

平成 8 年度

順天堂大学大学院体育学研究科 修士論文

バレーボールにおけるスパイクの基礎的研究

－助走局面における重心の加速性とパフォーマンスの関係－

体育学研究科 コーチ学専攻 田中 博史

論文指導教員 川合 武司 教授

平成 9 年 3 月 11 日

論文審査教員：主査

教授 小宮 喜久

副査

教授 岩原 嘉介

副査

助教授 形本 静夫

目次

第1章	緒言	1
第2章	関連文献の考証	5
第1節	バレーボールにおけるスパイク	5
(1)	バレーボールにおける基本構造	5
(2)	バレーボールにおける得点パフォーマンス	6
(3)	スパイク	7
(4)	スパイクの評価	9
第2節	助走を用いたジャンプ動作	10
(1)	助走の概念	10
(2)	バレーボールにおける助走局面	11
a)	基本的な助走	11
b)	助走歩数	12
c)	助走速度	13
(3)	ジャンプ動作における助走局面	14
a)	ジャンプ動作における助走の役割	14
b)	助走を伴う水平方向のジャンプ動作	16
c)	助走を伴う垂直方向のジャンプ動作	18
第3節	動作解析	18
(1)	バレーボールにおけるスパイクの動作解析	18
(2)	スポーツの映像による動作解析	19
(3)	D L T法の原理	25
(4)	D L T法の誤差	27
(5)	D L T法の手順	28
第4節	身体重心位置算出法	29
第3章	研究目的	32
第4章	研究方法	33
第1節	被験者	33
(1)	バレーボール調査表の作成と評価	33
a)	作成	33
b)	評価	33
(2)	被験者の選出	34
第2節	スパイク評価の定義	34
第3節	実験期間及び実験場所	35
(1)	実験期間	35
(2)	実験場所	35
(3)	実験施設及び施設	36
(4)	天候	36
第4節	実験方法	37
第5節	試技条件	39
(1)	スパイクの種類	39
(2)	トスの規定	39
(3)	試行回数	39
第6節	実験装置とその配置	40
(1)	試技制限範囲	40
(2)	カメラとその配置	40

a)	カメラ	4 0
b)	配置	4 1
(3)	映像記録装置とその配置	4 2
(4)	コントロールポイント	4 2
第7節	分析方法	4 3
(1)	分析装置と方法	4 3
a)	3次元座標値の算出	4 3
b)	身体重心位置の算出	4 4
c)	身体重心速度の算出	4 5
(2)	局面の分類	4 5
(3)	速度成分の分類	4 6
(4)	速度データの比較	4 6
第5章	結果	4 8
第1節	助走時の速度変化について	4 8
第2節	各局面における助走距離及び速度の比較	4 8
(1)	移動距離の比較について	4 8
(2)	速度比較について	4 9
第3節	各局面間における移動距離の変化分及び速度変化分の比較	5 0
(1)	移動距離の変化分の比較について	5 0
(2)	速度の変化分の比較について	5 0
第6章	考察	5 2
第1節	助走時の速度変化について	5 2
第2節	各局面における助走距離及び速度の比較	5 2
(1)	移動距離の比較について	5 2
(2)	速度比較について	5 3
第3節	各局面における移動距離の変化分及び速度変化分の比較	5 5
(1)	移動距離の変化分の比較について	5 5
(2)	速度変化分の比較について	5 6
(3)	まとめ	5 7
第7章	結論	5 9
第8章	要約	6 0
	参考及び引用文献	
	欧文要約	
	謝辞	
	資料	

第 1 章 緒言

バレーボール競技（以下バレーボール）は、川合らによると、ネット越しに相手側コート上へ、ボールをゲットすることを競うスポーツであると定義されている^{3 6)}。バレーボールの得点パフォーマンスは、スパイクによる得点パフォーマンス、サーブによる得点パフォーマンス、ブロックによる得点パフォーマンスであり^{1 5) 5 2)}、特にスパイクは、主たる攻撃方法として位置付けられている^{3 2)}。また、バレーボールでは、スパイクによって総得点の約 6 0 %、サイドアウトの約 9 0 % が得られている⁴⁾。さらに、西嶋ら^{5 1) 1 2) 6 9)}は、バレーボールにおける勝敗に影響を及ぼす技術として、スパイクがいくつかの技術の中で最も勝利に貢献していると述べている。これらのことよりスパイクの向上は、チームを勝利に導く上で最も重要な技術であるといえる。

一連のスパイク動作は、助走局面、踏み切り局面、打撃局面、着地局面の 4 局面に分けられる。カーチ・キライ^{3 5)}は、スパイク動作について、落下してくるボールに向かって水平に大きく弾みを付け（助走）、その弾みを上方に移動して出来るだけ高い地点でボールに接触することとしている。また、川合ら^{3 6)}はスパイク評価の基準を、助走とタイミング、ボールの中心をヒットする、ボールを捉える

ミートポイントの3点としている。さらに小林らは³⁸⁾⁴⁰⁾、スパイク動作の最も重要な要素の1つとして、ボールに対する助走開始のタイミングを挙げている。

一般に助走の効果は、上方向の作業空間を広げたり、より高く跳ぶ事である³⁰⁾といわれている。助走はボールへの接触に先立って行われる動作である。バレーボールにおいて、開始のタイミングが良い助走を行うとスパイカーのジャンプに約12～19センチの高さを加えることが出来るといわれている⁴⁾。また、飯本らは²⁵⁾、スパイク動作において打撃姿勢は、良好な状態で安定していることが重要であるとしている。そして、打撃姿勢が崩れるのは、助走でのジャンプ内容に対する判断や、タイミングの調節が的確に行われなかったためであるとしている。さらに、島津は⁵⁸⁾、高い打点でスパイクするためには2歩以上の助走が必要であると述べている。また吉田⁷⁰⁾は、高く跳ぶための工夫として、ボールとのタイミングが良い助走の必要性を挙げている。これらのことより、スパイクを成功させるためには、トスされたボールとのタイミングが良い助走を行うことが重要であると考えられる。

助走についての研究は、バレーボールのゲームを撮影し、スパイク動作全体を分析対象とした研究¹⁸⁾³¹⁾、スパイク動作を基礎的な実験を行い分析した研究²²⁾²⁴⁾⁵⁷⁾、また、走り高跳び選手の跳躍

動作の解析^{3,4)}などがある。これらの研究においてバレーボールの一流選手の助走時における身体重心の移動スピードは、助走開始から徐々にスピードを増し、踏み切りに移ると述べられている^{3,1)}。また、熟練者は、助走のスタート（第一歩）はゆっくりとしたテンポで行い、次第にスピードを増し、踏み切りに入るときに最高スピードになり、未熟練者は、助走開始から徐々にスピードは増しているが、踏み切りに入るときにはスピードが落ちると述べている^{2,4)}。一般的な跳躍動作の解析によると、助走の速度が速い方が高い跳躍高が得られるとされている^{5,7)}。さらに、走り高跳びの研究によると、走り高跳びの一流選手はある限界（8 m / sec）までは助走速度が大きいほど跳躍高が大きくなると述べられており^{3,4)}、バレーボールと走り高跳びでは、片足踏み切りと両足踏み切りの相違はあるにしても、バレーボールの跳躍動作においても大きな助走速度を用いることは、跳躍高を大きくするために必要であると思われる。従って、バレーボールにおけるスパイク助走は一定の助走に達するまで徐々に加速しながら助走するものであると考えられる。さらに、バレーボールのスパイク助走において、トスされたボールの高さと助走速度とのタイミングの調節を的確に計ることが出来なければ徐々にスピードを増しながら助走することが出来ないと考えられる。

これまでのバイオメカニクスの分野におけるスパイク動作の研

究では、バレーボールの助走やスパイク動作の一連の動きを形態的に捉えたものや、助走中の身体重心位置の変位や速度を分析項目にした研究は多いが^{58) 31) 22) 24) 32) 18)}、助走局面とスパイクの良し悪しを比較したものや、タイミングの良い助走を行い、良いスパイクを出現させるためにはどのような助走を行えば良いか検討したものは見当たらない。これらは、スパイク助走時の身体の動きを助走時の加速性の観点から捉え、スパイクの良し悪しと加速性を比較することによって明らかになるものであると考えられる。

そこで本研究は、スパイクの助走局面の身体重心速度を助走時の身体の変化として捉え、スパイクにどのような影響を与えているか明らかにすることを目的とした。

第 2 章 関連文献の考証

第 1 節 バレーボールにおけるスパイク

(1) バレーボールにおける基本構造

バレーボールは、川合ら³⁶⁾によるとボールを相手コートにゲットすることを競うスポーツであると規定されている。味方チームは、6人(9人制では9人)のプレーヤーが自由意志により扱うことができる限られた3回のボレーを有効に活用し競技する。その3回ボレーにはそれぞれ機能があり、1回目のボレーは、相手の攻めを阻止し、味方がボールを支配下に置くというBall Keepの機能であり、レシーブと呼ばれている。2回目のボレーは、味方の攻撃者に対して良きアシストをするBall Carryの機能であり、トスと呼ばれている。3回目のボレーは、得点を得るGoal Getの機能でありスパイクと呼ばれている。

バレーボールを構成する基本的な攻守のリズムはインプレーの起点であるとルール上規定されているサーブから始まり、レシーブ、トス、スパイクで終わる⁵²⁾とされている。インプレーの状態とは、ルール上、バックライトの選手によって、サービスが行われた時点からであると規定されている⁶⁵⁾。このリズムは一般的に3段攻撃と呼ばれている。さらに、レシーブ、トス、スパイクといったリズム

の間に、ブロックが加わり、スパイクされたボールを阻止する役目をする。

(2) バレーボールにおける得点パフォーマンス

バレーボールにおけるパフォーマンスの構成要素は西嶋ら⁵²⁾によると、サーブによる得点パフォーマンス、ブロックによる得点パフォーマンス、スパイクによる得点パフォーマンス、に分類することが出来る。同様に、得権パフォーマンスは、サーブレシーブからのスパイクによる得権パフォーマンス、ブロックによる得権パフォーマンス、スパイクレシーブからのスパイクによる得権パフォーマンスに分類することが出来ると述べている。さらに出村ら¹⁵⁾は、バレーボールにおいて発揮されるパフォーマンスを評価するための評価基準を作成し、そのパフォーマンス評価基準を用いてパフォーマンス構成要素を明らかにするという研究をしている。その研究の中で、バレーボールで発揮されるパフォーマンスは、得点及び得権のためのパフォーマンスに大別できると述べている。得点を得るためのパフォーマンスは、サーブと相手チームの攻撃に対するスパイク、得権を得るためのパフォーマンスは、サーブレシーブからの攻撃と相手チームの攻撃に対するレシーブからの攻撃であるとしている。さらに、バレーボールでは、スパイクによって総得点の約60%、サ

イドアウトの約90%が得られているとされている⁴⁾。

これらのことにより、スパイクはバレーボールを構成するパフォーマンスの中で主たる得点及び得権手段であると位置づけられる。さらに、スパイクの向上はチームを勝利に導くことにも役立つと考えられる。

(3) スパイク

バレーボールにおいてスパイクは、得点、得権を得るための最も有効な手段であるため、一人時間差攻撃や時間差攻撃、またブロード攻撃など様々な形態のスパイクが創意工夫されバレーボールの歴史の中で生み出されている。

スパイクは大別して、オープンスパイクとクイックスパイクの2つに分けることが出来る。さらに細分化すると、直上スパイク、平行スパイク、二段トスのスパイク、バックアタックに分けられる。オープンスパイクはトスの滞空時間が長いために自分でタイミングを計り打たなければならないが、それに対してクイックスパイクは、助走からジャンプして腕がスイングに入った時点で、目の前にほぼ制止に近いトスが上がってくる状態となるため、ミートしやすく、感覚的にも打ちやすいとされており、各種攻撃方法の中で最も初歩的動作で実施できるスパイクである⁶³⁾。

また橋原ら²²⁾は、オープンスパイクはトスされたボールのスピードや方向を確かめてから、あるいは確かめながら助走を開始するタイミング的に遅いスパイクである。効果的なオープンスパイクを打つためには①打点が高いこと②攻撃力があること③ゲーム場面に適応した行動が取れるなどのが要求されるとしている。さらに石島ら³¹⁾は、クイックスパイクについてはボールがトスされる前に跳躍を行い、打撃準備を完了させ、速くて低いトスボールを打つものである。その目的は、ディフェンス（ブロック・レシーブ）を無防備な状態にさせようとするものであると述べている。この2つのスパイクは、それぞれ個人で行うものであり、スパイクする事が出来るフロントプレーヤー3人が、これら2つのタイミングの違う攻撃を組みあわせることによって、相手のディフェンス（ブロック・レシーブ）をうまくかわすこととなる。これらは、現在のスパイクの基本的な戦術の1つとなっている。従って、バレーボールのゲームにおいてタイミングの違うスパイクが個々に発揮されることも多くみられる。しかし、これらのタイミングの違う2種類のスパイクを組み合わせ、ゲームの中で攻撃形態を作り上げていくものであると考えられる。

(4) スパイクの評価

スパイクは、助走、踏み切り、ジャンプ、スイング、着地といった一連の動作から成り立っており、スパイクの評価の際には一連の動きを総合的に評価しなければならないと考えられる。

川合ら³⁰⁾はスパイクの評価の基準として、助走とタイミング、ボールの中心をヒットする、ボールを捉えるミートポイントの3点としている。さらに松平らは⁴⁰⁾、スパイク成功のキーポイントは①ジャンプの踏み切りかた、正確なジャンプ②ジャンプ時の腕の振り方と打撃時の腕の振り方③ボールとジャンプのタイミング④ボールへのミートの仕方⑤踏みきり位置としている。またカーチ・クライ³⁵⁾は、スパイク動作について落下してくるボールに向かって水平に大きく弾みを付け（助走）、その弾みを上方に移動してできるだけ高い地点でボールに接触することとしている。小山ら⁵⁴⁾は、ジャンプをして、出来るだけ高い位置でミートすることが重要であり、手首のスナップ、腕の鋭いスイングを用いて、自分の思ったところに撃てるようにする。さらに、利き腕の肩の真正面でボールを打ち左右に打ち分けられるようにする、と述べている。これらのことより、スパイク評価のポイントは、ボールに向かってタイミングの良い助走をする、出来るだけ高い位置でボールをミートする、ジャンプは最大努力で行うことであると考えられる。従って、スパイクの評価す

る時にはこれらを基準にして、スパイクを総合的に評価できると思われる。

第2節 助走を用いたジャンプ動作

(1) 助走の概念

一般に助走の効果は、上方向の作業空間を広げたり、より高く跳ぶことである³⁰⁾といわれている。Meinel⁴³⁾によると運動学的に助走とは身体の持った運動エネルギーの有効利用であるとしている。また清川ら³⁷⁾は、助走によって得られた運動エネルギーを跳躍に利用するには、理論上助走の速度が速いほど有利である。しかし、実践上、助走のエネルギーを利用するには、助走から踏みきりにいたる接地の運動弾性、助走時の跳躍に対する運動の先取り性、ジャンプ時における運動の伝導性などといった制約があると述べている。従って、助走を用いる際には、助走において得られた速度を跳躍方向に変換できる最大速度で行うことが重要であり、ジャンプ動作を用いたスポーツにおいて、それぞれのスポーツ場面に適した助走を用いることは、そのスポーツのパフォーマンスをあげることに役立つものであると考えられる。

(2) バレーボールにおける助走局面

a) 基本的な助走

バレーボールのスパイクにおける助走は、スパイクを打つ人（以下スパイカー）のジャンプや打撃に先だって、踏み切りに導く為に行われる動作である。セリンジャー⁴⁾は、助走は踏み切りで垂直速度に変換される水平速度を生み出すものと述べている。また、効率の良い助走を行うことによってスパイカーのジャンプに12～19センチメートルの高さを加え、戦術的行動の可能性をスパイカーに与えると述べている。基本的な助走姿勢は小林ら^{3,8)}によると、軽く膝を曲げ、両腕は自然におろし、わずかに体を前傾し、力を抜いた姿勢でボールを注視しながら助走に入り、踏み切り前の1歩は歩幅を広くすると述べている。さらにCouttsら¹⁰⁾はカナダ男子ナショナルチームの選手を対象にした研究を行い、低い姿勢で床面に平行に助走し、助走の最後は重心を大きく落とさず、素早く床を蹴ることの重要性を述べている。またイボイロフら⁶⁾は、助走は①特有なステップを用いてゆっくりとしたペースで行う：スタート期②トスされたボールの飛行軌道を判断し、助走スピードを修正する：中間期③ボールに向かって大幅に1歩踏み出す：踏み込み期の3つの局面に分解できるとしている。また飯本ら^{2,5)}は、スパイク動作において打撃姿勢は良好な状態で安定していることが重要であるとし、打撃

姿勢が崩れるのは、助走でのジャンプ内容に対する判断や、タイミングの調節が適確に行われなかった為であるとしている。これらのことより、スパイクの助走では、助走の早い段階でボールと助走の軌道を判断し、助走の中間から踏み込みかけて大幅に踏み出し、素早く助走することが重要であると考えられる。そして、これらの助走を行うことがスパイクの決定力に関する1つの要因であり、スパイカーに戦術的な幅を与えるものであると考えられる。

b) 助走歩数

助走の歩数は4歩助走または3歩助走を用いて踏み切るのが一般的とされている。福原ら¹⁸⁾は、助走速度と身体重心の上下動、歩幅の変化の関係から、2～3歩以上の歩数を用いる助走では、助走速度を大きくするために、身体重心の上下動が小さい助走をし、また、歩幅を広くとり踏み込むことが役立つとしている。さらに島津⁵¹⁾は、高い打点でスパイクするためには2歩以上の助走が必要であると述べている。ジャンプ高と助走歩数の関係から見ると、助走に余裕があり助走歩数を多くとれるオープンスパイクはジャンプ高が約0.8m、助走歩数を多く取れないクイックスパイクはジャンプ高が約0.65mとオープンスパイクの方が大きい。これらのことより、助走歩数を多くとれる方が、高くジャンプする為には良いと考えられる。従っ

て、良いスパイクを発揮する為の助走歩数は、最低2歩必要であると考えられる。

c) 助走速度

助走速度は、一般に速い方が高いパフォーマンスを発揮できると考えられる。助走を長く取った方が助走の最終スピードは速くなり、助走の歩数が少ないときは直線的な助走方向で行うより、やや弧を描くようにとった方が助走の最終速度が速い³⁰⁾とされている。これらは、走り高跳びの助走のものであるが、両足踏み切りと片足踏み切りの違いがあるにしても、バレーボールのスパイクと走り高跳びでは同じものと見なすことが出来る³⁰⁾。また、助走距離が長く、速い助走を利用すると、助走局面から踏み切り局面に移行する際に身体重心の水平方向の変位曲線がより大きなカーブを描いて上方に向きを変えており、これらは水平方向の運動を効果的に上方へ変えるのに役立つとされている³⁴⁾。

豊田ら^{62) 61)}は、踏み込み時の熟練者と未熟練者の腰、膝、足首の各関節角度について、女子の熟練者は腰、膝、足首の順で131度、110度、102度、男子熟練者は、83.5度、102度、81度であり、未熟練者は、150度、140度、103度である。このことより、未熟練者より熟練者の方がより深い沈み込みが見られると報告している。また、一

流選手のスライク助走時における身体重心の移動速度は、助走開始から徐々に速度を増し、踏み切りに移ると述べられている²¹⁾¹⁸⁾。島津ら⁵⁷⁾は一流選手の平均助走速度はクイックスライクで3.36m/sec、オープンスライクで4.04m/secであると報告している。また、橋原ら²²⁾は助走速度が4 m/sec(助走の歩数約3歩に相当する)前後までは跳躍高は増加したが、それ以上の速度を用いると跳躍高が減少し、この速度の時に踏み切り時に重心位置が最も低くなると報告している。これらのことより、助走の速度約4 m/secで助走することが適切な助走速度であると考えられる。しかし橋本²⁴⁾は、熟練者は助走のスタート(第1歩)はゆっくりとしたテンポで行い、次第に速度を増し、踏み切りに移る時には最高速度になっている。未熟練者は、助走開始から徐々にスピードを増しているが、踏み切りに入る時には速度が落ちていると述べている。さらに島津ら⁵⁷⁾は、助走速度が速い方が高い跳躍高が得られると述べている。これらのことより、助走速度はスタートから順次加速し、平均速度は約4 m/secが至適な速度であると考えられる。

(3) ジャンプ動作における助走局面

a) ジャンプ動作における助走の役割

助走を伴うジャンプ動作には、水平方向へのジャンプと垂直方向

へのジャンプに分けられる。さらに、助走を伴うジャンプ動作にはスキーにおけるジャンプ動作とその他のジャンプ動作とに分けられ、両者の大きな違いは、スキージャンプの助走は整地された急斜面を滑降し、それによって得られる速度を利用して跳躍する受動的な助走であるのに対して、その他のジャンプの助走は個人のタイミングや速度で行う能動的な助走であるという点である。

水平方向へのジャンプには走り幅跳び、3段跳びなどがあり、垂直方向へのジャンプには走り高跳び、バレーボールのスパイク、バスケットボールのジャンプシュート、体操競技等がある。陸上競技以外の各種スポーツに認められるジャンプ動作は、ジャンプ高あるいはジャンプ距離が直接パフォーマンスとはならないが一般的にはジャンプ高やジャンプ距離が高い方が有利であると考えられる。左右の交互動作が一般的である人間の動作としては、垂直跳びや立ち幅跳びといった両足跳躍よりも、踏切前に助走を用いて片足で踏み切る方が自然である⁵⁷⁾。助走を利用して、高く跳ぶことが要求される場合には、水平方向の運動を効果的に上方へ変換する技術を工夫することが重要である³⁴⁾。これらのことより、ジャンプ動作において助走は、跳躍を助長する役目を果たしていると考えられる。

b) 助走の伴う水平方向のジャンプ動作

助走を伴う水平方向のジャンプ動作は、陸上競技の走り幅跳びが代表的である。これらの跳躍では、助走が直接パフォーマンスにつながると考えられる。

助走を用いて行う走り幅跳びのジャンプ距離は助走を用いない立ち幅跳びの約2倍以上になるといわれている。この差は、助走の影響であると考えられる。走り幅跳びにおける助走は、踏み切り動作をコントロールできる範囲での最大の走速度を発揮することが望ましい。走り幅跳びの助走は、加速局面、スピード維持局面、踏み切り準備局面に分けられ、一般に、高い走能力を持つものは助走距離が長いとされている⁴⁸⁾。助走では速い速度が必要でありながら、踏み切り動作をコントロールする余裕がなければならないので、選手個人に至適な速度が存在すると述べられている⁶⁴⁾。また、一般的には、助走速度は最大でも走能力の約95%程度であるといわれている⁸⁾。一流選手では、助走の最後の局面でピッチが最大になるといわれている¹⁷⁾が、走り幅跳びではこの局面において踏み切り位置の調節と同時に踏み切り準備動作が行われるため、個人差が出てくるものと考えられる。

