

# 建設の施工企画 10

2011 OCTOBER No.740 JCMMA

## トンネル計測の新システム

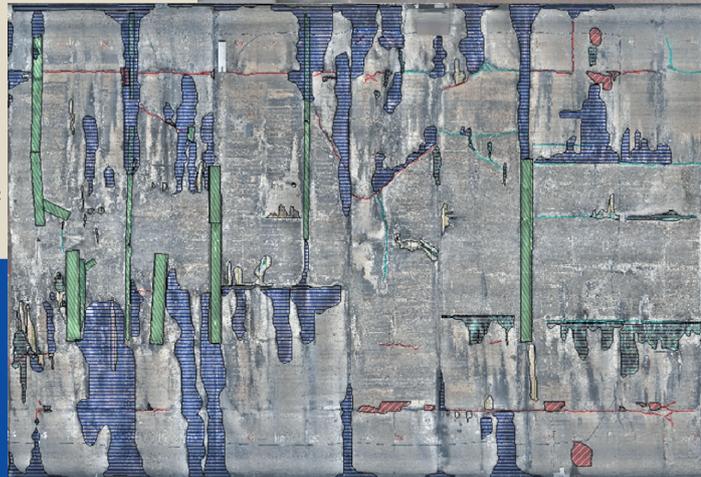
高輝度LED照明  
及びカメラ

高速でトンネル内を走行しながら  
覆工を撮影・計測する



高精度高密度レーザ

覆工撮影結果  
(変状プロット含む)



## 情報化施工・IT技術・ロボット化・ 自動化・自動制御 特集

- 情報化施工推進戦略の状況
- 中部地整 建設ICT導入普及研究会の状況
- 億首ダムでの情報化施工事例
- 殿ダムにおけるICT情報化施工技術の導入
- ネットワーク型RTK-GPSを用いた盛土品質管理システムの開発
- 建設機械における情報化施工システムの活用
- 新作業装置自動制御システムの紹介
- 大災害に立ち向かうロボットの開発
- 雲仙普賢岳火山砂防事業における無人化施工の最新技術
- 水中建設機械のマニピュレータ化と操作インターフェース
- MMSの最新動向
- 小型自律飛行ロボット(UAV)の活用による簡便な地物計測
- 準天頂衛星測位システムのカーナビ・ITS利用の動向

## 第 5 回 日本建設機械化協会 研究開発助成について

趣 旨： 当協会は、建設の機械化に関する我が国唯一の学術団体として、建設機械や建設の機械化及びそれらを活用した施工法などについて、シンポジウムの開催、会長賞の授与、機関誌による論文発表、各種講演会や、常設技術委員会の開催などを通じて学術調査・研究、技術開発、標準化事業等の活動を実施してまいりました。

これらの活動に加え、平成19年度より優れた研究開発・調査研究に対して助成を行う「日本建設機械化協会研究開発助成制度」を創設し、今年度も継続・実施いたします。

本助成は、建設機械及び建設施工技術に係る研究開発・調査研究を対象としており、研究の成果は、当協会主催の平成25年度「建設施工と建設機械シンポジウム」において発表して頂きます。

公募期間： 平成23年8月1日（月）～10月31日（月）

助成決定： 平成23年12月中旬頃に、採・否、助成額及び必要な条件については、厳正な審査会を経た上、当協会会長が決定します。

助成期間： 助成決定通知の翌日～平成25年3月31日（日）

助成対象： 建設事業の機械化を推進し、もって国土開発と経済発展に寄与すると考えられる建設機械及び建設施工技術に係る研究開発・調査研究であって、以下の要件のいずれかに該当する新規性、必要性又は発展性が高いとともに、研究計画に妥協性があると判断されるものを助成の対象とします。

- ① 建設機械と建設施工の合理化
- ② 建設機械と建設施工の環境保全
- ③ 防災・安全対策・災害対応
- ④ 建設施工の品質確保
- ⑤ 東日本大震災からの教訓に基づく技術開発

助成対象者： 助成対象とする研究者は下記の通りです。

- ① 大学、高等専門学校及びこれらの附属機関に属する研究者及び研究グループ
- ② 法人格を有する民間企業等の研究者及び研究グループ

助成内容： 助成の額及び助成の方法は下記の通りです。

- ① 助成の額は1件につき原則として200万円以内とします。
- ② 助成の額は原則として研究着手時に助成総額全額を交付します。
- ③ 研究は単年度で完結させるものとし、同一の研究テーマに対する研究開発助成は2回を限度とします。

応募方法： 助成を希望される研究者ご本人又は研究グループの代表者は、研究開発助成実施要綱等を当協会ホームページからダウンロードし内容を確認の上、所定の申請書に必要事項を記入し、書類とその電子データを期限（当日必着）までに当協会に郵送により提出するものとします。なお、電子メールによる受付は行いません。

\* 当協会ホームページ(<http://www.jcmanet.or.jp/>)

問合せ先：(社) 日本建設機械化協会 研究開発助成事務局（担当 鈴木）

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8 機械振興会館2F

T E L : 03-3433-1501 F A X : 03-3432-0289

情報化施工・IT技術・ロボット化・自動化・自動制御 特集

3	巻頭言	建設・施工作業へのロボット技術の適用	油田 信一
4		情報化施工推進戦略の状況	山口 崇
10		中部地整 建設ICT導入普及研究会の状況	建設ICT導入普及研究会
16		億首ダムでの情報化施工事例	松本三千緒・江田 正敏・武本隆太郎
21		殿ダムにおけるICT情報化施工技術の導入	日下 雅史・後藤 誠志・山田 啓一
28		ネットワーク型RTK-GPSを用いた盛土品質管理システムの開発	
		ネットワーク型RTK-GPSの性能確認実験	黒台 昌弘
33		建設機械における情報化施工システムの活用	
		情報化施工システムの普及に向けて	土井下健治・村本 英一・神田 俊彦
38		新作業装置自動制御システムの紹介	
		グレードコントロール, アキュグレード, クロススロープシステム	松村 秀雄
42		大災害に立ち向かうロボットの開発	久武 経夫・中里 邦子
48		雲仙普賢岳火山砂防事業における無人化施工の最新技術	建設無人化施工協会 技術委員会
53		水中建設機械のマニピュレータ化と操作インタフェース	平林 丈嗣
58		MMSの最新動向	西川 啓一・富樫 健司
65		小型自律飛行ロボット(UAV)の活用による簡便な地物計測	
			鈴木 太郎・橋詰 匠・鈴木 真二
70		準天頂衛星測位システムのカーナビ・ITS利用の動向	瀧口 純一・島 嘉宏
75		一般報文 日本一を目指す名古屋国道の現場力(その2)	
		官民の対等なパートナーシップの形成(不調不落対策から、さらなる展開へ)	高橋 敏彦
81		交流の広場 キヤノンのMR技術 設計・製造環境の構築	浜谷 雅秀・松村 大
86		ずいそう 瑠璃色の地球も花も宇宙の子	山崎 直子
87		ずいそう 畑の土に学ぶこと	福田 誠一
88		CMI報告 建設工事への情報通信技術の活用による監督・検査の合理化	柴藤 勝也・伊藤 文夫
91		部会報告 我が国における締固め機械の変遷(その2, 昭和40年代)	
			機械部会 路盤・舗装機械技術委員会(締固め機械変遷分科会)
96		新工法紹介	機関誌編集委員会
97		新機種紹介	機関誌編集委員会
98		統計 平成21年度「建設機械動向調査」の概要	
		国土交通省総合政策局公共事業企画調整課	
102		統計 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
103		行事一覧(2011年8月)	
106		編集後記	(山本・藤島)

◇表紙写真説明◇

### トンネル計測の新システム

写真提供：計測検査㈱

近年、社会インフラの維持管理に、モービルマッピングシステム(MMS)が活用され始めている。

トンネル計測専用車両として開発された新システムでは、MMSの位置姿勢計測ユニットに高精度高密度レーザーと高輝度LED照明およびビデオカメラを16台取り付けられている。これにより、走行しながらトンネル覆工面の撮影と3次元形状を計測することができる。走行しながらの計測のため、交通規制なし、短時間の計測時間、安全な計測作業が実現できる。

## 平成 23 年度「建設施工と建設機械シンポジウム」のご案内

“建設機械と施工法”に関する技術の向上を目的に、技術開発、研究成果の発表の場として「建設施工と建設機械シンポジウム」を毎年開催しております。本シンポジウムでは、「社会を支える建設施工と建設機械」をテーマとし、①災害、防災、復旧・復興 ② ICT の利活用 ③品質確保とコス

ト縮減 ④環境保全、省エネルギー対策 ⑤安全対策 ⑥維持・管理・補修の6項目に関連する発表を行うほか、東日本大震災「建設機械が果たした役割とこれからの課題」として、パネルディスカッションや特別講演を予定しております。参加申し込みは、当協会ホームページをご覧ください。

会期：平成 23 年 11 月 30 日(水)  
～ 12 月 1 日(木)  
詳細問い合わせ先：  
社)日本建設機械化協会  
シンポジウム実行委員会事務局 両角  
TEL：03-3433-1501  
FAX：03-3432-0289  
<http://www.jcmanet.or.jp>

## 平成 23 年度 施工技術報告会のご案内 「最近の建設技術、保全技術、環境と施工事例」

直接、設計・施工・保全に携わった方々に施工技術の成果を報告していただく「施工技術報告会」を毎年企画しております。日頃直面している諸問題について関係各位の相互啓発にたいへん参考になると存じますので、多数ご参加いただきたくご案内いたします。

期日：平成 24 年 2 月 3 日(金)  
場所：建設交流館 8F グリーンホール  
(大阪市西区立売堀 2-1-2)  
定員：200 名(先着順)  
参加費：  
会員 5,000 円、非会員 7,000 円  
(いずれも講演概要資料代を含む)

申込期限：平成 23 年 12 月 22 日(木)  
詳細問い合わせ先：  
社)日本建設機械化協会 関西支部  
TEL：06-6941-8845  
FAX：06-6941-1378  
e-mail：jcmakans@muse.ocn.ne.jp

## 平成 23 年度建設機械施工技術検定試験

### － 1・2 級建設機械施工技士－

平成 23 年度 1・2 級建設機械施工技術検定試験を次の通り実施しております。

この資格は、建設事業の建設機械施工に係る技術力や知識を検定します。(次の記載内容は概略ですので、詳細は当協会ホームページを参照又は電話

により問合せください。)  
1. 申込み受付  
4 月 8 日(金)終了  
2. 試験日  
学科試験：6 月 19 日(日)終了  
実地試験：平成 23 年 8 月下旬から 9 月中旬終了

3. 合格発表 11 月下旬  
詳細問い合わせ先：  
社)日本建設機械化協会 試験部  
TEL：03-3433-1575  
<http://www.jcmanet.or.jp>

## 2012 年開催「国際大ダム会議」出展募集のご案内

「国際大ダム会議第 80 回年次例会及び第 24 回大会」が 2012 年に開催されます。会議の一環として展示ブースが設置されることとなり、当協会においても出展を行います。この展示ブースにパネル展示を希望される会員様を募集致します。

1. 募集内容  
展示パネルサイズ(基本)：A1 縦長パネル  
利用料(A1)：30,000 円/枚  
申込期限：平成 23 年 8 月 1 日(月)終了  
2. 展示概要  
期間：平成 24 年 6 月 5 日～ 8 日  
場所：国立京都国際会館

展示ブース(1 ブース)の大きさ：  
3.0 × 3.0 × 2.5 m(幅×奥行×高さ)  
詳細問い合わせ先：  
社)日本建設機械化協会 白鳥  
TEL：03-3433-1501  
FAX：03-3432-0289  
e-mail：shiratori@jcmanet.or.jp

## 巻頭言

# 建設・施工作業へのロボット技術の適用

油 田 信 一



多くの人々がロボットに大きな期待を描くのに対し、バラエティのある環境で実際に働く有用な自働機械（ロボット）を実現することは技術的にもコスト的にも容易ではない。そのため、「建設ロボット」の開発は、最近ではむしろ停滞気味に感じることも少なくない。しかし、建設機械の自動化や遠隔操作技術は着実に進歩しつつあり、施工の情報化も進行しつつある。東日本大震災に伴う原子力発電所の事故に関しても、無人化施工技術が適用され、遠隔ステーションのオペレータにより重機が放射性を有するがれきの処理を進めている。

ロボット技術にはいろいろな側面がある。ロボットとは「工夫されたメカニズムと制御が組み込まれて構成された機械」と定義してよいと思われるが、ロボットを実際に応用しようとするとき、作業を行うロボットには以下の期待が存在する。

- (1) 汎用の機械としてのロボット
- (2) 複雑な仕事を遂行する機械としてのロボット
- (3) 多くの要素がインテグレートされた機械としてのロボット

これらは各若干相反する期待である。が、建設へのロボット技術の適用についても、ロボットのこれらの性格が期待され、今までに多くのいわゆる建設ロボットが企画・開発されてきた。以下、その各々の性格に沿って、建設に使われているロボット技術を考えてみたい。

### ・汎用機械としてのロボットの技術

一台の機械に、いろいろな現場でなるべく多くの作業をさせたい。その代表例はパワーショベルである。パワーショベルはすでに確立した技術を有する機械であり、一般にはロボットとはみなされないが、これは多関節アームと移動機能を持ち、人間に替わって土の掘削などの作業を行う機械であり、機能から考えれば、操縦型のロボットの代表例と言えよう。

パワーショベルはその有用性のため、単に土を掘ったり移したりする作業だけでなく、バケットをいろいろな手先効果器に交換して、さらに多くの作業に利用されている。

### ・複雑で器用な仕事を遂行する自動機械としてのロボット技術

建設には長年の経験に基づく熟練を必要とする作業が少なくない。作業者の高齢化に対処するため、熟練作業員がやっている仕事を自動化された機械に置きかえる試みがなされてきた。これらは、作業員の苦渋な作業からの解放に役立つ上、作業の出来上がりの精度等を計測して、その結果を保証することを可能としており、建設分野の現代化にも貢献していると言えよう。

### ・多くの要素をインテグレートしたシステムとしてのロボット技術

与えられた設計情報に基づいて一連の作業を自律的に遂行するシステムの開発の例として、平成15～19年にかけて国交省や土木研究所等で行われた総合開発プロジェクト「ロボット等によるIT施工システムの開発」では、三次元設計情報と、建機に搭載したセンサに基づいて、自律的なパワーショベルに溝を掘削させる実験システムが構築された。また、無人化施工システムは、立ち入り禁止区域にある建機を、遠隔のオペレーションルームでオペレータが、通信で送られた画像やセンサ情報に基づき操作することにより作業を実現している。前者ではロボットシステムが自律的に判断して作業を自動化することが技術的なキーであり、後者は現場とステーションを結ぶ建設機械の制御のループの中でオペレータが有効に働き、作業効率を確保することが技術の中心である。

建設ロボットには、段取りされた工場の中で決められた作業を遂行する製造業におけるロボットとは異なり、ひとまわり複雑でバラエティのある環境で、複雑でバラエティのある作業を機械化・自動化していくことが求められている。これらはロボット技術が追求している方向そのものであり、建設分野こそ、ロボット技術の先端的な研究成果を実問題に適用する極めて適切なプラットフォームである。

# 情報化施工推進戦略の状況

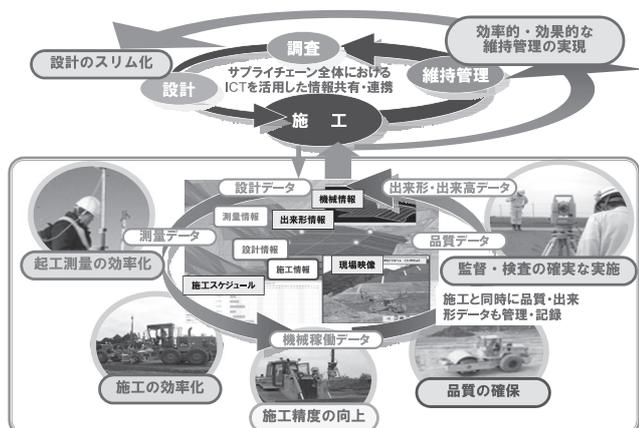
山口 崇

国土交通省は、産学官による「情報化施工推進会議」を設置し、情報化施工の戦略的な推進の指針となる「情報化施工推進戦略」を平成20年7月に策定・公表した。さらに、平成22年8月に、新たな普及方針をとりまとめた「情報化施工技術の一般化・実用化の推進について」を各地方整備局等に通知した。また、平成23年1月に第8回情報化施工推進会議を開催し、推進戦略策定以降の普及推進の取り組みを踏まえ、今後、重点的に取り組むべき課題を整理した。本稿では、情報化施工の普及推進状況、今後の情報化施工の普及推進に向けて重点的に取り組むべき課題について紹介する。

キーワード：情報化施工、情報化施工推進会議、情報化施工推進戦略、ICT、TS、GNSS、MC、MG

## 1. はじめに

情報化施工とは、建設事業の調査、設計、施工、監督・検査、維持管理という建設生産プロセスのうち「施工」に注目して、ICT（Information and Communication Technology：情報通信技術）の活用により各プロセスから得られる電子情報を活用して高効率・高精度な施工を実現し、さらに施工で得られる電子情報を他のプロセスに活用することによって、建設生産プロセス全体における生産性の向上とともに、透明性の向上や品質の確保を図るシステムである。



図一 情報化施工の実現イメージ

国土交通省は、情報化施工の本格的普及を目指し、産学官による「情報化施工推進会議（委員長：建山和由 立命館大学教授）」を設置し、情報化施工の戦略的な推進の指針となる「情報化施工推進戦略」（以下、「推

進戦略」という）を平成20年7月31日に策定・公表した。

さらに、平成22年8月には、技術毎の普及状況等を勘案し、新たな普及方針をとりまとめた「情報化施工技術の一般化・実用化の推進について」（平成22年8月2日付け国官技第113号、国総施第31号）（以下、「通達文書」という）を各地方整備局等に通知した。

また、平成23年1月25日に第8回情報化施工推進会議を開催し、普及推進の取り組み状況の報告と、これまでの推進戦略策定以降の普及推進の取り組みを踏まえ、今後、重点的に取り組むべき課題を整理した。

本稿では、情報化施工技術の導入状況、情報化施工の普及推進に向けて重点的に取り組むべき課題について紹介する。

## 2. 情報化施工の普及推進状況

情報化施工技術は大きく分類すると、ICTを用いて建設機械の作業装置を自動制御するなどの施工に活用する技術と施工の状況や結果の3次元座標情報などを計測・処理などして施工管理に活用する技術に分けられ、代表的なものとして、以下の技術がある。

### 1) 施工に活用する技術

- ①マシンガイダンス（MG）技術（ブルドーザ、バックホウ等）
- ②マシンコントロール（MC）技術（モータグレーダ、ブルドーザ等）

2) 施工管理に活用する技術

- ① TS (トータルステーション) による出来形管理技術
- ② TS・GNSS による締固め管理技術

なお、GNSS (Global Navigation Satellite System) は、全地球航法衛星システムのことであり、アメリカのGPSやロシアのGLONASSなどの全地球を対象とする衛星測位システムのことである。

(1) 導入効果

情報化施工技術の具体的な導入効果の事例として、MC (モータグレーダ) 技術を紹介する。MC (モータグレーダ) 技術は、トータルステーション (GNSS を用いる場合もある) でブレードの3次元座標をリアルタイムに把握し、設計データに基づいてブレードを数値制御する (図-2 参照)。丁張りや検測作業の削減が可能となり、時間短縮や補助作業員の省力化が期待できる。

試験施工におけるMC (モータグレーダ) 技術によ

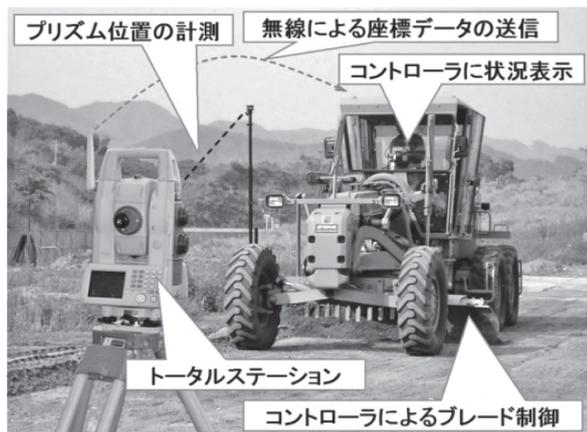


図-2 MC (モータグレーダ) 技術の概念図

る日当たり施工量を図-3に示す。標準歩掛で設定されている施工量 (1,110 m<sup>2</sup>/日) に比べて平均で1.6倍程度となっており、飛躍的に施工効率が向上する結果となっている。

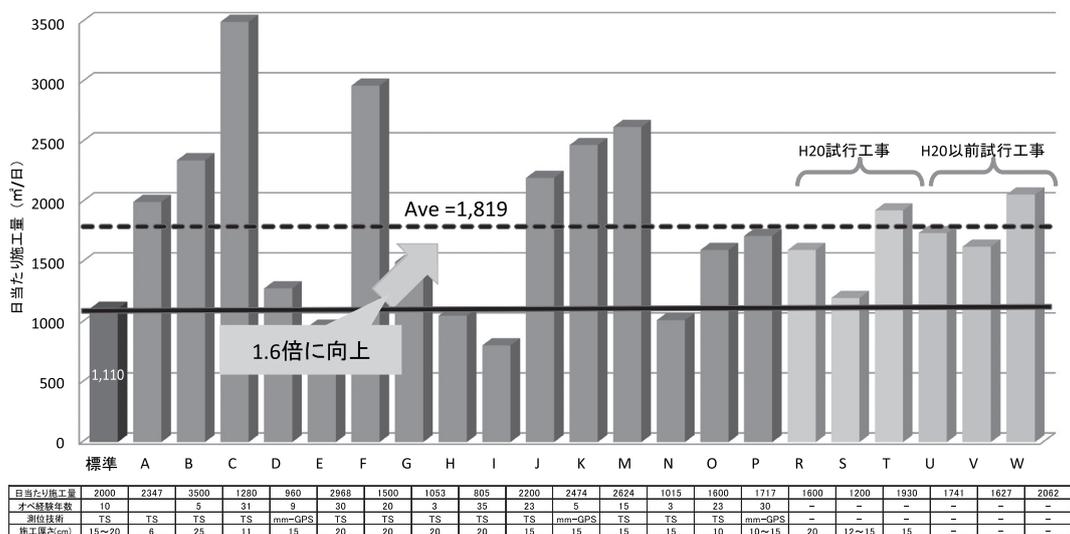
また、試験施工におけるMC (モータグレーダ) 技術による施工精度を図-4に示す。±20 mm 以下の施工精度となっており、規格値 (±40 mm) と比べて高精度な施工品質を確保できる結果となっている。

(2) 導入状況

推進戦略の策定・公表以降、工事現場における技術の検証、導入効果や課題および適用範囲の把握、技術の周知、人材育成等を目的に、全国の直轄工事で情報化施工技術を導入する試験施工を実施している。試験施工の実施件数は、図-5に示すとおり、平成20年度37件、平成21年度146件、平成22年度322件 (見込) となっている。平成22年度は前年度比2.2倍となっており、推進戦略策定以降、急速に増加している。

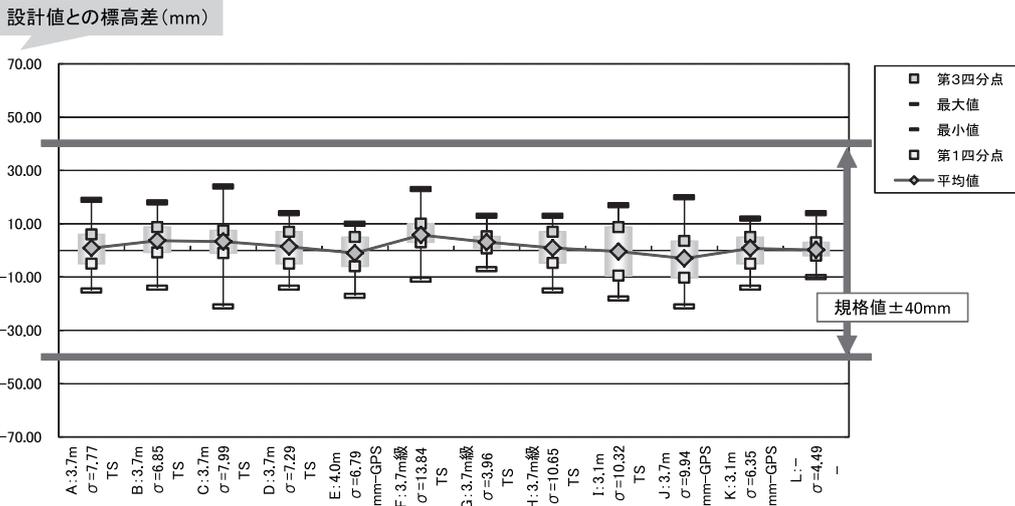
通達文書では、「TSによる出来形管理技術 (土工)」および「MC (モータグレーダ) 技術」を平成25年度に一般化する情報化施工技術として位置付けている。それら技術は、一般化に向けた平成24年度までの具体的な戦略を立案することとしており、その一環として、導入工事の目標件数を設定している。

情報化施工技術毎の導入件数は、図-6 (施工に活用する技術)、図-7 (施工管理に活用する技術) に示すとおりである。施工に活用する技術は、MC 技術のモータグレーダとブルドーザが多く、MG 技術のバックホウ (3D) も多くなっている。施工管理に活用する技術は、TS 出来形管理技術の土工が多く、



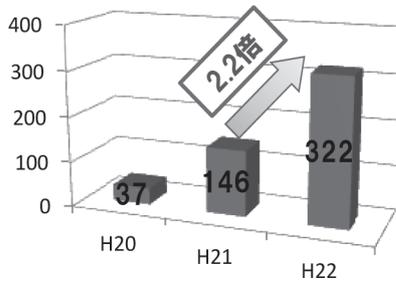
※: 同一工事で下層路盤、上層路盤に分かれている場合は分けて分析

図-3 MC (モータグレーダ) 技術による日当たり施工量



※: 施工精度が確認できる工事のみで確認

図一四 MC (モータグレーダ) 技術による施工精度 (下層路盤工)



図一五 試験施工の実施件数

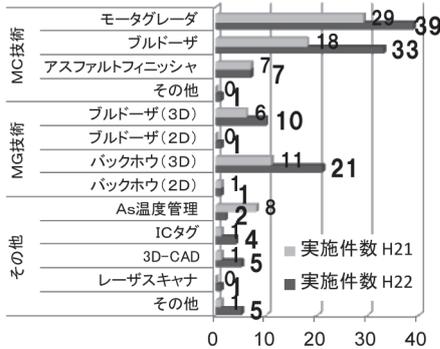
TS・GNSSによる締固め管理技術も多くなっている。平成25年度に一般化する情報化施工技術の実施件数は、MC (モータグレーダ) 技術が39件、TSによる出来形管理技術 (土工) は193件となっている。平成22年度の目標件数は、TSによる出来形管理技術を150件から200件、MC (モータグレーダ) 技術を30件から40件に設定しており、目標件数を達成している。

平成23年度も引き続き、推進戦略と通達文書の方針に基づき、情報化施工技術を導入する工事の目標件数を定めて、積極的に技術を導入する試験施工を実施している。

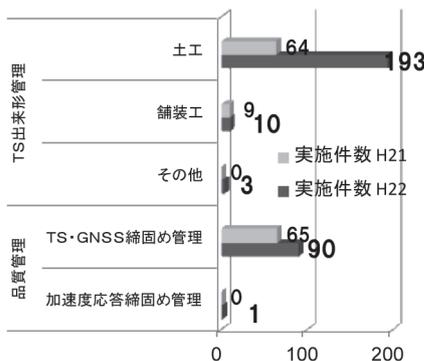
(3) 人材育成の状況

推進戦略の重点目標の一つである人材育成の取り組み状況を紹介する。

国土交通省の取り組みとして、各地方整備局等で情報化施工技術を導入した工事現場にて、見学会を実施している (表一1)。平成22年度の現場見学会は、全国で35回開催されており、延べ1,500人以上の発注者、施工業者、地方自治体職員等が参加している。平成20年度からの累計は、見学会を83回実施し、延べ4,000人以上が参加している。



図一六 技術別の実施件数 (施工に活用する技術)



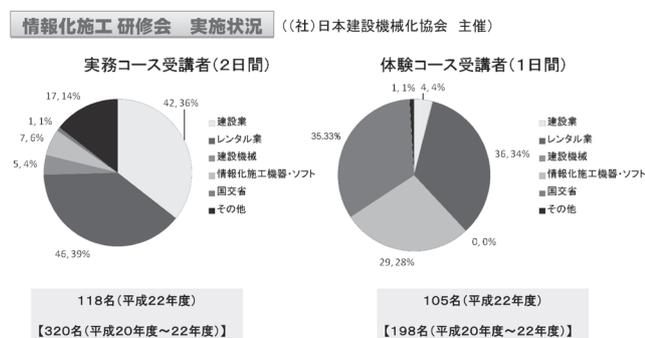
図一七 技術別の実施件数 (施工管理に活用する技術)

表一1 情報化施工見学会実施状況

全国	実施回数	参加者数
平成20年度	13回	464人
平成21年度	35回	2,131人
平成22年度	35回	1,593人
合計	83回	4,188人

現場見学会では、「機器の操作や故障時の対応に関する講習会の開催要望」や「監督職員等の情報化施工の知識の習得の必要性」といった感想・意見等があり、実際に導入するときを感じる疑問や課題に参加者の関心に移り、実践的な講習会等へのニーズが高まっている状況にある。また、各地方整備局等では、発注者側の監督・検査職員の人材を育成するための研修も実施している。

次に、民間事業者による研修会等の取り組みとして、(社)日本建設機械化協会による情報化施工研修会の開催状況を図—8に示す。平成20年度から22年度にかけて、延べ500名以上が参加している。本研修会には、情報化施工機器に搭載するデータを作成し、実機を操作する「実務コース」等がある。



図—8 民間事業者による研修会の実施状況

#### (4) 施工管理、監督検査要領の整備状況

推進戦略と通達文書の方針に基づき、情報化施工の普及推進に向けた環境整備として、情報化施工に対応した施工管理、監督・検査要領の整備を進めている。施工管理において活用する情報化施工技術は、施工データや出来形・品質等の施工管理データを迅速かつ連続的に把握することが可能となる。それらにより、受注者の施工管理や発注者の監督・検査時の迅速な判断の支援、業務の効率化、確実な品質の確保などが期待できる。そのため、情報化施工技術の特性を活かした施工管理、監督検査要領の整備を進めている。

平成22年度までに、TSによる出来形管理技術(土工)の施工管理、監督・検査要領とTS・GNSSによる締固め管理の施工管理要領を整備し、試験施工で活用している。平成23年度は、TSによる出来形管理技術(舗装工)の施工管理と監督・検査要領の整備、TS・GNSSによる締固め管理技術の施工管理要領の改正と監督・検査要領の整備に向けて検討作業を進めている。

#### (5) その他の具体的な措置の状況

##### ① 初期投資及び初期設定費用の計上

情報化施工技術を発注者が指定する工事において、施工に活用する情報化施工技術を導入する場合に、必要な機器・システムの調達に必要な費用(レンタル費用、初期設定費用)を計上することとしている。また、情報化施工技術に対する調査を実施する場合は、必要な費用を計上することとしている。

##### ② 入札契約時及び工事成績の評価

総合評価落札方式において、施工者希望型工事で情報化施工技術の活用が想定される全ての工事において情報化施工技術の活用を評価項目に設定するなど積極的な評価を行うこととしている。

工事成績評定においても、情報化施工技術を活用した場合に、創意工夫における「施工」による加点を行うとともに、NETIS登録されている場合は、従来のNETISに対する加点の考え方に従い同時に加点する考え方を示している。

##### ③ 技術を円滑に導入するための環境整備

情報化施工を実施するための設計データの流通環境整備の一環として、施工管理に必要な3次元データを発注者が作成等する試行を進めている。施工管理に必要な3次元データとは、TSによる出来形管理に用いる3次元データのことである。マシンコントロール等の施工に用いる3次元データは、施工者が作成することとしている。なお、発注者指定型工事では、施工に用いる3次元データの作成に必要な費用を発注者が負担することとしている(図—9参照)。

### 3. 重点的に取り組むべき課題

推進戦略では、普及に向けた課題を工事発注者の課題、施工企業等の課題、共通課題の3つに大きく分類し28課題に整理している。また、それぞれの課題の対応方針、役割分担、スケジュールを具体的に示している。これら課題を基本に、試験施工のアンケート調査、業界との意見交換、各地整等によるニーズ把握等を踏まえて、発注者と受注者の双方が平成24年度までに重点的に実施すべき課題の選択と集中を実施した。

その中で発注者として取り組むべき課題の具体的な対応方針等を整理し、表—2のとおり工事発注者として重点的に取り組むべき課題をとりまとめた。

■ 従来の設計データの扱い



■ 22年度から実施するデータ流通環境・・・設計から施工へのデータ流通を実現

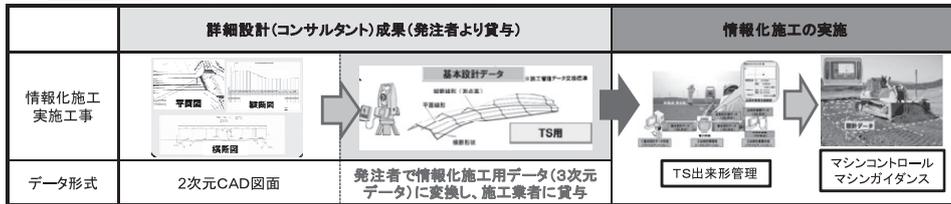


図-9 情報化施工用設計データの流通環境整備ロードマップ (案)

表-2 工事発注者として重点的に取り組むべき課題について (案)

要望	対応する具体的な内容	対応する内容の現状	対応のポイント	具体的な対応方針
1-1	バックホウ技術の普及推進	・通達文書では、早期実用化に向けて検討を進める情報化施工技術に位置付けており、試行工事を実施している状況。	【コスト・適用性】 ・適材適所のシステム適用 (2D 対応) ・レンタル費用の低下 (稼働率)	■高機能の情報化施工機器 (3D- マシンガイダンス (MG)) の導入コストの負担増が普及の課題の一因となっているため、2D-MG で十分な工事の適用範囲を明らかにし普及促進を図る ■システムの特性に応じた具体的な戦略 (一般化の目標、普及段階の目標件数、取り組み内容など) に基づく普及促進
1-2	ブルドーザ技術の普及推進	・通達文書では、早期実用化に向けて検討を進める情報化施工技術に位置付けており、試行工事を実施している状況。	【コスト・適用性】 ・適材適所のシステム適用 (2D 対応) ・レンタル費用の低下 (稼働率) ・路盤工への適用性	■高機能の情報化施工機器 (3D- マシンコントロール (MC)) の導入コストの負担増が普及の課題の一因となっているため、2D-MC, 3D-MG, 2D-MG で十分な工事の適用範囲を明らかにし普及促進を図る ■システムの特性に応じた具体的な戦略 (一般化の目標、普及段階の目標件数、取り組み内容など) に基づく普及促進
2	情報化施工技術の特性に応じた基準・要領の策定	・「TS を用いた出来形管理の監督・検査要領 (案)」(H22.3 月) は特性を活かして基準・要領を策定。 (今のところ、監督・検査要領は、この要領のみ。)	【基準・要領の策定】 ・特性を活かした対応 ・現場業務の効率化	■ ICT を活用した施工管理、受発注者協議等も含めた工事一連の情報化の内容を検討し、それらを用いた現場業務を効率化するモデル工事を実施し、将来モデルの検討と普及促進を図る ■基準・要領の策定は個別対応
3-1	TS/GNSS 締固め管理の基準・要領の策定 (厚さ管理の導入)	・TS の要領同様、特性を活かした基準・要領を本年度中に策定する方向で対応中。 ・厚さ管理については導入の検討が必要。	【基準・要領の策定】 ・特性を活かした対応 ・現場業務の効率化	■ TS/GNSS 締固め管理の監督・検査要領の策定、管理要領の改正 ■厚さ管理について技術の特性を活かした管理の検討
3-2	舗装工の TS 出来形管理の基準・要領の策定	・舗装工の TS 出来形管理の試験施工 (全国展開) に向けて要領等の検討中。 ・厚さ、平坦性管理について導入の検討が必要。	【基準・要領の策定】 ・特性を活かした対応 ・現場業務の効率化	■舗装工の TS 出来形管理の監督・検査要領、管理要領の策定 ■厚さ、平坦性管理について技術の特性を活かした管理の導入

要望	対応する具体的な内容	対応する内容の現状	対応のポイント	具体的な対応方針
3-3	GNSSの出来形管理の基準・要領を策定	・土工のGNSS出来形管理は、要領(試行案)を作成し、検証中。 ・GNSSの測量精度が課題。	【基準・要領の策定】 ・特性を活かした対応 ・現場業務の効率化	■土工の出来形管理へのGNSSの適用性(測位精度・ばらつき、業務の効率化、機器費等のコスト)を検討 ■土工のGNSS出来形管理の監督検査要領、管理要領の策定
4-1	情報化施工技術を活用した場合のインセンティブがもっとほしい。(成績評定の更なる加点、工期短縮となった場合の報奨金制度等。)	・通達文書では、発注者指定型と施工者希望型に分け総合評価及び成績評定において情報化施工技術の活用を評価。	【インセンティブの付与】 ・総合評価における評価 ・成績評定における評価	■本年度の情報化施工技術導入の実態を把握し、総合評価及び成績評定改定等の検討
4-2	具体的には、技術力をもった専門工事業者の評価、及び技術力をもったオペレータの処遇の改善をしてほしい。	・現状ではゼネコンを対象とした評価となっており、専門工事業者及び技術力をもったオペレータの評価はしていない状況。	【インセンティブの付与】 ・現実的に評価が可能かどうか ・総合評価・成績評定等の評価	■評価等の実現可能性を検討するため、専門工事業者の実態を把握 ■専門工事業者及び技術力をもったオペレータの評価の検討
5	情報化施工のためのデータ作成については、二次元データを三次元化することが最も時間と費用が掛かるので、フォーマットの統一化などを進めてほしい。	・通達文書に基づき、TS出来形管理用の3次元データを発注者で準備して提供を開始。 ・3次元データ作成の効率化について検討中。	【データ作成】 ・3次元データ作成の効率化	■三次元データの作成を簡便にする情報の検討と提供の試行 ■発注者から提供するデータ形式の統一化(CALS標準形式に移行)

#### 4. おわりに

情報化施工技術は、現場において受発注者ともに、まだ不慣れなところはあるが、ある程度の効果が明らかになってきており、直轄工事への導入に大きな技術的問題はないと考えている。引き続き受発注者ともに人材育成や普及推進に取り組むとともに、重点的に実施するべき課題への対応を進め、設計データの取り扱いや情報化施工に対応した基準・要領の策定等の環境整備を行っていく。また、情報化施工の普及推進にとって大きなポイントとなる機器・システムの調達環境も、通達文書の方針に従い、発注者指定型である程度の情報化施工を導入する工事件数を提供することにより、改善されていくことを期待している。民間側に対しても、機器・システムの普及促進を引き続き働きかけていく。

更に、情報化施工は施工の効率化を図るための単なるツールではなく、施工で得られる情報を活用して技術者判断の高度化・支援を行うとともに、調査・設計

から施工、維持管理に至るまでの建設生産プロセス全体の効率化に寄与する技術と考えている。情報化施工を発注者自らの業務に活用し、直轄の技術力向上に活かしていくとともに、建設生産プロセス全体を踏まえ、社会資本整備の効率化・高度化に役立てていく取り組みを引き続き行っていく。

建設生産プロセスにイノベーションを起こすことを目指して、推進戦略と通達文書の方針に従い情報化施工の普及を積極的に推進してまいりますので、関係各位のご協力をお願い申し上げます。

JICMA

#### 【参考】

国土交通省 HP 情報化施工の本格普及に向けた取り組み  
<http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/kensetsusekou/kondankai/ICTsougou.htm>

【筆者紹介】  
 山口 崇 (やまぐち たかし)  
 国土交通省

## 中部地整 建設 ICT 導入普及研究会の状況

### 建設 ICT 導入普及研究会

中部地整では、計画から調査・設計・施工・維持管理にいたる一連の建設プロセスにおいて、ICTを活用し、効率化・高度化による生産性向上・行政サービス向上・現場技術力強化を図ることを目的として、産学官の関係者が一体となり「建設 ICT 導入普及研究会」を設立し、建設 ICT の導入普及に取り組んでいる。

「建設 ICT 導入普及研究会」では、調査・設計・施工といった一連の建設プロセスにおいて、ワーキンググループ（WG）を設置し、効果の検証や課題の解消等に重点的・計画的に取り組んできた。

これら WG の取組内容と、今後の方針等について紹介する。

キーワード：建設 ICT，建設 ICT 導入普及研究会，情報化施工，中部標準化，技術普及 WG，現場検証 WG，情報一元化 WG，設計施工見直し WG，監督検査施工見直し WG

### 1. はじめに

中小規模含めた一般工事において情報化施工技術の戦略的な普及・促進を図るため、国土交通省では産学官からなる「情報化施工推進会議」を設立（平成 20 年 2 月）し、具体的な目標やスケジュール等をまとめた「情報化施工推進戦略（平成 20 年 7 月）」を策定するなど、情報化施工の導入普及を推進してきた。

更に、国土交通省は、これまでの情報化施工に関する試験施工の実績や技術の普及状況等を踏まえ、既に技術的に確立した「一般化推進技術」については平成 25 年度より一般化を目指す旨の方針を示した（平成 22 年 8 月）。

一方、国土交通省中部地方整備局（以下「中部地整」）では、産学官の関係者が一体となり、技術普及・現場支援・技術研究を行う「建設 ICT 導入研究会」を全国に先駆け平成 20 年 11 月に設立し、直轄工事現場において情報化施工技術等を活用するモデル工事を積極的に実施するなど建設 ICT の導入普及に取り組んできた。今後の方針としては、全国の一般化スケジュールに先立ち、技術的に確立したとみなせる ICT 技術について、平成 24 年度以降標準的な施工方法とする予定である（中部標準化）（表 1）。

本稿では、中部地整における建設 ICT 導入普及に係るこれまでの取組や中部標準化に向けた今後の取組等について紹介する。

表 1 中部標準化実施方針

中部地整では、全国での一般化・実用化のスケジュールに先立ち、平成 24 年度から建設 ICT の一部技術について標準的な施工方法とする（中部標準化）。

#### ■ 中部地整の標準化スケジュール（案）

ICT 技術	H23	H24	H25	H26
TS 出来形管理（土工）	実用化段階	中部標準化 候補技術	一般化	
MC モータグレーダ			「一般化推進技術」 に準じて推進	
TS/GNSS 締固管理技術	検証段階			
MC ブルドーザ				
MG ブルドーザ				
MG バックホウ				

その他の技術は、引き続き現場での検証や導入にあたっての課題整理を実施

（参考）全国の一般化・実用化スケジュール ※ 平成 22 年 6 月 2 日付「情報化施工技術の一般化・実用化について」（国土交通省）を基に作成

ICT 技術	H23	H24	H25
TS 出来形管理（土工）	普及措置		一般化
MC モータグレーダ	早期実用化に向け検討		
TS/GNSS 締固管理技術			
MC ブルドーザ			
MG ブルドーザ			
MG バックホウ			

### 2. 建設 ICT 導入普及研究会設立の背景

中部地整では、計画から調査・設計・施工・維持管理にいたる一連の建設プロセスにおいて、ICTを活用し、効率化・高度化による生産性向上・行政サービス向上・現場技術力強化を図ることを目的として、受発注者及び開発者等の産学官の関係者が一体となり、技術普及・現場支援・技術研究を行う「建設 ICT 導入研究会」を全国に先駆け、平成 20 年 11 月に設立（平成 23 年 1 月からは「建設 ICT 導入普及研究会」（以下「導入普及研究会」）に発展解消）し、建設 ICT の導入普及に取り組んでいる（図 1、2）。

なお、現在は、中部以外の整備局においても情報化施工を推進する体制が確立されている。

導入普及研究会では、調査・設計・施工といった一連の建設プロセスにおいて、早期にICTを活用した施工技術（以下「ICT技術」）の導入を図るため、技術普及、現場支援等のワーキンググループ（WG）を設置し、効果の検証や課題の解消等に重点的・計画的

に取り組んできた（表—2）。

以下では、これらWGの取組概要について紹介する。

### 3. 導入普及研究会の取組

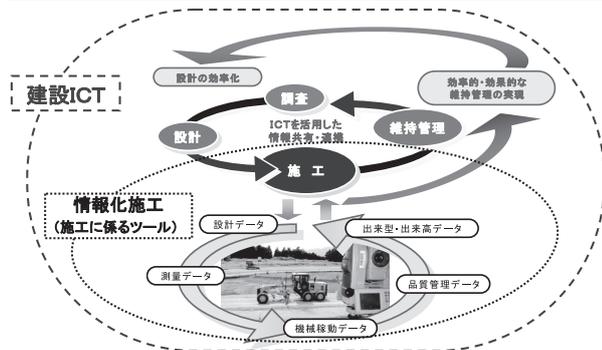
#### (1) 技術普及WG

##### ① HPによる広報活動

建設ICTに関する情報を会員と共有するため、「建設ICT総合サイト」（URL: <http://www.cbr.mlit.go.jp/kensetsu-ict/>）を開設（平成20年11月）（図—3）。本HPで紹介する主な内容は以下のようなものである。

- ・各種講習会や現場見学会等の「イベント情報」
- ・建設ICTについてわかりやすく解説した「建設ICTざっくりシリーズ」（冊子形式、ダウンロード可）等

● 調査・設計・施工・維持管理・修繕の一連の建設生産システムにおいて、コンピュータや通信技術などを導入し、効率化・高度化など生産性向上に寄与する**情報通信技術**を「建設ICT」という。（ICT=Information and Communication Technology）

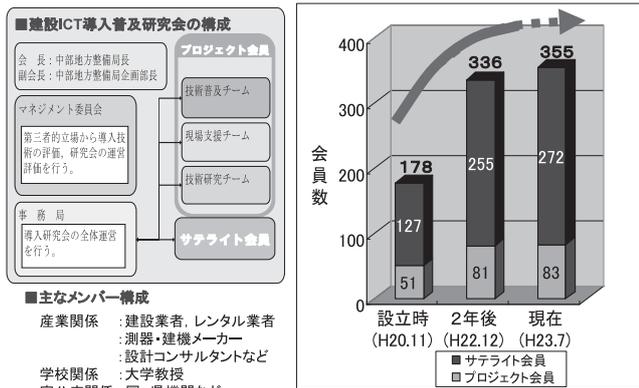


図—1 建設ICT～Information and Communication Technology～



図—3 HP（建設ICT総合サイト）による広報活動

会員数は2年半で 約2倍 355者



図—2 建設ICT導入普及研究会の構成と会員数の推移

表—2 建設ICT導入普及研究会における建設ICT推進体制

建設生産プロセス	ワーキング名	設置プロジェクトチーム(PT)名称と内容
調査		(全工程にわたるWGで実施)
設計	設計施工見直しWG	情報化施工データ活用検討PT: 3次元設計データ活用での検証。モデル業務の実施
施工	技術普及WG	技術普及活動PT: 現場見学会、セミナー等の計画・開催とICTサイトでの情報発信  技術者育成PT: 技術者育成プログラムの検討・策定と同研修の実施
	現場支援検証WG	現場支援PT: モデル事業の適用技術導入支援  モデル事業検証PT: モデル工事・事業の現場の効果検討・検証
	監督検査・施工管理見直しWG	監督検査・施工管理見直しPT: ICTを活用した効率的・効果的な監督検査方法の検討・実施
	情報一元化WG	情報共有システム効果実現PT: 情報共有システム(ASP)の活用による効率化検討・検証
維持管理		(全工程にわたるWGで実施)
全工程	建設マネジメント研究WG	調査・計画・維持管理段階ICT導入技術検討PT: 導入可能性技術の検討

本サイトは約 14 万人の方から 140 万回以上のアクセス（平成 23 年 7 月時点）を受けている。

②建設 ICT 現場見学会

ICT 技術の普及を図るため、管内の「モデル工事現場」を活用した体験型現場見学会を延べ 19 回開催した（平成 23 年 7 月時点）。本見学会の特徴は、「実際に施工を行う業者の方から直接 ICT 技術の説明を受けられる」、「開催現場毎に紹介する ICT 技術が異なる」等であり、参加者は以下のような体験ができる（表—3）。

- ・各現場で稼働している ICT を搭載した建設機械（以下「ICT 機器」）のシステムの説明や施工デモ体験（写真—1）

表—3 現場見学会紹介技術

紹介技術	回数
MGバックホウ(3D+2D)	10
MGブルドーザ	2
MCブルドーザ	3
MCモータグレーダ	3
MCアスファルトフィニッシャ	2
TS/GNSS締固め管理	6
TS出来形管理	19
基本設計データ作成方法説明	18



写真—1 MC モータグレーダと GNSS 締固め管理技術

- ・トータルステーション（TS）の操作方法説明、計測体験
- ・出来形管理用データ作成の手順説明等（写真—2）

参加者は、地元建設企業の方が多く、導入普及研究会会員以外やリピーターも多く、合計約 1,700 人が参加している（平成 23 年 7 月時点）。参加者からは、「見るだけでなく、実際に ICT 機器を操作することができたので参考になった。」（施工者）、「TS 出来形の設計データ作成を（自分に）できるだろうかと心配したが、サポートのお陰で思ったより簡単に作成できた。」（現場代理人）などの感想を受けた。

本見学会については、今後も継続予定である。



写真—2 基本設計データ作成方法説明

(2) 現場検証 WG

①モデル工事の実施

ICT 技術の普及とこれら技術の導入効果・課題の検証を目的に、中部地整管内のほぼ全事務所において ICT 技術を導入したモデル工事を実施している。

実施件数は平成 21 年度、22 年度はともに 36 件（新規・継続含む）、平成 23 年度は 40 件程度（新規）を予定している。

また、平成 22 年度迄に合計 135 技術をモデル工事を通して現場に導入した（表—4）。

表—4 H20～H22 年度実施モデル工事導入 ICT 技術

技術名(成熟度)	ICT技術	建設ICT適用工事件数					
		H20, 21	H22	H23	H24	H25	H26
一般化・実用化推進技術	TS出来形管理(土工)	25	12		中部標準化(候補技術)	一般化	
	MCモータグレーダ	5	3			一般化	
早期実用化検討技術	TS/GNSS締固め管理技術	7	4			「一般化推進技術」に準じて推進	
	MCブルドーザ	5	3				
	MGブルドーザ	4	1				
検証段階技術	MGバックホウ	11	7				
	ICタグ	5	1				
	3Dの導入	10					
	情報共有システム(ASP)	12	20				

注:モデル工事1件において、複数のICT技術数が導入されるため、導入技術数とモデル工事数は一致しない

②現場支援

モデル工事に取り組む中部地整事務所職員や施工者の中には、建設ICTに慣れていない者もあり、それらの者を対象とした現場支援活動を行っている。具体的には、モデル工事に先立ち「建設ICTの取組」「ICT技術のシステム概要」「モデル工事の実施内容」等について説明している。

本現場支援は中部地整モデル工事の全てにおいて実施しており、建設ICTに慣れていない者からも「本説明会による技術的なサポートのお陰で、抵抗なく取り組める。」との評価を受けた。

③モデル工事の検証（速報）

平成22年度までに実施したモデル工事の内、既に工事が完了したものについて、中間的なとりまとめを行った。調査は、現場においてICT技術を導入した請負者を対象に、「施工効率」・「施工精度」・「施工品質」・「安全性」・「環境負荷の低減」の項目について定めた調査票に基づき実施。従来施工と比較した施工効果等は以下のとおりとなった（表一5、図一4）。

ほとんどのICT技術において「施工効率」・「施工精度」・「施工品質」・「安全性」・「環境負荷の低減」について従来施工より向上する傾向が見られた。一方、MCアスファルトフィニッシャについては「施工効率」・「環

境負荷の低減」について低下している。MCアスファルトフィニッシャは検証段階技術であることから、将来の実用化に向けて課題や効果の把握に取り組むため、モデル工事件数を増やし検証を継続する。

(3) 情報一元化WG

中部地整においては、受発注者間で工事施工に必要な情報をインターネット経由で共有する情報共有システム(ASP)の試行を平成21年度より実施しており、平成22年度は全工事数の約40%で試行した。平成23年度においてはASPの試行を全工事数の約50%まで拡大するとともに、本格導入に向けて、職員の習熟に取り組む。また、本格導入に必須となるASPベンダー間でのデータ連携機能を実現するためのWGを開催する（図一5、6）。

(4) 設計施工見直しWG

従来の情報化施工においては、施工段階において従来設計成果を3D化し情報化施工用機器の入力データを作成していた。そのため、施工までに時間やコストがかかる等の課題があった。

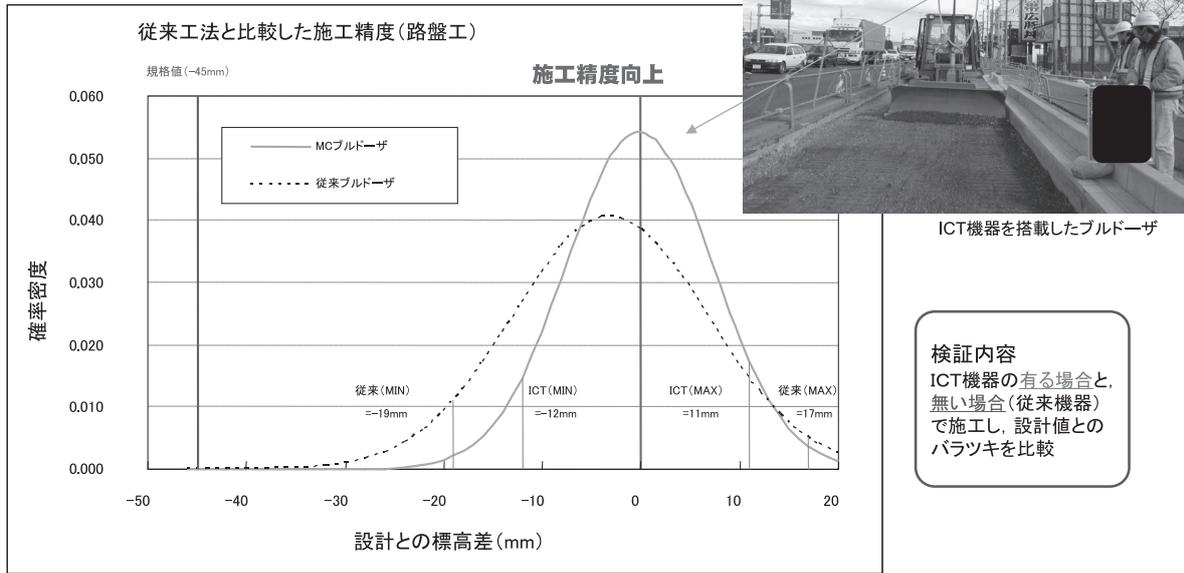
これに対し、設計段階でTS出来形管理、MC・MGに活用できる3D設計を作成するモデル業務を行った。

表一5 ICT導入普及研究会モデル工事検証（速報）

	対象ICT技術	対象工種	施工効率 (日当たり施工量)	環境負荷 (CO <sub>2</sub> 排出量の削減割合)	施工精度・品質 (設計値との差のパラソキ)	安全性 (H22は重機接触に関連する人工数)
一般化・実用化	MCグレーダ	路盤工	➡	➡	➡	➡
	TS出来形管理 (参考: アンケート調査より評価)		➡	-	➡	➡
早期実用化検討技術	TS・GNSS締め	盛土締め	➡	➡	➡	➡
	MGブルドーザ MCブルドーザ	盛土工・路盤工	➡	➡	➡	➡
	MGバックホウ	掘削工	➡	➡	➡	➡
		法面整形工	➡	➡	➡	➡
検証段階	MCアスファルト フィニッシャ	表層・基層工	➡	➡	➡	➡



注: 本とりまとめ結果は、平成21年度、22年度に中部地整で実施した一部の工事における速報値であり、今後の調査結果次第で効果等変わる可能性がある。



**検証内容**  
ICT機器の有る場合と、無い場合(従来機器)で施工し、設計値とのバラツキを比較

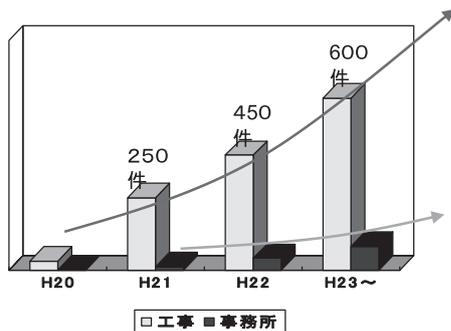


図-5 情報共有システム(ASP)の活用拡大

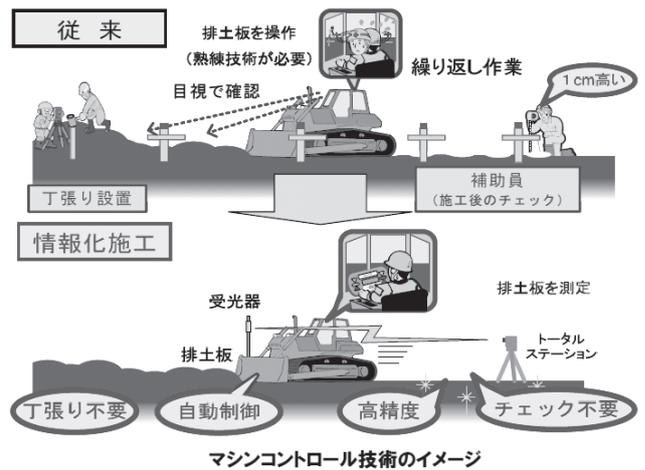


図-7 現場施工・監督・検査業務の省力化イメージ

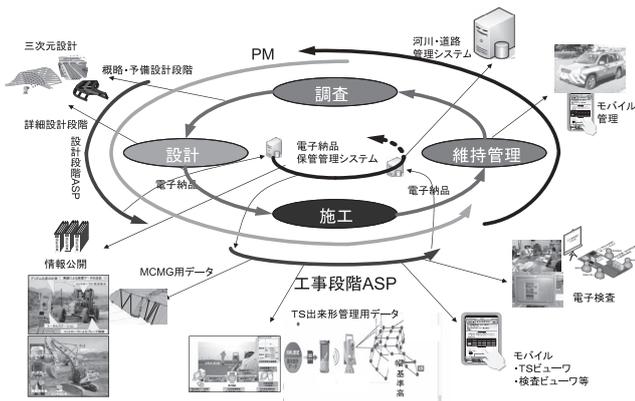


図-6 情報の一元化による建設生産システムの生産性向上

(5) 監督検査施工見直しWG

建設ICTを適用した工事に係る「監督・検査業務」の適切な実施や更なる効率化を目的に、実際にモデル工事の監督を行った国土交通省職員によるWGを開催し「情報化施工技術を用いたモデル工事における監督・検査要領(案)」の策定等に取り組んでいる(図-7)。

