

安全性と操作性を追究したティーチングペンダントの開発

飯田 勝久^{*1} 松葉 晃章^{*1} 中野 芳秀^{*1}

米島 聡^{*1} 宮本 尚孝^{*1} 松本 敦^{*1}

Development pursuing Safety and Usability of Teaching Pendants

Katsuhisa Iida^{*1}, Teruaki Matsuba^{*1}, Yoshihide Nakano^{*1},

Satoshi Yonejima^{*1}, Takayuki Miyamoto^{*1}, Atsushi Matsumoto^{*1}

Abstract – Over the last few years, the introduction of collaborative robots or IoT have helped the robots more widely used in a variety of areas. There are many chances in work places that robots and human closely interact each other, and the teaching pendant is essential to teach those robots. It is necessary to reduce the work load on the workers in diversified manufacturing sites. We report that we have realized the teaching pendant that can resolve the issue by its intuitive operational interfaces and the integrated safety functionality that we have pursued.

Keywords: teaching pendant, enabling switch, usability, flexible

1. はじめに

産業用ロボットなどを生産設備へ導入するためには大掛かりなシステム構築に労力と資金投資が必要であったが、近年は協働ロボットやIoTの進化などにより、産業分野のみならず、様々な分野でのロボットの普及が急速に進んでいる。一方、実際の現場では人がロボットと接する場面が多数存在し、設備立ち上げ時の初期パラメータの設定やティーチング（教示）、工程切り替え（段取り替え）、一時的なエラー発生（チョコ停）による復旧作業などの非正常操作が必要となってくる。この非正常操作では作業者がロボットに接近して操作する必要があるため、可搬形操作端末であるティーチングペンダント（以下ペンダントと呼称する）が不可欠である。

ものづくり現場では、機械（危険源）を柵で囲い、人が近づく際には機械を停止させるといった「隔離と停止」の原則に基づいた機械システムの設計により安全を確保する「Safety1.0」の考え方がある。それに加え、図1に示すようにフレキシブルで高い生産性を実現するために、機械をできるだけ止めることなく人と機械が協働できる環境が求められる。「隔離と停止」の原則のみならず、協調安全による新たな安全・安心を構築する「Safety2.0」の考え方も重要になる。人、機械が協調して安全を構築する「協調安全」の現場を実現するためにも、作業者への安全・安心に対する十分な配慮が必要である。^[1-5]

ロボットのティーチング方法には、作業者がロボットを直接動かして、ロボットに動作を教える教示方法（以下ダイレクトティーチングと呼称する）がある。

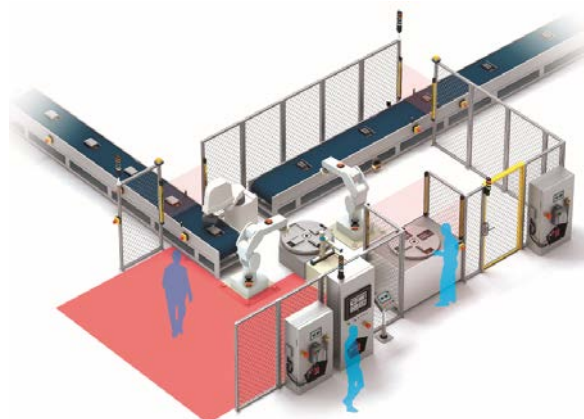


図1 人と機械が協調した現場 (Safety2.0)

Fig.1 Collaboration Safety Concept (Safety2.0)

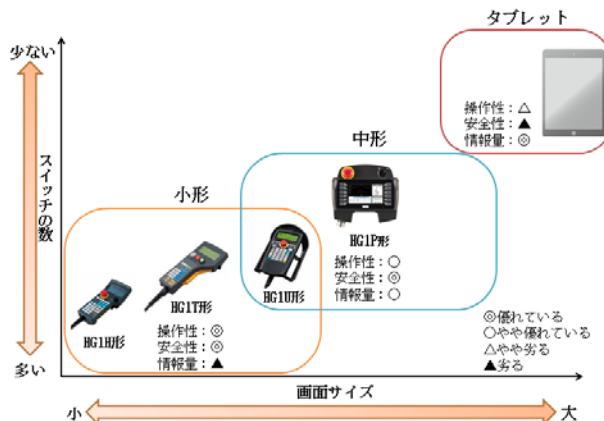


図2 ペンダントのポジショニングマップ

Fig.2 Positioning map of pendants.

