農業・防災サイバーフィジカルシステムを用いた新教育プログラムの創出

信州大学 学術研究院 工学系 小林一樹

1. はじめに

日本では，令和 6 年能登半島地震や台風など, 毎年甚大な災害が発生している. 災害の復旧作業時には重機を用いることが有効であるが，オペレータ不足が大きな課題となっている．建設産業の人材不足が指摘され[1]，施工の自動化に関する取り組み[2]も進めてられているが，経済的な観点から災害時のみに限定された備えを行うことは難しく，平常時と非常時との強い接続が重要である.

一方で，日本の農業に関しては少子高齢化が進み, 担い手や雇用人材, 農村を支える人材の不足が深刻化する中で，ロボット技術や AI, IoT 等の先端技術を活用したスマート農業の実現により，生産性の向上や労働力不足の解消の取り組みがある[3]．トラクタや田植機といった農業機械の自動化が進められているが，利用経費回収には多用途な農業機械の導入が重要である.

油圧ショベルをはじめとする建設機械が農業で使用される場合もがあるが，こちらも利用経費回収のために積極的な他作業利用が課題となり，技術習得の困難さもあり利用が進んでいない. 導入例として, 長野県におけるナガイモ収穫において，油圧ショベルと手作業を混合した収穫作業が挙げられる[1]．油圧ショベルは，アタッチメントを交換すれば，堆肥の切り替えしや重量物の積み込みなどの他作業へも利用可能である.

そこで本研究では，農業・防災・情報教育・地域デザインの実践により平常時においては農業の生産性を高め，非常時においては災害復旧の対応力を発揮する，持続可能なレジリエント地域社会を実現することを目的とし，小学生をはじめとする一般市民が簡単に使用できるようにビジュアルプログラミング環境を用いた重機制御を行う機能を開発して，それを利用した新しい教育プログラムを創出する.

2. 農防 CPS 構想

重機プログラミング環境を軸として，農業・防災サイバーフィジカルシステム（農防 CPS）を提案する. サイバーフィジカルシステム（CPS：Cyber-Physical System）とは，現実世界（フィジカル空間）とコンピュータの世界（サイバー空間）を密接に連携させ，より高度な機能やサービスを提供するシステムのことである. 本研究においては, 農業と防災に関してフィジカル空間とサイバー空間とを密接に連携させる．農業においても防災においても，フィジカル空間での作業が必須であり，ここに人々のほとんどの労力が割かれている. この問題に対し, サイバー空間の力を使ってフィジカル空間での

[1] JA 長野県 Web ページ: https://www.iijan.or.jp/chikusan/product22, Accessed: 2025-03-18

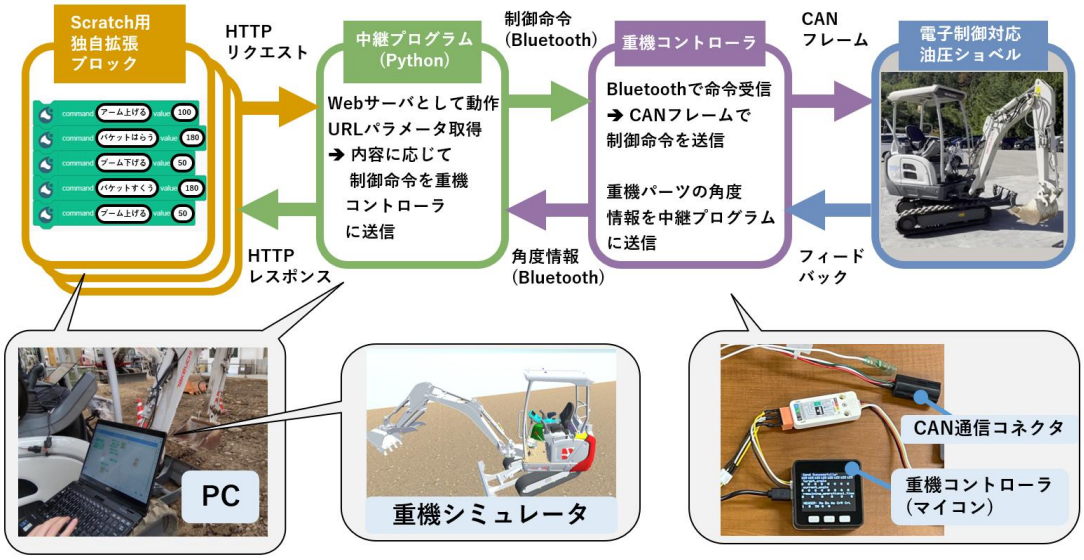

図 1 重機プログラミング環境の構成

負担を軽減するとともに，これまでの限界を突破することを目指す．

重機は人間の力では難しい掘削や資材搬入，搬出などの作業を高効率で実施できる装置であり，フィジカル空間に対して大きな影響力を持つ．多くの場合，人間のオペレータが重機を操作するが，学習が容易なビジュアルプログラミング環境を採用することで，小学生をはじめとする一般市民やプログラミング未経験者であっても重機制御ができるようにする．このようなプログラミングによる重機制御の体験を通して，体格や筋力，性別，年齢などに依存せずフィジカル空間としての地域社会に貢献できる能力を持つと認識する「自己抗力感」を実感できるようにする．

