工事計画・管理方法に関する研究開発

ビル自動化施工システムの開発と適用に関する研究 その2

A RESEARCH AND DEVELOPMENT OF CONSTRUCTION MANAGEMENT SYSTEM

A study on development and application of a building automation construction system Part 2

汐川 孝*

Takashi SHIOKAWA

This paper described proposal and business application result of a management system using the computer in order to efficiently operate building automation construction system. The main content is according to the following.

- 1) It is necessary to control work planning which is detailed every individual and the execution grasp for the operation of the construction system.
- 2) Computer aiding was indispensable to the management, and the system constitution which could flexibly carry out the each business treatment was realized.
- 3) Using unique ID of the every member, the simplification of the delivery of plan data and results data was realized.
- 4) Three-dimensional CAD display of the every member would be able to facilitate the confirmation of plan content and results content.

Keywords : Automation Construction, Project Data Base, Learning effect, Construction Management, CAD

自動化施工、プロジェクト・データベース、習熟効果、施工管理、CAD

1. まえがき

建築生産の合理化を目指して、建築現場におけるビル自動化施工システムの研究・開発が1990年初期頃から大手建設業者を中心に進められてきた。これらのシステムは、建築現場を組立工場と捉えて仮設の施工工場を備え、そこに自動化技術とそれに適した構工法や組立技術などを総合的に取りまとめることで、躯体や設備、外装の工事を短工期且つ少人数で、安定した品質で行うことを目指している。これまでに8社9システムの開発事例が報告されている¹⁾。

こうしたビル自動化施工システムでは、構築する建物に合わせて仮設施工工場をどのように構成するか、建物をどのような構工法で、どのような部材構成にするか、それをどのように製造・運搬搬送し、組立てるか等を計画し、それを確実に実施することが重要である。しかし、同システムにおける上記の計画・管理の具体的な内容やそれを実現するための方法に関する研究開発の事例は少なく²⁾、これまでにこうしたシステムにおける機械稼働モニタリングや計測の管理システムの事例報告が一部行われている程度である。

第一報では、同システムの一つとして筆者らが開発してきた「全自動ビル建設システム：(Automated Building Construction System：以下ABCSと称する)」の開発と約10年に亘って進めたその改良プロセスの分析結果を報告した³⁾。この中で、ビル自動化

施工システムを効率的に運用するための工事計画や管理を支援するコンピュータ・システム「総合施工管理システム」の開発⁴⁾を進めてきた。第二報では、この開発を通じて得られたビル自動化施工システムに必要な工事計画および管理、設備運転管理に関する研究成果について述べる。

2. 研究の目的と範囲

ビル自動化施工システムは、建築現場に仮設の施工工場を設置して、躯体や設備、外壁の部材をそこに配置した自動機械や工事機械を利用して効率的に組立てることで建物を完成させていく生産システムである。そのため建物条件に合わせた最適な生産システムを構成し、その組立・解体、運用の内容を適正に計画し、管理することが大切になる。また、従来の人手中心の作業から機械中心の作業に変換されているため、個々の部材単位による詳細な作業手順や作業内容について計画し、管理することが求められ、新たな方法が必要になっている。

本研究では、まずビル自動化施工システムに求められる工事計画および管理、設備運転管理の必要項目を整理し、それを実現するために部材単位による作業計画や管理を行うことの必要性を明らかにする。さらにその開発と現場への適用を通じて、その有効性を確認

* 榊大林組技術研究所・建築生産システム研究室 室長

General Manager, Construction System Engineering Department, Technical Research Institute, Obayashi Corporation

することを目的にしている。

3. ビル自動化施工システムにおける工事計画・管理の必要性

3.1 ビル自動化施工システムの特徴

ビル自動化施工システムは、先ず大型の移動装置や揚重・搬送設備、仮設屋根架構などから構成される仮設施工工場を構築する。その中で建物の1階分の部材を組み立て、完了すると上階に移動して、次の階の施工を同様に繰り返しながら建物を完成させ、その後、同工場を解体撤去する。在来の施工法と異なり、大掛かりな仮設設備が必要となる。そのため構築する建物に合わせて仮設施工工場およびその運用内容を計画し、安全性、施工能力、環境影響度、費用などの適正化を図る必要がある。特にこの生産システムについては、以下のような特徴がある。

