テニスのスピン性能におよぼすガット・ノッチの影響 (超高速ビデオカメラによるトップスピンとアンダースピンのインパクト解析)

Effects of Gut Notches on Tennis Spin performance: Impact Analysis of Top-Spin and Under-Spin with an Ultra-high-Speed Video Analysis

武田幸宏(埼玉工大) 正 川副嘉彦(埼玉工大) 中川慎理(埼玉工大)

Yoshihiko KAWAZOE, Saitama Institute of Technology, Fusaiji 1690, Fukaya-si, Saitama Yukihiro TAKEDA, Saitama Institute of Technology Masamichi NAKAGAWA, Saitama Institute of Technology

The previous paper of the authors made clear the mechanism of top spin performance in tennis and its improvement by lubrication of strings according to the high speed video analysis. As the main strings stretch and slide side ways more, the ball is given more spin due to restoring force parallel to the string face when the main strings spring back and the ball is released from the strings. Since the notches of strings decrease spin rate, the lubricant materials are effective to the notched strings. Furthermore, it showed that the more spin results in the reduction of shock vibrations of the wrist joint during impact. This paper showed that the spin rate of newly strung tennis racket without notches is much larger than that of used racket with notches. It also showed the difference of the topspin and the underspin when a pro and an amateur hits a ball.

Key Words: Dynamics, Sport Engineering, Tennis Racket, Impact, Ball, Top-Spin, Under-Spin, Strings, Gut, Ultrahigh-Speed Video Analysis.

1. 研究の背景と目的

打球面のラージサイズ化と軽量化により, ラケットの操 作性がよくなるとともに一般プレイヤーでもトップスピン (順回転) 打法が一般的になる一方で、スピンのメカニズ ムは謎であった. ストリングスの摩擦が大きいほどスピン がかかるという従来からの仮説に基づいて実験室でのスピ ン測定が重ねられてきたが、 ラケットやストリングスの種 類との関係は明確に現れなかった.

最近, コート上でのテスターによるインパクトの超高速 ビデオ画像解析(10,000 fps)とシミュレーションによりラ ケットのスピン性能の謎を川副ら(1)が初めて明らかにした. すなわち、(1)従来の仮説とは逆に、摩擦が小さいほど縦糸 と横糸の交差点がずれてボールが食い込み、縦糸が戻ると きのストリング面内復原力によりボールのスピン量が増す (図1). (2) ノッチ (溝) のできた使用中のストリングス でも交差点を潤滑するとボールのスピン量が増し、接触時 間も長くなる. (3) 接触時間が長くなるとラケットや手に 伝わる衝撃振動も低減する. すでにプレイヤーの間ではツ ルツルで硬いポリエステルが主流になっている.

図2は、新品のストリングス、1週間毎日3時間使用したス トリングス、および1週間使用したこのストリングスをシリ

コン系オイル(国際特許取得, ITFのルールにも適合)で潤 滑した場合の高速ビデオ画像解析結果である. 3回の試行 の平均値と標準誤差であり、トップスピン打撃では,ストリ ングを張ってから1週間ほど毎日3時間使用したラケット の場合、新品のストリングと比べるとスピン量は平均40% 低減する.しかし、使用したストリングに潤滑剤を塗ると スピン量は平均30%回復し、接触時間は平均16%長くなる. 直線的な打球速度の低減は平均6%である(2).



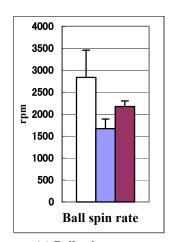
(T506 f159 L4)

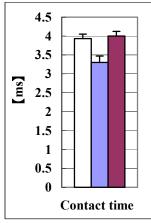
1.7 ms after contact

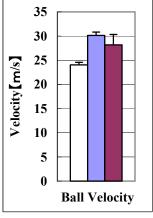
□ New Used

■ Lubricated used

Fig.1 Ball spin behavior and mechanism of spin rate increase by lubrication of string intersections. Main strings stretch and slide side ways and spring back when the ball is released from the strings.







