

全自動ビル建設システムの開発

汐川 孝 大川 輝夫
(本社 建築生産本部 工務部)
森 哲郎
(本店 エンジニアリング部)

Development of an Automated Building Construction System

Takashi Shiokawa Teruo Ohkawa
Tetsuro Mori

Abstract

An automated building construction system (ABCS) has been developed to bring the concept of factory automation (FA) in manufacturing to the building site, resolve the skilled labor shortage problem, increase labor productivity, and improve the work environment. ABCS is a new construction system that integrates all-weather type temporary facilities, automated conveying equipment, computer technology, and product management technology. It has been applied to the construction of a dormitory in Tokyo from April to July 1993 and has demonstrated its technical possibilities, and basic data for future development have been gathered. The following are some of the results attained: work conditions unaffected by wind or rain, completely automated erection and welding, and reduction of approximately 70% in manpower requirements for structure construction compared with conventional methods.

概要

全自動ビル建設システムは、製造業におけるFAの概念を建設現場に導入し、建設業における技能労働者不足の解消や労働生産性の向上、より快適な作業環境を実現すべく、開発したものである。このシステムは、全天候型の仮設設備、自動搬送設備、情報化技術そして生産管理技術などを総合化した新しい施工システムである。1993年4月から7月にかけて、都内の独身寮棟新築工事に適用し、技術的可能性を実証すると共に、今後の開発に向けての基礎的データを収集した。この結果、同システムは、天候に影響されない快適な作業環境の確保、組立作業および溶接作業の自動化の実現、そして在来工法に比較して、躯体工事の約70%の労務工数の削減などを実現したことが分かった。

1. はじめに

日本の建設業界では、近年、建設労働者不足、とりわけ技能労働者不足と年々進む高齢化は深刻な問題となっている。この背景には、建設の現場作業は他産業に比べて労働負荷が大きく、劣悪な環境下における作業が多いため、若年労働者の入職減少、職離れなどが指摘されている。

こうした問題を解決し、かつ建設の現場を魅力ある職場にする有力な方法の一つとして「機械化・自動化施工システム」の開発・実施が大手建設各社で行われてきた。

「全自動ビル建設システム (Automated Building Construction System: ABCS)」もその一つであり、今回、初めて「リバーサイド隅田独身寮棟新築工事」に適用し、1993年8月に終了したので、その概要を以下に報告する。なお、適用した建物の工事概要を表-1に示す。

2. システムの概要

2.1 システムのねらい

本システムは、主に鉄骨構造の高層建物を対象とし、建設現場における作業の大部分を機械化・自動化することによって大幅な省力化と高い生産性の実現をめざすものである。その主なねらいは以下のとおりである。

- ① 雨や風の影響を受けない作業環境下で、工期短縮と安定した作業環境の確保
- ② 自動化、機械化による省力化、品質向上、安全性向上
- ③ 自動化、機械化に適した構工法により、現場作業の単純化
- ④ コンピュータ活用による管理業務の省力化
- ⑤ 設計から保全に至る各生産プロセス間の情報の統合化により徹底した生産性の向上
- ⑥ 新技能集団 (多能工: 機械操作などを含め複数の技能を有する) による高い生産性の実現

2.2 システム構成

図-1 に今回実施したシステムの要素技術を示す。

2.2.1 SCF (Super Construction Factory) SCF は、雨や風に影響されことなく建設作業が可能なように、屋根や壁はシートで覆っている。骨組の主要部分は建設される建物の最上階の骨組みを使用し、本プロジェクトでは幅 20 m、奥行 55 m、高さ 20 m の大きさをクライミング装置等の自動設備を含めた全重量は約 1,200 tf となった。(写真-1、写真-2)

2.2.2 SCF クレーン 作業階における各種部材の自動搬送・取付けを行う天井クレーン (定格荷重 10 tf) で、横行、走行等の動作はあらかじめプログラムされた自動運転で行うことができる。操作は機側または中央制御室のどちらからでも行うことができる。また、高所での玉外しを自動化するため各部材に応じた吊り治具を開発し、使用した。

(1) 柱用吊り治具 柱は二階分を 1 節とし、作業階までリフトで、水平の状態まで搬送される。それをリフト上で建て起こし、垂直の状態にして所定の位置に搬送するための治具。(写真-3)

