

建設 DX による新しい無人重機施工への挑戦

プロセス変革と新技術の融合

杉 浦 伸 哉

建設重機を無人で自動自律で動かし、土木工事をさせることが究極の省人化であることは誰もが納得する取り組みである。その一方で、まだ技術開発中のものが多く、本格的に利用することは先だと言われることも多い。

2024 年 4 月に発表された i-Construction 2.0 で提唱されている 3 つの柱の「施工のオートメーション化」、「データ連携のオートメーション化」、「施工管理のオートメーション化」は無人重機施工の究極の姿とみられるべきだと考える。

本論文では、無人重機施工を進めるための取り組みとして、4 つの課題を整理し、その課題における現状と今後の方向性を示す。

キーワード：無人重機施工、省人化、プロセス変革、エコシステム、技術課題、運用課題、事業課題、規制課題

1. はじめに

少子高齢化など日本の建設業界が抱える課題は多い。そのために必要な施策を含め、官民挙げて課題解決に取り組んでいる。2024 年 4 月に国土交通省が発表した i-Construction 2.0 は 2016 年に発表した i-Construction のさらなる生産性向上の取り組みとして発表された。

その中には、3 つの施策があり「施工のオートメーション化」「データ連携のオートメーション化」「施工管理のオートメーション化」が掲載されており、今後建設業界が向かうべき方向が示された。

これらは、以前の i-Construction 以上にデータドリブンで建設事業を進める流れが明確に示されているわ

けだが、特に今回はこの中の「施工のオートメーション化」に注目し、実施に向けた課題整理と対応策などについて述べたい。

2. 課題の整理

重機の自動自律施工を進めるためには、以下の 4 つの課題があると考え（図－1）。

①として挙げたのは技術課題である。建設重機をそもそもどのように自動自律させるのか、自動自律稼働させるためにはどのような技術課題があるのかを提示し、次に、この技術をどのように誰が使うのか、使うためにはどのような考えが必要なのかという観点で②として運用課題を提示する。



図－1 4つの課題

次に、このような技術や利用環境について持続的利用環境を構築する必要がある、③として事業課題を提示した。技術や運用が備わったとしても、それが持続可能に使われる環境を構築する必要が必須である。最後に④として規制課題を挙げた。規制課題とはこのような自動自律を使う場合の安全への考え方について、従来の労働安全衛生法で果たしてこれらを使うために必要な安全の考え方が担保できるのか、という観点について述べたいと思う。

では以下にそれぞれに課題の深掘りとそれを解決するための方策について述べていく。

3. 技術課題の深掘り

建設機械が自動自律で動き始めた歴史は今から30年前に遡る。図—2を見ていただきたい。

CATERPILLARは今から30年前から研究開発を行い、コマツも同様に技術開発を行ってきた。2008

年にはコマツが世界初となる商用導入を行い、5年遅れて2013年にはCATERPILLARも6台の商用導入を行っている。ともに鉱山業界での導入となっている。

さて、このような自動自律を行うためのシステムの概略図を以下に示す(図—3)。

一番下のレイヤが重機そのものであり、その重機を電気信号で稼働させるために必要なBOXがDBW(Drive-By-Wire)である。そのDBWに制御信号を送るのがACSであり、そのACSで判断するためには位置情報である、GNSS情報や人間の目となるセンサー系(LiDARやRADARやカメラなど)が装着されている。それらを全体マネジメントするのが、ここではFMS(Fleet Management System)であり、これで、重機のコントロールを行う。最後に施工全体を計画するためのレイヤとしてCMS(Construction Management System)があり、それぞれの機能について図の右には現在の土木施工管理をするための役割の人のイメージを付けている。