4. 今後の方針

国土交通省では、これまでの情報化施工に関する試験施工の実績や技術の普及状況等を踏まえ、既に技術的に確立した「一般化推進技術」については平成25年度より一般化を目指す旨の方針を示した(平成22年8月)。

これに対し中部地整では、モデル工事結果の検証を行い、技術的に確立したとみなせるICT技術については、国土交通省が示す全国の一般化のスケジュールに先立ち平成24年度以降標準的な施工方法とする予定である(中部標準化)(表-6)。

今後は、中部標準化に向けて、以下の課題に取り組む。

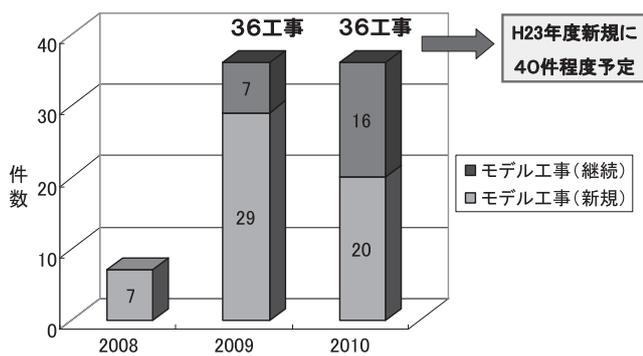
表一 6 中部標準化等の定義

段階	定義	技術	基準	積算
中部地整における建設ICT技術検証段階		モデル工事等で技術の適用性確認	未整備 ※基準(案)または従来工法用基準の準用	・費用(レンタル等)計上
実用化段階	・特定の情報化施工技術を、従来の一般的な技術として取扱 ・施工者の任意で利用可能(工事費は標準積算) ・発注者指定の場合、工事費はICT費用計上(従来工法が前提のため)	一般的(普及促進、技術の検証目的)		・費用(レンタル等)計上 ・効率化考慮
中部標準化	・特定の情報化施工技術について適用範囲を把握済み ・発注者の任意で利用可能 ・工事費等の積算基準は情報化施工用(ICT積算等)が未整備のため標準積算を準用	標準(普及促進目的)	整備(中部) ※本省(案)または従来工法用基準の準用も可	標準積算準用
一般化(注)	・特定の情報化施工技術が、特定工種の大部分の工事に利用されることが前提(普及済み) ・工事費等の積算の考え方は情報化施工対応方針(ICT積算整備、標準積算準用等)が確定		整備(本省)	情報化施工対応方針(ICT積算整備、標準積算準用等)が確定

注:一般化の定義等については、平成22年8月2日付「情報化施工技術の一般化・実用化について」(国土交通省)を基に作成

①建設 ICT 施工実績の一層の蓄積

- ・平成 23 年度は「一般化推進技術」,「早期実用化検討技術」を中心に新規でモデル工事を実施(40 件程度予定)(図一 8)



図一 8 中部地方整備局の建設 ICT モデル工事数

②総合評価における促進策の導入

- ・中部標準化を進める ICT 技術のモデル工事は平成 23 年度新規発注工事限りとする
- ・上記 ICT 技術の活用を促すため、総合評価における技術提案に対する加点, 工事成績評定への加点等の促進策を導入

③ ICT 技術導入により現場施工・監督・検査業務を省力化

- ・平成 22 年度に作成した「TS を用いた出来形管理の監督・検査要領(案)」の解説(案)を運用し、必要に応じ内容の拡充
- ・「情報化施工(MC, MG)を用いた施工の監督・検査要領(案)」の作成

④ 3D 設計および本成果を用いた情報化施工の実績を積むためモデル業務実施

- ・平成 23 年度モデル工事実施予定の工事のうち、詳

細設計や詳細設計の修正が完了していないものについては、3D 設計を実施(建設 ICT モデル業務)

⑤土木工事情報共有システム(ASP)を活用し、業務改善等に取り組む

- ・ASP 対象の工事を実施中工事の 1/2 程度(600 件)に拡大
- ・全工事に ASP を適用する事務所数を各県 2 事務所程度とする(平成 22 年度は各県 1 事務所程度のため倍増)
- ・ASP の業務委託への活用を試行

5. おわりに

中部地整では、一連の建設プロセスにおいて、ICT を活用し、効率化・高度化による生産性向上・行政サービス向上・現場技術力強化を図ることを目的として、産学官の関係者が一体となり、技術普及・現場支援・技術研究を行う「建設 ICT 導入研究会」を平成 20 年 11 月に設立(平成 23 年 1 月からは「建設 ICT 導入普及研究会」)し、建設 ICT の導入・普及に取り組んできた。

本研究会の設立趣旨に賛同し、精力的に活動して下さっている会員各位に感謝申し上げたい。

今後も、平成 24 年度以降の中部標準化を目指すとともに、ICT 技術の更なる導入・普及に取り組んで参るため、会員各位におかれては、引き続きご支援・ご協力をお願い申し上げます。

JICMA

【筆者紹介】  
建設 ICT 導入普及研究会 事務局  
(中部地方整備局企画部内)

# 億首ダムでの情報化施工事例

松本 三千緒・江田 正敏・武本 隆太郎

国土交通省では情報化施工推進会議を発足し建設 ICT を推進している。そこで、ダム ICT 施工総合管理システムを開発し、億首ダムにて情報化施工を実施した。開発したシステムは、品質保証や施工履歴の蓄積と情報の共有を目的としたものであり、複数のサブシステムで構成される。本文ではその中から① IC タグを利用した母材運搬、仮置き管理、② CSG 材料敷均し厚さ管理、③ 締固め管理（ローラー転圧、端部法面締固め）、④ 締固め完了時間管理（CSG 材料トレースシステム）を具体例としてとりあげ、億首ダムで活用した状況について報告する。

キーワード：台形 CSG ダム、IC タグ、トレーサビリティ、締固め管理、マシンコントロール

## 1. はじめに

億首ダムは、

- ・ダム高：39.0 m
- ・堤頂長：400 m
- ・堤体積：339,000 m<sup>3</sup>
- ・総貯水容量：8,560,000 m<sup>3</sup>
- ・湛水面積：0.61 km<sup>2</sup>
- ・集水面積：14.6 km<sup>2</sup>

の台形 CSG ダムであり、その概要を図-1、表-1に示す。



図-1 億首ダム施工状況

表-1 億首ダムの用途

洪水調節	・億首ダムの建設される地点（ダム地点）において計画高水流量 300 m <sup>3</sup> /s のうち、190 m <sup>3</sup> /s の洪水調節をおこなう。
流水の正常な機能の維持	・ダム地点下流の億首川沿川の既得用水の安定化と河川環境の保全等のための流量の確保（流水の正常な機能の維持）を図る。
水道用水	・沖縄県に対し、ダム地点で新たに10,300 m <sup>3</sup> /日の水道用水の供給をおこなう。 ※約 2 万 8 千人分に相当。
かんがい用水	・億首川沿川の約 70 ha の農地に対し、新たにかんがい用水の供給をおこなう。

CSG の施工管理にあたっては、段階確認などの立会検査、目視による施工状況の把握によるほか、以下の項目について ICT による定量的確認を実施している。

- ・敷均し厚（1層 25 cm×3層）
- ・締固め  
一般部の転圧回数（無振動 2 回+有振動 6 回）  
端部法面部の締固め（30 秒）
- ・時間管理  
材料製造から転圧開始までの制限時間（6 時間以内）

## 2. 母材運搬および母材採取管理の情報化施工

母材の採取、運搬、仮置き管理に IC タグを利用することで、人為的ミスの防止や区分仮置きの実現化、

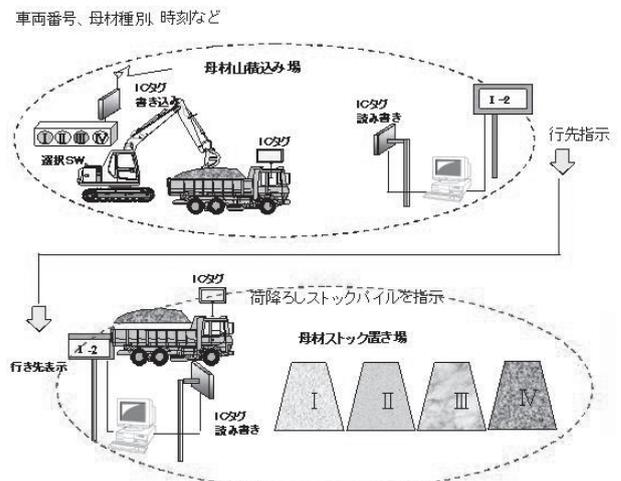


図-2 母材管理のイメージ

数量把握をおこない（図-2）、さらに調査ボーリングと地質データから、母材と廃棄岩との境界の3次元地質モデル作成。これを現地測量データで修正し、母材採取可能量の確認をおこなった（図-3）。

このシステムは、バックホウのオペレータが各ダンプに母材を積む時に、その種類に応じた選択スイッチを押すことで、ダンプに搭載されたICタグに母材種別の書き込みがおこなわれる。

そして、このダンプが積み込み場所を出る時にICタグの情報を讀取って、表示板に行先を表示する。ダンプの運転手はこの表示を見て、搬送先（ストックヤード）まで運転する。搬送先に到着すると、入口でダンプに搭載したICタグの情報を讀取り、母材の種類に応じた荷降ろし場所（ストックパイル）が表示される。

ここでダンプの運転手は荷卸し場所を確認することができるため、区分仮置きの実実化や人為的ミスの防止が可能となる。

また、母材採取管理では調査ボーリングと地質データから、母材と廃棄岩との境界の3次元地質モデルを作成した。そして、現地測量データでこれを修正し、母材採取可能量を確認できるようにした（図-3）。

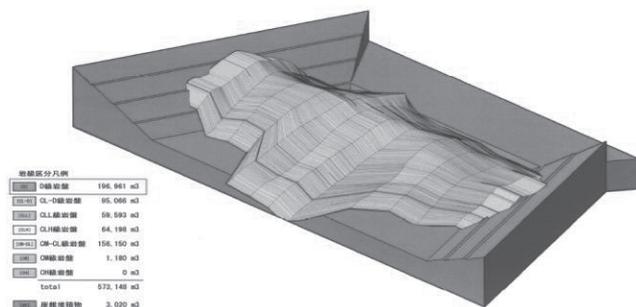


図-3 情報化施工による母材採取管理

### 3. CSG 材料敷均し厚さ管理

当初、敷均し厚さの管理は回転レーザーレベルによる方法を予定していたが、施工性および走行軌跡の記録を考慮し、マシンコントロール機能を搭載したブルドーザ（以下、MCブルドーザ）による施工方法を採用することとした。MCブルドーザはGPSを利用しブルドーザの排土板を自動制御することで、設計高さの敷均しを可能にするものである（図-4）。

この時、施工時のGPSデータは内部メモリーに記憶されるため、施工後にその情報を電子データとして利用することが可能である。

このデータを利用してMCブルドーザの各層における走行軌跡を表示させた例を図-5～7に示す。また、キャタピラの幅を60cm（両側で1.2m）とし、これにレー



図-4 MCブルドーザ

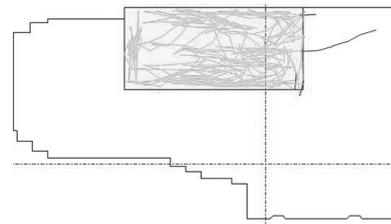


図-5 1層目走行軌跡

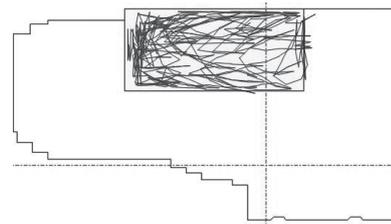


図-6 2層目走行軌跡

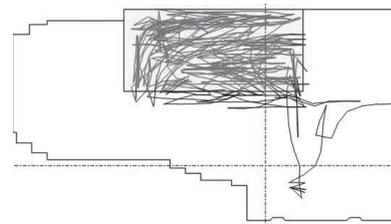
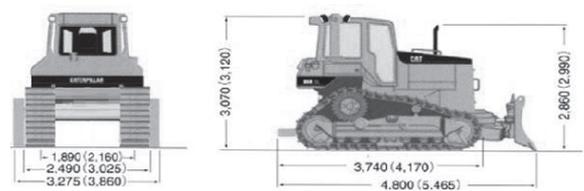


図-7 3層目走行軌跡



1層目累積走行距離	1601 m	換算平均転圧回数	3.05 回
2層目累積走行距離	1566 m	換算平均転圧回数	2.98 回
3層目累積走行距離	1970 m	換算平均転圧回数	3.75 回

図-8 平均転圧回数への換算

ン内での各層での走行距離を掛けることによりレーン内の平均転圧回数に換算する解析もおこなっている（図-8）。走行軌跡出力帳票の例を図-9に示す。

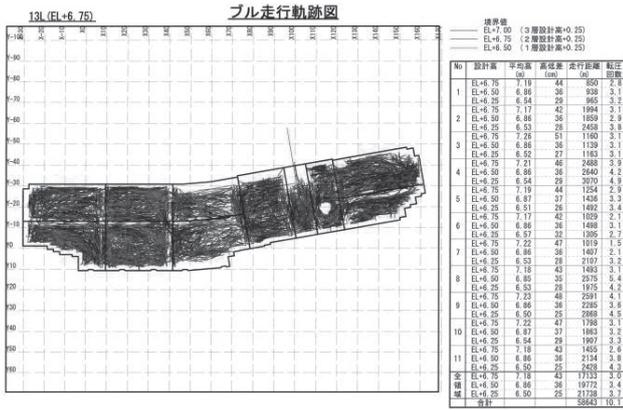


図-9 走行軌跡出力帳票の例

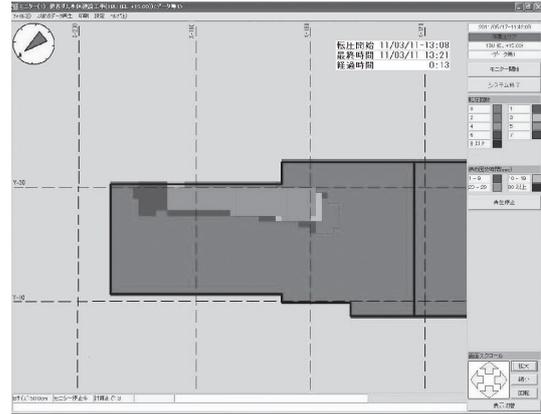


図-11 転圧表示情報共有画面例 1

なお、図-5～7では、枠内（レーン）での走行軌跡を表示したものであり、レーン外に出た部分は対象外としてカウントしていない。

#### 4. 締固め管理（ローラー転圧，端部法面締固め）

GPSや無線LAN，車載パソコンを転圧ローラーに搭載することにより，施工場所のどこを何回転圧したかをあらかじめ決められたメッシュ単位でカウントし，記録するシステム（図-10）であり，発注者事務所・JV事務所にてリアルタイムに情報共有をおこなった。

メッシュ毎の転圧回数は運転席のモニターに色別表示されるため，オペレータはこの情報に基づいて全メッシュが規定回数に達するまで走行操作をおこなう。なお，転圧ローラーが複数台であっても各メッシュには累積転圧回数が表示されるため無駄のない施工が実施できる。図-11，12に転圧表示画面の例を示す。

ローラーによる転圧回数の表示画面では転圧していないエリアが緑色，1回転圧で茶，2回で薄茶，3回で黄色，4回で朱色，5回で桃色，6回で紫色，7回で青色，8回以上は紺色で表示している（図では濃淡表示，以下同様）。オペレータはこの色を見ながら所定

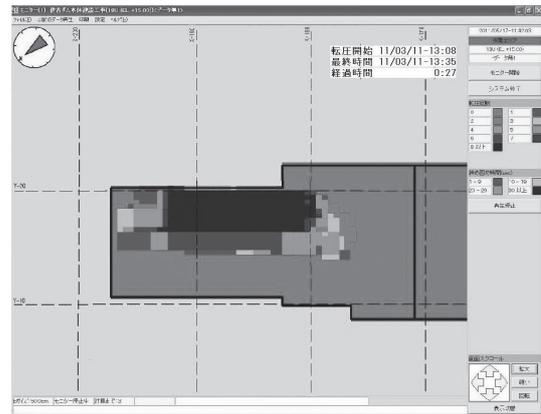


図-12 転圧表示情報共有画面例 2

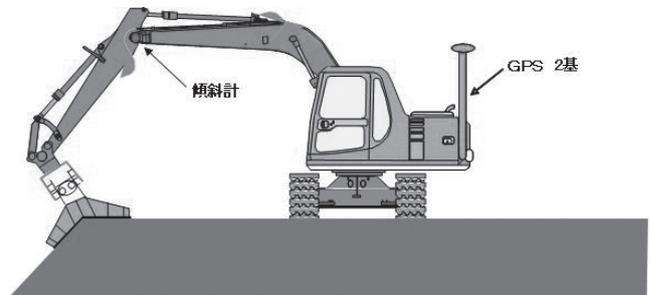


図-13 端部法面締固めイメージ（横断方向）

回数の転圧をおこなう。

次に，端部法面部での締固めイメージを図-13，14に示す。端部法面部は起振器を装置した専用機械により締固めをおこなっている。端部法面部では，ローラーによる転圧とは異なり締固め位置と締固め時間により管理しており，ある位置に対しての締固め累積時間が所定の秒数（30秒等）になるまで締固めをおこなう。

その理由は，一ヶ所を連続的に締固めると端部法面部に段差等が生じる恐れがあるため，場所を移動させながら繰り返し締固めをおこなう方法をとっている。そして，各位置の締固め累積時間が所定の時間（30秒等）になったことが分かるような表示をおこなっている。

この時間は，1～9秒で茶色，10～19秒で黄色，20～29秒で桃色，30秒以上は紺色で表示。この端



図-10 転圧ローラー

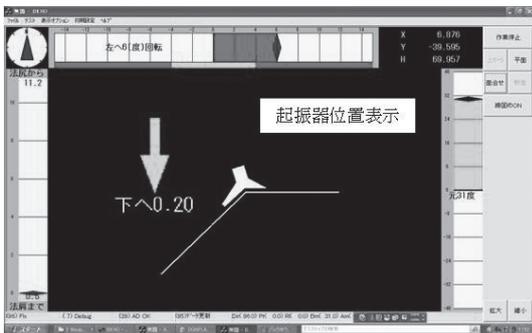


図一 14 端部法面締固め実施状況

部法面締固めの状況は、ローラー転圧の画面（図一 11, 12）と一緒に表示されるため、オペレータはこの表示と起振器の位置誘導画面（図一 15）を見ながら締固め作業をおこなう。

両施工機械のオペレータは、この表示を運転席モニターで見ながら作業をおこなうため締固め不足を防止できる。

また、これらの情報は蓄積・保存されるため、過去に遡って連続再生表示する事も可能になっており、発注者事務所・JV 事務所の双方で活用している。



図一 15 端部法面締固めオペレータ用画面例

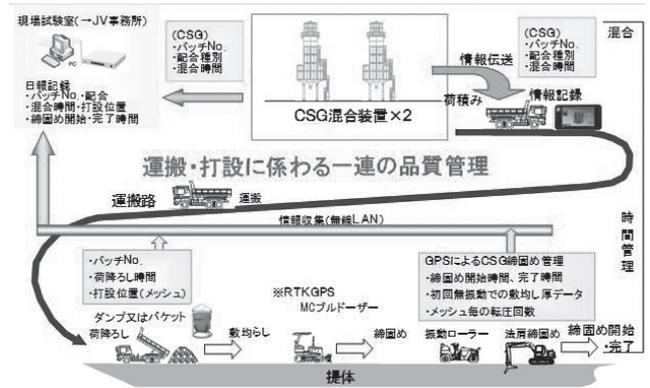
### 5. 締固め完了時間管理（CSG 材料トレースシステム）

プラントでの CSG 製造から材料搬送、敷き均し、ローラー等による転圧開始時間（CSG 製造からの制限時間 6 時間）および転圧完了時間を管理するシステムであり、

- ・ CSG プラントにおける CSG 製造情報の車両への伝送
- ・ 車両での打設位置計測と情報伝送
- ・ CSG 締固め開始・完了時間の表示で構成される（図一 16）。

これらも発注者事務所・JV 事務所間で情報共有をおこなっている。

まず、CSG 混合装置（プラント）で製造された CSG



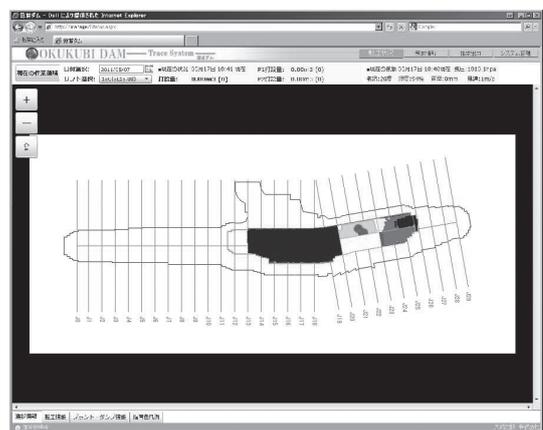
図一 16 締固め完了時間管理システム

材料をダンプトラックに投入する時に、材料のバッチ情報（バッチ番号、配合種別、製造時間など）もダンプに搭載したパソコンに伝送する。このダンプには DGPS（ディファレンシャル GPS：精度 50 cm）を搭載しているため、現場まで運搬し材料を荷降しした位置を知ることができる。そこで、荷降ろし位置とバッチ情報の両方を無線 LAN により現場の監視室へ伝送する。

次に、ブルドーザによる敷均しがおこなわれ、ローラーによる転圧（端部法面締固めを含む）がおこなわれる段階で、どの位置の材料が製造から何時間たっているか分かるため、ローラー（端部法面も同様）のオペレータは優先して転圧する場所を知ることができる。この時の時間管理画面を図一 17 に示す。

なお、材料が製造から何時間たっているかは、画面上に色別で表示される。この変化状況を図一 18～20 に示す。

敷均しがおこなわれていない場所は白色で示されており、1 層目の敷均し後は薄緑色、2 層目は緑色、3 層目は濃緑色で表示される。また、材料が製造から 2 時間を経過したものは黄色で表示され、4 時間を経過すると赤色に変化する。そこで、転圧や端部法面締固めのオペレータはこの表示を見ながら優先すべきエリアを転圧・締固めする。転圧や締固めがおこなわれた



図一 17 締固め時間管理情報共有画面例

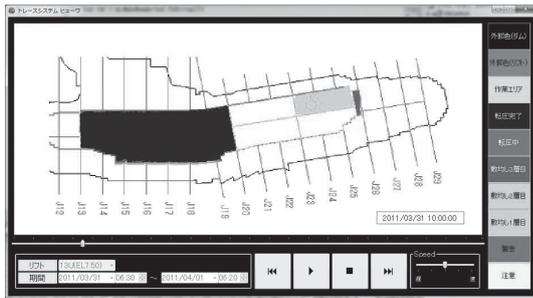


図-18 締固め時間管理再生画面例 1

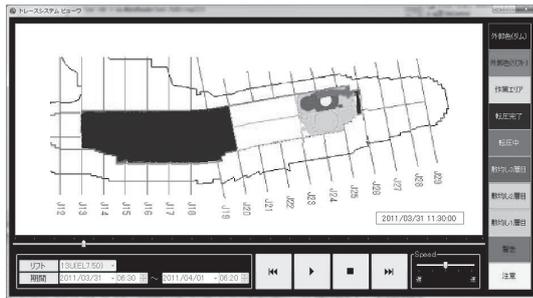


図-19 締固め時間管理再生画面例 2

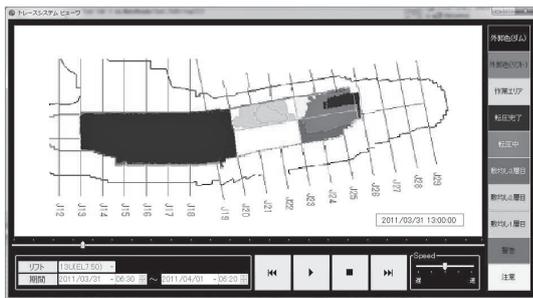


図-20 締固め時間管理再生画面例 3

エリアは灰色に変わり、転圧・締固め完了時には紺色で表示される。なお、この締固め完了時間管理（CSG材料トレースシステム）もデータを蓄積・保存しているため、発注者事務所やJV事務所などで過去に遡って再生表示することが可能になっている。図-21にトレースシステムの運用状況を示す。

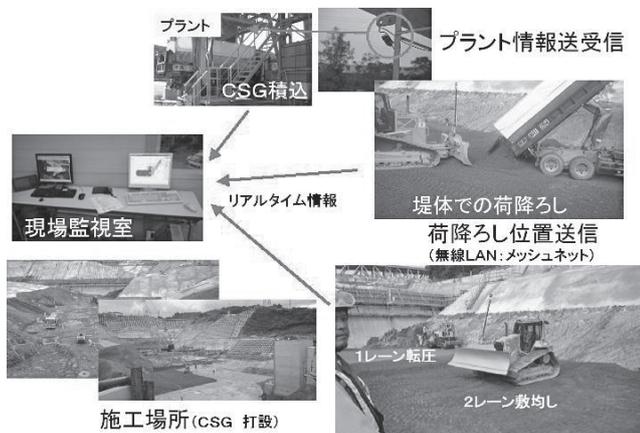


図-21 トレースシステム運用状況

## 6. おわりに

ICタグによる母材運搬・仮置き管理，CSG材料敷均し厚さ管理，締固め管理（ローラー転圧，端部法面締固め），締固め完了時間管理（CSG材料トレースシステム）の4つのシステムを億首ダムに適用し，品質保証や施工履歴の蓄積，これらの情報の共有に活用することができた。このダムICT施工総合管理システム「4D-DIS」はCSG材料以外にも応用可能であるため，今後はこの技術を応用・発展させ，道路や造成工事などを対象に品質向上に役立てていく予定である。

JICMA

### 【参考文献】

- ・中島 修「嘉瀬川ダム副ダムのCSG工法」(社)九州地方計画協会 九州技報 第46号 2010.01
- ・阪田史郎, 山田暁飯, 塚宏之, 伊藤哲也 「無線LANメッシュネットワークの技術動向」 電子情報通信学会誌 Vol.92 No.10 pp.841-846 2009年10月

### 【筆者紹介】



松本 三千緒 (まつもと みちお)  
大成建設株式会社  
技術センター  
土木技術開発部プロジェクト室  
建設ICTチーム次長



江田 正敏 (えだ まさとし)  
大成建設株式会社  
九州支店  
億首ダム本体建設工事  
次長



武本 隆太郎 (たけもと りゅうたろう)  
大成建設株式会社  
土木本部 土木技術部 ダム技術室  
課長

# 殿ダムにおける ICT 情報化施工技術の導入

日下 雅史・後藤 誠志・山田 啓一

殿ダム建設事業は、2011年3月3日に試験湛水を開始し、同年4月25日には試験湛水が完了したところであるが、2007年7月の出水においては、河川付替部の水路および工事用道路が損傷し、約3ヶ月間の本体工事の遅延が発生した。このような工期短縮努力の必要な状況の中、効率的な施工と安定した品質を確保するため、盛立工における施工監理として情報化施工技術（以下、「ICT技術」という。）を導入し、施工監督体制の強化を図ることとした。

本論文は、殿ダム本体工事における ICT 技術の導入効果並びに ICT 技術を導入することによる施工監督体制の強化及び現地試験頻度の低減について検討したものを報告するものである。

キーワード：情報化施工，ICT，施工監理

## 1. はじめに

殿ダムは、鳥取県東部を流れる千代川水系袋川上流、鳥取市国府町殿地先に建設を進めている、堤高75m、堤体積約200万m<sup>3</sup>、総貯水容量1,240万m<sup>3</sup>の中国地方整備局管内では直轄初となるロックフィルダムである。

殿ダム建設事業では、2010年10月22日にダム堤体の盛立工が完了、2011年3月3日に試験湛水を開始した。同年4月5日に貯水位が目標最高水位194.50mに到達（写真一1）、4月25日には試験湛水を完了し、ダム堤体及び貯水池の安全性を確認したところだが、2007年7月には、殿ダム流域において累加雨量185mmの降雨があり、これに伴う出水により河川付替部の水路および工事用道路が損傷した。

このため、水路および工事用道路の復旧工事が必要となり、約3ヶ月の本体工事の遅延が発生した。

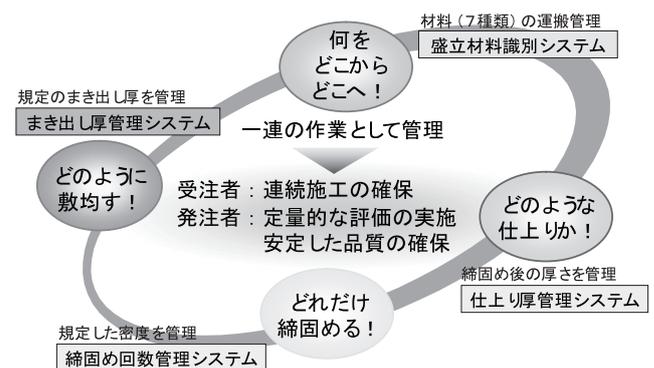
このような状況の中、従来の盛立工における点的な締固め管理や厚さ管理では、確認頻度が少ないうえに現場試験作業による施工の一時中断を余儀なくされ、工期をさらに圧迫する危険性があった。

また、夜間施工の実施等により、工期短縮を図っていきたいところだが、殿ダム工事事務所では、本体工事に携わる技術系職員数が他の直轄ダム工事事務所の職員数と比較すると約1/3と少なく、少人数で監督、検査を実施していくのは困難な状況であった。

これらのことから、盛立工の施工監理にて ICT 技術を導入し、材料運搬管理、締固め管理、厚さ管理を一連の作業として管理（図一1）することにより、発注者として定量的な評価を行い、安定した品質を確保し、証明することが可能となり、監督職員の立会確認などの負担を低減した施工監督体制の確立を図ることとした。



写真一1 目標最高水位到達時の殿ダム堤体および洪水吐き減勢部（カスケード型減勢方式）を流れ出る様子



図一1 導入した ICT 技術

## 2. 導入した ICT 技術の概要及びメリット

殿ダム本体工事へ導入することとした ICT 技術の概要及びメリットは以下のとおりである。

### (1) 盛立材料識別システム (GPS 方式)

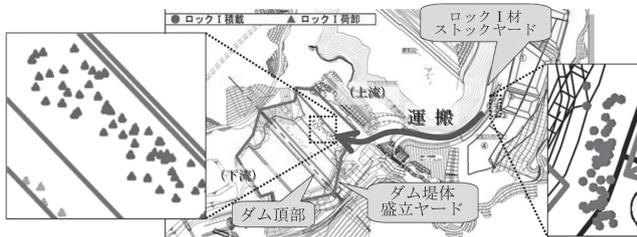
現場内にて盛立材料を運搬する各ダンプに GPS 端末 (写真一2) を搭載し、積込み、荷下ろしの際に運搬材料により決められたボタン区分に従い GPS 端末のボタン操作を行うことによって、積込み及び荷下ろし場所 (座標) と時刻が記録される。

記録されたデータをもとに、帳票 (図一2) を作成することで、所定のゾーンに適切な材料が運搬されていることの確認が可能となる。

帳票において、右側の丸印がロック I 材のダンプへの積込み場所、左側の三角印が荷下ろし場所となっている。このように、システムを導入することで、適確な材料が適確な場所で使用されていることの証明が可能となり、荷下ろしされた材料の積込み場所を特定できることによる盛立材料のトレーサビリティの確保にもつながる。



写真一2 盛立材料識別システム GPS 端末 (イチしるべ)



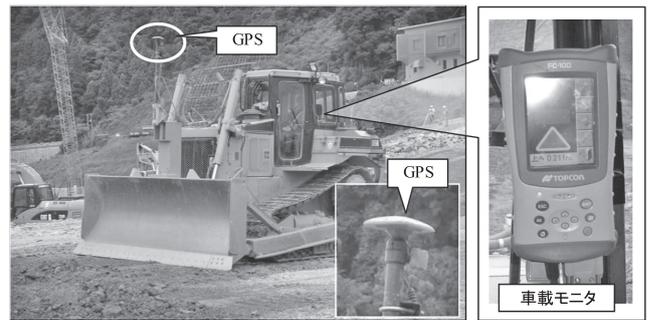
図一2 盛立材料識別システム 帳票

なお、殿ダムにおいては、コア、フィルター、ロック I、ロック I'、ロック II、トランジション、リップラップ及びランダムゾーンと計 8 種類の材料を図一3のとおりゾーニングしており、混在する材料の確実な運搬を把握することが不可欠である。

### (2) まき出し厚管理システム

まき出し作業を行うブルドーザのブレード部に GPS (写真一3) を搭載し、位置情報を取得することで、車載モニタに設計まき出し高さとの現在のブレードの高さの差を表示することができる。

これにより、オペレータはブルドーザを前後させながら、車載モニタに表示されるガイダンスに従いブレードを上下するだけでまき出し作業が実施できるため、丁張りの設置をしなくても所定のまき出し高さで施工が可能となり、さらには、丁張りを設置する時間が省略されるのでまき出し作業の効率も向上する。

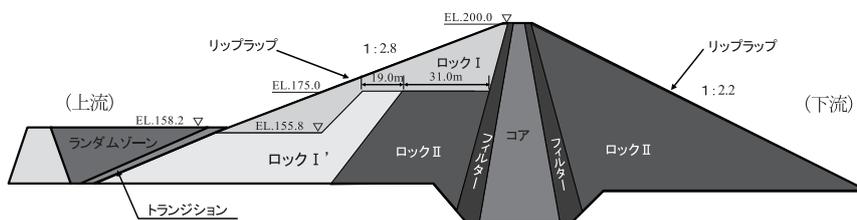


写真一3 まき出し作業状況

### (3) 締固め回数管理システム

振動ローラに GPS (写真一4) を搭載し、振動ローラの位置情報を取得することで走行軌跡を記録し、車載モニタに転圧エリア内の各管理ブロックについての転圧回数をリアルタイムに表示することができる。

車載モニタの画面上の中央部に着色 (赤色) されている箇所については、締固め回数が満足している箇所となっている。このように、オペレータは車載モニタにて締固め回数をリアルタイムに確認しながら施工ができるため、転圧のもれがなく、正確な施工が可能となる。



図一3 殿ダム盛立材料ゾーニング (標準断面図)

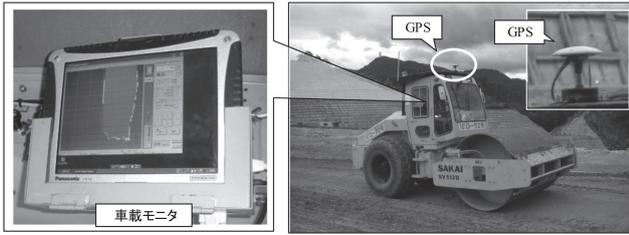


写真-4 締固め作業状況

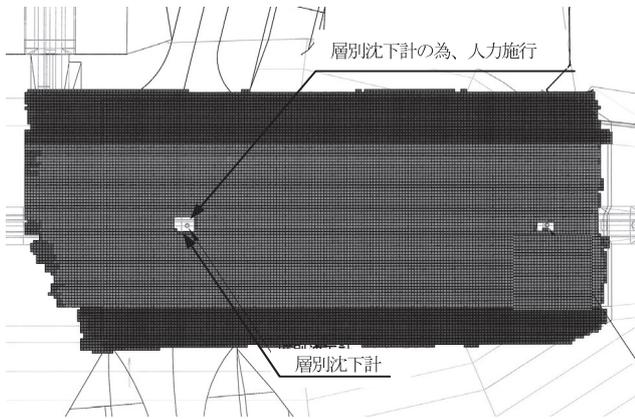


図-4 締固め回数管理システム 帳票

締固め施工後は、締固め回数についてシステムの出力帳票（図-4）をチェックすることで、規定通りの施工かどうか確認できる。

帳票において、上側及び下側の着色（青色）されている箇所はフィルター材で転圧回数が6回以上、中央部の着色（茶色）されている箇所はコア材で転圧回数が6回以上、その他の着色（赤色）されている箇所は転圧回数が6回未満となっている。このような出力帳票をチェックすることで、面的な管理が実施でき、従来のある一点での現地試験による締固め管理よりも、締固め品質の均一性を確認できる。

また、全層における締固め回数がデータとして記録されるため、各層で規定通りの施工がされたことを証明することができる。

#### (4) 仕上り厚管理システム

(3) で述べた締固め回数管理システムにて得られた位置情報を利用し、現層と前層の標高を比較し、仕上り厚を算出する。締固め施工後、仕上り厚について、システムの出力帳票（図-5）をチェックすることで規定通りの施工かどうか確認できる。

帳票において、柵目の色の違いで層厚を、350 mm 以上（赤色）、250 mm から 350 mm（青色）、250 mm 未満（橙色）の3パターンで表示している。このような出力帳票をチェックすることで、仕上り厚の面的な管理が実施でき、さらには、締固め完了後、測量による仕上り標高を確認する手間の削減が可能となる。

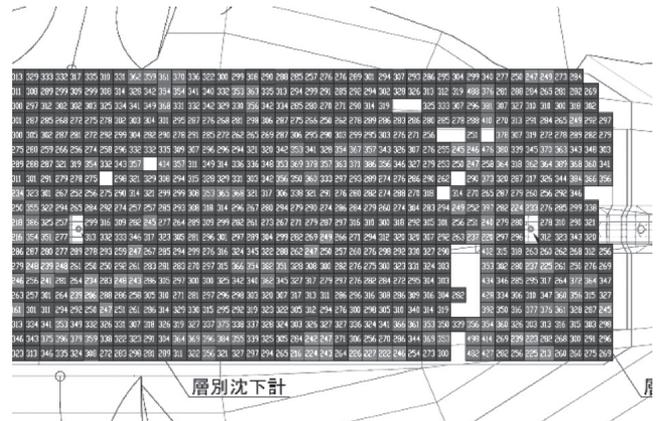


図-5 仕上り厚管理システム 帳票

また、全層における仕上り厚がデータとして記録されるため、各層の盛立において規定の仕上り厚で施工されたことを証明することができる。

#### (5) フィルター材運搬ダンプ運行管理システム

殿ダムでは、使用するフィルター材約 16 万 m<sup>3</sup> を岡山県水島港から船積みにて鳥取港へ運搬し、その後、ダム建設現場へ陸送する必要がある。

本システムでは、現場外にてフィルター材を運搬するダンプにGPS 機器を搭載し、管理局に設置したパソコンにてリアルタイムにダンプの運行位置が確認できる。

また、ダンプに搭載したモニタへは、管理局からの緊急連絡のメッセージを一齐送信することが可能であり、運転手へ迅速に連絡することができる。

図-6 では、パソコン上でのダンプ運行位置表示

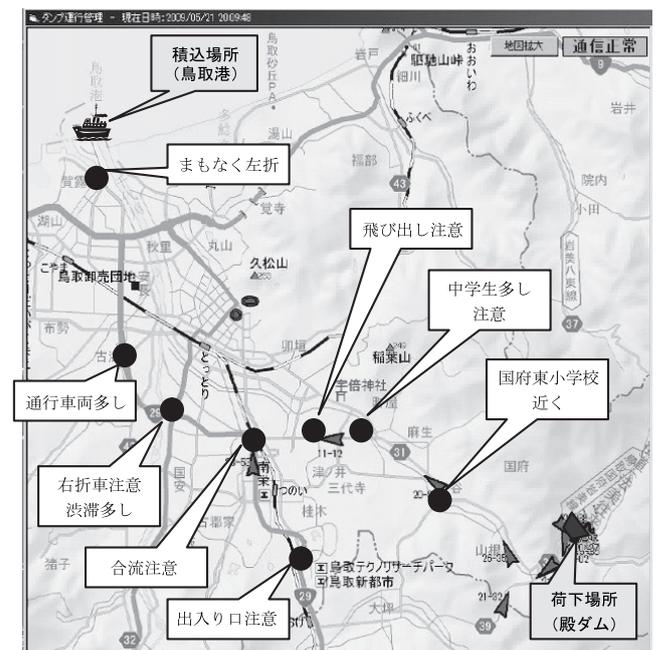


図-6 フィルター材運搬ダンプ運行管理システム ダンプ運行位置表示イメージ

イメージを示す。矢印がダンプの運行位置を示しており、ダンプの運行ルートや運行間隔などを随時確認できるため、安全上最適であると決めたルートを走行しているか、複数のダンプが接近して走行していないかなど、リアルタイムに確認し、対処することで、渋滞などの社会的影響を緩和させることができる。また、緊急連絡の必要な際には、多いときには一日約30台ものダンプに対して、車載モニタへメッセージを一斉送信することができるため、安全運行への迅速な周知が可能となった。

また、図-6における丸印の要注意箇所付近を走行する際には、「中学生多し注意」や「出入り口注意」など、計8箇所音声通知を行い、繰り返し注意喚起を行うことで、交通事故防止に効果があったと思われる。

さらに、現場内に設置したトラックスケールと連動して、各ダンプの積載量が把握可能であるため、過積載の未然防止や各材料のストック量の管理が容易となった。

### 3. ICT 技術導入効果

このように、導入したICT技術には各々のメリットがあるが、関連した一連の作業としてICT技術を導入したことにより得られた効果としては以下のとおりである。

#### (1) 品質及び出来形の証明

盛立材料識別システム、まき出し厚管理システム、締固め回数管理システム及び仕上り厚管理システムを同時に導入し、活用することで、材料積込み、運搬、荷下ろし、まき出し、締固め、仕上り厚管理の一連の施工データを記録でき、施工プロセスが明確となる。

これにより、手抜き工事の防止に加え、従来の抜き取り検査に比べ、面的に全数のデータが取得できるため、確実な品質及び出来形保証となった。

#### (2) 監視の負担低減

得られた施工データを基に帳票を作成し、材料の運搬、締固め等の施工状況の履歴を確認することで、従来、施工状況を常時監視していたところを、重要箇所を中心としたスポット監視へと移行させ、監視の負担低減が可能となった。

なお、夜間施工時においても昼間と同様に施工データが記録され、事後にシステムの帳票をチェックすることが可能となったため、少ない監督職員数であっても、監督職員に対して無理のない施工監理が可能となった。

### 4. システムの課題とその対策

ICT技術には様々な効果が見受けられたが、課題もある。課題とその対策について以下に示す。

#### (1) まき出し厚精度の向上

まき出し厚管理システムにおいて、施工するまき出し厚の精度により、仕上り厚に大きな影響を与えることが考えられる。

この対策としては、高さ精度を向上させたmmGPSを使用するなどしてまき出し厚管理を強化することで、仕上り厚の精度向上が期待できる。

#### (2) データセキュリティーの確保

盛立材料識別システム、締固め回数管理システム、仕上り厚管理システムに共通する課題としては、データやシステムソフトの改ざんが考えられる。

データ改ざんの対策としては、発注者としてもリアルタイムにデータを入手することで受注者とのデータの比較が可能となり、データセキュリティーの確保につながる。

また、システムソフトの改ざんの対策としては、第三者によるインスペクター（検査・監査）を確保し、システムソフトの信頼性を証明する必要がある。

### 5. 現場試験の実施頻度低減

ICT技術導入により、ダム建設現場での現場密度等の試験を軽減し、施工管理が簡略化されれば、現場試験による盛立作業の中断が減少し、さらなる工期の短縮や監督職員の負担低減につながる。

そこで、ICT技術施工により現場試験の実施頻度の低減が可能であるか、現場試験結果を収集、分析し、これらICT技術の有効性を検証することとした。

検証はコア材の現場密度試験結果について行った。

なお、コア材の品質規格は、「最大乾燥密度 $\gamma_{dmax}$  (-37.5 mm) の95%以上かつ乾燥密度 $\gamma_d=1.60 \text{ t/m}^3$ 」であり、「最大乾燥密度 $\gamma_{dmax}$  (-37.5mm) の95%以上」とは締固め度D値（現場試験による乾燥密度/室内試験による最大乾燥密度）が95%以上、つまり、材料が間隙なく確実に締固め出来ているかということ、「乾燥密度 $\gamma_d=1.60 \text{ t/m}^3$ 」とは堤体の設計密度を満足しているかということを規程している。

そこで、それぞれの規格値に対して、施工後の現場密度試験の結果を用いてヒストグラムを作成し、分析を行った。

分析を行うにあたっては、式(1)で定義する「規格値満足度」により試験結果が規格値を外れる確率が十分に小さいか確認し、現場試験の実施頻度が低減可能であるか判断することとした。規格値満足度が1で規格値を外れる確率はおよそ16%，2でおよそ2.3%，3でおよそ0%と判断する<sup>1)</sup>(図-7)。

規格値満足度 (片側規格)  

$$= (\text{平均値} - \text{規格値}) / \text{標準偏差} \quad (1)$$

(1)  $\gamma_d \text{max}$  の95%以上 (D値95%以上) に対する分析結果

殿ダムにおけるコア材は、細粒材及び粗粒材をブレンドして生成しており、粗粒材として使用している材料に堤体掘削ズリ及び原石山からの採取材料の2種類があり材料が異なるため、 $\gamma_d \text{max}$ も異なる。そこで、ヒストグラムは粗粒材が堤体掘削ズリの場合および原石山からの採取材料の場合でそれぞれ作成した(図-8)。

図-8において、規格値を下回る試験結果はなく、どの材料においても間隙なく確実な締固めが施工でき

ていることが確認できた。また、規格値満足度について評価すると、規格値を外れる確率は概ね0%と判断出来る。

(2)  $\gamma_d = 1.60 \text{ t/m}^3$  に対する分析結果

図-9において、規格値を下回る試験結果はなく、殿ダムのコアに求められる設計強度に必要な密度に対して十分に余裕があり、さらに設計密度を下回る確率は概ね0%であることが確認できた。

(3) 現場密度試験の実施頻度低減についての評価

以上の結果から、ICT技術施工により安定した品質が確保されており、設計密度を下回る確率は小さいことが確認できたため、従来の現場試験の実施頻度を低減可能であると考えられる。

しかし、粗粒材料が原石山からの採取材料の場合のD値においては、規格値を外れる可能性は極めて小さいながらも、現場試験の実施頻度低減については慎重に検討すべきであると考えられる。

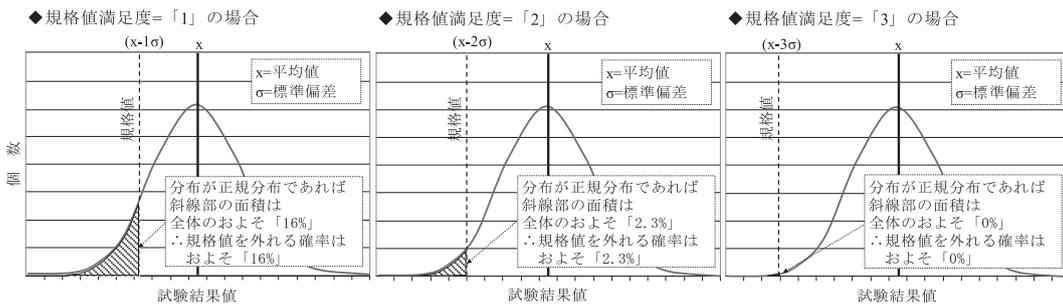


図-7 「規格値満足度」と「規格値を外れる確率」

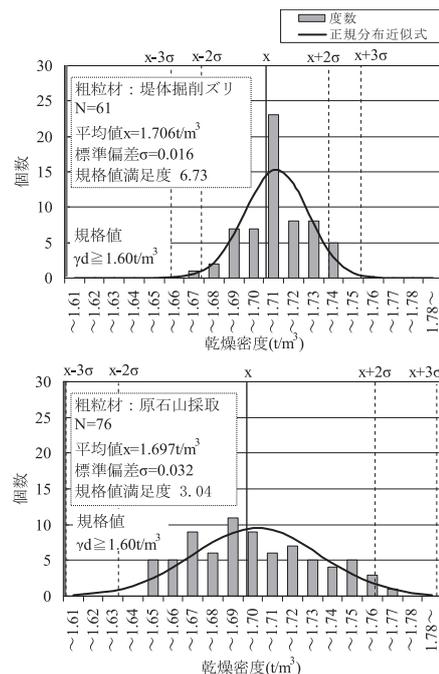
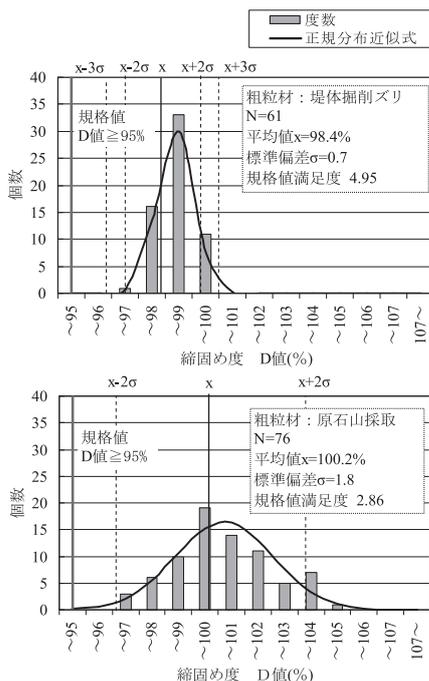
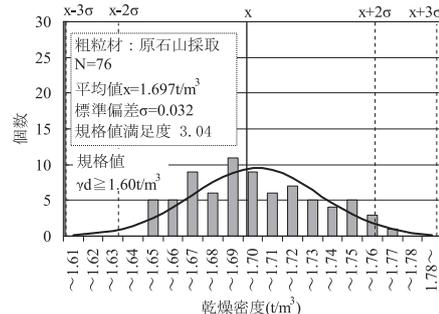
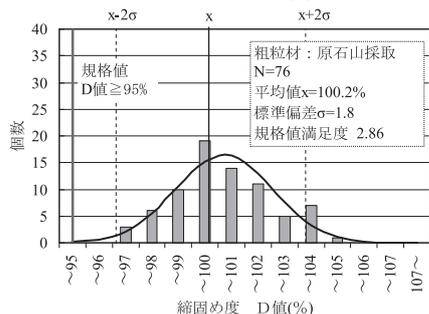


図-8 コア現場密度試験結果 ヒストグラム (規格値: D値=95%以上)

図-9 コア現場密度試験結果 ヒストグラム (規格値:  $\gamma_d = 1.6 \text{ t/m}^3$ 以上)



## 6. 現場試験頻度低減に向けての運用ルール検討

分析の結果、規格値を外れる確率は概ね0%であったが、盛立を開始した当初の時点で現場試験結果が規格値を下回る確率が小さかったとしても、現場試験を継続して実施した結果、試験結果のばらつきが大きくなってしまふこと等により、規格値を下回る確率が小さいとはいえないものとなることもあり得る。

このように、現場試験の実施頻度については、「低減してよい」という状況と「低減するべきではない(もとの頻度に戻す)」という状況が発生すると考えられるため、現場試験の実施頻度を低減する場合の低減度合いを定める基準や、実施頻度をもとに戻す場合の切替え基準といった運用ルールを検討した。

### (1) JIS の品質管理についての考え方

JIS Z 9015「計数値検査に対する抜取検査手順」<sup>2),3)</sup>において、「ゆるい検査」および「スキップロット方式」という抜取検査方式が記述されている。

「ゆるい検査」とは、通常の検査よりもサンプルサイズを小さくし実施する検査である。

「スキップロット方式」とは、検査1回ごとのサンプルサイズは減らさずに検査予定のロットについて検査するかしないかを検査実績の良否に応じて決める抜取検査方式となっている。

(2) 殿ダムに適した現場試験の実施頻度低減方式  
殿ダムにおける現場密度試験は、1回につき3孔にて砂置換法を実施しており、「ゆるい検査」を行うとすれば、通常3孔での試験を2孔または1孔に減らすこととなり、試験に要する工数は低減出来るが試験に要する時間はあまり低減することはなく、工期短縮に繋がらない。

一方、「スキップロット方式」を行うとすれば、通常よりも試験回数を減らすことになり、試験実施のための手持ち時間を削減でき工期短縮が期待できる(図-10)。

そこで、現場試験の実施頻度低減にあたっては、スキップロット方式を採用し、運用ルールを検討することとした。

### (3) 運用ルール(案)の提案

スキップロット方式を活用する場合、現場試験の低減回数はこれまでの試験実績が良好であればあるほど低減回数を大きくして良いことになる。

そこで、試験実績の良好さの程度として、式(1)の規格値満足度によって判定することとし、規格値満足度に対する判定内容の案を作成した(表-1)。

なお、式(1)を適用し、規格値満足度を計算する対象は、同様の材料を使用して同様の製造管理を行った材料の試験結果であり、材料の採取地が異なったり、製造方法が異なる場合には、別種類の材料として別に

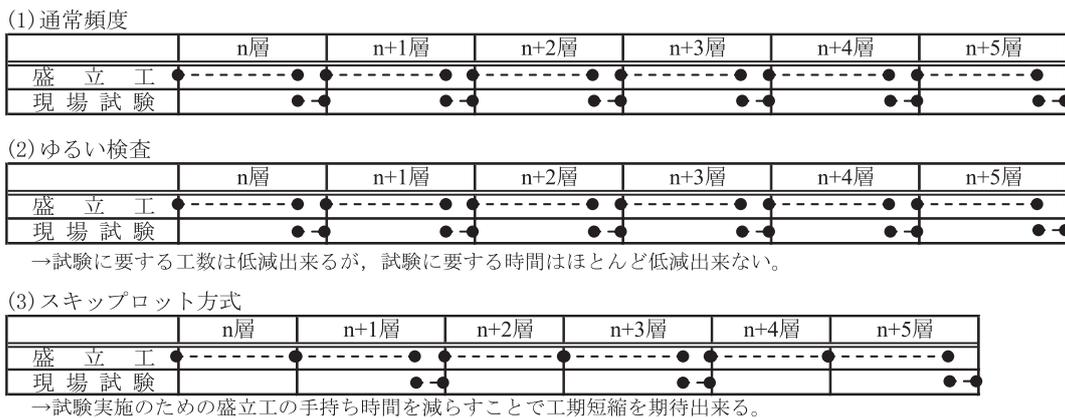


図-10 各抜取検査方式での現場試験の実施頻度低減による工期短縮

表-1 試験結果の規格値満足度に対する判定内容(案)

規格値満足度	規格値を外れる確率 (正規分布の場合)	実施頻度低減の判定	判定を採用するための条件 <sup>*1</sup>
0以下	50%以上	不可	-
0以上1未満	16%以上50%以下		
1以上2未満	2.3%以上16%以下		
2以上3未満	0.1%以上2.3%以下	通常の1/2に低減可	試験結果の度数分布が「規格値を下回る確率が2.3%以下」を保証できること <sup>**2</sup>
3以上	ほぼ0%	通常の1/3に低減可	試験結果の度数分布が正規分布的な形状をしていること

\*1: 本条件を満足できない場合は「実施頻度低減の判定」を1ランク下げる。

\*2: 試験結果の度数分布が正規分布と同等以上の形状であれば、「規格値を下回る確率が2.3%以下」が保証される。正規分布と同等以上の形状であるためには、試験結果について歪度、尖度を計算し、歪度が正規分布よりも右側に偏っていること、尖度が正規分布よりも尖っていることが必要。

計算することとする。殿ダムのコア材についても、粗粒材の採取地が異なるため、両者を別々に評価することとなる。

規格値満足度に対する判定内容に従って作成した運用ルール（案）を図-11に示す。本運用ルール（案）では、まず、統計的に判断するのに十分な数のデータを蓄積し、規格値満足度を算出し、現場試験をどの程度低減できるか判定していく。例えば規格値満足度が3だった場合、現場試験は通常の1/3として実施し、その後の現場試験の結果も加えて再度規格値満足度を算出し、判定を繰り返していく。