*1: IDEC 株式会社
 *1: IDEC Corporation

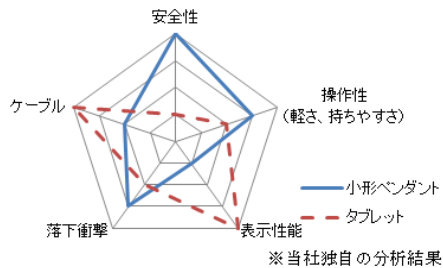


図3 ユーザビリティ分析

Fig.3 Usability analysis.

ダイレクトティーチングには、ロボット操作未経験者でも直感的に扱えるメリットがあり、精密な動作を必要としない用途で徐々に普及している。また、多くの工場がすでにタブレットを導入して、生産性を向上させる中、タブレットを使用したティーチングも広がり始めている。各工程での生産性や作業の進捗情報を共有できる上、市販の端末を採用することで熟練者以外でもある程度操作できるようにすることが狙いだが、安全性や耐環境性といった課題がある。

ここでペンダントのポジショニングマップを図2に示す。縦軸にスイッチの数、横軸に画面サイズを定義し、「小形」、「中形」、「タブレット」の3つに分類した。小形ペンダントはロボットメーカーから専用機としてのフレキシブルなハード構成を要求されることが多く、非常停止用押しボタンスイッチ（以下非常停止スイッチと呼称する）や3ポジションイネーブルスイッチ（以下イネーブルスイッチと呼称する）をはじめとするスイッチが非常に多く搭載されているが、その反面、画面サイズが小さく、一度に表示できる情報量が限られている。一方、タブレットは画面サイズが大きく、一度に多くの情報を表示することが可能で、操作支援となる動画や写真などにも有効だが、タッチスイッチのみの操作となるので、安全面や操作面に不安が残る。

上述より、リスクアセスメントによる安全方策を講じた現場でティーチングをおこなう場合は、ペンダントにタブレットが向いていると考えられる。一方、モーター駆動のロボットを動かしてのティーチングには、ISO12100 (JIS B9700) をはじめとする機械安全規格にてペンダントにイネーブルスイッチの搭載が要求されることから専用機としてのペンダントに限られる。^[6-9]

小形、中形の専用機としてのペンダントとタブレットは用途や現場によって使い分けられるものであり、図3に示すようにユーザビリティでそれぞれ一長一短がある。社会の労働人口減少や高齢化に伴い、産業用ロボットの需要が急騰することから安全を確保したペンダントの要求が増える中、我々は小形、中形の専用機としてのペンダントの安全性・操作性を追求すべく、様々なロボットメーカーにヒアリングを行い、現状の課題に対する対策を検討した。

表1 当社小形ペンダントの課題

Table1 IDEC small pendant issues.

項目	課題
操作性	長時間イネーブルスイッチを押し続けることで指先に負荷がかかる。
	作業者が左利きの場合、イネーブルスイッチが押しにくい。
	ケーブルを含めた質量が重く、作業者が疲れる。
	外形が大きいため収納場所に困る。
落下衝撃	誤って落としたときに製品が破損する。
ケーブル	ケーブルの屈曲、引っ張り、機械への挟み込みによるケーブル断線が頻繁にある。
表示性能	画面にティーチング支援となる情報を表示したい。また、複数言語の表示やデータ蓄積をペンダント単体で実現したい。

当社の小形ペンダントの現状の課題をまとめたものが表1になるが、最も多かったのがイネーブルスイッチを操作したときの作業者の負担である。ロボットやその設備によっては、ティーチングに4~8時間程度の時間がかかることもあるが、作業者はその間、ペンダントを手に持ちながらイネーブルスイッチが押された状態を保持しなければならない。このような作業者の操作負担軽減を中心に対策検討を行い、HG1P形の開発につなげたので、その結果について後述する。

2. 標準化を実現するモジュール構造

2.1 エルゴノミクスデザイン

長時間の使用を前提とした操作性と形状に関わる問題を当社内でヒアリングした結果、自然に手を滑らせながら軽く握って使われる直径40mmの円形手すりと同様の形状を再現することで、無意識に製品を持ったときにホールド感が得られることが分かった。HG1P形では持ち手部を円形手すりの形状に近づけたことで、長時間の使用においても疲労の軽減が図れる構造を実現した。

