

テニスの競技力を高める  
サービス動作に関する研究  
—膝および肘関節に着目して—

東京学芸大学大学院  
連合学校教育学研究科  
配置大学：横浜国立大学  
博士論文

学校教育学専攻  
健康・スポーツ系教育講座  
林 準平

## 【目次】

第 I 部	序論	・ ・ ・ ・	1
第 1 章	テニスの競技力とサービスの打球速度	・ ・ ・ ・	2
第 2 章	サービスにおける動作所要時間と効率性	・ ・ ・ ・	7
第 3 章	本稿で明らかにすること	・ ・ ・ ・	11
	引用文献	・ ・ ・ ・	13
第 II 部	本論	・ ・ ・ ・	15
第 1 章	サービスの打球速度の高低を導く要因について	・ ・ ・ ・	16
第 1 節	目的	・ ・ ・ ・	17
第 2 節	方法	・ ・ ・ ・	18
第 1 項	被験者	・ ・ ・ ・	18
第 2 項	実験用テニスコート	・ ・ ・ ・	18
第 3 項	動作課題	・ ・ ・ ・	19
第 4 項	使用ボール	・ ・ ・ ・	19
第 5 項	分析項目および測定方法	・ ・ ・ ・	19
第 6 項	統計処理	・ ・ ・ ・	21
第 3 節	結果	・ ・ ・ ・	22
第 1 項	全動作課題における打球速度	・ ・ ・ ・	22
第 2 項	打球速度と床反力垂直成分との関わり	・ ・ ・ ・	24
第 3 項	各課題における角度および角速度推移	・ ・ ・ ・	29
第 4 項	打球速度と左膝および右肘関節動作との 関わり	・ ・ ・ ・	38
第 5 項	打球速度の漸増に対する対応からみた 被験者のクラスタ化	・ ・ ・ ・	41
第 4 節	考察	・ ・ ・ ・	43
第 5 節	まとめ	・ ・ ・ ・	48
	引用文献	・ ・ ・ ・	50

第 2 章 動作所要時間に着目した効率的なサービスについて	・ ・ ・ ・	52
第 1 節 目的	・ ・ ・ ・	53
第 2 節 方法	・ ・ ・ ・	54
第 1 項 被験者	・ ・ ・ ・	54
第 2 項 実験用テニスコート	・ ・ ・ ・	54
第 3 項 動作課題	・ ・ ・ ・	55
第 4 項 使用ボール	・ ・ ・ ・	55
第 5 項 分析項目および測定方法	・ ・ ・ ・	55
第 6 項 統計処理	・ ・ ・ ・	60
第 7 項 データの比較対象	・ ・ ・ ・	60
第 3 節 結果	・ ・ ・ ・	61
第 1 項 トスアップからインパクトおよび 膝関節動作所要時間	・ ・ ・ ・	61
第 2 項 打球速度	・ ・ ・ ・	65
第 3 項 インパクト位置	・ ・ ・ ・	66
第 4 項 床反力	・ ・ ・ ・	67
第 5 項 関節角度・角速度	・ ・ ・ ・	68
第 6 項 IEMG	・ ・ ・ ・	72
第 4 節 考察	・ ・ ・ ・	76
第 5 節 まとめ	・ ・ ・ ・	81
引用文献	・ ・ ・ ・	82

第Ⅲ部 結論	・ ・ ・ ・	84
第1章 テニスの競技力を高めるサービス動作とは？	・ ・ ・ ・	85
第1節 総合的な考察および結論	・ ・ ・ ・	86
第2節 今後の課題	・ ・ ・ ・	90
引用文献	・ ・ ・ ・	91
謝辞	・ ・ ・ ・	92

引用文献一覧

資料

# 第 I 部

## 序論

# 第1章

テニスの競技力とサーブスの打球速度

## 第1章 テニスの競技力とサービスの打球速度

テニスのストロークは、サービス・レシーブ（リターン）・グラウンドストローク・ボレー・スマッシュに大別され、それぞれのストローク力の向上が、テニスの競技力向上に不可欠であることはいうまでもない。著者はこれらのストロークの中でも、サービス力がポイント獲得率により強く関わると考え、サービス力を高める要因を明らかにしようとした。

テニスの四大大会やマスターズ大会における世界トップ10を対象としたマッチサマリー（結果の集計報告）は、コートサーフェスの違いによりポイント獲得率が若干異なるものの、ファーストサービスポイント獲得率（ファーストサービスによるエース、およびその後のラリーでポイントを取ること）が75%前後、セカンドサービスポイント獲得率（セカンドサービスによるエース、およびその後のラリーでポイントを取ること）は50%前後であることを報告している。これらのことは、彼らのファーストサービスがセカンドサービスよりも打球の速度・回転量・コースなどにおいて、より攻撃的であることを裏付ける。

足立（1999）は、トーナメントを勝ち進む選手は、ファーストサービスの打球速度が試合期間を通して高く、またサービス打球速度の高い選手は、サービスゲーム時のポイント獲得率が高いと報告している。同様に Brody（2003）は、サービス打球速度に着目してゲーム分析を実施し、サービス打球速度の高まりが、より多くのウィニングショットを導くと報告している。つまり、サービスはポイント開始に必然のショットであるが、これは単にポイントを開始するための儀式的なプレーではなく、より打球速度の高いサービスは、ポイント獲得率、ひいては試合の勝敗を決定する要因の一つであるといえる。そこで本研究は、サービスにおいて高い打球速度を獲得することがテニスの競技力を高める一要因であると位置づけ、如何なる動作要因が打球速度を高めるかを明らかにしようとした。

サービスの打球速度に関して Elliott et al.（1995）は、上級者に最大努力でのサービスをさせた際の上肢関節運動を、三次元動作解析法を用いて分析し、打球速度に対する各関節運動の貢献度は、肩関節内旋が54.2%、手関節屈曲が31.0%であり、これら二項目のみで貢献度全体の8割以上に達す

ることを報告した。同様に Tanabe and Ito (2007) は、66 人の男性テニスプレーヤーに最大努力でサービスさせ、その動作を三次元動作解析法によって検討し、打球速度と非常に強い正の相関関係にあるラケットヘッド速度を得ることへの貢献度は、肩関節内旋で 41.1%、手関節屈曲 31.7%であると報告した。これらの報告は、いずれも映像解析法によってキネマティックス的手法（力発揮量を直接解析するのではなく、結果的に表出した関節運動を定量する方法）から、上肢あるいは上肢帯に存する個々の関節運動と打球速度との関わりを検討し、肩関節内旋および手関節屈曲が、テニスにおけるサービスの打球速度を高めることと対応する重要な関節運動であることを示した。

サービスの打球速度を高めることに関して、下肢関節運動も重要な要因であると報告されている。Reid et al. (2008) は、上級者のフラットサービスを三種類の異なる脚動作で実施させ、その際に生じる下肢動作の個体内での変化を検討した。その結果、膝関節の屈曲伸展動作の可動域や伸展角速度などの脚動作 (leg drive) が、結果的にラケットヘッド速度を上昇させると報告した。また Girard et al. (2005) は、打球速度と床反力との関わりを競技レベルの異なる群間から検討し、打球速度の高い群は低い群に比し、垂直方向へより大きな床反力を発揮することで、脚に存する関節、特に膝関節伸展角速度の高まりを導き、結果として打球速度を高めていると報告した。これらは、サービスにおける打球速度を向上させる要因の一つとして、下肢関節運動、なかでも膝関節伸展運動の重要性を明らかにした研究である。

サービスの打球速度を高めることに関し、体幹の重要性も報告されている。打球速度の高まりと体幹運動との関わりについて Fleisig et al. (2003) は、シドニーオリンピックに出場したテニスプレーヤー 22 名のサービス動作を、三次元動作解析法を用いて検討し、肩関節内旋に加え、体幹の振り戻し運動も、打球速度との関わりが強いことを報告した。また Hirashima et al. (1997) は、テニスのサービス動作と類似する野球の投球動作において、体幹の捻り戻し角速度の向上が、投球速度に大きく貢献すると報告した。すなわち体幹の捻り戻し運動は、サービスの打球速度を高めることのみならず、投球動作におけるボール速度の高まりにも強く関与するといえる。これらは、



体幹、上腕、前腕、手からラケットへの Open Kinetic Chain（四肢の最遠部に存する部位の動きに対し、外力負荷がかけられておらず、自由に変位できる状態）として運動連鎖した結果、受動的に生じる関節運動と、Closed Kinetic Chain（四肢の最遠部に存する部位の動きに対し、何らかの外力負荷がかけられることで、自由に変位することを阻害されている状態）として地面に接した足、下腿、大腿、体幹の協働的かつ能動的な関節運動をキネマティック的、すなわち表出する動きを定量した研究（Elliott et al. 1995、Tanabe and Ito 2007、Reid et al. 2008）や、打球速度と床反力との関わりをキネティック的、つまり身体の力および力発揮に関わる要素を検討した研究（Girard et al. 2005）である。このように多くの報告が、多数の分析観点および分析方法から、サービス動作と打球速度との関わりを明らかにしている。

上述のとおり、サービスは体幹体肢を繋ぐあらゆる関節運動が関与する動作である。しかし、これらの関節運動の全てが能動的ではなく、受動的に関与することによりラケットヘッド速度の向上に寄与する運動もある。すなわち、サービスにおける遠心的な関節運動としては下肢の足、膝、股関節や肘関節の伸展動作が、求心的運動としては、肩関節内旋や手関節掌屈運動が挙げられる。経験上、能動的に関節を伸展する運動の調整は意識化しやすいが、受動的で求心的な運動は、あくまでも先行する能動的運動の加減によって連鎖的に生じるため、その調整や意識化は難しいと考える。

体幹と四肢の運動をキネティック的に検討した奈良ら（2008）は、四肢の起点となる肩および股関節運動は、四肢遠位端の運動出力方向を規定し、拮抗二関節筋の停止側である膝および肘関節運動は、四肢遠位端の出力調整に強く関わると報告している。これをテニスのサービスにおけるラケットの動きにあてはめると、ラケット保持側の肩およびその対側の股関節運動はラケットヘッドの運動方向を規定し、ラケット保持側の肘およびその対側の膝関節運動は、ラケットヘッド速度の産出に強く関わると考えられる。またラケット保持側の肘およびその対側の膝関節は、下肢・上肢にある第一リンク（大腿・上腕）と第二リンク（下腿・前腕）を結ぶ蝶番関節として、体幹から遠位方向に等しい位置に存在すると同時に、長軸方向に長い二つのセグメ

ントをまたいで大きなモーメントアームを生じる。

これらのことから本稿では、ラケット保持側の上肢からは肘関節が、その対側の下肢からは膝関節が、サービス動作を構成する関節運動の中でも肩関節や手関節と同程度あるいはそれ以上に、打球速度の規定に強く関与すると考え、両関節運動がサービスの打球速度を高めることに如何に関わるかを明らかにしようとした。しかし先行研究の多くは、競技力の異なる群間での差を検討したものであり、サービス動作と打球速度との関わりを同一個体内での関節運動の対応から明らかにしていない。これに対し著者は、サービスの動作と打球速度との関わりを関節運動の個体内差から検討する必要性があると考えた。すなわちプレイヤーが意図的に打球速度を増減させてサービスした際の関節運動の変容を、個体内差の観点から検討することにより、如何なる動作要因が打球速度を規定するかが明らかにされると考えた。

そこで本稿では、テニスのサービスにおける打球速度が最大下 50%から 10%刻みで 100%までの課題を行わせ、その際のラケット保持側の肘およびその対側の膝関節運動、さらには床反力垂直成分の個体内変化を明らかにしようとした。これによって得られる知見は、個体がもつ打球速度を最大以上に高めるための一端を明らかにすることにもつながると考える。

# 第2章

サービスにおける動作所要時間と効率性

## 第2章 サービスにおける動作所要時間と効率性

鈴木（2005）は、テニスのサービスは慣性の大きい体幹で得られた力を、関節の連動によって慣性の小さい遠位端へと伝えているため、末端に近い関節ほど角速度が高まると報告している。つまり身体の各関節およびセグメントの連動がラケットヘッド速度を高め、その結果、サービスの打球速度が高められるといえる。

テニスのサービスに関して Elliott and Saviano（2001）は、連続した一連の関節運動をリズムよく実行することが適切なラケットの変位を導き、高いインパクト位置やラケットヘッド速度の獲得を導くと報告した。同様に衣笠・加賀（1985）は、9名の大学生テニスプレーヤーのサービス動作を分析した結果、打球速度の高低に関わらず関節運動域には顕著な変化を認めなかったことから、打球速度を高める要因の一つとして、個々の関節が至適タイミングで連動することが重要であると報告した。

現在、男子世界一流プレーヤーのサービス打球速度が200km/h以上を示すことは珍しくない。しかし著者は、このようなプレーヤーのサービス動作に要する時間に、長短のあることを見出した。サービスは図 I-2-1 に示すように、構えからトスアップの後にインパクトしフィニッシュに至る動作である。この間に、膝関節屈曲動作を始まりとして（Van Gheluwe and Hebbelinck, 1986、Elliott et al. 1995.）体幹、肩、肘および手関節、そしてラケットヘッドへと liner

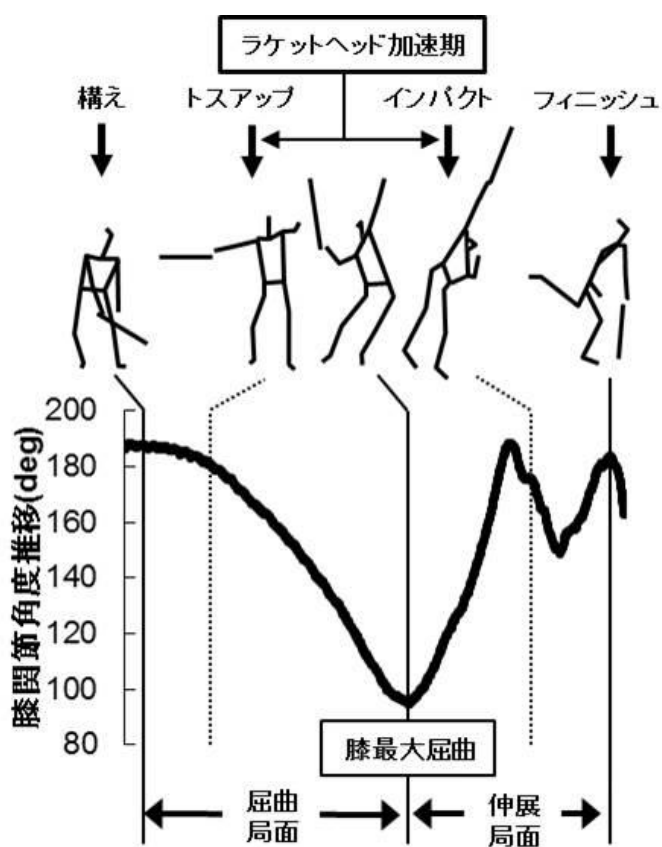


図 I-2-1 サービス動作局面例

velocityを漸増させる (Elliott et al.1995.)。このトスアップからインパクトまでの所要時間を、2008 年度ウインブルドン選手権男子シングルス本戦出場者の映像から算出してみると、短時間で行うプレーヤーで 0.6 秒程度、逆に長時間かけて行うプレーヤーでは 1.2 秒程度を要することを認めた。

大築 (1988) は、ゴルフのティーショットなど、遠位端 (ゴルフの場合はクラブヘッド) に大きな速度を獲得する必要がある動作は、その遂行時間がより短い方が、動作実行中に感覚情報からの外乱を受けにくいと報告した。また Desmedt and Godaux (1978、1979) は、等尺性筋収縮に要する時間と運動制御の関係を筋電図法によって検討し、最大等尺性筋収縮に達するまでに 0.5 秒以上を要する遅い筋収縮では、0.15 秒以内に最大値に達するそれと比べ、筋電図波形における興奮と収束に時間的な誤差が生じやすいと報告している。さらに両課題を比較した際、負荷の有無が筋電波形に影響を及ぼさないことから、素早い動作はあらかじめ組み込まれた運動制御プログラムを実行しており、外乱の影響を受けにくい動作であると報告した。これらは、動作に要する時間がより長い場合、短い動作に比し動作中に多く外乱を受容するため、必要以上の運動制御を要し、非効率的となりやすいことを示唆している。言い換えるならば、同一の課題をより短時間で実行することは、運動制御的に効率性の高い動作であると考えられる。

一方、関節運動に要する時間と Stretch Shorten Cycle movement (以下、SSC) との関連を検討した報告がある。Wilson et al. (1991) は、SSC とは伸張性収縮によって弾性エネルギーを蓄積し、それを利用することで短縮性収縮時に大きな力発揮を行う機構であると報告している。また Wilson et al. (1991) は、SSC を導く動作要因として、伸張速度の大きさや伸張局面から短縮局面への切り替えに要する時間の短縮等を挙げている。さらに Elliott et al. (1999) は、上肢帯のみを使用して投球動作を実行する場合、SSC を実行した動作では、そうでない動作と比較して、遠位端に位置する手関節速度が約 20%向上すると報告している。そして SSC が強く関与するカウンターメントジャンプと下腿三頭筋の筋放電および弾性エネルギーとの関わりを検討した伊藤ら (1987) は、反動をつけて動作を実行することが下腿

三頭筋の筋放電量を低下させたと報告している。これらの報告に基づくと、より短い時間で屈曲伸展動作を実行することは、筋の伸張速度を高めると同時に、伸張局面から短縮局面への切り替えに要する時間を短縮させることでSSCの貢献度を高め、より少ない筋放電量でより大きな力発揮が可能となり、筋の収縮効率を高める要因となる。

これらをサービス動作に置き換え、以下に示す仮説を立てた。すなわち、サービスを同様の関節運動域で行う場合、動作をより短時間で実行することはSSCの関与によって遠位端にあるラケットヘッドの速度をより高め、その結果、打球速度を高めるのではないか。またサービスをより短時間で実行することによるSSCの関与は、動作に関わって生じる筋放電量をも減少させるのではないかと仮説した。

これまで、サービスの打球速度を高めるための動作要因を個体間差から検討した報告は多数認められるが、個体内で動作に要する時間の長短から打球速度や筋放電量との関わりを検討した研究は極めて少ない。もしサービス動作に要する時間の短縮が、高い打球速度を発揮させると同時に筋収縮効率を高め得る要因であるとするれば、サービス技術の向上、ひいてはテニスの競技力そのものを向上させるための動作要因の解明に繋がると考える。

そこで本研究は、世界のトッププレーヤーに認められたサービスのトスアップからインパクトまでの所要時間に着眼し、その固有時間に対し7段階に増減させて打球させ、その際の打球速度やインパクト位置、膝・肘関節の角度・運動域・角速度、床反力および筋放電量におよぼす影響を検討し、高い打球速度を発揮させると同時に、筋収縮効率をも高める至適所要時間を明らかにしようとした。

# 第 3 章

本稿で明らかにすること

### 第3章 本稿で明らかにすること

本稿ではテニスの競技力を高める要因としてサービス動作に着眼し、如何なる動作がサービス力を高める要因であるかを明らかにすることを目的とし、以下に示す2つの研究テーマを導き出した。

1. テニスのサービスにおける打球速度が最大下50%から10%刻みで100%までの課題を行わせ、その際のラケット保持側の肘およびその対側の膝関節運動、さらには床反力垂直成分の個体内変化を明らかにすること  
(本論第1章にて検討)

2. サービスのトスアップからインパクトまでの所要時間を固有時間に対し7段階に増減させて打球させ、その際の打球速度やインパクト位置、膝・肘関節の角度・運動域・角速度、床反力および筋放電量におよぼす影響を検討し、高い打球速度を発揮させると同時に、筋収縮効率をも高める至適所要時間を明らかにすること  
(本論第2章にて検討)

これらを明らかにすることが、テニスにおけるサービス力の向上を導く要因を明らかにすることに繋がると考える。



## 引用文献

- 足立長彦 (1999) テニスの試合における勝敗に関する一考察: サーブの分析を中心として. 武庫川女子大学紀要人文・社会科学編 47:57-63.
- Brody H. (2003) Serving strategy. *ITF Coaching Sport Science Review*, 31:2-3.
- Desmedt J. E. and Godaux E. (1978) Ballistic skilled movements: load compensation and patterning of the motor commands. *Cerebral Motor Control in Man: Long Loop Mechanism*, Desmedt, J. E. ed., *Prong. Clinical Neurophysiology*, Vol.4, Karger, Basel:pp21-55.
- Desmedt J. E. and Godaux E. (1979) Voluntary motor commands in human ballistic movements. *Annals of Neurology*, 5:415-421.
- Elliott B. and Saviano N. (2001) Chapter twelve serves and returns. In: Paul Roetert and Jack Groppe ed., *World-Class Tennis Technique*. Human Kinetics, Champaign:pp207-221.
- Elliott B. C., Baxter K. G. and Besier T. F. (1999) Internal rotation of the upper-arm segment during a stretch-shorten cycle movement. *Journal of Applied Biomechanics*, 15:381-395.
- Elliott B. C., Marshall R. N. and Noffal G. (1995) Contributions of upper limb segment rotations during the power serve in tennis. *Journal of Applied Biomechanics*, 11:433-442.
- Fleisig G., Nicholls R., Elliott B. and Escamilla R. (2003) Kinematics used by world class tennis players to produce high-velocity serves. *Sports Biomechanics*, 2 (1) :51-64.
- Girard O., Micallef J. P. and Millet G. P. (2005) Lower-limb activity during the power serve in tennis: Effects of performance level. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37 (6) :1021-1029.
- Hirashima M., Kubo K., Watari K. and Ohtsuki T. (2006) Control of 3D Limb Dynamics in Unconstrained Over Throws of Different Speeds Performed by Skilled Baseball Players. *Journal of Neurophysiology*, 97:680-691.

- 伊藤章・斉藤昌久・金子公宥（1987） 跳躍運動における反動効果—下腿三頭筋の筋放電量と弾性エネルギーの利用—。 *Japan Journal of Sports Science*, 6:232-238.
- 衣笠隆・加賀勝（1985） サーブスピードの相違によるサーブ動作のキネマティック的解析。 競技種目別競技力向上に関する研究, テニス研究報告ファイル No. 17:259-265.
- 奈良勲・熊本水頼・内山靖・畠直輝（2008） 二関節筋—運動制御とリハビリテーション—. 医学書院, 東京.
- 大築立志（1988） 「たくみ」の科学. 朝倉書店, 東京:pp199-225.
- Reid M. M., Elliott B. C. and Alderson J. A. （2008） Lower-limb coordination and shoulder joint mechanics in the tennis serve. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40 (2) :308-315.
- 鈴木一行（2005） 新版テニス指導教本. 初版, 第2章, テニスの科学, 株式会社大修官書店, 東京:pp25-64.
- Tanabe S. and Ito A. （2007） A three-dimensional analysis of the contributions of upper limb joint movements to horizontal racket head velocity at ball impact during tennis serving. *Sports Biomechanics*, 6 (3) :418-433.
- Van Gheluwe B. and Hebbelinck M. （1986） Muscle actions and ground reaction forces in tennis. *Journal of Applied Biomechanics*, 2 (2) :88-99.
- Wilson G. J., Elliott B. C. and Wood G. A. （1991） The effect on performance of imposing a delay during a stretch-shorten cycle movement. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23 (3) :364-370.

# 第Ⅱ部

## 本論

# 第1章

サーブスの打球速度の  
高低を導く要因について

## 第1章 サービスの打球速度の高低を導く要因について

### 第1節 目的

本研究の目的は、テニスのサービスにおける打球速度が最大下 50%から 10%刻みで 100%までの課題を行わせ、その際のラケット保持側の肘およびその対側の膝関節運動、さらには床反力垂直成分の個体内変化を明らかにすることである。これによって得られる知見は、個体がもつ打球速度を最大以上に高めるための一端を明らかにすることに繋がると考える。

## 第 2 節 方法

### 第 1 項 被験者

事前に実験趣旨を説明し承諾の得られた男性で、全日本学生テニス選手権（2名）および、関西学生テニス選手権（6名）の出場選手計 8 名（身長  $172.9 \pm 5.8$ cm、体重  $65.2 \pm 6.4$ kg、年齢  $19.4 \pm 1.6$  歳、体脂肪率  $9.4 \pm 2.1$ %；平均値  $\pm$ SD）を対象とした。いずれの被験者も右利きであった。

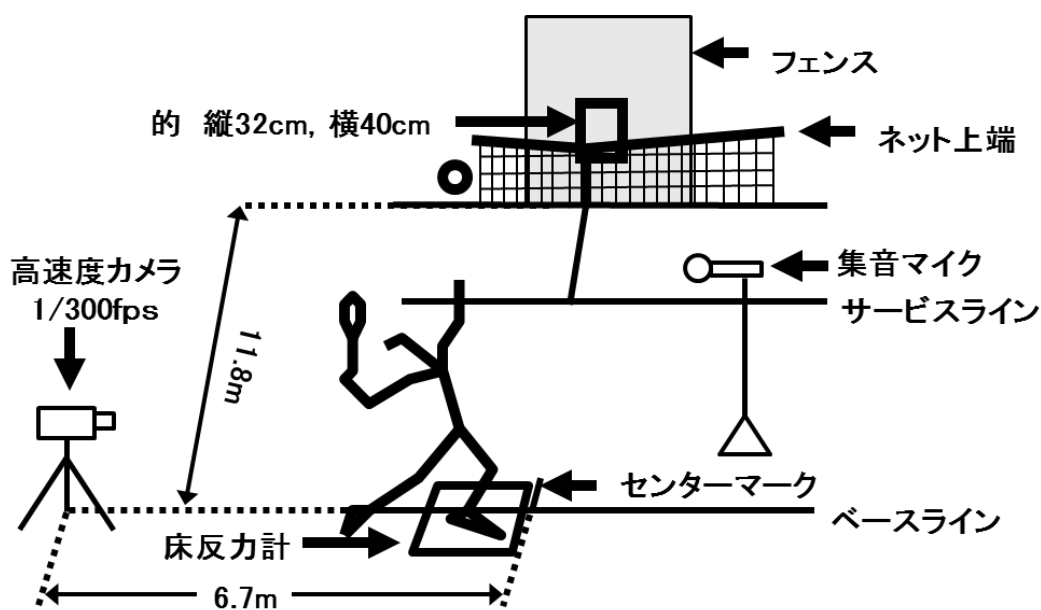


図 II-1-1 実験用テニスコート

### 第 2 項 実験用テニスコート

図 II-1-1 に示すように実験室にテニスコート（自陣側のみ）を特設した。アドバンテージサイドでセンターマーク横のベースライン下に床反力計（KISTLER 社製、9286B）を設置し、ネットのセンターベルト仮想延長線右上に縦 32cm、横 40cm の垂直の的を設けた。その際インパクト時の空間的位置を特定するため、被験者の後方のベースライン延長線上 6.7m の位置に高速カメラ（CASIO 社製、EX-F1：300fps）を設置し、すべての試技を撮影した。また被験者毎に異なるインパクト位置を考慮し、動作を阻害せずかつ可能な限りインパクト位置に接近した個所へ集音マイクを設置し、インパクト音および的への着弾音を採取した。

### 第 3 項 動作課題

アドバンテージサイドからの的を狙うフラットサービスを以下の条件で行わせた。その際、被験者本人がグッドショットでないと判断した、もしくは的に当たらなかった試技は分析対象から除外した。

1. 全力による試技（以下、全力課題）10 打。
2. 50%、60%、70%、80%、90%の打球速度となる試技（以下、%課題）3 打。

打球速度は、身体一部の動きを変えることで調整するのではなく、あくまでも全力課題によるフォームの協応関係を保つよう指示した。

### 第 4 項 使用ボール

被験者毎に 4 球のニューボール（ダンロップ社製 FORT）を使用した。

### 第 5 項 分析項目および測定方法

#### 1. 打球速度の計測法

被験者の背部に設置した高速度カメラ（CASIO 社製、EX-F1：300fps）からインパクト位置を特定した後、インパクト位置からの中心までの直線距離（三平方の定理に基づき算出：cm）を算出し、それをインパクト音と着弾音の時間間隔で除すことによって打球速度を算出した。インパクト音と着弾音の時間間隔は、集音マイク、FM ラジオカセットから得られた音声データを PC に記録し、Wadssystem（DKH 社製；サンプリング周波数 1KHz）を用いて解析することによって算出した。またインパクト時および着弾時の特定は、各音声波形の振幅を数値で示したデータの 20ms（ウィンドーレングス）の平均値が、その直前 100ms で得られた平均値の 2SD を超えた時（20ms 区間の遡った瞬間）とした。本研究での測定法から算出された打球速度を km/時に換算すると、有効数値は小数第 1 位となる。

#### 2. 打球速度および打球速度相対値

打球速度は、被験者毎に全力課題では 10 試技の中から打球速度の高い 3 試技を、50%から 90%課題ではそれぞれ 3 試技の実測値を平均することから

算出した（以下、打球速度）。それを基に、被験者毎に全力課題で得られた打球速度を 100%打球速度として、各々の%課題における打球速度相対値を求めた（以下、打球速度相対値）。

### 3. 床反力

床反力は、被験者の左脚下に設置した床反力計（KISTLER 社製、9286B）を用いて PC に記録し、Wadssystem（DKH 社製；サンプリング周波数 1KHz）により床反力垂直成分を測定した。得られた床反力垂直成分（N）は、被験者毎に体重（kg）で標準化した（以下、%BW）。その際、1kg を 9.81N として標準化した。分析項目は垂直成分最大値で、いずれも動作課題毎に 3 試技分を平均した。

### 4. 関節角度・角速度

左膝および右肘関節角度は、ゴニオメータ（Biometrics 社製、SG150/B；サンプリング周波数 1KHz）により、Wadssystem を介して PC に記録し、さらにそれらの角速度を算出した。その際、左膝関節は膝関節裂隙から大転子および外果へ伸ばした直線上に、また右肘関節は解剖学的姿勢を取らせた状態で、橈骨頭から肩峰および橈骨茎状突起へ引いた直線上にゴニオメータを装着しそれぞれの角度を算出した。両関節とも規定した 3 点が一直線上になるよう伸展した状態を 180 度と規定した。また得られたデータは移動平均法によって平滑化（8.7Hz）した。分析項目は、最大屈曲位の角度（以下、最大屈曲角度）と最大伸展位の角度（以下、最大伸展角度）および最大角速度（以下、角速度最大値）で、いずれも動作課題毎に 3 試技分を平均した。

### 5. 最大屈曲位からインパクトまでの時間測定

左膝および右肘関節の最大屈曲位出現時からインパクトまでの所要時間を 1/1000 秒単位で算出した（以下、伸展動作所要時間）。



## 6. 被験者のクラスタ化

打球速度の漸増に対する各測定項目（床反力垂直成分最大値・最大屈曲角度・最大伸展角度・角速度最大値・伸展動作所要時間）の相関の有無に基づき、統計処理ソフト SPSS11.5J for windows を用いて、Ward 法によるクラスタ分析を実施することで樹形図（デンドログラム）を作成しクラスタ化した（動作の共通性を基にしたパターン分け）。その際、分析プログラムの便宜上、相関が認められなかった項目を“0”、正の相関が認められた項目を“1”、負の相関が認められた項目を“2”として処理した。

### 第 6 項 統計処理

異なる群間での平均値の差の検定には、統計処理ソフト SPSS16.0J for windows を用いて一元配置分散分析を実施し、主効果の認められた項目には Tukey の多重比較検定を実施した。さらに項目間の相関関係を検討するために同ソフトを用いて、Pearson の相関係数を算出した。平均値の差の検定および相関係数の無相関検定は、いずれも 5%未満 ( $p < 0.05$ ) を有意とした。

### 第 3 節 結果

#### 第 1 項 全動作課題における打球速度

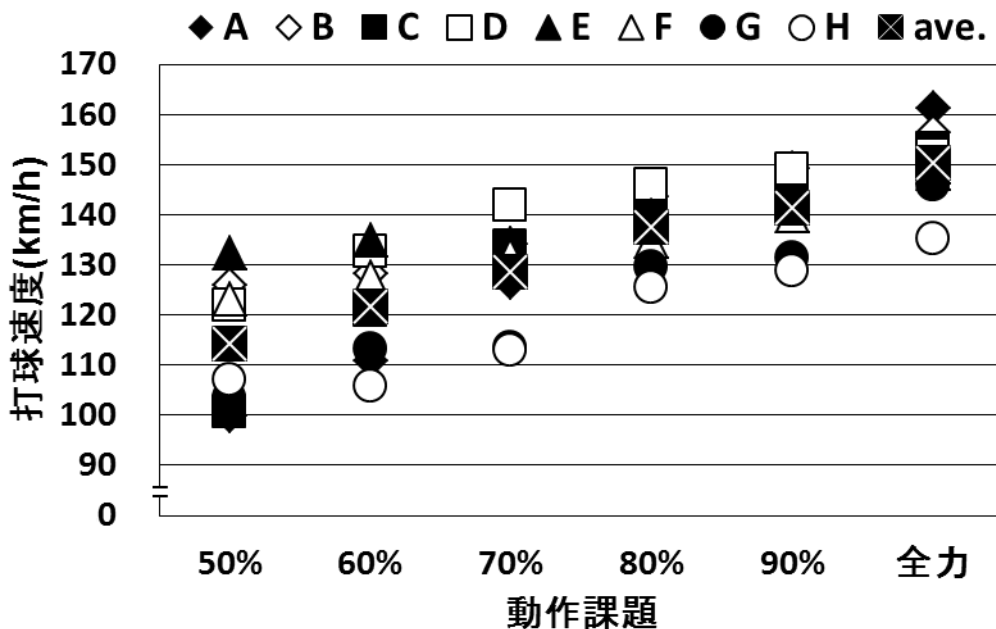


図 II-1-2 各動作課題で得られた打球速度および平均打球速度

凡例に示したアルファベットは各被験者を示し、ave.は各課題における全試技(3打×8人分の計24打)での平均値を示す。

図 II-1-2 に各動作課題で得られた打球速度の結果を示した。全力課題での打球速度が最も高かった被験者 A は  $161.2 \pm 3.5 \text{ km/h}$ 、最も低かった被験者 H は  $135.1 \pm 0.8 \text{ km/h}$  であった。一方、各課題における全試技(24打)の平均打球速度は、50%で  $114.3 \pm 12.8 \text{ km/h}$  で、60%で  $121.7 \pm 11.0 \text{ km/h}$ 、70%で  $128.5 \pm 11.0 \text{ km/h}$ 、80%で  $137.3 \pm 7.5 \text{ km/h}$ 、90%で  $141.1 \pm 8.3 \text{ km/h}$ 、全力で  $150.1 \pm 7.9 \text{ km/h}$  であった。これら打球速度の平均値に対し分散分析を行った結果、主効果が認められた ( $F(5, 138) = 42.361, p < 0.01$ )。そこで多重比較検定を実施した結果、打球速度においては 50%と 60%、60%と 70%そして 80%と 90%の課題間においてのみ有意差が認められなかった。すなわち全 15 課題間中 12 課題間で有意差 ( $p < 0.05$ ) が認められた。

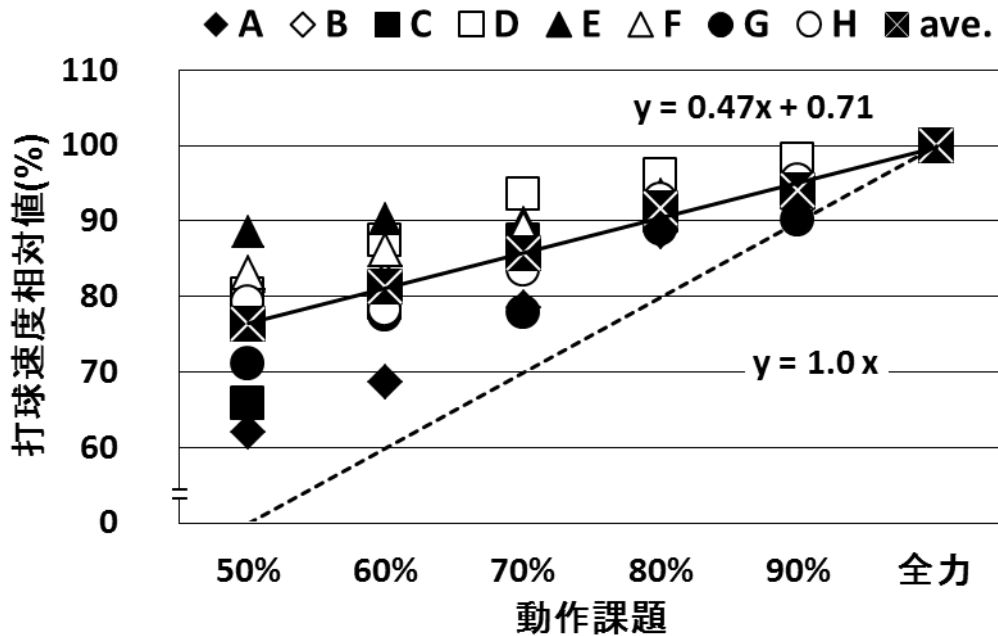


図 II-1-3 各動作課題で得られた打球速度相対値および平均打球速度相対値

凡例に示したアルファベットは各被験者を示し、ave.は各課題における全試技(3打×8人分の計24打)での平均値を示す。図中の実線は各課題で得られた結果に対する回帰直線を示し、破線は課題を忠実に遂行した場合の計算上の傾き(1.0)を示す。

図 II-1-3 に各動作課題で得られた打球速度相対値および平均打球速度相対値を示した。各課題における全試技(24打)の平均打球速度相対値は、50%課題で  $76.3 \pm 9.0\%$  で、60%課題で  $81.1 \pm 7.0\%$ 、70%課題で  $85.6 \pm 6.1\%$ 、80%課題で  $91.6 \pm 3.3\%$ 、90%課題で  $94.1 \pm 3.6\%$  で、回帰直線の傾きは 0.47 (実線) を示した。これらの値に対し、分散分析を行った結果、当該項目に主効果が認められた ( $F(5, 138) = 56.427, p < 0.01$ )。そこで多重比較検定を実施した結果、60%と70%、80%と90%の課題間に差は認められなかったものの、その他全15課題間中13課題間で有意差 ( $p < 0.05$ ) が認められた。

