

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：12301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H03458

研究課題名（和文）任意の焦点距離・視線で複数の画像を同時計測可能な並列ランダムアクセスビジョン

研究課題名（英文）Parallel Random Access Vision: A New Imaging Method to Observe Arbitrary and Multiple Gaze Directions in Frame-By-Frame Manner

研究代表者

奥 寛雅（Oku, Hiromasa）

群馬大学・情報学部・教授

研究者番号：40401244

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 11,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題では、撮像素子のフレーム毎に、任意の焦点距離、任意の視線方向を選択できる、いわば光学的な撮像パラメータのランダムアクセスを実現する手法を開発した。また、これをさらに発展させた、異なる焦点距離や視線方向の画像を同時に複数撮影する、並列ランダムアクセスが可能な撮像の実現方法も開発した。さらに、これらの手法の応用として、100volume/s高速ライトシート顕微鏡を開発し、遊泳細胞の計測で有用性を示した。また、視線方向のランダムアクセスを応用したビジュアルトラッキング手法も開発し、実験からその有用性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究を実施したことにより、カメラの視線方向や焦点距離をフレーム毎に自由に選択できる新しい手法を開発、実証することができた。これによって工場における画像検査や自動走行における画像センサが、動的な環境に対してより適応的に撮影条件を選択できるようになり、より多様な条件でロバストに稼働できる画像システムの実現に寄与する。

研究成果の概要（英文）：In this research project, we have developed a method for realizing random access to optical imaging parameters that allows the selection of arbitrary focal lengths and viewing directions for each frame of the image sensor. We have also developed a method to realize parallel random-access imaging, in which multiple images with different focal lengths and viewing directions are captured simultaneously. As an application of these techniques, we developed a 100-volume/s high-speed light-sheet microscope and demonstrated its effectiveness in the measurement of swimming cells. We also developed a visual tracking method based on random access in the direction of gaze, and demonstrated its usefulness through experiments.

研究分野：動的映像制御

キーワード：高速 共振型光学素子 露光制御 ロックインイメージセンサ 視線方向 焦点距離

### 1. 研究開始当初の背景

通常のビジョンシステムはカメラレンズのような光学系と撮像素子から構成され、光学系は最初に外界の情報を撮像素子に伝達するある種のフィルタとして機能している。そのため、光学系がどのような情報を撮像素子に伝達するのかは、その後の画像処理全体に大きな影響を与える重要な要因である。本来、対象の位置や形状、光源の位置などの周囲環境の状況によって、撮像の光学的パラメータである焦点距離・ズーム比やカメラ自体の視線方向などを適応的に調節することが理想的である。特に、ドローン、自動走行車などに代表されるモバイルロボットや、Factory Automation (FA)のように動的な対象・環境で周囲の情報や対象を計測することが必要な場合には、前述した撮像パラメータの適応的調節が重要となる。

しかし、これらの光学パラメータは、カメラレンズの構成やカメラの配置などの物理的な特性に依存しており、これらの調節には物理的な制約が強く働く。その結果として調節には無視できない応答時間が存在する。例えば焦点距離の調節にはレンズ(群)位置の制御やレンズ形状の変形が必要であり、これらの応答時間は物理的な特性によって制限される。通常、これらの応答時間は物理的な限界から撮像素子のフレーム周期より遅く、フレーム毎に焦点距離・視線方向を切り替えることは不可能であった。

### 2. 研究の目的

本研究課題は、撮像素子のフレーム毎に、任意の焦点距離、任意の視線方向を選択できる、いわば光学的な撮像パラメータのランダムアクセスを実現する手法を開発することを目的とする。また、これをさらに発展させた、異なる焦点距離や視線方向の画像を同時に複数撮影する、並列ランダムアクセスが可能な撮像の実現方法の開発も目的とする。

### 3. 研究の方法

本研究では、焦点距離の選択ならびに視線方向の選択を、光学的な条件を共振させた状態の光学系を作成し、どのタイミングで撮像するのかを電気的に選択することで実現する手法を開発した。この原理に基づくとフレーム毎に自由に光学的な条件、つまり焦点距離や視線方向を選択することができる。ここではこの原理について説明する。

例として、ここでは視線方向の制御について取り上げる。提案手法は、カメラとミラーを用いた反復型視線方向制御装置で構成されるシステムを想定している。反復型視線方向制御装置は、カメラに入射した光線を回転するミラーで反射させ、視線方向が同じ角度プロファイルを高速に繰り返すことでカメラの視線方向を制御する機構で、例えば共振型スキャナやポリゴンミラーなどが挙げられる。特に、本研究の実験では共振型スキャナを使用したため、以下の説明では共振型スキャナを仮定する。

