

Web技術を活用した IoT実習のオンライン化の取組み

オンラインIoT実習を含む
IoT技術の人材育成フォーラム事業
成果報告書



地方独立行政法人

KISTEC 神奈川県立産業技術総合研究所



本事業は、競輪の補助を受けて実施しました。

まえがき

地方独立行政法人神奈川県立産業技術総合研究所（以下、「KISTEC」という。）では、新型コロナウイルス COVID-19 の出現以前の（KISTEC の前身の機関において）2015 年から、IoT に関する技術開発や導入支援、人材育成に取り組んできました。2020 年からの COVID-19 の感染拡大によって対面での研修・講座による人材育成を行うことが難しくなる中、公益財団法人 JKA による「2022 年度公設工業試験研究所等における人材育成等補助事業」の採択を受け、「オンライン IoT 実習を含む IoT 技術の人材育成フォーラム」事業（以下、「本事業」という。）を実施し、with コロナ／after コロナを見据えた IoT 分野の人材育成（特に実習のあり方）について改めて検討しました。

本報告書は、本事業の成果について皆様に知っていただくために作成したものです。本書が皆様の IoT 導入に関する人材育成や課題解決の一助になれば幸いです。

2023 年 3 月

目次

1. IoT分野の人材育成の課題.....	3
1. 1 背景	
1. 2 KISTECでの取組みと課題	
1. 3 IoTフォーラムの実施	
2. IoT実習のオンライン化.....	8
2. 1 オンラインでIoT実習を行うための環境構築	
2. 2 IoTフォーラムの実施	
3 最後に.....	13
付録.....	14
IoTフォーラム資料（「IoTの人材育成におけるKISTECの取組み」より一部抜粋）	

1. IoT 分野の人材育成の課題

1.1 背景

新型コロナウイルス COVID-19 の出現と感染拡大により、緊急事態宣言やまん延防止等重点措置などもあり、日本国内の社会活動も大きな制約を受けざるを得ない状況の中、オンラインサービスの利用により対面での接触機会を回避するリモートワークやオンライン授業など、デジタル技術活用の必要性が社会的に改めて認識されるようになった。その一方で、スイスの国際経営開発研究所 (IMD) による世界デジタル競争力ランキング 2022 では 29 位 (63 各国・地域中) である日本は、デジタル化という点ではそれほど先進的な社会ではなかったことも一般に認識されるという一面もあった。デジタル技術を活用したコロナ対策で注目された台湾は 11 位となっているのに対し、日本の順位は COVID-19 出現前の 2018 年の 22 位から年々低下している。

IoT については、2015 年版モノづくり白書では「すべてのものがインターネットでつながるという概念」であり、IoT によって「モノのデジタル化・ネットワーク化が急速に拡大」する、と位置づけられている (図 1)。DX 白書 2021 では、IoT は、デジタル化や DX において重要な要素技術であり、データ獲得手段であるとされている。なお、DX と IoT の違いや関係性は分かりにくい点があるため、DX 白書を発行している IPA (情報処理推進機構) では、その疑問に対する回答を公開している。本事業の一環として開催した IoT フォーラムでもその回答を紹介した (図 2)。

DX やデジタル化を進めるにあたっては、必要なデータの内容、そして、そのデータの有無や入手性を検討する必要がある。既存のデータでは不足がある場合には、IoT でデータを獲得・収集するというのが典型的な選択肢の一つと考えられる。データの獲得・収集は、シングルボードコンピュータやマイコンを介して行われることも多く、例えば Raspberry Pi や Arduino (図 3) などは利用例が多い。その場合のデータ獲得・収集は、次のような要素に分割して考えることができる。

- ・センサーとの間の信号やデータの授受
- ・(簡易なデータ処理を含む) データの整形
- ・必要な場所へのデータの移動 (データ通信)