(2) 床板用吊り治具 真空吸着によって、床板を吸い付け所定の位置に搬送するための治具。(写真-4)

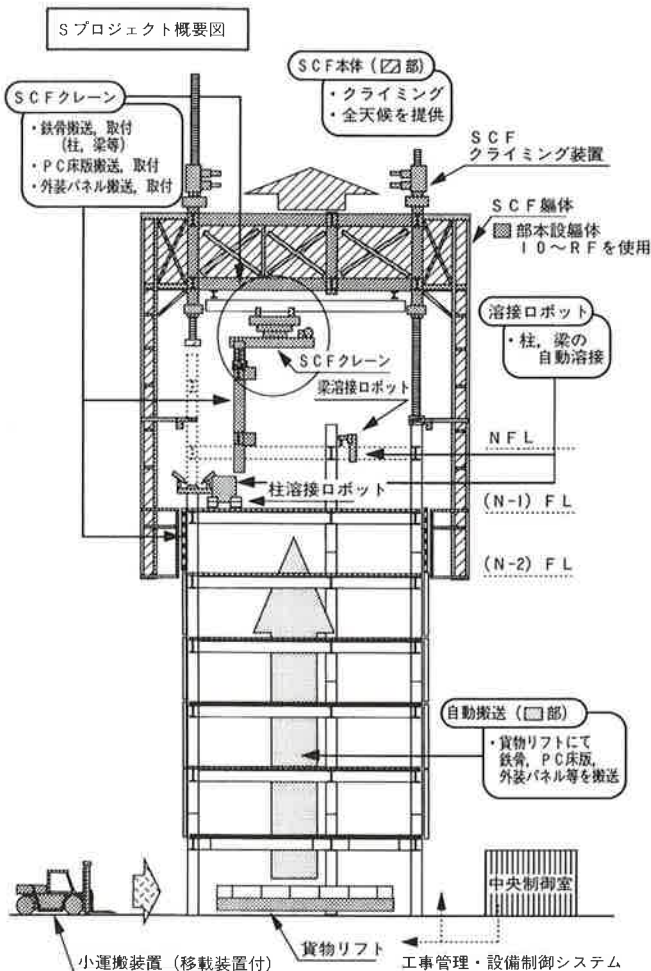


図-1 システムの構成

表-1 工事概要

項目	工事概要
名称	リバーサイド隅田独身寮棟新築工事
用途	独身寮, 研修所
設計	(株) 大林組東京本社
所在地	東京都墨田区堤通り1-19-18
工期	平成3年6月~平成6年4月
システム稼働	平成5年4月~平成5年7月
階数	地上10階, 地下2階, 塔屋1階
敷地面積	23,123.71 m ²
建築面積	2,313.76 m ²
延べ床面積	10,226.84 m ²
最高部高さ	40,459 m
構造	地上 S 造, 地下 SRC 造
使用材料	柱=溶接箱型断面, SM490A □-600×600×22~500×500×28 梁=溶接 H 形鋼断面, SM490A H-650×250~350×12×19~22