三段跳びの助走は踏み切り足が右・右・左あるいは左・左・右と変わる。この助走は、左右交互動作という人の自然な動きから発展

してきた系統的発生動作とは異なり、人工的に作り出された個体発生的な動作として特徴づけられる。走り幅跳び同様、三段跳びでも助走速度がジャンプ距離に大きく影響する。助走速度は、走り幅跳びと三段跳びの世界一流選手における値を比較すると、約0.5m/sec三段跳びの方が遅い。走り幅跳びは極めて速い助走を行い、踏切でブレーキをかけながら大きな垂直初速度を獲得しているのに対し、三段跳びのホップは無理に垂直初速度を獲得することなく、また水平速度のロスも極めて少なく、いわばランニングに近い形の踏み切りであるという事が出来る⁴⁸⁾。これらのことより、助走を伴う水平方向へのジャンプ動作では、走り幅跳びが三段跳びに比べて踏み切り時のコントロールにストレスが少なく速い助走を行っていると思われる。助走速度が走り幅跳びと三段跳びにおいて差があることに関して、①最初から走能力に優れているものが走り幅跳びに参加している、②三段跳びの方が踏み切りが複雑であるために、速い助走が可能でありながら速度をおさえているという2つの理由が考えられる⁴⁵⁾。これらのことより、水平方向へのジャンプ動作では踏み切りの位置の調節を行いながら最大速度で助走を行うことが望ましいがその速度は選手個人で至適な速度が存在すると考えられる。

c) 助走を伴う垂直方向のジャンプ動作

走り幅跳びや三段跳び等の水平方向へのジャンプ動作は、助走時の速度が重要な要素であるが、走り高跳びでは速い助走速度を踏み切りの局面で垂直方向に方向変換できないため、効率的な踏み切りを行うための準備局面として使われてる⁴⁸⁾。ジャンパーには、ある速さ以上で助走を行うと踏み切りの効率が著しく低下する限界速度があると述べられている。走り高跳びで高いパフォーマンスを発揮する選手においても助走速度は6～8 m/sec程度である¹⁴⁾。これらのことより、垂直方向へのジャンプ動作において助走は、ジャンプするために必要な速度を得るために行われる準備局面であると位置づけられ、その必要な速度には限界があり、それは各ジャンパーに依存するものであると考えられる。しかし、球技等ではボールとのタイミングを計る必要があるので速度を決定する際に陸上競技の跳躍競技と比較して熟練を要するものであると考えられる。

第3節 動作解析

(1) バレーボールにおけるスパイクの動作解析

バレーボールにおけるスパイクの基礎的研究の分野でバイオメカニクスを指標に用いたものは大別して①スパイクを構成する4局面である助走、踏み込み、打撃、着地、それぞれの局面を分けて分析

したもの²²⁾³³⁾⁵⁹⁾⁶⁶⁾²³⁾³¹⁾、②スパイク動作一連の動きを分析したもの¹⁹⁾²⁴⁾⁵⁾⁴⁷⁾⁶⁰⁾²¹⁾¹⁸⁾、③助走の歩数を変えるなどの動作を制限した実験的なもの²²⁾⁴²⁾④他の跳躍動作と比較したもの³²⁾等がある。どの研究も映像による動作解析を用いており、この中で、3次元動作解析を用いているものは都沢ら⁴⁷⁾橋原ら²³⁾²¹⁾福原ら¹⁸⁾の研究がある。これらの研究はいずれも国際試合での一流選手のスパイクを分析の対象としている。これらはDLT法の利点の一つであるカメラ位置に制限を受けないことを利用しカメラ位置を体育館の2階または3階の観客席に設置し撮影している。

スパイク動作一連の動きを3次元動作解析したものは、一連の動作を時刻に沿って解析しているのではなく、助走局面、踏切局面、スイング局面に分けて解析し考察している⁴⁷⁾¹⁸⁾。また、これらの研究の大部分は、スパイクの形態を解析したものである。一流選手のスパイク、あるいは専門家の主観により良い試技であるとされたスパイクの解析である。

(2) スポーツの映像による動作解析

試合における実際の選手の動きを解析出来るのは、今のところ映像によるものだけであると考えられる。映像解析は、スポーツに関する情報収集の為の手段としてだけでなくスポーツ以外の分野で

も広く用いられる。画像解析は①映像撮影あるいはVTR撮影②デジタル化などによるデータの収集③データの処理④データのディスプレイに分けられる²⁾。スポーツにおける映像解析を行う為に映像化するには、Cinematographyの中でも特に高速度映画分析法が用いられる²⁹⁾。映像解析の有用性の意義について大道等⁵³⁾は方法論の立場から2つに大別すれば、①身体動作パターンが認識される②身体各部の位置の時間変化が測定されるといっている。①は身体運動のある時刻における一瞬の動作を静止画像として得るものであり、連続写真であればいわゆる分解写真なる動作の時系列変化が容易に視察される。この場合は運動軌跡に関するほぼすべての情報が盛られており、スポーツ動作分析をフィールドへ応用する場合にはもっとも実用的である。それに対して②は、身体のある限られた点に注目し、その座標を時間に対して定量的に測定するものであって、観察者はその点の運動を時間対位置のグラフで認識することになる。いずれも特にスポーツなどの動作解析をおこなうにはもっとも実用的で価値が高いと述べている。従って、映像による解析を実際のスポーツ解析に利用することはもっとも有用な手段であると考えられる。

石井²⁹⁾は、Cureton, T.K. Jr. (1983)は「スポーツ競技研究の助けとなる映像分析法の基本原則と技術」という論文中で、「ほ

とんどのスポーツ指導書には、優れた運動の瞬間写真が掲載されている。しかし、これでは優れた成績を上げるための諸原理の分析や説明はほとんどできない」と述べている。厳密な分析法によるスポーツ動作の研究は、①成績を上げるための主要な因子と、それらの因子の相対的重要性を指摘すること②コーチの科学的原理を抽出すること。そのためにはスキルの物理学的機構を理解しておく必要がある③スポーツ動作の客観的説明の基礎を備えること。そのためにはより正確で科学的手段を経た検証がなされていることが重要である。そのためには運動の方向（角度）、移動距離、時間的变化、あるいは力の速さの間接的測定値を記録したフィルムから求めることができる」と述べている。従って、映像解析により得られた情報はスポーツのフィールドに応用する為に非常に適しているものであると考えられる。

これまでに行われてきた多くの映像による解析は、身体の動きが近似的に1つの平面に平行であると仮定し、その平面に垂直な方向から撮影を行い、得られた2次元の映像をもとに動作の解析が行われてきた。しかし、人の動きは元来関節を中心とする回転運動が合成されることによって成り立っており、身体全体（重心）の動きも本来は1平面と平行な動きとはならず²⁸⁾、運動中の身体各部の動きは、上下、左右、前後の3方向への動きが合成されたものである。

歩行や走運動といった左右の動きがほとんど含まれず、上下と前後の動きしかない1つの平面に平行な身体の動きばかりで成り立っている運動では、肩や腰の捻りを無視してしまえば上肢と下肢の動きは移り変わる方向を含む鉛直面と平行であるとみなすことが出来る。従って、2次元の動きとして解析が可能になる²⁷⁾。しかし、現在行われているスポーツ動作のほとんどは上下、左右、前後の3方向の動きを含んでおり、3方向の動きをすべて記録しないと正しい分析は行われぬ。今日では、身体回転や捻りを含んだ運動の記録とその分析にはほとんどの場合3次元的方法がとられている。3次元の映像記録法はこれまで様々な方法が考案されている。

ニコラス・Bernstein⁹⁾は、1台のカメラによる3次元像を求める写真術を考案した。その方法は、1枚の鏡を撮影する実像の近くに置き、実像を同時に鏡に写る座標を1枚のフィルムに撮影し、これを連続的に記録していくことにより動作分析をした。測定の際の鏡とフィルムの角度を種々変化させこの方法をいろいろと応用した。2台以上のカメラを使って立体像を得ようとする試みは、1950年頃から始まったといわれており、StereoscopeあるいはStereographと言われていた²⁹⁾。

初期の3次元的手法として①Stereophotogrammetry法②直角2方向法の2つがある。Ayoub, M.A.⁷⁾は、「Zeller (1953) は人間

の運動の研究のために Stereophotogrammetry を用いる可能性を示した」と述べている。Stereophotogrammetry 法は、2 台のカメラを用いてカメラ同士の光軸を平行にし一定の距離を置いて並べ、同時に被写体を撮影することによってカメラ間を被写体との距離から互いの画像に生ずるずれを測定することにより、カメラからの距離を求め側定点の 3 次元座標を得ようとするものである。直角 2 方向法は Stereophotogrammetry 法とカメラの置き方が異なり、カメラの光軸が互いに直角になるように設置し撮影する。それぞれのカメラで撮影した像の上下方向、水平方向の 2 次元座標を得る。カメラの光軸が直角であることより直角 2 方向の座標が得られることより空間座標を求めるものとしている。カメラは 3 台であるが直角 2 方向法と同じ原理を用いた実験で Levens, A.S. ら³⁹⁾は、カメラ 3 台のレンズの光軸が互いに直行する実験場面で、歩行運動における下肢の各部位の水平面の捻転動作を調べている。用いたカメラは 3 台ではあるけれども、歩行する人を頭上から捉え、大腿部、下腿部、それに足関節の部位における相対的な角変位の経時的変化を調べ、被験者の側方から捉えた映像に同期させているだけである。

1970 年代になって身体運動の分析のために Miller, D.I. ら⁴⁴⁾をはじめとして 3 次元動作解析が行われているが、カメラの設置は互いの光軸が直交するという直角 2 方向法であった。また池上は

²⁸⁾、映像による3次元的な測定においては、普通2台以上のカメラが必要になる。直角2方向法を行う際には、2台のカメラの実空間での位置（実空間）、光軸の方向、レンズの焦点距離といったカメラ定数が正確に知られていなければならない。このように、各カメラのレンズを直交させ、カメラ定数を正確に定めるという実験場面の設定は、複雑かつ正確な作業を必要とするので、実験室内での測定ではカメラ定数を正確に決定することは可能であるが、実際フィールド場面では不向きであると述べている。そこで、カメラの設置はある程度任意に行い、3次元座標構築のために方程式中に現れるカメラ定数に依存する定数を、既知の実空間座標を持つ点（コントロールポイント）の映像から逆に計算し、カメラ定数を直接求めることなく3次元座標値を得る方法が開発されている。この方法は Direct Linear Transformation Method（以下DLT法）と呼ばれている。この方法は1971年にAbdel-Azizら¹⁾により考案された3次元座標算出法である。Elliott, B.¹⁶⁾ Gheluwe, B.V.²⁰⁾は、DLT法の特徴として、撮影する画面が一致していれば、それらの映像より立体幾何学座標に変換できる。換言すれば、この手法に関与する方程式が利用できれば、2台のレンズの光軸が直交していなくてもよい。従って、カメラの実験場での設置が容易にできると述べている。また、池上らは²⁷⁾ DLT法の特徴として、2台のカメラの光軸

は直交する必要も無く、焦点距離がカメラ間で異なっても測定できるため、カメラ位置に関して自由度が高い。従って、実際の競技会などの場面では、選手や審判の妨げにならずに撮影が可能であると述べている。これらのことより、フィールドやその他の実験場での動作解析に用いられる3次元動作解析の手法はDLT法が最も適していると考えられる。

(3) DLT法の原理

DLT法ではカメラ定数を求めるために、実空間での座標値が知られてる点(コントロールポイント)の像のフィルム面上での座標値を実測することによって方程式内に現れる定数を決定する方法をとっている。コントロールポイントのフィルム面上での座標を測定することによって11個の定数 $K_{(n)}$ を求めることが出来る。コントロールポイントの実空間での座標値 (X, Y, Z) と、そのフィルム面上での座標値 (U, V) が分かっている時、

$$K_1X + K_2Y + K_3Z + K_4 - K_9XU - K_{10}YU - K_{11}ZU = U \quad \dots \text{式 1}$$

$$K_5X + K_6Y + K_7Z + K_8 - K_9XV - K_{10}YV - K_{11}ZV = V \quad \dots \text{式 2}$$

式1と式2に代入すれば11個の未知数に $K_{(n)}$ に関する方程式が2個得られる。従って、各カメラについて最低6ポイントのコントロ

ールポイントの撮影を行えば、方程式が12個得られそのうちの
 11個を使用し $K_{(n)}$ の値を求めることが出来る。実際には測定誤差
 の影響を少なくするために6点以上をとった方が良いと考えられる。
 その際、未知数の数を超える方程式が得られるが、全て用いて最小
 2乗法による連立1次方程式を用いて解く解法を用いる。フィルム
 面上の座標から実空間座標を求める為に式1、式2を書き換えると

$$(K_1 - K_0 U) X + (K_2 - K_{10} U) Y + (K_3 - K_{11} U) Z = U - K_4 \quad \dots \text{式 3}$$

$$(K_5 - K_0 V) X + (K_6 - K_{10} V) Y + (K_7 - K_{11} V) Z = V - K_8 \quad \dots \text{式 4}$$
 となる。上述の方法を用いて11個の $K_{(n)}$ が分かったとすると、そ
 れぞれのカメラで撮影したフィルム面上での座標を測定することに
 より2組の (U, V) が得られる。これらを式3、式4に代入すれば $X, Y,$
 Z に関する4個の連立方程式から、3個を選んで解くか、4個全部を
 用いて最小2乗法によって解けば、計測点の空間座標を得ることが
 出来る。最小2乗法を用いれば2台以上のカメラから得られたデー
 タによって3次元座標を求めることが出来る^{28) 27)}。

これらの計算は複雑で難解であるが、コンピューターを用いて計
 算すれば簡単に計算できるものと思われる。また、これらの計算を
 用いて精度の高い3次元座標を算出するには、撮影された映像のデ
 ジタイジングを正確に行うこと、6ポイント以上のコントロールポ
 イントの実空間での位置を正確に定めること、コントロールポイン

トの分布が運動の行われる空間全体に分布していることと説明している²⁸⁾。

(4) D L T法の誤差

現在D L T法は幅広く使われているが、D L T法はあくまで計算による推定にすぎない。従って誤差が生じてくる。しかし、Shapiro⁵⁶⁾はD L T法の誤差を2方向から撮影した映像をもとにD L T法を用いて立体を算出したものと、既知の距離を比較した結果、その誤差は5%以下であったと報告している。またDapenaら¹³⁾は、空間内に静止基準尺を互いに直交するように置き、3つの異なる焦点距離を持つレンズを用いて、立体幾何学座標の各軸における既知の長さ、D L T法によって得られた長さの誤差は、 $X = 0.5\%$ 、 $Y = 0.7\%$ 、 $Z = 0.5\%$ であったと述べている。さらに西山⁴⁹⁾はハンドボールコートの半面の空間について誤差を調べている。その結果、 $X = 0.5\%$ 、 $Y = 0.9\%$ 、 $Z = 2.0\%$ であったとしてる。都沢ら⁴⁷⁾はバレーボールのスパイク動作の研究でD L T法によって得られた3次元位置座標の誤差は1つを例にとると、センターラインとアタックライン(3 m)間の距離の誤差は、2.1%であったと報告しており、バトミントンの研究ではD L T法により算出したコントロールポイントの位置と実測値の誤差は、 $X = 1.01$ センチメートル、 $Y = 1$ セン

チメートル、 $Z = 0.63$ センチメートルと精度の良さを報告している。

これらの研究より、DLT法の誤差は非常に少なく、DLT法の精度は認められたといえる。

(5) DLT法の手順

DLT法の手順は池上ら²⁸⁾の説明によると、①2台以上のカメラを記録の対象となる運動が行われる空間が十分にカバーできるように設置する②6ポイント以上のコントロールポイントを実空間座標が確定するように配置しそれを撮影する③対象となる運動を撮影する④撮影したコントロールポイントのフィルム面あるいはビデオ画像における座標を計測し、方程式を用いて各カメラに関する11個のカメラ定数を決定する⑤各カメラで撮影した運動の計測点のフィルム面あるいはビデオ画像での座標を方程式に代入して実空間座標を求める。②は③の後でもよく、カメラ定数はカメラの設置条件に依存するため、コントロールポイントを撮影した後はカメラを動かしたり、ピントを合わせたりすることはしてはいけないとしている。

DLT法を用いた研究は多く発表されているが、池上ら²⁸⁾のスキーターンの3次元解析や、桜井ら⁵⁵⁾の野球の投手の投動作の3次元動作解析、湯ら⁶⁷⁾のバドミントンスマッシュ動作の3次元動作解析、福原ら⁴⁷⁾のバレーボールにおける一流選手のスパイク動作の関する

研究などいずれの研究も試技を行う場所はまったく異なるが、DLT法を用いて3次元座標を算出して分析している。

これらのことより、カメラの設置や解析の精度がよく、さらに手順の簡便さ、またコンピュータを使用することにより複雑な計算も容易であることから、選手へのフィードバックもそれほど時間がかからなくてすむことなど、DLT法をスポーツ動作の解析に用いることは非常に実用的であると思われる。

第4節 身体重心位置算出法

DLT法などで得られたデータを用いて、運動中の身体に作用する力を知ることは重要であると考えられる。身体の各部に及ぼす重力及びその重力の合成点である重心を求め、重心の変化、重心の速度、加速度などを知ることは、身体運動についての運動学的分析を試みる場合欠くことの出来ないことである⁴⁶⁾。

身体重心位置の測定法として松井⁴¹⁾が考案した松井の係数がによる推定法が多く用いられている。この方法は、身体部分を円錐、円柱、球などにモデル化し、日本人成人男女（男子4名、女子5名）の質量、重心位置を求め、これをもとに運動中の全身の重心位置を算出する方法を考案した。日本では身体重心算出に松井の係数が広く用いられている。しかし阿江ら³⁾は被験者ごとの係数を測定し解

析しなければ精度よく推定できず、動作の解析には役立たない。これは広範囲の成人を対象としたものではないと述べており、精度よく推定できる方法を見つけなければならないとしている。また、成人男性には Zatsiorsky と Seluyanov^{7,1)} による係数が適していると述べており、さらに松井の係数が発表されてから 35 年以上たち、当時の被験者と最近の被験者では形態に大きく違いがあり、松井の係数は少なくとも日本人男女アスリートの身体部分係数としては適切ではないと考えられると述べており、横井ら^{6,8)} の数学モデルを用いて大学運動部に所属する男子 215 名、女子 80 名を被験者に用いて日本人アスリートの係数を作成した。作成した係数と松井の係数、Zatsiorsky と Seluyanov の係数を比較したところ、これらの身体部分係数を日本人アスリートに適用するには適切ではないと述べられている。しかし、現在の日本における身体重心位置を扱う研究の中では松井の係数が多く用いられている。また、身体重心位置を求めるような身体部分係数の研究も阿江らのもののほかに見当たらない。従って、松井の係数は現在ではまだ一般的な手段であると思われる。

松井の係数を用いて身体重心位置を求める為には、各セグメントの重心位置を用いて求めるので、各セグメントの座標上の長さまたは座標値を実長換算したものを知る必要がある。従って、デジタイズの際には最低、右手、右手首、右肘、右肩、左手、左手首、左肘、

左肩、右つま先、右踵、右足首、右膝、右大転子、左つま先、左踵、左足首、左膝、左大転子、頭頂、鼻、首、大転子の22ポイントの座標値を得らなければならない。従って、試技を撮影する際にも、被験者の身体に上記の22ポイントにマークをつけて撮影する必要があるが、松井の係数は関節の中心の座標値を使って身体重心を求める手法である。従って、被験者の表皮にマークを貼付して撮影しても、松井の係数を用いて身体重心を求めるための情報は得られない。しかし、現在行われている多くの研究は、被験者の表皮にマークを貼付して行っているものがほとんどである。この方法を用いて解析を行った場合には、身体重心位置を仮想重心位置と置き換えて解析を進める必要があると考えられる。

第 3 章 研究目的

スパイクにおける助走局面は、スパイクの成否に大きく関わるものである。助走は順次速度を上げながら助走することが望ましいということが明らかになっているが、ボールの高さと助走が一致しないとタイミングの良いスパイクを発揮することが出来ない。つまり、速度の調節が助走時に行われているものであると考えられる。

これらのことは、助走局面の加速性とスパイクの良し悪しを比較し、どのような助走を行えば良いスパイクを出現させられるのか検討することによって明らかになるものであると考えられる。

そこで本研究は、スパイクの助走局面の身体重心速度を助走時の身体の変化として捉え、スパイクにどのような影響を与えているか明らかにし、今後の研究及び指導の基礎的資料とすることを目的とした。

第 4 章 研究方法

第 1 節 被験者

(1) バレーボール調査表の作成と評価

a) 作成

被験者を選定するにあたり参考資料を得るためにバレーボールに関する個人調査を作成した。(資料 1) 調査は氏名、学年、バレーボール歴、過去最高成績、身長、体重、最高到達点、垂直跳び、専門にしているポジション、最も得意とする技術の 10 の問いに記述式で解答してもらうようにした。

b) 評価

評価にはスパイクは長身の方が有利、バレーボール歴が長い、過去最高成績が高いとスパイク能力は高い、また体重は軽い方がジャンプの能力は高いと考えられるため、体重が身長に対して多すぎない、スパイクを高い打点で打つために必要な能力であるジャンプ力を示す指標の垂直跳び能力が高い、最高到達点は高い方がスパイク能力は高い、などの理由より身長、バレーボール歴、過去最高成績、体重、垂直跳び最高到達点を主な評価項目とした。また、最高成績については 5 点を全国大会ベスト 4 以上、4 点を全国大会ベスト 8

以上、3点を全国大会出場、2点をブロック大会ベスト4以上、1点をそれ以外とし、表1に示した。

(2) 被験者の選出

関東大学男子1部バレーボールリーグに所属するJ大学の選手全員(45人)に、自作したバレーボールに関する個人調査を行い、その調査を参考にスパイクを得意とすると思われるもの20名を選出した。その後、調査を参考にして選出した20名の中から同チームの監督及びコーチとの検討の結果、チームの中でスパイク能力が高いもの上位10名を被験者として選出した。また、選出した被験者のプロフィールを表1に示した。

