

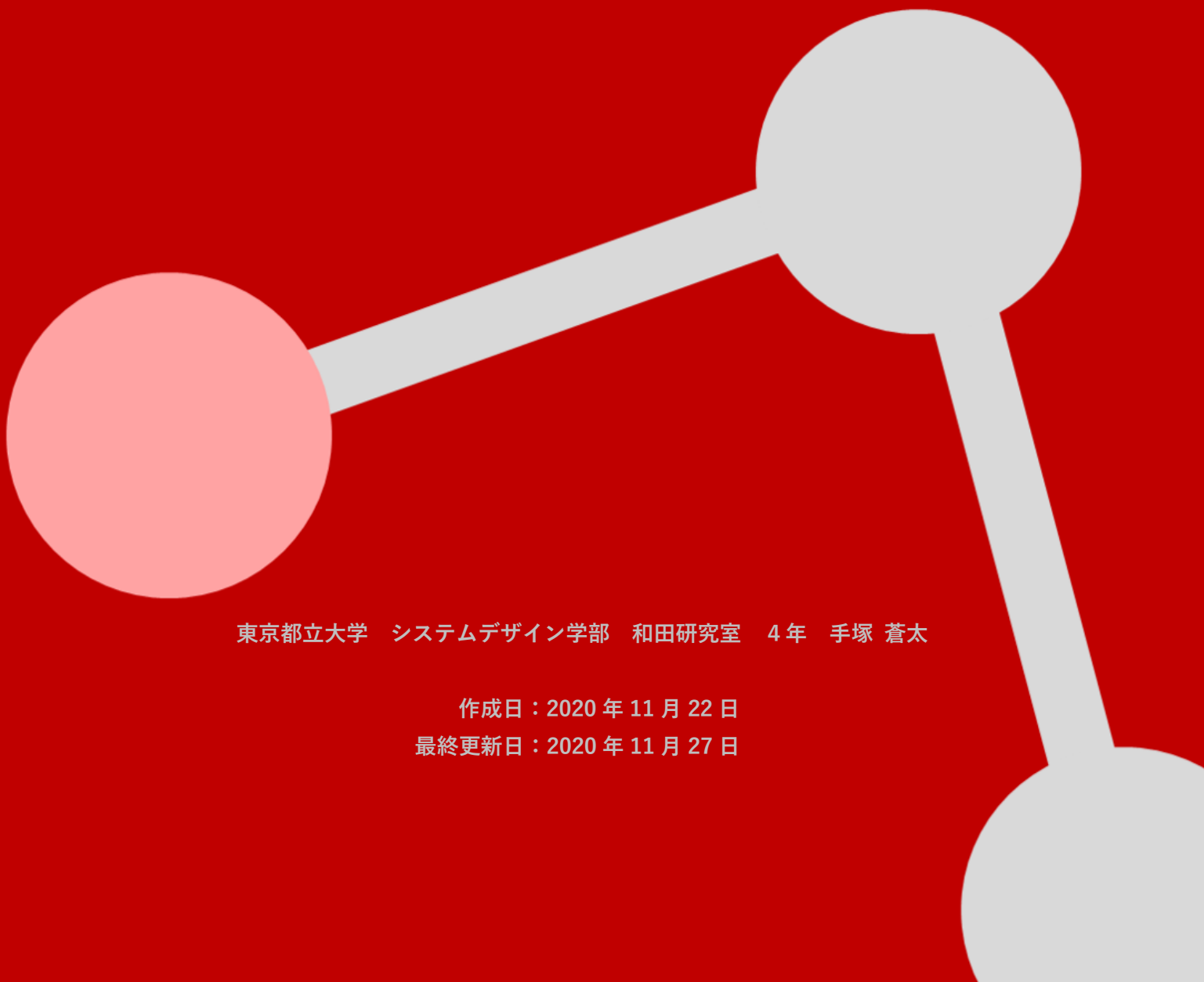
シリアルリンクロボットアームを 直感的に操作可能な RTC 群

ユーザーマニュアル ver 1.1

東京都立大学 システムデザイン学部 和田研究室 4年 手塚 蒼太

作成日：2020 年 11 月 22 日

最終更新日：2020 年 11 月 27 日



目次

1. はじめに	2
2. 開発したシステム.....	3
2.1 開発環境.....	3
2.2 開発した RTC	3
2.2.1 RobotArmGUI	4
2.2.2 RobotArmCUI	6
2.2.3 RobotArmAutomaticController.....	6
2.2.4 AccelerationController.....	7
2.2.5 SerialOutAngle	7
2.3 開発したハードウェア	8
3. システムの準備	11
3.1 RTC の準備	11
3.2 マイコンの準備	13
3.3 システムの起動方法.....	14
4. 操作方法	18
4.1 GUI を用いた操作	18
4.1.1 上視点から操作.....	18
4.1.2 横視点から操作.....	19
4.2 CUI を用いた操作	20
4.3 自動で動作	21
Q&A	23
参考	24
改訂履歴.....	24

1. はじめに

ロボットアームを製作・制御しようとする場合、アーム本体の製作については製品化されている組み立てキットを利用すれば簡単に行うことができる。また近年は工業用のものと比べて小型で扱いやすいラジコン用サーボモータ（以下、「サーボモータ」という）が安価に入手できるようになった。これを利用して組み立てキットを使わなくとも手軽にロボットアームを設計・製作できる。しかし、ここで障壁となるのがアームの各関節の制御である。アームを思い通りに動かすには各関節のサーボモータを同時に適当な角度に動かす必要がある。キット製品は各関節のサーボモータの角度をジョイスティックやポテンショメータで直接指定することが多い。そこで、ロボットアームの手先位置を指定することで直観的な操作ができる RT コンポーネント群を開発した。組み立てキットの販売も多いシリアルリンク型の 3 軸垂直多関節ロボットアームを対象とし、2 次元表示の GUI で操作できるほか、キーボードから手先座標を直接入力する機能や自動制御の機能を備える。今までミドルウェアを扱ったことがない方でも気軽に手を出せるような直感的に使えるシステムを目指した。

2. 開発したシステム

2.1 開発環境

- Windows 10 64bit
- OpenRTM-aist 1.2.1
- Visual Studio 2018 (C++)
- Phyton 3.7.7
- CMake 3.16.6
- Arduino IDE 1.8.5

2.2 開発した RTC

ロボットアームを制御するにあたり、五つのコンポーネントを製作した。システムの内部ブロック図を図1に示す。RobotArmGUI コンポーネントに他コンポーネントを接続することでシステムを構成する。

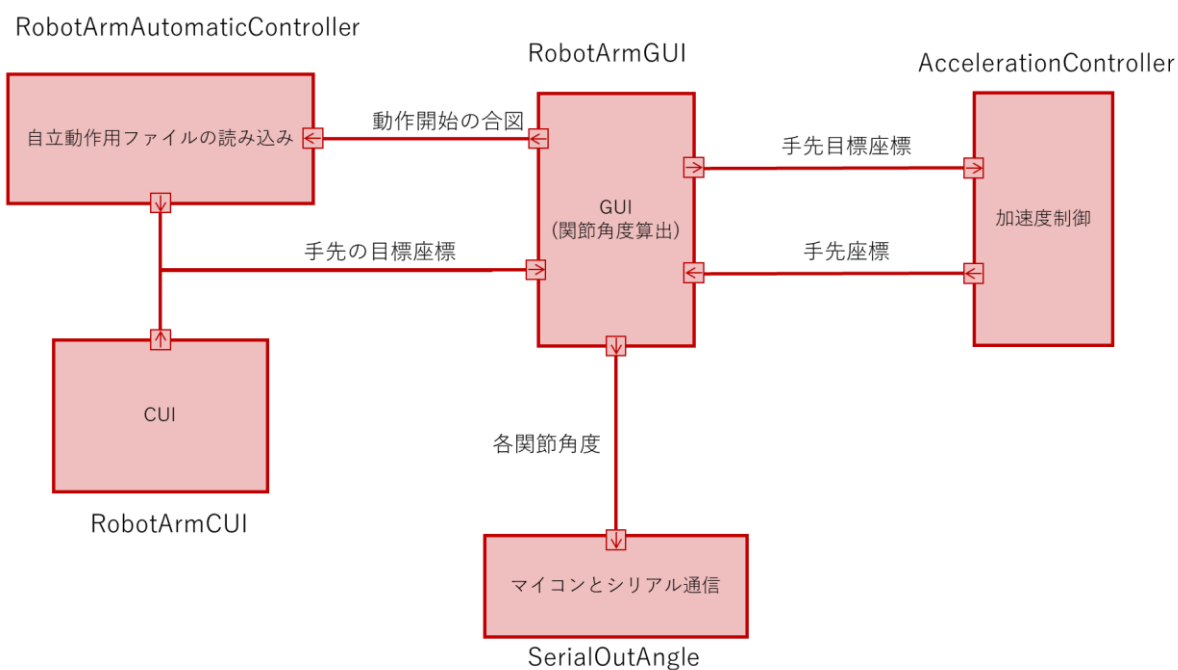
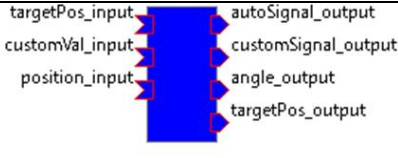


