

1.はじめに

三次元測定機を用いた検査システムは、実際の加工面と理想的な設計形状とを比較することによって検査が行われる。加工面は、三次元測定機で測定された点の集合により定義される。このため、検査においては考慮すべき2つの観点がある。これは、

- 1) 加工された部品と理想的な設計形状との相対位置の決定。
 - 2) 実際の加工形状と設計形状との偏差の評価。
- である。

従来、三次元測定機上の測定形状の位置決めは、部品形状が”理想的参照面をもつ”と仮定して、作業者が三次元測定機上の参照点を一致させるという手作業で行っていた。しかし、参照面が加工形状にない場合、設計形状は、加工面と”フィット”するために、設計形状上の理論点と測定点とが接近するように”移動”されなければならない。本研究では、この作業を自動化するために、”微小変位スクリュー法”(Bourdet [1]) に基づいた方法を提案する。本報では、その方法論と球と円錐についての応用例について報告する。

2.微小変位スクリュー法

剛体の各点における変位を、微小変位スクリュー法を用いてある点の平行移動ベクトルと、その点回りの回転ベクトルで表現する。参照点が、AからBに変化した場合(AとBは同じ剛体上の点)、点Aにおける変位 \vec{D}_A は点Bにおける変位 \vec{D}_B を用いて、(1)式で与えられる。

$$\vec{D}_A = \vec{D}_B + \vec{AB} \times \vec{R} \tag{1}$$

ここで \vec{R} は、回転を表すベクトルである。角度が微小な場合、回転マトリックスのかわりに回転を表すベクトルで表現することができる。この2つのベクトルの順序対 $\{\vec{D}_B, \vec{R}\}$ を、微小変位スクリューと呼ぶ。

3.L₂-normによる最小自乗法

次に、微小変位スクリュー法を用いてL₂-normによる最適化法について説明する。図1に加工面と設計形状(以下理論面とする)を示す。この図において、ある加工面上の測定点をM₁、その最適化前の理論点を

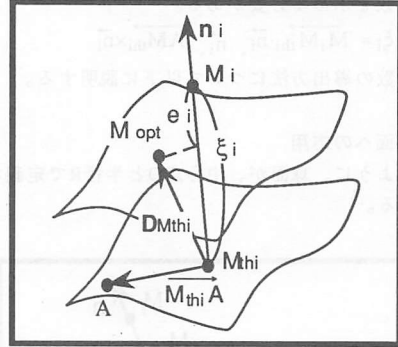


図1.スクリュー変位モデル

M_{thi}、そこでの法線ベクトルを \vec{n}_i とし、最適化後の理論点をM_{opt}とする。最適化とは、理論面を測定面方

向に偏差 $\xi_i = \overline{M_{thi} M_i} \cdot \vec{n}_i$ だけ移動することである。すなわち、理論面と測定面との”フィッティング”を意味している。しかし、理論面と測定面とは一致しないために、最適化後には(2)式に示す偏差が生ずる

$$e_i = \xi_i - \overline{D_{M_{thi}}} \cdot \vec{n}_i \tag{2}$$

ここで、 ξ_i は最適化前の偏差、 e_i は最適化後の偏差である。

(1)式から、M_{thi}における変位を、剛体の任意の点Aの変位 \vec{D}_A をもちいて(3)式のように表すことができる。

$$\overline{D_{M_{thi}}} = \vec{D}_A + \overline{M_{thi} A} \times \vec{R} \tag{3}$$

(3)式を(2)式に代入して(4)式の関係を得る

$$e_i = \xi_i - \left\{ \overline{D}_A \cdot \vec{n}_i + \left(\overline{A M_{thi}} \times \vec{n}_i \right) \cdot \vec{R} \right\} \tag{4}$$

普通、測定点は(4)式における独立な未知数の数よりも多いため、微小変位スクリューの6個の未知要素(u₁, u₂, u₃, θ₁, θ₂, θ₃)に対するN本の線形方程式が得られる。理論面と、加工面との距離の最小化のためにL₂-norm(最小自乗法)を用いて、全てのN本の式を満足する最適な値を決定する。すなわち、(5)式におけるWを最適にするような(u₁, u₂, u₃, θ₁, θ₂, θ₃)を計算する。

$$W = \sum_{i=1}^N (e_i)^2 \tag{5}$$

4. 最小自乗法の応用

以下に球、円錐面のスクリュウ変位法の応用について考察する。球面、円錐面について(4)式における以下の係数を求める必要がある。

$$\xi_i = \overrightarrow{M_i M_{thi}} \cdot \vec{n}_i, \vec{n}_i, \overrightarrow{AM_{thi}} \times \vec{n}_i$$