第 2 項 打球速度と床反力垂直成分との関わり

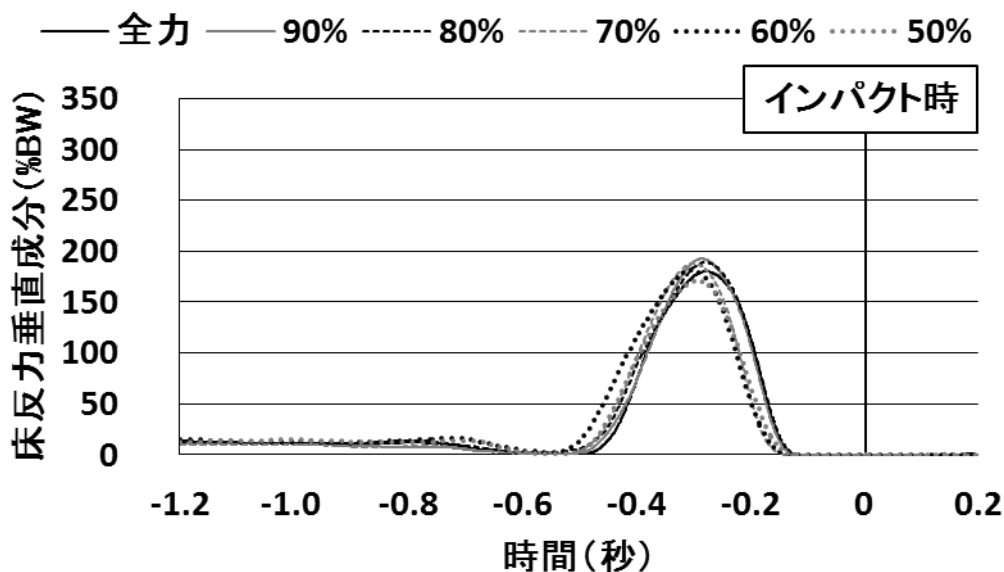


図 II-1-4 被験者 A のサービス打球速度を 50%から全力とした各課題で得られた床反力垂直成分推移波形

横軸の 0 はインパクト時を示す。縦軸は得られた床反力垂直成分 (N) を 100%BW として示す。

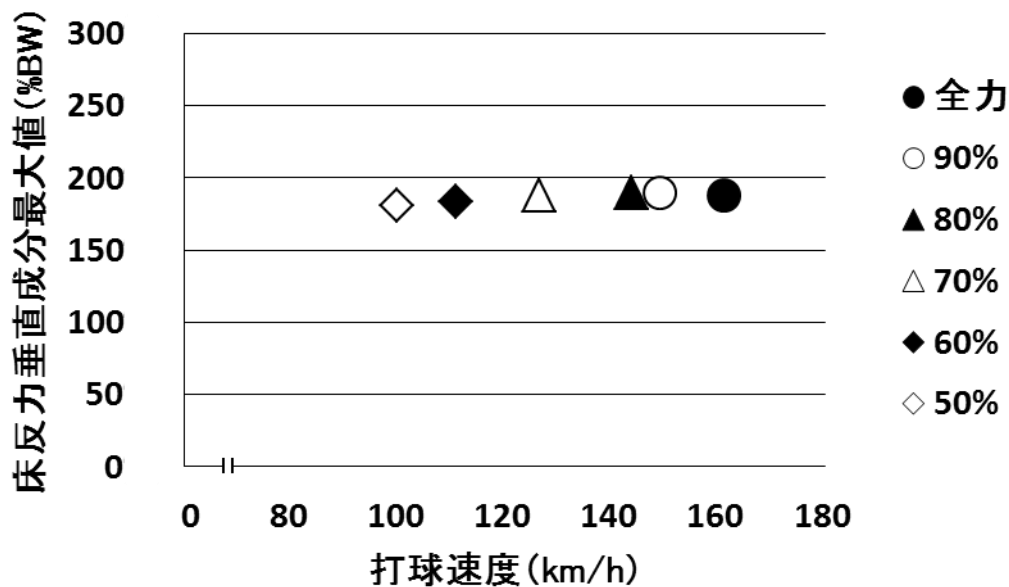


図 II-1-5 被験者 A の各課題における打球速度と床反力垂直成分最大値との相関

図Ⅱ-1-4には、被験者Aの床反力垂直成分推移波形を示した。当該被験者は、インパクト前0.308secから0.201secの間に最大値が出現し、その後インパクト時に近づくにつれて減少し、インパクト時には0%BWを示した。

図Ⅱ-1-5には、被験者Aの各課題における床反力垂直成分最大値と打球速度との相関を散布図で示した。当該被験者においては、床反力垂直成分最大値と打球速度との間に有意な相関は認められなかった ( $r=0.81$ 、 $df=4$ 、 $n.s.$ )。また被験者B・C・E・F・Gにも、床反力垂直成分最大値と打球速度との間に有意な相関は認められなかった。

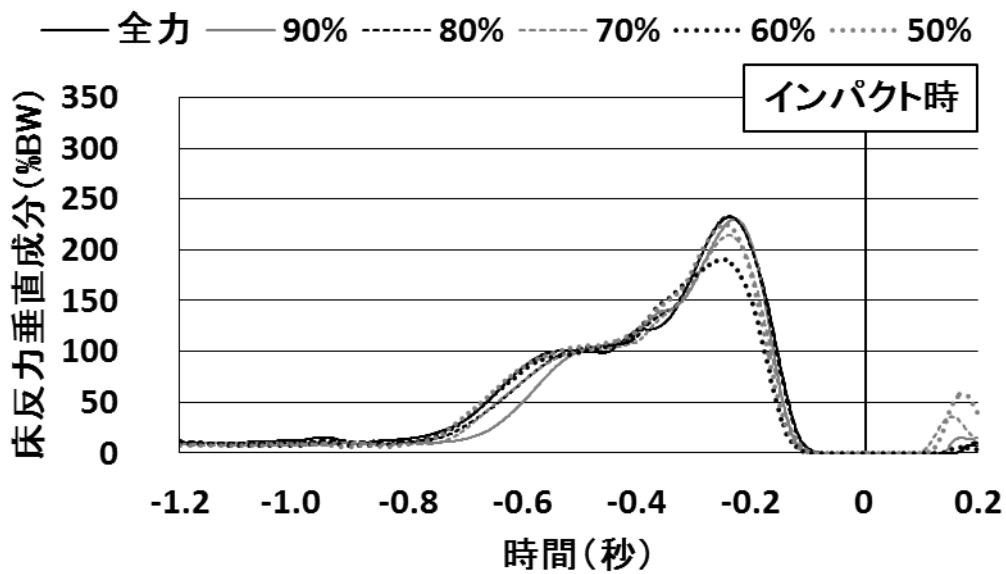


図 II-1-6 被験者 D のサービス打球速度を 50%から全力とした各課題で得られた床反力垂直成分推移波形

横軸の 0 はインパクト時を示す。縦軸は得られた床反力垂直成分 (N) を 100%BW として示す。

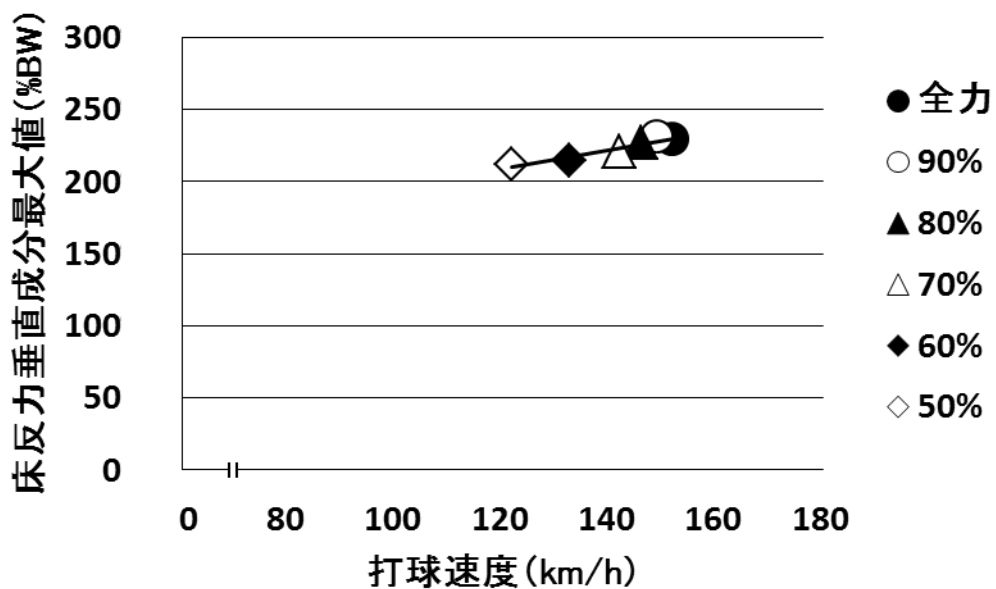


図 II-1-7 被験者 D の各課題における打球速度と床反力垂直成分最大値との関係

図Ⅱ-1-6 に被験者 D の床反力垂直成分推移波形を示した。当該被験者の各課題で得られた垂直成分はインパクト前 0.271sec から 0.223sec の間で最大値を示し、被験者 A と同様にインパクト時には 0%BW を示した。図Ⅱ-1-7 には被験者 D の各課題における床反力垂直成分最大値と打球速度との相関を散布図で示した。被験者 D の各課題における床反力垂直成分最大値と打球速度には、正の相関 ( $r=0.95$ 、 $df=4$ 、 $p<0.01$ ) が認められた。

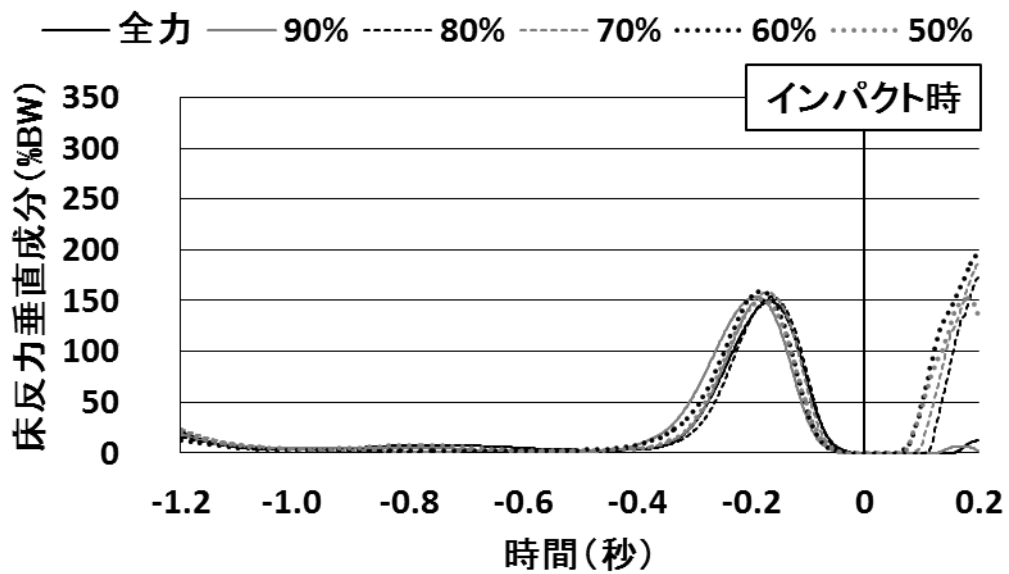


図 II-1-8 被験者 H のサービス打球速度を 50%から全力とした各課題で得られた床反力垂直成分推移波形

横軸の 0 はインパクト時を示す。縦軸は得られた床反力垂直成分 (N) を 100%BW として示す。

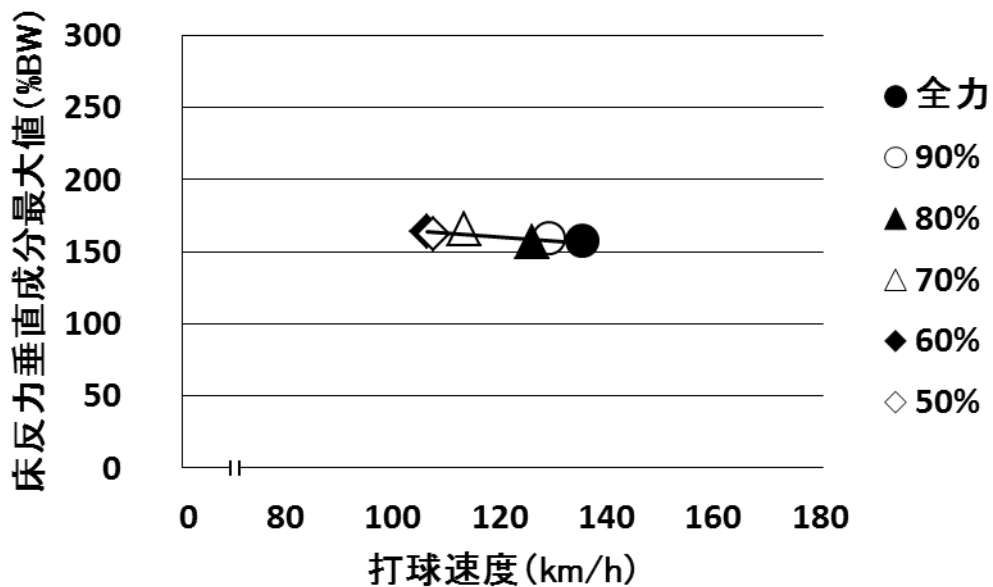


図 II-1-9 被験者 H の各課題における打球速度と床反力垂直成分最大値との関係



図Ⅱ-1-8 に被験者 H の床反力垂直成分推移波形を示した。当該被験者の最大値が出現するタイミングは、インパクト前 0.210sec から 0.161sec の間であった。また、被験者 H も被験者 A および被験者 D と同様、インパクト時の床反力垂直成分は 0%BW を示した。この傾向は他の 5 名の被験者も同様であった。図Ⅱ-1-9 には、被験者 H の各課題における床反力垂直成分最大値と打球速度との相関を示した。被験者 H の各課題における床反力垂直成分最大値と打球速度には、負の相関 ( $r=-0.88$ 、 $df=4$ 、 $p<0.05$ ) が認められた。

被験者 B・C・D・E・F の 5 例は、打球動作時に右脚を左脚にすり寄せるタイプであった。一方、残りの 3 例 (被験者 A・G・H) はすり寄せないタイプであったが、いずれに属した被験者においても、脚動作のタイプが課題間で変更されることはなかった。また被験者 C においては、インパクトに至る直前に右脚足部が床反力計に接触していたが、こちらも課題間でその傾向が変更されることはなかった。

被験者 A・D・H 以外の床反力垂直成分最大値と打球速度との相関の結果は、後述の表Ⅱ-1-1 に示した。また被験者 A・D・H 以外の床反力垂直成分推移波形および打球速度との相関を示す散布図は、巻末の資料に記載した。

### 第 3 項 各課題における角度および角速度推移

図Ⅱ-1-10 に、被験者 A の左膝関節角度推移波形を示した。また図Ⅱ-1-11 には被験者 A の左膝関節最大屈曲角度と打球速度との相関、図Ⅱ-1-12 には左膝関節最大伸展角度と打球速度との相関を示した。この例では、インパクト前 0.444sec から 0.383sec の間に出現した最大屈曲角度と打球速度に負の相関 ( $r=-0.91$ 、 $df=4$ 、 $p<0.05$ ) が認められた。しかし、最大伸展角度と打球速度との間に相関は認められなかった ( $r=-0.71$ 、 $df=4$ 、*n. s.*)。

図Ⅱ-1-13 には、被験者 A の左膝関節伸展動作所要時間と打球速度との相関を示した。当該被験者においては、打球速度と最大屈曲角度および最大屈曲位出現からインパクトまでの伸展動作所要時間に負の相関 ( $r=-0.88$ 、 $df=4$ 、 $p<0.05$ ) が認められた。

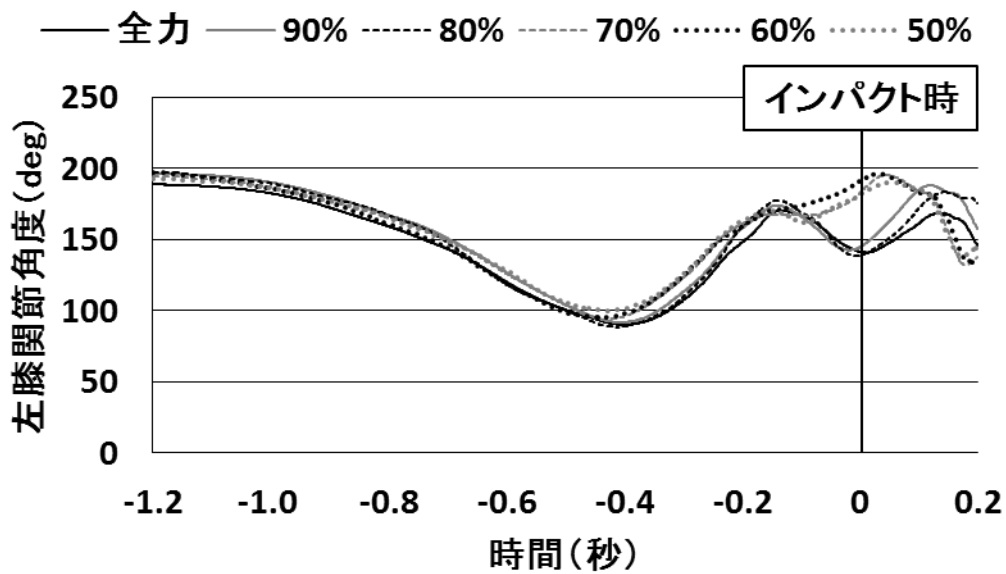


図 II-1-10 被験者 A の打球速度を 50%から全力とした各課題で得られた左膝関節角度推移波形

縦軸は左膝関節角度を示し、数値が大きくなるほどより伸展位となる。横軸は時間の経過を示し、0 はインパクト時を示す。

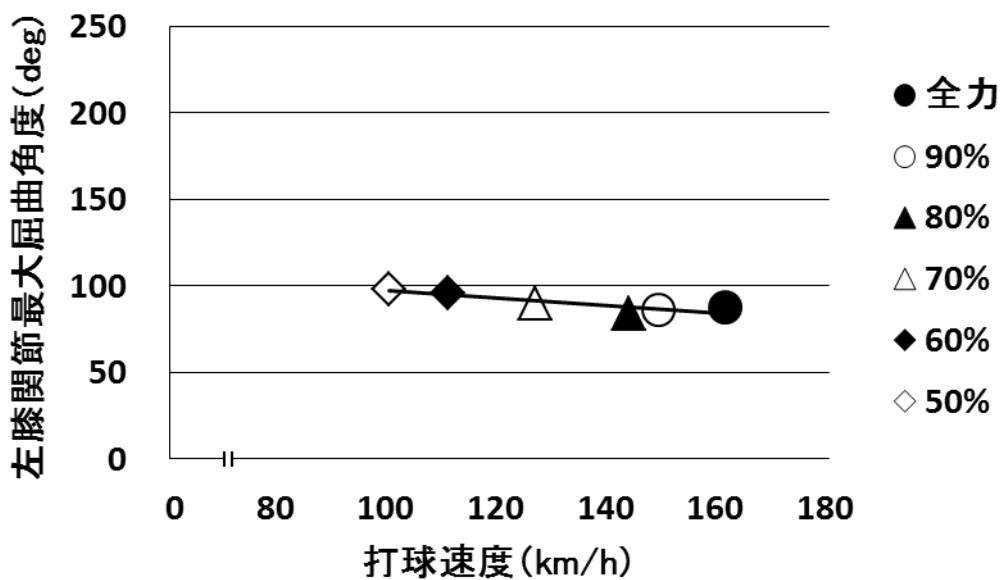


図 II-1-11 被験者 A の各課題で得られた左膝関節最大屈曲角度と打球速度との相関

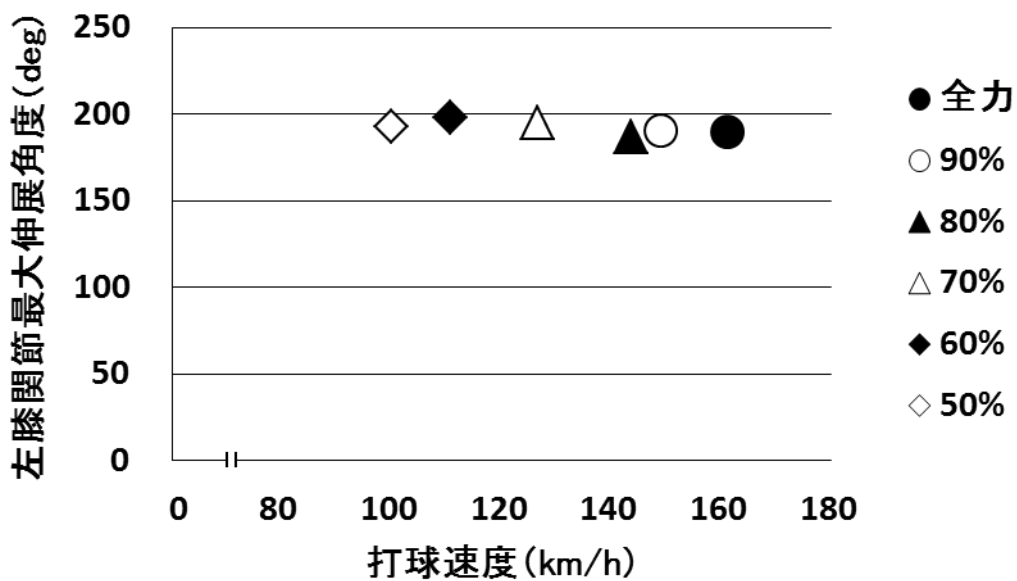


図 II-1-12 被験者 A の各課題で得られた左膝関節最大伸展角度と打球速度との相関

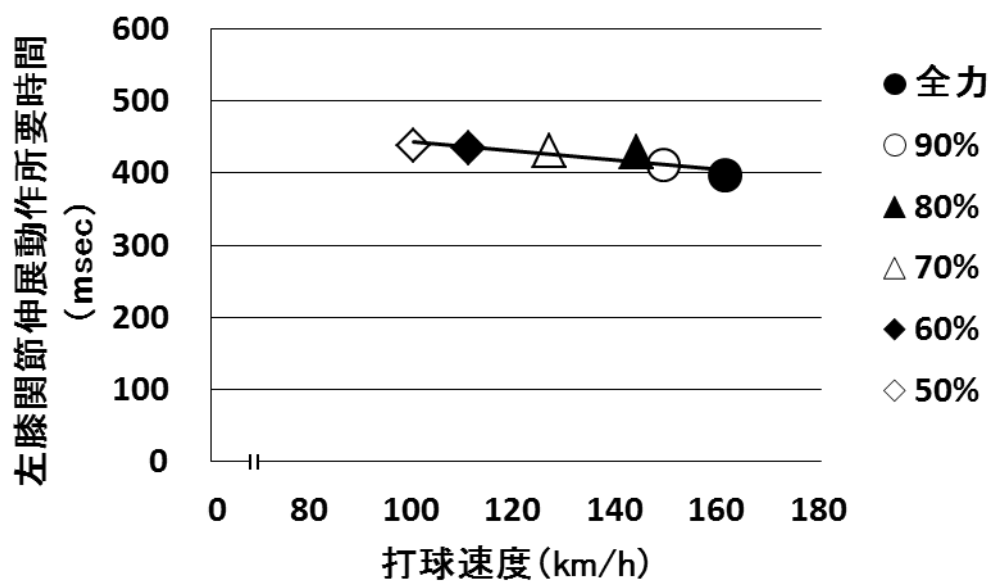


図 II-1-13 被験者 A の各課題で得られた左膝関節伸展動作所要時間と打球速度との相関

図Ⅱ-1-14に、各課題で得られた被験者Aの左膝関節角速度推移波形を示し、図Ⅱ-1-15には各課題で得られた被験者Aの左膝関節角速度最大値と打球速度との相関を示した。この例では、インパクト前0.280secから0.189secで出現する左膝関節角速度最大値と打球速度に相関は認められなかった( $r=0.71$ 、 $df=4$ 、n. s.)。

なお左膝関節最大屈曲角度、最大伸展角度、角速度最大値および伸展動作所要時間と打球速度との相関に関する被験者A以外の結果は、後述の表Ⅱ-1-1に示した。また、被験者A以外の左膝関節角度波形、角速度推移波形と相関を示す散布図に関しては、巻末の資料に記載した。

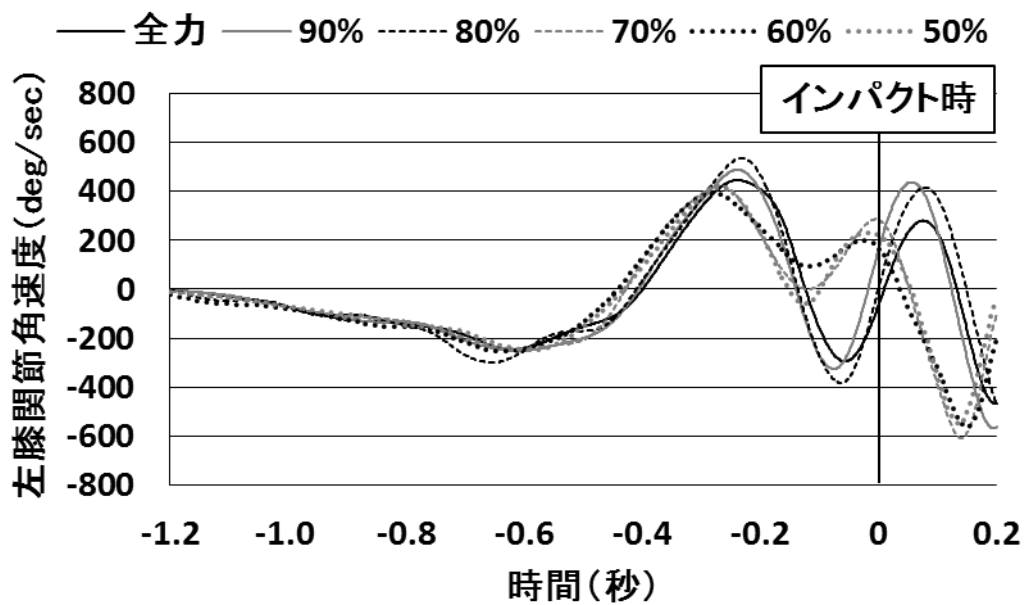


図 II-1-14 被験者 A のサービス打球速度を 50%から全力とした各課題で得られた左膝関節角速度推移波形

縦軸は左膝関節角度を示し、数値が大きくなるほどより伸展位となる。横軸は時間の経過を示し、0 はインパクト時を示す。

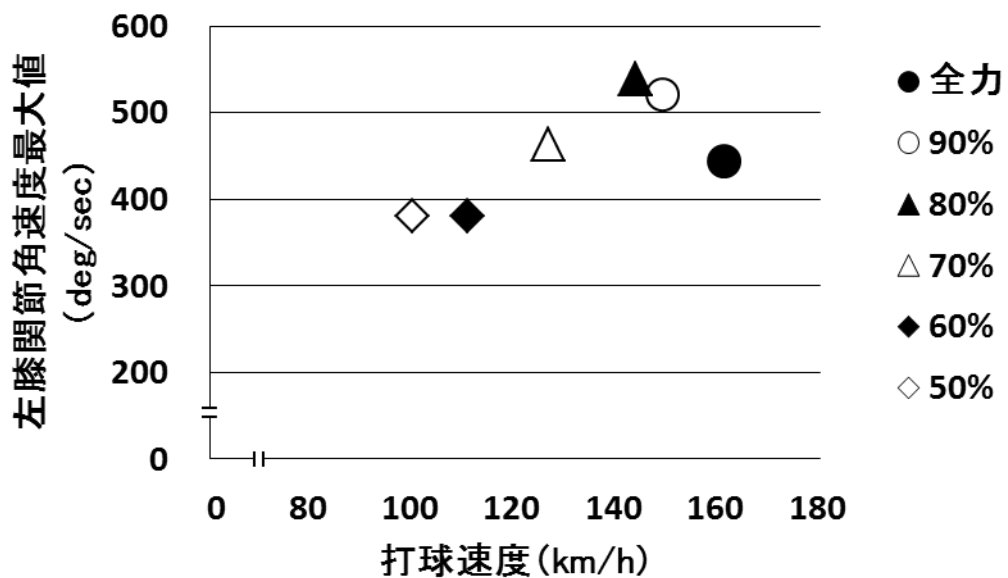


図 II-1-15 被験者 A の各課題で得られた左膝関節角速度最大値と打球速度との相関

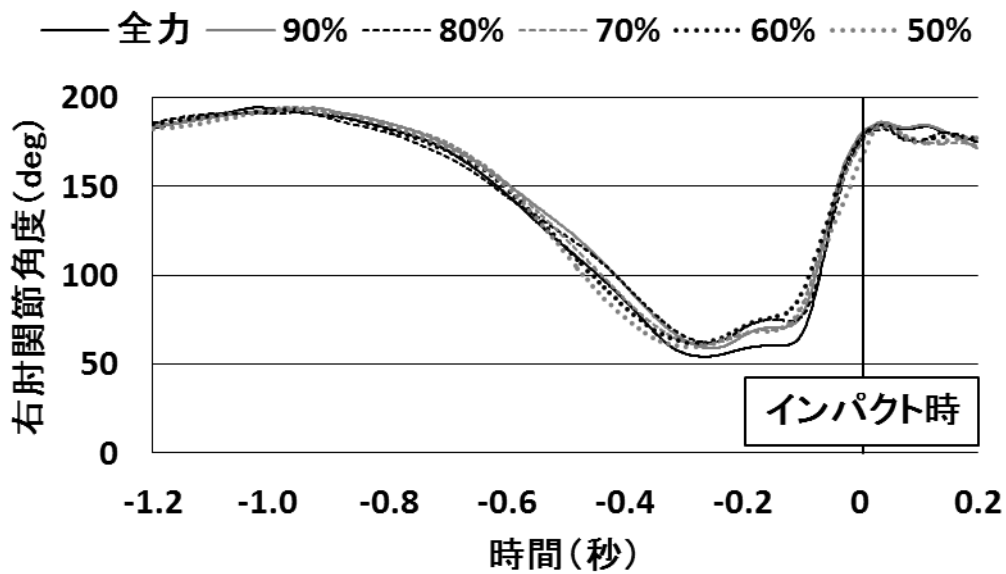


図 II-1-16 被験者 A のサービス打球速度を 50%から全力とした各課題で得られた右肘関節角度推移波形

縦軸は左膝関節角度を示し、数値が大きくなるほどより伸展位となる。横軸は時間の経過を示し、0 はインパクト時を示す。

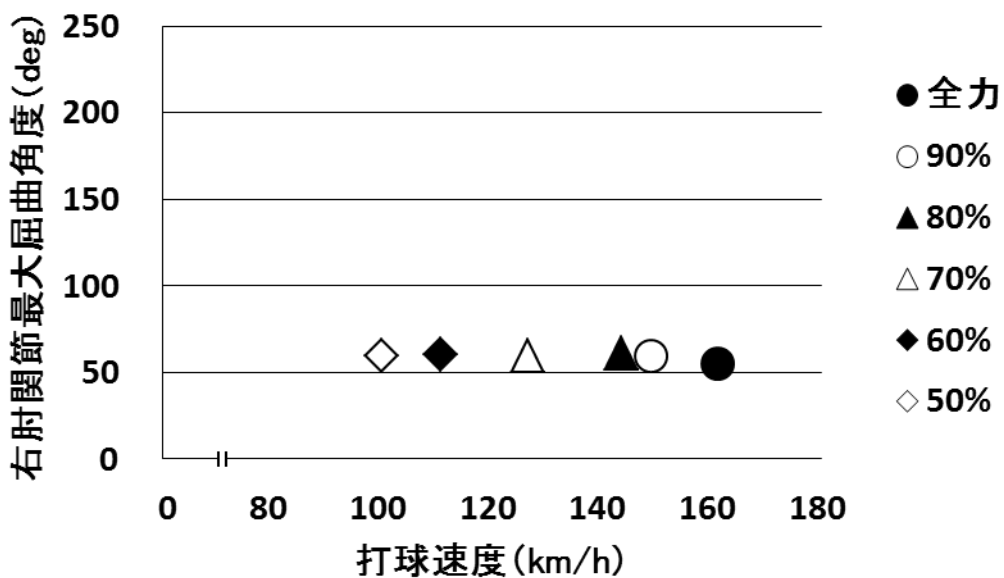


図 II-1-17 被験者 A の各課題で得られた右肘関節最大屈曲角度と打球速度との相関

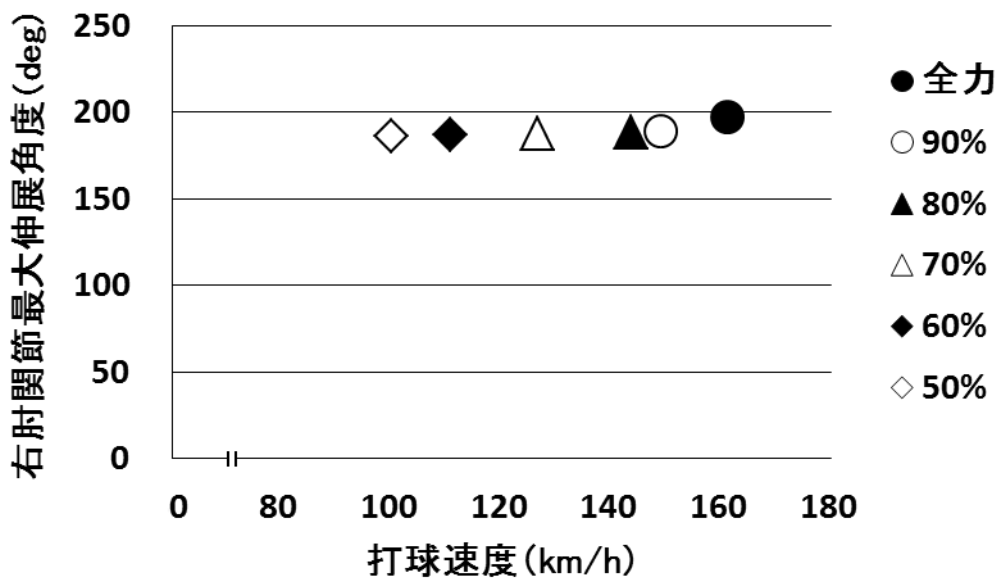


図 II-1-18 被験者 A の各課題で得られた右肘関節最大伸展角度と打球速度との相関

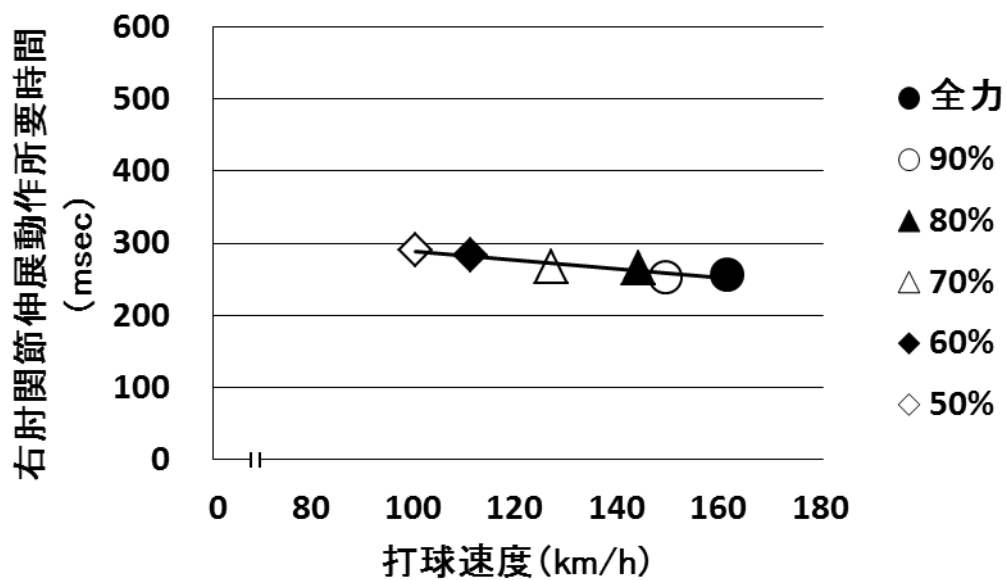


図 II-1-19 被験者 A の各課題で得られた右肘関節伸展動作所要時間と打球速度との相関

図Ⅱ-1-16に、各課題で得られた被験者Aの右肘関節角度推移波形を示し、図Ⅱ-1-17には各課題で得られた被験者Aの最大屈曲角度と打球速度との相関を、図Ⅱ-1-18には被験者Aの最大伸展角度と打球速度との相関を示した。この例では、インパクト前0.300secから0.246secの間に最大屈曲位が出現したが、最大屈曲角度と打球速度との間に有意な相関は認められなかった ( $r=-0.56$ 、 $df=4$ 、n. s.)。また、最大伸展角度においても打球速度との相関は認められなかった ( $r=-0.75$ 、 $df=4$ 、n. s.)。

図Ⅱ-1-19に、被験者Aの右肘関節伸展動作所要時間と打球速度との相関を示した。当該被験者においては、打球速度と最大屈曲位出現からインパクトまでの伸展動作所要時間に負の相関 ( $r=-0.95$ 、 $df=4$ 、 $p<0.01$ ) が認められた。



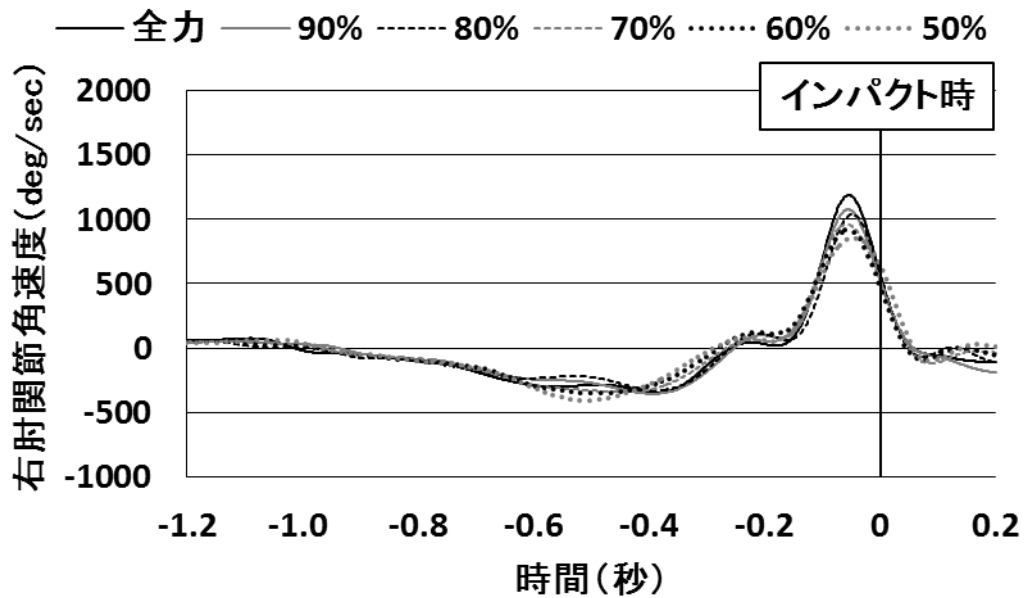


図 II-1-20 被験者 A のサービス打球速度を 50%から全力とした各課題で得られた右肘関節角速度推移波形

縦軸は右肘関節角速度を示す。一方横軸は時間の経過を示し、0 はインパクト時を示す。

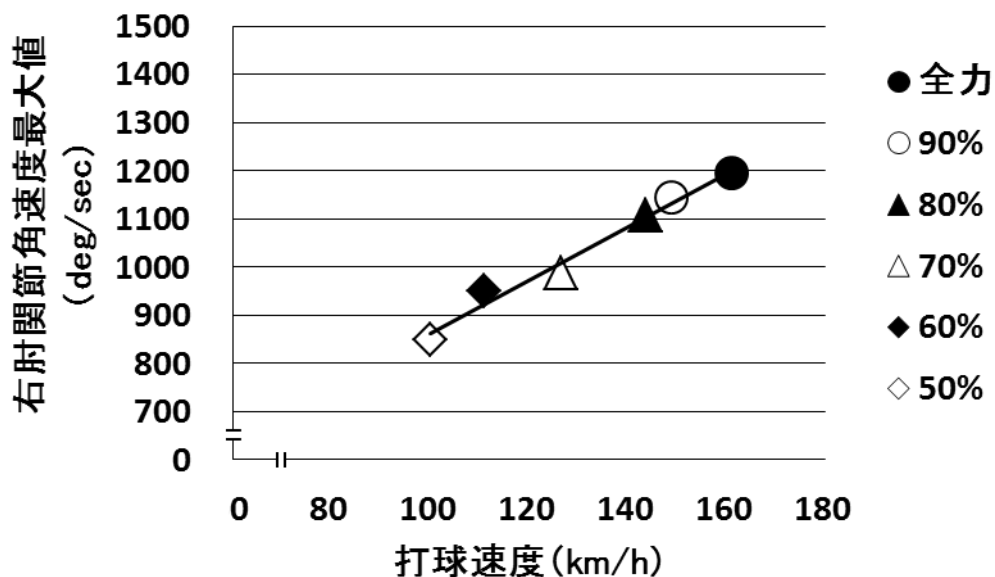


図 II-1-21 被験者 A の各課題で得られた右肘関節角速度と打球速度との相関

図Ⅱ-1-20に、各課題で得られた被験者Aの右肘関節角速度推移波形を示し、図Ⅱ-1-21には被験者Aの各課題で得られた右肘関節角速度最大値と打球速度との相関を示した。当該被験者では、インパクト前0.063secから0.049secの間で出現する右肘関節角速度最大値と打球速度との間に正の相関( $r=0.99$ 、 $df=4$ 、 $p<0.01$ )が認められた。

