

標準設計 (SDIR) による知能ロボット用 オープンアーキテクチャの開発

Standard Design and Moduled Devices with
Open System Architecture for Intelligent Robot

技術本部 大道武生^{*1} 井辺智吉^{*2}
川内直人^{*3} 樋口優^{*3}
神戸造船所 矢口誓児^{*4}

産業用ロボットの専用機としての完成度は、年々向上しているが、新しい市場開拓のキー技術である知能化は、実用化に至っていない。我々は各種知能ロボットの開発を通じて、各々のロボット間に存在するコア要素の標準化が有効と判断するに至った。そこで、多くの立場のロボットユーザを想定した従来製品にない階層的かつオープンなシステムを可能とするメカニズム、サーボドライバ、I/Oユニット、通信I/Fの各種モジュールを開発した。本報では、各種知能ロボットの導入加速を支援するこのロボット標準設計 (SDIR) の考え方を説明し、開発モジュールとその応用例を紹介する。

There are many research approaches to develop robot intelligent technology. However most of them could not be applied by robot manufacturers. We think it is important to apply to a robot system with a new concept of standard design which includes standard common robot element technology and standard systems with interface flexibility through our development. Mainly, we have constructed this standard concept through a manipulator system. Our standard design concept is an open system which is constructed hierarchically with 5 level robotic element modules; Mechanism, Servo, I/O, Network, Computer. The merits of this open system are the requirement of high system ability caused by progress in each module. By using these results, we could develop some applications including a 7 degrees of freedom manipulator, a nuclear power plant maintenance robot and an oil tank blast robot.

1. はじめに

産業用ロボットが世に出て約25年になるが、専用機としての完成度は年々向上している反面、新しい市場の開拓には至っていない。これを解決するには、ロボットの知能化が有効との認識で、現在までにさまざまな研究がなされてきたが、知能ロボットの製品化、実用化が盛んであるとは言えない。我々も発電施設をはじめ、多くのプラント点検ロボット等、非定形な作業を扱う必要から、ロボットの知能化に対する試みを各種行ってきた。その代表的なものとして、通産省大型プロジェクト極限作業ロボットの多本指双腕マニピュレータ⁽¹⁾やロボットとオペレータが協調して作業を行う知的遠隔制御手法⁽²⁾や目、手、脚の協調の有効活用を示すロボット⁽³⁾や原子炉圧力容器の探傷点検ロボット⁽⁴⁾がある。これら開発を通じて生じた問題を分析・検討した結果、各種ロボットに共通するコア要素を抽出し、コア要素設計の標準化とフレキシビリティを持たせるためのシステム標準化が知能ロボットの実用化に当たって有効であると判断した。我々は、これをSDIR (Standard Design for Intelligent Robot) と呼ぶ。本報では、SDIRの考え方について説明し、本設計を活用、推進するために開発したモジュール部品及び、その応用例について紹介する。

2. システムコンセプトとオープンシステムアーキテクチャ

従来のロボットは、達成すべき目標を定め、その目標達成の要素開発を駆使し設計されてきた。しかし、これは、完成されたロボットの持つ柔軟性や多様性、さらにはロボット自身の持つ潜在能力を殺すことにもなる。すなわち、完成されたロボットは、ユーザからは全くクローズされたものであり、ほんの少しの変更が

