

全天候型自動化施工システムの開発と実施

－その1：全体構成と施工計画－

小田 康弘* 横山 直樹* 吉田 成男*
田中 靖之* 金川 武雄* 谷 雄一*

要 旨

当社では、リフトアップフレームによる全天候作業空間、機械化・自動化技術、ユニット化などの基幹技術により構成する全天候型自動化施工システム「FACES：Future Automated Construction Efficient System」を開発し、96年2月から鉄骨造20階建の複合施設「日本橋浜町Fタワー」に適用し、97年2月システムによる施工を完了した。

本システムは全天候作業空間の中で鉄骨、外壁、床工事などをおこない、1フロア分の施工完了後、フレームを1階分上昇させる工程を繰り返し、最上階までを構築する生産システムである。

システムの導入においては、開発した技術の現場施工に対する整合性、システムの安全管理・品質管理、さらには危機管理に留意する必要があるが、本システムは特に機械と人との協調作業の実現を目指した結果、現場施工に役立つ技術を開発できたとともに、計画工程より1ヶ月早い上棟を実現するなど、所期の目的を達成できた。

1. まえがき

次世紀に向けた建設業の役割として生産性の向上、工期短縮、安全性向上などがあるが、同時に働く場としてのアメニティ、地球環境と共生できる建築現場のあり方も求められている。

こうした時代の要請に対し、全天候作業空間、機械化・自動化、ユニット化などの基幹技術から構成する全天候型自動化施工システム「FACES」を開発・実施した。表-1に開発工程、下記に開発目的を示す。

- ①全天候作業空間の中で溶接、コンクリート打設、シール作業などをおこなうことによる「施工品質の向上」
- ②機械化・自動化、ユニット化技術などを適用し、人員・工数の削減による「生産性の向上」
- ③全天候作業空間により雨天日・強風日に稼働することによる「工期の短縮・安定化」
- ④側壁フレーム内からの外部作業の実施による「高所作業の削減」、風雨・直射日光から遮蔽された「快適な作業環境」
- ⑤側壁フレームのシートで作業現場を外部から隔絶することによる「周辺環境との調和」
- ⑥施工データを電子化すること

による「現場管理の省力化」

⑦資材を工場でユニット化することによる「廃材削減、省資源化」

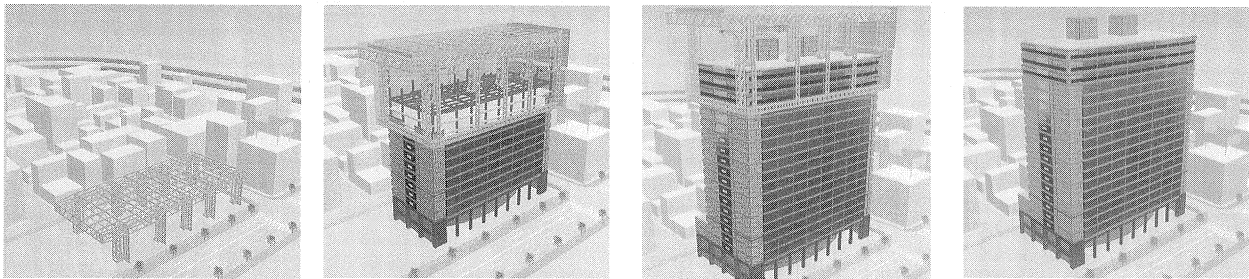
一方、自動化・機械化における開発コンセプトは、リフトアップ装置と資材搬送装置など基幹技術における「機械と機械」、個別作業における機械化要素技術での「人と機械」、および多工種の作業を最適に組み立てるサイクル施工での「人と人」の3つの観点の協調作業を実現することである。

本報ではシステムの構成技術の概要と施工計画、および導入時の留意点について述べ、別稿の同題その2～4では構成技術の詳細と適用結果、その5では新技術導入に対応した安全計画について述べる。