そのため、これらを行う IoT には、プログラミングとデータ通信についての一定程度の知識・スキルが必要となってくる。

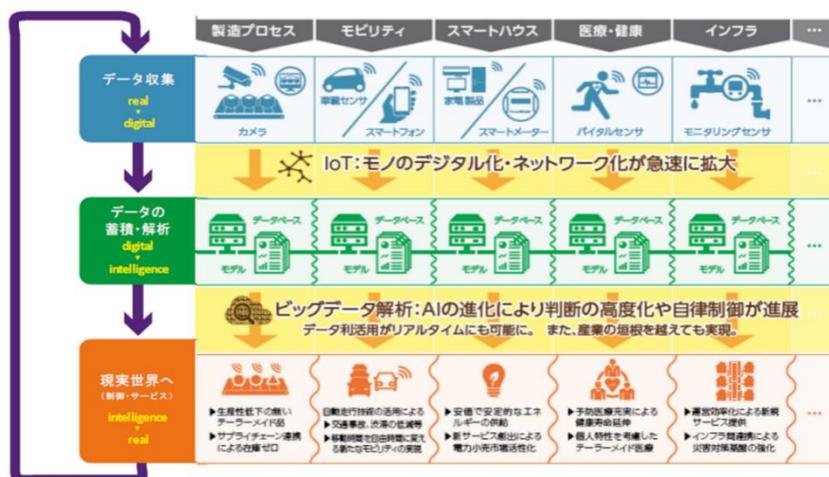


図1 IoTの位置づけ (出典:2015年版ものづくり白書)

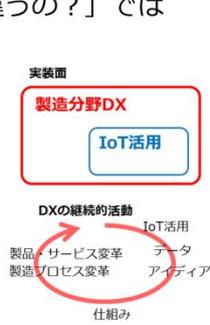
IoTはデータ獲得手段（IPA「DX白書2021」） ⇒ デジタル化やDXに重要な要素

IPA「中小規模製造業者の製造分野におけるDX推進ガイド FAQ」
「Q1-04 DXってIoTとどこが違うの？」では

【質問】製造分野のDXとIoTはどのように違うのでしょうか。両者の関係はどのようなもののでしょうか。

IoTは製造分野のDXの実装の一部として捉えることができます。

IoTから得られたデータを活用し、次に企業として進む方向を検討することができる仕組みを作って、その仕組みで常に変化し続ける（変革する）ことがDXです。



出典：<https://www.ipa.go.jp/ikc/reports/mfg-dx-faq0104.html>

図2 DX と IoT（2022年10月28日開催のIoTフォーラムでのスライド）



図3 Raspberry Pi（左）と Arduino（右）

さて、IoT を含め、DX やデジタル化を進めるには、当然ながらデジタル技術を活用することが不可欠である。そのデジタル技術活用において、どのようなことが課題となっているのだろうか？ 2021年版ものづくり白書（概要版）によれば、「デジタル技術導入にかかるノウハウの不足」、「デジタル技術の活用にあたって先導的役割を果たすことのできる人材の不足」、「デジタル技術導入にかかる予算の不足」が上位3項目となっており、デジタル技術導入の入口段階でのノウハウ・人材・予算の不足が課題となっている（図4）。また、2022年版ものづくり白書においても、この傾向は変わっていないことが示されている。さらに、総務省が発行している令和4年版情報通信白書（ICT白書）においても「デジタル化を進める上での課題や障壁」として、日本国内においては「人材不足」と「デジタル技術の知識・リテラシー不足」が上位2項目となっている。

「ノウハウ」、「人材」、「予算」の不足のうち、人材の確保については、社内での人材を育成する傾向が強くなっており（図5）、IoT分野での人材育成には大きなニーズがあると考えられる。