図1は、想定されるシステムの構造を示す模式図である。視線方向 $\theta$ はミラーの角度で制御でき、視野(FOV)の位置 $x$ は $x = d \tan \theta$ で求められる。このとき、 $d$ は撮影対象までの距離である。

共振型スキャナの走査速度は、かなり高速である。例えば、本研究で用いた市販のレゾナントミラーは、共振周波数 $f_R$ が約12kHzであった。共振周期 $T$ が $1/12000 \text{ s} \sim 83 \mu\text{s}$ 、光学角の振幅が5 degであった。つまり、これは-5から5 degまでをわずか $T/2 \sim 42 \mu\text{s}$ でスキャンすることができる。これはサーボ機構よりも圧倒的に高速で、うまく使えば高速で視線方向を選択することも可能である。ただし、通常のイメージセンサーを使用した場合、露光時間 $T_{\text{exposure}}$ がミラーの共振周期 $T$ よりも長い場合、モーションブラーが発生する。このことから特定の視線方向の画像を撮影することは不可能である。このケースを図2(a)に示した。

この問題を解決する一つの方法は、 $T_{\text{exposure}} = 100 \text{ ns}$ のような非常に短い露光時間を設定することである。ただし、この場合、図2(b)に示したように短時間のために非常に暗い画像しか撮影できない。

ミラーが往復運動して1フレーム期間に何度も同じ方向を通過することを考えると、図2(c)に示すように、特定の方向を通過するたびにの短時間露光を重ね合わせることで輝度を高めることができる。しかし、既存の撮像素子はこのような多重露光を行うようには設計されていない。そこで、本研究では任意のタイミングで複数回の露光撮影が可能なLock-in Pixel撮像素子を利用した撮像方式を提案した。Lock-in Pixel撮像素子にはTAPと呼ばれる光電子蓄積部があり、

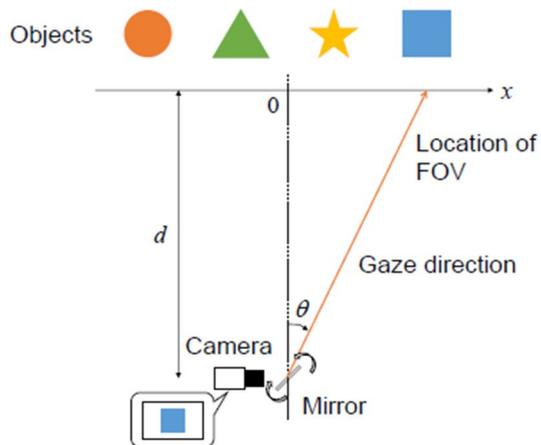


図1 視線制御用システム

電界によってこの蓄積部を高速にオン・オフすることができる。露光タイミングはフレームごとに自由に設定できるため、撮像方向もフレーム毎に自由に設定できる。さらに、Lock-in Pixel 撮像素子は複数の異なるタイミングで露光された画像を同一フレームで撮影できる。また、このセンサーでは独立した複数の TAP を 1 画素に配置することができる。つまり、TAP ごとに異なる視線方向のタイミングで画像を露光することで、図 2 (d) に示すように、異なる方向の複数の画像を同じフレームで取得することができる。ここでは視線方向の制御について共振ミラーの利用を前提に説明したが、全く同様の動作が焦点距離についても成立する。非常に高い共振周波数をもつ可変焦点レンズによって焦点距離を振動させ、露光タイミングを制御することで撮像する焦点距離を選択することができる。多重露光によって明るさを増し、また複数の TAP を利用すれば異なる焦点距離の画像を準同時に実現できる。特に、Tunable acoustic gradient index (TAG) レンズという焦点距離を高速に変更することが出来る液体レンズがこの用途には適している [1]。TAG レンズは、内部の液体を振動させることで、液体中に密度分布の定在波が生成される。液体の屈折率はその密度に依存するため、結果的に空間的な屈折率分布が生成され、これがレンズとして機能する。この原理によって TAG レンズにおける焦点距離は数十から数百 kHz で振動することが可能である。