図1 SysML ブロック図

ライセンスは GPL とする。

2.2.1 RobotArmGUI

表 1 RobotArmGUI

 <p>RobotArmGUI0</p>		
InPort		
名前	データ型	説明
targetPos_input	RTC::TimedDoubleSeq	目標手先位置
customVal_input	RTC::TimedLong	customボタン表示値
position_input	RTC::TimedDoubleSeq	手先位置
OutPort		
名前	データ型	説明
autoSignal_output	RTC::TimedLong	Autoボタンの状態
customSignal_output	RTC::TimedLong	Customボタンの状態
angle_output	RTC::TimedDoubleSeq	各関節角度
targetPos_output	RTC::TimedDoubleSeq	手先目標位置
コンフィギュレーションパラメータ		
名前	デフォルト値	説明
upperArmLength	300	上腕長さ
lowerArmLength	300	下腕長さ
outerLimitRadius	500	動作範囲上限半径
innerLimitRadius	100	動作範囲下限半径
showSideView	1	横視点の有無
showCoordinates	1	座標表示の有無
showCoordinateAxes	1	座標軸の有無
auxiliaryLineInterval	45	補助線の間隔
auxiliaryArcInterval	100	補助円弧の間隔
wheelRate	10	ホイール1段ごとのZ方向変位
switchWheelDirection	0	ホイール方向逆転
accentColor_R	255	アクセントカラー（赤）
accentColor_G	0	アクセントカラー（緑）
accentColor_B	0	アクセントカラー（青）
backgroundBrightness	0	背景明るさ
arcBrightness	50	円弧の明るさ
showCustomButton	0	customボタンの有無
custom_name	custom	customボタンの名前
custom_alternateOperation	0	customボタンをオルタネイト動作
custom_linkWithRightClick	0	customボタンを右クリックと連動
custom_pushVal	1	customSignal値（押した瞬間）
custom_pressVal	2	customSignal値（押している間）
custom_releaseVal	3	customSignal値（離れた瞬間）
custom_showInputVal	0	customボタンに数値を表示
showAutoButton	1	Autoボタンの有無

GUI を作り出すコンポーネント。描画には DX ライブラリを利用している。逆運動学による各関節角度の計算もこのコンポーネントで行う。ロボットアームを上から見た様子を簡易的に表示し、手先の目標位置をマウスでドラッグすることで x, y 方向の移動を、マウスホイールを回転することで z 方向の移動を行う（図 2 上部）。横からの視点（旋回軸の動きを無視した視点）も表示可能で、上からの視点と同様に手先の目標位置をドラッグして移動できる（図 2 下部）。コンフィギュレーションパラメータを変更することで補助線の間隔や操作部の色などを設定できる（図 3）。

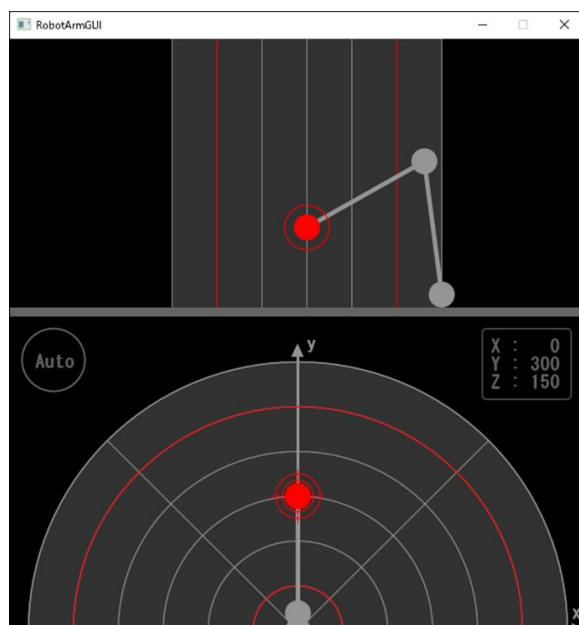


図 2 デフォルト値の GUI

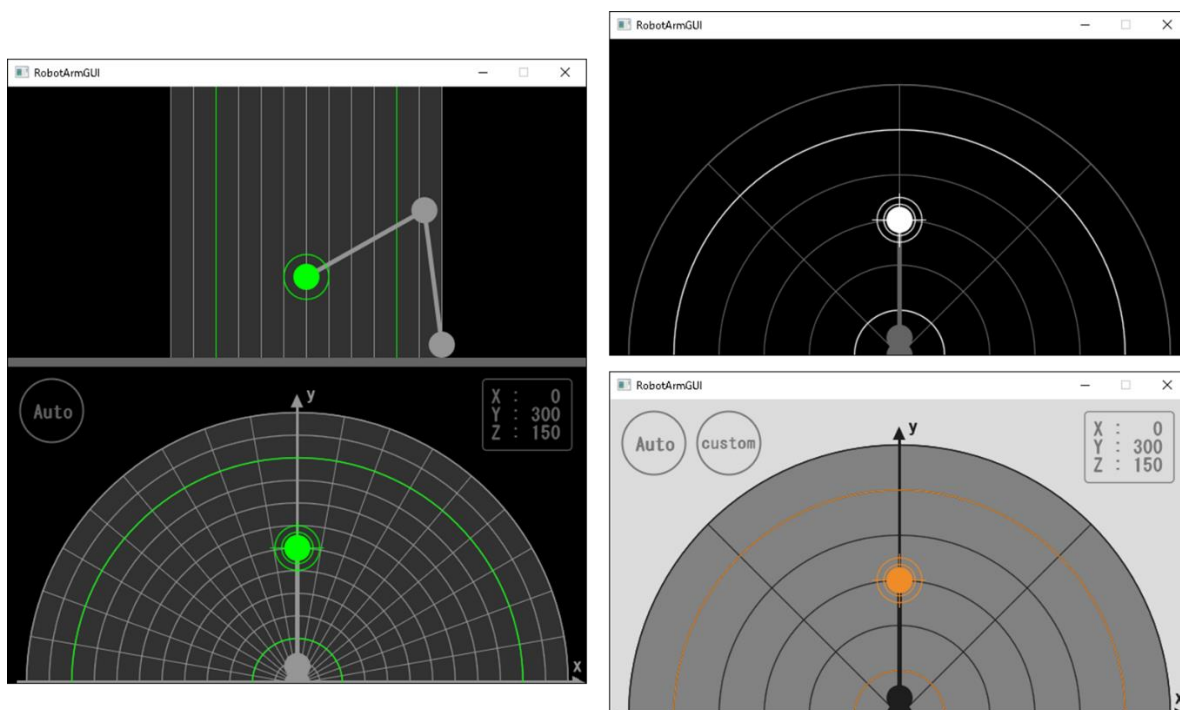
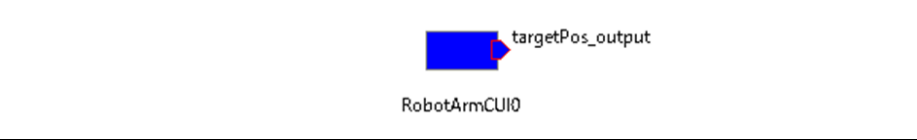