3. 重機プログラミング環境

専門知識や英語が習得できていない子供でもプログラムが作成できるビジュアルインタフェースを持ったプログラミング環境Scratch[4]を改変し，重機をプログラムから制御できるシステムを開発した．重機プログラミング環境は，図 1 に示すように，Scratch(独自拡張ブロック含む)，重機シミュレータ，中継プログラム，重機コントローラ，重機で構成されており，相互に情報がや

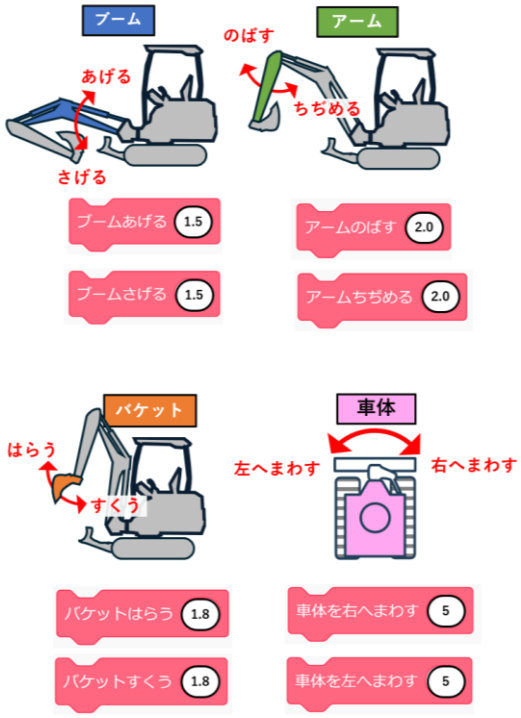

図 2 重機制御用独自拡張ブロック

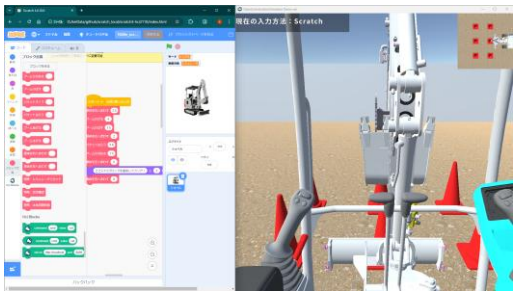

図 3 シミュレータ操作画面

図 4 電動油圧ショベル TB20e

りとりされる．

Scratch 実行環境と重機シミュレータは同一 PC 上で実行され，重機を制御するための独自拡張ブロックが実行されると，その時点の設定に応じて重機シミュレータ，または，重機コントローラに命令が送信される．制御先の切り替えは，Scratch 上から実施する．図 2 に独自拡張ブロックの一例を示す．ブロック名は重機の部位と動作の方向を意味している．各ブロックには実数を指定でき，この時間だけ指定部位を動作させることができる．

重機シミュレータは，Field Robotics Japan がゲームエンジン Unity を使用して開発した Open Construction Simulator (OCS)[2]をベースとした．OCS は重機による掘削や土砂運搬のシミュレーション環境を提供するオープンソースの建設シミュレータである．本研究では，OCS に新規重機モデルを追加し，HTTP 通信による重機制御と重機操作チュートリアルを実装した．図 3 に Scratch とシミュレータの操作画面を示す．

中継プログラムは，コマンド処理 PC 上で動作し，Scratch 独自拡張ブロックからの命令を受信し，重機コントローラに向けて Bluetooth を用いて駆動時間や動作速度などの指示値を送信する．

重機コントローラは油圧ショベルに取り付けて使用し，コマンド処理 PC から BluetoothSerial 通信で命令を受信して，重機に向けてCAN フレーム[5]を送出する役割がある．

操作対象の重機には，図 4 に示す(株)竹内製作所の電動油圧ショベル TB20e を採用した．TB20e は，CAN 信号でコントロール可能な電子制御の油圧回路が搭載されおり，CAN のフレームによってアームやバケットなどのアクチュエータを制御可能である．

4. 重機プログラミングイベントの実施

信州大学 工学部の学園祭（光芒祭）と，第 118 回長野えびす講煙火大会 東口公園花火祭 防災 DAY において，一般市民向けの重機プログラミングイベントを実施した．

---

[2] Field Robotics Japan. Open Construction Simulator. https://github.com/Field-Robotics-Japan/OpenConstructionSimulator, Accessed: 2025.03.18

