

B38 硬式テニスボールのリサイクル提唱と 高品質再生「ECOボール」の研究開発

Proposal of Tennis Ball Recycling and R & D of High Quality “ECO Ball”

○正 川副嘉彦（埼玉工大），沖本賢次（サンアイ），沖本啓子（サンアイ），
南野泰造（千葉県テニス協会），島村康太（埼玉工大），中川慎理（埼玉工大）

Yoshihiko KAWAZOE, Saitama Institute of Technology, 1690 Fusaiji, Fukaya-si, Saitama
Kenji OKIMOTO, Sanai Ltd., 1-34-7 Furuichi, Asaminami-ku, Hiroshima
Keiko OKIMOTO, Sanai Ltd.
Taizou MINAMINI, Chiba Tennis Association, 2-1-16-1 Shimizuguchi, Shirai-si, Chiba
Kouta SHIMAMURA, Saitama Institute of Technology
Masamichi NAKAGAWA, Saitama Institute of Technology

This paper discussed the proposal of tennis ball recycling required by environmental problem and introduced research and development of high quality recycled ball named “ECO Ball”. Furthermore, it showed the effect of felt called Melton on the spin behavior and the ball control by comparison between a tennis ball and a smooth surface ball without felt. It also discussed the characteristics of used balls with variety of felt composed of wool and nylon and its relation to the variety of court surfaces.

Key Words: Sports Engineering, Tennis Ball, Recycling, Ball Spin, Environmental Problem, Impact, ECO Ball

1. はじめに

1.1 中古ボールで健康被害：小・中学校の教室で広がる再利用

世界中で膨大な数のテニスボールが生産され、廃棄されている。

小中学校で使われる椅子や机の脚にクッションとして用いられる中古テニスボールの再利用（図1）に関して健康被害が新聞で報告され⁽¹⁾、関係者にとっては頭の痛い問題になっている。今後、重要な問題になる可能性もあり、長くなるが、以下に引用・要約する。

「中古のテニスボールを教室の机や椅子の脚のカバーにする再利用方法が、全国の小・中学校に広がっている。ガタガタとうるさい音がしなくなり、床も傷つかず、ごみとして捨てられるボールも減る。良いことづくめのようだが、アレルギーやシックハウスなど空気環境に敏感な症状を持つ子供には思わぬ危険がある。ボールから出る揮発物質により、健康被害に遭う恐れがあるのだ。実際に体調を崩した子供もおり、導入には細心の注意が必要だ。」⁽¹⁾



Fig.1 Reuse of the used tennis ball for the leg of the chair or a desk as a cushion at elementary and junior high schools

1.2 騒音防止で導入⁽¹⁾

「再利用の方法は簡単。ボールに切り込みを入れて机や椅子の脚にはめ込むだけ。90年代初め、補聴器をつけた子供の耳を守るため、親からの要望を受けた熊本市内の小学校で始まった。騒音防止とごみ減量に役立つことから、難聴の子供がいない学校にも導入が拡大。今では、全国で

多くのテニススクールやテニスクラブが中古ボールの提供に協力しており、インターネットで再利用を呼びかけるサイトも数多い。

一方、これまで見過ごされてきたのが、中古ボールを再利用することの弊害だ。

宇都宮市内の小学校では07年秋、再利用を始めて数日後に小学4年生の男児が発熱。せきや鼻血も出て、その後3週間にわたり低体温の状態が続いた。男児は以前にも化学物質が原因でアレルギー鼻炎が悪化したことがあり、この時も鼻炎が再発した。

男児の母親（40）は、切り込みを入れた際にかいだにおいから、原因は中古ボールだと判断。母親から相談を受けた学校は、4カ月後、中古ボールをすべての教室から撤去した。

男児の母親は「他の保護者からも突然せきや熱が出たという話を聞いた。影響を受けた子供は他にもいたと思う」と話す。男児の鼻炎は、今も元の状態まで回復していない。」

1.3 切り込みで増大⁽¹⁾

「実際に中古ボールから化学物質は出ているのか。東京大学の柳沢幸雄教授（室内環境学）にリユース予定の中古ボールを測定してもらったところ、アセトアルデヒド、アセトン、ベンゼン、シクロヘキセン、シクロヘキサノンなどの有害な揮発性有機化合物の放散が確認された。脚にはめ込む切り込みを入れると、放散量は増大した。製造時にボールの内部に封印された物質が出てきたと考えられる。