第2節 スパイク評価の定義

スパイク評価の基準として川合ら³⁶⁾は、助走とタイミング、ボールの中心をヒットする、ボールを捉えるミートポイントの3点としている。また、松平ら⁴⁰⁾はスパイク成功のキーポイントは①ジャンプの踏み切りかた、正確なジャンプ②ジャンプ時の腕の振り方と打撃時の腕の振り方③ボールとジャンプのタイミング④ボールへのミートの仕方⑤踏み切り位置としている。さらにカーチクライ³⁵⁾は、スパイク動作について、落下してくるボールに向かって水平に大き

く弾みを付け（助走）、その弾みを上方に移動してできるだけ高い地点でボールに接触することとしている。小山ら⁵⁴⁾は、ジャンプをして、出来るだけ高い位置でミートする。手首のスナップ、腕の鋭いスイングをし、自分の思ったところに撃てるようにする。利き腕の肩の真正面でボールを打ち左右に打ち分けられるようにすると述べている。これらのことより、スパイクは、ボールに向ってタイミングの良い助走をする、出来るだけ高い位置でボールをミートする、ジャンプは最大努力で行うことが重要であると考えられ、これらをスパイク評価の基準と定義した。そして、これらの定義をもとに評価表（資料2）を作成した。

第3節 実験期間及び実験場所

(1) 実験期間

平成8年6月15日

期間を設定するにあたり、実験条件の統一化のために1日とした。

(2) 実験場所

順天堂大学バレーボール館。FIVB（国際バレーボール連盟）が規定する国際試合のコートは、エンドラインからのサービスゾーンは最低3メートル以上、コートサイドのフリーゾーンは最低3メ

ートル以上、エンドラインからエンドラインまでの距離は18メートル、その中心である9メートルの地点にセンターライン、さらにセンターラインよりエンドライン方向3メートルのところにアタックラインが引かれる。アタックラインを境目にフロントゾーンとバックゾーンと別れる。サイドラインとサイドラインの距離は9メートルで、サービスゾーンはエンドラインより後ろ側幅9メートルとされている。順天堂大学バレーボール館のバレーコートはギャラリーはないものの、この条件を十分クリアしているコートである。

(3) 実験施設および設備

ネットの高さは2.43メートル、ネットの横幅9.50メートル、縦幅1.00メートル、しかし、ネットの幅は±3センチメートルは許可範囲である。ボールからマーカーまでの距離0.50から1.00メートルアンテナ同士の距離9.00メートルに設置し使用した。また、これらは大学男子バレーボールの国際試合で用いられる設備と同じものである。ボールはFIVB国際バレーボール連盟公式認定球を使用した。

(4) 天候

くもり、気温26.0度、湿度90%。湿度が高く暑い日であった。

第 4 節 実験方法

実験は、スパイク動作の助走時における身体重心位置の速度を算出するための身体各部の変位を得るために行った。本実験においては、重心位置算出のために松井の係数を用いるが、関節の中心の変位量を測定することが不可能であるため、試技を撮影する際にはマークを表皮に張り付けた。よって、本実験で求められる重心位置は誤差が生じるものであり仮想重心位置であると思われるが、本実験において求められたものを重心位置として解析を進めた。

1) 試技の測定にはビデオカメラ 3 台を用いて映像撮影をした。

そのうち 2 台を試技の分析用に、残り 1 台は試技の選出やカメラの予備などに使用した。

2) 松井の係数を用いた身体重心位置算出のために分析点は身体 22 ポイントした。その身体 22 ポイントに縦×横 = 2 × 2 センチメートルの反射テープを貼り付けて撮影し分析の際の指標とした。被験者は上半身裸、下は短パンもしくはスパッツで行った。指標とする身体 22 ポイントは以下の通りである。

右手、右手首、右肘、右肩、左手、左手首、左肘、左肩、右つま先、右踵、右足首、右膝、右大転子、左つま先、左踵、左足首、左膝、左大転子、頭頂、鼻、首、大転子。(図 2)

- 3) 被験者に規定のトスを制限範囲内で、被験者個人の最大努力で1人10試技行わせた。被験者が試技を行っている間スパイク評価を御願ひしたバレーボールの専門家3人に各試技について規定の評価用紙(資料2)に評価してもらった。撮影した100試技の中から専門家の評価を参考に各試技について、良いと評価された試技25試技、悪いと評価された試技25試技、普通と評価された試技50試技に分けた。解析の際には、良いと評価された試技25試技、悪いと評価された試技25試技の計50試技を用いた。
- また、選出された良い試技及び悪い試技の評価得点の平均の差を検定したところ、5%水準で良い試技の平均評価得点が無意に高かった。(P<0.05)
- 4) 解析対象である50試技について、動作解析システムFRAME-DIAS(電気計測株式会社製)を用いて(図4)2次元座標を得て、DLT法により身体22ポイントの3次元座標を算出した。DLT法により生じた誤差は、 $X = 0.016$ 、 $Y = 0.019$ 、 $Z = 0.011$ であり、精度の良さは確認された。
- 5) 算出した身体22ポイントの3次元座標値を基に身体重心位置を松井の係数を用いて算出した。
- 6) 算出した身体重心の変位データを微分演算し、身体重心の速

度を算出した。

第 5 節 試技条件

(1) スパイクの種類

本実験において用いるスパイクはセンターからの直上オープンスパイクとした。被験者はコートに設けられた制限範囲内で助走し、スパイクするものとした。

(2) トスの規定

スパイクをするにあたりトスを上げるセッターをネット際に 1 人配置し、両手でトスを上げさせた。トスは、ネットの最高部より約 1.5 メートル、地上より約 4 メートルとした。事前にセッターにはこのトスを十分に練習をさせ、毎回ほぼ一定のトスが上がるようにした。また、実験中規定のト스에合わないトスが上がったときはやり直しとした。

(3) 試行回数

試行回数は各被験者 10 回とした。実験時には 10 人の被験者を 2 つのグループに分けて 5 人 1 組となり 1 人 1 本ずつ 10 回ローテーションし、それを 2 セット行ない、計 100 試技行なった。

第 6 節 実験装置とその配置

(1) 試技制限範囲

被験者が試技を行なう制限範囲（以下被験者制限範囲）は D L T 法を用いた 3 次元解析に必要なコントロールポイントも考慮に入れ、縦×横×高さ = 6 メートル×4 メートル×4 メートルとした。（図 5）コートには被験者制限範囲が分かるように幅 5 センチメートルのラインテープで線を引いた。被験者制限範囲決定には、被験者の立ち会いのもと、実際のコートにおいて十分な助走をとってスパイクできる広さであると確認し、この広さに決定した。

(2) カメラとその配置

a) カメラ

撮影に使用するビデオカメラは 3 台とした。カメラ 1 とカメラ 2 の 2 台は SONY 社製 DXC-107A にカメラレンズ Canon 社製 PH6X8-II を合わせて使用し、もう 1 台のカメラ 3 は SHARP 社製 VL-HL3 を使用した。カメラ 1、2 は、D L T 法によって 3 次元座標算出し、身体重心位置の加速度の算出用に使用し、カメラ 3 はパフォーマンスの良し悪しを分けるため及びカメラ 1、2 の予備として使用した。また、カメラ 1 及び 2 のシャッタースピードを 1/500sec に設定した。

b) 配置

カメラの配置については、被験者の後ろ側への設置は身体に貼り付けたマークが見えなくなるのを防ぐため除外した。また、被験者の正面は、スパイクされたボールがカメラに当たることが懸念されたため除外した。さらに、カメラ1とカメラ2については、DLT法でのカメラ設置条件である、互いのカメラの光軸が同一方向あるいは直線上でないこと²⁸⁾を考慮し、被験者を左右の斜め前方から捉える位置とした。本実験においてのカメラの配置は、カメラ1はコート右サイドラインより側方0.8メートル、ネットより11メートル、高さ1メートルの位置に三脚にて支持した。カメラ2はコート左サイドラインより側方3.2メートルネットより8.5メートル、高さ1メートルの位置に三脚にて支持した。これら2台のカメラの光軸の交点の場所はカメラ1より15メートル、カメラ2より14メートルであり、光軸の交点の場所はセンターラインより3.1メートル、サイドライン右より4.5メートル、左4.5メートルの場所であった。カメラ3は、被験者のスパイクパフォーマンスの分析に使用するため、スパイクフォームが見やすいと考えられるコート左サイドより9.2メートル、高さ1.7メートルの被験者に対して真横の位置に三脚にて支持した。

(図1) これらの配置決定に当り、実験の前にすべてのコントロールポイント及び、被験者のスパイクすべてと、身体に貼り付けたマ

ークが十分判別できることを確認した。

(3) 映像記録装置とその配置

映像の記録には、カメラ1には松下電器産業株式会社製AG-7350ビデオデッキを接続し、カメラ2にはSHARP社製VC-BS240を接続して撮影した。カメラ3については撮影部と記録部が一体型のためそのまま使用した。また、カメラ1、2間の同期を取るためにカメラとビデオデッキの間にビデオカウンター（電気計測販売株式会社製PH-1500）を接続し1/60secのカウンターを試技と同時に映し込んだ。さらに、撮影されている画面を映すために、再生モニター（ソニー株式会社製PVN-1450）をカメラ1、2それぞれに接続した。（図3）これらの装置はすべて3次元ビデオ動作解析システムFrame-Dias（電気計測販売株式会社）を用いた。

(4) コントロールポイント

コントロールポイント作成にあたり、直径3センチメートル、高さ4メートルの陸上競技の走り高跳びに用いられるバーに水平に支持するために水平器を2個取り付けて、地面に対して垂直に支持した際に、地面から2メートル、4メートルの高さになる部分に幅0.5センチメートルの反射テープを張りつけた用具を作成した。

試技の撮影の前に、カメラ1、2及びカメラ3にて、コントロールポイント（実空間座標）を撮影した。カメラ1、2についてはDLT法によって3次元座標を算出するために必要な空間を撮影した。カメラ3は撮影した画像より実際の長さが分かるように更正值となるものを映し込んだ。カメラ1、2についてのコントロールポイントは、制限範囲の点A～Lの12点上に作成した用具を垂直に立てて撮影し合計36ポイントの実空間座標を得た。（図6）カメラ3についてのコントロールポイントは、床に幅1メートル間隔で反射テープを貼り付けた直径1センチメートルの玉を置き、さらに作成した用具を垂直に立てて撮影した。

第7節 分析方法

分析は、選出された試技の映像について、助走時における身体重心の加速度を算出するために行った。

（1）分析装置と方法

a）3次元座標値の算出

選出されたビデオテープの記録を、解析用ビデオデッキ（松下電器産業株式会社製AG-7350）を用いて、フレーム速度1/60secで再生した。さらに、解析用ビデオデッキから、パーソナルコンピュータ

ー（以下パソコン）（エプソン社製PC-486SR）に装着してあるフレームメモリー（PH-1400/64）に取り込み、解析用再生モニター（ソニー株式会社製PVM-1450）にて表示させた。さらに、コンピューターに装着したフレームメモリーから再生されているRGB画像をパソコンに装着してあるマウスにより、コントロールポイント及び被験者のマークをプロットし、X-Yの2次元座標値をコンピューターに表示しカメラ1、2両方のデータをフロッピーディスクに保存した。そして、コントロールポイントの2次元データを3次元ビデオ動作解析システムFrame-Dias（電気計測販売株式会社製）を用いてDLT法によりカメラ定数を算出し、さらに、試技の2次元座標値をDLT法を用いて実長換算し、被験者の身体22ポイントについての3次元での変位量をデータとして求めた。

b) 身体重心位置の算出

身体重心の算出には松井の係数を用いた。松井の係数を用いて身体重心を求める為に関節の中心の変位量を知る必要がある。しかし本実験では関節の中心の変位量を知ることは不可能であったため、関節の表皮にマークを張り付けて得た変位量を用いた。測定誤差が生じ仮想重心位置であると考えられるが、本実験ではこの方法で得られたデータを身体重心位置とし分析を進めた。また、重心位置算

出には3次元ビデオ動作解析システムFrame-Dias（電気計測販売株式会社製）の身体重心算出のソフトウェアを使用した。

c) 身体重心速度の算出

身体重心速度の算出には松井の係数を用いて求めた身体重心変位量をラグランジェ補間による数値微分を用いて速度を算出した。算出したデータは、助走のスタートは任意に行わせているため、スタートを行う時期が良い試技と悪い試技において異り、さらに助走局面終了は各被験者で同じであることから、データは全て助走局面の終了である後ろにそろえてグラフに示した。

(2) 局面の分類

本研究では、スパイクの助走開始から踏み込み開始直前までである助走局面とした。さらに、助走局面をイボイロフら⁹⁾の研究を参考に①スタート期②中間期③踏み込み期の3つの局面に分類した。それぞれの分類は次に示す通りである（図7）。

①スタート期・・・被験者がスタートしてから最後の一步を大きく踏み出そうとする直前までとした。

②中間期・・・被験者が最後の一步を大きく踏み出そうとする

ところから踏み込もうとする右足が接地するところまでとした。

③ 踏み込み期・・・踏み込もうとする右足が接地した後、左足が接地するまでとした。

(3) 速度成分の分類

速度データの成分は、X=被験者のスパイクの助走方向に対して左右方向の成分、Y=被験者の助走方向に対して前後の成分、Z=被験者の上下方向の成分とした。また、比較の対象はデータはY軸方向の速度とした。

(4) 速度データの比較

被験者M、Kは、良い試技と評価された試技がないため、比較から除外した。従って、被験者9人のデータを使用して比較を行った。得られた速度データより、次のような比較グラフと表を作成した。

1) 各局面毎の全体及び被験者毎の平均速度を比較した散布図

(図 8 、 図 9 、 図 1 0 、 図 1 1))

2) 被験者毎に各局面間の速度変化を比較した散布図

(図 1 2 、 図 1 3 、 図 1 4)

3) 各局面毎の全体及び被験者毎の平均速度を比較した表及び被

験者毎に各局面間の速度変化を比較した表

(表 2、表 3)

4) 各局面毎の全体及び被験者毎の平均変位を比較した散布図

(図 15、図 16、図 17、図 18)

5) 被験者毎に各局面間の移動距離を比較した散布図

(図 19、図 20、図 21)

6) 各局面毎の全体及び被験者毎の平均変位を比較した表及び被験者毎に各局面間の移動距離を比較した表

(表 4、表 5)

7) 良い試技及び悪い試技の速度曲線の一例 (図 22、図 23)

グラフは、X軸に時間を取り、右を原点0として左に行くほど時間はさかのぼっていることを示している。Y軸には速度 (m/sec) をとり、上に進むほど速度の値が高くなることを示している。また、速度は 1 / 60 sec毎に示した。散布図はX軸に良い試技のデータを取り、Y軸には悪い試技のデータをとった。

表中のデータは算出された速度データを少数点第3位で四捨五入し示した。単位はすべてm/secである。また、変位のデータはmである。

第 5 章 結果

第 1 節 助走時の速度変化について

助走時の速度変化を、図 2 2、図 2 3 に代表例として示した。

図 2 2 は被験者 S . Y の良い試技の速度変化を示し、図 2 3 では被験者 K . M の悪い試技の様相を示した。

速度曲線は、良い試技悪い試技ともにスタートから踏み込みにかけて上昇傾向にあった。さらに、被験者全体における各局面の平均速度をみると（表 2）、良い試技における速度は、スタート期 2.07m/sec、中間期 2.92m/sec 及び踏み込み期 3.37m/sec であり順次速度が増加していた。また、悪い試技では、スタート期 2.17m/sec、中間期 2.92m/sec 及び踏み込み期 3.37m/sec であり順次増加していた。

第 2 節 各局面における助走距離及び速度の比較

(1) 移動距離の比較について

助走全体の身体重心の水平方向への移動距離を表 4 及び図 1 8 に示した。また、良い試技及び悪い試技の各局面での移動距離を表 4、図 1 5、図 1 6、図 1 7 に示した。

各局面及び移動距離の比較では、スタート期において平均値に有意な差はなく、偏りもみられなかった（図 1 5）。また、中間期に

においても有意な差はなく、偏りもみられなかった（図 1 6）。さらに、踏み込み期においても、平均値に有意な差はなく、偏りもみられなかった（図 1 7）。

（ 2 ） 速度の比較について

良い試技及び悪い試技における各局面の平均速度を表 2 に示した。また、表 2 を視覚的に捉えやすくするため、図 8、図 9、図 1 0、図 1 1 に示した。

各局面の良い試技と悪い試技における被験者毎の比較では、スタート期においては、偏りがみられなかった（図 8）。また、中間期においても、偏りがみられず（図 9）、踏み込み期においても、偏りがみられなかった（図 1 1）。

各局面毎に平均速度を比較すると、スタート期は、良い試技 2.07m/sec、悪い試技 2.17m/secを示した。また、中間期は、良い試技 2.92m/sec、悪い試技 2.92m/secを示した。さらに、踏み込み期では、良い試技 3.37m/sec、悪い試技 3.37m/secを示した。助走全体においては、良い試技 2.78m/sec、悪い試技 2.82m/secを示した。これらについて平均値の差の検定を行ったところ、有意な差が認められなかった（表 2）。

第 3 節 各局面間における移動距離の変化分及び速度変化分の比較

(1) 移動距離の変化分の比較について

良い試技及び悪い試技の各局面における移動距離の変化分を表 5 に示した。また、表 5 を視覚的に捉えやすくするために、図 1 9、図 2 0、図 2 1 に示した。

各局面間の移動距離の変化分では、スタート期から中間期までの間では、偏りがみられなかった (図 1 8)。中間期から踏み込み期までの間においても、偏りがみられなかった (図 1 9)。さらに、平均値による比較では、良い試技と悪い試技に有意な差はみとめられなかった (表 5)。

(2) 速度の変化分の比較について

被験者毎に示した各局面における平均速度を局面間毎に差を求め、速度変化分として表 3 に示した。また、表 3 を視覚的に捉えやすくするために図 1 2、図 1 3、図 1 4 に表した。

各局面間の良い試技及び悪い試技における速度変化分の平均値による比較では、スタート期から中間期までは、良い試技 0.85m/sec、悪い試技 0.75m/sec を示し、中間期から踏み込み期までは、良い試技 0.45m/sec、悪い試技 0.44m/sec を示した。さらに、スタート期から踏み込み期までは、良い試技 1.30m/sec、悪い試技 1.20m/sec を示し

た。これらの平均値について差の検定を行ったところ、どの局面間においても有意な差が認められなかったが、スタート期から中間期までの変化分において、被験者 9 名中 7 名が良い試技の方が大きいことを示し、悪い試技が大きいと示したのは 9 名中 2 名のみだった（図 1 2）。

また、中間期から踏み込み期までとスタート期から踏み込み期までの速度変化分においては、偏りがみられなかった（図 1 3）。

第 6 章 考察

第 1 節 助走時の速度変化について

本実験より、スパイク助走はスタートから徐々に速度を増しながら助走を終了している結果が得られた。これらの結果は、福原ら、橋原ら^{18) 21)}の述べている、バレーボールの一流選手の助走時における身体重心の移動速度はスタートから徐々にスピードを増し踏み切りに移るということと一致する。これらより、良い試技の速度については順次加速しながら助走を終了していると推測されるが、本実験では良い試技と悪い試技の速度両方に、助走のスタートから終了まで徐々に速度を増す傾向がみられた。このことより、良いスパイクの場合でも、悪いスパイクの場合でも、助走はスタートから終了まで徐々に速度を増しながら行うものであると思われる。

第 2 節 各局面における助走距離及び速度の比較

(1) 移動距離の比較について

本実験の結果より、各局面及び全体の移動距離は、良い試技と悪い試技には差がなかった。

助走は長く取ったほうが助走の最終速度は速くなり、助走速度が速いほうが高いパフォーマンスが発揮できるとされており³⁰⁾、良い

試技のほうが助走距離が長いと推測されるが、本実験では良い試技と悪い試技に差がみられなかった。これらのことは、助走には被験者固有の助走が存在し、被験者個人がパフォーマンスに関係なく同じ場所からスタートし、同じ場所で踏み切るためであると考えられる。よって、移動距離とパフォーマンスは直接関係ないことが分かった。

(2) 速度について

結果より、良い試技と悪い試技の平均速度の比較において、どの局面においても有意な差は認められなかった。

前述したとおり助走速度は、速い方が高いパフォーマンスを発揮でき、助走は長く取った方が助走の最終速度が速くなるとされている³⁰⁾。また、島津ら⁵⁷⁾も、助走速度が速い方が高い跳躍高が得られると述べている。これらのことより、良い試技の方が助走速度が速く、助走距離は長いと考えられる。しかし、本実験では、良い試技と悪い試技の速度に差がみられなかった。

バレーボールの助走では、陸上競技の走り高跳びなどに代表されるようなジャンプすることだけが助走の目的となる競技とは異なり、トスされたボールとのタイミングを調節する必要があると考えられる。従って、助走速度を決定する際には、トスされたボールの高さ

に対して助走速度を速めたり、ゆるめたりしながら助走の調節をしていると推測できる。また、本実験では、スパイクするトスの高さを一定にしたため、良い試技と悪い試技について同様な調節が行われるものであると考えられる。

以上のことより、助走の速度はスパイクの結果に関係ないことが分かった。

また、本実験では助走全体での平均速度が、良い試技で2.78m/secを示し、悪い試技で2.82m/secを示したが、スパイクにおいて助走時の身体重心の平均移動速度は約4.00m/secが至適速度であるとされている²²⁾。この至適速度と、本実験より得られた全体の平均速度を比較すると、一流選手の至適速度のほうが約1.20m/sec速い。この違いを示した一要因として、助走の至適速度である約4.00m/secは世界の一流選手を対象とした研究での速度であり、本実験では一流選手とは言い難い大学生のバレーボール選手を被験者としたためであると考えられる。さらに、ジャンパーにはある速さ以上で助走を行うと踏み切りの効率が著しく低下する限界速度がある¹⁴⁾ということをあわせて考えれば、バレーボールにおいてスパイクの助走は、助走によって得られた水平速度を、垂直方向に変換しなければならず、限界速度を超えた助走を用いると水平方向の速度を垂直方向に変換できなくなる。一流選手では踏み切り時の変換効

率が低下する限界速度が高く、一流ではない選手はこの限界速度が低いと考えられる。つまり、一流選手は速い助走を用いても助走スピードを効率よく変換できる技術を習得しているため、速い助走速度を用いても問題がない。従って、本実験で示された速度と至適速度の差が出たものであると考えられる。

