

バーチャルファクトリ利用による製造支援システム

Support System of Manufacturing Using Virtual Factory

技 術 本 部 藤 田 憲^{*1} 藤 原 直 之^{*2}
 佐々木 裕一^{*3} 三 浦 正 美^{*4}
 長崎造船所 飯 田 昭 男^{*5}
 高砂製作所 佐 郷 昭 博^{*6}

最近、多くの企業が、バーチャルファクトリに関する計算機による製造支援の研究を行い、様々なシステムを開発している。しかしながら、多品種少量生産型の工場を多く持つ当社では、これまでは机上検討が主で、計算機を用いて工場の製造ラインをシミュレーションして、製造方法を検討する例は余りなかった。そのため、工場の製造を開始する前に、製造上の問題点や課題を事前に把握することにより、コストの低減を提案できるシステムの開発が望まれていた。本報は、当社におけるバーチャルファクトリの取組みと、開発した製造支援システム及び実工場への適用例を述べる。

Enterprises around the globe have recently begun conducting research on computer-based virtual factories and systems to support production. Our firm has a large number of job-shop production plants, so little was done to plan computer-based production support. It was necessary to develop a system to propose cost cutting before manufacturing started at a plant, by determining manufacturing issues in advance. This paper describes the virtual factory, the factory support system we developed, and the application to actual plants.

1. ま え が き

“バーチャルファクトリ”“デジタルファクトリ”という言葉が、世の中でうたわれ始め、最近では、製造準備段階において、計算機を用いて製造を支援していくということが一部の業界では当たり前に行われるようになってきた⁽¹⁾⁽²⁾。

一方、当社のような受注生産品を主体として製造する多品種少量生産型の工場では、製造準備段階において、製造工程などをシミュレータによって事前検討する試みは、あまり行われてこなかった。

しかし、これまでの製造現場の改善だけでは、省人化、低コスト化には限度が出てきていた。そこで、繰返し製品でなくても、従来の実績を基に予想し、生産準備段階で製造上の問題点、課題を製造コストと共に定量的に事前把握できるシステムを開発することを目的に研究を進めてきた。

本報では、当社においてバーチャルファクトリを用いて、工場の生産性を定量的に評価して、向上させるための取組み状況とその開発したシステムについて紹介する。

2. バーチャルファクトリと当社の取組み

コンカレントエンジニアリングという言葉が使われ始めてから久しくなるが、日本でも言葉としての定義はなかったものの、昔から行われてきた技術である。例えば造船などでは、受注確定後6箇月後には建造を開始する。このため、設計が完了してから製造準備をしていたのではとても間に合わないため、設計が不確定な状態でも製造準備をし、製造に取掛るといった並行生産は、従来から行われてきた。

このように同時並行的な生産を実現する一つ的手段として、設計が未確定な状態でも、各生産過程での個々の加工プロセスや設備の動作をコンピュータ上で、シミュレーションすることで、これから起り得る問題点や課題を製造に移す前に把握するシステム

作りが望まれていた。

このようなシステムの究極の姿は、開発→設計→製造→出荷といった“工場全体”の生産活動を対象としたコンピュータシミュレーションシステムである。これが、コンピュータ内部に仮想的に作られた工場、“バーチャルファクトリ (Virtual Factory)”といえる。

バーチャルファクトリとは、図1に示すように、実際の工場から様々な情報を集めて作られたコンピュータ内部の“仮想”工場で“仮想”生産活動を行って評価することで、迅速かつ正確に、“実際”の生産計画を作成し、様々な改善案を実際の工場に提案しようとするものである。これにより、図面のミス、実際の工場における試行錯誤によるコスト、時間的ロスの削減が可能となる⁽³⁾。

