

既存の産業機械をIoT化する遠隔操作システムの開発

新田 優樹* 田村 陽一* 米沢 裕司* 前川 満良* 水戸 一博**

産業界では省力化やIoT化の流れで、今ある機械を遠隔操作したいというニーズや、何らかのトリガーに基づいて機器を操作したいというニーズが高まっている。既存の機械を操作する手段として内部の配線などに細工する改造が挙げられるが、信頼性や保守契約上の問題がある。本研究では、人によるボタンやスイッチなどの操作を機械で物理的に模擬することで、既存の機械をIoT化する遠隔操作システムを開発した。遠隔地で操作する側のソフトウェアについても、既存の機械に合わせてUI (User Interface)のカスタマイズが必要になる。そこで、ユーザーが容易に操作画面を作成できる遠隔操作ソフトウェアを開発した。

キーワード: IoT, 遠隔操作

Development of Remote Control Technology for Industrial Machinery Using IoT

NITTA Yuki, TAMURA Yoichi, YONEZAWA Yuji, MAEKAWA Mitsuyoshi and MITO Kazuhiro

In the industrial sector, the trend toward labor-saving and IoT has led to an increasing need to remotely control existing machinery and to operate equipment based on some kind of trigger. One way to operate existing equipment is to modify internal wiring, however this introduces problems with reliability and maintenance contracts. Therefore, in this study, we developed a remote control system that converts existing machines into IoT devices by physically simulating the human operation of buttons and switches. For software operated remotely, the user interface (UI) also needs to be customized to match the existing machine. Therefore, we developed remote control software that allows users to easily create operation screens.

Keywords : IoT, remote control

1. 結 言

昨今は様々な業界で労働力不足が深刻になっており、業務の省力化が急務となっている。対策として工場などの生産現場では、AIやIoTを活用した効率化や省力化への取り組みが進められている。その流れから、産業機械においてもIoTに対応した機械は増えている。しかし、大半は「見える化」に留まり、遠隔操作が可能な機械は多くない。また、産業機械は一般的に高価であるため、遠隔操作のために買い替えることは困難である。

既存の機械で遠隔操作を可能にする方法として、機械内部の配線に細工する「改造」という手法がある。ボタンやスイッチ操作を遠隔操作するための改造は技術的には容易な場合もあるが、改造によって機械の信頼性が損なわれる可能性や、保守契約上の問題など実施には多くのハードルがある。

そこで本研究では、人によるボタンやスイッチなどの操作を機械で物理的に模擬することによって、既存の機械を改造することなく遠隔操作するシステムを開発した。同じアプローチの製品に、Switchbot(株)が販売する「SwitchBot ボット」などがある¹⁾。これらは家電や壁面の照明スイッチの操作を目的としているため、粘着テープでの設置となり固定に関する信頼性が低い点や、スマートフォンの専用アプリ以外からは遠隔操作が難しいという課題がある。本研究では信頼性と操作性に優れた、既存の産業機械をIoT化する遠隔操作システムを構築した。

2. 遠隔操作システムの概要

2. 1 操作対象

JIS C 4526「機器用スイッチ」で定義されているスイッチの中でも、ロータリースイッチ、レバースイッチ、押しボタンスwitchは産業機械の操作盤に多く使用されている。スイッチ以外では、ボリュームなどの連続

*電子情報部 **有限会社ジータ

制御を行う回転ノブも産業機械の操作に使用されている。このことから、本研究ではロータリースイッチ、レバースイッチの一種であるトグルスイッチ、押しボタンスイッチ、ボリュームの4種類を遠隔操作の対象とする。

2. 2 システム構成

本遠隔操作システムの構成を図1に示す。ハードウェアは作業者が遠隔地から操作を行う遠隔操作端末、遠隔操作端末で行われた操作を受けて操作デバイスを制御する遠隔操作サーバー、機械に取り付けて操作を実行する操作デバイスで構成される。利用者は予め、遠隔から操作したい機器に操作デバイスおよび遠隔操作サーバーを設置する。なお、一般的なネットワーク環境では、LAN内の遠隔操作サーバーに直接アクセスできない。そのような場合は、遠隔操作端末からの通信を遠隔操作サーバーに中継する中継サーバーをインターネット上に用意することで端末から遠隔操作サーバーへの通信を実現する。

