

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：23201
 研究種目：基盤研究(C)（一般）
 研究期間：2021～2023
 課題番号：21K02777
 研究課題名（和文）重度視覚障害者が容易に利用可能な図形記述言語とそれを用いた作図支援システム開発

研究課題名（英文）Development of a graphic description language that can be easily used by the severely visually impaired and a drawing support system using it

研究代表者
 高木 昇（Takagi, Noboru）
 富山県立大学・工学部・教授

研究者番号：50236197
 交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：数学や物理学の教科書などに掲載される線図形を対象に、重度視覚障害者が独力で線図を描画できる支援システムの開発が目的である。作図した図は晴眼者が利用することを前提とし、精細に描画できることが条件である。本研究では重度視覚障害者が精細な線図形を描画するために、図形記述言語visionを開発した。visionは線分や円などの基本図形をオブジェクトとしてメモリで管理し、精細な線図形の描画を可能とする。また、描画した線図形を確認するために点図ディスプレイGraphitiのインタフェースを開発すると共に、visionコードの聴き取りによる線図形の理解についての可能性を検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義
 本研究の目的は、重度視覚障害者が独力で図を描画するための作図支援システムの開発である。また、晴眼の学生が使用することを前提とし、精細に描画できることを条件とするところが特徴的である。この目的を達成するために以下の三つの学術的な目標を設定した： 字句解析器及び構文解析器の開発； 図形記述言語（ドメイン固有言語）のコンパイラ開発； 作図支援システム開発とその評価。全盲などの重度視覚障害者が社会で健常者と同等に活躍するには未だ高い障壁が存在する。本研究課題は、重度視覚障害者が独力で高精細な線図形（視覚情報）の編集を支援する技術開発への挑戦であり、彼らの社会活動の場を広げる意味で社会的意義は高い。

研究成果の概要（英文）：The goal is to develop a support system that enables individuals with severe visual impairments to independently draw line diagrams, such as those found in mathematics and physics textbooks. The drawn diagrams are intended for use by sighted individuals and must be rendered with high precision. In this study, we developed the diagram description language "vision" to enable individuals with severe visual impairments to draw precise line diagrams. Vision manages basic shapes such as line segments and circles as objects in memory, allowing for the detailed rendering of line diagrams. Additionally, we developed an interface for the tactile graphics display Graphiti to verify the drawn line diagrams. We also explored the possibility of understanding line diagrams through auditory feedback of vision code.

研究分野：知能情報学

キーワード：福祉情報工学 障害者支援 アクセシビリティ ドメイン固有言語 学習支援 教育工学

1. 研究開始当初の背景

国連の「障害者の権利に関する条約」の締結に向けた国内法制度の整備の一環として、日本では平成 28 年 4 月 1 日から障害を理由とする差別の解消の推進に関する法律が施行された[1]。この法律は障害の有無による差別や社会的障害の除去を促し、障害者の社会的進出を推進することを目的としている。また、障害者の職業生活において自立することを促進するための措置を講じ、障害者の職業の安定を図ることを目的とした障害者雇用促進法により、事業主に対し常時雇用する従業員の一定割合以上の障害者を雇うことを義務付けている。障害者が社会的進出する際の障壁を低減化するための措置として、コミュニケーション支援や情報アクセシビリティの向上等の環境整備が必要とされている[2]。近年の情報技術の進歩とその活用によって、障害者支援を目的としたアプリケーションやデバイスが開発・提供されている(例えば、[3])。利用者は用途に合ったそれらを使用することで、日常生活や社会生活に必要な能力が補われることを期待する。視覚障害者の場合、スクリーンリーダーや OCR アプリケーションなどを用いることで、点字解読力が乏しい視覚障害者でも晴眼者の補助なしで言語情報へのアクセスが容易になった。しかし、図形やグラフなどの視覚情報へアクセスする手段は乏しい。視覚障害者が視覚情報を利用する場合には、未だに触図と呼ばれる台紙等の表面に凹凸を付けた図を用いる。逆に、視覚障害者が図を描画する場合でもレーズライターと呼ばれる特殊なセロファンをボールペンで筆記することで、筆跡が凸上に浮き上がる筆記用具を利用する。いずれにしても、重度視覚障害者が図を利用したり描画したりするための技術は未発達である。