なお右肘関節最大屈曲角度、最大伸展角度、角速度最大値および伸展動作所要時間と打球速度との相関に関する被験者A以外の結果は、後述の表Ⅱ-1-1に示した。また、被験者A以外の右肘関節角度波形、角速度推移波形と相関を示す散布図に関しては、巻末の資料に記載した。

#### 第4項 打球速度と左膝および右肘関節動作との関わり

表Ⅱ-1-1に打球速度と左膝・右肘関節の最大屈曲角度、最大伸展角度、角速度最大値および伸展動作所要時間との相関を示した。まず左膝関節については、全8例中6例において、打球速度と最大屈曲角度に負の相関( $r=-0.83$ から $-0.97$ 、 $df=4$ 、 $p<0.05$ および $0.01$ )が認められた。また最大伸展角度には2例に負の相関( $r=-0.83$ および $-0.88$ 、 $df=4$ 、 $p<0.05$ )が認められた。さらに打球速度と角速度最大値との間においては、3例に正の相関( $r=0.87$ から $0.96$ 、 $df=4$ 、 $p<0.05$ および $0.01$ )が認められた。そして打球速度計と伸展動作所要時間には、正の相関および負の相関がそれぞれ1例( $r=0.81$ および $-0.88$ 、 $df=4$ 、 $p<0.05$ )認められた。一方、右肘関節については、全8例中1例において、打球速度と最大屈曲角度に正の相関( $r=0.96$ 、 $df=4$ 、 $p<0.01$ )が認められた。また打球速度と最大伸展角度には、3例に正の相関( $r=0.90$ から $0.95$ 、 $df=4$ 、 $p<0.05$ および $p<0.01$ )が認められ、1例に負の相関( $r=-0.82$ 、 $df=4$ 、 $p<0.05$ )が認められた。さらに打球速度と角速度最大値との間においては、7例に正の相関( $r=0.88$ から $0.99$ 、 $df=4$ 、 $p<0.05$ および $0.01$ )が認められた。そして打球速度と伸展動作所要時間には、5例に負の相関( $r=-0.951$ から $-0.976$ 、 $df=4$ 、 $p<0.01$ )が認められた。

次に打球速度と左膝および右肘関節最大屈曲角度からインパクトまでの伸展動作所要時間の関わりをみると、被験者Aでは、いずれの項目にも負の相関( $r=-0.88$ 、 $df=4$ 、 $p<0.05$ および $r=-0.95$ 、 $df=4$ 、 $p<0.01$ )が認めら

れた。また被験者 B は、打球速度と左膝関節伸展動作所要時間との間においてのみ正の相関 ( $r=0.81$ 、 $df=4$ 、 $p<0.05$ ) が、そして被験者 C・D・F・H では、打球速度と右肘関節伸展動作所要時間においてのみ負の相関 ( $r=-0.95$  から  $-0.97$ 、 $df=4$ 、 $p<0.01$ ) が認められた。一方被験者 E・G は、いずれにおいても打球速度と伸展動作所要時間に相関は認められなかった (膝： $r=0.34$  および  $0.40$ 、肘： $r=-0.80$  および  $-0.48$ 、 $df=4$ 、n. s.)。

表 II-1-1 打球速度と各パラメータとの関わり

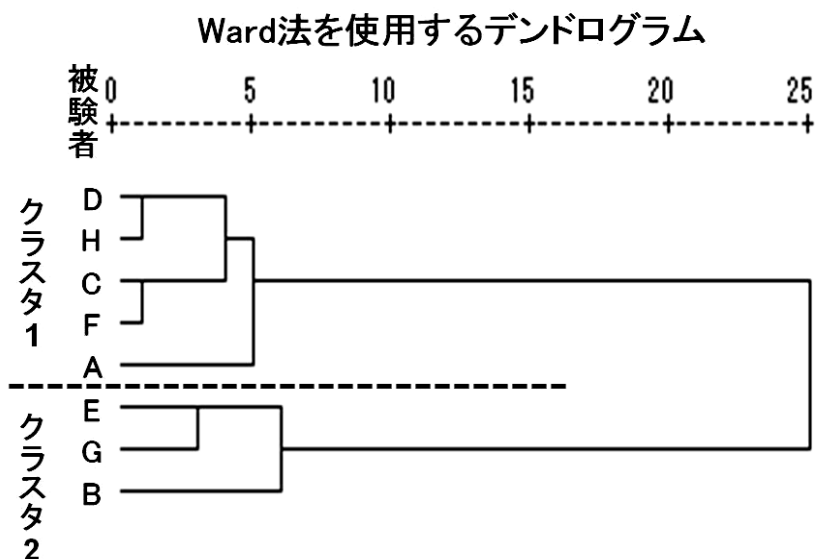
被験者	打球速度 km/h	床反力 垂直成分 最大値		左膝関節		右肘関節		左膝関節		右肘関節	
		屈曲角度	伸展角度	屈曲角度	伸展角度	屈曲角度	伸展角度	屈曲角度	伸展角度	所要時間	所要時間
A	161.2±3.5	0.81	-0.91*	-0.71	0.71	-0.56	0.75	0.99**	-0.88*	-0.95**	
B	156.3±2.0	0.74	-0.95**	-0.88*	0.87*	-0.24	0.90*	0.93**	0.81*	-0.22	
C	152.9±7.4	0.63	-0.97**	0.74	0.87*	-0.21	-0.15	0.97**	0.11	-0.97**	
D	151.8±0.7	0.95**	-0.83*	-0.70	-0.39	0.78	0.01	0.88*	0.08	-0.95**	
E	149.3±0.7	-0.31	-0.77	-0.83*	-0.35	0.00	-0.82*	-0.55	0.34	-0.80	
F	148.1±1.0	0.65	-0.87*	-0.23	0.96**	0.96**	0.94**	0.98**	0.05	-0.97**	
G	145.8±3.6	0.44	-0.39	-0.35	-0.58	0.57	0.95**	0.99**	0.40	-0.48	
H	135.1±0.8	-0.88*	-0.91*	-0.61	0.13	0.47	-0.76	0.94**	0.68	-0.97**	

\*; p<0.05, \*\*; p<0.01

打球速度は各被験者の全力3打での平均打球速度を示す。屈曲角度は最大屈曲角度、伸展角度は最大伸展角度、角速度は角速度最大値を示す。また所要時間は最大屈曲角度からインパクトまでの時間(伸展動作所要時間)を示す。表中に記載された数値は、被験者毎の各動作課題で得られた打球速度とそれぞれの項目との相関係数を示す。数値が記載されていない項目は、相関が認められなかったことを示す。

## 第5項 打球速度の漸増に対する対応からみた被験者のクラスタ化

図Ⅱ-1-22に、各課題における打球速度と各測定項目（表1に示した全項目）における相関の有無に基づき、8名の被験者をクラスタ分析した結果を樹形図で示した。クラスタ分析法は、明確なクラスタ分けの基準がないため、概視して第1クラスタ（D・H・C・F・A）と第2クラスタ（E・G・B）に大別した。さらに表2にはクラスタ化した結果に基づき、表1で得られた相関の有無を簡易的に正の相関ありを“+”、相関なしを“無印”、負の相関ありを“-”で示した。第1クラスタに属した5名は、打球速度と左膝関節最大屈曲角度および右肘関節伸展動作所要時間に負の相関が認められ、右肘関節角速度最大値には正の相関が認められた。一方、第2クラスタに属した3名は、第1クラスタで全員に認められた右肘関節伸展動作所要時間の“-”が認められなかった。また個々の項目に共通して全員が“+”や“-”を示すことはなかったが、打球速度と左膝関節最大伸展角度の間においては負の相関が、打球速度と右肘関節角速度最大値の間においては正の相関がそれぞれ2例ずつ認められた。



図Ⅱ-1-22 表Ⅱ-1-1に示した打球速度と各パラメータとの関わりに基づく被験者のクラスタ別け(デンドログラム)

表Ⅱ-1-2 打球速度と各パラメータとの関わりのクラスタ別け

被験者	クラスタ	床反力 垂直成分 最大値		左膝関節		右肘関節		左膝関節 所要時間		右肘関節 所要時間	
		屈曲角度	伸展角度	角速度	角速度	屈曲角度	伸展角度	角速度	角速度	角速度	角速度
D		+	-					+			-
H		-	-					+			-
C	1	-	-	+				+			-
F		-	-	+				+			-
A		-	-					+			-
E								-			
G	2							+			+
B								-			+

屈曲角度は最大屈曲角度、伸展角度は最大伸展角度、角速度は角速度最大値を示す。また所要時間は最大屈曲角度からインパクトまでの時間（伸展動作所要時間）を示す。表中の+は被験者毎の各動作課題で得られた打球速度とそれぞれの項目との間に正の相関が認められたことを、-は負の相関が認められたことを示し、無印は相関が認められなかったことを示す。

#### 第 4 節 考察

最初に各動作課題における打球速度および打球速度相対値の対応を検討した。対象とした 8 例とも、計測した打球速度は全力課題での試技が最速となった。また全力課題において最も高い打球速度を示した被験者 A は  $161.2 \pm 3.5 \text{ km/h}$ 、最も遅い値を示した被験者 H は  $135.1 \pm 0.8 \text{ km/h}$  で、全例の平均値は  $150.1 \pm 7.9 \text{ km/h}$  であった。一方、打球速度相対値は、課題を忠実に遂行した場合の回帰直線の傾きが 1.0 を示すのに対し、結果として得られた傾きは 0.47 であった。この傾向は主観と客観の違いを論じた先行研究（金子ら 2000、種ヶ島ら 2002、金子ら 2007）においても同様に認められている。しかし本研究では、打球速度には全 15 課題間中 12 課題で、打球速度相対値においては全 15 課題間中 13 課題に有意差が認められたことから、目標速度を達成できなかったが、課題に応じて打球速度を漸増させることは遂行されており、目的を検証するデータとして妥当であると考えた。

次に個体内で打球速度を漸増させる課題に対する床反力垂直成分の対応を検討した。その結果、分析対象とした床反力垂直成分最大値と打球速度には、後ろに位置する脚を前脚にすり寄せるタイプの 1 例（被験者 D）に正の相関が、すり寄せないタイプにおいて 1 例（被験者 H）に負の相関が認められたのみであった。

Girard et al. (2005) は、打球速度の異なる群間に全力でのサービスを行わせた結果、打球速度の高い群は低い群に比し、床反力垂直成分が有意に大きいと報告した。すなわち床反力垂直成分を高めることが、打球速度を高める要因の一つであるといえる。一方本研究においては、全被験者の後脚動作には異なる 2 タイプが認められたが、個体間で打球速度を漸増させる課題で生じた床反力垂直成分最大値の変化に、概ね共通性は認められなかった。すなわち同一個体内で打球速度を漸増させる課題に対する対応では、後脚の動作タイプの違いや、打球速度の漸増如何に関わらず、個々によって固有の床反力発揮特性があると推察される。

次に個体内で打球速度を漸増させる課題に対する左膝関節動作の対応について検討した。Van Gheluwe and Hebbelinck (1986) や Elliott et al. (1995) は、サービスにおいて膝関節動作は連続する関節動作の起点である

と報告し、Girard et al. (2007) や Reid et al. (2008) は打球速度への貢献度が大きいと報告している。すなわち膝関節動作はその後に続く体幹や上肢の動作に影響するとともに、打球速度にも強く関わると推察される。そこで本研究では、個体内で打球速度の漸増させる課題に対し、左膝関節最大屈曲角度、最大伸展角度、角速度最大値および伸展動作所要時間が如何に関わるかを検討した。その結果、打球速度を漸増させる課題に対し、8例中6例は左膝関節最大屈曲角度を増大させて対応した。また最大伸展角度(2例)、そして角速度最大値(3例)の増大にて打球速度を漸増した例も認められた。しかし前項で示した打球速度を漸増する課題で生じた床反力の変化を考慮すると、左膝関節最大屈曲角度の増大は床反力垂直成分への力発揮に直接影響する要因ではないと推察される。

Bahamonde (2000) は、前方に位置する脚の膝関節屈曲伸展動作は、垂直上方向への床反力を体幹へ効率よく変位させる支柱の役割を担うと報告した。また Girard et al. (2007) は膝関節動作を制限することが、体幹の捻り戻し動作を減少させ、肩関節の素早い回旋動作を阻害すると報告した。さらに Fleisig et al. (2003) は打球速度の高まりに対し、体幹の捻転動作が強く関わることを報告した。これらのことから、個体内で打球速度を漸増させる課題において、大半の被験者に認められた左膝関節最大屈曲角度の増大や、僅かではあるが認められた左膝関節伸展角度および角速度の増大は、床反力垂直上方向への力発揮を増大させるのではなく、体軸の捻り戻し動作やそれに付随した肩関節動作を調整し、打球速度を漸増させる課題に対応したと考えられる。

次に個体内で打球速度を漸増させる課題に対する、右肘関節動作の対応について検討した。Gordon and Dapena (2006) や小池ら (2010) は、肘関節動作はサービス打球速度との関わりが強いことを報告している。また石川・小池 (2008) や宮西ら (1996) は、サービスと類似点の多いバレーボールのスパイクや野球の投球において、ボール速度を高める要因の一つとして肘関節動作やこれに連動する肩関節内外旋や手関節の背掌屈を挙げている。これらの報告より肘関節動作は連動する肩関節や手関節運動にも影響し、結果的にサービス打球速度をはじめ、他種目においてもボール速度を得ることに強



く関与しているといえる。そこで本研究では、個体内で打球速度を漸増させる課題に対し、右肘関節最大屈曲角度、最大伸展角度、角速度最大値および伸展動作所要時間が如何に関わるかを検討した。その結果、当該課題に対し全 8 例中 1 例が最大屈曲角度を増大させ、3 例は最大伸展角度を増大し、1 例は減少させていた。また全 8 例中 7 例は右肘関節角速度最大値を高めることで対応していた。またこの 7 例には、伸展動作をより短時間で遂行するタイプ (4 例)、より大きく伸展するタイプ (2 例)、そしてそれらを複合しているタイプ (1 例) が認められた。つまり 7 例のうち 5 例は、個体内で打球速度を最大下から最大へ漸増させる課題に対し、肘関節伸展動作に要する時間を短縮することで対応したことが認められた。

図子・高松 (1995) および Elliott et al. (1999) は、SSC 動作が導く筋のバネ効果の重要性を報告している。また Wilson et al. (1991) は SSC 動作を導く要因の一つとして伸張局面から短縮局面への切り替えに要する時間を挙げている。すなわち本研究において大半の被験者に認められた右肘関節伸展動作所要時間の短縮が、より筋のバネ効果を高める動作になったと考えられる。そしてこれらが右肘関節角速度の高まりを導き、個体内で打球速度を漸増する課題に対応したと推察される。

次に個体内で打球速度を漸増させる課題に対し、左膝関節伸展動作所要時間と右肘関節伸展動作所要時間に如何なる変化が生じるかを検討した。その結果、個体内で打球速度を最大下から最大へ漸増させる際、被験者 A は両関節伸展動作所要時間を短縮させ、被験者 C・D・F・H は右肘関節伸展動作所要時間のみを短縮させ動作を実行していた。また被験者 B は左膝関節伸展動作所要時間を延長していたが、被験者 E・G ではいずれの関節においても動作するタイミングに変化は認められなかった。

動作所要時間の長短と筋活動様式を検討した大築 (1988) や Desmedt and Godaux (1978、1979)、そして SSC 動作を導くための動作や、それによって生じる出力の変化を検討した図子・高松 (1995)、Elliott et al. (1999) および Wilson et al. (1991) の報告に基づくと、複数の関節が一連の動作に参画するテニスのサービスにおいても、同様の関節運動を実行する際、より短い時間の中で動作を遂行することは、高いパフォーマンスを導く可能性

を有しているといえる。すなわちサーブ動作において同様の関節運動を実行する際、膝および肘関節伸展動作所要時間をともに短縮させることが、個体内で打球速度を最大下から最大へ漸増させるための至適協働関係となり得るのではないかと仮説した。しかし本研究では、上述の通り、個体内で打球速度を漸増させる課題に対し、両関節伸展動作所要時間を短縮することで対応するのではなく、大半は左膝関節伸展動作所要時間を一定に保ったまま、右肘関節伸展動作所要時間のみを短縮していることが示された。つまり左膝および右肘関節伸展動作所要時間を一概に短縮すればよいということではなく、個々人によってその対応方法は異なることが示唆された。

最後に、被験者毎にみた打球速度と上記の分析項目との相関に対し、クラスタ分析を実施し、個体内で打球速度を漸増させる課題への対応法に共通性が存在するかを検討した。その結果 8 名の被験者を、5 名が属するクラスタ 1 と 3 名属するクラスタ 2 に大別した。個体内で打球速度を漸増させる課題に対する両者の対応をみると、クラスタ 1 では全被験者に共通して、打球速度と左膝関節最大屈曲角度および右肘関節伸展動作所要時間に負の相関が認められ、右肘関節伸展角速度最大値には正の相関が認められた。一方、クラスタ 2 では全被験者に共通した対応方法はなかったが、打球速度と左膝関節最大伸展角度との間においては負の相関が、右肘関節角速度最大値との間においては正の相関がそれぞれ 2 例ずつ認められた。これらの結果より、同一個体内で打球速度を最大まで高めようとした場合、左膝関節屈曲角度の増大、右肘関節伸展角度を増大するとともに、右肘関節を短時間で伸展することによる角速度の増大することが、打球速度を規定することに強く関わると示された。

本研究は、最大下から最大へ打球速度を漸増させる課題における床反力垂直成分、左膝および右肘関節動作の対応を検討したものである。つまり本研究で得られた結果は、あくまで個体内での打球速度を最大まで高める際に、如何なる動作要因が強く関わるかを結論付けたものであり、一個体の打球速度を最大以上に高める要因を明らかにした研究ではない。しかしながら、クラスタ 1 に示された共通性は、今回対象とした被験者の大半に認められたことや、打球速度を高める動作要因を検討した先行研究の結果

を考慮すると、今後打球速度を高めるための動作要因の一つとして発展し得る可能性が高いと考える。

この点については今後の課題として、本研究で得られた知見を一定期間のコーチングやトレーニングに適応し、それによって生ずる動作の変容や打球速度の変化を縦断的に検討すべきであると考ええる。

## 第5節 まとめ

本研究は、個体内でサーブの打球速度を漸増させる課題に対し、左膝および右肘関節運動、およびこれらの協働関係、さらには床反力垂直成分の個体内変化を明らかにすることを目的とした。以下に結果を要約する。

1. 各課題に対する打球速度の傾きは 0.47 を示し、全 15 課題間中 12 課題で、一方、打球速度相対値においては全 15 課題間中 13 課題で課題間差が認められたことから、個体内で打球速度を漸増させるという課題は遂行されており、目的を検証するデータとして妥当であると考えられた。
2. 8 名は後脚の動作法が異なる 2 タイプ（後ろ脚を前脚にすり寄せる、すり寄せないタイプ）に分けられたが、個体内で打球速度を最大下から最大へ漸増させる課題で生じた床反力垂直成分最大値の変化に、共通性は概ね認められなかった。
3. 個体内において打球速度を漸増させる課題に対し、8 例中 6 例が左膝関節の最大屈曲角度を、8 例中 2 例は最大伸展角度を増大し、8 例中 2 例は伸展動作所要時間の短縮・延長で、そして 3 例は角速度最大値を増大して対応した。
4. 個体内において打球速度を漸増させる課題に対し、8 例中 7 例が右肘関節の角速度最大値を増大させることで対応した。また、この 7 例中 4 例は伸展動作所要時間を短縮することで、2 例は伸展角度を増大することで、そして残りの 1 例はそれらを複合して対応した。
5. 個体内において打球速度を漸増させる課題に対し、いずれかの関節伸展動作所要時間を短縮したのは 8 例中 5 例であった。この内の 1 例は両関節とも伸展動作所要時間を短縮し、4 例は右肘関節伸展動作所要時間のみを短縮させて対応した。
6. 個体内において打球速度を漸増させる課題に対する、各被験者の動作および床反力垂直成分の変化を基準にクラスタ化した結果、8 名は 2 クラスタに大別された。なかでもクラスタ 1 に属した 5 名は、個体内で打球速度を漸増する課題に対し、左膝関節最大屈曲角度および右肘関節角速度最大値を増大すると共に、右肘関節所要時間を短縮させた。

以上より、打球速度を個体内で漸増させる課題に対しては、概ね左膝関節

屈曲角度を増大するとともに、右肘関節を短時間で伸展することによる角速度の増大で対応することが認められ、これらの動作要因が個体内での打球速度を最大まで漸増させることに強く関わると示された。これらの共通性を考慮し、動作を修正・改善することは、個体内での打球速度を最大以上に高めるための動作要因の一つとして発展し得る可能性が高いと考える。

## 引用文献

- Bahamonde R. E. (2000) Changes in angular momentum during the tennis serve. *Journal of Sports Science*, 18:579-592.
- Desmedt J. E. and Godaux E. (1978) Ballistic skilled movements: load compensation and patterning of the motor commands. *Cerebral Motor Control in Man: Long Loop Mechanism*, Desmedt, J. E. ed., *Prong. Clinical Neurophysiology*, Vol.4, Karger, Basel:pp21-55.
- Desmedt J. E. and Godaux E. (1979) Voluntary motor commands in human ballistic movements. *Annals of Neurology*, 5:415-421.
- Elliott B. C., Baxter K. G. and Besier T. F. (1999) Internal rotation of the upper-arm segment during a stretch-shorten cycle movement. *Journal of Applied Biomechanics*, 15:381-395.
- Elliott B. C., Marshall R. N. and Noffal G. (1995) Contributions of upper limb segment rotations during the power serve in tennis. *Journal of Applied Biomechanics*, 11:433-442.
- Fleisig G., Nicholls R., Elliott B. and Escamilla R. (2003) Kinematics used by world class tennis players to produce high-velocity serves. *Sports Biomechanics*, 2 (1) :51-64.
- Girard O., Micallef J. P. and Millet G. P. (2005) Lower-limb activity during the power serve in tennis: Effects of performance level. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37 (6) :1021-1029.
- Girard O., Micallef J. P. and Millet G. P. (2007) Influence of restricted knee motion during the flat first serve in tennis. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21 (3) :950-957.
- Gordon B. J. and Dapena J. (2006) Contributions of joint rotations to racquet speed in the tennis serve. *Journal of Sports Sciences*, 24 (1) :31-49.
- 石川達也・小池関也 (2008) バレーボール・スパイク動作に関する順動力学的分析(空中局面における体幹部の動きが手部速さ生成に及ぼす効果). 日本機械工学会, スポーツ・アンド・ヒューマンダイナミクス 2008 講

演論文集:341-346.

金子元彦・伊藤浩志・村木征人・古川覚（2007）異なる二種類の打動作における主観的努力度と客観的達成度の対応関係：中級から初級レベルのバドミントン・プレーヤーの場合．スポーツ方法学研究，20（1）：57-70.

金子元彦・村木征人・伊藤浩志（2000）打動作における主観的努力度と客観的達成度の対応関係—男女差の観点から—．スポーツ方法学研究，13（1）：197-206.

小池関也・石川達也・藤井範久・阿江通良（2010）テニスサービス動作におけるラケット速度生成に対する上肢筋張力の貢献．日本機械工学会，スポーツ・アンド・ヒューマンダイナミクス2010講演論文集:66-71.

宮西智久・藤井範久・阿江通良・功力靖雄・岡田守彦（1996）野球の投球動作におけるボール速度に対する体幹および投球腕の貢献度に関する3次元的研究．体育学研究，41:23-37.

大築立志（1988）「たくみ」の科学．朝倉書店，東京:pp199-225.

Reid M. M., Elliott B. C. and Alderson J. A. (2008) Lower-limb coordination and shoulder joint mechanics in the tennis serve. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40 (2) : 308-315.

種ヶ島尚志・高橋正則・加藤史夫・青山清英（2002）テニスのサービスにおける主観的努力度がパフォーマンスに与える影響．スポーツ方法学研究，15（1）：15-23.

Van Gheluwe B. and Hebbelinck M. (1986) Muscle actions and ground reaction forces in tennis. *Journal of Applied Biomechanics*, 2 (2) : 88-99.

Wilson G. J., Elliott B. C. and Wood G. A. (1991) The effect on performance of imposing a delay during a stretch-shorten cycle movement. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23 (3) : 364-370.

図子浩二・高松薫（1995）リバウンドジャンプにおける踏切時間を短縮する要因:下肢の各関節の仕事と着地に対する予測に着目して．体育学研究，40:29-39.

# 第2章

動作所要時間に着目した  
効率的なサービスについて



## 第 2 章 動作所要時間に着目した効率的なサービスについて

### 第 1 節 目的

運動制御や SSC と動作所要時間との関わりを明らかにした報告 (Desmedt and Godaux 1978、Desmedt and Godaux 1979、伊藤ら 1987、大築 1988、Wilson et al. 1991、Elliott et al. 1999) に基づきサービス動作を検討した場合、動作に要する時間を短縮することが、高い打球速度を發揮しつつ、必要以上の運動制御を要さない、筋収縮効率の高い動作を導くのではないかと仮説した。そこで本研究の目的は、サービスのトスアップからインパクトまでの所要時間を固有時間に対し 7 段階に増減させて打球させ、その際の打球速度やインパクト位置、膝・肘関節の角度・運動域・角速度、床反力および筋放電量におよぼす影響を検討し、高い打球速度を發揮させると同時に筋収縮効率をも高める至適所要時間を明らかにしようとした。

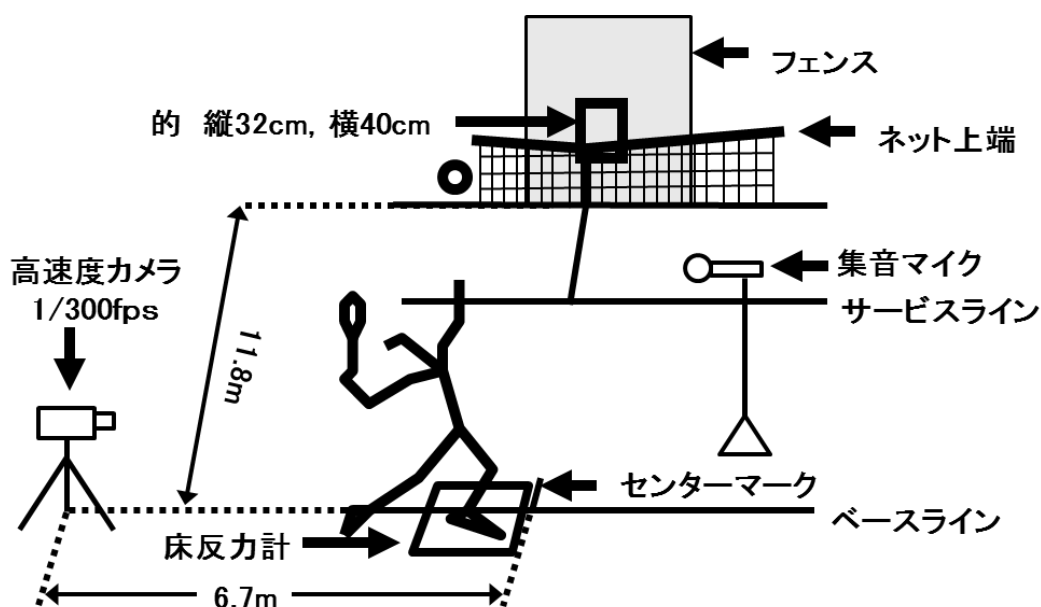
## 第2節 方法

### 第1項 被験者

事前に実験の趣旨を説明し承諾の得られた男性で、全日本学生テニス選手権（3名）および、関西学生テニス選手権（6名）の出場選手計9名（身長  $176.9 \pm 8.5$ cm、体重  $66.3 \pm 5.4$ kg、年齢  $21.2 \pm 3.1$ 歳、体脂肪率  $9.5 \pm 2.1$ %；平均値 $\pm$ SD）を対象とした。9名中、利き腕が右の被験者が8名、左の被験者が1名であった。

### 第2項 実験用テニスコート

図II-2-1に示すように実験室にテニスコート（自陣側のみ）を特設した。利き腕が右の被験者に対してはアドバンテージサイド（左側）に、左の被験者にはデュースサイド（右側）の脚下に床反力計（KISTLER社製、9286B）を設置し、それぞれ対側のセンターベルト延長線の右および左側に縦32cm、横40cmの垂直の的を設けサービスさせた。



図II-2-1 アドバンテージサイドにおける実験設定（利き腕が右の被験者での例）

### 第3項 動作課題

的を狙った全力によるフラットサービスを以下の条件で行わせた。その際、被験者本人がグッドショットでないと判断した、もしくは的に当たらなかった試技は分析対象から除外した。

1. 固有のトスアップからインパクトまでの所要時間を特定するために制限を課さないフラットサービスを8打行わせた（以下、FS）。
2. 1で算出した所要時間の+30%、+20%、+10%、±0%、-10%、-20%、-30%となるよう電子メトロノーム音によって7段階に動作の所要時間を規定し、サービスをそれぞれ8打行わせた（以下、+30、+20、+10、±0、-10、-20、-30）。

### 第4項 使用ボール

被験者毎に4球のニューボール（ダンロップ社製 FORT）を使用した。

### 第5項 分析項目および測定方法

#### 1. トスアップからインパクトまでの所要時間

トスアップからインパクトまでの所要時間は、図Ⅱ-2-1に示したように、被験者の後方のベースライン延長線上6.7mの位置に高速度カメラ（CASIO社製、EX-F1：300fps）を設置し、撮影した映像のコマ数から1/100秒単位で算出した。

#### 2. 打球速度

上述の高速度カメラを用いてインパクト後2コマ目から12コマ目までの時間間隔と、その間に移動したボールの水平方向への移動距離（cm）から、打球の水平方向への速度（km/h）を算出し、分析対象とした（以下、打球速度）。

#### 3. インパクト位置

インパクト時の空間的位置（以下、インパクト位置）は、センターマークからボールまでの垂直および水平距離を、上述の高速度カメラによって得ら

れた映像から cm 単位で算出した。

#### 4. 床反力

床反力計（KISTLER 社製、9286B）と Wadssystem（DKH 社製；サンプリング周波数 1KHz）をインストールした PC を用いて各動作課題の床反力前後、左右および垂直成分の推移波形からそれぞれ最大値を記録し、分析対象とした。（以下、床反力最大値）

#### 5. 関節角度および角速度

ラケット保持側の肘およびその対側の膝関節運動、すなわち利き腕が右の被験者での場合、左膝関節および右肘関節運動を分析対象とし、利き腕が左の被験者では右膝および左肘関節を対象とした。当該関節角度推移は、ゴニオメータ（Biometrics 社製、SG150/B）を用いて Wadssystem を介して PC に記録するとともに角速度を算出した。この際、膝関節は膝関節裂隙から大転子および外果へ伸ばした直線上に、また肘関節は解剖学的姿勢を取らせた状態で、橈骨頭から肩峰および橈骨茎状突起へ引いた直線上にゴニオメータを装着し、それぞれの角度を算出した。両関節とも規定した 3 点が一直線上になるよう伸展した状態を 180 度と規定した。得られたデータはローパスフィルタを遮断周波数 6Hz に設定し平滑化した。

膝および肘関節ともに動作課題毎に屈曲開始時の角度と最大屈曲時の角度との差を関節運動域として算出した（以下、運動域）。角速度においては最大値を分析対象とした（以下、角速度最大値）。

#### 6. 衝撃音によるインパクト時の特定

各試技のインパクト衝撃音をワイヤレスマイクおよび Wadssystem を介して PC に同時記録した。得られた衝撃音波形は、インパクト時を特定すると同時に、異なるシステム（後述の筋電図および加速度計測システム）で採取されたデータとの間接同期に用いた。

## 7. 筋電図の記録・処理

筋電図法には大別して針筋電図 (needle EMG) と表面筋電図 (surface EMG) の二手法が存在するが、本研究では非侵襲性であることを理由に、皮膚表面双極誘導法を採用し、活動電位を導出した。直径 5mm の検波面を金メッキしたカラーつき電極 (フルサワラボ・アプライアンス社製、皿型) に電極ペーストを塗布し、筋線維の走行とモーターポイントの位置を考慮して可能な限り筋腹中央部に電極間距離を 20mm として貼付した。その際電極添付位置の周辺をアルコール脱脂綿で拭くとともに、脱脂ペン (日本電気三栄社製、プレクリーン、YGB104) を用いて皮膚抵抗を可能な限り低減させた。

活動電位はプリアンプ (フルサワラボ・アプライアンス社製、VSM/MES-02: カットオフ周波数; 5-500Hz、増幅器の感度; 1000 倍、入力インピーダンス; 100M $\Omega$ 、同位相除去比; 95dB) から得られたデータを 8ch アナログユニット (フルサワラボ・アプライアンス社製、VSM-01) を介して 1KHz で A/D 変換し、テレメーター法 (フルサワラボ・アプライアンス社製、VSM-03) でコンピューターに記録した。その際、第七頸椎上の皮膚表面に円盤状のアース電極 (Ambu 社製、BRUE SENSOR) を貼付した。得られた筋電図データは、全波整流した後、バターワース・セカンドオーダー・ローパスデジタルフィルターを用い 3Hz の包絡線として処理した。

## 8. 被験筋

Van Gheluwe and Hebbelinck (1986) や Elliott et al. (1995) は、サービスにおいて膝関節屈曲動作が連続する関節運動の起点であると報告し、Reid et al. (2008) は、膝関節の屈曲伸展はサービス打球速度への貢献度が大きいと報告している。また Bahamonde (2000) は、前方に位置する脚の膝関節屈曲伸展動作は、垂直上方向への床反力を体幹へ効率よく変位させる支柱の役割を担うと報告し、Girard et al. (2007) は膝関節動作を制限することが、体幹の捻り戻し動作を減少させ、肩関節の素早い回旋動作を阻害すると報告した。すなわちサービス動作の起点となる膝関節動作は、当該関節のみならず、それに連動・協応する体幹や上肢の関節運動をも規定する要因であるといえる。これらのことを考慮すると、打球速度のみならず筋収縮

効率をも高める至適所要時間を明らかにしようとした本研究において、膝関節屈曲伸展動作に参画する筋の活動を捉えることが特に重要であると考えた。

そこで本研究では膝関節屈曲伸展動作に参画する筋として、下腿部からは腓腹筋 (Gastrocnemius : Ga、内側頭を対象) を被験筋として選出すると同時に、主として足関節底背屈に関わり、腓腹筋の共同筋であるヒラメ筋 (Soleus : So) およびその拮抗筋である前脛骨筋 (Tibialis Anterior : TA) を被験筋として設定した。一方、大腿部からは、主として膝関節屈曲動作に関わる内側広筋 (Vastus Medialis : VM)・外側広筋 (Vastus Lateralis : VL)・大腿直筋 (Rectus Femoris : RF) と、膝関節伸展動作に関わる大腿二頭筋 (Biceps Femoris : BF、長頭を対象) を選出し、計 7 筋を分析対象とした。その際、いずれの被験者においてもラケット保持側の腕とは対側脚に存する筋の活動電位を導出・記録した。

