

# 建設業の技術経営 (MOT)

## 第7章 建設業の生産革新と機械化・自動化・ロボット化戦略 (テクノロジープッシュ・マーケットプル)

藤盛 紀明

芝浦工業大学大学院 工学マネジメント研究科 客員教授  
FT テクノロジー 代表

### 1 | 建設業技術開発の基本

建設業技術開発の基本は安全・安心と絶えざる生産革新である。図1に示すように生産性向上分野には経営分野の生産性と建設現場の生産性がある。経営分野の中で人事、経理・財務、労務、施設管理・運営などは外部の支援、外部ソフトなどが充実している。また、企業の関連会社でこの分野をフォローする会社の存在する場合も多い。従って社内研究開発分野が事務系分野の生産性に関与するケースは少ないと思われる。

もちろん、外部資源利用の場合に技術的なアドバイスをを行うことは必要である。経理・財務部門がコンピューターソフトに詳しい人材を抱えているケースは少ないと思われる。それに関わらず、事務系部門が研究開発系と相談せずに直接外部資源と折衝するケースが多く、無駄な費用あるいは使いにくいソフトを採用するケースもある。研究開発部門は担当が技術分野だけと考えずに、事務系部門ともコミュニケーションを多くしておくことが企業全体の生産性に寄与すると考える。

建設業の場合、営業部門、設計部門、技術以外の現場の運営管理部門の生産性向上のための技術開発も研究開発の主要な役割である。設計と現場の連携、さらには協力企業、外部設計事務所との連携に関する技術開発は重要な研究開発課題である。

民間工事受注の競争が激化した今日、発注者への提案内容充実・資料作成の効率化は最重要課題である。例えば、病院の場合患者需要予測ソフト(図2)などは必須ソフトである。昨今の少子化傾向から学校経営は厳しさを増している。教育施設受注のためには、学生数予測・運営経費削減などのソフトは受注の必須ツールであり、この提案を品質良く・効率良く行うことが重要である。

かなり以前であるが、研究開発と営業の連携について議論する組織を立ち上げたことがあった。我々研究開発側からの提案は学校や病院のITシステム、エネルギー削減設備システムであったが、営業側からのニーズは学校や病院

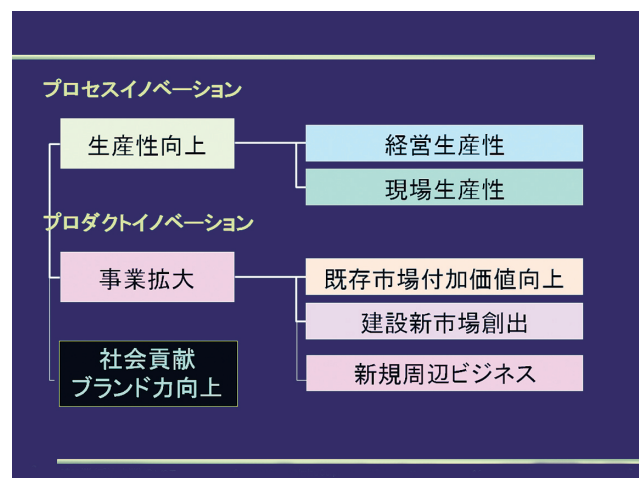


図1 R&D・技術の役割

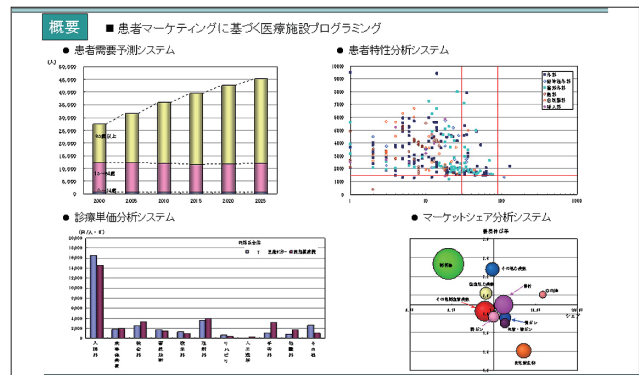


図2 病院事業予測ソフト(清水建設提供)

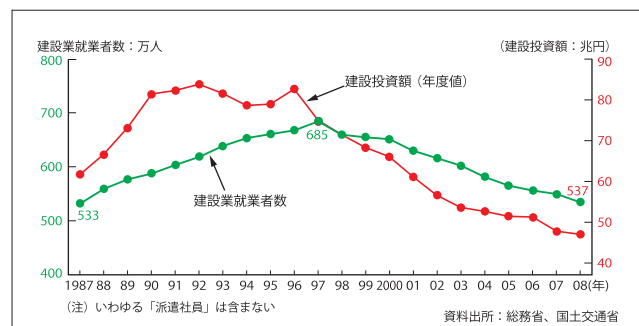


図3 建設投資と建設業就業者数(建設業ハンドブック2009)



経営に関する提案書作成のソフトであった。この提案は当時の研究開発陣にとっては予想外のものであった。

## 2 | 建設業の労働状況

建設業の生産性を論ずる場合、建設業の現状と将来、建設従業者の未来について議論しておく必要がある。衆知のように建設需要は確実に減少し、建設従業者も減少している(図3)。建設業就業者数のピークは1997年の685万人で、2008年では537万人と11年間で148万人、21.6%も減少している。これまで、建設業は不況の際の労働力の受け皿であったが、現在では逆に労働力の吐き出し産業になっている。図4に示すように、営業の人数は減少していないが、技能工・建設作業者は極端に減少している。常用雇用者もかなり減少しており、技能の伝承・訓練が困難になっている。

図5に示すように、製造業の労働生産性は現在でも右肩上がりに上昇しているが、建設業の労働生産性は1990年以降大幅に低下している。就業者削減の遅れもあるが、建設業では他産業に比べて生産性向上の技術開発が進んでいないことの表れでもある。それにも関わらず、第4章で述べたように、一方では建設業の研究開発費は他産業に比べて著しく低く、かつ減少している。(図6)

