

(株)今仙技術研究所にて ユーザー：T様
(左より 義足全体図・反復横跳び)



有限会社 砂田義肢製作所 ユーザー：K様
(上段左より 前額面・矢状面 / 下段左より バドミントン実技①・バドミントン実技②)

障害者自立支援機器等開発促進事業

分担報告書

疾走用膝継手の計測と評価

(財)鉄道弘済会 義肢装具サポートセンター

梅澤慎吾 岩下航大 白井二美男 沖野敦郎 大野祐介 坂井優之 熊谷一男 宮永豊

開発要旨：本開発では疾走用膝継手の特徴を知るため、被験者使用の機会を拡げて計測および解析を行う。

A. 開発(評価・計測)目的

健常者にとって普段何気なく行っている動作、当たり前過ぎて気づかぬ行為ほど、出来なくなると、もう一度取り戻したいと思うのではないだろうか。大腿切断者にとっての「走る」とはそういう行為である。切断者が走行動作獲得の可能性をより高いものにするためには、以下の要素が揃うことが望ましい。

- I. 当事者のやる気や運動機能も含めた素養と適正な評価
- II. Iを育むサポート環境(人や場所)
- III. 体験や導入を可能にしやすい義肢部品の存在

大腿切断者にとって走ることは決して楽な動作ではないが、少しでも速く前進することだけを追い求めるならば、また安全に走ることだけにこだわるならば、膝の曲がらない固定膝を選択することも可能である。競技レベルをみても、パラリンピック短距離競技金メダリストに、固定膝を使用する選手が存在する。

固定膝の場合、走行遊脚相での足部クリアランス確保に不利となる面を、ぶん回しで代償する課題があるが、①絶対に膝折れによる転倒がない②遊脚相での断端屈曲の筋

活動を膝継手以下までダイレクトに伝達できる構造という利点がある。

一方、開発の疾走用膝継手(以下：試作品)は遊動膝である。前述の①、②の点で不利である。ではなぜ遊動膝の開発を行うのか。その理由は、多くの大腿義足ユーザーにとって「脚があった頃のように美しく走りたい」という普遍的な欲求があるからである。今回の試作品計測・評価は、健常者のような走りを、より無理なく体験・導入しやすくするための要素を抽出し、試作品のさらなる性能向上を図るため以下を目的とする。

- ・人使用時での比較対象膝継手との差異を、より明らかにする
- ・初心者の走行体験に必要とされる膝継手機能の抽出
- ・上記を踏まえ、実用化に向けた建設的意見をフィードバックする

B. 評価する膝継手の計測対象

大腿切断者 5名

① 被験者 A

右大腿切断 27歳 女性 長断端

義足歴 2年 競技歴：100m 走記録 32秒

② 被験者 B

左大腿切断 20歳 男性 中断端

義足歴 14 年 競技歴：100m 走記録 19 秒 0

③ 被験者 C

右大腿切断 55 歳 男性 長断端
義足歴 43 年 競技歴：100m 走記録 17 秒 9

④ 被験者 D

左大腿切断 28 歳 男性 中断端
義足歴 12 年 競技歴：100m 走記録 12 秒 8(日本記録)

⑤ 被験者 E

左大腿切断 20 歳 女性 長断端
義足歴 8 年 競技歴：なし

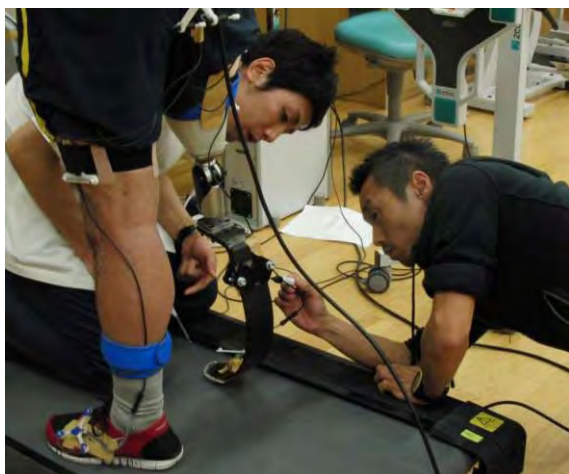


図 1、2、3 計測の様子(1)

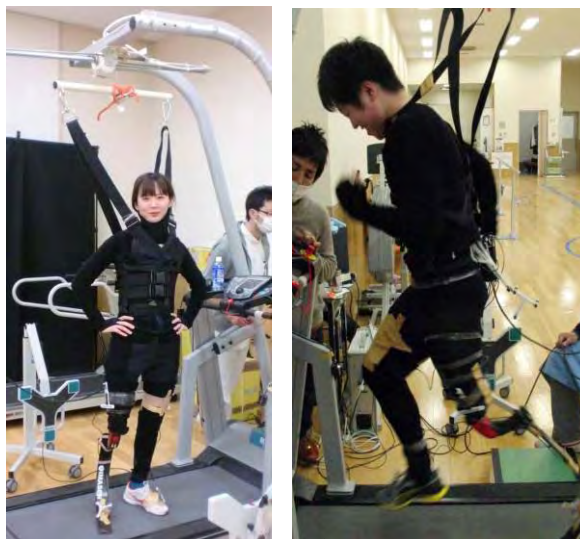


図 4 計測の様子(2)

C. 評価・計測機器およびシステム

測定機器と計測内容(※備考参照)

① Zebris FDM-T (足圧センサー付きトレッドミル解析システム) ストライド長(以下 SL)やケイデンス(以下 CA)をはじめとした走行の全体像を解析する目的で使用(100Hz/sec)。床面からの情報として、床反力鉛直成分・足圧分布・足圧中心の軌跡などが記録される。また一方向から映像入力が可能。今開発では前額面からの映像を記録している。(図 5)

② DartFish(二次元動作解析ソフト)

◎両矢状面からの映像を利用して、以下のことを解析する目的で使用。(図 6)

- ・関節角度変位と所要時間を明らかにする。
- ・各関節の動きの軌跡を記録する。
- ・これらの解析内容について、映像処理を行うことで、より分かりやすく伝える。

◎両矢状面の映像は、300fps のハイスピード撮影を行う (CASIO EX-F1)

③ Zebris WinGate3 (3次元動作解析システム) 三次元での関節角度に関する情報取得を目的に使用 (30Hz/sec 図7)

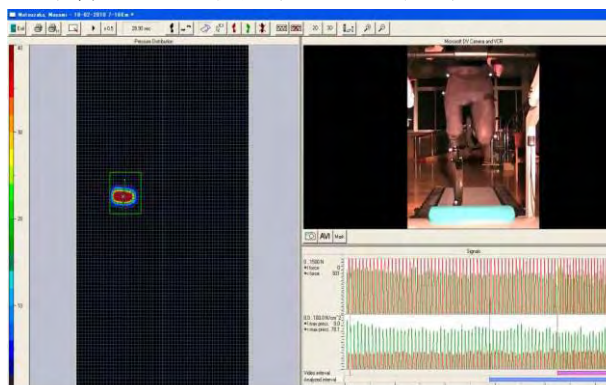


図5 Zebris FDM-T

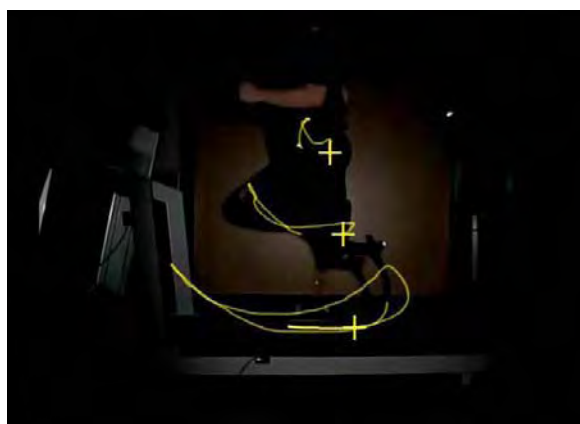


図6 Dart Fish

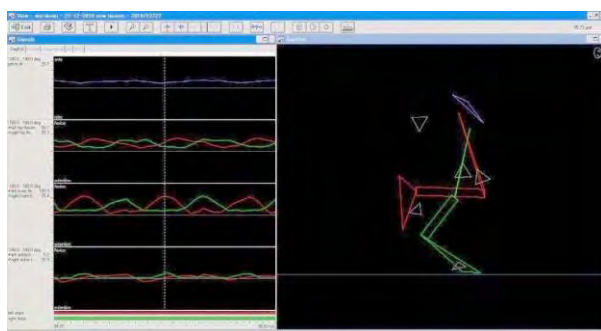


図7 Zebris WinGate3

D. 計測方法

《1》全体像

トレッドミル上の走行は平地走行と比較すると、地面が常に後方に動いているため、特に大腿義足走行では義足接地時に膝折れ

しやすくなり危険が伴う。また設定速度に合わせなければならない環境は自由走行と比較して難易度が高い。そこで、疾走中の転倒を考慮し上方から吊した安全带を使用。免荷せず、転倒の危険がある場合のみ安全機能が働く程度に設定した。(図8) 試技は練習後に疲労を考慮しながら各膝継手で課題とする疾走速度を2~3回行った。

平地走行に比較すると本人の潜在能力が100%発揮される可能性は低い。先行研究では純粋な走行評価とは違う結果が出ているとする報告もある。しかし今回の開発は膝継手の評価であり、同じ条件下での相対評価(膝継手の違い・被験者の違い)なので、測定環境として支障はないものとして判断する。



図8 トレッドミル解析システム

《2》マーカー設定

通常、健常者並びに義足使用の場合でも、身体のランドマークとなる部位にマーカーを取り付けるが、今回は疾走専用として板バネを使用している。この板バネのマーカー

一設置位置の決定方法としては、義肢ソケットの大転子と膝継手の回転軸を結んだ延長線上を板バネのマーカ―設置位置とした。つまり膝関節(膝継手)完全伸展位で180°となる位置である。



図9 計測マーカ―(左) OttoBock3R95(右)

《3》 予備計測(義足走行の定義)

歩行速度より遅い速度で走行する場合がある(ジョギングレベルの極々遅い走り)。特にトレッドミルの性質上、移動する床面上をその場で片脚ごとに飛び続ければ疾走とみなすことも可能である。しかし疾走用膝継手を適正に評価するためには、歩行と明確に区別する必要がある。

今開発における「疾走」を定義付ける作業として、個別に存在する歩行限界速度をトレッドミル上の試歩行により決定。歩行限界速度よりも速い速度かつ両脚支持期なしで行うものを「疾走」と定義付ける。

《4》 比較対象

比較対象のOttoBock3R95は、疾走専用の膝継手ではなく、歩行訓練の現場でも通常使用される遊脚期油圧制御膝継手である(立脚期制御は備えていない)。一般的に走行用膝継手として使用されるモデルは他にも数種類存在するが、①単軸膝継手②遊脚期制

