2024年11月22日
高度ポリテクセンター・能力開発セミナー (E0771)
「RTミドルウェアによるロボットプログラミング技術」

# 4．総合演習（1）

# はじめに

- 本日の講習会のWebページ
  - https://openrtm.org/openrtm/ja/node/7295
  - 短縮URL
    - https://x.gd/utAFE


- こちらに、必要な情報がまとまっていますので、ブックマークしてください。

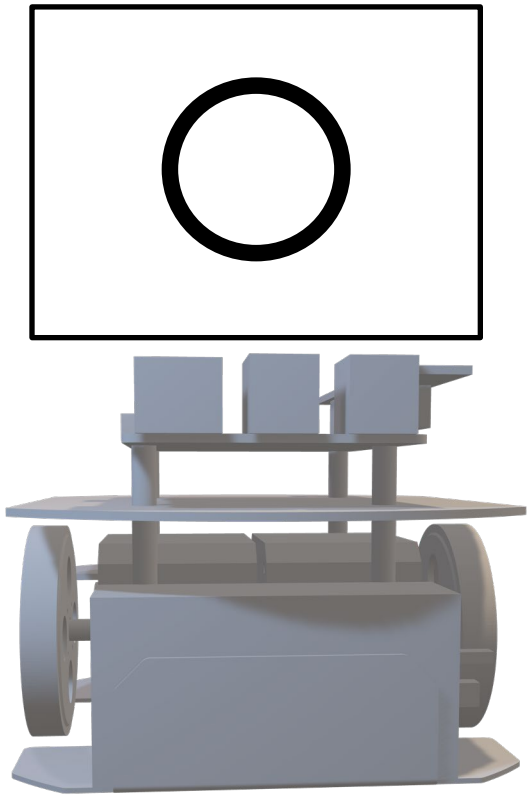
# 概要

1. 画像処理コンポーネントの作成
2. システム構築とテスト

目標：
１．画像データを格納するデータ型について理解する
２．外部ライブラリを使う場合の設定方法を理解する
３．画像処理を移動ロボットの制御に応用するという、より高度なシステムの構築手順を理解する

# 画像処理コンポーネントの作成

- 発展的な課題として、OpenCVを使った画像処理コンポーネントを作成する



課題：カメラ画像から円形の図形を検出して、移動ロボットの向きを追従させる

# 資料

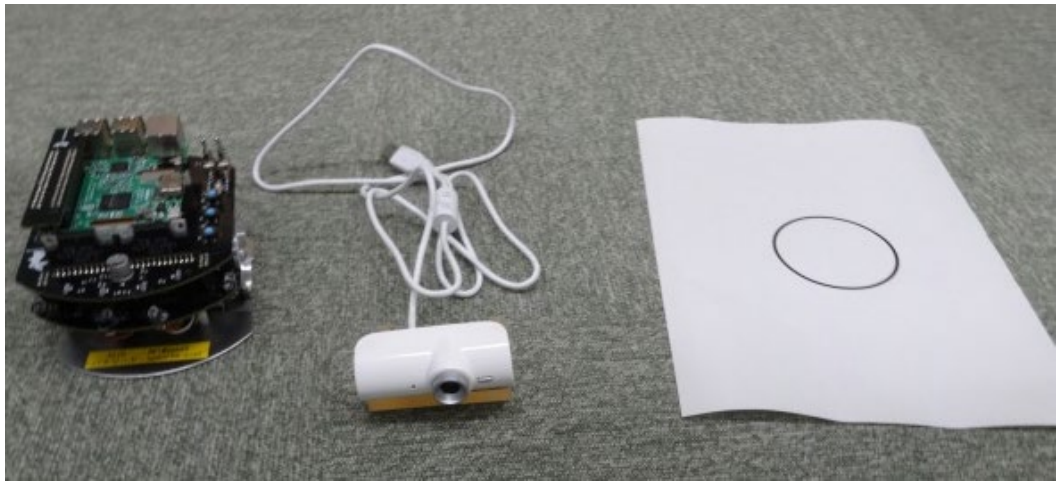
- WEBページ
  - https://openrtm.org/openrtm/ja/node/7197
  - 短縮URL
    - https://x.gd/vWx6A

| | |
|---|---|
| 12:30-16:45 | **3．RTCプログラミング演習**<br>（1）RTCBuilderによるひな形コードの生成<br>（2）プログラムの作成とコンパイル<br>（3）シミュレータロボットと接続してテスト<br>（4）実機ロボットと接続してテスト<br>・チュートリアル(RTコンポーネントの作成入門、Raspberry Pi Mouse、Windows)<br>・チュートリアル（RaspberryPiマウス、Joystick操作）<br>**資料:** 241121-03.pdf<br>**シミュレータ等:** RTM_Tutorial.zip |

| **11月22日（金）** | |
|---|---|
| 10:00 -11:45 | **4．総合演習（1）**<br>（1）画像処理コンポーネントの作成<br>（2）システム構築とテスト<br>・チュートリアル(画像処理実習)<br>**資料:** 241122-04.pdf |
| 11:45 -12:30 | 昼食 |
| 12:30 -16:45 | **5．総合演習（2）**<br>（1）SLAMについて<br>（2）地図作成・ナビゲーション実習<br>・チュートリアル（MRPT RTC群によるSLAMナビゲーションシステム）<br>**資料:** 241122-05.pdf<br>**SLAM用RTC等**(RTCプログラミング演習のRTM_Tutorial.zipと同じ)**:** RTM_Tutorial.zip |

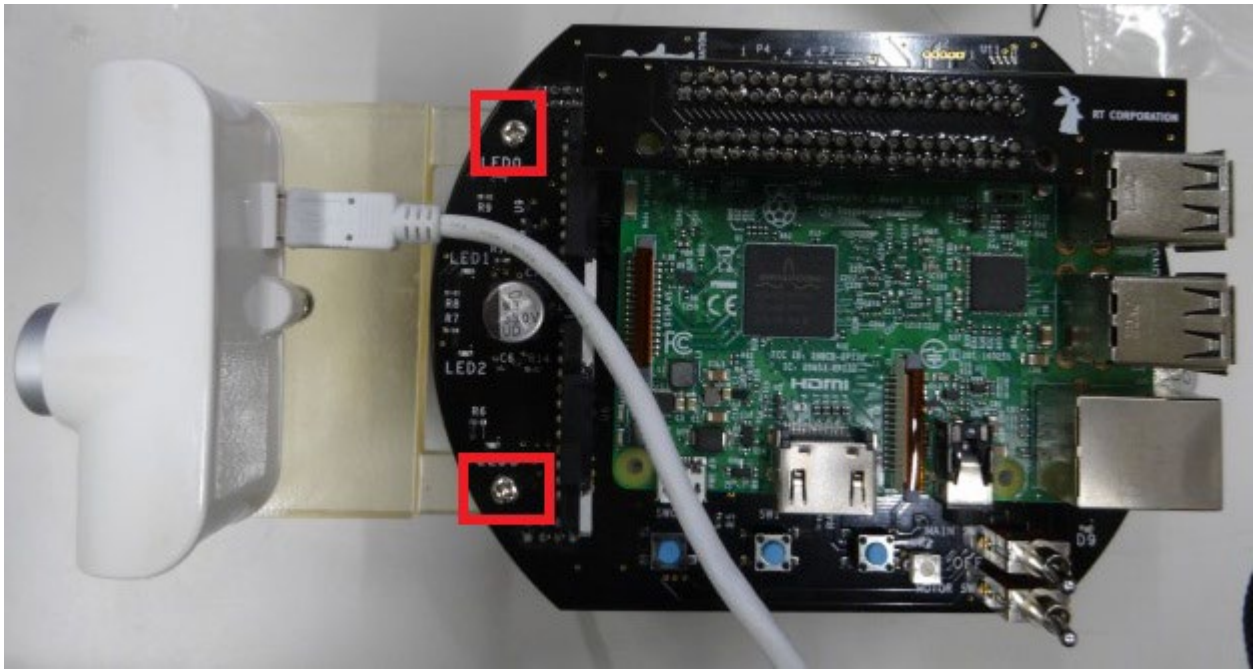
# カメラ用マウントの取り付け

- 今回の課題で必要な機材は以下の3点
  - Raspberry Piマウス本体
  - USBカメラ (カメラ用マウントに固定済み)
  - 円を描いた紙



# カメラ用マウントの取り付け

- LiDARマウント固定用のネジでカメラ用マウントを固定する

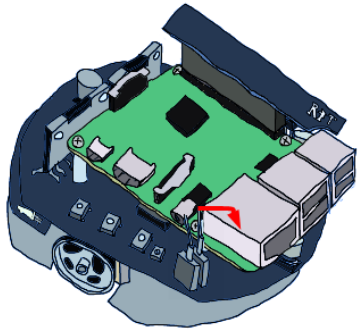



# USBカメラとノートPC接続

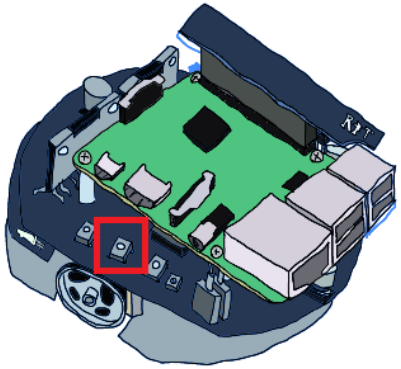
- ノートPCとUSBカメラをUSBポートで接続する

# Raspberry Piの起動

- Raspberry Piの電源投入
  - 内側のスイッチをオンにする

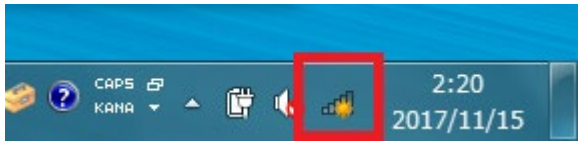


- 電源を切る場合
  - 3つ並んだスイッチの中央のボタンを1秒以上押す
  - 10秒ほどでシャットダウンするため、その後に電源スイッチをオフにする



# Raspberry Piとの接続

- 無線LANアクセスポイントとの接続
  - SSID、パスワードはRaspberry Piマウス上のシールに記載
  - 接続手順(Windows)
    - 画面右下のネットワークアイコンをクリック

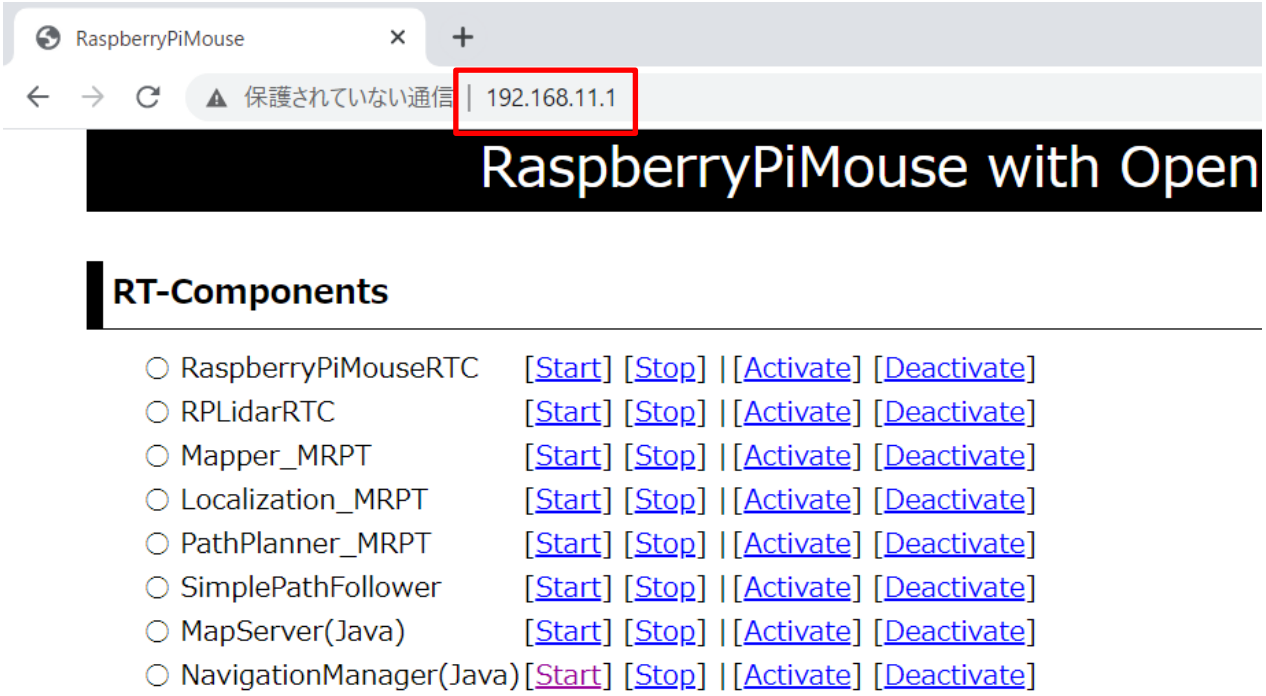



    - raspberrypi_xx(もしくはRPiMouse_xx)に接続後、パスワードを入力

# RaspberryPi Mouse LiDAR付きを選択した場合

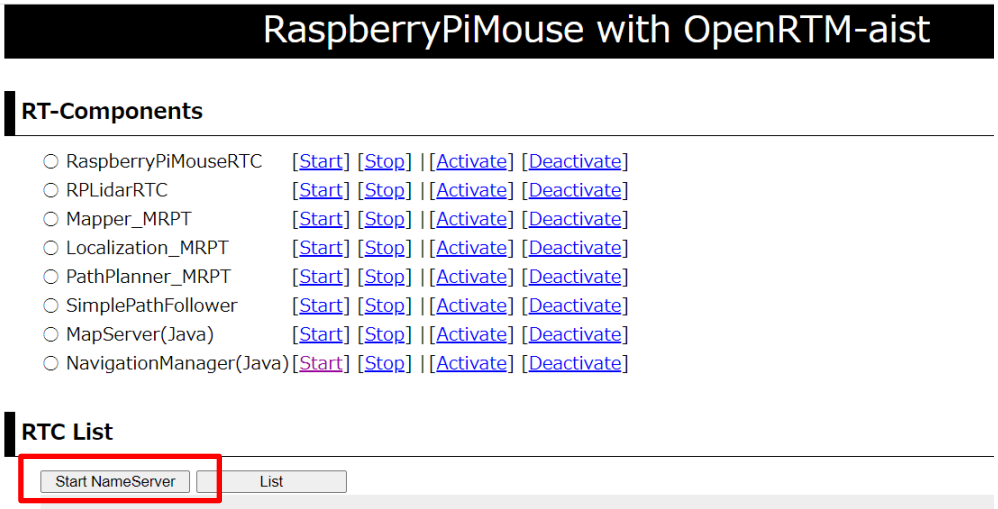
- **RaspberryPi Mouse V3** (LiDARが付属している) の場合、ネームサーバー、RTCが自動起動しないため、WEBブラウザからの操作で起動する必要がある。

