

土工の情報化史

i-Construction への道

岡本直樹

i-Construction の推進が加速し、AI への期待も後押ししている。土工の情報化には、運用技術である土工計画・管理と、情報処理による土工機械の自動化がある。本稿では、この2本の流れを土工技術者の体験的視座を通して、土工計画・管理の情報化の歩みと、自動化はラジコン誘導まで遡ってその流れを辿る。併せて、コンピュータのエポック史を背景に加えて全体史を俯瞰する。なお、全体の流れは i-Construction の時代とその前史に区切った。

キーワード：i-Construction, CIM, AHS, 情報化施工, シミュレーション, 機械土工, 建設機械史

1. はじめに

情報化施工の一般化に伴って 3D-CAD が普及しているが、近年の CIM や i-Construction の推進により、ドローン測量等の更なる高度利用が進められ、更にクラウド管理に発展して情報を共有し、近頃は AI 利用の取組みも始まっている。トップランナとして i-Construction を牽引している土工の情報化について、自動化技術を含めてここに至った歩みを著者の体験的視点で振り返ってみる。

建設機械の自動化への取組みは比較的早く 1960 年代に始まり、80 年代になると「建設ロボット」という呼称とともにメカトロ化を推進した。土工機械では、70 年代に電磁誘導ケーブル方式の無人ダンプトラック (DT) が、80 年代末期にマイコン制御による無人 DT が開発され、平成に入ると GPS の稼働モニタリングへの利用が始まり、1994 年から GPS 誘導制御の試験が始まった。

作業装置系では、熟練を要するブレード操作が古くから研究され、70 年代に回転レーザの利用が始まったが、軽負荷の仕上げ制御用で掘削作業 (バカ押し) には向かない。負荷制御の研究は非線形制御要素が多く実用化が難しかったが、94 年にコマツが姿勢制御を重視したブレード自動制御を発表し、今日のインテリジェントブルに継承されている。

バケット制御については、マイクロプロセッサの登場と共に法面等の仕上げ制御が試みられ、回転レーザの利用や自動追尾 TS、GNSS の利用も始まった。積込作業については、86 年にティーチングプレイバッ

クの自動油圧ショベルが造られた。更なる進化には、積込対象材の位置や形状の認識が必要で、画像処理等を用いたローダ積込の研究も始まった。

2. 情報化・自動化の前史

1946 年に初のコンピュータ ENIAC が誕生した。10 年後の 1956 年に、早くも AI に関するダートマス会議が開かれた。翌 1957 年には、F. ローゼンブラットがパーセプトロン型ニューラルネットワークを考案する。1964 年になると IBM が 360 を発表、この 360° 全方位汎用コンピュータが IBM を躍進させる。しかし、建設機械の自動化は、アナログ制御から始まる。昭和 30 年代に道路脇に張ったピアノ線を利用して、グレーダやフィニッシャの自動化が始まった。装置メーカーはグレードライン社やハニウエル社である。

1967 年/S42 5月：ラジコン建機は、小松がノロ作業用に D55S を RC 化したものが嚆矢である。

1968 年/S43 10月：水中ブルドーザを日本国土開発(株)が試作。翌年 3 月に小松も水陸両用ブルドーザ D125W を開発、常願寺川災害復旧に投入。



写真—1 初の RC 建機、国土開発と小松の水中ブル

1970年/S45 6月: IBM360のモデルチェンジ IBM370を発表。著者の属する企業でも、74年にこの370を導入し、日報等を入力する機械管理システムを構築して経営分析に利用。著者も現場で歩掛取得に利用した。

1971年/S46 初のマイクロプロセッサ Intel 4004を発表、島正利(ビジコン社)が開発に参加。

1972年/S47 6月「宅地造成における運土計画」施工管理研究委員会。9月「造成計画の最適化 EMPSと土工積算 EMES」住宅公団

1974年/S49 8bit CPU/Intel8080とMotorola6800を発表

1975年/S50 4月: 博士論文「機械化土工における工程計画最適化手法の開発と応用」荒井克彦を上梓。

後年、同システム SOTを山崎建設が利用。9月: 走行シミュレーション利用の「フィルタイプダム盛立工事における施工機械の最適配置に関する研究報告」土木研究所。同年: 三保ダム工事に初の自動運行管理システム(小糸製作所製: 図-1)を鹿島建設が導入。

