

作業環境のウェルビーイングを目指した 人をアシストする新しい非常停止方式の提案

藤谷繁年^{*1} 大西祥太^{*1} 榎本直之^{*1}

清水隆義^{*2} 福井孝男^{*1} 藤田俊弘^{*3}

Proposal of a next-generation emergency stop system that

“Assist” human for well-being at work.

Shigetoshi Fujitani^{*1}, Shota Oonishi^{*1}, Naoyuki Enomoto^{*1},

Takayoshi Shimizu^{*2}, Takao Fukui^{*1}, and Toshihiro Fujita^{*3}

Abstract - In the field of industry, emergency stop switches, which are used to reliably stop machinery through human operation, are widely known as Human Machine Interfaces (HMIs). However, when stopping a moving machine such as an autonomous mobile robot, a person has to approach the machine itself and press the emergency stop switch. We, therefore, propose a next-generation emergency stop system that “Assist” human in realizing safety, ANSHIN, and well-being through collaborative safety/Safety 2.0 in various environments.

Keywords: emergency stop switch, assist, moving machine, safety, ANSHIN, well-being

1. はじめに

近年のものづくり現場では、少子高齢化による労働人口が減少する中、多品種少量生産に対応できるフレキシブルかつ生産性を高いレベルで達成することが求められている。これを実現するために、人と機械を自在に入れ替えることができ、かつ生産工程を容易に組みかえられる現場が必要であり、すなわち人と機械が共存し協調するものづくりが求められる。このようなものづくり現場で作業者の安全を確保するためには、従来の機械安全に加えて、生産性と安全性を高いレベルで達成する

「Safety 2.0」に適合した最適な協調安全システムが必要となる。[1] [2] [3] 一方、欧州ではこれまでの安全と健康というフィジカルな安全性だけでなく、メンタルヘルス、そして、よりいきいきと働くことのできる「ウェルビーイング」を加えた図 1 に示す「VISION ZERO」の考え方を推進している。以上のとおり、ものづくり現場で目指すべき安全・安心の水準も高くなってきており、人と機械が共存し協調する作業環境で「ウェルビーイング」を達成するために、インターフェースの役割は極めて重

要である。

本稿では、作業環境のインターフェースにおいて、最も重要な機器の一つである非常停止用押ボタンスイッチに着目し、「人をアシストする」という考えに基づいた技術的な解決策の提案を行う。

2. 非常停止用押ボタンスイッチとは

図 2 に示すように、非常停止用押ボタンスイッチ（以下、非常停止スイッチ）は、何か問題が生じた機械設備を速やかに停止するために、作業者が明確な停止の意思によって直接操作を行う機器である。そのため、非常停止スイッチの位置や機能が不明瞭であったり、操作性が悪いために機械の停止が遅れると、機械設備の損傷や作業者が危険にさらされる。すなわち、非常停止スイッチは作業現場の安全のために極めて重要な機器であり、その重要性から、非常停止スイッチに対して古くから国際

VISION ZERO
Safety. Health. Wellbeing.

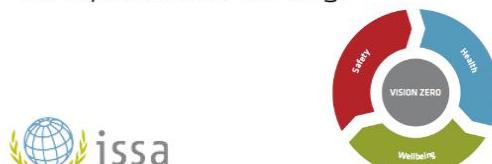


図 1 ISSA の Vision Zero コンセプト
Figure 1 The ISSA's Vision Zero concept

*1: IDEC(株) 技術開発本部 次世代コア技術開発部

*2: IDEC(株) 技術戦略本部 国際標準化・Safety2.0 推進部

*3: IDEC(株) 常務執行役員 技術経営担当 IDEC グループ C.T.O

*1: Development Group Next Generation Core Tech. Department, R & D Strategy HQ, IDEC Corporation

*2: Strategic Technology & Intellectual Property & International Standardization Department, IDEC Corporation

*3: Senior Executive Officer, Management of Technology Officer, IDEC Corporation, C.T.O. of IDEC Group



