

# 特集 情報エントロピーに着目した新組立工程設計法\*

## New Assembly Process Planning Methodology Based on Information Entropy

花井 嶺郎 藤本 英雄 松本 和男 小島 史夫 飯田 康博  
 Mineo HANAI Hideo FUJIMOTO Kazuo MATSUMOTO Fumio KOJIMA Yasuhiro IIDA

This study aims for realizing new assembly process planning methodology to promote agile manufacturing to meet diversified customer orders and shorten product life cycle in the globally competitive market. First, a simplified assembly process planning model composed of three characterized planning items is newly proposed by analyzing 20 actual assembly process. Next, assembly process planning methodology based on the model and unique quantitative evaluation method by information entropy, is newly proposed. The new assembly process planning methodology realizes fast and accurate assembly process planning. Finally, the methodology is demonstrated the effectiveness by applying for the process planning of a blower in an auto air-conditioner.

**Key word** : Information Entropy, Assembly Process Planning, Bin-Picking, Agile Manufacturing

### 1. 緒 言

近年、顧客ニーズの多様化および製品の短寿命化と生産のグローバル化の急速な進展に対応するため、製品開発の迅速化が極めて重要になりつつある。迅速な製品開発を実現していくためには、製品設計の迅速化のみならず、工程設計の迅速化が不可欠となる。工程設計とは、製品図面及び生産情報（生産量や生産時期等の情報）をもとに、主に生産技術者によって、品質、コスト目標を満足するための工程の要件を仕様書にまとめ上げる作業を意味する。この過程では一般的に多項目の要件の検討を行わなければならない。短時間で的確な工程設計を行うために、作業の迅速化に関する研究が、多く行われている。迅速な生産性設計を実現するためのDFMA (Design For Manufacture and Assembly) の研究<sup>1)</sup>、組立や加工工程を迅速に立ち上げるためのシミュレーション手法の研究<sup>2)</sup>、さらには、さまざまな情報を統合し、その一貫した活用を実現するための情報システム研究がこれまで行われている。

本研究の目的は、迅速かつ的確な工程設計を実現するために、一元的に設計要件を表現する新たな設計手法を、情報エントロピーに着目することによって確立することにある。そして、この手法が実作業において幅広く効果的に適用されるよう、コンピュータを活用したシステム化の実現を目指している。本研究では、

多数の構成部品が逐次製品として組立てられていくラインの工程設計（以下、組立工程設計と呼ぶ）を題材に、新設計法を提案する。まず、事例分析から、迅速かつ的確な組立工程設計を実現するための課題を抽出する。次いで、その課題を達成する新組立工程設計モデルを提案し、このモデルに、情報エントロピーを適用した新しい評価手法を開発する。最後に、自動車部品を題材にこの新組立工程設計法を適用し、その有効性を検証する。

### 2. 現状の組立工程設計法

新たな組立工程設計法の要件を明確にするため、実際の組立工程設計 20 事例の分析により、現状の組立工程設計の特徴をまず抽出する。Fig. 1 に、その特徴を表す典型的な組立工程設計を記す。この図に示されるように、組立工程設計の過程は、検討項目が記された多数の四角形が、複雑に接続された状態で表される。そして検討の各段階では、その前段階で出力された検討結果を入力情報として、各々の検討方法と評価基準を使いながら、そこでの検討結果が出力される。各検討項目をみると、生産性設計から組立技術開発やFMEA (Failure Mode and Effect Analysis) に至る様々な検討が行われていることがわかる。