同年: 小松46tダンプHD460に電子制御フルオートマチック式T/Mを採用

1976年/S51 小松が電磁誘導ケーブル方式による無人ダンプトラック(図-2)を発表

同年 前田建設が手取川ダムにタキオメータ(光波測距)を導入、オンライン接続の本社IBM370で土量計算。

1977年/S52 秋葉原にボード型マイコンが輸入され、入荷後すぐ完売との週刊誌の記事を見て、仙台丸善でマイコン書籍を捜す(著者)。

7月「システムズアプローチによる工事管理」を石川六郎が上梓(後年、著者も入手して、数理計画手法による機械土工の内容に驚愕)。

1978年/S53 2月: GPS-bk I 打上げ。11月: 博士論文「土木工事における施工計画のシステム化に関する研究」山本幸司を上梓(機械土工の数理計画手法を網羅)。

1978年/S53 ~ 1984年/S59 寒河江ダム本体工事にダム統合管理システム(自動運行管理・測量(タキオメータ)・盛立システム等: 図-3)を三井・飛鳥JVが導入。

1979年/S54 9月: マイコン御三家(コモドールPET, Apple II, タンデイ)の購入を検討していたところ、NECがMS-BASIC搭載のPC-8001を発売、即購入。作業能力計算、積算に利用する(著者)。この頃、プログラム電卓が流行し始め、大学ではSORDのマイコンが使われていた。年末 AppleのSJobsがXerox社の研究所PARCを訪問、研究機Altoの

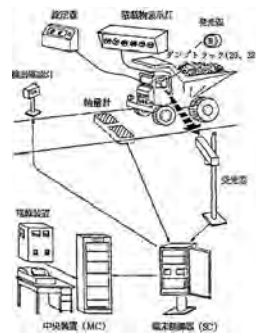


図-1 三保ダム

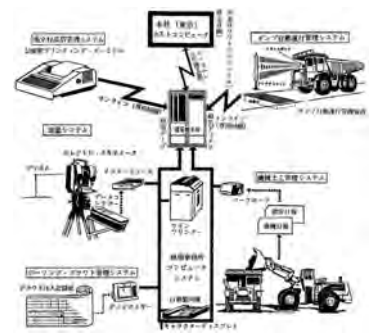


図-3 寒河江ダムの運行管理

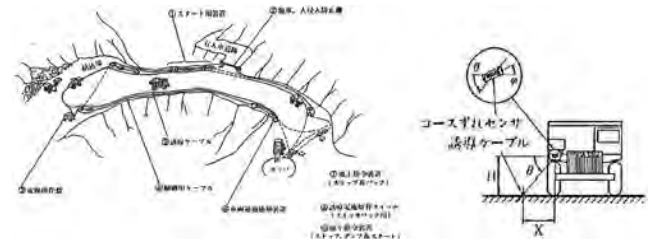


図-2 小松の電磁誘導DT

GUI(マウス、ウインドウ、アイコン、フォルダ)に驚嘆、商品化を目指し1984年のMacintoshに繋げる。

1980年/S55 線形計画法(LP)による最適土量配分システムを開発、北西隅のルールと飛石法を適用。施工情報分科会で教授に、「LPはオフコンでも1日掛の計算になるので、PCでは無理ではないか?」と言われたが、切盛数の集約を工夫して対応(著者)。

同年 MC68000 出荷

同年 この頃から光波測距儀が低価格化で普及、トータルステーションとして現場から巻尺を追放。

1981年/S56 1月: CONEXPO'81において、小松がドプラセンサを搭載したりップ自動制御のコンセプト機D555Aを発表、注目を浴びたが、本当に動くのか?との声もあった。6月: 米国の農地造成現場で、

回転レーザ利用のモータスクレーパ(写真-2)やランドレベラによる仕上げを視察(著者)。後年、日本でも圃場整備の一般的装備となった。

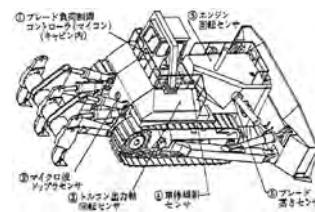


図-4 D555A



写真-2 回転レーザMS

8月: PC-DOS (MS-DOS) 搭載のIBM PC 発表、仕様を公開したためPC/AT 互換機が沢山生まれ、PC低価格化に貢献。

1982年/S57 10月：PC-9801 (16bit) 発売，ビジネス機として国内市場を占有。

1982～1992年/S57～H4 「第五世代コンピュータPj」

1983年/S58 山崎建設がPC地形情報処理システム(断面モデル鳥瞰図)を開発

同年：海外道路工事に赴任，PC9801を持参。プロッタは遅いので，出来形とマスクを組み合わせたグラフ出力を工夫して，キャラクタ・プリンタで高速化。翌年，三菱Multi16 (HDD)を導入し，国内自社開発の機械日報処理と工種別工事管理システムを改編・導入して運用(著者)。

