

インタースペースを用いた Safety2.0 による 安全・安心・ウェルビーイングの向上

清水 隆義*1 福井 秀利*1 藤谷 繁年*2 土肥 正男*1 藤田 俊弘*3

Improving Safety, ANSHIN, and Well-Being through Safety 2.0 with Interspace

Takayoshi Shimizu*1, Hidetoshi Fukui*1, Shigetoshi Fujitani*2, Masao Dohi*1
and Toshihiro Fujita*3

Abstract -With the development of ICT and robot technologies, the coexistence and collaboration of humans and machines has dramatically increased not only in manufacturing, but also in civil engineering and construction, agriculture, and general society. Safety 2.0, a technology that improves safety and productivity in various environments by utilizing information on humans, machines, and the environment, has further evolved into a technology that is effective in improving people's wellbeing as well as realizing safety and ANSHIN through overall optimization by introducing the concept of interspace, in which the entire space is considered as an interface.

Keywords: ウェルビーイング, Safety2.0, コモングラウンド, インタースペース and 協調安全

1. はじめに

近年の ICT やロボット技術の発達により、協働ロボットや自律移動ロボット、サービスロボットなど FA(Factory Automation)に代表されるモノづくり分野のみならず、子供や高齢者など様々な人々と機械とが共存・協働する環境や機会が飛躍的に増加している。例えば、生産現場での使用が拡大している協働ロボットは、人と接近・接触をセンサ類で検知し、運転速度の低減や力を抑制することで、もし人が衝突したとしても傷害を与えないよう設計されており、人へのリスク低減を容易に実現できる産業用ロボットである。また、社会課題となっている感染症の拡大による人同士の接触リスクの回避や労働力不足の解消として、飲食店での配膳ロボットやビル内の監視巡回ロボットなど、用途を運搬や監視のみに限定し、センサやカメラを活用することで人との接触回避するよう設計された人の代わりに作業するサービスロボットなども登場している。

このような技術発達と社会課題解決に向け、今後更なる拡大が見込まれる人と機械の共存・協働環境においては、既存の安全方策はもちろん必要ではあるが、新たな技術への対応と、多くの人々や様々な環境に対する安全性や生産性、利便性などの向上が求められる。そこで我々は、これら様々な環境における安全性の向上と、生産性

を向上させる” state of the art” 技術として人・モノ・環境情報を活用した Safety2.0 の提案を行ってきた^{[1][2]}。

図 1 に示すように、安全の考え方はものづくり現場の変革とともに変遷してきている。かつては、人の注意力や経験で安全を確保する「Safety0.0」の時代があった。危険な機械をライオンにたとえると、人の注意力や経験でライオンから距離を取り安全を確保していた時代である。その後、ものづくり現場では、機械（危険源）を柵で囲うことによる「隔離」と、人が機械に近づく際には機械を「停止」させることによる、いわゆる「隔離と停止」の原則に基づく安全確保である「Safety1.0」の考え方が登場し、広く世界に普及している。この場合は、ライオンに檻を設けて人は一定以上近づけなくする、また檻の中に入る際はライオンを眠らせるなどの方策をとることで確実に安全を確保することとなる。近年、先に述べた様々な環境において、人と機械の共存・協働が求め

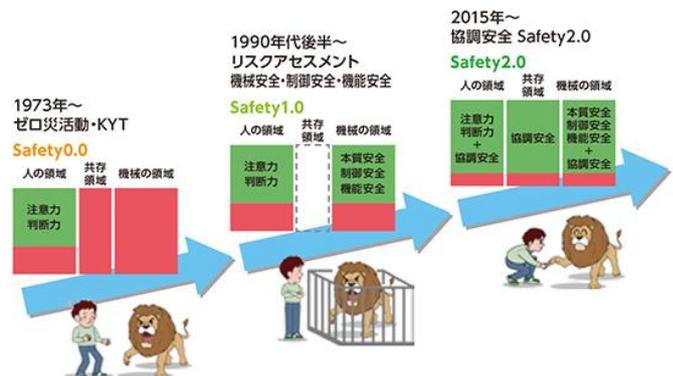


図 1 安全の考え方の変遷

Fig. 1 Transition of Safety Concepts

*1: IDEC(株) 国際標準化・協調安全 4 次元推進部
 *2: IDEC(株) コラボレーション技術開発部
 *3: IDEC(株) 常務執行役員 技術経営担当
 *1: International Standardization & Collaborative safety department, IDEC Corporation
 *2: Collaboration Technology Department, IDEC Corporation
 *3: Senior Executive Officer, Management of Technology, IDEC Corporation

