

寄稿

建設業の安全対策として ICT 技術を活用した現状と将来の展望

明治大学 顧問 名誉教授

公益財団法人鉄道総合技術研究所 会長

一般社団法人セーフティグローバル推進機構 会長 向殿 政男

1. まえがき

建設業は、関係者の懸命な努力にもかかわらず、墜落や熱中症等、労働災害の数が、製造業等に比べて、常に多いという事実がある。一方、建設業界でも、国土交通省の指導の下、最近の新しい技術として ICT (情報通信技術) を用いて、自動化、効率化、高度化、生産性の向上、柔軟化等を目的に、i-construction (アイ・コンストラクション) が提唱され、多くの成果を上げつつある。それらの中には、労働災害の減少に繋がる技術や施策も多く含まれていて、たとえば、ICT を安全管理やリスクマネジメントへ適用することも提案されていて、安全性の向上にも大いに貢献することが期待されている。しかし、これらは、ICT の間接的な安全性への貢献であって、直接的に ICT の技術を安全機能 (安全を実現する機能) の発揮に生かすという視点が弱いように思える。

本報告では、まず、建設業の安全の現状と、ICT がもたらしつつある社会の変化について概観する。この流れの中で、ICT を安全機能の実現そのものに応用しようとする Safety 2.0 という考え方、およびそれによって実現される新しい安全の思想である協調安全について紹介する。すでに、建設業界でも Safety 2.0 や協調安全を実現している例があるので、それらを紹介する。続いて、ICT をただ単に安全のために使えばよいというものではなく、しっかりと安全設計思想が必要であることを述べて、その考え方を考察する。最後に、建設業の安全に関しての将来の課題について触れる。

2. 建設業の安全の現状

建設業という事業は、その中に実に多くの仕事が含まれていて、すそ野が大変広い業種である。事

実、現在の建設業法上の許可業種には 29 種類が含まれている。具体的には、建築を筆頭に、土木、電気、管、舗装、鋼構造物、鉄筋、しゅんせつ、タイル、造園、等々から電気通信、水道・消防施設、解体まで、実に幅広い。これらの建設業全体の安全対策を考える場合、そこにはそれぞれの特徴があり、具体的なレベルですべて同じ手法や考え方を用いることはできないだろう。

筆者の専門としている安全学¹⁾では、安全対策は、人間、技術、組織の三つの面を総合して統一的に、協調して取り組むべきであることを主張している。建設業においては、人間の面から言えば、専門職の人から現場の日雇いまで、各種の人々がかかわっている。組織の面からは、大手ゼネコンから一人親方まで、多くの組織が何重にも組み合わさっている。技術の面から言えば、それぞれの分野での独自の技術があり、高度な技術を導入している場合から、いまだに人間の力仕事に頼らざるを得ない面まで、実に幅広い。これら三つのそれぞれ側面から、建設業における安全について改善すべき点が多いと考えられるが、本稿では、主に、技術の面について考えてみることにする。

最近、多くの産業分野で活用され、その有効性が実証されている ICT 技術を、建設業界でも使用しようとする i-Construction が提案されて、現在、大きく動き出しており、成功例が報告されつつある。本稿では、これらを安全管理や安全技術という面に適用することを提案するものである。

建設業関係の人からは、建設業は基本的にリスクが大きく、安全面では条件が悪いという返事が返って来る。確かに、地質や地盤等も影響されるし、野外での作業が多いために風、雨等の自然環境の影響を強く受ける分野である。不確実性が高く、かついったん事故が起きると、危害の程度がきわめて大きな分野であることは確かである。更に、建設分野

での災害が多い理由として、ほとんどが一品生産で同じものを作ることがないために安全対策がその都度の「対症療法」に陥りやすい、複数の事業者や下請けが関わるため、安全対策の徹底が困難である、設計・施工分離が基本のため、一貫した安全対策が採りにくい等々の返事が返ってくる²⁾。しかし、ICTを安全技術に用いることにより、組織との情報共有ができ、コミュニケーションをすることを通して、人間、技術、組織の三つの面が協調して安全を実現するようになり、建設現場での労働災害の減少に貢献できる可能性があることを紹介する。

