



プログラミングロボットを用いた オンライン併用型の協調学習実践

布施 泉・野口孝文

北海道大学情報基盤センター

本教育実践（大学1年生の授業）の特徴

✓ プログラミングロボット

- 機械語命令で動作（特定プログラミング言語を用いない）
- ロボット単独でもPCからでも、プログラム作成&実行

✓ 授業構成：個別学習＋協調学習

- 個別学習：ロボットの操作に慣れる
- 協調学習：グループでの**作品制作**



✓ 作品制作のバリエーション：描画・音・センサー

- ロボット一台に対しメンバーが協力してプログラム（2018年）
- メンバーのロボットを連携して作品制作
 - 対面（2019年） & **オンライン併用（2020・2021年）**

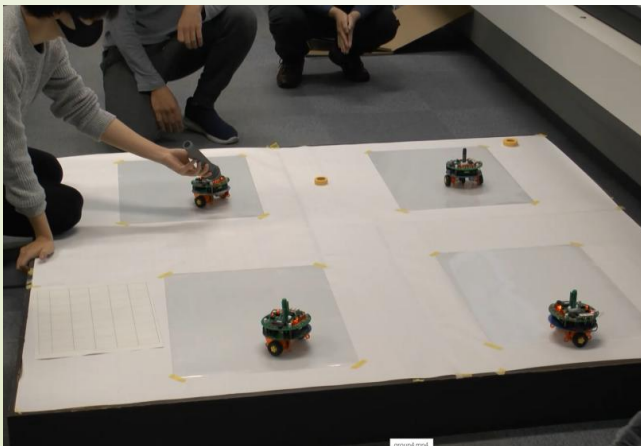
✓ オンライン上での**協調学習**

- 調査結果：対面と同等の満足度で実践可能
- 対面とオンライン割合：教育効果を確認した上でPDCA改善

本実践の教育目標

✓ 教育目標

- プログラミングロボットの動きを制御する中で、プログラミングとその背後にあるコンピュータの仕組みを理解できる。
- 複数のロボットの動きをグループで企画し、その企画の実現のために、個人作業への切り分けと全体調整をグループメンバーで協力して行うことができる。また、目的に応じてロボットを動かすプログラムを作ることができる。
- グループでロボット作品を制作する協調学習をオンライン上で行うことで、円滑で効果的な協調活動をオンライン上で行うスキルを獲得する。