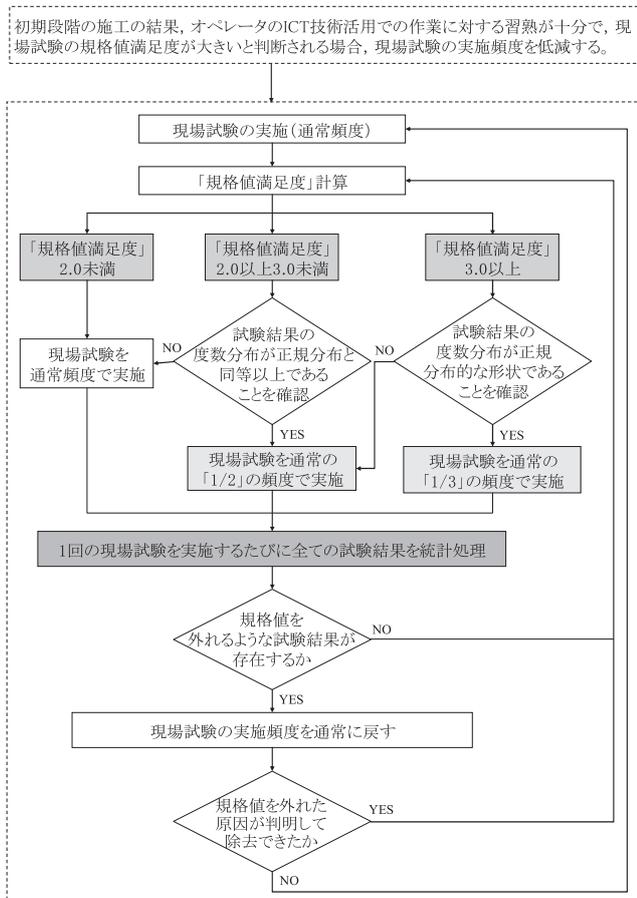


図-11 現場試験実施頻度低減の運用ルール（案）

#### (4) 殿ダムにおける試験頻度低減回数シミュレーション

作成した運用ルール（案）に従い、殿ダムのコア材における現場試験の実施頻度低減回数についてシミュレーションを行った。

その結果、粗粒材が原石山採取材料の場合には、低減するのは難しい結果となったが、粗粒材が堤体掘削ズリの場合においては、試験回数61回のうち14回の現場試験の低減が可能であり、おおむね1/4の試験を省略できるという結果となった。

## 7. おわりに

ICT 技術を材料の運搬管理、締固め管理、厚さ管理といった一連の作業として導入することで、面的に全数のデータ取得ができ確実な出来形保証および安定した品質の確保が可能となる。

さらに、安定した品質が確保できることにより、作成した運用ルール（案）に従って現場試験の実施頻度を低減可能であると考えられるため、工期短縮へも期待ができる。

殿ダムにおける ICT 技術の活用結果が、従来の「性能（品質・出来高）規程」によるスポット的な性能の確認から、ICT 技術を活用し施工プロセスデータを全量確認することで求める性能を得る「施工仕様規程」へと、発注者自らが公共事業の施工監理のあり方を見直す引き金となれば、ICT 技術の普及が加速し、コスト削減、効果の早期発現等の社会的要求や、品質重視、競争力重視等の発注環境の変化など、昨今の建設業界をとりまく課題を解決する一助となるのではないかと考えている。

本報告により、請負者のみならず発注者サイドにおいても ICT 技術は高い導入効果があることをご理解いただき、ICT 技術の普及促進の手助けとなれば幸いです。

JICMA

#### 《参考文献》

- 1) 鐵 健司：品質管理のための統計的方法入門
- 2) 日本工業規格：JIS Z 9015-0 計数值検査に対する抜取検査手順 第0部 抜取検査システム序論 3.15 ゆるい検査
- 3) 日本工業規格：JIS Z 9015-3 計数值検査に対する抜取検査手順 第3部 スキップロット抜取検査手順

#### 【筆者紹介】



日下 雅史（くさか まさし）  
国土交通省 中国地方整備局  
殿ダム工事事務所 調査品質確保課  
国土交通技官



後藤 誠志（ごとう せいし）  
国土交通省 中国地方整備局  
河川部  
建設専門官



山田 啓一（やまだ けいいち）  
国土交通省 中国地方整備局  
殿ダム工事事務所  
事務所長

# ネットワーク型 RTK-GPS を用いた 盛土品質管理システムの開発

## ネットワーク型 RTK-GPS の性能確認実験

黒台昌弘

盛土の品質管理システムにおける重機の位置決めには、工区内に GNSS 固定局を設ける方式が一般的である。固定局には給電設備などが必要であり、またその地点の座標値を事前に測っておく作業があるため、施工範囲が広域で、基準局の設置替えが必要な場合には作業が非効率となり、盗難などの保安面でも問題があった。ネットワーク型 RTK-GPS は、こういった問題を解決できる手法として最近注目されている。本稿では、この方式が実施工で適用可能な性能を有するかどうかを確認した実験について述べる。

キーワード：盛土、品質管理、情報化施工、GNSS、ネットワーク型 RTK-GPS

### 1. はじめに

「情報化施工推進戦略」の策定や準天頂衛星「みちびき」の打上げ成功など、情報化施工における GNSS 利用のための環境整備が進んでいる。情報化施工で多用される RTK-GPS は従来型のローカルな GNSS 固定局を設置する方法（以降、従来型 RTK）やネットワーク型 RTK-GPS（以降、VRS-GPS）に加えて、「みちびき」から放送される補正データ（LEX 信号）を受信することによる方法も実現されつつあり、即時性を必要とする位置決め手法に関してユーザーの選択肢が広がってきている。このうち VRS-GPS は、国土地理院を中心に 2000 年代始めから計測精度や受信性能の確認が進められてきたが、近年では、通信設備の発達と通信料金の低価格化により VRS-GPS の適用が増加傾向にある。

そこで、筆者を初めとするプロジェクトチームでは、重機に VRS-GPS を搭載して盛土の施工管理を実施することを念頭において 2 つの実験を行った。本稿では、重機が静止している状態および移動している状態での VRS-GPS の性能を確認した実験について報告する。

### 2. ネットワーク型 RTK-GPS (VRS-GPS) の概要<sup>1)</sup>

ネットワーク型 RTK-GPS とは、複数の固定局の観測データを利用して、固定局と移動局の距離に関係なく、短距離基線の RTK-GPS と同等の精度を実現する測位方式である。複数の固定局のデータとして、国土地理院が運用し民間に開放している全国約 1,200 点の

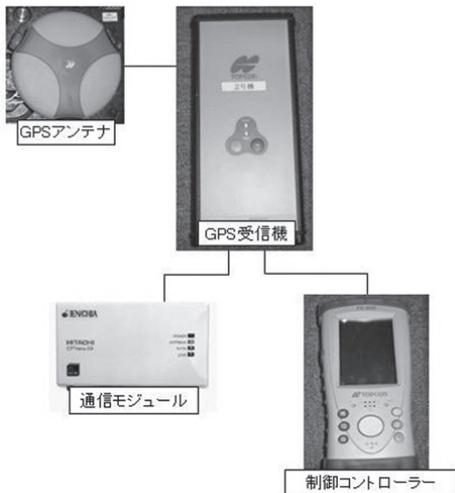
電子基準点網（GEONET）の電子基準点リアルタイムデータを利用する。

VRS (Virtual Reference Station) とは「仮想基準点」と直訳される。その測位方法は、観測地点の GPS 測位情報（単独測位値）を、携帯電話通信網を利用して配信事業者に送信し、配信事業者は国土地理院から提供される電子基準点データを元にその観測点近傍に仮想基準点を構築する。移動局ではこの仮想基準点に対する補正情報等を配信事業者から受信し、移動局観測データと補正情報から基線解析を行い、移動局座標を得るものである（図—1）。



図—1 VRS-GPS のイメージ (ジェノバ社 HP)

測位機器は、①観測点に配置される GPS 受信機、②GPS 受信機を制御するためのコントローラ、③配信事業者との通信を可能とする通信モジュールで構成される（図—2）。



図—2 VRS-GPS の機材構成

### 3. VRS-GPS を情報化施工に利用する際の問題点<sup>1)</sup>

VRS-GPS は定点観測が主体の基準点測量の分野では近年活発に利用されているが、連続的に速度をもって移動する車両や船舶に搭載しての適用事例は少ない。その要因としては以下のような問題を含んでいるためであると考えられる。

- a) 電子基準点ベースの位置計測となるため、TSなどをを用いた現地測量結果との整合が取れない場合がある。
- b) 仮想基準点データは近隣の複数の電子基準点データから生成されるが、その位置はGPS受信機を初期化した場所に規定される。初期化した位置が実際に施工する場所から大きく離れていた場合には、位置計測精度や座標再現性が劣化する恐れがある。
- c) 専用回線ではない一般的な携帯電話通信網を利用して仮想基準点に関連した補正情報が配信されるため、通信状況や配信データ量によってはデータ遅延や不達が生じる可能性がある。このことにより、GPS受信機には時間遅れに対応したRTK演算機能が組み込まれているが、重機走行を考慮した正確な位置計測ができない可能性がある。
- d) VRS-GPSでは固定局機材が不要となるが、一方で補正情報の配信を受けるために、携帯電話通信料と補正情報利用料が従量的に課金される。このことから、運用期間にもよるが、既に固定局機材を保有しているユーザーにはVRS-GPS利用の経済的メリットが少ない場合がある。

本稿では、これらの問題点のうちb) c)に関連して、以降に示す2つの実験を実施した。

### 4. 定点における初期化実験 (実験1)<sup>2)</sup>

#### (1) 実験概要

- a) 実験目的：VRS-GPSを用いた位置計測は、現場内に測量基準点を設置するRTK-GPSとは異なり、目には見えない演算上の基準点を利用するため、ユーザーが精度管理の点で不安感を持つ場合がある。例えば、既往の研究では<sup>3)</sup>、VRS-GPS利用上の留意点として、データ通信や仮想基準点の生成位置、計測精度と再現性等について言及している。そこで実験1では、静止時(定点観測)におけるVRS-GPSの特性を把握するために、①仮想基準点の生成位置と初期化位置との距離(いわゆる基線長)、②計測精度、③初期化時間、④衛星飛来状況についての相互関係を把握することとした。
- b) 事前準備1(観測定点の設置)：図—3に示したつくば市にある実験ヤードに測点を設け、近傍の電子基準点3点からスタティック解析により座標を求めた。表—1にその結果を示す。
- c) 事前準備2(仮想基準点の生成)：測点 hzm2-1 を工事区域内で重機が停止している場所と仮定して、真東の方向に9箇所の仮想基準点を生成した(図—4)。VRS-GPSでは生成したい仮想基準点を取り囲む近傍3点の電子基準点と整合の取れた補正データが配信されるため、基線長によって選定する電子基準点異なる場合がある。広大な土木工事現場内での運用を想定した場合、生成した仮想基準点と施工ヤードが数km離れる場合があ



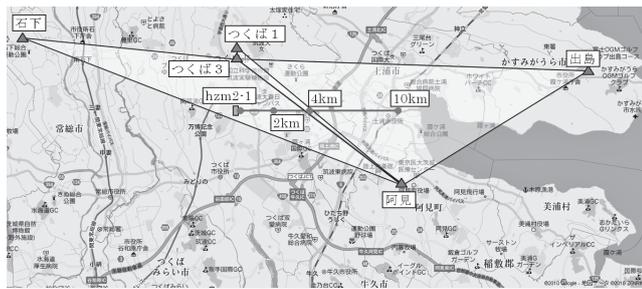
図—3 測点配置と実験ヤードの状況

表—1 定点観測点の座標等

測点名	hzm2-1
観測日	2010.11.19
観測時間帯	11:45~14:15
利用した電子基準点	右下 阿見 つくば3
X座標	8668.720
Y座標	22687.718
H座標	25.845

表—2 実験使用機材一覧

GPS受信機	トプコン	LEGACY-H GGD
VRS通信装置	ジェノバ	CPTrans-SX
操作端末	汎用ノートPC	
補正情報	RTCM	Ver.3.0



基線長	10m	100m	500m	1km	2km
仮想基準点生成に 利用する電子基準点	石下 つくば3	石下 つくば3	石下 つくば3	石下 つくば3	石下 つくば3
基線長	3km	4km	5km	10km	
仮想基準点生成に 利用する電子基準点	石下 つくば3	つくば1 つくば3	出島 つくば3	出島 つくば3	

※測点hzm2-1のY座標を基線の長さだけ東方に移動。  
図一4 仮想基準点と電子基準点配置

るため、このような検討ケースを設定した。

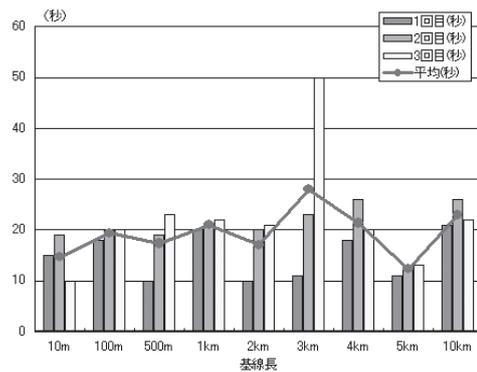
d) 実験手順: 以下の手順を各基線にて3回実施した。

- ① GPS 受信機電源 ON ⇒ ② 通信装置電源 ON
- ⇒ ③ PC より仮想基準点座標を指定してVRSサーバーへ送信
- ⇒ ④ VRS 補正データ受信 (RTCMVer.3.0)
- ⇒ ⑤ RTK 演算開始 (= 初期化開始時刻)
- ⇒ ⑥ RTK - Fix 解取得 (= 初期化完了時刻)
- ⇒ ⑦ 1 分間連続受信
- ⇒ ⑧ 通信装置電源 OFF ⇒ ⑨ GPS 受信機電源 OFF

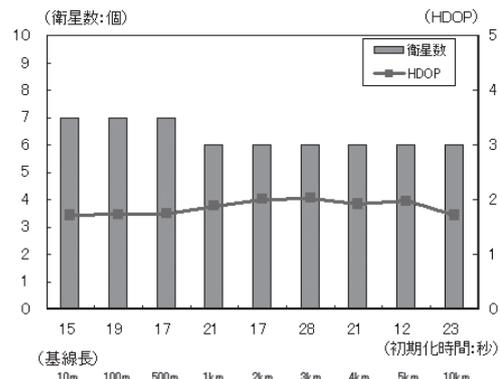
なお、受信機電源の操作により内部メモリに保存されている GPS データを完全に消去して RTK 演算を行った。これは、内部メモリに残された GPS データを利用して RTK 演算した場合に初期化時間が早まることを避けるための処置である。また、VRS 補正データを RTCMVer.3.0 として通信容量を縮減し同時に通信品質も確保した。

(2) 実験結果

- a) 基線長と初期化時間の関係 (図一5): 基線長 3 km の 3 回目の計測では多少時間を要しているが、それ以外のケースについては、基線長が長くなることに対して、初期化時間の大きな変動は見られない。つまり、初期化時間に距離依存性はないと考えられる。
- b) 初期化時間と衛星数, HDOP の関係 (図一6): 一般的に GPS 観測を行う場合の初期化時間は、その時に受信している衛星数や衛星の幾何学的配置 (HDOP 等) に影響を受ける。本実験では図一3 のように受信環境が良好であったため、初期化時間 (全ケース平均 19 秒) に対して、受信できている衛星数が 6~7 個, HDOP は 2.0 以下となり、これら相互に大きな関連性は確認できない。



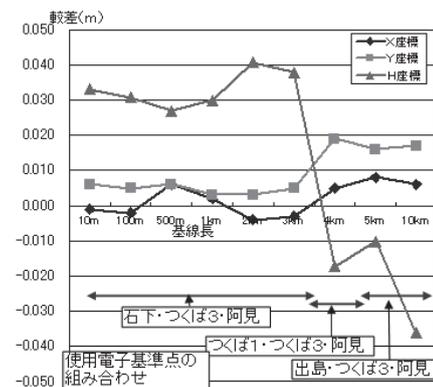
図一5 基線長と初期化時間の関係



図一6 初期化時間と衛星数, HDOP の関係

c) 基線長と位置精度の関係 (図一7)

図一4 中の表に示すような基線長と電子基準点の組み合わせにおいて VRS-GPS を実施し、最初に Fix 解を得た時刻の座標と hzm2-1 座標を比較した。基線長 3 km までは、同じ電子基準点の組み合わせから生成した VRS 補正情報を受信して RTK 演算しており、座標較差は X・Y 座標で ± 10 mm 以内、H 座標で ± 40 mm 以内となった。電子基準点の組み合わせが変わった基線長 4 km 以降では、X・Y 座標は増加傾向にあり、H 座標は正負が反転した。この結果から、仮想基準点の生成位置と実際に作業する場所が大きく離れて電子基準点の組み合わせが変わると、座標値もその影響を受けてシフトする可能性があることが分かる。



図一7 基線長と位置精度の関係

### 5. 移動観測実験 (実験2)<sup>4)</sup>

#### (1) 実験概要

- a) 実験目的：実験1の結果を踏まえて実験2では、従来型 RTK と VRS-GPS の各装置、データ比較のために自動追尾型 TS を移動体に搭載して走行させ、移動観測時の位置座標の比較を行った。VRS-GPS を用いた情報化施工システムにより盛土の品質管理が可能であるかどうかを確認することを目的とした。
- b) 実験方法：図-8 に示した実験ヤードのうち、南北及び東西方向の道路において、各々時速 3 km (実施工における振動ローラの走行速度を想定) で、ライトバンを走行させた。3 往復の走行を 1 セットとし、それを 3 セット行った。

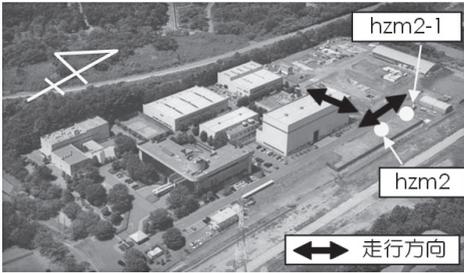


図-8 測点配置と実験ヤードの状況

- c) 機器構成 (図-9)：RTK 移動局では、同一の GPS アンテナで受信したデータを 2 分配して従来型 RTK と VRS-RTK の GPS 受信機に入力している。GPS アンテナの脚部には自動追尾 TS のための全周プリズムを設置し、従来型 RTK、VRS-RTK と TS の 3 つの装置により同一位置を計測することとした。自動追尾 TS の器械点は測点 hzm2 である。従来型 RTK の固定局は、測点 hzm2 から従来型 RTK により求めた hzm2-1 とした。VRS-RTK における仮想基準点については、実験ヤードを取り囲む近傍の電子基準点 3 点 (石下・阿見・つくば 3) を

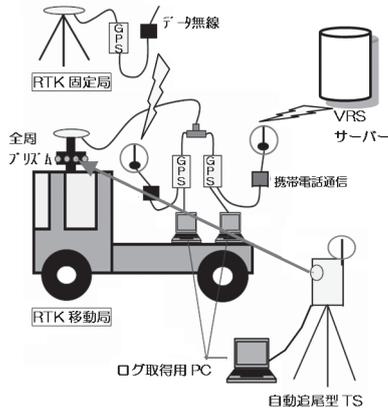


図-9 実験機材構成

利用し、従来型 RTK の固定局と同じ測点 hzm2-1 に生成した。すなわち、VRS-RTK と従来型 RTK については、同じ測点からの相対位置計測となる。GPS 受信機からの出力レートは使用機材の性能の制約から 1Hz とし、自動追尾型 TS からの出力レートは 10Hz となっている。なお、VRS 補正データは RTCM Ver.3.0 を採用している。

#### (2) 実験結果

##### a) 衛星配置状況

図-10 に実験時間帯における衛星数と DOP 値の推移を示す。同図の上下のグラフで衛星数や DOP 値が一部分で異なっていることが見て取れる。このことから現地に設置した RTK 固定局と演算上で同一箇所に設けた仮想基準点における測位データが同一のものではないことが想像できる。東西走行時には南側にある背の高い建物の影響で受信状況が劣化し、南北走行時よりも受信衛星数が減り DOP 値が悪くなっている。しかしながら、衛星数は RTK 演算の必要個数を満足していることから RTK 本来の性能は満足していると判断し、以下のように実験結果の考察を進める。

##### b) 実験結果

図-11 に東西走行の 1 セット目往路のデータの一部を拡大して示す。従来型 RTK と VRS-RTK には平面距離にして 17 mm の較差があることが分かる。こ

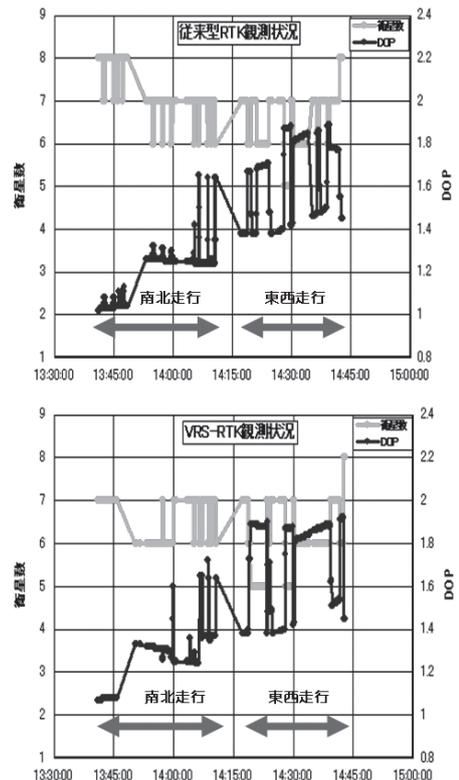
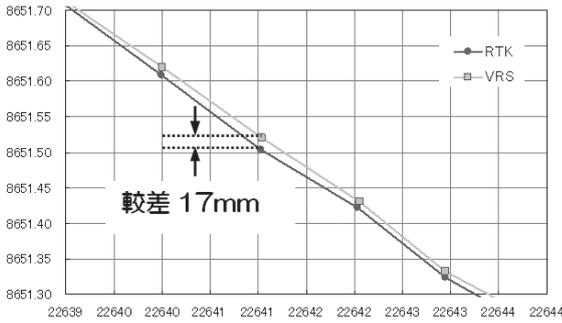


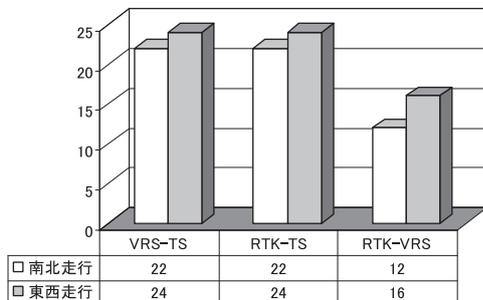
図-10 衛星飛来状況 (衛星数と DOP)



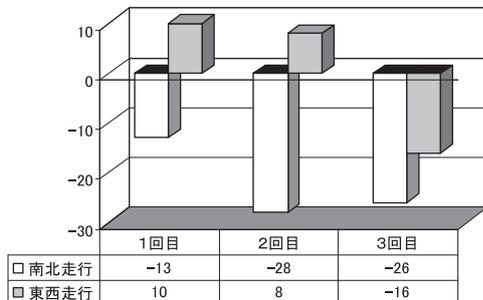
図一 11 従来型 RTK と VRS による軌跡比較

のような較差をすべての走行データにおいて集計し平均したものが図一 12 である。図中右側が従来型 RTK と VRS-RTK の較差であり、南北走行時では 12 mm、東西走行時では 16 mm の較差（全データの平均値）が確認できる。図中左側と中央が VRS-RTK および従来型 RTK と TS との較差であり、ともに 20 mm 程度の較差が確認できる。TS と比較した場合には、2 つの RTK 法には大きな差がないことが分かる。

次に、図一 13 に従来型 RTK と VRS-RTK による標高値の較差を示す。+ 値から - 値までばらつきがある（- 値は VRS-RTK の標高が高い）が平均で - 10mm であり、RTK 法の精度を考えると、両者に大きな差はないものと考えられる。



図一 12 計測結果の較差（平面距離，単位 mm）



図一 13 従来型 RTK と VRS による標高値較差（単位 mm）

## 6. おわりに

実験 1 では、静止時の VRS-GPS の初期化に関わる性能を、整合を取る電子基準点の組み合わせを変える

ことで検証した。その結果、仮想基準点の座標値が電子基準点の組み合わせによりシフトする現象が確認できた。仮想基準点は相対測位の基準点に相当するものであり、この点の座標がシフトすることは相対測位の結果として得られる重機位置座標にも影響を及ぼす。したがって、より正確な計測を行うためには、仮想基準点の位置を固定（指定）する必要がある。すなわち、工事の工期全体を通じて、同じ電子基準点の組み合わせにおいて仮想基準点を生成することが重要となる。この処置により VRS-GPS は従来型 RTK と同等の精度が発揮できるものと考えられる。

実験 2 では、重機移動時の VRS-GPS の位置精度を TS や従来型 RTK と対比することで検証した。その結果、TS と VRS-GPS および TS と従来型 RTK との 2 つの較差は 20 mm 程度でほぼ同値であり、また、VRS-GPS と従来型 RTK の較差については、平面距離にして平均で 14 mm であることが確認できた。このことから、国土交通省等発注者が制定する施工管理要領に記載のある、工区を 50 cm 平方メッシュに区切って施工管理する盛土の情報化施工においては十分な位置精度であると考えられる。

以上のような重機の静止時および移動時を想定した 2 つの実験により、盛土品質管理システムの中核をなす位置決め手法として VRS-GPS の適用性が確認できた。これにより、弊社では、VRS-GPS を位置決め手法のメニューに加え、道路中心線測量や土工における杭の測設、重機に搭載しての敷均し管理・締固め管理に積極的に採用している。

最後に、本実験の実施にあたり、(株)トプコン販売殿、(株)ジェノバ殿には多大なご協力をいただいた。ここに記して感謝申し上げる。

JCM/A

### 《参考文献》

- 1) 武石他、重機土工におけるネットワーク型 RTK-GPS の有効性検討、平成 21 年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集、pp.131-134、2009
- 2) 黒台他、重機情報化施工への VRS-GPS の適用性確認実験 - 定点における初期化実験 -、土木学会第 65 回年次学術講演会 VI 部門、pp.699-700、2010
- 3) 北原他：中継型 VRS 測量システムの導入、熊谷組技術研究報告第 64 号、pp.113-120、2006
- 4) 黒台他、重機情報化施工への VRS-GPS の適用性について - 移動観測実験 -、土木学会第 66 回年次学術講演会 VI 部門、pp.233-234、2011

### 【筆者紹介】

黒台 昌弘（くろだい まさひろ）  
 (株)間組  
 技術・環境本部 技術研究所  
 主任研究員



# 建設機械における情報化施工システムの活用

## 情報化施工システムの普及に向けて

土井下 健 治・村 本 英 一・神 田 俊 彦

めざましく発展している情報通信技術（ICT）が建設機械にも適用され、情報化施工システムが普及し始めている。情報化施工の導入により、土木建設作業の施工効率向上や精度確保、安全性の向上、環境負荷低減等が期待される。さまざまなセンサ技術を組み合わせたこれら情報化施工のシステム構成例とその適用効果、課題を紹介するとともに、その普及に向けての取り組みについて紹介する。

キーワード：建設機械、情報化施工、GPS、GNSS、マシンコントロール、マシンガイダンス、プラグアンドプレイ

### 1. はじめに

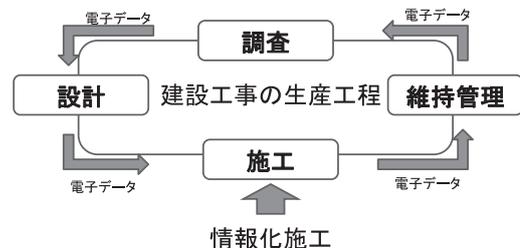
1978年に最初のGPS衛星が米国により打ち上げられて以来、GPSによる位置測位技術はカーナビゲーションや携帯電話などにとり入れられ、今では非常に身近なものとなった。1990年代半ばには更に高精度に3次元座標を計測する、RTK-GPSといわれる手法が実用化されるに至り、現在では測量計測業務にも適用されている。さらにロシアや欧州においても同様機能の衛星であるGLONASSやGalileoが打ち上げられたため、これらの全地球航法衛星技術を総称してGlobal Navigation Satellite System（GNSS）と呼ぶようになった。

建設機械の分野においてもこのGNSS技術を活用する動きは活発になっており、ブレードを自動制御することにより作業の効率化と施工品質確保を実現する情報化施工システムが普及してきている。

本稿では、その情報化施工システムについて、建設機械での適用事例を中心に、その効果や普及に向けての取り組みについて紹介する。

### 2. 情報化施工とは

情報化施工とは、建設工事における設計、施工、維持管理、調査といった各生産プロセスにおける「施工」のプロセスにおいて、情報通信技術（ICT）の活用により各プロセスから得られる電子情報をやりとりし、高効率・高精度な施工を実現するもの、と定義されている。



図一1 情報化施工の位置づけ

建設工事の各工程で利用される電子データをシームレスに活用することにより、施工全体の管理の効率化や、品質の向上を目指すものである。

情報化施工により、現場の丁張り等の計測作業が大幅に削減されるとともに施工自体も速く効率的になるため、工期短縮が期待できる。その結果、CO<sub>2</sub>排出量や騒音などの環境負荷低減が見込める。また、測量作業や出来形確認のための補助作業員も削減できるため、工事現場の安全性向上にも寄与することができる。

情報化施工システムは、欧米では'03年頃から急速に普及し始めているが、日本では2008年2月25日に産学官それぞれの分野の有識者による「情報化施工推進会議」（事務局：国土交通省総合政策局建設施工企画課）が設置され、同年7月31日に「情報化施工推進戦略」が策定されて、本格的な普及方針がまとめられた。「情報化施工推進戦略」においては、

- ①情報化施工を標準的な工法として位置付ける
- ②機器・システムの普及
- ③人材育成

が普及方針の3つの柱として決定され、それぞれに普及活動が進められているところである。

その活動の実績として、国土交通省のHPによると平成22年度情報化施工対象工事はH23年6月30日現在で289件になった。また、人材育成のために日本建設機械化協会の施工技術総合研究所において、情報化施工研修会が開催されており、2008年7月～2011年7月の間で実務コースが24回実施され、410名の受講者を数えている。

### 3. 情報化施工システム

#### (1) システム概要

情報化施工システムは一般的に、その制御形態により、マシンコントロール (MC)、マシンガイダンス (MG) などと呼ばれている。3次元CADにより作成した設計データに基づき、ブルドーザやモータグレーダのブレードと呼ばれる作業機を自動制御して、施工の品質と効率向上を図るものがマシンコントロール、油圧ショベルのバケット刃先をモニタ表示装置に表示し、設計データによる作業面をガイドすることで、オペレータの操作負担を低減するものがマシンガイダンスである。

まずは、ブルドーザへの搭載を例に取って、マシンコントロールシステムの概要を説明する。

マシンコントロールシステムは一般的に、図-2に示すように、作業機 (ブレード) の水平・垂直位置検出をする為のGNSSアンテナを、ポールを介して直接ブレードに装着し、ブレード背面には傾斜計を装着して、ブレードの傾きを検出している。

設計データは、3次元CADで作成したデータを、オペレータ席前方に設置したコントロールボックス

に、コンパクトフラッシュメモリなどを使用してインストールする。コントロールボックスは、カラー表示器と制御用装置が一体化されており、カラー表示器上には施行設計図面と建設機械の現状位置がリアルタイムで更新表示され、オペレータが常時作業状態を確認出来るようになっている。また一方で、コントロールボックスは、設計データとブレードの位置・姿勢をリアルタイムで計測・比較し、自動制御用のEPCバルブを駆動する事により、ブレードの自動制御を行う。

#### (2) その他のマシンコントロールシステム

高精度GNSSによる位置検出を活用した情報化施工システムを紹介したが、GNSSとその他のセンサを組み合わせ、より高精度実現をめざした、センサフュージョンによるマシンコントロールシステムが近年導入されてきている。

一つは、垂直方向の位置検出精度を向上する目的で、GNSSと回転レーザを組み合わせたシステムである。水平方向はGNSS位置検出を行うが、垂直方向はレーザによる位置検出を行い、GNSSのみの場合±30mm程度の精度であるものを、±10mm程度まで向上させることが出来る (図-3)。

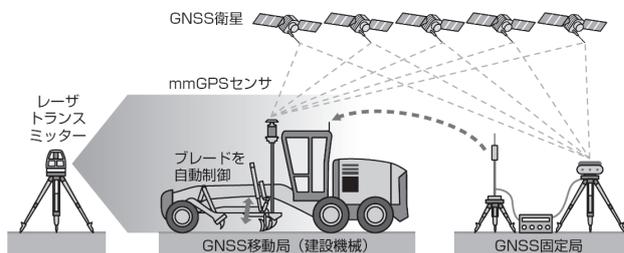


図-3 回転レーザとGNSSを併用したマシンコントロールシステム

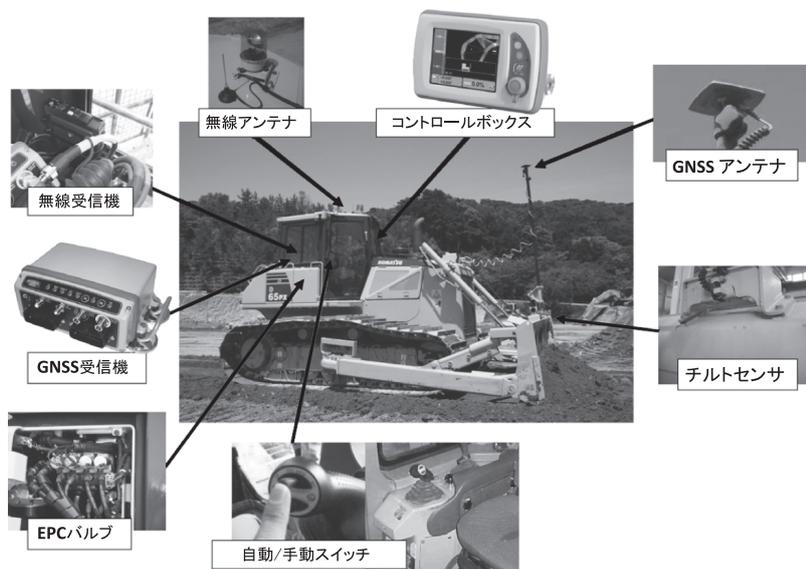


図-2 マシンコントロールシステム構成

また、位置検出をGNSSに頼らず、自動追尾型のトータルステーションを利用し、建設機械上に設置したプリズムを自動追尾することにより作業機的位置検出を行い、高精度な±10mm程度までの整地精度が得られる方式もある。このシステムは、GNSSのように衛星を利用しないので、屋外で天空が見える現場である必要が無いため、トンネル内や屋内などの施工現場の場合に適している（図-4）。



図-6 3D-MC<sup>2</sup>の整地性確認状況

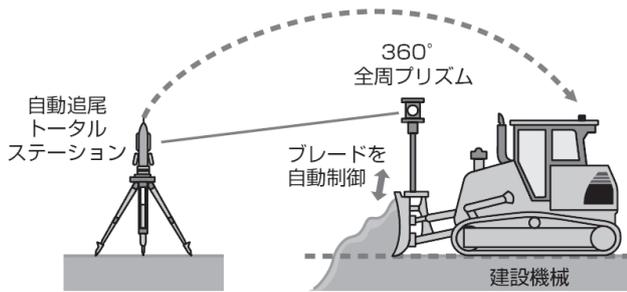


図-4 トータルステーションを利用したマシンコントロールシステム

さらに、通常10～20Hz程度であるGNSS位置検出更新間隔を、チルトセンサの代わりにジャイロと組み合わせることによりGNSS計測間の位置情報を補完し、位置検出速度を100Hz程度まで改善するシステムがある(3D-MC<sup>2</sup>(スリーディーエムシースクエア)システム)。位置検出能力が高速化されることにより、土質と車両特性にもよるが、従来F1速度であった限界施工速度をF3速度まで高速化することが可能となる。

図-5, 6は、8tクラスのストレートチルトドーザ車両で、F3の高速走行テストを実施した場合の結果である。現場の土質は砂質土、F3の高速走行時の条件でも、高低差±10mm程度のバラツキで高品質の整地性が確認されている。従来は、シフトがF3にもなると精度の高い施工は出来なかった。この結果は、20tクラスのブルドーザについても同様の結果が得られている。

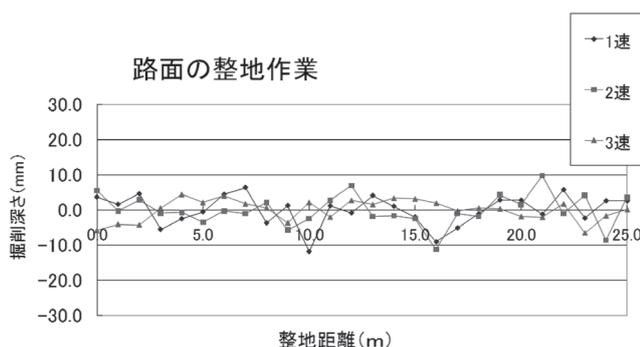


図-5 3D-MC<sup>2</sup>の整地精度(8tクラス)

### (3) 従来施工と情報化施工

従来、土木施工は下記手順で実施されている。

- ① 施工現場の測量の実施
- ② 測量に基づき土木設計図面を作成
- ③ 図面に基づき現場に作業目印の杭を設置
- ④ 目印の杭に基づき施工作業を実施
- ⑤ 施工が設計通りか検査を実施

通常、検査・作業の繰り返しや作業の進捗状況に合わせて杭の設置し直しが繰り返される事となるが、情報化施工システムを活用した場合は、設計データに基づき建設機械の作業機が自動制御されるので、目印の杭の設置が不要となる。整地精度が良くなるため、施工効率が向上することが期待される。

### (4) 従来施工と情報化施工の比較テスト結果

従来施工と情報化施工の施工効率を比較するため、高速道路ランプウエイ形状を模した施工を行い、施工時間の比較と精度の確認を行った(情報化施工は、シングルGNSSのマシンコントロールシステム)。

テスト施工設計図と仕上がり形状を図-7に示す。横幅8m、0m～20mの区間では縦横断勾配は共に0%、20m～50mの区間では縦断勾配は8%一定、横断勾配は0%～9%まで連続的に変化する設計となっている。施工機械は20tクラスブルドーザである。

情報化施工テスト後の仕上げ面を光学レベル測量により計測した結果を次に示す。

図-8に見られるように、発進時から6m程度(約1車長分)は仕上げ精度に乱れが在り、本施工方法に於いては、1車長程度の助走区間を設ける事が有効で有ることが判る。また本来の道路形状では有り得ない設定であるが、水平面から8%の上り勾配への屈曲部に於いても精度が乱れる事無く、2車長以内に静定している事が判る。

また、施工時間に関して、従来施工と情報化施工と

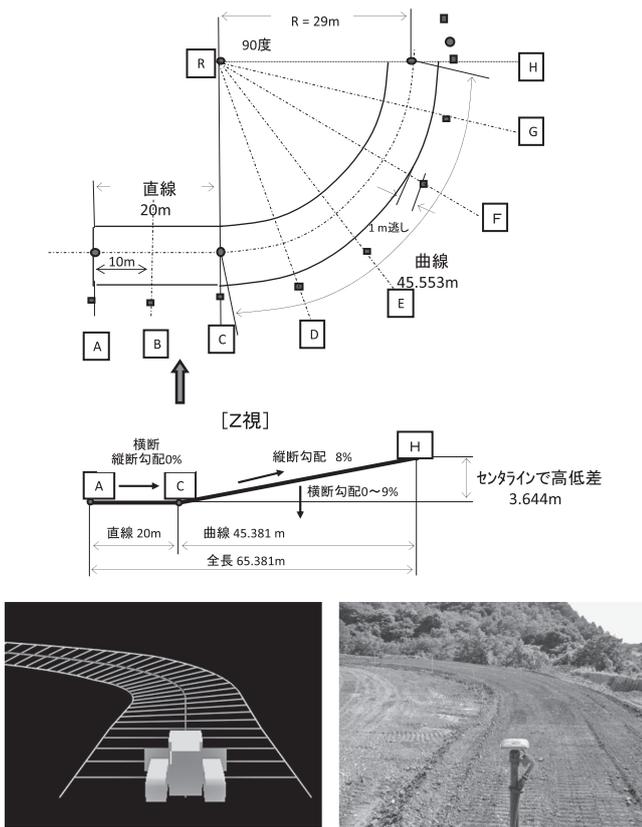


図-7 テスト施工図面と仕上がり形状

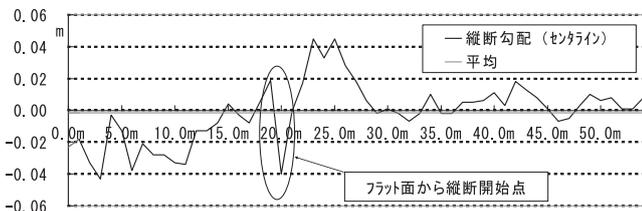


図-8 縦断面での精度

表-1 従来施工と情報化施工の施工時間比較

項目	自動	手動
人数、丁張り時間 (h)、丁張り本数	0	3人 2h 12本
ブルドーザー作業時間 (h)	3.63	4.32
参考：施工時間 (h)	3.63	6.32

注) 設計や施工データ作成時間は含んでいません。  
 テスト施工での結果であり、実際の施工とは異なります。 **43%短縮**

の施工時間は表-1の結果となり、情報化施工は従来施工に対し、丁張りで100%、施工で16%短縮し、丁張り・施工時間を含めた全行程では情報化施工のほうが43%短縮している結果となった。

#### 4. 情報化施工のメリットと課題

##### (1) 情報化施工のメリット

以上のテスト結果とあわせて、情報化施工のメリットは下記のようなことが考えられる。

- ①目印の杭が不要であり、かつブルドーザやグレーダ

の機械の作業効率向上が見込めるため、4割以上の工期短縮が望める。

- ②杭の打ち直し作業や仕上げ面確認の為に再測量作業など、稼働中の機械近傍での作業が不要となり、施工現場の安全性が向上する。
- ③ブルドーザやグレーダの機械の作業効率率が2~3割向上する為、燃料の節約が可能であり、これにより二酸化炭素排出量の削減も可能となる。
- ④複雑な施工を精度良く行う事が可能であり、オペレータの疲労や苦渋作業の低減が可能である。

#### (2) 情報化施工の問題点

上記のようなメリットがある一方で、現状では以下の点のような問題点があると考えられる。

- ①高層ビル郡の谷間や、山間部、露天掘り高山の深低部など、上空視界が制限されGNSS衛星の捕捉が困難な現場では使用が困難である。
- ②高精度GNSS位置検出に必要な補正信号が、携帯電話網配信では山間僻地などの工事現場では受信出来ない場合がある。
- ③公共の補正信号配信として、国土地理院が設置済みの1200箇所のGNSS基地局補正配信があるが、使用費用が高額である。
- ④3次元CADによる設計データが必ず必要であり、紙ベースや2次元データによる設計データによる受注時はその変換に手間がかかる。特に日本では発注時から3次元設計であることは少なく、効率が悪い。

### 5. 情報化施工システムの普及に向けて

#### (1) 情報化施工機器取り付け時の課題と対応

情報化施工システムは、通常測量機器メーカーから提供される場合が多いが、建設機械に装着する場合には、建設機械に機器取り付けのための板金加工や溶接加工を施す必要があった。その結果、取付工数は数十時間かかることもあり、改善要望の大きい問題点であった。

情報化施工推進戦略にもあるように、情報化施工機器・システムの普及に向けて、建設機械メーカーは、情報化施工システムの機器をより簡単に装着できるような対応を進めている。具体的には、あらかじめ情報化施工機器用のブラケットを取り付けておいたり、配線用穴を空けておくなどして、板金・溶接加工なしに装着できるような工夫をし、十数時間程度で装着できるようにした。現在は建機メーカーの多くの機種で、そのような機種がラインナップされている。



図-9 プラグアンドプレイ対応建機の例

## (2) プラグアンドプレイ対応

今後は、さらなる普及に向け、予め情報化施工機器用のハーネスや配管、バルブ、ブラケット等をあらかじめ車両に装着しておき、後から容易に取り付けできるディスプレイやGSNN受信機、GNSSアンテナ等のみを装着する仕組みの開発を進めている（図-9）。

この仕組みは、我々がプラグアンドプレイと呼んでいるもので、情報化施工システムに必要であり、取り付けに工数が掛かるものは予め工場に取り付けて車両と一体にしておき、後から簡単に装着できる情報化施工機器のみ、必要時に取り付けるようにした車両である。このプラグアンドプレイの実現により、機器の装着工数は数時間になる。今後は、情報化施工の普及拡大に従い、このプラグアンドプレイ対応建機のラインナップが増えていくと考えている。

## 6. おわりに

欧米に後れをとっているといわれている情報化施工であるが、国土交通省の情報化施工推進戦略のもと、日本でも活用事例が増えてきている。建設機械メーカーとして、機器・システムの普及に貢献するため、プラグアンドプレイ対応車の開発を推進していくとともに、油圧ショベルのマシガイダンスについてもさらなる機能向上を目指して開発を進めていきたい。

JCMA

### 《参考文献》

- 1) 神田俊彦, 「建設機械へのGNSS応用」, GPS/GNSSシンポジウム2010論文集, 151p～154p, 2010/11/4発行
- 2) 神田俊彦, 村本英一, 土井下健治, 「建設機械へのICT応用」, コマツ技報 Vol.56 No.163, 2p～6p, 2011/2/12発行

### 【筆者紹介】



土井下 健治（どいした けんじ）  
 コマツ  
 開発本部 商品企画室 ICTグループ  
 主査



村本 英一（むらもと えいいち）  
 コマツ  
 開発本部 商品企画室 ICTグループ  
 主幹技師



神田 俊彦（こうだ としひこ）  
 コマツ  
 開発本部 商品企画室 ICTグループ  
 プロダクトマネージャ

# 新作業装置自動制御システムの紹介

## グレードコントロール，アキュグレード，クロススロープシステム

松村 秀雄

現在、情報化施工に対応した新情報化施工対応システムを日本で順次発売を進めているが、情報化施工の普及を更に進めるため、メーカー工場で初期設定まで完了され、車両が搬入され次第直ぐ作業を開始することができる新作業装置自動制御システムを開発し一部機種に設定を開始した。ここでは情報化施工として情報化施工対応システムに加わった新作業装置自動制御システムの特長について紹介する。

キーワード：情報化施工，GNSS，マシンコントロール，マシンガイダンス，自動制御，レーザー，メーカー装着，初期設定不要

### 1. はじめに

現在、情報化施工に対応した新情報化施工対応システムを日本で順次発売を進めているが、情報化施工の普及を更に進めるため、新作業装置自動制御システムを開発し一部機種に設定を開始した。ここでは情報化施工として情報化施工対応システムに加わった新作業装置自動制御システムの特長について紹介する。

### 2. 新情報化施工対応システム

新情報化施工対応システムは、ブルドーザ，モータグレーダ，油圧ショベル，モータスクレーパ，アスファルトフィニッシャ，振動ローラ等に設定され，現在日本ではブルドーザとモータグレーダ用を発売している。

#### (1) 簡単な操作で高品質な仕上り

通常は自動・手動切替ボタンと，オフセットボタンのみで施工を行えるため，オペレータは短時間で新情報化施工対応システムの性能を引き出すことができ，高品質な仕上りを得ることができる。

#### (2) 高い信頼性

新情報化施工対応システムは車両本体と同じ建設機械の基準で開発，設計されているため，建設機械が稼動する厳しい振動や暑さ寒さに関らず常に安定して稼動できる。また油圧バルブは車両本体標準のものをそのまま使用し，車体内の配線類は工場では装着されるた

め，配線，配管類の干渉や，油圧回路への異物混入，配線の断線等の心配が無く，常に安定した稼動を続けることができる。

#### (3) 情報化施工対応仕様による高い汎用性と経済性

新情報化施工対応システムは，情報化施工対応システム準備仕様をオプション設定された情報化施工対応システム準備仕様に，お客様が現場に最適な仕様の情報化施工対応システムキットを選択して容易に装着して使用できる特長を持っている。情報化施工対応システム対応仕様は新情報化施工対応システムを容易に着脱できるよう，必要な配線，スイッチ，ブラケット類が予め工場では装着されており，穴空けや溶接作業無しに，全てのアイテムがボルトオンで装着できる。これにより，情報化施工対応システム対応仕様の車両を保有されていれば，必要な時に，必要な車両に，最適なセンサ類（新情報化施工対応システム）を装着することで情報化施工の工事に対応できるため，高価なセンサ類を台数分保有する必要が無い大きなメリットがある。また，新情報化施工対応システムを構成する各アイテムは接続するだけでプラグ・イン・プレイで使用できるため，必要なアイテムだけを追加・交換するだけで，簡単に仕様を替えることができる。例えばGNSS仕様からUTS仕様に変更したい場合，GNSS受信機をUTSターゲットに（必要に応じて固定マストから電動マストへ）交換するだけで簡単にUTS仕様にすることができ，様々な現場に柔軟に対応することができる。

### 3. 新作業装置自動制御システム

情報化施工の普及で新情報化施工対応システムの装着率が高まるにつれ、装着の更なる使い勝手の向上への要望に応えつつ、車両本体との統合を更に進めることによる機能の進化も取り入れ、新作業装置自動制御システムを開発、北米・欧州でEPA Tier 4/EU Stage III 規制に対応したブルドーザ、モータスクレーパ、モータグレーダ、油圧ショベルの一部機種に設定、順次発売を進めている。ここではこれら新作業装置自動制御システムの概要を紹介する（写真—1）。



写真—1 新作業装置自動制御システムを搭載したブルドーザ

#### 【新作業装置自動制御システム全体の狙いと特長】

##### (1) 装着作業が不要

全ての部品がメーカー工場で装着されて出荷されるため、現場でのインストール作業が不要となる。

##### (2) 初期設定作業が不要

メーカー工場で初期設定まで完了されてから出荷されるため、現場での初期設定作業が不要となり、車両が搬入され次第直ぐ作業を開始することができ、更なる工期短縮を図ることができると共に、安心してお使いいただける。

##### (3) 使い勝手の向上

車両本体に標準装着されているディスプレイをそのまま利用するため、専用のディスプレイを新たに追加する必要がなく、操作が容易で、オペレータの視界も確保できる。

##### (4) 発展性

モータグレーダや、油圧ショベルは他の高さセンサ（GNSS, UTS）等を追加することで、3次元仕様へ容易にアップグレードを図ることができる。新作業装置

自動制御システムには2次元仕様用の固定センサ類が工場で装着され、初期設定も済んでいるため、3次元化に必要なアイテムだけ追加すればよく、最初から全ての3次元アイテムを装着、初期設定を行うのに比べ、大幅な時間短縮が図られる。

##### (5) 車両本体の性能向上

新作業装置自動制御システムをブルドーザに装着し、ブルドーザのブレードやリッパを最適な位置に制御することで、生産性を向上させる。

##### (6) 中古車価値の向上

新作業装置自動制御システムが装着されていることで、中古車市場での車両価値が向上するため、車両の再販価値が高まる。

次に、【機種別による新作業装置自動制御システムの特長】について紹介する。

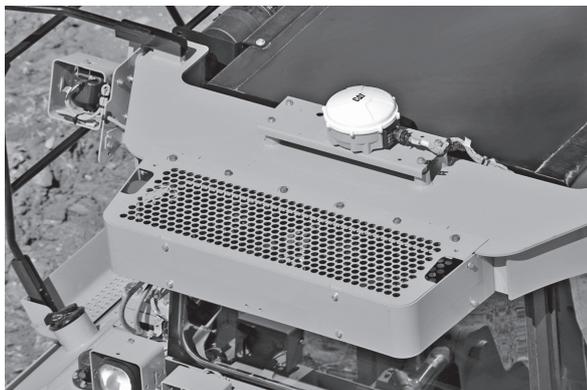
##### (7) ブルドーザの作業をトータルで制御

新作業装置自動制御システムは、新情報化施工対応システム同様、最初の掘削から最後の材料の整地まで、丁張り等段取りにかかる時間を短縮すると共に、常に計測しながら施工を行うため、計測と手直しにかかる時間も短縮することができる。D8T, D9Tブルドーザに新作業装置自動制御システムを搭載すると、3つの基本モードでブレードを自動制御する機能が追加される。1つ目のモードは最初の大まかな荒削り施工用、2つ目のモードは造成工事での掘削し過ぎの防止、3つ目のモードは新作業装置自動制御システムとブルドーザ本体のオートキャリ機能が組合されることで、ブレードにかかる土量を確保すると同時にシュースリップの防止が可能になる。例えば、ブレードが目標となる設計データより高い位置にある場合、ブレードのチルト動作はオペレータが手動で行えるが、2つのシステムの強調により最適なブレード負荷が計算され、常に生産性が高まる負荷になるようブレード高さが自動制御される。

また、新作業装置自動制御システムをブルドーザ本体のオートマチック・リッパ・コントロールと組合せることで、シュースリップを減少させつつリッピング生産性を確保できるよう、シャンクの掘削深さを最適に制御する。これによりリッパの磨耗や損傷を最小限にとどめながら、生産性と使い勝手向上の両立を図ることが可能となる。

ブルドーザ用新作業装置自動制御システムはキャブ

天上に GNSS 受信機を搭載する方式を採用している。これによりブレード上の厳しい環境から配線やセンサ類を減らし、信頼性を向上させると共に、現場での毎日の GNSS 受信機の着脱作業を不要にしている。また工場での組立て時に初期設定を済ませることも可能になり、現場での初期設定作業の手間を削減している(写真—2)。



写真—2 工場で搭載された GNSS 受信機

さらに新作業装置自動制御システムは、3次元設計ファイルや GNSS 基準局等、マシンコントロールを使用する環境面で新情報化施工対応システムとの面互換性が完全に保たれているため、情報化施工対応システムを使用している現場にグレードコントロールの車両を持ち込んで使用することが可能な他、情報化施工対応システムを保有している場合は保有している周辺機材でグレードコントロール搭載車両も使用することができる。

#### (8) グレーダの整地性能を向上

120M/140M シリーズ 2 モータグレーダは新ブレード制御システム・新作業装置自動制御システムと組み合わせることで、整地性能と使い勝手を高い次元で両立させている。新ブレード制御システムが工場で装着され、初期設定まで実施されることで、工場から出荷された時点で直ぐに現場で新ブレード制御システムの機能を使った作業ができるようになっている。新ブレード制御システムは、レーザー、ソニック（超音波）、GPS、UTS（トータルステーション）全ての新情報化施工対応システムとの互換性が完全に保たれているため、これらのシステムへのアップグレードが容易に行える。

新作業装置自動制御システムを使用することで、ブレードは正確な横断勾配を維持して整地作業を行え、所定の設計通りの道路に施工することで、より高い排水性を備えた安全な走路を作り上げることが可能になる。グレーダのオペレータはブレード両端やブレードの姿勢がブレードの直前の勾配と合っているかどうか

絶え間なく注視したり、カッティングエッジをどの姿勢に動かせばよいか予測したりする必要があるが、新ブレード制御システムを導入することにより、オペレータは必要な情報を運転席に居ながらリアルタイムで入手できるため、ストレスや疲労が減少し、より高い品質で整地仕上げを行うことができる。

新ブレード制御システムは、モータグレーダのブレードの一端を自動制御する性能を持っており、オペレータはブレードの一端の高さに集中していれば、もう一方の端の高さは新ブレード制御システムによるブレード横断勾配で自動制御されるため、常に一定の横断勾配で施工することが、目的の横断勾配仕様に仕上げるができる。

新ブレード制御システムのセンサはグレーダ車両本体と同様のプロセスで開発された部品を使用し、さらに新車組立て時に工場で装着されるため、車両本体同様の信頼性や耐久性を備えている。運転席に標準装備されているメッセンジャディスプレイに現状のブレードの横断勾配がリアルタイムで表示されるため、オペレータはこれを確認しながら目標とする横断勾配を設定することができる(写真—3)。特に、オペレータの目視での判断が難しい比較的平坦な道路での施工では、新ブレード制御システムが重要なブレードの勾配の方向もグラフィカルにわかりやすく表示する。モータグレーダに新ブレード制御システムを搭載することで、オペレータはより少ない材料の動きでより速い高品質な整地作業を行えるようになり、さらに燃料消費も少なく済むため、従来の施工に比べより効率的に行うことができる。



写真—3 運転席に装備されたディスプレイ

### (9) 油圧ショベルの深さと法面角度のガイダンス

Eシリーズ油圧ショベル用新作業装置自動制御システム・デプス（深さ）& スロープ（法面）は、シンプルで使いやすいシステムで、これを使ってオペレータは深さや傾斜角度の情報をリアルタイムで確認することができる。新作業装置自動制御システムを搭載することで、溝掘削工事、法面工事、盛土工事のみならず、足元の掘削作業、基礎工事、地下工事でもオペレータを支援する情報が、運転席内の標準ディスプレイにグラフィカルに表示される。

新作業装置自動制御システムは、バケット爪先の位置をリアルタイムに計測するためのセンサ類を工場での新車組立て時に装着しており、センサで計測した情報は運転席の標準ディスプレイをそのまま利用して表示される。このシステムは、短時間で簡単に準備できる独立したデプス & スロープ・システムとして使えるが、アームに取付けられたレーザー受光機をレーザー発光機と組合せて使用することで、精度がより高まると共に現場での使い勝手も向上する。工場での標準バケットの寸法が車両に入力されているため、車両が工場から納品された状態で直ぐに使用することができる。

新作業装置自動制御システムは車両の標準ディスプレイをそのまま利用しているため、オペレータの視界や快適性を損うことなくキャブ内空間を確保している。さらに設定した深さと法面角度のガイドをグラフィカルに表示してオペレータに知らせるライトバーも標準ディスプレイに内蔵されている。また、オペレータが指先で容易に新作業装置自動制御システムを操作できるよう運転席のジョイスティックにリモートスイッチやボタンが取付けられているが、このスイッチ類は他のワークツールを装着した時にも使える互換性を備えている。これらのスイッチ類を使うことでオペレータはジョイスティックから手を離さずに目標とする深さや法面角度の設定を行うことができ、再設定作業時の手間を低減させると共に作業効率を向上させる。

新作業装置自動制御システムは、予め設定した深さや高さにブーム、アーム、バケットが近づいた場合、音とディスプレイの表示で警告を発する制限機能も備え、これを利用することでEシリーズ油圧ショベルでの作業の安全性が更に向上する。

