

Development of Acquisition Technique of Autonomous Distributed Control Rules for Postures and Locus of Large Scale Adaptive Structures, and Construction of Variable Geometry Truss

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-05 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: Yamazaki, Koetsu メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24517/00034858

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.



大規模適応構造の自律分散型姿勢および 軌跡制御法の開発と形状可変トラスの試作

(研究課題番号 08455055)

平成8年度～平成10年度科学研究費補助金〔基盤研究(B)(2)(一般)〕

研 究 成 果 報 告 書

平成11年3月

金沢大学附属図書館

皆 山 崎 光 悦

大学工学部教授)



8000-73567-9

FAKE-1
1028
84

大規模適応構造の自律分散型姿勢および 軌跡制御法の開発と形状可変トラスの試作

(研究課題番号 08455055)

平成8年度～平成10年度科学研究費補助金〔基盤研究(B)(2)(一般)〕

研 究 成 果 報 告 書

平成11年3月

研究代表者 山 崎 光 悦

(金沢大学工学部教授)

発 行 者 寄 贈

研 究 成 果 目 次

はしがき	1
研究成果	2
1. 研究成果の概要	2
2. 自律分散型適応姿勢制御則獲得法の検討	7
2. 1 最適性規準に基づく姿勢決定法	7
2. 2 遺伝的プログラミングによる姿勢制御則の獲得	3 4
2. 3 自律分散型制振法の検討	6 5
3. 三次元適応トラス構造の試作と姿勢制御実験	6 8
4. 自律分散型制御則獲得法の応用	7 5
4. 1 並列分散制御とトレーラ後退制御への応用	7 5
4. 2 機構設計への応用	1 0 0
4. 3 切削加工への応用	1 0 9
5. 自律分散型制御法の展望と今後の課題	1 2 4

はしがき

与えられた作業負荷や外部からの擾乱に対し、構造の一部にセンサーやアクチュエータを備えて、センサーからの情報を基に構造的に最も安定で、高剛性、制御エネルギー最小など合目的な姿勢に形態を変更できる構造を適応構造と言い、宇宙展開柔軟トラス構造や宇宙ステーションに一端を固定した宇宙作業用マニピュレータアームなどの宇宙構造への応用からアーム型ロボットの姿勢制御への応用など幅広い利用が考えられている。アクチュエータ、センサーを含む単純なトラス・モジュールを直列に組立てた適応トラス構造は、従来型の回転ジョイントと棒状リンクを直列に組立てた機構に比べて軽量で適応性が高く、高剛性および高精度の操作性が期待できるため、近年その基礎研究が盛んに進められている。その内容は、主に形状可変トラス型のアーム構造の軌跡制御や最終目的位置、角度の負荷に対する形状制御、姿勢決定あるいは振動抑制に関する研究が主流である。

しかし、トラス型の適応構造では適応自由度が高い分だけ同時に制御すべき可動要素が多く、集中制御や全体一部分二段階制御による制御法では最適化による制御量の決定に時間を要し、実時間での軌跡制御、姿勢決定が困難なため、機構運動学的な構造節点位置の記述と各種規準による従来の最適化法に基づく準静的なシミュレーションや対応するモデル実験の域に留まっている。したがって、計算、判断時間が短く、より速い実時間での制御、姿勢決定を実現するには、同時並行的かつ隣接のわずかな情報から各可動要素の制御量を定め、自律分散的かつ効率的に処理する方法論の開発が重要である。また要求される軽量化目的のために適応構造は一般に剛性の低い柔軟構造とならざるを得ず、作業外力や擾乱に対する最終形状、姿勢での振動抑制、能動制振に関する研究も進められているが、実際には最終形状のみならず、形態適応のための実用的な速度での構造移動、姿勢変更過程における慣性力の効果、振動を無視することができないにもかかわらず、それらを考慮した姿勢制御法、最適化法に関する研究はほとんど検討が進んでいないのが現状である。

そこで本研究では、まず二次元や三次元のアーム型形状可変トラス構造を対象に、エネルギー規準に基づく自律規範を仮定して、あるいは剛性規準による最適規準に基づいて軌跡制御、最終姿勢制御のシミュレーションを有限要素法によって試みた。特に、複数個の適応トラスアームが協調作業をするときの最適姿勢の決定を最適規準に基づいて試みた結果も示す。また自律分散制御則の獲得を目的に、遺伝的プログラミングを利用した制御則獲得法を考案し、二次元適応構造に適用してその有効性を検討した結果を示す。さらに三次元適応トラス構造を実際に製作し、その制御実験を実施して有効性を検証した。またパラレル機構や連結トレーラーの後退制御などへの応用を試みた結果も示す。

