

12回連載 技術エッセイ 第2話

たまゆり
科学と玉磨の接点

球体のはなし

柴田順二（芝浦工業大学名誉教授）

●球体と物理学 見かけは平凡で、単純極まり無い幾何形状に過ぎないものの、球体は実に多彩な特性を内包している。工学における球体の利用と言えば玉軸受やボールペンチップが直ぐ念頭に浮かぶが、小さな転がり摩擦抵抗と無限の転動自由度を利したものであり、球技・球戯もこれらの応用であろう。球体モニュメントに見られるシンプルな造形美は意匠機能と解釈できる。球体はこのように日常生活と密着した存在であるにもかかわらず、あまりに身近過ぎる故か技術者の探究心をそそることが少なく、転がり摩擦理論ですら体系化されたのは近年のことである。

ところが球体に対して古くから理学者の関心が向けられ、数学や物理学の分野で研究の対象に取上げられてきた。光学を筆頭に、幾何学特性（最大空間充填率、最小比表面積、1変数による表面積・体積の特定）、電磁気特性（放電、磁化）などは球体と学術的に縁が深い事例である。本話では球体と磁化特性の関わりを取り上げる。

●磁化特性の測定と玉磨 半導体とそれに続くコンピュータの出現は、やがて今日のIT時代へと導くことになった。このエレクトロニクス技術を支える記録メディアとしてフェライトなど磁性材料の本格的な開発は、1950年代に始まった。また、最近のトピックスとして、磁気熱量効果（磁性体に磁場をかけると発熱し、磁場を取去る

と吸熱する現象）によるエリクソンサイクルを利用した能動蓄熱AMR方式の磁気冷凍機が注目を集めているが、そのヒートポンプの主要機能を果たすのが球状のCd磁性体を内蔵した円筒状の匡体である。ともあれ、磁性材料の開発にとって欠かせないのが、その磁化特性の計測・評価である。そのための代表的試験法の1つに磁気天秤による磁化力の測定が挙げられる（図1）。

磁気天秤へ

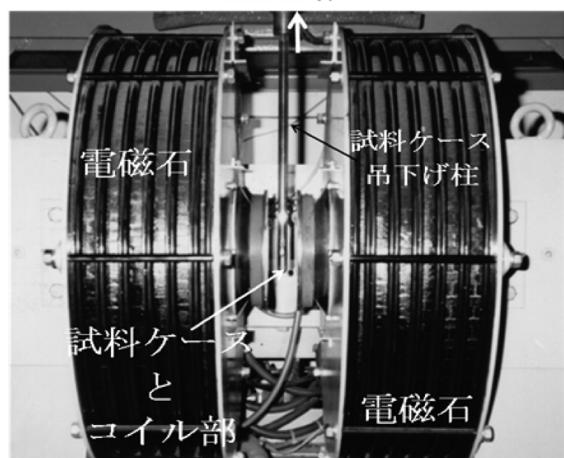


図1 磁気天秤による磁化率の測定

強磁性体の磁化特性の解析パラメータである反磁界係数Nは磁性材試料片の形状に大きく依存する。実測された磁化データからその真の磁化曲線を決定するために必要な反磁界係数Nの厳密値を算出するのは一般的の形状では難しいが、球体に限ればN=1/3と理論的に厳密定義できる。また、諸形状の中では粗球体試料の成形は比較的容易で、単結晶の製作にも有利であるため、磁化率の測定には小球試料が用い

られるのが普通である。磁化力を介しての磁化率や磁気異方性の精密測定に際しては、形状の異方性が電磁力の非対称性を生じさせるため、より完璧な球体試料が望まれる。かくして強磁性体の真球試料を製作(玉磨^{たますり})するニーズが生じたのである。筆者の知る限り、これが物理学と玉磨の接点として学術的な研究報告書に現れた最初である。

●磁性測定のための玉磨技術 球体の加工法として古来、溝付きラップ定盤による研磨法が知られていた。しかしこの伝統的な球体成形法は、小球体の少量研磨には加工能率の点で、また脆弱な材質に対しては加工品質の安定性に課題があった。そこで小球状磁性試料の成形に、米国ベル研究所の W.L.Bond によって Bond 法が提案された(1951 年)。研磨シートを内貼りした高速回転筒体(円筒+底面ディスク)に挿入された素形材が遠心力によって内壁との間で自由転動させられ、その時誘発される摺動研磨作用がこの成形研磨原理である(図 2[A])。粗研磨の能率が高い半面、衝撃によって試料の破損する確率が高く、真球精度も低かった。続いて、1952 年米国 GE 社の P.Senio らが、モータによる匡体の回転駆動を空気ジェット噴流により試料

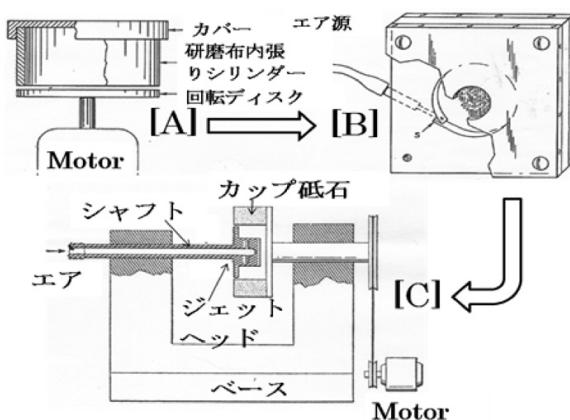


図 2 匠体の内周面転動による小球の研磨

を内壁旋回させる方式に変更し(図 2[B])、次いで筒体を Norton 社製のカップ砥石に変え、スラリーの供給に遠心噴流機構を導入するなどの改善を加え(1954 年)、単結晶窒化ホウ素 BN などセラミック小球の成形研磨を試みている(図 2[C])。

その後、より大きな球体を対象に、更に高い真球度の達成を目指して lapidary 法(図 3・A)による玉磨データが W.L.Bond によって報告された(1954 年)。これは粗球(直径 $d \phi$)を回転方向の異なる 2 本の金属チューブ(lapidary と呼ぶ、直径 $\phi D < d$)端面で挟み、研磨スラリーを塗布しながら加工するラッピング方式であり、比較的良好な真球精度が得られた。水平側の lapidary は旋盤のチャックに装着し、もう一方は手動で操作された。1959 年に J.Durand(米国ベル研究所)は lapidary に更に工夫($D > d$ によって、両側の lapidary が球体試料の全面を包み込むことができる)を加えたホーミングステックを提案した(図 3・B)。

ただし、上に紹介した研磨法(図 2、3)の基本原理は、わが国の玉磨現場に古くから生きている経験技術の域を超える斬新なものではない。

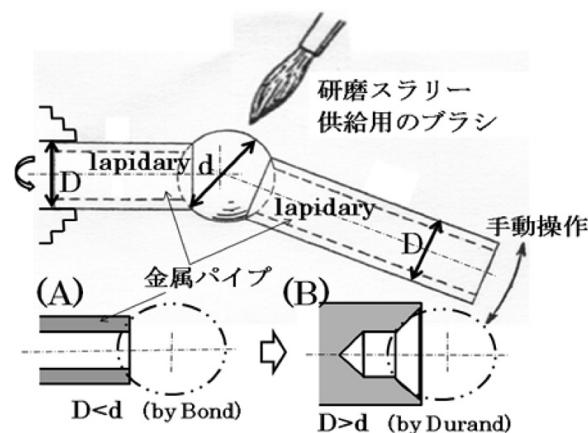


図 3 lapidary 法による球体の研磨