

生産ロボットシステムコースにおけるDX, GXの推進に向けたIoT, AIの活用による標準課題実習の取り組みについて

九州職業能力開発大学校 寺内 越三, 大島 賢一

1. はじめに

2015年2月, 政府は「ロボット新戦略」を公表した。新戦略では, 生産年齢人口の減少を課題として, ロボットの創出や導入を担う専門人材育成策の検討が掲げられている⁽¹⁾。

また, 2016年4月, 厚生労働省は「第10次職業能力開発基本計画」を策定した。計画では, 生産性向上に向けて, IoT, ロボット, ビッグデータ解析, AI等の技術進歩を背景に, 人材ニーズの変化に機動的に対応する職業能力開発施策が求められているとある⁽²⁾。

さらに, 2017年6月, 政府は「未来投資戦略2017」を公表した。戦略では, 経済成長を実現するためには, 第4次産業革命 (IoT, ビッグデータ, AI, ロボット等) のイノベーションで社会課題を解決する「Society 5.0」の実現が掲げられている⁽³⁾。

その後, 2018年9月, 経済産業省は「DXレポート」を公表した。レポートでは, 企業は競争力維持・強化のために, AI, IoT, ビッグデータ等を活用してデジタルトランスフォーメーション (DX: Digital Transformation。以下, 「DX」という。)を進めていくこと, そして, DX人材の育成・確保が求められていると報告されている⁽⁴⁾。

また, 2020年10月, 政府は「2050年カーボンニュートラル」を宣言し⁽⁵⁾, 2022年2月, 経済産業省は「GXリーグ」の基本構想を公表した。基本構想では, カーボンニュートラルを実現するためには, 経済社会システム全体の変革 (GX: Green

Transformation。以下, 「GX」という。)が重要であると示されている⁽⁶⁾。

このような社会的背景から, 九州職業能力開発大学校応用課程生産システム技術系では, 2018年度に「生産ロボットシステムコース (以下, 「ロボットコース」という。)」を開講した。ロボットコースでは, 生産システム技術系3科 (生産機械システム技術科, 生産電気システム技術科, 生産電子情報システム技術科) から, 5から6名程選抜された計15名程の学生が, 1年生第3期の標準課題実習ロボット機器製作課題実習 (以下, 「G課題」という。)と, 第4期の標準課題実習ロボット機器運用課題実習 (以下, 「H課題」という。)に取り組む。

生産電子情報システム技術科では, H課題において, 実習場を模擬工場として実習装置を活かしながら, 毎年新たな開発テーマを設定してきた。テーマの設定においては, 3か月という短期間で, IoT, AIの活用によってDXとGXを推進するシステム開発に取り組むことが課題であった。本稿では, 2020年度から3年間に渡るH課題における開発テーマの設定経緯と, 実習の成果物について紹介する。

2. 生産ロボットシステム構築実習装置の概要

ロボットコースの開講に伴い, 生産ロボットシステム構築実習装置が導入された。実習装置は供給ステーション, 外観判別ステーション, 機能検査ステーション, 組立・仕分ステーションの4つから構成されており, 電子回路基板をワークとしてステーション全体の連動運転を行う。生産ロボットシステ

ム構築実習装置を図1に、電子回路基板を図2に示す。

連動運転の概要について説明する。はじめに、供給ステーションにおいて作業員が電子回路基板をコンベヤに投入すると、ICが2個取り付けられる。次に、外観判別ステーションにおいて電子回路基板表面の外観検査が行われ、良否が判定される。その後、機能検査ステーションにおいて電子回路基板回路の電圧と信号周波数を測定し、良否が判定される。最後に組立・仕分ステーションにおいて良否判定結果に従い、ワークの仕分けが行われる。

生産電子情報システム技術科では、本実習装置を用いてG課題では電子回路基板の外観検査を目的として、双腕ロボットの教示、ビジョンセンサを用いた画像認識及び検査結果表示アプリケーションの作成を行う。また、H課題では生産性の向上や付加価値の付与を目的として、G課題の成果物を利用しながら検査データの収集と可視化や生産設備の監視等、複数のテーマを設定しシステムの開発を行う。



図1 生産ロボットシステム構築実習装置



図2 電子回路基板

3. 開発テーマの設定

H課題の開発テーマは、社会的背景と標準カリキュラムを踏まえた上で、新たに発売されたセンサ

やマイコンを導入しながら設定した。

社会的背景では、「IoT」、「ビッグデータ」、「AI」を活用できる人材育成が求められており、標準カリキュラムでは次の①から⑤のシステムの設計が授業科目として設定されている。

