

## ラケットの科学

2001年版

## 従来バランス型と超軽量型の性能比較 ③



今月で3回目となる

2001年版の「ラケットの科学」。

先月までは超軽量・トップバランスのモデルと、従来型重量バランスのモデルの反発性能の比較を行なってきたが、今月からは、ラケットの打球感と深く関わる「衝撃」や「振動」に関する比較に入っていく。

構成・文・川副嘉彦  
【埼玉工業大学】

監修・日本テニス学会

ラケットは、その急速な進歩により「非常に使いやすくなった」と言われている。しかし、そうした進歩によってもたらされたマイナス面が存在することも見逃すことはできない。

たとえば、トップ・プレイヤーの場合は、ラケットの性能とプレイヤーの技術の向上によって打球が速くなり、インパクトで腕に伝わる衝撃が大きくなっていると言われている。一般プレイヤーの場合は、基本ができていなくても比較的容易にテニスを楽しめるようになったが、その反面、プレイヤーの高いプレイヤーや中高年のプレイヤーに、テニスエルボ―や手首・肩などの障害を持つ人が多くなったと言われている。

また、筋力の弱い中高年プレイヤーは、かならずしも衝撃吸収性の良い手にやさしいラケットではなく、ボールのよく飛ぶラケットを求めているケースも多いようだ。そのため、メーカーの開発の方向も、そちらの方向に偏りがちになる。

こうした問題に関わってくるのが、ボールを打ったときに手に伝わるラケット・ハンドル（グリップ）の衝撃や振動であり、これもラケット性能の一面面である。こうした衝撃・振動特性は、人間が感じる打球感に直接影響するとともに、テニスエルボ―などの障害とも関連しているのである。

先月までは、「従来型の重量バランス」のラケット（以下…従来バランス型）と、近年多くなってきた「超軽量・トップバランス型」のラケット（以下…超軽量型）どちらも100平方インチ）に関して、おもに飛びに関する性能を比較してきた。そこで今月からは、その2種類のラケットの「打球感」に関連した性能について考えていきたい。

## スウィートスポットとは？

一般に、心地良い打球感が得られ、軽い感じでボールが飛んだときに、スウィートスポットに当たったという言い方をします。ラケットのスウィートスポットが広いとか狭いとかいう言い方もある。しかし、じつは「スウィートスポット」というのは、とくに定義や測定の方法が決まっているわけではないのである。

では、スウィートスポットとは何を意味しているのだろうか？

一般にスウィートスポットとして、次の3つの要素を考慮することができる。

①ボールがストリングスから飛び出す速度、あるいはラケットのパワーが最大となる点

②手に伝わる初期の衝撃が最小となる点

③手や腕が感じる不快な振動が最小となる点

そして、これらの3つのスウィートスポットは、それぞれラケット面上の異なる点に存在する。ただし、この3つは、それぞれラケット面のほぼ中心近くに存在する。そのため、あるレベル以上にスウィートな感触が得られる範囲という意味で、「スウィート・エリア（領域）」という表現が使われることも多い。

現場のコーチやプレイヤーは、「ラケット面の中心」という意味で気軽に「スウィートスポット」という言葉を使うことが多い。また、ラケット・メーカーの言う「スウィートエリア」は、これまではボールの飛びが良い、あるいは反発性の高い領域という意味の場合が多かった。しかし最近では、第2、第3の意味すなわち衝撃や振動に関するスウィートスポットが重視される方向にあるようだ。

