

## 上肢の関節角速度の上肢先端の速度に対する貢献

梅垣浩二\*, 水谷好孝\*\*

## Contribution to the Velocity of the End of Upper Limb in Terms of Angular Velocity of Articulations of Upper Limb.

Koji UMEGAKI and Yoshitaka MIZUTANI

**Abstract**

The purpose of this study was to calculate contribution to velocity of the end of upper limb including a racket as an example of tennis service. The velocity of racket-head sum up terms of angular velocity which is accurately in accordance with three-dimensional angular definition which is defined in reference to ISB recommendations for standardization in the reporting of kinematic data. Upper limb's articulations have seven degrees of freedom ; horizontal abduction/adduction, abduction/adduction, internal/external rotation, elbow flexion/extension, pronation/supination, ulnar/radial flexion and palmar/dorsal flexion. Each angle is calculated as relative angle between adjacent segment coordinates. Each angular velocity vector has direction of rotational axis and magnitude of numerical differential. Each term of angular velocity is cross-product of angular velocity vector and vector from joint to racket-head. One male high-performance player's flat service was recorded by two video cameras. By the DLT method three-dimensional displacements of digitized points were reconstructed. Relative forward velocity of racket-head to shoulder resulted mainly from internal rotation, elbow extension and ulnar flexion during racket-head accelerative phase, and from horizontal adduction and pronation during follow-through. Compared with calculation of Sprigings et. al. shoulder joint angular velocity vector are related with anatomical joint movements without reference to position and orientation of upper-arm because shoulder joint angles are relative ones, and contribution of upper-arm movement is divided into terms of body rotation and shoulder joint rotation. Angular definition of palmar/dorsal flexion in this study isn't accordance with clinical or anatomical definition. In case that markers are not attached to the forearm, we may understand contribution of terms of angular velocity of ulnar/radial flexion and palmar/dorsal flexion together, until wrist joint angular definition is published by ISB.

投動作や打動作においては、近位部から遠位部へと加速される鞭作用がみられる<sup>1),3)</sup>。その時、各部の加速のタイミングや加速の程度が遠

位端の速度を決定する。身体運動は各体節の回転運動で成り立っているため、各部を加速するためにどのような関節運動を行っているのかを明

---

\*大学院生, \*\*研究生

らかにしなければならない<sup>16)</sup>。

投動作において、肩・肘関節や手首の関節の3次元的な記述がなされてきた<sup>3),5),6),7),11),17),18)</sup>。投動作では正確性も重要であるが、大きな速度で投げ出すことも重要である。そして打動作において、速度の貢献が明らかにされた<sup>4),19)</sup>。

最近、国際バイオメカニクス学会は運動学的

データの記述について基準を示し、3次元的な角度定義をあらわした<sup>10),21)</sup>。今回はこの角度定義に従い、速度の貢献を純粹に角度定義に従う角速度であらわすことを目的とする。また先行研究<sup>4),19)</sup>と同様にテニスのサーブを例とし、肩関節の角度を胴体と上腕の相対角度であらわすことによって、絶対座標系における上腕の姿勢（絶対角度）によらず角速度ベクトルと関節運動を関係づける<sup>9),16)</sup>。

方 法

角度定義

以下のように角度定義を行った<sup>2),8),10),21)</sup>。まず空間固定の座標系は、前方向にX、上方向にY、右方向にZとした。さらに各体節に座標系をとる。胴体の座標系は、左肩から右肩にz、両肩の midpoint から両腰の midpoint を結ぶベクトルをy' とすると  $z \times y'$  を x、 $z \times x$  を y とした。前腕の座標系は、肘関節中心から手首関節中心を結ぶベクトルをζ、肘関節中心から肩関節中心を結ぶベクトルを-ξ とすると  $\zeta \times -\xi$  を η'、 $\eta' \times \zeta'$

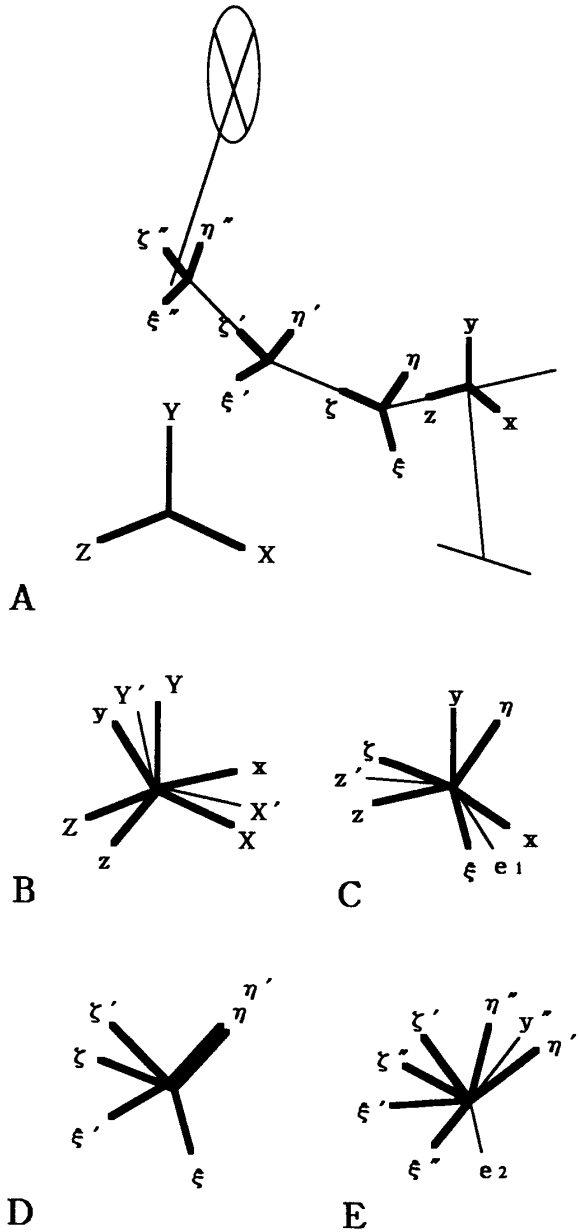
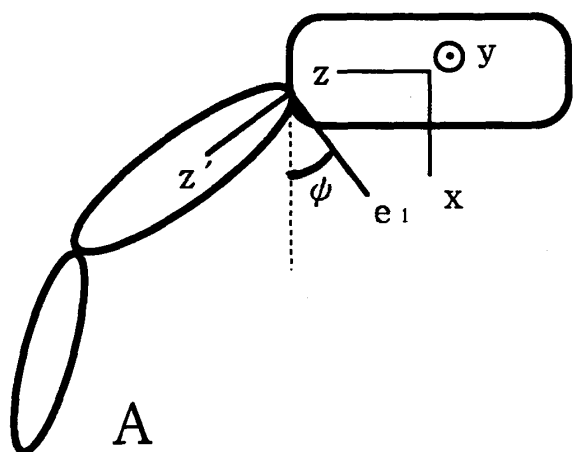


図1 空間固定の座標系と各体節の座標系

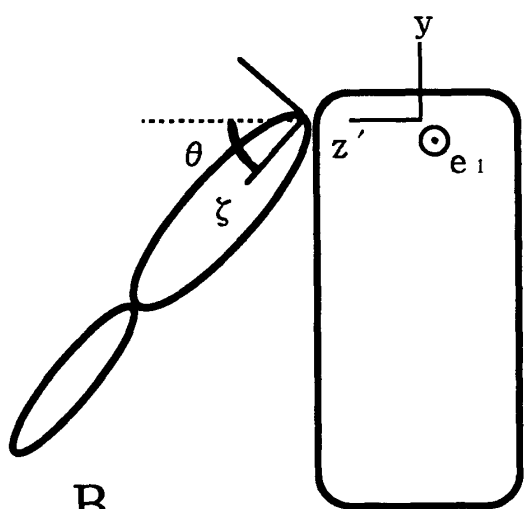
Aは空間固定の座標系と各体節の座標系を、Bは胴体座標系の絶対角度を算出するための、Cは肩関節の相対角度を算出するための、Dは肘関節の相対角度を算出するための、Eは手首関節の相対角度を算出するための、各座標軸の対応を示している。