発表会例：テーマ：描画合成
（必須要素：描画／重ね合わせ）

クリアフォルダの重ね合わせによる描画作品の制作

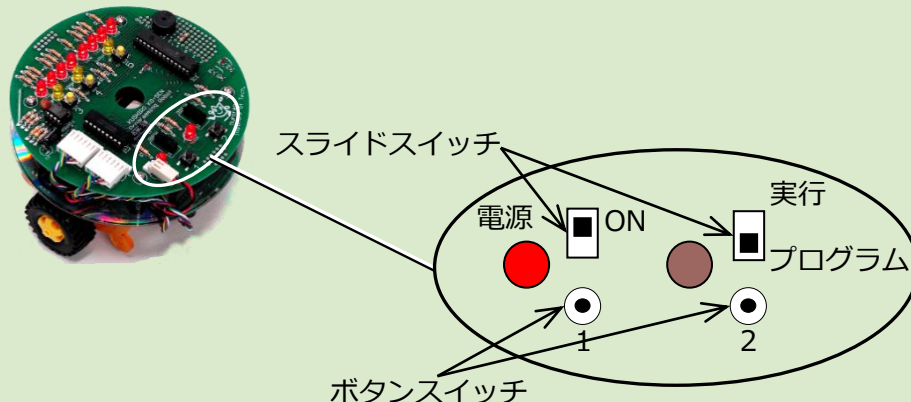
ロボットへのプログラム入力

✓ 機械語命令で動作

- 8個の赤LEDの点灯状態で直感的に理解できる移動動作命令
- 命令セットには演算命令等の他，モータ制御やセンサ入力を読み取る命令を用意

操作インターフェース ロボット単体 or PC利用

ロボット単体で仕組み確認 → 複雑なプログラムはPCで

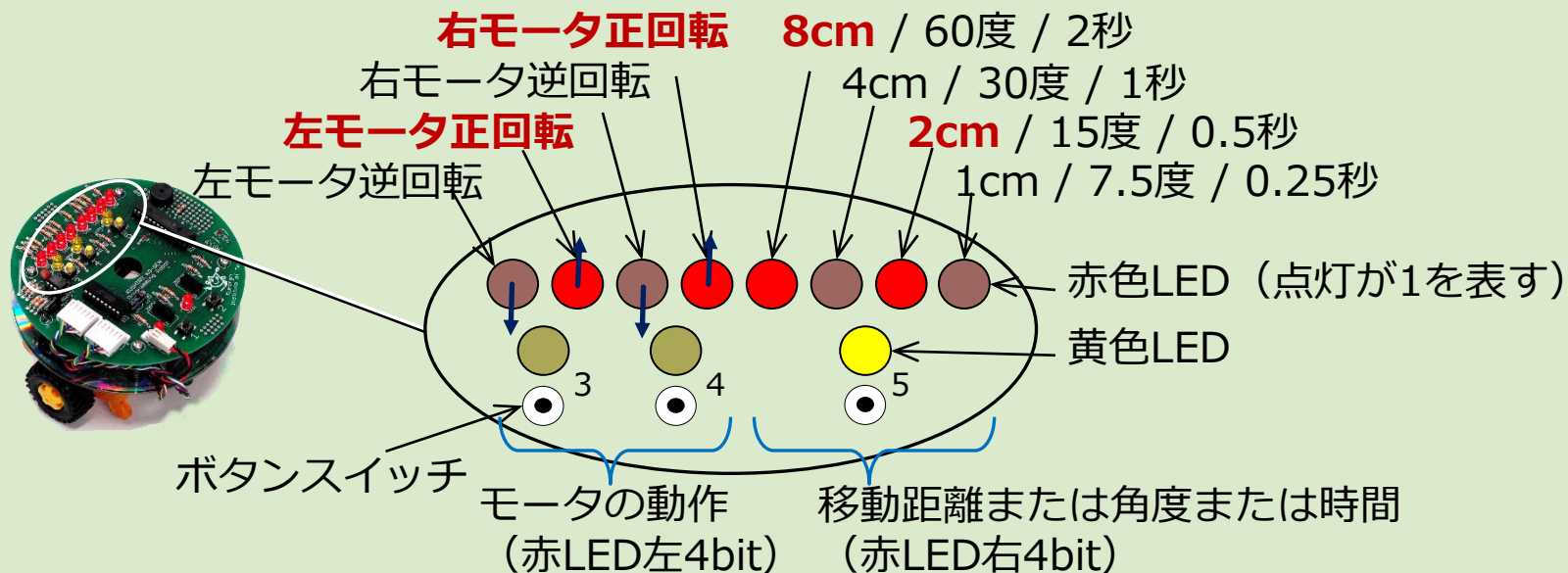


8個の赤LEDの点灯状態で直感的に理解可能な 移動・回転動作命令

- ✓ 移動・回転・停止命令は基本8bitの命令で構成
 - ➡ 4bitで左右のモータの制御、右4bitで動作量（重み付）
 - ➡ 右4bit：移動時は距離、回転時は角度、停止時は時間の重み

例：ロボットが10cm前進する命令（機械語命令では「5A」）

左右モータは正回転（左4bit：0101），前進 8+2cm（右4bitが1010）



命令の種類 (1)

命令	記述	機械語	プログラム例, 説明
前進	FWD n	5n:0101 n ₈ n ₄ n ₂ n ₁	54, 4cm前進します。
後退	REV n	An:1010 n ₈ n ₄ n ₂ n ₁	A4, 4cm後退します。
右回転	RGT n	6n:0110 n ₆₀ n ₃₀ n ₁₅ n _{7.5}	68, 60度右へ回転します。
左回転	LFT n	9n:1001 n ₆₀ n ₃₀ n ₁₅ n _{7.5}	9C, 90度左へ回転します。
停止	STP n	0n:0000 n ₂ n ₁ n _{0.5} n _{0.25}	04, 1秒間停止します。
前進レジスタA 後退レジスタA 右回転レジスタA 左回転レジスタA 停止レジスタA	FWD A REV A RGT A LFT A STP A	50:0101 0000 A0:1010 0000 60:0110 0000 90:1001 0000 00:1001 0000	B7 08, (LDI 08) レジスタAに8を代入 50, (FWD A) 8cm前進 レジスタAの値は8ビット有効です。大きな値をセットしたときには動作範囲が大きくなるので, 机から落ちたりしないよう注意が必要です。
円弧	ARC xnxm	8/4n 2/1m (nはR/F mはR/F) ※2Byte命令	44 13, 左車輪が4cm前進, 右車輪が3cm前進し弧を描きます。(x:F 前進またはR後退を指定)
不規則動作	IRG	30:0011 0000	不規則にいろいろな動作をします
速度	SPD n	3n:0011 nnnn	3C, 低速(1)から高速(15), 高速はモータにより制限があります
サウンド	SND n	7n: 0111 nnnn	70:サウンド停止, 71~7F: ドC4~ドC6 238番地から252番地に音程データがあります
乱数セット	RND	B0:1011 0000	レジスタAに0~255の乱数をセット
表示オン	DSP ON	B1:1011 0001	レジスタAの値をLEDに表示します。
1増し	INC	B2:1011 0010	レジスタAの値を1増します。
1減	DEC	B3:1011 0011	レジスタAの値を1減じます。

命令の種類 (2)