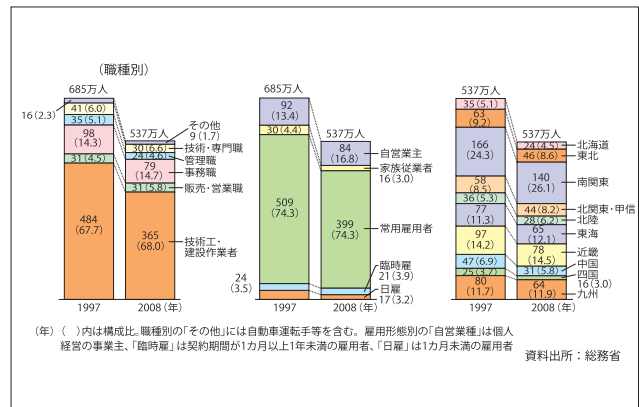


図4 建設業就業者数の減少と内訳 (建設業ハンドブック 2009)

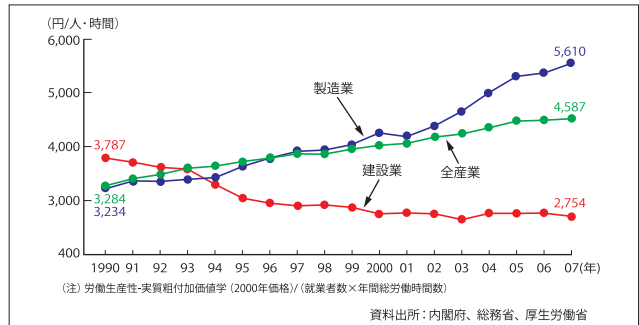


図5 労働生産性の推移 (建設業ハンドブック 2009)

## 3 | 建設現場のQCDSEの現状

### 1) Q: 品質管理・検査の生産性向上

戦後の品質管理は統計的管理、TQC、カイゼン、TQM、ISO9000シリーズなどと変遷してきた。しかしながら、品質管理・検査の生産性向上という概念はあまり検討されてこなかったと考える。むしろ、余分な作業が増加し、それが形式化・形骸化して生産性を悪化させた側面もあったと思われる。工場の正面に「ISO900X認証工場」と大きく掲げるなどして、ISO9000シリーズ獲得の目的が「企業イメージ向上」であったり、「顧客評価の向上」することであることを象徴している。

近年では情報伝達手法が多様化しネガティブ情報は瞬時に拡散する。品質管理の不備が企業の存亡に関わるようになってきている。形式的な仕組みよりも実質・事実としての品質確保が企業存続・発展の絶対条件となっている。

TQC、ISOの言うように品質確保の基本は経営者の品質に関する哲学・思想・情熱と従業員への浸透であることに異論はない。しかしながら、そのことの証明が書類を整備することや内部監査・外部監査に合格することだけで十分とは思わない。ISOは仕組みが整備され活用されていることを証明するものであり、実際の品質の良さを証明するものではない。客先への証明として、チェック・検査のものが無いように、検査報告書の作業効率を高めるために検査

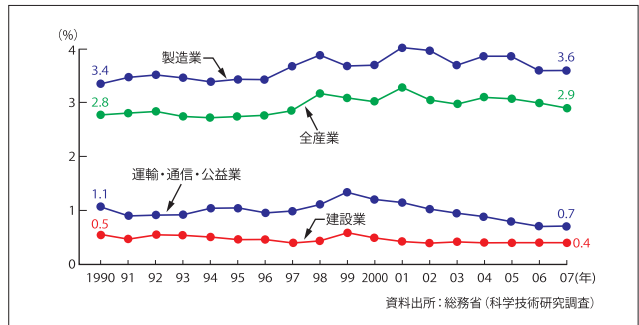


図6 研究費対売上高比率の推移 (建設業ハンドブック 2009)

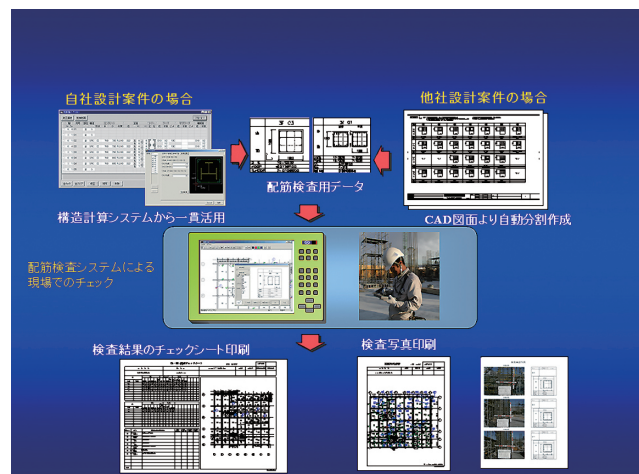


図7 設計CADデータと連携した携帯端末による鉄筋検査システム (清水建設提供)

のIT化は重要である。(図7)

配管・設備などと構造体の取り合わせの部分には事前の図面チェックが必要である。そのためには、3DCADの活用が重要である。(図8)

品質の生産性向上では検査の自動化、さらには検査工程・検査数の削減が必要である。受け入れ検査方法が仕様書で定められている場合、その受け入れ検査に対応する効率的な社内抜き取り検査を設計して検査効率を高めるべきである。しかしながら、建設業では第三者検査が行われる場合には社内検査では全数検査を行うケースが多い。第三者検査で、例えば係数選別型2回抜取方法(図9)が採用された場合、ロット検査の1回目、2回目の検査ではある数の不合格の発生は許容される。しかしながら、ロットとしての合否判定規準・判定個数も定められているにも関わらず、一つでも不合格個所が出ると大騒ぎする検査員がいる。

商取引で検査方法が定められているならばそれに従うべきであるが、「品質第一」「お客様第一」の姿勢が浸透し、発注者も建設業者も、関係会社も統計的抜取手法の本質になかなか馴染めないのが実情である。図10は筆者らが執筆した『受け入れ検査のための鉄骨工事検査の手引き』の「抜取検査とは」の章に掲載されてイラストで、上記の状況を良く物語っている。

鉄骨溶接部の検査には超音波探傷試験がよく普及しているが、非破壊検査の場合検査の「感度」と「不連続部よりの信号の検出レベル：スレッシュホールドレベル」によって検出できる傷が定められる。検査を人間が行う場合には見逃しの危険も当然ある。検査のあり方はこれらの総合として捉えるべきと考える。発注者・構造設計者・製作者で科学的・技術的議論をよく行い、検査の合理的な効率アップをお互いに認識すべきである。

