

オーバルミルによる金型の高能率・高精度加工

High Efficient and Accurate Die and Mould Machining by "Oval-mill"

キーワード

楕円エンドミル, 高能率加工, 磨きレス加工, NURBS 補間,
(オーバルミル), 高精度加工, 金型加工, CAM

機械工具事業部 工具技術部

岩本 謙治

1. はじめに

近年、ユーザーニーズの多様化に伴い多品種少量の工業製品が短期間で続々と生み出されている。これらの構成部品を作り出す金型の製作においては、アジア諸国の猛追あるいは生産の海外シフト化という時代背景が後押しをし、製作リードタイムの縮減や低コスト化という動きにさらに拍車がかかっている。例えば微小ピックフィードでの磨きレス加工による手仕上げ工数の削減、超高速加工による機械加工時間の縮減が強く求められている。

これらを満たす革新的な加工技術が、楕円型工具による曲面の高能率加工法である。この加工法は以前より提案されてはいるが、この度、課題であった高精度楕円プロファイル研削技術と楕円プロファイルに対応した高精度カットパス算出用 CAM を新たに開発したことにより、世界で初めて実用化するに至った。この時代のニーズに応えるべく開発した楕円形状の切れ刃を有するエンドミル「オーバルミル」について紹介する。

2. オーバルミルによる加工法

(1) 高能率・高精度加工

金型製作にはボールエンドミルが多く使用されている。このボールエンドミルでより高精度な加工を行うには、図 1(a)に示すピックフィードを小さくしてカスプ（削り残し）を小さくする必要がある。しかし、同一面積を加工する場合ピックフィードを小さくすると切削長が長くなり、加工時間も長くなってしまう。

これに対しオーバルミルは、図 1(b)に示すように接触部分の曲率半径が大きくなるため、次の高能率あるいは高精度加工が可能になる。

- ① 高能率加工：ボールエンドミルとカスプ量を同じにする場合、ピックフィードを大きくできる。すなわち、切削長が短くなり加工時間が短縮できる。
- ② 高精度加工：ピックフィードをボールエンドミルと同じ（同能率）にした場合、今度はカスプが小さくなり高精度加工が可能になる。