命令	記述	機械語	プログラム例, 説明
左シフト	SHL	B4:1011 0100	レジスタAの値を1桁左に移動します。
右シフト	SHR	B5:1011 0101	レジスタAの値を1桁右に移動します。
ロードSW	LDS	B6:1011 0110	レジスタAにスイッチを代入します。
数値ロード	LDI nn	B7 nn: 1011 0111 n ₁₂₈ n ₆₄ n ₃₂ n ₁₆ n ₈ n ₄ n ₂ n ₁	B7 55, レジスタAに55(10進数で85)が代入されます。
ロード	LD nn	B8 nn: 1011 1000 n ₁₂₈ n ₆₄ n ₃₂ n ₁₆ n ₈ n ₄ n ₂ n ₁	B8 04, レジスタAに4番地の値が代入されます。
ストア	ST nn	B9 nn: 1011 1001 n ₁₂₈ n ₆₄ n ₃₂ n ₁₆ n ₈ n ₄ n ₂ n ₁	B9 05, 5番地にレジスタAの値が代入されます。
加算	ADD nn	BA nn: 1011 1010 n ₁₂₈ n ₆₄ n ₃₂ n ₁₆ n ₈ n ₄ n ₂ n ₁	BA 03, レジスタAに3が加算されます。
減算	SUB nn	BB nn: 1011 1011 n ₁₂₈ n ₆₄ n ₃₂ n ₁₆ n ₈ n ₄ n ₂ n ₁	BB 07, レジスタAから7が減算されます。
比較	CMP nn	BC nn: 1011 1100 n ₁₂₈ n ₆₄ n ₃₂ n ₁₆ n ₈ n ₄ n ₂ n ₁	BC 03, レジスタAと3を比較します。
論理和	OR nn	BD nn: 1011 1101 n ₁₂₈ n ₆₄ n ₃₂ n ₁₆ n ₈ n ₄ n ₂ n ₁	BD 0F, レジスタAとFの論理和がAに代入されます。
論理積	AND nn	BE nn: 1011 1110 n ₁₂₈ n ₆₄ n ₃₂ n ₁₆ n ₈ n ₄ n ₂ n ₁	BE 0F, レジスタAとFの論理積がAに代入されます。
排他的論理和	EXOR nn	BF nn: 1011 1111 n ₁₂₈ n ₆₄ n ₃₂ n ₁₆ n ₈ n ₄ n ₂ n ₁	BF 0F, レジスタAとFの排他的論理和がAに代入されます。

命令の種類 (3) (これ以外にも命令有)

命令	記述	機械語	プログラム例, 説明
繰り返し	FOR n	Cn:1100 $n_8n_4n_2n_1$	C3, 終了までを3回繰り返します.
繰り返しレジスタA	FOR A	C0:1100 0000	B7 10, C0, 16回繰り返します.
繰り返し終端	ENDFOR	F0:1111 0000	F0, 繰り返しの終端を示します.
繰り返し中止	BRK	F1: 1111 0001	F1, 繰り返しを途中で終了するときは, これを使用します. JMPを用いない.
繰り返し継続	CONT	F2: 1111 0010	F2, 繰り返しの終わりまで移動します.
無条件ジャンプ	JMP nn	D0 nn: 1101 0000 $n_{128}n_{64}n_{32}n_{16} n_8n_4n_2n_1$	D0 07, 7番地へジャンプします.
条件ジャンプ	JMP sw _s nn	Ds nn: 1101 0s ₄ s ₂ s ₁ $n_{128}n_{64}n_{32}n_{16} n_8n_4n_2n_1$	D3 08, スイッチ3が押されているとき8番地へジャンプします.
条件ジャンプf	JMP f nn	Df nn: 1101 1f _{<0} f ₌₀ f _{>0} $n_{128}n_{64}n_{32}n_{16} n_8n_4n_2n_1$	DB 0B, 前のレジスタ命令で正または0のとき11番地へジャンプします. (DDは≠)
サブルーチン呼び出し	CALL nn	DF nn: 1101 1111 $n_{128}n_{64}n_{32}n_{16} n_8n_4n_2n_1$	DF 07, 7番地のプログラムを呼び出します.
システム内サブルーチン呼び出し	CALLI nn	E1 nn: 1110 0001 $n_{128}n_{64}n_{32}n_{16} n_8n_4n_2n_1$	*2E1 00, ROM内の0番地にある, 組み込みプログラムを呼び出します.
ノーオペレーション	NOP	F3: 1111 0011	F3, この行は何もしません
レジスタとフラグ退避	PUSH_AF	F6:1111 0110	レジスタAとフラグの値をスタックに退避します
レジスタとフラグ復帰	POP_AF	F7:1111 0111	スタックからレジスタAとフラグに値を戻します
サブルーチン戻り	RET	F8: 1111 1000	F8, プログラムを呼び出した位置に戻ります
EEPROMへ戻り	EXITROM	F9: 1111 1001	F9, EEPROMのプログラムでは使用しません
終わり	END	FF:1111 1111	FF, プログラムの終了位置です.

