令和元年7月25日発行（毎月1回25日）　Vol.71 No.7 （No.833）　ISSN 2187−851X

一般社団法人
日本建設機械施工協会誌（Journal of JCMA）

# 建設機械施工

2019 7

Vol.71 No.7 July 2019（通巻833号）

## 特集 IoT, AI, ビッグデータ

新コンセプトのキャブレス無人ダンプ車両（2016年の米国展示会における実機展示の様子）

巻頭言 施工のデジタルトランスフォーメーションで実現する未来の建設現場

行政情報
- データ活用による建設現場の生産性向上
- 地理院地図

交流の広場 C⁴Iにみるict施工の未来

JCMA報告 日本建設機械施工大賞　受賞業績

技術報文
- 無人建機による自律施工がもたらす未来の建設現場
- 建設機械の自動化による次世代建設生産システムの開発
- 深層学習を用いた油圧ショベル自動制御システムの開発事例
- 自律飛行型ドローンとAIを活用したトンネル発破施工の最適化
- 山岳トンネル切羽評価AIシステムによる生産性向上　他

一般社団法人 日本建設機械施工協会

令和元年7月25日発行
（毎月1回25日）通巻833号

SMARTCONSTRUCTION

労働力不足やオペレータの高齢化、安全やコスト、工期に関わる
現場の課題を、お客様とともに解決していきたいと私たちコマツは考えました。
現場全体をICTで有機的につなぐことで生産性を大幅に向上。
そんな「未来の現場」を創造していくソリューションです。

# 次代に向けて、知性をその手に。

## ～ICT建機、ラインナップ拡充～

PC200i

## ICT油圧ショベル

複雑なレバー操作なしでも
高効率な施工を実現。
GNSS* アンテナと基準局から得た刃先の
位置情報、施工設計データをもとに、
作業機操作のセミオート化を実現した世界初の
マシンコントロール油圧ショベルです。
*GNSS（Global Navigation Satellite System）GPS、GLONASS等の
衛星測位システムの総称。

PC300i

## ICTブルドーザ

世界で初めて掘削から仕上げの整地までのブレード操作を自動化。また、粗掘削時にブレード負荷が増大すると、
シュースリップが起こらないように自動でブレードを上げて負荷をコントロールし、効率良く掘削作業が行えます。
さらに、事前に設定した設計面に近づくと自動認識して、粗掘削から整地に自動的に切り換わります。

D37PXi

D61PXi

D65PXi/EXi

D85PXi/EXi

D155AXi

KOMATSU

**コマツ 国内販売本部**

〒107-8414 東京都港区赤坂2-3-6 https://home.komatsu/jp/

動画でご紹介

雑誌 03435－7

4910034350797
00800

「建設機械施工」 定価 本体八〇〇円（税別）

# ダム工事用コンクリート運搬テルハ（クライミング機能付）

## 重力式コンクリートダム等の新しいコンクリート運搬装置

**コスト・安全・環境に配慮した最適な施工が行えます。**

**特 長**

**●コストパフォーマンスに優れる。**
機械重量が比較的軽量で、構造がシンプルな為運搬能力に対して安価である。

**●安全性に優れる**
コンクリートバケットが堤体上空を横切らないので安全性に優れる。

**●環境に優しい。**
河床に設置されるので、ダム天端付近の掘削を少なくできる。

**●大型機材の運搬も可能**
専用吊り具で車両等の大型機材の運搬が可能。

YOSHINAGA

## 吉永機械株式会社

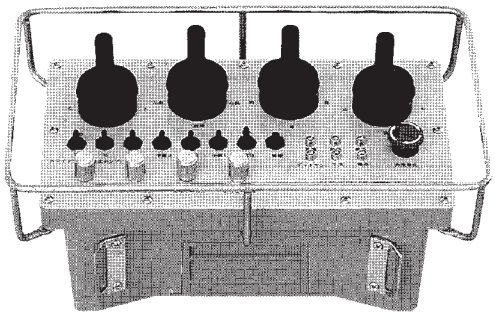
〒130-0021　東京都墨田区緑4-4-3　TEL. 03-3634-5651
URL http://www.yoshinaga.co.jp

---

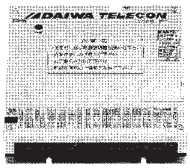
建設機械用 無線操作装置

# ダイワテレコン

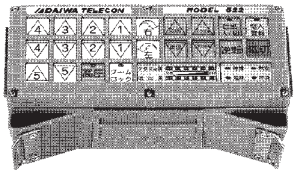
## あらゆる仕様に対応 指令機操作面はレイアウトフリー



ダイワテレコン　５７２　※製作例 比例制御４本レバー仕様



受令機



ダイワテレコン　５２２

《新電波法技術基準適合品》

- スイッチ・ジョイスティック・その他、混在装備で最大操作数驚異の**96**CH。
- コンパクトな指令機に業界最大**36**個の押しボタンスイッチ装着可能。
- 受令機の出力はオープンコレクタ（標準）リレー・電圧（比例制御）又は油圧バルブ用出力仕様も可能。
- 充電は急速充電方式（－△Ｖ検出+ｵｰﾊﾞｰﾀｲﾑﾀｲﾏｰ付き）
- その他、特注品もお受けいたします。お気軽にご相談ください。

DAIWA TELECON

## 大和機工株式會社

本社工場　〒 474-0071　愛知県大府市梶田町 1-171
TEL　0562-47-2167（直通）　FAX　0562-45-0005
ﾎｰﾑﾍﾟｰｼﾞ　http://www.daiwakiko.co.jp/
e-mail　mgclub@daiwakiko.co.jp
営業所 東京、大阪、他

# FA機器の 最適無線化提案

クレーン,搬送台車,建設機械,特殊車輌他
## 産業機械用無線操縦装置

Ⓝ微弱電波 Ⓤ429MHz帯特定小電力 Ⓖ1.2GHz帯特定小電力
Ⓜ315MHz帯特定小電力 Ⓢ920MHz帯特定小電力

### スリム ケーブレス
N/U/Gシリーズ
微弱電波・特定小電力両モデル対応

**No.1の オーダー対応!**

■ 優れた耐塵・防雨性能
■ 選べる2段押しスイッチ! ストロークの異なる2種類から選択可能!

8操作 標準型 RC-5808N 15万円~
12操作 標準型 RC-5812N 17万円~
16操作 準標準型 RC-5816N 19.5万円~
※ボタン配置自在

### タフ 頑強 ケーブレス
N/U/Gシリーズ
微弱電波・特定小電力両モデル対応

**タフな現場に! 落下にタフ、水にタフ!**

■ 堅牢なボディ!
■ 特殊スイッチ装着可能

標準型 RC-8616N 22万円~

### チップ ケーブレス
N/Mシリーズ
微弱電波・特定小電力両モデル対応

**使えば分かる、コストパフォーマンス!**

■ トコトン機能を絞って コストダウン!
■ 乾電池仕様
■ 優れた耐塵・防雨性能

8操作 標準型 RC-3208N 12万円~
5操作 標準型 RC-3205M 11万円~
12操作型 標準型 RC-3212M 14万円~

### マイコン ケーブレス
N/U/Gシリーズ
微弱電波・特定小電力両モデル対応

**あらゆる環境での無線化に対応!**

■16操作16リレー 最大25リレーまで対応可能

標準型 RC-6016N 20万円~

### ケーブレスミニ
Nシリーズ
微弱電波モデル対応

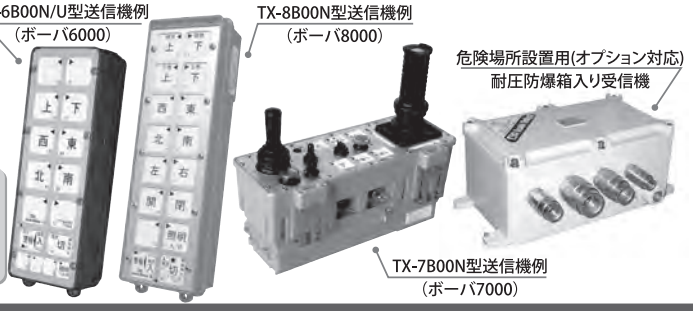
**ポケットサイズの本格派!**

■ 最大5リレーまで対応可
■ 2段押しスイッチ追加可能 (オプション)

標準型 RC-4403N 10万円~

### 防爆形無線機 ボーバ(BoBa)
N/Uシリーズ
7B/8B…微弱電波のみ
6B…微弱・特定小電力両モデル対応

**爆発の雰囲気がある危険場所での遠隔操作に!**



TX-6B00N/U型送信機例 (ボーバ6000)
TX-8B00N型送信機例 (ボーバ8000)
危険場所設置用(オプション対応) 耐圧防爆箱入り受信機
TX-7B00N型送信機例 (ボーバ7000)

### 双方向データケーブレス100S
Sシリーズ(920MHz帯)
特定小電力モデル対応

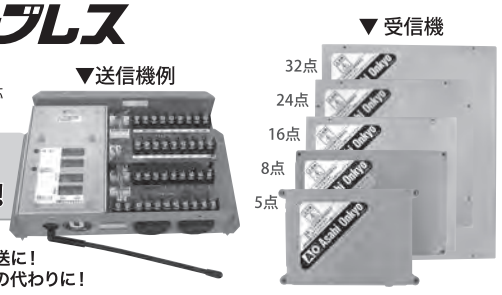
標準型 TC-1000808S 26万円~

**・FA機器の制御に特化!**
**・双方向制御が、1セットで対応可能**
**・8点の送受信が可能!**

### データケーブレス
N/U/Gシリーズ
微弱電波・特定小電力両モデル対応

**工夫次第で用途は無限!**

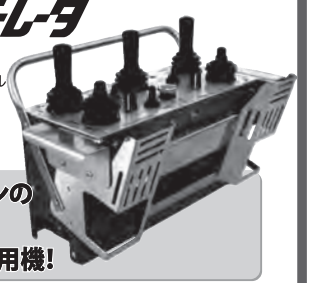
■ 機器間の信号伝送に!
■ 多芯の有線配線の代わりに!



▼送信機例
▼受信機
32点
24点
16点
8点
5点

### MAXサテレータ
U/Gシリーズ
特定小電力専用モデル

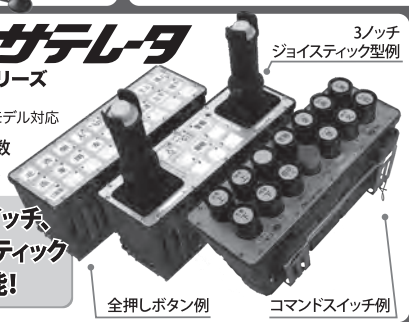
**金属シャーシの多操作・特注仕様専用機!**



### マイティサテレータ
N/U/Gシリーズ
微弱電波・特定小電力両モデル対応

■ 操作信号数 最大32点

**特殊スイッチ、ジョイスティック装着可能!**



3ノッチ ジョイスティック型例
全押しボタン例
コマンドスイッチ例

### 離操作(リソーサー)
N/U/Gシリーズ
微弱電波・特定小電力両モデル対応

**価格もサイズもハンディー並み!**

■ 最大32リレー
■ 2段押し・特殊スイッチ装着可

標準型 RC-2512N 22万円~

＊価格は全て、セット価格および、税抜表示となっています。


常に半歩、先を走る AO
朝日音響株式会社
〒771-1311 徳島県板野郡上板町引野字東原43-1(本社工場) FAX.088-694-5544 TEL.088-694-2411
http://www.asahionkyo.co.jp/


無線化工事のことならフルライン、フルオーダー体制の弊社に今すぐご相談下さい。また、ホームページでも詳しく紹介していますのでご覧下さい。 朝日音響 検索

令和元年6月
一般社団法人 日本建設機械施工協会

# 2019年版
# 日本建設機械要覧 電子書籍(PDF)版
## 発売通知

当協会では、国内における建設機械を網羅した『日本建設機械要覧』を2019年3月に刊行し、現場技術者の工事計画の立案、積算、機械技術者の建設機械のデータ収集等に活用頂き、好評を頂いております。

このたびこの建設機械要覧に関して更に便利に活用いただくよう新たに次の2種類の電子書籍（PDF）版を発売いたしますので、ここにご案内申し上げます。

是非とも活用いただきたく、お願い申し上げます。

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 商品名 | | 日本建設機械要覧2019<br>電子書籍（PDF）版 | 建設機械スペック一覧表、<br>電子書籍（PDF）版 |
| 2 | 形態 | | 電子書籍（PDF） | 電子書籍（PDF） |
| 3 | 閲覧 | | Web上で閲覧<br>パソコン、タブレット、<br>スマートフォンからアクセス | Web上で閲覧<br>パソコン、タブレット、<br>スマートフォンからアクセス |
| 4 | 内容 | | 要覧全頁 | spec一覧表 |
| 5 | 改訂 | | 3年毎 | 3年毎 |
| 6 | 新機種情報 | | 要覧クラブで対応 | 要覧クラブで対応 |
| 7 | 検索機能 | | 1.単語検索 | 1.単語検索 |
| 8 | 附属機能<br>注）タブレット・スマートフォンは、一部機能が使えません。 | | ・しおり　・拡大・縮小　・付箋機能<br>・ペン機能　・目次からのリンク　・各章ごと目次からのリンク　・索引からのリンク　・メーカHPへのリンク | ・しおり　・拡大・縮小　・付箋機能<br>・ペン機能　・メーカHPへのリンク |
| 9 | 予定販売価格<br>(円・税込) | 会員 | 54,000（3年間） | 48,600（3年間） |
| | | 非会員 | 64,800（3年間） | 59,400（3年間） |
| 10 | 利用期間 | | 3年間 | 3年間 |
| 11 | 同時ログイン | | 3台 | 3台 |
| 12 | 認証方法 | | ID＋パスワード | ID＋パスワード |
| 13 | 購入方法 | | WEB上にて申込み（HP参照下さい） | WEB上にて申込み（HP参照下さい） |

### 発売時期

令和元年5月　HP：http://www.jcmanet.or.jp/

### Webサイト　要覧クラブ

2019年版日本建設機械要覧およびスペック一覧表電子書籍（PDF）版購入の方への特典として、当協会が運営するWebサイト（要覧クラブ）上において2001年版から、2016年版日本建設機械要覧のPDF版が閲覧及びダウンロードできます。これによって2019年版を含めると1998年から2018年までの建設機械データが活用いただけます。

また、同じ要覧クラブ上で新機種情報も閲覧およびダウンロードできます。

様々な環境で閲覧できます。
タブレット、スマートフォンで外出先でもデータにアクセスできます。

お問合せ先：業務部　鈴木英隆　TEL：03-3433-1501　E-mail：suzuki@jcmanet.or.jp

**関係部署にも回覧をお願いします**

橋梁架設工事及び設計積算業務の必携書

# 橋梁架設工事の積算

## 令和元年度版

### ∞∞∞　改定・発刊のご案内∞∞∞

一般社団法人　日本建設機械施工協会

謹啓、時下益々ご清祥のこととお喜び申し上げます。
平素は当協会の事業推進について、格別のご支援・ご協力を賜り厚く御礼申し上げます。

さて、このたび国土交通省の土木工事積算基準が改正され、平成 31 年４月以降の工事費の積算に適用されることに伴い、また近年の橋梁架設工事の状況、実績等を勘案し、当協会では「橋梁架設工事の積算　令和元年度版」を発刊することと致しました。

なお前年度版同様、橋梁の補修・補強工事の積算に際し、その適用範囲や積算手順をわかりやすく解説した「橋梁補修補強工事積算の手引き　令和元年度版」を別冊（セット）で発刊致します。

つきましては、橋梁架設工事の設計積算業務に携わる関係各位に是非ご利用いただきたくご案内申し上げます。　敬具

**◆内容**

令和元年度版の構成項目は以下のとおりです。

〈本編〉　第１章　積算の体系
　　第２章　鋼橋編
　　第３章　ＰＣ橋編
　　第４章　橋梁補修編
　　第５章　橋梁架設用仮設備機械等損料算定表
〈別冊〉　橋梁補修補強工事 積算の手引き
　　（補修・補強工事積算の適用範囲・手順の解説）

**◆改訂内容**

国交省基準の改定に伴う歩掛等の改訂のほか、平成 30 年度版からの主な改訂事項は以下のとおりです。

**１．鋼橋編**
- アルミ検査路設置歩掛の策定
- 地組溶接架台施工写真の追加
- 架設用製作部材単価の改訂

**２．ＰＣ橋編**
- 地覆高欄作業車の計算例を追加
- 桁下足場、橋台・橋脚回り足場ブラケット工の設置月数について追記
- 外ケーブル工のＰＥ保護管について規格変更

**３.橋梁補修編**
- 工種毎適用足場の考え方についての表を掲載
- 支承取替工（施工パッケージ以外）の歩掛等改定
- 落橋防止システム工の掲載構成を変更
- 外ケーブル工の参考写真を掲載
- ブラスト、湿式剥離養生工の歩掛および環境対策費と安全衛生保護具費用の改定

**別冊「橋梁補修補強工事 積算の手引き」**
- 施工パッケージを考慮した積算要領への改訂

●Ａ４判／本編約 1,050 頁（カラー写真入り）
　別冊約　250 頁　　セット
●定価
　一般価格：10,800 円（本体 10,000 円）
　会員価格：　9,180 円（本体　8,500 円）

※　別冊のみの販売はいたしません。
※　送料は一般・会員とも
　　沖縄県以外 900　円
　　沖縄県　710 円（但し県内に限る）

※　なお送料について、複数又は他の発刊本と同時申込みの場合は別途とさせて頂きます。

**●発刊　令和元年 5 月 20 日**

＜図書紹介＞

# 令和元年度版 建設機械等損料表

■発刊日 ： 令和元年5月中旬

■体　裁 ： A4判 モノクロ 約475ページ

■定　価 ： 一般価格 本体 8，000円 （税別）

会員価格 本体 6，800円 （税別）

■内　容

令和元年度版の構成項目は以下のとおりです。

第Ⅰ章 機械損料の構成と解説

第Ⅱ章 関連通達・告示等

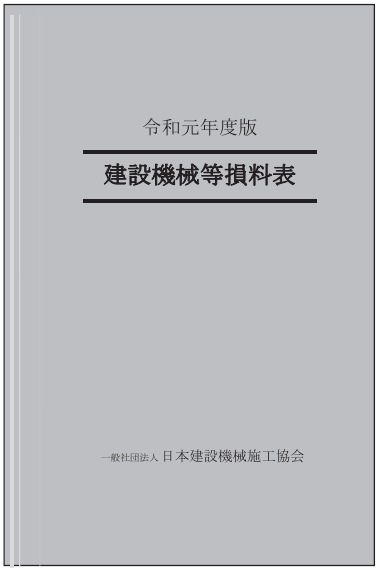
第Ⅲ章 損料算定表の見方（要約版）

第Ⅳ章 建設機械等損料算定表

第Ⅴ章 船舶損料算定表

第Ⅵ章 ダム施工機械等損料算定表

第Ⅶ章 除雪用建設機械等損料算定表




一般社団法人 日本建設機械施工協会

関係部署に回覧ください。

一般社団法人 日本建設機械施工協会

2019年版

# 日本建設機械要覧

発売のご案内

本協会では、国内における建設機械の実態を網羅した『日本建設機械要覧』を1950年より3年ごとに刊行し、現場技術者の工事計画の立案、積算、機械技術者の建設機械のデータ収集等に活用頂き、好評を頂いております。

本書は、専門家で構成する編集委員会の審査に基づき、良好な使用実績を示した国産および輸入の各種建設機械、作業船、工事用機械等を選択して写真、図面等のほか、主要緒元、性能、特長等の技術的事項、データを網羅しております。購読者の方々には欠かすことのできない実務必携書となるものと確信しております。

## 発 刊 日

平成31年3月

## 体　　裁

・B5判、約1,276頁／写真、図面多数／表紙特製
・2016年版より外観を大幅に刷新しました。

## 価　　格（消費税8%含む）

一般価格　52,920円（本体49,000円）
会員価格　44,280円（本体41,000円）
（注）送料は1冊900円（複数冊の場合別途）
※2019年10月から本体価格＋消費税10%となります。

## 特　　典

2019年版日本建設機械要覧購入の方への特典として、当協会が運営するWebサイト（要覧クラブ）上において2001年版から2016年版までの全ての日本建設機械要覧のPDF版が閲覧及びダウンロードできます。これによって2019年版を含めると1998年から2018年までの建設機械データが活用いただけます。

なお同じ要覧クラブ上で2019年版要覧以降発売された新機種情報もご覧いただけます。

## 2019年版　内容

・ブルドーザおよびスクレーパ
・掘削機械
・積込機械
・運搬機械
・クレーン、インクラインおよびウインチ
・基礎工事機械
・せん孔機械およびブレーカ
・トンネル掘削機および設備機械
・骨材生産機械
・環境保全およびリサイクル機械
・コンクリート機械
・モータグレーダ、路盤機械および締固め機械
・舗装機械
・維持修繕・災害対策用機械および除雪機械
・作業船
・**ICT建機、ICT機器（新規）**
・高所作業車、エレベータ、リフトアップ工法、横引き工法および新建築生産システム
・空気圧縮機、送風機およびポンプ
・原動機および発電・変電設備等
・建設ロボット
・WJ工法、CSG工法、タイヤ、ワイヤロープ、燃料油、潤滑剤および作動油、検査機器等

## 今後の予定

好評をいただきました2016年版につづき2019年版「日本建設機械要覧」の電子版も作成し、より利便性の高い資料とするべく準備しております。御期待下さい。

# ◆ 購 入 申 込 書 ◆

一般社団法人 日本建設機械施工協会　行

| 日本建設機械要覧　2019年版 | 冊 |
|---|---|

上記図書を申込み致します。令和　年　月　日

| | | | |
|---|---|---|---|
| 官公庁名<br>会 社 名 | | | |
| 所　　属 | | | |
| 担当者氏名 | ㊞ | TEL | |
| | | FAX | |
| 住　　所 | 〒 | | |
| 送金方法 | 銀行振込　・　現金書留　・　その他（　　） | | |
| 必要事項 | 見積書（　　）通　・　請求書（　　）通　・　納品書（　　）通<br>（　　）単価に送料を含む、（　　）単価と送料を２段書きにする（該当に○）<br>**お願い：指定用紙がある場合は、申込書と共に送付下さい** | | |

◆ 申 込 方 法 ◆

①官公庁：FAX（本部、支部共）
②民　間：（本部へ申込）FAX
（支部へ申込）現金書留のみ（但し会員はFAX申込可）
※北海道支部はFAXのみ
※沖縄の方は本部へ申込

**（注）関東・甲信・沖縄地区は本部へ、その他の地区は最寄の下記支部あてにお申込み下さい。**

［お問合せ及びお申込先］

| | | |
|---|---|---|
| 本　　部 | 〒105-0011　東京都港区芝公園3-5-8　機械振興会館 | TEL 03（3433）1501<br>FAX 03（3432）0289 |
| 北海道支部 | 〒060-0003　札幌市中央区北三条西2-8　さっけんビル | TEL 011（231）4428<br>FAX 011（231）6630 |
| 東北支部 | 〒980-0014　仙台市青葉区本町3-4-18　太陽生命仙台本町ビル5F | TEL 022（222）3915<br>FAX 022（222）3583 |
| 北陸支部 | 〒950-0965　新潟市中央区新光町6-1　興和ビル | TEL 025（280）0128<br>FAX 025（280）0134 |
| 中部支部 | 〒460-0002　名古屋市中区丸の内3-17-10　三愛ビル | TEL 052（962）2394<br>FAX 052（962）2478 |
| 関西支部 | 〒540-0012　大阪市中央区谷町2-7-4　谷町スリースリーズビル | TEL 06（6941）8845<br>FAX 06（6941）1378 |
| 中国支部 | 〒730-0013　広島市中区八丁堀12-22　築地ビル | TEL 082（221）6841<br>FAX 082（221）6831 |
| 四国支部 | 〒760-0066　高松市福岡町3-11-22　建設クリエイトビル | TEL 087（821）8074<br>FAX 087（822）3798 |
| 九州支部 | 〒812-0013　福岡市博多区博多駅東2-4-30 いわきビル | TEL 092（436）3322<br>FAX 092（436）3323 |

記入いただいた個人情報は、お申込図書の配送・支払い確認等の連絡に利用します。また、当協会の新刊図書案内や事業活動案内のダイレクトメール（DM）送付に利用する場合があります。
（これらの目的以外での利用はいたしません）当協会のプライバシーポリシー（個人情報保護法方針）は、ホームページ（http://www.jcmanet.or.jp/privacy_policy.htm）でご覧いただけます。
当協会からのダイレクトメール（DM）送付が不要な方は、下記□欄にチェック印を付けてください。

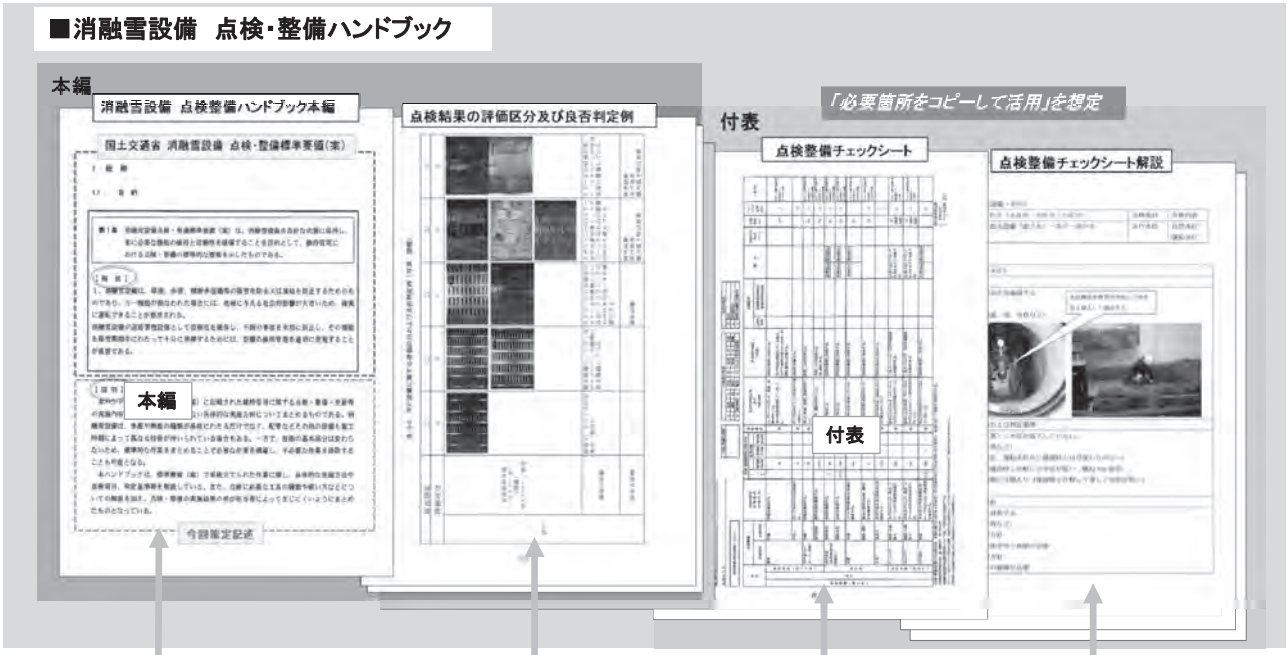
□　当協会からの新刊図書案内や事業活動案内のダイレクトメール（DM）は不要

# 消融雪設備 点検･整備ハンドブック

平成30年7月発刊

本書は、消融雪設備の老朽化対策として平成２８年３月に国土交通省が策定した「消融雪設備点検・整備標準要領（案）」の技術者向け解説書です。

■消融雪設備　点検･整備ハンドブック




○箱枠内に「消融雪設備 点検･整備標準要領（案）」を掲載し、【説明】として解説事項を箱枠外に掲載。

**標準要領の目的理解を支援**

○5段階状況写真等を利用した評価例と施設の状態解説、対処方法例を掲載。

**的確な判定を支援**

○「消融雪設備　点検･整備標 準要領（案）」に、実際の点検 内容の解説等を追加掲載。

**本書の購入者は、出版元ホームページからID, PASSでチェックシートのダウンロードが可能です**

**技術の継承･支援**

○点検方法、判定方法および判定基準、不良時の措置方針を掲載。

**若手技術者育成･支援**

## 消融雪設備 点検･整備ハンドブック策定委員会


（一社）新潟県融雪技術協会　〒950-0965　新潟市中央区新光町６－１　TEL(025)282-1114/FAX(025)281-1507

（一社）日本建設機械施工協会　北陸支部　〒950-0965　新潟市中央区新光町６－１　TEL(025)280-0128/FAX(025)280-0134

北陸融雪技術協議会　〒950-0965　新潟市中央区新光町６－１　TEL(025)281-8812/FAX(025)281-8832


**※　裏面に注文書があります。**

# 消融雪設備　点検・整備ハンドブック注文書

注文日：　令和　　年　　月　　日

<table>
<tr><td>官公庁・会社名</td><td colspan="2"></td><td colspan="2">担当部署：</td></tr>
<tr><td>担当者</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>電話番号</td><td colspan="2">－　　－</td><td colspan="2" rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>FAX番号</td><td colspan="2">－　　－</td></tr>
<tr><td>メールアドレス</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>お届け先</td><td>住所</td><td colspan="3">〒</td></tr>
<tr><td rowspan="7">注文内容</td><td colspan="4">会員　・　非会員　　←　どちらかに〇印をつけて、必要部数を記入してください。</td></tr>
<tr><td></td><td>会員</td><td colspan="2">非会員</td></tr>
<tr><td>必要部数</td><td>冊</td><td colspan="2">冊</td></tr>
<tr><td>価　格</td><td>10,000円/冊</td><td colspan="2">12,000円/冊</td></tr>
<tr><td>消費税</td><td>800円/冊</td><td colspan="2">960円/冊</td></tr>
<tr><td>送　料</td><td>700円/冊</td><td colspan="2">700円/冊</td></tr>
<tr><td>合　計</td><td></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>備考</td><td colspan="4">請求書の宛名等ご希望をお知らせください</td></tr>
</table>

※ 送料（送料・手数料）は冊数が複数になる場合は、変更になります。

【申し込み先】（一社）日本建設機械施工協会　北陸支部　他　最寄の本部・支部。
※　北陸支部については、北陸支部ホームページからご注文が可能です。
http://www.niigata-inet.or.jp/jcmahoku/

【内容問合せ先】（一社）日本建設機械施工協会　北陸支部
TEL　025-280-0128
FAX　025-280-0134

# 論　文　投　稿　の　ご　案　内

日本建設機械施工協会では，学術論文の投稿を歓迎します。論文投稿の概要は，以下のとおりです。なお，詳しいことは，当協会ホームページ，論文投稿のご案内をご覧下さい。

当協会ホームページ　http://www.jcmanet.or.jp

## ★投稿対象

建設機械，機械設備または建設施工の分野及びその他の関連分野並びにこれらの分野と連携する学際的，横断的な諸課題に関する分野を対象とする学術論文(原著論文)の原稿でありかつ下記の条件を満足するものとします。なお，施工報告や建設機械の開発報告も対象とします。

(1) 理論的又は実証的な研究・技術成果，あるいはそれらを統合した知見を示すものであって，独創性があり，論文として完結した体裁を整えていること。

(2) この分野にとって高い有用性を持ち，新しい知見をもたらす研究であること。

(3) この分野の発展に大きく寄与する研究であること。

(4) 将来のこの分野の発展に寄与する可能性のある萌芽的な研究であること。

## ★部門

(1) 建設機械と機械設備並びにその高度化に資する技術部門

(2) 建設施工と維持管理並びにその高度化に資する技術部門

## ★投稿資格

原稿の投稿者は個人とし，会員資格の有無は問いません。

## ★原稿の受付

随時受付けます。

## ★公表の方法

当協会機関誌へ掲載します。

## ★機関誌への掲載は有料です。

## ★その他：優秀な論文の表彰を予定しています。

## ★連絡先

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8（機械振興会館）
日本建設機械施工協会　研究調査部 論文担当
E-mail : ronbun@jcmanet.or.jp
TEL : 03 - 3433 - 1501
FAX : 03 - 3432 - 0289

## ◆ 日本建設機械施工協会『個人会員』のご案内 ◆

**会 費 ： 年間 9,000円**

**個人会員は、日本建設機械施工協会の定款に明記されている正式な会員で、本協会の目的に賛同され、建設機械・施工技術に関心のある方であればどなたでも入会頂けます。**

**★個人会員の特典**

○「建設機械施工」を機関誌として毎月お届け致します。(一般購入価格　1冊864円/送料別途)。
「建設機械施工」では、建設施工や建設機械に関わる最新の技術情報や研究論文、本協会の行事案内・実施報告などのほか、新工法・新機種の紹介や統計情報等の豊富な情報を掲載しています。

○協会発行の出版図書を会員価格(割引価格)で購入できます。

○シンポジウム、講習会、講演会、見学会等、最新の建設機械・建設機械施工の動向にふれることができる協会行事をご案内するとともに、会員価格(割引価格)で参加できます。

**今後、続々と個人会員の特典を準備中です。この機会に是非入会下さい!!**

## ◆ 一般社団法人 日本建設機械施工協会について ◆

一般社団法人 日本建設機械施工協会は、建設事業の機械化を推進し、国土の開発と経済の発展に寄与することを目的として、昭和25年に設立された公益法人です。国土交通省および経済産業省の指導監督のもと、建設の機械化に係わる各分野において調査・研究、普及・啓蒙活動を行い、建設の機械化や施工の安全、環境問題、情報化施工、規格の標準化案の作成などの事業のほか、災害応急対策の支援等による社会貢献などを行っております。
今後の建設分野における技術革新の時代の中で、より先導的な役割を果たし、わが国の発展に寄与してまいります。

### 一般社団法人 日本建設機械施工協会とは…

○建設機械及び建設機械施工に関わる学術研究団体です。(特許法第30条に基づく指定及び日本学術会議協力学術研究団体)
○建設機械に関する内外の規格の審議・制定を行っています。(国際標準専門委員会の国内審議団体(ISO/TC127、TC195、TC214)、日本工業規格(JIS)の建設機械部門原案作成団体、当協会団体規格「JCMAS」の審議・制定)
○建設機械施工技術検定試験の実施機関に指定されています。(建設業法第27条)
○災害発生時には会員企業とともに災害対処にあたります。(国土交通省各地方整備局との「災害応急対策協定」の締結)
○付属機関として「施工技術総合研究所」を有しており、建設機械・施工技術に関する調査研究・技術開発にあたっています。また、高度な専門知識と豊富な技術開発経験に基づいて各種の性能試験・証明・評定等を実施しています。
○北海道から九州まで全国に8つの支部を有し、地域に根ざした活動を展開しています。

**■会員構成**

会員は日本建設機械施工協会の目的に賛同された、個人会員(個人:建設施工や建設機械の関係者等)、団体会員(法人・団体等)ならびに支部団体会員で構成されており、協会の事業活動は主に会員の会費によって運営されています。

**■主な事業活動**

・学術研究、技術開発、情報化施工、規格標準化等の各種委員会活動。
・建設機械施工技術検定試験の実施。
・機関誌「建設機械施工」をはじめ各種技術図書・専門図書の発行。
・建設機械と施工技術展示会"CONET"の開催。除雪機械展示会の開催。
・シンポジウム、講習会、講演会、見学会等の開催。海外視察団の派遣。　etc.

**■主な出版図書**

・建設機械施工(月刊誌)
・日本建設機械要覧
・建設機械等損料表
・建設機械図鑑
・建設機械用語集
・地球温暖化対策 省エネ運転マニュアル
・建設施工における地球温暖化対策の手引き
・建設機械施工安全技術指針本文とその解説
etc.

**その他、日本建設機械施工協会の活動内容はホームページでもご覧いただけます ！**

**http://www.jcmanet.or.jp**

※お申し込みには次頁の申込用紙を使用してください。

**【お問い合せ・申込書の送付先】**
**一般社団法人 日本建設機械施工協会 個人会員係**
〒105-0011 東京都港区芝公園3－5－8 機械振興会館
TEL:(03)3433-1501　FAX:(03)3432-0289

一般社団法人 日本建設機械施工協会 個人会員係 行
FAX ：（03）3432－0289

一般社団法人 日本建設機械施工協会 会長 殿

下記のとおり、日本建設機械施工協会 個人会員に入会します。

令和　　年　　月　　日

| 個人会員入会申込書 | | |
|---|---|---|
| ふりがな | | 生年月日 |
| 氏名<br>（自署） | | 昭和<br>平成　　年　　月　　日 |
| 勤務先名 | | |
| 所属部課名 | | |
| 勤務先住所 | 〒<br>TEL ＿＿＿＿＿＿＿＿　E-mail ＿＿＿＿＿＿＿＿ | |
| 自宅住所 | 〒<br>TEL ＿＿＿＿＿＿＿＿　E-mail ＿＿＿＿＿＿＿＿ | |
| 機関誌の送付先 | 勤務先　　自宅　　（ご希望の送付先を○印で囲んで下さい。） | |
| その他<br>連絡事項 | 年　　月より入会 | |

**【会費について】 年間 9,000円**

○会費は当該年度前納となります。年度は毎年4月から翌年3月です。
○年度途中で入会される場合であっても、当該年度の会費として全額をお支払い頂きます。
○会費には機関誌「建設機械施工」の費用（年間12冊）が含まれています。
○退会のご連絡がない限り、毎年度継続となります。退会の際は必ず書面にてご連絡下さい。
また、住所変更の際はご一報下さるようお願い致します。

**【その他ご入会に際しての留意事項】**

○個人会員は、定款上、本協会の目的に賛同して入会する個人です。 ○入会手続きは本協会会長宛に入会申込書を提出する必要があります。
○会費額は総会の決定により変更されることがあります。 ○次の場合、会員の資格を喪失します：1.退会届が提出されたとき。2.後見開始又は保佐開始の審判をうけたとき。3.死亡し、又は失踪宣言をうけたとき。4.1年以上会費を滞納したとき。5.除名されたとき。 ○資格喪失時の権利及び義務：資格を喪失したときは、本協会に対する権利を失い、義務は免れます。ただし未履行の義務は免れることはできません。 ○退会の際は退会届を会長宛に提出しなければなりません。 ○拠出金の不返還：既納の会費及びその他の拠出金品は原則として返還いたしません。

**【個人情報の取扱について】**

ご記入頂きました個人情報は、日本建設機械施工協会のプライバシーポリシー（個人情報保護方針）に基づき適正に管理いたします。本協会のプライバシーポリシーは http://www.jcmanet.or.jp/privacy_policy.htm をご覧下さい。

# 一般社団法人日本建設機械施工協会　発行図書一覧表（令和元年７月現在）

消費税 8%

| No. | 発行年月 | 図　　書　　名 | 一般価格（税込） | 会員価格（税込） | 送料 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | R 元年　6 月 | 日本建設機械要覧 2019 年電子書籍（PDF）版 | 64,800 | 54,000 | − |
| 2 | R 元年　6 月 | 建設機械スペック一覧表 2019 年電子書籍（PDF）版 | 59,400 | 48,600 | − |
| 3 | R 元年　5 月 | 橋梁架設工事の積算　令和元年度版 | 10,800 | 9,180 | 900 |
| 4 | R 元年　5 月 | 令和元年度版　建設機械等損料表 | 8,640 | 7,344 | 700 |
| 5 | H31 年　3 月 | 日本建設機械要覧　2019 年版 | 52,920 | 44,280 | 900 |
| 6 | H30 年　8 月 | 消融雪設備点検・整備ハンドブック | 12,960 | 10,800 | 700 |
| 7 | H30 年　5 月 | よくわかる建設機械と損料　2018 | 6,480 | 5,508 | 700 |
| 8 | H30 年　5 月 | 大口径岩盤削孔工法の積算　平成 30 年度版 | 6,480 | 5,508 | 700 |
| 9 | H30 年　5 月 | 橋梁架設工事の積算　平成 30 年度版 | 10,800 | 9,180 | 900 |
| 10 | H29 年　5 月 | 橋梁架設工事の積算　平成 29 年度版 | 10,800 | 9,180 | 900 |
| 11 | H29 年　4 月 | 平成 29 年度版　建設機械等損料表 | 8,640 | 7,344 | 700 |
| 12 | H29 年　4 月 | ICT を活用した建設技術（情報化施工） | 1,296 | 1,080 | 700 |
| 13 | H28 年　9 月 | 道路除雪オペレータの手引 | 3,780 | 3,402 | 700 |
| 14 | H28 年　5 月 | よくわかる建設機械と損料 2016 | 6,480 | 5,508 | 700 |
| 15 | H28 年　5 月 | 大口径岩盤削孔工法の積算　平成 28 年度版 | 6,480 | 5,508 | 700 |
| 16 | H28 年　5 月 | 橋梁架設工事の積算　平成 28 年度版 | 10,800 | 9,180 | 900 |
| 17 | H28 年　5 月 | 平成 28 年度版　建設機械等損料表※ | 8,640 | 7,344 | 900 |
| 18 | H28 年　3 月 | 日本建設機械要覧　2016 年版 | 52,920 | 44,280 | 900 |
| 19 | H26 年　3 月 | 情報化施工デジタルガイドブック【DVD 版】 | 2,160 | 1,944 | 250 |
| 20 | H25 年　6 月 | 機械除草安全作業の手引き | 972 | 864 | 700 |
| 21 | H23 年　4 月 | 建設機械施工ハンドブック　（改訂 4 版） | 6,480 | 5,502 | 700 |
| 22 | H22 年　9 月 | アスファルトフィニッシャの変遷 | 3,240 | | 250 |
| 23 | H22 年　9 月 | アスファルトフィニッシャの変遷【CD】 | 3,240 | | 700 |
| 24 | H22 年　7 月 | 情報化施工の実務 | 2,160 | 1,851 | 700 |
| 25 | H21 年 11 月 | 情報化施工ガイドブック 2009 | 2,376 | 2,160 | 700 |
| 26 | H20 年　6 月 | 写真でたどる建設機械 200 年 | 3,024 | 2,560 | 700 |
| 27 | H19 年 12 月 | 除雪機械技術ハンドブック | 3,086 | | 700 |
| 28 | H18 年　2 月 | 建設機械施工安全技術指針・指針本文とその解説 | 3,456 | 2,880 | 250 |
| 29 | H17 年　9 月 | 建設機械ポケットブック　（除雪機械編）※ | 1,029 | | 250 |
| 30 | H16 年 12 月 | 2005「除雪・防雪ハンドブック」（除雪編）※ | 5,142 | | 250 |
| 31 | H15 年　7 月 | 建設施工における地球温暖化対策の手引き | 1,620 | 1,512 | 700 |
| 32 | H15 年　6 月 | 道路機械設備 遠隔操作監視技術マニュアル（案） | 1,944 | | 700 |
| 33 | H15 年　6 月 | 機械設備点検整備共通仕様書(案)･機械設備点検整備特記仕様書作成要領(案) | 1,944 | | 700 |
| 34 | H15 年　6 月 | 地球温暖化対策　省エネ運転マニュアル | 540 | | 250 |
| 35 | H13 年　2 月 | 建設工事に伴う騒音振動対策ハンドブック（第 3 版） | 6,480 | 6,048 | 700 |
| 36 | H12 年　3 月 | 移動式クレーン、杭打機等の支持地盤養生マニュアル（第 2 版） | 2,675 | 2,366 | 700 |
| 37 | H11 年 10 月 | 機械工事施工ハンドブック　平成 11 年度版 | 8,208 | | 700 |
| 38 | H11 年　5 月 | 建設機械化の 50 年 | 4,320 | | 700 |
| 39 | H11 年　4 月 | 建設機械図鑑 | 2,700 | | 700 |
| 40 | H10 年　3 月 | 大型建設機械の分解輸送マニュアル※ | 3,888 | 3,456 | 250 |
| 41 | H9 年　5 月 | 建設機械用語集 | 2,160 | 1,944 | 700 |
| 42 | H6 年　8 月 | ジオスペースの開発と建設機械 | 8,229 | 7,714 | 700 |
| 43 | H6 年　4 月 | 建設作業振動対策マニュアル | 6,172 | 5,554 | 700 |
| 44 | H3 年　4 月 | 最近の軟弱地盤工法と施工例 | 10,079 | 9,565 | 700 |
| 45 | S 63 年 3 月 | 新編　防雪工学ハンドブック【POD 版】 | 10,800 | 9,720 | 700 |
| 46 | S 60 年 1 月 | 建設工事に伴う濁水対策ハンドブック※ | 6,480 | | 250 |
| 47 | | 建設機械履歴簿 | 411 | | 250 |
| 48 | 毎月　25 日 | 建設機械施工【H25.6 月号より図書名変更】 | 864 | 777 | 700 |
| | | | 定期購読料　年 12 冊　9,252 円(税･送料込) | | |

購入のお申し込みは当協会 HP　http://www.jcmanet.or.jp の出版図書欄の「ご購入方法」の「図書購入申込書」をプリントアウトし，必要事項を記入してお申し込みください。

※については当協会 HP　http://www.jcmanet.or.jp の出版図書欄を参照下さい。

http://www.jcmanet.or.jp/

# 建設機械施工 7

Vol.71　No.7　July　2019（通巻 833 号）

目　　次

特　集　IoT，AI，ビッグデータ

巻頭言

4　施工のデジタルトランスフォーメーションで実現する未来の建設現場
**四家千佳史**　コマツ　執行役員　スマートコンストラクション推進本部　本部長，
（一社）日本建設機械施工協会　i-Construction 施工による生産性向上推進本部　副本部長

行政情報

5　データ活用による建設現場の生産性向上
**佐藤　重孝**　国土交通省　大臣官房　技術調査課　工事監視官

9　地理院地図
**佐藤　壮紀**　国土交通省　国土地理院　地理空間情報部　情報普及課　課長

特集・技術報文

12　無人建機による自律施工がもたらす未来の建設現場
**四家千佳史**　コマツ　執行役員　スマートコンストラクション推進本部　本部長
**村上　数哉**　コマツ　スマートコンストラクション推進本部　事業開発部　主幹

17　建設機械整備，保全における AI，ビッグデータ活用の取り組み　高齢化，人材不足問題を IT，OT の融合により解決を図る
**鈴木　純**　日立建機日本㈱　サービス本部　サービス企画部長
**角谷　有司**　㈱日立製作所　デジタルテクノロジーイノベーションセンタ　データサイエンス研究部　主任研究員
**猪瀬　聡志**　日立建機㈱　ライフサイクルサポート本部　カスタマーサポート事業部　ConSite 開発部長

22　MMS による土工現場の出来形計測と新たに考案した精度管理手法
**早川健太郎**　安藤ハザマ　建設本部　技術研究所　先端・環境研究部　研究員
**白石宗一郎**　朝日航洋㈱　モビリティ空間技術部　インフラドクター推進グループ

27　工事施工データ等の基盤情報を有効活用する AI 技術
**白﨑　義則**　ユニコシステム㈱　第二システム部　常務

32　建設機械の自動化による次世代建設生産システムの開発
$A^4$CSEL（クワッドアクセル）によるダム堤体本格的盛り立て実施
**田中　秀昭**　鹿島建設㈱　機械部　自動化施工推進室　担当部長

37　深層学習を用いた油圧ショベル自動制御システムの開発事例
油圧ショベルが無人かつ自律的に施工を行う現場を目指して
**西村　弘平**　㈱ DeepX　エンジニア
**冨山　翔司**　㈱ DeepX　エンジニア

44　自律飛行型ドローンと AI を活用したトンネル発破施工の最適化　NATM 発破良否判定システム『Blast Eye/AI』
**中林　雅昭**　戸田建設㈱　土木技術営業部　部長
**杉山　崇**　戸田建設㈱　土木技術営業部　技術 1 課　課長代理
**本木　章平**　戸田建設㈱　技術開発センター　施工革新ユニット　係員

49　クレーン等の音声操作システム
**洗　光範**　㈱竹中工務店　生産本部　生産企画部　部長　機械電気担当

54　力触覚伝達型遠隔操作システムと AI を連携
ロボット自律化に新手法
**大手山　亮**　大成建設㈱　エンジニアリング本部　エンジニアリングソリューション部　自動化ソリューション室　シニアエンジニア
**廣木　正行**　大成建設㈱　エンジニアリング本部　エンジニアリングソリューション部　自動化ソリューション室　シニアエンジニア

61 山岳トンネル切羽評価 AI システムによる生産性向上
**畑　浩二** ㈱大林組　技術研究所　地盤技術研究部　部長
**中岡　健一** ㈱大林組　技術研究所　地盤技術研究部　副部長

66 複合現実技術を用いた建設業の生産性向上
「Holostruction」開発による施工検査の効率化と事業トレーサビリティ向上
**青木　悠** 小柳建設㈱

交流のひろば 70 C⁴I にみる ICT 施工の未来
**岡本　直樹** 建設機械史研究家

ずいぞう 74 ブラジル
**船戸　正啓** コマツ　開発本部

76 田園風景の想い　スマート農業と建設業
**水澤　和久** 範多機械㈱　次長

JCMA 報告 78 日本建設機械施工大賞　受賞業績

部会報告 86 新東名高速道路高取山トンネル西工事　現場見学会報告
**機械部会　トンネル機械技術委員会**

88 新工法紹介　**機関誌編集委員会**

92 新機種紹介　**機関誌編集委員会**

統計 94 建設工事受注額・建設機械受注額の推移　**機関誌編集委員会**

95 行事一覧（2019 年 5 月）

98 編集後記（岡本・中川）

**◇表紙写真説明◇**

**新コンセプトのキャブレス無人ダンプ車両**
**（2016 年の米国展示会における実機展示の様子）**

写真提供：コマツ

これまでにない全く新しいコンセプトの無人専用運搬車両である。本機は，運転室（キャブ）をなくし，積込場や排土場での切り返し動作を不要にする。特に，滑りやすい現場や積込場の狭さなどの制約から既存の無人ダンプトラックでは稼働しにくい現場でも導入でき，大幅な生産性の向上が見込まれる。写真は，2016 年の米国展示会における実機展示の様子。

2019 年（令和元年）7 月号 PR 目次
【ア】
朝日音響㈱…… 表紙 3
【カ】
コスモ石油ルブリカンツ㈱… 後付 5
コベルコ建機㈱…… 後付 1
コマツ…… 表紙 4
【タ】
大和機工㈱…… 表紙 2
㈱鶴見製作所…… 後付 3
【ハ】
日立建機㈱…… 後付 2
【マ】
マルマテクニカ㈱…… 後付 4
三笠産業㈱…… 後付 6
【ヤ】
吉永機械㈱…… 表紙 2

巻頭言

# 施工のデジタルトランスフォーメーションで実現する未来の建設現場

四　家　千佳史

国内の建設業界では，今後 10 年間で技能労働者の 1/3 にあたる約 110 万人が高齢化等により離職すると想定され，労働力不足は避けることのできない深刻な問題である。また国内建設会社の 9 割以上は社員 10 名程度の中小事業者であり，大都市圏・地方ほぼ同率の分布となっている。未来のための新たな工事はもちろん，災害対応，社会インフラ維持のためには，すべての建設現場を安全で生産性の高いスマートでクリーンなものにして，もっと多くの人材が建設業界に集まるようにすることが解決策となる。

生産性向上の取り組みとして，これまで建機メーカーでは MC/MG（Machine Control system/Machine Guidance system）を搭載した ICT 建設機械の開発・導入を行ってきた。ICT 建設機械，とりわけ 3 次元化された設計データ通りに施工を行う MC 搭載の建設機械は，丁張りやトンボの設置作業を不要とし，また法面掘削などの複雑な作業を容易にして人員削減・燃料コスト削減に寄与している。しかし ICT 建設機械の導入は施工工程のみを効率化する部分最適であり，建設会社の課題解決には不十分である。

国土交通省は 2016 年 4 月より，建設生産プロセス全体における生産性の向上や品質の確保を図ることを目的として，測量，設計，施工計画，施工，検査，維持の各プロセスを ICT で有機的につないで見える化する i-construction を導入した。建機メーカーにおいても建機の高機能化のみを追求するプロダクトアウトから脱却し，建設生産プロセス全体をデジタルデータでつないで，工事の全体最適化を図るソリューションサービスを提供開始し，国内 8,000 以上の現場に導入されている。デジタル化による建設現場の進歩は着実に進んでいる。

しかし，建設業の課題を根本的に解決する安全で生産性の高いスマートでクリーンな未来の現場を実現するには，モノ（建設機械の自動化･高度化）とコト（施工オペレーションの最適化）の進化レベルを上げて施工のデジタルトランスフォーメーションを実現する必要がある。

