## 12回連載 技術エッセイ 第4話 "丸さ"を測る難しさ



## 球体のはなし



柴田順二(芝浦工業大学名誉教授)

**丸いようで丸くない球玉** 自然界や日常生活のいたるところで目にする球体、たとえばビー玉やパチンコ玉はまん丸に見える。しかし、実は数十  $\mu$  m程度に過ぎないものの歪である(図1)。理想の真球に比べれば、最高級の転がり軸受用鋼球ですら  $0.1 \mu$  m 以上は歪んでいる。完全無欠な真球を作り出すことは技術的にはおろか、造化の神の手に拠っても叶わないのである。

地球も丸いと思われているが、正確には両極直径と赤道直径の差異が 40 数 km もある。そのため地球を扁球体と見る向きもあるが、卵に譬えると殻の厚さにも満たない偏差である。すなわち、地球の直径 (約 12,800km)に対するこの偏差比率  $3\times10^{-3}$  は、径 10mm  $\phi$  の球体に置き換えると数  $\mu$  m の歪みに相当することになり、軸受用鋼球には及ばないまでも、ビー玉などより1桁高い"丸さ"ということになる。



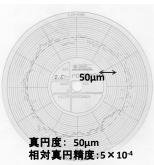


図1 中国製健康ボールと真円度

■相対精度と技術の難易度 相対精度の譬 えとして、シリコンウエハの研磨技術(平坦度: 数  $\mu$  m) がしばしば引き合いに出される。後楽園 球場のグランドを凹凸数 mm の平坦さに均すこ とに匹敵する、というメタファーである。球場の広 さ(100m 程度)に対するグランド表面凹凸数 mm の相対比 (この例では 10<sup>-5</sup> オーダ) から両者 は同等の難易度とされる訳である。これはもの づくりの経験から発する技術思想である。すな わち、製品精度を確保するための加工の難易 度は、幾何偏差の絶対精度そのものよりも、製 品寸法に対する相対精度によるところが大きい のであり、この論理では、1mm o 小球の真球偏 差:10nmと100mmφ大球の真球偏差:1μmを 比べると、両者の加工難易度を同等と見るので ある。

● 宝 磨 は 超 ナノテクノロジー 昨今、ナノテクノロジーを標榜して、表面粗さの絶対値"ナノメータ nm"をもってハイテク技術を誇示する嫌いがあるが、幾何偏差の相対精度の方が製品機能にとってより切実である。相対精度によって加工法と計測機器を比べたのが図 2 である。先ほどのシリコンウエハの平坦化は、同図では超精密~ナノ技術の領域に属している。一方、宝 磨 技術はと言えば更にその上、超ナノテクノロジーの領域にあることに気付かされる。

●"丸さ"の測定原理 相対精度の意義は計測技術にも通じている。1m を 1mm の目盛で測定する物差しの相対精度 1×10⁻³は、1mm 当た

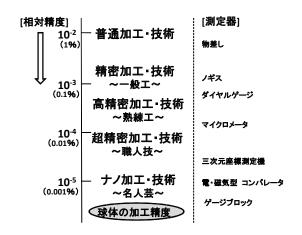


図 2 加工・測定技術の相対精度

り 1 μ m の分解能に相当する難易度である。呼 び寸法 10mm φ の軸受用鋼球の直径不同 100nmを保証するには、測定精度1×10<sup>-5</sup>の計 測機器を要する訳だが、図2に見るように、これ に対応するのは容易ではない。況んや、球径 100mm φ / 真球偏差 100nm (相対精度 1ppm) という Si 単結晶標準球の絶対寸法とその偏差 を共に検出できる計測法が直ぐに思い浮かぶ であろうか? このことは、真球度の判定に必要 とされる相対偏差:数十 ppm(×10<sup>-6</sup>)オーダの 検出を3次元絶対座標系の測長機器によって 臨むことの無謀さを示唆している。そのため、球 体偏差を ppm の分解能で測定するに当たって は、データム(基準位置)からの偏差量を検出 するのが定石となっている。真球度の測定にお けるデータムには、球面データムが望ましいのは 当然である。真円度計コンパレータには、×20 ~100 万倍の検出感度を謳っているブランド機 種も見られる。

● "丸さ"の 3 次元評価 現実の球体は、立体的に歪んでいる(図 3)。したがって本来、真球度はこの偏差の 3 次元的な評価数値でなければならない。それには交差する回転 2 軸(R×R)によって創成される赤道座標系球面デ

ータムに基づく評価法が理想である(図4)。し かし球体全面を計測するには、その途上で被 測定球体の把持換えを一度やり直さなければ ならないことが乗り越え難い死の谷となって、こ の実用化を阻んでいる。結局、真球度に関する 公式な規格が未だ定まらず、曖昧なまま今日に 至っている。かろうじて JIS B 1501 「玉軸受け 用鋼球」に"鋼球の表面に外接する最小球面 と鋼球表面の各点との半径方向の距離の最大 値"とする真球度定義の文言が見られるのみで ある。実務的には、球体輪切り断面の真円度 (ISO や JIS 規格) による近似評価によって妥協 しているのが実情である。すなわち、真円精度 測定機によって検出した複数の真円度を採取 することで球体の 3 次元偏差を近似的に判定 することが慣習化した。JIS B 0621 の真円度定 義において、「円」→「球」に読み替えることで、 特段の不都合も無く過ごしてきたのである。なお、 球体の2次元真円度と3次元真球度の比"真 円度/真球度"は、平均 0.33 程度であるという 研究報告もある。

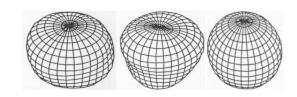


図3 球体の3次元的な歪み

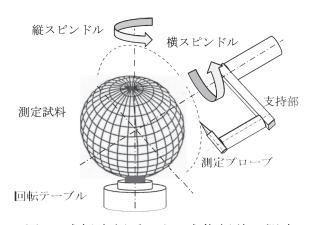


図 4 球極座標系による球体偏差の測定