OpenELが変える組込みシステム開発

対応デバイスのさらなる増加、他システムとの連携を実現！

2022年7月29日
技術本部　副本部長　兼
プラットフォーム構築委員会　OpenEL活用WG 主査
アップウィンドテクノロジー・インコーポレイテッド
中村憲一

一般社団法人
組込みシステム技術協会
Japan Embedded Systems Technology Association

目次

- 組込みシステム開発における課題
- OpenELとは？
- OpenELの実装例
  - 対応デバイスの増加
  - 他システム（ROS2）との連携
- 令和4年度の事業計画
- 協力者募集

組込みシステム開発における課題

一般社団法人
組込みシステム技術協会
Japan Embedded Systems Technology Association

組込みシステム開発における課題

1. 品質保証(Quality guaranteed)
2. 開発コスト(development Cost)の削減
3. 納期(Delivery time)の短縮

■ これらの課題を解決するためにモデルベース開発が採用されているが、モデルベース開発にも課題が存在する。

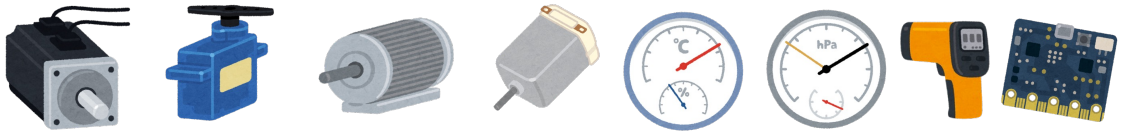
モデルベース開発における課題

モデルベース開発ツール

アプリケーションの設計

ソースコードを自動生成

デバイスドライバのソースコードの自動生成は不可能



A社製　B社製　C社製　D社製　・・・

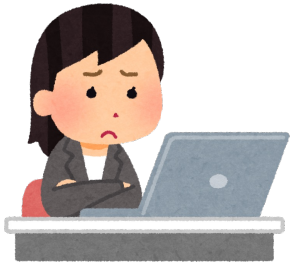
デバイスドライバのAPIが各社、各デバイスでバラバラ

手作業で
1. デバイスドライバを新規開発
   品質の保証は？
2. 各種デバイスドライバと結合
   品質の保証は？

実機試験：不合格

設計・実装見直し
開発コストの増加
納期の遅延

モデルベース開発における課題



- 組込み用の自動コード生成の品質に問題がある。
- 品質を維持するためのノウハウの蓄積が難しい。
- ドライバのコードは生成されないため、ドライバを用意する必要がある。
- なるべくプログラムを書きたくない。
  - 瑕疵担保責任を負いたくない

組込みシステム開発における課題

■ メーカーの課題
- ソフトウェアの開発効率
- ソフトウェアの品質
- 自社製以外のソフトウェアにも保証義務

■ ベンダーの課題
- 他社製のソフトウェアとの相性は保証できない
- ベンダーごとに異なるインターフェース仕様
- ハードウェアならプラグフェストで相互接続試験を実施する機会があるが、ソフトウェアは？

解決策の提案

- アプリケーションプログラミングインターフェース（API）とドライバ用のテンプレートを標準化すれば良い。
  → 開発効率UP！
  → ソースコードの可読性が向上 → レビューが容易
  → バグが入りにくくなる → 品質UP!
- テストパターンを自動生成し、シミュレーターによるテストの実施 → 論理などの単純なバグはここで排除
- テスト後の実行コードを実機にデプロイ
- 実機では実機特有のテストを重点的に実施→ 工数短縮!

- 品質と効率を上げる組込み用のモデルベース開発を実現！

OPENELとは？

OpenEL活用WG

■ 目標

1. OpenELの国内外における普及
2. OpenELの仕様の強化
3. OpenELの国際標準への提案

■ 活動

- WGの開催（毎月）
- OpenELに関連しそうな技術や規格の講演会の開催（年2回）
- ユーザーの増加が見込まれるデバイスやプラットフォームへの対応
- 開発成果の一般公開
- 上流から下流まで一気通貫した開発を実現するための活動

■ メンバー

- 会員(5)：アップウィンドテクノロジー、エヌデーデー、チェンジビジョン、東洋大学、UCサロン
- 非会員(6)：京セラ、静岡大学、シマフジ電機、Knowledge & Experience、日立産機システム、ルネサスエレクトロニクス

OpenEL®(Open Embedded Library)とは？

■ 目的

- ハードウェアの抽象化を実現し、QCDの向上および上流から下流まで一気通貫した開発を目指す

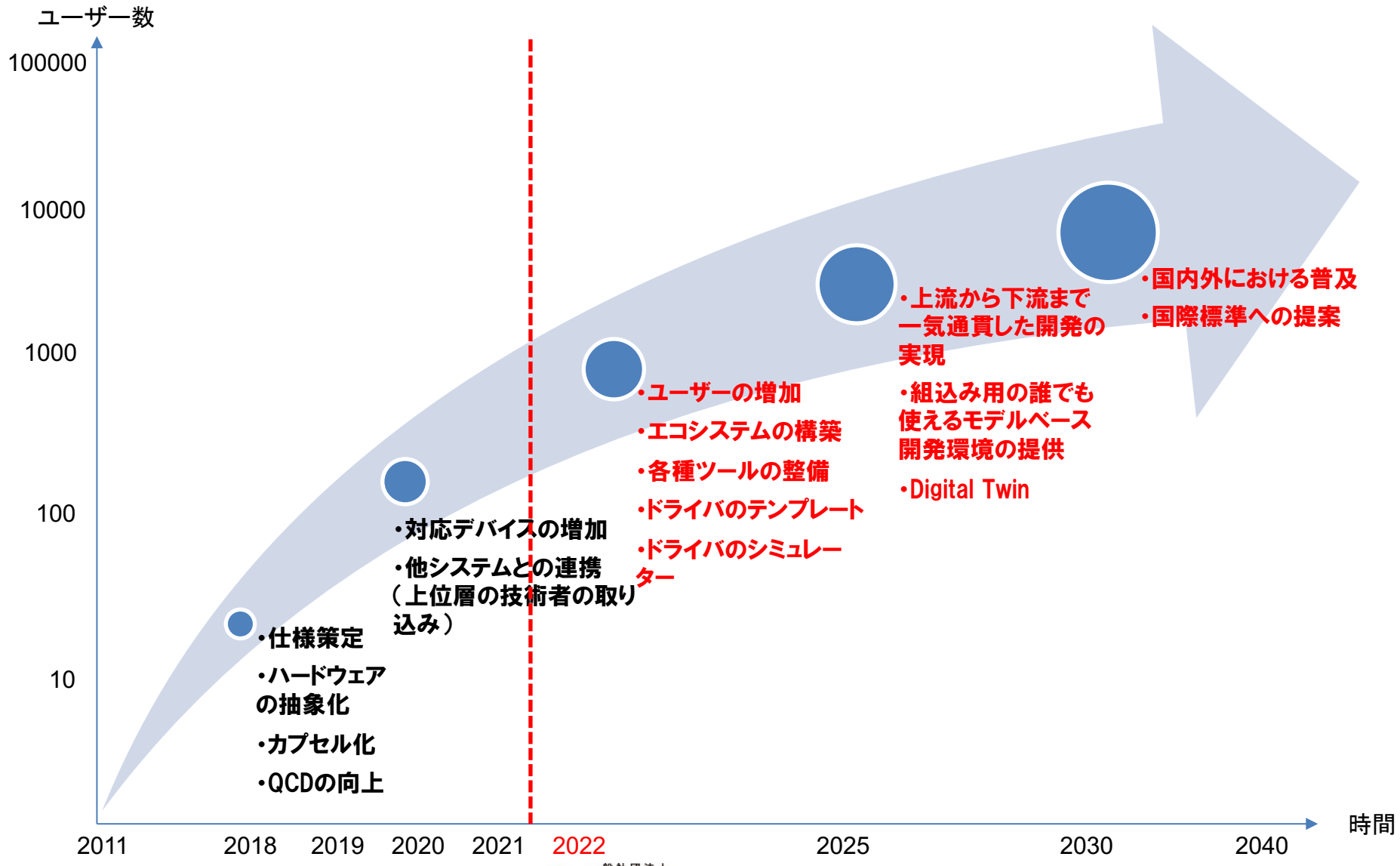
■ 背景

- 組込みソフトウェア技術者の不足
- 製品やデバイスの多様化（多品種少量生産）
- 上位層との標準インターフェースの欠如

■ 課題

- 品質保証（Quality guaranteed）
- 開発コスト(development Cost)
- 納期(Delivery time)

OpenEL®のロードマップ

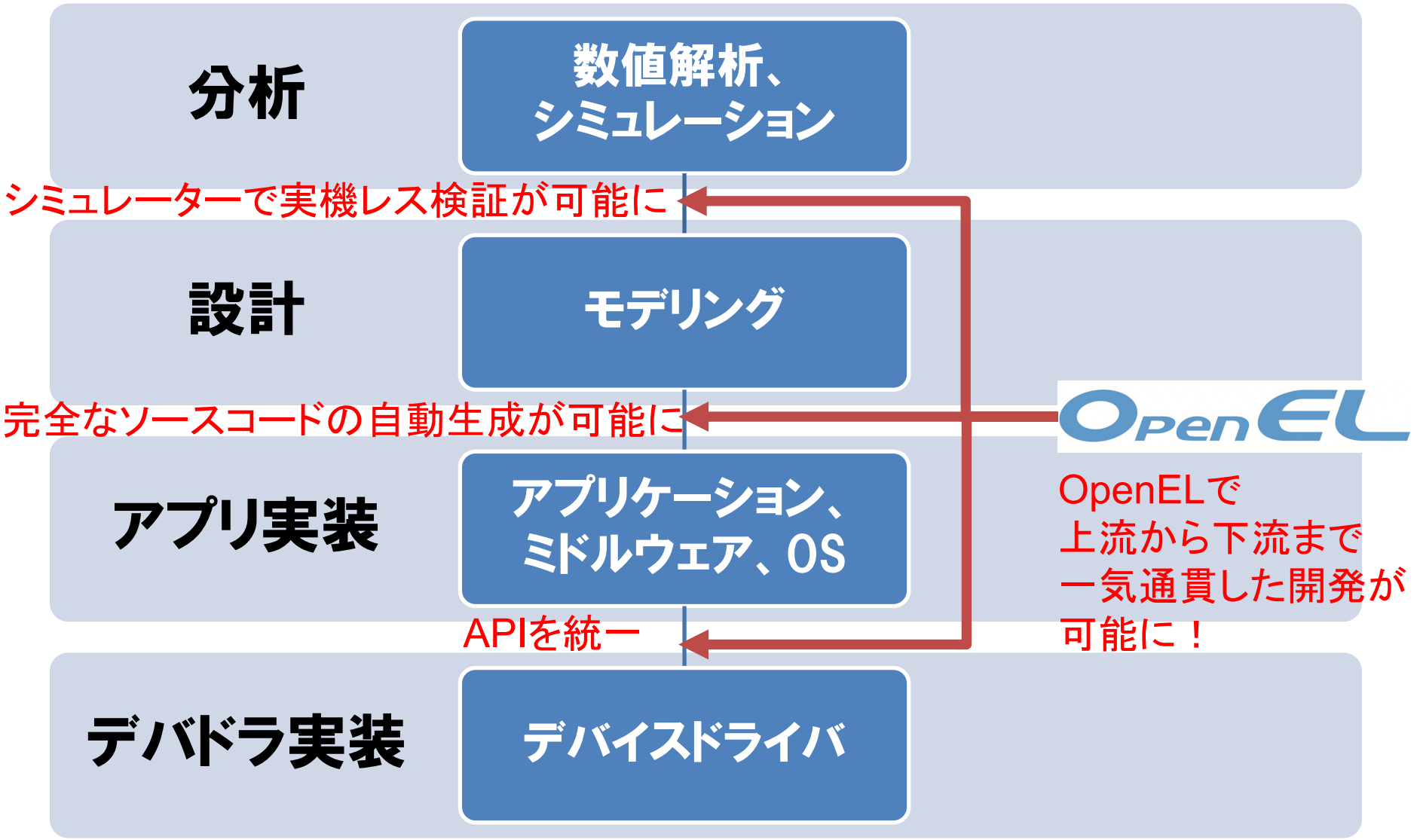


一般社団法人
組込みシステム技術協会
Japan Embedded Systems Technology Association

OpenEL®の何が嬉しいのか？期待される効果

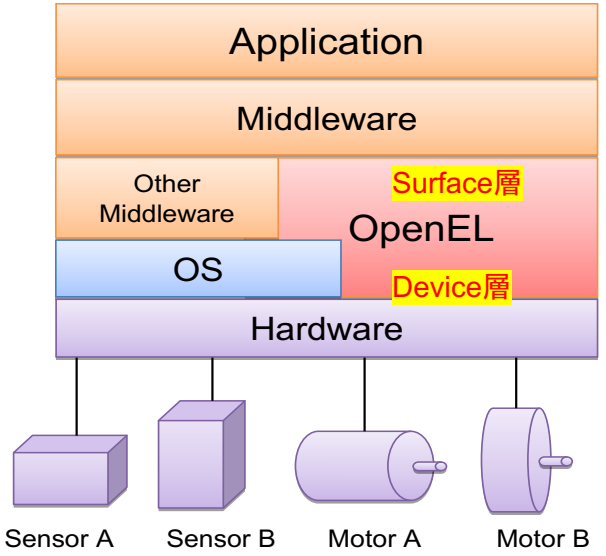
- 品質（Quality ）の向上
  - テスト済みのソフトウェア部品（コンポーネント）を再利用することにより品質を保証！
- 開発コスト（Cost）の削減
  - デバイス毎に異なっていたAPIを学習する期間を削除！
  - ソフトウェア部品（コンポーネント）の新規開発の削減！
  - テスト済みのソフトウェア部品（コンポーネント）を再利用することにより開発期間を短縮！
  - 車輪の再発明を排除！
- 納期（Delivery）の短縮
  - APIが標準化されているため、異なるプラットフォーム、異なるベンダーのデバイスでもソースコードの変更が不要
  - テスト済みのソフトウェア部品（コンポーネント）を組み合わせることにより開発期間とテスト期間を短縮！
- ソフトウェア開発力の強化
  - アクチュエーターやセンサーを専門としない組込みソフトウェア技術者による制御システムの開発が可能に
  - エンタープライズシステムの技術者によるIoTシステムなどの開発も可能に
- 応用範囲(シミュレーターやWebとの接続)の拡大
- ユーザーの増加