御のみの機構③老若男女、幅広いユーザー層使用されている実績 これらの条件をすべて満たしていることから、試作品の比較対象として適当と判断した。(図9)

《5》 データ処理

2~3回の試行の中から、無作為に選んだ10step分のうち義肢側遊脚相5周期をサンプリングした。

開発の膝継手が使用対象者を走行初心者としている点と、レベルの違う被験者を同一条件で計測する為、多くの者が疾走可能であった9km/hで解析を行った。

被験者Eは9km/hでの疾走が不可能なため、詳細の考察に関して対象外とした。

《6》 膝継手の表記(下線)と計測時の設定

- ・今仙技術研究所膝継手：ISP
- ・OttoBock3R95：OBR

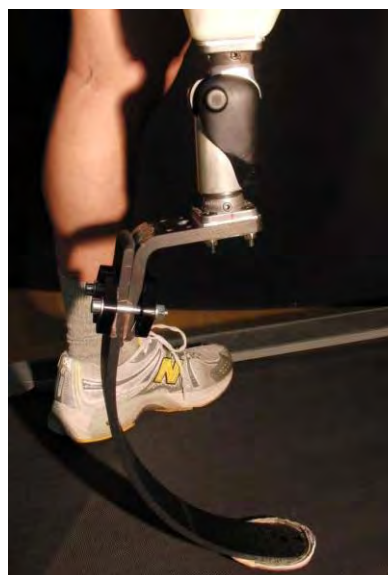


図10 今仙技術研究所試作膝継手

※1 ISPは定摩擦調整で遊脚相での振り子運動全体の調整を行うことをベースにして、伸展補助バネで膝屈曲位~伸展時の補助の強さ、並びに板バネ離地時の膝屈曲抵抗の

調整が可能となる。

定摩擦調整は 2.5/2.5(max) で数字は摩擦調整ネジの回転数を表している。また定数の違う 3 種類のパネ(標準・強・極強)を選択可能である。摩擦調整は予め行った練習後に決定。女性被験者(A, E)は 1/2.5 回転程の摩擦抵抗と強パネを使用。男性被験者(B, C, D)は最大摩擦抵抗で極強パネを使用し試技を行った。

※2 OBR の油圧調整は今計測では屈曲抵抗のみを指す 10/10(max)。被験者は全て屈曲抵抗を最低値(0/10)で試技している。

E. 計測結果

《1》最高速度

◎被験者 B を除き、全ての者が OBR 使用時に最高速度を達成した。計測した順序は全ての被験者を通じて ISP→OBR の順序で行っている。

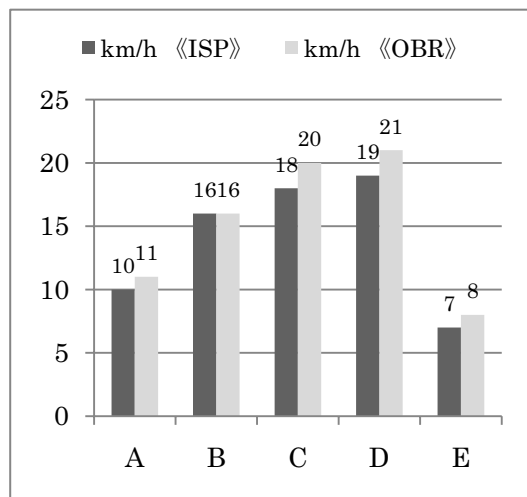


図 11 全被験者の最高達成速度の比較

《2》義肢側遊脚前期～中期

膝継手の機械的特性を適正に比較するため、以下の項目は遊脚相の継手屈曲開始～最大屈曲～完全伸展の結果を示す。(図 12)

- ・膝継手運動時間
- ・断端屈伸の角速度
- ・膝継手以下の角速度

(最高速度、運動方向変化の時期)

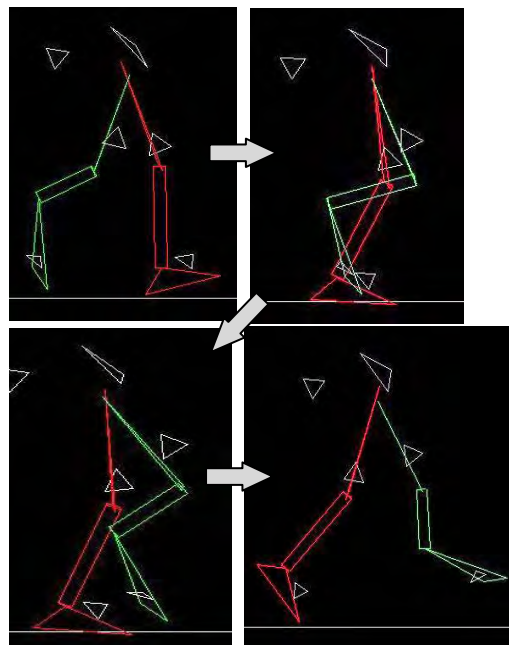


図 12 膝継手屈曲開始～完全伸展の図示

【2-1】

遊脚相での膝継手屈曲開始から完全伸展の遊動所要時間

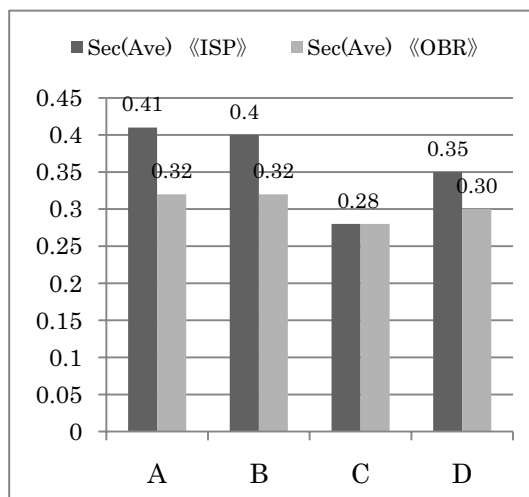
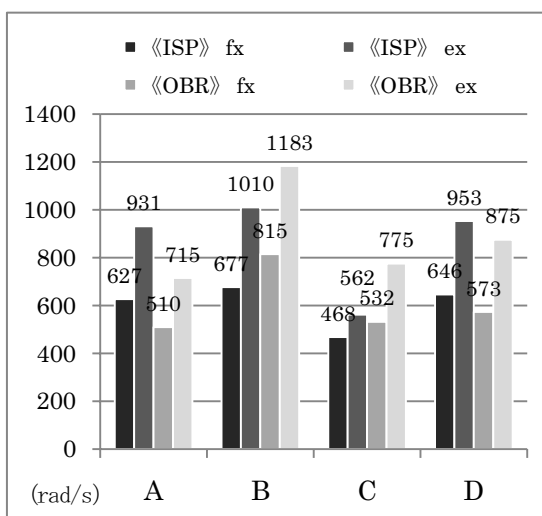


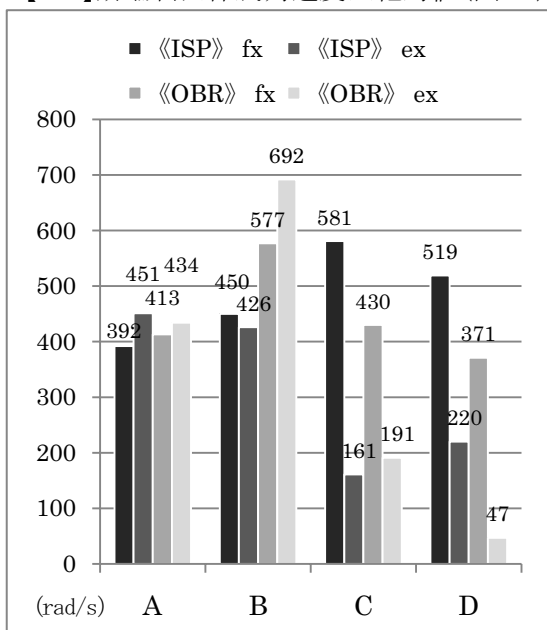
図 13 屈曲開始～完全伸展の所要時間(平均)

【2-2】膝継手以下の角速度(5周期中の最高速度の平均) ※数値は絶対値(図 14)



※最高速度はターミナルインパクト以前に達成されている

【2-3】断端屈曲伸展角速度※絶対値(図 15)



※屈曲は5周期中最高速度の平均

※伸展はターミナルインパクト直前の平均

◎膝継手の経時的な評価方法として次の

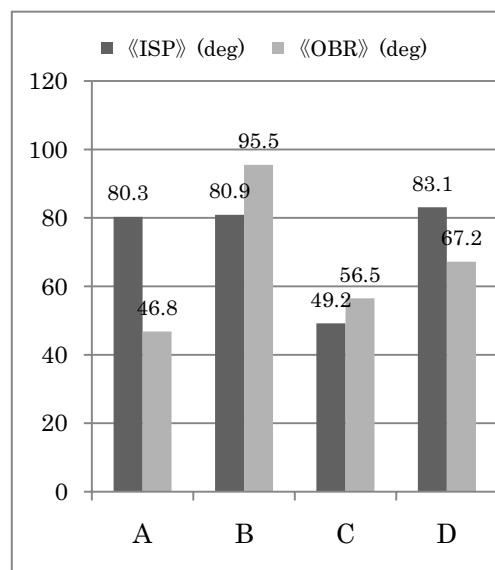
- (1)～(3)相に分けて考えることとした。
- (1)板バネ離地後～膝継手最大屈曲

- (2)膝継手屈曲位から伸展が始まるまで
- (3)膝継手完全伸展位(ターミナルインパクト)まで

このように相分けした理由は(1)断端の能動的運動や身体重心に対する膝継手リアクションの場面 (2)膝継手自体の能動的運動変化の有無を判断できる場面 (3)膝継手運動終末期における疾走者リアクションの場面と考えられるからである。