また、指導上一流選手の値が必ずしもすべての選手に当てはまるものではないと判断することができる。

以上のことより、助走の速度と移動距離についてはスパイクの結果に直接関係ないことが示唆された。

第3節 各局面における移動距離の変化分及び速度変化分の比較

(1) 移動距離の変化分について

各局面間の、良い試技と悪い試技の移動距離の変化分を比較したところ、すべての局面間において有意な差が認められなかった。また、被験者毎の移動距離の変化分の比較をみると、どの局面間においても偏りがみられなかった。

これらの結果より、良い試技の場合でも悪い試技場合でも同様な歩幅で助走を行っていると推測される。本実験のスパイクは、助走に制限を与えず、各被験者がそれぞれ固有の助走を行ったため移動距離の変化分には差がなかったと考えられる。

(2) 速度の変化分の比較について

良い試技と悪い試技の各局面間における平均速度の変化分を比較したところ、有意な差はみられなかったが、スタート期から中間期までの間に、良い試技が高い傾向を示し、中間期から踏み込み期までの局面間については、偏りがみられなかった。

助走時の各局面の役割はイボイロフら⁶⁾によると、スタート期は特有なステップを用いてゆっくりとしたペースで行う、中間期はトスされたボールの飛行軌道を判断し、助走スピードを修正する、踏み込み期はボールに向かって大幅に一步踏み出すとされている。踏み込み期においては、トスされたボールの高さに関係なく大幅に一步踏み出すこととなり、良い試技と悪い試技で差がみられることはないと考えられる。また、中間期においては、トスされたボールの高さを判断して助走の速度を調節する局面なので、助走速度に変化が現れるものである。さらに、スタート期においては、特有なステップを用いることから、助走速度は各被験者に依存すると考えられる。中間期から踏み込み期までの速度の変化分に差がなかったことは、中間期から踏み込み期にかけては、中間期にボールと助走の調節は終わり、踏み込み期においては大幅に一步踏み出す局面であるため、パフォーマンスに関係なくジャンプするために大幅に一步踏み出すこととなり、差がなかったと考えられる。また、スタート期

から中間期までは、トスされたボールに対して、被験者特有のステップを用いてタイミングの調節を行う局面であると考えられる。良い試技の時には、ボールと助走のタイミングの調節が的確であるため、速い速度変化を行い次の局面に備えると考えられ、悪い試技の時には、速度をゆるめたりすることによってボールと助走のタイミングの調節を行っていると考えられる。従って、良い試技の方がタイミングの調節が的確であったと判断することができる。

以上のことより、スパイクの助走においては、スタート期から中間期にかけての加速性とパフォーマンスに関係があるということが示唆された。

(3) まとめ

平均速度の変化分と移動距離の変化分の関係を見ると、各局面間の移動距離は差がないが、スタート期から中間期までの局面間に良い試技の速度の変化分が大きい傾向がみられている。これらより、同じ移動距離の中で速度変化に差があるので速度変化に問題があることがわかる。従って、スタート期にボールの高さと助走のタイミングを的確に行い、スタート期から中間期にかけては速い助走を行うことが重要であると考えられる。

また、本実験の結果は、局面毎の比較において大きな差がなかつ

た。これらは、スパイクを試行してもらった被験者が、大学のバレーボールチームのなかのスパイク能力が高い選手ばかりを集めたので、スパイク能力が高い選手は、スパイクを行う過程で失敗を修正することができるため、あまり差がみられなかったと考えられる。さらに、今回の分析では水平方向の動きのみを分析の対象としたため、他の方向への動きは全く無視している。今後は、スパイク能力が広範囲の被験者を用いて、水平方向だけではなく、他の方向への動きにも着目して分析を行う必要があると考えられる。

また、専門家の主観により良い試技とされた動きのみの解析だけではなく、失敗時の様相も考慮に入れた解析は、動作解析をしていく上で重要であると考えられる。

第 7 章 結 論

本研究における実験結果及び考察より、スパイク助走の加速性について次のような結論が得られた。

スパイクの助走の速度には、スパイクの結果に関係なくスタート期から助走終了まで増加する傾向を示した。しかし、良い試技と悪い試技の助走速度の比較では、有意な差が認められなかった。また、良い試技と悪い試技を比較して、スタート期から中間期にかけての速度の増加は良い試技が悪い試技に比べ大きい傾向を示した。

以上のことから、スパイク助走の速度については、スパイクパフォーマンスと関係がないことが示されるが、スタート期から中間期にかけての助走の水平方向への加速性がパフォーマンスに関係することが示唆された。

第 8 章 要約

本研究は、スパイクの助走局面の身体重心速度を助走時の身体の変化として捉え、スパイクにどのような影響を与えているか明らかにし、今後の研究及び指導の基礎的資料とすることを目的として行った。

研究方法は以下の通りである。

- 1) J 大学バレーボール部の選手 10 名を対象として行った。地上より 4 メートルの高さに定められたトスを限られた範囲内で自由に 10 回試行させた。
- 2) ビデオカメラ 3 台を用いてこれらの試行計 100 試技を撮影した。撮影した画像より動作解析プログラムを使用し身体重心の速度を算出した。
- 3) データの分析の際には助走局面を 3 つの局面に分けて分析した。

本実験結果及び考察より得られた結論は以下の通りである。

スパイクの助走の速度には、スパイクの結果に関係なくスタート期から助走終了まで増加する傾向を示したが、スパイクパフォーマンスとの間に有意な差はみられなかった。また、良い試技と悪い試

技を比較して、スタート期から中間期にかけての速度の増加は良い試技が悪い試技に比べ大きい傾向を示した。

以上のことから、スパイク助走の速度については、スパイクパフォーマンスと関係がないことが示されるが、スタート期から中間期にかけての助走の水平方向への加速性がパフォーマンスに関係する可能性があることが示唆された。

参考及び引用文献

- 1) Abdel-Aziz, Y.I. and H.M. Karara: Direct linear transformation from comparator coordinates into object space in close-range photogrammetry. ASP Symposium on Close-Range photogrammetry, American Society of Photogrammetry, Falls Church, 1971. 文献 28) より引用
- 2) 阿江通良: 画像データによる動作解析法. J.J.SPORTS.Sa, 10-3, 196-203, (1991)
- 3) 阿江通良, 横井孝志: 日本人アスリートの身体部分慣性特性の推定, バイオメカニズム 11 人の形態と運動機能, 23-32
- 4) アリー・セリンジャー, ジョーン・アッカーマンブルト, 都沢凡夫訳: セリンジャーのバレーボール. ベースボールマガジン社, 1993
- 5) 浅井慶一, 大神訓章, 赤木弘喜: バレーボールのスパイク動作に関する分析的研究. 山形大学紀要 (教育科学) 第9巻, 第3号, 51-61
- 6) A・v・イボイロフ, 栃堀申二監修, 本田秀男訳: 新装版バレーボールの科学. 秦流社, 1984, 東京
- 7) Ayoub, M.A., et al.: Astreometric system for massing human motion. Human Factors, 12(6):523-535, 1970.
- 8) Ballreich, R. and H. Ernst: Biomechanische individualanalysen. In: Ballreich, R., and Kuhlow (eds.). Beitrage zur Biomechanik des Sports. Schorndorf: Verlag Karl Hofmann, pp.71-74, 1980. 文献 48) より引用
- 9) Bernstein, N.A. and T.S. Popowa: Untersuchungen der Biodynamik des Klavierranschlagas. Arbeitspyhsiologie, 1:3 96-432, 1929. 文献 48) より引用
- 10) Coutts, K.D.: Some biomechanical features of national team player's spike jump. Volleyball Technical Journal, 5(3):71-73, 1980, 文献 60) より引用
- 11) Coutts, K.D.: Kinetic differences of two volleyball jumping techniques. Volleyball Technical Journal, 14(1), 57-59, 1982, 文献 60) より引用
- 12) Cox, R.H.: Relationship between Selected Volleyball and Skill Components and Team Performance of Men's Northwest "A" Volley Team, Reserch Quarterly, 45, 441-446, (1974)
- 13) Dapena, J., et al.: three dimensional cinematography with control object of unknown shape. J.Biomech., 15:11-19, 1982.
- 14) Dapena, J.: Mechanics of translation in the Fosbury flop. Med.Sci.Sports Exerc. 12:37-44. 1980a. 文献 48) より参照
- 15) 出村慎二 中比呂志: バレーボールゲームにおける評価尺度の作成と集団技能の構造～大学トップレベルを対象として～. 体育学研究, 第37巻, 329-344, (1990)

- 1 6) Elliott,B.:A three-Dimensional cinematographic analysis of the gastball and curveball pitches in baseball.Int.Sport Biomech.,2:20-28,1986
- 1 7) Eremin,U.:Randy Williams and Valery Podluzhny in the long jump (Russian),U.:Track and field 11:16-18,1973.(Translated by Mechael Yessis Review of Sovie Physical Education and Sport,December 1974,99.95-99).
文献 4 8) より参照
- 1 8) 福原祐三,橋原孝博,古藤孝良,阿江通良,石島繁,横井孝志,朽堀申二,都沢凡夫,岡内優明,勝本真,吉田雅行,矢島忠明,小山勉:’82 日米対抗女子バレーボールにおける一流選手のスパイク動作に関する事例的研究.日本体育協会スポーツ医科学研究報告,331-341,1982
- 1 9) 福原祐三,朽堀伸二,都沢凡夫,石島繁,阿江通良,橋原孝博,横井孝志,矢島忠明,遠藤俊郎,池上寿伸,岡内優明,吉田雅行,小山 勉:’ 8 2 日米対抗女子バレーボールにおける一流選手のスパイク動作に関する事例的研究.日本体育協会スポーツ科学研究報告,5,331-341,(1982)
- 2 0) Gheluwe,B.V.:A new three-dimensional cinematogtaphy for any arbitrary camera setup.In:Biomechnics I,1968.
- 2 1) 橋原孝博,古藤孝良,阿江通良,石島繁,横井孝志,朽堀申二,福原祐三,都沢凡夫,岡内優明,勝本真,吉田雅行:バレーボールワールドカップ’ 81 におけるトッププレイヤーの技術解析(その2)～スパイクのスイング動作について～.日本体育学会第33回大会号抄録,710,1982
- 2 2) 橋原孝博,渋川侃二,阿江通良,石島繁:バレーボールのオープンスパイクジャンプに関するバイオメカニクスの研究.身体科学V,杏林書院,175-181,(1983)
- 2 3) 橋原孝博,横井孝志,阿江通良,石島繁,渋川侃二,古藤高良:バレーボールのスパイク技能に関する研究～高く飛ぶための踏切技術について～.第8回日本バイオメカニクス学会大会論集,51-55,1986
- 2 4) 橋本基:バレーボールのスパイクの分析的研究.岡山大学教育学部研究集録,26,95-107,(1968)
- 2 5) 飯本雄二,氏原隆:バレーボールにおけるスパイクジャンプのタイミングに関する研究.中京女子大学紀要,25,19-27,1991
- 2 6) 池上久子,袖山紘,池上康男:スキースキーの3次元的分析～ウェーデルンの分析～.J.J.SPORTS.Sa,10-3,213-220,1991
- 2 7) 池上康男,桜井伸二,岡本敦,矢部京之助,池上久子:映像解析～3次元計測の実際～.J.J.SPORTS.Sa,13-4,459-465,(1994)
- 2 8) 池上康男,桜井伸二,矢部京之助:DLT法.J.J.SPORTS.Sa,10-3,191-195,(1991)
- 2 9) 石井喜八:2次元から3次元解析へ.J.J.SPORTS.Sa.,10-3,1991

- 30) 石井喜八：科学の眼で見たスポーツ動作の隠し味.ベースボールマガジン社,49-80,(1994)
- 31) 石島繁,渋川侃二,阿江通良,橋原孝博:バレーボールのクイック・スパイクジャンプに関する研究～踏切準備がクイック・スパイクジャンプの踏切に及ぼす影響～.身体運動の科学V,杏林書院,169-174,(1983)
- 32) 石島繁,渋川,石島繁,橋原孝博：高さをねらいとする跳のバイオメカニクスの特性～垂直跳、バレーボールのスパイクジャンプ及び走り高跳びの踏切りの比較～.身体運動の科学V,杏林書院,182-188,(1983)
- 33) 石島繁,渋川侃二,阿江通良,橋原孝博,横井孝志,栃掘伸二,橋原祐三,都沢凡夫,岡内優明,勝本真,吉田雅行,矢島忠明：バレーボールワールドカップ'81におけるトッププレイヤーの技術解析（その1）～スパイクの助走及び踏みきりについて～.日本体育学会第33回大会号抄録,709,(1982)
- 34) 金原勇:跳躍力を大きくする基礎的技術の研究（その3）～助走を利用して高く跳ぶ跳躍について～.東京教育大学体育学部スポーツ研究所報,4,pp.32-50,1966
- 35) カーチ・キライ 古市 英 訳：カーチ・キライのパーフェクトクリニック.日本文化出版株式会社,28,(1987)
- 36) 川合武司 小鹿野友平 栃掘申二 松本昌三 横沢民男：バレーボールの学習指導書.不昧堂出版,(1987)
- 37) 清川勝行,木村章二,山本章雄,白井徹男:バレーボールにおけるジャンプに関する研究～助走速度、踏み切り時間と跳躍高との関連について～.日本体育協会スポーツ医科学研究報告,163-166,1985
- 38) 小林一敏,大野武治：キネシオロジーによる新体育・スポーツ選書～バレーボール～.94-107,(1960)
- 39) Levens,A.S.,et.al.:Transverse rotation of the segments of the lower extremity in locomotion.J.Bone and Joint Surgery,30:859-872,1948
- 40) 松平康隆,朝比奈一男,吉原一男,高沢晴夫,鈴木絞吉,豊田博：スポーツの科学的指導1バレーボール.不昧堂出版,240-255,(1975)
- 41) 松井秀治:運動と身体の重心～各種姿勢の重心位置に関する研究～.体育の科学社,1958.文献3)より引用
- 42) Maxwell T,Bratton R D,Fisher V:Comparison of the vertical height achieved on the spike jump using no approach,a one step approach,and a run approach.Volleyball technical journal,5(2),29-34,1980
- 43) Meinel,K.:マイネルスポーツ運動学.金子明友訳,大修館書店,東京,1981
- 44) miller,D.I.and K.L.Petak:Tree dimensional cinematography.In:KInesiology III,1973,pp.14-19.

- 4 5) miller,J.A.and J.G.Hay:Kinematics of a world record and worldclass performances in the triple jump.Int.J.Sport Biomech.1:272-288,1986.文献4 8) より参照
- 4 6) 三浦望慶,池上康男,松井秀治:部分及び合成重心係数を用いての座標測定法式による合成重心の算出.体育の科学,24,517-522,1974
- 4 7) 都沢凡夫,福原祐三,栃堀申二,多田繁,矢島忠明,遠藤俊郎,阿江通良,橋原孝博,横井孝志,勝本真,吉田雅行,岡内優明,岡部修一,小山勉:バレーボールのワールドカップ' 81 における一流のスパイク動作に関する事例的研究.日本体育協会スポーツ科学研究報告,第4報,46-55,1982.
- 4 8) 宮下充正,深代千之,山際哲夫:スポーツ科学ライブラリー4 跳ぶ科学.大修館書店,東京,1990
- 4 9) 西山哲成ほか:ボールゲームのフォーメーションプレーの3次元・即時記録.バイオメカニクス研究1990,バイオメカニクス学会編,1990,pp.281-286.
- 5 0) 西嶋尚彦:バレーボール技能の構造.日本バイオメカニクス学会,9,5,280-286,(1990)
- 5 1) 西嶋尚彦:バレーボール技能の構造.日本バイオメカニクス学会,9,5,280-286,(1990)
- 5 2) 西嶋尚彦,松浦義行:ゲームパフォーマンスの構成要素～バレーボールゲームを中心に～.体育の科学,第35巻,87-90,(1985)
- 5 3) 大道等:写真解析の読み取り誤差と微分演算～速度・加速度算出の問題点～
J.J.SPORTS.Sa,2-3,182-199(1983)
- 5 4) 小山勉,梶尾義昭:写真で見るバレーボール.成美堂出版,1974
- 5 5) 桜井伸二,池上康男,矢部京之助,岡本敦,豊島進太郎:野球投手の投動作の3次元動作解析.体育学研究,35,143-156,1990
- 5 6) Shapiro,R.:Direct liner transformation method for three-dimensional cinematography.Res.Quart.,49(2):197-205,1978.
- 5 7) 島津大宣,明石正和,渡部和彦,多田繁,阿江通良,飯干明:跳躍動作の解析(その1),日本スポーツ科学研究報告,289-292,1981
- 5 8) 島津大宣,明石正和,田中博明,泉川喬,荒川勝彦,松尾彰文,池川繁樹:バレーボールの跳躍に関する諸因子の分析～助走とジャンプ高及び地面反力～.日本体育協会スポーツ科学研究報告,4,44-46,(1982)
- 5 9) 高橋亮三,川合武司,田中純二:バレーボールの基礎技能に関する力学的考察～スパイクの踏み込み動作に関する考察～.順天堂大学保健体育紀要,第13号,38-43.
- 6 0) 高梨泰彦:バレーボール技術に関する科学的研究.J.J.SPORTS.Sa,8-12,793-801,(1989)
- 6 1) 豊田博:バレーボールのジャンプに関する研究(第1報スパイクジャンプの際の踏み込み時の躯幹角度について).日刊バレーボール,22(12),61-65,1967
- 6 2) 豊田博:バレーボールのジャンプに関する研究.東京女子体育大学紀要,4:64-71,1969

- 6 3) 積山和明,坂井純子,斎藤勝:バレーボールのスパイク指導に関する研究から A クイックスパイクとオープンスパイクの比較～.東海大学体育学部紀要,17,63-70,(1987)
- 6 4) Verhoshanski, Y.:The long jump and triple jump approach.In:The Jumps.Los Altos,CA:Tafnews Press,1972, pp.120-122.文献 4 8) より参照
- 6 5) 山岸紀郎,佐々木宏,河村俊彦:Volleyball 詳解 6 人制バレーボールのルール.砂田孝士監修,3,大修館書店:東京(1993)
- 6 6) 山本隆久,田口守,隆田村清:バレーボールのフォームに関する研究 (第 5 報) スパイクのフォームについて (その 5) .体育学研究,12-5,102
- 6 7) 湯海鵬,阿部一佳,加藤幸司:バドミントンスマッシュ動作の 3 次元動作解析～前腕と手関節の動きを中心に～.体育学研究,38,291-298,1993.
- 6 8) 横井孝志:日本人幼年少の身体部分係数.体育学研究,31(1), 53-66,1986
- 6 9) 吉田敏明 吉田雅行:バレーボールにおける勝敗に影響を及ぼす技術.日本体育学会第 3 6 回大会号,629,(1985)
- 7 0) 吉田敏明:バレーボールマインド.道和書院,(1988)
- 7 1) Zatsiorsky, V. and V .Seluyanov:Estimation of the mass and inertia characteristics of the human body by means of the best predictive regression equation .
Biomechanics IX-B,Champaign, IL,Human Kinetics,1985, pp.233-239.

S U M M A R Y

A Fundamental Study of Spiking in Volleyball

-The relationship of performance to the centre of gravity acceleration of approach-

Hiroshi Tanaka

The purpose of the study was to assess the effect on spike performance of centre of gravity acceleration in volleyball.

The procedure to examine was the following;

1) Ten Volleyball players from J university were asked to spike ten times, from a four meter toss within a given area of the Volleyball court.

2) Three visual records from video were used to measure the centre of gravity acceleration.

This information was then analysed by computer.

3) At the time of the data analysis, each performance was divided into three parts: 'start', 'halfway' and 'step-in'.

The results of the experiment and the conclusions drawn are detailed;

Disregarding the end result of spike, spike performance velocity tended to increase from start to finish. Also, there did not appear to be any difference between performance outcome.

Also, comparing good and bad attempts, the increase in acceleration from start to midway tended to be greater in good attempts.

From the above points, there does not appear to be any relationship between performance and acceleration. However, the experiment did display the possibility of a relationship between performance and velocity of the horizontal move in the period from the start to midway through the shot.