平成11年3月

研究代表者 山崎 光悦

研究成果

1. 研究成果の概要

本研究では、アクチュエータとセンサーを組み込んだ形状可変トラス・モジュールを数十段組み上げた実用的な規模の適応構造の実時間での軌跡制御、姿勢制御の実現およびその応用を目的として研究を進め、以下のような成果を得た。

(1) 形状可変トラス構造のエネルギー基準による自律規範の提案とシミュレーションによる確認

二次元および三次元のトラスアーム型の適応構造物が作業荷重をアーム先端に負荷されたときの最適姿勢を得るための制御則を、最大剛性あるいは制御エネルギーと構造エネルギーを同時に最適化するエネルギー基準を導出し、各トラスモジュール周辺のみでの局所情報で自律分散的に到達することを数値シミュレーションによって確認した。すなわち、各モジュールの疑似的なひずみエネルギー感度を用いた自律エネルギー規範を提案し、その有効性をシミュレーションによって確認した。その方法は、ほとんどの初期姿勢に対して、有効かつ効率的に最適姿勢に誘導するために機能すること、また適応トラスの一部のアクチュエータに故障が発生しても極めて有効に機能することも確認した。

(2) 形状可変トラス構造の自律規範獲得法の開発

可変長部材を含むトラス部分構造モジュールを直列に組立てた二次元および三次元形状可変トラス構造を対象として、種々の位置、方向の静的負荷（作業ベクトル）に対して初期姿勢からの先端の移動軌跡を与えたときに、各トラスモジュールの局所情報より各部材長の変更量、最適な移動過程、最終姿勢制御量を決定するための自律規範、局所的な制御則を創発的に自動生成するためのモデルを遺伝的プログラミングを利用して構築した。その自動生成された自律規範を用いて種々の初期姿勢からの移動過程、最終姿勢決定の有限要素シミュレーションを実施し、提案した自律規範生成モデルの有効性を確認した。また制御目的に最大剛性と制御エネルギー最小の両方を考慮した制御則獲得についても検討した。

(3) 動的負荷に対する形状可変トラス安定化自律規範生成モデルの検討

センサーとアクチュエータ、アクティブ・ダンパーを備えたトラス・モジュールを組立てた形状可変トラス適応構造を対象に、各可変部材モジュール近傍のセンサー情報のみから、姿勢移動過程における慣性力による振動、最終姿勢での擾乱による振動を抑制する各ダンパーおよび可変部材の自律制御規範を提案し、その有効性を数値シミュレーションによって確認した。

(4) 形状可変トラス構造の試作と制御実験の実施

ひずみセンサーを備え、ボールネジとステッピングモータからなる可変部材ごとに独自に自律分散処理機能を有する5段の形状可変三次元トラス構造と自律制御プログラムを試作した。与えられた負荷方向に対して、複数のCPUによってそれぞれ独立に制御する自律分散型の制御アルゴリズムによって最大剛性姿勢に姿勢変更する制御を試みてその有効性を確認した。

(5) 自律分散型制御の他分野への応用

上で開発した自律分散型制御則獲得の基本的な考え方を応用して、ファジー制御による複数連結トレーラーの後退制御、平行機構の制御および加工分野への応用を試みた。

研究組織

研究代表者	山崎 光悦	(金沢大学工学部 教授)
研究分担者	白瀬 敬一	(大阪大学大学院工学研究科 助教授)
研究分担者	田中 一男	(電気通信大学工学部 助教授)
研究分担者	立矢 宏	(金沢大学工学部 助教授)
研究分担者	Sourav Kundu	(金沢大学工学部 講師)
研究分担者	坂本 二郎	(金沢大学工学部 助手)

研究経費

平成 8 年度	5, 1 0 0 千円
平成 9 年度	2, 4 0 0 千円
平成 1 0 年度	3 0 0 千円
合 計	7, 8 0 0 千円

研究発表

(1) 学会誌など

- 1) 田中一男・小寄貴弘, 並列分散的補償の概念を用いたトレーラ・トラックタイプロボットのファジィ後退制御, 計測自動制御学会論文集, Vol.32, No.3, pp.363-368, 1996-3.
- 2) 山崎光悦・平野薫, 適応トラス構造の自律分散形姿勢決定法, 日本機械学会論文集 (A 編), 62 巻, 601 号, pp.2173-2179, 1996-9.
- 3) 田中一男・小寄貴弘, 2 台トレーラを有する移動ロボットのファジィ後退制御, 計測自動制御学会論文集, 33 巻, 6 号, pp.541-546, 1997-6.
- 4) K.Tanaka, T. Kosaki, T. Taniguchi and H.Wang, An LMI Approach to Backer-Upper Control of a Truck with Ten Trailers, Seventh International Fuzzy Systems Association World Congress, Prague, Vol.3, pp.376- 379, 1997-6.
- 5) K.Tanaka, T.Taniguchi and H.Wang, Model-based Fuzzy Control for Two Trailers Problem: Stability Analysis and Design via Linear Matrix Inequalities, Sixth IEEE International Conference on Fuzzy Systems, Barcelona, Vol.1, pp. 343-348, 1997-7.
- 6) Yamazaki and Hirano, Posture Adaptation of Variable Geometry Truss Structures by Autonomous Distributed Criterion, International Symposium on Optimization and Innovative Design, (Tokyo), pp.211-213, 1997-7.
- 7) K. Yamazaki, S. Kundu and M. Hamano, Genetic Learning of Optimal Rules for Posture Adaptation in Variable Geometry Structures, Computer Aided Design of Structures V, Computational Mechanics Publications, (Rome),

pp.239-248, 1997-9.