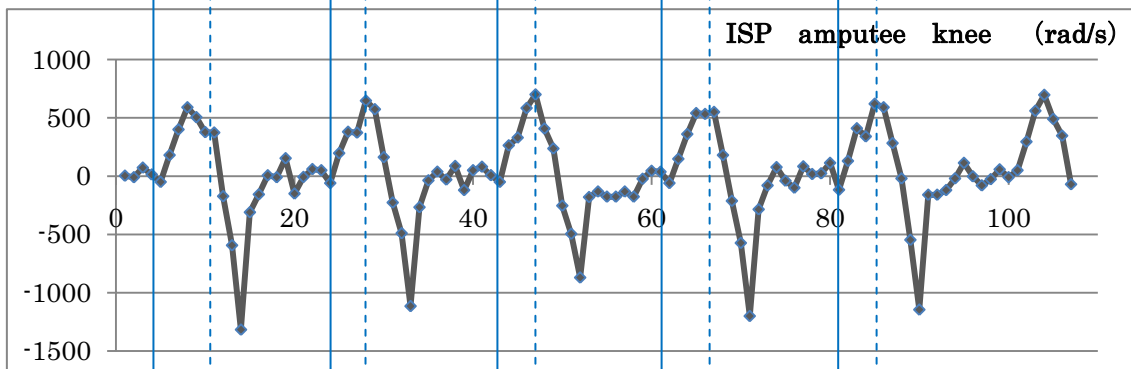
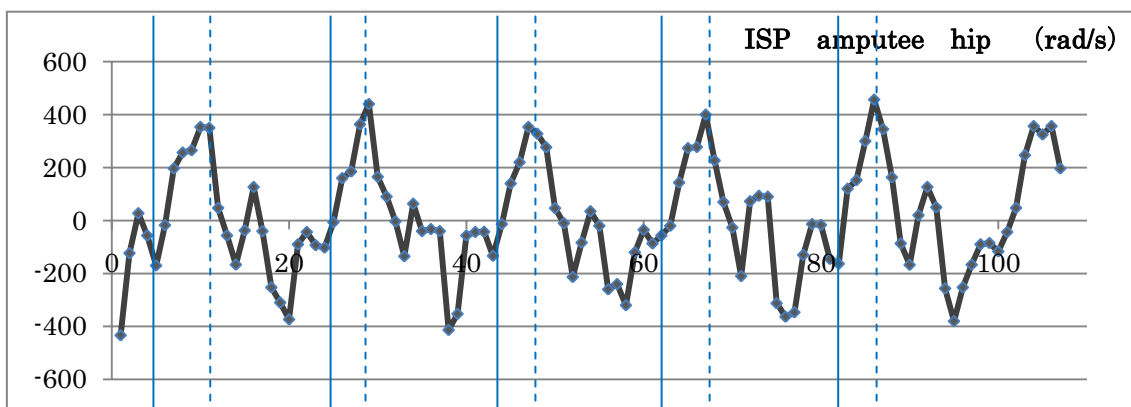
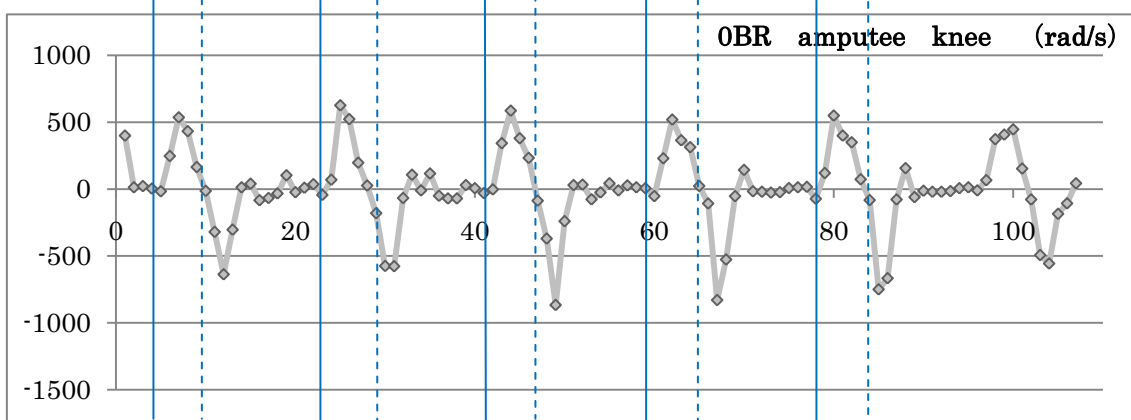
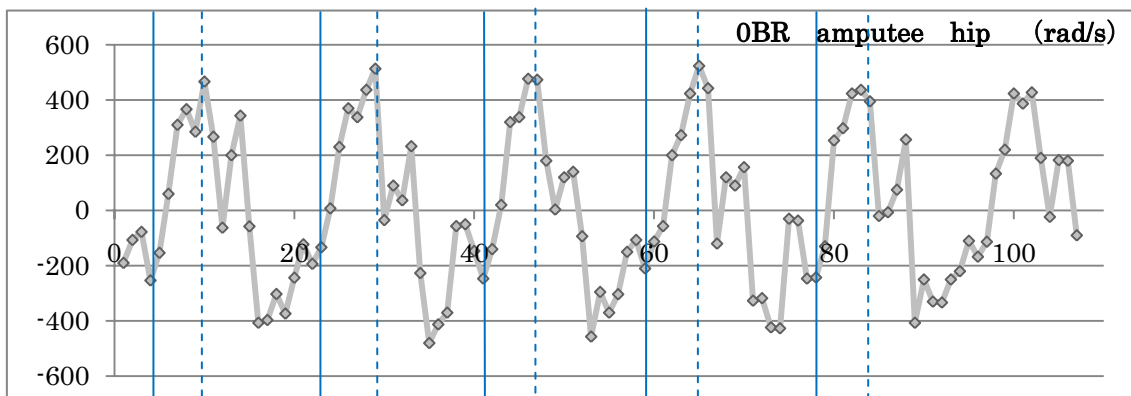
中でも(2)相は人の努力では調整困難な瞬間で、よりメカニカルな評価が出来るポイントと考えられる。(1)～(3)全体の所要時間をみると、被験者Cの同値を除きISPの方がより時間を要している。この結果は次の板バネ接地に影響を与えると推測される。一方膝角速度は、被験者A.DでISPの値が大きく、被験者B.CがOBRの値が大きくなった。断端屈曲角速度は被験者Aが比較的近い値を示し、BがOBR、C、DがISPで大きい値となった。

【2-4】膝継手角度変位(平均)(図 16)

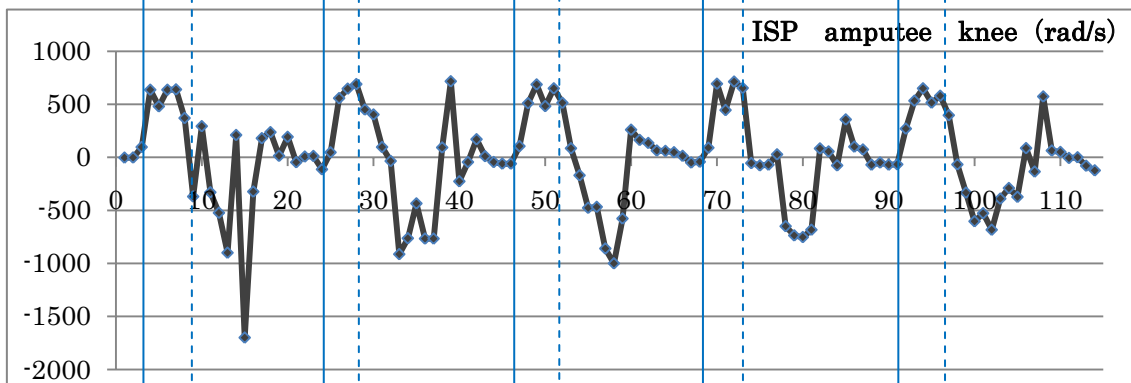
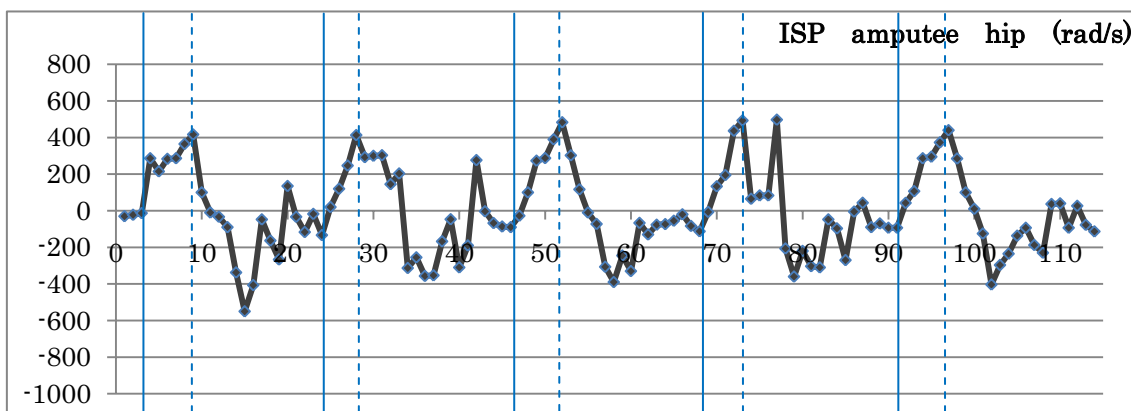
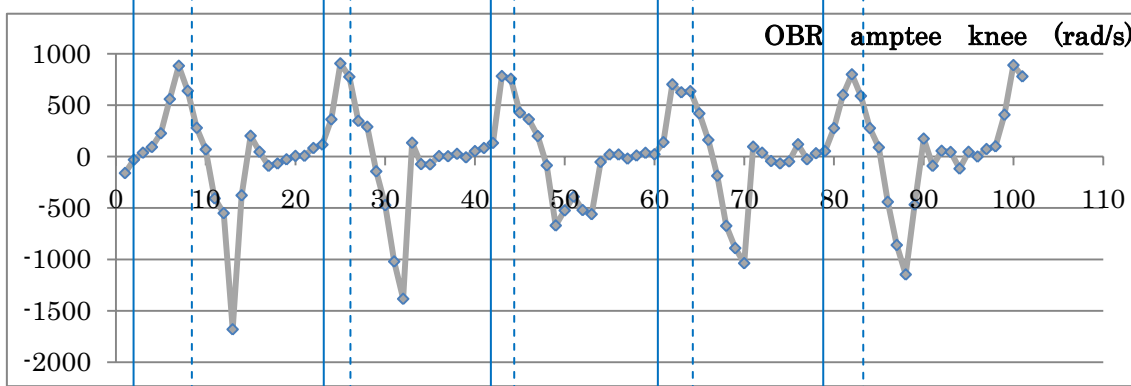
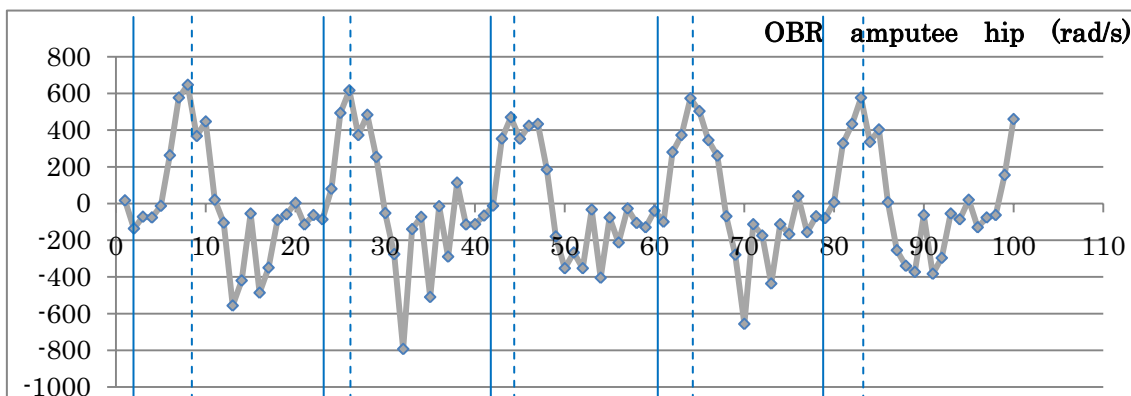