迅速かつ的確な組立工程設計を実現するためには、以下の課題が抽出される。

- (1) 多数の四角形（検討項目）が複雑に接続された構

\*「機械学会論文集」65巻、634号C編より転載

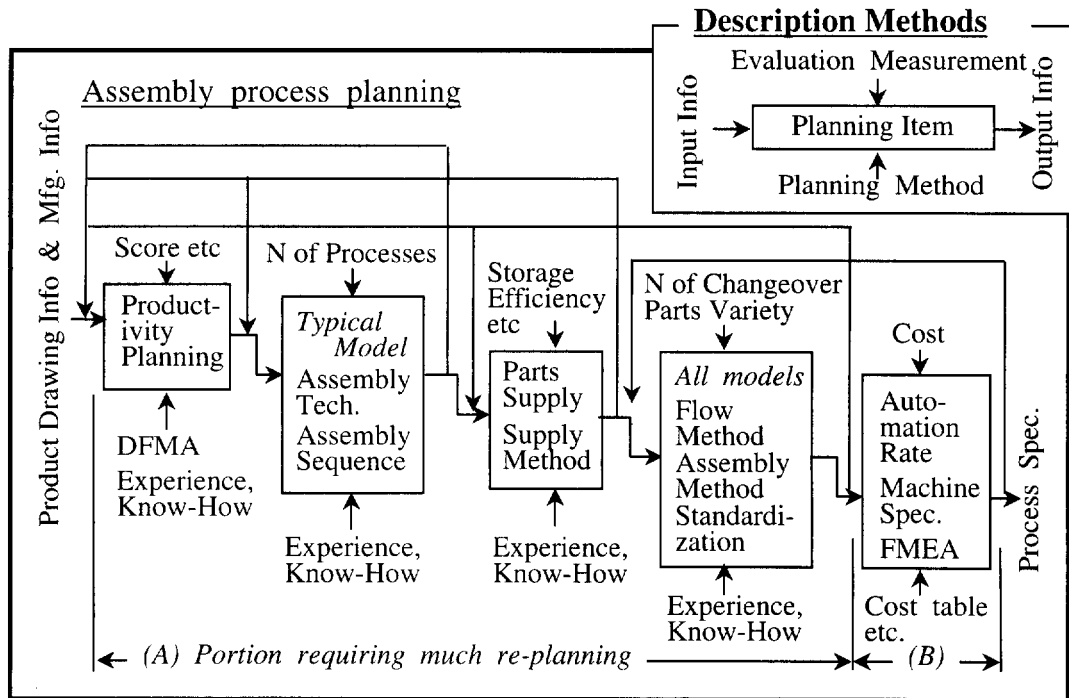


Fig. 1 Current assembly process planning

造になっており、作業時間増加を招いている。この複雑さの主原因は、Fig. 1 中 (A) の部分において、試行錯誤による再検討の繰り返しが多いことにある。

- (2) 試行錯誤による繰り返しが多い最大の理由は2つある。一つは、任意の検討段階で再検討が必要となった場合に、見直すべき複数の再検討項目が考えられ、その優先順位付けが難しいことである。現状、再検討項目の決定は、生産技術者の判断に依存しているところが多く、それゆえ、経験やノウハウの違いによって、結果が大きく異なる。2番目には、検討手順そのものが体系付けられていないことである。組立工程設計で扱う検討項目は、製品面、工程面、工法面と大きく3分野に層別されるが、各検討段階でこの3分野の検討項目が混在して用いられており、再検討を行う場合に、どの分野を行うかの優先順位付けがなされておらず、このことが、再検討手順の特定を難しくしている。再検討手順の特定が、生産技術者の経験やノウハウに左右されずに的確に行われるためには、3つの検討分野に着目してシンプルに体系化された組立工程設計法の構築が必要である。
- (3) 個々の検討項目に着目してみると、定量的な評価基準があるものと、そうでないものがある。また定量評価基準があるものについても、生産性検討は点数で、部品供給形態は収容効率でというように、評

価基準が全て異なる。このため、検討項目全体を考慮したトータル評価は難しく、全体としての最適解を得るまでに、試行錯誤による再検討が必要となる。組立工程設計をスムーズな流れにするためには、検討手順の整理、体系化に加え、全検討項目を一元的にトータル評価できる手段が必要である。

以上のことから本研究では、Fig. 1 (A) の部分に着目し、以下に示す課題を達成する新組立工程設計を提案する。

- (1) 検討手順の整理・体系化による、再検討が繰り返されない新組立工程設計モデルの構築
- (2) 各検討項目を一元的にトータル評価できる定量評価手法の構築

### 3. 新組立工程設計法

#### 3.1 新組立工程設計モデル

現状の組立工程設計の分析結果をもとに、新組立工程設計モデルを提案する。本研究では Fig. 2 に示すように、組立ダイアグラムを用いて、新組立工程設計のモデル化を行う。ここで述べる組立ダイアグラムとは、部品構成及び部品間の結合関係をいくつかの記号を用いて、図に表したものを指す。組立ダイアグラムを用いたモデル化が実現できれば、組立工程設計が可視化

されると共に、新組立工程設計で扱われる各検討項目の検討順がより明確化される。また、従来からあいまいとらえられがちな組立工程設計の進捗度合についても、組立ダイアグラムの“形の変化”として、よりの確に把握できるようになる。

以下、組立ダイアグラム及び新組立工程設計モデルの詳細を述べる。まず、製品図面情報を得た後、製品構造検討段階、基本工程検討段階、組立工法検討段階の3つの段階を経て、工程の仕様書を構築していくものである。検討項目が、この3つの段階に分類され、適切な検討手順が明確化されることから、シンプルな組立工程設計フローが構築でき、再検討手順も特定し易くなる。結果、試行錯誤による再検討を繰り返さない組立工程設計フローが実現できる。Fig. 2の組立ダイアグラムで記される1本線と2本線の違いは組立難度を示し、既に開発済みの公知の組立工法にて組立られるならば、1本線で、そうでないならば2本線で表している。組立工程設計を開始する段階で扱われる製品図面情報を、この組立ダイアグラムを用いて表現すると、Fig. 2中初期段階の図になる。以下に、3段階に層別された新組立工程設計モデルの概要を記す。

(1) 第一段階：製品構造検討段階

第一段階では、製品図面情報に従って描かれる製品構造が、部品及び部品間の結合関係に着目して見直される。この検討は、製品の必要機能を満たす範囲で、製品構造を極力簡素化させることを目的とする。具体的にはこの段階に、部品点数や品番数の低減が行われ、結果 Fig. 2 中の第一段階に示す、初期段階より円や線の数が減ったダイアグラムが描かれる。

