PC 部材製造工場のオートメーション化

PC 住宅生産の CIM 構築 (その 1)

椎野 潤 ———*1

*1

キーワード：
PC 住宅生産, PC 部材製造, CIM, CAD/CAM, 総合的日程管理システム

AUTOMATION ON PC COMPONENTS FACTORY

CIM on PC Housing Manufacturing (Part-1)

Jun SHIINO

In this technical report, the author describes the Factory Automatization for PC Panel Production, the Panel of which is used for middle-rise apartment. The CAM data for automatic machine operation in the factory are processed from CAD data and supplied to the machine through the computer network. The flow of the materials and the products in process is rearranged and systematic production is realized. This is the case sample of CIM for the housing components production.

Keywords:
PC housing manufacturing, PC components production, computer integrate manufacturing, CAD/CAM, total schedule system

1 緒 言

住宅生産工業化の手段として開発された、壁式プレキャスト鉄筋コンクリート造中高層共同住宅（以下これを「PC 住宅」という）に用いられる、PC 部材（以下これを「PC 板」という）の製造工場（以下「PC 工場」という）における生産工程の合理化には、幾多の努力が重ねられて来た。

ひと頃は製造ラインへの自動機の導入等が各所で試みられたが、主力の生産設備として定着するには至らず、PC 工場の技術革新は必ずしも達成されていない。

これは、この工法で用いられる PC 板は、現場における施工効率の向上をめざして、運搬可能な限度まで大型化がすすめられ、現場での仕上材の取付け作業等を効率化するため、サッシュをはじめ多種類の部品、配管等を埋込んでいるため、PC 板が多品種となることに起因している。このため、形状・寸法・埋込み部品の構成が一品ごとに変わる PC 板の製造を、自動化することが極めて困難であった。

筆者は、この点に着目し、自社工場の生産の効率化を目標として、この調査研究に取組んで来た。まず、自動機が読み取るデータを効率良く確実に供給することが、技術的に極めて困難であることに気づき、自動機が作動するための CAM データを設計 CAD のデータから変換して作成する、CAD/CAM システムの構築をめざした。

次いで、この工場の操業を安定させるため、工場ばかりでなく営業・設計・工事部門を統合的に管理する、総合的日程管理システムを軌道に乗せ、1990 年には A 社の PC 工場の自動化を達成した。

本論文では、この工場の改革について報告する。なお、この論文は、当学会の論文集、情報システム利用技術シンポジウム等において既に発表した 11 編の論文に、新たな内容を加えて総括したものである。

2 工場自動化の方法とその課題

2.1 多品種少量生産の工場自動化の方法と課題

組立工業においては、多品種少量生産の自動化を目指して開発された、FMS (Flexible Manufacturing System) が成果をあげている。ここでは、加工・組立作業そのものの効率化だけではなく、段取り替え時間の短縮をめざして、治工具の取替え装置や、加工・組立データの自動供給機構が開発されており、総合的な自動化が進められている。

しかし、この生産方式では、加工・組立の作業場所の前後に、仕掛け品が滞留しやすい。ここでは、各機械に仕掛け品を供給する自在な搬送機構の構築と、仕掛け品の流動在庫の減少が課題となる。

この解決をめざした多品種少量生産のための高度な自動化生産方

写真 1 FA 化 PC 工場の全景

*1 大成プレハブ 情報開発本部長・工博

*1 General Manager, Computer System Development Division, Taisei Prefab Construction, Dr. Eng.

図1 PC住宅生産システムにおける情報の流れ

式として、ランダムアクセス型FMS¹⁾が開発され実用化されている。しかし、この生産方式も、大型部材および重量物の製造においては、その仕掛り品の順番を自在に変えて機械や装置にアクセスする搬送が、空間的にも経済性からも実現性が乏しいものとなる。

同一の品種を大量に連続的に製造する場合の、自動化・効率化の手段として発達して来たライン生産においても、この製造ライン上で一品ごとに仕様の異なる製品を製造する「混流連続生産」が、自動車の組立ライン等、様々な分野で実施されている。これは流れ作業の直列に配置した様々な作業場所間を、搬送コンベアで連結し、生産順序を変えずに異なる品種の仕掛り品を移動させ、加工・組立を進めるものであるが、数多く存在する品種の内、取付け部品の多い品種、ないし形状が複雑で作業難易度が高い品種の影響を受け、全体の製造が遅延して、ラインのバランスが崩れる欠陥を持つ。この防止には、製品の生産設計の整理が重要であり、さらにきめ細かい生産管理が要求される。