	X	Y	Z		X	Y	Z
x	L <sub>1</sub>	M <sub>1</sub>	N <sub>1</sub>	ξ	l <sub>1</sub>	m <sub>1</sub>	n <sub>1</sub>
y	L <sub>2</sub>	M <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	η	l <sub>2</sub>	m <sub>2</sub>	n <sub>2</sub>
z	L <sub>3</sub>	M <sub>3</sub>	N <sub>3</sub>	ζ	l <sub>3</sub>	m <sub>3</sub>	n <sub>3</sub>
X'	L <sub>4</sub>	M <sub>4</sub>	N <sub>4</sub>	e <sub>1</sub>	l <sub>4</sub>	m <sub>4</sub>	n <sub>4</sub>
Y'	L <sub>5</sub>	M <sub>5</sub>	N <sub>5</sub>	z	l <sub>5</sub>	m <sub>5</sub>	n <sub>5</sub>
	X	Y	Z		X	Y	Z
ξ'	l <sub>1</sub> '	m <sub>1</sub> '	n <sub>1</sub> '	ξ	l <sub>1</sub> '	m <sub>1</sub> '	n <sub>1</sub> '
η'	l <sub>2</sub> '	m <sub>2</sub> '	n <sub>2</sub> '	η	l <sub>2</sub> '	m <sub>2</sub> '	n <sub>2</sub> '
ζ'	l <sub>3</sub> '	m <sub>3</sub> '	n <sub>3</sub> '	ζ	l <sub>3</sub> '	m <sub>3</sub> '	n <sub>3</sub> '
				e <sub>2</sub>	l <sub>4</sub> '	m <sub>4</sub> '	n <sub>4</sub> '
				y'	l <sub>5</sub> '	m <sub>5</sub> '	n <sub>5</sub> '

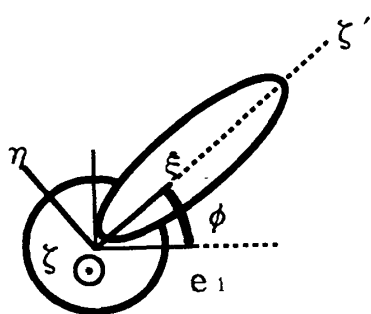
図2 空間固定座標系における各体節の座標系の方向余弦



A



B



C

図3 肩関節の角度定義

Aは肩関節の水平位内転・外転角  $\psi$  を, Bは内転・外転角  $\theta$  を, Cは内旋・外旋角  $\phi$  を示している。

を  $\xi'$  とした。上腕の座標系は,  $\eta = \eta'$  とし,  $\eta \times \xi$  を  $\xi$  とした。手は球とし, ラケットと一体化された剛体と仮定し, 両者を合わせて手部とする。手部の座標系は, グリップエンドからラケットヘッドに  $\eta''$ , ラケットフェイスに垂直に

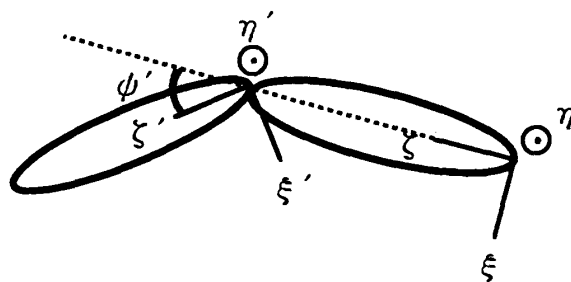


図4 肘関節の角度定義

肘の屈曲・伸展角  $\psi'$  を示している。

(バック面からフォア面に)  $\xi''$ ,  $\xi'' \times \eta''$  を  $\xi''$  とした。また角度を計算するために  $y \times \xi$  を  $e_1$ ,  $e_1 \times y$  を  $z'$ ,  $\eta'' \times \xi'$  を  $e_2$ ,  $\xi' \times e_2$  を  $y''$ ,  $Y \times z$  を  $X'$ ,  $z \times X'$  を  $Y'$  とした。いずれの座標軸も単位ベクトルとする。つまり各座標軸の XYZ 座標系における方向余弦を求める。(図1および図2)

肩関節は, 水平位内転・外転 ( $\psi$ ), 内転・外転 ( $\theta$ ), 内旋・外旋 ( $\phi$ ) の3自由度を有するとし, 以下のように求めた (図3)。

$$\psi = \cos^{-1}(x \cdot e_1)$$

$x \times e_1$  が  $-y$  の方向の時,  $\psi = -\psi$

正は水平位内転, 負は水平位外転である

$$\theta = \cos^{-1}(z' \cdot \xi)$$

$z' \times \xi$  が  $-e_1$  の方向の時,  $\theta = -\theta$

正は内転, 負は外転である

$$\phi = \cos^{-1}(e_1 \cdot \xi)$$

$e_1 \times \xi$  が  $-\xi$  の方向の時,  $\phi = -\phi$

正は外旋, 負は内旋である

肘関節は, 屈曲・伸展 ( $\psi'$ ) の1自由度を有するとし, 以下のように求めた (図4)。

$$\psi' = \cos^{-1}(\xi \cdot \xi')$$

伸展位を  $\psi' = 0$  とする

手首関節は, 回内・回外 ( $\phi''$ ), 橈屈・尺屈 ( $\theta''$ ), 掌屈・背屈 ( $\psi''$ ) の3自由度を有するとし, 以下のように求めた (図5)。

$$\psi'' = \cos^{-1}(e_2 \cdot \xi'')$$

$e_2 \times \xi''$  が  $-\eta''$  の方向の時,  $\psi'' = -\psi''$

正は掌屈, 負は背屈である

$$\theta'' = \cos^{-1}(y'' \cdot \eta'')$$

$y'' \times \eta''$  が  $-e_2$  の方向の時,  $\theta'' = -\theta''$

正は尺屈, 負は橈屈である

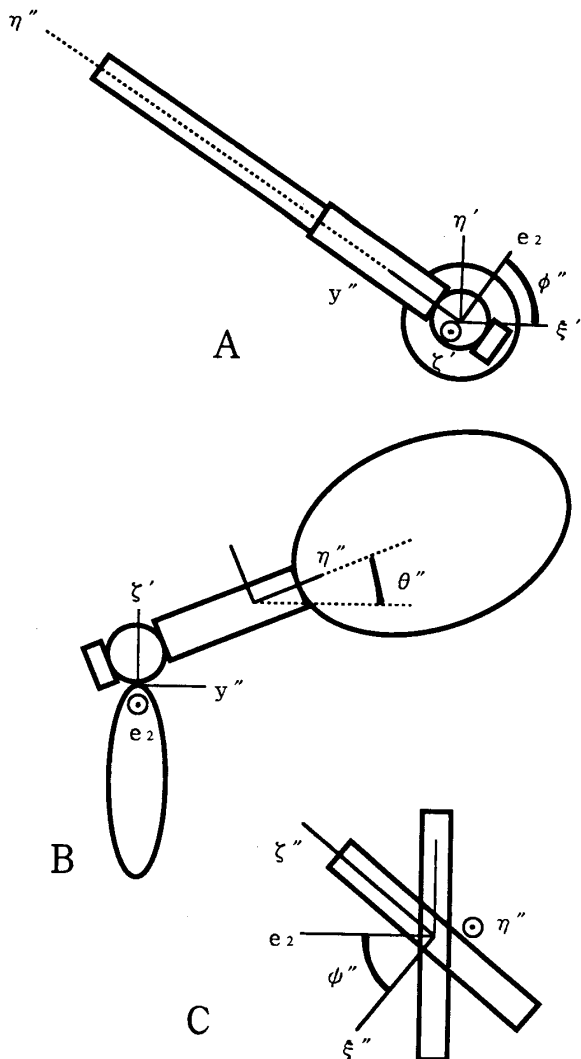


図5 手首関節の角度定義

Aは前腕の回内・回外角  $\phi''$  を, Bは手首関節の橈屈・尺屈角  $\theta''$  を, Cは掌屈・背屈角  $\psi''$  を示している。