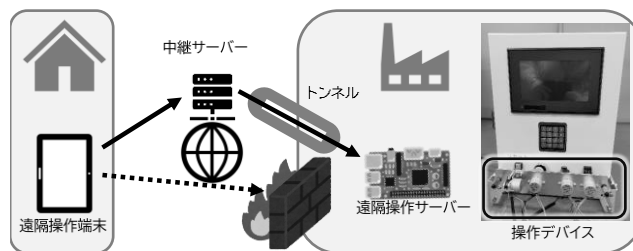


図1 システムの構成図

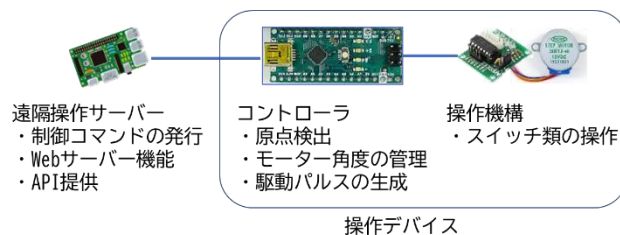


図2 操作デバイスの構成

3. 操作デバイス

3. 1 操作デバイスの要件

機器を改造せずに設置するため、操作デバイスには以下の要件が求められる。

- (1) 機器本体を加工せずに取り付けできること
- (2) 原状復帰が容易であること
- (3) 着脱が容易で、手動操作を妨げないこと

操作デバイスはこれらの条件を満たした上で、低コストかつ容易に製作できる必要がある。

操作デバイスの動力源はステッピングモーターが適している。サーボモーターやDCモーターも考えられるが、サーボモーターは角度を容易に制御できる一方で高価である。DCモーターは安価である一方、単体では角度が制御できず、センサーなどの費用が別途必要となる。ステッピングモーターはサーボモーターよりは安価であり、駆動パルス数で角度を制御可能である。

コントローラーにはArduinoマイコンを用い、図2のように遠隔操作サーバーからの制御コマンドを受けてコントローラーがステッピングモーターを制御する。

3. 2 操作機構

操作デバイスでの各スイッチ類を操作する機構部分については、以下のとおり構想し、試作した。

図3に押しボタンを押す機構の動作を示す。押しボタンを押下する機構は、少ない部品点数で構成可能なスコッチヨーク機構によってモーターの回転運動を直線運動に変えて押下する。

ボリュームなど、回転ノブを回す機構は、モーターの回転を摩擦の大きいウレタンゴムで伝達する。ボリュームを回す操作機構を図4に示す。ばねを用いてウレタンゴムをつまみ部に押し付けることで、つまみ部と密着させる。また、ウレタンゴムの変形や滑りによって多少の軸ズレは許容されるほか、つまみの形状によらず使えるため、取り付けが容易で汎用性が高い。

ロータリースイッチは、つまみを回すことで操作するという点では前述のボリュームなどと同じであるが、ボリュームのような連続的な操作ではなく、定められた接点位置までの離散的な操作である。接点付近ではスイッチ内部のばねで接点位置に移動するため、細かな制御が不要である。図5にロータリースイッチの操作機構((a)3Dイメージ, (b)動作イメージ)を示す。本機構では、つまみと操作部を固定せずに遊びをスイッチの可動範囲以上にすることで、操作盤のスイッチのポジションによらず操作機構を中立位置にすることができる。そのため、操作機構の着脱時にスイッチのポジションに関わらず着脱できる他、スイッチの切り替え操作も現在のポジションと関係なく任意のポジションへの切り替え操作が実行できる。

