

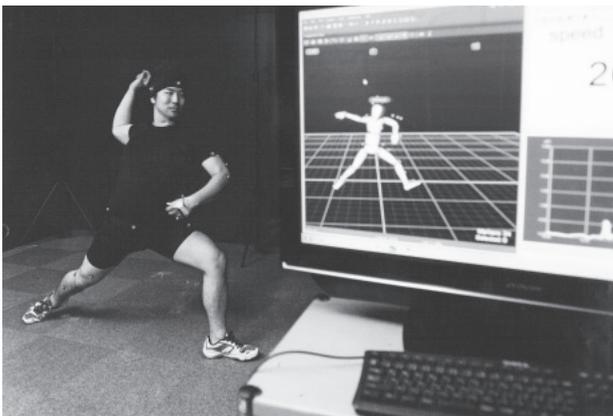
“動き”を瞬時に“数値化”する 3次元リアルタイムモーション計測システム 「VENUS3D (ヴィーナス3D)」

株式会社ノビテック 画像計測システム部/佐藤眞平

3次元動作分析において、ユーザが求める結果に柔軟に対応し、かつ高精度で簡易なシステムとしてVENUS3Dは現在、様々な用途で実績を重ねている。今回はVENUS3Dのユーザが求める“動作の物理量を容易にかつ、瞬時に算出できる”システムとしての独自性を中心に述べる。

1 VENUS3D概要

弊社の3次元リアルタイムモーション計測システム「VENUS3D」は光学式モーションキャプチャシステムをベースにシステムを構築している。現在のモーションキャプチャは、機械式、光学式、磁気式など複数の方式により行われているが、その中で人体の運動解析には光学式が最も適していると考えられる。その理由として、光学式では体の各部位にマーカを貼付し、その位置を複数のカメラで撮影し、三角法と同じ原理で3次元的な位



置を測定するため、複数のマーカの同時計測が可能なこと、マーカが小型軽量かつワイヤレスであることから、人体の運動を制限せず、より詳細な動作解析が可能であるという利点による。

1.1 光学式モーションキャプチャシステムの構成

光学式モーションキャプチャ方法に基づいた動作解析システムの構成を図1に示す。図1内の1は被検体であり、運動する人体を例にとりシステム全体の構成を示す。2は被検体1の特徴点に貼付されたマーカであり、具体的には小型の赤外線反射マーカを使用する。3はマーカ2を時系列的に撮影するカメラ(撮像装置)であり、被検体1の可動範囲を囲むよう被検体1の周囲に複数台設けている。各カメラ3には撮像素子(撮影部)3aと被検体1に光束を照射する照明装置3b(図2)が装着されている。3cはカメラ3に設けた撮影レンズである。

4はカメラ3で得られた撮影画像を時系列的に受信し、複数のカメラ3より得られた受信情報より被検体1に貼付したマーカ2の各時間(フレームごと)における3次元情報を演算し求める画像処理装置である。