図 3 カスタマイズした GUI

また、自分で表示名や操作方法、送信値を任意に指定できる「Custom ボタン」を備える（図 3 右下）。

2.2.2 RobotArmCUI

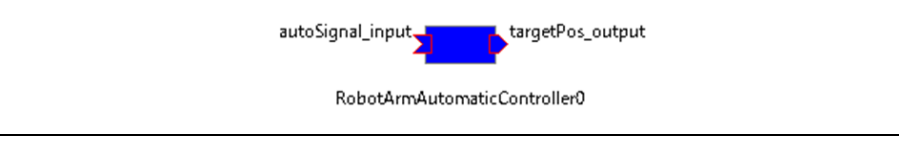
表 4 RobotArmCUI

 <div>targetPos_output</div> <div>RobotArmCUI0</div>		
OutPort		
名前	データ型	説明
targetPos_output	RTC::TimedDoubleSeq	手先目標座標

CUI により手先目標位置の指定を行う。

2.2.3 RobotArmAutomaticController


表 5 RobotArmAutomaticController

 <div>autoSignal_input</div> <div>targetPos_output</div> <div>RobotArmAutomaticController0</div>		
InPort		
名前	データ型	説明
autoSignal_input	RTC::TimedLong	ファイル選択用信号
OutPort		
名前	データ型	説明
targetPos_output	RTC::TimedDoubleSeq	手先目標座標

手先位置を記述したテキストファイルを読み込み，手先目標位置を順に移動させることでロボットアームを自動で動作させる．ファイルは3つまで読み込める．

2.2.4 AccelerationController


表 2 AccelerationController

 <p>AccelerationController0</p>		
InPort		
名前	データ型	説明
targetPos_input	RTC::TimedDoubleSeq	目標手先位置
OutPort		
名前	データ型	説明
position_output	RTC::TimedDoubleSeq	手先位置
コンフィギュレーションパラメータ		
名前	デフォルト値	説明
accel	20	加速度
maxSpeed	0.2	最大速度

目標手先位置への追従速度を調節するコンポーネント。ロボットアームの手先目標位置を受け取り，手先位置を出力する。これにより，目標手先位置を素早く移動させてもアームの手先位置は滑らかに移動する。

2.2.5 SerialOutAngle

表 3 SerialOutAngle

 <p>SerialOutAngle0</p>		
InPort		
名前	データ型	説明
angle_input	RTC::TimedDoubleSeq	各関節座標
コンフィギュレーションパラメータ		
名前	デフォルト値	説明
portName	COM1	ポート名

各関節座標を受け取り，シリアル通信でマイコンに送信する。マイコン側ではそれぞれのサーボモータを writeMicroseconds 関数を使用して 544～2400 の範囲（約 0.1 度単位）で動かすが，シリアル通信では一度に 1byte 以上の値は送ることができないため値を分けて送信している（図 4）。

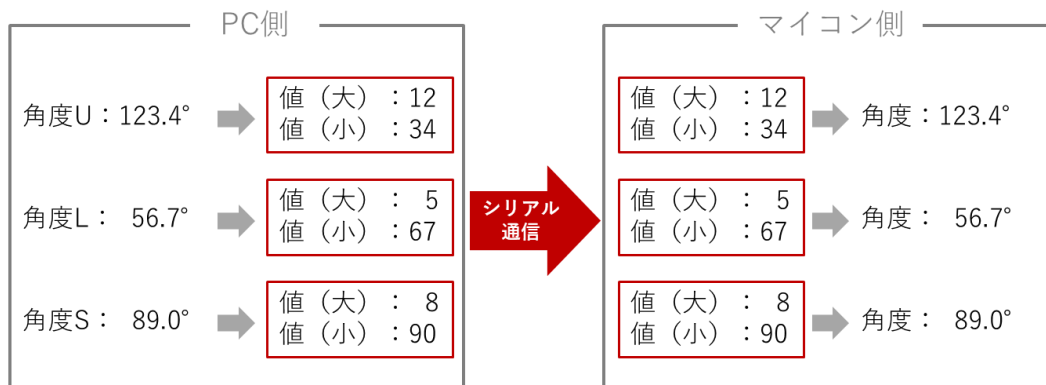


図4 SerialOutAngle コンポーネントによる PC-マイコン間データやり取りのイメージ

2.3 開発したハードウェア

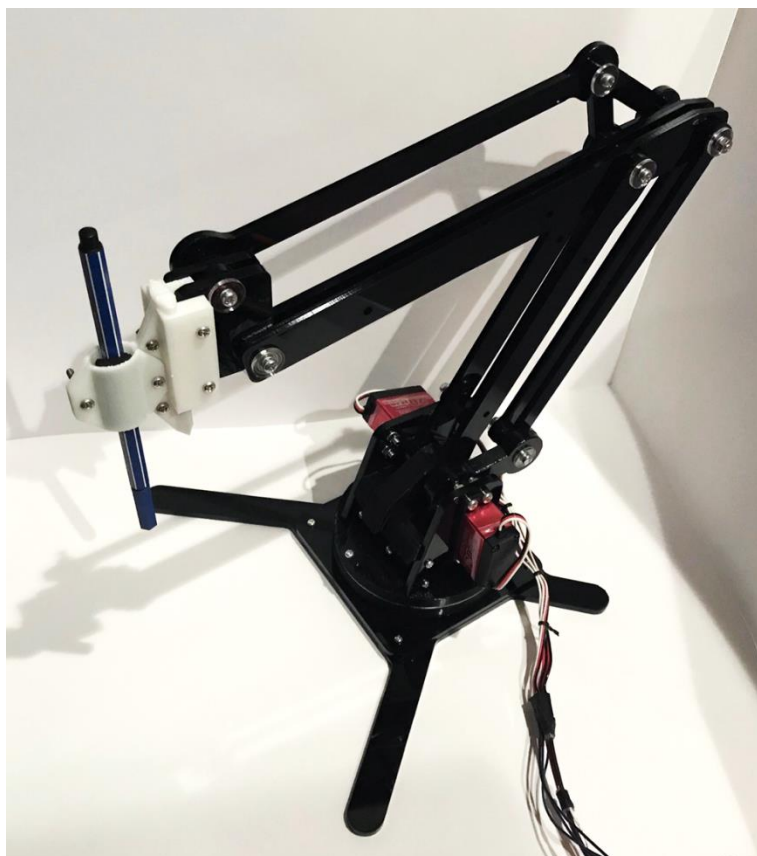


図5 製作したロボットアーム

開発した RTC 群のテストを行うため、小型のロボットアームを製作した (図5)。仕様を表5に示す。3DCAD を用いて設計し、3D プリンタとレーザー加工機を用いて部品を製作した。リンク部分は厚さ5mm のアクリル板製で土台部分に3D プリンタで出力した PLA 製のパーツを使用している (図6)。3つ

のサーボモータ（DS3218）を土台部分に集中して設置し、複数の平行リンク機構を用いて各関節へ動力を伝達する。サーボモータの制御には arduino を用いる。また、旋回用サーボモータへの負荷を軽減するためクローム鋼球と P L A パーツ、厚さ 2mm のアクリル板を使用して製作した簡易的なスラスト軸受機構を備えている（図 7）。

表 5 Robot arm specifications

種類	垂直多関節
軸数	3 軸
上腕長さ	300mm
下上長さ	300mm
可搬重量	200g
総重量	943g
電源仕様	DC5V 3A



図 6 製作したロボットアームの部品

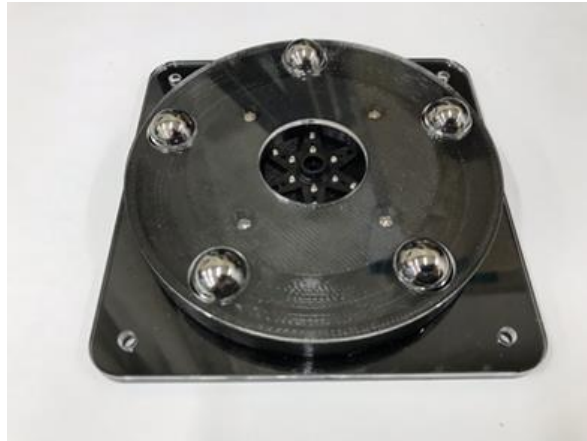


図7 簡易スラストベアリング

動作を確認しやすくするため手先部分には筆記用部を装着できるソケットパーツを設けた（図8）.