※被験者A.DはISP、B.CはOBR使用時に角度変位が大きい

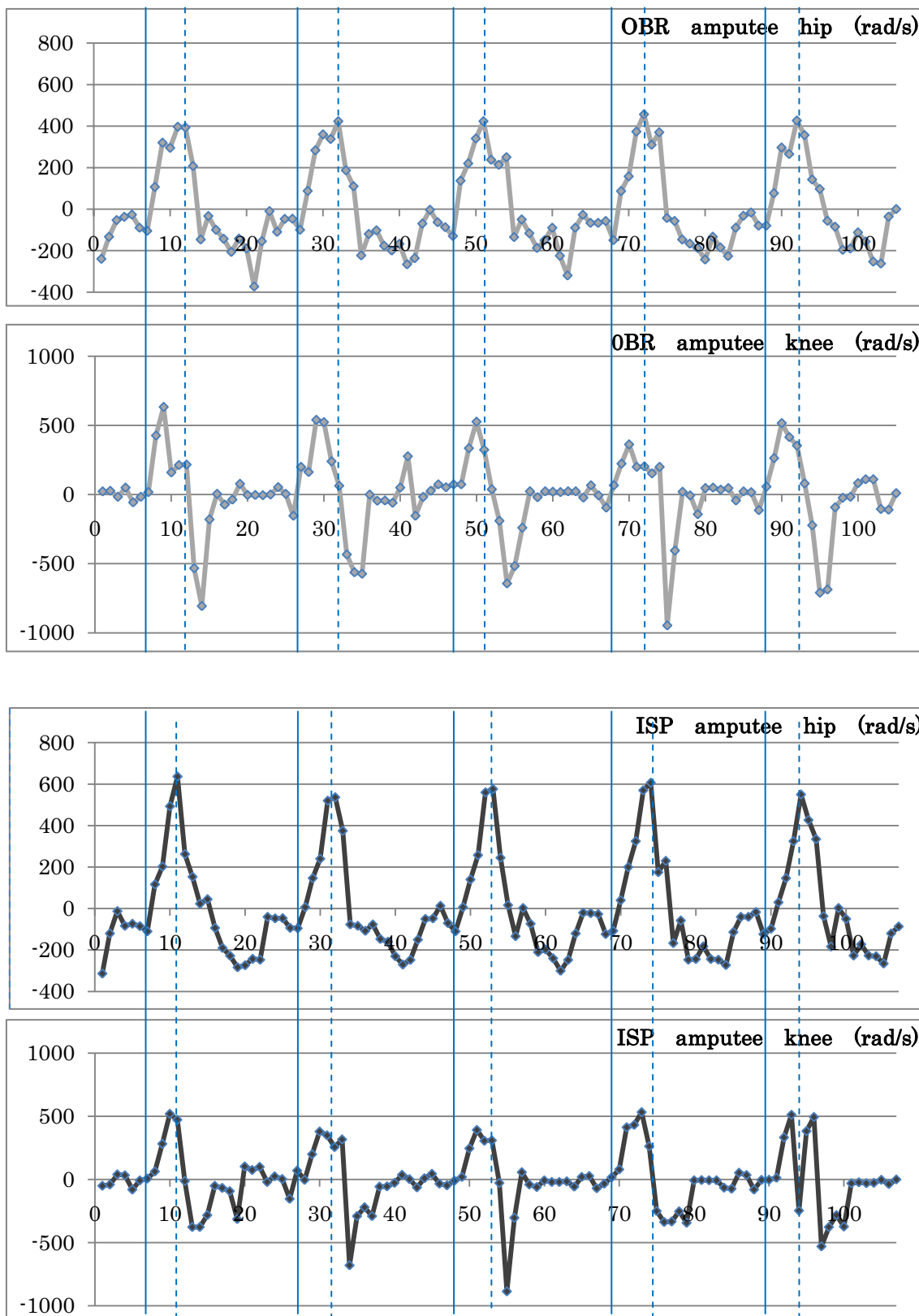
被験者 A : 股関節角速度と膝継手角速度の関係 (実線 : 断端屈曲 点線 : 断端伸展) (図 17)



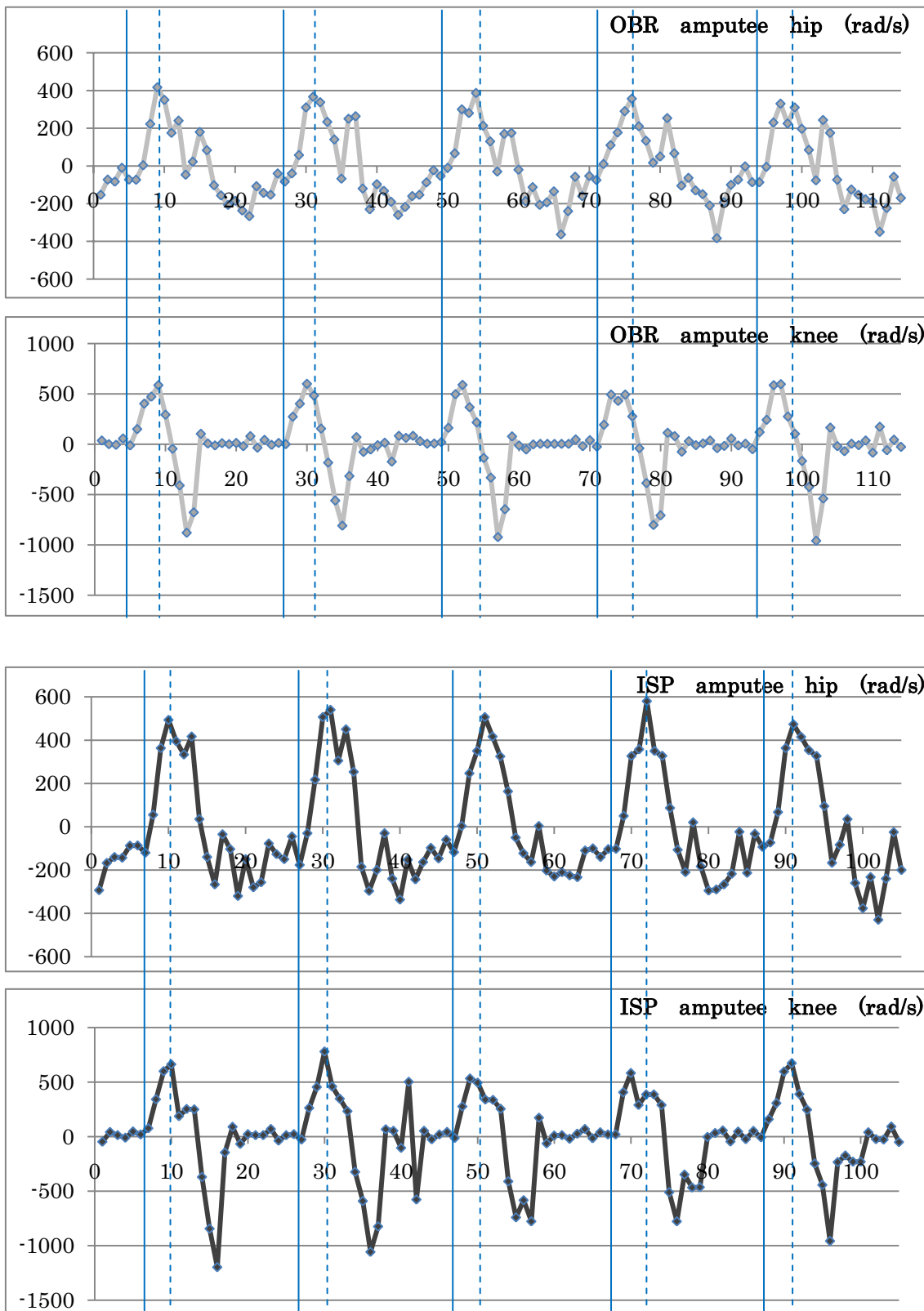
被験者B：股関節角速度と膝継手角速度の関係（実線：断端屈曲 点線：断端伸展）（図 18）



被験者C：股関節角速度と膝継手角速度の関係（実線：断端屈曲 点線：断端伸展）（図 19）



被験者D：股関節角速度と膝継手角速度の関係（実線：断端屈曲 点線：断端伸展）（図 20）



【2-5】

股関節角速度変化に伴う膝継手の反応

★断端角速度が屈曲に転じるとき
(→膝角速度が屈曲に転じる)

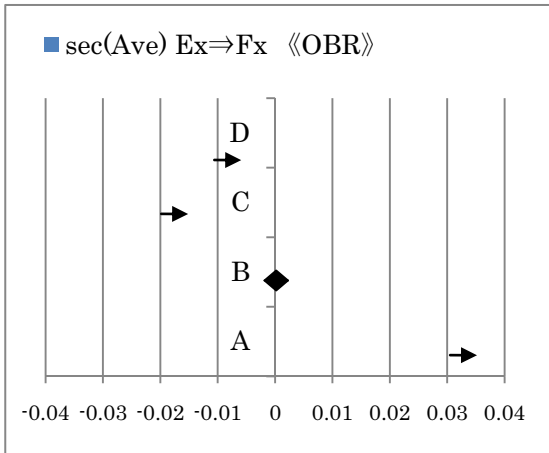
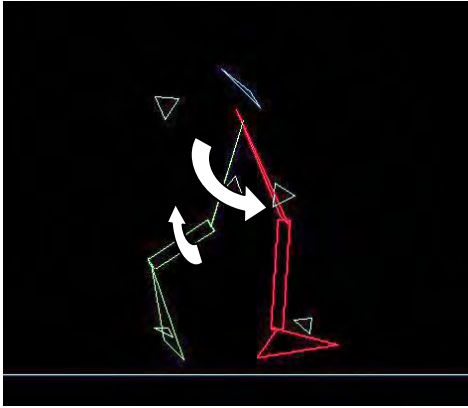
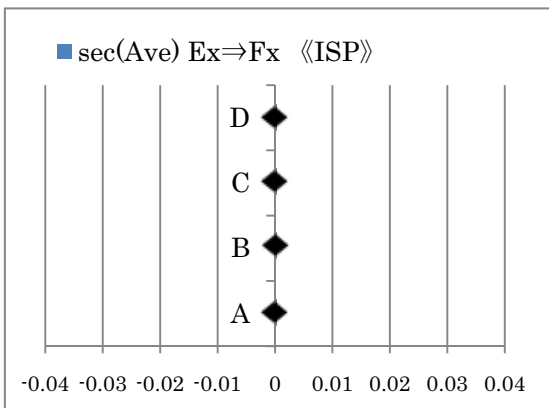


