

タブレット端末を活用したロボットティーチングにおける安全・安心・ウェルビーイングの追究

大石 桃未^{*1} 中野 芳秀^{*1} 麻 議夫^{*1}

田中 大樹^{*1} 安川 謙一^{*1} 宮本 尚孝^{*1}

Pursuing safety, ANSHIN, and well-being in robot teaching using tablet computers

Momomi Oishi^{*1}, Yoshihide Nakano^{*1}, Norio Asa^{*1}, Hiroki Tanaka^{*1}, Kenichi Yasukawa^{*1} and Takayuki Miyamoto^{*1}

Abstract - In recent years, the use of tablet terminals is increasing in robot teaching. In addition, while there is a growing demand for adding mechanical switches, including safety functions, to large-screen terminals with a large amount of information, the weight of mobile devices that hold tablet terminals is an issue. In addition, working people are diversified due to social backgrounds, and there are various shapes that are easy to operate due to individual differences. Therefore, we have developed a product that reduces the weight load and pursues a shape that allows all workers to operate it for a long time without stress, and has developed a product that realizes well-being.

Keywords: Safety, GUI, SUI, Safety SUI, Factory Automation

1. はじめに

これまで工作機械や産業用ロボット、無人搬送車(Auto Guided Vehicle)などの動作設定には、それぞれの機械設備に応じた専用設定端末として、専用の操作パネルやペンドント端末などが使用してきた。一方で、アプリケーション開発の自由度が高く、画面が大きく一度にイラストなど様々な種類の情報表示が容易で直感的な操作が可能であるため、近年はロボットティーチングにおいてタブレット端末の活用が拡大している。さらに、指導時間の短縮や表示言語の即時変換ができることから、グローバル化が進む現代においてタブレット端末の活用は益々広がっていくことが予想される。

しかし、ものづくり現場で使用される機械設備は大きなエネルギーで稼働しており、作業者が機械の可動部に接触したり、回転部に巻き込まれたりすることで重傷を負うなど、重大な事故のリスクが存在する。そのため、各機械の専用設定端末には、緊急時に機械を同時に停止できる非常停止用押ボタンスイッチや3ポジションイネーブルスイッチ(以下3Pイネーブルスイッチ)などの安全機器の搭載が必要とされており、事故の発生を抑制している。しかし、タブレット端末単体での操作は安全機能が不足しており、一部の用途では使用が制限されている。そこで我々はタブレット端末に安全機能を付加し、持ちやすさなどのユーザビリティを向上させるデバイスである HT3P 形セーフティコマンダを開発^[1]し、作業者の安



図 1 タブレット端末のみと、タブレット端末に Safety SUI を付加し

協働ロボットティーチングに使用した例

Fig.1 Example of using only a tablet computer and tablet computer with Safety SUI for teaching a collaborative robot

全・安心・ウェルビーイングの向上を実現してきた。

2. 進化するティーチングデバイスと課題

近年、CPU の処理速度やディスプレイの性能などが飛躍的に向上したタブレット端末も販売されており、それに伴いディスプレイの大型化も進んでいる。CPU の性能が高く、大画面による図やイラストなどの情報量が増加すれば、視覚的で直感的な操作も可能となる。さらには、機械設備でのタブレット端末の活用だけでなく、そのタブレット端末はオフィスでのデスクワークでも使用可能であり、様々な用途で有効活用できることから益々大画面タブレットの採用が増加すると考えられる。

また、タブレット端末への安全機器搭載による、作業者の安全・安心の向上に加え、機械設備の設定端末は作業者のストレスや操作ミスを軽減させるため用途に合わせた HMI の搭載が必要である。ものづくり現場でよく使われている産業用ロボット^{[2],[3]}のティーチング用途で使用するペンドント端末^{[4],[5],[6]}に代表される機械設備の設

*1: IDEC(株) 開発本部

*1: Research & Development HQ, IDEC Corporation



図 2 HMI の方式である GUI, SUI, そして Safety SUI の概要
Fig.2 Overview of HMI methods: GUI, SUI, and Safety SUI

定端末は、図 2 に示すようにタッチパネルに表示されたアイコンなどを操作する Graphical User Interface (GUI)、機械的な押ボタンスイッチやセレクタスイッチなどの Solid User Interface (SUI)、さらに非常停止用押ボタンスイッチや 3P イネーブルスイッチなど安全性に直結する Safety Solid User Interface(Safety SUI)を有している。^[7]