トグルスイッチを操作する機構は、モーターの回転

軸から伸ばしたアームを回転させ、スイッチの操作棒を押して操作する。図6にトグルスイッチの操作機構((a)3Dイメージ, (b)動作イメージ)を示す。ロータリースイッチと同じくスイッチを把持しないため、現在のポジションに関わらず任意の状態への切り替え操作を実行できる。

なお、これらの機構に必要とされる操作力の最大値は、押しボタンの押し圧については11 N、トグルスイッチの操作力は15 N、ロータリースイッチのトルクは0.15 N・m、ボリュームのトルクは0.04 N・mが指針として示されている²⁾。世の中のスイッチ類を広くカバーする場合、モーターの選定に際しては、この最大値をカバーする必要がある。すなわち、ロータリースイッチとボリュームは必要な操作力と同等以上のトルク、押しボタンとトグルスイッチについては、操作に用いるアーム長を1 cm、45°の角度で押し始めるとしたとき、それぞれ0.08 N・mと0.11 N・mトルクを出力可能なモーターが必要になる。

3. 3 操作デバイスの固定方法

操作デバイスを操作盤に固定する方法は、取り付ける操作盤ごとに材質や形状が異なるため、個別ケースでの対応となるが、表1に示す大きく3つの方法が考えられる。

- (1) 操作盤の扉を挟み込む
- (2) 操作盤本体を挟み込む
- (3) 磁石で吸着させる

操作盤の扉を挟み込む方法では、容易に強固な固定が得られることがメリットである。挟み込んで固定する場合、挟む厚みが少ない方が強固な固定が得られる。そのため、本体を挟み込むより容易に強固な固定が得られる。一方で、操作盤の扉部分にスイッチ類が配置された操作盤にしか適用できない。扉が無い操作盤は本体を挟み込む必要がある。その場合は挟み込む厚みが大きくなるため、固定具のたわみで設置後にずれが発生する恐れがある。磁石で吸着する場合は、着脱が容易であるが、操作盤が鉄などの磁性体で出来ている必要がある。また磁気による故障や誤動作にも注意が必要である。このように固定方法には一長一短があり、対象となる操作盤に合わせた固定方法を選択する必要がある。本試作では、BOXタイプの操作盤を想定し、扉を挟み込む方法で試作した。

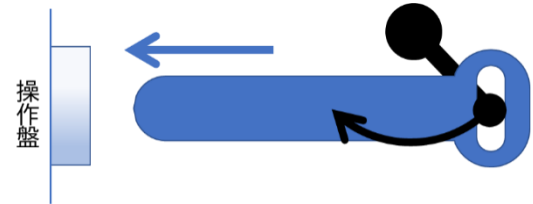


図3 押しボタンの操作機構

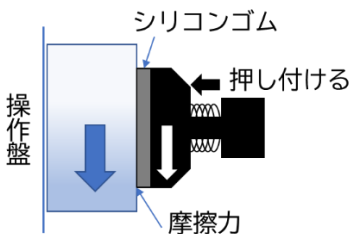
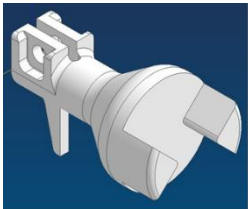
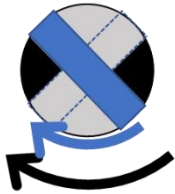


図4 ボリュームの操作機構

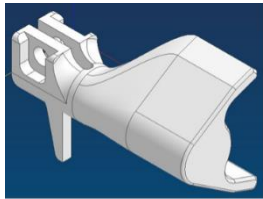


(a)3Dイメージ

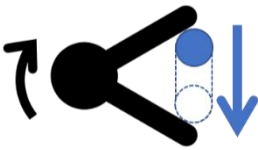


(b)動作イメージ

図5 ロータリースイッチの操作機構



(a)3Dイメージ



(b)動作イメージ

図6 トグルスイッチの操作機構

表1 操作デバイスの固定方法

固定方法	メリット	デメリット
扉を挟み込み	容易かつ強固	挟み込める扉が必要
本体を挟み込み	多くの場合で使える方法	剛性の高い固定具が必要
磁石で吸着	着脱が容易	磁気による誤動作の懸念