## 9. 膝関節動作の所要時間

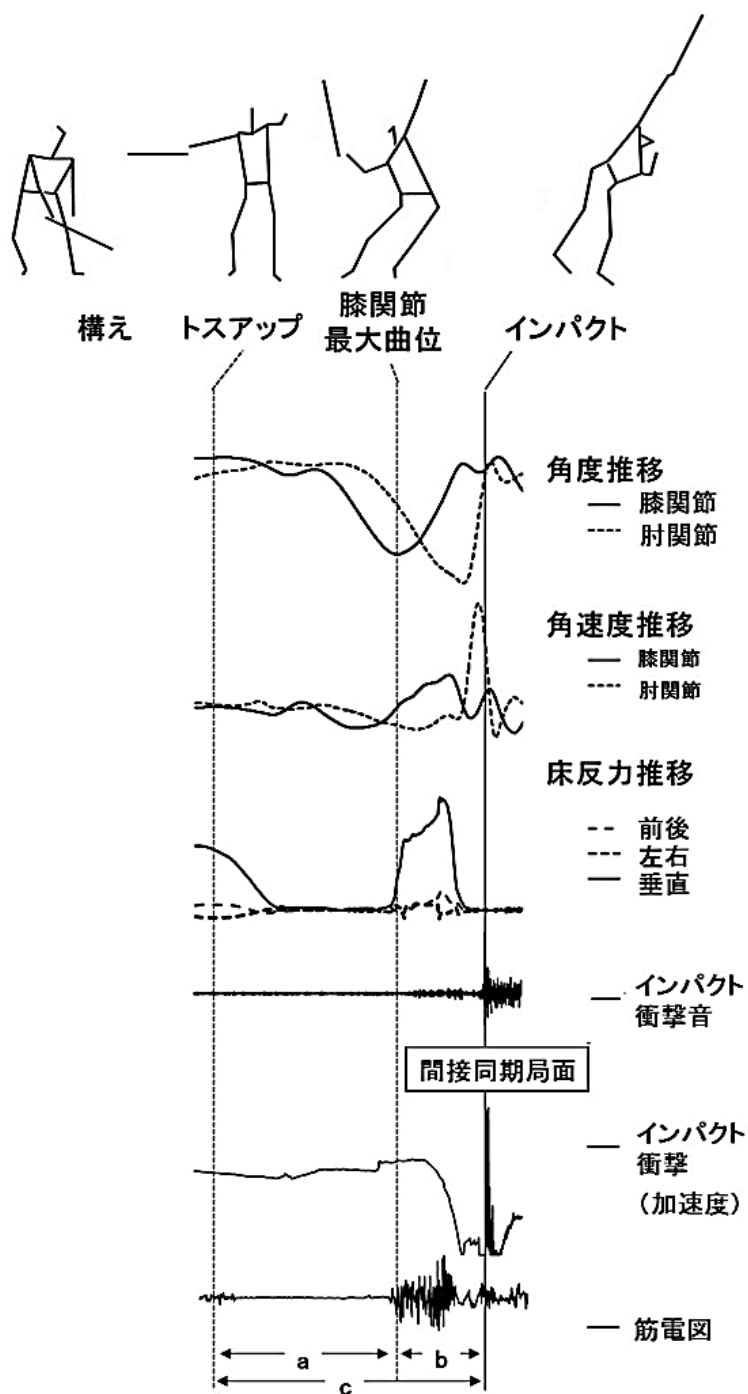
上述したように、本研究は膝関節屈曲伸展動作に参画する筋の活動を測定対象としている。そこでトスアップからインパクトまでの所要時間を短縮・延長することが膝関節屈曲伸展動作所要時間におよぼす影響を検討するため、動作課題毎の膝関節ゴニオグラムから、a) 膝関節屈曲開始時からインパクト時まで (以下、トータル局面)、b) 膝関節屈曲開始時から膝関節最大屈曲時まで (以下、屈曲局面)、および c) 膝関節最大屈曲時からインパクト時まで (以下、伸展局面) の 3 局面を 2/1000 秒単位で算出した。また算出したこれら 3 つの局面は、筋放電量を測定する局面として採用した。

## 10. 加速度計によるインパクト時の特定

ラケットのネックに加速度計 (フルサワラボ・アプライアンス社製 : 25G) を添付し、上述の 8ch アナログユニットを介して、各試技でラケットに生じる衝撃を筋電図波形と同期記録した。得られた衝撃波形は、インパクト時を特定すると同時に、異なるシステム (上述の Wadssystem) で採取されたデータとの間接同期に用いた。

## 11. 異なるシステムで得たデータの同期方法

図Ⅱ-2-2に示すように、床反力・ゴニオグラムおよび衝撃音波形を測定したシステムと、筋電図および衝撃波形を記録したシステムで採取されたデータは、それぞれインパクト時をトリガとして間接同期した。すなわち、衝撃音波形と衝撃波形それぞれの立ち上がり瞬時をインパクト時と規定し、そこを起点に時間軸を合わせることで、異なる二つのシステムで記録した床反力・ゴニオグラムと筋電図の各データの同期をとった。



図Ⅱ-2-2 異なるシステムで得られたデータの  
間接同期方法

## 第 6 項 統計処理

異なる課題間における平均値の差の検定には、統計処理ソフト SPSS16.0J for windows を用いて一元配置分散分析を実施し、主効果が認められた要因には Tukey の多重比較検定を実施した。また項目間の相関を示すために同ソフトを用いて、Pearson の相関係数を算出した。平均値の差の検定および相関係数の無相関検定は、いずれも 5%未満 ( $p < 0.05$ ) を有意とした。

## 第 7 項 データの比較対象

統計処理で実施した多重比較の結果をもとに、動作所要時間の短縮がおよぼす影響を検討するため±0と-10、-20、-30の課題を、反対に延長がおよぼす影響を検討するため±0と+10、+20、+30の課題をそれぞれ比較の対象とした。また相関分析は、FSを除いた全ての動作課題を対象とした。



### 第3節 結果

#### 第1項 トスアップからインパクトおよび膝関節動作所要時間

図Ⅱ-2-3 に各動作課題におけるトスアップからインパクトまでの所要時間実測値を示し、図Ⅱ-2-4 には所要時間相対値を示した。全被験者におけるトスアップからインパクトまでの所要時間実測値は、FSで  $0.84 \pm 0.09 \text{sec}$ 、-30で  $0.69 \pm 0.11 \text{sec}$ 、-20で  $0.74 \pm 0.11 \text{sec}$ 、-10で  $0.79 \pm 0.09 \text{sec}$ 、±0で  $0.85 \pm 0.09 \text{sec}$ 、+10で  $0.89 \pm 0.08 \text{sec}$ 、+20で  $0.92 \pm 0.09 \text{sec}$ 、+30で  $0.97 \pm 0.09 \text{sec}$ であった。FSを100%としてこれらを相対値化した場合、-30は  $76 \pm 2\%$ 、-20は  $86 \pm 4\%$ 、-10は  $90 \pm 3\%$ 、±0は  $101 \pm 5\%$ 、+10は  $106 \pm 4\%$ 、+20は  $110 \pm 4\%$ 、+30は  $116 \pm 4\%$ であった。各課題として設定した動作時間と実測された動作時間には正の相関 ( $r=0.99$ 、 $df=5$ 、 $p<0.01$ ) が認められた。しかし、設定した動作所要時間で課題を遂行した場合の回帰直線の傾きは、この場合計算上1.0となるのに対し、今回の結果は0.65とそれより低い値を示した。

図Ⅱ-2-5 にトスアップからインパクトまでの所要時間相対値と膝関節のトータル局面における動作所要時間相対値との相関を散布図で示した。また図Ⅱ-2-6 には屈曲局面の、図Ⅱ-2-7 には伸展局面の膝関節動作所要時間相対値とトスアップからインパクトまでの所要時間相対値との相関を散布図で示した。トスアップからインパクトまでの所要時間相対値と各動作局面の所要時間相対値との相関係数は、トータル局面で  $r=0.85$  ( $df=5$ 、 $p<0.05$ )、屈曲局面で  $r=0.85$  ( $df=5$ 、 $p<0.05$ )、伸展局面で  $r=0.91$  ( $df=5$ 、 $p<0.01$ ) を示し、いずれの局面においても相関が認められた。

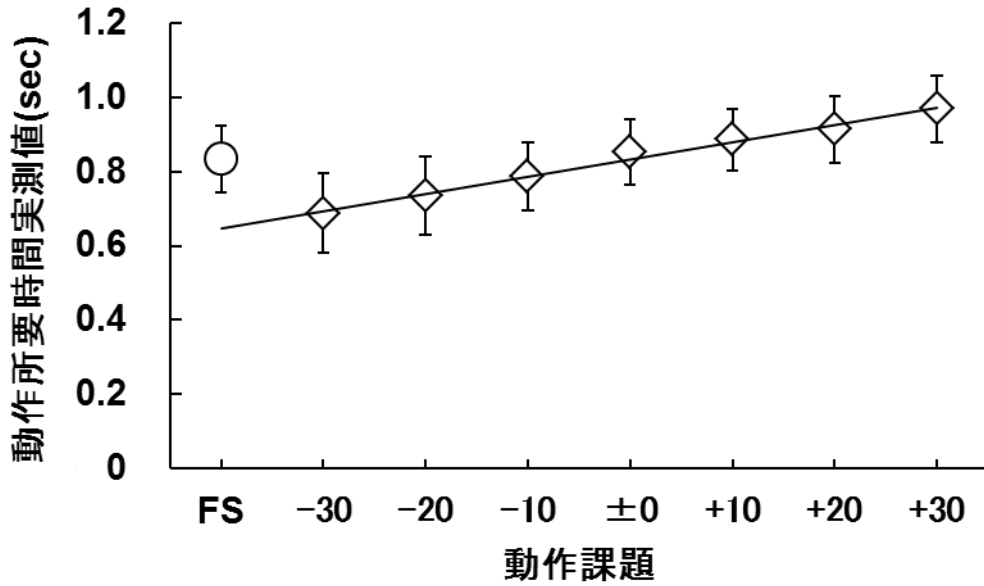


図 II-2-3 各課題におけるトスアップからインパクトまでの所要時間実測値

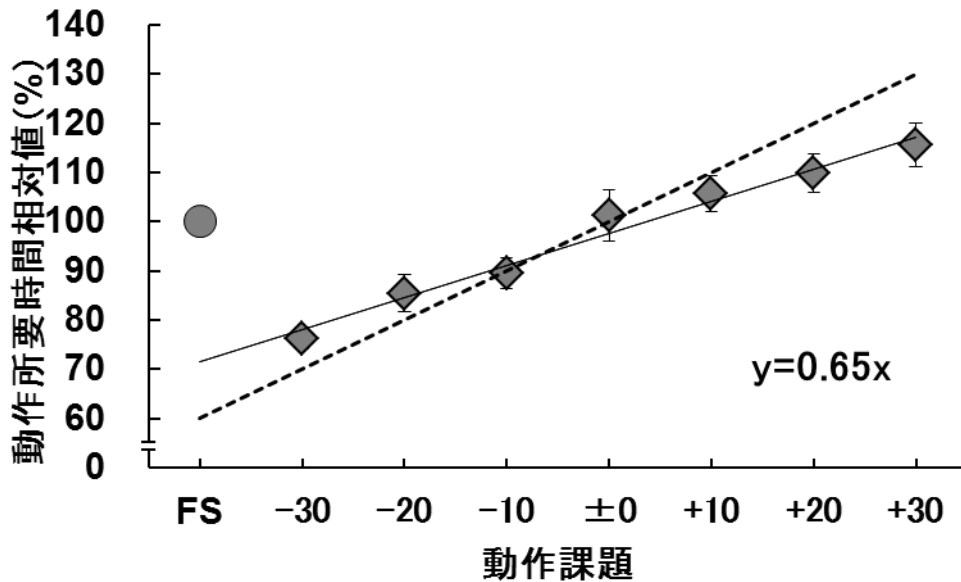


図 II-2-4 各課題におけるトスアップからインパクトまでの所要時間相対値

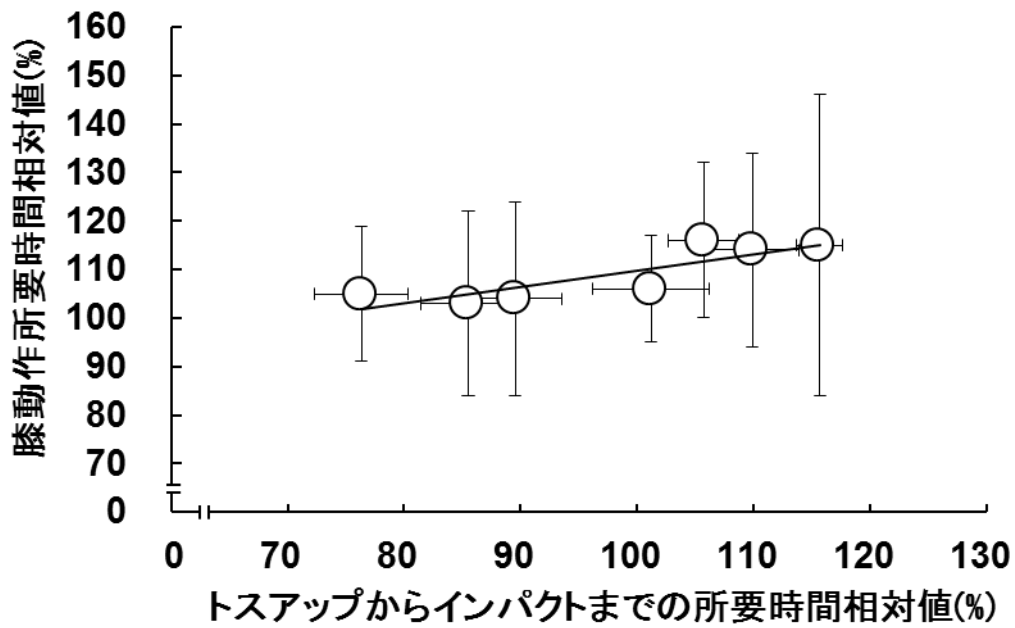


図 II-2-5 トスアップからインパクトまでの所要時間相対値とトータル局面における膝関節動作所要時間相対値との相関

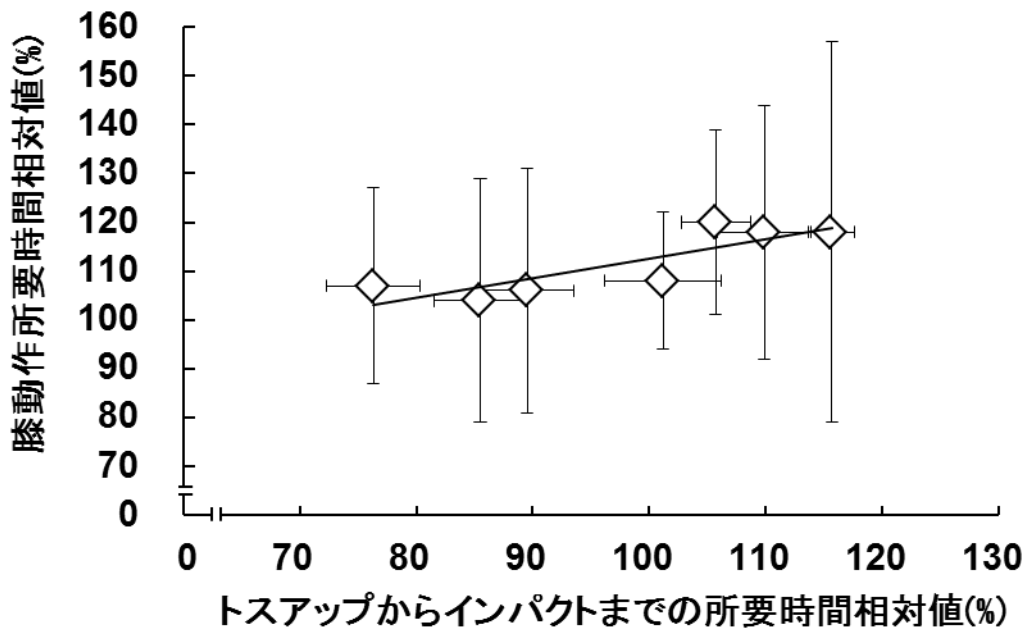
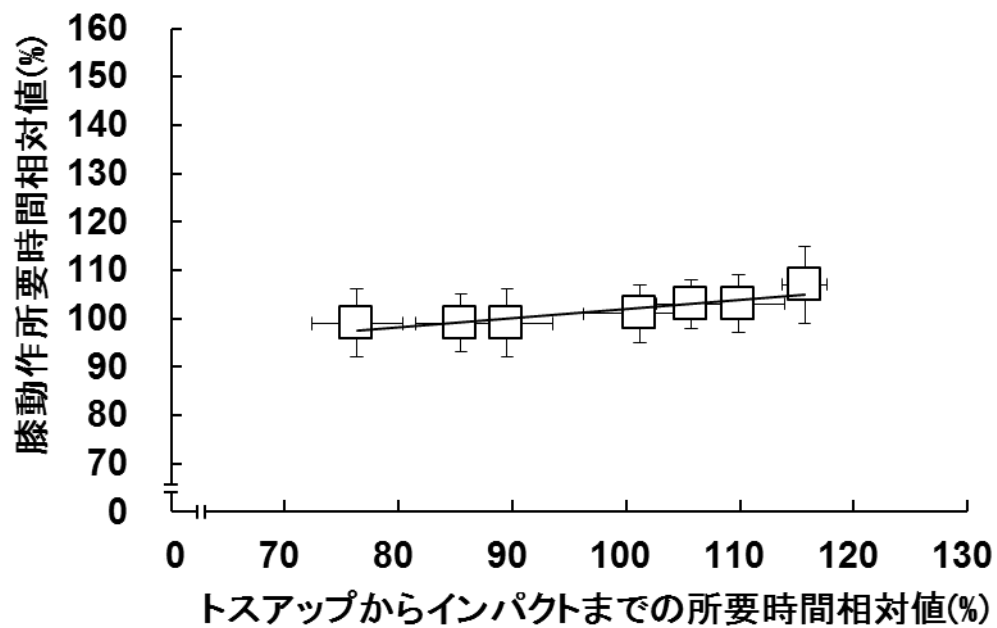


図 II-2-6 トスアップからインパクトまでの所要時間相対値と屈曲局面における膝関節動作所要時間相対値との相関



図Ⅱ-2-7 トスアップからインパクトまでの所要時間相対値と伸展局面における膝関節動作所要時間相対値との相関

## 第 2 項 打球速度

図 II-2-8 に各課題における打球速度を示した。最も高値を示した FS は  $158 \pm 8 \text{ km/h}$  で、+30 が  $154 \pm 9 \text{ km/h}$ 、+20 が  $155 \pm 8 \text{ km/h}$ 、+10 が  $155 \pm 8 \text{ km/h}$ 、 $\pm 0$  が  $155 \pm 10 \text{ km/h}$ 、-10 が  $153 \pm 9 \text{ km/h}$ 、-20 が  $155 \pm 9 \text{ km/h}$ 、および、-30 が  $154 \pm 7 \text{ km/h}$  であった。打球速度においては分散分析の結果、主効果 ( $F(7, 565) = 2.256$ 、 $p < 0.05$ ) が認められたが、所要時間の短縮・延長という観点で比較の対象とした課題との間に有意差は認められなかった。

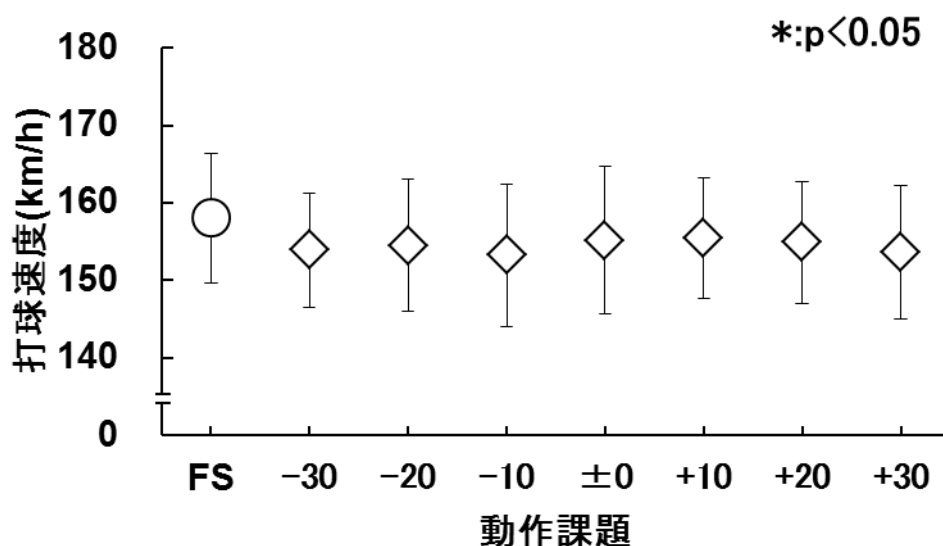
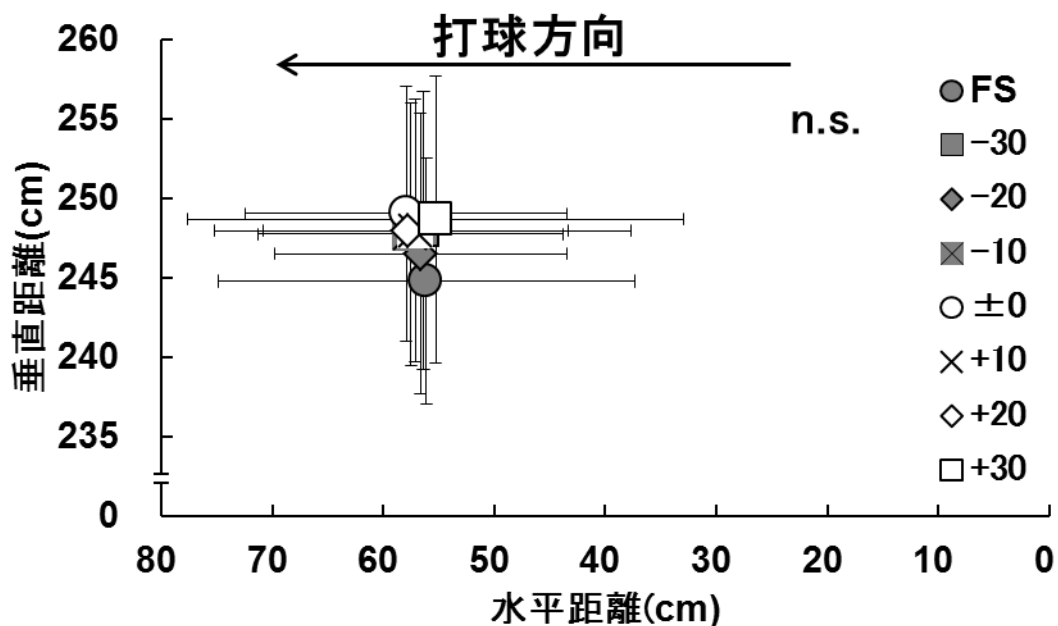


図 II-2-8 各課題における打球速度平均値

\* は主効果 ( $p < 0.05$ ) が認められたことを示す。

### 第3項 インパクト位置

図Ⅱ-2-9に各動作課題におけるインパクト時の空間的位置（インパクト位置）を水平・垂直距離で示した。水平方向への距離は、FSで $56 \pm 19$ cm、+30で $55 \pm 22$ cm、+20で $58 \pm 16$ cm、+10で $57 \pm 14$ cm、±0で $58 \pm 15$ cm、-10で $58 \pm 13$ cm、-20で $57 \pm 13$ cm、-30で $56 \pm 16$ cmであった。水平方向の結果において、主効果は認められなかった（ $F(7, 565) = 0.226$ , n. s.）。また各課題の垂直方向への距離は、FSで $245 \pm 8$ cm、+30で $249 \pm 9$ cm、+20で $248 \pm 7$ cm、+10で $248 \pm 8$ cm、±0で $249 \pm 8$ cm、-10で $248 \pm 7$ cm、-20で $247 \pm 9$ cm、-30で $248 \pm 9$ cmであった。垂直方向の結果に関しても、主効果は認められなかった（ $F(7, 565) = 1.989$ , n. s.）。

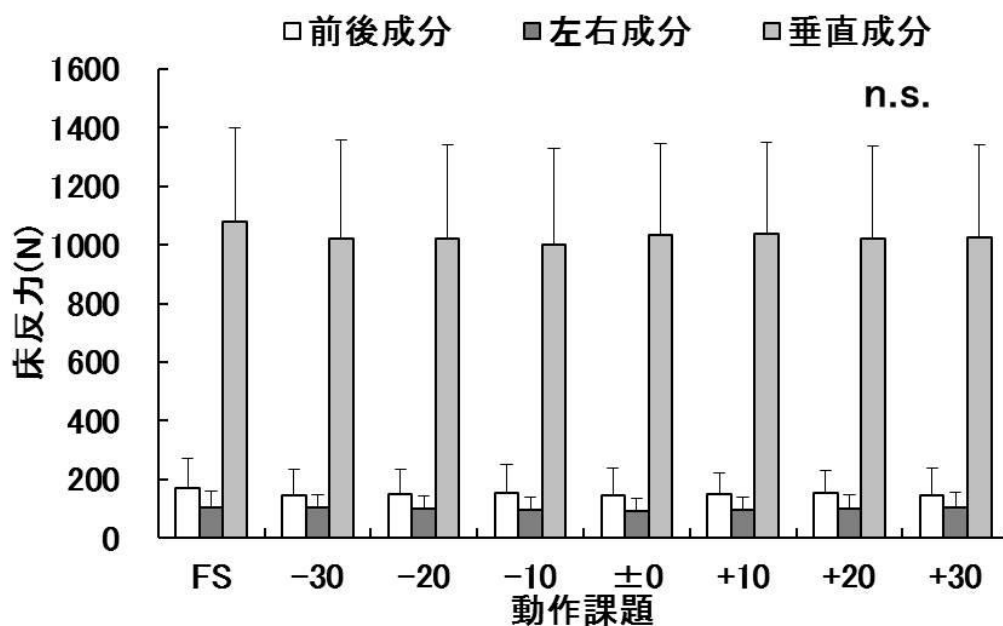


図Ⅱ-2-9 各課題におけるインパクト時の空間的位置（インパクト位置）  
水平・垂直距離の0地点はコート面センターマークを意味する。

#### 第4項 床反力

図Ⅱ-2-10には各課題における床反力最大値の平均を示した。各課題における前後成分の最大値を比較すると、FSで $168.7 \pm 104.9\text{N}$ 、+30で $146.0 \pm 88.9\text{N}$ 、+20で $149.6 \pm 86.8\text{N}$ 、+10で $155.0 \pm 95.3\text{N}$ 、±0で $145.4 \pm 94.5\text{N}$ 、-10で $147.6 \pm 74.8\text{N}$ 、-20で $152.3 \pm 79.7\text{N}$ 、-30で $147.1 \pm 89.7\text{N}$ であった。一方、左右成分の最大値は、FSで $105.6 \pm 53.6\text{N}$ 、+30で $102.5 \pm 43.7\text{N}$ 、+20で $99.0 \pm 46.0\text{N}$ 、+10で $95.2 \pm 44.7\text{N}$ 、±0で $93.0 \pm 42.3\text{N}$ 、-10で $95.3 \pm 42.4\text{N}$ 、-20で $102.0 \pm 45.4\text{N}$ 、-30で $104.9 \pm 49.6\text{N}$ であった。これらの結果において、主効果は認められなかった（前後成分： $F(7, 567) = 0.524$ 、左右成分： $F(7, 567) = 0.774$ 、n. s.）。

一方、垂直成分の最大値においては、FSで $1080.9 \pm 318.0\text{N}$ 、+30で $1020.3 \pm 336.7\text{N}$ 、+20で $1020.2 \pm 319.8\text{N}$ 、+10で $1002.1 \pm 325.3\text{N}$ 、±0で $1033.9 \pm 310.5\text{N}$ 、-10で $1040.2 \pm 309.2\text{N}$ 、-20で $1021.8 \pm 314.1\text{N}$ 、-30で $1027.3 \pm 316.0\text{N}$ であった。これらの結果においても、主効果は認められなかった（ $F(7, 567) = 0.368$ 、n. s.）。



図Ⅱ-2-10 各課題における床反力前後・左右・垂直成分平均値

## 第 5 項 関節角度・角速度

図 II-2-11 に、各課題における膝関節屈曲開始角度および最大屈曲角度を示した。膝関節屈曲開始角度においては、主効果 ( $F(7, 568) = 0.807$ 、n. s.) は認められなかった。一方、最大屈曲角度においては、分散分析の結果主効果 ( $F(7, 568) = 2.861$ 、 $p < 0.05$ ) が認められた。しかし  $\pm 0$  と所要時間の短縮・延長という観点で比較の対象とした課題との間に有意差は認められなかった。

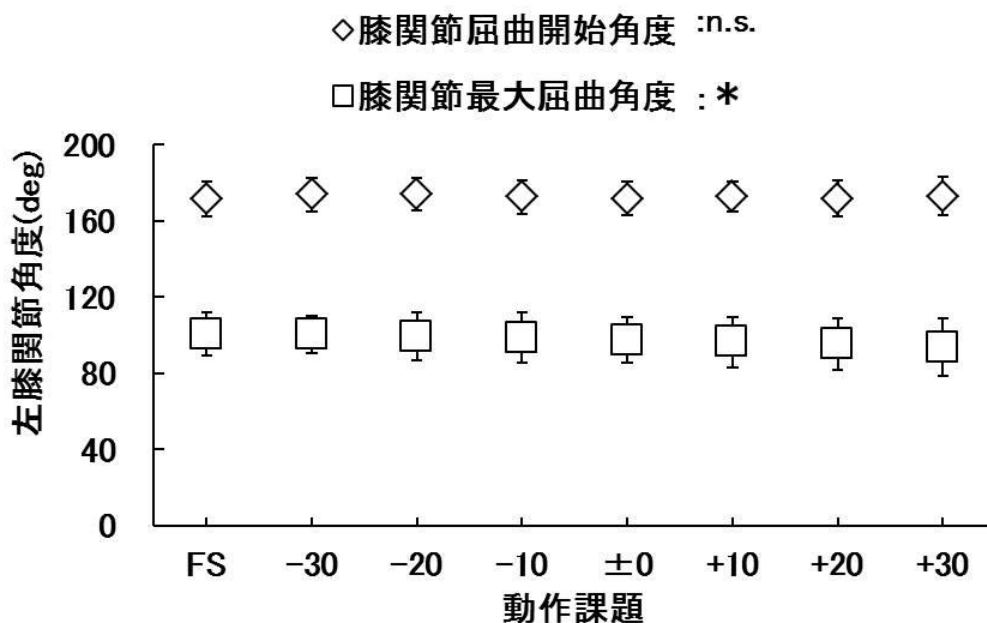
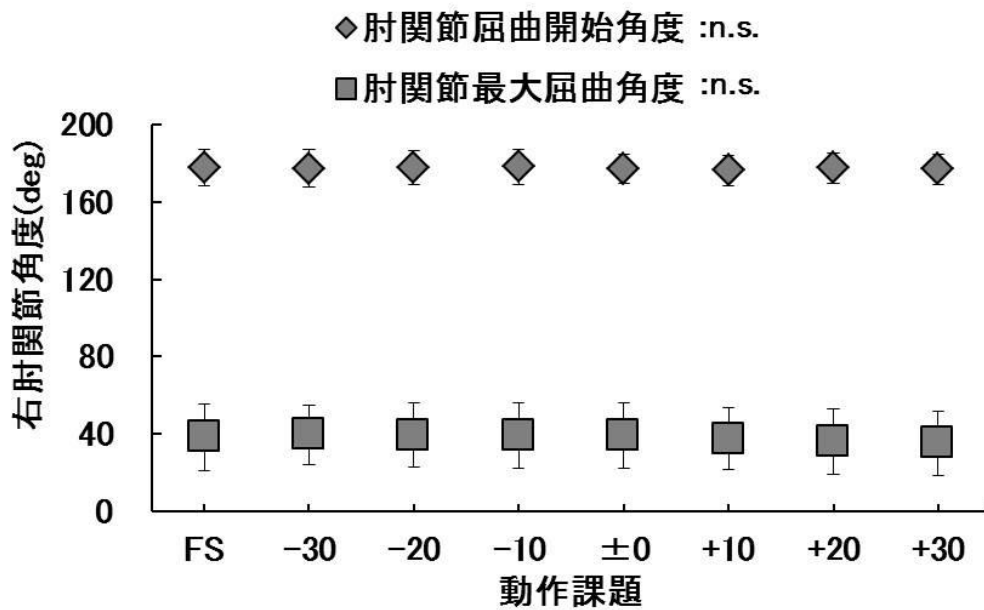


図 II-2-11 各課題における膝関節屈曲開始角度および最大屈曲角度  
\* は主効果 ( $p < 0.05$ ) が認められたことを示す。

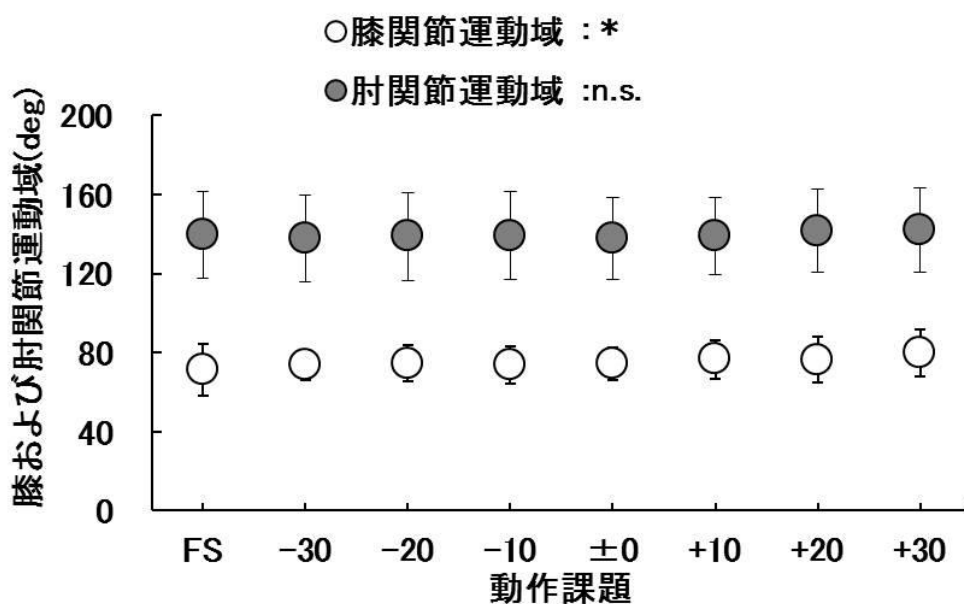


図Ⅱ-2-12には、各課題における肘関節屈曲開始角度および最大屈曲角度を示した。肘関節屈曲開始角度 ( $F(7, 568) = 0.708$ , n.s.)、最大屈曲角度 ( $F(7, 568) = 0.413$ , n.s.) においては、いずれにおいても主効果は認められなかった。



図Ⅱ-2-12 各動作課題における肘関節屈曲開始角度および最大屈曲角度

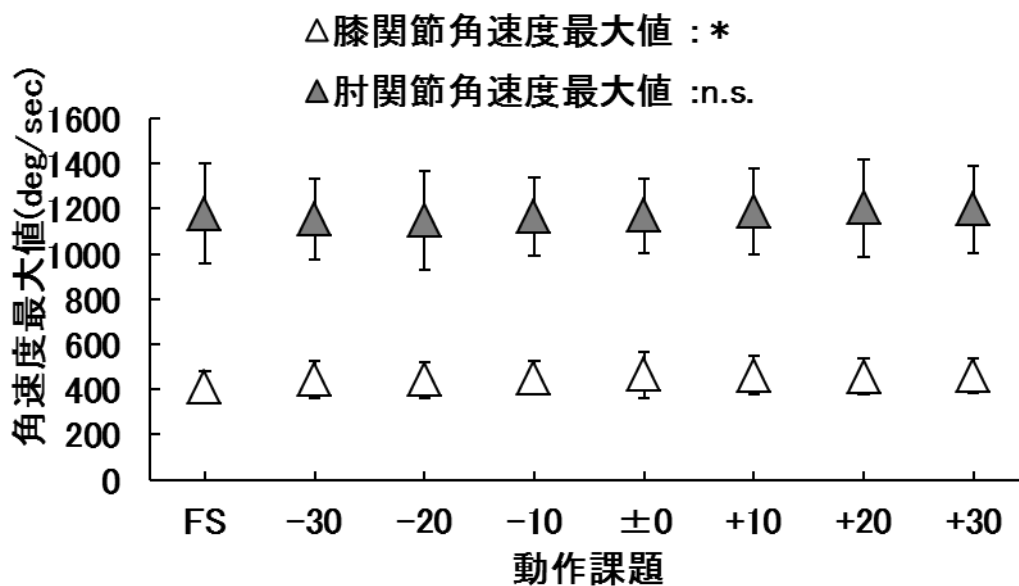
図Ⅱ-2-13に、各課題におけるは膝および肘関節運動域を示した。膝関節においては、屈曲開始角度と最大屈曲角度の差である運動域に関して、主効果 ( $F(7, 568) = 4.249, p < 0.05$ ) が認められたが、±0と所要時間の短縮・延長という観点で比較の対象とした課題との間に有意な差は認められなかった。一方肘関節運動域には、主効果は認められなかった ( $F(7, 568) = 0.381, n.s.$ )。



図Ⅱ-2-13 各動作課題における膝および肘関節運動域

\* は主効果 ( $p < 0.05$ ) が認められたことを示す。

図Ⅱ-2-14に、各課題における膝および肘関節角速度最大値を示した。膝関節角速度最大値においては、主効果 ( $F(7, 568) = 3.342$ ,  $p < 0.05$ ) が認められたが、 $\pm 0$  と所要時間の短縮・延長という観点で比較の対象とした課題との間に有意な差は認められなかった。一方肘関節角速度最大値には、主効果は認められなかった ( $F(7, 568) = 0.715$ , n.s.)。



図Ⅱ-2-14 各動作課題における肘および膝関節角速度  
\* は主効果 ( $p < 0.05$ ) が認められたことを示す。

## 第6項 IEMG

図Ⅱ-2-15に、課題毎にみたトータル局面のIEMGをFSでのそれを100%として相対値で示した。また図Ⅱ-2-16には屈曲局面の、図Ⅱ-2-17には伸展局面のIEMGをFSでのそれを100%として相対値で示した。分散分析の結果、伸展局面の外側広筋と大腿直筋以外の筋はF値に主効果(F(7,560~563)=3.115~14.970、 $p<0.05$ )が認められた。また多重比較の結果、±0に対して動作の所要時間を延長した際にIEMGが有意に増加した課題は、トータル局面の前脛骨筋(±0:104±23.8% vs. +30:121.1±32.6%)、腓腹筋(±0:91.9±18.8% vs. +30:103.5±20.2%)と大腿二頭筋(±0:98.4±25.8 vs. +30:115.5±27.6%)で、いずれの筋においても+30でIEMGが有意( $p<0.05$ )に増加した。また屈曲局面においては、前脛骨筋(±0:118.1±30.8% vs. +20:138.2±57.6%)の+20、腓腹筋(±0:94.2±26.8% vs. +30:109.9±21.3%)、外側広筋(±0:102.8±24.2% vs. +30:120.1±33.6%)と大腿二頭筋(±0:103.6±26.2% vs. +30:121.6±31.9%)の+30でIEMGが有意( $p<0.05$ )に増加した。さらに伸展局面の前脛骨筋(±0:80.1±27.5% vs. +30:98.7±36.3%)と内側広筋(±0:94.4±26.5% vs. +30:111.9±38.1%)では、いずれの筋においても+30でIEMGが有意に増加した。

一方、±0に対して動作の所要時間を短縮した際にIEMGが有意に減少した課題は、トータル局面の腓腹筋(±0:91.9±18.8% vs. -20:81.4±20.2%)と屈曲局面における腓腹筋(±0:94.2±26.8% vs. -20:81.2±23.4%)およびヒラメ筋(±0:103.9±21.4% vs. -20:91.1±24.1%)の-20であった。

