

Racket performance associated with revolution of string for spin generation

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
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 and the spin rate of newly strung tennis racket without notches is much larger than that of used racket with notches. Furthermore, it showed that the more spin results in the reduction of shock vibrations of the wrist joint during impact. There are several strings now on the market that are designed explicitly to take advantage of the slippery string mechanism for top spin improvement. This paper showed the spin behavior of the ball and the revolutionary flat strings during oblique impact in the laboratory by the high speed video analysis and recognized that flat strings are more slippery and generate more spin than the conventional strings.

Key Words: Dynamics, Sport Engineering, Tennis Racket, Impact, Ball, Spin, High-Speed Video Analysis, Revolutionary Flat Strings

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良くなるとともに、一般プレーヤーでもトップスピン打法が一般的になり、ラケットやストリングの種類とスピン性能の関係に関心が集まる一方で、スピン性能のメカニズムは長い間謎であった。

前報⁽¹⁾⁻⁽³⁾では、毎秒1万コマの超高速ビデオ画像解析によってスピンのメカニズムに関して、ストリングスの縦糸・横糸の滑りが重要な役割をすること、縦糸・横糸の交差点にできたノッチ(交差点にできる溝、図1)がスピン性能を低減させること、ノッチができたストリングスを潤滑することによりスピン性能が回復すること、縦糸と横糸がお互いにすべってボールがストリングスに食いつきやすいほど、横に伸びた縦糸が元に戻りやすく、したがって縦糸が元に戻るときの復原力が大きいほど、スピンのかかりやすさなどがわかった(図2)⁽¹⁾。ナイロン・ストリングスおよびガット(天然ストリングス:牛の腸)について、(1)ナイロン・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%低減し、接触時間は平均8%短くなった。ノッチのできたストリングスに潤滑剤を塗布するとスピン量は大きく回復するが、ノッチの無い新品に比べると少ない(図3)⁽²⁾。(2)天然ガットの場合は、プロ・テニスプレーヤーが試合に使った後のノッチの出来たラケットでは、スピン量が平均70%低減し、接触時間は平均13%短くなった(図4)⁽³⁾。(3)また、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、スピン量が平均1.6倍、接触時間が1.3倍であった。接触時間が長いことは、強打してもインパクトの衝撃力、手に伝わる衝撃振動が低減することになる。(4)ストリングスあるいはガットが古くなっても反発性はほとんど低下しないという実験結果⁽⁴⁾

は次第に認識されるようになりつつあるが、使用したり古くなってノッチのできたストリングスのスピン性能は極端に低下する。

通常のガット(ストリングスの意味)の丸い断面に対して、表面に凸形状を形成して摩擦を増やすことでスピン量を増大するという発想の「スピニング」と称されるものが市販されてきた。しかし、ガットはメイン(縦)とクロス(横)を交互に裏表になるように編んで張られているので、ガット面にはゲージ径の大きさそのままの十分な突起がすでに形成されており(図5)、ゲージ径の10分の1にも満たない突起形状がボールを捕らえた時の摩擦に支配的であるというのは考えにくいという指摘は、テニスコーチや一般プレーヤーの間にも従来から少なからず存在した。一方、硬くて摩擦の少ないポリエステル製のガットは、切れにくいだけでなく、スピンがかかりやすく飛び過ぎないというのがプレーヤーの経験的な評価であり、すでに数年前から主流になっており、従来のスピン・ガットの設計概念を質的に変える必要があることを著者らはスピン実打実験の解析結果に基づいて指摘している^{(1)-(3), (5)}。

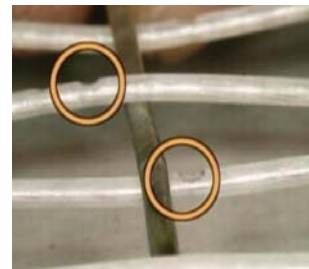


Fig.1 Used Gut with notches at the intersections.