### (10) モータスクレーパを使った大型土工事の効率向上

モータスクレーパは、大量の材料を遠くまで移動させるのに最も効率的な施工方法の一つであるが、モ-

ータスクレーパの施工効率を更に上げるため、621H、623H、627H モータスクレーパにシーケンス（作業切替え）・アシストとロード（負荷）・アシストという、新しいオプションを設定している。

シーケンス・アシストは、掘削、運搬、廃土、復帰のサイクルを自動化することで、ジョイスティックの操作回数を減らし、作業装置の操作を容易にすると共に、クッションヒッチ、速度段の固定、イジェクタ、エレベータの自動制御により、オペレータの疲労を減らすことができる。

ロード・アシストは、タイヤスリップを防ぎながら常にボウルを満載にできる荷の量の確保を可能にして生産性を高めるシステムで、可能な限り掘削を効率化できるようカッティングエッジの高さの自動制御をする。モータスクレーパにグレードコントロールを搭載することで、ボウルが設計高さより高い位置にある時はオペレータがカッティングエッジを手動で動かすことができるが、片端または両端が設計高さに達した瞬間、新作業装置自動制御システムカッティングエッジが設計高さより下がることを自動的に防止し、コストがかかるやり直し作業を削減し、作業効率を向上させることが可能となっている。

## 4. おわりに

本稿で説明した新作業装置自動制御システムはCat グレードコントロール、新情報化施工対応システムはCat アクセグレードと商品登録された。またモータグレーダの新ブレード制御システムはCat クロススロープ・システムと登録された。

このように、Cat グレードコントロールは、新車組立て時の同時装着による現場での装着・初期設定作業の削減、信頼性の向上、車両の標準ディスプレイ利用による使い易さの向上、ベース車両の性能向上を図りつつ、Cat アクセグレードとの互換性も保たれており、Cat 製品の性能を最大限に発揮しつつ、現場の稼働コストを削減可能な商品となっている。キャタピラー・ジャパンでは機種毎の需要を見極めながら日本国内での発売を進める予定である。

J|C|MA

[筆者紹介]

松村 秀雄（まつむら ひでお）  
キャタピラー・ジャパン(株)  
施工技術課

# 大災害に立ち向かうロボットの開発

久武 経夫・中里 邦子

東日本大震災に誘起された福島第一原発事故での災害現場に於いて、現場の調査や瓦礫撤去などを行うロボットが求められた。欧米のロボットが活躍する中、国産ロボットは出遅れた感があったが、発電所建屋内での調査等では「Quince」、屋外での瓦礫撤去等では「無人化施工」が出動し面目を保った。スリーマイル事故、東海事故を契機に原子力災害対応のロボットが開発されたが成果を出せなかった。採用された「Quince」と「無人化施工」は、開発後継続的に活用場を得て、改良が進められてきた。運用の場を前提としたロボット開発の必要性が立証された。

キーワード：災害、ロボット、無人化施工、原発事故

## 1. はじめに

原子力災害、火山噴火、地震の大災害が発生する度に、被災地調査・救援・復旧を目的としたロボットの研究開発が始められ、多くのロボットが開発された。しかしながら、福島原発の現場に採用されたのは、現場経験を有する「Quince (クインス)」と「無人化施工」のみであった。

「Quince」は、NEDO（独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構）が2006年～2010年の間に行った「戦略的先端ロボット要素技術開発」の内の「閉鎖空間内高速走行探査群ロボットプロジェクト」で誕生した。2009年以降は、国土交通省砂防部が立入禁止区域が設定されている桜島や浅間山で走行実験の場を提供、走行性、耐環境、操作性等の実験と改良を行っている。

「無人化施工」は、島原市の雲仙普賢岳噴火災害の復旧工事を目的に1994年に当時の建設省が採用した工法で、以来全国150超の現場で採用されている。実現場での改良の実績（表—5）が採用に繋がった。

研究開発後の継続的な現場実証を欠かした原子力対応ロボットの多くは研究終了時に破棄され保存されていたロボットも稼働の機会是与えられていない。研究助成対象の主体が民間企業で、技術基盤の整備が目的であったための必然である。

何時起こるか解らない大災害時に出動するロボットは、開発後も実証、改良を継続する仕組みが必要である。「無人化施工」も「Quince」共に、国土交通省等

から実動の機会を与えられ機能改良を繰り返していた。本稿では、緊急時の対応性を前提としたロボット開発の在り方を明確にするために、上述の2例が最新機能を維持し、現場で採用された必然性を検証する。

## 2. 福島原発事故現場で活躍したロボット

事故現場では情報収集と瓦礫撤去等の作業がある。情報収集ロボットは、原子炉建屋内部の放射線濃度、温湿度等の計測、搭載カメラによる現場の現状調査、試料のサンプリングに用いられた。作業ロボットは、放水、瓦礫撤去、砂やほこりの清掃、搬送、覆いなどに活躍した。

表—1に、東日本大震災で活躍したロボット例を示す。表中の「モニロボット(原子力安全技術センター)」は現地近傍で待機したが、稼働実績がないため現場投入に至らなかった。

建屋内部の情報収集を行った唯一の国産ロボット「Quince」は、神戸震災後に企画された被災地の瓦礫上の走行や地下街を探索するレスキューロボットとして誕生した「Hibiscus」、 「Kenaf」を母体としている。国土交通省河川局砂防部の支援で行っている火山調査ロボット実験を通じた機能改善も進めていた。同じ構造で小型化した「Iris」は床下点検ロボットとして実用に供せられている。これらを含めて数十台のファミリーが稼働中である。

今回は、千葉工業大学、東北大学、国際レスキューシステム研究機構等のプロジェクトチームが対応して

表一 東日本大震災で活躍したロボット例

ロボット名称	Quince	UMRS2009	モニロボ A	モニロボ B
開発者	千葉工業大学他	レスキューシステム研究機構	原子力安全技術センター	
外観				
用途	情報収集	被災者発見情報収集	情報収集	
重量 kg	26.4 kg	23 kg / 台車 / 背負搬送可	600 kg	
可載・牽引能力 kg	可載 90 kg	牽引 100 kg 台車牽引可		
寸法 mm	480 W × 665 ~ 1099 L × 225 H mm	495 W × 590 L × 250 H mm / サブクロラ収納時	600 W × 1500 L × 1500 H mm	
走行	履帯 6 / 階段がれき走破	履帯 6 / 凹凸路面	履帯 2 / 300 mm 乗越え	
走行速度 km/h	1.6 km/h	5 km/h	履帯 2.4 km/h	
登坂能力	60°	45° / 階段等も可	35°, 20° / バンク	
操縦方式	無線遠隔	無線遠隔	無線遠隔	
無線装置	2.44.9 GHz	遠隔無線操作		
補助伝送路	光ファイバー			
作業装置	アーム&ハンド	アーム&ハンド / ドアノブ開放	アーム&ハンド	
作業能力	ドア開閉他	ドア開閉他	サンプル採取, 障害物除去	
情報収集機能	撮像 カメラ 3 / 前後・俯瞰 / 旋回俯仰型 放射線量 必要時 その他 音声, PSD	前後各 1 (照明付), 鳥瞰カメラ 1...計 3 個 温度, CO <sub>2</sub> , 可燃物他	4 台, サーモグラフィ γ線空間線量率	中性子線量 可燃性ガス
照明装置		前後に LED 照明		
連続使用時間		1.5 Hr / 使用条件に依る		
同型の製造実績	同型 120			
その他		JIS 保護等級 IP64 / 耐じん・防まつ形		
備考	原発事故	被災地救援	原発事故 / 待機 / 出動機会なし	

ロボット名称	タロン	ドラゴンランナー	510 PackBot	710 Warriort
開発者	QinetiQ 社 (仏)		アイロボット社 (米)	
外観				
用途	爆発物の探知・処理	屋内, 車両底部探査, 他	多目的	多目的
重量 kg	52 kg	10 ~ 20 kg	35 kg	157 kg
可載・牽引能力 kg			45 kg	68 kg
寸法 mm	W × 900 L × H mm	200 W × 230 L × 750 H mm	530 W × 700 L × 180 H mm / 格納時	768 W × 889 L × 457 H mm
走行	履帯 2	履帯 2	履帯 4	履帯 4
走行速度 km/h	最速		5.8 mile/h	8 mph
登坂能力			60°	45°, 47 cm 段差
操縦方式	無線遠隔	無線遠隔	無線遠隔	無線遠隔 800 m
無線装置			2.4, 4.9 GHz	
補助伝送路			光ファイバー	
作業装置	アーム&ハンド	アーム&ハンド	アーム&ハンド	アーム&ハンド
作業能力	不審物調査	ドア開閉他	ドア開閉他	
情報収集機能	撮像 カメラ 4 台, 暗視 1 放射線量 濃度分布地図化 その他	カメラ	旋回俯仰型 濃度測定 温湿度	複数装備 100 kg
照明装置				
連続使用時間	長い		酸素濃度	
同型の製造実績		販売実績 3000	販売実績 3000	販売実績 3300
その他	GPS 位置認識, IP67			
備考	原発事故	原発事故	原発事故	原発事故

表二 福島第一原子力発電所に出動した「Quince」の仕様

Quince 製造連番	センサ				把持等		信号伝送路	備考
	旋回俯仰カメラ	熱画像カメラ	3次元距離センサ	放射線測定センサ	6自由度アーム	中継器	ケーブルリール	
2号機	○				○			
3号機			○					
4号機	○							6号機と組
5号機	○	○		○		○	○	
6号機	○			○			○	4号機と組
用途, 機能, 構造等	走行, 観察用	温度分布	3次元地図俯瞰 視点映像合成		ドアの開閉等	可搬中継器 大容量バッテリー	POE ケーブル	

いる。表一2に、福島第一原子力発電所に出動した5台の「Quince」の役割り分担を示す。

尚、作業ロボットとして表一1以外に、瓦礫撤去を行う無人化施工用の遠隔操縦建機（バックホウ、クローラダンプ）と補助機材（カメラ車、移動操作室）、建屋内部や入口部の瓦礫撤去用の小型作業機械（ボブキャット（米）、ブロック90及び330（スウェーデン））が投入された。

### 3. 日本における災害対応ロボットの開発

#### (1) 災害対応ロボットの開発経緯

表一3に、原発事故や大災害を想定したロボット研究例を示す。表中の1～4項が原子力発電設備等、5～7が震災等で活動するロボット、8、9は国土交通省が関わったロボットシステムの開発例である。

図一1は、表一3の研究例を図示したものである。図中の「☆」が福島原発に投入されたロボットである。

#### (2) 原子力災害等を対象に開発されたロボット

原子力プラントの事故対応時に被ばくや火災・爆発等の危険な環境で稼働するロボット研究の事例とし

て、極限作業ロボット（1983～1990年）、原子力基盤技術（1999～2003年）、情報遠隔収集ロボット（2001～2003年）などがあり、総額で400億円の研究投資が行われたが、今回の原子力設備の災害には生かされていない。

#### 1) 極限作業ロボット（1983～1990年）

「極限作業ロボット」プロジェクトは、18の企業と2公益法人、2国立研究機関が参加し、放射線、高温、高圧環境下で設備点検、補修、救援活動を行う3種のロボットを開発した。

①原子力ロボット：実用原子力発電施設作業ロボット（放射線）

②防災ロボット：石油生産施設防災ロボット（高温）

③海洋ロボット：海底石油生産支援ロボット（高水圧）

写真一1が、その内の「原子力施設作業ロボット」である。4脚歩行で段差乗り越えや階段昇降を行い、マスター／スレーブ制御で触覚を持った腕を遠隔で動かす、ドアの開閉、バルブの開け閉め等の作業を行う。

#### 2) 防災モニタリングロボット（1998～2000年）

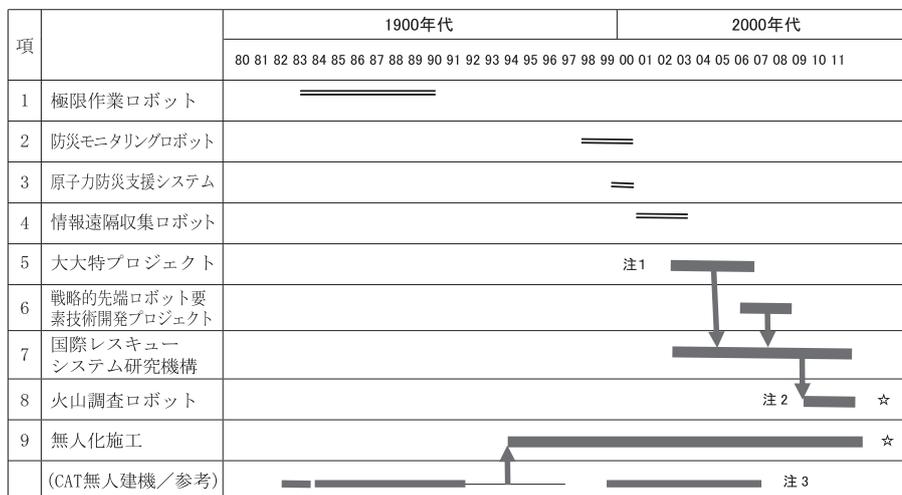
原子力安全技術センター（防災技術センター）は、原子力施設事故時に災害施設周辺の情報収集を迅速、

表一3 原発事故や大災害を想定したロボット研究例

項	開発期間	開発者	ロボット開発の目的／期待される能力	備考
1	1983～1990	通産省	極限作業ロボット／原子炉建屋内ドア開閉他	スリーマイル(1979)が契機 約200億円
2	1998～2000	原子力安全技術センター	防災モニタリングロボット	東海村臨界事故(1999.9)が契機
3	1999～2000	製造科学技術センター	原子力防災支援システム／6ロボット	通商産業省 30億円
4	2001～2003	原子力安全技術センター 日本原子力研究所	情報遠隔収集ロボット	東海村臨界事故(1999) 文科省今回活用提案
5	2002～2006	文科省「大都市大震災軽減化特別プロジェクト」	大震災における緊急災害対応（人命救助など）のための人体検索・情報収集・配信等を支援	神戸震災等が契機（大大特プロジェクト）「Hibiscus」を開発
6	2006～2010	NEDO「戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト」	「閉鎖空間内高速走行探査群ロボット」	「Kenaf」, 「Quince」を開発
7	2002～	国際レスキューシステム研究機構 IRS	瓦礫や狭隘な現場に侵入し、生存者の探査と救援	神戸震災が契機
8	2009～	火山エリアに於ける遠隔ロボット技術調査研究会 <sup>注1</sup>	火山の危険区域に侵入して、必要なデータを採取する	IRSのロボットが母体「Quince」を改良
9	1994～	国土交通省	土木作業機械の遠隔操縦技術	雲仙普賢岳噴火が契機

注1：火山エリアに於ける遠隔ロボット技術調査研究会（主査：油田信一筑波大学教授）（2008～）

注2：http://www.rescuessystem.org/IRSweb/robot\_DDT.html



凡例：「＝」：開発したロボットは活用されず  
 「☆」：福島原発に投入された  
 「➡」：技術継承ルート

注1：文部科学省大都市大震災軽減化特別プロジェクト

注2：火山エリアに於ける遠隔ロボット技術調査研究会（主査：油田信一筑波大学教授）

注3：キャタピラー・ジャパンに依る無人コンパクトの開発（1982～1983）、無人ダンプトラックの開発（1984～1991、1999～2007）、細線部は無人ダンプトラックの実稼働期間

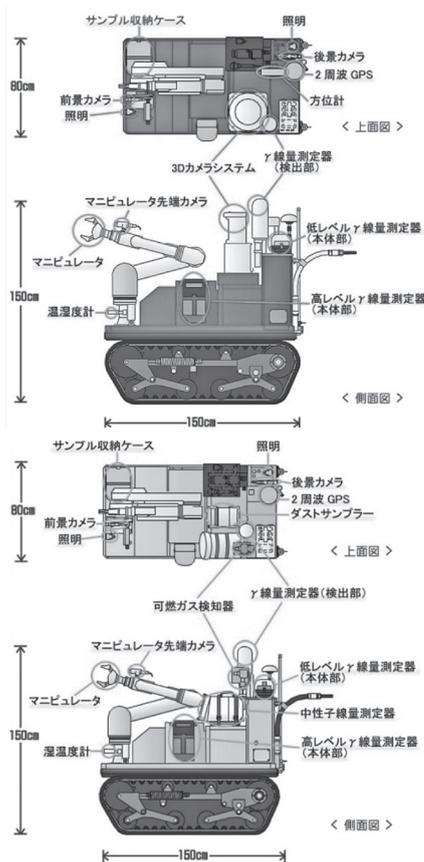
図一1 ロボット開発プロジェクト



写真一 原子力施設作業ロボット



写真二 モニロボ



パンフレット：「防災モニタリングロボット」(財原子力安全技術センター 図一 2 「モニロボA(上), B(下)」の構成

的確に行う遠隔操作防災モニタリングロボット（「モニロボ」）を開発した。

放射線（ $\gamma$ 線）計測および映像取得機能を持つ2台の「モニロボ」が協調して、視覚情報取得、雰囲気計測等、収集情報の種類による役割分担を行い情報収集活動を行う。

①モニロボA（視覚情報取得を重視）：

$\gamma$ 線計測およびカメラ撮影、視界不良時の映像取得や周辺の配置を把握（3次元レーザー距離測定器）、により表面温度分布計測（赤外線カメラ）

②モニロボB（雰囲気計測を重視）：

$\gamma$ 線計測およびカメラ撮影、中性子線量測定および放射能測定のためのダスト収集、可燃ガス濃度検知をして火災・爆発の危険性を察知

専用の運搬車で作業者の安全を確保できる限界まで

災害現場に接近。到着後、数10分程度で設営、運搬車からモニロボを遠隔制御（有線若しくは無線）。時速2.4 km/hrで自走可能。ロボットが収集した計測結果や各種画像は運搬車内に設置したモニター等で確認・記録する。

3) 原子力防災支援システム（1999～2000年）

視覚・音声・温湿度・ $\gamma$ 線センサ・水素・酸素濃度等の情報で作業支援、高放射線下でのドアやバルブ開閉・現場盤スイッチ操作・炉ガスや炉水サンプリング・散水や除染等の作業、運搬を行う6種のロボットを4社で開発。設計・製作期間は1年間。表一4に概要を示す。写真一3に作業ロボット、写真一4に重量物搬送用ロボットを例示した。

表一4 原子力防災支援ロボット

ロボット名称	型式	形状	機能
1 作業監視支援ロボット-I	SMERT-K	2連クローラ	現場状況の把握
2 作業監視支援ロボット-II	SMERT-M	4輪	現場状況の把握
3 小型系作業ロボット	SWAN	可変型クローラ	採取、操作盤操作
4 作業ロボット	MARS-A	2連クローラ	ドア・弁開閉
5 重量物運搬用ロボット	MARS-T	2連クローラ	ホース・遮蔽板運搬
6 耐高放射線性対応ロボット	MENHIR	対地適応型クローラ	高放射線下での重作業



写真一3 MARS-A



写真一4 MARS-T

4) 情報遠隔収集ロボット（2001～2003年）

原子力災害時に現場の放射線量などの情報を収集するRESQ（Remote Surveillance Squad/レスキュー）ロボットは、-A、-B、-Cの3台で構成されている。ロボット操作はロボット搬送車両の操作盤から遠隔操作する。各ロボットは下項の機能分担を

①初期情報収集ロボット（RESQ-A：2台）：放射線量、映像・音声、機器類の温度を収集（写真一5）。

②詳細情報収集ロボット（RESQ-B：1台）：マニピュレータで扉の開閉等を行う。放射線量、映像・音声、機器類の温度、室内の雰囲気、障害物等の位置情報を収集。階段昇降等が可（写真一6）。

③試料等情報収集ロボット（RESQ-C：1台）：階段の昇降可。マニピュレータを2台装備し、扉の開閉、試料採取（気体・液体・固体・表面汚染試料の採取等）を行う（写真一7）。



写真—5

写真—6

写真—7

RESQ-A 初期情報収集 RESQ-B 詳細情報収集 RESQ-C 試料等情報収集

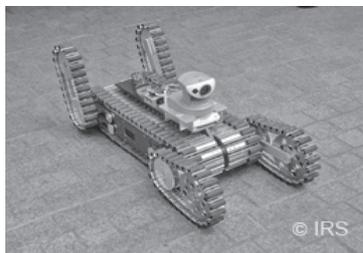
注：「日本原子力研究所」と「核燃料サイクル開発機構」は2005年10月に「㈱日本原子力研究開発機構」に統合。

### (3) 「Quince」の開発経緯

「Quince」はレスキューロボットとして誕生した不整地走行ロボット「Hibiscus」, 「Kenaf」を母体としている。研究開発は、大規模災害から人を救い出すレスキューシステム構築を目的に2002年4月に設立された「特定非営利法人 国際レスキューシステム研究機構(会長：田所諭東北大学教授)(以下 機構)」を中心に進められている。機構は、レスキューシステムに関する様々な研究開発のプロジェクトを中核機関として受託し、産官学の知識を結集した研究開発を行っている。

#### ①大都市大震災軽減化特別プロジェクト(2002～2006年度)：文部科学省

略称：大大特プロジェクト。都市再生プログラムのひとつで、阪神淡路大震災(1995)等の大都市地震災害における被害の減少のための技術開発を目的とした研究開発プロジェクト。機構は、その内の「Ⅲ 被災者救助等の災害対応戦略の最適化, 4. レスキューロボット等次世代防災基盤技術の開発」を担当した。倒壊建築物・地下街などの危険な環境下で、ロボット等が被災者の検索等を行う技術である。「Hibiscus(千葉工業大学)」が、地下街探査用レスキューロボットとして開発された。



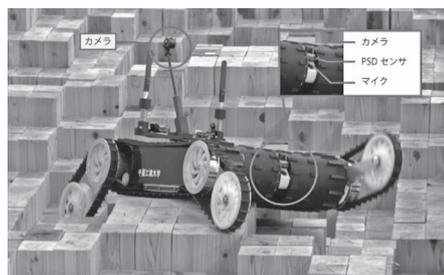
写真—8 地下街探査用レスキューロボット「Hibiscus」

#### ②戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト(2006～2010年度)：NEDO

(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)のプロジェクト。機構は、その内のⅢ. 特殊環境用ロボット分野の「被災構造物内移動RTシステム」を分担。複数移動体RTシステムを用いてガス漏れ等プラ

ント事故時に災害現場で情報収集するロボットの研究開発を行った。有線・無線を合わせたハイブリッド方式で、約700m離れた操縦ステーションへの映像やセンサ情報のリアルタイム伝送を達成。

「実用化救助作業用無線操縦ロボット(2010年度)」では不整地移動ロボット「Kenaf」を開発した。「Quince」は、制御基板をロボット本体に収納する等の改良を施したものである。これらロボットは、千葉工大、東北大学田所研、筑波大学、岡山大学、情報通信研究機構(NICT)、産業技術総合研究所(AIST)等との共通プラットフォームとして活用している。



写真—9 Quince / 地下街探査用

#### ③火山エリアに於ける遠隔ロボット技術調査研究会(主査：油田信一筑波大学教授)

(財)計測自動制御学会に設けられた委員会で、研究期間は2010年6月～2012年3月。

突発的な火山噴火時に、遠隔操作より立ち入り禁止区域内で火山活動の調査を行い、住民の避難計画の策定や噴火予測を行う情報を入手するための遠隔操作型火山探査技術の開発が目的。

桜島(2009年)、三原山(2010年)、浅間山(2010～2014年)で現場実験を行っている。

写真—10, 11が、レスキューロボット、桜島実験、浅間山実験に用いた「Quince」である。



写真—10 Quince / 桜島



写真—11 Quince改良型 / 浅間山

### (4) 無人化施工

無人化施工は、1994年に国土交通省(当時の建設省)が雲仙普賢岳の災害復旧工事で採用以来、18年間の150件を超える施工実績を通じた技術開発を継続した。表—5に施工実績と開発技術を示す。

表一 5 無人化施工例

年	施工件数		雲仙普賢岳関連以外の無人化施工例		無人化など新技術導入例 (遠隔操縦化された機械や作業, その他)
	全	雲仙	工事名称	発注者	
1991	6	0	鳥原市雲仙普賢岳噴火, 1995年初頭まで流動性溶岩を噴出, 1994年1月に除石工事		無人化施工(その1~6)が発注された
1994	11	11	中部処理場水処理施設基礎築造工事	姫路市	SS無線/150m, 無人化施工(転石, 転石破砕), 無人ダンプ実験, GPS施工管理, 移動カメラ車, 移動捜査室
1995	5	5	この年の無人化施工は雲仙普賢岳関連のみ		無線中継局実験, 50GHzアンテナ自動追尾, 解体, RTK-OTF-GPS採用, GPS敷均し・転圧管理, GPS搭載建機で測量
1996	4	3	宮の平宅地造成A工区(その4)工事	建設省近畿地方建設局	建設無線(2.4GHz, 400MHz/1W/800m)認可取得
1997	13	4	濁川災害関連緊急治山工事	林野庁長野営林署	/地域限定, 建設無線協会設立 ・地域振興のための電波利用に関する調査研究会「災害復旧時におけるデータ通信システムに関する調査研究報告書」(九州テレコムセンター)
			針原川災害関連緊急工事	鹿児島県出水土木事務所	
			蒲原沢災害復旧工事	建設省北陸地方建設局	
			災害関連緊急砂防工事	秋田県鹿角土木事務所	
			白糸トンネル災害岩塊除去他一連工事	北海道	
1998	7	5	馬路村災害復旧工事/人命救助	高知県安芸土木事務所	型枠設置, 護床ブロック設置, 土嚢設置
1999	12	6	一般国道玉里水沢線道路災害復旧(仮応急)工事	岩手県水沢地方振興局	無線中継方式で1.5km, SS無線で多重伝送, SSデジタル/500mW, 共用変換器, ロボQ, 無人測量車
			国道102号道路災害復旧工事	青森県十和田土木事務所	
2000	21	6	有珠山災害復旧工事関連10件	北海道室蘭土木現業所	1.2km長距離無線/2.4GHz, 橋梁撤去, 無人調査機械, 無人化施工協会設立
2001	11	7	有珠山災害復旧工事関連1件	北海道室蘭土木現業所	無線LAN実験, 小エリア簡易無線モデム, SSデジタル映像, 1.2GHz映像, スーパー, 散水車。(助先端建設技術センター「緊急時の無人化施工ガイドブック」2001.7)
			坪田地区緊急清流対策工事	東京都三宅支庁	
2002	8	4	熊野川河川災害復旧工事	山形県	鋼製スリット堰堤, コンクリート運搬車, 支持力測定器, 簡易無線のオムニアンテナ
			雲川災害復旧工事	国土交通省近畿地方整備局	
2003	11	3	谷沢川第四砂防堰堤工事	国土交通省関東地方整備局	無線LANによる超遠隔施工
2004	8	4	中越地震時の無人化施工機械に依る被災者収容	国土交通省北陸地方整備局	丁張およびライン引き
2005	8	1	国道291号地震災害応急復旧(1工区)工事	国土交通省北陸地方整備局	PHSによるデータ伝送利用
2006	7	3	橋梁災害復旧工事17年災83号(県単)除雪工事	福井県	GPSによる無人測量, ブルドーザ排土板自動制御, MC, 削り作業
			第地滑-2砂防-2号公共災害関連緊急地すべり対策	岐阜県	
2007	8	2	石狩川災害復旧工事(全応急)	北海道	シヨベルガイダンスシステム
2008	6	0	付替国道397号崩落土砂除去工事	国土交通省東北地方整備局	岩手・宮城内陸地震に出勤/天然ダム地区の不明者探索
2009	10	5	公共道路災害復旧事業工事	岐阜県	5GHz帯無線LANによる施工, ブルメタル設置, アーチカルバート設置
2010			災害関連緊急砂防工事(根占山本地区11~20工区)	鹿児島県	RCC先行打設(特殊法肩締固め機)
合計	149	69			建設無人化施工協会HP( <a href="http://www.kenmukyou.gr.jp/">http://www.kenmukyou.gr.jp/</a> )等より

#### 4. おわりに

福島原子力発電所事故に出動した「Quince」と無人化施工。何れも10年単位の継続的な研究開発が行われていた。前者は、支援する行政組織は異なるが研究者集団が共通であったこと、研究者の所属組織が企業ではなく大学であったこと、が連続とした開発で成果を上げた原因である。後者は、国内86の活火山や各地に地滑り地帯を抱える国土を管理している国土交通省砂防部が施策として技術の涵養が行われてきた結果である。

人間に勝る機能を持ったロボットが存在しない、危険は伴っても何とか人間で対応できる、ロボットに依存しないと対処できない災害はめったに起こらない、数十年単位の間隔で発生する災害対応のロボットを開発しても災害発生時には技術が陳腐化してしまい開発投資の高価を發揮できないなどの理由で開発や開発したロボットの維持と改良が見送られてきた。今回の大災害を機に、ロボット化への取組み体制の見直しが必要である。



#### 《参考文献》

- 1) 久武「大災害に立ち向かうロボット技術」土木コスト情報(助建設物価調査会2011.7)

- 2) 中村「震災復興にむけてロボット技術のいま「災害ロボティクス・タスクフォースが中長期的に果たす役割について」公開シンポジウム2011.5
- 3) 浅間「対災害ロボティクス・タスクフォースの活動」公開シンポジウム2011.5
- 4) パンフ「通商産業省工業技術院 大型プロジェクト 極限作業ロボットの研究開発」技術研究組合
- 5) 間野・他(助製造科学技術センター)「原子力防災支援システムの開発」日本ロボット学会誌 Vol.19 No.6, pp.714~721, 2001
- 6) パンフ「防災モニタリングロボット」(助原子力安全技術センター2009.5)
- 7) 永谷圭司・他「火山探査を目的としたクローラ型移動ロボット Kenaf による桜島での遠隔操作実験」
- 8) 久武・他「シリーズ 進化する土木ロボット⑦「無人化施工」土木コスト情報(助建設物価調査会2010.10)
- 9) 久武「災害復旧時の無人化施工の課題と現状」建設機械2008.12
- 10) 大和田(雲仙復興事務所)「普賢岳における無人化施工の現状と課題」

#### 【筆者紹介】

久武 経夫(ひさたけ つねお)  
(株)インロッド・ネット



中里 邦子(なかざと くにこ)  
(株)インロッド・ネット



# 雲仙普賢岳火山砂防事業における 無人化施工の最新技術

建設無人化施工協会 技術委員会

近年、大規模災害において、無人化施工の重要性が広く認知されてきた。その技術の発祥の地であり、これまで育ててきた雲仙普賢岳での無人化施工技術の現在の状況を報告する。無人化施工は雲仙普賢岳の砂防事業で技術が確立し、現在も継続的に実施される工事をとおして技術進展が図られている。本稿では、雲仙普賢岳での無人化施工の最新の対応技術事例として情報化施工への取組、施工の効率化への取組、新たな工法への取組、災害防止への取組についてそれぞれ紹介する。

キーワード：災害対応、無人化施工、情報化施工、遠隔操作

## 1. はじめに

最近では、大規模な災害発生時に、危険区域での施工において、無人化施工の活用が検討されることが多くなってきた。これは雲仙普賢岳での無人化施工技術が17年間、着実に技術として発展していることを示している。無人化施工技術の発達については継続した工事により技術の伝承と発展がはかられ、現在の災害対応へ大きな役割を果たすようになってきた。

無人化施工の技術レベル毎の内容は、精度を要しない操作距離数十mの掘削等の単純作業から、カメラ映像、GPSを用いた情報化施工、超遠隔施工等の高度な通信技術等を駆使するものまでいくつかの段階がある。特に最近では情報化施工を取り入れた新しい世代の無人化施工へと発展してきている。

建設無人化施工協会は、有珠山噴火の無人化施工の対応を契機に、2000年11月に設立された任意団体で無人化施工技術を推進するために活動を行っている。以下に、協会に参加する会社が行っている無人化施工の現状技術の一部を報告する。

また水無川における雲仙普賢岳砂防事業は、水無川砂防基本構想に基づき、流域を火砕流や土石流被害から守り、安全な生活を確保することを目的として砂防堰堤等を建設する事業である。

現在でも平成新山の下流域は、土石流や落石の危機があり、法的にも立ち入りを制限されている「警戒区域」となっている。

立ち入り禁止区域では、落石や土石流等の危険から、監視カメラによる映像を元に、遠隔操縦装置を装備したブルドーザ・バックホウ・ダンプトラック・振動ローラ等の建設機械を操作する無人化施工を実施している。

## 2. 無人化施工技術の歴史

重機を遠隔操作する技術は雲仙以前からあったが、無線装置などを装備した遠隔操作室を操作基地として複数の遠隔操作式建設機械を稼働させる施工が行われるようになったのは、1994年（平成6年）1月に開始された「雲仙普賢岳水無除石無人化試験工事」からである（図-1）。



写真-1 雲仙普賢岳

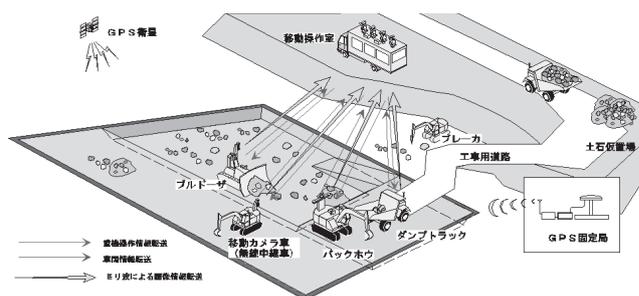


図-1 無人化施工（除石概念図）

この試験施工は、国土交通省（旧：建設省）の実績が少ない技術の現場適用性を確認する「試験フィールド事業」の最初の適用事例であった。技術内容は、立ち入り禁止区域における緊急除石工を、遠隔操作式建設機械により行うもので、図一2の条件が与えられた。

- ・ 100 m以上の遠隔操作が可能であること。
- ・ 2～3 m程度の礫の破碎が可能であること。
- ・ 一時的な温度100℃、湿度 100%で作業が可能であること。

図一2 試験フィールドの施工条件

試験施工の開始当初は、一般施工（有人）では単純な施工とされる除石（掘削・運搬）作業においても困難を極めた。無線障害等様々な問題が発生したが、工事関係者の努力により解決され、災害復旧に資する施工技術と認められた。

その後、1 km以上の超遠隔操作での施工より、工事規模が拡大し、さらに安全な施工法として確立し、有珠山への対応へ発展した。

最近では情報化施工を駆使して、より精度や効率を向上させることにより、無人化施工技術の完成度を高めている。

以下では最近の技術の一端として、情報化施工への取組、施工の効率化への取組、新たな工法への取組、災害防止への取組についてそれぞれ紹介する。

なお5.～7.で紹介する工法は各施工業者の技術提案であり、標準化されたものではない。

### 3. RCC 工法概要

現在、続けられている無人区域での床固工などの砂防工事では、主にRCC工法（Roller Compacted Concrete）により施工しているのでその施工手順を示しておく。施工は図に示すフローに沿って、固く練ったコンクリートをダンプトラックで運搬、ブルドーザで敷き均し、振動ローラで転圧して固める工法である。



写真一2 RCC工法による床固工

## 4. 情報化施工への取り組み事例

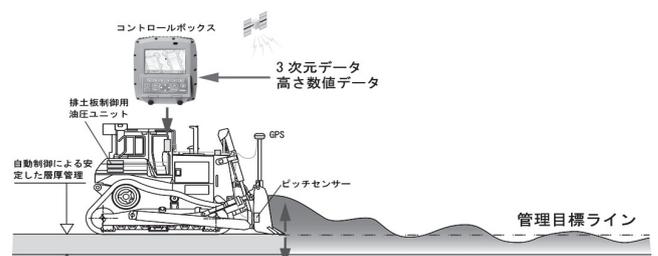
### (1) 排土板制御システムの概要

情報化施工の導入例としてブルドーザの排土板制御システムを紹介する。本システムは、RCCコンクリートの材料撤出し後の敷均し作業を行うブルドーザ施工管理を行うものである。

施工はオペレーターが遠隔操作室においてカメラ車の映像を利用し運転を行うが、映像のみでは確認が困難な現在の施工位置と地盤標高は、敷均し管理システムを利用し、排土板を計画高に合わせ作業を行う。仕上げ作業はGPSを利用した排土板制御システムを利用し、設定された敷均し作業時におけるブルドーザの排土板高さを自動で制御しながら施工を行う。

### (2) システム構成

敷均し管理に使用する排土板制御システムは、GPSを利用したRTK-GPS測量等の高精度な3次元計測技術によりブルドーザの排土板位置を計測し、敷均し標高を高精度に管理するものである。ブルドーザの排土板にはGPSアンテナを両端に配置し、中央にはピッチングセンサーを搭載して、排土板の3次元位置をリアルタイムに測位し、排土板を自動で制御する。ブルドーザの運転室に設置したシステムに予め設計値を入力しておくことで、排土板がその計画標高に敷均し作業を行う。このシステムを使用することにより、現地での丁張を必要としない敷均し作業を可能とするとともに、作業箇所全面の敷均し標高を色別表示により確認



図一3 敷均し管理システム概要

表一1 システム構成

区分	機器名	仕様・規格	台数	備考
GPS基準局	GPSアンテナ	L1/L2	1台	転圧システムと共用
	GPS受信機	RTK対応・2周波数	1台	
	通信設備(無線モデム)	特定小電力無線・PHS等	1式	補正データ送信
	その他	ケーブル・電源等	1式	
移動局 ※ブルドーザ	GPSアンテナ	L1/L2	2台	GCS900仕様
	GPS受信機	RTK対応・2周波数	2台	GCS900仕様
	通信設備(無線モデム)	特定小電力無線・PHS等	2式	送受信
移動式操作室 ※敷均システム	通信設備(無線モデム)	特定小電力無線・PHS等	1式	座標データ受信
	コントロールボックス	排土板制御システム	1台	GCS900
	レベルセンサー	電光パネル	1台	GCS900排土板制御
	管理用PC	敷均管理システム	1台	

することができる。図—3に概要図を示す。

システムに使用する主要機器を、表—1に示す。

(3) 施工

このシステムの導入により、コンクリートの敷均し時間が短縮され、仕上がり精度が大きく向上している。

実験の結果では、施工効率は手動で敷き均す場合の1.7倍に向上している。写真—3に施工状況を示す。これまでは施工が困難であった作業で、情報化施工の恩恵を大きく受けた工種である。



写真—3 敷均し状況

5. 施工の効率化

砂防堰堤工や床固工のコンクリート構造物構築工事でのRCC工法を無人化施工で行うためには、現地の土砂を型枠として利用する土砂型枠工法が必須となる。この土砂型枠設置の施工効率向上を目的として、ソフト的なアプローチとしてのガイド線表示システムとハード的なアプローチのフォーミング・ブレード工法を開発し、施工へ導入している。

従来法では無人測量システムにより、土砂型枠施工位置を多数マーキングし、その後、バックホウの幅1m程度の法面バケットにより土砂型枠を整形していた。

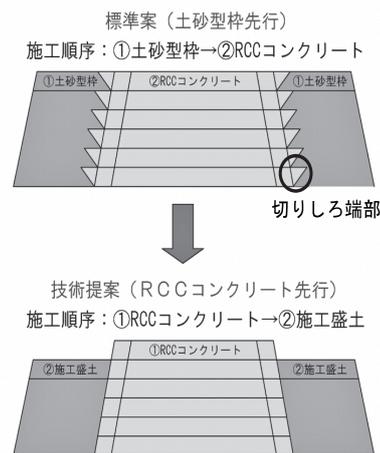
フォーミング・ブレード工法では油圧ショベルに取り付けた型枠用ブレードの位置と鉛直角度（それぞれGPS・傾斜計により測定）を、遠隔操作室のモニターに表示誘導し、ブレードを土砂型枠の施工位置に設置し、それをガイドに他の油圧ショベルで土砂を盛り立

てて型枠を施工する。

従来の工法と比較して17%以上の効率向上例が報告されている。

6. 新たな工法への取り組み(RCCコンクリート先行打設について)

無人化施工の初期には土砂型枠はRCCコンクリート先行打設であったが、現在、無人化施工でのRCCコンクリートの打設は、土砂型枠を設置した後、RCCコンクリートを打設する「土砂型枠先行型」にて施工がされている。この方式は、本体に対して余分な部分(切りしる端部)の打設を伴い、また、本体露出部については、はつり作業を伴う。その一方で、「RCCコンクリート先行打設型」に比べてRCCコンクリートの品質、出来形、作業性および作業効率等で有利な部分が多いため、一般工法とされてきた(図—4参照)。



図—4 RCCコンクリート先行打設の概念

赤松谷川3号床固工工事では、近年、ダム工事で採用されている台形CSGダム工法の内部先行打設に着目し、同工法で使用されている特殊法肩締固め機の遠隔操作化等を行うことで、打設コストの縮減につながるRCCコンクリートの先行打設に取り組むこととした。図—5、写真—7に概要図等を示す。



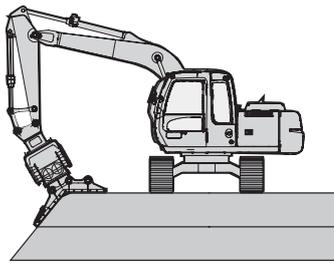
写真—4 型枠用ブレード



写真—5 フォーミング・ブレード工法 施工状況



写真—6 操作状況



図一五 特殊振動締固め機械による施工



写真一七 特殊振動締固め機械

### (1) 打設方法および管理手法

RCC コンクリートを10tダンプトラックで運搬し、試験ヤードに荷降ろし後、ブルドーザ21t級にて敷き均す。敷均し（リフト）厚は本施工と同様に50cmとし、薄層2回（@25cm×2）とした。敷均し後、バックホウ1.4m<sup>3</sup>級にて法肩部の整形を行った。整形終了後、特殊法肩締固め機による法肩締固めを行った。法勾配については、本施工は、1:1.0、1:0.5、1:0.2、1:0の4種類あるが、試験施工では、最も勾配の緩い1:1.0と最も勾配のきつい1:0の2種類とした。法肩締固め終了後に、振動ローラにて本体部分の転圧を行った。同時作業でバックホウ1.4m<sup>3</sup>級にて法肩部分の施工盛土を設置した。施工盛土の設置後、振動ローラにて法肩部および法肩と接する施工盛土部分の追加転圧を行った。

無人化施工では締固め度の測定ができないため、特殊法肩締固め機の締固め秒数および振動ローラの追加転圧回数にて管理を行うものとし、これを試験施工により決定することとした。

### (2) 試験施工

試験施工により、締固め秒数および追加転圧回数と締固め度の相関関係を確認し、規定の締固め度が得られる締固め秒数および追加転圧回数を決定することとした。また、それぞれの締固め秒数および追加転圧回数における沈下量を測定し、本施工時の巻出し量、巻出し厚の参考とすることとした。

締固め秒数は、10秒、15秒、20秒の計3種類とした。また、追加転圧回数は、2回（1往復）、4回（2往復）、

表一 試験結果一覧表（締固め秒数15秒）

転圧回数	法勾配 1:1.0	法勾配 1:0
追加転圧なし	1.010	1.011
追加転圧 2 回	1.026	1.018
追加転圧 4 回	1.035	1.026



写真一八 RCC コンクリート先行打設工法施工状況

6回（3往復）の計3種類とした。締固め度の計測は、密度水分計で行い、計測点は各種2箇所とし、その2箇所の平均値を計測結果とした。

### (3) 試験結果

通常の転圧回数（無振動6回、有振動4回 計10回）で締め固めた時の乾燥密度を「1」とした場合の締固め秒数15秒における試験結果一覧を示す。

この結果を受け、特殊法肩締固め機によるRCCコンクリート先行打設は、品質的に問題ないことが確認され、本施工を行っている。

## 7. 災害防止への取り組み

### (1) 赤外線カメラ画像による落石・土石流検知システム

雲仙普賢岳等の災害復旧工事において、地震による不安定な溶岩ドームの崩落や局地的豪雨による土石流の発生を早期に検知することを目的に開発されたシステムである。これにより、避難の安全性が向上するものである。

システムの構成

- ①ズームレンズ付広角赤外線カメラ
- ②ズームレンズ付標準赤外線カメラ
- ③水平・鉛直旋回機構（標準赤外線カメラのみ）
- ④画像処理ボード内蔵パソコン
- ⑤ディスプレイ（2台）
- ⑥警報用回転灯、スピーカー
- ⑦専用ソフト

### (2) システムの内容

遠隔操作室に高精度赤外線カメラ監視システムを設

置し、対象エリアを専従監視員が常時観察する。赤外線広角カメラで全体を監視し、溶岩ドームとガリー等複数のエリアを赤外線望遠カメラで監視する。観測エリア内の山体や河川部の変化を画像処理技術で自動的に検出するシステムである。予め設定された変化許容範囲を超えた場合、回転灯と警報を鳴らし専従監視員に注意を促す。専従監視員は土石流・落石等を確認、直ちに警報を発し、緊急避難を行うことで安全な退避を可能とする。

以下にシステムの特徴を挙げる。

- ①雲仙普賢岳は、有明海に面しているため山頂はほぼ一年中霞みが掛かっているため霧を透過する赤外線

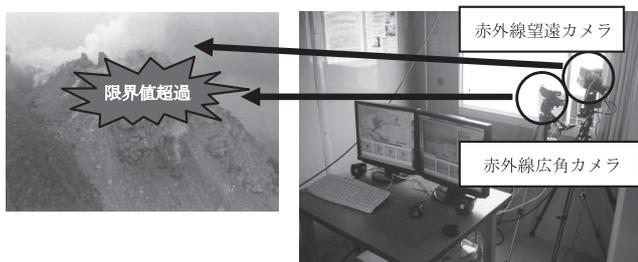


写真-9 システム設置状況



写真-10 監視用モニター

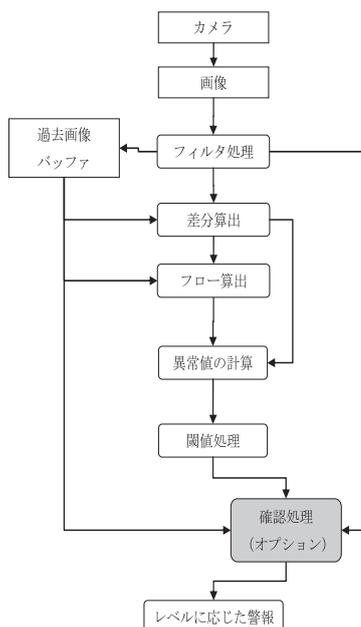


図-6 画像処理フロー図

カメラを採用している。

- ②広角カメラで全体を監視し、旋回台付標準カメラで崩落箇所2箇所、土石流箇所（ガリー）2箇所を監視している。
- ③画像処理技術で自動検知ができ、全体の変化を優先したり、小範囲で動きのあるものを優先することがパラメータの調整で可能となっている。

## 8. おわりに

雲仙普賢岳における無人化施工技術の情報化施工への取組、施工の効率化への取組、新たな工法への取組、災害防止への取組をそれぞれ事例として紹介した。このように様々な無人化施工の工種において施工各社の地道な努力により、技術が少しずつ進歩している。

無人化施工は、「建設機械等による災害対処・復旧支援について 提言」(平成19年2月)や「火山噴火緊急減災対策砂防計画策定ガイドライン」(平成19年4月)でも注目されており更なる活用が望まれる。

前述の技術開発事例は多くの災害現場でも活用されていくことが期待される。建設無人化施工協会では、無人化施工を活用し、安全な災害復旧工事が数多く実施されるように、これからも、無人化施工技術の把握と技術情報の提供に努めて行きたいと考える。

最後に国土交通省 九州地方整備局 雲仙復興事務所の皆様をはじめとする関係者各位のご指導、ご助言に深く感謝いたします。

<建設無人化施工協会 HP >

<http://www.kenmukyoku.gr.jp/index.html>

JICMA

### 【参考文献】

- 1) 災害復旧における無人化施工 建設無人化施工協会 技術委員会 建設機械 第47巻 第7号 p.1~7 平成23年7月1日
- 2) 赤外線カメラによる画像監視システム 第12回建設ロボットシンポジウム論文集 無人化施工によるプレキャストアーチカルバート据付工事の実績 渡部文人, 大内田聖和, 野末 晃, 三鬼尚臣, 藤岡 晃 P.57~66, 2010年9月7日 (社)日本ロボット工業会
- 3) フォーミングブレード 九州技報 No.44 2009.1 水無川における最近の無人化施工 渡部文人 p.33~39, (社)九州地方計画協会
- 4) 無人化施工におけるブルドーザ排土板制御システム 北原成郎・周藤健 建設機械 第44巻 第10号 平成20年10月1日

### 【筆者紹介】

北原 成郎 (きたはら しげお)  
 (株)熊谷組  
 土木事業本部 機材部  
 担当部長



# 水中建設機械のマニピュレータ化と 操作インタフェース

平 林 丈 嗣

港湾施設はその大部分が水面下に構築されるため、その整備や点検・診断、維持・補修、あるいは災害復旧も含めてその多くは水中での作業となり、当所では水中作業を目的とした重作業用ロボットアームとして水中建設機械を利用することを提案している。しかし遠隔操作での作業性向上のためにはエンドエフェクタ座標の最終位置精度だけでなく、ターゲットへのアプローチ軌跡についても重要な項目である。この課題に対しフロント部の重心を計算し、その重心位置により制御指令値に補償を加える制御手法を用いることで目標追従が大幅に改善され、直線的な動作が可能となった。これにより建設機械側の操作追従性が向上されれば、遠隔操作における作業効率の向上が期待できる。

キーワード：水中建設機械，水中作業，港湾，潜水士，マニピュレータ

## 1. はじめに

港湾施設はその大部分が水面下に構築されるため、その整備や点検・診断、維持・補修の多くは水中での作業となり、その多くを潜水士等の人力に依存している。このような水中作業を一層安全で効率的に行うことができる技術の確立が急がれている<sup>1)</sup>。バックホウはバケットの代わりにアタッチメントを取り付けることで、把持、カッター、ブレーカなど様々な作業に適應することができる汎用作業機械であり、水中維持補修作業においてもその汎用性は期待できる。そこで、水中作業における機械化の基礎技術として、フォーククラブアタッチメントを搭載し、ハンドリングマニピュレータ作業機械システムを構築することとした。これは将来的な維持補修作業や大水深での工事に潜水士の手作業の代替となる技術として期待できる。

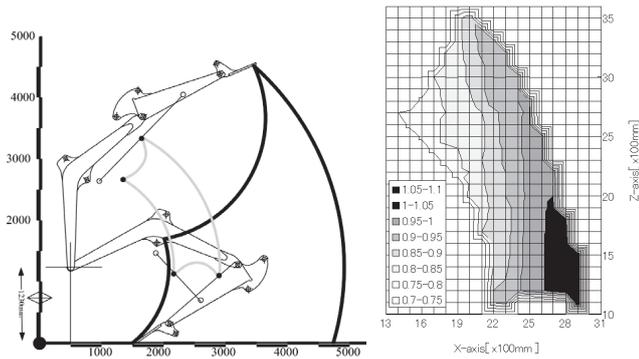
## 2. 維持補修用水中マニピュレータの提案

### (1) 油圧作業機械の追従性向上

建設機械をマニピュレータとして活用するにはエンドエフェクタ座標を直線的に移動させる場面があると予想される。追従性低下の大きな要因として挙げられるのは、ブームシリンダ延長時と短縮時にその特性が大きく異なるためだと考えられる。つまり延長方向にはバックホウフロント部の重量が負荷として加えられ、短縮時には摩擦抵抗をキャンセルする動きとなるため、絶対的な差分

だけでバルブ開度を決定するP制御では特に中立付近の微少な制御は困難となる。またフロント部の重量は不変であるが、アームの角度によって重心位置が変化するため延長時の負荷も変化すると考えられる。

ここで油圧を用いたバックホウの機構を考えると、動力源となる油圧ポンプは1つで、弁の開閉により各シリンダへ供給される油量を調整<sup>2)</sup>する。そのため、動きやすいシリンダが大きく動くため、先端座標の精密な制御は困難である。さらに建設機械の場合、油圧が低いパイロット圧回路でシリンダを駆動させるためのメインバルブを駆動している。遠隔操作に対応させるためには電磁弁に変更することが必要となるが、高圧で大容量なメインバルブをサーボ弁に変更することはコスト的にも現実的ではなく、低圧小容量のパイロット弁を比例電磁弁に変更することが一般的であり、高精度な制御に適した機構では無い。この問題に対し重力補償を用いることにより解決する。これはフロント部（ブーム・アーム・バケット）の重心を計算し、その重心位置により制御指令値に補償を加えるものである<sup>3)</sup>。この補償量は予め調べたものをマップとして持たせており、リアルタイムにマップを参照することで、バックホウの姿勢に応じたバルブ開度に修正するものである。このマップは、静止摩擦抵抗を超え実際にシリンダが動作開始するのに必要な電圧を記録したもののほか、動作中のシリンダが停止しない程度の電圧値を実測により作成している。図1に重力補償型油圧制御の補償マップを示す。

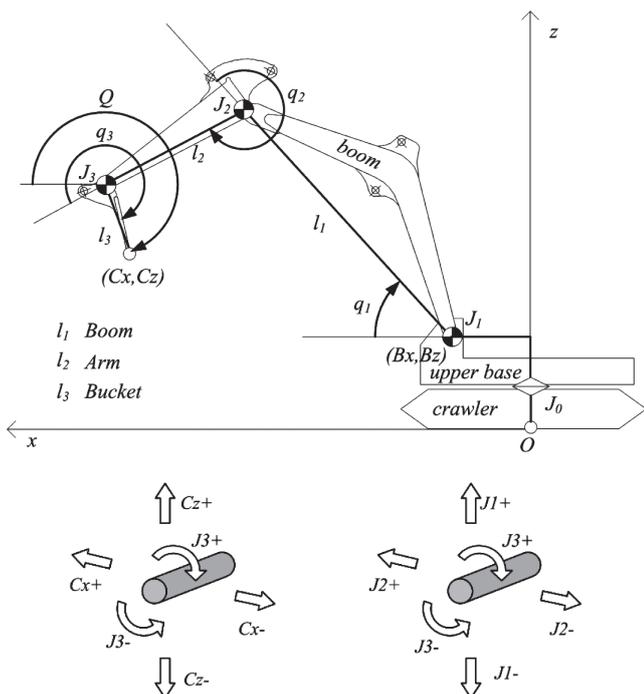


図一1 バックホウ可動範囲および補償マップ

さらにエンドエフェクタを直線的に動作させるため、ブーム・アーム・バケットの各シリンダが同時に開いている場合、目標値との差分が少ないシリンダのバルブを絞ることとした。これにより目標との差分が大きく遅れている関節のシリンダに作動油を供給し、全体として滑らかな動作を実現している。

(2) マニピュレーション操作インタフェース

フォークグラブを用いた建設資材ハンドリング作業では、最終的な座標だけではなく、対象物へのアプローチも重要な要素となる。つまりエンドエフェクタの座標を直線的あるいは任意の曲線上に移動させる場合が想定され、これをオペレータが容易に入力できる必要がある。バックホウの形状を考えたとき、4つのリンク機構を持つシリアルリンクマニピュレータと考えることができる。ここでJ1からJ3までは油圧シリ



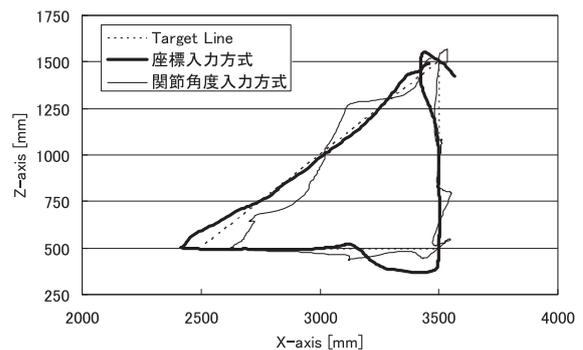
図一2 (左) 座標入力 (右) 関節角度入力

ンダの伸縮により駆動されるため、ある程度精度の高い位置制御が可能である。そこで旋回動作のための入力レバーは別に設けることとし、本研究における操作入力装置の制御対象である先端座標はバックホウ正面をX軸としたX-Z平面状に制限する。また、作業アームのエンドエフェクタをフォークグラブなどとし把持作業を行う場合、対象物とフォークグラブの成す角度が重要であると考えられる。つまり操作入力装置にはJ3の角度が制御可能であることが求められる。以上のことを考え、操作入力装置はレバーグリップ部が回転入力できるジョイスティックを横に設置した形状とした(図一2)。

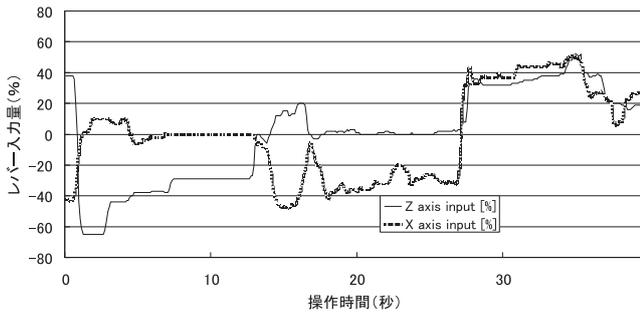
(3) 移動目標追従実験

座標入力方式、関節角度入力方式について、操作性と操作精度を検証するための実験を行った。実験は実機の機体姿勢が描画されるCG画面上でTargetを描画し、作業アームの先端がTargetに合致するように操作入力を行う。実機の先端座標軌跡とレバー入力量によって評価する。Targetの移動軌跡は二辺が1000mmの直角三角形を移動し、その移動速度は75mm/秒とした。なお本実験では先端座標の軌跡に注目するため、J3(バケット角)は180度固定としている。