- Chrome、Firefox、Edge等で**192.168.11.1**にアクセスする。

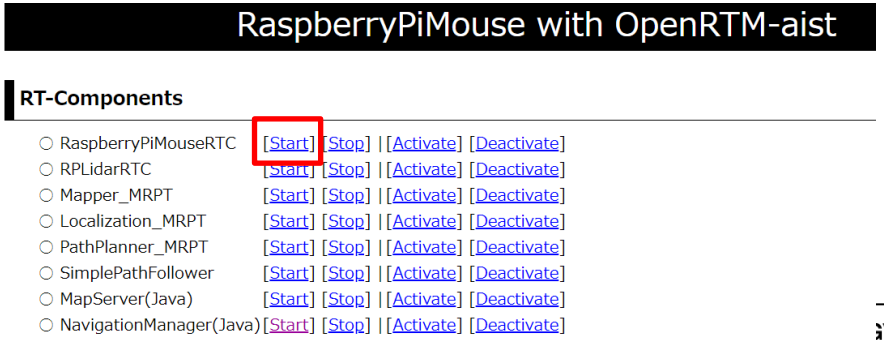


# RaspberryPi Mouse LiDAR付きを選択した場合

- ネームサーバーを起動する
  - Start NameServerボタンを押す



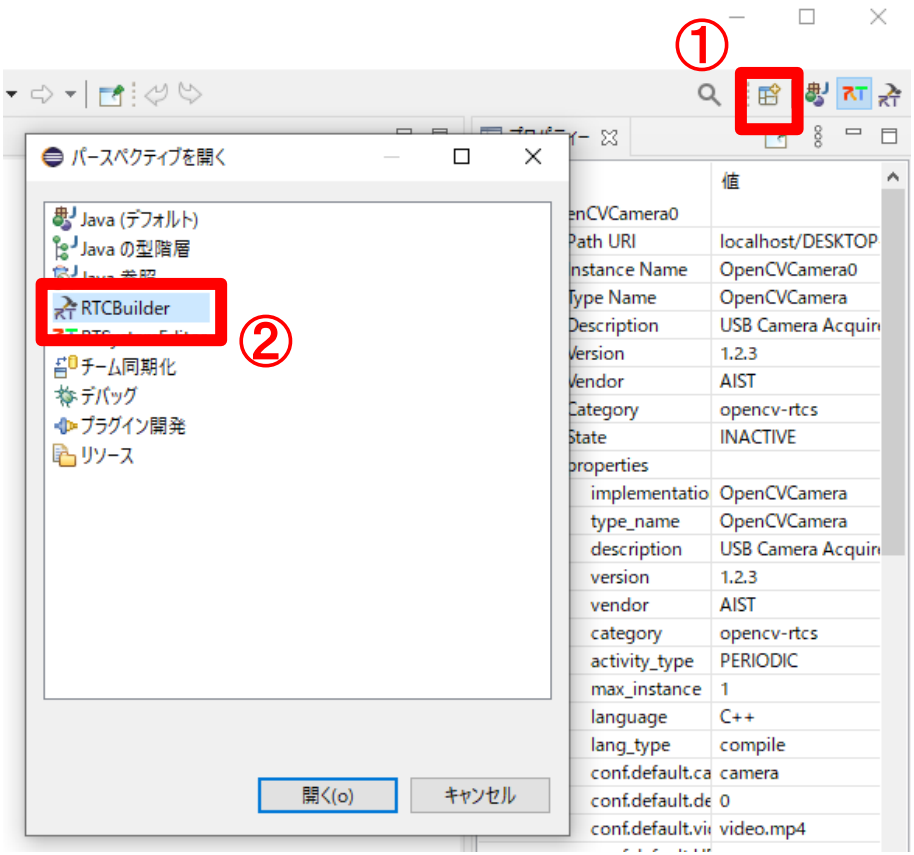

- RaspberryPiMouseRTCを起動する
  - RaspberryPiMouseRTCのStartを押す



# RTC Builderによる
# ひな型コード生成

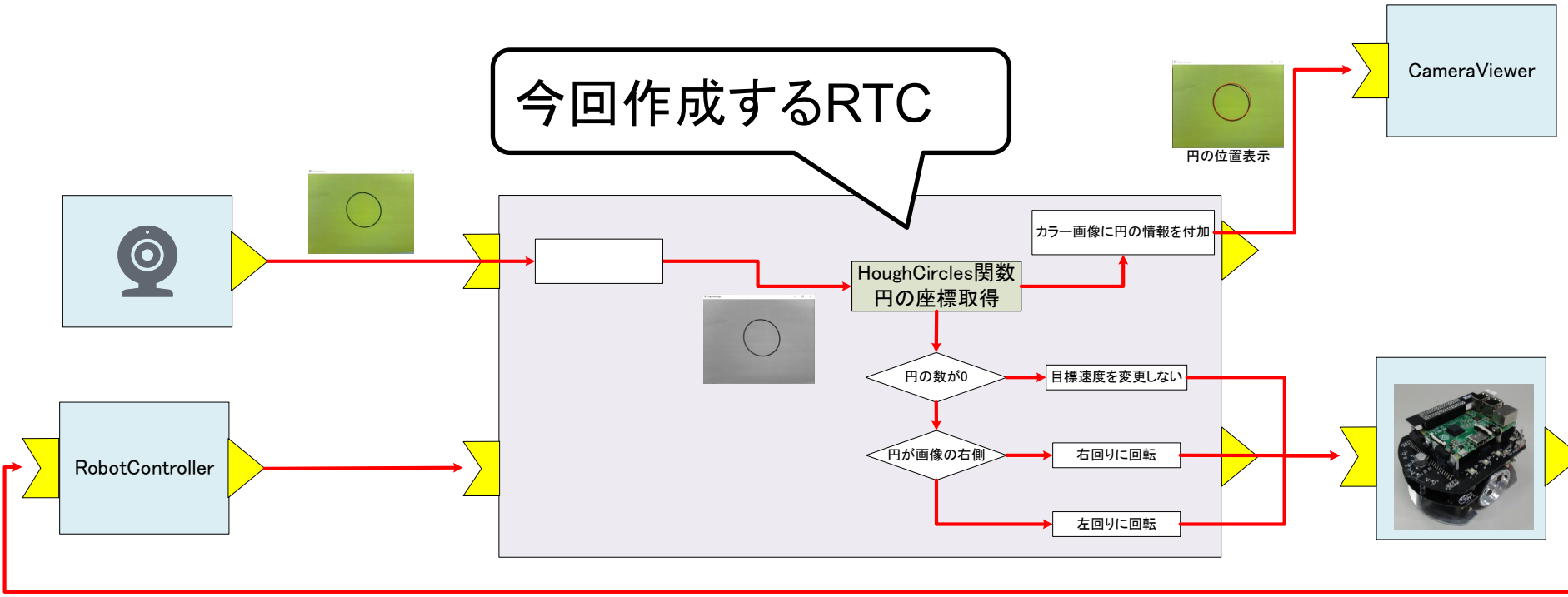
# RTCBuilder起動

- RTSystemEditorを起動中の場合は、「パースペクティブを開く」画面から起動する



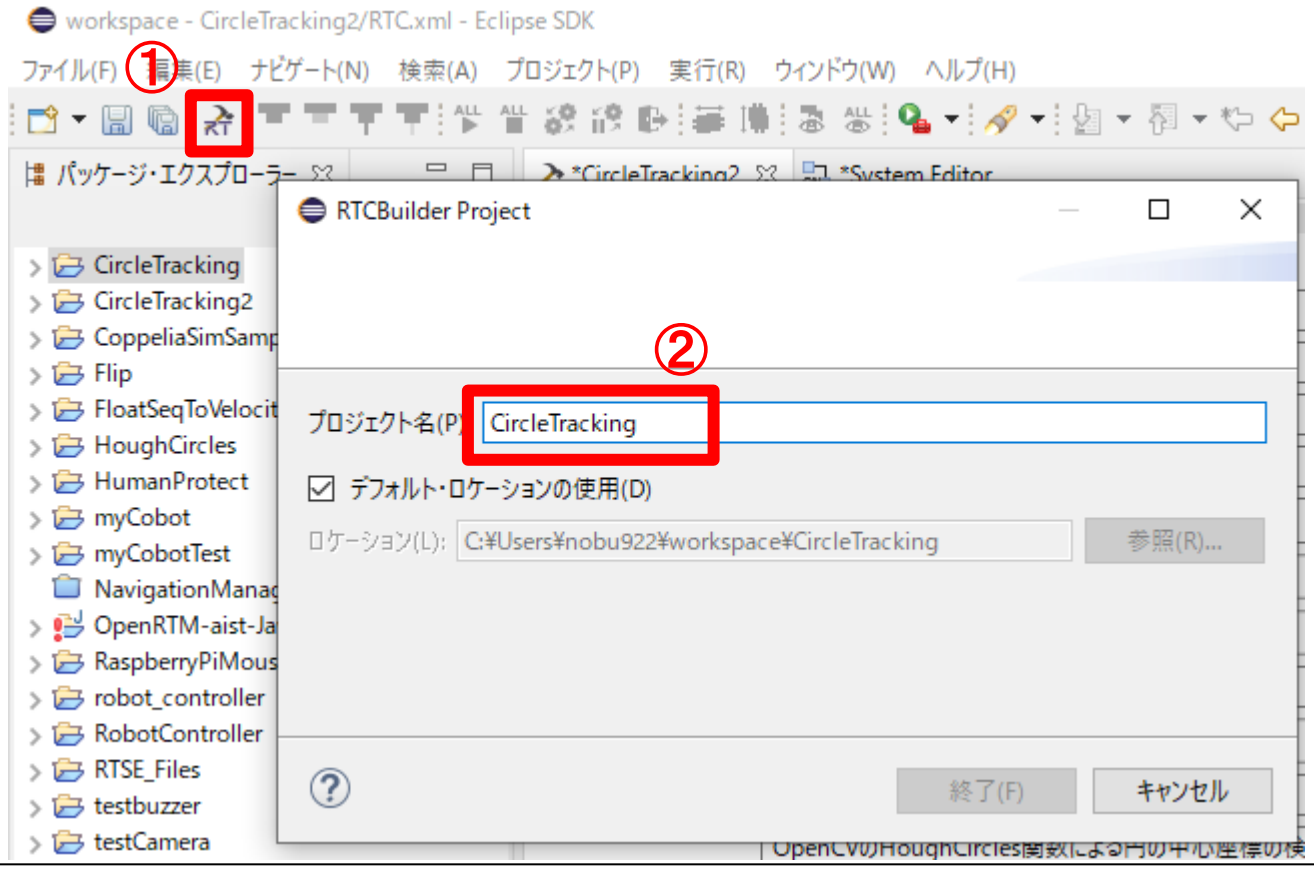

# 作成するRTCの概要

- カメラ画像から円形の位置を検出して、移動ロボットの向きを以下のように制御
  - 円が画像の左側の場合は左回りに回転
  - 円が画像の右側の場合は右回りに回転



