

高層RC造建物自動化建設システム『BIG CANOPY』の開発と実用化

古屋 則之 浜田 耕史 栗田 康平 脇坂 達也
(本社 建築生産本部)

井上 康夫 汐川 孝 吉野 恭司 菱河 恭一

概 要

高層RC造建物自動化建設システム（BIG CANOPY）は、高層RC造建物の建築のトータルコストの低減を目的として開発され、1995年に着工された千葉県内の26階建て高層RC造集合住宅新築工事に世界で初めて適用された。このシステムは、a) 同調クライミング式仮設屋根架構、b) 貨物リフトと乗移り式ホイスト3基を用いた並列搬送システム、c) 部材のプレファブ化とユニット化、d) 施工図CADにリンクした部材管理システム、の四つの要素技術から構成されている。

実工事に適用した結果、システムの効率的な運用、各種プレファブ工法の採用や多能工による無駄の少ない作業等を通じて、工事費を圧迫することなく、作業環境の改善や品質の向上、工期の短縮、高い生産性を実現し、システムの有効性を確認した。

1. はじめに

バブル経済の崩壊後、技能労働者不足は一時的に緩和されたが、少子化や高齢化の急速な進行によって、生産年齢人口が今後も減少し続けることは確実であり、21世紀初頭には深刻な労働者不足が懸念されている。このような労働問題を解決するには、生産性の向上とともに、雇用条件や作業環境を改善して若年労働者を引きつける魅力ある生産現場に変革していく必要がある。

当社では、施工プロセスでの生産性向上とともに、企画から設計、施工、メンテナンスに至る建設の各生産プロセスを統合してトータル生産性の向上を目的とする新建設生産システムの構築を進め、その枠組の下にS造を対象とする全自動ビル建設システム（ABCS：Automated Building Construction System）の開発・実用化¹⁾や、当社が支援して1979年に開校した職業訓練校の下で多能工の育成²⁾などを進めてきた。本報に述べる高層RC造建物自動化建設システム（以下、BIG CANOPYと称す）の開発も新建設生産システム構築の一環である。

2. 開発目的および経緯

2.1 開発目的と開発方針

BIG CANOPYは、今後都市部で需要が見込まれる高層RC造集合住宅の生産性を飛躍的に高め、品質・工程の安定と工期の短縮を図り、トータルコストを低減することを目的とする。開発の基本方針は、ABCSと同様、全天候化、機械化・自動化、プレファブ化・ユニット化、情報化、多能工化などの技術を統合して上記目的を達成する最適なシステムを構築することである。

ただし、ABCSとは以下の点で異なる。

1) RC造の場合は、S造に比べて柱・梁部材の接合や

仮設支保工の組立・解体などに細かい人手を要する作業が多く、費用対効果の面から自動化レベルを高め難い。

2) RC造ではコンクリート強度の発現待ちなどから、S造のように全天候型組立工場を建物の上に乗せることは技術的に困難な面がある。

3) RC造では単位床面積当たりの建設コストがS造より小さく、仮設費を大きくできない。

なお、BIG CANOPYは、現場作業を単純化・標準化し、工期の短縮に結び付ける上でPCa化を基本としている。そのために、a) 部材単体の重量がきわめて大きい、b) 工程そのものが部材の搬送・取付時間に大きく左右される、c) S造と異なり、PCa部材の取付精度が仕上工事の出来映えに直接影響する、d) 従来の型枠大工や鉄筋工といった職種構成が変化する、e) PCa工場への早期発注の関係から、特に計画時点での業務比重が増えるなどの点で、在来工法とは大きく異なる。このため、効率的で操作性に優れた搬送システムと、多種多様な資材の管理や綿密な搬送計画を支援するコンピュータによる管理システムの開発・導入が不可欠である。

2.2 開発経緯

1988年～1990年に、超高層RC集合住宅工事での複雑な鉄筋工事に対してCAD/CAMを目指した自動化システム（鉄筋総合管理システム・X型鉄筋自動曲げ装置・梁鉄筋地組装置）を開発・実用化した³⁾。しかし、生産性向上に関しては工事レベルの自動化だけでは不十分であり、プロジェクトレベルの自動化・システム化が必須であることが分かった。1991年から徹底的なPCa化を基本とした自動化建設システムの開発・実用化に取り組み、その成果を1995年2月着工の千葉県八千代市内の26階建て高層RC造集合住宅新築工事に世界で初めて適用した。

その間、Fig. 1に示すA～Dの4つのシステム案を検討

した。タワークレーンを用いた在来工法による施工計画および見積結果を比較のベースとして、システムの生産性・工期・コストの目標を設定し、対象としたプロジェクトごとに技術的・経済的可能性を追究した。

経済性については、1) 全天候化、機械化・自動化などによる作業能率向上、仕上工事の早期着工、省力化・省人化、工期短縮といったコストダウンの要因と、2) 屋根架構の組立・盛替・解体など新たに生じる作業や新規製作機械によるコストアップの要因、の2点について比較し、システムの転用性も含めて費用対効果を定量的に検討した。C案は建物躯体の柱を把持しながら屋根部分をクライミングさせる方式であり、躯体把持装置1台分の実大実験を実施して、クライミング時の装置の作業性や構造的安全性なども検討した。これら約5年にわたる検討の結果、D案を採択し具現化した。

3. システムの特徴と適用範囲

3.1 システムの特徴

BIG CANOPYは、Fig. 2に示すような、同調クライミング式の全天候型仮設屋根架構、並列搬送システムなどのハード技術と、プレファブ化・ユニット化、資材総合管理システムなどのソフト技術を統合したシステムの総称である。システムの特徴を以下に示す。

