

研究種目：特定領域研究

研究期間：2004～2008

課題番号：16078209

研究課題名（和文） 多自由度メカトロニクス用インテリジェントアクチュエータの研究

研究課題名（英文） Intelligent Actuators for Mechatronics with Multi-Degrees-of-Freedom

研究代表者

鈴木 康一 (SUZUMORI KOUICHI)

岡山大学・大学院自然科学研究科・教授

研究者番号：00333451

研究成果の概要：

多自由度メカトロニクス機器を対象としたインテリジェントアクチュエータの研究を行った。具体的には、①通信/制御機能を内蔵した電磁モータの開発とロボットへの適用、②通信/制御機能を内蔵した空圧アクチュエータの開発と、リンク機構への適用、③空気供給管に粗密波を重畳する新しい制御方式の実現、に成功した。

以上の3つのサブテーマを通して、多自由度のメカトロニクス機器用の新しいインテリジェントアクチュエータの設計法とシステム構築法を確立した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2004年度	13,800,000	0	13,800,000
2005年度	12,700,000	0	12,700,000
2006年度	13,400,000	0	13,400,000
2007年度	12,700,000	0	12,700,000
2008年度	12,700,000	0	12,700,000
総計	65,300,000	0	65,300,000

研究分野：メカトロニクス

科研費の分科・細目：機械工学・設計工学・機械気候要素・トライボロジー

キーワード：機能要素，メカトロニクス，ロボティクス，情報機器・知能機械システム，人間機械システム，アクチュエータ

## 1. 研究開始当初の背景

ロボット，自動車，生産設備，等のメカトロニクスシステムでは，数10～100といった多数のアクチュエータが実装される例が増えている。また，位置，速度，力，コンプライアンス等の制御だけではなく，高度な情報処理

や通信といった機能もアクチュエータに期待される。

## 2. 研究の目的

本研究ではこのような状況を踏まえ，多自由度の小型メカトロニクス機器をターゲット

としたインテリジェントアクチュエータの研究開発を進めた。具体的には、小型の電磁モータと空圧アクチュエータを対象にして、マイクロバルブ、マイクロコントローラ等を開発するとともに、開発したデバイスや各種マイクロセンサをアクチュエータに実装して、制御性能の向上と配線、配管の大幅な削減を実現するものである。また、これらの小型管内点検ロボットや3Dインタフェースといった多自由度のメカトロニクス機器への適用実験もあわせて実施することを目標とした。

### 3. 研究の方法

具体的には、以下の3つのサブテーマを設定し、これらのインテリジェントアクチュエータとその応用システムの実現を進める中で、多自由度のメカトロニクス機器用の新しいインテリジェントアクチュエータの設計法とシステム構築法を確立した。

(1) 通信/制御機能を内蔵した小型電磁モータの開発とへび型管内移動小型ロボットへの適用

(2) 通信/制御機能を内蔵した空圧シリンダの開発と、120自由度3次元分散型力覚インタフェースおよび、自由な力学特性を提示する仮想椅子への適用

(3) 空気供給管に粗密波を重畳することで複数の空圧アクチュエータを自由に制御する新しい制御方式の実現

### 4. 研究成果

以下、3つのサブテーマの成果について順に説明する。

(1) 通信/制御機能を内蔵した電磁モータの開発とロボットへの適用

図1に示すへび型管内移動ロボットを研究目標例に取り上げ、そのためのインテリジェント電磁アクチュエータの設計と構築法の開発を進めた。このロボットは12個の関節

で結合された13個のリンクから構成され、各関節を少しずつ位相の異なる正弦波信号で駆動することによって、その側面を管内壁に押し付けながらへびのように管内を移動する。

7Wの電磁モータを用い、動作目標の生成、位置/速度サーボ、管壁への押し付け力制御、管形状(内径変化、分岐管、曲がり管、垂直管等)への自動適応、ホストコンピュータとの通信機能(動作指令、モータ動作状況のレポート、管形状のレポート)を有するインテリジェントアクチュエータを設計開発した。PSoCとよぶCPUを利用し、センサ入力、モータ制御、通信、等のモジュールを1チップ化した。

これにより、自律的に様々な形状の管に適応するロボットが実現された。ロボットを駆動するためのケーブル数を大幅に減らすとともに、ケーブルの引き回しに伴う電磁ノイズの影響のない安定した制御性が実現できるようになった。