(c) Post-impact ball velocity V_B

(b) Contact time T_C (a) Ball spin rate ω Fig.2 Spin performance vs. string conditions with average and standard error.

日本機械学会[No.08-23] シンポジウム講演論文集

['08-11-6~8, 秋田市,ジョイント・シンポジウム2008 (スポーツエ学シンポジウム) (シンポジウム:ヒューマン・ダイナミクス)]

図3は手首関節の衝撃振動波形の予測結果であり、ボールとの衝突位置はラケット面先端側である。図(a) は、衝突速度 30 m/s でフラットに正面衝突する場合であり、図(b)は通常のトップスピン、図(c)は潤滑剤を塗ったストリングでのトップスピンに相当する。図(b)、図(c)の垂直成分力積はそれぞれ図(a)の0.85倍、0.65倍である。縦糸が横にずれてストリング面に平行な復原力によりスピン量が増大し、接触時間が長くなると、フレーム振動が低減し、ボールとストリングスのたわみも減少してボールに接触した部分だけが窪んでいるように見える。これらが、「ボールをくわえる感覚が高まる」「ホールド感が増す」「打球感がマイルドになる」などのテスターの打球感に対応すると考えられる(1)(2).

本報では、超高速ビデオカメラを用いてスピンに関連する広範囲な実験を展開した。主にプロのトップスピンについて新品ガットと使用ガットの比較、プロとアマチュアが新品ガットでトップスピンとアンダースピン(スライス)で打撃した場合について述べる。

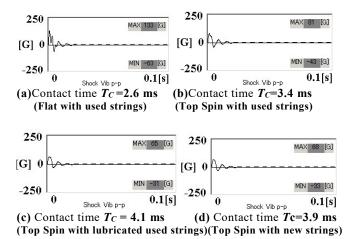


Fig.3 Calculated effect of contact time on the wrist joint shock vibrations. Impact velocity: 30 m/s, hitting location: top side 95 mm from the tip of racket.

2. 超高速ビデオカメラによるテニスのトップスピン挙動解析 図4は実験風景である、図5は、プレーヤーがボールを打

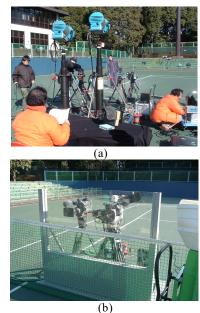
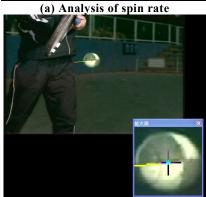


Fig.4 View of the experiment

撃したときのトップスピン挙動の解析画面例である.スピン(回転)速度と直線速度を求めることができる.図6は,真後ろからの撮影映像であり、おもにボールとストリングス(今回は天然ガット:牛の腸)が接触してから離れるまでのボールとストリングスの動きを解析した.縦糸がずれている様子が見える.図7は,試合後のガットの顕微鏡写真であり、ノッチ(溝)が明瞭に見える.





(b) Analysis of ball velocity Fig.5 View of impact and spin analysis.



Fig.6 Ball spin behavior and the mechanism of spin rate increase by stretching and sliding sideways and springing back of main strings at the string intersections when a ball is released from the string bed in the case of new Gut.

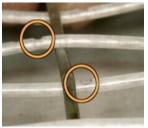


Fig.7 Used Gut with notches at the intersections.

図8は、プロ・テニスプレーヤーによるトップスピン打撃におけるインパクト前後のスイング軌道の概略を示す.