モノの進化（建設機械の自動化・高度化）とは，建設機械の自動運転および自律施工のレベルを向上させていくことで，進化の度合いを次の 5 段階に区分し整理した。Level 0：手動，Level 1：単純作業の一部を建設機械が支援，Level 2：基本作業の一部を建設機械が自動で行う，Level 3：建設機械が単独で基本作業を自動で行う，Level 4：他車と連携・協調して作業サイクルを自動で行う，Level 5：建設機械が周辺環境を認識・判断して自律運転を行う。現在最先端の ICT 建機であっても，オペレータによる操作を主体としており，機械はその操作を簡易化する運転支援に過ぎず，Level 2 程度の区分である。Level 3 より上位では機械が主体的に作業を進める高度化段階となり，Level 5 では建設機械が施工の進捗状況に応じた作業や他の建機の動きと協調した自律動作，近くに人を検知した場合の回避を建機自らが判断して自動で行い，複数の建機が協調して自律的に施工を進めていくことが可能となる。コトの進化（施工オペレーションの最適化）とは，設計データ，地形データ，施工計画をそれぞれ 3D 化し，高度化段階（Level 4）では進捗に応じた施工計画作成の自動化が実現し，最高段階（Level 5）では現場状況に応じた最適な計画作成が自動化される。

モノとコトが高度に進化した現場では，現況の高精度測量から生成された 3D データ，施工完成図面の 3D データ，および施工計画の 3D データに基づいて日々のタスクが自動作成され，そのタスクに基づき現場の建機が無人で協調自律し施工を行い，施工の結果は翌日の施工計画へ反映され，安全で生産性の高いスマートでクリーンな未来の現場を実現する。

課題も解決のヒントもすべて現場にある。現場に立って課題を見つけることをすべての起点とし，日々技術革新が進む IoT・AI 等のデジタル技術を活用して現場の課題解決を図っていくことが，建設業全体の課題解決につながる。

――しけ　ちかし　コマツ　執行役員　スマートコンストラクション推進本部　本部長，（一社）日本建設機械施工協会　i-Construction 施工による生産性向上推進本部　副本部長――

特集≫≫　IoT，AI，ビッグデータ

行政情報

# データ活用による建設現場の生産性向上

佐　藤　重　孝

国土交通省では，2016 年を「生産性革命元年」と位置付け，同年 3 月に「国土交通省生産性革命本部」を設置し，「i-Construction の推進」を含む 20 の「生産性革命プロジェクト」を選定した。今年は，生産性革命「貫徹の年」とし，生産性向上の取組を積極的に進めている。

全ての建設生産性プロセスで ICT 等を活用する i-Construction を推進し，建設現場の生産性を 2025 年度までに 2 割向上させることを目指している。

政府が科学イノベーションの創出に向けて 2018 年度に創設した「官民研究開発投資拡大プログラム（PRISM）の制度を活用し，i-Construction の取組により建設現場で得られる 3 次元データを活用して，建設生産プロセスのさらなる高度化を図り，建設現場の生産性を飛躍的に向上するための研究開発を加速化させている。

**キーワード**：i-Construction，生産性向上，データ活用，品質管理，高度化

## 1. はじめに

我が国は，現在，人口減少社会を迎えているが，潜在的な成長力を高めるとともに，新たな需要を掘り起こしていくため，働き手の減少を上回る生産性向上等が求められている。また，建設産業の中長期的な担い手等の確保・育成に向けて，働き方改革を進めることも重要であり，この点からも生産性向上が求められている。

こうした観点から，国土交通省では，2016 年を「生産性革命元年」と位置づけ，先進的な取組として「生産性革命プロジェクト」を実施している。「i-Construction」は生産性革命プロジェクトの主要施策の 1 つである。

国土交通省では，これまで調査・測量から設計，施工，維持管理の各建設生産プロセスにおいて ICT 等の導入を進めてきた。施工の分野では 3 次元データを用いて自動制御可能な ICT 建機により施工し，3 次元データで現場の施工管理等を行う ICT 施工の導入を進めている。2016 年度の ICT 土工を皮切りに，積算や技術基準等を整備し舗装工，浚渫工に順次拡大し，建設現場の生産性の向上に取り組んできた。

こうしたなか，政府が科学イノベーションの創出に向けて 2018 年度に創設した「官民研究開発投資拡大プログラム（PRISM）の制度を活用し，i-Construction の取組により建設現場で得られる 3 次元データをフル活用して，建設生産プロセスのさらなる高度化を図り，建設現場の生産性を飛躍的に向上するプロジェクトに取り組み始めた。本稿では，その概要について紹介する（**図―1**）。

図―1　プロジェクト概要

## 2. 建設現場の生産性を飛躍的に向上するための革新的技術の導入・活用プロジェクト

現在，ICT 機器の爆発的な普及や，AI，ビッグデー

タ，IoT 等の社会実装が進む中，社会のあらゆる場面でデジタル革命が進んでいる。このデジタル新時代の価値の源泉である「データ」をいかに活用できるかが，これからの生産性向上のカギである。

こうした中，国土交通省では「建設現場の生産性を飛躍的に向上するための革新的術の導入・活用プロジェクト」に取り組んでいる。

このプロジェクトでは，建設現場からデジタルデータをリアルタイムに取得し，これを活用した IoT，AI をはじめとする新技術を実際の施工現場で試行すべく，平成 30 年 7 月～ 8 月にかけて技術を公募した。今回の公募で特徴的なのは，「建設業者」と「建設業者以外の者（IoT，AI 等関連企業等）」がチームを組んでコンソーシアムという形で応募していただくことを要件にした点である。ここには，従来の発想にとらわれない技術を現場に実装したいという意図がある。

公募では，大きく分けて 2 つの技術の提案を募集した。すなわち，「Ⅰ．データを活用して施工の労働生産性の向上を図る技術」と「Ⅱ．データを活用して品質管理の高度化等を図る技術」である。こうして提案された技術を，有識者からなる「データ活用による建設現場の生産性向上ワーキンググループ」において審査をいただき，試行する技術を選定した。

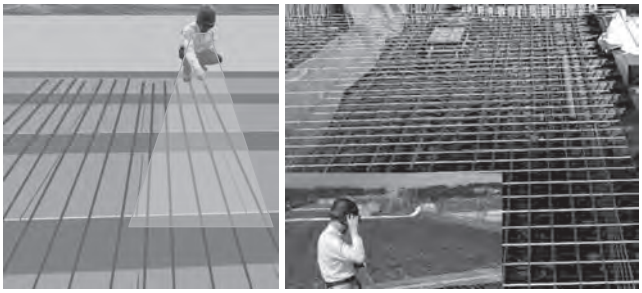
## 3. 生産性の向上

対象技術として，「Ⅰ．データを活用して土木工事における施工の労働生産性の向上を図る技術」19 件を選定した。ここでは，建設現場から得られる様々なデータを活用することで，施工自体の労働生産性を向上することを目指す。選定された技術の詳細はそれぞれ異なるが，取得するデータやその狙いをもとに 3 種類に大別し，以下に紹介する。

### (1) 工事目的物の設計・施工データを用いて，施工を効率化する技術

国土交通省において以前から取り組んでいる ICT 土工では，切土・盛土の出来形を 3 次元データとして取得・活用することによって，従来の施工に比べて効率化を図っている。こうした意味では，工事目的物のデータをうまく取得・活用する取組は既に進みつつあるが，今回試行する技術の中には，従来の ICT 土工にはない形で工事目的物のデータを活用するものが多くある。

たとえば，BIM/CIM で設計した配筋の 3 次元データを MR デバイスにより現場に再現して施工をサポートする提案などが挙げられる（**図**―2）。



配筋イメージによる施工支援　　配筋状況の可視化による検査の効率化

図―2　MR を用いた施工・検査の効率化

### (2) 作業員や建設機械の位置や動きのデータを用いて，施工計画を改善する技術

工事目的物ではなく，それをつくる側，すなわち作業員や機械の位置や動きのデータを生産性向上につなげようとする試行も多くある。

たとえば，カメラやセンサーによるデータを AI で解析し，作業員や機械の作業状況を判別することで，停滞作業を抽出し，手待ちのムダ等を削減する技術などが挙げられる（**図**―3）。

図―3　AI による建機・作業員の作業判別

人の動きの善し悪しが結果を左右する分野の一つとしてスポーツ分野がある。「データを制する者が競技を制する」とも言われ，データ活用や研究が盛んに行われているが，今回スポーツメーカーを含むコンソーシアムによる試行がなされるのは，このプロジェクトの特徴でもある。

### (3) 作業員の生体データを用いて，健康管理・安全管理をする技術

「きつい・危険・汚い」といった 3K イメージのある建設業において，健康管理・安全管理は大きな課題である。こうした中で，作業員の生体データを取得・

図―４　作業員の生体データの取得・活用

活用する試行もある（**図**―４）。

たとえば，バイタルセンサーによる生体情報を気象情報や位置情報と組み合わせて，作業ストレスの高いシチュエーションを特定し，安全対策を講じる技術などが該当する。

## 4. 品質管理の高度化

対象技術として「Ⅱ：データを活用して土木工事における品質管理の高度化等を図る技術」を 14 件選定した。ここでは，建設現場から得られる様々なデータを活用することで，品質確保のために行われている試験や確認などのやり方を高度化することを目指す。対象技術Ⅰと同様，選定された技術の詳細はそれぞれ異なるが，取得するデータやその狙いをもとに２種類に大別し，以下に紹介する。

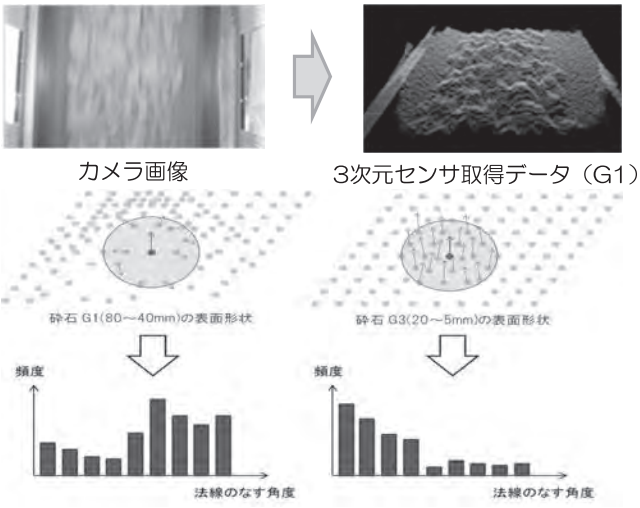
### (1) 材料や施工のデータを用いて，施工管理基準に基づく試験等を代替する技術

国土交通省では，直轄工事の実施にあたり，「施工管理基準」を定め，これに基づく品質管理を行っている。この中には工種や材料に応じた様々な項目についての試験方法等が仔細に規定されているが，データ活用によって，現行の方法に代替した形で品質管理をする試行を行っている。

たとえば，３次元センサーによりベルトコンベアで輸送中の粗骨材の表面形状の点群データを取得し，これをもとに粒度分布を継続的に算出し，従来のふるい分け試験を代替する技術などが挙げられる（**図**―５）。

### (2) 現場の映像や各種探査データ等を用いた，臨場立会・確認の技術

工種によらず，あらゆる工事で行われる品質管理のひとつが監督職員による臨場立会・確認である。施工者は発注者が現場に到着するまで現場作業をやめ，また，発注者は現場へ移動するために一定のコストをかけている。このため，受発注者双方の生産性向上に向けてデータを活用する試行が多くある。




図―５　粗骨材の粒度分布の自動算出

たとえば，現場の映像や音声をもとに，臨場検査の代替や緊急時の迅速な協議を実施する提案などである。こうして得られた映像等は位置情報とともに蓄積することで，不可視部分の事後検証にも活用でき，熟練者の検査事例として技術伝承の教材として活用することも可能である（**図**―６）。

## 5. 評価結果

平成 30 年度に実施した，「建設現場の生産性を飛躍的に向上するための革新的技術の導入・活用プロジェクト」33 件を「ICT 導入協議会」の下部組織である「データ活用による建設現場の生産性ワーキンググループ」において評価をしていただき，公表を行った。

「Ⅰ．データを活用して土木工事における施工の労働生産性の向上を図る技術」の評価としては，A：目標は達成され，十分な研究成果があったとされたもの７件，B：目標はおおむね達成され，研究成果があったもの７件，C：目標の一部に対し一定の成果があったもの５件であり，「Ⅱ：データを活用して土木工事における品質管理の高度化等を図る技術」では A：８件，B：５件，C：１件であった。

ワーキンググループの委員からは，「非常に汎用性の高い技術である」，「監督・検査の省力化も期待される」，「知見が蓄積されれば革新的な技術となり得る」，「導入効果は非常に大きい」，「生産性の大きい技術である」などの意見が各コンソーシアムに寄せられ，今回公募の特徴的な，「建設業者」と「建設業者以外の者（IoT，AI 等関連企業等）」がコンソーシアムを組み，

図―６　現場の映像等による臨場立会・確認の代替

従来の発想にとらわれず，データ活用により，建設現場の生産性を飛躍的に向上する革新的技術を建設現場に実装したいという思いへ，一歩近づいた評価結果が得られた。

## 6. おわりに

基本的に土木構造物は一品生産である。こうした特殊性もあり，建設業は他産業に比べてデータの活用が進んでいるとは決して言えない状況だと思われる。しかし，逆に言えば，現在十分に活用されていない建設現場のデータをうまく活用することができれば，3K イメージを大きく変えることができるかもしれない。大きなチャレンジだが，臆することなく臨むことが肝要である。

「建設現場の生産性を飛躍的に向上するための革新的技術の導入・活用プロジェクト」は今年度も公募を行い，試行を行う予定であり，今年度の試行内容を踏まえながら，しっかりと建設現場のデータ活用による生産性向上を進めていきたいと考えている。

JCMA

[筆者紹介]
佐藤　重孝（さとう　しげたか）
国土交通省　大臣官房　技術調査課
工事監視官

特集≫≫　IoT，AI，ビッグデータ

行政情報

# 地理院地図

佐　藤　壮　紀

国土地理院では，広く地理空間情報の活用を推進することを目的として，ウェブ地図「地理院地図」を公開している。地理院地図は，国土地理院が整備している様々な地理空間情報を閲覧できることに加え，これらの情報を高度に利用できる機能を備えている。

本稿では，地理院地図の概要や閲覧できる情報及び利用できる主な機能を説明する。さらに，地理院地図で公開している地図データや地理院地図の普及について，地図の活用の拡がりを目指した今後の展開を述べる。

**キーワード**：ウェブ地図，地形図，空中写真，防災，ベクトルタイル，オープンデータ

## 1. はじめに

国土地理院は，我が国唯一の国家地図作成機関として，測量法や地理空間情報活用推進基本法に基づき，地理空間情報の整備・更新・活用を推進することにより，誰もがいつでもどこでも地理空間情報を入手し行動できる社会の実現，また，「国土を測る･描く･守る･伝える」を任務とし，国民が安全・安心・豊かな生活を営むことができるための環境整備として「地理空間情報高度活用社会」の推進に取り組んでいる。国土地理院が「描く」地図は全ての地図の基礎であり，国土の管理や防災対策などを推進する上で，重要な役割を担っている。また，平常時の備えとして防災地理情報を地図で「伝える」ことも国土地理院の重要な任務のひとつである。国土地理院は，「伝える」手段のひとつとして，平常時・災害時を問わず地理空間情報を安定して閲覧できる環境を提供するとともに，広く地理空間情報の活用を推進するため，インターネットを通じてウェブブラウザで誰でも利用できるウェブ地図を2003 年（平成 15 年）から公開を始め（当時の名称は「電子国土 Web システム」），2013 年（平成 25 年）から「地理院地図」（https://maps.gsi.go.jp/）として公開している。

地理院地図はウェブ地図であるため，インターネットに接続できるパソコンやスマートフォンがあれば，特別なソフトウェアをインストールすることなく，いつでもどこでも利用できる。いつもと同じウェブブラウザを使って地理院地図の URL にアクセスするだけで，常に国土地理院が整備している最新のデータを閲覧できるのも利点である。さらに，政府のオープンデータ戦略に基づき，そのデータを活用して多様なサービスが創出されることを支援するため，地理院地図のソースもオープンソースとして公開している。

本稿では，地理院地図で閲覧できる情報と便利な機能，今後の展開について述べる。

## 2. 地理院地図で閲覧できる情報

地理院地図では，国土地理院の地形図と同等の表現となる標準地図などの地図をはじめ，空中写真，標高，地形分類，災害情報などを閲覧することが可能である。全てのデータは，画面左上の「情報」ボタンから選択でき，位置情報を基に地図上に複数の情報を重ねて表示することで，ウェブブラウザ上で簡単にまとめて可視化できる。

空中写真に関しては，最新の全国の写真のほかに，年代別の古い写真を見ることもできる。大きな災害が発生した場合には，被災後に撮影した空中写真も公開している。また，地図や写真以外にも，地盤の脆弱性などの土地の性質を知ることのできる「土地条件図」，明治期に作成された地図から当時の低湿地の分布を抽出した「明治期の低湿地」などの防災地理情報も見ることもできる。これらのデータから，例えば，海や沼を埋め立てた場所がわかるので，インフラ整備の設計をする際に必要になる，その土地の脆弱性の確認などに利用することができる。

また，国土地理院が整備している情報だけでなく，他機関が整備している情報も地理院地図を通して見ることができる。例えば，航空局が整備している「空港等の周辺空域」と総務省統計局が整備している「人口集中地区」とを国土地理院が整備している地図と重ねて表示することで，おおよその無人飛行機（ドローン等）の飛行禁止区域を地理院地図上で見ることができる。

## 3. 地理院タイル

地理院地図で閲覧できる情報はウェブ配信用にタイル状に分割されており，これらの分割されたタイルを「地理院タイル」と呼んでいる。

地理院タイルは多くのウェブ地図 API が対応している，いわゆる XYZ 方式で提供しているため，サイト構築やアプリ開発者は技術的に容易に各々のサイトやアプリ内で地理院タイルを利用することが可能である。また，国土地理院コンテンツ利用規約（https://www.gsi.go.jp/kikakuchousei/kikakuchousei40182.html）に基づいて，出典明示のみで利用できるため，データ利用ポリシーの観点においても，オープンデータとして誰でも無料で地理院タイルを利用することが可能である。例えば，学校等の教育機関での利用，社内・組織内部での利用，学術論文での利用等の他，商用利用も可能である。ただし，測量法に基づく基本測量成果となっている一部のタイルデータについては，使い方によって同法に基づく申請が必要になる場合がある。詳しくは「地理院タイルのご利用について」（https://maps.gsi.go.jp/development/ichiran.html ）をご確認いただきたい。このように，利用しやすい仕様，ポリシーであることから，国の機関だけでなく地方公共団体や民間のシステム・サービスなど，多くの場面で実際にご利用いただいている。

## 4. 地理院地図の便利な機能

地理院地図には様々な情報を閲覧できるだけでなく，これらの情報を高度に利用できる機能を備えている。ここでは，実際に地理院地図でご利用いただける便利な機能の一部について，その概要を述べる。

### (1) 地形断面図の作成

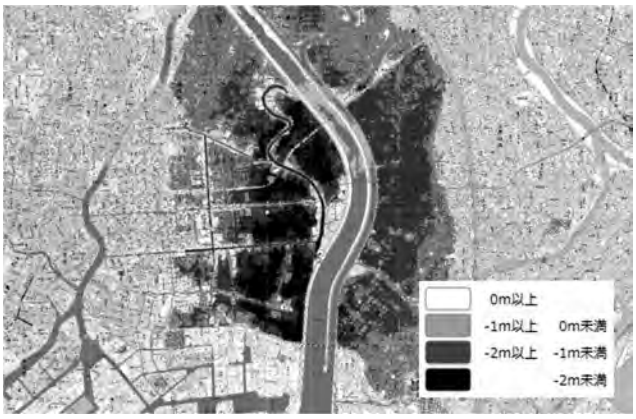
地図上で指定した経路の地形断面図を作成することができる。この機能は，道路縦断の概略図作成などにも活用することができる。画面右上の「機能」ボタン→「断面図」を選んで，地図上をクリックして経路を指定すると，指定した経路の地形断面図が作成される。例えば，国道 25 号線（名阪国道，奈良県奈良市周辺）に沿って作成した地形断面図（**図―1**）のように経路を指定することで，道路縦断図（道路勾配）を簡単に作成することができる。

図―1　国道 25 号線（名阪国道，奈良県奈良市周辺）の地形断面図

また，作成した地形断面図は，CSV 形式のファイルとして保存することもできるので，その後表計算ソフト等で利用することもできる。CSV 形式のファイルには，指定した経路を 300 等分する点の位置情報（緯度，経度，標高，始点からの距離）が記載される。

### (2) 地域に応じた標高地図の作成

津波や河川の氾濫，高潮などによる浸水の危険性を把握するために利用される色別の標高地図は，全国統一で標高に応じた色が決められてしまっているため，局所的な土地の高さ・低さがわかりづらい場合がある。そこで開発した機能が「自分で作る色別標高図」である。自分で作る色別標高図では，高さごとに自由に色を決めて標高地図を作ることができる。画面左上の「情報」ボタン→「起伏を示した地図」→「自分で作る色別標高図」を選ぶと，地図を高さで色分けするためのメニューが表示される。例えば，東京の荒川沿

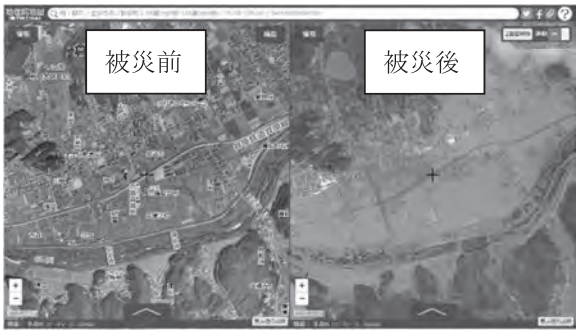



図―2　自分で作る色別標高図の例（荒川河口付近）

いの地域で，微小な高さの変化が目立つよう標高０m以下の場所を１m ごとに色分けした場合（**図―２**）のように，河口の近くの一見平坦な土地でも，高さ・低さが視覚的にわかる。

### (3) ２つの画面を並べて変化を確認

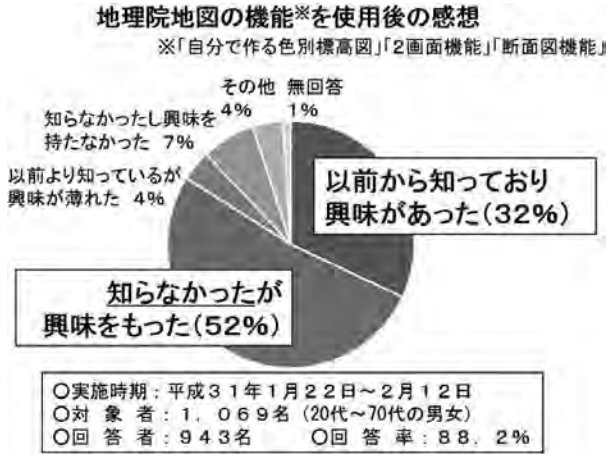
画面を２つに分けて同じ場所の年代の異なる写真などを並べて表示できる。画面右上の「機能」ボタン→「ツール」→「2 画面表示」を選択すると画面が左右２つに分かれる。左右の画面にある「情報」ボタンから，それぞれ地図や写真を選んで表示することができる。例えば，平成 30 年７月豪雨で大きな被害を受けた倉敷市真備町付近の写真（**図―３**）のように，被害を受ける前（左）と後（右）の写真を２つの画面で表示して比べることで，被害を受けた範囲や施設を確認することができる。




図―３　２画面表示の例（倉敷市真備町）

## 5. 今後の展開

地理院地図は近年，前述した情報や機能をはじめ，特に住民の災害への備えや，国，地方公共団体の災害後の初動や２次被害防止に有用な情報や機能を重視して提供してきた。住民一人一人の防災意識の向上や行政事務で役立つ機能を搭載していることから，地理院地図の普及は極めて重要であると考えている。平成 31 年１月～２月に行った「国土交通行政インターネットモニターアンケート」の１つの設問で，地理院地図を実際に使っていただいた感想を集計したところ，約３割の方が「地理院地図を以前より知っており興味を持っている」と答えたほか，約５割の方が「地理院地図は知らなかったが興味を持った」と回答した（**図―４**）。アンケート結果を踏まえ，今後は掲載している情報や機能を利用者の目的別に整理するなど，利用者がより簡単に目的にアプローチできるものになるように検討していくことが重要であると考えている。




図―４ 「国土交通行政インターネットモニターアンケート」結果（一部抜粋）

また，現在の地理院地図で公開している多くの地図データはラスタ（画像）タイル形式であるが，地図データをベクトルタイル形式で提供すべく実験を進めている。これにより，地図の利用者がブラウザ上でそれぞれの目的に応じた地図表現ができるようになるなど，地図の活用の広がりが期待される。ベクトルタイル形式に対応した地理院地図は，今年度中の事業化を目指し取組を進めているところである。

## 6. おわりに

国土地理院は，測量法や地理空間情報活用推進基本法に基づき，地理空間情報の整備・更新・活用を推進することで，誰もがいつでもどこでも地理空間情報を入手し行動できる社会の実現を目指している。

今後とも世間の動向や最新の技術をフォローしながら，引き続き国の基盤となる地図情報などを，鮮度の高い状態で整備・提供し，建設機械施工分野でも活用いただけるよう取組を進めていきたい。

JCMA

《参 考 文 献》

・地理院地図（https://maps.gsi.go.jp/）

［筆者紹介］
佐藤　壮紀（さとう　たけのり）
国土交通省　国土地理院
地理空間情報部　情報普及課
課長

特集≫≫ IoT，AI，ビッグデータ

# 無人建機による自律施工がもたらす未来の建設現場

四 家 千佳史・村 上 数 哉

建設業においては近い将来，技能労働者の離職等により深刻な労働力不足に陥ることが懸念されており，生産性向上が急務となっている。国土交通省は2016年4月より計画・設計・施工・検査・維持管理からなる一連の建設生産プロセスを3Dデータでつなぎ効率化を図るi-Constructionの制度をスタートさせた。更なる生産性向上，および安全性確保のため，建機メーカーの課題解決の取り組みとして，センサ・通信・IoTなど最新技術を活用した無人建機の開発を行っている。本稿では遠隔操作も含めた複数の無人建機が協調して施工を行う自律施工の内容と活用技術について報告する。

**キーワード**：無人化施工，自動運転，遠隔操作，IoT，AI，安全，生産性向上

## 1. はじめに

建設生産プロセス全体の生産性向上を図るため2016年4月から開始されたi-Constructionは，管理要領の改訂による導入障壁の緩和や適用工種の拡大もあり，ICT技術を活用した現場施工が増加している。

現在，建機メーカーが建設現場に提供しているICT技術を搭載した建設機械（以下ICT建機）は，機械に取り込んだ3次元設計データを基に刃先を制御して，設計面を傷つけないよう施工の支援を行っている。丁張不要による工期短縮や必要作業員の減少に加え，オペレータの熟練技術が求められた難度の高い作業が経験の浅いオペレータにもできるようになることから，生産性の向上や人手不足を補える建設機械として稼動が増加している。

しかし建設業の課題を解決するためには，モノ（建設機械の自動化・高度化）とコト（施工オペレーションの最適化）の進化レベルを上げて施工のデジタルトランスフォーメーションを起こし，多くの人材が様々な形で現場施工に参加できる安全で生産性の高いスマートでクリーンな現場をする必要がある。本稿では未来の建設現場実現のためのモノ（建機）の進化，無人建機による自律施工について紹介する。

## 2. 無人建機による自律施工デモンストレーション

### (1) 概要

現場施工の安全性・生産性向上を突き詰めると，高度な知能を持った無人の建設機械が，現場の変化を理解し他の建設機械と協調して自律施工する「無人の建設現場」の実現が究極の姿である。建機自動化による無人施工の実現に向け，IoTやAIの最新技術をベースに，下に示す5つのキーワードを基準として研究開発を行っている。その成果を，2018年10月に開催された展示会CEATEC JAPAN2018（注1）の会場においてLive中継によるデモンストレーションにて発表した。

・建機の自律施工に関する5つのキーワード
①作業の安全を確保（Safety）
②周囲を認識（Perception）
③作業手順を自ら計画（Planning）
④他の機械と協調（Cooperation）
⑤自律した作業（Autonomous）

### (2)「運転支援・自動運転」のレベル分け（図―1）

先行している自動車の自動運転実用化検討において，各国で自動運転の「レベル」が設定されているが，同様に建機の運転支援・自動運転におけるレベルを設定した。

建機の運転支援・自動運転のレベルについて，Level. 0の手動から始まり，作業の一部を建設機械が支援するLevel. 1，作業の大部分が建設機械の支援に

図―１　建設機械「運転支援・自動運転」レベル分け

置き換わる Level. 2，建設機械が単独で基本作業を自動で行う Level. 3，他車と連携・協調して作業サイクルを自動で行う Level. 4，建設機械が周辺環境を認識・判断して自律運転を行う Level. 5 の５段階に区分を行った。

現在の最先端といわれる ICT 建機であっても，未だ Level. 2，オペレータによる操作を主体として，機械はその操作を簡易化する運転支援に過ぎない。Level. 3 以上になると，機械が主体的に作業を進める高度化段階となる。今回のデモンストレーションにおいては，Level. 4 ～ 5 に該当する施工をデモエリア内にて実現している（**図―１**）。

### (3) 自律施工デモ作業内容

**図―２**の通り，デモエリアを建設現場に見立て，そこで稼働する建機をイメージしている。土を積み込む油圧ショベル，そして土を運ぶクローラダンプは完全な無人であり，機械同士が連携し，自動で作業を行う。また，運んだ土を敷き均すブルドーザは遠隔で操作を行う。

ここでは，高度な認識能力・判断能力を持った建機同士が，互いに協調しあいながら，安全で効率のよい作業をしている。例えば油圧ショベルは，センサにより周囲監視をしながら作業中の安全を確保し，さらに掘削する土砂の位置や形を認識し，自動で掘削する。また積込み対象のダンプトラックも認識し，そこに正確に積込作業を行う（**写真―１，２**）。

写真―１　自律建機による掘削・積込

写真―２　遠隔操縦ブルによる敷き均し

## 3. 搭載機能

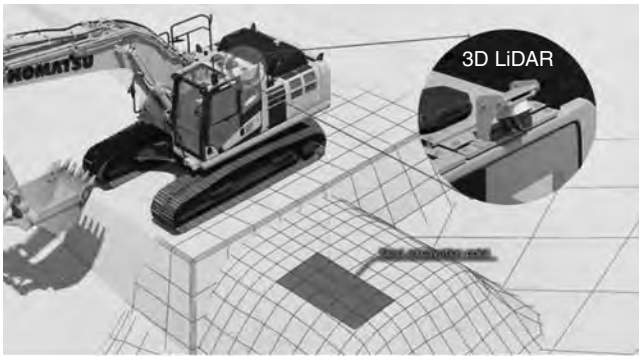
無人自律施工を行うそれぞれの建機に搭載した機能と，活用した技術について説明する（**図―３**）。

図―２　デモエリアの全体図

図―３　無人自律施工に必要な機能イメージ

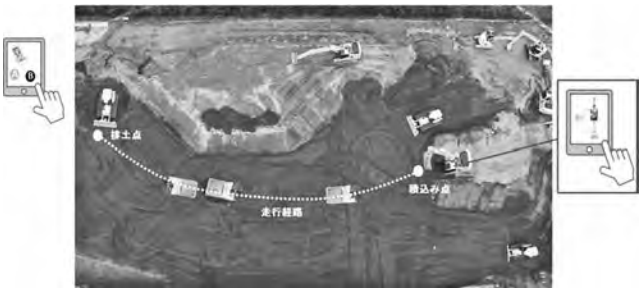
写真―３　人の検知と距離の推定

図―４　クローラダンプ検知




図―５　3D LiDAR による地形認識

図―６　自律運転油圧ショベルの搭載機能




写真―４　走行エリアイメージ

### (1) 油圧ショベル

①全周囲監視

キャビン前方に設置したステレオカメラと，後方に設置した周囲監視カメラが建機の目となり全周囲を監視。AI による画像解析で人の検出と距離の推定を行い，油圧ショベルの稼働を制御する（**写真**―３）。

②クローラダンプの状態検知・ベッセル認識

ステレオカメラからの情報を AI で解析しクローラダンプの状態を認識。以下の５パターンに分類し，状態に応じた適切な制御を行う。

（a）視野外（b）接近（c）離脱（d）旋回（e）停止

停止・旋回後，ベッセルを検知して位置を特定し，自動で精度良く土砂を積み込む（ぶつけない，こぼさない，**図**―４）。

③自動掘削／自動旋回

掘削箇所の地形変化をセンサ（3D LiDAR）で計測し，掘削による地形の変化を認識しながら土量が一定となるようにブーム・アームの動きを制御する（**図**―５，６）。

### (2) クローラダンプ

①土砂の積込み点，排土点，走行経路を指定する（**写真**―４）。

②自律運転を開始すると，積込み点まで自動走行，上部旋回を行い積込み待機する。積込み待機状態に入ると，油圧ショベル側に情報を送る。

③積込みが完了し油圧ショベルから離脱指示を受けると排土点まで自動走行し，上部旋回を行い，ベッセル上下して排土する。排土完了後，再び積込み点まで自動走行する。

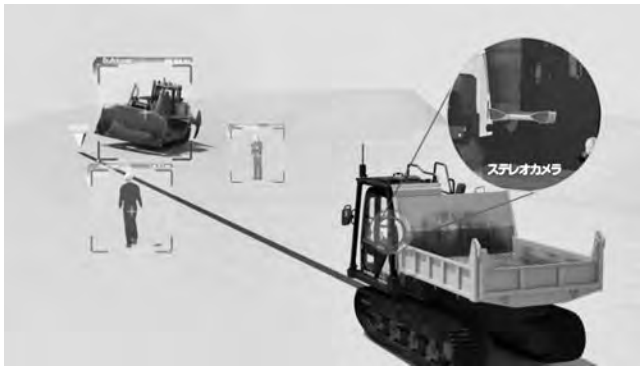
④②，③を繰返し行い，また経路の途中に障害物（人や建機など）を検出している（**図**―7，8）。

### (3) 遠隔操縦ブルドーザ

直線距離で約８キロメートル離れたコックピットから遠隔操作し，遅滞なく敷き均しを行う（**図**―9）。

高速・大容量・低遅延の特徴を持つ５Ｇのモバイルネットワークを利用し，建機の遠隔操縦を行う。オペレータはブース内に設置された専用コックピットに座り，デモエリアにあるブルドーザからリアルタイムで送信される複数台のカメラ映像を見ながら，遠隔操縦で土砂を均す。

なお，本遠隔操縦技術には，可変圧縮，超短遅延映像伝送技術を用い，高精細かつ安定的な映像伝送を実現し，違和感のない遠隔操縦を可能にしている。また，車両周辺の俯瞰映像モニタリングを可能とするシステムを適用し，遠隔でもほぼ死角がない自由な視点での操縦を実現している。




図―７　障害物検知

## 4. おわりに

近年，主に自動車を対象とする「自動運転・自律運転」という言葉を耳にするが，建設機械においては，「現場の建設機械自らが判断し，働く，完全無人化された現場」の実現に向けた取り組みとなる。自律運転化が加速すれば，人が危険な作業をする必要もなく安全性は飛躍的にアップする。建設機械の 24 時間稼働が可能となるため，生産性も格段に向上する。さらには環境負荷の低減，多様な働き方の提案など様々な可能性を秘めている。

また建設機械の遠隔操作については，例えば現場が地球の裏側であっても，その進捗状況を瞬時に把握・管理できるため，時間にも場所にも縛られない現場作

図―８　自律運転クローラダンプの搭載機能

図―９　遠隔操作による敷き均し作業イメージ

業が可能となる。離れた場所から建機を操作する「遠隔オペレータ」という新たな職種が生まれ，従来，熟練オペレータに頼っていた作業も遠隔操作で行えるため，建設業界とは縁のなかった人材の登用が可能になることも予想される。

これらは今後，実証実験を経たのち実用化に向けて開発を進めていくが，現場への導入にあたっては，有人エリアと無人エリアの区分や施工時の順守事項など，運用面でのガイドライン整備が必須となる。関係各所と連携し取り組んでいく。

（注 1）CEATEC JAPAN2018
毎年 10 月に開催される IT 技術とエレクトロニクスの国際展示会。国内外の IT とエレクトロニクス関連企業・団体が参加し，最新技術や製品の発表・デモを行う。
2018 年は 10/16 ～ 19 の 4 日間，幕張メッセで開催され，156,063 名の来場者があった。

［筆者紹介］

四家　千佳史（しけ　ちかし）
コマツ　執行役員
スマートコンストラクション推進本部　本部長

村上　数哉（むらかみ　かずや）
コマツ
スマートコンストラクション推進本部　事業開発部
主幹

特集≫≫　IoT，AI，ビッグデータ

# 建設機械整備，保全における AI，ビッグデータ活用の取り組み

## 高齢化，人材不足問題を IT，OT の融合により解決を図る

鈴　木　　純・角　谷　有　司・猪　瀬　聡　志

2016 年に油圧ショベルの主要コンポーネントの故障リスク計算を，稼働情報をもとに AI で計算し失敗した。2017 年に技術者の診断プロセスの一部を AI に置き換える手法に変更し実機で検証。ターゲティング，問診，簡易診断を組み合わせた。2018 年に実用化に向けて計算アルゴリズムや AI による予測計算の管理方法を改良しサービス化に成功した。

**キーワード**：建設機械，油圧ショベル，サービス，保守・補修技術，AI，ビッグデータ，IoT

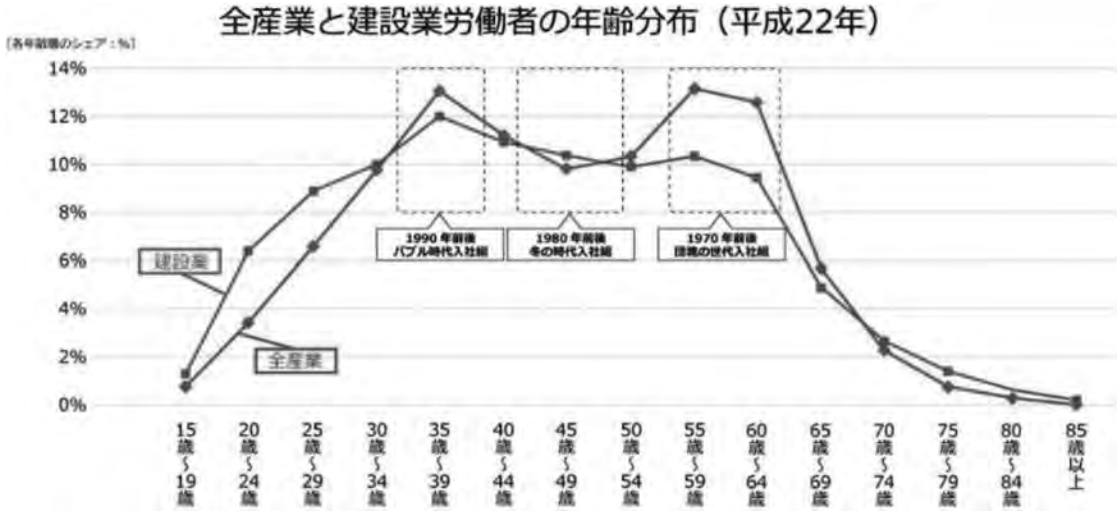
### 1．はじめに

近年，企業の環境に対する責任ある行動への要求が高まり，排出ガス規制の強化に対応するため，エンジンや排気ガス後処理装置，機器のハイテク化，油圧システムの制御技術の高度化，ハイブリット化による電子制御技術の高度化が進んでいる。燃費や効率化，情報化が進んだ良い「モノ」が提供されていく一方で，それらの機械が環境性能も含め，正しい性能を発揮し稼働を続けるためには修理技術の高度化，保守・管理の高度化に対する「コト」への対応も重要になってきている。一方で**図―1** に示すように，建設業労働者の年齢分布は 50 歳以上に偏りがあり労働者の高年齢化が進んでおり，人海戦術によるサービスの向上は分岐点に来ていると言える。また若年層に対し暗黙知となりやすいサービス技術の伝承や，電子制御技術など新しい技術に対する診断，保守の教育は時間やコストを要するため，診断ツールなどを活かし，いかに効率化できるかが課題である。そこで本テーマではサービス技術者による長年の経験に基づく予兆の判断を人工知能（AI）に置き換え，診断ツールを用いて診断する手法を検討した。

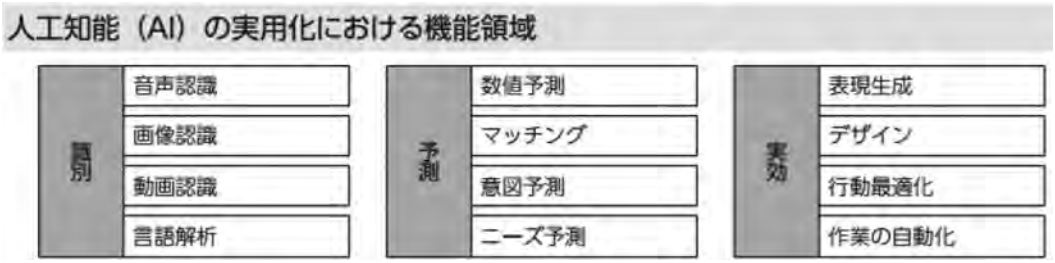
### 2．AI の位置づけ

#### (1) AI の活用方法に関して

2016 年のプロジェクトスタート当初，人工知能（AI）に対する期待は高く「人間では気が付かない意外な相関関係を見つける」ことを目指していた。つまり建設機械から得られる様々な稼働情報，修理履歴などから




図―1　建設業労働者の年齢分布
引用：総務省統計局「平成 22 年国勢調査」




図―２　AI の実用化における機能領域
引用：総務省「平成 28 年版 情報通信白書」

意外な因果関係を AI が自ら判断し見つけられるのではないかと期待していた。しかしながら稼働情報を機械学習，ニューラルネットワークを使い解析しても，常識的な結果もしくは，的外れな結果が得られるだけで実用化に耐えられるものではなかった。一定の成果やデータ処理のノウハウを得たものの，事業として実用化するという意味では失敗に終わったと言える。そこで視点を変え，人間（サービス技術者）が稼働データの何を見て診断を行っているのかを AI に教えるという逆のアプローチを取ることとした。総務省による AI の実用化における機能領域において，AI の活用分野は識別，予測，実行の 3 領域である（**図―2**）。

サービス技術者は，機械的，物理的な変化が稼働データに与える影響は何かという視点で考えており稼働負荷の大きさ，稼働時間，経過年月，アラームの発生の仕方や，温度や圧力の異常傾向などを過去の経験に基づき対処すべきか，様子を見るべきかを判断している。サービスの現場で機械の診断をするサービス技術者が何を見て，どのように予測を行っているのか。同様にプロダクトサポート技術者，設計，品質保証の技術者は何に着目しているのか。ヒアリングを行い，人間が行っている知的活動を識別，予測，実効の各分野に分けてどのように組み合わせるかの検討を進めた。

### (2) AI がサービス分野に適する理由

活用の検討を進めた結果 AI の業務上で活用において 4 点が重要なファクターであることが分かった。

①専門家がデータを見れば判断できる。設計，研究，サービスのノウハウが有る。

・技術の専門家がデータの何を見て，どう判断をしているのか。教師が存在することが AI 活用の絶対条件。

②ルールベースでのプログラミングが困難。

・機種が多い，部品数が多い，条件にバラつきが多いなど，あいまいな条件から閾値を調整するマッチングは AI の得意分野。

③データが単純で，大量。人手の対応が難しい。

・大量のデータ処理，24 時間監視などは人手による対応は難しいが AI であれば容易。

④結果のフィードバックが得られる。

・AI のロジックは，常に検証を行う必要がある。予想結果に対し，実際に機械の検査を行いその結果を再学習させることが精度向上のポイント。

### (3) AI の限界を把握したうえでの実用化検討

摩耗が原因で発生する修理作業に関しては，ある負荷の大きさや時間的なファクターの因果関係が認められるため計算による適切な対応時期の予想はある程度可能である。しかし油圧機器などの主要コンポーネントに関しては適切な補修，交換時期を予知するのは非常に困難である。したがって稼働時間を根拠としたメンテナンス（TBM）や，故障が発生した都度に対応する（BDM）が中心となっている。BDM は TBM と比較し故障したときには機器内部の破損が大きくなりがちで，復旧までの時間とコストのインパクトが大きい。特に油圧ポンプが故障し内部機器が破損した場合，金属コンタミが油圧システム全体に流入する為，ポンプ以外のコンポーネントにダメージを与えてしまう。また TBM に於いても機械の稼働状況や，メンテナンスの不備などが原因で機器の損傷が進むこともあり，整備状況の確認や，定期的なオイルサンプリングによる状態の確認は欠かせない。

ポンプの例では明らかな異常が起きている場合は既に破損が大きくなっている。初期的な異常の発見は難しくオペレータが微妙な力のなさや，いつもとは異なる音，振動などを感じ点検を依頼するケースが多い。そこで故障を 100％の確率で予知する事にはこだわらず，稼働データで異常な傾向を捉え，オペレータに異常の有無の確認や，点検を推奨する機械を効率よくリストアップする分析作業に AI を活用することにした。

作業の流れは，下記である。

① AI によりリスクの高い機械をリストアップする

②体感できる異常の有無のヒアリング，確認

③新規開発のサービスツールを用いたポンプの性能

試験（非破壊検査）を行う

④経過観察，状況に応じ故障前に計画的な修繕を行う

今回ご紹介する技術は①および③にかかわる部分である。

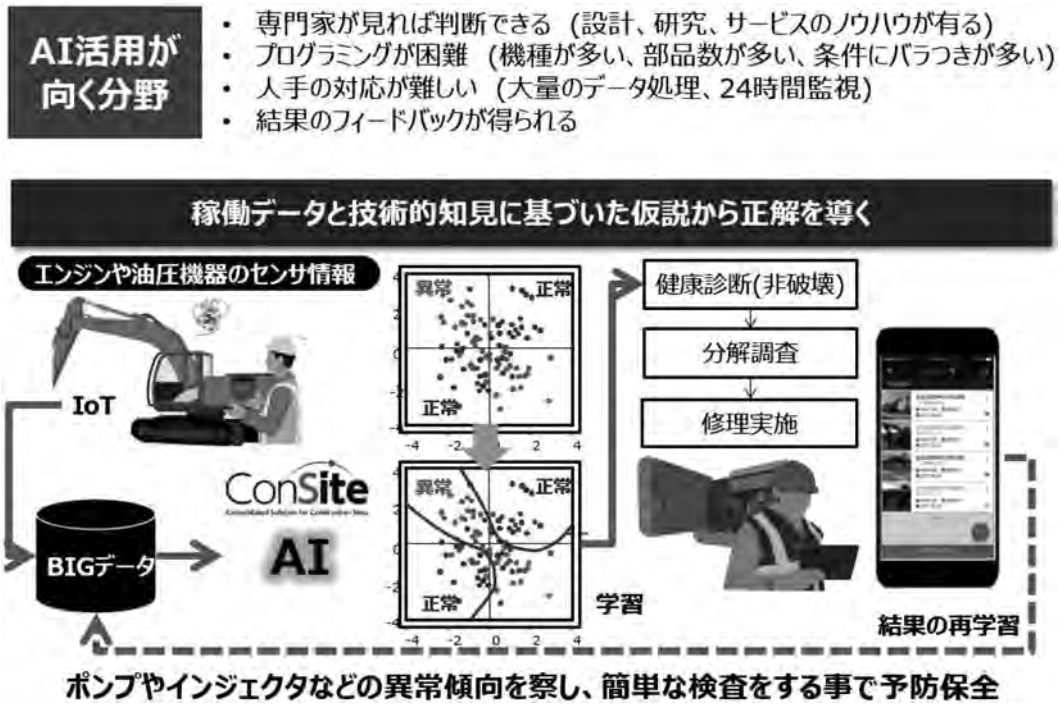
### (4) AI による予測と，学習のフロー

**図―3** に示す例のように，今回の検討している AI は正常と異常が入り混じる情報を学習することであいまいな閾値を自動的に更新できるという点が従来のルールベースでのプログラミングとの差異である。まずはこの情報を用いてリスクの高い対象を抽出し，短時間でできる非破壊検査を行うことで予防保全につなげることを目標とした。健康診断を実施することで正常であることが確認できれば，建機ユーザとしても安心感を得られる。性能低下が認められた場合はもう一段上の対応として分解調査や修理の実施を行う。またこれらの点検の結果を正しく AI にフィードバックさせるために，点検で得られた結果を再度学習データに用いて再学習させることで予測精度を高めることが可能である。

## 3. 結果

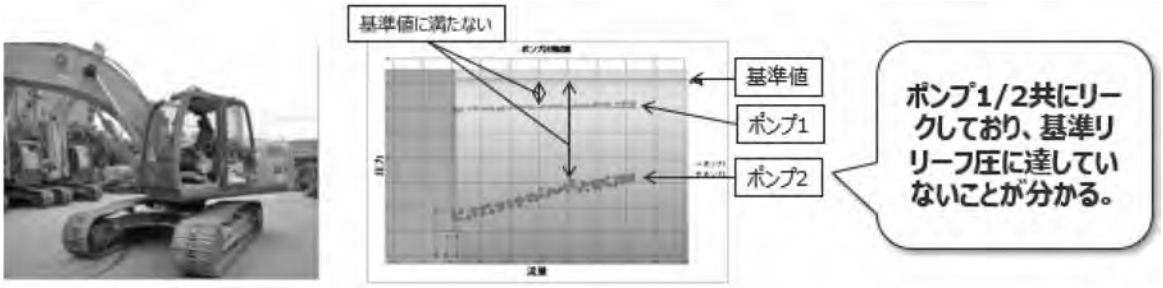
主要コンポーネントの中でも予測が非常に難しいメインポンプに関して，2017 年に国内で稼働中の特定の機種，8,261 台を対象に 138 台の異常傾向の高い群を AI で抽出した。その内，最も確率の高い 24 台を選定しヒアリングを実施し，内 10 台に関して新規開発のサービスツールを用いて非破壊検査を行った。非破壊検査の結果，6 台で軽微な性能低下を含む異常傾向がみられ，内 3 台修理が必要な状態であった（**写真―1**，**図―4 ～ 6**）。内 2 台のポンプを回収，分解し損傷している事を確認できた。最も損傷が大きかった機械は，通常のメンテナンスは確実に行われていたものの，長期貸し出し中に客先で長時間のブレーカ作業が行われていた。長時間のブレーカ作業は通常機よりも外部からのコンタミが混入しやすいため，通常より早い時期でのオイル交換，フィルタ交換が必要であったが客先での使用状況に応じた整備対応ができていなかった。異常状態を把握するのも大切だが，このような損失を防ぐためには，使い方に応じて必要なメンテ

