



球体のはなし

柴田順二（芝浦工業大学名誉教授）



● **天然物と人工物** 神の造化になる天然物の非定形状には絶対必然の機能が宿る、と考えるのが形態学（モルフォロジー）である。これに対し“ものづくり”は人工物の製造である。現代では市場価値が重要視されるため、再現性と生産性を前提とした定形体（数学モデルで定義できる幾何形体）が製品形状の主体を成している。このように人工物と天然物では創造のパラダイムが全く異なることから、一般的には互いの形体に共通性を見出せない。しかし、唯一例外が球体である。球体だけは定形体でありながら自然界に存在する稀有な存在なのである。このことは、球体の造形は天然物と人工物に相通じる摂理（原理）によって支配されていることを示唆している。

● **人工物の造形原理** 人間による造形の始まりは職人の手になる（手作り）成品であった。これらは大旨、天然物に通じる有機的（オーガニック）な非定形状を成している。ところが、市場原理を前提とする工業用品となるとそのほとんどは、工作機械によって大量生産されることになる。

工作機械は“直線運動 L × 回転運動 R ”による工具軌跡を加工物に強制転写する形状創成機構（母性原理）に依存している（図1）。したがって、機械加工により生産される人工物は、平面（ $L \times L$ ）と柱面・錐面（ $R \times L$ ）という定形体から構成される。極論すると、人工物は“箱もの”あるいは“円柱体”、及びこれらの組合せである。もちろん、現実の生活空間には自由曲面をな

す工業製品が溢れているが、それらは職人による手加工や型（金型、鋳型、転造ロール）による圧力成形加工、あるいはNC工作機械による擬似曲面（微小な平面や円柱面の合成による）である。

● **球面の機械加工** 工作機械による球面の造形原理は、交軸する2つの回転運動の組合せ（ $R \times R$ ）機構である。レンズの伝統的研削加工法であるカーブジェネレータは正にこの原理を踏襲している。球面空気軸受の球面部もカップ形砥石を使う方式（図2）、サーキュラーテーブルなどバイトの円弧運動機構による方式など、その加工法にはいろいろあるが、いずれも $R \times R$ がその基本原理である。NC機の高精度化によって、かなり高い精度の球面加工が可能となっているが、厳密に言えば所詮、疑似球面に過ぎないことから究極の真球体を創成する造形原理にはなり得ない。

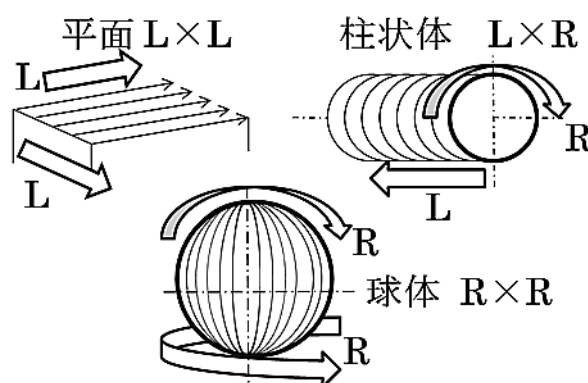


図1 工作機械の運動と造形原理

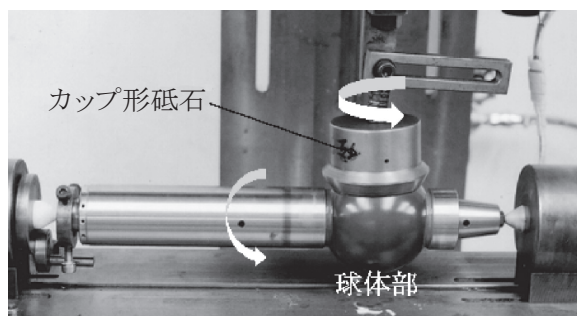
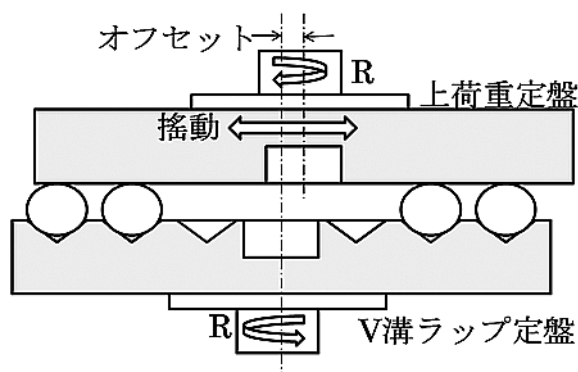
図 2 カップ形砥石による球面研磨($R \times R$)

図 3 溝付き球体ラッピング盤

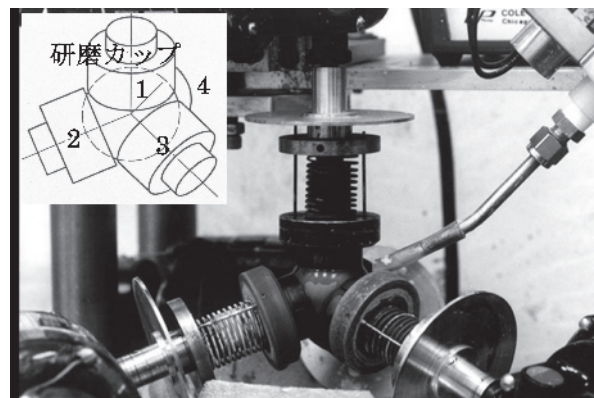
いずれにせよ、完全球体を加工するには切削・研削工作機械に頼る限りワークの把持換えが避けられない。そのため固定把持機構の下では球面(部分球体)加工に制約され、完全球体の製造に一般工作機械を通用し難いのが泣き所である。完全球体の加工が、自然摂理に基づく造形原理に頼らざるを得ない理由がここにある。

● たますり 玉磨の自然摂理 完全球体を造形する自然摂理には、

1. 自己組織化による自律的な造形
2. 表面張力による球体凝固
3. 自由転がり運動による自然創成

自然界に見る真珠やマリモ、工業的にはゾルゲル法による球状シリカの造粒などは(1)による。また、自由落下や磁場を利用した疑似無重力環境下での凝固現象(2)を利用した真球体の製造の話題は、専門誌上で時々目にするところである。

ものづくりにとって最も縁が深いのは、摂理(3)であろう。泥ダンゴを作る要領や饅頭や飴玉の丸め機に見るように、八方自由転がり運動による選択原理(突出部から優先的に平坦化)が広く利用されている。転がり軸受鋼球の玉磨に応用しているのもこの摂理である。具体的には、溝付き球体ラッピング盤がそれである(図 3)。もちろん、2枚の平行平面ラップ定盤間に挟んで転動させても構わないが、1点接触での研磨機構は望ましいものではない。そのため、ラップ定盤に同芯円または螺旋状にV溝を成形することで多点接触させ、球体の回転制御性を高め、溝と球体の馴染み効果も併用して加工能率と加工精度の両方の向上を図ったのである。カップ(研磨皿)による圧力研磨は、球体と工具の円接触特性を利用したものであり、比較的大径の球体研磨に賞用されている。用いるカップの数は、一対(2カップ)が一般であるが、3カップ、4カップも実用されている(図 4)。因みに、米国 NASA でジャイロ軸受用石英球の加工に採用したのは4カップ研磨法式である。ただし、自由転がりの自然摂理に基づく研磨方式ではワーク(球体)の回転運動が工具との摩擦による連れまわりに依存するため制御不可であり、^{たますり}玉磨に職人技を必要とする所以である。

図 4 4カップ形球体研磨法($R \times R \times R \times R$)