(1) 生産性の向上 天井クレーンはタワークレーンに比べ操作性に優れ、並列搬送システムによる効率的な搬送と多能工による作業が協調して作業能率が向上する。

(2) 品質の安定 プレファブ化・ユニット化と全天候施工により、安定した品質を確保できる。

(3) 工期の短縮 PCa化工法の採用と全天候化による安定した工程、内装工事の早期着工で工期が短縮する。

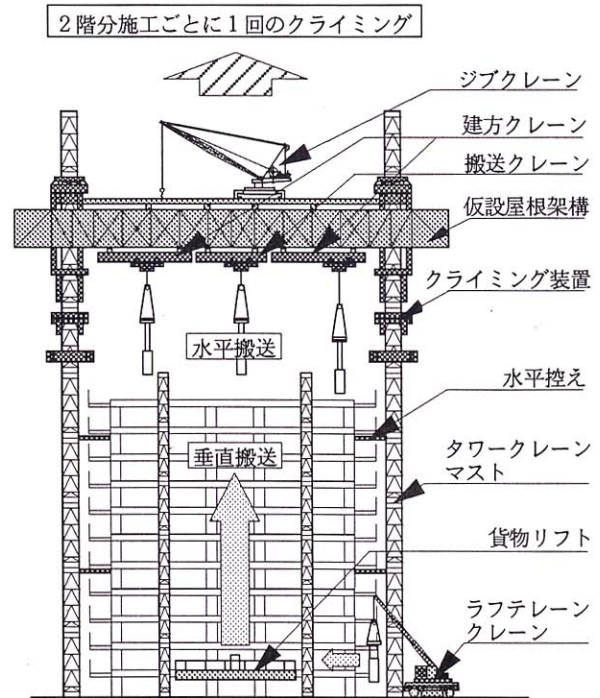


Fig. 2 BIG CANOPYの概要
Abstract of BIG CANOPY

案	A案 仮設柱クライミング(1)	B案 仮設架構プッシュアップ	C案 躯体利用クライミング	D案 仮設柱クライミング(2)
図				
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・折り畳み式全天候型屋根 ・滑出し式天井クレーン1台 ・タワークレーン転用クライミング装置4台 ・タワークレーンポスト転用仮設柱4本 ・可動式水平控え 	<ul style="list-style-type: none"> ・折り畳み式全天候型屋根 ・滑出し式天井クレーン1台 ・下部プッシュアップ装置4台 ・新規製作仮設ポスト使用4本柱 ・ブレースによる架構剛性の確保 	<ul style="list-style-type: none"> ・全天候型屋根架構 ・ターンテーブル式滑り出しホイストクレーン2台 ・ラック&ピニオン式クライミング装置20組 ・本設躯体把持用下部支持装置 ・6t貨物リフト 	<ul style="list-style-type: none"> ・全天候型仮設屋根(主要架構本設転用) ・乗移り式ホイストクレーン3台 ・タワークレーン転用クライミング装置4台 ・タワークレーンポスト転用仮設柱4本 ・6t貨物リフト
物件	・Fプロジェクト(20階)	・Tプロジェクト(20階)	・Nプロジェクト(地下1階26階)	・Nプロジェクト(地下1階26階)

Fig. 1 システム検討案
Four Alternatives of Automated Construction System

- (4) 設計への自由度 ポストが建物から独立しており、様々な形の建物に柔軟に対応できる。
- (5) 作業環境の向上 酷暑や風雨の影響を和らげ、作業を快適に安全に実施できる。
- (6) 周辺への安全性 作業エリアがコンパクトで、周辺への安全性が高い。
- (7) 廃棄物の削減 徹底したプレファブ化・プレカット化・ユニット化により廃棄物が少ない。
- (8) トータルコストの低減 (1)~(7)の実現によってトータルコストの低減が図れる。

3.2 システムの適用条件

BIG CANOPYは独立柱形式の仮設ポストで仮設屋根架構を支持しているために、基本的には建物形状には左右されない。ポストの水平控えが必要に応じて建物躯体から取れるように、極端なセットバックがなく、また、繰返しによる工期短縮効果が得られるように、少なくとも20階建て以上の高層建物が主要な適用対象である。

仮設屋根架構の大きさを、屋根の長辺が50m以内、高さが150m以下と設定し、1986~1995年の10年間に日本建築センターで評定を受けた、高さが60mを超える高層RC造建物を調査した。この結果、全体(119件)の82%、集合住宅の97%の建物がこの中に収まり、大部分の建物が適用対象となることが分かった。

敷地には、建物の外部に仮設ポストを立て、入着部材の荷捌きができるスペースが必要である。

3.3 工事の進捗概念

今回の適用現場における工事の進捗状況をPhoto 1に示し、基本的な工事の進め方の概略を以下に述べる。

- (1) 仮設屋根架構の組立 仮設屋根架構を組立て、屋根の下で地下工を進める。

- (2) 躯体および仕上・設備工事 仮設屋根架構をクライミングしながら、屋根と搬送システムを生かして効率的に躯体工事を行い、また、仕上・設備工事に早期着手して工期短縮を図る。

- (3) 仮設屋根架構の解体 躯体工事完了後には、仮設屋根を屋上階に定着して解体し、次の工事に転用する。仮設屋根をヘリポートなどの屋上工作物として残すことも可能である。仮設屋根架構の外周部分は切り離して逆クライミングで地上に降ろして安全に解体する。

4. システム適用現場の概要

適用建物は、新駅舎に隣接する敷地内に計画された26階建ての集合住宅棟である。集合住宅棟の基準階平面をFig. 3に、軸組図と使用材質をFig. 4に示す。

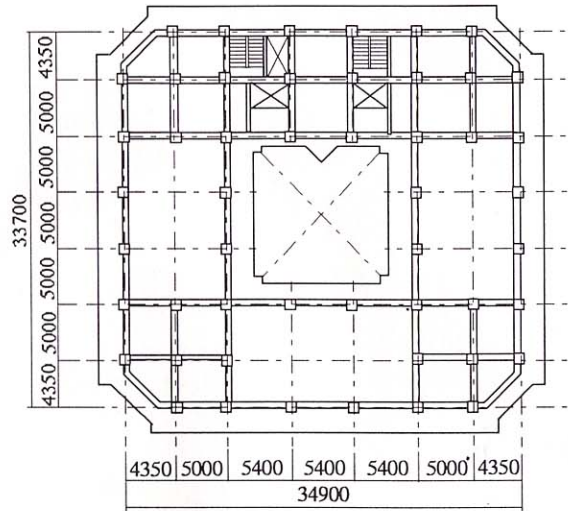


Fig. 3 基準階平面
Typical Floor Plan



仮設架構の組立



躯体、設備、仕上工事 (23階躯体施工時)



屋根架構解体、逆クライミング

Photo 1 仮設屋根の組立から解体までの状況
From Construction of Temporary Roof to Dismantling It

建物は、駅舎からペDESTリアンデッキを通じて2階エントランスホールにアプローチするように計画され、地下1階から地上2階は住宅共用施設や防災センターとして使用され、3階以上が住居部分となる。基準階平面は、中央に吹抜けを有する34.9m×33.7mの大きさであり、吹抜けに沿って開放廊下が設けられている。基準階の法定床面積は904㎡、施工床面積は約1,200㎡である。