2.2 スイッチの操作性向上

図4で示すようにHG1P形では作業者の手の大きさに偏差があってもイネーブルスイッチの操作性に変わりのない構造を追究した。

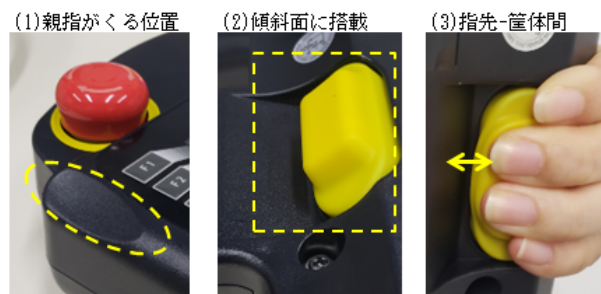


図4 操作性向上のため追及したデザイン

Fig.4 Design designed to improve operability.

(1)自然に持ったときの親指がくる位置に筐体表面から一段低い位置に置き場所を設け、(2)筐体の傾斜面にイネーブルスイッチを搭載し、(3)イネーブルスイッチを握りこんだ状態で指先が筐体にあたり難くするよう凹みを設けた。その結果、作業者がほとんど意識することなくイネーブルスイッチを握ることができ、危険状態となった場合に咄嗟に強く握りこんでも確実にイネーブルスイッチが操作できる構造を実現した。この構造により、イネーブルスイッチを握っている手の親指でもある程度のスイッチ操作が可能となり、片手持ちペンダントでは不可能であった両手による操作が可能となった。

イネーブルスイッチではボタンを操作していない（押し込んでいない）状態をポジション1（以下 P1 と呼称する）、ボタンを軽く握って中間位置まで押されている状態をポジション2（以下 P2 と呼称する）、中間位置を過ぎていっぱい押し込んだ状態をポジション3（以下 P3 と呼称する）とする、OFF-ON-OFF 動作の3ポジションがある。

図5に示すようにHG1P形ではP2の操作荷重をHG1H形と呼称する片手持ちペンダントと比較して約23%低減したイネーブルスイッチを搭載することにより、P2状態を長時間保持し続ける作業者の負荷軽減を図った。

また、両手持ちのHG1P形では作業者の利き手によってイネーブルスイッチを握る手が変わるため、左右にイネーブルスイッチを搭載することで、図6に示すようなユニバーサル構造を実現した。^[10]

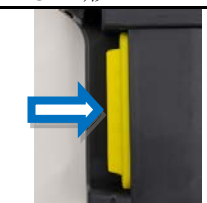
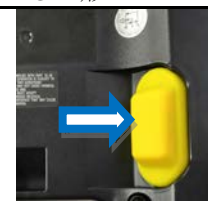
	HG1H形	HG1P形
測定箇所		
操作荷重	4.31N	3.29N

図5 ポジション2の操作荷重分析

Fig.5 Position2 operation load analysis.

	正面	背面
右利き (左手でスイッチON)		
左利き (右手でスイッチON)		

図6 ユニバーサル構造

Fig.6 Universal structure.

表2 イネーブルスイッチの動作

Table2 Enabling switch operation.

イネーブルスイッチ	ポジション	左側		
		P1	P2	P3
右側	P1	OFF	ON(*1)	OFF(*3)
	P2	ON(*1)	ON(*2)	OFF(*3)
	P3	OFF(*3)	OFF(*3)	OFF(*3)

このときのイネーブルスイッチの動作については表2で示すように、いずれか一方がP2でもう一方がP1のとき(*1)、もしくは両方がP2のとき(*2)はONとなり、いずれか、もしくは両方がP3のとき(*3)はOFFとなる。

2.3 フレキシブルな製品構成

図7で示すようにペンダントは(a)GUI(Graphical User Interface)、(b)SUI(Solid User Interface)、(c)Safety SUIの3つのモジュール部で構成されている。