タブレット端末の画面上に表示した GUI を操作することで産業用ロボットなどの操作は可能であるが、操作に対する感触が得られず、誤って触れただけでも動作してしまう場合があり、人に対する操作性があまり配慮されていない。

一方、SUIにおいては、押しボタンスイッチなどの操作ストロークと操作荷重のフィードバック感から確実な操作と安心感を得ることができる。また、操作ストロークを持つため“なぞり操作”や“手探りでの操作”が可能である。^[8]

さらに事故予防や事故回避を目的とした Safety SUI は用途上、操作ミスなどのヒューマンエラーが直接事故に結びつく可能性があるため、安全面から必要である。^[9]

ここで、機械設備に使用される可搬式の設定端末の特長を表 1 に比較する。

産業用ロボット向けに設定された専用端末では GUI、SUI、Safety SUI すべてが備わっている。一方、タブレット端末に SUI を付加した HT3P 形セーフティコマンダに

は、GUI であるタブレット端末と Safety SUI である非常停止用押ボタンスイッチおよび 3P イネーブルスイッチが備わっているが、機械的なスイッチである SUI が備わっていない。

よって、作業者の安心感や生産性を向上させるためには、Safety SUI のみならず、SUI の搭載も必要である。

以上より、大型のタブレット端末(GUI)に Safety SUI と SUI を付加した新たなセーフティコマンダが必要になると考える。しかし、この実現には課題が二つ存在する。

一つ目は SUI の搭載による配線数増加であり、一般的な押しボタンスイッチを 1 個付加した場合でも最低 2 本、3 個付加した場合には最低 6 本の配線が増加する。押しボタンスイッチを照光押ボタンスイッチに変更した場合は更に 2 本増加する。ティーチングデバイスと操作対象設備の距離が 3m 程度だと想定しても 100g 程度の重量増加につながる。

二つ目はタブレットの大型化による重量増加であり、小型のタブレット端末の場合は 600g 程度であるが、大型の場合は 1,100g 程度まで増加する。

GUI、SUI、Safety SUI を備え、これらの課題の解決に最適なデバイスとして、図 3 に示す新たなセーフティコマンダ HT4P 形の開発に取り組んだので、その結果について後述する。

表 1 ロボットティーチングの可搬式設定端末の比較
Table 1 Comparison of portable machinery setting terminals

種類	専用端末（ペンダント端末）	タブレット端末+Safety SUI (HT3P形)	タブレット端末+Safety SUI+SUI (HT4P形)
イメージ			
HMIの構成	GUI	LCD、タッチパネル	タブレット端末
	SUI	押ボタンスイッチ、メンブレンスイッチ	— 押ボタンスイッチ等
	Safety SUI	非常停止用押ボタンスイッチ 3ポジションイネーブルスイッチ	非常停止用押ボタンスイッチ 3ポジションイネーブルスイッチ
画面サイズ	4.3インチ	8~11インチ	10~13インチ
グリップの回転機構	—	○	○
ケーブル芯数	19	13	26
流用性・汎用性	△ 機械個別の専用端末での流用不可	○ 様々なタブレットの使用可能 自由度の高いアプリケーション開発が可能	○ 様々なタブレットの使用可能 自由度の高いアプリケーション開発が可能



図3 新たに開発したデバイス：

HT4P形セーフティコマンダ

Fig.3 Newly developed device: HT4P safety commander

3. 製品保持とイネーブル操作の追究

3.1 従来の保持方法に対する課題

今回、HT4P形セーフティコマンダを開発するにあたり、従来製品の良いところを取り入れながら新しい考えを盛り込んだ。これまで我々は図4に示すように、ティーチングペンダントなど3Pイネーブルスイッチを搭載した様々な可搬式設定端末の開発を行い、人間工学に基づいた操作性の追究を行ってきた。

これまで開発した可搬式設定端末は機能に応じて両手持ちや片手持ちとしていたが、これらは全て手のみで保持しながら3Pイネーブルスイッチを操作する構造となっていた。

なぜならば、これらの機器は画面サイズが小さく小型軽量であることから、手のみでの保持が可能であったためである。しかし、今回開発したHT4P形は、2章で述べたように画面サイズが大きく重量が重いため、従来の可搬式設定端末のように手のみで保持しながら3Pイネーブルスイッチを長時間操作することは不向きと考え、重量感の軽減・3Pイネーブルスイッチの操作性向上・安定保持の観点から、従来の可搬式設定端末の持ち方とは異なる新たな保持構造を導入し、その有効性を検証した。