- 8) K.Tanaka and T. Kosaki, Design of a Stable Fuzzy Controller for an Articulated Vehicle, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics : Part B, Vol. 27, No.3, pp.552-558, 1997.
- 9) K. Yamazaki, S. Kundu and M. Hamano, Genetic Learning of Distributed Control Rules for Posture Adaptation of Variable Geometry Trusses, Proceedings of the 39th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Material Conference, (Long Beach), pp.1763-1771, 1998-4.
- 10) 山崎光悦・S. Kundu・浜野道知, 遺伝的プログラミングによる形状可変トラス構造の自律分散形姿勢制御則の獲得, 日本機械学会論文集(C編), 64巻, 621号, pp. 1715-1721, 1998-5.
- 11) K. Yamazaki, S. Kundu and M. Hamano, Genetic Programming Based Learning of Control Rules for Variable Geometry Structures, Proceedings of the 3rd Annual Genetic Programming Conference, pp.412-415, 1998-7.
- 12) K. Shirase, H. Narita, H. Wakamatsu, E. Arai and K. Iwata, PC Based Virtual Machining Simulator for Autonomous and Intelligent Machine Tool, Proceedings of the 1998 JAPAN-U.S.A. Symposium on Flexible Automation, pp.1281-1288, 1998-7.
- 13) K.Tanaka, T.Kosaki and H. Wang, Backing Control Problem of a Mobile Robot with Multiple Trailers: Fuzzy Modeling and LMI-based Design, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics Part C, Vol.28, No.3, pp.329- 337, 1998-8.
- 14) K. Yamazaki, S. Kundu and M. Hamano, Controlling Adaptive Structures by Genetically Bred Rules-Extraction of Semantic Content of the Rules, The ninth International Conference on Adaptive Structures and Technologies, (Cambridge), pp.475-484, 1998-10.
- 15) 立矢 宏・秋野晋也・竹内政紀・須賀智昭, 異形式の平行メカニズムからなる6自由度空間ハイブリッドメカニズム, 日本機械学会論文集(C編), 64巻, 627号, pp. 4353-4360, 1998-11.

(2) 口頭発表

- 1) 山崎光悦・平野 薫, 三次元適応トラス構造の自律分散型姿勢決定法, 日本機械学会第2回最適化シンポジウム, 金沢, 1996-9.
- 2) 山崎光悦・S. Kundu・浜野道知, 遺伝的プログラミングによる形状可変トラス構造の自律分散型姿勢制御則の獲得, 日本機械学会第74期通常総会講演会, 東京, 1997-3.
- 3) 立矢宏, 器用さに優れたハイブリッドメカニズムの総合, ロボティクス・メカトロニ

