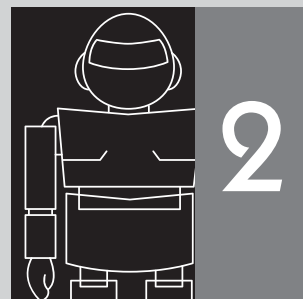


国産ロボット技術発達の 系統化に関する調査

社団法人 日本ロボット工業会



Contents

委員会委員名簿.....	49
1. 産業用ロボット（機構、制御、コンポーネン ト及び動力源）.....	50
1.1 揺籃期（1970年代以前）.....	50
1.2 第1発展期（1970年代前半）.....	53
1.3 停滞期（1970年代後半）.....	54
1.4 展開期（1980年代）.....	56
1.5 成熟期（1990年以降）.....	59
2. 製造業.....	61
2.1 加工.....	61
2.2 搬送.....	62
2.3 組立.....	63
2.4 その他.....	64
3. 非製造業・サービス.....	65
3.1 建設.....	65
3.2 保守・点検.....	68
3.3 サービス.....	70
3.4 農林水産.....	72
3.5 エンタテインメント.....	73
3.6 教育.....	75
3.7 医療福祉.....	77
4. 極限作業.....	79
4.1 原子力.....	79
4.2 海洋.....	80
4.3 宇宙.....	82
4.4 災害.....	83
5. 国家プロジェクト.....	85

■ (社) 日本ロボット工業会

ロボット技術系統化調査専門委員会委員名簿 (敬称略)

委員長 谷江 和雄

(独) 産業技術総合研究所知能システム部部門長

委員 高瀬 国克

電気通信大学大学院情報システム学研究科教授

大道 武生

名城大学理工学部機械システム工学科教授

菅野 重樹

早稲田大学理工学部機械工学科教授

山下 信男

(株)安川電機ロボット事業部営業推進部長

大築 康生

川崎重工業(株)技術本部システム技術開発センター研究部

先進メカトログループグループ長

稲垣 荘司

技術士事務所“ロボティ” 所長

1

産業用ロボット

(機構、制御、コンポーネント及び動力源)

産業用マニピュレーティングロボットの機構、制御、コンポーネント、動力源の4つには密接な関連があり、別個に記すことは重複を招き、理解の上でも不便であるので、技術展開の経緯を中心に記す。

産業用マニピュレーティングロボットの開発は、ほとんど同時に多くの企業で行われ、1社が先行したという例は多くない。特に、初期の時点では産業用マニピュレーティングロボット本体も、その導入事例も、必然的に複数の例を挙げざるを得ない。

1.1 揺籃期 (1970年代以前)

1965年頃、化学産業分野を対象としたプロセスオートメーション技術の展開が一段落した。また、サーボ技術も成熟の域に達したことに加え、シーケンス制御の概念が機械設備の動作制御に使えるように、整理された。これらの技術展開をふまえ、メカニカルオートメーションが注目された。完全自動化からローコストオートメーションまで、種々のとらえ方がなされた中で、プログラマブルな生産設備の開発が行われた。産業用マニピュレーティングロボットも、その一つであった。以下に示すように多くの商品が実用の場に供されたが、1000台規模で生産現場に導入された機種はきわめて少数であったので、ここでは揺籃期と呼ぶ。

1962年、米国で2つの産業用マニピュレーティングロボットが開発された。最初に市場に供されたのはバーサトラン、油圧作動・円筒座標系・PTP/CP制御・自由度5・作動領域1.5m³程度・定格可搬重量2kg重、AMF社が開発し、日本では改良モデルE-302 (PTP制御・ポーズのメモリはサーボセット・ポテンシオメータ) を東京貿易(株)が830万円で販売した (写真1.1.1)。



写真1.1.1
バーサトラン

E-401 (CP制御・経路のメモリはアナログ磁気テープ) も、同時に市場に供された。1967年頃に、数十台が日本国内で販売されたが、当初の時点では生産現場の使用に供された例はきわめてわずかで、ほとんどはどのような機械であるか参考として購入したものであった。ほぼ同時期に日本の市場に供されたのがユニメートで、油圧作動・極座標系・PTP制御 (ポーズのメモリは磁気ドラム) ・自由度6・作動領域1.5m³程度・定格可搬重量30kg重、ユニメーション社が開発し、日本では川崎重工業(株)が国産化した (写真1.1.2)。

