

## JCMA 報告

平成 24 年度  
「建設施工と建設機械シンポジウム」開催報告(その3)

パネルディスカッション  
「岐路に立つ無人化施工」

## ◆コーディネーター

建山 和由氏 (立命館大学理工学部)

## ●パネリスト

油田 信一氏 (芝浦工業大学工学部)

【ロボット研究者】

田村 圭司氏 (砂防・地すべり技術センター)

【砂防関係者】

植木 陸央氏 (建設無人化施工協会, 鹿島建設㈱)

【関連協会関係者】

北原 成郎氏 (土木学会建設用ロボット委員会, ㈱熊谷組)

【関連学会関係者】

宮武 一郎氏 (国土交通省公共事業企画調整課)

【行政関係者】

平成 24 年 11 月 7, 8 日に当協会主催による「建設施工と建設機械シンポジウム」が開催されました。

その中で、「岐路に立つ無人化施工」と題して、コーディネーターに立命館大学理工学部教授の建山和由氏を迎え、パネリストにはロボット研究者、砂防関係者、関連協会、土木学会、行政の関係者として 5 氏に参加いただいてパネルディスカッションが行われました。

各パネリストから無人化施工の事例紹介、現状と課題、最近の取り組み等が発表された後、ディスカッションを行いました。

最後にコーディネーターの建山氏より、これまで発展し効果を上げてきた無人化施工技術をさらに発展させるためには、産学官が連携しながら普段でも汎用的に使えるフィールドを用意すること、また、ロボット分野の方々と一緒に更に技術を高めていく努力の必要性が総括され、終了しました。

コーディネーター及びパネリストから提供された無人化施工に関する多くの有意義な情報、意見等を機関誌に掲載して、広く皆様に知っていただく目的で今回ご報告することとしました。

## 1. パネルディスカッションの趣旨説明

## ◆コーディネーター

昨年の東日本大震災あるいは近畿地方で起きた豪雨災害では、人が危なくて入ることができない所に無人化施工技術を適用して、随分と効果を上げ、我々建設以外の部門の方々からも注目されました。

ただ、将来を考えた時に無人化施工技術が、このまま有用な技術として生き残っていきけるのかということ、実は難しい点が多々あるということもわかってきました。

その意味では、本日のタイトルにあるように無人化施工は正しく岐路に立っていると言えます。本日は、無人化施工をどのように発展させていくのか、あるいは、そのために何をしなければならないのかということ、パネリストの皆様と議論していきたいと思えます。

最初に、無人化施工と建設用ロボットという、本日のパネルディスカッションのキーワードを確認したいと思います(図—1)。「無人化施工」とは、災害等危険な場所に人が立ち入ることができない場所で、必要な工事を行う施工法と言えます。その中で主役を果たすのが建設用ロボットです。建設機械に何らかの自動制御、または遠隔制御の機能を付加することによって、効率、施工性、精度、あるいは安全性といった性能の向上を可能にした機械と言えます。本日は無人化施工、特に建設用ロボットを中心に、これからの発展性、その必要性と方法論について議論していきたいと思えます。

**無人化施工とは、**

**災害等危険な場所に人が立ち入ること無く、必要な工事を行う施工法**

**建設用ロボットとは、**

**建設機械に何らかの自動制御、または遠隔制御の機能を付加することにより、  
効率、施工性、精度、安全性  
などの性能の向上を可能にした機械。**

図—1 パネルディスカッションのキーワード

本日は 5 名のパネリストの皆様と議論していきます。もちろん、フロアからも積極的にご意見をいただく時間も設ける予定ですのでどうぞよろしくお願ひします。

先ほど少しお話ししましたように、昨年度の災害におきまして無人化施工技術が実用的に優れた技術であることが検証されました。なぜ、そういったことが可

能になったのかということも含め、無人化施工の到達点をここで振り返ってみたいと思います。

そのために、最初に砂防関係者の代表ということで田村さんに砂防事業から飛躍的に発展してきた無人化施工についてのご説明をお願いします。

## 2. 砂防事業における無人化施工の活用と変遷

### ●田村氏

砂防における無人化施工は、この写真にあるように雲仙普賢岳の災害が大きいきっかけになっています(写真—1)。雲仙の復興対策の工事ですが、皆さん御存じのとおり火砕流は何千回も出る、土石流も何百回も出るという中で、早期に施設の効果を発現させなければいけないということがありました。しかも、その中で作業するわけですから、作業員の安全確保が必要だということがあります(図—2)。

警戒区域内、つまり、災対法に基づく立入禁止区域、原発事故で設定されたものと同じ警戒区域で工事をするということで、無人化施工技術を積極的に活用せざるを得なかった現状がありました。以前にも幾つか遠隔操作のような施工はありましたが、近代の無人化施工の発祥の地であろうと考えています。

砂防でどんなことをやったかと言うと、幾つかの条



写真—1 雲仙普賢岳の全景

火砕流・土石流の頻発化状況から雲仙復興対策工事では、  
 ①早期施設効果の発現  
 ②作業員の安全確保  
 が求められた。  
 ⇒警戒区域内で防災・減災工事を実施する必要性が高く、無人化施工技術を積極的に活用。  
 → 近代無人化施工発祥の地

図—2 無人化施工の背景

件を付して民間から技術を公募しました(図—3)。大きな岩を砕く必要から礫の粉碎が可能であることから、それから火砕流や土石流が出る中での作業となることから、一時的に温度100度、湿度100%の中でも運転ができること、更に入れないことから100m以上の遠隔操作が可能なことという条件を付して、無人化施工の技術を公募しました。その中で、平成6年1月から試験フィールド制度として、まず除石工事から始めました(写真—2)。

次に、平成7年12月には砂防ダムと言われている砂防堰堤工事に無人化施工で着手しました(図—4)。

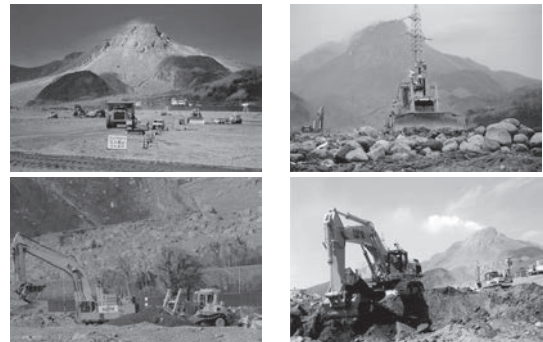
平成5年(1993)、国土交通省(当時建設省)は、火砕流が到達する危険がある警戒区域内でも安全に土石流堆積物を掘削・搬出できる施工技術を民間から公募

無人化施工の公募条件

	技術の内容	技術水準
1	不均一な土砂の状態であつ、岩の破碎を伴う掘削と運搬。	直径2~3m程度の礫の破碎が可能であること。
2	現地の温度、湿度条件に対応可能。	一時的に温度100℃、湿度100%程度の状況下でも運転可能。
3	施工機械を遠隔操作することが可能。	100m以上の遠隔操作が可能なこと。

図—3 無人化施工技術の活用(無人化施工の公募条件)

### ○平成6年1月～(試験フィールド制度) 警戒区域内の河道内堆積土砂の除石を実施



写真—2 無人化施工の活用(試験フィールド制度による無人化施工)

### ○平成7年12月～(水無川1号砂防堰堤から) 警戒区域内の砂防施設構築に活用 (RCC工法, INSEM工法)



図—4 無人化施工技術の活用拡大(警戒区域内の砂防施設構築)

掘って、コンクリートを打って土砂を運び出すという工事です。もちろん、カメラなども付けながら施工しました。

ここで一つ紹介したいのは、無人化施工では機械と通信の技術開発はもちろん必要です。ただ、それだけではやはり現場ではなかなか通用しない。それに伴って、土木や砂防の方もしっかりと技術開発を進めてきました。

無人化施工でやる場合には、コンクリートを打つに当たって型枠が組めないため、砂防ソイルセメントと言われる土砂とセメントを混ぜて使う工法を開発しました(図-5)。しかし、コンクリートの締め固めが無人化では難しいので、土で型枠を作って土砂とセメントを混ぜた材料で堰堤を作って無人化で施工するという、いろいろな複合的な技術開発の結果、復興工事ができたということになります。

**無人化施工による堰堤構築を可能にした土砂型枠**  
**—土砂型枠工法の考案—**

- 従来のコンクリートを用いた場合、型枠作業が複雑で、**無人化施工技術**を活用することが困難。
- RCC、INSEM工法(砂防ソイルセメント)は、敷均しにブルドーザ、締め固めに振動ローラを用いるので、**型枠の近くの作業困難**。
- 従来の型枠の発想を転換し、RCC工法では土砂を盛り上げて型枠とする**土砂型枠工法**を考案。

図-5 土砂型枠工法 (1)

これが今お話をした土砂型枠ですが(図-6)、土砂で周りを高くしていった、その間に砂防ソイルセメントを埋めていく。どんどん重ねていった、最後に土砂を取り除くという工事をしました。

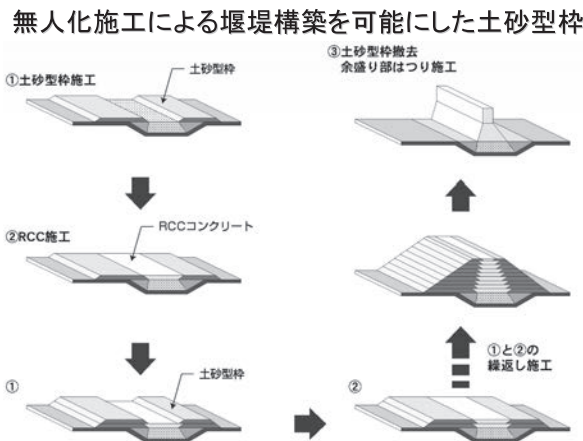


図-6 土砂型枠工法 (2)

以降、雲仙普賢岳の復興工事では、これだけの無人化施工工事を今までやってきました(図-7)。除石工事はもちろんですが、最近では堤体本体を全部無人化施工でやることになっております。

**○無人化施工適用実績表**

番号	施工年度	流域名	施設名	適用部位
1	平成6年度	水無川	除石試験施工	除石
2	平成6~7年度	水無川	下流河道除石	除石
3	平成7~10年度	水無川	1号上流除石	除石
4	平成10~11年度	水無川	2号上流除石	除石
5	平成11~12年度	水無川上流	水無川上流	除石
6	平成11~12年度	赤松谷川	赤松谷川上流	除石
7	平成10年度	水無川	水無川1号砂防堰堤	越流部(RCC部)
8	平成12年度	水無川	水無川2号砂防堰堤	越流部(RCC部)
9	平成15年度	水無川上流	水無川3号砂防堰堤	越流部(RCC部)
10	平成15年度	赤松谷川	赤松谷川1号堰堤	越流部(RCC部)
11	平成16年度	水無川上流	水無川背割堤	背割堤
12	平成16年度	赤松谷川	赤松谷川13号導流堤	導流堤
13	平成17年度	赤松谷川	赤松谷川12号堰堤	越流部(RCC部)
14	平成18年度	赤松谷川	赤松谷川11号床固工	堤体部
15	平成18年度	赤松谷川	赤松谷川14号床固工	堤体部
16	平成19年度	赤松谷川	赤松谷川17号床固工	堤体部
17	平成20年度	水無川上流	水無川4号砂防堰堤	堤体部
18	平成20年度	赤松谷川	赤松谷川10号床固工	堤体部
19	平成21年度	水無川上流	おしが谷上流床固工群(12号)	堤体部
20	平成22年度	水無川上流	おしが谷下流床固工群(1号~5号)	堤体部
21	平成22年度	赤松谷川	赤松谷川2号床固工	堤体部
22	平成22年度	赤松谷川	赤松谷川9号床固工	堤体部

図-7 無人化施工の活用(無人化施工適用実績)