表-1 FACES 開発工程

	93年	94年	95年	96年	97年
FACES 工程	自動化WG.発足 基本構想	FACES Pjt.発足 現場適用基本計画	導入決定 実施計画 機器・フレーム製作	要素技術開発・試験 施工実験	組立 FACES稼働 解体
適用現場 工程			着工 地中障害撤去 山留・地盤改良	杭・1階先行床 地上設備・仕上 地下逆打ち	竣工 地下設備・仕上

*技術本部 FACES プロジェクトチーム



リフトアップフレームの組立 FACESによる建物構築 最上部の構築とフレーム解体 建物の完成

図-1 システム施工フロー

2. システムの概要

本システムは、リフトアップフレームによる全天候作業空間の中で、資材搬送装置（シャトルクレーン）を使用し、鉄骨、外壁、床などの工事を天候に左右されることなく施工する。

1フロア分の施工が終わると油圧シリンダによりリフトアップフレームを1階分の高さだけ上昇させ、この工程を繰り返し、最上階までを構築する。

システムの施工フローを図-1、施工中の外観を写真-1、システム構成を図-2に示す。

以下、本システムを構成する技術について概要を述べる。このうちリフトアップ装置・資材搬送装置および機械化・自動化要素技術の吊具の詳細については別稿にて報告する。

2. 1 リフトアップフレーム

屋根フレーム、支柱フレームおよび側壁フレームにてリフトアップフレームを構成し、全天候作業空間を確保する。側壁フレーム内には外部シール作業などに使用する足場が組み込まれている。

2. 2 中央制御室

屋根フレーム内に設置し、シャトルクレーンの運転操作、リフトアップの制御、フレームの挙動計測などをおこなうシステムの指令塔である。

2. 3 リフトアップ装置

250 t油圧シリンダを中心として上下にクランプ部を持つリフトアップ装置が10箇所支柱フレームに組み込まれている。これを駆動する油圧ユニット10台は屋根フレーム内に分散して配置されている。



写真-1 システム全景

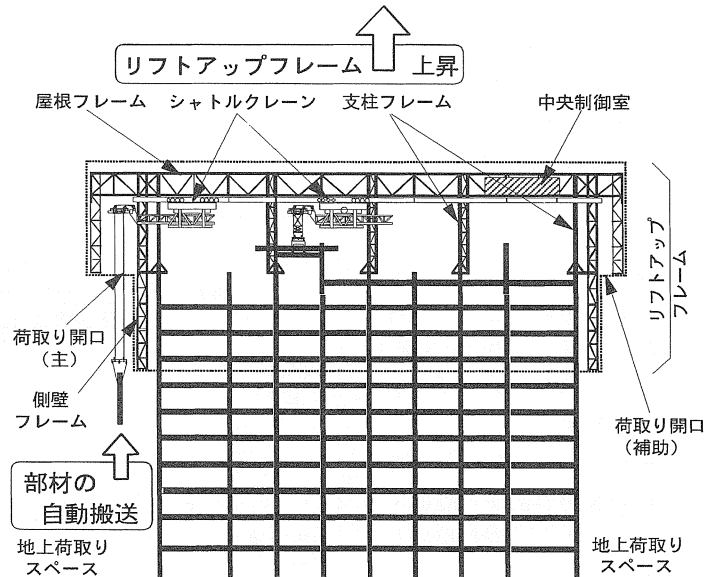


図-2 システム構成図

2. 4 資材搬送装置

搬送装置は、旋回および伸縮するブームを持つ適用性・転用性の高い天井走行クレーンで、垂直揚重・水平搬送の機能を併せ持っている。屋根フレーム下に2台垂架され、ブームが伸縮することからシャトルクレーンと呼んでいる。

他に例を見ないフックの±90度旋回や、コンピュータが搬送経路を自動生成し、自動搬送する機能などがある。

2. 5 機械化・自動化要素技術

個別作業における施工の効率化・省力化・安全性向上を目的として、「自動玉外し装置」、「梁まとめ吊り装置」などクレーンに組み合わせる吊具、および建て入れ調整装置、柱自動溶接ロボットなどを開発し、施工に適用した。