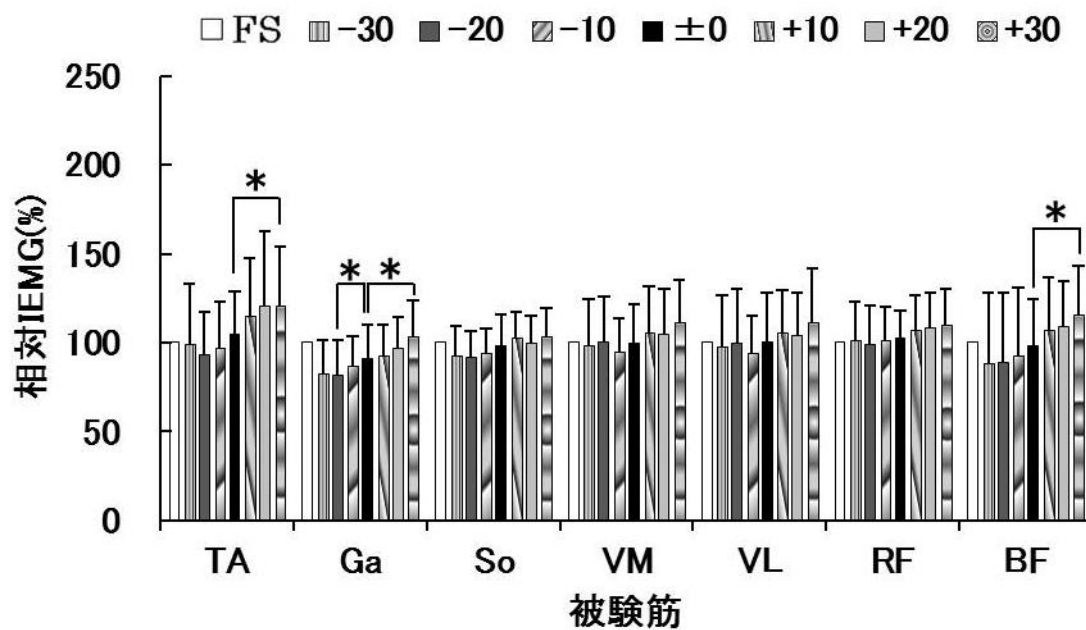


図 II-2-15 トータル局面における各課題における相対 IEMG

TA: 前脛骨筋、Ga: 腓腹筋、So: ヒラメ筋、VM: 内側広筋、VL: 外側広筋、RF: 大腿直筋、BF: 大腿二頭筋を示す。\*は多重比較検定の結果、当該項目に有意な課題間差 ( $p < 0.05$ ) が認められたことを示す。

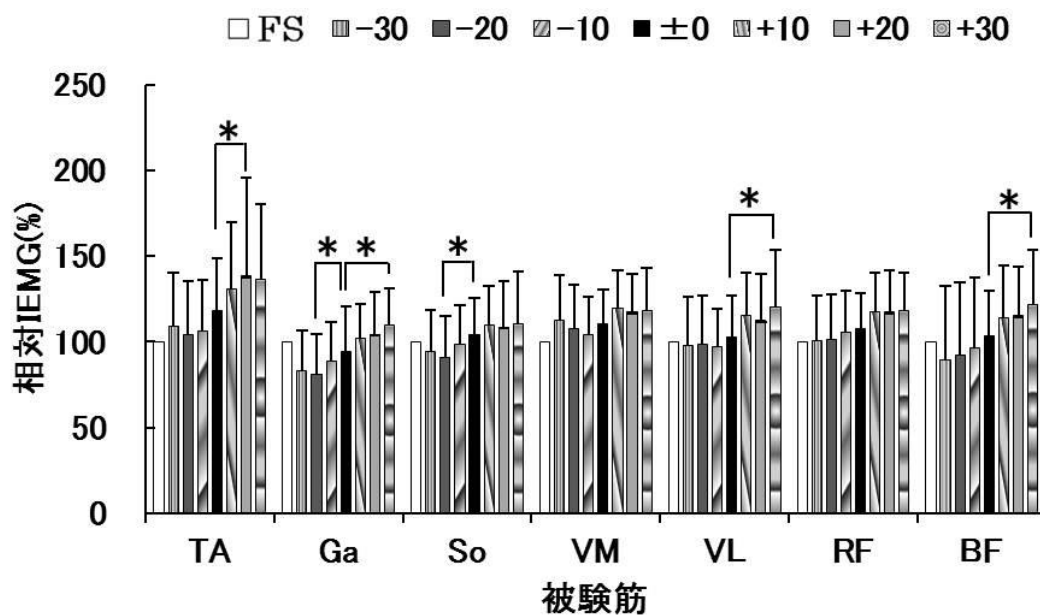


図 II-2-16 屈曲局面における各課題における相対 IEMG

TA:前脛骨筋、Ga:腓腹筋、So:ヒラメ筋、VM:内側広筋、VL:外側広筋、RF:大腿直筋、BF:大腿二頭筋を示す。\*は多重比較検定の結果、当該項目に有意な課題間差 ( $p < 0.05$ ) が認められたことを示す。

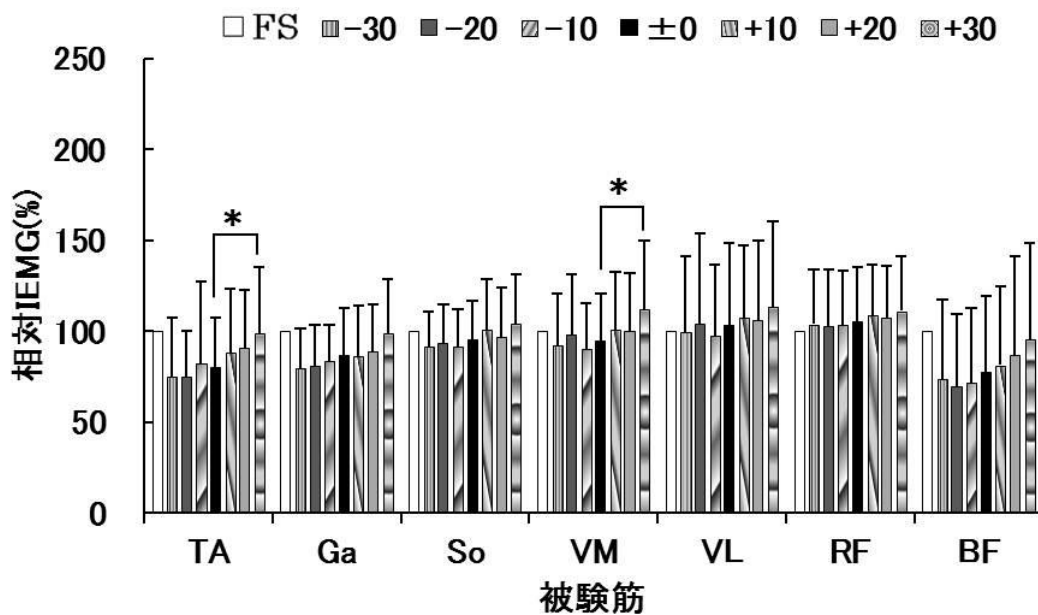


図 II-2-17 伸展局面における各課題における相対 IEMG

TA: 前脛骨筋、Ga: 腓腹筋、So: ヒラメ筋、VM: 内側広筋、VL: 外側広筋、RF: 大腿直筋、BF: 大腿二頭筋を示す。\*は多重比較検定の結果、当該項目に有意な課題間差 ( $p < 0.05$ ) が認められたことを示す。

#### 第 4 節 考察

本研究は、テニスのサービスにおいてトスアップからインパクトまでの所要時間を短縮することが、高い打球速度を発揮しつつ、必要以上の運動制御を要さない、筋収縮効率の高い動作を導くのではないかと仮説し、これを明らかにしようとした。このため同局面の所要時間を 7 段階に規定してサービス動作を行わせ、その際の打球速度の増減やインパクト位置、膝・肘関節の角度・運動域・角速度、床反力および下肢筋電図におよぼす影響を検討した。

まず、各動作課題におけるトスアップからインパクトまでの所要時間を検討した。また当該局面の所要時間相対値と膝関節動作の所要時間相対値の関わりを検討することにより、本実験設定の妥当性を検討した。

Aschersleben and Prints (1995) や河辺・大槻 (1980) は、音刺激あるいは視覚刺激に対する反応動作を検討する方法として同期タッピング課題を実施し、連続する規則的な刺激に対し反応動作が出現するタイミングは、いずれも実行すべきタイミングに対し、早期に発現することを報告した。また橋詰ら (1994) や乾ら (2009) は、若年健常者における同期タッピング課題と加齢との関わりを検討し、若年健常者は音周期と平均タップ感覚との差が小さくなることを報告した。これらは音刺激による指先でのタッピング課題を若年健常者に実施した場合、動作を実行すべきタイミングに尚早反応が出現するが、刺激の周期性と反応動作に生じる誤差は小さくなることを示している。

本研究ではトスアップからインパクトまでの所要時間をメトロノームによって規定し、サービスを実行させた。つまり音刺激に対しトスアップからインパクトまでの所要時間を合わせる反応課題を実施した。その結果、各課題として設定した動作時間と実測された動作時間には  $r=0.99$  ( $df=5$ ,  $p<0.01$ ) の相関が認められた。また、トスアップからインパクトまでの所要時間相対値とトータル局面 ( $r=0.85$ ,  $df=5$ ,  $p<0.05$ )、屈曲局面 ( $r=0.85$ ,  $df=5$ ,  $p<0.05$ )、および伸展局面 ( $r=0.91$ ,  $df=5$ ,  $p<0.01$ ) のそれとの間にいずれも有意な相関を認めた。しかし設定した動作所要時間で課題を遂行した場合の回帰直線の傾きは計算上 1.0 となるのに対し、今回の結果は 0.65 とそれより低い値を示した。すなわちサービス動作を対象とした本研究では、課題に合わせよ



うとしながらも、-30 では約 20%所要時間を減じ、+30 では約 20%所要時間を増す動作しか遂行出来ず、課題は概ね 65%しか達成できなかったことが示唆された。これらはサービスが複数の関節が、一連動作に参画するいわゆる運動連鎖的動作であることによって導かれた結果であると考えられる。つまりサービスでは指先のみを対象とした課題に比し、より複雑なタイミング制御を必要としたことが、これらの結果を導いたと推察される。また一般的にテニスのサービスは、動作のリズム・タイミングを変更することや、メトロノームなどの音刺激に合わせて動作を実行することがほとんどない。従って本研究で対象とした被験者は、一般的には高い競技力を有しているといえるが、固有のサービス動作リズムを変更する能力、あるいは音刺激に動作を一致させるタイミング制御能力が高くなかったことによって、65%レベルしか達成し得なかったとも考えられる。

このように、本研究においてトスアップからインパクトまでの所要時間を65%レベルでしか変更できなかった理由はいくつか考えられるが、本研究で得られた知見からでは、如何なる要因が導いた結果であるかを断定するには至らない。しかしながら、同局面の所要時間とトータル局面、屈曲局面および伸展局面の所要時間との間に正の相関が認められたことから、トスアップからインパクトまでの所要時間を短縮することは、膝関節動作に要する時間の短縮を導くことが明らかとなった。すなわち、各課題に対し概ね 65%レベルしか達成できなかったものの、設定した動作時間と実測された動作時間には非常に高い正の相関が認められ、かつトスアップからインパクトまでの所要時間相対値とトータル局面、屈曲局面および伸展局面の所要時間相対値との間に、いずれも有意な正の相関が認められたことから、本研究で得られた結果は、目的を検討するデータとして妥当であると考えられる。

次に、動作の所要時間短縮・延長が打球速度におよぼす影響を検討した。本研究で得られた FS のサービス打球速度の平均値は  $158 \pm 8 \text{ km/h}$  であった。Elliott and Wood. (1983) や Elliott et al. (1986) が中・上級選手の打球速度は  $145 \text{ km/h}$  から  $180 \text{ km/h}$  の間にあると報告していることから、今回の被験者は中・上級レベルのプレーヤーであるといえる。一方、各動作課題で得られた平均打球速度は、+30 が  $154 \pm 9 \text{ km/h}$ 、+20 が  $155 \pm 8 \text{ km/h}$ 、+10 が

155±8km/h、±0 が 155±10km/h、-10 が 153±9km/h、-20 が 155±9km/h、および-30 が 154±7km/h で、これらの打球速度には有意な課題間差は認められなかった。これは、長年に渡って自らが獲得してきた固有の動作所要時間をあえて変えさせる課題を課したことに対し、時間の短縮・延長が結果的には概ね目標値の 65%レベルに留まったことを踏まえると、打球速度の低下を生じさせないために無意識的に動作所要時間の短縮・延長を抑えた可能性が推察される。

次に、動作所要時間の短縮・延長がインパクト位置におよぼす影響を検討した。サービスにおける動作所要時間の短縮が打球速度を高めるとともにインパクト位置に何らかの影響をおよぼすと推察したが、インパクト時の垂直および水平方向への平均距離に有意な課題間差は認められず、動作所要時間短縮・延長という課題は、インパクト位置に影響をおよぼさないと考えられる。

次に、動作所要時間の短縮・延長が床反力の前後・左右・垂直成分におよぼす影響を検討した。サービスと床反力との関わりに関して Girard et al. (2005) は、打球速度の高い群と低い群を比較した際、高い群は床反力垂直成分が有意に高値を示したと報告した。また、Van Gheluwe and Hebbelinck. (1986) は、インパクト時の垂直成分は、被験者の自重の約 30% (250N) プラスであると報告している。すなわち床反力垂直成分は打球速度を獲得し自重を上方へ押し上げ、より高いインパクト高を獲得することに関与しているものと推察されるが、本研究では、前後・左右・垂直成分の最大値は、いずれも有意な課題間差を認めなかった。すなわち、動作所要時間短縮・延長は、床反力前後・左右・垂直成分に影響をおよぼさず、これらのことが本研究において打球速度やインパクト位置に差違を生じさせなかったと考えられる。

サービスは、ラケットを保持する側の腕と体幹および対側の脚が交叉的に軸をなす運動である。田邊・伊藤 (2008) は、肘関節運動は打球速度を得ることに強く関わると報告している。また Girard et al. (2007) と Reid et al. (2008) は、膝関節の屈曲伸展はサービス打球速度への貢献度が大きく、さらに、Van Gheluwe and Hebbelinck. (1986)、Elliott et al. (1995) は、膝関節運動はサービス動作の起点であると報告している。これらのこと

から、膝関節運動は当該関節のみならずそれに連動・協応する関節運動やラケットヘッド速度を得るために重要であるといえる。そこで、動作所要時間の短縮・延長が膝・肘関節屈曲開始角度、最大屈曲角度、運動域および角速度最大値におよぼす影響を検討した。その結果、いずれにおいてもこれらに有意な課題間差は認められなかった。つまり今回の課題に対し、結果的になし得た動作所要時間の短縮・延長の範囲では、膝・肘関節屈曲開始角度、最大屈曲角度、運動域および角速度最大値に影響をおよぼさないことが示唆され、これらも打球速度の増減を導かなかつた要因の一つであると考えられる。

さらに、動作所要時間の短縮・延長が下肢筋の筋放電量積分値におよぼす影響を検討した。±0 に対して動作所要時間を短縮した際、筋放電量が有意に減少したのはトータル局面においては腓腹筋、屈曲局面においては腓腹筋とヒラメ筋であった。一方、±0 に対して動作所要時間を延長した場合、トータル局面において筋放電量が有意に増加した筋は、前脛骨筋・腓腹筋と大腿二頭筋であり、屈曲局面においては前脛骨筋・腓腹筋・外側広筋と大腿二頭筋、および伸張局面においては前脛骨筋と内側広筋であった。

一般的に前脛骨筋は足関節の背屈にかかわり、腓腹筋とヒラメ筋は底屈にかかわる。一方、内側広筋と外側広筋（ともに単関節筋）は膝関節の伸展にかかわり、大腿二頭筋は同関節の屈曲に二関節筋としてかかわる。膝関節屈曲伸展の時間的短縮の結果生じた足関節底屈にかかわる腓腹筋・ヒラメ筋の筋放電量の減少は、SSC (stretch-shorten cycle) の関与が考えられ、反対に、時間的延長に伴う同筋の放電量増加は SSC の関与度が減じられた結果であると推察される。

動作所要時間の長短と筋活動様式を検討した大築（1988）や Desmedt and Godaux（1978、1979）は、実行すべき動作が損なわれることなく、可能な限り短時間で関節運動を実行することは、より効率的な動作を導く可能性があるとして報告している。つまり、動作所要時間の短縮によって打球速度が低下しなくても、筋放電量が有意に減少したことはサービス動作の効率が上がったことを、逆に、延長によって打球速度が低下しなくても、筋放電量が有意に増加したことは、その動作の効率が低下したことを意味する。

本研究では、サービスの打球速度に課題間での有意な差が認められないが、

動作所要時間短縮にともなう筋放電量の減少が足底屈筋で認められ、一方動作所要時間を延長した場合は放電量の増加する筋が多数認められた。このことからサービスの所要時間を短縮することは動作の効率を高め、所要時間の延長は動作の効率を下げることを示唆された。

## 第5節 まとめ

本研究は、テニスのサービスにおけるトスアップからインパクトまでの固有の所要時間を7段階に短縮・延長した動作を行うことが、打球速度やインパクト位置、膝および肘関節の角度・運動域・角速度、床反力および下肢筋電図におよぼす影響を検討することから、高い打球速度を発揮させると同時に筋収縮効率を高める至適所要時間を明らかにしようとした。以下に結果を要約する。

1. 規定した動作課題を完全に遂行した場合、その所要時間における回帰直線の傾きは計算上 1.0 となるのに対し、得られた結果の傾きは 0.65 であった。しかし、規定した所要時間相対値と実測された所要時間相対値との間には、有意な相関 ( $r=0.99$ ,  $p<0.05$ ) が認められた。つまりトスアップからインパクトまでの所要時間の短縮・延長の達成度は 65%レベルであるが、本研究で得られた結果は目的を検討するデータとして妥当である。
2. トスアップからインパクトまでの所要時間相対値と、膝関節屈曲伸展の所要時間相対値には有意 ( $p<0.05$ ) な正の相関が認められた。
3. 対象とした課題間においてサービス打球速度、インパクト位置、床反力および肘関節の角度・運動域・角速度に有意な差は認められなかった。
4. トスアップからインパクトまでの所要時間の短縮は、-20 課題で腓腹筋とヒラメ筋の筋放電量積分値を有意 ( $p<0.05$ ) に減少させ、その延長は+30 課題で前脛骨筋、腓腹筋、内側広筋および大腿二頭筋のそれを有意 ( $p<0.05$ ) に増加させた。

これらの結果より、トスアップからインパクトまでの固有の所要時間を20%程度短縮・延長しても、サービスにおける打球速度や膝・肘関節角度変位、そして角速度最大値には顕著な影響をおよぼさないことが明らかとなった。しかしながら、-20 課題では足底屈筋に筋放電量積分値の有意な減少が認められたことから、実行すべき動作が損なわれることなく、トスアップからインパクトまでの所要時間を15%程度短縮することは、打球速度を減ずることなく、筋収縮効率を高める至適所要時間と成り得ることが明らかとなった。

## 引用文献

- Aschersleben G. and Prinz W. (1995) Synchronizing actions with events: The role of sensory information. *Perception and Psychophysics*, 57: 305-317.
- Bahamonde R. E. (2000) Changes in angular momentum during the tennis serve. *Journal of Sports Science*, 18 : 579-592.
- Desmedt J. E. and Godaux E. (1978) Ballistic skilled movements: load compensation and patterning of the motor commands. *Cerebral Motor Control in Man: Long Loop Mechanism*, Desmedt, J. E. ed., *Prong. Clinical Neurophysiology*, Vol.4, Karger, Basel:pp21-55.
- Desmedt J. E. and Godaux E. (1979) Voluntary motor commands in human ballistic movements. *Annals of Neurology*, 5:415-421.
- Elliott B. C. and Wood G. A. (1983) The biomechanics of the foot-up and foot-back tennis service techniques. *The Australian Journal of Sports Science*, 3:3-6.
- Elliott B. C., Baxter K. G. and Besier T. F. (1999) Internal rotation of the upper-arm segment during a stretch-shorten cycle movement. *Journal of Applied Biomechanics*, 15:381-395.
- Elliott B. C., Marsh T. and Blanksby B. (1986) A Three-Dimensional Cinematographic Analysis of the Tennis Serve. *Journal of Applied Biomechanics*, 2 (4) :260-271.
- Elliott B. C., Marshall R. N. and Noffal G. (1995) Contributions of upper limb segment rotations during the power serve in tennis. *Journal of Applied Biomechanics*, 11:433-442.
- Girard O., Micallef J. P. and Millet G. P. (2005) Lower-limb activity during the power serve in tennis: Effects of performance level. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37 (6) :1021-1029.
- Girard O., Micallef J. P. and Millet G. P. (2007) Influence of restricted knee motion during the flat first serve in tennis. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21 (3) :950-957.

- 橋詰謙・長崎浩・伊東元・古名丈人・杉浦美穂・衣笠隆・丸山 仁司 (1994)  
加齢にともなうリズム運動の異常. 日本老年医学会雑誌, 31 (5) : 360-365.
- 乾信行・佐々木寛和・榊本絢也 (2009) 手指のタッピングと力の制御に与える加齢の影響. 鳴門教育大学研究紀要, 24 : 170-175.
- 伊藤章・斉藤昌久・金子公宥 (1987) 跳躍運動における反動効果—下腿三頭筋の筋放電量と弾性エネルギーの利用—. Japan Journal of Sports Science, 6 : 232-238.
- 河辺章子・大築立志 (1980) 移動指標の方向変化に対する反応時間. 体育学研究, 27 : 301-311.
- 大築立志 (1988) 「たくみ」の科学. 朝倉書店, 東京: pp199-225.
- Reid M. M., Elliott B. C. and Alderson J. A. (2008) Lower-limb coordination and shoulder joint mechanics in the tennis serve. Medicine and Science in Sports and Exercise, 40 (2) : 308-315.
- 田邊智・伊藤章 (2008) テニスサービス時のラケットヘッド速度へのラケット並進運動と回転運動の貢献. 大阪体育学研究, 46 : 11-25.
- Van Gheluwe B. and Hebbelinck M. (1986) Muscle actions and ground reaction forces in tennis. Journal of Applied Biomechanics, 2 (2) : 88-99.
- Wilson G. J., Elliott B. C. and Wood G. A. (1991) The effect on performance of imposing a delay during a stretch-shorten cycle movement. Medicine and Science in Sports and Exercise, 23 (3) : 364-370.

# 第Ⅲ部

## 結論



# 第1章

テニスの競技力を高める  
サービス動作とは？

## 第1章 テニスの競技力を高めるサービス動作とは？

### 第1節 総合的な考察および結論

テニスにおいて相対的に競技力が高いプレーヤーと試合をする場合、オープンスキルであるレシーブ（リターン）・グラウンドストローク・ボレー・スマッシュは、相手の打球によって、少なからず強制的に動作を規定されてしまうことがある。一方サービスに関しては、上述の4つのストロークとは異なり、クローズドスキルであるため、いかに競技力に差がある相手に対しても、物理的な制約は皆無であり、現実的かつ意識的に動作の変更を行うことができるストロークであるといえる。本稿ではテニスの競技力を高める要因としてクローズドスキルであるサービスに着眼し、如何なる動作がサービス力を高める要因であるかを明らかにしようとした。

本論第1章では、プレーヤーが意図的に打球速度を増減させてサービスした際の関節運動の変容を、個体内差の観点から検討することにより、如何なる動作要因が打球速度を規定するかが明らかにされたと考え、個体内でサービスの打球速度を漸増させる課題に対し、左膝および右肘関節運動、およびこれらの協働関係、さらには床反力垂直成分の個体内変化を明らかにしようとした。その結果、打球速度を個体内で漸増させる課題に対しては、概ね左膝関節屈曲角度の増大、右肘関節伸展角度を増大するとともに、右肘関節を短時間で伸展することによる角速度の増大で対応することが認められ、これらの動作要因が個体内での打球速度を最大まで漸増させることに強く関わると示された。また本研究にて認められたこれらの共通性を考慮し、動作を修正・改善することは、個体内での打球速度を最大以上に高めるための動作要因の一つとして発展し得る可能性が高いため、今後の課題として、一定期間のコーチングやトレーニングに適應し、それによって生ずる動作の変容や打球速度の変化を縦断的に検討すべきであると考えられる。

次に本論第2章では、サービスを同様の関節運動域で行う場合、動作をより短時間で実行することはSSCの関与によって遠位端にあるラケットヘッドの速度をより高め、その結果、打球速度を高めるのではないかと仮説した。またサービスをより短時間で実行することによるSSCの関与は、動作に関わって生じる筋放電量をも減少させるのではないかと仮説した。そこでテニスのサービ

スにおけるトスアップからインパクトまでの固有の所要時間を 7 段階に短縮・延長した動作を行うことが、打球速度やインパクト位置、膝および肘関節の角度・運動域・角速度、床反力および下肢筋電図におよぼす影響を検討することから、高い打球速度を発揮させると同時に筋収縮効率を高める至適所要時間を明らかにしようとした。その結果、トスアップからインパクトまでの固有の所要時間を 20%程度短縮・延長しても、サービスにおける打球速度や膝・肘関節角度変位、そして角速度最大値には顕著な影響をおよぼさないことが明らかとなった。しかしながら、-20 課題で足底屈筋に筋放電量積分値の有意な減少が認められたことから、実行すべき動作が損なわれることなく、同局面の所要時間を 15%程度短縮することは、打球速度を減ずることなく、かつ顕著な関節角度変位を生ずることなく筋収縮効率を高める至適所要時間と成り得ることが明らかとなった。

以上のことから本稿においては、

1. 個体内で打球速度を漸増させる際、左膝関節屈曲角度を増大するとともに、右肘関節伸展動作に要する時間を短縮し、右肘関節角速度を増大させてサービスを実行すること
2. 打球速度を減ずることなく筋収縮効率を高めるために、実行すべき動作が損なわれることなく、トスアップからインパクトまでの固有の所要時間を 15%程度短縮してサービスを実行すること

以上 2 点がサービス力を向上させ、テニスの競技力を高める動作要因であると結論付けた。これらの要因は今後サービスの指導・実践の際の資料に成り得ると考える。

このように本稿はテニスの競技力を高める要因を、サービス力を向上させる動作から明らかにしたが、これらは指導・実践においてあらゆるプレイヤーに対応可能であるといった知見ではなく、その適応対象にはある種の限界が存在していると考えられる。そこで本稿で得られた知見が、如何なるプレイヤーに適応可能であるかを以下に述べる。

テニスは容易にかつ幅広い年齢層で楽しめるスポーツであることから、一般的に生涯スポーツの一つとして広く認知されている。これは日本において、

最も年齢層が低い全国小学生テニス選手権から、80歳以上の選手が試合に参加する全日本ベテランテニス選手権まで開催されていることから伺える。つまり少なくとも小学校低学年から80歳を超えたベテランプレーヤーまで幅広い年齢層で楽しめるスポーツであるといえる。

公益社団法人中学校体育連盟より発表された平成23年度部活調査集計(2012)および、公益社団法人高等学校体育連盟から発表された平成23年度(財)全国高等学校体育連盟加盟状況(改正版)(2012)によると、テニス部に所属している生徒数は中学校で41,174人、高等学校で99,812人であった。また同年に発表された学校基本調査では中学校および高等学校の総生徒数は前者が3,573,821人、後者が3,349,255人であった。すなわち中学校および高等学校で約700万人の生徒が存在する中、全体の2.0%である約14万人がテニス部に所属し、課外活動を実施していることになる。一方、笹川スポーツ財団が発行した青少年のスポーツライフデータ2012によると、“今後も続けたい・始めたい運動種目”の項目において、テニスと回答したのは全体の9.6%であり、サッカー(15.5%)・バスケットボール(13.5%)・野球(12.2%)・バドミントン(10.0%)に続く5位であったことを報告している。さらに、“一番入りたかった部活動種目”の項目にテニスと回答したのは12.5%であり、1位の野球(14.3%)に続く2番目に高い数値を示したことを報告している。

中学校および高等学校保健体育科学習指導要領においてテニスとは、全8領域から構成される体育分野の中で、バレーボールや卓球、バドミントンと同様に球技のネット型に位置付けられており、中学校および高等学校教育の中で必ずしも履修される競技ではない。しかしながら上記の報告(公益社団法人中学校体育連盟2012、公益社団法人高等学校体育連盟2012、笹川スポーツ財団2012)に基づくと、テニス部に所属する生徒数が他競技に比し顕著に多いとはいえないが、子どものテニスに対する興味関心は小さくないといえる。

このようにテニスは、幅広い年齢層で楽しまれているスポーツであると同時に、子どもの興味関心の高さ故に、今後課外活動等を通してテニスを経験する子どもは増加していくことが予想されるが、先述の通り、本稿で得られ

た知見が全てのテニスプレーヤーに適応可能であるかと問われれば、困難であるといわざるを得ない。これは本稿で実施した2つの研究が、いずれも中上級レベルのプレーヤーを対象としていることに起因するものである。すなわち、本稿で得られた知見を効果的に適応できる対象とは、主として本稿での被験者と同程度の競技力を有するプレーヤーであり、動作の再現性や安定性が定着していない初級者においては、得られた知見の通りに動作を変更すること自体がそもそも困難であると考えられるため、それらが即座に打球速度や筋収縮効率を高める動作に結びつくとは考えにくい。しかしながら初級者の段階においても、中上級レベルのプレーヤーの如何なる動作が、競技力を高め得る要因であるかを理解した上で実践することが、競技力を向上させることに対し決して無駄であるとはいえない。すなわち、本稿で明らかとなった知見の適応対象は、主として中上級レベルのプレーヤーと考えるが、サーブ力の向上を目指した場合においては、中上級レベルのプレーヤーのみならず、今後中学生や高校生の参加によって増加することが予想される、初級者においても積極的に介入すべき観点であると考ええる。

本稿はテニスの競技力を向上させる要因を、サーブ力を向上させる動作から検討した。本稿で得られた知見によって、一人でも多くのテニスプレーヤーのサーブ技術が向上すれば幸いである。また本稿で得られた知見が、今後習得が難しいとされるサーブを学習する際の資料の一つとして採用されれば幸甚である。

## 第2節 今後の課題

本稿で得られた知見をより幅広いプレーヤーに適応できるようにするためには、いくつかの課題が残されているといえる。まず本稿において対象としなかったレベルのプレーヤーのデータを採取することが挙げられる。すなわち本稿では中上級レベルのプレーヤーを対象としているが、初級者や本稿で対象としたレベルより、更に高いレベルのプレーヤーを対象にデータの採取を実施する必要があると考える。次に本稿で実施した2つの研究から得られた知見を、実際の指導現場にて、レベル・年齢・性別を問わず一定期間のコーチングやトレーニングで処方し、それによって生ずる動作の変容や打球速度の変化を縦断的に検討すべきであると考え。特に本論第1章で得られた打球速度を個体内で漸増させる課題に対する、膝および肘関節動作の変容については、先行研究の結果からも打球速度を向上させるための要因である可能性が高いため、今後一定期間のコーチングやトレーニング効果について、さらなる調査を実施すべきであると考え。また本稿はあくまで打球速度のみに着眼した研究であることから、サービスにおけるボールの回転要素やブレースメントをも分析対象とし、さらなるデータの蓄積に努めるべきであると考え。

## 引用文献

公益社団法人中学校体育連盟（2012） 平成 23 年度部活調査集計：参考競技別参加生徒数.

[http://www18.ocn.ne.jp/~njpa/pdf/kamei/h23kameiseito2\\_mf.pdf](http://www18.ocn.ne.jp/~njpa/pdf/kamei/h23kameiseito2_mf.pdf)

公益社団法人高等学校体育連盟（2012） 平成 23 年度（財）全国高等学校体育連盟加盟状況（改正版）.

<http://www.zen-koutairen.com/pdf/reg-23nen.pdf>

文部科学省（2008） 中学校学習指導要領解説保健体育編. 東山書房, 東京.

文部科学省（2009） 高等学校学習指導要領解説保健体育編. 東山書房, 東京.

文部科学省（2012） 平成 23 年度学校基本調査年次統計.

[http://www.mext.go.jp/component/b\\_menu/other/\\_\\_icsFiles/afieldfile/2012/02/06/1315583\\_2.pdf](http://www.mext.go.jp/component/b_menu/other/__icsFiles/afieldfile/2012/02/06/1315583_2.pdf)

笹川スポーツ財団（2012） 青少年のスポーツライフデータ 2012：—10 代のスポーツライフに関する調査報告書—. 笹川スポーツ財団, 東京.

## 謝辞

本稿は、多くの方々に理解と協力を頂いたことで完成させることが出来ました。ここに名前を挙げさせて頂くとともに、厚くお礼申し上げます。

最初に、主指導教員を引き受けて下さいました、横浜国立大学教授 蝶間林利男先生そして横浜国立大学教授 田中英登先生に厚くお礼申し上げます。先生方から頂きました手厚いご指導や叱咤激励があったからこそ、本稿を完成させることが出来ました。心より感謝致します。

そして副指導教員を引き受けて下さいました、横浜国立大学教授 福田幸男先生に感謝致します。先生に頂いたご助言は、本稿を執筆するにあたって非常に有益な知見となりました。本当にありがとうございました。同じく副指導教員を引き受けて下さいました、東京学芸大学教授 鈴木秀人先生にも感謝致します。未熟者の私が執筆した稚拙な本稿に対しても、懇切丁寧に添削やご助言頂きましたこと、院生生活での悩みの相談などに乗って頂きましたこと、この場を借りてお礼申し上げます。

審査に際して、副査を引き受けて下さいました、横浜国立大学教授 横山直也先生、埼玉大学教授 野瀬清喜先生に感謝いたします。先生方より承ったご指摘、本稿にとって本当に意義深いご意見となりました。今後先生方から頂いたご指導を基に、さらなる研究に励む所存です。

本稿を執筆するにあたって実施した実験に関し、大阪教育大学教授 西島吉典先生にお礼申し上げます。先生に実験施設および測定機器をお借りすることが出来なければ、本稿で示したデータを採取することはできませんでした。本当にありがとうございました。そして実験を実施するにあたり、被験者および検者としてご協力頂きました、大阪教育大学硬式庭球部の皆様、大阪体育大学硬式庭球部の皆様にもお礼申し上げます。皆様に協力して頂いたことで、貴重なデータを採取することが出来ました。ここに表記し感謝の意として代えさせて頂きたく存じます。



## 引用文献一覧

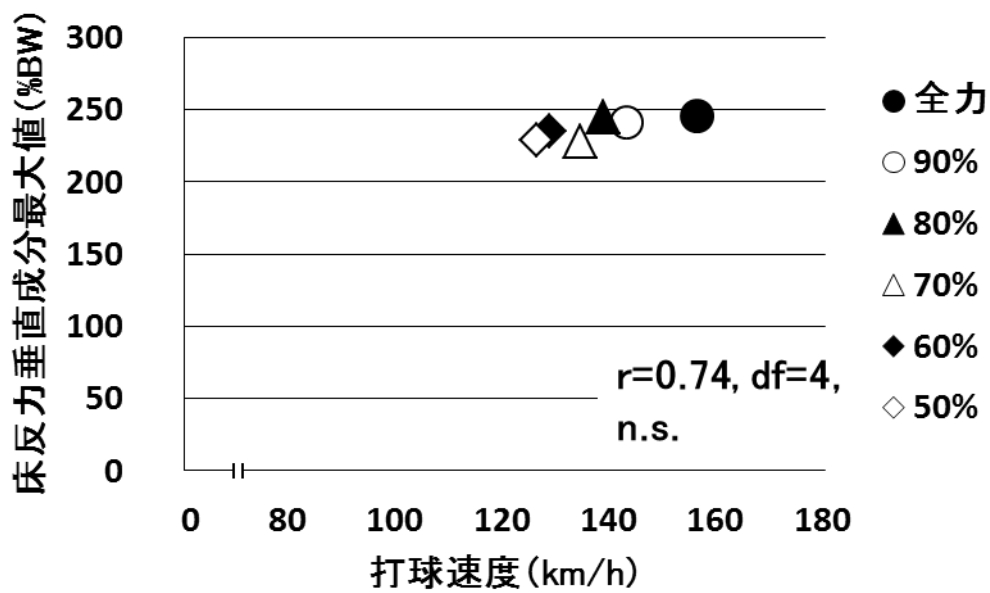
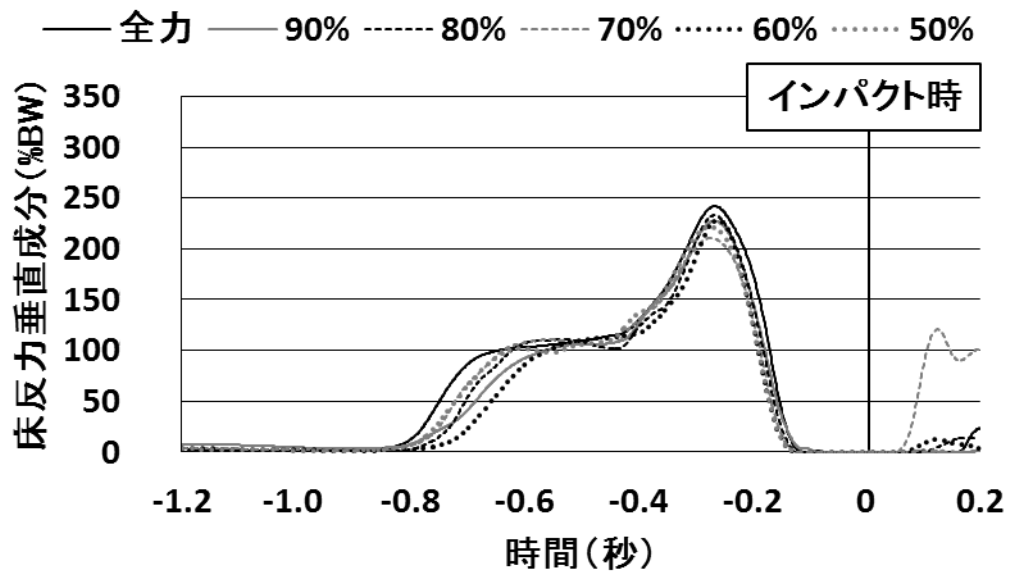
- 足立長彦（1999） テニスの試合における勝敗に関する一考察：サーブの分析を中心として，武庫川女子大学紀要人文・社会科学編 47:57-63.
- 橋詰謙・長崎浩・伊東元・古名丈人・杉浦美穂・衣笠隆・丸山 仁司（1994） 加齢にともなうリズム運動の異常．日本老年医学会雑誌, 31（5）：360-365.
- 乾信行・佐々木寛和・榎本絢也（2009） 手指のタッピングと力の制御に与える加齢の影響．鳴門教育大学研究紀要, 24：170-175.
- 石川達也・小池関也（2008） バレーボール・スパイク動作に関する順動力学的分析（空中局面における体幹部の動きが手部速さ生成に及ぼす効果）．日本機械工学会，スポーツ・アンド・ヒューマンダイナミクス 2008 講演論文集:341-346.
- 伊藤章・斉藤昌久・金子公宥（1987） 跳躍運動における反動効果—下腿三頭筋の筋放電量と弾性エネルギーの利用—．Japan Journal of Sports Science, 6：232-238.
- 金子元彦・伊藤浩志・村木征人・古川覚（2007） 異なる二種類の打動作における主観的努力度と客観的達成度の対応関係：中級から初級レベルのバドミントン・プレーヤーの場合．スポーツ方法学研究, 20（1）：57-70.
- 金子元彦・村木征人・伊藤浩志（2000） 打動作における主観的努力度と客観的達成度の対応関係—男女差の観点から—．スポーツ方法学研究, 13（1）：197-206.
- 河辺章子・大築立志（1980） 移動指標の方向変化に対する反応時間．体育学研究, 27：301-311.
- 衣笠隆・加賀勝（1985） サーブスピードの相違によるサーブ動作のキネマティック的解析，競技種目別競技力向上に関する研究，テニス研究報告ファイル No. 17:259-265.
- 小池関也・石川達也・藤井範久・阿江通良（2010） テニスサービス動作におけるラケット速度生成に対する上肢筋張力の貢献．日本機械工学会，スポーツ・アンド・ヒューマンダイナミクス2010講演論文集:66-71.