放散量はいずれもごく微量で、切り込みを入れた場合でも、24時間にベンゼンで1個平均0.3マイクログラム。机と椅子の脚全部で計320個のボールが集まる40人学級での濃度を試算すると、1立方メートル当たり0.01マイクログラム以下となり、大気環境基準（3マイクログラム）を下回る。ただしこれは、基準通り毎時2・2回、室内の空気が入れ替わったと仮定した場合だ。これらの化学物質が低い場所にたまりやすく、換気されにくいことは考慮していない。」

「柳沢教授は『健常な子なら問題がないが、敏感な子供には耐え難い環境になっている可能性がある。原則的にやめるべきだと思うが、導入する場合でも、子供の体調に十分注意を払う必要がある』と訴えている。」

「これまで300万個の中古ボールを学校に寄付した実績のあるNPO『グローバル・スポーツ・アライアンス(GSA)』(本部・東京)は、毎日新聞の取材でこれらの事実を知り、注意を呼びかける文書を学校に送るとともに、ホームページにも記載するようになった。子供の体調に変化があった場合は、使用量を減らすか使用を中止するように求めている。GSAは今後、有害な化学物質を利用しないテニスボールの製造を、メーカー各社に呼びかける。」

1.4 本研究の目的

使用済みボールの処理は重要な緊急課題である。本報告では、使用済みテニスボールの再生技術に関連する研究および沖本ら⁽²⁾⁽³⁾が研究開発・商品化した“ECO Ball (エコボール)” (特許出願中)の概要について紹介し、今後の研究課題を展望する。

2. テニスボールのスピニング性能におよぼすフェルトの影響⁽⁴⁾

図2は、テニスボール(右)とフェルト(毛羽,メルトン)なしの滑面ボール(左)である。図3,図4は、それぞれプロテニスプレーヤーの打撃におけるテニスボール(図3)とフェルトなしボール(図4)のインパクト後のスピニング挙動である。フェルトなしボールのインパクト後の挙動(図4)には剛性低下によるボールの固有振動(ボールの飛びにおけるエネルギー損失に関連する)が見られるが、テニスボールには見られない。

図5は、プロのトップスピン(順回転)打撃におけるテニ

スボールとフェルトなし(滑面)ボールのスピニング性能測定値である。フェルトなし(滑面)ボールは、スピニング量(図a)が顕著に低減し(平均50%),接触時間(図c)も短く(平均23%),スピニング量が大きく減少するためにインパクト直後の打球速度(図b)は速い(平均42%)。したがって、トップスピニングで打撃しても、フェルトなし(滑面)ボールの場合は、ボールがコート内に収まらないでコート外に飛び出してしまう(図6)。



Fig.2 Tennis ball (right) and a smooth surface ball without felt (left).

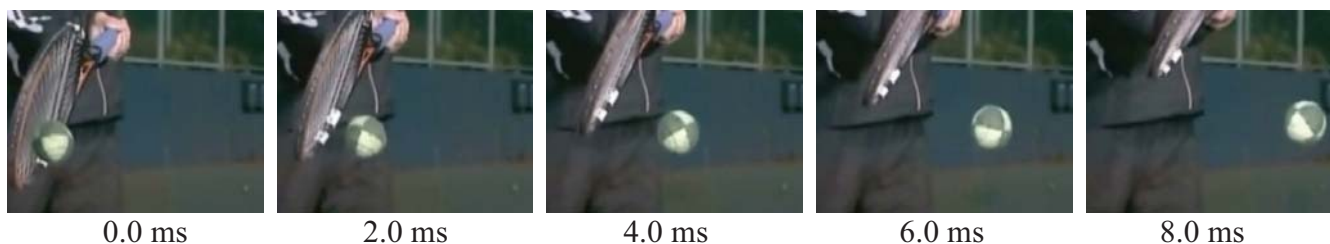


Fig.3 Top-Spin performance of a pro tennis player with a tennis ball. There does not seem to be ball vibrations after impact.

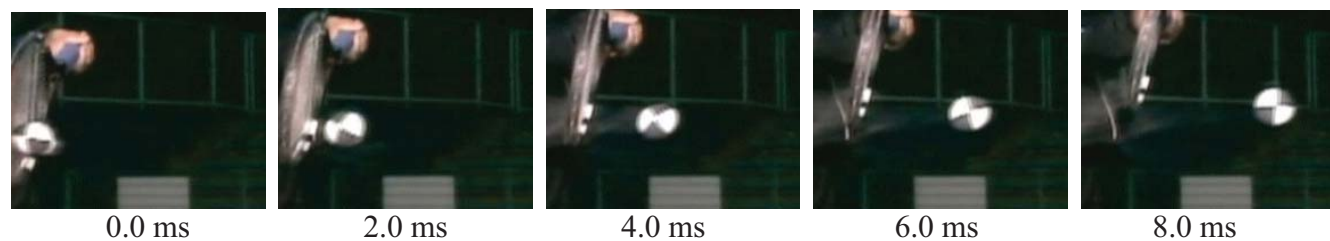


Fig.4 Top-Spin performance of a pro tennis player with a smooth surface ball without felt. There seems to be ball vibrations after impact.