- ①生産設備の大型化：仮設施工工場は、建物全体を覆う大架構のために地震や暴風時の安全性の確認や移動時や作業時における変形の制限などの確認が必要である。また、施工途中で、仮設施工工場の仕様変更は困難であり、事前に最終段階に至るまでの安全性や変形、位置の許容誤差などを確認しておく必要がある。
- ②揚重・搬送設備の複合化：揚重・搬送設備は、幾つかの設備を組み合わせて利用しており、また並列に稼働している状況となる。対象建物の全ての部材に対して能力が適切であるか、ボトルネックが生じないかなど事前に能力の適性を確認する必要がある。
- ③作業空間、設備、動線の干渉：天井クレーン、外装ホイストなど自動運転をする揚重・搬送機械については、事前に部材の組立順序などによる作業空間の変化や動作範囲の制約、設備間の干渉について確認を行い、安全上の対策を講じる必要がある。
- ④生産システムの効率的な運用：仮設施工工場の全体の稼働率や効率を高めるため、部材化の計画やその製作、搬入、揚重・搬送、組立について部材を中心にした詳細な計画・管理が必要である。
- ⑤仮設施工工場の組立・解体工事の効率化：同システムは、仮設施工工場部分の組立・解体工事が全体の工期や生産性に大きな影響を及ぼすため、事前に適切な方法や手順等の検討が必要である。

3.2 工事計画における必要項目

ビル自動化施工システムの工事計画において、必要な内容をまとめ以下に示す。

- ①仮設施工工場計画：建設される建物条件に合わせた仮設施工工場の計画（揚重設備や天井クレーン、解体用ジブクレーン、外周架構の配置に合わせた本体構造の補強および仮設補強の計画）、クライミング装置の配置や必要容量の計画、架構の地震や暴風時の構造安全性の確認を行う。また、仮設施工工場の組立・解体工事の方法、手順の計画を行う。
- ②揚重・搬送設備計画：組立てられる部材形状・重量、数量に合わせて、揚重設備の必要な性能、台数、配置とそのラインバランスの適正化を計画する。
- ④部材化計画：建物設計条件、調達・製造能力、周辺運搬条件、揚重設備の性能および施工性等を総合的に判断して、工業化工法等による建物の部材化の計画を行う。合わせて、部材の梱包や現場集積・組立等の搬送効率化の計画も行う。
- ⑤工程計画：全体工程および基準サイクル工程の内容を計画する。ここでは、主要設備の稼働率を最大になるように工事工程の計画

することが必要になる。仮設設備の能力、投入作業数や工区分割、工事手順などを考慮し、個々の部材単位による詳細な計画を行い、その計画内容から基準サイクル工程や全体工程の計画内容を構築することになる。

- ⑥揚重・搬送設備運転計画：必要なすべての部材の揚重機械や搬送機械の運転内容を計画し、作業時の空間的な干渉や作業時間の予測を行う。また、自動運転を行う機械の運転データを作成する。

3.3 工事管理における必要項目

ビル自動化施工システムの工事管理では、工事計画の内、工程計画の通りにそれぞれの作業が進捗しているかが要点になる。工程の進捗内容を部材単位でリアルタイムに把握し、計画内容との比較を行い、計画外の状態が予測される場合、その是正やその後の作業計画の修正を適正に行うことが必要である。また、同システムでは、部材の製造工場と現場施工システムが密接に連携した生産の形態を有しており、これらを統合した管理が重要である。

- ①部材製造報告：製造工場における各部材毎の製造実績を把握することで、現場作業への影響を事前に予測する。必要に応じて、代替の部材の想定や作業順序の変更を行う。
- ②部材搬入指示：事前計画および作業進捗状況より、部材の搬入順序や予定日時の情報を作成し、部材製造部門に通知する。部材製造部門は、この情報に従って現場搬入を行う。
- ③部材搬入実績：現場への搬入部材の内容が正しいかどうか、品質上の不適合や不具合がないか、現場の受け入れ管理者が確認して報告する。搬入部材に変更が生じた場合には、作業予定の変更を行う。
- ④部材建方作業指示：部材の現場への搬入状況等に基づき、基準サイクル工程の各作業における最終的な部材単位の作業指示表を作成する。これにより部材単位の作業管理を行う。
- ⑤部材作業実績管理：部材単位の作業実績内容（対象部材、開始時刻、終了時刻、各要素作業の時間等）は、利用する天井クレーンや貨物リフト毎に自動記録される。この情報を利用して各部材単位の作業実績管理や工程進捗の自動更新を行う。