【図表2-12 デジタル技術を活用する上での課題（複数回答）】

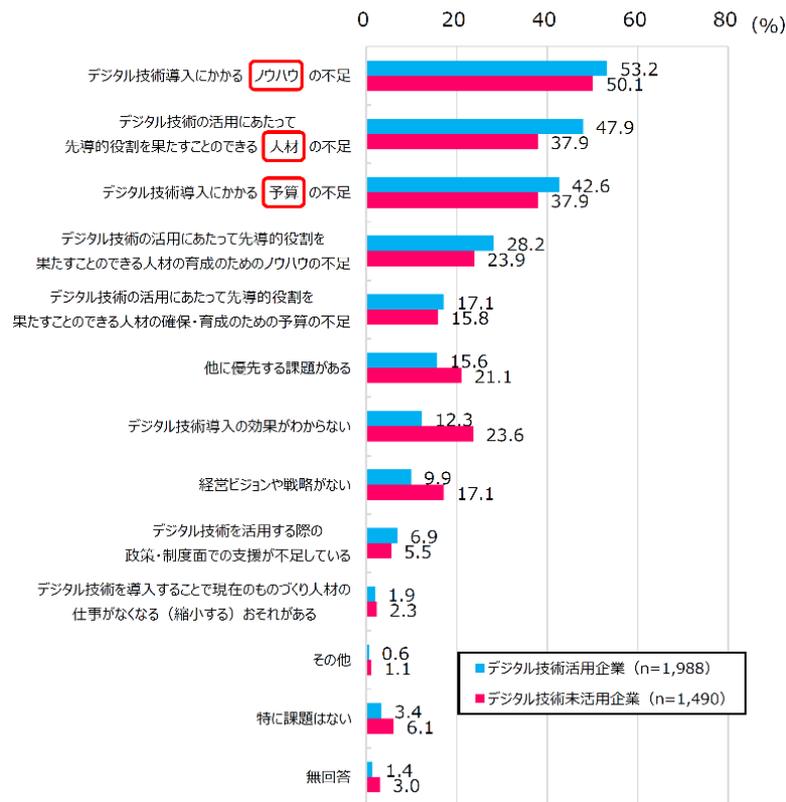


図4 デジタル技術を活用する上での課題（出典：2021年版ものづくり白書（概要））

【図表2-16 デジタル技術の活用に関するものづくり人材の確保に向けた取組（複数回答）（主なもの3つ）】

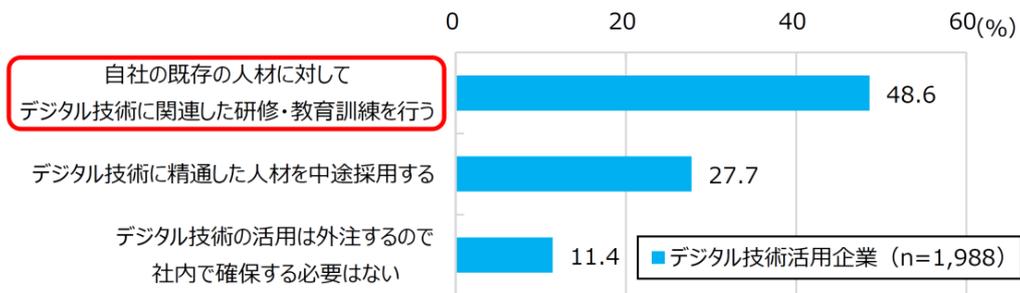


図5 デジタル技術の活用に関するものづくり人材の確保に向けた取組（出典：2021年版ものづくり白書（概要））

1.2 KISTEC での取組みと課題

KISTEC では、2015 年から地方創生加速化交付金や経済産業省や公益財団 JKA による補助などを受けながら、IoT に関する技術開発や技術支援等に継続的に取組んでいる。IoT の導入のステップを、「知る」、「試す」、「使う」、「育てる」、「守る」の5つ段階に分け、

- ・知る：IoT フォーラムの開催
- ・試す：実機や産業用ネットワークを用いた学習・試作・試験
- ・使う：ご要望に応じた IoT 技術導入支援

- ・育てる：IoT フォーラム等による人材育成
- ・守る：知財セミナー等による IoT のための知財戦略の紹介および知財相談

という形で支援を実施してきた。なお、当初は「知る」、「試す」、「使う」の3段階を設定していた。「育てる」、「守る」の2つは、取組みを進める中で加えてきたものである。IoT やデジタル化については、導入することに加え、導入後に維持・運用（改善を含む）することも重要であり、そうした継続性のためには人材の育成や確保が重要であるとの認識のもと、最近「育てる」（人材育成）にも力を入れてきているところである。

そのため、実例・具体例を知る（見る）こと、技術を具体的に（手を動かして）学ぶ、といった点を重視し、所内の IoT 事例（実際に業務で活用している IoT 事例）の見学、実際に手を動かして原理的な部分を体感してもらうための実習を重視してきた。主に、Raspberry Pi を受講者毎に割り当てて、各自 Raspberry Pi を動かしながら学んでいただく教材・コンテンツには力を入れてきた。また、Raspberry Pi が産業用途では信頼性が必ずしも高いと言えないとの声もあることから、PLC を用いて CPS（Cyber Physical System）を体験できる教材・コンテンツも開発してきた。

しかしながら、こうした Raspberry Pi や PLC という実機を用いて実習を行う人材育成のコンテンツは、対面かつ手作業を伴う研修・講座を前提としており、COVID-19 の出現と感染拡大で大きな影響を受けることとなった。こうした状況が、本事業において IoT 実習のオンライン化を検討する背景にある。