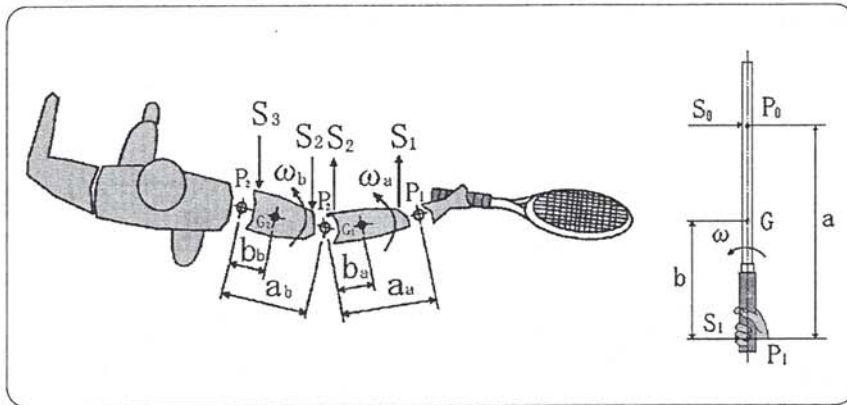
最近流行の「ローラーズ」（ウイルソ



# 新テニスの科学

## File No.48

図1. 腕関節に伝わる衝撃力を計算するためのモデル



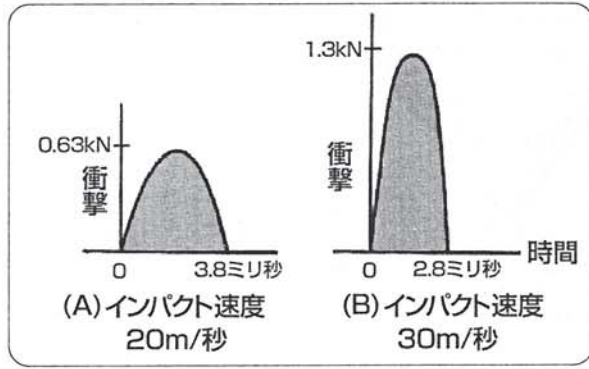
プレイヤーがボールを打った瞬間に腕に伝わる衝撃力を計算するためのモデル。ボールとストリング間に作用する衝突力が $S_0$ 。手首関節 $P_1$ 、肘関節 $P_2$ 、肩関節 $P_3$ に作用する衝撃力成分が、それぞれ $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$ 。インパクトの瞬間には、重力や筋力は衝撃力に比べて小さいとみなして、ラケット面上の任意の打点でボールを打ったときの各関節の衝撃力成分や、衝撃加速度成分を求めた。

「インテリジェント・ラケット」や「ヘッド」も、手に伝わる振動を低減しようという発想である。  
ここではまず、前記3つのスウィートスポットについて、少し説明しておこう。  
第1のボールの飛びあるいはラケットのパワーに関するスウィートスポットは、先月号で説明した。グラウンド・ストロークでは、100平方インチ・ラケット

手にやさしいラケット  
ラケットのグリップを握った位置に、衝撃のほとんど来ないラケット面上の打撃点がある。これは、「打撃の中心」あるいは「衝撃中心」と言われる。野球でいうと「バットの芯」に相当する。この位置が第2のスウィートスポットである。  
振動が少ないという意味の第3のスウィートスポットは、ちよつと複雑である。ストリング面上には、ボールが衝突したときに、ラケットの振動が発生しやすい打点と振動が発生しにくい打点がある。振動がもつとも発生しやすい位置を「振動の腹」といい、振動がまったく発生

の飛びに関するスウィートスポットは、従来バランス型も超軽量型も、ラケット面の中心からやや元側にあるが、超軽量型のほうがラケット面中心に近い。

図2. インパクトでの衝突力の計算例



インパクトにおいてボールとストリング間に作用する衝突力 $S_0$ の計算例。ストリングとボールがもつとも変形した状態のときに最大値を示しており、衝突速度が大きいほど接触時間が短くなる。

