解 説

力制御を実装したマッサージチェア

Massage Chair with Force Control Technology

谷 口 祥 平* *パナソニック株式会社

Shohei Taniguchi* *Panasonic Corporation

1. は じ め に

当社の手がける健康機器事業において、マッサージ機器は、1935年のハンディバイブレータから始まり、背もたれ内部にもみ機構を組み込んだ椅子式マッサージ機（以下、マッサージチェアと記す）の形態へと進化を重ね、近年では、椅子の脚載せ台や肘掛けなどにエアバッグを搭載し、もみ機構とエアバッグを巧みに動作させ、全身のマッサージを実現している。さらには、ロボティクス、メカトロニクス技術を駆使して、もみ機構とエアバッグの多自由度システムを協調制御することで、マッサージ動作に加え、身体を「ひねる」、「揺らす」、「伸ばす」といったストレッチ動作機能も搭載するなど、マッサージチェアの高機能化が進んでいる。

このマッサージチェアの技術進化の方向性として、当社では、より気持ちの良いマッサージを目指したもみ味革新技術[1]や、複雑な動作をするマッサージチェアの操作性向上を狙ったインターフェース技術などの研究開発を行っている[2]。

マッサージチェアの基本機能であるマッサージ動作によるもみ味進化の方向性の一つとして、よりヒトの手に近い感覚でマッサージを実現する「ヒューマンタッチ」をキーワードとして、マッサージチェアの研究開発を行っている。「ヒューマンタッチ」とは、人工物によって、擬似的に「ヒトに触られている感覚」を提示する触覚提示技術と定義し、具体的には、ヒトの硬さなどの物性特性をモデル化する「生体擬似モデリング技術」、ヒトと接する機器の機構・制御に着目した「ヒューマンメカトロ技術」、血流、心電、脳波など生体信号を計測、解析評価する「生体評価技術」、気持ち良さなどの官能値を定量化する「官能値定量化技術」を融合させ、生体への親和性を高くする機械的刺激を目指している。このようなヒューマンタッチ技術の具体的な当社の事例として、ヒトの構造を再現した多軸駆動もみ機構、ヒ

トの細かく素早いマッサージ動作を再現した高速揉捏もみ、ヒトによるもみ加減を再現した力制御マッサージ、ヒトの手のぬくもりを再現した温感もみなどが挙げられる。

本解説では、特にロボット技術と関連性が高い力制御マッサージについて、機構、制御、センシングの観点から概説する。

ヒトの力加減を実現するためには、手先の感覚に合わせて頭脳を用いて卓越した技を繰り出すといった人間らしい技、感覚、頭脳をマッサージチェアに備える必要がある。これらはロボティクス分野のアクチュエータ技術、センシング技術、制御技術に対応していると考えられるため、ロボティクス技術を応用することでマッサージチェアの革新を狙う。

従来のマッサージチェアのもみ玉の動作は位置制御で行われているため、所定の位置で決められた動作しかできず、体型や座り方などによってマッサージの力（以下、もみ力と記す）がばらつく問題がある。このため、肩は良いけど背中が強過ぎる、腰が弱過ぎるなどマッサージの強さに関する顧客の不満があった。

一方、マッサージ師は位置だけでなく、微妙な力加減をしてマッサージを行っている。そこで筆者らは、この微妙な力加減の実現のため、力制御技術を応用して技、感覚、頭脳を進化させたマッサージ法を開発することでもみ味の向上を図る。

2. マッサージチェアの力制御

ここでは、背もたれ内部のもみ玉によってマッサージをするもみ機構とこの動作の制御法について述べる。従来のマッサージ機は位置制御によってマッサージ動作を行っていたため、図1に示すように部位によりもみ力がばらつく問題があった。

そこで、力制御によるもみ力の制御の開発によって、この問題を解決する。

以下では、力制御実現のための技（もみ機構）、感覚（センシング）、頭脳（マイクロコンピュータ）の開発の詳細について述べる。

原稿受付 2013年12月20日
キーワード: Force Control, Massage Chair
〒525-8555 草津市野路東2-3-1-2
*Kusatsu-shi, Shiga