5. システム構成要素技術

以下にBIG CANOPY適用工事での事例に基づき、要素技術の内容について具体的に述べる。

5.1 同調クライミング式仮設屋根架構

同調クライミング式仮設屋根架構は、建物の外部に独立して設けた仮設ポスト(4本)と各ポストに1台ずつ設置した自動制御によるクライミング装置、および全天候型仮設屋根から構成される。

架構全体は、通常の作業時(風速16m/secを考慮)には長期許容応力度以下となるように、また、暴風時(風速35m/sec)や地震荷重時(通常の作業時の水平力係数:k=0.2,クライミング時:k=0.1)には短期許容応力度以下となるように断面を設計した。

5.1.1 仮設ポスト 仮設ポストにはタワークレーン用のマスト(1.9m角、長さ6m、重さ6~7t)を利用した。ポスト間距離は30.55m×44mである。

5.1.2 クライミング装置 クライミング装置は、タワークレーン(JCC-180U)の油圧ジャッキ式昇降装置を改造して、昇降時の屋根の水平性を保つために新たに開発したジャッキのストローク同調制御装置を装備している。1回のクライミングの高さは6m(マスト1本分)であり、クライミングは2階分を施工するごとに1回行う。

クライミングの所要時間は1時間弱であり、天井クレーンを使用しないスラブ配筋作業時やコンクリート打設時に実施した。

5.1.3 仮設屋根架構 屋根架構は鉄骨トラス構造の折板葺きであり、大きさは41.65m×49mである。下面には乗移り式天井クレーンを設置し、上面にはジブクレーンを1基設置した。架構は、仮設ポストも含めて3次元の立体モデルに置換し、クライミングステップに応じた応力解析を実施して、最適な架構設計を行った。架構とクライミング装置、天井クレーン、ジブクレーンなどの機械類を含む重量は約600tである。架構は転用可能なようにボルト接合とした。

仮設屋根上のジブクレーンは屋根の上を走行させて、クライミング時のポストの継足し作業や建物躯体とポストとを結ぶ水平控え材の取付け作業、および仮設架構の解体作業に使用した。

5.2 並列搬送システム

並列搬送システムは、垂直搬送用の貨物リフト1基と、水平搬送・建方用の乗移り式天井クレーン3基で構成

した。天井クレーンは3基を平行に走行させ、貨物リフトからの荷の吊上げは中央のクレーン(搬送クレーン)が行い、左右のクレーン(建方クレーン)は荷を吊ったホイストを搬送クレーンから受取り、建方を行う。

また、乗移り時のホイスト間の干渉防止のために吊荷旋回制御装置を導入した。

通常のタワークレーンと異なり、並列搬送システムの場合は、1)リフトへの部材投入時間、2)リフトによる施工階までの垂直搬送時間(往復)、3)搬送クレーンによるリフトからの荷取り→水平搬送→乗移り時間(往復)、4)建方クレーンによる乗移り→建込み時間(往復)と搬送機能を細分化し、これらの機能を同時に並列進行させることにより、搬送設備および作業者の手待ち時間を少なくし、建方サイクルタイムの短縮を図った。

並列搬送システムの仕様は、搬送設備の構成、設備の搬送能力、施工階の高さ、部材の種類、玉掛・建方作業時間などをパラメータとして、各PCa部材のサイクルタイムや搬送機器のラインバランスを、Fig.5に示すようなパソコンのシミュレータ(確率モデル)により検討し、設定した。この際、建方作業時間などを過去の実績データを基に、乱数の発生によってばらつきを生成することで搬送設備の稼動状況への影響を把握した。これらの搬送設備の主な仕様をTable1に示す。

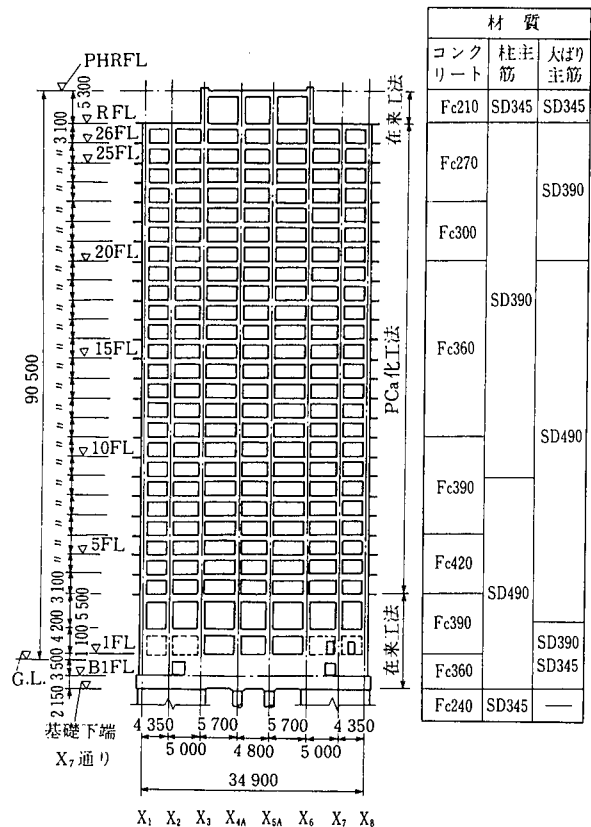


Fig. 4 軸組と使用材質 Framing Elevation and Material

5.2.1 貨物リフト 貨物リフトは、高揚程でかつ長尺資材の垂直搬送を行う目的でABCs用に開発されたリフトを転用し、PCa部材の重量や寸法に合わせて、搬器の積載荷重や長さを改造することによって、保有機械の有効利用を図った。

貨物リフトのクライミングは、2階分の施工を行うごとに天井クレーンを用いて実施した。2階分の工程の中で、仮設屋根架構のクライミング作業と貨物リフトのクライミング作業を交互に行った。

5.2.2 乗移り式天井クレーン 中央を走行する搬送クレーンは2本のガーダから成る。ホイストの乗移りは、Fig. 6に示すように、搬送クレーンの2本のガーダを建方クレーンのガーダと交互に連結させながら、建方クレーン側の空荷ホイストと搬送クレーン側の吊荷ホイストを入れ替えることによって行う。ホイストは汎用品を用いることで開発費の低減を図った。

PCa部材の建方時には細かなクレーン操作が要求されるために、天井クレーンの操作は基本的にはマニュアル（手動）とし、建方階にいるオペレータが遠隔無線操縦装置を携帯して行う。ただし、搬送クレーンが貨物リフト上から建方クレーンまで走行してガーダの芯合せを行う間の、加速・減速・一時停止などの走行動作については、オペレータの負荷軽減と、クレーンガーダの連結および解除時の安全性確保のために自動化した。