写真―1　損傷を受けた油圧ポンプの内部部品



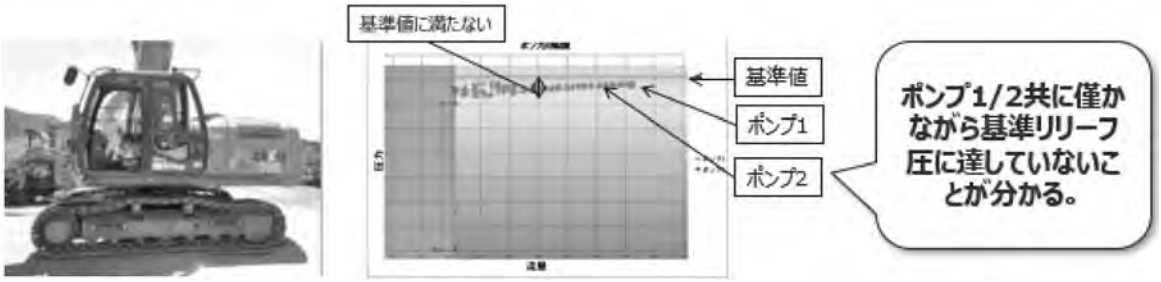

図―3　AI 機能の仕組み

【愛知県　三河営業所】



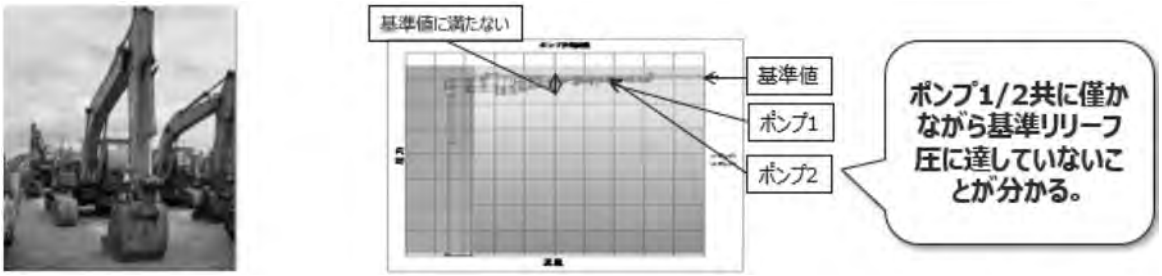

図―４　新開発ツールの試験の結果，ポンプの明らかな性能低下が認められた機械（要修理交換）

【高知県　中村営業所】




図―５　新開発ツールの試験の結果，ポンプの性能低下傾向が認められた機械（経過観察）

【沖縄県　沖縄中央営業所】

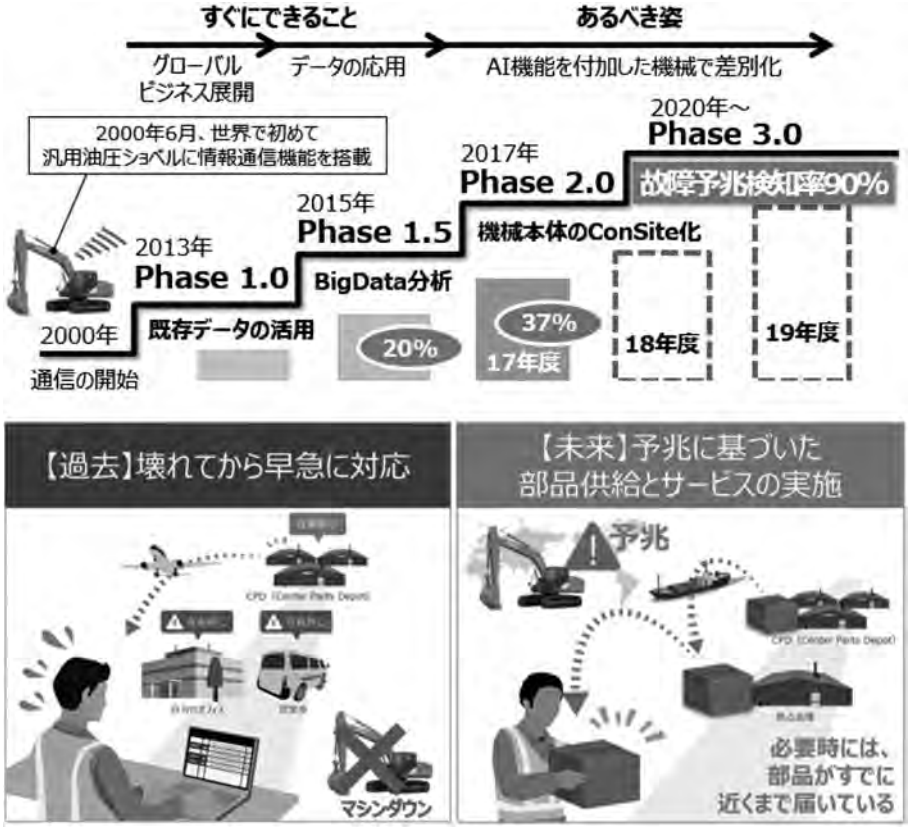



図―６　新開発ツールの試験の結果，ポンプの性能低下傾向が認められた機械（経過観察）

ナンスを確実に実施するために，AI にサービスのロジックやルールも学習させていく事が重要であり課題である。また運用面においても，お客様が必要な整備点検をうっかり忘れることで機器の損傷が起きないように，AI を用いて注意喚起を行い「人間ドック」のように「健康診断」を継続する事の重要性を認識していただく必要がある。

## 4. 実用化を進めるにあたっての苦労

AI を活用した予測を実施するのは重回帰分析の応用の範囲と言える。したがって技術的にはやや高度なデータ分析技術を有していればどのような研究機関においても実証実験は可能である。しかしデータ項目が増えれば増えるほど加速度的に計算量は増える。データ項目を百種類以上使用すると１コンポーネント当たり，数日間かけ 10 億回程度の計算を繰り返し，モデルを作成する必要がある。実用化を進めるためには，1 機種当たり数十の主要コンポーネントの予測が必要であり，追加して数十の主要機種の計算を行うとその分だけ計算処理が必要となる［機種数×コンポーネント数］。そのため計算のアルゴリズムの工夫や処理の効率化を行い一連の計算をマネジメントする必要があり投資とシステムの構築が必要であった。またそれぞれのモデルの機構や構成する部品が異なるため，稼働状態からそれぞれの技術知見に基づいた仮説を立て検証する作業をモデル，構成部品ごとに行う必要があるためサービス技術者を交え検討を重ねる必要があった。17 年度から実証的に行っていた AI によるアラームフィルタリングは 2018 年 12 月に新規に開発した AI 処理基盤に搭載を完了し，状況に応じ通知レベルを変更する既存サービスの移行も終えて，サービスを




図―7　故障予兆検知率とその将来

開始した。その後も構築したAI基板上に18年度中に新たに17件の故障検知ロジックを実装することができた。また非破壊検査を実施するためのツールの開発には，ポンプ及び本体制御システムを活用したロジックの確立と，アプリケーション構築のため，社内の油圧システムとその特性を熟知した研究開部門の支援が必要であった。

## 5. おわりに

AIの活用に関しては，精度の限界を見極めながら上手に活用することがポイントである。稼働データと技術的知見に基づいた仮説からターゲティングを行い，健康診断を行い，その結果を確りとフィードバックする仕組みを構築すれば，サービスの分野において実用レベルの活用が十分に可能であることが分かった。今後の課題として，段階的に遠隔での故障検知技術を上げていく事と，故障検知，予兆検知の情報を最適な部品のロジスティックスコントロールと作業計画につなげていく事でお客様へのサービスレベルをグローバルで向上させていく事が重要である（**図―7**）。

**謝　辞**

お客様へのサービスレベル向上を目指し，本研究，開発に関して技術及びナレッジの提供の協力を頂いた，日立建機日本㈱，㈱日立製作所，㈱日立ソリューションズ及び設計部門，研究開発部門，システム開発部門に改めて御礼を申し上げます。

JCMA

［筆者紹介］

鈴木　純（すずき　じゅん）
日立建機日本㈱
サービス本部
サービス企画部長

角谷　有司（かくたに　ゆうじ）
㈱日立製作所
デジタルテクノロジーイノベーションセンタ
データサイエンス研究部　主任研究員

猪瀬　聡志（いのせ　さとし）
日立建機㈱
ライフサイクルサポート本部
カスタマーサポート事業部
ConSite開発部長

特集≫≫ IoT，AI，ビッグデータ

# MMSによる土工現場の出来形計測と新たに考案した精度管理手法

早 川 健太郎・白 石 宗一郎

地図作成の分野では，広範囲を短時間で計測できるMMS（Mobile Mapping System）が広く用いられており，取得された点群データはビッグデータとしてアーカイブされ，道路の管理業務などで活用されている。土工現場の出来形計測にMMSを適用する場合には，精度管理のために設置する標定点や検証点の配置，計測距離と計測精度との関係をきちんと把握しておくことが重要である。筆者らは実工事において，MMSによる計測精度がi-Constructionにおける出来形管理基準値50 mmを満足することを確認した。さらに，その結果から切土法面などで効果を発揮する新たな精度管理手法を考案した。

**キーワード**：土工，MMS，点群データ，切盛土出来形，精度管理手法

## 1. はじめに

i-Construction施策の推進によって建設現場における3次元計測が普及し，これまでの点や線を用いた出来形管理から3次元空間的な管理へ移行が進んでいる。その3次元計測の多くは，TLS（Terrestrial Laser Scanner：地上据置き型レーザスキャナ）やUAV（Unmanned Aerial Vehicle：無人航空機）に搭載したデジタルカメラ画像による写真測量などによって実施されている。一方，地図作成業務においては，道路や標識などの道路付属施設の計測にMMS（Mobile Mapping System）が導入され，その計測作業や道路空間の施設管理への活用が進んでいる。走行しながら車両周辺の3次元計測が可能といったMMSの機動性に着目し，筆者らは2015年に広範囲な土工現場での起工測量を対象に実証実験を行い，計測精度および適用可能性について評価した。その結果は，筆者らの独自の「3Dモデルによる土工出来形管理の効率化・高度化のためのMMS計測マニュアル（案）」として運用しているところである[1)]。

本マニュアルは，主に盛土工事を対象に執筆されたものであり，今般車両が乗り入れることができない切土工事におけるMMSの計測精度を実証実験において評価し，その結果から切土法面などで効果を発揮する新たな精度管理手法を考案したので，本稿で紹介する。

## 2. MMSの概要と盛土工事での活用事例

MMSは移動体の位置を計測するGNSS受信機とその姿勢を計測するIMU（Inertial Measurement Unit：慣性計測装置）をベースとした機器構成であり，移動体からの相対的な空間をレーザスキャナや画像を用いて計測して統合することで，移動した周辺の空間情報を高精度かつ効率的に計測するシステムである。

図―1 MMSの外観と仕様

MMS の運用に際しては，目的とする計測対象と MMS の走行位置との距離（以下，計測距離）に合わせてレーザスキャナを選択するもので，レーザスキャナには，近距離を高精度で計測する位相差方式と長距離を計測できるタイムオブフライト方式が使用される。筆者らが実証実験で使用した MMS（**図―1**）は後者の方式を採用し，測距精度 5 mm で最長 800 m まで計測できるレーザスキャナを 2 台搭載している。照射方向の異なる 2 台のレーザスキャナは 1 秒間に 110 万回（55 万回× 2 台）のレーザ照射を行い，車両周辺の空間情報を詳細な点群データとして記録する。

これらの点群データは膨大な容量となり，計測時間や走行速度などによって異なるが，例えば，40 ha（400 × 1000 m）の盛土工事の場合で，17 億点ものビッグデータとして収集されることになる。

取得される点群は，レーザスキャナの特性上，車両の近くの路上では数 mm 間隔と非常に密に取得されるが，車両から距離が離れれば必然的に点の間隔が増大する。**図―2** に MMS による計測結果の一例を示す。このように，MMS から得られる膨大な点群データには出来形管理に不要な建機の点群や必要以上に点群密度の濃い箇所が存在する。現場内の地形を詳細に表現できるビッグデータとして記録できることは MMS の大きな利点であるが，得られた膨大なデータを適切にフィルタリングし，扱いやすいデータにすることも MMS 運用において重要なプロセスである。

## 3. 切土出来形計測を対象にした実証実験 [2)]

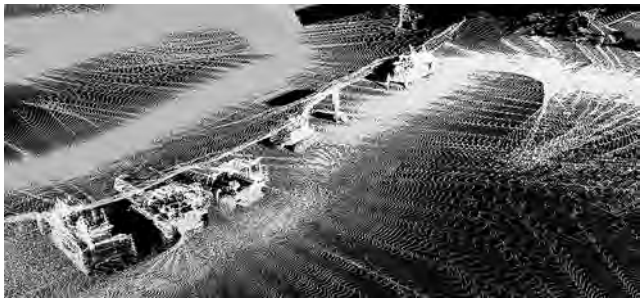
### (1) 実験概要

MMS による切土出来形計測の実証実験を**図―3** に示す道路新設工事において，切土法面の掘削・整形が完了した段階で行った。切土法面は最大高さが約 50 m で 7 段の法面があり，勾配は 1：1.2 である。作業では車両を法面内に乗り入れることをせず，法面の裾を流れる川の両岸の道路を往復走行しながら計測した。走行ルートから計測箇所を計測する状況を**図―3** に示す。

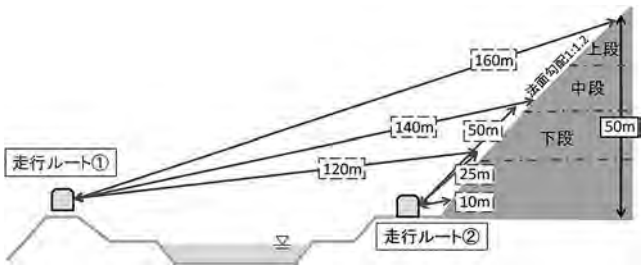
図―3　切土工事での計測対象と計測風景

MMS の走行ルート，計測した 2 か所の法面（計測箇所①，②）および標定点・検証点の配置を**図―4** に示す。現場の測量座標系との整合を図るために設ける「標定点」は両岸の走行ルートの始終点に計 4 箇所設置し（H01 ～ H04），取得したデータの信頼性を確認する「検証点」はその標定点間の中間に計 3 箇所設置した（K01 ～ K03）。また，切土出来形計測の精度評価を実施する目的で，切土法面上に検証点（1.0 m × 0.9 m のビニール製白色シート）を 33 箇所設置した（**図―3**）。なお，走行ルート上の標定点・検証点の測量は VRS-GNSS にて，切土法面上の検証点についてはノンプリズム型のトータルステーションを用いて測量した。MMS による計測距離は**図―5** に示すように，最大約 160 m 程度である。

図―4　実証実験の走行ルートと配点状況



図―2　盛土工事にて MMS から得られた点群データ




図―5　走行ルートと計測対象との関係

### (2) 計測条件

計測はレーザ照射点数およびスキャン周波数，計測距離を順次変化させて行った。計測条件を**表**―１に示す。表の右端には，レーザ照射位置から 150 m 離れた位置での点群データの点間隔を計算値として示し，点群の粗密の程度を表している。2 章で例示した**図**―2 において説明したように，切土・盛土における出来形を 3 次元的に表現する場合には，点群の粗密が重要な要素となるためこのような計測条件を設定した。なお，誌面の都合上，点間隔と計測精度との関係については記述を割愛をする。

### (3) 計測結果

計測によって得られた点群データを**図**―６に示す。**表**―１に示したすべての条件の計測データについて，法面上に設置した検証点の座標と MMS による実測値との較差を比較した。その結果を**表**―２に示す。このように，「補正後」のデータは i-Construction における出来形測量の基準値 50 mm を満足していることが分かる。なお，この表に記載の「補正前」とは取得した生データの値であり，「補正後」とは走行ルート上に設置した標定点の座標を用いて座標補正した値である。また，この実証実験では法面上の検証点は座標補正に用いていない。

図―６ 切土工事の点群データ（一例）

表―２ 計測結果の標準偏差（補正有無別）

| データ | | 標準偏差 | |
|---|---|---|---|
| | | 水平(m) | 高さ(m) |
| 補正前 | 走行ルート① | 0.052 | 0.039 |
| | 走行ルート② | 0.073 | 0.095 |
| 補正後 | 走行ルート①と②を合成 | 0.029 | 0.043 |

表―３ 計測距離別の標準偏差

| データ | | 標準偏差 | |
|---|---|---|---|
| | | 水平(m) | 高さ(m) |
| 補正後 | 上段(最大距離160m程度) | 0.042 | 0.043 |
| | 中段(最大距離140m程度) | 0.023 | 0.040 |
| | 下段(最大距離120m程度) | 0.023 | 0.044 |

次に，**図**―５に示すように計測距離に応じて標定点を上段，中段，下段の 3 つに分類して評価した結果を**表**―３に示す。計測距離の増大に応じて水平方向の標準偏差が大きくなる傾向が確認できるが，高さ方向の標準偏差では明瞭な傾向を確認できない。すなわち，計測距離 120 ～ 160 m の間においては，レーザ照射位置（すなわち，走行ルート）から法面方向への仰角や計測距離の違いは計測精度に大きく影響を与えないことが分かる。

また，一般にレーザは水滴や雨滴に弱いとされている。実証実験中のいくつかのケースにおいて，1 mm/h 程度の降雨があったが，法面上の検証点の計測結果を比較したところ，雨滴の計測精度に対する影響はほとんど確認できなかった。今後，MMS を現場適用する場合の条件設定の幅が広がる可能性を確認できた。

## 4. 新しく考案した精度管理手法

### (1) テストフィールドを用いた検証

MMS をはじめレーザスキャナによる計測において，計測地点と計測対象の離隔が長距離になる場合に所定の精度を確保したい時には，離れた計測対象に標定点や検証点を設置して座標を取得し，精度評価することが妥当な精度管理手法と考える。

表―１ 計測条件

| CASE | 走行ルート | 計測対象 | レーザ照射点数 | | スキャン周波数 | 点間隔 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | ①(往復) | 上・中・下段 | 粗 | 550kHz (最大計測距離：200m) | 30Hz | 50cm |
| 2 | ②(往復) | 下段 | | | | 12cm |
| 3 | ①(往復) | 上・中・下段 | 中 | 550kHz (最大計測距離：200m) | 50Hz | 25cm |
| 4 | ②(往復) | 下段 | | | | 6cm |
| 5 | ①(往復) | 上・中・下段 | 密 | 550kHz (最大計測距離：200m) | 100Hz | 14cm |
| 6 | ②(往復) | 下段 | | | | 3cm |
| 7 | ①(往復) | 上・中・下段 | 粗 | 200kHz (最大計測距離：700m) | 50Hz | 52cm |
| 8 | ②(往復) | 下段 | | | | 6cm |
| 9 | ①(往復) | 上・中・下段 | 粗 | 300kHz (最大計測距離：450m) | 50Hz | 52cm |
| 10 | ②(往復) | 下段 | | | | 6cm |

しかしながら，3 章で示した切土法面を利用した実証実験では，走行ルートから最大約 160 m 離れた法面上の標定点を用いて座標補正せずとも，i-Construction における出来形測量の基準値を満足することを確認した。このことから，出来形計測における計測距離と計測精度との間には何かしらの関係があるものと推測される。

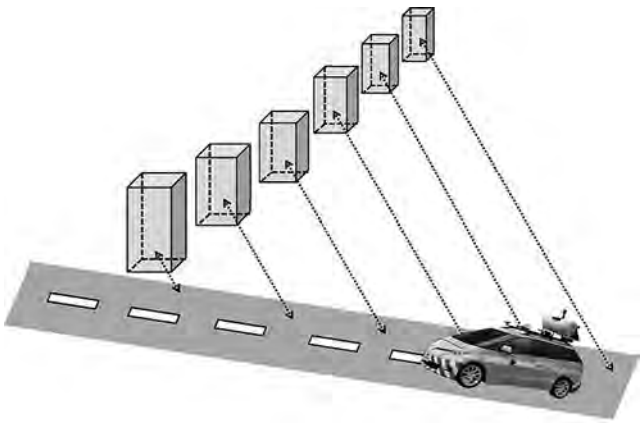
そこで，この計測距離と計測精度との関係を改めて明らかにして，MMS による計測結果の品質を保証する新たな精度管理手法を検討することを目的として，テストフィールドを用いた検証を実施した。

テストフィールドは，**図―7** に示すような連続する橋脚を持つ高架橋の下を通過する一般道とした。一般道からの離隔が約 90 m ～約 300 m までの 6 つの橋脚を計測対象とし，各々の橋脚の外郭形状をノンプリズム型のトータルステーションにより測量して基準データとした。

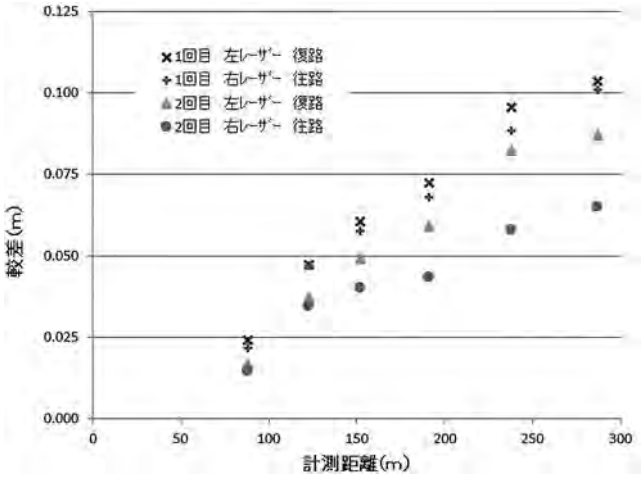
次に，一般道を往復走行して MMS による橋脚の点群データを取得した。走行前には，スキャナ諸条件，すなわち，MMS に装備されたレーザスキャナ装置の取付け角度，位置及び照射パラメータを微調整した。なお，往路では橋脚を進行方向右側のレーザスキャナで照射し（**図―7**），復路では進行方向左側のレーザスキャナで照射する。このようにして計測することで，往路／復路および左右のレーザスキャナの組み合わせから，複数の橋脚の点群データを取得する。

### (2) 検証結果と考察

走行後，左右のレーザスキャナで取得された計測結果を解析して橋脚の点群データを生成し，前述のようにあらかじめ取得しておいた橋脚の基準データを計測距離別に比較した。その結果を**図―8** に示す。ここに図示するように，距離の増大に応じて基準データとの較差も増加しており，一次線形式で近似できることが分かる。この線形式より，i-Construction における出来形測量の基準値である 50 mm を保証する計測可能距離は約 125 m，起工測量の基準値である 100 mm を保証する計測可能距離は約 250 m と導出することができる。なお，**図―8** は実験の一例であり，スキャナ諸条件は可変であるので，こういったスキャナに関わる条件を変化させた実験を進めていくことで，スキャナ条件―計測距離―計測精度の相互関係がより明確となる。



図―7　テストフィールドにおける MMS と橋脚の位置関係




図―8　計測距離と計測精度との関係

### (3) 考案した精度管理手法

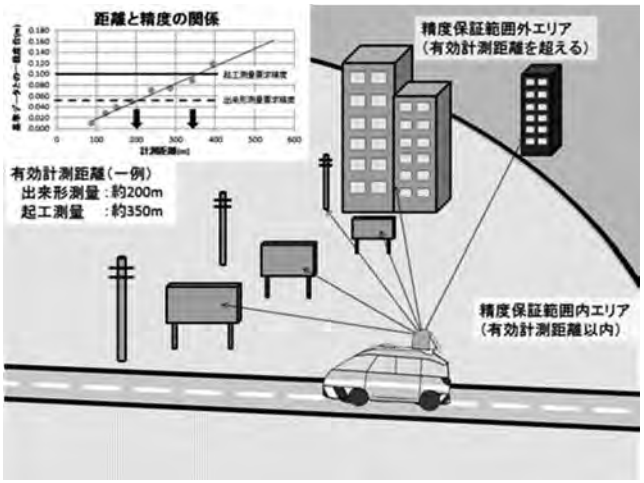
以上までに記述した切土工事での実証実験とテストフィールドにおける検証結果から，MMS 走行路付近に標定点と検証点を設置し，遠く離れた計測対象物には標定点と検証点を設置しないで精度管理を行う方法を以下に提案する。

①現地計測に先立ち，トータルステーションなどであらかじめ計測した既設構造物などの地物（基準データ）を，MMS により計測する（計測データ）。

②移動するレーザスキャナ装置からの距離に応じて，基準データと計測データの関係を評価するために，計測距離と精度との一次近似式を作成する。これにより，計測精度に応じた有効計測距離を把握することができる。

③さらに，MMS に装備されたレーザスキャナ装置の取付け角度，位置及び照射パラメータ等を調整する。これら②と③を繰り返すことで，計測距離と精度との一次近似式の正確さを高める。

④現地計測では，まず，MMS の走行路面上やその近傍といった設置や測量が容易な場所に標定点と検証点を配置し，計測距離と精度を確認する。一方，標定点・検証点を配置していない遠方の計測




図―９　新しい精度管理手法の概念図

エリアにおいては，②や③の工程で作成した「計測距離と精度との一次近似式」を参照し，有効計測距離以内のデータのみを採用することで，計測した 3D 点群データの精度を保証する（**図―９**，特許出願中）。

このように，本精度管理手法を採用することにより，MMS の走行位置から遠く離れた場所や標定点・検証点の設置が困難な計測エリアに，これらの点を設ける必要がなくなる。そのため，事前の設置と測量にかかる手間・時間を大幅に削減できるとともに，適用可能となる工事内容の幅も広がることとなる。また，計測エリアでの作業が減少するため安全面でも効果を発揮するものと考えられる。

## 5. おわりに

2015 年から MMS を用いた切土・盛土の出来形計測について，ビッグデータの有効活用の観点から現地作業手順と計測精度管理手法の検討に取り組みはじめ，i-Construction 施策によって普及した 3 次元計測の枠組みの中で，安全性向上と標定点設置や測量作業の省力化をめざして開発を進めてきた。

レーザスキャナを用いた計測によって取得される点群データはまさにビッグデータの一つであり，そのビッグデータが表現している地形形状の特徴を損なわないように，かつ，高速にデータ処理をすることが望まれている。近い将来，出来形管理を含む土工の施工管理は 3 次元データが中核となる手法で進められていくものと予想する。そのような中で，ビッグデータの処理方法に加えてデータの精度管理は施工管理上重要なプロセスであり，この点からも本稿で示した精度管理手法が活用されていくことに期待している。

JCMA

《参考文献》
1）早川健太郎，黒台昌弘，木付拓磨，足立有史，垣内力，白石宗一郎，大伴真吾：造成工事における MMS（モービル・マッピング・システム）の計測精度検証と現場導入，土木建設技術発表会 2017，pp.5-8，2017.
2）木付拓磨，早川健太郎，黒台昌弘，足立有史，白石宗一郎，大伴真吾：MMS による切土法面での出来形測量における精度検証，土木学会第 73 回年次学術講演会，Ⅵ-729，pp.1457-1458，2018.

［筆者紹介］

早川　健太郎（はやかわ　けんたろう）
安藤ハザマ　建設本部　技術研究所
先端・環境研究部　研究員

白石　宗一郎（しらいし　そういちろう）
朝日航洋㈱　モビリティ空間技術部
インフラドクター推進グループ

特集≫≫　IoT，AI，ビッグデータ

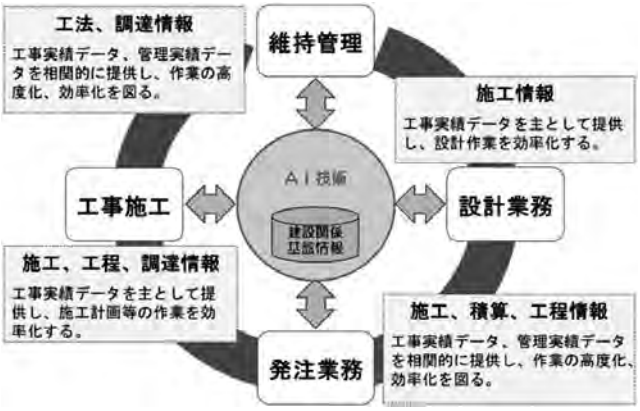
# 工事施工データ等の基盤情報を有効活用するAI技術

白　崎　義　則

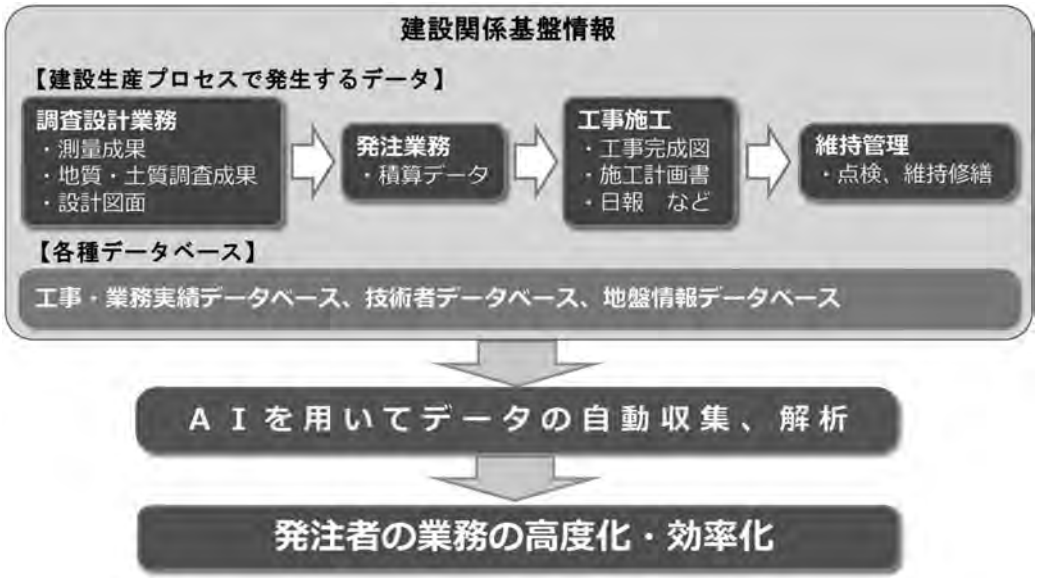
調査設計業務，発注業務，工事施工，維持管理のプロセスで電子納品データや各種データベースなどの建設関係基盤情報が日々発生し蓄積されているが有効活用されていない状況となっており，業務の高度化・効率化のために有効活用することが求められている中，基盤情報を活用するためのAI機能及び情報収集，解析のアルゴリズムの構築，活用試行を行った。本稿では，この活用試行について紹介する。
**キーワード**：基盤情報，電子納品データ，AI技術，プレキャスト製品，積算，出来高管理，工程計画

## 1. はじめに

調査設計業務，発注業務，工事施工，維持管理のプロセスで発生するデータや各種データベースなど，建設関係基盤情報（**図**―1）が日々発生し蓄積されている。蓄積されているデータは，データの量，データの多様性（様々な種類・形式），データの発生頻度・更新頻度で定義されるビッグデータであり，生産に関する深い知識を構成することから，新たに定義されているディープデータと呼べるデータでもある。工事完成後の電子納品データや受発注者間で共有される工事関係書類・工事データ（工事完成図，施工計画書，施工体制台帳等）が有効活用されていない。建設分野では，今後ますます人手不足，技術者不足が危惧されており，このデータを業務の高度化・効率化（**図**―2）のために有効活用することが求められている。




図―2　業務の高度化・効率化



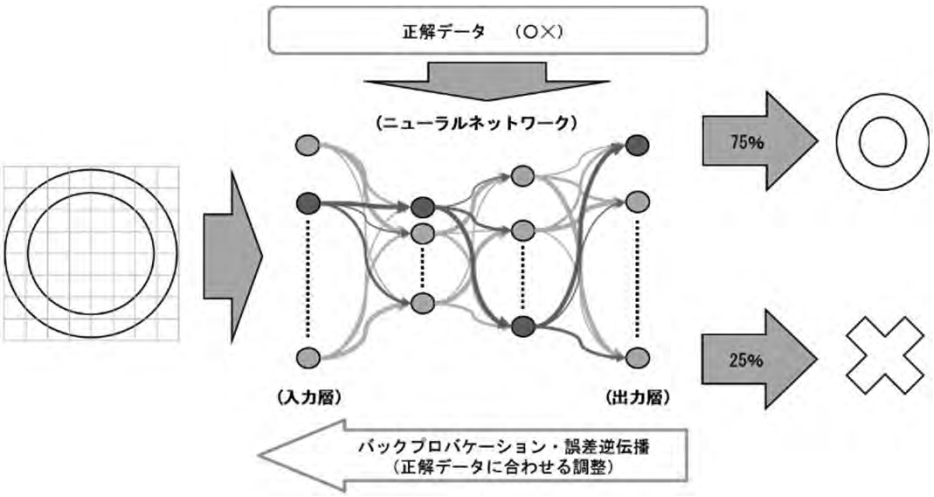

図―1　建設関係基盤情報

AI技術を活用した工期算定作業の簡素化・高度化技術を基にデータの自動収集，解析システムのアルゴリズムの構築および活用の試行を行った。

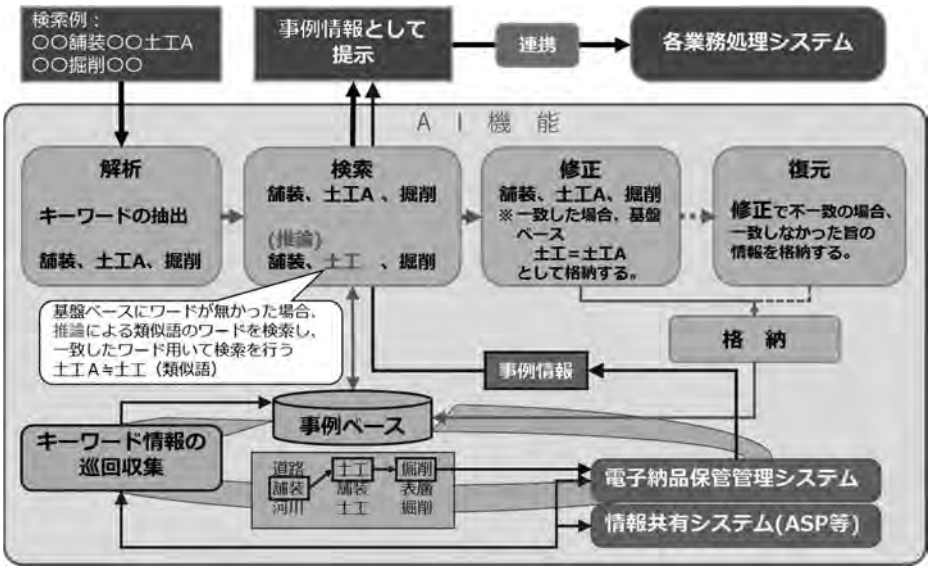
## 2. AI機能の概要

AI技術については，数々の機能，推論，学習方法がある。調査設計業務，発注業務，工事施工，維持管理業務では実績に基づく情報を利用している。蓄積されている基盤情報を効果的に利用することは業務の高度化・効率化には必要不可欠であると考え，画像認識で多く用いられているディープラーニング（**図**―3）ではなく，過去の事例を解析・提示する事例ベース推論を用いたAI機能（**図**―4）の開発を行い，ユーザーに必要な情報を適切に提示するためのデータの自動収集，解析システムのアルゴリズムを構築した。解析・抽出されたキーワードは，ワードの揺らぎによる分析精度の低下を防止するために，標準ワードを推論する機能（**図**―5）を搭載し標準ワードに適用させて処理を行い，非適用ワードを事例ベースに登録し分析精度を高めた。

開発したAI機能および構築した自動収集・解析システムのアルゴリズムを用いて，プロトタイプシステムを開発・試行を行い，効果について検討を行った。AI技術は事例ベース（教師データ）に蓄積された基盤情報を基に分析評価し結果を出力するため，結果は100％とはならない。人間ではできない膨大な基盤情報から分析評価の高い情報を抽出することはできるが決定することはできないため，最終の判断は人間が行うことになる。AI技術を活用して開発される支援ツー




図―3 ディープラーニングの概要




図―4 AI機能の概要

ルは最終判断をするのではなく，今まで取り扱うことができなかった大量の情報を基に，利用者が最終判断を行うことを支援する情報提供ツールとして，業務の高度化・効率化を実現できる効果が得られた。解析の精度を上げるためには情報の収集が重要となり，情報の収集や運用方法が課題となった。

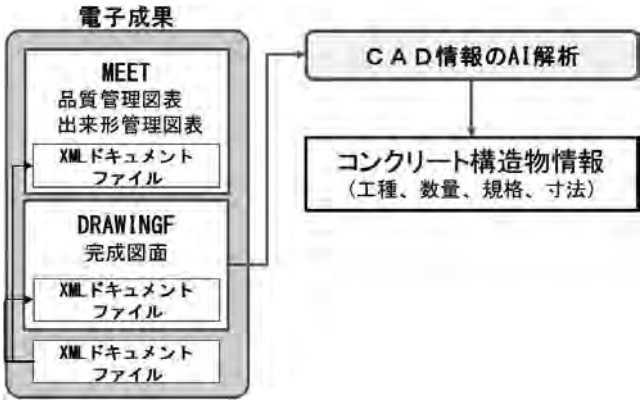
## 3. AI 技術の活用事例と現場導入の効果

開発した AI 機能および構築した自動収集・解析システムのアルゴリズム，プロトタイプシステムを用いて，電子納品されている工事のデータ（施工計画書，施工体制台帳，日報，協議資料等）を収集し，現場の状況と照らし合わせて，コンクリート構造物の設計の合理化システム，積算の効率化システム，出来高・品質管理，工程計画設定の高度化，効率化システム（**図―6**）の活用検討を行った。

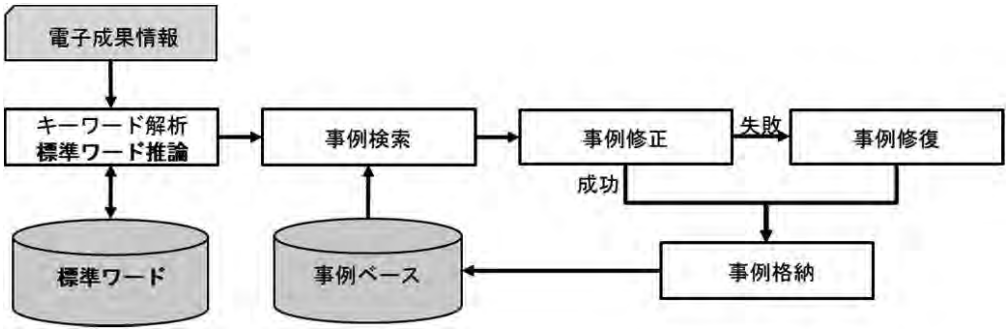
### (1) コンクリート構造物の設計の合理化システム

プレキャスト製品（PCa）の利用拡大を目指した PCa のカテゴライズ，設計の標準化，過去の構造物情報を収集，解析，提示（**図―7**）について活用検討を行った。

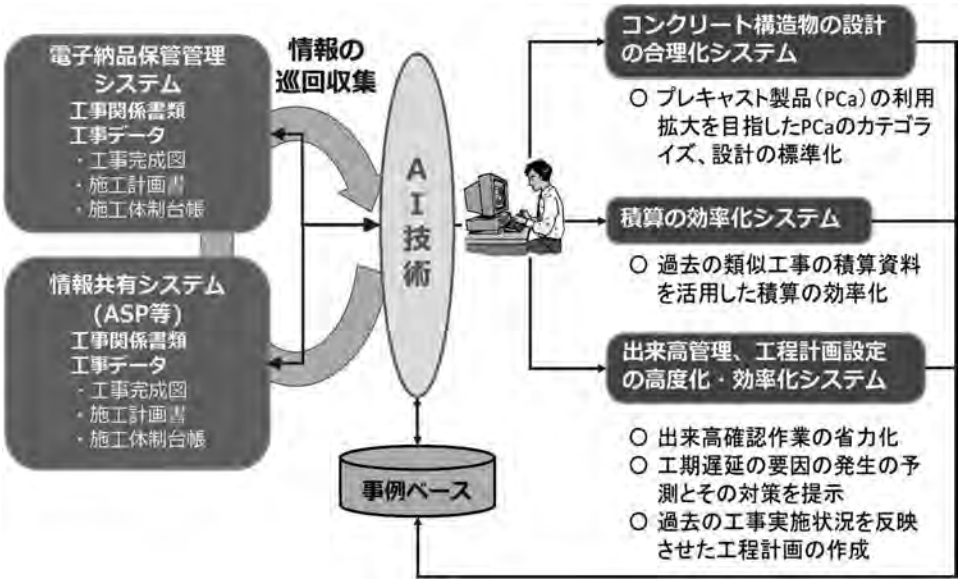
効果としては設計の合理化により，プレキャスト製品の利用促進，および標準化が可能となる。




図―7　CAD 情報の AI 解析システム



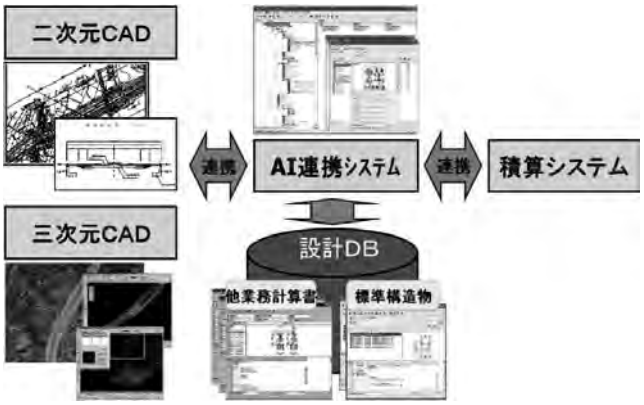

図―5　標準ワード推論機能搭載の構成



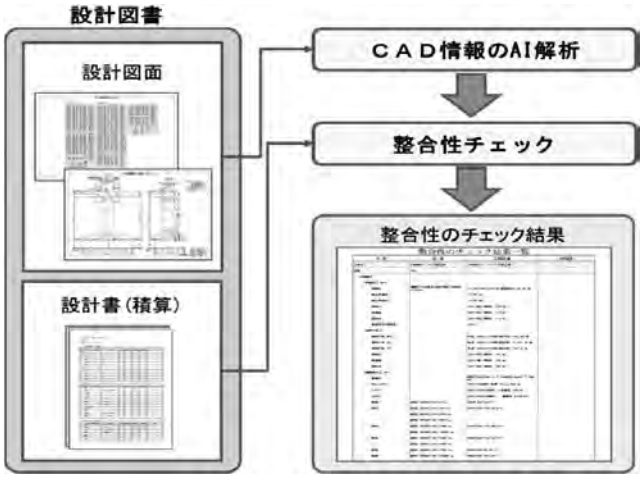

図―6　AI 技術の活用事例

### (2) 積算の効率化システム

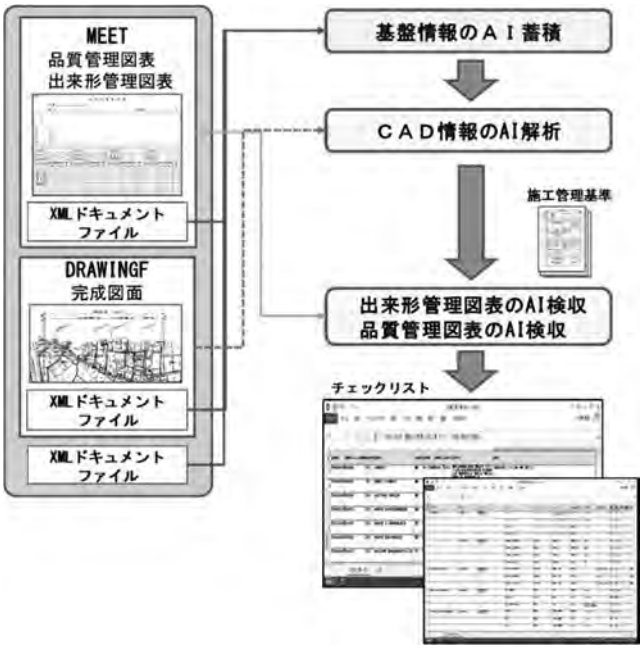
過去の類似工事の積算資料を活用した積算の効率化類似工事に対する施工条件等の設定，連携積算（図―8），設計図書の照査（図―9）について活用検討を行った。効果としては重複作業の軽減，作業時間の短縮，入力ミスの軽減が可能となる。



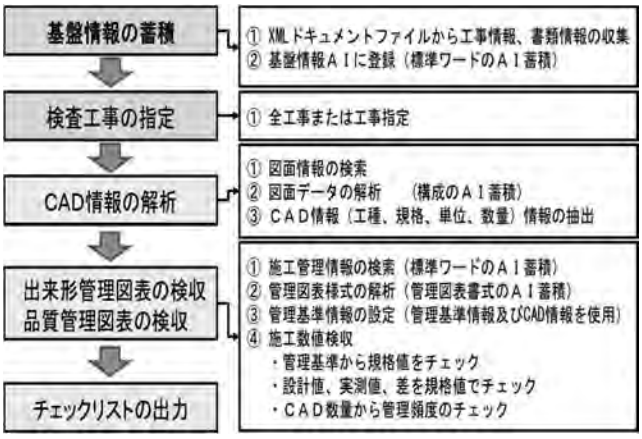

図―8　AI 連携システム




図―9　設計図書 AI 照査システム




（管理図表の AI 検証の処理手順）




（管理図表の AI 検証の処理内容）

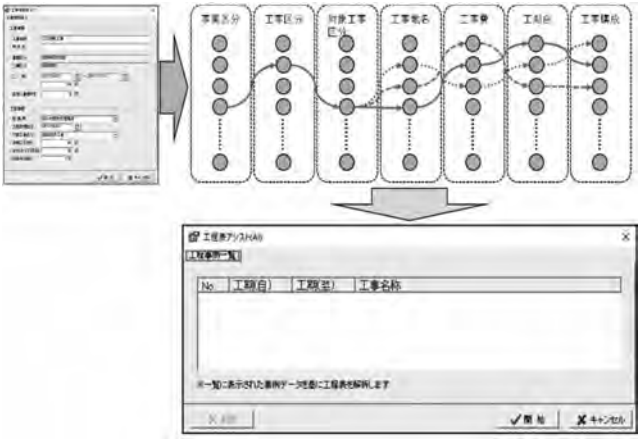
図―10　管理図表の AI 検収システム

### (3) 出来高管理，工程計画設定の高度化，効率化システム

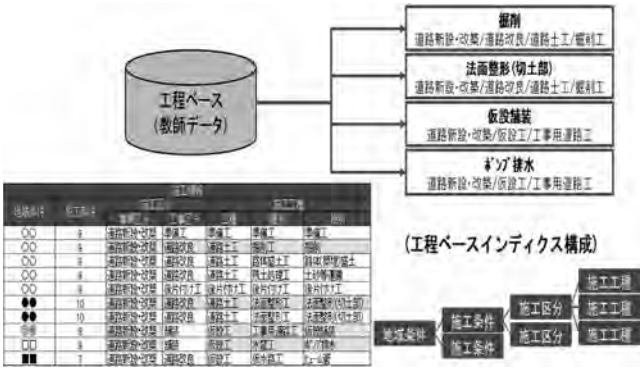
出来高確認作業の省力化（図―10），自動収集・集計提示工期遅延の要因の発生の予測とその対策を提示し過去の工事実施状況を反映させた工程計画設定（図―11）について活用検討を行った。効果としてはシステムによる全項目確認により確認作業の省力化・管理の品質が向上，過去の実工程情報を分析することにより，工期遅延の事前回避，実施工程に近い工程計画の設定，作業時間の短縮が可能となる。

## 4. おわりに

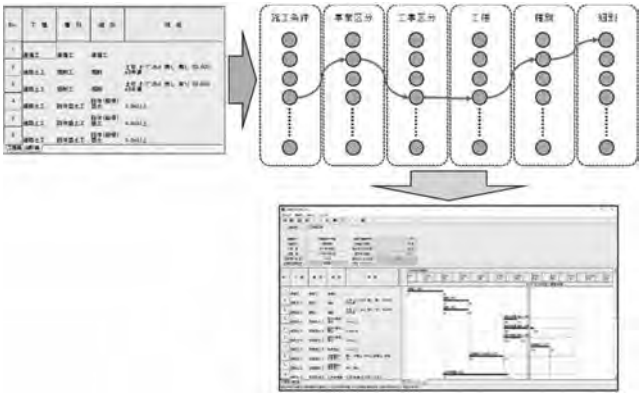
今回の工事施工データ等の基盤情報を有効活用する AI 技術については，過去の CAD 情報の解析・提供による 3 次元設計への移行支援，設計・施工に関する相関情報の提供による維持管理（点検のスピードアップ･簡素化）支援，建設生産プロセスに関する各種データの活用支援に活用できる有効な機能として考えている。



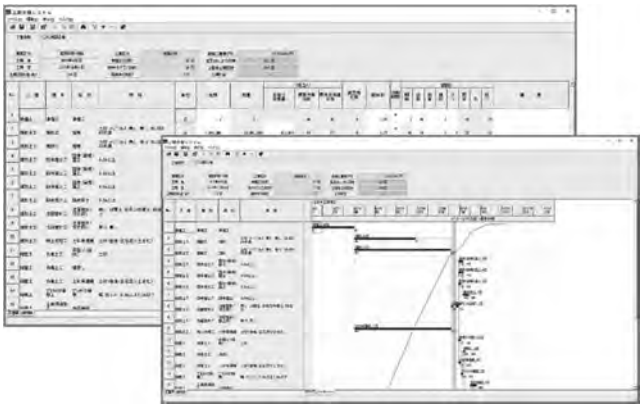

（類似工事の検索）




（工種情報の構成）



（工種情報の検索）



（工程計画画面）

図―11　工程計画設定システム

JCMA

[筆者紹介]
白﨑　義則（しろさき　よしのり）
ユニコシステム㈱
第二システム部
常務

特集≫≫ IoT，AI，ビッグデータ

# 建設機械の自動化による次世代建設生産システムの開発

## A⁴CSEL®（クワッドアクセル）によるダム堤体本格的盛り立て実施

田 中 秀 昭

建設作業の多くは人の手に頼ってきた。しかし，ここ十数年，若年層作業員の離職と入職者の減少には歯止めはかからず，高齢者層作業員の従事者比率は高まっている。なかでも機械化された重機土工は，高齢者層作業員の活躍できる場であり，これにより人手不足を凌いできた。しかし，間もなく限界に近付きつつある。また，建設機械と作業員の混在する作業は労働安全性において大きな問題となっている。このような背景の下，汎用建設機械を自動化し，繰り返し行う作業は自動により行い，自動化された機械への作業指示は人から行うことによって，必要最小限の人員により施工を可能とする「次世代建設生産システム」を開発した。これにより省人化と生産性向上を同時に実現し，施工フィールド内の人員削減によって安全性向上を実現する。今回，小石原川ダム（ロックフィルダム）の堤体におけるコアの本格的盛り立てに本システムを適用したのでその実績について報告する。

**キーワード**：自動化，自律運転，ブルドーザ，ダンプトラック，振動ローラ，ICT，AI

### 1. はじめに

建設業の作業員は，約 20 年前から減少の一途を辿り，深刻な人手不足に陥っている。人手に頼らざるを得ない建設業にとって人手不足は大きな問題である。その人手不足の原因は若年層在職者の減少にある。若手の作業員は業界を離れ，更に若い作業員の職はないため作業員の高齢化は進んだ。このような状況の下，機械化された重機土工では，高齢作業員でもオペレータとして活躍し，昨今は MC/MG 機能を有した建設機械により，経験不足者，女性，外国人でも操作は可能となり人手不足を補ってきた。しかし，根本的な問題解決には至っていない。また，建設業におけるここ 10 年の年齢別死亡災害件数は，60 代以上では 30 ～ 40%，50 代以上を含めると約 60%に達する。起因別に見てみると建設機械に関わる死亡災害は 25 ～ 30%を占めている。このような問題を抱える建設業の課題解決策の一つとして，建設機械の自律自動化に着目し開発を行ってきた。建設機械に作業指示を送り，機械は自律的に自動運転を行い，必要最小限の人員により多数の機械を同時に稼働させる。これをコンセプトとして，次世代の建設生産システム A⁴CSEL（Automated/Autonomous/Advanced/Accelerated Construction system for Safety, Efficiency, and Liability）（以下「本システム」という）を開発した。A⁴CSEL の最終的目標は「現場の工場化」である。定型的な繰返し作業は本システムによる自動化機械に担当させて，機械をどう動かすかの計画は人が担当することにより，現場の省人化，生産性と安全性の向上を図る。機械の開発は単純な動作の振動ローラから始め，機動力のある無限軌道式のブルドーザ，長距離走行可能なタイヤ式のダンプトラック，いずれも汎用建設機械を自動化している。

図―1　本システムのダム堤体施工イメージ

本稿では，当該システムをダム堤体の本格的コアの盛り立て作業に適用し成功したので，その報告を行う（**図―1** 参照）。

## 2. システム概要

### (1) 全体システム

重機土工の場合，従来の人に頼った施工では，世話役は各オペレータへ事前に作業指示を行い，現場の状況変化に応じて無線により新たな指示を出すとともにオペレータ同士の柔軟な対応により施工を行ってきた。これらは世話役の機転を効かしたタイムリーな判断とオペレータの長年の経験による熟練技術により実現してきたものである。これに対し本システムでは，世話役の代役とした統合的なマネジメントシステムと，オペレータの代わりとなる自律制御コンピュータにより成り立っている。**図**―２にシステム構成図を示す。自動化された重機は指示された通りに動作するようプログラミングされ，その指示内容は「施工計画システム」を用いて作業に必要な条件を入力することにより各作業のタイムスケジュールは自動作成される。これを同システムのシミュレーション機能によって事前に施工手順・方法を確認することができる。これら施工計画の内容は「施工管制システム」へ送られ，各重機のサーバ（作業指示を個々の重機へ発信するシステム）を通して重機に指示を伝える。「施工管制システム」は全ての自動化重機の稼働状態を把握しており，作業エリアの区分管理によって，作業全体の開始指示や一時的な中断及び再開，施工の進捗管理，重機の管制を実施する。

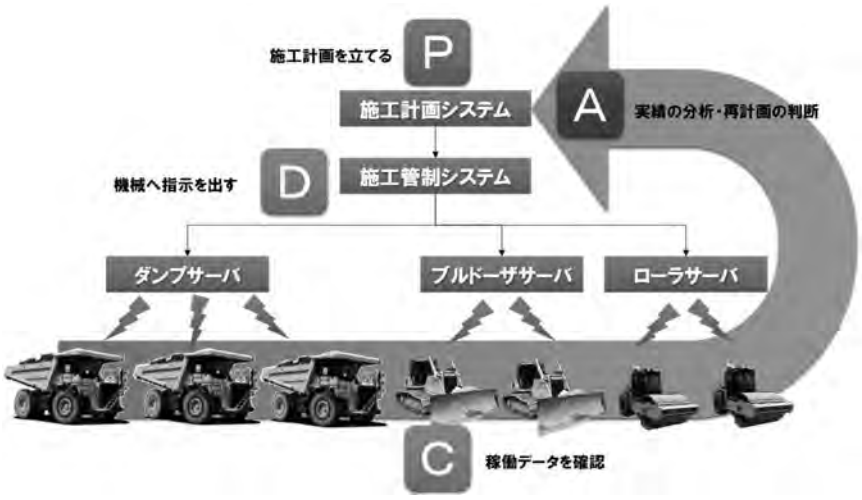
### (2) 自動振動ローラ

自動振動ローラは 12 t 級ローラを使用した。**表**―１に機械仕様，**写真**―１に自動振動ローラの全景を示す。自動化には，振動ローラに GNSS，方位センサ，姿勢計測装置，自動操舵装置，制御用コンピュータ（以下制御 PC と呼ぶ）等を実装した。転圧作業は，制御 PC が上位システムから転圧範囲を受け取った後，機体の位置を計算し，前後進・走行速度・操舵角を自動制御して行う。安全装置は，前後方向にレーザスキャナを搭載し，障害物を検知した際に自動停止する機能を備えた。その他特徴として，実工事から取得した熟練オペレータの操作データに基づく自律制御方法を確立していることと，土質条件に応じて制御パラメータを自動制御する自律性を保有し，直線走行，切り返し走行とも，誤差は± 10 cm 以下に収めることができ，熟練オペレータと同等の施工精度を確保している。