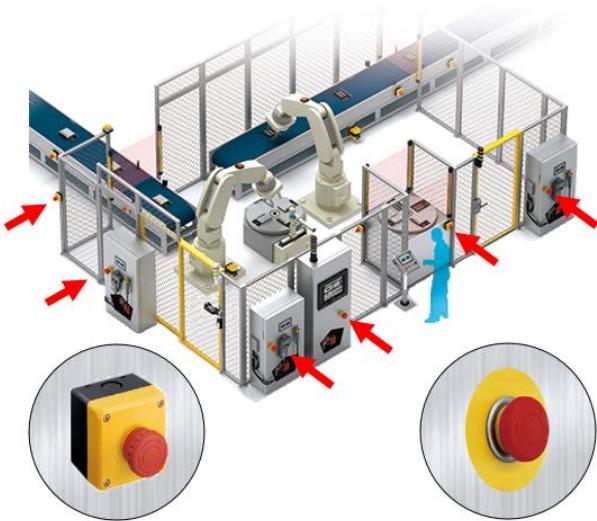


図2 非常停止用押ボタンスイッチ
Figure 2 Emergency stop switch

規格が制定されている。[4][5] 例えば、機能識別しやすいボタンの色や形状、接点が溶着しても回路を遮断するための直接回路動作機能など、様々な要求事項が定められている。一方、各制御機器メーカーは、非常停止スイッチの国際規格の要件を満たすだけではなく、作業現場で発生する様々な問題に対して常に技術開発に取り組み、より安全性を高めた独自技術の搭載を推進している。例えば、非常停止スイッチに不具合が生じた際に備えて、エネルギー状態を接点開離方向に維持する構造や、接点ユニットが非常停止スイッチ本体から脱落した際に接点が開離状態になる構造などがある[6]。

しかし、先に述べたとおり、減少が進む労働人口とフレキシブルかつ生産性を追求する背景から、機械設備や作業現場は大きく変わってきている。例えば、労働者不足を支援する自動搬送車、労働者の代わりに安全柵無しで稼働する協働ロボット、無人化が進む自動倉庫や大型設備等である。それに伴い、非常停止スイッチを操作する環境も大きく変化しており、今まさに、このような状況に対応した、新しい考え方の非常停止スイッチを考え

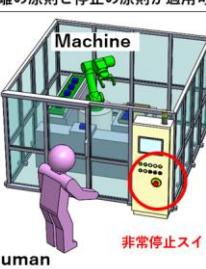
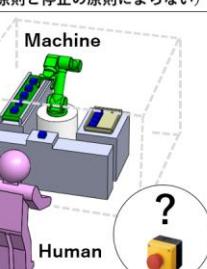
Safety 1.0 (隔離の原則と停止の原則が適用可能)	Safety 2.0 (隔離の原則と停止の原則によらない)
 <p>Human</p> <p>Machine</p> <p>非常停止スイッチ</p> <p>非常停止スイッチは常に識別も操作もしやすい場所に設置されていた。</p>	 <p>Human</p> <p>Machine</p> <p>?</p> <p>安全柵が無い作業環境では、非常停止スイッチをどこに設置するべきか。</p>

図3 非常停止スイッチはどこに設置すべきか?
Figure 3 Where should the emergency stop switch be installed?

る必要がでてきていると考える。

3. 非常停止スイッチが使用される作業環境の変化

図3に示すように、これまでの作業現場は機械安全の基本である「隔離の原則、停止の原則」に基づき、安全柵で機械やロボットなどが囲まれている場合が多い。危険源である機械の稼働中は、人が機械に接近できないよう安全柵で隔離し、機械に接近するために安全柵の中に人が侵入する場合は、機械を停止させるという考え方である。この機械安全の考え方は「Safety1.0」と呼ばれ、現在も作業現場の安全方策の基本である。この場合、人と機械のインターフェースである操作盤は、安全柵外に設置され、非常停止スイッチは作業者が最も識別しやすく、常に操作しやすい位置に配置することが求められる。