図4. 実打実験の様子

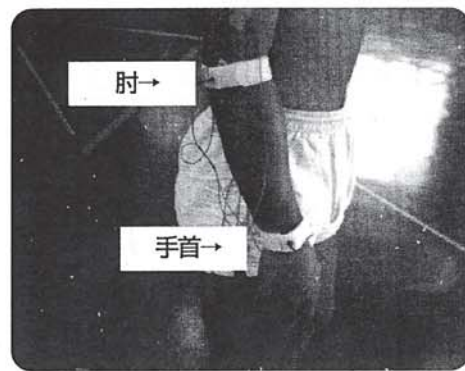


右●図3は、フォアハンド・ストロークでの実打実験を行なったときに、手首関節、肘関節につけた加速度測定器の位置を示す。  
上●図4は、その実打実験の風景。ボールマシンで出したボールを打ち、ラケット面上の打球位置は、高速ビデオ撮影によって確認した。

したがって、グリップ上の節がプレイヤーの握りの位置に近いラケットは、手に伝わる振動は小さいことになる。したがって、手にやさしいラケットということになる。一般的には、振動の節はグリップエンドから17cm程度の位置にあることが多いので、ラケットをやや短めに（グリップエンドを余らせて）持ったほうが、手に伝わる振動は少なくなる。  
また、ボールとラケットの衝突速度（インパクト速度）が大きいほど、振動は大きく、基本的な振動の他にもつと複雑な振動も発生する。したがって、インパ

しない位置を「振動の節」と言う。ラケットの基本的な（主要な）振動の節は、ストリング面の中心付近にある。したがって、ストリング面の中心付近にボールが当たれば、振動は小さいことになる。  
一方、オフセンターで打撃したためにラケット・フレームの振動が大きくなつたとしても、その振動があまり手に伝わらない場合がある。というのは、グリップ上にも振動の節があつて、フレームの振動が大きくても、グリップ上の節の位置を握っていれば、理論的には振動が手に伝わらないのである（ただし点で握ることは不可能なので、実際には手に振動が伝わる）。

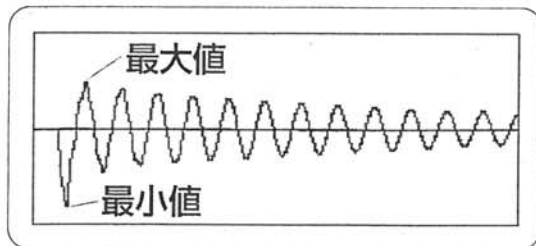
図3. 実打実験での加速度測定位置



クトの速度が大きい場合は、手に伝わる振動の話は少し複雑になる。  
**手に伝わる衝撃と振動**  
以上の説明から、手に伝わる衝撃・振動の大きさは、ラケット面上の打点の位置とグリップの握りの位置で異なることがわかる。手に伝わる衝撃・振動は複雑だが、インパクトの瞬間にボールとラケットの衝突により発生した力が手に伝わったものが「衝撃成分」であり、ボールとラケットの衝突力によって発生したフレーム振動（インパクト後も残る）が手に伝わったものが「振動成分」だと考え

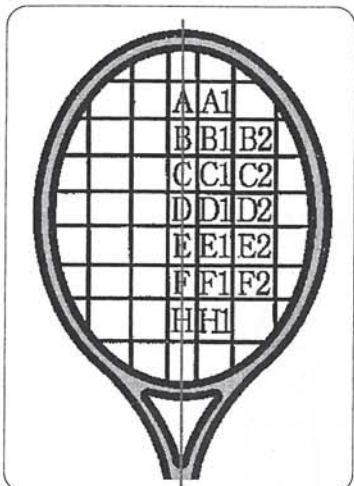


図6. 衝撃振動波形のピーク値



左●インパクトの瞬間における衝撃の“最大値”と“最小値”の差を「ピーク値」という。このピーク値は、「振動の減衰の速さ」とともに打球感の評価にも使われる。

図7. 打点位置の名称



上●今回の説明や図において記号で示した打点位置は、上図のような配置となっている。ストリングス面の縦の中心線（長手軸）上の打点を上からA～H（面の中心はD）とし、それが横方向にズレていくにつれて、D1、D2となっていく。