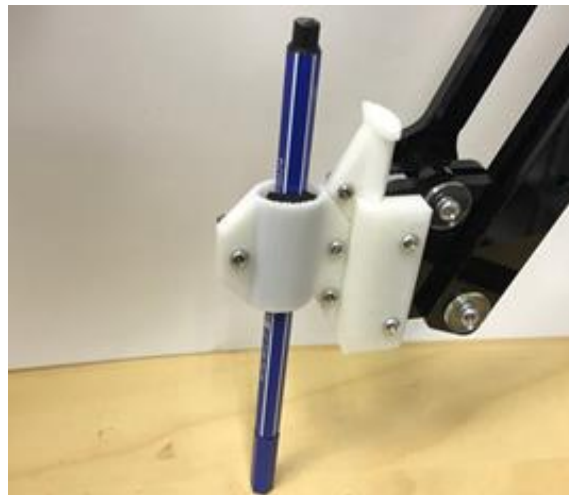


図8 筆記具用ソケット

3. システムの準備

3.1 RTC の準備

(1) DX ライブラリを配置する

GUI の描画には DX ライブラリ を使用するため、わかりやすい場所（C ドライブ直下など）に配置しておく。

(2) ビルドする

CMake と Visual Studio を使った手順を以下に示す。

※「RobotArmGUI」と「RobotArmCUI」は名前が似ているので注意。

(2-1) 「RobotArmGUI」以外のビルド

- ① CMake を起動する。
- ② 「RobotArmCUI」ディレクトリ内の「CMakeLists.txt」を CMake 上にドラック&ドロップする (図 9)。

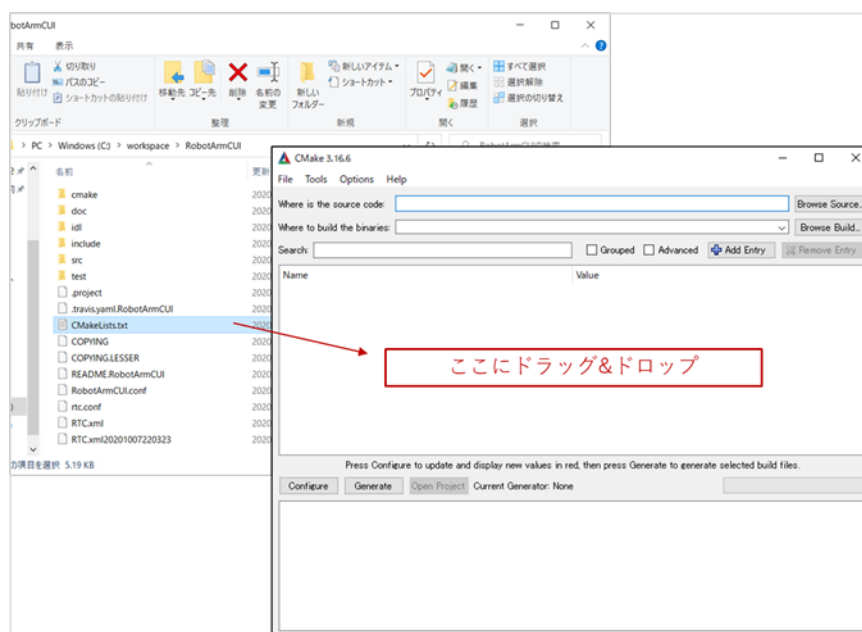


図 9 CMake での作業

- ③ 生成ファイルを入れる build ディレクトリを追加する。（「Where to build the binaries」の欄のパスに「/build」を書き加える。）
- ④ 「Configure」を選択する。

- ⑤ 使用する Visual Studio のバージョンを選択し、「Finish」を選択する。（ディレクトリ生成のダイアログが出てきたら「Yes」を選択）
- ⑥ メッセージ「Configuring done」を確認し「Generate」を選択。「Generating done」の表示されたら完了。
- ⑦ build フォルダ内の「MyConsoleIn.sln」を開く。Visual Studio が立ち上がる。
- ⑧ ビルドすると RobotArmCUI¥Build¥src¥Debug に実行ファイルが作成される。
- ⑨ 「RobotArmAutomaticController」, 「AccelerationController」, 「SerialOutAngle」でも②～⑧と同様の手順を繰り返して設定する。

(2-2) 「RobotArmGUI」以外のビルド

- ① (2-1) の①～⑦までと同様の作業を行う。
- ② Visual Studio 画面右にある「ソリューションエクスプローラー」の「RobotArmGUI」を右クリック (図 10)。「プロパティ」を選択してプロジェクトのプロパティダイアログを開く。

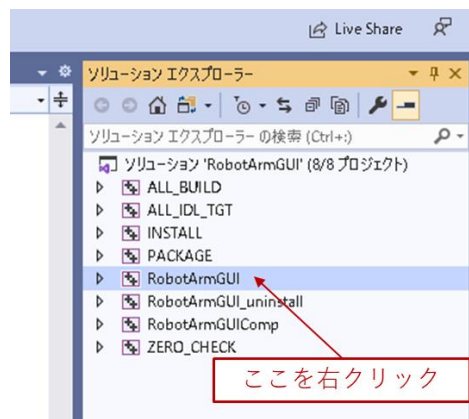


図 10 RobotArmGUI の設定

- ③ ダイアログの左上にある「構成(C):」の部分で「すべての構成」にする。
- ④ ダイアログの左側のリストから「構成プロパティ」→「詳細」を選択。
- ⑤ 次にダイアログ右側に表示されている「文字セット」の項目を「マルチ バイト文字セットを使用する」に変更し、「適用」を選択。
- ⑥ 左側のリストから「構成プロパティ」→「C/C++」→「全般」を選択。
- ⑦ 次に右側に表示されている「追加のインクルードディレクトリ」の項目にDXライブラリのパッケージ内に入っている「プロジェクトに追加すべきファイル_VC用」ディレクトリのパスを追加し、「適用(A)」を選択。
(パスの例→ c:\DxLib_VC¥プロジェクトに追加すべきファイル_VC用)
- ⑧ 次に左側のリストから「構成プロパティ」→「リンカー」→「全般」を選択。
- ⑨ 次に右側に表示されている「追加のライブラリディレクトリ」の項目にDXライブラリのパッケージ内に入っている「プロジェクトに追加すべきファイル_VC用」ディレクトリのパス (⑦と同じパス) を入力する。
- ⑩ 「OK」を押してダイアログを閉じる。

- ⑪ Visual Studio 画面右にある「ソリューションエクスプローラー」の「RobotArmGUIComp」を右クリック (図 11)。「プロパティ」を選択してプロジェクトのプロパティダイアログを開き、③～⑩と同様の設定を行う。

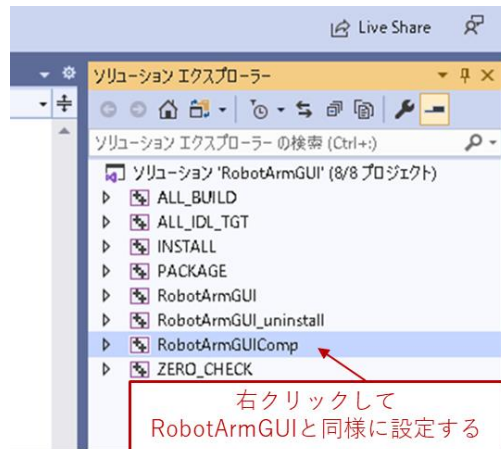


図 11 RobotArmGUIComp の設定

- ⑪ ビルドすると RobotArmGUI¥Build¥src¥Debug に実行ファイルが作成される。

(2) RobotoArmAutomaticController のファイルを準備

- ① 「RobotoArmAutomaticController」ディレクトリ内の「data1.dat」, 「data2.dat」, 「data3.dat」を実行ファイルがある Debug ディレクトリ内に移動する。
- ② ファイルを好きなように書き換える。(「4.3 自動で動作」を参照)