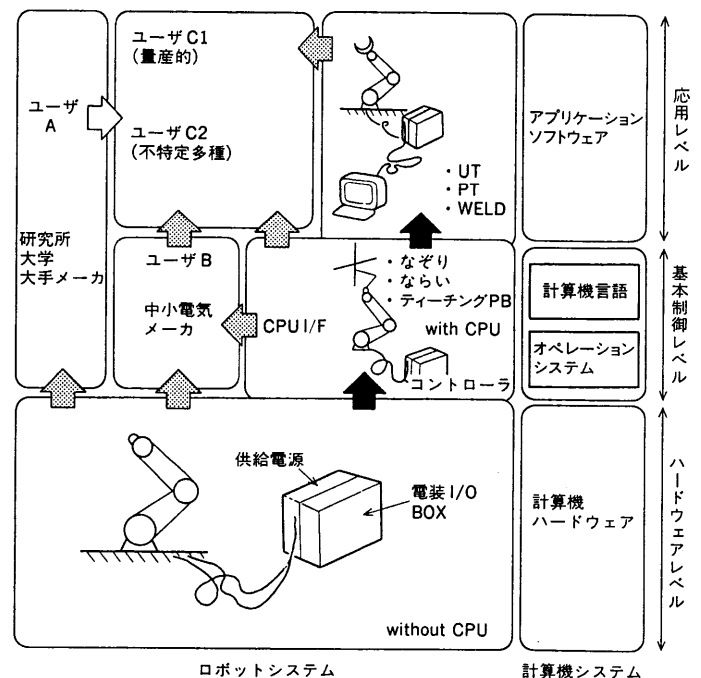


図1 知能ロボットの階層化システム 知能ロボットの構成システムを階層的に示す。
Concept of hierarchical system for intelligent robot

非常に難しい。したがって、多数ユーザを想定し、それぞれの立場でオープン化されたシステムとすることを設計の基本と考えた。しかし、あらゆる面でのオープン化は不可能であり、これを実現するため、システムを幾つかの階層に分け、その階層間をオープン化することにした。図1にその概要を示す。

^{*1} 高砂研究所機器・自動化装置研究室長 ^{*3} 高砂研究所機器・自動化装置研究室
^{*2} 高砂研究所機器・自動化装置研究室主務 ^{*4} 原子力プラント技術部が心機械設計課

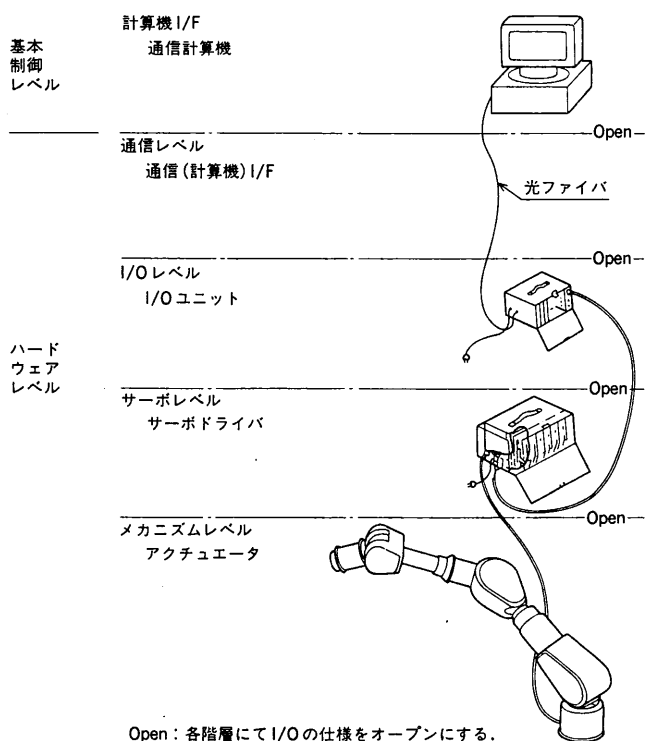


図2 ハードウェアの階層的オープンシステム マニピュレータを例とした構成システムを階層的に示す。
Hierarchical open system on manipulator hardware

- (1) ハードウェアレベル ロボット機構、サーボドライバ及び信号の入出力回路で構成される。さらに、内部においても後述のような更なる階層化、オープン化がなされている。計算機システムで言えば、計算機本体に相当する。
- (2) 基本制御レベル ロボットの知的制御を行うのに不可欠な制御アルゴリズムとそれを実行する計算機、及びハードウェア部との通信インタフェースから成る。制御アルゴリズムは、軌道の生成、位置と力のハイブリッド制御、コンプライアンス制御等の制御則とその使用面からのプログラミング言語に分けることができる。これは、計算機システムで言うオペレーションシステムと計算機用高級言語（C言語等）に相当する。
- (3) 応用レベル 作業実行のための最も知的な部分で、ハードウェアと基本制御レベルを効果的に活用した結果である。当然ながら、ハードウェアのみを活用することも可能で、本システムで用意されるものと異なった接続インタフェース、計算機、別の制御アルゴリズムを導入することも可能である。すなわち、すべての階層部で接続条件がオープンであるため、より上位側の構成は全く制約されないことを意味する。図1に示すとおり、各階層の上位に当たる部分はロボットユーザが自ら開発し、さらに上位階層レベルを要求するユーザに新たな開発品として供給することも可能である。すなわち、各々の階層レベルのロボット開発に最も適した者が効果的、効率的な開発を行うフレキシビリティを有する。さらに、各々開発されたシステムがオープン化されれば、知能ロボットの開発導入が加速的に進行することが期待される。

