特集≫≫　建設機械

機械化施工と施工企画の未来

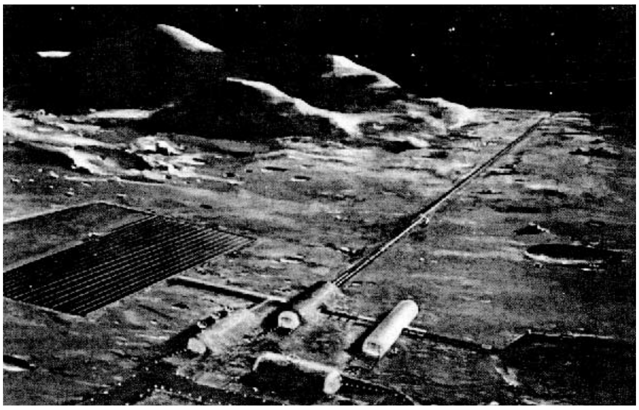
村　松　敏　光

工場において，細分化された流れ作業に組み込まれた生産機械･生産設備の性能が生産性を左右していた時代が過ぎ，複合化した新しい生産システム，生産技術が重要な地位を占めている。建設においても，建設機械化が主要な命題であった時代は過ぎ去り，建設生産システムをいかに構築するかという時代になっている。生産設備である建設機械の使い方，機械に人と資材を加えた生産財の効率的な運用を考える技術の時代，ICT/RT を基礎とした「施工企画」の時代が来ている。そして，機械化施工と施工企画の未来は，宇宙へもつながる。

キーワード：ICT，RT，情報化施工，建設生産システム，建設生産技術

1．未来の建設技術，建設機械

昨年の「建設の施工企画」1 月号の表紙は，月面基地を建設する建設機械であった。昨年の 12 月 4 日，米国航空宇宙局（NASA）は，2024 年に，月の極点付近に国際基地を建設する構想を発表した（asahi.com，2006 年 12 月 6 日）。これに先立つ 2004 年の 1 月に，ブッシュ大統領は，月面基地をベースとして火星探査を目指す「新宇宙戦略」を発表している。



図―1　月面の発電基地想像図 [i]

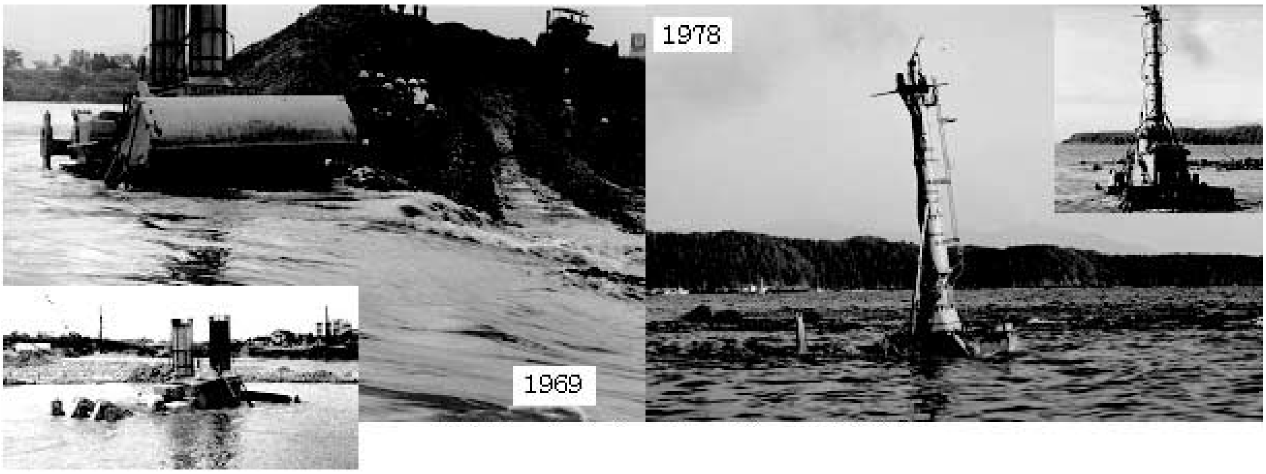
[i] “Space Resources and Space Settlements” の第 V 章で紹介された David R. Criswell の想像図では、円筒を横にした基地建物の上に、レゴリスが盛り上げられている。
（http://www.nas.nasa.gov/About/Education/SpaceSettlement/spaceres/images/figV-1-2.GIF）