図 21 図 22 : 《遊脚初期》板バネ離地後の反応



※0 値を基準に、矢印は膝以下の角速度が変化する時期を指し、◆は変化の時期がほぼ同じタイミングで起きることを示す
※Ex⇒Fx 伸展方向から屈曲への変化を指す。

★断端角速度が伸展に転じるとき
(→膝角速度が伸展に転じる)

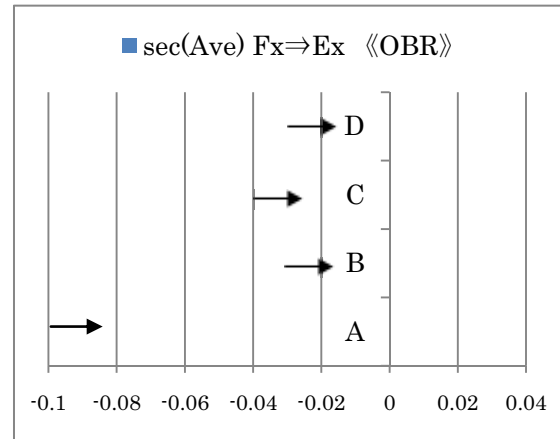
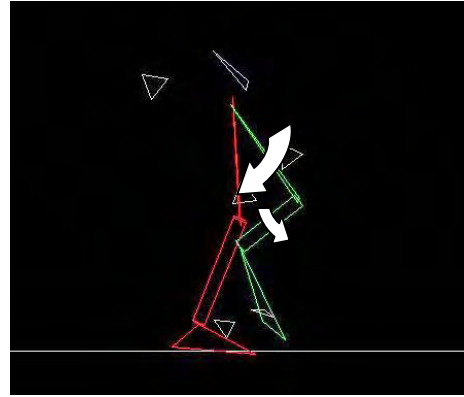
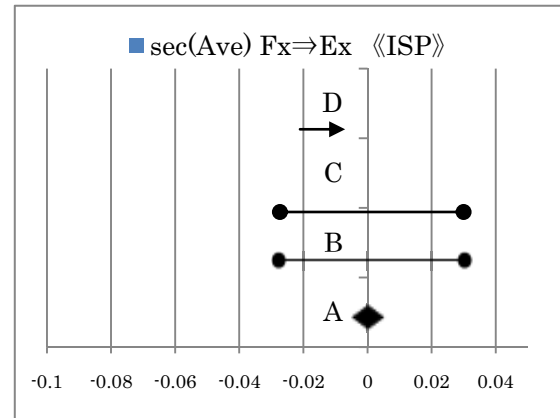


図 23 図 24 : 《遊脚中期》膝継手伸展開始



※0 値を基準にして、矢印は膝以下の角速度が変化する時期を指し、◆は変化の時期がほぼ同じタイミングで起きることを示す
※●は結んだ範囲内で、規則性がなくタイミングが前後することを示す

◎断端角速度が板バネ離地後、伸展から屈曲に方向が変わる場面での反応は、OBRが前後にズレが生じた(-0.02~0.03sec)が、ISPは全事象を通じてほぼ同時期に膝継手の反応が起きている。一方、遊脚中期で股関節角速度が伸展方向に転じた場面で、OBRは全事象を通じて、伸展への変化が予め起きている(-0.03~-0.1sec)。ISPはAが同時期、Dが約0.02秒速く伸展が始まり、B、Cは事象により前後に幅のある結果となった(-0.03~0.03sec)。

《3》 義肢側遊脚後期

【3-1】 両脚空中相時間

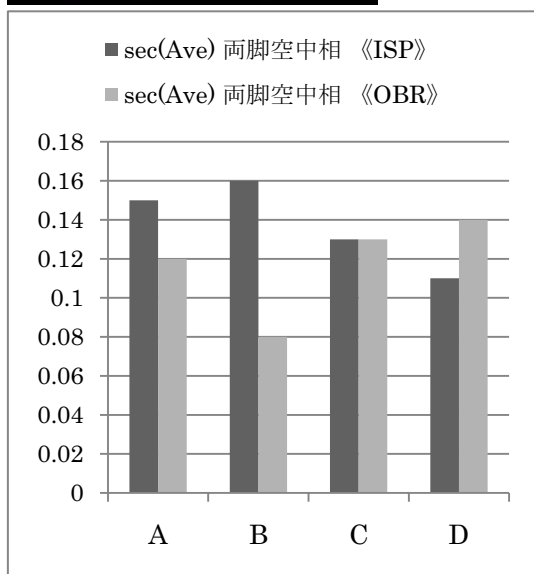
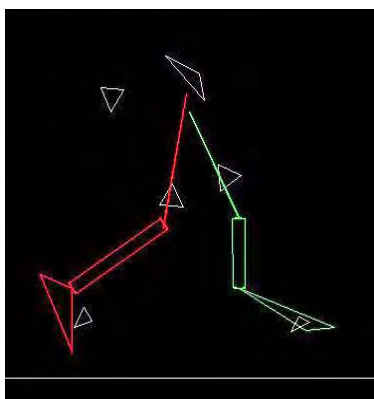


図 25：両脚空中相の比較

【3-2】 膝継手完全伸展(ターミナルインパクト)から健側離地までの時間

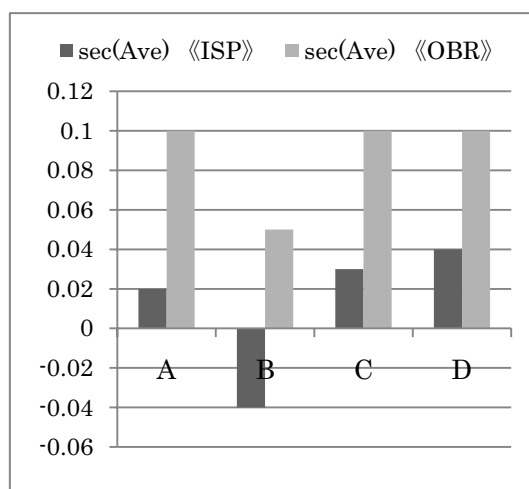
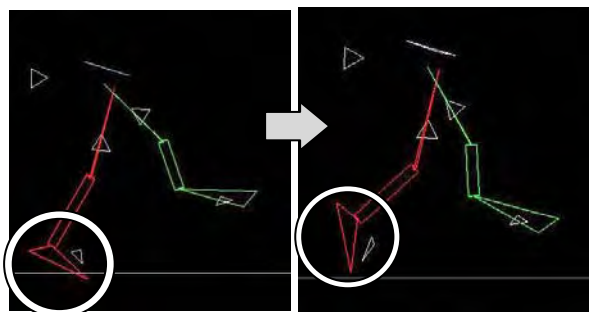


図 26 膝継手完全伸展～健側離地の時間(平均)

◎膝継手の性質に対する反応を評価する指標として解析を行った。空中相は被験者の意図が反映される場面であるため、解釈には習熟度を考慮した洞察が必要となる。被験者 A、B は ISP 使用時に空中相が長く、D は OBR 使用時に長くなった。C は同時間。継手完全伸展～健側離地までの時間に関して、マイナス数値(被験者 B)は健側離地後に完全伸展していることを意味する。全被験者を通じて OBR の時間が長い

《4》ピッチ、ストライド

【4-1】9km/hの結果

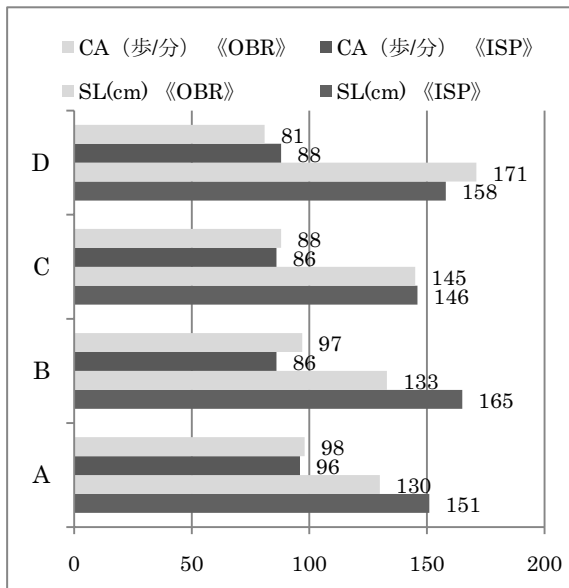


図27 9km/h ケイデンス・ストライド比較(平均)
 ※ストライド(SL)は重複歩、ケイデンス(CA)は重複歩/分の値を示す。

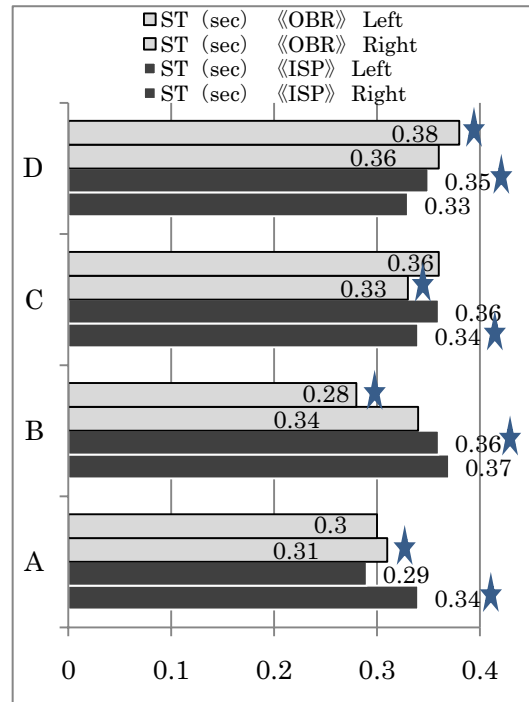


図29 9km/h ステップ時間の比較(平均)
 ※ステップタイム(ST)は一步の所要時間
 ★義肢側前の一步に要する時間

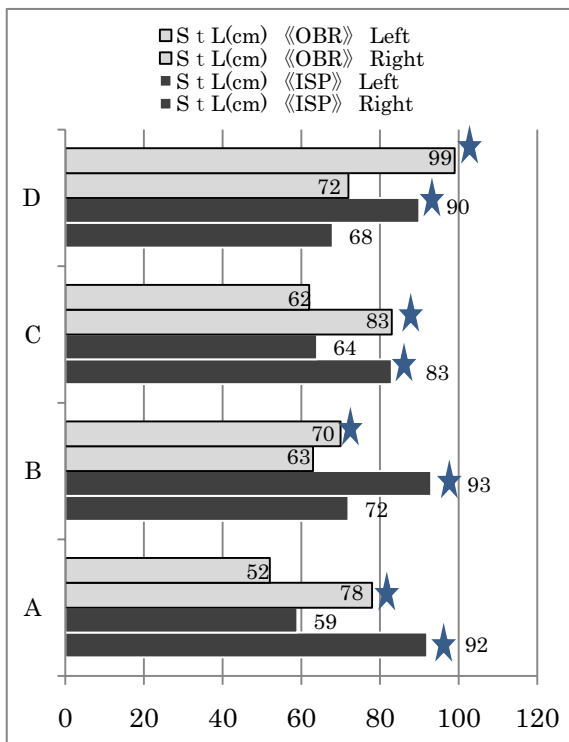


図28 9km/h ステップ長の比較(平均)

