

## ロボット動作コンテンツ制作用モーションエディタシステムの開発

深野善信、柄川索

(株)日立製作所機械研究所ロボティクスプロジェクト

ロボットの非言語コミュニケーション能力の向上を図るため、ロボットに、より人間らしい動作を与えるモーションエディタシステムを開発した。このエディタシステムにより、モーション制作者は、ロボットに動作を実行させる関節角度、角速度および角加速度の指令値を簡単に生成することができる。これらの指令値を生成するために、制作者は、コンピュータ上でロボットの CG モデルを使って動作データを編集する。その後、関節構造変換処理プログラムと平滑化処理プログラムにより、モーションデータが生成される。実際のロボットで、このシステムにより制作した動作データを実行させて、本エディタシステムが実用可能であることを確認した。

## Development of Motion Editing System to Create Robotic Motion

Yoshinobu Fukano and Saku Egawa

Robotics Technology Project, Mechanical Engineering Research Laboratory, Hitachi, Ltd.

We developed a motion editing system that gives human-like motion to robots to increase their ability to communicate nonverbally. This system allows a motion creator to create motion data as set points consisting of joint angle, angular velocity, and angular acceleration for the joints of a robot easily. A creator edited motion of a robot using a 3D-CG computer model and then created a motion data using the transformation and filtering program for joints of a robot. Finally, we confirmed that a robot could perform the motion data created by this system. This result showed that this system is available.

### 1. 緒言

最近、人々のロボットへの関心が高まってきており<sup>1)</sup>、多くのメーカーや研究機関で、ロボットの開発が進められている。

これまで、ヒューマノイドタイプとよばれるロボットは、主としてエンタテインメント分野<sup>2,3)</sup>において、普及してきた。この普及の波は、エンタテインメント分野以外にも、広がりつつあり、作業のサポート<sup>4)</sup>や施設内の案内<sup>5)</sup>など、多彩な分野への応用が研究されている。

人とロボットが共存する環境において、人の作業をサポートするロボットを開発するに当たって、人とロボットとのインタラクションを十分に考慮する必要がある。特に、人とロボットとのコミュニケーションは、重要な要素であり、音声によるコミュニケーションとともに、ボディランゲージのような非言語コミュニケーションによって、ロボットから人への情報の伝達が円滑になると考えられる。<sup>6)</sup>

本研究では、ロボットの非言語コミュニケーション能力の向上を目指して、ロボットのアームやヘッドの動作を、制作できるモーションエディタシステムを開発した。このシステムの開発に当たって、特に、ロボットに負担の少ないモーションを、制作者が簡単に制作できる構成となるように留意した。以下、開発したロボットの概要、モーションエディタシステムの構成と機能、動作の確認実験

について報告する。

### 2. ヒューマノイドタイプロボットの概要

#### 2.1 ロボットの基本コンセプト

我々は、社会生活の中で人と共存し、かつ、人と協調して作業をこなすことを目的とするロボットを開発した。人との共同作業において、ロボットは、人の行動の妨げとならずに、円滑に作業をサポートすることが要求される。前述の要求を満

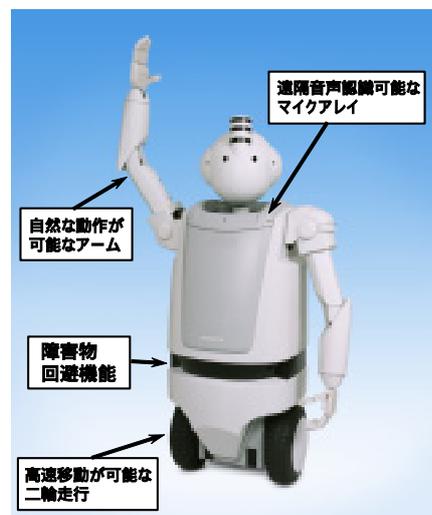


図1 二輪走行ヒューマノイドタイプロボットEMIEW

たすために、主として機動性とコミュニケーション能力に関する機能をロボットに実装した。

## 2.2 ロボットの特徴

今回、われわれが開発したヒューマノイドタイプロボット EMIEW®(Excellent Mobility and Interactive Existence as Workmate)の外観を図1に示す。図中の注釈は、EMIEW が持つ主な機能を示している。以下に、これらの機能を説明する。