図1 へび型管内移動ロボット

(2) 通信/制御機能を内蔵した空圧シリンダの開発と、120自由度3次元分散型力覚インタフェースおよび、自由な力学特性を提示する仮想椅子への適用

図2は、アクティブ多面体と呼ぶリンク機構で、120本の小型空圧シリンダから構成される80面体構造物である。コンピュータ内

に存在する仮想連続弾性体をあたかも直接触ったような感覚で、形や柔らかさを感じたり、例えば仮想粘土細工のように、人間が物理的な情報を直接入力するハプティックインタフェースとして利用できる。

このために開発した空圧シリンダを図3に示す。これは、シリンダに光エンコーダを搭載し、ロッド表面に着色 YAG レーザで形成したストライプコードを読み取る。また、データを処理、転送する CPU を内蔵している。



図2 アクティブ多面体

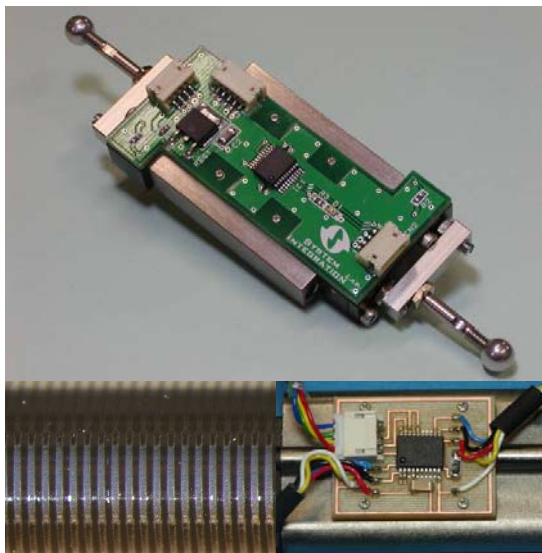


図3 インテリジェント空圧シリンダ

本研究では、具体的な応用ターゲットを決めてアクチュエータの研究を進めてきたが、ここでの研究成果は汎用性を持っている。そ

の例が図4に示すインテリジェント椅子である。

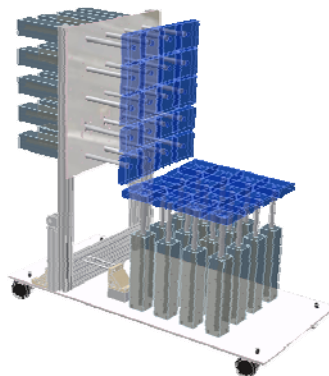


図4 仮想インテリジェント椅子

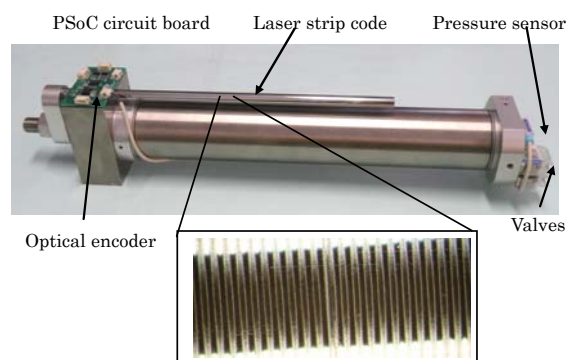


図5 インテリジェント空圧シリンダ

これは、図5に示すインテリジェントシリンダを 36 本組み合わせたものである。各インテリジェントシリンダには、PSoC、光エンコーダ、コードバー形成ロッド、制御バルブ、圧力センサが内蔵され、供給空気管と電源のみの接続により、位置/速度といったサーボ、力サーボのほか、任意のバネ特性、粘性特性が自律的に実現できる。これによりクッション性のよい椅子、硬い椅子、マッサージいす等、様々な特性を実現する椅子が極めて簡単なシステム構成で実現できる。

### (3) 空圧粗密波重畳によるアクチュエータ駆動

空圧アクチュエータへの高圧供給空気に疎密波を重畳し、これによって、一つの空気供給管に接続した複数の空圧アクチュエー

タを選択的に駆動する新しい方式を考案し、特有の固有振動数の疎密波の重畳によって動作するシステムの実現に成功した。

図6にその概念を示す。高圧空気の供給管路の途中に発振器を設け、供給空気に振動を与える。各空圧アクチュエータには、特有の振動数によって動作するバルブを搭載し、ある空圧アクチュエータを動作させるには対応する周波数の空気振動を供給空気に重畳する。この方式は、制御信号が空気供給管の中を空気の振動として伝えられるため、電気配線が不要となり、大幅なシステム構成の簡略化につながる。