2. 研究の目的

ある全盲の物理学教員は、授業の補助資料を自ら作成している。補助資料には図が必要であるが、晴眼者の補助なしに図の編集はできず独力での編集作業を希望している。視覚障害者が図やグラフなどを利用する際の障害を低減化する技術開発やシステム開発は多数研究されているが(例えば、[3])、視覚障害者が独力で図を描画するための研究開発は未だ十分でない。そこで、本研究では、数学や物理学の教科書等で使用される線図形を対象に、重度視覚障害者が独力で図を描画できる作図支援システムの開発を目的とする。編集した図は晴眼の学生が利用することを前提とし、精細に描画できることを条件とする。この目的を達成するために、まず視覚障害者が容易に利用可能なオブジェクト指向型の図形記述言語(ドメイン固有言語)を開発し、この言語と点図ディスプレイを用いた作図支援システムを開発する。システムのユーザビリティを実験的に評価し、有効性と今後の課題を明らかにする。

3. 研究の方法

研究方法は次の三項目に大別される： 図形記述言語 Vision の開発とその有効性評価； 点図ディスプレイ Graphiti を用いた作図支援システム開発とその評価； Vision コードの読解による描画内容理解の可能性検討
以下、上記項目別に説明する。

(1) 図形記述言語 Vision の開発とその有効性評価

図 1 に本研究で対象とする線図形の例を示す。重度視覚障害者が図 1 のような線図形を同程度に精細に描画するためには、図形を記述するためのドメイン固有言語(図形記述言語)が必要である。LaTeX の描画用パッケージ TikZ[4]は一つの手段ではあるが、TikZ は視覚障害者の利用を前提として設計されていない。そこで、本研究では、まず重度視覚障害者でも利用可能な図形記述言語 Vision を開発した。

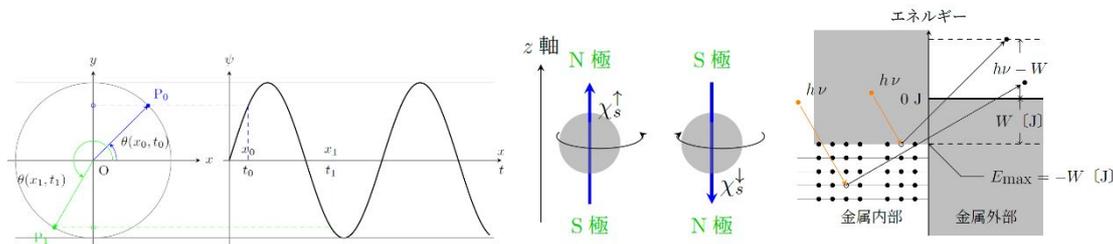


図 1 サンプル画像

Vision の字句解析器と構文解析器は ANTLR4 の字句解析器・構文解析器生成器を利用した。開発言語は Java で Eclipse の統合開発環境を用いた。Eclipse では ANTLR4 の開発を支援する Plugin が公開されている為である。Vision では、主にオブジェクト生成のためのコマンドと生成済オブジェクトの編集コマンドに大別される。また、生成済オブジェクトは識別子を介してアクセスでき、かつ各オブジェクトのプロパティへのアクセスやメソッドの実行が可能となっていることが特徴である。また、Vision のコンパイラでは、Vision コードを TikZ コードへ変換す

る．変換された TikZ コードは LaTeX 環境により PDF へ変換することを可能とした．

(2) Graphiti による作図支援システム開発とその評価

本研究で使用した点図ディスプレイは，ORBIT 社製の Graphiti であり，その外観を図 2 に示す．Graphiti の点図呈示面のサイズは約 240mm×160mm であり，縦 40 本，横 60 本の触知ピンがマトリックス状に配置されている．触知ピンの直径は約 2mm でピン間隔は約 2mm である．Graphiti は PC と USB，Bluetooth または HDMI のインタフェースで接続可能である．本研究では，USB で PC と Graphiti を接続した．PC の開発環境は次の通りである．

統合開発環境：Pycharm2022

開発言語：Python 3.10.7

使用ライブラリ：OpenCV 4.6.0 および pyserial 3.5 .