3. DX という時代の流れ

現在、世界を変えつつある大きな潮流（メガトレンド）の一つに、ICT（情報通信技術）の発展がある。ここで、ICTとは、IoT（Internet of Things）、AI（人工知能）、ビッグデータ、クラウド、ドローン、ロボット、ブロックチェーン等の技術を意味している。あらゆるものがデジタル化を経て、お互いにつながり始めて、いわゆるデジタルトランスフォーメーション（DX）が唱えられている。すなわち、ICT活用によるイノベーションを経て、ついには、ビジネスモデルを変え、社会生活を変え、価値観を変えるところまできているといわれている。この技術的改革が生産現場に適用されると生産性を上げ、柔軟な生産を可能にするコネクテッドインダストリーとなり、産業の在り方を大きく変える第4次産業革命と言われる動きになる。それが実社会に広がってくると、我が国の提案している Society 5.0になる。これらはすべてICT技術の発展に基づいている。ICTの活用で、建設業界の生産システム全体の生産性の向上を目指して国交省が掲げている i-Construction もこの流れの一環である。

ただし、このメガトレンドの流れの中では、安全であることが大前提になっていなければならないはずである。確かに、DXには、ICTの技術的な発展で社会を効率よく、楽しく、人類を幸福にしていこうという前向きなビジネス改革、社会改革の面がある。しかし、ベネフィット（利便性、利潤、楽しさ等）のあるところ必ずリスク（危険の可能性）がある。基本的には安全が確保されているという前提で

の前向きな改革でなければならない。従って、ICTを社会変革に適用するとともに、一方で、安全の確保、すなわち、安全管理や安全技術に適用することも同時に、考えていかなければ片手落ちというものである。

4. ICT の安全技術への適用

ここで、安全確保の歴史的な流れを概観してみよう。我が国に機械が導入されたころは、危ない機械を人間が注意して使っていた時代があった。コスト、機能、納期等を重視して、安全の実現は人間の作業に任されていた。安全機能は人間が発揮していた時代である。この時の安全を「Safety 0.0」と呼ぶことにする。Safety 0.0時代における安全原則は、「自分の身は自分で守る」であった。これは、現在でも重要な原則であり続けている。一方、人間は、間違えるものであり、ついうっかりのために労働災害が絶えなかった。これを防ぐために、次は、安全を技術で実現する時代が来た。まず、機械設備側を安全化して、残ったリスク情報を提供して、作業者に安全を委ねるという順番である。この時代は、技術が安全機能を発揮している時代であり、「Safety 1.0」と呼ぼう。Safety 1.0は、機械安全技術の時代であり、現在はここにある。Safety 1.0時代の安全原理は、隔離の原則（危ない機械と人間とは分離する）、および停止の原則（機械が止まっているときにしか、人間は近づくことはできない）である。

ICTの発展のお陰で、安全技術にも新しい方向が見えてきた。ヒトとモノと環境が、デジタル情報を用いて情報を共有し、お互いにコミュニケーションすることで、協調して安全を確保することができるようになった。このように、ICTを用いて安全を実現する時代を「Safety 2.0」と呼び、このように、ヒトとモノと環境が協調して安全を実現する考え方を「協調安全」と呼ぼう^{3),4)}。協調安全を実現する安全の技術が Safety 2.0であり、Safety 2.0は、スマート化による安全技術である。これらの流れを示したのが図1である。前の時代を含む形で安全機能を発揮するあたらしい安全技術が加わってきている。すなわち、表1に示すように、Safety 0.0では、人間に依存した人間科学の時代であり、Safety 1.0

は、技術に依存してた自然科学が加わり、そして、ここで提案する Safety 2.0 は、環境や組織を取り込んだ社会科学が加わった時代、といった順に前を含む形で発展してきたとみる事ができる。このよう