GUIとはLCDディスプレイの表示画面を用いた仮想的な部品をタッチスイッチなどにより操作するHMI(Human Machine Interface)である。SUIとは人の意志を機械に伝える押しボタンスイッチ、セレクトスイッチや、機械の状態を人に知らせるLED表示灯など、機械的・物理的パーツによって構成されるHMIである。Safety SUIとは安全に直結する非常停止スイッチやイネーブルスイッチなどによって構成されるHMIである。この3つのモジュール部は機械装置メーカー各社で仕様が異なるが、HG1P形では機械装置メーカー固有の仕様を満足するため、各モジュール部でフレキシブルな構成とした。^[11-14]

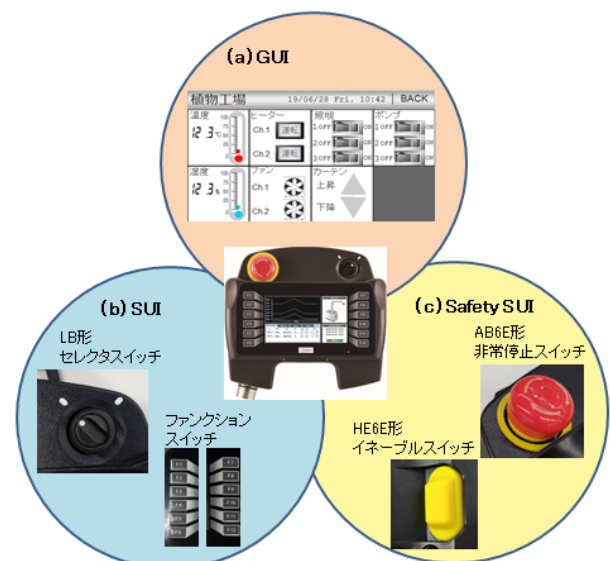


図7 HG1P形ペンダントの構成

Fig.7 The structure of HG1P pendant.

2.3.1 GUIの標準化

HG1P形では4.3インチのフルカラーLCDディスプレイを搭載したことで、今までの文字、数字や簡単なイラストだけがモノクロ表示されていた画面と比べて格段に表現力が向上した。表示できる情報量が増加したことにより、図8で示すように画面を階層化にして扱うことが可能となり、必要に応じた画面を呼び出すことで多くの機能を持たせることが可能となった。また、ロボットの原点座標設定など、特定の作業者しか許可させない操作については、図9に示すように表示する画面や仮想的な部品の操作可否をHG1P形単独で構築することができる。

従来の小形ペンダントでは文字、数字や簡単なイラストだけがモノクロ表示されており、操作画面での動作イメージが難しく、操作マニュアル片手に作業するケースが見受けられた。一方、格段に表現力が向上したHG1P形では、多様化する製造現場に対応できるよう、図10で示すような作業者に合わせて複数の言語の切り替えや、ピクトグラムのような操作支援となる視覚情報を画面上に描画することで、機械操作の習熟度に関係なくスムーズな作業環境を構築できる。

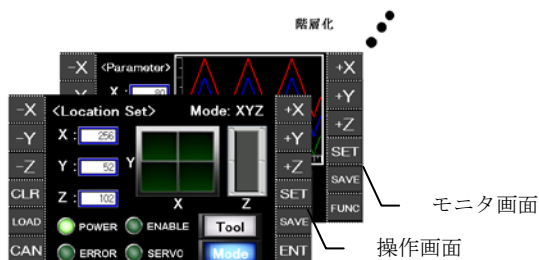


図8 階層化した画面

Fig.8 Layered screen.

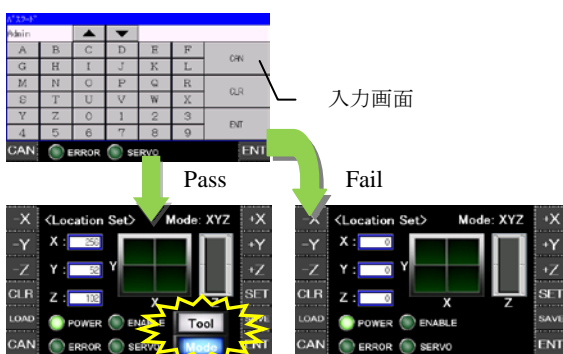


図9 パスコード認証画面

Fig.9 Passcode authentication screen.

