

研究報告

2軸モデル (プロセス軸・空間軸) に基づく生産システムの設計支援方法の開発

佐藤守一，中野 冠，荒井栄司

Approach to Design Manufacturing Systems Using Two Axis (Design Process, Space) Models

Shuichi Sato, Masaru Nakano, Eiji Arai

要 旨

我々は、コンカレントな生産システム設計を支援するシステム作りに取り組んでいる。現状の生産システムの設計は、類似の製品を製造する工程を参考に進める場合が多いが、設計結果のみを参考にし、なぜそういう工程になったかのいきさつや工程を設計するのに使ったノウハウ、プロセスは参考にされていない。一方、世の中ではPDM (Product Data Management) 製品が企業で導入されつつあり、製品だけでなく製造の情報も対象にする例があるが、主眼は情報の参照支援に留まる。そこで我々は、設計活動を能動的に支援する方法の確立をねらい、仮想的な製造工程を3社共同で設

計し、その設計プロセスを記録・分析した。その結果をもとに、設計プロセスモデル (プロセス軸モデル) と設計要素モデル (空間軸モデル) をベースとする手法を開発した。設計プロセスモデルは、設計対象である設計項目、設計に使用する参照項目、設計値を決めるのに使う設計ロジックから構成され、本手法の中心的な知識として使われる。システムの特徴に、設計ノウハウの蓄積、設計変更の際の影響範囲の提示、シミュレーションツールとの連動、XML (Extensible Markup Language) に基づくドキュメント作成機能等がある。

キーワード

生産システム設計，コンカレントエンジニアリング，設計プロセス，再利用，ナビゲート，XML，エンジニアリングツール，設計変更

Abstract

We have been developing a system which could assist designers in performing concurrent manufacturing system design. They now often design a new manufacturing system based on the line which produces a similar product. However, they can not refer to the know-how and the design process to design these lines. Nowadays, PDM (Product Data Management) software is being used by manufacturing companies and some of them manage not only product data but also manufacturing data by PDM. However, the main use of PDM is just to provide information. In order to analyze the design process, we have

designed a virtual manufacturing system in cooperation with three companies cooperation and described its design process. Based on its analysis, we have developed a system to actively support the design process using design process and design element models. The design process model consists of three elements, which include the design parameters, reference parameters and the design know-how. The features of our system are to store the design know-how, show the scope related by the design changes, link the manufacturing simulator, produce documents based on the XML (Extensible Markup Language) techniques, etc.

Keywords

Manufacturing system design, Concurrent engineering, Design process, Reuse, Navigate, XML, Engineering tool, Design change

1. はじめに

現状、生産システム設計プロセスは、類似の製品を製造する工程を参考に進める場合が多い。しかし、設計結果のみを参考にしており、なぜそういう工程になったかのいきさつや、工程を設計するのに使ったノウハウ・設計プロセスは参考にされていない。ノウハウを含む生産技術報告書が存在する場合もあるが、ほとんど参照されない。

一方、世の中ではPDM製品が企業で導入されつつあり、製品データから製造データへ管理対象を拡大しつつある。しかし、データの参照支援が主体であり、設計のプロセス・ノウハウのデータを蓄積し、設計活動を能動的に支援する枠組みとしては不十分である。

設計活動の能動的支援に重点をおく従来技術に、CMUのCODES (Collaborative Open Design Systems) プロジェクト¹⁾や岩田、荒井らの研究²⁾がある。前者は、WWWブラウザ上で設計プロセスを記述できたり、設計で使うツールやその入出力ファイルを記述できる他に、設計の進捗を他の設計者に通知できる等の枠組みを包含する。しかし、設計プロセスで頻繁に発生する設計変更を検討する状況に着目すると、各設計パラメータが、どのプロセスでどの値を参照して、どういうロジックで設計されたかがわかることは重要であるが、本システムには設計パラメータ間の依存関係や設計ロジックを記述する枠組みは持っていない。