本ロボットでの授業実践のメリット

- ✓ ロボットが想定した動作をするか否かを視覚的に確認可能
- ✓ ロボット単体でもPC環境でもプログラムの作成・実行が可能：多様な学習者に応じた適切な難易度での課題設定
- ✓ ロボット内に格納できる命令数に制限有（256）
与えられた機器制約内でのプログラム作成（様々な工夫）



教育実践（オンライン併用）の概要

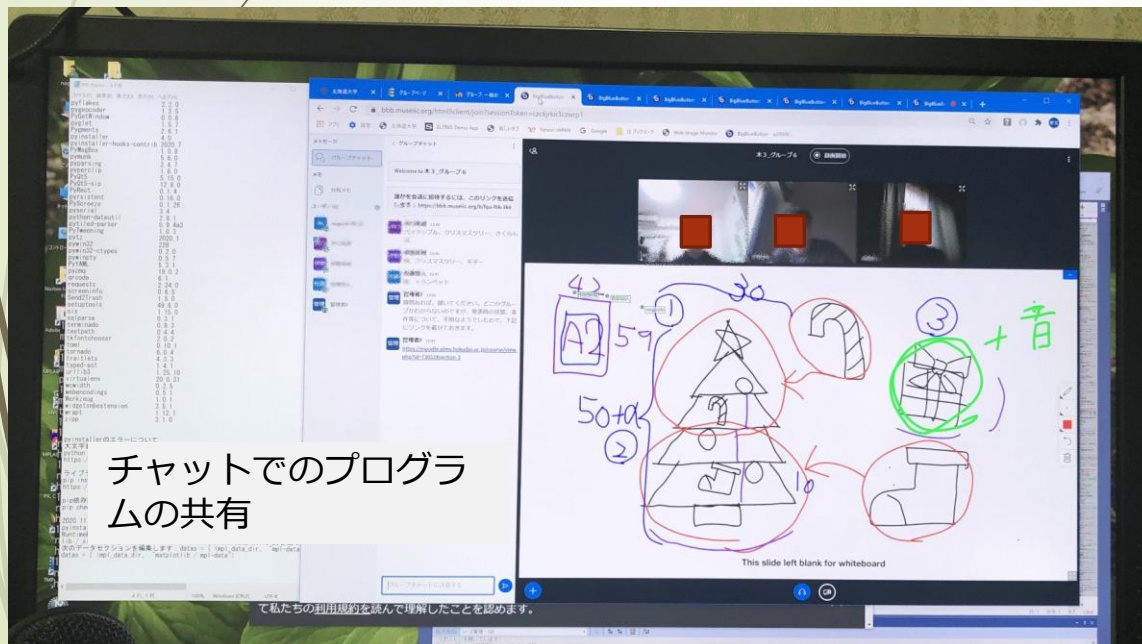
- ✓ 大学1年生対象の共通科目（2単位15回），22～23名履修
概ね対面5-6回，オンライン9-10回
- ✓ **ロボットは対面終了回で自宅持ち帰り**，その後はオンライン上でグループ活動（1グループ3名～4名）
- ✓ メンバーのロボットを用いた**協調的な作品を企画し**，最終的には**対面での発表会**を実施

オンライン併用時のグループ企画におけるテーマ・制約条件等

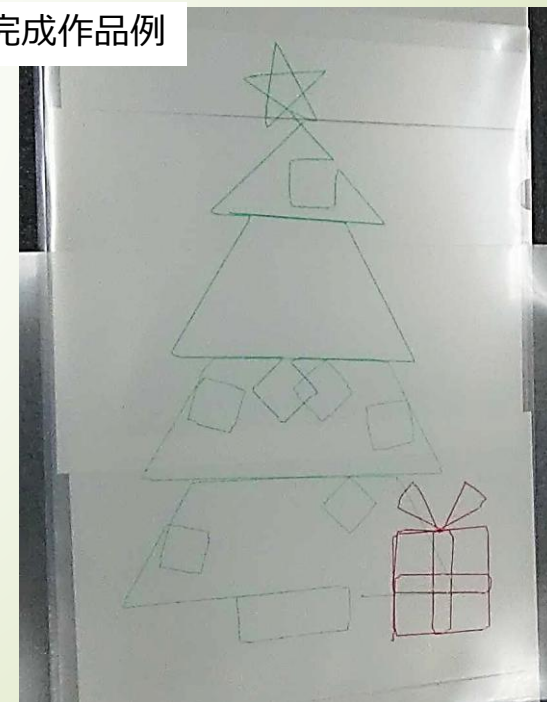
- ✓ 授業①：ダンス（必須要素：動き＋音）
- ✓ 授業②：描画合成（必須要素：描画）
 - ・ 各人がA2のクリアフォルダ内に描画し，重ね合わせる
- ✓ 授業③：ロボットとボールの連携動作
(必須要素：センサー利用＋音)

オンライン授業時での協調学習の工夫

- ✓ オンライン授業時でのグループ学習
 - ウェブ会議システムのブレイクアウトルームを使いグループメンバー間で相談(下図：授業②の例)
 - 親会議室は質問対応（わからないときに適宜相談）