- ① トレーサビリティ
- ② IoTを利用したデータ収集と可視化
- ③ FAシステムとITシステムの連携
- ④ 自動搬送車を含むロボット制御の検討
- ⑤ AI・機械学習の検討

2020年度は4つのテーマを設定した。設定したテーマとカリキュラムとの関連性を表1に示す。テーマ「1. 検査データ管理システムの開発」は毎年の必須テーマであり、電子回路基板の検査結果の収集と可視化を行う課題である。

テーマ設定に向けては、スマートウォッチ等のウェアラブル（wearable、身につけられる）なIoTデバイスが普及してきたことから、腕時計サイズの液晶付きWi-Fiマイコンを採用し、物体認識のためにAIコンピュータを採用した。

また、2020年度はコロナ禍の初年度であり、社会全体で感染拡大の防止に取り組んだことから、実習場内の二酸化炭素（以下、「CO2」という。）濃度の計測によって換気状態を監視したり、AIカメラでマスク着用を判定したりすることをテーマに盛り込んだ。

表1 2020年度のテーマとカリキュラムとの関連性

	テーマ	関連性
1	検査データ管理システムの開発	①②
2	作業環境・稼働状況監視システムの開発	②③
3	異物検知システムの開発	③⑤
4	作業員の体調管理システムの開発	⑤

2021年度は3つのテーマを設定した。設定したテーマとカリキュラムとの関連性を表2に示す。

テーマ設定に向けては、Webページに撮影動画を配信できるWi-Fiカメラや、体表面の温度分布をサーモグラフィ画像として表示できる非接触温度セ

ンサを採用した。

また、2021年度からはDXの推進に取り組んだ。DXを推進する第一歩として、ダッシュボードを用いて重要業績評価指標（KPI：Key Performance Indicator。以下、「KPI」という。）をリアルタイムに可視化する方法がある⁽⁷⁾。ダッシュボードとは、データを数値やグラフで視覚的に表現し、その他の情報と共に1つの画面にまとめることで、情報を一元的に把握可能にするツールである。ダッシュボードを導入することで、作業員が自ら進んでKPIを観測し、具体的なアクションにつなげることで、生産性を向上させることができる。

そこで、検査データや環境データを可視化するダッシュボードの開発をテーマに盛り込んだ。

表2 2021年度のテーマとカリキュラムとの関連性

	テーマ	関連性
1	検査データ管理システムの開発	①②
2	作業環境監視システムの開発	②
3	作業員の体調管理システムの開発	⑤

2022年度は5つのテーマを設定した。設定したテーマとカリキュラムとの関連性を表3に示す。

テーマ設定に向けては、バッテリー駆動によって持ち運ぶことができるタッチパネルコンピュータを採用した。

また、2022年度はGXの実現に向けたカーボンニュートラルの推進にも取り組んだ。カーボンニュートラルとは、生産活動によって排出される温室効果ガスの「排出量」から、植林、森林管理などによる「吸収量」を差し引いて、合計を実質的にゼロにすることである。カーボンニュートラルを達成するためには、温室効果ガスの中でも特に排出量の多いCO2の排出量を削減する必要がある。CO2の削減に向けては、CO2排出量を把握し、再生可能エネルギーを導入し、省エネに取り組むことが重要である。

そこで、ステーション稼働時のCO2の排出量を把握することをテーマに盛り込み、機器の消費電力を測定するワットチェッカーと低消費電力な電子ペーパー付きWi-Fiマイコンを採用した。

表3 2022年度のテーマとカリキュラムとの関連性

	テーマ	関連性
1	検査データ管理システムの開発	①②
2	異物検知・通知システムの開発	③⑤
3	ステーション監視システムの開発	②
4	異常温度検査システムの開発	②
5	空気環境・CO2 排出量監視システムの開発	②

4. 仕様書と作業計画の作成

毎年、ロボットコースに配属された5から6名の学生に開発テーマを提示し、各テーマに1から2名の担当者を割り当てシステムの開発を行った。

開発テーマの提示では、テーマ名と開発の目的、システムを構成するセンサやマイコン、そして簡単なシステム構成を提示した。また、システムの開発ではテーマごとに仕様書と作業計画を作成させ、プログラムの作成を行った。