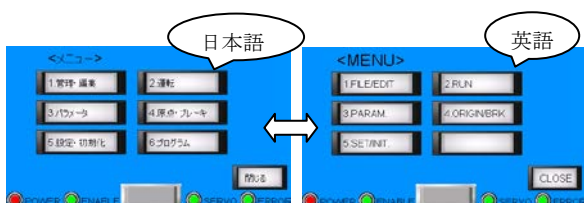


図10 言語切り替えイメージ

Fig.10 Language switching image.

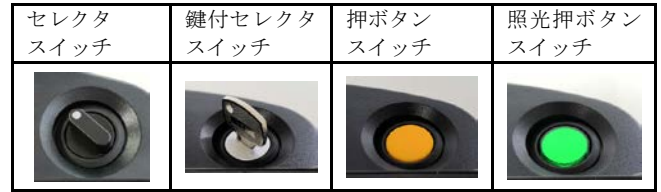


図11 メカニカルスイッチ搭載例

Fig.11 Mechanical switch installation example.

2.3.2 SUIの標準化

近年、SUIスイッチをタッチスイッチへ置き換えることでタブレットを生産現場で使用されることが増えているが、安全性や耐環境性に加え、操作ストロークと操作荷重のフィードバック感がないことから確実な操作と安心感を得ることができない。一方、ペンダントはSUIスイッチを標準搭載することで確実な操作と安心感を得ることができ、ロボットとワークの位置関係を確認しながらなぞり操作することもできる。図11に示すようにHG1P形では用途に応じたメカニカルスイッチ1点の搭載を可能とした。

また、当社小形ペンダントでは最大45点のファンクションスイッチを搭載しているが、業界別に用途や搭載点数が異なることからユーザーインターフェースの統一性がない。表3に示すように当社ペンダントユーザのインターフェース事例を装置別に解析し、HG1P形で標準化すべきファンクションスイッチの点数を分析した。

(1)ロボット装置においては、テンキー入力、メニュー切り替え、各操作軸制御、モーター制御等のスイッチが必要である。この中で各操作軸制御はSUIスイッチとして残す必要があり、汎用的な6軸垂直多関節ロボットでは各操作軸制御で12点必要である。

(2)半導体装置においては、テンキー入力、モード切り替え、各動作軸制御等のスイッチが必要である。この中で各動作軸制御はSUIスイッチとして残す必要があり、4軸ハンドリングロボットでは各動作軸制御で4点必要である。

(3)搬送装置においては、テンキー入力、メニュー切り替え、フォーク操作等のスイッチが必要である。この中でフォーク操作はSUIスイッチとして残す必要があり、上昇下降、前後左右で6点必要である。

(4)工作機械においては、テンキー入力、メニュー切り替え、パラメータ変更、軸操作等のスイッチが必要である。

表3 ファンクションスイッチ搭載点数の分析

Table3 Analysis of function switch loading points.

装置	搭載点数	GUIへ置き換え可能点数	SUIとして必要な点数
(1)ロボット装置	45点	33点	12点
(2)半導体装置	41点	37点	4点
(3)搬送装置	43点	37点	6点
(4)工作機械	30点	25点	5点

この中で軸操作は SUI スイッチとして残す必要があり、5 軸加工機では直行軸 3 点と回転軸 2 点の合計 5 点必要である。

上述の分析結果より、HG1P 形で標準化すべきファンクションスイッチ点数を 12 点と導き出した。

2.3.3 Safety SUI の標準化

非常停止スイッチとイネーブルスイッチは ISO12100 (JIS B9700) をはじめとする機械安全規格においてペンダントへの搭載が要求されていることから、HG1P 形では搭載することを標準化と定義した。

また、HG1P 形は脱着式ケーブル構造を備えていることから、本体とケーブルが分離されている状態（非常停止スイッチが無効状態）のときに、非常停止スイッチが有効と思って押したにもかかわらず、非常停止機能が働かないために事故に繋がるようなことが起こりうる。非常停止スイッチの有効状態と無効状態の混同を避けるため、ISO13850 の非常停止機能の規格においていくつかの方策が定義されている。非常停止スイッチが無効状態であるときは適切な保管場所を用意する方策があるが、生産現場の状況によっては保管場所を用意できないことも考えられるため、照明によって有効な非常停止スイッチの色を変えろという別の方策にも対応するべく、HG1P 形では照光式非常停止スイッチの搭載も可能な構造とした。