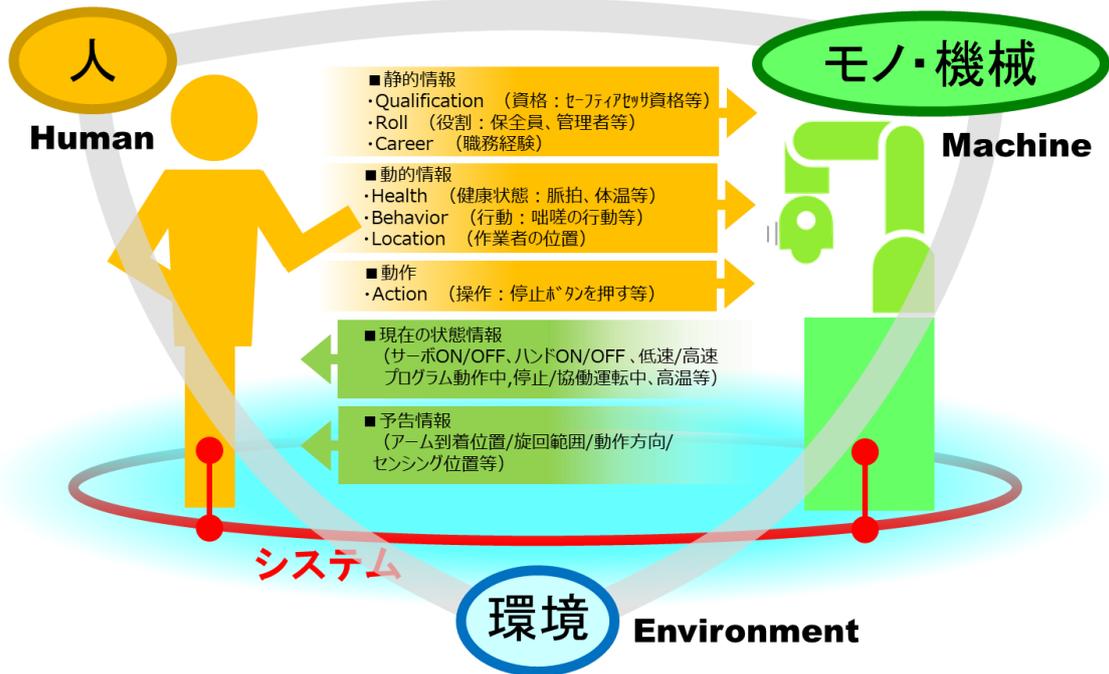


図2 Safety2.0における人とモノ・機械と環境の情報共有

Fig. 2 Information sharing between Human, Machine(object) and the environment in Safety 2.0

られており、その安全性と生産性を向上させるための技術的手段として「Safety2.0」が提案されている。この新しい安全の考え方は日本発としてグローバルに向けて提案されており、さらなる拡大が見込まれている^{[3][4][5]}。

2. Safety2.0

Safety2.0は、図2に示すよう、人・モノ/機械・環境の情報を共有し、それぞれが最適な行動、制御、調整により、安全、安心、ウェルビーイングを実現する技術方策である。つまり、人の情報により機械を制御し、機械の情報により人に行動を促す。そして、人と機械の環境を、ICT技術等を用いて最適化する。人の情報としては、例えば安全に関する資格情報や、保全員/管理者といった役

割に関する情報、職務経験にもとづく作業者の安全に関する力量等の静的情報や、作業者の位置情報などの動的情報、脈拍や体温等の健康状態についての情報、とっさの反応等の動作情報、操作に関する情報などがあり、これらの人の情報や周囲環境の情報を機械に与えることにより機械の速度制御などをより安全に、より効率よく制御することができる。加えて、機械の動作状態や動作予告情報を人に伝えることで、人は機械動作を予測し、より安全で効率の良い作業や行動ができる。この人・モノ/機械・環境の情報を共有し、人と機械の最適環境を実現する技術がSafety2.0である。