OpenEL ®で何がどうなるのか？



OpenEL®(Open Embedded Library)とは？

- 制御システムやIoTデバイスなどのソフトウェアの実装仕様（API）を標準化する組込みシステム向けのオープンなプラットフォーム
- 特徴
  - デバイスの制御に特化し厳選された19個のAPI
  - Surface層とDevice層の複数層によるハードウェアの抽象化を実現
    - デバイスを交換してもアプリケーションのソースコードの修正は不要！
  - Device層によるハードウェア制御のノウハウの隠蔽化を実現
- 実装言語
  - C/C++/C#
- 対応プラットフォーム
  - Non-OS、Embedded RTOS、Linux、Windows、macOS
- 対象ユーザー
  - 組込みシステム技術者からエンタープライズシステム技術者まで



OpenEL ®の歴史

2011年5月、プラットフォーム研究会ロボットWGにより開発着手

2012年5月、OpenEL 0.1を公開

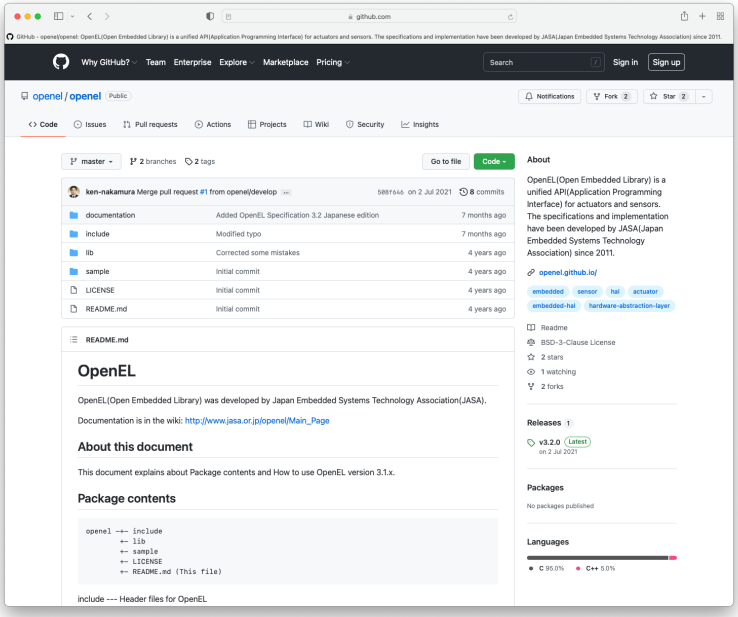
2013年5月、OpenEL 1.0を公開

2015年4月～2018年2月、
経済産業省の国際標準開発事業に採択

2015年7月、OpenEL 2.0を公開

2018年6月、OpenEL 3.1をGitHubで公開

https://github.com/openel/openel

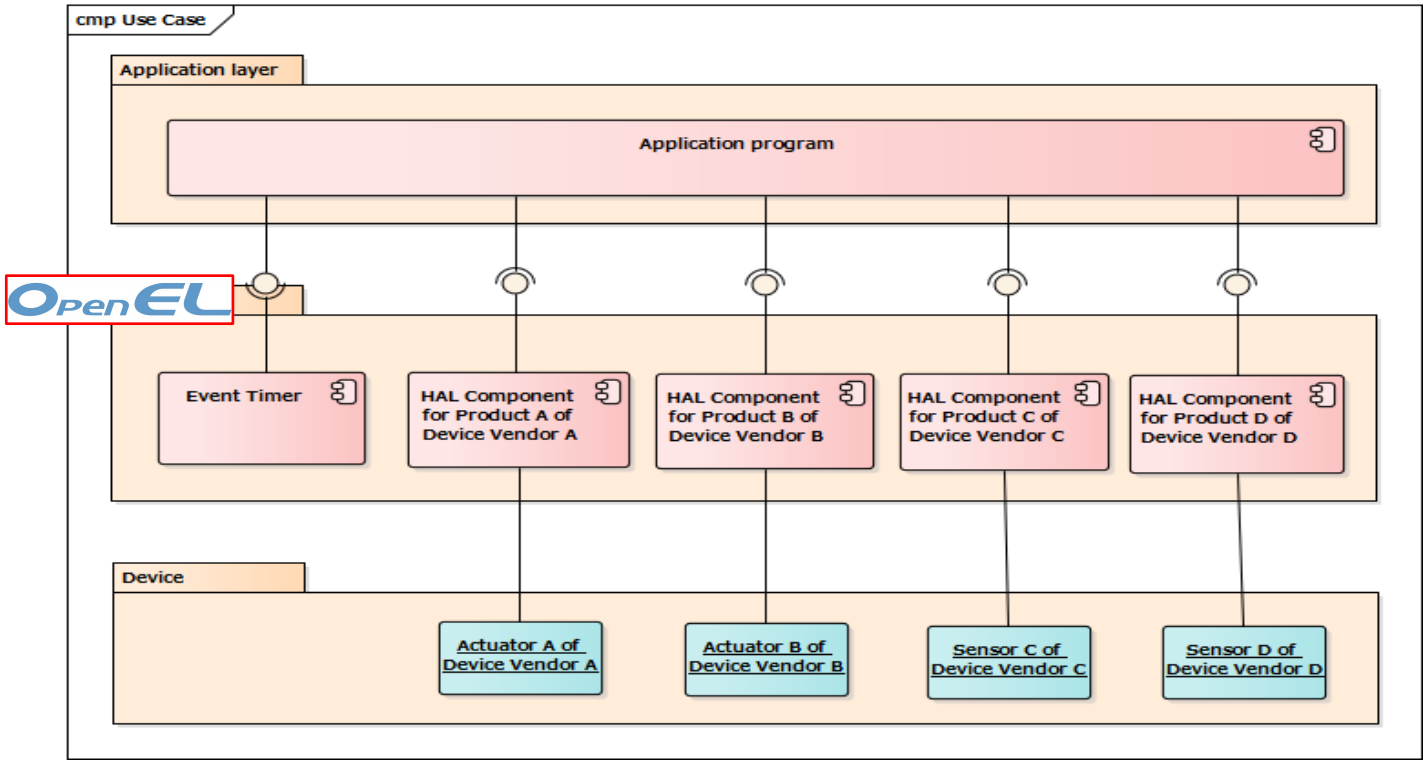


2020年10月～2021年2月、
経済産業省「地域分散クラウド技術開発事業」に採択、
OpenEL 3.2を開発

2021年7月～2022年2月、

経済産業省「次世代ソフトウェアプラットフォーム実証事業」に採択、
OpenELの拡張開発

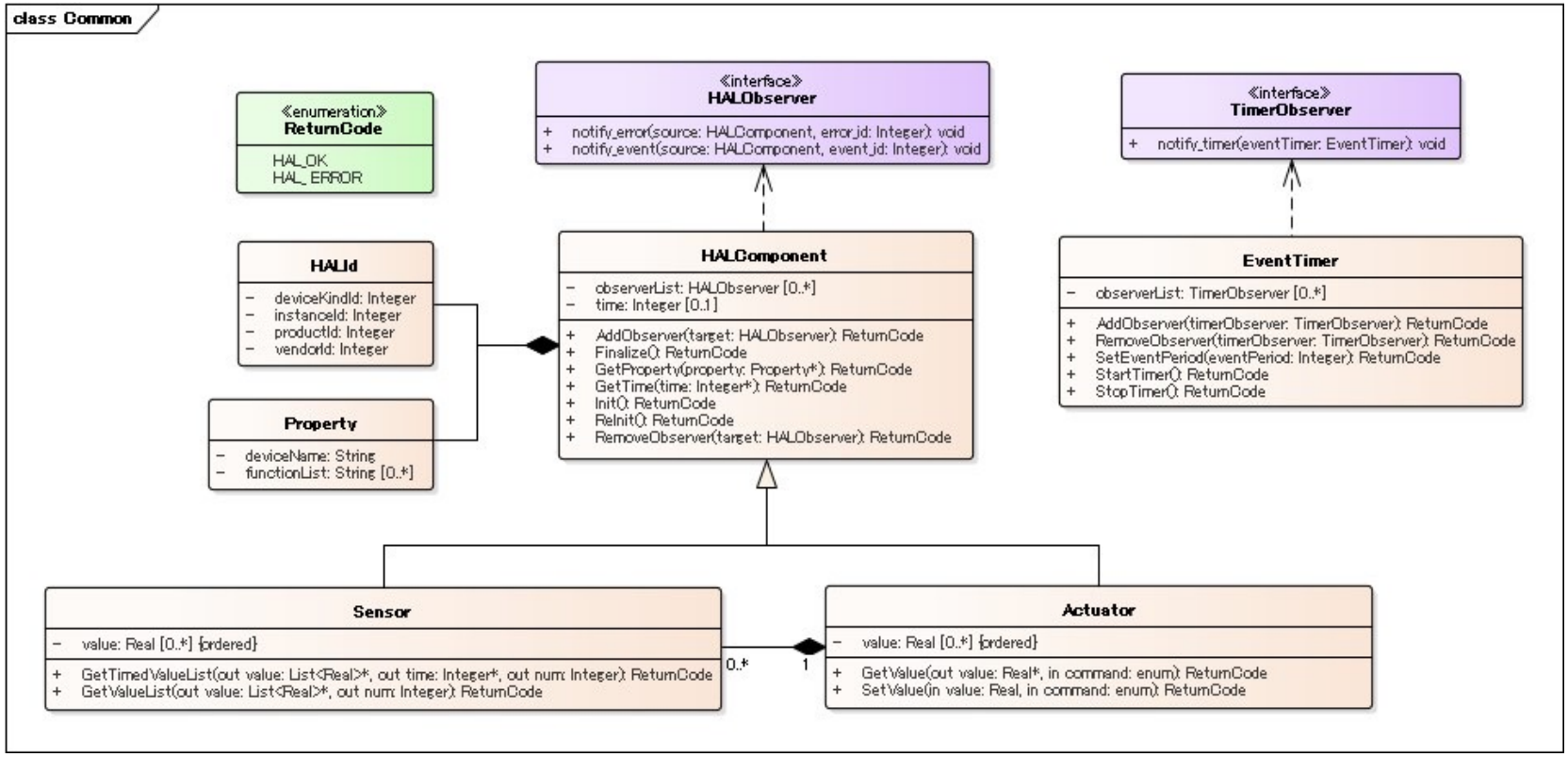
OpenEL® 3.2 仕様



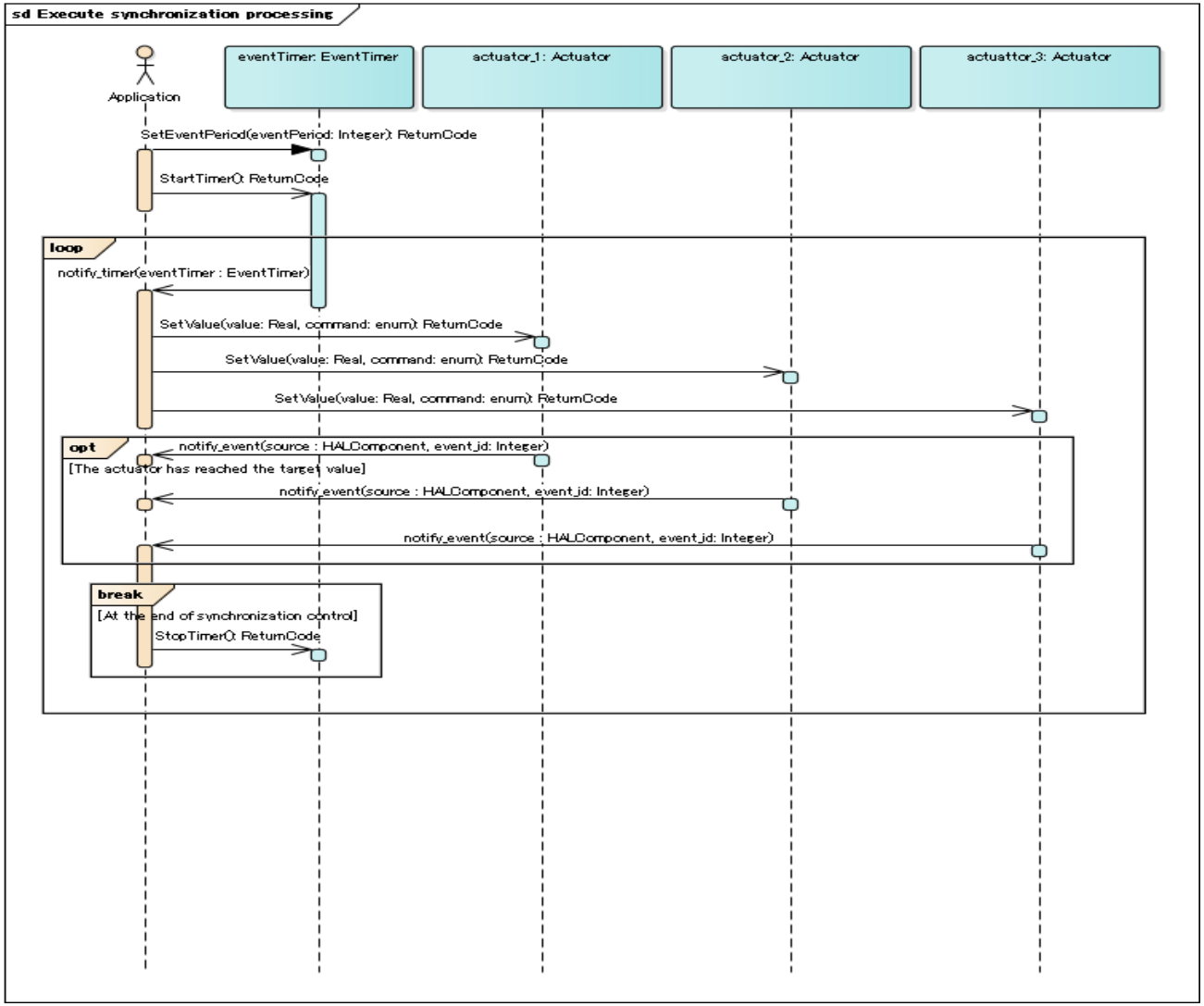
Surface層

Device層

OpenEL® 3.2 仕様


class Common
«enumeration»
ReturnCode
HAL_OK
HAL_ERROR
«interface»
HALObserver
+ notify_error(source: HALComponent, error_id: Integer): void
+ notify_event(source: HALComponent, event_id: Integer): void
«interface»
TimerObserver
+ notify_timer(eventTimer: EventTimer): void
HALId
- deviceKindId: Integer
- instanceId: Integer
- productId: Integer
- vendorId: Integer
HALComponent
- observerList: HALObserver [0..*]
- time: Integer [0..1]
+ AddObserver(target: HALObserver): ReturnCode
+ Finalize(): ReturnCode
+ GetProperty(property: Property*): ReturnCode
+ GetTime(time: Integer*): ReturnCode
+ Init(): ReturnCode
+ ReInit(): ReturnCode
+ RemoveObserver(target: HALObserver): ReturnCode
EventTimer
- observerList: TimerObserver [0..*]
+ AddObserver(timerObserver: TimerObserver): ReturnCode
+ RemoveObserver(timerObserver: TimerObserver): ReturnCode
+ SetEventPeriod(eventPeriod: Integer): ReturnCode
+ StartTimer(): ReturnCode
+ StopTimer(): ReturnCode
Property
- deviceName: String
- functionList: String [0..*]
Sensor
- value: Real [0..*] {ordered}
+ GetTimedValueList(out value: List<Real>*, out time: Integer*, out num: Integer): ReturnCode
+ GetValueList(out value: List<Real>*, out num: Integer): ReturnCode
0..*
1
Actuator
- value: Real [0..*] {ordered}
+ GetValue(out value: Real*, in command: enum): ReturnCode
+ SetValue(in value: Real, in command: enum): ReturnCode

OpenEL® 3.2 仕様


sd Execute synchronization processing
Application
eventTimer: EventTimer
actuator_1: Actuator
actuator_2: Actuator
actuattor_3: Actuator
SetEventPeriod(eventPeriod: Integer): ReturnCode
StartTimer(): ReturnCode
loop
notify_timer(eventTimer : EventTimer)
SetValue(value: Real, command: enum): ReturnCode
SetValue(value: Real, command: enum): ReturnCode
SetValue(value: Real, command: enum): ReturnCode
opt
notify_event(source : HALComponent, event_id: Integer)
[The actuator has reached the target value]