5は画像処理装置4で得られた被検体1の

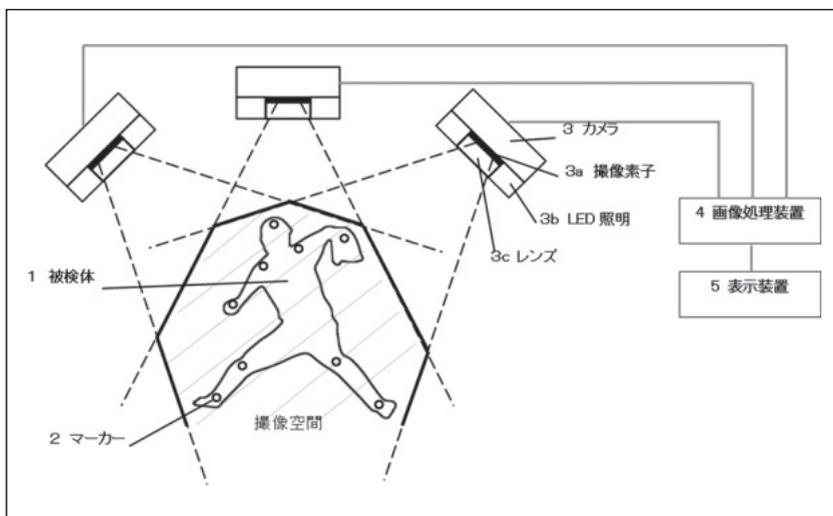


図1 モーションキャプチャシステム概略図

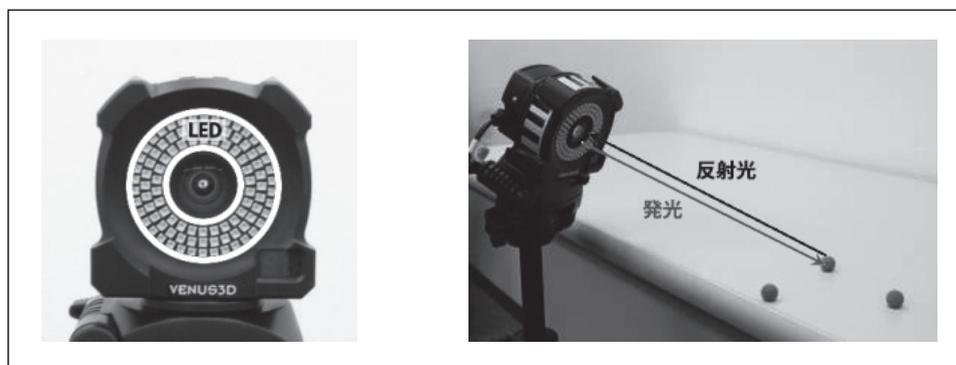


図2 LED照明が搭載された専用カメラ(左)および座標取得原理(右)

マーカ2に基づく特徴点の座標を表示する表示装置である。

カメラ3は三脚やクランプ等、カメラ間の関係を保持し続けることができる治具に固定する。複数のカメラは被検体1に関し、計測空間を中心にしてカメラ3間の角度が最低15度以上になるように配置されている。また、各カメラからの視野中心がほぼ同一になり、被検体1の移動に対して、カメラ3が水平に並ばないように配置されている。

被検体1に装着したマーカ2をトラッキングす

るためには、複数台のカメラ3を撮影視野が重複するように配置する。これによって、「キャプチャボリューム」と呼ばれるトラッキング可能な領域を作成する。カメラは計測中に動かないようしっかりと固定し、カメラが動いてしまうことによるキャリブレーションのやり直しを防止する。また良好なキャリブレーションとトラッキング結果を得るために、すべてのカメラ3が同一平面上に配置されないようにする。

カメラ3の撮像部3aのセンサで受光した画像を

用いて画像処理を行い被検体1に貼付したマーカ2の座標を画像処理装置4で算出する。算出方法は二値化した画像に対してラベリングを行うことでマーカ2の3次元空間内の座標を算出する。3次元座標を算出する方法は、エピポーラマッチングアルゴリズムを利用する。

なお、照明装置3bからの光束であって、マーカ2からの反射光のみが撮像部3aで検出されるように撮像部3aの光入射面には照明装置3bから放射される光束の分光特性に対応した光学フィルタが装着されている。



図3 カメラ設置風景



図4 キャリブレーション風景
(手に持っているのはキャリブレーションワンド)

1.2 計測ワークフロー

VENUS3Dを用いて動作計測を行う際のワークフローを以下に記述する。

A) カメラ設置、配線(図3)

動作範囲を取り囲む形で6~20台程度のカメラを配置する。前項に記述したカメラ配置の概要に従いカメラを設置する。すべてのカメラ配置は治具への固定、ケーブルの結線等の作業を含めて15~30分程度で終了する。

B) キャリブレーション(図4)