このSafety2.0の拡大を目指し、我々は図3示すような様々なヒューマンインターフェースを提案してきた。代

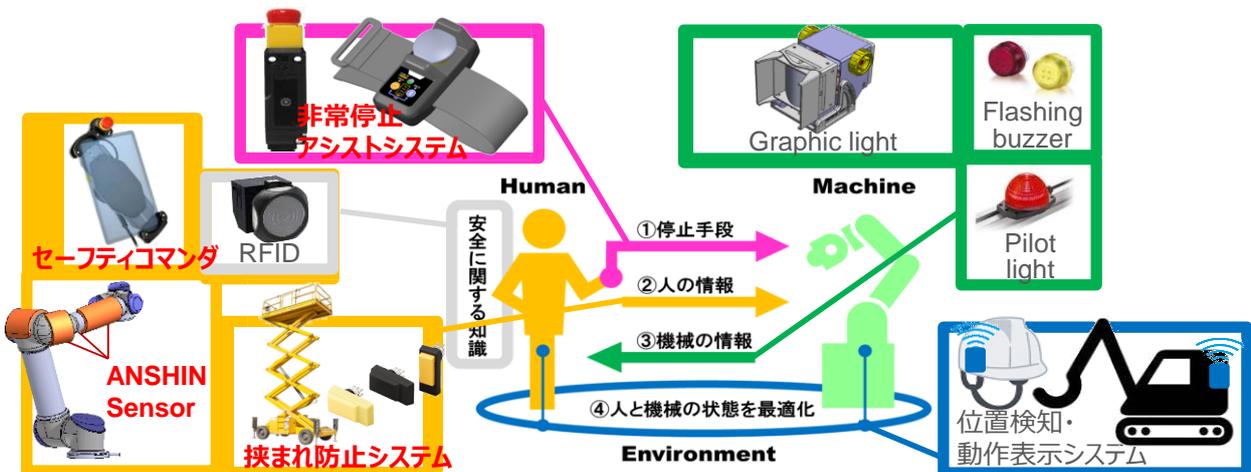


図3 Safety2.0に用いられる様々なヒューマンインターフェース

Fig. 3 Various human interfaces used in Safety 2.0

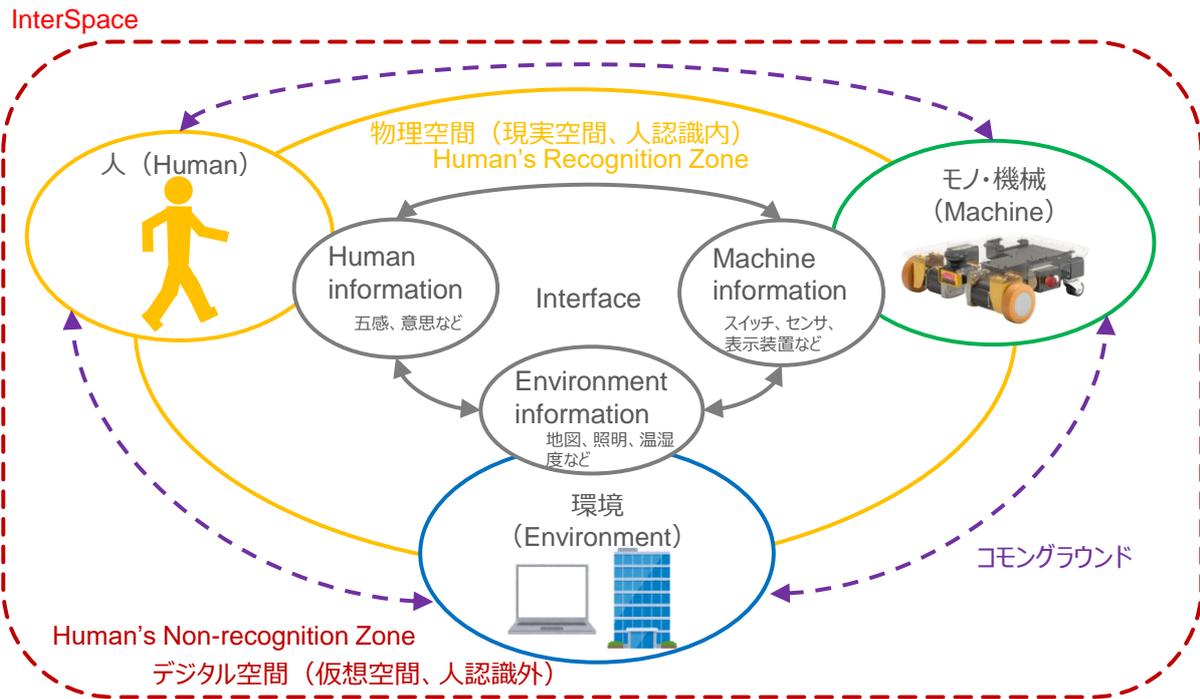


図4 インタースペースにより拡張された Safety2.0 の概念

Fig. 4 Safety 2.0 concept extended by Interspace

表的な例として、遠隔から非常停止用押ボタンスイッチを“操作”できる非常停止アシストシステムや、人の情報を機械に伝えるための機器である ANSHIN センサやセーフティコマンド、挟まれ防止システムなどがある[6][7][8][9]。

これら新たなヒューマンインターフェースは、工場などモノづくり分野に限らず、土木建築、物流、農業など様々な環境の安全確保に有効な技術として活用を広げており、特に人の情報を機械に伝え、安全に機械を制御するための有効なデバイスである。

3. コモングラウンドとインタースペース

顕在化しつつある労働人口減少や SDGs などの社会課題の解決にむけ、Society5.0 や Industry 4.0 など、物理空間のみならずデジタル空間を活用した新たな情報共有方法がグローバルで提案されており、メタバースの活用も一般的になりつつある。目的や用途に合わせて構築されるデジタル空間における多種多様な新たな世界は、それぞれの地域や産業において独自開発が進められる。一方で、このような多種多様な世界、中でも人と機械などの非人間エージェントとの間で、相互に可読な、汎用な記述様式として成立する空間記述体系を構築し、社会実装を進める試みが建築・デザイン分野で提案されている。これがコモングラウンドである。

