

機械の知能化技術の開発と応用

Development and Application of Intelligence Technology for Mechanism

技術本部 大道武生^{*1} 井辺智吉^{*2}
飯田泰久^{*3}
神戸造船所 浜田彰一^{*4}

自動化・ロボティクス装置は様々な領域からのニーズが増加しているが、その基盤となっているのが知能化技術と言える。当社は、長年の原子力発電所の保守点検用を主体として自動化装置の開発に取り組んできており、その経験から、知的機械の要素技術を階層的に整理した。それらの要素技術をニーズに応じて、システム化、複合化することによって製品を開発している。本報では本領域技術の取組みと先行応用例を紹介する。

The application of automated mechanisms and robot based on intelligence technology is increasing in various fields. We have long been involved with the development of automatic equipment for the inspection and repair of nuclear power plants, and this experience has allowed us to organize the technological elements of intelligent machinery hierarchically. By systemization and combination of these technological elements, we are able to develop products that meet various requirements, and in this report we introduce an example.

1. はじめに

機械の知能化については新しい分野を開く技術として、世界的にも先端的研究が行われてきた。しかし、産業用ロボットが市場に確立した基盤を持つのに反し、その代表格である知能ロボットの導入が大幅に進展しているとは言い難い。一方、これらロボット上の知能化で芽出しされた技術の応用展開は、各要素の完成度の向上によって他分野にも広がりを見せている。ここでは、知能化技術の要素技術展開の応用例を紹介する。

2. 知能機械の要素技術的構成

多数の開発事例を分析・評価することにより、知能機械の要素技術を図1の①～⑧のように階層的に分類した。このことにより、要素技術の位置付けが明確になり、開発の効率化が図れる⁽¹⁾。オペレータの動作や意図は様々な知的遠隔制御部からの入力によって機械にインプットされ、計画部において手順化される。この手順に基づいて、ロボットの運動（マニピュレータの手先軸や移動ロボットの脚軌跡）が生成される。この階層では最終的に作業系とロボットの関節運動の関係付けが行われ、サーボ入力値として、サーボ系へ渡される。ロボットの状態はセンシング部でセンサ信号として情報化し、各階層に必要な加工を施した後、状態量にフィードバックされる。このとき、必要であれば環境状態の認識が行われ、制御情報として活用される。また、オペレータの判断・操作に必要な情報は状態提示部（知的遠隔操作部の状態）を通じてオペレータに提示される構成を取っている。

3. 知的サーボ技術の応用

サーボ技術の適用は最も応用の進んだ分野であるが、ここでは変わった事例として、ハイク噴水への応用を示す⁽²⁾。

ハイク噴水とは水の多彩な動きと音楽、レーザ光線により幻想的な空間をつくり出すものであり水を自在に操る噴水で、図2に演出シーンを示す。すなわち、噴水の噴射口姿勢を2方向に自在にコントロールして噴流方向を変えた噴水を初めて実現し

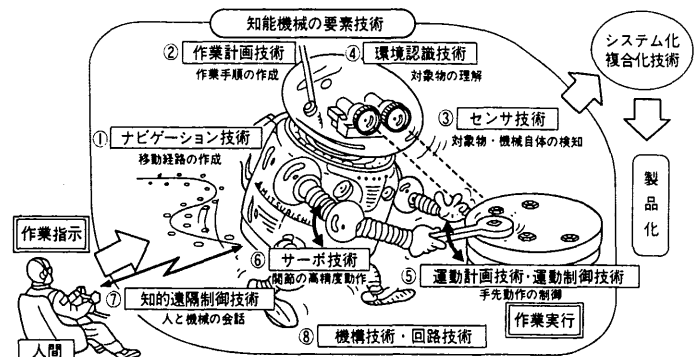


図1 知能機械の要素技術的構成
Hierarchical concept for technological elements of intelligent machinery