4. 遠隔操作サーバー

4. 1 遠隔操作サーバーの要件

遠隔操作サーバーは遠隔操作端末からのアクセスを受け、操作デバイスに対して操作指示を送る役割を担う。また本システムでは、遠隔操作端末で動作する遠隔操作アプリをWebアプリケーションとして作成しているため、遠隔操作アプリをホスティングするWebサーバーの機能も担っている。

遠隔操作サーバーのソフトウェアはPythonで構築した。Pythonおよび使用しているライブラリが動作する環境は必要であるが、一般的なPCだけでなく、Raspberry Piなどのシングルボードコンピュータでも動作が可能である。

4. 2 遠隔操作サーバーのAPI

HTTPベースのプロトコルでは、古くはコーヒーポットの遠隔操作を目的としたHTCPCPが1998年に提案されている³⁾。このように産業機械の遠隔操作を目的とした新プロトコルを策定するという手段も考えられるが、今日ではWeb標準に準拠した方が利便性が高い。そのため、遠隔操作サーバーはデバイス操作と映像取得のサービスをWebAPIとして提供する。

デバイス操作APIは、targetに指定されたデバイスIDの機構に対して、operateで指示された操作を実行する。映像取得APIは、機械の状態を視認しながら操作するためのカメラ映像を提供する。クライアントは定期的に映像取得APIにアクセスすることで、遠隔操作サーバーに接続されたカメラの映像(JPEG画像)を取得する。機械の状態を取得するAPIについては、必要に応じて機械のセンサー値を取得するAPIにしても良い。

遠隔操作アプリはHTTPのPOSTメソッドやGETメソッドでAPIにアクセスして遠隔操作を行う。表2はデバイス操作と映像取得のAPI仕様である。このWebAPIはブラウザ上で実行される遠隔操作アプリが利用するものであるが、WebAPIにアクセスできるソフトウェアやWebサービスから利用することも可能である。例えば、センサー値や時刻をトリガーにして機械を稼働/停止させるような応用も可能である。

4. 3 遠隔操作サーバーへのアクセス

遠隔操作サーバーは社内LANなど、ローカルネットワーク内に設置されることが予想される。一般的に、ローカルネットワークとインターネットの間では

表2 提供するWebAPIの仕様

API名	URI	メソッド	パラメーター
デバイス操作	http://{hostname}/operation	POST	target : デバイスID type : 機構種別 operate: 操作内容
映像取得	http://{hostname}/pict	GET	quality: jpeg画像の品質

NAPT (Network Address Port Translation)によるアドレス変換が行われるため、インターネットなどのローカルネットワーク外からローカルネットワーク内のコンピュータにアクセスすることは困難である。この課題を解決する方法として、トンネリング技術やリバースプロキシの活用が考えられる。また、社内ネットワークに外部からアクセス可能にすることはセキュリティ上のリスクになるため、専用の通信回線を用意するという方法も考えられる。昨今はIoT向けのモバイル通信回線が月額1000円未満で使用可能であり、有力な選択肢である。

5. 遠隔操作アプリ

5. 1 遠隔操作アプリの要件

遠隔操作アプリは社内だけでなく、外出先や自宅などからの利用も考えられる。そのため、多様な端末で利用可能であることが求められる。また、遠隔操作アプリはインストール不要で使えることが望ましい。多様な機器に対して使い勝手の良い遠隔操作を提供するためには、機器の特性や操作部の形状、遠隔で行いたい操作の内容に合わせたカスタマイズが容易である必要がある。

表3に実行環境の比較を示す。本システムでは動作環境の多様性とインストール不要で使える利便性を重

表3 実行環境の比較

	開発 難易度	カスタ マイズ 難易度	ランニ ング コスト	端末の 多様性	インス トール 要/不 要
Webブラウザ (Webアプリ)	△	○	○	○	不要
ネイティブ アプリ	△	○	○～△	×	必要
ローコード ツール	○	△	△	△	必要
Excel (マクロ)	×	×	△	×	不要※