$$\phi'' = \cos^{-1}(\xi' \cdot e_2)$$

$\xi' \times e_2$  が  $-\xi'$  の方向の時,  $\phi'' = -\phi''$

正は回外, 負は回内である

また空間固定の座標系に対する胴体の座標系をオイラー角 ( $\alpha, \beta, \gamma$ ) で表した<sup>15)</sup>。

$$\alpha = \cos^{-1}(X \cdot X')$$

$X \times X'$  が  $-Y$  の方向の時,  $\alpha = -\alpha$

$$\beta = \cos^{-1}(Y \cdot Y')$$

$Y \times Y'$  が  $-X'$  の方向の時,  $\beta = -\beta$

$$\gamma = \cos^{-1}(Y' \cdot y)$$

$Y' \times y$  が  $-z$  の方向の時,  $\gamma = -\gamma$

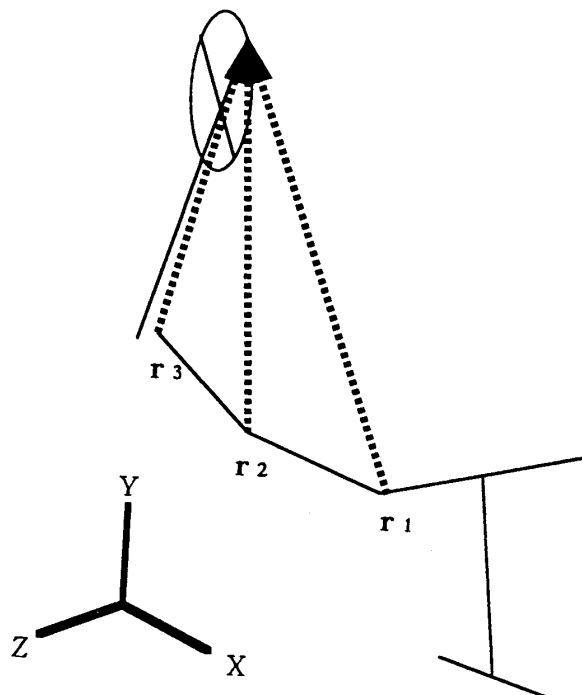


図6 肩, 肘, 手首からラケットヘッドの位置ベクトル

### 角速度

各関節角度を数値微分することによって, 各回転軸回りの角速度を算出する。各回転軸とは,  $\phi$  は  $y$ ,  $\theta$  は  $e_1$ ,  $\phi$  は  $\xi$ ,  $\psi'$  は  $\eta'$ ,  $\phi''$  は  $\xi'$ ,  $\theta''$  は  $e_2$ ,  $\psi''$  は  $\eta''$ ,  $\alpha$  は  $Y$ ,  $\beta$  は  $X'$ ,  $\gamma$  は  $z$  である。つまりこれらの角速度は大きさを持つベクトルである。回転軸の XYZ 座標系における方向余弦により, それぞれの角速度ベクトルの X, Y, Z 方向の角速度成分を算出する。たとえば,

$$\dot{\phi} = \dot{\phi} L_2 i + \dot{\phi} M_2 j + \dot{\phi} N_2 k$$

などである。ただし  $i, j, k$  は X, Y, Z 方向の単位ベクトルである。

### ラケットヘッドの速度

肩・肘・手首の関節中心からラケットヘッドの位置ベクトルを  $r_1, r_2, r_3$  とする(図6)。たとえば,

$$r_1 = r_{1x} i + r_{1y} j + r_{1z} k$$

などである。また肩の絶対速度を  $V_S$ , ラケットヘッドの絶対速度を  $V_R$  とすると<sup>9)</sup>,

$$V_R = V_S + \dot{\alpha} \times r_1 + \dot{\beta} \times r_1 + \dot{\gamma} \times r_1$$