コモングラウンドは、先に述べた異なる産業領域や扱う空間、時間のスケールなど多岐にわたる要素を、シームレスにインタラクションを行うことで共通の認識を有するための空間記述体系である。このコモングラウンド

により物理空間とデジタル空間をつなぎ、多岐にわたる要素を共通の空間として扱うことで、空間全体がインターフェースとなるインタースペースの考え方が提唱されている^[10]。

現在のモノづくり分野では、直接的なインターフェースを用いた機械制御やコントロールが行われている。例えば、自動車や工作機械など機械類と人との情報伝達は、スイッチや表示パネル、警報ブザーなど人の視覚、聴覚、触覚などの能力を活かした、いわゆるヒューマンインターフェースが使われている。しかしこれらは、人の能力や知識、国や地域、業界や分野により伝える情報や表現する手法に差異が現れる。そこで、国際標準や業界ルールを作り、人を教育や育成によりその差異を極力小さくすることで、安全性の確保に努めているが、これは人や機械の能力の制限へとつながりうる。

そこで、空間全体がインターフェースであるインタースペースの考え方とコモングラウンドのコンセプトを Safety2.0 技術に導入することで、時間と空間の拡張による人やモノの能力を最大限に引き出す最適な制御が実現できると考える。

4. コモングラウンドとインタースペースにより拡張される Safety2.0

図4にコモングラウンドとインタースペースにより拡張された Safety2.0 の概念を示す。Safety2.0 の中核は、人・モノ/機械・環境の情報を共有し、それぞれが最適な行動、制御、調整により、安全、安心、ウェルビーイングを実現する技術方策であることに変わりはない。ここに、コ