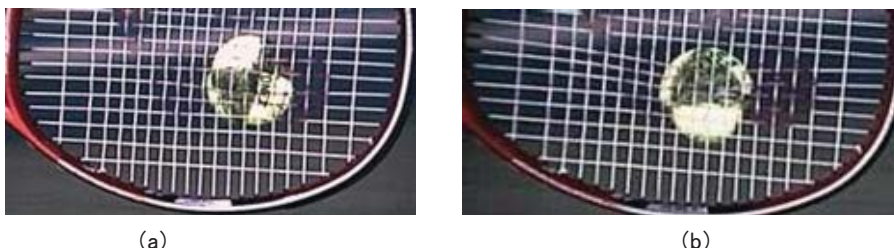


Fig.2 A tennis ball coming into contact with the strings of an ordinary racket (left) and a racket to which lubricant has been applied (right). The lengthwise strings show more lateral slide with lubricant than without.

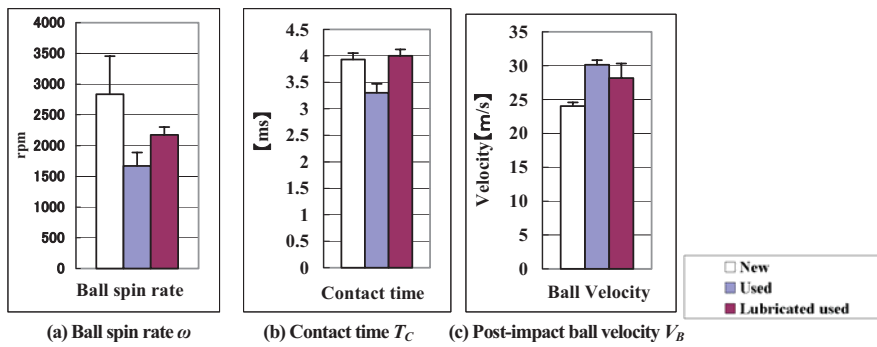


Fig.3 Spin performance vs. string conditions with average and standard error.

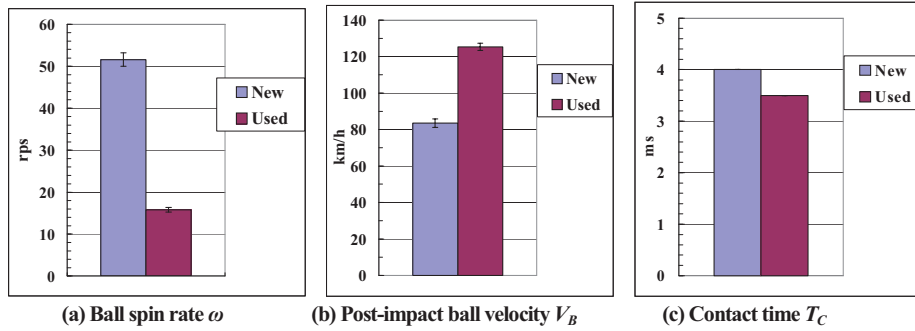


Fig.4 Top-Spin performance of a pro tennis player vs. new and used natural gut with average and standard errors.

国際テニス連盟 (ITF) や米国ストリンガー協会 (USRSA) は、過度のスピンを制限するルール変更も視野に入れて、多くの種類のガットについて固定面にボールを斜め衝突させる実験を行い、ガット面に40度の角度でボールを入射した実験では、ポリエステルがナイロンより多いこと、60度では逆に少ないことを示し、トッププロはポリエステルを使って40度の角度で強烈なスピンを打っているのではないかと推測している⁽⁶⁾。国内外の多くのストリング・メーカーもガットのスピニング性能に改めて関心を示し、テフロン加工したもの、断面を扁平形状にしたもの、滑りやすくコーティングしたものなど、従来とは異質のガットが市販されるようになってきた。