同年：タンピングローラ815(図-5左)の走行自動化(地磁気方位，車輪回転，操向角度を検知)をフジタ・東大・CAT三菱が共同開発。

1983～1987年/S58～S62 「エレクトロニクス利用による建設技術高度化システムの開発(総プロ)」

1983～1987年/S58～S62 「極限作業ロボットPj」

1984年/S59 1月：Macintosh発売，GUIによるPC革命。6月：Tron Pj(坂村健)始動。

1984・1985年/S59・S60頃 油圧ローディングショベルのバケット位置姿勢制御にマイコンを利用

1986年/S61 三菱重工と関東地建がダム浚渫用全自動油圧バックホウを共同開発，台船上のMS300-8をマイコン制御。同年 ニューラルネットに誤差逆伝搬法(バックプロパゲーション法)の利用が進む。

1987年/S62 三菱重工が宮ヶ瀬RCDダムの振動ローラを自動化(図-5右)

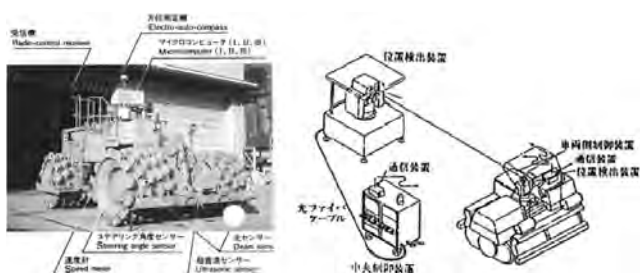


図-5 タンピングローラと振動ローラの自動化

同年：山崎建設がPC地形情報処理システムを断面モデルからグリッド表示に改良。同年：神鋼が法面仕上げ等が可能なセミオートバケットコントロールを発売

1988年/S63 6月：第5回国際建設ロボットシンポジウム(ISARC)を東京で開催。「ミリ波による遠隔監視制御システム」を著者等が発表。同年 屋外作業知能ロボット研究会(油田信一教授)に参加

同年：SLAM IIによる待ち行列型の重機稼働シミュレータを開発(著者等：図-6)

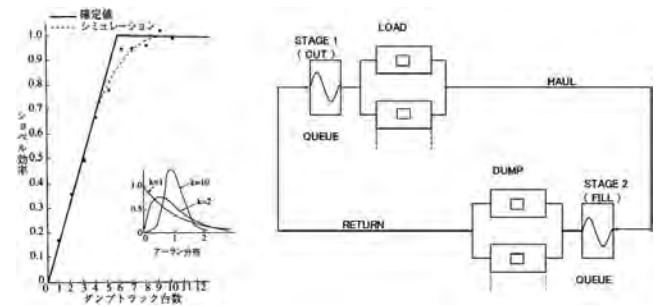


図-6 積込運搬の循環型待ち行列型シミュレーション

1988年/S63～1993年/H5 ロボテック研究所が「ミリ波による遠隔監視制御システム」を研究開発(著者は群管制グループを主導：図-10)。群管制Gの開発環境はμVAXII，開発環境に優れ，DECnetが銀行LANに普及していた。OSのVMSは，後のWindowsNTに継承される。

1989年/S64 4月：オイル分析診断エキスパートシステムMORESを山崎建設が開発。

同年：Intergraphの3D-CAD μStation32 (UNIX)を導入。当時，μStationはWS上で動く米国標準3D-CAD，今日のAutoCADのようなものであったが，当時のPCでは能力不足で動かせなかった。これに道路用CAD InRoadsを導入。当時，TIN(図-7)を扱える国産アプリはなく，海外3社のものしかなかった。工事用道路の設計や切盛展開図の作成に活用して，今日のCIMのフロントローディングを先取りしていた(著者等)。

同年 運用型GPS-bk II 打上げ開始

昭和末期～平成初期 無人ダンプトラックを日鉄鉱業と新Cat三菱が鳥形山石灰鉱山で協同開発，64年に77tダンプCAT777を無人化，平成4年には136tダンプCAT785の無人化を果たした。誘導方式は，ジャイロと車輪回転によるデットレコニング，コーナキューブ補正(写真-5)。

1990年/H2 山崎建設ロボット技術課が研究用移動ロボット“LR1”(写真-7)を開発，筑波大学の「山彦」をベースにVME-bus仕様とし，段差走破用サスペンションを取付けて販売，評判となる。

同年：SiliconGraphics (SGI) とMetaSite (道路3D-CAD)を導入して，TINの高速化を図る(著者)。この頃，標準3Dグラフィック言語はPhigsであったが，SGIのGLが普及して業界標準となる。

1990年/H2～7 湘南国際村敷地造成工事で初のGPS運行管理システム(単独測位)を三井建設が導入，CAT773にGPSを搭載，山崎建設が共同開発に参加(写真-6)。