2. 6 ユニット化・プレファブ化

品質向上・施工の省力化・廃材の削減をねらいとしてガラスCW、トイレ室、空調ユニットなど工場においてプレファブ化・ユニット化して現場搬入した。

2. 7 情報化施工

労務安全・品質・出来高・工程管理および施工階監視などの電子化をはかり、現場業務の省力化および情報の共有化を実現した。図-3に情報化のシステム構成を示す。

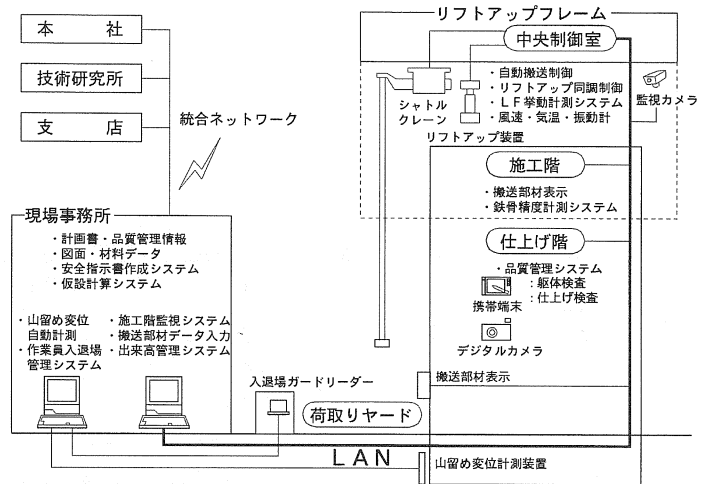


図-3 情報化システム構成図

3. 施工計画

3. 1 適用工事の概要

本システムを鉄骨造20階建の高層棟を中心とする複合施設「日本橋浜町Fタワー」の施工に導入した。図-4に建物の断面、表-2に建物の概要を示す。

本建物は東京都中央区の再開発地区計画区域の指定を受けており、高層棟は上層部に住居部分を含む事務所、低層棟は多目的ホールおよび店舗で構成される。

建物の開発コンセプトは「潤いある豊かな複合都市空間の実現」であり、豊かな都市生活実現のために必要な「ゆとり」と「潤い」を提供できるアメニティの高い街の創造を目指している。

3. 2 計画概要

既設計物件への適用のため、導入に際し施工計画などについて種々の検討を行なうとともに、工事の全体工程についても見直した。

(1) システム適用範囲

本システムは建物の高層棟高層部に適用した。図-5に総合仮設図を示す。図の中でリフトアップフレー

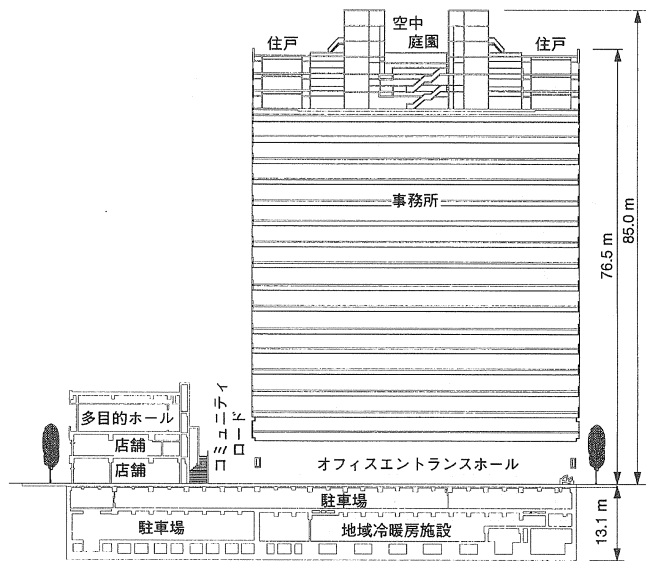


図-4 建物断面図

表-2 適用建物概要

建物名称	日本橋浜町 Fタワー		
構造	S造、SRC造、RC造		
階数	地下2階、地上20階、塔屋2階		
建物用途	事務所、住宅、店舗、多目的ホール、駐り場		
敷地面積	3,754 m ²	延床面積	34,876 m ²
建築面積	2,667 m ²	最高高さ	85 m