その流れを大きく分類しますと、4つ程度になると思っています(図-8)。勝手に第1世代から第4世代と名前を付けましたけれども、まず1つ目は直接方式と言えらると思えますが、目視による遠隔操作。2つ目はモニター操作方式、カメラ映像を用いた遠隔操作。第3世代は情報化施工を加味したGPS、TSなどによる測位技術と、設計データを利用したソフトウェア支援による遠隔操作。第4世代は、ネットワーク型遠隔操作方式ということで、光ファイバー網や様々な無線通信方式を組み合わせた超長距離遠隔操作、という発展過程もしくは分類と言えらるのではないかと考えています。

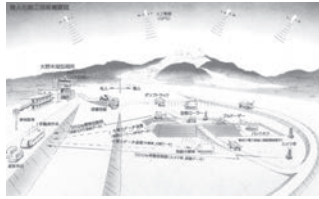
- 第1世代:直接方式(目視による遠隔操作)
- 第2世代:モニター操作方式  
(カメラ映像を用いた遠隔操作)
- 第3世代:情報化施工方式  
(GPS,TS等による測位技術と設計データを利用したソフトウェア支援による遠隔操作)
- 第4世代:ネットワーク型遠隔操作方式  
(光ファイバー網や様々な無線通信方式を組み合わせた超長距離遠隔操作)

図-8 無人化施工の施工方式による分類

このようにして雲仙における無人化施工は発達してきましたが、先ほども申し上げたとおり、単純に一つの遠隔操作技術だけではなくて、非常に多様な技術で成り立っているのが雲仙における無人化施工と言えらると思えます(図-9)。どういうことかと言うと、まず設計、施工計画、材料、施工管理、情報化施工、無線マネジメントを総合した施工技術と言えらると思えますし、それらの技術を集めたものが今の雲仙における

■雲仙普賢岳における無人化施工

噴火活動によって、島原市を中心に大きな被害を与えた雲仙・普賢岳火山。復興が進んだ現在もなお、溶岩ドームの崩落や土石流による被害が想定される水無川、赤松谷川流域では、立入が禁止された警戒区域が設定されています。



警戒区域での復興工事は、安全な場所から建設重機を遠隔操作し、作業を行う「無人化施工」で行われています。雲仙における無人化施工(雲仙式)とは設計から施工計画、材料、施工管理、情報化施工(操作支援、自動化)、無線マネジメントなどの総合的な施工技術としての「最上級の無人化施工」です。

■雲仙式無人化施工のポイント

①設計

警戒区域内での作業のため、無人化に適した作業内容に似た工法や建設機械を選定します。

③無線マネジメント

無人化施工では、無線種類の選定が重要です。現場状況(無線設備と全機の種類、見通し)に応じ、中継局(中継車)を設置します。近年では、無線の多量化により多数の無人重機を操作します。

⑤工事施工

熟練オペレーターによる重機操作。複数のカメラ映像、施工管理システムを確認しながらの操作を行います。

②施工計画

土石流・火砕流に対する安全対策、施工計画を作成し、遠く離れた安全な場所に操作室を設置します。カメラ配向計画を行い、カメラ映像を見ながら施工を行います。

④施工管理、情報化施工

施工内容に応じ、様々なシステムが採用されています。無人測量機や、GPSを用いた集約し、施工管理システム、バンクワの刃先座標を計測し、設計ラインとの位置関係を表示する3次元誘導システムなどの技術が用いられています。

無人化施工では、

- ・現地状況の把握
- ・機器配置計画
- ・システム構築
- ・工事施工管理の一連を総合的にマネジメントできる技術が必要不可欠です。

図-9 雲仙における無人化施工(雲仙式)

無人化施工ではないかと思えます。つまり、災害復旧における無人化施工では、現地状況の把握、機器配置計画、システム構築、工事施工管理の一連を総合的にマネジメントできる技術が必要不可欠であろうと考えています。

これが過去の砂防も含む無人化施工の事例ですが(図-10)、ほとんどが雲仙復興事務所による事例になります。復興事業ももう最終盤に差し迫っているところですので、このようなフィールドが今後、だんだん少なくなっていくことが考えられます。

雲仙で培われた技術が、その後いろいろな土砂災害で活用されています。鹿児島県の針原川の土石流、有

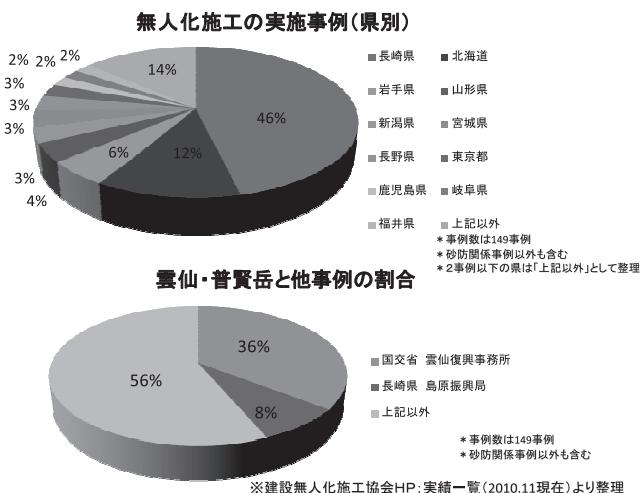


図-10 無人化施工の実施

珠山、三宅島の火山噴火、そして東日本大震災。各地で活用が拡大されてきていると言えます(図-11)。

平成6年1月 雲仙・普賢岳の除石工事において日本で初めて本格的に無人化施工技術が活用された。

- ↳ 針原川土石流災害復旧事業への活用 (平成9年、鹿児島県出水市)
- ↳ 有珠山噴火災害復旧事業への活用 (平成12年、北海道壮瞥町、虻田町、伊達市)
- ↳ 三宅島火山噴火災害復旧事業への活用 (平成12年、東京都三宅村)
- ↳ 東日本大震災; 福島原発災害現場での活用 (平成23年、福島県)

雲仙で培われた無人化施工技術が、全国の災害復旧事業や急峻な地形条件下での施設整備へ活用が拡大。

図-11 無人化施工技術の活用拡大

もう一つ、ちょっと切り口を変えて、災害発生から無人化施工をするまでの間に情報収集や対策工の検討や無人化施工をするのか、しないのかという判断が非常に難しいところであり、正にここは砂防や土木の技術者、機械の技術者、電気通信の技術者、その他いろいろなオペレーターの皆さんの技量とか、いろいろな方々の総合力でやらなくてはいけない重要な部分だと思います(図-12)。更に、もっと大きい目で見ると、機械の老朽化やオペレーターの皆さんの継続的な養成などもあります。

また、日ごろからどんな準備をしていたらいいのか。危機管理の体制として、状況把握をどうしたらいいの

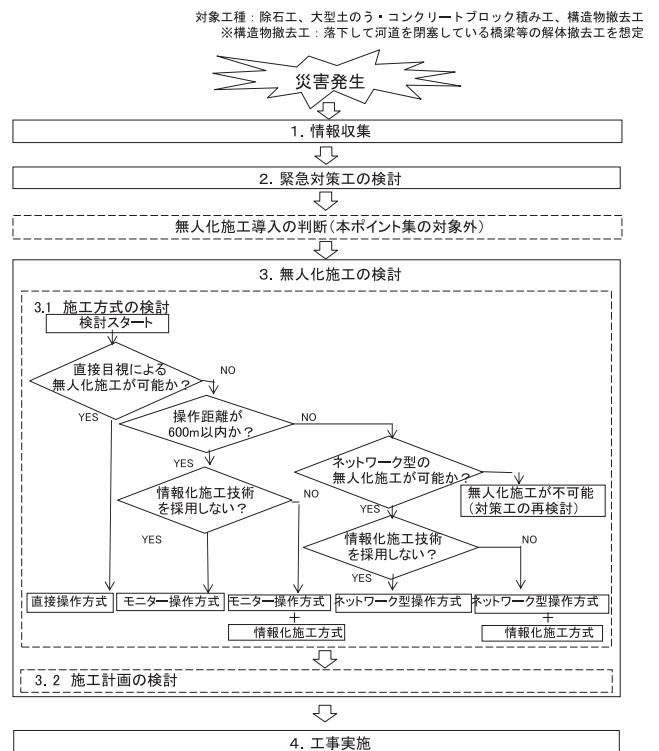


図-12 緊急災害時における無人化施工フロー

か。もちろん、無人化での調査も重要になると思います。対応方針はどうやって決定したらいいのか。無人化施工で行う工種や施工範囲や施工期間はどのように決めるか。ちょっと違う反面で言えば、契約はどうするか。発注者への周知活動はどうするかという、発注者側への課題もあるのではないかと考えています（図—13）。

- 機械の老朽化(更新意欲の低下)
- オペレータの継続的養成
- 日頃からの準備(資機材リストなど)
- 危機管理(現状把握と対応方針の意志決定)
- 無人化施工で行う工種、施工範囲、施工期間の決断
- 契約方針の決定(協定)
- 発注者などへの周知活動  
(無人化施工で何ができるのか?)

図—13 様々な課題

いずれにしましても、我々防災事業、減災工事、災害対策に携わっている者にとっては、その途中でまた二次災害を起こすということはあるのではないかと考えています。そんなことを起こすと大変なことになると考えておりますので、是非ともこの無人化施工の総合的な技術、単なる機械とか通信だけではなくて、いろいろな技術者がいろいろな知恵を出し合って進めていくという、この無人化施工技術を継続的に発展・維持していく仕組みが必要と感じています（図—14）。

### 無人化施工技術は・・・

- 災害対応(調査・工事)において  
二次災害防止は必須！！  
～二次災害を起こせば  
災害対応全体の信頼が失われる！？～
- 無人化施工技術を  
継続的に発展、維持できる仕組みが必要！！

図—14 無人化施工技術は・・・

### ◆コーディネーター

日本の無人化施工を雲仙が育ててくれたというお話でした。雲仙普賢岳の復旧事業があったから、現在の実用に耐え得る無人化施工が生まれてきた、育ててきたというのは過言ではないと思います。

実は、復旧事業の無人化施工は我々建設分野の人間だけではなくて、他の分野の方々、特にロボットを研究

されている方々は非常に注目されていたとお聞きしています。その辺の事情は、ロボット研究者の代表として参加いただいています油田先生からお話をお願いします。

### 3. ロボット研究者が見た建設の無人化施工

#### ●油田氏

ロボットというのは何かというといかにも楽しそうな世界です。しかし、どういう機械をロボットと言うべきかという点、イメージはありますが、ロボット屋の中でも定義がありません。産業用ロボットは間違いなくロボットですが、私は二足歩行や空飛ぶ機械じゃなくても、洗濯機とかパワーシャベルは十分にロボットと言うべきだと思っています（図—15）。パワーシャベルは何かすると建設ロボットになるというよりも、パワーシャベルは既に建設用ロボットと考えています（図—16）。それをいかに高度化して、使いやすく、安全なものにしていくというのがロボット技術の役割です。

- 産業用ロボット
- 自動運転の自動車
- 自動掃除機
- 2足歩行機械
- 空を飛ぶ機械
- 全自動洗濯機
- パワーシャベル
- テレビゲーム

図—15 ロボットと呼ぶべき機械



図—16 ロボットと言える機械

社会から期待されるロボット技術への役割は生産性の向上ですとか、あるいは安全に作業することですが、それがロボットが産業界で使われている理由です（図—17）。また、2000年以來、サービスロボットという概念で、世界的に結構大きなプロジェクトがいろいろな所で動いています。それは新しい分野、新しい技

- ・生産性の向上 → 産業用ロボット
- ・快適な生活 → サービスロボット
- ・(大規模)事故時の緊急対応 → レスキューロボットプロジェクトなど (国際救助隊、サンダーバード)



図一 17 社会から期待されるロボット技術の役割

術, 特に IT あるいはロボットテクノロジーを使って, 新しいサービスをしようという話です。

それに対して, もう一つ, はっきりと期待されているのが事故時の緊急対応を目的とするロボット技術です。イメージは国際救助隊サンダーバードだと私もは言っています。ここにある写真は, 東北大学の田所先生が中心になってやっておられる, レスキューロボットプロジェクトのホームページからいただいた写真です。その意味では, 自然災害に対応している無人化施工は, 既に役立っているロボット技術の極めていい例であると感じています (図一 18)。

