

棒高跳びにおける開く動作により生じる跳躍中のポールの動き

柿崎繁信* 湯浅景元**

Kinematical analysis of sideward rotation of the pole
during the upward swing phase

Shigenobu KAKIZAKI, Kagemoto YUASA

Abstract

This study investigated the differences in the movement of the poles of 2 vaulters. There are two types vaulters: those who consciously rotate sideward during the vault, and those who do it unconsciously. Photographs of both vaulters were taken with 2 digital video cameras. Analysis was done using displacement and velocity in a 3-dimensional picture.

The results revealed that sideward rotation of the pole caused the bend of the pole to become larger toward the X-axis and unchanged in the Y-axis. Moreover, sideward rotation caused the pole to extend higher in the Z-axis.

I. はじめに

棒高跳びは助走で得た運動エネルギーを棒(以下ポール)を媒介して位置エネルギーに変換し、高さを競う競技である。棒高跳びでより高い跳躍高を得るためには、ポールの湾曲を大きくして、大きい反発力を得るようにするとよいと言われている。指導の際、「ポールを曲げたら開いて、そこから下半身を振り上げて…」ということを耳にする。この「開いて」という動きは、運動学的な言葉では、Y軸方向(本研究では助走路から見て奥行き)に進んだポールをX軸方向(横)に回転する力を加えて、Z軸方向(高さ)に進む力を生む動作(以下“開く動作”)と表現できる。

これまでの研究では、跳躍時にポールに作用する力や、ポールに蓄えられるエネルギーについての研究は数多くされてきたがポール自身の動きについての研究は少ない。

そこで、本研究では跳躍者が踏み切り、ポールが湾曲していく間、さらにポールを湾曲させて、大きな反発力を得るために“開く動作”が意識的に行える人、行えない人でのポールの動きはどのような違いがあるかを明らかにすることを目的とした。

II. 実験方法

(1) 被験者

被験者は中京大学体育会陸上競技部の2名で

*大学院生, **教授

あった。それぞれの被験者の特性は表1に示した。Aは跳躍時でのポールを開く動作が意識的に出来る跳躍者であり、Bは跳躍時でのポールを開く動作が意識的に出来ない跳躍者であった。被験者は共に通常助走として用いているものよりも少ない助走（中助走：12～14歩）で跳躍を行い、バーの高さは4.5m、アップライト（ボックスからバーまでの奥行き）を0.8mとした。試技回数はそれぞれ5回行った。使用したポールは、それぞれ被験者が中助走跳躍で使用しているカーボン製、15フィート、170ポンドを使用し、ポールには中心から上下に0.3m間隔で15点ポイントをつけた。ポイントの番号は下端から1とし、上端を15とした。

(2) 撮影

撮影にはSONY社のデジタルビデオカメラ（DCR-VX2000）を2台使用した。毎秒60フィールド、露出時間1/100秒で行った。それぞれボックスの中心から助走路後方30mと約60度の間隔を取りボックスの中心から20mの距離に、カメラの高さは1.4mに設置した。各カメラの画角は撮影範囲（幅6m×奥行きm×高さ4.5m）が入るように調節した。3次元分析のためにコントロールポイントを直径70mmの球を0.5m間隔で高さ4.57mから吊るし、ボックスの最深部の中心から1.5m間隔で12点撮影した。

(3) 分析

2台のデジタルビデオカメラから得た跳躍動

作とコントロールポイントの2次元画像をFrame-DIAS II（ディケイエイチ社）を使用してポールにつけたポイント15点と、コントロールポイントの座標を読み取った。計測点の3次元座標の算出はDLT法を用いた。コントロールポイントと測定値の平均誤差はX軸方向（横）22mm、Y軸方向（奥行き）30mm、Z軸方向（高さ）22mmであった。

分析は被験者の踏み切り足が地面に接地してから跳躍後ポールを突き放すまでとした。分析した跳躍は、それぞれの被験者が跳躍後に感覚的に一番よい跳躍とした。

分析項目はポールにつけたポイント15点の変位（X成分、Y成分、Z成分、合成）と速度（X成分、Y成分、Z成分、合成）とした。

Ⅲ. 結果

被験者AとBの実験結果を図に示した。本研究では被験者の踏み切り足全体の離地時を「踏み切り時」、X軸方向（横）にポールが開きはじめた時を「開き始め時」、ポールが最大に湾曲した時を「最大湾曲時」、X軸方向（横）にポールが最大に開いた時を「開き最大時」、湾曲したポールが伸展した時を「ポール伸展時」、ポールが被験者から離れた時を「突き放し時」とした。各被験者のそれぞれの時間を表2に示した。単位は秒であった。

表1 被験者の特性

被験者	身長(m)	体重(kg)	自己ベスト	競技歴	利き手
A	1.81	68	5m00	9年	右
B	1.81	80	4m80	4年	右

表2 被験者のそれぞれの時間（秒）

	踏み切り時	開き始め時	最大湾曲時	開き最大時	ポール伸展時	突き放し時
被験者A	0.133	0.333	0.533	0.633	1.166	1.4
被験者B	0.133	0.4	0.566	0.766	1.133	1.6

1) 変位 X 成分より (図 1)

両被験者ともに踏み切り時からポール伸展時まで値が変化していた。

被験者 A は被験者 B と比べて、踏み切り時からポール伸展時まで全体的に値の変化が大きかった。全ポイントと比べて、ポイント 5、6、

7、8、9 が開き最大時からポール伸展時まで、それぞれ約 0.8、0.8、0.88、0.86、0.81 の値の変化を示した。被験者 B は全ポイントと比べて、ポイント 7、8、9 が開き最大時からポール伸展時までそれぞれ約 0.6、0.55、0.5 の値の変化を示した。

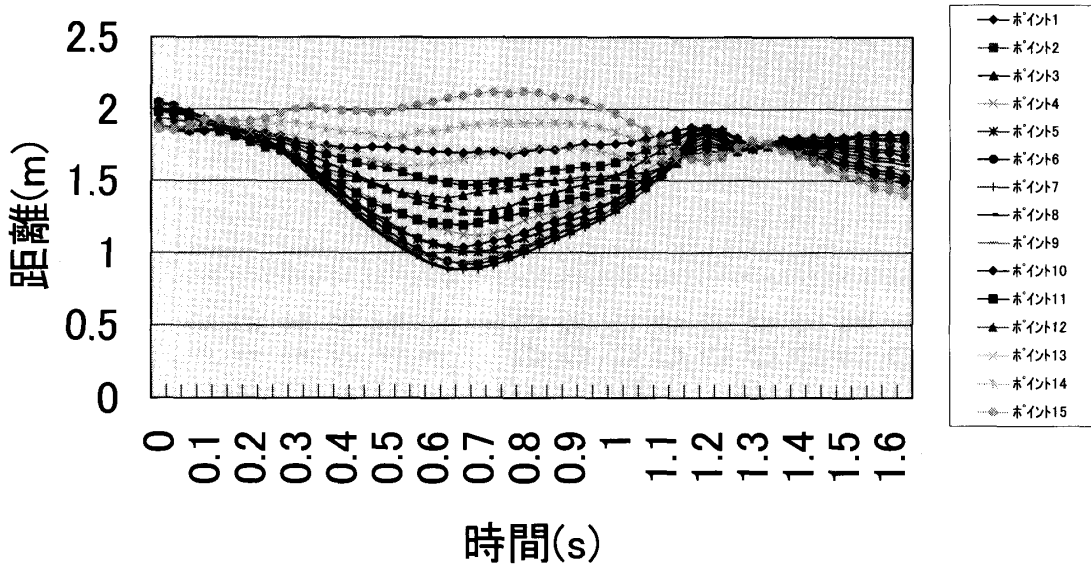


図 1 変位 X 成分 (被験者 A)