1991年/H3 MS-Windows3.1を発売，Macに遅れ

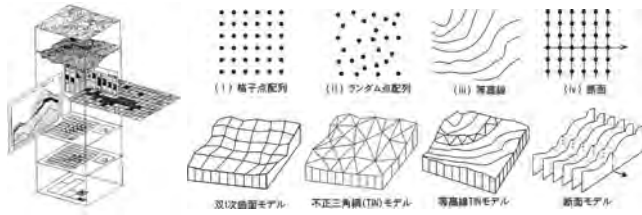


図-7 DTMの概念図と各種のDEM

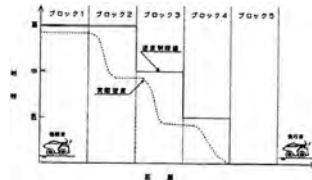


図-9 閉塞制御



写真-8 重機アニメーション

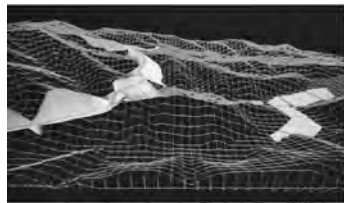


写真-3 グリッド表示



写真-4 3D コンタとTIN表示

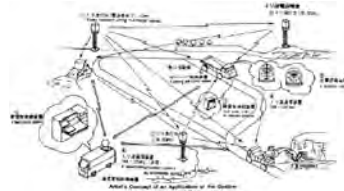


図-10 ミリ波遠隔監視制御システム



写真-9 管制室内



写真-5 鳥形山の無人DT



写真-6 国際村のGPS-DT

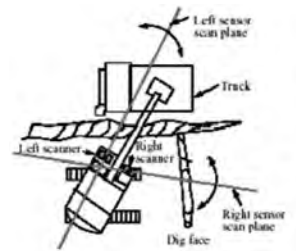


図-11 CMU-TRIの自動掘削・積込機



写真-7 LR1

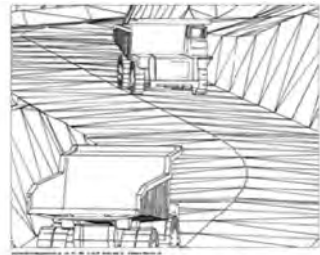


図-8 走行シミュレーション

ること7年、漸く実用的な版となり、廉価なため爆発的普及が始まる。同年：水中法による地形シミュレーションと「走行シミュレーションII」を開発、従来の牽引力計算に加えて、ブレーキ性能計算とカーブでの走行速度計算を行う（著者等¹⁾）。

1992年/H4 2月：油圧ショベルをモノレバー操作、山崎建設と東北大（中野栄二教授）が共同開発。

同年 無人ダンプトラック群の交通管制（閉塞制御による追突防止、交差点制御）システムを開発（著者等³⁾）。

同年：重機の3Dモデルを作成し、重機稼働アニメーションのコマ落とし自動作成システムを開発（著者等²⁾）。

1993年/H5 3月：世界初のミリ波遠隔監視制御（電波灯台、通信、障害物検知、自律走行、群制御：図-10）の実証実験：ロボテック研究所（著者等が参加⁵⁾）。

9月：図-11はカーネギメロン大ロボット研究所の自動積込バックホウ⁴⁾である。2基のレーザスキャナレンジファインダを搭載し、掘削材とダンプの形状を

認識して自動積込を行っている。後年、土木研究所でも同様のシステムを研究している。

同年：コマツが無人ダンプHD785（コーナキューブ補正）を開発、初狩鉦業所に納入。

1994年/H6 3月：普賢岳無人化施工試験フィールド工事。建設機械のラジオコントロールは、60年代後半から利用されていたが、雲仙普賢岳の災害復旧工事では、多数の建設機械群を中距離以上で遠隔操作するために様々な問題が生じた。特に遠隔操作に必要な映像情報の移動体伝送（無指向性）の電波が電波法上使えないことから、さまざまな方法が検討された。写真-10右の映像伝送用50GHz簡易無線機は、指向性が鋭く各社が追尾法を工夫した。著者は技術提案、クローラダンプ（D7+20tダンプ）の開発と施工に参加。コマツは開発間もない姿勢制御を重視したブレード自動制御ブルドーザD375を6工区に導入した。



写真-10 雲仙普賢岳無人化施工とPasoLink

同年：RTK-GPS/On-The-Fly の出現に合わせて、CAT が GPS 無人ダンプ (777C) の走行試験 (往復 3.7 km) をテキサスの採石場で開始。MINExpo1996 で、デモ走行を中継するが、その後、研究はステルスモードに入る。同年：間組がダム工事用の DT を想定した車両 HIVACS の自動走行試験、ジャイロと車輪回転検知のデットレコニング、コーナキューブ補正、障害物検知は CCD カメラによる画像処理。
 同年：Simul8 を導入し、待ち行列型ダンプ運行シミュレーションのモデリングに活用 (著者等：図-12)。
 12月：Netscape 公開、Web ブラウザが普及し、Internet が一般化する。