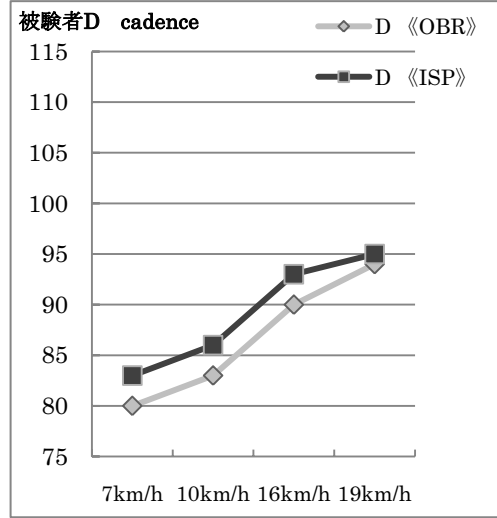
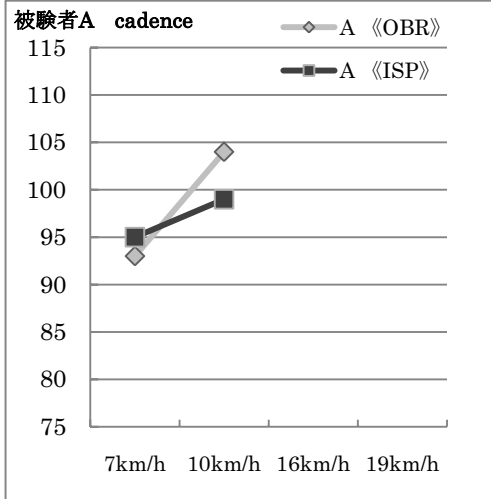
※ステップ長(StL)は左右の歩幅
 ★義肢側前の歩幅

◎被験者 A. B は ISP のストライドが大きくケイデンスが少ない。C はほぼ同数値だが、A. B と同じ傾向にある。D は ISP のストライドが小さく、ケイデンスが多いという結果。全被験者に共通しているのはストライドの値が大→ケイデンス小、ストライド小→ケイデンス大の関係である。

ステップ長とステップ時間は、ストライド&ケイデンスの詳細である。ステップ長は、共通して義肢側前の歩幅が大きい。接地までに要する時間は、A. D は義肢側前が長く、B. C は義肢側前が短い。この結果は ISP、ORB に共通してみられた。

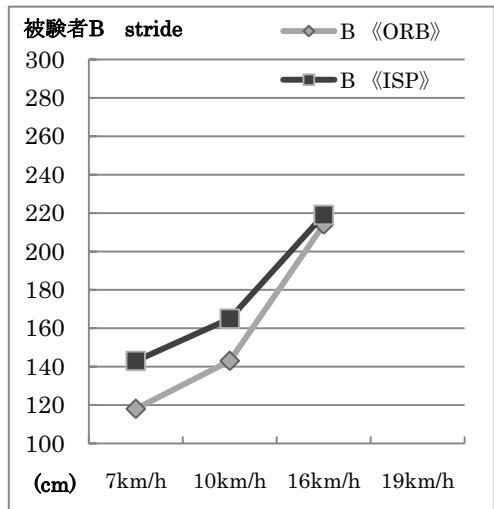
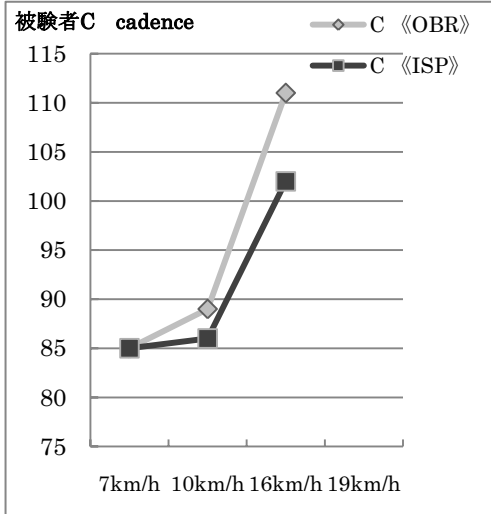
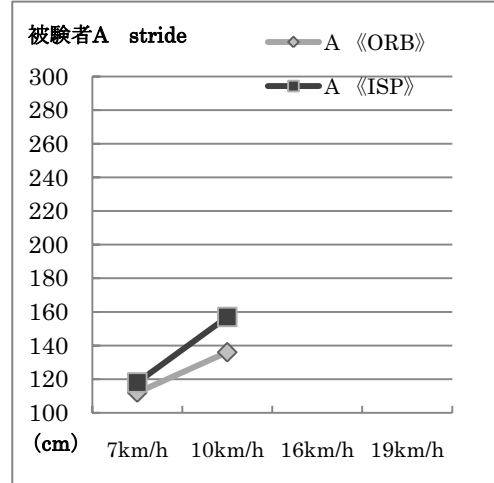
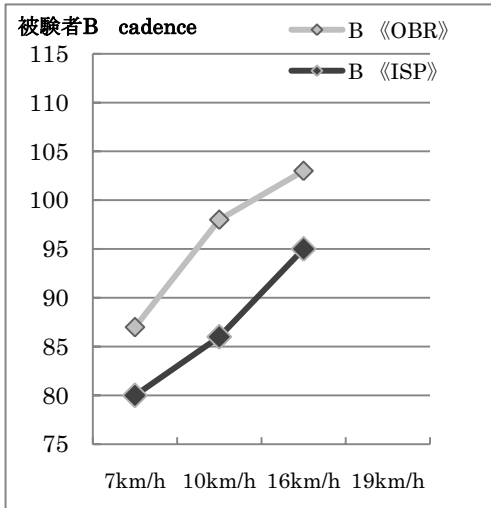
【4-2】被験者別ケイデンス

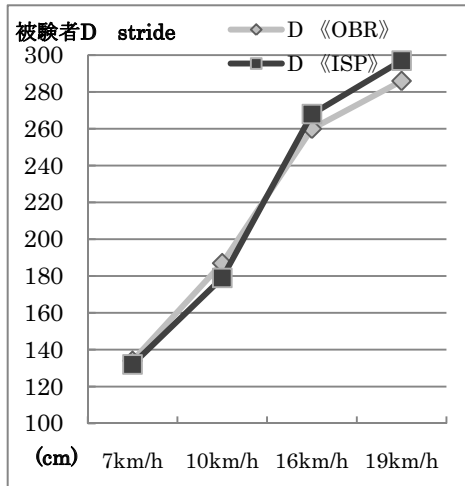
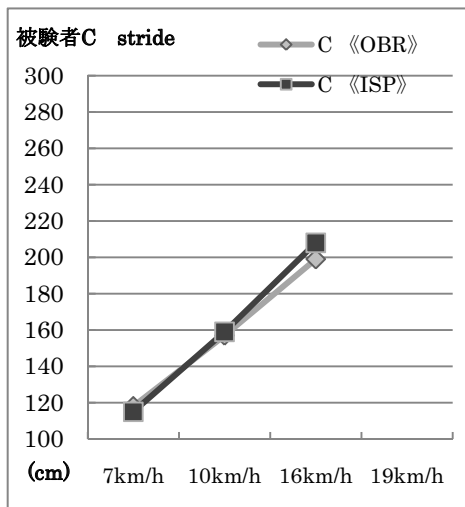
速度変化による比較(7km/h-19km/h)
被験者 A-D のケイデンス(図 30-33)



【4-3】被験者別ストライド

速度変化による比較(7km/h-19km/h)
被験者 A-D のケイデンス(図 34-37)





◎全被験者共通して速度上昇とともにストライド・ケイデンスの値が大きくなっている。傾きの違いは、速度変化に伴う被験者各々の対応の仕方が違うことを示している。膝継手の違いによって対応に若干の違いがみられるのはA、Bである。図38は速度上昇時の健常者の対応の変化を表している。

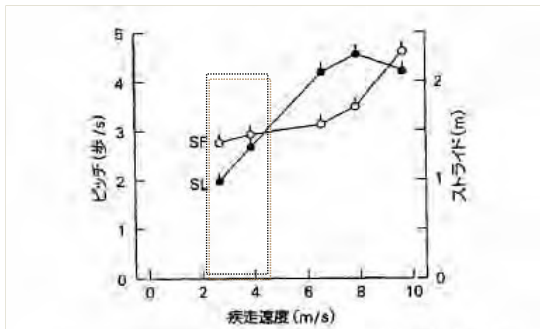


図38 健常者のストライド・ピッチの変化

《5》疾走時 各関節の軌跡

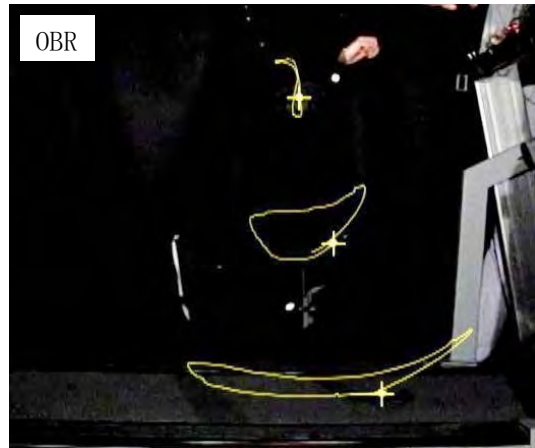
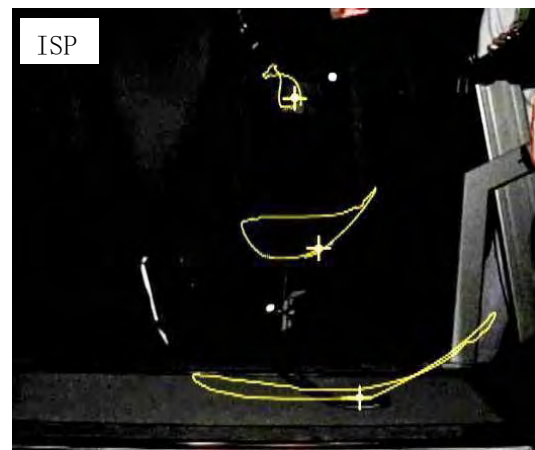