### (1) 高速かつ機敏な移動

移動における高速性を得るため、二輪走行による移動機構を採用した。これは、人が歩く速さにロボットが追従できるようにするためである。また、ボディスイング軸により、重心を左右にずらすことで、方向転換時の回転半径を小さくして、機動性の向上を図っている。

### (2) 障害物回避機能

EMIEW は、周囲の距離を測定するレーダーにより、前方の障害物を検知できる。移動系路上に障害物の存在が確認されたとき、障害物を回避するように移動経路を計画しなおす。

### (3) 遠隔音声認識機能

頭部と首の周辺に埋め込んだマイクアレイにより、人とロボットが、離れた位置からでも、ヘッドセット型マイクのような特別な道具を使わずに、音声によるコミュニケーションが可能である。また、それぞれのマイクへの入力音声の音圧や位相を比較することにより、音源の方向を特定できる。この技術により、ロボットは、話しかけた人を識別できる。また、双方向のコミュニケーションを図るため、音声合成による発話機能を実装している。

### (4) 人間に近い動作が可能なアーム、ヘッド

6自由度のアーム、1自由度のハンドおよび2自由度のヘッドにより、人間に近い自然な動作を再現できる。アームおよびヘッドにおいて、人間の動作より自由度が、それぞれ1つつ少なくなっているが、自然な動作の再現に必

要最小限な設計となっている。このようなアーム、ヘッドにより、作業のサポートだけでなく、ボディランゲージによる繊細な表情の伝達が可能となっている。

表1は、上述した機能の他、EMIEW の仕様を一覧にまとめたものである。

## 2.3 ロボット制御用ソフトウェアの構成

図2は、ロボットを制御するためのソフトウェアの全体構成図を示している。統合制御用PCボードには、システム制御、動作シーケンス制御、運動制御の、各プログラムが組み込まれており、これらのプログラム間では、プロセス間通信(IPC)により、コマンドやデータが送受信される。システム制御プログラムは、ロボットの運動制御の他に、ロボットに実装された各種センサの情報やバッテリーの状態など、ロボットのシステム全体を管理する。この制御プログラムの下で、動作シーケンス制御プログラムにより、各種動作が実行される。これらの動作は、モーションデータと呼ばれる、ロボットのアーム、ヘッド、および走行に関する位置や、速度、加速度の指令値を記述したファイルにより、定義される。個々のモーションデータの実行順序は、動作シーケンス制御プログラムにおいて定められている。各モーションデータ実行時には、動作制御プログラムから運動制御プログラムに、実行すべきモーションデータが指示される。運動制御プログラムは、該当するモーションデータを読み出して、ロボットのアーム、ヘッド、および走行の各制御プログラムに、並列に、データを送信する。

外部からの音声入力をトリガとした、動作を実行する場合には、ヒューマンインタフェース(HI)用ボード上の音声認識プログラムから送信されるコマンドやデータに基づいて、アーム、ヘッドなどの動作の実行が開始される。また、実行内容に付随して、音声による人への情報のフィードバックが必要な場合には、音声合成プログラムで、発

表1 EMIEWの仕様一覧

項目	内容
身長	130cm
体重	約70kg
機敏性	最大加速度 4m/s <sup>2</sup>
高速性	最大走行速度 6km/h
衝突回避	移動物体回避
対話	マイク無しで距離1m(顔認識併用) 360度の音源方向検知が可能
アーム	6自由度+ハンド1自由度
ヘッド	2自由度

