

城間祥之（北海道東海大），川島泰正（日立製作所），嘉数侑昇（北大），沖野教郎（京大）

1. はじめに

NC工作機械での切削を想定した加工シミュレーションやロボットアームの動作を検証するモーションシミュレーションなどは、移動物体とそのまわりの環境（静止物体）との干渉域を表示するような視覚的検証用ツールとして効果を発揮しているが、干渉（切削）量の算出など、定量的な処理を必要とする問題には適用できない場合が多い。その主な原因は、動的なシミュレーション用に作成された移動軌跡表示モデルが、それとは個別にソリッドモデル化された静止物体と統一的に表現されていないことにある。モデリングの統一性を考慮すると、移動軌跡もソリッドモデル化されることが望ましい。本研究では、物体の移動軌跡形状を静止物体形状と同一手法により表現することを目的として、3-Dソリッド物体形状の移動軌跡の数式化を行い、前報⁽¹⁾で報告した。ここでは、移動軌跡の表面が移動物体のどの部分によって生成されるかを考察する。

2. 移動軌跡の関数式定義

今、3次元直交座標系空間（Xと記す）において、ソリッド物体形状が移動する場合を想定する。移動をパラメータtで表現し、移動区間は $t=t_0$ から $t=t_1$ までとする。物体がその移動中に形や大きさを変えない場合、すなわち、物体形状がパラメータtに対して不変の場合のみについて考えるならば物体の移動は、移動物体形状を記述する座標系（これを移動座標系と呼び $X_m(t)$ と記す）のワールド座標系（ X_w と記す）に対する移動として記述できる。両者の関係については前報を参照のこと。今、移動物体形状を表す関数F(X)が設定できるものとし、この関数は物体内部の空間点に対しては正值、物体表面上の空間点にはゼロの関数値を持つものとする、移動物体形状が移動中のある時点tに占める空間点の集合V(t)は次式のように定義できる。

$$V(t) = \{X_w \mid F(X_m(t)) \geq 0\} \quad (1)$$

従って、ソリッド物体形状の移動軌跡 S_u は次式のように定義される。

$$S_u = \{X_w \mid \exists t(t_0 \leq t \leq t_1); F(X_m(t)) \geq 0\} \quad (2)$$

式(2)における“ $\exists t(t_0 \leq t \leq t_1)$ ”は動的に定義された領域を静的に落とすための処理を意味すると考えられるから、移動軌跡 S_u は関数Fが移動区間 $[t_0, t_1]$ でとる最大値(F_{max} と記す)を用いて次式のように定義することも可能である（図1参照）。

$$S_u = \{X_w \mid F_{max}(X_w) \geq 0\} \quad (3)$$

ただし、

$$F_{max}(X_w) \equiv \text{MAX}_{t=t_0}^{t_1} F(X_m(t)) \quad (4)$$

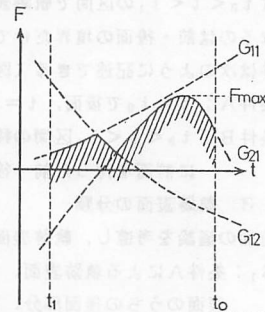


図1 関数Fとその最大値の様相

3. ソリッド移動軌跡表面に関する考察

3.1 軌跡表面の条件

任意の空間点が移動軌跡の表面上にあるための条件は次の二つである（図2参照）。すなわち、①移動物体の表面のみがその点を通る。言い換えれば、式(4)の関数値が $F_{max}=0$ となる点であること。②近傍に $F_{max}>0$ 、 $F_{max}<0$ を各々満たす領域があること。

3.2 軌跡表面の生成過程

移動物体形状を構成する表面各点での形状外向きを正とした法線ベクトルをn、その点の移動速度ベクトルをVと記すと、軌跡表面の生成過程は両ベクトルを関係づけて以下のように分類できる（図3参照）。

- ① $n \cdot V > 0$ ② $n \cdot V < 0$ ③ $n \cdot V = 0$ ④ nが定義不能。

①は移動物体の進行方向にある面で、『前面(fore)』と呼ぶことにする。

ワールド座標系から見ると、前面は次の瞬間に移動物体形状の内部になる位置にあり、 $t < t_1$ では軌跡表面になり得ない。②は①の逆で、『後面(back)』と名付ける。後面は一瞬前には移動物体形状の内部であった位置にあり、

