
モーションキャプチャ技術の種類と活用事例

工学資源学部電気電子工学科 水戸部 一 孝

1. はじめに

Spiderman, Pirates of the Caribbean, Transformers…これらハリウッドを代表するSF映画には、空想の世界が実際に存在するかの様にリアルに表現する最先端のコンピュータグラフィックス（CG）技術が駆使されている。空想上のモンスターは全て3次元のCGモデルとして表現されており、その技術は映画製作のコストダウンと省力化に貢献している。ここで、CGモデルとして表現されたキャラクターに人間らしい動きを付けるために利用される技術が「モーションキャプチャ（Motion Capture：MoCap）」であり、今やハリウッド映画の製作には欠かせない技術となっている。

ここで、モーションキャプチャとビデオカメラの違いについて考えよう。ビデオカメラは1秒間に約30枚のペースで連続写真として撮影（録画）し、それをパラパラ漫画のように表示することで動画像としてヒトに知覚させている。つまり、2次元情報（写真）を時系列データとして蓄積する装置がビデオカメラである。一旦、2次元に減ってしまった情報を基の3次元情報に復元することは特殊なケースを除いて不可能である。一方、モーションキャプチャは身体に装着したマーカの3次元空間における位置（手法によっては姿勢も）を時系列データとして記録しており、モーションキャプチャのデータは数値の集合体となり、画像データと比較して大幅に情報量を圧縮することができる。これら数値データはある瞬間におけるマーカの位置を示しており、モーションキャプチャは「対象の動きだけを抽出する技術」といえる。この動きの情報をCGキャラクターに与えることで、実際に存在する生き物のように動かして見せることができる。

本稿では、これまでに考案されたモーションキャプチャ技術の原理および特徴を紹介し、電気電子工学科鈴木研究室におけるモーションキャプチャの活用事例を紹介する。

2. モーションキャプチャ技術の種類

モーションキャプチャは、計測に用いる物理量の違いにより、光学式、磁気式、その他の方式（慣性センサ式、光ファイバ式、機械式）に大別される。以下では、各方式の原理、メリットおよびデメリットを整理する（併せて主要なメーカーのURLも記載した）。

2-1. 光学式

光学式には、赤外光を反射するマーカを測定対象に装着するマーカ式（時分割に点滅する赤外LEDを装着する場合もある）、マーカレスで画像データから動きを測定する画像式が主流である。

2-1-1. マーカ式

モーションキャプチャ技術として最も普及している手法であり、身体に装着した反射マーカを複数台の（赤外線LEDの照射機能を有する）赤外線カメラで撮影することで、三角測量の原理によりマーカの3次元位置座標を算出している。また、カメラの解像度に比例し、小型の反射マーカを撮影できるため、一般に空間分解能も向上する。広い屋内空間での複数人数のモーションキャプチャに適しており、映画やゲームの撮影に利用されている。一方、マーカがカメラの死角に入ると測定できないためデータが欠落してしまうが、設置するカメラの台数を増やすことである程度死角を減らすことができる。一旦マーカが欠落してしまうとデータを補完する必要があり、再度、装着部位を登録し直さねばならないなど手間がかかるが、ラベリングされたLED発光式マーカを使う方式であれば自動的に装着部位を再登録することができる（しかしながら、反射マーカと比べLED発光式マーカは小型化できないという問題もある）。光学式モーションキャプチャの欠点としては、「死角を減らすために複数台カメラを揃える必要があり、システム全体の費用が数千万円と高価」、「屋外のように強い光の下での測定が困難」、「計測範囲がカメラの画角で制限されるため、狭い空間での測定には不向き」、「カメラを設置する際のキャリブレーション作業に時間がかかる」等がある。VICON社（www.vicon.com）、MotionAnalysis社（www.motionanalysis.com）他

2-1-2. 画像式

マーカを装着することなく複数台のカメラで撮影した二次元映像から画像認識技術により対象を切り出し、トラッキングすることで、実時間で対象の三次元的な動きを推定する技術。近年急速に向上したCPUパワーおよび画像認識技術により、実時間でのモーションキャプチャが可能になった。キャプチャ対象の背景が無地でなければならないとの制限はあるが、マーカ式のように特殊な全身タイツを着る必要がない。容易に計測できる一方、計測精度はマーカ式には及ばない。Organic Motion社（www.organicmotion.com）他