notify_event(source : HALComponent, event_id: Integer)
notify_event(source : HALComponent, event_id: Integer)
break
[At the end of synchronization control]
StopTimer(): ReturnCode

OpenEL® 3.2 仕様（C言語）

■　　コンポーネント共通

HALRETURNCODE_T HalInit(HALCOMPONENT_T *halComponent);

HALRETURNCODE_T HalReInit(HALCOMPONENT_T *halComponent);

HALRETURNCODE_T HalFinalize(HALCOMPONENT_T *halComponent);

HALRETURNCODE_T HalAddObserver(HALCOMPONENT_T *halComponent, HALOBSERVER_T *halObserver);

HALRETURNCODE_T HalRemoveObserver(HALCOMPONENT_T *halComponent, HALOBSERVER_T *halObserver);

HALRETURNCODE_T HalGetProperty(HALCOMPONENT_T *halComponent, HALPROPERTY_T *property);

HALRETURNCODE_T HalGetTime(HALCOMPONENT_T *halComponent, int32_t *timeValue);

■　　イベントタイマー

HALRETURNCODE_T HalEventTimerStartTimer(HALEVENTTIMER_T *eventTimer);

HALRETURNCODE_T HalEventTimerStopTimer(HALEVENTTIMER_T *eventTimer);

HALRETURNCODE_T HalEventTimerSetEventPeriod(HALEVENTTIMER_T *eventTimer, int32_t eventPeriod);

HALRETURNCODE_T HalEventTimerAddObserver(HALEVENTTIMER_T *eventTimer, HALTIMEROBSERVER_T *timerObserver);

HALRETURNCODE_T HalEventTimerRemoveObserver(HALEVENTTIMER_T *eventTimer, HALTIMEROBSERVER_T *timerObserver);

OpenEL® 3.2 仕様（C言語）

■　　モーター制御

```
#define HAL_REQUEST_NO_EXCITE                    (0)
#define HAL_REQUEST_POSITION_CONTROL     (1)
#define HAL_REQUEST_VELOCITY_CONTROL     (2)
#define HAL_REQUEST_TORQUE_CONTROL       (3)
#define HAL_REQUEST_POSITION_ACUTUAL     (5)
#define HAL_REQUEST_VELOCITY_ACUTUAL     (6)
#define HAL_REQUEST_TORQUE_ACUTUAL       (7)
```

```
HALRETURNCODE_T HalActuatorSetValue(HALCOMPONENT_T *halComponent, int32_t request, HALFLOAT_T value);
```

目標角度/位置、目標角速度/速度、目標トルクまでモータを動作させる. 本メソッドは非同期であり，モータが目標値に到達するまでは待たない. モータが目標値に到達する前に，再度本メソッドが呼ばれた場合には，目標値が更新される. モータが目標値に到達したことは，HALObserver を使用してアプリケーション側に通知される.ただし，この通知は，最終的な 目標値に到達した場合のみ発行される.このため，本メソッドを複数回呼び出し，目標値が更新された場合には，最終的な目 標値を設定したメソッドに対応した通知のみ行われる.

```
HALRETURNCODE_T HalActuatorGetValue(HALCOMPONENT_T *halComponent, int32_t request, HALFLOAT_T *value);
```

対象モータの現在角度/位置、現在角速度/速度、現在トルク/力を取得する.
現在値が測定できない要素の場合には，推定値もしくは指令値を返す.

位置 単位[rad] または [m](製品仕様)
速度 単位[rad/s] または [m/s] (製品仕様)
トルク 単位[N・m] または [N] (製品仕様)

OpenEL® 3.2 仕様（C言語）

■　　センサー入力

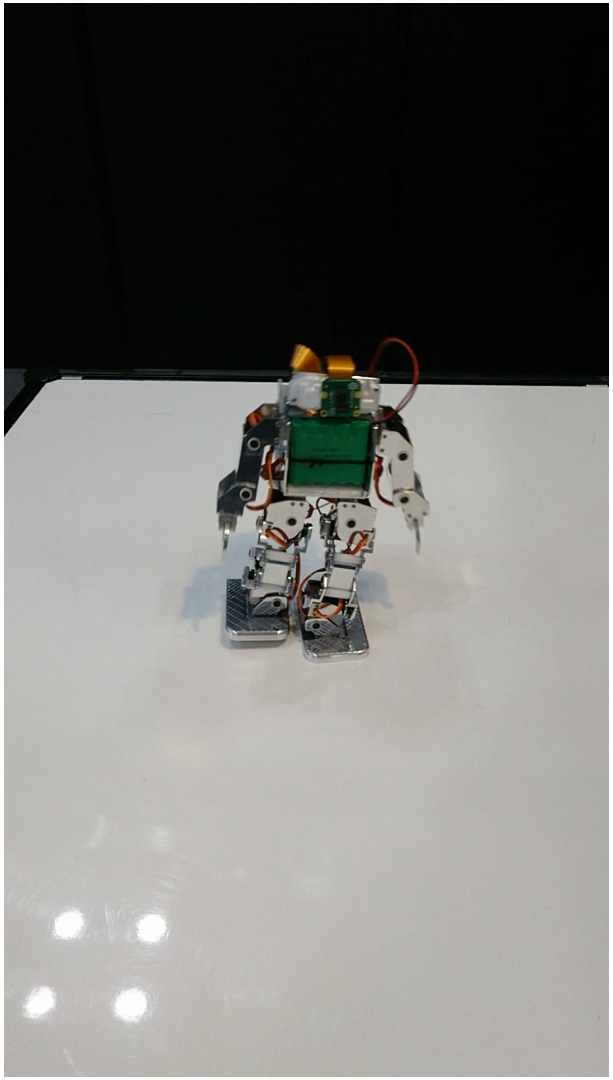
HALRETURNCODE_T HalSensorGetValueList(HALCOMPONENT_T *halComponent,int32_t *size, HALFLOAT_T *valueList);
センサーから値を取得する

HALRETURNCODE_T HalSensorGetTimedValueList(HALCOMPONENT_T *halComponent,int32_t *size, HALFLOAT_T *valueList, int32_t *timeValue);
センサーから値と時間情報を取得する

OPENELの実装例

OpenELの実装例（C言語）

- 二足歩行ロボット
  UTRX-17
- Raspberry Pi Zero W
  + PCA9685
- OpenELでサーボモーターを制御

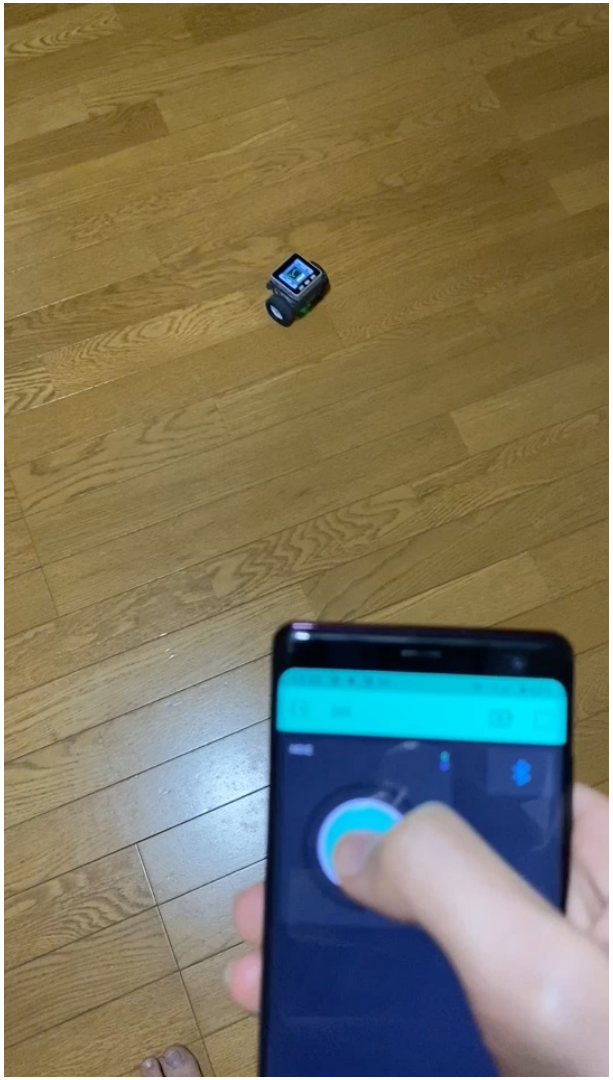


OpenELの実装例（C++言語）

- M5Stack FIRE + M5BALA
- M5Stack FIREにSH200Q（3軸加速度センサー、3軸ジャイロ）が搭載
- OpenELで倒立2輪ロボットを制御
- Arduino IDEで開発

