ゴルフ用品とプラスチック

富田 誠 介*

1. はじめに

スポーツ用品は消費財の中でも特に嗜好性や社会環境変化に動向が支配されることが多くて変化が激しい。プロスポーツ選手の影響やプレイスタイルの変化によってクラブやボールなど競技に直接関わる用品の進歩が近年加速してきている。しかも海外特に米国のプロ競技者の影響がインターネット、衛星放送などのメディアの発達とともに日本市場にも直接的に影響する状態になってきている。ゴルフ用品はグローバルな市場が形成されつつある。

スポーツ用品を分野ごとに分類すると、ゴルフ用品が出荷額も一番多く産業としての裾野が広いといえる。日本のスポーツ用品の市場規模を表1に示す。ゴルフ用品はメーカー出荷額で2700億円を占め、構成率で22%であり、市場規模が一番大きくて産業としての裾野も広い。

ゴルフ用品の中の構成は表2に掲げるがクラブが40%でウェアがこれに次ぐ30%の構成である。ゴルフボールは10%程度の構成であるがプラスチック材料の消費量や技術的な構成を考慮するとゴルフボールはプラスチック応用という視点からは無視できない。

ゲーム用ボールの1999年の国内出荷量は1050万ダース、練習場ボールは450万ダースと推定される。両者併せると重量で6700トンにも達する。米国でのゴルフボールの総需要は5000万ダース以上と言われているので日米両国での重量基準での出荷は30000トン近くの膨大な数値になる。本稿ではゴルフ用品のなかでもプラスチックの応用に重要な意義のあるゴルフボールについて機能、材料、構造と成形技術について解説を試みる。

2. ゴルフボール

ゴルフボールはゲームの発祥の時点からプレイヤーの興味の対象で、その材料、構造、製法はゲームが確立してからも幾多の変遷を遂げてきた。その革新の狙いは飛びを改良し、ゲームに勝ちたいというプレイヤーのいわば根源的な欲求が大きく働いていた。ただ、ゲームの勝敗に飛距離性能などボールの機能が直接影響することからゲームの公正性を守ろうという観点から、ボールの機能については厳

密に規則化されており、公式試合ではU.S.G.A.(米国ゴルフ協会)およびR&A(英国ゴルフ協会)によって、申請ボールがルールに適合していることを確認されたボールのみが使用される。

表1 日本のスポーツ用品市場(小売市場規模)

金額単位(百万円)

スポーツ種別	1995	2000(推定)	2000年構成比(%)
ゴルフ	443000	369000	20.3
スキー	253000	115000	6.3
釣り	297120	268000	14.7
アスレチックウエア	229900	215500	11.8
アウトドア	172670	178500	9.8
スポーツシューズ	121300	146000	8
テニス	106350	96870	5.3
スイムウエア	23450	28600	1.6
野球	75400	82400	4.5
マリンスポーツ	16200	13960	0.8
スノーボード	103800	123000	6.8
サイクルスポーツ	35500	28920	1.6
バトミントン	16310	15350	0.8
武道	23950	21180	1.2
卓球	14300	13640	0.7
その他	184190	104000	5.7
合計	2116440	1819920	100

矢野経済調べ

表2 ゴルフ用品メーカー出荷額(輸出含む)

金額単位(百万円)

	1999年	構成比(%)
ゴルフクラブ	116650	39.1
シューズ	16780	5.6
キャディーバック	9510	3.2
グローブ	6415	2.1
ゴルフウェア	92265	30.9
ゲームボール	29055	9.7
練習場ボール	2420	0.8
輸出	18905	6.3
その他	6395	2.1
合計	298395	100

矢野経済調べ

* Tomita, Seisuke
ブリヂストンスポーツ(株)
東京都品川区南大井6-22-7大森ベルポートE館(〒140-0013)
2001.4.10受理

規則で定められている項目はボール外径、重量、一定の速度で打撃された時のボール初速、飛びの均一性、一定の打撃条件での最大飛距離であり、特定のボールの使用者がゲームで特に有利にならないように定められている。