3.4 設備運転管理における必要項目

ビル自動化施工システムでは、天井クレーン等の自動機械による作業が中心になるため、その自動運転の制御や動作内容の監視、また作業実績の記録などが必要である。さらに安全確認のために、工場全体の姿勢や荷重バランスなどの計測や外力の監視が必要になる。

- ①自動運転：作業計画に従って、各部材の搬送・組立のために自動機械を運転制御する。正しい部材かを判断し、そのための運転データを準備し、安全を確認して自動機械を制御する必要がある。
- ②揚重・搬送設備の実績収集：自動機械の動作内容の監視とその記録を通じて、作業時間やその作業内容を詳細に把握できるので、これから各部材単位の作業実績を把握し、実績工程の自動更新を行い、次の作業指示への反映を行う。また、機械性能の評価やその改善に、さらに作業改善へと活用できる。
- ③計測管理：施工時における安全性を確保するために、人に代わって仮設施工工場の姿勢や荷重の計測を行い、常時安全を確認しながら進める必要がある。

3.5 工事計画、工事管理、設備運転管理における関連性

ビル自動化施工システムにおける工事計画、工事管理および設備

運転管理の主な機能、その関係を図-1に示した。

同システムの工事計画では、建物を部材に分割し、その部材をどんな順序で、どんな日程で組立てるかを計画する。この部材の組立を行う自動クレーンの運転データも各部材毎に作成する必要がある。

工事管理の段階では、前述の計画データを利用して製造工場での部材製造・品質検査、現場への搬送、入着・在庫、揚重・組立等の作業に関する指示情報を作成して、その実行を指示する。そして各部材毎に実施状況を把握して、継続する作業の指示内容の修正や変更を行い、計画に沿うように調整する。

設備運転管理では、工事管理からの指示情報に基づいて自動搬送装置による各部材の搬送・組立の自動運転の制御やその動作内容を判りやすく表示して安全に作業が進められるように支援する。この間に自動搬送装置の制御情報から作業時間や機械稼働の実績情報を自動的に収集して、工事管理の実績情報に反映させている。

このように計画と管理の情報はお互いに関連している。図-1のグレーに着色された部分は、主に部材単位で作業内容の記述やスケジュール、実績の情報を取り扱っている機能部分である。部材を中心に考えることでお互いの関係や関連を定義付けることが容易になる。このため工事計画、工事管理、設備運転管理の内、部材単位で計画・管理ができる機能を中心にシステム化の方法を検討した。

図-1 ビル自動化施工システムの主な工事計画・管理の機能

4. 総合施工管理システムの概要

前述の部材を単位とした工事計画および工事管理、設備運転管理を行うコンピュータ利用の管理システムを開発し、総合施工管理システムと称した。

この部材単位による工事計画・管理および設備運転管理の業務フローを図-2に示す。ここでは、計画されている建物を部材単位に

分割し、その部材単位による製造や現場搬送、現場揚重・組立の工程を計画して、それに基づく必要な管理情報を容易に作り出すこと、その計画を実行することで実績情報を収集し、計画情報の更新と次の工程の調整を行うことを繰り返しながら建物の構築を支援していくものである。

4.1 総合施工管理システムの考え方

従来の工程計画・管理では、作業を中心にして計画されることが

図-2 総合施工管理システムにおける主な業務フロー

多い。作業に必要な資材(部材含む)や設備、作業者の情報を「資源」として取り組んで管理する考え方である。これに対して、自動化施工システムでは、作業の中心が揚重・搬送設備などによる自動運転によるため、個々の部材毎に異なる管理情報が多くなるが、部材を単位にすることで必要な各種の情報の確認や作成、それらの処理を容易にすることができる。また、管理情報には、工事現場内の作業だけに拘らず、部材の製造や梱包・運搬などにおける情報も含めて取り扱う必要性があり、情報が多岐に亘り、量も多くなっている。このため総合施工管理システムとして部材単位での工事計画・管理を可能とするようなシステムを開発した。このシステムの基本的な考え方を以下に示す。