3. ハードウェアレベルでの試行例とモジュール開発

上述の考え方の実現性を例証するため、さらに、コンセプトから発生する効果以外の直接的メリット、例えばコストの大幅低減、超軽量化等を生じさせるために標準設計の試行とモジュール部品

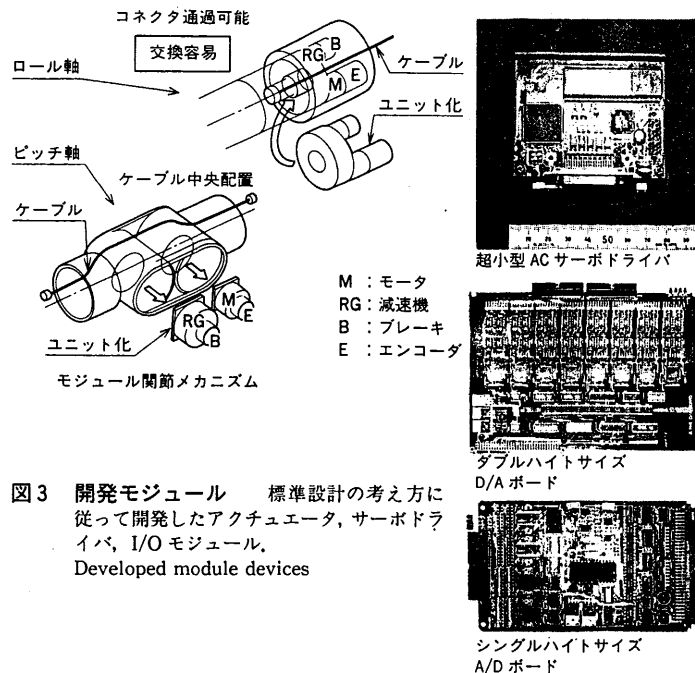


図3 開発モジュール 標準設計の考え方に従って開発したアクチュエータ、サーボドライバ、I/O モジュール、Developed module devices

の開発を行った。

3.1 ハードウェアレベルにおける階層化

図2にはマニピュレータをイメージしたハードウェアの階層ごとのオープン化の例を示す。すなわち、駆動機構とアクチュエータを基本とするメカニズムレベル、速度入力を基本とするサーボレベル、サーボドライバとの入出力インタフェース及びセンサ信号の入力やアクチュエータへの出力インタフェース回路から成る入出力レベル、ロボット側情報を計算機に接続する通信レベルに階層化し、その接続間はオープンとした。さらに、基本制御レベルとの接続を行うため、通信インタフェースも併せ考えた。

3.2 モジュール化

3.1 節の階層的な考え方に立って設計されたのが、モジュールである。この考え方は、マニピュレータに限らず適用可能で、また、各々のモジュールに最新の技術を付加しておけば、本モジュールの採用で、世界一級のハードウェアが実現できる。図3に開発したモジュールを示す。

- (1) アクチュエータモジュール 旋回と屈曲の2種のモジュールを適切に組立てることで、多自由度機構を実現する。このとき、各モジュールは所要トルクに応じて設計されるが、モジュール内の基本構成、配置は同じとする。アクチュエータは、AC サーボモータ、減速機、ブレーキで構成する。特徴は、関節の組立、分解といったメンテナンス性を考慮したモジュール化関節構造にあり、図3に示すモータ、ブレーキを本体に容易に結合できるようにユニット的に組立てた旋回軸と屈曲軸とした。さらに信頼性の確保のため、ケーブルの機内配線を容易にする中空内公転減速機を採用した。また、部品数の削減と軽量化を狙ったCFRP フレームを開発実装することで、産業用ロボットに対し、ほぼ 1/10 の重量に収めることができた。
- (2) サーボドライバモジュール 我々は、パワー部を含めサーボモータを駆動する世界最小サイズのサーボドライバをモジュール化した。すなわち、パワー部の熱伝達設計を行った結果、速度比 1:1000 の能力を持つ容量 200 cc 重量 1.9 N で出力 200 W のパワーが達成できるドライバであり、移動ロボット等への実装が大幅に向上するものと期待できる。