IoT分野の人材育成（「育てる」）の取組み



IoTやデジタル化：**継続的な取組み（≒ リソースの投入）が重要**
⇒ **デジタル人材の育成・確保の重要性**

「IoTのユースケースや概要を知る」

IoT・AIなどに関する講演、IoT事例の見学、IoT技術相談

「IoTを実現する技術を具体的に学ぶ」

- ・ Raspberry Piを用いた**体験学習**
- ・ PLC(産業用コントローラ)のプログラミング(CPS**体験**)



Raspberry Pi体験学習用
実習機材



PLCプログラミング用実習機材



CPS体験用3Dモデル

教材の作成等に当たっては、経済産業省や公益財団法人 JKAによる補助金等といった外部資金を活用しました



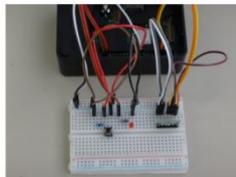
図6 IoT分野の人材育成の取組

(2022年10月28日開催のIoTフォーラムでのスライド)

- ・実機(IoTデバイス)での実習や見学が重点的な取組み
- ・IoT関連の人材育成用の教材(実習機材を含む)も開発



PLCプログラミングの実習機材
(H30年度 経産省補助で作成)



ボードコンピュータの実習機材
(H31年度 JKA補助で作成)



IoTテストベッド



家具試験機(旧式装置):所内見学でも紹介する所内のIoT事例

図7 KISTEC で開発した IoT 関連の実習機材など
(2022年10月28日開催のIoTフォーラムでのスライド)

1.3 IoT フォーラムの実施

超高速・超低遅延・多数同時接続を特徴として産業分野やIoTへの応用などが期待されている5Gやローカル5Gについて、最近の動向や現状について紹介するとともに、あらゆるモノを通信ネットワークに接続しようとするIoTにおいて重要な課題であるセキュリティ関連の動向と暗号化制御についても紹介するIoTフォーラムを実施した。KISTECでのIoTの人材育成やローカル5Gに関する取組みについても、あわせて紹介した。

10月28日の対面方式と11月24日～12月9日のオンデマンド配信の2回のフォーラムを実施した。なお、10月28日のIoTフォーラムは、オンデマンド配信のための事前収録を兼ねて、新型コロナウイルス感染防止のため参加者数を限定しながら対面で実施したものである。KISTECに2021年3月に導入したローカル5G 基地局等の見学を行った。

IoT フォーラム「ローカル5GとIoTの動向とKISTECでの取組み」

【日時】2022年10月28日 13:50～17:10

【場所】神奈川県立産業技術総合研究所 海老名本部 研究棟5階 共通技術研修室(2)

【参加者】32名

【プログラム】

14:00～14:45 ローカル5Gの最近の動向

14:45～15:10 ローカル5Gの活用事例

15:20～16:05 IoTのセキュリティと暗号化制御

16:05～16:30 IoTの人材育成における KISTEC の取組み

16:30～17:10 ローカル5Gの設備見学



図8 IoTフォーラム（10月28日開催）の会場の様子

10月28日の終了後のアンケートでは、全体的な難易度について「やや難しかった」または「適切だった」との回答だったが、全体的および各講演について（無回答を除く）ほぼ全ての回答が「とても有意義だった」または「有意義だった」であった。その結果をふまえて10月28日当日に収録した内容で Innovation Hub 2022 IoTフォーラムを実施（オンデマンド配信）した。

Innovation Hub 2022 IoTフォーラム

【開催形態】 オンライン（事前収録した動画をオンデマンドで配信）

【日時】 2022年11月24日～2022年12月9日（配信期間）

【参加者】 76名（アクセス数）

【プログラム】（オンデマンド配信のためタイムテーブルはなし）

「ローカル5Gの最近の動向」

「ローカル5Gの活用事例」

「IoTのセキュリティと暗号化制御」

「IoTの人材育成における KISTEC の取組み」

「SDR（ソフトウェア無線）を用いたローカル5G（Sub6帯）における電波強度測定システムの開発」（10月28日にはない追加テーマ）

2. IoT実習のオンライン化

2.1 オンラインでIoT実習を行うための環境構築

前述のように、IoT分野の人材育成においては実機を用いた実習に力を入れており、対面形式での講座を前提としてきたが、COVID-19の出現・感染拡大という状況下では、対面での講座開催が難しくなっていた。リモートワークやオンライン会議が一定程度に定着してきたと考えられることから、今後も対面形式での研修・講座を前提としたままではIoT分野の人材育成、特に、実際に手を動かして技術等を学ぶ実習が滞ってしまうことが懸念される。