本研究では、おもに扁平断面形状ガット (図6) を張ったラケット面とボールとの斜め衝突における高速ビデオ画像分析に基づいて、メイン (縦糸) の横への滑りやすさとボールのスピニング性能の関係について吟味する。

2. 斜め衝突における扁平ガットとボールのスピニング挙動

図7は、固定されたラケットヘッドに張られた扁平ストリングスに40度の角度から100 km/h の速度でボールを斜め衝突させたときの高速カメラで撮影した映像 (1260 fps) の主要なコマ写真であり、実験状況の概要を示す。無回転のボールが右から入射する。ボールがストリングスに接触すると、5本の縦糸が横にずれてボールが回転しながらストリングスを離れていく様子が見える。図8は、その拡大・詳細コマ写真であり、従来型ストリング (a) (上半) と扁平ストリング (b) (下半) を比較している。従来型ストリング (a)

(上半) は、縦糸が3本しか横にずれておらず、ボールの回転量も扁平ストリング (b) に比べて少ない。詳細を見ると (図9も参照)、たとえば、コマ21~コマ71において扁平型

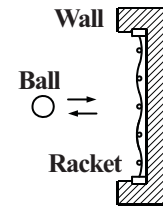


Fig.5 String bed of tennis racket

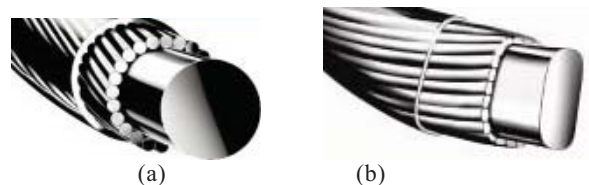


Fig.6 Illustrated cross section of revolutionary flat string (Gosen FG) compared to the conventional string (Gosen OG).

- (a) Conventional string (Gosen OG): Gauge diameter 1.30~1.33mm
- (b) Revolutionary flat string (Gosen FG): longer axis 1.43 mm, short axis 1.00 mm

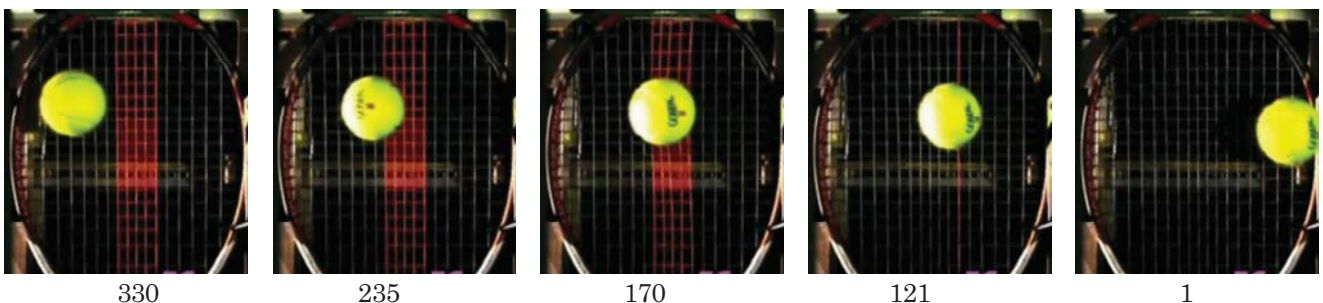
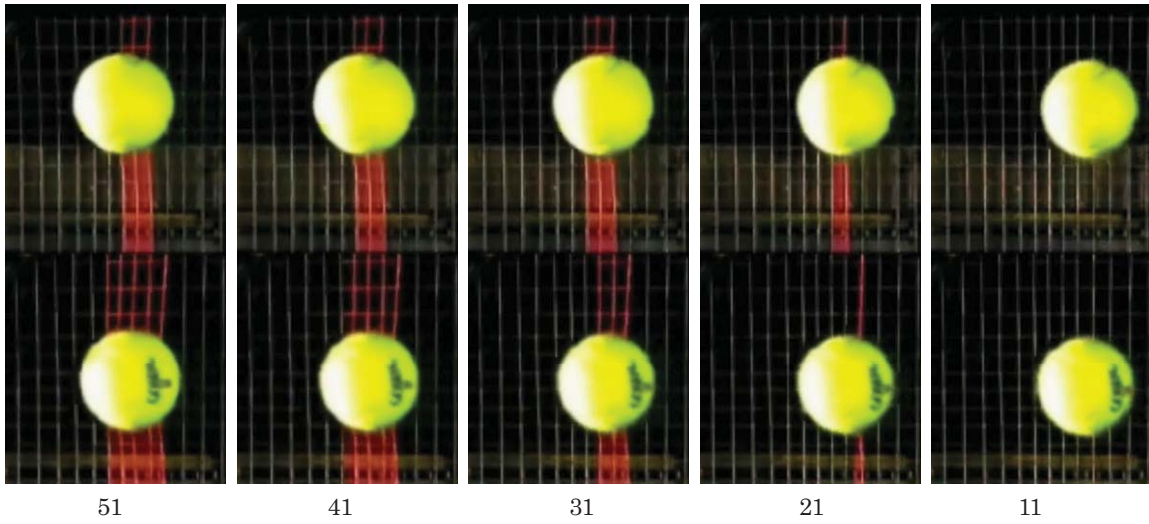