50 年来の人類の夢であった月面基地が，にわかに現実味を増している。

月面での長期間の滞在のためには，宇宙線を防止するため，**図―1** のように，レゴリス（月表面の土）を盛って防御することが最も現実的といわれている。かまぼこ型や円筒形の建物が並ぶのではなく，土の下に隠れた基地になると想像されている。建設機械の活躍の場が宇宙にまで期待されている。

しかし，月面での建設作業は，1／6 といわれる重力のため，作業効率は，地上の 1／6 以下になるとも言われている。火星探査車が，軟らかい砂漠での走行や斜面を登ることに大変苦労し，地上では想定していなかった低い走破性だったそうである。また，地上からの遠隔操作は，通信時間による信号の遅れが，無人化施工の比ではなくなる。月面での作業を効率化する技術は，地上で実現した技術をさらに発展させなければならない。そして，それは地上での建設を改革することとつながる。

建設機械の重要な性能である生産効率の基本的な指標として燃料消費率がある。ブルドーザの作業における燃料消費量は，作業をしているときと，走行しているときとの差が少ないといわれている。移動で多くの燃料を消費してしまう原因は，作業量が重量に依存しているからである。作業装置であるブレードの形状に関する研究や，推進力を得るための走行装置（履帯）の研究は，テラメカニクスと呼ばれている研究分野に属する。最近，燃費を大幅に改善したブルドーザが発表され，その改善要因としてブレードの形状が挙げら



写真―1　水中ブルドーザによる作業

れている[ii]ことは，建設機械を生産設備として見たときの大きな進歩といえる。しかも，燃費改善効果の6割がブレードの形状によるものだそうである。

無人化施工は，1969年7月2日，梅雨前線の降雨により神通川が増水し，西側橋脚が沈下した際の，緊急復旧において，水中ブルドーザが投入されたことに始まる。その後，桜島の野尻川河口部に堆積した土砂の除去などに使われた。そして，立山の砂防工事において，危険箇所での掘削に，無線操縦のバックホウが投入された。

このようにして，特殊な現場で実績を積み上げてきた1990年，雲仙普賢岳が198年ぶりに噴火し，1991年6月3日に溶岩ドームの崩落によって発生した大火砕流は43名の犠牲者と500棟を越える家屋焼失を起こした。下流を守るための工事を危険地域で実施するため，1993年に，無人化施工の試験フィールド工事として土砂の掘削や運搬を成功させ，コンクリートやSGMの砂防堰堤，鋼製スリット構造の砂防堰堤の建設を実現させるまでになった。また，有珠山の噴火での復旧工事を経て，2 km以上も離れたところから，映像信号や制御信号の遅れを克服して，無人化施工を成功させている。無人化施工で，遠隔操作や施工現場の情報ネットワーク化が進み，発展したのと同じ時期に，ケーソン掘削作業，シールド掘削機械，ビルの建築作業などでも，ネットワーク化，遠隔操作化，自動制御化が進展している。ICT/RTが，建設現場の改革におけるキーテクノロジーであることが示された実例といえる。

建設機械の構造を工夫して，作業効率，作業性能を向上するとともに，人の操作を機械が補うような，自動制御とマニュアル操作の融合が期待される。建設機械は，建設工事にとっての重要な生産設備であり，その効率向上，生産システムとの融合が，施工全体の効率や品質を左右する。そして，作業しやすい工法や建設機械は，地上の建設工事を改革するだけでなく，月や宇宙での建設工事をも実現するであろう。

2. 明日の建設技術，建設機械

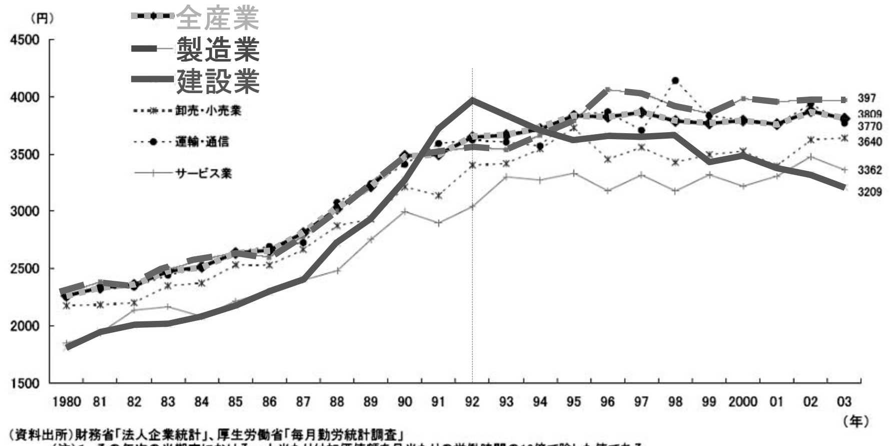
今後の建設産業政策の在り方について検討を行うため国土交通省に設置された建設産業政策研究会での，藤本隆宏委員の資料[iii]に記されているように，エンドユーザーや産業論といった上部から俯瞰した議論だけでなく，現場発の議論も必要と考える。イノベーション25においても，イノベーションによる生産性向上は重要なキーワードになっている。そして，ICT/RTを活用した建設イノベーションにおいても，情報基盤整備が，明日の建設技術，建設機械のイノベーションを支えるものと期待される。さらに，その根底には，イノベーション25戦略会議後の記者会見で黒川内閣特別顧問が指摘[iv]されたように，固定観念にとらわれない「意識のイノベーション」が求められる。