- クス講演会'97, 神奈川, 1997-6.
- 4) 山崎光悦・S. Kundu・浜野道知, 形状可変トラス構造の自律分散型姿勢制御則の獲得法の検討, 日本機械学会第10回計算力学講演会, 東京, 1997-7.
 - 5) 山崎光悦・S. Kundu・浜野道知, 形状可変トラス構造の自律分散型姿勢制御則獲得法(先端位置規定問題の姿勢決定), 日本機械学会北陸信越支部100周年記念講演会, 金沢, 1997-9.
 - 6) 山崎光悦・S. Kundu・佐藤一郎, GAによる適応トラス構造の自律分散型姿勢制御則獲得法の検討, 北陸信越支部100周年記念講演会, 金沢, 1997-9.
 - 7) 山崎光悦・林 垂杰, 三次元適応トラス構造の試作と先端位置制御, 日本機械学会北陸信越支部100周年記念講演会, 金沢, 1997-9.
 - 8) 山崎光悦・今村裕樹, 柔軟適応トラス構造の適応過程のシミュレーションと自律分散型制振法の検討, 日本機械学会北陸信越支部100周年記念講演会, 金沢, 1997-9.
 - 9) 長舟伸也・松本卓也・若松栄史・白瀬敬一・荒井栄司, アクティブデータベースを用いた分散型生産システムの構築-搬送時間を組み込んだ動的スケジューリング-, 1998年度精密工学会秋季大会学術講演会, 神戸, 1997-10.
 - 10) 荒井栄司・松本卓也・長舟伸也・白瀬敬一・若松栄史, 人間指向型生産システム・アーキテクチャの一提案, 1998年度精密工学会秋季大会学術講演会, 神戸, 1997-10.
 - 11) 長舟伸也・加藤義晃・松本卓也・井戸祥文・若松栄史・白瀬敬一・荒井栄司, フレキシブル加工フィーチャーの概念による柔軟な加工工程の生成, 日本機械学会第75期通常総会講演会, 東京, 1998-3.
 - 12) 井戸祥文・若松栄史・白瀬敬一・荒井栄司, 柔軟な工程設計のための加工プリミティブの生成, 1998年度精密工学会秋季大会学術講演会, 札幌, 1998-9.
 - 13) 白瀬敬一・沢田篤・若松栄史・荒井栄司・岩田一明, 切削力適応制御に基づくNCプログラムレス旋削加工の試み, 日本機械学会第76期全国大会講演会, 仙台, 1998-10.
 - 14) 山崎光悦・林 垂杰, 適応トラス構造の試作と分散姿勢制御シミュレーション, 日本機械学会平成10年度材料力学講演会, 熊本, 1998-11.
 - 15) 山崎光悦・佐藤一郎, 適応トラス構造の最適姿勢決定法, 日本機械学会平成10年度材料力学講演会, 熊本, 1998-11.
 - 16) 山崎光悦・佐藤一郎, 最適性規準による適応トラス構造の最適姿勢決定法, 日本機械学会北陸信越支部第36期総会講演会, 富山, 1999-3.
 - 17) 山崎光悦・林 垂杰, 三次元適応トラス構造の姿勢制御法に関する検討, 日本機械学会北陸信越支部第36期総会講演会, 富山, 1999-3.

2. 自律分散型適応姿勢制御則獲得法の検討

本研究では、まず二次元や三次元のアーム型形状可変トラス構造を対象に、エネルギー規準に基づく自律規範を仮定して、あるいは剛性規準による最適規準に基づいて軌跡制御、最終姿勢制御のシミュレーションを有限要素法によって試みた。その結果を2. 1節に示す。特に、複数個の適応トラスアームが協調作業をするときの最適姿勢の決定を最適規準に基づいて試みた結果も示す。また2. 2節では、自律分散制御則の獲得を目的に、遺伝的プログラミングを利用した制御則獲得法を考案し、二次元適応構造に適用してその有効性を検討した結果を示す。さらに2. 3節では、柔軟構造物を対象とした自律分散型制振法について検討した結果を示す。

2. 1 最適性規準に基づく姿勢決定法

本節では、アクチュエータとセンサーを組み込んだ形状可変トラス・モジュールを数十段組み上げた実用的な規模の適応トラス構造の実時間での軌跡制御、姿勢制御の実現を最終目的として、二次元および三次元のトラスアーム型の適応構造物が作業荷重をアーム先端に負荷されたときの最適姿勢を得るための制御則を、最大剛性あるいは制御エネルギーと構造エネルギーを同時に最適化するエネルギー規準を導出し、各トラスモジュール周辺のみで局所情報で自律分散的に到達することを数値シミュレーションによって確認した。その詳細は、後に掲載の以下の論文に詳しく述べるが、(1) 作業荷重の方向のみが規定される場合と、(2) 作業荷重の方向と作用点が規定される問題とに分け、二次元適応トラスと三次元適応トラスのそれぞれについて、各モジュールの疑似的なひずみエネルギー感度を用いた自律エネルギー規範を提案し、その有効性をシミュレーションによって確認している。その方法は、ほとんどの初期姿勢に対して、有効かつ効率的に最適姿勢に誘導するために機能すること、また適応トラスの一部のアクチュエータに故障が発生しても極めて有効に機能することも確認している。

- 1) 山崎光悦・平野薫, 適応トラス構造の自律分散形姿勢決定法, 日本機械学会論文集 (A編), 62巻, 601号, pp.2173-2179, 1996-9.
- 2) 山崎光悦・平野 薫, 三次元適応トラス構造の自律分散型姿勢決定法, 日本機械学会第2回最適化シンポジウム, 金沢, 1996-9.
- 3) Yamazaki and Hirano, Posture Adaptation of Variable Geometry Truss Structures by Autonomous Distributed Criterion, International Symposium on Optimization and Innovative Design, (Tokyo), pp.211-213, 1997-7.