写真-1 SCF 外部



写真-2 SCF 内部



写真-3 柱建起し



写真-4 床板敷込み

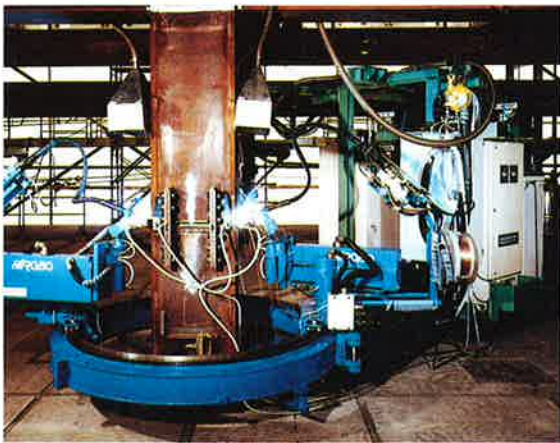


写真-5 柱用自動溶接装置



写真-6 梁用自動溶接装置



写真-7 貨物リフト



写真-8 中央制御室

(3) 外装用吊り治具 作業階の1フロア下に外装材を搬送・取付けるための治具。

2.2.3 クライミング装置 クライミング装置には、ラック・ピニオン方式を採用した。この方式は、多数の支柱（今回は16本）を同調制御しながらクライミングさせることが容易である。今回、支柱相互のストローク量の差が3mm以内になるように運転制御し、SCFの変形を最小限に押さえている。ピニオン2つが1セットで、80tfの揚重能力があり、必要に応じて、このセットを組合せて所定の揚重能力を得ることができる。また、クライミングのスピードは21cm/分で、今回、階高3.2mを約15分でクライミングした。前後の点検・準備作業等をいれたクライミング作業に要する時間は、1時間程度である。

2.2.4 自動溶接ロボット

(1) 柱用自動溶接装置 2台の自動溶接機が分割方式のリング走行レール上を移動して溶接を行う。その他の機器もユニット化され溶接機とともに、電動台車に搭載され床面を走行移動する。角柱、丸柱、H形柱などさまざまな形状の柱の継ぎ手に対応可能であり、今回のような角柱のコーナー部では銅製のタブを45°方向に取付けて溶接した。（写真-5）

(2) 梁用自動溶接装置 柱用と同様、左右二つの溶接機を装備し、梁にまたがって作業を行う。移動・セットはSCFクレーンで行った。（写真-6）

2.2.5 大型貨物リフト 地上から作業階まで、鉄骨、PC床板等の部材の垂直搬送作業を行うために今回開発した。（荷台長さmax 8.0m×幅2.5m）（写真-7）

2.2.6 中央制御室 SCFのクライミング、SCFクレーンの遠隔操作・自動運転、工業用テレビカメラによる現場作業のモニタリング、風や地震等の環境条件や各種計測器によるモニタリングを行う。また、工事全体の管理を行う工事管理システムや設備制御システムもここで操作される。（写真-8）

2.2.7 SCF位置計測システム 工事中のSCFの位置をリアルタイムに計測するもので、水平方向の位置の計測は、レーザー鉛直器とビデオカメラ（CCDカメラ）の組合せにより行った。SCFの水平度の計測は、回転式レーザー発光装置と受光装置の組合せによって行った。データはリアルタイムに中央制御室に送られ、気象・環境データとともにモニタに表示され、SCFクライミング時やSCFクレーン作業時の安全確認に使用している。