## 2) C：コスト削減

コスト削減と言うと一番最初に浮かぶのは人件費削減である。経営者として著名な人は大なり小なり人件費削減に成果を出した人である。企業財務諸表で最も多く議論されるのもまた一般管理費であり、その最大の要素は人件費である。その人件費削減のために、近年ではアウトソーシングして事務部門のコスト削減をすることも一般的になっている。研究開発部門でも施設管理、実験などのアウトソーシング化が進んでいる。建設現場ではどの現場でも同様な作業が行われており、その一元化は重要なコスト削減対策の一つである。(図11)

構工法を工夫してコスト削減を行うことは建設現場の永久に絶えない活動であるが、その基本は何であろうか。最近では図12のようなPCa化によるコスト低減、図13のよ

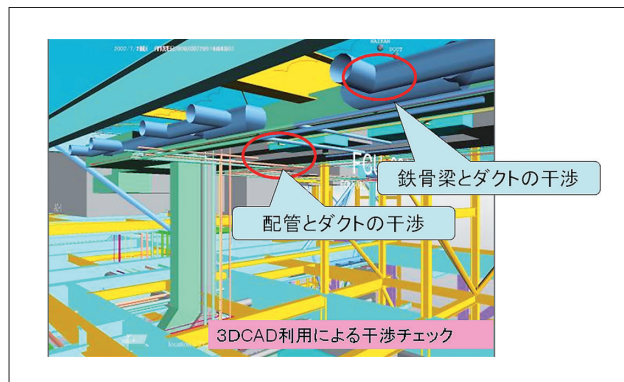


図8 3DCADによる図面の整合(清水建設提供)

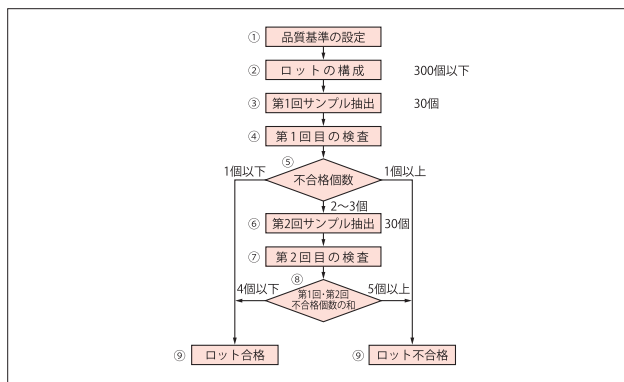


図9 係数選別型2回抜取検査

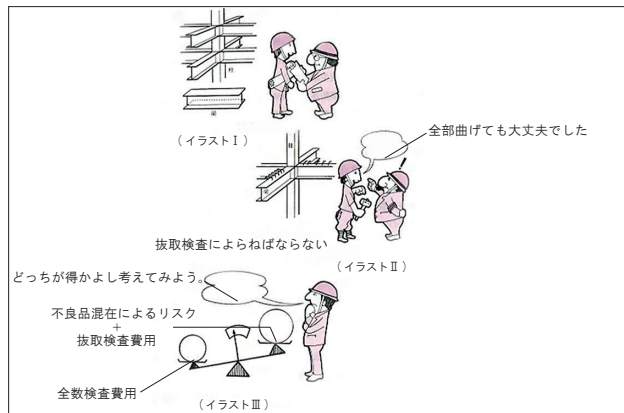


図10 全数検査か抜取検査か(文献4)

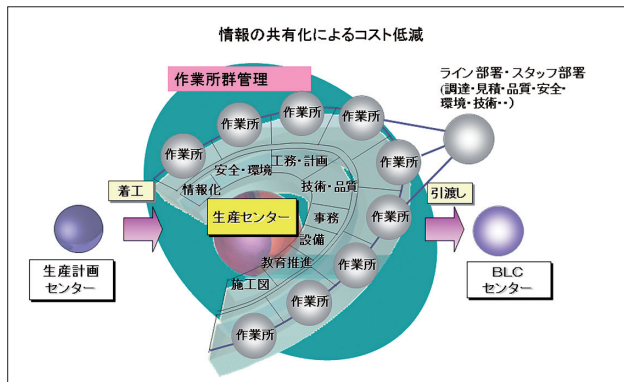


図11 複数作業現場の一元管理例(清水建設提供)



うな海外調達も徹底されている。かつては海外製品の使用を嫌うケースがあり、内密に行った時代があった。しかしながら、ITの時代になり発注者も簡単に海外製品にアクセスして価格などに言及する時代である。海外調達の場合、品質確認をいかに行うかが重要である。日本の品質要求の厳しさと海外の認識にはずれがあり、品質検査をいかに安価・安全・安心に行うかは工夫のしどころである。海外工場に日本技術者を派遣して日本の品質レベルを確保するとか、関係業者に海外工場を設置してもらうなど、他産業の経験を十分に生かす必要がある。

シャープで電卓開発を担当された方に話を聞いたことがある。電卓の価格競争は非常に激しく、最初の卓上計算機は30数万円であったとのことである。それが10万円になり、1万円になり、わずか数年で30万円から千円になったとのことであった(図14)。信じられないようなコストダウンのキーは「機能の複合化による部品点数の削減」ということであった。部品点数が減れば作業工数が減り、材料費用も削減され、製造設備・作業員も減らすことができる。

10年以上前であったが、建設ロボットの調査のために某鉄工所を訪問したことがあった。その工場では鋼板の切断を全て自社で行っていた。当時、鉄工所の多くはシャリングメーカーで切断した鋼板を購入・使用するのが通常であった。いわゆる垂直統合指向であった。

生産性向上の基本は計画・設計の段階にあることはよく言われることである。無駄は初期の段階で省くべきで、後の工程では削減効果は減少する。設計の段階から施工のことを考えるとのことは誰でも言うことである。しかしながら、建築の場合には、建築デザイナーが最上流におり、著名な設計者の場合、デザインプロセスの中に施工のし易さ・コストダウンの考慮はほとんど入る余地がないと思われる。施工性やコストダウンではなく、自らのデザインの実現が基本であり構造安全をも脅かす発言もある。筆者の恩師で著名な建築家に鉄骨の構造上、必要部材が自分のデザインの邪魔になるので取ってほしいと言われたこともある。デザイナーは施工者が決まる前に発注者との関係で作業するので問題解決は困難である。CTOともなればそのような設計デザイナーの設計趣旨を良く理解して、その実現を叶えた上でコストダウンを提案する必要がある。(図15)