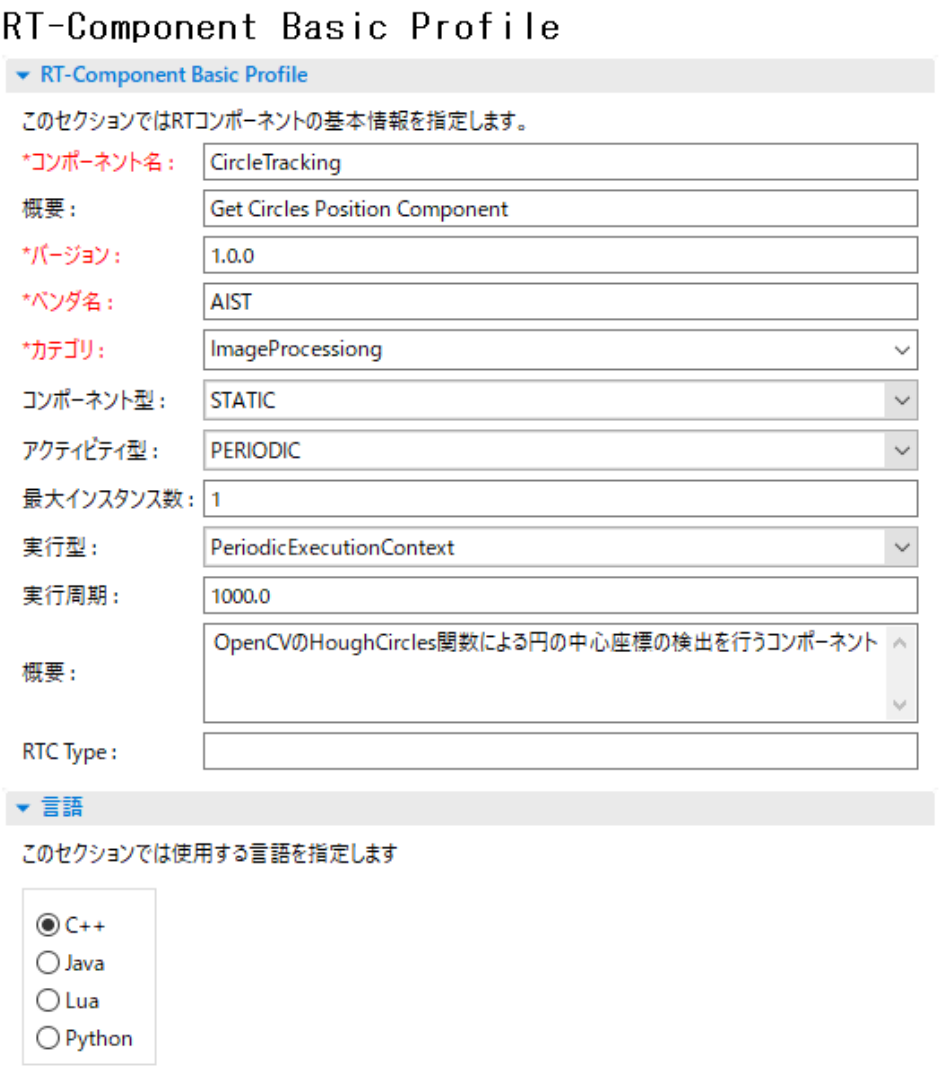
# プロジェクト作成

- 今回は「CircleTracking」という名前のプロジェクトを作成する



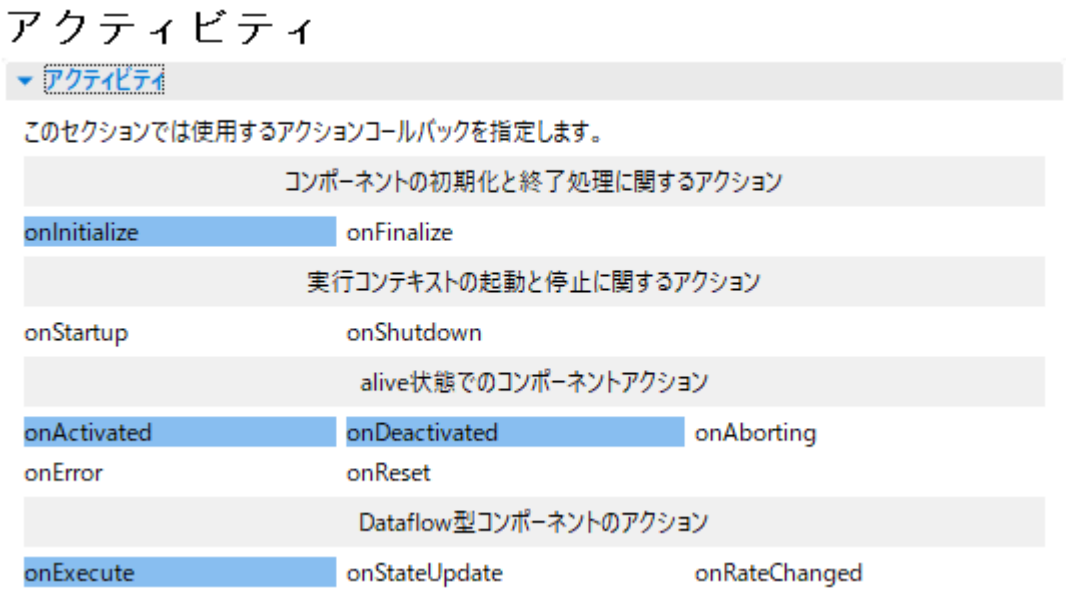
# 基本プロファイル入力

- コンポーネント名：
  - CircleTracking
- 言語
  - C++
- 他の項目は今回は入力の必要なし



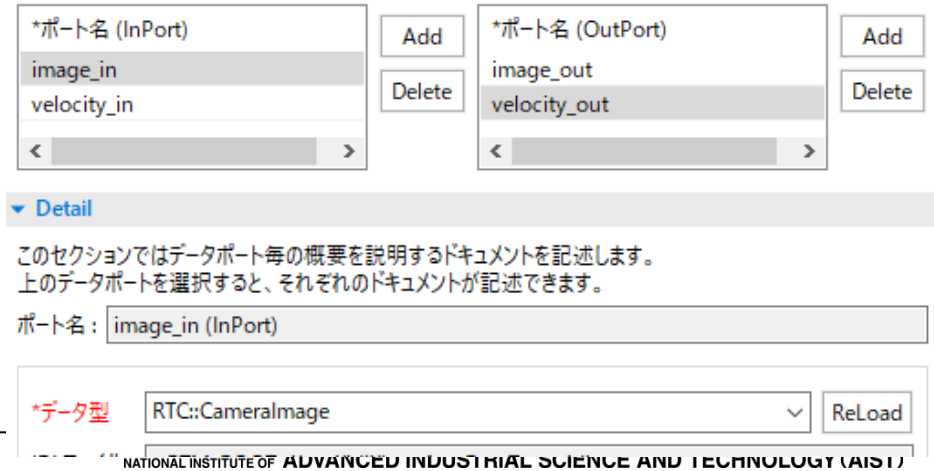
# アクティビティ

- 以下の3つを有効化
  - onActivated
  - onDeactivated
  - onExecute



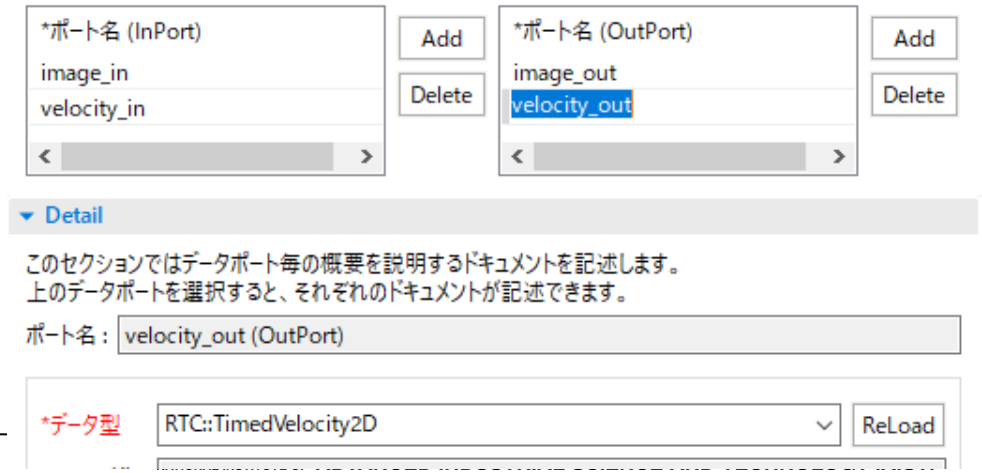
# データポート

- 以下のInPortを設定する
  - **image_in**
    - データ型：RTC::CameraImage
      - ※Img::CameraImageと間違えないように注意
      - ※RTC::CameraInfoと間違えないように注意
  - **velocity_in**
    - データ型： RTC::TimedVelocity2D



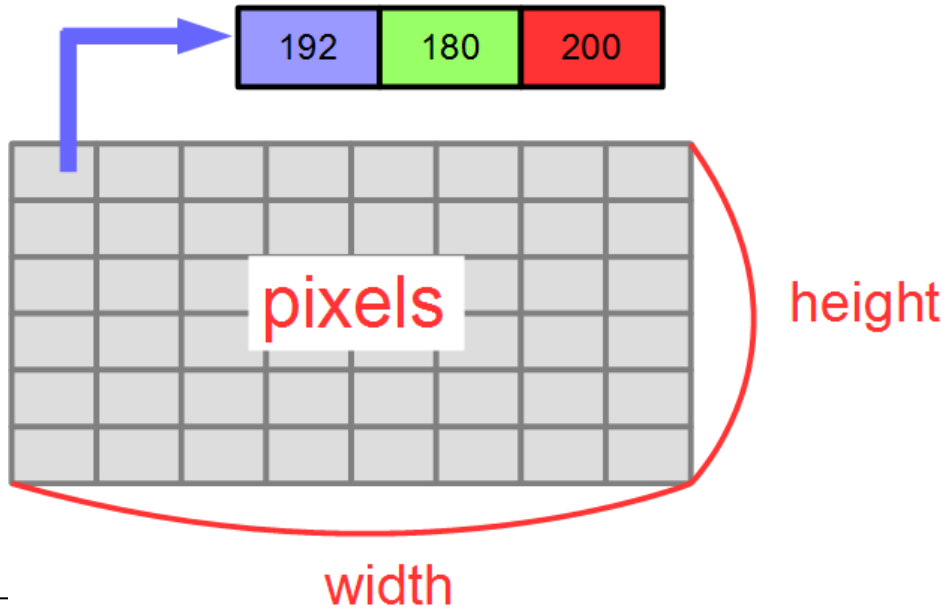
# データポート

- 以下のOutPortを設定する
  - **image_out**
    - データ型：RTC::CameraImage
      - ※Img::CameraImageと間違えないように注意
      - ※RTC::CameraInfoと間違えないように注意
  - **velocity_out**
    - データ型： RTC::TimedVelocity2D



# RTC::CameraImage型

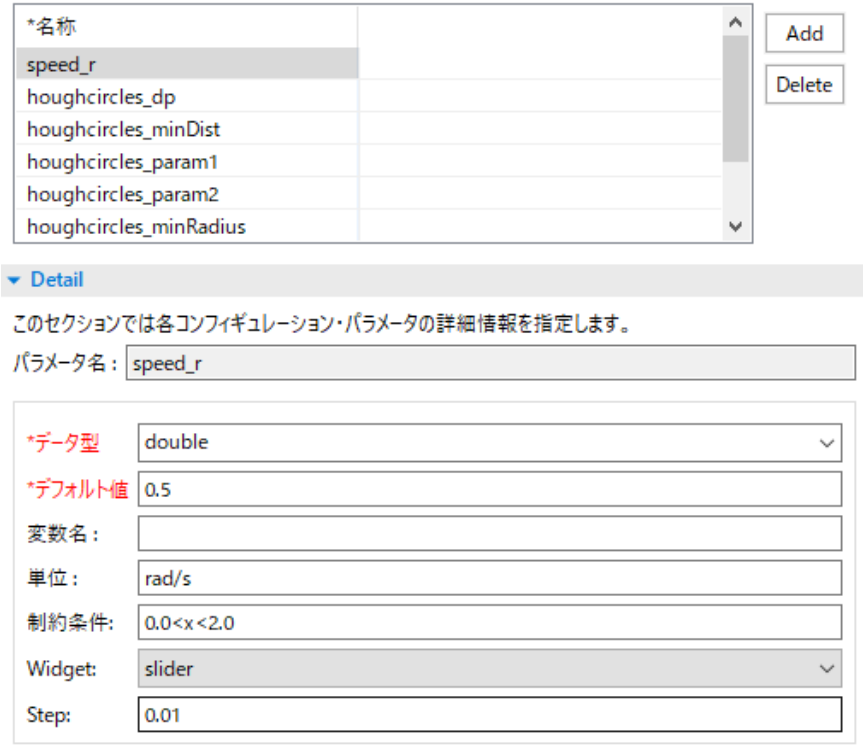
- 画像データをやり取りするためのデータ型
  - **width**：画像の幅
  - **height**：画像の高さ
  - bpp：色深度
  - format：フォーマット名(jpeg、png)
  - fDiv：スケールファクタ
  - **pixels**：画像データ



# コンフィギュレーションパラメータ

- 以下のコンフィギュレーションパラメータを設定する
  - **speed_r**
    - データ型：double
    - デフォルト値：0.5
    - 制約条件：0.0<x<2.0
    - Widget：slider
    - Step：0.01