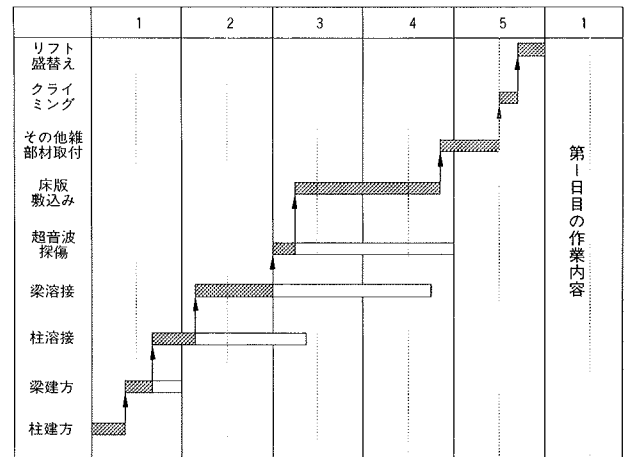


図-2 標準サイクル工程

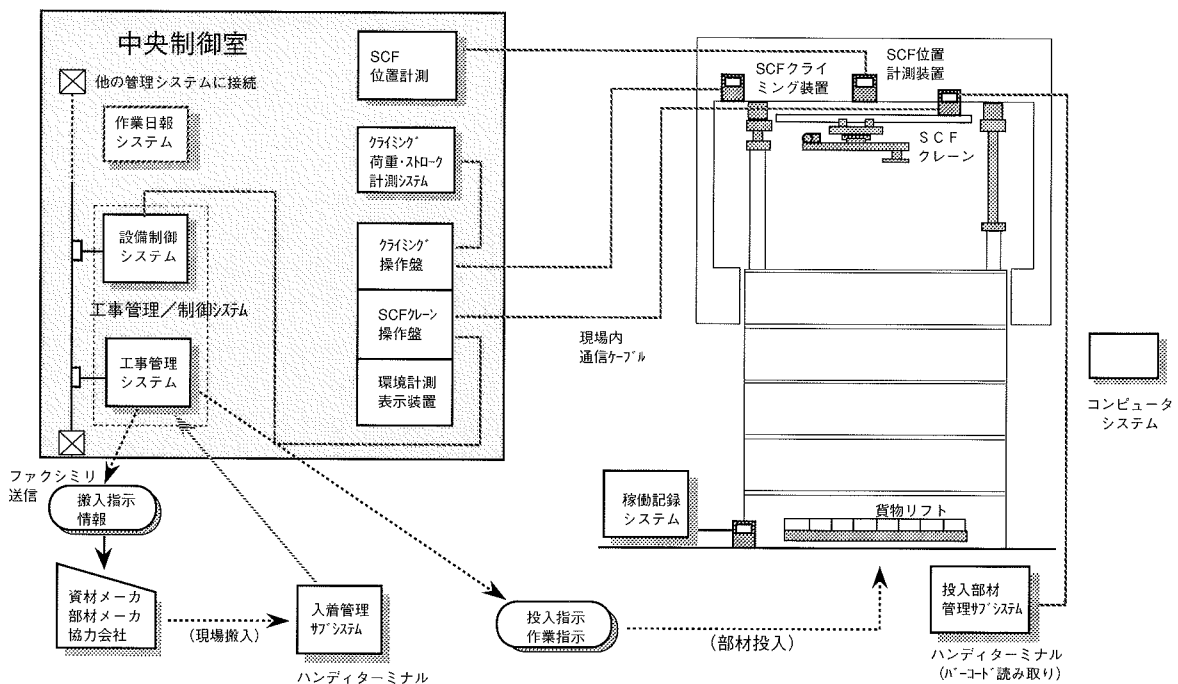


図-3 工事管理・設備制御システム

2.2.8 工事管理・設備制御システム 事前に計画された作業内容に基づくデータベースを中核にして作業管理、資材管理、作業実績管理および自動機械のモニタリング等の業務を効率化し、自動化装置の稼働効率を最大にして行くためのコンピュータシステムである。詳細については、3章にて述べる。

2.3 施工手順

今回は、地下工事が終了した後、1993年2月からSCFの構築を開始した。その後、4月からシステムの稼働を始め、①鉄骨柱建方、②鉄骨梁建方、③鉄骨柱・梁溶接、④床板取付け、⑤クライミングの手順を各階で繰返すことにより、最上階まで施工を行った。標準的なサイクル工程は、図-2に示すように5日間であった。7月に最上階に到達したSCFは、クライミング装置等の機械装置を取外した後、その構造体を本体の最上階として使用した。

3. 工事管理/制御システム

現場施工の大規模な機械化・自動化を進めたシステムでは、設備が重装備となり、生産システムの内容や運用の仕方が工事全体の生産性、品質、安全性に大きな影響を及ぼすため、その計画や管理が重要な役割を持つ。生産主体が人から機械に替わったことにより計画管理内容が密化し、情報量も増大している。このため情報処理技術を活用したシステムを開発した。

3.1 システムの構成

当工事における運用のためのシステム構成を図-3に示す。SCF内の主要な自動機械を集中して管理・制御するために機械操作盤や計測結果の表示装置をまとめて中央制御室に設置した。今回、中央制御室は地上部分に設置したが、将来的にはSCF上に設置してSCFと共に上昇する方式を予定している。

ABCS運用のためのシステムは、工事管理システムを上位として、次に設備制御システムがあり、その下位に各自動機械が位置するものとして構成した。各計測結果の表示装置および工業用テレビカメラは、操作時の安全確認、作業実施内容の確認用として運転を補助する役割を持つ。これらの管理機能の階層化は、機能的役割と要求されるコンピュータ性能に基づき分割した。こうした分散化は、部分的な不具合が全体の機能に直接影響しないように信頼性を確保すること、また各機能の拡張や追加が容易にできることなどの利点がある。

工事管理システムでは、各階の詳細な作業スケジュールとそれに関連する資材の管理などを行い、毎日の作業指示データを通信ネットワークを通じて設備制御システムに通信する。

