

吊荷姿勢制御ロボット「PENTA-KITE」の開発

谷 雄 一 田 坂 哲 美
*小 田 育 功 **水 上 邦 彦

要 旨

九州支店ベスト電器本店新築工事において、施主からの工期短縮の要望に応えるため、その一方策としてPC板取付工事の工程短縮に有効なロボット「PENTA-KITE」の開発を行った。

開発にあたり、現場（福岡市）は冬の季節風が強いためクレーンで揚重したPC板の風対策を念頭に置くとともに、取付作業の効率化を図ることを目標とした。

PC板取付工事は93年12月から始まり94年4月に無事終了し、「PENTA-KITE」の導入により大幅な工程短縮が実現した。

1. まえがき

近年、鉄骨造の建物では、外壁に重厚感・高級感のある仕上がりが得られるPC板を採用することが多いが、このPC板の取付作業は、その形状ゆえに風の影響を受け易いことが問題となる。

たとえば、クレーンに吊り下げられた平板状のPC板は空中で風を受けて回され、取付時、作業員はこの回転を止めるために危険な作業を強いられる。このため、風の強い日は作業中止を余儀なくされ、季節によっては工程の遅延をもたらす結果となる。

また、PC板の取付作業では、躯体の鉄骨にPC板を固定する際の位置合わせに手間と労力を必要としている。通常、この作業は、クレーンフックにチェンブロックを介してPC板を吊下げ、クレーンオペレータへの合図とチェンブロックの操作を連係させて行う、手間のかかる作業となっている。

このような状況を踏まえ、ベースとなるファンを備えた吊具のメーカーである(株)福島製作所と共同で「PENTA-KITE」を開発した。

2. 開発の経緯

2.1 開発の目的

九州支店ベスト電器福岡本店・みすず庵共同ビル新築工事のPC板取付作業において、

- ①PC板引寄せ時の安全性確保
- ②風による作業不能日率の低減による工期短縮
- ③PC板取付作業の効率アップ

の3点を目的として開発に着手した。

2.2 既存装置の調査

PC板取付作業における既存装置を調査した。

調査結果を表-1に示す。T社の装置は大型・大重量であるため、福島製作所の装置をもとに検討することとした。

表-1 既存装置

項 目	福島製作所	T 社 (参考)
吊上荷重	標準機 max.6t	max.14t
外形寸法	長4.18m (折畳時2.78m) ×幅1.36m×高1.1m	長5.5m×幅1.3m ×高2.6m
本体重量	700kg	8ton (カウンタ ウエイト4ton)
動 力	ガソリンエンジン(13ps) 油圧ユニット(210kg/cm ²)	45KVA発電機
ブロー	油圧駆動 回転数5500rpm (定速) 口径105mm φ (一方向吹出) 推力9kg (1台当)	7.5kw×2 インバータ制御 回転数1800rpm (可変) 口径900mm φ (双方向吹出) 推力30.3kgf (1台当) 風量750m ³ /min (1台当)

*九州支店ベスト電器福岡本店・みすず庵共同ビル
新築工事事務所 工事所長

**九州支店ベスト電器福岡本店・みすず庵共同ビル
新築工事事務所 工事主任

表一2 既存機の問題点と対応

区分	項目	既存装置の問題点	実施内容
装置全般	寸法・重量	吊点位置がPC版サイズに最適ではない	○デザイン及び最適寸法見直し 設計変更
	動力	エンジンの騒音が高い	○エンジンルームおよび 吸・排気系統、消音対策実施
作業性	旋回制御性	一定回転で細かい操作が出来ない	○高速/低速2段階無線切替
	部材位置決め	チェンブロックによる手作業で能率が悪い	○油圧シリンダーによる高さ及び 傾き制御機構(微動操作付)
操作性	自動制御	狭隘な場所で接触等の危険性が高い	○光ファイバージャイロによる 制御装置、工場試験中
	無線遠隔操作	左右の誤操作を起こしやすい	○ファン・油圧シリンダー 色分表示
安全性	部材破損 部材立起時揺動	部材立起し時 吊点破損の可能性がある	○油圧制御によるイコライザー 機構を採用
	荷ぶれ防止	ロープ等による手作業 で危険性が高い	▲ファンのパワー不足により断念