5.2.3 吊荷旋回制御装置 風やクレーン動作に伴う吊荷の回転を精度良く制御するために、ジャイロ効果によって旋回モーメントを得る方式の吊荷旋回制御装置⁴⁾を、各ホイストの吊治具に1台ずつ装備した。操作は、天井クレーンのオペレータが無線コントローラを用いて行い、床やバルコニー部材のような長尺部材の乗移り時の荷の干渉防止や搬送時の荷の位置決めなど、作業の安全を確保するために使用した。

5.3 プレファブ化・ユニット化

5.3.1 躯体のPCa化 躯体の断面形状を標準化した3階以上の階にPCa化比率の高い工業化工法を採用した。

柱、壁、バルコニーはフルPCa部材であり、梁と床はハーフPCa部材である。パネルゾーンと梁および床の上端に現場でコンクリートが打設された。PCa化比率は、コンクリート体積の71%、型枠面積の97%、鉄筋重量の79%と、きわめて高い。

Fig. 7にPCa部材の形状・各階の数量・全体数量を示す。柱、梁、バルコニー部材は1部材ずつ貨物リフトで揚重し、壁や床の短尺版は複数枚をパッケージ化して揚重した。並列搬送システムでの揚重量は、PCa部材が約320ピース/階、それ以外の仕上・設備材や先行揚重部材等を含めると約420回/階に達する。先行揚重した仕上材は、外壁や戸壁のパネル材等の重量物である。

これ以外の資材については吹抜け部に設けた2台の人物エレベータで揚重した。

Fig. 8にPCa工法の概要と仮設計画を示し、Fig. 9に工事の全体工程と基準階のサイクル工程を示す。基準階の

サイクル工程は標準で7日、最短で6日であるが、コンクリートの硬化が遅い冬季は8日で実施した。

(1) 柱部材 柱部材は、主筋とフープ筋を打ち込んだフルPCa部材である。主筋の継手用に脚部にスリーブジョイントを設けた。スリーブジョイントへのグラウト注入は建方階のコンクリート打設後に行った。

(2) 壁部材 壁部材は、出窓開口を有する複雑な形状の壁、階段室や設備用メーターボックス周辺の壁など、いずれも非耐力壁であるが、フルPCa化することに

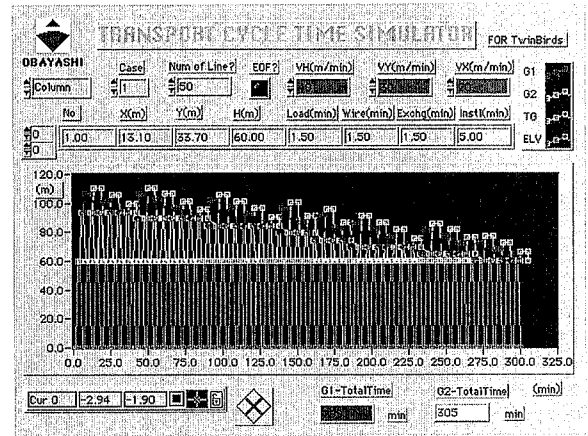


Fig. 5 搬送機器のシミュレータ Transport Cycle Time Simulator

Table 1 並列搬送システムの仕様 Specifications of Parallel Delivery System

装置名称	台数	主要仕様
貨物リフト	1基	積載荷重：6 t 巻上速度：40m/min（定格） 制御方式：インバータ制御
乗移り式天井クレーン		運転方式：自動/手動 制御方式：インバータ制御
		定格荷重 速度(max)
・搬送クレーン	1基	7.5t（二連式） 40m/min
・建方クレーン	2基	7.5t 30m/min
・電動横行ホイスト	3台	7.5t 33m/min
吊荷旋回制御装置	3台	吊荷極慣性モーメント：25ton・m ² 本体重量 : 1.1t

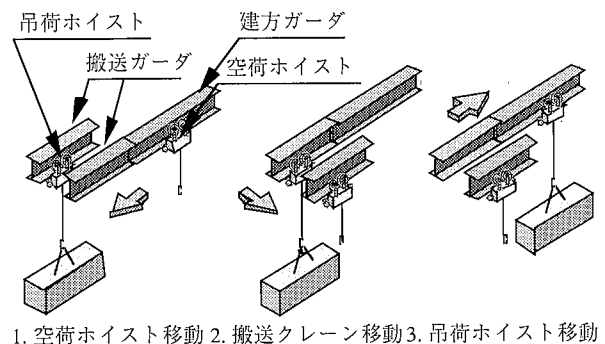


Fig. 6 ホイストの乗移り動作 Process of Exchanging Hoists

より、仕上・設備工事の早期着工を図った。

(3) 梁部材 梁部材は下端主筋とスターラップ筋を打ち込んだハーフPCa部材である。梁主筋にはネジ鉄筋を使用し、継手はネジグラウト式カプラーを用いてパネルゾーンで行った。

梁部材は上端筋およびネジグラウト用のカプラーをセットした状態で搬入し、梁主筋のジョイント手順、時間、作業者の移動効率等を考慮し、最も効率的な建方順序に基づいて揚重を行った。

(4) 床部材 床部材はプレストレスの導入によって軽量化・省支保工化を図った幅1.2mのハーフPCa版である。長尺版(スパン8.8m)と短尺版(スパン4.5m)の2種類がある。長尺版には軽量化のために中空ボイド部分があるが、製造段階でボイド部分には比重0.6の超軽量モルタルを充填し、遮音性能を向上させた。断面は側面に把持用の溝を持つ台形であり、専用の吊治具(Photo 2)を使用して玉掛・建方作業の簡略化を図った。

(5) バルコニー部材 バルコニー部材は室内への水の侵入を防ぐ立上り部を設けたフルPCa版である。梁側に突き出した上下2段の差筋を後打ちコンクリート内で定着させ、一体化する。建方時には、建物外周に手摺を設けるために、本設の手摺を仮固定して揚重を行った。