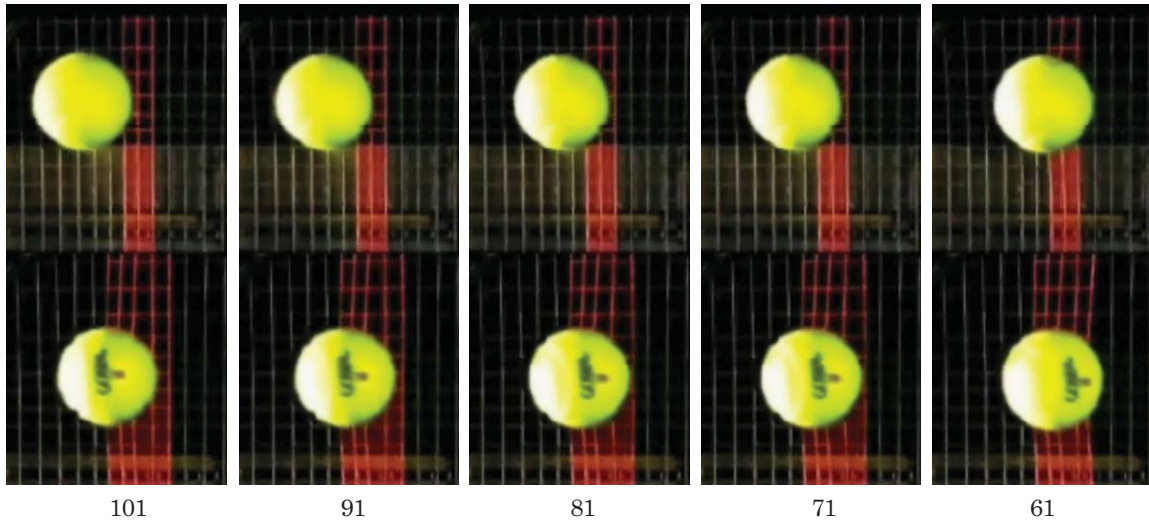
Fig.7 Movement of revolutionary flat strings during oblique impact (Ball incident from right to left)

(a) Conventional string (Gosen OG)



