

総論

# スポーツ用具の高性能化をもたらす 工業材料

工学院大学 Tanaka Katsumasa  
田中 克昌

工学部機械工学科 准教授  
〒163-8677 東京都新宿区西新宿1-24-2  
☎03-3340-2578

## ▼はじめに

2002年に日本と韓国の共同開催によるアジア地域初のFIFAワールドカップ、「One Team」をスローガンに日本が初めて決勝トーナメントに進出し、大いに盛り上がった2019年ラグビーワールドカップ、そして、東京オリンピック・パラリンピック、これら世界三大スポーツイベントと呼ばれる祭典の開催を21世紀に最初に達成する国が日本である。このような大会を開催そして運営するには、試合会場はもちろんのこと、各国の選手や大会関係者を受け入れる宿泊地が確保できることに加えて、観客の収容と移動を可能にする宿泊施設や交通インフラなど、さまざまな環境が整っていることが求められ、日本はそのための世界的水準を満たしていると解釈できる。とりわけ、選手が最高のパフォーマンスを発揮する上で、競技用施設や設備の充実が不可欠になるとともに、選手が使用する用具は特に重要であり、施設、設備、用具といったハードウェアにはその時代の最高水準の技術が集められている。このようにして常に進化を遂げるハードウェアは、決して競技スポーツのためだけに存在するのではなく、ひいてはスポーツに参加するすべての人に享受されることが期待される。

本稿では、スポーツを支えるハードウェアに対して材料の観点から焦点を当て、その進化を支え

てきた材料の開発とその変遷、そして材料のスポーツ用具への適用例を中心に紹介する。

## ▼スポーツ用具における素材開発

スポーツのハードウェア開発においては、単にパフォーマンスの向上だけでなく、安全性や快適性なども重要な性能となる。一方、これらの性能はしばしば二律背反の関係にあることが多く、ハードウェアの開発にあたっては、その両立に苦慮するところが多く存在した。この難しい問題に対して、新しい材料が導入されることによって解決あるいは飛躍的に性能を向上させる事例が多く見られてきた。その代表的な例として、テニスラケットやゴルフクラブのシャフトなどへの繊維強化プラスチック(FRP)の採用、ゴルフクラブのヘッドやバットへのチタン合金やアルミ合金などの適用、流水抵抗の小さい水着素材の開発などが挙げられる。このような新しい材料の導入は、材料の開発に加えて、その量と質を安定して供給できる生産加工技術があってこそ、実現できているといえる。

スポーツ用具に使用されている材料を大別すると、天然素材、金属、プラスチックが挙げられる。特に1970年代前半にゴルフクラブのシャフトに炭素繊維強化プラスチック(CFRP)が採用されると、さまざまな用具に対して従来から使用されていた木材、天然皮革、金属、綿、羊毛などの天然素材に代わって、高分子材料、人工皮革、合金や

表 1 主なスポーツ用具における材料の変遷と効果

用具	材料の変遷	効果
テニスラケット	木材 → アルミニウム → CFRP	軽量化、打球面拡大、強度・剛性・空力特性の向上
シューズ(ソール)	天然ゴム → 合成ゴム → 樹脂(EVA)	軽量化、衝撃緩衝性の向上
シューズ(アッパー)	布 → ナイロン → 合成繊維	軽量化、通気性の向上
ゴルフクラブヘッド	木材 → スチール → CFRP → チタン	強度の向上、ボール飛距離の増加
ゴルフシャフト	木材 → スチール → CFRP	軽量化、強度の向上、剛性分布配分の変化
野球バット	木材 → アルミニウム → CFRP	軽量化、強度の向上
スキー板	木材 → アルミニウム → FRP → ACM	軽量化、高剛性化
棒高跳び用ポール	竹 → アルミニウム → FRP → ACM	軽量化、記録の向上
釣り竿	竹 → CFRP	軽量化、強度の向上、振動特性の向上
剣道(竹刀)	竹 → ACM	軽量化、強度の向上
自転車フレーム	スチール → アルミニウム → FRP → ACM	軽量化、振動特性の向上
自転車用ヘルメット	スチールやアルミニウム → FRP	軽量化、衝撃吸収性の向上
陸上競技(サーフェス)	シンダー → アンツーカー → ポリウレタン	日程確保、記録の向上、省メンテナンス

