

令和 5 年 6 月 26 日現在

機関番号：37112

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K03240

研究課題名(和文) 晴眼盲弱を区別しない初等プログラミング環境のドローンへの拡張

研究課題名(英文) Study on Programmable Drone for both Visually Impaired and Sighted Children

研究代表者

木室 義彦 (Kimuro, Yoshihiko)

福岡工業大学・情報工学部・教授

研究者番号：30205009

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)：晴眼盲弱を区別せず、ドローンをプログラミング可能にする教材の構成要件を実証的に明らかにした。2つのジョイスティックをもつドローン送信機に電話と同じ配置の10キーパッドを接続し、左右ジョイスティックの前後左右の移動命令と上下・左右旋回命令をキーパッドの[5]キーと[8]キーを中心に十字に配置し、ドローンの移動、ジョイスティック操作およびドローンのコマンド配置が学習者の身体性と一致するインタプリタ型言語を設計し、その有効性を視覚障害のある児童を対象とした実験授業で確認した。また、視覚情報なしでドローンの飛行状態を把握するため、命令と一致した音階を提示するユーザインタフェースの設計と実装も行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

初学者に適したプログラミング言語がブロックプログラミング言語だけではないこと、視覚障害のある児童も利用可能なプログラミング環境を実証的に示した点、および学習者の身体性と一致させることで、プログラミング言語の命令数が増えても、容易に習得できることを示した点は、学術的な意味があると思われる。また、小学校でのプログラミング教育が必修化される中、また、新たな移動体としてドローンが脚光を浴びる中、視覚障害のある児童生徒が晴眼児童生徒と同等かつ一緒に学ぶことができるプログラミング環境を構築でき、インクルーシブな社会実現につながる点で社会的な意義がある。

研究成果の概要(英文)：We studied a drone programming environment for both visually impaired and sighted elementary school students. Conventional drone controllers have two joysticks and send two types of motion commands: planar motion and rotational/vertical motion. In our system, a numeric keypad is connected to this controller, and these two types of commands are arranged in a cross pattern on the keypad respectively. Moreover, the controller can sound a musical scale corresponding to the eight commands. Through the experimental class, we confirmed that these features allowed visually impaired students to operate and program the drone.

研究分野：知能ロボティクス

キーワード：視覚障害 プログラミング ドローン

## 1. 研究開始当初の背景

情報社会の進展に伴い、初等中等教育においてプログラミング教育の必要性が唱えられ、研究と実践が広く行われている[1]。このプログラミング教育は、大まかに、(1) 簡易なプログラミング言語を習得し、グラフィクスなどを出力としてプログラムの概念を学ぶ(プログラミング言語の習得)、(2) ロボットや動きのある機器を用い、動きの制御を目的として、アルゴリズムやプログラムの概念を学習(制御とプログラム)、(3) コンピュータを使わずにグループゲーム等によりアルゴリズムの概念を学ぶ(アンプラグド)の3種類が行われている。また、日本を含む諸外国での初等中等教育でのプログラミング教育の実態調査では、このプログラミング教育は、複数の科目に渡って学習されるべきものと報告している[2]。

このような背景から、2018年の文科省によるプログラミング教育ポータルサイトの公開や2020年からの小学校プログラミングの必修化が始められた。現在、小中学生を取り巻く情報機器や情報社会が大きく変わりつつある中、より低学齢でのプログラミング教育の実現が求められている。しかし、上で述べたコンピュータを用いたプログラミング教育の多くは、小学校高学年対象であり、また、視覚障害のある児童生徒向けの教材は少なく、その課題や教材設計についての研究は、未だ多くはない。

## 2. 研究の目的

初等教育における早期プログラミング教育において、学習者の身体性と一致する移動ロボットは、プログラミング対象として効果的とされる。しかし、近年注目されているドローン(飛行体)の場合、3次元空間内の移動を遠隔から観察しなければならず、また、これを学習するにはビジュアルプログラミング言語や飛行シミュレータが用いられており、視覚障害のある児童生徒には利用することができないという課題があった。これに対し本研究では、晴眼盲弱を区別せず、身体性に基づいてドローンをプログラミング可能にする教材の構成要件を実証的に明らかにすることを目的とした。システム開発と実験授業を通じて、単なるプログラミング言語の習得ではなく、逐次処理、繰り返し処理、条件判断というプログラムの3要素を学齢や障害の有無に関係なく学ぶことができる情報技術教育を目指した(図1)。