に、現在は、Safety 2.0 及び、協調安全の時代に入ったといえる。この辺の事情については、参考文献 4) に詳しい。

最近、(一社)セーフティグローバル推進機構(IG-SAP)では、労働災害をはじめ各種災害や事故防止の観点から、Safety 2.0 に対する技術基準を定め、条件を満たしている機械設備、システム等に対して、審査を経て、Safety 2.0 適合証明書を発行して、Safety 2.0 適合マークの表示許可を与えている⁵⁾。

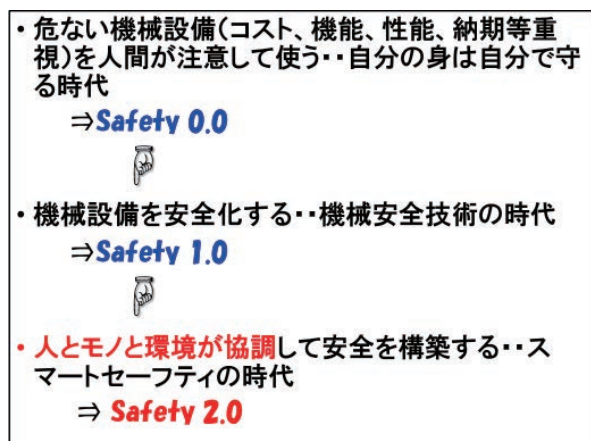


図1 安全技術の流れ

表1 Safety 0.0~Safety 2.0³⁾

	安全確保の手法：安全機能の発揮	原則	具体的内容
Safety 0.0	人間の注意 (人文科学)	自分の身は自分で守る (作業安全)	教育、訓練管理、作業基準、作業マニュアル
Safety 1.0	(人間の注意) + 技術 (自然科学)	機械設備の安全化 (機械安全)	本質的安全安全防護安全制御標準、基準
Safety 2.0	(人間の注意 + 技術) + 環境・情報・組織 (社会科学)	協調による安全化 (協調安全)	ICT技術の活用情報共有

5. 建設業における Safety 2.0 の応用例

建設関係での安全に関する ICT 活用の例を紹介してみよう。まず、株式会社 NIPPO の道路舗装の例である^{6,7)}。これは、IGSAP が実施している Safety 2.0 適合を最初に取得した事例になっている。道路の舗装工事等では、狭い場所でタイヤローラや建機等が動き回り、バックなどをする場合には、人間の存在に気が付かず巻き込んでしまって、大きな災害になる例がある。本例では、IC タグをつけた人間を RFID によって検出して、また、ステレオカメラの画像処理によって、移動する可能性がある危険領域に人間が存在する場合を自動的に検知して、タイヤローラや建機を強制的に止まってしまう構造になっている。図2は、この道路の舗装におけるタイヤローラの例である。まず、作業者には、IC タグを着装させる。タイヤローラは、RFID の発信機を機械の左右に取り付けて、両者の合成磁界の