生産性向上には多くの工夫が必要である。工夫する際のキーワードを筆者なりに図16に列記してみた。コストダウン、生産性革新は絶えざる作業であり、一つの要素だけでは進展が困難である。建設の企画から運営・解体に至るすべての作業と関係者の統合作業であるべきである。建設業のCTOは発注者の企画・計画の段階まで入り込んでコストダウンを図る必要がある。



図12 Pca工法によるコスト低減と短工期化(清水建設提供)



図13 良いものを安く海外調達するのはコストダウンの基本



主たる革新は製品機能の複合化 (バリューイノベーション) 生産ラインのショート化 (プロセスイノベーション)

図14 電卓コストダウンの基本は機能複合化



図15 設計者と施工者の連携が建設生産性の基本

かつて大手電気メーカーの工場に見学に行った時に、その工場の柱の太さ・梁の大きさが超高層並みののにびっくりしたことがあった。その理由は設置される光学設備が震動を嫌い、その微振動スペックが厳しく、微振動対策のために構造体が超高層並みにならざるを得ないということであった。筆者はそのスペックに疑問を抱き、製造設備全体の震動測定を提案した。結果としてスペックは緩和され、さらには新しい微振動対策技術をも付加してコストダウンに繋げることができた。

生産革新は発注者・設計者、機器メーカー、設備など協力業者、建設機械・材料サプライヤー、さらには自治体、周辺住民などプロジェクトを取り巻くすべての関係者の統合作業でなければならない。

### 3) D：工期短縮

営業の課長と電気会社に技術営業のために伺ったことがあった。訪問先の会社は従来、大手建設業者に順番に工事を発注していた。同行した営業課長は発注の順番を早めてほしいと必死にお願いしていた。その期の彼の課の受注ノルマ達成は、その会社の工事入手が死命を制していたからである。発注先の担当者は大変感じの良い方で、お話しされていたのは台湾、韓国との競争が激しく、商品価格があつという間に低下する。新商品の半導体は1カ月でも、競争相手に先行して販売したい。従って、会社方針が出たらただちに工事を開始し、半年以内に稼働したいと話されていた。当時、その規模の工場は1-2年程度の工期を必要としていた。筆者は超短工期工法を開発すれば当社への発注になると直感した。担当者は発注側の深刻なニーズを我々にはっきり表明したのである。しかしながら、当の営業課長はそのことは全く認識せず、ただひたすら発注順番を早めてほしいと懇願していた。

グローバル産業となった日本企業は激しい国際競争に晒されている。一度経営判断を過せば超一流企業と言えども消滅する。現在の国際競争は過酷である。筆者は技術研究所と建築技術開発部門に直ちに超短期工法開発を指示した。

しかしながら、工期短縮活動も限界に達している。それでも要望された工期にすることができなければ次回からは工事発注や引き合いすらないであろう。短工期技術の一部を紹介するがこれらは既に衆知の工法である。現役の担当者は更なる知恵を出す必要がある。

現時点で建築現場では上部工事はほぼアイデアが出尽くしていると思われる。一方、地下工事はまだまだ改善の余地が残されている。図17は新地下工法と称して清水建設が開発した工法である。地上・地下を同時施工して工期短縮を図る工法である。

1. 置き換え(単数・複数)
2. 省略・短縮
3. 統合・複合・垂直統合
4. 選択・調達・水平分業
5. 余裕・ムダ・不完全の削除
6. 製品機能変更・追加・削減
7. 機能・構造一体モジュール
8. 革新と既存のベストミックス
9. 多能工化



図16 バリューチェーンからみた生産改革のポイント



図17 地下工法は今でも工夫の余地がある(清水建設提供)



外注していたプレキャストコンクリートを現場で製作する。部材の運搬距離を短くする。JUST IN TIMEに製作するなど、現場の垂直統合の一形態がサイトPCa工法である(図18)。生コンクリートを現場で製造するのも現場生産の垂直統合の一形態である。

機能の一体化、複合化も重要な生産改革要素である。建築生産では運搬・揚重をいかに短縮、削減するかも重要な生産改革である。図19の建築・設備一体化工法もその方向の技術開発である。

工期短縮とコストダウンは表裏一体の活動である。図16で示した要素は工期短縮でも検討に値するものと信ずる。

#### 4) S：安全

安全の生産性と言う議論はあるのであろうか？日本人の多くは「安全」と言う標語の下に「安心」を求めている。この場合には「安全の生産性」と言う概念は受け入れ難くなる。米国では「経済性を考慮した安全」と言う意識が比較的受け入れられている。この基本哲学が米国からの輸入牛肉のBSE問題で全数検査を主張する日本と抜取検査でよいとする米国との違いになっている。1)の品質問題で述べたように、全数検査でも見逃しは必ず発生するものである。全数検査の方が安心と言うのは心理的な問題にすぎない。

役員会で死亡事故の報告を聞く機会が数度あった。いずれもどうしてこんなことが起こるのか？という疑問を抱いた。ほとんど理解に苦しむ行為であった。例えば、自らが乗っている足場を自らが切断して落下するなどの行為であった。筆者自身にもなぜ、こんなことをするのかと自問する行動を場合がある。妻には同じことを何度も注意されているし、自分も注意しているのだが起こってしまう。注意しているにも関わらず「何故？」と言う事故発生の根本要因は何であろうか。

新しい支店長が赴任すると死亡事故が発生するという不思議な現象にも遭遇した。この現象の基本要素は何であろうか。京都の現場で同じ状態で鉄骨の柱を繰り返し建てていた現場があった。数十回目の柱工事の際に事故が発生した。今までと全く同様な作業であったとのことである。「昨日も安全だから今日も安全」との意識・惰性が問題である。

建設現場や鉄工場に入った瞬間、この現場は品質も良く、事故もなく利益が上がっているなど感ずることがある。工場が整理整頓されており、働く人々がきびきびしているなどの状態の場合である(図20)。