ムにて囲まれた部分がシステムの適用範囲である。

高層棟高層部基準階の大きさは、約60m×25m＝1,500m²である。

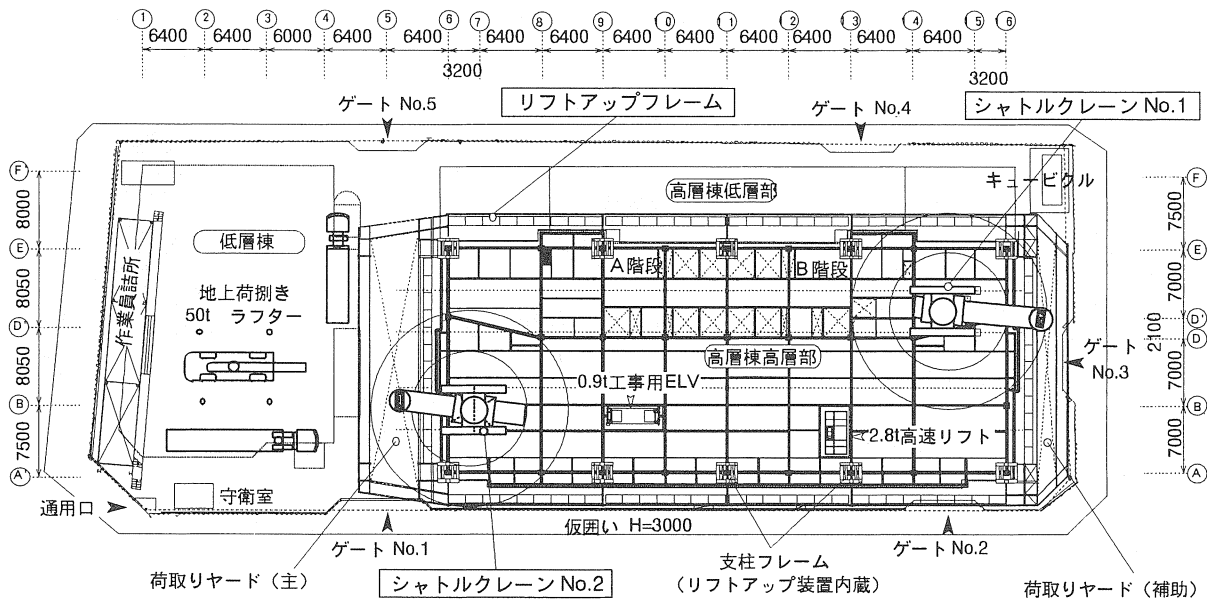


図-5 総合仮設図

(2) 仮設計画

高層棟の鉄骨部材、および外壁パネルなど、おもな資材の搬送・取付作業はシャトルクレーンにておこない、地上に確保した荷取りヤードでは50tラフタークレーンが資材の搬出入および荷捌きをおこなった。また工専用エレベータ・高速リフトはおもに仕上げおよび設備関連資材の揚重に使用したが、ユニット化したトイレ室・空調機ユニットなどの大型部材はシャトルクレーンにて先行揚重した。

(3) 工程

システム導入に際し全体工程を見直した結果、リフトアップフレームなどシステムの構築、およびシステムの稼働は、地下工事と並行でおこなうこととした。このため場所打拵底杭、構真柱建て込みに引き続き一次掘削を行ない、ハーフPCa板による一階先行床板を打設した後、96年2月から地下の逆打ち工事と並行してリフトアップフレームの構築を開始した。表-3にシステム適用の実施工程を示す。