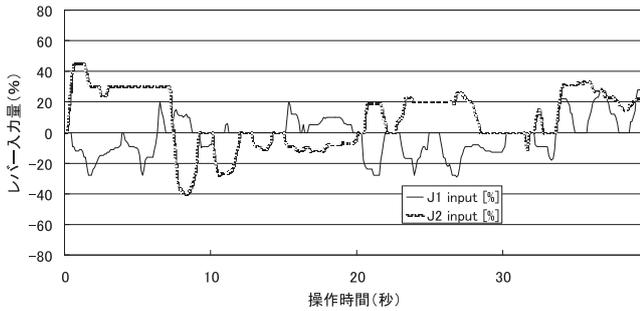
図一3に先端座標の軌跡を示す。関節角度入力方式では水平に移動させる部分では直線的な軌跡となっているが、特に斜面部において目標ラインを大きく外れている。座標入力方式ではほとんどの場所において良好な結果を得ている。また図一4,5はインタフェースのレバー入力量である。横軸の0~13秒が垂直動作、13~27秒が水平動作、それ以降が斜面動作時の入力量となる。関節角度入力方式では全体的に細かな動作を行っており、Targetを追従するために複雑な動作を必要とすることがわかる。座標入力方式のレバー操作量を見ると、微少な変化はあるものの、各辺においてほぼ一定の操作量であった。つまり先端座標を直線的に移動させる場合でも複雑な操作を必要としない



図一3 先端座標軌跡



図一四 座標入力方式における操作量

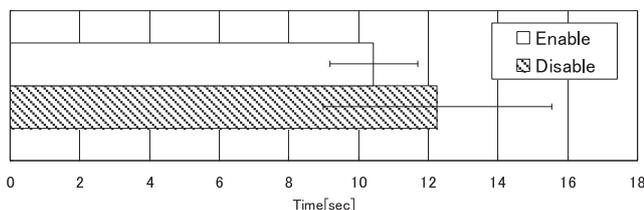


図一五 関節角度入力方式における操作量

め、マニピュレータとしてのインタフェースに適していると言える。

(4) 微少操作時の位置制御の有効性

座標入力方式では、把持作業時の微調整など先端座標の微少な操作を行うことを想定し、任意のタイミングで位置制御に移行することが可能である。ここではその有効性を調べるため、目標位置から 50 mm の誤差で停止させる作業を、位置制御を利用した場合としない場合で比較する実験を行った。目標位置はバックホウ座標系原点から X=4,000 mm, Z=1,000 mm の場所とし、50 mm の誤差範囲内に 3 秒静止させることとする。なお J3 の角度は 180 deg 固定とし、先端座標の初期位置は X=2,800 mm, Z=0 mm とする。作業回数はそれぞれ 10 回行った。目標位置に到達するまでの時間を図一六に示す。なお、この結果は 3 秒の静止時間を差し引いたものである。位置制御を利用した場合は、利用しなかった場合と比べて約 1.8 秒程度の時間短縮しか見られず、位置制御は作業時間の短縮に効果があるとは言えない結果となった。しかし、位置制御を利用した場合の標準偏差は小さく、さらに



図一六 操作時間

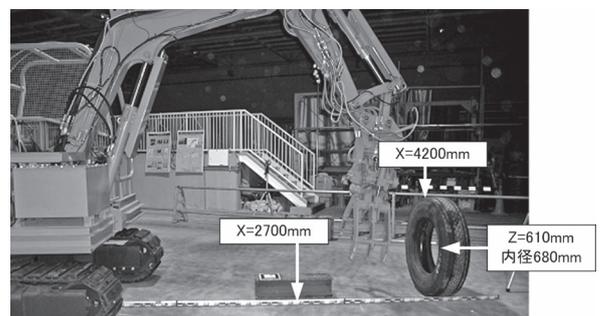
移行するには一度操作を停止するための時間ロスがあることを考えると、最終位置決めにかかる時間は短縮したと考えられる。以上の結果から、位置制御の移行は微調整作業に有効であると言える。

3. 港湾工事における把持運搬作業

水中での重量物の把持・運搬は、現在のところクレーン台船により行っており、その玉掛や指示は潜水士により行っている。ここでクレーン運転士は水中の状況を目視で確認することが不可能であり、操作は潜水士の音声指示により行っている。また、台船上からの荷役であるため、台船が波浪により動揺すると、吊荷も安定せず、近傍で指示を行う潜水士に危険を及ぼす可能性がある。

そこで水中バックホウの先端にフォークグラブを取り付け、重量物のハンドリングに用いることを想定し、遠隔操作による把持作業について実験を行った。

実験はフォークグラブを取り付けた実験機により H 鋼 (700×200×200) の中心を機体の旋回中心から 2.7 m の距離に設置し把持動作を行い、垂直に持ち上げた後、水平状態を保ったまま 4.2 m 先に設置したタイヤ (中心高さ 610 mm, 内径 680 mm) に通す作業を実験タスクとした (図一七)。評価は H 鋼の角度の変化と中心座標の軌跡とする。但し、H 鋼を直接計測することは困難であるため、把持後のフォークグラブの座標・角度の変化量から算出することとした。さらに、比較実験として JIS 型リモコンによる入力方式、及び、直視での座標入力方式による操作実験を行った。それぞれの入力方式においてそれぞれ 5 回実験を行うこととした。



図一七 把持運搬作業実験状況

図一八は横軸を時間とした場合の H 鋼の角度変化、図一九はそれぞれの入力方式において最も角度誤差が大きかった回の H 鋼の中心座標の軌跡を示したものである。データは H 鋼を掴んでから 0.5 sec 毎に記録している。

JIS 型入力では常に角度が大きく変化しているのに

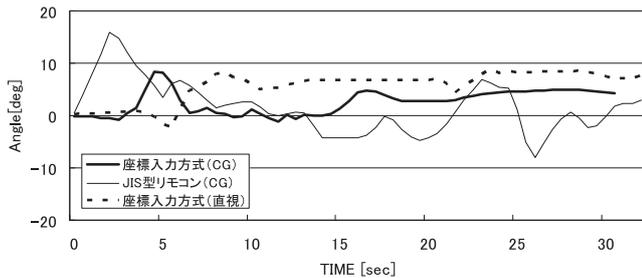


図-8 H鋼の角度の変化

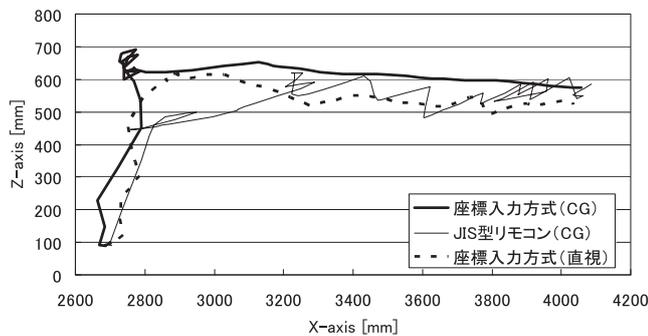


図-9 H鋼中心座標の軌跡

対し、座標入力方式では前半に角度誤差が大きくなるものの、後半では一定の角度で推移している。

H鋼座標軌跡の図では、JIS型入力が鋭角的な動きになっているのに対して、座標入力方式は水平移動時に $\pm 5$  cmの範囲で直線的に移動している。この結果から、エンドエフェクタ座標入力方式ではJ1, J2, J3の角度を連携して操作することができており、任意の姿勢で直線的に対象物を移動させる入力操作を容易に行うことができたと言える。

#### 4. 水中建設機械の多機能化

前述の対象物を把持する動作、エンドエフェクタを任意の位置に移動・固定する動作のほか、精密な動作を行える電動アームをフォーククラブアタッチメントに追加することで、重量物を固定し加工する動作についての研究を行っている。例えば人間の動作を考えたとき、片手で対象物を固定し、片手で工具などを使い作業を行うことが考えられるが、通常のバックホウではアームが1本であり、このような作業は実現できない。近年レスキュー活動や解体作業などを対象とし研究開発が進められている双腕型バックホウでは、動力が油圧シリンダであり強力な出力は有するが、微細な動作は不向きである。

そこで、フォーククラブアタッチメントの根元に電動アームを追加することで、把持などの力作業と、溶断や穴開けなどの比較的精密な作業を目指した簡易双腕アタッチメントについて提案を行い、現在はその入力インターフェースについて研究を行っている(図-10, 11)。



図-10 双腕操作インターフェースイメージ

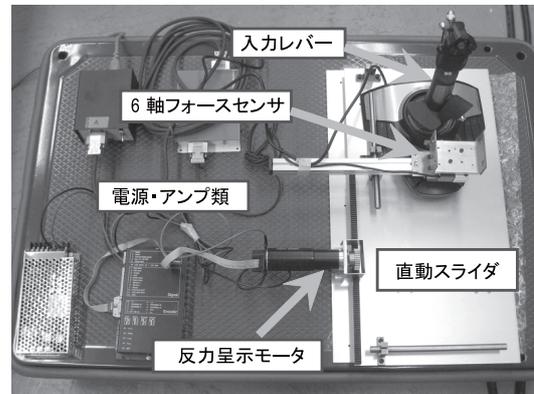


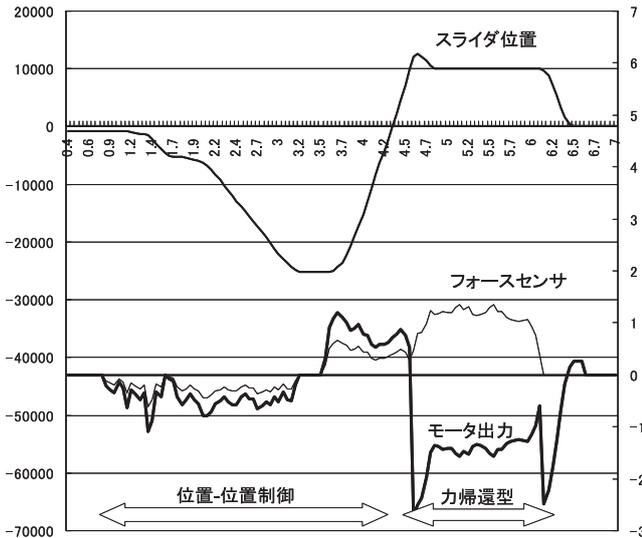
図-11 力入力型左手インターフェース

利き手側ではない操作の場合、複雑な入力や呈示は混乱や誤操作を招くと考えられる。そこで基本的な情報として押し付け作業反力に注目し、手首部分に力センサを取付けることで力帰還型制御を行う操作インターフェースを開発した。また、Slaveの前後位置をスライダの位置によって呈示する機構も追加している。

しかしPCでのシミュレーションにおいて実験を行ったところ、Master-Slave間で遅延が発生する場合、Slaveの速度(スライダ速度)と力センサ入力の同期が取れず発振するような挙動となった。そこでSlaveに負荷がない場合は力センサの入力でMasterの速度制御を行いSlaveが追従する位置-位置制御とし、Slaveに負荷がある場合には力帰還型制御に移行する方式とした(図-12)。

Slave側となるバックホウフォーククラブ上には、電動の補助アーム(図-13)を設置した。これは三軸の自由度を持ち、フォーククラブ正面方向に対して左右と前後は直動としている。上下方向については円弧運動の軌跡となるが、並行リンクにより常に一定の角度を保持する。タスクとして重量物を把持しつつ鋼材の切断する解体作業を想定し、この電動補助アームにエアプラズマ切断機(ダイヘン社製 M-1500C)のトーチ部を取り付けた。なお、溶断時のトーチスイッチはケーブルにより延長し、フットスイッチにより操作することとした。

この電動補助アームを前述の左手インターフェースにより操作を行い、バックホウのブーム・アーム・フォー



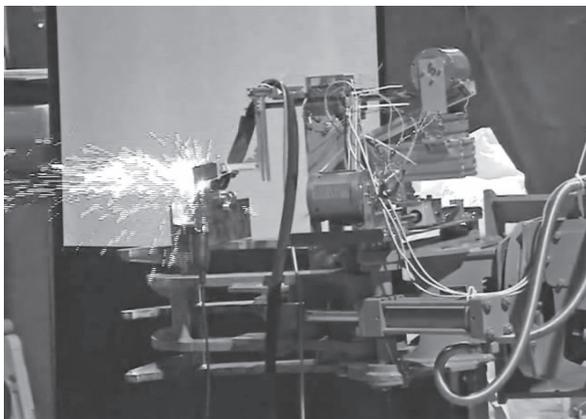
図一 12 双腕操作インタフェース出力特性



図一 13 電動補助アームの自由度

ククラブなど油圧系については2章で述べたジョイスティックレバーにより操作することで、簡易的な双腕マニピュレータを実現した。

現段階では本システムにより重量物であるH鋼を把持し、その一部を溶断する作業を実施(図一14)しており、今後その有効性について検討する予定である。



図一 14 電動補助アームによる溶断作業

課題点としては電動補助アームの自由度が少なく、直線的な運動しか実現していないため、エアプラズマトーチしか搭載していないが、自由度を増やし高精度な制御を実現することで、港湾域における玉がけ作業や水中溶接のほか、大水深下での水中構造物構築のためのジョイント作業やカプラコネクタの接続などといった様々な水中作業への応用が期待できる。

### 5. おわりに

陸上での工事では作業内容に応じて多種にわたる建設作業機械が開発・普及しており、様々な作業を効率よく施工している。それに対し水中における工事では、その特殊性から機械化が進んでおらず、いまだ潜水士の手作業に依存している。しかし水中作業は極限作業環境下であり、最も機械化が必要な分野<sup>4)</sup>であると考えている。そこで近年現場導入されはじめた水中バックホウに注目し、アタッチメントを変更することで様々な作業に適応できる水中作業マニピュレータとして活用することを想定し研究を行ってきた。高度成長期に整備された数多くの港湾施設が耐用年数に近づいており、これらを健全な状態に管理し、及び有効に活用することが求められる今日、情報の呈示に優れた操作インタフェースを建設機械遠隔操作に応用し、より高度で実用性の高い水中作業の無人化を目指して研究を進めていく考えである。

なお本研究は科研費(21760349)の助成を受けたものである。

JICMA

#### 《参考文献》

- 1) Hirabayashi, Yamamoto, Yano, Iwata : Experiment on Teleoperation of Underwater Backhoe with Haptic Information, ISARC2006, pp.36-41 (2006)
- 2) 一柳健 : 電子油圧制御 ; 日刊工業新聞社 (1993)
- 3) 平林文嗣, 矢野博明, 岩田洋夫 : 「ARを用いた濁水中における物体認識」, 第12回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集 pp.15-18 (2007)
- 4) 金山裕幸 : 水中施工機械「水中バックホウ・ビッグクラブ」による施工コスト削減対策について ; 第16回港湾技術報告会概要集 (1999)

#### 【筆者紹介】

平林 文嗣 (ひらばやし たけつぐ)  
 (株)港湾空港技術研究所  
 新技術研究開発領域 計測・システム研究チーム  
 研究官



# MMS の最新動向

西川 啓一・富樫 健司

道路、トンネル、上下水道などの社会インフラの維持管理用データとして3次元化が進み、なおかつ計測には高精度化・コスト低減・効率化・新鮮なデータが求められている。モバイルマッピングシステム (Mobile Mapping System) はこの要求に応えるものとして期待され始めている。

以下、モバイルマッピングシステムの高精度、高効率を支える各種の技術として、GPS 測位技術とこれを補完する技術・運用の仕方について説明する。あわせて特殊なモバイルマッピングシステムの例としてトンネル専用の車両を紹介する。また、公共測量や社会インフラの維持管理分野でのモバイルマッピングシステムの利用例について述べる。

キーワード：モバイルマッピングシステム、公共測量、走行計測、移動体計測、GPS、道路台帳、3次元地形データ、3D-GIS

## 1. はじめに

近年、測量関係や空間情報関係の展示会あるいは雑誌で「モバイルマッピングシステム」について海外、国内メーカーが揃って数多くの紹介を行っている。MX8, Street Mapper, Lynx Mobile Mapper, VMX-250, IPS-2, LISA, MMS 等多様である。それぞれのメーカーの強み、特徴が打ち出されている。

モバイルマッピングシステムがこれほど急激に話題となっているのは、パソコンの性能向上によるものが大きいと考えている。CPU やグラフィックスエンジンの性能向上、メモリや HDD の低価格化と容量の増大、OS の進化、さらに高速ネットワークの整備などで大容量のデータを扱うことができるような環境が揃ってきた。このような中、ゲリラ豪雨や自然災害が発生した際、これらの解析により詳細な地形モデルを利用することも行われるようになってきている。

モバイルマッピングシステムの定義をするならば、

- ①車に GPS 等の測位装置とカメラやレーザスキャナ等の計測装置を搭載していること
- ②道路を走りながら周辺の3次元形状を行うことが可能であること

になると考える。単に移動しながらの計測ということであれば、航空レーザ計測やドクターイエローも含まれてしまうので、ここではあえて、「道路を走りながら」ということにしておく。周辺の計測装置としては、今

後、地中レーダや舗装面試験装置等いろいろなセンサが搭載されると思われるが、これも、3次元形状ということにしておきたい。

## 2. 計測システム

各車両とも、GPS および慣性計測装置 (IMU: Inertial Measurement Unit) の組合せにより車両の自己位置と姿勢を計算し、そこからカメラおよびレーザスキャナによる計測結果の解析を行っている。

### (1) GPS 測位

GPS には各車両の特徴がみられる。GPS アンテナが1個のもの、2個のもの、3個のものがある。さらに、GPS の測位方式として、単独 GPS による測位、D-GPS (Differential GPS) 測位、RTK-GPS (Real-Time Kinetic GPS) 測位、ネットワーク型 GPS 測位などが採用されている。

公共座標系の中の測位という意味で計測した地物に座標を与える方法として、あらかじめ数10 m から数100 m 間隔で GCP (Ground Control Point) を設置しておき、それを計測対象に含めておいて、GCP の座標から全体の計測結果に座標を与える方法を採用している。この方式は測位方式に単独 GPS や D-GPS を採用している車両に使われている。

一方、GPS より与えられる座標をそのまま計測結

果の座標として利用しているものもある。これはネットワーク型 GPS を採用している車両に使われている。

いずれの GPS 測位の方式でも、これに IMU やオドメータ（距離計）を付加して、GPS が受信できなくなるような状態でも位置、姿勢が計算できるシステムを準備している。

(2) 3D 化

車両の位置および姿勢が決定したら、搭載されているカメラまたはレーザスキャナで計測したデータから走行車両周辺の 3D 化が可能になる。この手法として、複数カメラによるステレオ視、単独カメラによるモーションステレオ方式を採用した車両がある。また、レーザスキャナにより直接 3D を計測する方法を採用している車両もある。さらにカメラとレーザスキャナを合わせてカラー点群を生成している車両もある<sup>1)</sup>。

カメラ画像によるステレオ視は 3D 化に複雑な計算が必要であるが、計測点（対象物における計測密度）が多く、エッジもきれいに表現されるなど景観等の視的品質が求められる場合に都合が良い方法である。この方式は複数の画像にタイポイントを見つけて 3D 化するため、画像的にはっきりしない対象物は計測しにくい。また、夜間の計測も苦手としている。

レーザスキャナによる 3D 計測は直接的であり、精度が高いという特徴がある。一方でエッジが正確に直接計測できないという欠点もある。エッジの場合は後に、エッジを構成する面を計算し、面と面との交線をエッジとして求めている。

計測したデータをどのように利用するかによってカメラかレーザスキャナかを選択する必要がある。

3. MMS の特徴

以下、モバイルマッピングシステム、MMS の精度に関して特徴を述べる。MMS の開発コンセプトは、高精度、高効率である。MMS にて計測した点に正確に公共座標を与えることと、計測そのものの作業や計測後の処理も迅速に行うことを可能とし、なおかつ再測や解析不能を極力少なくするように工夫している<sup>2)~4)</sup>。以下、そのキー技術について述べる。

(1) FKP

MMS の車両位置は FKP (Flächen Korrektur Parameter: 面補正パラメータ) 方式による高精度 GPS 測位を利用している。

FKP 方式はネットワーク型 GPS の一種であり、測

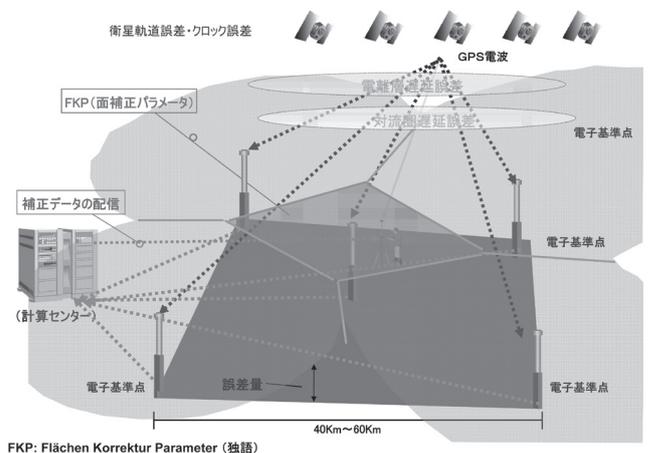
位エリアを囲むように配した電子基準点のデータを解析することによって、GPS 衛星の電波伝搬に与える、対流圏・電離層・衛星軌道等による遅延誤差量を明示的に計算し、測位点における GPS 衛星との擬似距離を正確に求めることにより高精度に座標取得を行うものである。

- ✓ SAPOS (ドイツ全国測量衛星測位サービス機構) はじめ EU 内複数国のリアルタイム GPS 測位の標準方式である
  - ✓ 緯度・経度方向に 1 cm 程度、高さ方向に 3 cm 程度の精度
  - ✓ 移動体測位可能
  - ✓ 補正データ有効エリアが広い
  - ✓ 補正データの片方向通信 (放送型) が可能
- といった特徴を備えている<sup>5)~7)</sup>。

国土地理院が全国に 1200 点以上の電子基準点を設置している。FKP はこれら電子基準点をネットワーク化し GPS 観測データをセンチにて収集する。センチでは、各電子基準点の観測データを解析することで、対流圏、電離層等の全ての誤差要因を求める (図-1)。

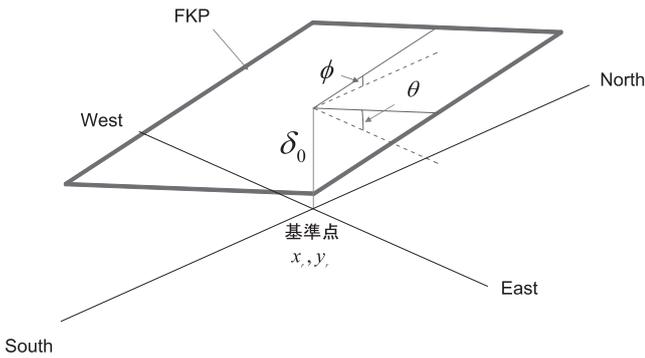
FKP 方式では、各電子基準点を中心として誤差の空間モデルを計算し、そのモデルを表すパラメータを補正データとする。つまり、図-2 のように誤差中心における補正量  $\delta_0$  と誤差平面の傾き  $\phi$  (東西方向の面の傾き)、 $\theta$  (南北方向の面の傾き) とをパラメータとして補正データとしている。したがって、測定点では、概略位置から補正中心となる電子基準点までの概略の相対的位置を計算することにより、その測位点での補正量を求めることができる。

RTK-GPS では図-3 に示すように基準点の近傍 (3 km 程度) であれば測位精度は高いものの、基準点から離れるに従って徐々に測位精度が悪化する。そのため走行計測する場合は、数 km 毎の既知点に GPS

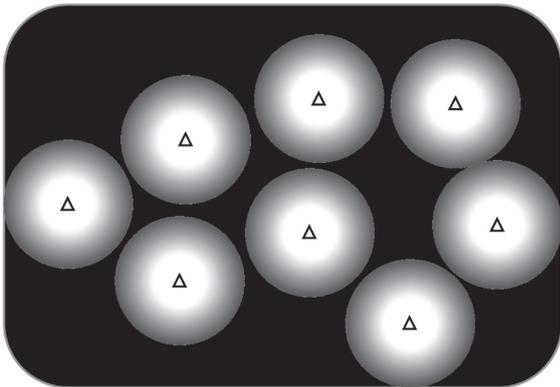


FKP: Flächen Korrektur Parameter (独語)

図-1 FKP 概念図



図一2 FKP 補正パラメータ

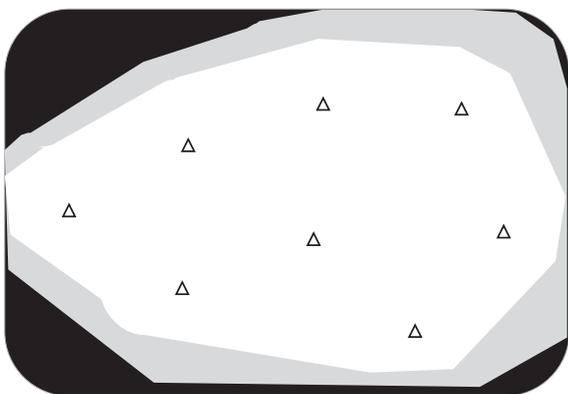


図一3 RTK による補正の効果

基準点を設ける必要がある。

一方、FKP 方式では図一4 に示すように基準点で囲まれた範囲は均一に高精度測位が得られるので、自由自在に走行しても問題なく測位することができる。

FKP 方式はリアルタイム補正が可能であるものの、走行計測ではセンタとの通信に携帯電話等を利用することになるが、圏外の場合も多いため走行後の一括処理をしている。したがって、センタではMMS 走行後、その時間帯、走行エリアに対応したFKP 補正データをインターネット経由ダウンロードできるようにしている。



図一4 FKP による補正の効果

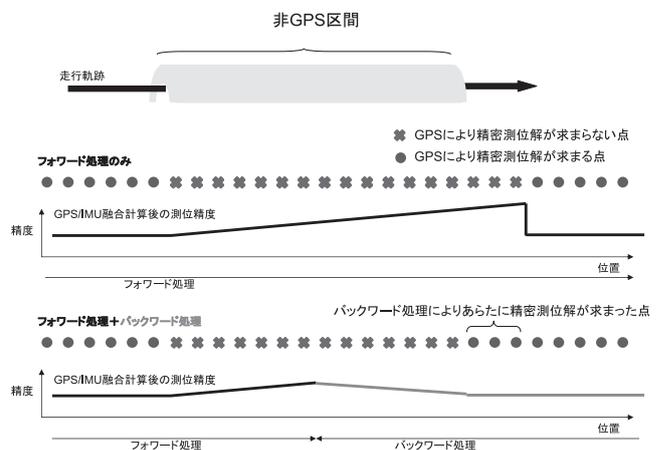
### (2) GPS・IMU・オドメータ

MMS ではGPS,IMU に加えてオドメータ (タイヤ回転計) を加えた3種のセンサの複合測位計算を行っている<sup>1)</sup>。GPS・IMU・オドメータ複合計算の目的は、①GPS 単独の位置計算に含まれる高周波ノイズの影響と、IMU 単独の位置計算に含まれる低周波誤差成分の影響、およびオドメータによる距離計算に含まれるスケールファクタの誤差を相互に補完して正確に測位すること、②GPS が受信できない箇所での測位、の二つである。

GPS による測位は誤差の時間的蓄積はないものの、高周波数的なノイズが含まれる。IMU データは測量車両の加速度、角加速度の運動量であり、この加速度と角加速度を計算して位置を計算する。この計算は積分を含む処理であり、測位結果には時間とともに蓄積する誤差が含まれる。さらにオドメータはタイヤの回転数より移動距離を求めるが、気温、空気圧、乗車人員等によりタイヤ一回転あたりの移動距離には係数が掛かる。この係数を求めるために、GPS が十分に捕捉されている環境下においてFKP 精度で位置および姿勢を計算しながらIMU やオドメータの学習・校正を行う。ビルの陰やトンネル内などGPS が十分に捕捉できない所では、IMU とオドメータで位置計算を行い、精度を保つようにしている<sup>8)</sup>。

通常、GPS による位置計算は時間経過に沿って行うが、MMS 後処理は図一5 のようにGPS, IMU, オドメータとの複合処理を正順 (フォワード)、逆順 (バックワード) 両方の計算を行っている。これによりGPSFIX の点が増え、IMU の累積誤差も抑えられることにより位置・姿勢の精度を向上させている。

GPS とIMU の複合計算は一般的には粗結合方式 (Loosely-Coupled 方式) と密結合方式 (Tightly-Coupled 方式) の2種類に大別される。粗結合方式は、



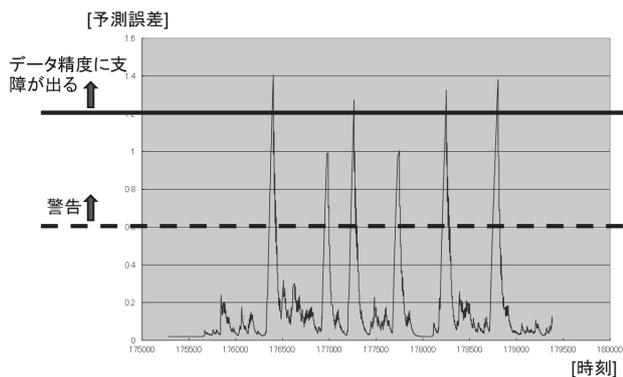
図一5 バックワード処理による効果

GPS、IMU、オドメータそれぞれのセンサで別個に位置・姿勢計算し、それらの結果をさらに調整計算を行う方式である。一方、密結合方式は、GPS、IMU、オドメータそれぞれのセンサより基本観測量を求め、両者合わせて一括して位置・姿勢計算を行う方式である。MMSは後者の密結合方式を採用している。

以上のようにMMSはその他のモバイルマッピングシステムが採用しているGCPによる座標確定を必要とせず、直接的に座標を得ることが可能としている。

### (3) 予測誤差

MMSでは計測中に計測精度がどの程度か見積もり表示している。これを予測誤差モニタという。図一六は予測誤差モニタの例である。図のようにGPS・IMU・オドメータの複合計算をしてもGPSが長い間受信できなければ車両の測位精度が徐々に悪化していく。GPSが受信できれば予測誤差モニタも精度が回復する。



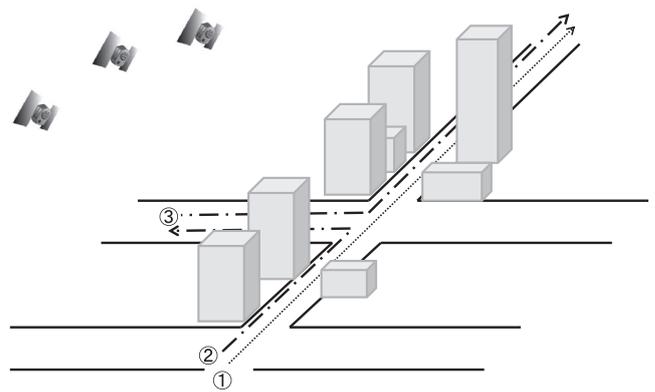
図一六 予測誤差

以下、予測誤差モニタを利用した計測方法について説明する。

必要精度に対する予測誤差の上限値を決めておく。計測開始後、GPSの受信できない状態が続き、仮に予測誤差が上限値に近づいたなら、一旦、GPSの受信できる位置に移動し、GPS受信を行う。仮に予測誤差が上限値を超えた場合、その状態で計測したデータは利用しないようにする。

図一七のようにビル等によりGPSが遮蔽される場合、①のコースのように走行計測すると予測誤差が増大する。この場合、②のコースのように一旦GPSが受信できる場所に退避して精度回復し、再び③のように元のコースに戻り計測することにより、全体として精度が確保できる。

MMSの後処理を行うと、点群の緯度経度、平面直角座標および標高、計測時間等とともに精度指標が付



図一七 精度確保のための運用

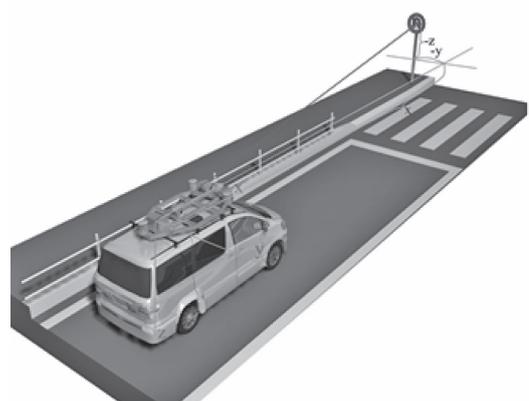
与されて出力される。この精度指標が予測誤差の処理後の確定値であり、求める精度を満たしているかの唯一の判断材料となる。

目的とする成果の精度を満たさない場合は精度指標によりデータを棄却し、良いもののみを利用することで成果の精度担保が可能となる<sup>9)</sup>。

### (4) ランドマークアップデート

予測誤差等を考慮にいれて計測しても、トンネルや高架下など実際の計測を行った結果、精度指標が目的とする成果の精度を満たさない場合がある。その場合はランドマークアップデートにより精度回復が可能である。

ランドマークアップデートとは、計測した点群に正確な座標を付与することによって、その点を計測した時刻の車両位置・姿勢を逆算し、GPSによる測位結果が求まったことにして、あらためてGPS・IMU・オドメータの正逆順複合計算を行うことである。GPSが受信できない地点を走行し、なおかつ精度指標が目標より悪化していた場合(図一八)、標識の座標をトータルステーション等で測量する。MMSにて標識と対応した点群または写真よりMMS車両の位置・姿勢を再計算し同地点でのGPSによる測位の代



図一八 ランドマークアップデート<sup>10)</sup>

替として利用する。

ランドマークアップデートの効果について説明する。GPSが受信できない区間が長く続くと精度が劣化する。図-9はある実験の結果を示したもので、1 kmに渡りGPSが受信できなしたら、中央付近で約90 cm程度のずれが発生している。このずれ量は、速度、発進、停止の繰り返し数や道路の曲率や凹凸等で変化する。500 m, 200 m, 100 m 間隔にランドマークアップデートの位置参照点を設けた場合の誤差量をそれぞれプロットしている。

この実験の場合、500 mでは19 cm, 200 m間隔では8 cm, 100 m間隔では6 cmとなった。どれぐらいの間隔でランドマークアップデートの位置参照点を設けるかは目的とする精度に依存する。なお、従来のGCP補正がステレオカメラやレーザ計測による計測点そのものの位置(座標)を全体的にずらすのに対して、本ランドマークアップデートでは、誤差の元である車両の位置・姿勢そのものを補正するため、位置参照点間隔によらず、過補正になることはない。

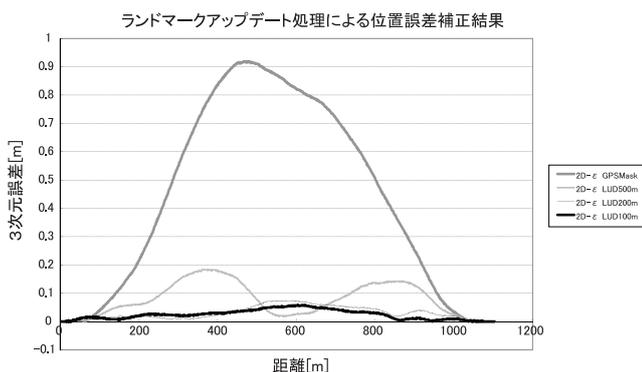


図-9 ランドマークアップデートの効果

## 4. MMSの活用

現在、MMSは主にインフラの維持管理に利用されている。以下、利用例について説明する。

### (1) 道路・上下水道台帳

MMSは名前の由来からも分かるように地図を作成するシステムとして開発された。道路台帳付図や上下水道台帳付図作成に多く利用されている。道路や上下水道の管理者は国や自治体であるため、公共測量として実施しなければならない。MMSによる測量は新しい技術であるため「機器等及び作業方法に関する特例」として国土交通省公共測量作業規程の準則第17条により計画機関(自治体等)より国土地理院に独自測量作業マニュアルを提出し、技術的な助言・承認を得る

ことが必要となる。

MMSでは、前章の精度向上のための技術・運用方法を採用こんだ測量作業マニュアルを作成し提出、500レベルでの精度を十分達成しているとして地理院の承認を受けている。2011年8月の時点においてすでに40以上の計画機関より17条による届け出がなされ、順次、国土地理院の承認を受けている。いずれも500レベルが主である。

図-10はMMSにより作成した道路台帳付図の例である<sup>11)</sup>。

MMSを導入することにより台帳付図の効率的な作成ができることはもとより、交差点の見通し改善や道路路面のワダチの把握、看板や樹木のはみ出しのチェックなど、取得した3次元データからまた別の維持管理業務も可能となる。

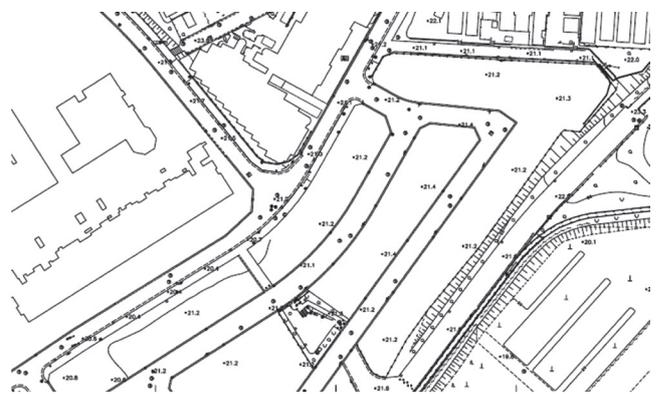


図-10 道路台帳作成例 (出典: 豊中市・バスコ)

### (2) トンネル計測

MMSの位置・姿勢計測技術に別のセンサを付加させることにより特殊MMSを作っている。図-11はトンネル計測専用車両として開発されたMIMMである。

MIMMにはMMSの位置姿勢計測ユニットに高精度高密度レーザと高輝度LED照明およびビデオカメラ



図-11 MIMM外観

ラを16台取付けている。これにより、走行しながらトンネル覆工面の撮影と3次元形状を計測することができる。走行しながらの計測のため、交通規制なし、短時間の計測時間、安全な計測作業が実現できる。

図-12はMIMMにて撮影した覆工の写真である。カラーで撮影される。カラー画像よりひび割れ、漏水等を読み取り、写真上にプロットすることにより客観的かつ正確な変状が記録できる。これにより経年変化を正確に記録できることとなる。過去の事例において50 km/hでの走行計測で撮影した覆工写真からは0.3 mm以上のひび割れが読み取れることが判明している<sup>12)</sup>。



図-12 MIMMによる覆工撮影結果(変状プロット含む)

また高精度レーザでは図-13のような3D形状が計測できる。3D形状からは局所的な変形を求め、覆工写真と合わせてトンネルの健全性の評価に寄与可能である。

図-13の中ほどに映りこんでいるが、トンネル内に厚さの異なる板を貼り付けてMIMMの高精度高密度レーザで板厚計測を行った。結果を図-14に示す。

図-14において上4枚は一辺10 cm、中2枚および下2枚は一辺20 cmである。また、板の周辺の数字はノギスにより計測した厚さ(単位mm)、板の中

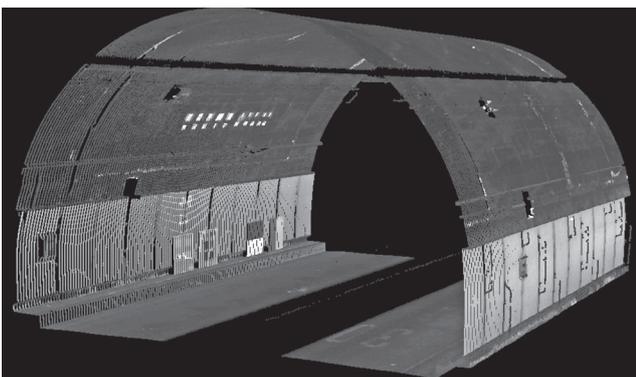


図-13 MIMMによるトンネル計測結果(点群)

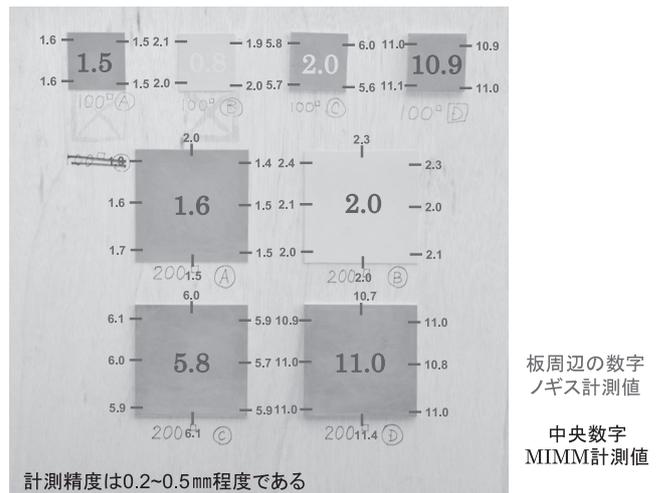


図-14 MIMMによる板厚計測結果

央の数字はMIMMにより計測した厚さ(単位mm)である。精度0.2 mmから0.5 mmの誤差で計測できていることが分かる。

上の中央2枚については大きく数値が異なっている。これは50 km/hでの走行計測のため、進行方向は15 cm程度のスキャン間隔があく。このため、この板にレーザが当たらなかったためである。今後、走行計測にあたっては、よりスキャンレートの高いレーザが必要とされる。

### (3) その他活用例

台帳やトンネル以外にも社会インフラ維持管理用データの計測にMMSを利用している。以下、利用例を簡単に述べる。

MMSに地中レーダや電磁探査機を搭載し、道路舗装面より下の空洞や埋設管、通信ケーブルの位置、深さを3次元的に可視化する技術を試行している。これも走行しながら計測できるので交通規制等も不要である。検査の結果、ボーリング等の詳細調査が必要になった場合でも規制の範囲は必要最小限に特定できることが期待できる。

実際に目に見えるものだけでなく、土中の物体に3次元座標を付与することもモバイルマッピングシステムの利用法の一つである。

また、鉄道にMMSを乗せ、線路周辺の3D地形を計測することも試行している。従来、鉄道はキロ程、すなわち1次元で管理されてきたが、緯度経度高さの3次元による管理を検討しているようである。鉄道GISが始まり、将来の鉄道ITSにつながれば幸いである。

その他、電柱や電線の管理、道路面のひび割れや平坦性、摩擦係数など道路維持管理の計測にも利用できると考えている。

## 5. おわりに

これまで走行計測において測量精度を担保する技術、および効率化のしくみについて述べてきた。今後は3D測量がふつうになっていくと考えている。走行計測とそれからの点群生成までの効率化だけでなく、3D地図あるいは3D-GISデータ作成までの全体を効率化するために計測データの自動処理の開発を行っている。

図-15に現在自動抽出を検討している道路地物を示した。100%の自動検出は無理であると考えられるが、できるだけ検出率の向上と処理時間の短縮化を図り、最終的には走行から3D地図作成まで2~3日以内を実現したいと思っている。

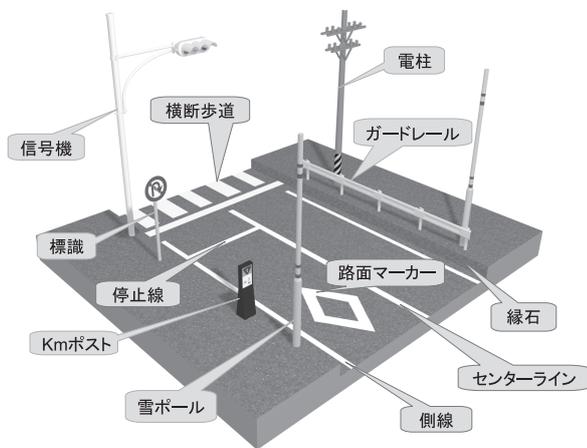


図-15 道路地物<sup>13)</sup>

そうならば、例えば現在の地形を初期値として計測しておき、通常は維持管理のための経年変化量として、災害発生時には被害査定や復興計画へ即座に供することができると考えている。モバイルマッピングシステムが社会へ貢献できることを願っている。

JCMA

### 【参考文献】

- 1) Kiichiro Ishikawa, Jun-ichi Takiguchi, Takumi Hashizume, Yoshiharu Amano. A Mobile Mapping System for precise road data capture based on 3D road model. : IEEE International Conference on Control Applications, 2006.10.

- 2) 吉田光伸 他. モービルマッピングシステム. : 三菱電機技報, 2007. Vol.81, No.8.
- 3) モービルマッピングを用いた道路三次元情報の活用. : 三菱電機技報, 2009. Vol.83, No.5.
- 4) 木元勝一, 西川啓一, 瀧口純一, 吉田光伸. モービルマッピングシステムと各種応用例. : 三菱電機技報, 2010年8月. pp.34-37. Vol.84, No.8.
- 5) 大山一夫, 斎藤雅行, 西川啓一, 柴原芳信. FKP方式によるリアルタイム測位. : (社)日本測量協会「リアルタイム測位技術研究発表会」資料集, 2002. pp.69-83.
- 6) 西川啓一, 笹野耕治, 田中隆, 長谷川博幸, 浪江宏宗. テレビ放送を面補正パラメータ (FKP) 伝送に利用したネットワーク RTK 測位実験. : 産業システム情報化技術委員会 (電気学会) / 第108回春季研究会 (日本航海学会), 研究シンポジウム「次世代位置情報技術」, 2003年5月23日.
- 7) 金学進, 西川啓一, 笹野耕治, 田中隆, 長谷川博幸, 浪江宏宗, 久保信明, 樊春明. Network-Based RTK-GPS Positioning Using Area Correction Parameter (FKP) via TV 17 Broadcast in Japan. : The GNSS Technology Council (GTC), The 10th GNSS Workshop, 2003年11月21日. pp.269-273.
- 8) 瀧口純一, 橋詰匠. モービルマッピングシステムにおけるGPS/IMU/オドメトリ複合航法のデータ処理と精度管理. : 日本信頼性学会誌「信頼性」2010年3月号, Vol.32, No.2.
- 9) 西川啓一, 瀧口純一, 石川貴一郎. 高精度GPS移動計測装置 三菱モバイルマッピングシステム (MMS). : 画像ラボ, 2011年1月. pp.74-81. Vol.22 No.1.
- 10) 石川貴一郎, 高野雅史, 梶原尚幸, 瀧口純一, 天野嘉春, 橋詰匠. 道路地物の測量値とGPS/IMUを複合した自己位置標定手法の研究. : 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会講演論文集 (CD-ROM), 2009.5.24. Vol.2009.
- 11) 今西暁久, 石井康介. 新技術MMSによる道路空間3次元計測と公共測量への適用について. : 平成22年度近畿地方整備局研究発表会, 2010年7月15日.
- 12) 京都大学. 道路トンネル健全性評価技術の研究. : 新都市社会技術融合創造研究会, 2009.
- 13) Takumi Hashizume, Yoshiharu Amano, Kiichiro Ishikawa, Jun-ichi Takiguchi. A Study of Precise Road Feature Localization using Mobile Mapping System. : IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, 2007年9月.

### 【筆者紹介】

西川 啓一 (にしかわ けいいち)  
三菱電機株  
IT 宇宙ソリューション事業部  
RFID・LBS システムエンジニアリングセンター  
LBS 担当部長



富樫 健司 (とがし けんじ)

三菱電機株  
IT 宇宙ソリューション事業部  
RFID・LBS システムエンジニアリングセンター  
LBS・COCO 課  
主席研究員



# 小型自律飛行ロボット (UAV) の活用による 簡便な地物計測

鈴木太郎・橋詰 匠・鈴木真二

近年、災害等の危機管理や測量などの目的で、無人飛行ロボット (UAV: Unmanned Aerial Vehicle) の研究が盛んに行われている。その中でも数 kg 級の小型 UAV は、その運用性の高さから効率的な情報収集手段として期待されている。しかし、小型 UAV では、積載可能な重量の制限が非常に厳しく、このため撮影した画像等の情報から、地物の観測や計測に必要な正確な機体の位置姿勢を推定することが難しい。そこで本論文では、小型 UAV において画像処理を複合することにより、これらの問題の解決を試みる。また、災害情報の収集、植生観測、地物の三次元計測など、具体的な小型 UAV の応用例について紹介する。  
キーワード：飛行ロボット、航空測量、災害情報収集、リモートセンシング、三次元計測

## 1. はじめに

マイクロプロセッサ、GPS、慣性センサ等の技術的進歩により、無人飛行ロボット (UAV: Unmanned Aerial Vehicle) の自律飛行が可能となり、近年、各研究機関・企業において、研究・開発が盛んに行われている。UAV は用途に応じて、その大きさ・重量など様々な種類のも存在するが、その中でも特に、数 kg 級の手投げにより離陸が可能なサイズの固定翼型小型 UAV は、災害時の効率的な情報収集の手段や、森林や農業分野でのリモートセンシング手段、河川や堤防の監視や管理用途、地形や構造物の簡便な計測・測量用途など、様々な分野での利用への期待が高まっている。数 kg 級の小型 UAV は、手投げでの離陸が可能であり非常に機動性が高いため、即座に人や車が直接入ることのできない危険な場所でも、自律での飛行が可能である。さらに、搭載カメラにより有人機では困難な 100 m 程度の低空から、高精細な空撮画像が取得できるという特徴がある。また、一回の情報収集に必要なコストが安価であるため、複数回の飛行や、継続的な観測が可能であるといった利点がある。

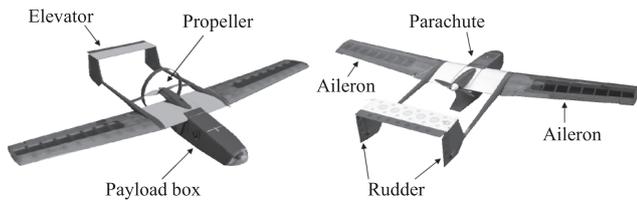
しかしながら、小型 UAV において様々な上空からの情報を収集し活用するには、以下のような課題がある。小型 UAV は積載可能な重量の制限が非常に厳しく、搭載可能なセンサの大きさ・重量に制限がある。このため、有人機や大型の UAV で利用されているような、高精度な自己位置、姿勢センサを搭載することが困難であり、地物の観測や計測に必要な正確な機体

の位置姿勢を推定することが難しい。また、レーザスキャナなどのセンサを搭載することが困難なため、三次元計測を行う場合、直接三次元座標を計測できないという課題も存在する。この理由により、小型 UAV は主にカメラ画像を用いた単純なモニタリング用途に用いられる例が多く、精密な観測や計測に用いられた例は少ない。小型 UAV を用いて精密な地物の計測を行うには、カメラなどによる環境の観測を統合して、機体の位置姿勢推定精度を向上させる必要がある。

そこで、小型 UAV に搭載したカメラ画像による画像処理を複合することにより、これらの問題を解決する。本稿では、UAV の位置姿勢情報と画像を複合した災害情報収集システム、高精細画像地図の自動作成とリモートセンシング、また、空撮画像からのステレオ視による三次元復元について、実環境での運用例をもとにその技術を紹介する。

## 2. 小型 UAV 概要

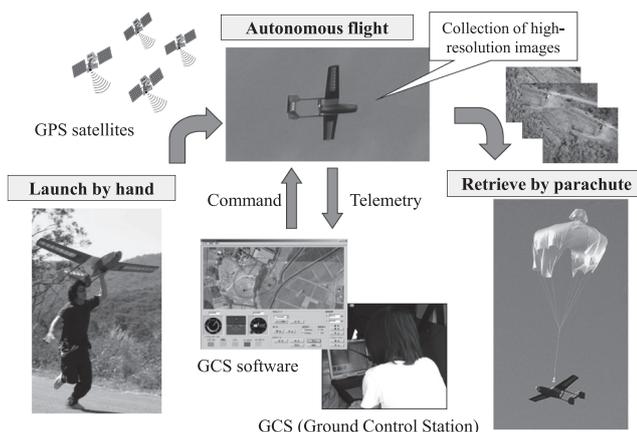
小型 UAV の外観を図-1 に示す。この小型 UAV は、大手電機メーカーと東京大学により開発されたものであり<sup>1)</sup>、長さ 1.2 m、幅 1.7 m の大きさで、全備重量は 2 kg (最大搭載可能重量 500 g) である。積載可能重量が小さいため、搭載機器を GPS 受信機モジュール、MEMS 慣性センサ (加速度計 3 軸、3 軸角速度計)、圧力計 (動圧、静圧)、誘導制御計算用マイコンを搭載したアビオニクスボード、デジタルカメラに限定し、無線通信により地上の基地局へのセンサデータ、空撮



図一 小型 UAV 外観

動画の伝送を行う。

図一 2 に小型 UAV の運用の流れを示す。カメラは機体の下部に下向きに取り付けられており、VGA (640×480, 30fps) で動画を撮影し伝送を行う。また、1000 万画素の静止画を連続的に撮影し、内部メモリに保存し飛行後に回収することが可能である。自律飛行では事前に指定した指令高度・速度において、指定した複数の目標点 (Waypoint) を自動周回飛行する自律飛行を可能としている<sup>1)</sup>。この小型 UAV は、図一 2 に示したように手投げによる離陸が可能であり、着陸は搭載されたパラシュートにより着陸することで、狭い場所でも安全に回収が可能である。高度 80 ~ 120 m, 秒速約 15 m/s の速度で 30 分程度の自律飛行が可能であり、数 km にわたる範囲の上空からの情報収集が可能である。実際に小型 UAV が撮影した静止画像の例を図一 3 に示す。本システムに搭載したデジタルカメラは、水平画角が約 53 度、垂直画角約 37 度であり、高度 100 m で水平飛行している場合、幅 100 m, 長さ 66 m 程度の地平面が撮影される。



図一 2 小型 UAV の運用の流れ

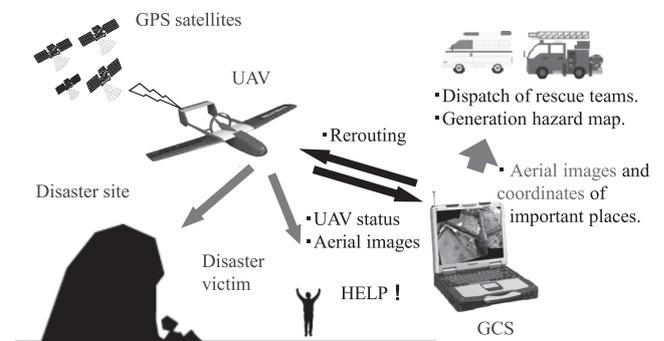


図一 3 小型 UAV による連続空撮画像

### 3. 小型 UAV を用いた地物の計測例

#### (1) 災害時を想定した情報収集システム

小型 UAV を用いた災害情報収集システムの概要を、図一 4 に示す。災害の被災直後では、交通機関は麻痺し、地上の道路等も通行が不可能になっていることが多い。そのような場合において、上空からの迅速な被害状況の把握、さらに被災地域の特定や被災者の発見・救出活動が求められる。そこで小型 UAV の機動性を生かし、有人ヘリやレスキュー隊の到着前にハザードマップを生成し、救助の支援を行うシステムの構築を行った<sup>2)</sup>。これは、災害の発生直後、小型 UAV を直ちに飛行させ、伝送動画像を用いて、被害状況の把握や要救助者等の有無、及びその位置等の情報を収集し、このようにして収集した画像や位置情報、取得日時などを自動的に GIS データビューア上に統合することで実現する。このハザードマップを共有し活用することで、レスキュー隊や有人ヘリによる被災者の迅速な救助や支援を可能にする。また、災害発生直後から復興まで、継続的に情報収集を行い、GIS データビューア上で被災情報を時系列的に整理することで、小型 UAV が収集した情報を、復興計画や防災策の立案に役立てることが可能となる。

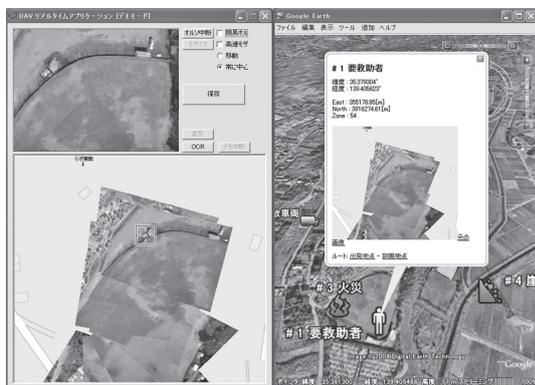


図一 4 小型 UAV による災害情報収集システムの構成

従来より、災害時等の情報収集手段として小型 UAV の応用研究が行われているが、被災地の空撮画像をリアルタイム伝送して表示するのみでは、どの場所を撮影しているかが判りづらく、被災者の発見や広範囲にわたる情報把握が難しかった。そこで、動画に画像処理を行い、機体センサ出力によって推定された自己位置・姿勢角を複合することで、この問題を解決する。各フレームの撮影範囲が狭く、また撮影対象の位置情報が不明であるという問題に対しては、地図と空撮動画を連動し、地図上で撮影対象の位置を確認することによって対処する。これを実現するために、小型 UAV の搭載センサによって推定された機体の自

己位置と姿勢角を用いて、取得画像を地図画像上へ整合するように変形して表示する。これにより、空撮画像を位置情報と連動して把握することが可能になり、状況の把握を助けることができる。以上の処理を小型 UAV の飛行中に実時間で行うことで、伝送される動画画像を用いた迅速な被災情報の収集を実現する。

具体的な被災情報の収集は、災害現場における任意の注目地点（火災発生現場や崖崩れが起きている箇所等）の位置座標を処理画像から取得し、識別情報を付加することで行う。そして、このような任意の注目地点情報を被災情報として、GIS データビューア上に統合し、ハザードマップを生成する。図一5に、GIS 上に空撮情報を統合した例を示す。オペレータが被災者などを発見した場合、画面をマウスでクリックし、被災者としてマークすることで、座標を含めた情報がデータベースに自動的に入力され、撮影画像を含めた情報が GIS 上で参照可能となる。このように動画からリアルタイムに地図上に画像を投影していくことで、広域の情報が位置情報と共に把握が容易になることが確認できる。さらに注目点の選択により地上座標と画像を共に管理することで、災害時の迅速な状況把握や救出活動が可能となる。



