

# 形状偏差を持つ立体部品の組立状態評価

1V-9

井上 恵介

日本アイ・ビー・エム(株) 東京基礎研究所

## 1 はじめに

計算機で機械製品の形状を管理する CAD の利用が進んでいる。しかし、計算機の中に表現されているのは、理想的な平面と曲面を寸分の狂いなく配置して構成した『完全な形状』である。一方、現実の部品は理想形状からの偏差を必ず含んでいる。偏差が大きいと組立不能になったり製品の機能・精度を損なったりするので、設計者は図面に公差 (ex. 寸法公差, 真円度 etc.) を入れることで偏差を制限する。しかし、厳し過ぎる公差は加工コストの無駄な増加につながる。従って、製品の仕様を満たす範囲でできるだけ緩い公差を設定することが重要になってくる。

本稿は、公差設計を計算機で支援するため、偏差のある形状を表現するモデルを提案し、部品の偏差が製品(組立品)全体に及ぼす偏差を評価する方法を示す。

## 2 接触状態の解析

### 2.1 組立品の接触問題

本稿では次のような用語を用いる。

**ノミナル形状** 加工誤差や組立性を考慮に入れる前の設計段階での部品の形状。

**クリアランス** 加工誤差や組立性を考慮してノミナル形状の面に与えるオフセット。

**設計変数** 製品の機能にとって重要な意味を持つ幾何的な量。この値が基準値から一定の範囲の内にいることが要求される。

図 1 に示すように、実際の部品の形状はノミナル形状とクリアランスの合成に、個々の部品ごとに異なる加工誤差を加えたものとみなせる。

ノミナルな部品だけで組立品を作れば、全ての対向する面のペアは完全に一致し、設計変数も理想的な値をとるはずである(このときの部品の相対位置をノミナル位置と呼ぶ)。しかし偏差があると、組立不能になるか、面ペア間にすきまができて接触状態(相対位置)が変わるかのいずれかになる。後者の場合、設計変数の値を見積もり、許容範囲の内にあるか確認する必要がある。逆にいうと、そうなるようにクリアランスと公差を設計することが目標である。

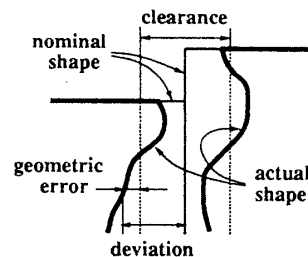


図 1. ノミナル形状と偏差

### 2.2 偏差形状モデル

部品のノミナル形状として多面体を仮定する。偏差形状モデルは、第一に多様な偏差のモードを表現できることが必要である。ノミナル形状における平面分は、偏差の結果、平面のまま位置や姿勢が変わるわけではなく、ゆがんだり凹凸ができたりにする。第二に、モデルにおいて、形状のノミナルな部分と偏差の部分とを区別して扱えることが望ましい。

そこで、面上の複数の点における法線方向の変位により、偏差を表現するモデルを提案する(図 2)。具体的にはノミナル形状を表す境界表現の立体モデルに対し、頂点に加工誤差を、面にクリアランスを持たせる。面上や稜線上に便宜的な頂点を設けることで、必要に応じて複雑な偏差を表現することができる。

Assembly simulation for 3D parts with geometric deviations

Keisuke INOUE

IBM Japan, Tokyo Research Laboratory

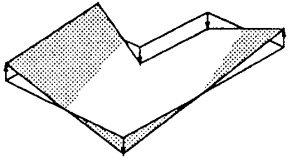


図 2. 偏差のある面分のモデル

### 2.3 部品の非干渉条件

各部品のノミナル位置からの変位は、並進と回転を合わせて6自由度ある。部品が  $N$  個あるとすれば、基準となる部品を除外して計  $6(N-1)$  自由度の C-空間をなす。[Turner90] は、対向する面ペアが干渉しない条件を一方の面上の点と他方の面との距離が正であるという条件の集まりで表し、さらに全ての面ペアについてその AND をとることで部品どうしの非干渉条件を表した。点と面との距離の条件は、偏差による位置の変化が微小であることから線形化されて一次不等式となる。結局部品どうしの非干渉条件は、C-空間中の凸超多面体領域になり、線形計画法の拘束条件の形になる。