本課題では，二つの実験を実施した．一つ目は Graphiti が触図読解に及ぼす影響の調査実験である．Vision と Graphiti を連携した作図支援システムを試作したので，二つ目は全盲の被験者が独力で与えられた線図形を描画できるかの確認のための実験である．詳細は次の通りである．

Graphiti と触図読解の特徴

二つの実験を行った．実験 1 では，各種多角形の触読による図形理解の精度調査を行った．実験 2 では複数の多角形を重畳して呈示した触図の認識精度調査実験を実施した．各実験とも Graphiti による触図触察と立体コピーによる触図触察による比較実験を行った．

Graphiti を用いた作図支援システムの有効性検証

全盲の視覚障害者 1 名に対して二つの実験を行った．実験 1 では，三つの線図形を Vision と TikZ で作図してもらい，描画完了までの時間や修正回数を計測すると共に，最後に主観評価のためのインタビューを実施した．なお，描画結果は晴眼者が口頭で被験者に伝えた．実験 2 では，被験者は Graphiti で描画した図を確認する内容とし，完全に全盲の被験者一人で作図をして貰った．



図 2 Graphiti の外観

(3) Vision コードの読解による描画内容理解の可能性検討

近年の情報技術の進歩によって，視覚障害者がリアルタイムに言語情報へのアクセスが可能になったが，視覚情報へアクセスすることは未だ困難である．ここでは，視覚障害者が晴眼者の補助なしでリアルタイムに視覚情報へアクセスすることの可能性を検討する．具体的には，Vision コードの読解がどの程度図の理解を可能とするかの基礎的な調査実験を実施した．Graphiti のような点図ディスプレイの利用は，リアルタイムな図へのアクセスを可能にするという利点のある反面，デバイスが高価であることや可搬性に欠けることなどが欠点である．このような背景の下，より廉価で可搬性の高い支援技術の開発が必要との考えに基づく．

まず，晴眼者の書いた Vision コードを読み取り，図を理解できるかの事前実験を実施した．この結果，Vision コードの呈示のみで図の内容を把握できる可能性が示唆された．次に，入力された線図形を基本図形に分解し Vision コードを自動生成するシステムを試作した．本システムでは，基本図形の近さや重複の具合によりコードを自動生成する．これに対して，晴眼者の書いた Vision コードと比較してどの程度容易に自動生成された Vision コードを読解できるかの調査実験を行った．

4．研究成果

(1) 図形記述言語 Vision の開発とその有効性評価

Vision のサンプルコードとその出力結果を，それぞれ図 3 と図 4 に示す．Vision のユーザビリティ評価を行うことを目的に実験を行った．実験には，晴眼の被験者 3 名および全盲の被験者 1 名が参加した．課題となる線図形を 10 種類準備し，各線図形を Vision および TikZ で描画してもらい，その際の作図完了時間およびコンパイル回数を計測した．晴眼者の実験では，平均作図完了時間は Vision と TikZ がそれぞれ 1059 秒と 1021 秒，全盲の被験者では 1290 秒と 972 秒であった．t 検定を行ったところ，晴眼者の場合 $p=0.58$ で Vision と TikZ に有意差はなかったが，全盲の被験者では $p=0.001$ であり Vision と TikZ に有意差があった．これは，全盲の被験者は約 2 年の TikZ 利用経験があったので，慣れによる差と考えられる．

次に，被験者へのアンケート調査による評価を行った．アンケート項目は，システムのユーザビリティ評価のための汎用的な満足度評価指標 System Usability Scale (SUS) を用いた．質問項目や結果の詳細は紙面の都合で割愛するが，SUS の結果から作図難易度による満足度は Vision の方が高かった．これは，編集機能やオブジェクトのプロパティやメソッドなどの機能により，より直観的な作図が可能となり作図負担が軽減されているためと考えられる．しかし，SUS のスコアは被験者全員が標準値以下であり，ユーザビリティの視点から Vision の改善は必要である