仕様書の作成では、「5W1H」、「ハードウェア、ソフトウェアの構成要素と通信方法」、「詳細設計と状態遷移」の3つの観点から内容が明確になるようにレビューを繰り返した。仕様書への記載項目と観点を表4に示し、実際に学生が作成した仕様書を図3に示す。

表4 仕様書への記載項目と観点

	項目	観点
1	システム概要	5W1H において目的と目標を明確にする
2	システム構成図	ハードウェア構成と通信方法を明確にする
3	開発環境	使用するハードウェアとソフトウェアを明確にする
4	データ一覧表	生産データの型や具体例、工程上の遷移を明確にする
5	システムの機能	ユーザに提供するサービス等を明確にする
6	画面遷移図	ユーザの操作等に応じた画面遷移を明確にする
7	画面レイアウト図	情報のレイアウトと表示内容を明確にする
8	装置外観図	機械科に伝えるケース製作イメージを明確にする
9	操作手順	ユーザのユーザビリティを明確にする

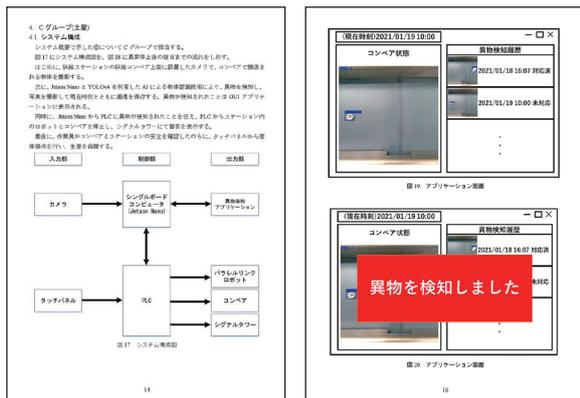


図3 作成した仕様書
(左：システム構成図，右：画面レイアウト)

また、作業計画の作成ではガントチャートを用いた。作成したガントチャートを図4に示す。チャートの作業項目については学生各自の経験から作業を分解し、作業担当者が割り当てられた。作業予定を緑色の横棒グラフで描き、作成の進捗に合わせて実績のグラフが赤色で塗りつぶされた。

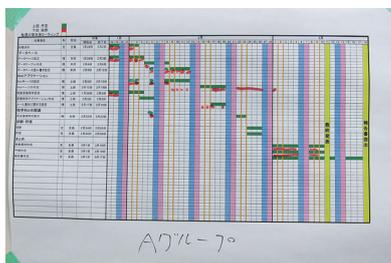


図4 ガントチャート

実際の実習では、3か月間の中で、仕様書の作成に3週間、プログラム作成に4週間、そして発表準備と報告書作成に2週間を要し開発が行われた。

5. 成果物の一例

5.1. 検査データ管理システム (2022年度)

生産現場では、DXの推進の一環として、生産性の向上に向けた改善活動を実施するために、生産状況を可視化し、担当者が問題点を発見しやすくする。そこで、各ステーションの検査データを収集して、ダッシュボードとして可視化する検査データ管理システムを開発した。

システム構成図を図5に示す。システムは検査

データを保持するPLCとPCから構成され、PC上ではDBサーバ、Webサーバ、DB通信プログラム、Webアプリケーションが動作する。DBサーバにはMariaDBを、WebサーバにはApacheを、PLCの検査データを収集するDB通信プログラムの作成にはVisual C#とMX Componentを、ダッシュボードを表示するWebアプリケーションの作成と画面デザインにはPHP、HTML、CSS及びJavaScriptを用いた。

ダッシュボードを図6に示す。ダッシュボードには、一日の検査数や良品数、各ステーションの良品率グラフなどのKPIが表示される。円グラフの表示にはChart.jsのDoughnut Chartsを用いた。

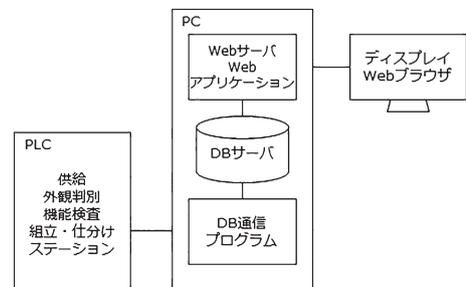


図5 システム構成図

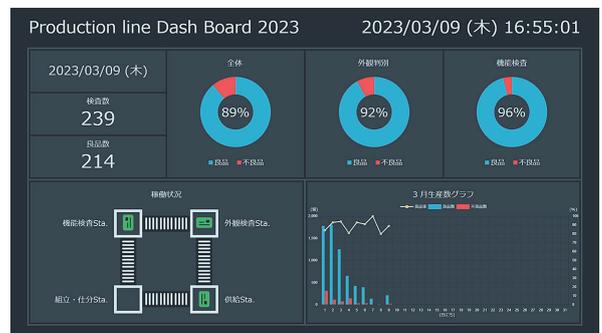


図6 検査データ管理システム ダッシュボード

5.2. 稼働状況管理システム (2020年度)