- 公益社団法人高等学校体育連盟（2012）平成23年度（財）全国高等学校体育連盟加盟状況（改正版）． <http://www.zen-koutairen.com/pdf/reg-23nen.pdf>
- 公益社団法人中学校体育連盟（2012）平成23年度部活調査集計：参考競技別参加生徒数．  
[http://www18.ocn.ne.jp/~njpa/pdf/kamei/h23kameiseito2\\_mf.pdf](http://www18.ocn.ne.jp/~njpa/pdf/kamei/h23kameiseito2_mf.pdf)
- 宮西智久・藤井範久・阿江通良・功力靖雄・岡田守彦（1996）野球の投球動作におけるボール速度に対する体幹および投球腕の貢献度に関する3次元的研究．体育学研究，41：23-37．
- 文部科学省（2008）中学校学習指導要領解説保健体育編．東山書房，東京．
- 文部科学省（2009）高等学校学習指導要領解説保健体育編．東山書房，東京．
- 文部科学省（2012）平成23年度学校基本調査年次統計．  
[http://www.mext.go.jp/component/b\\_menu/other/\\_\\_icsFiles/afieldfile/2012/02/06/1315583\\_2.pdf](http://www.mext.go.jp/component/b_menu/other/__icsFiles/afieldfile/2012/02/06/1315583_2.pdf)
- 奈良勲・熊本水頼・内山靖・畠直輝（2008）二関節筋—運動制御とリハビリテーション—医学書院，東京．
- 大築立志（1988）「たくみ」の科学，朝倉書店，東京：pp199-225．
- 笹川スポーツ財団（2012）青少年のスポーツライフデータ2012：—10代のスポーツライフに関する調査報告書—．笹川スポーツ財団，東京．
- 鈴木一行（2005）新版テニス指導教本，初版，第2章，テニスの科学，株式会社大修官書店，東京：pp25-64．
- 田邊智・伊藤章（2008）テニスサービス時のラケットヘッド速度へのラケット並進運動と回転運動の貢献．大阪体育学研究，46：11-25．
- 種ヶ島尚志・高橋正則・加藤史夫・青山清英（2002）テニスのサービスにおける主観的努力度がパフォーマンスに与える影響．スポーツ方法学研究，15（1）：15-23．
- 図子浩二・高松薫（1995）リバウンドジャンプにおける踏切時間を短縮する要因：下肢の各関節の仕事と着地に対する予測に着目して．体育学研究，40：29-39．

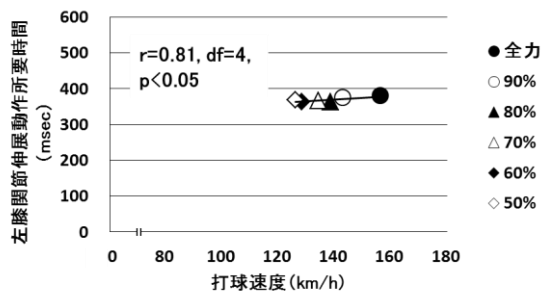
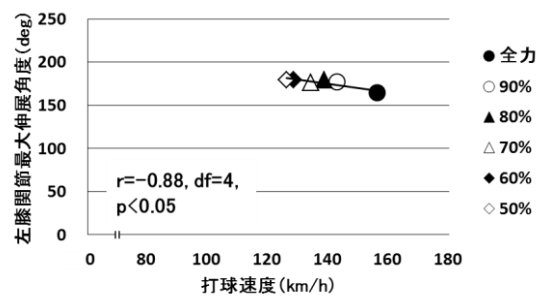
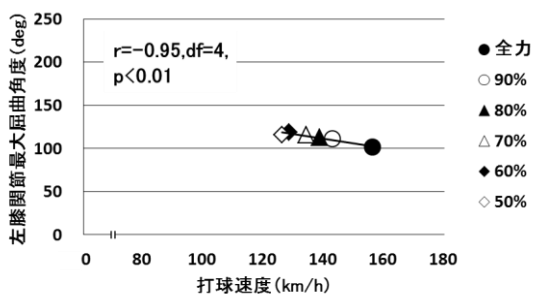
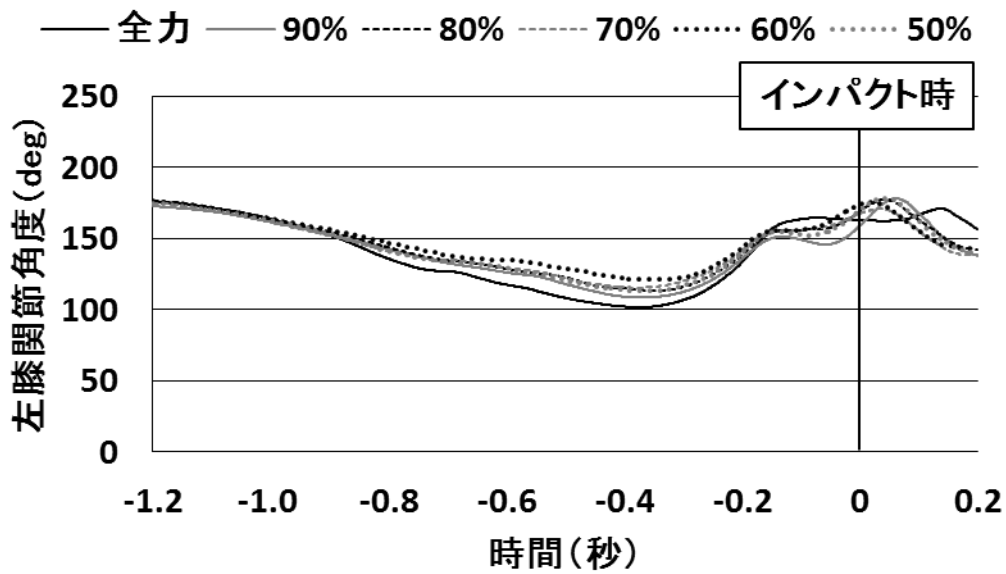
- Aschersleben G. and Prinz W. (1995) Synchronizing actions with events: The role of sensory information. *Perception and Psychophysics*, 57: 305-317.
- Bahamonde R. E. (2000) Changes in angular momentum during the tennis serve. *Journal of Sports Science*, 18:579-592.
- Brody H. (2003) Serving strategy. *ITF Coaching Sport Science Review*, 31:2-3.
- Desmedt J. E. and Godaux E. (1978) Ballistic skilled movements: load compensation and patterning of the motor commands. *Cerebral Motor Control in Man: Long Loop Mechanism*, Desmedt, J. E. ed., *Prong. Clinical Neurophysiology*, Vol.4, Karger, Basel:pp21-55.
- Desmedt J. E. and Godaux E. (1979) Voluntary motor commands in human ballistic movements. *Annals of Neurology*, 5:415-421.
- Elliott B. C. and Wood G. A. (1983) The biomechanics of the foot-up and foot-back tennis service techniques. *The Australian Journal of Sports Science*, 3:3-6.
- Elliott B. C., Marsh T. and Blanksby B. (1986) A Three-Dimensional Cinematographic Analysis of the Tennis Serve. *Journal of Applied Biomechanics*, 2 (4) :260-271.
- Elliott B. C., Baxter K. G. and Besier T. F. (1999) Internal rotation of the upper-arm segment during a stretch-shorten cycle movement. *Journal of Applied Biomechanics*, 15:381-395.
- Elliott B. C., Marshall R. N. and Noffal G. (1995) Contributions of upper limb segment rotations during the power serve in tennis. *Journal of Applied Biomechanics*, 11:433-442.
- Elliott B. and Saviano N. (2001) Chapter twelve serves and returns. In: Paul Roetert and Jack Groppe ed., *World-Class Tennis Technique*. Human Kinetics, Champaign:pp207-221.
- Fleisig G., Nicholls R., Elliott B. and Escamilla R. (2003) Kinematics used by world class tennis players to produce high-

- velocity serves. *Sports Biomechanics*, 2 (1) :51-64.
- Girard O., Micallef J. P. and Millet G. P. (2005) Lower-limb activity during the power serve in tennis. : Effects of performance level. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37 (6) :1021-1029.
- Girard O., Micallef J. P. and Millet G. P. (2007) Influence of restricted knee motion during the flat first serve in tennis. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21 (3) :950-957.
- Gordon B. J. and Dapena J. (2006) Contributions of joint rotations to racquet speed in the tennis serve. *Journal of Sports Sciences*, 24 (1) :31-49.
- Hirashima M., Kubo K., Watari K. and Ohtsuki T. (2006) Control of 3D Limb Dynamics in Unconstrained Over Throws of Different Speeds Performed by Skilled Baseball Players. *Journal of Neurophysiology*, 97:680-691.
- Reid M. M., Elliott B. C. and Alderson J. A. (2008) Lower-limb coordination and shoulder joint mechanics in the tennis serve. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40 (2) : 308-315.
- Tanabe S. and Ito A. (2007) A three-dimensional analysis of the contributions of upper limb joint movements to horizontal racket head velocity at ball impact during tennis serving. *Sports Biomechanics*, 6 (3) :418-433.
- Van Gheluwe B. and Hebbelinck M. (1986) Muscle actions and ground reaction forces in tennis. *Journal of Applied Biomechanics*, 2 (2) :88-99.
- Wilson G. J., Elliott B. C. and Wood G. A. (1991) The effect on performance of imposing a delay during a stretch-shorten cycle movement. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23 (3) :364-370.

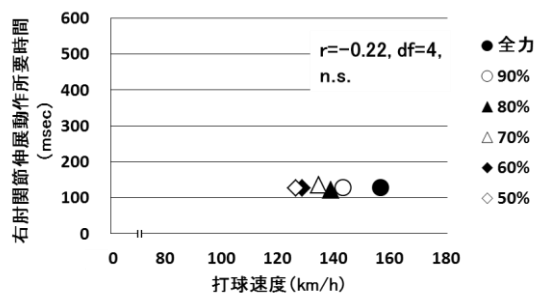
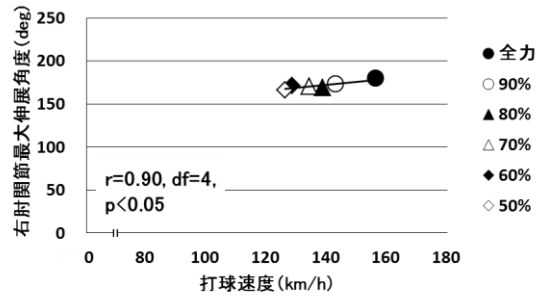
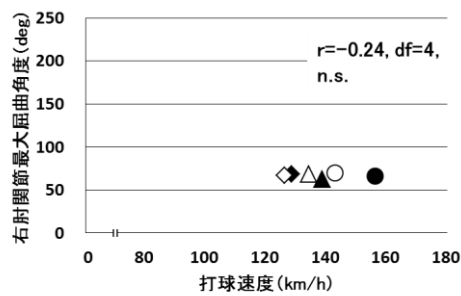
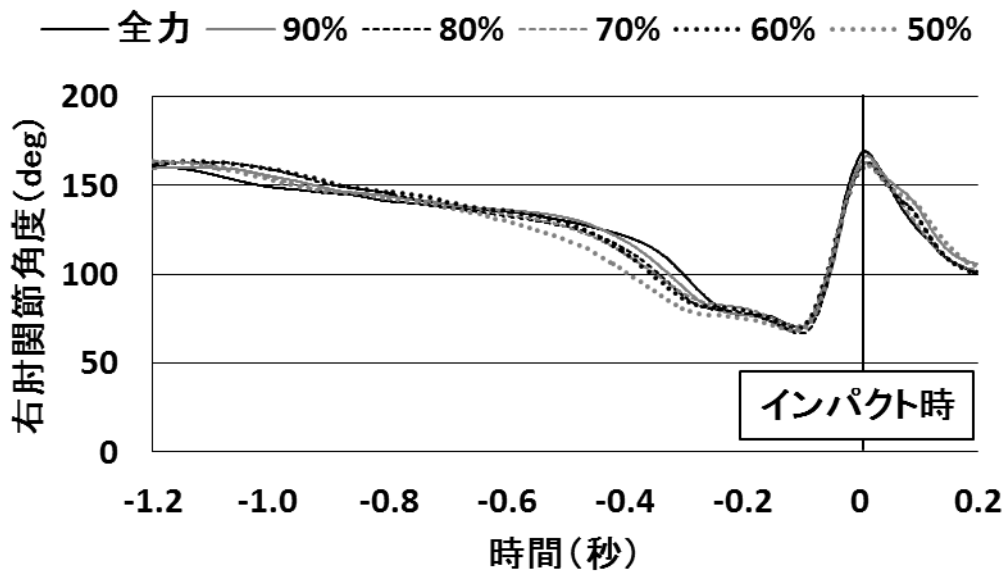
資料 (本論第1章に関する資料)



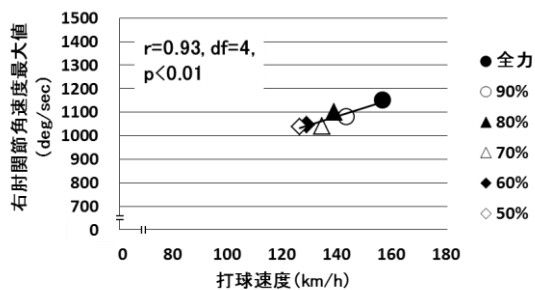
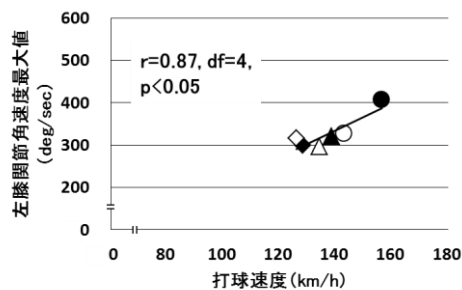
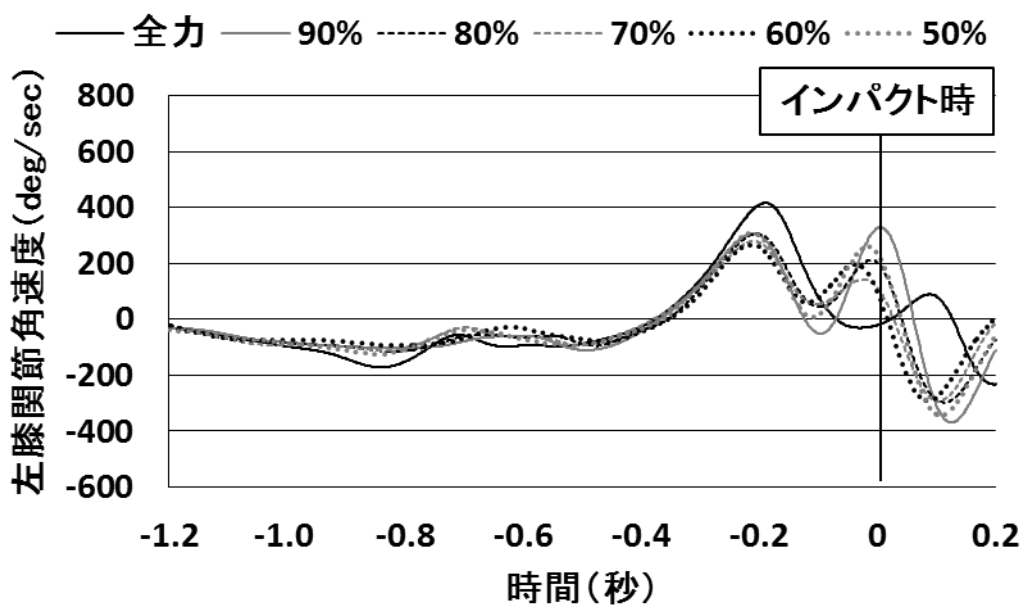
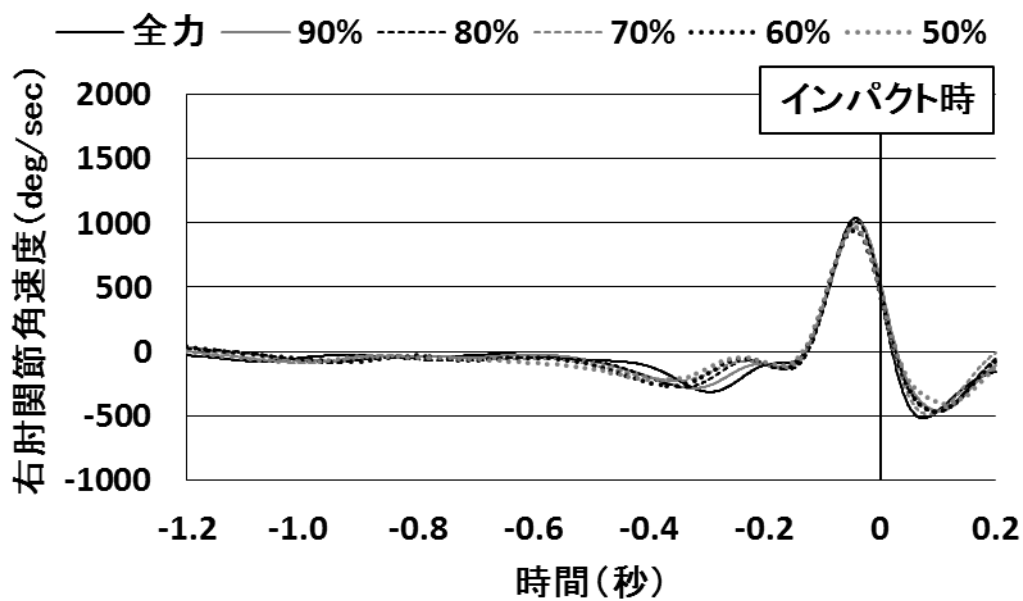
資料 1 被験者 B の各課題で得られた床反力垂直成分波形および打球速度と床反力垂直成分最大値との相関



資料 2 被験者 B の各課題で得られた左膝関節角度推移波形および左膝関節最大屈曲角度・最大伸展角度・伸展動作所要時間と打球速度との相関

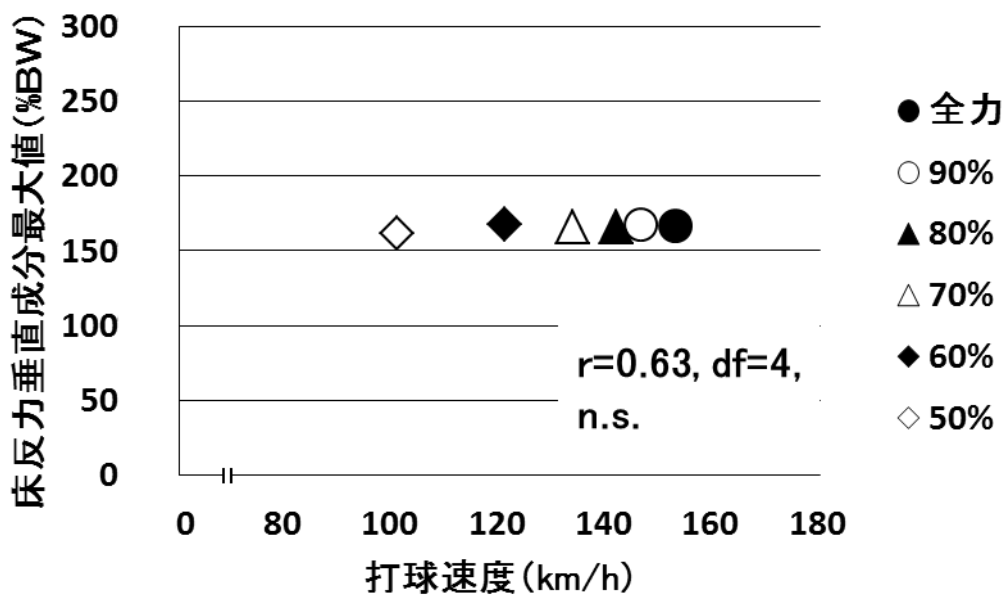
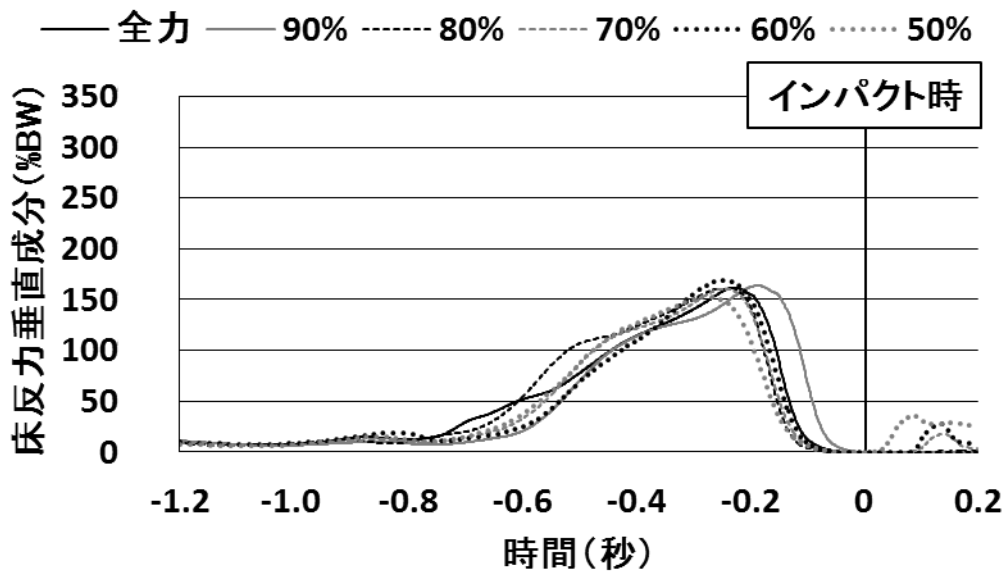


資料 3 被験者 B の各課題で得られた右肘関節角度推移波形および右肘関節最大屈曲角度・最大伸展角度・伸展動作所要時間と打球速度との相関

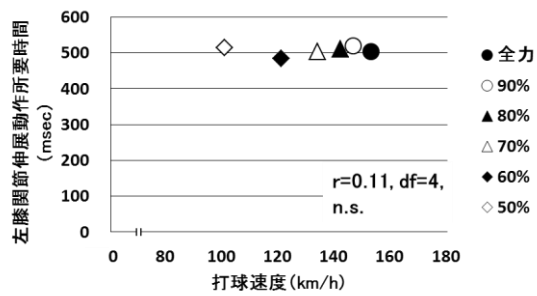
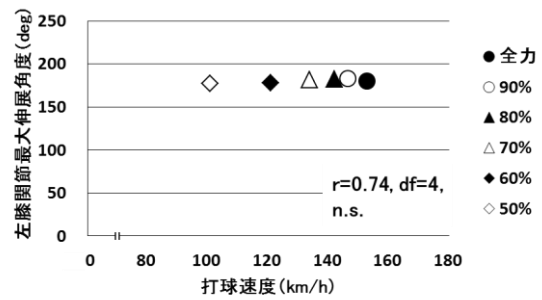
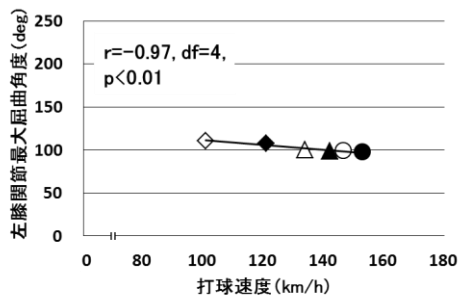
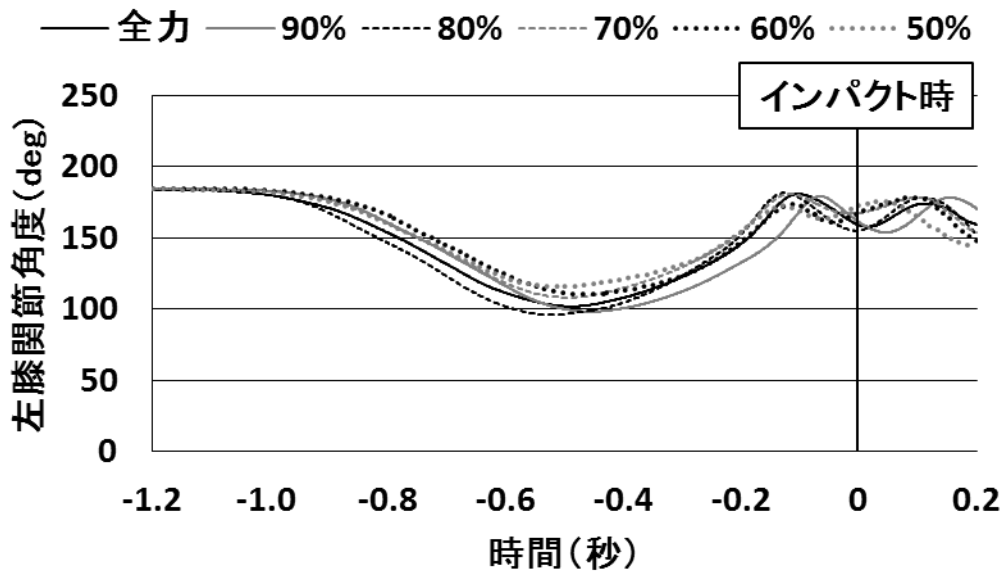


資料 4 被験者 B の各課題で得られた左膝関節および右肘関節角速度推移波形ならびに両関節角速度最大値と打球速度との相関

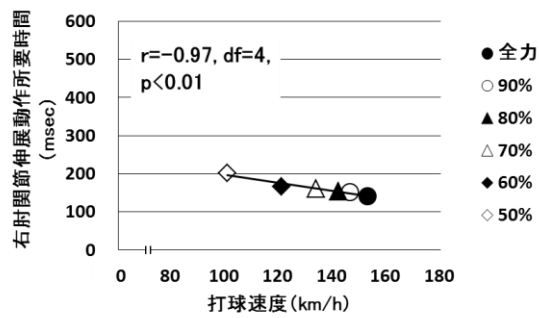
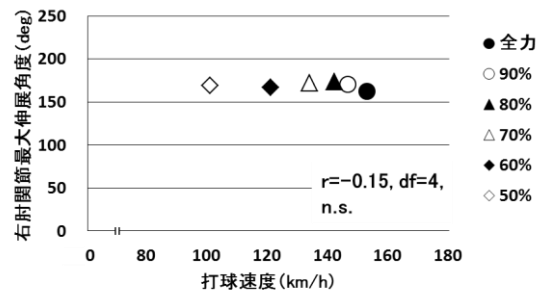
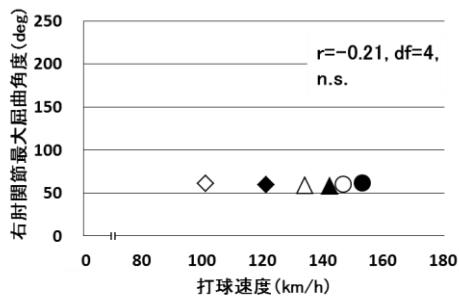
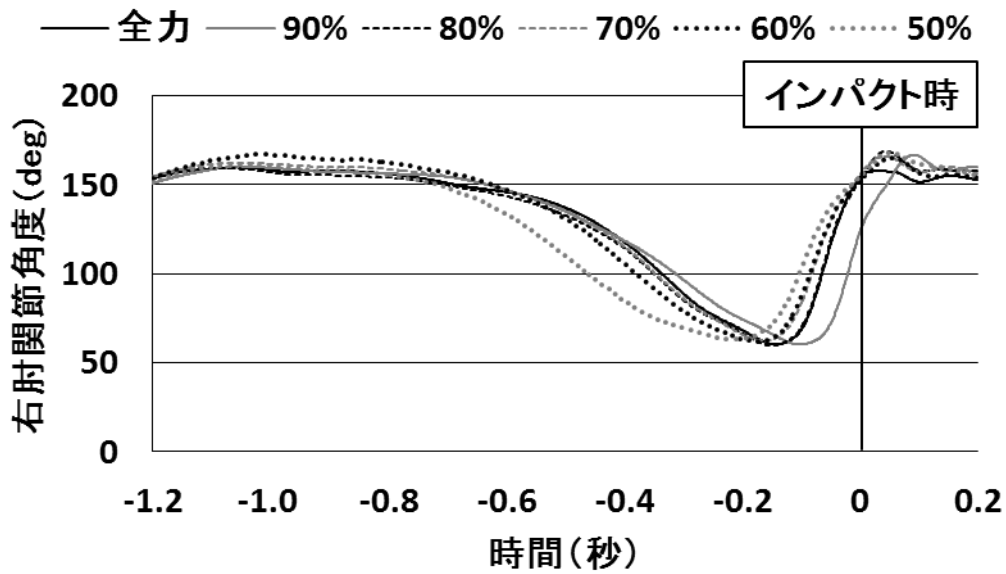




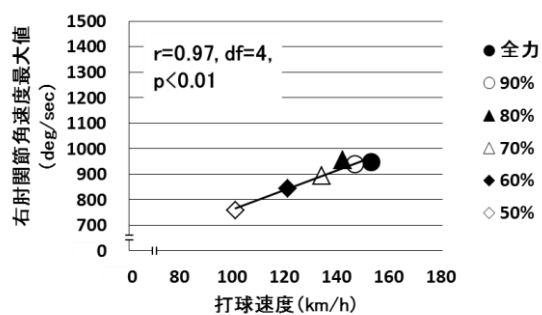
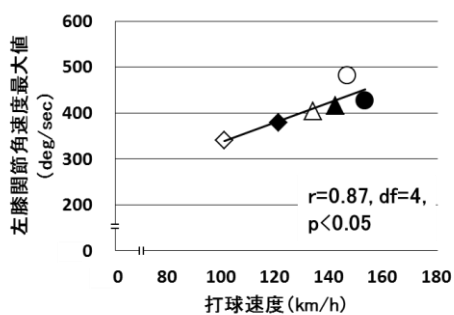
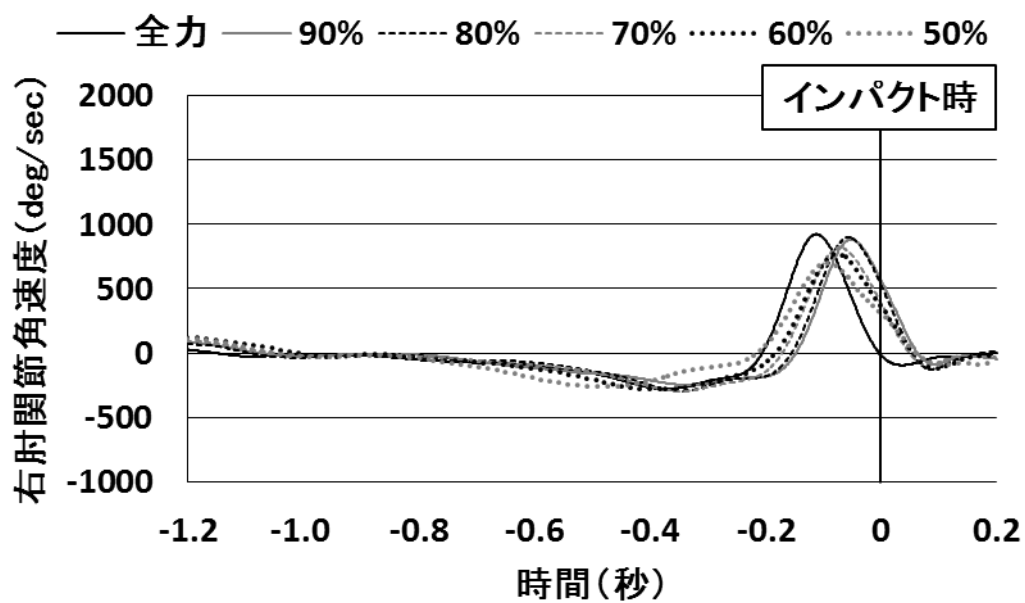
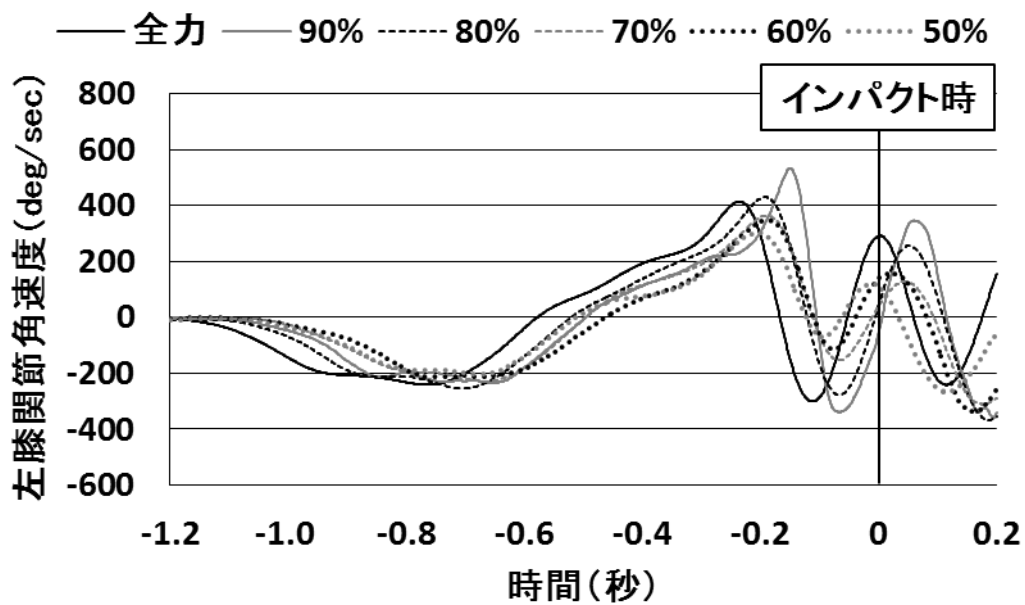
資料 5 被験者 C の各課題で得られた床反力垂直成分波形および打球速度と床反力垂直成分最大値との相関



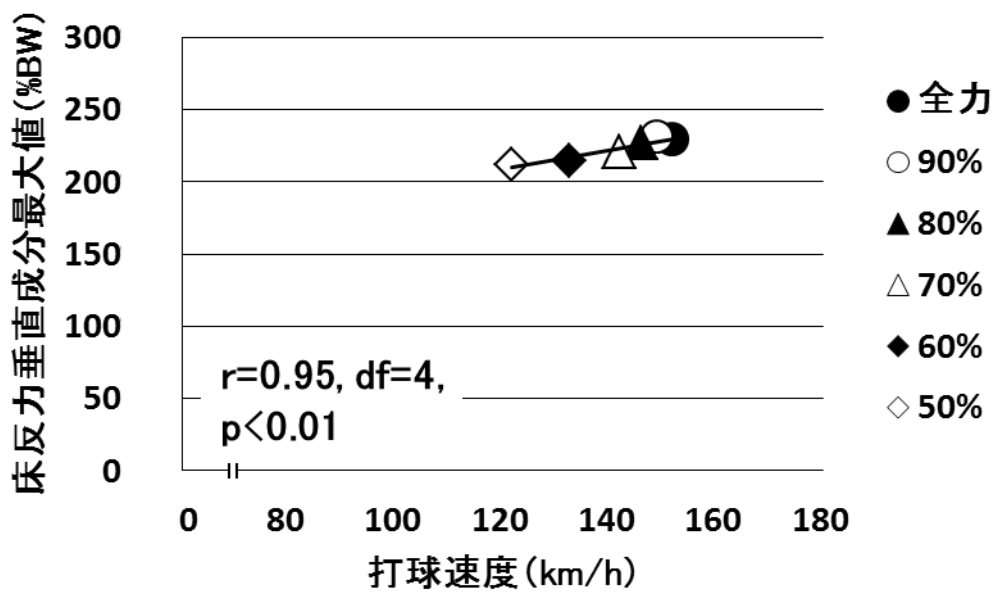
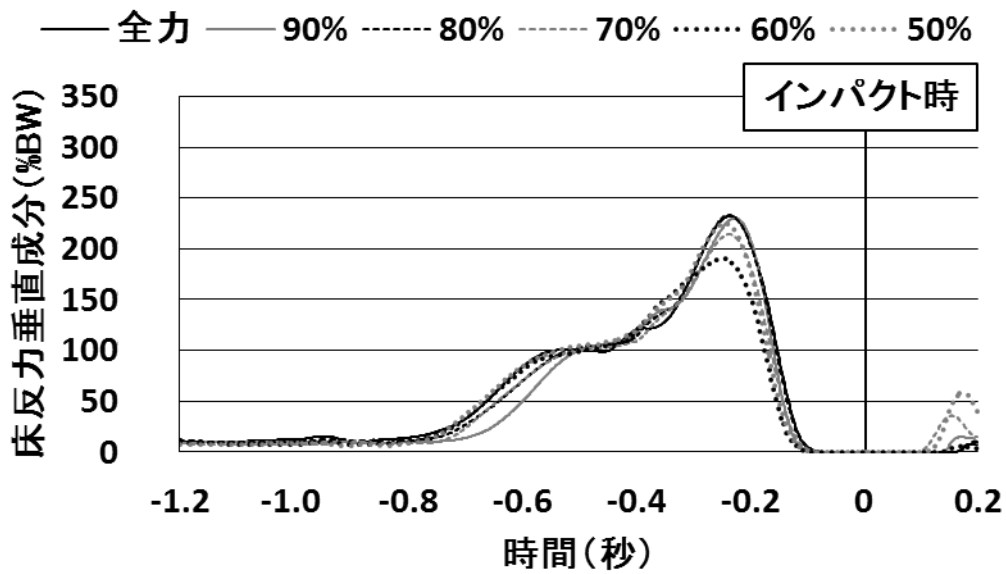
資料 6 被験者 C の各課題で得られた左膝関節角度推移波形および左膝関節最大屈曲角度・最大伸展角度・伸展動作所要時間と打球速度との相関