安全対策には失敗の分析や制度整備などは必要条件であるが、働く環境や働く人々の意識がより重要である。組織の長の意識とその浸透、働く仲間とのコミュニケーションが重要であり、コストが少なくとも実質、安全は確保できる。



図18 サイトPCa工法(清水建設提供)

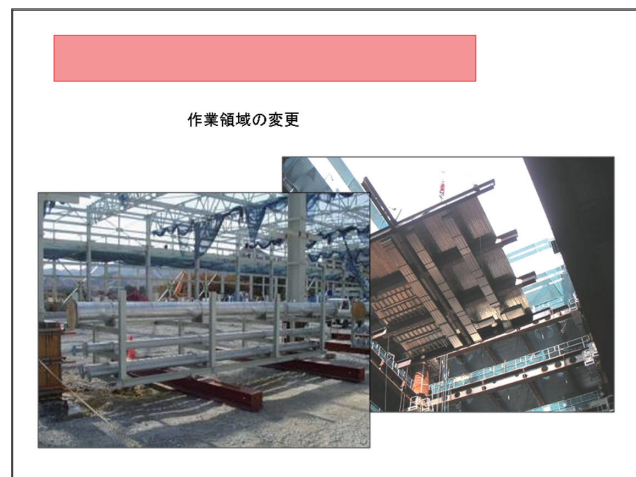


図19 建築・設備一体化工法(清水建設提供)



図20 整然とした工場の品質は皆、良好である  
(ITの時代でも3現主義が重要)



図21 安全はチームワークと安全意識高揚から

そのためには現場での朝礼・体操(図21)、「ひやりはつと運動」などは地味ではあるが、大切な行為である。

畑村洋太郎氏は「失敗学のすすめ」(図22)を提唱している。失敗・事故の直接の原因はあったとしても、その発生要因は幅広いものである。どんなに注意しても事故は発生するものと考えなければならない。しかし、大きな事故の前にいくつもの軽い事故があると言う。

技術も高度化・多様化しており前の常識では対応できない事象も発生している。安全確保にも新しい技術的手段が表れている。3DCADによる作業手順のシミュレーションなどはその例である。(図23)

JR福知山線脱線事故は、企業・経営者の責任について激しく議論されている。誰が起こした問題でも企業では最終責任は社長、取締役であることは間違いない。組織のトップは利益と同レベル以上に安全にも気を配る必要がある。筆者は技術研究所長時代、必ず一日一度は所内を巡回した。実験場では皆に声を掛け、気がついたことは小さなことでも注意した。注意した内容そのものは大したことではないが、組織のトップが回って歩いて声を掛けると言う行為そのものが良い緊張感を人々に与え、安全意識・勤労意欲を高めたと自負している。

## 5) E 環境

図24に示すように建設廃棄物は全廃棄物量19%にもなっている。環境が最大の社会的課題であり、ビジネス的にも最大の課題である。従来は、建設業ではQCDSと saying いたが、今ではQCDS Eと言う。図25は筆者が20年前に提示した建設業の地球環境課題で、環境負荷低減・汚染土壌・水処理が最も身近でビジネスにも近い分野であった。

建設会社の廃棄物処理は精力的で分別収集(図26)が徹底してきている。その結果、建設業全体として大幅削減が

1. 失敗の原因は多層  
(技術・心理・経済・法律・社会文化・経営側面)である。
2. 事例伝達のみでは何も伝わらない
3. 局所最適が失敗を呼ぶ
4. 管理強化は失敗を呼ぶ
5. 失敗原因には階層性がある  
(個人・部署・経営・産業システム・行政・社会システム)




図22 失敗学のすすめ(畑村洋太郎)

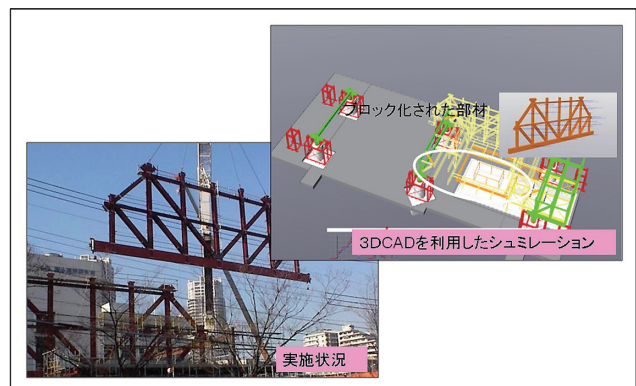


図23 3DCADによるシミュレーションでの作業手順の周知徹底(清水建設提供)



図24 平成17年度の廃棄物の量(建設廃棄物は19%)

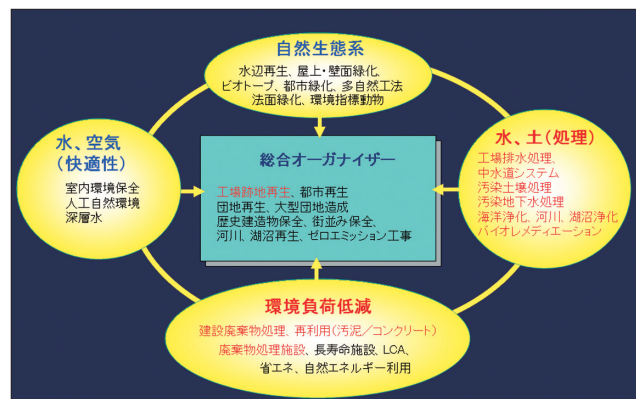


図25 建設業の地球環境課題



図26 現場における徹底した分別収集

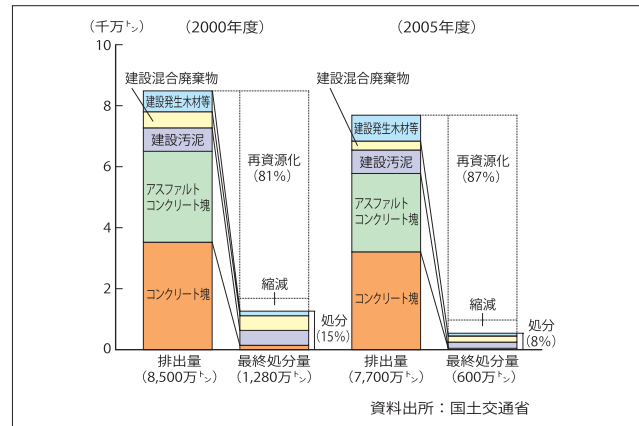


図27 建設業に廃棄物排出量と処理 (建設業ハンドブック 2009)