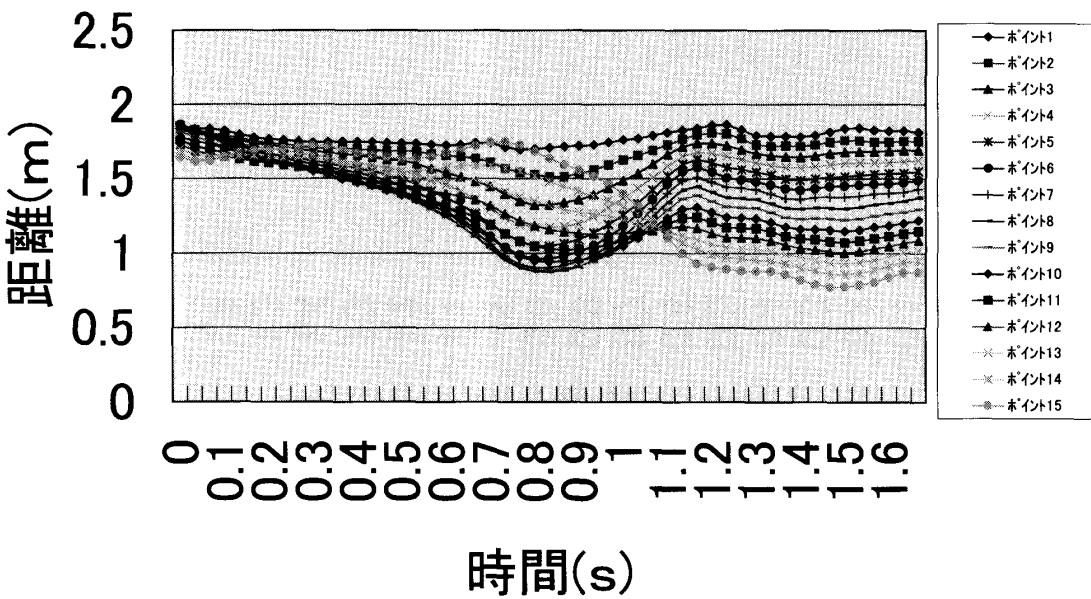


図 1 変位 X 成分 (被験者 B)

2) 変位Y成分より (図2)

被験者Aはポール伸展時後、値の変化はほぼ

なかった。被験者Bはポール伸展時後、ポイント1からポイント15の値が逆転した。

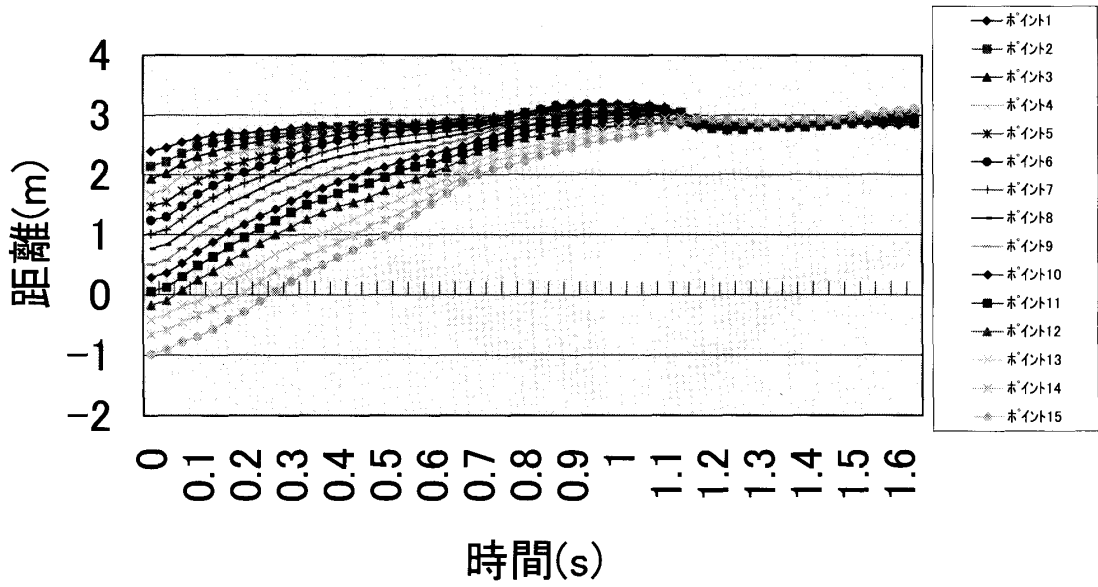


図2 変位Y成分 (被験者A)

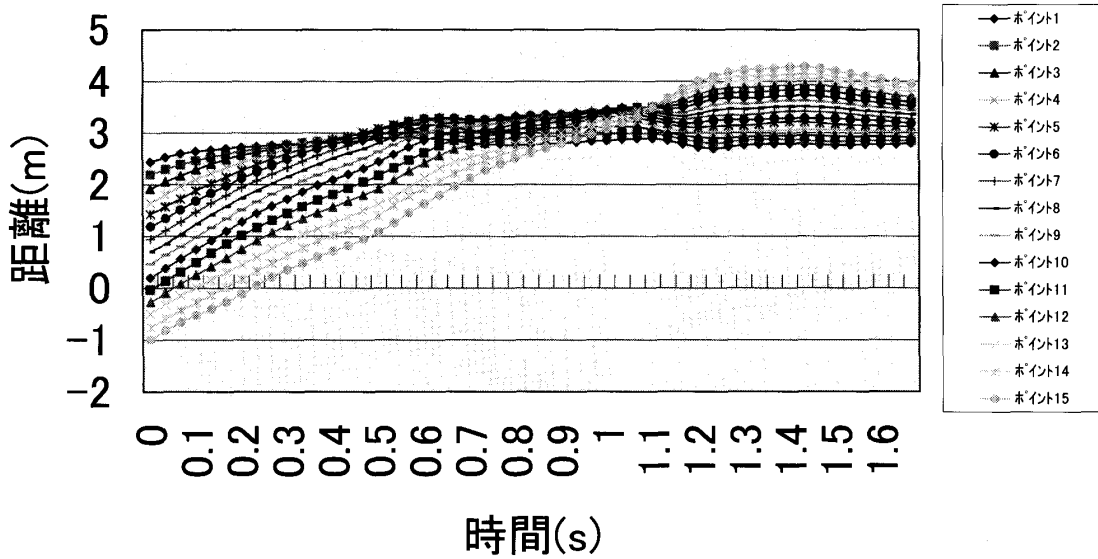


図2 変位Y成分 (被験者B)