### 自然災害に対応する無人化施工

1993年～

- ・建設省技術評価制度
- ・試験フィールド制度

【工種】

- ・除石工事
- ・大規模土工
- ・RCC工法による砂防堤建設

雲仙無人化施工の意義

- 大規模土工でシステムとして無人化施工を実施(掘削/積み込み/運搬)
- 敷均し/締め固め/土砂型枠形成等基本的土工技術を無人化施工として確立
- オペレータの熟練度が飛躍的に向上
- その後の大規模災害において開発された機器が搬送されたり, 技術が活用されるなどの道を開く
- 雲仙の経験を持つ熟練オペを全国に派遣

図一 18 役立っているロボット技術の例

そう思っておりましたら, 昨年3月に大変不幸な事故がございました。震災にロボット技術がどう対応できるかということは, すごく大きな問題としてありますが, これに加えて原発事故はちょっと違う性格の大きな事件でした。水素爆発が起こって高レベルの放射能が撒き散らされて, 人が近づけなくなってしまいました。原子力の事故は, 放射能の影響で人が入れなくなってしまうのが大きな特徴です。原子力事故を想定してこれに対処するため, ロボットや遠隔操作の機械を準備している組織は世界中に幾つかあります。特に, フランスとドイツでは法律で組織を作ることが決められており, フランスでは Group INTRA という, 正し

く緊急時のロボットを働かせるための組織があります。また, ドイツでは KHG という, やはり機械を自分で持っていて, 緊急時のための訓練を常日ごろしているという組織があります。一方, アメリカにはそのような組織はなくて, 軍がその役割を担っていますが, Federal Radiological Emergency Response Plan があって, どのような対応をするかが決まっています。それに対して, 日本ではそういうものが事実上全くなかったというのが昨年(2011年)の状態でした。その中で, 福島では無人化施工の技術と機械が一定の働きをしたという事は, 紛れもない事実です。

3月11日に地震があり, 3月14日に水素爆発がありましたが, 緊急対応として福島への無人化施工の機械が最初に導入されたのは4月6日でした (図一 19)。4月10日には, 米軍が持ってきた Honeywell の T-Hawk という空飛ぶ偵察機械が写真を撮り, 4月17日にはアメリカの i-Robot 社の Packbot が扉をあげて, 中を見てくるということをやってくれました。

こういう時にこそ, 日本はロボット先進国だからロボットが働くべきだという思いの割には, 日本のロボットはちっとも働かないというフラストレーションが日本中にありましたが, 実はその中で無人化施工の機械は単に偵察するだけではなくて, ちゃんと作業を始めていたというのが極めて大きな事実です。

<ul style="list-style-type: none"> <li>・2011年4月6日 瓦礫処理無人化施工開始</li> <li>・大成建設・鹿島建設・清水建設JV</li> <li>・使用機械 (4/6導入台数/総予定台数)</li> </ul>	
・バックホウ(アイアンフォーク)	(1台/2台)
・バックホウ(ニブラ)	(0台/1台)
・クローラダンプ(11t)	(1台/3台)
・オペレータ車	(1台/2台)
・カメラ車	(1台/9台)
(東京電力提供)	

図一 19 緊急対応 福島への無人化施工機械の導入

この話は, ロボット屋から見ると実は大変ショックなことでした。ロボット研究者, あるいはロボット技術者は, 今まで無人化施工には余り貢献していなかった。貢献していなかったから勉強すらしていなかったのですが, 無人化施工のコミュニティーの方々が, 私どもから見れば明らかにロボットというべき機械を持ち込んで, この問題に対処しました。これは, ロボットの研究コミュニティー, あるいは, ロボットの技術開発コミュニティーにとっては, 自分たちの立場をもう一度考え直すべきであるという問題が提起されました。

緊急対応を過ぎて, 今度は冷温停止の後も3号炉のガレキ除去などに, 無人化の遠隔操作の機械が働いています。

ロボットが働くべきだと世の中の人々が思ったにもか

かわらず、かつロボット屋には手が出せなかった状態で、なぜ無人化施工が働いたかという点、それは正しく実環境・実作業のための現実的な優れた技術だったと言えます（図—20）。それはロボット技術屋としては学ぶべき話です。ここで無人化施工の技術が働いた背景としては、この技術が使いながら進歩してきたということがあります。同時に、いざというときに対応できる体制がありました。

- ・実環境・実作業のための現実的な優れた技術
  - ・ロボット技術屋としては学ぶべき
  - ・使いながら進歩してきた
- ・イザというときに対応出来る体制がある。
  - ・アライブな状態の機械、その情報の共有化
  - ・訓練されたオペレータ、運搬体制
- ・（非常時用と言いながら）90年代以来、常に使われて来た
  - ・我が国では常に（非常時的な）自然災害があった
  - ・国交省の工事発注。施工自体はビジネスとして成立（？）

図—20 無人化施工の強いところ

さて、幸いにしてか不幸にして、日本では常に非常時的な自然災害があったというのが、無人化施工の技術がうまく回っていた理由の一つであろうと考えています。改めてロボット技術屋としては、ニーズに基づいて開発された遠隔操作性は学ぶべき技術だと考えています（図—21）。また、現実にも広く働いている機械をベースにしていて、自然な導入がなされ、普通に使用れ始めているということも学ぶべきです。その技術を利用してその結果をフィードバックして、日常的な改良がなされ、使われながら進歩しているという状況こそ、私どもロボット屋はきちんと学ぶべきであるというのが、私がロボットのコミュニティーの中で大きな声で言っていることです。決して私が一人吠えているわけではなくて、そんなふうに理解をされています。

技術屋から見ると、無人化施工のシステムというのは大変多くの技術の集積であり、この技術集積こそ

- ・実環境・実作業のための現実的な技術
  - ・ニーズに基づいて開発された、優れた遠隔操作性
  - ・現実に広く働いている機械・技術をベース
    - ➡ 自然な導入
- ・利用結果のフィードバックによる定常的な改良
  - ・使われ続けてきたから進歩した
- ・多くの（先進）技術の集積、システムとしての設計
  - ・（固定型ではなく）持って行けるシステム
  - ・多数の機械の協調による作業の実現

図—21 無人化施工に（ロボット技術屋として）学ぶべき点

ロボットの技術だと思っています。あるいは、固定型じゃなくてどこでも行ける機械である点。さらに、実際には1台ではなくて複数の機械が、遠隔操作によってうまく協調して、一つの作業を実現している点は大いに学ぶべきことであって、これらはロボット技術がねらっている点そのものでもあります。

さて、21世紀に働くべきロボット技術としては、新しい何かを生むよりも、社会における問題を解決すべきだと考えています（図—22）。そしてもう一つは、とにかく現在快適な生活ができています。それをいかにして維持していくかということのために技術を働かせるべきであると思っていて、無人化施工技術というのは、正しく好例になっていると考えています。

- ・技術開発のモチベーションを
    - 研究者・開発技術者と利用者・生活者が共有すること
    - ・多くの人にとって解る技術
  - ・（社会にとって）必要とされる新技術
    - ・より快適な生活のため
    - ・夢のため・楽しみのため
    - ・経済・産業の振興のため
    - ・社会における問題点の解決
    - ・現在の快適な生活の維持
- ➡ 無人化施工技術はその好例

図—22 21世紀に働くべきロボット技術

#### ◆コーディネーター

昨年の震災の後、海外の調査ロボットなどが投入されて、日本のロボットはどうなっているかという報道があったように思いましたが、建設ロボットを使った無人化施工が有益な仕事をしているということをここで確認できたのが非常に嬉しいことと思っています。ロボットの分野の方々からも非常に高い評価を受けているということかと思えます。ただ、そこまで来ることができたのは、最初に田村さんから説明がありましたとおり、雲仙普賢岳の復興プロジェクトを通じて、実作業を通じて技術を磨いてきたからだと言えるのかと思います。

一方、そのプロジェクトもそろそろ収束に向かいつつあるのでしょうか。そうすると、技術を磨いていく実践の場を、これから作っていけなくなるという懸念もあります。そういった中で、いかにして建設用ロボット技術を維持、あるいは発展させていくかということは、非常に大きな課題になってくるのではないかと思います。

そういったところも含めて、次に関連団体というこ

とで建設無人化施工協会の植木さんから、これまでの到達点を実際に作業される方の立場からお話いただくとともに、どういったところが今後、課題となるのかという点をお聞かせください。

#### 4. 建設無人化施工協会における無人化施工の現状と課題

##### ●植木氏

無人化施工のきっかけとなりました平成2年の雲仙の写真です(図-23)。こういう状態の場所で復旧をどのように進めるのかという取り組みから試験フィールド制度を初めとして、営々と無人化施工の技術が進歩してきました。



雲仙普賢岳(火砕流) 平成2年11月 <http://www.csr.mlit.go.jp/unzen/> 参照  
雲仙普賢岳(土石流跡) 平成2年11月 <http://www.csr.mlit.go.jp/unzen/> 参照

地域の安全を早期に確保するためには警戒区域内での施工技術が望まれていた。建設省は平成5年度より導入された試験フィールド制度を利用した無人化施工を平成5年7月に一般公募した。

**建設無人化施工協会**

図-23 無人化施工技術の導入

雲仙の噴火から約10年後に北海道の有珠山が噴火しました。洞爺湖温泉街のすぐ近くで起こった火山災害でした(図-24)。



図-24 有珠山における災害対応例

西山川地区では川が埋まり、橋も押し流されてしまうという状況になり、この復旧のために無人化施工技術が使われました(図-25)。

平成22年には鹿児島県の南大隅で大規模な土石流が発生し、下流のえん堤が流出しました(写真-3)。



図-25 西山川地区の被災状況



写真-3 鹿児島県南大隅町の被災状況(平成22年)

被災範囲を復旧していくために、ここでも無人化施工が使われました。

昨年は東日本大震災があり、福島原発の事故が発生しましたが、このように継承されてきた無人化施工の技術が、高放射線下でのガレキの撤去やその後の安定化への取り組みへの速やかな対応につながってきています。

無人化施工では、2次災害の危険がある災害発生現場に建設機械が入って作業をするわけですが、運転は安全で離れた場所に置いた操作室から行います。ここにオペレーターがいて、建設機械をリモートコントロールで運転します(写真-4)。作業箇所やその周囲、操作する機械の全てがカメラ映像を介して見ることであり、作業ができるような画像のシステムですとか通信システムが使われて、全体が構築されますから、遠隔操作の建設機械があればできるというものではありません。

私ども建設無人化施工協会は、施工者、建機メーカー、通信機メーカー、レンタル業、あるいは航空会社といった無人化施工に必要な特殊な技術を有する企業で構成されています。協会の技術委員会では、災害発生時には行政の要請に従って災害現場を調査して、対応方法を提案することがあります。





写真-4 操作室

建設無人化施工協会

➤ 施工方法・施工機械



ブルドーザ

バックホウ

(財) 先端建設技術センター 編  
緊急時の無人化施工ガイドブック  
【参考資料-6】(P47～) 参照

建設無人化施工協会

図-27 施工方法・施工機械 (1)

協会のホームページには、全国に点在する無人化施工が可能な特殊建機の配置と稼働状況を掲載しており、リアルな情報を管理して、皆さんに情報提供しています。

全国の無人化施工の実績も情報として管理、提供しています(図-26)。雲仙に非常にたくさんの仕事があったわけですが、それ以外にも緊急対策的なことは全国的になされています。



図-26 無人化施工の実績

無人化施工で使われる建設機械はブルドーザ、バックホウ、クローラダンプ、重ダンプなどが中心です(図-27, 28)。その他に特殊な機械としては移動カメラ車、中継車があります。遠くから離れてカメラで見ながら操作するためには、あちこちにカメラが必要で、人が入れないところにもカメラが行かなければなりません。ですから、カメラを積んで画像を撮りにいくための遠隔の機械などもあります。こういったものを組み合わせて全体が構成されます。