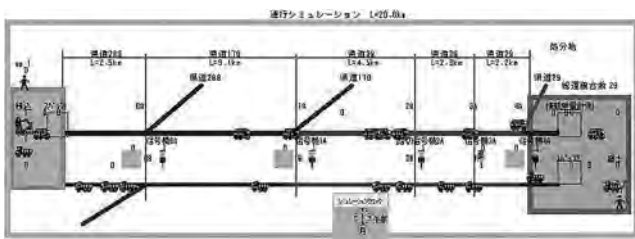


図-12 ダンプ運行シミュレーション

1995年/H7 雲仙普賢岳において、水無川1号砂防ダムを無人化RCC (Roller Compacted Concrete) 工法で施工

1996年/H8年 4月：早稲田大学長谷川幸男教授主催のWASCOR-IFに参加 (コロキウム：著者)。

5月～：回転レーザー制御のバックホウの長期試験施工を実施 (著者等)、片レバーでの法切制御が可能。本機はトプコンが米国の会社を買収して製品化、これにより情報化施工機器に参入することになる。

6月：第13回 国際建設ロボットシンポジウム (ISARC) の東京開催。12月：SJobsがAppleに復帰。

同年：「建設 CALS 整備基本構想」を建設省が策定

2000年/H12 3月：建設省情報化施工促進検討委員会が初の情報化施工 (3D-MC) の実証試験を「小山市 R4 バイパス改良工事」で実施。4月：衛星通信を利用した油圧ショベルの稼働状況遠隔管理システムを日立建機が開発。5月：GPSのL1-C/AコードのSA (測位精度低下) を解除、精度向上。6月：「GPSを利用した盛土の締固め管理に関する施工管理要領 (素案)」を道路公団が作成。8月：CAD標準フォーマット SXF の開発完了。10月：コマツの鉱山機械稼働管理システム DISPATCH を国内で初受注。11月：ホンダが ASIMO を発表。12月：工事実績情報サービス CORINS の Web 提供開始。

2001年/H13 3月：情報化施工のビジョン「21世

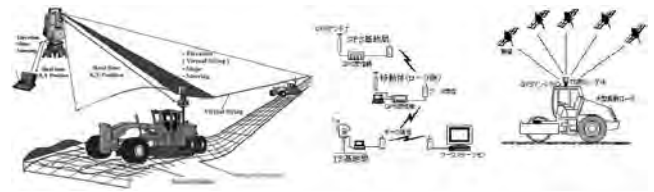


図-13 TSとGNSS利用の情報化施工

紀の建設現場を支える情報化施工」を発表。4月：国交省が電子納品を本格実施、NETISを一般公開。8月：日立建機がiモード利用の盗難防止システム e-Guard を開発。コマツがKOMTRAXをPC2000に標準装備。同月：三宅島噴火災害復旧工事において、ブロック積みを無人化施工。10月：コマツが自社建機のCADデータ集と採石CAD「i-Rock」を発売。11月「入札情報サービス PPI」「電子入札システム」を国交省が無償公開。12月「盛土転圧情報化施工管理システム」を大成建設が開発。

2002年/H14 1月：高精度盛土管理システム COMPACT を大林組が開発。3月：大規模土砂採取工事管理 GIS」をハザマとジオスケープが共同開発。電子基準点リアルタイムデータを国土地理院が民間に開放。6月：トキメックがブレード自動制御レーザーシステム「ハイグレード」を開発。7月：CADのデータフォーマットを原則 SXF (op21) 形式に決定。同月「測量成果電子納品要領 (案)」を国交省が作成。8月：日立が無指向性の映像伝送・ラジコン建機を発売。9月：JACICの「会社情報化紹介 (第2回)」に著者等の情報化の取組みが掲載される。11月：LandFormの使用開始。同月：コマツがオートリターダをHD465-7に標準装備。

2003年/H15 1月：PCの高速化に伴い AutoCAD Land Desktop を導入 (SGIのMetaSiteを代替)。

3月「盛土締固め管理システム」の試行マニュアルを国交省が作成。4月：国交省が電子入札を全面実施。「国土情報 Web Mapping System」の運用を開始。同月：関空2期2次揚土工事開始、空港島埋立にGPSドーザ、GPSローラによる厚層化締固めと情報化施工を行う。7月：国交省が電子納品のCADデータ交換フォーマットを SXF (P21) に統一。JACICが SFX Ver.3.0 を公開。国土地理院が統合数値地理情報「電子国土」を Web 開設。9月：コマツが関空2期埋立2次揚土工事で、3D NAVI & AutoBlade を試験施工。12月「TS・GPSを用いた盛土の締固め情報化施工管理要領 (案)」を国交省が通知。

