# 従来技術を応用した 新3次元モーション計測システムの紹介

株式会社ノビテック 画像計測システム部 3次元計測グループ/マネージャー 佐藤眞平

3次元変位計測をいかに早く、正確に求めるべき結果にたどり着くことを目的とした製品開発に向き合った結果、われわれの選択は光学式モーションキャプチャシステムに着目し、その計測器としての確立を行っている。その経緯と優位性、事例や今後のロードマップを記述する。

# 1 開発経緯と優位性

前書きでも触れているが、動体の3次元計測において光学式モーションキャプチャを3次元変位計測に適合することにより様々な課題が解決することができ、かつ、計測の自由度が格段に飛躍することから、弊社3次元モーション計測システム「Venus3D」(図1)を開発する経緯に至った。

従来の変位計測には、加速度計や歪ゲージ、レーザー変位計等、センサを利用する手法が用いられているが、以下に挙げられる様々な問題があった。

- センサが有線であり、試験準備に結線をはじめとした試験準備のリードタイムが長くかかる。
- たとえば3軸の加速度センサを利用した場合、 各チャンネルで個別に保有する軸定義を一致 させることは極めて困難な作業となり、機器 以上に運用誤差が発生する。
- センサは加速度、変位等の特定の物理量を算出するため、実験時に取得したデータを、実験後に相対変位や角度等の必要とする物理量へ表計算ソフトなどにて再度計算を行わないと求められる結果に到達する事が出来なかった。

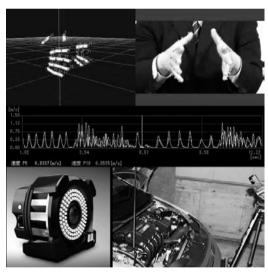


図1 VENUS3D

• 計算結果はすべてのグラフで表現される形になり、値と同期した形での試験対象の動作を 確認することができない。

これらの問題に対し、光学式モーションキャプ チャシステムを用い非接触で計測を行うことによ り課題の一部は解決できたが、次の問題により適 応範囲が限られてきた。

eizojoho industrial February 2013 | **47** 

# 特集1 ■ 複雑な立体形状を捉える [3次元計測]

- システムが高額である(1システム1千万以上)。
- 環境設定から計測開始まで長時間を要する (2~5時間)。
- 計測環境が限られる(遮光環境でかつ、床面 素材が反射しない)。
- 有識者のオペレータが必要。

そこでモーションキャプチャを計測器として利用するにあたり必要とされる運用面、ソフト面を補うことにより、新しい計測手法になるポテンシャルに着目し、製品開発を行った(**図2**)。

具体的には安価で手軽なオペレーションでかつ、 3次元計測で必要とされるアウトプットがダイレ クトにかつリアルタイムで出力される機器を製品 化し、以下の優位性を創出した。

- カメラの設置およびキャリブレーション作業 で約15分。
- マーカ(チャンネル)数に依存せず、短時間の 準備で計測を開始することができる(弊社で 販売している Venus 3D は、同時に500点まで 同時計測が可能)。特にシミュレーション比較 など、高密度な計測点必要な実験においては、 よりその効果を発揮する。
- 複数計測点の3次元空間内の座標がほぼリア ルタイムにパソコンメモリ内で算出されるため、メモリ上で物理量計算を行うことができ、



図2 モーションキャプチャ計測風景

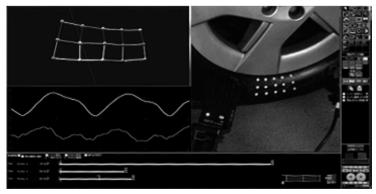


図3 非接触形状変化計測事例

48 | February 2013 eizojoho industrial

目的としていた物理量をダイレクトに取り出 すことができる。

- 計測点を座標で取得しているため、座標描写 を行うことで、試験対象の動きを確認するこ とが容易である。
- 空間における軸は同一に定義され、精度が担保された状態で計測点同士の比較を簡単に行う事が可能である。

これら、従来の3次元計測における問題点の多くを解決することができるシステムを製品化し、様々なフィールドで3次元計測器として利用いただいている(**図3**)。

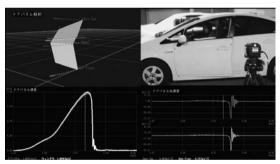


図4 ドア閉じ計測

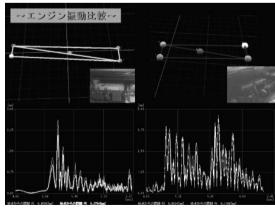


図5 エンジン振動解析

# 2 計測事例

前述、優位性のあるシステムを使用した計測事例の一部を以下に紹介する(**図4~6**)。

- サスペンションのストローク変位計測
- 自動車部品の静的試験
- 建築物の振動計測
- タイヤの形状変化
- 衝突試験時のダミー座位計測
- ベビーカーの安定走行計測
- パッケージング機器の解析
- ベアリングの挙動計測
- 車体振動・ねじれ計測
- 重機の振動計測
- 飛行体の角度計測
- 自動車開閉部の変位計測
- ロボットのティーチング
- センサの3次元位置計測
- 搬送機の挙動計測
- 義肢装具装着時の動作分析
- 各種ユーザビリティ評価
- 書字動作の解析
- 咀嚼·嚥下動作分析
- スポーツパフォーマンス分析
- ひざ関節のねじれ計測
- リハビリテーションのリアルタイムフィード バック