と言える .

```
//斜面台
slope = line((0,0), (30:60))[thick=0.5];
height = line(slope.end_point, slope.start_point -| slope.end_point)[thick=0.5];
height.text("P", start_point, above);
height.text("O", end_point, below);
base = line(slope.start_point, height.end_point)[thick=0.5];
base.text("Q", start_point, left);
//角度
gradient = arc(slope.start_point, 0, slope.angle, 5);
gradient.text("30^\circ", get_point(15), right);
right_angle = rectangle(height.end_point, +(135:5));
ball = circle((0,0), 3)[fill=true, pattern=dots];
//物体
contact(slope, slope.get_point(0.7), ball, ball.get_point(0));
//寸法線
aux1 = line(height.start_point, +(0:5))[line_type=dashed];
aux2 = line(height.end_point, +(0:5))[line_type=dashed];
arrow1 = line(aux1.get_point(0.5), +(-90:10))[arrow_type = <-];
arrow2 = line(aux2.get_point(0.5), +(90:10))[arrow_type = <-];
//矢印
gravity = line(ball.center, +(-90:18))[arrow_type = ->, thick=1];
gravity.text("$m\vec{g}$", end_point, right);
```

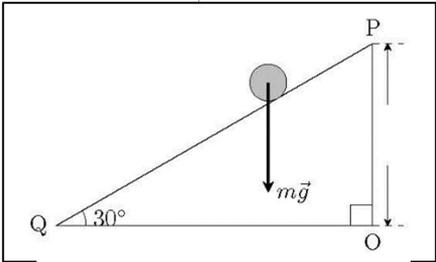


図4 図3のコードの出力結果

図3 Vision サンプルコード
“//” から始まる行はコメントである .

(2) Graphiti による作図支援システム開発とその評価

Graphiti による触図読解の特徴に関する実験結果

実験1と実験2の平均正答率および平均回答時間の結果を図5示す。各グラフにおける青色がGraphiti、赤色が立体コピーの結果である。いずれも立体コピーと比較してGraphitiの結果は良くない傾向にあることが分かった。Graphitiでは図の拡大縮小や移動といった操作が可能な反面、触図の解像度が低く、このことが触察の精度や時間に影響しているものと考えられる。

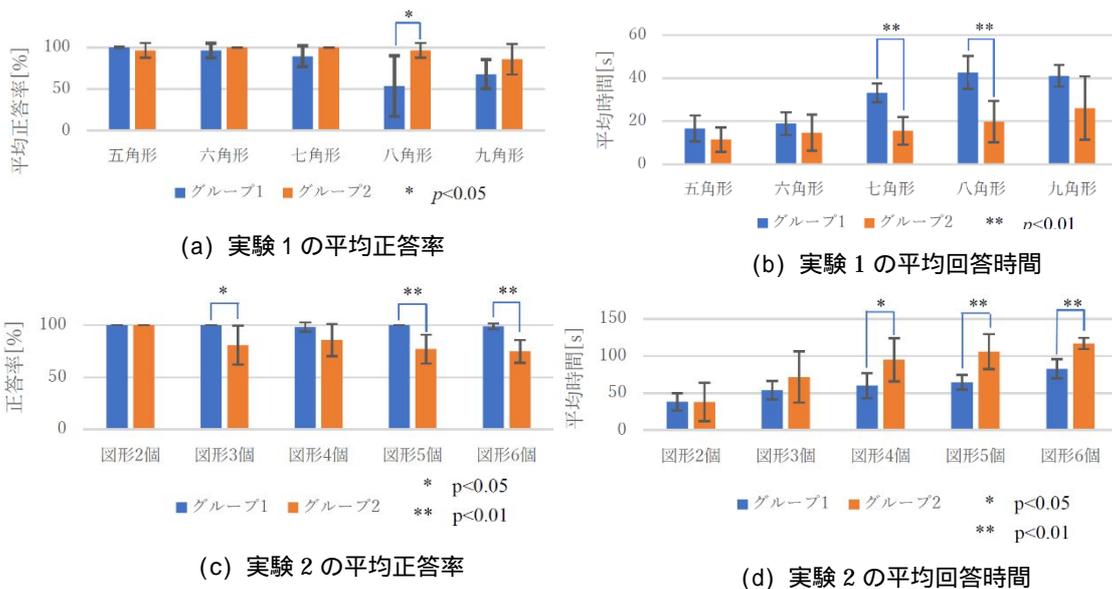


図5 実験1と実験2の結果

Graphiti を用いて試作した作図支援システム評価

被験者は一名で全盲の視覚障害者である。実験1では三つの線図形をVision及びTikZで描画してもらった。作図完了時間の平均は、Visionが379秒、TikZが253秒であった。また、平均コンパイル回数は、VisionとTikZ共に1.3回であった。実験2では全盲の被験者に独力で作図を行って貰った。図6(a)の立体コピーを被験者に提示し描画して貰った。結果を図6(b)に示す。また、図6(b)の線図形を完成させるために約21分の時間を要した。実験1では平均所要時間及び平均コンパイル回数ともにVisionよりTikZの方が良い結果であった。これは、この被験者はTikZの経験がVisionのそれより非常に長く、慣れが影響したものと考えられる。(TikZの