右●フォアハンド・ストロークで、ラケット面の先端側で打撃したときの、手首に伝わる衝撃振動波形（加速度）で、計算値(a)と実測値(b)を比較している。“力”は測定しにくいので“加速度”を測定しているが、力は加速度に比例すると考えて良い。手の握りの中心は、グリップ端から70mmの位置とした。最初のピークがインパクトの瞬間の衝撃で、その後で残留振動が残っていることがわかる。計算値の波形のほうが大きくなっているが、実測波形の特徴をよく表わしている。

また、グリップおよび手首関節の振動成分も求めることができるので、ラケットと手首関節の衝撃振動波形を、衝撃成分と振動成分との合成により計算することがができる。また、接触時間が短いほど、

この例では、衝突速度が20m/秒のときは、最大衝突力が約63kg、接触時間は千分の3.8秒、衝突速度が30m/秒のときは、最大衝突力が約130kg、接触時間は千分の2.8秒になっている。

がもっとも変形した状態のときに最大値を示しており、衝突速度が大きいほど接触時間が短くなる。

図5. フォアハンド・ストロークでの手首の衝撃振動（加速度）波形

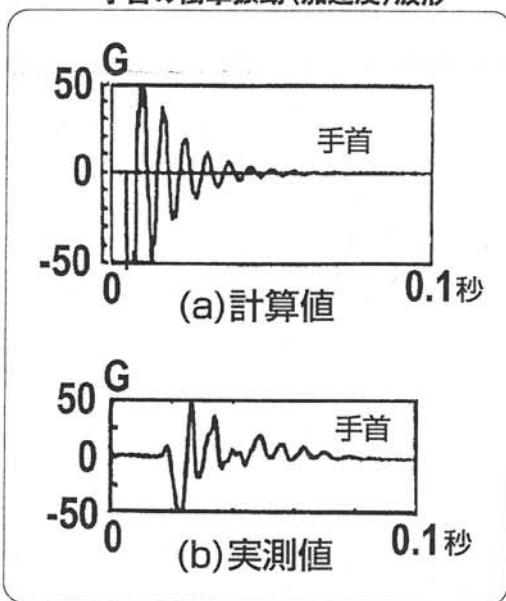


図9. 手で支えたラケットにおけるグリップの最大衝撃力と打点の関係