2-2. 磁気式

磁場を利用したモーションキャプチャ装置には、発生する磁束の波形により、交流式と直流式に大別される。磁束を空間に放射するソースコイル（トランスミッタ：三軸直交コイルで構成）と磁束を検知するセンサコイル（レシーバ：三軸直交コイルで構成）およびトランスミッタへ供給する駆動電流に同期してレシーバに生じる誘導電流を計測するデジタイザで構成され、トランスミッタに対するレシーバの相対的な位置および姿勢を計測することができる。測定部位の「位置と姿勢」を同時に計測できる点が他の方式にはない特徴である。また、磁束は身体を透過するため光学式で問題となっている死角でのデータの欠落は存在せず、レシーバが衣類の下に隠れても測定でき、強い太陽光に曝される屋外での利用にも適している。一方、磁場を利用するため付近に金属が存在すると測定精度が低下する。磁束の歪みは光学式の光と異なりイメージしづらいため、利用にはある程度の電磁気学の知識が要求される。

2-2-1. 交流式 (AC)

限られた狭い空間における高精度な計測に適している。従来磁気式の技術はレシーバが大きくなり、レシーバ数に反比例してサンプリングレートが低下することが問題視されていたが、近年、技術改良が飛躍的に進み、レシーバの小型軽量化、サンプリングレートも向上している。秋田大学が米国Vermont州にあるPolhemus社と協同で開発したレシーバは、ケーブル径が2mm、レシーバ外形9.6×9.6×9.6mm、質量2gであり、手指にも装着できるように改良されている。現在のシステムでは最大32Chのレシーバの位置と姿勢を240Hzで測定できる。本方式の位置分解能は0.0038mm、角度分解能は0.0012degであり、他のモーションキャプチャ手法と比べて桁違いに高い精度を有しており、顕微鏡で観察しなければわからないほどの僅かな動きの変化をも計測できる。Polhemus社 (www.polhemus.com)

2-2-2. 直流式 (DC)

4m四方程度の比較的広い空間でのモーションキャプチャには数cm大のレシーバを利用しなければならないが、0.5m四方程度の狭い空間でのモーションキャプチャであれば直径1.5mm、長さ8mmのニードル状の超小型レシーバを選択することもできる。交流式と比べ測定精度は2桁程度劣るが、直流式は導体に誘導される渦電流の影響が少ないため、強磁性体以外の金属であれば磁場の歪みを交流式の1/5程度に抑えることができる。Ascension technology社 (www.ascension-tech.com)

2-3. その他の方式

慣性センサ式：カメラやトランスミッタのような基点を設置する必要が無く、角速度センサおよび加速度センサを組み合わせた慣性センサを身体各部に装着することで、動作を計測する。測定場所の制約が少ないが、身体に合わせてボディスーツを用意する必要があり、センサのドリフトによる絶対座標のズレは避けられない。moven社 (www.moven.com)

光ファイバ式：ラミネート加工した光ファイバ内に光を通し、その光が曲がりに応じて減衰することを利用して角度を測定する曲率測定センサを利用する。これを身体に装着し、測定した各関節における関節角から身体の動作を再現する。カメラやトランスミッタのような基点が不要なため測定範囲に制限が無く、広い空間での測定が可能。一方、角度分解能が0.5degと低く、位置情報は計算で算出することになるが、原理上、端部ほどズレが蓄積・増大する。measurand社 (www.measurand.com)

機械式：リンク機構を備えた外殻を装着し、ロータリーエンコーダにより関節の回転角を測定し、動作を計測する。他の手法と比べ安価であるが、重量があり、リンク機構により動作に制限がある。

3. 秋田大学で開発した手指用モーションキャプチャ

総務省SCOPEの支援を受け実施した研究プロジェクト（平成17～19年度，研究代表者：吉村

昇学長)の一環で、「匠の技」や「舞踊の繊細な動き」をも記録できる高速・高精度な手指用MoCap装置を開発したので紹介する。

図1に手指用MoCap装置の構成を示す。3次元デジタイザ (Liberty™ 16 System, Polhemus) は、1個のトランスミッタと16個のレシーバで構成されており、トランスミッタに対するレシーバの相対的な位置 (x, y, z) および姿勢 (Az, El, Ro) を同時計測することができる。表1に3次元デジタイザの確度および分解能を示す。それぞれのレシーバは指に装着しやすいように細線化しており、手背側の各指の基節骨、中節骨、末節骨の中央にそれぞれレシーバを3個、Kinesiotexを用いて装着する。手指用MoCapの装着例を図2に示す。各指の3個に手根骨の1個を加えた計16個のレシーバで片手分の手指用MoCapを構成しており、各関節における屈曲、伸展、外転、内転等、あらゆる手の動きを計測することができる。また、手の大きさに関わらず装着できるようにトランスミッタと手掌部のレシーバを固定するグローブは伸縮性に富むバンドを巻き付けて装着する構造とした。2台のLibertyはUSB経由でコンピュータと接続し、32個のレシーバの位置および姿勢はサンプリングレート240Hzで計測される。

