

谷内 宏行
H. Taniuchi

大内 俊弘
T. Ōuchi

小林 久信
H. Kobayashi

製品のライフサイクルが短くなり、設計期間の短縮と設計精度の向上が叫ばれている。それには、製品開発の初期段階から基本的技術の並行開発が重要となってくる。つまり、コンカレントエンジニアリングである。その実行において、物作りと製品および製造ラインの設計を結びつけるツールとして、当社が開発した二つのツールを紹介する。一つは製品の設計段階で作りやすさを机上でチェックできる“簡易組立性評価法”であり、もう一つは製造ラインにおける設定条件に対する物の流れ、人の動き、設備の稼働状況を動画と数値データで評価する“製造ライン設計支援シミュレータ”である。

As the life cycle of products becomes increasingly short, it is necessary to shorten the time required for design and to enhance design accuracy. To achieve this, basic technologies need to be developed in parallel with the development of the product, in its early stages. In short, “concurrent engineering” is required.

This paper introduces two tools that we have developed, which are used to connect the designing of the product and the assembly line to the assembly itself. The first of these is the “simple assemblability evaluation method”, which makes it possible to calculate how easily the assembly can be performed at the design stage. The second is the “assembly line design support simulator”, which evaluates the material flow, the motions of workers, and the operating status of the machinery under a given set of conditions, using numerical data and animation.

1 まえがき

近年、生産技術の分野においてはコンカレントエンジニアリングの必要性が高まり、いくつかの支援ツールが開発されてきた。その代表的なツールが、生産設計で使われる評価法と工程設計で使われる生産シミュレータである。

当社では、1986年に生産設計推進活動をスタートさせ、製品設計者が設計の初期段階で作りやすさを評価できるツールを開発した⁽¹⁾。その後、加工のしやすさを評価できる加工性評価法^{(2),(3)}を開発し、最近では、機械系の評価法だけでなく、電気系の評価法にまで拡大している。さらに、コンピュータを駆使した使いやすいツールづくりを進めている。表1に生産設計ツールの一覧を示す。

評価法は、製品の作りやすさを客観的に、かつ定量的に評価する手法である。また、評価することによって設計の改善すべきポイントが明確になり、製品の設計改善が進むことになる。

一方、シミュレータは、机上での模型や計算で行っていた工程設計やラインレイアウト、作業者の動きをコンピュータを利用して検証するものである。これにより、ライン構築での最適に近い解を事前に入手し、より良いラインを作ること

表1. 生産設計の各種ツール

Tools for DFMA (Design for manufacturing)

製造性評価法	機械系	組立性評価法 ⁽¹⁾
		簡易組立性評価法
		加工性評価法 ^{(2),(3)}
		プリント板実装性評価法
	電気系	電気設計評価法
その他	サービス性評価法	

ができる。特に高価な機械設備が並ぶ半導体ラインなどには必要不可欠なものとなっている。

ここでは、“簡易組立性評価法”と“製造ライン設計支援シミュレータ”の二つのツールを紹介する。

2 簡易組立性評価法

2.1 開発の背景

製品の製造コストは、一般的に約80%が設計段階で決定されると言われている。製造コストを低減するには、製造部門だけの努力では効果が少ないことがわかる。

当社では、製造をしやすくするポイントを指摘するため、

製品の作りやすさを定量的に把握できる手法を開発した。設計の上流段階から作りやすさに取り組み、競争力の強い製品作りを支援している。

2.2 簡易組立性評価法の位置づけ

簡易組立性評価法は機械系の評価法に属している。これは、従来設計者の主観により決めていた組立のしやすさを、組立工数を基準に定量化したものである。組立工数は、時間測定手法の一つであるWF法(Work-Factor method)を基に計算している。

2.3 WF法

WF法は、ストップウォッチを使わないで、人手による作業の時間設定を机上計算で行う標準時間設定法の一つである。動作を要素動作に分解し、各要素動作単位に適正な時間値をあらかじめ決めておいて、その合成により作業時間を算出するものである。例えば、物を移動するのに要する動作は次のように考える。

- (1) 腕を目標とする物にのぼす。
- (2) 物をつかむ。
- (3) 物を目標とする位置まで運ぶ。
- (4) 物を離す。

動作を上述のように分解し、時間表から各動作の時間を求めて合計することで総作業時間が決まる。WF法には、詳細法や簡易法があるが、簡易組立性評価法では簡易法であるRWF(Ready Work Factor)法を用いている。