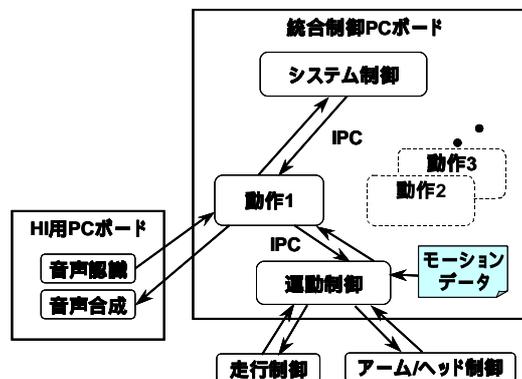


図2 ロボット制御用ソフトウェアの全体構成

話処理を実行する。

人とロボットとのインタラクションでは、ボディランゲージのような非言語のコミュニケーションが、微妙な感情表現の重要な要素となることが広く知られている。<sup>6)</sup> 豊かな表現力を備えた、モーションデータの制作では、制作者に高度な技能が要求される。しかし、人間らしい動作をロボットに実行させるためには、ロボットの各ボディパーツの動きの多様な組み合わせを統合的に制御する<sup>7)</sup> 必要がある。このような統合的な動作の制御には、多くの種類のモーションデータを作成する必要がある。そこで、多くのモーションデータを、簡単に制作できるモーションエディタシステムが必要となる。本報告では、我々のロボット用に、簡単にモーション制作できるシステムを開発した。次章より、モーションエディタのシステム構成、および、このシステムによって制作されたモーションデータを使ったロボットの動作実験結果について述べる。ここでは、ロボットのアームとヘッドのモーションデータのみを、本エディタシステムで制作しており、以下、アーム及びヘッドのデータ生成方法のみについて述べる。

### 3. モーションエディタシステム

#### 3.1 システムの全体構成

本研究で制作するモーションデータは、ロボットの各関節に対して、一定時間間隔ごとの、関節

角度、角速度および角加速度を、テキスト形式で与える方式としている。図 2 に示してある運動制御プログラムは、これらのパラメータを、アーム/ヘッド制御部に送信する。アーム/ヘッド制御部では、送信されたパラメータを指令値として、各関節のモータを回転させる。これらの処理を、一定時間間隔で実行することにより、ロボットに所望の動作を実行させることができる。

図 3 は、本研究において開発したモーションエディタのシステム構成を示している。最初に、制作者は、モーションデータ制作用 PC 上にあるアニメーションエディタを使って、ロボットの動きを編集する。今回、アニメーションエディタには、市販の 3 次元 CG アニメーションソフトを利用した。アニメーションエディタ上で、動作を編集するためのモデルは、CG 制作ソフトで予め作成したロボットの 3 次元 CG モデルを使った。制作者は、モーションデータ制作用 PC じょうで、CG モデルを直接動かしながら、動作の編集ができる。また、モーションキャプチャで記録した人間の動作のデータを取り込んで、CG モデルに割り当てることも可能である。このようにして編集された、CG モデルの動作は、汎用性の高い書式のファイルとして出力される。ここでは、BVH<sup>8)</sup> と呼ばれるファイル書式で出力する。BVH 形式は、腰の関節を基準に、体の各関節の回転角度が階層的に記述されたテキスト形式になっている。関節の動