当社では、このバーチャルファクトリを実現するための技術開発に取組んでいる。

当社における取組みとしては、運搬車などの製品の場合は、計算機を用いてシミュレーションを行って定量的に搬送車などの設

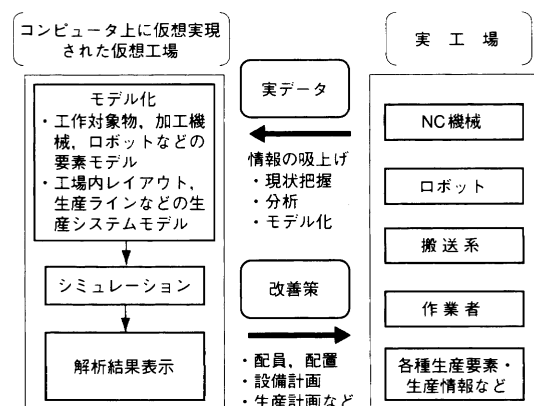


図1 バーチャルファクトリ概念 一般的なバーチャルファクトリについて示す。
 Concept diagram of virtual factory

*1 高砂研究所製造技術開発センター主席

*4 長崎研究所第二実験課

*2 高砂研究所製造技術開発センター

*5 香焼工作部船装課主席

*3 長崎研究所船舶・海洋研究推進室

*6 工作部重機械課長

備台数の適正数を導き出して出荷している。しかし、生産設備などの設備投資計画については、机上検討がほとんどで、シミュレータを用いた検討例は、これまで余りなされてこなかったといえる。また、実際の製造に関しても、少量生産品では、新たなものを作る頻度が多く、情報が正確でないこともあり、その生産の都度、現実の製造に移す前にその製造が問題なくこなされるかといった検討は、これまでは熟練した人々の経験と勘で計画されてきたといえる。しかし、熟練者不足となり、またこれまでの方式ではコスト削減にも限界がきていることから、従来にない対応が求められていた。

そこで、当社においてバーチャルファクトリを実現するための研究を進めてきた。

当社では、製品構成が多いことから、一品受注品で人手作業が主である造船製品、繰返し受注品として一般機械加工の多いガスタービン機械加工工場、中量生産品で自動化ライン生産が主のエアコン製品の3つの異なった製品を対象に研究を進めた。

この度は、これら、これまでに開発した製造ラインにおける改善システム化事例について紹介する⁽⁴⁾⁽⁵⁾。

3. 適用例

当社における適用例として、造船工場とガスタービン製作工場に適用した例について以下紹介する。

3.1 造船工場への適用例

3.1.1 造船用バーチャルファクトリ

近年、造船においては設計上流から下流まで一貫して情報を管理するCIM (Computer Integrated Manufacturing) が実用化されつつある。現在のCIMは、主に確定した情報を処理するシステムであるが、今後は、工期短縮や生産性向上のための様々な改善案の事前検証を支援するシステムが必要である。このような事前検証システムとして、バーチャルファクトリは造船にとっても有効であり、特に、生産計画や生産力強化の事前検討機能の開発が望まれている⁽⁶⁾。

そこで、生産計画を対象とした造船用バーチャルファクトリの構築を行い、有効性を検証するとともに、生産力強化への適用も試みた。

図2に、造船用バーチャルファクトリの運用イメージを示す。本システムでは生産管理システムの中日程データを用いて、複数の船を対象にシミュレーションを行うこととした。また、図2には船AからEまでそれぞれ異なるフェーズの船を示しているが、設計が未確定の船については、過去の実績船の情報を基に、中日程を推定することとした。このことで、長期的な生産計画の事前検討を行うことが可能である。さらに、本システムにおいて、工場内の各作業場所の能力を変更することで、生産力強化の事前検証を行うことも可能である。

3.1.2 機能概要

本研究では、市販のラインシミュレータをベースにして、造船用に機能を拡張した。以下に、拡張した主な機能の概要を示す。

(1) 工程自動調整機能

造船では、長期の検討を行う場合には、数万工程を取扱う必要がある。このような膨大な工程を対象に成立性を検討するためには、作業の平準化を自動で行う機能は必須である。この場合、造船工場固有の制約を保ったまま平準化しなくてはならない。そこで、市販ツールの平準化機能を拡張し、以下に示すような、造船固有の制約を取込んだ工程自動調整機能を開発した。