2.1 ゴルフボールの変遷

ゴルフボールが工業的に大量生産されるようになったのは、19世紀末の米国で糸巻き構造のバラタ・カバー・ボールが開発されてからである。それまでは皮袋に鳥の羽を詰め込んだボールから始まり、ガッタパーチャーを球形に圧縮成形したものが手工業的に作られていた。

ゴルフ人口の急激な増加はクラブとボールの需要の増加をもたらし、成形法や材料の革新が大幅に進んだ。図1に当時の糸巻きボールを示す。ゴム球に天然ゴム加硫物の糸ゴムを10倍にも延伸して巻きつけ、ボールの硬さと反発性を確保している。その構造体を保護するために天然バラタ・ゴム (trans-polyisoprene) を被覆し、カバー表面にディンプルと称する凹凸を成形して。さらにバラタ・ゴムの破壊強度を強化するために加硫反応により網目構造を導入し、さらにその表面に白色および透明塗料を塗装してある。この構造のボールはその後、約100年間も製造、販売されている。

1980年代になってからボールの技術革新が始まり、100年間続いたボールの構造が大きく変化し始めた。ツーピース・ボールの出現である。この先駆けとして、J. R. Bartschによる、ハイ・シス・ポリブタジエン (cis-polybutadiene) の組成物の加硫ゴム球をゴルフボールとして用いる発明の特許が1966年に成立した。ゴルフ練習場に使用されている練習ボール (ワン・ピース・ボール) がこれに相当する。従来の液芯やゴム球芯糸巻き構造とは異なり、固体中実の材料のみで形成され、はるかに工業生産に相応しくゴルフボールの技術革新に繋がっていく重要な発明であった。

図2にツーピース・ボールの構造を示す。構造は比較的単純で、ゴム組成物の加硫ゴム芯に樹脂のカバーを被覆した2層構造である。現在では世界で一番多く採用されている構造であり、年間の全世界での年間生産量は5000万ダー

スに達すると推定される。

このツーピース・ボールを基礎に、新たな構造が生み出されている。1994年からはカバーを二重に形成したボールが開発販売された。この構造を採用したボールでは飛距離、フィーリングが改良されている。多層構造ボールは機能面でプレイヤーの多様な欲求に応えられる設計面での自由度があり、現在の高性能ボールの基本的な構造になっている。図3に多層構造ボールの構造の例を示す。

このように100年間ほとんど変化の無かったボール構造が、1980年代から急激に革新が起こり始めた。その背景にはゴルフがスポーツとして大衆化して、ボール機能に対する欲求が変化し多様化してきたことと石油化学、高分子化学の発達、ゴルフボールに好適な合成材料を安価に大量に供給できる条件をつくり出したこと、射出成形などのプラスチック成形加工技術が大きく進歩したことなど基盤技術が整備されたことが寄与している。

従来の糸巻きボールは天然由来の材料を用いて加硫、圧縮成形、圧延などゴム産業に属する技術背景があった。ユニロイヤル、ブリヂストン、グッドリッチ、ダンロップなどタイヤ会社の一部門で製造することが多かったのもこの理由であろうが、ボール構造の変化により合成樹脂材料や射出成形などゴム産業には帰属しない生産加工技術が支配的になり、プラスチック加工産業に基礎を置く基盤技術が重要になってきた。さらに表面処理技術やボール性能評価のための計測技術、金型精密加工技術など、技術背景がないと高性能、高品質のボールが開発、生産できないまでにゴルフボールは高度化してきている。

2.2 ゴルフボール開発競争と基礎技術

世界のゴルフボールの生産量は、世界的なゴルフの隆盛で毎年出荷数量を増加させてきたが、日本では経済の停滞が影響し、過去数年間は販売量が減少してきている。

この状況の中でメーカー間の開発競争は激化し、商品や技術動向に新しい動きが出てきている。新たな需要を喚起

図1 糸巻きゴルフボール

図2 ツーピース・ゴルフボール

図3 多層構造ゴルフボール

し、新機軸を形成して需要を拡大しようとする動きである。主な潮流は新材料の採用と新構造の開発であろう。

ボールのカバー（表皮）はツーピースボールの出現以来、アイオノマー組成物が使われていた。クラブ打撃や地表落下による衝撃からゴム芯コアを保護することや、塗装やマーク印刷の接着強度などの面から、強靱で柔軟しかもアクリル酸やメタクリル酸などの極性基を含有し、異種材料との接着性にも優れる。この亜鉛、ナトリウムなどの金属で中和されたオレフィン材料は成形性に優れ、ゴルフボールのカバー材料として好適で、現在最も多く消費されている。