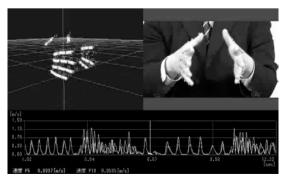


図6 指の動作分析

# 特集1 ■ 複雑な立体形状を捉える [3次元計測]

- 歩行分析
- 脳性まひ患者の歩行解析
- 水泳·水中運動解析
- 屋外動作分析
- 実車時の運転動作解析
- 表情分析
- 作業分析
- スポーツ用品開発

大小様々な計測対象をすぐに非接触3次元計測できるため、産業用途から人体計測まで様々な事例がある。また、計測目的からFA現場での検査目的にも利用されており、非常に多岐に渡る計測用途に適合できるシステムといえる(**図7**)。

# 3 計測原理と独自の機能

本章では一般的なモーションキャプチャの計測 原理を記載し、後述にてモーションキャプチャを 計測器としての適合に用いた弊社製品ならではの 機能を記載する。

#### 3.1 計測原理

モーションキャプチャ技術における空間内の3次元座標算出方法は次のとおりとなる。



図7 パチンコ釘位置検査システム

#### 3.1.1 各カメラにおける2次元座標算出

計測対象点に画像上のコントラストが出るようなマーカといわれる球体もしくはシール状の特長点をつける。一般的にはカメラレンズの周囲に照明を装着し、ガラスビーズと呼ばれる高反射塗料が塗られたマーカを用い、輝度のコントラストを得る手法が多く用いられている。カメラにて撮像された画像に対し、輝度値の高い画素の集合体を抽出し、その重心座標を求めることにより、2次元平面上での対象位置を特定する(図8)。

2次元平面上の位置精度は一般的に1/10画素にてデータの取得ができる。モーションキャプチャシステムのほとんどが、ここまでの処理をカメラ内のチップ等にて終了させ、座標値のみをパソコンなどの演算機へ送信する仕組みを採用している。

# 3.1.2 キャリブレーション→カメラ (2次元平面) の定義方法

複数の2次元平面上の座標より3次元座標を導くためには、各2次元平面の角度や相互距離を定義する必要がある。一般的なその定義方法と原理は次のようになる。

- 各カメラを同一の空間に対し、様々な角度から撮像する形でのカメラを設置する。
- マーカを高コントラストで取得できる様にカメラの露光時間や照明の強度を設定する。



図8 マーカ認識原理

- 同一直線上に3点の距離が定義されたマーカ を設置した治具を用意し、カメラ撮像空間内 で隈なく治具を振り回す。
- ソフトウェアにて3にて取得した治具上の3 点のマーカの軌跡から各2次元平面の角度と 距離を算出する。

さいごに同一平面上、L字にマーカを配置した 治具を空間におき、キャリブレーションされた複 数カメラにて3次元座標を算出し、原点と軸の定 義を行うことでキャリブレーションは終了する。 時間にして3分程度の作業となる(**図9、10**)。

原理の概念を以下に説明する。

宣言された絶対距離に配置されている3点を空間内で振り回し、その軌跡を用いることにより、

擬似的な多角形体を作り出す。その立方体をどの 角度、どの距離の2次元平面から捉えると形が一致 するかの逆算を行う事により、各平面を定義する。

以上の概念にてキャリブレーションを成立させる(**図11**)。

#### 3.1.3 3次元座標算出方法の概念

平面角度を定義された各カメラから取得された各計測時刻の2次元座標を用い、仮想の3次元空間上に垂線を引く。複数の垂線が交差した位置がマーカの3次元重心位置となる。3次元座標算出における垂線の最低本数やノイズに対するフィルタ処理などは、ソフトウェアの設定で行うことができ、信頼度の高い3次元座標を取得することが可能となる(**図12**)。