後者は、設計対象として製品を扱い、設計値の確信度を使って、設計項目間の設計先行関係をユーザに提供する機能を中心とした研究である。設計変更が発生した際、上記先行関係をもとに再実行の必要のある設計項目を設計者に提供できるという点で有用な枠組みである。しかし、設計ノウハウに関する知識は設計者の頭にあることが前提である。

我々は、コンカレントな生産システム設計を支援するシステム作りに取り組む中³⁻⁵⁾、設計ロジックデータを能動的に扱い、設計項目中心ではなく設計ロジック中心のデータ構造（設計プロセス軸モデル）を提案する。また空間軸モデル（設計要素モデル）も活用し、設計の進捗、設計結果に応じて、設計すべき項目や実行すべき設計プロセスを能動的に提示する枠組みを提案する。

2. 現状の生産システム設計プロセスの分析

2.1 題材

我々はFig. 1のようなモータ製品を製造するライン・工程の設計を3社共同で進めた。3社の分担は、A社がFig. 2の製造ラインの発注元で、Fig. 3のようなラインの仕様を出すとともに組立ラインを設計する。

B社は加工ラインの一つ上のハウジングラインの設計、C社は工場内のレイアウトと物流の設計とした。設計を進めながら、設計プロセスを書き留めた。書き留め方は、個々の設計プロセスを、設計の対象である設計項目、設計するのに使った参照項目、参照項目の値から設計値を導くのに使った設計ロジックの3要素でまとめた。約150個の設計プロセスを書き留めた。

2.2 分析結果

前節で書き留めたプロセスを分析し、以下の特徴を見いだした。

(1) 設計項目には次の2種類がある。

・目標型（工程サイクルタイムやラインの面積、原価等、時間、面積、コストの概念）

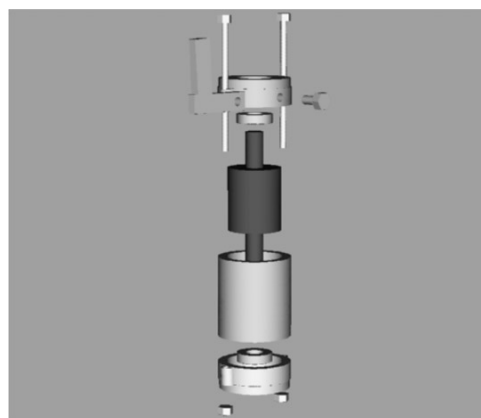


Fig. 1 Target virtual product to design a manufacturing system.

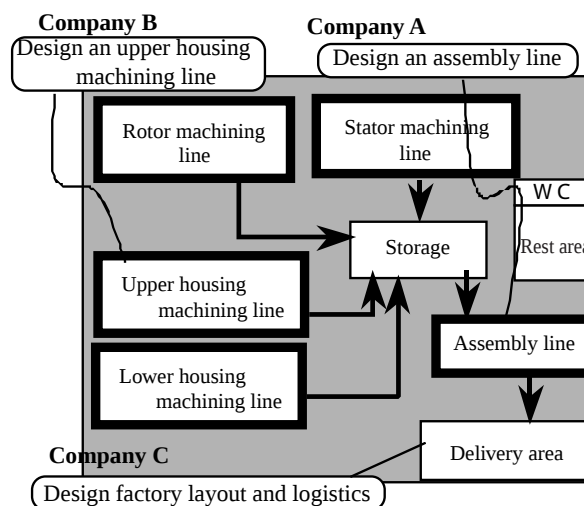


Fig. 2 Factory to make a virtual product.