2004年/H16 3月：DARPA/Ground Challenge 2004 をモハーヴェ砂漠で開催、完走車なし。最長走

車カーネギーメロン大の11.8km (NHKがドキュメント放映)。同月：国交省が「ロボット等によるIT施工システム研究委員会」を発足。

同月：特許庁HP資料室が「高度情報化建設機械」を公表、著者の報文が引用される。同月：トプコンとコマツが情報化施工システム2/3D Auto Bladeの供給契約。4月：国交省が電子納品を全面導入。12月：コマツが米国でAHSを開発、チリ鉱山に導入。

2005年/H17 6月：ターゲット不要の写真測量機DigiCats Stationをコマツが販売。同月「Google Earth」を公開。7月：国土地理院が50mメッシュ地形図の立体視をWeb公開。8月：CAL/EC運用ガイドラインを改定。9月：Ray Kurzweilが「シンギュラリティは近い」を発刊。

10月：DARPA/Grand Challenge 2005開催、スタンフォード大が優勝。

2006年/H18 2月：スマートウェイの公開実験を国総研で実施。3月「CAL/ECアクションプログラム2005」を国交省が策定。同月「Google Earth」正式版をリリース。5月：Silicon Graphics社が倒産。10月：コマツがチリチュキカマタ鉱山でのAHS実用化実験を報告。

2006年～ ディープラーニングの研究が進む

2007年/H19 1月：AppleがiPhoneを発表、GUIによるポケコン革命。6月に発売。9月 河川土工のTS出来形管理を国交省が試行。

11月 DARPA/Urban Challenge 2007を開催、カーネギーメロン大(CATスポンサー参加)が優勝。これより市街地での自動運転開発競争が始まる。

2008年/H20 4月：米アイオワ州でIntelligent Compaction for Soil & HMA Workshopを開催。7月「情報化施工推進戦略」を国交省が策定。9月：CATが自律発破穿孔機を開発。12月：情報化施工ポータルサイトが開設。同月：コマツのAHS5台が豪Rio Tint/ウエストエンジェルズ鉱山で稼働開始。

2009年/H21 3月「CAL/ECアクションプログラム2008」を国交省が策定。7月：日立建機が加Wenco社を買収。11月「情報化施工ガイドブック2009」をJCMAが発刊。

2010年/H22 1月：日立建機とクラリオンがオーバビュモニタを共同開発。同月：AppleがiPadを発表、アランケイのダイナブック概念を実現。7月：CATアキュグレートの国内販売開始。同月「情報化施工の実務」をJCMAが発刊。8月：日立建機が油圧ショベルのマシンガイダンスを発売。9月：準天頂衛星「みちびき」を打上げ。

2010年～：ディープラーニングが大きな潮流となる。特徴量を自動抽出、基本は畳込みNNW。

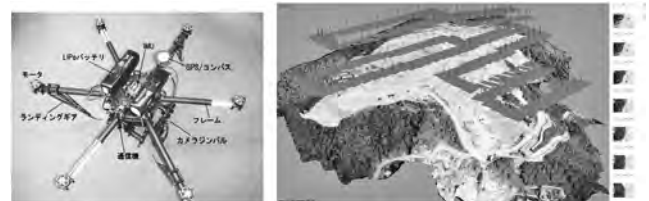
2011年/H23 1月：コマツのKOMTRAX搭載車が20万台を突破。2月：準天頂衛星「みちびき」を用いた情報化施工実証試験を実施。2月：IBM Watsonが米クイズ番組で人間のクイズ王に勝利。5月：D-waveが世界初の商用量子コンピュータ(量子アニーリング方式)を発表。11月：Rio Tintが豪PilbaraでコマツAHS150台の運行を目指す。12月：パナソニックが「タフパッド」の受注開始。

2012年/H24 2月：簡易VR利用の次世代無人化施工技術を大林組が開発。4月：原子炉建屋解体用の無人化施工システムを開発。6月：Deep Learning(深層学習)のNNWが猫を自己認識したとGoogle/X-Labが発表。7月：スパコン「京」が完成。9月：日立建機がAHS開発を5年計画で推進。

2013年/H25 3月：TSによる出来形管理技術(土工)を直轄工事で使用原則化。4月「建設ロボット技術に関する懇談会」が提言、著者も参加。同月：コマツが全自動ブレード制御機D61EXi-23の市場投入を決定。5月：情報化施工技術の一般化・実用化の推進を各地整に通達。8月：ImPACTの骨子が決定。同月：DARPA/Robotics Challenge 2013 TrialでSCHAFTのS-Oneが首位となる。