しかし、人と機械が共存し、「隔離の原則、停止の原則」によらない協調安全・Safety2.0の作業環境では、「非常停止スイッチをどこに設置するか」が大きな問題である。そして、「VISION ZERO」の考え方に基づく作業者の「ウェルビーイング」を実現するために、安全柵内のロボットや機械が、いつ動き出そうと、どの方向に動きだそうと、安全な位置からいつでも非常停止操作を行えること事自体が、作業者にとって安心であることは間違いない。すなわち、「非常停止スイッチをどこに設置するか」は、作業者から安心を得るために、十分に考慮しなければならない。

4. 非常停止スイッチが操作しにくい作業環境

では、特に非常停止スイッチを操作しにくい作業環境とは具体的にどういうものであろうか。本稿では、最近、ものづくり現場等で導入が増えている移動体が走り回る環境をとりあげて考えてみたい。

図4に示すように、無人搬送車(AGV: Automatic Guided Vehicle) や自律走行搬送ロボット (AMR : Autonomous Mobile Robot) 等の移動体は、その国際規格 ISO3691-4 の「非常停止スイッチは、はっきりと識別でき、アクセス可能でなければならない。」の要求に基づき、非常停止ス

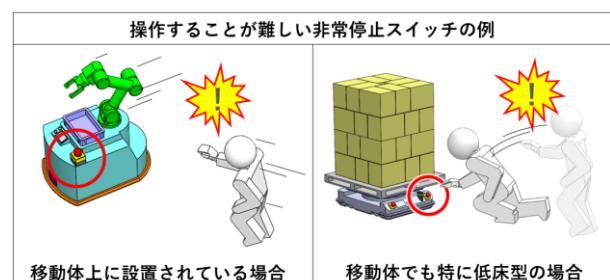


図4 移動体上の非常停止スイッチは操作しにくい
Figure 4 Emergency stop switch installed on the moving machine is difficult to operate.

イッチが設置されている。しかし、最近の移動体は、走行速度も高く、状況に応じた進路変更や、その場で旋回できるものもあり、作業者が何らかの異常を感じて移動体を非常停止させたい場合、移動体を追いかけ、小さな非常停止スイッチのボタンを狙って操作するのは、困難である。また、移動体でも低床型と呼ばれる上部に荷物を積載するように設計されているものは、非常停止スイッチが設置される位置も必然的に低くなり、人が屈みながらでないと操作できないものも多く、すみやかな操作が難しいと考えられる。さらには、低床型で大型の積載物が移動体本体からはみ出して積載されているために積載物が非常停止スイッチの操作を邪魔する場合や、積載物が高く積み上げられているために、作業者が積載物の圧迫感や非常停止時の荷崩れなどを恐れて心理的に操作を躊躇するということも考えられる。もちろん、これら移動体を使用するユーザーは、独自に非常停止スイッチにアクセスしやすいように、非常停止スイッチを追加するなどの対策を行っているが、実際の運用において、すみやかに操作できるかは疑問である。

5. 非常停止スイッチ自体の課題

ここで、現状の非常停止スイッチ自体の課題を考えてみたい。前述のとおり、非常停止スイッチは、作業者がすみやかに手で押し込む操作がしやすいうように、かつ操作した場合に確実に回路を遮断できるような機能と構造が追及されてきた。しかし、これは裏を返せば、人が直接的に手で非常停止スイッチを操作しない限り、その機能をはたさないということでもある。国際規格でも非常停止スイッチは、直接手（あるいは足）で操作することが前提となっている。しかし、人と機械が共存するような協調安全・Safety2.0の環境では、図5に示すように人が直接操作しなければならないこと自体が、課題になる場面が考えられる。危険源を隔離した安全柵外の操作盤という常に安全が確保された場所で、作業者が操作しやすい位置に非常停止スイッチを設置できる場合に比べ、

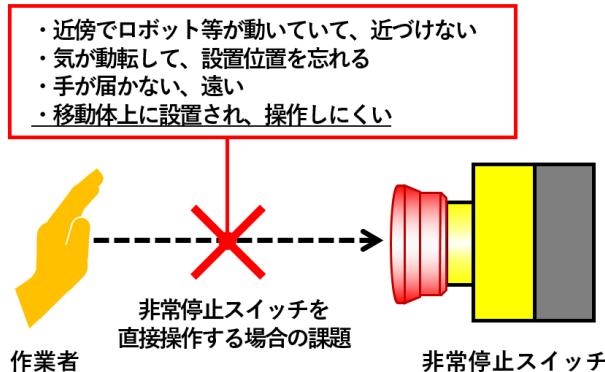


図5 非常停止スイッチを操作する時の課題
Figure 5 Operational issues in emergency stop switches.