いわゆる製造業においては，テイラーに端を発し，デミングによって実用化の域に達した統計的管理手法を，戦後，生産現場に適用することによって，末端の作業者から経営層に至る総合的な改革が進められた。

[ii] http://www.komatsu.co.jp/CompanyInfo/press/2006033019450912157.html

[iii] http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/const/kengyo/sangyoseisaku/2006/0731/shiryou/item2.pdf

[iv] http://www.kantei.go.jp./jp/innovation/dail/brief.pdf



(資料出所)財務省「法人企業統計」、厚生労働省「毎月勤労統計調査」
(注)1. その年次の当期末における一人当たり付加価値額を月当たりの労働時間の12倍で除した値である。
2. 卸売・小売業の労働時間については、卸売・小売業, 飲食店の労働時間を用いている。

図—2　産業別従業員一人一時間当り付加価値額の推移

具体的には，高性能の製品を開発する「中央研究所」と，安定した品質の製品を効率的に生産する「生産技術研究所」として組織化され，製造現場においては「QC サークル」を基礎とする工場従業員の組織化，意識改革が行われた。この結果，我国製造業は，「低廉で高品質」という神話を築くまでに成長することができた。そして，継続的な改善の取り組みを進め，発展させ，トヨタ方式などとして結実し，ものづくりの国として，世界に冠たる経済的発展を実現した。近年のリコールの増加，リチウムイオン電池の障害などの発生は，生産現場が新たなイノベーションを求めていることの証左かもしれない。

建設業においても QC 活動への取り組みが行われ，1979 年に竹中工務店，1983 年に清水建設がデミング賞を受賞するまでになった。清水建設に，生産技術本部が組織されたことは，他の総合建設業にはない特色となっている。また，品質，効率を向上する工法や，未経験の構造や施工条件に対応する工法など，多くの新技術が導入された一方で，設計・施工が分離され，各工程が専門業者に細分化され，工程内で複数の専門業者が輻輳する場合もある。このため，施工全般のマネジメントが困難な状況も発生している。部分最適化が進み，現場とそのマネジメントを含めた生産システムの改革が十分とはいえない状況におかれて，総合建設業や専門工事業における改善努力や専門的能力の向上等による効果が，十分に発揮されているとはいいがたい面がある。

この結果，付加価値を労働時間で除した付加価値労働生産性の推移を見ると，1990 年頃には，製造業を凌駕していたが，その後は，他産業が生産性を向上したのに対し，建設業においては低下の一途をたどってきた。その要因は，建設投資の急速な減少によるものが大きいと考えられるが，生産システムの面からみると，技術の評価，能力発揮が十分とは言いがたい。

このような議論においての抵抗は，一品生産であること，屋外の作業であること，施工環境が自然に左右されることなどを挙げることが多い。しかし，鉄筋作業，コンクリート打設など，現場の作業者，専門工事業者の目から見れば，同じ作業の繰返しである場合も多い。施工しやすい形状，構造を考えること，単純な作業に分解して熟練工の負担を軽減することなど，「生産技術」の観点からの改善余地は十分にあると考える。また，新しい施工法が現場の作業者に受け入れられるように，現場作業者の負担増加にならないように，現場と開発者が協働して改善することは，技術の発展に欠かすことができない。藤本隆宏委員の資料に記されている「ものづくり現場発の戦略論」，「能力構築競争力」，「知のめぐりの良い組織」が求められるゆえんである。