3.2 重量負荷を軽減する製品の保持方法

まず初めに、HT4P形を長時間保持するためにいかに重量負荷を軽減することができるか検討する。

図5のように、作業者が一般的にノートPCを持ち運

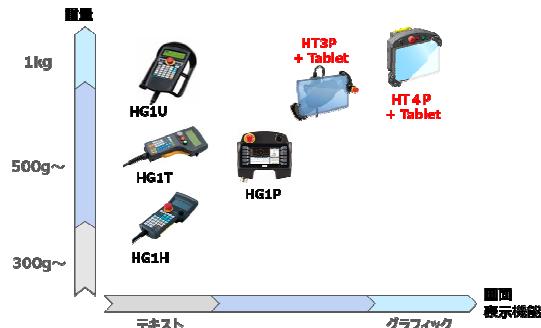


図4 可搬機器の重量と画面表示機能の関係

Fig.4 Relationship between weight and screen display function of portable equipment

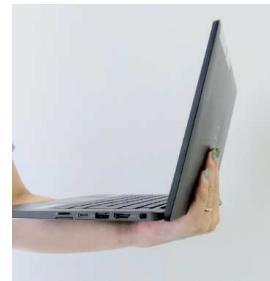


図5 ノートPCを持ち運ぶ様子

Fig.5 How to carry a laptop

びながら操作する姿を参考とし、手で掴むのではなく、手の平から肘裏にかけてHT4P形を乗せ、上腕の力を利用して腕全体で支える形状とした。その結果、重量負荷の軽減が確認できた。

3.3 3Pイネーブルスイッチの操作性向上

まず、3Pイネーブルスイッチについて説明する。3Pイネーブルスイッチは、機械の非定常作業時において作業者が意思を持って機械の動作を許可する場合に使用される装置であり、作業者がこれを軽く握り込んだときにのみ機械の動作を許可し、機械の初期設定、ティーチングあるいは故障処理などの非定常作業が可能となるスイッチである。さらに非定常作業時に予想される人間工学的な侧面からリスク、つまり作業者が機械の予期しない

表2 緊急時の機械停止に対する
3ポジションイネーブルスイッチの有効性
Table.2 Advantages of 3-position enabling
switches at emergency situations

イネーブル装置操作状態		人と機械の関係	
(A)手の握り方 (グリップ形)	(B)手の握り方 (ペンダント形)	(C)2ポジションスイッチ の場合	(D)3ポジションスイッチ の場合
(1)ロボット起動前			
(2)ロボット起動中			
(3)危険状態発生			
(4)びっくりして手を離す			
(5)びっくりして手を握り込む			



図6 イネーブルスイッチの握り方の例
Fig.6 Example of how to grip the enable switch

動作に驚いて手を放す場合と、驚いて強く手を握り込む場合を考えている。すなわち、表2の通り3Pイネーブルスイッチは驚いて手を離す、あるいは強く握り込む、のいずれの場合も機械は停止し、危険を回避できる。^[10]

次にHT4P形における3Pイネーブルスイッチの操作性の向上について検討する。

図6の通り、我々がこれまで開発した可搬機器は比較的軽量であったため、手のみで製品を保持しながら3Pイネーブルスイッチの操作を行うことが可能であった。これまで、重量のある製品を長時間使用する場合には、手で製品を保持しながら握るという操作では、握力や手首に余計な負担をかけてしまうため適していないと考え、前述のとおり、腕全体で製品を保持し3Pイネーブルスイッチの操作は指のみで行うようにした。さらに、指先での長時間操作は負担が大きいため、図7の中節骨（第一関節と第二関節の間）付近での操作が可能となるよう、次の二つの検討を行った。