3) 変位Z成分より (図3)

被験者Aは開き始め時から開き最大時までそれぞれの値が、ほとんど一定に保たれていた。被験者Bは開き始め時から開き最大時までポイント13、14、15が増加していた。

被験者Aは開き最大時からポール伸展時までそれぞれのポイント12、13、14、15の値の変化はそれぞれ約0.8、0.8、1.0、1.2であった。被験者Bはそれぞれ約0.3、0.3、0.5、0.7であった。

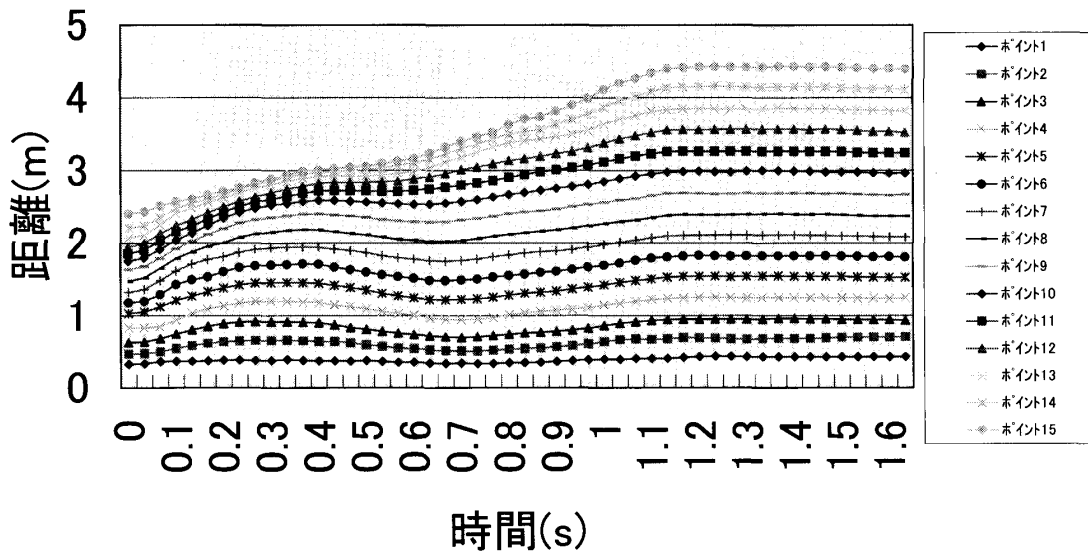


図3 変位Z成分 (被験者A)

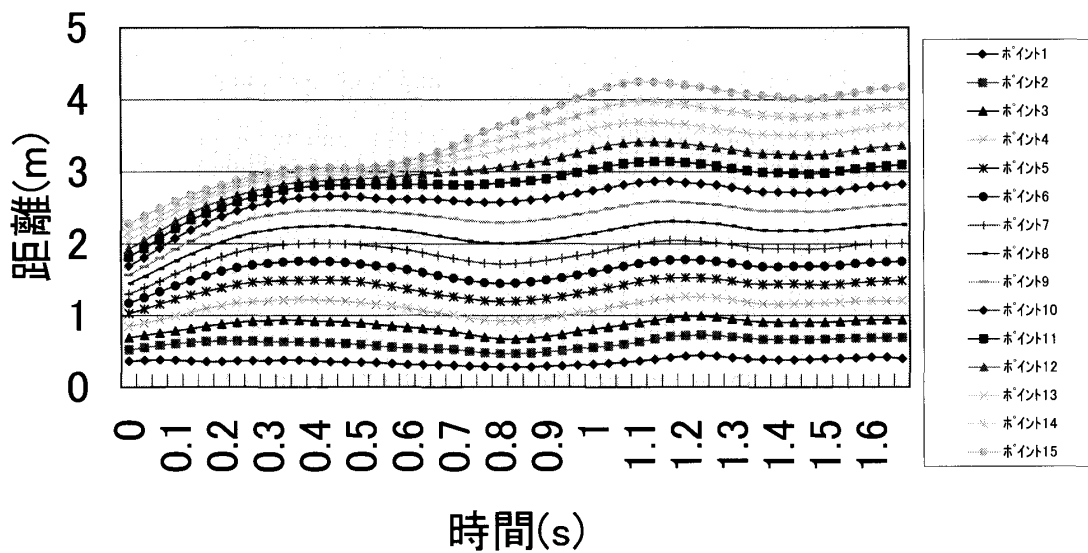


図3 変位Z成分 (被験者B)

4) 変位合成より (図4)

被験者Aは開き最大時からポール伸展時まで、全体的なポイントが右上がりになっていた。

被験者Bはポイント11、12、13、14、15以外はほぼ変化が見られなかった。

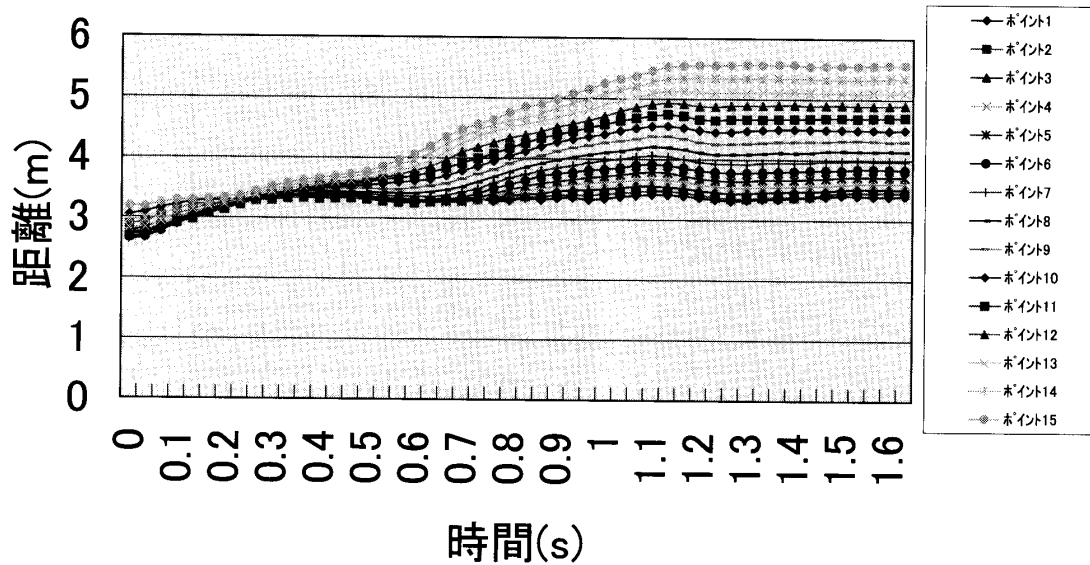


図4 変位合成 (被験者A)