しかし、各トラス・モジュールに対して同一の適応則では初期姿勢に依存して局所解に

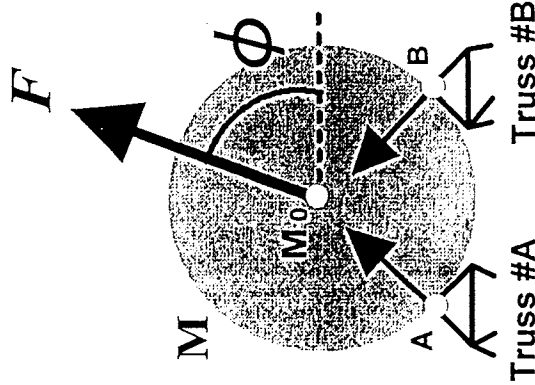
陥り，全体最適解に到達できないことが発生することが判明した．

そこで，より全体的な姿勢制御則を導出すべく，静的作業負荷に対してより厳密な最適姿勢に到達するための最適性規準を全体のひずみエネルギー最小の条件から導出し，複数のマニピュレータアームが協調作業をする場合の基本である２本のトラスアームに対して最適姿勢制御に適用して，その有効性をシミュレーションによって確認した．その詳細は，後述の以下の論文に詳しく示す．

- 4) 山崎光悦・佐藤一郎，適応トラス構造の最適姿勢決定法，日本機械学会平成10年度材料力学講演会，熊本，1998-11.
- 5) 山崎光悦・佐藤一郎，最適性規準による適応トラス構造の最適姿勢決定法，日本機械学会北陸信越支部第36期総会講演会，富山，1999-3.

協調作業問題への応用

F : Force of inertia



Truss #A及びTruss #Bが協調して物体Mを支えている



各々のトラスアームが荷重負荷位置を変えず、それぞれ最大剛性姿勢となるよう最適性規準により姿勢変更

各々のトラスアームの荷重値及び荷重負荷方向は力・モーメントのつりあいから算出

シミュレーション例(2)

制御対象とする適応トラスモデル

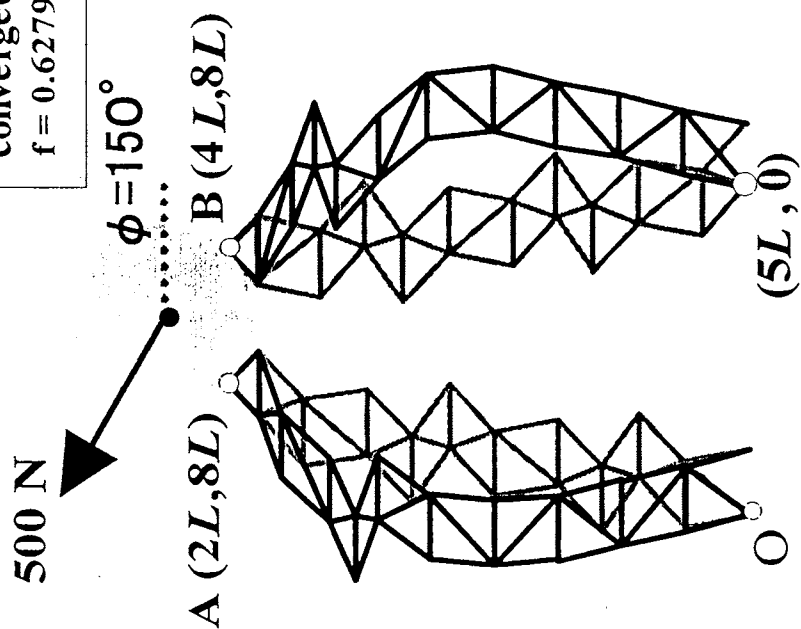
- 2種類の10段適応トラスアームが協調作業
- 荷重負荷位置を $A(X_A, Y_A)$ 及び $B(X_B, Y_B)$ に規定

FEM解析に用いたパラメータ

部材長	: $L = 1000 \text{ mm}$
部材断面積	: $A = 100 \text{ mm}^2$
ヤング率	: $E = 205.8 \text{ GPa}$
物体 M の負荷荷重	: $F = 500 \text{ N}$

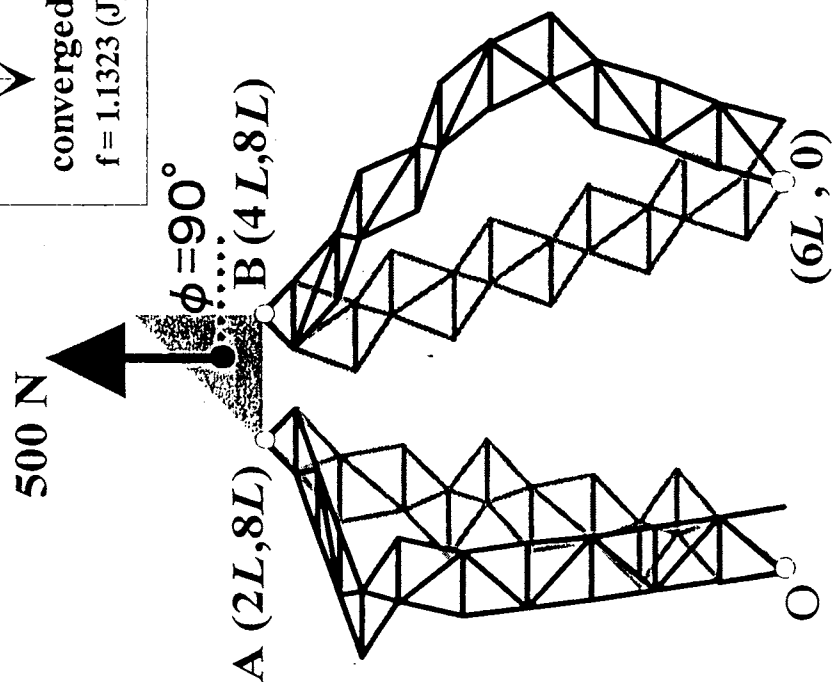
シミュレーション結果(2)