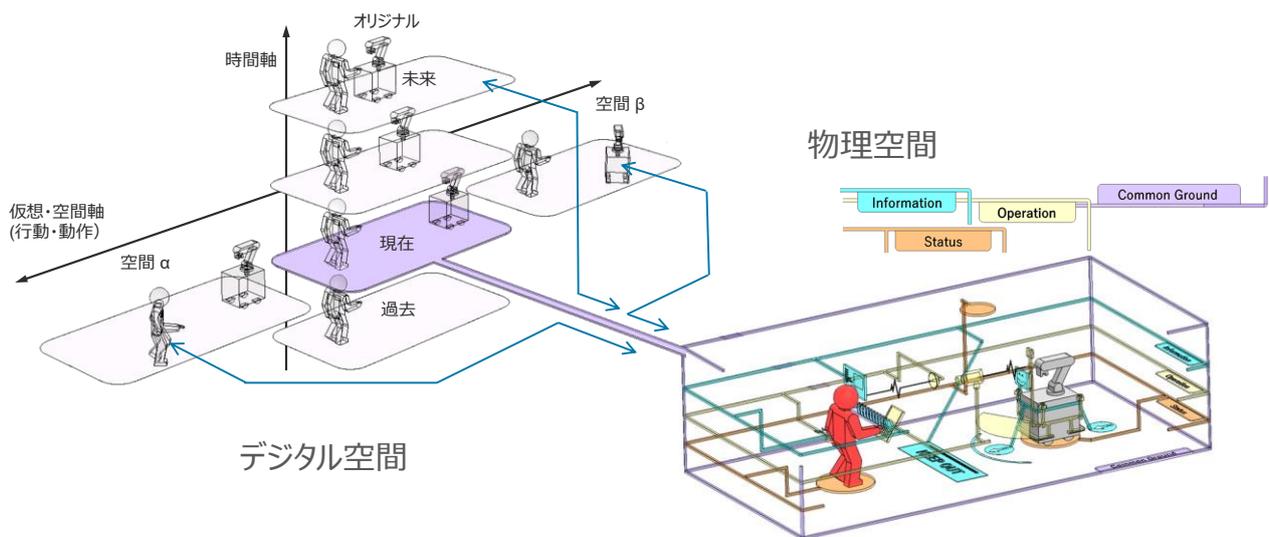


図5 空間的にも、時間的にも拡張される Safety2.0 の環境
 Fig. 5 Safety 2.0 environment that extends in space and in time

コモングラウンドによる物理空間はもちろん、デジタル空間を含めた様々な情報のシームレスな接続と、空間全体をインターフェースとするインタースペースの考え方を取り入れることで、Safety2.0 は時間的にも空間的にもさらに拡張された技術方策となりうる。図内実線部分が今までの Safety2.0 を示し、破線部がコモングラウンドとインタースペースを取り入れ拡張された Safety2.0 を示している。今までは情報を物理的インターフェースを介して、直接的もしくは準直接的にやり取りしていた。例えば、人が機械に搭載された押ボタンスイッチを押すことで照明が点灯することや、制御機器を介して機械が動く、もしくは止まるといったやり取りが該当する。コモングラウンドを活用することで、この直接的な情報のインタラクションはもちろん、間接的、予測的情報の共有、つまりは過去の情報や全く異なる分野からの情報、将来的に起こりうる情報等、様々な時間と空間の情報共有へと発展させることが可能となる。これはインタースペースでも同様である。直接的な、機械に固定されたスイッチやセンサから人や機械の情報取得を行うことは、時間的にも精度的にも最も効果の高い要素である。しかし、人や機械がインターフェースを持ちえない場合はその情報を入手、伝達することができない。一例を示すと、人とロボットなどの機械が協働作業をしている現場においてロボットに問題が発生したとき、人が非常停止押ボタンスイッチを携帯していなければ、問題が発生しているロボット上の非常停止押ボタンスイッチを操作してロボットを止めなければならない。これは、問題が発生しているロボットに近づくと「危害の発生確率」を上昇させることから、リスクを増加させる要因となりうる。そこで、建物や周囲設備そのものがセンサ機能を有し、もし人がロボットを止めたいはその声を検知することでロボットを止めることができる、もしくは人の動きをモニタする

ことでその意図を予測してロボットを止めるなど、環境そのものをインターフェースとすることで、人やロボットの制限や機器の設置などから解放され、人と機械の共存・協働可能な領域は飛躍的に拡大する。

図5はそのコンセプトをより具体的に示した図である。右半分が物理空間を示し、左半分がデジタル空間を示している。物理空間では人とロボット（機械）が共存・協働しており、人の権限や位置、進行方向はもちろん、ロボットの動作状態や位置、予定動作などの情報がコモングラウンドを通じて共有されている。これらの情報は、人やロボットそのものが有するインターフェースを介して取得され共有化されているものもあるが、見逃してはならないのは、人とロボットが存在する空間、いわゆる周囲環境そのものが情報を取得し、保有し、共有し、発信している点である。直接的なインターフェースを介した人とロボットの情報はもちろん、環境そのものが有するセンサなどのインターフェースが、いつでも、どこでも人とロボットに加え環境そのものの情報を取得し、共有することで、安全性や生産性、利便性を考慮したロボットの制御や、照明や音声などによる人への情報伝達および行動指示の最適化が行える。