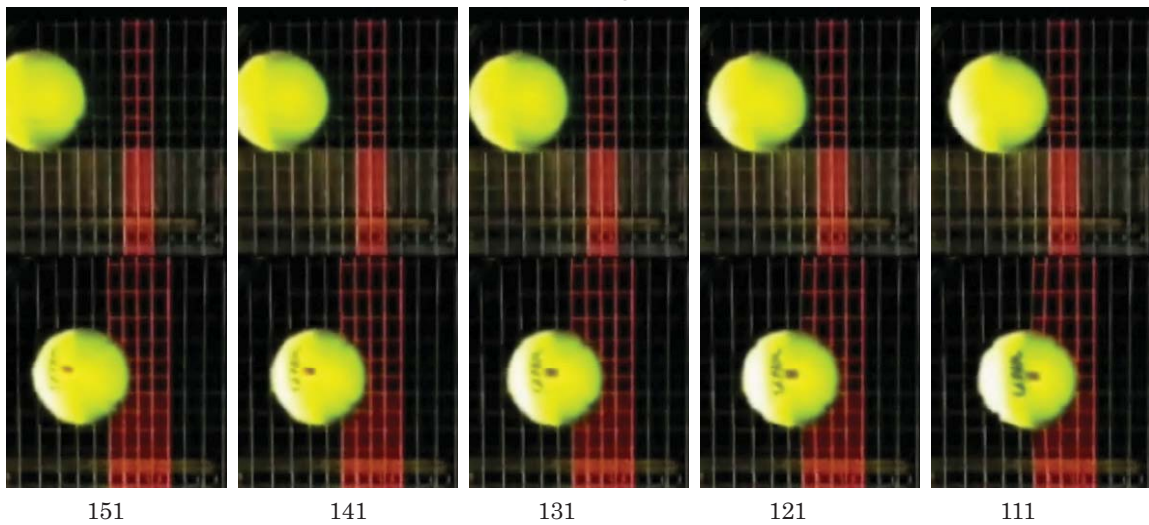
(b) Revolutionary flat string (Gosen FG)

(a) Conventional string (Gosen OG)



(b) Revolutionary flat string (Gosen FG)

(a) Conventional string (Gosen OG)

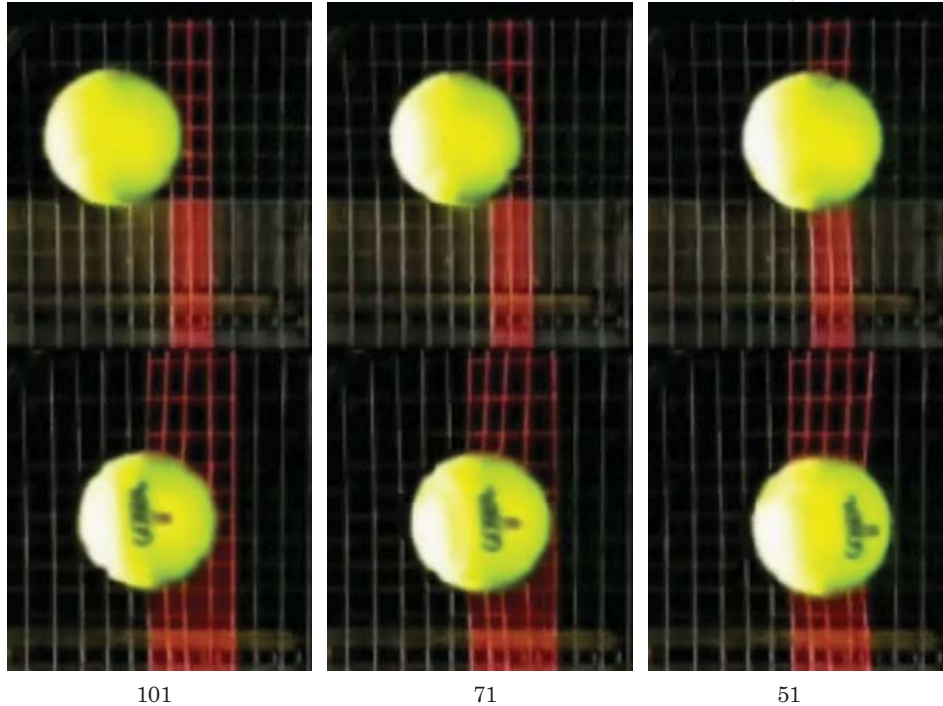


(b) Revolutionary flat string (Gosen FG)