同年：日立建機が豪州Meandu鉱山でAHSの試験走行を開始。

同年：CIMのデータ入力にUAV(ドローン)による空中写真測量¹⁰⁾を山崎建設が導入する。UAVと写真測量解析ソフトウェアが近年、革新的な性能UPと価格破壊が行われ、一気に利便性が向上し、迅速に廉価で可能となった。そのため広域地形測量の最有力な手段となった。



写真一11 UAVと自律飛行空撮

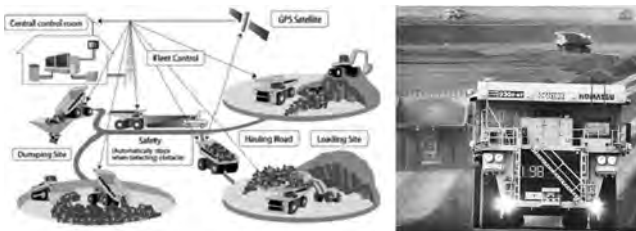
2014年/H26 6月：人工知能がチューリングテストに初合格。7月：自律走行振動ローラを大成建設が開発。8月：IBMがneuromorphic chip True Northを試作。10月：コマツがインテリジェントマシンコントロールPC200iを市場投入。11月：次世代無人化施工技術研究組合(湯田信一理事長)が発足。12月：次世代社会インフラ用ロボット開発・導入の現場検証

(応急復旧) を雲仙普賢岳で9件6社実施。

3. i-Construction の時代へ

2015年/H27 1月：コマツの無人トラック AHS がチリと豪州で80台稼働中、Rio Tinto社は150台までの増車を計画。ライバルのBHP-Billiton社もCAT製AHSを導入しているが、150台までの増車を計画中。同月：コマツがスマートコンストラクションを翌月から開始すると発表、UAVや3Dレーザスキャナ、車載ステレオカメラ等から3D地形測量情報を得て、クラウド(KomConnect)でICT建機と連係、リアルタイムに施工計画シミュレーションに連動するという。2月：日立建機は豪州で試験中の無人DTの試験場を7月に拡大移転、300tDTを6台用意、早期販売を目指す。同月：コマツがZMPに出資、ロボット技術を次世代ICT建機に取込む。4月：コマツと大阪大学が「コマツみらい建機協働研究所」を阪大に開設、建設・鉱山機械の遠隔化・自動化に向けた基盤・先行研究拠点とする。コマツがGEと鉱山の効率的稼働管理を行うビッグデータ解析で提携。自動ブレード制御D155AXiを市場導入。同月：日立建機が豪州東部での無人ダンプ(AHS)走行試験を公開。5月：鹿島建設が建機自動化技術A⁴CSELを開発。9月：コマツがスマコン用クラウドKomConnectを開発。10月：大成建設が自律型のT-iRobo Breakerを開発。11月：国交省がi-Construction構想と2016年度からの推進を発表。

2016年/H28 2月：国交省がi-Construction推進のため「ICT導入協議会」の初会合。同月：日立建機がConSite (ICTデータレポートサービスのHP)を



図一14 AHS全体図



写真一12 コマツのAHS



写真一13 CATのAHS



写真一14 日立建機のAHS



図一15 i-Construction構想

開設。3月：国土地理院がi-Construction推進本部を設置し、ランドバードGSI-LBを発足。4月：コマツがICT建機の従来レンタルに加え、スマコンサポート契約と共に販売を開始。同月：i-Construction委員会が「建設現場の生産革命」の報告書を国交省に提出。同月：Terra Droneがドローンによるレーザ測量サービスを開始。同月：日本CATがCAT CONNECT SOLUTIONを発表、情報化施工推進Gを設置し、i-Constructionに対応、見える化はVision Link利用。5月:i-Const型発注第1号工事の「泉郷改良工事」で、UAVによる起工測量を実施。9月：TopconがSitelink3Dを公開。同月：安藤ハザマがTN切羽AI自動評価システムを開発。同月：コマツがキャブレス無人ダンプを発表、MINEexpo2016で展示(写真一15)。写真一15は、自律スロットドージングを行うASI社の自律ブルドーザ。



写真一15 キャブレス無人DT



写真一16 Autonomous BD

10月：大林組と大裕(株)が無人化施工用着脱式遠隔操縦装置「サロゲート」を共同開発。

2017年/H29 1月：鹿島建設がA⁴CSELに自律ダンプトラックを導入。2月：トプコンが評定点不要のドローン測量、点群データ一元処理MAGNET College, GNSS全衛星・信号(GPS, GLONASS, QZSS, Galileo, BeiDou, L1, L2, L5)受信機GR-5を発売。3月：大成建設がダム原石採取工事管理用T-iBlast DAMを開発。同月：日立建機がクラウドにTrimble Connectを