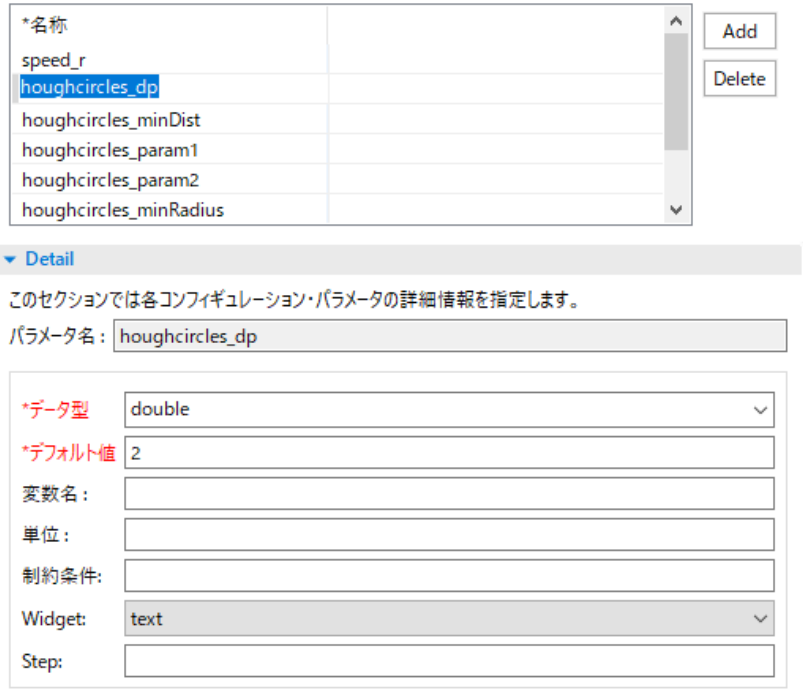
右回転、左回転する時の回転速度



# コンフィギュレーションパラメータ

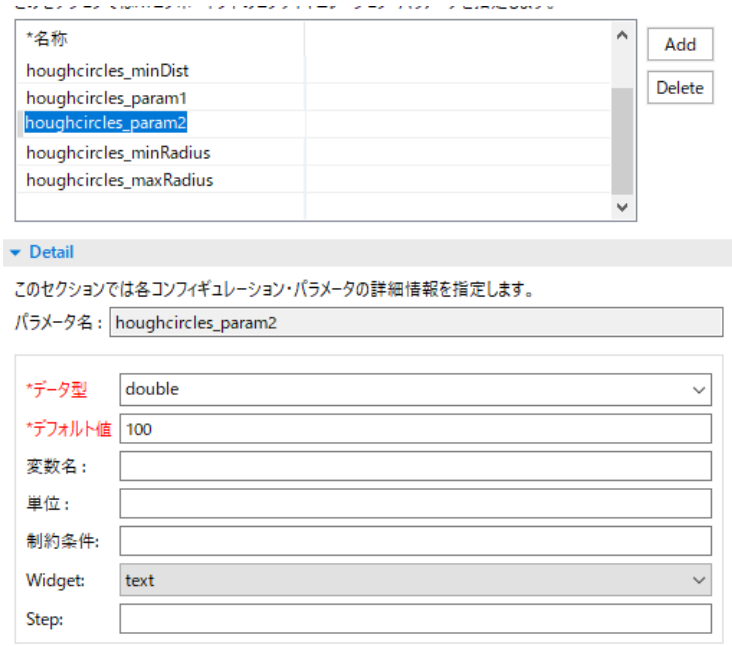
- 以下のコンフィギュレーションパラメータを設定する
  - **houghcircles_dp**
    - データ型：double
    - デフォルト値：2
    - Widget：text
  - **houghcircles_minDist**
    - データ型：double
    - デフォルト値：30
    - Widget：text
  - **houghcircles_param1**
    - データ型：double
    - デフォルト値：100
    - Widget：text

Widgetがsliderになっている場合は、必ずtextに変更する



# コンフィギュレーションパラメータ

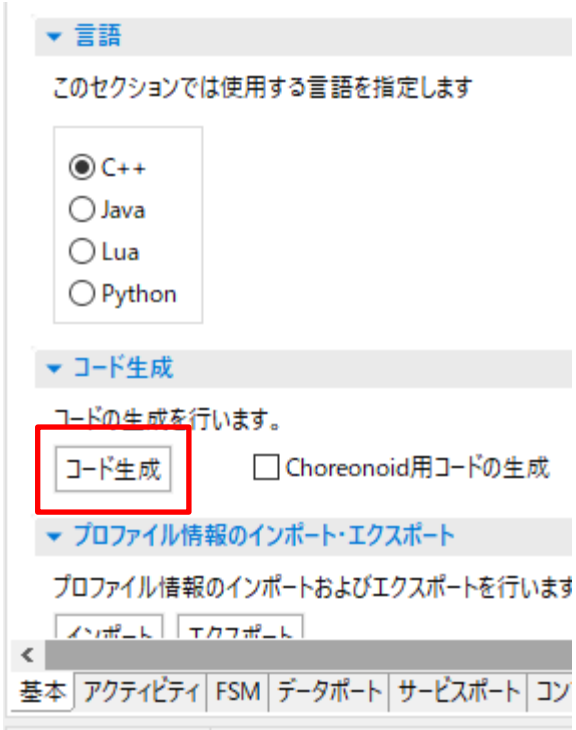
- 以下のコンフィギュレーションパラメータを設定する
  - **houghcircles_param2**
    - データ型：double
    - デフォルト値：100
    - Widget：text
  - **houghcircles_minRadius**
    - データ型：int
    - デフォルト値：0
    - Widget：text
  - **houghcircles_maxRadius**
    - データ型：int
    - デフォルト値：0
    - Widget：text



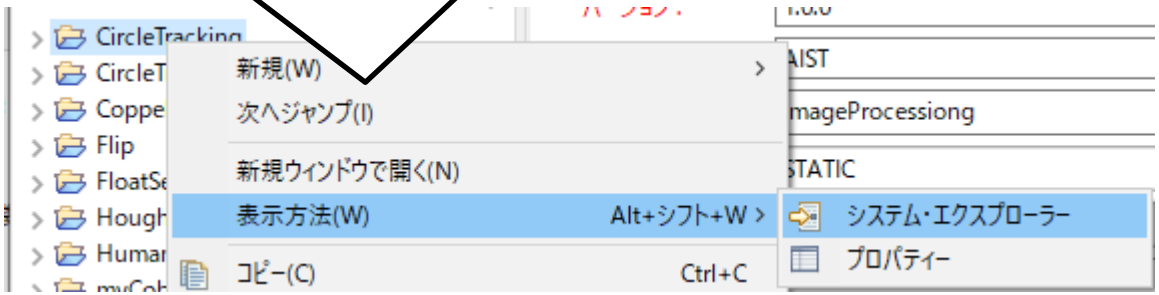

HoughCircles関数で指定するパラメータ (6個)

# コード生成

- コード生成後、ファイルが生成されたかを確認

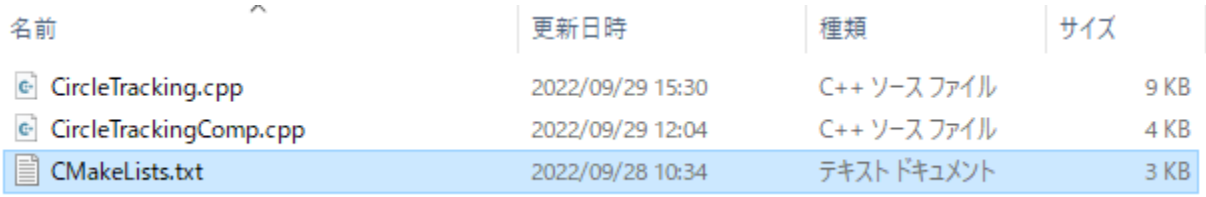



プロジェクトを右クリックして、「表示方法」
→「システムエクスプローラー」



# CMakeLists.txtの編集

- srcフォルダ内のCMakeLists.txtをメモ帳等で編集する
  - ※ CircleTrackingフォルダ直下のCMakeLists.txtではないので注意




  - OpenCVを使うため、find_packageでライブラリを検出する。

```
set(comp_srcs CircleTracking.cpp )
set(standalone_srcs CircleTrackingComp.cpp)

find_package(OpenCV REQUIRED) #追加
```

# CMakeLists.txtの編集

- リンクするライブラリにOpenCVを追加する
  - 以下の2か所

```
# 以下は修正前
# target_link_libraries(${PROJECT_NAME} ${OPENRTM_LIBRARIES})
# 以下は修正後、${OpenCV_LIBS}を追加
target_link_libraries(${PROJECT_NAME} ${OPENRTM_LIBRARIES} ${OpenCV_LIBS})
```

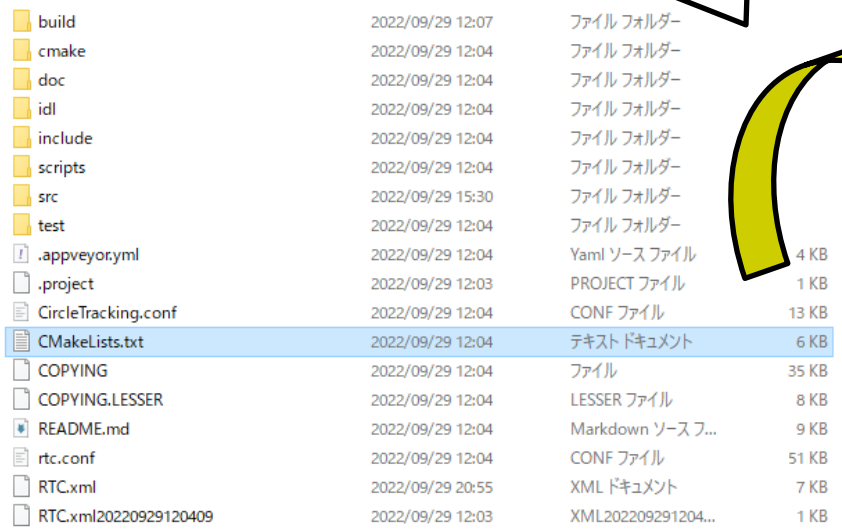
```
# 以下は修正前
# target_link_libraries(${PROJECT_NAME}Comp ${OPENRTM_LIBRARIES})
# 以下は修正後、${OpenCV_LIBS}を追加
target_link_libraries(${PROJECT_NAME}Comp ${OPENRTM_LIBRARIES} ${OpenCV_LIBS})
```

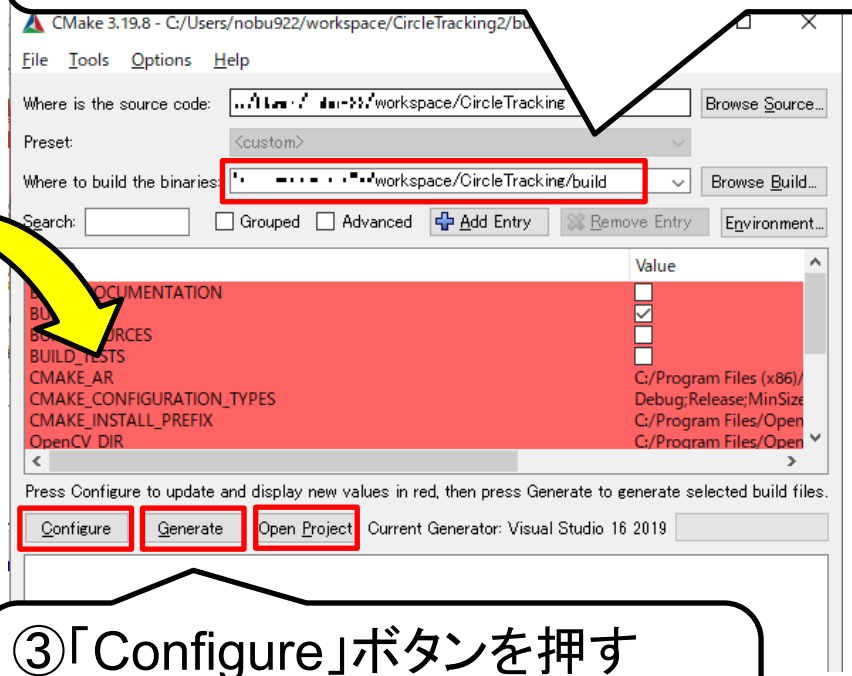
# ビルドに必要なファイルの生成

- CMake(cmake-gui)でビルドに必要なファイル(Visual Studioのプロジェクトファイル等)を生成

①CMakeLists.txtをcmake-guiにドラッグアンドドロップする
※CircleTrackingフォルダ直下のCMakeListsを使う

②「Where to build the binaries」のパスの後ろに「/build」を追加




③「Configure」ボタンを押す
④「Genarate」ボタンを押す
⑤「Open Project」ボタンを押す

# ソースコードの編集

- CircleTracking.hの編集
  - opencv2/opencv.hppをインクルードする

```
34:  #include <rtm/DataInPort.h>
35:  #include <rtm/DataOutPort.h>
36:
37:  #include <opencv2/opencv.hpp> //追加
```

  - 「private:」の下あたりに、以下の3行を追加する

```
314:  private:
315:     cv::Mat m_imageBuff; //追加
316:     cv::Mat m_outputBuff; //追加
317:     int m_direction; //追加
```

入力画像データ、出力画像データを格納する変数を宣言

移動ロボットの回転方向を格納する変数を宣言
- 0:回転方向を指定しない
- 1:左回りの回転
- 2:右回りの回転

# ソースコードの編集

- CircleTracking.cppの編集

```
RTC::ReturnCode_t CircleTracking::onActivated(RTC::UniqueId /*ec_id*/)
{
  // OutPortの画面サイズを0に設定
  m_image_out.width = 0;
  m_image_out.height = 0;

  //進行方向を0(回転方向を指定しない)に設定
  m_direction = 0;
  return RTC::RTC_OK;
}
```

```
RTC::ReturnCode_t CircleTracking::onDeactivated(RTC::UniqueId /*ec_id*/)
{
  if (!m_outputBuff.empty())
  {
    // 画像用メモリの解放
    m_imageBuff.release();
    m_outputBuff.release();
  }

  return RTC::RTC_OK;
}
```

# ソースコードの編集

- CircleTracking.cppの編集

```
RTC::ReturnCode_t CircleTracking::onExecute(RTC::UniqueId /*ec_id*/)
{
  if (m_image_inIn.isNew())
  {
    cv::Mat gray;
    std::vector<cv::Vec3f> circles;
    // 画像データの読み込み
    m_image_inIn.read();

    // InPortとOutPortの画面サイズ処理およびイメージ用メモリの確保
    if (m_image_in.width != m_image_out.width || m_image_in.height != m_image_out.height)
    {
      m_image_out.width = m_image_in.width;
      m_image_out.height = m_image_in.height;

      m_imageBuff.create(cv::Size(m_image_in.width, m_image_in.height), CV_8UC3);
      m_outputBuff.create(cv::Size(m_image_in.width, m_image_in.height), CV_8UC3);
    }

    // InPortの画像データをm_imageBuffにコピー
    std::memcpy(m_imageBuff.data,
                (void *)&(m_image_in.pixels[0]),
                m_image_in.pixels.length());
```

InPort (image_in) でデータを受信して、変数m_imageBuffに画像データをコピーするまでの処理

# ソースコードの編集

- CircleTracking.cppの編集

```
//カラー画像をグレースケールに変換
cv::cvtColor(m_imageBuff, gray, cv::COLOR_BGR2GRAY);

// HoughCircles関数で円を検出する
cv::HoughCircles(gray, circles, cv::HOUGH_GRADIENT, m_houghcircles_dp,
                 m_houghcircles_minDist, m_houghcircles_param1,
                 m_houghcircles_param2, m_houghcircles_minRadius,
                 m_houghcircles_maxRadius);
```