・確定型 (AGV台数等)

目標型は、設計が進む中、常に制約条件として働く。現状の設計では、生産ラインシミュレータ等のエンジニアリングツールでサイクルタイム等のパラメータの値を推定し、制約条件を満たしているかチェックするが、設計フェーズの限られたポイントで限られた人が行っているため、制約条件不成立がわかった時、設計プロセス上大きな戻りが生じている。

(2) 設計結果の表現方法には、統計的表現、関係式、表、CAD図面、ポンチ絵等の様々な形式がある。表現方法により、設計結果の精度は異なる。

(3) 設計する際に参照するパラメータとしては、

- ・上流での設計値
- ・過去の類似事例の値
- ・実測値
- ・ツールや計算式を使った推定値

がある。それぞれ、値の信頼度が異なる。

(4) 設計が進むに従い、設計項目の精度と信頼度が高くなる。

(5) 設計プロセスの流れには戻りがある。

(6) 他の設計項目の値が決まらなると設計が進まない場面が数多くあり、仮設計を行って設計を進める。

(7) 生産ラインシミュレーションを使うプロセスでは、シミュレーションモデルが持つパラメータ名と、業務で使う設計項目名とが異なることなどが原因となり、シミュレーションモデル用に一からデータを再入

力する。また、シミュレーションモデルを作成する場合、設計のフェーズ・目的に応じて、同じ対象物（設備や作業等）でも詳細にモデル化すべき場合とラフにモデル化すべき場合とがある。

(8) 設計ロジックで使われる式には、

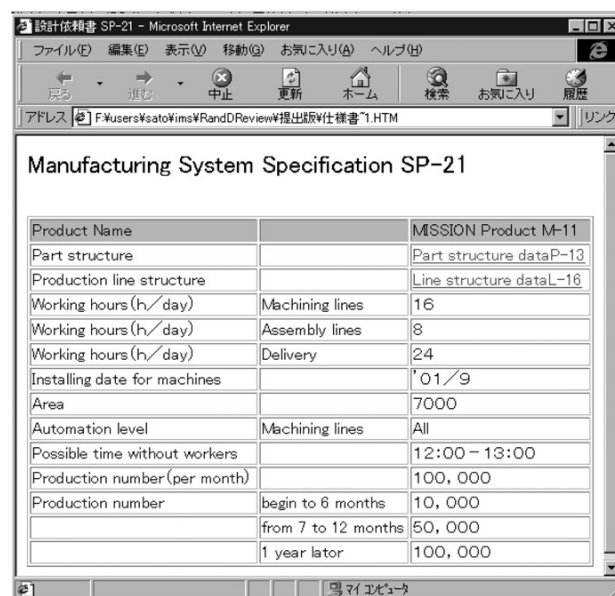
- ・必ず守る必要のある式（守らないとパフォーマンスが著しく低下する式）
 - ・最適解を選ぶ式
- がある。

これらの分析結果をもとに、生産システムの設計支援プロトタイプシステムを開発した。

3. 開発システムの考え方と特徴

3.1 開発コンセプト

2. の分析結果をもとに、コンカレントエンジニアリングにおける設計プロセス・ノウハウの再利用に焦点をあてシステム開発を行った。設計プロセス・ノウハウとしては、(1) 標準設計プロセスのような「テンプレート」、(2) 「実際に行った設計プロセス事例」、(3) (2)で失敗部分を取り除いた「良いプロセス事例」、の三つが考えられる。Table 1は三つの比較表である。それぞれ一長一短がある。設計者の意見を聞くと、失敗事例も重要なノウハウである。また(1) については、有効な「テンプレート」が存在するかどうかは、多くの設計プロセス事例を蓄積・分析する必要がある。企業での実用的な方法という視点では、(2) の「実際に



Manufacturing System Specification SP-21		
Product Name		MISSION Product M-11
Part structure		Part structure dataP-13
Production line structure		Line structure dataL-16
Working hours (h/day)	Machining lines	16
Working hours (h/day)	Assembly lines	8
Working hours (h/day)	Delivery	24
Installing date for machines		'01/9
Area		7000
Automation level	Machining lines	All
Possible time without workers		12:00 - 13:00
Production number (per month)		100,000
Production number	begin to 6 months	10,000
	from 7 to 12 months	50,000
	1 year later	100,000

Fig. 3 Design specification for a target manufacturing system.