Initial
f = 3.6641 (J)
→
converged
f = 0.62794 (J)



Posture 4

Initial
f = 6.2614 (J)
→
converged
f = 1.1323 (J)



Posture 5

2. 2 遺伝的プログラミングによる姿勢制御則の獲得

可変長部材を含むトラス部分構造モジュールを直列に組立てた形状可変二次元および三次元トラス構造を対象として、種々の位置、方向の静的負荷（作業ベクトル）に対して初期姿勢からの先端の移動軌跡を与えたときに、その最適な移動過程、最終姿勢に対する各トラスモジュールの制御量、部材変形・発生応力の局所情報より各部材長の変更量、制御量を決定するための自律規範、局所的な制御則を創発的に自動生成するためのモデルを遺伝的プログラミングを利用して階層的な制御則として構築した。

遺伝的プログラミング(Genetic Programming; GP)とは、遺伝的アルゴリズムを拡張させたものであるが、遺伝的アルゴリズムとの決定的な相違は個体（遺伝子）の持つデータ構造にある。通常、遺伝的アルゴリズムの個体は一次元のバイナリコードで表現されるのに対して遺伝的プログラミングでは木構造（ツリー）やグラフ、ネットワーク構造を持つ。これらの構造を取り扱うことにより遺伝的アルゴリズムでは取り扱えないような複雑な関係式や概念を表現することが可能で、ときには得られた結果の表現式等の物理的な解釈も可能である。なお、遺伝的プログラミングの基本的な操作は、遺伝的アルゴリズムと同様で、木構造などに対して交差、再生産、突然変異などの遺伝的操作を繰り返して世代を重ねることにより解空間の探索を行うことができる。

自律分散型制御則を遺伝的プログラミングを用いて獲得するには、制御則を個体として扱えるよう木構造で表現する必要がある。詳細は後述の論文に示すが、本研究では制御則を次の4種類の木構造から成るものとした。

- (1) Main tree : 制御則の流れを記述する制御則本体で、各適応トラスモジュールの入力情報に対して以下の3種類の木構造の組み合わせから個別の制御量を出力する。
- (2) Condition tree / Select rule tree : 制御対象とするモジュールの状態を上下のモジュールの状態との比較値によって表現するサブツリー。
- (3) Control tree : 対象モジュールの前後の制御ステップでの部材の疑似応力感度から制御量を算出するサブツリー。

上記の木構造の組み合わせによって各制御則を個体として表現し、ランダムに与えられる初期姿勢から最終姿勢に至る過程を有限要素法を用いた姿勢制御シミュレーションを実施して、より最大剛性姿勢に近い姿勢に到達できる制御則を最終的に得ることができると確認した。二次元適応トラス構造を対象に、前節と同様、作業荷重の方向のみが規定される場合と方向と作用点が規定される場合についてそれぞれ制御則の獲得を行い、その自動生成された自律規範を用いて種々の初期姿勢からの移動過程、最終姿勢決定の有限要素シミュレーションを実施し、考案した自律規範生成モデルの有効性を確認すると共に、生成された制御則の物理的解釈を試みた。また制御目的に最大剛性と制御エネルギー最小の両方を考慮した制御則獲得についても検討した。詳細は以下の論文に示す。

- 6) 山崎光悦・S. Kundu・浜野道知, 遺伝的プログラミングによる形状可変トラス構造の自律分散形姿勢制御則の獲得, 日本機械学会論文集(C編), 64巻, 621号, pp.1715-1721, 1998-5.
- 7) K. Yamazaki, S. Kundu and M. Hamano, Genetic Learning of Optimal Rules for Posture Adaptation in Variable Geometry Structures, Computer Aided Design of Structures V, Computational Mechanics Publications, (Rome), pp.239-248, 1997-9.
- 8) K. Yamazaki, S. Kundu and M. Hamano, Genetic Programming Based Learning of Control Rules for Variable Geometry Structures, Proceedings of the 3rd Annual Genetic Programming Conference, pp.412-415, 1998-7.
- 9) K. Yamazaki, S. Kundu and M. Hamano, Controlling Adaptive Structures by Genetically Bred Rules-Extraction of Semantic Content of the Rules, The ninth International Conference on Adaptive Structures and Technologies, (Cambridge), 1998-10 (to appear in proceedings volume).
- 10) 山崎光悦・S. Kundu・佐藤一郎, GAによる適応トラス構造の自律分散型姿勢制御則獲得法の検討, 北陸信越支部100周年記念講演会, 金沢, 1997-9.