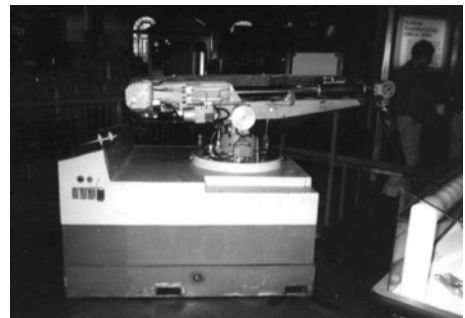


写真1.1.2 ユニメート

発売当初の販売はバーサトラン同様限られていたが、数年後、自動車ホワイトボディのスポット溶接用に多数導入された (詳細は第2章で述べる)。この二つが嚆矢といえるものであって、国産技術ではないが、産業用マニピュレーティングロボットの技術展開を見る上では無視できないものである。

バーサトランとユニメートの登場の情報によって、産業用マニピュレーティングロボットを国産化しよう、生産現場に導入しようという動きが国内に高まった。基本概念の工業所有権についての出願が米国人によって日本の特許庁になされていたが、製造しても抵触しないという判断があったか、200社以上の企業が、商品化を前提とした開発を行った。これらは、4つのタイプに分類される。

(1) バーサトラン、ユニメートと同等の油圧サーボ機構のもの

機構的には両者に類似、あるいは同等のものが製造された。制御装置の構成は類似のものや、独自開発のものなど様々であった。

例1-1

石川島播磨重工業（株）

コンスラーム

円筒座標系

（写真1.1.3）1967年



写真1.1.3 コンスラーム

例1-2

（株）不二越

ユニマン UM1000

円筒座標系

1969年

ユニマン UM2000

円筒座標系

1972年

ユニマン UM3000

極座標系

1972年

ユニマン UM4000

直角座標系

1972年

例1-3

東京計器（株）

マトバックIRA-50

円筒座標系、変形円筒座標系（前後軸がΛ形状）

リタブ社（スウェーデン）と技術提携

（写真1.1.4）1970年



写真1.1.4
マトバックIRA-50

(2) 油圧作動だが非サーボ制御・可変シーケンス制御のもの

低価格化を図ったこと、油圧サーボ系を使った機械装置を作るには相応の技術が必要であることなどでこのようなものが作られたと思われる。

例1-4

ヤスキ産業（株）

RBHシリーズ

円筒座標系 可変シーケンス制御

1972年

(3) 空気圧動作の比較的簡易なもの

マニピュレータ部の機械的構造は類似だが、空気圧作動として低価格化を図り、使用上の作業を簡易にしたもの。

例1-5

（株）会田鉄工所

オートハンド

円筒座標系 空気圧作動 可変シーケンス制御

定格可搬重量3kg重・6kg重の2種 自由度4

金属プレス機械のハンドリングが主用途

相互位置関係固定の2本腕のものあり

（写真1.1.5）[2102] 1968年



写真1.1.5
オートハンド

例1-6

（株）スター精機

K-500（成型品取り出しロボット）

横置き円筒座標系 空気圧作動

固定シーケンス制御 自由度2

プラスチック成形機の取り出し用

[2106] 1968年

(4) 従来の自動機械を若干汎用指向としたもの

形態は様々であったが、いずれも従来の自動化機器を若干の技術的展開して、汎用化指向としたもの。

例1-7

クロガネクレーン (株)

ロボクレーン

電動クレーンの自動機械化

[2101] 1970年

例1-8

富士電機製造 (株)

電動ハンド

1968年

東京芝浦電気 (株)

電動ハンド (ワークハンド)

1968年

(株) 安川電機製作所

電動ハンド (モートハンド)

1968年 (写真1.1.6) [1001]

いずれも電動シリンダ的なもの。ガントリ上を走行させ、腕を下降方向に伸ばして作業させる形態が多かった。アクチュエータは誘導電動機。3社からほとんど同時期に市販された。

