

苫小牧高専 ○青山英樹, (株)ニコン 河合正治, 北工学部 岸浪建史, 斎藤勝正

1. 緒言

自由曲面の測定を困難にしている最も大きな理由は、接触プローブと自由曲面との接触点位置を確定できない事にある。この問題を解決するため、筆者らは接触点の位置ベクトルとその単位法線ベクトルを測定可能な面法線検出プローブ<sup>1), 2), 3)</sup>の開発を行ってきた。

自由曲面は曲面パッチにより構成され、曲面パッチは一般に4コーナーにおける位置ベクトル、接線ベクトル、ねじれベクトル(あるいは等価制御点)により定義され、その補間形状として得られる。したがって、図1に示すようにパッチのある断面の離散点が測定されたとしても、測定データとパッチ定義データの関係が明かでないため、現状においては自由曲面の測定評価法は確立していない。

本研究では独自の自由曲面測定評価法を提案し、実験によりその有効性を確認したので報告する。

2. 面法線検出プローブと測定精度

提案する自由曲面測定評価法は面法線検出プローブを用いることを基にしている。図2(a)は開発された面法線検出プローブを示しており、絶縁セラミック球表面にTiNiを蒸着し、上半球上にAu電極を設置した単純な構造となっている。その検出原理は既報<sup>1)</sup>を参照していただきたい。また、同図(b)は法線方向を表すための座標系を示している。キャリブレーション実験は図3に示す方法により行った。すなわち、φ方向可動型円テーブル上にθ、φ方向微調整テーブルを固定し、さらにθ方向に10deg.間隔に形成された面を有するポリゴンミラー(分解角度誤差:最大で3秒)を設置し、φ方向可動型円テーブルを10deg.間隔に設定してポリゴンミラー面の測定を行うことによりθ、φ方向にそれぞれ10deg.間隔のキャリブレーションデータを得た。ポリゴンミラー面の設置誤差はオートコリメータ(ニコン製)により確認しながらθ、φ方向微調整テーブルにより除去した。また、ポリゴンミラーはアルミ研削面となっているためCr合金を蒸着し、表面状態の改善(表面硬化)を行って用いた。

本プローブの測定精度を明らかにするため、キャリブレーション実験に用いたポリゴンミラー面をφ=120°, 300°に対してθ=0~90°とし、θ=60°に対してφ=180~360°として設定し、これらの面の測定結果と設定面角度の差(測定誤差)を求め、図4(a)~(d)に示した。同図より、本プローブの測定精度はおおよそθ、φ方向ともに0.1以下であると言える。

3. 自由曲面加工面形状の測定評価法の提案

曲面パッチの代表的補間方式であるCoons パッチあるいはBezier パッチともに、その定義データにおいてモデル形状を直接的に表しているのはパッチの4コーナーにおける位置ベクトルであり、その他は補間のためのデータである。また、加工面の測定において直接測定評価可能なパッチ定義データは、パッチコーナーの位置ベクトルと定義ベクトルの外積計算より算出されるパッチコーナー部の単位法線ベクトルである。

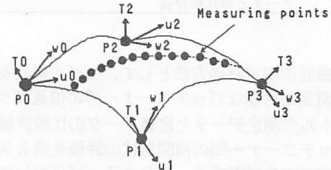
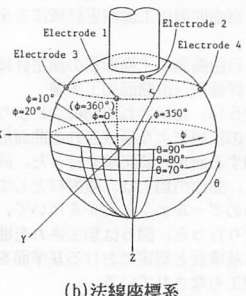