振動ローラ、清掃車のほか、ロボQといって、オペレーター席で操作レバーを動かすためのロボットもあります(図-29)。

無人化施工の課題についてご説明します。中越地震



ダンプ(リジット、不整地)

移動カメラ車、中継車

(財) 先端建設技術センター 編  
緊急時の無人化施工ガイドブック  
【参考資料-6】(P47～) 参照

建設無人化施工協会

図-28 施工方法・施工機械 (2)



振動ローラ(ダム用)



無人清掃車(中型)



レバー直動方式ロボット(ロボQ)

(財) 先端建設技術センター 編  
緊急時の無人化施工ガイドブック  
第4章 4.遠隔制御方式(P117～) 参照

建設無人化施工協会

図-29 施工方法・施工機械 (3)

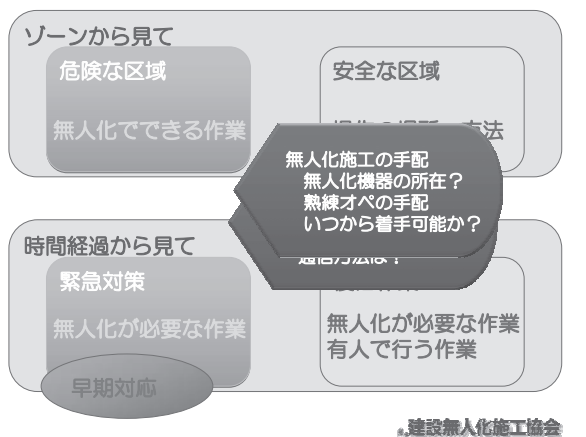
では、地震によって斜面が崩落しました(図-30)。余震が続く状況で災害対策をするためには、搭乗運転では二次災害の危険があるため、被災した車両を救助するためには無人化施工によりアクセス道路をつければいけないといった状況になりました。

この状況では、危険な場所は特定されており、例えばこの写真を撮影している対岸では安全が確保されています。



図一30 中越地震による斜面崩落状況

無人化施工を考えるときに、今の写真のようにゾーンから見て危険な区域を明確に決める必要があります(図一31)。次に、危険な区域の中で無人化施工によって可能な作業は一体何かを決めます。同時に操作の場所や無線通信の方法を考える必要があります。

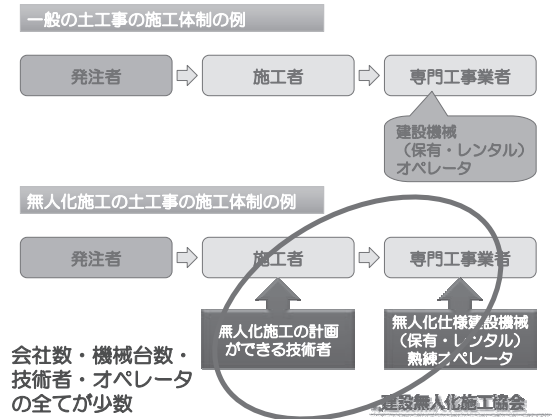


図一31 無人化施工導入の判断要素

これには経験と知識に基づく判断が当然要るわけで、どういう建機を選択するか、カメラをどこに据えたら操作がしやすいのか、を考慮してその場所に最適な選択をしなければなりません。

一方、災害が発生して時間が経過していく時系列の観点では、緊急対策と、その後の復旧作業に分けられます。緊急対策では無人化が必要な作業であるかどうか。それから、緊急対策が終わった後の復旧については、継続的に無人化が必要なもの、あるいは有人で行ってもいいもの、という判断が必要かと思えます。緊急対策は当然早期の対応が必要ということになり、無人化機械は一体どこにあるのか、熟練オペレーターは一体どこにいるのか、それらを組み合わせると一体いつから作業ができるのかということを的確に判断しないと、無人化による災害復旧の対応がうまくできません。

もう一つの課題を説明します。一般的な土工事で建機を使って除石をする場合、通常は発注者があって、施工者があって、専門工事業者がいるというのが一般的な仕組みです(図一32)。施工者と専門工事業者が一体の場合もあります。



図一32 無人化施工の施工体制の例

建設機械は一般的にこのうちの専門工事業者が保有またはレンタルで調達したものを使用し、この会社に所属するオペレーターが運転するのが一般的な仕組みです。

無人化施工の土工事の施工体制でも、基本的に同じことになりますが、施工者の方に無人化施工の計画ができる技術者がいないと、当然できません。専門工事業者は無人化仕様の建設機械を調達できなければいけないし、映像による遠隔操作というのは急にはできないので、それに熟練したオペレーターが必要です。このような会社の数も、機械の台数も、技術者も、オペレーターもすべてが実は少数です。

無人化施工の現状と課題ですが、発注者が無人化施工の必要性をその場で判断するための判断材料と基準とは一体何なのかという考え方を整備していくことだと思います(図一33)。

一方、福島原発への対応にまでつながったのは、こういう仕組みの中で災害対応力が維持されてきたとい

- 「無人化施工が必要」との判断材料と基準
  - 災害対応力の維持
- 18年で150件以上の事例
- 災害発生の頻度は多い
  - 民間企業の受注量としては・・・
  - 無人化機器の更新が困難  
熟練オペレータの伝承が
- 建設無人化施工協会

図一33 無人化施工の現状と課題

うことで、この継続性が一番大事だと思います。約18年の間に150件以上の事例があって、国土を襲う災害発生の頻度としては、非常に多いというふうに思われます。しかし、民間企業の仕事の受注量の観点では、全国にわたって1年に数件という頻度になります。

建設業を取り巻く環境は非常に厳しいので、今、企業が所有するこういった機器の更新が困難であるとか、あるいは熟練オペレーターの伝承が難しくなっています。今、一部の機械が福島原発に入っていますし、機械と人材の確保が大きな課題となってくると考えております。

◆コーディネーター

18年で150件、これは全部災害時に適用された工事ですか？ 一般の工事への適用はありませんか？

●植木氏

例えば雲仙ではたくさんの工事が出ておりますが、この件数は小規模な土砂崩落などに使われているのをすべてカウントしています。一般の工事では、適用事例はないと思います。

◆コーディネーター

それからもう一点確認ですが、日本のこういう無人化施工のシステムは、基本的に民間業者が保有、管理していて、それを何かの時に使っていくというのが普通だと考えてよろしいでしょうか。

●植木氏

国土交通省が無人化施工の対応の遠隔の建設機械や分解型の建設機械を地域ごとに配備しています。それと民間が保有しているものを組み合わせて使うことになります。

◆コーディネーター

今日は北原さんに来ていただいています。北原さんは土木学会の建設用ロボット委員会で建設用ロボットの普及、発展にいろいろな活動をしていただいています。土木学会がどのような活動をしているかのご説明をお願いします。

5. 土木学会の建設用ロボット技術の提言

●北原氏

建設用ロボット委員会の中に幾つかある小委員会のうちの一つ、明かり工事の技術分野を主に取り扱っている土木技術小委員会を担当しています。土木学会でするので建設用ロボット委員会は産学官、いろいろな方が参加しています。

昨年の3・11以降、災害対応に建設ロボットが使えないのではないか、これをもっとアピールすべきではない

かという話が、建設用ロボット委員会の中でも起こりました。注意していろいろ見ていくと、ここに書かれているように、東日本大震災において、港湾内や原発敷地内での建設用ロボットの関連技術が使われてきたということがわかってきました(図-34)。それで、建設用ロボット委員会の中でも議論になり、もっと建設用ロボットをアピールすべきではないか。これをどうやって使っていくか、どうやって開発をしていくかということ提言にしてまとめてはどうかという話が出ました。

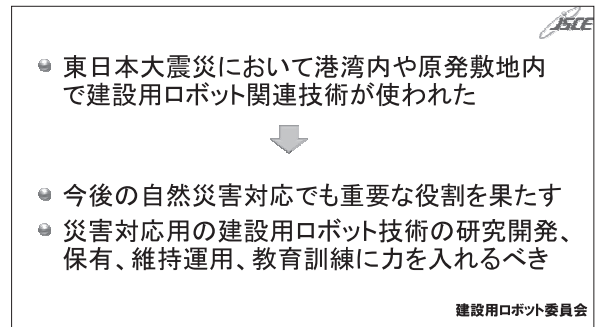


図-34 提言とりまとめの経緯

ここにも書いてあるように、建設用ロボットが今後の自然災害対応でも重要な役割を果たすと言われております。災害対応の建設ロボット技術の研究開発・維持・運用・教育・訓練にもっと力を入れるべきであろうという意見が出ました。

これは、委員会の中の提言の概要版です(図-35)。この概要版に沿ってお話をしていきますけれども、平成23年、日本国土は東日本大震災及び台風12号、15号など、近年希にみる大きな災害に見舞われた年です。この中で津波の災害とか海中の搜索活動、原子力発電所敷地内の高線量区域内におけるガレキの撤去・状況調査・室内清掃・冷却原子炉カバー設置等に建設用ロボットが、その関連技術とともに用いられて

建設用ロボット技術による災害対応および復旧・復興支援に向けた委員会提言(概要版)

平成23年、日本国土は東日本大震災および台風12号、15号など近年まれにみる大規模な災害に見舞われた。東日本大震災においては主に津波被災地域域内の避難作業や海中のガレキ撤去活動および原子力発電所敷地内の高線量区域における高線量除去作業・状況調査・室内清掃・冷却原子炉カバー設置等に建設用ロボットなどの建設用ロボット技術が活用された。近いうちに発生を予測される福島県下地域や東海南海域、その他の自然災害に際するには、今後産学官が一丸となって建設用ロボット関連技術の研究開発、保有・維持運用、教育訓練に取り組むことが重要である。

<p><b>1. 災害対応のための建設用ロボットの積極的活用と開発</b></p> <p>(1) 建設業従事者の安全確保のための災害復旧・復興作業に建設用ロボットを積極的に活用することが重要 (2) 災害対応のための建設用ロボット関連技術の開発に国を挙げて力を注ぐことが重要 (3) 産学官の連携して技術の研究・開発・実用化・実運用を推進することが重要 (4) ロボットによる作業の高度化を実現するための高度実用化研究に力を入れることが重要 (5) ロボット技術開発により従来の技術開発の担い手である若手研究者・技術者の育成と産業活力活性化の促進を図ることが重要 (6) 継続的に建設用ロボット開発に取り組むことで、災害対応および復旧・復興支援への国民の参加意識を向上させることが重要</p>	<p><b>2. 開発ロボットの検証・改善・維持のための環境整備</b></p> <p>(1) 長期にわたって継続的に建設用ロボット技術の検証と改善が行える環境(試験フィールド、小規模災害への適用)の整備が必要 → 関係推進の柱 (2) 行政・自治体が積極的に建設用ロボット関連機器の保有・維持管理を進め、運用について民間企業が協力できるような体制を構築することが必要</p>
<p><b>3. 建設用ロボットを運用するための継続的・教育的な制度整備</b></p> <p>(1) 緊急時に建設用ロボットおよび必要な資機材・人材等を調達、運用できる知識とネットワーク能力を専門責任者の育成が必要 (2) ロボット法に改良・進歩するため、オペレータを定期的・継続的に教育訓練する機会、資格取得制度が必要 (3) 教育訓練を受けたオペレータが緊急時に必要に応じて出動できるよう、登録制度や産学官の協力体制を構築・維持する必要 (4) 緊急時においてロボットと人の協働作業の安全性・効率性を確保するため、ロボットを活用する作業現場の運用システムの構築と教育研修が必要</p>	<p><b>4. 建設用ロボット技術を活用するための情報収集と共有、インフラの整備</b></p> <p>(1) 災害発生時に迅速に現場状況を調査・情報収集し、情報発信する専門組織が必要 (2) 平時からの災害対応技術情報の収集・公開により、災害発生時における建設用ロボット等の利用推進体制の整備が必要 (3) 建設用ロボットの遠隔操作や位置情報管理、計測データ伝送のために技術開発を含むインフラ整備が必要。平時時にテスト可能な緊急時対応施設活用への継続的連携等の推進(低コスト・技術開発、高線量地域での確保、法律整備等)が必要 (4) 平時時に使用する建設機械に迅速に災害対応機能を付加できる建設用ロボットのプラットフォームの研究開発が必要</p>