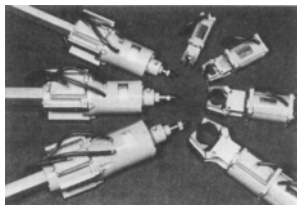


写真1.1.6 電動ハンド

例1-9

元田電子工業 (株)

オート・ワイマン

電動マニュアルマニピュレータ

重量物を小さい力で搬送できるもの。オリジナルはコンコ社が開発し、(株)蝶理が国内で販売した油圧作動のものが手本。多くの会社で生産されたが、これが先駆者である。

(写真1.1.7) [2105] 1970年



写真1.1.7 オート・ワイマン

【この時期の製品の構成概要】

代表的なもののみを示す。

サーボ・PTP制御のもの

座標系	円筒座標系、極座標系
内界センサ	ポテンショメータ、 インクリメンタル・エンコーダ
位置記憶方式	ポテンショメータ、磁気ドラム
動作順序記憶方式	パッチ・ボード、ピンボード・ マトリクス、切替スイッチ さん孔テープ、シーケンサ ミニ・コンピュータ
駆動源	油圧 (30~210Kgf/cm ² = 300~ 2100hpa)
ポーズ繰り返し精度	±0.5~3mm

サーボ・CP制御のもの

座標系	円筒座標系、極座標系
内界センサ	ポテンショメータ、インクリメ ンタル・エンコーダ
経路記憶方式	磁気テープ
動作順序記憶方式	多くは単一経路のみの作業・切 替はテープ交換
駆動源	油圧
経路繰り返し精度	±2~5mm

非サーボ・PTP制御のもの

座標系	直角座標系、円筒座標系、極座 標系、特殊構造など多様
内界センサ	メカニカルストップとリミット スイッチ類の併用
位置記憶方式	同上
動作順序記憶方式	パッチ・ボード、ピンボード・ マトリクス、切替スイッチ さん孔テープ、シーケンサ
駆動源	電動、空気圧作動 (5Kgf/cm ² = 50hpa)、 まれに油圧作動
ポーズ繰り返し精度	±0.1~0.5mm

非サーボ・CP制御のもの

座標系	円筒座標系、極座標系
内界センサ	教示の際は円盤に板カム形状を 記入・再生時は開ループ
経路記憶方式	板カム

動作順序記憶方式 板カムの交換
駆動源 電動

1.2 第1発展期（1970年代前半）

製品仕様は、垂直多関節系のものが海外で開発され、国産化されるようになった他は、揺籃期とほとんど変化はない。ただし、揺籃期には性能保証・機器信頼性などの面で決して十分でないものも一部販売されていたが、この時点では品質的にかなり安定して、ユーザの導入が容易になった。商品開発から実用化へ移った時期である。

ノルウェーで開発された多関節ロボットを、(株)神戸製鋼所がノックダウン生産でまず30台製造、ついでこれを国産化した。

例1-10

(株)神戸製鋼所

塗装ロボットKTR3000CRC

垂直多関節系 油圧作動

自由度5または6 直接教示

アルミ鋳物・台形構造の前腕で機械的共振点を高くした

(写真1.2.1) [2112] 1973年



写真1.2.1 塗装ロボットKTR3000CRC

1972年には、不二越は直角座標系のアーク溶接用ロボットを商品化し、累計で500台の販売を行った。欧州市場にも広く販売した。未だマイコンの無い時代であり、各軸のデータ分配回路をハードウェアを使用し、直線補間を行った。

又、記録点数を多くするため、磁気ディスクを記憶媒体として用いた。

例1-11

(株)不二越

ユニマンUM4000

直角座標系5軸 油圧作動 サーボ・CP制御

[2107] 1972年

マニピュレータは最小限の構成とし、周辺機器で自由度を補ったものが作られ、使いやすいと好評だったものもあった。

汎用機指向が絶対的であった中で、ユーザが操作しやすいように、周辺機器に作業上のウエイトを大きく持たせるといった考え方もあった。6自由度の汎用ロボットを開発して、まず社内試用を試みたものの、現場から周辺機器等の整備が大変で、使いにくいと拒絶され、最初から考え直して現場にすんなりと受け入れられるものを作った。