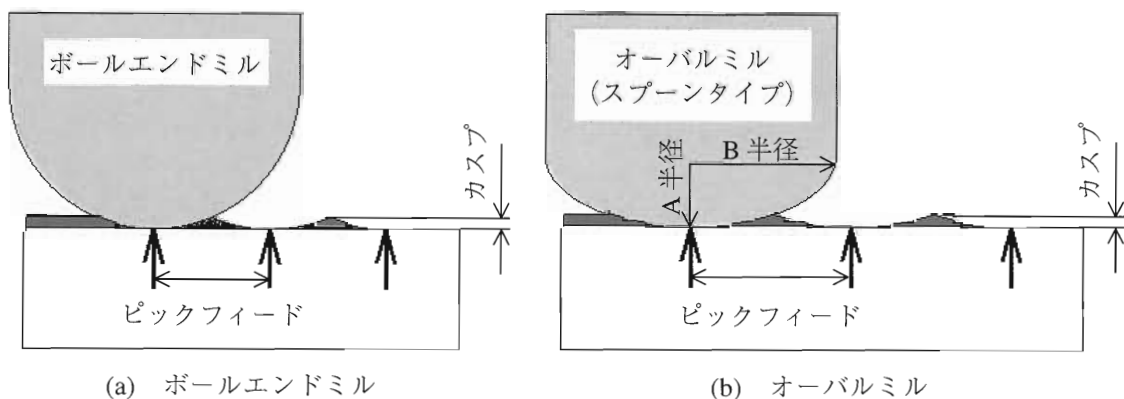


図1 オーバルミルによるカスプ量比較

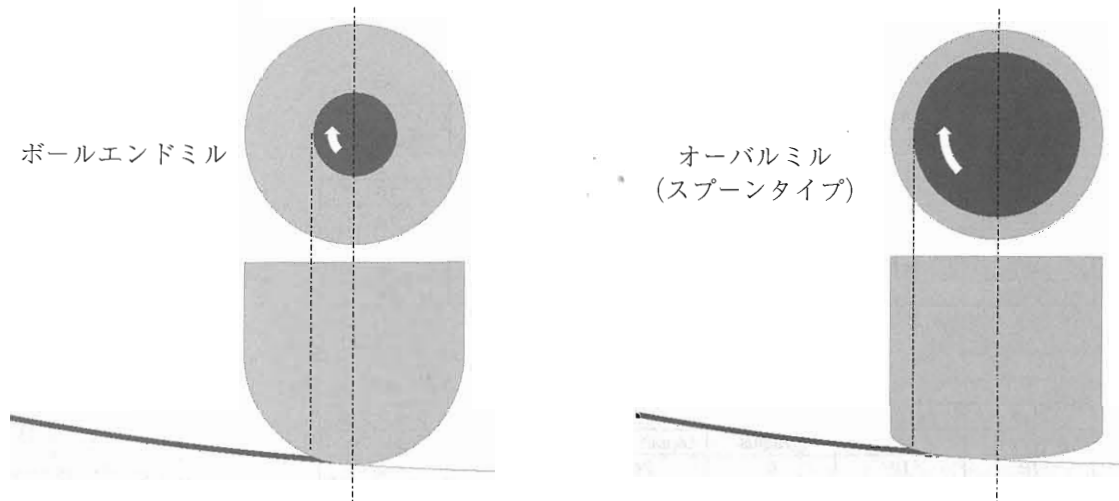


図2 オーバルミルの接触領域

(2) 良好な仕上げ面

図2に示すようにボールエンドミルよりも接触面積が大きくなるため、周速度のより高い外周付近での加工が可能になる。そのため、加工面性状がポイントとなる仕上げ加工において、光沢のある良好な加工面が得られる。

(3) 工具費の低減

小径のオーバルミルで大径ボールエンドミルと同じ曲率半径が得られるため、工具費を飛躍的に低減することが可能になる。

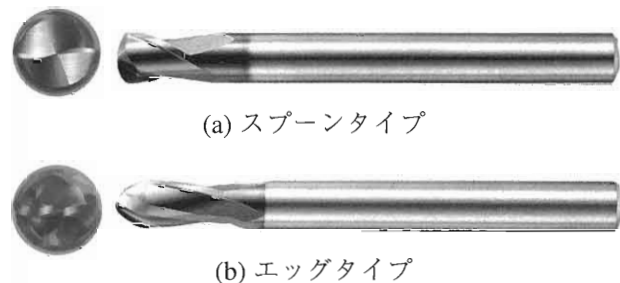


図3 オーバルミルの基本形状

3. オーバルミルの種類

オーバルミルには、図3に示すように先が平らな「スプーン」タイプと先が細い「エッグ」タイプの2種類がある。これらの使い分けを図4に示す。スプーンタイプは角度が小さいなだらかな傾斜面、エッグタイプは角度が大きな切り立った斜面の加工において使用する。

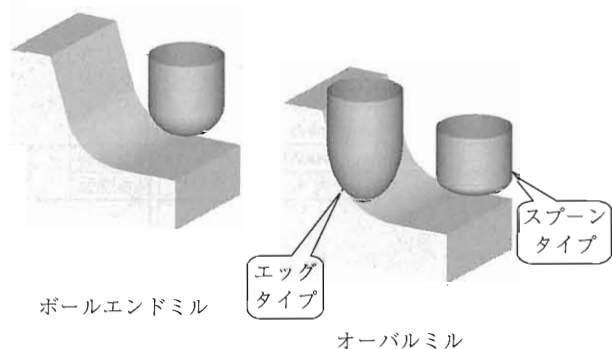


図4 オーバルミルの効率的な使い分け

図5は加工面の傾斜角度に対するオーバルミルの曲率半径を示すグラフである。例えば工具径×A半径が12mm×1.5mmのスプーンタイプの場合、中心部分の曲率が約24mmとなる。また、工具径×A半径が12mm×12mmのエッグタイプの場合は、外周刃付近の曲率半径が約24mmとなる。このように、工具径が約4倍のボールエンドミルに代替可能であることを示している。ただし、図5に示すように楕円形状では傾斜角度によって曲率が変化し、ある傾斜角度を超えると同一工具径のボールエンドミルより曲率半径が小さくなるために、効果が得ら