#### 4. 研究成果

以下に主要な成果を説明する。

##### (1) 100 volume/s 高速ライトシート顕微鏡

生命科学分野においては、蛍光物質によって注目する分子に標識をつけて可視化する計測手法が非常によく利用されており、この計測には蛍光顕微鏡を利用することが多い。従来よく利用されている落射型蛍光顕微鏡法では、励起光を観察試料全体に照射するため、焦点面以外の蛍光がノイズとして生じてしまう。また、レーザー共焦点顕微鏡法では、ピンホールを用いることで焦点面以外の蛍光を取り除くことが出来るが、励起光は照射されるため 3 次元計測を行う際に励起光による試料へのダメージが大きくなってしまふ。また、基本的に点計測であるため走査が必要である。対してライトシート顕微鏡法では、照明としてシート光を焦点面にのみ照射することでノイズと試料へのダメージを少なく撮影することができ、さらに面計測ができるために高速化に適している。心臓の拍動などより高速な対象の計測や、顕微鏡画像を利用したフィードバック制御を考えると、高速な計測レートが重要となる。一方、既存のライトシート顕微鏡による 3 次元計測では、観察対象を移動させる手法が用いられている。しかし、観察対象の移動に用いられるステージの動作が遅いため、高速な 3 次元計測は困難であった。液体レンズを利用する手法も提案されているが、それでも計測周波数は 30 volume/s 程度となっている。

そこで、TAG レンズを用いて焦点距離を振動させ、撮像位置を露光タイミングで選択する計測手法と、ライトシートの位置をガルバノミラーで高速に振動させる機構を組み合わせ、100 volume/s の計測周波数で蛍光物質の三次元分布を計測可能な高速ライトシート顕微鏡を開発した。この系において、露光タイミングの選択には、任意のタイミングで露光を行うことができるイメージンシファイアユニット (I.I.) を利用した。I.I. は、微弱な光を数倍から数千倍に映像増強可能なイメージデバイスであり、内部電極の電位を変化させることでゲート動作を行い露光時間を制御することができる。また、ゲート動作は外部からの入力信号で制御可能で、TAG レンズと同期して特定のタイミングで数百ナノ秒程度露光することで特定の焦点距離における画像を撮像することができる機器である。

本研究で提案するライトシート顕微鏡の構成図を図 3 上段に示す。提案するライトシート顕微鏡は、検出系の合焦位置を TAG レンズを利用して高速に走査すると同時に、ライトシート位置も