①施工管理に必要なデータを、部材単位に一元的に取りまとめる

部材単位にデータを取りまとめることにより、各段階の業務計画や実績の状況把握が的確に実施できること、また部材

図-3 総合施工管理システムの基本構成

図-4 プロジェクト・データベース構成例

単位でまとめることにより計画内容の変更や修正が容易に行うことができる。

- ②各業務での急な変更や変更後の予測を効率的に実施できるように各業務処理の機能を分離し、独立してできる構成とする

工程計画・管理、部材搬出入などの各業務処理を支援するアプリケーションについては、上記の理由からそれぞれ独立して機能できるように、また建物規模に応じて柔軟に対応できるようデータ部分と処理部分を分離した構成とする。

- ③部材現物と情報空間における部材の一致性の確保

対象となる部材と情報空間（コンピュータデータ上）での部材との一致を図るために部材IDを付与して、入力や読み込みの自動化、半自動化を進め、入力ミスや時間遅れをなくす。

- ④部材単位による各種管理を行うために可視化を図る

部材単位による各業務の進捗管理を行うために計画や実績内容に基づき、時間軸を持った可視化を図る。

こうした考えに基づくシステムの構成を図-3に示す。図中の部材中心のプロジェクト・データベース（PDB）と称している部分は、部材データを核にして、タスクデータや部材の製造関連データ、クレーン運転データなどのデータ連携をしている部分であり、その構成の例を図-4に示す。

4.2 部材を中心にした建物モデル

（1）施工を考慮した建物モデルの構成

ここでは採用された構工法での部材分割に基づいて、それらの個々の部材により対象建物が構成されるものとして建物モデルを想定した。また、作業上、複数の資材等をまとめてひとつの部材のように取り扱った方がよい場合には、ひとつの部材として定義して他の部材と同様に取扱うことにした。

①基準サイクル工程（基準階の鉄骨工事および床工事、設備工事、外壁工事等）に

おける作業をこれらの部材の集合で記述することで、その内容把握や進捗の度合いを判定することが容易になる。

- ②自動天井クレーンの動作内容（運転データ）は各部材毎に異なる（設置する位置が異なるためなど）が、部材と関連させることでその動作内容の記述や確認が容易になる。

- ③製造や物流の段階における作業指示やその実績、不具合等の情報もこうした建物モデルの中に持ち込み、かつ可視化することにより、抜け落ちや遅れが容易に見つけられる。また、製造や搬送の遅れによる影響範囲も容易に見つけることができる。

（2）固有の識別符号（部材ID）

一般に建物の部材点数は、膨大な数になる。全ての部材に固有の識別符号を付けて管理することも最近のITの発展により可能であるが、ここでは、ビル自動化施工システムに関連した躯体工事や外壁工事などの部材に範囲を限定して、その管理に有効なものを対象に付与することとし、作業工程の進捗管理や品質管理、自動搬送装置の運転管理に関連する部材に限定した。部材IDの設定の一例を図-5に示す。

主要な部材では分割した各部材毎に固有の識別符号を設定した。しかし、複数の部材を取りまとめてひとつに梱包し、揚重・搬送する場合や幾つかの部材を現場で組み合わせて一つの部材に構成し、これを揚重・搬送する場合が想定されたため、これらの梱包された部材や組立部材に対しても別に部材IDを付与し、個々の部材IDとの関連を別に定義し、識別できるものとした。図-6に部材定義の4種類のタイプを示した。梱包タイプは、複数の部材をまとめて揚重・搬送する場合で、搬送して梱包を解いた後は、それぞれ単体の部材として搬送・建込を行う。また、組立部材タイプは複数の部材で組み立てられた部材を一つの新たな部材として取り扱い、搬送・建込を行う場合であり、一つになった部材に新たに部材IDを設定するものとした。