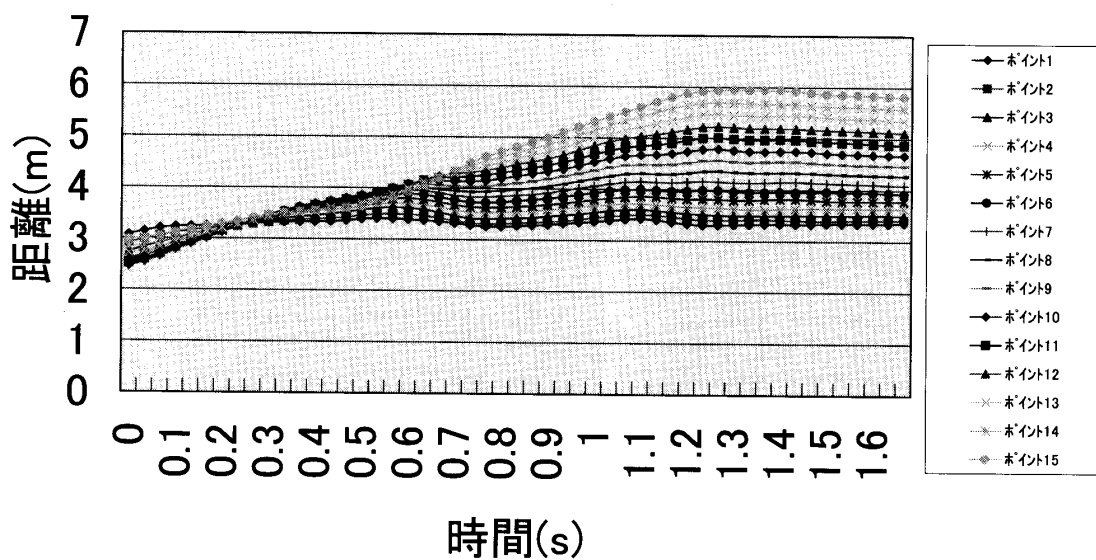


図4 変位合成 (被験者B)

5) 速度 X 成分より (図 5)

両被験者ともにポイント 5、6、7、8、9
の速度変化が全体的に見て大きかった。

被験者 A のポイント 5、6、7、8、9 は開

き最大時からポール伸展時までそれぞれの値の
変化は約 2.2、2.6、3.0、2.9、2.8 であった。
被験者 B はそれぞれ、約 1.6、1.8、1.9、1.7、
1.4 であった。

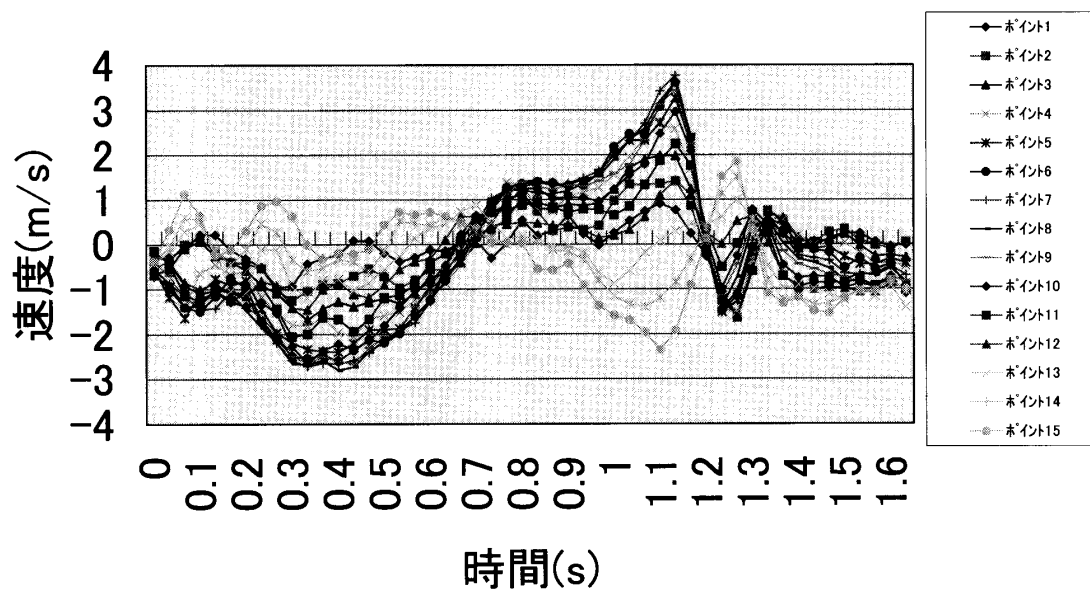


図 5 速度 X 成分 (被験者 A)

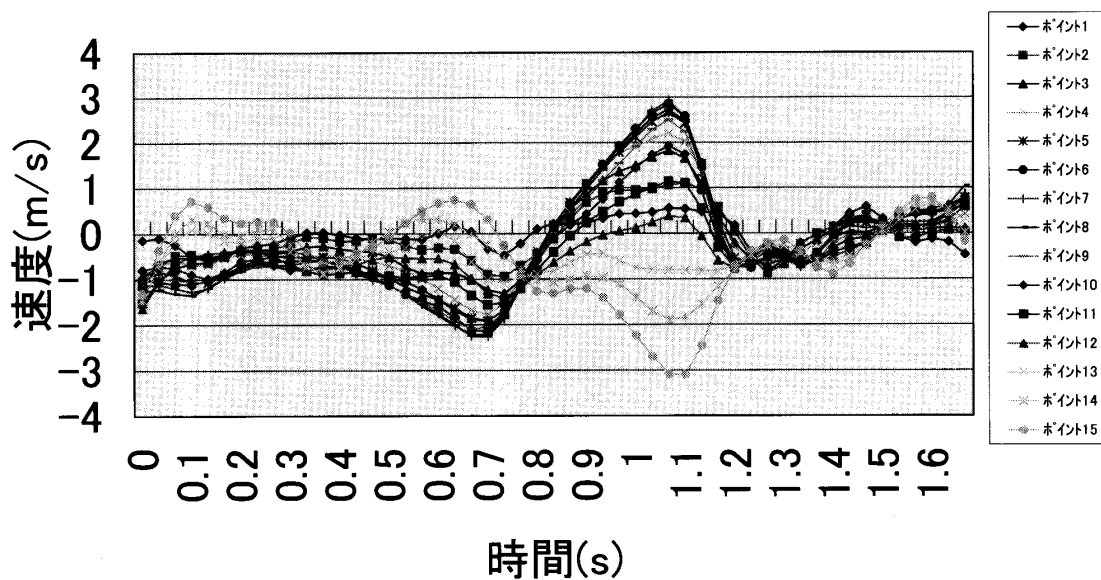


図 5 速度 X 成分 (被験者 B)