グレースケール画像から円を検出するまでの処理

HoughCircles関数の引数にコンフィギュレーションパラメータの変数を指定する

# ソースコードの編集

- CircleTracking.cppの編集

```
//円を検出できた場合の処理
if (!circles.empty())
{
  //円の位置が画像の左側の場合は左回りに回転するように設定
  if (circles[0][0] < gray.cols / 2)
  {
    m_direction = 1;
  }
  //円の位置が画像の右側の場合は右回りに回転するように設定
  else
  {
    m_direction = 2;
  }
}
//円を検出できなかった場合は回転方向の指定をしないように設定
else
{
  m_direction = 0;
}
```

以下の条件で移動ロボットの回転方向を変更

- 円が検出できた
  - 円が画像の左側
  - 円が画像の右側
- 円が検出できなかった

# ソースコードの編集

- CircleTracking.cppの編集

```
  //元のカラー画像をコピーして円の情報を画像に追加
  m_outputBuff = m_imageBuff.clone();

  for (auto circle : circles)
  {
    cv::circle(m_outputBuff,
               cv::Point(static_cast<int>(circle[0]), static_cast<int>(circle[1])),
               static_cast<int>(circle[2]),
              cv::Scalar(0, 0, 255), 2);
  }

  // 画像データのサイズ取得
  int len = m_outputBuff.channels() * m_outputBuff.cols * m_outputBuff.rows;
  m_image_out.pixels.length(len);

  // 円の情報を付加した画像データをOutPortにコピー
  std::memcpy((void *)&(m_image_out.pixels[0]), m_outputBuff.data, len);
  //画像データを出力
  m_image_outOut.write();
}
```

検出した円の情報を元の画像に付加して、OutPort (image_out) から出力する処理

# ソースコードの編集

- CircleTracking.cppの編集

```
  if (m_velocity_inIn.isNew())
  {
    //速度指令値を読み込み
    m_velocity_inIn.read();
    m_velocity_out = m_velocity_in;

    //円が画像の左側にある場合、左回りに回転する
    if (m_direction == 1)
    {
      m_velocity_out.data.va = m_speed_r;
    }
    //円が画像の右側にある場合、右回りに回転する
    else if (m_direction == 2)
    {
      m_velocity_out.data.va = -m_speed_r;
    }
    //速度指令値を出力
    m_velocity_outOut.write();
  }
  return RTC::RTC_OK;
}
```

速度指令をInPort (velocity_in) から読み込んで、検出した円の位置により回転速度を変更する処理

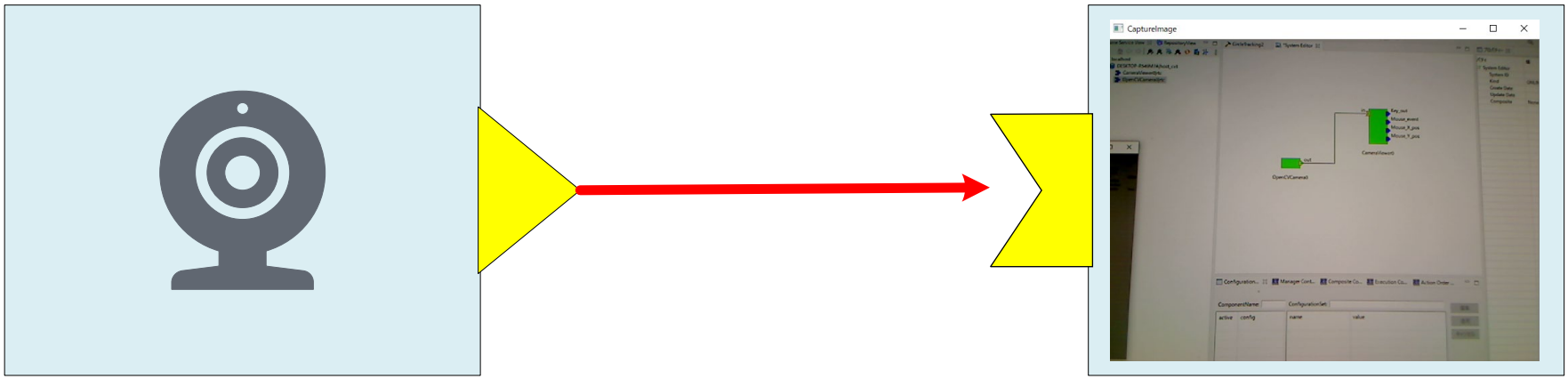
ここまで追加
編集が完了したらビルドする。

# RTCの起動

- 以下の5つのRTCを起動する
  - **RaspberryPiMouseRTC** (Raspberry Piで起動)
  - **RobotController** (第3部の実習で作成)
    - 「RTコンポーネントの作成入門」の資料を参照
    - https://openrtm.org/openrtm/ja/node/6550
    - https://openrtm.org/openrtm/ja/node/6551
  - **OpenCVCamera**
  - **CameraViewer**
    - OpenRTM-aistのサンプルコンポーネント
    - 次のスライドで説明
  - **CircleTracking**
    - build¥srcフォルダのRelease(もしくはDebug)フォルダ内の実行ファイル(CircleTrackingComp.exe)

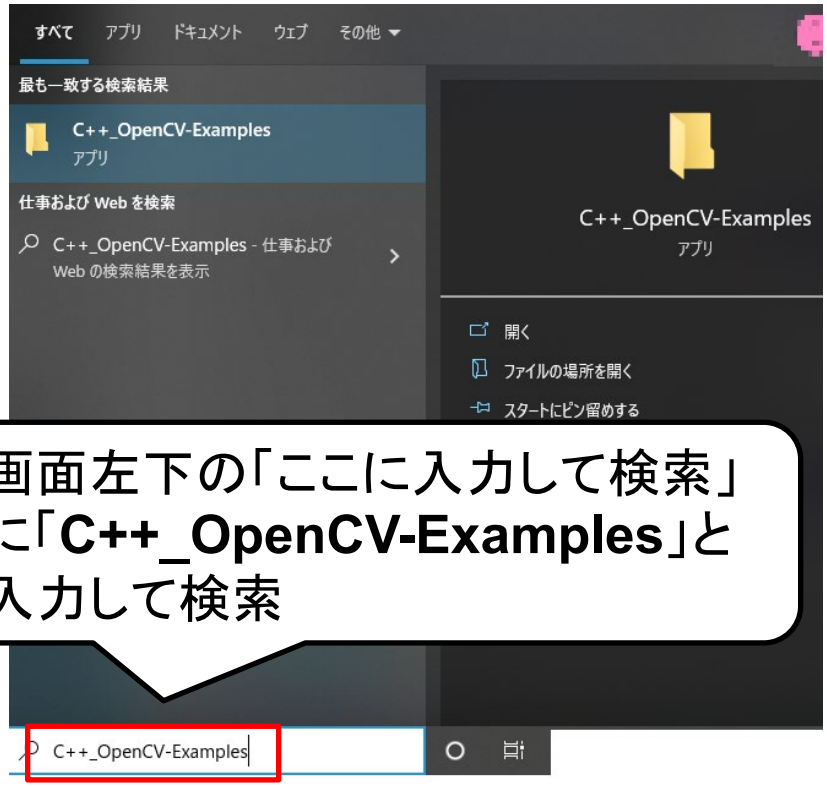
# サンプルコンポーネント概要

- OpenCVCamera
  - カメラから取得した画像をOutPortから出力する
- CameraViewer
  - InPortで受信した画像データを表示する



# サンプルコンポーネントの起動

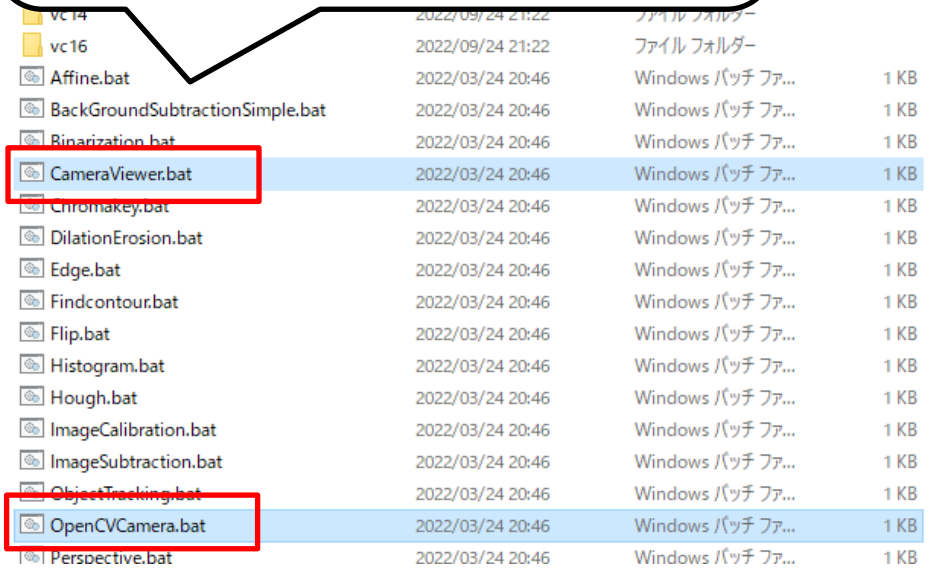
- 起動手順
  - Windows




画面左下の「ここに入力して検索」に「**C++_OpenCV-Examples**」と入力して検索

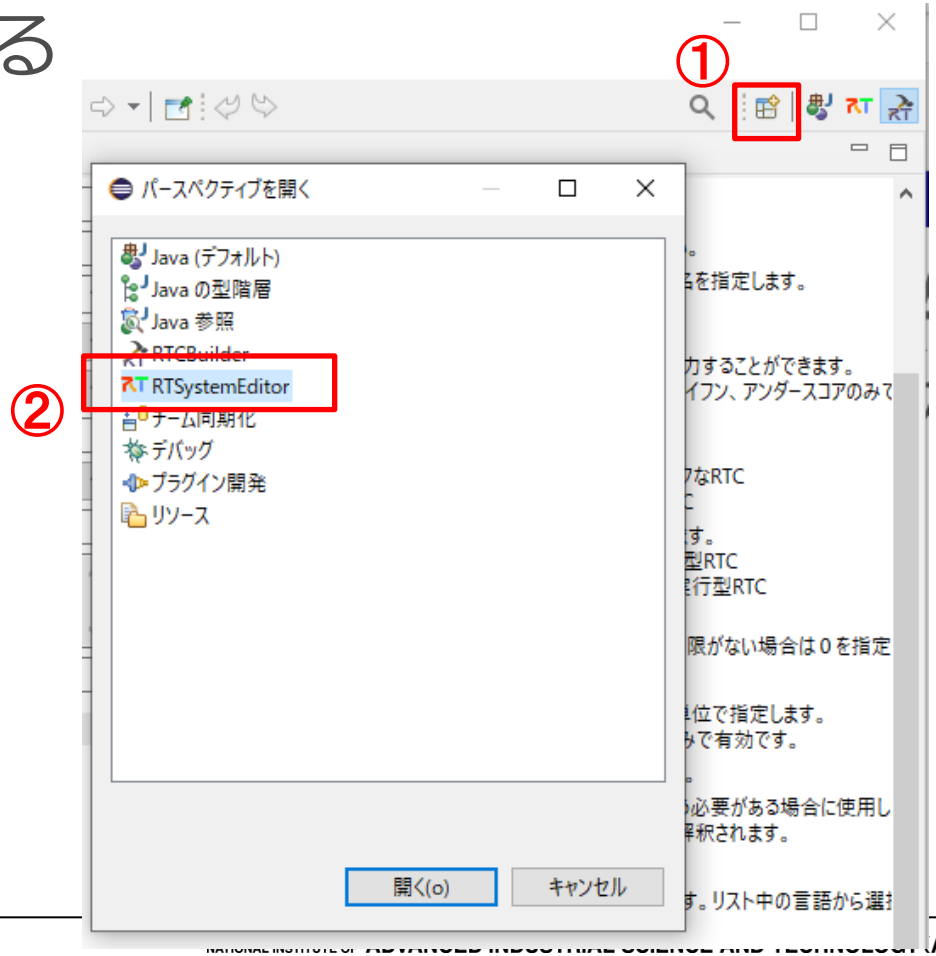
エクスプローラーから、以下のファイルをダブルクリックする

- **CameraViewer.bat**
- **OpenCVCamera.bat**

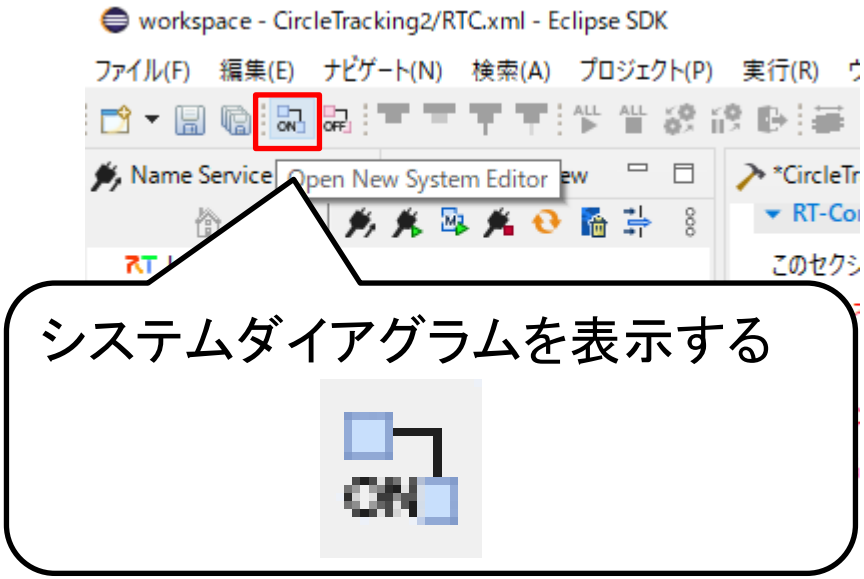


# RTシステム構築

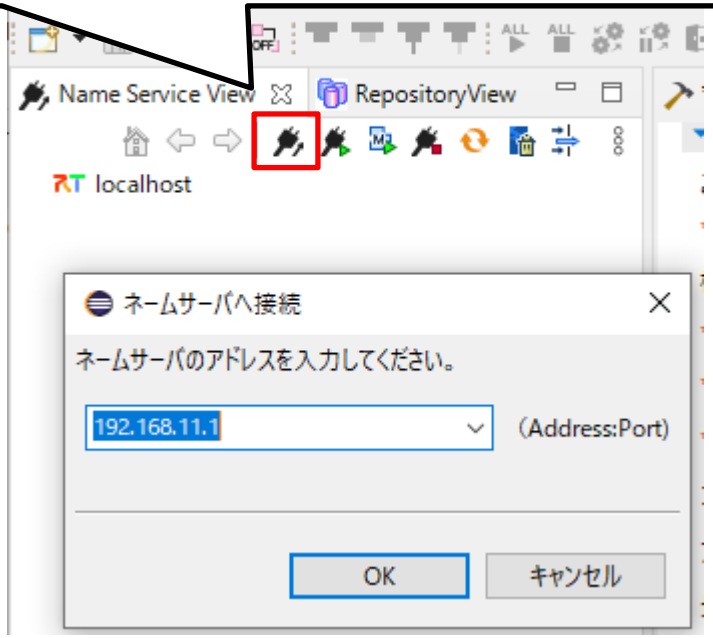
- RTSystemEditorを起動する。
  - 「パースペクティブを開く」画面から起動する