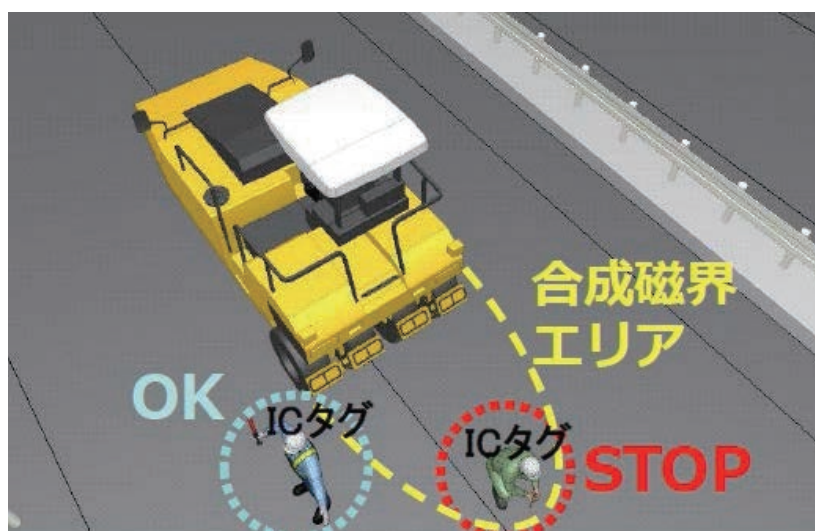


図2 Safety 2.0 適合を受けた道路の舗装におけるタイヤローラ⁶⁾

AND（共通領域）を見出して本当に危ないエリアを特定しておき，そこに作業者が入った場合には強制的にストップさせるものである。バックする場合には，音などで人間に注意を与えるが，聞き逃したり，ついうっかりしたり等で危険エリアに入ってしまう場合などを考慮して，また，本当に危ない領域を特定して運用することによって，安全性確保と生産性の両立をはかっているものである。

次に，清水建設が実装しているトンネル内での安全のための ICT 利用について紹介しよう。これも，「トンネル工事における重機接触災害リスク低減システム」⁸⁾として，Safety 2.0 適合を取得している。トンネル内では，狭いところを重機が動きまわると同時に，多くの作業員が働いており，かつ，粉塵等で見通しが悪いといった悪条件が重なっている。特にトンネルの先端の切羽が行われている場所は，土質の関係で崩壊等の危険性があり，能力の高いプロフェッショナルしか近づいてはいけないエリアである。このシステムでは，図 3 のように，トンネル内を先端に近い切羽エリアと許可エリアに分け，作業員，重機，切羽の位置などの情報をお互いに共有して，許可のない作業員が切羽エリアに入った場合や，重機の死角に作業者が入った場合には，警告

照明機器から極めて大きな警告音と極度の明るい高照度発光により知らせるようになっていいる。許可のない作業員が切羽エリアから出ない限り，また重機の死角から作業員が出ない限り作業を中止する。対象となっているのは，切羽付近で行う掘削した土砂の搬出（ずり出し）作業で，人間と機械と環境とが情報を共有して重機と作業員との接触するリスクを低減させる構造になっている。この例も，Safety 2.0 の概念を採り入れて，人と機械の協調作業を支援する協調安全の実現の例といえる。

6. 安全設計思想～ICT の安全へ適用する場合の設計思想～

昔，コンピュータが出現したころ，コンピュータを安全性実現のために使おうという期待が多く出された。しかし，当初は，むやみに使うとかえって危険になる恐れがあるという指摘であった。すなわち，電子機器の不安定性，信頼性問題，EMC（電磁干渉）問題，ソフトウェアのバグの問題等から，安易に使うべきではないという声が強かった。しかし，こんな高機能なものを安全機能実現のために使わない手はないのは，一方で，当然である。生産

