

マイクロ・ソフトメカニクス統合体としての 高度生体機能機械の研究

Research on Micro and Soft-mechanics Integration for Bio-mimetic Machines

(研究プロジェクト番号：JSPS-RFTF 96P00801)

プロジェクトリーダー

井上 博允 東京大学大学院情報理工学系研究科・教授

コアメンバー

広瀬 茂男 東京工業大学工学部・教授

下山 勲 東京大学大学院情報理工学系研究科・教授

土肥 健純 東京大学大学院情報理工学系研究科・教授

稲葉 雅幸 東京大学大学院情報理工学系研究科・教授

中村 仁彦 東京大学大学院情報理工学系研究科・教授

篠田 裕之 東京大学大学院情報理工学系研究科・助教授

則次 俊郎 岡山大学工学部・教授



1. 研究目的

本プロジェクトでは、将来の社会で必要とされる人間共存型知能マシンを実現する上でのキーテクノロジーであるマイクロメカトロニクス及びソフトメカニクスに関する先端技術を開拓すると共に、その両技術を統合することにより、将来の社会で必要とされる高度の生体的機能を備えた人間共存型の柔らかい知能ロボットを開発することを目的とし、具体的には以下の6つのサブテーマを取り上げて研究を行った。

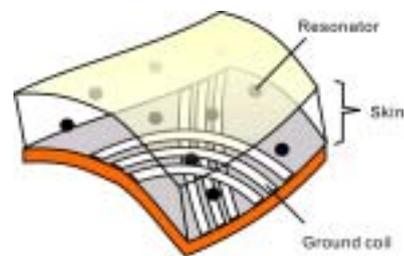
- 1) センサー分布人工皮膚
- 2) ソフトアクチュエータ
- 3) MEMS ロボットハンド
- 4) 全身型メカトロニック行動体
- 5) 統合型ヒューマノイドロボット
- 6) 低侵襲外科手術用マイクロメカトロニクス

2. 研究成果概要

2.1 センサー分布人工皮膚

ロボットの外面を柔らかく覆うセンサー分布人工皮膚の研究として、音響共鳴型テンソルセルによる触覚センサー、テレメトリック・スキン、マイクロRC触覚センサー、などを開発した。音響共鳴型テンソルセルは弾性体内部に球状の空洞およびそれに接続された2つのパス(出入りのトンネル)を設ける。一方のパスから超音波を発信し他方のパスでそれを観測する。皮膚が変形すると内部の空洞も変形し、共鳴周波数も変化する。この共鳴状況の観察に基づいて空洞周囲の主応力を知り、触覚情報として利用するものである(篠田)。テレメトリックスキンは小さなチップ状のコイルを弾性体の内部に埋め込み、皮膚変形に伴うそのコイルのパラメータ変化をグラウンドコイルとの誘導結合により検出して触覚センサーとして利用する。Fig.1 に示すようにセンサーチップは柔らかい弾性体内部にうめこまれ、信号のやりとりはテレメトリ技術を使うので、配線がなく皮膚の柔らかさを損なうことはない優れた方

式である(篠田)。

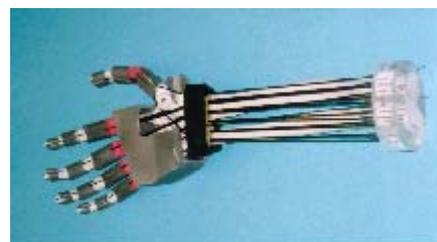


2.2 ソフトアクチュエータ

主拠点の東大では、プログラマブル・パッシブ・コンプライアンスをもつ肩機構を作りコンプライアンスを変化させることにより柔らかい運動技能の研究を行うと共に(中村) 未来型筋肉として期待されている導電性高分子材料や導電性ゲルを用いたゲルロボットの設計と制御に関する基礎技術を開発した(井上)。副拠点の東京工大では負荷感応型アクチュエータである X-スクリューの開発と、空気圧駆動多自由度柔軟変形機構のスライムロボットの開発を行った(広瀬)。また、副拠点岡山大学では各種の空気圧駆動アクチュエータの開発を行った(則次)。

2.3 MEMS ロボットハンド(下山)

Fig.2 は人間の手の骨格模型をベースにして開発された、極細の空気圧駆動の人工筋肉によって動かすロボットハンドである。空気圧人工筋肉としては直径1mmストローク変化20%張力4Nの極細人工筋を開発した。また、この空気かつサーボを制御するための制御弁をマイクロ製造技術で製作した。更に、皮膚センサーとしてはマイクロRC触覚センサーを開発