生産現場では、生産設備の稼働率を向上させるために、ダウンタイムの削減が課題となっている。そこで、安全扉の開閉状態や非常停止ボタン、ブレーカの負荷電流から、生産設備の稼働状況を監視するために、稼働状況管理システムを開発した。

システム構成図を図7に示す。システムはPLC、電流センサ、Wi-Fiマイコン (ESP32-DevKit, Espressif Systems), PC及び液晶付きWi-Fiマイコン (M5Stack

Core2, Espressif Systems) から構成される。

稼働状況表示画面を図8に、マイコンを手首に装着した様子を図9に示す。PCからPLCに接続された安全扉と非常停止ボタンの変化を、また、電流センサによってブレーカの負荷電流の変化を監視し、異常時には液晶付きマイコンに警告を表示するとともに合成音声を再生して作業者に警告する。

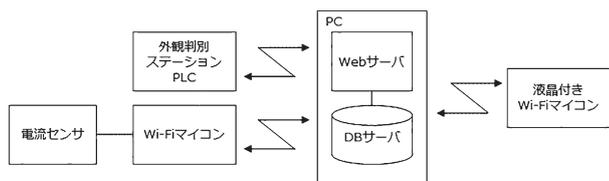


図7 システム構成図



図8 稼働状況表示画面



図9 手首に装着した様子

5.3. 作業環境監視システム (2021年度)

労働安全衛生規則では、作業場の温湿度と照度の測定と調節が義務付けられており、コロナ禍では換気が励行されている。また、近年の生産ラインはロボットによる自動化で生産性が向上しているが、生産設備の状態監視が課題となっている。そこで、作業場の環境数値とカメラ映像をダッシュボードとして可視化する作業環境監視システムを開発した。

システム構成図を図10に示す。システムは各種センサと液晶付きWi-Fiマイコンからなる環境測定器と6台のWi-Fiカメラ (ESP-EYE, Espressif Systems)

及びPCから構成される。

環境測定器とWi-Fiカメラを図11に、ダッシュボードを図12に示す。環境測定器は温湿度・気圧センサ、照度センサ、CO2センサ及びマイコンで構成され、機械科が製作したケースに収められた。また、Wi-Fiカメラは機械科が製作した治具を用いて、実習室の入り口と各ステーションに向けて設置した。

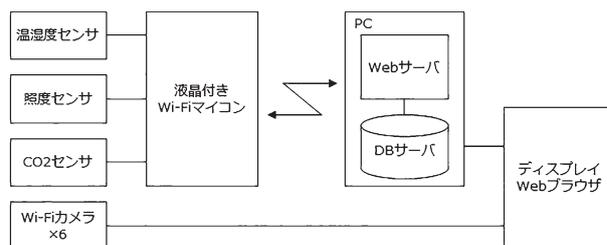


図10 システム構成図

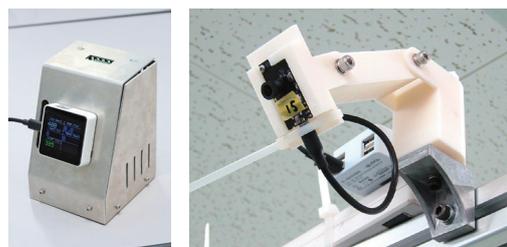


図11 環境測定器とWi-Fiカメラ



図12 作業環境監視システム ダッシュボード

5.4. 空気環境・CO2排出量監視システム (2022年度)

近年、働き方改革の一環として、空気環境の改善によって生産性を向上させる取り組みがなされている⁽⁸⁾。また、GXの実現に向けて、生産活動によるCO2排出量と森林によるCO2吸収量を見える化する取り組みもなされている。そこで、空気環境とCO2排出量をダッシュボードとして見える化する空気環境・CO2排出量監視システムを開発した。