達成されている (図27)。汚泥処理もいろいろ工夫されているが現在では最も大きな課題となっている。筆者も汚泥の再利用 (図28) など努力したがまだまだである。

耐火被覆工事 (図29) やダイオキシン対策は社会的に大きな課題となり建設業各社は精力的に対策工法を開発した。

#### 4 | 建築生産における自動化・ロボット化

(テクノロジー・プッシュ・マーケットプル)

##### 1) 建設自動化のリーダー、鉄骨溶接

建設工事で最も早く自動化が進んだのは鉄骨溶接作業であった。溶接技術は日本が最も世界に誇る技術で造船、パイプライン、自動車など溶接部の自動化は世界に先駆けて日本が行ってきた。その技術の波及は建設業界にも及んだ。筆者は2001年に全国の鉄工会社を訪問し、自動化の採用が着実に進んでいることを報告した (文献1)。その後、多くの鉄骨溶接ロボットが開発され、淘汰されたロボットや会社もあったが、鉄骨工場での自動化は今では常識となっている。工場がロボットで24時間稼働する (図30) という時代になっている。

2009年7月に12年振りに「'09鉄構技術展」が東京ビッグサイトで開催された (図31)。多くの溶接ロボットが展示され、神戸製鋼が出展した「鉄骨天吊反転仕口溶接システム」は、究極の鉄骨対応ロボットと言える。鉄骨の仕口部分は自動化に多くの障害があるが、その連続溶接を可能にし、夜間溶接、24時間稼働を可能にしている。筆者が10年前に全国の鉄骨工場を視察した時に始まっていた工場24時間稼働、コア・仕口部分の自動溶接 (図32) が完成の域に達している。

鉄骨ファブリケーターの溶接自動化が成功した理由は、  
①ユーザーサイドのニーズが明確でメーカーがそれを十分把握していた。ユーザー・メーカー一体の開発とも言える。  
(マーケットプルが良く機能していた)



図28 ベントナイトの再利用 (清水建設提供)

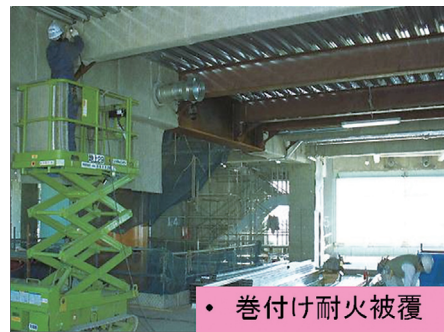


図29 社会的問題となった耐火被覆工事対策は重要環境課題であった (清水建設提供)



図30 鉄骨ファブリケーターではロボット活用で24時間稼働が増えている



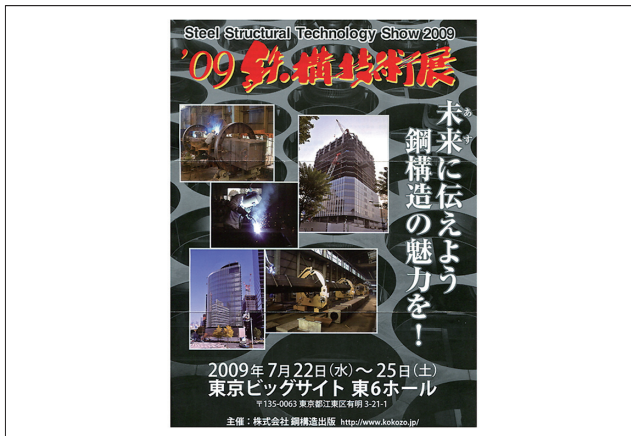


図31 鉄骨溶接ロボットが勢ぞろいした「09 鉄構技術展」

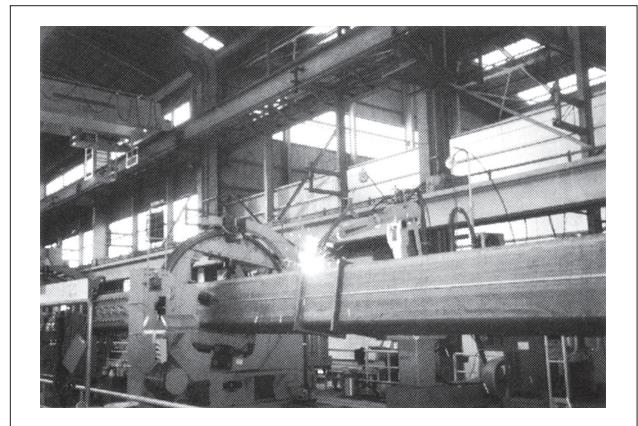


図32 2001年、長野の角藤でみた24時間稼働溶接ロボット(文献1)

- ②ぎりぎりの経営を強いられている鉄骨ファブリケーター(ユーザー)自らが実用化、経済性を真剣に考え、改善を加えてカスタマイズし、メーカーがその知恵を採用していった。
- ③浮沈を掛けたメーカー間の激しい競争が価格、性能発展に大きく寄与した。
- ④工場溶接ロボットではロボットは動かさず、製品を動かす方針だった。

建設ロボットは現在までに百数十種類開発されてきたがそのほとんどは失敗している。その要因は前述の工場溶接ロボット成功要因の裏返しであった。それにも関わらず、建設ロボット開発担当者は鉄骨溶接ロボットの歴史に学ぼうとしない。彼らのロボット年表に鉄骨溶接ロボットが掲載されていないことからそのことを知ることができる。

一方、現場溶接の自動化(図33)に対して鉄骨ファブリケーターや建設会社は早い時期から取り組んできたが、結局成功せず、半自動溶接が主流となっている。ロボット成功要因の一つは固定ロボットにある。ロボットが移動するとその移動や設置に時間が必要となる。特に建設現場の鉄骨接合部は現場に分散して存在する。アークの発生している間の生産性は非常に高いが、移動・設置時間が入ると生産性は著しく低下する。