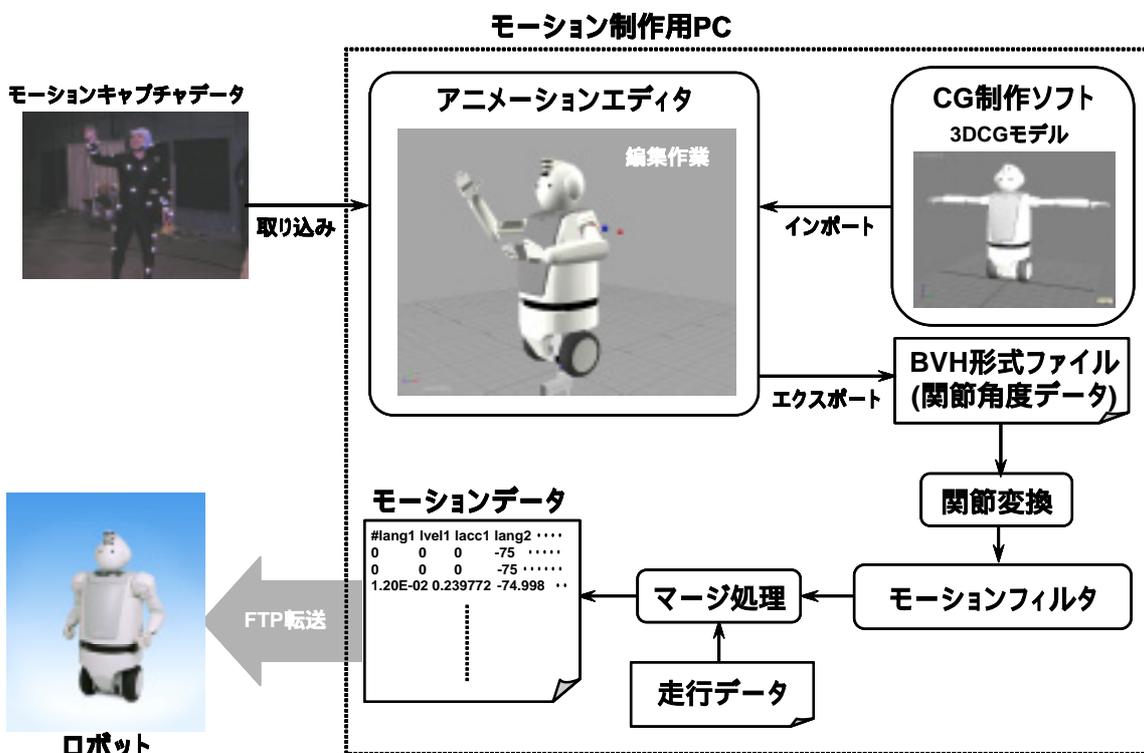


図3 モーションエディタシステムの全体構成

きが、回転角度で与えられているので、本研究で作成しようとするモーションデータに、適用しやすいという利点がある。BVH形式で出力されたCGモデルの関節角度データは、関節変換処理プログラムで、実際のロボットの関節構造と同じになるように変換される。関節変換処理については、次節で詳述する。

ロボットの関節構造用に変換された関節角度データは、モーションフィルタにおいて、データの連続性が保たれるように、平滑化処理される。ここで、関節角度に付随して、角速度、角加速度が計算される。これらのパラメータは、ロボットの全ての関節に対して計算される。最後に、別に作成した走行データと合成することにより、ロボットのモーションデータが完成する。モーションデータは、FTPによりロボットに転送されて、運動制御プログラムにより、動作の実行に使用される。

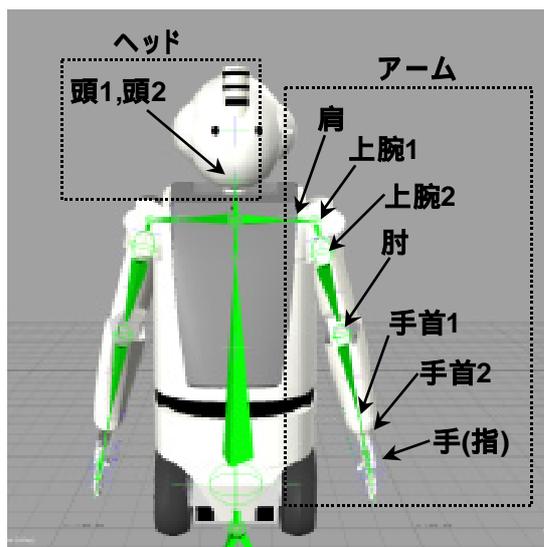
### 3.2 関節変換処理

アニメーションエディタで用いるCGモデルは、実際のロボットの動きをコンピュータ上で再現できる関節を供えている。図4は、(a)CGモデルと(b)実際のロボットにおける関節構造を示した図である。図4(b)において、三角形を向かい合わせた形の関節は、紙面に平行な方向に回転軸を持ち、二重円の関節は、紙面に垂直な方向に観測軸を持つことを意味している。図4(a)のCGモデルは、アームに肩から手までの7自由度、ヘッドに縦方向動作と横方向動作の2自由度の、関節モデルが与えられている。モーションデータの制作では、制作者が、これらの関節を、個々に動

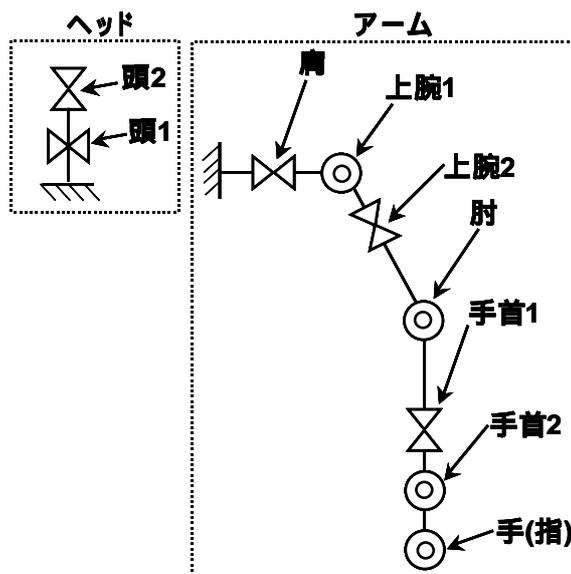
かしながら、動作を編集する。この関節構造は、図4(b)に示した実際のロボットの関節構造に対応するように定義されている。しかし、一つの関節で、直交する2方向以上の回転を表す場合、実際のロボットとCGモデルでは、各関節において、XYZの3次元直交座標における、回転の順序が異なる。図5は、例として、手首についてのCGモデル(a)と、実際のロボット(b)との関節の回転順序の相違を示している。このように、直行軸に関して、回転させる順序が異なると、回転軸によって動く方向が異なってしまう。そのため、アニメーションエディタからBVH形式で出力された関節角度データは、そのままの形でロボットに適用することができない。そこで、BVH形式の関節角度データを、実際のロボットに適用できるようにするために、変換処理を施す。この変換処理の手順を、以下、数式を用いて説明する。CGモデルにおける、ある時刻でのX、Y、Z方向の関節角度を、 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ とする。ここで、X軸方向の回転 $R_x$ は次式で与えられる。