(2) 第二段階：基本工程検討段階

この段階では、組立順の決定や、公知の組立工法の適用検討により、部品間の結合関係を表す図が、工程系統図へ置き換えられる。この検討により、基本工程が構築され、公知の組立工法を用いた場合の各部品の組立易さが明確化される。また、ダイアグラム中の直線が組立易さの視点から1本線と2本線に層別される。この段階の検討は、改善すべき製品構造とレベルアップを要す公知の組立技術の抽出を目的とする。

(3) 第三段階：組立工法検討段階

第一段階で検討された製品構造と、第二段階で構築された基本工程をベースに、対象とする製品構造に、より適した組立工法が導入される。この導入により、第二段階で描かれた工程系統図が、簡素化される。この検討の目的は、組立が難しい部品や、複数品番を有する部品に対しても、あたかも易しい組立や単一品番を扱うのと同等の工程を実現させることである。

以上、ダイアグラムの変化で記述される新組立工程設計モデルは、検討項目が3段階に階層化される構造を持つ。さらに、Fig. 2 下に示すように、工程設計で扱うさまざまな検討項目は、3段階に明確に分類され、適切な検討手順が定義付けられる。

Fig. 3 に示す簡単な例を用いて、本モデルの有効性を検証する。Fig. 3 の組立製品例では、初期の構成部品点数はa～eの5部品、3タイプ(A～C)のAssembly品番が存在し、これに伴い各構成部品も3種類づつ品番が存在するものとする(ex. a1, a2, a3)。まず、第一段階では、製品構造の簡素化により、部品eの削減及び部品b, dの品番削減が行われている(b1, b2, b3及びd1, d2, d3と各々3品番づつ存在したものを、b1, d1に統一)。ついで第二段階で、b1をベース部品