表-3 システム適用の実施工程

年月	1996年												1997年		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
地上工事実施工程		LFの組立開始	SC組立	SC自動運転調整・他	LF組立	イニシャルLU	SC落成検査	システム稼働開始	7G	6~7日サイクル	18G	FG	上棟	システム稼働完了	LFの解体開始
					2G										
地下工事実施工程	B1掘削	B1躯体工事	B2・基礎部掘削・山留2段	B1壁柱工事	床付け・耐圧盤工事	2段目山留め撤去	B2床工事	1段目山留め撤去	B2壁柱工事					地下躯体工事の完了	

SC : シャトルクレーン LF : リフトアップフレーム LU : リフトアップ

3. 3 フレームの組立

リフトアップフレームは4工区に分け、各工区ごとに支柱フレーム、屋根フレーム、側壁フレームの順で組立を行ない、約1ヶ月で主要部の組立を完了した。

組立完了工区では屋根フレーム内部に、中央制御室および操作盤、電気・制御設備、リフトアップ油圧ユニットなどを設置した。

また、地下工事はフレーム組立工事との上下作業をさけるため、工区を入れ替わりながら工事用機械を投入・配置し、並行作業で進めた。

写真-2にリフトアップフレーム組立時の現場状況を示す。



写真-2 リフトアップフレーム組立状況

3. 4 リフトアップ装置の組立

リフトアップシリンダは、工場にて上下のクランプ装置を取り付け一体化して現場搬入し、支柱フレームの孔明き支柱（ラダー）間に吊り込み、クランプピンを孔に入れて固定した。写真-3にリフトアップシリンダの取付作業状況を示す。

油圧ユニットはフレーム組立の完了した工区から順次屋根フレームに設置したが、全工区のフレーム組立が完了し通路が設置された後、配線工事および油圧配管工事をまとめておこなった。

3. 5 シャトルクレーンの組立・上架

シャトルクレーンはフレーム組立の完了した1・2工区の地上で組立を行なった。1号機と2号機を引き続いて組み立てる工程であり、荷重集中をさけるため1階先行床板上に組立架台となる敷桁を配置した。

組立完了後、引き続き上架工事を行なったが、これはクレーン走行車輪にあらかじめ走行レールを1スパン分取り付けおき、特殊な油圧装置でレールを持ち上げ、このレールを屋根フレームにボルトで固定するという方法でおこなった。写真-4にシャトルクレーンの上架作業状況を示す。

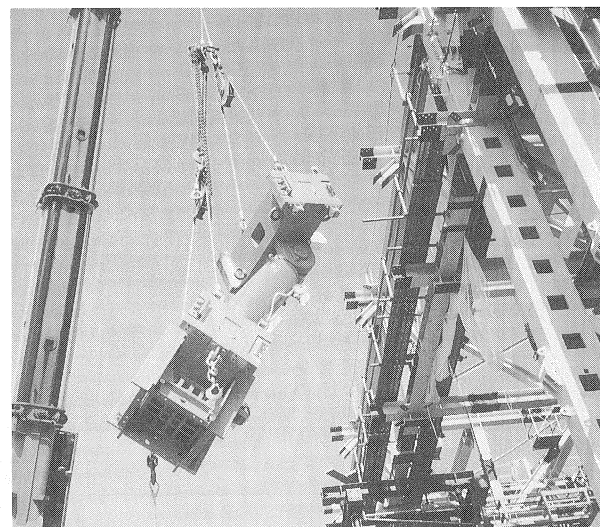


写真-3 リフトアップシリンダ取付状況

3. 6 イニシャルリフトアップ

主要フレームの組立、リフトアップ調整の完了後、第一回目のリフトアップ（イニシャルリフトアップ）をおこない、地上で組み立てたリフトアップフレームを建物2階の梁に載せた。