2.3 機能検討

那須技術研究所本館建設工事の外壁PC板取付作業において、(株)福島製作所の既存機を使用し、性能確認試験を行って必要機能の検討を行った。

その結果、既存機に必要な機能を付加することで、目的を達成できると判断した。

表一2にその検討結果を示す。

3. 装置概要

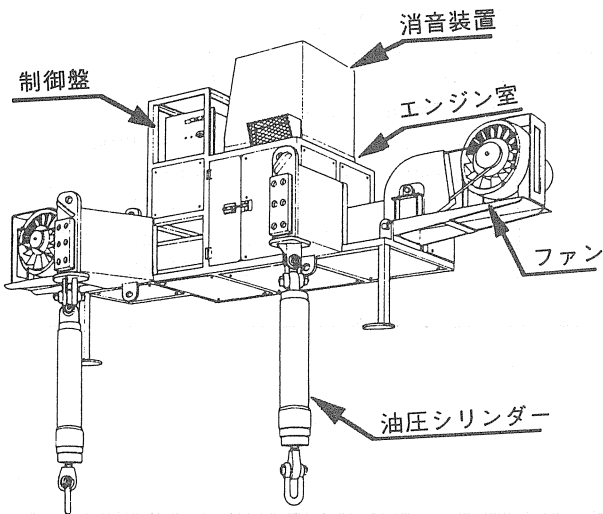
以上の検討をもとに設計・製作し、「PENTA-KITE」が誕生した。

「PENTA-KITE」は、ファンの推力により風等による吊荷の回転を防ぎ、向きを制御する機能とともに、油圧シリンダーによる吊荷位置制御機能とイコライザー機能を有しており、作業の安全性向上と省力化が図れ、作業時間の短縮が可能となる装置である。

「PENTA-KITE」の概念図を図一1に、基本仕様を表一3に示す。

表一3 基本仕様

項目	仕様
吊上荷重	6 ton
主要寸法	幅 3500mm (折畳時2070mm) 奥行 1200mm 高さ 2480mm (シリンダ収納1550mm)
重量	約930kg
動力	ガソリンエンジン (13ps) 消音装置付 油圧ユニット (210kg/cm ²)
ブロー	油圧駆動 回転数5500rpm (高速) 3500rpm (低速) 口径105mm φ (一方向吹出) 推力11kg (1台当)
油圧シリンダー	ストローク500mm
無線装置	特定小電力無線 サイクリックデジタル伝送



図一1 概念図

また、写真-1に「PENTA-KITE」の全景、図-2に外形寸法図を示す。()内数字は既存装置の寸法である。適用できる吊荷(標準6t)は、「PENTA-KITE」の吊点間隔1500mm、シリンダ長1140mmであるため、

吊荷吊点間隔 $=1500+2 \times 1140 \times \sin 30^\circ$ となり、吊点間隔2640mmとなる。ただし、シリンダ長は、シリンダーにワイヤーを掛けて使用する場合には、シリンダーとワイヤーの長さを加えたものとなる。