一つ目は、手首付近のグリップ形状である。初期構想では図8に示す通り、手首を曲げた状態で操作する事を想定し、手首の曲げ部分がグリップに接触するように、凹みのある形状としていた。この形状では、平均的な手の大きさ(16cm~18cm)の人人が保持する場合、中節骨付近が3Pイネーブルスイッチ付近に位置することで、快適な操作と製品の握りやすさが確認できた。しかし、手首の位置が固定されてしまうため、手の大きさが変わると不都合が生じることがわかった。具体的には、手の大きな人(手の大きさ:18cm~)の場合、中節骨付近よりも第三関節に近い部分で3Pイネーブルスイッチを握ることになって力が入りにくく操作性が悪くなる。一方、手の小さな人(手の大きさ:~16cm)の場合はそもそも3Pイネーブルスイッチに指が届かないということがわかった。

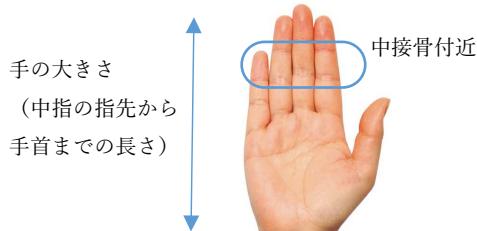


図7 手の大きさと操作箇所
Fig.7 Hand size and switch operation location



図8 検討前後のグリップ形状
Fig.8 Grip shape before and after consideration

そこで、手首の位置が固定されないように、グリップ部分の凹みを無くした。その結果、手の大きさに関わらず、3Pイネーブルスイッチに対し中節骨付近の位置を調整することが可能となった。

二つ目は、3Pイネーブルスイッチの取付角度である。 $90^\circ / 70^\circ / 55^\circ$ といった様々な角度での検証を行ったところ、 90° の場合は始点から3Pイネーブルスイッチまでの距離が遠くなり、手の小さな人だと3Pイネーブルスイッチに指が届かない結果となった。一方、 55° の場合は始点から3Pイネーブルスイッチまでの距離が近くなり手の大きな人には中節骨付近よりも第三関節に近い位置に3Pイネーブルスイッチが位置するため、操作性が悪くなることがわかった。結果的に、図9に示す 70° にすることで、どの手の大きさの人でも中節骨付近で操作可能となった。

以上より、グリップ部の凹み形状を無くし、3Pイネーブルスイッチの角度を調整することで、手の大きさに関わらず安定して操作することが可能となった。

3.4 保持の安定化

最後に、タブレット端末の大型化に伴ってバランスが崩れることなく安定した保持ができる構造について検討する。

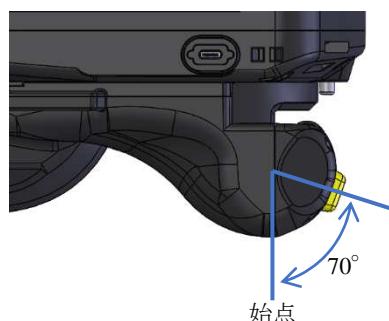


図9 最適な3Pイネーブルスイッチの角度
Fig.9 Optimal 3p-enabling switch angle

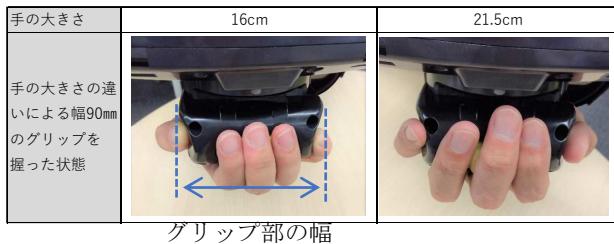


図 10 手の大きさの違いによるグリップ保持状態
Fig.10 Grip retention state due to differences in hand size

腕の方向のバランスは腕全体で支えられているため安定感が確保されるが、腕と直行する方向は不安定になる。特に、タブレット端末は横向きで使用する場合が多く、腕と直行する方向が横に長くなるためバランスを崩すことが想定される。バランスを崩さないようにするためにグリップ部を支える必要があるが、人差し指、中指、薬指は3Pイネーブルスイッチの操作で使用するため、それ以外の親指と小指で自然にグリップ部を挟める構造について検討を行った。

まず、親指と小指でグリップ部を挟むことができる形状を検討するにあたって、グリップ部の幅を85mm/90mm/100mm/110mmで試作し、様々な手の大きさの人に対して調査を実施した。その結果、手の大きな人の場合、グリップの幅が85mmだと指がグリップからはみ出てしまい、手の小さな人の場合はグリップの幅が100mm以上であると自然に挟み込むことが困難であるとわかった。