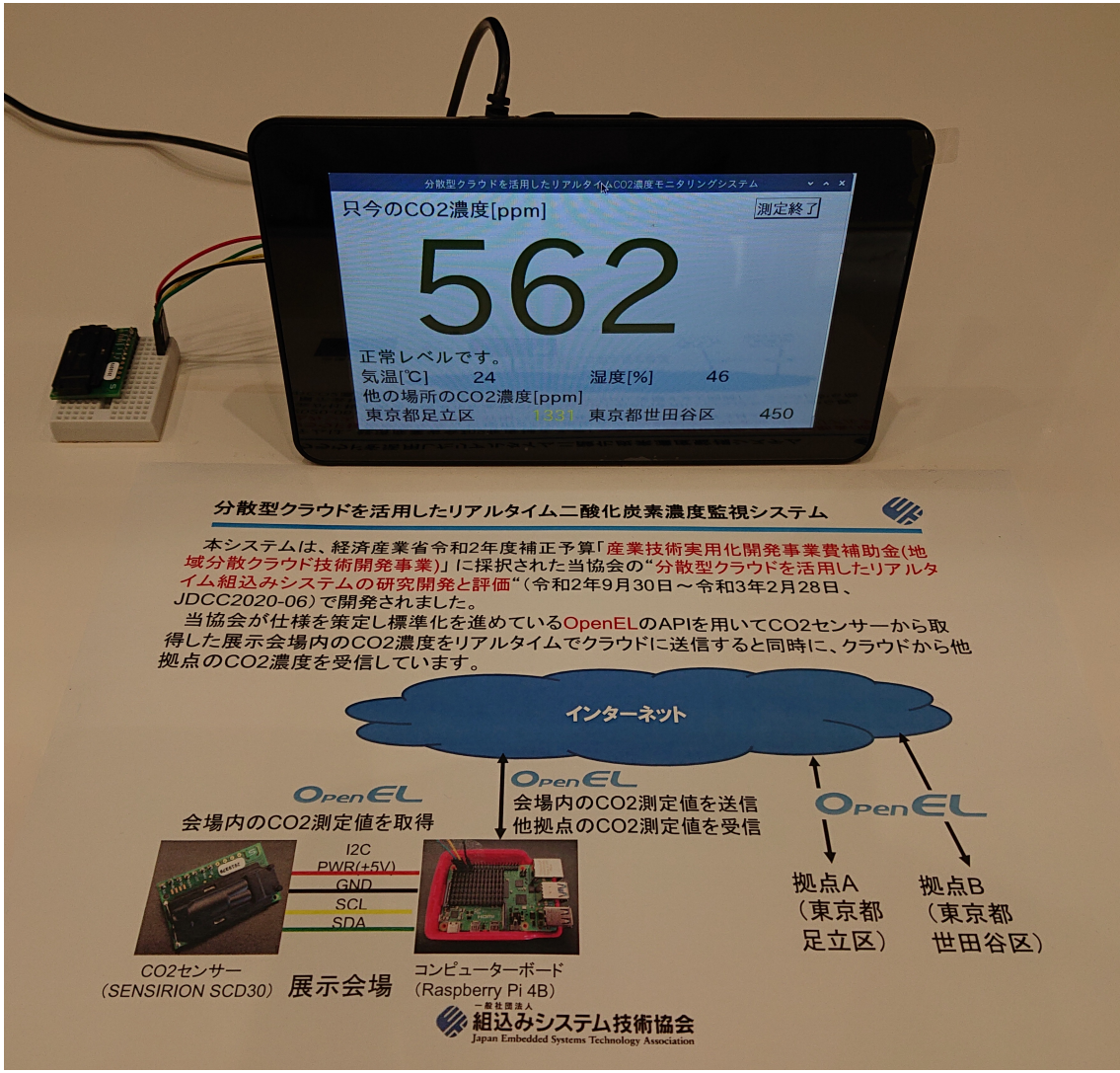
M5Stack BALA2

- M5Stack Gray + BALA2
- M5Stack GrayにMPU6886（3軸加速度センサー、3軸ジャイロ）が搭載
- OpenEL(C++)で倒立2輪ロボットを制御
- Arduino IDEで開発



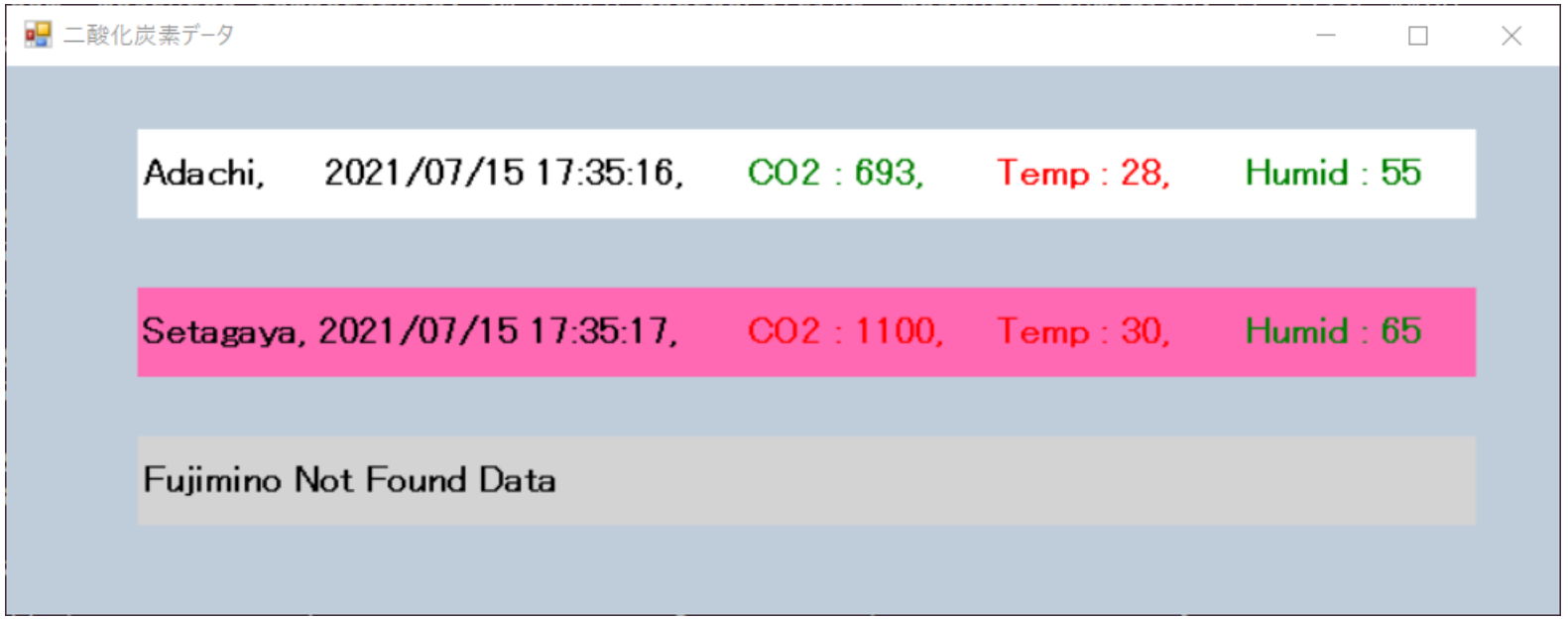
C#への対応

- 二酸化炭素センサー(Sensirion SCD30)に対応したことにより、換気具合の可視化「密の見える化」を実現
- C#に対応したことにより、OpenELコンポーネント内部でネットワーク通信の利用を実現
- 大規模リアルタイム通信エンジン「Diarkis」に対応したことにより、遠隔地のCO2濃度の測定を実現
- 拠点間で相互にCO2濃度のリアルタイム監視を実現
- ET&IoT West 2021とET&IoT 2021のJASAパビリオンで展示



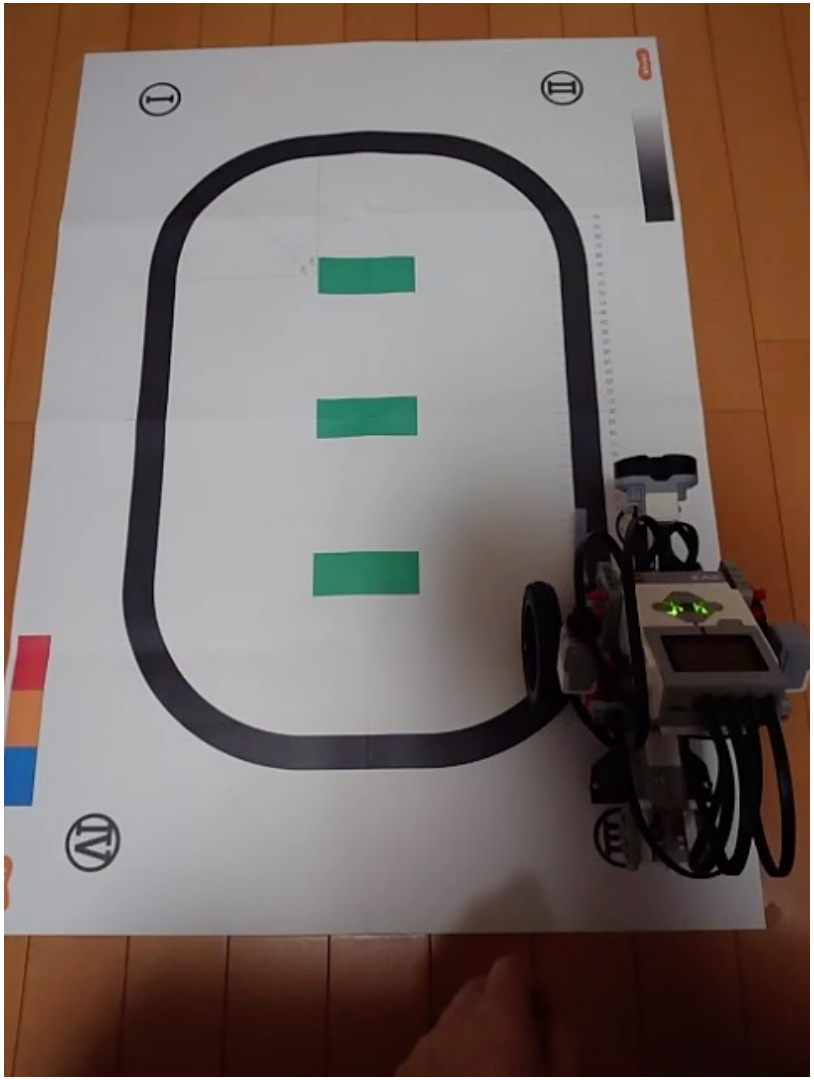
C#への対応：Windows GUIアプリの例

C#への対応によりWindowsのGUIアプリでもOpenELの利用が可能に！



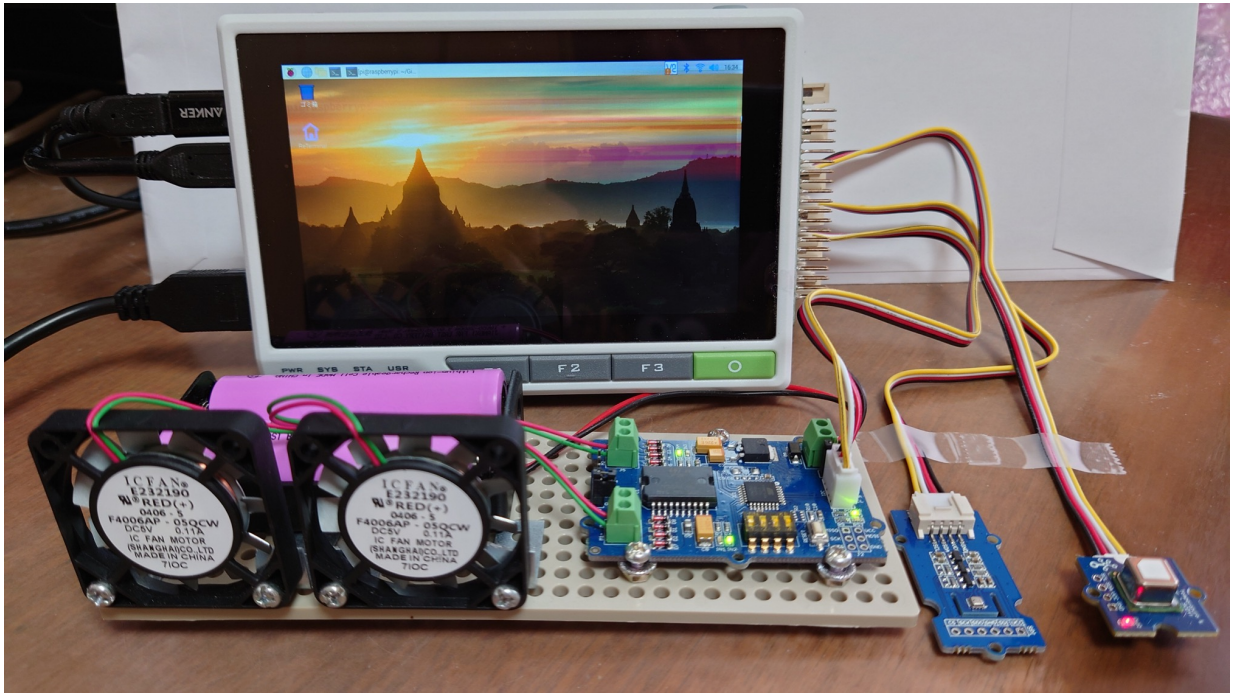
LEGO EV3

- ev3dev環境(Debian Linuxベース)
- モーター3個、光センサー、タッチセンサー、距離センサー、ジャイロセンサーに対応
- ETロボコン走行体でライントレースを実現