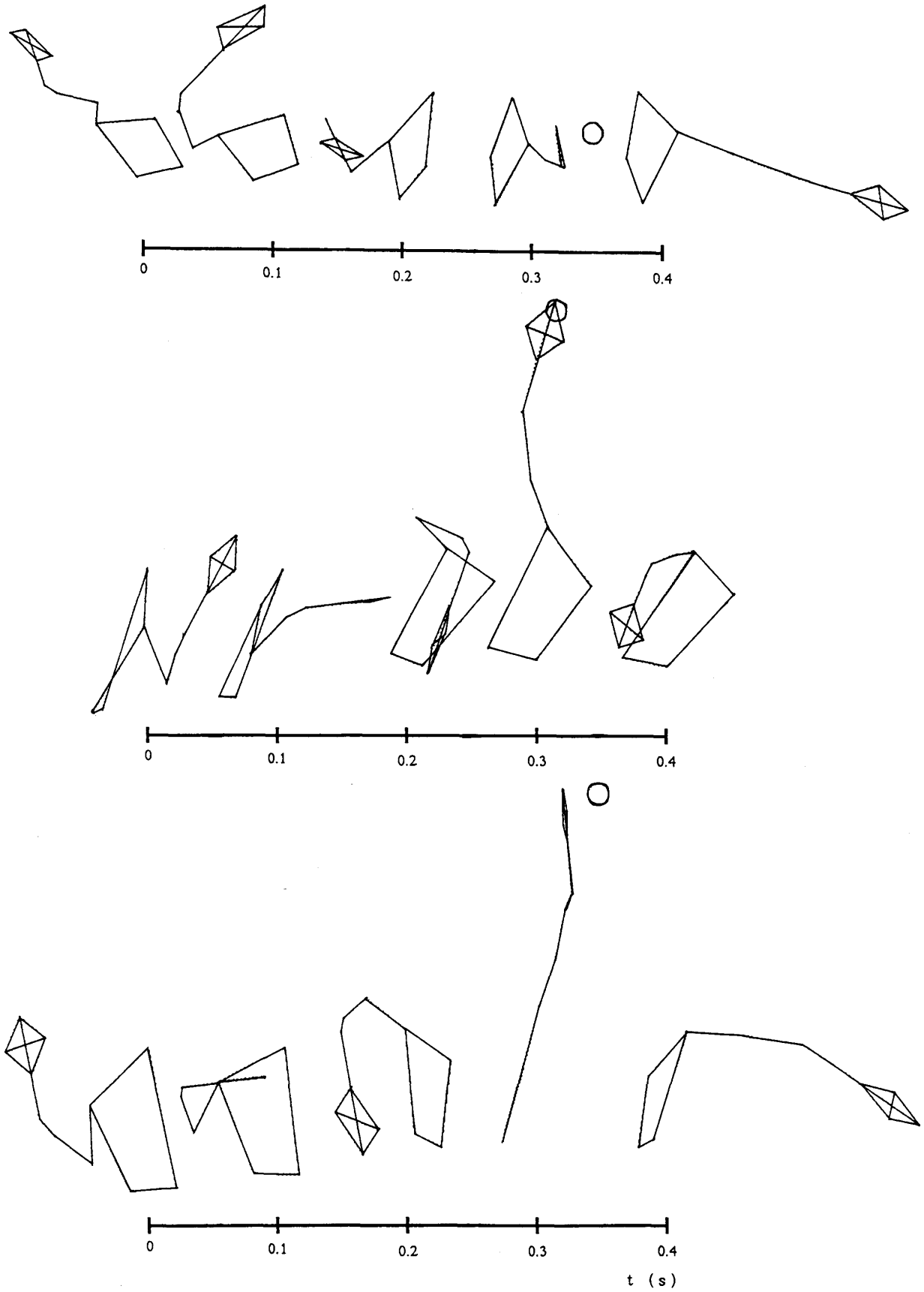


図7 スティックピクチャー

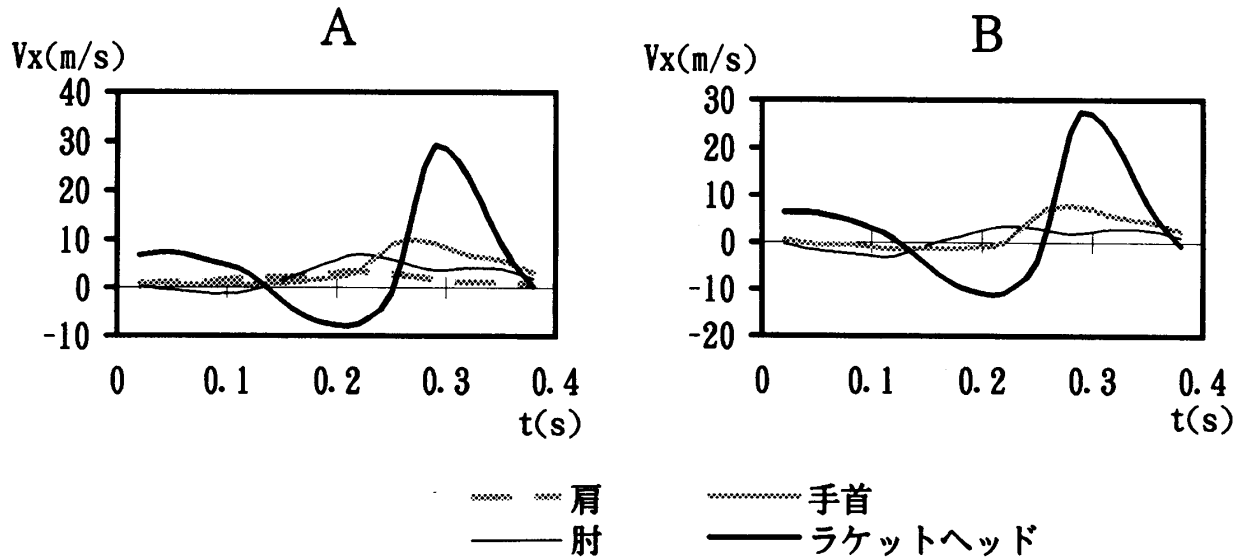


図8 絶対速度と肩に対する相対速度

Aが身体およびラケットヘッドのX方向の絶対速度を、Bが肩に対する身体およびラケットヘッドのX方向の相対速度を示している。

$$\begin{aligned}
 & + \dot{\phi} \times \mathbf{r}_1 + \dot{\theta} \times \mathbf{r}_1 + \dot{\phi} \times \mathbf{r}_1 + \dot{\phi}' \times \mathbf{r}_2 \\
 & + \dot{\phi}'' \times \mathbf{r}_3 + \dot{\theta}'' \times \mathbf{r}_3 + \dot{\phi}'' \times \mathbf{r}_3
 \end{aligned}$$

従って、肩に対するラケットヘッドの相対速度のX成分を $V_x$ とすると、

$$\begin{aligned}
 V_x = & (r_{1z}m_2 - r_{1y}n_2) \dot{\phi} & \text{①} \\
 & + (r_{1z}m_4 - r_{1y}n_4) \dot{\theta} & \text{②} \\
 & + (r_{1z}m_3 - r_{1y}n_3) \dot{\phi} & \text{③} \\
 & + (r_{2z}m_2' - r_{2y}n_2') \dot{\phi}' & \text{④} \\
 & + (r_{3z}m_3' - r_{3y}n_3') \dot{\phi}'' & \text{⑤} \\
 & + (r_{3z}m_4'' - r_{3y}n_4'') \dot{\theta}'' & \text{⑥} \\
 & + (r_{3z}m_2'' - r_{3y}n_2'') \dot{\phi}'' & \text{⑦} \\
 & + r_{1z} \dot{\alpha} + (r_{1z}M_4 - r_{1y}N_4) \dot{\beta} & \text{⑧} \\
 & + (r_{1z}M_3 - r_{1y}N_3) \dot{\gamma} & \text{⑧}
 \end{aligned}$$

肩関節について、①は水平位内転・外転、②は内転・外転、③は内旋・外旋による速度である。肘関節について、④は屈曲・伸展による速度である。手首関節について、⑤は回内・回外、⑥は尺屈・橈屈、⑦は掌屈・背屈による速度である。⑧は胴体の回転による速度である。

#### 実験方法

被験者はテニス上級者の男子1名(身長1.77m, 体重70kg)であった。サービス動作を2方向より家庭用ビデオカメラで撮影した。撮影し

た画像をパーソナルコンピューターを介してデジタル化を行い、さらにDLT法により身体各点およびラケットの三次元座標値を得た。その際、両画像の時間合わせを行うとともに100Hzに補間した。

#### 結果と考察

##### スティックピクチャー

図7は上から(上段)、前から(中段)、右から(下段)見た場合のスティックピクチャーである。0.1秒ごとに示している。0.3秒の直後にインパクトをむかえている。

##### ラケットヘッドと身体各部の絶対速度、相対速度

まず変位を微分することによって速度を求めた。絶対速度においては、肩・肘・手首・ラケットヘッドと、近位部から遠位部へと順に速度の最大値をむかえている。インパクト前のラケットヘッドのX方向最高速度は、27.6m/sであった。また肩に対する相対速度においても、同様に鞭作用がみられた。(図8)