図-3に吊点寸法を示す。

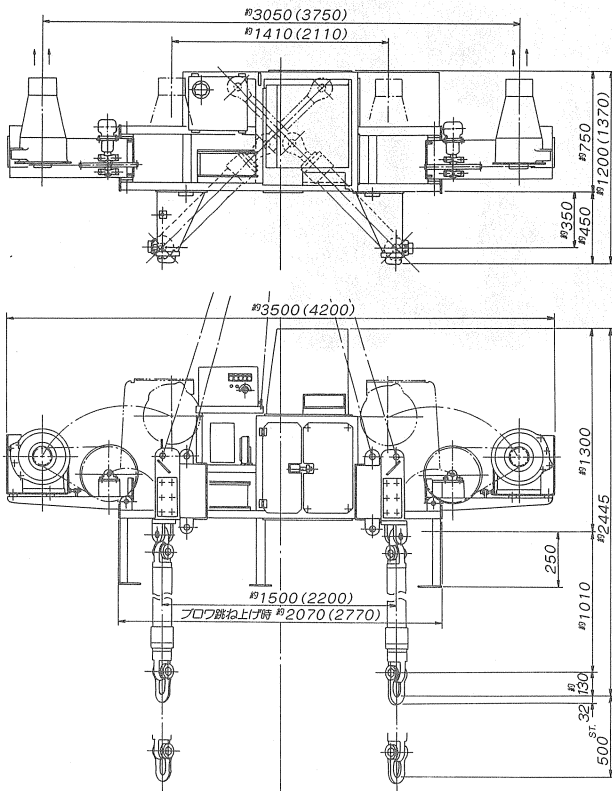


図-2 外形寸法図

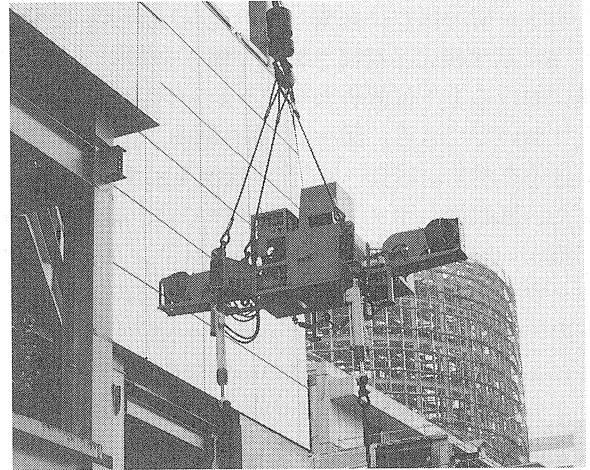


写真-1 PENTA-KITE全景

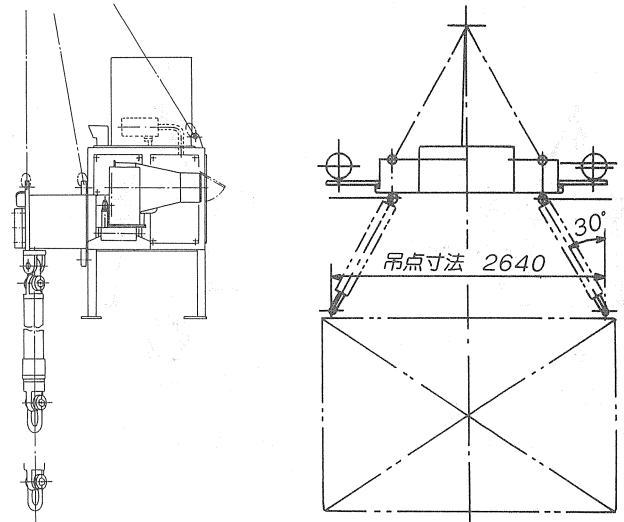


図-3 吊点寸法

4. 特徴と効果

① 吊荷の回転防止・方向制御

両端に装備したファンにより、風などによる吊荷の回転を止め、吊荷を任意の方向に向ける事ができる為、クレーン作業の際、吊荷が建物等に接触し破損する等の危険がさげられ、人手あるいは補助ロープ等で回転を止める等の危険作業が無くなる。

