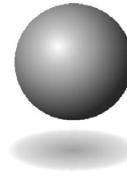




球体のはなし



柴田順二（芝浦工業大学名誉教授）

● **中空な球体** 球体技術には部外者が容易に立入れない奥儀があり、暗黙知がまかり通っていることはこれまで話題にして来たとおりであります。いわんや中空な球体ともなれば殊更であり、その外観から内空間の識別不可なことに加え、球体内部を中空にすることの必要性が見え難いため技術の世界での存在感も薄いのである。この特異な「中空球体」を本稿の最終話に上げる。

● **球殻構造とその工業的意義** 変形・応力の対称性という力学モデル化の単純さから、Hillの球殻拡張理論をはじめその強度設計には古くから取り組まれた。現代でも、内球容積当たりの使用材料が少ないなどの工業的な利点から、人工衛星、燃料タンク、LNG/LPG 船を始め、各種の耐圧容器の基本構造となっていることはどなたでもご存知の筈である。嘗て、潜水深さで世界 1 を達成して注目された潜水調査船「深海 6500（三菱重工）」の乗員室（居住空間）は、チタン合金製厚肉球殻（内径：2m φ、殻厚：73.5mm）によって守られている。6,500m の海底で約 70MPa の水圧に耐えるために、この球殻には僅かの歪みも許されない。そのため、2m φ ±0.5mm（相対精度 10^{-4} ）という高精度の中空真球体が求められたのである。

● **物理学に貢献する中空球体** 物理的（電・磁氣的）な特性を生かした中空球体の利用の1つに、高電圧測定球ギャップ Sphere Gap があり、

高電圧測定用の試験電圧の校正に使用される。また、超伝導球（表面を超伝導物質でコーティングしたアルミニウム製中空球）、積分球（高い反射率の内球コーティング面を持つ中空金属球）、照度差ステレオ法での中空透明球（半径：100mm、厚さ：7mm）なども、中空球体の物理的特性を活用している事例である。

● **中空ベアリングボール** ジェット機関や鉄道が超高速化し数十万 rpm の主軸回転数が常態化した時、ベアリング性能に対してボール遠心力による Hertz 応力の影響は計り知れない程大きくなる。そこで、ボールの中空化により質量の軽量化と接触剛性緩和はベアリング寿命改善や騒音軽減にとって救世主となる。因みに中空ボール外・内径比：1.28 にすると、中実ボールに比べその重量を半分近くも削減できる。また、高速回転下で球体に作用するジャイロ効果に対して、中空ボールではジャイロスリップ係数が高まるという効果も期待される。しかし、実用化に応える高品質の中空ベアリングボールの製造に成功したという確たるニュースは、未だ聞かれない。

● **中空小球の集合構造体** 外径：1～10mm φ、肉厚：数十 μm、見かけ密度 0.8～0.9 g/cm³ 程度の水に浮くほど軽量で、且つ、圧縮強度が大きな中空鉄球を用いたセル構造体が比強度、衝撃エネルギー吸収性・振動減衰性・防振性、防音・遮音性、断熱性などに優れ

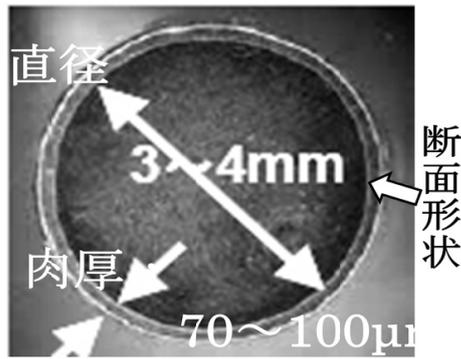


図1 中空小鉄球

た効果を発揮し、機械構造の軽量化や高機能化(断熱、防振…)に貢献している。特許公報などでも目にする金属中空球を挟んだ自動車用サンドイッチパネルはその典型である。なお、このような中空金属球の製法は有機芯球材の融解原理に基づいている。

● **中空微小球** マイクロバルーンと呼ばれる多様な素材の中空微小球(径: $\phi 10\sim 300\ \mu\text{m}$ 、肉厚: サブ μm ~ 数 μm) が既に市場に出回り、各社がその用途開発に鏝を削っている。但し、その製法に関する情報は断片的で、十分に詳らかにされているとは言い難い。無機材料の中空微小球を素材に混入することによって、耐火断熱レンガや耐火断熱コンクリートの軽量化(嵩比重 1/3)、断熱特性(低熱伝導率)、防音特性などを高め、その用途としては建設資材、住宅機材、自動車部材、航空機材、浮力材料(海洋機器・装置、ブイ…)などが挙げられる。一方、ガラスやフェノール樹脂の中空微小球($10\sim 30\ \mu\text{m}\ \phi$ 程度)やシラスバルーンを熱硬化性樹脂マトリクスに分散させた高強度複合材料はシタクチックフォーム Syntactic Foam と呼ばれ、軽量(比重: 0.5~0.7)、高圧縮強度、高弾性率、低吸水性、良好な被削性などの特長

から、深海調査船用の浮力材、深海構造物用機材など軽量化構造用材として使われている。

中空微小球を樹脂・塗料の充填材とし利用することも実用化されている。例えば、内部に発泡剤(イソブタンなど)を含ませた中空微小プラスチック球($5\sim 30\ \mu\text{m}\ \phi$)をインキと混ぜて塗り、発泡させて凹凸立体感のある印刷を行う試みもなされた。微小中空プラスチック球体を焼成炭化して導電性、耐熱性、耐放射線性を高め、電気変換素子、圧電スイッチ、電波シールドに利用することも可能である。その他、無機磁性体から作られたナノオーダの中空球が分子磁性体の研究に供されている。

● **中空ガラス微小球によるレーザ核融合** 各国で進められている核融合エネルギー開発研究プロジェクトの1つにレーザ核融合がある。ここでは、燃料である高圧の D-T ガスを充填した中空微小ガラス球 HGS が燃料容器(ペレット)として用いられる。この微小中空球をレーザ核融合実験に使用できるためには、

- ・直径 $50\sim 500\ \mu\text{m}$
- ・高い真球度(直径の $\pm 2\%$)と肉厚の均一性(肉厚の $\pm 3\%$ 、 $0.5\sim 20\ \mu\text{m}$)
- ・表面の平滑度(30nm 以内の凸凹)

がその品質要件である。既に市場で流通している、水ガラスの滴液法や水蒸気処理した中空ガラスビーズでは、このレーザ核融合実験に適うものは、 $10^5\sim 10^6$ 中に僅か 1 個程度の割合と言われている。

● **本稿のおわりに** 伝統技術はもとより、近未来の新技术にとっても、球体テクノロジーへ託す期待と夢は尽きない。もしご興味があれば、拙著『球体のはなし(技報堂出版)』を御覧頂ければ幸いである。