謝辞

本論文を結ぶにあたり、多大なご助言及びご指導を賜りました川合武司教授に対して、心から感謝申し上げます。

そして、適切なるご指導をいただき、且つ審査していただいた、小宮喜久教授、笠原嘉介教授、形本静夫助教授に謹んで感謝申し上げます。

また、実験を快く引き受けてくれた順天堂大学バレーボール部の皆さん、実験を手伝ってくれた大学院の学友に感謝の意を示します。

表1. 被験者プロフィール

学年	被験者	競技歴(年)	最高成績	身長(cm)	体重(kg)	最高到達点(cm)	垂直跳び(cm)
1年	S・R	6	5	188	78	333	78
1年	T・S	6	5	183	80	335	90
2年	M. K	7	5	185	70	325	70
2年	K・M	9	5	179	68	320	80
3年	T. K	8	5	192	79	330	75
3年	S・T	8	2	188	78	325	67
3年	O・K	8	5	185	75	320	70
4年	K・T	9	4	186	78	320	70
4年	A・I	10	4	193	85	340	75
4年	K・I	9	5	190	83	335	78
平均		8	4.5	186.9	77.4	328.3	75.3
SD		1.3	1.0	4.2	5.3	7.3	6.7

表2. 各局面の平均及び全体の平均速度

単位:m/sec

被験者	スタート期		中間期		踏み込み期		助走全体	
	良い試技	悪い試技	良い試技	悪い試技	良い試技	悪い試技	良い試技	悪い試技
A. I	2.07	2.04	3.08	2.99	3.10	3.10	2.75	2.71
T. S	1.69	1.72	2.57	2.55	3.26	3.16	2.51	2.48
K. T	1.52	1.52	2.58	2.43	3.49	3.39	2.53	2.45
K. M	1.90	1.91	2.03	2.37	3.07	3.14	2.33	2.47
T. K	1.98	1.83	2.89	2.99	3.23	3.41	2.70	2.74
K. I	1.59	1.90	2.54	2.71	3.18	3.05	2.44	2.56
O. K	2.88	3.13	3.52	3.61	3.70	3.89	3.37	3.54
S. T	2.01	2.14	3.38	3.18	3.44	3.73	2.94	3.01
S. Y	2.96	3.33	3.67	3.47	3.82	3.43	3.48	3.41
平均	2.07	2.17	2.92	2.92	3.37	3.37	2.78	2.82
標準偏差	0.49	0.59	0.51	0.42	0.25	0.27	0.38	0.39

表3. 各局面間の速度変化

単位:m/sec

被験者	スタート期から中間期		中間期から踏み込み		スタート期から踏み込み	
	良い試技	悪い試技	良い試技	悪い試技	良い試技	悪い試技
A. I	1.01	0.95	0.02	0.11	1.03	1.06
T. S	0.88	0.83	0.69	0.61	1.57	1.44
K. T	1.06	0.92	0.91	0.95	1.97	1.87
K. M	0.13	0.45	1.04	0.78	1.17	1.23
T. K	0.90	1.15	0.35	0.43	1.25	1.58
K. I	0.95	0.80	0.64	0.35	1.58	1.15
O. K	0.64	0.48	0.18	0.28	0.82	0.76
S. T	1.37	1.04	0.07	0.55	1.43	1.59
S. Y	0.71	0.14	0.15	-0.04	0.85	0.10
平均	0.85	0.75	0.45	0.44	1.30	1.20
標準偏差	0.34	0.33	0.38	0.31	0.38	0.53

表4. 局面毎の移動距離

単位:m

被験者	スタート期		中間期		踏み込み期		助走全体	
	良い試技	悪い試技	良い試技	悪い試技	良い試技	悪い試技	良い試技	悪い試技
A. I	1.97	2.09	2.8	2.9	3.74	3.84	2.84	2.94
T. S	1.49	1.46	2.18	2.13	3.25	3.21	2.31	2.27
K. T	1.94	1.96	2.55	2.61	3.51	3.52	2.67	2.70
K. M	1.94	1.82	2.56	2.4	3.47	3.38	2.66	2.53
T. K	1.74	1.65	2.56	2.48	3.56	3.52	2.62	2.55
K. I	1.88	1.78	2.5	2.47	3.44	3.43	2.61	2.56
O. K	2.14	2.01	3.02	2.86	3.8	3.7	2.99	2.86
S. T	1.89	1.88	2.69	2.53	3.67	3.51	2.75	2.64
S. Y	2.06	2.2	3.12	3.26	4.04	4.14	3.07	3.20
平均	1.89	1.87	2.66	2.63	3.61	3.58	2.72	2.69
標準偏差	0.19	0.23	0.28	0.33	0.23	0.28	0.23	0.27

表5. 各局面間の移動距離の変化分

単位:m

被験者	スタート期から中間期までの移動距離		中間期から踏み込み期までの移動距離		スタート期から踏み込み期までの移動距離	
	良い試技	悪い試技	良い試技	悪い試技	良い試技	悪い試技
A. I	0.83	0.81	0.94	0.94	1.77	1.75
T. S	0.69	0.67	1.07	1.08	1.76	1.75
K. T	0.61	0.65	0.96	0.91	1.57	1.56
K. M	0.62	0.58	0.91	0.98	1.53	1.56
T. K	0.82	0.83	1	1.04	1.82	1.87
K. I	0.62	0.69	0.94	0.96	1.56	1.65
O. K	0.88	0.85	0.78	0.84	1.66	1.69
S. T	0.8	0.65	0.98	0.98	1.78	1.63
S. Y	1.06	1.06	0.92	0.88	1.98	1.94
平均	0.77	0.75	0.94	0.96	1.71	1.71
標準偏差	0.15	0.15	0.08	0.08	0.15	0.13