設備制御システムでは、自動機械からの信号をリアルタイムに受取り、自動機械の動作内容をグラフィックで表示し、作業実績や設備の稼働状況の把握などを行う。搬送システムに投入された部材をバーコードで確認した後、このシステムから自動機械を運転するためのデータを送信する。

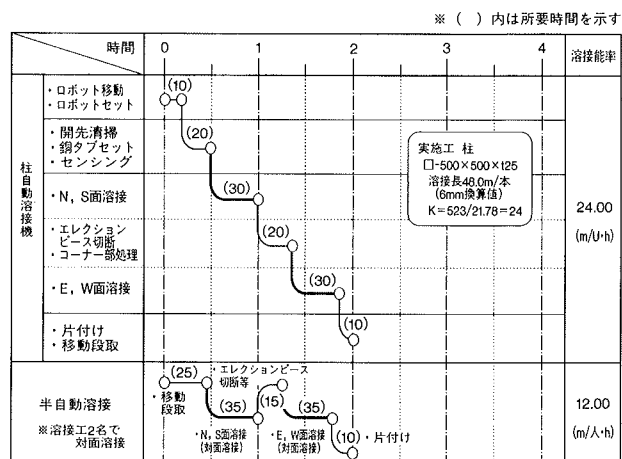


図-4 自動溶接装置による施工手順

3.2 工事管理用データベース

工事管理/制御システムでは、事前に計画された作業内容に基づき、部材を中心とした工事管理用データベースを構成している。このデータベースでは、各部材に設定された部材識別コード（現物にはバーコードをはり付けている）によって、その部材の搬入日時や場所の指示、自動機械への運転データの内容等を知ることができ、また実績等のデータが記録される。

今回のプロジェクトでは、部材総数約3,500、資材管理関連データ、運転関連データ、作業スケジュール関連データ等のこのデータベースの当初の作成は、人手による入力方法で行った。これらのデータは繰返しが多く、その大部分は、基準になる階のデータの複製によって作成した。なお、これらのデータの作成、内容確認などを支援するソフトの開発も行っている。

4. システム適用の結果

本システムの最初の適用事例であることから、今後の開発の基礎的データの収集も、今回の大きな目的のひとつであった。今回調査した項目の内、現時点でまとまった項目について以下に報告する。

4.1 工事中の環境測定

工事中の環境測定について、工事騒音、作業階の温湿度、作業階の風速、作業中の振動について調査を行った。

4.1.1 工事騒音 工事騒音の測定結果によれば、溶接作業やSCFクレーン作業時の騒音は、SCFの外部位置で60dB(変動騒音レベルの中央値)を越えないことがわかった。この結果は、環境基準(「公害対策基本に基づく環境基準」の値以下となっており、周辺の暗騒音(工事をしていない時の騒音)のレベルとほぼ同じとなっている。しかし、作業階への荷さばき作業は70dB(同上)を越え、将来24時間稼働をしようとする場合は、何らかの対策・改善を行う必要がある。

4.1.2 作業階の温度 今回の施工は、4月から7月までで、比較的湿度の高いシーズンに行われた。外気温と

SCF 内部温度は、ほぼ 3°C 以内の差となっており、ほとんど差のないことがわかった。

4.1.3 作業階の風速 測定によれば、内部の風速は外部の影響をほとんど受けず、1 m/秒以内となっており、溶接作業の風に対する養生は不要であった。

4.2 柱自動溶接機の能率

今回は柱自動溶接機を 2 セット投入し施工を行った。その溶接能率実績データを図-4 に示す。板厚が 25 mm ということもあり、アークタイム率は 50% となっているが、ほぼ当初の予想した能力を発揮した。今回、1 セット/1 人の作業員が操作を行ったが、今後、操作に習熟することにより 1 人で複数の溶接機を操作できるようになれば、さらに省力効果が期待できる。

4.3 クライミング装置

クライミング時の各支柱のストローク量の差は 3 mm 以内に納まるように計画したが、工事中トラブルなく正常に作動した。クライミング時の各支柱の荷重は、クライミング開始直後に若干の変動があるが、その他は安定しており、当初の設計通りの数値となっている。これらはクライミング時のストローク量が各支柱一定になるように制御を行ったことによるものと考えられる。