表―１　自動化した振動ローラの仕様

| 項目 | 仕様 | 備考 |
|---|---|---|
| 運転質量 | 120 kN | 12.2 t |
| 全長 | 5,895 mm | |
| 全幅 | 2,300 mm | |
| 全高 | 2,130 mm | |
| 締固め幅 | 2,130 mm | |
| 起振力 | 308 kN | |
| 定格出力 | 110 kW | |

写真―１　自律自動化振動ローラ全景




図―２　システム構成図

### (3) 自動ブルドーザ

自動ブルドーザは22 t級ICTブルドーザを使用した。**表**―2に機械仕様，**写真**―2に自動ブルドーザの全景を示す。自動化には，振動ローラと同様，GNSS，方位センサ，姿勢計測装置，制御PC等を実装した。ブルドーザの機械的特徴は無限軌道のクローラを備えている点である。左右クローラの回転は，制御PCにより機体の向きとまき出し経路の差分を旋回量として計算し機体側コントローラへ送られる。そして機体側コントローラにより左右クローラの回転方向と回転速度は制御される。まき出し作業は，上位のシステムからダンプトラックによって荷下ろしされた材料の位置と量・まき出し範囲・まき出し高さを制御PCは受け取り，まき出し経路を計算し前後進・走行速度・排土板高さを自動制御して行う。排土板の高さはブルドーザのICT機能を使用して制御している。安全装置は，重機周りに一定の磁界を発生させ，ICタグを携帯した作業員が磁界内に侵入したら直ちに重機を自動停止させる機能を備えた。その他の特徴として，排土板で材料を押した際に，まき出された材料の広がり形状を材料の性状に合わせて予測するシミュレータを開発し，まき出し経路選定の基本モデル生成に役立てたことと，実際にまき出しを行い，材料が余った際に排土板背面に材料を抱え後退しながら敷きならすバック引き機能を有していることを挙げる。

### (4) 自動ダンプトラック

自動ダンプトラックは55 t積ダンプトラックを使用した。**表**―3に機械仕様，**写真**―3に自動ダンプトラックの全景を示す。自動化には，他の機種と同様，GNSS，方位センサ，姿勢計測装置，制御PC等を実装して実現した。走行は，上位システムから材料の積込み場所・荷下ろし場所・走行経路を受け取った後，自車位置・向き・速度・経路形状から，スロットル量・リターダ（ブレーキ）量・ステアリング角度を自動制御して行う。荷下ろし地点到着後はベッセル昇降速度を自動制御して荷下ろしを行う。ダンプの操舵関係は，操舵用油圧回路を直接制御しているためハンドルに自動操舵装置の必要はない。安全装置は，前後方向にレーザスキャナを搭載し，障害物を検知した際に自動停止する機能と走行路の勾配や不陸に応じ精度よく追従する走行制御機能を有している。

### (5) 通信装置

**図**―2に示す各重機のサーバと重機間の通信には5 GHz帯のメッシュ無線LANを使用した。作業エリアを外周から取り囲むよう固定局を設置し，エリア内の重機に移動局を設置することによって，メッシュ状のネットワークを構成する。これにより常時途切れず良好な通信状態を確保した。

表―2 自動化したブルドーザの仕様

| 項目 | 仕様 | 備考 |
|---|---|---|
| 運転質量 | 217 kN | 22.1 t |
| ブレード幅 | 3,970 mm | |
| ブレード高 | 1,100 mm | |
| 全長 | 5,680 mm | |
| 全幅（本体） | 2,965 mm | |
| 全高 | 3,332 mm | |
| 定格出力 | 162 kW | |

表―3 自動化したダンプトラックの仕様

| 項目 | 仕様 | 備考 |
|---|---|---|
| 最大積載荷重 | 523 kN | 55.0 t |
| 空車質量 | 437 kN | 44.6 t |
| 最高速度 | 70 km/h | |
| 全長 | 9,355 mm | |
| 全幅 | 4,595 mm | |
| 定格出力 | 533 kW | |

写真―2 自律自動化ブルドーザの全景

写真―3 自律自動化ダンプトラックの全景

## 3. ロックフィルダム堤体コア盛り立て自動化実績

### (1) ダム堤体コア自動盛り立て概要

福岡県朝倉市にて施工中の小石原川ダム本体建設工事において，本システムの自動化重機による本格的な堤体の盛り立て作業を実施した。当該ダムはロックフィルダムであり，今回の自動化施工はコア材の盛り立てについて行った。重機は前述の 3 種類の重機を使用し，台数は，自動振動ローラ（12 t 級）2 台，自動ブルドーザ（22 t 級）2 台，ダンプトラック（55 t 積）3 台の合計 7 台とした。自動にて施工を行ったエリア全景を**写真**―4 に示す。自動化施工は，コア材約 1,300 $m^3$ の盛り立てを途切れることなく連続的に行った。

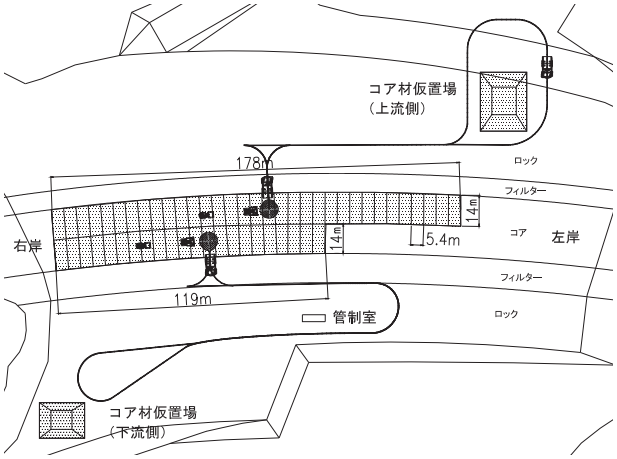
写真―4　自動化施工エリア全景（左岸から右岸望む）

### (2) 自動化施工計画

自動化施工の計画は，**図**―2 に示した施工計画システムによって行う。同システムに作業エリアの区分，各重機の歩掛，機械の台数，仕上げ高さ等の設定を行うと，タイムスケジュールは自動的に計算される。**図**―3 に計画平面図を示す。施工範囲は，上流レーン（178 m × 14 m）と下流レーン（119 m × 14 m）の 2 つに分け，まき出し長を 5.4 m ずつとして計画した。機械台数は，上流レーンはダンプ 2 台，ブルドーザ 1 台，振動ローラ 1 台，下流レーンはダンプ 1 台，ブルドーザ 1 台，振動ローラ 1 台とした。材料の積込みは，同一のエレベーションにコア材仮置き場を設置し，ホイルローダによる有人積込みを行う計画とした。以上の設定によって算出した施工時間は約 5 時間であり，タイムスケジュール上，機械配置等の矛盾はないことを確認した。

### (3) 安全対策

自動運転の基本は人車完全分離であるため，自動化重機稼働範囲は全域を立ち入り禁止措置とした。また，車両系建設機械等の資格を有した運転手は不要であるものの，監督署への相談の結果，自動制御監視員は有資格者であることとした。非常時の際は，管制システムからの一斉停止若しくは個々の重機の無線式非常停止スイッチによる対応とした。無線 LAN が途絶えた場合や，GNSS による衛星補足数が不足する場合は重機単独により停止する。




図―3　自動化施工計画平面図

### (4) 自動化施工の実績

**図**―3 に示すように施工管制室を施工エリアのダム下流側に設置し，施工管制システムより自動運転の開始を行った。管制室の状況を**写真**―5 に示す。ダンプはコア材仮置き場からスタートし自律走行をして施工エリアへ向かう。到着後は後退で進入しベッセルを上げて荷下ろしを行う。ブルドーザはダンプの退出の信号を受けた後まき出しを開始する。これを計 55 回繰り返した。一方，振動ローラはブルドーザとの離隔を十分取れた段階で転圧を開始する。転圧した範囲は上位のシステムにより管理されているため，複数台のローラを稼働させても重複による過転圧は生じない。**写真**―6 に施工状況を示す。これら 3 機種を連携させた一連の作業には，一切の無駄な動きはなく，連続して計画した 5 時間で施工を終えた。要した人員は 7

写真―5　管制室の状況

写真―６　自動化施工の状況

写真―７　仕上がり状況

台の重機に対し２名の監視員のみである。仕上がり状況を**写真**―７に示す。作業効率，品質とも有人の場合と遜色のない実績であった。

### (5) 考察

今回のように定型的な盛り立て作業は自動化に適した作業であり，熟練オペレータと同等の施工速度，施工品質で施工できることを実証した。一般に若いオペレータを一人前に育てるには，普段の作業の中で，上手いオペレータの動きを見させ，自身によって運転技術を磨き育てる。昨今のゲーム機世代の若者は運転技術の上達は早いものの作業の先読みができないため一人前に育つまで長い年月を要する。急速に進む人手不足の現代においては，このような時間は取れないため，数年にわたって身につける技術を AI 手法も取り入れたプログラムに置き換えることによって，今回のような自動化による盛り立て工事は可能となる。自動化施工は品質のばらつきはなく人間のように休む必要もない。また，夜間に照明はなくても GNSS の衛星さえ補足できていれば施工は可能である。更に重機同士の接近作業も可能である。有人作業であると重機同士の接触を避けるため，ある程度の離隔を取らなければならない。しかし，機体の位置は GNSS によって精度よく管理しているため，十分な離隔をとることなく工程を進めることができる。一方，問題点もある。機械やセンサの故障などアクシデントで計画通り進まなくなった場合，有人であると機転を効かして対応できる。しかし自動化の場合，作業を一旦停止し，仕切り直しを行ってから再開となるため時間はロスする。定型的な動きが乱れた場合の対応策が今後の課題と言える。

## 4. おわりに

今回，初めて本格的な堤体の盛立作業に本システム A$^4$CSEL を適用し，有人施工と遜色のない結果を得ることができた。しかしながら本成果は限定された条件による結果であるため，今回得た実績をもとに，更なる改善を図り，自動化重機数台の小規模な運用から，20 ～ 30 台の大規模な運用まで適用可能なシステムに仕上げていく所存である。

尚，本開発で使用した振動ローラは酒井重工製 SV512，ブルドーザはコマツ製 D65PXi ICT ブルドーザ，ダンプトラックはコマツ製 HD465 である。

JCMA

［筆者紹介］

田中　秀昭（たなか　ひであき）
鹿島建設㈱
機械部　自動化施工推進室
担当部長

特集≫≫　IoT，AI，ビッグデータ

# 深層学習を用いた油圧ショベル自動制御システムの開発事例

## 油圧ショベルが無人かつ自律的に施工を行う現場を目指して

西　村　弘　平・冨　山　翔　司

近年，建設業界では，働き手不足が深刻化しており，作業現場の省人化や無人化のニーズが高まっている。ICT 技術により作業効率化を支援する ICT 建機の導入が一部で進んでいるが，既に流通する建機への後付けが難しく，高額であること等から，作業現場での省人化はまだ十分進んでいない。また，特に，作業現場でよく用いられる汎用重機である油圧ショベルは，油圧に起因する動作の再現性の低さや強い衝突による挙動の不安定さ等のため従来制御では自動化が困難であった。本稿では，これまで困難であった作業現場のさらなる省人化や無人化に向けて，機体に安価なセンサーと遠隔操縦装置のみを後付けで設置し，深層学習を用いて，油圧ショベルを無人で自動制御するシステムについて紹介する。

**キーワード**：AI，ICT，土工，機械化施工，無人化施工

### 1. はじめに

近年，建設業界は働き手不足が深刻化しており，生産性向上が喫緊の課題となっている。少子高齢化が進む日本では，生産年齢人口が 1995 年の 8,716 万人をピークに下がり続けており[1]，さまざまな産業で働き手不足が顕在化してきている。特に建設業界は，他の業界と比べて働き手不足が深刻である。職業の需給状況を示す新規求人倍率について，2018 年の「建設業界」の値は 6.85 倍（前年同期は 6.08 倍）であった。これは，全職業平均の 2.25 倍（前年同期は 2.21 倍）より高い[2]。出生率が低迷し，移民が限定的であるため，働き手が求人に対して十分増加する可能性は低い。そのため，働き手不足に対応し，業界を維持するためには，生産性向上が必須である。

生産性向上の試みとして，ICT 技術を用いることで，「調査・測量」，「設計・施工」，「検査」，「維持管理・更新」の建設現場の各プロセスで省人化を進める試み（i-Construction）が進められている。i-Construction の取り組みの 1 つである ICT 施工は，ICT 技術により各作業の情報をデジタルデータとして管理し，高効率・高精度な施工を目指すものである。例えば，ICT 技術を活用して現場作業の効率化を図る建機として，ICT 建機がある。ICT 建機[3]とは，汎地球測位航法衛星システム（Global Navigation Satellite System，以下 GNSS）やトータルステーション（Total Station，以下 TS）といった高精度測位技術を活用して，オペレーターに操作のガイダンスを行う機能（マシンガイダンス，以下 MG）や，重機の刃先の自動制御を行う機能（マシンコントロール，以下 MC）がついた建機である。オペレータは ICT 建機を用いることで，設計図面や現況および重機の状態等の情報により算出された，MG や MC に基づいて施工できる。そのため，手戻りが少なく精度の高い施工ができるようになるという点で，ICT 建機は，現場の作業効率化に貢献してきた。例えば，ショベルは掘削・積込・整地・運搬などの作業ができる汎用的な重機であり，一部の作業は難しく，熟練に年数を要するものもある。しかし，MG, MC 機能を搭載した ICT 建機を使用することで，新人のオペレーターでも難しい作業を短い作業時間で行えるようになるということもあり，現場の生産性をあげることができる。

しかし，作業効率化を目的とした ICT 建機の利用には課題もある。1 つ目は，ICT 建機は高額なセンサーを搭載しており，ICT 建機を利用しない施工よりも ICT 建機を利用した施工の方が，施工費が高い点である。つまり人数に対する仕事量は効率化されるものの，金銭的コストに対する仕事量は効率化されず利用が進みにくい場合があるということである。2 つ目は，通常の建機を後付けで ICT 建機にすることが難しい点である。すでに現場では多くの建機が流通し利用されている。それらに ICT 建機の機能を付与することは難しく，また，買い替えコストも大きいため，利用する建機の ICT 化が進まない一因となってい

る。3つ目は，ICT 建機を利用しても，作業の無人での自動化を実現できない点である。ICT 建機の ICT 関連機能はオペレーターの操作を支援することを目的として設計および開発されており，オペレータの操作なしでは動作しない。そのため，現場作業の効率化には寄与するが，自動化には寄与しない点で，効率化は限定的である。

本稿では，深層学習を活用した油圧ショベル自動制御システムの開発事例を紹介する。本システムは，油圧ショベルの作業の無人での自動化を安価なセンサーのみを利用して実現することを目指したものである。ショベルの作業の無人での自動化が実現できれば，建設現場の省人化および無人化がより進むことが期待できる。例えば，ある範囲を１m 掘り下げるという指示を与えるだけで，その作業が無人かつ自動化で実現されれば，本来その作業をするはずだった人が，他の作業に集中できる。また，安価なセンサーのみで自動化が実現できれば，施工費を抑えられる可能性がある。本システムは，制御の入力に RGB カメラと１つの傾斜計のみを用いている。更に，本システムは多くのメーカーの機種のショベルに後付けできるようにすることを狙って，様々なショベルに取り付けることができる遠隔操作技術を利用した開発を行っている。

従来技術を活用した場合，こうした無人での自動制御システムの実現には，RGB カメラから制御に必要な情報を抽出する画像認識機構と，土との抵抗がある中での自動制御機構に課題があった。具体的には，認識機構については高次元データである画像から低次元の情報のみを抽出するモデルの設計が難しかった。また制御機構については，異なる土の状態に適応的に制御を行うことが難しかった。この２つの課題は，モデルの設計方法が難しかったり，多様な場合に全て対応するようにモデル設計しきることが困難であったりしたために，従来技術での解決は限定的であった。例えば，画像認識の従来技術では，画像から欲しい情報を抽出するためのフィルタや特徴量を人手で設計していたが，さまざまな背景や多様な光源環境に対しても頑健なモデルを人出で設計しきることは困難であった。また，制御の従来技術の代表例である PID 制御では，3つのパラメータで制御を行うが，この制御モデルはパラメータが有効な一部の限定的な土の状態でしか有効な制御が行えない。

以上の問題に対して，本稿で紹介するシステムでは深層学習を用いることによって解決を試みている。深層学習モデルは任意の関数を表現でき，大量の学習データがあれば，時系列情報や画像情報も有効に扱うことができる。そのため，背景や光源等が多様であっても目的の情報を画像から抽出できる画像認識モデルや，さまざまな土の環境に応じて適応的に動かし方を制御できる制御モデルを，得られる可能性がある。本システムでは具体的に，画像からショベルの各関節角度を推定するモデルと，常に変化する土の環境で適応的に制御ができるモデルを，深層学習によって獲得している。

本項では，深層学習について説明をした後，ショベル自動掘削システムの詳細と，各機構の評価結果について説明する。最後にショベル自動掘削システムの今後の開発方向性を述べる。

## 2. 深層学習

深層学習とは，人間の脳神経回路を参考にして，ニューラルネットワーク（以下，NN）を多層に積んだモデルを用いた機械学習手法である。NN の各層では，前の層のニューロンの線形変換と活性化関数による非線型変換が行われ，これを多層に積み上げることによって，高い表現力を獲得することができる。

深層学習は，画像や言語といった高次元の情報や系列情報を容易に取り扱うことができ，画像認識や自然言語処理の研究分野では人間の性能を超えるような目覚ましい成果を挙げているタスクもある[4), 5)]。深層学習は制御にも応用されている。数式でのモデリングが難しいような状況での制御（例えば物体と接触するような時）をする上で，深層学習によって環境モデルや制御関数を学習することにより，その高い表現力を持ってして今まで制御できなかったような動作を習熟することが可能になってきている[6)]。

画像データに特化した深層学習技術として，CNN（Convolutional Neural Network, 以下 CNN）がある。CNN は畳み込みと呼ばれる演算を繰り返し行うが，各畳み込みではフィルタと呼ばれる格子状の重みがデータの局所的な特徴（例えばエッジ）を抽出していき，それが積み重ねられることで画像全体の情報が抽出される。CNN は，同じ重みのフィルタを画像全体にかけるため，画像の特徴的な部分が画素上のどこにあってもうまく特徴を抽出できる，位置普遍性を持っており，これが画像データをうまく扱える理由とされている。学習過程ではこのフィルタの重みが自動で決定されていく。CNN は，物体カテゴリ識別[4)]，物体検出[7)]，物体領域抽出[8)] など様々な画像入力の問題設定で精度高い結果が出せることが示されてきた。

また，制御の分野で頻繁に応用されている深層学習

技術として，深層学習と強化学習を組み合わせた深層強化学習がある。強化学習とは，あらかじめ用意された環境と報酬の中で，エージェントが環境内での試行錯誤を繰り返していき，報酬を最大化するような動き（方策）を学習する機械学習手法である[9]。ここに深層学習を利用することによって，複雑な動作をする方策を学習することができるようになる。既に囲碁やゲームでは，人間を超えるようなエージェントの学習ができるようになっていて，グラスピングなどのロボティクスのタスクでも，今までにできなかったような複雑なタスクができるようになってきている[10), 11)]。一般的に，深層強化学習は，教師信号を必要とせず，環境内で試行錯誤によって学習するために，膨大な試行回数を必要とする。

## 3. ショベル無人自動制御システム

### (1) ショベルの自動制御システムの構成

本システムは，作業領域と作業内容が与えられた時，画像と傾斜計のセンサ値のみを制御入力として，その作業内容を無人で自動制御することを目指している。生の画像データから操作信号を直接出力することは難しいため，本システムでは，画像データから制御に必要な情報（＝ショベルの各関節角度）を抽出する状態推定機構と，与えられた作業内容を実現するための操作信号を出力する制御機構の二つを開発し，これらをつなぎ合わせている。制御周期は 10 Hz としている。

自動制御のシステムを構築するために必要な機材は，ショベルの機体に設置する機材と遠隔にある操作室に設置する機材の 2 種類がある。ショベルに設置する機材は，遠隔操縦装置，ハイビジョン規格の RGB カメラとカメラの無線送信機，傾斜センサとセンサー情報の無線送信機である。遠隔にある操作室に設置する機材は操縦装置のコントローラー，カメラ画像の無線受信機，傾斜センサーの無線受信機，カメラ画像からの情報抽出と制御の処理を行う計算機である。RGB カメラはキャビン上部に設置する。**写真―1** はカメラの設置箇所を撮影した写真であり，本システムではいずれか 1 つのカメラを用いる。必要な機材は，すべて多数のメーカー，機種のショベルに設置できるものを使用しており，さらにショベルに設置する機器が車などで簡便に運搬できるため，既存の重機に対する導入コストは少ない。より多くの重機に対して，少ないコストで導入できる無人の自動制御システムは現場の生産性向上に大きく寄与する。

写真―1　カメラの設置箇所の様子

なお，本システムを用いた無人自動制御をする作業の対象として，掘削を選定した。掘削はショベルの作業の中でも頻繁に行われる作業だが，土の抵抗があるために自動制御が難しかった作業でもあり，無人自動制御が達成されることによる貢献が大きいと判断したためである。

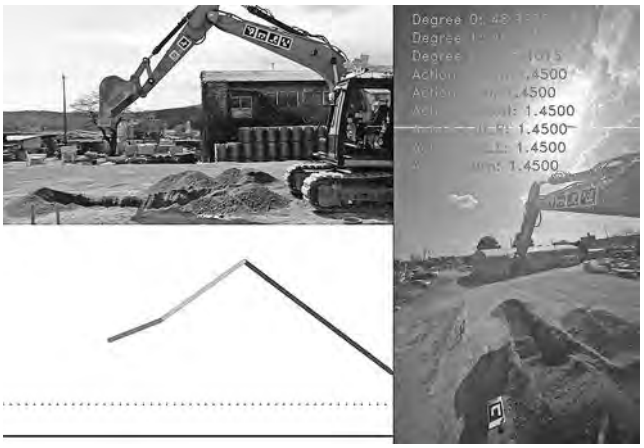
### (2) ショベルの状態推定機構

ショベルの状態は**図―1** に示す 5 つの角度によって一意に定まるので，この 5 つの角度が制御に必要な情報である。ショベルの機体全体の傾きは傾斜センサーによって取得できるため，本システムの状態推定機構ではキャビン上部に取り付けたカメラ画像からショベルの 3 つの各関節の角度を推定する。**写真―2** は実際に認識した結果の一例である。

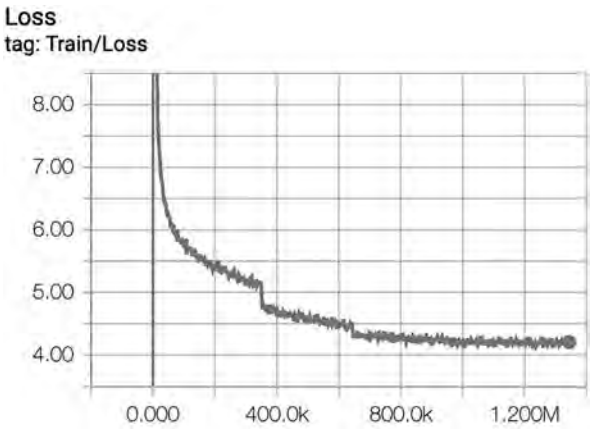
カメラ画像からショベルの関節角度を推定する機構では深層学習を用いている。この機構は，ノイズに対して頑健に，画像から適切な情報を抽出する必要がある。深層学習は，高い表現力が必要なモデルを表現でき，画像のような高次元のデータから低次元のデータを抽出することができる。

ショベルの状態認識機構では，Dilated Residual Networks[12]（以下，DRN）というネットワーク構造をベースにして関節角度を直接推定する CNN を用いている。DRN は物体カテゴリ識別，物体領域抽出でよい性能をあげたことが報告されている CNN の手法の 1 つであり，ショベルのキャビン視点画像からショベルの関節角度を推定する機構においても有効であった。ショベルの状態推定では CNN が画像を入力とし

図―1 ショベルの状態を表す角度の図（左：ショベルを横から見た図，右：ショベルを後ろから見た図）



写真―2 認識機構で状態認識をした結果の例（左上：横カメラの画像，左下：キャブ視点画像から推定した結果，右：キャブ視点カメラの画像）




図―2 CNN 学習時の誤差関数のプロット図（横軸はエポック数，縦軸は誤差関数の値）

て 3 つの角度を出力する。CNN は各関節角度が出力する角度が 360 クラス（1 クラスは 1 度に対応し，1 度から 360 度までの 360 クラス）のどのクラスであるかの分類問題を解き，各関節の角度を整数値で出力する。

10 Hz の制御周期で制御するためには，状態推定の CNN は 0.05 秒程度で状態を推定する必要がある。CNN の入力に用いる画像の解像度が大きいと，CNN のパラメータ数が増えるため推定にかかる時間が長くなる。CNN の処理高速化のためには，角度推定の精度が落ちない範囲で入力画像の解像度を小さくする必要がある。本システムで利用しているカメラは，解像度が 1,280 × 720 のハイビジョン規格のカメラであるが，CNN の処理を高速化するために，解像度を 224 × 224 に圧縮している。

CNN の学習は一般的な学習方法である教師あり学習で行い，約 100 万件のキャブ視点画像と正解角度のペアを用いた。キャビン視点画像に対応する各関節角度のデータ作成は以下の 4 ステップからなる。まず，ショベルの各関節間の距離を測定する。次に，ショベルのキャブ視点と真横にカメラを設置し，それらのカメラ間で同期を取りながら，ショベルを適当に操作し，データ収集を行う。そして，横視点カメラ画像の関節点の座標を人手でラベルづけする。最後に，ブームに取り付けた AR マーカーによって関節点の 3 次元空間座標を推定し，各関節の角度を計算する。以上の 4 ステップを踏まえてキャブ視点画像に対する関節角度データを作成した。

CNN の誤差関数は，クロスエントロピーというクラス分類の問題設定でよく使われる誤差関数を用いており，学習にかかる時間は 3 ～ 4 日程度である。訓練時の誤差関数のグラフを**図―2** に示す。

### (3) ショベルの制御機構

制御機構は，作業内容が与えられた時，それを実現するための操作信号を，各関節角度と傾斜計のセンサ値を入力として推定する。掘削の作業には，移動と旋回は含まれないので，実際にはブーム・アーム・バケットの 3 関節のみの操作を制御する機構の開発を行った。

制御方策の学習には，深層強化学習を用いている。制御方策の学習方法として，対象作業を行うオペレーターの操作ログを用いて教師あり学習を行うという方法が考えられる。しかし，教師あり学習による制御方策の学習は，教師データの作成に実機を使うために非

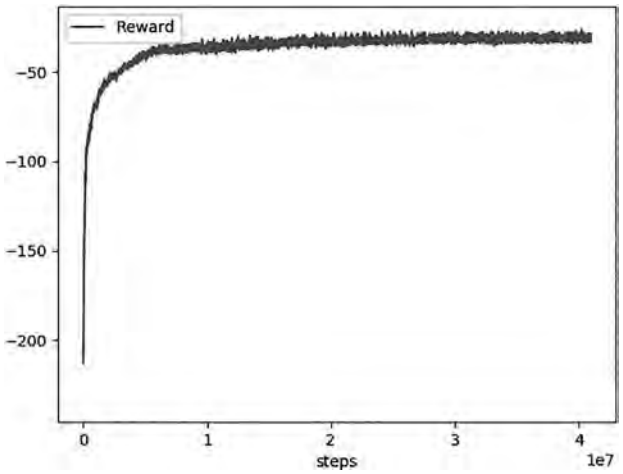
常に手間がかかる。また，制御対象の作業ごとに教師データの作成と制御方策の学習を行う必要がある。そのため，教師あり学習は現実的な学習方法ではない。深層強化学習を用いることによって，教師となる操作量のログデータを必要とせずに，複雑な動きを学習することができる。

制御方策の学習にはシミュレーターを用いている。深層強化学習を用いて習熟した操作を学習するには，数百万を超えるような試行回数を必要とすることが稀ではなく，それだけの試行を油圧ショベルで行うことは，機体の耐久性，実験場の設備，学習に必要な時間，といった観点から現実的ではない。そのため，シミュレータを用いて掘削の制御モデルを学習する。シミュレータを用いることで，何百万回という試行を容易に行うことができ，深層強化学習の実現を可能とする。

シミュレータを活用する際の問題として，現実世界の物理挙動とシミュレータの物理挙動が異なることが挙げられる。この差を埋める方法として，現実世界の物理挙動の観測からシミュレータの物理挙動を近づける方法が考えられるが，前述の通り，油圧の挙動や土の中の挙動は単一の数式によって表現できず，現実世界の挙動をシミュレータ上で似せること自体が難しい。そのため，Domain Randomization という手法を用いて，現実世界とシミュレータの物理挙動の差を埋めた。Domain Randomization では，物理挙動を規定するシミュレータのパラメータを毎試行ごとに幅広い範囲でランダム化し，制御方策をその中で学習させる。これによって，どんな物理挙動をする空間でもうまく制御できる方策を学習でき，実機に転用することが可能になる[9]。本システムにおいては，土の抵抗や重機の重心，遅延の関係などを試行ごとにランダム化し，その環境の中で学習することによって，複雑な環境で適応的に制御できる制御方策が学習させる。

ショベルの制御方策には，Long short-term memory（以下，LSTM）[13] というネットワーク構造をベースにした NN を用いている。LSTM は時系列性を考慮する必要がある問題設定において，高い性能をあげたことが報告されている。操作量と各関節の動作速度の関係をモデリングし，レバー操作量を出力する制御方策のモデルとしても有効であった。LSTM の入力は過去複数ステップの，状態とレバー操作量の系列で，出力は今のステップの最適なレバー操作量である。

強化学習アルゴリズムには，学習の安定性が比較的高い，Trust Region Policy Optimization[14] を用いている。学習に要する試行回数はおよそ 100 万回程度であり，1 ～ 2 日で計算が完了する。報酬関数は，土があると仮定している空間の通過面積をベースにしており，これによって土をたくさん掘るような制御方策が学習される。訓練時の獲得報酬曲線を**図―3** に示す。




図―3　強化学習の報酬曲線のプロット図（横軸はタイムステップ，縦軸は報酬値）

## 4. ショベルの無人自動制御システムの評価

### (1) 状態認識システムの評価実験

初見の画像に対する推定精度を検証することで，本システムで利用している CNN が画像から状態を推定できているかを定量的に評価する。

画像データ 91,2443 件（26 日分）を日付ごとに分割し，2 日分のデータ（52,601 件）を検証用データ，それ以外の 24 日分のデータ（859,842 件）を学習用データに分ける。CNN を学習用データで学習させ，検証用データに対して状態推定した結果を示す。学習データ，正解データともに人手の関節点ラベルづけと AR マーカーによる角度推定によってデータを作成している。角度ごとに正解値と推論値の誤差の絶対値の平均を**表―1** に示す。

ブームと水平線，ブームとアームの間の角度は 1 ～ 2° 程度の誤差で推定することができている。見たことのない新しい画像においてもある程度の精度で推定できていることがわかる。

アームとバケットについては他の関節角度に比べて推定制度が悪くなっており，画面で表示されるうちのバケットの割合が小さい，大部分が土の中にある場合に画像のみからでは判断が難しい場合があるといったことが課題として考えられる。

### (2) 制御システムの評価実験

強化学習が，複雑に変化する環境において適応的に制御方策を変化することができているかを検証する。

表―1 状態認識システムの認識精度の表（単位は°）

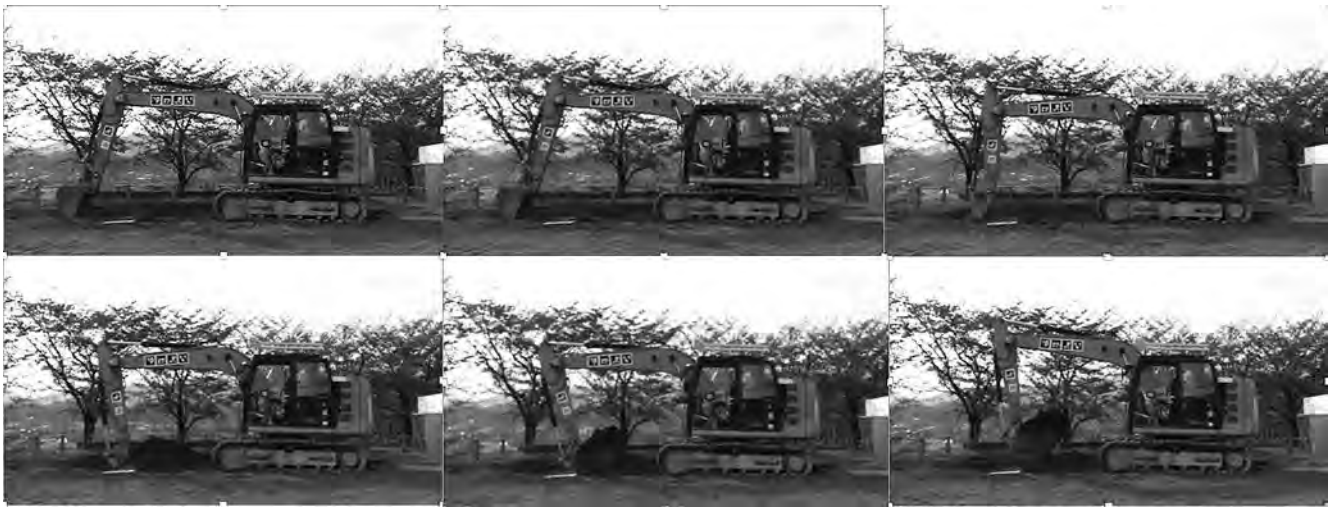
| | ブームと水平線 | ブームとアーム | アームとバケット |
|---|---|---|---|
| 角度誤差 | 1.0865 | 2.6202 | 9.4512 |

検証に用いた作業内容は，機体が地面に水平に設置されている条件下での，掘削作業である。

比較手法に教師あり学習で学習した方策を用いる。実際の熟練オペレータの掘削データを収集し，それらに対し深層学習を用いた教師あり学習をすることで獲得した掘削制御方策を用いる。訓練には 947 回分の掘削の操作ログ（油圧ショベルの各関節角度とレバー操作の時系列データ）を用いている。方策のネットワークに多層の全結合 NN を用いており，誤差関数にはレバー操作量の平均二乗誤差を用いている。

油圧ショベルの掘削を，深層強化学習で訓練させた制御方策で行った時の様子と，教師あり学習で学習させた制御方策で行った時の様子を，それぞれ**写真―3，4** に示す。強化学習で学習させた制御方策は，土をたくさん掘れていることがわかる。一方で，教師あり学習の制御方策で掘削されている土の量は少なく，また，動きのメリハリが強化学習の制御方策に比べてないことが定性的にも観測された。

教師あり学習では，掘削されている土の量が少ない理由として，オペレータが掘削を行った時の土と，実際に自動掘削をする時の土が同じでないことがあげられる。また，動きのメリハリについては，教師あり学習では状態に対応するレバー操作量の誤差を最小化するように学習するため，教師あり学習をした方策は，試行中の環境についてモデリングできず，適応的な制御ができない。その一方で，強化学習で学習した方策は教師あり学習に比べて複雑な環境をモデリングして適応的に制御できていることが確認できる。



写真―3 強化学習で学習した方策を用いて掘削した様子

写真―4 教師あり学習で学習した方策を用いて掘削した様子

## 5. おわりに

ここまで，深層学習を用いたショベルの無人自動制御システムについて述べた。本システムは無人の自動制御ができ，安価なセンサーのみを利用し，既存の重機に搭載できる機材のみからなるシステムであるため，建設現場の生産性向上に貢献できる。既存の技術では難しかったショベルの状態認識と自動制御が深層学習によってある程度できることを見た。最後に，自動制御システムの今後の開発方向性について述べる。

今後，本システムが現場に導入され，さらに生産性向上に貢献できるようになるためには，以下の２つの要素が必要になると考えている。

まず１つは，環境情報を活用した作業ができるようになることである。本稿では，機体が，地面と水平にある条件下での掘削を行うために制御機構について述べた。実際の現場では，機体の周りの土の形状や，他の重機などの周囲の環境は複雑である。これらの環境情報を把握して作業できるようになると，作業できる内容と条件が多様になる。ショベル自動制御システムがより広い条件で多様な動きができるようになると，運転員は他の仕事をできるようになり，建設現場の生産性が向上すると考えられる。

次に，制御精度の向上である。4.1 節で示したように，現在の自動制御システムは依然として認識精度には誤差があり，数 cm 精度の制御はできていない。制御誤差が小さくなると，作業後の測量といった計測作業が合理化されるため，さらに建設現場の作業効率化に貢献できると考えられる。

JCMA

《参考文献》


1)「建設産業の現状と課題」，国土交通省，2017，https://www.mlit.go.jp/common/0011495961.pdf
2)「職業別一般職業紹介状況［実数］（常用（含パート））」，厚生労働省，2018 年 11 月，https://www.mhlw.go.jp/content.11602000/G35-30103.pdf
3)「 ICT 建設機械施工による施工について」，国土交通省，2017 年 8 月，http://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000654178.pdf
4)「ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Network」，Alex Krizhevsky et al., 2012, http://papers.nips.cc/paper/4824-imagenet-classification-with-deep-convolutional-neural-networ
5)「Neural machine translation by jointly learning to align and translate」，Bahdanau et al., 2014, https://arxiv.org/pdf/1409.0473.pdf
6)「Guided policy search」，Levine Sergey et al., 2013, http://proceedings.mlr.press/v28/levine13.pdf
7)「YOLOv3: An Incremental Improvement」，Joseph Redmon et al, 2018, https://arxiv.org/pdf/1804.02767
8)「Mask R-CNN」，Kaiming He, et al, 2017, https://arxiv.org/pdf/1703.06870.pdf
9)「Reinforcement learning: An introduction.」，Richard S. Sutton et al., 2014, https://web.stanford.edu/class/psych209/Readings/SuttonBartoIPRLBook2ndEd.pdf
10)「Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search」，Silver David et al., 2016, https://www.nature.com/articles/nature16961
11)「Learning Dexterous In-Hand Manipulation」，OpenAI et al, 2018, https://arxiv.org/pdf/1808.00177.pdf
12)「Dilated residual networks.」，F. Yu, V. Koltun et al., In IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2017, https://arxiv.org/abs/1705.09914
13)「Long short-term memory」，Sepp Hochreiter et al., 1997, Neural computation, 9（8）：1735-1780.
14)「Trust Region Policy Optimization」，John Schulman et al., 2015, http://proceedings.mlr.press/v37/schulman15.pdf



［筆者紹介］

西村　弘平（にしむら　こうへい）
㈱ DeepX
エンジニア

冨山　翔司（とやま　じょうじ）
㈱ DeepX
エンジニア

特集≫≫　IoT，AI，ビッグデータ

# 自律飛行型ドローンと AI を活用したトンネル発破施工の最適化

## NATM 発破良否判定システム『Blast Eye/AI』

中林雅昭・杉山崇・本木章平

山岳トンネルの発破掘削工法において，ドローンにより自動取得した発破後の飛石形状から，発破の良否を AI により判定する発破良否判定システム『Blast Eye/AI：ブラスト・アイ』（以下「本システム」という）を開発した。本システムは，事前にトンネル線形と切羽位置を自律飛行制御装置に学習させた自律飛行型ドローンにより，発破後の飛石形状の 3 次元形状データをデジタルカメラで自動採取する『Blast Eye』（以下「本見える化システム」という）と，その形状データから発破パターンの良否を人工知能（AI）で自動判定する『Blast AI』（以下「本判定システム」という）により構成されている。本システムにより従来，熟練トンネル技能者が発破後に目視と経験により行っていた発破の良否判定を自動化できるため，将来的な山岳トンネルの完全自動化の一技術とすることができる。

**キーワード**：NATM，発破良否判定，AI，3 次元データ，ドローン，自律飛行

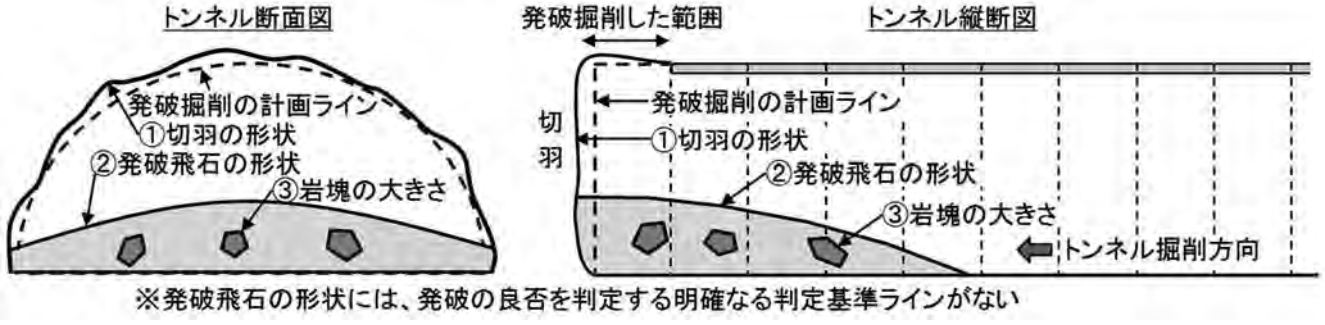
### 1. はじめに

中硬質岩の山岳トンネルでは，約 1 ～ 2 m 毎に発破作業を繰り返して行いトンネルを掘り進んでいく。発破作業は穿孔数，穿孔方向，穿孔深さ，装薬量，雷管段数，等々の組み合わせ（以下，発破パターン）により行うが，地質の不連続性などから，発破作業の良否を都度判定し，次の発破パターンに反映する必要がある。

一般的に発破の良否判定は，大別して，①発破後の素掘り面状態（余掘り・過掘り），②発破後の飛石形状，③発破後の飛石岩塊の大きさの 3 項目から実施している（**図**― 1）。①は幾何学的な目標ラインに対する凹凸などから 3D レーザースキャナ等により定量的に判定できる。しかし，②・③は適切な形状・大きさが曖昧で定量的な判定基準がなく，トンネル熟練工の目視判定に委ねてきた。

さらに，発破後は後ガスの希釈・拡散のための換気作業（立入禁止）や，その後の発破ずり搬出作業（関係者以外立入禁止）の関係から，現場職員が発破の良否判断基準たる②と③を確実に把握せず，定性的にも定量的にも判断基準資料を得ることも残すこともできないケースが多かった。

これらの問題解決のために，短時間の換気時間内で無人により発破飛石形状データを入手し，さらに熟練工のもつ経験（暗黙知）を人工知能（AI）に学習させ，発破パターンの判定を速やかに合理的に実施する必要があった。また，近年の熟練工の減少に伴うノウハウの継承と，将来的なトンネル掘削の完全自動化に向けた一技術としても開発の必要性があった。以下，開発内容について説明する。




図― 1　発破作業後の切羽の形状と発破飛石の形状のイメージ図

## 2. 本システムの概要

本システムは，本見える化システムと本判定システムの２つの技術から構成されている（**図―２**）。

本見える化システムは，トンネル発破後の３次元飛石形状を自律飛行型のドローンにより自動撮影し，デジタル画像から３次元データ作成を目的とした技術である。本判定システムは，３次元飛石形状パターンから人工知能（AI）により発破の良否を自動判定する技術である。２つの異なる技術の組み合わせにより，発破後の良否判定を速やかに，且つ，合理的に実施することを可能とした。

## 3. ドローンにより発破の「見える化」：本見える化システム

ステレオカメラを用いた Visual SLAM（Simultaneous Localization and Mapping）技術によるドローンの自律飛行が，線状閉鎖構造物のトンネル内で可能であるか否か，ドローン搭載の単眼カメラにより撮影した切羽画像から SfM（Structure from Motion）技術により３次元データの作成が可能であるか否か，当社施工中のトンネル工事現場で検証した。

### (1) トンネル内でのドローン自律飛行を可能にする工夫

通常，ドローンの自律飛行は衛星からの測位データや SLAM により自己位置を推定することで可能となる。トンネル内の非 GNSS 環境下での自律飛行には，SLAM 技術による自己位置推定が必要であるが，長い線状の狭隘な連続空間であり SLAM の精度誤差が大きいこと，単調で飛行時に参照する特徴点の少ない路面であること，照度が不十分でありカメラにより特徴点を抽出しにくいことが課題として挙げられた。そのため，以下の工夫により解決を図った。

① SLAM 用カメラをトンネル上部（天端部）に向けて自律飛行

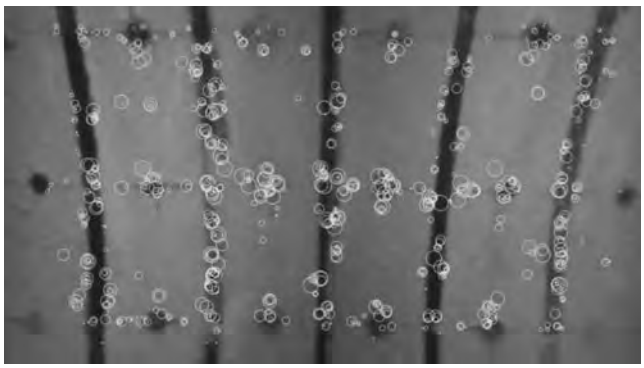
SLAM 用カメラを変化に乏しく特徴点が補足しづらい路面ではなく，鋼製支保工やロックボルト等の特徴点を補足しやすいトンネル上部に向けて自律飛行を実施（**図―３**）。

②ステレオカメラと LED ライトの使用

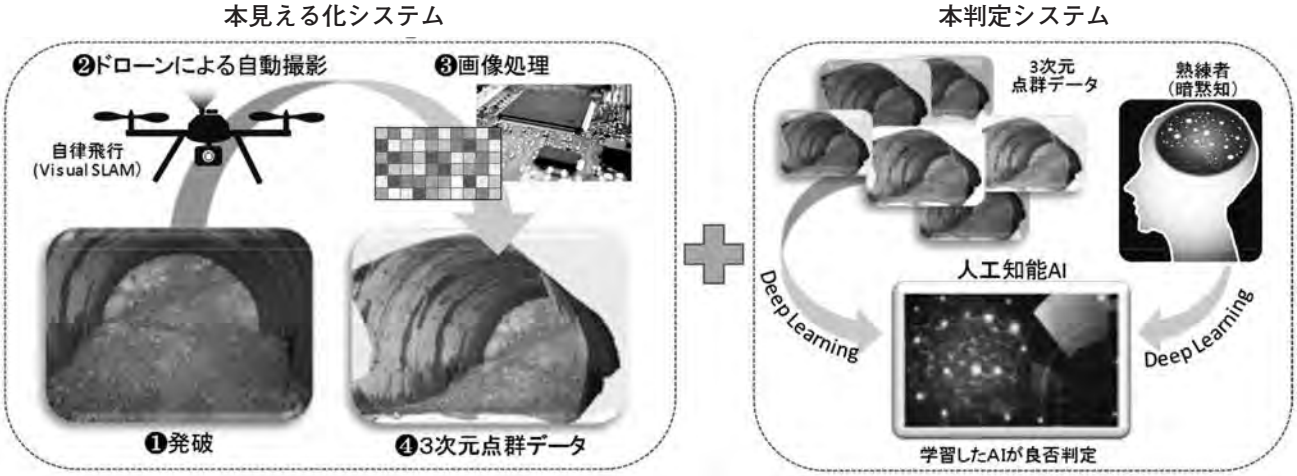
ステレオカメラによる視差を用いることで天端部からの距離を正確に認識することが可能となり，ドローンの離陸地点と着陸地点の位置は数十 cm の誤差であった。また，特殊な高感度 LED ライト（照度 760 lux）を使用することで，安定的な自律飛行を可能とした（**写真―１，２**）。

### (2) 指定位置で自動撮影し３次元データ作成

切羽近傍の３次元データはドローン機体下部に設置したデジタルカメラを使用し取得した。予め撮影位置をプログラミングしておくことで，撮影高度および位



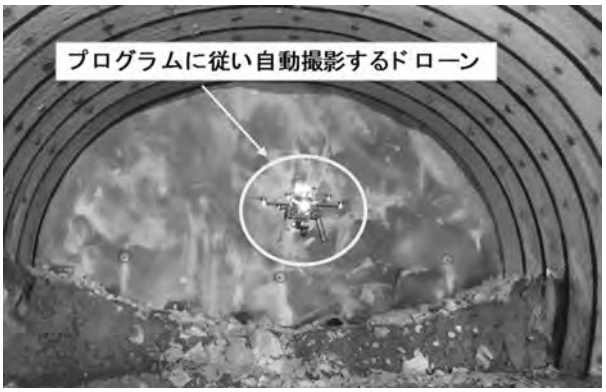
図―３　SLAM で補足した特徴点




図―２　本システムの概要

写真―１　ドローンの機体構成

写真―２　トンネル内の自律飛行




写真―３　切羽近傍の自動写真撮影

置を変えた約 20 枚の写真を自動で撮影し，これらの写真を画像処理することで３次元データを作成した（**写真**―３，**図**―４）。なお，本解析には市販の画像処理ソフトを使用した。

### （3）今後の展開

本見える化システムは，発破後の飛石形状に限らず，トンネル内の様々なデータをドローンにより自動で取得可能な技術である。SLAM 技術の位置精度向上により，測量，計測，環境測定，安全管理等への応用も期待できる。また近年，切羽画像や切羽形状から地山等級を AI により判定させる試みが行われているが，今回開発した技術は，無人化・効率化・安全性の観点から，切羽の３次元形状データを取得するための有効なツールになり得ると考える。

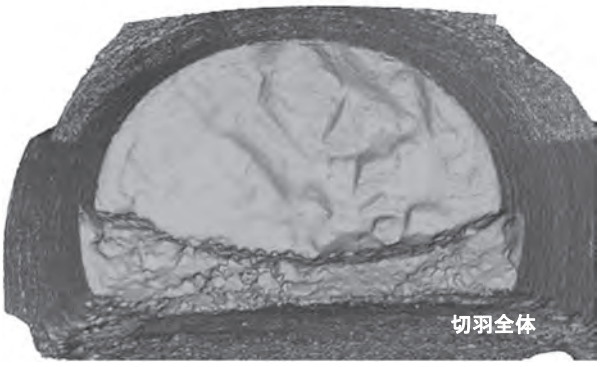
当社では，生産性・安全性向上のために，本見える化システムのさらなる可能性を追求していきたいと考えている。

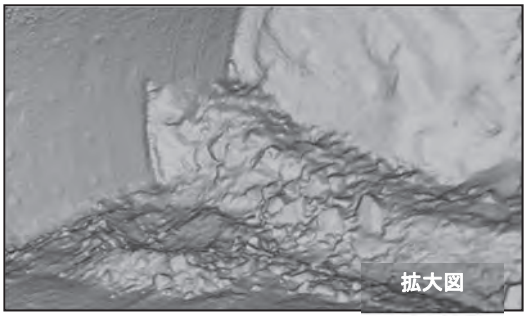
## 4. 人工知能（AI）による発破掘削の良否判定：本判定システム

「発破後の３次元飛石形状」と「熟練者による良否判定結果」の対のデータを教師データ（学習用データ）とする深層学習（Deep Leaning）により，AI モデル本判定システムを開発した。

### （1）模擬的なトンネルで学習用データを準備

施工中のトンネルの発破データでは，AI 学習に必要な学習用データ数が十分かつ迅速に得られないため，実験室内に**写真**―４に示す模擬的なトンネル（R＝400 mm，L＝1,400 mm）を作成した。この模擬トンネルで「良好な発破」・「普通の発破」・「不良な発破」の３カテゴリーの飛石形状を模して，デジタルカメラで撮影した写真を基に画像処理ソフトでそれぞれの３




図―４　自動撮影画像から作成した３次元データ

次元飛石形状 DXF データを取得し，学習用データを準備した（**図**―5）。

### (2) AI モデル構築

種々の模擬発破飛石形状を，トンネル経験が豊富な熟練者に判定させ，学習用データ約 150 組を準備した。AI モデル構築における工夫点として，以下の 2 点をあげる。