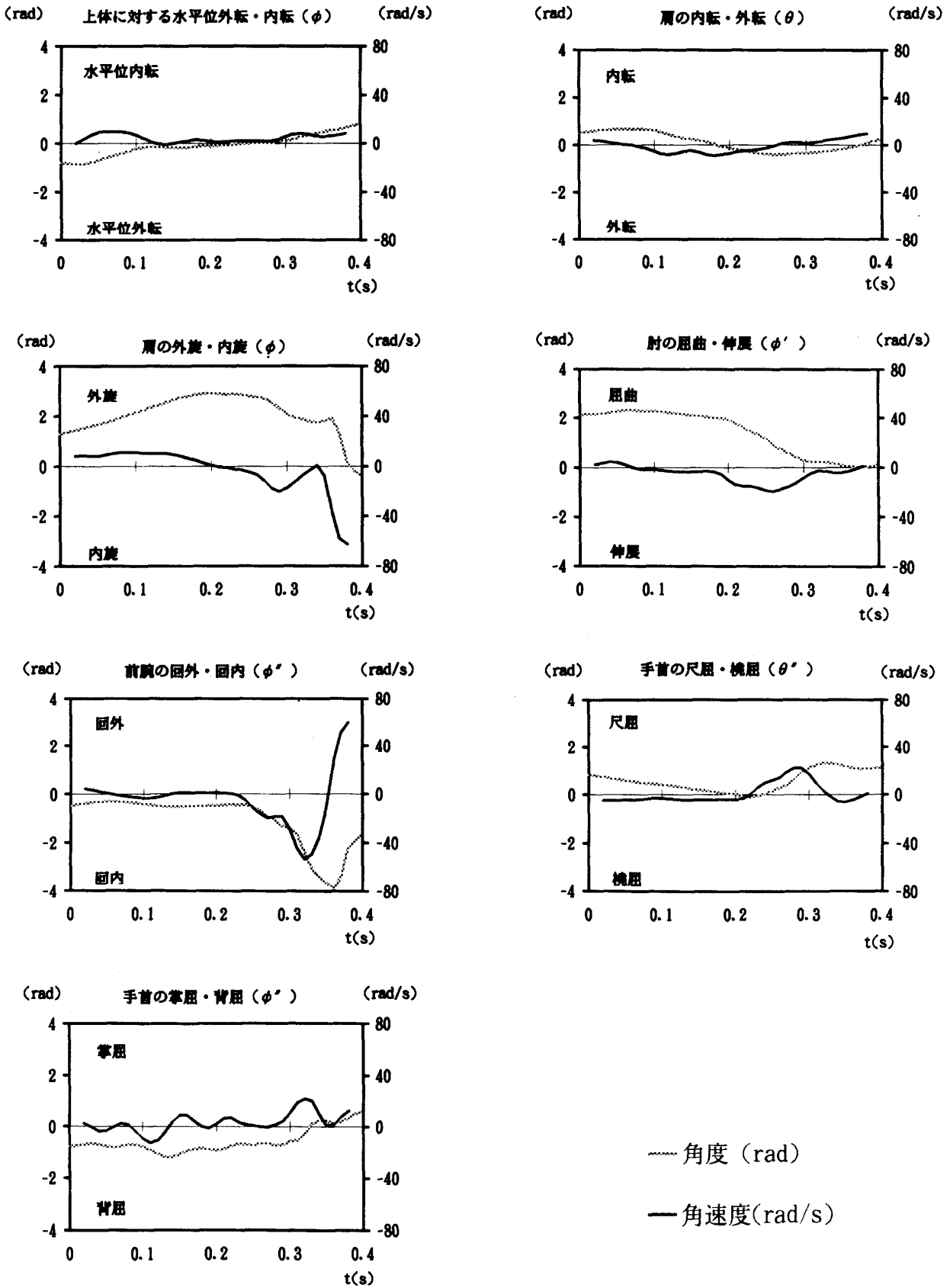


図9 各関節の角度と角速度

各関節の角度と角速度

インパクト前後において、内旋、肘の伸展、回内、尺屈、掌屈の角速度が大きくなる。肘の伸展は0.26 sにおいて19.54 rad/s、尺屈は21.98 rad/s(0.28 s)、内旋は20.32 rad/s(0.29 s)、回内は53.91 rad/s (0.32 s)、掌屈は21.9

rad/s (0.32 s) であった。(図9)

ラケットヘッドの相対速度への貢献

角速度が大きだけでなく、回転軸やラケットヘッドへの位置ベクトルによって、ラケットヘッドの相対速度への貢献は異なる。

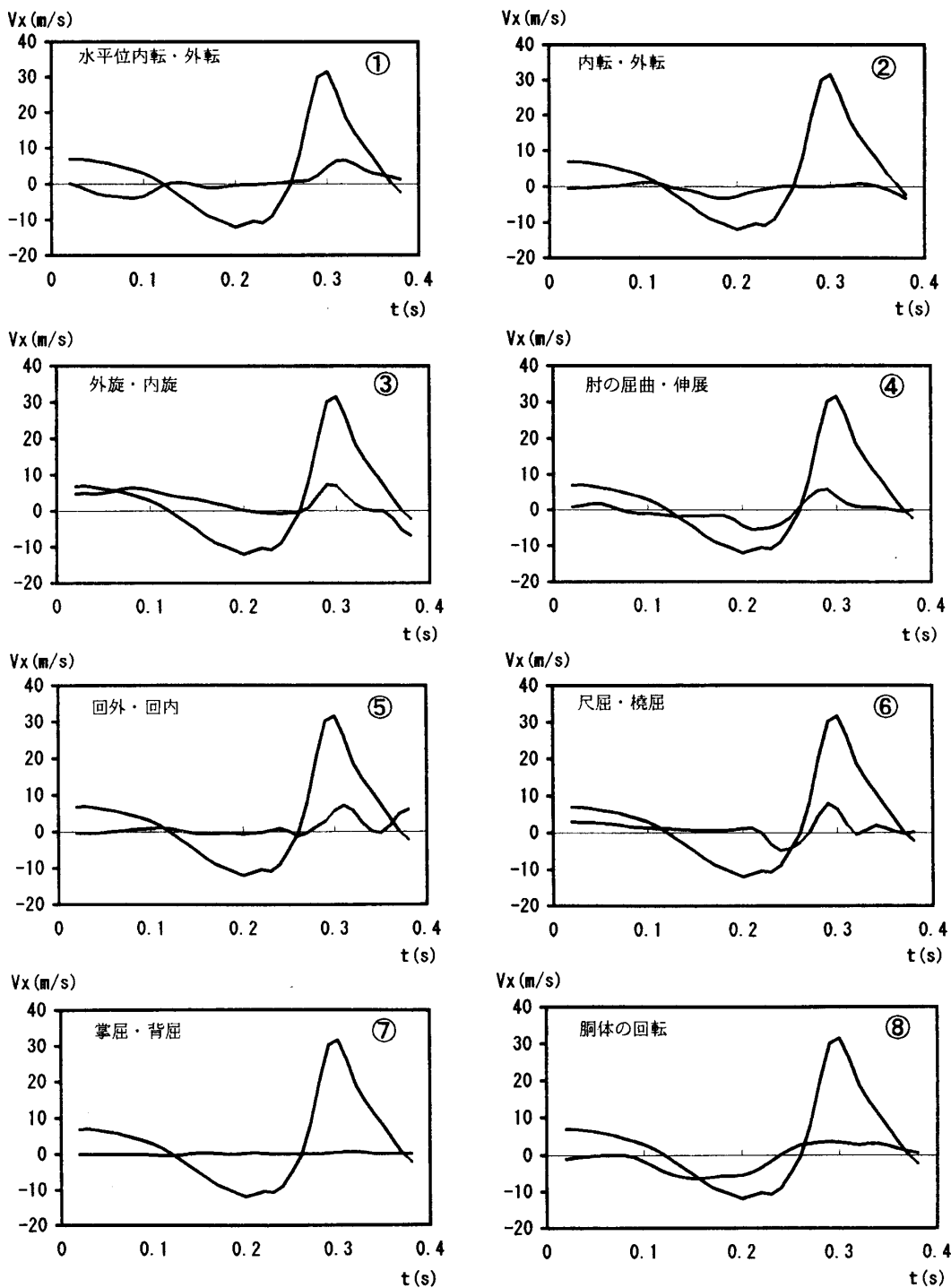


図10 ラケットヘッドの相対速度とその内訳



肩に対してラケットヘッドを急激に加速するインパクト前の局面において、肘の伸展、尺屈、内旋が大きな貢献をしている。またインパクト後のフォロースルーにおいて、回内、水平位内転が大きな貢献をしている。つまり、上肢の長軸回りの運動の重要性がよく言われるが、今回の被験者の場合には上腕の内旋がインパクト前にラケットヘッドを加速し、また前腕の回内はインパクト後の動作のなめらかさに貢献していた。(図10)

上腕の座標軸まわりと角度定義の回転軸まわりの角速度ベクトル

3次元的な角度定義はオイラー角が一般的である<sup>15)</sup>。またオイラー角の定義は、2または3軸について、その順序によって角度が異なる。たとえば3軸のオイラー角ではその順序によって6通りの角度定義が考えられる。今回の角度定義はそのうちのひとつである。ISBの角度定義<sup>10),21)</sup>は、先行研究ではfloating axis systemとして順序不依存であるとされているが<sup>2),8),12),14)</sup>、これもひとつのオイラー角である。