採用。5月：大成建設がAI次世代無人化施工システムの開発に着手。同月：コマツとNTTドコモが遠隔制御5Gの実証実験を開始。6月：日立建機ICT施工ソリューションの中核Solution Linkage Cloudの提供開始。7月：BoschがLiDAR量産へ。同月：コマツがKomConnectとTrimble Connectを接続。コマツがdocomo等と協同運用の新プラットフォームLANDLOGを発表。8月：土木学会が「国土・土木とAI懇談会」（座長：坂村健）を設置。同月：点群処理のTrimble Business Center（出来形版）を販売開始。9月：コマツがスマコン契約付PC200iを発売。同月：日立建機がSolution Linkage Assist搭載のICT油圧ショベルZX200Xを発表。同月：鹿島建設がA⁴CSELの西湘実験フィールドを開所。同月：日本CATが車両情報管理MY.CAT.COM、現場管理VisionLink Unified Suiteの提供開始。12月：コマツとNVIDIAがAI提携、NVIDIA Jetsonを建機に搭載。同月：CATがRio TintoのMarandoo鉱山において、19台の793Fを後付自律化契約。

2018年/H30 1月：コマツのAHSが導入10周年を迎え、稼働台数が100台を超える。同月：熊谷組がバックホウと複数台の不整地運搬車をティーチングプレイバック方式でワンマン遠隔操作。2月：安藤ハザマが秋田大、筑波大と共同でマルチスペクトル利活用の地質状況自動評価システムを開発、試験運用を開始。同月：大林組とKDDI、NECが5Gによる建機遠隔施工の実証実験、28GHz超多素子アンテナにより、4K3Dモニタに伝送。3月：鹿島建設、コマツ、理科学研究所が理科研革新知能統合研究センター内で自動化施工（A⁴CSEL）にAIを活用する共同研究を開始。

4. おわりに

70年代にコンピュータが普及し、数理計画や地形情報処理の研究も進んだ。そして、マイクロプロセッサの登場が80年代のメカトロ化とPC革命の道を啓いた。90年代はGUIとネットの普及、これらの要素技術が収斂して、今世紀は情報化施工の時代となった。

さて、土工の情報化を小史としてまとめるに当たって、史実の羅列だけでは無味乾燥なので、一土工技術者として著者の関わった情報化の体験を斑な彩りとして織込み、全体を俯瞰した。紙幅の関係で総てを網羅できず、洩れたものは多い。

ところで、この先の将来はどうなるか？ AI利用の取組みも始まっている。人間との協働から始まり、徐々にAIにウエイトが移り、人間の役目は小さくなる。シンギュラリティの到来を待つまでもなく、施工計画作成能力は、文献等の過去のあらゆるビッグデータを活用できるAIに敵わなくなる。施工時の土質・地質等の判断も、画像等の環境認識やデータベースと強化学習で、人間の経験と知識を凌駕するようになる。そうになると、専門工事業者は不要で消滅し、業態は大きく変わることになる。建機メーカかゼネコンか、或いは新参者か、ソリューションを提供できるものが未来の施工を担うことになるだろう。

JICMA

《参考文献》

- 1) 岡本、大下：搬土機械の走行シミュレーションにおける走行速度の合理的決定法、第9回建設マネジメント研究会講演集、'91.12
- 2) 岡本・田中：重機稼働アニメーションについて、第17回土木情報シンポジウム講演集 '92.10
- 3) 岡本、宮本：無人ダンプトラックの交通制御、土木計画学研究・講演集 '92.11
- 4) Stentz 他：A Robotic Excavator for Autonomous Truck Loading The Robotics Institute, Carnegie Mellon University, '93.9
- 5) 岡本：ミリ波を利用した遠隔監視制御システム、建設ロボット・自動化便覧、先端建設技術センター、'95
- 6) 岡本：ダンプトラックの自動化の趨勢、第2回西日本資源開発シンポジウム論文集、'95.11
- 7) 岡本：デジタルアースムービング、建設の施工企画、'09.3
- 8) 岡本：海外露天掘鉱山の情報化施工、建設機械、'09.11
- 9) 岡本：専門工事業者による施工計画、建設機械施工、'13.9
- 10) 岡本：4D土工管理のマルチコプロ運用、建設機械施工、'14.4
- 11) 岡本：建設機械のシンギュラリティ、建設機械施工、'15.12
- 12) 「建設の機械化」各号、JCMA

【筆者紹介】

岡本 直樹（おかもと なおき）
（一社）日本機械士協会、
技術士（建設部門）、
一級建設機械施工技士