3.2 マイコンの準備

Arduino を使う場合の手順をいかに示す。

- (1) [Arduino IDE](#) をインストールしておく。
- (2) 「arduino_SerialOutAngleRTC」ディレクトリ内の「arduino_SerialOutAngleRTC.ino」を開く。
- (3) PC と arduino を USB ケーブルで接続する。
- (4) 「ツール」→「シリアルポート」から arduino が接続されたポートを選択する。
- (5) 「マイコンボードに書き込む」(左向きの矢印)を選択。

※サーボモータの動作方向を変更したい場合は、ソースコードの「switchDirection」変数を変更する。
サーボモータの動作範囲を変更したい場合は「upperLimit」変数, 「lowerLimit」変数を変更する。

3.3 システムの起動方法

(1) マイコンと PC を接続

マイコンと PC を USB ケーブルで接続する。接続したポート名を確認しておく（Windows の場合はデバイスマネージャー等で確認）。

(2) RTC を接続

- ① 「Start Naming Service」を起動する。
- ② OpenRTP を起動する。
- ③ 画面右上の「パースペクティブを開く」を選択。表示されるダイアログで「RT System Editor」を選択し、「開く」を選択（図 12）。

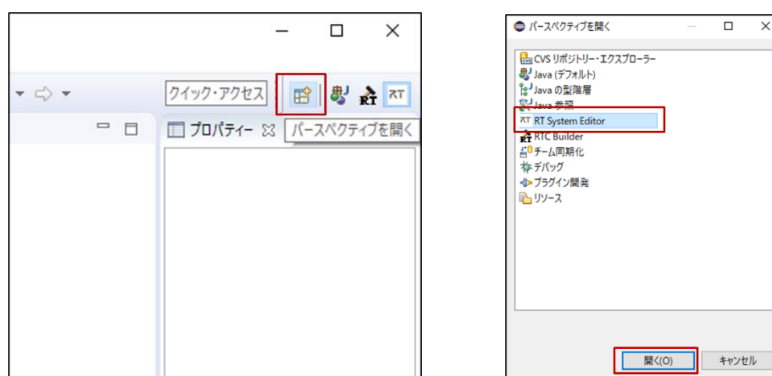


図 12 RT システムエディターを開く

④ 「3.1 RTC の準備

」で作成した 5 つの実行ファイルを開く。

- ⑤ 「NameServerView」にコンポーネントが表示されていることを確認する。折りたたまれている場合は「>」を押して展開する。RTC の名前の語尾に「0」がつく仕様。

「NameServerView」にネームサーバが現れない場合は、「ネームサーバを追加」を選択しダイアログで「localhost」を入力し「OK」を選択。

- ⑥ 「Open New System Editor」をクリック。右ウィンドウに「System Diagram」が表示される。
- ⑦ 「NameServerView」に表示された 5 つコンポーネント (RobotArmGUI, RobotArmCUI, RobotArmAutomaticController, AccelerationController, SerialOutAngle) を「System Diagram」にドラッグ&ドロップする。
- ⑧ 図 13 のようにコンポーネントを接続する。データポート間でドラッグ&ドロップして、表示されるダイアログは「OK」を選択する。ただし、RobotArmGUI と AccelerationController を接続するときは、表示されたダイアログの「詳細」にチェックマークを入れ、「Buffer length」を 1 に設定してから OK を選択する（図 14）。

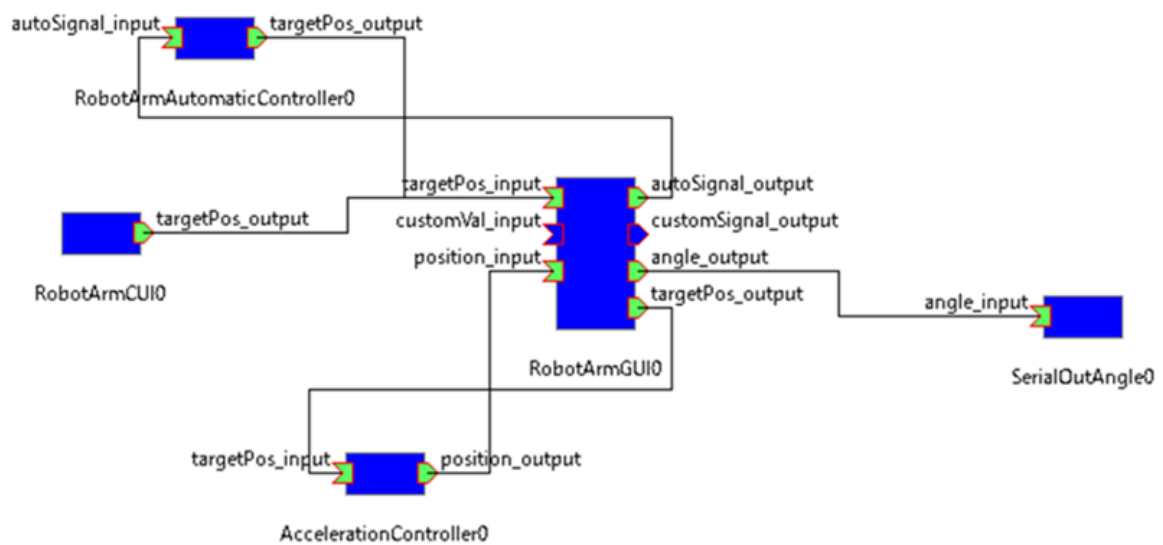


図 13 コンポーネント接続図

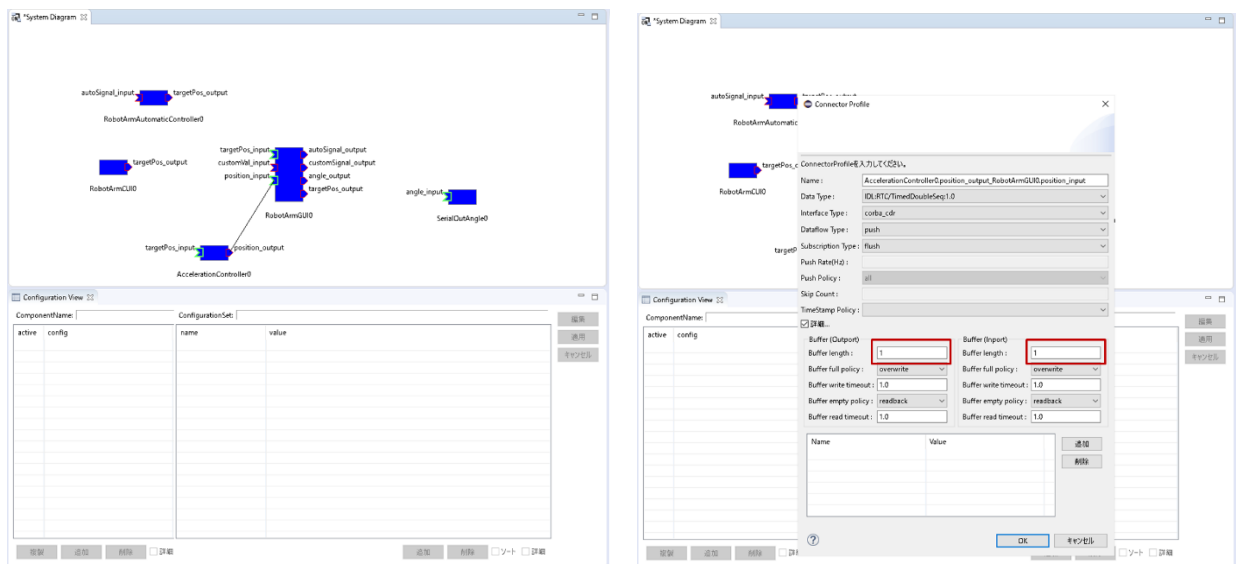


図 14 Buffer length の設定

- ⑨ 「System Diagram」上の「SerialOutAngle」コンポーネントを選択する。「Configuration View」の「portName」欄にマイコンが接続されているポート名を入力し、適用を選択（図 15）。