経験は約2年間、Visionは事前学習の約5時間であった)また、実験2の終了後のインタビューでは、試作した作図支援システムを用いれば全盲の障害者でも一人で作図ができる可能性のあるという意見を得た。このことは、Graphitiの呈示する点図では、その解像度の低さから触図を精細に表現できない。しかし、Visionの特徴から図の細部はコードで確認できるため、Graphitiでは図の大雑把な確認で十分であるという、作図支援システムの特徴による。

(3) Visionコードの読解による描画内容理解の可能性検討

ここでは、事前実験と本実験の二つに分かれる。事前実験では、線図形をVisionで呈示したときに、線図形を理解できるかの確認をした。与えられた線図形からVisionコードを自動生成するアルゴリズムを検討した。本実験では、自動生成したVisionコードの可読性の検証を行った。

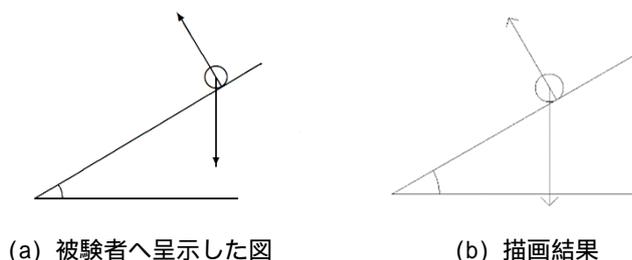


図6 作図支援システム評価で用いた線図形

事前実験では、晴眼の被験者2名と全盲の被験者1名、合計3名の被験者の協力を得た。晴眼の被験者には16種類の線図形を、全盲の被験者には3種類の線図形を課題に実験を行った。被験者には、これらの線図形をVisionの経験の深い晴眼者が編集したVisionコードを呈示し、線図形の内容を回答して貰う課題を与えた。その結果、晴眼の被験者は平均324秒で線図形を理解できた。全盲の被験者は平均485秒であった。この結果、与えられる線図形の複雑性に依存するものの、Visionコードの読解は線図形を理解に寄与することが示唆された。

次に、線図形を入力として、そのVisionコードを自動生成するアルゴリズムを提案し、そのアルゴリズムをPythonで実現した。晴眼の被験者は、図7に示す5種類の課題図に対するシステムが出力したVisionコードの順番と、他の被験者が自身で描く順番を与え人が描いたように感じるか評価した。全盲の被験者はシステムが出力したコードを読み、図を読解する課題とした。全盲の被験者はPCのナレーター機能を用いてコードを聴き、図を理解できたと思った時点で終了とした。この時、課題実施時間を測定した。実験終了後、インタビューを実施した。アンケートとインタビューの内容は事前実験と同じで全盲の被験者のみ対象とした。

全盲の被験者はレーザーライターでメモしながら、実験を行っていた。結果として、2つのコード以外は図を理解できた。平均課題実施時間は455秒であった。インタビュー結果として、コードの並び順は分かりやすいものが多かったという意見があった。一方、意味解析を行い、座標表示やオブジェクト名の工夫、コメントの追加などのコード表示内容の改善が必要であるという意見があった。