上腕の運動座標系  $\xi\eta\zeta$  の、胴体の運動座標系  $xyz$  に対する相対角速度ベクトル  $\omega$  は、以下の

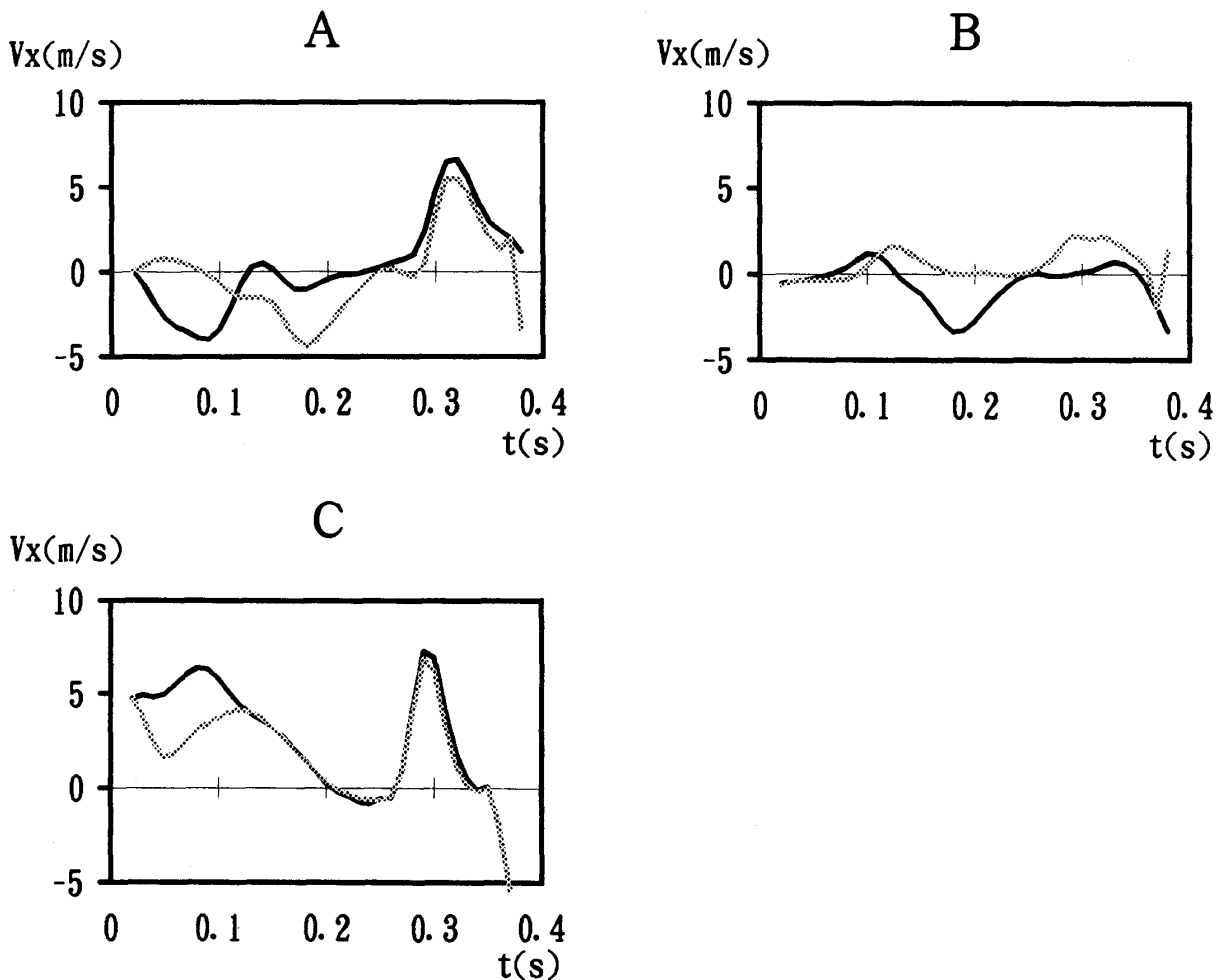


図11 肩関節の角速度の貢献の比較

上腕の相対角度を求め、Sprigings et. al. の算出法にしたがった場合、つまり上腕の座標系の直交三軸まわりの角速度ベクトルから見た場合と、角度定義の回転軸まわりの角速度ベクトルから見た場合の比較である。前者を灰色の線で、後者を黒色の線であらわしている。Aが水平位内転・外転・Bが内転・外転、Cが内旋・外旋について示している。

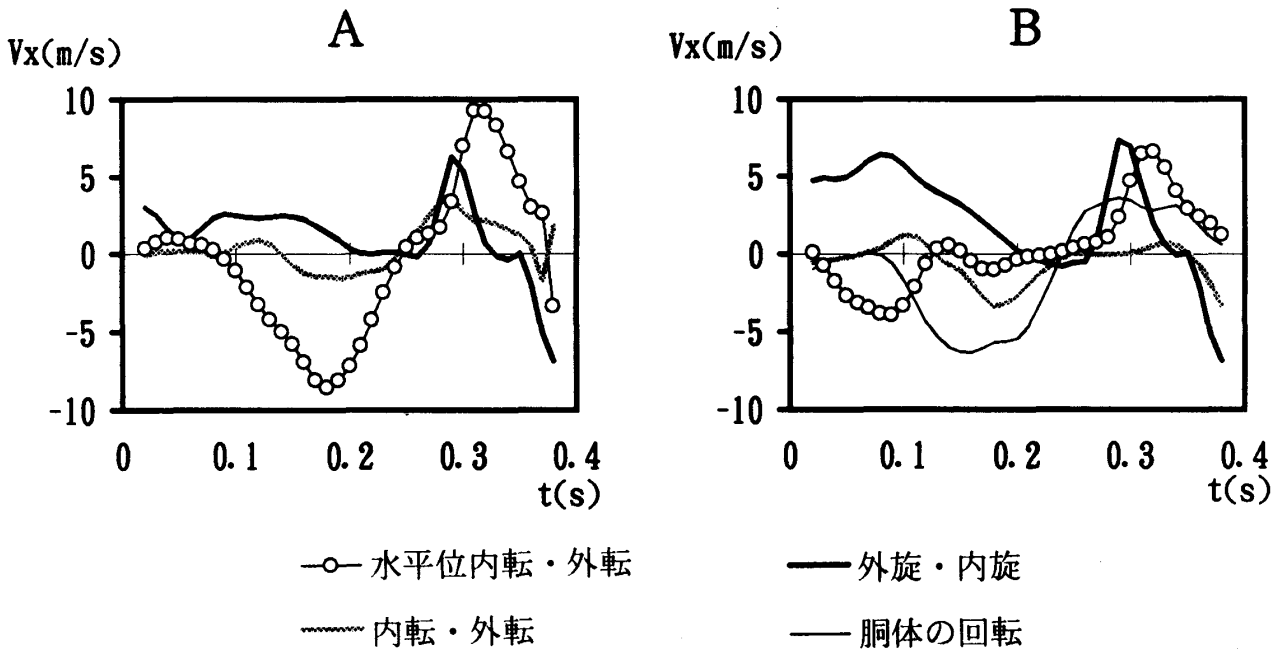


図12 肩関節の角度を絶対角度と相対角度で定義した場合の貢献

Aが上腕の絶対角度を求め、Sprigings et. al. の算出法にしたがった場合、Bが上腕の相対角度を求め、本研究の算出法にしたがった場合である。

ようにあらわされる<sup>15)</sup>。

$$\omega_\xi = \dot{\theta} \cos \phi + \dot{\psi} \cos \theta \sin \phi$$

$$\omega_\eta = -\dot{\theta} \sin \phi + \dot{\psi} \cos \theta \cos \phi$$

$$\omega_\zeta = \dot{\phi} - \dot{\psi} \sin \theta$$

このように  $\xi\eta\zeta$  軸まわりの角速度ベクトルは、複数の関節運動の角速度をあらわしている。これを図示すると、図 11 のようになる。Elliott et. al.<sup>4)</sup> は、内旋・外旋が急峻に生じた場合には  $\omega_\xi$  や  $\omega_\eta$  が屈曲・伸展（この論文でいう水平位内転・外転）や内転・外転をあらわしているとはいえないので、両者を合わせてラケットヘッドの速度の貢献を考えている。各回転角度が微小であれば問題はないが、そうでなければ角度定義の回転軸と上腕の座標系の軸の向きが大きく異なる。

Sprigings et. al.<sup>19)</sup> は、 $\omega_\xi$  を水平位内転・外転に、 $\omega_\eta$  を内転・外転に、 $\omega_\zeta$  を内旋・外旋による角速度であるとしている。両者を比較すると、図 12 のようになる。これは角度定義におけるひとつの関節運動の角速度のみをあらわしていないだけでなく、上腕の姿位によっては、 $\omega_\xi$  が内転・外転に、 $\omega_\eta$  が水平位内転・外転による角速