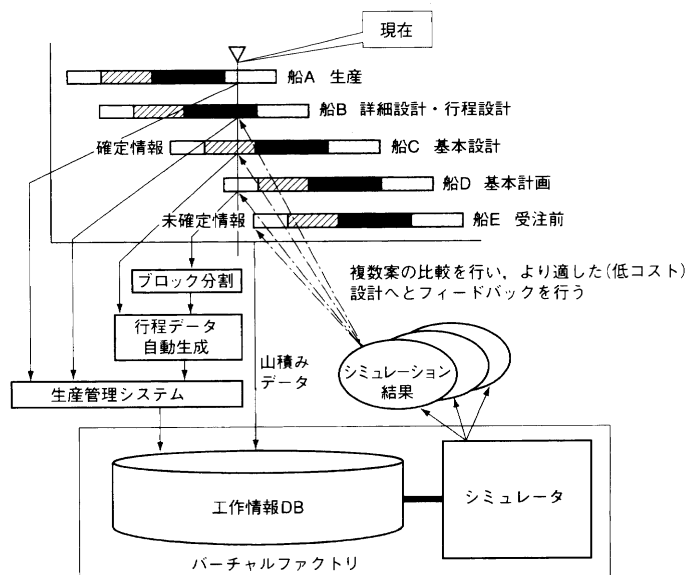


図2 造船バーチャルファクトリ運用イメージ バージナルファクトリを造船に適用した際の運用イメージを示す。
Image of virtual factory of shipyard

- ① PS工程の同期化：同一ブロックのPS (Port, Starbord) 工程については同一の着完日となるように工程を調整する機能。
 - ② 工程前後の制約の表現：マーキング日と搭載日は変更せずに、この間で工程を動かして平準化を行う機能。
 - ③ 物流における制約の表現：1日に着工できるブロックの個数の制約を保ったまま平準化を行う機能。
 - ④ 固定定盤検討機能：ある特定の種類の工程は同一作業場所でも連続して作業するように工程を調整する機能。
- (2) 再スケジューリング機能

長期の計画時には、未確定な情報が多く、各作業場所の負荷が不明なため、シミュレーション中に状況に応じて作業員の配員などを変更する必要がある。そこで、シミュレーション中にモデルの属性を変更することが可能な再スケジューリング機能を開発した。この機能を用いることで、各作業場所の負荷を常に把握し、負荷が高い作業場所へ付加が低い作業場所から応援派遣を行うことを模擬できるシミュレーションが実現できる。

3.1.3 生産計画への適用

開発したシステムを用いて、LPG船のドック期間短縮に伴う生産計画の検討を行った。今回は、最も生産性が高い組立棟での施工ブロックを増やすという新しい工法の検討を行うため、未調整の中日程データを基に生産計画を行い、各作業場所の作業量を平準化し、負荷や日程を検証した。ある作業場所の平準化結果を図3に示す。下が平準化後であるが、このように能力以内に収めることができ、新工法が成立することが検証できた。従来は、平準化に非常に時間が掛かっていたが、本システムは1日で行うことができた。有効性を検証することができた。