# 動作確認

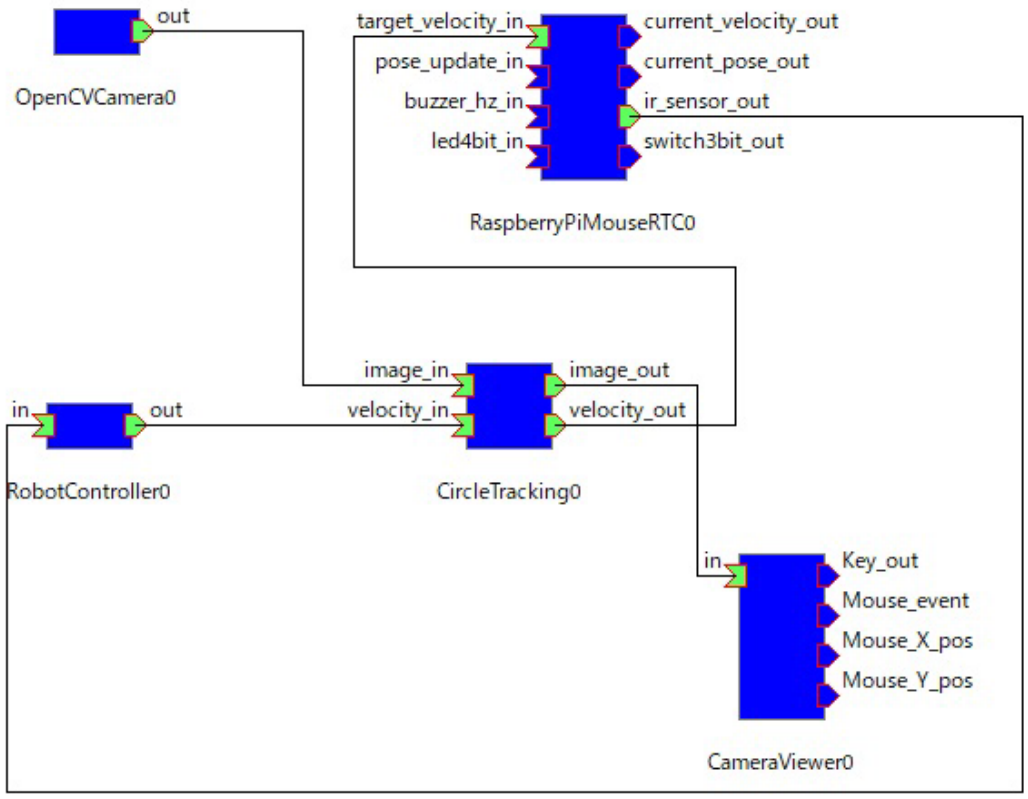



ネームサービスビューに「192.168.11.1」がない場合は、192.168.11.1のネームサーバーへ接続する



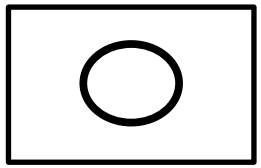
# 動作確認

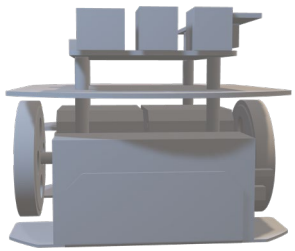
- RT System Editorで以下のようにポートを接続してアクティブ化する