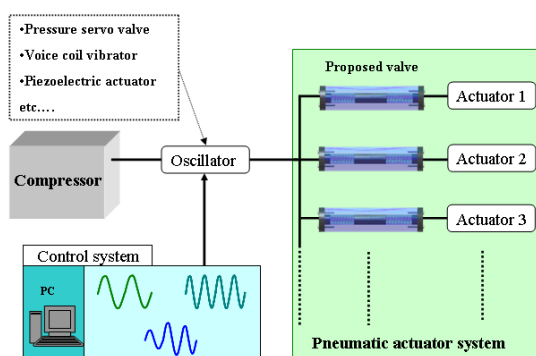


図6 空圧粗密波重畳アクチュエータ駆動の概念

図7にバルブの動作原理を示す。内部にそれぞれ貫通穴を有する2つの振動体A, BがそれぞれバネA, Bで弾性支持される。通常はバネの初期圧縮力によって2つの振動体が密着しているため空気は流れないが、固有振動数の空気振動を引加すると、2つの振動体が離れて振動を始めるので空気が流れる。

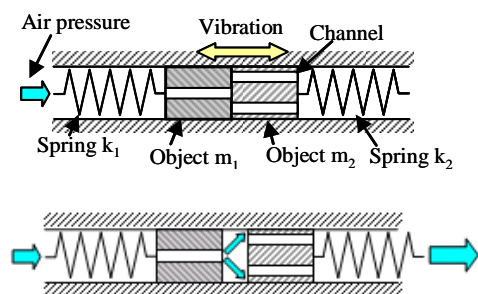


図7 空圧粗密波重畳によるアクチュエータ駆動用バルブの動作原理(上：非共振時，下：共振時)

このほか、バルブの構成を工夫することで、排気用バルブも実現できる。このシステムの基本動作を確認するために機能検証用のバルブを試作して駆動実験を行い、5本のシリンダの独立制御に成功した。

#### (4) 成果のまとめと展望

以上の3つのサブテーマを通してインテリジェントアクチュエータの研究を進めた。特定のシステムを例題として研究を進める方式をとったが、既に述べたように、ここでの研究成果は、他の多自由度システムにも広く適用できるものである。

インテリジェントアクチュエータにより、極めて簡単なシステム構成、ノイズに強いシステム、制御性に優れたシステム、ならびに、配管や配線の大幅な削減が可能になる。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計8件)

- ① Ahmad 'Athif Mohd Faudzi, Koichi Suzumori and Shuichi Wakimoto, Development of an Intelligent Pneumatic Cylinder for Distributed Physical Human-Machine Interaction, *Advanced Robotics* 23, Vol. 23, No.1-2, pp. 203-225, Jan.2009 (査読有)
- ② 鈴木康一, 西岡靖貴, 空気疎密波重畳によるアクチュエータ駆動, *日本フルードパワーシステム学会誌*, Vol. 39, No.5, pp. 290-294, (2008-9) (査読有)
- ③ Yasutaka Nishioka, Koichi Suzumori, Takefumi Kanda, Shuichi Wakimoto, Pneumatic Valve Operated by Multiplex Pneumatic Transmission, *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, Vol. 2, No.2, pp. 222-229, Apr.2008. (査読有)
- ④ 西岡靖貴, 鈴木康一, 田中淳一, 佐々木篤

志, 遠山宗雄, 河野一俊, マイクロ光エンコーダ  
内蔵小型空圧シリンダの開発と位置/力制御系へ  
の適用, 日本フルードパワーシステム学会論文集,  
Vol. 39, No. 2, pp. 34-39, (2008-3) (査読有)

⑤ 鈴森康一, 多自由度メカトロニクス用インテリ  
ジェントアクチュエータ, 電気学会誌 Vol. 127,  
No. 5, (2007-5) pp. 291-293 (査読有)