①データシャッフル

入力する複数の 3 次元飛石形状（点群）データの順番をランダムに並び替えた。これにより，仮に「良好な発破」× 10，「普通の発破」× 10，「不良な発破」× 10 のデータを入力した時に，最初に入力されたデータが「良好」，最後に入力されたデータが「不良」と学習してしまう可能性を排除した。

②点群回転・小移動によるデータ数増加

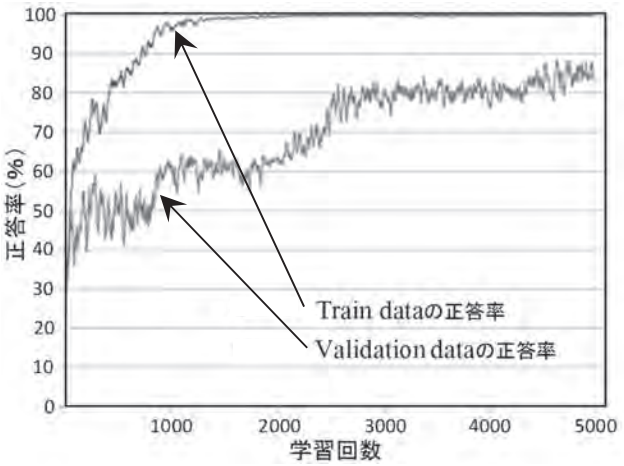
点群データを，その中心点を基準にランダム（全方位 360°）に回転するとともに，座標値をランダムにずらした。これらをそれぞれ別の点群データとして保存して利用することにより，データ数を約 9 倍の約 1,350 組に増加させ，学習精度の向上を図った。

### (3) 実用可能な AI モデルを実証

構築した AI モデルを用いて，学習用データとは別に正答率確認用データを 30 組準備し，AI による良否判定を検証した結果，正答率は約 85%となり，この段階の AI モデルとして実用可能であることを確認できた（**図**―6，7）。なお，点群データ（DXF）入力後，判定に要する時間は 10 秒前後と短時間である。

### (4) 今後の展開

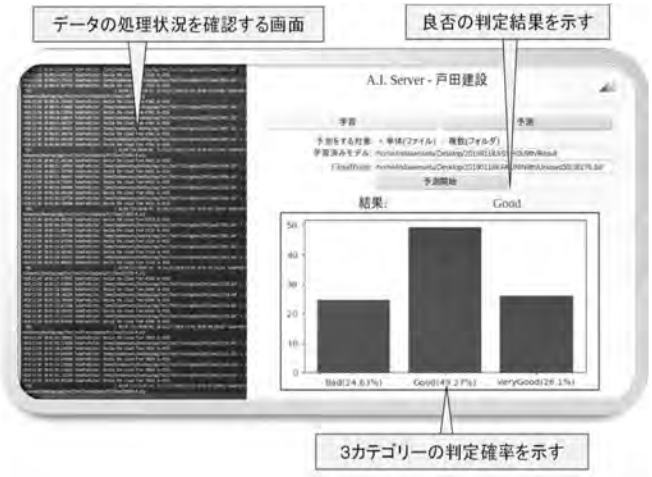
今回開発した本判定システムは発破の 3 次元飛石形状を判定する AI モデルであり，写真等の 2 次元画像による AI モデルが一般的な中で，3 次元の領域（形



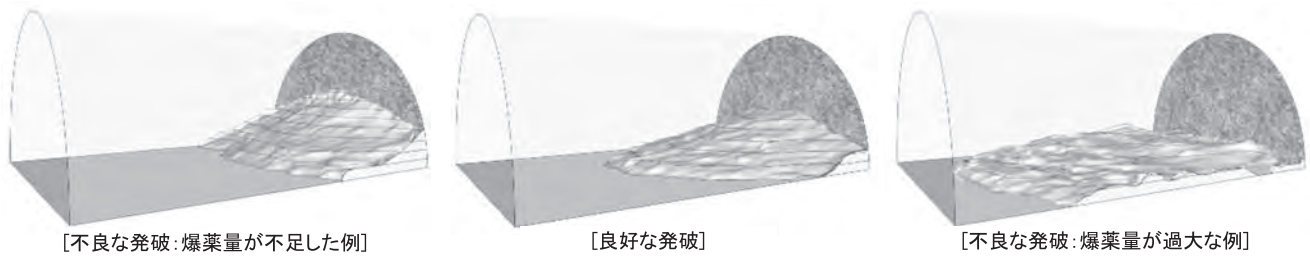

Train data：3カテゴリーの特徴を学習させるために使用するデータ
Validation data：学習をしながら、その時点でのモデルの性能（正答率）を評価するためのデータ

図―6　AI の学習履歴のプロット

写真―4　実験室内模擬トンネル




図―7　AI モデルの判定結果イメージ



［不良な発破：爆薬量が不足した例］　［良好な発破］　［不良な発破：爆薬量が過大な例］

図―5　学習用データに使用した室内模擬発破形状（3 次元データ）の一例

状の良否判定）に AI の適用範囲を拡大できた。

しかし，1. はじめにで述べた判定要素の一つである飛石岩塊の大きさは，室内実験の都合上一定値としたことに加え，点群データでは岩塊の大きさを表現できなかった。また，学習アルゴリズムのメモリ制限等により，点群データ（80,000 ポイント前後）を約 1/10（8,192 ポイント）にリサイズして軽くする必要があったため，点群データの精密性を下げざるを得なかった。

当社では今後，これらの課題をクリアする，もう 1 段階進めた AI の構築を模索するとともに，今回の AI の開発過程において得た多くのノウハウを，種々の施工分野や用途に幅広く活用していく計画である。

## 5. おわりに

本システム『Blast Eye/AI』を開発したことで，これまで発破直後のトンネル熟練工の経験（暗黙知）に判定を委ねてきた発破の良否が，発破直後の切羽に近付かず自律飛行ドローンで自動取得した 3 次元飛石形状を基に，AI モデルにより判定できることが判った。今回開発した本判定システム『Blast AI』の AI モデルは，実験室内での模擬発破データを使用したものだが，今後本見える化システム『Blast Eye』のデータ収集技術を活用して全国の発破掘削のデータを集積し，深層学習を重ねていくことで，実際のトンネル工事の完全自動化に向けた実用可能な AI を構築できる可能性がある。

尚，本開発に使用した画像処理ソフトは Agisoft 社の「Metashape（旧 PhotoScan）」，AI モデル構築には Google 社の「TensorFlow」，スタンフォード大学の「PointNet」を使用した。

JCMA

［筆者紹介］

中林　雅昭（なかばやし　まさあき）
戸田建設㈱　土木技術営業部
部長

杉山　崇（すぎやま　たかし）
戸田建設㈱　土木技術営業部　技術 1 課
課長代理

本木　章平（もとき　しょうへい）
戸田建設㈱　技術開発センター　施工革新ユニット
係員

特集≫≫　IoT，AI，ビッグデータ

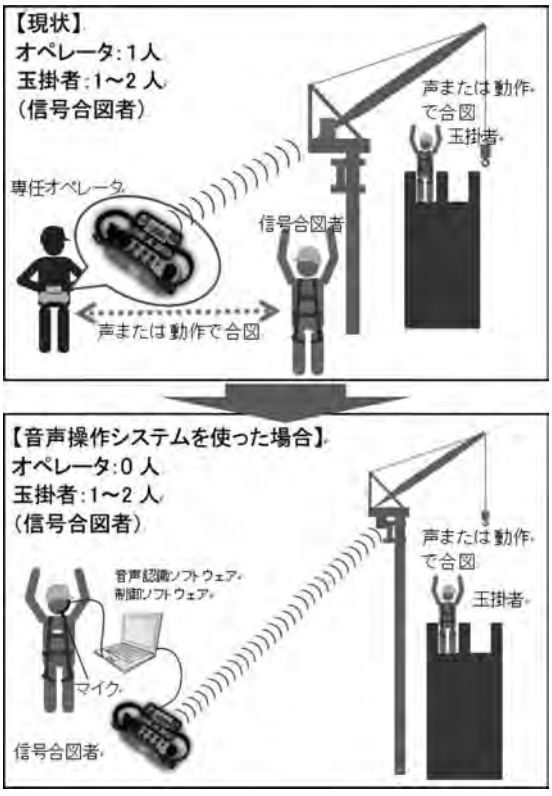
# クレーン等の音声操作システム

洗　　光範

近年，労働力不足が深刻化する中，建築作業の省人化に貢献すべく，世間一般に普及し始めた音声認識技術と，無線遠隔操作技術を組み合わせて，クレーン等の音声操作システムを開発した。模型実験による音声操作ソフトウェアの検証を経て，実際のジブクレーン，天井クレーン，ホイストおよび遠隔操作散水機に適用し，その有効性と実適用にあたっての問題点を確認できたので紹介する。
**キーワード**：音声操作，ボイスコントロール，音声認識，信号合図，クレーン，ICT，発話

## 1. はじめに

スマートフォンに代表される一般家庭向けIoT機器の爆発的な普及に伴い，音声認識技術も飛躍的に発達しており，その用途も多岐にわたってきている。一方，国内では人手不足が叫ばれ，我々の建設業界においても，労働力不足が懸念されており，各社とも作業所における技能労働者の確保及び，建築生産性を向上させる技術，機器，方策の開発に取り組んでいる。




図―1　クレーン信号合図の現状と音声操作

クレーンで作業をするには，通常では，玉掛者，信号合図者，オペレータ（クレーン運転者）が必要となる。オペレータは信号合図者の合図通りにクレーンを操作することが，クレーン運転操作の基本であるとされている。また，多くの建築工事現場では，クレーンの信号合図は無線通信機による音声合図が主流となっている。ならば，信号合図者が喋ったとおりにクレーンが動けば，オペレータがわざわざ操作レバーを動かしてクレーンを操作する必要はないのではないか，すなわち必要な人員を一人減らすことができるのではないかと考え，クレーン音声操作システムを開発した(**図―1**参照)。

## 2. 音声操作辞書

音声操作の基本技術となる音声認識ソフトウェアとして，市販され，広く世間で利用されているソフトウェアを活用することとした。このソフトウェアの特徴は，アクセントやイントネーションの違いなどに左右されず，認識率が高く，認識した発話が予めユーザが登録した語句と同じであると判断できた場合に，語句に応じたキーコード信号を出力できることである。同時に任意の言葉を発音する機能を兼ね備えているため，実際のオペレータの復唱に近い機能を再現することもでき，音声合図が正しく認識されたか否かが，信号合図者が直ぐに判るため，非常に有効であった。また，音声認識は，無音部分で区切られた1発話単位で行われるため，通常の会話の中に登録された語句が含まれていても信号合図とは認識しないため，誤認識，誤動作の危険性が極めて少ないことも特徴の一つであ

る。これらの機能を活用して，認識する語句と，それに応じた出力キーコードと正しく認識した際に発音する言葉を対応させる表を，ジブクレーン用オリジナル『辞書』ファイルとして作成した。

音声合図の語句は，実際の信号合図者が通常の作業でクレーンオペレータに合図しているのと同じような語句を心がけて選定し，当システムを使うための特別な語句や，喋ってはいけない語句を可能な限りなくし，信号合図者がストレスなく使えるように努めた。例えばクレーン動作の『上げ』,『下げ』を意味する語句として,日本国内で広く使われている,「ゴーヘー」,「スラー」を基本として採用した。

音声信号の曖昧さを許容するため，同一のクレーン動作に対して，辞書には複数の語句を登録した。特にサ行で始まる発話は，最初の音を認識しづらいという特性があるため，クレーンの信号合図にとって最も重要な合図である『ストップ』に対しては,「フトップ」,「トップ」などの比較的近い音の語句も辞書に登録し，最初の音を「ス」と正確に認識できなくても動作するようにした。更には,「トマレ」,「テイシ」等の誤認識が生じにくい語句も登録し，認識率を向上させるべく工夫をしている。

## 3. クレーン操作ソフトウェア

今回採用した音声認識ソフトウェアには，認識した語句に応じて，パソコンのキーコードを出力する機能が備わっている。すなわち，パソコンのキーコード信号で制御できる機器であれば，比較的容易に制御することができる。

ジブクレーンの動作は基本的には『起伏』,『巻き』,『旋回』の三動作であるが，これに，速度の増減，三動作のうちの一つのみの指定，チョイ動作（直前の動作を極短時間だけ繰り返す）を行えるソフトウェアを作成した。速度増減の音声合図は,「ハヤク」や「オソク」で現在の速度から１ノッチずつ増減することはもちろん,「サンノッチ（3ノッチ）」など，直接動作速度を指定することも可能とした。複数動作作動中に「オヤニソク（親２速）」,「コストップ（子ストップ）」など，一つの動作の動きのみを指定することが可能である。また，前動作をほんの短時間繰り返す『チョイ動作』では，動作時間を機器による応答時間の違いや遅延時間に対応して任意に設定できるようにした。また，先に述べたように，パソコンのキーコードで動作を制御しているので，直接キーボードからキーインしてクレーンを操作することも可能である。

このように，音声合図の曖昧さを許容し，かつ，実際の音声合図に近い発話によるクレーン動作を実現するために，辞書に登録した語句数は約 500 語，クレーン動作の種類は 40 近くにもなった。

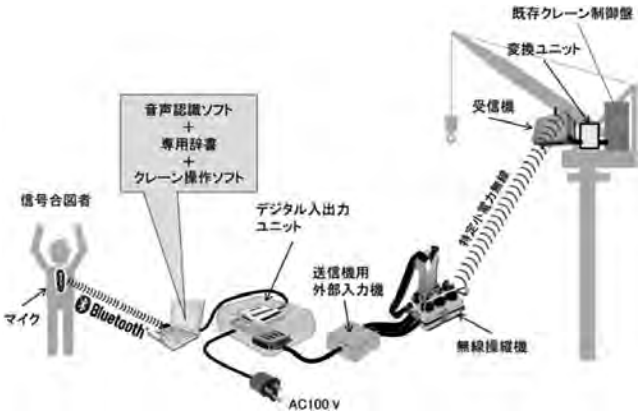
**表―１**に，ジブクレーン用に作成した辞書の一部を示す。表の左列から，動作名称，認識する語句，認識された際に発音される言葉，出力するキーコードを表している。

表―１　ジブクレーン用音声合図辞書の例

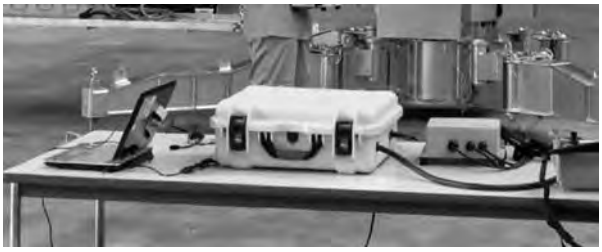
| Name | Spoken | AquesTalk | KeyCode |
|---|---|---|---|
| ジブ起し4 | おやおこし | じ'ぶを/おこしま'す。 | 3/D3 |
| ジブ起し5 | おやおこしー | じ'ぶを/おこしま'す。 | 3/D3 |
| ジブ起し6 | おやーげ | じ'ぶを/おこしま'す。 | 3/D3 |
| ジブ起し7 | おやーげー | じ'ぶを/おこしま'す。 | 3/D3 |
| ジブ起し8 | おやおこして | じ'ぶを/おこしま'す。 | 3/D3 |
| ジブ起し9 | おやおこしてー | じ'ぶを/おこしま'す。 | 3/D3 |
| ジブ起し10 | おやごー | じ'ぶを/おこしま'す。 | 3/D3 |
| ジブ起し11 | おこし | じ'ぶを/おこしま'す。 | 3/D3 |
| ジブ起し12 | おこしー | じ'ぶを/おこしま'す。 | 3/D3 |
| ジブ起し13 | おこしてー | じ'ぶを/おこしま'す。 | 3/D3 |
| ジブ起し14 | おこして | じ'ぶを/おこしま'す。 | 3/D3 |
| ジブ伏せ1 | おやすら | じ'ぶを/ふせま'す。 | 4/D4 |
| ジブ伏せ2 | おやすらい | じ'ぶを/ふせま'す。 | 4/D4 |
| ジブ伏せ3 | おやすらー | じ'ぶを/ふせま'す。 | 4/D4 |
| ジブ伏せ4 | おやふせ | じ'ぶを/ふせま'す。 | 4/D4 |
| ジブ伏せ5 | おやふせー | じ'ぶを/ふせま'す。 | 4/D4 |
| 直前動作に対して9 | ちょーこーそく | ちょ'ー/こーそく/にし'ます。 | 0/D0 |
| 直前動作に対して10 | ちょーこーそくー | ちょ'ー/こーそく/にし'ます。 | 0/D0 |
| 直前動作に対して11 | よんそく | ちょ'ー/こーそく/にし'ます。 | 0/D0 |
| 直前動作に対して12 | よんのっち | ちょ'ー/こーそく/にし'ます。 | 0/D0 |
| [illegible] | ちょい | ちょ'い/いきます。 | g/G |
| 直前動作に対 | [illegible] | ちょ'い/いきます。 | g/G |
| 直前動作に対してちょい3 | ち[illegible] | [illegible]'い/いきます。 | g/G |
| ちょい巻上1 | ちょいまき | [illegible] | h/H |
| ちょい巻上2 | ちょいまきー | ちょ'い/まきま[illegible]す。 | [illegible] |
| ちょい巻上3 | ちょいまきあげ | ちょ'い/まきま'す。 | h/H |
| ちょい巻上4 | ちょいまきあげー | ちょ'い/まきま'す。 | h/H |
| ちょい巻上5 | ちょいまいて | ちょ'い/まきま'す。 | h/H |
| ちょい巻上6 | ちょいまいてー | ちょ'い/まきま'す。 | h/H |
| ちょい巻上7 | ちょいこごーへ | ちょ'い/まきま'す。 | h/H |
| ちょい巻上8 | ちょいこごーへー | ちょ'い/まきま'す。 | h/H |
| ちょい巻上9 | ちょいこーごーへ | ちょ'い/まきま'す。 | h/H |
| 直前動作に対して減速マイナ | ゆっくりー | そ'くどを/さげま'す。 | v/V |
| 直前動作に対して減速マイナ | ゆくり | そ'くどを/さげま'す。 | v/V |
| 直前動作に対して減速マイナ | ゆくりー | そ'くどを/さげま'す。 | v/V |
| 直前動作に対して減速マイナ | てーそく | そ'くどを/さげま'す。 | v/V |
| 直前動作に対して減速マイナ | てーそくー | そ'くどを/さげま'す。 | v/V |
| 直前動作に対して減速マイナ | げんそく | そ'くどを/さげま'す。 | v/V |
| 直前動作に対して減速マイナ | おそく | そ'くどを/さげま'す。 | v/V |
| 全ストップ1 | すとっぷ | ぜんて'い/しし'ます。 | A |
| 全ストップ2 | すとっ | ぜんて'い/しし'ます。 | A |
| 全ストップ3 | すと | ぜんて'い/しし'ます。 | A |
| 全ストップ4 | すとー | ぜんて'い/しし'ます。 | A |
| 全ストップ5 | すとーぷ | ぜんて'い/しし'ます。 | A |
| 全ストップ6 | ふとっぷ | ぜんて'い/しし'ます。 | A |
| 全ストップ7 | ふとっ | ぜんて'い/しし'ます。 | A |
| 全ストップ8 | ふと | ぜんて'い/しし'ます。 | A |
| 全ストップ9 | ふとー | ぜんて'い/しし'ます。 | A |
| 全ストップ10 | とまれ | ぜんて'い/しし'ます。 | A |
| 全ストップ11 | とまれー | ぜんて'い/しし'ます。 | A |
| 全ストップ12 | とめて | ぜんて'い[illegible] | [illegible] |
| 旋回ストップ1 | せんかいすとっぷ | [illegible] | |
| 旋回ストップ2 | せんかいすと | | |
| [illegible]回ストップ3 | せんかいす' | | |
| [illegible]トップ4 | せ[illegible] | | |

## 4. 制御機器

ソフトウェアの機能でキーコードを出力することはできるが，通常のクレーンの操作信号はパソコンのキーコードとは異なるため，キーコード出力に応じて，クレーン操作信号を出力する機器が必要となる。音声認識ソフトウェアとジブクレーン用辞書を組み込んだパソコンと，出力されたキーコードをクレーン操作信号に変換する I/O コンバータと，無線送信機を




図―２　ジブクレーン用システム機器構成



写真―１　システム機器の例

組み合わせたシステム機器を設計製作した。**図**―２にジブクレーン用のシステム構成図を，**写真**―１に実際に制作したシステム機器の例を示す。

ジブクレーン用システム機器の設計にあたっては，信号合図者からの一方向の通信だけでなく，将来的にはクレーン側からの吊り荷重やジブ角度，各モータの作動状況データなどをフィードバックさせることを想定して，双方向通信が可能な無線送受信装置を選定した。

信号合図者の音声合図を拾うマイクは，高音質で指向性の強いモノを選定し，信号合図者の発話以外の周辺騒音を極力拾わないようにした。

## 5. クレーン実機への適用

音声認識ソフトウェア，ジブクレーン用辞書及びクレーン操作ソフトウェアの動作を，パソコンの出力信号で動作するクレーンの模型で検証した後，前章で述べた制御機器を製作し，実際のクレーンに適用した（**写真**―２）。

**図**―２に示したように，クレーン側（受信側）には，無線電波の受信機及び変換ユニットを設置し，受信機で受信した信号をクレーンの制御電気信号に変換して，クレーンを操作する。一方，信号合図者側（送信側）のシステムは，複数の必要機器が有線でつながれ，またパソコンやディジタル入出力ユニットを作動させるための電源ケーブルが必要となる。信号合図者は荷取り位置や，荷卸し位置に応じてある程度移動する必要があるが，これらの機器と共に自由に移動することは困難である。従って，今現在では，システム機器を合図者の近傍に設置し，無線マイクの電波（今回はBluetooth）が繋がる範囲内での移動に限定した。

写真―２　実際のジブクレーンへの適用状況

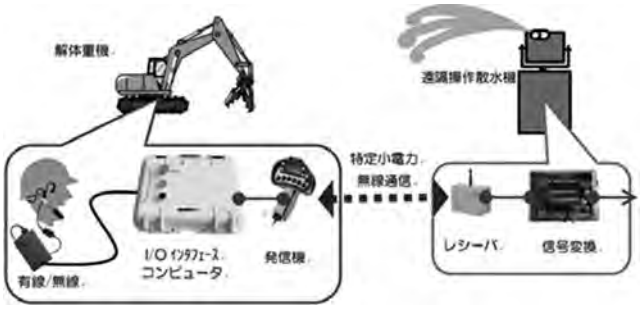
現在は法律上の規制もあり，我々が勝手に無線機器を改造したり部品を転用したりすることはできないが，今後の電子機器および無線通信技術の発達に伴って，手軽に身に付けて持ち運べるような小型化が実現することを期待する。

## 6. ジブクレーン以外の機器への適用

先にも述べたが，当該システムは無線操作が可能な機器であれば，ほとんどの機器に適用可能である。クレーンの場合には専任のクレーン操作者が不要になるといったメリットがあったが，他の機器に応用する場合，人員削減のほかにもいくつかのメリットとデメリットが考えられるので，その適用例をいくつか紹介する。

### (1) 遠隔操作散水機への適用

今後需要が高まることが予想される，老朽ビル等の破砕解体工事において，周辺環境への配慮から粉塵の飛散防止のために散水養生を行っている。一般的な散水作業には，ハイウォッシャや高圧洗浄機等を使用しており，破砕箇所の移動に伴い散水場所も移動する必要があり，そのために散水専用の作業員を配置しているのが現状である。しかし，破砕箇所の近傍での散水作業は，破砕ガラの飛来や重機との接触など，被災リスクの高い作業である。そこで，最近では散水機の放水銃の向きを，離れた場所からリモコン等で操作して，被災リスクを低くした製品も普及し始めている。




図―３　遠隔操作散水機用のシステム機器概要

写真―３　遠隔操作散水機の実機実験

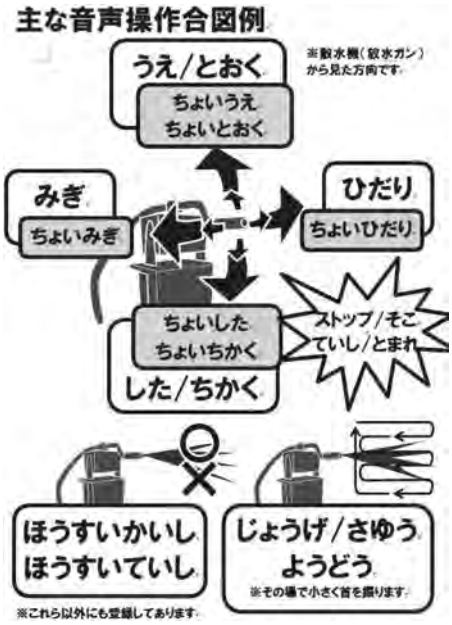
この遠隔操作散水機の散水方向(放水銃の向き)を，解体用重機のオペレータが自分の発話で直接指示することによって，散水専用の作業員を減らすことが可能となった。**図**―３に遠隔操作散水機のシステム機器概要を，実験状況を**写真**―３に示す。

また，クレーンと同様に操作自体はパソコンで制御できるため，付加価値として，自動首振り機能を追加した。音声合図「ヨウドウ」を認識すると，その場で小さく左右に首を振りながら上下方向にも移動し，比較的広い範囲に散水できる様にした。首振り方向を左右のみ，上下のみに限定するなど，複数種類の自動首振り機能も装備した。**図**―４に遠隔操作散水機用の音声合図の例を示す。

実際のビル解体現場では，当然のことながら大きな騒音があり，音声認識率が低下してしまった。現場状況に合わせてマイク感度の調整を行う必要が生じたり，騒音環境下でも認識されやすい喋り方を修得する必要が生じたり，新たな課題も見えてきた。

### (2) 天井クレーンへの適用

工場などの恒久施設で多く使われている天井クレーンや橋形クレーンでは，玉掛者が荷を玉掛けした後，片手でクレーンの操作スイッチを操作しながら，もう一方の手で荷を介錯するといった場面が多く見受けられる。このような場面では，操作スイッチを使わずに




図―４　遠隔操作散水機用の音声合図例

音声合図だけでクレーン操作ができれば，両手で荷の介錯が行えるので，より安全な作業となる。

天井クレーン用のシステムは，ジブクレーン用をベースにして，より簡易なものとした。パソコンおよびモニタを小型なものに変更し，I/O コンバータなどインターフェース機器と共に一つのボックス内に収めて，コンパクトにした。また，バックアップバッテリを追加して，電源ケーブルを抜き差しするだけで，パソコンの起動と遮断，及び各機器の電源の入切を自動で行えるようにし，システムの起動時や停止時の面倒な手順をなくして，ユーザにとってより使い勝手の良いシステムとした。送信機側システム機器を**写真**―４に，実際の天井クレーンへの適用状況を**写真**―５に示す。

送信側機器は天井クレーンの走行範囲の中間付近の見通しの良い位置に設置し，オペレータは無線マイクのみを身に付けて音声合図で操作している。オペレー

写真―４　コンパクトな天井クレーン用送信側機器

写真―５　天井クレーンへの適用状況

タと送信側機器までの距離は，周辺環境やマイク性能にもよるが，この例では 30 m 程度でも確実に操作できていることを確認できた。

### (3) ホイストへの適用

ALC 工事では重たい部材を，ホイストを用いて建て起こし，吊り上げて取り付けている。しかし，ホイストの設置階と ALC の取り付け階が異なることも多く，ホイストの操作のために，専用の作業員を配置していることが多い。そこで，ホイスト操作を音声合図で行えるようにすることで，専用のホイスト操作者を配置することなく，部材の取り付け者が直接ホイストを操作できるようにした。

しかし，ホイストは，『上げ』『下げ』の２操作しかなく，かつ吊り上げ距離も短く，作業員もすぐそばで作業しているため，他のクレーン等に比較してより早いレスポンスを求められた。音声認識は，話者の発話を認識すると共に，発音の空白を区切りとして認識して，その発話単位で登録された辞書内の語句との照合を行っている。したがって，時間遅れが必ず生じてしまう。これが，大きなクレーンや散水機などでは気にならないレベルであったが，より早いレスポンスを求められるホイスト作業にあっては不評で，実機での適用には至らなかった。

## 7. おわりに

ICT の発展に伴い，音声認識，音声操作技術も様々な生活の場面で活用されるようになってきた。しかしながら，音声合図で実際の物理的な物が動くことはほとんど例を見ない。人間同士の会話でも，聞き取りにくいことはあり，聞き直すこともあるだろうし，正しく認識できずに間違った反応をして，指示を出した者に怒られることもあるであろう。音声合図は 100％正確に伝わるわけではないため，安全にかかわる行為に採用するには，必ずリスクを伴う。安全を考慮しすぎるあまり，音声合図を認識できなかった時には動作を止めるなど，フェールセーフを強化しすぎると，実際には非常に使い勝手の悪いシステムとなってしまい，実用に耐えられなくなるおそれが出てくる。不安全リスクを許容することはできないが，如何にして操作性を高めていくかが大きな課題となっている。

また，冒頭にも述べたが，「クレーン運転者は合図者の合図通りにクレーンを操作する」ことを基本に当該システムの開発をはじめた。音声合図の調査のために実際のタワークレーンのオペレータにヒアリングを行った中で，「オペレータは必ずしも合図者の合図通りに操作しているわけではない」「（合図者の喋った）合図を復唱しながら合図と違う操作をやることもある」「（ジブ先端から下を映す）カメラ（映像）がないと怖くて運転できない」といった声を聴くことができた。実際のクレーンでの揚重作業には，オペレータの技量，知識，思考，判断と合図者との信頼関係によって安全で確実な作業が行われていることを再確認した。

音声認識機能を利用したモノの操作や制御には，いまだリスクが伴うが，同時に応用範囲が急激に広まっている AI 技術等を併用することによって，先に紹介したようなオペレータの技量や判断を再現し，更に使い勝手の良い，より安全性を高めたシステムを実現することができると考えている。音声認識技術や音声操作技術の今後の更なる発展に大いに期待している。

JCMA

［筆者紹介］
洗　光範（あらい　みつのり）
㈱竹中工務店
生産本部　生産企画部
部長　機械電気担当

特集≫≫ IoT，AI，ビッグデータ

# 力触覚伝達型遠隔操作システムと AI を連携
## ロボット自律化に新手法

大手山 亮・廣木正行

近年，生産施設の建設事業においては，建屋や建築設備のみならず生産ラインやその運用方法を考慮したトータルな計画・設計施工を手掛けている。顧客と共に生産施設の企画・計画検討を進めていく中で，多く挙げられる課題が第一に「人手不足」，次いで「技能伝承」である。

そこで 2016 年に課題解決のアプローチとして，現在の生産現場における「労働集約型作業」から「インターネットを利用した高効率作業＝労働力集約型作業」への変革を目指した検討を開始した。その際に用いるコアテクノロジーは，力触覚伝達および遠隔操作に関する技術である。

翌 2017 年にはスタートアップ企業との協業により「力触覚伝達型遠隔操作システム」のプロトタイプを開発し，技術面での成果項目と課題を洗い出した。2018 年には異業種の協業企業も増やし，産業向けの汎用ロボットや国際規格に準拠した制御システム等の導入により，生産現場を意識した構成に進歩させた。さらに 2019 年 2 月には AI（人工知能）を連携させることにより，人間の遠隔操作データから産業用ロボットを精度良く自律動作させることにも成功した。

本稿ではその開発の経緯や成果を紹介する。

**キーワード**：人工知能，ロボット，IoT，5G，力触覚，スタートアップ，人手不足，技能伝承

### 1. はじめに

近年，日本国内では全般的に労働者不足が深刻化してきている。建設業のみならず一般製造業やサービス業などでも人手不足の課題があり，誰もがその影響を身近に感じられる状況となっている。

建設事業の対象は多岐にわたるが，モノづくりをする「生産施設」や「工場」を手がけることもある。一般の建物において建設事業の主体となるのは建屋や建築設備の計画・設計・施工であるが，「生産施設」においては，製造室内の製造ライン，生産運用の設計を実施した上で全体プランを作成することや，生産機器を組み合わせて製造ラインそのものの実装と試運転まで手がける「エンジニアリング」が必要となる。

「生産施設」や「工場」建設の初期段階からプロジェクトに参画し，エンジニアリングを進めていく過程では，建物の使われ方，つまり製品の生産方法までも深いレベルで顧客と課題を共有することになる。さらに生産性と効率を高めることを目指した生産施設の建設プロジェクトを数多く実施することで，自ずと生産施設共通の「難題」を見出すこともできる。

例えば，医薬品･化粧品･食品という，いわゆる「三品産業」と呼ばれる業界の顧客からは工場生産にかかわる「人手不足」や「技能伝承の課題」に関する声を多く聞く。

一般的に三品産業の生産施設においては，すでに専用の加工装置や自動搬送装置，自動包装装置や検査設備などを組み合わせて自動化された生産ラインが多くの工程に導入されている。

その一方で，単純であるが扱うものが多様であったり，一定の熟練度（技能）が要求されたりする作業は，いわば人手に頼らなければならない「労働集約型の単純作業」として工場内に依然存在し，自動化の対象からとり残されているのが現状である。

例えば，原料の計量や品質管理部門などで，多様な物性の液体を様々な量に小分けする計量作業や，数日おきに生産する品種が変わるような少量多品種生産ライン，また，製品単価が安く，頻繁に新製品の生産を行う大量生産ラインなどでは，多くの作業員を集めて手作業による作業を続けている。しかも，その作業は清浄度の高い空間で行われている場合や，危険な性状の物質を扱う工程である場合もある。

工場運営側にとっては，このような単純な工程はできるだけ自動化し，作業安全の確保とコストの最適化を図りたいと考えるのは自然なことである。

一方，自動化が進まない最も大きな要因は「多様な

作業内容」と「一定の熟練度」に対応する自動化装置の開発にある。開発にはコスト面だけでなく開発に従事する人的リソースの面でも大きな負担を生じ，まさに「チカラ技」による開発となってしまう。

実際には，単純な工程と言いながらも作業員は自らの視覚や触覚などの五感を駆使して複雑な状況を観察し，判断と決断を繰り返しながら作業を行っている。また，時間をかけて習熟すれば作業が巧みになり，「技」と呼べるレベルに到達する。

「労働集約型の単純作業」の自動化を達成するためには，その「技」をつぶさに観察し，動作プログラムとして言語化してコンピュータに記述することが必要となる。さらに，その作業に適したハードウェア（センサーやロボット）の探索も必要である。当然，設計・製作・試運転まで長期間を要する壮大なプロジェクトとなり，これが「チカラ技」の所以である。

このような背景から，「労働集約型の単純作業」が工場からなくなることはなかった。

さらに時代は変化し，最近では作業員が集まらない，技の伝承にも時間がかけられない，「チカラ技」もかけられない。実はこれが「難題」の本質である。

## 2.「力触覚伝達型遠隔操作システム」のコンセプト

そこで「多様な作業内容」のみならず，「一定の熟練度」に対応できる省力化・自動化ソリューションとして，2016 年に「力触覚伝達型遠隔操作システム」のコンセプトを考案した。

これは操作側のロボットと遠隔側のロボットがインターネット等を介して動作が連動する構成となっている。特徴的な点は，ロボットのハンド部分にモノを掴んだり離したりする際の「力加減」を検知するデバイスを搭載し，人間の感覚に近い遠隔操作を行うことにある。

このシステムが実現すると，作業員は遠隔地から現場作業に従事することが可能になる。つまり生産現場に人を集める従来型の「労働集約型作業」から，時間と場所の概念を超えて労働力のみを集約する「労働力集約型作業」への転換が実現する。また，双方向伝達される力触覚を含んだ熟練作業の遠隔操作データを蓄積して技能伝承にも利活用するだけでなく，AI による学習も期待できる。

## 3.「人間の五感」とその双方向情報伝達技術

開発したシステムの説明をする前に，ここではコアテクノロジーの一つである人間の五感とその情報双方向性について簡単に解説する。

図―１「人間の五感」と，その双方向性情報伝達技術

**図**―１に示すように聴覚や視覚の双方向性は，既に我々の生活の中で利用されており，巨大な産業を形成している。電話やテレビ会議などがその例である。

また，触覚による一方向性の情報伝達は「ハプティクス」技術として確立しており，携帯電話の着信を振動で人に知らせる，車のハンドルを振動させて運転者に白線検知を知らせる機能などで，広く一般に利用されている。

触覚情報の「双方向性」という観点になると身近な利用例は皆無に等しい。例えば，遠隔地における物体の触覚や力加減を感じながら握る，離すなどの仕事を行うシステムなどは実産業スケールでは汎用化していない。

これは，触覚の双方向性を実現するための技術的ハードルが予想以上に高く，汎用のデバイスやインフラでは実現できなかったことが一つの要因として考えられる。

## 4.「力触覚伝達型遠隔操作システム」プロトタイプの開発

ここからは，「力触覚伝達型遠隔操作システム」のコンセプト実現に向けて挑戦・開発してきた事例を順に説明する。

### (1) 1 号機

2017 年 9 月にスタートアップ企業と共に力触覚伝達型遠隔操作システムのプロトタイプ 1 号機となる「EXOS」（**写真**―1）を完成させた。

これは操作者側（マスタ側）と遠隔側（スレーブ側）が同期して動作するもので，スタートアップ企業が開発した外骨格型の力触覚提示デバイス，五本指ハンド，ロボットアームの技術を採用している。

また，遠隔地の映像は 360° 全天球カメラでリアルタイムに撮影され，操作者はヘッドマウントディスプ

写真―1 プロトタイプ1号機

図―2 ARによる操作画面

レイ（HMD）を介して，状況を確認できる。

ここに，仮想現実（VR）と拡張現実（AR）技術を活用し「ロボットアームの仮想操作コントローラ」と「操作者自身の仮想の手」が重ねて投影される（**図―2**）。

操作者は，「VR空間で，ARで表現された仮想の手を仮想操作コントローラに重ね合わせる」ことで現実のロボットを動作させる。これは2019年の現在でも応用可能な操作手法であると考えている。

このプロトタイプ1号機にてテストを繰り返した結果，力加減を感じながら遠隔操作ができることや，遠隔操作した動作データを記録してデータ編集し，動作の再生が可能であることが実証できた。

### (2) 2号機

1号機の完成以後，ロボットや制御機器メーカの協力も加わり，2018年6月には産業用ロボットと産業用PCを利用した力触覚伝達型遠隔操作システムのプロトタイプ2号機を完成させた（**写真―2**）。

2号機では本技術が生産施設に実装される姿を意識した。操作側のロボットには小型の人協働ロボットを，遠隔側には医薬品製造にも適用可能な産業用ロボットを選択した。また，遠隔操作の制御においてはインダストリー4.0時代を意識し，国際規格に準拠した機能が搭載された産業用PCなどを採用した。

写真―2 プロトタイプ2号機

2号機においても1号機同様に力加減をリアルタイムに双方向情報伝達し，操作者が遠隔地の物体の固さ，柔らかさを感じながら正確な操作が可能であること，および力触覚伝達型遠隔操作データの記録・編集・再生が可能であることなどを実証することができた。

### (3) 第5世代移動通信システム（5G）との連携

2018年7月には先述の2号機を用いて，第5世代移動通信システム（5G）を利用した力触覚伝達型遠隔操作実証実験を実施し，遠隔地の映像・ロボットアームの動作・力触覚の全てのデータを一度に5Gで通信する遠隔操作に成功した（**図―3**）。また，同時に力触覚伝達型遠隔操作データの記録と動作の再生にも成功した。この結果から本技術は5G環境においても技術親和性があり，モバイル通信環境においても遠隔地からの労働力提供や技能データ蓄積なども期待できることが分かった。

## 5. AI（人工知能）との連携

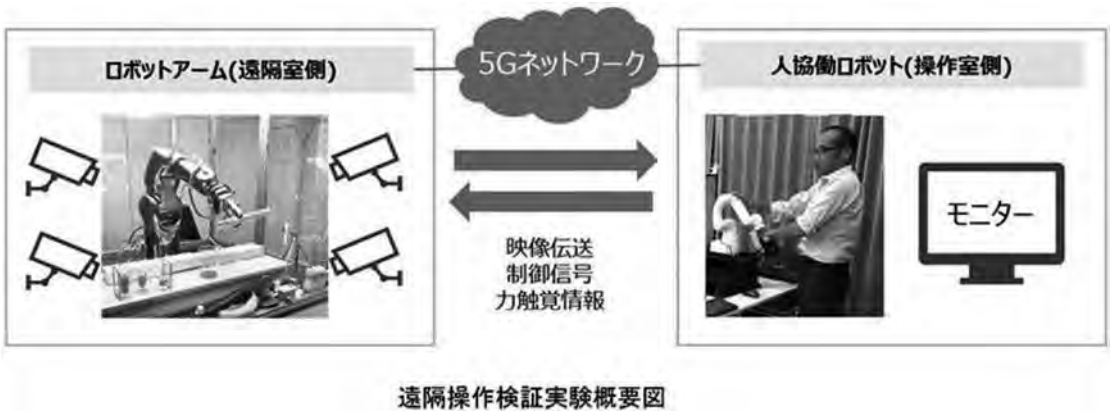
### (1) タスクの選定

2号機の成果とシステム構成を元に，2018年10月より「AIとの連携」を開始した。

これは人間が行う力触覚伝達型遠隔操作による操作データを「教師データ」として蓄積し，AIに学習させることでロボット自身が分身のように自律的に動作して人間に与えられたタスクを実施できるか検証するチャレンジである。

ここで，ロボットには「液体の計量」作業をタスクとして与えることとした。勿論その他のタスクを選定することもできるが，三品産業では現在も多様な液体を多様な計量パターンで小分けするような作業が労働集約的に行われている。

また作業に一定の熟練度を要するため，「チカラ技」によるアプローチとなり，「難題」解決を象徴する動作であると考えた。




図―３　5G による遠隔操作実験概要図

AI（人工知能）には AI スタートアップ企業の「マルチモーダル AI」技術を採用した。

マルチモーダル AI では，映像・触覚・電流値・重さなど，データ形式の異なる複数の情報を時系列に揃えることで，一つのデータ（マルチモーダルデータ）と見做す。

今回の AI 連携では，人間が力触覚伝達型遠隔操作で行う一連の「液体の計量」動作をマルチモーダルデータとして連続的に取得する。これを教師データとしてマルチモーダル AI で一括ディープラーニングして学習モデルを作成することを計画した。

液体の計量に用いた液体は，水のほか，粘度の異なる２種類のグリセリンの合計３種類である。また，計量動作は 500 ml のメディウム瓶（**写真**―３）から 500 ml のビーカへ液体を注ぐ方法とした。

なお，グリセリンを選択した理由には，その粘度の高さの他に，粘度が温度によって変化しやすい性質が挙げられる。つまり粘度が常に一定とは限らない液体に対しても AI が自律的に，精度よく計量できるかどうかも検証することとした。

### (2) 教師データの作成

教師データ蓄積作業は，実際にロボットに行わせる計量動作と同じ，**図**―４のような動作シーケンスに基づき実施した。

マルチモーダル AI に学習させる教師データは２つのアクションから取得することとした。

１つは，**図**―４における動作③である。これは AI に自ら計量しようとしている「液体の性状」を認知させるために取り入れたステップである。

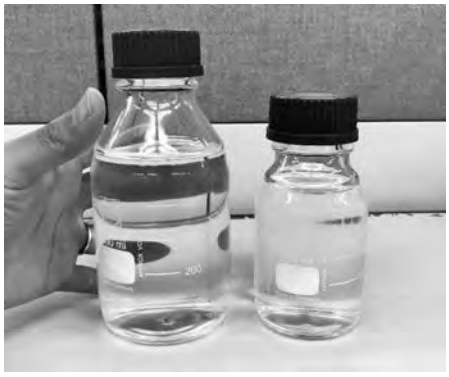
産業用ロボットがメディウム瓶を掴み，カメラの前に差し出して一定振幅で一定時間左右に振る。この振とう動作は予めプログラムされており全ての計量動作で一定である。

この振とう動作によってメディウム瓶の中の液体が揺れ，液面に波が起こる。この波の状況が粘度や液量によって異なる様子を AI が特徴として捉えることを期待した（**図**―５）。

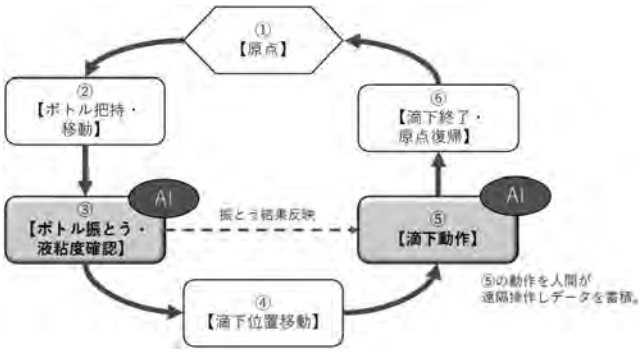
もう１つは，**図**―４における動作⑤で，人間が遠隔操作でロボットに液体の注ぎ方を教えるものである（**写真**―４）。

遠隔操作にあたっては，人間には目標計量値を課さない手法を採用した。

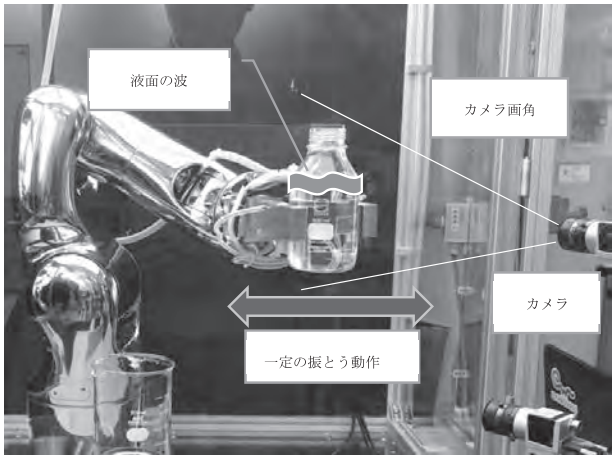
例えば，人間が 100 g，200 g といった予め決まった計量値にぴったり合わせる動作を行うのではなく，逆に作為なく計量動作を行う。その計量値が 287.4 g



写真―３　メディウム瓶




図―４　AI 自律計量動作シーケンス




図―５　メディウム瓶の振とう動作

写真―４　遠隔操作による滴下動作の教師データ取得

表―１　取得した教師データの種類

| 取得した教師データの種類 |
|---|
| 6軸ロボットアームの各軸角度 |
| 軸電流負荷 |
| 軸トルク |
| ボトルを把持する触覚センサ値 |
| カメラ映像 |
| 電子天秤の値 |

であった場合，教師データには「初めからその動作が287.4ｇを期した完璧な動作であった」として後出し記録するのである。

これを繰り返すことで，「完璧な教師データ」を短時間で作成することができる。

教師データに含まれるデータの種類を**表―１**に示す。

### (3) AIによる自律計量の結果

2019年２月に，３種類の液体を用いた合計約100パターン程度の教師データを取得し，１回目のディープラーニングを実施した。

ここで生成された学習モデルに計量値のみ指示して力触覚伝達型遠隔操作システムに自律計量動作を行わせた。この時メディウム瓶の中にある液体の種類，量，粘度や比重などの情報は与えなかった。

この結果，人間が実施する遠隔操作に近い「独特の動き」を見せながら，平均計量誤差約±５%以内の精度でAI自律計量に成功した（**写真―５**）。

写真―５　AIによる自律計量動作

AI自律計量の様子を観察すると水，グリセリン共にその粘度，メディウム瓶に入っている液の残量などの状況に応じて，巧みな動作を生成している様子が伺えた。

さらに，人間の遠隔操作で無意識に行っていた「メディウム瓶の口に残る雫を１滴落とす動作」や「粘りの強い液体の液切り動作」などのテクニックも高い頻度で再現しており，人間らしい「熟練技能の再現」が確認できた。

### (4) AI自身による自律計量の精度向上

このシステムの優れている点は，「AI自律動作した結果」も教師データとして再利用が可能であるというところにある。

人間の教師データ作成にあたり計量値を「後出し」したように，例えばAIに300ｇの自律計量動作をさせ，300.12ｇを計量したケースにおいても「この動作は300.12ｇの計量動作であった」と常に完璧な動作の

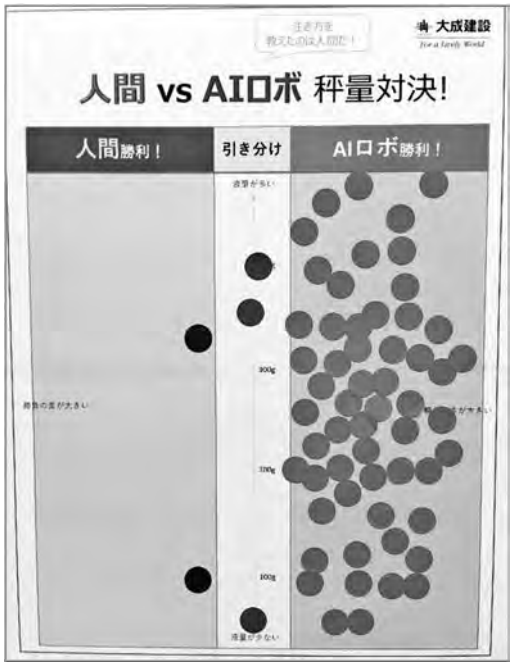
教師データとして後出しで記録してしまうのである。

このように，AI は自律動作を繰り返せば繰り返すほど完全な教師データを多く蓄積することができ，ディープラーニングを繰り返して，「個人練習する」ように精度が向上していく。

自律計量において追加したい動作があれば，人間の遠隔操作による教師データの追加も可能であり，また不完全と思える動作データは削除することも可能である。

このような AI 自律計量動作を繰り返し，教師データの再取得と良質な教師データの選別により，2019 年 4 月の時点で平均計量誤差は ± 0.2％以内まで向上，人間による液体計量精度を上回るまでに成長した。

2019 年 5 月 15, 16 日に大阪で開催された展示会「第 1 回夢洲次世代まちづくり EXPO」において，この AI 自律計量ロボットと展示会来場者で液体計量精度を競うトライアルを実施したところ，ロボットの圧勝となった（**図―6**）。




図―6　人間と AI ロボが液体の計量精度を競う

### (5) バリエーション

AI 自律計量に成功した結果を受け，さらに次のような教師データを追加してディープラーニングを行った。

- 内部の液体が見えない背の高いステンレス製の容器に注ぐ。
- 内部の液体が見えない背の低い「お椀」に注ぐ。
- 内部の液体が見えないようにアルミで覆ったメディウム瓶で注ぐ。

上記に共通するチャレンジは AI に対する「視覚情報」の遮断と，画像認識技術をアドオンせずに容器の高さを認識できるか，というものである。

これらについて人間が遠隔操作を行って 3 種類の液体合計 30 パターン程度取得し，ディープラーニングを行った。

その結果，瓶や容器の中身が見えない状態でも容器の注ぎ口高さに応じてメディウム瓶の高さを自律的に調節しながら，平均計量誤差が ± 0.5％以内を達成するという AI 自律計量動作に成功した。

さらに，教師データを一切与えていない液体や物質の計量にもチャレンジした。驚くべきことに，今まで経験したことのない液体や物質に対しても高い頻度で AI 自律計量動作を生成し，場合によっては実用的なレベルを満たす高い計量精度を叩き出すものもあった。

これはマルチモーダル AI で生成した学習モデルが，未学習の物質に対しても計量できるポテンシャルがあり，AI 自律計量データのみで計量精度の向上が期待できる，まさに「少ない工数」で「一定の熟練度」かつ「多様な作業内容」が実施できる可能性を感じさせるものである。

## 6. 考察

何がここまで良好な計量精度を生み出しているのであろうか。現在でも解明できていない部分が多い状況ではあるが考察してみようと思う。

一つには，動作そのものはシンプルと言える「液体を注ぐ」という計量動作のタスクに対し，非常に多様でボリュームのあるデータが取得できたことにある。

単純に見えるタスクであっても，人間は視覚的・触覚的に液面変化と重量変化を繊細に捉えている。具体的には，人間は無意識に，メディウム瓶の注ぎ口と注がれようとする液体の位置関係，容器へ滴り落ちる液体の様子，注ぎ口に残った一滴のしずくの量感などを視覚的に捉える。また，指先，腕，体幹の動きによってボトル内容物の量や粘性，重心の位置がどのように推移するか，場合によっては聴覚も駆使して状態検知する。これらのセンシングデータを駆使して「少し先の未来」を予測しながら液体を注いでいるのである。

また，AI の視界情報を遮断する試みからは，AI が視覚以外の感覚を研ぎ澄ませ，力触覚やロボットアームの軸トルクなどのセンシングデータから精度の高い計量動作を生成していることが推察される。

これまで知られていたロボット制御手法では，「人間らしい」タスクを実行することは容易ではなかった。それはタスクに伴う感覚面を人間やコンピュータ

の言語で理解し，記述することが必要であったことに他ならない。

今回，適用した「マルチモーダル AI」技術は近年研究が進んでいる，人によって感じ方の違う情報を等価に扱うディープラーニングが可能な AI 技術である。「液体を注ぐ」計量動作に伴う多様な感覚＝センシングデータをそのまま一括で扱うことが，ロボットらしくない，人間のような動作による高精度の計量動作の生成を可能にしているのであろう。