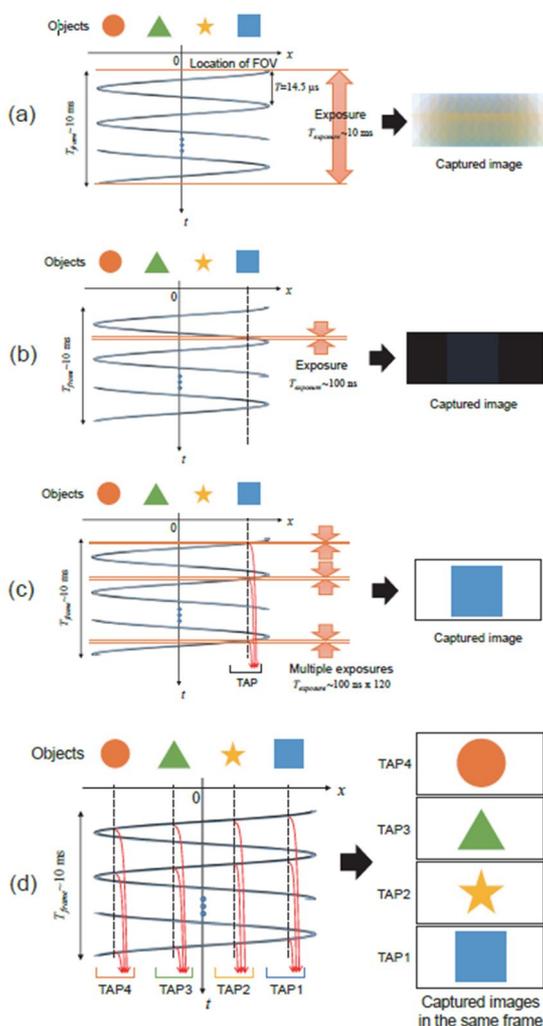


図 2 露光タイミング制御による視線方向選択

ガルバノミラーで走査する構造をもつ .本研究では固有振動数が約 69kHz の TAG レンズを利用した .ガルバノミラーは TAG レンズより低速のため ,TAG レンズの振動に同期してライトシート位置を制御することはできない .しかし ,I.I. に取り付けられたカメラが撮影しようとしている合焦位置は ,1 フレームの間同じ位置である .そこで ,カメラが撮影しようとしている合焦位置にあわせてライトシート位置をフレーム毎に制御することとした .カメラとしては 1000fps で画像を取得し ,低遅延でホスト PC のメモリにその情報を転送できるものを利用した .また ,以上の構成に従って実際に試作顕微鏡システムを構築した .図 3 中段に写真を示す .1000fps のカメラを利用し ,1ms ごとにシート光の奥行位置を変更しながらその位置にフォーカスを合わせた画像の撮影に成功しており ,例えば 10 スライスで一立体像を構成すれば 100volume/s の体積計測レートが実現できる .

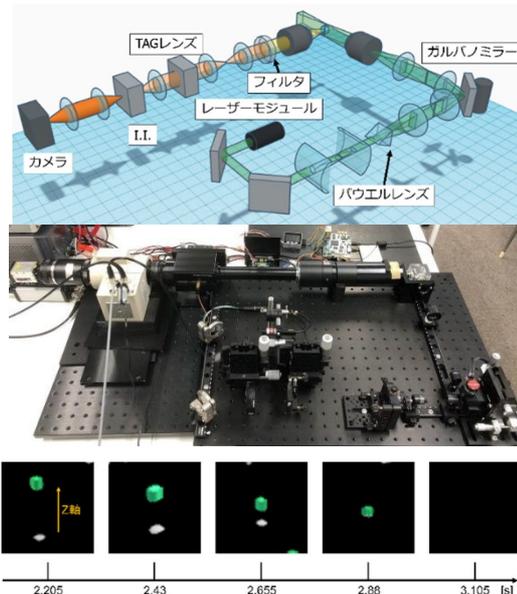


図 3 100volume/s 高速ライトシート顕微鏡

また ,遊泳する藻類であるクラミドモナスの自家蛍光を利用してその遊泳を計測した .図 3 下段に一個体が奥行方向に遊泳していく様子を示す .このときは ,9 枚の計測を一単位として ,これから体積情報を再構成しており ,体積計測レートは約 111volume/s であった .

### (2) 視線方向ランダムアクセスビジョン (一方向)

研究の方法で述べたように ,共振型のミラーと露光制御を組み合わせることでフレーム毎に任意の視線方向に選択が可能となる .この原理に基づく視線方向ランダムアクセスビジョンを提案し ,また試作システムからその有効性を実証した .

試作システムの接続を図 4 上段に示す .このシステムは主に ,マルチタップロックインピクセル撮像素子カメラシステム、XY ガルバノミラースキャナ、瞳伝送系から主に構成される .撮影対象としては ,特定のパターンが印刷された紙を採用した .この紙を円筒形に丸め ,図 4 中段のようにモーターに取り付け一定速度で回転させるようにした .まず ,露光タイミングによって視線方向が制御できることを確認するための実験を行った .4 か所の視野に対応する位置を設定し ,それに対応した画像を計測した結果から ,露光タイミング変更による視線方向選択が可能であることを実証した .

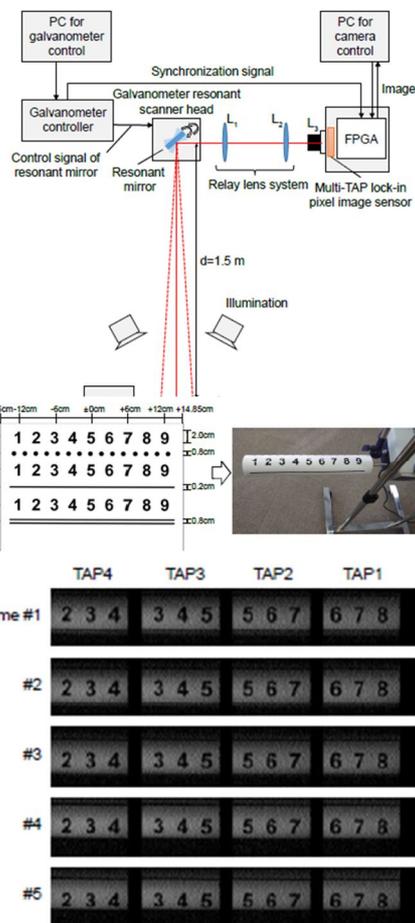


図 4 ランダムアクセスビジョン (一方向)