最も初期にロボットが導入された自動車のボディの組み立てでは，ロボットが生産コストを低減したといわれているが，実際は，ロボットでもできるスポット溶接とするために，溶接箇所数を半減した，設計と生産の融合効果の方が大きいといわれている。CAD やコンピュータネットワークが，ボーイング 777 以降の国際分業生産を現実のものとし，ジャストインタイムなどのロジスティクスを改革した。CAM の導入は，設計を物に移しこむという「ものづくり」において，現場と設計を直結し，全ての関係者が同時に参加して改善につなげる取り組みを可能にし，コンカレント・エンジニアリングが生産現場を改革した。

建設業においても，このような改革を進めることが求められており，建設生産の効率を向上させることは，建設産業の再生に欠かせないものである。ここで必要

なことは,「ものづくり産業」としての建設業を対象とする産業政策に潜在していた技術イノベーションとその環境整備を,具体的かつ明示的に示すことである。そして,品確法に基づく技術競争環境を醸成し,ICT/RTの導入基盤等の仕組みづくりによって,建設業の技術イノベーション環境を提供し,安くて高品質の構造物を提供する「ものづくり産業」として脱皮させることにある。

3. 明日につなげるために

(1) ICT/RTに対する期待

建設生産システムに起きている,あるいは今後起きるであろう変化に柔軟に対応していくには,関係者相互が情報を共有し,それぞれの責任において適切に対応できるような環境整備が必要である。この基本となるものが「情報の共有」であり,それを可能にするデータベース相互の融通性の確保が必要である。

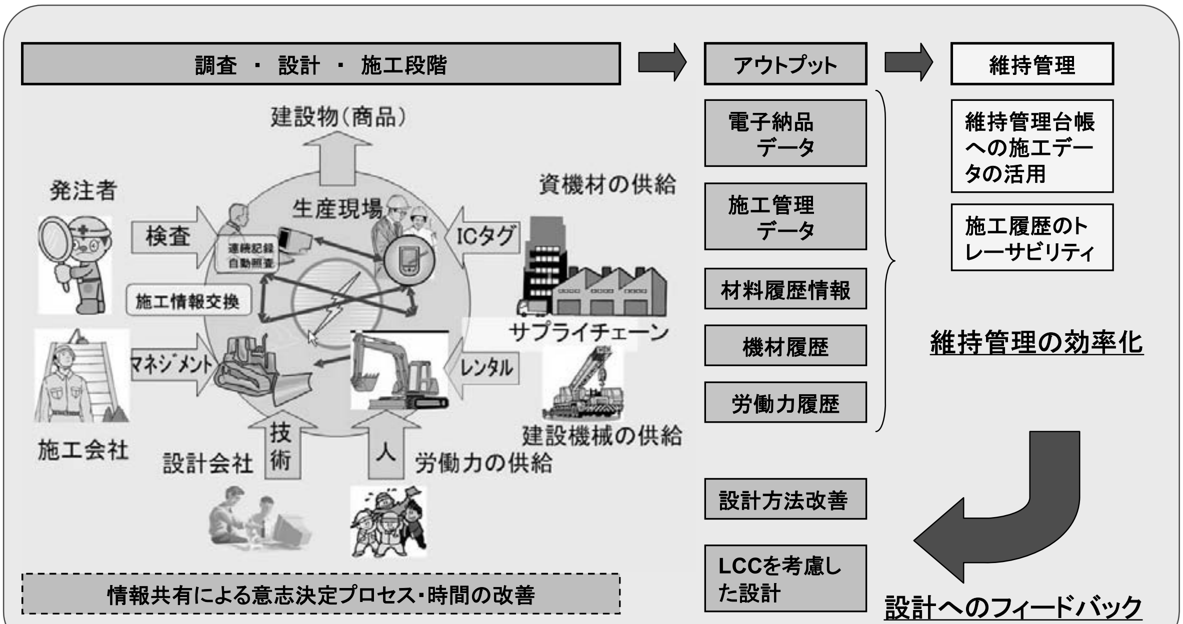
企画・設計・施工・管理のライフサイクルを横軸,それぞれの段階での関係者の関係を縦軸とすると,建設生産にかかる共有は縦軸の共有といえる。そして,横軸での共有化においては,設計情報とともに,時間情報,施工情報,投入資源情報などを統合したデータベースの一形態ともいえる次世代CADが有効であると考える。

従来は,同じ設計思想の下で構築されたデータベースしか相互運用ができなかったが,情報の記述形式が標準化されたことにより,データ要素の共通的な定義や対応に関する情報(メタデータ・レジストリなど)の整備によって相互運用が可能になっている。多数のステークホルダーが関係する建設分野におけるメタデータ・レジストリの構築,次世代CADの標準化とこれらの導入を進めることが,多くの企業が参画して初めて実現する建設現場における「新しいパートナーシップの構築」の基盤整備として求められる。