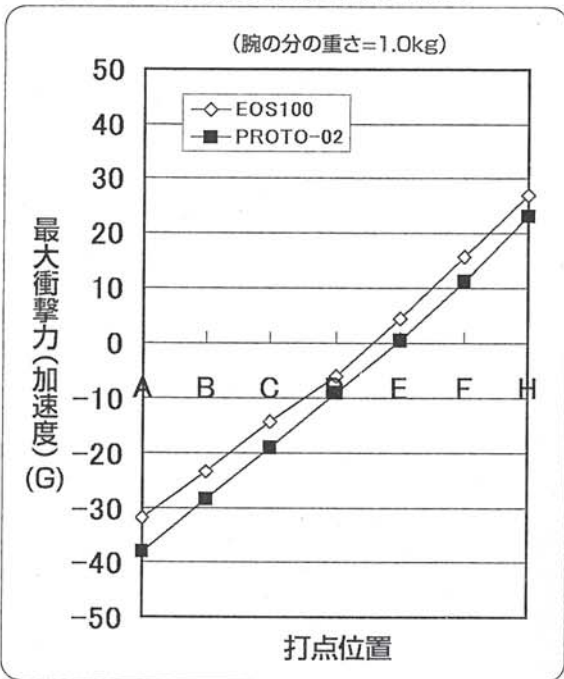


図8. 宙づりラケットにおけるグリップの最大衝撃力と打点の関係

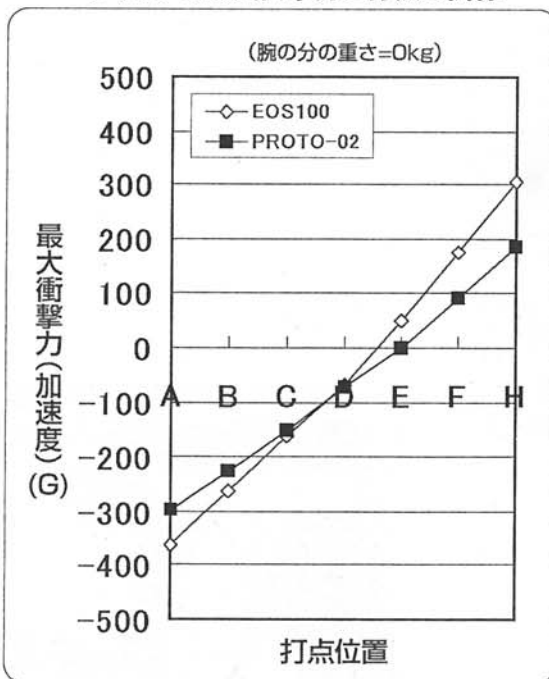


図8、図9は、図7で示したストリングス面上の打点A（先端側打点）～打点H（根元側）の各打点で打撃したときの、グリップ部の最大衝撃加速度を示している。グリップ位置はどちらもグリップエンドから70mmとし、図8は宙づりにしたラケットの場合、図9は手で支えたラケットの場合となっている。また、ボールとラケットとの衝突速度は30m/秒（上級者のグラウンド・ストロークによるラリー程度）。肩から手までの腕の重さは、グリップ位置に換算すると約1kgになるが、その影響が2つの図の大きな違いとなって表われている。

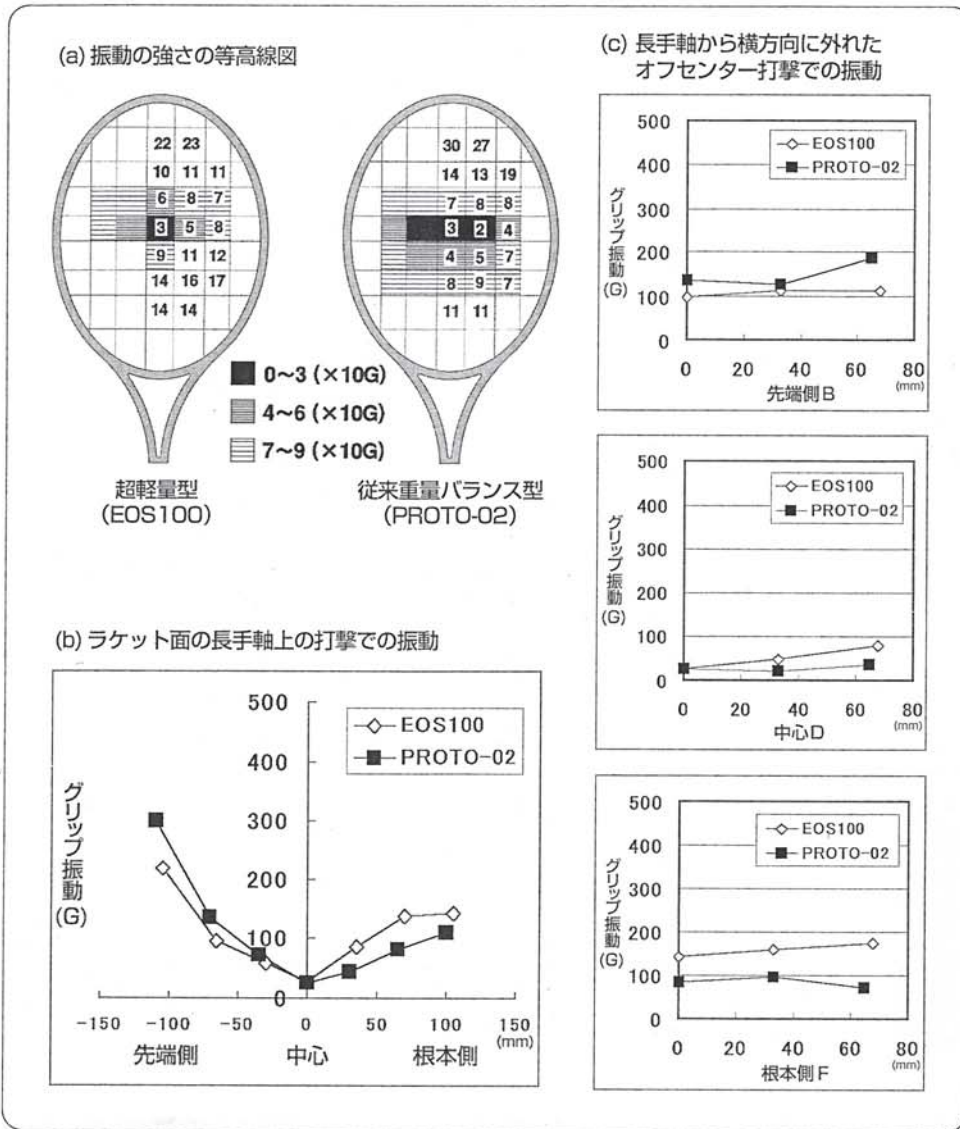
とわかりやすい。図1（前ページ）は、テニスプレイヤーがボールを打撃した瞬間に腕に伝わる衝撃力を計算するためのモデルを示す。フォアハンド・ストロークを想定しており、ラケット面上の任意の打点でボールを打ったときの手首関節、肘関節、肩関節の衝撃加速度を求めることができる。