また ,4 つの蓄積部 (TAP) を利用することで 4 つの異なる視線方向を同時に観測できることも実証した .図 4 下段に 4 方向の画像を準同時に計測した画像系列を示す .TAP1 から TAP4 は 4 つの蓄積部を意味しており ,それぞれ異なる数字が中心に見える ,つまり異なる方向の画像を計測している .フレーム番号(Frame #)は時系列のフレームの番号を示しており ,対象が回転しているため ,番号が進むほど画像内の数字が回転によって下に移動していることがわかる .また同じフレーム内では数字の高さは同じであり ,同じタイミングで撮像できていることもわかる .

### (3) 視線方向ランダムアクセスビジョン (二方向)

二つの異なる方向に対応するミラーを利用することで ,二方向についても視線方向の選択ができる視線方向ランダムアクセスビジョンの提案と実証をおこなった .本システムは ,主にガルバノ-レゾナントスキャナと瞳伝送系 ,ロックインピクセルイメージセンサ ,ファンクションジェネレータで構成される .視線方向の移動には ,XY 走査ミラーとして Galvo-Resonant Scanner を用いる .このスキャナは ,X 方向を走査するための共振周波数 12kHz のレゾナントミラーと ,Y 方向を走査するための位置制御可能なガルバノミラーで構成されており ,最大φ5mm までのピー

ムに対応している．今回の実験では，使用するガルバノ-レゾナントスキャナの制約より，レゾナントミラーは共振周波数 12kHz の正弦波，ガルバノミラーは約 1kHz の正弦波で振動させた．これにより視線方向は二次元的なリサージュ曲線を描く軌跡をとり，この中での撮像タイミングを選択することで二次元的な視線方向の制御を行った．撮影対象は一次元の時と同様に円筒上に数字が印刷されたものとした．

撮影結果を図 5 に示す．図から，X 方向の視線方向の変化に加え，Y 方向の視線方向が変化していることがわかる．TAP1 から TAP4 の画像を見ると，撮影対象が画像の上部から下部に，つまり Y 方向の視野方向が負方向から正方向にかけて移動しており，これはこの時の実験条件に合致した．また，視線の移動量の定量的な評価からも概ね想定通りの視線方向で画像が撮影できたことが確認できた．

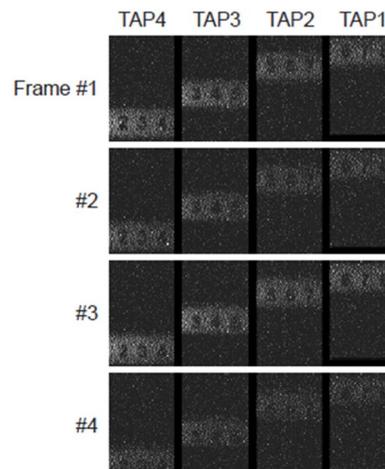


図 5 二方向への視線制御結果

### (3) 視線方向ランダムアクセスビジョンによるビジュアルトラッキング

ランダムアクセスビジョンを利用することで機械的な応答時間に依存しないビジュアルトラッキングが可能となる．そこで，ランダムアクセスビジョンのためのビジュアルトラッキング手法を開発・実証した．

提案手法では，撮像した画像をホスト PC でリアルタイムに画像処理を行い，その結果に基づいて撮像タイミングを動的に変更することでトラッキングを可能にする．リアルタイムでフィードバックを行うために，事前に撮像タイミングを決めて撮像機器内の内部信号により視線方向を制御する従来手法とは異なり，撮像素子に対して外部から任意の制御信号を与える必要がある．これを実現するため，ホスト PC に Digital I/O (DIO) ボードを接続し，画像処理の結果に基づいたパラメータを撮像タイミング生成用の FPGA へ送出する．FPGA はこのパラメータをもとにバイナリの整数値で撮像タイミングをフィードバックすることで，撮像タイミングを動的に変更することを可能にしている．

実証実験ではビジュアルフィードバックとして明るい物体をトラッキングするアルゴリズムを用いて視線方向を動的に制御した．ロックインイメージセンサから取得した画像を二値化し，画像内の最も広く明るい領域を検出し，領域の重心を求める．ここで，対象物体を視線方向の中心に捉え続けるために，スクリーン座標における画像中央の座標と対象物の重心座標から，視線方向角度の増分を求めた．