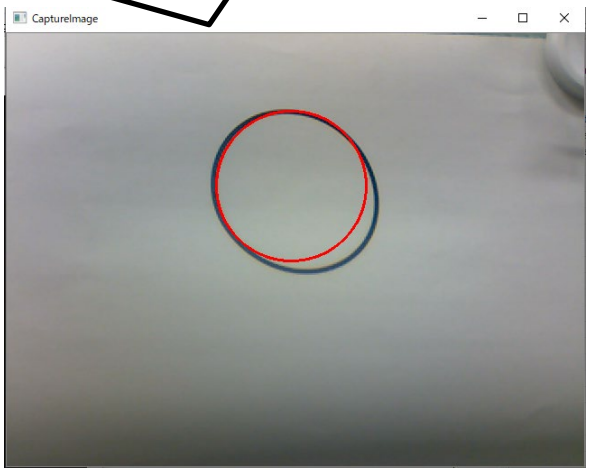

# 動作確認

- 円を描いた紙をカメラの前で動かして、Raspberry Piマウスの動作を確認する





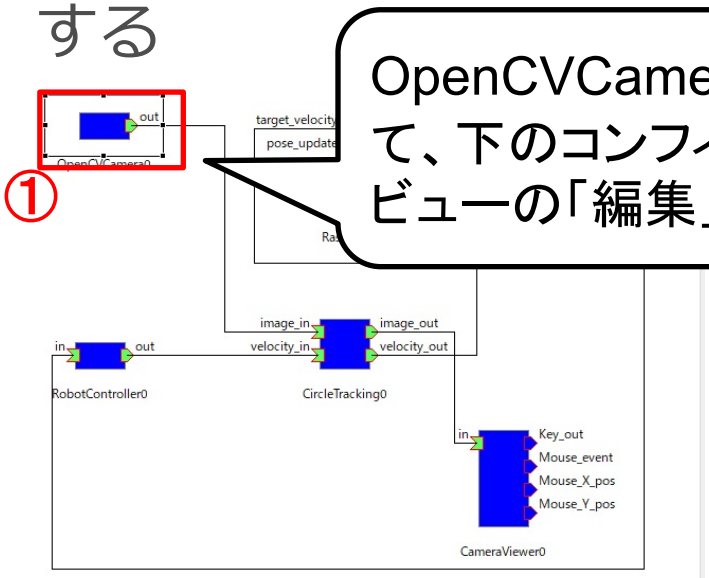
円が正常に検出できているかを、CameraViewerで確認する



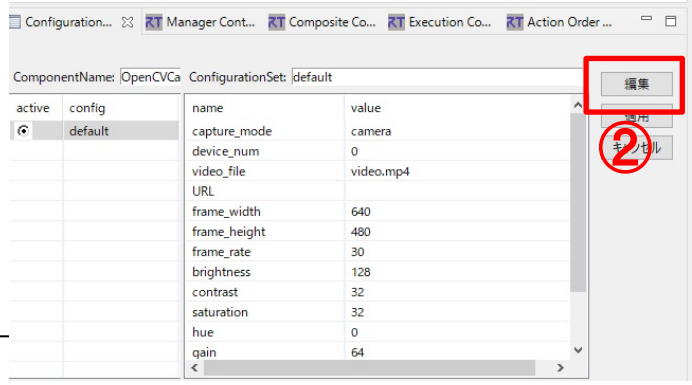

- 課題：左右に小刻みに動く問題を修正する

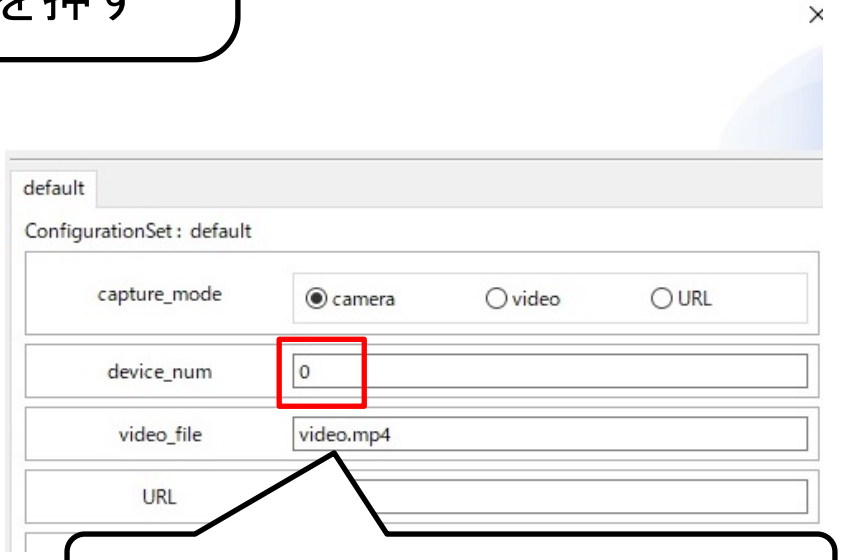
# カメラのID指定

- PC内蔵カメラなどの画像が表示されている場合は、コンフィギュレーションパラメータでカメラのIDを指定する




OpenCVCamera0をクリックして、下のコンフィギュレーションビューの「編集」ボタンを押す

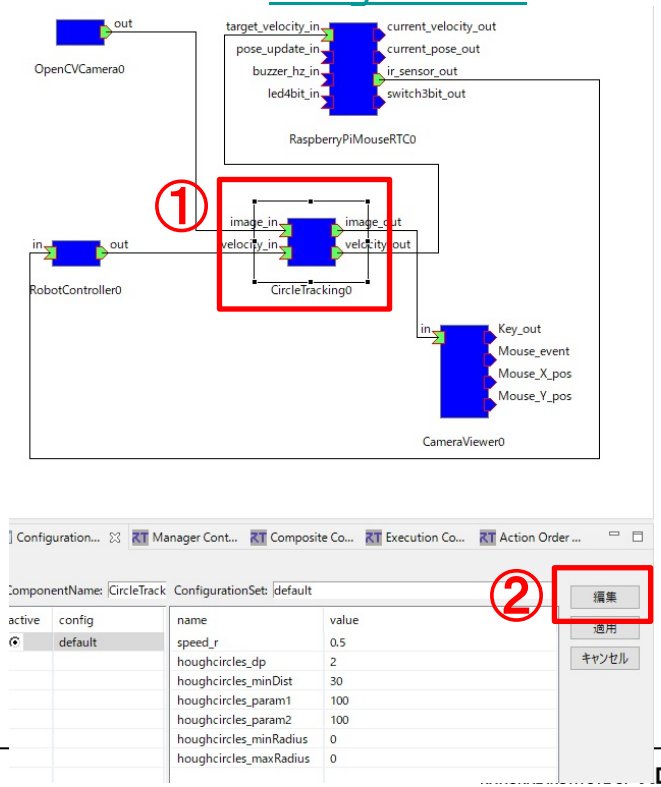



「device_num」の値を変更する

# HoughCircles関数のパラメータ調整

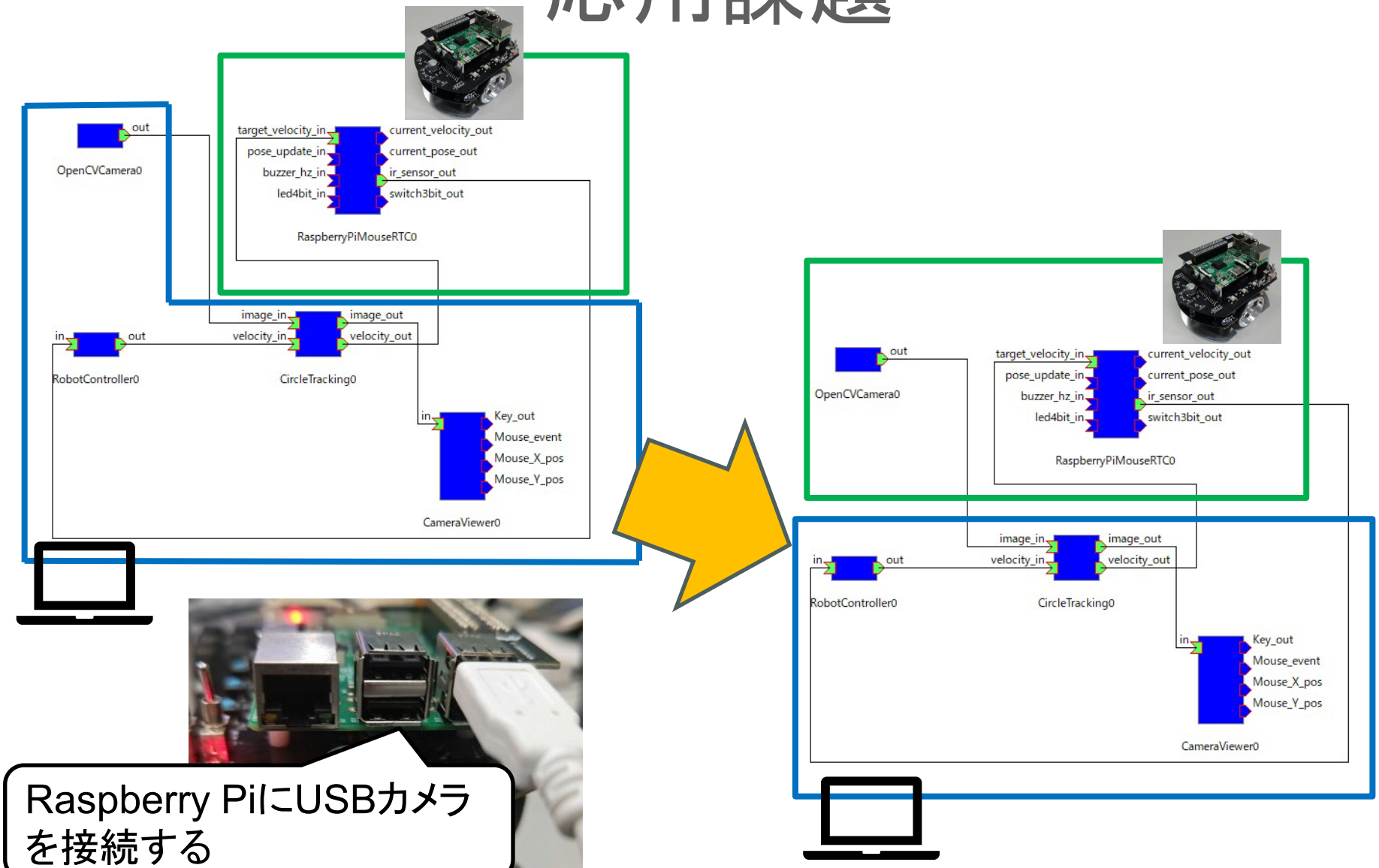
- 誤検出が多い場合は、HoughCircles関数のパラメータを変更する
  - HoughCircles関数の詳細は以下を参照
    - http://opencv.jp/opencv-2svn/cpp/feature_detection.html#cv-houghcircles




# 応用課題

- Raspberry Pi上のOpenCVCameraコンポーネントと接続する
- TeraTermでRaspberry PiにSSH接続し、OpenCVCameraコンポーネントを起動するコマンドを実行する
  - 起動後、Raspberry Pi上のOpenCVCameraコンポーネントを使ったシステムを構築する。
  - データの転送が遅い場合は、画像を圧縮する。

# 応用課題


out
OpenCVCamera0
target_velocity_in
pose_update_in
buzzer_hz_in
led4bit_in
current_velocity_out
current_pose_out
ir_sensor_out
switch3bit_out
RaspberryPiMouseRTC0
in
out
RobotController0
image_in
velocity_in
image_out
velocity_out
CircleTracking0
in
Key_out
Mouse_event
Mouse_X_pos
Mouse_Y_pos
CameraViewer0
Raspberry PiにUSBカメラを接続する

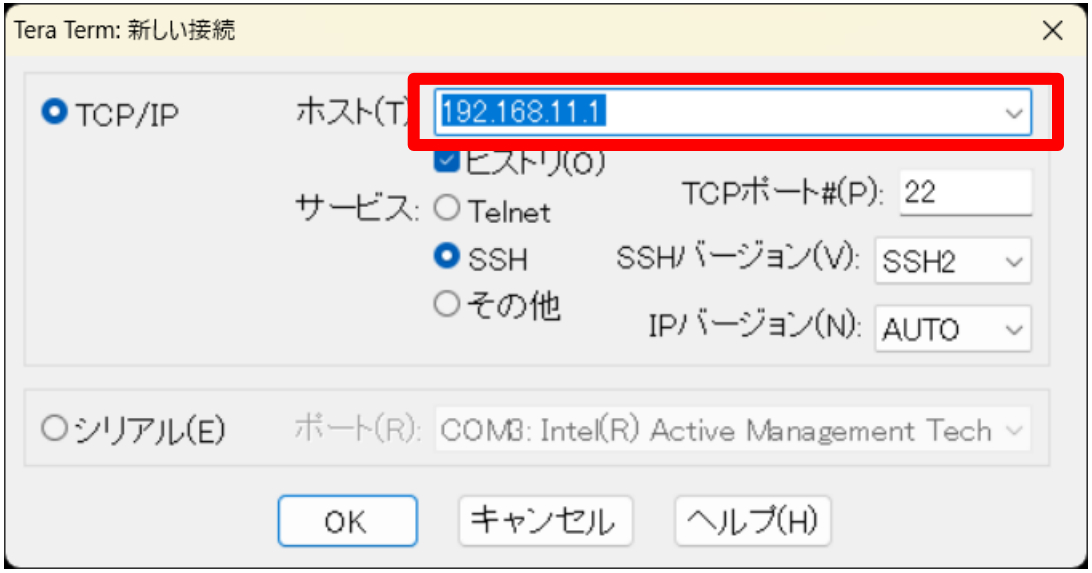
# リモートログイン

- Raspberry Pi上のLinuxにログインして、コマンドによりOpenCVCameraコンポーネントを起動する


- Tera Termを起動する
  - デスクトップのショートカットから起動

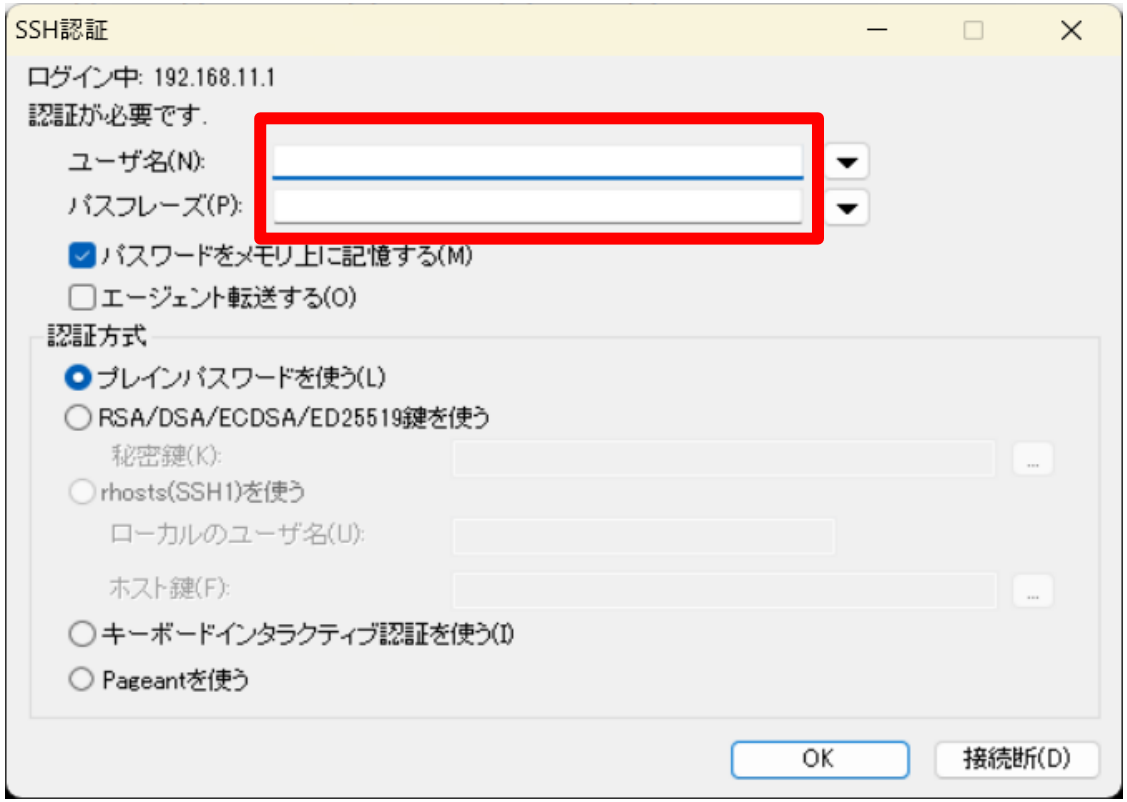
# Tera Termの操作

- 「ホスト」に**192.168.11.1**を入力して「OK」をクリック



# Tera Termの操作

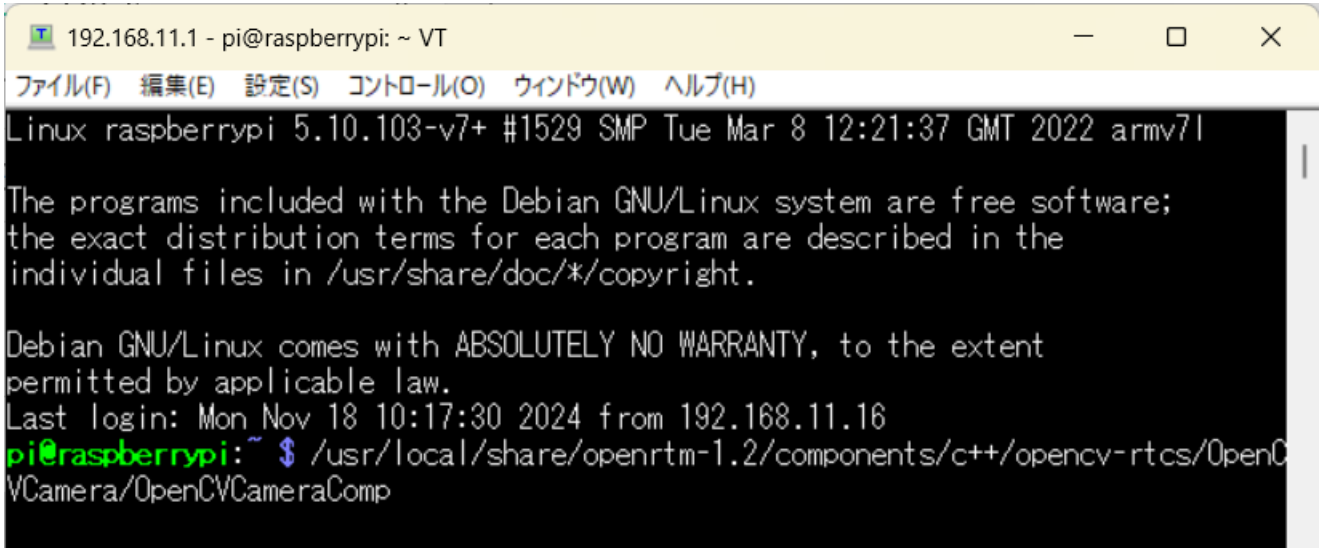
- ユーザー名とパスフレーズを入力して「OK」をクリック



# Tera Termの操作

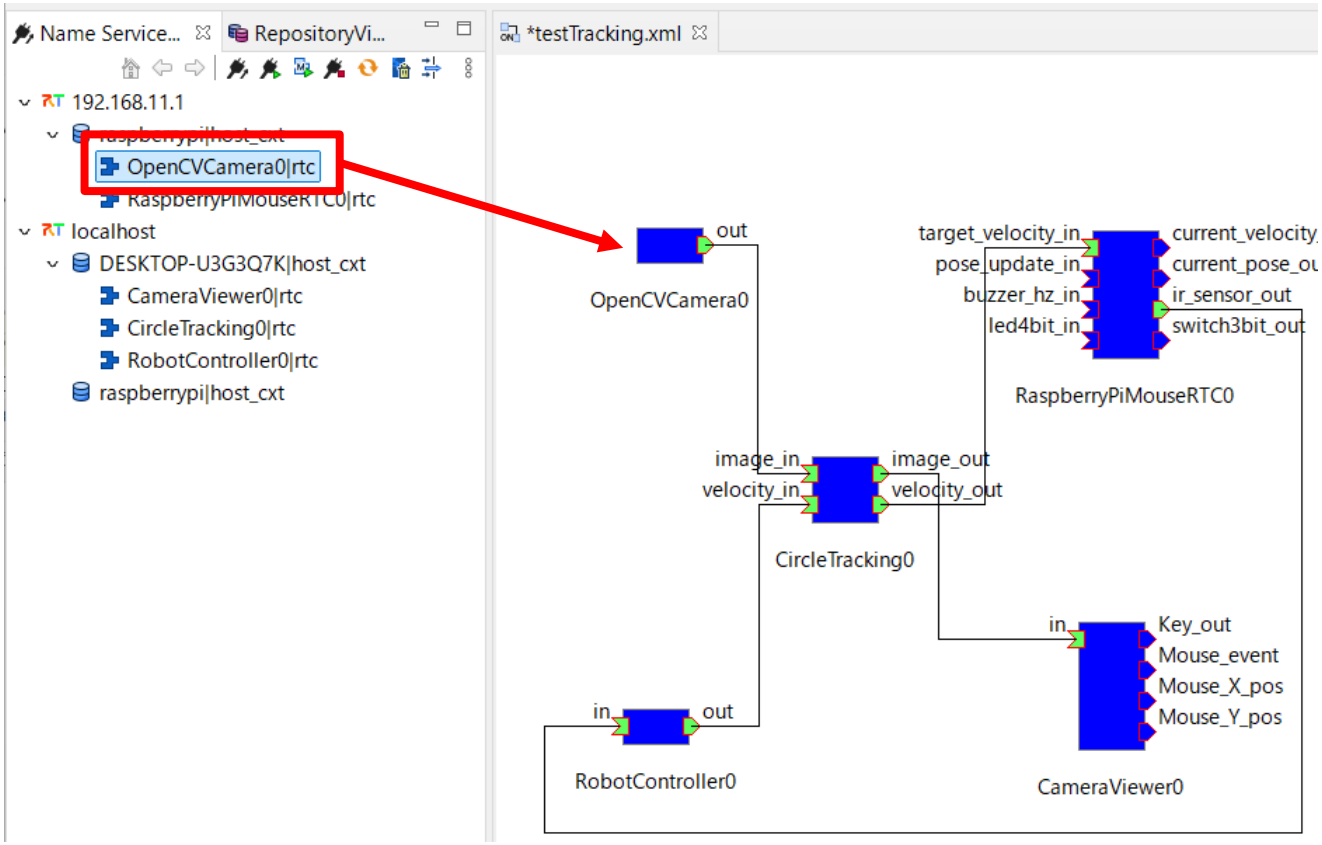
- OpenCVCameraCompをコマンドで起動する

```
/usr/local/share/openrtm-1.2/components/c++/opencv-rtcs/OpenCVCamera/OpenCVCameraComp
```