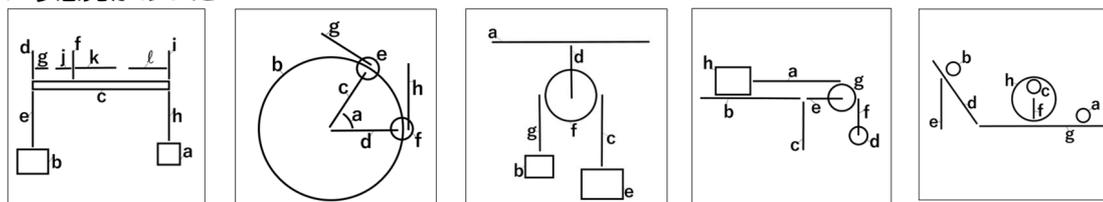


図7 課題の線図形

今後の課題

本研究課題では、重度視覚障害者でも利用可能な図形記述言語Visionを開発し、Visionを軸に重度視覚障害者でも独力で線図形の編集を可能とする作図支援システムを提案した。有効性の評価を実験的に検証したが、いずれも試作したVisionや作図支援システムでは独力での図形編集の可能性は示唆されたものの、社会実装には多くの課題のあることが判明した。今後は、顕在化した課題の解決に取り組む予定である。

参考文献

- [1] 内閣府, 障害を理由とする差別の解消の推進, <https://www8.cao.go.jp/shougai/suishin/sabekai.html> (2024年6月10日 閲覧)
- [2] 渡辺 他, “視覚障害者のための点訳・音訳サービス利用状況調査”, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 20, No. 1, pp. 13-20, 2018
- [3] C. M. Baker et al., “Tactile Graphics with a Voice,” ACM Transactions on Accessible Computing, Vol. 8, Issue 1, pp. 1-22, 2016
- [4] TikZ, <https://tikz.dev/> (2024年6月11日 閲覧)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計11件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Hiroyuki Masuta, Noboru Takagi, Kei Sawai, Hiroto Nakanishi, and Tatsuo Motoyoshi
2. 発表標題 Development of a New Graphic Description Language for Line Drawings -- Assuming the Use of the Visually Impaired --
3. 学会等名 International Conference on Machine Learning and Cybernetics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shodai Ito, Noboru Takagi, Sei Sawai, Hiroto Nakanishi, and Tatsuo Motoyoshi
2. 発表標題 Fast Semantic Segmentation for Vectorization of Line Drawings Based on Deep Neural Networks
3. 学会等名 International Conference on Machine Learning and Cybernetics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大館直哉, 高木昇, 澤井圭, 本吉達郎, 増田寛之
2. 発表標題 正確な作図が可能な重度視覚障がい者向けオブジェクト指向図形記述言語の開発
3. 学会等名 日本知能情報ファジィ学会 第38回ファジィシステムシンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Naoya Odachi, Noboru Takagi, Kei Sawai, Tatsuo Motoyoshi, and Hiroto Nakanishi
2. 発表標題 Development of an Object-oriented Graphic Description Language to Assist Visually Impaired People to Draw Easily Line Figures
3. 学会等名 Joint 12th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 23rd International Symposium on Advanced Intelligent Systems (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高木昇
2. 発表標題 重度視覚障害者が利用可能なベクタグラフィックスの開発
3. 学会等名 第35回バイオメディカル・ファジィ・システム学会年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大館直哉, 高木昇
2. 発表標題 重度視覚障がい者が利用可能な図形記述言語とその有効性評価
3. 学会等名 日本学術振興会 令和4年度科学研究費補助金等による研究集会「情報アクセシビリティをめぐる諸問題に関する研究集会」
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大嶋健悟, 高木昇, 澤井圭, 増田寛之, 本吉達郎
2. 発表標題 深層学習を用いた数学グラフ画像のベクタ画像変換法
3. 学会等名 日本知能情報ファジィ学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大嶋健悟, 高木昇, 澤井圭, 増田寛之, 本吉達郎
2. 発表標題 畳み込みニューラルネットワークを用いた衣服画像の特徴抽出及び印象分類手法
3. 学会等名 電気学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大館直哉, 高木昇, 澤井圭, 本吉達郎, 増田寛之
2. 発表標題 ORB特徴量と二分決定木を用いた高速画像検索システムの改善
3. 学会等名 電気・情報関係北陸支部連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊藤聖大, 高木昇, 澤井圭, 増田寛之, 本吉達郎
2. 発表標題 深層学習を用いた衣服画像の印象抽出法の検討
3. 学会等名 日本知能情報ファジィ学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中西大斗, 高木昇, 澤井圭, 本吉達郎, 増田寛之
2. 発表標題 視覚障がい者の作図支援を目的としたオブジェクト指向言語の開発
3. 学会等名 日本知能情報ファジィ学会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

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

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
---------	---------