図9は、ボールとガットの接触期間中のトップスピン挙動を示す。図10は、インパクト後のスピン挙動であり、回転が分かりやすいようにボールに印をつけている。新品ガットでプロが打撃した場合のトップスピンは毎秒約50回転であった。

図11は、新品ガット(天然ストリングス)を張ってプロが打撃したときのラケットの後側から見たインパクト挙動(接触始めから接触終わりまで)である。縦糸が横にずれてボールが食い込み、縦糸が戻るときに回転が掛かる様子が見れる。試合に使ったラケットの場合は、縦糸のズレが小さい。

図12は、プロが試合で使った直後のラケットでトップスピン打撃したときのインパクト挙動(接触始めから接触終わりまで)である.

図13は、試合後のガットおよび新品ガットでプロが打撃

したときのトップスピン挙動解析結果の比較である. 試合後のガットには交差点に深い溝ができており、トップスピン打法で打撃したとき、縦糸の横方向へのズレと戻りによる面内復原力が少ないために、スピン量が顕著に低減し、接触時間も短く、前報(1)で明らかにしたトップスピンのメカニズムを裏付ける結果であった. スピン量が大きく減少するためにインパクト直後の打球速度は試合後のガットの方が速いが、ビデオ映像によると、試合後のガットで打撃した場合のバウンド後のボールの勢いは少ない.

図14は、アマチュア・テニスプレーヤーによるトップスピン打撃におけるインパクト前後のスイング軌道の概略を示す.

図15は、プロとアマチュア・プレーヤーが新品ガットで打撃した場合の比較である。プロの打撃では、アマチュアに比べて、打球速度の差は少ないが、スピン量がはるかに大きい。また、スピン量が多いためにボールとガットの接触時間が長く、インパクトの衝撃力が低減することになる。

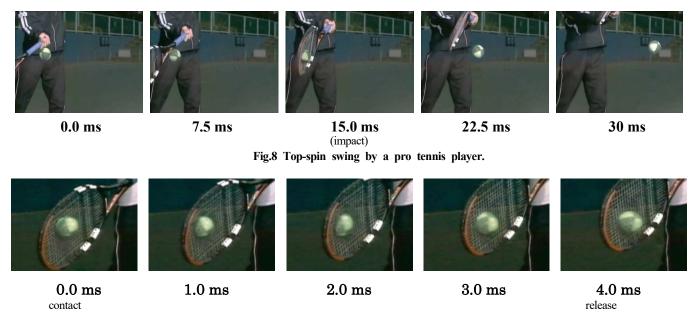


Fig.9 During Impact of the top-spin by a pro tennis player.

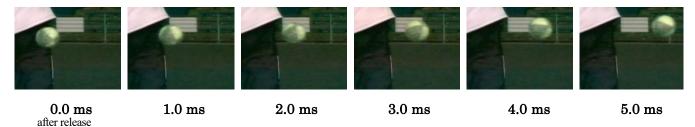


Fig.10 Side view of ball top spin behavior by a pro tennis player in the case of new Gut (about 50 rps).

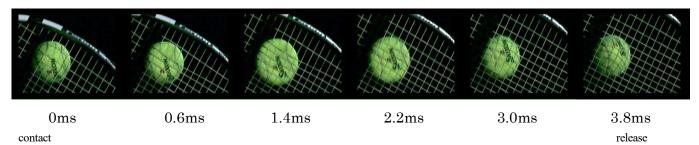


Fig.11 Top-Spin behavior and the mechanism of spin rate increase by stretching and sliding sideways and springing back of main strings at the string intersections in the case of new Gut.