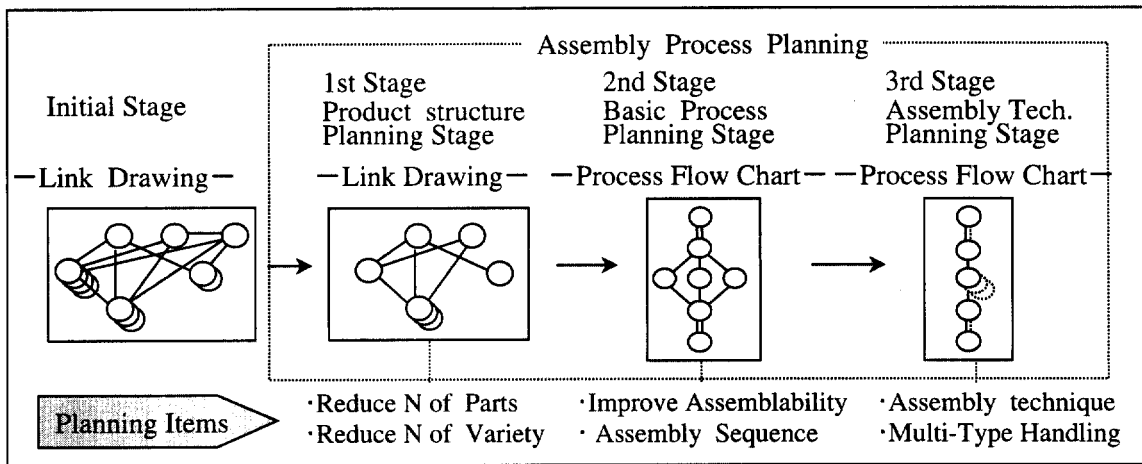


Fig. 2 New assembly process planning model

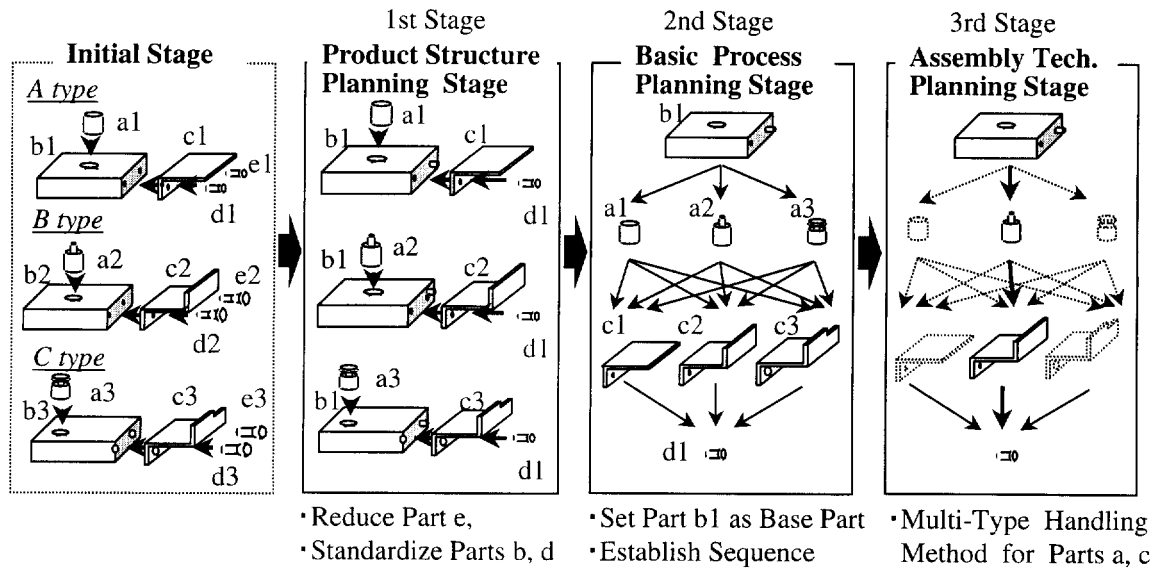


Fig. 3 Application for new assembly process planning model

とし、組立順が決定される。最後に第三段階では、新たに開発された組立工法の活用（この場合多種対応方法の立案）により、1品番を扱うのと同等の工程を実現している。

以上、新組立工程設計モデルにより、組立工程設計フローそのものが簡素化され、検討の過程が明確化されることがわかる。

### 3.2 定量評価手法の構築

前節で提案した新組立工程設計モデルにより、再検討の繰り返しを少なくすることが可能となるが、各検討項目の重要度の把握や複数の再検討項目を扱う場合の優先順位付けをはかるためには、対象とする検討結果を一元的に定量評価することが必要となる。そのためには対象となる検討項目すべての評価に適用できる共通のものさしを見いだすことが重要なポイントとなる。そこで今回、“組立”の意味を再度考察する。まず組立とは、Fig. 4の部品aに示されるように、組立部品の位置や姿勢を組立が可能なレベルまで相対的に合わせこむことであり、この過程では、部品の位置(x, y, z情報)及び姿勢(xθ, yθ, zθ情報)の不確かな状態を確実にするための情報の処理が行われる。人は部品を組立てる際、対象部品を見て、指を使い、部品姿勢を変更させながら最終的に組立を行うが、この動作は部品の位置・姿勢の不確かさを、情報を処理しながら順次減少させていることに他ならない。

本研究ではこの“組立の意味”をもとに、以下に示す新たな考え方を提案する。

- (1) 組立の難しき及び組立工法の効率のよきは、この不確かさで整理され、その大きさが自動化の可否やコスト、品質を大きく左右する。
- (2) さらに、前述の新組立工程設計モデルで提案したように、組立工程設計はダイアグラムのシンプル化で整理されるが、このことは、扱わなければならない不確かさの変化で捉えることができる。
- (3) 無駄のない効率的な組立工程設計ほど、シンプルなダイアグラムで表されるという視点に立ち、本設計のよしあしは、全対象部品で扱わなければならない不確かさで評価できる。

以上の考え方をもとに本研究では、不確かさ及びその変化を定量的に評価することのできる情報エントロピーの理論に着目し、次に組立工程設計への適用研究を行う。

情報理論によると、情報エントロピー $H$ は、以下の式で表わされ、ものごとの不確かさを表す評価値として、定義付けられている<sup>3)</sup>。単位はbitで表され、事象 $X_i$ が起こるときの確率を $P(X_i)$ としている。

$$H = -\sum P(X_i) \log_2 P(X_i) \quad (1)$$

さらに状態1にあるシステムが状態2に変わるとき、両者の情報エントロピーを式(1)をもとに各々 $H_1, H_2$ とすると、不確かさの減少量は式(2)で表され、この値が小さければ小さいほど無駄のない効率的なシステムと見なされる<sup>4)</sup>。

$$H_i = H_1 - H_2 \quad (2)$$

この理論は、設計公理の一つである情報公理「情報

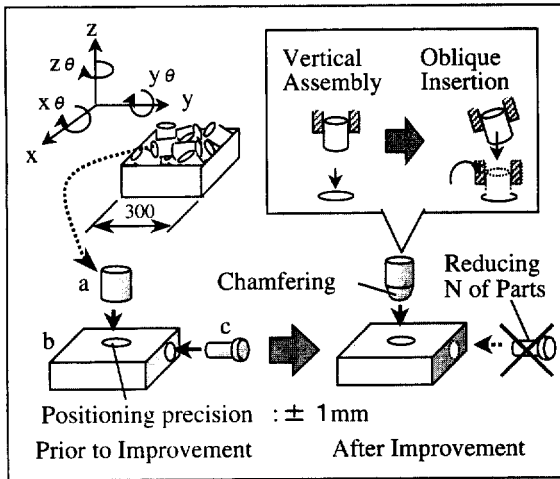


Fig. 4 Assembly method improvement

量(本論文でいう情報エントロピー)を最小化せよ<sup>7)</sup>, に基づくものであり, システム構成法の評価等, いくつかの分野で活用されている. しかし, 今回のケースのような組立工程設計に適用するためには, 互いに影響し合う製品, 工程, 工法案の全てが, 的確に評価できなければならない, なおかつ評価者によって結果が変わってはならない難しさがあるため, 算出方法及び算出結果に対する評価の考え方を明確に定義する必要がある.

本研究では, この情報エントロピーの理論を, 新組立工程設計モデルに適用するため, 以下に示す情報エントロピーの定義を導入する.