CATERPILLAR®



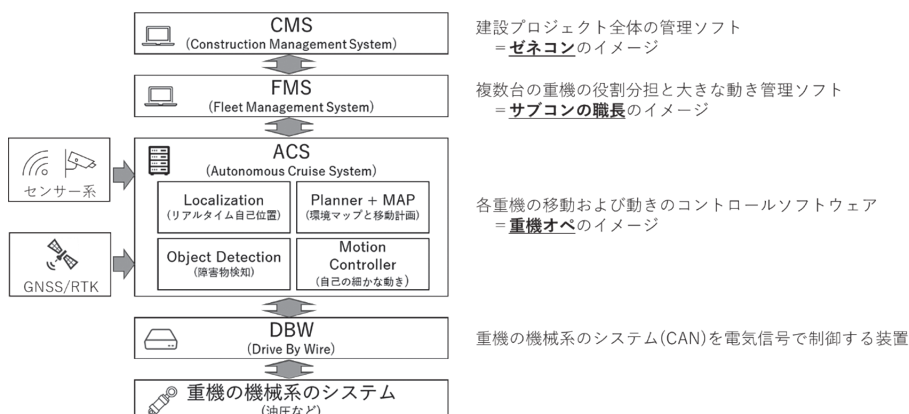
- ・30年以上研究開発
- ・282台以上かつ、7200万km以上の走行
(乗用車の自律運転メーカーの倍以上@発表当時)
- ・21億トン以上の累計輸送を安全に実施
- ・通常2倍の輸送量を達成
- ・南北アメリカ・オーストラリアで実装

KOMATSU



- ・鉱山向け無人ダンプトラック運行システム
(Autonomous Haulage System)として販売
- ・2005年にチリの銅山で試験導入
- ・2008年1月に世界初に商用導入
- ・20億トン以上の累計輸送を実施@2018末
- ・累計輸送が30億トン突破
- ・オーストラリア、カナダ、ブラジルで実装
- ・2020年にレトロフィット100台導入増加

図—2 鉱山業界での自動自律重機稼働の歴史



図—3 自動自律系のシステム構成図

建設現場においては、複数の重機メーカーや機種が投入されている。そのため、重機メーカーの1社だけがこのような技術ができて現場導入は難しい。さらに、そもそも重機を自動自律化するために必要なDBWについては、重機メーカーが自らの製品に搭載し、自動自律のための口を準備いただくことが重要だと考えるが、現状ではその取組みは、まだ一部の限定的な対応にとどまっている。さらには、FMSも複数重機メーカーや機種をコントロールするような製品がまだ出ておらず、メーカー限定や機種限定という動きにとどまっているのが実態である。

複数のセンサーデータを統合活用し、ACSで処理を行うといったセンサーフュージョンについても、安定した動きになるまでの調整に時間がかかるなど、技術的な課題の解決が求められている。

ただしこれら技術的課題は、昨今のAIの発達やセンサー機器類の高品質低価格化の流れにより、1年毎に性能が倍、コストは半分になる傾向があるため、2～3年経過すれば、求める技術は追求され、課題の解決が図られる流れになると思われる。

4. 運用課題の深掘り

さて、技術課題がクリアする方向性は見えてきているが、次はこれらの技術を「活用できるのか」という運用課題に注目してみたい。

技術があっても使えない、という声はよく聞くが、この「使えない」という言葉が何を意味しているのかを明確にしてみたい。当然ながら、重機の動き方などの技術的課題がある場合には問題外であるが、一般的に言われる「使えない」というのが「利用者が誰か」「その利用者がこのような重機を使いこなせるのか」「そもそもこのような重機をどのタイミングでどうやって使うのか」という部分が往々にして課題になっている。

例えば施工計画を立てるにも、現状の発注図から元請けである建設会社が効率の良い施工方法を検討し、それを協力会社と議論しながら、彼らに重機を使い施工を再下請負してもらい、品質や出来形管理を建設会社が発注者に確認してもらいながら施工を進める、という従来のプロセスがある。このプロセスに自律建機を当てはめようとしたら、どういう議論になるかを考えていただきたい。