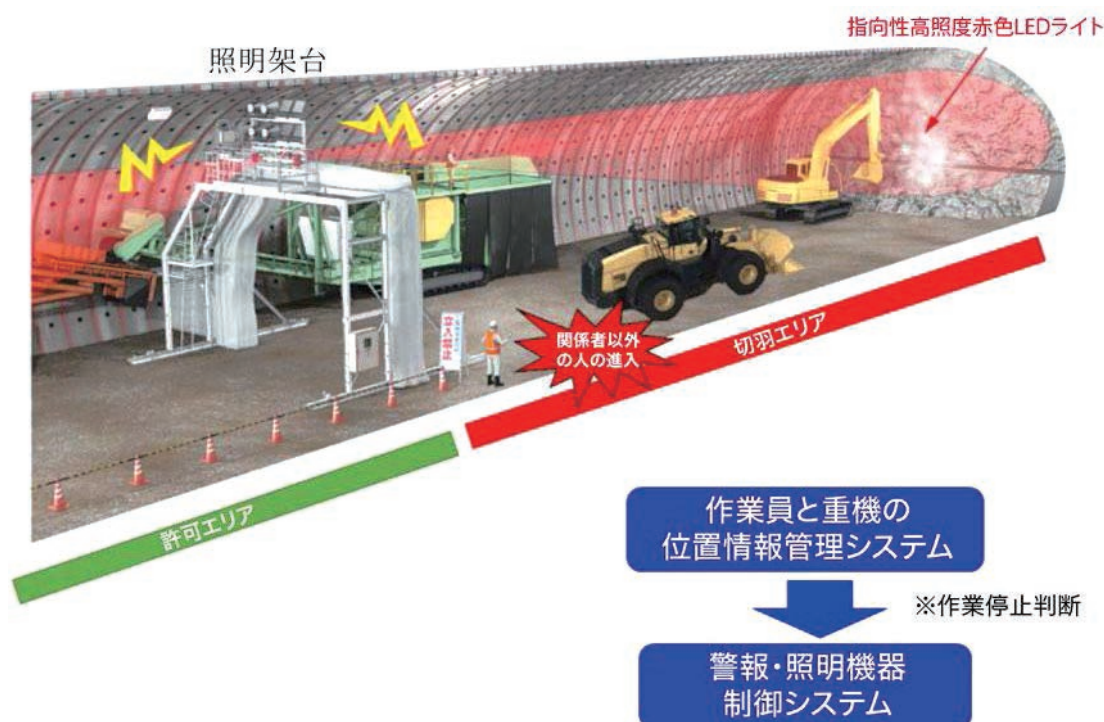


図 3 Safety 2.0 適合を受けたトンネル工事における重機接触災害リスク低減システム⁸⁾

表2 スリー・ステップ・メソッドにおける適用の順番¹⁾

第1ステップ	本質的安全設計によるリスクの低減
第2ステップ	安全防護対策(安全装置等)によるリスクの低減
第3ステップ	使用上の情報の提供によるリスクの低減

性、機能、効率化等の向上のためにコンピュータは、産業やオフィスをはじめ、どんどん導入され、社会を変えていった。しかし、コンピュータを安全のために使うためには、長い時間が必要であった。しっかりした安全設計思想の下に、コンピュータが安全のために本格的に導入されたのは、「機能安全」という概念が確立された時で、それに至るまで長い時間を要した。現在は、機能安全に基づき、例えば、自動車の自動運転のように、コンピュータなしの安全性実現は考えられない時代になっている。

コンピュータ技術をその一部に包含する ICT を、何も考えずに安全機能実現のために使うと、かえって危険になることがあることはすでに指摘した。例えば、センサーが壊れたら、ソフトウェアにミスがあったら、通信が途絶えたら、等の初歩的な問題から、AI（人工知能）に本当に安全を任せてよいのか、個人情報はどうなるのか、セキュリティー問題で悪意に人に乗っ取られたらどうなるのか等まで、考えなければならないことは山ほど出てくる。協調安全という安全思想に基づき、Safety 2.0 という新しい技術を用いて機械設備やシステム、サービス等の安全機能を実現するためには、安全設計思想はあるのだろうか。ここでは、この問題にあまり深入りせずに、その概要を述べよう。

安全設計において歴史と伝統のある機械安全では、その設計思想として、表2のスリー・ステップ・メソッドが基本となっている。この順番で設計しなければならないことになっていて、ステップ1は、本体そのものを危険でないように設計せよというもので、危ないところを作らないように設計せよ、壊れないように信頼性高く設計せよ等ということである。その次には、第2ステップとして、危ないところに近づけさせないように防護柵を設けたり、危なくなったら機械設備を止めたり、警報を発して人に知らせるような対策を施せ、すなわち安全装置を設置しろということである。しかし、建設業



図4 使用者により講じられる防護方策

では、現実には、人間と機械設備を分離することができない場合が多い。次の第3ステップは、危険な場所、その内容、対処の仕方を前もって情報として使用者に提供をしておけということである。ここまでが機械設備側の安全方策として、設計者の役割であり、この使用上の情報を貰って、人間側である使用者が講じなければならない防護方策が図4にある、組織、安全防護柵、保護具、訓練である。