ACM : Advanced Composite Material

セラミックス、FRP、化学繊維などの素材が使用されるようになった。このような変化に伴って、用具の軽量化が実現できるようになるとともに、用具に求められる各種性能も向上した。表1は、主なスポーツ用具における材料の変遷とその効果を示したものである。ほとんどの用具に対して軽量化が実現されるとともに、各種材料の機械的特性(強度、靱性、弾性、振動減衰、衝撃吸収など)が、各用具の性能向上に寄与していることがわかる。

### ▼軽量化と強度を両立させるFRPの適用

スポーツ用具に求められる性能として、記録やパフォーマンスの向上につながる軽量化が第一に挙げられる。FRPは、ゴルフクラブのシャフト、テニスやバドミントンのラケット、バット、釣り竿、スキーの板やストック、自転車フレーム、棒高跳び用ポールなど、多くの用具に使用され、軽量化とあわせて強度や剛性の向上を実現している。また、特性にばらつきがある天然素材の代わりに、弓道の弓矢などにもCFRPが採用されている。

スポーツ用具に使用されるFRPの強化繊維には、炭素繊維、ガラス繊維、金属繊維、セラミックス繊維、高分子繊維などの材料がある。このうち、比強度、比弾性の両面で効果が発揮できる炭素繊維が最も広く使用されており、炭素繊維以外の強化繊維は、一部の金属繊維とスキー板のガラス繊維に限られるのが現状である。また、樹脂には、主として熱硬化性樹脂のエポキシ樹脂が使用されている。一方、熱硬化性樹脂に比べて耐衝撃

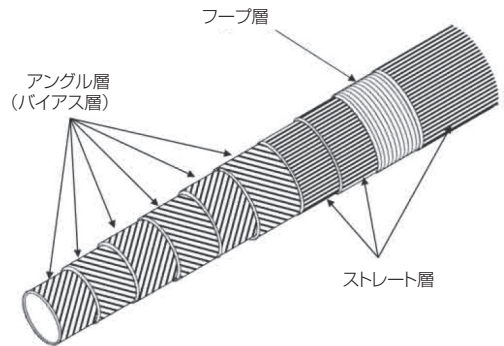


図 1 クラブシャフトの積層構成

性が優れているとされる熱可塑性樹脂が使用されることがあり、一部のテニスラケットでは、ナイロンなどを樹脂に用いている。

CFRPが採用されることによって、大幅な軽量化を実現した一例として、ゴルフクラブのシャフトが挙げられ、スチール製では120gであったものが、CFRP製では40gを切るまでに变化した。一般的なCFRP製シャフトは、炭素の長繊維にあらかじめ樹脂を含浸させた一方向プリプレグが使用されることが多く、製品の要求性能に合わせるように繊維の方向を変えて積層させ、加熱加圧成形される。図1はクラブシャフトの基本的な積層構成を示したものである<sup>1)</sup>である。シャフトの積層は、主に曲げ剛性を担うストレート層(長手方向に対して繊維配向角0°)、ねじり剛性を担うアングル層あるいはバイアス層(同±45°)および断面方向の剛性を担うフープ層(同90°)を基本に構成される。さらに、シャフト先端部やグリップ部などに、