2.2 PC工場の自動化とPC住宅生産システムの情報による統合

7~8tに及ぶ重量をもち、大型な製品であるPC板製造の自動化を、ランダムアクセス型FMSとして実現するのは、経済的な視点から見て困難であると判断し、混流連続生産⁸⁾による製造ラインの構築をめざした。この効率良い生産を実現するため、生産設計¹²⁾および生産管理^{2)~8)}の改善を、工場自動化と平行して進めた。

PC住宅生産システムにおける情報の流れを図1に示す。設計CADのデータをCAMデータに変換し、これをPC工場に供給する「技術情報の流れ」が図の左側(図中*印)に記載してある。

また、PC工場で継続的に製造が続けられるように、営業・設計・工事部門等を統合的に管理する、総合的日程管理システムを中心とする「管理情報の流れ」を、図の右側(図中**印)に示してある。

このPC住宅生産システムでは、技術情報と管理情報が適時・的確に伝達され、物の流れと同期化して生産が進行して行く。すなわち、PC住宅生産システム全体を、このようにコンピュータ情報によって統合化することが、PC工場の自動化を実現する前提である。

3 PC工場のFA化計画

3.1 基本的な考え方

PC板の製造は、多品種少量個別受注生産の生産形態をとってお

表1 計画の対象とした工場の概要

●名 称	A社C工場(埼玉県川越市)	●主要機械概要	バッチャープラント	1基(1.5㎡)
●工場設立	1970年10月	●生産品目	クレーン	37基(0.5t~10t)
●FAライン完成	1990年5月	●日産生産能力	ボイラー	4基(2t~5t)
●敷地面積	83,302㎡		自動ベッド搬送装置	512m
●主要ライン面積	製造ライン 10,512㎡		NC鉄筋溶接機	1基
	鉄筋メッシュ製作ライン 11,870㎡		自動ベッド研磨機	1基
	型枠組立ライン 15,186㎡		型枠清掃機	2基
	製品保管場 20,740㎡		自動ベッド保管立体倉庫	1基(44ベッド格納)
			自動製品搬送台車	5台
			FAライン: 145枚	220㎡ 1480㎡
			定置ライン: 36枚	40㎡ 250㎡
			計	181枚 12戸 260㎡ 1730㎡

図2 FA化PC工場のレイアウト図

り、ただ単に個々の工程への自動機の導入のみで、経済的な効果を上げるのには困難が多いと判断された。そこで、この工場のFA化(工場の生産システムの自動化、以下これを「FA化」という)は、作業者が行なう作業を自動機に全て置き換えることに重点を置かず、工場全体が連携して各部署が稼働する、システムの生産をめざした¹²⁾。すなわち、実現可能な範囲を限定して、各々の作業場所における自動化を進め、システム全体の相乗効果を発揮することを期待し、以下を重点として基本計画を立案した。

(1) 工程間の物流の自動化

(2) 各工程における物と情報の流れの同期化

3.2 計画対象とした工場の概要

この工場は、生産効率の向上、労働負荷の軽減、PC板の品質の安定化をめざして1970年に建設された。操業開始以来、首都圏に建設されるPC住宅に用いられるPC板を、定置平打式の生産方式で製造してきた。1988年にはFA化計画に着手し、混流連続生産によるフローラインを建設して1990年から操業を開始した。

工場の生産品目、生産能力等を表1に示す。

3.3 計画の概要

3.3.1 主要工程のフローライン

主要工程については、図2の左側に図示するごとく、工場を一巡するループ状のコンベアを設置して連続生産ラインを形成した。また、これによって、各工程に流す情報と必要な部材とを、同期して

渡すFA工場の基本的な仕組を確立した。

この内、先付け部品取付け等の工程(写真2のi)は、作業内容がプロジェクト毎に変動して多様に変化するもので、流れる製品の変化に対応する柔軟性を優先して、工程を細分化することは避けている。その取付けはいずれも手作業によった。

また、コンクリート打設および本仕上げの各工程においては、シーケンスコントローラ制御のコンクリートの打設機(同ii)と、板の表面を加振しながら平滑化するコンバータおよび自動仕上げ機(同iii)を用い、これ等に対してはコンピュータによるプログラム制御の機構を付与した機器類を配備した。