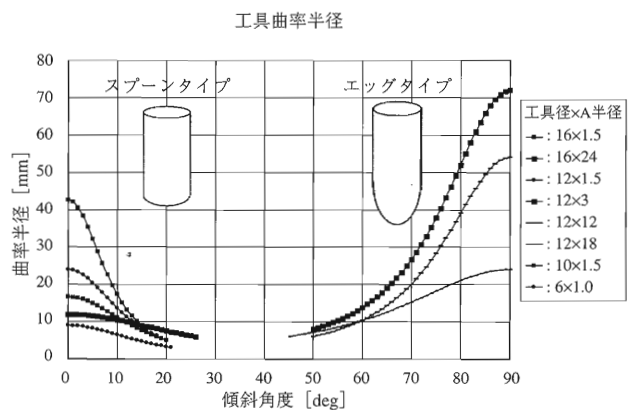


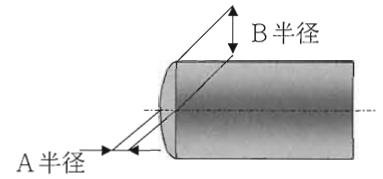
図5 オーバルミルの曲率半径

表 1 オーバルミルの寸法表

(a) スプーンタイプ

単位 mm

呼び	外径	A 半径	B 半径	刃長	全長	シャンク径
Type	Dia of mill	A radius	B radius	Length of out	Overall length	Shank Dia.
6×1	6	1	3	7	100	6
10×1.5	10	1.5	5	11.5	120	10
12×1.5	12	1.5	6	13.5	120	12
12×3	12	3	6	15	120	12
16×1.5	16	1.5	8	17.5	160	16
20×1.5	20	1.5	10	21.5	160	20



(b) エッグタイプ

単位 mm

呼び	外径	A 半径	B 半径	刃長	全長	シャンク径
Type	Dia of mill	A radius	B radius	Length of out	Overall length	Shank Dia.
12×12	12	12	6	24	120	12
12×18	12	18	6	30	120	12
12×24	12	24	6	36	120	12
16×24	16	24	8	40	160	16
16×32	16	32	8	48	160	16

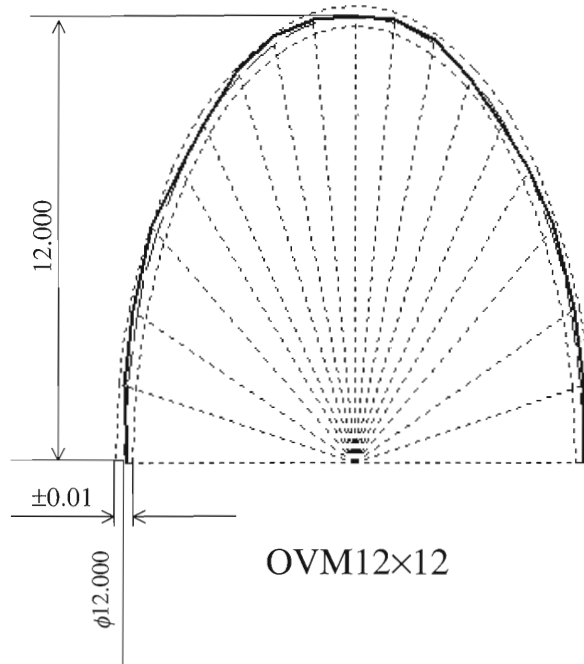
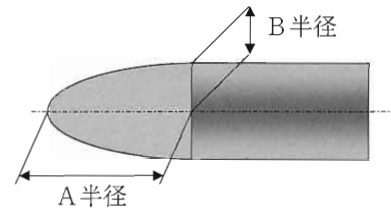


図 6 オーバルミルの精度 (エッグタイプ)

れなくなる。加工面に応じてオーバルミルとボールエンドミルとを上手に使い分けることが高精度・高効率加工を実現する上でのポイントとなる。

オーバルミルの寸法は、図 5 に示すように従来ボールエンドミルに対して有効な曲率半径を検討した上で、表 1 に示す通りに設定している。

4. オーバルミルの特徴

スプーンタイプとエッグタイプ共に、楕円部分の切れ刃を S 字曲線とすることにより抜群の切れ味

を有している。また、楕円部の切れ刃と外周刃とをスムーズに接続することにより、仕上げ用工具としての基本機能を満足している。楕円部切れ刃の形状測定結果を図 6 に示す。これはスプーンタイプの例であるが、フォームエラーが±10μm 以内であり高精度に仕上がっている様子が確認できる。

母材には耐摩耗性とじん性とを両立させた超微粒子超合金を、コーティングには耐熱性・耐摩耗性を飛躍的に高めた複合多層の TiAlN 系コーティングを採用し、高硬度材への適用も可能にした。

