

建設機械のシンギュラリティ

機械土工自動化の未来

岡 本 直 樹

近年のAI技術の進展は目を見張るものがあり、シンギュラリティが話題になっている。そんなAIを取巻く研究開発の現状と将来進化の予測^{1), 2)}を調べてみた。そして、近頃の先端土工機械の状況を見据えて、自動化の将来を考えてみる。その際、建機メーカーが描く「ICT建機施工の未来」をベースに、専門工事業者の立場から機械土工自動化のトータルシステムを考察した。また、参考のために本稿に関連する本号掲載の他の関連報文等を該当箇所に示した。

キーワード：建設機械、機械土工、建設ロボット、情報化施工、自動化、ICT、AI、シンギュラリティ

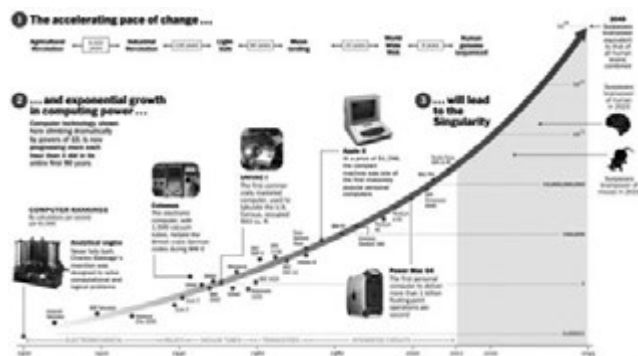
1. はじめに

現在は、農業革命（1万5千年前）、産業革命（18世紀）に続く情報革命の時代と言われている。更に細分すると1785年以降、図—1のような技術革新の波が起こっており、近年は高度情報化社会への急加速が始まっている。ビッグデータ、クラウド、モバイル、ウェアブル、ロボット、BMI、UAV、IoT、BIM、CIM、VR、AR、SR、DNN等、枚挙に暇がない。人工知能（AI）では、近年、Deep Learning（深層学習）で50年来のブレークスルーが起こり、第3次AIブームが到来している。また、夢物語だった市街地自動運転の実用化も目前に迫っている。

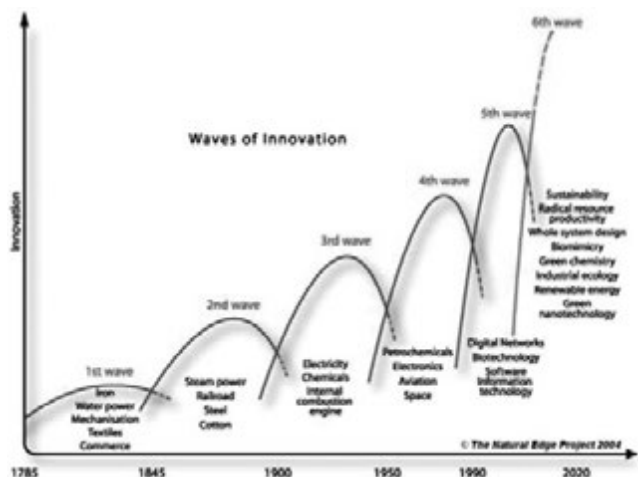
さて、AIが人間の知能を超える時をシンギュラリティ（技術的特異点）と呼び、ムーアの法則により技

術革新はこれからも益々加速（収穫加速の法則：図—2）し、2045年頃にそれは訪れるとR. Kurzweilが2005年出版の「The Singularity is Near」（写真—1）で予測した。

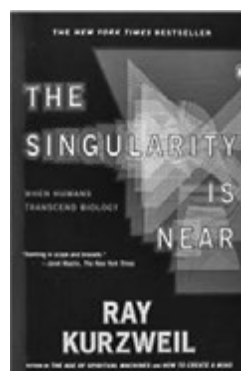
これは2045年問題とも呼ばれて、TIME誌は2011年2月21日号（写真—2）において、2045年をThe Year Man Becomes Immortalとセンセーショナルに