さらに，人間の技能を超えた精度が実現できることが分かったことは大きな驚きである。ロボットはタスクを教えた人間よりも匠に育ってしまうのである。人間の「匠の技」をロボットにコピーし，その技量の範囲内で動作させようとする思い込みが覆されるものである。

いずれにせよ，力触覚伝達型遠隔操作システムにおいては機械の方が人間の能力よりも優れている部分を有効に活用していく姿勢，つまり「人間の良いところ」と「機械の良いところ」を共存させたコンセプトに高精度の謎を解き明かす手がかりがあると考えている。

## 7. 将来展望

「遠隔操作」とは「操り人形」のようでもあり，操る糸が切れる＝データ伝達手段が途切れれば原則的には遠隔操作は行えない。しかし今回のように遠隔操作のデータを蓄積してマルチモーダル AI でディープラーニングすると，操られる人形側が自律し，手取り足取りせずとも意図した動作をできるようになる。学習モデルは人間から動作を学んだ「脳」のようであり，時としてその能力は人間をも超える。

将来的には IoT，5G 技術を利用することで様々な人間の遠隔操作データを効率よく収集し，マルチモーダル AI でディープラーニングして学習モデルを生成し，省力化・自動化を求める生産現場に配信することによって人間とロボットをつなぐ糸を取り払い，あらゆる現場の生産性の向上に貢献できることを期待したい。

例えば，クリーンルームや危険地域における遠隔作業においても適用が期待できる。

クリーンルームの例では，人間自身がクリーンルームにおける最大の汚染源と言われている。できるだけ少人数の入場者とし，塵埃の出にくいクリーン作業着を着用し，防護マスクやゴーグルを着用するなど更衣にも大きな負荷がかかるため決して快適な作業環境とは言えない。

この技術を応用して一般居室から作業者がクリーンルーム内の作業を遠隔操作できれば，クリーンルームへの入場人数を減らして人員由来の汚染が抑えられるうえ，更衣や空調にかかるコストも低減できる可能性がある。

今後，労働集約型作業と共に特殊な作業空間においても実証実験を進めていく予定である。

## 8. おわりに

世界規模で技術革新や産業構造の変化が起こっている。

感覚の双方向性を伴って人間の動作をダイレクトにロボットに転写し，場所・文化・タイムゾーンを超えた身体の拡張を目指すという遠隔操作の概念は「アバター（分身）技術」とも言われ，急速に技術開発が活発化している。

興味深いことに，この技術開発に挑戦する企業の業種や規模は様々である。まさに旧来の産業構造にとらわれない技術的チャレンジの一つとも言える。

本稿で紹介した事例では，建設業からは縁遠い存在と考えられていたスタートアップ企業や異業種企業との協業に取り組んでおり，その結果として従来の建設技術の文脈とはひと味違う，思い切った技術コンセプトを実証することができた。

尚プロトタイプ 1 号機「EXOS」は exiii㈱，プロトタイプ 2 号機は㈱デンソーウエーブとベッコフオートメーション㈱，5G との連携はソフトバンク㈱，AI との連携は㈱エクサウィザーズとの協業により実現した。

筆者らは，人間の動きを学習してロボットが自律動作する技術がもたらす人間の働き方の未来に想いをはせるとともに，建設業においてもこの技術が広く活用されていくことを期待している。

JCMA

［筆者紹介］

大手山　亮（おおてやま　りょう）
大成建設㈱
エンジニアリング本部
エンジニアリングソリューション部
自動化ソリューション室
シニアエンジニア

廣木　正行（ひろき　まさゆき）
大成建設㈱
エンジニアリング本部
エンジニアリングソリューション部
自動化ソリューション室
シニアエンジニア

特集≫≫　IoT，AI，ビッグデータ

# 山岳トンネル切羽評価 AI システムによる生産性向上

畑　　浩二・中岡健一

日本列島は急峻な地形形状とともに非常に複雑な地質構造を成している。そのため，種々の建設工事では，断層破砕帯や突発湧水などの極めて施工が難しい事態に遭遇することが少なくない。山岳トンネル工事を安全安心に推進すると共に，工期・工費を遵守する観点からは施工最前線の岩盤掘削面（切羽）を良く観察し，地質性状を読み解くことが求められる。しかし，地質専門家や数多くの観察を経験した技術者が従事しているわけではなく，実状を踏まえた適切な観察評価が全ての現場で実施できるとは限らない。そこで，昨今注目度の高い AI を活用し，観察評価を手助けできる技術の構築を行い，現場の生産性向上に寄与した。

**キーワード**：人工知能，AI，ディープラーニング，ニューラルネットワーク，切羽，岩盤

## 1. はじめに

近年，人工知能（以下，AI）は種々な分野で活用の研究がされている。例えば，車の自動運転，医療分野における病巣の発見支援や新薬開発，ロボット制御，株式売買など枚挙にいとまがない。建設分野では，1980 年代後半から 1990 年前半にかけて，AI が注目され基礎から実用化まで試行された。著者ら[1]は，山岳トンネルの支保選定支援に AI 的技術を試行し，ルールベースプログラミングを主としたエキスパートシステムを構築した経緯がある。この時期は AI の第 2 世代と称されニューラルネットワークやファジー理論に注目が集まったが，コンピュータのハードやソフトが貧弱であったため試行段階の域を抜けていなかった。一方，現在は第 3 世代と称され，特にハードの目覚ましい進歩に伴いビッグデータ解析が可能になった事から，深層学習（以下，ディープラーニング）に注目が集まるとともに成果が上がりつつある。

本報告では，AI 技術の一つであるディープラーニングを山岳トンネルの切羽観察評価に利用する取組みを示し，その適用性や課題について述べる[2), 3)]。

## 2. 山岳トンネルにおける切羽評価の必要性

山岳トンネルでは，計画段階において地表踏査や物理探査により計画路線の地質構造や施工に際しての問題点や課題を抽出する。しかし，多くの場合，トンネルは地下深くに建設されることから地表踏査で得られた地層が出現するとは限らない。また，物理探査では技術の限界もあり，同様に正確な地質構造を把握することは困難とされている。したがって，多くの土木構造物とは異なり，施工中に得られる情報をその都度評価しながら当初設計を必要に応じて修正し対応することになる。いわゆる，情報化施工を積極的に推進する工種となる。

掘削最前線を「切羽（きりは）」と称する。掘削直後は，地山の素顔が出現するため重要な情報を得ることができる。例えば，地質学的特性として岩種や生成年代，物理･力学的特性として岩質の硬軟，脆さ程度，割目の頻度や卓越方向などである。観察後，地山の自立性が不足する場合には吹付けコンクリートが施工されたりするため，短時間で切羽観察や評価を行わなければならない。施工のスピードアップが要求される現在，従来から重要視されてきた直接切羽を観察する時間が削られている状況にある。そのため，デジタルカメラによる撮影画像を基に切羽評価することが通常行われており，平面的かつ間接的な判断となり切羽の適切な判断を低下させている遠因があるものと考えられる。

切羽評価する場合，発注者による多少の違いはあるものの**図―1** に示すような強度，風化変質，割目の頻度や状態，湧水状況，湧水による劣化状況などを数値判断し定量評価することが一般的に行われている。これに，必要に応じて地質構造の詳細情報やスケッチを

切 羽 観 察 記 録

| | | | |
|---|---|---|---|
| トンネル名 | ○○トンネル | 位置 | 起点からの距離程 k m<br>坑口からの距離程 k m 支保No. |
| 土被り | △△ m | 総合判断 | 地山区分あるいは<br>パターン区分の判定 |
| 岩種 | G | 岩石名 | 砂岩及び頁岩 |
| | | 形成地質時代 | |
| 特殊条件状態 | 膨張性土圧・偏圧・流動性・土被り小（ ） m・重要構造物接近・谷の直下<br>その他特殊な条件： | | |
| 補助工法 | 長尺先受け（ 本）・短尺先受け（ 本）・鏡ボルト（ 本）・地盤改良 | | |

地質構造：1．互 層 2．不整合 3．岩脈貫入 4．褶 曲 5．断 層 6．その他

掘削地点の地山の状態と挙動

| | | | | | | 特記事項 | 点数 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 切羽の状態 | 1. 安定 | 2. 鏡面から岩塊が抜け落ちる | 3. 鏡面の押出しを生じる | 4. 鏡面は自立せず崩れあるいは流出 | | 2 |
| B | 素掘面の状態 | 1. 自立 | 2. 時間がたつと緩み肌落ちする | 3. 自立困難 掘削後早期に支保する | 4. 掘削に先行して山を受けておく必要が | | 2 |
| C | 圧縮強度 | 1. σc≧100MPa ハンマー打撃ではね返る | 2. 100＞σc≧20 ハンマー打撃でくぼむ | 3. 20＞σc≧5 ハンマーの軽い打撃で砕ける | 4. 5MPa＞σc ハンマーの刃先がくい込む | | 2 |
| D | 風化変質 | 1. なし・健全 | 2. 岩目に沿って変色、強度やや低下 | 3. 全体的に変色 強度相当に低下 | 4. 土砂状、粘土状破砕、当初より未固結 | | 3 |
| E | 破砕部の切羽に占める割合 | 1. 5%＞破砕 | 2. 20%＞破砕≧5% | 3. 50%＞破砕≧20% | 4. 切羽面の大部分が破砕されている状態 | | 3 |
| F | 割れ目の頻度 | 1. 間隔 d≧1m | 2. 1m＞d≧20cm | 3. 20cm＞d≧5cm | 4. 5cm＞d 破砕 当初より未固結 | | 3 |
| G | 割れ目状態 | 1. 密着 | 2. 部分的に開口 | 3. 開口 | 4. 粘土をはさむ、当初より未固結 | | 2 |
| H | 割れ目形態 | 1. ランダム方形 | 2. 柱状 | 3. 層状、片状、板状 | 4. 土砂状、細片状当初より未固結 | | 3 |
| I | 湧 水 目視での量 | 1. なし，滲水程度 | 2. 滴水程度 | 3. 集中湧水 （ ℓ/分） | 4. 全面湧水 （ ℓ/分） | | 2 |
| J | 水による劣化 | 1. なし | 2. 緩みを生ず | 3. 軟弱化 | 4. 崩壊・流出 | | 2 |
| | | | | | 合 計 | | 24 |

割れ目の方向性

| | |
|---|---|
| 縦断方向（切羽鏡面） | 1. 水平（10°＞ θ＞ 0°） 2. さし目（30°＞θ≧10°，80°＞θ≧60°）<br>3. さし目（60°＞θ≧30°） 4. 流れ目（60°＞θ≧30°）<br>5. 流れ目（30°＞θ≧10°、80°＞θ≧60°） 6. 垂直（θ≧80°）<br>［最大傾斜角］ |
| 横断方向（切羽鏡面） | 1. 水平（10°＞θ＞0°） 2. 右から左へ（30°＞θ≧10°，80°＞θ≧60°）<br>3. 右から左へ（60°＞θ≧30°） 4. 左から右へ（60°＞θ≧30°）<br>5. 左から右へ（30°＞θ≧10°、80°＞θ≧60°） 6. 垂直（θ≧80°）<br>［見掛けの傾斜角］ |

未固結地山の場合は、下記項目の追記を要す

| | | |
|---|---|---|
| 地山の状態 | 地層の状態 | 1．単一土層 2．互層（1．水平 2．傾斜） 3．レンズのはさみ層（1．なし 2．あり） 4．その他（ ） |
| | 特殊な状態 | 1．崖錐層 2．段丘堆積物 3．火山砕屑岩 4．泥流層 5．岩盤との境界部 6．断面外の上部に軟弱層あり 7．埋土・盛土 8．その他（ ） |
| | 不連続面 | 1．割れ目発達 2．シーム 3．断層 4．不整合 5．その他（ ） |
| 土質 | | 1．粘性土 2．砂質 3．礫質土 4．特殊土（1．まさ土 2．火山灰土 3．しらす 4．有機質土） 5．その他（ ） |
| 状態＊特殊土は適用準合する欄を | 粘性土 | 1．軟らかい（4＞N） 2．中位（8＞N≧4） 3．硬い（15＞N≧8） 4．非常に硬い（30＞N≧15） 5．固結（N≧30） |
| | 砂質土状 | 1．緩い（10＞N） 2．中位（30＞N≧10） 3．密な（50＞N≧30） 4．非常に密な（N≧50） |
| | 礫質土続面 | 1．ルーズ 2．締っている 礫径 1．2～5cm 2．5～20cm 3．20～75cm 4．75～300cm 5．300cm以上 礫分の比 1．30%以上 2．30～50% 3．50%以上 |
| 地山の特性 | N値 | 透水性 1．透水層 2．不～難透水性 3．両者の互層 4．その他（ ） |
| 地下水頭（掘削時） | FLより± m上 | 備考 |

【切羽画像・スケッチ】

【記 事】

記載者氏名 ○○○○

図―1 山岳トンネルにおける切羽観察の一例

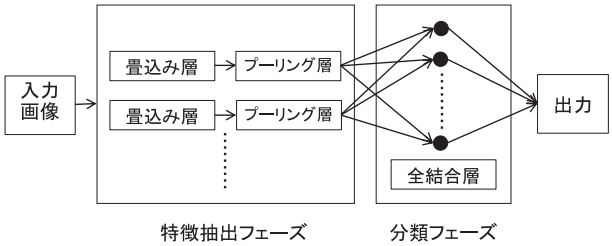
基に特徴を付加することもある。当初設計の妥当性や不整合を明確にするためには，この切羽観察記録作成が必要不可欠であり，これに基づき発注者と受注者が協議し必要に応じて支保規模を修正することになる。このような観点から，切羽を特徴づける上記した強度以下の項目を適切に判定しなければならない。

## 3. AI の活用

AI は人間の有する知覚や知性を人工的に再現することと考えられているが，明確な定義があるわけではない。一方，人間が自然に行っている学習能力と同等あるいはそれ以上の機能をコンピュータで実現しようとする技術や方法が機械学習（以下，マシンラーニング）である。また，マシンラーニングを実現するため多くの方法が考えられているが，その一つに最近特に注目を集めているディープラーニングがある。以下詳述するニューラルネットワークは，ディープラーニングを実行するための一手法であり，アルゴリズムもしくは解析モデルに該当する。

### (1) ニューラルネットワーク

本技術では，切羽画像を解析することで特徴を抽出し分類している事から，画像分析の視点からニューラルネットワークを概説する。一般的なニューラルネットワークの構成を**図―2**に示す。まず，入力画像に対し，特徴抽出フェーズと分類フェーズを通過することで結果の出力を行う。特徴抽出フェーズは，鮮鋭化フィルターやノイズ処理フィルター等を介して RGB 変化を基にした画像の局所的な特徴を捉える畳込み層と，得られた局所特徴量を基に平均値や最大値を取って画像のサイズ圧縮（画像を数ピクセル領域に低減）を行うプーリング層からなる。つまり，畳込み層では，




図―2 ニューラルネットワークの基本構造

あるピクセル領域内の特定ピクセルにしかなかった確定情報が，特徴を表す分析情報に変換されることになる。その結果，例えば入力画像が少し平行移動した場合でも特徴を表す同種の画像であると認識され，いわゆるロバスト性が高い学習データを得ることが可能になる。次いで，分類フェーズでは，全結合層により前フェーズで出力された結果の数(ニューロン)だけデータが与えられ，これらを重ね合わせることで認識精度を高める働きをしている。初期のニューラルネットワークでは，この畳込み層とプーリング層が1層もしくは少なかったが，近年ではより多くの層から成り，より複雑な情報処理を行っている。

### (2) マシンラーニングの手法

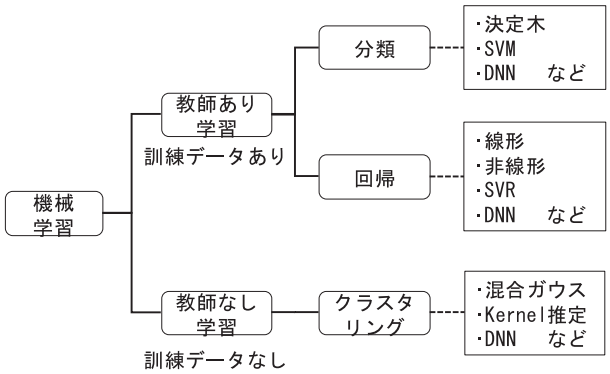
マシンラーニングにおいて学習データを構築するには，**図**―3に示すように判定や分類の基となる訓練データの有無によって大別できる。例えば，機械の故障診断のように過去の計測データを基に判断させる場合は教師あり学習と称する。方法としては分類や回帰式を利用することになり，具体的には決定木，サポートベクターマシン（SVM），線形／非線形回帰式や上記のニューラルネットワークを多層構造にしたディープニューラルネットワークを利用する。一方，人類は100 m を何秒で走破できるかという問題には，過去の記録は参考にはなるものの，未知なる情報や知識を創出することになり，教師となるデータは無い。この場合，クラスタリングと称する多変量解析やクラスター分析手法などを利用する。

## 4. 切羽評価 AI システムの構築と的中率

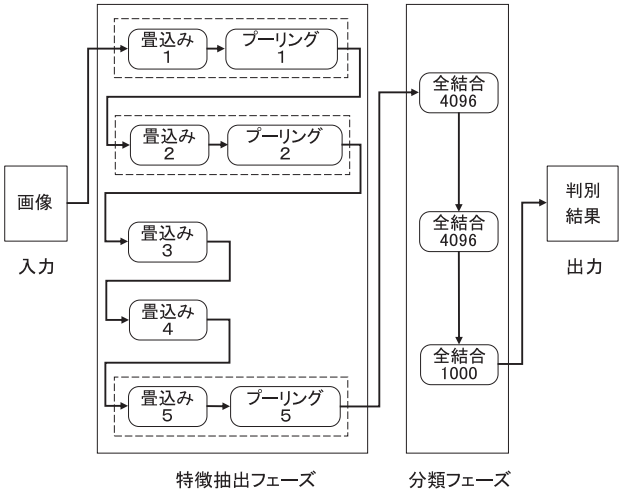
### (1) 使用アルゴリズム

本システム開発では，トロント大学で開発された多層型ニューラルネットワーク AlexNet[4] を使用した。このアルゴリズムは，2012 年の ILSVRC（International Large Scale Visual Recognition Challenge）コンペティションにおいて，識別エラー率で二位チームを大きく引き離し優勝したことから，その後世にディープラーニングブームを起こした先駆的な存在である。**図**―4に AlexNet の層構造を示す。今回の適用では，第3と第4層のプーリング処理を省いている。また，全結合では 4096 ニューロンが2層と，1000 ニューロンが1層で構成している。以下に，その特長を示す。

- 特徴抽出フェーズ5層および分類フェーズ3層から構成される。
- 層構造が少ないため GPU を使用しなくても演算時間が少なく済む。
- 画像から物体そのものを認識するための特徴量のみならず，他の物体と識別する特徴量を抽出できる。
- 画像データベース ImageNet を用いて，学習用 120 万画像，テスト用 15 万画像および検証用5万画像を基に構築されたモデルである。




図―3　機械学習における手法の分類




図―4　AlexNet の層構造

ニューラルネットワーク開発の速度は非常に速く，多層でより複雑なアルゴリズムとなる傾向が強い。しかし，AlexNet は非常に少ない層で構成されていることから，少ない演算時間で試行錯誤を繰り返すことができる利点がある。また，既に ImageNet を用いて鍛え上げられているため，少ない教師データから学習データを構築する場合は有効である。

### (2) 学習データの構築

本問題では，過去の施工で積み重ねてきた切羽観察記録を判定や分類の一助として活用するため，教師あり学習として基本データを構築した。以下に手順を示す。

当社が過去施工した相当数のトンネルの内6件を選

定し，AlexNet の学習データとして利用可能な 70 ヶ所の切羽観察記録を使用した。データ選定に関しては，切羽画像が鮮明なデジタル画像として残っている事，地山を判定する①強度，②風化変質，③割目間隔，④割目状態，⑤走向傾斜，⑥湧水量，⑦劣化度合の 7 項目が明確に表されている事を基準とした。これらのデータを学習構築用：テスト用に 7：3 の比率で無作為抽出し使用した。岩種は，砂岩，粘板岩，泥岩，頁岩，花崗岩，流紋岩，凝灰岩，凝灰角礫岩と多種にわたり，地山等級は DⅢ～CⅠまでを網羅している。具体的には，**図**―1 に示す切羽観察記録で，岩盤評価を示す左欄評価項目（強度等）と切羽画像に着目することになる。なお，AlexNet の使用条件から，切羽画像を 227 × 227 ピクセルに細分化し，特徴抽出フェーズで処理した後，それぞれの画像と評価値を分類フェーズで紐づけする。このような手順で構築した学習データを基盤とし，未知画像を入力すると画像の特徴が解析され，それに合致する項目評価が出力されるという流れになる。

### (3) AlexNet による画像処理

9 種類のトンネル切羽画像をシステムに入力すると，各畳込み層で画像処理が行われる。通常は，入力 227 × 227 ピクセル画像は順次処理の過程で縮小化されるが，便宜上それらを合成して元画像との比較で示したものが**図**―5 である。

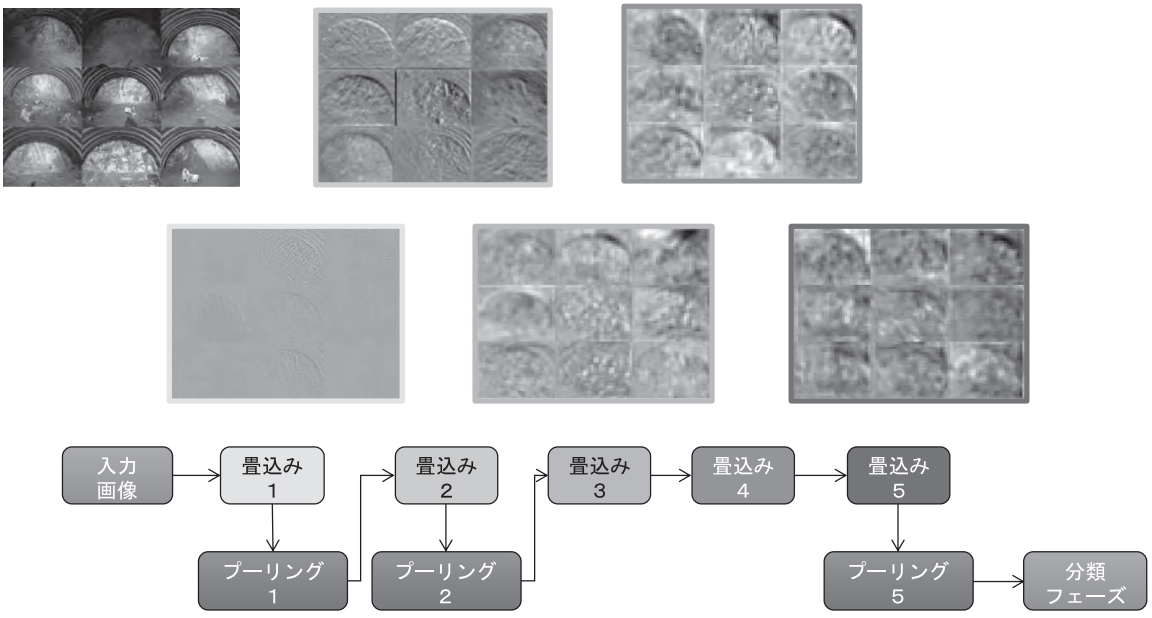
層が進めば進むほど，切羽画像は抽象化が進むようで，最終の 5 層まで進むともはや切羽とは認識しえない画像となる。ディープラーニングでは，このような人間が認識するのが困難な出力を与えるのが特徴である。

### (4) 的中率

分類フェーズで設定した画像の特徴と評価区分の関連づけを検証する。学習データ構築用に使用した残りの 30%のテスト用データとして 227 × 227 に分割した画像総数は約 1000 枚である。一例として，風化変質における実質評価と予測評価を対比した結果を**表**―1 に示す。風化変質は，概ね新鮮，割目に沿って風化変質，岩芯まで風化変質および土砂状風化未固結土砂の 4 つのカテゴリーに分類される。表中，縦欄に切羽観察記録に記載された評価区分を，横欄に予測した評価区分を示し，該当する画像数の累積を示した。すなわち，対角に並んだ網掛けの箇所が予測した評価と実質評価が合致したことになり的中と判断できる。この場合，的中率は 73%となった。全 7 項目における的中率は以下のようになった。

圧縮強度（6 分類）：96%
風化変質（4 分類）：73%
割目間隔（5 分類）：73%
割目状態（5 分類）：83%
走向傾斜（5 分類）：81%
湧水量　（4 分類）：88%
湧水による劣化度合（4 分類）：97%

今回構築した学習データを用いると，切羽画像を入力するだけで 73%以上の的中率で地山特性を出力できる結果となった。4～6 分類と比較的多数の分類で，これほど高い的中が得られるとは当初予想していな




図―5　入力画像と畳込み層 1～5 で画像処理した後の出力画像

表―1　風化変質における実質評価と予測評価の適合性

| | | 予測した評価 | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 評価区分 | 概ね新鮮 | 割目沿いの風化変質 | 岩芯まで風化変質 | 土砂状風化，未固結土砂 |
| 実質評価 | 概ね新鮮 | 175 | 75 | 12 | 1 |
| | 割目沿いの風化変質 | 73 | 449 | 49 | 1 |
| | 岩芯まで風化変質 | 9 | 46 | 126 | 5 |
| | 土砂状風化，未固結土砂 | 0 | 3 | 6 | 5 |

図―6　ヒートマップ（細分化）表示の一例

かった。現場での未経験者や知識の乏しい技術者への地山判定支援ツールとしては実用に十分耐えうると考えられる。

今回開発した切羽評価 AI システムは，切羽画像を入力すると**図―6**にように細分化し評価点を出力する。したがって，局所的に不安定となる箇所や脆弱な箇所を指示することにも使え，修正設計のみならず対策工選定にも役立てることが可能と考える。

## 5.　おわりに

トンネルの切羽評価に AI 技術の一つであるディープラーニングを利用すべく試行的研究を行ってきた。適用した AlexNet は，今となっては古典的なアルゴリズムであるが，高い的中率が得られたことから潜在能力の高さがわかった。また，当社過去の切羽観察データを用いているが，岩盤力学と地質の専門家によるデータの見直しと再構成が功を奏したとも考えられる。今後は現場で実適用を続けながら，教師データの拡充と学習データの更新に努め，的中率の向上を図っていく予定である。

**謝　辞**

本研究に関し，MathWorks Japan の縣　亮氏にご協力いただいた。ここに記して感謝の意を表す。

J C M A

《参 考 文 献》

1）畑　浩二，吉岡尚也：トンネル支保工選定支援システムの開発，トンネルと地下，第 27 巻，1 号，pp.65 ～ 71，1996.
2）畑　浩二，中岡健一：AI 的方法を利用した地山評価に関する研究，第 72 回土木学会年次学術講演会講演概要集　Ⅲ-343，pp.685 ～ 686，2017.
3）畑　浩二，中岡健一：山岳トンネル切羽評価への人工知能適用に関する研究，第 27 回トンネル工学研究発表会　トンネル工学報告集，第 26 巻，Ⅰ-9，pp.1 ～ 6，2017.
4）Alex Krizhevsky, Ilya Sutskever and Geoffrey E. Hinton: ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks, Conference and Workshop on Neural Information Processing Systems（NIPS）2012.

［筆者紹介］

畑　浩二（はた　こうじ）
㈱大林組
技術研究所　地盤技術研究部
部長

中岡　健一（なかおか　けんいち）
㈱大林組
技術研究所　地盤技術研究部
副部長

特集≫≫ IoT，AI，ビッグデータ

# 複合現実技術を用いた建設業の生産性向上

## 「Holostruction」開発による施工検査の効率化と事業トレーサビリティ向上

青 木 悠

昨今，耐震偽装問題を代表する建設業の透明性への不安，建設業の担い手不足，長時間労働など建設業の働き方には課題が多く，存在する。その課題に対し，複合現実技術を活用する。

2016年から仮想現実（VR）を用いた産業ソリューションの開発が加速度的に進んでいる。複合現実技術（ミックスドリアリティー）は，VRに類する技術の中で建設業に最も適していると考える。本稿ではシステム「Holostruction」（以下「本システム」という）開発の経緯，機能，実証実験の結果について紹介する。

**キーワード**：協議時間短縮，仮想現実（VR），BIM・CIMの活用，生産性向上，建設業界のイメージアップ

### 1. はじめに 人材不足解決のカギがITにあると確信

日本では急速な少子高齢化・人口減少が進み，生産年齢人口も毎年減少，建設現場においても担い手不足が深刻な問題となっている。また，建設業では3K（きつい，汚い，危険）というイメージが定着しており，新規入職者にとって魅力的な産業になることが喫緊の課題となっている。国土交通省では「i-Construction」を積極的に推進し，建設業の生産性向上とイメージアップを図っている。建設業界は他の業界に比べ，IoTやAIといった先進技術の導入が遅れている。そのような先端技術を駆使することで，施工管理を行う人の長時間労働を解決，魅力ある職場にしようと考え，マイクロソフト社の「HoloLens（ホロレンズ）（**写真―1**）」（以下「本装置」という）を活用している。2016年7月に本システムのプロジェクトのきっかけとなる，米マイクロソフトが開催した企業向けイベントに参加し本装置に出会う。

写真―1 本装置

本装置はWindows10を搭載した世界初のホログラフィックコンピューターであり，現実の世界に仮想世界（バーチャルリアリティー）を重ねることで，複合現実（MR：ミックスドリアリティー）を作り出すことができる。任意の3次元データをその場に映し出せるこの技術を建設現場に応用すれば，場所を問わず事前に完成後の構造物を確認できる。

本装置を活用することで「現場の働き方が変わる」と確信し，イベント会場の場で担当者に本装置を活用したいと話を持ち掛けたことがスタートになった。

### 2. MR技術とは？

本システムの説明に先立ち複合現実技術（MR）について説明する。

2016年はVR元年と呼ばれ，仮想現実技術（VR：Virtual Reality）や拡張現実技術（AR：Augmented Reality）による様々なソリューションが誕生した。

本技術で用いる複合現実技術は現実世界と仮想現実の丁度中間に位置する技術と言える（**図―1**）。

なお，仮想現実技術（VR）については背景を含む全ての空間を仮想世界として表現する技術である為，現実世界の視界は完全に遮断され，自由な移動などが制限される。

また，拡張現実技術（AR）については補助的な情報提供用途として主に利用されている。

図―１　複合現実技術イメージ

表―１　VR・MR・AR 技術比較

| 技術 | 技術概要 |
|---|---|
| 仮想現実（VR） | 背景を含む仮想世界内に人が入る |
| 複合現実（MR） | 現実世界に仮想世界の情報を融合する |
| 拡張現実（AR） | 現実世界に仮想世界の情報を重ね合わせる |

これに対し複合現実技術（MR）は，現実世界に３次元モデルを融合しながら表示する技術である(**表―１**)。

本装置は常にデバイス上のレーザースキャナとカメラにより投影する場所の空間認識を行う為，レンズ装着者は投影された３次元オブジェクトがあたかもその場所に存在するものとして立体的に認識することができ，自ら投影空間を自由に移動しながら様々な角度や縮尺により投影物を現実に近い形で目視することができる（**写真―２**)。

写真―２　1/100 スケールの確認イメージ

また，複合現実技術（MR）では現実世界が実際に見える状態である為，複数のレンズ装着者と同時に同一の投影物を確認でき，机などの障害物や他の利用者などと衝突する事無く投影空間内を自由に移動できる点が大きな特徴である。

## 3. アプリケーションの開発について

### (1) 実用化は 2019 年冬予定

国内で，本装置を使ったソリューションの発表は日本航空㈱に続き２例目となり建設業としては初の技術となるため，2017 年４月の発表時は大きな反響があった。本システム（**写真―３**）は，現実の空間に３次元データを映す MR を使った建設業向けの情報共有システムであり，３次元映像を意味する“ホログラム”と建設を意味する“コンストラクション”を組み合わせた造語である。

写真―３　本システムイメージ画像

システムの開発は，システムメーカのエンジニアと直接やりとりを行った。通訳を介してのやりとりは技術的な要望を伝えることに苦労があった。また，その開発スピードと並んで進めていくことは大きな挑戦でもあった。開発３カ月でプロトタイプを作り，その後は現場への導入を目指し，システムも改良や機能追加を行っている（**写真―４**)。

写真―４　本システムにて３次元モデルと各種資料を同時に確認している様子

現在は開発スタートから約２年が経ち，今冬の実用化を目指している。

### (2) 当システムの機能

(a) リモートコミュニケーション機能

遠隔地（ネットワーク回線を利用）を含む，複数の利用者が本装置を用いて建造物の３次元データ(CIM/BIM データ）や関連情報を会議室などの空間に投影し，ディスカッションを行うことができる。遠隔地の参加者は空間上にアバターとして表示されるため，現

実に近いコミュニケーションが可能。

（b）タイムスライダー機能

工程表の時間軸を左右に現在・過去・未来の時間軸を自由に行き来することができ，確認したい工程段階の状態を３次元モデル上で容易に確認することができる。

（c）ドキュメント機能

協議や検査に必要なデータや文書もシステム内に格納し，一元管理ができる。３次元モデルを投影しつつ，工程段階に応じた必要書類を投影空間上に３次元データと共に表示できる。３次元モデルや工程表に紐づいた検査データなどを同一空間に可視化することで，広いスペースを使用した確認や協議が行える。

本システムの普及により，設計や計画段階で，リアルに施工計画を立案することができ，現場の施工方法や問題点などを関係者が集中的に協議，検討することができるようになるため，設計変更による手戻りのリスク等を抑えることができる（**写真―５**）。

また，全ての関係者が会議室や現場へ行くことなく，オンラインでこれら協議を行える事により時間効率を高め生産性を向上させることが期待できる。

写真―５　会議室にて遠隔地にいる参加者と協議を行っている様子

３次元データを使用した打ち合わせを行う事により，経験の浅い労働者や言葉の壁が存在する外国人労働者などが，ベテラン労働者の持つ経験や専門知識を持たずに工事全体の流れや自身の作業工程の内容を直感的に理解することが可能となる。

さらに，作業工程で生じる危険個所を予めシミュレーションし把握することもできる。

重機や人員配置などを３次元モデル上に実際に配置し１：１スケールにて確認できるほか，人が行きにくい危険個所などの状況をリモートで確認できるようになる。

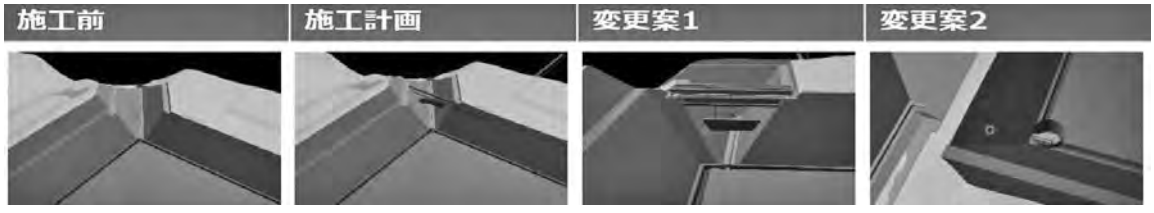
３次元データと検査書類を統合することにより，段階検査での必要データを容易に検索，確認することができる。

## 4. 本システムによる実工事での協議実施事例と発注者の評価

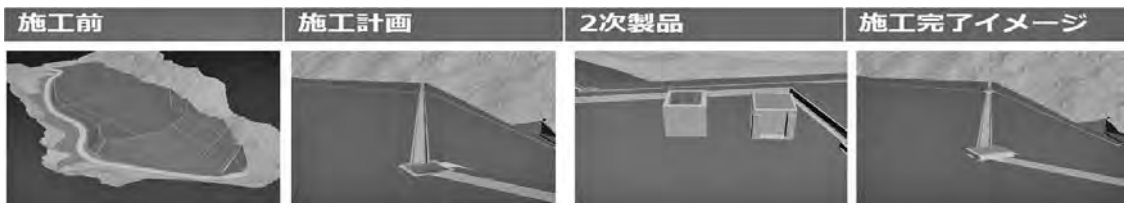
〈発注者の評価は上々〉

これまでの協議においては，2D 図面の作成だけでなく，実際の施工イメージがわかるように補足図など多くの資料を作成する必要があった。また，工事場所によっては現地確認も必要になり，協議開催までの時間がかかっていた。協議開催が遅れる事は，その後の施工管理全体に影響がでる事もある。

こういった背景を踏まえ，２つの事例において，本システム活用による協議を実施した。一つは排水管取り付け工事に関する協議（**図―２**）である。まずは施工前状態と設計資料を表示して，施工場所を確認後，設計書に示された施工計画を表示。その場所は既設埋設管があり，計画通りの施工ができない為，変更案１，変更案２を作成して，それを以て発注者との施工案を




図―２　排水管取り付け工事に関する協議



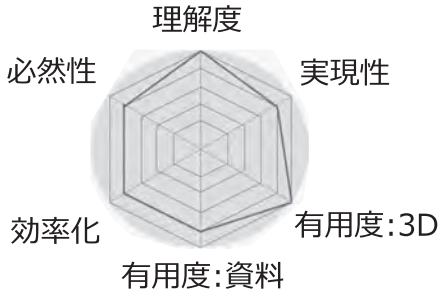

図―３　盛土Ｕ字溝工事の２次製品採用協議

合意した。

また，盛土 U 字溝工事の 2 次製品の採用に関する協議（**図―3**）を行った。施工において，工事短縮及び性能確保の為に，桝と U 字溝の 2 次製品の採用を提案した。その場合の施工前と施工後を 3D イメージで確認し，さらに施工後については，1：1 で表示する事で，協議の合意を図った。

## 5. 発注者評価及びコメント

2D 図面だけだとなかなかわかりづらいが，3D イメージで見るとわかりやすい。図面を見てから 3D イメージを見るとさらにわかりやすく，協議の目的は十分に達成できる。今後 ICT 化が進み，図面の 3D データ化が進めば，会議時間や移動時間の削減など，作業効率化も図れる上に，施工の品質も上がると思う（**図―4**）。




図―4　発注者の評価

## 6. 今後について

〈建設業界全体に展開し，貢献する〉

このように「Holostruction」を進めていくことで，建設業界における透明性，安全性，生産性を高めることにつながり，建設業が抱えるさまざまな問題を解決することができる。

この活動を通じて，建設業界全体でデジタル技術による変革（デジタルトランスフォーメーション）が加速し，政府の進める i-Construction の実現を後押しできるものと考えている。

建設業の課題が一つ一つ解決されていき，建設現場に従事する人，一人一人の意識や働き方に変化がもたらされ，業界全体のイメージが向上し，若い人材にとっても魅力のある業界になることを目指している。

JCMA

[筆者紹介]
青木　悠（あおき　ゆう）
小柳建設㈱

交流のひろば/agora—*crosstalking*—

# C⁴I にみる ICT 施工の未来

岡 本 直 樹

情報化施工に使われている ICT の要素技術は，軍用で開発されたものが多く，軍用 ICT 技術は C⁴I（C Quadruple I）に結実している。そこで ICT 施工の未来を探るために，軍用 ICT 技術の分野と技術を覗いてみる。そして，C⁴I 誕生の経緯と具体的な適用事例として F35 戦闘機を詳述解説する。また，10 式戦車や海軍艦艇の C⁴I についても触れ，最後に米海軍の無人水上艦の配備計画等を付記した。
**キーワード**：C⁴I，C³，RMA，JTIDS，CIC，CEC，センサ融合，ICT，i-Construction，情報化施工

## 1. はじめに

1950 年代の米海軍艦内の戦闘指揮所 CIC では，刻々と変化する対空戦況をクリアボード（**写真—1**）に表示していた。機械化施工を指揮していた若い頃，重機群のマヌーバ（機動）をプロティングボードに自動表示するのを夢見ていたが後年，GPS の登場によってそれは実現された。

写真—1　CIC のクリアボード

古代から技術は軍事が先導してきたが，後年，軍事技術の対義語として Civil Engineering が生まれた。近年，ビジネス界ではデジタルトランスフォーメーション（DX）によって，政府においては Society5.0（超スマート社会）を標語にデジタル革命が推進されている。土木分野では ICT を活用した情報化施工が i-Construction へと深化して，デジタル化を加速させて社会実装を進めている。情報化施工を推進させている技術は，GPS，DTM，3D-CAD，インターネット，クラウド，Wi-Fi（スペクトラム拡散），データリンク，ミリ波，ドローン，AI 等の要素技術を活用しているが，DARPA（国防高等研究計画局）等で生まれた軍事技術からのスピンオフ技術が多い。i-Construction の先，ICT 土木情報化の未来は，先進の軍事情報化技術 C⁴I を観れば，垣間見えて来る。

## 2. 軍事の ICT

軍事作戦の根幹は指揮・統制（Command・Control）であり，情報・通信が重要となり「情報の優越」による機動が勝敗を決する。この基本的考え方の基に RMA（Revolution of Military Affair）は構築されているが，ハイテク化と革命の進展の背景には，各種センサとコンピュータを組合わせた各システムとそれらを結びつけるネットワークがある。これら各種システムの統合化が System of Systems（SoS）であり，ネットワーク中心戦 NCW の考え方になる。そして，軍用 ICT の分野と技術には，以下のようなものがあるが，解説は省略する。

- 情報収集：C⁴ISR，光学センサ（可視光，赤外線）赤外線捜索追跡装置 IRST，LiDAR，レーダ（アレイレーダ，合成開口レーダ，音響センサ，SAR，レーダ警報受信機 RWR
- 兵站支援／Logistics
- プラットフォーム：航法・誘導，無人化
- 射撃指揮：センサ融合 sensor fusion，データ融合 data fusion
- 電子戦：ESM，ECM，RWR，チャフ，デコイ，COMJAM，ELINT，COMINT，SIGINT
- サイバ空間と宇宙空間：サイバ戦，マルウェア
- ウェポンシステム：誘導

・コンピュータ：COTS 化，Ada，$C^{++}$
・通信：衛星通信，秘話通信，スペクトラム拡散通信，車間通信
・ネットワーク，情報共有：データリンク，Link11，Link22，Link14，Link16，JTIDS（統合戦術情報通信システム）
・指揮統制システム：NTDS（海軍戦術情報処理），CIC，SAGE，AWACS，$C^4I$

## 3. $C^4I$

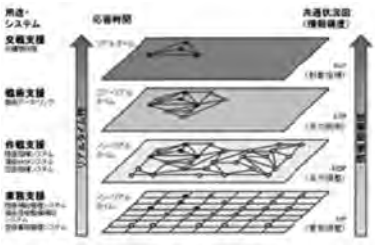
1991 年の湾岸戦争が最初の情報戦 Information Warfare の場であったと云われている。米軍は 1990 年代から情報を原動力とした軍事革命を起こし，更に国防体制の大変革（Transformation）が進行中である。System of Systems（S-o-S）を提唱したオーエンス海軍大将も情報優越と $C^3$（指揮・管制・通信）があれば無敵であるとしている。

著者は電子装備に興味があり，70 年代からは米海軍の $C^3$（C キューブド）に注目していたが，80 年には専門誌に $C^3$ システム特集が組まれたのを覚えている。$C^2$（Command, Control）が $C^3$（＋Communications）となり，1987 頃から $C^3I$（＋Intelligence）に，1990 年代は $C^4I$（＋Computer）に進化して，偵察・監視を含むと $C^4ISR$（＋Serveillance，Reconnaissance）と称している。

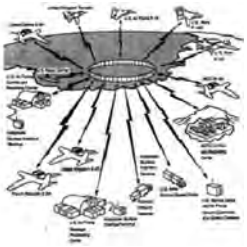
ネットワーク中核戦 NCO は，世界に展開する陸海空軍の戦力を個々の兵士から総ての兵器をネットワークで繋いで，戦略統合作戦を行う概念である。そして，この概念の中核が 4 階層ネットワーク（**図―1**）による $C^4I$（C Quadruple I）である。下層から業務支援／ロジスティックス，作戦支援／兵力調整 COP，戦術支援／兵力統制 CTP，交戦支援／射撃指揮 FCP の順に階層が上がり，上層ほど情報精度が上がり，応答性もリアルタイム性が求められる。古来より戦場における指揮官の課題は，Fog of War（戦場の霧）と Friction of War（戦場の摩擦）である。$C^4I$ はこの課題解決のために共通作戦状況図 COP と共通戦術状況図 CTP を提供して，指揮官の正しい意志決定を支援するが，リアルタイム性を求められるその手順は OODA ループ（Observe-Orient-Decide-Act：**図―3**）で行われる。因みに，近頃はこの OODA ループがビジネス界でも注目されている。

### (1) F-35 の $C^4I$

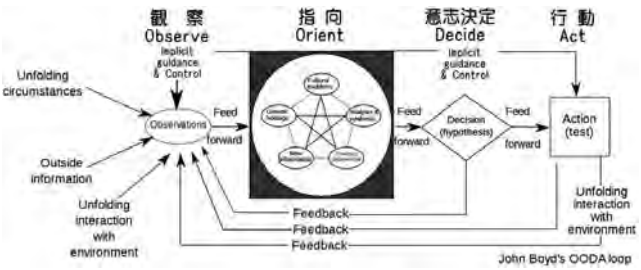
$C^4I$ の運用例として，先進の F35 の $C^4I$ から始める。F35 は，空母化されるいずも型護衛艦の搭載機として



図―1　4 階層ネットワーク



図―2　JTIDS




図―3　OODA ループ

写真―2　計器類のグラスコクピット化

や最新鋭機の墜落事故で話題になっているが，第 5 世代戦闘機として先進の $C^4I$ を装備している。戦闘機の計器類は第 4 世代機からグラスコクピット化（**写真―2**）が始まり，民間機にも波及して，近頃は建設機械にも採用されている。また，軍用機は CNI（通信・航法・識別）装置を装備し，通信器は秘話機能とデータリンクを備えている。飛行間データリンク IFDL は編隊他機の情報を共有し，目標の配分を行える。また，JTIDS（統合戦術情報分配システム：**図―2**）は，AWACS（空中警戒管制システム機）や地上指揮所や司令部との情報共有で戦域的な作戦が行える。航法装置は，レーザ式ジャイロに GPS を組合せて，敵味方識別装置も装備している。F35 の主要センサは，AN/APG-81 レーダ，AN/AAQ-40 電子光学目標指示システム EOTS，AN/AAQ-37 電子光学開口分散システム EO DAS の 3 つを装備し，重要な情報を選別して「センサ融合」による統合画面に表示する。前述の IFDL による他機のセンサ情報も融合して，切れ目のない戦闘が行える。

また，F35 は完全なグラスコクピット化がほぼなさ

れていて，操縦席正面に 19.6 × 8 in の大型タッチスクリーン（**写真**―3）を左右 2 分割して，飛行情報，機体状態，戦術状況，兵装，地図，センサ映像等を画面切替えや多分割に表示する。**写真**―3 の左は戦術情報を占有表示，自機全周をカバーした他機等のデータリンク情報をまとめて表示しているが，逆合成開口レーダ ISAR による目標機種判別機能 NTCR を備えていると思われる。メニューはタブ表示，右側は 2 分割で，その左の EOTS のセンサ映像表示と右が平面地図表示である。右下は 4 分割で兵装管制画面等を表示している。EOTS は，赤外線センサとレーザセンサを統合した電子光学的目標指示装置で，電磁干渉フィルタ，ジンバル，高速ステアリング鏡 FSM 等で構成されていて，機首下部の透明フェアリング内に納められている。

写真―3　F35 のタッチスクリーン

従来の戦闘機は，照準と飛行情報を HUD（Head Up Display）に表示しているが，F35 では HUD を廃してヘルメットのバイザーに投影表示する HMDS（Head Mounted Display：**写真**―4）を採用している。この第 3 世代 Gen Ⅲ ヘルメットは，更に高度な目標指示情報や EO-DAS 映像を提供でき，パイロットが顔を向けた機体下方や後方を透視してバイザーに表示でき，全方向視界が得られる。また，F35 は早期警戒機 E2D と同様に NIFC-CA（海軍統合火器管制）の空中センサとしての機能を具備していて，艦艇の超水平線の脅威に支援対処できる。尚，AWACS 空中警戒管制機の導入時は，なかなか使い熟せなくて慣熟に時間が掛かった経緯があるので，F35 では緻密な慣熟訓練による迅速な戦力化が望まれる。

写真―4　F35 の HMDS

写真―5　F35 コクピット

### (2) 10 式戦車と陸の C⁴I

陸は空海に比べて C⁴I の導入が遅れていたが，10 式戦車は，初めて C⁴I を装備した陸自の戦車である。ネットワークにより指揮所との情報共有，リアルタイム車間情報融合により，僚車への目標割当て等の迅速な指揮が可能である。師団等指揮システム FiCs，火力戦闘指揮統制システム FCCS，対空戦闘指揮システム ADCCS，野外通信システム等のネットワークと連携することになる。UAV による上空からの偵察・監視映像も共有している筈であるが，モニタ画面等は防衛秘で公開されていないので，表示内容，表示方法等の詳細は不明である。

写真―6　統合 C⁴I イメージ

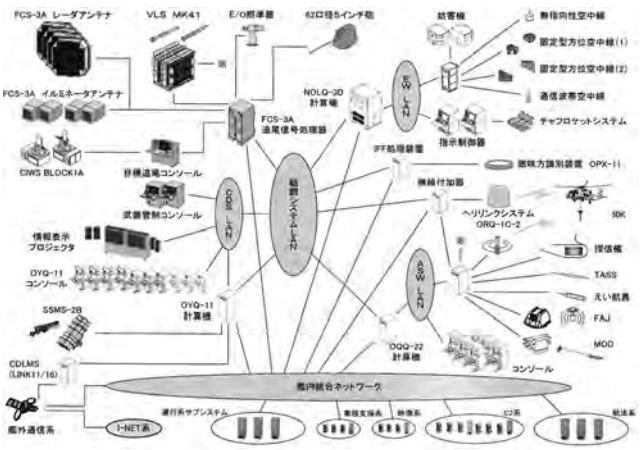
### (3) 海軍の C⁴I

C⁴I は航空，陸上でも装備が拡がっているが，先行していたのは大型プラットフォーム（艦艇）で搭載が容易だった海軍であり歴史が長い。そして，海自の情報システム化は，ゆき型からシステム艦の配備が始まり，イージス艦の導入により情報収集能力が飛躍的に向上した。更に，新造のまや型では共同交戦能力 CEC が付加される。**写真**―7 は米海軍のイージス艦の CIC であるが，CIC は機密度が高く，許可を得た乗員しか入室できない。写真のスクリーン画像も見学者用の無難な画面で，実際の画面は機密である。

自衛艦のマスト（**写真**―8）は，電子戦装備でいっぱいである。多用途のレーダや ECM，衛星通信アン

写真―7　イージス艦の CIC

写真―８　艦橋のアンテナ（センサ）群




図―４　護衛艦の統合ネットワーク

テナ等が密集している。これらのセンサ群と通信設備が C⁴I の情報収集を担っている。**図―４**は新型汎用護衛艦のウエポンシステムを繋いだ艦内統合ネットワークを示している。これからの自衛艦は，レーダでもソナーでもアクティブ探査が自身を暴露するので，発信艦を限定してマルチスタティック探知によるセンサ融合を行う。

さて，米海軍では共同交戦能力 CEC の実装が進んでいるが，レーダ等を装備せず，VLS（垂直発射ミサイル）500 セルだけを搭載したアーセナル艦を配備し，僚艦から遠隔発射する構想もあったが断念された。

また，米海軍には艦艇のロボット化構想があり，中型無人水上艇 MDUSV を試験中である。そして，2000 t 級大型無人水上艦 LUSV を 2020 年から 5 年間で 10 隻を建造する計画がある。その用途には，レーダピケットや対空・対潜兵器等の運用があり，共同交戦能力 CEC を付与して有人艦艇との艦隊行動がある。また，DARPA が研究を開始して ONR（海軍研究所）も参画している XAI（eXplainable AI：説明可能な AI）を搭載しそうだ。現在の先進 AI である深層学習は，推論過程を説明できないが，これは敵の探知・追尾から迎撃に至る過程の根拠を説明できるものである。

## 4. おわりに

米軍の先端技術は，同盟国とのインターオペラビリティ（共同作戦）により自衛隊に移転してくるが，やがて民間にも波及して概念や部分技術が利用される。情報化施工におけるローラ転圧管理システムにおいて，データリンクによる車間情報共有が実装されたとき，C⁴I に倣っているなと思ったものである。

さて，i-Construction 等の ICT 施工では，リアルタイム処理とニア・ノンリアル処理をエッジ側とクラウド側に分けて集中・分散処理を行っている。MMI（マンマシン・インタフェース）として軍用 GUI（Graphical User Interface）がリアルタイム性向上の参考になるが，やがてセンサ融合やデータ融合も取入れられて，4 階層ネットワークの捉え方や OODA ループも取入れられて来るに違いないし，その他にも示唆に富むものは多い。