2.4 簡易組立性評価法

2.4.1 特徴 簡易組立性評価法は、工数の算出と組立性の定量化をできるようにしたものである。また、製品設計者に使いやすいように、評価項目を絞り込むことにより、評価時間を短くした。

評価にはパソコンを用い、評価時間短縮のために、ねじなどの標準部品を登録している。

2.4.2 工数算出条件 評価法では、作業者が図1に示すような基準作業条件で組み立てる場合の工数を算出する。

2.4.3 組立てしやすさの定量化 組立てのしやすさは、評価点を使って定量化する。評価点は100点満点からの減点

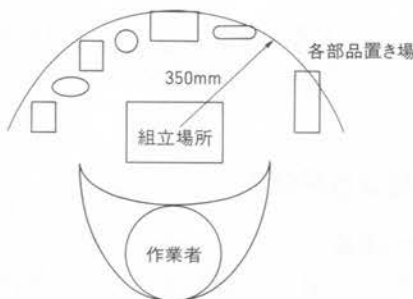


図1. 基準作業条件 あらかじめ作業条件を決めることにより微細な動作分析をせずに工数が算出できる。

Standard evaluation conditions

法で算出される。減点値は、基準組立時間に対する実際の組立時間(工数)の差で表す。ただし、工数をそのまま減点するのではなく、項目ごとに係数倍した値を使う。

基準組立時間は、単純モデルを想定し組立時間を算出する。単純モデルは、もっとも簡単な組立作業(例えば部品挿入作業で、表裏判別が不要な部品を挿入部に面取りがしてある部品に挿入する)を基準とする。実際の部品組立てでは、表裏の判別や挿入時の位置合せなどが必要になり、その工数を要するため減点される。

2.4.4 評価手順 製品の組立順序に従い構成部品1種類ずつを評価する。パソコンに、製品名、部品名、部品数を入力すると、画面に表2の評価項目が順次表れる(図2)。各項目にYes、No、または、数値を入力すると、評価している部品の評価点、工数が自動的に算出され画面に表示される。他部品の評価結果も同時に表示できるので、評価中でも組立ての悪い項目がわかる。

2.4.5 ソフトウェア構成 パソコンで動作するソフトウェアは、大きく次の二つで構成されている。

表2. 評価項目
Evaluation items

大項目	中項目
(1) もののつかみ	対称性、部品の状態
(2) 組付け方法	固定までの組付け回数、組付けの型、組付け方向、組付け場所、接触箇所数、付帯作業、ジグの使用、ひっくり返し、ボカよけ
(3) 移動	部品重量
(4) 大きさ	部品最大寸法
(5) 結合種類	挿入ロックへはんだづけまで 15種類から選択
(6) 配線	端末処理法、線の引き回しかた、線の束ね、線の結合
(7) 一体化	
(8) 検査	
(9) 調整	

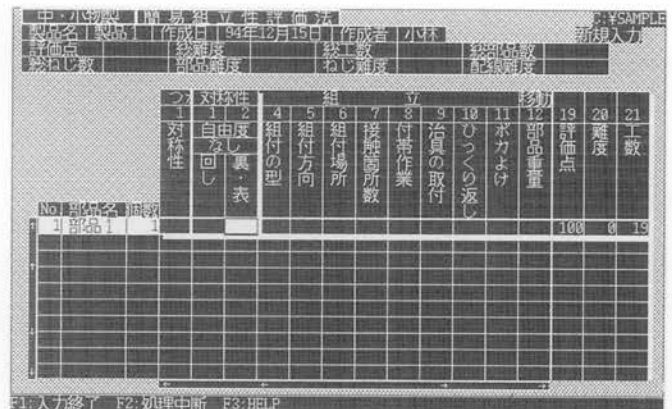


図2. 評価画面例 自動的に表示された評価項目をチェックすることにより、評価点が算出される。

Example of image of operation for evaluation

- (1) 入力結果に対する次画面表示と、評価点を計算する。
- (2) 評価の項目や画面の構成を記述する。

2.4.6 評価項目 評価項目には、工数、評価点、組立難度があり、項目ごとに悪い部品がわかりやすいようにグラフで表示できる。改善の効率化のために、評価結果を組立性の悪い部品の順位に並べ、設計改善の注力ポイントがわかるようになっている。