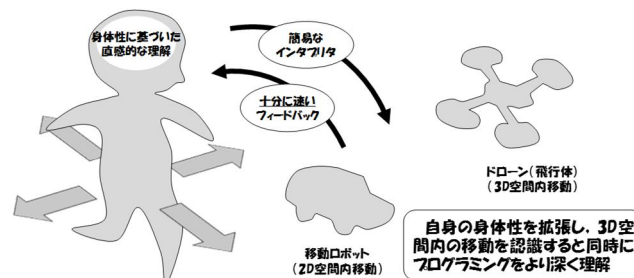


図1 身体性を利用するプログラミング学習環境

## 3. 研究の方法

PCを用いず10個の数字キーのみでドローンをプログラミング可能とする晴眼盲弱を区別しない簡易プログラミング言語(インタプリタ)を新たに設計する。ただし、これまでのプログラミング対象の移動ロボットが平面内の位置姿勢の3自由度(制御命令としては2自由度)を持つのに対し、通常のドローンは、空間内位置3自由度および姿勢1自由度を持つ(図2)。このため、1自由度に正負の命令(前進と後退等)を付与すると、命令数は、4個から8個へ倍増し、さらに制御命令も加わる。10キーのみの利用および視覚情報を用いないという制約故にプログラミング教育の課題はより顕在化する。さらに、プログラミング教育のシナリオ(シラバス)を短時間(1コマ45分程度)とすることで、実証実験や学校現場への導入時の課題も顕在化する。これらの課題をドローン用プログラミング言語の開発と実証実験を通して明らかにし、初等中等教育でのプログラミング教育導入の課題解決と開発した教材の効果を検証することとした。

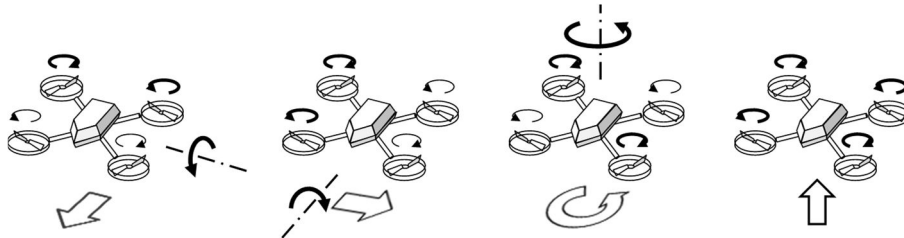


図2 ドローンの移動4自由度

#### 4. 研究成果

##### 4.1 ドローンプログラミング言語仕様と実装

###### (1) 10 キープログラミングドローンの命令セットと入力方法

設計したドローンの命令セットおよびキー配置を図3と表1に示す[3].ドローンの移動4自由度は,[5]キーを中心とする上下左右に前後・左右移動,[8]キーを中心に上昇下降・左右旋回の基本命令が配置されている(図3左).この配置は,ドローン送信機の左右ジョイスティックの国際標準と一致しているだけでなく,ドローンの動きとジョイスティックの操作,および操作者の身体性とも一致している.また,制御命令のFORとNEXTは残りの2つのキーに配置している.なお,この配置には制御命令のIFとENDIFの設定はないが,IFとENDIFを使用する場合は,[7]と[9]キーにある左右旋回命令と入れ替えることができる.

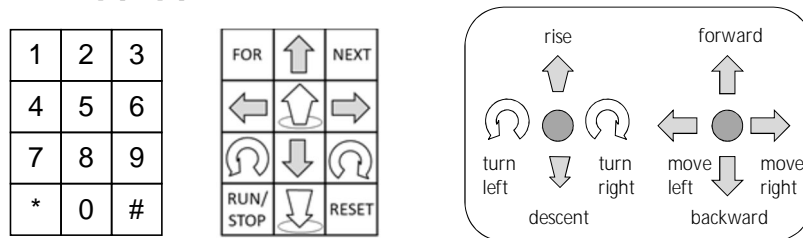


図3 10 キーパッドとドローン命令の配置

基本命令では,1から9の1桁の数字で移動や回転の動作時間を指定できる. [基本命令] + [0] の場合は,停止ではなく,続いて入力される命令との複合命令(ベクトルの和)となる.例えば,[前進] + [0] + [右進] + [5] の場合,右斜め前45度方向に5単位時間動作することになる.