ラケットの振動は大きくなる。図3は、以前行なったフォアハンドでの実打実験における手首関節、肘関節の加速度測定位置を示す。図4は、その実打実験の風景である。図5は、フォアハンド・ストロークに

において、ラケットの先端側オフセンターでボールを打撃したときの手首関節の衝撃振動波形（加速度）である。ここでは計算値(a)と実測値(b)を比較している。力は測定しにくいので加速度を測定しているが、力は加速度に比例すると考えて良



図10. グリップ位置に伝わるインパクト初期の振動と打点との関係



打点の違いによって、グリップに伝わる初期振動の強さがどのように変わるか示した図。(a)は、それを等高線状に表わしたもので、(b)は、ラケットの長手軸(縦の中心線)上で、先端側から根本側まで打点が変わったときの変化を示す。そして(c)は、長手軸から横方向に打点がズレた場合の変化を、上から先端側、中心、根本側で示したものだ。グリップ位置に伝わる振動には、4つの振動モード成分(曲げ1次振動、曲げ2次振動、ねじり振動、ストリング振動)があるが、ここではそれらを合成した初期の振動で比較している。超軽量型EOS100は、従来バランス型PROTO-02に比べて、先端側打点でグリップに伝わる振動が小さく、根本側打点で大きい。また、ストリング面上の振動の節(振動の少ない点)は、両ラケットともラケット面のほぼ中心近くにある。

図11(次ページ)は、宙づり状態のラケットにボールを衝突させたときのグリップ部(グリップ端から70mm)に伝わる衝撃振動の波形である。(a)は超軽量型EOS

100の場合であり、図9はラケットを手で支えた場合である。ボールとラケットとの衝突速度は30m/秒(上級レベルのグラウンド・ストロークによるラリー程度)。肩から手までの腕系は、グリップ位置に等価的に換算すると約1kgの重さになり、この腕系の重量が、グリップ位置の最大衝撃加速度を低減する。

また、宙づりラケットの場合も、腕系の等価質量を付加した場合も、手に伝わる衝撃がゼロになる打点、すなわち衝撃中心は同じ位置になる。超軽量ラケットEOS100の衝撃中心は、ラケット面の中心Dと打点Eのほぼ中間(中心から根本側20mm)にあり、従来バランス型のラケットPROTO02の衝撃中心は、さらに根本側の打点Eにある。また、フェイス面積が大きくなると、衝撃中心はラケット面中心に近くなる。