図—2 ムーアの法則による収穫加速



図—1 技術革新の波



写真—1 著書



写真—2 TIME誌

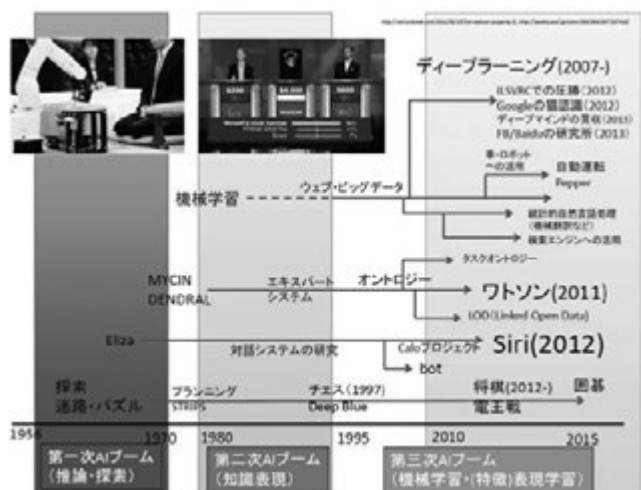
取上げた。

建設機械に限れば、それ以前にシンギュラリティ、つまり建設機械の自動化は到来することになる。それでは、建設機械にとってのシンギュラリティはどんな状況なのだろうか。「大規模土工の近未来風景」³⁾を2003年に著したことがあり、当時の土工機械関係の先端技術から近未来を描いてみた。今回は、AI技術の近年の著しい成果を踏まえてその先を夢想してみる。

2. AI 研究と関連技術

(1) 第1次 AI ブーム

AI 研究は、1956年のダートマス会議で John McCarthy が、初めて Artificial Intelligence という言葉を使って、第1次 AI ブーム（1956年～60年代）が始まった。定められたルールに従って探索木を分析していく推論・探索型のプログラムの時代であったが、やがてトイ・プロブレム（玩具的な課題）しか解けないと揶揄され、60年代登場のニューラルネットワークも限定的な問題しか解けないと指摘されると下火になってしまった。しかし、1997年にチェスの世界チャンピオンを破った Deep Blue (IBM) や昨今の将棋電脳戦は、この技術の延長線上にある（図—3）。



図—3 AI 開発の流れ¹⁾

(2) 第2次 AI ブーム

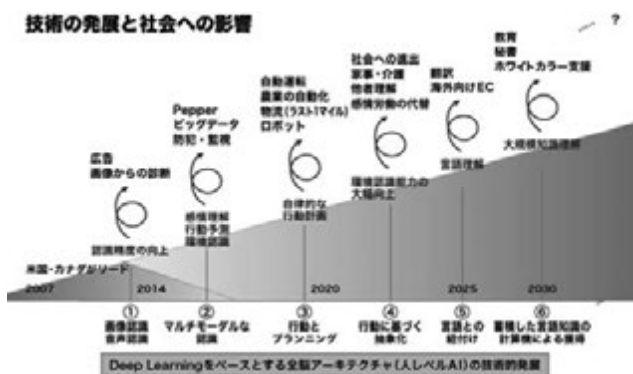
第2次 AI ブームは、専門家の知識を知識ベースに蓄え推論を行うエキスパートシステムの時代である。国家プロジェクトとしては「第五世代コンピュータ Pj/ICOT 1982～1992」があった。建設業でも工法選定等のエキスパートシステムが盛んに開発された。弊社ではオイル分析による建機故障診断システム MORES を開発し、現在も改良版を使い続けている^{4), 5)}。しか

し、エキスパートシステムの研究はより高度化するための大規模知識ベースの構築が難しく下火となってしまった。この技術は機械学習と組み合わせて、今話題の Watson (IBM) に引き継がれている。

(3) 第3次 AI ブーム

ビッグデータと機械学習の時代である。ビッグデータは2004年に Google Map Reduce の論文が発表され、翌年 Hadoop がつくられ普及が始まった。

機械学習は当初、人間が特徴量を教示することにより機械自ら学習するものであったが、50年来のブレイクスルーと言われる Deep Learning（深層学習）が登場した。トロント大の Hinton 教授が2006年に深層化に成功し、2012年の画像認識コンペ ILSVRC で圧勝して一躍注目され、世界の AI 研究者がこぞって深層学習にのめり込んでいる。深層学習はニューラルネットワークを深化させて、情報抽出を多階層に行って高い抽象化(メタ化)を実現する機械学習の一種である。人間が得意でコンピュータが不得手だったパターン(画像・音声・行動等)認識において人間を凌駕し始めている。深層学習に対する過大な期待がある反面、限界を指摘する声もあるが、この先に広がる世界に期待を掛けて（図—4）、深層学習が第3次 AI ブームを大きく牽引している。