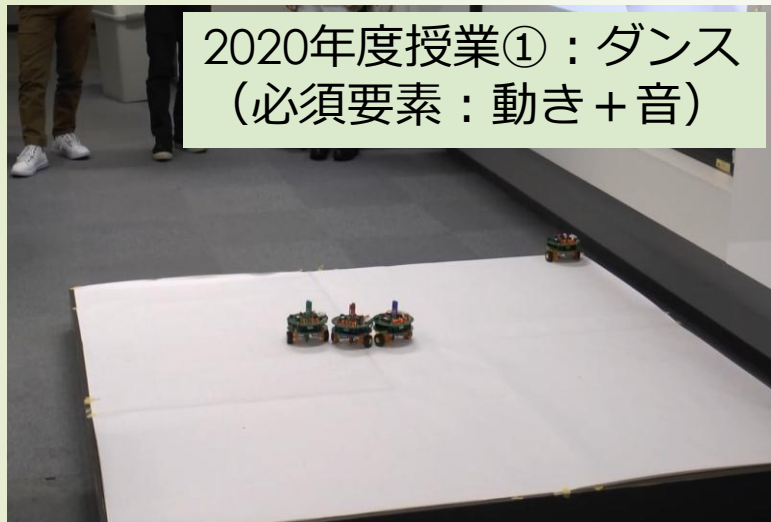


完成作品例

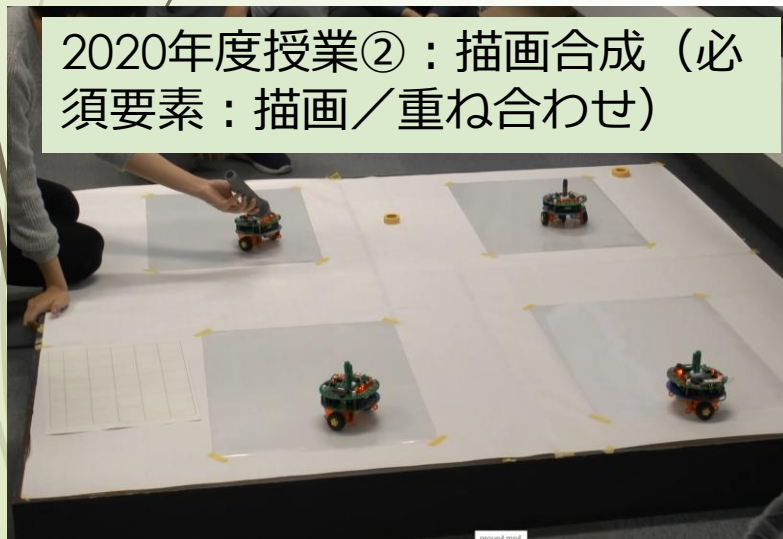


グループ発表会（対面）の例

2020年度授業①：ダンス
（必須要素：動き＋音）



2020年度授業②：描画合成（必須要素：描画／重ね合わせ）



2021年度授業③：センサー
（必須要素：音＆ボール）
※授業後リベンジチーム有



相互評価と振り返り（オンライン）

➤ 授業①（2020年度）

- 発表時：Scratchでシミュレータ作成してチェックした旨
- 質問：どのくらい、実際の描画とズれるか？



➤ 授業②（2020年度）

発表時に音楽が綺麗に綺麗に聞こえたグループに対し

- 質問：きちんと音が区切れていたが、どのような工夫をされたか？（自分ではできなかった）

自身の実践を踏まえた有意義な質疑が進められた

オンライン実践の効果：アンケート調査比較

✓ アンケートへの回答

回答率：対面時は9割以上，オンライン時は8割～7割弱

✓ アンケート内容

プログラミング経験，経験年数，ロボットに対する各種操作，実践による興味関心，等（選択式及び一部自由記述の感想あり）

以降，以下の結果を示す

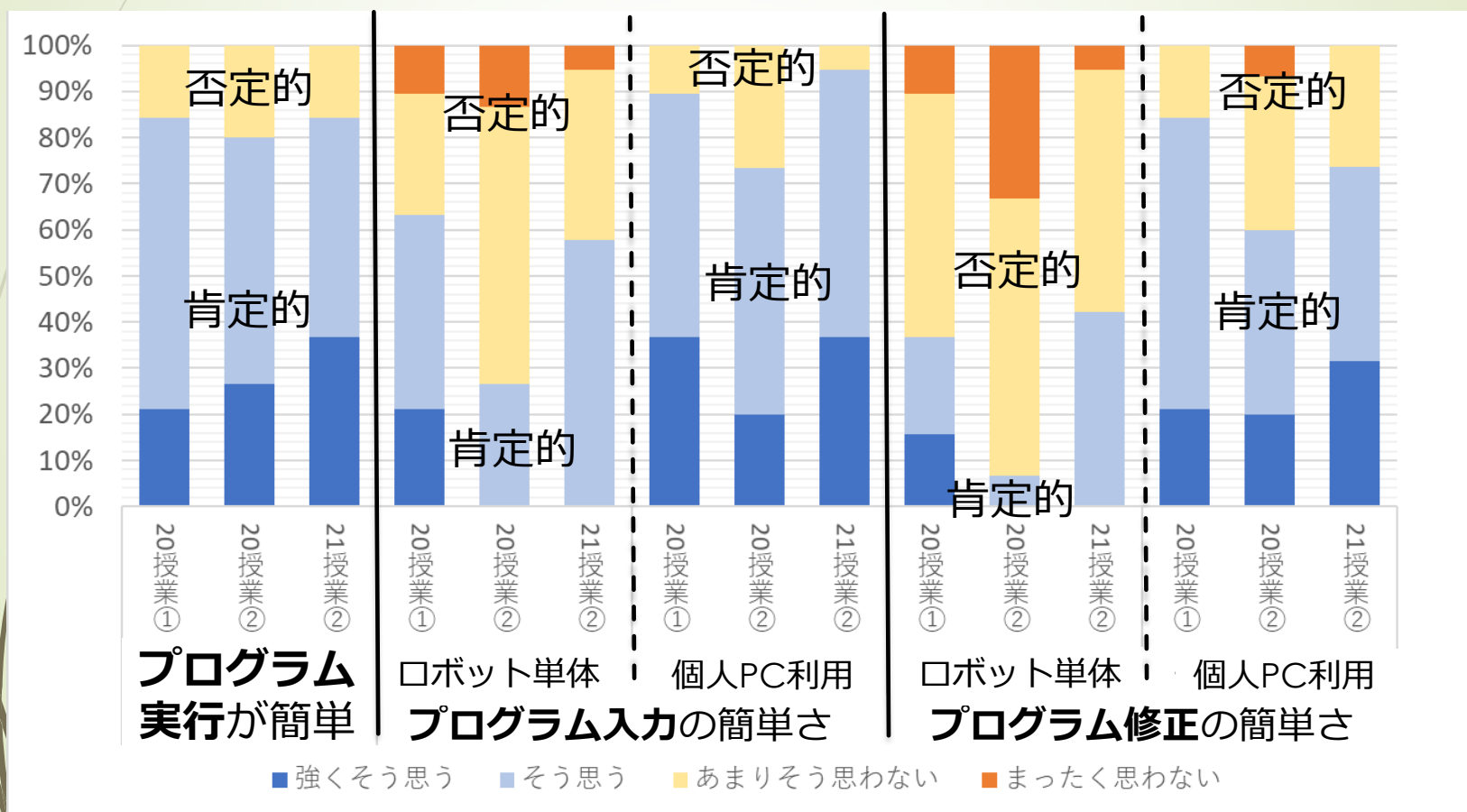
✓ プログラムの入力と修正の難易度：ロボット単体 vs PC利用

✓ オンラインと対面授業との結果比較

ロボット操作や興味・関心の結果「強くそう思う」「そう思う」「あまり思わない」「まったく思わない」からの4択

評価結果 1 個人PCの利用