### グリップに伝わる振動成分

図10は、グリップ位置に伝わる4つの振動モード成分(曲げ1次振動、曲げ2次振動、ねじり振動、ストリング振動)の初期の合成振幅と打点との関係を示す。超軽量型EOS100は、従来型PROTO02に比べて、先端側の打点でグリップに伝わる振動が小さく、根本側の打点で振動が大きくなっている。ストリング面上の振動の節は、両ラケットともラケット面のほぼ中心近くにある。また、ラケットのフェイス面積が大きくなると、ストリング面上の振動の節は中心からやや先端寄りに移る。

い。手の握りの中心は、グリップ端から70mmの位置である。最初のピークがインパクトの瞬間で、その後で残留振動が残っている。計算波形はやや大きめであるが、実測波形の特徴をよく表わしている。図6に示した、インパクトの瞬間(千分の3秒程度の間)の最大値と最小値の差を「ピーク値」と称しており、打球感の評価に使われている。そして、もうひとつの評価基準は、「振動の減衰の速さ」である。プレイヤーは減

衰の速さを敏感に感じるようで、過去の木製ラケットは、衝撃のピーク値は大きかったが、振動が減衰するの速かった。最近、ストリングスのテンションを変えた場合やラリーボールでの測定を行なったが、この場合の計算波形も、実測波形の特徴をよく表わしていた。したがって、仕様や物理特性の異なるラケットで打つと、なぜ手首関節に伝わる衝撃振動が異なるか予測できることになる。ストリングスのテンションが45ポンド

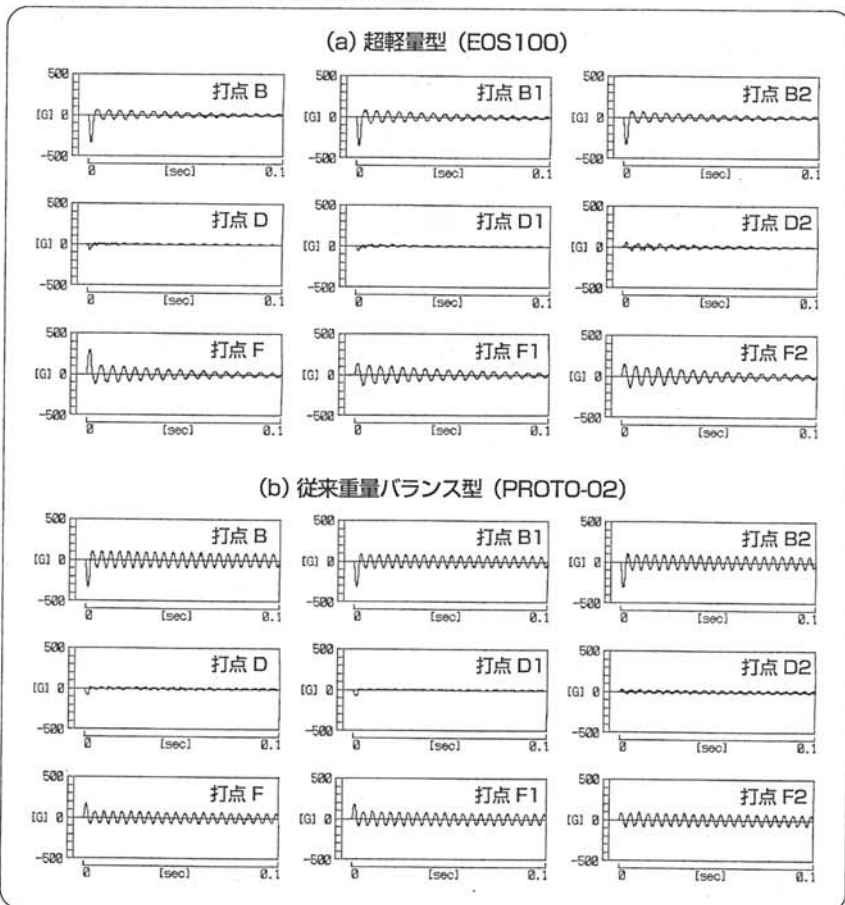
と65ポンドのラケットを使って、サーブしたときの肘関節の衝撃・振動も測定したのである。また別の機会に紹介したい。