平成24年9月5日 土木学会 建設用ロボット委員会

図-35 提言の概要

います。近い将来予想される首都圏直下型地震、東南海地震、その他火山災害を含めて多くの災害に対して、今後、産学官が一致団結して建設用ロボット関連技術の開発、保有・維持運用を教育に取り組むことが重要だと考えて、この提言をまとめています（図—36）。

### 建設用ロボット技術による災害対応 および復旧・復興支援に向けた委 員会提言（概要版）

ASCE

平成23年、日本国土は東日本大震災および台風12号、15号など近年まれにみる大規模な災害に見舞われた。

東日本大震災においては主に津波被災地域湾内の啓開作業や海中の搜索活動および原子力発電所敷地内の高放射線区域における瓦礫撤去作業・状況調査・屋内清掃・冷却・原子炉カバー設置等に建設用ロボットとその関連技術が用いられた。

近い将来予想される首都圏直下型地震や東南海地震、その他の自然災害に備えるには、今後産学官が一致団結して建設用ロボット関連技術の開発、保有・維持運用、教育訓練に取り組むことが重要である。

建設用ロボット委員会

図—36 提言の背景

提言の4つのポイントです（図—37）。まず1つには、災害対応のための建設用ロボットの積極的活用と開発。第2に開発ロボットの検証・改善・維持のための環境整備。第3に建設用ロボットを運用するための継続的教育・訓練等の制度整備。第4として建設用ロボット技術を活用するための情報収集と共有、インフラの整備といったものが挙げられます。

1. 災害対応のための建設用ロボットの積極的活用と開発
2. 開発ロボットの検証・改善・維持のための環境整備
3. 建設用ロボットを運用するための継続的教育・訓練等の制度整備
4. 建設用ロボット技術を活用するための情報収集と共有、インフラの整備

建設用ロボット委員会

図—37 提言の4つのポイント

各ポイントを細かく御紹介します。一つ目のポイントとして、災害対応のための建設用ロボットの積極的活用と開発という点では、第一に、建設業従事者の安全確保のため、災害復旧・復興作業に建設用ロボットを積極的に活用することが重要です（図—38）。この危険を回避するための運用が最も重要ではないかということで、一番先に書いています。

その次に、災害対応のための建設用ロボット関連技術の開発に、国を挙げて力を注ぐことが重要です。建設用ロボットについては、大変開発コストがかかります。こういったものについては国のような大きな機関

### 1. 災害対応のための建設用ロボットの積極的活用と開発

ASCE

- (1)建設業従事者の安全確保のため災害復旧・復興作業に建設用ロボットを積極活用することが重要
- (2)災害対応のための建設用ロボット関連技術の開発に国を挙げて力を注ぐことが重要
- (3)産学官が連携して技術の研究・開発・実用化・実運用を推進することが重要
- (4)ロボットによる作業の高度化を実現するための高度実用化研究に力を入れることが重要
- (5)ロボット技術開発により将来の技術開発の担い手である若手研究者・技術者の育成と産業活力活性化の促進を図ることが重要
- (6)継続的に建設用ロボット開発に取り組むことで、災害対応および復旧・復興支援への国民の参加意識を向上させることが重要

建設用ロボット委員会

図—38 提言1（活用と開発）

でその開発に当たらないと、なかなか進まないであろうということで挙げています。

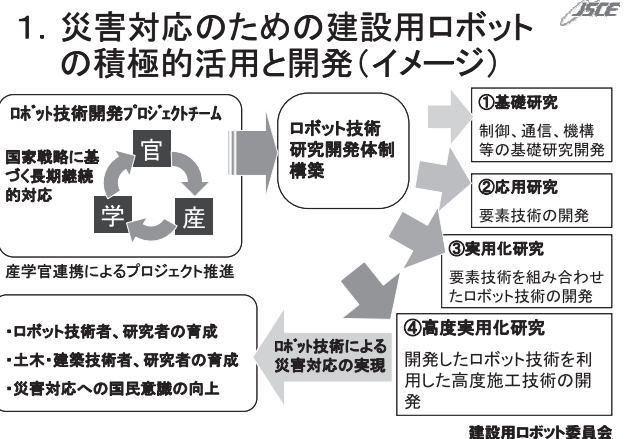
第3に、産学官が連携して技術の研究・開発・実用化、実運用を推進することが重要です。

第4に、ロボットによる作業の高度化を実現するための高度実用化研究に力を入れること重要です。こちらは後ほど、また御説明いたします。

第5に、ロボット技術開発により、将来の技術開発の担い手である若手研究者・技術者の育成と産業活力活性化の促進を図ることが重要です。

最後に、継続的に建設用ロボットの開発に取り組むことで、災害対応及び復旧・復興支援への国民の参加意識を向上させることが重要だと思われま

す。4番目に挙げました高度実用化研究についてご紹介します（図—39）。この図は建設用ロボット全体のプロジェクトの開発の状況を表したものですが、ロボット技術開発プロジェクトチームを国を挙げて作って、是非、産官学で連携してプロジェクトを推進していただきたい。これについては、ロボット技術の研究開発体制をしっかりと構築して、通常ですと基礎研究、応用



図—39 高度実用化研究

研究、実用化研究というものが考えられます。

こういった基礎研究から実用化研究を積み重ね、その上で、それらの技術を組み合わせることで、さらに高度化した高度実用化研究が必要です。これについては、開発したロボット技術を利用した高度な施工技術の開発と、実際の災害に対応するためのロボットが、どうあるべきかという研究が重要です。このロボット技術による災害対応の実現によって、ロボット技術者の育成ですとか、さらには土木・建築技術者、研究者の育成、災害対応への国民の意識が向上するといった効果も十分に見込めると考えられます。

2つ目のポイントですが、開発ロボットの検証・改善・維持のための環境整備です(図-40)。大きく2つに分かれています。第1に、長期にわたって継続的に建設用ロボット技術の検証と改善が行われる環境。先ほども出てきましたが、試験フィールド制度ですとか、小規模災害への適用といった整備が必要になります。こういったものが建設用ロボットの開発の推進の柱になるだろうと考えております。

## 2. 開発ロボットの検証・改善・維持のための環境整備

- (1)長期にわたって継続的に建設用ロボット技術の検証と改善が行える環境(試験フィールド、小規模災害への適用)の整備が必要  
→開発推進の柱
- (2)行政・自治体が積極的に建設用ロボット関連機器の保有・維持管理を進め、運用について民間企業が協力できるような体制を構築することが必要

建設用ロボット委員会

図-40 提言2(環境整備)

2番目として、行政・自治体が積極的に建設用ロボット関連の機器の開発、保有・維持管理を進め、運用について民間企業が協力していくような体制を構築することが重要です。

3つ目のポイントですが、建設用ロボットを運用するための継続的教育・訓練等の整備です(図-41)。こちらの話は今までいろいろな方のお話からも出てきたように、現場の責任者の育成ですとかオペレーターの認定制度、緊急時の出動体制、さらにロボットを活用するための作業現場の運用システムの構築と教育研修といったものが必要であろうということで、提言として挙げています。

4つ目のポイントは、建設用ロボットを運用するための情報収集と共有、インフラの整備です(図-42)。このポイントについては、第1に、やはり災害時は情

### 3. 建設用ロボットを運用するための継続的教育・訓練等の制度整備



- (1)緊急時に建設用ロボットおよび必要な資機材・人材等を調達、運用できる知識とマネジメント能力をもつ現場責任者の育成が必要
- (2)ロボットは常に改良・進歩するため、オペレータを定期的・継続的に教育訓練する機関、資格認証制度が必要
- (3)教育訓練を受けたオペレータが緊急時において効果的に出動できるよう、登録制度や産官学の協力体制を構築・維持する必要
- (4)緊急時においてロボットと人の協調作業の安全性・効率性を確保するため、ロボットを活用する作業現場の運用システムの構築と教育研修が必要

建設用ロボット委員会

図-41 提言3(教育・訓練)

### 4. 建設用ロボット技術を活用するための情報収集と共有、インフラの整備



- (1)災害発生時に迅速に現場状況を調査・情報収集し、情報発信する専門組織が必要
- (2)平常時からの災害対応技術情報の収集・公開により、災害発生時における建設用ロボット等の利用推進体制の整備が必要
- (3)建設用ロボットの遠隔操縦や位置情報管理、計測データ伝送のために技術開発を含むインフラ整備が必要。平常時にテスト可能な緊急時複数建設用ロボットの無線遠隔操縦等の無線通信手段(技術開発、周波数帯域の確保、法律整備等)が必要。
- (4)平常時に使用する建設機械に迅速に災害対応機能を付加できる建設用ロボットのプラットフォームの研究開発が必要

建設用ロボット委員会

図-42 提言4(情報収集、インフラの整備)

報収集が大変重要です。現場状況を調査・情報収集し、発信する専門組織が必要であろうと考えられます。

2番目として、平時からの災害対応技術の収集・公開により、災害発生時における建設用ロボット等の利用推進体制の整備が必要になります。

3番目としては、建設用ロボットの遠隔操縦や位置情報管理、計測データ伝送のための技術発信を含むインフラ整備が必要です。平時にテスト可能な無線の周波数やシステムといったものが、法整備とともに必要であろうと考えられます。

最後に、平時に使用する建設機械を迅速に災害対応する機能を付加できる、建設用ロボットのプラットフォームの研究開発が重要だということです。

提言としては以上です。今後、土木学会の建設用ロ

- ホームページ他で情報発信
- ロボット学会他との連携
- 必要な開発技術・課題を具体化し提案

建設用ロボット委員会

図-43 委員会提言の今後

ボット委員会では、ホームページでこういった提言を発信し、ロボット学会、他学会との連携を深めていきたいと思っています（図—43）。さらに必要な開発技術と課題を具体化して提案していきたいと考えています。

◆コーディネーター

土木学会の建設用ロボット委員会は1980年代後半だと思いますが、バブルの真っ只中に、建設会社を中心に設立されました。当時は、人手不足が懸念され、土木に人が入ってこなくなり作業員が不足するだろうということから、かなり真剣に力を入れて開発研究がなされていました。その後、バブルが崩壊して経済が低迷する中で、先ほどお話がありましたとおり、雲仙普賢岳等の復興災害への対応システムとして成長してきたという経緯があります。土木学会の建設用ロボット委員会もそれと同じ歴史をたどりながら活動を進めてきたということですが、昨年災害が起こったのを機に、改めて建設用ロボットの有用性を確認して、社会にその必要性を発信していこうということで、先ほどの提言を出したということなのです。

他学会との連携という話がありましたが、油田先生、ロボット学会でもこういう提言を出すという動きはあるのでしょうか。

●油田氏

建設ロボットという話ではなくて、地震災害並びに原子力災害に対してロボットがどういうふうに関わるべきかということでは、学会会議からも提言が出ておりますし、また、ロボット学会の中でもどう考えていくべきかと議論がされています。

ちょっと話は飛んでしまいますが、JCOの事故の後、事故のための対応技術が開発されました。そこでは一定の技術開発がなされたのですが、結果としては試作されたロボットは維持されませんでした。長い目で見れば技術としては残っていますから、技術は使われたけれども、緊急対応には全然生きなかったと言えるでしょう。しかし、無人化施工がこういうふうに関わるに立っている、その体制こそが私どもが学習しなければならないという、一つの大きなポイントです。しかし、震災対応等について一般的なことをねらうとちょっと話が大き過ぎるので、なかなかまとまらないという状況でもあります。