この係数の導出方法について以下に説明する。

4.1. 球面への応用

図2のように、球面が、中心点Oと半径Rで定義されたとする。

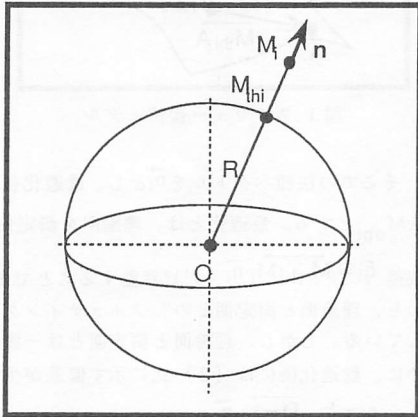


図2. スクリュー変位法の球面への応用

測定点を M_i 、理論点を M_{thi} とする。式(4)におけるA点をここでは、O点とする。図2より、

$$\overrightarrow{M_{thi} M_i} \cdot \vec{n} = |\overrightarrow{OM_i}| - R \quad (6)$$

$$\vec{n} = \frac{\overrightarrow{OM_i}}{|\overrightarrow{OM_i}|} \quad (7)$$

$$\overrightarrow{AM_{thi}} \times \vec{n} = \vec{0} \quad (8)$$

となる。(6)、(7)、(8)式を用い(4)式の各項を計算することが可能となる。ここにおいて、

(8)式より、回転ベクトル \vec{R} の係数はゼロとなる。しかし、球面は、中心点において点対称となるので、回転を考慮する必要がない。

4.2. 円錐面への応用

図3のように、円錐面が、頂点Aと頂角 2α 、軸方向ベクトル \vec{a} で定義されたとする。

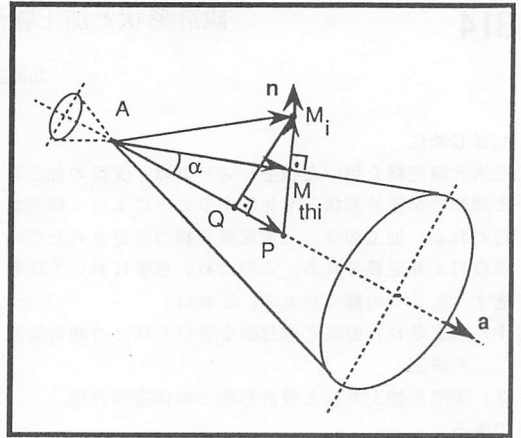


図3. スクリュー変位法の円錐面への応用

測定点を M_i 、理論点を M_{thi} とする。点Pは、軸と、 M_i と M_{thi} とを結ぶ線との交点、点Qは、点 M_i から軸におろされた垂線の足である。図3に示された幾何学的関係から、

$$\overrightarrow{AP} = \{ \vec{a} \cdot \overrightarrow{AM_i} + |\overrightarrow{AM_i}| \sin \alpha \} \vec{a} \quad (9)$$

$$\overrightarrow{M_{thi} M_i} \cdot \vec{n} = \overrightarrow{AM_i} \cdot \vec{n} - \overrightarrow{AP} \cdot \vec{n} - |\overrightarrow{AP}| \sin \alpha \quad (10)$$

$$\vec{n} = \frac{\overrightarrow{AM_i} - \overrightarrow{AP}}{|\overrightarrow{AM_i} - \overrightarrow{AP}|} \quad (11)$$

$$\overrightarrow{AM_{thi}} \times \vec{n} = \overrightarrow{AP} \times \vec{n} \quad (12)$$

(10)、(11)、(12)式を用い(4)式の各項を求めることが可能となる。

5. おわりに

微小変位スクリュウ法に基づいたベストフィット法について、その方法論と球と円錐についての応用例について報告した。我々は、平面と円筒面における応用について以前報告している(田中[2])。今後の課題はより複雑な曲面や自由曲面に対する適用である。

6. 参考文献

- 1) P. Boudet et al.: A Study of Optimal-Criteria Identification Based on the Small-Displacement Screw Model, Annals of the CIRP, Vol. 37, pp503-506, 1988
- 2) 田中他: 離散測定データと幾何モデルとの同定(第5報)、1991年度精密工学会秋季大会論文集