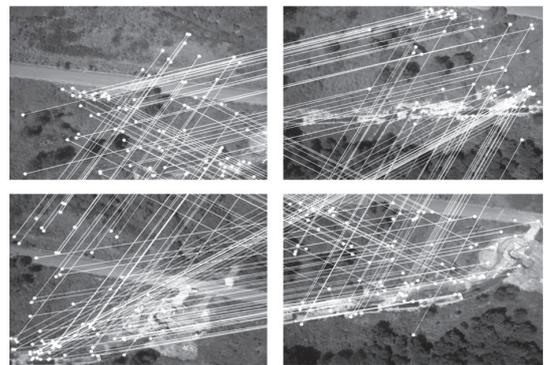
図一5 GIS にリアルタイムに情報統合を行った例

(2) 画像地図の自動生成によるリモートセンシング

(a) UAV 空撮画像からの画像地図生成

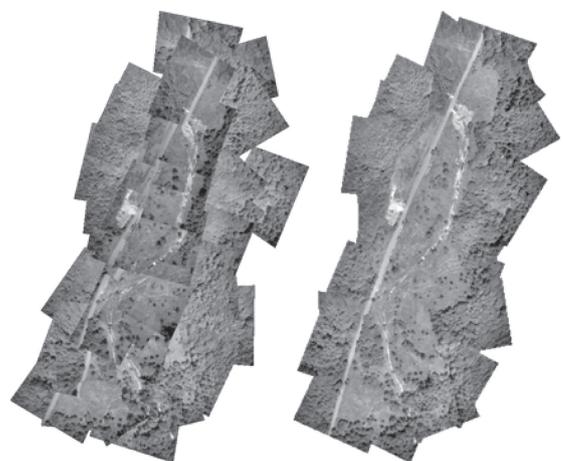
小型 UAV で撮影される画像は非常に高解像度である反面、撮影範囲が狭いため、広域の観測を行うには画像を合成することで広域の画像地図を作成する必要がある。しかし、高い精度で地物の状況を把握することが求められるアプリケーションにおいては、小型 UAV の旋回により生じる画像の歪み、そして位置姿勢の誤差により撮影画像が正確に整合しないことが大きな課題となる。そこで、小型 UAV の位置姿勢の最適化計算による画像地図の作成手法を構築した<sup>3)</sup>。自律飛行のための搭載センサにより算出された小型

UAV 位置姿勢は、搭載センサの制限から位置姿勢に誤差が含まれている。そこで、UAV に搭載されたカメラにより撮影された画像情報を複合することで、UAV の位置姿勢を最適化計算により修正する。具体的には、UAV の飛行後に得られた空撮画像と誤差を含む位置姿勢を用いて、画像特徴の再投影誤差を示す評価関数を作成し、これを最小化することで、UAV 位置姿勢を推定し画像地図を作成する。このプロセスを自動で行うことで、小型 UAV を用いた容易な地上の解析を実現する。UAV 空撮画像間において、画像特徴の自動対応付けを行った例を図一6に示す。



図一6 連続空撮画像間の画像特徴のマッチング

ここで画像特徴として、SIFT (Scale Invariant Feature Transform) 特徴と呼ばれる画像特徴を利用する。このようにして対応付けられた画像特徴の投影座標の誤差を最小化することにより、画像撮影時の UAV の位置姿勢を補正する。図一7 (a) に小型 UAV 搭載センサによる位置姿勢を用いて、地表面に画像を投影することで作成した画像地図、図一7 (b) に提案手法により作成した画像地図を示す。これらから、提案手法では整合のとれた広域の画像地図を生成できていることが確認できる。以上により非常に高分



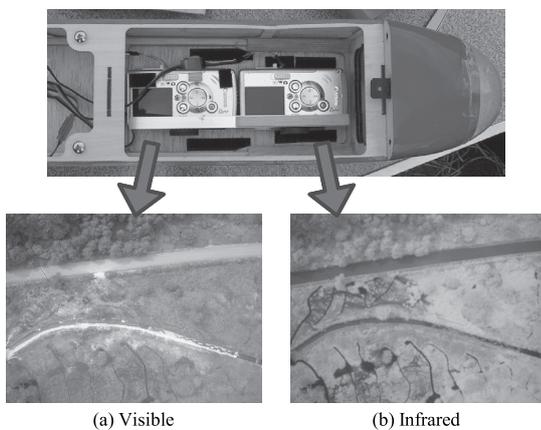
(a) 搭載センサによる画像地図 (b) 提案手法による画像地図

図一7 位置姿勢の最適化計算により作成した画像地図

解能な小型 UAV の画像を用いて、様々な広域のモニタリングや調査を行うことが可能となる。

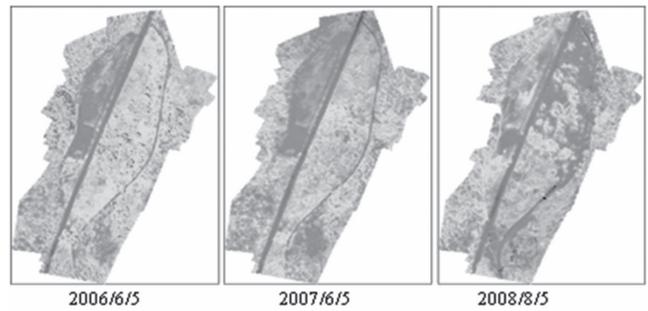
(b) 植生観測への UAV の応用

森林等の植生や農作物の生育状況を効率的に把握する手段の実現は、農林業従事者の高齢化に向けて大きな課題となっている。そこで、小型 UAV を用いて植生観測を行うことを目的とし、可視・近赤外の波長が異なるデジタル空撮画像から高分解能な植生の分類図を自動で生成するシステムの構築を行った<sup>3), 4)</sup>。図—8に示すように、空撮用の可視・近赤外カメラを搭載することで、同一場所において波長の異なる画像を取得可能である。近赤外画像と可視画像と比較を行うことで、植生の分布を効率的に把握することができる。具体的には、前述した手法により、観測区域全体の画像地図を自動で生成する。また、可視・赤外の画像地図の重ね合わせにより植生指標の算出を行う。ここで、植生指標として、人工衛星や航空測量による植生観測で広く用いられている、正規化植生指標 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) を採用した。NDVI は、植物中の葉緑素による近赤外波長と赤波長の反射の特性を利用した指標である。



図—8 可視・近赤外画像の取得

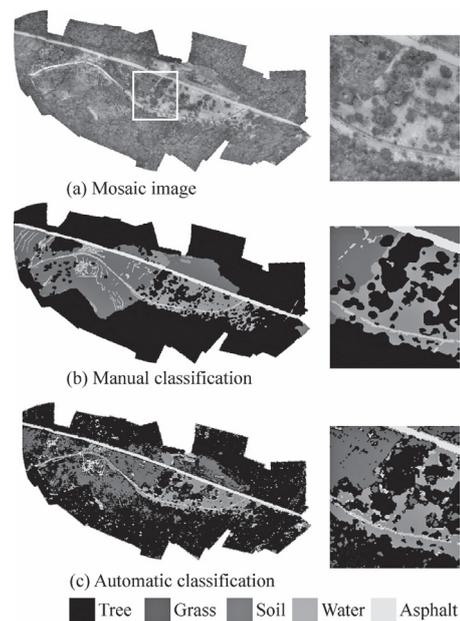
実験環境である広島県北広島町の八幡湿原では、自然再生事業が実施されており、樹木の伐採や導水路の敷設等が行われ、植生が変化している。そこで、このような植生の変化を把握することを目的とし、2005年から約4年間で6回にわたり、本システムによる観測試験を実施した。対象とする観測区域は、南北方向に約800m、東西方向に約500mの範囲である。観測試験の結果として、提案手法により生成したNDVIの画像地図の変化を図—9に示す。対地高度約120mの飛行でNDVI画像の分解能は約5cm/pixelとなった。さらに各年のNDVI画像を比較することで、樹木の伐採にしたがって土壌が露出し、植生指標が変化している



図—9 小型 UAV による NDVI 画像地図の比較

ことが確認できる。これにより、樹木、低草などの植生の活性度を、定量的に把握することが可能となる。

さらに、作成した画像地図を用いて地表面の自動分類を行った。生成した画像地図の各チャンネルにおける画素値を特徴量とし、特徴空間を用いて分類を実行した。扱う特徴量は、搭載カメラにより取得した可視、近赤外、そしてHSV表色系を使用している。分類のアルゴリズムには、一般に知られるk-means法にクラス重心の移動を適切に行い、分類エラーを低減するための追加条件を加えたアルゴリズムを使用した。図—10(b)に比較用として手動による分類を行った例、図—10(c)に提案手法により自動分類を行った例を示す。これらの図の比較より、樹木、草本、水域といったレベルでの土地被覆分類図が自動的に作成できることが確認できる。この分類図作成には手動では約5時間を要したが、提案する自動生成では僅か3分間と大幅に高速化できることが確認された。また、現時点では樹木や植物の種類ごとの詳細な分類は困難であるものの、水域や草本領域の面積の変化や繁殖状態などを、自動的に計測することが可能となった。



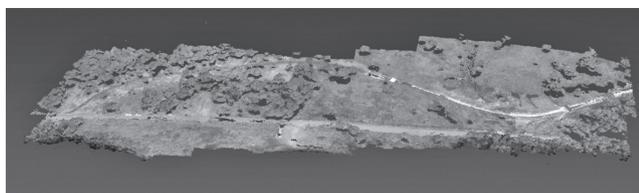
図—10 小型 UAV による植生判別の結果

### (3) UAVによる三次元計測

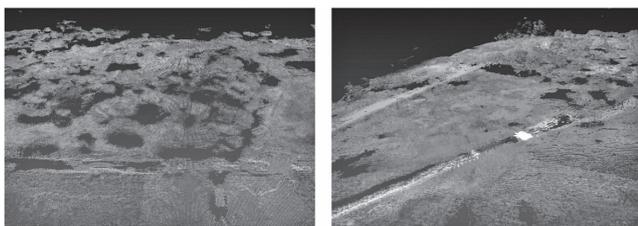
災害時の建物の被害等を正確に把握するためには、地物の三次元の位置情報の計測が必要となる。また、地物の三次元情報を取得することで、崖崩れ、土砂崩れ等からの、復興計画の立案や復興作業への利用や、防災のためのハザードマップの作成に役立てることができると考えられる。

そこで、小型 UAV を用いて撮影した連続画像にモーションステレオを施すことで三次元計測を行う手法を構築した<sup>2)</sup>。本手法では、小型 UAV の位置姿勢角変化による画像の歪みを高い精度で補正するため、(2) (a) で述べた、連続撮影画像中の画像特徴点の再投影誤差の最小化による位置姿勢の補正手法を用いる。さらに、修正した位置姿勢を用いて、連続空撮画像からステレオペア画像を作成し、モーションステレオを適用することで環境の三次元復元を行った。モーションステレオの際の画像間の対応点の決定のロバスト性を改善するため、色情報を考慮したウィンドウマッチングを行う。具体的には、画像間の対応点を決定する際に、注目ピクセルだけではなく、その周囲色情報も考慮して、対応点決定、誤対応の除去処理を実施した。

図-11 (a) に生成した三次元画像の全体図を示す。環境は前述した広島県北広島町の八幡湿原であり、本計測では、高度 100 m からの計測を行い、平面分解能 20 mm、奥行分解能 150 mm という非常に高分解能の三次元計測を実現した。また、三次元画像の拡大図を図-11 (b) に示す。このように小型 UAV を用いて環境の高分解能な三次元計測を行うことで、崖崩れの土砂体積の計測や、ハザードマップの作成などの防災分野への応用や、堤防の高さ管理や樹木の高さ測定など様々な分野での応用が可能となると考えられる。



(a) 全域の三次元復元結果



(b) 三次元復元結果の拡大図

図-11 小型 UAV による三次元復元結果

## 4. おわりに

本論文では、小型 UAV の概要、及び、それを用いた簡易な計測に関する紹介を行った。小型 UAV の特徴は、手投げが可能で大きさがでありながら、約 500 グラムのペイロードを確保し、完全に自動での飛行が可能である。取得した空撮画像に、各種センサ情報と複合した画像処理を施すことで、災害情報収集や、植生観測、三次元計測など、地図情報と連携した地物解析が可能でシステムを構築した。これらの簡便な地物計測手法の、簡易的な航空測量や防災などの分野での応用が期待される。

### 謝辞

本論文で用いている小型 UAV は、三菱電機(株)、東京大学鈴木・土屋研究室により共同で開発されたものである。また、広島県八幡湿原での空撮は、広島県立総合技術研究所林業技術センターの協力により行われた。

JCMA

### 《参考文献》

- 1) 辰巳薫, 他: 小型自立飛行ロボットシステムの開発と飛行試験, 日本航空宇宙学会誌, Vol.54-625, pp.41-45, 2005.
- 2) 鈴木太郎, 他: 小型自律飛行ロボットを用いた災害時における情報収集システムの構築, 日本ロボット学会誌, 26 (6), pp.553-560, 2008.
- 3) 三好大地, 他: 小型自律飛行機による植生観測手法の構築, 第9回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2008.
- 4) 桑原佑吉, 他: 小型自律飛行機による可視・近赤外画像を利用した植生評価システムの構築, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2009.

### 【筆者紹介】

鈴木 太郎 (すずき たろう)  
早稲田大学  
理工学術院  
日本学術振興会特別研究員 (DC)



橋詰 匠 (はしづめ たくみ)  
早稲田大学  
理工学研究所  
教授



鈴木 真二 (すずき しんじ)  
東京大学大学院  
工学系研究科 航空宇宙工学専攻  
教授



# 準天頂衛星測位システムのカーナビ・ITS 利用の動向

瀧口 純一・島 嘉宏

現在、GPS 測位はカーナビ等で広く使われているが、都市部においては、高層ビル等により測位信号が遮られて、測位率が著しく劣化する。準天頂衛星は、常時高い仰角にある測位衛星として、GPS 衛星と同様の測位信号を送信することにより、GPS 衛星と組み合わせて測位率の改善を図ると共に、高精度の補強情報の放送により、いつでもどこでも高精度測位サービスが受けられるようになる。

本論文では、準天頂衛星初号機「みちびき」のアーバンキャニオンにおける補完・補強機能の効果を示すとともに、準天頂衛星利用による、カーナビや安全・安心、エコ等の ITS 分野での多種多様なサービスへの期待について述べる。

キーワード：GPS、準天頂衛星測位システム、センチメートル級測位補強システム、低速移動体端末

## 1. はじめに

GPS (Global Positioning System: 全地球測位システム) は、米国が開発した衛星航法システム (GNSS: Global Navigation Satellite System) で、現在、身近にはカーナビゲーションに広く使われている他に、船舶や航空機の航法支援、測量や地盤監視などに用いられている。衛星航法システムは、複数の測位衛星が位置等の情報を含む航法メッセージを重畳した測位信号を地上に向けて送信 (放送) し、その測位信号を受信した受信機が自己の位置を求めるもので、測位衛星群 (宇宙セグメント) とそれらを管制するいくつかの地上局 (地上セグメント) および利用者側の受信機を含むアプリケーションシステム (ユーザセグメント) から構成される。GPS のほかに、ロシアの GLONASS (Global Navigation Satellite System) が現在実運用中で、日本の準天頂衛星システム、欧州の Galileo、中国の Compass、インドの IRNSS (Indian Regional Navigational Satellite System) が開発中である。

GNSS における位置測定の方法は、測位衛星から送信される測位信号を測定点においた受信機で受信して、測位衛星と測定点との距離を求め、三角測量の原理で測定点の位置を求めるものである。測定点の座標値 (x, y, z) と受信機時計誤差を未知数として求めるため、測位するためには通常 4 機以上の測位衛星が必要となる。GPS 衛星は、6 つの軌道面に各々 4 機配置の合計 24 機の衛星と予備の衛星が地球を周回して

いるが、時間帯により日本上空での可視衛星数が減少し、測位精度に影響する衛星の幾何学的配置 (GDOP: Geometrical Dilution of Precision) が劣化する場合があります。高精度でかつ安定な測位が全ての時間帯ではできないのが現状である。さらに、高層ビル、高架、樹木や歩道橋など、測位衛星との見通しを遮蔽する建造物が多々ある都心部では測位率が著しく劣化する。また、測位衛星から受信機まで電波が到達する経路には、電離層や対流圏での電波特性の変化により電波伝搬の遅延が生じる。これにより、測位衛星と受信機までの距離の測定誤差が生じ、位置精度が劣化する。そのため、航空機、船舶等の各種移動体の位置管理システムを現状の GPS のみで構築するには問題がある。

その解決策として、準天頂衛星システム (QZSS: Quasi-Zenith Satellite System) は、常に天頂付近にあるもう 1 機の GPS 衛星としての役割と共に、測位精度を向上させるための補強情報を日本全国およびその近海の利用者に放送する役割を併せ持つ。前者を、補完機能、後者を補強機能と呼ぶ。特に、日本の都市部においては、高層ビルに遮られて捕捉可能な GPS 衛星が制限されるので、常時高い仰角にある測位衛星があれば遮られることがないので都合が良く、そのため衛星として準天頂衛星が適している。準天頂衛星が GPS 衛星と同様の測位信号を送信すれば、GPS と組み合わせて運用することで、可視範囲内において幾何学的配置が改善される。同時に、準天頂衛星から補強情報を放送すれば、ビル街や山間地でも受信可能であ

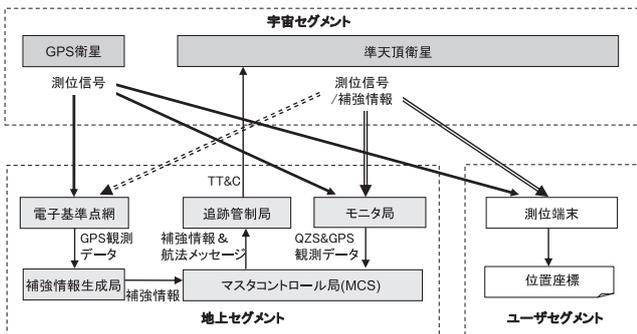
るので、いつでもどこでも高精度測位サービスが受けられるようになる。

本報告では、アプリケーションを想定した実フィールドにおいて、準天頂衛星初号機「みちびき」の補完・補強機能の効果を評価した結果について述べる。

## 2. 準天頂衛星測位システム

### (1) 準天頂衛星測位システムの概要

準天頂衛星を利用した衛星航法システムの構成を図一1に示す。



図一1 準天頂衛星測位システム

地上セグメントのモニター局は、準天頂衛星とGPS衛星の測位信号を常時モニタし、準天頂衛星&GPS観測データとして、マスタコントロール局(MCS)に伝送する。MCSでは、各衛星の軌道決定や時刻管理を行い、航法メッセージを作成する。一方、現状の電子基準点網は、GPS観測データのみの配信となっているため、補強情報生成局では、電子基準点網で受信したGPS観測データを用いてGPSの補強情報を作成する。航法メッセージと補強情報は、MCSから追跡管制局を経由して準天頂衛星へ向けてアップリンクされる。利用者は、GPS衛星と準天頂衛星から送られる測位信号を観測すると共に、準天頂衛星から送られる補強情報を受信して高精度な測位を行う。準天頂衛星は、補完機能と共に補強機能を併せ持つことが特長である。

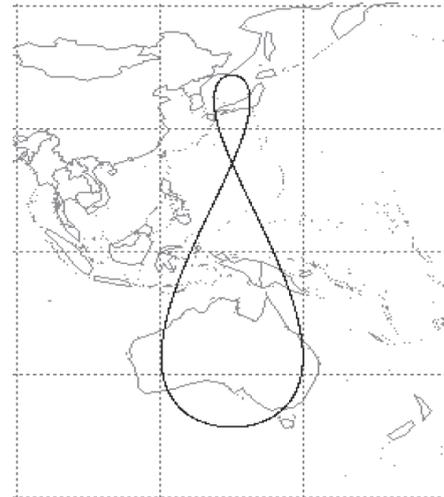
### (2) 補完機能<sup>1)</sup>

準天頂衛星のGPS補完サービスは、米国が運用するGPSと組み合わせ、準天頂軌道を利用して衛星の幾何学的配置を改善することにより、都市部や山間部における測位可能エリアおよび時間を増大させることを目的とする。

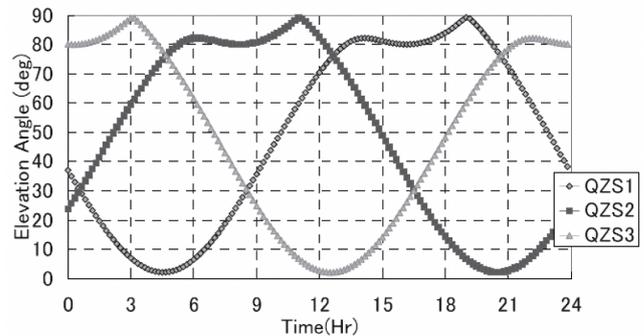
準天頂衛星から送信するGPS補完に関する信号は、近代化GPSとの共存性、相互運用性を確保することから、近代化GPS信号をベースとしており、L1C/A

信号、L1C信号、L2C信号、L5信号を送信することとし、そこからの仕様変更を最小限に抑えることとしている。

準天頂衛星は、1日で軌跡が元に戻る非対称8の字軌道を取り、複数機構成で日本上空において常に70°以上の高仰角を確保する軌道配置である。図一2は、準天頂衛星の地表面上の軌跡であり、図一3は、3機の組み合わせの場合で、東京においては、24時間常時どれか1機は仰角70度以上が確保できる。



図一2 準天頂衛星の地表面上の軌跡 (IS-QZSSより)



図一3 東京から見た準天頂衛星の仰角 (IS-QZSSより)

### (3) センチメートル級測位補強システム

準天頂衛星初号機「みちびき」では、センチメートル級測位補強システムにSSR方式<sup>2)</sup>を採用し、準天頂衛星の独自の実験用信号であるLEX信号を用いて移動体対応のセンチメートル級測位補強情報を全国に配信することができる。補強情報生成局において、電子基準点網のGPS観測データに基づいて状態空間モデル(SSM: State Space Modeling)と呼ばれる広域の動的誤差モデルを使用し、このモデルから算出した各誤差量をSSR(State Space Representation)として生成する。さらに、このSSRをLEX信号に適合するために各誤差の物理的特性を利用して2kbpsに圧縮し、

センチメートル級測位補強情報（コードド SSR メッセージ）として準天頂衛星より日本全国に放送するのである。

### 3. 準天頂衛星による効果の検証

#### (1) 評価システム（ユーザセグメント）

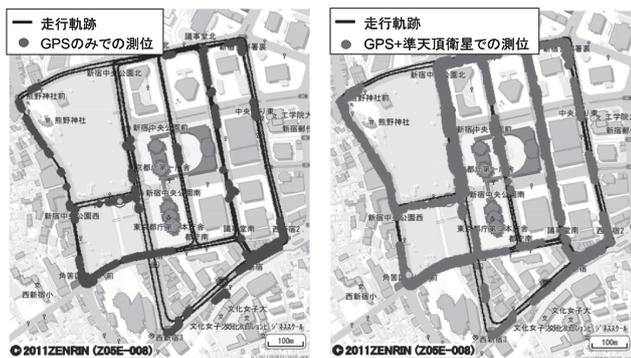
準天頂衛星からの測位信号が受信できる受信機（LEX 信号受信機）を搭載した高精度 GPS 移動計測装置（以下、MMS：Mobile Mapping System）で、高層ビルにより衛星測位が困難な場所が多い新宿副都心および高層ビルと細街路を含む繁華街である銀座にて測位率を測定する実験を実施した<sup>3)</sup>。MMS を用いた評価システムの構成を図一4に示す。



図一4 補完機能の評価システム

#### (2) 準天頂衛星による測位率改善

新宿と銀座で準天頂衛星の補完機能を含めたディファレンシャル（コード差分）測位を実施した。その結果、準天頂衛星を利用することで、測位率を大きく改善できることを確認した。新宿の場合は、28.5 から70.0%，銀座の場合は、39.5 から69.1% となった。図一5に新宿におけるGPSのみの測位結果（a）、GPS+準天頂衛星の測位結果（b）を示す。



(a) GPSのみによる測位 (b) GPS+準天頂衛星による測位

図一5 準天頂衛星による測位率向上

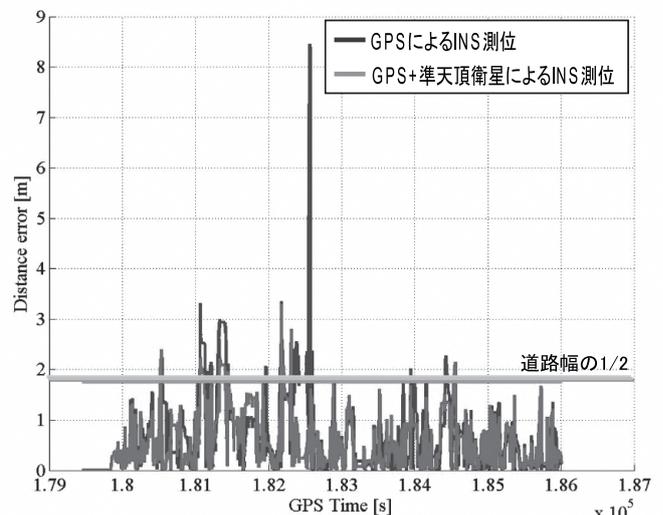
#### (3) INS 複合による効果

高精度カーナビゲーションを目指し、準天頂衛星を利用したディファレンシャル（コード差分）測位とMEMS 級 INS の複合測位を実施した。準天頂衛星により70%近い測位率を確保できるようになり、残る30%については通常のカーナビゲーションで使用している低コストのジャイロスコープ等の慣性情報を取り込むことにより、100%の測位率が実現可能である。新宿と銀座におけるINS複合測位結果をそれぞれ図一6（a）、（b）に示す。GPSのみによるINS測位に比べ、準天頂衛星も加えた場合、周囲の建物のマルチパスの影響を受けない高仰角の準天頂衛星からの高品質な測位信号により、マルチパスの影響を除くことで誤差のピークが下がり、マップマッチングなしで車線レベルの判定が可能になることがわかる。図一7に銀座のINS複合による測位精度の評価結果を示す。測位精度は、車線判別（車線幅：3.5mの1/2以下）可能な測位精度が期待できることを確認した。



(a) 新宿のINS複合測位 (b) 銀座のINS複合測位

図一6 INS複合による効果



図一7 INS複合による測位精度

(4) センチメートル級測位補強の効果

LEX 信号により、リアルタイムでセンチメートル級測位を行う、低速移動体端末 (LEXR) のシステム構成を図-8 に示す。本 LEXR、アンテナ、LEX 信号受信機を MMS に搭載して、移動時の1秒ごとの車両位置を計測し、測量で用いられているセンチメートル級の測位が可能な FKP (面補正パラメータ) 方式<sup>4)</sup> と計測結果を比較した結果を表-1 に示す。表-1 記載のとおり、移動時の計測においても、測量において用いられている方式と同等の性能を確認できた。また、図-9 に時速 100 km の際の LEXR 精度を MMS を真値として評価した結果を示す。本結果から高速走行時



図-8 低速移動体端末 (LEXR)

表-1 移動体を用いた測位精度 (FKP 方式との比較)

評価項目		差異
水平方向	平均	0.6 cm
	標準偏差	1.2 cm
高さ方向	平均	1.4 cm
	標準偏差	1.9 cm

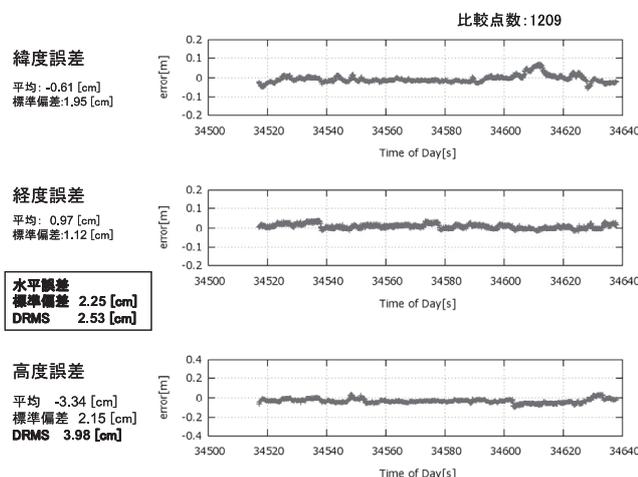


図-9 時速 100 km 走行時の LEXR の位置精度

においても水平誤差は2センチ弱であり、測量級の精度を保持できていることがわかる。

4. 新たに創造が期待される新サービス

従来のカーナビでは、マップマッチングと称する地図上の道路に車両位置を合わせ込む技術等により連続的に位置情報を表示しているが、右折・左折等、車線を識別するレーンナビゲーションは測位精度が得られず実現が困難だった。今回、準天頂衛星「みちびき」の良好な測位率改善効果に加え、車両に搭載したジャイロスコープを使用して、衛星不可視時の測位誤差を補正する処理を施すことで位置標定精度の向上を図り、車両が走行する車線をマップマッチングなしで判別できることを確認できた。今後、衛星測位可能エリアの拡大は、カーナビだけに留まらず、自動車の安全運転支援を目的とした車間制御やレーンナビゲーション、さらにはレーンナビゲーション実現に必要な高精度車線地図の効率的な作成手段として活用されてゆくと考えられる。さらに、センチメートル級の高度情報を含む3次元の高精度車線地図が効率良く生成できることにより、ハイブリッド車や電気自動車の性能改善にむけた経路計画や、下り坂を利用してバッテリー充電に切り替えるブレーキ回生の効率化等、エコ運転支援(燃費改善)も可能になる。

図-10 に測位率改善や精度向上に伴う、カーナビや ITS 分野での新サービスのロードマップ<sup>5)</sup>を示す。現状は、マップマッチングを前提にした精度 5m 程度の GPS ロケータ(車載端末)が使用されている。今後は、準天頂衛星利用によるメートル級中精度ロケータが登場し、信号制御の高度化や安全運転支援のアプリケーションが市場に現れ、さらには、センチメートル級高精度ロケータの登場により、高速での動的な相対位置の把握が可能になる。そのため、制御対象も“車両単独”から、高速道路での複数車両を対象とした“交通流(車群)”に移行し、複数車両の隊列走行や合流支援のアプリケーションが現れると考えられる。

5. おわりに

準天頂衛星「みちびき」の補完機能と補強機能のフィールド試験の評価を実施し、補完機能では、GPS衛星のみの場合に比べ、準天頂衛星を組み合わせることにより、測位率が大幅に改善できた。また、補強機能では、時速 100 km の高速走行時においても、従来の測量で用いられている方式と同等の性能を確認できた。

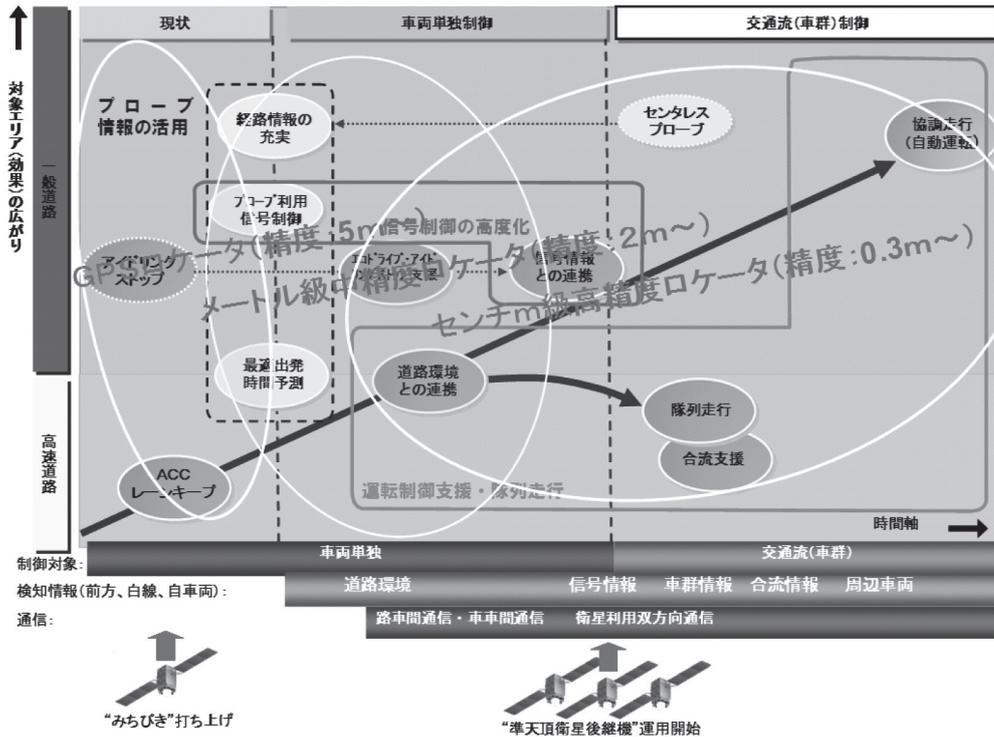


図-10 カーナビ、ITS分野における安全・安心、エコの新サービス

今後、準天頂衛星「みちびき」は、測量、情報化施工、IT 農業という既存の GPS 応用分野に加え、高精度レーンナビや高速道路での複数車両の隊列走行、合流支援等の多種多様な新規 ITS 関連サービス創出への貢献が期待される。

JCMA

《参考文献》

- 1) 宇宙航空研究開発機構, “準天頂衛星システムユーザインタフェース仕様書 (IS-QZSS) 1.2 版”, 2010.
- 2) 齋藤他, “「みちびき」を利用したセンチメートル級測位補強システムの開発”, 第 54 回宇宙科学技術連合講演会, 2010.
- 3) “「みちびき」による補完効果の都市部における実証実験の結果について”, [http://www.jaxa.jp/projects/sat/qzss/index\\_j.html](http://www.jaxa.jp/projects/sat/qzss/index_j.html)
- 4) 臼井澄夫, “FKP 方式による高精度 GPS 測位サービス”, 日本航海学会 GPS 研究会, pp.61-66, 2004.
- 5) 経済産業省, 準天頂衛星を利用した新産業創出研究会 (第 2 回) - 配付資料  
[http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/seisan/juntenchouisei/002\\_haifu.html](http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/seisan/juntenchouisei/002_haifu.html)

【筆者紹介】



瀧口 純一 (たきぐち じゅんいち)  
三菱電機㈱  
鎌倉製作所 技術部  
準天頂測位専任部長



島 嘉宏 (しま よしひろ)  
三菱電機㈱  
鎌倉製作所 技術部 機動開発課

## 一般報文

# 日本一を目指す名古屋国道の現場力（その2）

## 官民の対等なパートナーシップの形成（不調不落対策から、さらなる展開へ）

高橋 敏彦

平成22年3月号に「入札参加者ゼロの工事の解消を目指します」と題して名古屋国道事務所の不調不落対策を掲載し、名古屋国道の不調不落の発生確率51%（入札の2回に1回は不調不落が発生するというもの）という驚異的な数値に挑戦した。そして、結果は不調不落をゼロにすることができた訳である。控えめに言うと、これは、マイナス状態（不調不落の発生）を、ゼロ状態（不調不落がない）に戻したものと言える。今回のテーマは、「官民の対等なパートナーシップ」を全面に進め、ゼロ状態をプラス状態にするための取り組みを報告する。キーワード：官民の対等なパートナーシップの形成、不調不落対策、工期遅延

### 1. 「官民の対等なパートナーシップの形成」

「官民の対等なパートナーシップの形成」の言葉は、私の記憶では、遙か昔から建設業の構造改善で使われていた言葉のように思う。最近では、意味が異なるが、「官民のパートナーシップ」という言葉が、PFI（Private Finance Initiative）やPPP（Public-Private Partnership）でよく使われる。

22年3月号に示した不調不落対策において、「官民の対等なパートナーシップの形成」は重要な部分を占めている。今回の取り組みは、まさにこの「官民の対等なパートナーシップの形成」を前面に押し出して官民が話し合い、官民にかかる問題点をあぶりだすことが目的であり、これにより、低廉かつ良質な社会資本の提供に資するものと考えられる。

### 2. 「官民対等」の現実

そもそも、官（発注者）と民（受注者）は対等であることとされている。しかし、現実を見ると対等であると声高らかに言うことを憚ってしまうのではないか。

例えば、交差点協議が当初9月末に終了する予定で工事を発注したとしよう。何らかの要因で、協議が長引き、結果として10月末になった場合、当該箇所の工期が1ヶ月影響を受けることになる。これに対し、通常官が行う対応は、①請負者に頑張ってもらい当初予定通りの工期で終了する、または、②工事の中断手続きを取り当初の工期を1ヶ月延長して工事を終了す

るといことであろう。①の対応は、官の問題点を民に付け替えたことになる。②の対応は、官の問題を民に押し付けなかったように見えるが、そもそも工期が1ヶ月伸びるといふ新たな問題を発生させている。

工期が1ヶ月伸びた場合の民の影響は、①現場に事務所を構えている場合、管理技術者や現場代理人、アルバイト等の賃金及び賃金に対する経費、コピー機などのレンタル代、事務所賃貸料等100～300万円の経費が必要となると建設業者は主張している。一方、工事の一時中止のガイドラインで支払われる費用は数十万円止まりであろう。また、②技術者の計画的な配置ができないなどの問題も生じてくる。管理技術者は専任である。例えば工期末が12月の場合、うまくいけば1月から始まる工事の受注が可能になる。しかし、12月の工期が伸びた場合、1月からの工事は受注できなくなる。この様な問題を解決するため、工期がある程度伸びても対応可能なよう管理技術者の予定に余裕を持たせることが考えられるが、これは、技術者の配置を非効率にすることを意味する。

従って、正しい対応案は、官が自ら行う行為の中で1ヶ月工期が短くなるよう対応するか、または、そもそも協議を1ヶ月遅れないで予定通り終了させることであろう。

### 3. なぜ協議が遅れるのか

ではなぜ関係機関との協議が、1ヶ月遅れるのであろう。考えられる理由はいくつか存在する。

①協議を9月末に終了するのが無理にもかかわらず、

発注担当者が深く考えず設定し、上位のチェックをすり抜け発注した。

- ②発注担当者が設定した協議について、9月末に終了するという前提が、協議担当者によく情報伝達されなかった。
- ③協議が9月末に終了する前提を、協議担当者は十分知っていたが、自分のペースで協議を進めたため協議完了が遅れた。

などが考えられる。実際は、これらの複合であろう。

いずれにしても、協議が遅れば民に影響が出るということを軽く考えていることに問題がある。民の原因による工期の延長に対しては厳しい対応を取るにもかかわらず、自らが原因の場合、工期延長をすれば問題は解決すると軽く考えているのではないか。これでは、官民対等とは言えない。

本来、官が原因の工期の延長が発生しないように工期を設定することが必要であり、仮に遅れが発生した場合、官の努力で遅れを取り戻す必要がある。「時は金なり」、この言葉に対する官の意識は薄い。

#### 4. 「準備会」の開催

このような発想を改善するためには、徹底的に自らを見つめ直すこと、そして、受注者である民の意見を聞くことが必要である。このため、名国は、「官民の対等なパートナーシップ形成検討会」の設置を目指し、平成23年4～5月の間、準備会を開催し意見交換を行うこととした。準備会のメンバー選定は、中部建設青年会議所にお願ひし、意欲のある県内の若手経営者の有志とした。メンバー数は、多くなりすぎると十分な意思疎通や意見交換の時間が持てないことを考慮した。そして、本検討会が、必要か否か、機能するか否か。どのような話題を取り上げるかなど、3回の意見交換を行った。

意見交換の中で、指摘された内容で、私が「あるある」と思い、本検討会を行うことを確信した例を幾つか紹介しよう。

##### 事例1

幾つかの同じ構造物の発注を、工期や予算の関係で2つ以上に分割し、年度を分けて発注する事例である。初めに発注した構造物で、不都合が発見され、協議を行い問題なく工事が終了した。次年度に、別の工事を発注する場合、前年度に発見された不都合を改善し、仕様を見直し発注するのが当然と考えるが、残念ながら官の発注は、前年度と同じ条件で行われる。すると、

当然、同じ不都合が発生し、協議や書類作成を行うことになる。受注者から見れば、全く無駄な協議を強いられることになる。

##### 事例2

先行する工事があり、その工事の終了後、別工事を行う事例である。

後から行う工事を受注した会社が現場に乗り込もうとすると、先行する工事が遅れ、先行工事からの引き継ぎが当初の予定より2ヶ月遅れる場合がある。この場合、後に受注した会社の工期が足りなくなり、しわ寄せが発生する。発注者はなぜ現場状況を把握せず、その様な工期設定を行うのであろうか。

##### 事例3

公務員にかかわらず、組織には人事異動はつきものである。しかし、監督官、係長、現場技術員すべてが同時に異動する場合がある。この様な場合、請負者は、新任担当者に現場特性を理解してもらうため多くの時間を必要とする。また、前任者との間で決定した事項の説明を初めから求められたり、最悪の場合、改めて協議が発生する。同時異動を行わないか、長期間のしつかりとした引き継ぎを行ってもらわないと現場は大変な苦勞を強いられる。

#### 5. 「官民の対等なパートナーシップ形成検討会」の設置

この様な事象が発掘されたことにより、改めて、「官民の対等なパートナーシップ検討会」が重要であると認識し、6月9日第1回「官民の対等なパートナーシップ形成検討会」を行うに至った。会議のとりまとめは長く時間をかけたくないことから9月末とした。記者発表を記載する。

平成23年6月28日 名国記者発表資料より

会議目的

名古屋国道事務所と中部建設青年会議所愛知県支部は、低廉かつ良質な社会資本の提供のためには、発注者と受注者の一層のパートナーとしての認識が重要であるとの観点から、「官民の対等なパートナーシップ検討会」を設置し、平成23年6月9日に名古屋国道事務所にて第1回を開催した。

公共事業の発注者と受注者は、対等な立場にあることが原則である。発注者と受注者は、入札、契約から完成に至るまで様々な事務手続きや協議を行うことになるが、これらの共通認識を高め、課題に対し改善を考えることが、低廉かつ良質な社会資本の提供に資するものとする。この

ため、お互いが「対等なパートナー」として、業務上の課題に対し意見交換、事例研究を行うことにより、改善策を検討することとした。

本検討会を進めることにより、発注の透明化、適正な競争が一層促進されるとともに、効率的な事業が推進され、低廉かつ良質な社会資本の提供に資するものと期待している。

第1回の主な議事内容

- (1) 「官民の対等なパートナーシップ形成」検討会の設置
- (2) メンバー

中部地方整備局名古屋国道事務所	事務所長他 3名
中部建設青年会議（㈱加藤建設、太啓建設㈱、中部土木㈱、長坂建設興業㈱）	各社代表取締役他1名

- (3) スケジュール 本検討会は9月にとりまとめ
- (4) 議題については、当面下記を検討
  - ①工期関係、②入札、積算、変更、協議関係、③その他

6. おわりに

私は3回の準備会を終え、第1回の検討会を最後に異動することとなったが、方向性を明確に示すことができたことは幸いである。本稿が掲載される時にはすでに検討会がまとまっているかもしれない。その件については、名古屋国道の対応に任せたいと考える。

建設業者は官の重要な「パートナー」である。「パートナー」の意見にはいつも謙虚に耳を傾けなければならない。一方、当然のことながら、公務員は国民の公僕である。耳に「国民の常識というフィルター」をかけて建設業者の意見を聞かなければならない。無茶を聞く必要はない。かといって耳触りのいいことしか言わない者だけをメンバーにするのもいけない。そういう点では、我田引水ではない、しっかり意見を持った者がメンバーになっていると考えている。本件を進めるに当たって、中部建設青年会議の有志の面々には心から感謝申し上げる次第である。

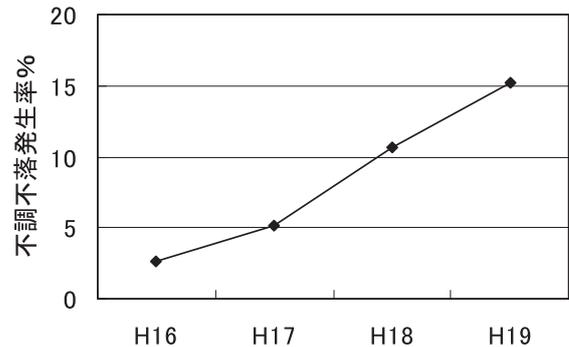
なお、事務所のトップが、年1、2回建設業協会等と意見交換するにとどまることなく、常に積極的に地域の建設業の方々と意見交換し、自らを振り返ることが全国に広がることを期待し寄稿する次第である。

参考に22年3月号の不調不落対策について、分かりやすく取りまとめ直したので下記に記載する。

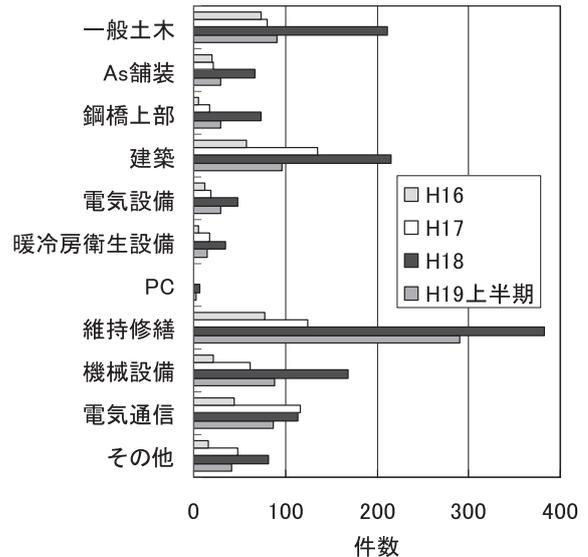
《参考》 「名古屋国道の不調不落対策」

1. はじめに

全国の地方整備局が発注する、工事の不調不落の状況は平成16年度の2.6%から平成19年度の15.2%と6



図一 不調・不落発生率（全地整）



図二 工事種別々不調不落件数（全地整）

倍に増加している。工事種別別の発生件数で見ると、維持修繕工事が多い。

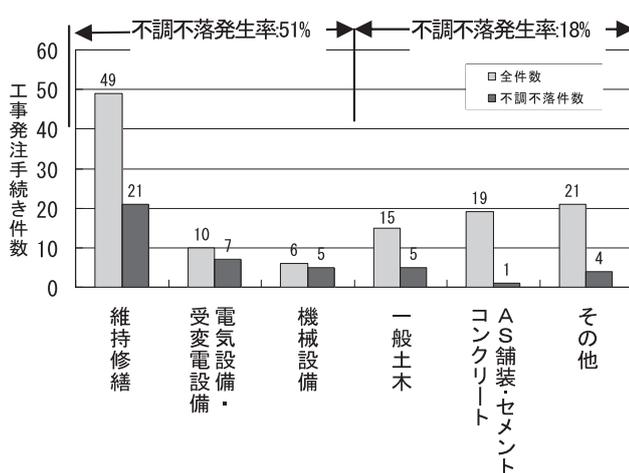
不調不落は、多くの問題点を抱えている。具体的には、①発注者が工事を発注する理由は、適切な道路サービスという行政サービスを実現するためであり、受注者が決まらなければ、そのサービスを提供することができない。次に、②不調不落が発生すると、再発注を検討するための負担や、再発注を進める手続きの負担等新たな行政負担が発生する。また、③これらの手続きに時間が必要なため、単年度予算の工事の工期が厳しいものになり、再発注でたとえ受注者が現れても品質の高い工事が行いにくい、そして④発注が遅れることから年度末に工事が集中し、路上工事問題に拍車をかける。さらに、⑤予算執行が遅れ、経済効果も低下させる。

2. 名古屋国道事務所の不調不落

第1回でも書いたように、名国の管理する道路は圧倒的に長く、また、交通量も多い。これらの道路を管理するため、多くの維持修繕系の工事を発注する必要

があるが、平成19年度の不調不落の状況は、全国を上回る惨憺たる状況であった（図—3参照）。

特に、電気、機械を含む維持修繕系の不調不落の割合は5割を超え、2回に1度しか入札が成立しない状況であった。これほど多くの不調不落が発生しているにもかかわらず、対策は、発注内容の見直しや直接工事費の見積もりを導入する程度のものであった。



図—3 名古屋国道の不調不落（H19年度）

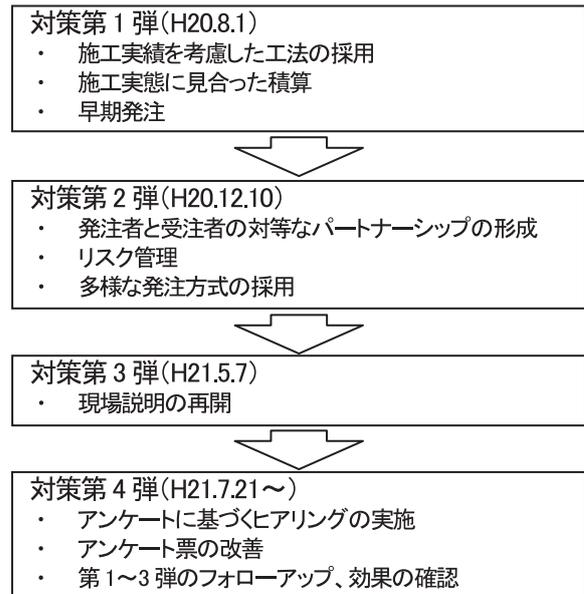
### 3. プロジェクトチームの立ち上げと機動的な対応

このため、この不調不落問題に焦点をあて、総合的な不調不落対策を策定することが重要と考え、平成20年度早々に、所内にプロジェクトチームを立ち上げ、対策に乗り出した。メンバーは所長、副所長、管理2課長、防災情報課長の4人である。内部や外部との情報収集や意見交換を行いながら素早い行動を心がけ、施策の展開を機動的に行った。対策は大きく4段階からなっている。第1弾は、素早い対策をとる考えで平成20年8月に記者発表した。その頃には既に施策の中心的存在となる官民の対等なパートナーシップを軸とした第2弾の構想を描きつつ関係者との意見交換を積極的に行い第2弾の記者発表を平成20年12月に行った。第3弾はこれらの対策にもかかわらず不調が続いていた工事のために行ったものであり、現説の復活である。第4弾は第2弾で行ったアンケート結果等への対応や全体のフォローを行っている。これらを時系列的にまとめたものを表—1に記載する。

### 4. 総合的な不調不落対策

前段の時系列的なまとめを、項目別に見ると、大きく4つの対策にまとめることができる。

表—1 総合的な不調不落対策の経過



#### (1) 発注者と受注者の対等なパートナーシップの形成

##### ① 請負者アンケート及びヒアリングの実施

発注者と受注者は対等でなければならない。しかし、決定的に対等でないのは、工事終了後、発注者は工事成績で受注者を評価する。しかし、受注者が発注者を評価するというのではない（強いて言えば、不調不落が無言の評価かもしれない）。対等ならば、受注者が発注者を評価しなければならない。これは、一見発注者に厳しい結果をもたらすと考えられるが、レストランに行けばお客様アンケートというものがある。レストラン側は、この意見で改善を進め、良いサービスを提供し、客は増えることになる。レストランにとってはむしろ良いことである。同様に考えれば、受注者の意見で発注者側の問題を認識させ、これを改善すれば、組織も向上し、不調不落も減ると考えた。このため、名国は受注者全てに対し、請負者アンケートを実施し、常に受注者の意見が聞ける環境を整備した。アンケートの内容は、監督員の対応、契約図書、発注者の事務手続き、工事完成後の感想などである。

なお、辛口のコメントの匿名性を確保するため、アンケートの閲覧は所長と副所長のみとし、明記している。ただし、職員の意識改革、仕事の仕方の改善が必要なため、統計的にまとめたデータや意見は、対象職員に周知し、職員を集めた説明会を行っている。

##### ② 施工実態を考慮した工事成績評定

維持関係の工事は細切れの工事が多く、新設工事よりも見栄えが劣るものが多い。この結果として、評価が低くなる傾向があった。しかし、維持修繕工事は、

重交通の交通規制の中で工事を行う必要があり難易度が高く、容易ではないのが実態だ。このため、現行制度で可能な対策として、評価の際、維持修繕に馴染みにくかった項目に換えて維持修繕工事に馴染みやすい項目を追加するなど改善し、維持修繕の実態を的確に評価できるものとした。

### ③設計変更時の手続きの改善

受注後、工事の変更は、発注者の指示で行われる。指示といった瞬間、対等性は失われるであろう。そして、受注者は、変更金額も分からない。彼らとしては、「当初発注された内容だからあの金額（当初入札額）で受注したのに、違う仕事を同じ落札率で行えと言われても……」という思いがあるのだと思う。このため、対等な立場で変更の協議を行うこととし、協議成立後、指示を行う形に改めた。この様な内容を局と相談する中で、中部地整全体の施策となり、概算金額も提示することとなった。

### ④日常的なコミュニケーションの実施

アンケートの実施にともない様々な辛口の意見が出てきたが、その中に、発注者とのコミュニケーションがなかなか取れないというものがあった。具体的には主任監督員とのコミュニケーションが取りにくいというものである。このため、週に1度行われる受注者との打合せには必ず出席し、何か問題がないか意見交換を行うこと、現場にできるだけ出向き、現場での意見や問題点をいち早く把握することとした。

## (2) 受注者のリスクの軽減（施工条件の明確化）

工事受注にリスクは付きものである。そして、一般に、維持修繕工事は新設工事に比べリスクが大きい。これは、既に供用している道路上で工事を行うことが多く、重交通の中での工事であり制約が多いこと、また、関係者との協議、住民対応、道路埋設物の不透明さや設計条件の変更等により、当初と異なる施工や行程、新規項目の追加などリスクがあるからである。

過度に業者にリスクを負わせると不調不落の原因となる。このため、官と民の適切なリスク分担、リスク管理が重要である。

### ①工事中のリスク発生の抑制

工事中の変更はできるだけ少なくすることが基本である。このため、詳細設計等の精度を高めること、関係者事前協議はできるだけ工事着手前に終わらせることが重要である。また、コンサル成果がいつも大きく変更になるものについては過去の実績を大切にしたい。

### ②起きたリスクに対する官の適切な処理

関係者協議にともなう行程や工法の変更は、請負者

の責はないため、官が分担する必要がある。例えば、交差点付近の舗装は、関係者協議で分割施工の仕方が変わることがある。この場合、日当たり施工量を事前に明示し、積算方法に注意しておかないと、たとえ変更対象としても、積算が実態にそぐわないものになることが多い。事前の積算方法の確認が必要である。

### ③リスクの事前提示

これらの対策を行っても、どのようにリスクが低減されているか事前に示されていないと競争の平等性が担保されない。このため、全ての積算方法を明示するとともに、現場条件の関係で標準的な施工法の実施が馴染まないと思われる場合は、現場条件を適切に反映した工法を明示した。関係者協議の進捗は、現場を見ても分からないことから、公告段階で進捗状況を示すこととした。

### ④現場説明の再開

現場説明は、指名競争から一般競争への移行で、入札参加資料に置き換えられ、事実上実施されてこなかった。しかし、資料のみに頼ったことが不調不落の原因となっている可能性に着目し、現説を再開することとした。このため、公告文に現説を行う旨を記述した。過去の現説に対する批判に配慮し、説明は1社毎、前後で企業同士が顔を合わさないよう空白時間を作った。この方式は、効果が高いものの発注者側の負担も大きいため、Webダウンロードで説明を見られる方式も試行した。

表一2 リスクの軽減方法の例

項目	リスクの軽減方法の例
過去の実績の有効利用	通誘導員、信号機設置の員数
日当たり施工量の明示	交差点工事、夜間舗装工事
施工条件を反映した施工方法の明示	ひび割れ注入(充填法→低圧低速法) 足場設置期間(協議により考慮)
積算方式の明示	見積もり参考資料(基準書、特別調査、見積もり等)による明示
協議進捗状況の情報提供	追加特記仕様書(対象者、協議状況、協議完了時期)による明示

## (3) 多様な発注方式の活用

### ①一歩進んだ早期発注

19年度の不調不落の発生状況を分析してみると、年度当初より、年度後半に発生する傾向が多いことが見受けられた。これは、年度当初は、専任できる技術者が多くいるが、年度後半は専任できる技術者が限られている中で、箇所数が多く面倒な名国の工事を避けたがる傾向があるのではないかと言うことが想像される。このため、路上工事対策にも記述した四半期ベース(実際は、それ以上の月管理)の早期発注を実践した。

## ②技術者の効率的活用

年度末に発注する工事の場合、3月契約の工事でも配置予定技術者の専任が4月からで良いものは、「専任開始は4月××日からとする」と公告文に明記し、3月末まで別工事で専任している者の応募も可能とした。また、電線共同溝のように、工事発注後しばらくは占有企業者との工事調整のみで本体工事が動かない場合、管理技術者制度運用マニュアルの当面の弾力的運用として、その間の配置予定技術者は、本体工事の配置予定技術者と異なることを容認し、入札時の技術評価も本体工事の配置予定技術者のみで行うこととした。

## ③工事における修正設計の実施

現地に合わせた工事変更があった場合、請負業者に修正設計を行ってもらえることがある。従来、この修正変更図書の作成費用は、曖昧で変更対象としていないことがあったが、今回、変更対象に位置づけた。

## ④工事国債の活用

維持関係工事は1年365日必要なものがあり、この場合、単年度工事では4月1日契約、翌年3月31日工期となるが、国債を活用すると10月1日契約翌年9月31日工期の様な契約の多様化が図られる。このため、維持工事においても国債による複数年度にまたがる契約を行うこととした。