図39、40 疾走時 軌跡の比較



◎股関節・膝関節の上下動や前額面での股関節外転角度を計測した結果、今回の計測では、全被験者を通じてOBR・ISPに有意な差は生じていないと考えられる。

《6》形態および義足の測定

	A	B	C	D
断端長	21	23	28.5	22
義足長	71	82	81	75
下腿長 (義足長-断端長)	50	59	52.5	53

図41 被験者の断端および義足長(単位 cm)

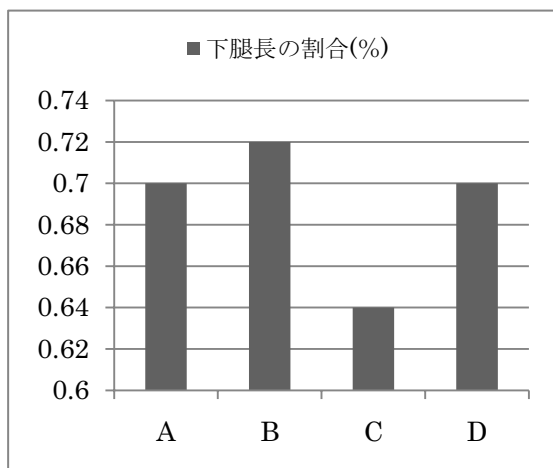


図 42 下腿長の割合(下腿長/義足長%)

◎下腿長を[義足長-断端長]とした。これはソケットから膝軸位までの距離に個人差がある(装着法やターンテーブルの有無)ためである。被験者 B は絶対下腿長が最も長く、下腿長の割合も大きい。下腿長が最も短いのは被験者 A だが身長差を考慮すると、割合で最も短いと考えられるのは被験者 C である。(図 42)

F. 計測・評価で得られた成果

【5名を計測した成果】

- ★今仙技研開発の膝継手は疾走可能な膝継手である
- ・膝継手に関する詳細の情報収集が達成できた
- ・幅広いレベルの被験者を計測することにより、膝継手の性質がより具体的に理解できた
- ・膝継手評価を見極めるポイントが以前より明確になった

G. 予定してできなかった内容

- ・昨年度試作と本年度試作の比較
- ・摩擦調整および異なる伸展補助バネの選

択による同一被験者内での比較

- ・膝継手に付属する仕組み作り(①屈曲角度制限をするための機構②膝継手以下の重心位置を操作した場合の結果の違い)効果の有無を精査する計測
- ・クリアランスを保証する最小屈曲角度を調べる作業
- ・当初予定していた7名全ての計測
- ・再現性を向上させる計測環境の検討(手動でスイングさせる方法など)
- ・仮に上記が可能になった場合、実際の人使用の場合の差が生じるかどうかの解析

H. 考察

健常走行の先行研究では、走行時に膝関節周囲筋の働きは前方への推進力の主動作筋ではないとし、遊脚相の股関節屈曲に追隨して前方に振り出されるとしている。また、大腿義足走行に関しては「義足立脚相の床反力前後成分が速歩と比較しても増加傾向にない」とする報告がある。昨年度から引き続いて遊脚相を評価ポイントとする理由は、疾走用膝継手の要件として、立脚相での推進補助機能よりも遊脚相でのレスポンスの良さや、無理のない自然な走りを再現できる動きの質が求められるとする観点からである。

膝継手が疾走動作にいかに関与するかは、断端の前後運動に追隨する二重振り子の継ぎ目として、時に効率よく、時に安全性を担保しながら動くことが重要となる。具体的には、以下の要素からより多くの特徴が当てはまるものが実践的な義肢部品と評価できる。

1. 断端を楽に動かせる
2. 断端運動に対する反応が分かり易い

3. 断端運動のばらつきに左右されず安定した動きが保証される

遊脚相の中で考えると、前期では膝継手屈曲が容易(断端の易操作性とほぼ同意)で、中期に素早く伸展に転じて追随し、伸展最終末では次接地の目印となり、かつターミナルインパクトの衝撃緩和が可能となる構造が望ましいと考えられる。

上記の2と3は相反する性質と思われるが、出来る限り同居することが理想である。

また今回の計測では、人の使用による膝継手評価の困難さにも言及したい。被験者パフォーマンスは習熟度の違いで差異があり、同一被験者の同一試技の中でも、安定疾走(断端操作の再現性が高いサンプリング範囲)を抽出するのは困難であった。また、仮に同等の習熟度と思われる者が同じ速度設定で試技を行ったとしても、ピッチ・ストライドのどちらで対応するのかという疾走戦略に違いがあるため、被験者を跨いだ横断的解析により膝継手に一様の評価を与えることは難しい。

被験者特性は、不変要素の断端長と経験値で変化する疾走中の体重心位置や、恐怖感の有無などで状況が変化する。つまり疾走戦略には「故意に行っている」場面と「やむを得ず行っている」要素が混在するので再現性が保証できない。

これらの要素を踏まえると、計測した現象をニュートラルな視点で分析する前段階として、被験者が継手の違いを感じてリアクションを起こした結果生じている場合も考慮し、私見が検証に含まれることを前提に下記の通り考察を行う。

◆遊脚相全体の評価

膝継手の遊動所要時間は、短いほど遊脚時間を短縮して板バネ接地を素早く行えると推測される。図13で比較すると、3人の被験者(A, B, D)で所要時間の短いOBRは、ピッチ走法を行う場合に有利になると予想される(被験者Cは同値)。遊脚時間が短くなれば、両脚空中相やストライド・ケイデンスに相関を示す。被験者A, B, Cのケイデンスが増える順当な結果のなった一方で、Dは所要時間の長いISPでピッチ走法を示す結果となった。(図25、27、29)この解釈については後述する。

◆膝継手伸展の評価

全被験者に共通して ①[継手角速度が大きい]=[断端伸展角速度が大きい] ②[継手角速度が大きい]=[角度変位が大きい] という関係が成立している。(図14、15、16)被験者間の比較で、下腿長比率の点から慣性モーメントが最も小さいとおもわれるCの角速度が最も小さいという結果になったが、これは①の影響を示唆しており、Cの結果は被験者自身の調整によるもの(断端の前後運動を必要以上に頑張らない)と推測する。(図41、42)

一方、同じ被験者の中でみた膝継手伸展時の関係は、ISP角速度が大きい値を示したA, DとOBRが大きい値を示すB, Cに分かれる結果となった。(図14)

これは①、②が影響していることを示すもので、②は最大屈曲時に位置エネルギーが大きくなる要素とも考えられる。(図16)

その中でB, Cの試技は、OBR使用時に角度変位が大きいにも関わらず、遊動所要時間が同じ、または短いとする結果が出てお

り、OBRは長い距離をより速く移動していることが推測される。(図13)

この要素として、遊脚相の運動制御は膝継手自体の能動的変化が考慮されなければならない。膝継手の伸展が始まる瞬間が最も人が調整困難だからである。遊脚中期に継手伸展が起きるタイミングは、全事象を通じてOBRが断端制御に関係なく早い時期に伸展に転じている。(図23)

一方、疾走速度の変化により角速度も変わると予想されるが、初心者を想定した9km/h疾走の場合、伸展角速度を最終末ターミナルインパクトの評価指標として捉えようと、被験者A、DはISP使用時に衝撃が大きく、B、CはOBR使用で衝撃が大きいと考えられる。(図14)

◆断端運動に対する反応からみた推察

膝継手評価の解釈については、機械的特性を計ることが無論重要であるが、人の使用が前提の場合、その使用感にも触れる必要がある。大腿義足の階段交互下り動作を例にとると、人間は継手が膝折れするタイミングや自分の重心位置を計ることでその動作を可能にしている。同様に疾走動作でも、自らの働きかけが合図となって膝継手が反応することは感覚的に分かり易く、習熟が図りやすいという利点がある。

断端角速度の屈伸方向が変わる時期を合図として膝継手の反応をみたとき、OBRは屈曲開始時期で、被験者Bを除く3名に前後タイミングの差が生じ、伸展開始では最大0.1秒の差が生じた。

ISPは屈曲開始時期に、全被験者を通じてタイミングの誤差がなく伸展開始時期では被験者Aが同時期、Dに極僅かなズレが

生じた。特に被験者AはISP使用時に屈伸とも誤差のない反応を示している。これは初心者使用時の分かり易さという点で、ISPの優位性を示唆するものである。

健常側の角速度計測では、OBR・ISPに関わらず股関節の屈伸方向の変化に応じて、ほぼ同時期に膝関節角速度も変化が生じている。(図43、44)

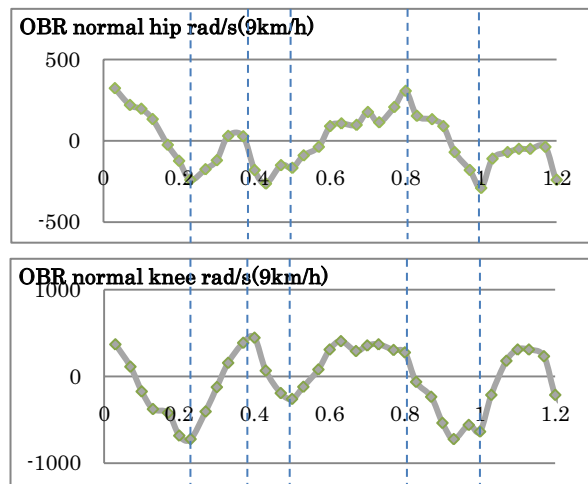


図43 被験者D：OBR使用健常側角速度 (上)股関節 (下)膝関節

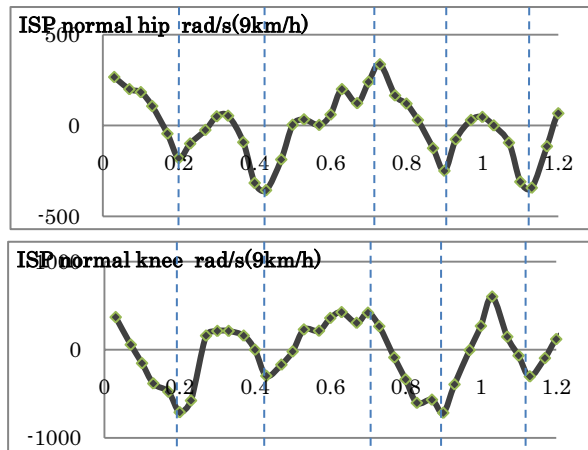


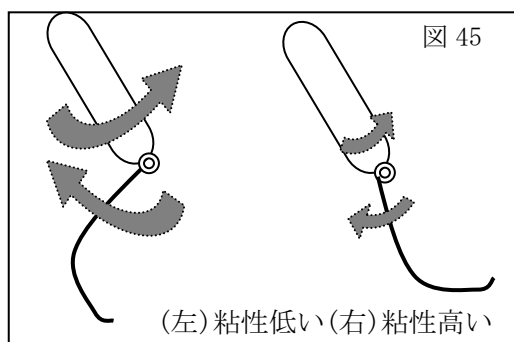
図44 被験者D：ISP使用健常側角速度 (上)股関節 (下)膝関節

B、Cは断端に対する継手伸展開始が遅い場合、早い場合が複数回生じており規則性がない。(図21、22、23、24)