図1 従来のマッサージ動作

図2 もみ機構

2.1 もみ機構

もみ機構は、図2に示すように、背もたれ内部に設置しており、上下、幅、強弱の動作をする三つのモータから構成され、もみ玉の上下、幅はアームの並進動作で、もみ力の強弱はアームの回転動作によるもみ玉の突出量で調整できる。各軸には、歯車、ウォームホイール、ラックアンドピニオンなどの機構要素が組み込まれており、マッサージチェアの背もたれ内部にもみ機構を設置して、各軸をそれぞれ協調して制御することで、ヒトと同じように、人体背面に対して任意の三次元位置でもみ玉を動作させることができる。

2.2 もみ力センシング

次に力制御実現のために開発したもみ力センサについて述べる。計測原理は、図3に示すようにもみ玉に力が加わったときに、もみ力は強弱ギアを介して、強弱ウォームホイールにトルクとして発生し、①、②、③の順で強弱ウォーム軸まで力が伝達する。強弱ウォーム軸は外力に対して軸方向にも可動し、あらかじめばねで予圧を掛けておくことで、もみ力により並進変位が生じる。この変位を変位センサで計測することでもみ力の計測が可能となる。このセンサ値から得られるもみ力をリアルタイムでフィードバックし、力制御に活用する。

2.3 力制御マイクロコンピュータ

マッサージチェアは全体を統括するメインマイクロコン

図3 もみ力センサ

ピュータ、上下、幅、強弱の3軸のモータをそれぞれ制御する三つのモータ制御マイクロコンピュータ、エアマッサージやリクライニング動作を制御する座下マイクロコンピュータ、リモートコントローラの操作を認識する操作器マイクロコンピュータの合計六つのマイクロコンピュータから構成されている。このうち、もみ玉によるマッサージ動作にかかわるものは上位コントローラであるメインマイクロコンピュータと三つのモータ制御マイクロコンピュータであり、ここではこれらで力制御を実現するための方策について述べる。

従来のもみ玉動作の制御は図4のように、各マッサージ動作(手技)の速度パターンテーブルを各モータ制御マイクロコンピュータに格納しており、メインマイクロコンピュータはモータ制御マイクロコンピュータに対し、どの動作をさせるかを番号(手技No.)で指定する。そして、各モータ制御マイクロコンピュータはメインマイクロコンピュータからの指示に基づいて、あらかじめ設定されている動作を実行する。各モータ制御マイクロコンピュータは500[μs]間隔のPID制御でモータを速度制御する。このように、従来は各モータがあらかじめ設定されているテーブルに従って決められた位置で動作するだけで、もみ力に応じてリアルタイムにもみ動作を変えることができない。

そこで力制御実現のために、もみ玉動作の制御を図5のように構築する。まず、もみ力センサ値をメインマイクロコンピュータで取得し、この値に基づいてリアルタイムでもみ軌跡を計算する。このとき、メインマイクロコンピュータはモータ制御マイクロコンピュータへ速度指令値をリアルタイムで入力し、モータ制御マイクロコンピュータはこの速度指令値を目標速度としてPID制御でモータを速度制御する。このように外側に力フィードバック制御、内側に速度フィードバック制御の二重フィードバック構造とすることで、もみ力に応じてもみ玉の位置や速度を変える力制御を実現している。

また、力制御をする力ベクトルの方向は、図6に示すように身体部位に応じて切り替えることで適切な方向にマッサージをする。肩上のマッサージは肩を上から押し込む方向に力を加えるもので、上下、幅モータでマッサージ軌跡を

図 4 従来制御のもみ玉動作制御の流れ

図 5 力制御のもみ玉動作制御の流れ

図 6 力制御によるもみ力の方

図 7 背筋伸ばしマッサージにおけるもみ力

実現しながら、強弱モータのみで力制御を行う（図 6 (a)）。人体背面のマッサージは人体前後方向に力を加えるもので、上下、幅モータでマッサージ軌跡を実現しながら、上下、強弱モータを協調させることで、人体前後方向に力制御を行う（図 6 (b)）。このように、人体接線方向には位置制御、法線方向には力制御をする位置と力のハイブリッド制御で制御則を構築している。