図4 7自由度マニピュレータ 開発した7自由度マニピュレータの写真。
7 degree of freedom manipulator

(3) I/O モジュール 拡張性を重視し、機能別の A/D, D/A, カウンタ, パワー, PIO ボードを開発した。これらボードと通信モジュールは高速伝送を考慮したバス構成を取っている。データは、信号チャンネルに割当てられた 10 bit のアドレスと 16 bit のデータを 1 単位として扱う。また、センサ等の信号とバス信号とはノイズ等の影響を除去するため、すべてアイソレートされている。また、ボードサイズは、入出力チャンネルに柔軟に対応するため VME の二つのサイズ (ダブルハイト, シングルハイト) の双方を開発した。

(a) A/D ボード ダブルハイトサイズ 64 ch (シングルハイトサイズ 32 ch, 以下同様表現) をマルチプレクサを使って高速変換する。また、各信号はアナログレベルでサンプルホールド機能を持たせ、データの同時刻性にも配慮した。

(b) D/A ボード 64 ch (32 ch) で基本構成は A/D ボードに同じである。

(c) カウンタボード 32 ch (16 ch) の分解能 16 bit のカウンタでインクリメンタル方式である A, B, Z 相の対応機能を持つ。

(d) パワーボード 32 ch (16 ch) の CMOS をスイッチ、接点として活用した。

(e) PI/PO 各々 128 点 (48 点) の接点入力/出力用ボードで、各信号は、16 bit 単位で処理される。

(4) 通信モジュール 通信モジュールは、各種 I/O と計算機とのシリアル/パラレル変換機能を持つ。シリアル信号は光ファイバ伝送も可能で、これら機能を 1 枚のボードとした。上述のようにアドレスとデータがセットでシリアル/パラレル化され、最大 1 000 ch のデータが速度 10 Mbps で伝送される。チャンネル数は、初期設定が可能で、転送データ数に応じてデータ当たりの転送速度を最大化できるように設計されている。この通信機能は IC チップ化されており、小型化実装に有効である⁽⁵⁾。