以上の原理に基づいて，一方向について視線方向のビジュアルトラッキング実験を行った．撮影対象には表面が約 12 × 12 cm の白い発泡スチロールを使用し，画角の左端から右端へ動かしていき，これを視線方向の中心に捉え続けるようにした．また，トラッキングの結果により次フレームの視線方向がミラーの最大走査範囲を超える場合は，視線方向を現在の方向に固定し，撮影対象がミラーの走査範囲内に戻るまで待機するようにした．図 6 に実験結果の連続写真を示す．実験結果から，Frame1～21 および Frame71～90 においては，撮影対象が画角の左側もしくは右側で計測されていることから，レゾナントミラーの走査範囲外で，視線方向および露光タイミングが固定されていることがわかる．また，Frame31～61 においては，撮影対象を画角中央に捉え続けるように視線方向が変化していることから，レゾナントミラーの走査範囲内でトラッキングが行われ，露光タイミングが動的に制御されていることがわかる．以上より，トラッキングアルゴリズムにより動的な視線方向の選択が可能であることが確認できた．

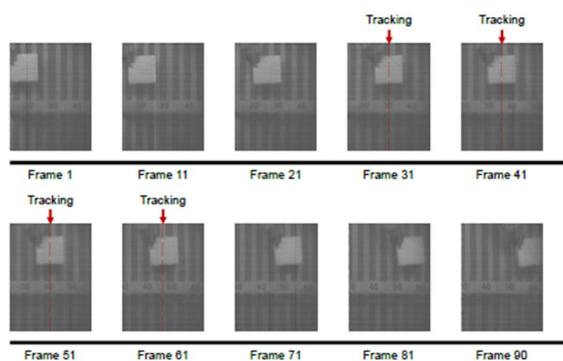


図 6 二方向への視線制御結果

[1] E. Mcleod and C. B. Arnold, "Acoustic Gradient Index of Refraction Lens," *Opt Lett*, vol. 33, no. 21, pp. 2146–2148, 2008, doi: 10.1364/OL.31.003155.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 5件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Kijima Hiromu, Gunma University 1-5-1 Tenjin-cho, Kiryu, Gunma 376-8515, Japan, Oku Hiromasa	4. 巻 34
2. 論文標題 Structured Light Field by Two Projectors Placed in Parallel for High-Speed and Precise 3D Feedback	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Robotics and Mechatronics	6. 最初と最後の頁 1096 ~ 1110
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/jrm.2022.p1096	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yamato Kazuki, Iuchi Masatoshi, Oku Hiromasa, School of Engineering, Utsunomiya University 7-1-4 Yoto, Utsunomiya, Tochigi 321-8585, Japan, Graduate School of Science and Technology, Gunma University 1-5-1 Tenjin-cho, Kiryu, Gunma 376-8515, Japan	4. 巻 34
2. 論文標題 High-Speed and Low-Latency 3D Fluorescence Imaging for Robotic Microscope	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Robotics and Mechatronics	6. 最初と最後の頁 1164 ~ 1174
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/jrm.2022.p1164	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Arai Kazuki, Oku Hiromasa	4. 巻 40
2. 論文標題 High Speed Light Sheet Microscope with Millisecond Control of Focus and Sheet Light	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the Robotics Society of Japan	6. 最初と最後の頁 733 ~ 736
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7210/jrsj.40.733	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 奥寛雅	4. 巻 33
2. 論文標題 AR応用に向けた1000volume/s高速体積表示型ディスプレイ	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 光アライアンス	6. 最初と最後の頁 45 ~ 50
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Iuchi Masatoshi, Hirohashi Yuito, Oku Hiromasa	4. 巻 1
2. 論文標題 Proposal for an aerial display using dynamic projection mapping on a distant flying screen	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proc. the 30th IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces	6. 最初と最後の頁 603 ~ 608
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/VR55154.2023.00075	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 奥寛雅, 山登一輝, 安富啓太, 川人祥二	4. 巻 69
2. 論文標題 ピントが異なる複数の画像を同時に撮影できるカメラ技術,	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 JETI	6. 最初と最後の頁 80-83
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Mitobe Masumi, Kamata Ren, Oku Hiromasa, Yasutomi Keita, Kawahito Shoji	4. 巻 32
2. 論文標題 Random access vision: an imaging method to observe arbitrary and multiple gaze directions in frame-by-frame manner	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 21708 ~ 21708
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.523537	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 OKU Hiromasa	4. 巻 89
2. 論文標題 Development of Lighting and Projection Technologies in Dynamic Image Control	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of the Japan Society for Precision Engineering	6. 最初と最後の頁 601 ~ 605