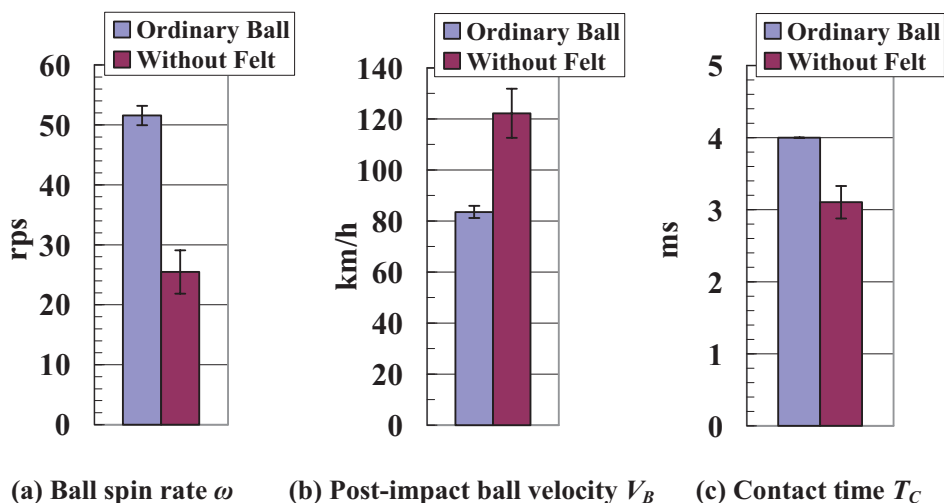
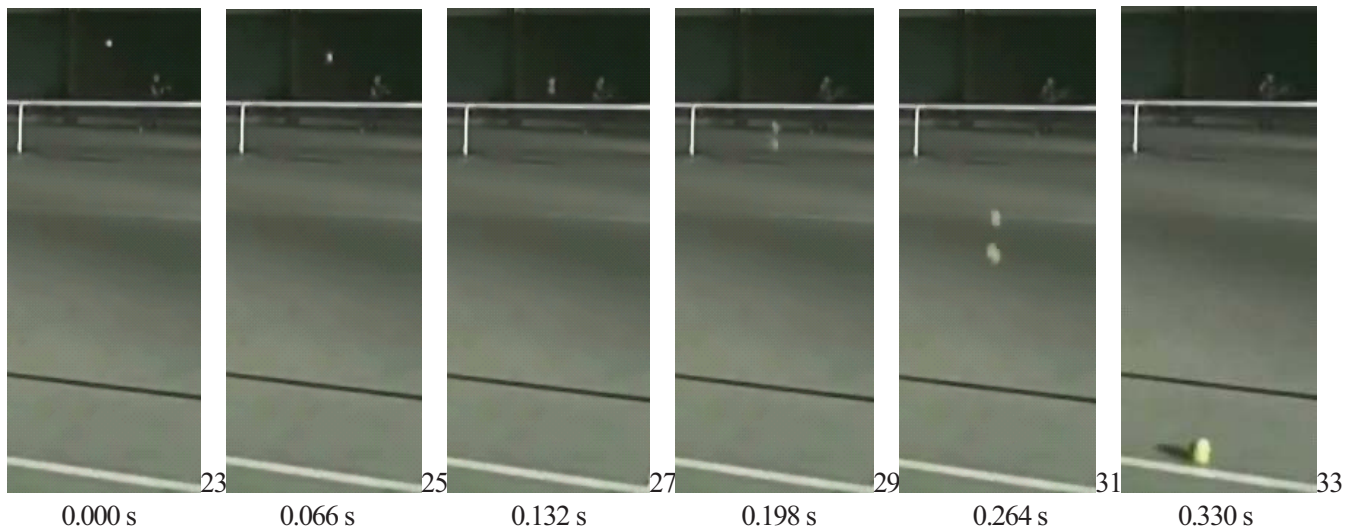
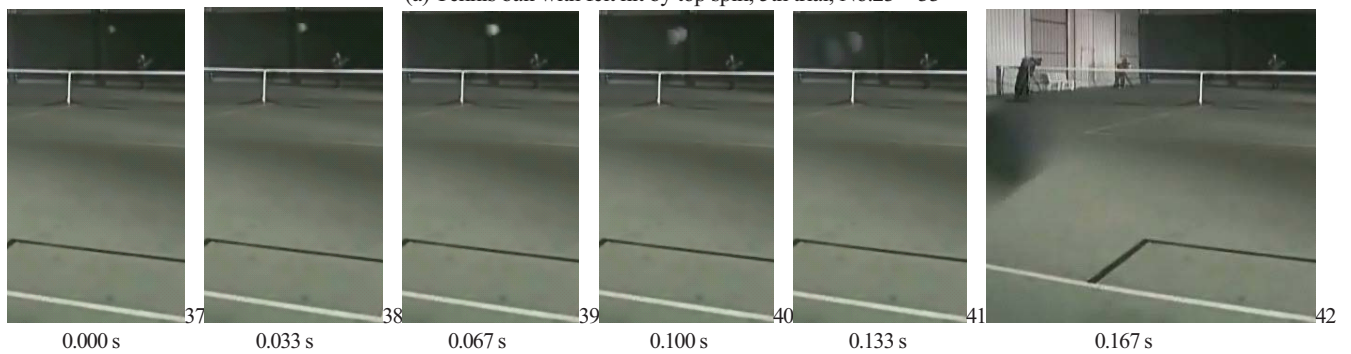