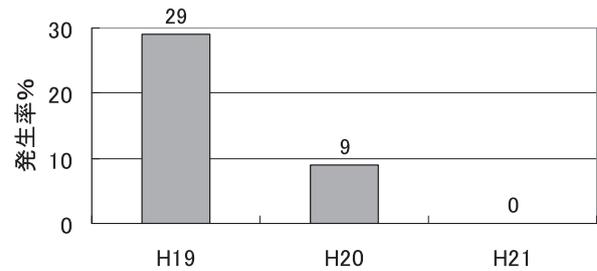
## ⑤公告の工夫

橋梁工事の護岸工事を得意とするのは、河川工事を得意とする者であることがある。この場合、公告の名称が「××橋梁工事」であったり、公告場所が名国であったりすると、この工事を得意とする者が公告を見ない恐れがあることから、工事名を「××川護岸工事(国道××号××橋)」としたり、近隣の直轄河川事務所や県土木事務所に公告文を掲示してもらうよう依頼した。

### (4) 広報の徹底

これらの対策を実施しても、多くの者にこの事実を知っていただければ入札の参加者は増えない。このため、記者発表、説明会、様々な関係者との会議の中でこの事実の広報に努めた。

特に、記者発表は、一般紙に掲載されることを目標とし、タイトルを本稿と同じ「入札参加者ゼロの解消を目指します」とした。結果は、日経、読売、中日新聞の3紙に掲載され、日経は184行の掲載となった。



図一4 名国の不調不落 (ダブリなし)

## 5. 対策効果

平成20年度は年度途中から対策を行ったため、比較しにくい点がある。このため、同一工事が再度不調不落になるダブリをなくしたものが図一4であり、図一3の数字と異なる点に注意していただきたい。対策効果は見事に現れた。

### 名国の不調不落対策 (項目のまとめ)

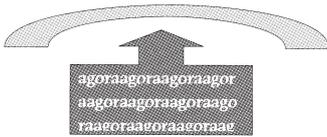
1. 発注者と受注者の対等なパートナーシップの形成
  - (1) 請負者アンケート及びヒアリングの実施
  - (2) 施工実態を考慮した工事成績評定
  - (3) 設計変更時の手続きの改善
  - (4) 請負者との日常的なコミュニケーションの実施
2. 官と民のリスクの適正な分担
  - (1) 工事中のリスク発生の抑制
  - (2) 発生したリスクの適切な管理
  - (3) リスクの事前提示
  - (4) 現場説明の再開
3. 多様な発注方式の活用
  - (1) 一歩進んだ早期発注
  - (2) 管理技術者等の効率的配置
  - (3) 工事における修正設計の実施
  - (4) 工事国債の活用
  - (5) 公告の工夫
4. 広報の徹底
  - (1) 適切な記者発表の実施
  - (2) 説明会の開催
  - (3) 関係者会議での積極的広報

JCMA

### 【筆者紹介】

高橋 敏彦 (たかはし としひこ)  
 (前) 国土交通省  
 中部地方整備局  
 名古屋国道事務所長  
 (現) 国土交通省  
 北海道開発局  
 函館開発建設部長





## キヤノンのMR技術 設計・製造環境の構築

浜谷雅秀・松村大

MR（ミクスト・リアリティ）とは、現実空間と仮想空間を融合する技術である。キヤノンのMR技術は、1993年に特許出願した自由曲面プリズムの開発、1997年に通産省（当時）と共同で設立した研究所に端を発し、「実寸大の臨場感」「自由視点」「3D CADデータの利用可能性」を特長としている。まず、最初に目指している市場は、設計・製造の世界であり、設計期間の短縮、問題の早期解決、事故の事前防止が可能なシステムとしての訴求である。特に建設業界では、試作が難しい製品・構造物が多いため非常に有用な技術であり、有望な市場と考える。

以上を今後の発展の可能性を含めて紹介する。

キーワード：MR（ミクスト・リアリティ）、HMD（ヘッド・マウント・ディスプレイ）、自由曲面プリズム、3D CAD、モックアップ、試作

### 1. MR（ミクスト・リアリティ）とは

MR（ミクスト・リアリティ）技術とは、現実空間に仮想空間を融合させる技術である。キヤノンのMR技術は、現実空間と仮想空間を継ぎ目なしにリアルタイムに重ね合わせ、HMD（ヘッド・マウント・ディスプレイ）を使って、実寸で、自由な視点から、臨場感のあるCGを見ることができるところを特長としている。本稿では、何を目標として研究開発を進め、その技術が、どのような分野で役立つことを想定しているかを述べ、建設機械での試行事例を紹介し、今後の展開を述べる。

### 2. キヤノンのMR技術の歴史

1993年に自由曲面プリズムの特許を出願し、その3年後にその自由曲面プリズムを使ったHMD（ヘッド・マウント・ディスプレイ）を発表した。その光学技術と3D画像処理が通商産業省（当時）の目に留まり、1997年、通商産業省の基盤技術研究促進センターと共同でエム・アール・システム研究所を設立した。2001年3月に研究所が解散した後は、キヤノンがその研究開発活動を継承し、社内の「ものづくり」への適用を図り、現在は設計・製造の分野をターゲットに事業化を目指しているところである。

### 3. キヤノンのMR技術が目指すもの

現在、モバイル機器やインターネットの発展とともに、MR技術がネットの世界で利用されてきている。そのような流れの中で、キヤノンは、モバイル機器やインターネットの分野でのMR技術の展開よりも、設計・製造の分野で、新たなものづくり環境を構築するために研究・開発を進めている。キヤノンのMR技術が目指すところは、より高度な領域でMR技術を開発し、今までの設計・製造の環境を大きく変えていくことである。より高度なMR技術を追求し、その応用分野を探したとき、設計・製造の分野での利用が最も可能性があり、キヤノンのMR技術を活かされると認識し、その方向で活動している。

特に、製品設計・生産の分野で3D CADの利用が進み、その利点の追求にMR技術が欠かせなくなってくる、と考えている。MR技術を使う場合、CADデータ・CGデータのようなコンピュータで作られる三次元の画像データの存在が必須となり、ものづくりの現場で3D CADが製品設計に利用されればされるほどMRの市場が広がってくる。現在のPC上で動作する3D CADでは、3Dと言いながら、実際は、ディスプレイ上で、立体「的」に見ることができても、立体で視ることはできていない。キヤノンのMR技術を使えば、データを立体で見ることができる。それが、市場がキヤノンのMR技術を必要とする（であろう）最大の理由と考えている。

また、ツールの利用のしやすさを考えたとき、「MRのために三次元画像データをつくる」のではなく、「すでにあるデータをMRで利用できる」環境があるかどうか重要になる。MRで表示するために三次元画像データを制作する—その世界は、たとえば、一つの作品を多くの人に見せること自体が重要である場合には、成立するが、MRで見ることに効率とコストが求められるケースとしては成立しない。三次元画像データを製作することができるデータの存在を前提にできる3D CADを中心とした設計・製造の世界での応用に可能性を見出している。

昨今、話題となっている3D映画や3Dテレビなどは、一方向からしか見えない、いわば2次元プラスアルファの仮想立体である。画面の正面に向かっては、立体的に見えるが、横から眺めて、立体には見えない。実際の物体であれば、どこから見ても立体であり、その意味で、2次元プラスアルファの3Dと言える。また、これらのCGはゼロから作り込んでいく必要があり、1つの作品が多くの視聴者が前提とされる場合にだけ成立する世界である。一方、キヤノンのMRの「立体」は、どの方向からも見ることができ、目の前に出現するもののすべてのデータ（より多くのデータ）が必要となる。ものによっては外見だけではなく中の構造まで必要で、それを1つのデータとして持たなくてはならないが、そのデータが3D CADには、既に存在している。その他、測量データや地図データ、シミュレーションデータなど、既にデータが存在する世界であれば、MR利用の可能性が高まる。

ただし、従来までは、3D CADデータがあっても、みんながその立体像を見るにはデータ変換などの手間が必要である。MRとダイレクトに接続できる仕組みを用意すれば、『誰もが簡単にデータが見える世界』を生み出すことができる。その先には、製品データだけでなく、シミュレーションデータなども組み込んで、3Dデータであれば、すべてMRで可視化できる世界が待っている。

#### 4. MRの有効性

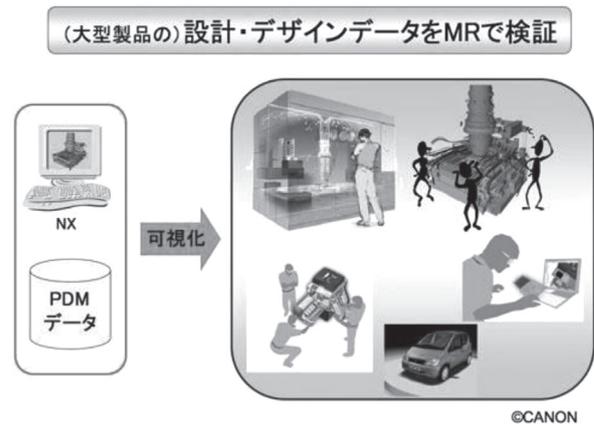
設計・製造の世界でMRの活用シーンを次のように考えることができる。

- ①プラント・建機・土木構築物などの大きな装置・機器・施設など、試作が高価なものをバーチャル試作に置き換えられる。
- ②製品の組立性、装置等のレイアウトを確認し、業務

に携わる人間の負荷などを検討できる。

- ③工場の作業者の工数や作業姿勢を調べることができる。

この活用の結果として、設計期間の短縮、問題の早期解決、事故の事前防止が可能になっていくことになる。たとえば、プラント・橋梁・建築物などは、実際に試作することができないが、MRを使えば、3D CADのデータがあれば、実寸で表示でき、また、あらゆる角度から検討・チェックすることが可能になる。



図一 1 MRの活用例

#### 5. BPR（ビジネス・プロセス・リエンジニアリング）での活用

現在の大企業は、組織が巨大化・複雑化しており、硬直化している面がある。そこで、既存の組織や手順・ルールを根本的に見直すプロセス改革、つまりBPR（Business Process Reengineering）が必要とってきている。そのBPRにはIT（情報技術）のサポートが必要で、そこにMRの活躍の場がある。単純化して考えてみると、従来、ものづくりには、『設計』する人と『製造』する人が存在すればよく、その後、その設計と製造の間に『試作』が必要になった。製品の構造が複雑になり、設計どおりに動くかどうかを「試す」ための製作が必要になったためである。その次に、「試作品」を工場に持っていき、『量産検討』をすることが必要になり、さらに、『品質チェック』をする必要が出てくる—と組織が複雑化してきた。このように、組織が膨らんで、たとえば数千人規模の組織ができあがる。利益率を考えると、その半分の規模でないといけなくなれば、組織や手順をまとめる作業が必要となる。そこでBPRが必要になり、現在では、そのBPRを実行するためにITの力が必要になっている。設計・製造の世界では、3D CADや図面管理ソフトなど、さまざまなITツールが用意され、活用されて

いる。これらのITツールにMR技術を加えることで、可視化の領域が広がり、業務のさらなる効率化が可能になると考えている。

現在、キヤノンでは、次世代の設計環境として、光学・メカ・エレキ・ソフトの開発をバーチャルな環境で連携させ、評価検討できる手法、DRVC (Dynamic Real View CAD) のシステムを構築中で、その可視化部分にMRを活用していくという構想で動いている。

以前は、製品は機械部分を中心だが、現在のデジタル製品は、ソフトウェアや電気回路がとて大きな要素となっており、コスト面でも、機械部分のウエイトは下がり、ソフトウェア・電気部品のウエイトが上がっている。製品は、ソフトウェア、エレキ、メカ、光学が統合・連携して動作するものであり、より製品が複雑になるにつれて、開発段階から統合・リンクさせることが重要になっている。DRVCの概念図は図-2のようになる。

### DRVC(Dynamic Real View CAD) ～次世代エレメカ製品開発手法～

- DRVCは、メカ・エレキ・ソフトの開発をバーチャル環境で連携させ、評価検討できる次世代設計環境です。

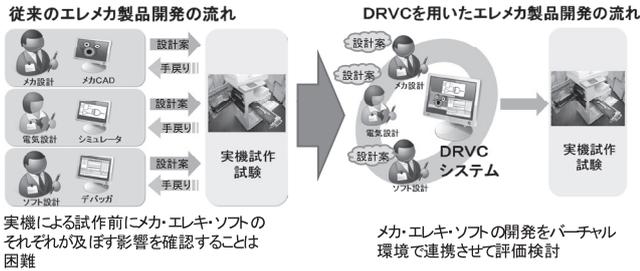


図-2 DRVCの概念図

図-2が示すのは、3D CADに、直接モデリングする機構部分だけでなく、電気や制御ソフトの開発システムも連携させ、たとえば、モデルを動作確認したときに、同時に電気技術、ソフトウェア技術面での問題点の検討を平行できれば、設計が先に進んだ段階からの手戻りを減らすことができ、開発期間の短縮につながることである。そのDRVCにMR技術を組み込めば、より効率的な検証が可能となると考える。

キヤノンのMR技術では、何もない空間にCGを出現させるだけではなく、たとえば、マーカーを配した簡単なモックアップにスイッチ・レバー類を配置し、仮想世界を重畳することで、UI・動作のチェックも可能になる。写真-1、2は、コピー機でその提案をした例である。

通常、コピー機であれば、モックアップを製作する

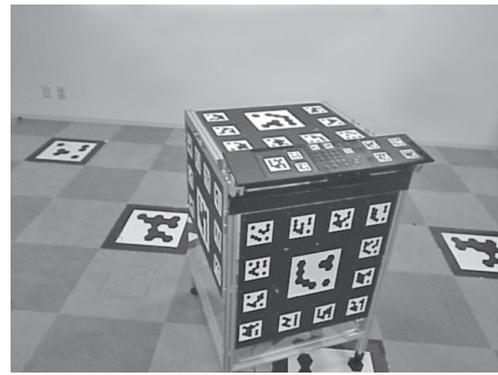


写真-1 コピー機のモックアップ



写真-2 HMDから見た世界

ことが可能で、もちろん、モックアップを製作するコストを削減できるが、MR技術は、モックアップを製作できない大型の製品・装置の開発・製造工程で威力を発揮する。次に建設機械をターゲットにMRの活用提案をした例を紹介する。

### 6. 建設機械を対象としたMR 試行実験

キヤノンのMR技術は、そのポータビリティに特長がある。基本的に、PCとHMD(ヘッド・マウント・ディスプレイ)で構成され、必要に応じてセンサー類が追加される。屋内でも屋外でも、実際に使用してきた実績があり、設計から製造、販売、サービスまで製品ライフサイクルのどこでも使用することができる。

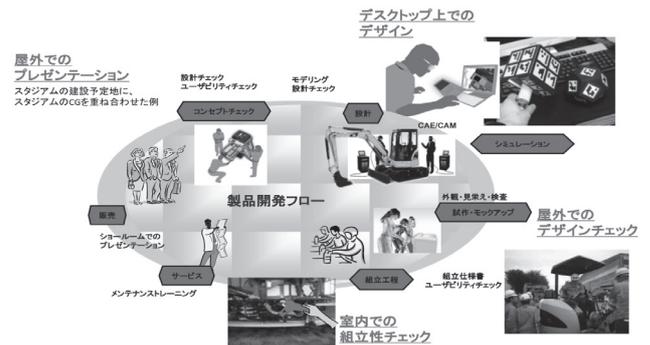


図-3 ポータビリティを特長としたMR技術

実際の試行を、このフローのいくつかのポイントで実施した。

実際の試行実験では、①外観チェック、②フィルタ交換・バッテリー交換の作業性のチェック、③運転席の操作性のチェック、④組み立てのしやすさのチェックを、HMDを装着し、MR表示を通じた作業を対象にして行った。下記の写真は、そのときのシーンの一部である。



写真-3 フィルタ交換のしやすさのチェック

フィルタ交換のしやすさのチェック（写真-3）：主画面は、現実の情景で、フィルタの模型で実際に交換作業を実施している情景である。左下の画面は、HMDを通して見たフィルタ交換の作業で、実際のフィルタ交換の臨場感があることを示す。



写真-4 バッテリー交換のしやすさのチェック

バッテリー交換のしやすさのチェック（写真-4）：主画面は現実空間。左下がHMDを通して見た仮想空間。バッテリーと同じ大きさの模型を使っている。表面に貼ってあるのは、MRで位置合わせに使うマーカー。

運転席の位置にある椅子に座って、HMDを通して操作性をチェックしている仮想空間を写真-5に示す。通常、現実空間（運転者とその周りの環境）の手前に仮想空間（建設機械）が存在するが、カラーマスキング技術を用いて、運転者の手を手前に見えるようにしている。これにより、あたかも操作をしているような臨場感を得ることができる。



写真-5 運転席での操作性のチェック

このように、建設機械のように、3DCAD図面が存在し、大型で比較的少数生産であるため、モックアップが造りにくく、屋内・屋外を問わずチェックが必要な機器のバリューチェーン上の様々な局面でMR技術の利用が可能で、また効果的であることが分かる。

## 7. MR技術：設計・製造に関する今後の展開

今後の展開に話しを移す。技術が進化すれば、モックアップを使わなくても、空間接触ができるようなツールも開発されることも予想される。設計・製造の世界でMRを活用するここで重要なのは、ボタンを押せば動くというだけではなく、その動作が光学・メカ・エレキ・ソフトなどの技術分野を超えた連携で、実際のものと同じシミュレーションができるという点である。MRによって生み出された仮想物体が、実機と同様の動きをし、動作確認などのシミュレーションができる世界である。

さらに、その先に待っているのは、2次元設計から大きく飛躍する空間設計の世界だと予測する。製品を生み出すとき、最初に概要設計を行う。まず大まかなメカの動きを考え、プログラムの部分も検討する。こういった部分にMR技術を活用する構想である。この構想の第一歩として開発したSpacing CADは、ペンを使って空間上で概要設計をし、その設計データを3DCADにシームレスに渡して、詳細設計をするソリューションである。このコンセプトの利点は、たとえば、工業デザイナーのようなCAD設計者でなくても、簡単に概要設計ができ、その作成したデータがそのまま3DCADデータとして扱える点である。道具に縛られず、より自由に設計できる環境、それが目指す着地点である。

Spacing CAD（写真-6）：空間上で、体験者が設計の試行をしている場面。Spacing CADで概要設計



写真-6 Spacing CAD

したデータは、3D CADで詳細設計することができる。

## 8. MRが拓く可能性

ここまで、説明したように、MRを使えば、様々なものを可視化できる。たとえば、人間の目には可視光しか見えないが、MR技術を利用すれば、放射線のように可視光以外も、可視化して見せることができる。データとして定義できるかぎり、画像処理技術を使ってMR表示できる。

本稿では、建設機械の分野であれば、大型機械であっても、3D CADのデータがあれば、実寸大で表示し、操作性のチェック、機械内部の保守のしやすさ、などのチェックに活用することができることを示した。写真-7は、実在しないトリケラトプスを女性がHMDを通じて見ている合成写真だが、前の例で示したように、建設機械の外部も内部も、3D CADのデータがあれば、実寸大で、あらゆる角度（下からでも）からチェックができる。MR技術を使えば、将来、今以上



写真-7 イメージ

にインタラクティブな世界を拓くことができる。写真-7の、女性が飼いならしているトリケラトプスは、その象徴として見ていただきたい。

J|C|M|A

技術協力：キャタピラー ジャパン(株)

### 【筆者紹介】

浜谷 雅秀 (はまたに まさひで)  
キャノン(株)  
イメージコミュニケーション事業本部  
上席担当部長



松村 大 (まつむら だい)  
キャノン(株)  
イメージコミュニケーション事業本部



ずいそう

## 瑠璃色の地球も花も宇宙の子



山崎直子

この句は、昨年4月に、スペースシャトル・ディスカバリー号 STS-131 ミッションに従事し、国際宇宙ステーション (ISS) で働いている合間に、宇宙の姿、地球の姿を見てつくったものです。地球は、宇宙に無数に存在する惑星の一つです。しかしものすごく美しい。瑠璃色に輝いて、それ自体が活着しているようです。そしてここに住んでいる一人一人が同じようかけがえのない命です。花にもいろんな花があり、どれもそれぞれに美しく命を輝かせています。そして花も人もみんなが、だれかに支えられ、助けられて活着しています。そして同時にだれかを助けているのです。自分ひとりだけで活着していくことはできません。

私は宇宙で二つのことが気になりました。ひとつは、人は大昔から星や月を見て感動していた、ということです。そしてもうひとつは、命のことでした。

私たちのスペースシャトルの打ち上げを見送ってくれた人が「星になって行きましたね」と言ってくれました。早朝のまだ暗い中で打ち上げだったので、最後までシャトルのエンジンが明るく星のように見えていたからでしょう。大昔の人たちも、星を見ていました。流れ星に願いをかけたり、人の命が星になって輝いているという話は、世界各地にあります。

でも、なぜこんなにも宇宙を意識するのでしょうか？ 私は「宇宙が私たちのふるさとだからではないか」と思っています。太陽のような恒星は寿命がきたときに、大爆発を起こします。そのときに、さまざまな物質を宇宙空間に放出します。その一部が、たまたま地球にふりそそぎ、長い時間をかけ、原始生物になり、そして人間も生まれました。自分の体の元になった「初めのもの」が宇宙にあると感じ、宇宙と一体となることによって、安心感を得られるのではないかと思えるのです。私も宇宙の無重力に身を置いたとき、とても懐かしい感覚を覚えました。

宇宙でもうひとつ考えたこと、それは命のことでした。ISSに乗っていると地球を90分で一周します。夜の地球を見ると、ポツポツと明るく輝いているところがあります。都会の街の明かりです。その明かりの中で、皆は今頃夕食を食べているのだろうか、などと思いました。生き物はすべて何かを食べなければ活着していけません。私たちが宇宙食を地球から持ってい

きました。しかも私たち人間の食べ物は、すべてほかの動物や植物から来たものです。私たちは命を食べて活着しているのです。「この地球で、命はいったいどこから生まれたのだろうか？」と改めてふしぎに思ったのです。材料をすべてもらさず集めても、活着した人間を作ることはできません。命は作れないのです。そして命は一人にひとつしか与えられていません。大昔の人も同じでした。命は両親からもらい授かったものです。そのたった一つの命を次の世代に伝えていった結果、いまの人たちがいるのです。

その命が協力してこそ、様々な活動が可能になります。宇宙に行くことも一人では出来ません。宇宙飛行士だけではなく、宇宙船をつくる人、それを地上から運用する人、宇宙船の点検をする人、たくさんの人がいて成り立ちます。どの分野でも同じです。夢は大きくなるほど、たくさんの人の力が必要になります。そして目に見えない部分がとても重要になってきます。

何かを実現する過程の中では、どれが正しい解なのか悩むことも多いです。数学のように解が定まっている問題もありますが、人生の中では解が定まっていない問題の方が多いです。そんなとき、私は一遍の詩をよく思い出しました。

神よ、変えることのできるものについて、  
それを変えるだけの勇気をわれらに与えたまえ。  
変えることのできないものについては、  
それを受け入れるだけの冷静さを与えたまえ。  
そして、変えることのできるものと、変えることのできないものを、識別する知恵を与えたまえ。

ラインホールド・ニーバー

この詩は、高校時代に英語の先生が紹介してくれました。私は何故かこの詩が気になり、授業のノートとは別に日記帳にも書いておきました。そして時折、眺めたりしていたのです。

これからも平坦でない道は続くでしょう。しかし、平坦な道がいいとは限りません。でこぼこの道を通るからこそ気づくこと、学ぶことがあるのだと思います。一步一步歩いていけたらと思います。

—やまざき なおこ 宇宙飛行士—

ずいそう

## 畑の土に学ぶこと

福田 誠一



週末休日には家内と二人で健康管理と食糧自給?を兼ねて、自宅から車で約1時間かけ郊外にある市民農園に出かけている。

10年前、「トマト・キュウリを作るくらいは簡単なものよ」と家内に豪語し、50m<sup>2</sup>余りの区画を借り上げて野菜作りなるものを始めた。本屋で家庭菜園の手引書を仕入れ、子供のころ他人事のように見ていた実家の農作業を思い出し、見様見真似に植付けてみると曲がりなりにも成育し、見栄えや味はともかく、まずは収穫できたことに夫婦共々感嘆し喜んだものである。

しかし、2~3年繰り返すうち同じ作付けをしても収穫成果にバラツキが出ることに気がつく。特に玉ネギが難しく、どうしても市場にあるような均一な玉ネギの形にはほど遠い出来なのである。原因を農園の管理人(地元の農業プロ)に尋ねてみると、「畑の土が野菜作りに馴染んでいないから」とのこと、何のことも判らず植付けの時期、施肥量、育苗管理など試行錯誤しながら年を重ねるうちに、今ではようやく10種類くらいの野菜はかなりコンスタントに収穫出来るようになってきた。特に初年に豪語宣言したトマト、キュウリは毎年背丈以上に昇り育ち、市場商品にはない格別の味を秘めた品が収穫出来るようになったのである。管理人から「上手になったねえ、見本農園生じゃ」と呼ばれるようになってきた。ようやく週1農業に見合う農園技術「畑の土作り」が身についたのであろうか。

しかし、まだ野菜作りで克服しなければならない多くの未解決事項がある。その一つが「無駄を省く農園技術」である。家族の消費量を超えた作付け量、種から育苗せずに高価な出来物苗を購入した植付け、適量を見殺したバラマキ施肥量など余りにも無駄が多く、せっかく実ってくれた野菜に対して申し訳ないことである。しかも実ったキュウリは1本が百円以上にもなっているような気がする。

如何に趣味と実益を兼ねた家庭菜園とはいえ、プロ技術を持った管理人から見れば情けなく許し難いことであり、「上手になったねえ」との誉め言葉は単なるお世辞であり、裏を返した称号は「見本的無駄農園

生?」になるのかもしれない。

そういえば40歳代のころ「技術力とは…」について職場で議論したことがある。様々な意見を集約すると、技術力とは「適確な判断が出来る能力」、これこそが技術者に必要と言うのである。

私には技術力について一言で論ずる知識能力はないが自己流に表現してみると、組織としての技術力をいうならば「過去から養われた技術と経験を結集し、常に向上精神を持ってPDCAを廻し、組織一体となって取り組む能力」ではなかろうか。

一方、個々人では様々な分野と立場があり、技術の資質は異なって当然であるが「組織」の表現を除けば考え方は同じであろう。

大事なことは局面毎での方向性について次なる行動を素早く判断出来るかどうかである。「困った、弱った、どうするか…」ではいつまで経っても前に進めず、また周囲にも迷惑をかけることになる。このことが「適確なる判断力」の議論に繋がるのであろう。

我々が携わる建設産業は、数多くの資機材と施工技術を駆使し、現地に見合う一品目的物を構築する「総合組立業」である。携わる技術者には「品質を確保し、経済的に、安全に、環境に配慮し、期限内に完成させる」ことが求められる。昔からよく言われている「より良く、より安く、より早く、より安全に」なるよう「適切に管理する技術力」が必要であり、このことは私の抱える農園の課題「無駄を省く農園技術」にも通ずるものがある。

今週末も市民農園に出掛ける予定でいる。この歳になると炎天下での汗にまみれた鍬使いは辛い作業であるが、赤く実ったトマトを見れば労苦が報われる喜びがある。

週末に一度の農園通い、あわよくば「土日に必ず熟実する菜園技術?」に出会ってみたい。

## CMI 報告

## 建設工事への 情報通信技術の活用による 監督・検査の合理化

柴藤 勝也・伊藤 文夫

### 1. はじめに

近年、わたくし達の暮らしの中で様々な情報通信技術（以下、ICT：Information & Communication Technology）の利用が進み、生活がより便利なものとなってきているが、建設分野においても ICT 導入の取組みを本格化するべく、国土交通省では「国土交通分野イノベー

ション推進大綱（2007年5月）」に社会資本整備・管理への ICT 導入の方向性を示し、また「情報化施工推進戦略（2008年7月）」に情報化施工の具体的な普及方策を発表した。

施工現場では、特に河川土工、道路土工、舗装工事に ICT の導入が増えており、施工管理要領等が整備されるのに伴い出来形管理等の監督・検査要領が策定されつつある。また、ダム建設工事では、これまでは受注者が確実な施工管理を目的として情報化施工を導入する事例が多かったが、近年、発注者が施工監理データを工事の監督・検査に活用することを目的として ICT を導入する事例が増えてきている。

本報は、主にダム建設工事で導入された ICT の事例を挙げ、監督・検査への活用方法を考察するとともに、更なる活用のための課題と対策案を述べる。

### 2. ダム建設工事での ICT 施工の事例

ダムの建設工事における ICT 施工の事例一覧を、表一に示す。これらの事例は、受注者が確実な施工管理を目的として導入したものがほとんどであるが、施工機械の稼働状況を記録できるもの（例えば③～⑦）については、施工方法が施工計画書と合致しているか

表一 ダム本体工での ICT 導入事例

工種等	導入 ICT	システム概要
①施工計画	三次元 CAD <sup>1)</sup>	三次元マシンガイダンス等を使用する場合に、岩盤の設計掘削線や盛立材の設計敷均し高さ等の三次元施工データを作成し、施工指示内容とする
②原石山掘削	掘削管理	原石山の地質分布の三次元モデルを作成し、骨材の所要量を確保しつつ総掘削量を最小化するための掘削シミュレーションを行う
③骨材運搬	ダンプ運行管理 <sup>2)</sup>	購入骨材の運搬においてダンプ毎に積荷の分級骨材種類を自動認識することで、異なる分級骨材の混入を防止する
④盛立材運搬	ダンプ運行管理 <sup>1)</sup>	盛立材の運搬においてダンプ毎に走行位置情報を取得・記録し、運搬ミスを防止したり、リアルタイムに運搬量を自動集計する
⑤基礎掘削	三次元マシンガイダンス <sup>3)</sup>	岩盤掘削において設計掘削線をモニターで確認し、丁張なしで掘削作業を行う
⑥盛立・打設（敷均し）	三次元マシンガイダンス <sup>4)</sup> 三次元マシンコントロール <sup>3)</sup>	盛立材の所定の敷均し標高をモニターで確認したり、排土板高さを自動制御することにより、丁張なしで敷均し作業を行う
⑦盛立・打設（転圧）	締固め管理 <sup>1)</sup>	振動ローラの走行位置をキャビンに設置したモニターで確認することで、所定の転圧回数を確実に確保し、転圧結果を記録する
	仕上り厚管理 <sup>4)</sup>	上記の締固め管理で得られる振動ローラの走行標高を利用して、盛立や打設の層厚を算出する
⑧出来形測量等	三次元測量 <sup>1)</sup>	RTK-GNSS 測量技術を用いて、携帯端末と GNSS アンテナを携帯することで、1名で出来形測量や丁張り設置測量を行う
⑨埋設計器	無線型埋設計器 <sup>3)</sup>	長期間の観測が不要な埋設計器を無線式とすることで、従来の有線型埋設計器におけるデメリット（ケーブル敷設に伴う施工効率の低下、ケーブルに起因する観測に対する障害発生等）を解消する
⑩安全管理	重機接触防止 <sup>5)</sup>	作業員のヘルメットに装着した IC タグと重機に設置したアンテナ、レシーバ、警報機により、作業員が重機に接近すると IC タグから発信された信号により重機の警報機が作動し、オペレータに通知する
⑪維持管理	ダム施工情報データベース <sup>6)</sup>	パソコン上に三次元モデル等で表示するダム堤体や基礎岩盤について、各位置に関係する図面や施工時の情報を入力しておくことで、必要な情報を迅速に収集し、問題発生に対して迅速に対応する

どうか等の、発注者の監督・検査にも利用することが可能となる。

### 3. 情報化施工に対応した監督・検査

#### (1) 従来の監督・検査

工事発注者による、施工に関する監督・検査は、従来は一般的に表一2に示すような方法で行われている。このような場合、監督職員は施工状況を全て目視によって確認するため、多大な労力と時間を要することになる。また、確認した内容も記録として残らないため、検査の段階で施工状況についての検証が必要になったとしても、客観的な検証は困難となる可能性が大きい。

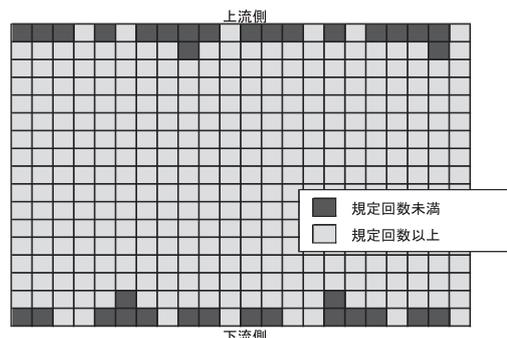
表一2 施工に関する監督・検査の従来方法<sup>7)</sup>

	実施内容	実施方法
監督	段階確認	・ 工事の重要箇所や完成時の不可視箇所について臨場または机上により確認（受注者の立会あり）
	施工状況把握	・ 不適合に対する是正の指示を目的として、主要工種について <b>施工状況を適宜臨場等により把握・記録</b> （監督職員単独で実施）
検査	出来形検査	・ 資料に基づき管理基準に定められる測定項目、測定頻度、規格値を満足することを確認し、出来形寸法のばらつきを把握 ・ 出来形寸法を検測し、不可視箇所は段階確認資料等で検査
	品質検査	・ 資料に基づき管理基準に定められる試験項目、試験頻度、規格値を満足することを確認し、品質のばらつきを把握 ・ <b>現地や施工状況写真等の観察により均等に施工されたかどうかを判断</b>

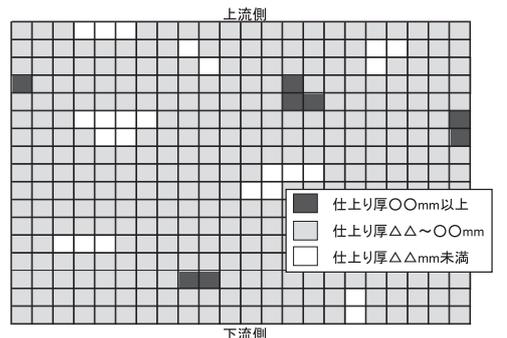
#### (2) ICTを活用した監督・検査

情報化施工による施工機械の稼働状況データに基づいて、所定の方法で施工されているかどうかを確認することができる。ICT取得データによる施工状況の出力例を、図一1、2に示す。

図一1に示す締固め回数分布の出力は、施工機械に搭乗するオペレータが施工中に確認できるため、締固め施工範囲の全てにおいて所定の締固め回数が確保されることになる。これを発注者の監督職員が確認することができれば、常に臨場で施工状況を把握する必要はなく、他工種の段階確認や、施工不良が起こる可能性がある箇所（人力施工とせざるを得ない箇所）の監視に時間を割くことができ、監督業務を効率的に行うことが可能となる。

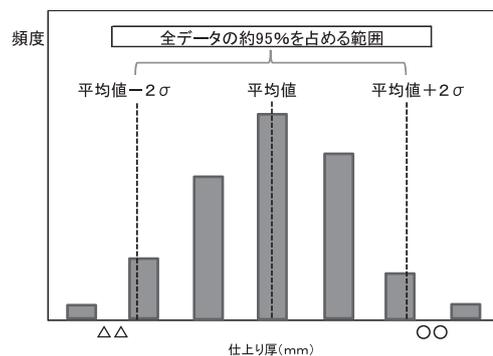


図一1 締固め回数分布図の例



図一2 仕上り厚分布図の例

発注者の監督・検査においては、所定の施工ができているかどうかに加えて、表一2に示されるように、「出来形・品質のばらつき具合」や「均等に施工されたかどうか」が重要な着目点となっている。したがって、施工状況の結果に加えて、図一3に示すような「ばらつき具合」を評価するための出力も必要となる。これにより、現状の検査での「現地や施工状況写真等の観察」よりも、より定量的に施工の均質性を評価できることとなる。



図一3 仕上り厚のヒストグラムの例

#### (3) 新たな監督・検査の提案

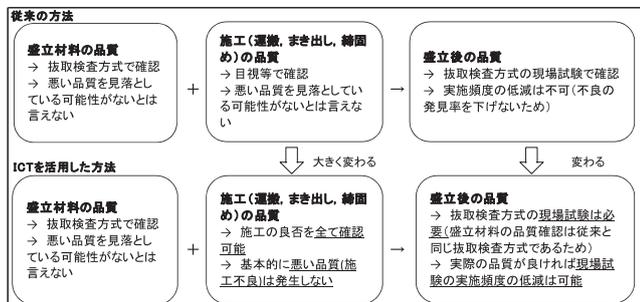
このように、ICTで得られるデータを利用すれば、監督・検査をより合理的に実施することができると考えられる。情報化施工に対応した新たな監督・検査のあり方の一案を、表一3に示す。

表一3に示すような監督・検査を行う場合、従来

では施工状況を常時監視していたのに対し、重要箇所を主としたスポット監視で十分となり、監視に係わる負担を低減できる。また、情報化施工が行われている工種の品質試験の結果についてばらつきが極めて小さく、規格値を十分に満足するならば、その試験の実施頻度を低減することも可能と考えられる（図—4）。

表—3 新たな監督・検査のあり方（案）

	受注者	監督・検査	備考
施工時	施工 (ICTによる)	常時の臨場による施工状況把握を省略 重要箇所を中心としたスポット監視	現場監視の省力化・効率化の効果
	施工結果の帳票出力(電子データ)およびばらつきの分析	帳票およびばらつきの分析結果の確認	現場密度試験等のばらつきが小さく、規格値を外れる確率が極めて小さい場合は、試験の実施頻度の低減を検討
検査時	各種資料の提示(ICT施工で得られたデータ等)	ばらつきや施工の均質性についてより定量的な確認	従来よりも定量的な評価が可能



図—4 品質試験の考え方（土質材料の盛立の場合）

(4) 新たな監督・検査の課題と対策案

新たな監督・検査を実施するにあたっては、以下に示す課題と対策案が考えられる。

監督職員は、施工に不適合があれば迅速に是正を指示しなければならないため、施工状況を帳票で事後確認するだけでなく、リアルタイムで確認できることが望ましい。このため、携帯端末等で施工状況をいつでも確認できるようなシステムを構築することが考えられる。

ICTを活用することにより、これまで容易には確認できなかった施工状況（仕上り厚等）を可視化したり、記録できることになるが、その規格値（許容される施工誤差）については、現行の規格値の決定経緯や、今後のICTの開発状況を考えると、一律に決定する

のは困難と考えられる。現状では、試験施工等で本施工と同じ仕様で施工を行い、得られたばらつき等に基づき、適切な許容誤差を定めることが肝要と思われる。

受注者の提案で導入された情報化施工で取得されたデータは、基本的には受注者のシステムを通じて得られるものであり、データ改ざんの可能性を否定できない。そこで、受注者が使用するシステムとは別システムのシステムによって抜き打ち的に施工状況を確認・記録し、受注者から提出されるデータを照査することも一案と考える。

4. おわりに

ダム建設のような大規模工事では、監督・検査に要する労力も大きいことから、ICT化による省力化等のメリットは大きいものと考えられる。

情報化施工で得られるデータを活用した監督・検査を推進していくには、その運用のルールとなる施工管理要領や監督・検査要領の策定が不可欠であり、国土交通省では各種の要領策定に取り組んでいるところである。当研究所としても、施工現場へのより効果的・効率的なICT導入とこれらを活用した監督・検査のあり方について、研究を進めていきたいと考えている。

JICMA

【参考文献】

- 1) 田代幸英ほか：全面遮水壁型調整池におけるITを用いた施工及び工事管理，電力土木，No.309，pp.107～111，2004.1
- 2) 深光良治ほか：ICタグを用いた骨材混入防止・運行管理システムについて，土木建設技術シンポジウム2007論文集，pp.199～204，2007.8
- 3) 菅原俊幸ほか：ITを活用した胆沢ダムの合理化施工，土と基礎，Vol56，No.1，pp.8～11，2008.1
- 4) 日下雅史ほか：殿ダム本体工事における情報化施工技術の導入，平成22年度国土交通省国土技術研究会，イノベーション部門
- 5) 岡山誠ほか：ITを活用したロックフィルダムの施工・品質管理の合理化，第11回建設ロボットシンポジウム論文集，pp.197～204，2008.9
- 6) 使って実感“三次元”の効用，日経コンストラクション，pp.64～77，2008.6.27
- 7) 国土交通省全国工事監視官等会議：公共事業の品質確保のための監督・検査・成績評定の手引き，pp.56～57，pp.105，2008.3

【筆者紹介】



柴藤 勝也 (しばとう かつや)  
 (株)日本建設機械化協会  
 施工技術総合研究所 研究第三部  
 技術課長



伊藤 文夫 (いとう ふみお)  
 (株)日本建設機械化協会  
 施工技術総合研究所 研究第三部  
 部長

# 部 会 報 告

## 我が国における締固め機械の変遷（その2. 昭和40年代）

機械部会 路盤・舗装機械技術委員会（締固め機械変遷分科会）

昭和40年（1965年）

ボーマク社（独）



写真2-1 ボーマク社 BW75S

BW75S ハンドガイド式振動ローラ、1.0トン、起振力：4トン（写真2-1）日本市場へ輸入、販売開始。両輪駆動、両輪振動（180度交叉振動）

で土木現場、舗装現場で使用され大きな実績と脚光を浴び「BOMAG」がハンドガイドローラの代名詞となる。

BW200 タンデムローラ、7トン、起振力：32トン（写真2-2）日本市場へ輸入、販売開始。



写真2-2 ボーマク社 BW200

当時、東名高速道路、中央自動車道の工事が始まった頃であり、1号機が中央自動車道、元八王子現場（大成建設株）にデモンストラクション後納入使用された。更に東名高速道路、厚木作業所（鹿島建設株）に納入使用された。関東ロー

ム層の転圧もこなし、大きな威力を発揮、土木業界の注目を集めた。道路、ダム（ロックフィル、アースフィル、RCD）、空港、宅地造成工事等で多数の実績を積み重ねた。

（株）酒井工作所

SH1508型 タンデムローラ8トン（写真2-3）

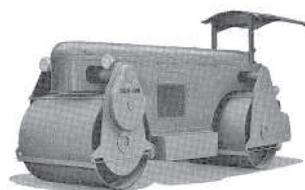


写真2-3 （株）酒井工作所 SH1508

ハム社（旧西独）との技術提携により開発した。前後輪駆動や内部に差動機構（二分割）を設けることにより、作業品質の向上に寄与した。また、前後輪を独立して操

向させることにより、常に両輪の軌跡が一致した転圧、急カーブ、拡幅、拡幅曲線の各転圧が容易にできる機

構であった（図2-1）。



図2-1 操向パターン

川崎重工業株

KR15 タイヤローラ（写真2-4）

簡素堅牢な構造であり、広範囲な接地圧を有する。自吸式ポンプと前進4段、後進4段を装着する。



写真2-4 川崎重工業株 KR15

昭和41年（1966年）

（株）明和製作所

VP-100, 70, 110 正方形箱型プレートコンパクタ 重量100, 70, 110kg（写真2-5）

ソイルコンパクタを軽量化した正方形箱型タイプのプレート。起振機が振動板の中央付近に取付けられているので、前進速度が遅く、路盤との接地時間が長い。一軸偏心方式で偏心体を比較的高速で回転させるものであった。



サイド転圧



電柱の周囲締固め



道路の補修



VP-110

写真2-5 （株）明和製作所 VPシリーズ

三菱重工業(株)

U-20 型中型タイヤローラ 8.3～20 トン(写真 2-6) を発売した。従来機の IS-1 や IS-2 は一般道路の転圧には若干大きすぎるとの評価があり、この U-20 は一般道路の転圧まで広く使用できる中型タイヤローラとして開発。“前輪油圧垂直可動式”(前輪 5 輪が互いに連通する油圧シリンダで支持され、独立に垂直に上下動して路面を均等に締固める)機構を採用した。



写真 2-6 三菱重工業(株) U-20

三笠産業(株)

MVCS-5 型プレートコンパクタ 680 kg(写真 2-7) 前進式コンパクタとしては最重量級モデルで、差動ギアを用いたステアリング可能な起振体は、振動数 850～950 rpm を発生し毎分 5～8 m の進行速度で進むプレートコンパクタである。

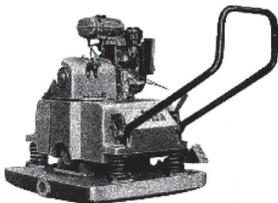


写真 2-7 三笠産業(株) MVCS-5

昭和 42 年 (1967 年)

三笠産業(株)

MTR-80 型ランマ 80 kg (写真 2-8) グリス潤滑式で重量 80 kg クラスのランマを発売。空冷 2 サイクル専用エンジン EC10 G 型を直結したランマは近年まで生産が続きロングセラー商品として現在のランマの基本構造を形作る。エンジン回転数 3,200 rpm を毎分 500～550 回の連続的な上下運動に減速し路盤に衝撃を与えながら前進して締固める。



写真 2-8 三笠産業(株) MTR-80

昭和 43 年 (1968 年)

酒井重工業(株)

R1 型 マカダムローラ 11～14 トン(写真 2-9) 当時のマカダムローラは駆動輪と案内輪とに依り構成されており、案内輪は非駆動で、駆動輪に比べ径が小さく、材料の押し出し、引きずり現象を生ずる可能性があった。そこで、全輪駆動、全輪同一径、同線圧、

同調駆動を満たすマカダムローラを開発した。その主な特徴は前 2 輪、後 1 輪 (2 分割) の全輪油圧駆動で前後の線圧とロール径を同一にし、転圧幅 (2.3 m) を同一条件で締固めることができ、アーティキュレート型の構造により、旋回半径が小さく、曲線転圧においても踏み残しが少ない。また、運転席は車体上部にあり、左右いずれの側でも運転ができる。



写真 2-9 酒井重工業(株) R1

昭和 44 年 (1969 年)

渡辺機械工業(株)

WP21WD タイヤローラ 9.5～21 トン 前輪 3、後輪 4、(写真 2-10)

ワイドベースタイヤ装備：標準タイヤに比較し約 1.6 倍のトレッド幅があり、トレッド方向での接地圧分布が概ね均一になる特殊設計であった。現在製造されているタイヤローラではワイドベースタイヤがほぼ標準となっている。

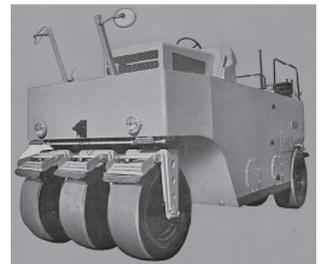


写真 2-10 渡辺機械工業(株) WP21WD

WTO31 タンデムローラ 3 トン(写真 2-11)

後輪の懸架方式が車体左の片持ち式であり、車体右側に突出物が無い為、構造物いっぱいまで車体を近づけて転圧できる。

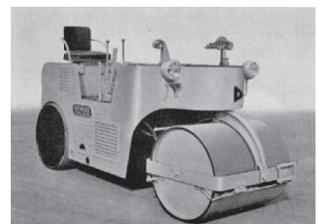


写真 2-11 渡辺機械工業(株) WTO31

昭和 45 年 (1970 年)

(株)明和製作所

2 輪簡易搭乗型振動ローラ MVR-17, 8, 10 重量 1,700, 800, 1,000 kg (写真 2-12)

MVR タイプのローラは、従来日本に無かったユニークなアイデアを盛り込んで開発されたハンドルステアリングが可能な振動ローラである。エンジンから湿式多板クラッチ、ユニバーサルジョイントを通じて前後輪を駆動させる両



写真 2-12 (株)明和製作所 MVR-10

輪駆動方式のため登坂力が大きく、MVR-10はフレーム振動を採用した。座席は、着脱式の構造になっている。

法面転圧用

テニコン TN-40, 50, 80 重量 40, 50, 80 kg (写真2-13)

日本国鉄技術研究所が新幹線等における、法面の完備、保全目的と、法面工事の効率化、省力化のために機械化すべく立案されたものを、実用化した機械である。



写真2-13 株明和製作所 TN-40

日本ポーマク(株) (現コベルコ建機(株))

ポーマク社(独), マイカイ貿易(株), 古河機械金属(株)の3社合弁にてBW60S, BW75S (Hatz・ハッツエンジン) ハンドガイド式振動ローラ(写真2-14)のノックダウン輸入を開始し、徐々に国内部品の調達を増やしていった。

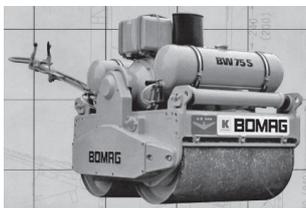


写真2-14 日本ポーマク(株) BW75S

川崎重工業(株)

KMRH10P マカダムローラ (写真2-15)



写真2-15 川崎重工業(株) KMRH10P

高性能の低速大トルク型油圧モータを採用した全油圧駆動式で、運転席は左右中央と移行可能である。

酒井重工業(株)

VVW3400型 ハンドガイド式振動ローラ 900 kg (写真2-16)

小型のハンドガイド式振動ローラは、欧州では早くから使用されており、戦後国内にも輸入されその需要

も増大していた。こうした背景のもと、海外メーカーとの技術提携により対応を図った。なお本機は法面転圧に適用すべく改修試用を行ったが、満足を得るには至らなかった。



写真2-16 酒井重工業(株) VVW3400

渡辺機械工業(株)

WP15WE タイヤローラ 8~15トン 前輪3, 後輪4 (写真2-17)

特種形状のフロントフレームにより運転席に着座したまま前輪が視認できた。



写真2-17 渡辺機械工業(株) WP15WE

昭和46年(1971年)

株明和製作所

長方形平板型プレートコンパクタ VP-60 65 kg (写真2-18) 起振体が振動板の前方に取付けられているので、進行速度が速く平板タイプなので機械の軽量化が図れる。長方形平板型タイプの初めてのプレートである。



写真2-18 株明和製作所 VP60

日本舗道(株)が、北陸自動車道工事でシメサ社(伊)15トンコンバインドローラを導入した。

酒井重工業(株)

WM77型 タンデムローラ 6~12トン (写真2-19)

従来機を輪径拡大, 変速数増加, 軸距拡大等の改良を施した。本型機は以降の標準型として, 通算2,000台市場に納入されている。



写真2-19 酒井重工業(株) WM77

昭和47年(1972年)

株明和製作所

2輪ハンドガイド式振動ローラ MVH-5 500 kg

**(写真 2—20)**

特殊サイクロ減速機構をローラ内部に組み込み減速機構を簡略化したことにより走行速度の無段変速を可能にした、両輪駆動、両輪振動のハンドガイド式ローラである。



写真 2—20 (株)明和製作所  
MVH-5

酒井重工業(株)

TS350 型 タイヤローラ 16.0～35.6 トン (写真 2—21)

高速自動車道路網建設計画の増大に伴い、盛土、路床を効率的に造成するローラが要望されてきたため、開発した。本機は余裕のある 160 馬力のエンジンを搭載し、鉄・水バラストにより 16～35.6 トンまで重量調節が可能で、本邦最大の全油圧式タイヤローラである。本機はその特長から用途に限りがあるため、国内販売は少数に止まったが、発展途上国を中心に海外に多数輸出された。



写真 2—21 酒井重工業(株)  
TS350

日本ボーマク(株)

BW65S ハンドガイド式振動ローラ, 650 kg, 起振力 2.4 トン (写真 2—22)

BW75S の軽量, 小型機として 180 度両輪交叉振動機構を装備した本機の国内生産を開始し販売を始めた。

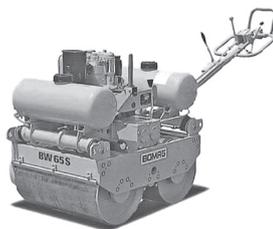


写真 2—22 日本ボーマク(株)  
BW65S

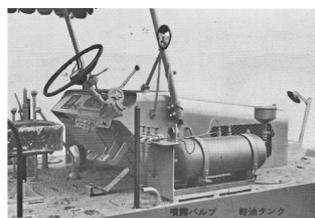
渡辺機械工業(株)

WP902 タイヤローラ, 9～20 トン前輪 4, 後輪 5 (写真 2—23)

偏平なトレッドと高耐久性を実現した新型タイヤを採用し、多彩なバラスト付加と合わせ路盤からアスファルト舗装まで広範囲の締固め作業に適応できる。



写真 2—23 渡辺機械工業(株) WP902



P.T.O 駆動の吸散水ポンプを搭載し、外部水源からの吸い上げと路面・タイヤへの散水を行える。エアタンクを圧力源とした付着防止剤噴霧装置を装備、運転者が任意に噴霧できるので補助作業員の危険防止にも役立つ装置である。

昭和 48 年 (1973 年)

日本ボーマク(株)

BW35W トレンチコンパクター, 500 kg, 起振力: 1 トン (写真 2—24) を輸入, 販売開始した。

前後にガイドプレートを装備し、幅 50 cm の溝の転圧を可能とする、コンパクトな設計である。

日本では主に高速道路のサーフェイスタウンの締固めに使用されていた。

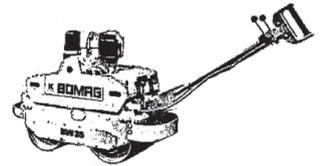


写真 2—24 日本ボーマク(株)  
BW35W

川崎重工業(株)

全油圧駆動方式 KVR15 コンバインドローラ, 15 トン (写真 2—25)

アーティキュレート方式を採用, スーパーフラットタイヤ採用により, ウェーブの少ない高密度な表面仕上がりが得られ, 透水性の低い舗装が可能。タイヤ揺動式構造を採用, 運転席を左右両側に装備し, 操縦性, 安定性に優れる。振動ローラの優れた転圧力とタイヤローラの利点を生かした省力化機械。振動数は最大 2,600 vpm まで無段階に調節でき, 振幅は高低 2 段の切換えが可能である。



写真 2—25 川崎重工業(株)  
KVR15

昭和 49 年 (1974 年)

(株)明和製作所

P-80, 90, 12 長方形箱型プレートコンパクター 重量 80, 90, 120 kg (写真 2—26) 正方形プレートの作業効率アップを図るために開発された機械で, 振動板を長方形にして起振機を振動板の前方に配置することで進行速度を速くした。



写真 2—26 (株)明和製作所  
P-12

SC-1 スロープコンパクター, 150 kg (写真 2—27) 路面の路肩のり面転圧用に開発された機械である。

一人で路肩のり面を容易に転圧でき、のり面角度に応じて打撃角度を60度迄調節できる構造になっている。



写真2-27 株式会社明和製作所 SC-1  
東北縦貫道路現場

三菱重工業(株)

MR20型タイヤローラ8.4～20トンが発売した(写真2-28)。円滑な変速が可能なシンクロメッシュ変速機、パワーシフト操向装置、チルトハンドル、軟弱地盤走行に強いオートデフロック装置を採用。また最大走行速度は発売当時、クラス最高レベルの28km/hであった。



写真2-28 三菱重工業(株)  
MR20

日本ポー马克(株)

法面転圧用BW75SH-R(写真2-29)振動ローラ生産、販売開始

BW75Sをベースとし、ウインチとワイヤーロープを搭載し30度の法面転圧を可能とする転圧機である。



写真2-29 日本ポー马克(株)  
BW75SH-R

酒井重工業(株)

R2型マカダムローラ9～11トン(写真2-30)

R1型マカダムローラの下位機種として、幅員の狭い地方道などの小規模工事用に開発。

開発思想および構造・特長はR1型と同じである。

同機は市場で高評価を得、昭和62年(1987年)までの間に計2,600台生産している。



写真2-30 酒井重工業(株) R2

SV100型コンバインドローラ11トン(写真2-31)

振動ローラの有効性が認められ、欧州では大型機の開発が行われていたが、国内では依然として

中・小型機が主流であった。高速自動車道の建設、空港、大規模造成工事などの増大に伴い、大型振動ローラの輸入が増加し始め、こうした市場に応えるため開発した。本機は起振力、周波数共に三段階の設定が可能であり、現場に合った転圧力などを選ぶことができる。また、振動の起動・停止を走行と連動または単独で操作が可能である。



写真2-31 酒井重工業(株) SV100

川崎重工業(株)

KR15Bタイヤローラ(写真2-32)

KR15(昭和40年)に比べ最高速度が14km/hから24km/hと速くなり、水タンク容量も4,000リットルから5,000リットルと大きくなった。

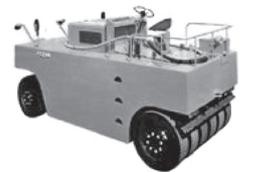


写真2-32 川崎重工業(株)  
KR15B

次号では、その3. 昭和50年代を掲載いたします。

JCMA

#### 参考文献

日本建設機械要覧  
日本舗道五十年史

#### 写真提供

鹿島道路(株)  
川崎重工業(株)  
キャタピラー・ジャパン(株)  
コベルコ建機(株)  
酒井重工業(株)  
日本道路(株)  
日立建機カミーノ(株)  
三笠産業(株)  
株式会社明和製作所

# 新工法紹介 機関誌編集委員会

04-323	一次インバート 施工管理システム	西松建設 ソーキ
--------	---------------------	-------------

### 概要

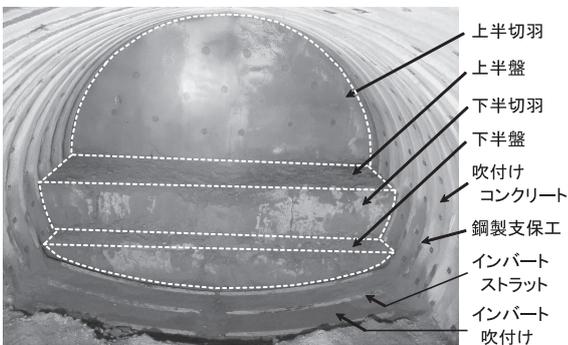
不良地山を山岳工法でトンネル施工する場合、上半の切羽面から10m以内の位置でインバートを掘削し、吹付けコンクリートやインバートストラットを設置する一次インバートの施工によって断面閉合することで、トンネルの変形や沈下を抑制する早期断面閉合（写真—1参照）の工事例が急速に増えている。しかしその結果、切羽の面積が大きくなるとともに、近傍でインバート掘削を行う影響も加わり、場合によっては崩壊の危険も懸念される。