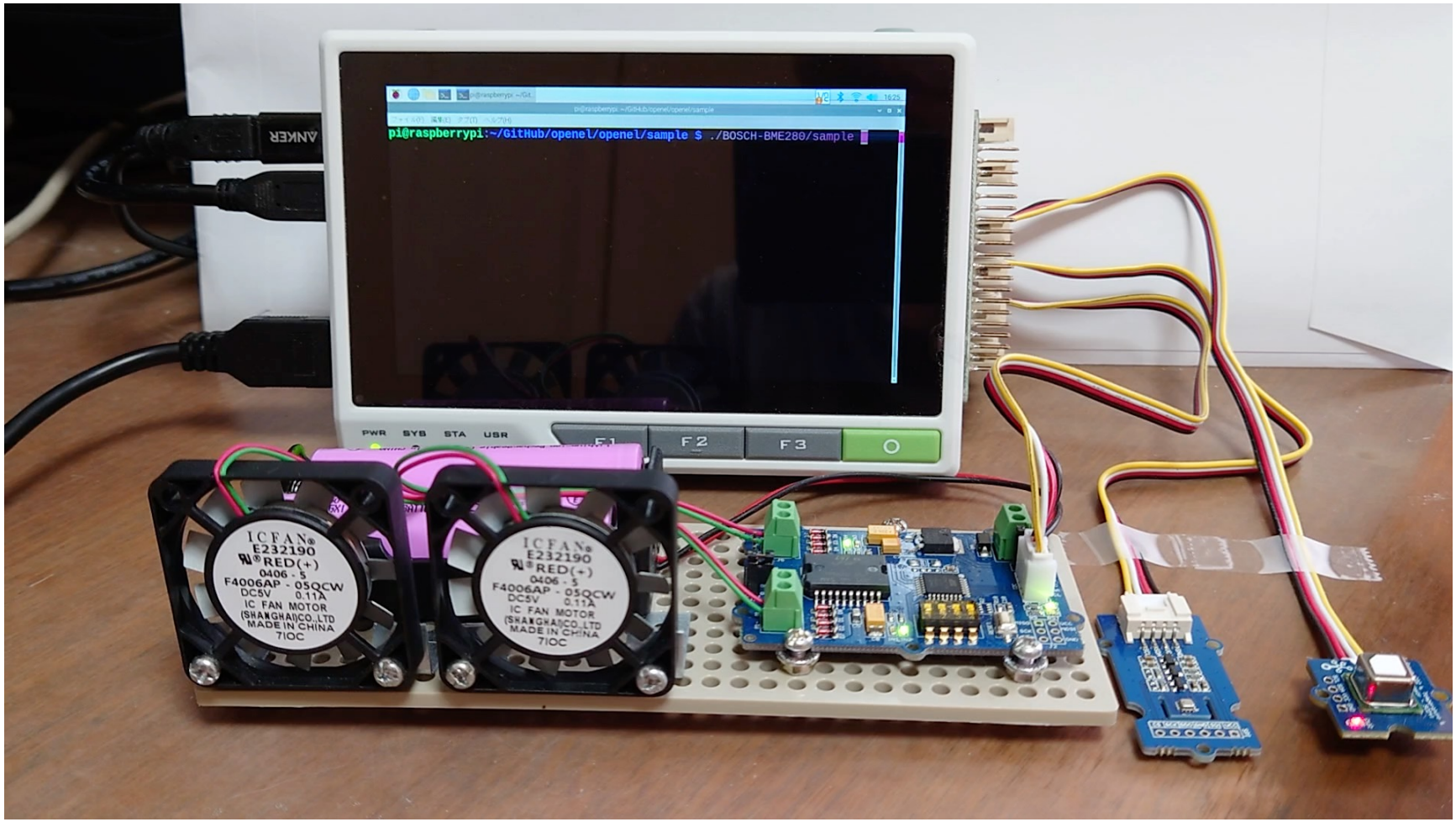


reTerminal

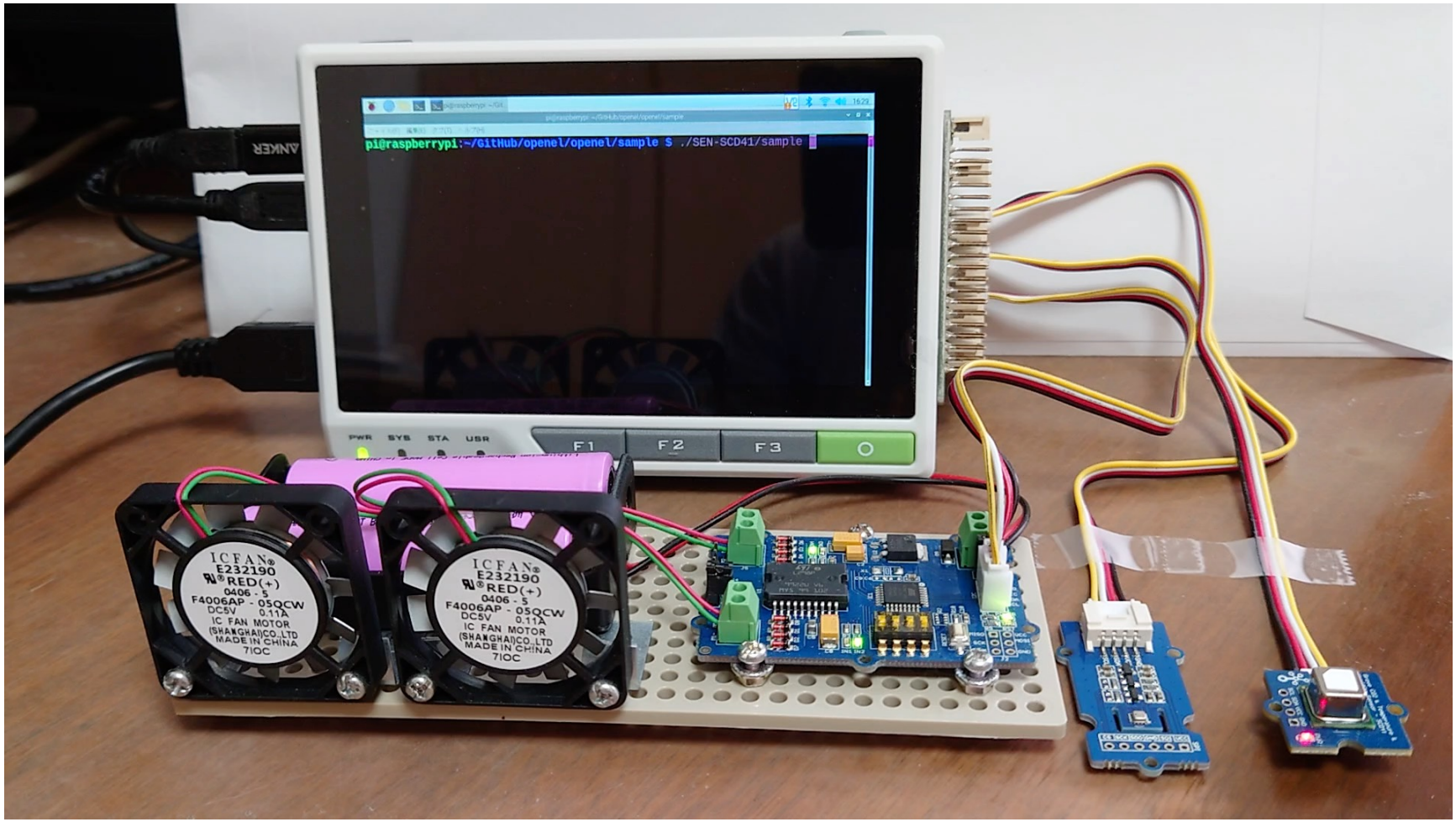
- Raspberry Pi CM4搭載
- 温度/湿度/気圧センサー　BOSCH BME280
- CO2/温度/湿度センサー　Sensirion SCD41
- I2Cモータードライバ＋DCファンモーター
- 二酸化炭素濃度を検知して自動的に換気を行うシステムを構築