それでは、Safety 2.0 という安全技術は、どこの段階で用いるべきであろうか。もちろん、機能安全と同様にステップ2でその実力を発揮することができる。ただし、Safety 2.0 と機能安全との根本的な違いは、Safety 2.0 は、人間が関与する第3ステップでも大きな力を発揮することにある。安全設計での第3ステップは、使用上の情報の提供だけであるが、建設現場での労働安全は、この情報を利用して人間側が自ら安全を実現するところに重要さがある。すなわち、技術だけでなく、人間も含めて一緒に安全を実現するところにある。

前章で多少紹介したが、もう一度、Safety 2.0 で具体的に、何ができるかを例で考えてみよう。例えば、人間にバイタルメーター(体温や心拍数、呼吸、血圧、尿量等に関するデータを検出する装置)やRFID(Radio Frequency Identifier: 無線などを用いて近距離で情報をやりとりする装置)等を付けることで、作業員個人の存在場所の情報だけでなく、体

調や経験・資格情報等を機械設備側や環境側に提供する。こうすれば、技術的には、作業者の体調、経験・資格に基づいて機械設備側が過去のデータに基づくヒューマンエラー防止のための警告を出したり、近づいても止めないでゆっくり動いたり、近づきすぎたら、ロボットの方が衝突を自動的に避けたりすることが可能になるかもしれない。経営的には、体調を考慮した適切な健康管理、経験や資格に基づいた作業管理、ルールに基づく行動範囲決定の可能性もある。安全の自動的確保やヒューマンエラーの防止にも大いに貢献して、安全と生産性を両立させることが可能になるだろう。また、人間の能力や感性を引き出すために、安全の見える化することもできるだろう。更に、これまで困難であった動的な安全管理の実現等に貢献だろう。こう考えると、Safety 2.0 は、人間と技術と、更に組織の三者を結びつけて安全を実現していることになる。機能安全は、技術だけで安全を確保することを狙っているが、Safety 2.0 は、技術を飛び出して、人間や環境と協調して安全を確保することに貢献していることになる。

以上のように、Safety 2.0 を用いる場合の安全設計思想は、技術的には、ステップ1の本質的安全を大前提にしている。更に、ステップ2で機能安全と同様な使い方をすることができる。そして、その上で、人間に注意を与えたり、人間に示唆を与えたり、人間と共に創造的に安全を実現するという観点で用いるべきである。これらの思想なしに、ICTを安全機能の発揮にむやみに用いると、前述したように、かえって危険になることがあり得ることを肝に銘ずるべきである。

7. あとがき

ICTを活用することで、各種の組織内で働く人々を統一的に、一括して管理することができるようになるだろう。その中で、Safety 2.0 と協調安全を用いることで、これまで技術や組織が主になりがちだった安全の分野に、本当は最も大事であった人間を表に出すことができるようになる。すなわち、作業者の能力を評価して、適切に能力を発揮してもらうなどして、作業者の安全と共に人間の健康、幸福

にまで高めることができるようになるだろう。

最後に、安全の観点から、将来の建設業界が他の業界の負けないだけの魅力ある業界になるにはどうすれば良いかについて考えてみよう。技術的な面からは、上で紹介した Safety 2.0 や協調安全の本格的な採用が重要であろう。