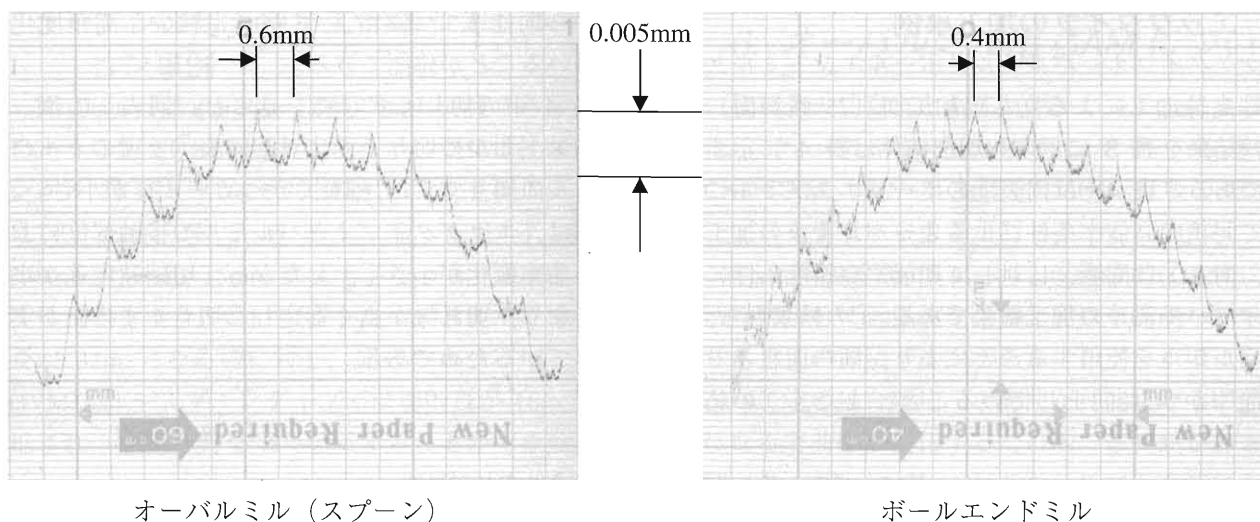
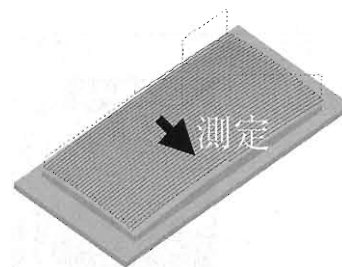


図7 オーバルミルの加工性能（加工面粗さ比較）



5. オーバルミルの加工性能

5.1 スプーンタイプの加工事例

スプーンタイプオーバルミルとボールエンドミルとの加工面を比較した結果を図7に、切削条件を表2にそれぞれ示す。ピックフィードはボールエンドミルが0.4mm、オーバルミルが0.6mm、すなわち加工能率をボールエンドミルの1.5倍に設定した場合の加工結果である。図7の結果から明らかのように、加工能率を1.5倍にしても、加工面粗さとしては同等の結果になっている。2.で述べた理論通りに高効率加工が実現可能であることを実証している。ここで、オーバルミルのピックフィードをボールと同じ0.4mmにすれば、加工面粗さがボールエンドミルのそれよりも向上することはいうまでもない。

工具逃げ面摩耗量を測定した結果を図8に示す。ボールエンドミルと同じ除去体積量であるが、オーバルミルはパス回数が少なく、切削長が短いため逃げ面の摩耗量が小さくなっている。摩耗量の比較では、オーバルミルの寿命はボールエンドミルの約1.7倍になる。このように、オーバルミルは加工の高効率化だけでなく工具の長寿命化という点においてもコスト上のメリットが大きい。

表2 切削条件

項目	条件
エンドミル	φ12mm
切削速度	300m/min (8,000min ⁻¹)
送り速度	2,000mm/min (0.125mm/刃)
切り込み量	aa 0.1mm
ピックフィード (Pf)	0.6mm (オーバルミル) 0.4mm (ボール)
被削材	NAK55 (40HRC)
切削油剤	ドライ エアブロー