Table 1 Comparison of three process data types.

	(1) Template data	(2) Actual process data	(3) Refined actual process data
Design know-how	few	many	many
Abstraction level	abstract	concrete	concrete
Frequency of reuse	high	low	low
Simplicity to be reused	easy	difficult	easy
Designer's load to register data	Initial phase	little	little
	Normal phase	much	pretty much

行った設計プロセス事例」を設計プロセス・ノウハウとして使うのが望ましいと考えた。

また以下の点，

・分散ネットワーク環境下での複数の設計者の同時並行的な設計

・プラットフォーム非依存

・バージョンアップの容易性

を考慮し，JAVA AppletによるFig. 4のような構成をとった。データベースは企業で実際に多く使われているOracleを採用した。

3.2 特徴

開発したプロトタイプシステムの設計者の利用手順

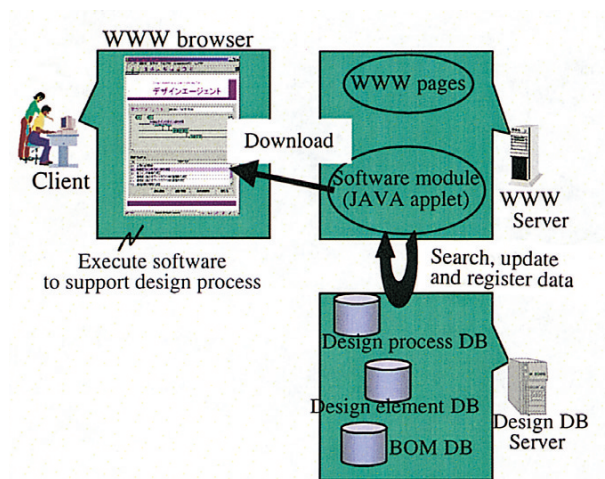


Fig. 4 Software for design support by using JAVA applet.

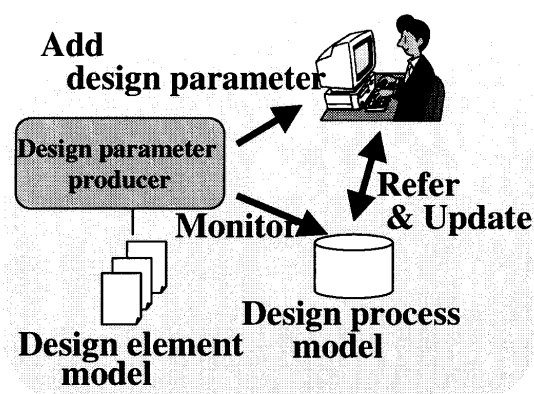


Fig. 6 Design parameter producer based on design element model.

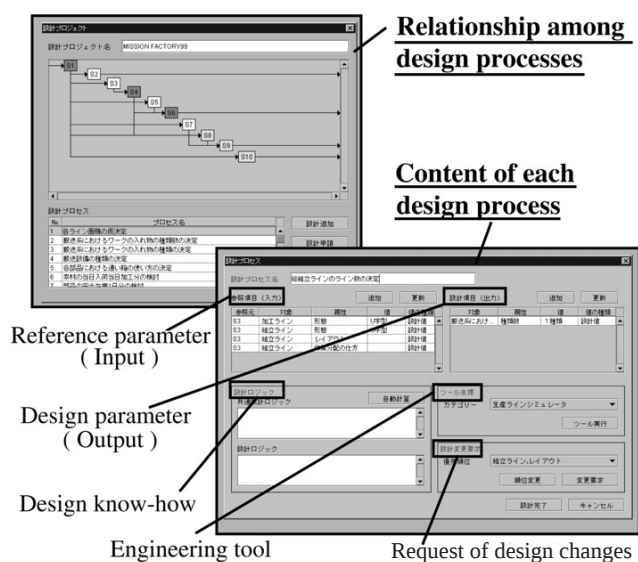


Fig. 5 GUI to define and see each design process and to show the relationship among design processes.