もみ力に応じてリアルタイムにもみ動作を変える力制御の場合、従来品のようなマッサージ動作をモータごとにテーブルでもたせる方式では力制御に対応できないため、力制御方式では位置ともみ力の目標マッサージ動作を時間に関する五次関数で滑らかに与える。肩上へのマッサージの場合は、上下、幅モータに対しては目標軌道、強弱モータに対しては目標もみ力を与えて、力制御を実現している。背面へマッサージの場合は、あらかじめ設定した作業座標系に基づいて、もみ玉に対して人体接線方向の 2 軸に対しては目標軌道、人体鉛直方向に対しては目標もみ力を与え、所望のマッサージ動作をするように各モータの動作を指令

する。

2.4 もみ力比較検証

力制御によるもみ力と従来の位置制御によるもみ力の比較を行い、その結果の一例を図 7 に示す。ここでは、目標もみ力を一定としたときのマッサージ動作の一例として、首→腰→首の一往復の背筋伸ばし動作を行う。図 7 より、従来品の位置制御マッサージではもみ力が身体部位によってばらついているのに対し、力制御マッサージでは身体部位によらず、目標もみ力の一定力でマッサージを実現できていることが分かる。

3. 目標もみ力の設定（官能値定量化技術）

前述のとおり、力制御を搭載したマッサージチェアは、身体部位によらず設定したもみ力でマッサージできることが示されたが、次に身体部位ごとにどのように目標もみ力を設定するかが課題となる。そこで、モニタ評価試験により、身体部位ごとに最適もみ力を求め、目標もみ力を設定する。まず、モニタは BMI 値（Body Mass Index：体重 [kg] /

図8 最適もみ力評価結果例

身長[m]／身長[m])と属性(しっかりマッサージが好み、ソフトマッサージが好み)、および性別などに基づいて様々なタイプが含まれるように選定する。

次に、身体部位別に最適もみ力を求めるために肩エリア、背中エリア、腰エリアの3部位において、一定のもみ力で上下方向に往復運動をさせ、徐々にもみ力を増加させて「もみ力と痛さ」、「もみ力と気持ち良さ」の関係を求める。モニタの評価項目は「痛さ感」と「気持ち良さ」とし、VAS (Visual Analogue Scale) 法で評価する。これは先述したヒューマンタッチ技術の「官能値定量化技術」に相当する。

評価結果の一例を図8に示す。痛さ感に対してはもみ力が大きくなればなるほど上昇し、気持ち良さに対してはあるもみ力においてピーク値を取っている。この結果から統計的に最適もみ力の範囲(気持ち良さのピークが含まれる範囲)や痛みを感じないもみ力下限値も求めることなども可能となり、これに基づき、部位ごとの目標もみ力設定の設計に

活用している。

4. おわりに

もみ味の向上とマッサージ強さに関する顧客満足度の向上のために、マッサージチェアの技、感覚、頭脳を進化させ、もみ玉が使用者の体から受けるもみ力をリアルタイムに調整する力制御技術を開発した。また、身体部位ごとの最適もみ力範囲をモニタ評価により求め、力制御の目標もみ力設定の設計に活用した。本技術により、従来の位置制御によるマッサージ機で発生していたもみ力のばらつきを改善し、身体部位ごとに最適もみ力でマッサージができるより個対応なマッサージチェアを実現した。

今後もヒューマンタッチ技術を進化させ、より人の手に近いマッサージチェアの開発を目指していく。

参考文献

- [1] <http://panasonic.jp/massage/realpro/kaihatsu/>
- [2] 濱田, 谷口, 池島, 清水, 坂本, 長谷川, 稲見, 五十嵐: “マッサージチェアを直感的に操作するためのインタフェース設計に関する研究(第2報)”, 第17回日本バーチャルリアリティ学会大会, 33E-2, 2012.

谷口祥平 (Shohei Taniguchi)

2002年立命館大学工学部ロボティクス学科卒業。2004年同大学大学院理工学研究科博士前期課程修了。同年松下電工株式会社(現パナソニック株式会社)入社。2007年同大学大学院理工学研究科博士後期課程修了。2012年パナソニック株式会社ホームアプライアンス開発センター主任技師。現在に至る。ロボティクス、人間の運動解析、マッサージチェアなどの健康機器の研究、開発に従事。博士(工学)。計測自動制御学会、日本機械学会の会員。

(日本ロボット学会正会員)