(5) 計算機 I/F モジュール 計算機バスに直接差し込める I/F

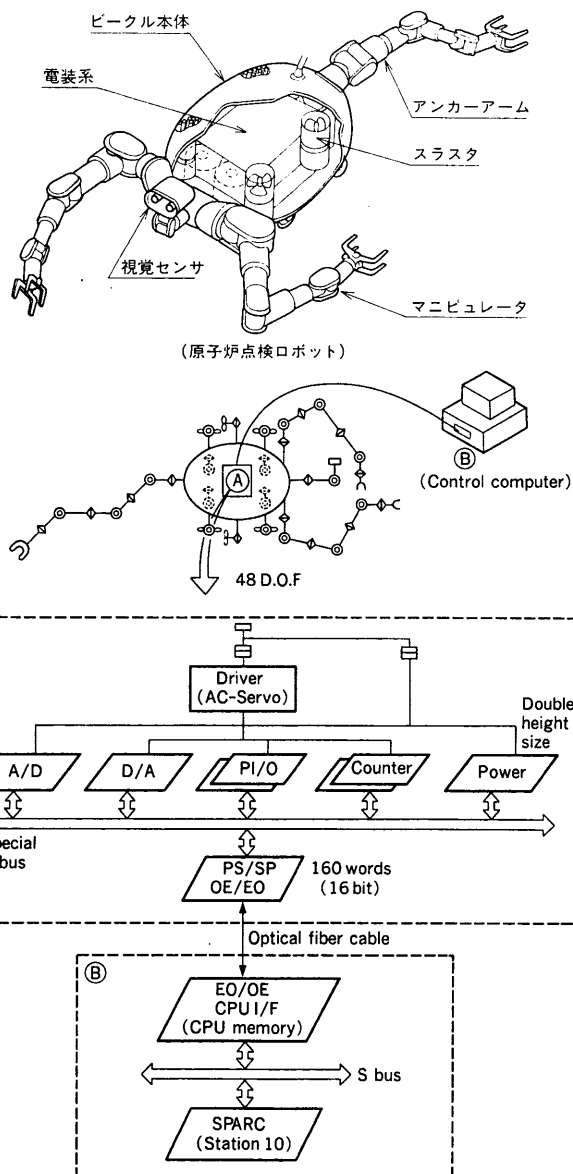


図5 知的保全システム水中点検ロボットモジュールシステム
開発中の原子炉点検ロボットの具体的モジュールシステム図。
Nuclear power plant maintenance robot module system

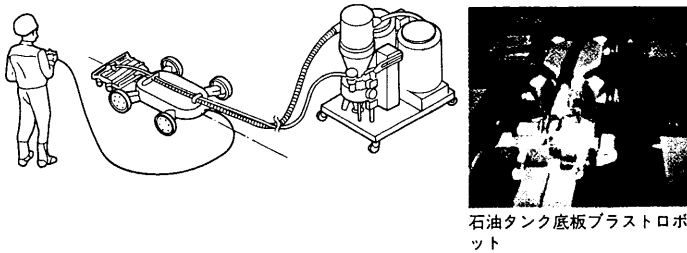
ボードで計算機側からはメモリと同様に扱えるので、プログラムは各計算機 OS を意識せずに作成できる。開発済みインタフェースボードとして、VME-Bus, S-Bus, (SPARC-SUN), PC-Bus (NEC-PC) が用意されている。

4. 応 用 例

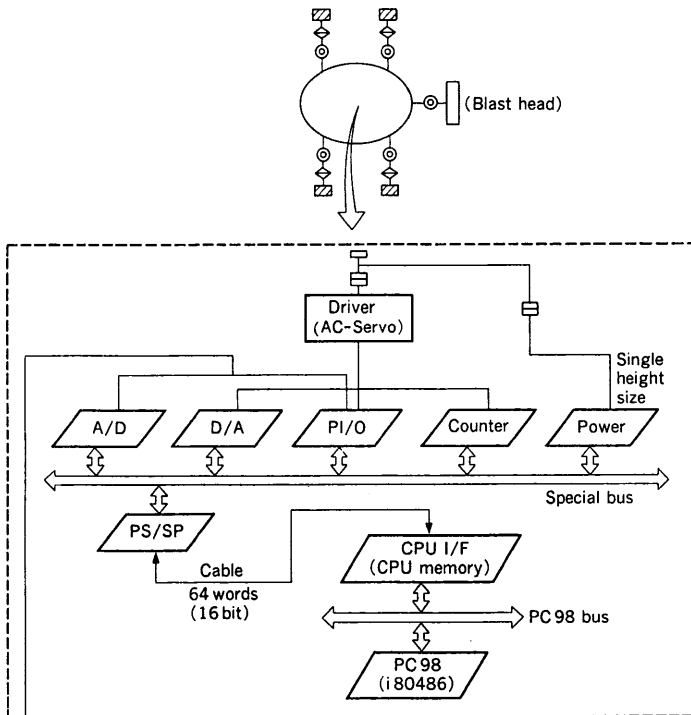
4.1 軽量可搬式マニピュレータ

本マニピュレータは標準設計そのものをイメージして開発されたものであり、世界屈指の性能を維持しつつ、開発期間の短縮やコストの低減において、大きな成果が得られた。図4に外観 (システム構成は図2) を示す。本マニピュレータの特徴は、オープン性からくる広範な用途のみでなく、下記の特徴を持つ。

- (1) 超軽量 ペイロード 50 N に対し重量 200 N という超軽量性を持つ可搬式ロボットとして活用したり、移動ロボット等に実装することが大変容易である。
- (2) 7 軸構成 冗長軸を有するため、障害物回避等の作業実現に有効である。



石油タンク底板ブラストロボット



(J/S-Box)