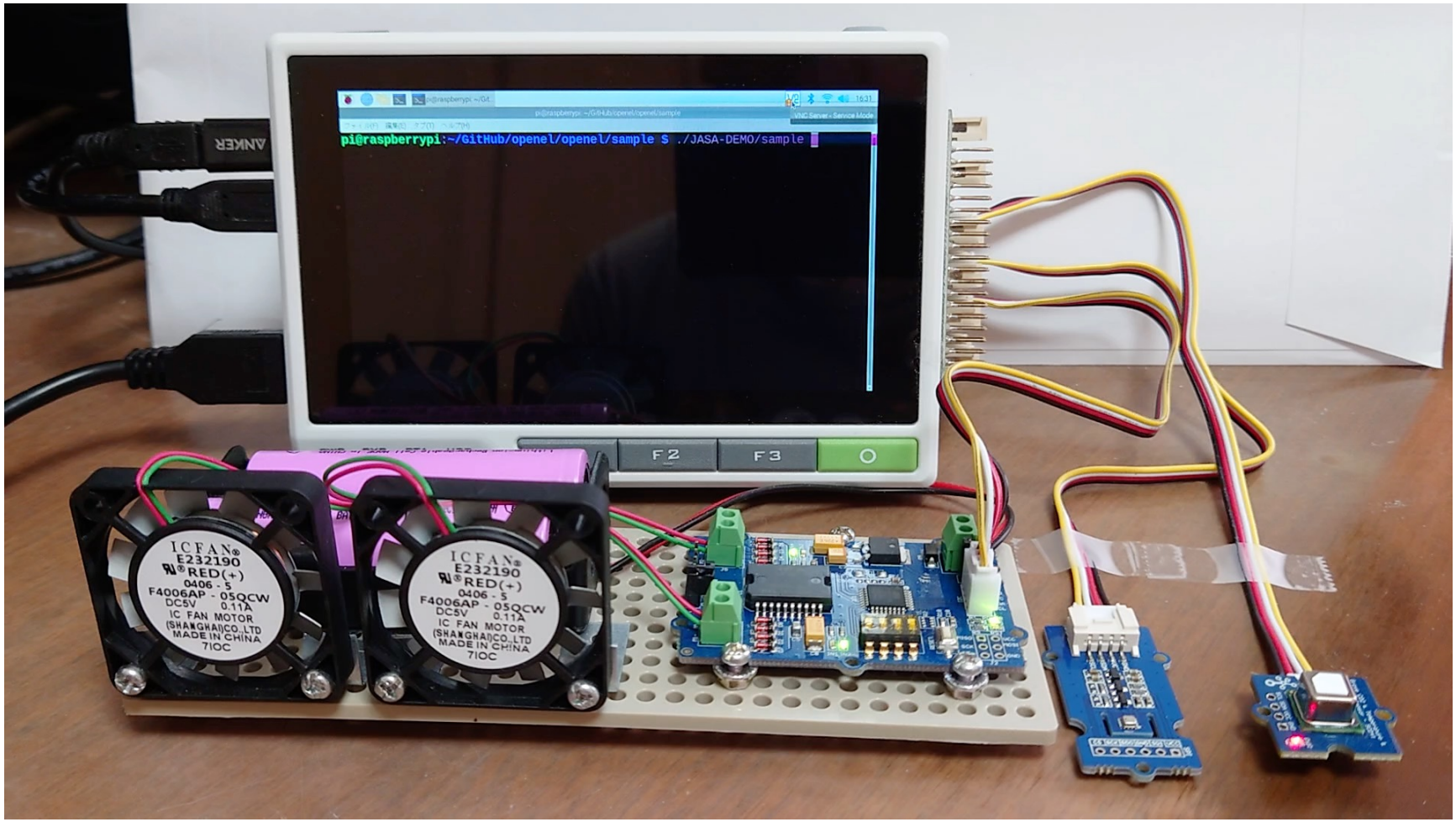
温度/湿度/気圧センサーのデモ



CO2/温度/湿度センサーのデモ

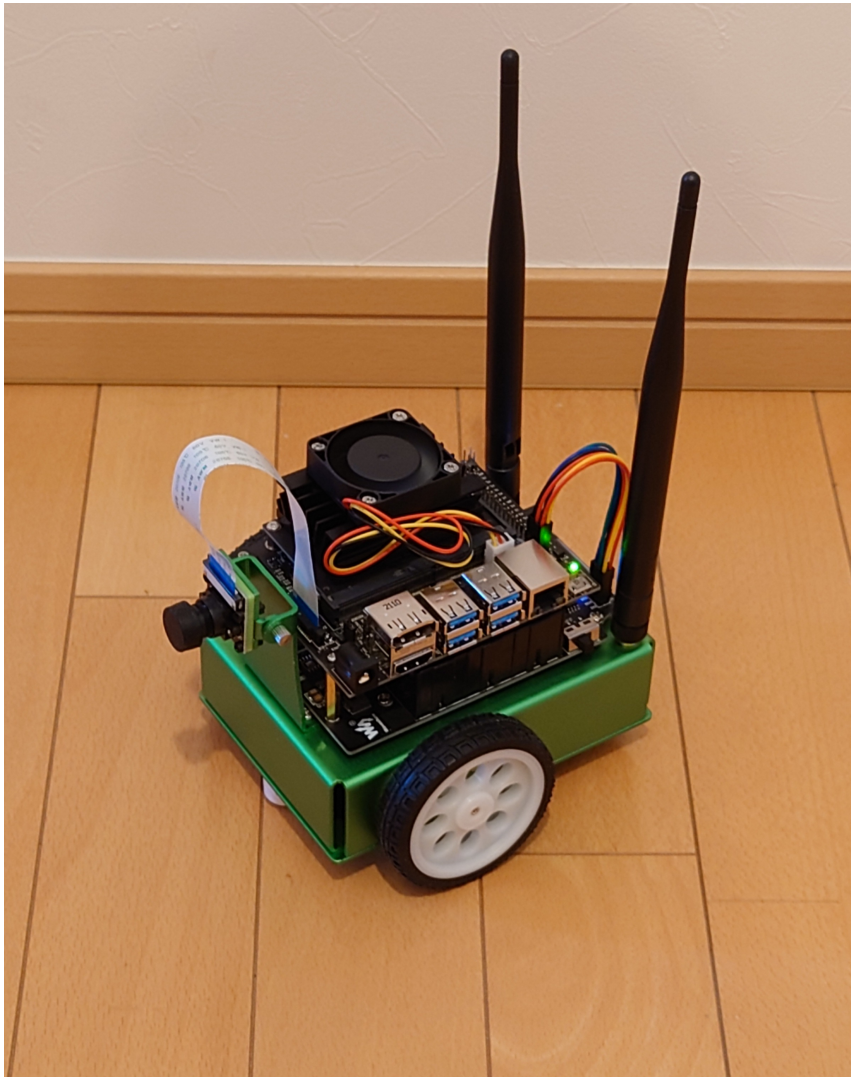


CO2濃度を検知する自動換気システムのデモ

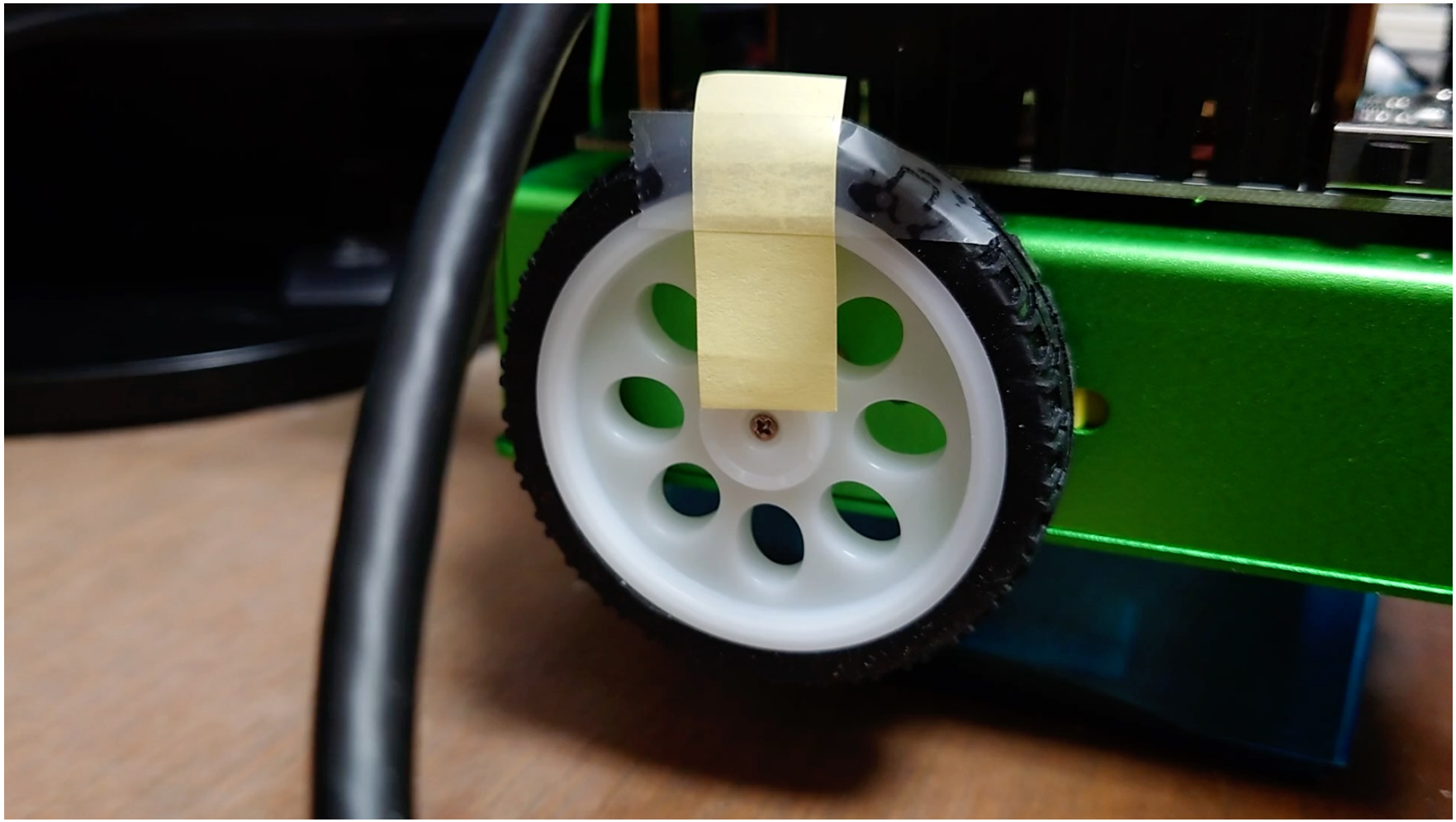


経済産業省「次世代ソフトウェアプラットフォーム実証事業」

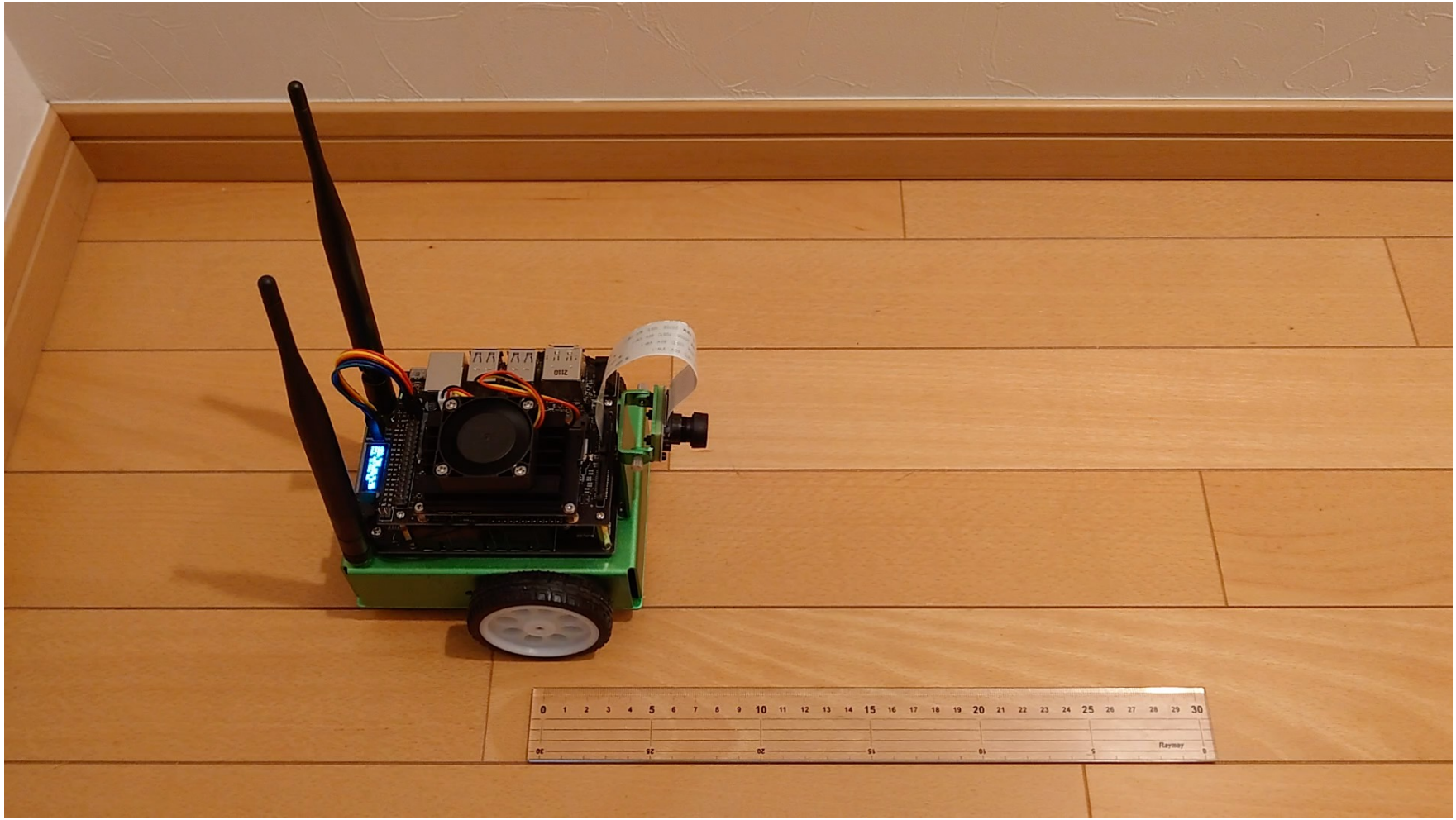
- NVIDIA JetBotの追加
  - Vendor IDの追加（0xB：NVIDIA）
  - Product IDの追加（0x1：JetBot）
  - Device Kind IDの追加（0xD：電流センサー）
- OpenEL®コンポーネントの追加
  - LEDディスプレイドライバ NXP PCA9685（モーター制御）
  - 電流センサー TI INA219（バッテリー監視）
- ROS2に対応
  - OpenELノード（Publisher/Subscriber）の追加
  - 機体番号、前後進距離[cm]、旋回角度[deg]
- ROS2に対応したdockerイメージの作成