組立工程設計では, 製品構造を表す図面情報がどの程度の情報エントロピーに相当するかという視点と, その内どの程度の情報エントロピーが組立の際に実際に使われるかという, 2つの視点に着目する必要がある. 両者の情報エントロピーは, 必ずしも一致せず, 例えば, 複雑な構造の部品でも効率的な組立工法を活用すれば, 前者に対して後者の情報エントロピーを大幅に減少させることができる. このことから本研究では, 図面情報から算出される“対象とする情報エントロピー( $H_p$ )”と, 実際の組立に必要な図面情報から算出される“処理される情報エントロピー( $H_t$ )”の, 2種類の情報エントロピーを一对にして扱う. 前者の $H_p$ は製品サイドの視点に立ち, 製品構造のシンプルさを評価するものである. 一方後者の $H_t$ は, 生産技術サイドの視点に立ち, 組立工法のよしあしを評価するものであり, 同一の製品構造でも, 効率のよい組立工法を活用するほどこの値は小さくなる.  $H_t, H_p$ の2つに層

別した評価手法により, 製品面及び生産技術面のどちらを優先して改善すべきかを適宜把握しながら, 組立工程設計を進めることができる. 次にこの定義に基づき, 組立工程設計モデルにおける初期段階, 製品構造検討段階, 基本工程検討段階, 組立工法検討段階への具体的な適用手法を以下に示す.

- (1) 初期段階における対象とする位置・姿勢の情報エントロピー ( $H_p$ ) は, 製品図面情報から求められる結合関係(クリアランス, 寸法公差等)及び, 部品の属性(剛性等)をもとに割り出すことができる. Fig. 4中の部品aに着目してみる. クリアランス・寸法公差等から求められる部品aの必要位置決め精度が仮に  $X = x_1, Y = y_1, Z = z_1, X\theta = x\theta_1, Y\theta = y\theta_1, Z\theta = z\theta_1$ , 同様に, 組付前の位置, 姿勢のばらつきを  $X = x_0, Y = y_0, Z = z_0, X\theta = x\theta_0, Y\theta = y\theta_0, Z\theta = z\theta_0$  とすると, この場合の  $H_p$  は, 式(2)をもとに, 式(3)で表される.

$$\begin{aligned}
 H_p = & \log_2 P(x_0)/P(x_1) + \log_2 P(y_0)/P(y_1) \\
 & + \log_2 P(z_0)/P(z_1) + \log_2 P(x\theta_0)/P(x\theta_1) \\
 & + \log_2 P(y\theta_0)/P(y\theta_1) \\
 & + \log_2 P(z\theta_0)/P(z\theta_1)
 \end{aligned} \tag{3}$$

一方, この段階における処理される情報エントロピー ( $H_t$ ) は, 生産技術の検討がまだなされていないことから, 式(4)に示すように  $H_p$  と同じ値であると見なす.

$$H_p = H_t \tag{4}$$

- (2) 製品構造検討段階では, 部品点数や品番数が低減されるが, この効果は, 低減される対象部品の  $H_p$  で表すことができる. Fig. 4では部品cが削減されるが, この効果は部品cを組付るために必要と考えられていた  $H_p$  に他ならない. この段階も初期段階同様, 生産技術の検討は行われていないことから, 処理される情報エントロピーは対象とする情報エントロピーと同じ値となる.
- (3) 基本工程検討段階では, 組立性の改善が行われるが, これも,  $H_p$  の低減で表すことができる. Fig. 4では, 部品aは挿入性の改善により面取りが設けられているが, これにより, 面取りの分だけ組立直前の厳密な位置合わせが不要となる. このことは, 上記式(3)の  $x_1, y_1$  の値が面取り効果により大きくなり,  $H_p$  が減少することを意味する. 一般的に, 組立の難易の差は, 位置, 姿勢の  $H_p$  の大小で説明が付けられる. またこの段階では, 組立順の決定や公知の組立工法の適用が検討されるが, この時に  $H_t$  が低減する.

Fig. 5 では、ある製品を組み立てるのに、(A)(B)2つのパターンの組立順が示してある。また、各々の情報エントロピーを  $H_p(A)$ ,  $H_t(A)$ ,  $H_p(B)$ ,  $H_t(B)$  とする。このうち、前者の  $H_p$  は図面情報(公差, クリアランス等) から算出されるため、組立順によらず一義的に決まり、式(5)が成り立つ、

$$H_{p(A)} = H_{p(B)} \quad (5)$$

一方、 $H_t$  については式(6)が成り立つ、

$$H_{t(A)} < H_{t(B)} \quad (6)$$

これは、組立順(A)では、部品1を組み付ける時に部品2がガイドとして機能するため、厳密な位置合わせが不要となるためである。

- (4) 組立工法検討段階では、処理される情報エントロピー  $H_t$  が、より効率的な組立工法の導入により低減される。Fig. 4 では、部品 a を挿入する工法を、垂直挿入方式から、斜め挿入方式に変更しているが、このことにより、厳密な位置合わせが不要となり面取りと同等の効果が生まれる<sup>9)</sup>。それ故、この組立工法の導入効果も式(3)で表すことができる。