図6 石油タンク底板ブラストロボットモジュールシステム 開発した
タンク底板のブラストを行うロボットの具体的なモジュール。
Oil tank blast robot module system

(3) I/Oの冗長性, 拡張性 I/Oボードの入出力点数は, マニピュレータ専用としては, 冗長であるが, 他システムへ組込む場合, 非常に拡張性に富むためシステムコストの大幅削減に寄与できる。

4.2 知的保全システム水中点検ロボット

本ロボットは, 前述のマニピュレータの実装性の良さに着目し, 水中ビークルに作業用腕として2本, ビークル固定用として1本を実装するとともに, 試験用ビークル本体にもSDIRの開発モジュールを活用した。このロボットは, 原子炉内構造物の汎用点検を目指したもので, 通産省補助事業“知的保全システム”の一環として開発中である。図5にシステム構成を示す。

4.3 石油タンク底板ブラストロボット

本ロボットは, 標準設計の移動ロボットへの応用例である。標準設計のメカニズムレベルで提案した旋回軸モジュールを車輪に, 屈曲軸モジュールをステアリング軸に活用している。また, I/Oモジュールは, 全面的に標準設計のモジュールを採用することによって, 従来と比べて約1/4の開発期間の短縮とコストの低減が可能となった。図6にシステム構成を示す。

5. 結 論

知能ロボットの導入加速を支援するため下記の標準設計について提案し, その有効性を実証した。

- (1) システムを階層化し, その接続部をオープン化する。
- (2) 本階層は計算機アーキテクチャとの類似性を考え, ハードウェア, 基本制御, 応用の3階層とし, ユーザが上位構成を自在に構成できる。
- (3) 各レベルにおいての構成は内部を更に階層化, モジュール化し, 各モジュールは最新の技術を用いて設計する。
- (4) この考え方に基いて, ハードウェアレベルの実設計とモジュール開発を行った。
- (5) SDIRと開発モジュールを実ロボットに適用し, その効果が顕著であることを例証した。

このことによって, SDIRは様々な立場のロボットニーズに対応できることが示される。すなわち,

- (1) ロボットを使用する場合には, 作業ソフト開発の近道として活用できる。
- (2) 個々のロボット構成要素の内容に興味のない立場では, その構成要素の内部技術を活用する組立キットや様々な部品として活用できる。
- (3) より大規模なロボットシステム開発の立場では, SDIRで構成されたユニット(例えばマニピュレータ)を活用する等, 多くの導入が考えられる。

6. お わ り に

知能ロボットが, 多種多様な作業分野で活躍するためには, 知能と言われる制御アルゴリズムや認識情報処理の開発も重要なことであるが, その開発が, 機械のハードウェアを無視して作られたり, 遊離していたのでは, 目的を達することはできない。

しかしながら, 1人の研究者が広範なロボティクス技術のすべてを掌握することは不可能に近い。この矛盾を解決するため, オープン化された標準設計とそれに基づいた魅力ある機能モジュールを提供することは, あたかもコンピュータ産業においてハードウェアの提供側とそれを使いこなすためのソフトウェア開発側がうまく分業, 努力することによって成長してきたように, その普及において壁に当たっている知能ロボットの開発加速に必ずや貢献するものと信ずる。今後とも, この考え方を紹介するとともに, その応用による効果例を積み上げ, 本コンセプトの普及に努めていきたい。

参 考 文 献

- (1) 大西, 大道, 実証機用多本指マニピュレータ作業システム, 日本ロボット学会誌 Vol.9 No.5 (1991) p.88-97
- (2) Oomichi, T., et al., Intelligent Control of Four Fingered Manipulator System, '91 International Symposium on Advanced Robot Technology (1991) p.589-596
- (3) 大道ほか, 視覚と手・足の協調による作業ロボット, 第30回計測自動制御学会(SICE)学術講演会(1991) p.815-816
- (4) 大道ほか, 水中浮遊型超音波探傷ロボット, 第30回計測自動制御学会(SICE)学術講演会(1991) p.817-818
- (5) 大道ほか, OSに依存しないインターフェース素子の開発, 第8回日本ロボット学会学術講演会(1990) p.133-134