$$R_x = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \cdots \cdots (1)$$

YおよびZ方向の回転を、それぞれ $R_y$ 、 $R_z$ とすれば、

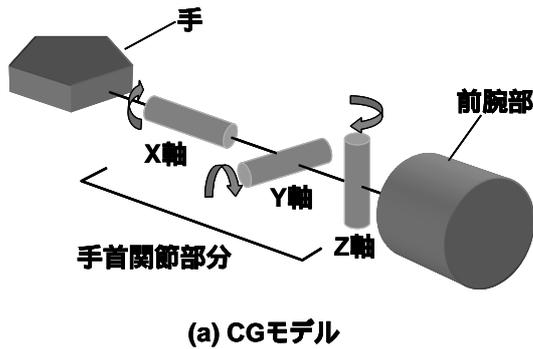


(a) ロボットCGモデルの関節構造

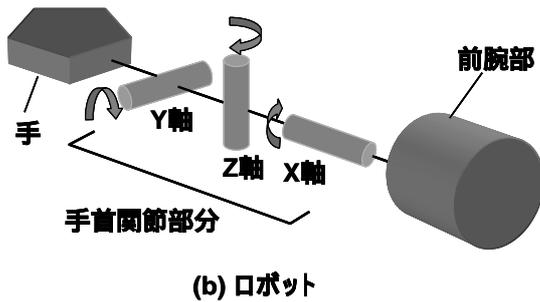


(b) 実際のロボットの関節構造

図4 ロボットCGモデル(a)と実際のロボット(b)における関節構造



(a) CGモデル



(b) ロボット

図5 CGモデルとロボットにおける関節の回転順序 (手首の場合)

$$\mathbf{R}_Y = \begin{pmatrix} \cos \beta & 0 & \sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \beta & 0 & \cos \beta \end{pmatrix} \cdots \cdots (2)$$

$$\mathbf{R}_Z = \begin{pmatrix} \cos \gamma & \sin \gamma & 0 \\ -\sin \gamma & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdots \cdots (3)$$

で与えられる。CGモデルにおいては、Z Y X の順序で回転しているので、全ての軸を合成した回転  $\mathbf{R}_{CG}$  は、

$$\mathbf{R}_{CG} = \mathbf{R}_X \cdot \mathbf{R}_Y \cdot \mathbf{R}_Z \cdots \cdots (4)$$

となる。したがって、回転前後の座標  $(X_1, Y_1, Z_1)$  と  $(X_2, Y_2, Z_2)$  の関係は、次式で与えられる。

$$\begin{pmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{pmatrix} = \mathbf{R}_{CG} \begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{pmatrix} \cdots \cdots (5)$$

同様に、実際のロボットについても、行列を用いて回転  $\mathbf{R}_{ROBO}$  を定義することができる。したがって、回転前後の座標  $(X_1, Y_1, Z_1)$  と  $(X_2, Y_2, Z_2)$  の関係は、次式で与えられる。

$$\begin{pmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{pmatrix} = \mathbf{R}_{ROBO} \begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{pmatrix} \cdots \cdots (6)$$

ここで、CGモデルにおける、関節の回転角度  $\alpha, \beta, \gamma$  が既知であるから、式(5)と式(6)の回転行列  $\mathbf{R}_{CG}$  と  $\mathbf{R}_{ROBO}$  の各要素を比較することにより、実際のロボットの関節における X、Y、Z 方向の回転角度を求めることができる。