Fig.5 Top-Spin performance of a pro tennis player vs. tennis ball and smooth surface ball without felt with average and standard errors.



(a) Tennis ball with felt hit by top spin, 5th trial, No.23~33

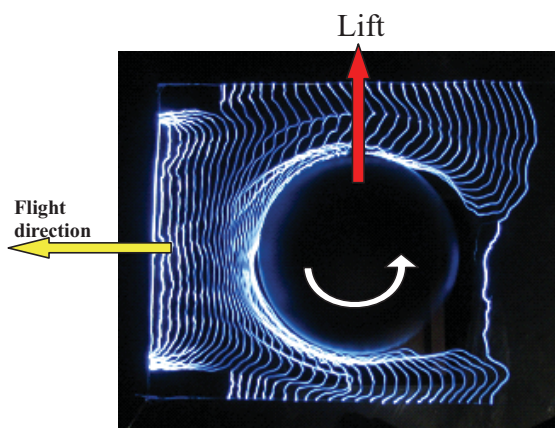


(b) Smooth surface ball without felt hit by top spin, 5th trial, No.37~42

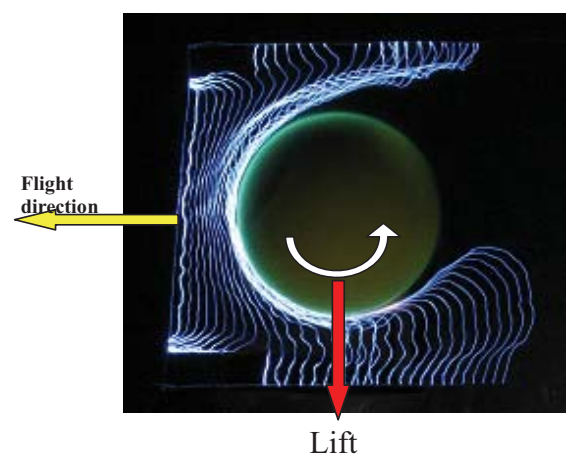
Fig.6 Top-Spin ball behaviors by a pro tennis player with tennis ball and with smooth surface ball

図7は、(a) フェルトなしボール（滑面ボール）と (b) テニスボールが30m/sで飛びながら3500 rpmで回転（反時計方向：トップスピン）している場合に相当するボール周りの流れを火花追跡法により可視化したものである。タイムラインの間隔により速度の大小が分かる。また、火花はボールに沿って流れ、ある位置で剥がれが生じているのがよく分かる。一般に物体が回転しながら飛翔する場合にはマグナス力により飛翔方向に垂直な力が発生する（揚力）ことが知られている。

テニスボール（図7(b)）においては回転側（下側）の剥離点は上側の剥離点より下流にあり、また、下側の流れが上側の流れよりも加速されるため揚力は図のように下向きに働き、ボール周りの流れは左下がりで飛んでいるようになる。すなわち、テニスボールにトップスピンを掛けるとボールは飛翔しながら下向きの力が働きコート内に落としやすくなる。