「一次インバート施工管理システム」（図—1参照）は、この早期断面閉合を行う際に、本システムが有する3つの計測管理モードで切羽の押し出し変状をリアルタイムに監視するとともに、インバートの出来形を効率的に高精度で計測管理することで、作業の安全性を確保すると同時に施工品質の向上を図る技術である。

### 特徴

#### ①使用方法

トンネルマーキング・計測システム「TopLun」（株ソーキ）



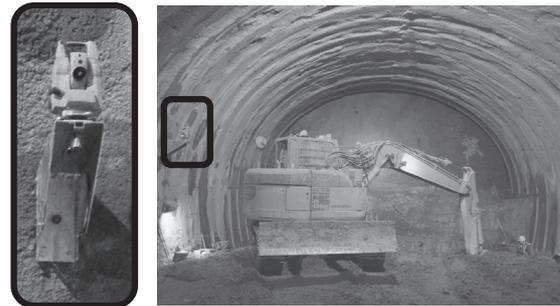
写真—1 早期断面閉合の施工事例

に追加する形で廉価に使用が可能。

#### ②計測管理の方法（写真—2参照）

トータルステーションを使用し、側壁肩部のロックボルト頭部に架台治具を取付けて設置。ハンディ PC による無線操作および計測結果（切羽安定性等の判定結果）のリアルタイム画面表示。

トータルステーション



写真—2 インバート掘削時の計測管理状況

#### ③3つの計測管理モード

- ・「切羽変状計測」：ノンプリズム方式による切羽面押し出し変位の自動計測・切羽安定性の判定
- ・「インバート掘削高計測」：ノンプリズム方式による掘削面高の自動計測・掘削過不足の判定
- ・「支保工計測」：プリズム方式による支保工（ストラット等）設置状況の自動計測・適正な位置への修正管理

#### 問合せ先

西松建設(株) 広報部

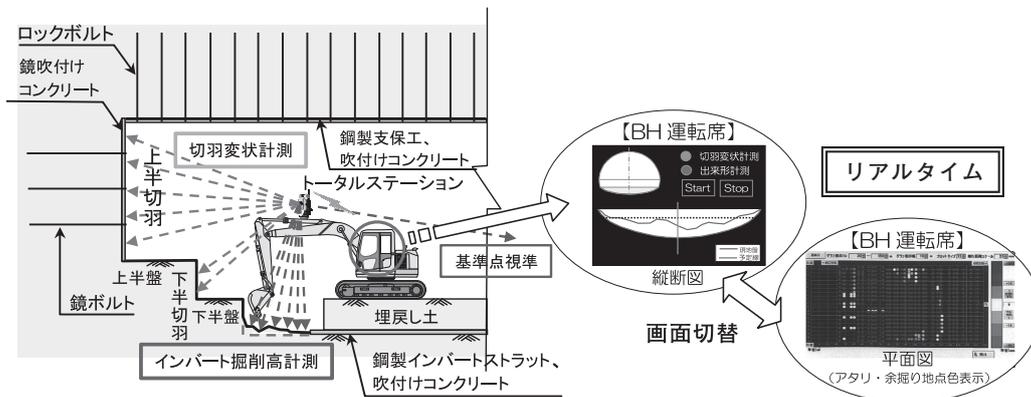
〒105-8401 東京都港区虎ノ門1-20-10

TEL：03-3502-7601 FAX：03-3580-2695

(株)ソーキ

〒550-0025 大阪市西区九条南4-2-4

TEL：06-6586-1707 FAX：06-6586-1277



図—1 一次インバート施工管理システム概念図

## 新機種紹介 機関連誌編集委員会

11-(02)-06	キャタピラージャパン FIGA 030 SR/040 SR/050 SR ミニ油圧ショベル (超小旋回形)	'11.4 発売 新機種
------------	---	-----------------

狭所作業性および後方安全性を活かし、道路工事や配管工事において使用されるミニ油圧ショベル超小旋回機3機種のモデルチェンジである。従来機に比べ汎用性を向上したほか、車両盗難の防止、メンテナンス性の向上、燃料消費量の低減等、全般にわたり性能の向上を図っている。

キーに埋め込まれたICチップのキーナンバーを機体が認識することではじめてエンジンが始動する盗難防止システム「SSキー」を標準装備している。また、通常作業表示（燃料レベル、冷却水温、エンジン回転数、アワーメータ）のほかSSキー登録、故障履歴表示等、機械情報を集約的に表示する「自己診断機能付き液晶モニタ」の採用により、メンテナンス性を向上している。さらに、12V電源ソケット、コントロールパターンクイックチェンジャ（2way）および4秒以上操作レバーが中立の場合、自動でエンジン回転数を低下させる自動デセル（AEC）を標準装備し、燃料消費量の低減はもちろん騒音や排出ガスも低減している。加えて、FIGA 030 SRおよびFIGA 040 SRには、TOPS/FOPSキャノピを標準装備（TOPS/FOPSキャブをオプション設定）し、安全性を向上している。

オフロード法の基準値をクリアする高出力エンジンを搭載するとともに、国土交通省超低騒音型建設機械の基準値もクリア\*している。  
\*キャブ・エアコン仕様(030SR, 040SR)／クーラ仕様(050SR)は国土交通省低騒音型の基準値をクリア

表-1 FIGA 030 SR / 040 SR / 050 SR の主な仕様

	030 SR	040 SR	050 SR
バケット容量 (m <sup>3</sup> )	0.09	0.11	0.22
最大掘削深さ (m)	2.96	3.30	4.035
最大掘削半径 (m)	4.53	4.85	5.695
最大掘削高さ (m)	5.18	5.48	6.38
機械質量 (t)	2.99	3.60	5.10
定格出力 (kW/(ps)/min <sup>-1</sup> )	20.2(27.5)/2200		28.4(39)/2250
走行速度 高速/低速 (km/h)	4.6/2.7	4.4/2.9	4.2/2.4
登坂能力 (度)		30	
接地圧 (kPa)	27.6	33.0	29.1
最低地上高 (m)		0.29	0.32
クローラ中心距離 (m)	1.25	1.40	1.60
クローラ全幅(シュー幅) (m)		0.30	0.40
全長×全幅×全高 (m)	4.22×1.55×2.47	4.415×1.70×2.48	5.15×2.00×2.52
価格 (百万円)	4.93	6.03	7.49

問合せ先：キャタピラージャパン 人事企画室 広報グループ  
〒158-8530 東京都世田谷区用賀 4-10-1



写真-1 キャタピラージャパン FIGA 030 SR/040 SR/050 SR  
ミニ油圧ショベル (超小旋回形)

# 統計

## 平成 21 年度「建設機械動向調査」の概要

国土交通省総合政策局  
公共事業企画調整課

### 1. はじめに

建設機械動向調査は、経済産業省と国土交通省が2年に一度共同で実施しており、国内における建設機械の保有状況を把握することを目的としている。平成 23 年 7 月に平成 21 年度を対象年度とした調査結果を公表したので、その概要を報告する。

本調査では、建設機械を製造・販売している製造業者及び国産機械又は輸入機械を販売している商社を対象に、年度毎の国内向け販売台数を求め、「機械購入台数」として集計した。また、油圧式ショベル系掘削機や履带式ブルドーザ等の主要建設機械7機種については、同対象にアフターサービスのために管理している機械の台数を求め、この管理台数に未回答の企業の管理台数を補正した台数を「推定保有台数」とみなして集計した。

### 2. 機械購入台数の動向

平成 21 年度の建設機械の購入台数は全国で 49,930 台となり、前回調査（平成 19 年度）114,367 台と比較して 56.3% 減と大幅に落ち込んだ。

機械分類別では、土工機械が 29,842 台（対前年比▲59.8%）、運搬機械が 1,652 台（▲59.9%）、基礎工事用機械 237 台（▲34.5%）、せん孔機械 1,981 台（▲12.8%）、整地・転圧機械 1,166（▲46.6%）、コンクリート・アスファルト機械 1,576 台（▲62.8%）、トンネル掘削機 43 台（▲48.8%）、その他 13,433 台（▲50.2%）と、全種類について対前年比減となっている。

また、業種別の購入台数シェアについては、建設業が 22.1%、建設機械器具賃貸業等（リース・レンタル業）が 44.1%、官公庁等が 1.6% となっており、リース・レンタル業が高い割合を占めている（表一）。

表一 建設機械購入の業種比率

分類	機械名	規格	区分	コード	販売台数	地域別購入台数													
						建設業		建設機械器具賃貸業等		官公庁等		農業、林業及び漁業		採石業、砂・砂利・玉石採取業		その他		不明のもの	
						台数	%	台数	%	台数	%	台数	%	台数	%	台数	%	台数	%
土工機械	履带式ブルドーザ (ハンドガイドを除く)	ブレード付 整備重量	3～10t未満	012	285	76	26.7%	125	43.9%	2	0.7%	8	2.8%	9	3.2%	64	22.5%	1	0.4%
			10～20t未満	013	61	23	37.7%	21	34.4%	1	1.6%	1	1.6%	3	4.9%	12	19.7%	0	0.0%
			20t以上	014	160	70	43.8%	16	10.0%	5	3.1%	1	0.6%	23	14.4%	45	28.1%	0	0.0%
			計		506	169	33.4%	162	32.0%	8	1.6%	10	2.0%	35	6.9%	121	23.9%	1	0.2%
	油圧式ショベル系 掘削機 (ハンドガイドを除く)	標準バケット 平積容量	0.2m <sup>3</sup> 未満	041	11,840	4,631	39.1%	4,631	39.1%	52	0.4%	677	5.7%	77	0.7%	1,763	14.9%	9	0.1%
			0.2m <sup>3</sup> ～0.6m <sup>3</sup> 未満	042	5,026	1,208	24.0%	2,072	41.2%	31	0.6%	452	9.0%	59	1.2%	1,193	23.7%	11	0.2%
			0.6m <sup>3</sup> 以上	043	5,606	1,230	21.9%	2,424	43.2%	33	0.6%	130	2.3%	389	6.9%	1,385	24.7%	15	0.3%
			計		22,472	7,069	31.5%	9,127	40.6%	116	0.5%	1,259	5.6%	525	2.3%	4,341	19.3%	35	0.2%
	機械ロープ式 ショベル系掘削機 (クローラクレ ーンを含む)	標準バケット 平積容量	0.6～1.2m <sup>3</sup> 未満 (20～40t未満)	051	1	1	100.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
			1.2～2.0m <sup>3</sup> 未満 (40～60t未満)	052	36	27	75.0%	5	13.9%	0	0.0%	0	0.0%	1	2.8%	3	8.3%	0	0.0%
			2.0m <sup>3</sup> 以上(60t以上)	053	177	97	54.8%	60	33.9%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	20	11.3%	0	0.0%
			計		214	125	58.4%	65	30.4%	0	0.0%	0	0.0%	1	0.5%	23	10.7%	0	0.0%
	履带式トラクタショベル (クローラローダ)		061	17	2	11.8%	0	0.0%	3	17.6%	0	0.0%	0	0.0%	12	70.6%	0	0.0%	
	車輪式トラクタ ショベル (ホイールローダ)	標準バケット 山積容量	0.6m <sup>3</sup> 未満	071	2,824	316	11.2%	376	13.3%	63	2.2%	732	25.9%	15	0.5%	890	31.5%	432	15.3%
			0.6m <sup>3</sup> ～3.6m <sup>3</sup> 未満	072	3,531	392	11.1%	298	8.4%	67	1.9%	600	17.0%	125	3.5%	1,139	32.3%	910	25.8%
3.6m <sup>3</sup> 以上			073	278	36	12.9%	16	5.8%	0	0.0%	1	0.4%	99	35.6%	102	36.7%	24	8.6%	
計				6,633	744	11.2%	690	10.4%	130	2.0%	1,333	20.1%	239	3.6%	2,131	32.1%	1,366	20.6%	
合計					29,842	8,109	27.2%	10,044	33.7%	257	0.9%	2,602	8.7%	800	2.7%	6,628	22.2%	1,402	4.7%
運搬機械	公道外用ダンプトラック	最大吊上能力	5t未満	101	24	0	0.0%	0	0.0%	1	4.2%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	23	95.8%
			5t～40t未満	102	2	0	0.0%	2	100.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
			40t以上	103	53	16	30.2%	37	69.8%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
			計		79	16	20.3%	39	49.4%	1	1.3%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	23	29.1%

統計

表一 建設機械購入の業種比率（つづき）

分類	機 械 名	規 格	区 分	コード	販売台数	地 域 別 購 入 台 数														
						建設業		建設機械器具 賃貸業等		官公庁等		農業、林業及び 漁業		採石業、砂・砂利・ 玉石採取業		その他		不明のもの		
						台数	%	台数	%	台数	%	台数	%	台数	%	台数	%	台数	%	
運搬機械	機械式トラッククレーン			111	1	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	1	100.0%	0	0.0%	
	ホイールクレーン (ラフテレーンク レーンを含む)	最大吊上能力	20 t 未満	115	242	8	3.3%	231	95.5%	0	0.0%	1	0.4%	0	0.0%	2	0.8%	0	0.0%	
			20 t 以上	116	636	36	5.7%	578	90.9%	7	1.1%	0	0.0%	0	0.0%	15	2.4%	0	0.0%	
		計			878	44	5.0%	809	92.1%	7	0.8%	1	0.1%	0	0.0%	17	1.9%	0	0.0%	
	不整地運搬車	最大積載量	1 t 以上	117	502	65	12.9%	325	64.7%	1	0.2%	98	19.5%	1	0.2%	12	2.4%	0	0.0%	
	合計			1,652	167	10.1%	1,196	72.4%	29	1.8%	99	6.0%	48	2.9%	84	5.1%	29	1.8%		
基礎工事機械	振動パイルドライバ			131	13	13	100.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	
	アースオーガ			141	101	81	80.2%	20	19.8%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	
	大口径掘削機 (オールケーシング、リ パス、アースドリル)			151	31	27	87.1%	4	12.9%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	
	油圧式杭圧入引抜機			155	34	34	100.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	
	地盤改良機械			157	58	57	98.3%	1	1.7%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	
	合計			237	212	89.5%	25	10.5%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%		
せん孔	大型ブレーカー			161	1,938	483	24.9%	572	29.5%	0	0.0%	1	0.1%	36	1.9%	47	2.4%	799	41.2%	
	クローラドリル			171	43	2	4.7%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	40	93.0%	1	2.3%	0	0.0%	
	合計			1,981	485	24.5%	572	28.9%	0	0.0%	1	0.1%	76	3.8%	48	2.4%	799	40.3%		
整地・転圧機械	モーターグレーダー (除雪グレーダーを含む)	ブレード長	3.6 m 未満	181	62	4	6.5%	2	3.2%	54	87.1%	0	0.0%	0	0.0%	1	1.6%	1	1.6%	
		3.6 m 以上	182	143	7	4.9%	30	21.0%	65	45.5%	0	0.0%	0	0.0%	41	28.7%	0	0.0%		
		計			205	11	5.4%	32	15.6%	119	58.0%	0	0.0%	0	0.0%	42	20.5%	1	0.5%	
	ロードローラ (搭乗式) (マカダム、三輪タンDEM)	自重 (ウエイトなし)			191	64	19	29.7%	45	70.3%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
	タイヤローラ (搭乗式)	自重 (ウエイトなし)			201	290	71	24.5%	204	70.3%	10	3.4%	0	0.0%	0	0.0%	5	1.7%	0	0.0%
	振動ローラ (コンバインドローラを含む)	搭乗式			211	607	128	21.1%	465	76.6%	7	1.2%	0	0.0%	0	0.0%	7	1.2%	0	0.0%
	合計			1,166	229	19.6%	746	64.0%	136	11.7%	0	0.0%	0	0.0%	54	4.6%	1	0.1%		
コンクリート・アスファルト機械	コンクリート プラント	型式	重力式	221	4	4	100.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	
		型式	強制鍊式	223	40	25	62.5%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	15	37.5%	0	0.0%	
		計			44	29	65.9%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	15	34.1%	0	0.0%	
	コンクリートミキサ			232	32	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	32	100.0%	0	0.0%	
	トラックミキサ (アジ テータトラックを含む)			241	1,029	3	0.3%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	1	0.1%	630	61.2%	395	38.4%	
	コンクリートポンプ	型式	定置式	251	31	0	0.0%	23	74.2%	0	0.0%	0	0.0%	2	6.5%	3	9.7%	3	9.7%	
	コンクリートポンプ	型式	車両搭載型	252	125	107	85.6%	1	0.8%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	14	11.2%	3	2.4%	
	アスファルトプラント			261	12	12	100.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	
	アルファルト フィニッシャ	最大舗装幅	3.5 m 未満	271	30	14	46.7%	16	53.3%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	
			3.5 m 以上	272	273	129	47.3%	122	44.7%	1	0.4%	0	0.0%	0	0.0%	19	7.0%	2	0.7%	
	計			303	143	47.2%	138	45.5%	1	0.3%	0	0.0%	0	0.0%	19	6.3%	2	0.7%		
	合計			1,576	294	18.7%	162	10.3%	1	0.1%	0	0.0%	3	0.2%	713	45.2%	403	25.6%		
トンネル掘削機	シールド掘進機			282	14	14	100.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	
	小口径管推進機			283	1	1	100.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	
	トンネルジャンボ (ドリルジャンボ)			285	28	2	7.1%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	26	92.9%	0	0.0%	0	0.0%	
	合計			43	17	39.5%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	26	60.5%	0	0.0%	0	0.0%		
その他	大型コンプレッサ (空気圧縮 機) (15 kw 又は 20 PS 以上)	可搬式・ 半可搬式		291	1,669	277	16.6%	1,024	61.4%	9	0.5%	5	0.3%	3	0.2%	318	19.1%	33	2.0%	
	大型発電機 (15 kw 又は 20 PS 以上)	可搬式・ 半可搬式		301	5,719	1,087	19.0%	3,738	65.4%	144	2.5%	20	0.3%	5	0.1%	716	12.5%	9	0.2%	
	ロータリ除雪車			311	149	3	2.0%	0	0.0%	146	98.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	
	路面清掃車			321	104	2	1.9%	0	0.0%	59	56.7%	0	0.0%	17	16.3%	26	25.0%	0	0.0%	
	路面切削機			331	53	42	79.2%	8	15.1%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	3	5.7%	0	0.0%	
	高所作業車	トラック架装 のもの			341	2,036	55	2.7%	1,083	53.2%	4	0.2%	0	0.0%	0	0.0%	894	43.9%	0	0.0%
		その他のもの			342	3,562	7	0.2%	3,393	95.3%	4	0.1%	0	0.0%	0	0.0%	158	4.4%	0	0.0%
		計			5,598	62	1.1%	4,476	80.0%	8	0.1%	0	0.0%	0	0.0%	1,052	18.8%	0	0.0%	
自走式破砕機	コンクリ ート・木材用			351	141	37	26.2%	10	7.1%	6	4.3%	13	9.2%	6	4.3%	69	48.9%	0	0.0%	
	合計			13,433	1,510	11.3%	9,256	68.9%	372	2.8%	38	0.3%	31	0.2%	2,184	16.3%	42	0.3%		
	総計			49,930	11,023	22.1%	22,001	44.1%	795	1.6%	2,740	5.5%	984	2.0%	9,711	19.4%	2,676	5.4%		

# 統計

表一 主要建設機械の補正係数を用いた推定保有台数

分類	機械名	規格		コード	推定保有台数	業種別推定保有台数									
		区分	建設業			建設機械器具賃貸業等		官公庁等		その他		不明のもの			
			台数			%	台数	%	台数	%	台数	%	台数	%	
土工機械	履帯式ブルドーザ (ハンドガイドを除く)	ブレード付 整備重量	3～10t未満	012	27,510	17,093	64.2%	6,648	22.3%	524	1.8%	3,102	11.1%	143	0.6%
			10～20t未満	013	6,066	3,745	62.2%	947	15.4%	348	5.5%	983	16.1%	43	0.7%
			20t以上	014	5,524	2,771	51.2%	713	12.4%	137	2.4%	1,897	33.9%	6	0.1%
		計		39,100	23,609	60.4%	8,308	21.2%	1,009	2.6%	5,982	15.3%	192	0.5%	
	油圧式ショベル系掘削機 (ハンドガイドを除く)	標準バケット 平積容量	0.2m <sup>3</sup> 未満	041	301,894	112,221	37.3%	124,617	41.2%	2,144	0.7%	28,011	9.3%	34,901	11.6%
			0.2m <sup>3</sup> ～0.6m <sup>3</sup> 未満	042	189,499	94,849	50.5%	72,805	38.0%	690	0.4%	11,810	6.2%	9,345	4.9%
			0.6m <sup>3</sup> 以上	043	101,841	46,739	46.3%	33,316	32.3%	213	0.2%	19,478	19.2%	2,095	2.1%
		計		593,234	253,809	42.8%	230,738	38.9%	3,047	0.5%	59,299	10.0%	46,341	7.8%	
	履帯式トラクタショベル (クローラローダ)			061	5,919	3,392	66.0%	786	11.7%	221	2.8%	1,384	17.8%	136	1.8%
	車輪式トラクタショベル (ホイールローダ)	標準バケット 山積容量	0.6m <sup>3</sup> 未満	071	71,872	15,646	21.8%	16,792	23.2%	1,492	2.1%	26,534	36.9%	11,408	16.0%
			0.6m <sup>3</sup> ～3.6m <sup>3</sup> 未満	072	79,437	28,869	36.6%	5,808	7.3%	3,604	4.6%	33,250	41.6%	7,906	10.0%
			3.6m <sup>3</sup> 以上	073	5,903	726	12.3%	211	3.5%	43	0.7%	4,181	70.8%	742	12.7%
		計		157,212	45,241	28.8%	22,811	14.5%	5,139	3.3%	63,965	40.7%	20,056	12.8%	
	合計				795,465	326,051	41.0%	262,643	33.0%	9,416	1.2%	130,630	16.4%	66,725	8.4%
	運搬機械	油圧式トラッククレーン	※			14,950	4,426	30.7%	5,496	34.9%	544	3.6%	3,755	25.8%	729
機械式トラッククレーン		※		111	246	17	31.8%	174	18.2%	20	36.4%	35	13.6%	0	0.0%
ホイールクレーン (ラフテレンクレーンを含む)		※			39,011	9,101	24.1%	26,565	66.3%	134	0.5%	2,383	7.1%	828	2.0%
合計				54,207	13,544	25.0%	32,235	59.5%	698	1.3%	6,173	11.4%	1,557	2.9%	
総計				849,672	339,595	40.0%	294,878	34.7%	10,114	1.2%	136,803	16.1%	68,282	8.0%	

注) ※印は厚生労働省移動式クレーン設置台数を引用(参考値)

### 3. 主要建設機械の推定保有台数

#### (1) 今回調査の結果

平成21年度末までの主要建設機械の推定保有台数は、全体で849,672台となり、前回調査920,116台と比較して7.7%減となった。機械別内訳では、履帯式ブルドーザ39,100台(対前回比▲19.1%)、油圧式ショベル系掘削機593,234台(▲9.4%)、履帯式トラクタショベル5,919台(▲34.9%)、車輪式トラクタショベル157,212台(+2.8%)、運搬機械(クレーン類)は54,207台(▲1.5%)となっている。

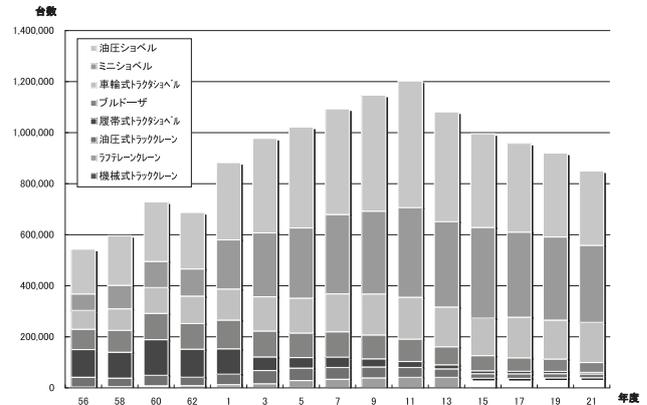
また、業種別の推定保有台数シェアをみると、建設業が40.0%、建設機械器具賃貸業等(リース・レンタル業)が34.7%、官公庁等が1.2%となっている(表一2)。

#### (2) 経年推移

推定保有台数の推移を過去調査をもとにグラフにしたのが(図一1)である。平成11年度の120万台をピークに減少傾向にあり、平成21年度は平成元年度と同程度の台数まで減少した。

#### (3) 環境対策型建設機械

保有台数の内訳として環境対策型建設機械等の台数も調査しており(表一3)、超低騒音型建設機械及び、平成18年度よりオフロード法等で規制が開始された第3次排出ガス基準値に適合した機械が増傾向にある。



図一1 主要建設機械の推定保有台数の推移

### 4. 建設機械動向の特徴

#### (1) 機械購入台数

①平成21年度の購入台数は大幅減となった。「生産動態統計」(経済産業省)の生産及び販売台数、「建設機械出荷金額統計」(建設機械工業会)の国内出荷台数でも平成21年は大幅に落ち込んでいることから、平成20年9月のリーマン・ショックに端を発する不況の影響を受け、建設機械の生産・販売が大きく減少した結果と考えられる。今後については、上記の2統計で平成22年度以降持ち直しの動きが見られており、機械購入台数もある程度回復するものと見込まれる。

②業種別シェアは、リース・レンタル業が最も高い。過去は建設業

表一 環境対策型建設機械及び超小旋回型機種種の補正係数を用いた推定普及台数

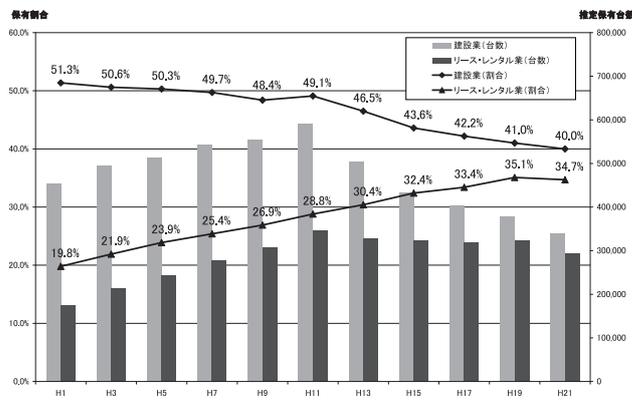
分類	機械名	規格	区分	コード	推定保有台数	環境対策型建設機械					超小旋回機種種		
						超低騒音型建設機械	低騒音型建設機械	低振動型建設機械	排出ガス対策型			超小旋回型油圧ショベル	後方超小旋回型油圧ショベル
									第1次基準値指定機種	第2次基準値指定機種	オフロード法適合機種または第3次基準値指定機種		
土工機械	履帯式ブルドーザ (ハンドガイドを除く)	ブレード付整備重量	3～10t未満	012	27,510	-	4,389	-	-	-	-	-	
			10～20t未満	013	6,066	-	16	-	1,619	396	205	-	
			20t以上	014	5,524	-	-	-	710	327	371	-	
			計		39,100	-	4,405	-	2,329	723	576	-	
	油圧式ショベル系掘削機 (ハンドガイドを除く)	標準バケット平積容量	0.2m <sup>3</sup> 未満	041	301,894	183,530	43,117	-	50,861	102,456	28,889	70,680	132,670
			0.2m <sup>3</sup> ～0.6m <sup>3</sup> 未満	042	189,499	18,555	115,493	-	47,540	60,791	14,945	32,765	50,926
			0.6m <sup>3</sup> 以上	043	101,841	34,886	45,312	19	9,120	33,302	28,584	1,031	9,677
			計		593,234	236,971	203,922	19	107,521	196,549	72,418	104,476	193,273
	履帯式トラクタショベル (クローラローダ)			061	5,919	-	-	-	109	210	-	-	
	車輪式トラクタショベル (ホイールローダ)	標準バケット山積容量	0.6m <sup>3</sup> 未満	071	71,872	17,114	35,666	-	12,037	25,235	6,291	-	-
0.6m <sup>3</sup> ～3.6m <sup>3</sup> 未満			072	79,437	2,011	37,070	-	26,854	15,574	4,537	-	-	
3.6m <sup>3</sup> 以上			073	5,903	-	754	-	1,504	1,402	1,449	-	-	
計				157,212	19,125	73,490	-	40,395	42,211	12,277	-	-	
合計			795,465	256,096	281,817	19	150,354	239,693	85,271	104,476	193,273		
運搬機械	油圧式トラッククレーン				14,950	555	6,203	-	-	-	-	-	
	機械式トラッククレーン			111	246	-	7	-	-	-	-	-	
	ホイールクレーン (ラフテレーンクレーンを含む)				39,011	658	27,197	-	10,259	7,618	-	-	
	合計				54,207	1,213	33,407	-	10,259	7,618	-	-	
総計				849,672	257,309	315,224	19	160,613	247,311	85,271	104,476	193,273	

注) 環境対策型建設機械、超小旋回型機種種の台数は、推定保有台数の内数である。  
また、環境対策型建設機械においては、1台の機械が複数の指定を受けている場合、各々の項目欄に台数が計上(例、低騒音型建設機械と排出ガス対策型建設機械(第1次基準値)に指定されている場合、各々の欄に1台を計上)されるので、各項目の総和が環境対策型建設機械の合計台数にはならない。

のシェアが最も高かったが、平成9年度にリース・レンタル業が逆転して以降、その差は徐々に広がってきている。

(2) 主要機械の推定保有台数

- ① 今回結果は約85万台であった。過去のピークは平成11年度であるが、建設投資額は平成8年度より、公共事業費も平成10年度をピークに約半減しており、建設投資額と生産性に直結する機械保有量には相関性が認められる。今後、購入台数はある程度回復するものの、建設投資額の大幅な増加は見込めず、ピーク時の保有機械の耐用年数を考慮すれば、保有台数は緩やかに減少するものと考えられる。
- ② 約85万台という数値は、平成元年度の保有台数と同程度である。だが、機種別内訳を見ると、履帯式ブルドーザ、履帯式トラクタショベル(クローラローダ)や油圧式トラッククレーンが減少し、小型の油圧式ショベル系掘削機(ミニショベル)やホイールクレーン(ラフテレーンクレーン含む)が増えている。20年間に大規模工事の減少や施工形態の変化があったことが伺える。
- ③ 業種別シェアを見ると、今回は建設業40.0%、リース・レンタル業34.7%であるが、平成元年度は建設業51.3%、リース・レンタル業19.8%であった。近年は建設機械のリース・レンタルへのシフトが進んでいると言われていたが、本調査結果はそれを裏付けるものとなっている(図一2)。特に、油圧式ショベル系掘削機及び車輪式トラクタショベル(ホイールローダ)にその傾向が顕著である。機械購入台数の業種別シェアでは既にリース・レ



図一 業種別 推定保有台数割合等の推移

ル業が建設業を上回っており、今後、保有台数についてもリース・レンタル業のシェアが増加すると考えられる。

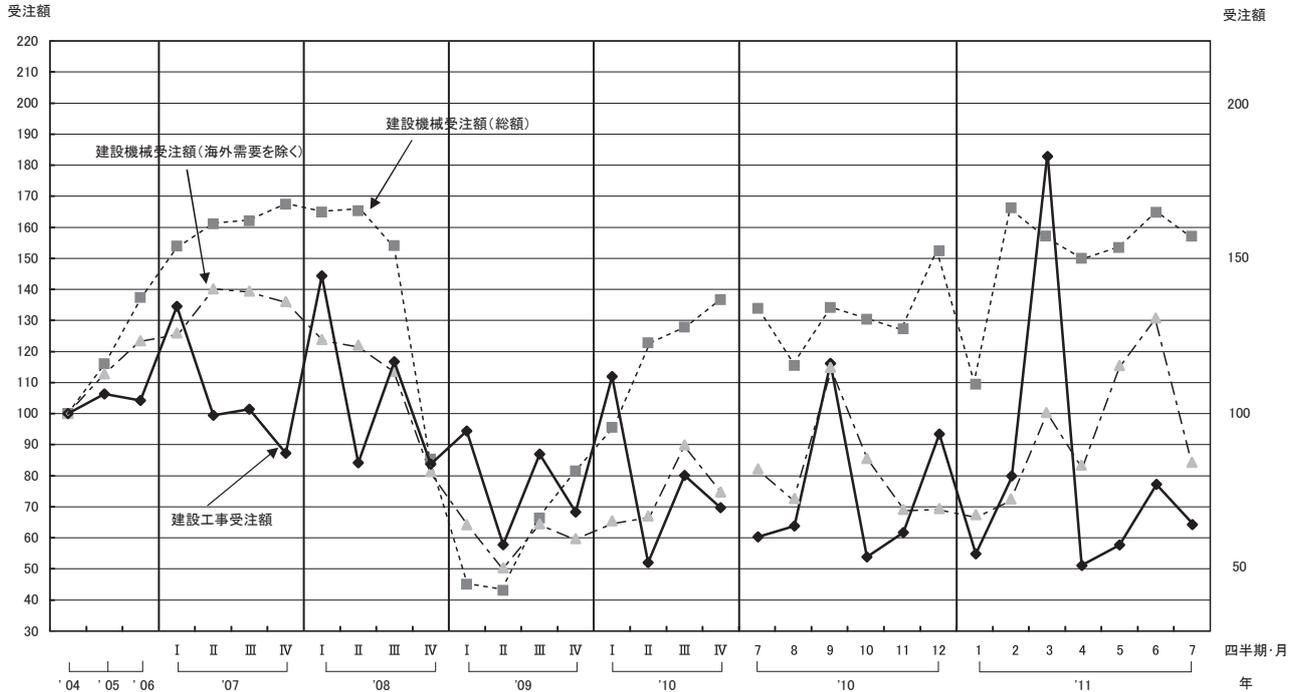
5. おわりに

今回は、平成23年度調査について平成24年度末に公表予定である。なお、本調査の詳細は「政府統計の総合窓口(e-stat)」の下記URLに公表してあるので、そちらを参照されたい。

<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/GL02100104.do?gaid=GL02100102&toed=00600080>

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 2004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 2004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							
2004年	130,611	92,008	17,150	74,858	27,469	5,223	5,911	93,306	37,305	133,279	131,313
2005年	138,966	94,850	19,156	75,694	30,657	5,310	8,149	95,370	43,596	136,152	136,567
2006年	136,214	98,886	22,041	76,845	20,711	5,852	10,765	98,795	37,419	134,845	142,913
2007年	137,946	103,701	21,705	81,996	19,539	5,997	8,708	101,417	36,529	129,919	143,391
2008年	140,056	98,847	22,950	75,897	25,285	5,741	10,184	98,836	41,220	128,683	142,289
2009年	100,407	66,122	12,410	53,712	24,140	5,843	4,302	66,187	34,220	103,956	128,839
2010年	102,466	69,436	11,355	58,182	22,101	5,472	5,459	71,057	31,408	107,613	106,112
2010年7月	6,560	4,619	1,128	3,492	1,031	447	464	4,378	2,182	107,333	6,945
8月	6,942	4,966	895	4,071	1,410	488	77	4,858	2,084	107,326	8,056
9月	12,639	8,790	1,603	7,187	2,607	511	731	9,501	3,138	109,222	11,384
10月	5,867	4,131	514	3,716	1,021	411	303	3,873	1,994	108,668	6,762
11月	6,714	4,409	688	3,722	1,777	433	95	4,622	2,092	107,819	8,293
12月	10,171	6,605	1,280	5,325	2,197	449	920	7,040	3,131	107,613	10,472
2011年1月	5,980	4,069	677	3,392	1,242	386	283	4,297	1,683	107,012	6,917
2月	8,729	5,799	1,224	4,574	2,059	448	424	5,983	2,747	107,291	8,513
3月	20,085	14,615	2,042	12,573	3,938	570	961	14,998	5,086	114,047	13,188
4月	5,544	3,850	929	2,921	909	360	426	3,756	1,788	111,759	7,239
5月	6,232	4,133	1,028	3,105	1,068	319	712	4,041	2,191	111,213	6,754
6月	8,280	6,194	1,251	4,943	1,471	356	259	5,958	2,322	111,336	10,102
7月	6,933	5,174	1,303	3,871	1,124	363	273	5,052	1,882	—	—

建設機械受注実績

(単位：億円)

年 月	04年	05年	06年	07年	08年	09年	10年	10年 7月	8月	9月	10月	11月	12月	11年 1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月
総 額	12,712	14,749	17,465	20,478	18,099	7,492	15,342	1,418	1,222	1,421	1,381	1,348	1,613	1,159	1,756	1,660	1,590	1,638	1,744	1,662
海 外 需 要	8,084	9,530	11,756	14,209	12,996	4,727	11,904	1,101	942	978	1,051	1,081	1,345	899	1,475	1,274	1,269	1,191	1,238	1,333
海外需要を除く	4,628	5,219	5,709	6,268	5,103	2,765	3,438	317	280	443	330	267	268	260	281	386	321	447	506	329

(注) 2004～2006年は年平均で、2007年～2010年は四半期ごとの平均値で図示した。  
 2010年7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…

(2011年8月1日～31日)

### ■ 機 械 部 会

#### ■コンクリート機械技術委員会

月 日：8月4日(木)

出席者：大村高慶委員長ほか9名

議 題：①コンクリート機械の変遷の審議について ②コンクリート機械の安全対策・事故事例について ③その他

#### ■基礎工事用機械技術委員会

月 日：8月5日(金)

出席者：村手徳夫幹事ほか11名

議 題：①平成23年度委員会組織について ②前回(6/28)の平成23年度活動テーマ3案(ア～ウ)についての意見交換と絞り込み(ア、工法をある程度絞った安全施工作業マニュアルの作成、イ、各基本工法における使用機械の運転資格と定期点検についての整理、ウ、「建設工事に伴う騒音振動対策ハンドブック」の基礎工事についての見直し) ③平成23年度活動テーマの進め方 ④その他

#### ■トンネル機械技術委員会 環境保全分科会

月 日：8月10日(水)

出席者：鈴木康雅分科会長ほか5名

議 題：①前回に続き各自収集資料(機器・装置関連)の内容確認 ②各自そのまとめ方についての案を持ち寄り説明し、まとめ方についての意見交換 ③その他

#### ■トンネル機械技術委員会 新技術・施工技術分科会

月 日：8月23日(火)

出席者：椎橋孝一郎分科会長ほか4名

議 題：①各委員より各テーマ「安全・安心」、「環境」、「ICT」内で分類分けしたキーワードから傾向をつかむ ②今後の取り纏め方について ③その他

#### ■トンネル機械技術委員会 トンネル機械未来像分科会

月 日：8月24日(水)

出席者：浅野文宏文科会長ほか6名

議 題：①テーマ：100年後のトンネルを考え、地域や目的によって考えが異なるトンネルについて各自持ち寄った資料を再読し、討議する ②報告書のフォーマットについての検討 ③その他

#### ■路盤・舗装機械技術委員会 幹事会

月 日：8月25日(木)

出席者：渡邊充委員長ほか8名

議 題：①平成23年度活動状況と今後の活動計画について ②本日開催の総会と技術発表会について ③その他

#### ■路盤・舗装機械技術委員会 総会及び技術発表会

月 日：8月25日(木)

出席者：渡邊充委員長ほか30名

議 題：【総会】①平成23年度活動の概要報告と本日の内容について ②ホームページについての報告 ③安全環境分科会についての報告 ④舗装機械変遷分科会の報告 【技術発表会】①排ガス2014規制に向けた尿素SCRシステムとin use車載型排ガス測定装置の紹介 ②バイオディーゼル燃料(BDF)について ③吸引ゴミ選別ユニット(NAS)シリーズの紹介 ④質疑応答、その他

#### ■トラクタ技術委員会

月 日：8月26日(金)

出席者：阿部里視委員長ほか8名

議 題：①JIS A 8340の安全規格の改訂検討について ②「燃費基準の創設と認定・融資制度」に向けたその後の動きについて ③トピックス ④その他

#### ■トンネル機械技術委員会 第2回幹事会

月 日：8月26日(金)

出席者：篠原望委員長ほか7名

議 題：①工場見学の見学先と実施日程について ②各分科会の平成23年度上半期活動報告と下期活動計画について ③その他

### ■ 製 造 業 部 会

#### ■製造業部会 小幹事会

月 日：8月9日(火)

出席者：田中利昌幹事長ほか5名

議 題：①9月9日(金)国交省幹部・4社長意見交換会での要望議(話)題について ②2012年建設機械展示会(CONET)の開催検討について ③放射線環境下における建設機械の検討意見交換会の進め方について ④平成23年度下期の合同部会について ⑤その他

#### ■作業燃費検討WG代表・ミニショベルメーカー検討会の開催

月 日：8月31日(水)

出席者：田中利昌リーダーほか11名

議 題：①前回(7月21日)の記録内容の確認 ②各メーカーの試験実施機種、試験時期について ③上記費用の負担について ④中型ショベルの制度をそのままミニショベルに延長した場

合の不都合の有無及び改良案について

### ■ 建 設 業 部 会

#### ■三役会

月 日：8月25日(木)

出席者：川本伸司部会長ほか4名

議 題：①福島原発事故対応 ②機電技術者意見交換会 ③合同部会 ④その他

### ■ レンタル業部会

#### ■コンプライアンス分科会

月 日：8月2日(火)

出席者：中島嘉幸分科会長ほか10名

議 題：①福島原発事故対応 ②その他

### ■ 各 種 委 員 会 等

#### ■機関誌編集委員会

月 日：8月3日(水)

出席者：田中康順委員長ほか20名

議 題：①平成23年11月号(第741号)の計画の審議・検討 ②平成23年12月号(第742号)の素案の審議・検討 ③平成24年1月号(第743号)の編集方針の審議・検討 ④平成23年8～10月号(第738～740号)の進捗状況の報告・確認

#### ■新機種調査分科会

月 日：8月24日(水)

出席者：江本平分科会長ほか7名

議 題：①新機種情報の検討・選定

#### ■建設経済調査分科会

月 日：8月17日(水)

出席者：山名至孝分科会長ほか3名

議 題：①「平成23建設業の業況」の検討 ②今後の掲載予定テーマと担当者の検討

#### ■新工法調査分科会

月 日：8月25日(木)

出席者：安川良博分科会長ほか3名

議 題：①新工法情報の検討・選定

## …支部行事一覧…

### ■ 北 海 道 支 部

#### ■第4回技術部会施工技術・整備検定委員会

月 日：8月18日(木)

出席者：伊藤敬二委員ほか10名

議 題：平成23年度建設機械施工技術

検定実地試験の実施要領について

### ■第3回技術部会技術委員会

月日：8月23日(火)

出席者：服部健作部会長ほか21名

議題：除雪機械技術講習会のテキスト等について

## ■東北支部

### ■技術部会 技術施工講習会(映画会)

月日：8月1日(月)

場所：フォレスト仙台

参加人数：150名

題名：①パームジュメーラ海底道路トンネルプロジェクト(大成建設株) ②ボスボラス海峡横断鉄道トンネル(大成建設株) ③SD工法を用いた硬岩トンネルの掘削(株奥村組) ④柏崎洗淨工事記録(株間組) ⑤電磁誘導システム(NEIシステム)(株NIPPO) ⑥大阪中央環状線道路改良工事その1(株技研製作所) ⑦余部橋梁さらなる100年へ(清水建設株) ⑧音が見える熊谷組の『音カメラ』(株熊谷組) ⑨静的締め固め砂杭工法「SAVEコンポーザー」(株不動テトラ) ⑩大径・高品質の深層混合処理工法(株不動テトラ) ⑪建設系産業廃棄物処理RTシステム(東急建設株)(次世代マニュアルによる廃棄物分離・選別システムの開発)

### ■施工部会

月日：8月4日(木)

場所：東北地方整備局

出席者：道路情報管理官ほか13人

内容：平成23年度除雪講習委員・幹事会へ下記事項説明 ①平成23年度除雪講習会・講習実施計画(案)について説明 ②除雪講習委員会審議(JCMAは退場の上)…平成23年度除雪講習会・講習実施計画の確認について、除雪機械運転資格基準にかかる除雪講習について(通知)、除雪講習委員会規程、について審議

### ■企画部会

月日：8月5日(金)

場所：支部会議室

出席者：鈴木基行支部長ほか6名

内容：①60周年記念事業について ②60周年記念誌の発行について ③60周年記念事業実行委員会たちあげについて ④その他

### ■施工部会

月日：8月10日(水)

場所：東北支部会議室

出席者：稲村正弘部会長ほか8名

内容：①平成23年度除雪講習会開催一覧表について ②整備局との打合せ結果について ③「道路除雪の手引き」改訂について ④パワーポイントの改正事項について ⑤その他

### ■施工部会担当

建設機械施工技術検定試験実地試験

月日：8月19日(金)～22日(月)

場所：多賀城市日立建機(株)構内

受検者数：

種別	1級	2級	合計
1種	26	49	75
2種	48	187	235
3種	9	7	16
4種	32	21	53
計	115	264	379

### ■広報部会

月日：8月29日(月)

場所：支部会議室

出席者：浅野公隆委員ほか5名

内容：①支部たより161号の反省点 ②支部たより162号の編集計画について ③支部創立60周年記念事業について ④支部創立60周年記念誌発行計画について ⑤平成23年度現場見学会の実施について ⑥本部機関誌「建設の施工企画」への投稿計画について

## ■北陸支部

### ■けんせつフェア in 北陸 2011 幹事会

月日：8月5日(金)

場所：北陸地方整備局会議室

出席者：上杉修二広報委員長

議題：23年度実施計画について

### ■けんせつフェア in 北陸 2011 実行委員会

月日：8月12日(金)

場所：北陸地方整備局会議室

出席者：三日月晋一事務局長

議題：23年度実施計画について

### ■建設機械施工技術検定実地試験説明会

月日：8月22日(月)

場所：施工技術総合研究所

出席者：竹之内博行技師長ほか7名

議題：建設機械施工技術検定実地試験の実施について

### ■現場見学会

月日：8月24日(水)

場所：大河津可動堰

出席者：青木鉄朗普及部会長ほか20名

### ■建設機械施工技術検定実地試験

月日：8月27日(土)～28日(日)

場所：コマツ教習所栗津センタ

受講者：1級55名、2級106名 計161名(延べ)

## ■中部支部

### ■広報部会

月日：8月5日(金)

出席者：高木理仁広報部会長ほか3名

議題：「支部ニュース30号」編集について

### ■建設機械施工技術検定実地試験監督者要領説明会

月日：8月22日(月)～23日(火)

出席者：実地試験監督者11名

内容：検定試験(実地)実施要領・監督要領について説明及び打合せを行った

### ■技術部会

月日：8月22日(月)

出席者：藤崎治行技術部会長ほか3名

議題：「技術発表会」実施について

### ■「最近の建設施工」映画会

月日：8月26日(金)

内容：①「ベルシャンブルーの海で…」(大成建設株) ②「海峡をつなぐ夢」ボスボラス海峡横断鉄道トンネル(大成建設株) ③SD工法を用いた硬岩トンネルの掘削(株奥村組) ④柏崎洗淨工事記録(株間組) ⑤電磁誘導システム(NEIシステム)(株NIPPO) ⑥余部橋りょうさらなる100年へ(清水建設株) ⑦音が見える熊谷組の「音カメラ」(株熊谷組) ⑧静的締め固め砂杭工法「SAVEコンポーザー」(株不動テトラ) ⑨大径・高品質の深層混合処理工法(株不動テトラ) ⑩建設系産業廃棄物処理RTシステム(東急建設株) ⑪大阪中央環状線道路改良工事(その1)(株技研製作所)  
参加者：約60名

## ■関西支部

### ■建設技術展 2011 近畿 現地説明会

月日：8月3日(水)

場所：マイドーム大阪 2F ホール

出席者：松本克英事務局長

内容：当支部の展示コマは3F05ブースに決定

### ■広報部会

月日：8月10日(水)

場所：関西支部 会議室

出席者：御園聡広報部会長ほか3名

議題：①「JCMA 関西」第99号の発刊について ②「JCMA 関西」第100号の企画について ③建設技術展への出展について

■平成23年度1・2級建設機械施工技術  
検定試験(実地)試験監督者打合せ

月日:8月18日(木)

場所:関西支部会議室

出席者:松本克英事務局長ほか15名

内容:①実地試験実施要領(全般)について ②試験当日の時間割と採点の留意事項について ③連絡事項など

■摩耗対策委員会(第234回)

月日:8月24日(水)

場所:追手門学院 大阪城スクエア 会議室

出席者:深川良一委員長ほか8名

議題:①技術講演・機械部品の耐摩耗向上のための肉盛施工法と使用実績について…(株)栗本鐵工所 素形材エンジニアリング事業部技術部 吉田誠秀氏 ②文献紹介 ③その他

■平成23年度電気保安功労者表彰式

月日:8月31日(水)

場所:帝国ホテル大阪

受賞者:主任技術者(株)鴻池組 岸和田機械流通センター 東幸生氏, 電気工事士(株)エフエムシー 阪神統括事業所 東浩二氏

■平成23年度施工技術報告会 第4回幹事会

月日:8月31日(水)

場所:関西支部 会議室

出席者:松本克英事務局長ほか9名

議題:①応募講演概要の検討と選定 ②その他

■中国支部

■第2回広報部会

月日:8月4日(木)

場所:中国支部事務所

出席者:小石川武則部会長ほか4名

議題:①広報誌「CMnavi」No.34の編集について ②広報誌「CMnavi」支部60周年記念号編集について ③その他懸案事項

■1・2級建設機械施工技術検定実地試験  
試験監督者事前説明会

月日:8月12日(金)

場所:中国支部事務所

出席者:齋藤実施工部会長ほか10名

議題:①建設機械施工技術検定実地試験要領説明会

■第3回施工技術部会

月日:8月22日(月)

場所:中国支部事務所

出席者:齋藤実部会長ほか4名

議題:①情報化施工に関する講習会等について ②情報化施工研究会(第1回)(案)の開催について ③建設機械施工技術検定実地試験について ④その他懸案事項

■1・2級建設機械施工技術検定実地試験

月日:8月27日(土)～29日(月)

場所:広島市西区扇2丁目多目的広場

受検者:1級28名, 2級188名(1種36, 2種169, 3種7, 4種48)

■情報化施工(体験セミナー)講習会

月日:8月30日(火)～31日(水)

場所:(座学)広島市産業振興センター 会議室

(実習)広島市西区扇2丁目多目的広場  
参加者:30日21名, 31日51名

講習内容:(座学)①情報化施工に関する最近の動向…国土交通省中国地方整備局企画部機械施工管理官 藤山利人氏 ②情報化施工対応システムの詳細, 施工までの流れとその効果について (実習)マシンコントロール実機体験会, 最新測量機器実測体験会 ①3D-MC

ドローサーシステム体験 ②TSGPS転圧管理システム体験 ③土木用GPSシステム実測体験 ④TSを用いた出来形管理システム実測体験

■四国支部

■情報化施工実務講習会の開催

月日:8月8日(月)

場所:「e-とぴあ・かがわ」(高松市)

受講者:20名

内容及び講師:①情報化施工, TS出来形管理の概要・要領…(講師)福井コンピュータ(株) 田中正規氏 ②基本設計データ作成体験…(講師)同上

■企画部会幹事会の開催

月日:8月9日(火)

場所:建設クリエイティブビル会議室(高松市)

出席者:小松修夫企画部会長ほか4名

議題:技術交流会への提出課題の検討

■実地試験監督者打合せ会議の開催

月日:8月26日(金)

場所:四国支部事務局

出席者:小松修夫総括試験監督者ほか5名

議題:実地試験実施要領と注意事項について

■防災協定に係る情報伝達訓練打合せ会の開催

月日:8月26日(金)

場所:オフィスサポートセンター(高松市)

出席者:小松修夫企画部会長ほか22名

議題:①四国地方整備局総合防災訓練について ②防災協定における実施体制について ③情報伝達体制と伝達方法について

■九州支部

■試験監督者説明会

月日:8月24日(水)

内容:実地試験の実施運営について

■企画委員会

月日:8月24日(水)

出席者:久保田正春整備部会長ほか7名

議題:①建設機械施工技術検定学科試験合格結果について ②建設機械施工技術検定実地試験について ③新法人移行に伴う支部規程の変更について ④運営委員会及び平成24年総会開催について ⑤その他

## 編集後記

本号は「情報化施工・IT技術・ロボット化・自動化・自動制御」ということで、建設工事に関わる様々な先進技術、特に衛星から取得した位置情報を活用した施工法やシステム、機材、そして災害復旧などで活躍するロボットについて幅広く取り上げました。

近年、カーナビに代表されるように、アメリカのGPS衛星などから送られる電波を利用した位置情報システムは、レジャーなど様々な民生分野で活用のエリアが広がっております。卑近な例ですが、筆者が趣味としている自転車（ロードバイク）の世界においても、今では当たり前の技術になっています。自転車をただの移動手段ではなく趣味や体力増進の目的で乗り始めると、その走行を計測、記録したい欲求に駆られます。旧来より、自転車のホイールの回転数を検知して速度と走行距離を計測、記録する装置（サイクルメータ）はありましたが、趣味の探求者はそれでは飽き足らず、心拍数、ペダルの回転数（専門用語でケイデンス）、勾配、軌跡、獲得標高（総上昇量）、出力といった数値の計測を求め始め

ます。その結果、様々なセンサー（心拍計、ペダル検知センサー、ひずみ計など）と衛星からの位置情報が追加装備される高級メータが登場しました。初期の高級メータは非常に大きく（現在のスマホくらい）しかも高価でした。登場から数年を経た現在では、大きさは手にすっぽり収まるくらいに小型軽量化され、価格も手頃になっています。この進化の速度には驚くばかりです。筆者はこのメータを土木工事や鉱山現場の走路計測にも活用しておりますが、精度や結果出力、そして何より計測の簡便性に大変満足しています。

建設分野における衛星位置情報の活用は、民生用と比較して高精度、高品質が求められるため同一に論ずることは出来ませんが、国内でも市場が拡大すれば更なるコストダウンや製品改良が期待できます。そのためには、工事の発注システムの改善に始まり、準天頂衛星の増強などまだまだ課題は多いと思いますが、本号を通して明るい未来が広がっていると感じました。

最後になりますが、お忙しいなか本号に対してご執筆頂きました皆様に、厚く御礼を申し上げます。ありがとうございました。

（山本・藤島）

## 機関誌編集委員会

### 編集顧問

浅井新一郎	今岡 亮司
加納研之助	桑垣 悦夫
後藤 勇	佐野 正道
新開 節治	関 克己
高田 邦彦	田中 康之
塚原 重美	寺島 旭
中岡 智信	中島 英輔
橋元 和男	本田 宜史
渡邊 和夫	

### 編集委員長

田中 康順 鹿島道路(株)

### オブザーバ

山下 尚 国土交通省

### 編集委員

山田 淳	農林水産省
伊藤 健一	(独)鉄道・運輸機構
松本 久	(独)水資源機構
宮崎 康信	鹿島建設(株)
和田 一知	(株)KCM
安川 良博	(株)熊谷組
渥美 豊	コベルコ建機(株)
原 茂宏	コマツ
藤永友三郎	清水建設(株)
赤神 元英	日本国土開発(株)
山本 茂太	キャタピラー・ジャパン(株)
星野 春夫	(株)竹中工務店
齋藤 琢	東亜建設工業(株)
相田 尚	(株)NIPPO
田岡 秀邦	日本道路(株)
堀田 正典	日立建機(株)
岡本 直樹	山崎建設(株)
中村 優一	(株)奥村組
石倉 武久	住友建機(株)
江本 平	範多機械(株)
京免 継彦	佐藤工業(株)
松澤 享	五洋建設(株)
藤島 崇	施工技術総合研究所

### 11月号「山岳トンネルとシールド・推進工特集」予告

- ・最新の高効率電気集じん器
- ・最新ICTを活用したトンネル工事現場における省エネを一元管理  
新東名 鳳来トンネルにおけるスマートサイトシステム
- ・4車線化工事に伴う供用中路線のトンネル坑口改築
- ・FRPセグメントの開発
- ・全断面早期閉合における合理化施工
- ・ドリルジャンボの最新技術 海外編  
RCS（リグコントロールシステム）によるコンピュータ制御
- ・ラインセンサカメラを用いたトンネル偏状検査システム
- ・二次覆工一体型シールド切替型推進工法の開発
- ・大口径シールド機による急曲線施工
- ・非円形断面シールドトンネル用セグメント組立装置  
ラック&ピニオン駆動モノレール式セグメント組立装置の開発
- ・覆工コンクリート脱型時期判定システムの開発と導入  
T-JUDGシステムによる強度推定

## No.740「建設の施工企画」 2011年10月号

〔定価〕1部840円（本体800円）  
年間購読料9,000円

平成23年10月20日印刷

平成23年10月25日発行（毎月1回25日発行）

編集兼発行人 辻 靖三

印刷所 日本印刷株式会社

## 発行所 社団法人日本建設機械化協会

〒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 静岡県富士市大淵 3154	電話 (0545) 35-0212
北海道支	〒060-0003 札幌市中央区北三条西2-8	電話 (011) 231-4428
東北支	〒980-0802 仙台市青葉区二日町16-1	電話 (022) 222-3915
北陸支	〒950-0965 新潟市中央区新光町6-1	電話 (025) 280-0128
中部支	〒460-0008 名古屋市中区栄4-3-26	電話 (052) 241-2394
関西支	〒540-0012 大阪市中央区谷町2-7-4	電話 (06) 6941-8845
中国支	〒730-0013 広島市中区八丁堀12-22	電話 (082) 221-6841
四国支	〒760-0066 高松市福岡町3-11-22	電話 (087) 821-8074
九州支	〒812-0013 福岡市博多区博多駅東2-8-26	電話 (092) 436-3322

本誌上への(株)共栄通信社までお問い合わせ下さい。

本社 〒105-0004 東京都港区新橋3-15-8 (精工ビル5F) 電話 03-5472-1801 FAX03-5472-1802 E-MAIL : [info@kyoeitushin.co.jp](mailto:info@kyoeitushin.co.jp)  
担当 本社編集部 宗像 敏