例1-12

新明和工業(株)

ローベルPW50

円筒座標系3軸+ポジショナ姿勢3軸

油圧作動 サーボ・CP制御

[2108] 1974年

【この時期の製品の構成概要】

代表的なもののみ示す。

サーボ・PTP制御のもの

座標系 円筒座標系、極座標系

内界センサ ポテンシオメータ、

インクリメンタル・エンコーダ

位置記憶方式 ポテンシオメータ、磁気ドラム

動作順序記憶方式 パッチ・ボード、ピンボード・

マトリクス、切替スイッチ

さん孔テープ、シーケンサ

ミニ・コンピュータ

駆動源 油圧

ポーズ繰り返し精度 $\pm 0.5 \sim 2\text{mm}$

サーボ・CP制御のもの

座標系 円筒座標系、極座標系、多関節系

内界センサ ポテンシオメータ、

インクリメンタル・エンコーダ

経路記憶方式 磁気テープ

動作順序記憶方式 多くは単一経路のみの作業・

切り替えは磁気テープ交換

駆動源	油圧
経路繰り返し精度	±2～5mm
<u>非サーボ・PTP制御のもの</u>	
座標系	直角座標系、円筒座標系、 極座標系、特殊構造など多様
内界センサ	メカニカルストップとリミット スイッチ類の併用
位置記憶方式	同上
動作順序記憶方式	パッチ・ボード、ピンボード・ マトリクス、切替スイッチ さん孔テープ、シーケンサ
駆動源	電動、空気圧作動、 まれに油圧作動
ポーズ繰り返し精度	±0.1～0.5mm
<u>非サーボ・CP制御のもの</u>	
座標系	円筒座標系、極座標系
内界センサ	教示の際は円盤に板カム形状を 記入・再生時は開ループ
経路記憶方式	板カム
動作順序記憶方式	板カムの交換
駆動源	電動
経路繰り返し精度	±0.5mm

1.3 停滞期（1970年代後半）

オイルショック不況で、生産性向上の根拠がなくなり、産業用ロボットも、もろにこの波を受けた。多くのメーカーが、産業用ロボット分野から撤退し、あるいは倒産の憂き目にあった。

しかし、ユーザに受け入れられやすいものにするための地道な努力を重ねたメーカーも多くあり、これが、展開期に花を開かせる種となった。

アーク溶接の教示作業の簡便化のために、知能（感覚制御）ロボットが市場に供された。性能は優秀だったが、6300万円という金額のため、数台程度の販売で終わった。

例1-13

(株) 日立製作所

ミスターアロス

サーボ・CP制御 直角座標系

隅肉溶接作業の教示用として渦電流ギャップ間隔センサ装着

(写真1.3.1) [2110] 1975年

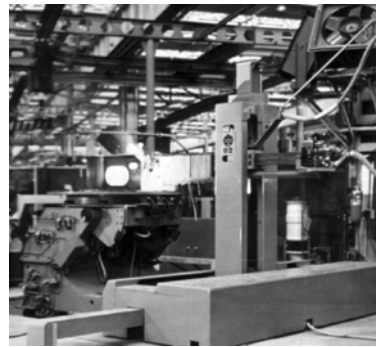


写真1.3.1
ミスターアロス

油圧作動ロボットは、メンテナンスが煩雑だというような理由で、ユーザにはあまり評判はよくなかったため、主に電機メーカーで、電動化への試みがなされた。

例1-14

(株) 安川電機製作所

MOTOMAN-W

サーボ・CP制御、電動、円筒座標系 自由度5
ロボット展デモ時にはマシンビジョン搭載

1974国際ロボット展に出品。ISIRの予稿ではELECTRANのネーミングで報告されたが、講演時に訂正された。十分実用に耐えるものだったが、販売実績はない。

(写真1.3.2) [2109] 1974年

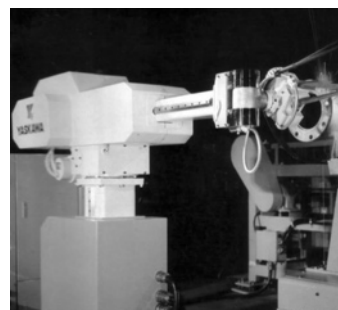


写真1.3.2
MOTOMAN-W

例1-15

三菱重工業 (株)