以上のことから、組立工程設計モデルで扱う製品構造検討、基本工程検討及び組立工法検討は、何れも2つの情報エントロピー及びその変化で表せられることがわかる。この提案により、全ての検討項目を一元的に定量評価できると考えられる。

以下に、 $H_p$  と  $H_t$  の簡単な計算例を示す。Fig. 4 に示すように、部品 a (面取り前) の組付に必要な位置決め精度を x 成分で ±1 ミリ、組付前の位置のバラツキ (組付前の部品が箱の中にバラ積みに収容されている状態) を ±150 ミリ (箱のサイズを意味する) と仮定すると、この部品組付に要する x 成分の  $H_p$  は式(2)をもとに、以下の式で表され、答えは 8 bit となる、

$$H_p = -\log_2(2/300) = 8 \quad (7)$$

ここで部品 a に面取りを付け、その効果により必要位置決め精度が ±3 ミリになったとすると、式(7)の分

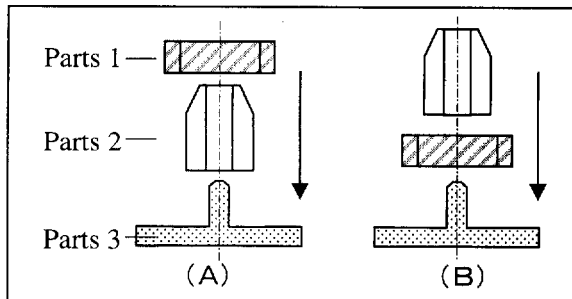


Fig. 5 Assembly sequences

子が6に置き換わり、 $H_p$  は 6 bit となる。次にこの部品に対し、Fig. 4 に示すように斜め挿入を採用し、位置決め精度が ±6 ミリでも組付が可能となると、 $H_p$  は 6 bit であるのに対し、 $H_t$  は式(7)の分子が12に置き換わり、5 bit となる。このように、 $H_p$ ,  $H_t$  共に簡便に求められることがわかる。

### 3.3 新組立設計法

新組立工程設計モデル及び情報エントロピーの活用をもとに、新組立工程設計法を提案する。Fig. 6 に新組立工程設計法を、Fig. 7 に各検討と情報エントロピーの関係を示す。Fig. 6 に示す新組立工程設計法では、工程の仕様書が3段階の検討を経て、作成されていく。また各段階では、情報エントロピーに着目した定量評価基準が適用される。まず第一段階では、情報エントロピーを活用しながら、製品構造の簡素化検討が行われる。ここでは対象とする情報エントロピー ( $H_p$ ) と処理される情報エントロピー ( $H_t$ ) の両者が同じだけ低減される。次に第二段階では、この図面をもとにして、組立易さの改善や組立順の決定を行いながら、基本工程を構築し、工程系統図を出力する。第二段階ではまず  $H_t$  と  $H_p$  が同じだけ低減し、さらに組立順等の変更により、 $H_t$  が低減される。最後に第三段階では、この工程系統図をベースに組立工法の検討が行われ、工程案が出力される。この段階では、新組立工法の提案により、 $H_t$  が低減されるが、製品図面の変更は行わないため、 $H_p$  は第2段階の値と同じになる。新組立工程設計の特徴をまとめると以下のようになる。

- (1) 各検討項目は3つの段階に明確に分類され、適切な検討順が定義付けられるため、簡素化された組立工程設計フローを実現できる。
- (2) 情報エントロピーによる全検討項目に対する統一した評価基準が適用されるため、検討項目の重要度や再検討項目の優先順位を常に明確化しながら作業を進めることができる。
- (3) 製品面の評価を“対象とする情報エントロピー ( $H_p$ )”、生産技術面の評価を“処理される情報エントロピー ( $H_t$ )”と層別した分析を行うため、より優れた工程設計案を導出するための的確な方向付けができる。
- (4) 情報エントロピーによる分析は、製品図面情報に着目したものであることから、コスト評価に比べて、工程設計のより初期の段階から評価が可能であり、迅速な検討を実現できる。