度と考えられる場合もある。このような違いは、上腕の角度を絶対座標系に対して考えているからである。

今回の方法のように、肩関節の角度を胴体の座標系に対する上腕の座標系の相対角度であらわす<sup>16)</sup> ことによって、上腕の姿位に関係なく角速度ベクトルと関節運動を対応させることができる。また上腕の運動を、下肢や腰によって胴体を回転させる運動と、胴体に対する上腕の運動に分けてとらえることができる<sup>9),16)</sup>。

#### 手首の角度定義

桜井ら<sup>17),18)</sup> は、回内・回外を前腕に取り付けたマークから長軸まわりの回転角として、橈屈・尺屈を  $\xi''$  軸の  $\eta'\xi'$  平面における投影ベクトルが  $\xi'$  軸となす角度として、掌屈背屈を  $\xi''$  軸の  $\xi'\xi'$  平面における投影ベクトルが  $\xi'$  軸となす角度として求めている。橈屈・尺屈や掌屈・背屈は解剖学的には基準姿位（前腕の座標系と手部の座標系の各軸の向きが一致している姿位）からの単独の運動として定義されているが、工学的な角度定義であるオイラー角が単純に解

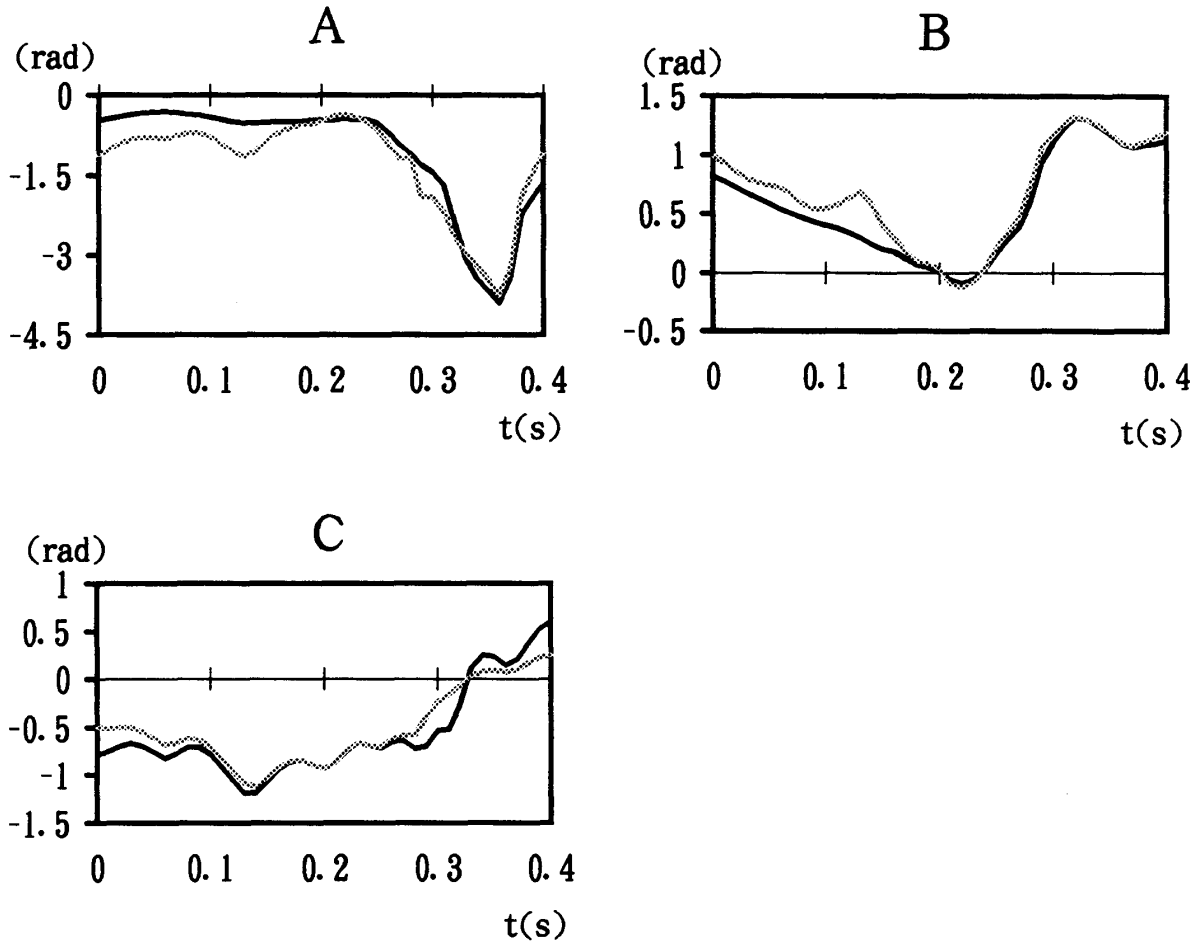


図13 手首関節の角度定義の違いによる角度の比較

本研究の角度定義を黒色の線で、橈尺屈と掌背屈の順番を換えた場合の角度定義を灰色の線であらわしている。Aは前腕の回内・回外、Bは手首の橈屈・尺屈、Cは掌屈・背屈について示している。

剖学的な角度定義と一致するわけではない<sup>13),20),22)</sup>。

しかし今回の方法では、前腕にマークをつかなかつたこと、手とラケットがひとつに剛体化されていると仮定したことによって、ラケットのフレームから手部の座標系を決めた。そして手首関節にも他の関節と共通した角度定義<sup>8),10),21)</sup>をあえて行った。したがって、掌屈・背屈が解剖学的角度定義とやや異なる。

オイラー角の定義で言うと回内・回外、掌屈・背屈、橈屈・尺屈の順序の場合には、角度を比較すると図13のようになる。両者はほぼ同じ傾向を示している。またラケットヘッドの速度の貢献を、Sprigings et. al.<sup>19)</sup>の方法とも比較すると図14のようになる。角度定義が違う場合、インパクト前の加速局面において、橈尺屈と掌

背屈ではオイラー角の定義で先に回転させた方の貢献が大きくなる。また Elliott et. al.<sup>4)</sup>の上腕の場合と同様、微小角度の場合は問題はないが、橈尺屈や掌背屈の角度が大きい場合には、角度定義の回転軸と手部の座標系の軸の向きが異なる。今のところ橈尺屈と掌背屈の貢献は、両者を合わせて考えた方がよいかもしれない。手首の角度定義は、ISBの定義を待つ、あるいは前腕に取り付けたマークを利用するなど、今後の課題である。