(a) 学園祭で実施した様子
(2024 年 10 月 12 日)

(b) 防災イベントで実施した様子
(2024 年 11 月 23 日)

図 5 重機プログラミングイベントの様子

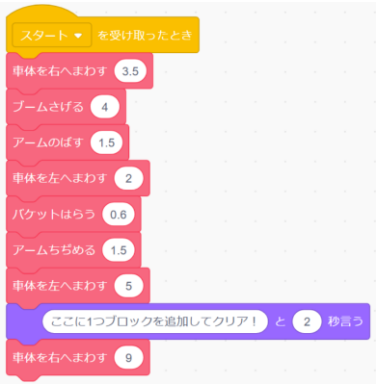

図 6 穴埋め式プログラミング課題

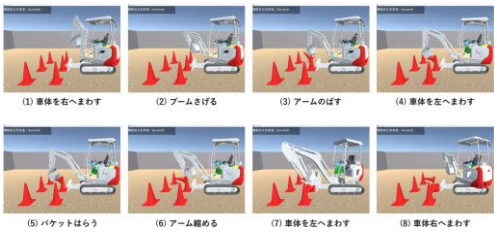

図 7 課題達成の様子

図 5 にイベント開催の様子を示す．学園祭では 62 名(平均年齢 21.4 歳)，防災イベントでは 37 名(平均年齢 13.0 歳)が参加した．

プログラミングイベントでは，一人当たり 15 分程度で課題が達成できるように，図 6 に示す穴埋め式のプログラミング課題を設定した．この課題の動作の様子をシミュレータで再生した様子を図 7 に示す．この課題では，矩形に並べられた 6 つのカラーコーンを重機操作により全て倒すことで課題達成となる．ブロックを指定の箇所に 1 つだけはめ込めば全てのブロックが倒れるようになっており，重機の部位や動作を確認しつつ，どの部位をどれだけ動かすのかを探索するプログラミング課題となっている．

参加者は，重機の部位の名称やゲームパッドによる操作の説明を受けたのち，プログラミング課題を与えられ，シミュレータにおいて試行錯誤して課題を達成するまで実施した．シミュレータで適切に動作できた場合に，制御先を実機に切り替え，実際の重機の動作を確認した．

表 1 に参加者によるアンケート結果を示す．アンケートの各設問は 0 から 10 までの 11 段階で回答され，多くの質問項目において，質問内容に一致するほど数値が高くなっている．課題が達成できなかった参加者はいなかった．プログラミングに関しては，楽しさ(Q1)，興味(Q3)，知的欲求(Q5)に関して平均値は 8 を超える高い評価となった．課題の難易度(Q2)については，参加者によってばらつきは大きいものの，平均値は 5 を下回っており，中程度の難易度であったことが示唆される．重機自体に関しては，興味(Q4)と知的欲求(Q6)は平均値 8 前後の

表 1 イベントでのアンケート結果

No.	質問	平均	S.D.
Q1	プログラミングは楽しかったですか	9.65	0.97
Q2	プログラムから油圧ショベルを動かすことは難しかったですか(0:難しい，10:簡単)	4.85	3.15
Q3	プログラミングに興味を持ちましたか	8.86	1.41
Q4	重機に興味を持ちましたか	8.49	2.01
Q5	プログラミングに関する知識を深めたいと思いましたか	8.39	1.85
Q6	重機に関する知識を深めたいと思いましたか	7.91	2.18
Q7	油圧ショベルをプログラムで動かせることに興味を持ちましたか	8.87	1.79
Q8	シミュレータでの動作確認はどのくらい実機に近い体験でしたか	8.27	2.08
Q9	プログラムを工夫すればもっと複雑な動作できそうだと思いましたか	9.35	1.40
Q10	身近な場所に自分で直接操作できる重機があると災害時などに有用だと思いますか	9.05	1.81
Q11	日常でもプログラムから重機を操作してみたいと思いますか	8.05	2.26
Q12	体験時間は適切でしたか（0:短い，5:ちょうどよい，10:長い）	5.21	1.22
Q13	このようなイベントにまた参加したいと思いますか	9.41	1.40
Q14	プログラミングの経験はどのくらいありますか（0:経験なし，10:日常的に使用）	3.29	3.29
Q15	重機操作の経験はどのくらいありますか(0:経験なし，10:日常的に使用)	0.64	1.75

高い評価であった．油圧ショベルをプログラムで動かせることへの興味(Q7)や，シミュレータ動作のリアリティ(Q8)も平均値 8 以上と高水準であった．特に，楽しさ(Q1)や，複雑な動作への期待(Q9)，災害時における有用性(Q10)，イベントへの再参加(Q13)は平均値 9 を超える非常に高い評価を得た．

5. 農業と防災に関する課題の開発

イベント用に開発したプログラミング課題は, 時間の都合や, 安全性の確保といった動作上の制約を伴うものであった. そこで, 農業や防災に関するプログラミング課題を開発し, 平常時には農業利用を促進し, 非常時には災害復興を促進するようなものも含めて課題の開発を行った.