- ロボット単体では長いプログラム入力と修正は困難
- 開発した支援システムは問題なく利用でき、困難さの改善に役立つ



評価結果 2 プログラムの面白さ・興味等

	選択肢／年度	対面		オンライン併用		
		18	19	20 授業①	20 授業②	21 授業②
ロボットの動作を プログラムするこ とは面白いと思う	強くそう思う	10	5	9	6	13
	そう思う	6	14	9	7	6
	あまり思わない	1	0	1	2	0
	全く思わない	0	0	0	0	0
プログラミングに 対する興味が増し たと思う	強くそう思う	10	3	7	7	10
	そう思う	7	14	12	5	8
	あまり思わない	0	2	0	3	1
	全く思わない	0	0	0	0	0
もっと複雑なプロ グラムを作りたい と思う	強くそう思う	8	6	5	6	11
	そう思う	7	11	12	9	6
	あまり思わない	1	2	2	0	2
	全く思わない	1	0	0	0	0

- ✓ 殆どが肯定的な回答（9割以上）
- ✓ **対面時とほぼ同様の効果**

実践の効果まとめ

オンライン併用型の協調学習実践について

プログラミングロボットを用いたオンライン併用型の授業で協調学習を実践し、学習状況を確認・評価した

- ✓ 学習者の持つPC環境で、ロボットとPCとの接続を実現するために新たに開発したシステムが有効に利用できた
- ✓ グループ活動が、オンライン上でも問題なく実施できた
- ✓ ロボットへのプログラミングにより、プログラミングの面白さや興味が増したとの肯定的回答を多数（約9割）得た。これは対面授業時とほぼ同一の結果である