また、仕上げ材や設備資材、デッキプレートのようにまとめて梱包された資材については、梱包された単位で仮置き場まで搬送を

(3) 部材単位の計画・管理のための可視化

前述のように膨大なデータ量となる部材単位での計画・管理を進めるには、部材分割された建物モデルを利用して、それをCAD化することにより、部材レベルの関連情報を判りやすく示すことができる。例えば、ある階の工程に関連した部材だけを、時間の経過毎に、時間を短縮して表示することで、部材の組立順序を動画で表示できる。図-7 はある基準階の鉄骨部材、床スラブ部材が組み立てられたプロセスの一部を示したものである。計画情報に基づけば、計画段階の手順、実績情報に基づけば、実際の組立順序の確認ができる。図-8 は、ある時点での現場の出来形の例を示したものである。同様に製造工場での出来高情報を入力すれば、ある時点での製造完了部材の状況がCAD図で確認ができる。

図-5 建物モデルの部材構成例

図-6 部材定義のタイプ

図-7 ある階での部材組立の順序の動画例

図-8 ある時点での出来形表示の例

4.3 工程モデルの構築

(1) 工程モデルの構成

ビル自動化施工システムにおける工事工程は、基準階における工程を各階で同じように繰り返すことが多い。このため基準階における基本的な工程（基準サイクル工程）を基にして全体工程を構成する工程モデルを考えた。

図-9 は、全体工程と基準サイクル工程の関係および基準サイクル工程の主要作業における部材レベルの作業工程(部材の組立順序)との関係を模式的に示した。各階の基準になる基準サイクル工程は、一つの工事で必ずしも一つとは限らず、幾つかのタイプで構成されることもある。適用したビル自動化施工システムでは、奇数階と偶数階における基準サイクル工程が異なるため二つのモデルタイプを構築して、各階はこれらのタイプをテンプレートにして自動的に工程モデル・データを作成する方法とした。各階毎に異なる場合には、

図-9 工程モデル

この基準サイクル工程のタイプをそれぞれ作成することになる。

基準サイクル工程における主要作業の部材単位での施工手順の定義については、作業性を考慮して建物モデルを利用したCAD画面上から施工手順を指定することで簡単に定義できる方法とした。日程計算には、一般に利用されている市販の工程計画プログラムの機能を利用し、入力処理、出力処理の機能を新たに加えた。各部材単位の搬送・組立作業の時間の当初の予想には、クレーン運転データ作成プログラムによる各部材毎の予想運転時間を用いて設定した。その後、工事の進捗に連れて、実績データを反映させたものに変更することにより、より精度の高い日程計画・管理を実施した。なお、部材単位の搬送・組立作業の実績データの収集は、天井クレーンの制御装置により自動で各作業時間が記録される。

(2) 拡張した工程モデル

現場作業階のほか、製造工場での製造・在庫や出荷、現場の入着・在庫などの部材をめぐる作業手順を考慮する必要がある。これらを含めて工程モデルを想定する場合と、別に切り離して管理する場合

が考えられる。

ここでは、上記のプロセスを工事工程表の中にタスクモデルとして取り込むのではなく切り離して考え、部材レベルの現場での作業開始予定時刻を元に、工場からの出荷日時や現場への搬入予定期日の策定を行う方法を採用した。これは、各部材毎に出荷される工場が異なる場合があることや工場毎でリードタイムが異なることが想定されたためである。そのため、部材搬出入管理および部材製造・品質管理の業務処理を対象にしたアプリケーションを開発して、部材の製造、品質、搬出入に関連したスケジュール情報や管理情報を工程管理で修正された内容に基づいて自動で算出し、管理するものとした。

4.4 実績情報の自動収集

各部材単位の各作業における実績情報の収集やその登録、更新が必要になっている。これらを従来の方式や人手によって行う場合、間違いや時間遅れなどが生じ、実用的なシステム運用は困難と思われた。そのため、各部材単位に固有の部材IDを付与したことを利用して自動ないしは半自動的に必要な情報を収集し、システムに入力する方法を採用した。具体的には、固有の部材IDの内容を機械的に読み取ることでできるバーコードに変換して、それを印刷したバーコード・ラベルを各部材に製造工場段階で貼り付ける。写真-1

にバーコード・ラベルを貼り付けた部材およびバーコード・リーダーの例を示す。

これを利用して、工場製作段階および出荷段階、現場入着・在庫の各段階において、部材IDとその読取日時を記録し、共通のプロジェクト・データベース(PDB)に登録することにより、各段階