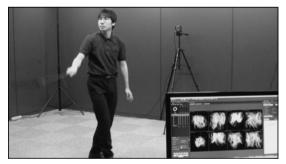


図9 キャリブレーション風景

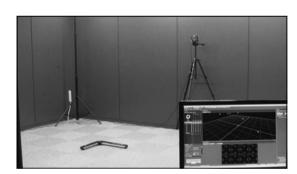


図10 軸定義

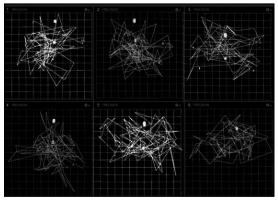


図11 擬似多角形認識

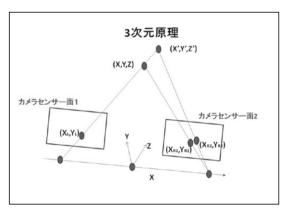


図12 座標算出計測原理

eizojoho industrial February 2013 | 51

# 特集1 ■ 複雑な立体形状を捉える [3次元計測]

前項に記した、一般的なモーションキャプチャと同様の手法にて算出された座標に対し、われわれは計測器として適合するための機能をシステムに付与した。その代表的な物を以下に記載する。

## ■機能1:時系列ID特定アルゴリズム

従来のモーションキャプチャシステムはその発想がCG製作時の人体挙動データの取得であったこともあり、時系列の概念が弱く、計測向きではなかった。パラパラ漫画のイメージで、各時間軸における座標が空間内のどの位置に存在したかの

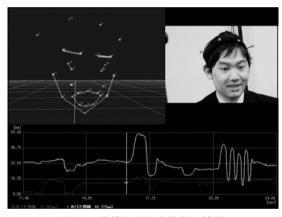


図13 複雑な動きも簡単に計測

みを算出し、どのように移動したという時系列情報としての情報を得ることができなかった。

そこでわれわれは、工業計測のセンサと同じ感覚でマーカを配置すれば3次元計測を可能とするため、独自のアルゴリズムを用い、特別な手順を踏むことなく、各マーカに時系列での関連を持たせるアルゴリズムを付与した(**図13**)。

### ■機能2:他機器との連携

試験時に試験体に刺激を与えながら計測を行う際、たとえばロードセルや熱電対など、他の計測機で刺激の度合いを同時に計測する必要性がある。われわれのシステムはそれらの計測機も同時にデータとして取り込むことを可能にした。それにより、複数の計測機器の結果を後から計算することなく、「温度変化に対する変位量」「加えている力量に対する変形」などのグラフを試験中にリアルタイムに表示しながら計測を行うことを可能にした(図14)。

#### ■機能3:リアルタイム相対変位

本体にマウントされた部品などの変位を計測する際、従来は本体の動きを差分するために、本体にもセンサを貼り付け、その変位量を計測対象で

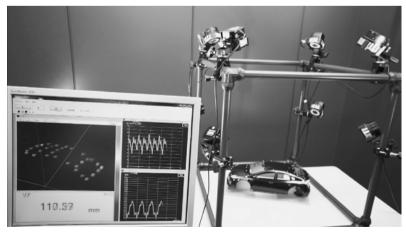


図14 リアルタイムに変位量を解析

52 | February 2013 eizojoho industrial

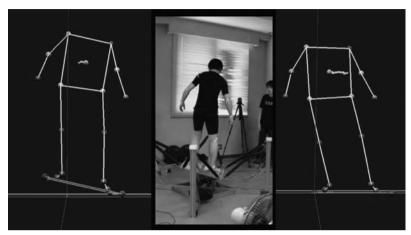


図15 リアルタイムに振動を差分

ある部品の変位量より差分する必要があった。そのため、試験後に表計算ソフトを用いて多くの計算を行った後、やっと欲しい結果を得ることができるという手間のかかる計測が多くあった。われわれの製品はその相対変位もUI上にて基準となる座標を指定するだけで、相対座標、相対変位をリアルタイムに確認することができる機能を追加している(図15)。

# 4 さいごに(今後のロードマップ)

現在、本計測手法におけるより高速化を要望されている。それにより、各種他計測器との完全同期やリアルタイムフィードバックのさらなる高速化(たとえば人体へのフィードバックを行う際、脳から神経を伝達し、筋肉まで命令伝達が行われる以上の時間以内のフィードバック)を行うことが可能になる。順次高速計測システムのリリースに向けた取り組みを行っていく。また、計測において器機の精度を上げることと同時に、重要な要素と

なる運用における誤差の最小化も継続して取り組んでいる課題である。たとえばシミュレーションとの比較を行う際、マーカの貼り付け位置誤差がデータに大きな影響を及ぼす。そのその、だれもが簡単に正確なマーカを張り付けることができるシートを開発している。また、計測環境の多様化に向けて水中計測用マーカなど、様々な付帯品の開発を行っているが、同様に、マーカの貼り付け位置の再現性を担保できるような治具の開発にも取り組んでいる。今後、器機のみでなく運用まで含めたソリューションとしての製品力向上に取り組んでいく所存である。

☆株式会社ノビテック TEL.03-3443-2633 FAX.03-3443-2660 sales@nobby-tech.co.jp http://www.nobby-tech.co.jp/

eizojoho industrial February 2013 | 53