仮説では、A.DとB.C間の疾走方法の違いが可能性として考えられる。B.Cのステップ長・ステップ時間をみると、義肢側の歩幅が大きいにも関わらず、接地を速く行うという点が特徴的で、断端屈伸の頻度が高いと推測される。(図28、29)定摩擦機構は、油圧制御に比較すると粘性が低く、断端スイングを素早く頻回に繰り返すと、トルクのかからない「空振り」のような状態が生じる可能性がある。

遊脚前期の断端角速度を膝継手の曲がり易さの指標として、また断端の易操作性の指標としてみたとき、被験者A.BはOBR使用時に角速度値が大きく、C.DはISP使用時に角速度値が大きい。

仮説では継手の粘性が低いISP使用で角速度値が大きいと予測したが、初心者を含む2名がISP使用で、むしろ努力量が多いという結果となった。(図15、45)



◆膝継手完全伸展の時期と疾走戦略の相関

先行研究では、大腿義足走行は速歩の延長としてアプローチを行うべきとされる。また義肢側遊脚相での断端操作による追従性調節には限界があり、膝継手に依存するとの報告がある。これらは大腿義足の場合、歩行・走行を問わず義肢側遊脚相が人間の努力では調整しようのない要素となって、

動作全体の基準を作り出していることを意味する。しかし習熟度の高い切断者は、この特殊性を顕在化させない調整能力に長けている。

歩行では、義肢遊脚相で膝継手伸展を健側下肢が動的バランスを保ちながら待つ状態を作ること、左右対称性を得ていると考えられる。膝完全伸展を待つ理由は、それが次の義足接地の合図となるからである。

しかし疾走動作の場合、速い連続動作のため合図となる膝継手伸展を待ちきれない。さらにトレッドミル上では、健常下肢が後ろに流れるため、健側離地のタイミングがより前倒しになり時間的余裕がない。その結果として空中で膝伸展を迎えることが推測される。被験者BのISP使用時は膝伸展が健側接地時期に間に合わず空中でターミナルインパクトを迎えている。(図26、46)

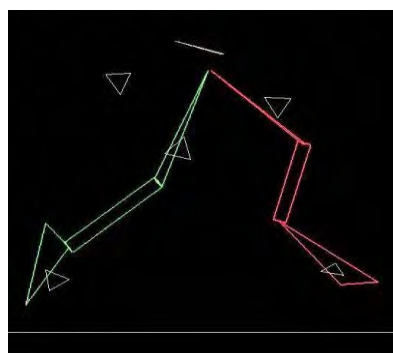


図46 健側接地で完全伸展を迎えていない状態

膝継手遊動時間が長い→健側離地が早い→両脚空中相の延長→ストライド長を伸ばす選択は、ISP使用時の被験者A.Bに共通してみられる。また膝継手完全伸展から健側離地の時間は、全被験者に共通してISP使用時の方が短い。このうちA.B.Cはストライド長を大きくして対応している。(図26、27)意図的にストライド走法を選択す

るのか、結果的にストライド長が大きくなるのかは似て非なるものであり、膝継手の動きに対するリアクションで空中相が長くなった場合、特にトレッドミル上ではストライド長を大きくして対応しているようにみえる可能性がある。

また被験者 A. B. C の ORB 使用時は、膝伸展後の健側接地時間が比較的長いので、次の板バネ接地を積極的に行う結果、ピッチ走法(ケイデンス増)の選択に至ると考えられる。

一方被験者 D は例外で、早い段階で膝伸展を迎える OBR 使用ではストライド長が大きくなる。反対に、遊動時間が長く健側接地の時間が短くなる ISP 使用時は、ケイデンスが増える結果となった。これは OBR 使用で健側接地に余裕のある状態でターミナルインパクトを迎え、さらにストライドを伸ばすために健側で前方に跳躍する戦略をとっていると推測される。このとき断端伸展の角速度が有意に小さく、ストライド走法⇔ピッチ走法のどちらも選択可能な状況で、ストライド走法を選択していることから、意図的に行われていると思われる。(図 15、47)

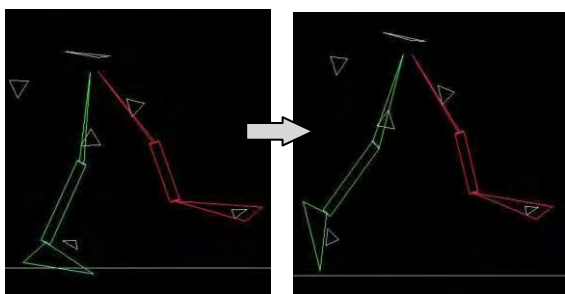


図 47 被験者 D 膝完全伸展～健常側離地

逆に健側接地の時間が短い ISP 使用では、断端の積極的な伸展によって継手以下の振り出しを速める工夫をした結果ケイデンス

が多くなり、空中相は短くなると考えられる。股関節・膝関節角度変位の関係が特徴的である。(図 48)

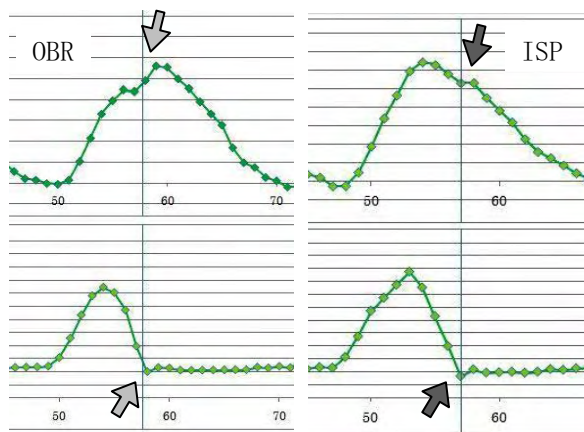


図 48 被験者 D 股関節(上) 膝継手(下)
 ※OBR は股関節屈曲の途中でターミナルインパクト(矢印)を迎え、さらに屈曲角度が増加
 ※ISP は股関節伸展に転じた後ターミナルインパクト(矢印)を迎える

この現象は、非常にレベルの高い習熟者のとる戦略のひとつと推測される。

義足習熟者でも、板バネ立脚時の多様性は望めない可能性が高く、疾走方法の選択は、あくまで健常下肢を基準に行われていると思われる。この点を考慮すると、クリアランスを保つ程度に屈曲しつつ、健側接地時のなるべく早期に膝継手完全伸展を迎えることが理想といえる。ターミナルインパクト後の健常側接地時間が長いことは、疾走戦略の選択肢を増やす利点があると考えられる。(図 49)

遊動所要時間	膝継手完全伸展 ～健側離地時間	ストライド走法 (ケイデンス減)	ピッチ走法 (ストライド減)	疾走方法の 選択肢
短	長	◎ (積極的な選択)	◎ (積極的な選択)	多い
長	短	○ (消極的な選択)	○ (消極的な選択)	少ない

図 49 健側接地時間と走法選択

I. 結論(昨年度分含む)

仮説では、今試作品が初心者の走行導入に有用と考え計測を行ったが、現状では決め手となるポイントを定量化することが出来ていない。

しかし、計測を離れた状況では、初心者ユーザーの使用で度々効果的な場面が見受けられる。よって、さらに被験者層を広げて計測を行うことが必要とおもわれる。

体重、性別、年齢などでグループ化できるだけの被験者数増の試みが可能になれば、より具体的に適正なユーザー像が判断できるかもしれない。

【現時点で長所と考えられる要素】

- ・試作品は定摩擦調整によって追随性を改善できる
- ・使用するバネによって屈曲/伸展しやすさの調整が可能である
- ・断端の動きに対する反応が良い(特に屈曲開始時)ので感覚的に習熟を図りやすい

【現時点で改善の必要がある要素】

追随性向上は、次の板バネ接地をする際、初心者の安全性を確保する意味で重要である。

- ① 膝継手最大屈曲から伸展に転じる際の自動能力改善が求められる
- ② 人使用時は、健側接地している間に膝継手が完全伸展する程度の追随性が必要(人によって異なる)

【現時点で不明な要素】

- ・ターミナルインパクトの衝撃は被験者によって(断端操作の習熟度)、また疾走方法によって結果が変わる可能性が高い
- ・断端の屈曲し易さは、被験者の走法によって異なる
- ・よってクリアランスの善し悪しも被験者によって異なる

障害者自立支援機器等開発促進事業

分担報告書

実走行可能なデザインモデルの製作

慶應義塾大学 山中俊治 檜垣万里子 辻勇樹 根岸岳 荒牧悠

今仙技術研究所 大塚滋 大蔵史景

鉄道弘済会 臼井二美男 斎藤拓

開発要旨：片下腿切断の選手を対象とした実走行可能な陸上競技用下腿義足をデザインし、より可能性を高めるための材料、構造検討を行う。

A. 開発目的

平成22年度の本事業にて、陸上用下腿義足を構成する、ソケット、ジョイントパーツ、板バネに対し一貫したデザインを行い、デザイナーが義足製作の現場へ参加する事の効果を検証した。その結果、各パーツの専門性に分断されていた開発プロセスを一貫した価値観でつなげる事の有用性を証明できた。具体的解決として、断端形状があらわになり傷跡を連想させるソケットの表面処理、汎用パーツのデザイン、板バネ形状のデザインを行った。結果、選手自身のモチベーション向上につながり、みる人へ与えかねないマイナスイメージの払拭にも効果があったと考えている。

今年度、この成果をふまえ、より実用的で、選手の実力に応える使用を可能にすべく、去年度挙げられた、ソケットや汎用パーツの材料や加工方法にて生じた重量の問題の解決検討を行った。

B. 開発する支援機器の想定ユーザ

なめらかな表面をもつソケットの制作方法の模索、汎用パーツのデザインなど、全てのスポーツ競技用義足使用者を対象としている。

D. 試作した機器またはシステム

片下腿切断の選手を対象とした、スポーツ

用義足のデザインと試作を行った。

E. 開発方法

1. 義肢装具士と共同で行うソケット製作・材料の見直し



図1：鉄道弘済会での作業風景

ソケット表面の極端な凹凸を滑らかに成形するため、断端形状層の上に成形層をまず、切断者の断端を採型した石膏に積層綿とカーボクロスをかぶせ、ピンクに着色したアクリル樹脂でラミネートした。（断端形状層1：図2）次に、ピラミッドオスパーツをソケットに固定し、その上から、もう一枚、カーボクロスをかぶせ、ラミネートした。（断端形状層2：図3）その外側を硬質発泡ウレタンで覆い切削により、形状を整えた。（成形層：図4）