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2493/jjspe.89.601	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 奥寛雅, 廣橋惟冬	4. 巻 35
2. 論文標題 飛翔するスクリーンへの動的投影に基づく新たな空中ディスプレイ手法	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 画像ラボ	6. 最初と最後の頁 47-52
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Gu Yutong, Oku Hiromasa, Todoh Masahiro	4. 巻 24
2. 論文標題 American Sign Language Recognition and Translation Using Perception Neuron Wearable Inertial Motion Capture System	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 453 ~ 453
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/s24020453	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計36件 (うち招待講演 13件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 奥寛雅
2. 発表標題 モビリティ応用を目指したダイナミックイメージコントロール
3. 学会等名 一般財団法人光産業技術振興協会 2022年度 自動車・モビリティフォトニクス研究会 第5回討論会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hiromasa Oku, Masatoshi Iuchi
2. 発表標題 Aerial Displays Based on Dynamic Projection Mapping on Drones
3. 学会等名 The 29th International Display Workshops (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 奥寛雅
2. 発表標題 ダイナミックイメージコントロールで描くメタパース
3. 学会等名 第29回レーザーディスプレイ技術研究会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiromasa Oku
2. 発表標題 Dynamic Displays based on High-Speed Optical Components
3. 学会等名 The 22nd International Meeting on Information Display（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 奥寛雅
2. 発表標題 ダイナミックイメージコントロールの新展開
3. 学会等名 一般社団法人光産業技術振興協会主催 2022年度OITDAセミナー「サイバー・フィジカル社会の実現に向けた光技術」（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kazuki Arai, Hiromasa Oku
2. 発表標題 A 100 volume/s light-sheet microscope applied to 3D motion measurement of freely swimming cells
3. 学会等名 OPTICA Imaging and Applied Optics Congress 2022（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 新井好明, 奥寛雅
2. 発表標題 無限運動錯視を誘起する映像が運動する状況を提示する投影系の開発
3. 学会等名 第27回日本バーチャルリアリティ学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 井内将俊, 廣橋惟冬, 奥寛雅
2. 発表標題 遠方を飛翔するスクリーンへの動的プロジェクションマッピングによる空中ディスプレイの提案
3. 学会等名 第27回日本バーチャルリアリティ学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 荻原 弘幸, 船戸優希, 奥 寛雅
2. 発表標題 1面投影と2面投影のストレス緩和効果における唾液 アミラーゼ活性の比較検証
3. 学会等名 第27回日本バーチャルリアリティ学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松島完忠, 奥寛雅
2. 発表標題 複数焦点の同時撮像手法であるSimulfocus Imagingによる顕微鏡下三次元計測の基礎評価
3. 学会等名 第40回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 水戸部真澄, 奥寛雅, 安富 啓太, 川人 祥二
2. 発表標題 XY2軸のミラー振動によるランダムアクセスビジョンの視線方向の拡張手法
3. 学会等名 第40回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 平山大夢, 奥寛雅, 安富 啓太, 川人 祥二
2. 発表標題 撮像の明るさ向上のためのデコンボリューションに基づく視線方向ランダムアクセスビジョン手法の提案
3. 学会等名 第40回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鳥羽翔, 久保佑輝也, 深野悠吾, 奥寛雅
2. 発表標題 1000volume/s高速体積型ディスプレイの双眼化
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山崎祥吾, 奥寛雅
2. 発表標題 ボール上への動的な2色光線投影による卓球の演出手法
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 井内将俊, 樋口詩乃, 奥寛雅
2. 発表標題 レーザーディスプレイを用いた遠方の動的対象へのプロジェクションマッピング手法の基礎検討
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 深野悠吾, 鳥羽翔, 久保佑輝也, 奥寛雅
2. 発表標題 1000volume/s高速体積型ディスプレイにおける提示像と像提示位置の同時制御
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 新井和樹, 奥寛雅
2. 発表標題 100Volumes/sライトシート顕微鏡によるクラミドモナスの3次元運動計測
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Chanrathnak Borann, Hiromasa Oku
2. 発表標題 MobileGoturns: Light-weight Deep Regression Networks for High-speed Visual Feedback System
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鎌田 廉, 奥寛雅, 安富啓太, 川人祥二