また、シミュレーション結果を生産管理システムへ戻して表示させた例を図4に示す。担当者はこの画面でシミュレーション結果を詳細に検討することが可能である。

3.1.4 生産力強化への適用

生産計画機能が実用レベルであることが検証されたので、応用として生産力強化による検討を行った。

例題として、VLCC連続建造能力増加の検討を行った。今回は、大きな工場改造の検討も可能であることを検証するために、

工場能力

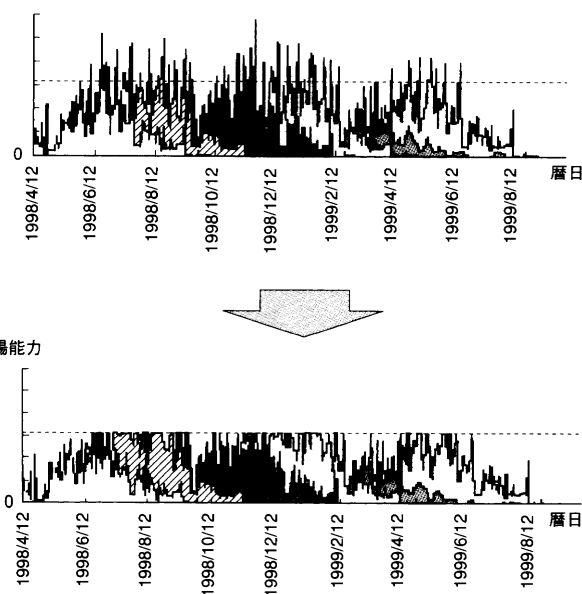


図3 平準化例 ある作業場所における作業負荷の平準化例を示す。
Example of leveling

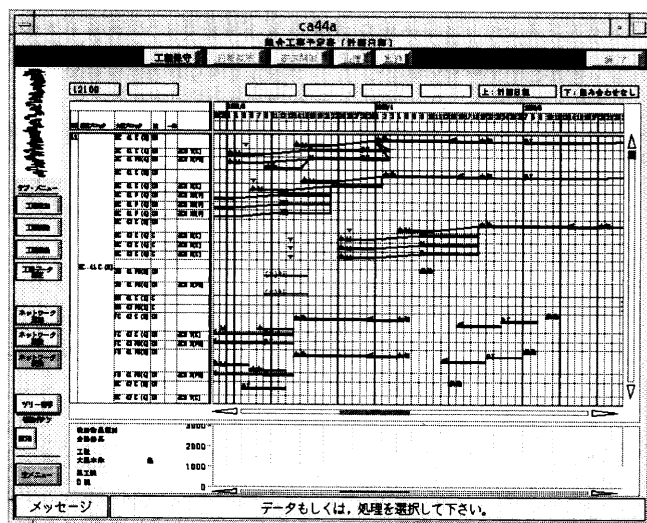


図4 シミュレーション結果 シミュレーション結果を生産管理システムで表示させた例を示す。
Result of simulation

非現実的であるが、タンカーを2隻同時に建造するという架空の案を検討した。具体的には、現状はドック期間40日で年間6隻建造しているのに対し、以下の対策を行うことにより、ドック期間60日で2隻同時建造を行い、年間8隻建造すると仮定した。

- (1) 艦(ぎ)装ドックも用いて同時に2隻を建造する。
- (2) ゴライアスクレーンの負荷を下げるため、クレーンを総組場からのブロック搭載のみに使用する。
- (3) 総組場を拡大する。

このような対策をシステムに組込んでシミュレーションを行った。その結果、各作業場の負荷を表示させることにより、ネックになると考えられる工程の事前検証を行うことができ、生産力強化の事前検討にも適用できることを確認した。

3.2 ガスタービン製造工場への適用例

3.2.1 ガスタービン製造バーチャルファクトリ

ガスタービン製造工場は、これまで主として蒸気タービンを製

造するために各設備機械を配置していた。しかし、時代の変化とともにガスタービンも製造するようになった。そのため、従来蒸気タービン工場として設備レイアウトされた工場内の既存の設備間の空きスペースにガスタービン製造用の設備を順次配置してきた。その結果、設備が混在し、物流が輻輳（ふくそう）してしまい、クレーン、フォークリフト等の搬送設備の取合いなどによる生産性の低下が懸念されてきた。

そこで、現在の工場の生産性評価、ネック工程・設備の把握、生産性向上策の検討をねらい、バーチャルファクトリを構築した。工場内物流の最も多いガスタービンロータ部品を対象とした。

3.2.2 製造情報のモデル化、データベース化

バーチャルファクトリを構築するために、工場におけるガスタービンロータ製造に関する様々な情報を詳細に調査した。具体的には、部材ごとの製造工程の情報（加工・段取時間、作業者等）、工場内設備の情報（設備・作業場の場所、クレーン、台車、搬送時間、仕掛品置場の大きさ等）等を調査した。