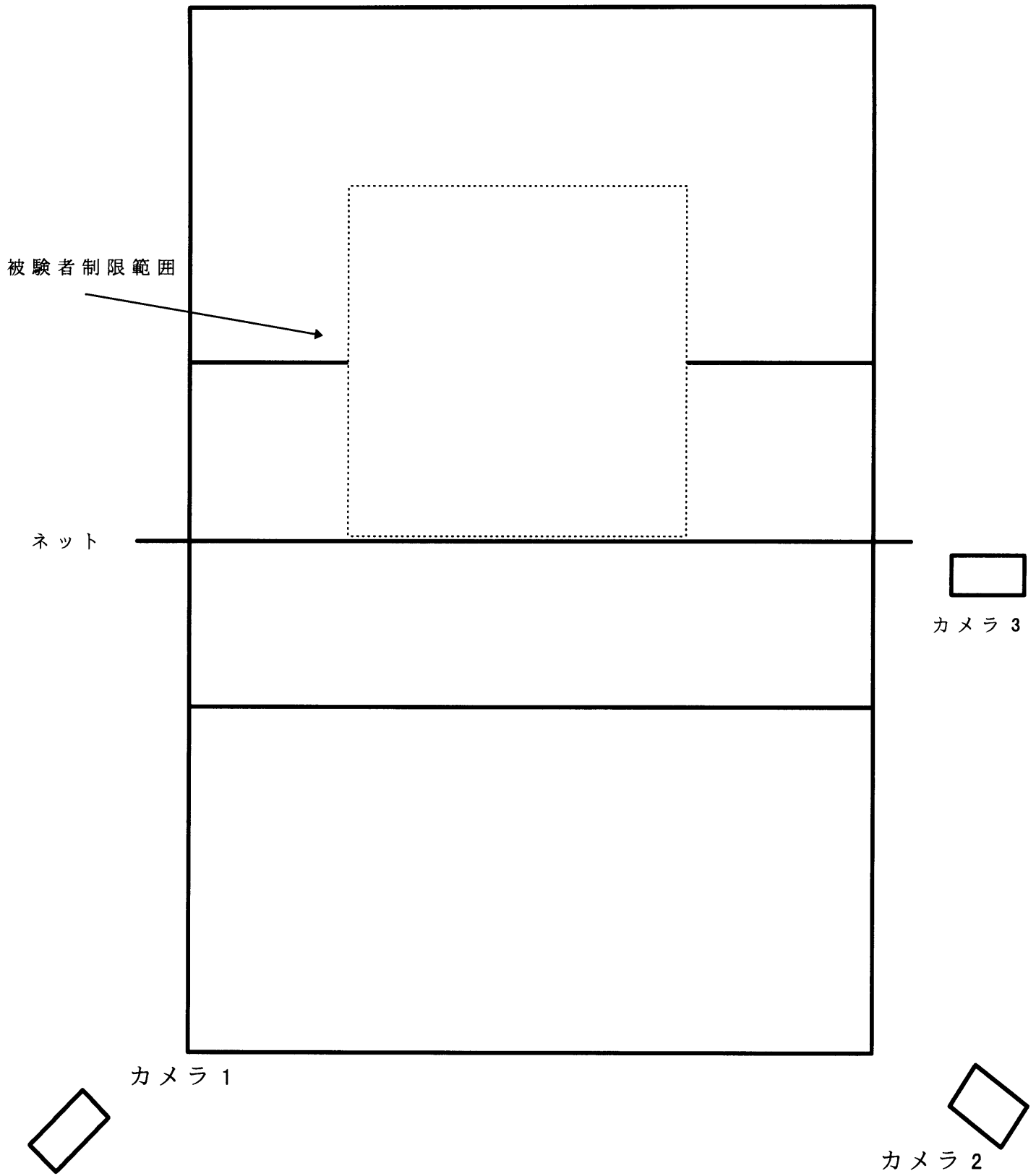


図 1 . カメラ配置

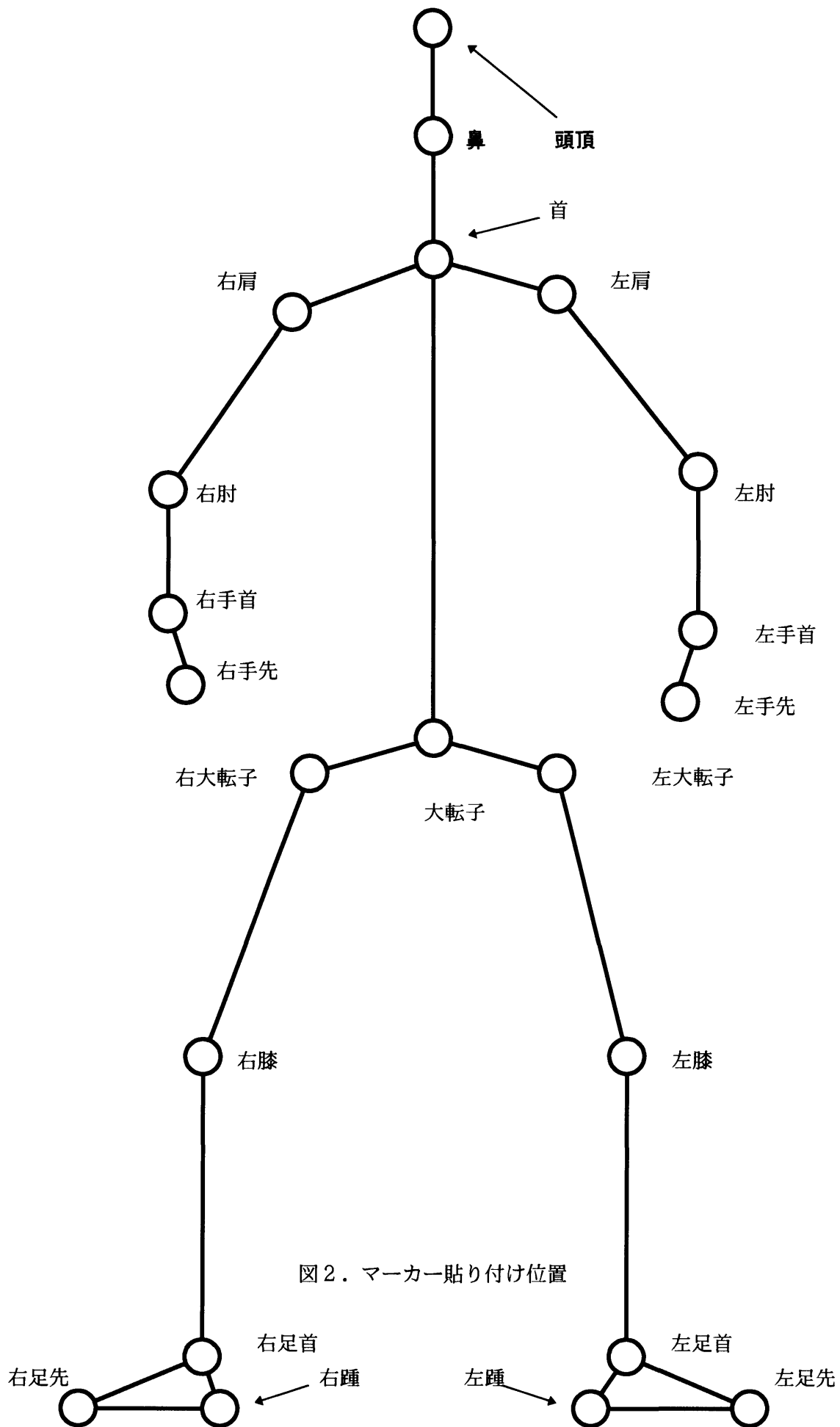


図2. マーカー貼り付け位置

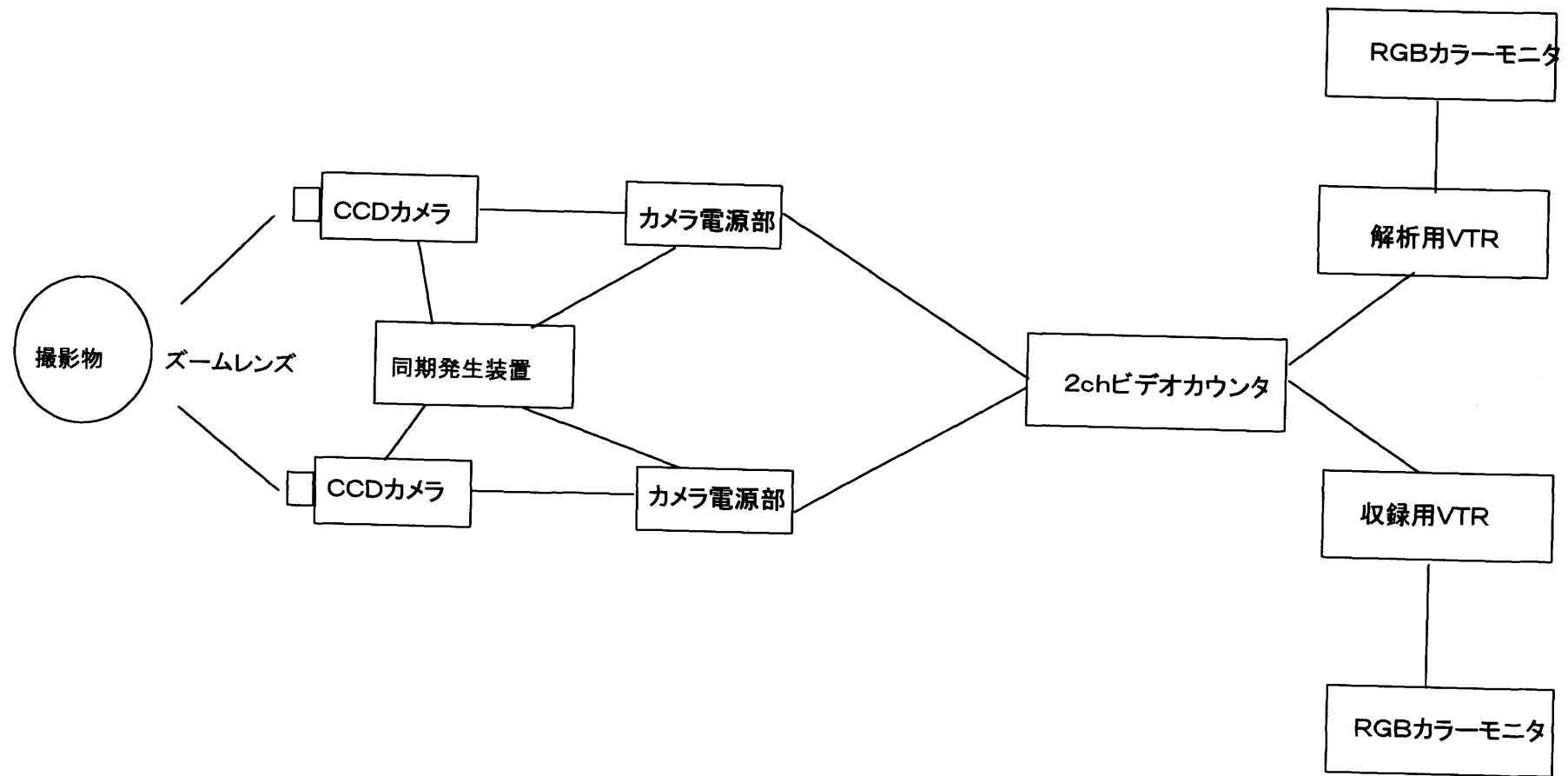


図 3. 実験装置

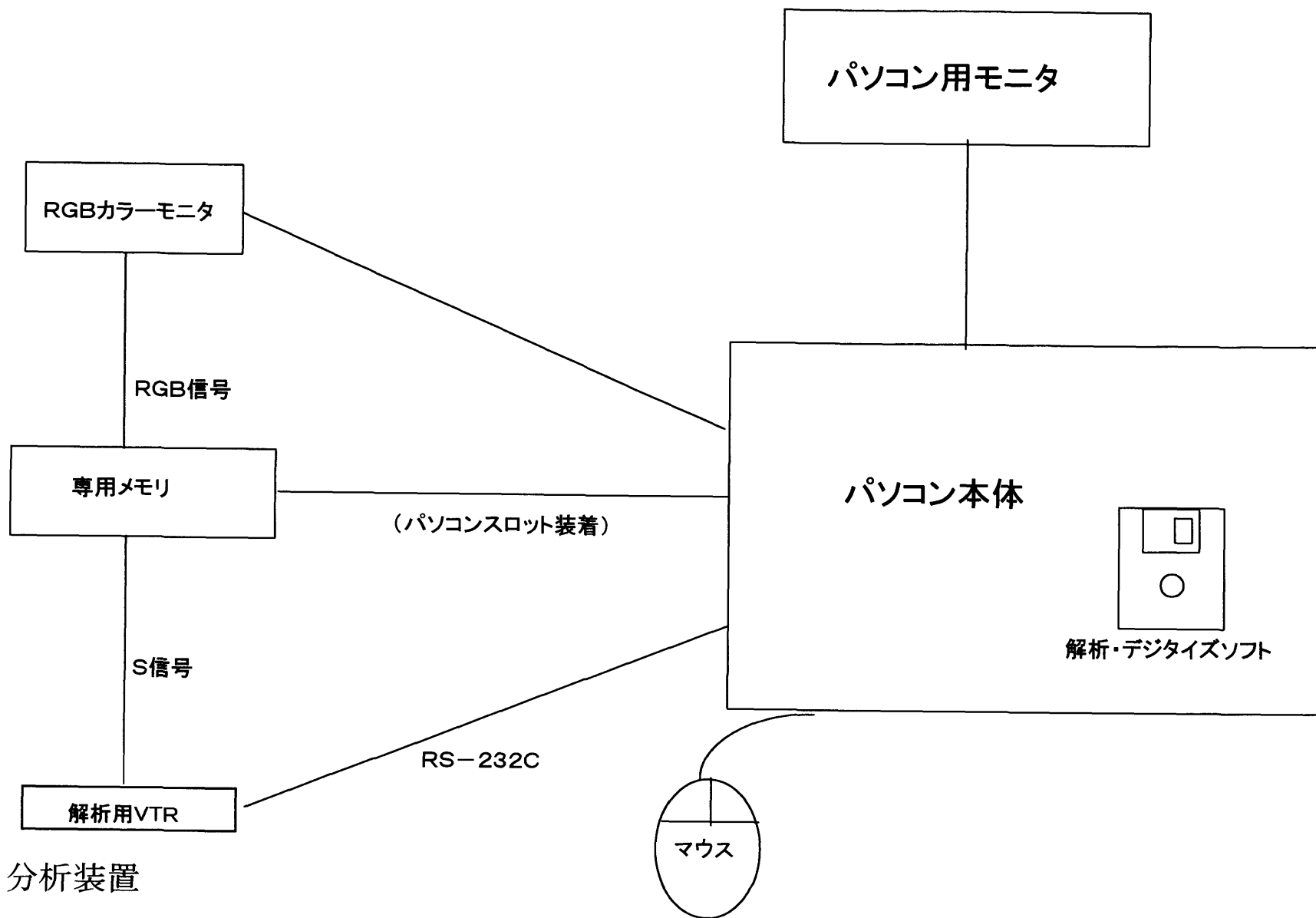


図4. 分析装置

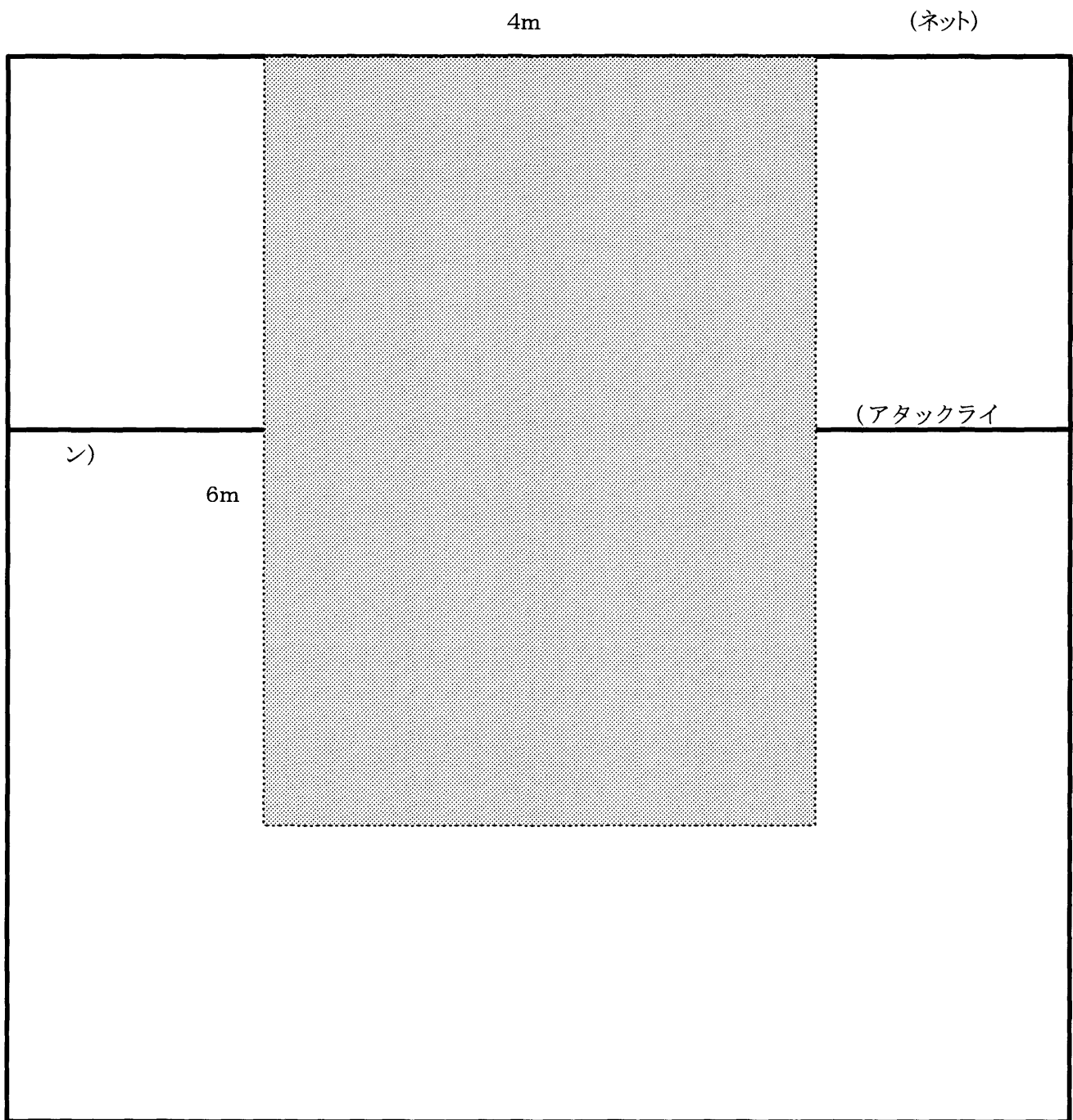


図 5. 被験者制限範囲

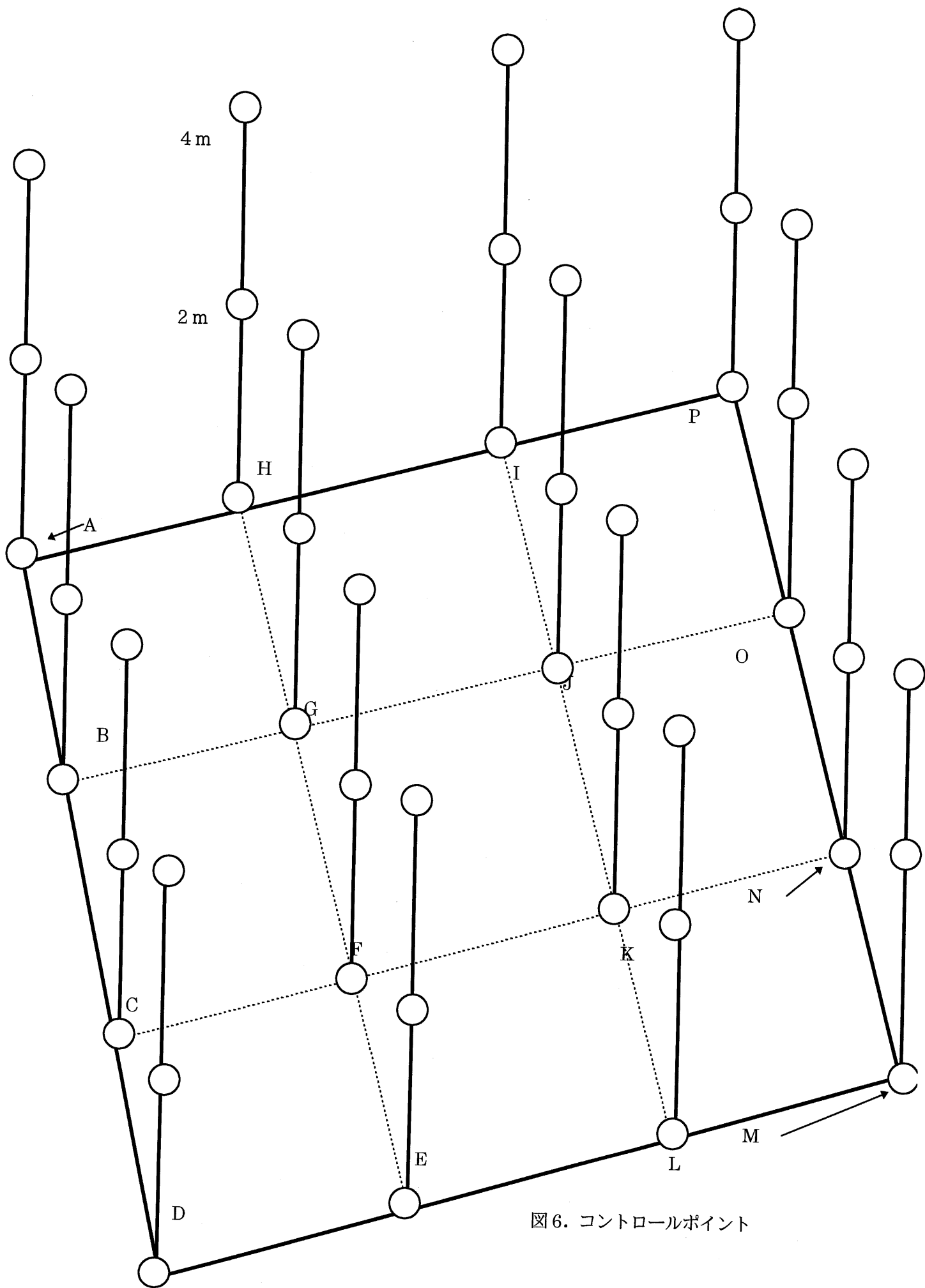


図6. コントロールポイント

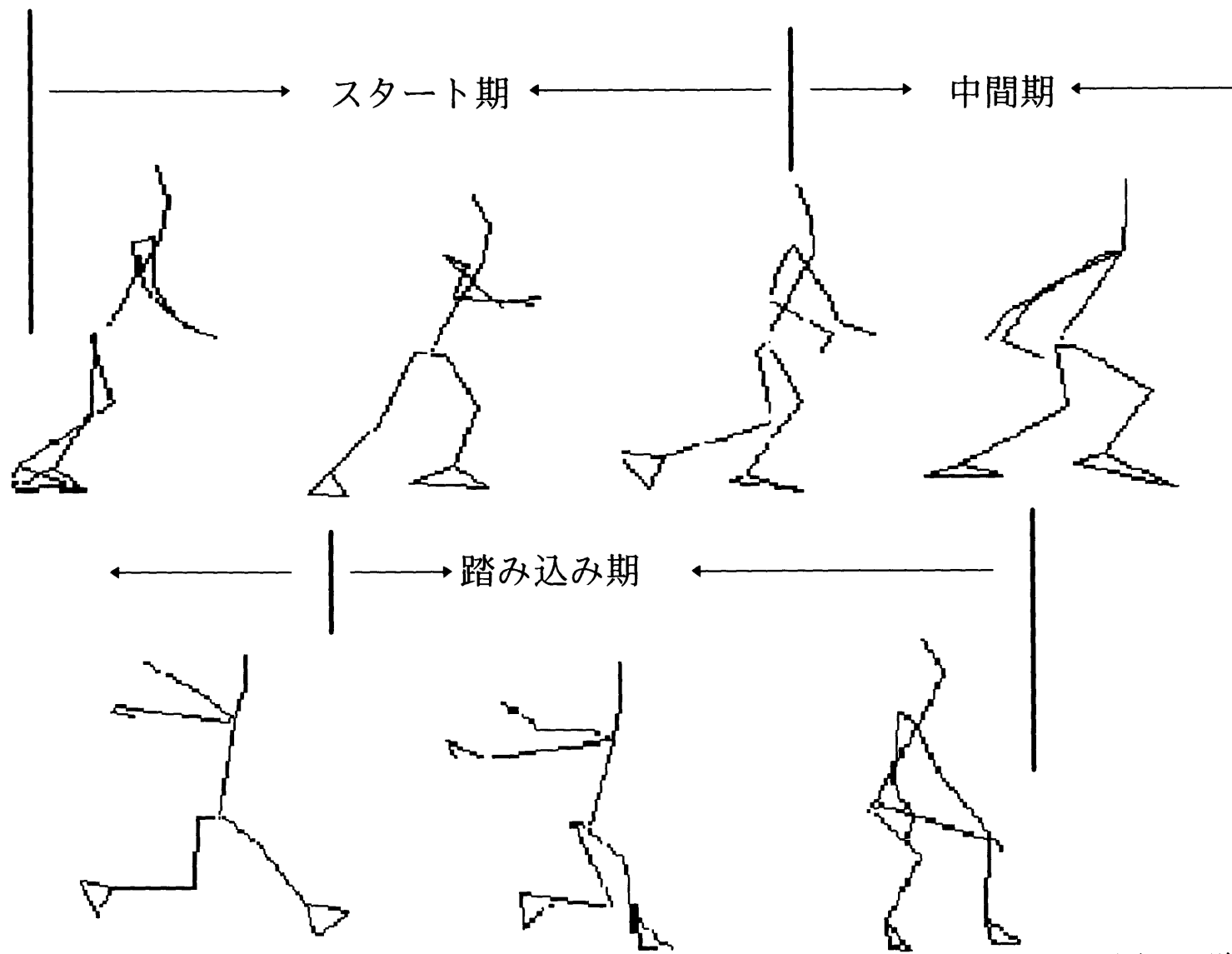


図7. 助走局面の微局面

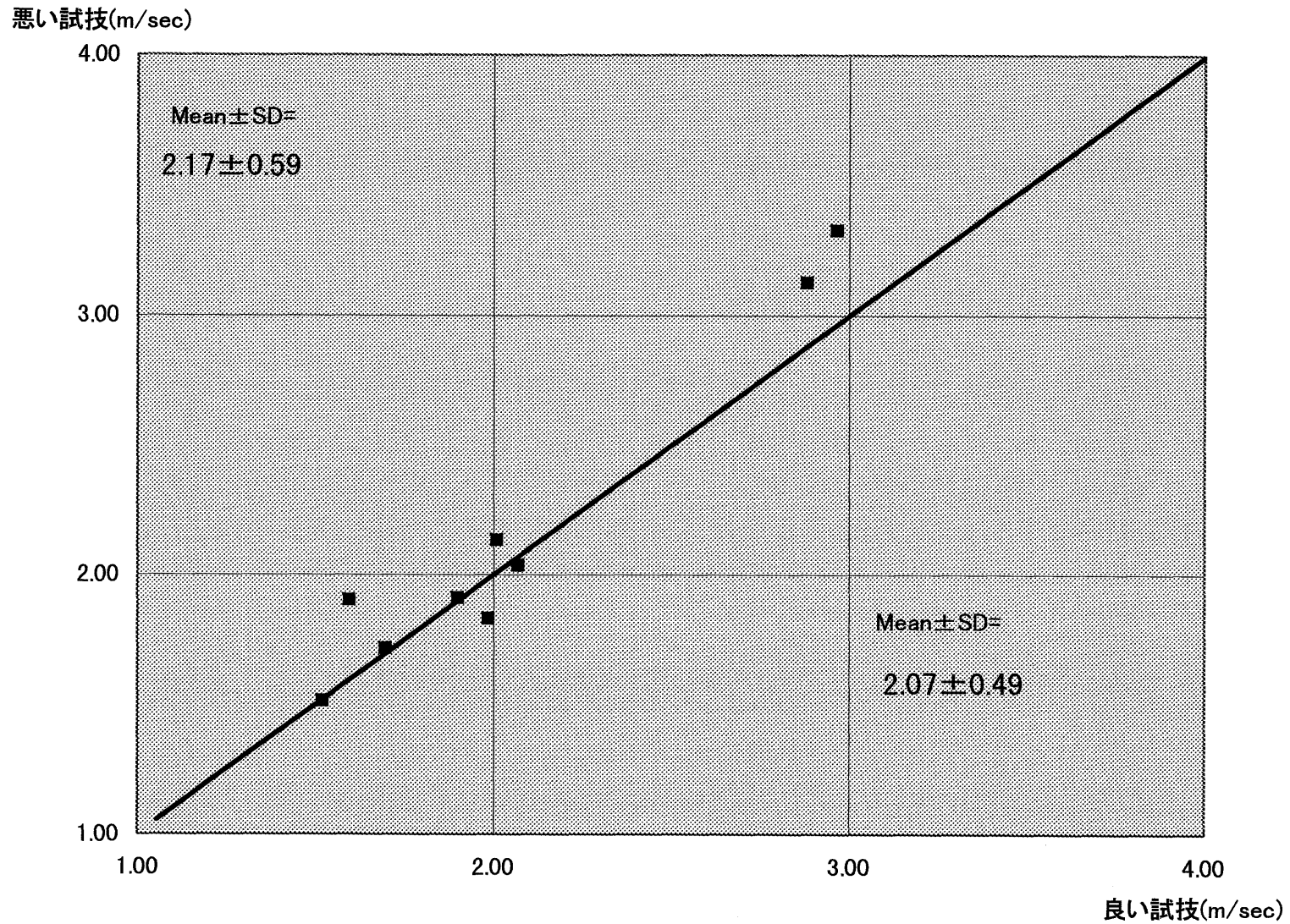


図. 8 良い試技と悪い試技のスタート期における速度比較

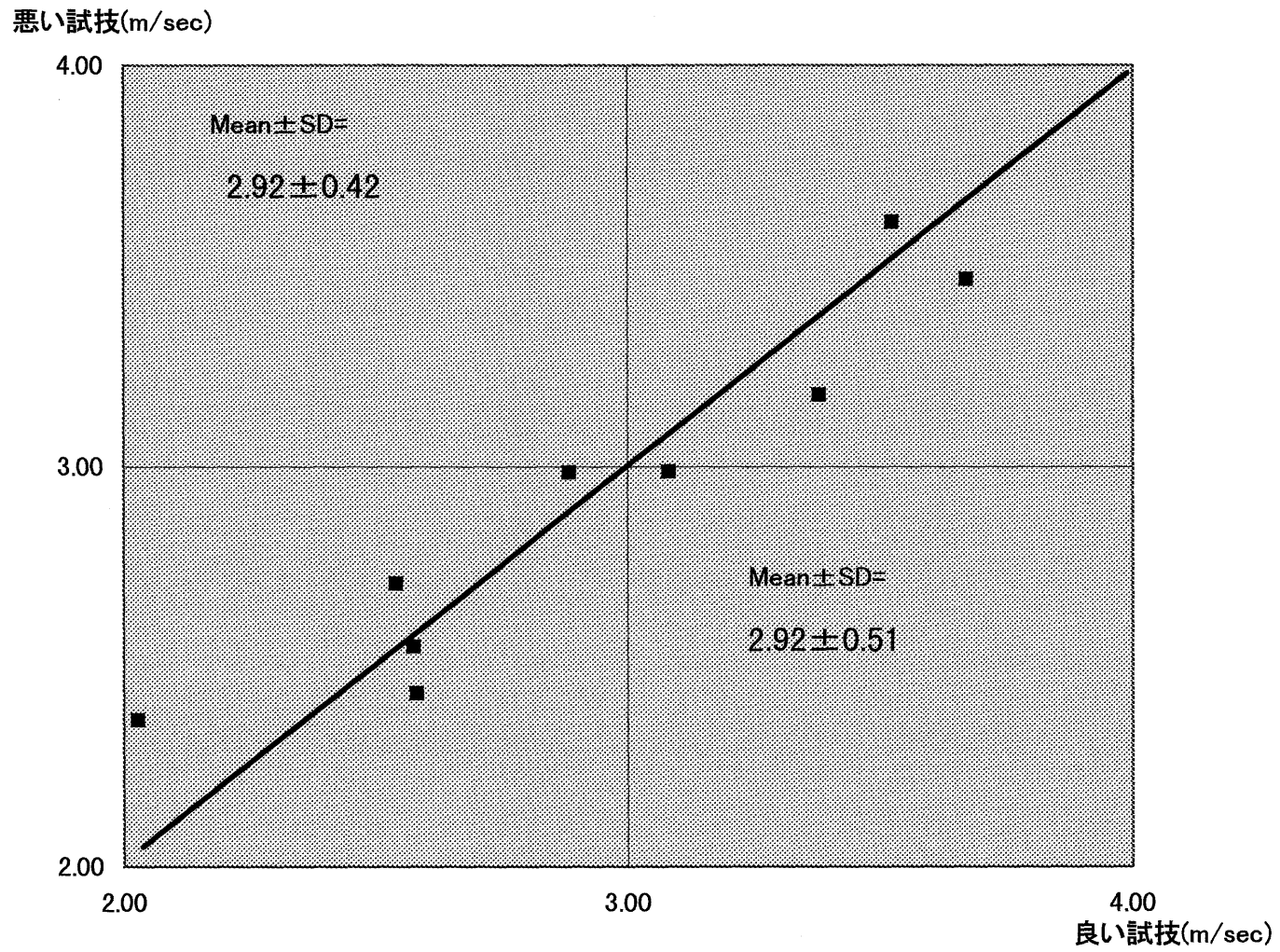


図. 9 良い試技と悪い試技の中間期における速度比較

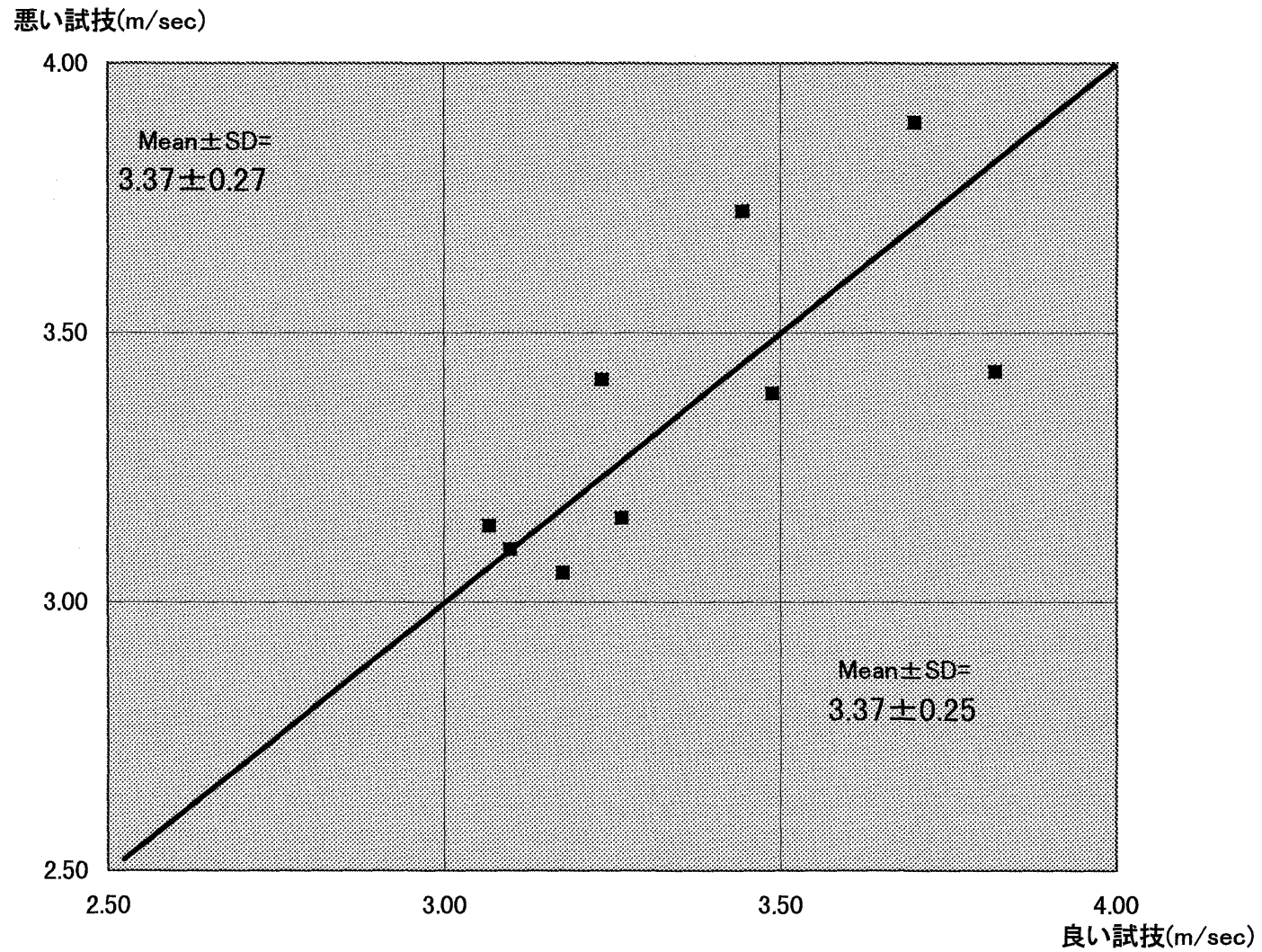