目の前のロボット等が、動いていて非常停止スイッチに近づきにくい、気が動転して設置位置を忘れる、機械に体の一部を拘束され手が届かない、そして移動体上に設置され、非常停止スイッチ自体が移動しているような場合があるからである。これらの課題を解決するためには、これまでと異なったアプローチが必要になると考える。

6. 「人の操作をアシストする」という考え方

では、どのようなアプローチが必要か。図6のように、これまでの非常停止スイッチは、人の操作でいかに確実に回路を遮断し機械を停止させるかを目的に技術開発、してきた。しかし、前述のとおり移動体が走り回るような作業環境では、そもそも「操作できない」場合があり、これからは「非常停止スイッチをいかに操作しやすくするか」ということが必要だと考える。そのひとつの手段として、「人の操作をアシストする」考え方をもとに、技術開発を行い、今回提案するのが「非常停止アシストシステム」である。

7. 非常停止アシストシステムとは

非常停止アシストシステムとは、移動体を非常停止させたい場合に作業者が装着した停止ボタンを押すことで、作業者と移動体が共に通信範囲内で通信可能な状態であれば、どこからでも移動体上の非常停止スイッチを操作することができるシステムである。このシステムは、図7のように、作業者が装着可能なウェアラブルストップスイッチと呼ぶ停止ボタンがついた無線送信機、移動体

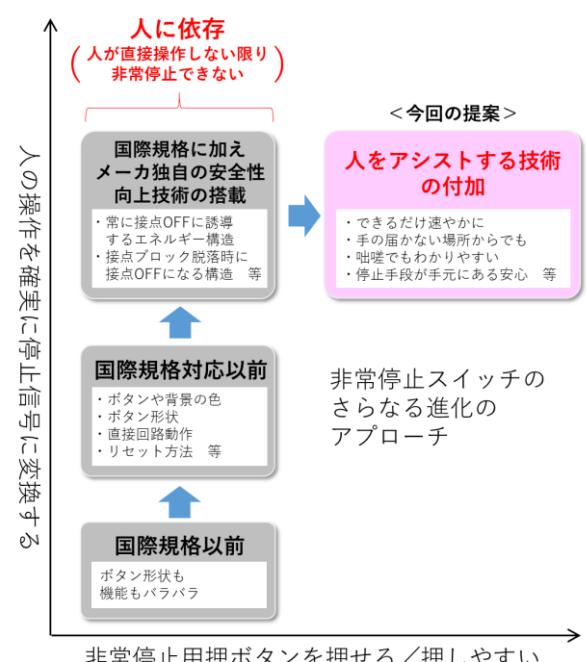


図6 非常停止スイッチはどう進化させるべきか?
Figure 6 How should the emergency stop switch be improved?