6) 速度Y成分より (図6)

被験者Aは開き最大時から、ポール伸展時までにポイント14、15以外はほぼ減少した。被験

者Bは開き最大時から、ポール伸展時までにポイント13、14、15が増加した。

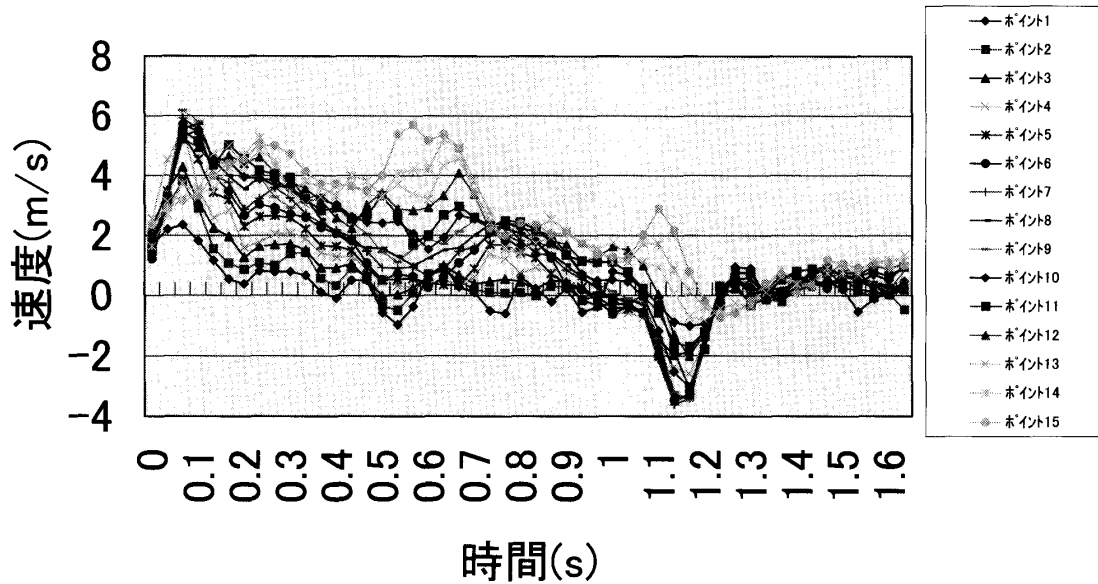


図6 速度Y成分 (被験者A)

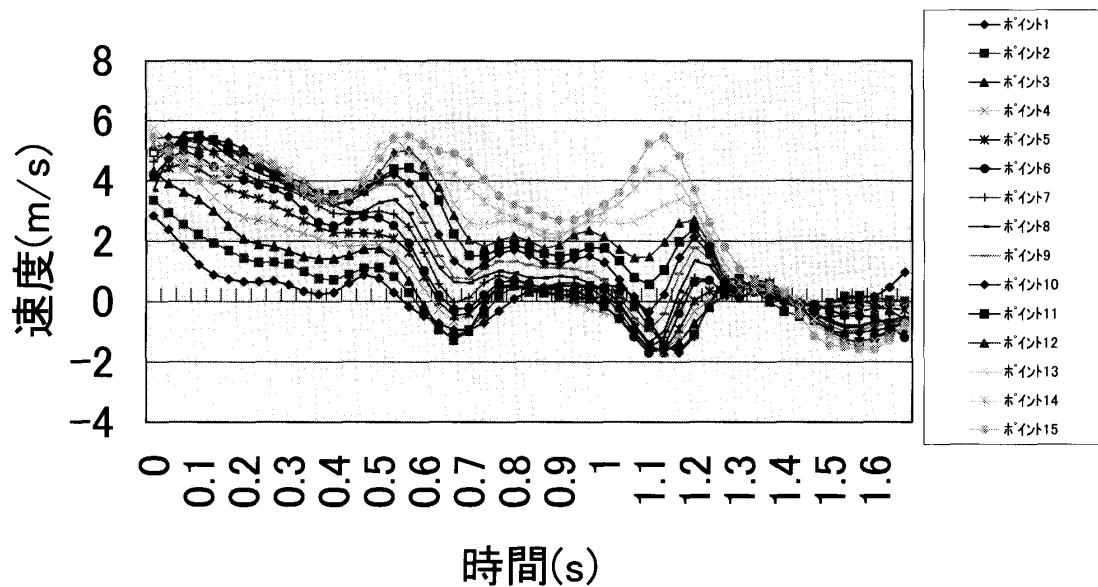


図6 速度Y成分 (被験者B)

7) 速度Z成分より (図7)

被験者Aは開き始め時から開き最大時になるまでの全体の値の変化は、それほどなかった。ポール伸展時後、全体の値はほぼ0になった。

被験者Bは開き始め時から開き最大時になるまでポイント13、14、15の値が他のポイントに比べて値の変化が大きかった。ポール伸展時後も値の変化が見られた。

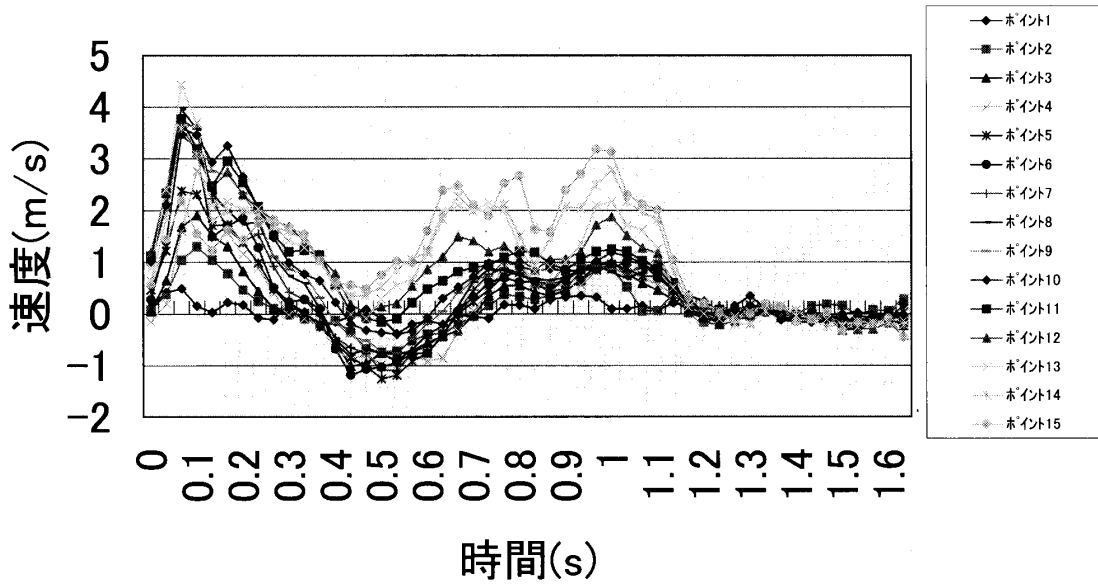


図7 速度Z成分 (被験者A)