以上により、新組立工程設計法は、迅速かつ的確な

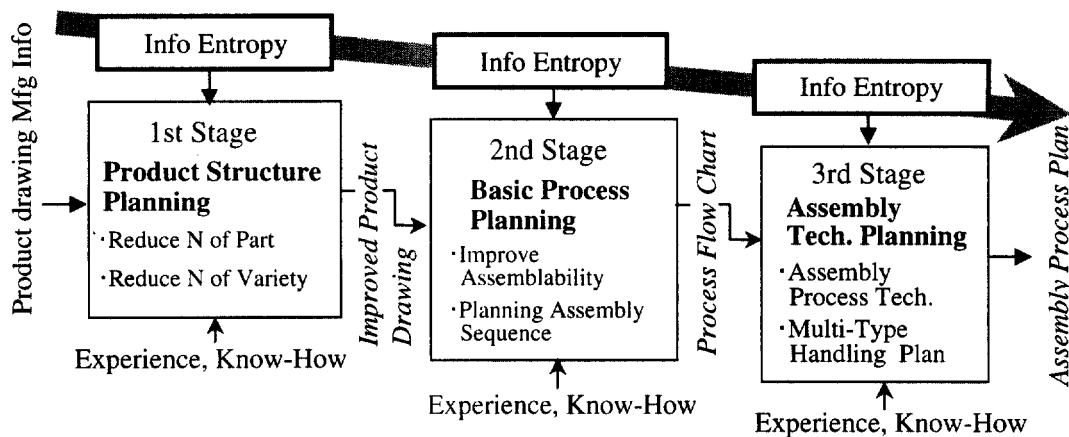


Fig. 6 New assembly process planning method

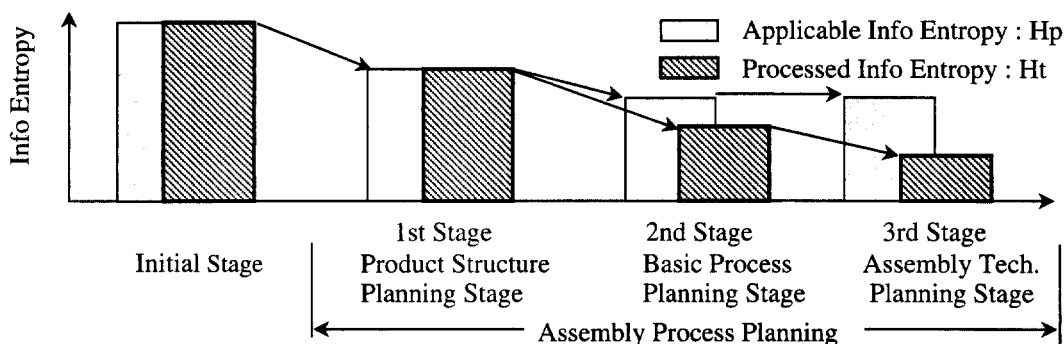


Fig. 7 Relation between each planning and info entropy

組立工程設計を実現できることがわかる。

#### 4. 適用事例

Fig. 8 に、カーエアコンの送風機である“ブロー”を対象にした、新組立工程設計法の活用例を記す。一般的にブローは、多数の部品で構成され、車種毎の設計であることから多数の品番を要す。

提案した新組立工程設計法に従い、まず第1段階の製品構造の簡易化検討が行われた。具体的には、Fig. 8 左上の製品図に示すように、部品点数が47点から27点に削減され、さらに品番数の低減も各部品毎に行われた(ex. 部品Aは18種類有したものを1種類に標準化)。この検討は、改善前後の製品図面情報をもとに、情報エントロピーで評価でき、Fig. 8 下に示すように、 $H_p$ 、 $H_t$  共に12926 bit から9427 bit へ減少する(①)。次に第2段階の基本工程検討段階では、部品B、C、Dの組立性改善が行われたが、このことによっても、情報エントロピーが減少(9427 bit → 9243 bit)する(②)。またこのとき、組立順の変更により、③の動きで示さ

れるように、 $H_t$  が9220 bit まで減少する。さらに第3段階の組立工法検討段階では、Fig. 8 右上に示すように、当製品の構成部品の一つである“リンク”の部品供給方法の検討が行われ、結果、ピンピックを用いた新方式が提案されている。従来の山積み部品を3次元認識する方法に対し、新方式では、2次元認識を2段階に分けて行う、人の効率的な動作を参考に考案した方法が採用されている。この2方式を情報エントロピーで評価すると、 $H_p$  は変わらないが、 $H_t$  については、新方式が従来方式に比べて約1/7の情報エントロピーの処理で実現できることから<sup>9)</sup>、その効果はFig. 8 右下に示すように、9220 bit から9083 bit への減少分となり(④)、より良い設計が行われていることを指している。以上製品構造、基本工程及び組立工法の3段階の検討により情報エントロピーを  $H_t$  で約30%低減したが、実際のコストを見てみると、27%のコストダウン効果を確認できた。また一連の検討に要した期間も従来に比べて35%短縮することができた。この適用結果から、情報エントロピーを活用した新組立工程設計法は、整理、体系化された検討手順のもと、一元的