当然、現状のプロセスであれば、自動自律建機を使うのは協力会社であり、元請けである建設会社ではなくなる。協力会社は建設会社が立てる計画の部分には深く関わらないため、自動自律重機の機能を最大限発

- **費用対効果**の見込める初期投資と利用者の利益
- 自律運転を前提とした**施工計画**（安全対策、工区割、歩掛の向上、休憩なし、24時間駆動など）
- 新しい**プロセスの実行**
- 発注者を含めた**多様なステークホルダーの全体コーディネート**

図—4 自動自律建機を運用するための課題

揮するような使い方をすることは難しくなるであろう。また、これらの重機を使うためには、全体工程を最適化するための利用時間や使う場所などにも工夫が必要になり、結果これらのコーディネータをしっかりと必要が出てくるが、それは誰が担うのか、などの問題もやってみないとわからないというのが実態である。

これらの課題を解決するためには、図—4のような整理を行い、それを誰がどのように解決するのかを決めなければならない。

また、現状における土木施工のプロセスを可視化し、どのプロセスにこの技術を使うのが効果があるのか、また、この技術を使うためには、どんなプロセスに変えなければならないのか、というプロセスに関する議論も重要である。ここをおざなりにして技術だけを使おうとすると、途端に「この技術は今の施工プロセスでは準備や利用に時間や人手がかかるため、効率が上がらないため使えない」という議論に陥るのである。

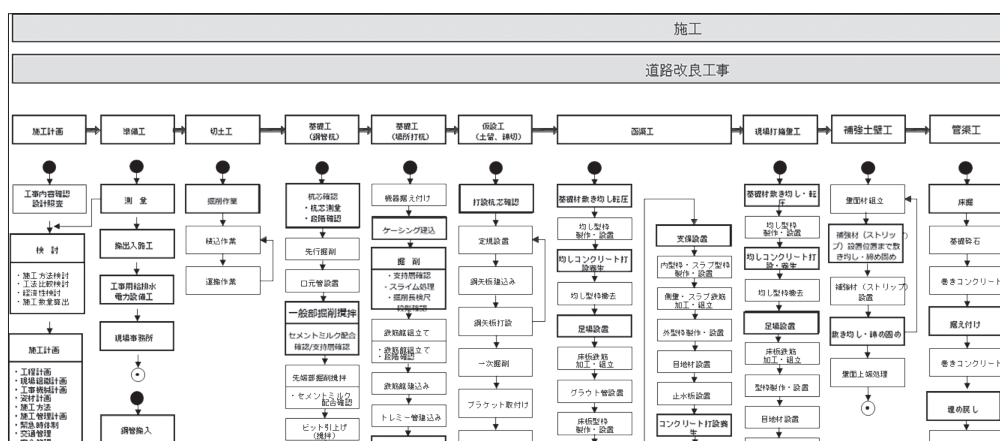
よって、まずはこの技術をしっかりとつかうためには、現状のプロセスを分析し、その分析ができて利用価値を判断でき、全体施工をコーディネートしながら対応できる「人」もしくは「組織」がなければならないと考える。

図—5は現状の作業タスクを全て書き出したプロセス分析例である。図—6はよく皆さんが目にする作業フロー図である。そちらもプロセスを示しているものであることに間違いはないが、実はこの2つには大きな差がある。一般的にプロセスを分析するためにつくられるのは、図—6の方であるが、実はこのプロセスでは粒度が荒すぎて分析という行為には向かない。

私の経験からすると、図—5のような非常に細かな作業タスクを書き出し、誰が何の目的でこのタスクを実行しているのか、という観点も連携させながらタスクリストを作成し、このタスク分析をしっかりと行い、どの部分をこの技術を使って変えられるのかを議

[illegible]