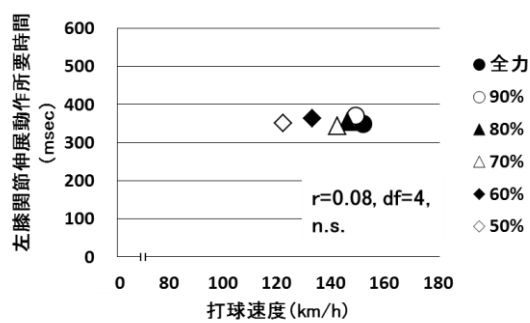
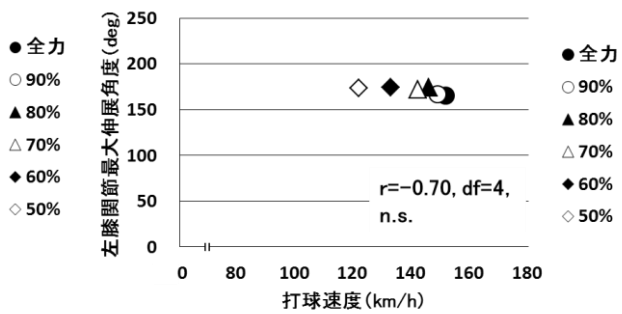
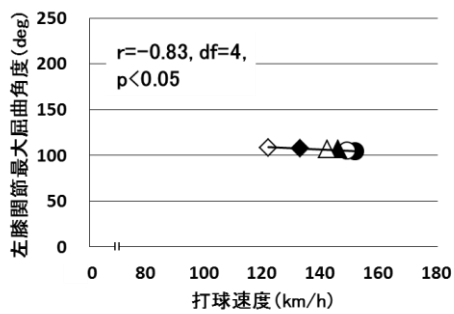
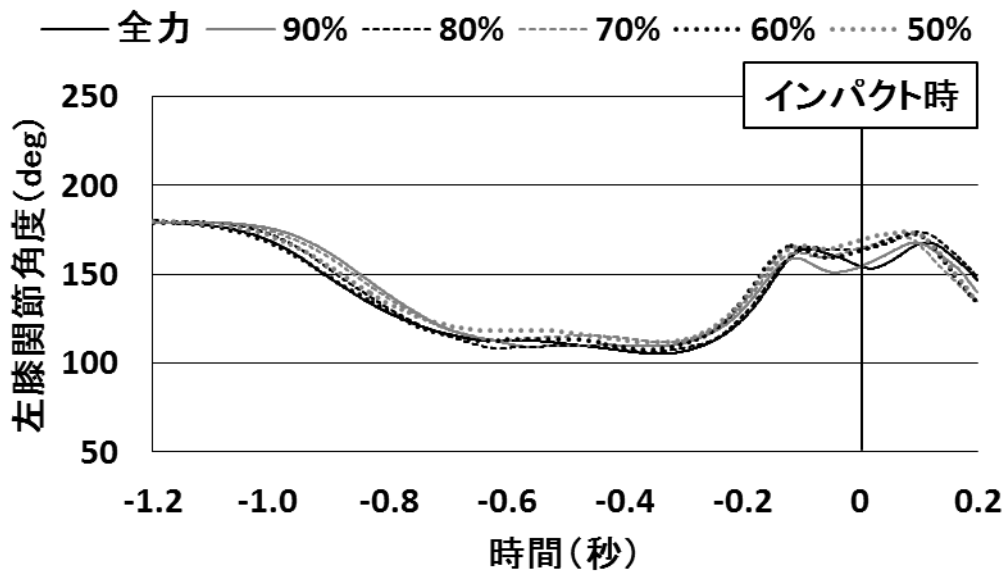
資料 7 被験者 C の各課題で得られた右肘関節角度推移波形および右肘関節最大屈曲角度・最大伸展角度・伸展動作所要時間と打球速度との相関



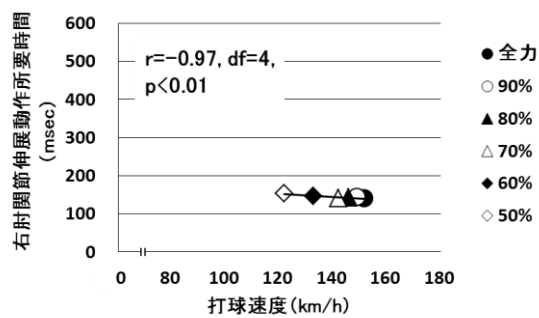
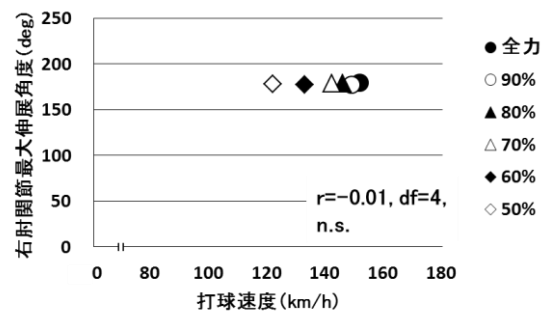
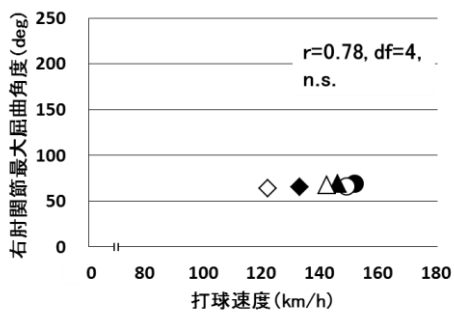
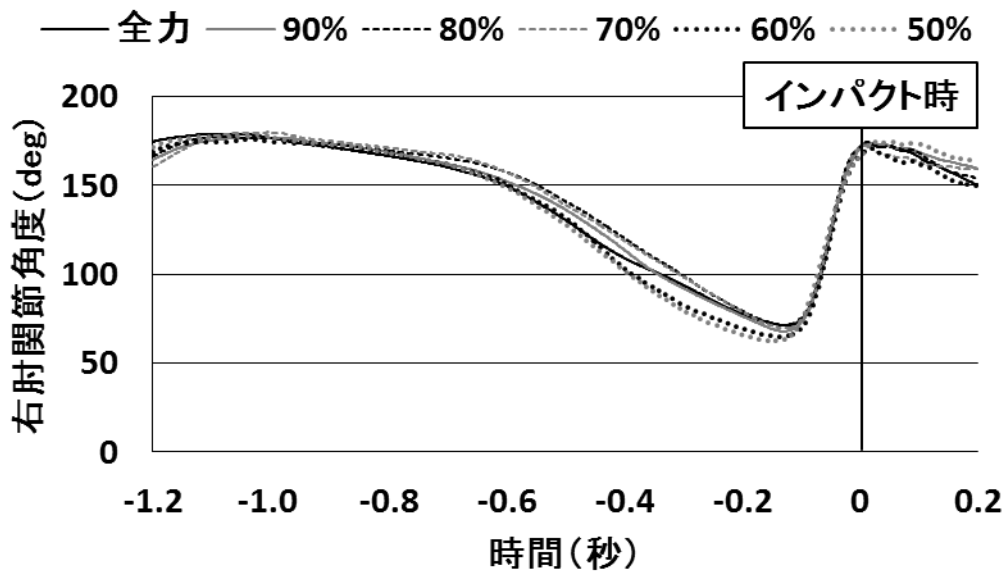
資料 8 被験者 C の各課題で得られた左膝関節および右肘関節角速度推移波形ならびに両関節角速度最大値と打球速度との相関



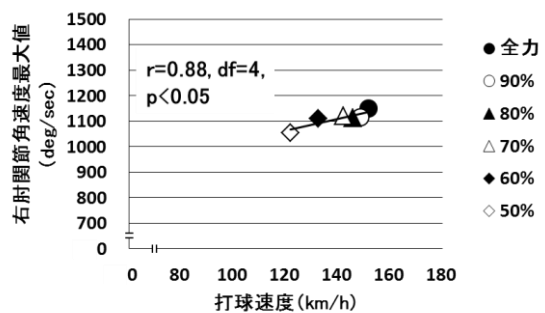
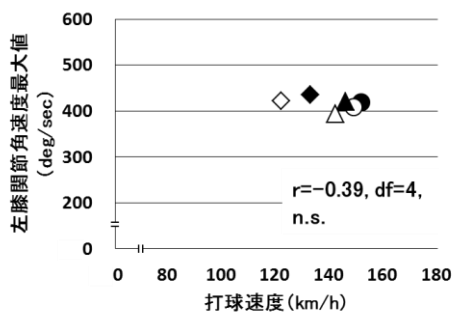
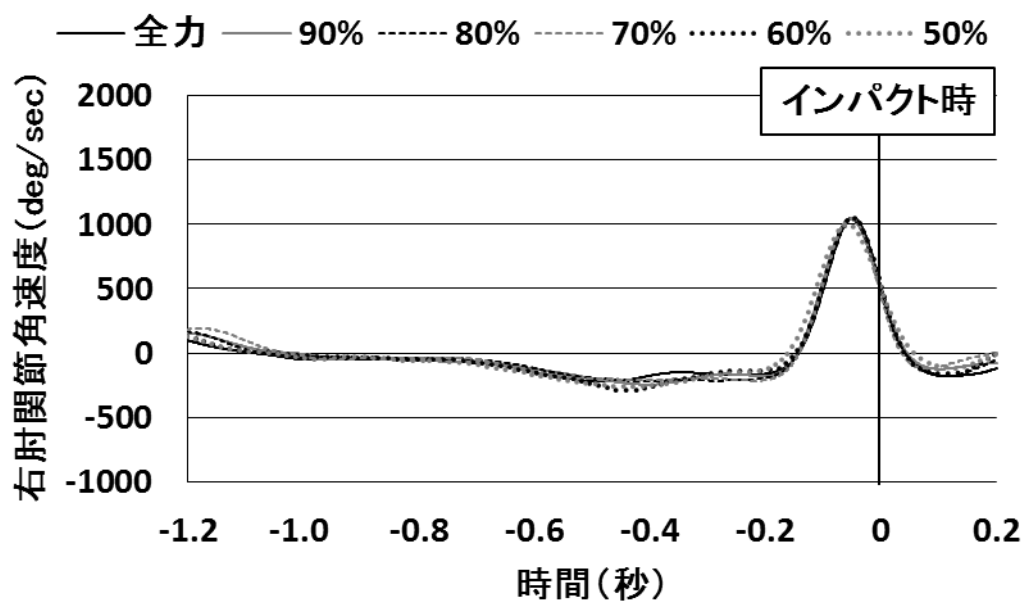
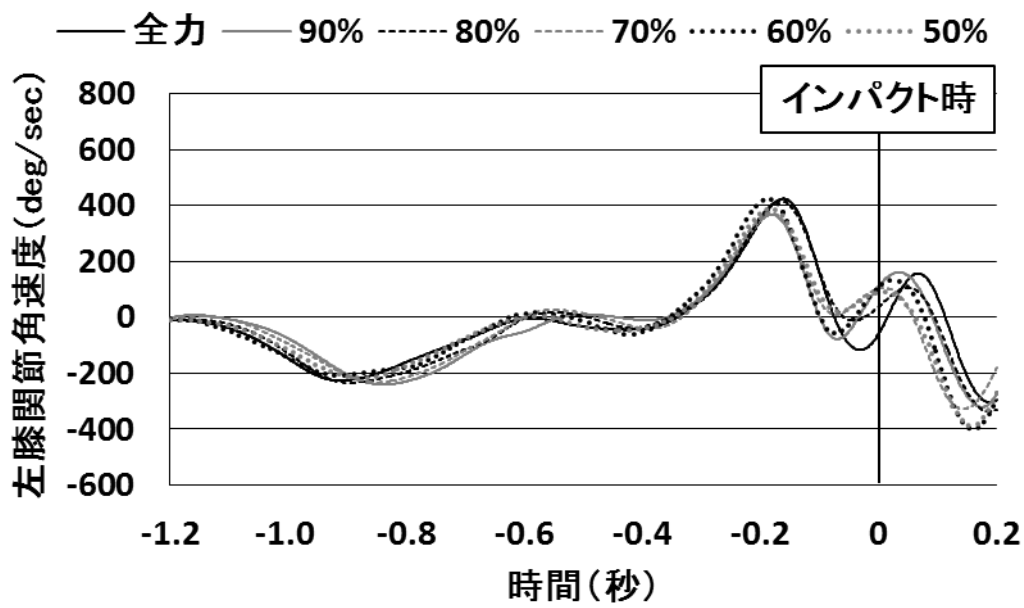
資料 9 被験者 D の各課題で得られた床反力垂直成分波形(再掲)および打球速度と床反力垂直成分最大値との相関(再掲)



資料 10 被験者 D の各課題で得られた左膝関節角度推移波形および左膝関節最大屈曲角度・最大伸展角度・伸展動作所要時間と打球速度との相関

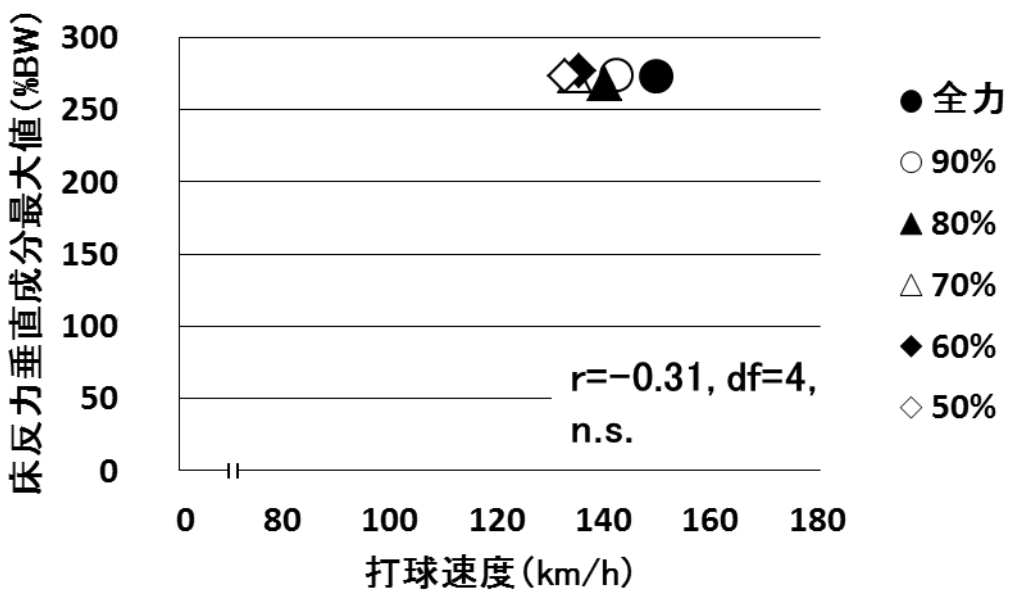
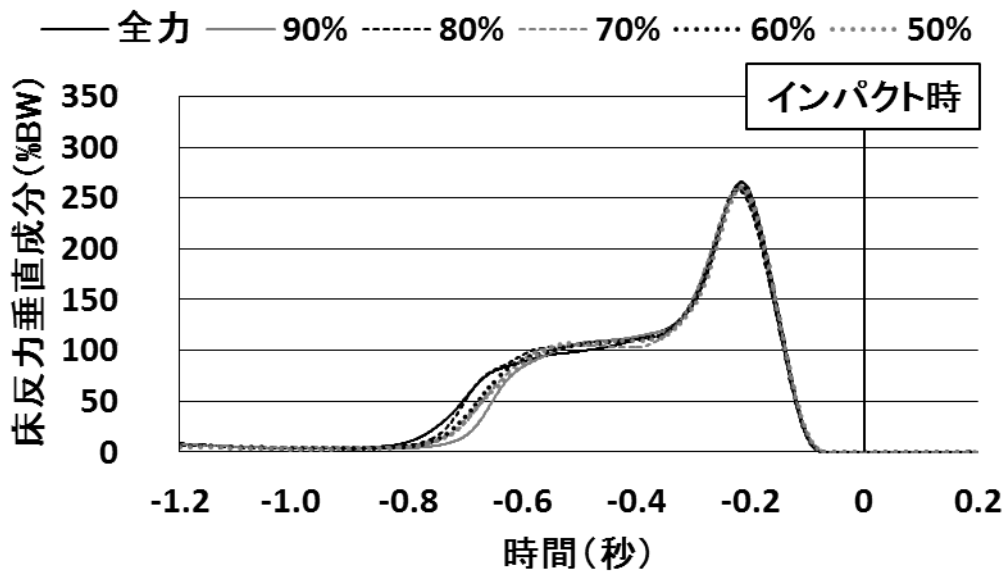


資料 11 被験者 D の各課題で得られた右肘関節角度推移波形および右肘関節最大屈曲角度・最大伸展角度・伸展動作所要時間と打球速度との相関

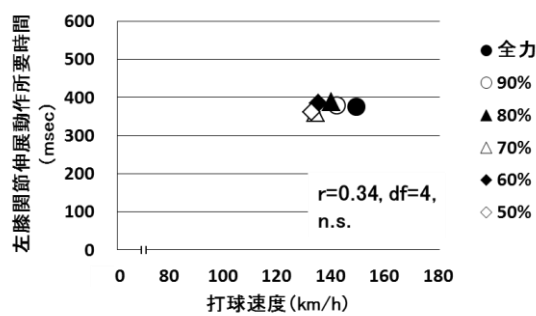
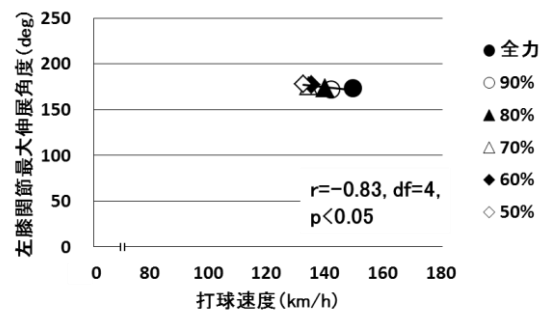
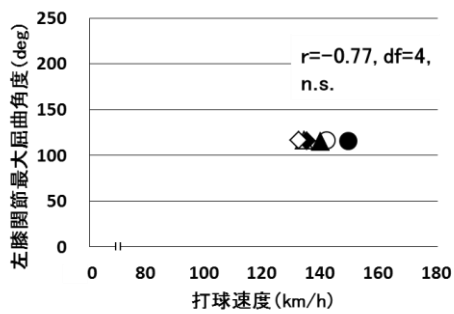
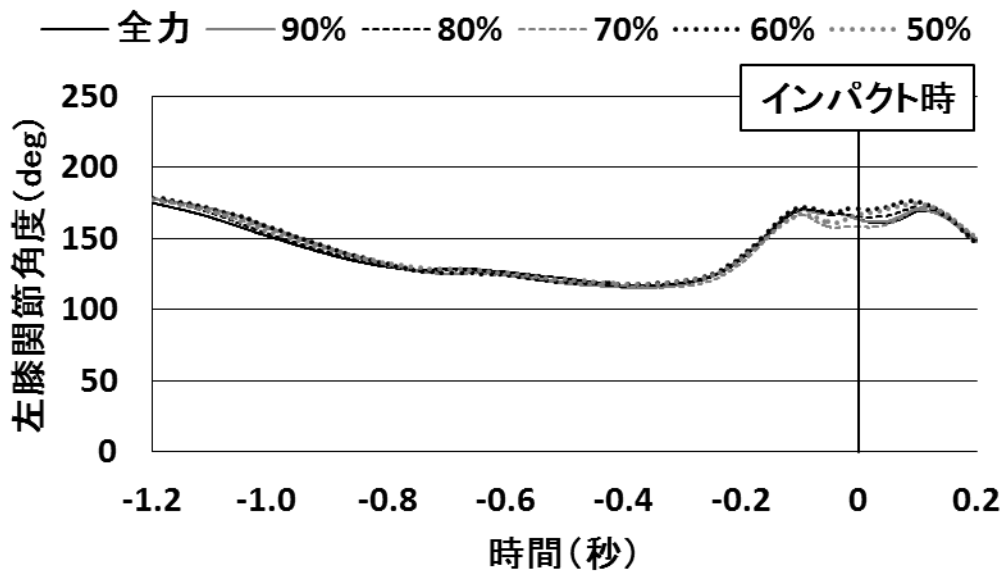


資料 12 被験者 D の各課題で得られた左膝関節および右肘関節角速度推移波形ならびに両関節角速度最大値と打球速度との相関

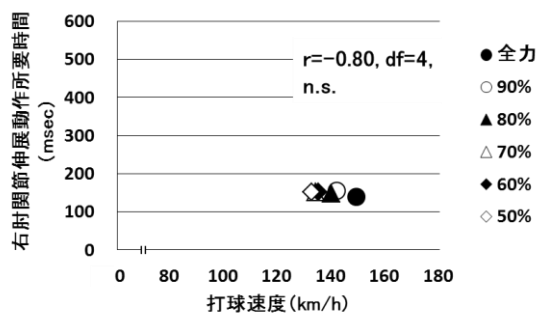
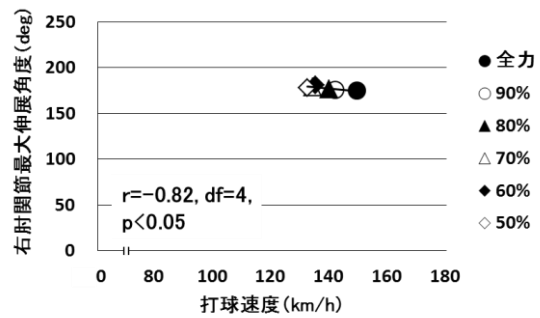
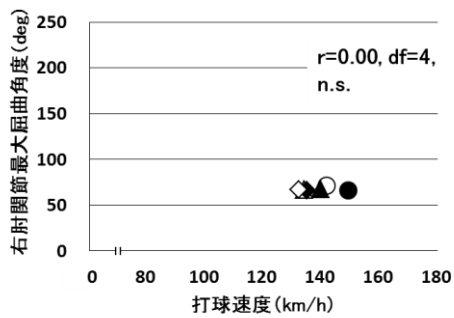
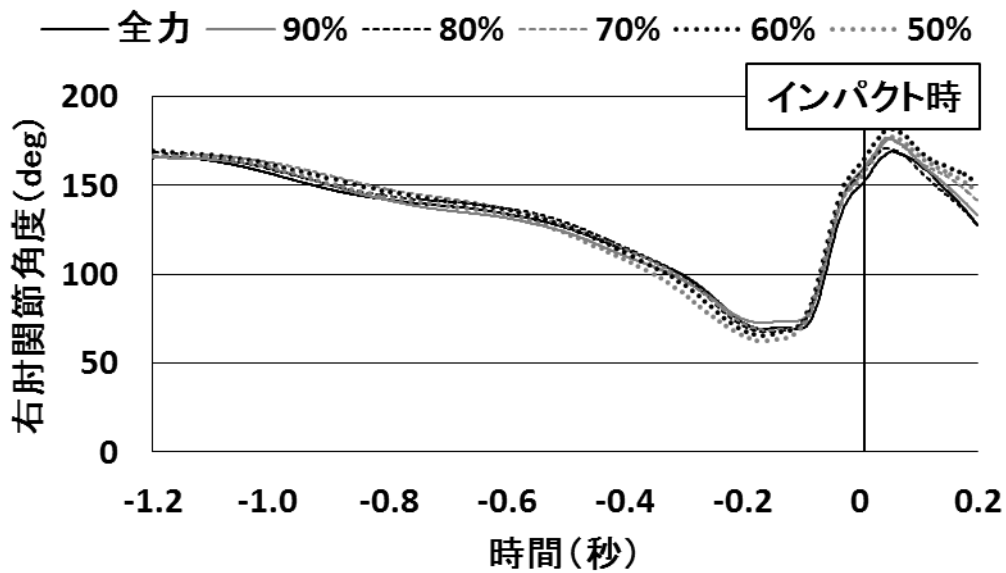




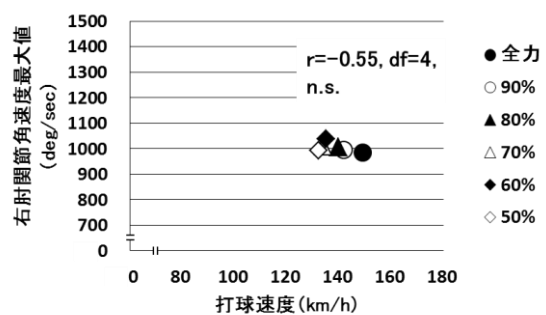
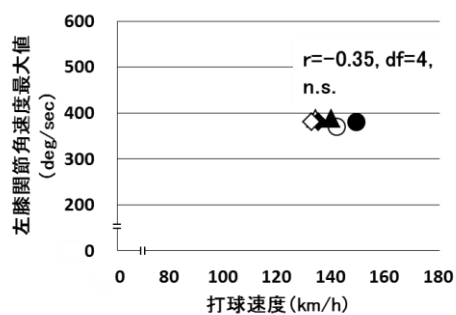
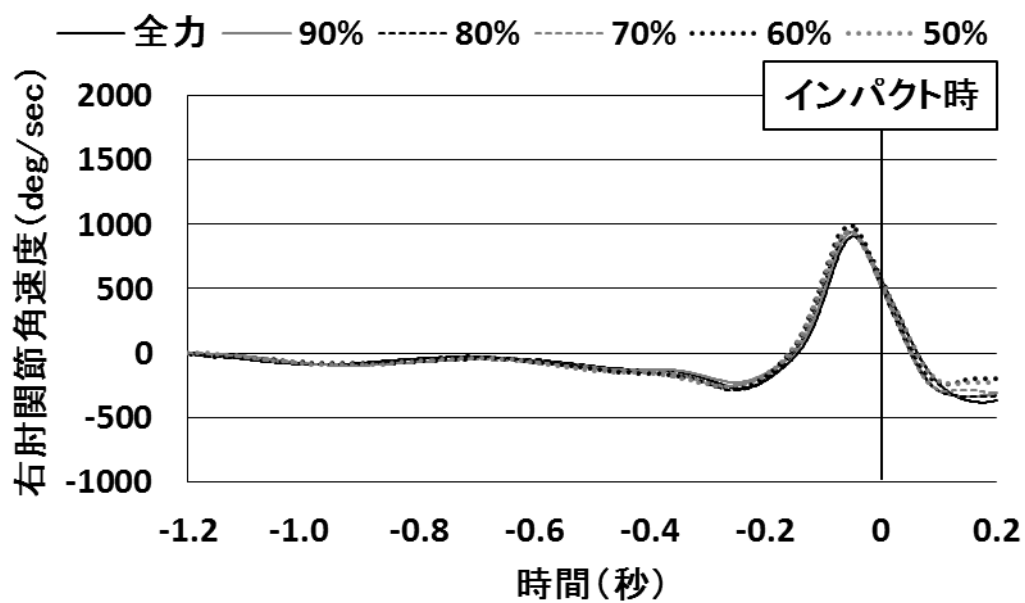
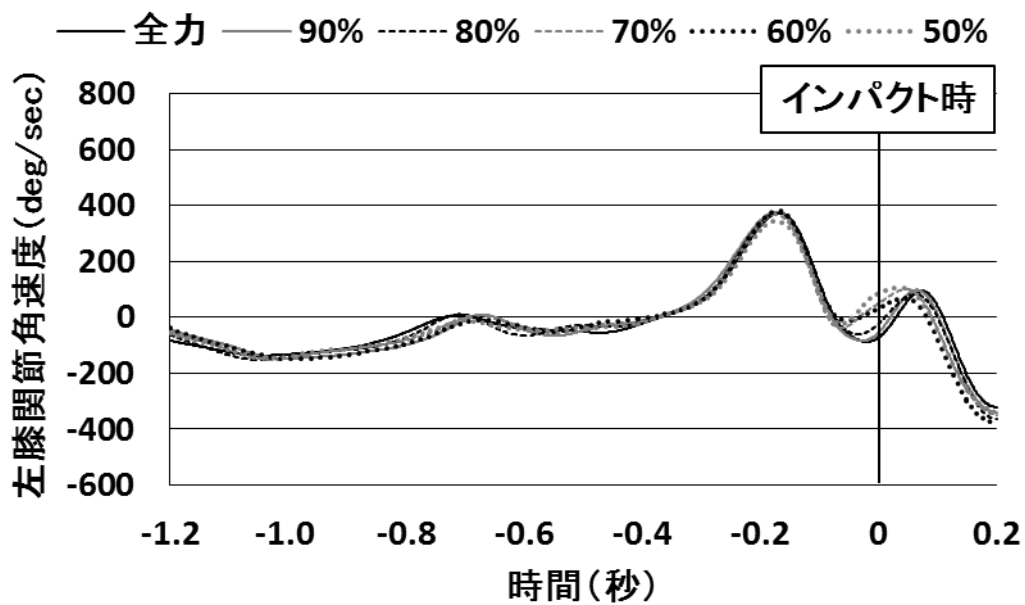
資料 13 被験者 E の各課題で得られた床反力垂直成分波形および打球速度と床反力垂直成分最大値との相関



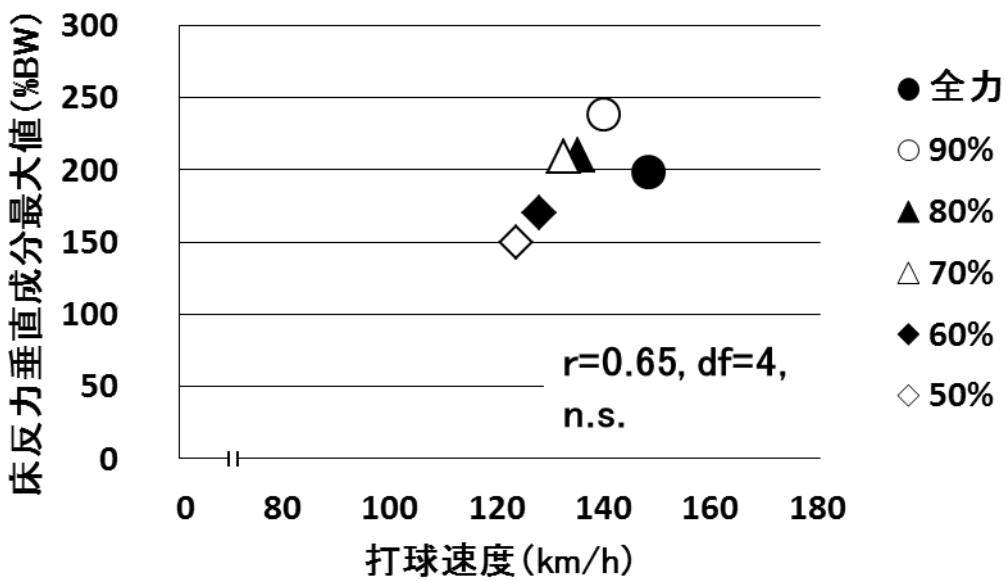
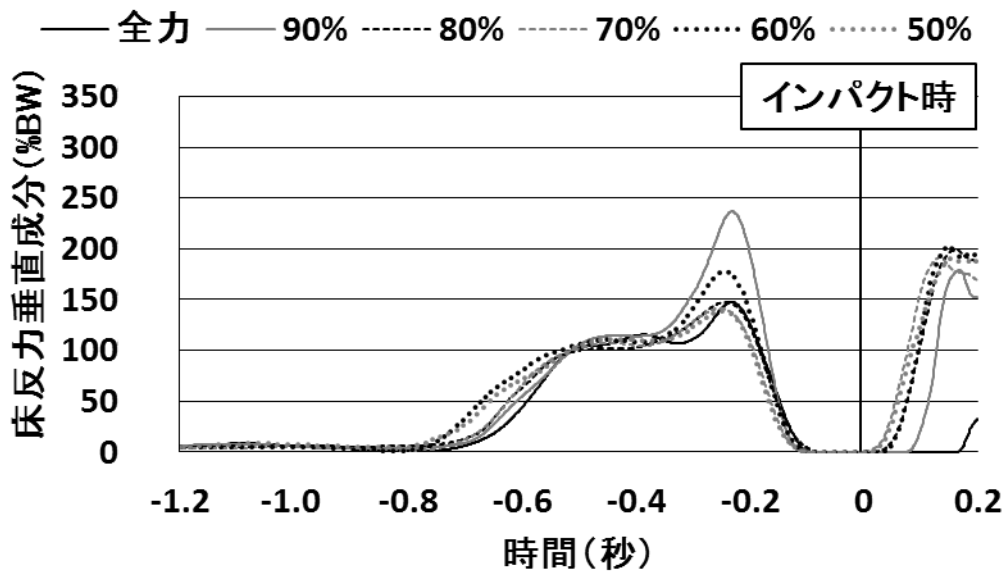
資料 14 被験者 E の各課題で得られた左膝関節角度推移波形および左膝関節最大屈曲角度・最大伸展角度・伸展動作所要時間と打球速度との相関



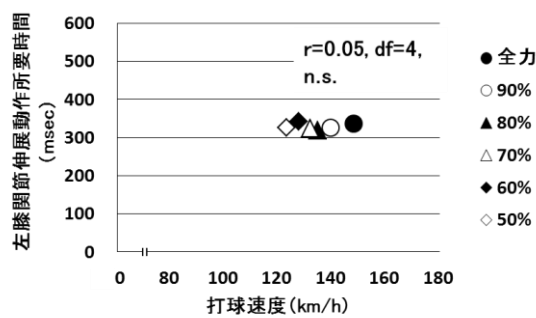
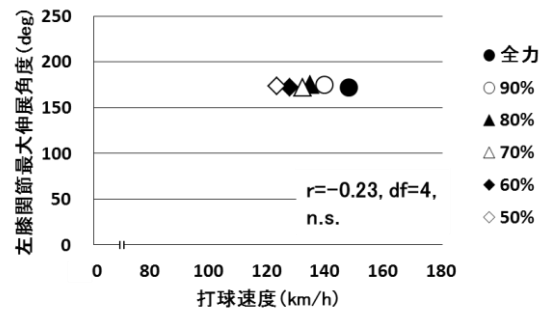
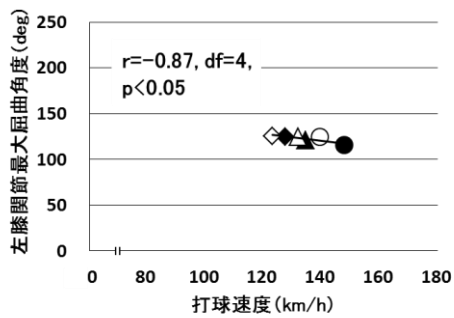
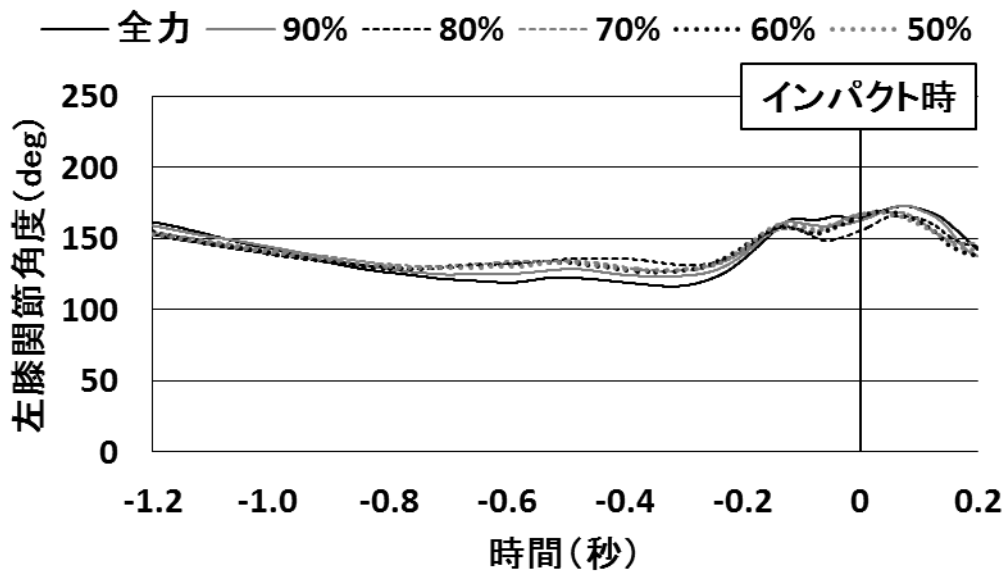
資料 15 被験者 E の各課題で得られた右肘関節角度推移波形および右肘関節最大屈曲角度・最大伸展角度・伸展動作所要時間と打球速度との相関



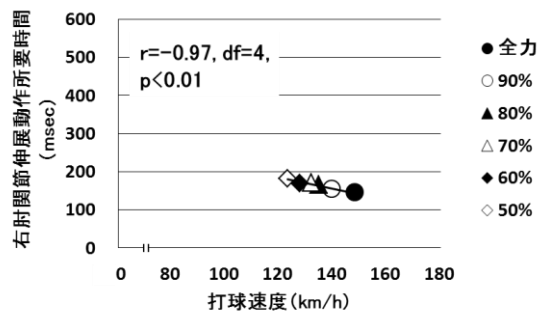
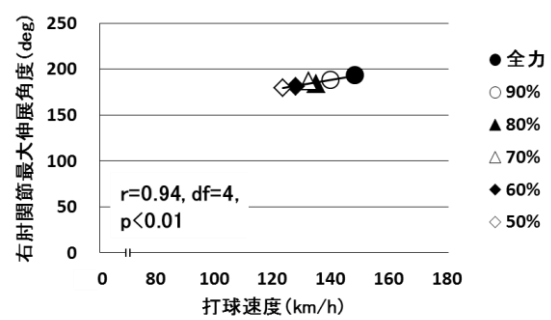
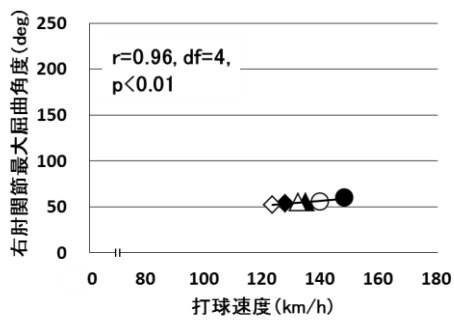
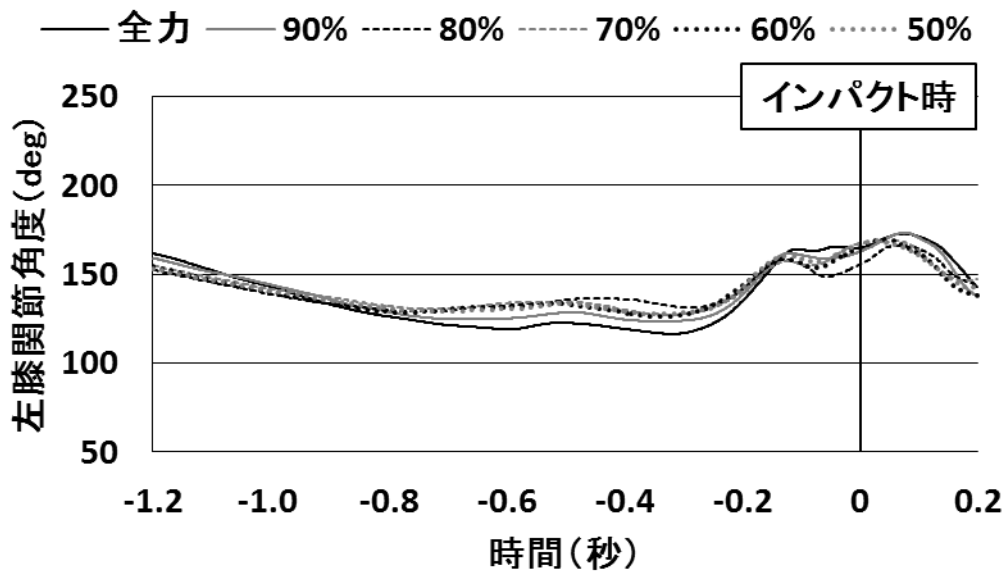
資料 16 被験者 E の各課題で得られた左膝関節および右肘関節角速度推移波形ならびに両関節角速度最大値と打球速度との相関