2.4 軽量化、堅牢性

ペンダントは手持ちの操作端末であるため、誤って落としてしまう場合がある。小形の片手持ちペンダントは 1.0m の高さから誤って落としても破損しない仕様である。しかし、図 12 に示す当社ペンダントの過去 7 年の修理対応統計データより LCD ディスプレイ、スイッチ、筐体の交換が全体の 34% を占めており、主に自重落下による破損が原因であったことから HG1P 形では 1.5m の高さからの自重落下に耐えられる構造を検討した。

図 13 に示す HG1U 形と呼称する両手持ちペンダントでは 1.5m の高さから誤って落とした場合でも破損がないようガードと呼ばれるパーツを搭載したが、結果的に

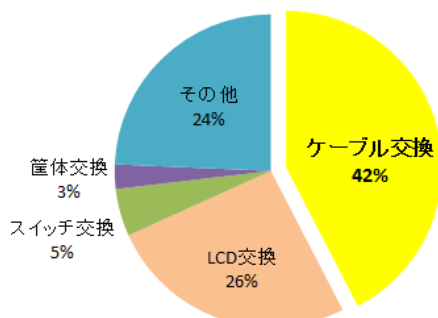


図 12 当社ペンダントの修理対応統計データ

Fig.12 Repair correspondence statistics data of our pendant.



	HG1U 形	HG1P 形
外観		
外形寸法	195(W) × 291(H) × 107(D) mm	191(W) × 169(H) × 56(D) mm
質量 (約)	950g	500g

図 13 形状比較

Fig.13 Shape comparison.

表 4 質量分析

Table4 Mass spectrometry.

Unit	HG1U 形	HG1P 形
基板キット	92g	59g
フロントユニット	303g	255g
リアユニット	306g	125g
ガード	170g	未使用

製品質量が重くなることや外形が大きくなる課題が残った。そのため HG1P 形では表 4 に示すように基板のワンボード化や各ユニットの構成部品点数の削減による軽量化を実施し、製品内部構造の強化や衝撃に強い樹脂材料の採用により、ガードなしで 1.5m の高さからの自重落下に耐えられる構造を実現した。

2.5 利便性

ペンダントは手に持った状態での移動が多く、ケーブル部の屈曲や引っ張り、機械への巻き込みによる断線やコネクタ部の破損が起こる可能性がある。図 12 の修理対応統計データから全体の 42% でケーブル交換作業を伴う修理対応の実績がある。修理対応時はペンダントを返送するため、ペンダントが無い期間は工程切り替え（段取り替え）、一時的なエラー発生（チョコ停）による復旧作業などの非定常操作ができず、生産ラインの稼働を止めてしまう。HG1P 形では脱着式ケーブル構造を取り入れたことにより、生産現場でのケーブル交換のみで修理対応が可能となり、上述の課題を改善した。

2.6 情報蓄積とメンテナンス性

生産ラインが稼働中に HG1P 形を常時通電することで、操作履歴や稼働情報を内蔵メモリに蓄積することができる。これにより、一時的なエラー発生（チョコ停）などにより生産ラインの稼働が停止したとき、生産現場にパソコンを持ち込み、作業者の操作履歴や稼働情報をコントローラから取得する必要がなくなる。蓄積したデータを外付けの USB メモリに出力することで、パソコンの持ち込みが制限されている生産現場においても簡単にデータの取り出しが可能である。その結果、異常発生時の現象解析にかかる時間の削減に貢献した。

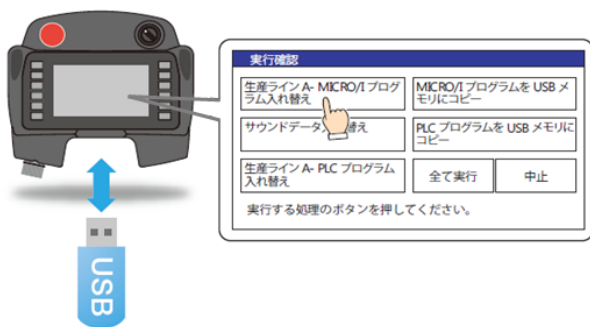


図 14 USB オートラン構成

Fig.14 USB Autorun configuration.