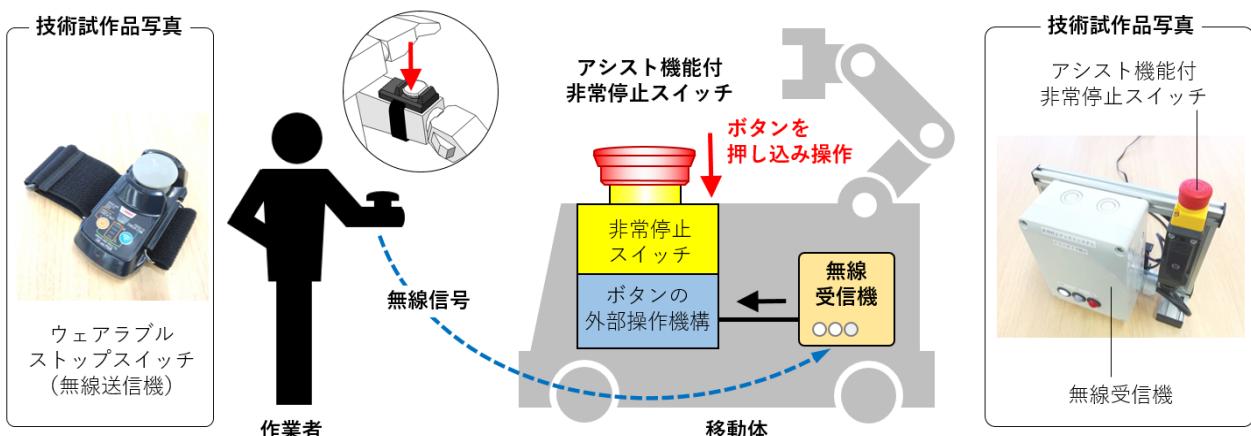


図7 非常停止アシストシステム

Figure 7 Emergency stop system that "Assist" human operation.

上に設置される受信機、非常停止スイッチの3つの機器から構成される。この非常停止スイッチには、受信機からの電源供給によって内部の駆動力でボタンの押し込み操作を行う「アシスト機能」が搭載されている。作業者が手元などに装着したウェアラブルストップスイッチの停止ボタンを操作すると、受信機に無線信号が送信される。それを受けた受信機は、非常停止スイッチのアシスト機能を動作させ、透明人間が操作したかのようにボタンが操作され、非常停止状態にすることができる。つまり、人の手の代わりに電波をつかってボタンを操作するシステムである。ここで重要なことは、国際規格では「非常停止スイッチは人が直接的に操作すること」が前提となっている。したがって、図8のように無線を利用して非常停止スイッチを操作することは、国際規格に基づく非常停止ではない。ただ、このアシスト機能が働いてボタンが押し込まれた後の状態は、人の直接的なリセット操作を必要とするため、国際規格に基づく非常停止状態となる。また、この非常停止スイッチは、あくまでも「アシスト機能付き」であり、人が直接操作できる場面や無線通信に不具合が発生した場合は、一般的な非常停止スイッチと同様に直接手で操作することが可能である。言い換えると、直接手で押す非常停止スイッチの機能はそ

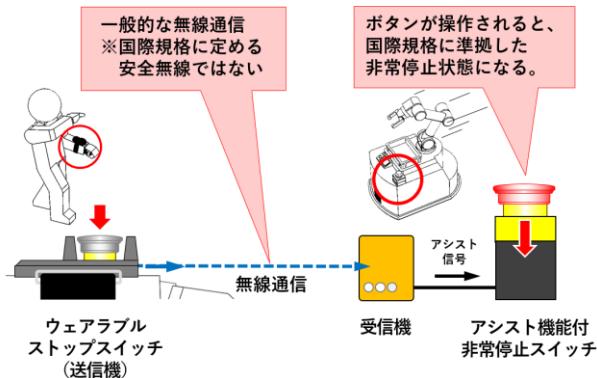


図8 無線通信技術を使った非常停止アシストシステム

Figure 8 Emergency stop system with the utilization of wireless communication technology.

のままに、人が操作しにくい場面のためにアシスト機能を附加している。また、アシスト機能を使用してボタンを操作した場合および直接手で操作した場合に関わらず、ボタンが押し込まれた状態は非常停止スイッチとして接点開離するため、既存の装置に搭載されている非常停止スイッチから置きかえる際に内部回路等の変更は不要である。このシステムを使うことにより、作業者が安全な位置からいつでも移動体上の非常停止スイッチを操作できるというだけでなく、作業者が操作可能な停止手段を常に手元に持つ安心感につながると考える。