ここ数年ではポリウレタンがカバー材料として採用されてきている。アイオノマーよりも柔らかい領域で、反発性と耐久性が得られることが理由である。この狙いはカバーを柔軟にすることでボールとクラブのフェースとの摩擦力を上げて、ボールにバック・スピンを掛けやすくすることで、ボールのコントロール性（操作性）を改良し、かつ柔らかなフィーリングを得ようとするものである。米国でタイガー・ウッズが2000年このカバーの多層構造ボールに変更してから驚異的な優勝記録をしたことですっかり有名になり、ポリウレタンカバーのボールが上級者のボールとして定着した。2001年には全世界で300万ダース以上のポリウレタン・カバーボールが生産されると予測される。

もう一つの潮流は構造の変革である。前述のごとくツーピースボールの誕生により糸巻き構造ボールが主流から駆逐されてから、ゴム芯コアの多層構造ボールの多様性が増してきた。クラブ・ヘッド・スピード50 m/s以上のプロ、上級プレイヤーから、クラブ・ヘッド・スピード30 m/sの初心者、女子プレイヤーまでの技能レベルの多様なプレイヤーに飛び性能をミートさせるために、また、最近進歩の著しいクラブの特性の変化に対応するためにボールの特性が変革してきている。

さらなるソフト・フィーリング、低いヘッド・スピードで飛距離が増加するため、あるいは高いヘッド・スピードで飛距離が増加するようになど、目的に合わせて構造を設計することが必要で、スリーピース構造、フォーピース構造などの多層構造が開発されてきている。これらの商品開発が促進されてきた背景にはゴルフボールの性能の計測技術、特にボールとクラブの打撃状態の計測、ボール飛翔の空気力学的計測などが、電子技術の進歩の恩恵により急速に進歩したことが挙げられる。

図4にボールの打撃現象の計測器を示す。この装置はボールのクラブ打撃による高速変形、ボールに印加されるバック・スピンの量、打ち出し角度やボールの初速、クラブ・ヘッド・スピードなど、ボールの性能に係わる初期条件パラメーターが計測できる。

計測はCCD画像の画像解析に基づいて定量化するため比較的精度も高い。この装置で得られた初期条件を使ってボール飛翔弾道を空力学的シミュレーションすると、250 mの飛距離で誤差が1 m以内で十分に予測設計に堪え得る。このような計測、予測計算がゴルフボールの設計に応用されるようになったことが性能目標にあわせて多層構造が開発される基盤となった。

もちろん複雑な多層構造を、経済的に、精度良く、大量

に生産できるような成形加工技術の発展も寄与していることは疑いない。射出成形技術、金型技術、表面処理技術などの精密プラスチック加工技術の進歩が広く応用されている。

ゴルフボールの外径は50 μ 程度の精度でつくられており、真球からのずれも20 μ 程度で成形され、ディンプルの深さは150 μ 前後で設計されていることから、プラスチック成形製品の中でも高精度の加工技術が要求される商品といえる。ディンプルは深さ20 μ 異なれば飛翔弾道に差異が現れるといわれており、高精度の加工が無いとユーザーに満足されるような品質の均一性即ち飛びの安定性が得られない。

3. ゴルフボールとプラスチック

ゴルフボールはプラスチックの塊と言えるほど関わりが深い。前述のようにボールの性能向上は新材料応用の歴史とも言える。

ボールの部材は表面のカバーと反発性の源であるコア（ゴム芯）と、カバーとコアの中間に位置する内層から構成されている。この単純な構造でボール性能を発揮させるためには材料の特性とボールの特性との関係を詳細に把握する必要がある。