3.3.2 製品の吊出し及び搬送装置

硬化したPC板の吊出しは、ティーチングによるデータ入力機能と、プログラム制御機能とを併せ持つ自動クレーンを用いた。また、PC板ストックヤードへの搬送は、指定した貯蔵用ラックまで、自動台車によって搬送する計画とした。

3.3.3 鉄筋メッシュ製造ライン

ループ状をなすPC板製造ラインの上部2階に鉄筋メッシュの製造ライン(図2の右側、および写真iv)を設置した。このラインもプロジェクト毎の設計・仕様の変化に対応すべく、混流連続生産の一個流し生産をめざす多品種少量生産型ラインである。最終目標としては、ジャストインタイムで1階のフローラインに、異なる鉄筋メッシュを一枚ずつ供給することをめざしている。但し、無在庫生

i. 先付け部品取付け工程(1)

ii. コンクリート打設工程

iii. 本仕上げ工程

iv. 鉄筋メッシュ製造工程

写真2 工場の製造ラインの各工程

産は、一部の機械故障の発生時に全ラインの停止を招き、その損失が大きくなるので、現在はその前段階として小ロット生産を行なっている。

3.3.4 型枠製造ライン

PC板が多品種化に対応できるかどうかは、型枠の適応力にかかっている。また、型枠の作業量は、PC板の製造ロットの規模および製品構成の変化の影響を受けて著しく変動する。従って、型枠製造ラインとしては混流連続生産は適さない。将来、ランダムアクセス型FMSへ進化させることをめざし、FA化のインフラストラクチャーとして、型枠の搬出入及び保管の自動装置を設置している。

4 工場を支える体制の構築

4.1 生産管理システムの構築

4.1.1 総合的日程管理システム

工場に高額の設定投資を行なうと、その償却費を回収するために、操業率を維持向上することが経営上の課題となる。

個別設計の受注生産品であるPC板の製造において、その工場の操業率を維持するには、受注量が確保されているばかりではなく、確認申請許可等が完了した工事物件が、切れ目なく存在し、工場の生産予定が安定して継続される必要がある。

この工場生産の安定化のために、営業・設計・見積・調達・製造・工事の各部門が互いに協力して、部門横断的管理を行なう体制を構築した。この体制を構築するための調査研究を重ね、各部門の動きを統合し支援する、コンピュータ情報システムを開発した^{2)~4)}。

また、製造を終えたPC板を計画通りに出荷する体制づくりをめざし、多数の現場工程を統合管理するマルチプロジェクトコントロールの体制を整備し、PC板在庫量の削減を実現した^{5),6)}。

4.1.2 フィード・フォワード・モード生産管理

FA化では、工程間を流れる物と情報が同期化され、計画通り作られた部品が、同時に合流して組立てられていく。このようなシステムの生産では、予定した計画より早く通過するものがあると、工程全体の混乱を招く。すなわち、この工場の生産管理では、計画を綿

密に立て、生産は計画通りに実施する「フィード・フォワード・モード生産管理」を実行する必要がある。

この工場では、コンピュータを用いた生産管理システムにより、PC板の製造当日の投入に備えて、型枠・鉄筋メッシュ等が、数日前から準備され、分単位のレベルでフローラインに投入される管理体制をとった。また、設計内容の異なるPC板が、一つのフローライン上を流れて行く混流連続生産では、ラインに投入する順序によって、生産効率が変動する。このため、フローラインへ投入するPC板の品種別の最適投入順序について分析し、工程計画の基準を設定した^{7),8)}。

4.2 CAD/CAMシステム

PC板は個別設計に基づいて製造されるため、このFA化においては、PC板を製造する自動機を設計し、これをフレキシブルに稼働させることが難しいばかりでなく、自動機が読み取るデータを作成し、安定して供給することが更に困難である。このため、FA化計画では、自動機が使用するCAMデータを、設計CADのデータから変換して供給する体制を構築することとした。

CAMデータを安定供給するために、その元データを生成する設計CADの作図を安定させた^{9),10)}。また、CAMデータは、本社の生産技術部門で作成し、工場に電送する方式とした。工場では、このデータを受けて生産順序に並べ替え、工場内のLANを通じて、各機器の制御コンピュータおよびシーケンスコントローラに転送している¹¹⁾。