2. 発表標題 共振型走査ミラーとマルチタップロックインピクセル撮像素子による視線方向並列ランダムアクセスビジョン
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 奥寛雅
2. 発表標題 高速光学デバイスによるダイナミックイメージコントロール
3. 学会等名 一般財団法人光産業技術振興協会 第461回光産業技術マンスリーセミナー（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiromasa Oku
2. 発表標題 Arbitrary and multiple focusing with resonant type liquid lens based on nanoseconds timing control
3. 学会等名 International Computational Imaging Conference (CSOE-CITA 2021)（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 奥寛雅
2. 発表標題 露光タイミング制御による任意フォーカス技術
3. 学会等名 日本工業技術振興協会 次世代画像入力ビジョンシステム部会定例会 第193回（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiromasa Oku
2. 発表標題 Arbitrary and multiple focusing based on TAG lens and nanoseconds timing control
3. 学会等名 OSK-OSA-OSJ Joint Symposia on Optics, Optics and Photonics Congress 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 奥寛雅
2. 発表標題 光学的視線制御機構の原理と応用 - 撮像光学系を改造するには -
3. 学会等名 日本ロボット学会主催 第134回 ロボット工学セミナー「ロボットのための画像処理技術」第1話(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 新井和樹, 奥寛雅
2. 発表標題 共振型液体レンズとガルバノスキャナの同期制御による100volumes/sライトシート顕微鏡
3. 学会等名 日本光学会年次学術講演会 Optics & Photonics Japan 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 深野 悠吾, 鳥羽 翔, 奥 寛雅
2. 発表標題 1000volumes/s高速体積型ディスプレイによる提示奥行位置と提示像のミリ秒同時制御
3. 学会等名 第 26回日本バーチャルリアリティ学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 新井和樹, 奥寛雅
2. 発表標題 フォーカスとシート光のミリ秒制御による高速ライトシート顕微鏡
3. 学会等名 第39回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山登一輝, 生方知弥, 奥寛雅
2. 発表標題 共振型可変焦点レンズと短時間露光カメラの同期制御による高速オートフォーカス顕微鏡の提案
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井内将俊, 山登一輝, 奥寛雅
2. 発表標題 TAGレンズとイメージンテンシファイアを用いた蛍光ビーズの高速三次元トラッキング
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuito Hirohashi and Hiromasa Oku
2. 発表標題 Aerial Display Method Using a Flying Screen with an IR Marker and Long Range Dynamic Projection Mapping
3. 学会等名 SIGGRAPH Asia 2023 Posters (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hiromasa Oku
2. 発表標題 Simultaneous imaging of arbitrary focus and gaze-direction based on nanoseconds exposure timing control (Keynote)
3. 学会等名 3rd International Conference on Computational Imaging (CITA2023) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hiromasa Oku
2. 発表標題 Aerial display based on high-speed visual servoing using dynamic optical components (Invited)
3. 学会等名 The 6th International Conference on Intelligent Robotics and Control Engineering (IRCE 2023) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hiromasa Oku
2. 発表標題 Aerial display technology based on dynamic projection mapping and flying screens (Invited Paper)
3. 学会等名 SPIE OPTICS+PHOTONICS, Industrial Optical Devices and Systems (ODS 2023) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 廣橋惟冬, 奥寛雅
2. 発表標題 動的投影による空中ディスプレイのためのマーカー付きスクリーン
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2023 (ROBOMECH2023)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 廣橋惟冬, 奥寛雅
2. 発表標題 ドローン動的投影に基づく空中ディスプレイの高精細化
3. 学会等名 第28回日本バーチャルリアリティ学会大会 (VRSJ2023)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 新井好明, 奥寛雅
2. 発表標題 無限運動錯視の重畳が物体の運動の近くに与える影響の評価
3. 学会等名 第28回一般社団法人情報処理学会シンポジウム インタラクシオン2024
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 奥寛雅, 他	4. 発行年 2021年
2. 出版社 株式会社技術情報協会	5. 総ページ数 576
3. 書名 VR / AR技術における感覚の提示、拡張技術と最新応用事例 (第2章, 第4節)	

1. 著者名 奥寛雅, 他	4. 発行年 2023年
2. 出版社 NTS	5. 総ページ数 916
3. 書名 DXデジタルトランスフォーメーション事例100選 (編著, 第11章, 第5節)	

〔産業財産権〕

〔その他〕

群馬大学奥研究室  
<https://www.okulab.org/>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------