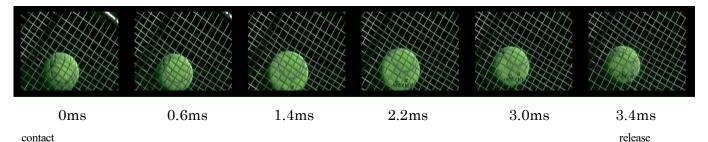
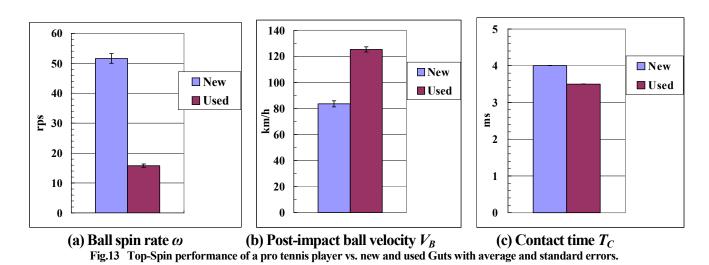


Fig.12 Top-Spin behavior in the case of used gut.



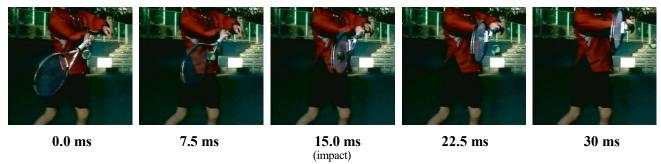


Fig.14 Top-spin swing by an amateur tennis player.

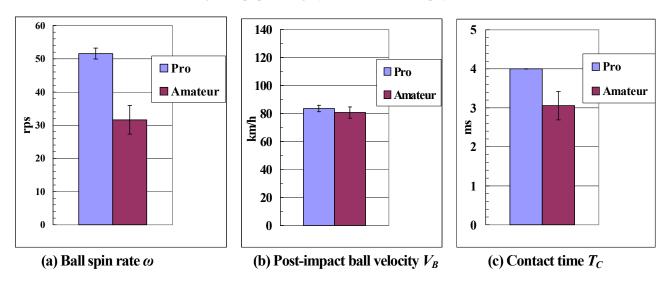


Fig.15 Top-spin performance vs. pro and amateur player with average and standard error.

3. 超高速ビデオカメラによるテニスのアンダースピン(スライス)挙動解析

図16は、プロのアンダー・スピン打法を示す.

図17は、インパクト前後のラケット軌道を示す.

ボールとラケットが接触している間のラケット面の角度の変化はほとんどなく、この間のラケットによるスピン操作は不可能であり、ボールが勝手に跳ね返るというイメージである.

図18は,ボールとストリングスが接触している期間(この場合は約4ms)のアンダースピン(スライス)の掛かり始めの様子を示す.図19は,インパクト直後のアンダー・スピン挙動である.

図20は、アマのアンダー・スピン打法を示す.図21は、インパクト前後のラケット軌道を示す.この場合も、ボールとラケットが接触している間のラケット面の角度の変化はほとんどない.プロのアンダー・スピン打法(図16)と比べると、プロの方が打点が前方にあり、上体も前方に傾斜している.

図22は、プロとアマがアンダー・スピン(スライス)でボールを打撃した場合の比較である(新品ガットを使用). プロの打撃では、アマチュアに比べて、スピン量が多く、打球速度も速く、ボールとガットの接触時間も長い. ボールとガットの接触時間が長いことは、インパクトの衝撃力の低減も意味する.

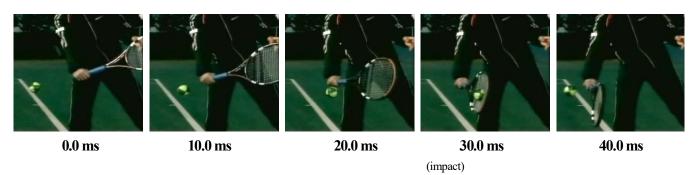


Fig.16 Under-spin (Slice) swing (1) by a pro tennis player.

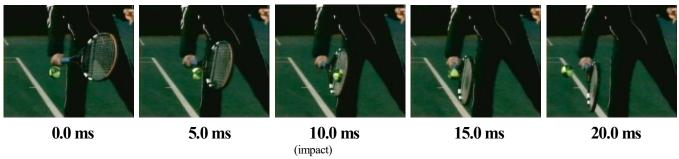


Fig.17 Under-spin (Slice)swing (2) by a pro tennis player: swing trajectory around the impact.