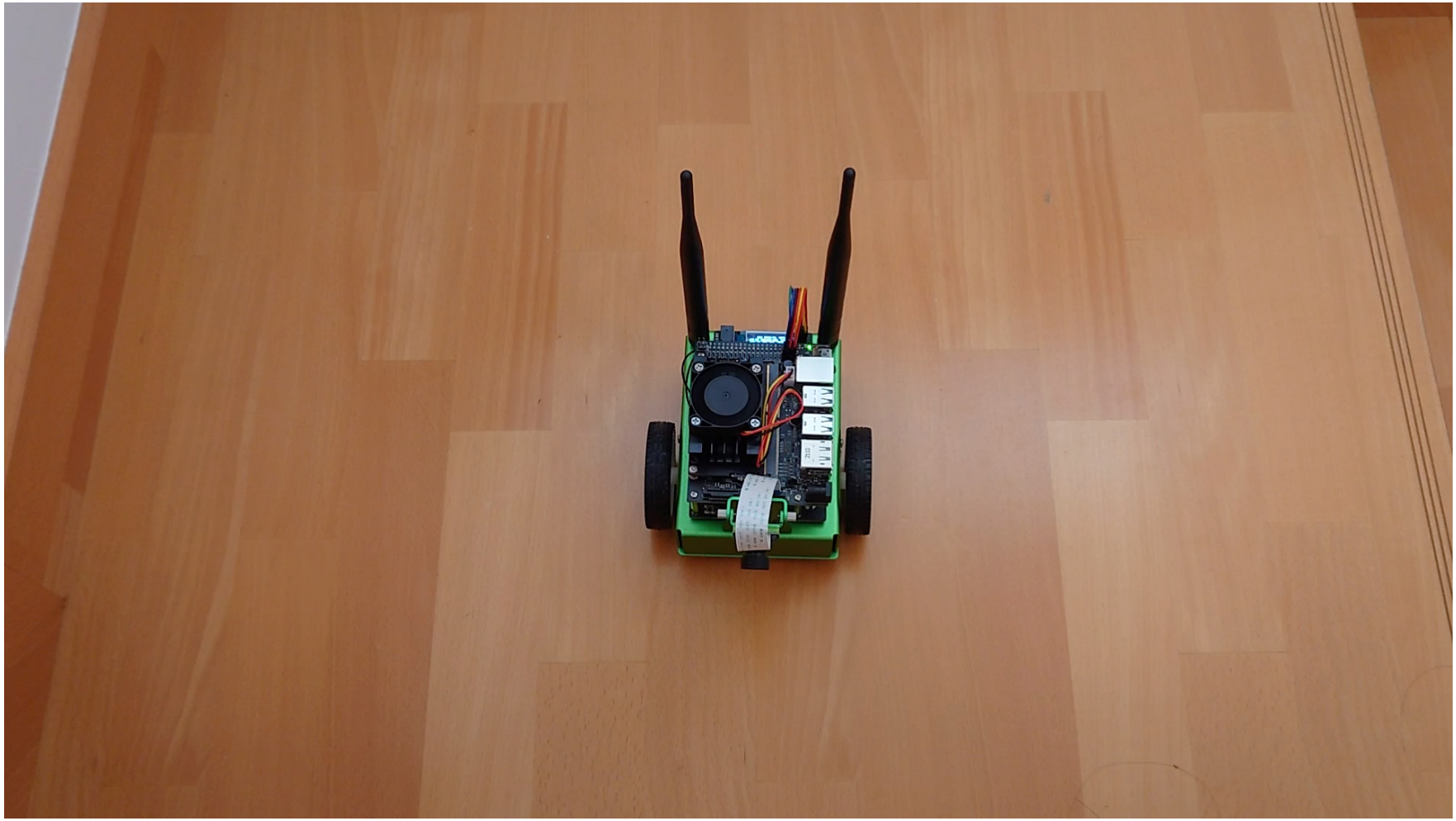
速度制御試験(−15π～15π[rad/s])



前後進試験



旋回試験

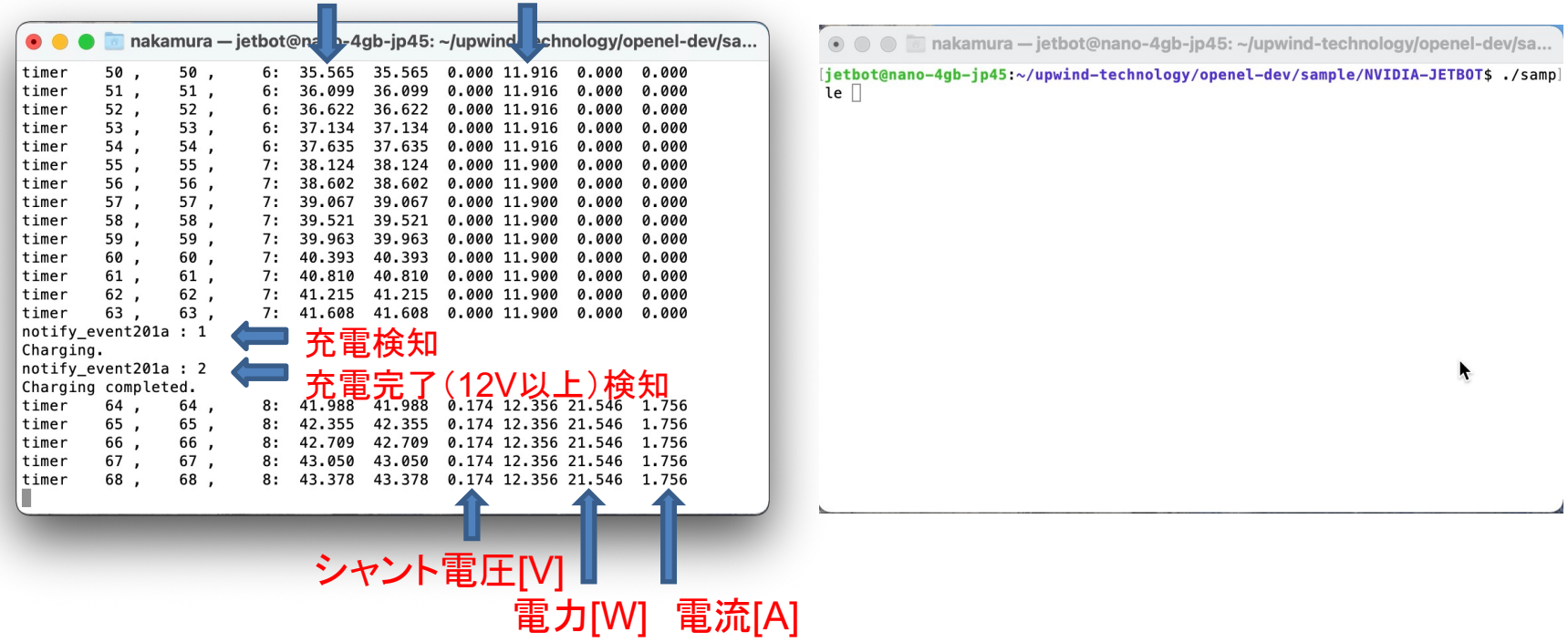


自己位置推定(Odometry)による移動

電力管理機能

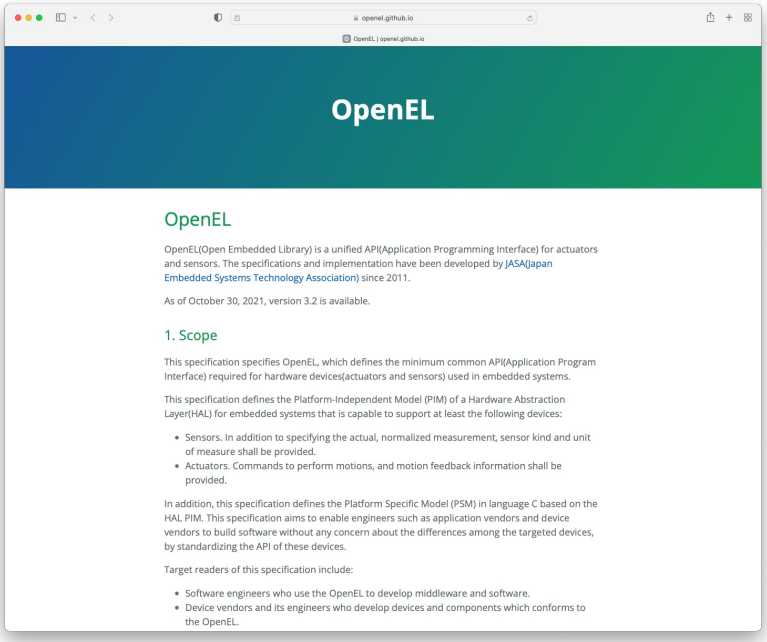
応用例：バッテリーの電圧降下を検知してモーターの回転速度を制御することも可能

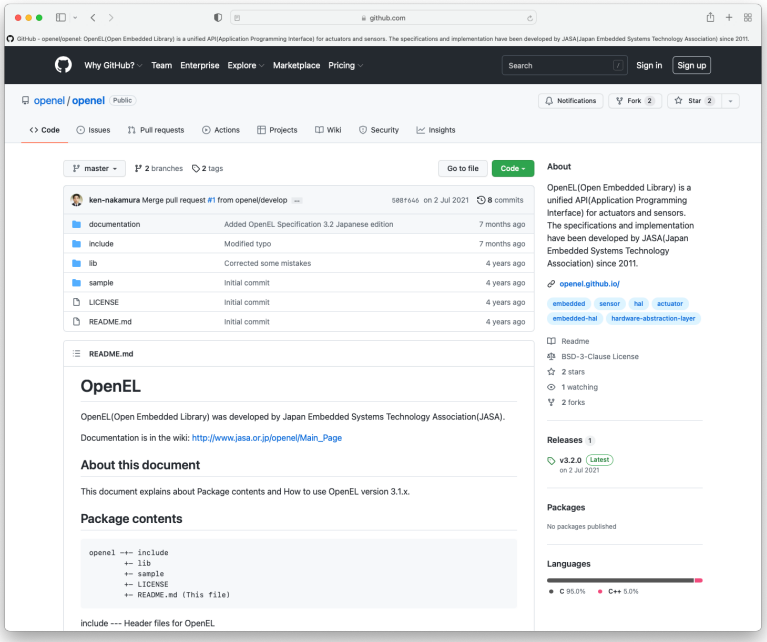
車輪回転速度
-15π～15π[rad/s]　負荷電圧[V]



開発成果をGitHubで広く一般に公開

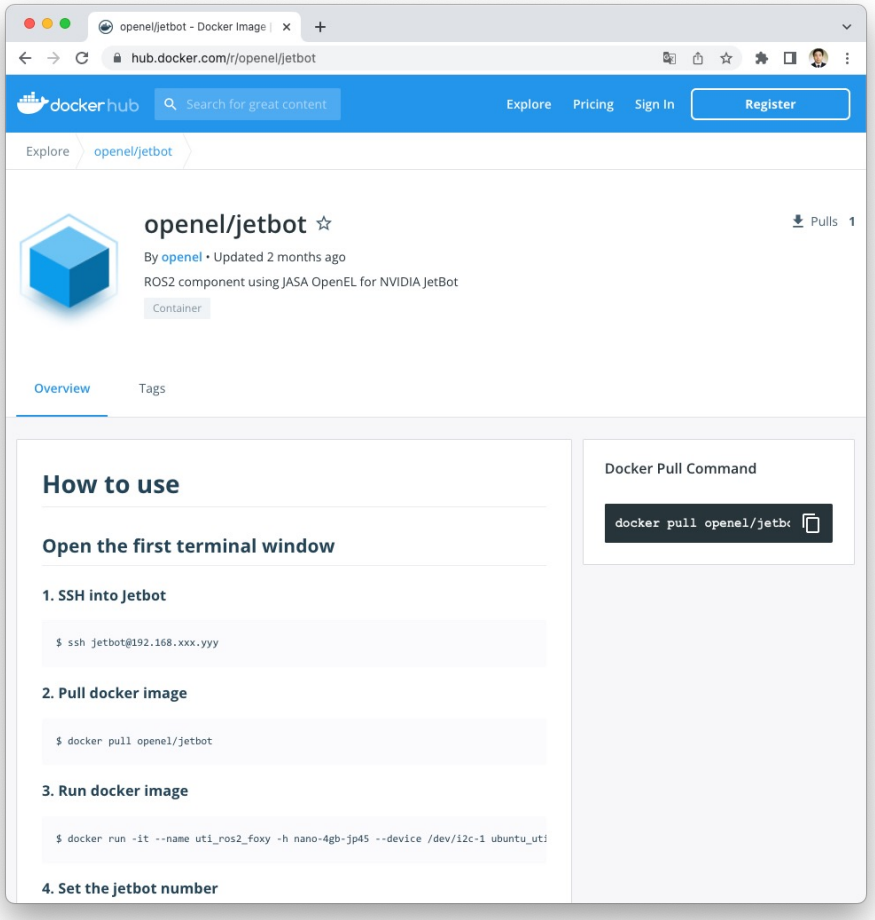
- M5Stack BALA2、EV3、JetBot向けの実装を公開！
- 日本語仕様書以外に、英語仕様書やチュートリアルも追加
- https://github.com/openel/openel





開発成果をdockerhubで広く一般に公開

- ROS2をセットアップ済みのJetBot向けDockerイメージを公開！
- JetBotにダウンロードするだけで、すぐにOpenELが利用可能！
- コンパイル不要！
- ROS2を起動してメッセージをPublishするだけでJetBotが動作！
- https://hub.docker.com/r/openel/jetbot



Dockerイメージの使い方(Subscriber)

Open the first terminal window

1. SSH into Jetbot

```
$ ssh jetbot@192.168.xxx.yyy
```

2. Pull docker image

```
$ docker pull openel/jetbot
```

3. Run docker image

```
$ docker run -it --name uti_ros2_foxy -h nano-4gb-jp45 --device /dev/i2c-1
ubuntu_uti:20220119 /bin/bash
```