三菱-岩田塗装ロボット

サーボ・CP制御 油圧作動

垂直多関節系 6軸

経路データメモリとして磁気テープでなくワイヤ・メモリを使用した。コストと折り合いでビット数（分解能）が十分にとれなかった。手本はトラルファであったが、本体構造設計上の不備とも相まって共振し、満足する性能は得られず、再設計で対処した。

(写真1.3.3) [2113] 1975年



写真1.3.3 三菱一岩田塗装ロボット

例1-16-1

富士通ファナック（株）

FANUC ROBOT-MODEL 1

サーボ・PTP制御 電動 円筒座標系 自由度5
上下および前後動作軸にボールねじを使用した独自の構造を採用し、腕3軸の動きは一つのサーボアンプを電氣的に切り替えて制御する方式とすることにより、サイクルタイムが若干伸びたが、低価格を実現した。残りの軸は空圧制御

(写真1.3.4) [2104] 1975年

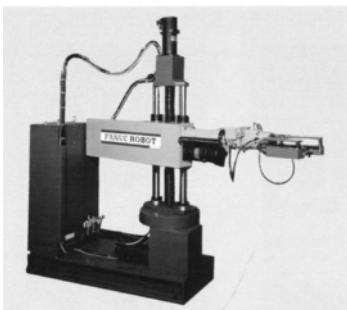


写真1.3.4
FANUC ROBOT-MODEL1

例1-16-2

富士通ファナック（株）

FANUC ROBOT-MODEL 2

サーボ・PTP制御 電動円筒座標系 自由度5
前後動作軸が取り付けられた直方体のボディーが、H型鋼によるフレームで支えられたボールねじのポールを軸に回転・上下する独自の構造を採用し、複数工作機械へのワーク着脱を可能とした。

(写真1.3.5) [2104] 1978年



写真1.3.5 FANUC ROBOT-MODEL 2

例1-17

(株) 安川電機製作所

MOTOMAN-L10

サーボ・CP制御 電動

垂直多関節座標系 自由度5

1974年に開発されたスウェーデン・ASEA社のIRb-6を手本に製作されたもの。シミュレーションは、手本ほどの性能が出ないことが多かったが、この場合は非常に性能のよいものであり、2年間で2000台ほど販売したといわれている。日本における垂直多関節電気サーボロボットの原点である。

(写真1.3.6) [1002] 1975年

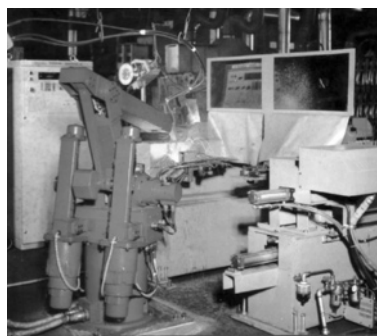


写真1.3.6 MOTOMAN-L10

【この時期の製品の構成概要】

代表的なもののみ示す。

サーボ・PTP制御のもの

座標系	それまでの円筒座標系・極座標系から、垂直多関節系へ移行の兆しが見られた。動きが直感的にわかりやすい、スタンドアロンの直角座標系のもも一時期現れたが、直動軸を作ることも、保守作業上からも敬遠されて、定着には至らなかった。
内界センサ	インクリメンタルエンコーダにほぼ統一された。ポテンショメータは断線の際の暴走事故の原因となり、使われなくなった。バーサトラン衰退の理由の一つである。
位置記憶方式	磁気ドラム、磁気コアメモリ、ワイヤメモリ、ミニコンピュータなどが使われたが、いずれも高価
動作順序記憶方式	同上
駆動源	油圧作動がほとんどで、電動(直流サーボモータ)への萌芽期電動のものは、可とう式小型遊星歯車機構ハーモニックドライブの出現によるところが大きい。
ポーズ繰り返し精度	±0.1~1mm
<u>サーボ・CP制御のもの</u>	
座標系	ほとんどが垂直多関節へ移行した。特に、アーク溶接や塗装の場合、回り込み性の利便が大きい
内界センサ	インクリメンタルエンコーダ
経路記憶方式	磁気ドラム、磁気コアメモリ、ワイヤメモリ、ミニコンピュータなどが使われたが、いずれも高価
動作順序記憶方式	同上
駆動源	油圧作動から電動への移行の初期、PTPより若干早かった
経路繰り返し制御	アーク溶接用 ±0.3~1mm
塗装用	±1~10mm