人間的な面からの現在の問題点は、建設業界の職場は敬遠され、若い人が入ってこないことだろう。その最も大きな原因は、蟹澤氏のレポートにあるように⁹⁾、年齢のピークと給与のピークが一致しているという事実が物語っている。これは、経験が重視されていない業界であることを意味していて、魅力ある職場になっていないので、優秀な人は末端では集まらないということになる。確かに、建設関係の大手企業には、優秀な人が多く、我が国の建設業を支えているのは事実であるが、本当に、現場で働き、実際の事故に会うのは、末端の小さな下請けのところが多いという事実、これが無くならない限り、被害者を減らすことも、魅力的な職場になることもできないだろう。これを避けるには、安全面での教育を重視し、安全の資格制度を定着させて、危ない仕事は日雇いや非正規職員などの非専門家にはやらせるのではなく、資格を持ったプロフェッショナルである専門家に任せ、その給与を高くし、経験を尊重することである。こうすれば、労働災害を減らすことができるだけでなく、魅力的な職場になるはずである。危ない仕事を下の現場に押しつけて安い給与で働かせ、高い給与をもらっている正規職員たちは、危なくない職場で指示を出しているだけという構図は、(もうそういう職場はもうないかもしれないが、) 根本的に間違っている。

組織的な面からの提案としては、上記の人間的な面とも関連するが、多重請負契約となっていて、末端まで、管理しきれていないのが、労働災害が多い原因の一つとなっていることの解消である。前述したように安全資格者制度を確立し、安全のプロフェッショナルを重視して、末端まで安全管理を行き届かせる必要がある。そこには、コストと責任の問題がでてくる。安全にかかる金は、決してコストではなく先行投資であり、長期的に見れば結局は安く済むという事実を知るべきである。一方、責任の問題についても、すべての責任を元請が持つことになって

いるが、予算を握っているのは、本当は発注者である。安全問題も含めて、本来は、発注者責任とすべきであるという主張は²⁾、かなり、本質を捉えているのではないかと考えている。

最後に、機械安全の立場から、建築工事や土木工事等における機械設備の安全化の問題を指摘しておこう。現場で使う機械設備の安全化に掛ける費用は、受注者に委ねられていて、現実には、安全対策が取られないまま機械設備を現場では使うことになりがちであるという。更に、ここでの根本的な問題は、設備機械には、本来、スリー・ステップ・メソッドに従って、安全装置が標準でついて販売されているべきものなのに、日本の場合には、危ない機械を売っておいて、安全設備は、受注者や使用者が付けるというオプションの形が多く、それが許されているということである。これでは、危ない機械設備を作業者が注意をしながら使うという、まさに Safety 0.0 の時代のままであり、現場での労働災害が減らないのは当然と思われる。「機械設備には、安全装置が付いているのが標準である」という常識を是非とも定着させたいものである。その上で、はじめて、Safety 2.0 や協調安全が効力を発揮する。

参考文献

- 1) 向殿政男, 入門テキスト安全学, 東洋経済新報社, 2016-3
- 2) 向殿政男, 安全学からみた建設業に関する安全について 特別寄稿, 道路建設, No. 777, PP. 9-14, 日本道路建設業協会, 2019-11
- 3) 向殿政男, Safety 2.0 とは何か? ~ 隔離の安全から協調安全へ ~ 中災防ブックレット中央労働災害防止協会, 2019-5
- 4) 向殿政男, 新しい時代の安全・安心を創る ~ Safety 2.0 と協調安全 ~ 一橋ビジネスレビュー 2019 WIN, pp. 8-17, 東洋経済新報社, 2019-12
- 5) Safety 2.0 適合審査登録制度, (一社) セーフティグローバル推進機構 <https://institute-gsafety.com/safety2/guide/>
- 6) 泉 秀俊, 相田 尚, 宮本多佳, (株) NIPPO における Safety 2.0 への取組み ~ 舗装用機械の自動停止システムを中心として ~, 第 8 回横幹連合コンファレンス, 2017-12
- 7) 日経 CONSTRUCTION, 重篤災害防ぐ技術に「適合マーク」, NIKKEI CONSTRUCTION, 2018-9-10
- 8) 清水建設, 重機接触災害リスク低減システムが技術認証「Safety 2.0」を取得, <https://www.shimz.co.jp/company/about/news-release/2020/2019048.html>
- 9) 蟹澤宏剛, 建設業の重層下請構造の実態と技術者の処遇, 2016 総研レポート, Vol. 15, pp. 1-6, (一財) 建物物価調査会総合研究所, 2016