## 2) 建設ロボット

筆者は会社の建設ロボットの開発方針を定めるために建築業協会ロボット専門部会の「建築作業のロボット化に関する調査研究報告書(1-13)」を精読させていただいた。この報告書は1989年から2007年まで継続的・意欲的に作成されたもので大変参考になる。主査の前田純一郎氏に謝意を評したい。建設ロボット開発は本格的には1980年代から始まった(図34,図35)。開発されたロボットの例を図36-図38



図33 柱-柱接合部の自動溶接(清水建設提供、溶接学会賞)

生産性向上、3K追放を目指す建設用ロボットの開発  
日本建築学会、土木学会、建築業協会の委員会活動開始  
早稲田大学など大学でも研究開始

目的と達成レベル

- ・作業環境の改善 ○  
(悪環境作業からの解放)
- ・労働災害の低減 ○  
(危険作業からの解放)
- ・施工品質の確保 ○  
(熟練工に依存しない)
- ・生産性の向上 △  
(工数の削減、工期の短縮)

図34 1990年代の建設関係のロボット化の狙いと効果(前田純一郎氏)

1990年代までに、約150機種開発(日本建築学会調査)

(開発された主な機種)

- ・躯体:鉄骨玉外し、鉄骨溶接、耐火被覆吹付け、鉄筋配筋、コンクリート床仕上げ、コンクリート打設
- ・仕上:外壁塗装、天井ボード貼り、パネルハンドリング
- ・検査:外壁タイル検査、クリーンルーム検査
- ・メンテナンス:ガラス清掃、床清掃

図35 1980年代の建設生産におけるロボット化(前田純一郎氏)



図36 躯体作業用ロボット開発例(前田純一郎氏提供)

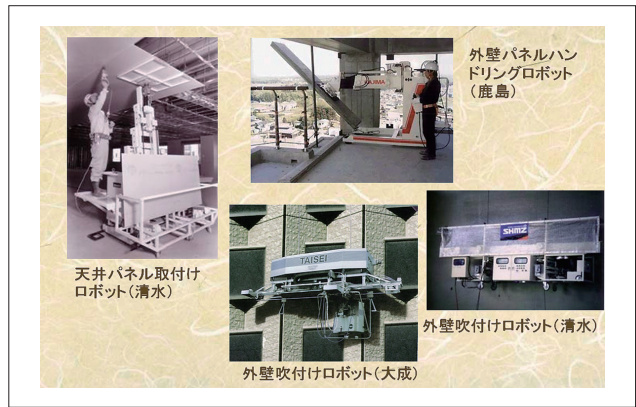


図37 仕上作業用ロボット開発例(前田純一郎氏提供)

に示す。残念ながらこれらのロボットの多くは数現場の利用で終わってしまっている。その要因として建築業協会がまとめたものを図39、図40に示す。

ロボットの機能・性能に関して、ロボット技術者としては更なる技術開発が必要と感じていると思われるがどうか。コンクリート表面仕上げのロボット(図36)を米国テキサス大学(CII)に貸し出したことがある。テキサス大学では米国で開発された人間が乗って操縦するシステムとの効率・生産性比較を行った。日本のシステムはリモートコントロールするものであった。結果は米国製の人間騎乗システムが圧倒的な差で有意であった。

ロボット技術者は高度な制御システムを採用しがちである。停止位置精度、動作速度、視覚センサーと認識、センシング、音声認識等である。高度な技術を活用したロボットは学協会の賞を受賞し、新聞雑誌に取り上げられるであろう。しかしながら技術先行の「テクノロジープッシュ」指向製品は商品化できず、ビジネスにはならない。価格、使い勝手、生産性などのマーケットの要求を確実に反映したもの(マーケットプル)でなければならない。

建設現場でのロボットは必然的にロボット自身の移動が必要である。建設現場はいろいろな障害物があり、作業場所は多岐にわたっている。この環境下で経済的に成立する完全自動ロボット開発は不可能である。ロボットには苦渋作業、超人間作業などを代替させることは必要であるが、認識・判断は人間が行う「マン・マシンシステム」が建設現場には適している。

建設現場には半自動システムが適している。全自動化を行う場合には生産システムの一部として機能し、その部分は移動しないか、あるいは土木のトンネルなどのように、同じ条件の繰り返し作業の行われる状態への適用が望ましい。(図41)



図38 検査用ロボットの開発例(前田純一郎氏提供)

開発したロボットについて普及しなかった要因を分析(清水建設)

ロボット普及の阻害要因の機種別分析結果 (数字は%) 2004年6月

機種名	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	計
作業区分	吹付け			ハンドリング			コンクリート		溶接	搬送	
ロボットの機能に関する要因	40	20	60	30	20	90	20	30	40	40	350
現場条件に関する要因	30	10	20	30	70	40	30	20	10	20	280
サブコンや協力業者との関係に関する要因	10	0	15	10	10	10	40	40	10	10	155
ロボットの運用に関する要因	10	20	5	10	0	0	10	10	30	20	115
構工法や需要に関する要因	10	50	0	20	0	0	0	0	10	10	100
計	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1,000

図39 普及阻害要因の調査分析例(前田純一郎氏提供)

- システムやロボットの機能に関わる要因 (処理能力、品質、取扱性、操作性、等)
- システムやロボットを使用する現場条件に関わる要因 (設置・撤去、施工コスト、汎用性、安全性、等)
- サブコン、協力業者との関係に関わる要因 (業者のメリット、業者の意欲、等)
- システムやロボットの運用に関わる要因 (メーカーリース会社の意欲、メンテ・トラブル対応体制)
- 建築構工法や建設需要に関わる要因 (設計の適合性、繰返し度、工事量、等)

図40 ロボット普及の阻害要因(前田純一郎氏)

### 3) 完全自動施工システム

1990年代になると、建設現場でのロボットが成功しない要因として、設計や現場生産システム全体の問題が議論された。これまで開発されてきたロボットが既存現場の作業の一部にだけ適用すると言うことが、ロボット活用を妨げる基本問題との認識であった。ロボット使用を考慮した現場システムや設計が行われればロボット活用が革新的進展するとの発想であった(図42)。筆者もその通りであると判断した。その結果、第5章の図13、図35のような全自動施工法が続々と開発され実施に移された。その結果、現場内部は完全に工場ようになった(図43)。このシステムでは揚重を厳格にコントロールしたために、現場廃棄物が極端に減少した。現場地球環境効果は抜群であった。しかしながら、設備投資金額、償却費などにコストがかかり収益が大きな課題となった。