図—4 深層学習の発展¹⁾

(4) ニューロチップと量子コンピュータ

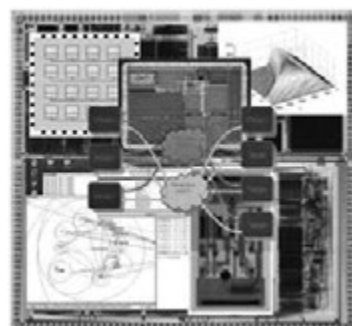
脳を模したニューロチップの開発 Pj を表—1に、関連大規模 Pj を表—2に示す。DARPA/SyNAPSE Pj においては、Neuromorphic chip の開発が進められ、Phase1で2011年に脳型チップを試作、Phase3では2014年に IBM が100万ニューロンチップ（昆虫の脳程度）の TrueNorth（図—5）を開発し、16チップを搭載したボード（蛙の脳程度）を作成、15年8月現在でボードを繋げて4800万ニューロン（鼠の脳程度）を実装、1億ニューロンを目指す。更に Phase4

表—1 脳型チップの開発

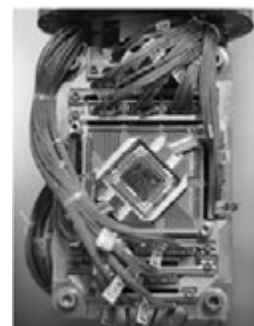
脳を再現するチップ、世界で同時開発					
プロジェクト名	研究主体	目的	チップの組織構成	システム構成	写真
BrainScaleS	独バイデルヘルプ大学など	脳神経細胞ネットワークの最も難しい、実時間より高速(1000倍~1万倍)で再現できるシステムの開発	アナログ・デジタル混成	1枚のウエハー上で動作するウエハーレベルシステム	
spinnaker	英マンチェスター大学など	脳神経ネットワークを参考にした超並列コンピュータの研究	デジタル(同素型)	18のARMコアを持つチップ40個を1枚の基盤に実装	
Neurogrid	米スタンフォード大学など	計算論的神経科学者がニューロンの発火モデルを研究するのに必要で、低コストなシステムの開発	アナログ・デジタル混成	16個のチップを1枚の基盤に実装	
SynAPSE	米IBMなど	フォン・ノイマン・モデルチップを見直し、認知コンピューティングに向けた新たなアーキテクチャーの検証	デジタル(異素混装)	単体で動作、または16個のチップを1枚の基盤に実装	

表一2 各国の大規模プロジェクト¹⁾[illegible]

プロジェクト名	IRISA Initiative	SyNAPSE	Human Brain Project	Industry 4.0
所属国	米国	(EU)欧州連合	(EU)欧州連合	ドイツ
内容	・ オペラ演劇の一連のデザインとエンジニアリングのひとびとして、産業空間で働くこととデジタルクリエイティブな環境との関係 ・ 脳の大規模な情報の記録・読取・整理・利用・引出、および脳機能と行動の複雑な関係を探知し、アルファベットの文字の読み書きを必要とする事象等とそれが図る目的	・ DREAM: 大規模な脳高等研究プロジェクトを推進し、主として脳に研究 ・ HBPは長期的なゴールとして、高度なAI、機械学習アルゴリズムでneuro-neuro、5000シナプスのチップの開発を目指す。社会実装や脳移植などにも応用することが必要	・ ECTと脳科学をキーワードに、2020年までにニューロ・サイエンスのポータルサイトの開発に10年間投資を完成 ・ 脳科学の分野への投資と脳の情報処理の理論的基礎の確立 ・ 5000シナプス・脳芯片の統合プラットフォームの形成 ・ 主たる統合プラットフォームを開発し、新しい脳研究の推進・技術開発研究の促進	・ 従来の生産方法から工業4.0にメカニズムを付与し産業の融合をプロット ・ Industry 4.0はデジタル経済および社会の未来の主要な課題として決定 ・ 政府の政策に盛り込まれていて、欧州開発基金の主要なプロジェクトである。政府も企業とも重要な役割とされている
期間年	2013年	2008年	2013年	2015年
総費	2014年～2025年 1億3000万ユーロ (2014年)	2008年～2016年 1億2000万ユーロ (2014年)	2013年～2023年 11億ユーロ (2014年)	2012年～2017年 2億ユーロ (2014年)
投資額				2012年～2017年 11～15年間