これにより拡大した全天候作業空間の中で、天候に左右されることなく地下工事を進めるとともに、シャトルクレーンの調整、官庁検査、自動搬送調整などを実施した。

3. 7 サイクル施工

シャトルクレーンの自動運転調整が完了した後、96年6月中旬から本システムの稼働を開始した。全天候による作業環境の実現を徹底するため、外部シール作

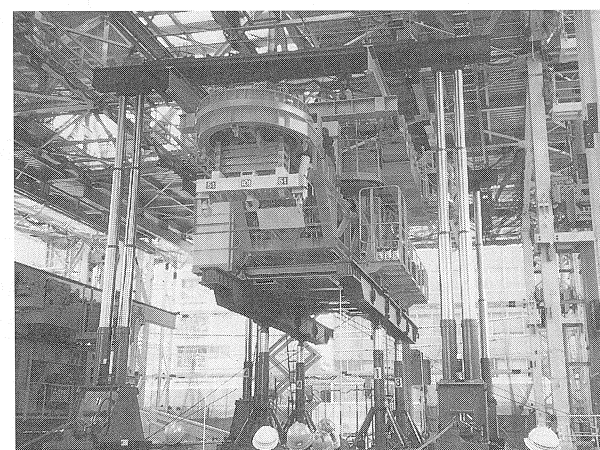


写真-4 シャトルクレーン上架状況

業を側壁フレーム内に設置した足場から施工した。このため、サイクル施工はこの作業も含めて計画した。

稼働開始当初は7日サイクルで施工したが、基準階施工の後半では6日サイクルを実施した。6日サイクル工程が可能となった理由として、作業全般における協調・関係などの習熟効果が大きい、上層階での柱の溶接量の減少も寄与している。

習熟効果では特に鉄骨建て方の作業時間短縮が大きく、当初3日を要した鉄骨建て方は、後半2日半で可能となった。表-4に6日サイクル工程を示す。

表-4 6日サイクル工程 (主要工種)

サイクル日数	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目
N階	反力柱建込 反力柱溶接	N階鉄骨建方	デッキ敷き・その他			リフトアップ
N-1階		梁・柱溶接	床配筋			床コン打設
N-2階			ガラスCW取付		石装パネル取付	
N-3階		その他外壁取付 外周部シール				

■ シャトルクレーン主要搬送工事

4. システム導入時の留意事項

4.1 技術開発の基本姿勢

本システムの基幹技術である機械化・自動化のコンセプト「機械と人との協調作業」を実現し、施工において有効な技術を開発するためには、システムを構成している各技術の開発範囲およびレベルなどの整合性を図ることが必要である。

そこで、システムの開発目的と技術開発のコンセプトについて検討・整理し、機械化・自動化の基本方針を決めた。表-5に検討結果を示す。

4.2 安全管理

システムの適用範囲が広く、多くの機能がある機械設備ほど不具合発生時の波及範囲が大きくなると同時に、操作ミスに対する許容の幅が小さくなり、設備故障を防止するための点検や保全体制の確立、および安全教育や訓練が必要になる。同時に、どういう故障がおきやすいかを予測し、その対策を準備しておく予防保全も重要である。そこで、システムの組立・解体、および稼働期間の安全管理について検討した。表-6にシステム組立時の安全管理を示す。

表-5 本システムの開発目的と技術開発コンセプト

開発目的	内容	技術開発のコンセプト		
		キーワード	開発の範囲	機械化・自動化の基本方針
施工品質	溶接、コンクリート打設、外部シール作業の施工品質	全天候	すべての作業を全天候空間で行う	各種作業に必要な設備、環境を整備する
生産性	作業工数削減 作業の単純化 習熟効果	機械化・自動化 協調作業 安全と省力化	搬送装置と各種吊り具 リフトアップ装置 制御・計測 作業状況監視	機械同士の協調作業は自動化する 機械と人の協調作業は人の観点から自動化する 機械化・自動化の対策に必要なものを計測する 常に作業状況を監視する
作業環境 快適 安全	雨風をしのぐ作業環境 高所作業のない作業環境	全天候 高所作業削減	全天候作業空間の構築 側壁フレームの活用	安全作業に必要な設備、環境を整備する
工期 短縮 安定	雨による不稼働日の削減 サイクル施工の確立	全天候 人の協調作業 習熟効果	全天候作業空間の構築 風雨対策に必要な技術	サイクル施工の短縮・安定を図るため 技術の完成度を最優先する
管理業務 省力化 工種調整	施工情報の共有 サイクル施工への反映	情報化	作業員の入退場管理 建て方進捗管理 建方順序データ管理他	データの電子化を図る 使用目的、使用対象者を考慮した入力方法を選定する
現場 省力化 省資源化	現場作業の省力化 現場の廃材の削減	ユニット化	外壁パネル トイレ室 空調機器	安全・効率のよい搬送方法を選定する
環境調和	都市の美観に調和した現場 周囲に影響を与えない現場	作業空間の遮蔽 全天候	作業現場をシートで覆う 雨水の処理	特になし