制御命令の繰り返し処理では,FORとNEXTに囲まれたブロックをFORに続く数字1桁の回数だけ繰り返す.0を指定すると無限回となる.なお,ここでは,FOR文を英文コマンドのように説明したが,日本語でも他言語でも自由に決めてよい.上で述べたようにそれぞれ数字ボタン1個に対応しているだけだからである.

表1 ドローンプログラミングの命令セット

Cmd	Param	Description
FW	d	move forward (0: successive)
BK	d	move backward (0: successive)
LF	d	move left (0: successive)
RT	d	move right (0: successive)
UP	d	up (0: takeoff)
DW	d	down (0: landing)
LR	d	CCW rotation (0: successive)
RR	d	CW rotation (0: successive)
FOR	d	loop block (d times, 0:inf.)
NEXT	-	end of loop

###### (2) 実装

開発対象のドローンは,Arduino互換の送信機が付属するCoDrone Pro (ROBOLINK)とし

た(図4). CoDrone は, プロペラを4つ持つクアドコプタであり, 加速度, ジャイロ, オプティカルフローセンサを搭載し, ドローンと送信機間は, Bluetooth で通信される. 送信機のマイコンボードにはアナログ入力端子が5つあり, その内4つがジョイスティックに割り当てられている. この残り1つに抵抗分圧式の10キーパッドを接続した. ドローン制御用インタプリタは Arduino IDE で開発した. 10キーパッドから入力された数字のプログラム列は, メモりに記録され, 実行ボタンにより, 逐次, 解釈実行される.

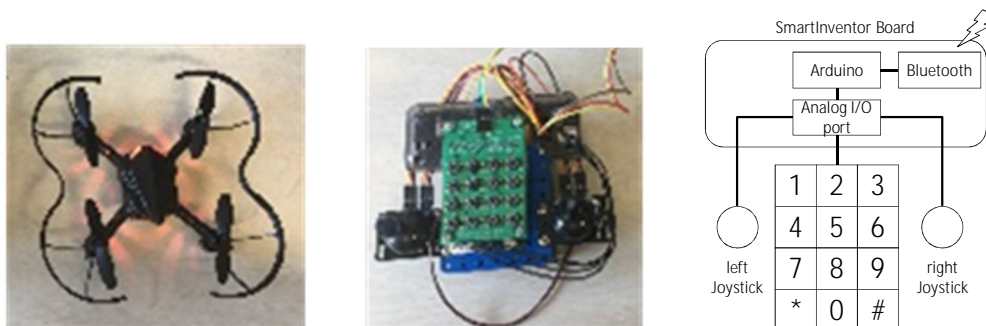


図4 ドローン本体 (CoDrone)と10キーパッドを設置した Arduino 送信機

## 4.2 実証実験

### (1) 視覚障害児による教材利用

視覚障害のある児童に対し, 開発した教材を用いた実験授業を行った(図5)[3]. 参加者は, 小1から小6の6名, 内, 全盲3名, 弱視3名であった. 60分の授業では, 先ず, 各参加者に1台ずつプログラミングロボットを配布し, 10キープログラミングを体験してもらった後, 各参加者にドローンを配布し, 手動操縦とプログラミング操縦を体験してもらった. 命令数が倍増し, かつドローンの飛行状態は触らず音と風圧のみで観察するという困難さの中でも, 参加者はドローン実験に興味を持って取り組んでいた. アンケート調査(はい:3, いいえ:1の3件法)でも, ドローンの操作は面白かった?:2.8, ドローンの操作は簡単?:1.3であり, 簡単ではないけれど面白いと思えることを確認した. ただし, 教室内で複数のドローンを飛行させたことから, 音がたくさんあって分かりにくかった, 手動操縦よりもプログラミング制御の方が動きが分かりやすかったとの意見もあった.



図5 ドローンプログラミング教室風景(盲学校から掲載の許可を得ています)

### (2) 晴眼者による改良 I/F の検証

プログラムされたドローンの動きは, 聴覚のみでもプロペラ音によりある程度知ることができる. しかし, 位置が変化しない左右旋回や外乱によりドローンが流される場合, 視覚なしではその判別は難しい. これに対し, 個々の命令を実行する前に送信機から音階でドローンの動きを伝えれば, その予測の補助となると考えた. 具体的には, ドローンの8つの基本命令にド(C4)~ド(C5)の8音階を付与し, 提示する方法を実装した(図6)[4].