5.3.2 設備・仕上工事における省力化 設備・仕上工事では次の項目についてプレファブ化やユニット化を進め、省力化や廃材削減に努めた。

	部材形状	数量	総数
柱		3F~26F 50p	1200p
大梁		3F~26F 71p	1704p
小梁		3F~26F 8p	192p
壁		3F~16F 42p 17F~26F 38p	968p
床		長版 3F~26F 39p 短版 3F~26F 74p	2712p
バルコニー		外周バルコニー 3F~26F 28p 開放廊下側 3F~26F 11p	672p 264p
マリオン		3,17,26F 48p 4F~25F 24~26p	664p

Fig. 7 PCa部材の形状と数量
Shape and Number of Precast Concrete (PCa) Members

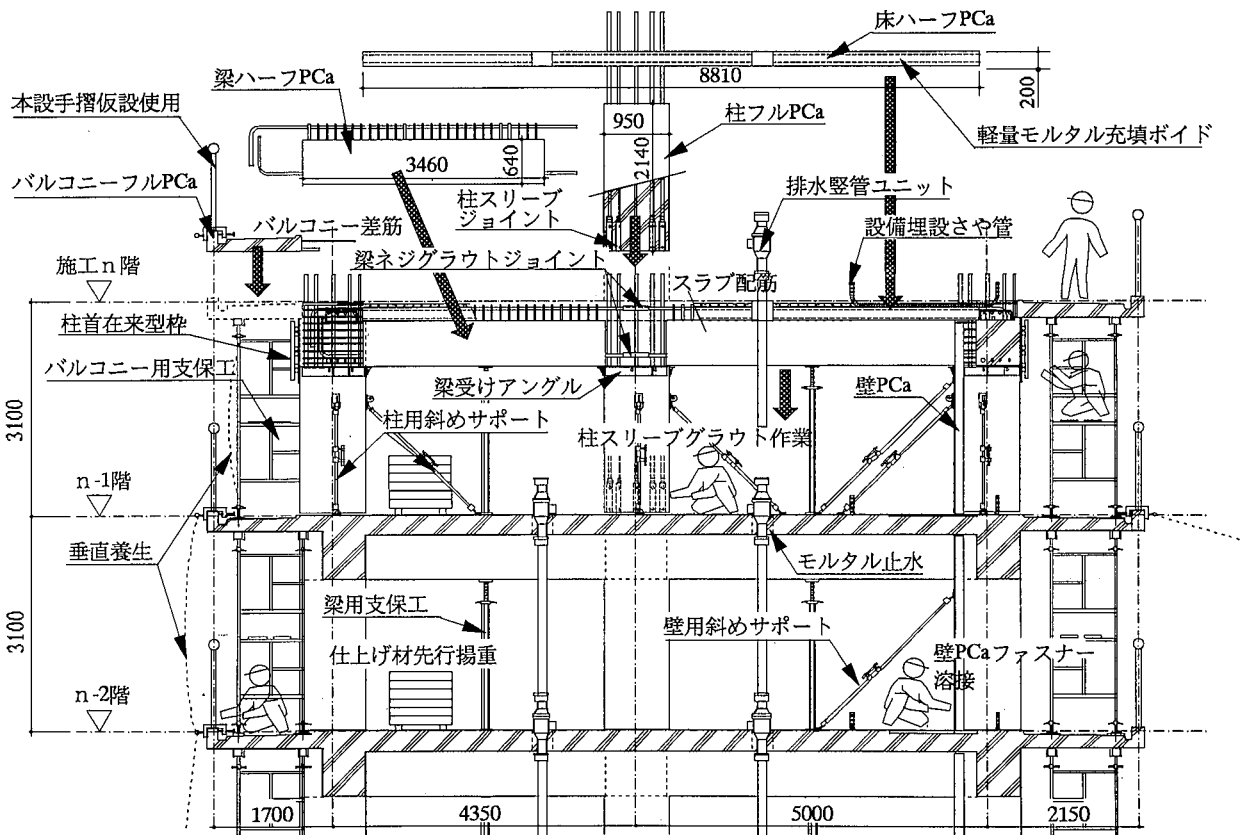


Fig. 8 PCa工法概要と仮設計画
Concept of PCa Construction Method and Temporary Work Plan

- 1) メーターボックス廻り配管のユニット化
 - 2) 各戸排水縦管（集合管）のユニット化 (Photo 3)
 - 3) 各戸排水横引き管、空調ダクトのプレファブ化
 - 4) 室内弱電・弱電幹線ケーブルのユニット化
 - 5) ALC板、および戸境壁パネルのプレカット化
 - 6) 間仕切り用ユニット木軸材のプレカット化
- 特に、排水縦管を躯体工事と同時に施工することで、躯体作業階の床面の開口塞ぎを早期に実施できた。

5.4 多能工の採用

多能工は、PCa部材の建方以外に、梁やスラブの配筋、スラブ内に埋設する給水・給湯用設備配管、パネルゾーンや床段差の型枠組立・解体、コンクリート打設、ユニット化した排水用縦管の取付、仕上材の先行揚重、並列搬送システムのオペレーション等の、建方階の躯体・仕上・設備に絡む多岐にわたる作業を一定人数で担当