Fig.8 Comparison of movement between conventional strings and revolutionary flat strings during oblique impact (Ball incident from right to left)

(a) Conventional string (Gosen OG)

← (Ball incident from right to left)



(b) Revolutionary flat string (Gosen FG)

Fig.9 Precise comparison of movement between conventional strings and revolutionary flat strings during oblique impact

は、横にずれた5本の縦糸のうち、最右端の縦糸が横にずれて元に戻る間にボールの顕著な回転が見られる。コマ111においても、右から2番目の横にずれた縦糸が元に戻る時に顕著に回転が見える。ストリングを離れると次第に回転は加速する。従来型は、扁平型に比べて、スピン量が少ないために、ボールが早くストリングスを離れている。視野角が狭いためボールが当たった直後の加速初期段階の評価しかできないが、ボールが90度回転する時間から算出すると、扁平型 2.48回転/sは従来型2.00回転/sの1.24倍である。図10は、ラケット面にほぼ直角方向から撮影した映像(1260 fps)の主要なコマ写真であり、紙面の奥からボールが入射し、手前に跳ね返る。ただし、図7～図9とは同期していない。図11は、その拡大・詳細コマ写真であり、従来型(a)(左半)と扁平型(b)(右半)を比較している。コマ写真は上から下へ進行する。ボール加速の初期段階ではあるが、扁平型の場合が従来型の場合よりボールの回転が顕著である。

3. 結論

最近、トップスピン性能改善に対して、滑りやすいストリングスのメカニズムの利点を明らかに活用するために設計されたと思われるストリングスが次々に市場に現れ始めた。本論文では、革新的なストリングスの代表例として扁平断面のストリングスを対象にして、固定されたラケットヘッドに張られたストリングスに40度の角度で100 km/hの速度でボールを斜め衝突させたときのボールスピン挙動とストリングスの縦横糸の滑り挙動を高速ビデオ解析により考察した。扁平型ストリングスは、従来型の円形断面ストリングスに比べて、縦糸が横に滑りやすく、スピン量も大きかった。スピン量が大きいと、エネルギー保存則により跳ね返り速度はやや低下し、接触時間は長くなり、結果として、インパクトの衝撃振動が軽減されることになる。研究の背景の詳細については文献を参照していただき

たい。

代わりに、インパクト実験の動画とストリングのイラストの使用をご許可いただいた株式会社ゴーセンおよび同・研究開発センター所長・上杉昭二氏に厚くお礼申し上げます。

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, pp.1900-1907 (2006)
- (2) Kawazoe, Y. and Okimoto, K., Tennis Top Spin Comparison between New, Used and Lubricated Strings by High Speed Video Analysis with Impact Simulation, Theoretical and Applied Mechanics Japan, Vol. 57, (2008), pp. 511-522.
- (3) 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, 76巻770号(C編), (2010), (掲載予定)
- (4) Cross, R., Properties of tennis equipment: balls that bite, rackets that don't vibrate and strings don't make any difference, Tennis Science & Technology 2, pp.17-29. International Tennis Federation, (2003).
- (5) Kawazoe, Y. and Okimoto, K., Super High Speed Video Analysis of Tennis Top Spin and Its Performance Improvement by String Lubrication, The Impact of Technology on Sport, Edited by A. Subic and S. Ujihashi, ASTA Publishing, (2005), pp.379-385.
- (6) Goodwill, S., Douglas, S., Miller, S. and Haake, S. J., Measuring ball spin off a tennis racket, Engineering of Sport 6, ed. F. Moritz and S. J. Haake, Springer, New York (2006). Vol. 1, pp. 379-384.