図3にピアニストの演奏の収録風景を示す。ここでは、グランドピアノのフレームによる磁気の乱れを最小限に抑えるため、2台のトランスミッタを鍵盤の直下に配置している。座標系はX軸を前後 (奥から手前を正)、Y軸を左右 (右から左を正)、Z軸を上下 (下から上を正) とした。

図4は右山人差指末節骨に装着したレシーバの経時変化を示す。図4 (a) は、演奏期間中2秒間のX軸、Y軸、Z軸の各成分の経時変化を示す。赤点がZ軸成分、青線がX軸成分、緑線がY軸成分を示す。なお、Z軸成分の0mmは鍵盤面を示すが、X軸成分およびY軸成分は表示開始点 (13秒) が0mmになるように座標変換して表示している。同図 (a) のZ軸成分より鍵盤を叩く前の空中での準備動作、打鍵後の押し下げ深さからインパクト

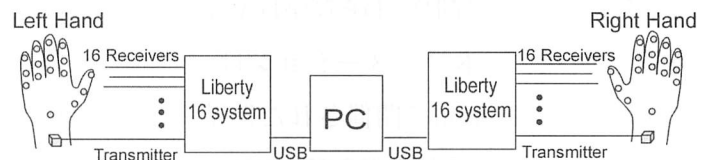


図1 手指用モーションキャプチャ装置の構成

表1 手指用モーションキャプチャの仕様

	位置 [mm]	姿勢 [deg]
確度	0.76	0.15
分解能	0.0038	0.0012

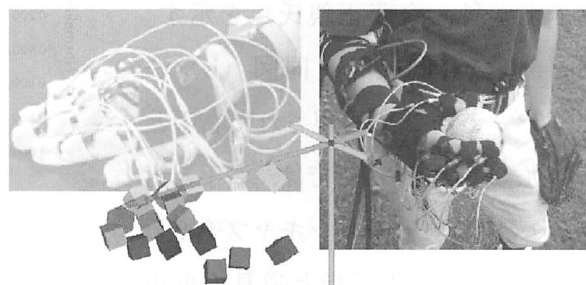


図2 手指用モーションキャプチャ装着例

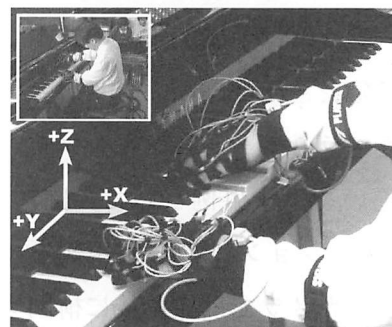


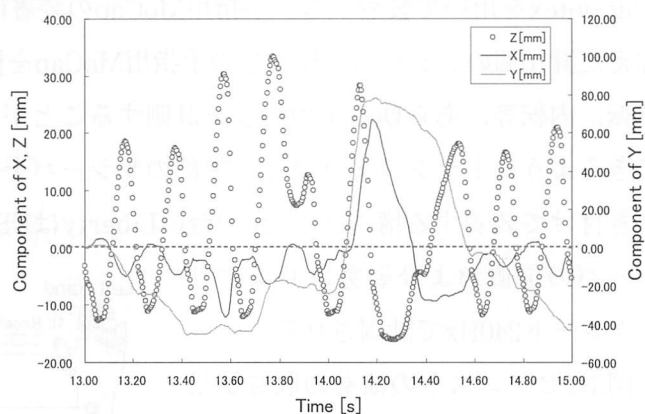
図3 ピアニストの指使いの計測風景

トの強さを知ることができる。一方、Z軸成分とX軸成分を見比べると、強い音を出すときには(矢印部)、鍵盤の奥に下ろした指を手前に引く様にしたがら打鍵するテクニックを確認できる。同図(b)は、演奏期間中1秒間のレーザーZ軸成分の位置、速度および加速度を示す。なお、縦軸は各物理量で規格化しており、赤丸が位置、青線が速度、赤線が加速度を示す。位置および加速度の経時変化から、「鍵盤に指が当たった直後」および「鍵盤を押し切った時点」での上方向の加速度、つまり指の動きに対する鍵盤からの反発力を知ることができる。この加速度波形から「主観的なタッチの違い」に直結する鍵盤の動力学的特性等の「楽器の個性差」を評価できる可能性がある。また、3番目に出現する上方向の加速度は、ピアニストが鍵盤から指を持ち上げるために働かせた力によるものと推測している。