しかし、デジタル化や DX が社会的にも求められる中で、IoT はその重要な要素技術の一つであり、IoT の人材育成も変わらず重要である。そのため、KISTEC では本事業において with コロナ/after コロナを見据えて IoT 実習のオンラインでの開催を検討することとした。

実習を含む IoT 研修講座では、

- ・ IoT の概要、技術動向や事例等を紹介する座学
- ・ 実習を行う上で必要な用語や知識を説明する座学
- ・ 実機を使った実習
 - 受講者毎にプログラミング環境を割り当て
 - 作成したプログラムを実行する実機を受講者毎に割り当て

という構成をとってきた。この場合、受講者毎にプログラミング環境（キーボード・マウス・ディスプレイを含む）と IoT デバイス（例えば、ラズベリーパイ）が必要になる（図 9）。また、対面の実習が前提であり、受講者の実習上のトラブルや疑問等については運営側のスタッフがその場で対応していた。

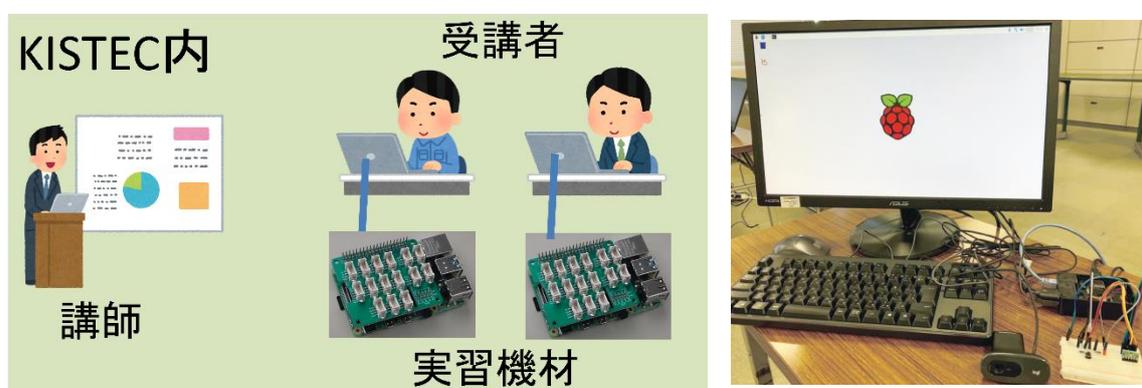


図 9 対面方式での IoT 実習

これに対し、IoT 実習をオンライン化するにあたり、図 10 のような接続形態を想定した。

- ・ 配信場所（KISTEC）内のネットワークはファイアウォールの内側にある
- ・ 職場からアクセスする受講者など、受講者側の PC もファイアウォールの内側

この場合、配信場所と受講場所では、自らのリクエストへの応答は受信できるものの、外部からのリクエストを受けることができないことが前提となる。そのため、配信者と受講者双方からのリクエストを受けるためのサーバ（以下、「中継サーバ」という。）がインターネット上に必要となる。

さらに、受講者に IDE（統合開発環境）やコードエディタなどのソフトウェアのインストール作業を求めずに済むことを優先し、受講者側での操作等には Web ブラウザを利用することとした。以上のことから、Web 系のオープン技術を利用して、オンラインで IoT 実習を行うための環境を構築することとした。なお、リモートデスクトップ用のプロトコル（RDP や VNC）を HTTP/HTTPS に中継する Apache Guacamole などを利用して環境を構築することは難しいと考え、Web 技術をベースにした通信である WebSocket(ws/wss)と HTTP/HTTPS を利用することとした。