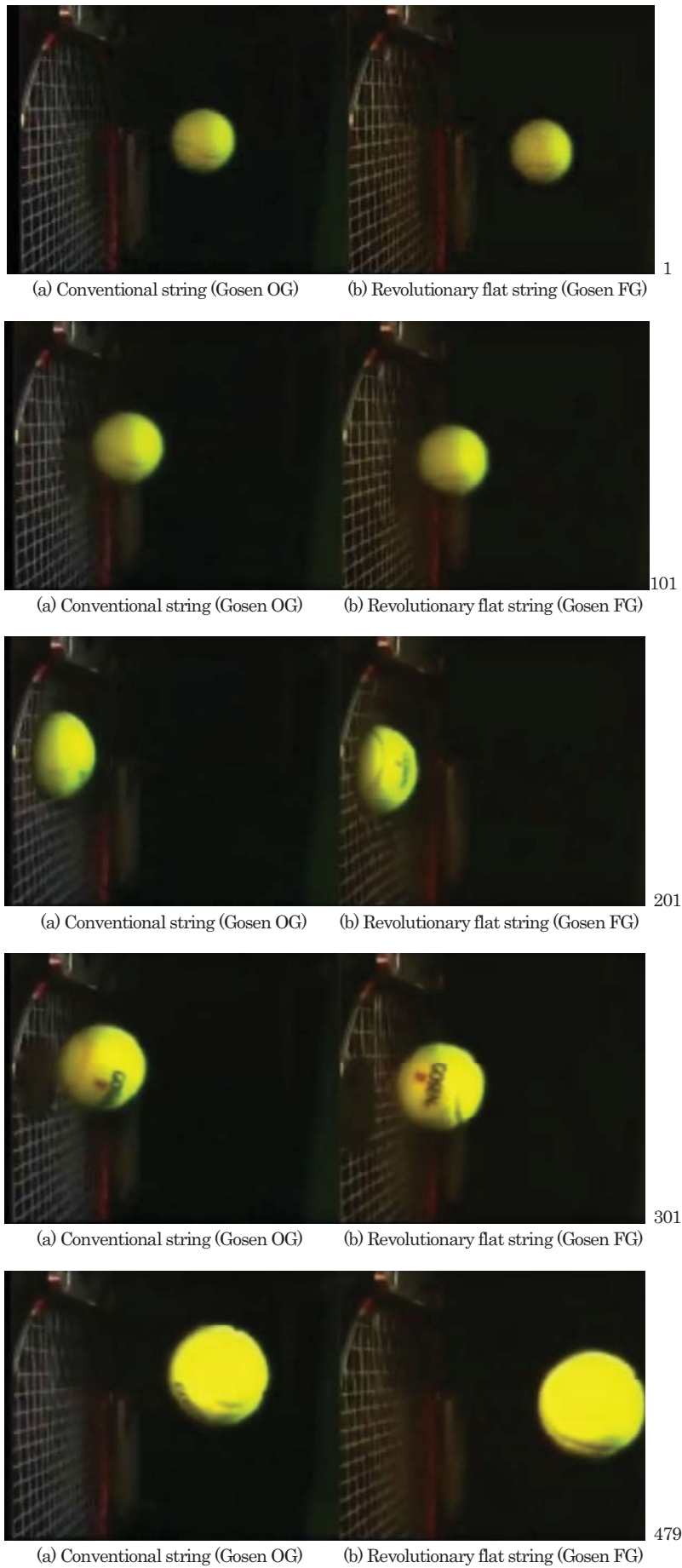


Fig.10 Comparison of ball spin movement during oblique impact (Ball incident from backward to front)