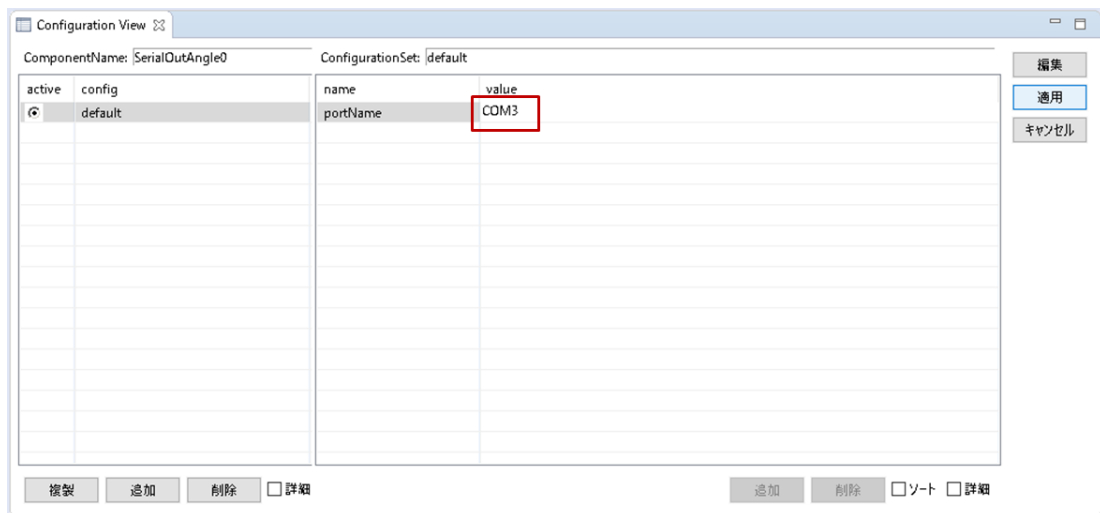


図 15 シリアルポートの設定

⑩ 使用するロボットアームの上腕・下腕長さがデフォルト値（上腕：300mm，下腕：300mm）でない場合は、「System Diagram」上の「RobotArmGUI」コンポーネントを選択し、「Con figuration View」の「upperArmLength」と「lowerArmLength」の欄に使うアームの長さを入力する。

⑪ 「Activate Systems」をクリックしする。RTC が緑になったら成功。

※OpenRTM-aist のバージョンが 1.2.1 以前の場合，図のようなエラーが出てくることがあるが無視して良い（図 16）．そのまま OK を選択する．

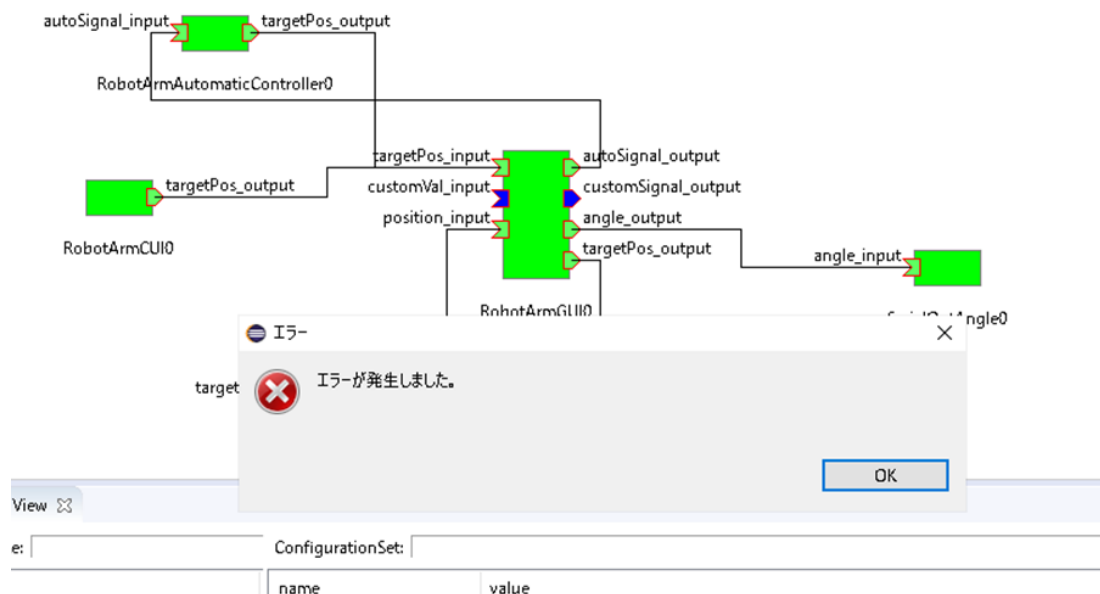


図 16 openRTP のバージョンが 1.2.1 以前の場合に表示されるエラー

- (4) ロボットアームの電源を入れる.
※各関節が初期角度まで動くので注意する.

【GUI のみを使用する場合】

GUI による操作さえできれば良いという場合は,「RobotArmCUI」と「RobotArmAutomaticController」を使わずにその他3つのコンポーネントのみを接続して使うことも可能. その場合は「RobotArmGUI」の「Configuration View」から「showAutoButton」を0に設定する.

4. 操作方法

4.1 GUI を用いた操作

基本的な操作は RobotArmGUI ウィンドウから行う。

4.1.1 上視点から操作

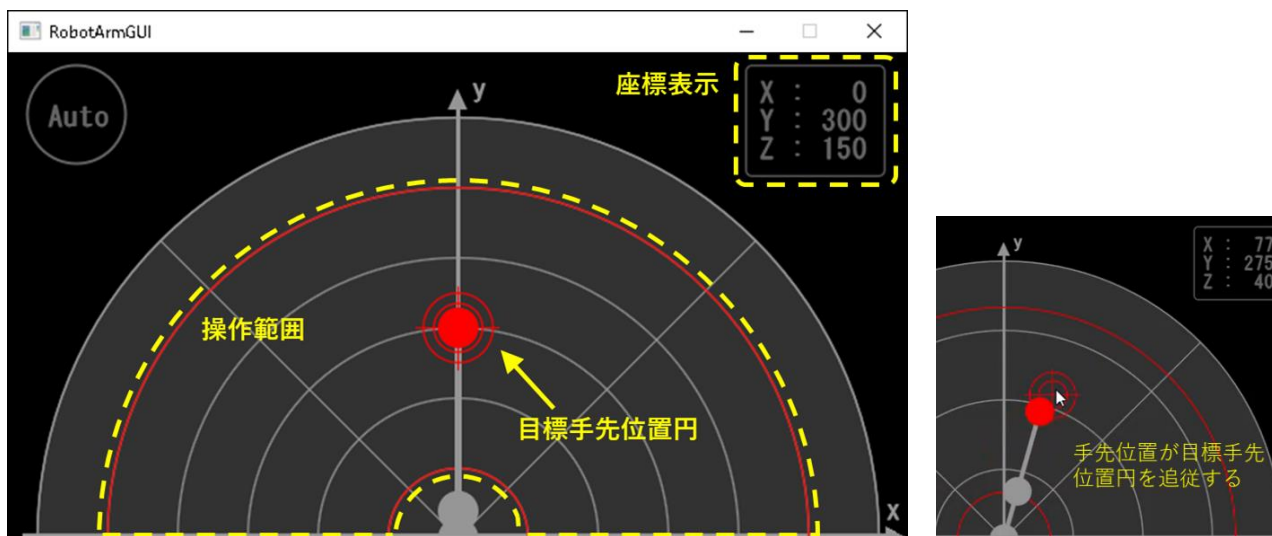


図 17 GUI の上からの視点

ロボットアームを真上から見た視点での操作について説明する。操作範囲内には目標手先位置円とアームを上から見た簡易モデルが描画されている（図 17）。目標手先位置円を動かすことアームで手先位置は目標手先位置円を追従するように動く。目標手先位置円の移動は xy 方向はマウスでドラッグすることで行い、z 方向への移動はマウスホイールを回転することで行う。右上に現在の手先位置がロボットアームの根元を原点とした座標が表示される。z 方向の位置については目標手先位置円の内部にある円の大きさで大まかに確認できる（図 18）。