(a) Smooth surface ball without felt



(b) Tennis ball

Fig.7 Spin Behavior of tennis ball and smooth surface ball without felt by flow visualization. Ball velocity: 30m/ s , Spin rate: 3500rpm (Top spin)

これに対して、フェルトなしの滑面ボールの場合は同じ条件にもかかわらず、図7(a)のように、上側の剥離点は下側より下流に移動しており、飛翔の向きは飛ぶ方向に頭を上げて飛んでいる形となる。また、ボールの上側の速度は下側の速度より速まることにより、上側の圧力は下側の圧力より低下するため揚力（逆マグナス力の発生）が発生する。したがって、プレイヤーが同じ条件で滑面ボールにトップスピンをかけて打つとコートオーバーしたり、方向性が定まらなかったりすることになる（図6）⁽⁴⁾。

3. 使い古した硬式テニスボールを新品同様にのみがえらせる「エコボール」の開発と普及⁽²⁾

テニスボールは使わない状態であっても、次第に空気が抜けて柔らかくなってしまいうため、圧力缶に入れられて売られている。空気の抜けたテニスボールの有効な利用方法がないため、大量にテニスボールを使用しているテニススクールやテニスクラブ、学校などは、産業廃棄物として有償で処分している。すぐに処分しないで繰り返し使用できるようにしたのが「エコボール」である⁽²⁾。

テニスボールの構造は、ゴム製のコア（ボール）に糊でメルトン（フェルト、メーカーにより呼び名が異なる）を貼り付け、メルトンの貼り合わせ部をゴム（シーム）で補強している。沖本⁽²⁾によると、ボールを打った時の打感、まずメルトン、次にコア、三つ目に糊で決まる。

メルトンは、羊毛とナイロンを混ぜた繊維物で伸縮性が高い。羊毛が多ければ、打球感は良くなるが、製造コストが割高になる。コアの部分は、メーカーやボールのグレードによって異なり、糊にはゴム製で伸縮性の高い特殊なものが使われている。

テニスボール表面の劣化は、テニスコート表面の材質によって異なる。見た目では、劣化していないようでも、空気は自然に抜けていき、次第に柔らかくなってしまふ。ボールの特性も変化する⁽⁵⁾。

エコボールの特徴は、ただ単に空気を補充するだけでなく、独自の技術でメルトンを張り替えることにある。同じ空気圧でも、新品のメルトンと使い古したものでは、ボールをつぶした時の感触がまったく異なる。新しいメルトンに張り替えれば、新品同様の打球感になり、コアを繰り返し再利用することが可能になる。

再生の工程は、使用済みボールのメルトンをはがし、新しいメルトンに張り替え（図8(a)）、継ぎ目（シーム）に伸縮性の高いゴムを充填する（図8(b)）。メルトンを起毛したあと、ボールに針を刺して、針穴をふさぐため充填剤を注入してから、空気や窒素を充填する（図8(c)）。

あらかじめ微量の充填剤が注入されているので、針を抜いても空気が漏れない。エコボールのメルトンには、公式試合用ボールよりも、羊毛の混紡率が高い生地を使用し、ボールを打った時の感触を高めている。

空気圧は、有名メーカーの試合球とほぼ同じ 0.8 [MPa] に設定する。プレイヤーの技量や好み、テニスコートの材質に合わせて、空気圧を調整することが可能である。製造時にボールの内部に封印された物質からきた液体は排出するので、椅子や机の脚にクッションとして用いるためにエコボールに切り込みを入れても、有害な揮発性有機化合物の放散は非常に少ないはずである。

市販テニスボールの価格は、新品（試合球）で2個入り缶500円、4個入り缶900円程度であるが、エコボールは1個90円と格安であり、半永久的に繰り返し使用できる。テニスボールを大量に使用するテニススクールや学校のクラブ活動に使われ始めており、沖本⁽²⁾によると「テニススクールのコーチからも好評を得ている」。これまで、テニスボールは、有効な利用法がなく、ごみとして捨てら

れていたが、「大量に消費されるボールを繰り返し再利用することで、限りある資源を有効に利用できる」。

図9は、エコボールができるまでの工程の概略である。図9(a)は使用済みボール、図9(b)はメルトンを除去したコアの状態、これに特殊配合の接着剤を丁寧に塗布（サンアイ（株）の企業秘密）、図9(c)は接着剤で貼る前の新しいメルトン、メルトンの継ぎ目にシーム材を注入（サンアイ（株）の企業秘密）、図9(d)は金型から出たてのボール、毛が圧縮されている、図9(e)はスチーム処理（蒸気を使ってメルトンを起毛させる）を示す。さらに、図9(f):充填材注入（シームからエア抜けを抑える充填材を注入する）、図9(g):加圧処理（コンプレッサでエアを規定圧までゆっくり加圧する）、図9(h):圧力チェック・検品（製品のムラや圧力を再度チェックして完成）と続く⁽⁶⁾。



(a)



(b)



(c)

Fig.8 Development of ECOball that utilize used balls.