4.3 生産設計の体系化

製造ラインの自動化を計画し、人が行なう作業を自動機に置き換えるには、生産設計の全面的な見直しが必要となる。FA化計画にあたり、同時に、PC板の製品設計についても徹底的な見直しを行なった。

また、設計CADからCAMデータを作る場合には、設計過程で発生する変更・修正を可能な限り削減して、CAMデータの作成時における手戻りを減少させる必要がある。これは設計から生産に至る一連の工程品質の管理の上でも重要なことである。このために、PC

図3 コンピュータネットワーク

表2 フローラインの月別平均送り間隔時間

(単位: 分/回)

年度 \ 月	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	合計	平均	標準偏差
1990	8.8	8.3	7.2	7.9	5.9	5.3	5.5	4.8	4.6	4.6	4.6	4.3	71.8	6.0	1.628
1991	6.0	4.5	4.4	4.8	4.9	4.8	5.5	6.1	5.8	6.1	4.9	4.3	62.1	5.2	0.684
1992	4.7	4.2	4.1	4.1	4.3	4.0	4.1	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	49.0	4.1	0.237
1993	4.1	4.0	3.9	3.9	4.0	3.9	4.1	3.8	3.8	3.8	3.7	3.7	46.7	3.9	0.138
合計													229.6	4.8	—

板の設計段階においては、生産過程で用いる各生産要素と製品設計との関係について十分な確認を行ない、生産設計の内容を詳細に検討する体系を整備した¹²⁾。

4.4 コンピュータネットワーク

PC住宅の工業化を目標として進めたFA化は、これが核となって、本社および工場の全部門を横断する情報を、伝達・共用する仕組みに発展した。A社では、これを支えるインフラストラクチャーとして、コンピュータネットワークを構築している。

また、部門間・工程間におけるデータの共有化と伝達・利用をはかるために、データの標準化を進めて、さらに、機種異なるコンピュータ間におけるデータの相互交換を進めた。さらに、このシステムで用いるデータベースについては、利用者側のニーズに柔軟に対応することができ、しかも、容易に拡張することができるフレキシブルな体制を目指し、リレーショナルデータベースを中核としてシステム構築をすすめた。

図3にコンピュータネットワークを示す。

5 PC工場改革の成果

5.1 フローラインの効率向上の経過

FA化した混流連続生産のフローラインの生産効率を示す送り間隔時間(仕掛り中のPC板がラインから送り出されて行く時間の間隔、以下これを「送り間隔時間」という⁸⁾)の推移を、表2および図4に示す。この製造ラインは、1990年4月の操業開始以来、送り間隔時間が逐次短縮され、生産効率が向上している。初年度の1990年度における平均値は6.0分/回であり、4年目の1993年度では3.9分/回となり、時間は2/3以下に低減した。すなわち、一時間当たりの生産量は、10.0枚から15.4枚に増進している。

この月別平均送り間隔時間データを、経過年月数に対して回帰分析した結果、同データは級数曲線に回帰し相関係数 -0.872 を示した。

これは作業者と機械が共同して製造をおこなう体制に、習熟(同一の機能を果たすための行為の繰り返しによる効果¹³⁾)、以下これを「習熟」という)が存在することを示している。この習熟の形態は、個々の所要時間が級数曲線に回帰する「個別所要時間対数線型習熟」¹³⁾であり、習熟係数は84.6%であった。

操業2年目の1991年に、型枠製作の着手が遅れて、コンクリートを打設する型枠付きベッドの、ラインに対する供給が間に合わず、これにより工場全体の連携が乱れて、一時的に生産効率が低下した。しかし、同年10月にフィード・フォワード・モードの生産管理を導入し、綿密な計画をたて、各部門の業務が、計画した完了予定時間を厳守する体制に切替えられた結果1992年度以降は安定した。年度別の標準偏差は、表2に示すごとく1992年度は前年度の約1/3に減少し、その後も順調に低減している。

縦欄に月別平均送り間隔時間、横欄に累計製造月数をとる両対数グラフ上に、この級数曲線を記入した。図5はこれを示す。

5.2 PC工場におけるCIMの実践

経営工学分野ではCIMについて、「物と情報の流れの同期化・一元化、情報の共有化ならびに時宜を得た変換を手段とし、人・業務・異なる組織間の柔軟な統合により、諸業務の迅速化と新しい価値を創造する体系である」と定義している¹⁴⁾。