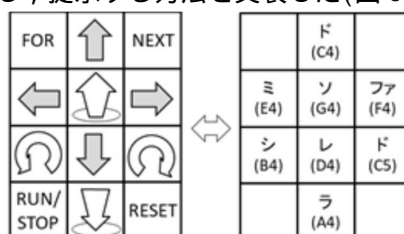
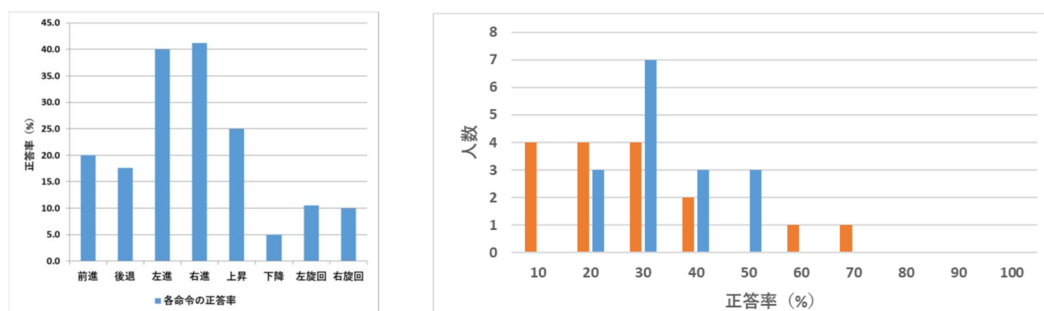


図6 ドローン命令と音階配置

視覚障害児がドローンの動作を聴覚のみで確認可能か検証することを目的とし、その予備実験として、晴眼学生 16 名を対象に、目隠しをした状態でプロペラ音と提示音階からドローンの動作確認が行えるか実験した。実験は、(a)プロペラ音による音源定位と(b)音階を併用した音源定位である。実験(a)では、ドローンの動作 8 パターンの中で正答率に差が見られ(図 7 左)、左右方向の音源移動の角度分解能が最も高くその次に上下移動に敏感であることが示唆された。また、実験(a)と(b)の平均正答率はそれぞれ、20.1%、26.4%、標準偏差はそれぞれ、18.9、11.0 であり、プロペラ音と送信機音階の両方を聴くことで正答率が向上することが確認できた(図 7 右)。ただし、被験者によっては、プロペラ音のみの正答率が高い場合もあり、音感等の個人差があることが示唆された。



(a) プロペラ音のみによる音源定位 (b)プロペラ音のみ/プロペラ音+音階提示の正答率の変化  
図 7 プロペラ音と音階提示を併用した音源定位(N=16)

#### 4.3 新しいプログラミング環境の他マイコンボードへの拡張

ドローン本体や送信機には、さまざまなマイコンボードが用いられている。今回のドローン送信機は Arduino であったが、他のマイコンボードやロボット玩具も用いることを想定し、今回、世界中で用いられている micro:bit への 10 キープログラミング環境の移植も試みた。micro:bit は、英国 BBC が小学校高学年向けに開発したマイコンボードであり、出力用に LED やブザーを持つ他、加速度や磁気等の各種センサを標準搭載し、IoT 教材としても利用可能なものである。この micro:bit に 10 キーパッドを接続し、単体でプログラミング可能とした[5]。この他、四肢障害のある児童生徒の利用も想定し、利用するキーの少なさを生かしたキースキャン方式によるワンボタンでのプログラムの入力環境も実現した[6]。細かいボタン操作が難しい児童生徒でも同じロボット教材でコンピュータ教育を行える可能性があり、今後検証を行う予定である。