⑥ 越智淳平, 鈴森康一, 神田岳文, フィジカルマ  
ンマシンインタラクション用アクティブ多面体の  
開発, 日本ロボット学会誌, Vol. 24, No. 2,  
pp. 248-254, (2006-3) (査読有)

⑦ Jumpei Ochi, Koichi Suzumori, Junichi  
Tanaka, and Takefumi Kanda, Development of  
Active Links for Physical Man-Machine  
Interaction, Journal of Robotics and  
Mechatronics, Vol. 17, No. 3, (2005-6),  
pp. 293-301. (査読有)

⑧ 鈴森 康一, インテリジェント空圧シリンダの  
開発とアクティブ多面体への応用, フルードパワ  
ーシステム, 35巻, 6号, (2004-11), pp. 396-400  
(査読有)

[学会発表] (計36件)

① Koichi Suzumori, Distributed Physical Human  
Machine Interaction Using Intelligent  
Pneumatic Cylinders, 2008 International  
Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human  
Science, 8. Nov. 2008, Nagoya

② Koichi Suzumori, NEW Pneumatic Actuators  
Producing Breakthrough in Mechatronics, 7th  
JFPS International Symposium on Fluid  
Power, 15-18. Sep. 2008, Toyama

③ Koichi Suzumori, A New Pneumatic Control  
System Using Multiplex Pneumatic  
Transmission, 7th JFPS International Symposium  
on Fluid Power, 15-18. Sep. 2008, Toyama

④ Shuichi Wakimoto, Automatic Pipe  
Negotiation Control for snake-like robot, 2008

IEEE/ASME International Conference on  
Advanced Intelligent Mechatronics, 2. Jul. 2008,  
Xi' an.

⑤ Koichi Suzumori, Snake-like Robot  
Negotiating Three-Dimensional Pipelines, 2007  
IEEE International Conference on Robotics and  
Biomimetics, 17. Dec. 2007, Sanya

⑥ Koichi Suzumori, Pneumatic valve operated  
by multiplex pneumatic transmission, JSME-KSME  
Joint International Conference on  
Manufacturing, Machine Design and Tribology  
(ICMDT 2007), 3. Jul. 2007, Sapporo.

⑦ Koichi Suzumori, Development of Active  
Polyhedron for Physical Human-Machine  
Interaction and its Application to CAD/CAM  
Operation, 2006 International Symposium on  
Micro-Nano Mechatronics and Human Science,  
(2006-11-6), Nagoya

⑧ Koichi Suzumori, Intelligent Actuators  
Realizing Snake-like Small Robot for Pipe  
Inspection, 2006 International Symposium on  
Micro-NanoMechatronics and Human Science,  
(2006-11-6), Nagoya

⑨ Koichi Suzumori, Intelligent Servo  
Actuators for Multidegrees of Freedom  
Mechatronics, 10th International Conference  
on New Actuators (ACTUATOR 2006),  
(2006. 6. 14-16), Bremen

⑩ Koichi Suzumori, Force-Presentation Method  
for Active Polyhedron for Realizing Physical  
Human-Machine Interaction, 2006 IEEE  
International Conference on Robotics and  
Automation, (2006. 5. 18), San Diego

⑪ Koichi Suzumori, Development of an  
Intelligent Pneumatic Cylinder and Its  
Application to Pneumatic Servo Mechanism,  
IEEE/ASME International Conference on Advanced  
Intelligent Mechatronics (AIM 2005),

(2005. 7. 25), Monterey

⑫ Koichi Suzumori, Development of Active Icosahedron and its Application to Virtual Clay Modeling, Proceedings of the 2004 International Symposium on Micro-Nano Mechatronics and Human Science, (2004. 11. 1), Nagoya

⑬ Koichi Suzumori, Active Link Mechanisms for Physical Man-Machine Interaction, 2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, (2004. 10. 1-2), Sendai

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 1 件)

名称：共振制御式流体圧制御システムおよびその制御システム用流体圧制御弁

発明者：鈴木康一

権利者：岡山大学

種類：特許権

番号：特願2005-347032 (2005. 11. 30) ,

国内外の別：国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鈴木 康一 (SUZUMORI KOUICHI)

岡山大学・大学院自然科学研究科・教授

研究者番号：00333451

(2) 研究分担者

脇元 修一 (WAKIMOTO SYUICHI)

岡山大学・大学院自然科学研究科・助教

研究者番号：40452560