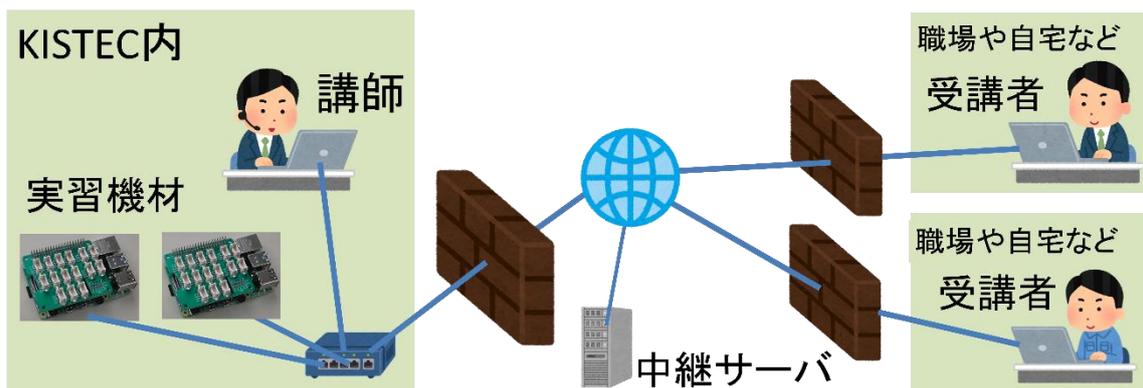


図 10 オンラインでの IoT 実習のイメージ

Websocket は、RFC 6455 により 2011 年に定められた通信仕様である。Web で標準的に用いられている通信プロトコルである HTTP との互換性が考慮されており、Web サーバと Web ブラウザとの間で双方向通信を可能とするものである。最近の Web ブラウザ（が搭載する Javascript 環境）では標準的にサポートされている。また、Python をはじめとする主要なプログラミング言語が（何らかの形で）Websocket をサポートしており、それらの言語でサーバ側の Web アプリケーションを開発することができる。

以上をふまえると、主な要件として次のような項目をあげられる。

- ・受講者毎に実習用アカウントを割り当てる
- ・実習用アカウント（受講者）毎に 1 組の実習機材を割り当てる
（受講者間での実習用実機の共有はしない）
- ・Web ブラウザ上での Python プログラムのオープン・編集・保存
- ・Web ブラウザから実習機材での Python プログラムの実行
- ・Web ブラウザからの操作により、実行中の Python プログラムの停止
- ・Web ブラウザ上で実行結果（コンソールへの標準出力）の確認

実習を運営するにあたっては、この他に、受講者ごとの実機の様子（画像）を受講者に送信することと、受講者側での実習上のトラブルや疑問に対応する際のコミュニケーションをする必要がある。これらについては、本事業ではオンライン会議システムを併用することで対応することとした。実際の環境構築にあたって利用する技術やソフトウェアについては、系の技術を利用するという方向性もふまえて、次のようなオープン・ソース・ソフトウェアを候補として検討した。

通信方式：HTTP/HTTPS, Websocket(ws/wss)

Web アプリケーション用フレームワーク：Express.js, hono

Web 上のテキスト編集用コンポーネント：Ace, Monaco Editor

Web 上のターミナル用コンポーネント：xterm.js

Javascript 実行環境：Deno, Node.js

Python：Websocket ライブラリ、サブプロセスの開始・停止

Typescript/Javascript の実行環境としては Node.js (<https://nodejs.org/>) がよく知られているが、今回は Typescript の実行が容易な Deno (<https://deno.com/runtime>) を採用することし、次のような構成で環境を構築した。受講者がアクセスする Web ブラウザ上のプログラミング環境のウィンドウ(Web ブラウザ内)は図 11 のようになる。

- ・ 中継サーバ : Deno, hono
- ・ Web ブラウザ上のプログラミング環境 : Ace, xterm.js
- ・ 実習用実機 (ラズベリーパイ) : Python, websocket-client