図. 10 良い試技と悪い試技の踏み込み期における速度比較

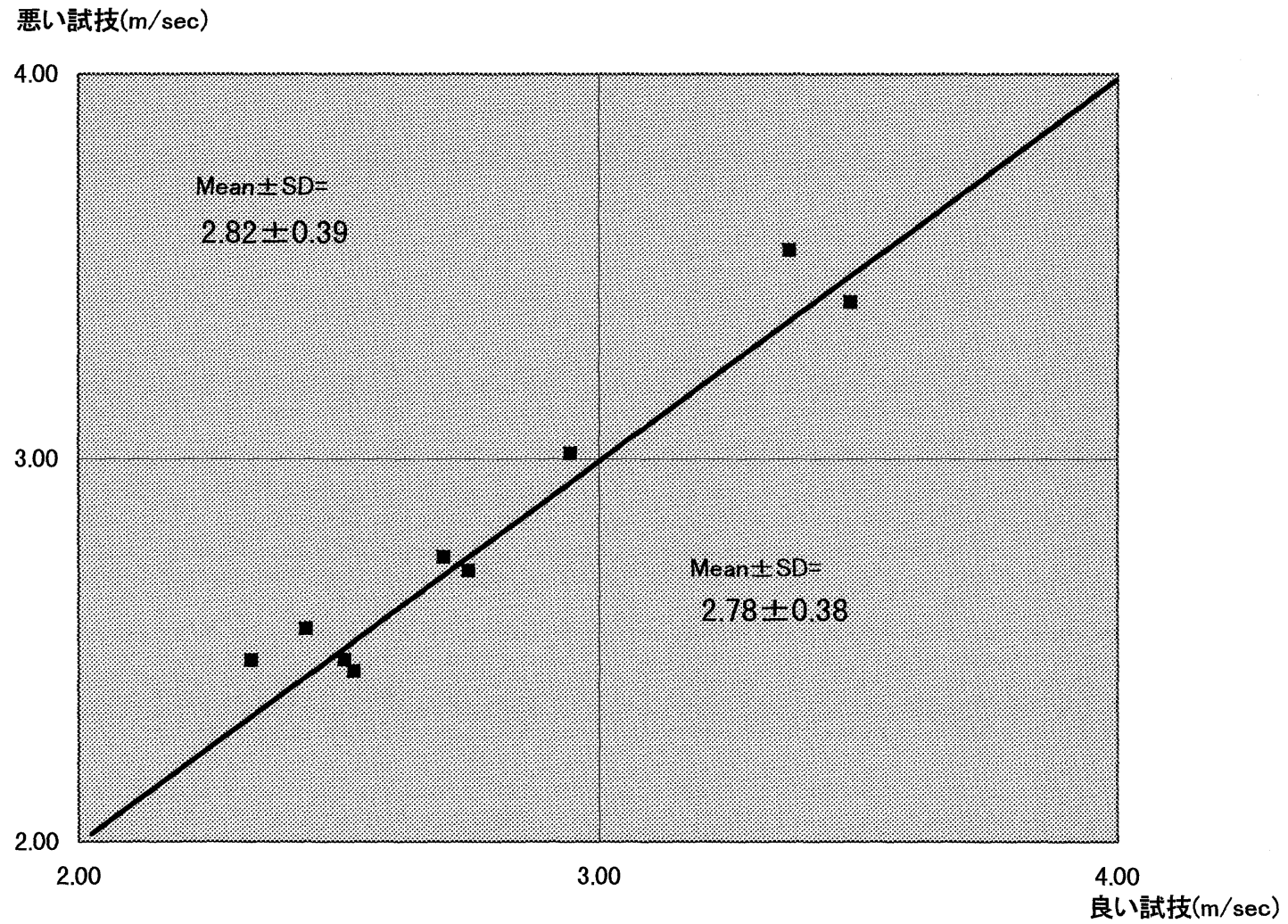


図. 11 良い試技と悪い試技における全体の速度比較

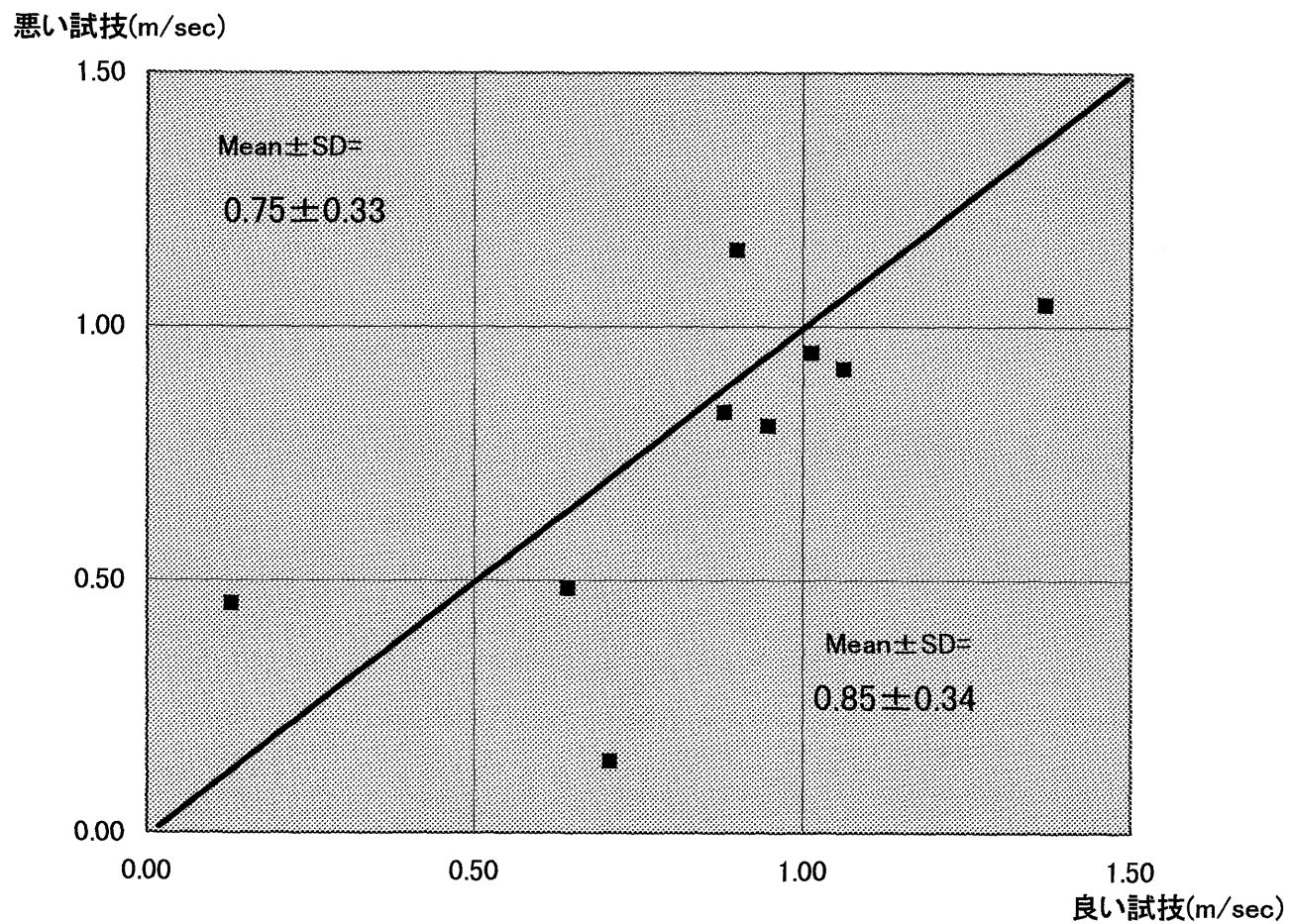
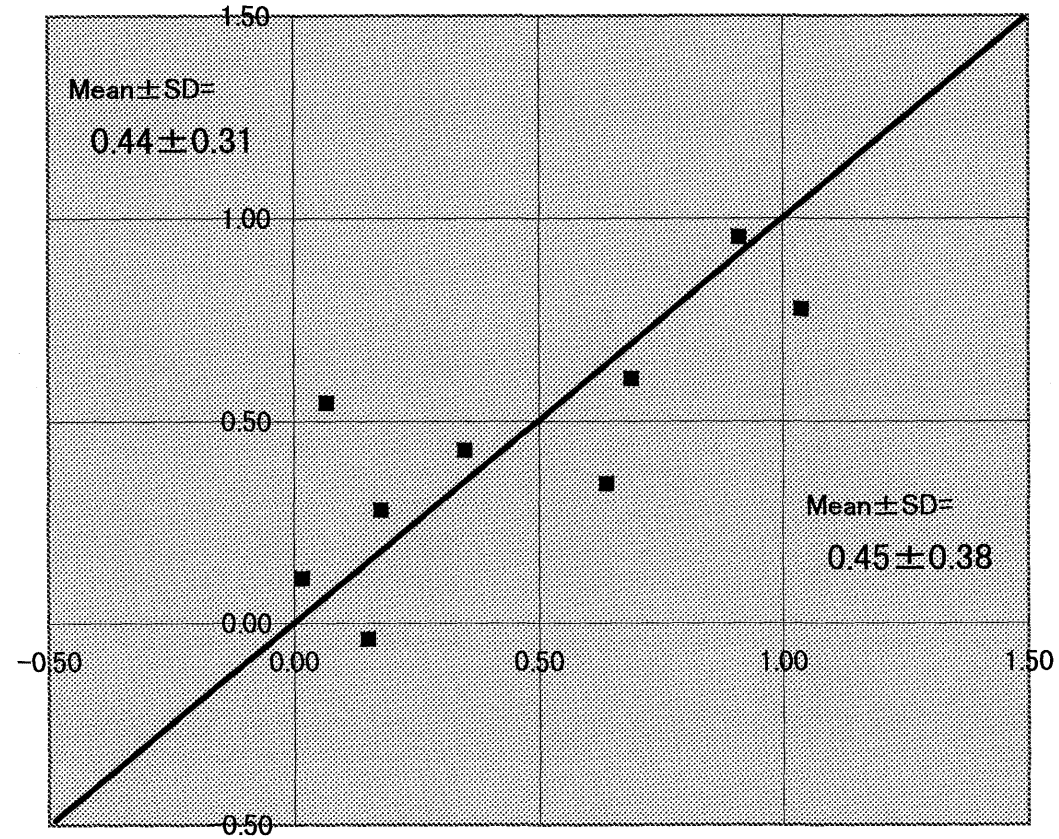


図. 12 良い試技と悪い試技におけるスタート期から中間期までの速度変化分の比較
(中間期－スタート期)

悪い試技(m/sec)



良い試技(m/sec)

図. 13 良い試技と悪い試技における中間期から踏み込み期までの速度変化分の比較
(踏み込み期－中間期)

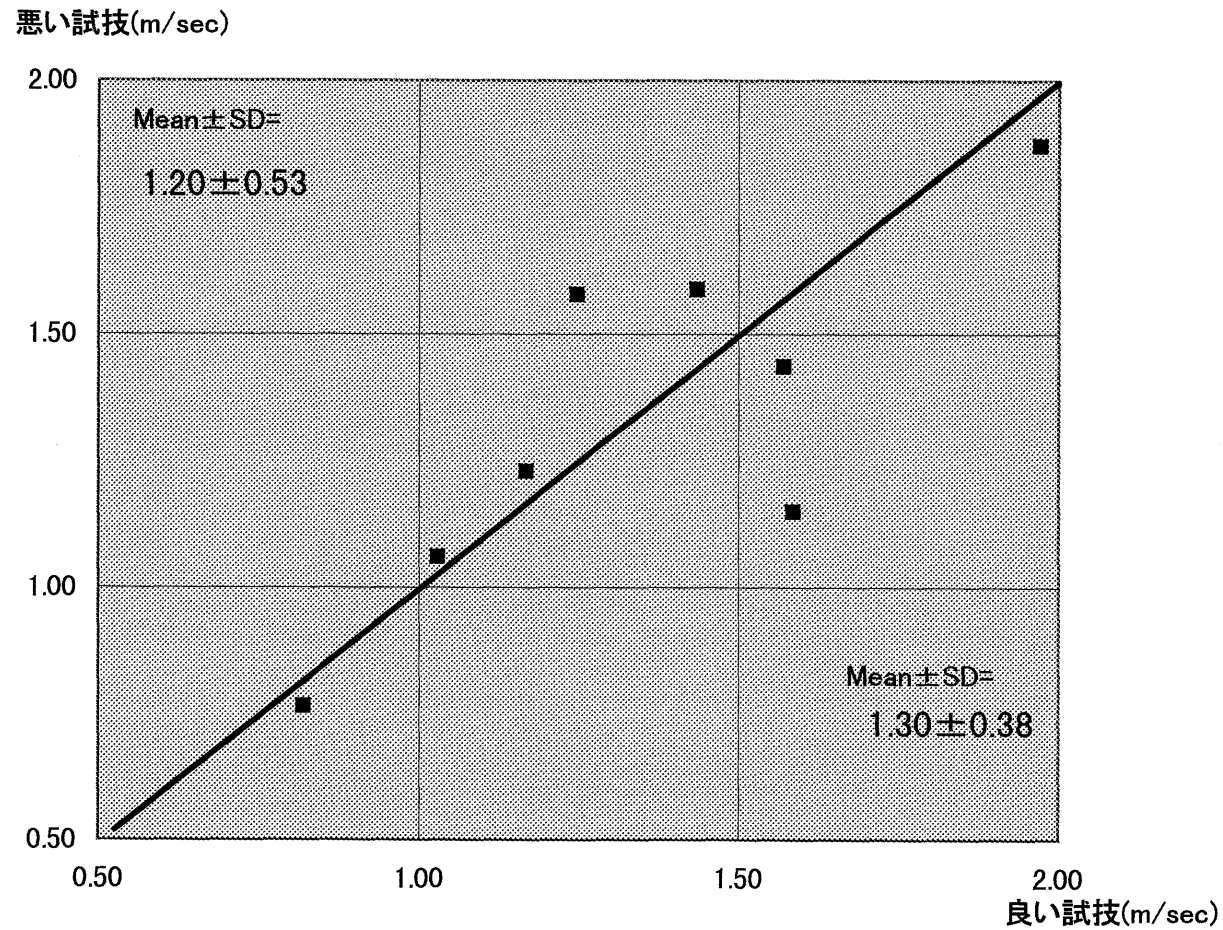


図. 14 良い試技と悪い試技におけるスタート期から踏み込み期までの速度変化分の比較
(踏み込み期－スタート期)

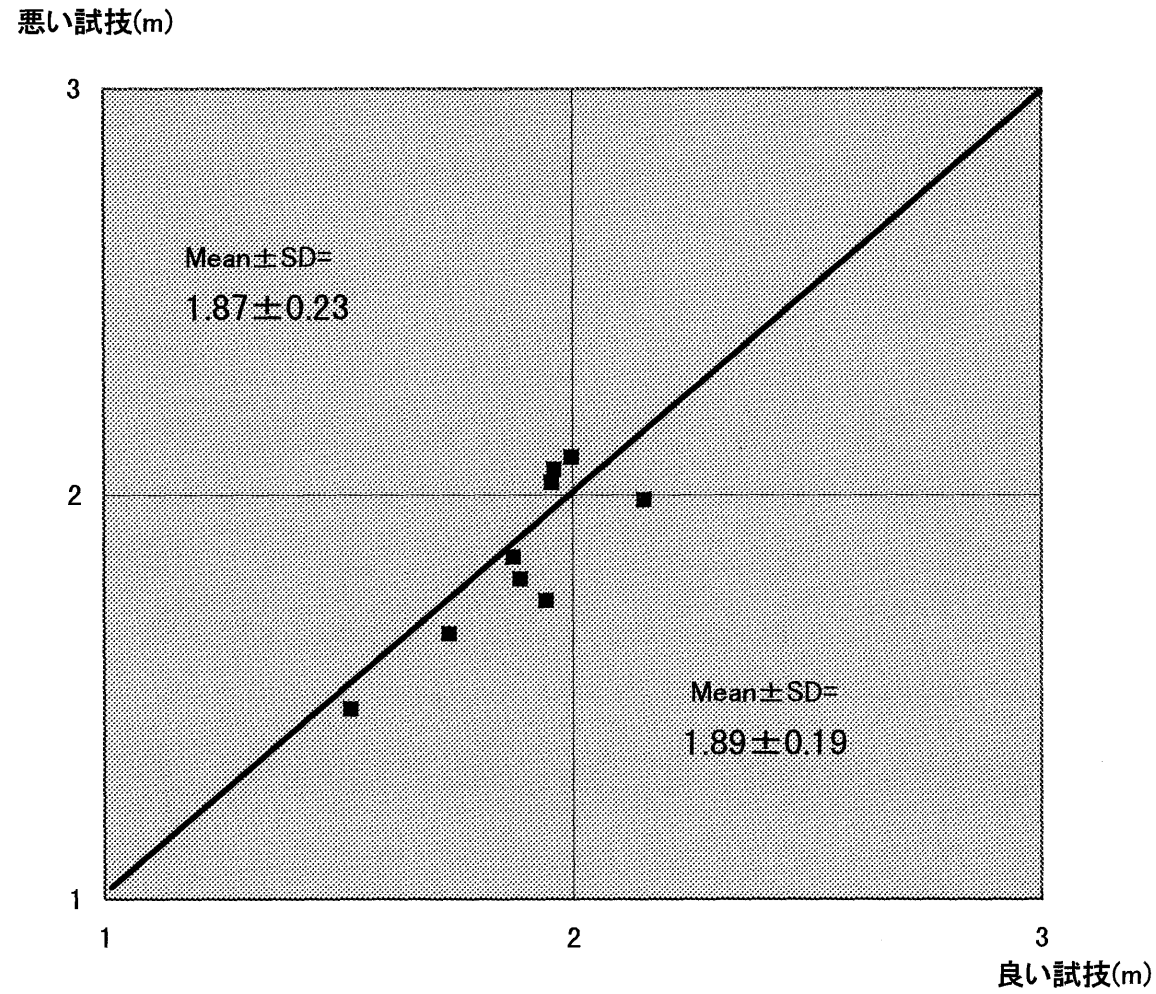


図. 15 良い試技と悪い試技におけるスタート期の移動距離の比較

悪い試技(m)

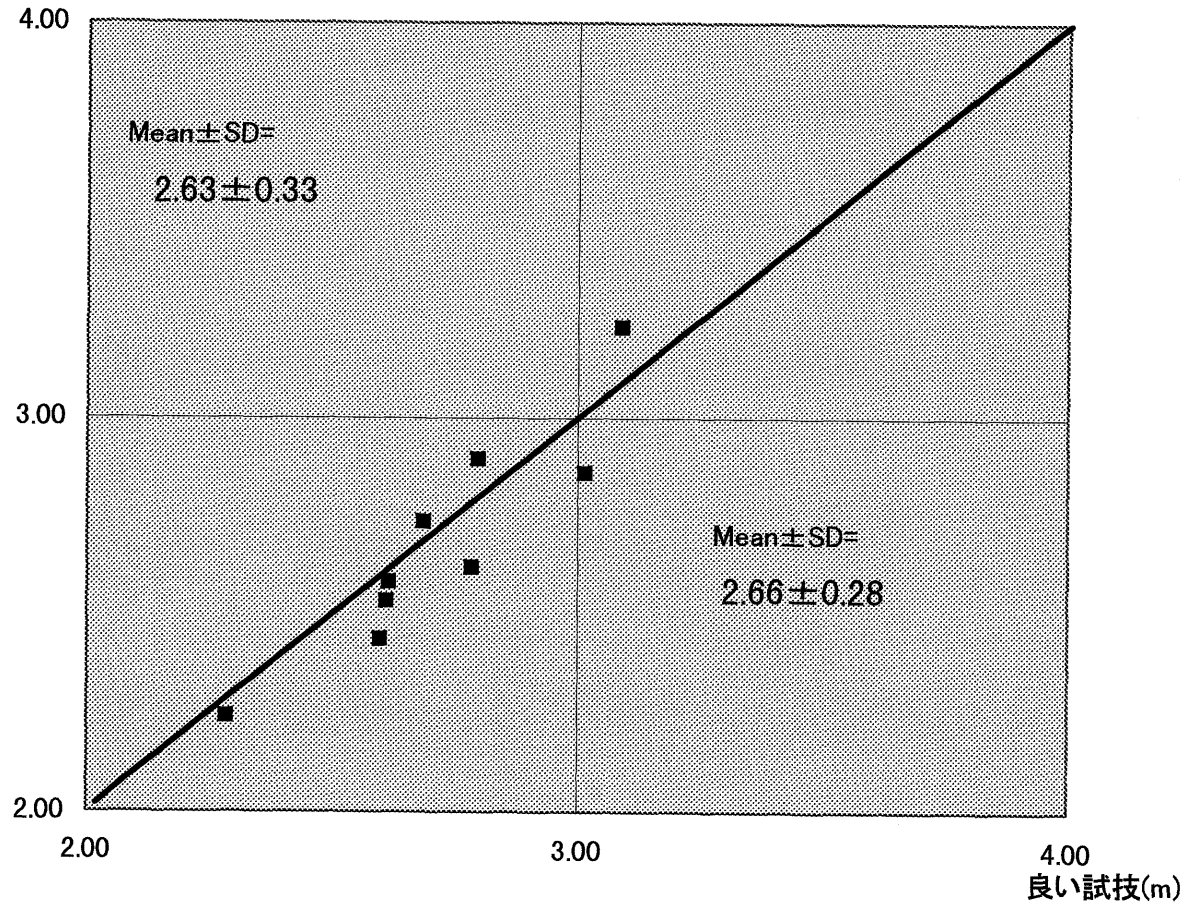


図. 16 良い試技と悪い試技における中間期の移動距離の比較

悪い試技(m)