調査した製造情報をモデル化する手法として、モデル化表現言語である IDEF0 を用いた。IDEF は米空軍で開発された情報技術を活用するための方法の規定で、情報を整理する手段として非常に有効である。

また、調査・収集された情報は、現場の人でも簡単にデータの管理が行えることをねらって、EXCEL、ACCESS にて標準フォーマットを作成し、それに記述する方式で情報をデータベース化した。

3.2.3 ガスタービンロータ加工専用ライン構築への適用

製造情報データベース内に蓄積された電子データを用いて、従来のガスタービン製造工場のモデルを構築した例を図5に示す。本工場は、ガスタービンロータの部材の製造に関係のある設備のみをモデル化したもので、表現されていない部分があるが、実際は、設備等がスペースなく置かれているのが現状である。

図5に示すように、これまでの工場では大型の設備が多く、移設費用が大変になることから、新設設備を点在して設置していたため、物流が輻輳することによる生産性の伸び悩みがあった。

そこで整流化されたラインの構築による生産性向上を目指し、ガスタービンロータ加工専用ラインを構築することとし、生産性評価、更なる生産性向上策の検討が可能に本システムを開発した。

図6に、ガスタービンロータ加工専用ラインのシミュレーション

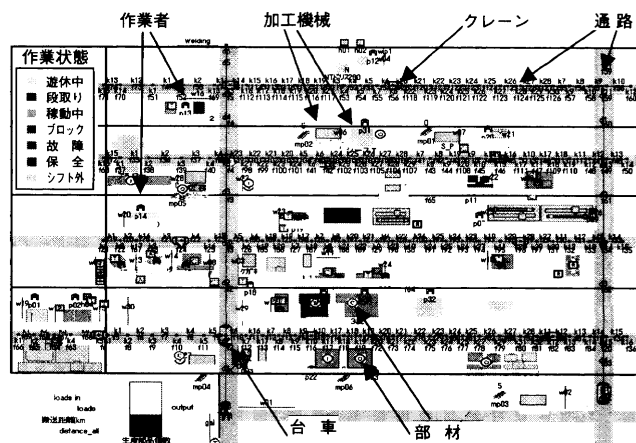


図5 シミュレーションモデル例 ガスタービン製造工場のモデル例を示す。
Modeling example of machine factory for manufacturing turbines

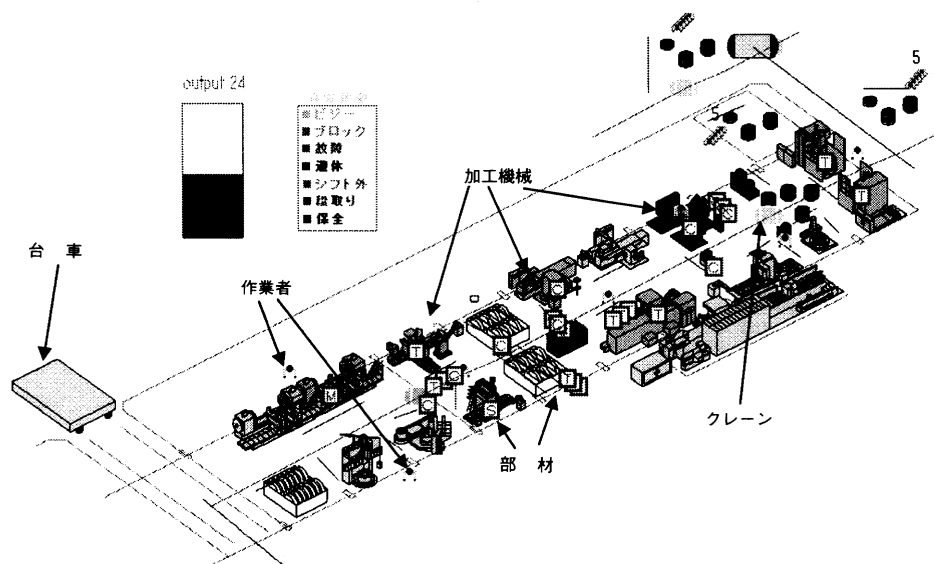


図6 シミュレーションモデル例 ガスタービンロータ加工新ラインのモデル例を示す。
Modeling example of exclusive machine factory for manufacturing turbines