図1 曲面パッチ定義データと測定点



(a)面法線検出プローブの構成



(b)法線座標系

図2 面法線検出プローブ

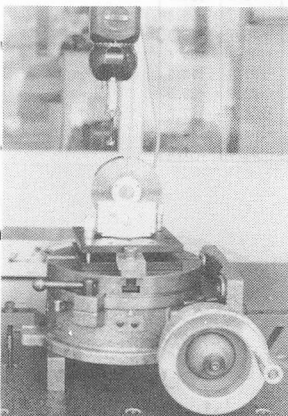


図3 キャリブレーション方法

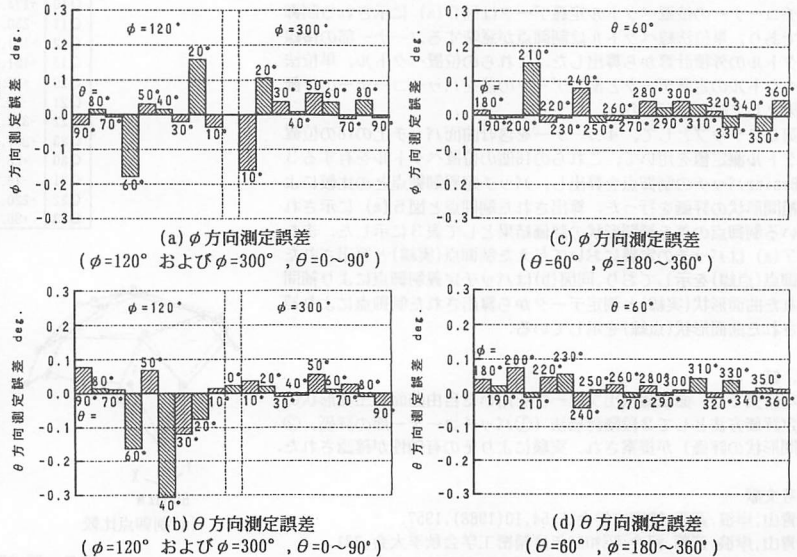


図4 面法線検出プローブの測定誤差

表1 自由曲面加工面測定評価法

曲面パッチの測定	
ステップ1:	パッチの4コーナーの位置ベクトルと単位法線ベクトルの測定
ステップ2:	任意の12点の位置ベクトルの測定
↓	
曲面パッチの評価	
ステップ1:	パッチ4コーナーの位置ベクトルと単位法線ベクトルに関して定義データと測定データの比較評価 (単位法線ベクトルの定義データはベクトルの外積計算より算出)
ステップ2:	4コーナーと任意の12点の位置ベクトル測定データよりパッチ定義データを算出し形状定義時において与えたパッチ定義データとの比較評価

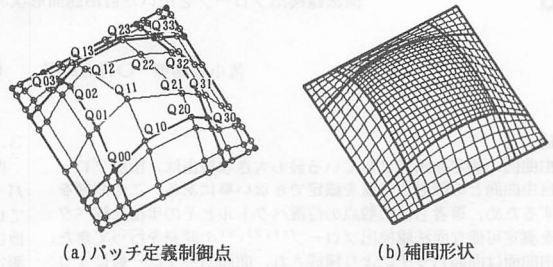


図5 評価用自由曲面

したがって曲面の測定評価方法として、モデル形状を直接的に表しており直接測定が可能なパッチコーナー部の位置ベクトルおよび単位法線ベクトルの測定データと定義データの比較評価を第1ステップとし、パッチコーナー間の補間形状の評価を第2ステップとする2段階測定評価法を提案する。第2ステップにおいては、パッチコーナーの4点の位置ベクトル測定値とパッチのコーナー以外の任意の12点の位置ベクトル測定値を用いてパッチ定義データを算出し、算出されたパッチ定義データとあらかじめ計算機モデル構築時に与えたパッチ定義データを比較し、補間形状の評価を行う。以上提案する自由曲面加工面測定評価法をまとめ表1に示した。

4. 自由曲面加工面形状の測定評価実験

4.1 評価用自由曲面加工実験

図5(a)に示される制御点により定義される9枚の3次Bezierパッチの接続により構成される曲面形状の加工を行い、中央のパッチに関する測定評価実験を行った。同図(b)はその補間形状を示している。曲面の加工は、被削材としてAl合金を用い、工具として直径25mmのボールエンドミルを用いて、NCフライス盤(牧野フライス製)により行った。図6は加工された曲面形状を示しており、加工における基準面と測定における基準面を一致させるためのX, Y, Z基準面の加工もなされている。