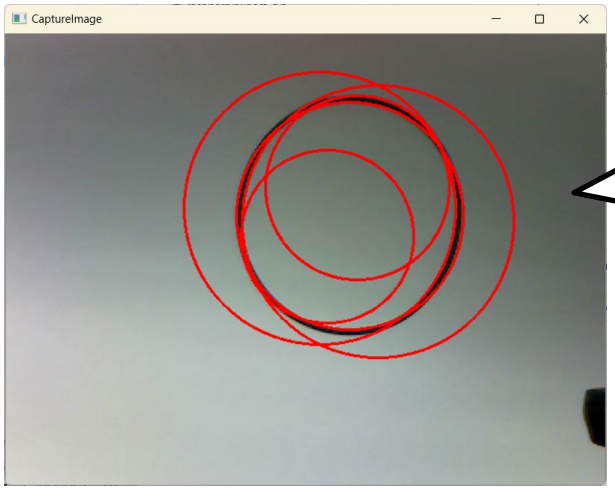
# RTシステム構築

- Raspberry Piのネームサーバーの OpenCVCameraコンポーネントを接続する



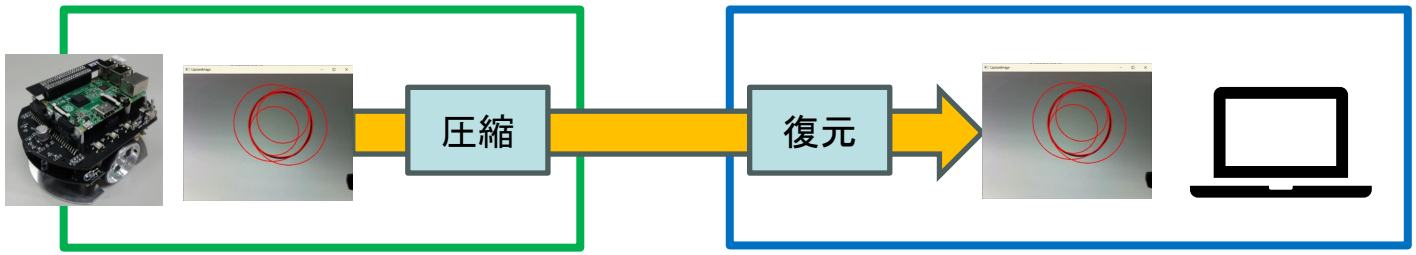
# 動作確認

- RTCをアクティブ化して動作確認



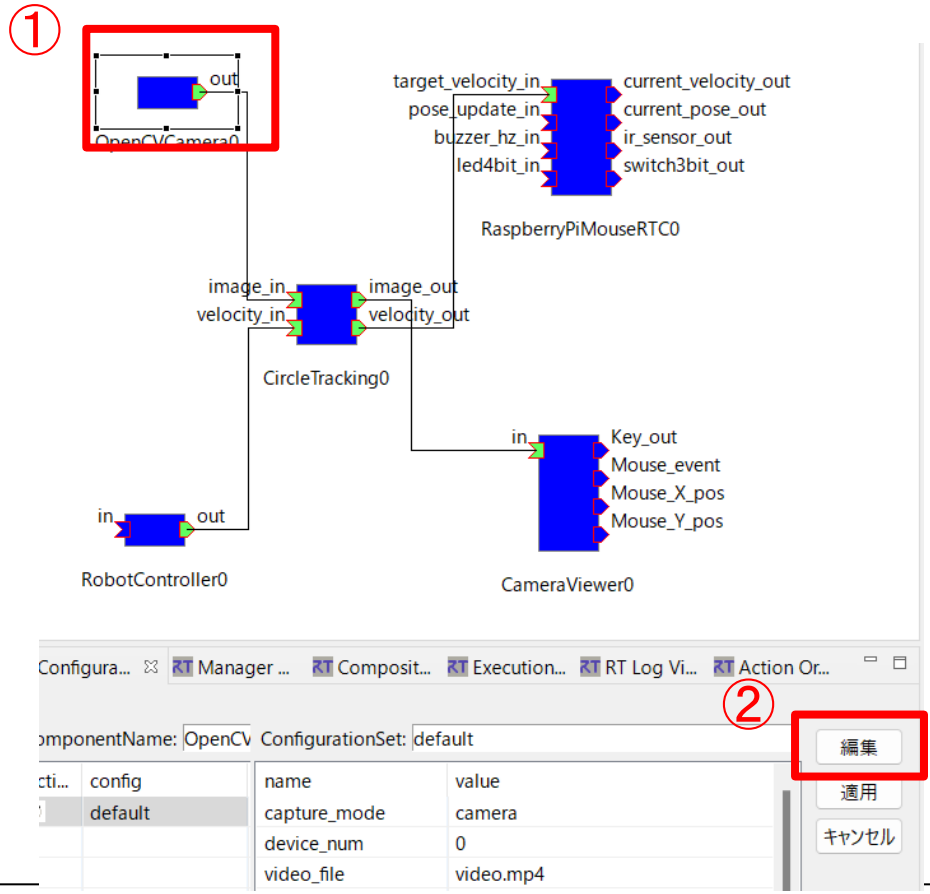

問題点：カメラ画像の遅延が大きい

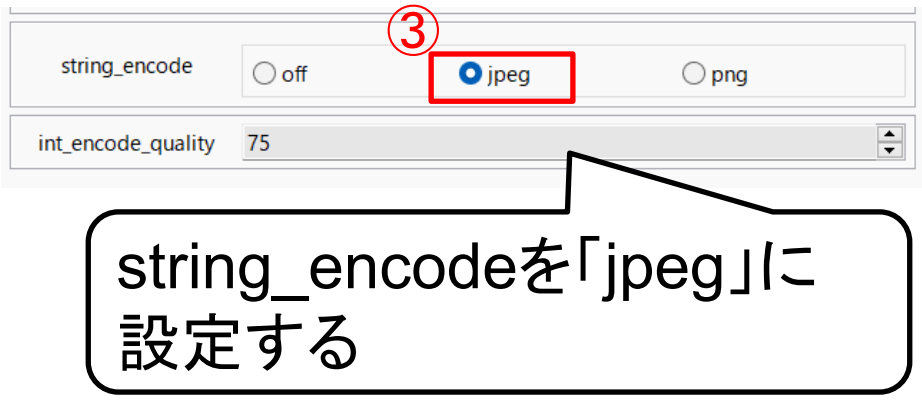
圧縮した画像を送信するように変更する



# OpenCVCameraの設定

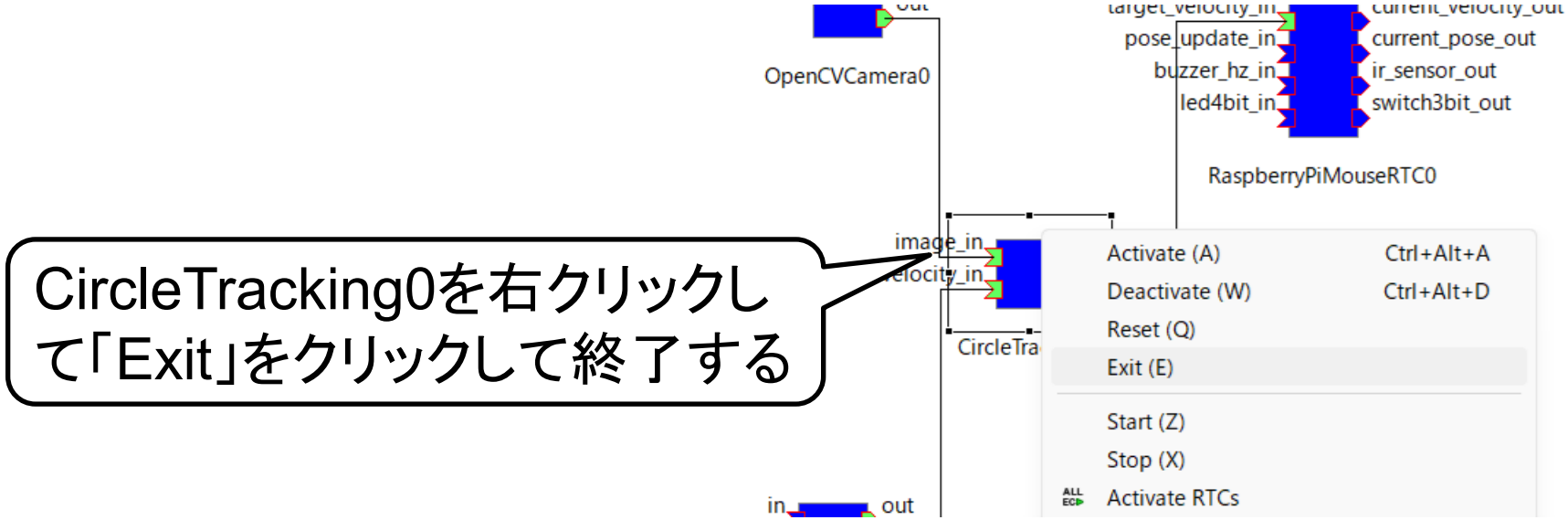
- OpenCVCamera0のコンフィギュレーションパラメータを変更する



# CircleTrackingの変更

- CircleTracking0を一旦終了する



# CircleTrackingの変更

- Visual StudioでCircleTracking.cppを編集してonExecute関数に以下のコードを追加する

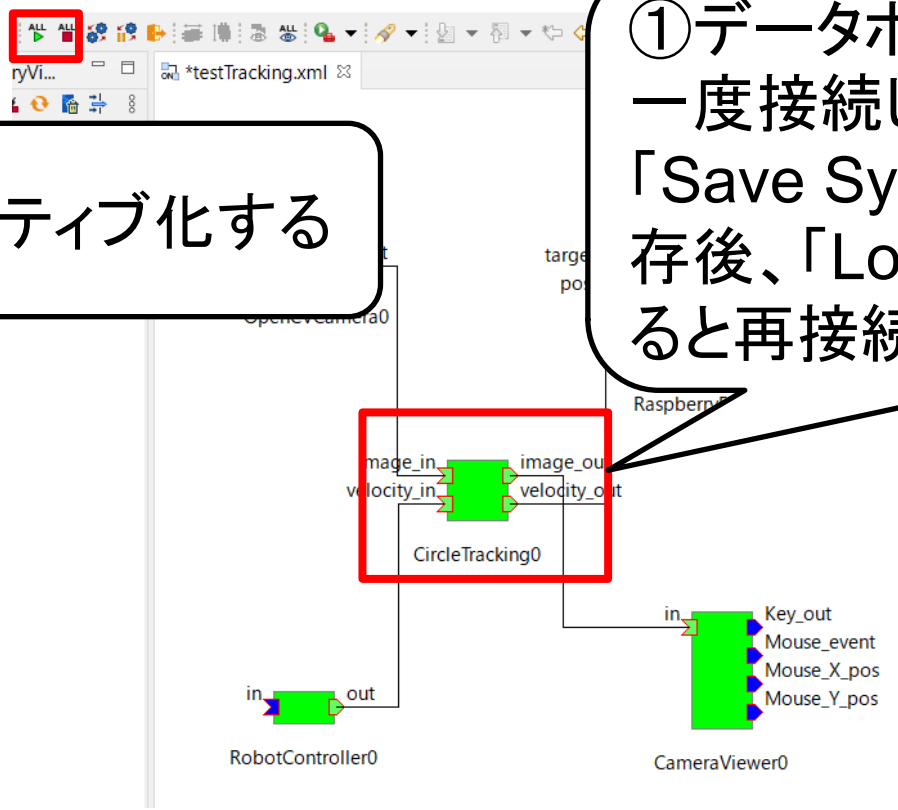
```
//圧縮のフォーマットにより処理を分岐
std::string format = (const char*)m_image_in.format;
if (format == "jpeg" || format == "png")
{
    std::vector<uchar> buff;
    int len = m_image_in.pixels.length();
    buff.resize(len);
    memcpy(&buff[0], &m_image_in.pixels[0], sizeof(unsigned char) * len);
    m_imageBuff = cv::imdecode(cv::Mat(buff), cv::IMREAD_COLOR);

}
else
{
    std::memcpy(m_imageBuff.data,
        (void*)&(m_image_in.pixels[0]),
        m_image_in.pixels.length());
}
/*
// InPortの画像データをm_imageBuffにコピー
std::memcpy(m_imageBuff.data,
            (void *)&(m_image_in.pixels[0]),
            m_image_in.pixels.length());
*/
```

CameraImage型構造体のformat変数に画像の圧縮形が格納される

m_imageBuffに画像データをコピーするコードの上に追加する。この行はコメントアウトする。

# 再度動作確認

- Visual Studioでビルド後、CircleTrackingを起動して動作確認する




①データポートを再接続する。一度接続して、右クリックで「Save System」でシステムを保存後、「Load System」で復元すると再接続の手間が省ける

②RTCをアクティブ化する