※ExcelアプリインストールPCであれば別途インストール不要

視し、Webブラウザがある端末であればインストール不要で使えるWebアプリとして実装した。Webアプリにはインターネットに接続しなければ使用できないという欠点があるが、そもそも遠隔操作サーバーに接続できなければ遠隔操作の目的が達成できないため、本システムにおいては問題とならない。

5. 2 遠隔操作画面のカスタマイズ

産業機械の遠隔操作では、機械の特性や行いたい操作によって必要なUI (User Interface)が異なる。そのため、遠隔操作画面は簡単な操作で利用者自身が作成できる必要がある。そこで、遠隔操作アプリに遠隔操作画面のカスタマイズ機能を実装し、一般的なパソコン操作レベルの難易度で遠隔操作画面のカスタマイズを可能にした。

カスタマイズ操作は、アプリの画面エディタで行う。必要な操作アイコンやカメラ映像は図7の画面で選択することで図8の画面エディタに配置される。背景画像は、パソコン内の画像ファイルを画面エディタ上に直接ドラッグアンドドロップすることで配置する。それらの位置は画面エディタ上でドラッグアンドドロップすることで調整する。実際の操作盤の写真を用いて、操作盤を模した遠隔操作画面の例を図9に示す。この例では、実際の制御盤の写真を背景に操作アイコンを配置することで、実際の操作盤と同じ配置の操作画面を簡単に作成できる。実際の操作盤に似せる必要が無い場合は、図10に示すようなシンプルな操作画面とすることができる。このように、作業員自身が遠隔操作画面をカスタマイズできることで、作業員それぞれのニーズに合った操作画面を使用することが可能になる。

6. 結 言

本研究では既存の機械をIoT(インターネットからの遠隔操作)化する遠隔操作システムを開発し、既存の産業機械を改造せずにIoT化する仕組みを実現した。操作盤のスイッチ類を操作する操作機構についてはロータリースイッチ、トグルスイッチ、押しボタンスイッチ、ボリュームの4種類に対応する操作機構を開発した。また、多様な動作環境に対応し、遠隔操作画面をノーコードで作成できる遠隔操作アプリを開発した。



図7 アイテム設定



図8 画面エディタ



図9 操作盤を模した操作画面の例



図10 シンプルな操作画面の例

謝 辞

本研究の遂行に当たり，ご助言を頂いた金沢大学教授関啓明氏に感謝します。

本研究を遂行するに当たり，遠隔操作機構の設計および試作頂きました石川工業高等専門学校教授藤岡潤氏，准教授穴田賢二氏に感謝します。

参考文献

- 1) “SwitchBot ボット | スイッチ ボタンに適用 指ロボット - SwitchBot (スイッチボット)” . SwitchBot (スイッチボット) 公式サイト | 手軽にスマートホームを実現 - SwitchBot (スイッチボット).
<https://www.switchbot.jp/products/switchbot-bot>, (参照 2024-08-20).
- 2) F.ケラーマン, P.ヴァン・ウェリィ, P.ウイレムス編, 小木和孝訳. 人間工学の指針. 人間工学協会. 1973, p. 56-63.
- 3) Larry Masinter. “RFC 2324 - Hyper Text Coffee Pot Control Protocol (HTCPCP/1.0)”. IETF | Internet Engineering Task Force. <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc2324>, (参照 2024-08-20)
- 4) “2023年第4四半期および通年の国内携帯電話／スマートフォン市場実績値を発表” . IDC: The premier global market intelligence firm.
<https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prJPJ51932824>, (参照 2024-08-20).
- 5) “メンバーシップの選択 - サポート” . Apple Developer.
<https://developer.apple.com/jp/support/compare-memberships/>, (参照 2024-08-20)