バブルがはじけて現場のコストダウンが厳しく求められるようになり、いくつかの企業の完全自動化工法は挫折した。筆者の所属した会社でも完全自動化システムの是非が盛んに議論された。現業担当役員は大方、大反対であったが、筆者は技術開発として建設現場自動化の頂点を極めることが重要であったと考えている。第6章で述べたように、サイトファクトリー思想やユニット化など、そこから新たな生産システム展開が可能になったと思っている。また、完全自動化建設システムは技術の進歩をもたらし、研究開発者の意識高揚にもなったと思っている。今日の利益だけの追求では革新的な技術開発は生まれない。ただし、この思想を追及し実現するためにはCTOとしての日頃の言動、役員や経営トップとの信頼度が必要である。建設会社にあつては、例えCTOが副社長であっても現業系の圧力を押し戻すことは困難である。MOTはMOHである。

自動施工システムによるビルの着工は、清水建設では1991年(平成3年)、大林組では1993年(平成5年)であるが、研究開発構想の着手はほぼ同じ時期の1980年代後半ころと思われる。大林組では1989年(平成元年)に「ABCS」のコンセプトを発表した。清水建設の場合、当初は前田純一郎氏が個人的に構想して1988年(昭和63年)に開発に着手、1991年(平成3年)には技術研究所内の制震実験等建設で試行した。

清水建設、大林組に始まったビル自動化建設システムは他の会社にも波及し8社で開発され、20以上の現場で施工された。当初のシステムは完全自動化指向であり、全天候屋根や機械・設備に多大な費用を要し、開発陣と現業の間で議論が激しく行われたが、準大手建設業でも続々開発が行われたのは建設業の技術開発の傾向を物語る興味深い事例である。



図41 自動化で大きな成果を出したシールドトンネル  
(清水建設提供)

- ビル全体の施工自動化を目指すシステムへの取り組み
- ビルの作り方を含めた新しい施工システムの提案
- 建設会社8社12システム開発、20現場以上に適用

(技術の特徴)

- 自動化・工業化・情報化技術の統合
- 作業環境の全天候化
- 搬送や組立て、接合などの自動化
- 積層工法、ユニット化・プレハブ工法
- 情報管理システムの統合



図42 建築生産におけるロボット化の経緯  
(1990年代、前田純一郎氏)



図43 清水建設ビル自動化システム「スマートシステム」  
の内観(前田純一郎氏提供)



## 5 | 建設生産革新と自動化・ロボット化の未来

バブルがはじけるとコストダウンが重要課題となり、完全自動化建設システムもコストダウンを目指して既存技術・既存仮設との融合が行われ成果を上げた。(図44)

BCSのロボット部会では増加するリニューアル工事への対応ロボット、少子高齢化対応、非熟練労働者対応、環境対応ロボットなどを精力的に検討し、実際のロボット開発も行われた。

2000年代に入るとパワーアシスト技術、人間型ロボット、空間知能化の研究が始まった(図45)。特に空間知能化技術は建設現場の生産革新、新時代の設計手法、医療・高齢者施設への活用への展開が期待される。

建設産業の生産システム改革における自動化・ロボット化のあるべき姿確立には、まだまだ多くの議論が必要である(図46)。建設業ロボット開発は鉄骨溶接ロボットの開発に学んでいないと記したが両者には現場作業ロボットと工場作業ロボットと言う差があり、この差は決定的である。しかしながら鉄骨は建設工事の一部である。鉄骨溶接の自動化から何を学べるかを究明することが製造業の生産システムから建設生産システムが何を学べるかのキーである。建設産業のロボットも生産現場適用にとらわれず来るべき社会における建物や街のあり方、人間生活のあり方などへの活用を検討すべき時代と考える。

謝辞：紹介した現場工法のいつかは2007年度に当時、清水建設で建築現業を担当された中嶋常務に芝浦工業大学で講義頂いたものである。建設ロボットについては清水建設技術研究所における前田純一郎氏のMOT講義スライドの一部を修正してお借りした。



図44 既存技術・仮設と融合した自動施工システム思想 (清水建設提供)



図45 2000年代のロボット研究開発 (前田純一郎氏提供)

### ●参考文献

1. 藤盛紀明「技術から見た建設業の未来 (9) 機械化・自動化・ロボット化」, 『鉄構技術』2001.12
2. BCSロボット専門部会『建築作業のロボット化に関する調査研究報告書 (1-13)』, 1987-2005
3. 日本建設団体連合会『建設ハンドブック2009』
4. 『鉄骨工事検査の手引新版』鋼材倶楽部編, 1993
5. 池田雄一ほか『大林組技術研究所法』「全自動ビル建設システム「ABC S」の開発 (その3)」2003
6. 前田純一郎『清水建設研究報告』「全天候型ビル自動施工システムの開発と適用」1995

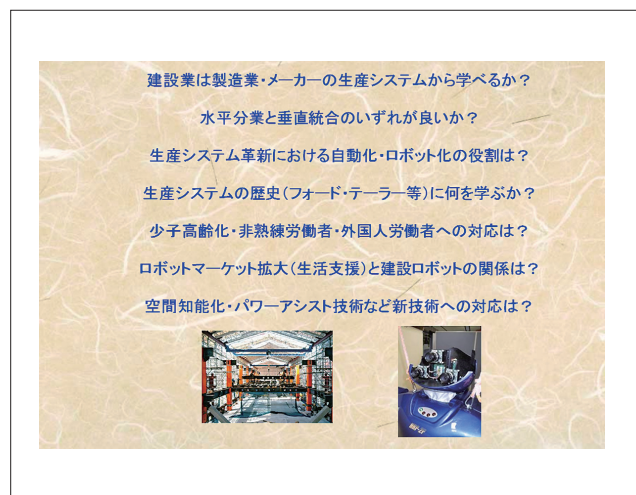


図46 建設生産システム・ロボット哲学確立への検討課題