はだまかには次のようになる。

(1) インターネットブラウザで生産システムの要求仕様を参照する。

(2) 要求仕様をもとに、過去の事例で類似のものを探す。

(3) 類似事例の設計プロセスをもとに設計を進める。

(4) 必要が生じれば設計プロセスの変更・追加・削除を行い、事例として蓄積する。

以下にシステムの特徴を示す。

3.2.1 設計ノウハウ蓄積

・参照項目（入力）、設計項目（出力）、設計に使ったロジックの3要素を中心とするデータ構造で、設計プロセスを定義、参照できるようにした（Fig. 5）。設計ロジックは基本的には設計者のメモであり、ノウハウのかたまりである。

・設計、参照項目に計測値、設計値、類似事例設計値等のデータの種別を入れる枠組みを設け、システム側でデータの信頼性を判断し、上流での設計との矛盾の判断を可能にした。

3.2.2 設計者ナビゲート

・Fig. 6のように設計要素モデルを使って設計の進捗（結果）に合わせて設計すべき項目を提供する機能を設けた。

・設計プロセス間の依存関係を表す2次元の画面（以下、プロセス関係図と呼ぶ）を自動生成する（Fig. 5参照）。設計者が過去の事例をもとに設計を進めているときに新しい設計プロセスを追加すると、本モジュールは、追加したプロセスの設計項目と参照項目を既

存の設計プロセスのそれと照らし合わせ、即座にプロセス関係図を書きかえる。設計者は、本プロセス関係図により、追加したプロセスと依存関係がある設計プロセスを、視覚的に把握できる。

・上流での設計との矛盾が生じた場合（例えば、上流設計プロセスでの仮設計値に対して下流で異なる値に設計された場合）、上流のプロセスの設計画面を開き、設計者に再度意思決定をさせる。

・設計ロジックのうち、if thenルールや数式演算等は自動実行し、設計値を入れることができる（自動設計）。

3.2.3 協調設計

・設計プロセスの履歴を利用して、設計変更の影響範囲（他の設計者に関連するものも含む）を示す機能を設けた。

・プロセス関係図において、完了した設計プロセスを赤色に変更することにより、他の設計者にプロセスの進捗状況を伝えることができる。

・コストや時間等の制約を満たす設計値が存在しない場合は、上流の設計プロセスに対して設計変更依頼を出すことができる。プロセス関係図の中で設計変更依頼を出されたプロセスは黄色に変わる。

3.2.4 エンジニアリングツールとの連携

・設計プロセス中でシミュレータ、CADのエンジニアリングツールと連携させ、同一情報の二重作成負担を軽減した。プロトタイプシステムでは、生産ラインシミュレータにROPSI⁶⁾、CADにAUTOCADを用いた。生産ラインシミュレータとの連携については、変換テ

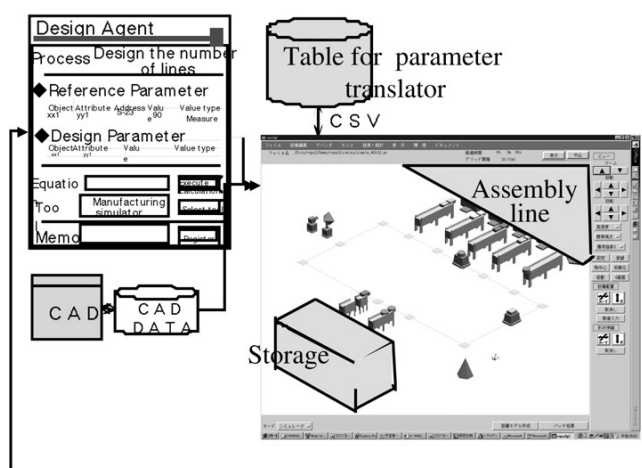


Fig. 7 Table for parameter translator between simulation model and design element model.