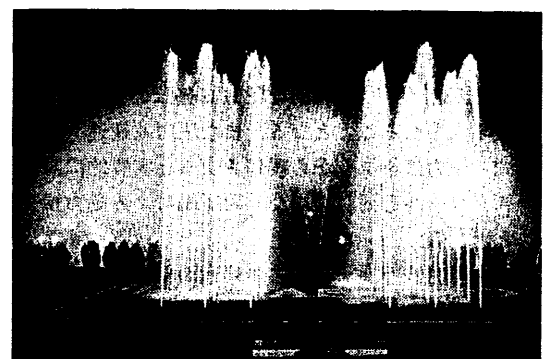


図2 ハイク噴水
High-tech fountain

た。噴射口をコントロールする方法として、高圧水のホースの先端をX方向、Y方向に動かす駆動装置を開発したが、高精度位置サーボを用いて関節を独立にコントロールしている。

4. 運動制御技術の応用研究

4.1 力制御の実用化研究

力の情報をうまく活用すると作業性能の向上が期待できる。

^{*1} 高砂研究所機器・自動化装置研究室長 ^{*3} 高砂研究所電子技術研究室長
^{*2} 高砂研究所機器・自動化装置研究室主務 ^{*4} 電子・宇宙技術部主査

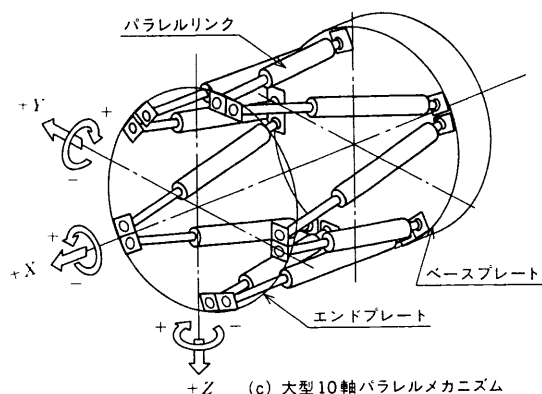
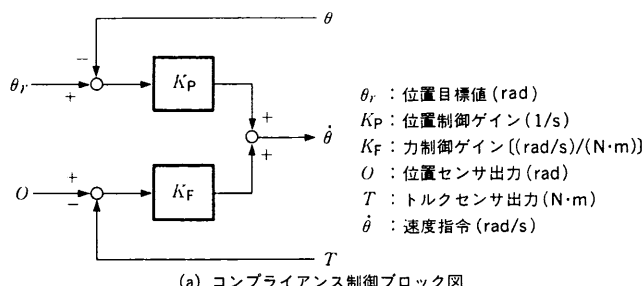


図3 運動制御の応用
Application of motion control

図3(a)は既に基本動作について完成済みのコンプライアンス制御のブロック図で⁽³⁾, 位置と力情報を利用してばねの特性を実現する手法である。

本手法を基本として, 一般的形状を事前情報なしでなぞることができるように, マニピュレータ動特性の向上や法線のリアルタイム予測手法を折込んだ手法として充実した。図3(b)は本制御を用いたクリアランス1mmの穴入れ作業を示す。

4.2 パラレルリンクによる重量物ハンドリングへの展開

図3(c)は10軸リンク構成のパラレルリンク機構である。この機構は負荷分散が可能で重量物を取扱うのに極めて都合が良い。軸本数の増加はさらにこの利点を強調できる。一方で冗長軸の制御という困難な課題を解く必要が生ずる。ここでは軸駆動力の設計に必要な逆キネマティクス問題については, ノルム2乗最小解でシミュレーションを行い, 種々の負荷パターンに適合するリンク配置の検討, 並びに所要軸駆動力の推定を行った。また, リアルタイム制御に必要な順キネマティクス問題については