図5にボール打撃時の変形の有限要素化法（FEM解析）計算例を示す。ボールはドライバー打撃によって20%程度の変形を受けるが、部材への入力を定量的に予測するためにFEM解析が一般的に用いられている。1 msec.以下の高速変形を定量的に予測するのに適した手法である。ボールの変形や応力伝達、応力集中、反発性を左右するヒステリシス・ロスなどを定量的に見積もることができる。変形挙動を把握すれば部材の寸法、剛性、ヒステリシス・ロスの設計や材料特性の設計も容易になる。

この10年間にゴルフボールに導入されたプラスチック材料はポリエステル・サーモエラストマー、ポリアミド・サーモエラストマーやポリウレタン・サーモエラストマー

図4 ボール打撃計測機

図5 ボール打撃時の変形挙動

などがある。これらは二重カバー・ボールの内層材料として使われており、月間数10トンの規模で消費されていると予想する。

これらの熱可塑性エラストマーは射出成形が可能でゴム組成物に比べて反発性を損なわないで柔軟な組成物ができるとに特徴がある。カバーとコアの中間に柔らかい材料を配し、打撃変形を均一化して部分的な応力集中を防ぎ、ヒステリシス・ロスの発生を減少させて、反発性を改良することと、打撃衝撃を緩和してソフトな打感を与える。

このような中間層として柔軟な熱可塑性エラストマーを配置したボールはソフト・フィーリングと高反発性による飛びが評価されて一般アマチュア用ボールとして定着してきた。

この対極にあるのが、高いヘッド・スピードでクラブをスイングできるプロ、上級者のボールである。糸巻きバラタ・ボールが長い間使用されていたが、ウレタン・カバーの多層構造ボールに移行してきたことは前述したが、カバーにポリウレタンを用いた多層構造ボールは、反発材料として糸ゴムが天然ゴム(CIS 1, 4-POLYISOPRENE)であるのに比べて、ガラス転移点が30℃以上も低い-100℃のポリブタジエンゴムの加硫組成物ゴム芯を使うことから、初速が糸巻きボールよりも高くなることで飛距離が向上する。

天然ゴムやバラタなど天然物を原料にするのではなく、

合成材料のみで構成することで均質な安定した物性が得られ、さらには圧縮成形に替わって射出成形という精度と生産性に優れる加工法が適用されてきているなど、寸法精度にも格段の向上がある。

フィーリング、飛距離、スピン性能に優れるだけでなく、ボール毎の均一性が保証されないとボール落下位置の数十cmを競うプロ、上級者の要求には応えられない。スイングの安定性で、せっかくボールとクラブの打撃位置をわずか2mm以内に制御できても、ボールの特性が変動しては勝負に勝てない。

プラスチック材料はボールの機能を高度化するために、成形法の進歩と関連しながらボールへの用途拡大が進んできた。今後はエンジニアリング・ポリマーなど物性に特徴のある材料が用途開発されるものと思われる。

4. 最後 に

ゴルフ用品の中のボールについてプラスチックとの係わりを述べたが、ゴルフボールは競技用のボールの中でも未だ構造や材料が大きく変化していく余地がある製品である。ボールの性能の優劣で競技が左右されること、競技の環境が変わり、ボールに要求される機能が変化していることが主要因である。

将来のボールのあるべき姿は明確ではないが、一つの流れは機能の多様化であろう。各々のプレイヤーに適したボールが今よりも求められるであろう。クラブは高額商品であるが故に試打し、自分に最適な、振りやすく飛ぶクラブが購買の動機になる。ボールは消耗品であることもあり、このような購買動機にはならないが、自分の技量にマッチしたボールの選択が一般化してくると思われる。

ボールの機能への材料の寄与は大きく、材料の開発がボール性能を決めると言っても過言ではない。今後も新しい素材の応用展開が期待される。われわれ用品用具メーカーは新規素材の開発動向に敏感になり、応用展開に努力したいと考えている。