3次元座標算出に必要なカメラパラメータ算出を行う。オペレーションはキャリブレーションワンドといわれる構成された治具を計測空間内のすべてを網羅するように振り回し、カメラでキャリブレーションワンドに実装された3点のマーカを認識させることにより行われる。上記の作業により、3次元座標算出に必要な焦点距離係数、画像の角度係数、レンズの歪み係数等のカメラ内部パラメータと各カメラの空間における座標とカメラセンサの角度等の外部パラメータを自動的に算出することができる(図5)。また作業時間は3分程度となる。

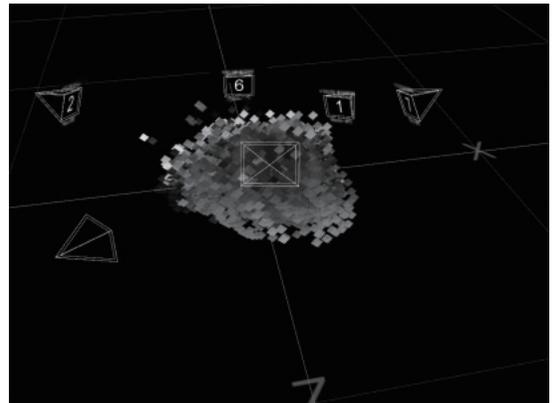


図5 キャリブレーション画面

C) 計測

A、Bの計測前準備を経て、計測作業へ移行する。計測に必要な箇所にマーカを貼付し動作を行う。VENUS3Dでは、目的の計測に応じ、関節をはじめとした自由な個所にマーカを貼付するだけでリアルタイムに様々な物理量を解析、表示を行うことができる。これはVENUS3D独自のアルゴリズムで光学式モーションキャプチャシステムにて取得された3次元座標を解析することにより実現されている。2013年10月現在、リアルタイムで解析、表示することができる物理量を以下に記載する。

◇VENUS3Dによるリアルタイム解析項目一覧

座標値、速度、加速度、変位、積算移動距離、始点からの距離、2点距離、2点距離変化速度、2点距離変化加速度、3点角度、角速度、角加速度、変化速度、変化加速度、剛体中心座標、剛体6自由度、平面投影2直線角度、平面投影3点角度、オイラー角

またVENUS3Dは実験室のみでなく、屋外や水中等、様々な環境で計測を行うことが可能である(図6、7)。

D) 解析

物理量の確認やフィードバックを行いながら進めた実験ログを用い、解析ソフトウェアにて、複数試技の比較や実験中に注視を行わなかった物理量の確認等を行う。また、筋電計や心電計、フォースプレート等の他の計測機器のデータを読み込み、複合的に解析を行う機能も有しており、かつ、動画も含めたレポートの出力も有している。

2 VENUS3Dの独自性

VENUS3Dの独自性として、次の2点を挙げる。

- A：ユーザが求める動作の物理量を容易にかつ、リアルタイムに算出できること(図8)
- B：顔面や手指等の細やかで多関節の部位におけるリアルタイム解析を実現していること(図9)