以上より、図10に示すグリップ部の幅を90mmに設定することで手の大きさに関わらず、親指と小指で挟むことが可能となった。

さらに、親指と小指がグリップに自然に沿う様に、図11の通りグリップ部の左右部分に一段低い凹みを設けた。その有効性の確認として、先入観を持たないHT4P形を初めて操作する方々に対して自由にグリップを握ってもらったところ、意図した通り凹み部分に親指と小指を添えられることが確認できた。以上より、手の大きさに関わらず大きなタブレット端末が装着された状態であっても、バランスを崩すことなく支えることができた。



図 11 自然と指が沿うような形状
Fig.11 A shape that naturally fits finger

4. 使用者のフィードバックに基づく有効性の確認

先述の通り、大型タブレット端末へSUIを付加し、重量負荷の軽減を図り、3Pイネーブルスイッチの操作性向上・安定保持を実現する新たな可搬機器であるHT4P形を開発した。これに対して市場から多くのフィードバックがあつたので紹介する。

一つ目は国内のロボットメーカーからである。力の弱い作業者でも操作しやすく、腕に乗せて自分に合った位置で支えられるので実重量より軽く感じる。

二つ目は海外のロボットメーカーからである。3Pイネーブルスイッチと非常停止用押ボタンスイッチ(Safety SUI)を搭載した可搬機器であり、高性能な大型タブレット端末が取り付け可能であるので、高機能なロボット開発ができた。

三つ目は国内外の様々なメーカーからである。Safety SUIに加え、モード切替えや機械の始動など確実性が求められる操作や作業権限付与のためのSUIが搭載されており、作業の確実性が向上した、などがあった。

この他にも、展示会などで持ちやすさや重量負荷の軽減についても肯定的な意見が得られており、肉体的、身体的な差を問わず持ちやすさなどユーザビリティを向上させることは、作業者の安全・安心・ウェルビーイングの向上に有効であることが再確認できた。

5. おわりに

表3に示す通りタブレット端末(GUI)にSUI、Safety SUIを搭載することで安全・安心・ウェルビーイングが向上することが確認できた。

だが、冒頭で述べたようにタブレット端末(GUI)の大型化に加え、SUI、Safety SUIを搭載したこと、及び接続ケーブルの多芯化などによる重量増加は避けられず、重量に関する課題は依然存在している。

したがって、これからは重量軽減という根本的な課題

表3 タブレット端末単体と

タブレットを搭載したHT4P形の比較表

Table.3 Comparison table between single tablet computer and HT4P with tablet computer

	タブレット端末単体	タブレット端末を取り付けたHT4P型
重量	○	△
安全性	×	◎
安心感	△	◎
操作性	△	○

と向き合い、安全を確保した上での無線によるケーブルレス化や軽量素材の導入などに将来的に取り組んでいく。

最後に、今後はものづくり現場のみならず、農業、建築/土木、医療/介護など様々な分野でロボットの活用が広がっていくと想定される。

多くの人々にとって今まで以上に使いやすい製品を開発し続けていくことで、すべての人々が安全で安心してロボットを活用できる環境を提供し、ウェルビーイングの向上を実現していく所存である。

参考文献

- [1] 福井 他：オペレータの安全・安心・ウェルビーイングを実現する新しい Safety SUI デバイスの開発：ヒューマンインタフェースシンポジウム（2021） pp. 240-244
- [2] 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）.
- [3] 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）.
- [4] 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：ヒューマンインタフェースシンポジウム（2004） pp. 669-672,
- [5] 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用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） pp. 1095-1100
- [6] 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用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） pp. 1095-1100
- [7] 飯田 他：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：ヒューマンインタフェースシンポジウム（2019） pp. 619-624
- [8] 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） pp. 493-498
- [9] 上野 他：安全の観点から考える人と機械の共存：ヒューマンインタフェースシンポジウム（1999）
- [10] 三輪 他：操作表示器における CC スイッチの操作感の検討：ヒューマンインタフェースシンポジウム（1997） pp. 293-298
- [11] 延廣 他：非常停止スイッチとイネーブルスイッチにおけるヒューマンインターフェースとしての安全機能の役割：ヒューマンインタフェースシンポジウム（2003） pp. 455-458