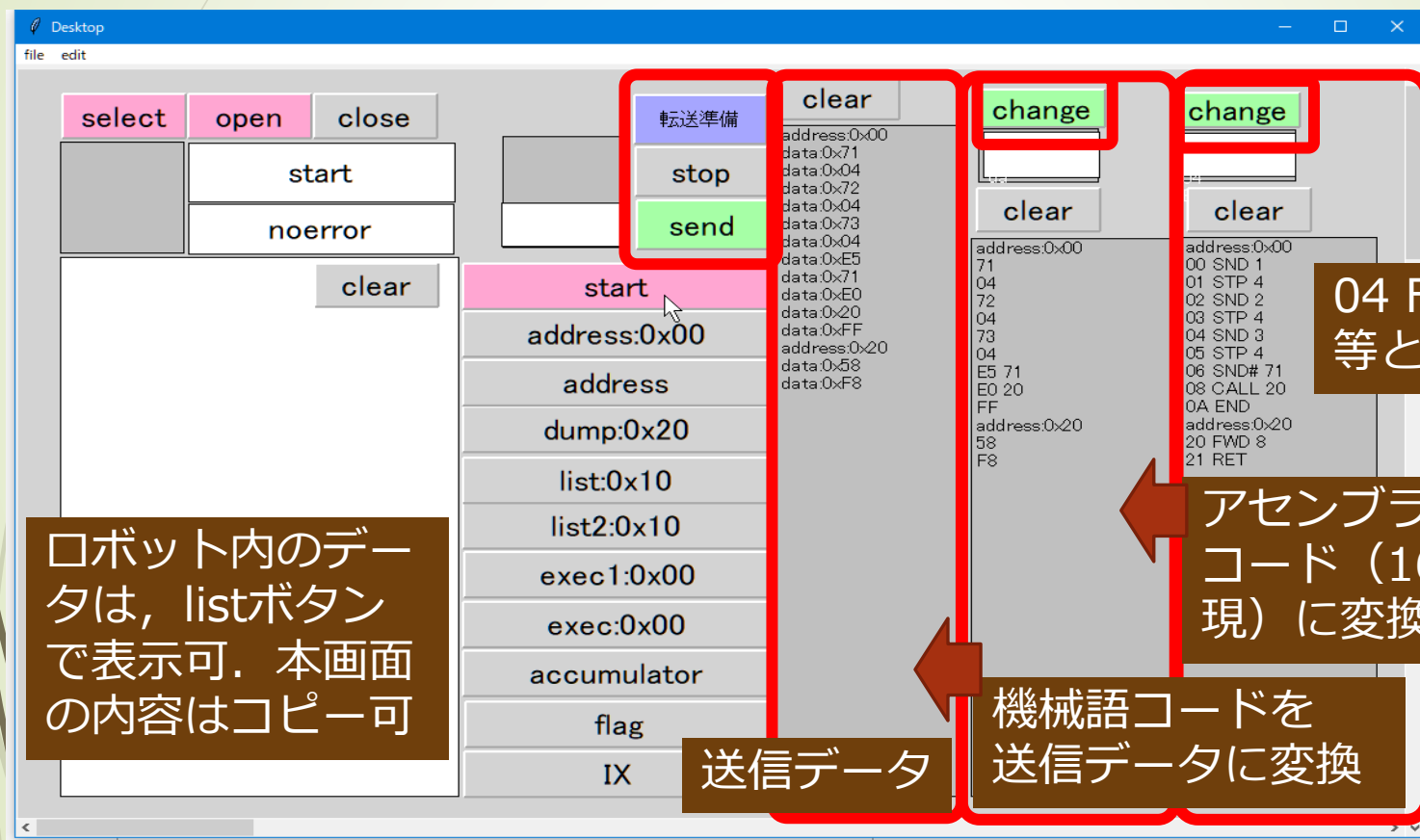
今後の展開可能性

- センサーを用いた協調学習の実践（2021後期）
 - 反射型フォトインタラプタのセンサー：ロボットの3つのボタンを押下することと同様の処理が可能
 - センサー検知を用いた条件分岐を組み合わせた作品を課しており，協調学習による作品が展開可能性が高まっている
- ロボットでは，マイクロコンピュータ上に作成した仮想コンピュータのプログラムを書き換えることで制御している。命令セットの検討などについて，学習者に行わせる展開可能性も有しており，今後の検討としている。

参考：個人PCを用いた支援環境

(Pythonで開発)