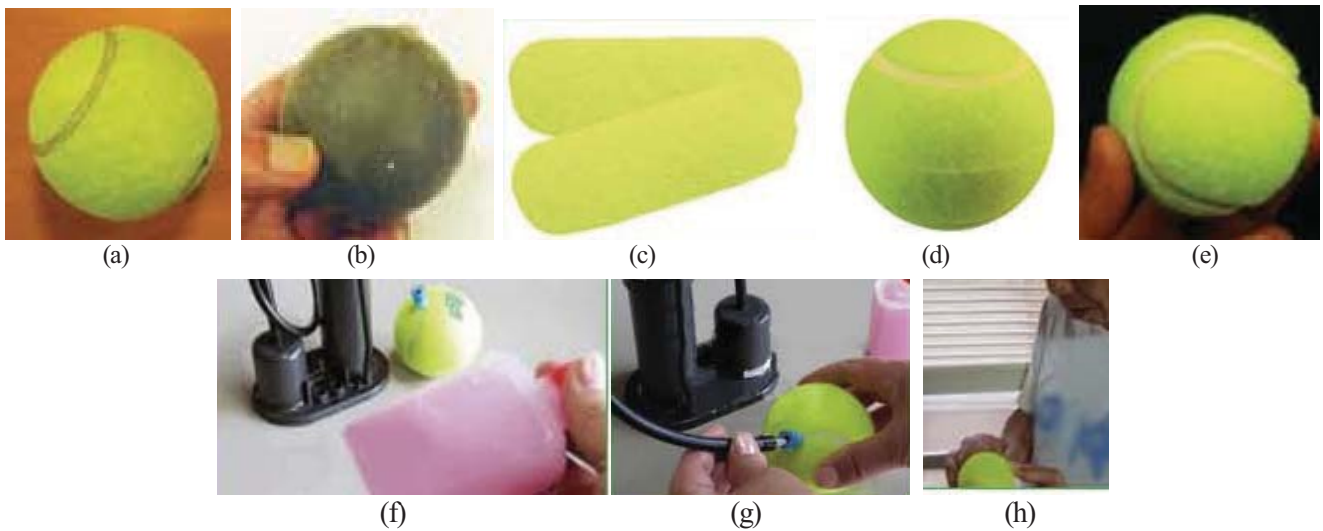


Fig.9 How a Eco Ball is made from a used ball

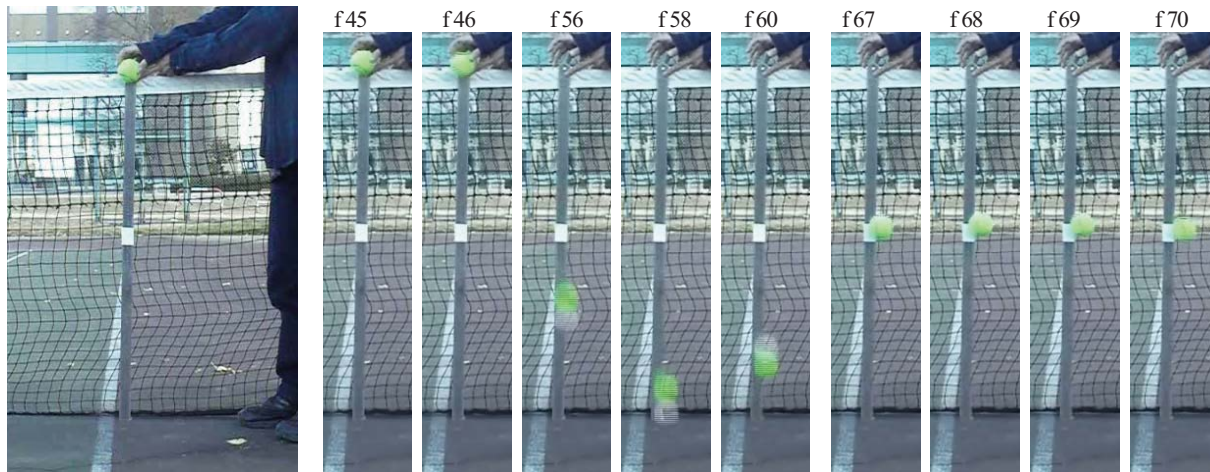


Fig.10 Ball bounce testing on the tennis court



Fig.11 Practice test on eco balls that utilize used balls.