4. 3 システムの品質管理

本システムは仮設備であるが、前項と同じ観点からシステムの品質管理基準をさだめ、組立工事をおこなった。

以下におもな管理項目を示す。

①リフトアップフレーム

ボルト接合部、および通路・幅木の取付け、施工状況など

②リフトアップ装置

油圧配管・配線の敷設、接続状況、および油圧ユニットの固定方法など

③シャトルクレーン

ロープの巻取り状態、および溶接・ボルト接合状況、トロリー線・制御線の敷設、接続状況、およびノイズ対策処理方法など

④電気設備

キュービクルの設置、および高圧ケーブルの敷設状況など

4. 4 危機管理

故障や災害が発生した場合、施工の早期復旧を図り、企業としての責任を遂行することも重要である。むしろ最近の事故例からは、この危機管理が重要であるケースが多い。

そこで、故障・災害発生時の各自の役割（だれが意思決定・指示するか、だれが復旧対策を実施するか、など）と行動（各自がどのように行動したらよいか）を明確にするため、システム稼働期間の危機管理について検討した。

なお、本システム稼働期間の安全管理・危機管理についての詳細は、別稿「同題その5」に示す。

4. 5 労働の質の変化

新しい技術を導入したらどうなるのか、新しい技術が新たに要求するものは何か、などの観点からの検討も必要である。

すなわち、機械化・自動化が要求する従来とは異なった労働の質は何かということである。表一七に機械化・自動化が要求する労働の質の変化を示す。

表一六 システム組立時の安全管理

項目	内容	対策	関連図書
資機材搬出入	搬出入時間の管理	近隣協定の周知徹底	資機材搬入計画書
	搬入車輛の管理	道路上の待機禁止	〃
		車輛数の確認	〃
	搬入資機材の管理	搬入資機材の確認	〃
仮置きヤードの確保		〃	
仮置き方法の確認		〃	
鉄骨組立	計画の検証	施工実験結果の反映	実験報告書
	工程の管理	仮置きヤードの確保	鉄骨組立要領書
	組立手順の管理	職員が立会	〃
	組立精度の管理	製品受入検査の実施	受入検査要領書
クレーン地組	計画の検証	工場仮組の実施	組立要領書
	工程の管理	組立エリアの確保	〃
	組立手順の管理	職員が立会	〃
	精度の管理	職員が立会	〃
クレーン上架	計画の検証	シミュレーション実施	上架要領書
	上架手順の管理	職員が立会	〃
	安全管理	職員が立会	〃
		リフトの同調制御	〃
リフトアップ装置組立	計画の検証	施工実験の実施	実験計画書
	工程の管理	職員が立会	組立要領書
	組立手順の管理	職員が立会	〃
クレーン調整 (手動・自動)	工程管理	指示合図の徹底	調整要領書
		地下工事との干渉調整	〃
		チェックリストの作成 監督員との十分な打ち合せ	〃
リフトアップ調整	工程管理	指示合図の徹底	調整要領書
		チェックリストの作成	〃
		監督員との十分な打ち合せ	〃