システム構成図を図13に示す。システムは温湿

度センサ (BME680, BOSCH), CO2センサ (MH-Z19C, Winsen Electronics) 及びWi-Fiマイコンからなる環境測定器と, Bluetoothワットチェッカー (RS-BTWATTCH2, RATOC Systems), PC及び電子ペーパー付きWi-Fiマイコン (M5Paper, M5Stack Technology) から構成される。DBサーバにはInfluxDBを, データ可視化ツールにはGrafanaを用いた。

環境測定器を図14に, 環境数値表示装置を図15に, ダッシュボードを図16に示す。ワットチェッカーによって機能検査ステーションのロボットの消費電力を測定し, ダッシュボードに1か月間連続稼働した際のCO2排出量と排出されたCO2を吸収するのに必要な杉の木の本数を表示した。

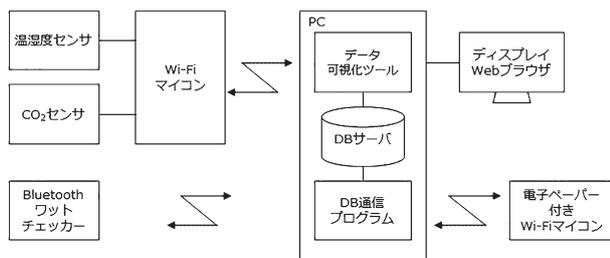


図13 システム構成図



図14 環境測定器



図15 環境数値表示装置



図16 監視システム ダッシュボード

5.5. 異物検知システム (2020年度)

生産ラインに異物が混入すると, コンベヤの故障や作業員の人身事故につながる。そこで, コンベヤに投入される物体を認識し, 異物が検出された際はステーションの運転を停止し, 作業者に異常を通知する異物検知システムを開発した。

システム構成図を図17に示す。システムは主にコンベヤを撮影するカメラ (Pi Camera, RS Components) と物体を認識するAIコンピュータ (Jetson Nano, NVIDIA) から構成される。

物体認識にはYOLOv4を用い (2022年度はYOLOv5を用いた。), 異物として「ナット」, 「スペーサー」, 「IC」, 「ボタン電池」, 「電子回路基板」の画像をそれぞれ100枚ずつGoogle Colaboratoryを用いてラーニングさせた。

異物検知結果表示画面を図18に示す。AIコンピュータ上で動作するYOLOがコンベヤ上を流れる物体の撮画像から異物を認識すると, PLC経由でステーションの運転を停止させ, 作業者に画面表示と音声再生で異常を通知する。

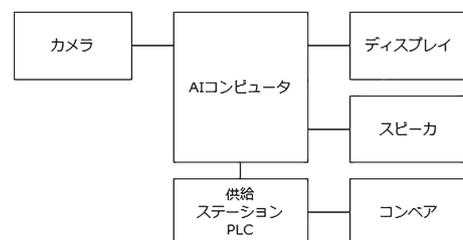


図17 システム構成図



図18 異物検知結果表示画面

5.6. 作業員の体調管理システム（2020年度）

コロナ禍ではマスクの着用や入場時の検温が新しい生活様式となり、生産現場においても同様の取り組みがなされている。そこで、入場する際に体温の測定とマスク装着の判定をし、音声によって異常を警告する作業員の体調管理システムを開発した。

システム構成図を図19に示す。システムは距離センサ、赤外線アレイセンサ（AMG8833, SWITCH SCIENCE）、カメラ、シングルボードコンピュータ、小型ディスプレイ及びスピーカで構成される。マスク装着の判定にはYOLOv4とMask Wearing Datasetを用いた。

体調管理システムの外観と結果表示画面を図20に示す。はじめに、装置から作業員までの距離を測定し、画面表示と音声で適切な距離まで誘導する。次に、体温を測定し距離に応じた実際の体温を推定する。最後に、YOLOでマスクの装着を判定し、画面に結果を表示する。作成したシステムは機械科が製作したケースに収められた。

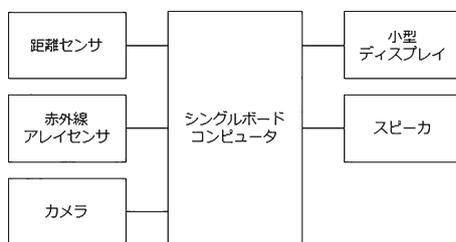


図19 システム構成図



図20 体調管理システムの外観と結果表示画面

5.7. 異常温度検知システム（2022年度）

生産設備の分電盤に配線の緩みやケーブルの劣化による異常があると、漏電による感電や過熱による火災を引き起こす恐れがある。そこで、分電盤の異常温度を可視化して記録するために異常温度検知システムを開発した。