また外壁PC板の取付作業等では、搬送中に吊荷を取付方向に揃える事で、取付場所では直ちに取付作業にかけられ、作業時間短縮がはかれる。

ファンの速度は高・低の2段階、ファンの取付巾もガーダー折たたみにより2段階設定が可能である。

写真-2は、吊荷の回転防止・方向制御状況である。

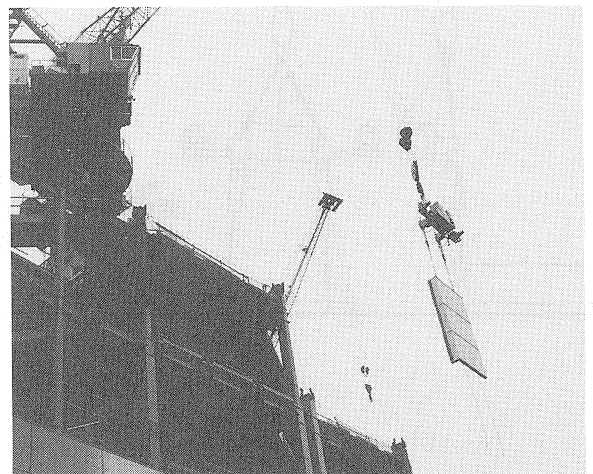


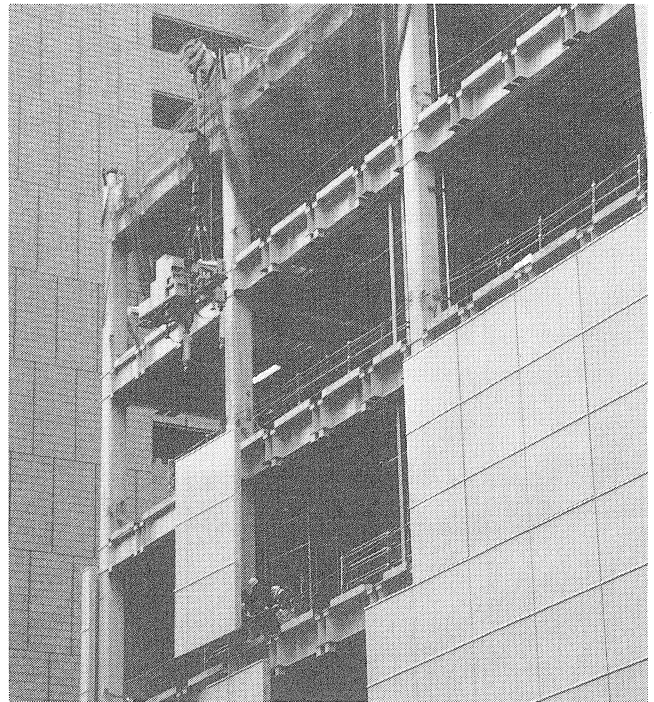
写真-2 PENTA-KITE作業状況

② 吊荷位置制御

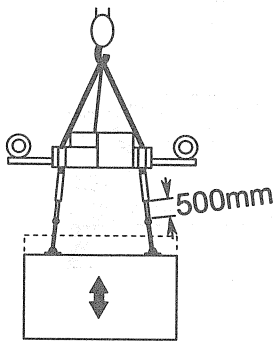
左右2ヶ所の吊点に装備した油圧シリンダーにて、図一4、5に示す様に吊荷高さおよび傾きを制御でき、取付作業における上下位置合わせがクレーンにたよる事なく手元においてできる。図一4に高さ制御、図一5に傾き制御の様子を示す。写真一3に作業状況を示す。

また、無線押しボタンの手動操作では、組立作業等吊荷に細かい調整が必要な場合、油圧シリンダーの作動ストロークにバラツキが生じるため、左右の油圧シリンダーの油圧作動時間をタイマーで各々独立して制御することにより、吊荷の上下位置の一定量微調整を行うインテュング機能を備えている。この結果、PC板の取付作業等を安全かつ迅速に行う事ができる。