◆コーディネーター

いずれにしろ、建設分野だけではなくて他分野も連携しながら、ロボットの開発研究を積極的に進めようという機運を、社会的に広めていきたいと考えているところです。

続きまして、今日は発注者を代表して宮武さんに来

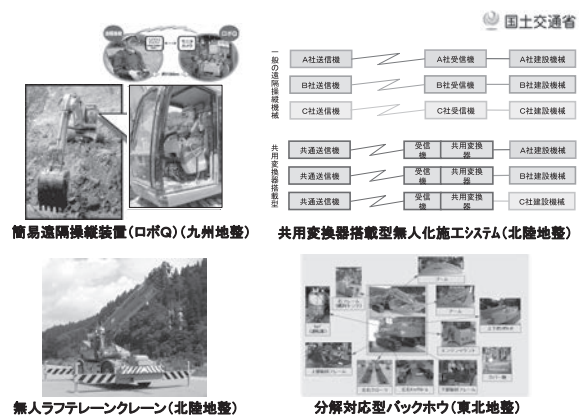
ていただいています。官側からの問題意識、その取り組みについて紹介をいただきたいと思っています。よろしくお願いします。

6. 国土交通省の無人化施工への最近の取り組み

●宮武氏

最初に紹介するのは、雲仙普賢岳における無人化施工です。平成6年に試験フィールドで導入されました。雲仙普賢岳における無人化施工は、近代の無人化施工の出発点とも言え、その後の災害、有珠山の噴火災害、福島第一原発における事故対応、昨年度の紀伊半島での河道閉塞の対応などに寄与しております。

スライドは、国土交通省の地方整備局で開発しました無人化施工機械です（図—44）。左上は簡易遠隔操縦装置、先ほども話がありましたロボQといわれているもので、操縦席に汎用のロボットを据えつけて遠隔操作を行おうといった機械です。右上は共用変換器搭載型無人化施工システムです。一般の遠隔操縦機械の場合、メーカーごとにそれぞれ送受信機を使うと思いますが、メーカー、機種、形式が違って、一つの送受信機で遠隔操作ができるようにしようということで開発されたものです。左下は無人のクレーンです。



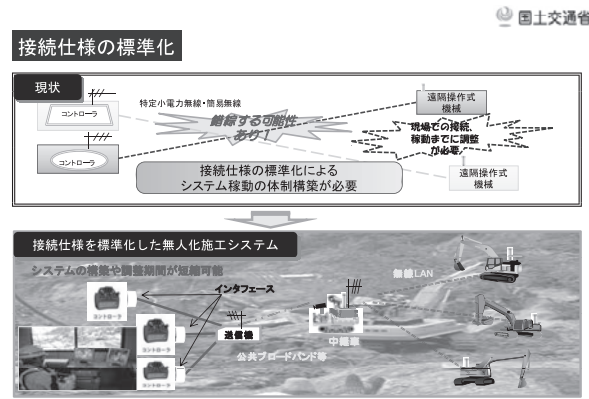
図—44 国土交通省の無人化施工に関する取り組み

右下は分解対応型バックホウです。1立方メートルのバックホウを分解し、ヘリコプターで輸送してできるようにすることによって、道路が途絶された被災地への迅速な対応をするために開発されたものです。

分解対応型バックホウは、昨年度の台風12号での紀伊半島の河道閉塞で活用されています（図—45）。この事例では、中部地整に配備していた分解型バックホウを、近畿地整管内の工場まで輸送し、そこで分解をして、ヘリコプターで運んで、現地で組み立てをし



図一45 国土交通省で保有する無人化施工機械（活用事例）



図一47 国土交通省の無人化施工に関する取り組み

て実際に無人化施工をしました。

次に無人化した調査用機械について紹介したいと思います。これは中越地震の後に、北陸地整で開発された機械です（図一46）。地震発生時、余震が続いている状況ですと、トンネルの内部の調査は難しいのですが、そういう状況の下、無人で調査をしようというものです。スライドの左上、クローラについているユニットとスライド中央の上、そのユニットを操作するユニットで構成されています。

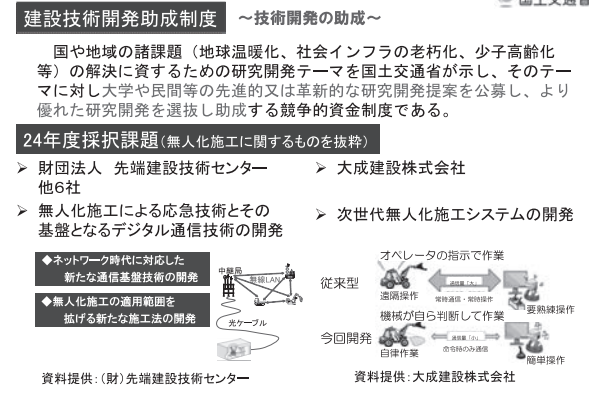


図一46 国土交通省の無人化施工（調査）に関する取り組み

次に私どもで現在取り組んでいるものについてご紹介します。接続、通信の仕様の標準化について、現在取り組んでいるところです（図一47）。遠隔操作式機械を複数現場で稼働させようとするときに、場合によって無線が錯綜する、混信する可能性が指摘されていますが、これを解決していこうというのがこの取り組みです。仕様を標準化し、現地で必要な調整するための時間、あるいは期間を短くして、より迅速な災害対応を可能にしようとするものです。今年度の取り組みを予定しております。

また、国土交通省では、建設技術開発助成制度という、大学、あるいは民間の研究開発に対して、技術開発を助成するという仕組みもあります。平成24年度

は、無人化施工に関するものが採択されております。先端建設技術センター等のグループで行われている「無人化施工による応急技術とその基盤となるデジタル通信技術の開発」と、大成建設が行っています「次世代無人化施工システムの開発」が採択されています（図一48）。今年度から3年間の開発期間を予定されており、3年後の実用化について私どもも期待しているところです。



図一48 国土交通省の研究開発助成制度

最後に、私どもの現在の取り組みのもう一つとして、先月26日に設置をしました建設ロボット技術懇談会を紹介したいと思います。これは今後の無人化施工技術、あるいは建設ロボット技術の調査・開発・活用に関して、ビジョンとして取りまとめることを目的に設置したものです。懇談会では、特に建設ロボット技術の課題、今日もパネリストの方々から紹介をいただいたようなこと、また、開発、活用の目標はいかにあるべきかといったこと、更には、それらを実際どうやっていくのか、特に調査・開発のあり方であるとか、あるいは産学官の連携、そして本日も指摘されています、オペレーターを代表とした人材育成のあり方について、今後議論をしていただく予定で考えております。

委員は、今日も座長あるいはパネリストとして参画されています。油田先生、建山先生、植木さん、北原さんといった学識者、あるいは産業界の方々も含めて、幅広く議論をしていくことを考えています（図-49）。

		国土交通省
座長	油田 信一	芝浦工業大学 工学部 電気・電子学群(電気工学科) 教授
委員	浅間 一	東京大学大学院 工学系研究科 教授
	高橋 弘	東北大学大学院 環境科学研究科 教授
	建山 和由	立命館大学 理工学部 建築都市デザイン学科 教授
	永谷 圭司	東北大学大学院 工学研究科 准教授
	鈴木 剛	東京電機大学 工学部 情報通信工学科 教授
	植木 睦央	建設無人化施工協会 会長
	岡本 直毅	(一社)日本機械土工協会 技術委員会 委員
	北原 成郎	(公社)土木学会 建設用ロボット委員会 土木技術小委員会 委員長
	立石 洋二	(社)日本建設業連合会 土木工事技術委員会 専門委員
	三浦 久	(一社)全国建設機械器具リース業協会 企画広報委員会 委員
	見波 潔	(一社)日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 所長
	山崎 豊彦	(一社)建設電気技術協会 企画部長
	渡辺 和弘	(独)土木研究所 技術推進本部長
(行政委員を除く、敬称略、五十音順)		

図-49 建設ロボット技術に関する懇談会（委員）

先月26日に第1回目の懇談会を開催していますので、主な御意見を簡単に紹介したいと思います。「災害がなければ無人化施工技術が使われないのであれば、技術の改善あるいは維持は難しい」、「普段から現場で活用する体制を目指すべきである」、「普段でも使え、かつ、災害対策ではこういう用途に使えますという、建設機械をつくるべき」「現場でのモチベーションという意味では、明確なゴールの設定が重要である」、「建設業界はいろいろな方々からなっている業界であるが、この業界の実態をよく踏まえて戦略的な検討が必要である」、「省庁連携によって上手に開発が進む枠組みが作れるといい」等、本日は紹介しきれない多くの意見をいただいたところです。

懇談会は、今後年度内にあと2回行い、取りまとめをし、公表していくことを予定しております。私どものホームページでは、懇談会で使いました資料、議事の概要を公開することとしておりますので、関心のある方は、是非見ていただければと思っております。

## 7. ディスカッション

### ◆コーディネーター

発注者として、国としての現状の認識と課題への対応策ということで説明をいただきました。

ここまでの、これまでの日本の無人化施工の到達点並びに、今わかってきている課題ということで説明をいただきました。今日のパネルディスカッションでは、無人化施工の技術が、今後もますます発展する必要がある

あるということを前提に話をさせていただきたいと思っています。それはもう要らないという話になると、このディスカッションも終わってしまいますので、将来、例えば20年後を見据えたときに、恐らく無人化施工技術は今よりももっと一般的に使われているであろうことを想定し、それに向かって、今、我々が何をしなければならぬのかということの後半では議論していきたいと思っています。

今からは2つの切り口に分けて議論させていただきたいと思っています。一つ目は先ほどありましたとおり、雲仙という大きなプロジェクトがあって、その中で無人化施工技術は磨かれてきました。ただ、雲仙普賢岳もそろそろプロジェクトとしては収束していくこととなります。そういった時にこういった技術を、一つ上のレベルの技術にまで高めていくには、やはり何か別の仕組みが必要になってくるかと思っています。そういったあたりを一つの切り口として議論したいと思っています。

もう一つは技術的な側面です。今日、油田先生にもおいでいただいておりますので、ロボットという分野から見たときに建設用ロボット、あるいは無人化施工技術、もっとこういう可能性があるのではないかというお話をいただけたらと思います。あるいは実際に無人化施工技術を開発してこられた方々からは、こういった技術があればいいとか、こういったところをもっと開発したいというニーズもお聞かせいただきたいと思います。その2つの切り口で、今から議論をしていきたいと思っています。

### (1) 蓄積された技術をさらに高めるための取り組みについて

#### ◆コーディネーター

それではまず一つ目の切り口で、先ほど来お話がありましたとおり、日本の遠隔操作の技術、無人化施工技術は雲仙普賢岳を初めとする、災害で大きくなってきたということが言えます。植木さんの先ほどの説明にもありましたとおり18年で150件、そのすべてが災害の現場だということです。雲仙のプロジェクトがなくなると、あとは災害待ちで、実用できるのはそこしかないということになっていくと、民間企業がそういった技術を保持するのが非常に難しい状況になってくるかと思っています。

そう考えると、先ほどの宮武さんのお話の中でも少しありましたが、普段使いの機械として、普段の工事でも一部そういったものを取り入れながら技術を磨いていく場がこれから必要になっていくのではないかなと思っています。そのあたり、宮武さん、国としての



方針、あるいは方向性のようなものがありましたらお聞かせください。

### ●宮武氏

懇談会においても、普段から使っていくということが非常に重要で、いざ、災害の時に使ってくれといわれても、なかなか使えるものではないといった意見をいただいています。それは今日参加されている聴衆の方も、JOCの事故を教訓に作った機械が廃棄されていたといったことからご理解いただけるのではと思っています。このため、私どもとしてもどうやって普段から使っていくかということ、今後知恵を出していかなければならないと思っています。

先ほど植木さんのパワーポイントの中で、無人化施工については全国的に使われているといったお話があったかと思います。あれが全て災害の現場というのではなく、必ずしも災害の現場ではなくても人が入ると危険であるとか、無人化施工しなければいけないといった現場もあったということがあるのであれば、小さい現場でも、あるいは工事全体の中で占めるウエートが小さい現場であっても使っていくといった工夫があるのではないかと考えています。

雲仙普賢岳のような大規模な現場が、今後現れるかどうかということにはわかりませんが、このような災害は起こらない方がいいのですが、いざという時に備え、どのように技術を確保していくのかということにつきましては、今後皆さんとともに議論を交わしながら、いい知恵、いい仕組みを作ることができればと思っています。