写真—3 spiNNaker



写真—4 D-WAVE

(5) コンピュータ性能進化の見通し

図－6は、CPU・ストレージ・ネットワークのこれまでの性能進化を示している。そして、図－7は今後5年のデータ量と処理性能・AI進化を示したものである。

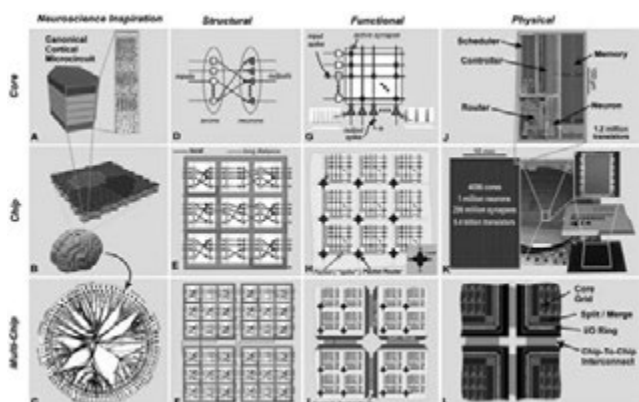


図-5 TrueNorthの構成概念

では、1 億ニューロンチップにより 100 億ニューロンを目指す。スタンフォード大では Brain Pj が進行中で、2014 年に 106 万ニューロン + 数十億シナプスの

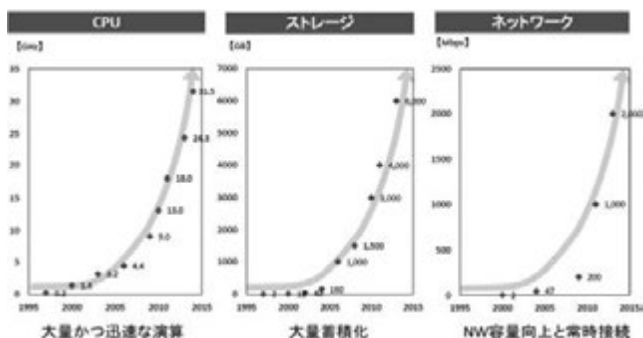
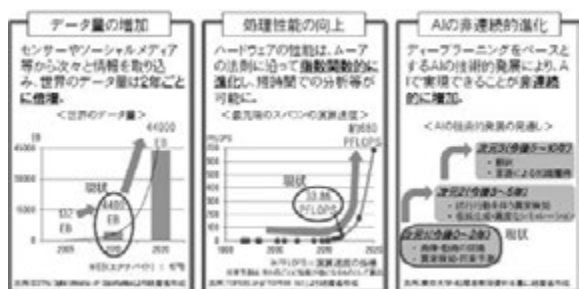
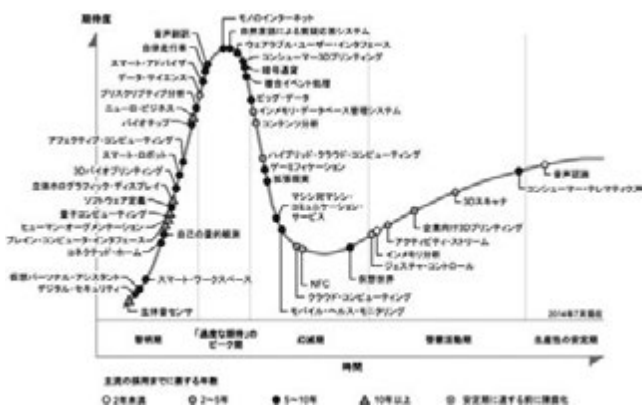


図-6 コンピュータ技術の進化¹⁾

図一七 コンピュータ技術の進化²⁾

写真一五 ICT 建機 D61PXi と PC200i

図一八は、各種関連技術の期待度の変化と実用化までの時間を示している。



図一八 技術実用化までの年数

3. 土工機械の現状

Oxford の研究 (2013) によると、AI の進展により 10 年で消えそうな職業や仕事が 702 業種あり、その中に建設機械のオペレータや測量士が含まれている。