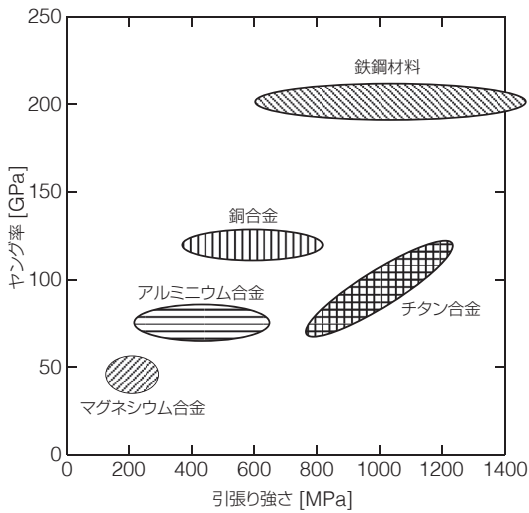


図2 主な金属材料のヤング率と引張り強さの関係

部分的な補強層が加えられている。このような基本構成にもとづいて、プリプレグの種類(繊維と樹脂の組み合わせ)、配向角や積層数などを変化させることにより、シャフトごとの機械的特性を実現している。

### ▼安定した特性を活かせる金属の適用

金属はアルミニウム製バット、ゴルフクラブのヘッド、スキーやスケートのエッジ、シューズのスパイク、野球のキャッチャーマスク、剣道の面金、アイゼンなどの登山用具、テントの支柱など、多くの用具に対して使用されている。

鉄系金属は、その歴史が長く、等方性、強度、弾性率、硬度、靱性などについて安定した特性を有すると同時に、品質に対する信頼性も高いことが、広い用途への使用につながっている。これに対して、非鉄金属は、高比重であるタングステンや銅系金属は用具のバランス調整のために、低比重であるアルミ合金やチタン合金は軽量化のために利用されるなど、各金属の特徴を活かした使用がなされている。図2は、主な金属材料のヤング率と引張り強さの関係を模式的に示したものである<sup>2)</sup>。一般的に、引張り強さが高くなるにつれて、ヤング率も高くなる傾向が見られる。しかし、チタン合金は他の材料や合金に比べて高強度にもかかわらずヤング率が低い特徴をもつことが確認

できる。

金属が導入されることによって構造が大きく変化した一例として、ゴルフクラブのヘッドが挙げられる。ドライバーヘッドは、当初、パーシモン(柿の木)が使用されてきたが、木製は強度が低く、耐久性にも乏しいことから、1980年代からスチール製の材料が使用されるようになった。これによって耐久性は改良されたものの、比重が大きく、ヘッドの衝突面(以下、フェース面)を大きくすることが難しいなどの課題があったことから、ステンレス製やCFRP製が登場し、その後、1990年頃にチタン合金を用いたヘッドが開発されると、瞬く間にこれが主流となり、現在に至っている。この間、ヘッドは中実から中空構造へと変化し、さらにチタン合金の採用によって、中空ヘッドの薄肉構造化および大容量化が可能になった。チタン製ヘッドの体積はパーシモンに比べて2倍以上になった。このような構造の変化は、ボールの飛距離の増加と方向性の安定に大きく寄与することとなった。

また、フェース面の薄肉構造化は、フェース面の変形を大きくし、逆にゴム材料であるボールの変形を抑制することにより、インパクト時におけるボールのエネルギー損失を小さくし、その結果としてヘッドの反発を増大させる、という設計指針がとられてきた。このようにフェース面を大きく変形させるには、フェース面を薄く、かつ大きくするとともに、ヤング率の低い材料の採用が有効となる。一方で、フェース面が薄いと耐久性が損なわれ、大きいと質量が増加することから、フェース面には低ヤング率で高強度、かつ低密度な特性をもつ材料が適していることになる。この要求に対して、チタン合金の特性は合致したため、圧倒的な普及につながったといえる。

### ▼さまざまな特性を活用できる

#### ▲高分子樹脂の適用

高分子樹脂は、ポリウレタン、ポリエチレン、ポリアミド、ポリブタジエン、アイオノマー、エチレンビニルアセテート(EVA)、ABS、ポリアセタール、ポリカーボネートなど、各種樹脂がもつ特性を活かして使用されている。これらの樹脂