本稿で提案した偏差形状モデルは、面分上の幾つかの点において偏差（面のクリアランス+その点での加工誤差）を保持するため、上記の距離の条件（不等式）に距離のオフセットとして容易に取りこむことができる。

### 2.4 締結方法と安定条件

C-空間中の可能領域がわかると、次にその領域のなかの1点、すなわち部品が最終的に固定される状態を決定する。

組立状態を決めるため、[Turner90] は面ペアの最大接触条件を線形計画法の目的関数として使った。しかし組立状態は、偏差のしかたが全く同じでも部品どうしを固定する方法（ボルト、リベット、はめ込み etc.）や組立順序などによって違ってくる。本研究では、締結条件を (1) 外力とモーメントのもとでの力学的安定と (2) 相対位置についての幾何的制約、の組合せによって表現することにより、より精密に締結の条件を考慮する。

力学的な安定条件はポテンシャル  $E$  の極小であるので、これを目的関数として最小化すればよい。

$$E = -F \cdot dx - (M + x_p \times F) \cdot d\alpha$$

$F, M$ : 外力, モーメント  
 $dx, d\alpha$ : 並進, 回転の変位  
 $x_p$ : 外力の作用点

## 3 例題

縦方向のボルト締めと横方向のボルト締めを、全く同じ偏差を持った部品に適用した場合の例を図3に示す。また、公差の範囲内でランダムに偏差を生成し、横方向のボルト締めを行なった場合の設計変数分布を図4に示す。公差設計支援においては、加工誤差を決定的に予測することはできないので、設計変数の分布をみることになる。

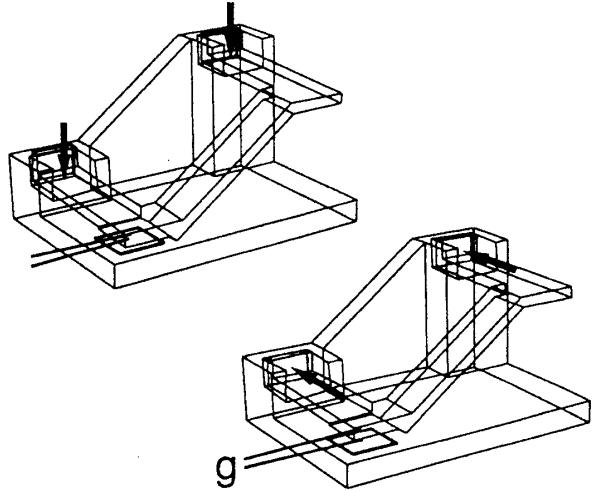
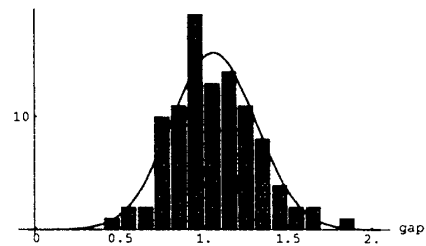


図 3. 締結条件による安定位置の違い

図 4. 偏差に対する設計変数  $g$  の分布

## 4 おわりに

部品の組立状態をシミュレートするための偏差形状モデルを提案した。このモデルを用い、外力による安定条件のもとで接触状態を決定した。部品の締結方法を外力と幾何制約との組み合わせで表すことにより、締結方法を考慮した安定位置を計算することができる。

## 参考文献

[Turner90] J.U.Turner. Relative positioning of parts in assemblies using mathematical programming, Computer-aided Design, Vol.22 No.7 pp.394-400 (1990)