遺伝的プログラミングを用いて得られた自律分散型制御則の物理的な解釈を試みた結果,

- (1) 制御則によって計算させる数百以上ある入力・出力パターンの組み合わせのうち, 多数の初期姿勢に対して実際に使用される入出力パターンは高々50～60種類に止まっている,
- (2) 使用される入出力パターンはごく一部の例外を除き, すべて偶数段あるいは奇数段のモジュールのみの制御量決定に用いられる,
- (3) 入出力パターンの組み合わせで, 適応トラスアーム全体が時計回りに姿勢を回転する場合, 反時計回りに姿勢を回転する場合, およびその姿勢に止まろうとする場合に分類できる,

ことなどの法則性を見い出した.

2. 3 自律分散型制振法の検討

センサーとアクチュエータ，アクティブ・ダンパーを備えたトラス・モジュールを組立てた形状可変トラス適応構造を対象に，各可変部材モジュール近傍のセンサー情報のみから，姿勢移動過程における慣性力による振動，最終姿勢での擾乱による振動を抑制する各ダンパーおよび可変部材の自律制御規範を提案し，その有効性をNewMark β 法による動的応答数値シミュレーションによって確認したが，その効果は未だ不十分であり，今後さらに詳細な検討，新しい規範の導入が必要である．その詳細は以下の論文に詳しく示す．

- 11) 山崎光悦・今村裕樹，柔軟適応トラス構造の適応過程のシミュレーションと自律分散型制振法の検討，日本機械学会北陸信越支部100周年記念講演会，金沢，1997-9.

3. 三次元適応トラス構造の試作と姿勢制御実験

9 部材八面体を単位モジュールとし，水平三角形平面内の 3 部材を可変長部材とする 5 段の三次元適応トラス構造を試作した．各モジュールの可変長部材を伸縮することによって適応トラスアームの全体姿勢および先端位置を制御することができる．可変長部材にはステッピング・モーターの回転駆動を用いたボールネジによるネジ送り機構を採用した．また，制御系には先端位置をセンシングする超小型画像センサー，複数個のプログラマブルコントローラなどで構成され，各段ごとに独立に分散制御を可能とした．

制御実験では，まず先端位置制御を目的とする全体一括制御アルゴリズムを数種類検討し，具体的なラダープログラムを作成し，それらアルゴリズムの有効性，効率などを実験によって検証した．また機構解析の数値シミュレーションも実施して各種アルゴリズムの有効性を効率の観点から詳細に検討した．それらの詳細については以下の論文に詳しく示す．

- 12) 山崎光悦・林 垂杰，三次元適応トラス構造の試作と先端位置制御，日本機械学会北陸信越支部100周年記念講演会，金沢，1997-9.
- 13) 山崎光悦・林 垂杰，適応トラス構造の試作と分散姿勢制御シミュレーション，日本機械学会平成10年度材料力学講演会，熊本，1998-11.
- 14) 山崎光悦・林 垂杰，三次元適応トラス構造の姿勢制御法に関する検討，日本機械学会北陸信越支部第36期総会講演会，富山，1999-3.

一方，前章に示した自律分散型の制御則獲得法を用いた三次元適応構造の制御則獲得，およびそれを用いた自律分散型姿勢制御実験，およびそれを連続的に実施する軌跡制御実験については，時間的制約，プログラム上の困難性などから実施するまでには至らなかったが，ほぼ実現可能と確信しており，近い将来の課題としたい．以上のことより，制御要素が多数の場合の適応トラス構造の自律分散型姿勢制御，軌跡制御のほぼ基礎が確立できたと考えられる．

4. 自律分散型制御則獲得法の応用

4. 1 並列分散制御とトレーラ後退制御への応用

トレーラ・トラックの挙動は強い非線形性を示し、その後退制御にはジャックナイフ現象を回避する必要がある。ファジー制御分野の並列分散的補償法を用いたトラック・トレーラタイプのロボットのモデル化、制御設計、制御系の安定解析を実施した。またそれらの有効性を実験的にも確認した。特に2台のトレーラ、さらに複数台のトレーラが連結された場合の並列分散制御法を提案し、その有効性を実証した。これらを発展させることにより、こうした強い非線形挙動についても自律分散型制御の可能性を示すことができたと考える。