具体的な評価結果を図3に示す。



図3. 評価結果例 グラフ化し昇順した。ワースト部品がわかり、改善の効率化ができる。

Example of image of results

3 製造ライン設計支援シミュレータ

3.1 開発の背景

製造ラインは、工程設計者が自分の勘や経験で設備や作業者の能力を計算していた。この方法では、検討期間の長さや計画案の事前評価の不十分さが問題となる。そこで、最適なシステムを短時間で立ち上げるため、最近ではコンピュータを使ったシミュレーション技術の導入が盛んになっている。当社でも、ペトリネット理論を用いたシミュレータを開発しており、これまでいくつかの生産形態に適用してきた。

3.2 シミュレータの概要

3.2.1 シミュレーションの原理 ペトリネットは、1962年にドイツのCarl Adam Petri氏によって提唱された。モデルを簡単な線図で表現するため、直感的に理解しやすい。これは、表3に示すように4種類の記号を用いて表現する。

シミュレーションは、図4に示す原理で動作する。この原理は、一つのトランジションで、入力側の全プレースにトークンが存在し、出力側の全プレースにトークンが存在しないときだけ、入力側の全プレースからトークンが消滅し、出力側の全プレースにトークンが発生することである。このことを発火という。

3.2.2 拡張ペトリネット ペトリネットの基本的な動作は、トークンの発生と消滅だけである。しかし、この原理だ

表3. シミュレーションモデルの構成要素

Elements of simulator

構成要素	記号	機能
プレース	○	設備、バッファ、搬送などの状態
トランジション		プレースを連結し、状態を変化させる
アーク	→	ワークや情報の流れ
トークン	●	ワークや情報そのもの

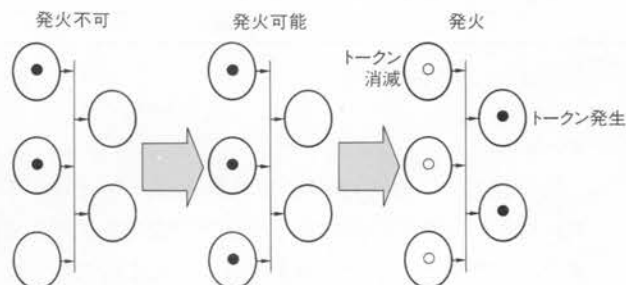


図4. 動作原理 トランジションによるプレース内のトークンの発火、消滅によるシミュレーションの動作原理である。

Principle of motion

けで製造現場をモデル化するのは非常に難しい。当社では、トークンやプレースに次の機能を付加し、ペトリネット理論を使いやすくしている。

- (1) トークンを識別するために属性を付けることで、製造現場で扱う複数の品種や情報を区別できる。
- (2) プレースは設備や工程を表現するので、ここで扱う品種別に指定された時間を占有できる。
- (3) 製造現場の状態を簡単に表すために、表4のようにプレースを4種類に分けている。
- (4) プレースから作業要求が発生すると、そこを担当する作業者がコールされ、所定の時間作業する。

表4. プレースの種類

Types of place

プレース	機能
投入	トークンを新しく発生させる
処理	指定した時間トークンを占有する
バッファ	トークンを指定数量になるまで溜め込む
ロット調整	トークンの入力数と出力数を変化させる

3.2.3 入力データ シミュレーションするための入力データを表5に示す。なお、時間値については一様、正規、三角、ワイブルの4種類の分布関数で誤差を設定できる。

3.2.4 シミュレーション結果 シミュレーションした結果は、モデルの動きを詳細に追跡する定量指標と、検討内容を第三者に感覚的に理解してもらうためのアニメーションの

表5. 入力データ

項目	入力データ
プレス	稼働時間帯、次プレスへの分岐比率
投入	順序、数量、時間間隔
処理	設備故障率、占有時間、段取り時間、不良率
バッファ	仕掛り許容数、ロットサイズ、初期在庫
ロット調整	入力数、出力数、初期値
トランジション	先行/後続プレス、優先順位
作業者	担当プレス、作業内容、余裕率
条件	シミュレーション時間、精度、初期状態生成時間