8. 非常停止アシストシステムと他の技術の比較

ではなぜ、遠隔で非常停止操作を行うのに、一般無線を使用し、アシストという考え方を提案しているのかを図9で、説明したい。無線による非常停止は、今までも数多くの場面で要求されている。しかし、IEC62745（ケーブルレス制御システム）に規定される安全関連停止機能（以下、安全無線）を満足する無線の非常停止スイッチは、現状十分に普及しているとは言えない状況である。その理由の一つは、頻発する「意図しない停止」であると考える。安全無線による非常停止機能は、常に約束された状態でなければならない。つまり、無線が不通になった場合、非常停止が効かないことは許されず、自ら非

種類	安全無線	一般無線	非常停止アシストシステム	
			一般無線 + アシスト機能付 非常停止スイッチ	
通信	常時通信型	イベント駆動型		イベント駆動型
ボタン操作時の停止状態	○ 非常停止	✗ 制御停止	送信機の停止ボタン ✗ 制御停止	アシスト機能付 非常停止スイッチ ○ 非常停止
ボタン操作後の停止状態	○ 非常停止	✗ 制御停止		○ 非常停止
無線トラブル、 電源異常などの意図しない停止	✗ あり	○ なし		○ なし

図9 無線停止システムの比較

Figure9 Comparison of wireless stop system.

常停止状態に移行する。つまり、作業者の停止意思とは関係なく非常停止してしまう場合があるのである。例えば、安全無線機器を携帯した作業者が、うっかり通信範囲から外れてしまった場合や、送信機のバッテリーが切れてしまった場合など、望まずに生産設備が非常停止してしまう可能性がある。その結果、生産効率が悪くなり、作業者も自分の不注意で生産設備が非常停止してしまうというストレスが生じ、実際の生産設備では使用しにくいのではないかと考える。作業者の意図しないことが発生することは、インターフェースとして大きな問題である。したがって、今回提案の非常停止アシストシステムでは、イベント駆動型と呼ばれる一般的な無線を採用した。今後、無線技術はさらに進化を遂げ、安全無線もロバスト性が向上すると考えられるが、絶対に切れない無線は無く、安全無線は意図しない非常停止の発生からは逃れられないのではないかと考える。一方、一般的な無線でよいなら、例えばタブレットでも移動体を停止することができる。しかし、一般的な無線による停止は国際規格に基づく非常停止にならず、ソフト上の停止でしかない。タブレットで非常停止を行う場合、タブレットで一旦停止を行っておいて、次に移動体上の非常停止スイッチを操作することも考えられるが、作業者が移動体上の非常停止スイッチを操作し忘れたり、非常停止スイッチを操作する前に、ソフトの誤作動で移動体が動き出してしまう可能性も考えられる。このように非常停止アシストシステムは、安全性向上と利便性のバランスがとれた方法であり、実際の現場で使いやすい技術であると考える。

9. 今回技術提案している技術のその他の特徴

非常停止アシストシステムについて、その他の特徴を図10で説明する。従来の非常停止スイッチでは、作業者による直接操作が必要なので、多くの移動体が稼働する環境で、非常停止を行いたい場合、1台ずつ操作しなければならない。移動体が2台以上絡むトラブルや作業者が2台以上の移動体に挟まれるような場合、1台を非常停止した後、死角からもう1台の移動体が接近するといった危険を生じる場面がある。しかし本システムは、自分の送信機の通信範囲内であれば、複数台を一度に停止することが可能である。また、送信機の停止ボタンは、一度押し込み操作すると機械的に保持され、作業者が送信機の停止ボタンを引っ張ってリセットしない限り、停止の無線信号が発信し続ける。これにより、送信機の停止操作後、作業者に接近する移動体が通信範囲内に入ると、次々と停止して作業者が守られることになる。