し、全体を人間の手と同じサイズにまとめたロボットハンドを実現した。

2.4 全身型メカトロニック行動体（稲葉）

動物は、前後、左右、捻りの動きを組み合わせ、柔軟に全身を変形し、脊柱の周辺の筋肉を緊張させることで体幹を硬化させる機能を持っている。本項目ではロボットにも脊柱構造を導入し、それを多数の腱（ワイヤー）で駆動することによって、複雑で柔軟に変形し、しなやかな動きを実現することを試みた。試作したロボット「健太」は、動物の骨格構造を模して、肘と膝以外の関節は球関節となっている。肩は球関節が2段重なる形となっており、腕の自由度が 10×2 、脚の自由度が 7×2 である。体幹部の骨格は、10個の椎骨からなる脊柱と3つの肋骨で構成されている。これらの骨格構造を40個のモーターで張力制御されるワイヤーで駆動する。このロボットの行動実現のためには約100本の腱の張力を協調制御することが必要であり、全身行動制御のソフトウェア枠組みに関して、超多自由度ロボットの全身変形のセンシング、体内の感覚行動制御情報系の構築、全身行動体の構造と運動の解析などの新しい研究課題を提起したボディとなった。



2.5 統合型ヒューマノイドロボット（井上）

本テーマではプロジェクト全体を総合したシステムとして高機能人間型ロボットを開発した。最終モデルとして開発したヒューマノイドH7をFig.4に示す。H7は身長147cm、体重59kg、30自由度、双眼立体視や音声入出力を装備し、十分な計算能力を備えた、汎用のプラットフォームとして開発された。実世界で行動するための上位のソフトウェアとしては、1)実時間3次元視覚処理による動作環境および人間の認識、2)モーションプランニング手法に基づく障害物を回避する全身運動の生成、3)動的に安定な歩行軌道の実時間生成とオンライン・インタラクティブ歩行制御、を開発し、ヒューマノイドロボットの遠隔制御を行うための自律制御システムとしてとりまとめた。最終モデルH7は、安定した二足歩行、フレキシブルな運動制御、触覚センサーの実装、実時間3次元視覚、モーションプランニング、音声対話などを統合した研究開発用プラットフォームであり、未来社会で人間生活を支援する様々な応用作業開発に使われるほか、人間型ロボットを使って人間の全身運動・知能行動・心理実験などを総合的に科学するための新しい実験ツールともなりうるもので、今後の人間の研究に強力な新しい実証的手段を提供するものである。



2.6 低侵襲外科手術用メカトロシステム（土肥）

本テーマではマイクロメカトロニクス技術の医学分野への応用を取り上げた。脳外科領域における低侵襲外科手術や、腹部外科領域における腹腔鏡手術のための、内視鏡手術用マイクロ手術デバイスおよび手術中の医療画像の立体表示システムを開発するとともに、それらを統合した、低侵襲外科手術支援システムを実現した。

3. 結論

マイクロマシン技術の応用と柔軟な機械技術の開発は、未来の機械技術にとって本質的な新展開を目指す適切な問題設定だったと考える。本プロジェクトでは様々なレベルで機械をソフトなものにすることに取り組んだ。機械表面の物理的な柔らかさ、サイバネティックシヨルダや脊柱構造で実現される柔軟な機構の設計、ハイブリッドコンプライアンス制御による制御レベルの柔らかさ、機構と制御の柔らかさを総合して実現されるしなやかな運動、触覚だけでなく実時間の立体視覚などの高度の感覚情報に基づく知能レベルのフレキシビリティ、などの基盤技術の開拓だけでなく、それらを統合してあらゆるレベルで柔軟なロボットを開発し、未来社会で人間と協調し共存する“頭も心も柔らかい”未来型機械を具体的に示し、機械技術の未来の発展方向を提示しており、今後の発展が期待される。

主な発表論文

- [1] 「マイクロメカトロニクス・ソフトメカニクス」、岡村弘之・井上博允、日本ロボット学会誌「マイクロメカトロニクス・ソフトメカニクス」特集、19巻7号、pp. 2-5、2001年。
- [2] 「柔軟な機械の人工皮膚」、篠田裕之、同、pp.14-17
- [3] 「人間と共存するロボットのための肩機構」、岡田昌史・中村仁彦、同、pp.18-21
- [4] 「脊椎を持つ全身型メカトロニック行動体」、稲葉雅幸、同、pp.22-25。
- [5] 「MEMS ロボットハンド」、下山勲、他、同、pp.26-29
- [6] 「ヒューマノイドロボットの知能ソフトウェア統合」、井上博允・加賀美聡、同、pp.30-33
- [7] 「低侵襲外科手術用メカトロニクス」、土肥健純、他、同、pp. 34-37