4.4 作業工数

今回、自動化システム適用建物と同一敷地内に、ほぼ同様の物件の工事が在来工法によって並行して行われたため、その実績データをもとに比較した。

躯体工事の全体労務歩掛りは、在来工法の場合の約 0.6 人/m²、自動化工法 0.18 人/m² となった。結果としては、在来工法の約 70% 程労務削減が達成できた。これは、部材の搬送・取付け作業に自動機械が導入されたことや仮設・安全作業が SCF などの仮設設備の整備により労務工数が低減したためである。しかし、自動化工法の労務の内容を分析すると、「柱・梁の接合作業(溶接, HTB 工事)」と「床板の接合作業(接合部の鍛冶工事, モルタル詰め等)」で 31%、「1F まわりの荷さばき作業(鉄骨, 床板のユニット化等)」で 18% もの労務が掛かっている。今後、自動溶接作業の範囲の拡大, 床板の大型化による床板接合作業の低減, 部材の工場でのユニット化等の対策をとれば、0.13 人/m² (これは約 80% 程度の削減となる) までの労務低減が予想される。

4.5 新技能集団による施工

本システムによる施工は、1 フロアごとのタクト工程を消化して行く積層工法であり、在来のように専門(単機能)技能工が入れ替わり作業を行うようでは省力化にはなっても、トータルでの省人化とはならない。新技能集団は、個人が多くの技術を持つ、いわゆる「多能工」ではなく、グループとして、建築にかかわる「技能」と「技術」を持つ集団と位置付けられる。今回の施工では、「鉄骨の溶接」、「クレーンの運転」等の特種技能(免許)を必要とする作業以外は新技能集団により行い、現場作業の労務平準化に効果を発揮した。次のプロジェクトで

は、新技能集団に特種技能までも身につけさせ、この集団のみでの施工チームとしたい。

5. 今後の課題

5.1 設計と施工の関係

本システムのような自動化施工のメリットを最大限発揮させようとする場合、設計と施工の仕事の流れに配慮することが必要である。プロジェクトの初期段階より設計部門と施工部門が密接な連携を取ることが重要となる。

設計と施工の橋渡しを行う「生産設計」の機能(すなわち、自動化工法に適した設計—具体的にはデザイン・構造計画・設備・仕上げ工事のユニット化・パネル化の検討, 工場生産化の検討, 柱梁継手部の納まりの検討等)と組織を確立されるならば、自動化工法のメリットを最大限発揮できると思われる。その意味で、設計と施工の融合ができるかどうか、最も大きな課題である。

5.2 計画システムと実施システムの統合化

自動化施工にとって、事前の計画作業は作業量も多く、施工の成否を決める重要な作業である。コンピュータの中に仮想の建設現場と生産システムのモデルを構築し、シミュレーションによる工程や作業内容、機械の運転内容の確認、適正化を行い、このデータに基づき実システムを運用する技術が求められている。三次元モデルによる設計 CAD 情報や仮設計画情報によるモデル構築、生産システムモデルからデータを直接自動機械の運転データに変換されるための技術の確立、環境整備等が考えられる。

5.3 生産体制の課題

自動化施工に見合った新しい生産システムの構築が望ましい。自動化施工を進めていくには、前述したように工事材料の工場製品化(プレファブ化, ユニット化等)が不可欠である。また、材料の搬送・取付けの機械化・自動化が進むことによって、在来の専門職の作業の仕方が変化することが予想される。工法に適した作業員の質の変化が要求されると思われる。

6. おわりに

機械化・自動化の流れは長期的なトレンドで考えた場合、これからの建設業の進むべき方向であると考えられる。これを汎用的で一般的なものにするためにも、今後一層の検討を進めていきたい。

参考文献

- 1) 森 哲郎：ビル建設の自動化システム, 第 5 回建築施工ロボットシンポジウム, p. 85~90, (1991)
- 2) 汐川 孝, 他：全自動ビル建設システムにおける工事管理/制御システムの開発, 第 9 回建築生産と管理技術シンポジウム, p. 261~266, (1993)
- 3) 森 哲郎：全自動ビル建設システムに適用例, 第 8 回建築施工ロボットシンポジウム, p. 41~48, (1994)