さて、先端技術の状況について AI 技術を中心に概観したが、建設工事の中では機械化の最も進んでいる機械土工が、自動化を最も進め易い工種と考えられる。しかし、繰り返し作業で単純にも見えるが、周囲の環境把握や施工進捗等の変化への対応、段取作業等が自動化を難しくしている。これらにはディープラーニングによるパターン認識 (画像・行動) 学習に期待が掛かっている。土工機械の関連技術の現状を以下に示す。すると、無人の自律機械が動き廻る大規模土工の現場、そんな時代への萌芽が既に始まっているようである。

(1) 情報化施工

情報化施工は、出来形管理が直轄工事において一般化され、出来形検査基準も情報化施工に適するように見直しがされるようである。また、MG (マシン・ガイダンス) や MC (マシン・コントロール) を採用す

る工事が増え、多くのレンタル会社が機器を取扱うようになった。最近の機種では、MC バックホウやシュースリップを検知してブレードコントロールを行うインテリジェントブルドーザ (写真一五) が登場している。

そして、脱着等の取扱が容易になったシステムも現れた。また、新しい機種 (コンパクトトラックローダ) への装着 (本号掲載の「小型多機能施工機械の自動制御化による路盤工事の合理化検討」) も試みられている。しかし、情報化施工機器はまだ高価で、経済的便益を発揮しているとは言い難い。一層の価格低下と簡便性が望まれる。

(2) 無人化施工 (遠隔操作)

無人化施工は、人が立入ると危険な地区で遠隔操作により施工を行う方法である。平成 6 年の雲仙普賢岳における試験施工から研究が始まり、移動体画像伝送やネットワークの通信技術が発展した。最近開発された最新の関連技術は、本号の「無人化施工による応急対策技術とその基盤となるデジタル通信技術の開発」に示されている。また、遠隔操作式搭乗ロボットにロボ Q や ASIMO があったが、新たに汎用ロボット OS (V-Sido) を利用した DOKAROBO (本号掲載の「遠隔操縦用ロボットの開発」) が加わった。本号行政情報にある「次世代社会インフラ用ロボット開発・導入の取組み」に応募した技術の 1 つである。

(3) 広域測量技術と CIM

近年、UAV と写真測量解析ソフトウェア⁶⁾ の性能とコストダウンが革新的に進み、一気に利便性が向上した。そのため CIM における地形情報の有力な入力手段となっている (本号掲載の「施工 CIM の最前線」)。

(4) フリート管理⁷⁾

フリート (建設機械群) 管理のシステムは、海外露天掘り鉱山で利用されていて、Modular 社 (コマツ系)、CAT、Wenco (日立系)、Leica 等が提供している。最適化や意思決定支援に利用され、クラウドと AI を

利用したビッグデータ処理の取組みが始まっている。

海外大型鉱山での建設機械は、維持修理費込みの販売契約を建機メーカーが行っている。このため機械の保全管理システムを含む稼働管理システムが必要となり、ソフトベンダを取込んで運用している。そして、これらのシステムは配車・フリート管理サービスも提供している。

(5) 自動化・ロボット化

土工機械の自動化³⁾を見てみると、作業装置系では、ブレードコントロールやバケットコントロールが古くから研究され、その成果が情報化施工や無人化施工に取入れられている。自動走行の研究では、電磁誘導から始まり、位置認識にコーナキューブ、電波灯台、TS、GNSSが利用されている。著者は図-9のミリ波電波灯台方式の試験研究⁸⁾(1988～93)に携わったことがあるが、現在はGNSS方式が主流である。無人ダンプトラックの運行では、1996年頃からCATやコマツが取組み、現在、コマツの無人ダンプ(AHS: Autonomous Haulage System: 写真-6)は100台近くが稼働中という。また、日立建機も豪州で300tダンプ6台による試験運転を行っており、2017年の販売を目指している。

そして、施工自動化の試みも始まった。A⁴CSEL(本号掲載の「建設機械の自動化を核とした次世代施工システム」)では、振動ローラ(写真-7)と敷均ブドーザの自動運転に取組んでいる。ブルドーザは前記の