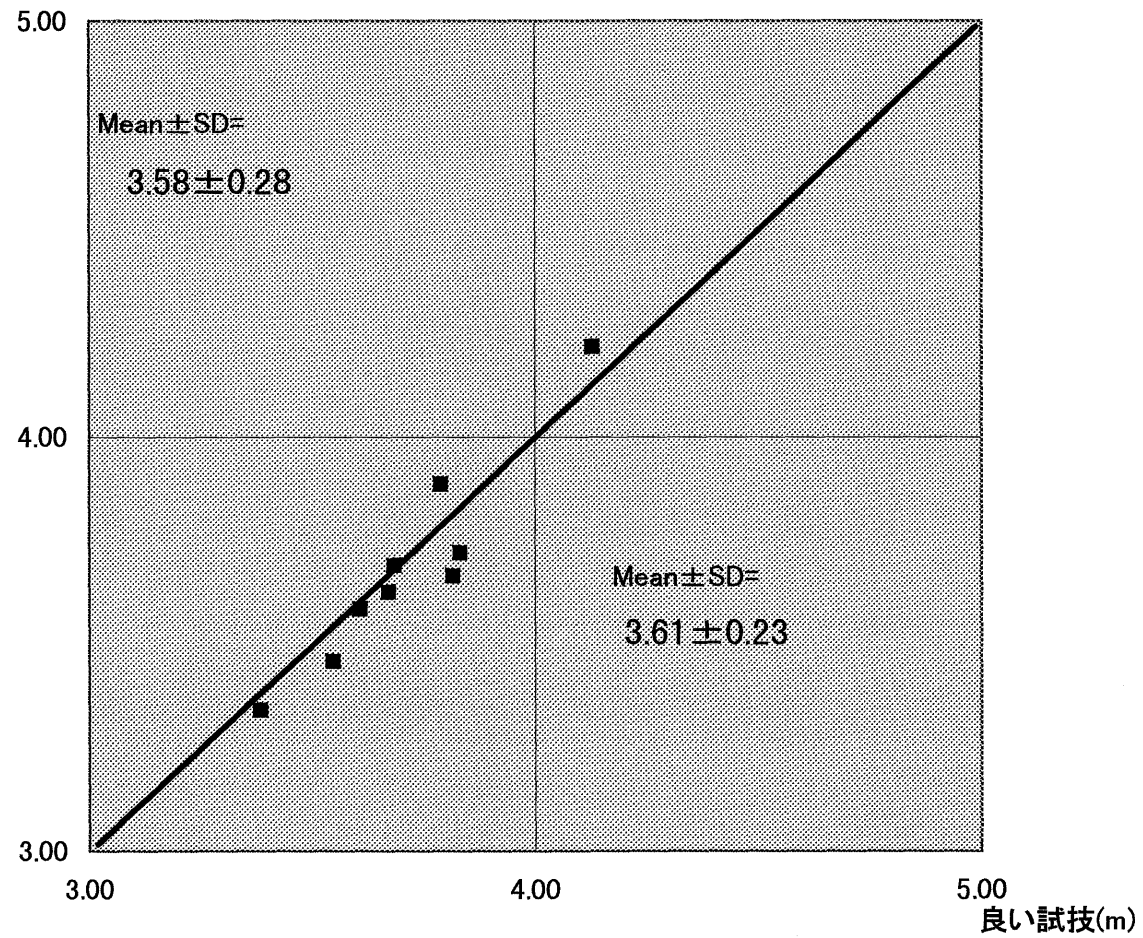


図. 17 良い試技と悪い試技における踏み込み期の移動距離の比較

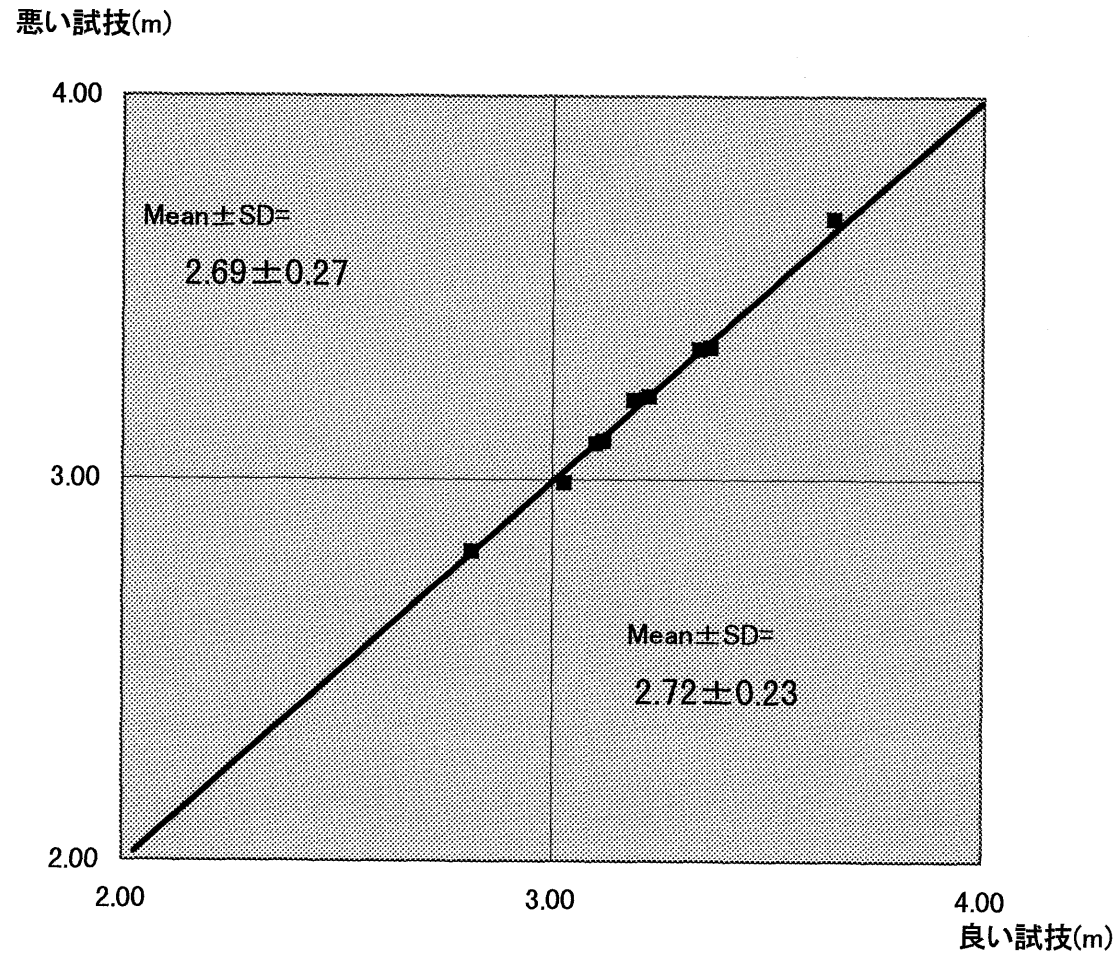


図. 18 良い試技と悪い試技における全体の移動距離の比較

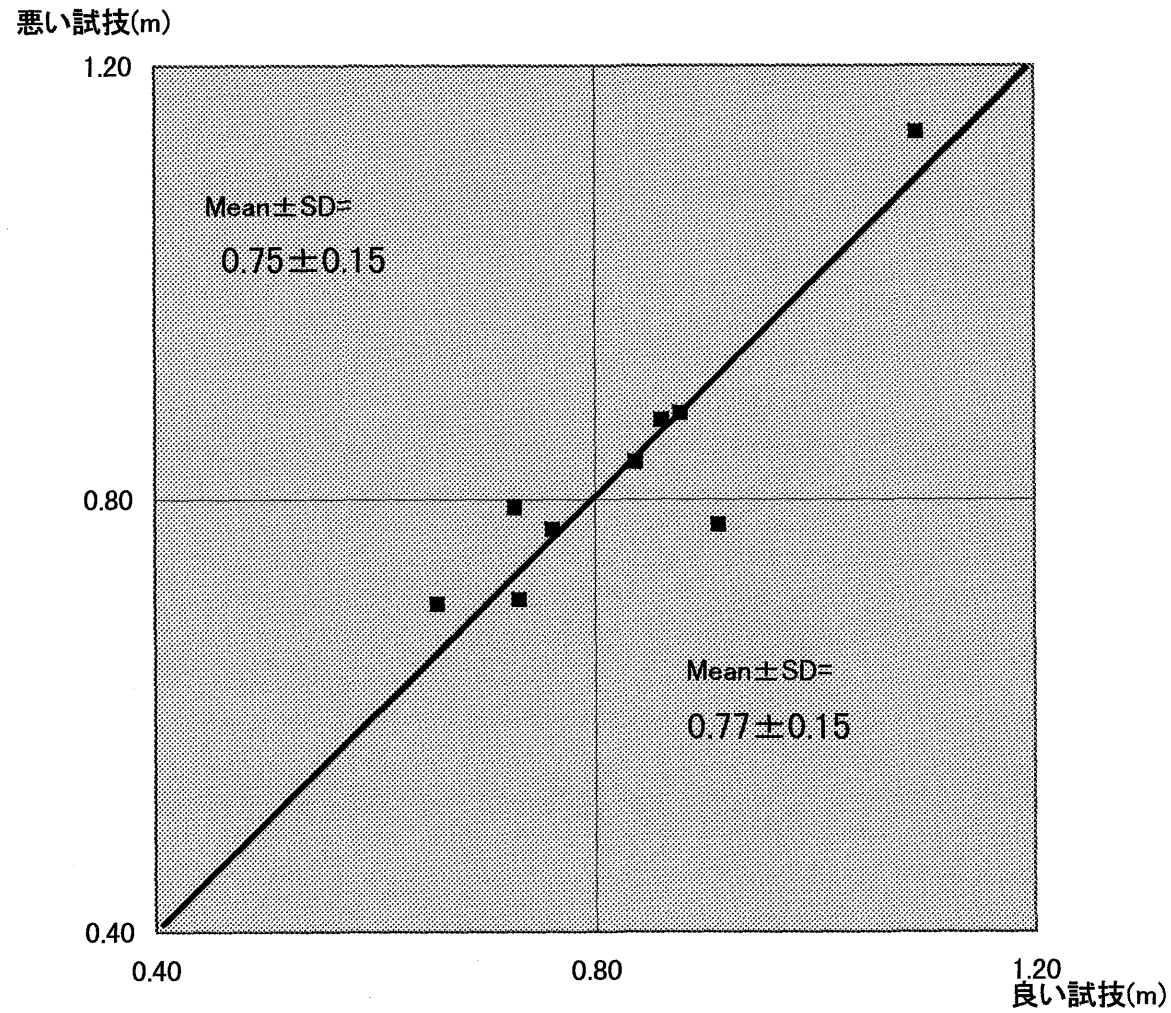


図. 19 良い試技と悪い試技におけるスタート期から中間期までの移動距離の変化分の比較
(中間期－スタート期)

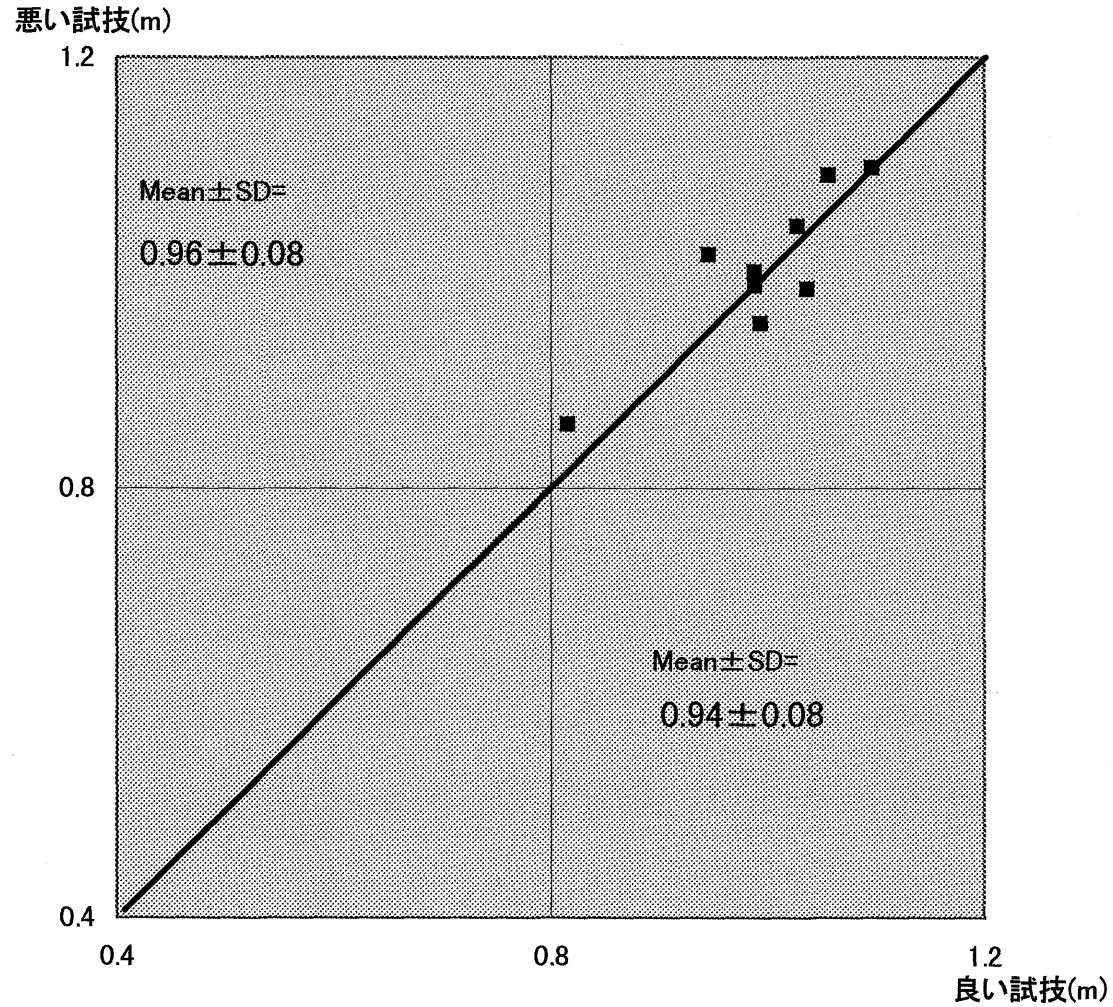


図. 20 良い試技と悪い試技における中間期から踏み込み期までの移動距離の変化分の比較
(踏み込み期－中間期)

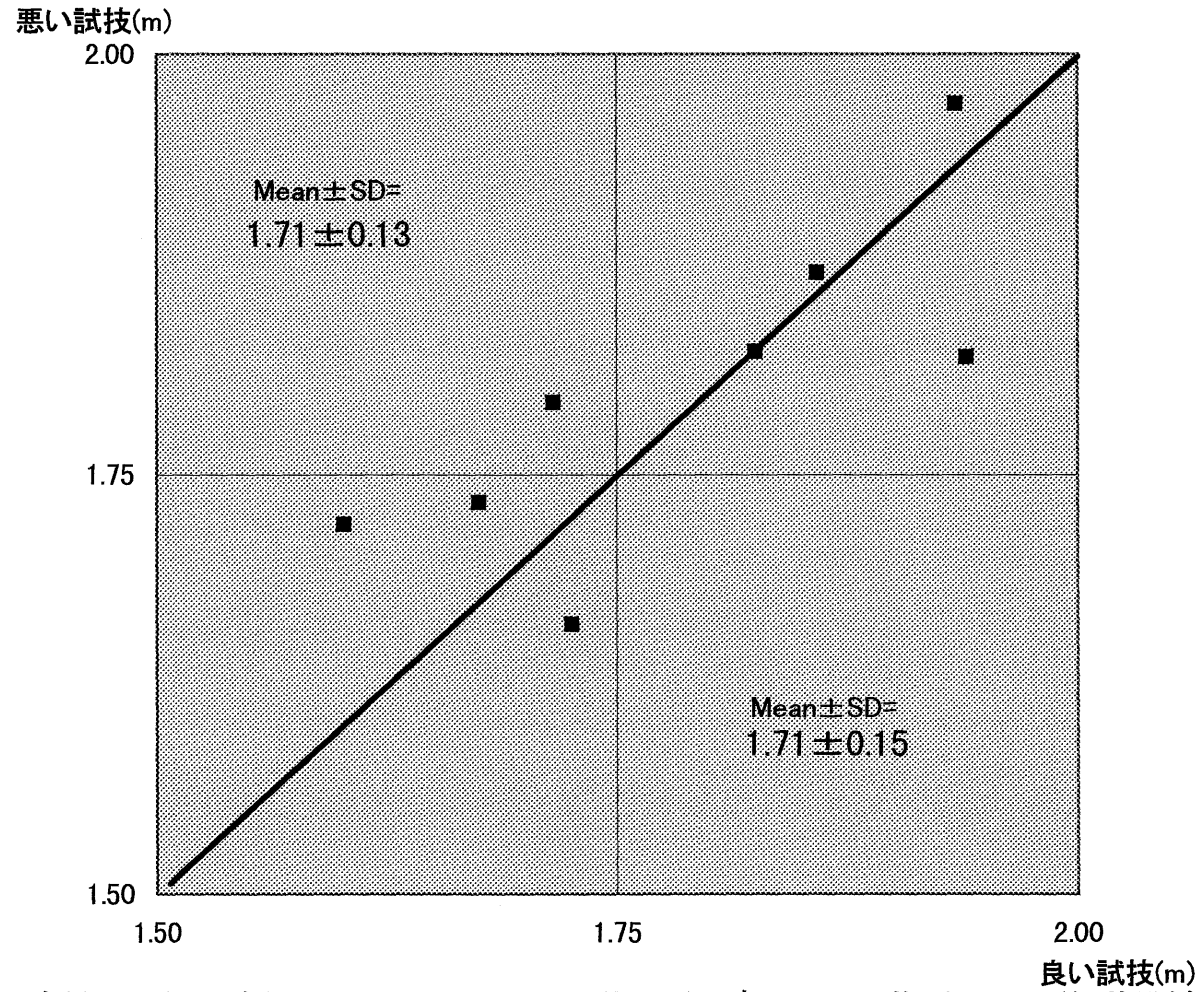


図. 21 良い試技と悪い試技におけるスタート期から踏み込み期までの移動距離の変化分の比較
(踏み込み期－スタート期)

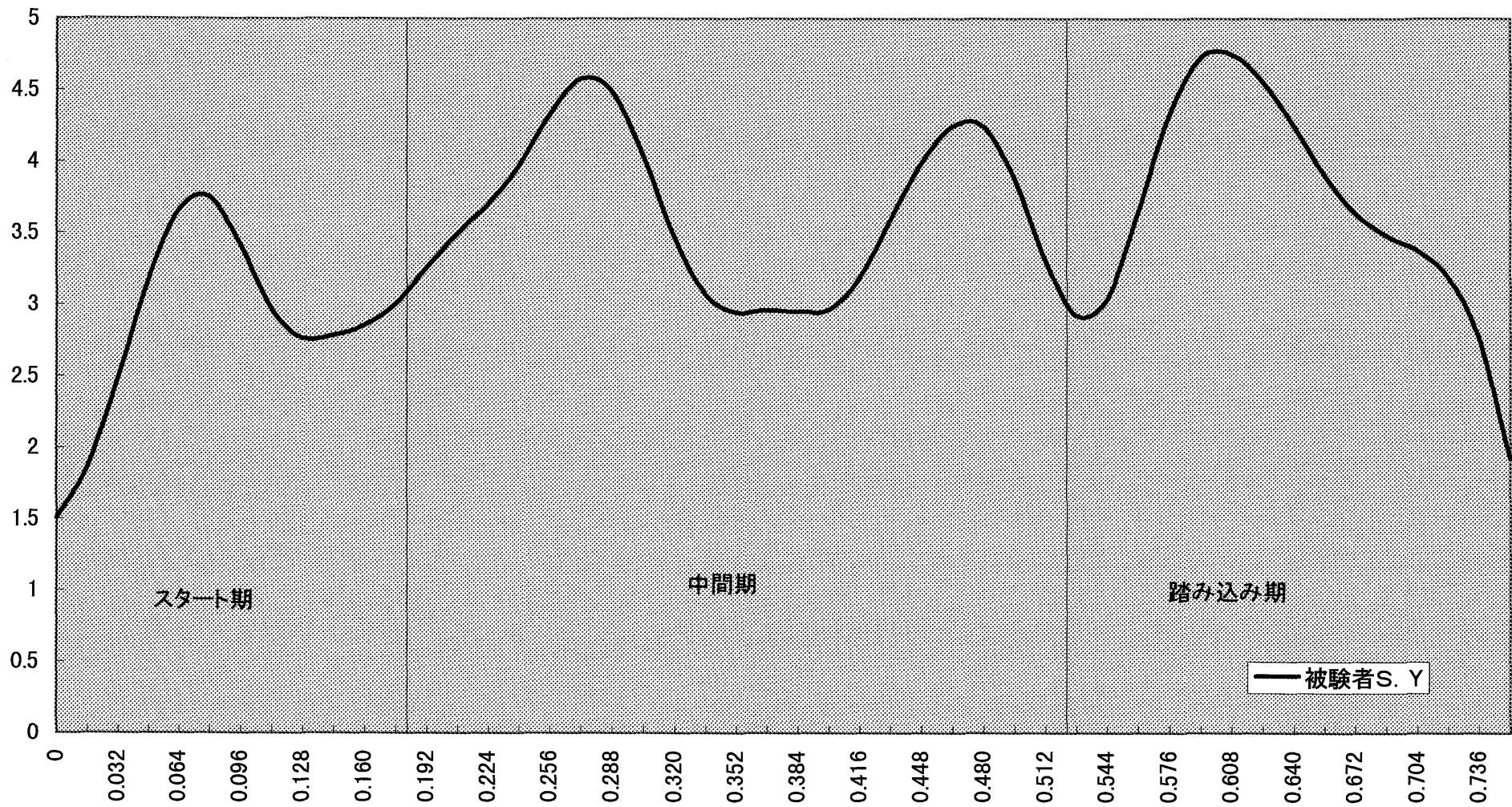


図. 22 良い試技における被験者S. Yの速度曲線

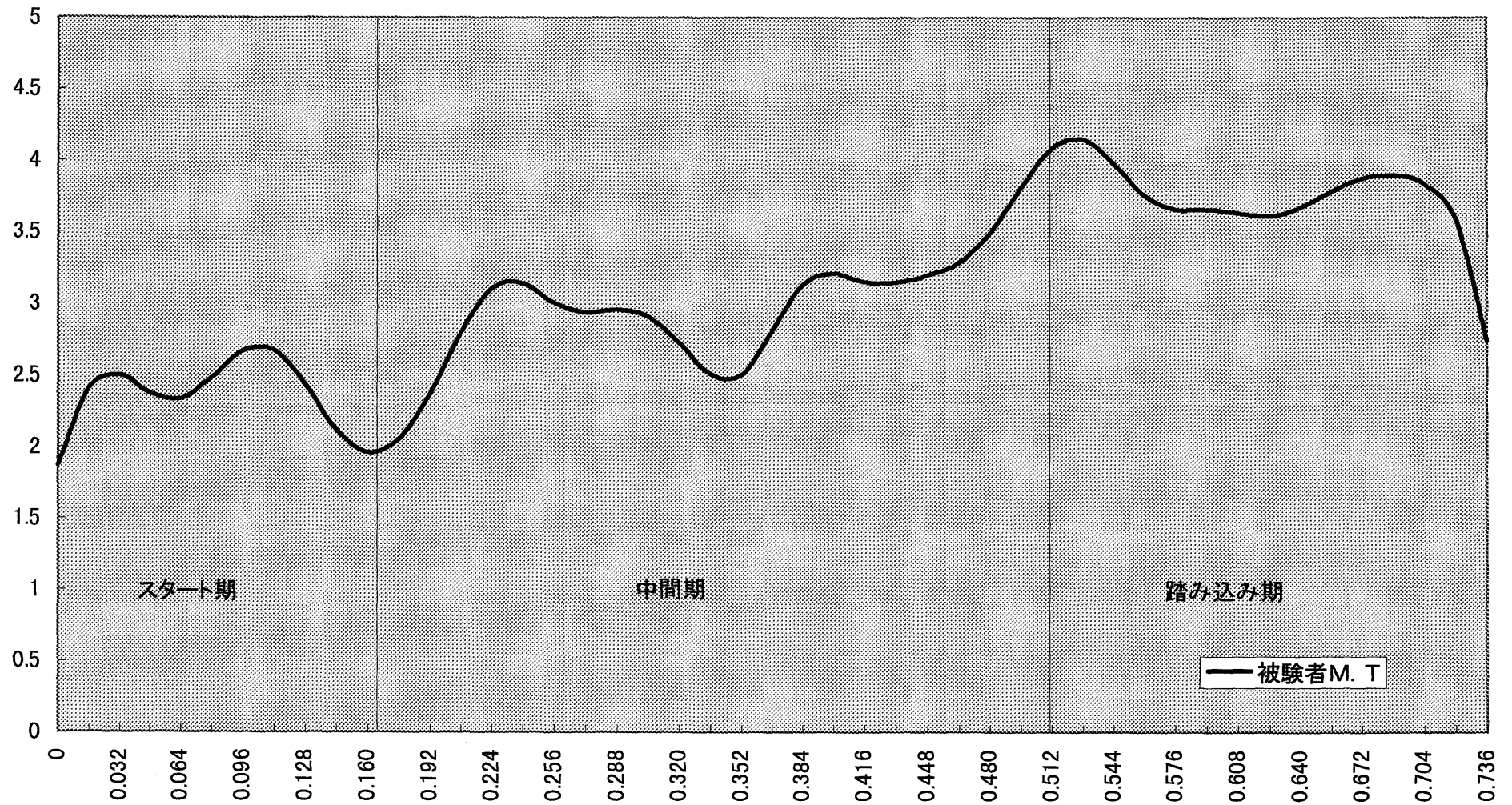


図. 23 被験者M. Tにおける悪い試技の速度曲線

資料1. バレーボールに関する個人調査用紙

バレーボールに関する個人調査

実施日 平成 年 月 日

- 1) 氏名： _____
- 2) 学年： _____ 学年
- 3) バレーボール歴： _____ 年
- 4) 過去最高成績： _____
*例：春高優勝
- 5) 身長： _____ センチメートル
- 6) 体重： _____ キログラム
- 7) 最高到達点： _____ センチメートル
- 8) 垂直跳び： _____ センチメートル
- 9) 専門にしているポジション： _____
- 10) 最も得意とする技術： _____

10項目全て回答してください。

御協力ありがとうございました！

資料2. スパイクパフォーマンス評価表

被験者名：

質問項目	1本目			2本目			3本目			4本目			5本目		
	良い	普通	悪い	良い	普通	悪い	良い	普通	悪い	良い	普通	悪い	良い	普通	悪い
1：トスの高さ と助走の タイミングはどうだったか															
2：ミートはどうだったか															
3：ジャンプは最大努力で 行えたか															
4：腕を伸ばし高いところで ボールを捉える事が出来たか															
5：その他の感想 (自由記述)															

質問項目	1本目			2本目			3本目			4本目			5本目		
	良い	普通	悪い	良い	普通	悪い	良い	普通	悪い	良い	普通	悪い	良い	普通	悪い
1：トスの高さ と助走の タイミングはどうだったか															
2：ミートはどうだったか															
3：ジャンプは最大努力で 行えたか															
4：腕を伸ばし高いところで ボールを捉える事が出来たか															
5：その他の感想 (自由記述)															