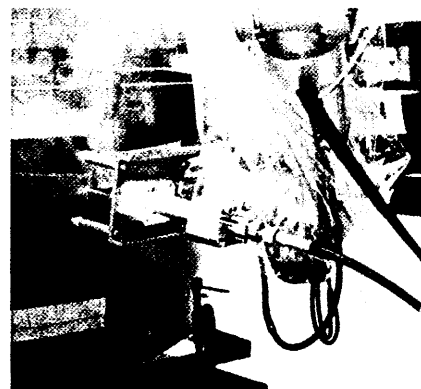


図4 ウォータージェット作業への応用
Water-jet work application

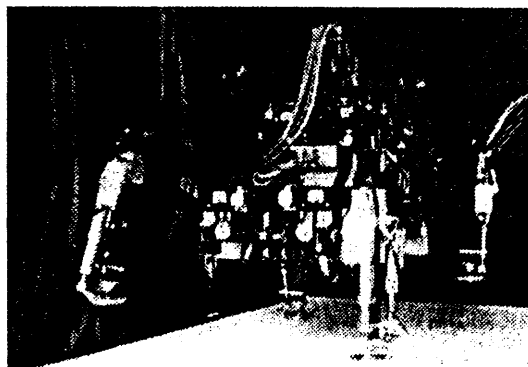
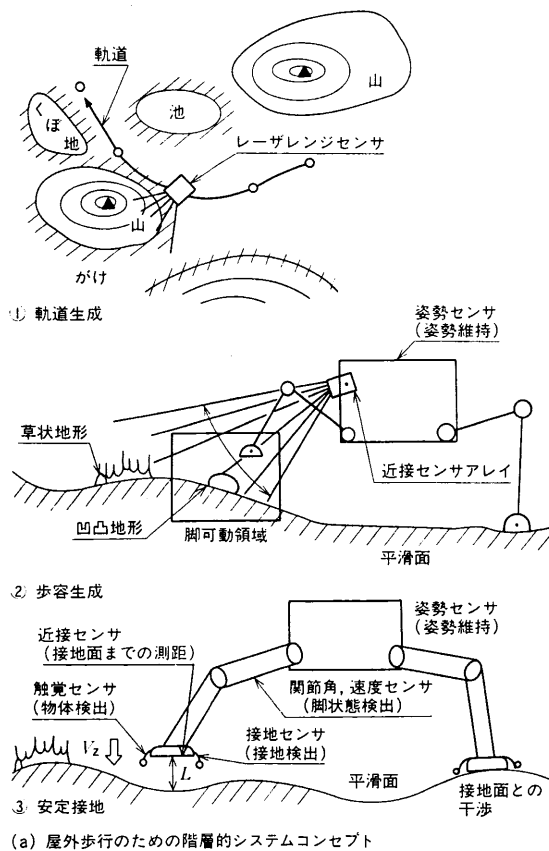
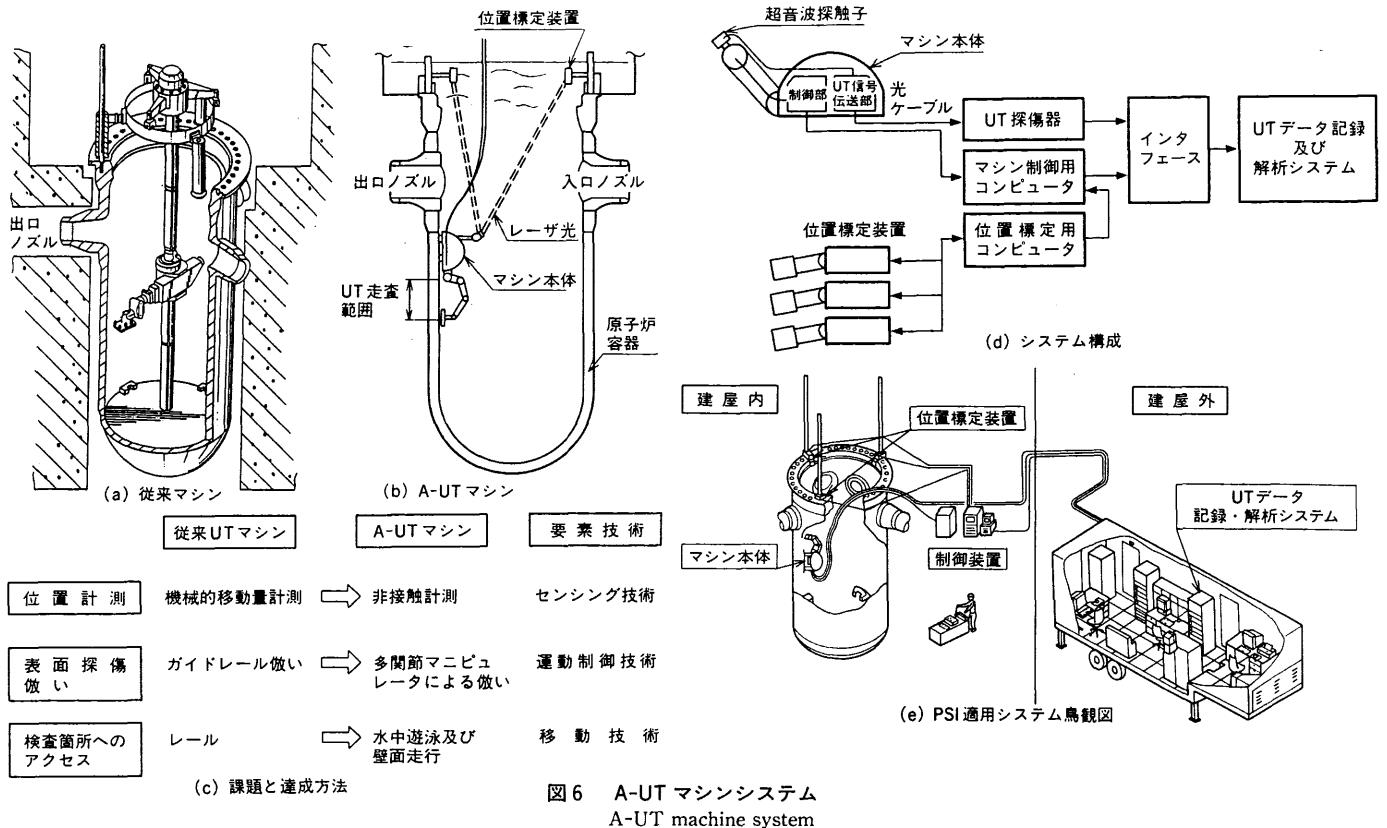