### 要 約

本研究ではISBの角度定義を参考に、上肢3関節の関節運動の7自由度の角度を定義し、その回転軸まわりの角速度ベクトルを考え、先端

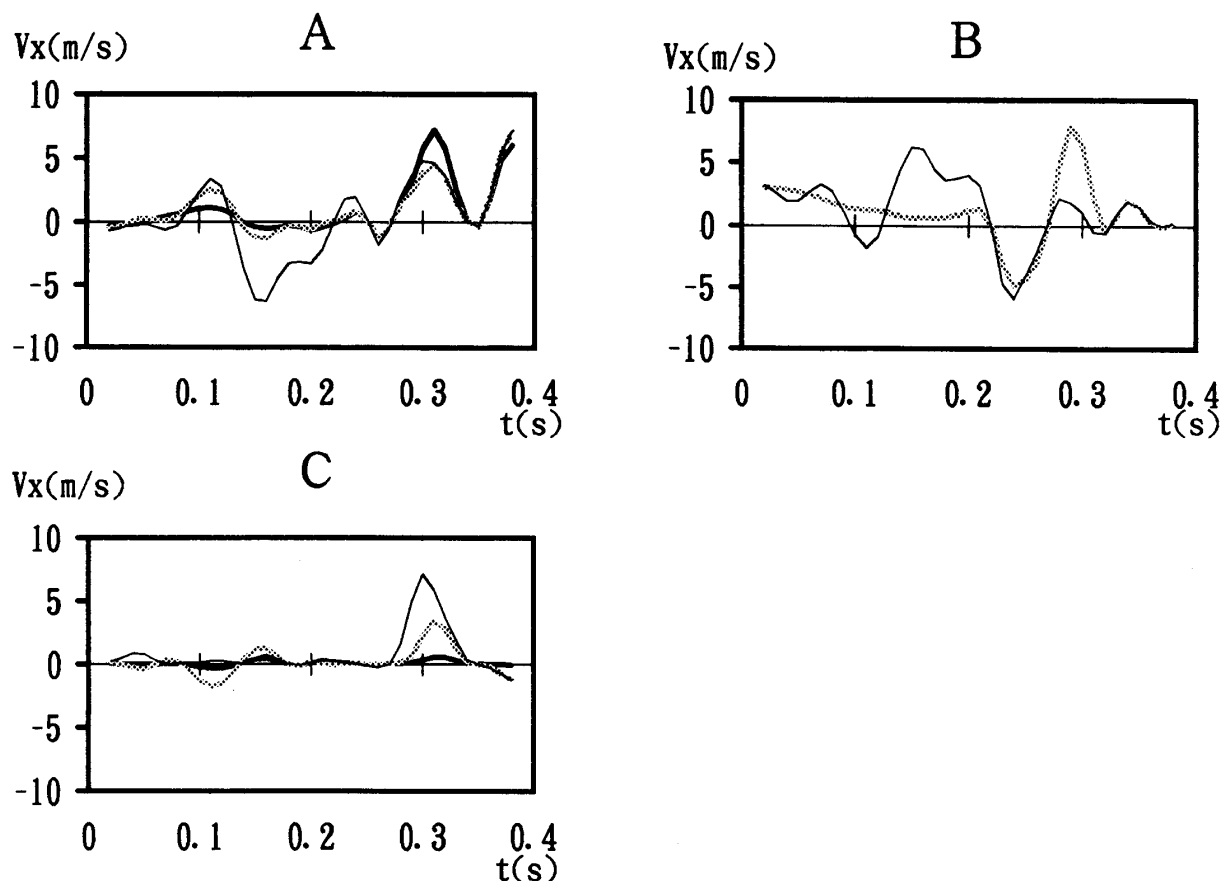


図14 手首関節の角速度の貢献の比較

手部の相対角度を求め Sprigings et. al. の算出法にしたがった場合と、手首関節の角度定義をオイラー角でいう掌背屈と橈尺屈の順番を換えた場合との比較である。前者を灰色の線で、後者を黒色の細線で、本研究の算出法を黒色の太線であらわしている。Aは前腕の回内・回外、Bは手首の橈屈・尺屈、Cは掌屈・背屈について示している。Bでは灰色の線と黒色の太線が重なっている。

速度の内訳を角速度の項の総和であらわした。また各体節座標系の直交三軸まわりの角速度ベクトルを考えた場合や、肩関節の角度を絶対角度で算出した場合と比較した。

本研究の計算方法を用いることによって、角度定義の回転軸まわりに角速度ベクトルを考えているため各角速度を関節運動と対応づけられる。また肩関節の角度を胴体に対する相対角度であらわしたために上腕の姿位に関係なく各角速度を関節運動に対応づけられる。しかし手首関節の角度定義は、掌屈・背屈について解剖学的角度定義とはやや異なる。前腕にマークを取り付けない場合には、橈尺屈と掌背屈の先端速度の貢献は、両者を合わせて考えるのがよい。

#### 参考文献

- 1) 浅見俊雄 スポーツ運動の打について Japanese Journal of Sports Science, Vol. 3, No. 3, pp. 178-187, 1984.
- 2) Chao, E. Y. S. Justification of triaxial goniometer for the measurement of joint rotation. Journal of Biomechanics, Vol. 13, pp. 989-1006, 1980.
- 3) Elliott, B., Marsh, T. and Blanksby, B. A three-dimensional cinematographic analysis of tennis serve. International Journal of Sports Biomechanics, Vol. 2, pp. 260-271, 1986.
- 4) Elliott, B. C., Marshall, R. N. and

- Noffal, G. J. Contribution of upper limb segment rotations during the power serve in tennis. *Journal of Applied Biomechanics*, Vol. 11, No. 4, pp. 433-442, 1995.
- 5) Feltner, M. and Dapena, J. Dynamics of the shoulder and elbow joints of the throwing arm during a baseball pitch. *International Journal of Sport Biomechanics*, Vol. 2, pp. 235-259, 1986.
- 6) Feltner, M. and Dapena, J. Three-dimensional interactions in a two-segment kinetic chain. Part I: General model. *International Journal of Sport Biomechanics*, Vol. 5, pp. 403-419, 1989.
- 7) Feltner, M. Three-dimensional interactions in a two-segment kinetic chain. Part II: Application to the throwing arm in baseball pitching. *International Journal of Sport Biomechanics*, Vol. 5, pp. 420-450, 1989.
- 8) Grood, E. S. and Suntay, W. J. A joint coordinate system for the clinical description of three-dimensional motions: Application to the knee. *Journal of Biomechanical Engineering*, Vol. 115, pp. 136-144, 1983.
- 9) 広瀬茂男 ロボット工学 (機械システムのベクトル解析) pp. 172-176, 裳華房, 1987.
- 10) The international society of biomechanics. Recommendations for standardization in the reporting of kinematic data. *Standardization and Terminology in Biomechanics*, Vol. 1, pp. 2-6, 1995.
- 11) 宮西智久, 藤井範久, 阿江通良, 功力靖雄, 岡田守彦 大学野球選手における速投および遠投動作の3次元比較研究 *体育学研究* Vol. 40, No. 2, pp. 89-103, 1995.
- 12) 宮崎信次, 石田明允 関節の3次元的回転の記述について *バイオメカニズム学会誌* Vol. 15, No. 4, pp. 217-224, 1991.
- 13) 宮崎信次, 石田明允 関節の3次元的回転の記述について (再論) *バイオメカニズム学会誌* Vol. 16, No. 1, pp. 53-54, 1992.
- 14) Miyazaki, S. and Ishida, A. New mathematical definition and calculation of axial rotation of anatomical joints. *Journal of Biomechanical Engineering*, Vol. 113, pp. 270-275, 1991.
- 15) 守屋富次郎, 鷲津久一郎 *力学概説* pp. 158-160, 培風館, 1977.
- 16) Putnam, C. A. Sequential motions of body segments in striking and throwing skills: Descriptions and explanations. *Journal of Biomechanics*, Vol. 26, Supplement 1, pp. 125-135, 1993.
- 17) 桜井伸二, 池上康男, 矢部京之助, 岡本敦, 豊島進太郎 野球の投手の投動作の3次元動作解析 *体育学研究* Vol. 35, No. 2, pp. 143-156, 1990.
- 18) Sakurai, S., Ikegami, Y., Okamoto, A., Yabe, K. and Toyoshima, S. A three-dimensional cinematographic analysis of upper limb movement during fastball and curveball baseball pitches. *Journal of Applied Biomechanics*, Vol. 9, No. 1, pp. 47-65, 1993.
- 19) Sprigings, E., Marshall, R., Elliott, B. and Jennings, L. A three-dimensional kinematic method for determining the effectiveness of arm segment rotations in producing racquet-head speed. *Journal of Biomechanics*, Vol. 27, No. 3, pp. 245-254, 1994.
- 20) 土屋和夫 監修, 臨床歩行分析懇談会編 *臨床歩行分析入門* pp. 28-29, 医歯薬出版株式会社, 1993.
- 21) Wu, G. and Cavanagh, P. R. ISB recommendations for standardization in the reporting of kinematic data. *Journal of Biomechanics*, Vol. 28, No. 10, pp. 1257-1261, 1995.
- 22) 山崎信寿 関節運動の記述に関する私見

バイオメカニズム学会誌 Vol. 16, No. 1,

pp. 52, 1992.