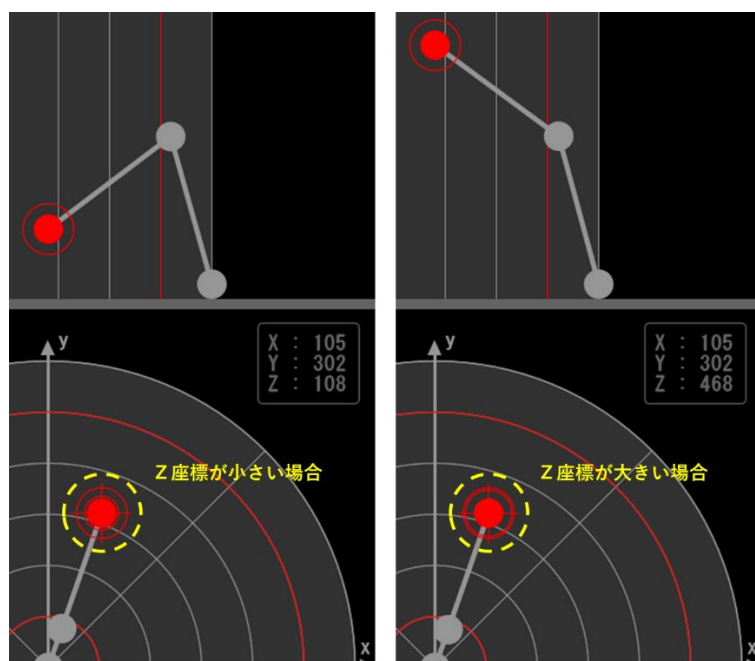


図 18 z 座標の大まかな確認方法

4.1.2 横視点から操作

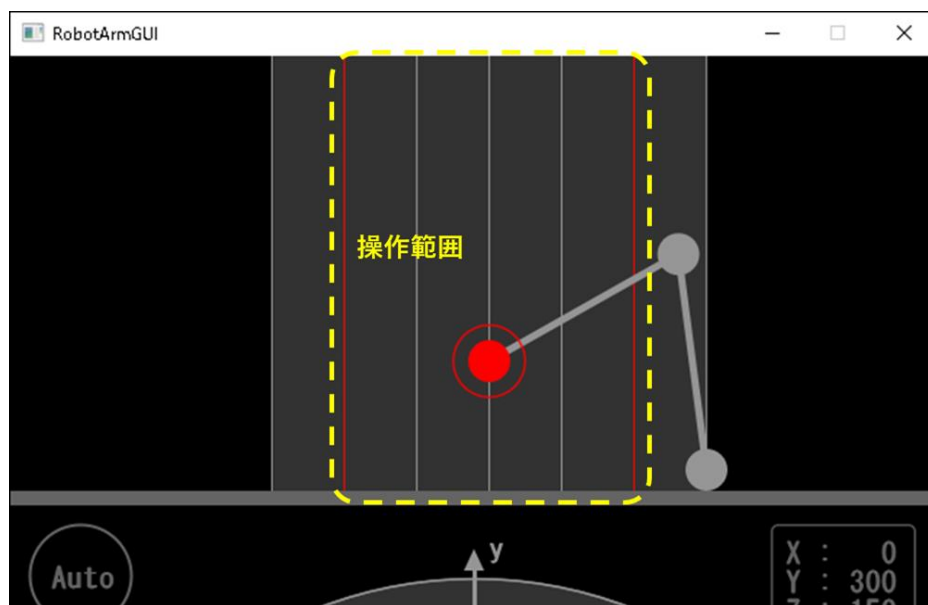


図 19 GUI の横からの視点

ロボットアームの旋回方向の軸の動きを無視して真横から見た視点での操作について説明する。横からの視点と同様に、操作範囲内には目標手先位置円とアームの簡易モデルが描画されている（図 19）。マウスでドラッグすることでアームを横から見た際の目標手先位置を移動できる。

4.2 CUI を用いた操作

ロボットアームを正確な位置に動かしたいは CUI で手先座標を直接打ち込むことができる。

「RobotArmCUI」コンポーネントのコンソールウィンドウを開くと「Please input target coordinates:」と表示されているので任意の手先座標を x, y, z, の順で入力する (図 20)。座標はロボットアームの根元を原点とし, 単位[mm]で入力する。エンターキーを押すと GUI 上の手先目標位置円が入力した座標に移動する。操作範囲外を入力した場合は操作範囲内で最も入力座標に近い座標に移動する。

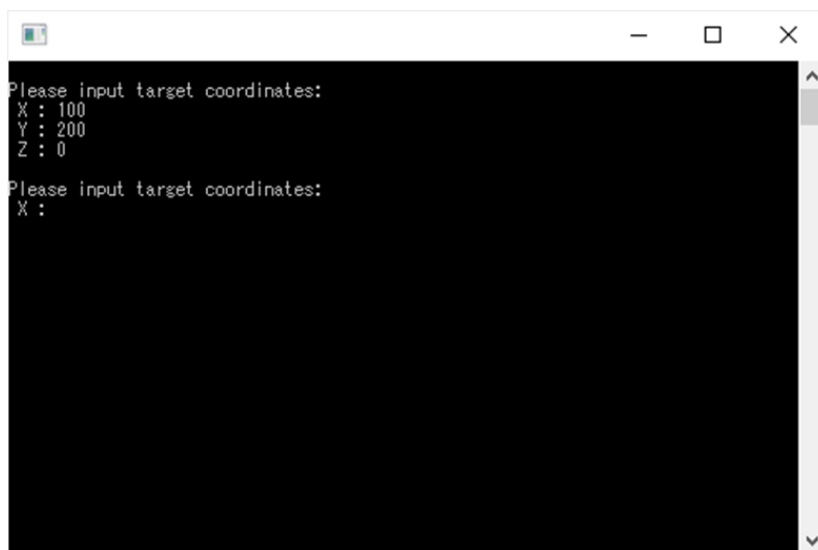


図 20 CUI での座標入力の様子

また, 座標を途中まで入力したがキャンセルしたい場合は数値以外 (アルファベットや「-」以外の記号) を入力してエンターキーを押すことで入力をキャンセルできる (図 21)。

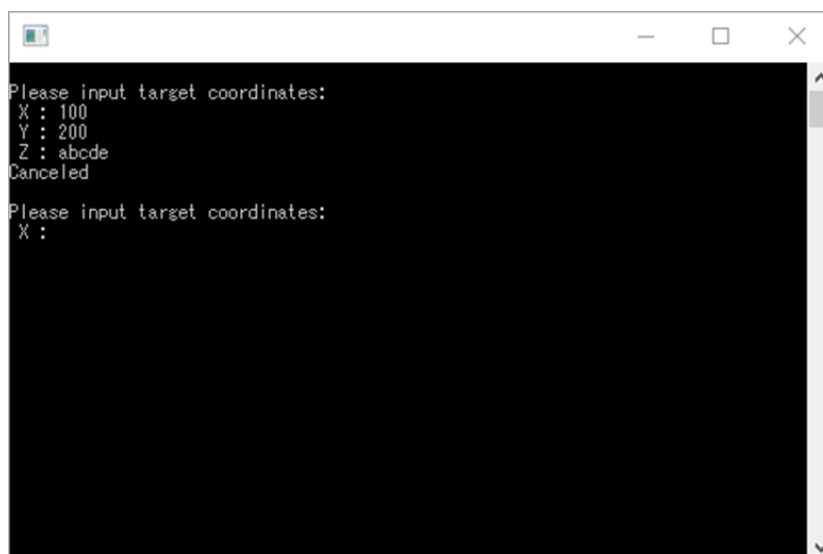


図 21 CUI の入力キャンセルの様子

4.3 自動で動作

テキストファイルを読み込ませることでロボットアームに決められた動作を行わせることができる。

「RobotArmAutomaticController」ディレクトリ内の「data1.data」, 「data2.data」, 「data3.data」に動作用データを3種類まで保存できる。テキストファイルの1行目には動作間隔を、それ以降の行には目標座標をスペースで区切って書き込む(図22)。