(2) 建設生産システムの改革

建設生産システムの改革は,建設生産に関わり,建設生産を担う関係者が,相互の連携を強化し,十分にその能力を発揮することにつながるものでなければならない。「機能・役割分担の多様化」は,専門工事業の特化,元下関係の重層化,契約関係などにとどまらず,現場で行われる工程間の調整,建設機械そのものに測量機能を具備することによる機器機能の複合化や,現場における作業者相互の関係にまで及んでいる。縦軸の機能・役割分担の多様化は,施工段階にとどまることなく,横軸の各段階においても発生している。

縦軸においては,関係者が個々に独立して最善を目指す部分最適化では限界があり,相互に連携しながら,総合的な品質の向上,コストの縮減が追及されなければならない。このことは,「コスト縮減」から「コスト構造改革」に,「価格競争」から「総合評価」に変わったことに端的に現れている。そして,関係者が同じ情報を共有することによって,各主体の責務の的確な遂行,相互に対等な関係を構築でき,片務性の排除,



図—3 情報技術による施工現場の改革

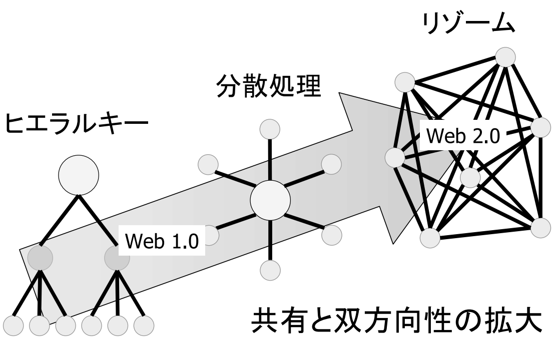
公正かつ透明な競争環境の整備にも資することにもつながる。品質は，建設工事に参加する人々の一つ一つの作業，資材などの積み上げげで達成されるものであり，コストも同様である。関係者が情報を共有し，同じ目的意識を持つことが求められる。

また，適正な施工を確保するには，技術者・技能者が能力を発揮する環境を提供することも重要である。このため，最新のICT技術を用いたマネジメント支援システムの構築とともに新技術を導入しやすくする制度設計が求められる。例えば，関係者が，品質やコストの基礎となる全ての作業・工程にバーチャルで参画できる情報化施工を前提とすることで，新技術導入における品質の懸念が軽減できると考える。そこで，ICT/RTの導入基盤となる標準化，技術基準の改定等を行うとともに，新技術活用支援システム等の制度を強化，発展させることが求められる。

横軸の機能・役割分担の多様化は，企画・設計・施工・管理といったライフサイクルにおいても発生している。例えば，エレベータの製造・設置と点検・補修といった横軸において，機能・役割分担の多様化が発生している。規格化され，大量に生産される自動車においては，整備業者とユーザの直接的な関係に比べて，メーカとユーザの関係は間接的であるが，リコールはもちろん，良い製品の再生産には，ユーザとメーカの情報共有は不可欠である。建設物や建設機械においても，建設物の維持・管理が新たなサービス提供を可能とし，改良が商品の再生産と同じ意味を持つことを考えれば，横軸での役割の多様化，共有化は，ますます重要になってくると推察できる。

4. 未来へ

ヒエラルキーからリゾームへと進む変化は，人類の歴史において，国際関係，経済活動，人と人との関係，そして情報システムに至るまで，過去にも，現在でも



図—4　秩序形態の変化

多く見られる。ICT/RTは，組織構造，社会構造などがヒエラルキーからリゾームへと変革が進む中で，一方向のWEB1.0から，全ての参加者が受信者であると同時に発信者となるWeb2.0へと情報分野の変革が進む中で，これらの変化を支え，実現してきた。建設生産システムにおいても，参加者の機能・役割が多様化している中で，ICT/RTを基礎とし，活用していくことで，変革を実現することができると考える。

日本のQCMが，ICT/RTを活用したコンカレントエンジニアリングを基礎として，製品の品質にとどまることなく，製造現場の効率化にとどまることなく，経営層を含めた生産システム全体の改革に果たした役割に，もう一度注目したい。建設を取り巻く環境の変化は，次代へ進むチャンスでもある。技術イノベーションこそが，その扉を開きうる。技術と建設生産の改革に携わる方々がその技術情報を交換し，技術研鑽をする場が求められる。 JCMA

[筆者紹介]
村松　敏光（むらまつ　としみつ）
国土交通省　総合政策局
建設施工企画課長