また、工程切り替え（段取り替え）時のパラメータ設定値の書き換えや画面データの更新などのメンテナンス時において、図 14 に示すようにパソコンを使用せずに USB メモリを挿入して実行するプログラムを選択するだけでデータ更新などが可能となった。

HG1P 形の Ethernet 機種に限り、HG1P 形の画面をネットワーク上にあるパソコンやタブレットなどの Web ブラウザを用いることで、遠隔地からの監視および操作することを可能とした。これにより、現場の異常を遠隔地にいる設備関係者とリアルタイムで画面情報を共有することができ、問題の早期解決が可能となる。

また、FTP 機能を用いることで内蔵メモリに蓄積したログデータなどを定期的にサーバーへアップロード、または HG1P 形にダウンロードすることで、パラメータ設定値の書き換えや画面データの更新などのメンテナンスを遠隔地から操作する機能を実現した。

3. 今後の課題

今回は、小形の専用ペンダントの安全性と操作性を追究したが、ジョイスティック、手動パルス発生器、レバースイッチなどの目的に応じたデバイスの搭載も検討する必要がある。また、タブレットを使用したティーチングも広がり始めているが、安全性に課題があるため、Safety SUI を組み合わせたタブレット形ペンダントの開発も検討を進めていく。

ものづくりの現場にある従来の産業用ロボットに加え、協働ロボットが様々な分野で急速に普及していることを冒頭でも述べたが、Safety2.0 の考え方に基づいた安全・安心の実現に加え、ロボット操作未経験者でも直感的に扱えるダイレクトティーチングなどのティーチング技術が今後の検討課題となると考える。

4. おわりに

産業用ロボットと人が同じ空間で働くことが可能になり、規制緩和と同時に安全技術の進化やリスク評価手法

も整備され、安全技術やアプリケーションの進化が目覚ましい昨今、より直感的で作業者に負担のかからないティーチングが求められている。ティーチングレスに近い理想の環境を目指すため、これからの実績を積み上げ、分析していくことで更なる新しい技術開発を今後も積極的に提案していく所存である。

参考文献

- [1] Safety2.0 プロジェクト：Safety2.0 コンセプト編，日経 BP 社（2015）
- [2] Safety2.0 プロジェクト：Safety2.0 具体化編，日経 BP 社（2016）
- [3] 福井 他：人-機械共存環境における安全性と生産性の両立を実現する協調安全システム：ヒューマンインタフェースシンポジウム（2018）
- [4] 土肥 他：人-ロボット共存環境における生産性と安全性の向上を高次元で実現する新しい協調安全の考え方と協調安全の水準（CSL）の概念の提案：日本ロボット工業会（2017）
- [5] 藤谷 他：人-ロボット共存環境時代における協調安全のためのインターフェースの新しい考え方：ヒューマンインタフェースシンポジウム（2017）
- [6] ISO12100-1(JIS B 9700)：機械類の安全性 - 設計のための一般原則 - リスクアセスメント及びリスク低減（2010）
- [7] ISO13850(JIS B 9703)：機械類の安全性 - 非常停止機能 - 設計原則（2015）
- [8] ISO10218-1(JIS B8433-1)：ロボット及びロボティックデバイス - 産業用ロボットのための安全要求事項 - 第 1 部：ロボット（2011）
- [9] ISO10218-2(JIS B8433-2)：ロボット及びロボティックデバイス - 産業用ロボットのための安全要求事項 - 第 2 部：ロボットシステム及びインテグレーション（2011）
- [10] 福井 他：機械安全における 3 ポジションイネーブルスイッチの人間工学的必要性：ヒューマンインタフェースシンポジウム（2007）
- [11] 福井 他：安全性および操作性の向上を追及したロボット操作のティーチングペンダントの開発：ヒューマンインタフェースシンポジウム（2009）
- [12] 福井 他：操作安全性に配慮した小型ペンダント表示器の機械装置への応用展開（2004）
- [13] 中井 他：GUI と SUI の融合による新しい HMI 操作表示環境の構築：ヒューマンインタフェースシンポジウム（1998）
- [14] 小野 他：安全性向上を追及したペンダント形操作表示器の制御システムへの応用：ヒューマンインタフェースシンポジウム（2000）