Fig.18 During impact of under-spin (Slice) by a pro tennis player.

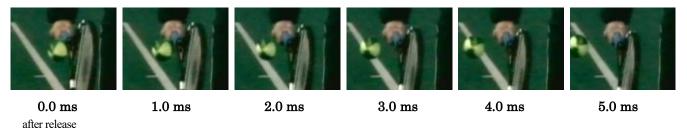


Fig.19 Side view of under spin behavior after release of a ball by a pro tennis player.

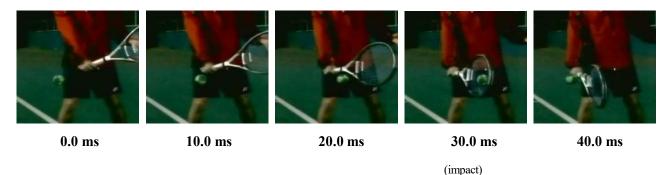


Fig.20 Under-spin (Slice) swing (1) by an amateur player.

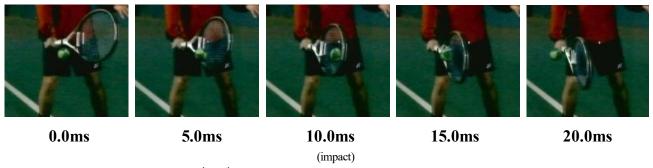


Fig.21 Under-spin (Slice)swing (2) by an amateur player: swing trajectory around the impact.

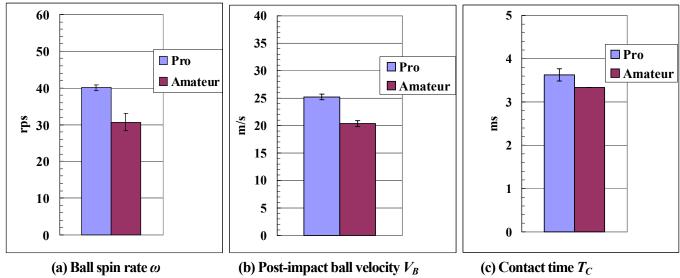


Fig.22 Under-Spin (Slice) performance vs. Pro and amateur Player with average and standard error.

4. おわりに

試合後のガットには交差点に深い溝ができており、トップスピン打法で打撃したとき、縦糸の横方向へのズレと戻りによる面内復原力が少ないために、スピン量が顕著に低減し、接触時間も短く、高速ビデオカメラにより前報(1)で明らかにしたトップスピンのメカニズムを裏付ける結果であった。また、プロのトップ・スピン打撃では、アマチュアに比べて、打球速度の差は少ないが、スピン量がはるかに大きかった。

アンダー・スピン(スライス)に関しては、プロの打撃では、アマチュアに比べて、やはりスピン量が多く、打球速度も速く、ボールとガットの接触時間も長かった.ボールとガットの接触時間が長いことは、インパクトの際の衝撃力の低減も意味する.

毛羽 (フェルト) 無しボールとの比較については別の機会に述べる.

本研究は、おもに NHK BS-hi番組「アインシュタインの 眼:テニス」制作過程での実験データをまとめたものであ り、ご協力いただいた日本放送協会・丸山裕孝氏、㈱ドキ ュメンタリジャパン・松山功氏および佐藤雅俊氏、プロテ ニスプレーヤー・宮崎雅俊氏ほかの諸氏に厚くお礼申し上 げる.

文献

- (1) 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), 機論, 72 (718) C, 1900-1907 (2006)
- (2) 川副嘉彦・沖本賢次, テニスのトップスピン性能のメカニズム (高速ビデオ画像解析と衝突シミュレーションによる考察),第56回理論応用力学講演会,2007.3 日本学術会議,pp.605-606.