最後に紙幅の関係で C⁴I の一部しか紹介できなかった点と専門用語が多く，その解説も満足にできなかった点をお詫びする。しかし，施工情報化の参考にするため，C⁴I の入門書を読む切掛となって頂ければ幸いである。

JCMA

《参考文献》
1）大熊康之：軍事システムエンジニアリング，かや書房，'06.11
2）井上孝司：戦うコンピュータ（V）3，潮書房光人社，'17.2
3）青木謙知，F-35 完全教本，秀和システム，'18.8
4）P.W.Singer:,Wired for War,Penguin Books, '09.
5）「世界の艦船」各号，海人社，1980 ～ 2019
6）「軍事研究」各号，ジャパン・ミリタリ・レビュ，1995 ～ 2019
7）USAF，US Navy，防衛省：資料

［筆者紹介］
岡本　直樹（おかもと　なおき）
建設機械史研究家

ずいそう

# ブラジル

船 戸 正 啓

## 1. はじめに

2019年4月にブラジルより海外駐在の任務を終えて帰国しました。3年前の1月末に，ブラジルのサンパウロ州スザノ市にあるKomatsu do Brasil（以下KDB）という，コマツの建設機械を生産している関連会社に赴任しました。海外赴任は初めての経験だったのですが，それまで3度経験していた国内転勤と同様に，家族を帯同し赴きました。海外赴任の話は当初，北米にある関連会社へという話で，家族会議を重ねて家族帯同を決めました。その後，なぜか赴任先は南にスライドし，南米のブラジルになりましたが，家族会議の決議はそのままとし，半ば強引に家族帯同としたものです。赴任期間は3年と少しという，あっという間でしたが，無事に帰って来られた今思うことは，家族ともども海外で生活するという貴重な経験を得ることができ，本当に良かったということで，思い出等を少しだけ記します。

## 2. ブラジルでの仕事

20 tonクラスの油圧ショベルベースのハーベスタマシン（林業伐採機械）の生産販売開始のプロジェクトでした。

ブラジルでは林業が盛んであり，大手の製紙メーカは広大な土地に，成長速度が極めて速い苗，主にはユーカリを植林し，これを伐採，原材料としてパルプの生産を繰り返しますが，その植林を伐採するための，油圧ショベルをベースとする車両の新モデルの生産開始というミッションがKDBに課せられており，赴任して早々，この仕事にあたりました。

この車両の開発は日本のコマツが進めており，最終仕様の試作車をこの製紙メーカの林業現場で稼働試験し最終評価する必要があり，その準備，手配や，営業部隊とのやり取り，試作車の輸送，搬入，日本から出張で来たコマツ技術者のユーザ稼働試験立会いのアテンドなどに奔走しました。おかげで，実際の林業現場でコマツの機械に限らず，競合他社の機械が稼働している現場を，また，巨大な設備を有する大手製紙メーカの製紙工場を見学できました。また，林業現場の他の作業ですが，ブラジルらしく，安い人件費に物を言わせて多人数で人力による植え付け作業しているところなども見ることができました（赴任終盤は，この作業を機械化する新モデルのプロジェクトにも携わることができたのですが，その完成は後任者に引き継ぎました）。

上記のユーザ稼働試験後，その際に出た製紙メーカの追加要望をコマツの開発部隊へ連絡し，何とか量産1号機から織り込んでもらえるようコマツに依頼するのに苦労しました。そのモデルは開発中だったのですが，ブラジルを代表する大手の製紙メーカと，販売会社を通じて既に大型の受注，契約済であり，初号機の納入時期も決定し，約束済だったため，リードタイムがない状況での調整，依頼だったからです。

コマツの林業機械はブラジル向けだけではありませんが，この機種はブラジルでの使用を主対象とした車両でしたので，開発は日本のコマツでも，販売先，稼働試験が可能な場所はブラジルしかなく，生産もコマツ関連会社の中でブラジルのKDBのみというプロジェクトであったため，経験することができた苦労といえます。

今考えてみると，来たばかりで言葉も解らない駐在員初心者をフォローし，仕事を理解させて進めるようにして下さった，KDBに限らない関連会社を含めた，多数の現地スタッフ，さらに受け入れて下さったユーザ側の方々に多大な苦労をおかけしたはずであり，これがなければ，仕事は進まなかったに違いなく，今さらながら感謝しているところです。

## 3. ブラジル，たわいもない事

赴任前は，ブラジルといえば，サンバの国，カーニバルでは皆1年間貯めたお金を全て衣装に注ぎ込み，踊り狂う，あと，サッカー強い，や，地球の裏側，という偏ったイメージを持っていました。

まず，カーニバルですが，赴任早々この時期だったので，赴任前から前任者にチケットをとってもらい，見に行くことができました。が，皆が皆，踊りに，ま

たは見に行くわけでなく，テレビで視聴という人も多く，見ないという友人もいました。

サッカーについては，さすが熱心に応援している方が多く，日本の野球よりも盛んだと思います。私も家族と何度か観戦に行きましたが，観客はなかなか気合が入っており，相手チームの選手をすさまじく罵倒する輩もいて，横にいると危険を感じます。

地球の裏側ということについては偏見ではなく正解ですが，実際に往復すると，さすがに裏側だけあり，こんなに飛行機などが発達した時代でも，出発から到着まではかなりの時間を要することを体感し，物理的遠さを実感させられます。

ブラジルへは，飛行機で，ヨーロッパまわり，中東まわり，北米まわりと，地球の様々な方向から行くことができますが，直行便はないので必ずトランジットが必要です。フライト時間は通常 10 時間オーバーの 2 フライトで 1 回乗継ぎます。ざっくりと，フライト 12 時間＋トランジット 4 時間＋フライト 12 時間（日本国内の出発場所により国内で，＋トランジット 4 時間＋フライト 1 時間など）とうところで，ドアトゥードアで 30 時間はかかります。日本―ブラジル往復は，ブラジルで1泊だけして帰ってきても5日間必要です。しかも，時差は昼夜全く逆の 12 時間あります。

以前は 10 時間を超えるフライトは疲れるなと感じていましたが，3 年強のブラジル赴任中に年に 2 度ほど日本出張や一時帰国のための往復を経験すると，10 時間を超えるフライトであっても，それが 1 本で済むような行き先であれば，なんと楽なんだろうと感じられるようになりました。

これらとは逆に，赴任前にイメージがなかったこととしては，ブラジルのサンパウロには裕福な人が多いということです。娘の同級生の誕生日パーティーでも，かなり裕福な家族に招かれました。広大なリビングルームに外から巨大なガラスの下でつながるプールがあり，プールの中にはバーカウンターの椅子，使用人に注文すれば，ビールサーバから生ビール，ブラジルのカクテル“カイピリーニャ”など，大概の飲み物が頼めます。日本ではなかなかお会いできない階級の方々に感じられました。このようなパーティーは日本より多く行われるようで，サンパウロ市内の高級アパートにはパーティールームがある物件が多く，有料ですが入居者はしばしばパーティーに使用します。息子も何度か学校の友人のアパートに誘われ，夕方に私は彼を自動車で友人宅に送りとどけ，次の朝に回収してきたものですが，パーティールームに併設のプールに飛び込んで夜を明かすなど，楽しく過ごしていました。これに負けじと我々駐在員も，たまには頑張ってパーティールームを借り，料理人や支給人を手配して食事会を開き親睦を図りました。変わり種は，息子の学校の課外イベントで‘バス’パーティーなるものがあり，参加した息子に聞くと，バスの中がまさにディスコやクラブのようになっているようです（お酒はさすがに出ないらしいですが）。街中でもそのようなバスが走っているのを見ることができますが，窓はほぼ塞がっていて，しかし，大音量のラップやダンスミュージックを漏らしながら，ゆっくり街中を流しています。なぜバスか，なぜバスは走らなければならないか，最後まで私には理解できませんでしたが。

写真―1　息子とサッカー観戦

このように住んでいたところが大都会のサンパウロということで，裕福な人々の生活を垣間見ることができたように思いますが，その真横（街中）には，私の小さい頃，大阪の天王寺などでよく見かけたような物乞いの姿も多く見られ，貧富の差を考えずにはいられません。最近では天王寺に行ってもあまり見られなくなっているので忘れていました。

1 ～ 2 泊の小旅行で田舎の民宿（？一応ホテル）のような施設に何度か行きましたが，現地のレストランや宿泊は信じられない程お安く，経済の差を感じさせられました。

また，海外駐在の経験のある皆さんには当然のことかもしれませんが，通貨レートは多少の上がり下がりは当然ありますが，その比率で考えるとかなりのもので，いざ自分の給与等の送金などで実感するとその浮き沈みは，“非社会的集団”的な世界のように感じられます。

長くはないブラジル駐在でしたが，資本社会，経済社会とは何ぞや，を感じさせられ，考えさせられ，実感したという側面もあり，貴重な経験だったと思います。

――ふなと　まさひろ　コマツ　開発本部――

ずいそう

# 田園風景の想い
## スマート農業と建設業

水 澤 和 久

我が国は，少子高齢化を迎え，特に中山間地では急速に人口減少と高齢化が進み「限界集落」と言われ，自然豊かな田園風景（**写真**―1）が荒廃し，国土は自然災害等に弱くなっている。

国土保全対策に維持管理予算の増大が見込まれる一方，国債残高が1000兆円を超え，一般会計の赤字国債発行と厳しい財政状況で公共投資の抑制が続いている。

我が故郷，地方の農業分野では，基幹的農業従事者の平均年齢は67歳で，65歳以上が6割以上と後継者不足，高齢化が進行している。

このため，農地を耕すことが出来ず農地の荒廃化が深刻な問題で，私の心も苦しい思いがする。

農業現場の現状は農業トラクタをはじめとした農業機械の操作等，熟練者でなければできない作業や機械化が難しく手作業に頼らざるを得ない危険な作業，きつい作業が多い。そのため若者や女性の参入の妨げとなっている。また1経営体当たりの平均経営耕作面積が2.5 haと小規模農場が多く，省力化，人手の確保，労力負担軽減が求められている。

このような状況の中で，如何に農業技術を継承し，ロボット技術やICT等の先端技術を活用し，省力化や高品質生産（特A米コシヒカリ）などを可能にする新たな農業（スマート農業：出典農林水産省webサイト）を進めるかが課題であり，建設分野に携わるものとして，スマート農業を考え，取組事例を紹介する。

**スマート農業の活用例**

1. 生産管理の高度化（水田管理システムの活用）

①水田水位などのセンシングデータと気象予測データ等を集約し，アプリケーションソフトを活用して水田端末等で給水バルブ・落水口を遠隔又は自動で制御するシステム化を図り水管理の最適化及び省力化することにより労力の削減とコメの品質向上を図る。

②ドローンに搭載した特殊カメラを用いてセンシング技術により葉色や近赤外線画像(たんぱく質量)等のデータにより育成状況を診断し「圃場のバラつき」をマップ化する。

③熟練農業者の農業技術（ノウハウ）をICT技術により農産物の生育や病害を正確に予測し，データから施肥計画・農薬計画を行い，ドローンを活用した元肥・追肥，農薬散布を実施し，重い動力散布機を背負った作業からの負担低減や品質向上を図る事ができる。

2. 生産技術の自動化（自動運転田植機：**写真**―2，無人草刈機ロボットの活用）

①直進と旋回の大幅な速度アップを可能とする自動操舵システムを開発し，機体前方にRTK-GNSSのアンテナの受信機を備え，自機の位置を数cm測位精度で把握する。田植作業と苗供給を1人で行い，人間とは違い疲れを知らないため，高い作業精度を維持しながら能率向上を図る事が出来る。

写真―1 棚田の田園風景

写真―2 無人作業中の自動運転田植機
※出典：井関農機㈱webサイトより

②田植え機に限らず無人草刈機ロボット等農機全般の自動運転技術として活用出来る。

3. 人工知能（AI）・ICT 等の活用
（熟練農業者の高度な生産技術の見える化）

①農業者の技術向上や新たな技術習得のために熟練農業者の「経験」をデータ化し，技術・判断を継承するとともに新規就農者の学習に活用することなどに活用出来る。さらに，消費者が求める安全・安心ニーズに応える情報提供するシステムにも活用出来る。

今後，農地の集約化を含む基盤整備や維持管理，農業法人の起業などの取組も重要である。地方の厳しい経営にある建設分野は農業分野と連携を図り，田園風景を守るとともに，儲かる農業を目指すには，スマート農業と建設分野が進める i-Construction の取組拡大が重要と考える。私は若者が農業分野や建設分野に参入し，スマート農業を発展させ，地方の活力ある田園風景をいつまでも見ることを心から想っている。

《参考文献》

「スマート農業の展開について」：農林水産省 web サイト

――みずさわ　かずひさ　範多機械㈱　次長――

令和元年度

# 日本建設機械施工大賞 受賞業績

日本建設機械施工大賞は，我が国の建設事業における建設機械及び建設施工に関する技術等に関して，調査・研究，技術開発，実用化等により，その高度化に顕著な功績をあげたと認められる業績を大賞部門として表彰し，地域賞部門は，従来の施工方法・技術を改良したり，地域に普及させるなどの取り組みを通じて地域へ貢献している業績を表彰し，もって国土の利用，開発及び保全並びに経済及び産業の発展に寄与することを目的としております。

令和元年度は，大賞部門には 9 件，地域賞部門には 4 件の応募があり，その中から日本建設機械施工大賞選考委員会（委員長：深川良一　立命館大学教授）において厳正な審査を行った結果，下記のとおり，大賞部門で 4 件，地域賞部門で 2 件が選考され，去る 6 月 11 日に開催された当協会創立 70 周年記念式典にて表彰されましたのでご紹介致します。

なお，誌面の都合上，一部表記を原文とは異なる表現とさせていただいておりますことをお断りします。

## 受賞業績及び受賞者

### ■大賞部門

**最優秀賞**

・ダムコンクリート自動打設システムの開発

清水建設㈱

長期（約 30 年）にわたる，一連の大規模施工システム開発であり，努力の跡が見られる。省力化，技術者不足対策効果が認められる。長年にわたる技術の集大成であり，総合力を感じる提案である。ダム建設の生産性向上に貢献できる優れた技術であると判断するなど，多くの委員から高く評価された。

**最優秀賞**

・新たな山岳トンネル施工方法への挑戦
　―国内初フルオートコンピュータジャンボの導入―

鹿島建設㈱

熟練技術者の施工技術をデータ解析により見える化し，IoT 技術によりシステム化した，省力化・技術者不足対策効果が見込まれる技術開発。基本はメーカーの技術であるが，その導入効果は大きいと考える。トンネル施工現場の生産性を向上させる興味深い提案である。海外の高性能機械の導入事例としては意義があるなど，多くの委員から高評価が得られた。

**優秀賞**

・作業員と建設重機との接触を防止する安全装置「クアトロアイズ」

㈱大林組

接触事故の原因分析を通し，作業員を自動検知する方法や事故発生確率が高い場合の強制的停止など現場ニーズを満たした技術開発。建設施工の自動化に貢献する技術提案である。安全な停止方法の検討が進み，発展することが期待されるなどが，評価された。

**選考委員会賞**

・不整地運搬車（クローラキャリア）の自動走行技術の開発

㈱熊谷組
国土交通省九州地方整備局熊本復興事務所

重機の自動運転は，技術者不足対策や安全対策効果が期待される。無人化施工に有益な技術。一人で複数台の重機を管理できるので，生産性の向上が見込める。自動走行を着実に前進させている点が高く評価できる。遠隔操作技術の発展適用として有意義であるなど，特に秀でた特徴を有する点が評価された。

## ■地域賞部門

### 地域貢献賞

・「アスファルト目地注入機」を使用した「舗装クラック注入工法」

㈱近藤組

舗装表面のひび割れ早期対策技術として汎用性がある。機械を小型化するなど，省力化にもつながる施工技術。道路の維持補修に有益な技術であると考える。技術提案にローカル性が感じられ，興味深いなど，地域への貢献度が高く評価された。

### 選考委員会賞

・転圧ローラのブレーキアシストシステム開発

鹿島道路㈱

接触事故対策としてのステレオカメラセンサに加え，オペレータに配慮した自動制御システムを開発するなど，建設業者に配慮した技術開発。警報のみならず自動停止するシステムとして今後の発展が期待されるなど，特に秀でた特徴が評価された。

大賞部門　最優秀賞

# ダムコンクリート自動打設システムの開発

清水建設㈱

**業績の概要**

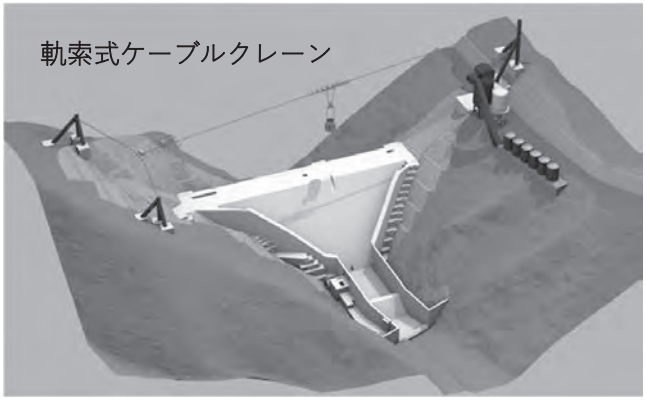
ダムコンクリート自動打設システムは，軌索式ケーブルクレーンを利用するダムコンクリートの打設工事を対象に，コンクリート製造設備への材料供給，コンクリートの製造（練混ぜ），運搬台車（トランスファーカ）による運搬，軌索式ケーブルクレーンによる運搬・打設の工程を一貫して自動化するものである。コンクリートの打設に先立ち，コンクリートの運搬先となる打設位置の 3 次元座標，コンクリートの配合種別，数量等の打設計画を作成し，この計画データをシステムに入力するだけで，骨材・セメント貯蔵設備，コンクリート製造設備，トランスファーカ，コンクリートバケット，軌索式ケーブルクレーン等の各設備が連動して，一連の作業を完全自動で行う。

**業績の特徴**

軌索式ケーブルクレーンは主索，調整索等，多数のワイヤーの制御が必要であり，3 次元的な位置座標を把握することが難しかったが，各種ワイヤーの巻き出し量から 3 次元位置を確定するに至り，自動運転を達成することができた。また，本システムは各種機械の施工状況信号を制御コンピュータで集中管理することで，一連の作業の完全自動化を達成した。

本システムを導入し，打設を自動化することにより，コンクリート打設 1 サイクル当り 20 秒，約 10% の時間短縮が可能となるとともに，作業人員を総勢 15 人から 10 人と 2/3 程度に削減可能である。また，熟練技能が必要である軌索式ケーブルクレーンの運転が自動化されることにより，経験の少ないオペレータでも熟練オペレータと同等な作業が可能である。

本システムの開発に付随して，コンクリート打設状況を「見える化」するダムコンクリート総合管理画面を作成，導入した。本画面は，各設備から出力される動作信号から，打設進捗状況をリアルタイムに確認可能である。



大賞部門　最優秀賞

# 新たな山岳トンネル施工方法への挑戦
## ―国内初フルオートコンピュータジャンボの導入―

鹿島建設㈱

**業績の概要**

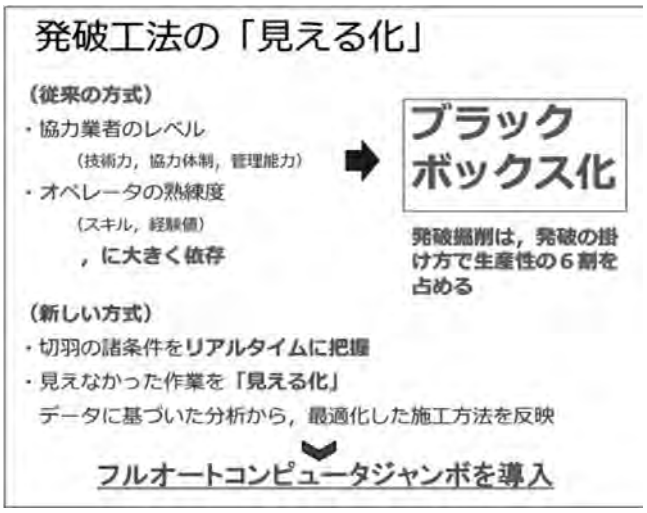
山岳トンネルの長大化は進み，高速施工のニーズはますます高まっており，切羽における装薬時の穿孔時間の縮減と，トンネル掘削断面の余掘り低減が重要となっている。そこで，5,000 m 級長大トンネル工事に，日本で初めて 4 ブームフルオートコンピュータジャンボを導入し，4 基のブームの穿孔作業を専任オペレータ 1 名で行うとともに，穿孔時間の短縮と余掘りの低減を図るため，新たな山岳トンネルの施工方法に挑戦した。

**業績の特徴**

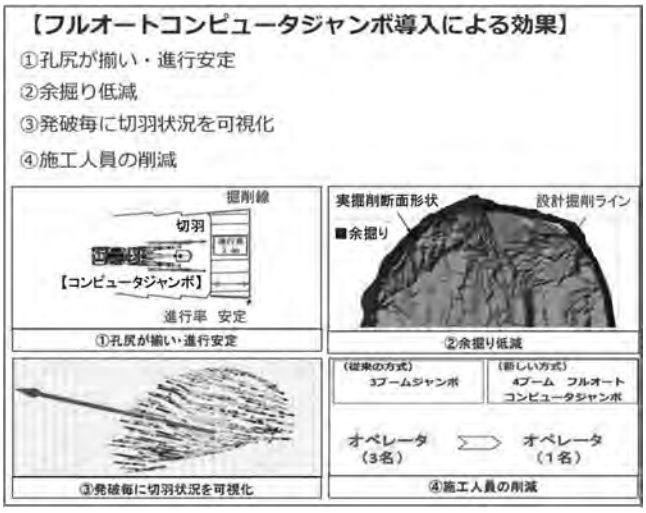
「新たな山岳トンネル施工方法への挑戦」として，トンネル工事の発破用穿孔から一連の作業を自動化する技術開発を行った。フルオートコンピュータジャンボの導入により，①穿孔を作業員の技量に関係なく一定の精度により行うこと，②穿孔圧力の適正な制御により余掘量を適正に管理すること，③穿孔データの自動収集機能により地山状況を可視化すること，④施工人員を減らし省力化すること，を期待している。

従来，作業員の熟練度に依存したブラックボックスの部分を，データに基づく分析から最適穿孔パターンを導き出し，コンピュータの自動制御によって計画通りに正確な角度・長さで穿孔することにより，余掘りを 40％低減して生産性を向上させた。

また，フルオート機能により，専任オペレータ 1 名による作業を実現し，省力化するとともに穿孔時間を 1/2 以下に縮減して自動化への道を拓いた。




発破工法の「見える化」




フルオートコンピュータジャンボ導入による効果

フルオートコンピュータジャンボ

操作画面（キャビン内）

ロックボルト穿孔状況

大賞部門　優秀賞

# 作業員と建設重機との接触を防止する安全装置「クアトロアイズ」

㈱大林組

**業績の概要**

「クアトロアイズ」は，バックホウやバッテリ機関車など現場の重機に取り付け，名前の由来となった「4 個のカメラ」により検出された作業員が，任意に設定した 10 m 以下の距離に近づいた場合に警報，さらに近づいた場合に重機を強制的に停止させる機能を有する安全装置です。例えば 8 m 以内に人が近づいた場合に警報を発報し，さらに作業員が近づいて 4 m 以内に来た時にはバックホウを強制的に停止することができるシステムです。

**業績の特徴**

クアトロアイズは AI による人の認識をいち早く取り入れたシステムです。従来の画像認識技術では難しかった人の一部，例えば頭部などだけを見て人と認識することができます。（下図）現場では様々な作業姿勢，大きなものを運んでいる状況などが考えられますが，AI による高い認識能力により人を発見することができます。また取り付ける重機の種類により，例えばバックホウであれば設定した距離以下に人が立ち入った場合は自動停止する，またバッテリ機関車など強制的に停止することで荷崩れを起こし危険性が高まる恐れがある場合はパトライトや大きな警報を鳴らすことでオペレータに注意喚起するなど様々な使い方ができます。視野角は 180 度と広く一台でバックホウの死角の大部分をみることができるものとなっております。

大賞部門　選考委員会賞

# 不整地運搬車（クローラキャリア）の自動走行技術の開発

㈱熊谷組，国土交通省九州地方整備局熊本復興事務所

**業績の概要**

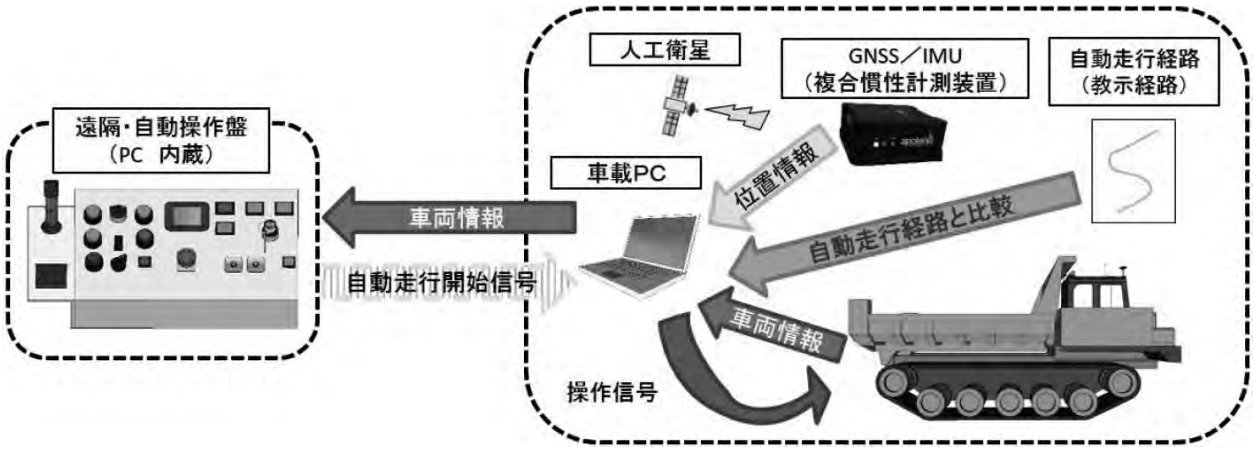
迅速な災害対応を実現し，一人当たりの労働生産性を向上させるために，無人化施工での不整地運搬車の自動走行技術を開発し，現場運用を実現した。高精度の慣性航法装置と制御技術により，オペレータが不整地運搬車を遠隔操作したデータを車載 PC が記憶し，これをもとに自動走行を行う。被災現場の難しい施工環境でオペレータの負担を軽減し，安全性と生産性を向上させた。

**業績の特徴**

本技術は，阿蘇大橋地区での災害対応で成果を上げた「ネットワーク対応型無人化施工システム」を基盤として，構築された i-Construction 実現のための自動走行技術である。その特徴は，被災現場の厳しい条件下でも安定して運用できることを考慮して開発された実用性の極めて高いものである。

自動走行は，様々な現場環境に対応するため，オペレータが遠隔操作で最適な経路を作成し，その教示データを車載 PC に記憶させる。自動運転モード時は，車載 PC に記憶した教示経路と自車の位置とを比較し，その差を自動制御しながら，忠実に自動走行する。

この技術を利用して，阿蘇大橋地区斜面対策工事では，自動走行不整地運搬車 2 台，遠隔操作式建設機械 1 台による土砂積み込みから搬出までの一連作業を，オペレータ 1 名により稼働させることが可能となり，生産性向上が図れることが実証できた。



地域賞部門　地域貢献賞

# 「アスファルト目地注入機」を使用した「舗装クラック注入工法」

㈱近藤組

## 業績の概要

昨今，我々建設業に携わる全ての技術者に，国民の「安心・安全社会の実現」に向けた「既存インフラの維持・整備」の方向性が問われている。その中で，弊社では，「舗装クラック注入工法」により，アスファルト舗装の代表的な変状である「舗装表面のひび割れ（線状・亀甲状）」を早期に手当てすることで，インフラの安心・安全，更には道路舗装のライフサイクルコストの低減，道路の延命化を実現している。

## 業績の特徴

「舗装クラック注入工法」は，新規に開発した機動性に優れた小型軽量な「アスファルト目地注入機（L = 1,271 mm, W = 650 mm, H = 1,152 mm, 重量 160 kg, 釜容量 50 L）」を使用し，小規模な範囲や点在する舗装の「線状クラック」に直接「シール材」を熔解・注入する技術である。

舗装クラック注入状況

アスファルト目地注入機（操作盤）

アスファルト目地注入機（正面）

材料（シール材）熔解状況

地域賞部門　選考委員会賞

# 転圧ローラのブレーキアシストシステム開発

鹿島道路㈱

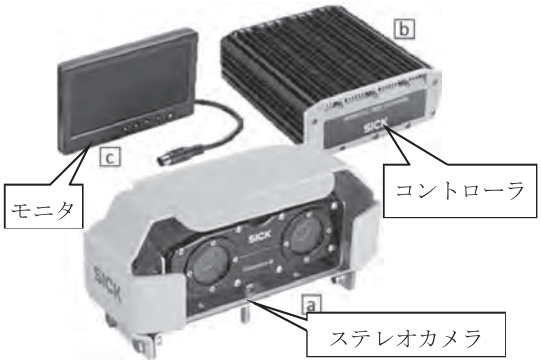
## 業績の概要

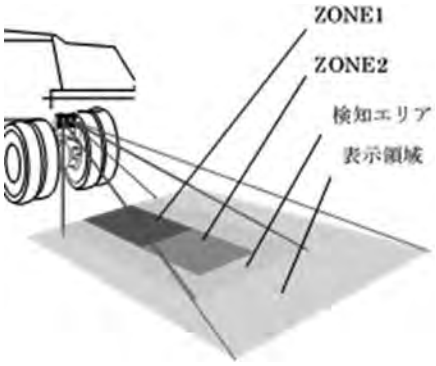
道路舗装工事で用いるローラは作業の性質上前後進を繰り返し周りで作業する人やほかの重機，ローラなどとの混在作業が余儀なくされる。

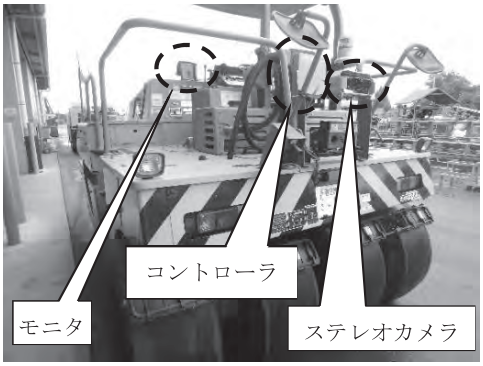
そこで，転圧ローラの後退操作時の接触事故防止を目的として，人と物の形状を認識するステレオカメラセンサを採用し，条件に応じてローラのブレーキ回路を直接制御し制動を仕掛けるブレーキアシストシステムを開発した。人と重機の安全性向上を目的としたシステムであるとともに，舗装工事での作業性と品質確保にも考慮したシステムである。

## 業績の特徴

ステレオカメラの特徴である人を検知した場合と，物体を検知した場合とを区別する２段階のセンサ出力信号により，制動を掛けるタイミングを区別する。人を検知した場合は走行油圧ポンプの電磁サーボバルブを作動させてHST（油圧）ブレーキによる制動を掛け，さらに接近した場合は全てを物として認識して，電気的にネガティブブレーキを作動させて制動を得る。これにより，ローラ本体や運転員にブレーキショックなどの負荷をかけず，また舗装面にブレーキ痕を残すことなくローラを確実に停止させることが可能である。自動で作動したブレーキの解除は，走行レバーを中立に戻すことで行われ，走行レバーを戻さなければブレーキ対象物が除外された状態でも制動状態を維持する機構となっている。



部　会　報　告

# 新東名高速道路高取山トンネル西工事 現場見学会報告

機械部会　トンネル機械技術委員会

## 1. はじめに

トンネル機械技術委員会では，平成 30 年度現場見学会を 12 月 5 日に新東名高速道路高取山トンネル西工事において実施した。

参加者は事務局を含め 23 名だった。

## 2. 見学スケジュール

平成 30 年 12 月 5 日（水）

| | |
|---|---|
| 13：30 | 小田急電鉄秦野駅集合 |
| 13：30 ～ 13：50 | 貸切バスにて高取山トンネル西 JV 事務所まで移動 |
| 14：00 ～ 14：15 | 現場事務所にて現場概要説明 |
| 14：15 ～ 14：20 | 質疑応答 |
| 14：20 ～ 15：00 | 現場内見学 |
| 15：00 ～ 15：20 | 貸切バスにて秦野駅に移動 |

## 3. 工事場所・概要

・工事名　新高速東名道路高取山トンネル西工事
・工期　　平成 26 年 5 月 26 日～令和 2 年 7 月 26 日
・発注者　中日本高速道路㈱東京支社（秦野工事事務所）
・施工者　清水建設㈱・みらい建設工業㈱特定建設工事共同企業体
・主要工事内容
　工区延長 2,200m
　（土工：400 m，トンネル 1,600 m，橋梁：200 m）
　・土工量　約 24 万 $m^3$
　・函渠工　2 基
　・調整池　3 基
　・トンネル工（NATM）
　　上り線：1,573 m　下り線：1,609 m
　・金目川橋下部工　橋台　4 基　橋脚　7 基
　・基礎工　897 m － 66 本（現場打ち杭 $\phi$ 1.5 m）

## 4. 現場見学

### (1) 現場概要説明

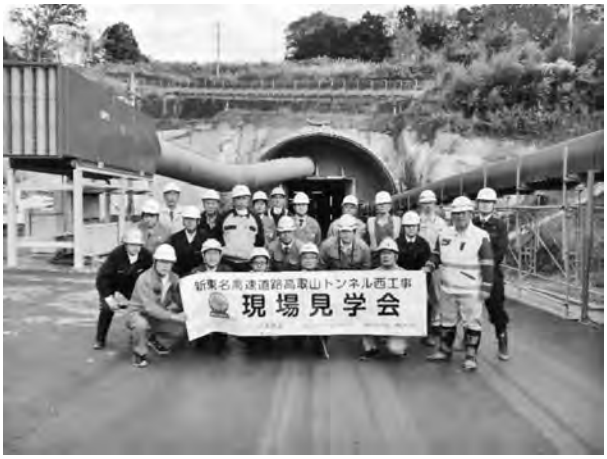
高取山トンネル西工事は，新東名高速道路建設の伊勢原市と秦野市を東西に結ぶトンネルであり，垣見所長より工事概要について説明していただいた。

・地層は，坑口部約 300 m 間がローム層で，それ以降は凝灰角礫岩が分布しており，支保パターンはＣⅡを採用している。
・下り線坑口の南側に民家があり，設備の低騒音対策を講じている。
・土砂搬出は連続ベルコンを使用しており，クラッシャー 300 t/h を使用している。

写真―１　上り線坑口

写真―２　ドリルジャンボ（サンドピック社製）

写真―３　坑内作業状況




写真―４　見学メンバーで記念撮影

・将来の建設作業員減少，元請け職員の省力化に対して，生産性向上を進めている。
・トンネル CIM/ICT の取り組みを行っている。
　①計画・施工・維持管理に CIM を活用
　②地山評価の高度化
　③掘削形状把握から発破パターン自動修正
　④覆工コンクリート打設半自動化
・坑口から 300 m は AGF の施工を行っていたが，削孔位置をドリルジャンボに入力することでマーキングの必要がなくなり，AGF 施工ごとに職員 2 名× 1 時間の省力化が出来ている。

### (2) 工事の進捗

12 月 5 日時点での掘削延長は，上り線 615 m，下り線 430 m であった。

### (3) 場内見学

見学箇所は朝礼広場にて坑外設備の説明を受けたのち，下り線の坑口から切羽後方区間までを見学した。

坑外設備は，近隣家屋に対する低騒音対策を施していた。

①防音扉を 3 基設置することで，発破音の低減
②低騒音型ファンを使用することで，送風機稼働音の低減
③ずりピットを防音ハウスで囲うことで，連続ベルコンからの土砂落下音の低減

切羽では，吹付作業を行っていたが，電気集塵機と延長風管設備により坑内作業環境は良好だった。

### (4) 質疑応答

・火薬は，含水爆薬と EDD（電気遅延式電気雷管）を使用している。
・切羽面形状の把握を行っている 3D スキャンの点群データ測定時間は 3 分程度で行える。
・3D スキャンのタイミングは，こそく後に行っている。
・3D スキャンするための照度は，切羽付近で 200 lx 程度である。伸縮風管先端に設置した照明と吹付機の照明で確保できている。
・3D スキャンデータのノイズ処理はしていない。掘削管理が目的であるため，取れたデータを迅速に形状評価・発破パターンの修正に生かすことが大切である。
・切羽状況把握で使用しているカメラの管理は，盛替え時に清掃する程度で鮮明な画像を映す事が出来ている。
・急結剤は粉体を使用している。

### 謝　辞

最後に，大変お忙しい中，今回の準備，現場との調整役をして頂いた清水建設㈱大橋様および高取山トンネル垣見所長，現場の方々には厚くお礼申し上げます。

JCMA

［筆者紹介］
森山　茂（もりやま　しげる）
前田建設工業㈱
土木事業本部　機械部　機械技術グループ
主幹

# 新工法紹介　機関誌編集委員会

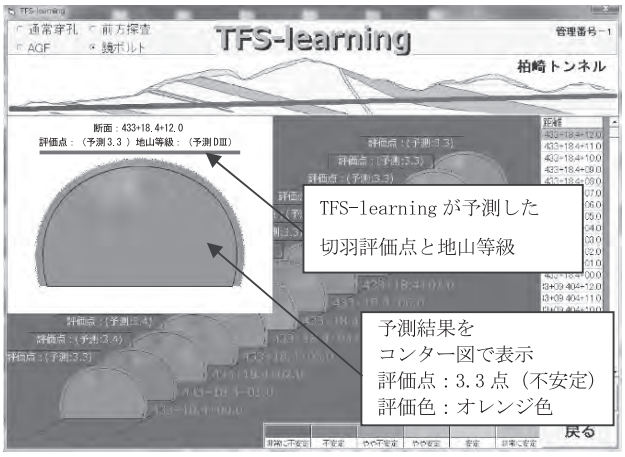
| 04-401 | 切羽安定度予測システム<br>TFS-learning | 安藤ハザマ |
|---|---|---|

**▶概　　要**

山岳トンネルの施工において，発破孔に爆薬を装填する作業や鋼製支保工を建込む作業は，切羽面からの落石や崩落などに対する危険が伴う。そのため施工現場では，素掘り状態の切羽に鏡吹付けコンクリートを施工し，肌落ち災害を防止する対策を実施している。また，更なる対策として，切羽面直下で作業を行う際には，切羽の安定度を目視で監視する切羽監視責任者を配置する現場が増えている。しかしながら，目視観察による確認だけでは，切羽監視責任者の経験に依存する部分が多く，切羽の不安定箇所を見落とし，災害につながるおそれがある。そのため，切羽の安定度を確実に把握し，安全対策を講じることは，切羽作業の安全性を確保する上で非常に重要である。

以上を踏まえ，当社は，2016 年に発破孔の削孔時に得られる短尺の削孔データを用いて，切羽評価点を指標に発破後に露出する切羽の安定度を予測するシステム（TFS-learning：Tunnel Face Stability calculate system by machine learning）を開発した（**図―1**）。更に，2018 年に長尺鏡ボルトや削孔検層などの長尺の削孔データ（**図―2**）を用いて，切羽前方の切羽評価点を予測し，地山等級を判定する機能などを追加した。

TFS-learning は，切羽から油圧削岩機で削孔する発破孔や削孔検層などから得られる削孔データ（削孔速度，打撃圧，回転圧，フィード圧）を使って切羽評価点を予測し，切羽の安定度を予測するものである。切羽安定度の評価指標に切羽評価点を用いるため，定量的で精度の高い予測が可能である。また，**図―1** に示す画面で，切羽安定度の予測結果をカラーコンター図で表示させ，不安定箇所を暖色，安定箇所を寒色で表現することで，切羽の安定度を可視化し，切羽作業の安全性を確認する技術として，現在まで数多くの現場に適用してきた。




図―1　TFS-learning のシステム画面

**▶特　　徴**

TFS-learning は，以下の 3 つの機能を有する。

①短尺削孔モード機能

発破孔の削孔データを用いて，発破後に露出する切羽（1.0 ～ 2.0 m 先）の切羽安定度を予測する機能である。発破孔の削孔データを使用するため，切羽面を網羅的に評価できる。

②長尺削孔モード機能

長尺鏡ボルトや削孔検層などの長尺削孔データを用いて，切羽前方（10 ～ 30 m）の切羽評価点を予測し，地山等級を判定する機能である。

③フェイスマッピング機能

TFS-learning の予測結果として出力されるカラーコンター図を，10,000 ルーメン以上の明るさを有するプロジェクターにより切羽面へ投影する機能である。切羽に直接，カラーコンター図を投影することで，全ての切羽作業員が切羽の不安定箇所を確認することができる。

**▶用　　途**

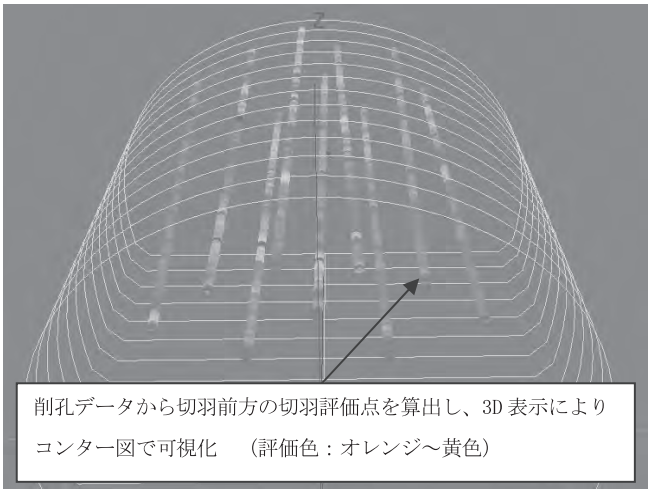
・山岳トンネル施工現場での安全管理

**▶実　　績**

・国交省東北地整発注　国道 108 号新箱石地区道路工事
・国交省北陸地整発注　国道 8 号柏崎トンネル（山岳部）工事

**▶問 合 せ 先**

㈱安藤・間　建設本部土木技術統括部技術第三部
〒 107-8658 東京都港区赤坂 6-1-20
TEL：03-6234-3673




図―2　長尺鏡ボルト 削孔データの一例

| | | |
|---|---|---|
| 04-403 | Te-S アシスタント | 福田組<br>NEC<br>NEC ソリューションイノベータ<br>演算工房 |

▶ 概　　要

山岳トンネル工事における掘削作業では，設計断面を確保するために適正な形状で掘削がなされているかを確認する必要がある。通常は，作業員の目視により過不足を確認しているため，掘削が足りていない場合は，トンネル断面が確保できない恐れが発生し，逆に掘削しすぎた場合は，作業手間のロスや，吹付けおよび覆工コンクリート等のロスにつながる。特に，切羽での目視確認は切羽に接近して行うため，切羽崩落災害に巻き込まれるリスクも付きまとう。このため，効率的かつ手軽に掘削形状を確認する手法が求められていた。

そこで，山岳トンネルにおける施工管理の効率化を目的とし，SfM（Structure from Motion）技術を活用した写真測量によりトンネル掘削時の仕上がり状況を可視化しガイダンスする「Te-S（ティーエス）アシスタント」を開発した（**図―1**）。このシステムは，切羽およびインバート等の掘削箇所を撮影した画像を用いて点群データを生成し（**図―2**），掘削形状と設計図面とを比較表示できるため（**図―3**），作業員はリアルタイムかつ面的に掘削の過不足を把握でき，無駄の少ない効率的な作業を行うことができる。

▶ 特　　徴

①オンサイトでのリアルタイム管理

撮影画像は無線 LAN 環境のもとでタブレットパソコンに自動転送され，点群化から掘削状況の評価までワンタッチで高速（約 2 分程度）に処理することにより，オンサイトでのリアルタイム管理を実現する。

図―1　Te-S アシスタント　システム概要

②出来形管理の効率化と省力化

画像撮影時以外は作業中断の必要がないため，掘削作業を行いながらの出来形管理が可能である。また，画像撮影とタブレット操作を同一人員で行えば，ワンオペでの出来形管理が可能である。

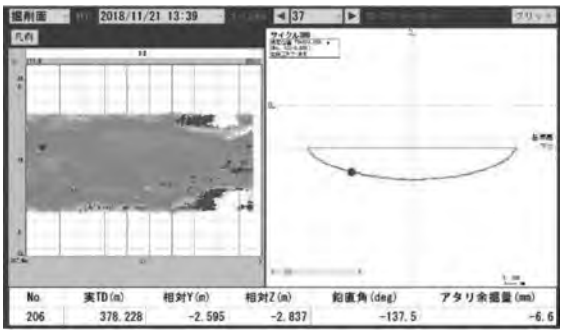
③面的な出来形管理の実現

評価結果は，コンター図および断面図として表示されるため，面的管理が実現できるだけでなく，出来形の過不足が一目瞭然となる。

④特殊な機器を使用しない安価なシステム

画像から点群データを生成する SfM 技術を活用することにより，カメラ，タブレットパソコンおよび解析ソフトウェアのみにより構成される安価なシステムである。

図―2　生成した点群データの例




図―3　掘削出来形の評価結果の例

▶ 用　　途

・山岳トンネル工事，他

▶ 実　　績

・山岳トンネルのインバート掘削（一部区間に試験導入）

▶ 問 合 せ 先

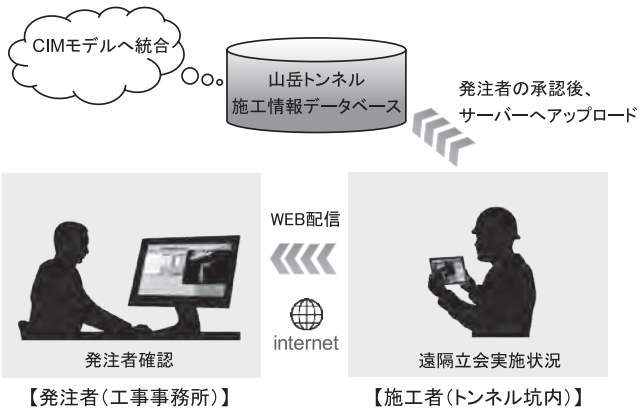
㈱福田組　総務人事部総務部　赤川，永原，石井
〒 951-8668　新潟市中央区一番堀通町 3 番地 10
TEL：025-266-9121

## 新工法紹介

| 04-404 | 遠隔立会システムによる<br>山岳トンネル ICT 施工管理 | 清水建設 |
|---|---|---|

### ▶概　　要

山岳トンネル工事では，発注者の工事事務所が現場から離れているケースが散見される。そうした現場では，品質・出来形検査に立会う検査員は長時間を掛けて現場まで移動するとともに，施工者側には待機時間が発生する。そこで，発注者，施工者双方の検査・管理業務の生産性向上のため，タブレット端末を用いたリアルタイム遠隔立会システムを開発した。これにより，双方のロスタイムを減らすとともに，遠隔地の端末上で施工状況の確認から記録写真・帳票の承認に至る一連の検査プロセスを完結できる。本システムを稼働中の山岳トンネル現場にて実証し，適用性と有効性を確認した（**図**―1）。




図―1　遠隔立会概要

図―2　遠隔立会状況（吹付けコンクエリート厚さ検測）

### ▶特　　徴

本システムは，テレビ会議機能と検査値入力・立会写真撮影機能を備えた遠隔検査ソフト，施工者用のタブレット端末，発注者の工事事務所に設置する閲覧用 PC，サーバー PC，トンネル内無線通信網等で構成される。

システム利用時は，発注者工事事務所の閲覧用 PC とトンネル坑内のタブレット端末をインターネットにつなぎ，タブレット端末から配信する坑内映像および施工者が入力する検査結果を両者で共有しながら，品質・出来形検査を進める（**図**―2）。

施工者が電子黒板付き立会写真を撮影し，発注者側が承認ボタン（スタンプ）を押下することで承認手続きが完了する。承認後，施工者タブレット画面には承認済 OK ボタンが明示され（**図**―3），これを押下することによって，発注者様式に自動変換された立会写真・帳票データが，サーバー PC に即座に保存され，WEB 上で閲覧・ダウンロードが可能となる。

本システムにより，施工者は検査結果のリアルタイムなデータ保存･帳票出力まで行えるので，記入･転記ミスを無くし，データ管理の簡略化・書類作成の負荷が軽減できる。また，従来の現場立会と比較して立会時間は概ね同等であり，従来の現場立会と同様の流れで品質・出来形の立会検査が可能であることを実証した。

図―3　遠隔立会時発注者閲覧画面

### ▶用　　途

・山岳トンネル工事全般

### ▶実　　績

・湯浅御坊道路　川辺第一トンネル北工事
（発注者　西日本高速道路㈱　関西支社）
・トンネル延長 2,641 m，内空断面積 55 $m^2$

### ▶問 合 せ 先

清水建設㈱　土木技術本部　開発機械部
〒 104-8370　東京都中央区京橋二丁目 16-1
TEL：03-3561-3886

| 06-19 | 縦取り式スリップフォーム工法 | 佐藤渡辺 |
|---|---|---|

▶ 概　　要

コンクリート舗装は，アスファルト舗装に比べて長寿命化が期待できることから重交通路線，幹線道路やトンネル内で積極的な採用が検討されている。スリップフォーム工法による連続鉄筋コンクリート舗装（以下，CRCP）の施工は，一般的に生コンクリート（以下，生コン）の供給を横取り機（横取り供給方式）で受けるようになっているため，二車線相当の作業スペースが必要である。このため多くの場合，施工中は車両の通行ができないなどの制約が多い工法である。

本文は，この状況を解消するため自社開発による「縦取り機（縦取り供給方式）」を用いたスリップフォーム工法によるCRCP の施工について紹介するものである。

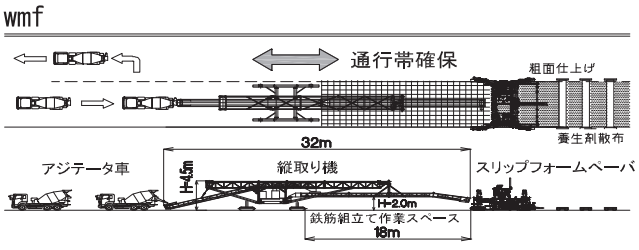
［NETIS 登録番号 KT-170048-A］

▶ 縦取り機の仕様および機械編成

本縦取り機は，スリップフォームペーバ（ヴィルトゲン MF600）をベースとして，トラスフレームおよび生コン供給用ベルコンを装備した構造である（**表―1，図―1**）。また，供給用ベルコン直下に鉄筋組立てスペース（L = 18 m）を確保し，鉄筋運搬台車を牽引できる構造となっている。

表―1　縦取り機の仕様

| | | |
|---|---|---|
| 機械諸元 | 長　さ | 32 m |
| | 高　さ | 4.5 m |
| | 全　幅 | 3.5 ～ 6.25 m（施工時） |
| 機械性能 | 走行速度 | 0 ～ 4.5 m/min（施工時） |
| | 生コン搬送能力 | 60 $m^3$/h |
| | コンベア速度 | 60 m/min |
| | 水平ベルコン揺動 | 約 ± 2.5 度（水平振り角度） |
| | 鉄筋組立てスペース | 18 m |




図―1　施工機械編成

▶ 特　　徴

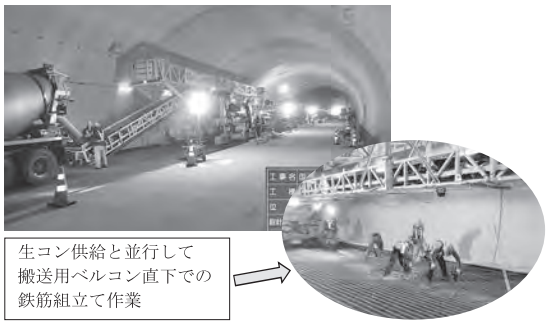
1）二車線中一車線での施工が可能となり，一車線（隣接車線）を通行帯として利用できる（**図―1，写真―1**）。

2）施工区間が一車線となり隣接車線が通行帯として利用できることより他区間での他工種の施工が可能である（工程短縮）。

3）材料運搬車（アジテータ車）の搬入，荷下ろしがスムーズに行える。待機時間が少ない。1 日当たりの施工量の増大が見込め，生産性の向上が期待できる。

4）ベルコン直下のスペースで生コン供給と並行して鉄筋組立て作業が行えるため施工前の鉄筋の運搬（間配り）の必要がなく準備工の省力化が図れる。事前の鉄筋組立て日数の短縮ができる（工程短縮，残業の短縮）。