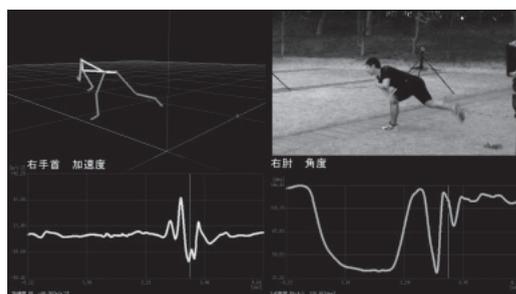


図6 屋外計測風景



図8 リアルタイム解析風景

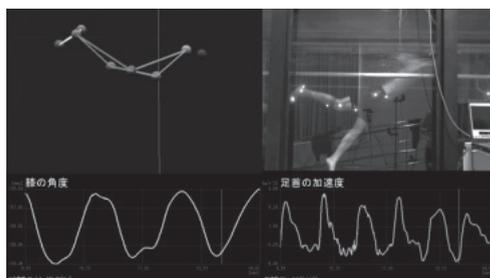


図7 水中計測風景

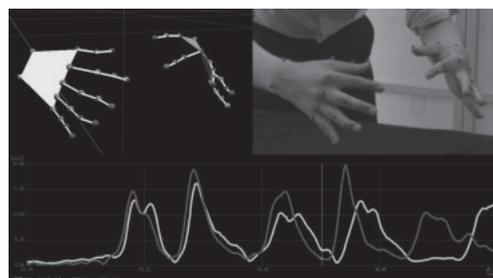


図9 手指解析画面

上記Bに関し、VENUS3Dで実現したことにより、咀嚼や嚥下のリアルタイム解析や神経伝達やフィードバック解析等、従来、動作分析システムでは踏み込むことができない領域に到達することができた。また、前述に加え弊社製品の独自の機能を紹介する。

◇VENUS3Dの特徴を生かした独自の機能

<機能1>リアルタイムグラフ(図10)

動作を行うと同時にグラフの描写を行うことができる。グラフには3次元座標より算出した物理量を時系列的に表示するだけでなく、他の計測機器にて取得した値を用いてグラフを描写することができる。たとえば、以下のグラフをリアルタイムで表示することができるため、運動特性の掌握がより瞬時に行うことが可能になる。

- 関節位置の移動分散
- 関節の高さに対する速度
- 関節角度に対する筋電計の値
- 歩行速度に対する各関節の位置

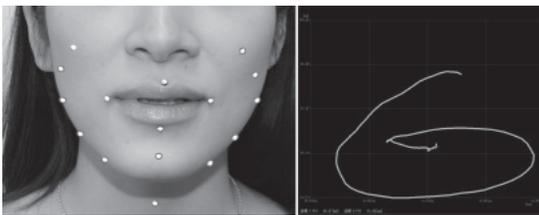


図10 物理量-物理量でのグラフプロット

<機能2>リアルタイム相対変位(図11)

たとえば投球動作における肩関節の動きを評価する場合、単純に座標値を取得するだけでは全身の移動成分が上腕の移動成分に付加されてしまい、計測後に差分地を取得する必要がある。VENUS3Dでは特定の点、もしくはグループ化された点群にて座標を固定した相対座標をリアルタイムで求め、グラフ描写を行うことが可能であるため、瞬時に肩関節の動きをダイレクトに評価す

ることが可能である。

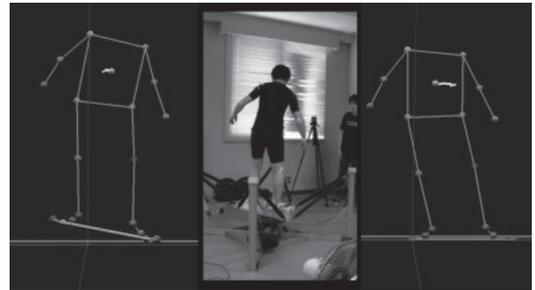


図11 相対変位計測画面

<機能3>リアルタイムフィードバック

グラフ描写時に定められた閾値を上回る(下回る)とグラフ表示方法を変更する機能があり、被験者の歩行速度を一定に保持する事等の実験の目的に応じた変更・修正指示を行いながら実験を進めることが可能である。また、計測データを用い他の計測機器との連携を行うことも可能である。

<機能4>小関節の3次元角度計測(図12)

従来のモーションキャプチャ機器においては、マーカグループにおける座標の位置関係で関節を特定していたため、大きな関節の3次元角度等の算出は可能であったが、手指などの小関節においてはマーカの位置関係を関節毎に変更して貼付することが困難であった。VENUS3Dでは独自のア