図5 4脚移動ロボットシステム
Quadrupedal walking robot system

6軸を基本とする線形一次の近似繰返し収束計算解法を適用し解決した。応用先としてはトンネル掘削機等重荷重機械での多様動作の実現がある。



5. 作業計画（教示）の新しい試み

運動制御は多自由度の機械を指示どおり動かす手段を提供するが、どのような指示（目標）を作るかということも智能化の重要な課題である。ここでは動作を簡単に教える方式として指示棒を活用する方式を開発した⁽⁴⁾。すなわち、

- (1) 動かしたい代表点を棒で指示し、それをロボットが目で見取る。
- (2) 代表点を適切な曲線で結ぶことによって、従来方式に比べ大幅な教示時間の短縮を実現した。

図4は、様々な形状を開始/終了点の情報でなぞるマニピュレータで、ウォータージェット作業に活用している。この教示には、前述の指示棒を活用する方式を採用している。

6. 移動技術への展開（4脚ナビゲーション）

移動ロボットは非常に高度の知能を要求する。特に脚ロボットはその傾向が強く、現在、屋外歩行を目標とした挑戦的研究が続けている。図5(a)は、脚ロボットの外観で、ロボットの屋外移動の実現のためには以下の機能の実現が必要と分析している。

- (1) 目的へ至る経路生成
 - (a) ロボットの能力を評価関数とした経路の生成
 - (b) 目標経路に対する移動誤差の修正・補正
- (2) 接地可能点探索と歩行実現の歩容実現
 - (a) インテンショナルセンシング（意図的センシング）による接地可能点の決定（研究中）
 - (b) ZMP（零モーメントポイント）応用によるトロット歩容
 - (c) 外乱等に対する復帰制御
- (3) 種々の性状形状の地面に対する安定接地
 - (a) センサフュージョンによる脚のソフトランディング
 - (b) 安定踏んばり