図10は、テニスコート上での反発係数のテスト、図11は実打におけるボール挙動の観察風景であり、市販テニスボールとの比較の様子である。ITFのルールの仕様に合わせるのには難しくないが、ゲームにおける打球感や耐久性などの多様性の改善を含めて今後の重要なテーマとなりそうである。

4. 日本テニス協会の取組⁽³⁾

日本テニス協会普及本部・環境委員会でも自然環境保全と整備を目的とした活動（3R= Reduce, Reuse, Recycle）が進められており、千葉県テニス協会も使用済みボール再利用を進めていた。ところが、1章に述べたような新聞報道により、これまでのような文科省も推奨していた再利用が難しくなり、本研究で紹介した使用済みボールを再生したエコボールの採用・普及が検討されている⁽³⁾。

5. 使用テニスボールの性能に関する研究への展開

ほとんどすべてのトッププレイヤーが使用しているコーポリ・ガットと呼ばれる新しいガット（ストリングス）が、これまでよりもはるかに強力なスピンの得られるということが話題になっている⁽⁷⁾⁻⁽¹⁹⁾。

一方、デザイン、製造、性能などの異なる多様なテニスボールの性能と使用後の性能の変化が研究されている⁽⁵⁾。メーカー 8社の26種類のボールについて、国際テニス連盟（ITF）の規則に基づくテストの他に、マシンによりテニスコートに30回斜め衝突させた（耐久テスト）後に、その使用球の ITF テストを再度行っている。図11は、耐久テスト後のボールであり、質量の減少量は 0.34 g ~ 0.94 g であり、図11の左のフェルト（毛羽）の質量は 0.22 g、ポー

ルの種類によっては、この場合の4,5倍近くのフェルトが失われる場合もある。

使用ボールは反発係数が高くなること、使用ボールは剛性が低下すること、使用ボールは 1 g 程度軽くなること、同じ缶に入っている各ボールの重量、直径、反発係数が異なること、同じメーカーでも各缶によって異なること、軸方向によって反発係数が異なること、ボールは完全球ではないこと、ボールはプレー中に変形すること、ボールのバウンスは100インチから落として5インチ程度異なること、反発性は缶から出した回数、使用状態、温度に依存すること、などの興味深い実験結果を報告している。

これらの結果は、図3～図7に示したように、フェルト無し(滑面)ボールのインパクト後の挙動にはボールの固有振動が見られ、スピンの量が平均 50%低減し、接触時間も平均 23%短いという新品ボールとフェルト無しボールとの違いからもフェルトの重要性がよく理解できる。

再生ボールの性能を ITF ルールの仕様に合わせるのは容易であるが、フェルトの種類を選んだり、ボールの内圧の設定を微妙に変えることにより、プレーにおける打球感や耐久性などについて現在市販されている公認ボール以上の性能を実現する可能性もあるかもしれない。今後の興味深い研究テーマである。



Fig.11 A ball next to 0.22 grams of fuzz. Some balls lost four to five times that much fuzz. (Courtesy of Rod Cross and Crawford Lindsey⁽³⁾)

6. 結論

小中学校で使われる椅子や机の脚にクッションとして用いられる中古テニスボールの再利用に関して健康被害が報告され、これまでのような再利用が難しくなり、有害な化学物質を利用しないテニスボールの製造がメーカー各社に期待されている。本研究では、すでに沖本ら⁽²⁾⁽³⁾が研究開発・商品化・市販されている使用済みテニスボール“ECO Ball (エコボール)” (特許出願中)の再生技術の概要について紹介し、さらに積極的な今後の研究課題を展望した。

再生“ECO Ball (エコボール)”は、製造時にボールの内部に封印された物質を排出するので、再生利用のためにボールに切り込みを入れても、有害な揮発性有機化合物の放散は非常に少ない。すでに日本テニス協会の一部では、本研究で紹介した再生・エコボールの採用・普及が検討されている。