5）生コン供給，鉄筋組立て，打設，養生作業が一車線内で一連の作業となるため作業間の錯綜がないことから安全性が向上する。




写真―1　縦取り式スリップフォーム工法による施工状況

▶ お わ り に

今後の課題として，「縦取り機の組立て，解体」の場所の確保とその時間が必要となることから，組立て・解体が容易となる構造や縦取り機が適用できる補修方法，用途の検討を行っている。

▶ 用　　途

・連続鉄筋コンクリート舗装

・橋梁の鋼繊維補強コンクリート（SFRC）による鋼床版補強工事

▶ 実　　績

・中部横断福士楮根地区舗装工事他多数

▶ 問 合 せ 先

㈱佐藤渡辺　工事本部技術部

〒 106-8567　東京都港区南麻布 1-18-4

TEL：03-3453-7358

# 新機種紹介　機関誌編集委員会

## ▶〈01〉ブルドーザおよびスクレーパ

| | | |
|---|---|---|
| 19-〈01〉-01 | キャタピラージャパン<br>ブルドーザ<br>Cat D8T | ’19.2 発売<br>モデルチェンジ |

オフロード法 2014 年基準に適合したブルドーザである。

排出ガスの一部を，冷却して吸気側に循環することで，燃焼温度を低下させる NOx リダクションシステムおよび尿素水の化学反応を利用した尿素 SCR システムにより，NOx 排出量の低減を図っている。

さらに，ディーゼル酸化触媒（DOC）およびディーゼルパーティキュレートフィルタ（DPF）からなる「Cat クリーンエミッションモジュール」により一酸化炭素，炭化水素，粒子状物質（PM）を低減・除去し，その過程で DPF に堆積するすすを取り除く DPF 再生システムを有している。

マルチカラーディスプレイにより，シートベルトが未装着の場合はディスプレイに警告ランプが点灯し，シートベルト装着忘れの防止を図っている。

新型カートリッジ燃料フィルタ，エンジンオイル交換間隔の延長，標準装備の自動反転ファンにより，メンテナンス時間の削減を図っている。

Cat プロダクトリンクにより警告情報や部品交換時期を確認し，車両の管理やダウンタイムの削減を図っている。

オプション装備の Cat グレード 3D は，内蔵型 3 次元マシンコントロールシステムである。また，ICT 建機とクラウドによるリアルタイムソリューション VisionLink®（ビジョンリンク）と組み合わせることで，i-Construction に対応した施工管理が可能になる。オンラインで VisionLink®（ビジョンリンク）3D プロジェクト モニタリングを使用すると，LINK テクノロジを経由して毎日の生産性データを確認でき，切盛り作業の進捗を 3D マッピングデータで自動的に離れた事務所で把握できる（* 利用登録とハードウェアの追加が必要）。

表―1　Cat D8T マルチシャンク仕様

| | | |
|---|---|---|
| 運転質量 | (kg) | 41,050 |
| 全長（ブルドーザ装置付） | (mm) | 8,164 |
| 全幅（ブルドーザ装置付） | (mm) | 4,042 |
| 全高（ROPS 上端まで） | (mm) | 3,566 |
| ブレード幅 | (mm) | 4,042 |
| エンジン名称 | | Cat C15 ディーゼルエンジン |
| 総行程容積 | (ℓ) | 15.2 |
| 定格出力／回転数 | ($kW/min^{-1}$) | 264／1,900 |
| ステアリング形式 | | 電子制御プラネタリ式<br>ディファレンシャル<br>ステアリング |
| 接地長 | (mm) | 3,206 |
| 接地圧 | (kPa) | 101.3 |
| 価格（販売標準様，港裸渡し）（百万円） | | 75.58（マルチシャンク仕様）<br>81.652（マルチシャンク／<br>Cat グレード 3D 仕様） |

写真―1　キャタピラージャパン　Cat D8T　ブルドーザ

問合せ先：キャタピラー（同）GCI Marketing Innovation
〒 220-0012　神奈川県横浜市西区みなとみらい 3-7-1

## ▶〈02〉掘削機械

| | | |
|---|---|---|
| 19-〈02〉-03 | キャタピラージャパン<br>油圧ショベル<br>Cat 308　CR（後方超小旋回型）<br>/SR（超小旋回型） | '19.4 発売<br>新機種 |

オフロード法 2014 年基準に適合した 8 トンクラス後方超小旋回型油圧ショベルと超小旋回型油圧ショベルである。

ジョイスティックレバーからの電気信号を元にコントロールバルブの各スプールの動き，油圧ポンプの吐出量を電子制御する次世代型油圧システムにより，作業機のスピード，レバー反応速度を 3 段階ずつモニタで変更することができる。また，左ジョイスティックレバー 1 本の操作で走行（前後進，左右操向）でき，さらに，レバー操作なしで直進走行できるクルーズコントロールを装備しており，スティックステアモード走行時に，左ジョイスティックレバー前側のボタンを押すとその時の走行状態を維持し，操作レバーから手を放してもそのまま走行できる。

各種電子制御，「作業機」と「走行」のそれぞれの動作に適したエンジン回転数を自動制御する「パワーオンデマンド」，アイドリング状態から一定時間経過するとエンジンを自動停止させる「オートアイドリングストップ」を装備している。

従来機よりエンジン定格出力を約 10%，旋回トルクを約 25% アップし，旋回揺れ戻し防止弁を装着している。

車両位置，稼働情報，燃料消費量，アラート，休車時間などのマシンデータをクラウドサービス（VisionLink®（ビジョンリンク），My.Cat.Com）に発信するプロダクトリンクを標準装備している。

表―2　Cat 308 CR，308 SR の主な仕様

| | | 308 CR | 308 SR |
|---|---|---|---|
| 運転質量 | (kg) | 7,550 | 7,790 |
| 標準バケット容量 | ($m^3$) | 0.28 | |
| 掘削力（アーム） | (kN) | 41.3 | 42.8 |
| 掘削力（バケット） | (kN) | 58.9 | 60.3 |
| 全長 | (mm) | 5,760 | 6,130 |
| 輸送時　全幅（トラック全幅） | (mm) | 2,300 | |
| 全高 | (mm) | 2,580 | 2,540 |
| 後端旋回半径 | (mm) | 1,290 | |
| エンジン名称 | | Cat C3.3B ディーゼルエンジン | |
| 総行程容積 | (ℓ) | 3.33 | |
| 定格出力／回転数 | (kW/$min^{-1}$ (rpm)) | 53.3／2,200 | |
| 価格<br>（販売標準仕様，工場裸渡し，税別） | （百万円） | 11.165 | 12.357 |

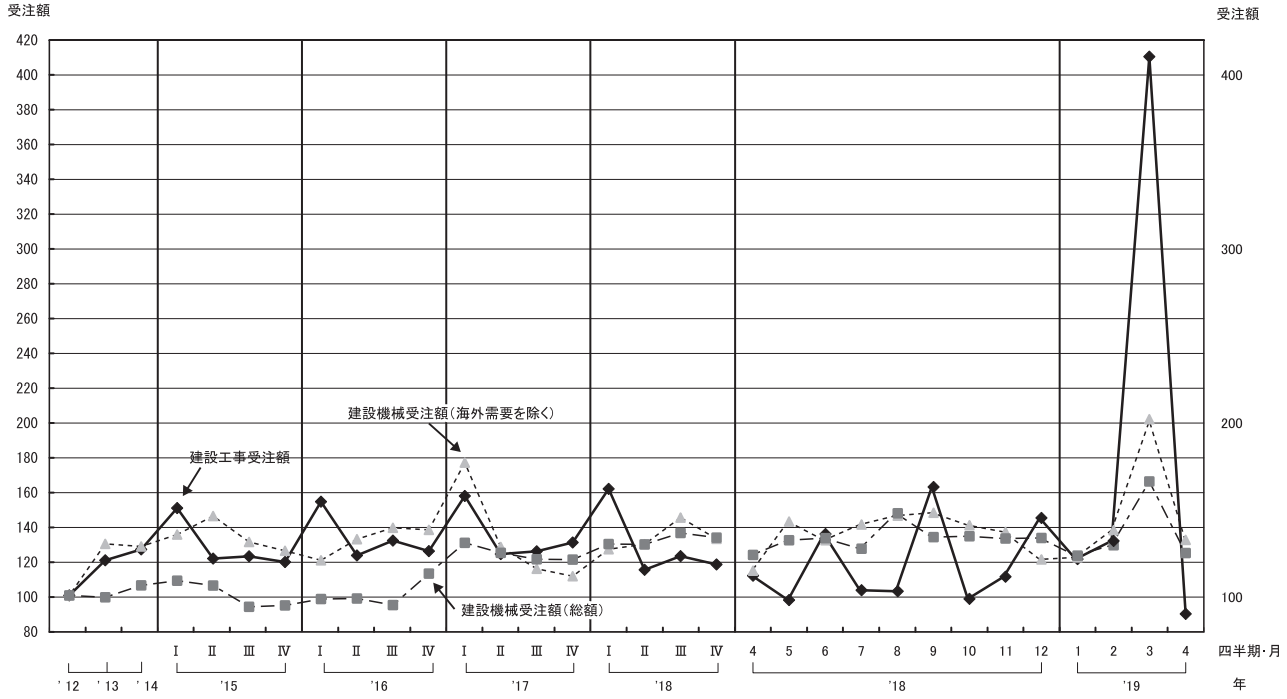
写真―2　キャタピラージャパン　Cat 308 CR　後方超小旋回型油圧ショベル

問合せ先：キャタピラー（同）GCI Marketing Innovation
〒 220-0012　神奈川県横浜市西区みなとみらい 3-7-1

# 統　　計　機関誌編集委員会

## 建設工事受注額・建設機械受注額の推移

建設工事受注額：建設工事受注動態統計調査（大手50社）　（指数基準 2012年平均=100）
建設機械受注額：建設機械受注統計調査（建設機械企業数24前後）　（指数基準 2012年平均=100）




### 建設工事受注動態統計調査（大手 50 社）

（単位：億円）

| 年　月 | 総　計 | 受注者別 | | | | | | 工事種類別 | | 未消化工事高 | 施工高 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 民間 | | | 官公庁 | その他 | 海　外 | 建　築 | 土　木 | | |
| | | 計 | 製造業 | 非製造業 | | | | | | | |
| 2012 年 | 110,000 | 73,979 | 14,845 | 59,133 | 26,192 | 4,896 | 4,933 | 76,625 | 33,374 | 113,146 | 111,076 |
| 2013 年 | 132,378 | 89,133 | 14,681 | 74,453 | 31,155 | 4660 | 7,127 | 90,614 | 41,463 | 129,076 | 120,941 |
| 2014 年 | 139,286 | 80,477 | 16,175 | 64,302 | 43,103 | 4822 | 10,887 | 86,537 | 52,748 | 138,286 | 125,978 |
| 2015 年 | 141,240 | 96,068 | 19,836 | 76,235 | 35,633 | 4993 | 4,546 | 95,959 | 45,281 | 141,461 | 141,136 |
| 2016 年 | 146,991 | 99,541 | 17,618 | 81,923 | 38,894 | 5247 | 3,309 | 98,626 | 48,366 | 151,269 | 134,037 |
| 2017 年 | 147,828 | 101,211 | 20,519 | 80,690 | 36,650 | 5183 | 4,787 | 99,312 | 48,514 | 165,446 | 137,220 |
| 2018 年 | 142,169 | 100,716 | 24,513 | 76,207 | 30,632 | 8561 | 5,799 | 95,252 | 46,914 | 166,043 | 141,691 |
| 2018 年　4 月 | 10,212 | 7,007 | 1,473 | 5,534 | 2,473 | 438 | 293 | 5,763 | 4,448 | 171,143 | 8,522 |
| 5 月 | 8,921 | 6,449 | 2,271 | 4,178 | 1,940 | 330 | 202 | 6,091 | 2,830 | 170,234 | 9,361 |
| 6 月 | 12,424 | 9,114 | 2,245 | 6,869 | 2,100 | 487 | 723 | 8,989 | 3,435 | 170,862 | 13,342 |
| 7 月 | 9,439 | 6,656 | 2,205 | 4,451 | 1,445 | 358 | 980 | 6,221 | 3,217 | 170,204 | 9,200 |
| 8 月 | 9,390 | 6,336 | 1,863 | 4,474 | 2,564 | 380 | 109 | 6,512 | 2,878 | 169,495 | 10,528 |
| 9 月 | 14,917 | 11,535 | 2,443 | 9,092 | 2,382 | 444 | 555 | 10,589 | 4,328 | 169,770 | 14,265 |
| 10 月 | 8,982 | 6,236 | 1,417 | 4,820 | 2,029 | 430 | 285 | 6,052 | 2,930 | 170,072 | 9,948 |
| 11 月 | 10,161 | 7,584 | 1,656 | 5,929 | 1,869 | 325 | 383 | 7,261 | 2,900 | 168,450 | 11,647 |
| 12 月 | 13,271 | 10,259 | 2,337 | 7,922 | 2,295 | 394 | 323 | 9,283 | 3,988 | 166,043 | 15,551 |
| 2019 年　1 月 | 11,088 | 7,006 | 1,799 | 5,207 | 2,713 | 314 | 1054 | 6,304 | 4,783 | 166,472 | 9,832 |
| 2 月 | 12,055 | 8,533 | 1,375 | 7,158 | 2,966 | 382 | 174 | 8,339 | 3,716 | 165,316 | 12,640 |
| 3 月 | 37,732 | 29,551 | 3,326 | 26,225 | 6,349 | 426 | 1406 | 29,178 | 8,554 | 181,913 | 21,085 |
| 4 月 | 8,183 | 6,409 | 1,394 | 5,015 | 1,282 | 369 | 124 | 4,853 | 3,331 | － | － |

### 建　設　機　械　受　注　実　績

（単位：億円）

| 年　月 | 12 年 | 13 年 | 14 年 | 15 年 | 16 年 | 17 年 | 18 年 | 18 年 4 月 | 5 月 | 6 月 | 7 月 | 8 月 | 9 月 | 10 月 | 11 月 | 12 月 | 19 年 1 月 | 2 月 | 3 月 | 4 月 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 総　額 | 17,343 | 17,152 | 18,346 | 17,416 | 17,478 | 21,535 | 22,923 | 1,784 | 1,906 | 1,923 | 1,836 | 2,132 | 1,932 | 1,940 | 1,921 | 1,925 | 1,777 | 1,864 | 2,397 | 1,799 |
| 海外需要 | 12,357 | 10,682 | 11,949 | 10,712 | 10,875 | 14,912 | 16,267 | 1,309 | 1,313 | 1,375 | 1,250 | 1,525 | 1,318 | 1,356 | 1,353 | 1,423 | 1,270 | 1,292 | 1,558 | 1,250 |
| 海外需要を除く | 4,986 | 6,470 | 6,397 | 6,704 | 6,603 | 6,623 | 6,656 | 475 | 593 | 548 | 586 | 607 | 614 | 584 | 568 | 502 | 507 | 572 | 839 | 549 |

（注）2012 ～ 2014 年は年平均で，2015 ～ 2018 年は四半期ごとの平均値で図示した。
2018 年 4 月以降は月ごとの値を図示した。

出典：国土交通省建設工事受注動態統計調査
内閣府経済社会総合研究所機械受注統計調査

# 行事一覧

（2019 年 5 月 1 日～ 31 日）

## 機　械　部　会

**■基礎工事用機械技術委員会**

月　日：5 月 16 日（木）
出席者：遠藤智委員長ほか 18 名
議　題：①日本基礎技術㈱の技術プレゼン：多機能大口径掘削工法「BG 工法」，超多点注入工法　②各社トピックス：コベルコ建機㈱「後方超小旋回ショベル SK75SR-7」の製品紹介　③ bauma 2019 視察報告　④クローラクレーンフリーモードに関する説明　⑤見学会について：コベルコ建機㈱見学会の詳細説明，7 月現場見学会の概要説明

**■ショベル技術委員会**

月　日：5 月 17 日（金）
出席者：西田利明委員長ほか 9 名
議　題：①次期燃費基準の件：4/25（木）開催 作業燃費検討 WG の報告　②次期排出ガス規制対応部会（4/24 開催）の概要報告　③小型移動式クレーンの過負荷防止装置について

**■トンネル機械技術委員会 幹事会**

月　日：5 月 20 日（月）
出席者：橘伸一委員長ほか 6 名
議　題：① R 元年度アンケート調査（トンネル工事全般に係わる安全技術）について　②技術講演会のテーマ，講演者選定等について　③見学会の候補地について　④トンネル機械の消火器の設置要求について（標準部から）

**■路盤・舗装機械技術委員会 幹事会**

月　日：5 月 22 日（水）
出席者：山口達也委員長ほか 10 名
議　題：①「舗装技術者のための建設機械の基礎知識（仮称）」の出版の対応について　②本年度活動計画の内容確認と役割分担　③現場・見学会の候補地，実施時期について　④上期総会の日程と内容について　⑤建設機械施工協会 70 周年特集の記事執筆の件

**■原動機技術委員会**

月　日：5 月 23 日（木）
出席者：工藤睦也委員長ほか 17 名
議　題：①前回の議事録確認　②建設機械の次期燃費基準の件：4/25（木）開催 作業燃費検討 WG の報告　③次期排出ガス規制対応部会（4/24 開催）の概要報告　④オフロード法 2014 年排出ガス規制の各実施要領等について の情報交換：少数生産車の基準細目について　⑤海外排出ガス規制の動向に関する情報交換：中国 GB4 排ガス規制に関する情報　⑥その他：油脂技術委員会より報告（バイオ燃料に関する最近の話題），GTL 燃料の件他

**■ダンプトラック技術委員会**

月　日：5 月 30 日（木）
出席者：渡辺浩行委員長ほか 6 名
議　題：①各社トピックス：㈱諸岡「クローラ式電源車」の紹介　②安全装置／システムに関する輪講：「眠気検知システム」について　③本年度活動計画の具体的内容について討議　④ホームページ改訂について

**■情報化機器技術委員会**

月　日：5 月 31 日（金）
出席者：白塚敬三委員長ほか 8 名
議　題：①環境認識技術の建機適用可能性に関する議論　②サイバーセキュリティに関する活動の進め方について　③規制・規格の最新情報の共有　④その他情報交換：燃料電池のテスト方法規格について（標準部会），センサシステム規格（IEC62998）の情報共有　⑤ホームページ改訂について

## 建　設　業　部　会

**■機電交流企画 WG**

月　日：5 月 14 日（火）
出席者：松本清志主査ほか 7 名
議　題：①機電職就活パンフについて　②その他

## 各　種　委　員　会　等

**■機関誌編集委員会**

月　日：5 月 8 日（水）
出席者：見波潔委員長ほか 25 名
議　題：①令和元年 8 月号（第 834 号）の計画の審議・検討　②令和元年 9 月号（第 835 号）の素案の審議・検討　③令和元年 10 月号（第 836 号）の編集方針の審議・検討　④令和元年 5 月号～令和元年 7 月号（第 831 ～ 833 号）の進捗状況報告・確認

**■新機種調査分科会**

月　日：5 月 22 日（水）
出席者：江本平分科会長ほか 3 名
議　題：①新機種情報の持ち寄り検討　②新機種紹介データまとめ　③その他

**■建設経済調査分科会**

月　日：5 月 28 日（火）
出席者：山名至考分科会長ほか 5 名
議　題：①主要建設資材の動向（6 月号）の検討（執筆：荒川委員）　②国土強靭化と公共事業（案）の検討　③その他

# 支部行事一覧

## 北　海　道　支　部

**■第 8 回支部通常総会**

月　日：5 月 13 日（月）
場　所：札幌市 センチュリーロイヤルホテル
出席者：熊谷勝弘支部長ほか 97 名
内　容：①平成 30 年度事業報告（案）及び決算報告（案）承認の件　②令和元年度事業計画及び収支予算に関する件　③本部からの事業概要報告　④感謝状贈呈式　⑤建設機械優良運転員・整備員の表彰

**■支部講演会**

月　日：5 月 13 日（月）
場　所：札幌市 センチュリーロイヤルホテル
演　題：組織不祥事とコンプライアンス（なぜ，従業員は規則を破ってしまうのか）
講　師：北海道大学大学院経済学研究科 教授 谷口勇仁氏
出席者：熊谷勝弘支部長ほか 97 名

**■令和元年度除雪機械技術講習会第 2 回（メーカ）打合せ**

月　日：5 月 16 日（木）
場　所：北海道支部会議室
出席者：加藤信二施工技術検定技術委員会委員長ほか 7 名
内　容：①令和元年度除雪機械技術講習会　②講習会テキストの改定　③その他

**■請負工事機械経費積算に関する講習会**

月　日：5 月 24 日（金）
場　所：札幌市 北海道教育会館ホテルユニオン
受講者：118 名
内　容：①平成 31 年度土木工事標準歩掛の改定概要　②建設機械等損料の基本と動向　③施工パッケージ型積算方式　④損料表の見方及び使い方　⑤一般土木請負工事の機械経費積算例　⑥道路維持請負工事の機械経費積算例

**■令和元年度除雪機械技術講習会第 3 回（講師）打合せ**

月　日：5 月 31 日（金）
場　所：さつけんビル 6 階会議室
出席者：服部健作部会長ほか 23 名
内　容：①令和元年度除雪機械技術講習

会講習内容について ②その他

## 東北支部

**■第 1 回 企画部会**
月 日：5 月 7 日（火）
場 所：東北支部 事務局会議室
出席者：木村信悦企画部会長ほか 6 名
議 題：第 1 回支部運営委員会について
内 容：①平成 30 年度 事業報告（案）について ②平成 30 年度 事業決算（案）について ③令和元年度 役員の交代について ④令和元年度 表彰について

**■情報化施工技術委員会 第 1 回 幹事会**
月 日：5 月 9 日（木）
場 所：東北支部 事務局会議室
出席者：鈴木勇情報化施工技術委員会委員長ほか 11 名
議 題：2019 年度活動について
内 容：①各セミナー等の担当者決定について ②委員会，幹事会の活動について

**■第 1 回支部運営委員会**
月 日：5 月 13 日（月）
場 所：仙台市 パレス宮城野
出席者：高橋弘支部長ほか 28 名
内 容：①平成 30 年度 事業報告（案）について ②平成 30 年度 事業決算（案）について ③令和元年度役員の交代について ④令和元年度 表彰について

**■第 7 回 東北復興 i-Construction 連絡調整会議**
月 日：5 月 17 日（金）
場 所：東北地方整備局 会議室
出席者：西尾崇東北地方整備局企画部長ほか 25 名
内 容：①国土交通本省からの情報提供 ②東北地方整備局からの情報提供 ③関係機関における i-Construction の取組状況 ④福島県 現場支援型モデル事業の取組状況 ⑤意見交換 ⑥その他

**■令和元年度 第 8 回東北支部通常総会**
月 日：5 月 20 日（月）
場 所：仙台市 仙台ガーデンパレス
出席者：支部会員 119 社（委任状 63 社，議決権総数 146 社）
出席者総数：高橋支部長ほか 109 名
内 容：①平成 30 年度 事業報告について ②平成 30 年度 事業決算について ③令和元年度 役員の交代（案）について ④令和元年度 事業計画（案）について ⑤令和元年度 予算（案）について ⑥本部関係報告 ⑦表彰（本部会長感謝状の贈呈ほか） ⑧特別講演「i-Construction で共に実現する建設業働き方改革」講師：上坂克巳（国土交通省東北地方整備局 副局長）

**■令和元年度 阿武隈川総合水防演習**
月 日：5 月 26 日（日）
場 所：福島県郡山市富久山町福原地先 阿武隈川左岸河川敷
参加者：菊地身智雄国土交通省技監ほか約 1400 名，支部からの参加者：高橋弘支部長，小野由則技術部会長
内 容：①第 1 部 洪水対応訓練，情報収集訓練 ②第 2 部 関係機関の連携訓練

## 北陸支部

**■令和元年度第 1 回運営委員会**
月 日：5 月 14 日（火）
場 所：アートホテル新潟駅前
出席者：丸山支部長ほか 22 名
議 題：①平成 30 年度事業報告（案）及び決算（案）について ②支部監査役監査報告について ③優良建設機械運転員・整備員表彰（案）について ④令和元年度事業計画及び予算について

**■北陸支部第 8 回通常総会**
月 日：5 月 14 日（火）
場 所：アートホテル新潟駅前
出席者：丸山暉彦北陸支部長ほか 114 社
議 題：①平成 30 年度支部事業報告及び決算報告に関する件 ②令和元年度事業計画及び収支予算に関する件
記念行事：①永年継続会員等の表彰 ②優良建設機械運転員並びに整備員の表彰 ③記念講演

**■庄川・小矢部川総合水防演習**
月 日：5 月 18 日（土）
場 所：富山県高岡市出来田地先
出席者：堤事務局長，CMI 佐野部長
展示内容：H30 年度製作した「流水体験装置」の組立・解体の技術指導

## 中部支部

**■第 8 回支部通常総会**
月 日：5 月 13 日（月）
場 所：ウイル愛知 女性総合センター
出席者：所輝雄支部長ほか約 110 名
議 題：①平成 30 年度事業報告及び決算報告承認の件 ②令和元年度事業計画及び収支予算承認の件等

**■ 2019 年豊川・矢作川連合水防演習・広域連携防災訓練**
月 日：5 月 19 日（日）
出席者：原一儀災害対策部会長，永江豊事務局長
場 所：愛知県豊田市矢作川右岸豊田大橋河川敷
内 容：豊川・矢作川流域における洪水被害等を想定した大規模水防演習等で，当支部会員の協力を得て UAV 及びレーザ測量機器等の展示，地盤改良及びブロック等のパネル展示を行った

**■第 9 回南海トラフ地震対策中部圏戦略会議**
月 日：5 月 30 日（木）
出席者：原一儀災害対策部会長
場 所：ポートメッセなごや 交流センター 3 階会議ホール
内 容：「令和元年度南海トラフ地震対策中部圏戦略会議活動計画」等について

**■第 8 回 ICT 導入普及研究会総会**
月 日：5 月 31 日（金）
出席者：安江規尉運営委員，永江豊事務局長
場 所：名古屋合同庁舎第 2 号館
内 容：建設 ICT 導入普及研究会活動報告等

## 関西支部

**■建設用電気設備特別専門委員会（第 452 回）**
月 日：5 月 14 日（火）
場 所：中央電気倶楽部 会議室
議 題：①「JEM-TR121 建設工事用電機設備機器点検保守のチェックリスト」見直し検討 ②その他

**■支部通常総会**
月 日：5 月 16 日（木）
場 所：大阪キャッスルホテル 会議室
出席者：深川良一支部長以下 95 名
議 題：①平成 30 年度事業報告及び決算報告の件 ②令和元年度事業計画及び収支予算の件 ③本部事業概要報告 ④令和元年度会長表彰 ⑤優良建設機械運転員等表彰
講 演：「Die 革命 医療完成時代の生き方」講師：埼玉医科大学客員教授 奥真也氏

**■「緊急災害応急対策業務に関する協定」に関わる災害時機械関係業務の現場対応訓練**
月 日：5 月 31 日（金）
場 所：近畿地方整備局 近畿技術事務所
出席者：57 名
内 容：①災害対策に関する講義 ②操作訓練 ③意見交換

## 中　国　支　部

**■第 8 回支部通常総会**

月　日：5 月 20 日（月）
場　所：ホテルセンチュリー 21 広島
出席者：河原能久支部長ほか 73 名
議　題：①平成 30 年度事業報告について　②平成 30 年度決算報告について　③令和元年度事業計画（案）について　④令和元年度収支予算（案）について　⑤本部事業概要及び事業計画説明　⑥本部感謝状贈呈　⑦講話「国土交通行政の最近の話題」中国地方整備局企画部長 冨樫篤英氏

**■令和元年度「建設の機械化施工優良技術者」表彰式**

月　日：5 月 20 日（月）
場　所：ホテルセンチュリー 21 広島
受賞者：運転・整備部門 2 名，管理部門 3 名，技術開発部門 1 名　計 6 名

**■記念講演会**

月　日：5 月 20 日（月）
場　所：ホテルセンチュリー 21 広島
演　題：小規模現場での ICT 技術活用による生産性向上
講　師：㈱加藤組 取締役土木部長 原田英司氏

**■第 2 回施工技術部会**

月　日：5 月 31 日（金）
場　所：広島 YMCA 会議室
出席者：齋藤実部会長ほか 6 名
議　題：① i-Con 関係行事の推進とその体制について　②令和元年度道路除雪講習会（案）の企画について　③その他懸案事項

## 四　国　支　部

**■ R 元第 1 回運営委員会**

月　日：5 月 16 日（木）
場　所:ホテル「マリンパレスさぬき」(高松市)
出席者：長谷川修一支部長ほか 24 名
内　容：① H30 年度事業報告に関する件　② H30 年度決算報告に関する件　③ H30 会計及び業務監査報告に関する件

**■四国支部第 8 回（R 元年度）通常総会**

月　日：5 月 16 日（木）
場　所:ホテル「マリンパレスさぬき」(高松市)
議決権総数：126 社
出席社数：114 社（うち，委任状提出 45 社）
出席者総数：長谷川修一支部長ほか 117 名
議　題：①第 1 号議案 H30 年度事業報告承認の件　②第 2 号議案 H30 年度決算報告承認の件　③第 3 号議案 H30 年度会計及び業務監査報告に関する件　④第 4 号議案 R 元年度事業計画に関する件　⑤第 5 号議案 R 元年度収支予算に関する件　⑥その他：1）H31 年度本部等事業概要説明, 2)永年会員，優良建設機械運転員･整備員等表彰, 3)特別講演「ICT 施工機器とその遠隔操作技術」講師：西尾レントオール㈱山口秀樹氏

## 九　州　支　部

**■ R 元年度第 1 回運営委員会**

月　日：5 月 15 日（水）
場　所：福岡リーセントホテル
出席者：松嶋支部長ほか 25 名
議　題：① H30 年度事業報告及び決算報告　② R 元年度事業計画及び収支予算　③ R 元年度支部役員の選任　④ R 元年度優良建設機械運転員等表彰

**■第 8 回通常総会**

月　日：5 月 15 日（水）
場　所：福岡リーセントホテル
出席者：松嶋憲昭支部長ほか 75 名
議　題：① H30 年度事業報告及び決算報告　② R 元年度事業計画及び収支予算　③ R 元年度支部役員の選任

**■優良建設機械運転員等表彰**

月　日：5 月 15 日（水）
場　所：福岡リーセントホテル
表彰者：団体 3 社，個人 10 名

**■九州建設技術フォーラム 2019 実行委員会**

月　日：5 月 20 日（月）
出席者：永溝茂事務局長
議　題：①「九州建設技術フォーラム 2018」の開催結果について　②「九州建設技術フォーラム 2019」の開催方針について

## 編 集 後 記

梅雨の真っただ中の季節でございますが，読者の皆様はいかがお過ごしでしょうか？

最近，大阪においてG20サミットが開催され，G7のほか中国，ロシア，トルコ，ブラジルなど多くの首脳が来日し，首脳会議や関係閣僚会合などが開催されました。サミットの規模の大きさに，今回本当に驚かされました。サミットでは，本号のテーマにもある「AI」も取上げられました。安倍総理から，第2セッション「イノーベーション」において，デジタル時代のルールづくりを進めていきたいとの提案に対し，各首脳からその重要性の発言があったということです。

さて，本号は初めてAI，IoT，ビッグデータに焦点を当てた特集です。今回の第3次AIブームにおいて，建設業の出遅れた感は否めなかったですが，ここに来て取組みが増えてきました。先行していた維持管理部門については，今回は取上げていません。【巻頭言】は，コマツ執行役員の四家本部長から，「施工のデジタルトランスフォーメーションで実現する未来の建設現場」と題し，未来の工事はもちろん，災害対応，社会インフラ維持のためにはすべての建設現場を安全で生産性の高いスマートでクリーンなものにして，もっと多くの人材が建設業界に集まることの必要性について執筆をいただきました。【行政情報】は，「データ活用による建設現場の生産性向上」「地理院地図」について，【技術報文】では，CEATEC（幕張）の施工デモ，A$^4$CSEL，深層学習／CNNによる油圧ショベル制御，トンネルへのAI活用，MMS，MR等の注目されているホットな話題を紹介できました。また，【交流の広場】は，軍事情報化技術C$^4$Iからの ICT 施工の未来を覗いています。尚，表紙写真はMINExpo2016で展示されたキャブレスの「Innovative Autonomous Haulage Vehicle」で，2020年迄の実用化を目指しているそうです。このような本特集号から，読者の皆様には益々加速している技術の進化を感じ取っていただければ幸いと存じます。

最後になりますが，ご多忙の中，快く執筆を引き受けてくださった皆様と仲介の労をとって下さった方々に厚く御礼申し上げます。ありがとうございました。

（岡本・中川）


### 機関誌編集委員会

**編集顧問**

今岡　亮司　　加納研之助
後藤　　勇　　佐野　正道
新開　節治　　関　　克己
髙田　邦彦　　田中　康之
田中　康順　　中岡　智信
渡邊　和夫

**編集委員長**

見波　　潔　村本建設㈱

**編集委員**

小櫃　基住　国土交通省
竹迫　勝久　農林水産省
中村　　弘　㈱鉄道・運輸機構
岡本　直樹　（一社）日本機械土工協会
穴井　秀和　鹿島建設㈱
赤坂　　茂　大成建設㈱
宇野　昌利　清水建設㈱
玉記　　聡　㈱大林組
内藤　　陽　㈱竹中工務店
宮川　克己　㈱熊谷組
松本　清志　㈱奥村組
京免　継彦　佐藤工業㈱
竹田　茂嗣　鉄建建設㈱
松澤　　亨　五洋建設㈱
飯田　　宏　東亜建設工業㈱
鈴木　貴博　日本国土開発㈱
斉藤　　徹　㈱NIPPO
中川　　明　コマツ
山本　茂太　キャタピラージャパン
花川　和吉　日立建機㈱
上田　哲司　コベルコ建機㈱
石倉　武久　住友建機㈱
新井　雅利　㈱加藤製作所
村上　　進　古河ロックドリル㈱
山下純一郎　㈱前田製作所
太田　正志　施工技術総合研究所

**事務局**

（一社）日本建設機械施工協会


**8月号「国内・海外の鉄道工事，都市高速鉄道特集」予告**

・「国土交通省インフラシステム海外展開行動計画2018」を決定　・新技術によりシールド工法とSENSの併用を実現　・今年度の鉄道建設業務と九州新幹線（武雄温泉 - 長崎間）の駅デザイン　・日本のODAで建設が進む，ホーチミン市都市鉄道1号線　・ミャンマーで施工監理担当の鉄道整備事業が起工　・山手線30番目の駅として，2020年春の暫定開業を目指してJR東日本が田町―品川間に建設中の新駅（高輪ゲートウェイ）　・東海道新幹線における土木構造物の維持管理および大規模改修による予防保全　・メンテナンスの革新　・北陸新幹線九頭竜川橋りょうの施工　・営業線直下における4線地下式の線増連続立体交差化工事　・渋谷駅改良工事にストランド場所打ち杭工法を採用　・鉄道工事に利用される軌陸機械　・地震検知から最短1秒で警報出力 地震時に迅速に列車を減速・停止させる


**【年間購読ご希望の方】**
①お近くの書店でのお申込み・お取り寄せ可能です。　②協会本部へお申し込みの場合「図書購入申込書」に以下事項をもれなく記入のうえFAXにて協会本部へお申込み下さい。
…官公庁／会社名，所属部課名，担当者氏名，住所，TELおよびFAX
**年間購読料（12冊） 9,252円（税・送料込）**



**建 設 機 械 施 工**

第71巻第7号（2019年7月号）（通巻833号）
Vol. 71　No. 7　July　2019
2019（令和元）年7月20日印刷
2019（令和元）年7月25日発行（毎月1回25日発行）
編集兼発行人　　田　崎　忠　行
印　刷　所　　日本印刷株式会社

発 行 所　本部　一般社団法人　日本建設機械施工協会
〒105-0011 東京都港区芝公園3丁目5番8号　機械振興会館内
電話（03）3433-1501；Fax（03）3432-0289；http://www.jcmanet.or.jp/

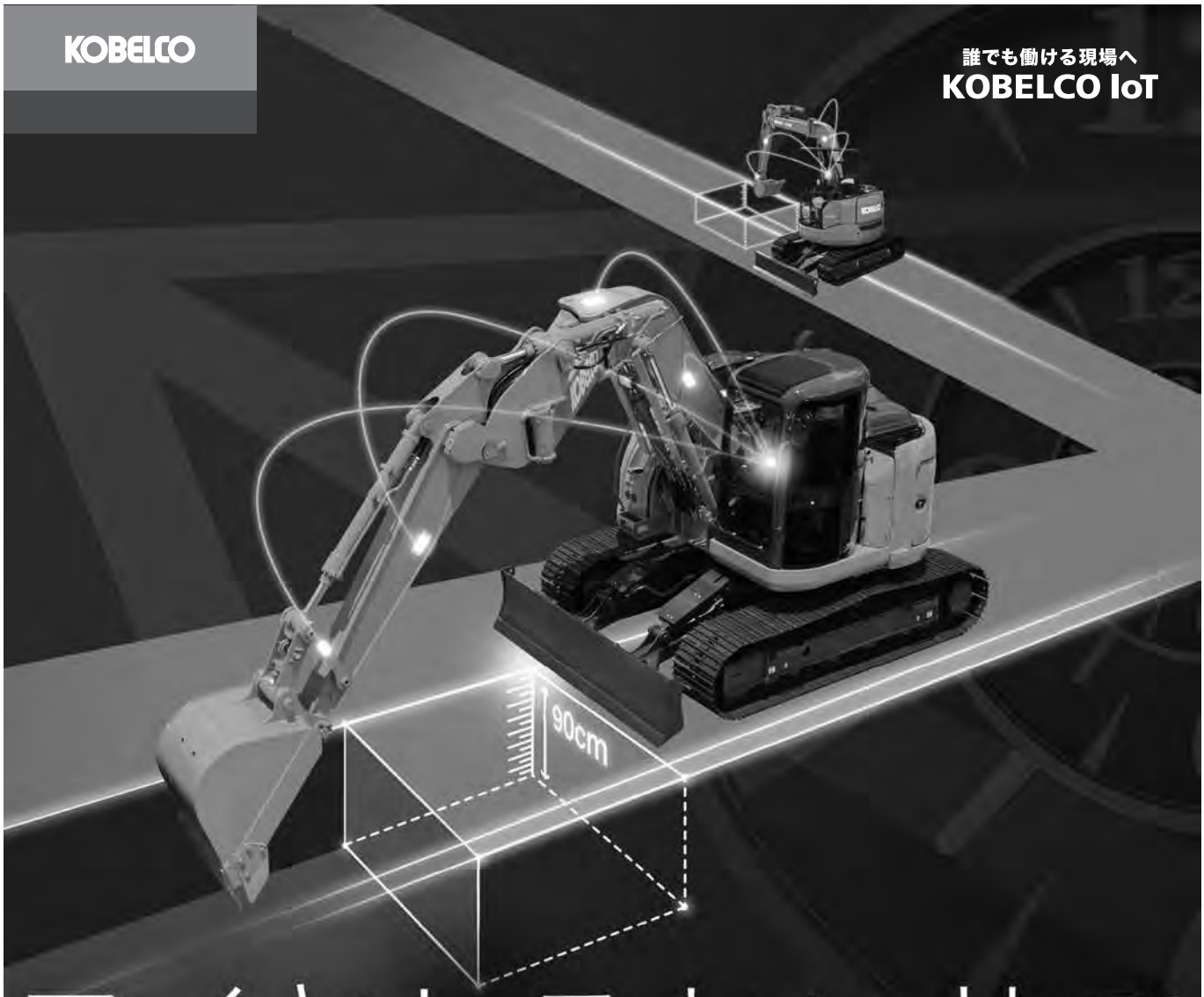
| | | |
|---|---|---|
| 施工技術総合研究所 | 〒417-0801 静岡県富士市大渕 3154 | 電話（0545）35-0212 |
| 北海道支部 | 〒060-0003 札幌市中央区北三条西 2-8 | 電話（011）231-4428 |
| 東北支部 | 〒980-0014 仙台市青葉区本町 3-4-18 | 電話（022）222-3915 |
| 北陸支部 | 〒950-0965 新潟市中央区新光町 6-1 | 電話（025）280-0128 |
| 中部支部 | 〒460-0002 名古屋市中区丸の内 3-17-10 | 電話（052）962-2394 |
| 関西支部 | 〒540-0012 大阪市中央区谷町 2-7-4 | 電話（06）6941-8845 |
| 中国支部 | 〒730-0013 広島市中区八丁堀 12-22 | 電話（082）221-6841 |
| 四国支部 | 〒760-0066 高松市福岡町 3-11-22 | 電話（087）821-8074 |
| 九州支部 | 〒812-0013 福岡市博多区博多駅東 2-4-30 | 電話（092）436-3322 |



本誌上への広告は Santana 有限会社 サンタナ アートワークスまでお申し込み、お問い合せ下さい。
〒103-0013　東京都中央区日本橋人形町2-21-5　井手口ビル4F　TEL：03-3664-0118　FAX：03-3664-0138
E-mail：san-mich@zam.att.ne.jp　担当：田中

KOBELCO

誰でも働ける現場へ
KOBELCO IoT



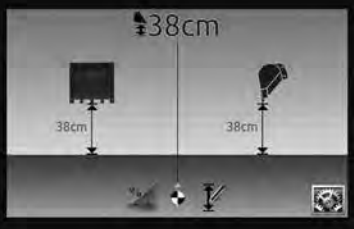

# ワイヤレスセンサで施工現場が加速する

ホルナビ

2D Machine Guidance iDig

**2時間のセットアップで、コベルコ機がさらに便利に！**
**２Dマシンガイダンスシステム「iDig」新登場！**

1. 新車機も保有機も！
   2時間でセットアップ可能
2. 業界初、オフセットブーム対応！
   自在な施工をガイダンス
3. ワイヤレスで導く！
   マスト不要で幅広い現場に対応




ガイダンス画面イメージ

すべてコベルコが窓口となって対応する
ワンストップサービスだから安心です。

ホルナビについてお問い合わせ・ご相談はこちらまで

コベルコ建機株式会社
〒141-8626 東京都品川区北品川 5-5-15
TEL:03-5789-2111
www.kobelco-kenki.co.jp

HITACHI

Reliable solutions

# スムーズに、意のままに施工図面を再現。

日立建機の制御技術を集約したマシンコントロールにより
オペレータをサポートしながら、高精度な作業を実現。
スマートフォン感覚で扱えるタッチパネルディスプレイにより、
オペレータの要求にスピーディに応えます。

写真には、一部オプション品が含まれます。

ICT油圧ショベル
**ZAXIS200x**

後方超小旋回型 ICT油圧ショベル
**ZAXIS135usx**

## 高精度に、図面を再現

### Solution Linkage Assist

システムに登録した施工図面に沿って掘削を行うICT油圧ショベルは独自のマシンコントロール技術により、オペレータの操作をアシスト。3D/2Dに対応し、お客さまの現場に合わせてICT油圧ショベルの仕様を選択できます。

**3Dシステム** i-Construction※対応機

3D設計データ必要 | 丁張り大幅削減

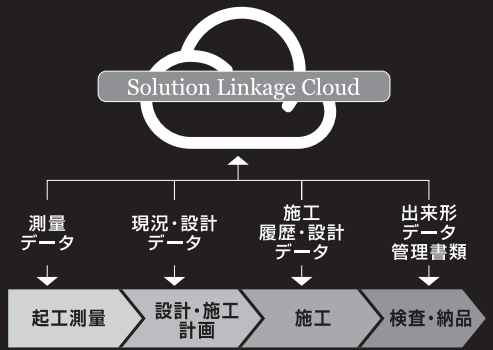
※i-Constructionは、国土交通省の登録商標です。

**2Dシステム**

3D設計データ不要 | 丁張りを利用

## ICT施工を包括的に支援

### “Solution Linkage Cloud”




クラウドで、ICT施工の全工程を管理できます。
アプリケーションを活用し、作業工程を効率的にサポートします。

- 1つのIDでそれぞれのアプリにログインが可能
- 10GBまでデータ保存無料
- ICT油圧ショベルに便利なアプリを集約

Solution Linkage Cloud

日立建機株式会社
www.hitachicm.com/global/jp/

特定特殊自動車排出ガス2014年基準適合車
国土交通省超低騒音型建設機械指定機
2020年燃費基準100%達成建設機械

TSURUMI PUMP

# 工事現場での洗浄や防塵作業に
# 豊富なバリエーションで対応！

# ツルミの高圧洗浄機 HPJ 型シリーズ

## エンジン駆動シリーズ

### 力要らずで女性でも簡単始動！

HPJ-550WES 型

簡単らくらく セルスタータ ラクセル

直結タイプ

**HPJ-E・ES 型**

吐出し量：8.1～32ℓ/min
圧　　力：4.9～19.6MPa

### 機動性に優れた４輪仕様！

ベルト掛けタイプ

**HPJ-E 型**

吐出し量：15.9～60.4ℓ/min
圧　　力：4.9～19.6MPa

### 市街地や住宅密集地での作業に最適！
### アイドリングストップ仕様もラインナップ※

NETIS 登録商品

※HPJ-5ESMA 型のみ

防音タイプ

**HPJ-ESM 型**

吐出し量：11.9～28.7ℓ/min
圧　　力：7.8～19.6MPa

動画

## モータ駆動シリーズ

### 圧力バリエーションが豊富！

ベーシックタイプ

**HPJ 型**

吐出し量：6.3～62.0ℓ/min
圧　　力：3.0～19.6MPa

### ステンレス製給水タンク装備！

高機能タイプ

タンク付タイプ

**HPJ 型**

吐出し量：12.9～36.2ℓ/min
圧　　力：4.9～14.7MPa

## 温水タイプ

### 油汚れや寒冷地での洗浄作業に！

温水温度調節可能：30～80℃

温水タイプ

**HPJ-HC・HE 型**

吐出し量：11.6～16.6ℓ/min
圧　　力：7～15MPa・34.3MPa

株式会社 鶴見製作所

大阪本店：〒538-8585 大阪市鶴見区鶴見4-16-40　TEL.(06)6911-2351 FAX.(06)6911-1800
東京本社：〒110-0016 東京都台東区台東1-33-8　TEL.(03)3833-9765 FAX.(03)3835-8429

北海道支店：TEL.(011)787-8385　東京支店：TEL.(03)3833-0331　中部支店：TEL.(052)481-8181　近畿支店：TEL.(06)6911-2311　四国支店：TEL.(087)815-3535
東北支店：TEL.(022)284-4107　北関東支店：TEL.(027)310-1122　北陸支店：TEL.(076)268-2761　中国支店：TEL.(082)923-5171　九州支店：TEL.(092)452-5001

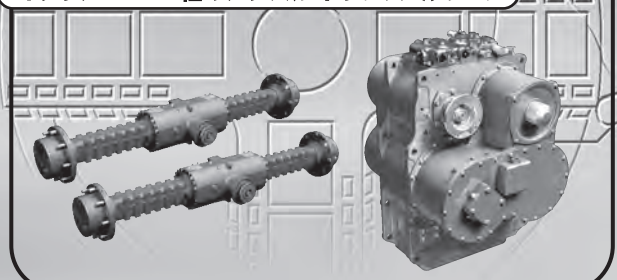
www.tsurumipump.co.jp

MARUMA

あらゆる建設機械／シールドマシン・・・

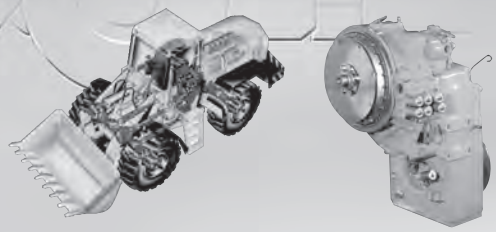
# 油圧機器の整備・再生

**イタリアDANA社のアクスル・トランスミッション**



**建設機械用ZFトランスミッション**

点検・整備は、日本ではマルマのみが対応

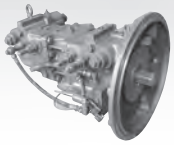


**建設機械のあらゆる油圧機器**

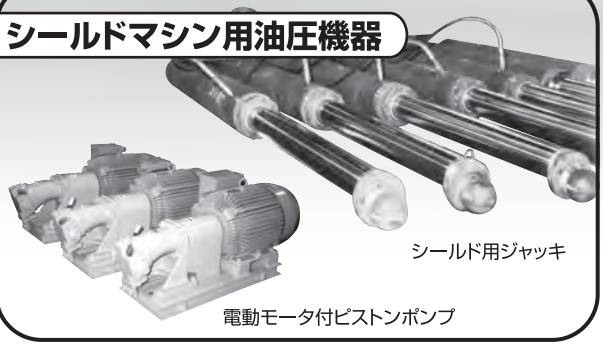
斜板式ダブルポンプ

斜軸式ピストンモータ

斜板式ピストンポンプ



**シールドマシン用油圧機器**

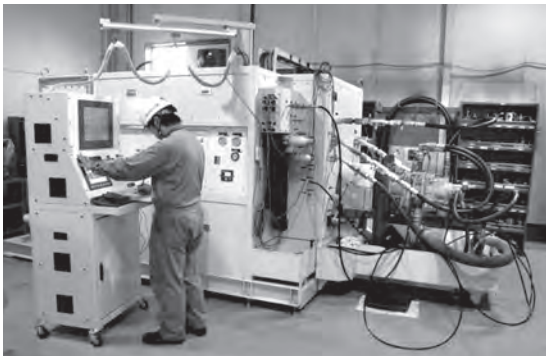


シールド用ジャッキ

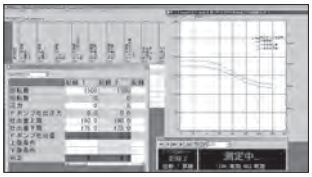
電動モータ付ピストンポンプ

## 建機と共に半世紀以上。確かな「信頼」をお届けします！

整備・再生された各Ass'yは、自社独自開発の多機能油圧機器試験機により性能を確認。各テストのデータはデータベースとして保存され、出荷後、マッチング調整や、搬送されてきた同等品の確認テストに活用します。この万全を期した体制がマルマの高い信頼性の由縁です。



MH-R220は従来の油圧ドライブ型油圧機器試験機に比べ、インバータ制御電動モーター駆動、及びエネルギー回生回路の採用により大幅な消費電力量の削減を実現しました。大型油圧ポンプの試験も可能です。



**マルマテクニカ株式会社**

本社・相模原事業所　営業部 整備油機課
〒252-0331　神奈川県相模原市南区大野台6-2-1
TEL042（751）3809　FAX042（756）4389
E-mail:yuki@maruma.co.jp

東京工場　〒156-0054　東京都世田谷区桜丘1-2-22
E-mail:tokyo@maruma.co.jp　TEL03（3429）2141　FAX03（3420）3336

名古屋事業所　〒485-0037　愛知県小牧市小針2-18
E-mail:n-service@maruma.co.jp　TEL0568（77）3311　FAX0568（77）3719

**URL http://www.maruma.co.jp/**

# コスモECOディーゼル

それはいつまでも
青い空のために

DH-2 対応ディーゼルエンジンオイル
SAE10W-30 ／ SAE15W-40

DH-2F 対応ディーゼルエンジンオイル
SAE5W-30

美しい地球、豊かな環境を目指して
ひた走るパワー、コスモルブ・ウェイ

## コスモ石油ルブリカンツの
# 環境対応潤滑油

省電力型油圧作動油
コスモ スーパーエポック UF




省電力型工業用ギヤー油
コスモ ECOギヤー EPS

それはいつまでも
蒼い地球のために

地球環境へ、

さらに新しい対応を求められている今、オイルもまた、次の課題をクリアする進化が問われます。
コスモ・ルブは、地球に、人に、優しい環境LUBEソリューションを提案してまいります。

コスモ石油ルブリカンツ株式会社
http://www.cosmo-lube.co.jp/
カスタマーサポートセンター：0120−15−4899

Mikasa
http://www.mikasas.com

街づくりを支える、信頼の三笠品質。



転圧センサー
バイブロコンパクター
MVH-308DSC-PAS
NETIS No. TH-120015-VE

タンピングランマー
MT-55H
NETIS No.TH-100005-VE

MVC-F60HS
NETIS No.TH-100006-VE

MRH-601DS
低騒音指定番号5097

MLP-1212A

FX-40G/FU-162

MCD-318HS-SGK
低騒音指定番号6190

三笠産業株式会社
MIKASA SANGYO CO., LTD. TOKYO, JAPAN
本社　〒101-0064 東京都千代田区神田猿楽町1-4-3 TEL：03-3292-1411（代）

大阪支店 TEL：06-6745-9631
札幌営業所 TEL：011-892-6920
仙台営業所 TEL：022-238-1521
新潟出張所 TEL：090-4066-0661
北関東営業所 TEL：0276-74-6452
長野出張所 TEL：080-1013-9542
中部営業所 TEL：052-504-3434
金沢出張所 TEL：080-1013-9538
中国営業所 TEL：082-875-8561
四国出張所 TEL：087-868-5111
九州営業所 TEL：092-431-5523
南九州出張所 TEL：080-1013-9558
沖縄出張所 TEL：080-1013-9328