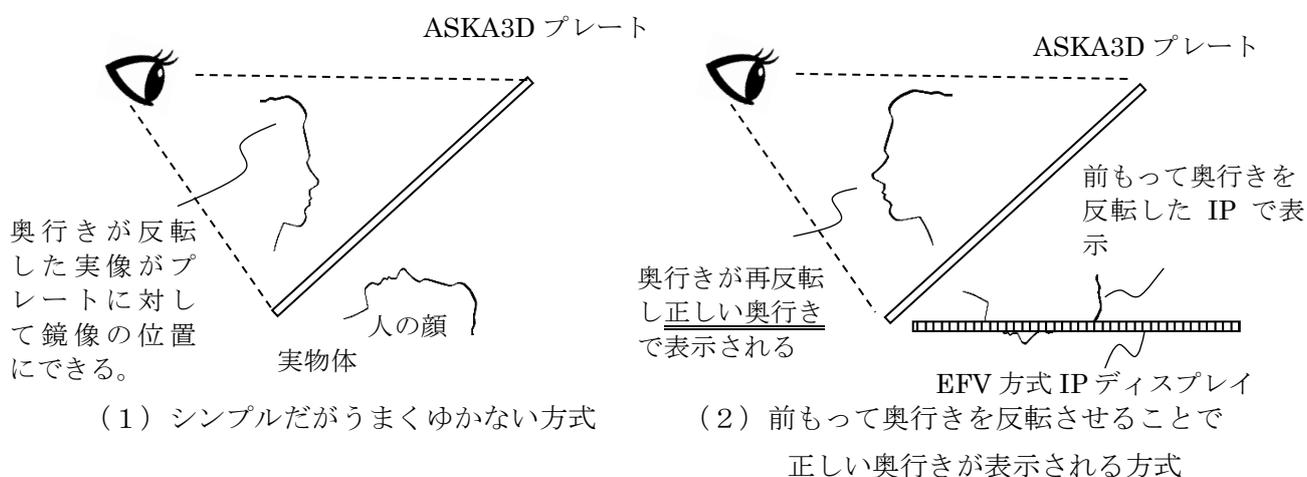


図 2 マイクロミラーアレイにおける奥行き反転

表示させる。この時点では奥行きが反転しているが、それを ASKA3D プレートを通して観察すれば、正しい奥行きが表示される。この方法で IP 画像を空中に浮かせると、一層高い臨場感が得られる (図 3)。



泳ぐ魚



ダイヤモンド

図 3 提案方式によるインテグラルフォトグラフィの空中像

4. 2 円錐ミラーとインテグラルフォトグラフィを用いた 360° 立体表示[2]

透明板で作られた四角錐 (ピラミッド) を、尖ったほうを下にして、平置きされている LCD の上に置くと、LCD に表示された画像がピラミッドで反射されて観察者の眼に届くので、あたかもピラミッドの内部に物体が浮いているように見えることは良く知られている。しかしながらこの場合、その物体は実際には 2D 画像であるから平面的であり、奥行きはない。筆者らはかつて、LCD の上にフライアイレンズを重ねてインテグラルフォトグラフィとすることにより、ピラミッドの内部が浮かんで見える物体が、奥行きのある 3D 物体に見えるようにした。これによって臨場感が高まった。しかし、四角錐にはどうしても面と面が交わる辺があるので、その付近で像が不連続になる問題がある。

今回はこの問題を解決するため、四角錐ではなく、円錐を用いるよう変更した。四角錐の場合は 4 枚の IP 画像を用意すれば良いが、円錐の場合は 360° にわたって無数の IP 画像が必要になる。このため、図 4 に示すように、LCD の各画素から出た光がどの方向に進み、円錐のどの点でどの方向に反射して観察者の眼に入るのかを求め、もし観察者が円錐の表面で光が反射していることに気づかなかつたなら物体のどの部分が見えるはずであるかを計算し、その画素値を、LCD の当該画素の値として設定する。これを、LCD のすべての画素に対して実行することで、LCD に表示すべき IP 画像を作り上げる。

実験の結果、図 5 に示すように、あたかも円錐内部に 3D 物体が存在するかのような表示を行うことができた。

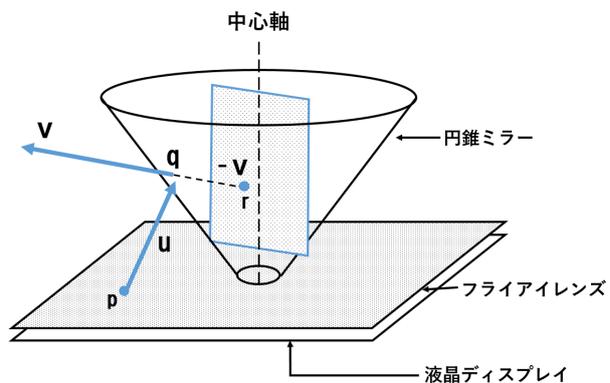


図4 画像合成の原理

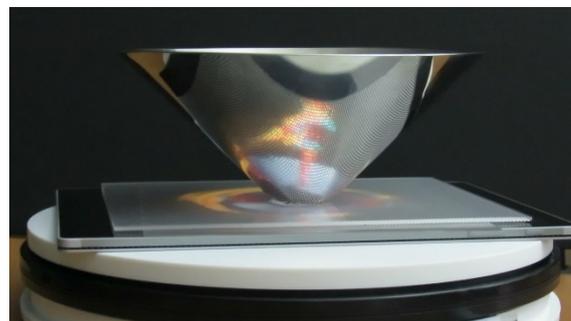


図5 円錐の内部にあるかのように表示された3D像(© UTJ/UCL)

参考文献

- [1] Nahomi Maki, Toshiaki Yamanouchi, Kazuhisa Yanaka, 3D Aerial Display with Micro Mirror Array Plate and Reversed Depth Integral Photography, ACM SIGGRAPH 2019 Posters.
- [2] Nobuyuki Ikeya, Kazuhisa Yanaka, 360-Degree Autostereoscopic Display using Conical Mirror and Integral Photography Technology. VISIGRAPP (4: VISAPP) 2020: 814-818.