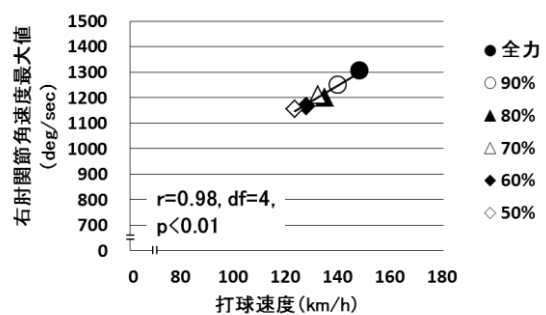
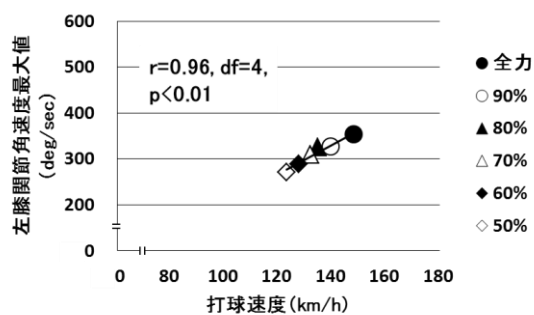
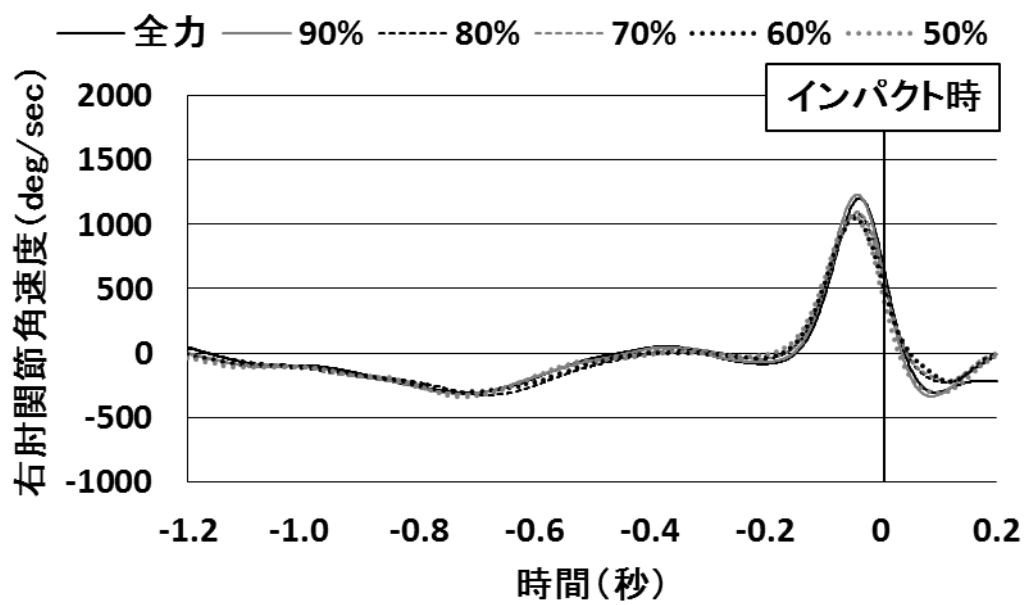
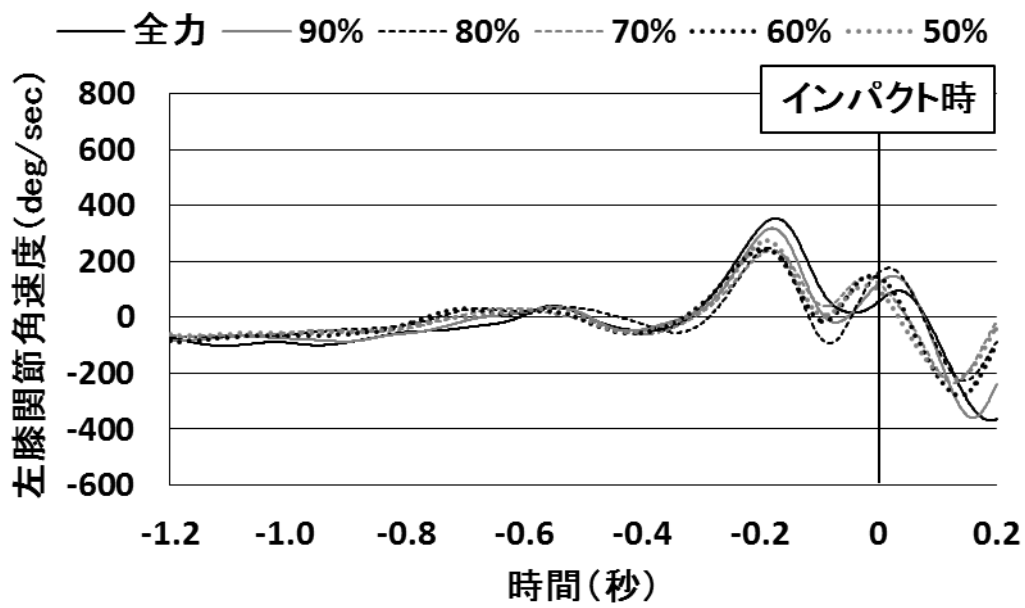
資料 17 被験者 F の各課題で得られた床反力垂直成分波形および打球速度と床反力垂直成分最大値との相関



資料 18 被験者 F の各課題で得られた左膝関節角度推移波形および左膝関節最大屈曲角度・最大伸展角度・伸展動作所要時間と打球速度との相関

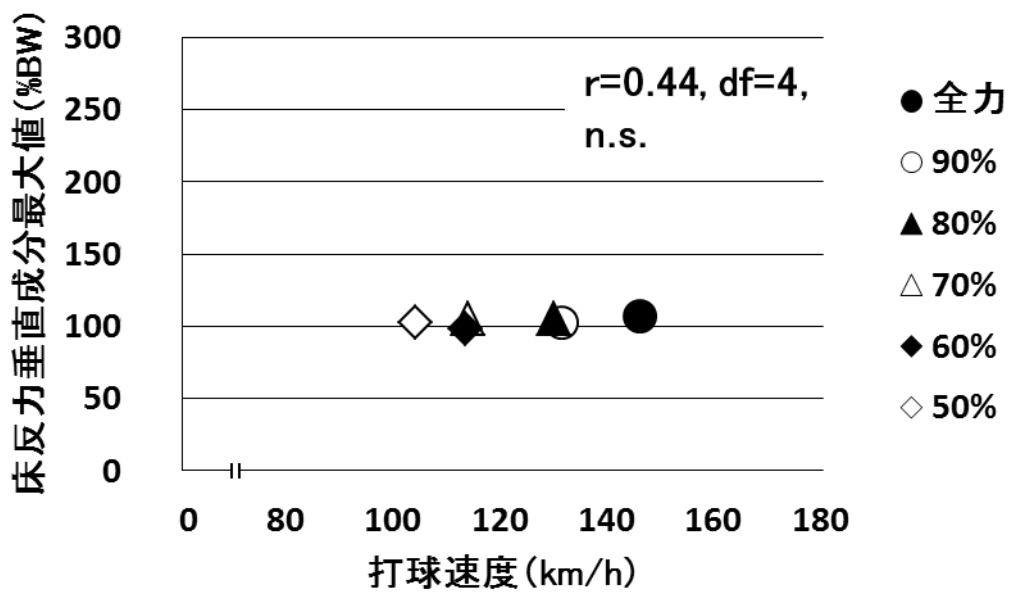
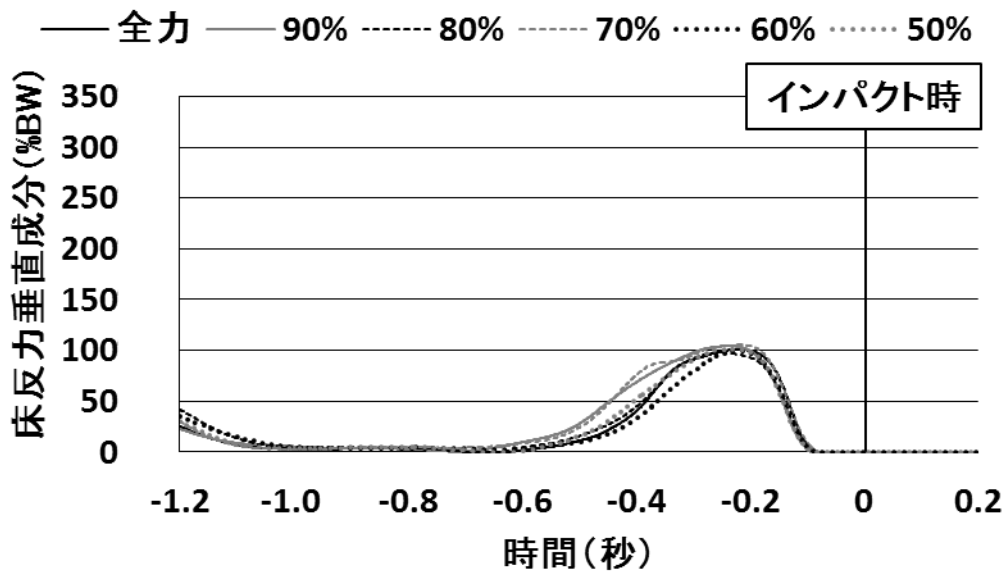


資料 19 被験者 F の各課題で得られた右肘関節角度推移波形および右肘関節最大屈曲角度・最大伸展角度・伸展動作所要時間と打球速度との相関

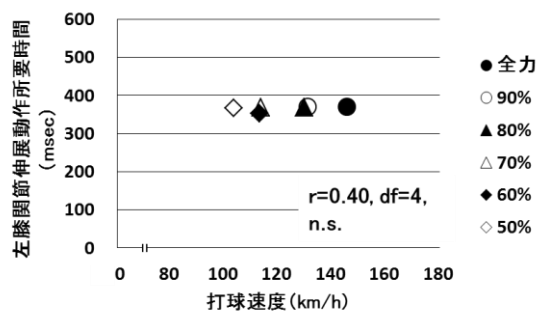
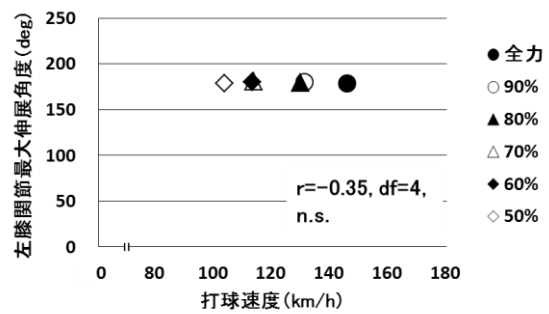
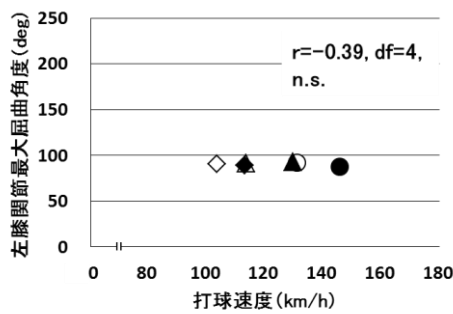
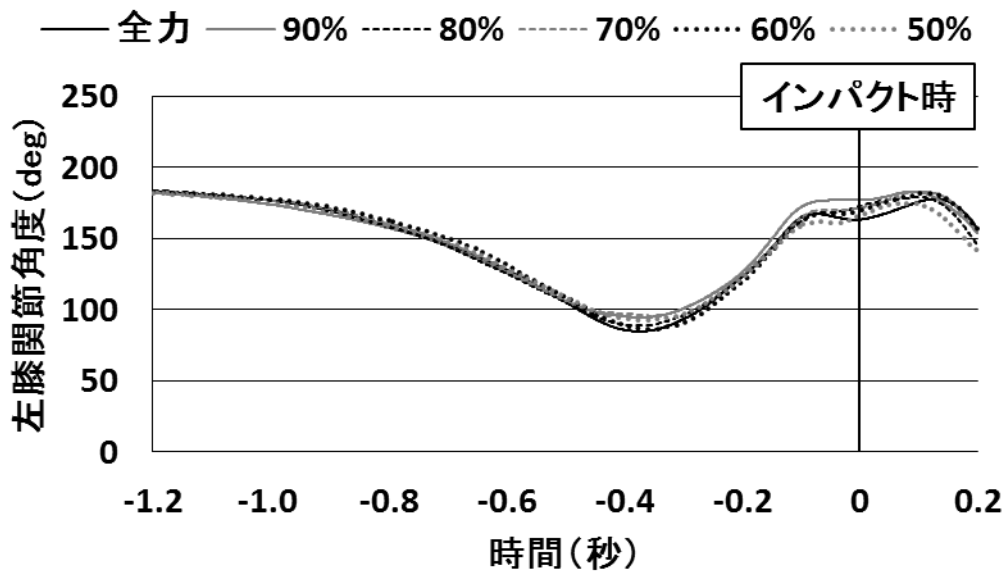


資料 20 被験者 F の各課題で得られた左膝関節および右肘関節角速度推移波形ならびに両関節角速度最大値と打球速度との相関

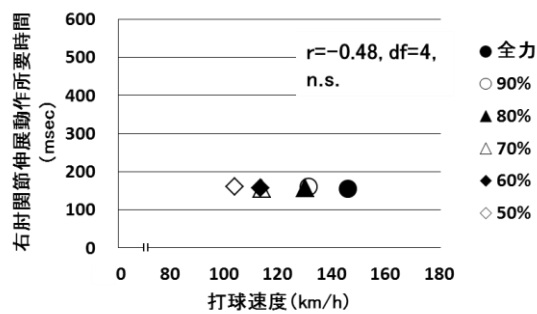
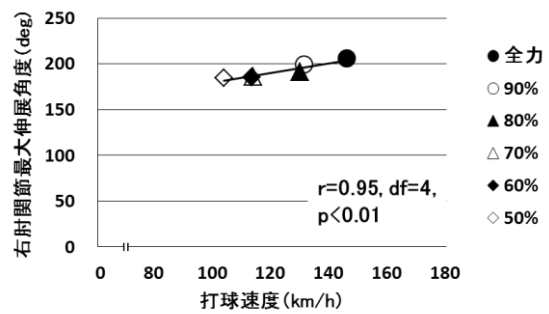
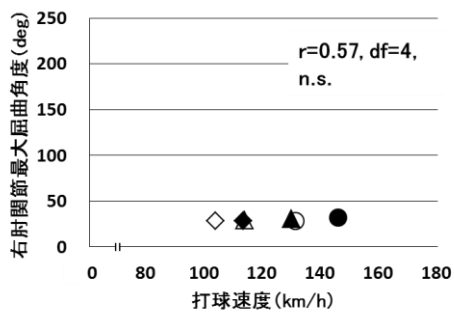
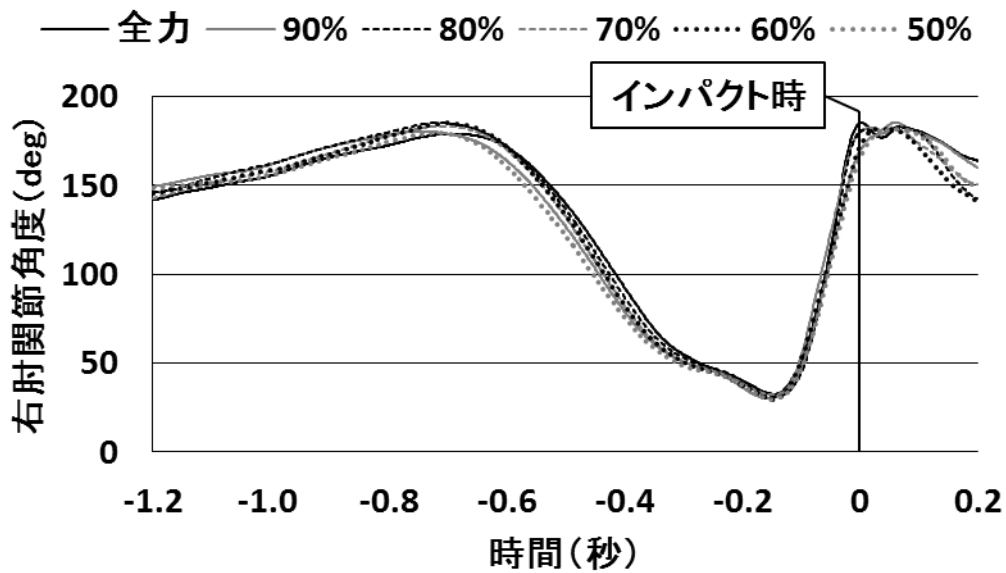




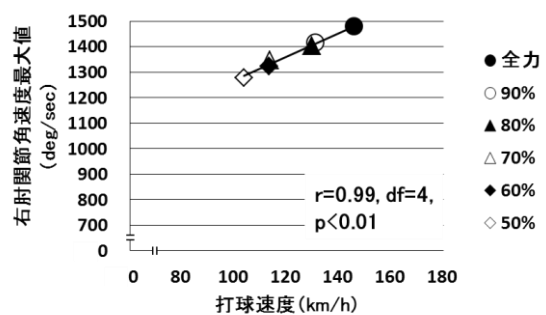
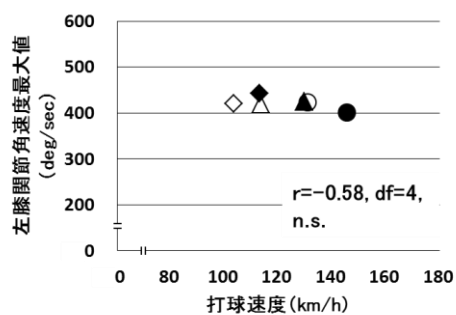
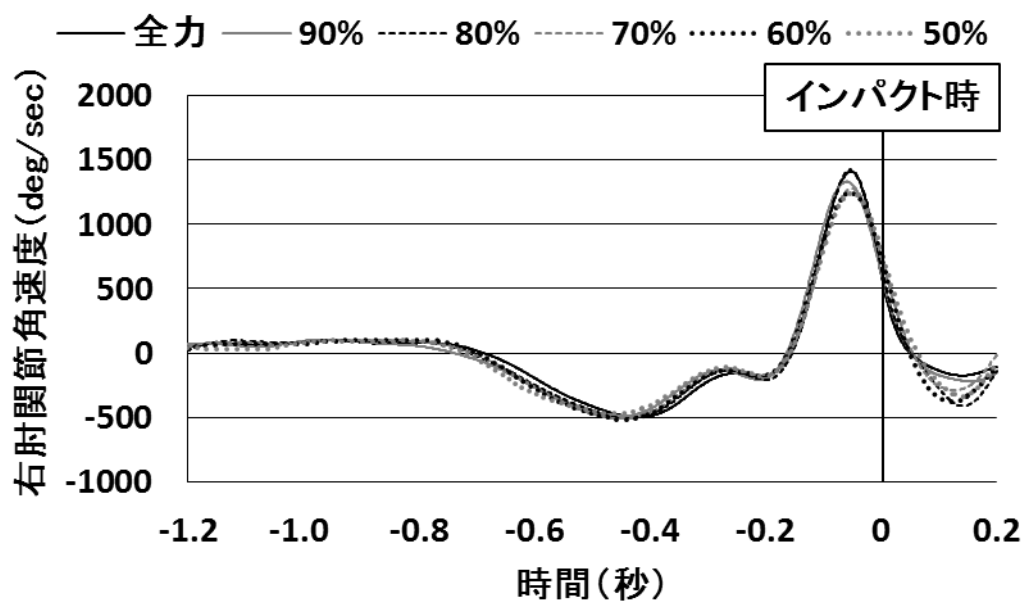
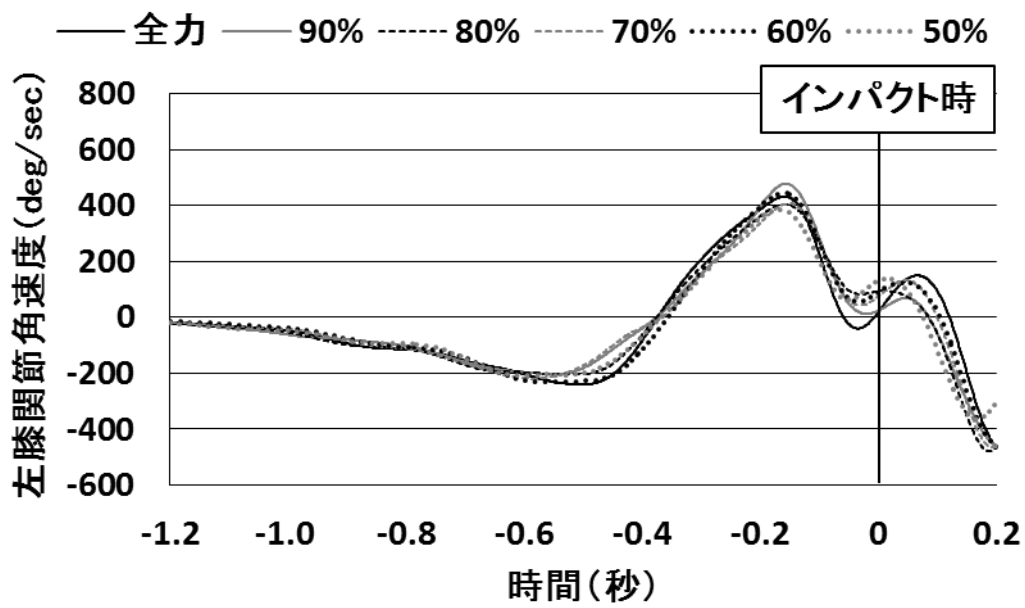
資料 21 被験者 G の各課題で得られた床反力垂直成分波形および打球速度と床反力垂直成分最大値との相関



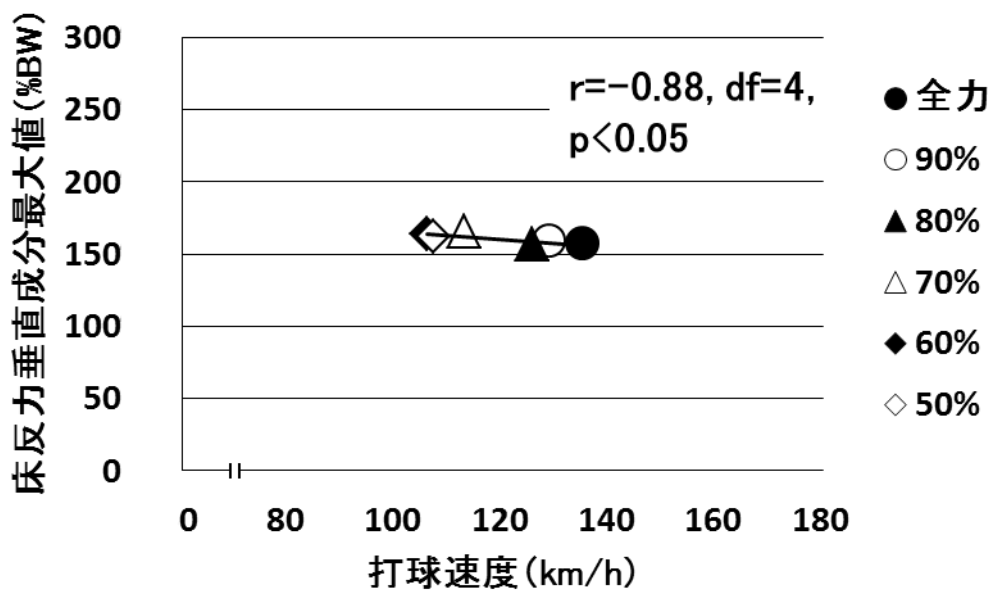
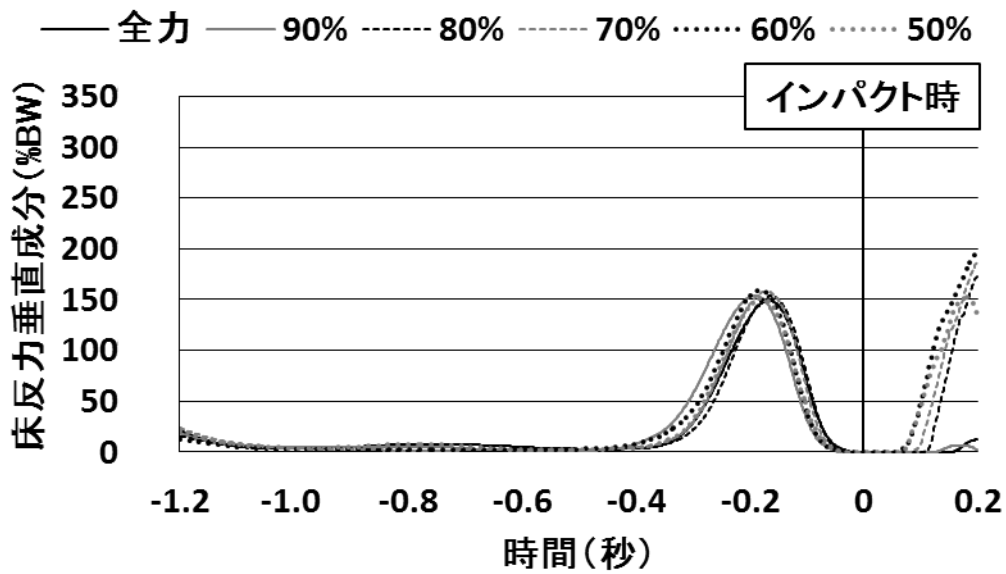
資料 22 被験者 G の各課題で得られた左膝関節角度推移波形および左膝関節最大屈曲角度・最大伸展角度・伸展動作所要時間と打球速度との相関



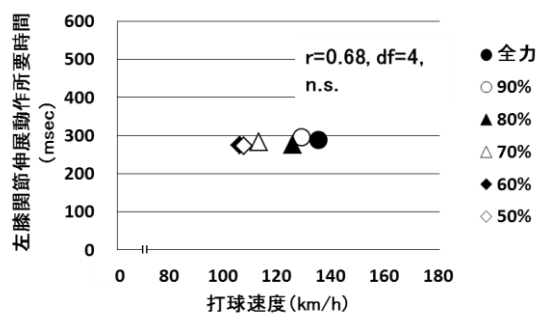
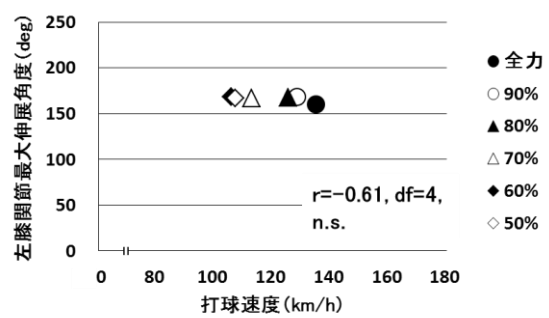
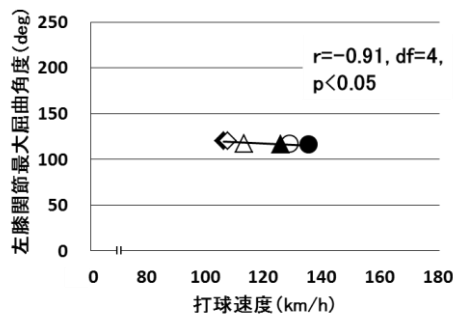
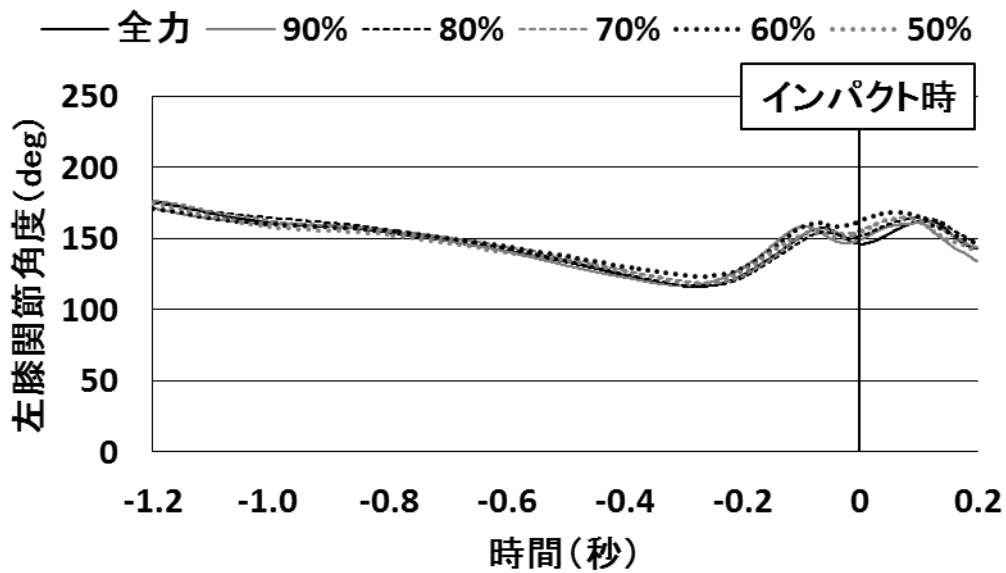
資料 23 被験者 G の各課題で得られた右肘関節角度推移波形および右肘関節最大屈曲角度・最大伸展角度・伸展動作所要時間と打球速度との相関



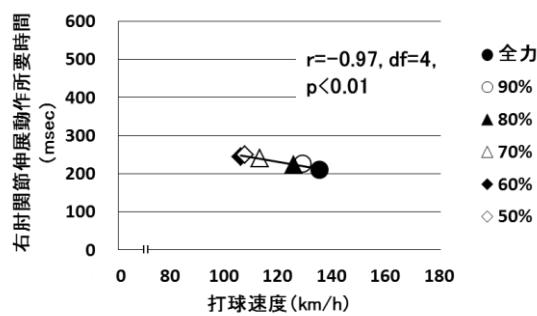
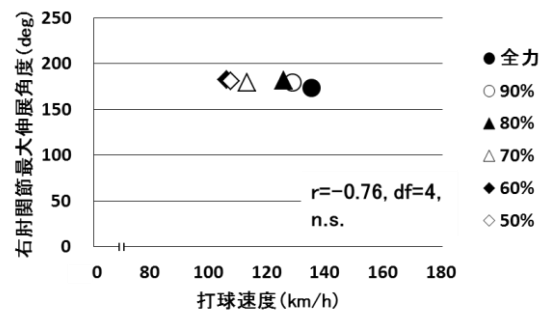
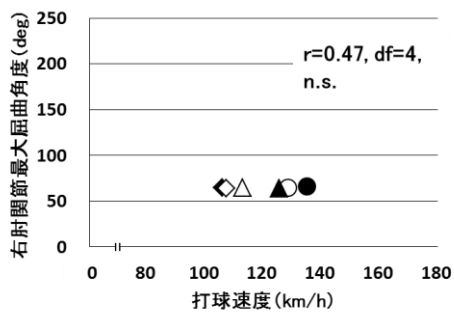
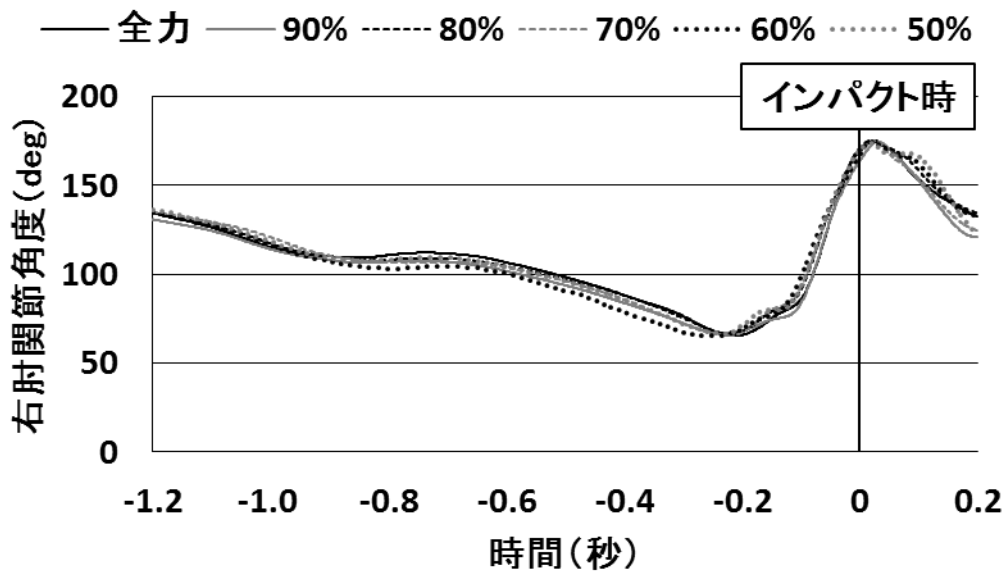
資料 24 被験者 G の各課題で得られた左膝関節および右肘関節角速度推移波形ならびに両関節角速度最大値と打球速度との相関



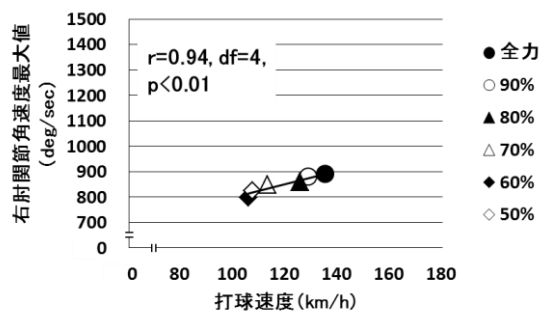
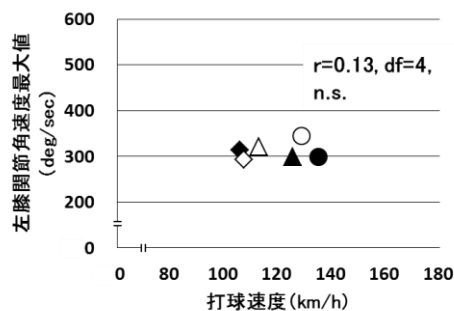
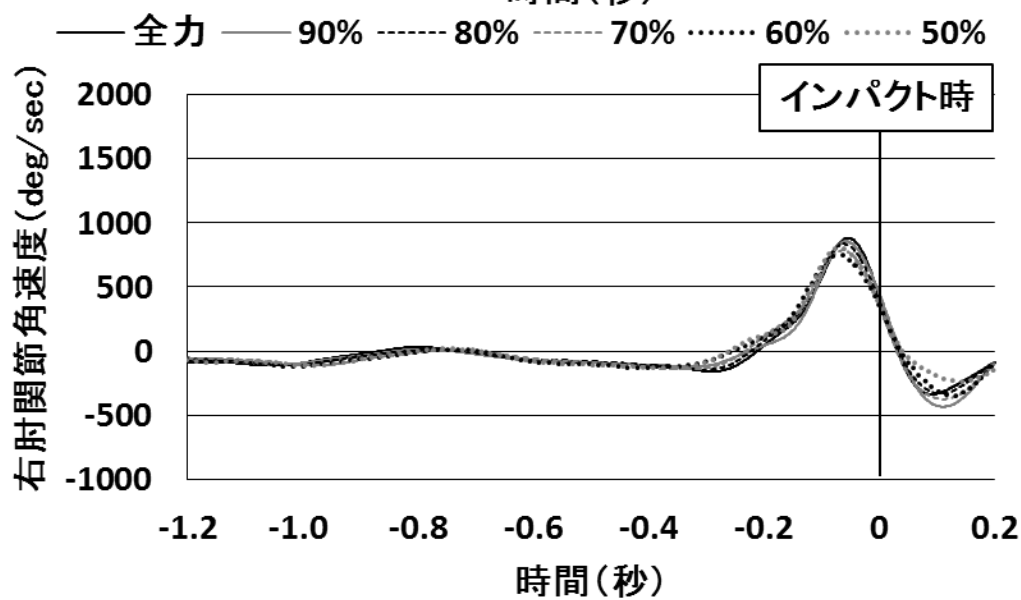
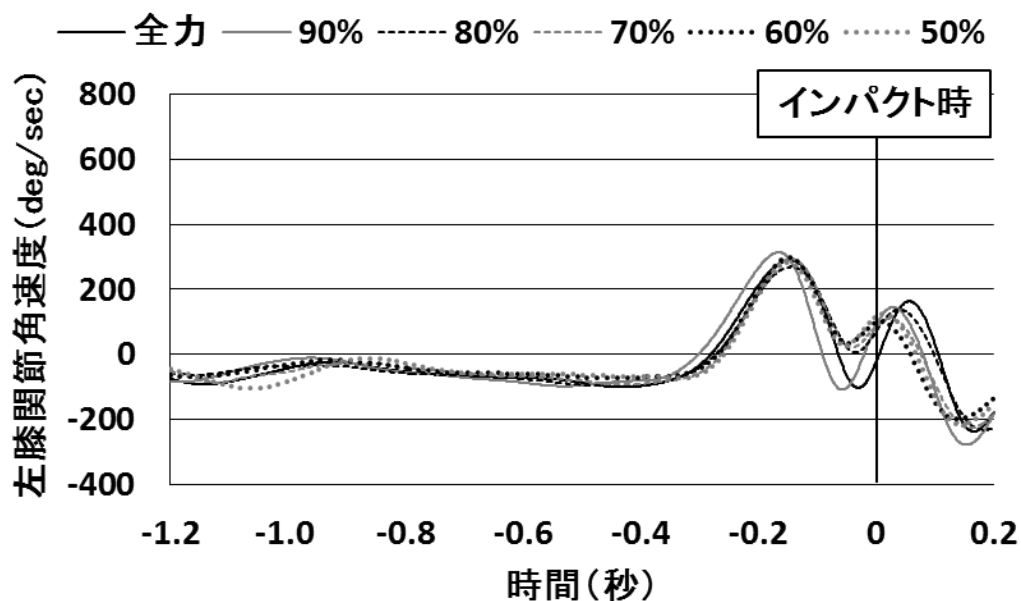
資料 25 被験者 H の各課題で得られた床反力垂直成分波形(再掲)および打球速度と床反力垂直成分最大値との相関(再掲)



資料 26 被験者 H の各課題で得られた左膝関節角度推移波形および左膝関節最大屈曲角度・最大伸展角度・伸展動作所要時間と打球速度との相関



資料 27 被験者 H の各課題で得られた右肘関節角度推移波形および右肘関節最大屈曲角度・最大伸展角度・伸展動作所要時間と打球速度との相関



資料 28 被験者 H の各課題で得られた左膝関節および右肘関節角速度推移波形ならびに両関節角速度最大値と打球速度との相関