### ◆コーディネーター

お名前が出ました植木さん、実際に無人化施工を使われる中で一般の工事、普段使いの中でそういうことがあり得るのかどうか。それを行うに当たって課題は何かというあたりを少し、お考えをお聞かせいただけたらありがたいですが。

### ●植木氏

無人化施工に使用する建機は、普通の建機に無人化仕様の装置を後から乗せているという構造のものです。保有する業者さんは普段は普通の建機として使っています。いざ、無人化が必要だという時には、一旦工場に入れてその設備を付けて、その現地に送り込むという仕組みで運用しています。ただ、そういうふうにして使われるのが一体いつなのかということが、問題になる一つだと思います。

無人化施工は、人が入っては危険な場所で使われるのが当たり前のもので。それと引きかえに、カメラの画像で遠隔操作をするため作業の効率は落ちます

し、細かい作業はできません。ですから、必要な状況になれば使うという選択だと思います。それが一体いつなのかというのが非常に曖昧なので、そこが大きな課題と言えます。

災害の現場でも、危険性を判断して無人化を採用するジャッジを誰がするのかという根本的な問題があり、線引きが非常に難しいところです。ですから、無人化施工の普段使いという判断基準もなかなか難しいところがあるのかと思います。

### ◆コーディネーター

恐らくコストの問題であったり、あるいは実際の災害と普段の工事というのはまた違いますから、普段使っているから必ずしもすぐに災害で使えるというわけでもありませんので、そういったところの調整なども本当は必要になってくるかもしれませんが、やはり「普段使い」というのは重要なキーワードとして、是非押さえておきたいと思っています。

なぜ普段使いが必要かということ結局は常に使って、常に技術を磨いて向上させていくプロセスが必要だからだということだと思いますが、それが雲仙普賢岳のプロジェクトの中でこれまでなされてきたから今があるのだと思います。田村さん、プロジェクトの中でいろいろ失敗も重ねながら、今の技術が作り上げられてきたと思いますが、そういったフィールドが大事だということ、少し事例を挙げて紹介いただけるとありがたいのですが。

### ●田村氏

先ほど説明したように、何をやるにしても雲仙というフィールドがあったので、例えば有珠とか三宅とか、その後の災害で何か対応しなければいけないという時に、全部今まで培われた雲仙の技術をそこにポンと持って行けたわけです。それがあったから、今、全国150カ所ぐらいですかね、そういうところで多分やられてきていたと思いますが、その貯金箱がなくなると、どこからも何も持って来なくなるという状況が起きるのではないかと懸念しています。

それでは普段使いでちょこちょこやっておけばいいじゃないかというのがありますが、先ほど私の紹介でも説明しましたとおり、機械の専門家、電気通信の専門家、土木砂防の専門家、皆がいなくてできない技術なので、そういう技術者が全員集まって意見を戦わせるようなフィールドは必要なのかと感じています。

### ◆コーディネーター

それはやはりある程度のサイズがあって、そういう多くの方が係わって作り上げる仕組みが必要だという

ことですね。

### ●田村氏

サイズというよりも質じゃないかと思います。高度な質のものをやり続けていけば、多分簡易なものはその蓄積の中でできるのではないかと。ただ、細かい簡易なものを日本中でやっているだけだと、多分簡易なものに段々退化していくという意味です。

### ◆コーディネーター

単に普段使いということではなくて、常により高い技術に持っていくための技術研鑽の場を整えたフィールドが必要だということですね。この点について、油田先生、お願いします。

### ●油田氏

先ほど申し上げました JOC の事故の後、経済産業省や科学技術庁が、事故の時に対応するためのロボット技術が必要と考え、海外の調査もして、こういう時に使えるというロボットが開発・試作されました。これは、ちょうど今回の福島で、原子炉建屋内で他のフロアに行っているいろいろな状況を見て、線量を測ってくるというモデルでした。

しかし、このような原子力対応ロボットの試作がなされたわけです。それが残念ながら、少しだけのテストをした後、維持する予算はなく、その時点では国内で原子力の事故は起こらないから、それ以上深くやる必要はないという社会的な共通理解のもとに、維持はされなかったということがありました。

大変不幸ながら、その後10年間で事故が起きました。今、廃炉に向けての作業のためのロボット技術や遠隔技術を担っておられる方々の中には、その時に技術開発に係わっておられた方が、まだ現役でおられるというのがせめてもの救いです。

ただ、無責任な言い方をしますと、「その機械を維持して、いざというとき使うぞ」というつもりでとっておいたのでは、多分使えなかったと思います。なぜかという、例えば、必要だと言いつつ機能を満載し過ぎて、特に福島第一の原子炉の中で働けるサイズではなかったというファクターがあります。そういう意味では、原子力対応としては、どんな事故が起こり得るかということを十分に想定して、それに対応するものが必要ですが、同時にそれを普段から使っていることが必要になります。

正しく、無人化施工の機械は、普段使いをしていたおかげで一定の役割は果たしました。とにかくいろいろな機械を常時きちんと使っているということは正しく必要です。しかし、ある程度事故を想定すると、それに対応したものを普段使うには、やはり使いにくい

ということが起こるのではないかと心配します。

土木学会の建設ロボット委員会の方々が、普段使いで建設ロボットを作ろうと言っていたのは、私どもから見れば大変心強い。とはいえ、実際にはどんな所でいうのを決めないで作っているというのは、ロボットとしてかなり弱いだらうと思います。それに対して無人化施工は、とにかくはっきり「この場で」と言って使われてきていたというのが圧倒的に強いわけです。単なる普段使いという以上に、とにかくこんなところでも使えるというところを、普段から頑張っておいていくというのを、いかにやるべきかということであろうと感じております。

この画面(図-50)を出してください。レスキューロボットでは、人命を相手にすると72時間が勝負です。つまり、ガレキの下に埋まった人が生きている可能性があるのは72時間だということで、レスキューロボットとしては72時間というキーワードで研究開発がされております。

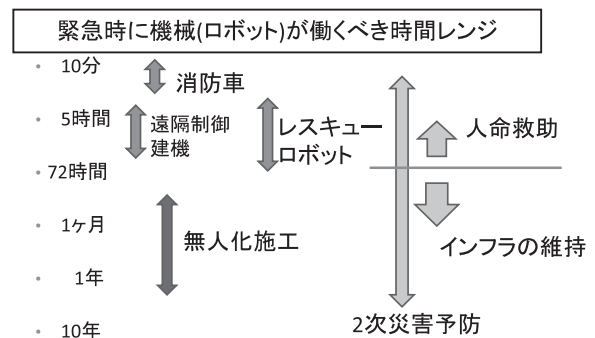


図-50 緊急時への対応：事前準備の必要性

福島の事故では、クインスという名のロボットが原子炉建屋の中を見に行くのに使われています。これは、レスキューロボットで作ったものが、新たに作り直すことによって福島でも使われたという例ですが、そこでは72時間ということ言わずにその技術要素が使われました。この様に、その技術要素をアライブしておくというのと、ロボットそのものをアライブしておくというのは、ちょっと分けて考える必要があるだらうと感じているところです。

### ◆コーディネーター

普段使いの機械が緊急時において有効に使われるためには、速やかにそれが必要とされる場所に配備され、更にそれが機能を発揮することのできる環境を整えることが必要です。油田先生から、4月6日に無人化施工の技術が福島原発にいち早く取り入れられたという話がありました。その時に、日本のどこにどういった機械があって、オペレーターはどれだけいて、それら

をどう配置するかというような、ロジスティック面はうまく機能したのでしょうか。そのあたりの事情を植木さん、御存じでしょうか。

#### ●植木氏

建設無人化施工協会では保有する機械の現況情報は、災害発生後に最新情報にすぐ更新し、最新の情報を提供します。今回の福島への対応は、直接協会として対応していませんが、各企業がこうした情報をもとにして、熟練オペレーターへの所在を確認した上で対応しています。

熟練のオペレーターは日本中に数十人いますが、実は雲仙普賢岳の工事に従事している人が大半です。彼ら熟練のオペレーターが、例えば全員福島原発に行ってしまうと他の災害に対応できませんし、遠隔と言いつつも被曝量の制限といったことがありますから、計画的にオペレーターを教育しながらローテーション体制が必要であるとか、短時間で考えながら、皆さん協力して、現在の体制を作ったということになります。

最初着手したガレキの撤去などは、準備期間が大変短いため長距離の遠隔運転システムを用意できず、実際に動いている建機と、50mなり100m離れた、遮蔽された運転室を持った車両が一緒になって動いていくような仕組みになっていました。

一方で、少し時間が経った後というのは、計画的に通信方法や建機を選択して、遠いところから運転するという手法が変わってきています。初動は正に今まであったものを、今までの情報網を使って、皆さんがそこに持ち込んだということになります。

#### ◆コーディネーター

緊急並びに復旧時、それぞれ適切に対応できる仕組みができているということのようです。

ここまでは、無人化施工技術がより発展するために必要な仕組みということで議論をしていただきました。基本的には普段使いと言いつつも、さらにそれぞれの技術をより高いレベルのものに進化させていくようなシステムを入れた仕組みが必要だろうというお話かと思えます。これについては産官学が共同しながら議論し、その実現に向けて、努力していく必要があるということかと思えます。

### (2) 無人化施工の今後の技術開発について

#### ◆コーディネーター

それでは、2つ目のテーマに移りたいと思います。2つ目のテーマは、技術面の話をさせていただきたいと思います。無人化施工技術はあるレベルまで到達しています。しかしながら、まだまだ技術面の課題は多

いと思います。

北原さん、実際に無人化施工技術を開発されている中で、こういうところはもっと改善しなければならないとか、こういう技術が必要だということをお考えになっておられたら、お聞かせいただけないでしょうか。

#### ●北原氏

雲仙の試験フィールドが非常に重要だというのは、田村さんからお話があったと思いますが、この時の条件が非常に明快でした。200～300mの範囲の中の巨礫の除去ですとか、100m以上の遠隔操作ということで明快なものに対して、当時、技術はここに沢山ありましたが、それを組み合わせて実現するということが全くなかったのです。この試験フィールド制度の価値の大きいところは、今までにないことを、多くの技術を組み合わせることによって、より高度な技術を実現したということです。

先ほど説明したように、高度実用化研究というのは正にその部分でして、その部分についての開発というのは、なかなか一企業でできることではありません。企業内では個々の要素は、技術は開発したりということにはなりますが、より大量の土砂を除去するとか、難しい火山への対応ということになると、企業の枠を超えてしまうことになります。そういった中で、例えば国のほうから明確な方向が示されると、より経営資本を集中するというか、研究投資ができるという格好になるかと思えます。

火山災害については、特に大震災の後、過去の歴史を振り返ると必ず大きな火山噴火があると言われております。数年の内にあるのではないと言われておりますが、こういうものについての技術開発は、実はまだ十分されているわけではありません。特に、火山灰等の除去になると大量の重機が走り回ることになる。こういったものについては先ほどもありましたように、無線の混信の問題ですとか、全体の重機をどうやってうまくコントロールするかという問題が出てきます。

そういった高度の遠隔操作技術が求められる反面、無人化施工そのものが実は大まかに言えば、作業効率が6割程度と、有人施工に比べて効率が落ちるという問題があります。これは五感情報が伝わらない、モニターだけでうまく現地の情報が伝わらないという問題ですが、これについては全く新たな分野と言いますか、空間認知の問題で、いかにオペレーターにいい空間情報を提供するか。五感情報のどの部分を伝えれば遠隔操作が進むのかといったような、非常に大きなテーマもあります。こういったものについては今後何十年かかるかわかりませんが、進めていくべき技術課題だろ