今のところ4脚歩行ロボットの実験室における実験レベルであるが、近々4脚歩行ロボットの屋外実験を行う予定である⁽⁵⁾⁽⁶⁾ [図5(b)]。

7. 複合、システム化

今まで述べてきた要素技術を複合、システム化した例として、改良型原子炉容器超音波探傷装置について紹介する⁽⁶⁾。

本ロボットのシステムアイデアを図6(a), (b), (c)に従来例と比較して示すが、これらを実現するために開発した要素技術は世界トップレベルのものである。

例えば

- ① アルゴンレーザによる水中高精度測定
(距離 20 m/精度 ±5 mm 以上)
 - ② 画像処理によるロボットのリアルタイム追尾
(精度 ±10 mm)
 - ③ 8軸マニピュレータによる UT（超音波探傷）のくろ型走査
(精度 ±2.5 mm 以上)
 - ④ 手先センサによる誤差補正
 - ⑤ 重心・浮心関係コントロールによる遊泳操作の容易化
- 等々である。もちろんシステムとしては世界的にも類例のないものであり、特に、R/V（炉容器）の探傷は巨大なコラム方式しかないとしていた常識に新鮮なインパクトを与えた。ロボットとしても知能ロボット、いわゆる、ロボットらしいロボットが実用された世界初の例とも言える。

なお、図6(d)にシステム構成を示すが、水中遊泳式マシン本体、位置標定装置、及び制御装置から成る試作開発要素と UT 処理系、すなわち UT 探傷器、UT データ記録・解析システムを結合しており、実寸サイズの原子炉容器モックアップを使用して機能試験を実施するとともに実工事への適用も図った。この試験の中で通産省の指定機関である発電技術検査協会の実用性確認

験を受け、探傷装置としての各種要求事項を満足することが確認された。

実工事に適用しうる確証が得られ、本システムを PSI（使用前検査）工事に適用し、JEAC 4205 に規定されている全検査対象箇所の探傷を完遂し得た（1991 年）。PSI 工事適用時のシステム鳥観図を図 6(e) に示す。

8. 新しい機械概念（ホロニックメカニズム）

8.1 マイクロマシンでのアプローチ

近年新しい機械として着目されているものにマイクロマシン技術がある⁽⁸⁾。

マイクロマシンはスケールの微小化に伴って機能が大幅に低下するので、意図を持った機能を発揮することが非常に困難な側面を持つ。しかし、一方で微小化は機構上のデメリットのみでなく、新しいメカニズム実現の可能性を提示する。例えば昆虫は小ささゆえに独特の世界の構築と繁栄を享受していると言われる。

我々はこの特徴を大きく生かす新しいメカニズムとしてホロニックメカニズムを提案した。

8.2 メカニズム基本コンセプト

ホロニックメカニズムに至る基本的考え方は、アリの協同作業に代表される弱い結合の群と、サンゴや筋肉のように同一機能の要素が集合し、全体として別の機能を発揮させるような強い結合の群に分類することにある。すなわち、本コンセプトは

◎基本的に同一、もしくは同種の機能要素を多数個ハード的に連結したメカニズムを有する機能体

として定義できる。

このメカニズムは多様な潜在機能を持つことを示すことができる（クモにもタコにも形態変化が可能：Holonix Octopider-2-PLHM の例）[図 7(a)]。

8.3 変態機能

ホロニックメカニズムを機能させる一つの課題は、超多自由度系の制御である。この制御は現在まで、計算時間の実用性も含めると、一般的解法があるとは言えない。ここでは、

変態制御：ホロニックメカニズムに幾つかの基本形態を与え、この形態をくずすことなく、所要の関節のみを制御し、目的の機能を実現すること

を行うことにする。すなわち、機能に応じた自由度の縮退を行うことによって、従来の制御則をより多く適用可能とすることを目差す。図 7(b) に変態制御（Forming Changing Control）適用によるホロニックメカニズムの動作例を示す。