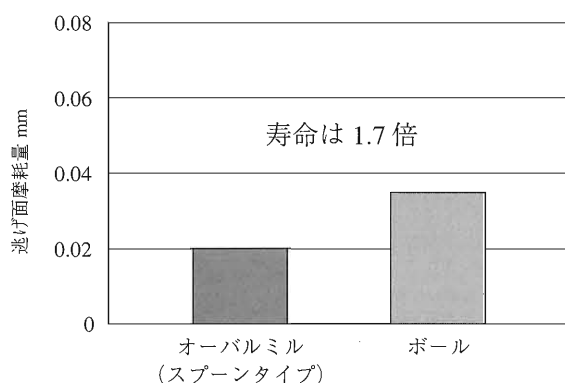


図8 オーバルミルの加工性能（摩耗比較）

5.2 エッグタイプの加工事例

エッグタイプオーバルミルとボールエンドミルの、等高線加工による立ち壁加工面（75°傾斜面）の比較結果を表3に示す。切削条件は表4に示す通りである。表4①は同表②のボールエンドミルに対して同精度高能率条件によるオーバルミルの加工結果、同表③は同表②に対して同能率高精度条件によるオーバルミルの加工結果である。①の結果から、オーバルミルを使用することにより、同一面粗さで加工能率が45%向上していること、また、③の結

果から同能率でカスプ量が60%に減少し高精度化していることが確認できる。

表4中の切りくず写真を見ると、同表②のボールエンドミルの切りくずに対し同表①と③のオーバルミルの切りくずは、細長かつカール径が小さい。これは、エッグタイプオーバルミルの接触部位における曲率変化が小さく、したがって切削速度差が小さくなり、切れ味が良く安定した切りくず排出が実現しているためである。

表3 “エッグタイプ” オーバルミルの加工性能

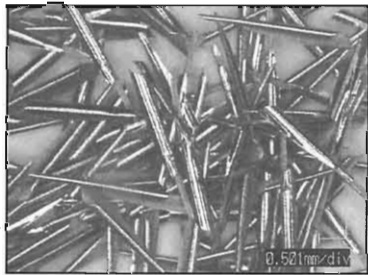

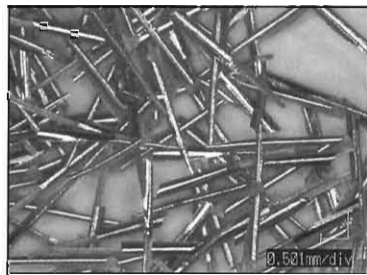
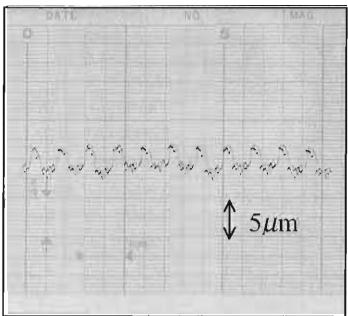
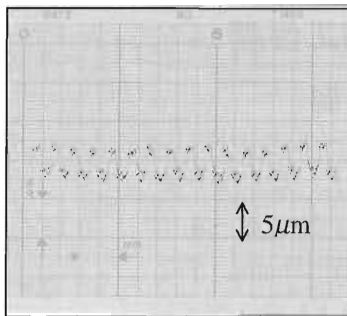
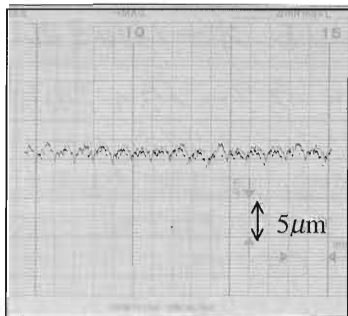
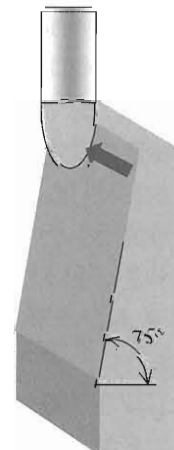
No.	①	②	③
工具	オーバルミル (エッグタイプ)	ボールエンドミル	オーバルミル (エッグタイプ)
条件	同精度高能率	基準	同能率高精度
切り屑			
加工面粗さ			
カスプ高さ	0.005mm	0.005mm	0.003mm
加工時間	2'37"	3'47"	3'47"
評価	能率45%アップ	基準	カスプ60%

表4 切削条件

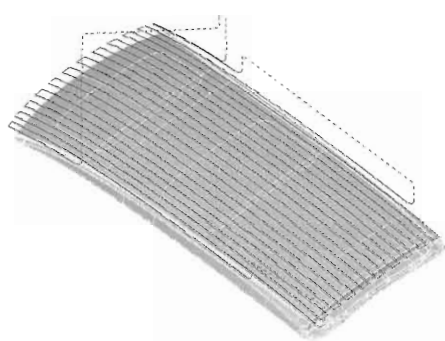
項目	オーバルミル (スプーンタイプ)	ボールエンドミル
エンドミル	OVM 12×12	R6
切削速度	300m/min (8,000min ⁻¹)	
送り速度	1,000mm/min (0.063mm/刃)	
切り込み量	aa 0.3mm	
ピックフィード (Pf)	Pf0.5mm (同能率高精度) Pf0.71mm (同精度高能率)	Pf0.5mm
被削材	NAK55 (40HRC)	
切削油剤	ドライ エアブロー	