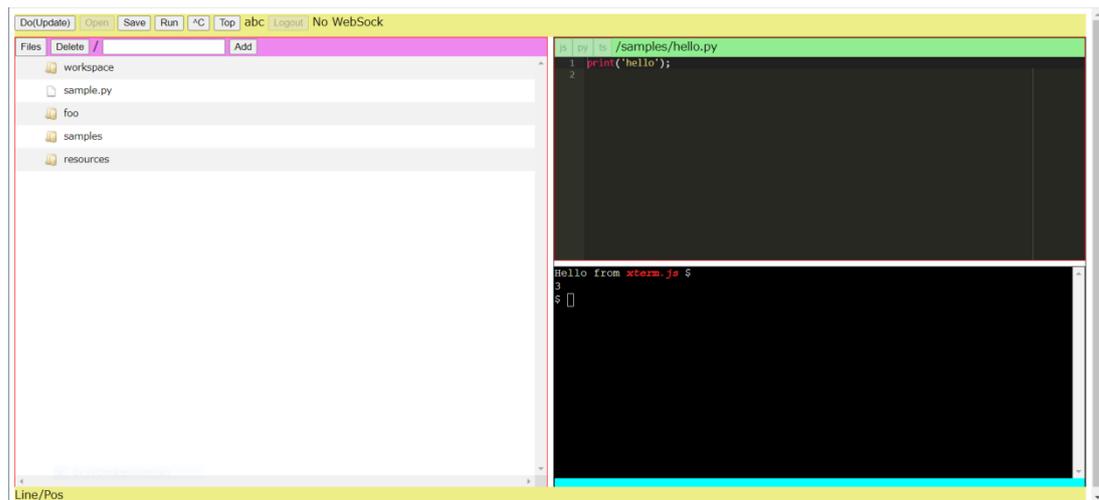


図 11 Web ブラウザ上のプログラミング環境

3.3 IoT フォーラムの実施

KISTECにおけるIoTへの取組み事例を技術的な内容も含めて紹介するとともに、IoTでの活用例が多いボードコンピュータであるラズベリーパイを利用した体験学習を（Webブラウザを介した）オンラインで実施した。本フォーラムの体験学習では、前節で紹介した実習環境を利用している。

IoT フォーラム「KISTEC での取組み事例の紹介とオンラインでの体験学習」

【日時】 2023 年 3 月 30 日 14:00～16:50

【開催形態】 オンライン（Zoom および Web ブラウザを利用）

【配信場所】 神奈川県立産業技術総合研究所 海老名本部
研究棟 5 階 共通技術研修室（2）

【参加者】 8 名

【プログラム】

14 : 00 ～ 14 : 55 KISTEC における IoT の取組み事例

15 : 00 ～ 16 : 50 ラズベリーパイによる IoT の体験学習



図 12 配信会場の様子



図 13 講師（配信会場）と受講者（所内別室）の様子

今回の IoT フォーラムでは、8組の実機を接続して研修講座を行った。研修講座が継続困難になるような大きなトラブルなく実施することができた（図 12、図 13）。

課題としては、実機の操作（押しボタンを押すなど）や実機の状態を撮影（受講者はオンライン会議システムを介して動作状態を確認）する人員が必要となる点があげられる。参加者からも「各自に割り当てられたラズベリーパイの映像を Web ベースのプログラミング環境から確認できるとよい」との声が複数あり、受講者毎の Web ベースのプログラミング環境に各自が利用する実機の映像を映し出せるようにする必要があり、今後の課題である。

一方で、ラズベリーパイの体験学習が（対面でなく）オンラインで行われたことに対しては、「実機を操作できない」という点で違和感があったとの声はあったが、操作インターフェースや反応速度への不満を理由にした不満は出なかった。受講者の通信環境など今後異なる環境での検証が必要ではあるが、プログラムの作成／実行という部分に限定すれば、今回構築した環境により、IoT 人材育成における実習をオンラインで実施することが十分可能であることが確認できた。

最後に

本事業に補助をしていただいた公益財団法人 JKA、また IoT フォーラムの開催等にあたってご協力いただいた皆様に、この場を借りて、改めて御礼を申し上げます。

本事業で取組んだ IoT 実習のオンライン化について、今後も改善をすすめながら、with コロナ／after コロナでの IoT 分野の人材育成を進めていきたい。

付 録

2022.10.28 IoTフォーラム@KISTEC

IoTの人材育成における KISTEC の取組み

地方独立行政法人
KISTEC
神奈川県立産業技術総合研究所

KISTEC

本フォーラムは競輪の補助を受けています

1

DX と IoT

KISTEC

IoTはデータ獲得手段 (IPA「DX白書2021」)
⇒ デジタル化やDXに重要な要素

IPA「中小規模製造業者の製造分野におけるDX推進ガイド FAQ」
「Q1-04 DXってIoTとどこが違うの？」では

【質問】製造分野のDXとIoTはどのように違うのでしょうか。両者の関係はどのようなものなのでしょうか。

IoTは製造分野のDXの実装の一部として捉えることができます。

IoTから得られたデータを活用し、次に企業として進む方向を検討することができる仕組みを作って、その仕組みで常に変化し続ける(変革する)ことがDXです。

出典: <https://www.ipa.go.jp/ikc/reports/mfg-dx-faq0104.html>

2

IoT関連で期待・注目される技術や動向

KISTEC

- ・ 学び直し(リスキリング)
- ・ テクノロジーリテラシー(米国では重視の傾向。「DX白書2021」)
- ・ ボード・コンピュータ/IoTデバイス(Raspberry Pi, Arduino など)
- ・ オープンソース・ソフトウェア(OSS: Linux, Python, ROS など)
- ・ 無線通信(WiFi 6/6E, 5G, IEEE 802.ah, Bluetooth など)
- ・ AI/機械学習
- ・ クラウド/仮想化