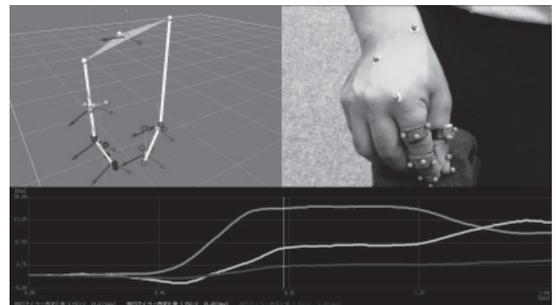


図12 指のトルク解析画面

ルゴリズムにより、小関節における3次元角度の解析も可能となった。これにより物を操作したり、持ち上げたりした際の指関節の捻じれ等を正確に計測することを実現した。

3 弊社が提供する様々な動作解析ソリューション

弊社は動作解析においてVENUS3Dに加え以下の動作解析ソリューションを提供している。

◇画像解析ソフトウェア「ProAnalyst」(図13)

ProAnalyst(プロアナリスト)は、スポーツ動作分析における試合中のパフォーマンス分析や顕微鏡下、マーカを貼付することのできない解析、高速現象における動作の解析を目的としたソフトウェアである。人間、生物、機械等の様々な動物体の挙動解析に最適である。

高速度カメラ等で取得された画像を用い、計測に必要な特徴点を自動で追尾し、変位、速度、加速度、指定点間の距離の変位、角度、角速度、角加速度等を算出することができ、必要に応じてモ

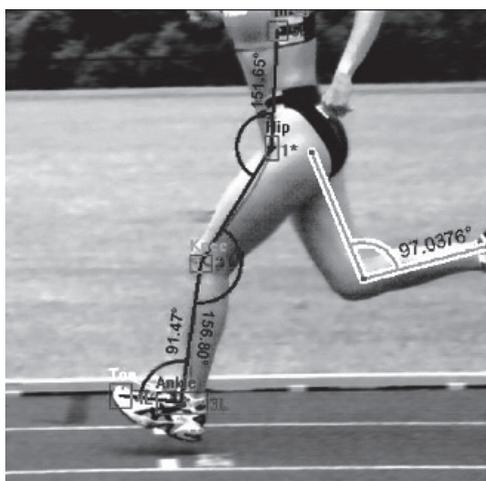


図13 ProAnalystメニュー画面

ジュールを追加することでさらに様々な解析を可能にしている。

◇画像波形編集ソフトウェア「PixelRunner G」(図14)

PixelRunner G(ピクセルランナーG)動作を分析する際、数値化ではなく直観的、視覚的に簡易比較を行うことを目的とした低価格ソフトウェアである。マルチビューイングにより同一現象を様々な角度から撮影した複数の画像の同期表示や、同一現象の条件が異なる場合の画像の並列および重ね合わせ表示により、差異の比較画像の作成が簡単にしている。また、波形データを読み込み、グラフ化して動画と合わせて表示することもでき、画像と波形データの相関関係も簡単に行うことを可能としている。



図14 PixelRunner Gメニュー画面

◇ハンディーハイスピードカメラ「Phantom Miro LC」(図15)

Phantom Miro LC(ファントムミロLC)は、スポーツ現場を中心とした高速画像の取得に最適なハンディ型高速度カメラである。タッチパネル式液晶モニターおよびバッテリーを搭載し、PCレス・ケーブルレスで現場での高速度撮影の運用を最大限に低減している。液晶モニターで各種設定、ライブ画像の表示、撮影後すぐにスロー画像の確認を行うことを可能としている。また、画像の保存も専用



図15 Phantom Miro LC

のフラッシュメモリに、PCレスで可能となっている。

4 さいごに~今後のロードマップ

現在、動作解析装置としての市場からの要求と同時に動作解析の域を超え、動作の解析から直接的な効果につなげる機器としての要求が高まりつつあると感じている。動作解析装置としての高精度化、高機能化と同時にワークフローの簡易

化に向けた活動を行うと同時に、動作解析装置の枠組みを超えたシステムの開発の可能性に対し、弊社の技術が社会に対する貢献を踏まえて実現できることの模索を行っていく。

☆株式会社ノビテック

TEL. 03-3443-2633 FAX. 03-3443-2660

<http://www.nobby-tech.co.jp/>