ン例を示した。この専用ラインは新設機械による能率向上はもとより、ロータを加工する機械をほとんど一つの建屋の中に集約し、物流を整流化し、ロータを構成する全部品を本ラインで加工でき、かつ、更なる生産性向上をねらって計画されたものである。

本システムを適用し、シミュレーション検証した結果、新ラインはこれまでの工場と比較し、生産性が約2割向上することが分かった。さらに、改善（使用機械変更、代替機械・外注使用等）をすると、生産性が約2倍に向上することが判明した。

このようなシミュレーション検討により、事前に問題点も抽出することができ、実生産が開始した際のトラブルを最小にすることが可能となった。また、多数の設備のレイアウト変更を行うため、実際の工事にばく大な費用が必要となるが、シミュレーションを用いたケーススタディにより、最小の投資で最大限に生産能力を引出せるラインを構築することができ、本シミュレーションシステムの有効性を確かめることができた。

3.2.4 大日程計画の最適化試行

本システムを利用して、タービン製作の大日程計画（工場内での製造開始時期）を最適化する試みを行った。

大日程計画は、通常、これまでの実績を基に線引きをしており、現実の工場の生産能力が変化した場合にその基準となる製作期間の数値は、あいまいなものとなり正確な計画を行うことができなくなる。そこで、このシステムを用いて、実際の工場と同様に計算機内で仮想製造させ、その結果を将来の生産計画に適用することで、より現実に近い生産計画を行うことが可能となる。

まず、数年先のある期間の受注予想を基に作成されたタービン製作の大日程計画を使用して、バーチャルファクトリシステム内で仮想生産を実施した。その結果、多くの部品で大幅な納期遅れが起り、工場内物流に大きなばらつきがあることが分かった。

そこで、工場内での各部品の製造開始時期を数週間ずつ変更させながら、シミュレーションを繰返すことにより、製造開始時期の最適化を行った。評価関数は、納期遅れ部品数、遅れ日数とした。また、本システム内では、現実の工場内で起り得る、設備の取合い、作業者の有無、搬送手段の取合いを忠実に再現したシミ

ュレーションを行うため、基準日程から加工開始時期を逆算して、フォワードでシミュレーションする手法を採用した。

その結果、各部品の製造開始時期の最適化により、納期遅れ率が約55%も減少することが分った。未確定山積みまですべて受注できたとした場合のシミュレーションを行ったため、工場能力の兼合いもありすべてのオーダーで完全な納期確保を行うことはできなかったが、本システムの最適化ロジックが十分に有効であることが確認できた。

4. あとがき

当社においてのバーチャルファクトリへの取組みについて述べ、適用事例を紹介した。シミュレータを用いたバーチャルファクトリは、設備導入検討、製造準備段階、製造時において将来起るであろう事象を定量的に評価でき、効果があることを確認してきた。この結果を設計や現場にフィードバックして、さらにその結果から、設計から出荷まで含めてトータルで、より効率的な製造工場の実現を目指している。

今後も、さらに効率化、最適化をねらったバーチャルファクトリの開発に取組んでいく予定である。

参考文献

- (1) [特集] バーチャルファクトリーの「実体」探る。NIKKEI MECHANICAL 1996.1.8 No.471, p.30~69
- (2) TRIGGER 9612, 動きだすバーチャルファクトリ, p.100~108
- (3) 「特集」デジタル/バーチャル・ファクトリの衝撃, 日経テクノフロンティア 97/7/14 p.2~30
- (4) 藤田 憲ほか, バーチャルファクトリ利用による工場支援システム, 日本機械学会 1999 年度年次大会論文集 (I) p.381~382
- (5) 佐々木裕一ほか, バーチャルファクトリーを用いた生産計画システムの開発, 造船三学会連合大会 (1999-11)
- (6) 伊藤 健, 生産管理と FA, 造船技術の近代化, 日本造船学会 (1995-6) p.85