した。彼らはミーティングを重ね、作業の平準化や安全性の確保などを検討し、作業効率の向上を図った。

5.5 資材総合管理システム

資材総合管理システム³⁾は、プレファブ化された躯体工事用部材を扱う部材管理システムと仕上・設備資材を扱う資材管理システムから構成される。

5.5.1 部材管理システム 部材管理システムの機能構成をFig. 10に示す。

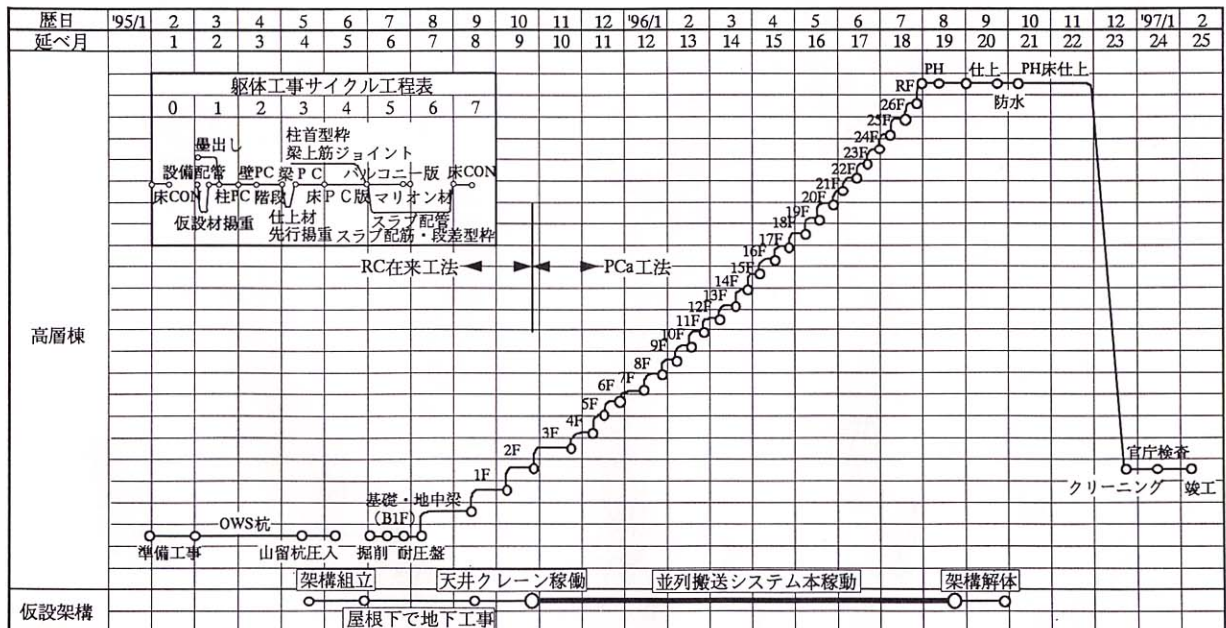
初期データに、生産設計図用CADで作成された3次元の建物モデルデータを利用することで情報の一元化を図り、これらの図形情報に部材の種類、形状、取付位置等の属性情報をリンクさせて部材のデータベースとする。部材の搬入や建方予定日、建方順序といった生産計画の情報はCAD画面を用いて入力し、また、搬入や建方作業実績等の記録は、工場部材に貼付されたバーコードを



Photo 2 床版の敷設状況
Installation of Slab PCa



Photo 3 排水縦管の取付け
Setting of Vertical Sewer Pipes



媒体として入力されるため、計画管理や実績管理などの管理業務が効率的に遂行される。

PCa部材建方の進捗管理に利用した画面表示例をFig. 11に示す。後述の施工データの分析にも本システムから得られた実績データを活用した。

5.5.2 資材管理システム 集合住宅工事では、使用する仕上・設備資材の種類や数量が住戸ごとに異なり、資材管理に多大な労力を要する。資材管理システムは、資材情報を住戸単位にデータベース化し、これらのデータを仕上タクト工程と関連させることで、資材発注・在庫管理・揚重計画などの幅広い業務の支援を行う。

6. システム適用結果

6.1 作業環境の改善

6.1.1 物理量調査の結果 1996年7月の晴天時における作業者の服装と資材（鉄筋）の表面温度の分析結果の一部をFig. 12に示す。仮設屋根の内と外で、作業服の表面温度で最大約10℃、鉄筋で最大約25℃異なり、温熱環境下での仮設屋根の改善効果は著しかった。

照度は、雨天時の夕方などに仮設屋根の下で500lxを下回ることがあったが、作業上特に問題はなかった。

6.1.2 生理量調査の結果 1996年9月初旬の晴天時の作業者の心拍数を測定した結果、安静時の心拍数（75拍/分：昼休みに計測）に対する増加率は、屋外作業時には、最大で約80%増、平均で40%増であったが、仮設屋根の下での作業時には、最大で約45%増、平均で約20%増であった。温熱環境下での作業時には、仮設屋根の下

での心拍数の増加は屋外に比べて1/2に低減し、労働衛生上、肉体的負荷の軽減に顕著な効果があることがデータから判明した。

6.1.3 風観測の結果 PCa工事期間中（1995年11月～1996年7月）における風観測の結果（Fig. 13），作業時間内（午前8時から午後5時まで）に屋根上で平均風速が10m/secを超えた時間の累計は87時間に達した。この結果、タワークレーンでは作業できなかったと想定される日数は12日前後に達したと考えられるが、この現場で作業を中断したのは1.5日であった。