非サーボ・PTP制御のもの

座標系	直角座標系、円筒座標系、特殊構造
内界センサ	メカニカルストップとリミットスイッチ類の併用
位置記憶方式	シーケンサ
動作順序記憶方式	シーケンサ
駆動源	電動、空気圧作動、まれに油圧作動
ポーズ繰り返し精度	±0.1~0.5mm

非サーボ・CP制御のもの

汎用商品としては存在しなくなった

1.4 展開期 (1980年代)

産業用マニピュレーティングロボットにとっては、1980年から1981年にかけてが、発展へ向けての一大転機であった。50kg重定格可搬重量クラスの電動ロボットの登場に代表される、一連の新製品である。電動化は、産業用ロボットメンテナンス技術に乏しいユーザに対して、手の届くものとした。この詳細は第2章で述べるので、ここでは機構・制御面についてのみ記す。

例1-18

川崎重工業(株)

KAWASAKI PUMA PH560

サーボ・PTP/CP制御 電動

垂直多関節系 自由度6

これは技術提携もとの米国ユニメーション社が開発したものを、国産化したものである。組み立て用であり、人間の肩から上腕・肘・前腕・手首までの寸法と同一のロボットを作れば、手作業がロボットで置き換えられるという発想(J.F.Engelberger著 Robotics in Practice 1980 AMA 刊)だった。しかし、多くの関心はこの点ではなく、ミニ・コンピュータ LSI 11-03 で制御され、VALというプログラミング言語が使われていることにあった。日本で組み立てに試用したユーザが、剛性不足で使用に耐えない(実際は機械的共振

での精度劣化)と評価し、これが後述のスカ
ラロボット開発の端緒となった。

(写真1.4.1) [1010] 1981年



写真1.4.1 KAWASAKI PUMA PH560

例1-19

(株) 不二越

ユニマンUM8600

サーボ・CP制御 電動 垂直多関節系
自由度6 定格可搬重量50kg重
油圧作動ロボットの使いづらさを解消しよう
という意図で、電動の大型ロボットが開発された。
普及し始めたマイコン(浮動小数点演算プロセ
ッサ)を使用し、垂直多関節系で直角座標系の
手動操作を実現し、教示作業を大幅にやすく
なった。

(写真1.4.2) [2111] 1981年



写真1.4.2 ユニマンUM8600

前節で述べた例1-16と本件とにより、ほとん
どのメーカーが電動化を図り、これが一般的普及の引
き金となった。

組み立て作業のために開発されたものが、
SCARAであり、純国産技術である。鉛直方向への
嵌合動作に対して剛性の大きい物が要求されたた

め、水平多関節構造のものが作られた。山梨大学
牧野洋教授の下に、メーカー・ユーザが集まり、研
究会が作られて開発が進められた。

例1-20

スカラ研究会 メンバー企業

スカラロボット

電動 水平多関節系 自由度4

選択的コンプライアンス特性=鉛直方向へは大
きな力で作用するが、前後・左右方向へは柔軟
性をもたせる。穴へ少しでも引っかかったら合
致するように自分でずらす。

[1003] 1980年～

コンプライアンスについては、米国MITのドレ
ーパ研究所で1974年頃開発が行われ、
RCC(Remote Center Compliance)なる名称で商品
化された。腕と手の間にコンプライアンス機能を
有するユニットを装着するものであり、国内では、
(株)ニッタとバンドー化学(株)とがライセンス
を取得、国産化した。力によるポーズの補正だけ
でなく、ハンド部を干渉させても腕部への影響を
軽減させる機能もかねている[1004]。