表一七 機械化・自動化が要求する労働の質の変化

労働の質の変化	内容
労働の知識化	①技能だけでなく管理の知識が必要になる。
	②各種の計測結果、状況判断から装置に何が起きているのかを解析できる知識が必要になる
多能工	①労働の知識化とともに、従来の技能の他に機械化・自動化に関する知識を使うため、職務範囲の拡大につながる
保全要員	①不具合を未然に防ぐための定期点検が必要になる
	②不具合の波及を防止するための補修作業が必要になる
教育訓練	①操作方法に関する教育・訓練が必要になる
	②操作ミスの排除と異常処理に即応するための教育・訓練が必要になる

5. 現場適用結果

システム適用の結果、全天候型自動化施工システムとしてさまざまな効果を確認できたとともに、今後の検討課題も把握できた。

以下、主要なものを述べる。

5. 1 全天候作業空間による効果

高層棟の躯体工事を開始した後、97年1月にシステム適用による施工を終了するまで、約1ヶ月の雨天日を経験したが、全天候作業空間による施工環境により工程の遅れは生じず、計画通りの工程で進んだ。

このことは工期短縮、安定化および施工品質の向上などの面でのメリットも大きいですが、副次的なものとして、現場職員にとって工程調整をおこなう手間が減少したことも大きなメリットであった。

5. 2 機械化・自動化による効果

クレーンの自動搬送による効果として、鉄骨工事における玉掛け・合図者の負担軽減がある。特に、限られた空間であるリフトアップフレーム内部での搬送は細かい誘導を必要とするが、自動搬送経路生成ソフトは合図者に替ってこれを実現した。

また、自動搬送はクレーンオペレータにとっても肉体的・精神的両面での負担軽減をもたらした。

機械化・自動化要素技術の中の自動化吊具も適用の効果が高かった。梁のまとめ吊り装置、自動玉外し装置による鉄骨搬送・取付作業の効率化は、習熟が進むにしたがって作業時間の短縮をもたらし、6日サイクル施工実現の一つの要因となった。

5. 3 ユニット化・プレファブ化による効果

当初目的とした、品質向上・施工の省力化・廃材の削減をいずれも実現した。

特にユニット化されたガラスカーテンウォールおよびトイレユニットの施工においては、現場作業がこれまでの施工方法と比較し、それぞれ17%および23%の工数ですむなど、大幅な省力化となった。

5. 4 側壁フレーム足場の効果

本システムでは、側壁フレームを積極的に作業足場として使用し、高所作業を削減した。

外部シール作業においては、在来施工のゴンドラによる作業と比較して、上記と同様、約60%に省力化することができた。

以上ユニット化・プレファブ化、および側壁フレーム足場の効果の2項については、別稿「同題その3」に、より詳しく述べているので、参照されたい。

5. 5 本システムの課題

今後、本システムを普及させ、展開していくためには、次に示す4つの課題を解決する必要がある。

- ①建物の高層化による工期短縮効果の拡大
- ②システムの軽量化と組立・解体の簡素化
- ③フレーム本設利用に向けた設計面での検討
- ④全天候による効果の工事原価削減への反映

6. まとめ

本システムの施工計画およびそれに基づく適用の結果を下記にまとめる

- ①全天候作業空間、機械化・自動化技術、ユニット化などにより構成する全天候型自動化施工システムを工事に適用した。
- ②工事適用に関しては、1階先行床・地下逆打工事と並行作業でシステムの構築をおこなう施工計画とした結果、無駄の無い工期を実現した。
- ③システムの導入に際しては、開発した技術の整合性、システムの安全管理・品質管理、危機管理などに留意した。
- ④この結果、現場施工に役立つ技術を開発できたとともに、システムによるさまざまな効果がえられ計画工程より1ヶ月早の上棟を実現したが、今後の課題もいくつか把握された。

本報は本システムの概要、施工計画、システム導入の留意点について述べたが、安全計画も含め、個々の技術についての詳細は「同題その2～5」、また吊具に関しては「クレーン吊具の自動化開発(その2)」にまとめている。本報と併せて御一読願いたい。

最後に、本システムは施工を担当されたJV職員の方々、ならびに社内および社外にわたる関係各部署の皆様のお指導・御協力をいただき、実現することができた。ここに担当者全員より、感謝の意を表します。