4.2 自由曲面測定評価実験

図6に示される加工面中央の曲面パッチに関して、4コーナーおよび任意の12点の位置ベクトルと単位法線ベクトルの測定を行った。第1ステップとして、パッチコーナーにおける評価を行った。パッチコーナーの位置ベクトル定義データは図5(a)に示される制御点であり、単位法線ベクトルは制御点が意味するコーナー部の接続ベクトルの外積計算から算出した。これらの位置ベクトル、単位法線ベクトルの定義データと測定データの差をパッチコーナーの評価結果として表2に示した。

第2ステップとして、4コーナーを含む曲面パッチ上の16の位置ベクトル測定値を用いて、これらの16個の位置ベクトルを有する3次Bezierパッチの制御点を算出し、パッチ定義制御点との比較により補間形状の評価を行った。算出された制御点と図5(a)に示されている制御点の差を補間形状の評価結果として表3に示した。また、図7(a)はパッチの定義において与えた制御点(実線)と算出された制御点(点線)を示しており、同図(b)はパッチ定義制御点により補間された曲面形状(実線)と測定データから算出された制御点により補間された曲面形状(点線)を示している。

5. 結言

本研究では、面法線検出プローブを用いた自由曲面加工面形状の測定評価方法として2段階評価法(①パッチコーナー部の評価、②補間形状の評価)が提案され、実験によりその有効性が確認された。

参考文献

- 1) 青山, 岸浪, 斎藤: 精密工学会誌, 54, 10(1988), 1957.
- 2) 青山, 岸浪, 斎藤, 河合: 昭和63年度精密工学会秋季大会, 331.
- 3) 青山, 河合, 岸浪, 斎藤: 1989年度精密工学会春季大会, 955.

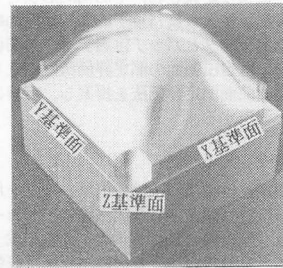


図6 評価自由曲面形状

表2 パッチコーナー評価結果

	Error $\mu\text{m}$			Error deg.	
	X	Y	Z	$\theta$	$\phi$
Corner 1 (Q00)	-57	+72	-0.8	+0.14	+1.33
Corner 2 (Q30)	+49	-47	-16	+0.12	-0.72
Corner 3 (Q03)	+26	-23	-23	-0.34	+0.04
Corner 4 (Q33)	+67	-31	+1.8	+0.02	+1.07

表3 補間形状評価結果

Error of control points $\mu\text{m}$	Z		
	X	Y	Z
Q00	-56.9	+72.0	-0.8
Q01	+56.3	-321.4	+28.9
Q02	+131.0	+250.9	+93.4
Q03	+49.0	+46.6	-15.8
Q10	-174.3	+281.5	+199.7
Q11	-230.0	+126.4	+72.7
Q12	-151.0	+509.9	-363.4
Q13	-161.0	-75.0	+104.1
Q20	+27.9	-102.3	-55.8
Q21	-66.6	-75.7	+45.9
Q22	-332.6	+108.9	+58.4
Q23	+207.3	-207.8	+173.9
Q30	+26.5	-22.9	-23.0
Q31	-78.7	-208.0	+117.2
Q32	-220.0	+163.6	+144.2
Q33	+66.7	-31.3	-1.8

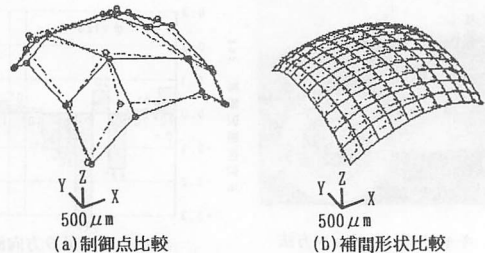


図7 要求形状と加工面形状