4. Set the jetbot number

```
root@nano-4gb-jp45:/# cat /home/jetbot/dev_ws/src/openel_pubsub/openel_subscriber.yaml
/openel_subscriber:
 ros__parameters: jetbot_number: 1 <--- Change this number to the one which you want to use.
 use_sim_time: false
```

5. Set up ROS2 environment

```
root@nano-4gb-jp45:/# source /opt/ros/foxy/setup.bash
root@nano-4gb-jp45:/# source /home/jetbot/dev_ws/install/setup.bash
```

6. Run OpenEL package

```
root@nano-4gb-jp45:/# ros2 run openel_pubsub openel_listener --ros-args --params-file
/home/jetbot/dev_ws/src/openel_pubsub/openel_subscriber.yaml
[INFO] [1642562106.391263209] [openel_subscriber]: My jetbot_number: 1
```

Dockerイメージの使い方(Publisher)

1. SSH into Jetbot

$ ssh jetbot@192.168.xxx.yyy

2. Connect to the running container

jetbot@nano-4gb-jp45:~$ docker exec -it uti_ros2_foxy /bin/bash

3. Set up ROS2 environment

root@nano-4gb-jp45:/# source /opt/ros/foxy/setup.bash

root@nano-4gb-jp45:/# source /home/jetbot/dev_ws/install/setup.bash

4. Send the command to control Jetbot

By publishing the array [Jetbot number, forward / backward distance (grain size: 3 cm), turning angle (grain size: 3 degrees)] in / openel_topic, the specified Jetbot will operate.

root@nano-4gb-jp45:/# ros2 topic pub --once /openel_topic std_msgs/msg/Int16MultiArray "{data: [1,3,3]}"

publisher: beginning loop

publishing #1: std_msgs.msg.Int16MultiArray(layout=std_msgs.msg.MultiArrayLayout(dim=[], data_offset=0), data=[1, 3, 3])

The log is displayed in the first Terminal, and the JetBot is working.

[INFO] [1642562229.934486853] [openel_subscriber]: I heard: 1,3,3

Move:3[cm]

Turn:3[degree]

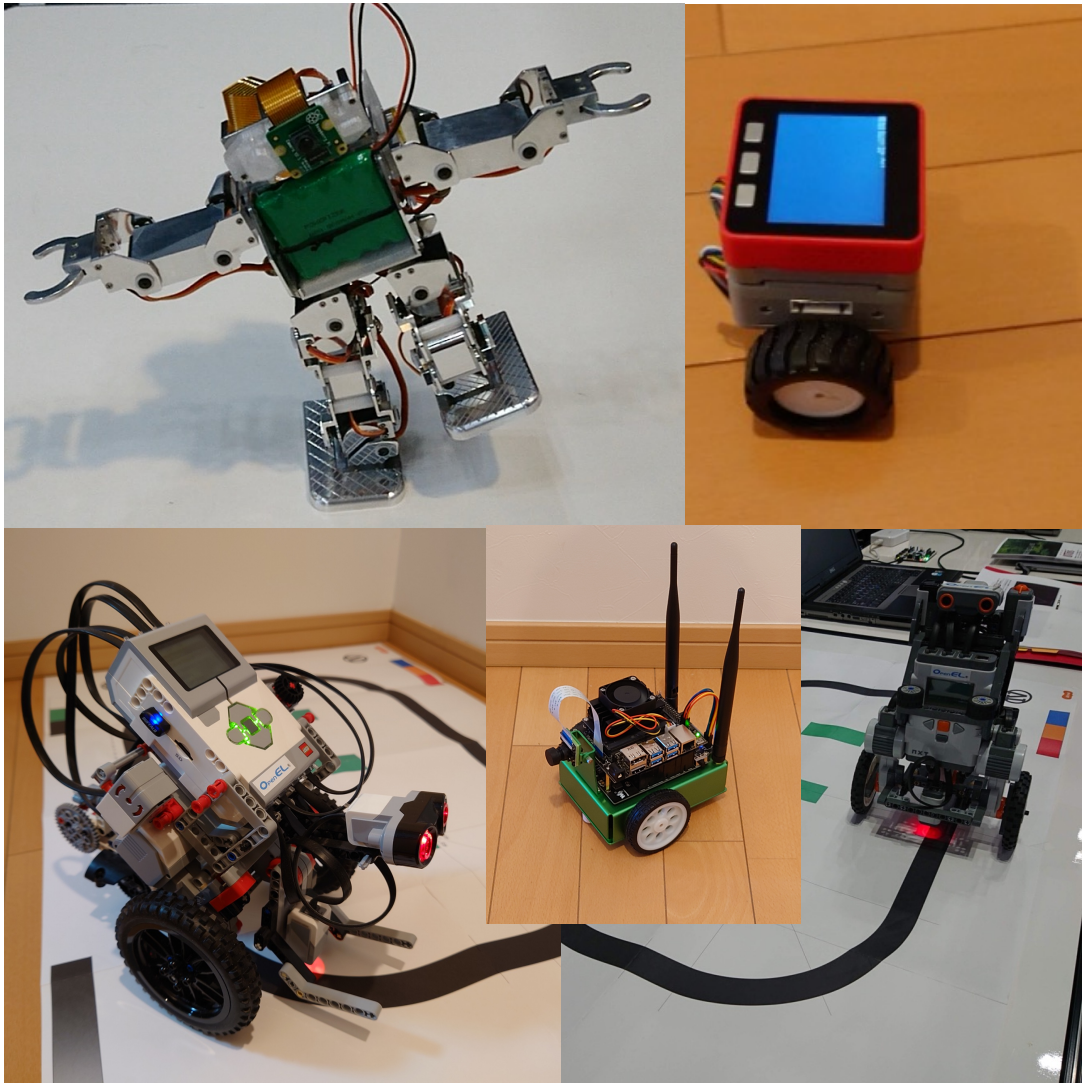
令和3年度（2021年度）の活動成果

- 2021年7月2日に、OpenEL 3.2（C#版）をGitHubで公開した。
  https://github.com/openel/openel-cs
- 2021年10月30日にGitHubでOpenELの英語版ページを公開した。
  https://openel.github.io/
- 2021年11月7日にGitHubでArduino(M5Stack BALA2)用OpenEL 3.2（C++版）と英語版入門文書を公開した。
  https://github.com/openel/openel-arduino
  https://openel.github.io/openel-arduino/
- 2022年3月12日にGitHubでLEGO EV3およびNVIDIA JetBot用のOpenELコンポーネントを公開した。
  https://github.com/openel/openel
- 2022年3月12日にDockerHubでNVIDIA JetBot用のOpenELコンポーネントを使用するROS2イメージを公開した。
  https://hub.docker.com/r/openel/jetbot

2022年7月現在の対応デバイスと実装例

■ 対応デバイス
- モーター（速度制御、位置制御、トルク制御）
- ジャイロセンサー
- トルクセンサー
- 加速度センサー
- 地磁気センサー
- 距離センサー
- 力センサー
- 温度センサー
- 湿度センサー
- 気圧センサー
- 二酸化炭素センサー
- カラーセンサー
- タッチセンサー
- 電流センサー

■ 実装例
- 二足歩行ロボット UTRX-17
- M5Stack Fire/BALA/BALA2
- LEGO Mindstorms NXT/EV3
- NVIDIA JetBot



令和4年度の事業計画

2022年4月～、ユーザーの増加、対応デバイスの増加、他システムとの連携、OpenELエコシステムの構築を目指して活動中

- 対応デバイスの増加
  - ETロボコンSPIKEキットへの対応
  - シマフジ電機（株）SEMB1401への対応
- 他システムとの連携
  - W3C WoTへの対応（WoT-JP CGとの連携）
  - クラウドへの対応（Microsoft Azure、AWS、GCP）
- OpenEL エコシステムの構築
- OpenEL 勉強会の開催

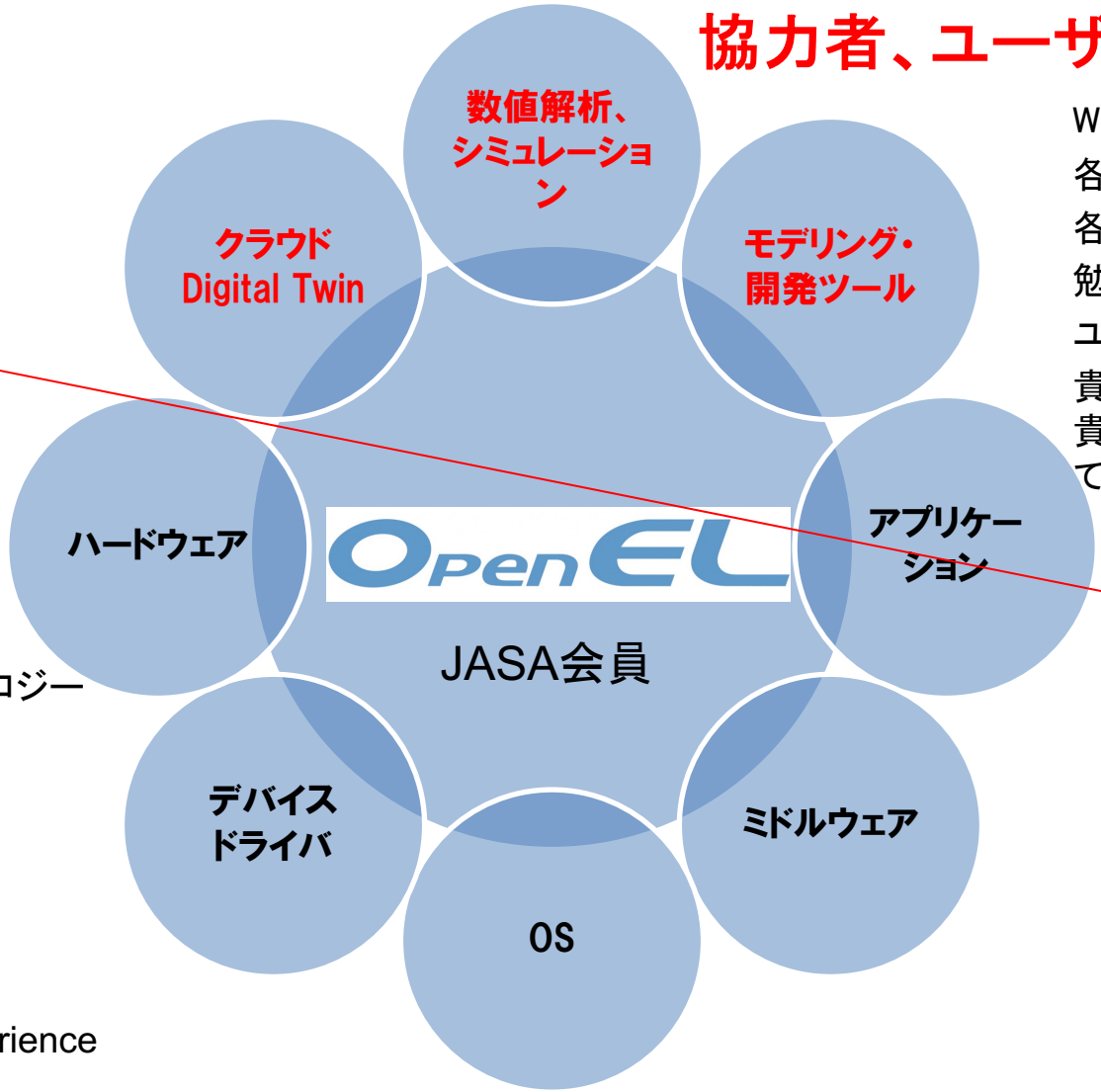
令和4年度の事業計画

■　ETロボコンSPIKEキットへの対応

令和4年度の事業計画

■　シマフジ電機（株）SEMB1401への対応

OpenEL エコシステム



協力者、ユーザー募集！

WGメンバー
各種コンポーネントの実装
各種ツールの対応
勉強会講師
ユーザーサポート
貴社の顧客への提案等、貴社のビジネスツールとしてもご活用ください。

WGメンバー
アップウィンドテクノロジー
エヌデーデー
オーバートーン
京セラ
静岡大学
シマフジ電機
チェンジビジョン
東洋大学
Knowledge & Experience
日立産機システム
UCサロン
ルネサスエレクトロニクス

一般社団法人 組込みシステム技術協会 Japan Embedded Systems Technology Association

協力者、ユーザー募集！

■　ご静聴ありがとうございました。

「OpenELが変える組込みシステム開発」

2022/7/29 発行

発行者　一般社団法人 組込みシステム技術協会
東京都 中央区 入船 1-5-11 弘報ビル5階
TEL: 03(6372)0211 FAX: 03(6372)0212
URL: https://www.jasa.or.jp/

一般社団法人
組込みシステム技術協会
Japan Embedded Systems Technology Association