システム構成図を図21に示す。システムはカメラ、非接触温度センサ（D6T-32L-01A, OMRON）、マイコン及びタッチパネルコンピュータ（reTerminal, Seeed Studio）で構成される。

システムの外観を図22に、撮影画面を図23に示す。画面の作成にはPython, Tkinter及びseabornを用いた。作成したシステムは、持ち運んで測定できるように、機械科が製作したケースに、コンピュータとセンサが一体化する様に収められた。画面の左側にはカメラの撮影像が表示され、右側には1秒ごとにサーモグラフィ画像が表示される。



図21 システム構成図



図22 異常温度検知システムの外観

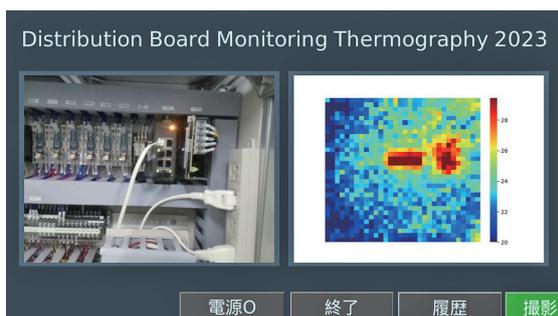


図23 撮影画面

6. 標準課題実習発表会の開催

2021年3月16日、コロナ禍の中、生産ロボットシステムコース標準課題実習H課題発表会を開催した。当日は70名以上の学生と指導員の出席によって、会場が密になることが予測されたため、出席者を2部屋に分け、発表の様子をビデオ会議システムで別室へ生中継した。生中継では、三脚に固定したWebカメラで発表者とスクリーンを撮影し、Microsoft Teamsを用いて配信し、中継会場のスクリーンに上映した。

発表会当日は、生中継が途切れることはなく、音声も明瞭であったが、発表会場の照明の関係で中継会場の上映スライドの色が薄かったり、カメラの向きの関係で、質疑応答の様子が伝わりにくかったりと課題は残った。発表会場の様子の中継用Webカメラを図24に、中継会場の様子を図25に示す。



図24 発表会場の様子の中継用Webカメラ



図25 中継会場の様子

7. おわりに

生産ロボットシステムコースの生産電子情報システム技術科において、2020年度から標準課題実習ロボット機器運用課題実習(H課題)に取り組んだ3年間の成果について報告した。

DXとGXの推進に向けて、社会的背景と標準カリキュラムを踏まえた上で、IoTとAIに関する新技術を採用しながら、開発テーマを設定し、システム開発実習を実施した。

学生たちはコロナ禍の中、工程管理の下、短期間で開発実習に取り組んだ。仕様書の作成では、設計内容が明確になるまでレビューを繰り返し、プログラムの作成では、Wi-Fiマイコンやリアルタイム物体認識システムといったIoT、AI技術を適用し、生産情報や環境情報をダッシュボードで可視化するなどして、DXとGXを推進する実用的で見栄えの良いシステムを開発した。また、発表会では会場をビデオ会議で中継し、三密を避けることができた。

今後もDXとGXの推進に向けて、新たな機器や技術を活用した課題設定を行い、生産システム系3科が協力しながらロボット、AI、IoT技術を活用したシステム開発に取り組むたい。

<参考文献>

- (1) 日本経済再生本部：ロボット新戦略（2015）
- (2) 厚生労働省：第10次職業能力開発基本計画（2016）
- (3) 内閣官房 日本経済再生総合事務局：未来投資戦略2017（2017）
- (4) 経済産業省：DXレポート～ITシステム「2025年の崖」の克服とDXの本格的な展開～（2018）
- (5) 首相官邸：第二十三回国会における菅内閣総理大臣所信表明演説（2020）
- (6) 経済産業省：GXリーグ基本構想（2022）
- (7) データビズラボ株式会社：BIツールで構築する「ダッシュボード」とは？活用方法やメリットを解説（<https://data-viz-lab.com/dashboard>）
- (8) ダイキン工業株式会社：働き方改革に、思いもよらない答えが!? オフィスの生産性は、空気で大きく変わる。（https://flame.kataribecms.com/page/411/page_show）

本文中で使用した会社名、製品・サービス名は、各社の商標または登録商標である。