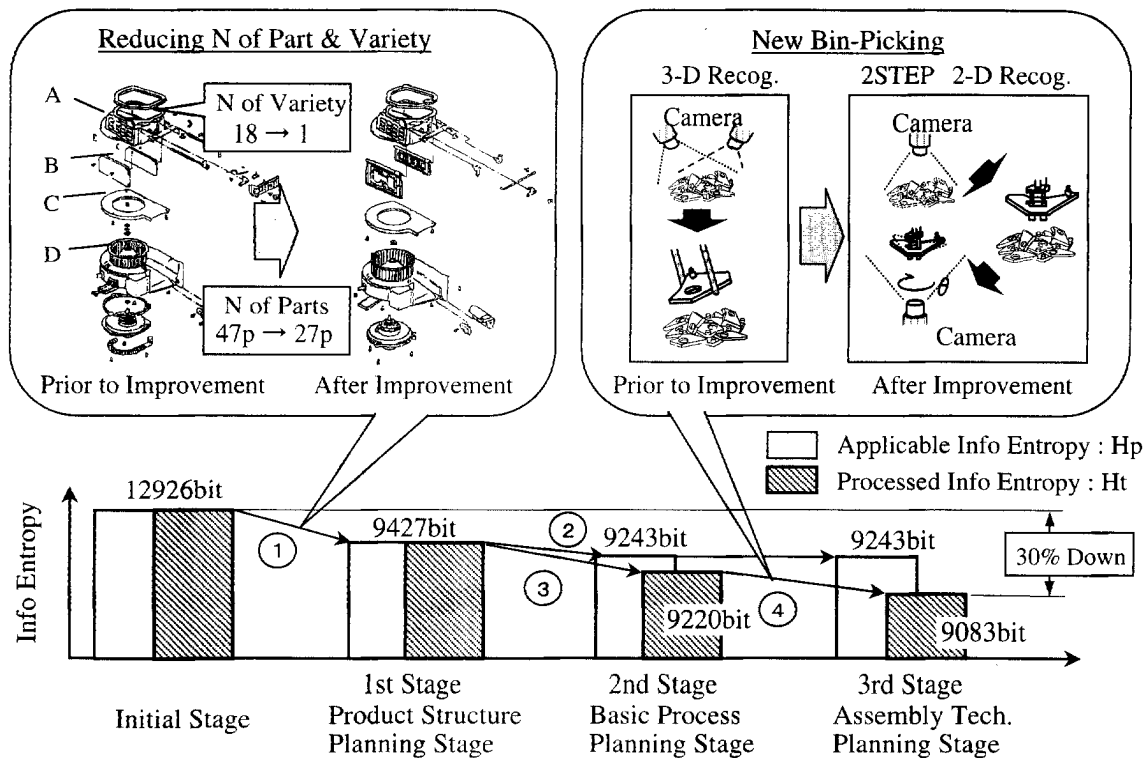


Fig. 8 Application for new assembly process planning method

な定量評価が可能となり、迅速かつ的確な組立工程設計を実現できることが示された。

### 5. 結 言

迅速かつ的確な組立設計を実現するため、新組立工程設計法を考案し、以下の結果を得た。

- (1) 実際の組立工程設計例の分析結果をもとに、製品面、工程面、工法面と3段階に階層化し順次検討を進める、新組立工程設計モデルを提案した。
- (2) 上記組立工程設計モデルに、情報エントロピーによる定量評価手法を導入した新組立工程設計法を構築した。
- (3) 新組立工程設計法を“ブロー”の組立工程設計に適用し、当手法の有効性を証明できた。

今後は、新組立工程設計モデル及び情報エントロピー適用の考え方について、妥当性の理論的証明をはかっていくと共に、当手法がさまざまな製品に対し、より効果的に活用されるよう、コンピュータを活用したシステム化に取り組む。

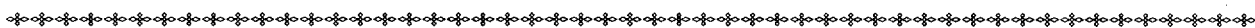
### ＜参 考 文 献＞

- 1) Geoffrey Boothroyd, Peter Dewhurst, Winston Knight : PRODUCT DESIGN FOR MANUFACTURE AND ASSEMBLY, Japan Uni Agency Inc., Tokyo, 1994.
- 2) Dr.-Ing. H.-P. Wiendahl : SHORTENING THE MANUFACTURING CYCLE OF PRODUCTS WITH MANY VARIANTS BY SIMULTANEOUS ASSEMBLY ENGINEERING, 10th International Conference on Assembly Automation, p11-16, 1989.
- 3) 李 光熙, 諸貫信行 : “エントロピー評価を用いた機械機能の組合わせ設計”, 精密工学会誌 Vol. 62, No. 11, 1996.
- 4) 中沢 弘 : “情報量の概念を用いた工程設計法”, 精密機械, Vol. 49. No. 9 (1983), 1246.
- 5) 松本和男, 花井嶺郎, 福井勝昭, 角田和雄, 渡辺昌一 : “「人機械協調型生産システム」の開発”, 精密工学会誌, Vol. 62, No. 7 (1996), 939-942.
- 6) Mineo Hanai, Kazuo Matsumoto, Hideo Fujimoto, Yasuhiro Iida : “HIGH-SPEED BIN-PICKING SYSTEM BASED ON HUMAN PER-



FORMANCE”, Proceedings of the 29th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, pp. 388-393, 1997.

7) Nam P. Suh, 畑村洋太郎監訳：“設計の原理”，p43 (1992).



〈著 者〉



花井 嶺郎 (はない みねお)  
生産推進センター  
取締役 生産技術部, 生産技術開発部, 材料技術部, 工機部担当 生産技術関連のシステム開発および要素技術の開発に従事.



小島 史夫 (こじま ふみお)  
生産技術部  
生産技術関連のシステム開発および要素技術の開発に従事.  
工学博士



藤本 英雄 (ふじもと ひでお)  
名古屋工業大学工学部機械工学科教授  
工学博士  
生産システムの研究に従事.



飯田 康博 (いいた やすひろ)  
生産技術部  
生産システムの要素技術の開発に従事.



松本 和男 (まつもと かずお)  
電気機器事業グループ  
常務取締役 電気機器事業グループ統括.  
工学博士