もう一つのメリットは、第三者による不用意な非常停止スイッチのリセットができないという機能である。

過去に、非常停止を行った作業者がトラブルの原因調

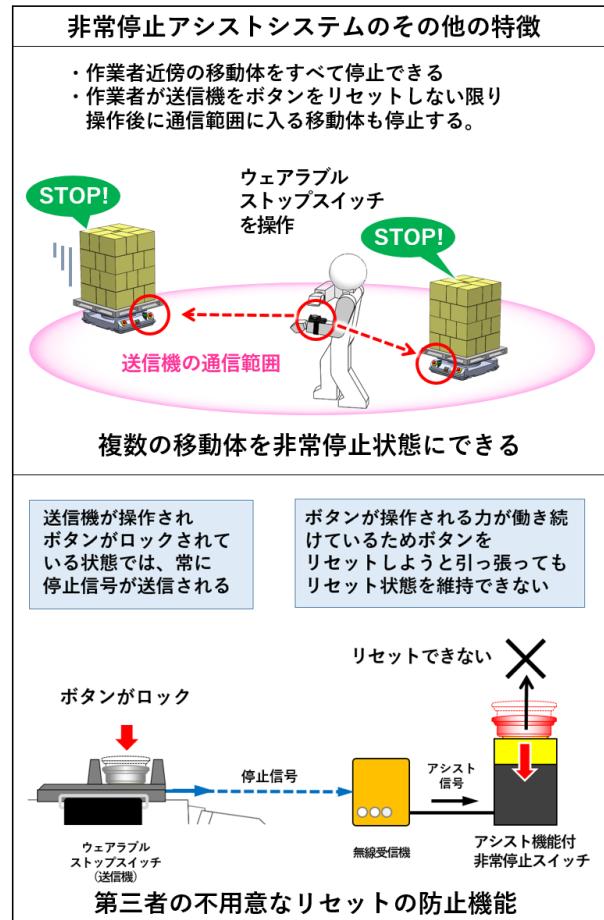


図10 非常停止アシストシステムのその他の特徴
Figure10 Other features of Emergency stop system.

査や復旧を行っている時に、それを知らない第三者が非常停止スイッチをリセットし、機械を動かして事故につながるケースがあった。本システムの場合、前述のとおり、作業者が送信機の停止ボタンを操作すると機械的に保持され、作業者が手元の送信機の停止ボタンをリセットしない限り、停止の無線信号が発信し続ける。第三者が非常停止状態のアシスト機能付き非常停止スイッチをリセットしようとボタンを引っ張っても、手を離すとボタンは引き込まれて非常停止状態に戻るのでリセットできない。これらも人をアシストする機能の一つと考える。

10. これからの方の考え方

図11は、ものづくりの作業現場の安全思想の変遷と安全性を構築するレベルを示したものである。最初、世の中に安全構築に使える技術は存在していたものの、技術で安全を構築する概念が希薄であったため、人の教育訓練だけで安全を確保していた Safety0.0 の時代があり、機械安全や機能安全という考え方方が登場し、安全技術のレベルが大きく向上した Safety1.0 の時代。そして現在、人と機械が共存し協調する協調安全・Safety2.0 の時代を迎えており、安全・安心の向上に使える ICT 技