### 3.3 モーションフィルタ処理

実際のロボットにおける関節の回転順序に対応するように、変換処理された後、関節角度データを使って、角速度と角加速度を計算する。このとき、角速度や角加速度に不連続な点が、発生してしまうため、データの間が連続にするためのモーションフィルタ処理を実装した。図6は、変換処理済の関節角度  $\theta_{ref}$  から、モーションフィルタ処理により、関節角度  $\theta_{act}$ 、角速度  $\omega_{act}$ 、角加速度  $\alpha_{act}$  を求める計算手順を示している。

入力関節角度  $\theta_{ref}$  から、時間に対する2階微分演算により、角加速度を計算する。この角加速

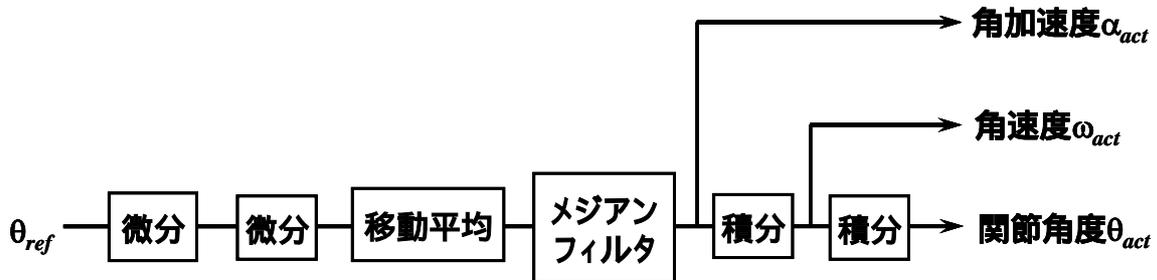


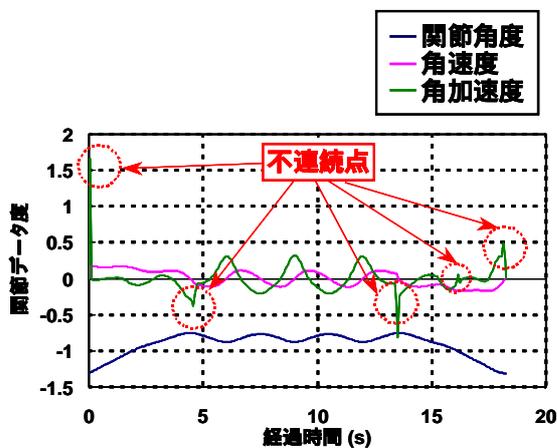
図6 モーションフィルタでの計算フロー

度データに対して、移動平均とメジアンフィルタによる演算処理を施して、角加速度を平滑化する。この平滑化されたデータを、角加速度 $\alpha_{act}$ として出力する。次に、この角加速度 $\alpha_{act}$ を時間について積分演算して、角速度 $\omega_{act}$ を計算する。最後に、角速度 $\omega_{act}$ を時間について積分演算して、関節角度 $\theta_{act}$ を計算する。これらのパラメータを、動作のはじめから終わりまで、全ての関節について計算して、モーションデータに出力する。各パラメータの出力段で、ロボットの関節の可動範囲や、アクチュエータの駆動電流の許容範囲による、制限範囲を超過していないかをチェックする。制限範囲を超過している場合は、超過した関節部位とパラメータの種類をメッセージとしてユーザーに表示するようにした。

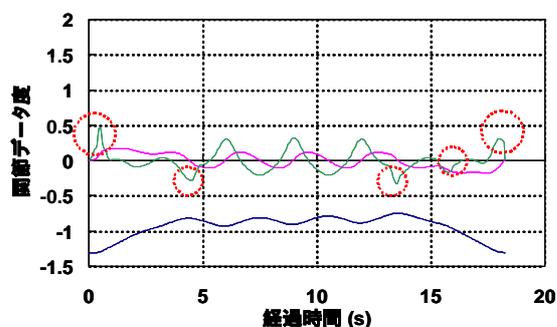
#### 4. システムの動作確認とモーション動作実験

##### 4.1 システムの動作確認

開発したモーションエディタを用いて、実際にモーションデータを制作して、システムの動作を確認した。図7は、モーションフィルタ処理の前後における、関節角度、角速度、角加速度の各パラメータをグラフに表示したものである。図7(a)の処理前では、関節角度は、連続的に変化しているように見える。しかし、角速度と角加速度は、



