

1 2 回連載 技術エッセイ 第5話 技術が作る究極の真球

球体のはなし

柴田順二（芝浦工業大学名誉教授）

● **球玉の丸さ比べ** 文化的用途の球玉ならば、感覚的に丸いことで事済むであろう。しかし、技術的用途として球玉機能を発現させるには、その丸さの精度が使命となる。すなわち、真球は精密回転機素としてはもとより、レンズ、物性値評価の原器など光学機器や計測技術の世界でも古くから希求の対象となってきた。ところが、この世の中に完全無欠な球体は存在し得ない訳で、人為的にどこまで真球に近付けることができるか、技術者ならずとも興味津津であろう。

図 1 は代表的な球玉製品について、その真球度を対比させたものである。今日、真球精度の極値は、特殊な用途や研究レベルでは数十 nm オーダの前半まで到達していると見られるが、産業的には玉軸受用鋼球の形状精度 G3 (JIS 規格での等級 3、真球度: 80nm) が上限である。

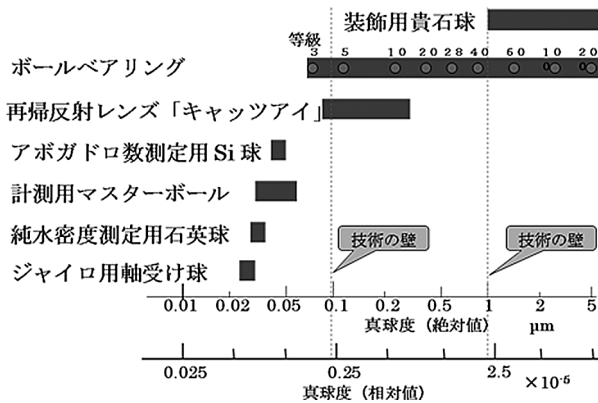


図 1 球玉の丸さ比べ

● **世界一丸い球玉** 伝統的な技能によるものづくりの最高精度と言えはブロックゲージを思い浮かべる。その絶対寸法誤差の事例“ $0.5 \mu\text{m}$ / ゲージ長さ 25mm”は、相対寸法精度 2×10^{-5} に相当する。技能が成し得たこの最高級レベルの幾何精度を、汎用機械要素である転がり軸受の鋼球(真球精度: $10^{-5} \sim 10^{-6}$)が、何故かくも容易に凌駕できるのであろうか。そもそも人間の手になる丸さの極限とは、どれ程の値まで可能であろうか? 人工球玉の中にあつて正真正銘の真球世界チャンピオンは、ギネスブックによって認定されたものに相違ない。それによると、これまでに実現された究極の球玉は、真球度: 直径比 1.8×10^{-7} の熔融石英球である(図 2)。地球の大きさに換算すると、地表の凹凸が約 5m という丸さに相当する。ただし、この認定における真球度の定義や測定法は不詳であり、数値の科学的信頼度が保証されている訳ではないが、ともあれこの真球を実現したのが、NASA- Lockheed 社共同による重力プローブ Gravity Probe 計画である。同計画の一環として Stanford 大学が担当したジャイロスコープ用球体ロータの製作にとって、完全真球体に限りなく近い石英球がその機能上、必須だった。

尚、わが国では、東芝生産技術研究所の球面空気軸受け用過半球体(真球度: $0.2 \mu\text{m}$)以外には、公表された真球精度のチャンピオン

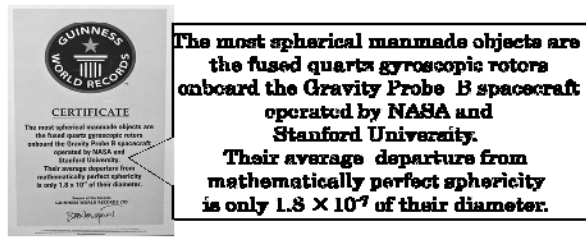


図 2 真球チャンピオンのギネス認定書

データが少なく、その技術レベルは定かではない。恐らく今日、研究・開発の過程で 40nm 程度の真球度までは到達できているのではなからうか。参考までに申し上げますと、筆者も手づくり研磨装置で光学ガラス Zerodur (熱膨張係数ゼロ、独 SCHOTT 社製) 球体の真球度 40nm を達成している。

● **世界の真球研磨技術** CMP に象徴されるように、半導体の平面ラッピング技術開発は、当該企業ではもとより大学、公立研究機関にとっても喫緊の研究テーマであり、世界的に取り組まれている。これに対して球面ラッピングとなると、その研究拠点は極めて限られている。重力プローブ GP-B 計画のような国家的プロジェクトを抱える米国では、NASA-Lockheed 社、Stanford 大学、Rochester 大学など国のトップ機関で真球作りに組織的に取り組んでいる。また、製造技術に秀でた国とはお世辞にも言い難いオーストラリアでは、国立研究所 National Measurement Laboratory (略称 NML) がアボガドロ数を特定するためのシリコン単結晶の超精密球を磨き上げて日本や欧州に供しているし、中国工科系大学の頂点に立つ精華大学からも真球(水晶)の 4 カップ式創成研磨に関する研究成果が発信されている。NAMAS の認証を受けた Rank Taylor Hobson 社(英)の保証書を添付したその測定データを見ると、真球度 20nm を読み取ることができる(図 3)。

翻って、わが国における真球づくりへの取り

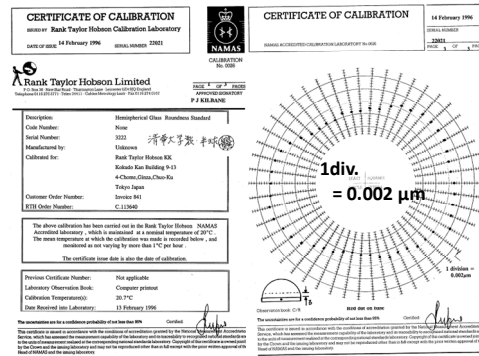


図 3 清華大学(中国)による真球データ

組みを振り返ると、何故か極めて消極的なのである。半世紀近くも前に、ジャイロ用の精密球面空気軸受け製作に精力的に挑戦した事例(1972 年)を除けば、その後、玉軸受を想定してのセラミック球研磨の研究が単発的に行われた程度であり、興味本位の話題に上ることはあっても、技術陣が組織的に取り組むことなど嘗て無かったことである。世界的には今、真球はもとより、微小球体、巨大球体、中空球体などの新技術開発が水面下で進行している状況である。差し迫った先端技術には国を挙げて血道をあげるが、先の見えにくい基礎研究には兎角疎遠になりがちである日本の姿勢が問われているような気がしてならない。

● **真球精度測定**の難問 真球を極める玉磨技術にとって、意外に苦勞の多いのが 10^{-7} オーダの真球精度を検出する技術である。真円度測定機を取り上げてみると、そこでのスピンドル回転精度は、数十 nm 以下に抑えられなければならない訳で、この数値は一般工作機械に比べ 2 桁高い運動精度である。真円度測定器の測定分解能は、標準機で $0.1 \mu m (\times 20,000)$ は保証されるが、この程度では十分といえない。20 万倍~100 万倍の測定倍率(最小 $\pm 2nm$ の分解能)を謳っている Talyrond(英)のような超ブランド機種に頼るしか途はない。