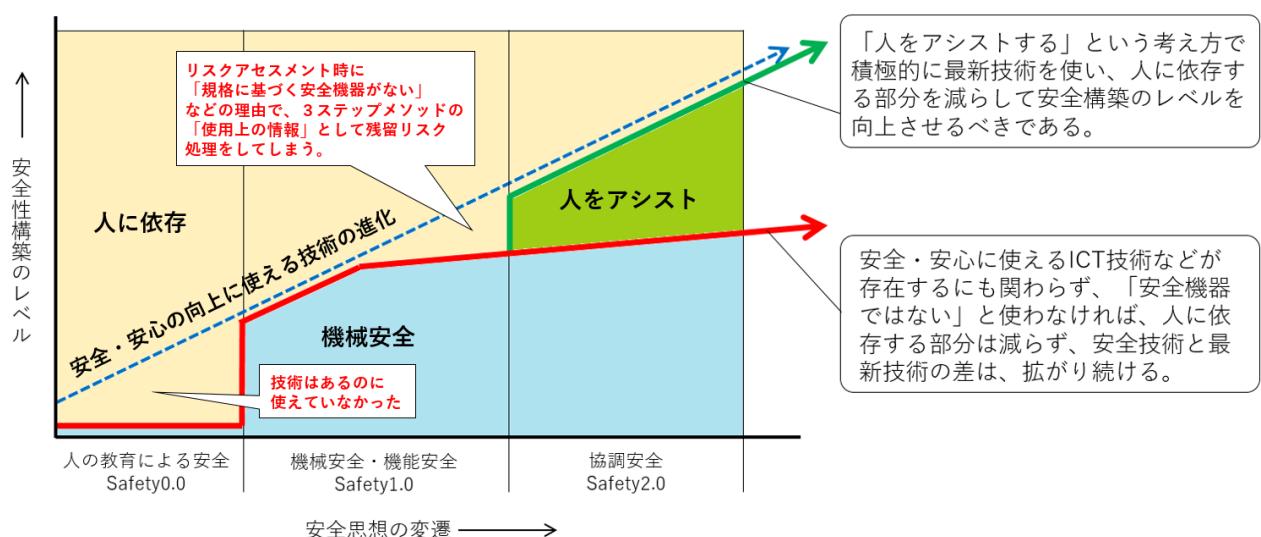


図 1.1 人をアシストする考え方で、安全性構築のレベルを向上
Figure 10 Improve the level of safety with the concept of "Assist" human.

術も確実に増えている。しかし、ここ数年、安全を構築する「安全機器」の技術レベルが、世の中の最新技術に追いついていないと感じる。その理由は、安全構築に貢献する新技術や製品が、いわゆる「安全機器」と認められるために、数多くの検証や分析によって安全機能の妥当性を証明する必要があり、さらには長い期間を要する規格化が必要とされるためではないかと考える。作業現場が変化し、明らかに安全面で問題のある運用を解決する新しい技術に対し、「安全機器ではないので使わない」といった理由で使われないなら、いつまでも人に依存する部分は残り続け、安全技術と世の中の最新技術とのレベル差は拡がり続けるのではないかであろうか。

今回の提案である「非常停止アシストシステム」は、リスクアセスメントにおける 3 ステップメソッドのリスク低減方策の中の「ステップ 2：安全防護および付加保護方策」のための非常停止スイッチであり、かつ残留リスクに対して「ステップ 3：使用上の情報」以上に効果がある「アシスト」によって積極的にリスクを減らしていくこうという考え方である。特に人と機械が共存し協調する作業環境では、常に人が直接的に機械と関わるため、「人をアシストする」という考え方方が極めて有効であると考える。さらには「VISION ZERO」が掲げる「ウェルビーイング」を実現するために、現在の安全規格では解決できない課題に対して、最新の技術を積極的に使っていくことが重要と考える。

11. おわりに

この「非常停止アシストシステム」は、その有効性の実証を行うために有償サンプルを提供させていただいている。我々の考え方賛同し、作業現場の課題を解決す

るために購入・実証を推進いただいている企業の皆様に深く感謝するとともに、これからも、そういった挑戦を続ける皆様と共に、さらなる安全・安心、ウェルビーイングを追及する技術開発を進めていきたい。

12. 参考文献

- [1] 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：ヒューマンインターフェースシンポジウム（2017）
- [2] 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：ヒューマンインターフェースシンポジウム（2018）
- [3] 福井 他：安全性と生産性を高いレベルで両立させる協調安全システムの導入事例：ヒューマンインターフェースシンポジウム（2019）
- [4] ISO13850(JIS B 9703)：機械類の安全性－非常停止機能－設計原則（2015）
- [5] IEC60947-5-5(JIS C 8201)：低圧開閉装置及び制御装置－ 第 5 部:制御回路機器及び開閉素子－ 第 5 節:機械的ラッピング機能をもつ電気的非常停止機器（2008）
- [6] 松本 他：非常停止スイッチの人間工学的な観点から見た操作性：ヒューマンインターフェースシンポジウム（2007）
- [7] ISO3691-4：産業車両－安全要求事項及び検証－第 4 部：無人産業車両及びシステム（2020）
- [8] IEC62745(JIS B 9962)：機械類の安全性－機械類のケーブルレス制御システムに対する要求事項（2019）