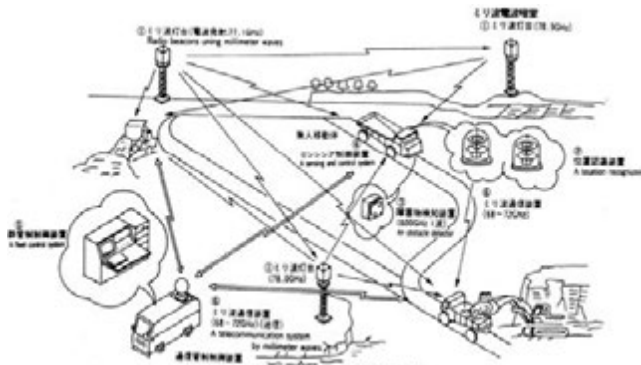


図-9 ミリ波による遠隔監視制御システム



写真-6 AHS



写真-7 A⁴CSEL

ICT 建機 D61PXi を利用して無人化している。また、ブレーカによる小割作業の自動化を狙って、T-iROBO-Breaker(本号掲載の「自律制御型建設機械の開発」)が登場した。

4. 機械土工の将来

本年1月に SmartConstruction(以下 SC)^{9), 10)} という野心的な新事業の計画を K 社が発表した。これは建機製造・販売からその枠を超え、工事現場に ICT 技術によるソリューションを提供する経営革新であるという。2月からこのサービスを開始した。マルチコンピュータによる空撮測量を行って土量を把握し、施工計画を立て、ICT 建機(D61PXi や PC200i 等)を用いて施工を行い、施工データはクラウド(KomConnect)の施工計画にフィードバックさせるという。10月には PC200i にステレオカメラを搭載して出来形を把握し、KomConnect に連動したリアルタイム施工管理サービスを始めたと発表している。徐々に進化発展させていくようだ(図-10)。

これまでイノベーションを推進し、3つのフェーズ(ダントツ商品(ハイブリッドショベル)→ダントツサービス(KOMTRAX)→ダントツソリューション(AHS))を経て、事業領域を拡大してきたが、今回の SC は、創業以来の変革であるという^{9), 10)}。AHS でダンプトラック運行管理というソリューションを手掛け、更に SC で施工領域まで踏込むようだ(図-11)。

このためオープンイノベーションを強化し、自動運転やロボット技術に強い ZMP やビッグデータ処理で

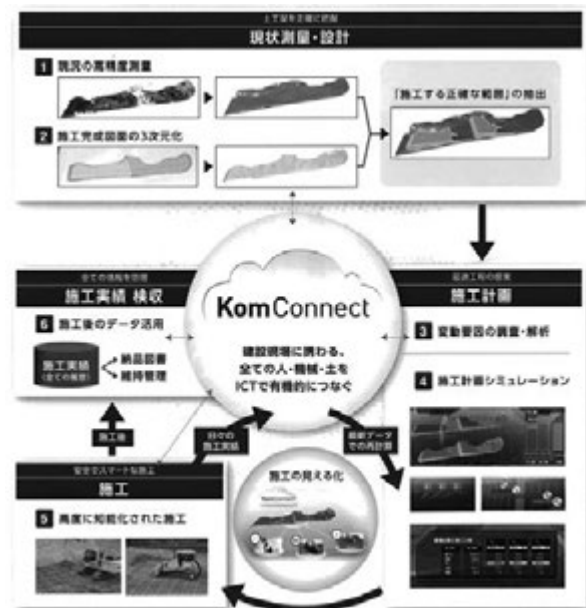


図-10 ソリューションサービス¹⁰⁾

GMと提携している。また、ロボット技術関係の大学との提携を深め、学内研究所設置も進め、阪大には「みらい建機協働研究所」を開設する。これから総力で建設機械の自動化・ロボット化に邁進するようだ。本号掲載の「油圧ショベルの遠隔操作のためのCG重畳表示システム」は産学提携による成果の1つである。

建設機械のロボット化が進めば、フリートとしての管理が必要となる。そのためには土量を把握して、施工計画を立案する必要がある。施工計画を立てるためには、土量の他に土質等のデータや施工ノウハウが必用である^{11), 12)}。まだ、メーカーに満足のいく施工計画の立案能力があるとは思えない。しかし、メーカー各社は既にKOMTRAK (IoTの走り) 等で機械稼働のデータ収集を行っており、これから施工データの収集を始める。ビッグデータをクラウドに収集蓄積し、ディープラーニング等のAIで分析して利用するだろう。将来は自動立案を目指しているのかもしれない。しかし、当面はマンマシンシステムとして協働のステップを経て、その先に完全自動化があるのだろう。