図—5 作業タスクを記した事例



図—6 作業フローを記した事例

論し、その部分を的確に押さえた上で、利用環境を整える流れをつくらなければならない。

実はこの作業がこの技術を使うためには重要で、これこそが建設 DX と言われる所以である。この作業なしでこの技術は使えないと思われる。

5. 事業課題の深掘り

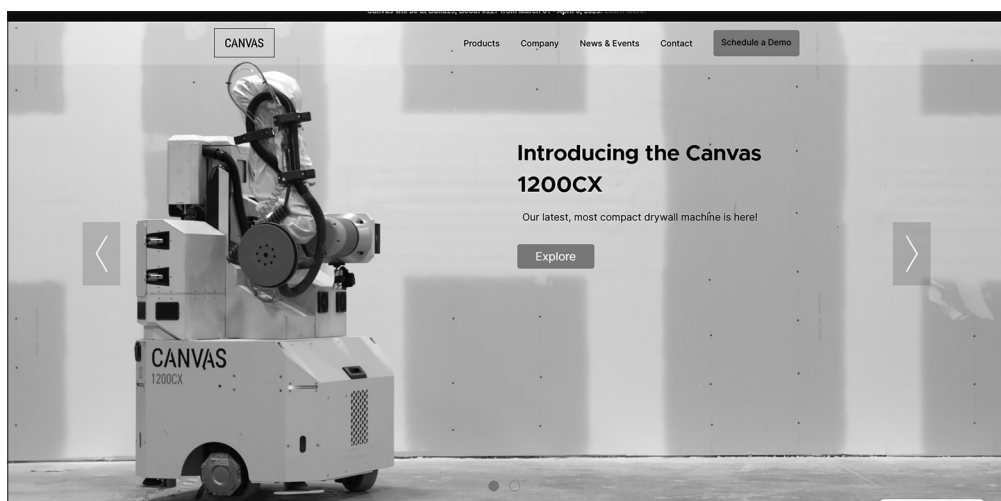
事業課題についての深掘りを行ってみたい。一口に事業課題といっても領域が広すぎるので、ここでは、実際にこの技術が持続可能に利用できる環境を構築するにはどうしたらよいかという観点で話を進めてみたいと思う。

まずは組織としての対応を考えてみたい。自動自律重機を活用して、施工で利用するためにはどうしたらよいか。3の運用課題の深掘りでも記述したが、運用を上手に進めるのは誰なのかという問題である。もう少し深掘りすると、事業をするために必要な十分な組織能力（HWメンテ、SWメンテ、現場プロセス変更、規制）を誰が持っていて運営できるのかという観点である。

日本では施工会社が計画をして自ら施工する場合や、その内容を協力会社に依頼して進めていることが一般的であるが、この技術は自動自律重機の特性を理解し、最大の効果を発揮する使い方をすることが求められる。よって施工会社と協力会社がともに協働しながら使う場合もあれば、土木施工を理解しこの技術の肝や使い方を十分理解している新しい人たちが出てきて使う場合もあるであろう。

この議論は様々な出口がありこれが正解というものはないが、北米や中国、EUを含めて、このような自動自律重機を扱っている Startup などが結局はプロセスを変えられない利用者を前に、自ら請負して仕事をしていくという流れがでてきている。これを昨今は「Tech Enabler Company」と表現される。

特にロボット関連の企業はこのような Tech Enabler Company となり事業を進めていることが多くなってきている。ただし、一時的にこの取組みをしている企業も実は機能を使うための業務プロセスを理解しているわけではないため、長く続くとは思えない。実際に北米ではあるロボット企業 CANVAS が Tech Enabler Company として請負工事を行い、その中で



図—7 北米で事業展開している CANVAS
<https://www.canvas.build/>

自社のロボットの機能アップをして、ロボットの機能向上を行ったという事例もある（図—7）。

本来このような機能を「使う組織・人」は、業務プロセスを理解しており、機能も理解していることが重要で、この2面性をもった組織や人が、どの施工場所で使おうとするかという観点で考えることが重要である。これができる組織・人がまずは事業継続をしていくためには重要である。