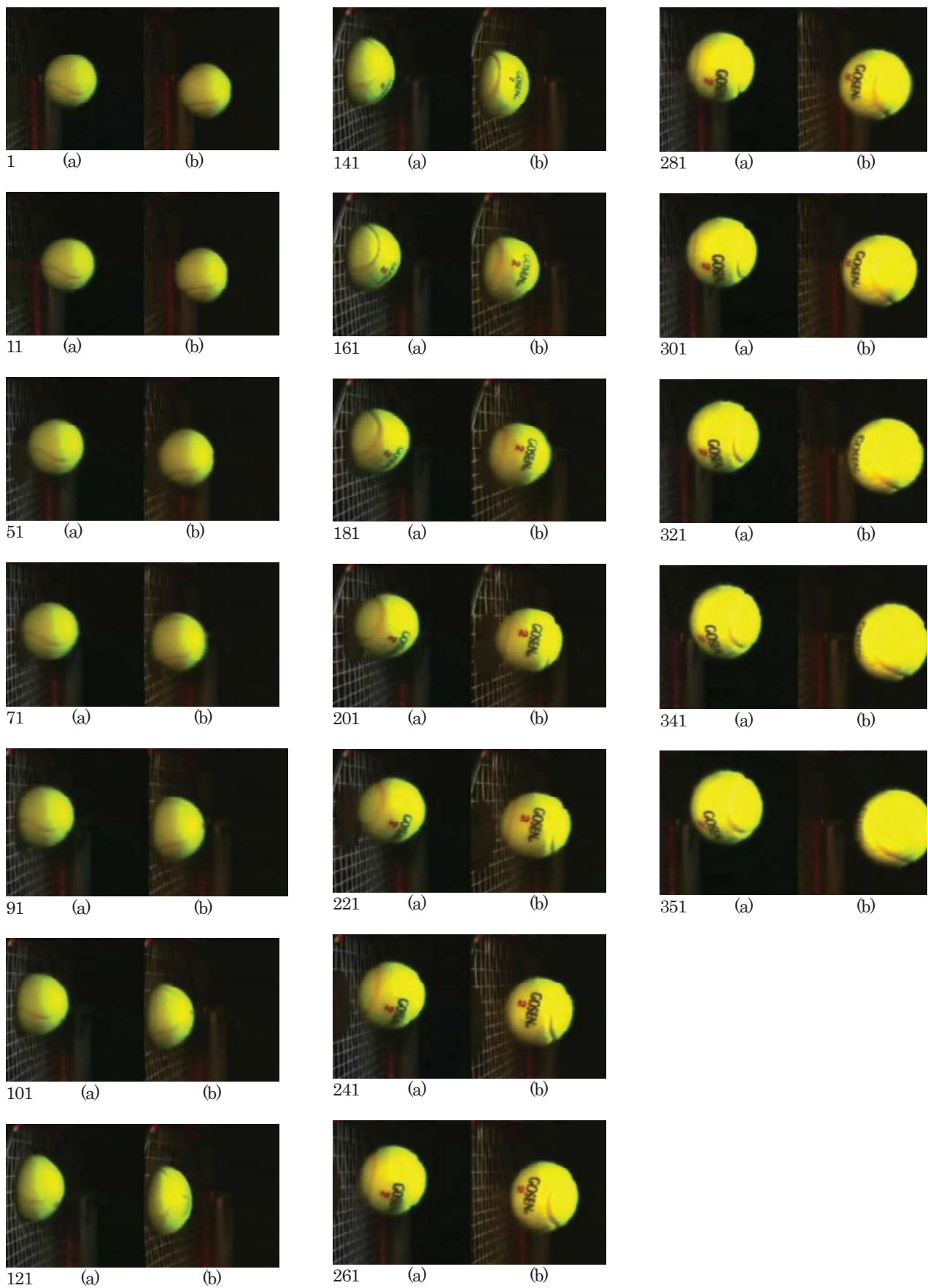


Fig.11 Comparison of ball spin movement during oblique impact (Ball incident from backward to front)
 (a) Conventional string (Gosen OG), (b) Revolutionary flat string (Gosen FG) (view from top to down)