- 15) 田中一男・小寄貴弘, 並列分散的補償の概念を用いたトレーラ・トラックタイプロボットのファジィ後退制御, 計測自動制御学会論文集, Vol.32, No.3, pp.363-368, 1996-3.
- 16) 田中一男・小寄貴弘, 2台トレーラを有する移動ロボットのファジィ後退制御, 計測自動制御学会論文集, 33巻, 6号, pp.541-546, 1997-6.
- 17) K.Tanaka, T. Kosaki, T. Taniguchi and H.Wang, An LMI Approach to Backer - Upper Control of a Truck with Ten Trailers, Seventh International Fuzzy Systems Association World Congress, Prague, Vol.3, pp.376-379, 1997-6.
- 18) K.Tanaka, T.Taniguchi and H.Wang, Model-based Fuzzy Control for Two Trailers Problem: Stability Analysis and Design via Linear Matrix Inequalities, Sixth IEEE International Conference on Fuzzy Systems, Barcelona, Vol.1, pp. 343-348, 1997-7.

4. 2 機構設計への応用

パラレルメカニズムは、並列に配置した複数の節で出力節を支持するため、通常のシリアルメカニズムに比較して高剛性、高出力が期待できるが、その分だけ制御や操作が困難となる。そこでパラレルメカニズムとシリアルメカニズムを組み合わせたハイブリッドメカニズムを採用することにより、機構解析および総合を容易にし、分散制御の可能性を示した。特に6自由度異形式のパラレルメカニズムについて、その機構形式の特徴を評価し、可制御性、操作性について詳しく検討した。

- 19) 立矢 宏・秋野晋也・竹内政紀・須賀智昭, 異形式のパラレルメカニズムからなる6自由度空間ハイブリッドメカニズム, 日本機械学会論文集(C編), 64巻, 627号, pp. 4353-4360, 1998-11.

4. 3 切削加工への応用

自律分散型の制御，管理の考え方を基本として，知的工作機械の仮想加工シミュレータの構築法を提案し，そのシステムを実現させて有効性を検討した．また分散型アーキテクチャと集中型アーキテクチャを混在させて自律分散型機能を有する人間指向型生産システム・アーキテクチャを提案した．さらに，柔軟性，適応性のある加工行程の生成，適応制御に基づくプログラムレス加工の可能性についても検討し，有効性を見出した．詳細は以下の論文に示す．

- 20) K. Shirase, H. Narita, H. Wakamatsu, E. Arai and K. Iwata, PC Based Virtual Machining Simulator for Autonomous and Intelligent Machine Tool, Proceedings of the 1998 JAPAN-U.S.A. Symposium on Flexible Automation, pp.1281-1288, 1998-7.
- 21) 荒井栄司・松本卓也・長舟伸也・白瀬敬一・若松栄史, 人間指向型生産システム・アーキテクチャの一提案, 1998年度精密工学会秋季大会学術講演会, 神戸, 1997-10.
- 22) 長舟伸也・加藤義晃・松本卓也・井戸祥文・若松栄史・白瀬敬一・荒井栄司, フレキシブル加工フィーチャーの概念による柔軟な加工工程の生成, 日本機械学会第75期通常総会講演会, 東京, 1998-3.
- 23) 白瀬敬一・沢田篤・若松栄史・荒井栄司・岩田一明, 切削力適応制御に基づくNCプログラムレス旋削加工の試み, 日本機械学会第76期全国大会講演会, 仙台, 1998-10.

5. 自律分散型制御法の展望と今後の課題

以上、本研究で得られた研究成果について述べた。当初、計画したように開発した手法を用いて獲得した自律分散型制御則の有効性を試作した三次元適応トラス構造の適応制御に用いて実験的に完全に実証するまでには至らなかった。したがって、今後は次のような観点からのさらなる研究が必要である。

- (1) 獲得した各種の姿勢決定のための自律分散型制御則を、実時間制御の観点から具体的な実験レベルでより簡潔でコンパクトな制御プログラムにインプリメントするための工夫をさらに検討する必要がある。
- (2) 姿勢制御則を発展させて、実時間での適応構造の自律分散型軌跡制御法をより具体的に検討し、実用レベルに高める必要がある。また柔軟構造物に対する実時間での制振法の検討も不可欠である。
- (3) 開発した自律分散型制御則獲得法は、それなりにある適用範囲では有効であることが確認できたが、他の分野の応用例にみられるように、自律分散制御の観点からは今後、さらにより一般的な入出力情報に対する自律分散型の制御法則の自動生成手法を開発し、現実的なレベルでの汎用性ある制御規則を獲得する努力が必要である。

以上のような観点からの研究をさらに積み重ね、今後、極めて大規模な制御系、システムの群制御が可能となれば、局所的には極めて単純な制御ルールをインプリメントするだけで、複雑な作業や運動機構、ロボットの実現が可能になるものと確信する。