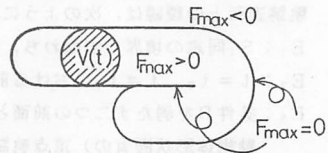


図2 軌跡表面の条件

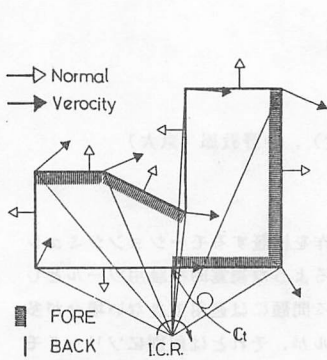


図3 移動物体形状表面上の法線と移動速度ベクトル

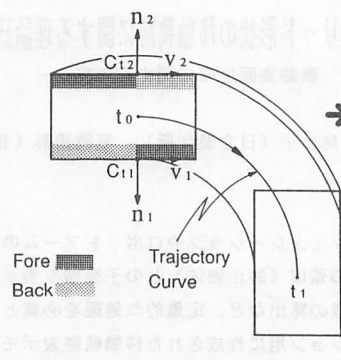


図4 物体移動の一例と生成される移動軌跡の表面の分類

$t > t_0$ では軌跡表面になり得ない。移動物体形状を構成するある面素(曲面 $G_{ij}(X) = 0$ の一部)について③の関係を考えてみると、

$$\frac{d G_{ij}}{d X_m} \cdot \frac{d X_m}{d t} = 0 \quad (5)$$

すなわち、

$$\frac{d}{d t} G_{ij}(X_m(t)) = 0 \quad (6)$$

であり、曲面 $G_{ij}(X_m) = 0$ 上の包絡面特性曲線式 C_i である。従って、③は通常ある面素によって区切られた特性曲線上で成立し、その面素は特性曲線を境に前・後面に分割される。④は移動物体形状表面の稜線の場合で、前・後面の境界としても存在する。移動物体形状表面のうち、前・後面は $t_0 < t < t_1$ の区間で軌跡表面に成り得ない。この区間で軌跡表面になるのは前・後面の境界だけである。以上のことから、軌跡表面の生成条件は次のように記述できる(図4参照)。

条件A: $t = t_0$ で後面, $t = t_1$ で前面。

条件B: $t_0 < t < t_1$ 区間の移動物体形状表面上で、速度ベクトル方向に前面を持った前・後境界。

3.3 軌跡表面の分類

前節の議論を考慮し、軌跡表面を次のように分類する(図4,5,6参照)。

S_1 : 条件Aによる軌跡表面。すなわち、移動開始時 t_0 での物体形状表面のうちの後面部分。同様に、移動終了時 t_1 での前面。

S_2 : 条件Bを満たす前・後面境界稜線の軌跡である。

S_3 : 条件Bを満たす特性曲線による包絡面。

S_4 : 条件Bを満たす前・後境界面素の軌跡である。これは、式(6)が面素全域で成立する場合で、ここでは S_3 と区別して分類する。

3.4 軌跡表面上の稜線の分類

軌跡表面上の稜線は、次のように分類することができる(図5,6参照)。

E_1 : S_1 同志の境界。すなわち、移動物体形状自身の稜線の一部である。

E_2 : $t = t_0$, $t = t_1$ における前・後面の境界稜線である。

E_3 : 条件Bを満たす二つの前面と一つの後面によって構成される(移動物体形状固有の)頂点軌跡で、 S_2 同志の境界線である。

E_4 : 条件Bを満たす特性曲線の端点の軌跡で、 S_2 と S_3 の境界線である。

E_5 : すでに生成されている軌跡表面に新たに生成された軌跡表面が交差してできる交線である。

参考文献 (1)城間ほか、『3-Dソリッド形状の移動軌跡に関する理論研究』精密工学会昭和63年度北海道支部学術講演会論文集, 1988, P.39-40.

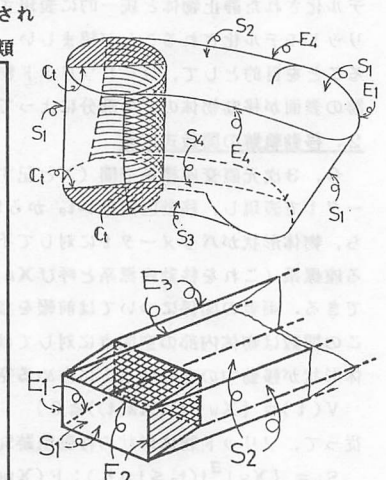
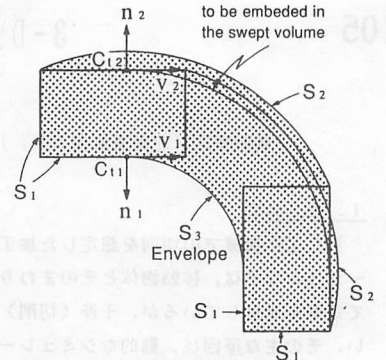


図5 移動軌跡稜線の分類

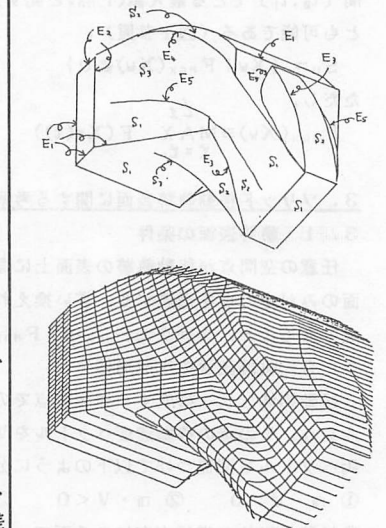


図6 実験例