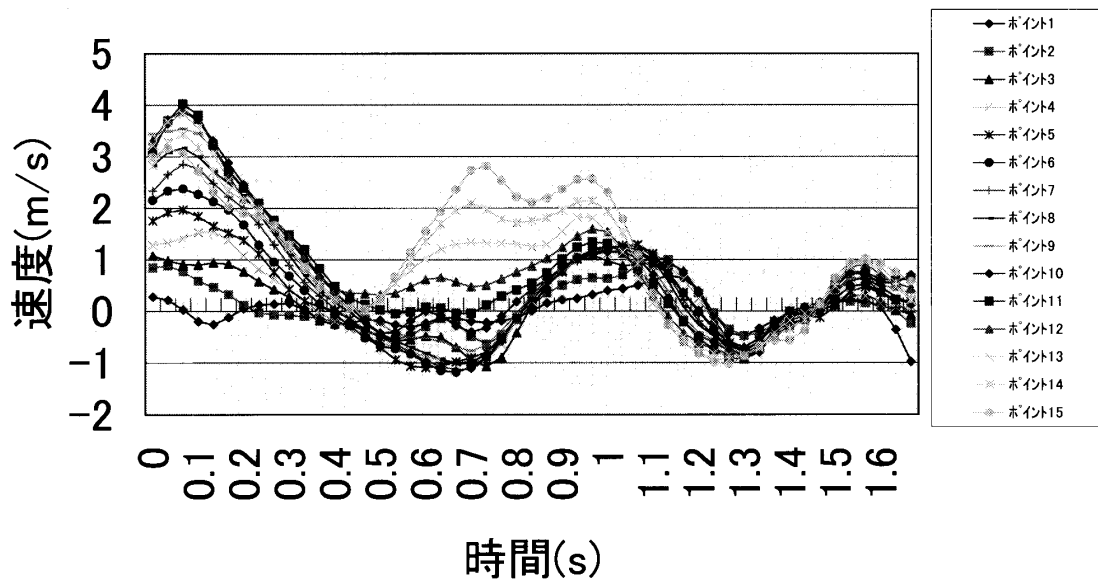


図7 速度Z成分 (被験者B)

8) 速度合成より (図8)

被験者Aはポイント5から11まで一緒に動いていた。開き最大時からポール伸展時までポイ

ント15より、ポイント5、6、7、8、9が大きな値を示した。ポール伸展時後、ポイント14、15がポイント5、6、7、8、9を逆転した。

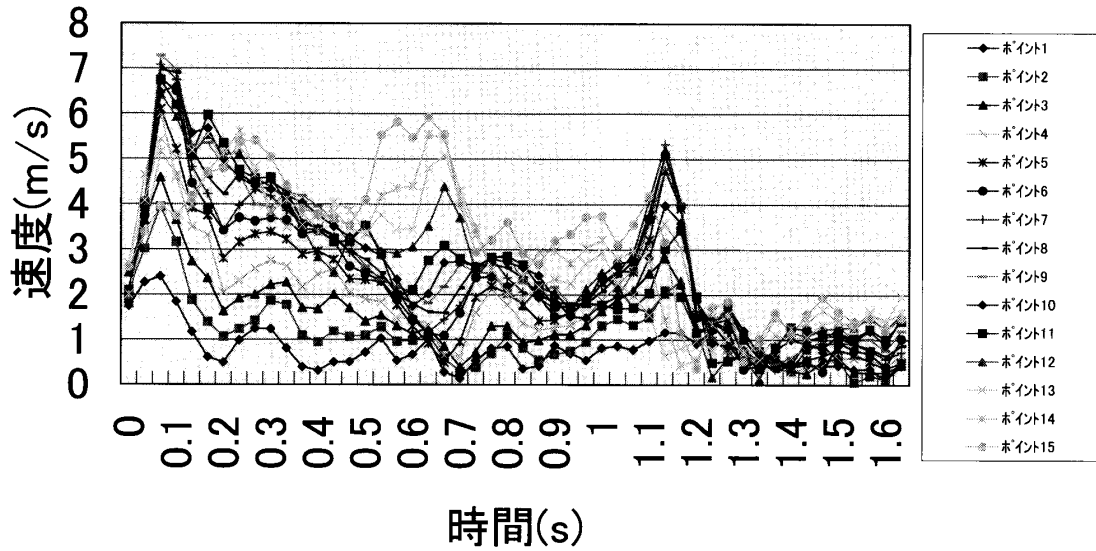


図8 速度合成 (被験者A)

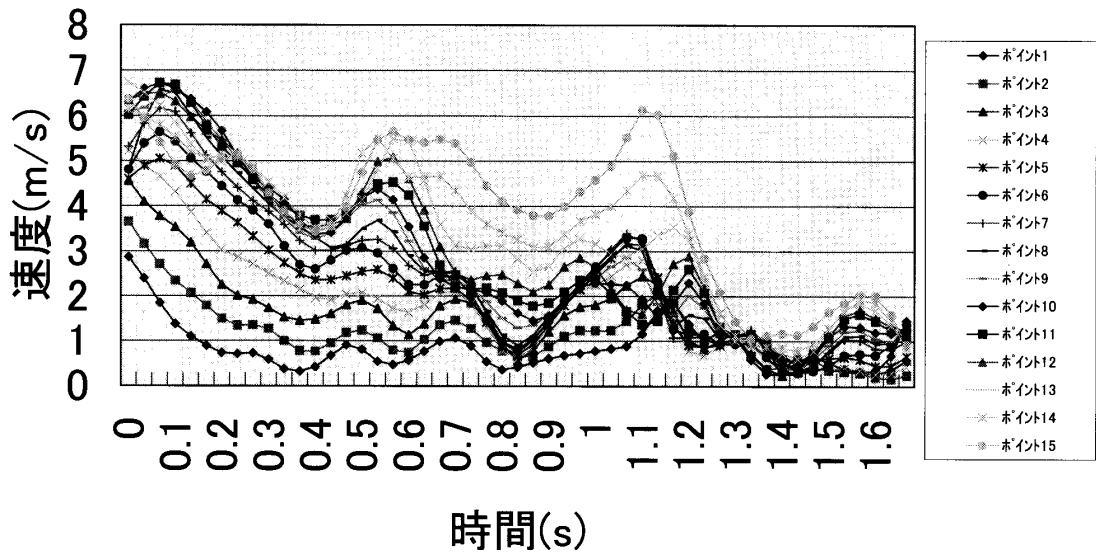


図8 速度合成 (被験者B)