PC操作画面例（ロボットへのプログラム転送・ロボット内プログラム確認等）



ロボット内のデータは、listボタンで表示可。本画面の内容はコピー可

04 FOR 2 等と表記

アセンブラをコード（16進表現）に変換

機械語コードを送信データに変換

送信データ

アセンブリ言語を用いることも、機械語のコードを直接用いることも可能

関連する J17-IS LU

1303 コンピュータシステムのリテラシ

- ▶ コンピュータシステムに関する基本的知識(ハード、ソフト、OS、プログラム言語、DB、ネット)を概観させること

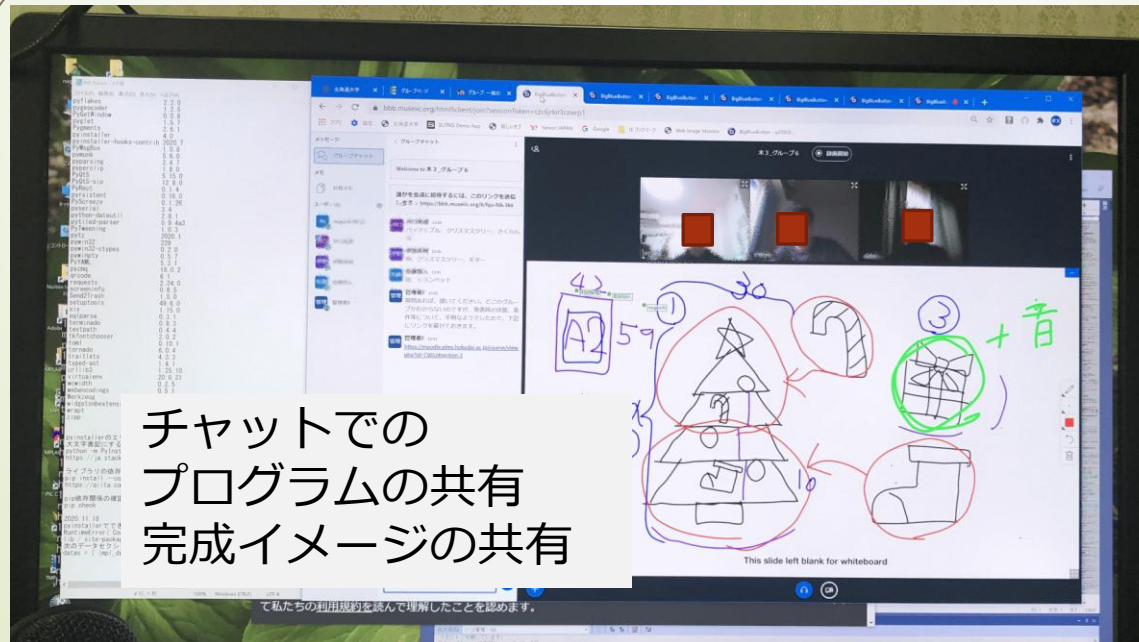
命令	記述	機械語	プログラム例, 説明
繰り返し	FOR n	Cn: 1100 n ₈ n ₄ n ₂ n ₁	C3, 終了までを3回繰り返します。
繰り返しレジスタA	FOR A	C0: 1100 0000	B7 10, C0, 16回繰り返します。
繰り返し終端	ENDFOR	F0: 1111 0000	F0, 繰り返しの終端を示します。
繰り返し中止	BRK	F1: 1111 0001	F1, 繰り返しを途中で終了するときは、これを使用します。JMPを用いない。
繰り返し継続	CONT	F2: 1111 0010	F2, 繰り返しの終わりまで移動します。
無条件ジャンプ	JMP nn	D0 nn: 1101 0000 n ₁₂₈ n ₆₄ n ₃₂ n ₁₆ n ₈ n ₄ n ₂ n ₁	D0 07, 7番地へジャンプします。
条件ジャンプ	JMP sw _s nn	Ds nn: 1101 0s ₄ s ₂ s ₁ n ₁₂₈ n ₆₄ n ₃₂ n ₁₆ n ₈ n ₄ n ₂ n ₁	D3 08, スイッチ3が押されているとき8番地へジャンプします。
条件ジャンプf	JMP f nn	Df nn: 1101 1f _{<0} f _{>0} n ₁₂₈ n ₆₄ n ₃₂ n ₁₆ n ₈ n ₄ n ₂ n ₁	DB 0B, 前のレジスタ命令で正または0のとき11番地へジャンプします。(DDは≠)
サブルーチン呼び出し	CALL nn	DF nn: 1101 1111 n ₁₂₈ n ₆₄ n ₃₂ n ₁₆ n ₈ n ₄ n ₂ n ₁	DF 07, 7番地のプログラムを呼び出します。
システム内サブルーチン呼び出し	CALLI nn	E1 nn: 1110 0001 n ₁₂₈ n ₆₄ n ₃₂ n ₁₆ n ₈ n ₄ n ₂ n ₁	*2E1 00, ROM内の0番地にある, 組み込みプログラムを呼び出します。
ノーオペレーション	NOP	F3: 1111 0011	F3, この行は何もしません
レジスタとフラグ退避	PUSH_AF	F6: 1111 0110	レジスタAとフラグの値をスタックに退避します
レジスタとフラグ復帰	POP_AF	F7: 1111 0111	スタックからレジスタAとフラグに値を戻します
サブルーチン戻り	RET	F8: 1111 1000	F8, プログラムを呼び出した位置に戻ります
EEPROMへ戻り	EXITROM	F9: 1111 1001	F9, EEPROMのプログラムでは使用しません
終わり	END	FF: 1111 1111	FF, プログラムの終了位置です。



関連する JI7-IS LU

0607 協働作業支援のための情報システム

- ▶ コミュニケーションやコラボレーションに対する効果的な情報システムの活用方法について理解させること



関連する J17-IS LU

0710 システム開発プロジェクトの管理

- ▶ 情報システム開発プロジェクトの特徴を理解させ、プロジェクト管理の必要性について考察させること。

【抜粋】 あるグループの発表スライドから

実際に各々でロボットを動かして会議はしていたものの、やはりグループ全体で合わせてみると上手くいかない箇所がたくさん出てきてしまった為、授業外の時間も活用し、もう少し早めに合わせる機会を作るべきだった。