### グリップに伝わる衝撃成分

図8と図9は、図7に示したストリングス面上の打点A(先端側打点)から打点H(根本側)の各打点で打撃したときのグリップ部の最大衝撃加速度である。グリップ位置はグリップ端から70mmとした。図8は宙づりラケット(ラケット単



図11. 宙づり状態のラケットにボールを衝突させたときの  
グリップに伝わる衝撃振動の波形



宙づり状態のラケットにボールを衝突させたときのグリップ部（グリップ端から70mm）に伝わる衝撃振動の波形を打点別にみたもの。上段の(a)は超軽量型EOS100、下段の(b)は従来バランス型PROTO-02のデータである（ボールとラケットの衝突速度は30m/秒）。それぞれの打点は図7と対応しており、先端側B、中心D、根元側Fと、それらの位置から横方向に外れた打点を示している。超軽量型は、従来バランス型と比べると、ラケット面先端側打点では残留振動が小さく、根元側打点では初期のピーク値も残留振動の振幅も大きい。

100、(b)は従来型PROTO02。ボールとラケットの衝突速度は30m/秒である。縦の中心線上の打点B、D、F、これらの位置から横方向に外れた打点B1、D1、F1、B2、D2、F2での結果を示している（打点位置は図7参照）。  
超軽量型は、従来バランス型と比べると、ラケット面先端側の打点では残留振動が小さく、根元側打点では初期のピーク値も残留振動の振幅も大きい。

### 川副嘉彦

【埼玉工業大学】

かわぞえ よしひこ 1944年長崎県生まれ。埼玉工業大学工学部機械工学科および大学院工学研究科システム工学専攻教授。工学博士。専門は、機械工学、人間支援システム工学、スポーツ工学で、近年はテニスや卓球のラケットの研究および人間の巧みさをコンピュータに学習させる研究などに尽力。本誌でも当連載で91年と93年に「ラケットの科学」を著し、96年にはテニスラケットに関する研究で日本機械学会賞を受賞。埼玉工業大学硬式テニス部部长、空手道4段、テニス歴は30年。



go for it! が、もっともっとあなたのテニスを楽しくします!

〒185-0012  
東京都国分寺市本町2-9-12  
オリエント丹野1F  
営業時間 11:00~19:00 (木曜定休)

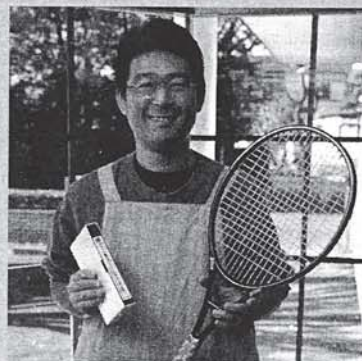
電話・FAX  
**042-320-7233**  
<http://www.ptsys.com/sos/>

**ストリンガー 澁谷が、じっくりとカウンセリング。張り方講習も承ります。**

ゴーフォイット!はプロ、アマ問わず、ストリンガーのかけこみです。ホームストリンガー、ショップストリンガー、またはストリングングを学びたいコーチの方などを対象に張り方の講習を承ります。ストリングング初心者コース、ステップアップコース、その他なんでもリクエストに応じます。料金は1時間¥5,000から。詳しくはお電話にてご相談ください。

**「ストリング張り方ビデオ」**

「ステップ1—初めての人でもラケットが張れる」、「ステップ2—あなたの張り方は間違えていないか」本体価格各¥3,900で好評販売中!



**go for it!**  
ゴーフォイット!