Ⅳ. 考察

1) 変位X成分より (図1)

両被験者ともに踏み切り時からポール伸展時まで値が変化していたことでポールを開く動作を行っていると考えられる(図9 - XY軸)。特に被験者Aは被験者Bと比べて、踏み切り時からポール伸展時まで全体的に値の変化が大きかったことから、被験者Aのポイント5、6、7、8、9が開き最大時に一番湾曲していることを表し、被験者BよりもX軸方向(横)へポー

ルを大きく曲げていると考えられる。

2) 変位Y成分より (図2)

被験者Aはポール伸展時後、値の変化はほぼなかったことから、Y軸方向(奥行き)への移動は無く、ポールが必要以上にY軸方向(奥行き)に進んでいないと考えられる(図9 - XY軸、図10 - YZ軸)。

被験者Bはポール伸展時後、ポイント1からポイント15の値が逆転したことから、被験者Aと比べて必要以上にY軸方向(奥行き)に進ん

H: 270deg V: 90deg Zoom: 380.0% X: -600 Y: -1070

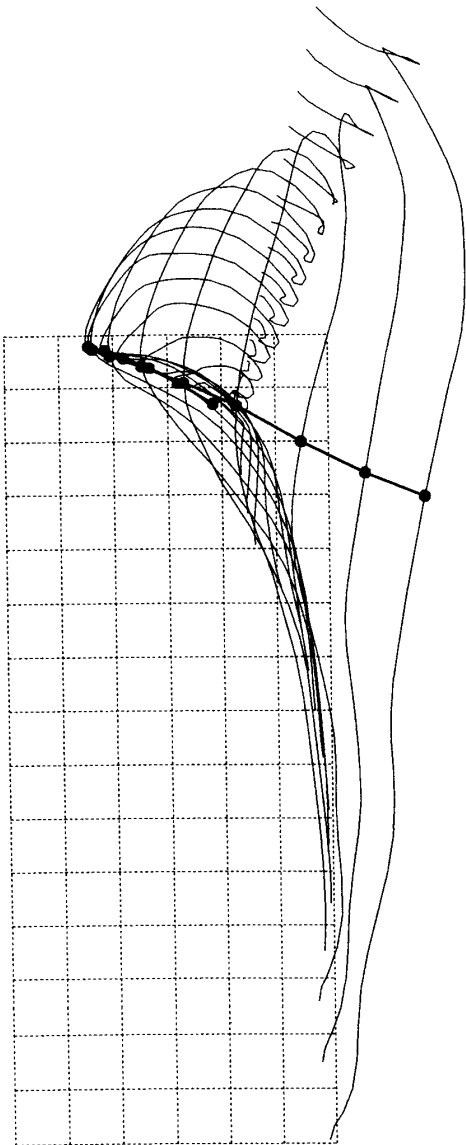


図9 XY軸 (被験者A)

H: 270deg V: 90deg Zoom: 380.0% X: -400 Y: -1100



図9 XY軸 (被験者B)

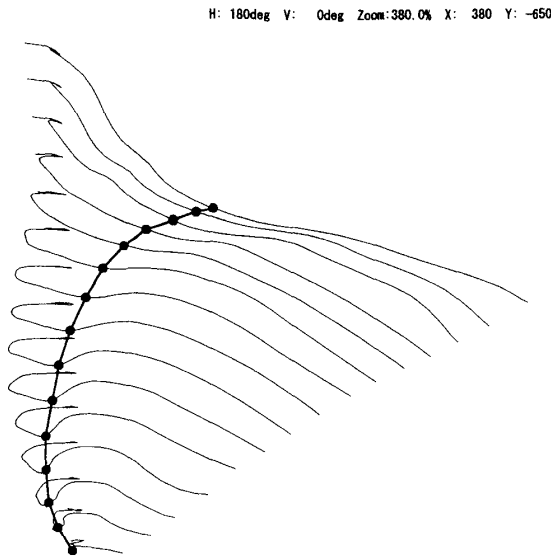


図10 YZ軸 (被験者A)

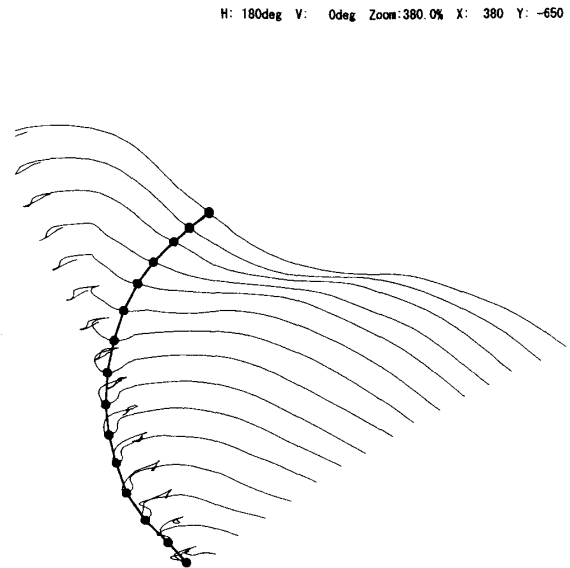


図10 YZ軸 (被験者B)

でいると考えられる。

3) 変位Z成分より (図3)

被験者Aは開き始め時から開き最大時までそれぞれの値が、ほとんど一定に保たれていたが、被験者Bは開き始め時から開き最大時までポイント13、14、15が増加していた。つまり、被験者Bはポールに開く動作を加えると同時にZ軸方向(高さ)へ進んでいると考えられる。被験者Aは開き最大時になってから進んでいることから、Z軸方向(高さ)への速度にも被験者Bと違いがあると思われる。(図11-XZ軸)から、開き最大時からポール伸展時までのポイント12、13、14、15の動きの違いは明らかであった。被験者Aの開き最大時からポール伸展時までのポイント12、13、14、15の値の変化は、被験者Bと比べて大きい値を示していた。つまり被験者AはZ軸方向(高さ)に進んでおり、被験者Bは被験者Aと比べて、Z軸方向(高さ)に進んでいないと考えられる。

4) 変位合成より (図4)