あとはコスト的に使える価格帯になっているのではないかとこの部分が大きいだろう。そのためには、一社で全ての課題を解決して、自社だけでその技術を構築しようと思わずに、関係者と上手にエコシステムを構築するのが重要である。それを進めるためには、どこが協調領域なのか、競争領域なのかをしっかりと理解して進めるべきである。協調領域はエコシステムが構築されない限り、達成されないのではないかと思います。

6. 規制課題の深掘り

最後に、この規制課題の深掘りを述べたい。

自動自律重機を使う実際に業務で使うための最大の課題は「安全ルール」である。そもそも建設分野における安全は、労働安全衛生法は労働者の安全と健康を守り、快適な労働環境を整備することを目的とした法律であり、建設分野ではそれに適合した現場環境やルールが求められる。そのため、新技術を活用する場合の安全に関する考え方は、不確実性を確実に回避するための措置が過剰となり、技術を生かすことが難しい対応を迫られる。なので、新技術活用など時代に即した安全に関する検討を行う体制が整備されておら

ず、常に「現状の安全に関する考え方」を基本とした検討を行うため、過剰な安全対策を求められることが多い。

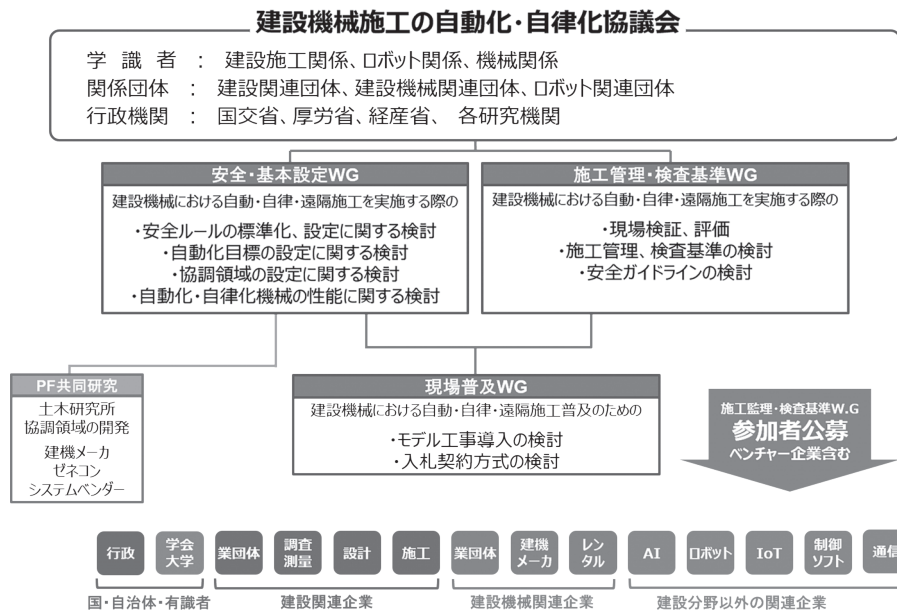
このような状況について、どのような対応ができるのか、あるいは、どのように議論を進めることができるのかという観点で、2022年3月に国土交通省が主管となり、建設機械施工の自動化・自律化協議会が立ち上がっている（図—8）。

令和7年3月に最新の安全ルール（図—9）は提示されているが、このルールがあるからといってすぐにこの自動自律重機を利用することは難しい。まだ、考え方や注意点を示しているルールではあるが、一定程度これらの考え方や注意点を理解して今後この技術の利用を検討していく上で重要なものである。

特に「3. 安全性確保のための関係者の役割及びリスクアセスメント」については、製造者、販売者、施工者のそれぞれが、利用立場でリスクを共有し、会話を通じてリスクアセスメントを高めていくことが記載されているが、昨今このような技術を利用する場合、機能安全に意識が集中しすぎ、機械安全重視の傾向が見られるが、今回のこのルールはまずは互いのリスクが何かを理解し、そこから安全をどのように確保するかということを求めている。