デジタル空間ではこれらの情報の収集と蓄積を通じた、時間と空間の拡張が可能である。図は縦軸が時間軸、横軸が空間軸を意味している。現在のその場の情報が中心（原点）に位置されており、縦軸上の過去の情報や、横軸上の異なる条件や環境からの情報に容易にアクセスでき、これらの蓄積情報から、将来的な予測情報や、さらに広い領域の異なる条件や環境への情報の拡張が行える。人の行動予測や、顕在化していないリスク、他の環境への影響などを事前に予測、検知することで、時間や場所にはもちろん、人とロボットの能力や性能に最適な解決策を導き出し、先に述べた物理空間へとフィードバック



図6 Safety2.0で拡張するリスクの範囲

Fig. 6 Scope of risk to be extended by Safety 2.0

することで、人と機械のさらなる最適環境が実現できる。

ここでは人とロボットの限られた環境での例を示したが、Safety2.0の拡張は土木建築、農業、物流、医療介護、サービス等様々な分野で活用し共有できることから、社会全体のウェルビーイング向上に有効な技術といえる。

5. Safety2.0で拡張するリスクの範囲

もちろん、この時間と空間を拡張する技術は、さらなる安全の向上にも有効である。その考え方を図6に示す。先に述べた、現在世界で普及しているSafety1.0(機械安全)において安全とは、許容不可能なリスクがない状態であると示している。リスクは「危害のひどさ」と「危害の発生確率」の組合せで、リスクアセスメントを複数人の知見に基づき実施することで漏れや誤りが無いよう導き出される^[11]。これが図内「Safety1.0(機械安全)」で記載された白いエリアである。経験や知識を活用し、不確実性が低い確かなリスクの見積もりを確実に実施できる。また情報が足りない、もしくはあいまいな部分(gradation zone)であっても複数人の知見を活用することでより広く正しくリスクを見積もることができる。一方で、情報や知識が無く、不確実性が高い部分の危害のひどさや発生確率を見積もることは難しい。例えば運用

中に学習するAIのように、常に内容の変更を繰り返し、人が処理内容を認識することができないリスクを、人が見積もることは困難である。このような人の知識や理解が及ばない範囲、全く情報の無い無知と呼ばれる範囲も含め、時間と空間を拡張し、環境そのものが情報を持つSafety2.0を用いることで、様々な時間と環境の情報と、現在の環境の情報を共有し、不確実性の改善や無知の状態の保管を行うことで、今まで対応が困難であった顕在化していなリスクへの対応も可能となりうる。

6. インタースペースの実現に向けたSafety2.0の具体例

このSafety2.0を用いた認識が難しいリスクを人に伝えるデバイスの一つとして提案しているグラフィカルライトについて紹介する。図7はグラフィカルライトを自律移動ロボット(Autonomous Mobile Robot: AMR)に搭載した例である。グラフィカルライトは、シンプルな線を表示するタイプと文字や図形など自由に表現できるグラフィックタイプがある。AMRに搭載されたセンサやカメラの情報から、人とAMRの位置や向きを推定し、センシングエリアの表示による注意喚起や、AMRの状態や進行方向などを表示することで、人にAMR情報を共有し、より安全で効率の良い作業を行うための有効なデバイスである。本例では、AMR上に搭載しているが、人とロボットが共存・協働している環境そのものに、たとえば照明機能の一つとして供えられており、必要に応じて人にロボット情報を伝達することや、注意喚起、行動指示に活用することで、人や機械が専用のインターフェースを有することなく、情報共有することが可能となる。