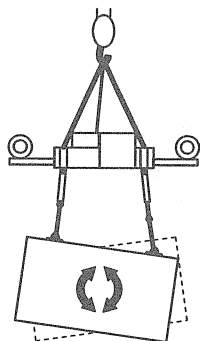
このような機能向上のために付加する油圧シリンダ、その周辺機器および消音装置などにより重量が増加するため、標準的なPC板の取付に支障のない範囲で本体寸法の小型化、軽量化を図るとともに、油圧シリンダーを水平に格納できるようにして損傷防止などメンテナンス性の向上にも留意した。



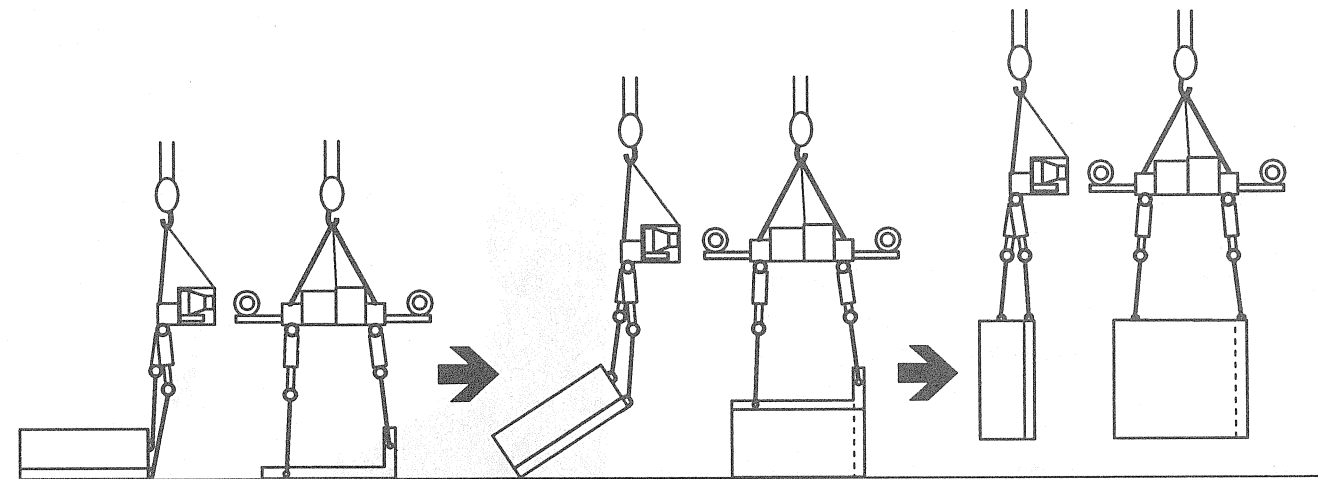
写真一3 吊荷位置制御状況



図一4 高さ制御



図一5 傾き制御



図一6 イコライザー機能説明図

③ イコライザー機能

油圧シリンダーは、油圧回路の切替えにより左右2ヶ所の吊点における荷重を均等にする機能を持つ為、片側のみに無理な力がかかる事を防ぎ、吊金物破損等の危険性が減少する。

また、図-6に示す様に、コーナー用L型PC板を立起こす場合、この機能を使用する事により、吊ワイヤーの長さを立起こしに従って自動的に追従調整する為、作業の省力化が図れ、安全性も向上する。

図-7左に示す様に、通常イコライザー滑車にて物を2点で吊る場合、吊ロープの張力は両側で均等となる。図-7右は油圧シリンダーにて同じ機能を実現する原理を示したものである。

実際の油圧回路はこれに各種の切替回路・制御回路が付加してあり複雑となるが主要な部分のみ抜粋して図-8に示す。

④ 低騒音の動力源

消音対策を施した本体に動力源としてガソリンエンジンを組み込み、外部電源供給等が不要で、騒音を気にせず市街地を始めどの様な場所でも使用が可能である。

消音効果は、ファン高速にて30m前方で76dB → 73dB 30m後方で73dB → 67dB に改善できた。

⑤ 無線遠隔操作

運転操作は無線式指令機にて行う。

本装置は、420MHZ帯特定小電力無線機器で、周波数変調方式のサイクリックデジタル伝送である。使用電波の多い街中でも、他の電波による誤動作が起きにくく、安全に作業ができる。操作スイッチ数は16個で、見通せるおよそ100mの範囲で使用できる。