これらを解決する手段として昨今「協調安全」というキーワードが、（一社）セーフティグローバル推進機構の建設委員会で議論が進んでいる（図—10）。

協調安全とは、人、機械、環境が情報を共有し、協調して安全を確保する概念であり、情報通信技術（ICT）などのツールを活用しながら、人と機械が共存する環境での安全を実現するものと位置づけられて



図— 8 2022 年 3 月に立ち上がった協議会
https://www.mlit.go.jp/tec/constplan/sosei_constplan_tk_000049.html

自動施工における安全ルール 令和 7 年 3 月 国土交通省 大臣官房 参事官（イノベーション）グループ	目次 <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>1. 本ルールの役割、位置づけ</td> <td style="text-align: right;">3</td> </tr> <tr> <td>1. 1 概要</td> <td style="text-align: right;">3</td> </tr> <tr> <td>1. 2 対象とする工程等</td> <td style="text-align: right;">4</td> </tr> <tr> <td>2. 用語の定義</td> <td style="text-align: right;">4</td> </tr> <tr> <td>3. 安全性確保のための関係者の役割及びリスクアセスメント</td> <td style="text-align: right;">6</td> </tr> <tr> <td>3. 1 安全性確保の原則</td> <td style="text-align: right;">6</td> </tr> <tr> <td>3. 2 安全性確保のための関係者の役割</td> <td style="text-align: right;">6</td> </tr> <tr> <td>3. 2. 1 製造者等</td> <td style="text-align: right;">6</td> </tr> <tr> <td>3. 2. 2 販売者等</td> <td style="text-align: right;">6</td> </tr> <tr> <td>3. 2. 3 施工者等</td> <td style="text-align: right;">6</td> </tr> <tr> <td>3. 2. 4 使用者等</td> <td style="text-align: right;">7</td> </tr> <tr> <td>3. 3 リスクアセスメント</td> <td style="text-align: right;">7</td> </tr> <tr> <td>4. 自動施工における安全方策</td> <td style="text-align: right;">9</td> </tr> <tr> <td>4. 1 エリアの設定</td> <td style="text-align: right;">9</td> </tr> <tr> <td>4. 2 エリアの管理</td> <td style="text-align: right;">10</td> </tr> <tr> <td>4. 3 エリアの運用と安全方策</td> <td style="text-align: right;">10</td> </tr> <tr> <td>5. 自動建設機械や設備に求める安全方策に必要な機能</td> <td style="text-align: right;">12</td> </tr> </table>	1. 本ルールの役割、位置づけ	3	1. 1 概要	3	1. 2 対象とする工程等	4	2. 用語の定義	4	3. 安全性確保のための関係者の役割及びリスクアセスメント	6	3. 1 安全性確保の原則	6	3. 2 安全性確保のための関係者の役割	6	3. 2. 1 製造者等	6	3. 2. 2 販売者等	6	3. 2. 3 施工者等	6	3. 2. 4 使用者等	7	3. 3 リスクアセスメント	7	4. 自動施工における安全方策	9	4. 1 エリアの設定	9	4. 2 エリアの管理	10	4. 3 エリアの運用と安全方策	10	5. 自動建設機械や設備に求める安全方策に必要な機能	12
1. 本ルールの役割、位置づけ	3																																		
1. 1 概要	3																																		
1. 2 対象とする工程等	4																																		
2. 用語の定義	4																																		
3. 安全性確保のための関係者の役割及びリスクアセスメント	6																																		
3. 1 安全性確保の原則	6																																		
3. 2 安全性確保のための関係者の役割	6																																		
3. 2. 1 製造者等	6																																		
3. 2. 2 販売者等	6																																		
3. 2. 3 施工者等	6																																		
3. 2. 4 使用者等	7																																		
3. 3 リスクアセスメント	7																																		
4. 自動施工における安全方策	9																																		
4. 1 エリアの設定	9																																		
4. 2 エリアの管理	10																																		
4. 3 エリアの運用と安全方策	10																																		
5. 自動建設機械や設備に求める安全方策に必要な機能	12																																		