図 8 に示すように，重機操作の基本的なものや, ジャガイモ掘り課題, がれき除去課題などを作成し, Scratch ブロックを組み合わせて課題解決が可能なものを構築した. 各事例の左側に Scratch ブロックが示してあり，この一部を隠しておくことで穴埋め課題として出題できるようになっている. また，プログラミングに慣れている利用者を想定し，あらかじめ隠しておくブロックの数を増やすことで，難易度設定を行うことが可能である.

6. まとめ

本研究では，農業・防災・情報教育・地域デザインの実践により平常時においては農業の生産性を高め，非常時においては災害復旧の対応力を発揮する，持続可能なレジリエント地域社会を実現することを目的とし，小学生をはじめとする一般市民が簡単に使用できるようにビジュアルプログラミング環境を用いた重機制御を行う機能を開発して，それを利用した新しい教育プログラムを構築した．イベントを通して一般市

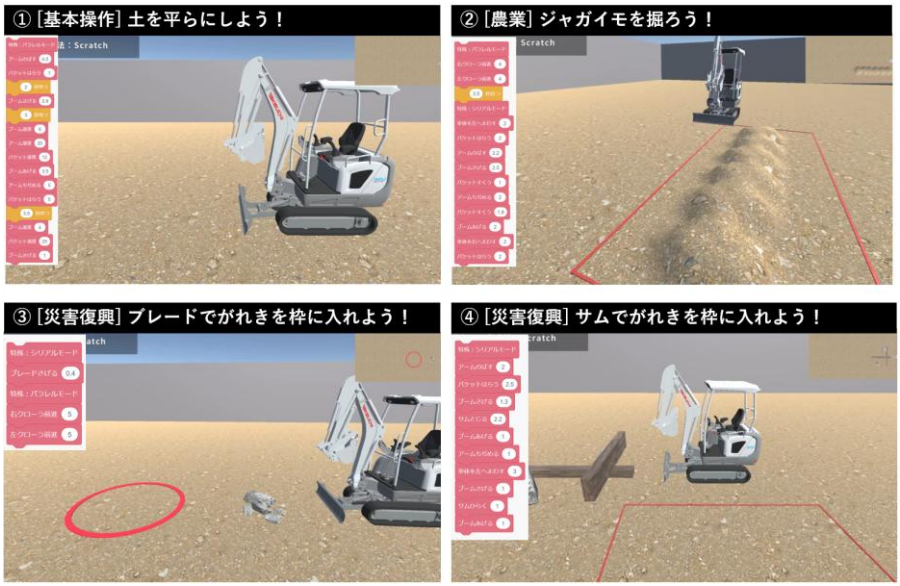

図 8 農業や災害復興に関するプログラミング課題

民に重機プログラミングを体験してもらったところ，そのアンケート調査結果から，プログラミングを楽しむことができ，重機が身近になることで利便性が高まることや，災害時に有用であると感じることが示され，提案手法の有効性を示唆する結果を得た．

今後，信州大学グリーン社会協創機構 地域防災減災センターと協力し，同様のイベントを開催して広く学習機会を展開するとともに，災害復興や農業に関する様々なプログラミング課題開発を行って教材を充実させる予定である．

謝辞

本研究の実施に際して，多大なるご協力を頂いた，(株)竹内製作所の皆様，(一財)日本笑顔プロジェクトの林様，長野高専 力丸彩奈先生，琉球大学 青柳悠也先生，信州大学 小林研究室の皆様に感謝いたします．

参考文献

[1] 鈴木 信行，建設産業における人材不足に関する一考察，土木学会論文集 F4（建設マネジメント）, Vol. 72, No. 4, p. I_1-I_10，2016

[2] 大槻 崇，建設機械の誕生と進化，i-Construction と施工の自動化に向けた取り組み，IATSS Review（国際交通安全学会誌），Vol. 49, No. 3, pp. 280–289, 2024

[3] 安岡 澄人，スマート農業の推進，日本ロボット学会誌，Vol. 35，No. 5，pp. 362–365, 2017

[4] Resnick, M., Maloney, J., Monroy-Hernandez, A., Rusk, N., Eastmond, E., Brennan, K., Millner, A., Rosenbaum, E., Silver, J., Silverman, B., & Kafai, Y. (2009). Scratch: Programming for All. Communications of the ACM, Vol. 52, No. 11, pp. 60-67, 2009

[5] 元林浩太，CAN による制御・通信のためのトラクタ作業機ネットワーク，農業機械学会誌, Vol. 63, No. 4, pp. 17–22, 2001