2種類が得られる。

- (1) 定量指標 経過時間ごとの出来高、仕掛り、不良数、稼働率などの時間推移をグラフや表で表示できる。また、各プレスでのワークの着工/完工時刻をトレースしているの、設備、人、物の動きを追跡するガントチャートとリードタイムも得ることができる。
- (2) アニメーション シミュレーション結果をCADに渡すことで、設備、人、物の動きを三次元空間上で動画として表示できる(図5)。

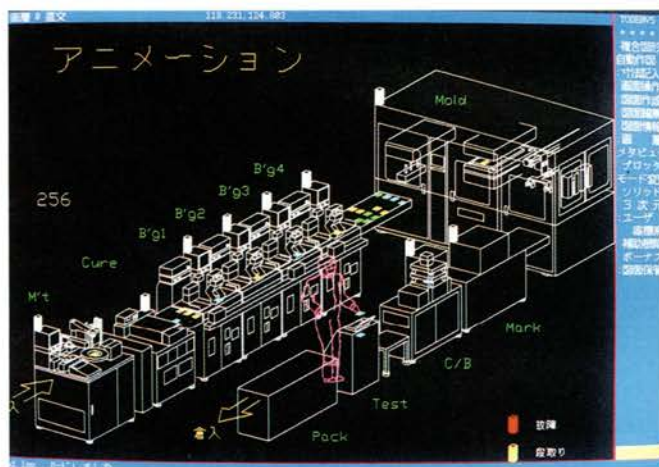


図5. アニメーション シミュレーション結果として得られる可視化指標で、ガントチャートや動画がある。

Animation

3.3 適用事例

ベトリネット理論は、対象システム内の物、情報、着手条件などを厳密に記述できるため、ライン型、ジョブショップ型を問わずさまざまな生産分野へ適用できる。表6にこれまでに適用してきた事例と検討内容を示す。

3.4 シミュレーションの効果

製造現場における工程の設計は、理論的に証明しにくい要素が多く、限られた専門家に頼らざるをえなかった。また、人手による計算では時間的な問題や作業ミスの面で限界があ

表6. 適用事例

Example of application

分野	検討内容
基板実装	着工順序、段取り方法、工程割付け、部品割付け
半導体後工程	類似設備台数、ロットサイズ、作業員数、作業手順、着工順序
機械加工	加工経路、設備負荷、作業員負荷
液晶基板	無人搬送車のサービス、品種割付け
病院	検体検査の流し化、薬局/受付の窓口数

る。開発したツールでは次の効果が期待できる。

- (1) 複数案を数値で裏付けた理論的な検証ができる。
- (2) 設備、人、物の動きを動画でわかりやすく表現することで、他の技術分野の人びともシステム検討に参加できる。
- (3) 専門家の設計ノウハウをシミュレーションモデルに置き換えることで、設計技術の継承が可能となる。

4 あとがき

コンカレントエンジニアリングを効率よく進めるためには、定量的に評価できるツールが不可欠である。また、製品設計者が使いやすく考慮することも重要である。

組立性評価法は、ツールの操作機能の拡充を図るとともに、環境面にも考慮した製品の分解や解体の評価へと展開していく。また、製造ライン設計支援シミュレータについては、操作性向上のためにCADとのリンクを図っていきたい。

文献

- (1) K. Takahashi: Design for automatic assembly, 7th International Conference on Assembly Automation, 1986/2, Zurich
- (2) K. Takahashi, et al: Producibility Evaluation Method, 10th International Conference on Assembly Automation, 1989/10, Kanazawa
- (3) 高橋 啓夫: 生産設計支援システムについて, IEレビュー, 日本IE協会, 31, 3, 1990



谷内 宏行 Hiroyuki Taniuchi

1976年入社。生産システム開発に従事。現在、生産技術研究所メカトロニクス開発センター主任研究員。
Manufacturing Engineering Research Center



大内 俊弘 Toshihiro Ōuchi

1975年入社。生産システム開発に従事。現在、生産技術研究所メカトロニクス開発センター。
Manufacturing Engineering Research Center



小林 久信 Hisanobu Kobayashi

1982年入社。生産システム開発に従事。現在、生産技術研究所メカトロニクス開発センター研究主務。
Manufacturing Engineering Research Center