本報で報告したPC工場のFA化は、その生産に必要なとする膨大な量の情報を、コンピュータ支援のもとに統合的に管理し、これにより生産の自動化を進め、工場を系統的に動かすことをめざして推進してきた。この結果、工程間の物の流れが整理され、また物

図4 フローラインにおける月別平均送り間隔時間の回帰分析の結果

注) 年度は4月から翌年の3月までとする。

図5 累積製造月数と月別平均送り間隔時間の関係

の流れと情報の流れが同期化した。これに伴い、個々が独立して進められていた担当部門の業務や作業を、一連の流れのある姿に集約し、連携のとれた協調的平行作業として実施することができるようになった。すなわち、このシステムの下で、工場内の各部門および工程間のフレキシブルな統合が進展している。これは住宅部材製造における CIM の実践による成果と自負している。

この CIM の実現によって、PC 板製造が予定通り進められるようになり品質も向上し、A 社の工場群の中で、最も経済的で効率の良い生産が実現されている。

6 結 言

本論文では、A 社において住宅生産工業化の将来の在り方を求めて推進してきた、PC 工場の FA 化の成果について述べた。

この PC 工場の FA 化は、PC 住宅生産をおこなう同社の、営業・設計・工場・工事等で用いている、コンピュータ情報システムを統合する端緒となり、全部門にまたがる業務の整備を促進するとともに、全社的 CIM 構築の原動力となり、長年にわたって推進してきた住宅生産工業化の動きを一層強化する核となった。

現在、厳しい経営環境の中で、ここに報告した PC 工場は、基幹工場として企業を支えている。基礎的な調査研究として進めて来た筆者のこの研究は、次世代を展望した企業改革の目標を明らかにするとともに、激化する経営環境の変化の下で、その技術改革を展開して行く強力な基盤となるものと信じている。

参考文献

- 1) 人見勝人：生産システム工学（第2版）、共立出版、pp. 40～41, 266～271, 1990.10
- 2) 椎野 潤ほか：住宅生産工業化と CIM, 第12回情報システム利用技術シンポジウム論文集, 日本建築学会, pp. 247～252,

1989.12

- 3) 椎野 潤ほか：住宅生産工業化と CIM, 企業全体の生産管理, 第14回情報システム利用技術シンポジウム論文集, 日本建築学会, pp. 371～376, 1991.12
- 4) 椎野 潤：PC 住宅生産の総合的日程管理システムの構築, 日本建築学会計画系論文集, 第465号, pp. 133～142, 1994.11
- 5) 椎野 潤：中高層 PC 住宅の工程別計画日数の分析, 日本建築学会論文報告集, 第276号, pp. 1～7, 1979.2
- 6) 椎野 潤：壁式プレキャスト鉄筋コンクリート部材を用いた住宅生産システムの経営工学的研究, 早稲田大学博士論文, pp. 146～207, 1980.2
- 7) 椎野 潤：PC 住宅生産の生産計画と管理, 第2回建築生産と管理技術セミナー資料, 日本建築学会, pp. 5～1～16, 1991.10
- 8) 椎野 潤：混流連続生産による PC 部材製造工場の工程計画, 日本建築学会計画系論文報告集, 第449号, pp. 117～126, 1993.7
- 9) 椎野 潤：PC 住宅生産の CAD・CAM システム, 第15回情報システム利用技術シンポジウム, 日本建築学会, pp. 459～464, 1992.12
- 10) 椎野 潤：設計と製造の統合を目指した作図システムの構築, PC 住宅生産の CAD/CAM/FA システムの経営工学的調査研究, その1, 日本建築学会構造系論文集, 第478号, 1995.12 (掲載予定)
- 11) 椎野 潤：住宅生産の工業化と CIM, PC 部材製造 FA 工場の CAM 情報システム, 第6回建築ロボットシンポジウム予稿集, 日本建築学会, pp. 17～24, 1992.2
- 12) 椎野 潤：住宅生産の工業化と CIM, PC 部材製造工場の FA 化を目指した生産設計, 第17回情報システム利用技術シンポジウム論文集, 日本建築学会, pp. 313～318, 1994.12
- 13) 師岡孝治：習熟性工学（改定版）、建帛社, pp. 4, 7, 20～22, 180, 548, 1994.5
- 14) 圓川隆夫：CIM そして IMS に向けて, 日本経営工学会, 経営システム, Vol. 2, pp. 4～11, 1992.6

[1995年6月28日原稿受理 1995年8月25日採用決定]