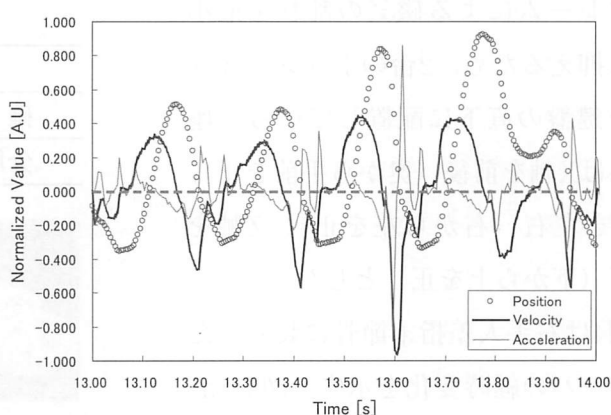
測定データを基に制作したアニメーションを図5に示す(制作:わらび座DAF, 海賀孝明氏)。本アニメーションは、2006年に米国Bostonで開催された世界最大のCGの祭典であるSIGGRAPHのポスター部門に採択され、国内外の企業・制作者の注目を集めた。

図6に外科医師による縫合作業における手技のアニメーション(制作:電気電子工学科, 齋藤正親氏)を示す。同図(a)に計測風景, 同図(b)にCGアニメーションで再現された右手と鉗子の動きを示す。ここでは、右手と鉗子のそれぞれをモーションキャプチャしているが、手術時の手指と道具の再現に世界で初めて挑戦した事例であり、本アニメーションは平成20年度の日本外科学会で発表された。

ビデオカメラとモーションキャプチャ装置の違いを示す事例として、図7にCGアニメーションによる表現例を示す。ビデオカメラでは撮影後に構図を変える(カメラの位置を変える)こ



(a) X, Y, Z軸成分の経時変化(2秒間)



(b) Z軸成分の位置・速度・加速度(1秒間)

図4 演奏中の右手人差指先(末節骨)のレーザー

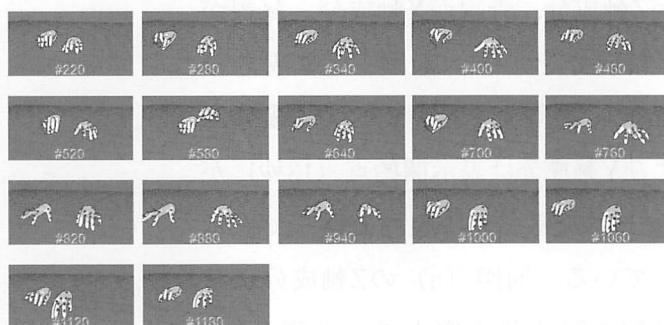
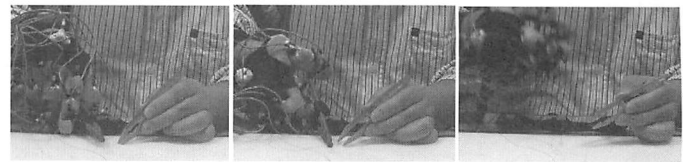


図5 ピアニストの指使いのアニメーション (Sonata KV 331, Turkish March, Mozart)

とは不可能だが、モーションキャプチャでは図7の通り、被写体の裏に回ったり、近づいたり、自由にカメラの位置を変更することができ、特にカメラを設置できないような方向から動作を調べたい場合に効果を発揮する。現在、電気電子工学科鈴木研究室に在籍する二階堂勲君が中心となり、手指が加える圧力を計測できる圧力同時計測機能を備えた手指用MoCap装置への改良が進められており、今後、書字動作の解析、スポーツ時の手指の動作解析を実施する予定である。

4. おわりに

本稿では2008年現在のモーションキャプチャ技術の種類と特徴を整理し、秋田大学で開発された手指用モーションキャプチャ装置について概説した。本稿で紹介したモーションキャプチャ技術の多くは、取扱が難しく高価なため、一般に利用されることは少ない。そのため、ヒトの動作解析等の学術研究における活用が主流である。しかしながら、近い将来、モーションキャプチャ技術は、各家庭においてヒトとサイバースペースを結びつけるありふれたインターフェースになるかもしれない。そのためには、モーションキャプチャ技術を情報通信技術（ICT）と組み合わせるなど新たな研究開発が必要であり、現実社会で活用できる有用なアプリケーションとして提案することが重要と考えている。



(a) 縫合風景

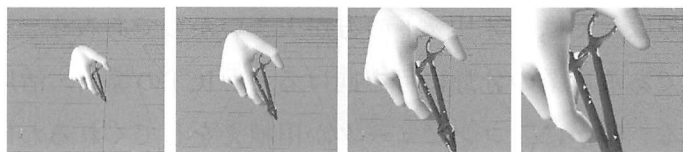


(b) CGでの再現

図6 外科医による縫合作業



(a) 回転



(b) 拡大

図7 CGアニメーションによる表現例