(a) フィルタ処理前



(b) フィルタ処理後

図7 モーションフィルタ処理前後での関節データ

始点や終点と、他のいくつかの点において、不連続な波形になっているのが分かる。これらのパラメータを、そのままモーションデータとして、ロボットに実行させようとする、これらの指令値に追従させようとして、アームやヘッドの動作が滑らかでなくなってしまう。このような滑らかでない動きでは、関節を駆動するアクチュエータに流れる駆動電流が大きくなってしまいうため、大きな負荷となる。

これに対して、図7(b)の処理後の波形では、角速度や角加速度の不連続な点が修正されて、連続な波形になっているのが分かる。これらの連続性が保たれたデータを、モーションデータとして用いれば、円滑な動作となり、アクチュエータへの負荷を低減させることができる。この結果によって、本モーションエディタシステムを用いて、ロボットが実行可能なモーションデータを制作できることが確認できた。

##### 4.2 モーションデータの動作実験

次に、制作したモーションデータを、実際のロボットにロードして、実行させた。図8は、一般の観客に対するデモンストレーションにおいて、ロボットが本エディタシステムで制作したモーションを実行している様子である。このデモンストレーションでは、観客が希望する風船を、ロボットにオーダーすると、ロボットは後方のスタッフのところに行き、オーダーの内容を伝える。スタッフから、観客が希望する風船を受け取ると、それを観客のところへ持って行って渡すという内容である。このデモにおける一連の動作を、ロボットは円滑に実行できた。この結果により、本エディタシステムで制作したモーションデータが、実用可能であることが確認できた。

今後、このエディタシステムにおいて走行系のモーションを含めて、ロボットの動作全体をコンピュータの画面上で編集できるようにする予定である。また、本エディタシステムを用いたロボット用



図8 本エディタシステムで作成したモーションデータを実行している様子 (愛知万博NEDOプロトタイプロボット展にて)

モーションデータ制作について作業効率に関する定量的に評価したり、制作者の見地から使い勝手について定性的に評価する予定である。

#### 5. 結論

ロボットに、円滑な動作を実行させるためのモーションデータを制作する、モーションエディタシステムを開発した。

このシステムで、ロボット用のモーションデータを制作し、ロボットが実行可能なデータを出力できることを確認した。次に、デモンストレーションで、実際にロボットが、モーションデータを円滑に実行できることを確認した。その結果、本エディタシステムで制作したモーションが、実用可能であることが確認できた。

#### 謝辞

本研究は、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)のプロトタイプロボット支援事業の委託を受けて、開発した。関係者各位に、深く感謝いたします。

#### 参考文献

- 1) (社)日本機械工業連合会、(社)日本ロボット工業会 編：平成 12 年度 21 世紀におけるロボット社会創造のための技術戦略報告書：(社)日本ロボット工業会 (2001)
- 2) Y.Kuroki, T.Ishida, J.Yamaguchi, M.Fujita, T.T.Doi : A Small Biped Entertainment Robot : Proc. of the IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, pp.181-186 (2001)
- 3) 配川有二：ホンダヒューマノイドロボット ASIMO までの開発概要：情報処理学会連続セミナー2004「安全・快適な社会を築く情報技術」第 5 回 ヒューマノイド技術最前線 pp. 65-82：情報処理学会 (2004)
- 4) 小川原光一、崎田賢二、池内克史：視線運動からの意図推定に基づいたロボットによる行動支援：インタラクション 2005 論文集 pp.103-110：情報処理学会 (2005)
- 5) 塩見昌裕、神田崇行、Daniel Eaton、石黒浩：コピキタスセンサネットワークと連動したコミュニケーションロボットによる科学館での展示案内：インタラクション 2005 論文集 pp.127-134：情報処理学会 (2005)
- 6) 岩瀬佳代子、神田崇行、石黒浩、柳田益造：コミュニケーションロボットにおけるノンバーバル情報を用いた状況依存音声認識：情報処理学会研究報告(ヒューマンインタフェース) 2004-HI-110 Vol.2004, No.90 (2004)

- 7) 加賀美聡：ヒューマノイドとプログラミングシステム - (2)リアルタイム統合システム：情報処理学会連続セミナー2004「安全・快適な社会を築く情報技術」第 5 回 ヒューマノイド技術最前線 pp. 39-64：情報処理学会 (2004)
- 8) <http://www.cs.wisc.edu/graphics/Courses/cs-838-1999/Jeff/BVH.html>