図— 9 2025 年 3 月に公開された最新の自動施工に関する安全ルール

IGSAPについて 委員会・部会 活動内容 認証制度 イベント SA協議会	
IGSAPについて 概要・理念	
ホーム > IGSAPについて > 概要・理念 IGSAPについて - 会長あいさつ - 概要・理念 - 役員一覧 - 会員一覧・関係団体 - 組織図 - 事業報告・決算報告 - 定款・規程 - 所在地	技術で、働く人の安全・健康・ウェルビーイングを実現する IGSAP セーフティグローバル推進機構（IGSAP）は、新しい安全の概念／技術「協調安全／Safety 2.0」を提唱し、その普及・推進を通して、働く人の安全と企業価値の向上に貢献することを目的に2016年7月に設立されました。 「協調安全／Safety 2.0」とは、ICT（情報通信技術）などのデジタル技術を活用し、人と機械と環境が互いの情報を共有・連携しながら人の安全を自律的に確保する、まさにSociety 5.0時代の安全の概念／技術です。提唱者であり安全学の第一人者である、IGSAPの取締役会長から世界に発信されると、欧州を中心に海外の多くの専門機関や企業などに受け入れられ、現在では国際標準化に向けて歩みを進めています。 さらに「協調安全／Safety 2.0」においては、人を中心に据え、働く人のやりがいや生きがいを高めることを目指しています。実は、この考え方は、働く人の安全・健康・ウェルビーイングを実現する世界の一大潮流「ビジョン・ゼロ」と軌を一にすることから、IGSAPはビジョン・ゼロ活動に参画。2022年5月には「第2回 ビジョン・ゼロ サミット ジャパン2022」を主催するなど、現在では世界のビジョン・ゼロ活動の中心メンバーとして多数の海外機関・企業と連携しながら、働く人の安全・健康・ウェルビーイングを推進しています。 その取り組みは、「技術」「マネジメント」「人材」「ルール形成」の4側面から展開する「ホリスティック・アプローチ」と呼ぶものです。とりわけ「技術」の側面では、Safety 2.0を基盤とした、技術で、働く人のウェルビーイングを高める「ウェルビーイング・テック」を提唱し、この分野でも世界をリードしています。

図— 10 協調安全などを議論している（一社）セーフティグローバル推進機構
<https://institute-gsafety.com/about/outline/>

いる。まだ正式なイメージは構築されていないが、このような団体とも建設業界全体で連携しながら、新技術を使った現場の安全をどのように確立していくかの議論をしていく必要がある。

7. おわりに

生産性向上、省人化、時間外労働規制、4週8休、人材確保など、建設業が置かれている状況は社会のインフラ老朽化や持続可能な社会インフラの整備を含め、求められるニーズと、建設業界全体が置かれている環境の厳しさと、どのように関わって課題解決をすべきか、議論を尽くしても尽くしきれないほど多くの課題を解決していかなければならない。

そのような中において、本技術の利用は有望な解決策の1つであると思うが、一方で利用するための考え方やエコシステムの構築をしっかりと進めなければ、単なる技術主導で、建設業界での利用は特定の部分、特定の企業しか利用できないものになってしまいかねな

い状況である。

本投稿はこれらの課題を4つの課題に分類し、それぞれの課題とどのような解決策があるのかを提示したが、ここで述べた内容が必ずしも正しい課題や解決策であるとも思っていない。あくまでも1つの事例であり、この課題の整理や課題の解決を進めるためには、業界や産業界を超えたエコシステムの構築が重要である。

エコシステムを構築し、仲間を集い、本当の意味の社会課題を解決するための取組みとして、進めていきたいと考えている。

J C M A

【筆者紹介】

杉浦 伸哉（すぎうら しんや）
㈱大林組
ビジネスイノベーション推進室
部長