#### <引用文献>

- [1] 教育の情報化の推進 - 小学校プログラミング教育に関する研修教材 -, 文部科学省, [http://www.mext.go.jp/a\\_menu/shotou/zyouhou/detail/1375607.htm](http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/zyouhou/detail/1375607.htm) (2019/10/19 確認)
- [2] 諸外国におけるプログラミング教育に関する調査研究, (文部科学省平成 26 年度・情報教育指導力向上支援事業) 報告書, 2014.
- [3] "10 キープログラミング -晴眼盲弱を区別しないドローンプログラミング教材-", 木室義彦, 岩金雄輔, 家永貴史, 情報処理学会第 83 回全国大会, 2021.
- [4] "視覚障害のある児童生徒のための 10 キープログラミング ドローンのコード提示", 古里健一, 瀧内大史, 岩金雄輔, 木室義彦, 家永貴史, 電気・情報関係学会九州支部連合大会, 2022.
- [5] "晴眼盲弱を区別しない, PC を使わない micro:bit プログラミング環境の提案", 木室義彦, 古里健一, 家永貴史, 情報処理学会 情報教育シンポジウム SSS2021, Vol.2021, 2021.
- [6] "10 キープログラミング教材の拡張 走査入力方式による 1 ボタンプログラミング ", 家永貴史, 木室義彦, 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 SSI2021, 2021.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 木室義彦, 家永貴史	4. 巻 Vol.4, No.2
2. 論文標題 晴眼盲弱を区別しない利用性を備えた10キープログラミング教材の開発と実践	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌デジタルプラクティス	6. 最初と最後の頁 26-35
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計13件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Yoshihiko KIMURO, Taishi TAKIUCHI, Kenichi FURUSATO, Takafumi IENAGA
2. 発表標題 Proposal of “micro:bit PC” Powered by Numeric Key Programming for both Visually Impaired and Sighted Elementary School Students
3. 学会等名 The 18th International Conference on Computers Helping People with Special Needs ( ICCHP2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 木室義彦, 瀧内大史, 古里健一, 家永貴史
2. 発表標題 10キープログラミングロボットシステム micro:bit によるデータロガーの実現
3. 学会等名 日本教育工学会研究報告集, Vol.JSET2022, No.1, pp.64-69
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 木室義彦, 瀧内大史, 古里健一, 家永貴史
2. 発表標題 micro:bit PC 10キープログラミングによるデータロガーと無線通信
3. 学会等名 情報処理学会第85回全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 瀧内大史, 木室義彦, 古里健一, 家永貴史
2. 発表標題 プログラム入力ログを用いた小学生に対する2進数学習の試み
3. 学会等名 情報処理学会第85回全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 古里健一, 瀧内大史, 岩金雄輔, 木室義彦, 家永貴史
2. 発表標題 視覚障害のある児童生徒のための 10 キープログラミング ドローンのコード提示
3. 学会等名 第75回電気・情報関係学会九州支部連合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 瀧内大史, 古里健一, 木室義彦, 家永貴史
2. 発表標題 10キープログラミング -micro:bit ロボットカーのセンサの改良-
3. 学会等名 日本機械学会ロボット・メカトロニクス講演会ROBOMECH2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 木室義彦, 瀧内大史, 古里健一, 家永貴史
2. 発表標題 晴眼盲弱を区別しないmicro:bitロボットプログラミング環境-命令セットとセンサの改良-
3. 学会等名 27thロボティクスシンポジア
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 木室義彦, 古里健一, 家永貴史
2. 発表標題 晴眼盲弱を区別しない, PCを使わないmicro:bitプログラミング環境の提案
3. 学会等名 情報処理学会情報教育シンポジウム(SSS2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 家永貴史, 木室義彦
2. 発表標題 10キープログラミング教材の機能拡張とハードウェアの変更
3. 学会等名 第20回情報科学技術フォーラムFIT2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 古里健一, 木室義彦, 家永貴史
2. 発表標題 10キープログラミング -PCを使わない micro:bit プログラミング-
3. 学会等名 日本機械学会ロボット・メカトロニクス講演会ROBOMECH2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y.Kimuro, T.Ienaga and S.Okimoto
2. 発表標題 Numeric Key Programming: Programmable Robot Kit for both Visually Impaired and Sighted Elementary School Students
3. 学会等名 The 17th Int. Conf. on Computers Helping People with Special Needs (ICCHP2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 木室義彦, 岩金雄輔, 家永貴史
2. 発表標題 10キープログラミング -晴眼盲弱を区別しないドロンプログラミング教材-
3. 学会等名 情報処理学会第83回全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 家永貴史, 木室義彦
2. 発表標題 10キープログラミング教材の拡張 走査入力方式による1ボタンプログラミング
3. 学会等名 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会SSI2021
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
研究分担者	家永 貴史  (Ienaga Takafumi)  (00393439)	福岡工業大学・情報工学部・准教授    (37112)	

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