写真-1 バーコード・リーダーによる固有部材IDの読取

の進捗度を把握することができる。例えば、予定の部材が搬入されていないとか、品質に問題がある場合などがこの入着段階で把握でき、その日の作業予定を変更するなどの対応を取ることができる。

部材の搬送・組立作業実績については、自動運転を開始する前にこのバーコード・ラベルを読み取り、その部材の自動天井クレーン装置の運転データをPDBから受け取り、その内容に基づいて自動天井クレーン装置が自動運転を行う。作業が完了すると、この間の作業実績内容が同装置からPDB側に自動的に報告・記録される。また、この部材単位の実績情報から各作業の工程進捗度が計算され、更新されるため、計画との比較が容易になった。さらに、その内容に応じて、次の部材搬入日時の見直し、変更などの指示が出される。

5. 適用事例

総合施工管理システムは、これまでに4現場への適用を図ってきている。第二回目のA2工事適用では、建築設計段階から施工計画・管理までを一貫して三次元CADを利用し、部材単位による建物モデルを構築した。この事例を中心に報告する。工事の概要を表-1に示す。

(1) 建物モデルの作成

この工事では、三次元CADを利用して実施設計を行った。このCADデータを利用して、部材分割プログラムにより、CAD画面上で、柱、梁、床、壁等の部材に分割し、形状定義を行い、各部材に部材IDを自動で付与して部材モデルを構築した。その部材モデルの一部を図-10に示す。部材数は、鉄骨部材、床P C a部材、外壁カーテンウォール、先行揚重資材など、1フロア当たり630部材となった。建物モデル作成の作業工数は、約1.5人日で、従来の人手による作成方法に比べて、約85%の大幅な工数削減となった。

(2) 工程計画の作成

A2工事では、工程計画プログラムを利用して奇数階と偶数階の2つの基準サイクル工程をモデルに、各階のサイクル工程を自動作成した。各階のタスク構成は、図-11に示したように基準サイクル工程モデルと同じであるが、タスク内の部材は各階の部材とリンクして自動作成される。基準サイクル工程あるいは各階のサイクル工程のタスク内の各部材単位の組立順序の定義は、工程計画プログラムの下で、図-12に示すCAD画面を利用して入力する。図-12は、例として20階の床部材の据付作業の順番定義の一部を示したものであり、図中の右側の二次元上の部材を順番に指示することで組立順序を定義する。その内容は、図中左の三次元の動画で示され、確認が容易である。こうした簡単な手続きで組立手順の定義・変更が出来るので、これを繰り返し、適正な計画を行った。また、この組立順序の動画を利用して、事前に作業者への教育を行うことで作業内容の理解が進んだ。この工事での工程計画データ作成工数は、約1人日であり、直接全データを作成するのに比べて約1/6となった。部材の搬送・組立作業のクレーン運転データの作成については、図-13に示すクレーン運転データ作成プログラムにより、各部材毎に作成した。この工事でのクレーン運転データ作成工数は約6人日で、従来の制御用コンピュータであるプログラマブル・ロジック・コントローラーを利用したラダーシーケンスプログラムでの作成に比較して約1/20になった。特に、実施段階になって運転内容の変更が容易に出来るのが大きな利点であった。

(3) 工事管理の実施

表-1 工事概要 (A2工事)

項目	内容
用途	事務所
所在地	神奈川県川崎市
構造	地下:鉄骨鉄筋コンクリート造、地上:鉄骨造
階数	地下2階、地上26階、塔屋2階
敷地面積	30,003.27 m ²
建築面積	7561.76 m ²
延床面積	79,752.40 m ²
最高高さ	110.95m
工期	1997年10月～2000年1月(システム稼働5ヶ月)
適用床面積	51,300 m ² (基準施工床面積 2,700 m ²)

図-10 部材モデル (構造部材の一部を表示)

図-11 各階のサイクル工程の計画内容例

図-12 部材組立順序の定義および表示画面

工事管理では、上記の工事計画内容に基づいて、製造工場からの部材の現場搬入指示や現場内の搬送・組立の作業指示を出し、作業の実施内容の確認を行った。A2工事では、部材単位での現場搬入の確認と検査、梱包作業の確認と記録、そして天井クレーンの自動運転実行時の部材確認について、バーコードを利用して行った。読取や部材へのラベルの貼り間違いはなかった。この作業のために専任の作業者を配置することなく、部材の仮置や建方作業を担当するチームの中の玉掛け作業担当者にその作業に必要なものとして行った。