等高線加工



5.3 プレス用金型加工能率シミュレーション事例

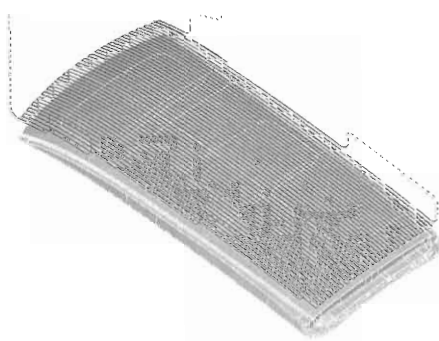
図9は自動車用ルーフ型の加工事例である。このような緩やかな斜面で大面積の金型には、スプーンタイプのオーバルミルを使用して走査線加工を行うのが最適である。型のサイズが240mm×137mm×15mmの大きさをカスプ量0.01mmで加工する場合、R8のボールエンドミルでは切削長が31mになるのに対し、同径のオーバルミル、OVM16×1.5スプーンタイプでは切削長が16mに短縮され、加工時間を48%縮減することができる。



(a) オーバルミル
OVM16×1.5 (スプーンタイプ)

切削長 16m

オーバル 48%減少



(b) ボールエンドミル
R8

切削長 31m

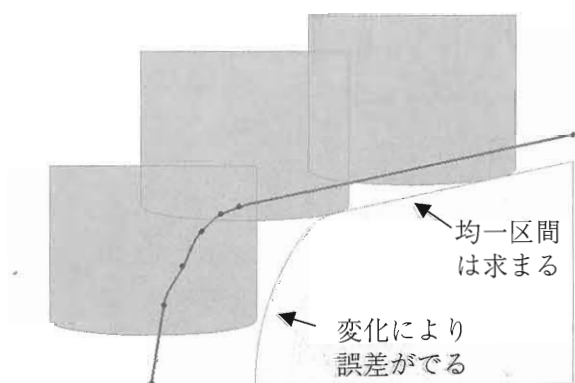
形状サイズ 240mm×137mm×15mm
カスプ高さ 0.01mm (同精度高能率加工)

図9 オーバルミル (スプーンタイプ) による高能率加工

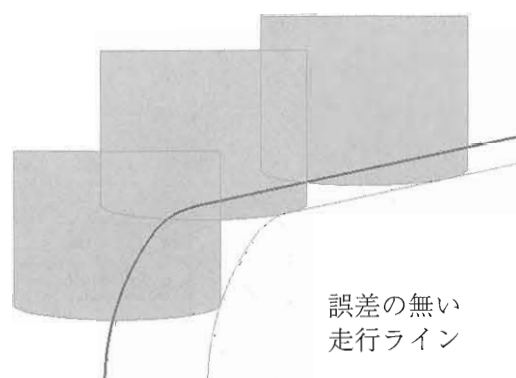
6. オーバルミル用CAMについて

使用上の注意点として、オーバルミルによる加工は、カットパスを高精度に算出する専用のCAD/CAM、(株)奈良情報システム社製のE's (いーず) を用意する必要がある。

E'sの特徴を図10に示す。一般的なCAMは追跡法を利用して近似値を計算し各点を補間している。しかしこの方法では、ボールエンドミルのように曲率が一定の場合は均一な補間が可能になるが、楕円になると曲率が変化するため均一な補間ができず、図10(a)に示すようにカットパスが不連続になって



(a) 一般的のCAM



(b) オーバルミル用CAM:E's
(奈良情報システム社製)

図10 オーバルミル専用CAM:E'sの特徴

しまう。これに対し、E's は加工面と工具形状から直接カットパスを計算するので、誤差の無い滑らかなパスを創出することができる。NURBS 補間を組み合わせれば、さらに良好な結果が得られる。

7. おわりに

以上述べたように、オーバルミルを用いた加工法は、金型加工の高精度化および高能率化に貢献できることを確信している。日本の金型加工技術がこれからも世界をリードし続けるための一助となるものであり、オーバルミルをお試しいただければ幸いです。