⑥ 吊荷の自動方向制御

オプションとして、風等の外乱により吊荷が回転させられても、設定した方向に自動的に保つ自動方向制御システムを装備する事ができる。

予め設定した方位と吊具の回転方向・速度・方位などのデータをマイコンに入力し、比較演算を行い、駆動する左・右のファンの選択、およびファンの高速と低速、駆動時間などを制御部で判定・制御することにより、設定した方位に±10度以内で保持するシステムである。

回転方向・速度・方位を検出するセンサーは、高精度で振動・衝撃・ノイズなどに強くメンテナンスも容易、かつ低価格が実現しつつある、光ファイバージャイロを使用している。

図-9にシステムの構成を示す。

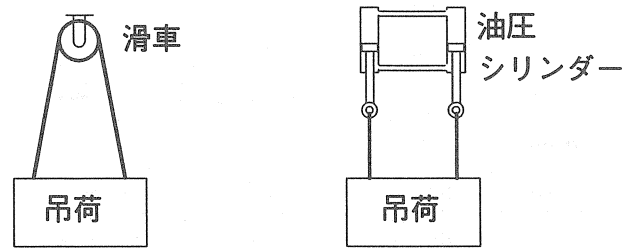


図-7 イコライザー滑車

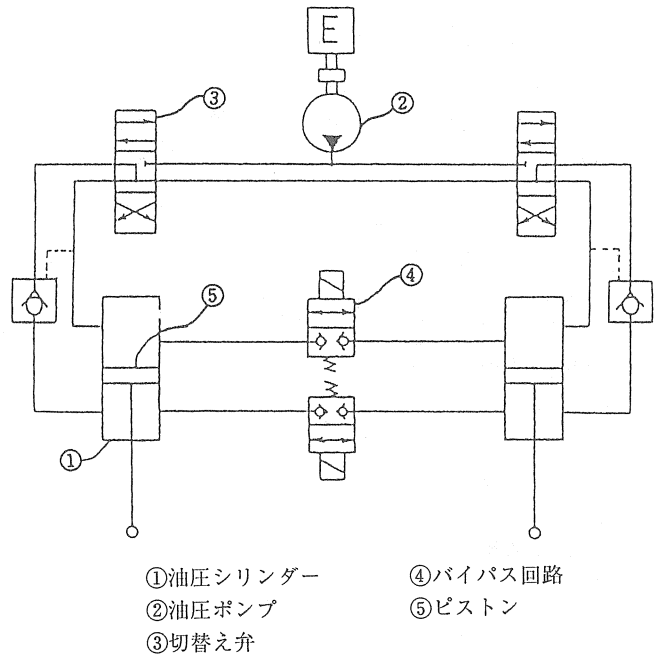


図-8 油圧回路

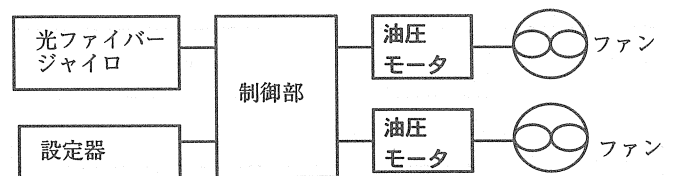


図-9 システム構成

5. 性能試験結果

本装置の主な性能試験結果を表一4に示す。

表一4 性能試験結果

項目	単位	試験結果				備考	
1 回転性能		90°	180°	270°	360°		
	3,460kg 拡げ (左右平均)	高速	16.30	24.30	30.10	34.60	B6.1m
		低速	21.40	31.40	39.20	45.60	×
	縮め	高速	24.00	36.90	46.20	54.10	H1.9m
		低速	—	—	—	—	
	7,300kg 拡げ (左右平均)	高速	23.80	37.70	47.50	56.00	B 6.1m
		低速	47.80	71.30	87.30	102.00	×
	縮め	高速	—	—	—	—	H1.9m
		低速	—	—	—	—	
	800kg 拡げ (右回転)	高速	—	8.30	—	12.40	B 3.4m
		低速	—	10.20	—	14.50	×
	縮め	高速	—	12.90	—	18.30	H0.7m
低速		—	14.00	—	20.20		
2 ファン推力		推力(kg)	Eng.rpm	ア 07rpm			
	高速	10.80	1,720	4,860			
	低速	7.50	1,265	3,480			
3 騒音	高速	対策前	対策後				
		dB 前30m 76 → 73	dB 後30m 73 → 67				
	低速	dB 前30m → 65	dB 後30m → 64				
4 油圧シリンダー	① 速度	3.5ton	mm/s	7.3ton	mm/s		
	500mm上げ (高速)	右	sec 3.90	128	7.30	68	
		左	sec 3.80	132	6.90	72	
	500mm下げ (低速)	右	sec 7.40	68	7.00	71	