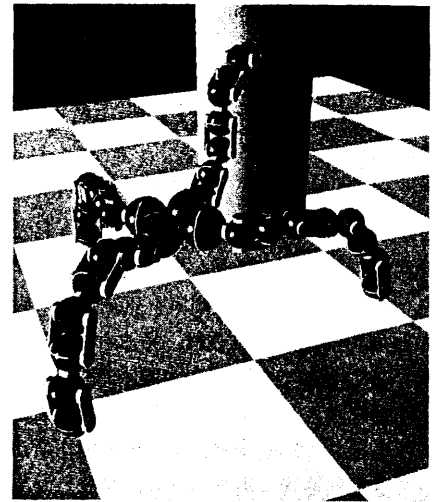
8.4 今後の展開

ホロニックメカニズムは現在通産省国家プロジェクトで研究中のもので、コンセプトの紹介が中心であるが、本研究はその実現を目指し、鋭意推進中であり、このような新しい機械の考え方を提案していくことが創造型技術を目指す重要課題と考えている。

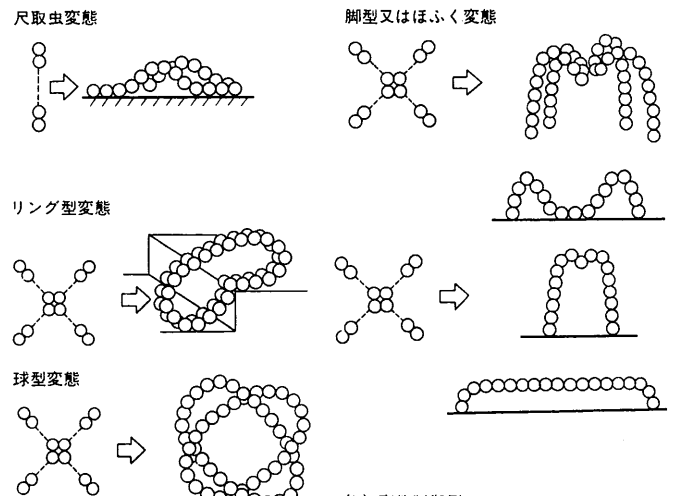
本研究開発は、(財)マイクロマシンセンターが NEDO から委託を受けた“マイクロマシン技術の研究開発”の一環として当社が(財)マイクロマシンセンターから再委託を受けて実施したものである。

9. おわりに

21 世紀に向かって、ますます人手不足が言われており、知能機械への期待は大きなものがある。また、そのニーズ領域も工場内の製造業から屋外・非製造分野へ広がっていくことが予想され



(a) Holonic Octopider 2-PLHM の例



(b) 変態制御例

図 7 ホロニックメカニズム
Holonix mechanism

る。当社は長年の研究の積み上げによって、機械の知能化技術とその要素の実用化を行えるようになり、やっと、実用的な意味で一つの体系化されつつある技術として考えられるようになったかと考える。また、近年屋外作業、3K 作業を中心に本要素技術の応用事例の増加が、加速化されてきており、今後とも更なる追求による新概念の創造や、実用化推進に努めていく。

参考文献

- (1) 大道，人間共存ロボットへの開発試行，日本機械学会第 69 期通常総会講演会資料集，Vol.D (1992) p.478～481
- (2) 小川ほか，三菱ハイテク噴水，三菱重工技報 Vol.30 No. 3 (1993) p.290
- (3) 前川ほか，関節型マニピュレータのコンプライアンス制御，日本機械学会論文集 C Vol.59 (1993) p.217～221
- (4) 大道ほか，非接触なマニピュレータ簡易教示法（第 1 報）－3 次元自動追尾による教示－，第 11 回日本ロボット学会学術講演会，No.3 A 22 (1993) p.189～190
- (5) 大道ほか，ロボットの能力に応じた軌道生成手法，第 11 回日本ロボット学会学術講演会 No.2723 (1993) p.225～228
- (6) 大道ほか，センサーフュージョンのナビゲーションへの応用，日本原子力学会マンマシンシステム研究連絡会 (1994)
- (7) 大道ほか，改良型原子炉容器超音波探傷装置の開発，日本ロボット学会誌 Vol.12 No.3 (1994) p.357～358
- (8) 大道ほか，ホロニックメカニズムと変態制御法，第 10 回日本ロボット学会学術講演会資料集 No.2924 p.857～860