7. Safety2.0の拡張に向けた課題

Safety2.0に適合したヒューマンインターフェースの必

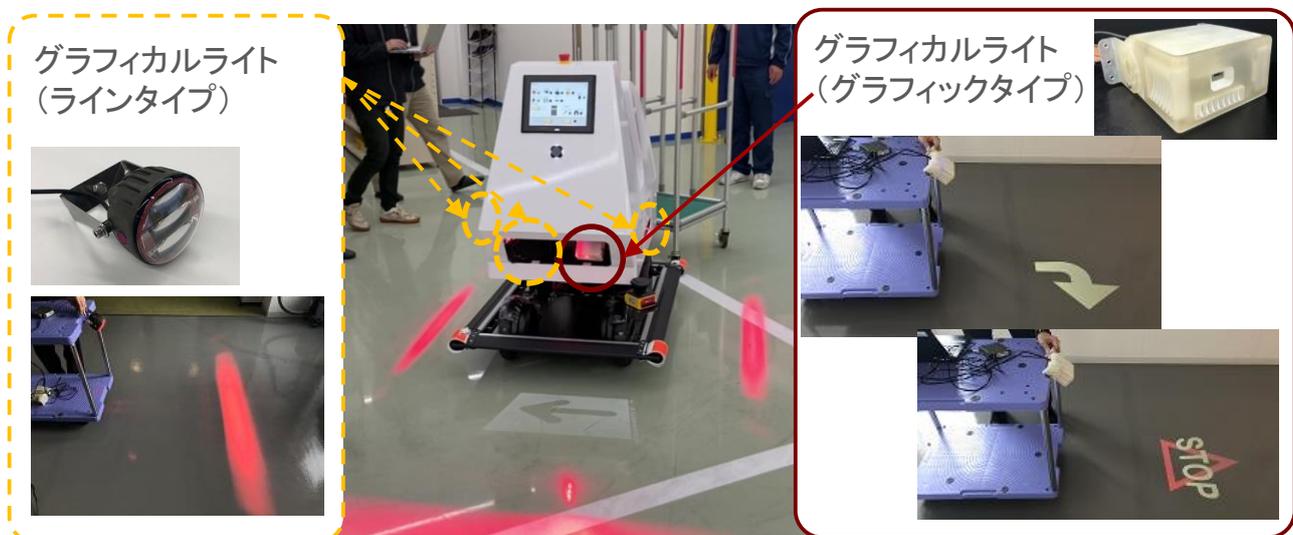


図7 自律移動ロボット(AMR)に搭載されたグラフィカルライト

Fig. 7 Graphical light mounted on an autonomous mobile robot(AMR)

要性と有効性について検証を進めるべく、グラフィカルライトのみならず、非常停止アシストシステムやAHSHIN センサなどを提案してきた。コモングラウンドを活用し、インタースペースの考え方を取り込むことで、時間と空間の更なる拡張を実現する Safety2.0 に関しては、様々な用途とそれに関する情報を収集し、選別し、活用する必要がある。モノづくり分野はもちろん、建築や土木、農業など多種多様な環境の情報活用と、その実証実験をすすめてゆく所存である。

8. おわりに

人と機械の共存・協働環境が拡大する世界において、インターフェース機器やインタースペース機器は、安全・安心・ウェルビーイングの実現に向けた重要かつ不可欠な技術である。それに加え、人の育成や理解醸成、法律や規格など社会ルールの基礎構築、常に環境改善を進めるマネジメント形成の4つの要素を高めることで、社会全体の安全・安心・ウェルビーイングを向上させることが重要である。つまり、技術、人、社会ルール、マネジメントの4つの要素を通じて、人と機械の最適環境を創造し、世界中の人々の安全・安心・ウェルビーイングを実現することが、我々の目的である。

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：ヒューマンインタフェースシンポジウム(2018)

[3] Dohi M. , et al.: Proposal of Collaboration Safety in a Coexistence Environment of Human and Robots; IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), pp. 1924-1930, Australia(2018).

[4] Shimizu T., et al.: New Collaborative Safety Concept in Various Coexistence Areas for Human and Machinery; 9th International Conference on Safety of Industrial Automated Systems (SIAS), France,(2018).

[5] IEC White paper "Safety in the Future"; International Electrotechnical Commission (2020).

[6] 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；ヒューマンインタフェースシンポジウム(2019)

[7] 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)

[8] 藤谷 他：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；ヒューマンインタフェースシンポジウム(2021)

[9] 福井 他：協調安全を用いた高所作業の安全・安心化による作業者のウェルビーイングの向上；ヒューマンインタフェースシンポジウム(2022)

[10] 豊田：建築都市空間デジタル記述のためのコモンランド構想について；生産研究 74 巻, 1 号(2022).

[11] ISO 12100(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).