観測結果から、仮設屋根の下では風速が2/3前後に低減したことや、垂直搬送を貨物リフトで行ったことで天井クレーンの吊り代が短いために、風による吊荷の振幅

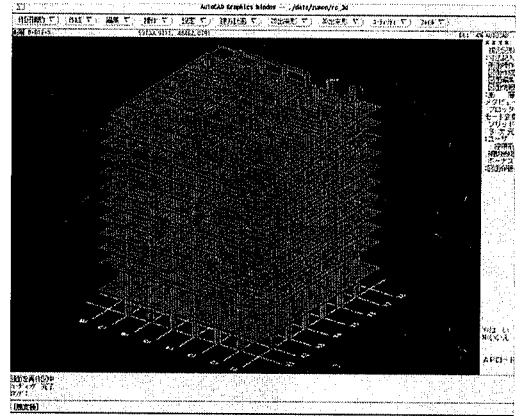


Fig. 11 PCa部材建方の進捗管理画面
Progress Control of PC Member Erection

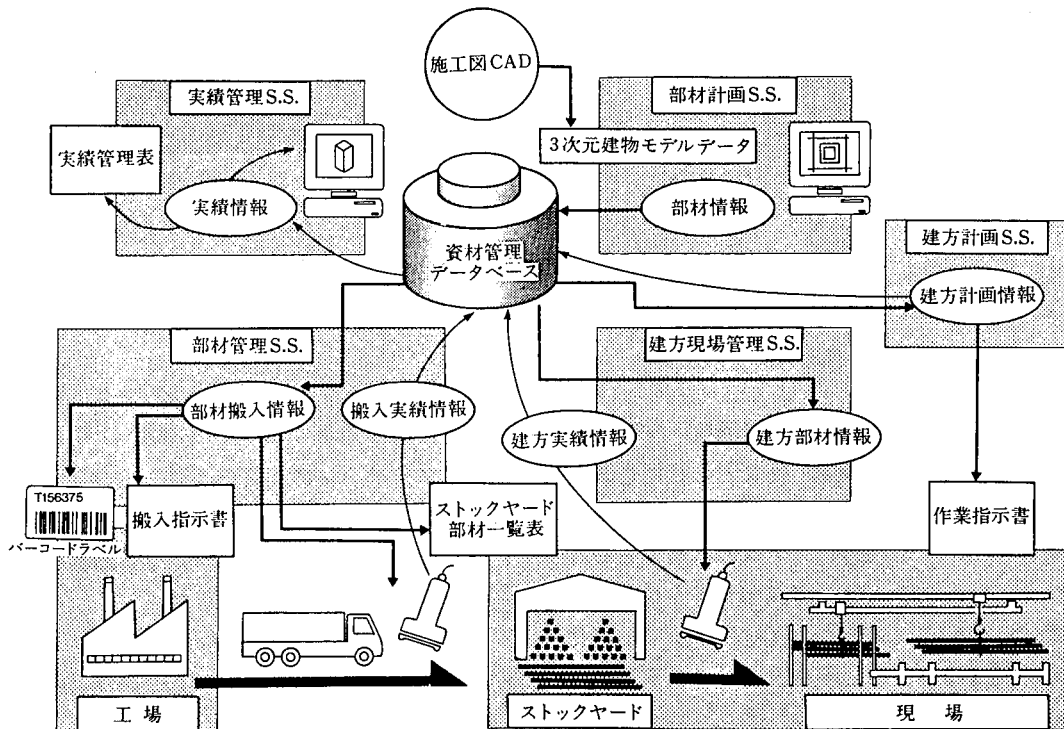


Fig. 10 部材管理システム
Material Management System

がタワークレーンに比べて小さかったこと等が、その要因と考えられる。

6.1.4 心理量調査(アンケート調査)の結果 夏・秋・冬季に、11職種延べ105名の作業員に対してアンケート調査を実施した。夏・秋季では「暑さがしのげる」に対する回答が最も多く、温熱環境改善の点から仮設屋根設置に対する評価が高かった。「雨の中での作業が少なくなる」「まぶしくなくなる」「天候に左右されない」「能率が上がる」などが、仮設屋根の効果として多くの回答を得た。この他、女性の作業員が「衣服が汚れない」効果を挙げていたことが特徴的であり、また、年配の作業員ほど仮設屋根の効果を高く評価していた。

6.2 作業能率の向上

当初、この工事はタワークレーン(JCC-200H)2基で計画された。同様のPCa化工法を採用した他現場でのタワークレーンによる実績データを用いてPCa部材の建込み時間と比較した結果がFig. 14である。BIG CANOPYの搬送能力はタワークレーンの約2.5基分に匹敵する。能率向上の要因として以下のことが挙げられる。

- 1) 効率的な搬送システムである。
- 2) 天井クレーンは風の影響を受けにくい。
- 3) オペレータが作業床上にいて建方状況を的確に把握しながらクレーンを操作できた。
- 4) 壁・床PCa部材や仕上材などは、貨物リフトで一度に複数量を揚重できた。
- 5) 搬送クレーンも建方作業に使用することで、3台のクレーンが同時に稼働できた。

また、温熱環境下では、気温の上昇とともに作業能率が低下することが知られている⁶⁾。記録的な猛暑であった1995年7月から9月までと1996年7月の計123日間のうち、気温によって生産性に影響を及ぼしたと考えられる日数(1日の作業時間帯の気温が30.1℃を越える日数)は66日間あった。生産性の低下分を、損失した時間数に換算すると50時間(6.3日分)に相当し、真夏の温熱環境下における生産性の低下は、約1割程度あったと考えられる。仮設屋根の下では、前述のように肉体的負荷が

軽減し、作業能率の低下はほとんど認められなかった。Fig. 15に作業ごとの習熟状況の分析結果を示す。作業全体の習熟率は約87%であり、作業によっては85%を大きく下回るものもあり、学習効果が高かったことが分かる。初めての適用工事であり、当初は工数も多かったが、今後は、より大きな省力化効果が期待される。

6.3 躯体工事の省力化

高層建物を対象とした施工実績に基づき、単位床面積当たりの躯体工事に関わった作業工数(労務歩掛り)を、4種類の工法について比較した結果をFig. 16に示す。4種類の工法は、1) 在来鉄筋型枠工法、2) システム型枠工法(一部ハーフPCa化工法)、3) タワークレーンによるPCa化工法、4) BIG CANOPYである。

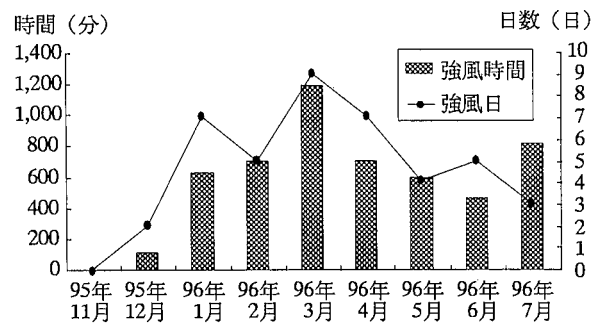


Fig. 13 強風の影響
Strong Wind Effect

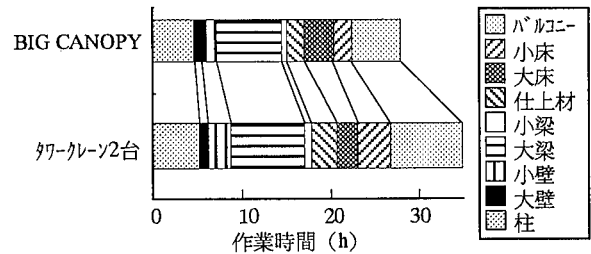


Fig. 14 並列搬送システムとタワークレーンの効率比較
Efficiency Comparison between Two Tower Cranes and Parallel Delivery System