例えば、KISTECでの事例では

ローカル5GとRSNPを用いた工作機械の遠隔監視

ローカル5G / ROS, Linux, Python / Raspberry Pi (IoTデバイス)

台車ロボットによる電波強度測定システム

Arduino, Raspberry Pi / Linux, Python, GNU Radio / Bluetooth (IoTデバイス)

3

デジタル技術活用上の課題

KISTEC

デジタル技術を活用する上での課題は、
デジタル技術導入の入口段階での**ノウハウ・人材・予算の不足**

【図表2-12 デジタル技術を活用する上での課題 (概要)】 出典: 2021年度ものづくり白書(概要)

【図表2-16 デジタル技術の活用に関するものづくり人材の確保に向けた取組 (重要ものづくり)】

デジタル技術の導入には
人材育成(リスキリング)が必要

4

IoT導入のステップに応じた支援

KISTEC

IoTを「知る」・「試す」・「使う」・「育てる」・「守る」のステップに沿った中小企業へのIoT技術導入支援

IoTを

- 「知る」 IoTフォーラムの開催等による普及活動及び情報提供
- 「試す」 産業用ネットワークを用いた学習、試作、試験
- 「使う」 企業の皆様のご要望に合わせたIoT技術導入支援
- 「育てる」 IoTの課題を1日で解決する複合型フォーラム事業等による人材育成
- 「守る」 知財セミナー等によるIoTのための知財戦略の紹介及び知財相談

中小企業のためのIoTガイド

「KISTEC」研修への参加も受け付けています!

・ 当初は「知る」, 「試す」, 「使う」の3ステージでスタート

・ 継続性の観点からも「育てる」(人材育成/学び直し・リスキリング)は重要

⇒ 「IoTのユースケースや概要を知る」, 「IoTを実現する技術を具体的に学ぶ」

5

IoT分野の人材育成(「育てる」)の取組み

KISTEC

IoTやデジタル化: **継続的な取組み(≒リソースの投入)が重要**
⇒ **デジタル人材の育成・確保の重要性**

「IoTのユースケースや概要を知る」
IoT・AIなどに関する講演、IoT事例の見学、IoT技術相談

「IoTを実現する技術を具体的に学ぶ」

- ・ Raspberry Piを用いた体験学習
- ・ PLC(産業用コントローラ)のプログラミング(CPS体験)

Raspberry Pi体験学習用実習機材 PLCプログラミング用実習機材 CPS体験用3Dモデル

教材の作成等に当たっては、経済産業省や公益財団法人JKAによる補助金等といった外部資金を活用しました。

6

KISTEC で開発した IoT 関連の実習機材など 

- ・実機 (IoTデバイス)での実習や見学が重点的な取組み
- ・IoT関連の人材育成用の教材 (実習機材を含む)も開発



PLCプログラミングの実習機材
(H30年度 経産省補助で作成)



ボードコンピュータの実習機材
(H31年度 JKA補助で作成)



IoTテストベッド







家具試験機 (旧式装置) : 所内見学でも紹介する所内のIoT事例

7

地方版IoT推進ラボでも紹介されています 

IoTが日本を変える！地方版IoT推進ラボ 先進プロジェクト
<https://local-iot-lab.ipa.go.jp/article/office-iot-jirei-2021.html>



経済産業省・IPAでは、地域における新たな価値創造に向けて、IoTプロジェクトを創出する取組を「地方版 IoT 推進ラボ」として選定し、支援しています。
https://local-iot-lab.ipa.go.jp/about_iotlab.html

IoTAcceleration Kanagawa pref Lab

CPS (Cyber Physical System) のミニチュアを体験して、自分の現場でのIoT実装をイメージする

<https://local-iot-lab.ipa.go.jp/article/jirei-kanagawa-2021.html>

8