ーブルを利用する (Fig. 7)。変換テーブルは、設計要素モデルとシミュレーションモデル間の変換構造を記述している。CADとの連携データとしては、レイアウト情報を扱った。

3.2.5 ドキュメント自動生成

・設計結果をoracleから吸い上げ、XML形式のドキュメントに変換してクライアントに送る。システムは、ネットワーク負荷をかけることなく、XML文書のタグ情報を使い、設計者に様々な視点で設計結果を提供する。

4. おわりに

本報では、設計プロセス・ノウハウの再利用に焦点を当て、設計要素モデル (空間軸モデル) と設計プロセスモデル (時間軸モデル) に基づく生産システムの設計支援システムを提案した。

設計要素モデルについては、現時点では、一部の基本的なモデルの定義に留まっており、今後これを拡張していく必要がある。また、シミュレーション変換テーブルについては、現在、生産ラインシミュレーションモデルの世界標準が存在しないため、今後 EAI (Engineering Animation, Inc.) の提唱するモデルフォーマットSDX (Simulation Data Exchange) 等の動向をウォッチングし、対応を検討していく。

今後の課題として、以下のことを考えている。

- ・設計プロセスモデルの階層化
- ・設計情報や参照情報の精度や信頼性を使った整合性チェック方法の開発
- ・分散シミュレーション技術HLA (High Level Architecture)⁷⁾との連携

なお、本研究は、IMS国際共同プロジェクトにおけるMISSION (Modeling and Simulation Environments for Design Planning and Operation of Globally Distributed Enterprises) の一部として実施したものである。

参考文献

- 1) Daniel, et al. : "CODES: Collaborative Open Design System for Integration of Information Webs with Design and Manufacturing Tools [online]", available from Internet: <<http://codes.edrc.cmu.edu/CODES/>>
- 2) 岩田, ほか3名 : "設計・生産におけるコンカレントエンジニアリングのためのコミュニケーションシステムに関する研究 (第1報 複数ユーザ間での会話モデルに基づくコミュニケーションシステムの実現)", 日本機械学会論文集C編, 61-582(1995), 730 ~ 735
- 3) 中野, ほか2名 : "Design Agent for Manufacturing", 第9回日本機械学会設計工学・システム部門講演会, (1999), 215 ~ 218
- 4) 久保田, ほか11名 : "情報技術による生産システム設計プロセス支援のための統合プロトタイプの開発 その1", 平成12年度IMS研究成果講演論文集, (2000), 121 ~ 124
- 5) 佐藤, ほか3名 : "設計要素モデルと設計プロセスモデルに基づく生産システムの設計支援方法の開発", 2000年度日本機械学会年次大会, (2000), 559 ~ 560
- 6) Nakano, M., et al. : "ROPSII : Agent-Oriented Manufacturing Simulator on the Basis of Robot Simulator", Proc. of Japan-U.S.A Symp. on Flexible Autom., (1994), 201 ~ 208
- 7) Kuhl, F., et al. : "Creating Computer Simulation Systems An Introduction to the High Level Architecture", Prentice Hall
(2000年9月29日原稿受付)

著者紹介



佐藤守一 Shuichi Sato

生年：1967年。

所属：ソフトウェア研究室。

分野：エージェント技術の設計・制御への応用とシミュレーションの研究。



中野 冠 Masaru Nakano

生年：1955年。

所属：ソフトウェア研究室。

分野：生産システムの理論とシミュレーションの研究。

学会等：日本オペレーションズ・リサーチ学会、日本経営工学会、スケジューリング学会、日本ロジスティクスシステム学会、日本機械学会会員。
工学博士。



荒井栄司 Eiji Arai

生年：1953年。

所属：大阪大学工学部。

分野：次世代生産システムのためのコンピュータ支援技術の研究開発。

学会等：日本機械学会、精密工学会、設計工学会、溶接学会会員。

1988年工作機械振興財団工作機械技術振興賞論文賞受賞。

1999年(財)製造科学技術センターIMSセンターIMS成果賞受賞。

工学博士。