文 献

- (1) 田村佳子, “中古ボールで健康被害: 小・中学校の教室で広がる再利用”, 毎日新聞朝刊, 2009年1月15日
- (2) “使い古しのテニスボールを新品同様に再生 サンアイ”, 地球環境新聞, 2010年7月8日木曜日.
- (3) 南野泰造, “千葉県テニス協会の取り組み”, JTA環境レポート2011, p.11 (2011).
- (4) 川副嘉彦, 武田幸宏, 中川慎理, 青木克巳, “テニスのトップスピンとアンダースピンのボール挙動におよ

ぼすボール毛羽の影響(超高速ビデオ画像解析と流れの可視化)”, ジョイントシンポジウム2009(スポーツ工学& ヒューマン・ダイナミクス)講演論文集, No.09-45, 日本機械学会, pp.118-123 (2009).

- (5) Cross, R. and Lindsey, C., “Ball Testing”, Racquet Sports Industry magazine, July issue (2007), <http://www.racquetsportsindustry.com/articles/2007/07/ball-testing.html> (September 30, 2011 recognized)
- (6) “テニスボール革命ECOボール”, 楽天市場 テニスハウス・エディ: <http://item.rakuten.co.jp/eddy/bl-060/> (2011年10月1日確認)
- (7) Speckman, J., “The New Physics of Tennis: Unlocking the mysteries of Rafael Nadal's killer topspin”, The Atlantic Magazine, January/February (2011). <http://www.theatlantic.com/magazine/archive/2011/01/the-new-physics-of-tennis/8339/> (2011年7月25日確認)
- (8) Macdonald, G., “Racket Strings and Topspin, Straight Sets (Tennis Blog of The New York Times)”, Friday, July 22, 2011 (2011) <http://straightsets.blogs.nytimes.com/2011/01/22/racket-strings-and-topspin/> (2011年7月25日確認)
- (9) Strawn, T., “The Kawazoe Study”, GSS Alliance: International Alliance of Racket Technicians, January 10, 2011 (2011), <http://www.gssalliance.com/2011/the-kawazoe-study/> 2011年7月25日確認)
- (10) Kawazoe, Y. & Okimoto, K., “Super High Speed Video Analysis of Tennis Top Spin and Its Performance Improvement by String Lubrication”, The Impact of Technology on Sport (ed. A. Subic, S. Ujihashi), ASTA Publishing, 2005, pp.379-385.
- (11) 川副嘉彦, 沖本賢次, 沖本啓子, “テニスラケットのスピン性能のメカニズム (ストリング交差点潤滑によるスピン性能向上の超高速ビデオ画像解析)”, 日本機械学会論文集, 第72巻718号C編(2006), pp.1900-1907.
- (12) Kawazoe, Y. & Okimoto, K., Tennis Top Spin Comparison between New, Used, and Lubricated Used Strings by High Speed Video Analysis with Impact Simulation, Theoretical and Applied Mechanics Japan, 57, 2008, pp.511-522
- (13) 川副嘉彦, 武田幸宏・中川慎理, “テニスラケットのスピン性能におよぼすガット・ノッチの影響 (スピン量・接触時間・打球速度の超高速ビデオ画像解析)”, 日本機械学会論文集C編, Vol.76, No.770(2010), pp.2646-2655.
- (14) Goodwill, S & Haake, S., “Why were ‘spaghetti string’ racket banned in the game of tennis?” The engineering of Sport 4, pp.231-237. Blackwell Science, (2002) Oxford.
- (15) Lindsey, C., String Lubrication & Movement in Spin, Tennis Warehouse University (TWU), Online Article, March 22, 2011 http://twu.tennis-warehouse.com/learning_center/spinandlu.be.php
- (16) Speckman, J., “Copoly Strings: How Do They Really Work?” Tennisplayer.net, Online Article, Vol.7, No.2, (2011), <http://www.tennisplayer.net/indexpublic.html>
- (17) Speckman, J., “Spaghetti Strings: The Original Spin Strings and the Delayed Transformation of Tennis”, Tennisplayer.net, Tennisplayer.net, Online Article, Vol.7, No.4, (2011), <http://www.tennisplayer.net/indexpublic.html>
- (18) Speckman, J., “Strings and Spin: Applying What We Know About Copoly”, Tennisplayer.net, Online Article, Vol.7, No.5, (2011), <http://www.tennisplayer.net/indexpublic.html>
- (19) Yandell, J., “What is “True” in Tennis? The Forehands of Novak, Rafa, and Roger”, Tennisplayer.net, Online Article, Vol.7, No.6, (2011)