被験者Aは被験者Bと比べて、開き最大時に行くまでポールの湾曲を維持し、開き最大時からポール伸展時にかけてZ軸方向(高さ)に進んでいると考えられる。

5) 速度X成分より (図5)

両被験者ともにポイント5、6、7、8、9の速度変化が全体的に見て大きかったことから、変位X成分(図1)と同様にこの部分が大きく湾曲し、ポールの反発力を生んでいると考えられる。被験者Aのポイント5、6、7、8、9は開き最大時からポール伸展時までそれぞれの値の変化は、被験者Bよりも大きかったことから、被験者Aの方がポールの湾曲が大きく、勢いよく伸展していると考えられる。被験者Aは最大湾曲時まで全体的なポイントの大きなバラツキが見られたが、これは突っ込み(踏み切る前のポールをボックスに入れる動作)後、すぐにポールを開く動作を行っているかもしれないと考えられる。被験者Bは最大湾曲時まで全体的なポイントがまとまっていることから、ポールがY軸方向(奥行き)に進んでいると考えられる。

6) 速度Y成分より (図6)

被験者Aは開き最大時から、ポール伸展時までにポイント14、15以外の値はほぼ減少したが、これはポールがY軸方向(奥行き)でなく、Z軸方向(高さ)に進んでいるためであると考え

H: 270deg V: 0deg Zoom:380.0% X: -528 Y: -592

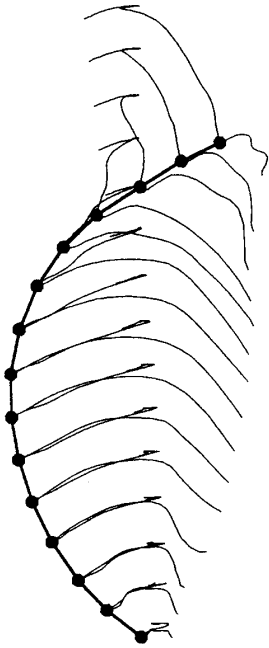


図11 XZ 軸 (被験者 A)

られる。被験者Bは開き最大時から、ポール伸展時までにはポイント13、14、15の値が増加したが、これはポールがZ軸方向(高さ)でなく、Y軸方向(奥行き)に進んでいるためと考えられる。

7) 速度Z成分より(図7)

変位Z成分(図3)と同様に、(図11-XZ軸)からポイント12、13、14、15が被験者Bと比べて被験者Aの方がZ軸方向(高さ)への進みが大きかった。

被験者Aは開き始め時からの値と、開き最大時になるまでの値の変化はそれほど無かったが、被験者Bは変位Z成分(図3)からの違いの通り、開き始め時から開き最大時になるまでポイント13、14、15の変位の値が変わっていると同様に、ポイント13、14、15の速度も他のポイントに比べて変化が大きかった。ここからも、被験者AはZ軸方向(高さ)に進む力を抑えながら開く動作をしていると考えられる。一方、

H: 270deg V: 0deg Zoom:380.0% X: -390 Y: -530

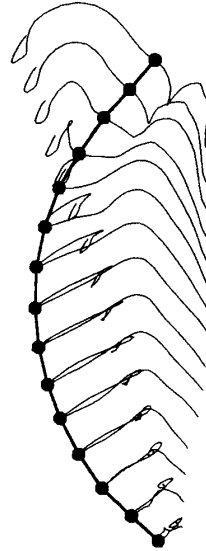


図11 XZ 軸 (被験者 B)

被験者Bはポールを開きながらZ軸方向(高さ)へ進んでいると考えられる。

被験者Aはポール伸展時後、値は0になった。これはポールのZ軸方向(高さ)への力が跳躍者に効率よく伝わったためと考えられる。被験者Bはポール伸展時後の値の変動が大きかった。これはポールのZ軸方向(高さ)への力が跳躍者に効率よく伝わらなかったためと考えられる。

8) 速度合成より(図8)

被験者Aはポイント5から11まで一緒に動き、開き最大時からポール伸展時までポイント15よりポイント5、6、7、8、9が大きな値を示したことから、変位X成分(図1)、速度X成分(図5)と同様にポールが湾曲する部分と考えられる。被験者Bとは違って、ポール伸展時後、ポイント14、15がポイント5、6、7、8、9を逆転したが、これは、特にX軸方向(横)で大きく湾曲したポイント5、6、7、

8、9からの力がポイント14、15に伝わったためと考えられる。

V. まとめ

本研究では跳躍者が踏み切り、ポールが湾曲していく間、さらにポールを湾曲させて大きな反発力を得るために“開く動作”が意識的に行える人、行えない人でのポールの動きはどのような違いがあるかを、中心から上下に0.3m間隔で15点マーキングをしたポールの各変位（X成分、Y成分、Z成分、合成）、各速度（X成分、Y成分、Z成分、合成）からの分析を行った。その結果をまとめると以下の通りである。

- (1) ポールが湾曲していく間に“開く動作”を意識的に行うことで、ポールの湾曲は全体的にX軸方向（横）へ大きくなる傾向が見られた。
- (2) “開く動作”を意識的に行うことで、Y軸方向（奥行き）へ余分に進むことがない傾向が見られた。
- (3) “開く動作”を意識的に行うことで、“開く動作”を意識的に行うことができない跳躍よりもZ軸方向（高さ）に大きく進む傾向が見られた。

以上の3点よりポールが湾曲していく間に“開く動作”を意識的に行うことは、より高い跳躍高を得るための技術であると考えられる。

本研究ではデジタルビデオカメラ（毎秒60フィールド、露出時間1/100秒）で撮影し、被験者が感覚的に一番よい跳躍を分析したが、今後はハイスピードカメラで撮影し、被験者の自己記録時の跳躍や、なるべく数多くの試技での平均値から分析すると、より明確な結果が出ると思われる。

VI. 謝辞

本論文の作成にあたり、ご指導して頂きました湯浅景元教授、助手の安栽漢氏、本研究にご

協力していただいた神事努、松尾宣隆、木村健二、内藤法永、田村雄志の諸氏、データ処理に多くのご助言を頂いた高木斗希夫氏、被験者をしていただきました中京大学陸上競技部の皆様に深く感謝の意を表します。

VII. 参考文献

1. 淵本隆文：スポーツ用具に注入されるエネルギーを得る．J. J. Sports Sci, 11-3: 188-193. 1992.
2. 高松潤二：棒高跳びの動作．体育の科学, Vol. 53 No. 1: 31-37. 2003
3. 高松潤二，他：棒高跳びにおける力学的エネルギーの変換率とポール操作技術．第13回日本バイオメカニクス学会大会編集委員会編，身体運動のバイオメカニクス：255-259. 1997
4. 中川徹：棒高跳びの踏み切り過程についての非線形ばね-質量モデルによるシミュレーション．中京大学大学院，修士論文．2001