		左	sec 7.50	67	7.20	69	
	② インテング	3.5ton	7.3ton			タイマー	
	上げ (高速)	右	mm 13.0	5.0		0.05sec	
		左	mm 11.2	5.6			
	下げ (低速)	右	mm 3.2	8.0			
		左	mm 2.5	6.7			

6. 施工実績

①適用工事

ベスト電器福岡本店・みすず庵共同ビル新築工事の概要を表一5に示す。

表一5 工事概要

所在地	福岡県 福岡市
建物規模	建築面積 1,115㎡ 延床面積 14,127㎡
	地下3F 地上12F PH1F
構造	S造(1~12F) SRC造(B1) RC造(B2・B3)
外部仕上	磁器タイル打込みPCa板
	数量674枚 (重量1t~6t)

②適用結果

PC板取付作業に適用し、約40%工程を短縮できた。本工事では、地上1階から6階まで(第1回施工)、7階から12階まで(第2回施工)と前半と後半に分けてPC板取付作業をおこなった。適用結果を表一6に示す。

第1回施工では約30%の工程短縮であったが、第2回施工では50%近く工程を短縮できた。これは、作業員が「PENTA-KITE」の操作に習熟したこと、また、「PENTA-KITE」を使ったPC板取付作業手順、段取りがスムーズになってきたことなどの理由が考えられる。

表一6 適用結果

	第1回施工	第2回施工	計
計画工程	暦日62日	暦日61日	123日
実績工程	暦日44日	暦日32日	76日
実績/計画	0.71	0.53	0.62

7. 使用上の留意点

①自重が930kgある為、仮設計画の際、クレーン能力に余裕をみる必要がある。

②回転性能は吊荷形状により大きく変わる為、特に横長のPC板では注意が必要である。

8. 今後の展開

このように、クレーンを使用して揚重・搬送し、かつ、取付時に高さ位置の微調整を必要とする作業において、安全性や効率の向上が期待できるため、本技術の改良・応用により建築分野のみならず広範囲な用途への適用が考えられる。

また、開発中の光ファイバージャイロを利用した自動方向制御機能を付加することにより、作業性・操作性などが向上し、さらに適用範囲がひろがるものとおもわれる。

9. おわりに

「PENTA-KITE」の開発は、当初の予想を上回る成果が得られた。これは、単にロボットを導入することではなく、ロボット導入を前提とした関係者全員の効率向上への取組みにより、ロボットの能力を最大限に発揮させることができたためである。

本開発の成果を踏まえ、「PENTA-KITE」に続く建築施工に有効なロボットの開発を更にすすめて行く所存である。

おわりに、機能確認試験にご協力頂いた那須建築工事事務所、鎌取建築工事事務所および高田馬場建築工事事務所の皆様に厚くお礼を申し上げます。