このシステムでは、クレーン運転制御プログラムからの実績データを自動的に工程計画プログラムに取り込み、後続作業スケジュールの再計算を行い、現場搬入指示や組立作業指示表を自動で更新する。この工事では、7階から22階までの約13,000部材の実績情報をほぼ収集した。この実績情報を利用して、工事の途中で組立手順の変更や作業時間の長い部材の作業内容の改善を繰り返し実施した。また、作業習熟が進んだことから6日の基準サイクル工程を5日サイクルと1日短縮した工程モデルを部分的に作成して、手順や搬入時期等を事前に検討した。この結果、途中より短縮した5日サイクル工程を実現した。また、実績情報を利用して、図-14に示すように、作業の習熟効果の確認や計画のための標準時間の把握などに役立てた。

工事管理段階でのシステム運用に掛かった工数は、1日当たり1人程度であった。部材の入着情報や作業の進捗情報がほぼ自動で取り込まれ、計画との差が明示されて部材搬入や作業指示の帳票も自動で作成されるため、管理業務の大部分を工程の見直しや作業の改善に充てることができた。

6. あとがき

ビル自動化施工システムにおける工事計画・管理のための新たな管理方法として、部材単位に各作業の計画・プロセス・実績内容を一元的に把握しながら管理する方法を提案し、それに基づくコンピュータ・システムを開発し、実際の工事への適用を図り、有効性を確認した。本研究で得られた成果をまとめ、以下に示す。

(1) 部材単位による製造から現場組立の工事計画・管理の実現

部材単位での製造、搬送、揚重・組立などの詳細な計画情報の作成・提供、その実施情報の収集・記録、それに基づく計画修正、自動機械の運転情報の提供などにより、一貫した間違いのない作業指示ができた。情報量が多いにも拘らずこのシステムを利用することで容易に作業を進めることが出来た。

(2) 部材単位によるデータの一元化および各業務処理の独立化により高い汎用性のあるシステムの実現

工事途中で計画内容を大幅に変更する場合、その工程モデル部分だけを別途構築して、独立して処理をすることにより変更による影響度やその範囲を事前に検討することにも適用でき、効果があった。

(3) 部材IDによる現物部材とコンピュータ上の部材との整合性を確保

各部材に付与したユニークな部材IDをバーコード化することによって、データの受け渡しや実績収集を自動化・簡素化できたため、入力の間違いやもれがなく、コンピュータ上のデータとの矛盾は生じなかった。

(4) 三次元CADデータとの連携化

部材単位による作業計画・管理の内容を三次元CADデータと関連

図-13 クレーン運転データ作成プログラム画面

図-14 各部材搬送作業の習熟状況

付けすることで、計画・実績内容を視覚的に確認ができた。作業員の事前教育や作業改善のためのツールとして役立つことを確認した。

今後、このシステムを発展させ、計画と実績の比較分析をダイナミックに実施し、自動的に計画内容を修正していくなど高度な支援システムの確立を目指したい。

謝辞

本研究は、全自動ビル建設システムの研究開発グループ（大川、大島、奥田、グループリーダー他）の業務の一部として筆者が実施したものに基き、取りまとめたものである。また情報システムの開発では、情報システムセンターの方々の協力で実施した部分もあり、ここに記して感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 建築生産自動化小委員会：コンストラクション オートメーションー建築施工自動化の現状と将来展望一，日本建築学会，pp.103-118，2001.8
- 2) 長谷川幸男：建築作業ロボット開発のための作業解析技法の研究，日本建築学会構造系論文集，pp.181-186，1997.11
- 3) 汐川 孝：ビル自動化施工システムの開発と適用に関する研究その1ー改善プロセスの分析とその工程・作業工数による評価，日本建築学会構造系論文集 pp.15-22，2004.8
- 4) 汐川 孝他：全自動ビル建設システムにおける工事管理一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論文集，pp.261-266，1993.7

(2005年5月30日原稿受理，2006年2月9日採用決定)