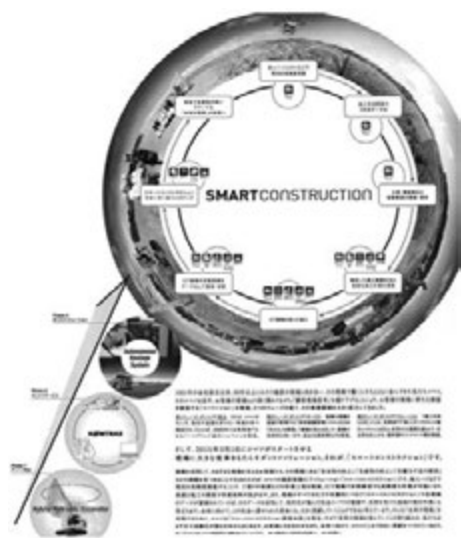


図-11 SmartConstruction¹⁰⁾

ICT建機 (D61PXi や PC200i 等) はレンタルでしか提供していない。最近の建機は電子化が進み、ユーザでの修理・整備が困難になっている。更にスマート化が進めば建機の販売はなくなりそうだ。ICT建機とSCを組合せてソリューションを提供する。将来、ICT建機が自律化すれば、建機と施工計画・管理のトータルソリューションを提供することになる。重機の専門工事業者は不要になるのかも知れない。つまり重機屋もなくなる職業の1つなのだ。生き残りは、工事を知悉して未来の施工システムを統べることができる者のみかもしれない。

5. おわりに

本誌2003年新年号に「大規模土工の近未来風景」を本省の方からの依頼で著して、思わぬ方面からの反響が多々あり驚いたことがある。当時も土工機械の自動化には、AIへの期待と必要性を痛感していたが、「第五世代」の蹉跎感がまだ漂っており言及は憚れた。しかし、近年のAI技術の革新や関連プロジェクトの進行を踏まえて、更に最近発表されたメーカーの新事業構想をベースに機械土工自動化の未来を想像してみた。

さて、シンギュラリティは到来するのか？ 総務省の研究会¹⁾では真剣に議論された。2045年は兎も角、蓋然性があるとする意見は多い。2045年については否定論が多いが、それは加速度的進化に想像力が追いつかないためだろう。しかし、到来は時間の問題だとも言っている。また、シンギュラリティ後のAIの危険性をイーロン・マスクが訴え、ホーキング博士やビル・ゲイツも警鐘を鳴らしている。「人類はAIを発明するために生まれ、覇を譲ることになる。」とさえ言う者もいる。映画「ターミネータ」や「マトリックス」の世界がやって来るといえるのか？ 人間を凌駕するかどうかは、意識(自我)を持つことができるかどうかのような気がするが、これも賛否両論がある。さて、いずれにしろ建設機械のシンギュラリティはやって来る。

JCM A

《参考文献》

- 1) 総務省情報通信政策研究所、インテリジェント化が加速するICTの未来像に関する研究会 報告書、'15.6
- 2) 経済産業政策局、ビッグデータ・人工知能がもたらす経済社会の変革 '15.4
- 3) 岡本、大規模土工の近未来風景、建設の機械化、'03.1
- 4) 建機の"故障診断"をAIで、日経コンストラクション、'90.8.10
- 5) 花嶋隆志、建設機械の故障診断におけるオイル分析エキスパートシステムの開発、建設の機械化、'90.6
- 6) 岡本、4D土工管理のマルチコプタ運用、建設機械施工、'14.4
- 7) 岡本、海外露天掘鉱山の情報化施工、建設機械、'09.11
- 8) 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、1995
- 9) 建機メーカーが描く「スマートコンストラクション」の未来、ロボコンマガジン、'15.5
- 10) コマツ、SmartConstruction 資料等、'15.
- 11) 岡本、デジタルアースムービング、建設の施工企画、'09.3
- 12) 岡本、専門工事業者による施工計画、建設機械施工、'13.9
- 13) 土工教室/IT-Topics、<http://www.yamazaki.co.jp>

【筆者紹介】

岡本 直樹 (おかもと なおき)
山崎建設(株)
技術顧問