図 22 自動制御用テキストファイルの例

動作データは「RobotArmGUI」ウィンドウの「Auto」ボタンから行う（図 23）。画面左側の「Auto」と書かれた円の上にマウスポインタを移動させると「Select data1」に表示が切り替わりデータの選択モードに移行する。その状態でマウスホイールを回すことで使用するデータを選ぶことができる。データを選びクリックすると「Runnin data1（または data2,data3）」に表示が切り替わり、選んだファイルに書き込まれた座標が指定した間隔で読み込まれ手先目標座標が移動する。最後の座標まで移動し終わると表示が「Auto」に戻る。また、動作が途中で再度「Auto」ボタンをクリックすることで自動動作をキャンセルできる。

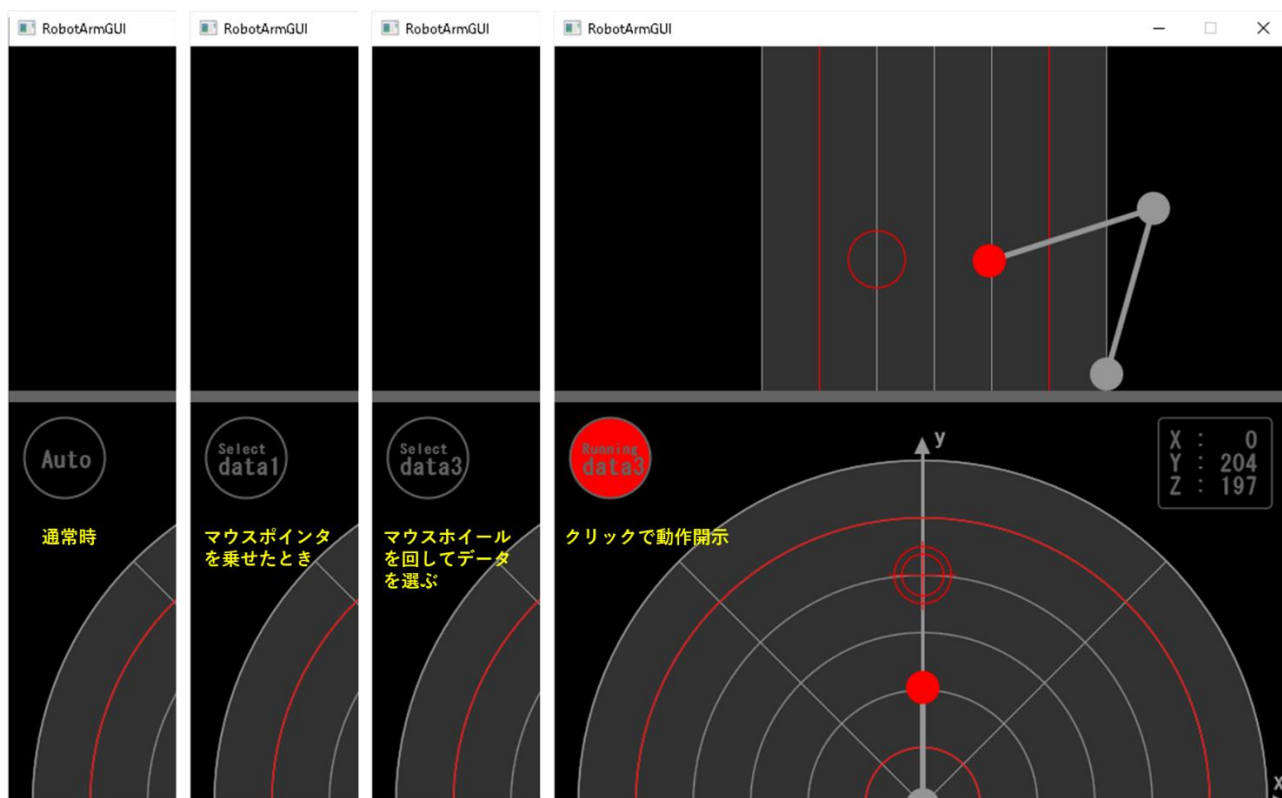


図 23 Auto ボタンの挙動

※テキストファイルで指定した座標に目標手先位置座標が瞬間的に移動する仕様となっているため、「AccelerationController」コンポーネントの代わりに自作のコンポーネント（例えばPID制御をするコンポーネントなど）を使用する場合は、テキストファイル内の座標は連続している必要があることに注意すること。

（「AccelerationController」コンポーネントを使用している場合はアームは滑らかな動作を行うため座標同士が離れていても問題ない）

Q&A

Q. このマニュアルに載っているロボットアーム以外のロボットアームも動かせますか？

A. RC サーボモータを使用した 3 軸又は 4 軸のシリアルリンクロボットアームであればなんでも動かします。

Q. GUI の文字色の設定方法は？

A. 文字色は背景の明るさによって自動で設定されます。

Q. GUI の補助線などの色の設定方法は？

A. 線の色は操作半円の明るさによって自動で設定されます。

Q. RobotArmGUI がアクティベートできません。

A. RobotArmAutomaticController コンポーネントからの入力待ち状態の可能性があります。RobotArmAutomaticController コンポーネントを繋げない場合は、コンフィギュレーションの showAutoButton を 0 に指定してください。

Q. システムをアクティベートしても RobotArmGUI コンポーネントのウィンドウが真っ黒いままで。

A. RobotArmGUI コンポーネントはコンソールウィンドウのほかにもう一つ GUI 用のウィンドウを作ります。GUI のウィンドウでアームを操作してください。

Q. 実際のロボットアームの状態と GUI に表示された状態が異なっています。

A. RobotArmGUI のコンフィギュレーションでアームの上腕・下腕長さが実際のアームと等しく設定できているか確認してください。また、マイコン側の角度設定を確認してください。

Q. 手先位置の追従速度が設定値より遅く感じる。

A. RTSystemEditor で「RobotArmGUI」と「AccelerationController」コンポーネントを接続する際に、buffer length を 1 に指定したか確認してください。計 4 箇所指定します。

Q. ロボットアームの動きが速すぎる。

A. AccelerationControl のコンフィギュレーションで手先位置の最大移動速度を指定してください。単位は[mm/F]です。60fps の場合、1/60 秒間で移動する距離を入力してください。

Q. ホイールを回しても手先位置の Z 座標が変化しないときがあります。

A. マウスポインタが Auto ボタンの上にある時はマウスホイールでの Z 座標が出来ません。

Q. 自動制御が上手くできません.

A. 実行ファイルが入ったディレクトリ内にテキストファイル (data1. txt,data2. txt,data3. txt) があることを確認してください. また, テキストファイルに 1000 (10m) 以上の値を送ると動作しません.

Q. Auto ボタンを押したときの挙動が, 設定した動作と異なります.

A. 自動制御用のファイルが RobotArmAutomaticController の実行ファイルと同じ場所にあるか確認してください. また, システムをアクティベートした後にファイルを変更しても動作に反映されません. 先にファイルの変更・保存を行ってからアクティベートしてください.

Q. 自動制御の際, 動作ごとに待機時間を変えたいです.

A. RobotArtmaticController コンポーネントに動作ごとの待機時間を設定する機能はありません. 一部の動作のみ待機時間を増やしたい場合は同じ座標を複数回連続で入力することで対応してください.

Q. アームだけでなく, エンドエフェクタも動かしたいです.

A. GUI については「Custom」ボタンを表示させることで簡単な ON/OFF の制御は可能です. ただしシリアル通信コンポーネントは 4 つ以上のデータを送信できないため, 書き換える必要があります.

参考

[1] 広川美津雄, 井上勝雄, 岩城達也, 加島智子: “直感的インタフェースデザインの設計論の基礎的考察”, 日本感性工学会

改訂履歴

2020 年 11 月 22 日 ver1.0 新規作成

2020 年 11 月 27 日 ver1.1 Q&A を追加