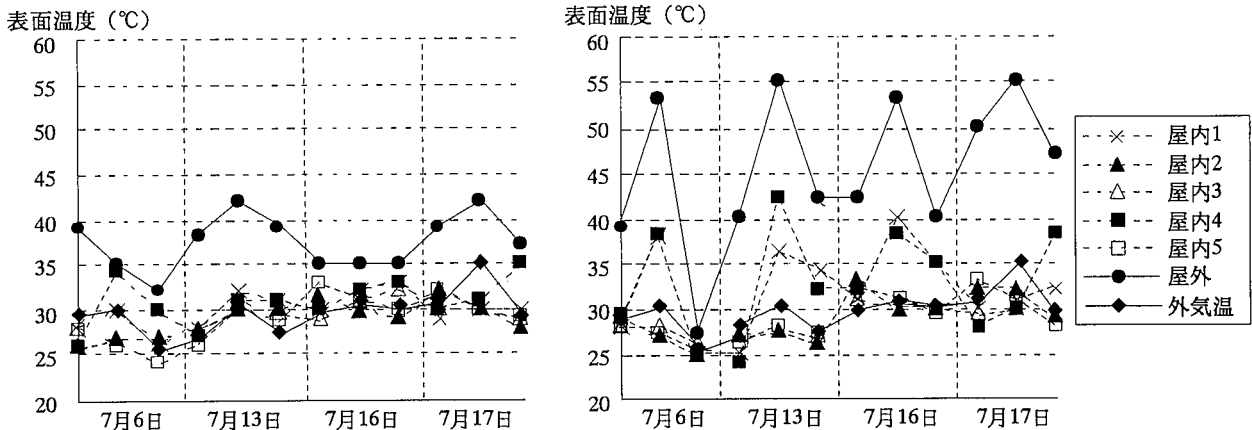


Fig. 12 作業員の服装と鉄筋の表面温度
Surface Temperature of Workers' Clothes and Steel Bar

BIG CANOPYにおける躯体工事に関わった現場の作業工数は、在来鉄筋型枠工法の約25%、システム型枠工法の約35%、PCa化工法の約65%であった。省力化の要因としては、PCa化によって作業を単純化・標準化したことはもちろんであるが、効率的な搬送が行われたために手待ち時間が減ったことや、多能工の採用によって作業間の無駄が少なくなったこと等が挙げられる。

また、タワークレーンによるPCa部材の建方作業では、主作業率（全作業工数に占める主作業の工数の割合）が50%を下回るが、搬送の効率化を図ったBIG CANOPYでは、建方階における作業者の主作業率は70%を上回り、手待ち時間の減少が確認できた。

躯体工事中心に行われた設備工事についても、堅管の建込みやスラブ配管を多能工が実施したため、設備専門工が施工する場合に比べて作業間での待ち時間が少なくなり、これらの作業の生産性も、きわめて高くなった。

6.4 工期の短縮

仮設屋根架構は杭工事後の1995年5月から約1カ月かけて組立てられ、その後、屋根の下で地下掘削工事が行われた。地上2階までの工事（在来鉄筋型枠工法）と並行して、天井クレーンが据付けられ、PCa化工法が始まった1995年10月末からシステム全体が稼働し始めた。

仮設屋根の組立工事では本体工事を1カ月間中断したが、その後は前述のように天候による作業の中断がほとんどなく、仮設屋根によって仕上工事への早期着手が可能となり、タワークレーンによる予想工期(28カ月)に対して4カ月短縮できた。

7. おわりに

BIG CANOPYは、材料の高強度化などにより、今後も高層化が進むと予想される集合住宅が主な対象であるが、工事単価が低いために仮設費を大きくできない制約がある。したがって、開発に当たっては、当社保有の工事機械を活用し、新規に製造する場合も市販の汎用機械をできる限り使用することで、開発費用の低減を図った。また、費用対効果のバランスを検討しながら、作業者が技能を最大限に発揮できる活力に満ちた「生産システム」の構築を目指し、自動化のレベルを設定した。

実工事に適用した結果、システムの効率的な運用、各種プレファブ工法の採用、多能工による無駄の少ない作業等を通じて、工事費を圧迫することなく、高い生産性や工期の短縮を実現することができ、作業環境を大幅に改善する魅力ある生産現場を実現した。また、現場労働者の不足・高齢化や経済情勢の変動などの時代の変化に応じて柔軟にシステムアップすることが可能な、現実的かつ将来性の高いシステムであることを確認した。

本工事で使用したシステムは、さらなる搬送の効率化や作業環境の改善のために部分的に改造・改良が加えられ、次のプロジェクトに適用される。適用事例の増加に伴い、様々な改善・改良を施すと考えられるが、構成要

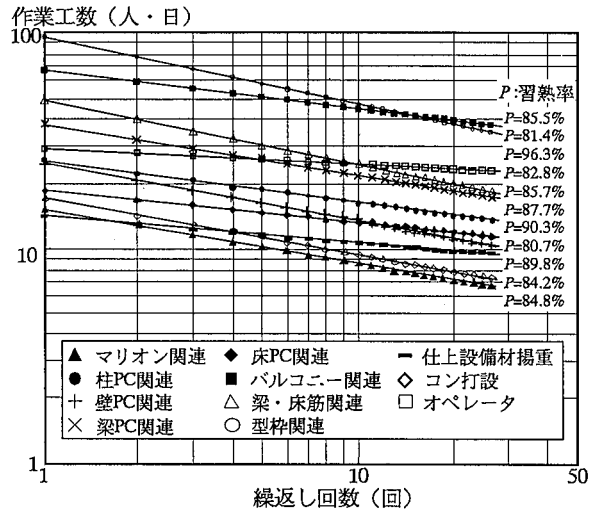


Fig. 15 習熟効果 Learning Effect

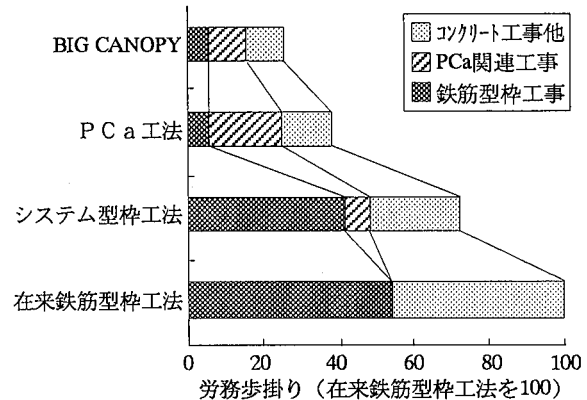


Fig. 16 4種類の工法の生産性比較 Productivity Comparison among Four Construction Methods

素技術のスペックを高める中で、費用対効果のバランスを図り、システムとしての完成度を高めていきたい。

最後に、本システムの開発にあたってご協力いただいた関係各位に感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 長, 他: 人にやさしい生産の場—ルネッサンス 111, 施工, p.128~137, (1992.1)
- 2) 山岡: ハイテク時代の技能者集団の育成, 施工, p.100~103, (1994.6)
- 3) 脇坂, 他: 超高層RC建物(41階)における施工の自動化, その1~5, 日本建築学会大会梗概集, A 材料施工, p.759~768, (1990.10)
- 4) 井上, 他: ジャイロモーメントを利用した吊荷制御装置の開発と実用化, 第5回建設ロボットシンポジウム, 日本ロボット工業会, (1995.7)
- 5) 汐川, 他: RC自動化建設システムの開発, その4, 日本建築学会大会梗概集, A材料施工, p.593~594, (1996.9)
- 6) Enno Koehn et.al.: Climatic Effects on Construction, Proc. ASCE, Vol.111, No.2, p.129~137, (1985)