うと思っております。

#### ◆コーディネーター

田村さん、砂防という場に無人化施工技術を取り入れていく上で、もっとこういう技術があればありがたいという話があればお聞きしたいのですが、いかがでしょうか。

#### ●田村氏

今お話がありました、正に火山なんかはそうです。噴石がばらばら落ちてきているところで工事を進めなければいけない。いつ噴火するかわからないという中、それは正に無人化施工の活躍する場だと思いますし、もちろん、雲仙であったような火砕流を出す火山だっていっぱいあります。そういうところはもちろん、そういうものに強い機械、通信技術が必要だと思います。

それと、一般的な地震などで言えば斜面とかで、余震がある時の落石などがある所は、有人ではなかなか工事はさせられないだろうと思います。そうすると、余震が1日で終わればいいのですが、3カ月、半年続く場合もありますので、そのまま何もしないでいいということにはならないので、やはり無人化施工が必要だろうと思います。

普通の機械を使い回すというのももちろんありますが、強固のというのか、補強をしながら使うというのも必要かなと思います。それから一方で、現地まで機械が行ってしまえば何とかありますが、機械が搬入できないで数カ月、歯ぎしりをしながら待つということがままあります。そういう意味では、国交省でも一部分解型の機械を開発していますが、そういう分解・搬入ができる機械なども、是非あってほしいと思います。

それと、大規模崩壊が起きると、紀伊半島の時もそうでしたが、大きい転石がいっぱいごろごろしていて、組み立て式の小さい機械を持って行ってもらちが明かないようなこともあるかと思えます。雲仙でも最初に取り組んだように大きい岩塊を破碎するようなパワーがある機械とか、まだ今の技術でネックになっている部分は幾つかあると思いますので、正にそういう点をいろいろな技術者が集まって、解決していくことが必要ではないかなと感じています。

#### ◆コーディネーター

植木さん、効率や精度面では、まだまだオペレーター操作に追いつけないという話がありました。このあたりはいかがでしょう。

#### ●植木氏

カメラを見ながら運転するので、当然細かい作業はできませんし、作業効率も悪くなります。雲仙でも作業効率向上の追求は今までもなされてきましたが、オ

ペレーターの操作環境を整えることによって、通常人が乗っているのになるべく近づけるということはできると思います。そういう研究開発によっていろいろな作業の局面で使えるようになる可能性があると思います。

#### ◆コーディネーター

今のお話は、バケットで掘削した時にその衝撃が離れて操作する操縦席にまで伝わるようなイメージででしょうか。

#### ●植木氏

音や振動をどのように伝えると再現性が高いのかについては、いろいろな研究がされていますが、明確な回答は得られていません。いわゆるフライトシミュレーターのものがあればいいのかもしれませんが、その製作費用が建設機械より高額になると思います。

一方で建設機械には、マシンコントロールやマシンガイダンスという情報化施工技術があって、現在の無人化施工の機械に組み込まれています。単に搭乗運転と同じ状況を再現するというアプローチではなく、様々な情報を組み合わせることで、作業効率の向上にはつながります。

ただ、装置を追加するごとに当然コストはアップしますので、適度なバランスで選択するのが現実的ですし、たくさん売れるシステムでなければコストは下がらないでしょう。

#### ◆コーディネーター

それでは油田先生、ロボットという分野から見られた時に無人化施工、あるいは建設用ロボットと言っているものには、もっとこんな可能性があるのではないかという話がありましたら、お聞かせいただけたらと思います。

#### ●油田氏

今、植木さんのお話は、基本的には人による運転性能と同じものを目指したいというお話でして、それが共通理解という気がします。しかし一方、遠隔操作をするという前提に立ったら、何かしらのもうちょっと違う自動化ができる部分があります。そういうところをいかにうまく作っていけるかも重要かと思えます。ロボットとか自動化という立場から見て、次なるステップを考えるとすれば、遠隔無人化を前提とした段取りも含めてそれを具体的目的とした技術をいかに開発してゆくかということになると思います。

実はこれはロボットの世界で常にある問題ですが、工場の中をロボット化して、それを徹底すると結果として働いているのはロボットではなくて、ほとんど自動機械になってしまいます。この無人化施工や建設機械が特に災害に近いところで働くことの難しさは、工

場の中と違ってやはり定型にならない、決して繰り返すにはならない、そして何が起るかわからないところでいかにかやるかというところの問題だからです。人が入れないというのを前提にするのに、人のパフォーマンスまで行けないとだめと言っていると、結局はうまくいかないでしょう。人のパフォーマンスをねらおうと思ったら、他の自動化の技術とどんどん結びつけて、ロボットではないものをねらってゆくことが必要という気がします。

このスライド(図-51)を出していただけますか。これはロボットの高度化に必要で、ロボット屋として何をやらなきゃいけないかなと常日ごろ考えていることについてのスライドですが、今、皆さんのお話を伺いながら赤い色(当報告では、下線)を付けました。これは残念ながら、「私どもはこういう技術を持っています。ついては無人化施工の皆さん、是非使ってください」というリストではなくて、「こういうことをやらなきゃいけないと思っております。ロボットをちゃんと動かすためにはこれが必要です」というリストになっています。これは無人化施工でやっている経験を教えていただき、それを私どもがうまく利用して、部分的にはもちろん、お返しすることができるという部分であろうと考えています。

- 動作機能
  - センサ - 環境認識
  - アクチュエータ - 制御
- 通信
  - ロボット間、ロボット-ステーション間
- ロボットの知能
  - 動作計画、環境モデル、学習
- 実世界対応技術・実問題対応技術
  - 物理的制約
  - 社会的制約
- ヒューマンインターフェイス技術
  - 操作
  - 提示
  - 通信おくれへの対応
- システムインテグレーション
  - 作業の分析
  - システム設計、作業の段取り

図-51 ロボットの高度化に必要な技術要素

ロボット屋が持っている問題意識と無人化施工が向いている技術の方向はかなり重なっているの、ロボット研究者としても無人化施工のグループと更にコミュニケーションが必要だと改めて思っています。

#### ◆コーディネーター

無人化施工を前提とした施工法、確かに考え得る話だと思います。例えば情報化施工において施工管理にICTを入れるといった時に、従来の施工管理の方法をICTに置き代えるだけだと、ICTの持っている機能を十分発揮することができません。情報化施工を一段高い技術にするには、ICTを導入することを前提

として、施工管理の方法自体をどう変えていくのかを議論する必要があります。

それと同じで無人化施工も、無人化というのを前提に施工の方法、あるいはあり方を考えていくと、また新しい技術が出てくると思います。そういうことも含めて、ロボット学会は非常に頼もしい連携のパートナーだと思います。これからもどうぞよろしく願いたします。

最後に宮武さんに、こういう技術開発のニーズとシーズなどの機運を見据えて、発注者としての政策的な方針をお聞かせいただきたいと思います。

#### ●宮武氏

まず、これからどうしていくかということについては、正にそのために建設ロボット懇談会を設置しましたので、その中でしっかりと議論をしていきたいと思っています。

今日のパネルディスカッションの中でも幾つかキーワードが出ていますかと思えます。産学官の役割分担、連携、例えば官と民との役割分担ですが、官が全てを持つことが本当にいいのか、あるいは民が全てを持つことがいいのかということではなくて、多分その中のどこかに接点みたいなものがあるのではと思っています。

私から今日は官が開発してきたものを幾つか紹介しましたが、官だからこそ必要な技術開発も当然ある。他方、民間のほうで技術開発をしていきたい、お願いをしたいといったものも当然ある。そういったことを今後、しっかりと議論していくということだと思います。

また、機械だけに注目するのではなくて、その活用のあり方、あるいは継続して人材を育成していく、教育をしていくといったことも非常に重要になってくると思っています。

今日は、災害時に使う無人化施工といったことに注目がされがちですが、社会資本が今後、老朽化していくことを踏まえ、如何にメンテナンス、維持管理をするかという課題もあり、こうした分野にも無人化の技術を活用していくということもあります。

ニーズとシーズといった話につきましては、懇談会においても今後、今日パネリストとして参画されている方々、あるいは学の方々、それから業界の方々、また、私どもの、特に現場を預かっている事務所、あるいはそういった経験のある方々にしっかりと聞いていくといったところから、具体的な今後の方向性、施策を考えていきたいと思っています。

今日ここにお集まりの皆様方からもいいお知恵がありましたら、是非私どもの方にいただければと思っています。

## 8. 会場の参加者との意見交換

### ◆コーディネーター

フロアから御質問、あるいは御意見、コメントなどがありましたらお受けしたいと思いますが、いかがでしょうか。

#### ◎玉石修介氏（玉石重機株）

最後に建山先生から施工方法というお話が出た中で、私どもが施工しています無人化の現場で工夫した例を紹介します。

クローラダンプ、いわゆるキャタピラー駆動仕様のダンプですが、上部旋回型のタイプがありまして、私どもはそれを使っております。クローラダンプに荷を積んで、ラジコンで走らせておきながら、荷下ろしの場所に着く前に上部を回転させてしまうというやり方です。いわゆる無人機特有の施工法を取り入れています。これは人間が乗った形ではできない。当然目が回りますし、位置関係が確定できませんから。

ただ、ラジコンだからこそ、そういう施工方法ができて、それが施工の効率化、それから土壤の悪い災害地でしたので、実は往復するだけの行程ですと走行で傷める範囲が限られて済むのですが、上部が回転させないと、荷下ろしのために向きを変えるとということで、下ろす場所、積む場所で地面を傷めてしまう。そういうことも含めて、無人化機材の従来とは違う使い方というのは、そういう意味でもできると考えています。

あと一つ、小さな現場でなんですけど、たまたま無人化機材を持っていったときに人手が足らなくて、現場で管理する者にラジコンを持たせて、ほんの20～30mの土の移動でしたが、乗らずに周囲の監視をしながら土砂を移動させたということもありました。ちょっとしたことかも知れませんが、施工方法から変えていくというのが、非常に有効ではないかなと感じております。

### ◆コーディネーター

貴重な情報でした。ありがとうございます。他にいかがでしょうか。

#### ◎小葉賢一氏（西尾レントオール株）

バックホウの情報化施工は、マシンコントロールがまだ進まない。というのは、タイムラグが大き過ぎてなかなかうまくいかないということでした。以前に話し合いをした中で、いわゆる砂防ダムの砂取りが、地すべりの所だとかいろいろと危ない所があって、なかなかできないということが出てきましたが、この無人化施工、ロボット施工を活用し、バックホウをマシン

コントロールで行えば、タイムラグがあろうが何であろうが、施工効率としては相当落ちますけれども、十分に機能が発揮できるのではないかと思います。ですから、今まであった技術、今持っている技術の組み合わせもいろいろ考えれば、新たな活用が見込まれると思います。いかがでしょうか。

### ◆コーディネーター

北原さん、一言コメントをお願いします。

#### ●北原氏

マシンコントロール、自律型のバックホウの掘削というふう認識しますと、これについては過去に日立建機やキャタピラージャパンといった建機メーカーがトライアルされています。課題としてはやはりコストの問題があります。それからバックホウ自体の問題は、制御対象が非常に複雑であることです。その対象が複雑なものに、どうやってマシンコントロールを適用するのかというところで、バックホウのブーム、アームの自由度が高いものですから、それだけ難しくなるというように聞いております。

大きな課題で、先ほど紹介があった建設技術開発助成制度の中で、大成建設が自律のロボットに取り組むという研究課題を今やられていますので、そういう研究も一つ、参考にされたいのではないかなと思います。重要なテーマだと思います。

## 9. おわりに

### ◆コーディネーター

今日のまとめとしましては、無人化施工技術、これまで発展してきたものを更に発展させるためには、普段汎用的に使うとともに技術を磨くことのできるフィールドが必要であるということが言えるのかと思います。これについては産官学が連携しながら、そういった場を充実させていく必要があると思います。

技術的には今日、幾つかのテーマをいただきました。そういったものを我々建設だけではなくて、ロボットの分野の方々と一緒に高めていく努力をする必要があると思っています。

本日は長時間にわたりましてパネルディスカッションを聴講いただきまして、まことにありがとうございました。またパネリストの皆様、多大な御協力をいただき、ありがとうございました。

それでは、パネルディスカッションをこれで終わりにしたいと思います。どうもありがとうございました。