電動の場合、サーボモータの回転数そのまま産
業用ロボットを動かしては早すぎるので、減速の手
段が必要であり、回転運動から直線運動に変換する
必要もある。減速機のほか、ボールねじも多用され
たが、1980年代後になって、多くのメーカーにおいて、
減速機とリンク機構、あるいは減速機単独ですま
されるようになった。小型高速比の特殊構造減速機
(RV減速機、ハーモニックドライブ、サイクロコン
バータ)が開発され、これが高性能化に貢献した
[1006][1007][1008]。さらに、超低速回転の電動機
で減速機やリンク機構などを使わずに構造物を動か
す、DD(ダイレクト・ドライブ)モータが世に供
されて、多くのメーカーがこれを組み込んだ産業用マ
ニピュレーティングロボットを試作したが、エネル
ギ効率が悪く発熱=熱変形の問題がある、超多極電
動機では機械加工に手間がかかりすぎてコストアッ
プにつながる、などの問題があって、実用に供され
たものはほとんど無い状態である[1009]。

産業用マニピュレーティングロボットの大衆化
に大きく貢献したものがある。

例1-21

三菱電機 (株)

“ムーブマスター” RV-M1

パルスモータ・オープンループ

電動 垂直多関節 自由度4

パソコンのセントロニクスポートにプリンタの代わりにつないで使う、教育用ないしは玩具として開発され、34万5千円で販売された。生産用途に使用して脱調などのトラブルを起こすなどして問題が出たため、程なく直流サーボモータに切り替えた。

(写真1.4.3) [2116] 1987年



写真1.4.3 “ムーブマスター” RV-M1

特殊アクチュエータを使った斬新なものも現れた。下記の他、形状記憶合金を使ったものも試作されたが、実用に供されるようなものではなかった。

例1-22

ブリヂストン (株)

ソフトアーム

空気圧サーボ制御 PTP/CP制御

ゴム製アクチュエータ (ラバチュエータ)

ゴムを使ったアクチュエータで、空気圧作動、防爆構造上有利。経路繰り返し精度が $\pm 2\text{mm}$ 程度。

[1011] 1985年

1980年代半ばから、半導体素子製造工程など、清潔な環境で使用するのが目的である、動作時に出る「ちり」を極力少なくした、クリーン (ルーム用) ロボットが開発された。従来の産業用マニピュレーティングロボットの改良的なものと、動作の自由度を2~3に抑さえた専用機と、二つのタイプのものがあった。

例1-23

神鋼電機 (株)

セルキャリアエース

AVH0.5-R5/1 ウエハーカセット搬送用

(写真1.4.4) [2114] 1986年

写真1.4.4
セルキャリアエース
AVH0.5-R5/1

例1-24

セイコーエプソン (株)

Sシリーズ

真空内搬送用

[2115] 1989年

【この時期の製品の構成概要】

代表的なもののみ示す。

サーボ・PTP制御のもの

座標系	多くは垂直多関節系、 水平多関節系
内界センサ	インクリメンタルエンコーダ
位置記憶方式	磁気コアメモリ、磁気バブルカ セットメモリ、磁気ディスク
動作順序記憶方式	同上
駆動源	電動 動力伝達機構はボールね じから遊星歯車式減速機へ移行。 ハーモニックドライブが主流、 1980年代終わりに可とう式でな いRV減速機が出現

ポーズ繰り返し精度 $\pm 0.1 \sim 1\text{mm}$ サーボ・CP制御のもの

座標系	多くは垂直多関節系、 水平多関節系
内界センサ	インクリメンタルエンコーダ
経路記憶方式	磁気コアメモリ、磁気バブルカ セットメモリ、磁気ディスク

動作順序記憶方式	同上
駆動源	電動 動力伝達機構はボールねじから遊星歯車式減速機へ移行。ハーモニックドライブが主流、1980年代終わりに可とう式でないRV減速機が出現
経路繰り返し制御	±0.3~5mm
<u>非サーボ・PTP制御のもの</u>	
座標系	直角座標系 円筒座標系 特殊構造
内界センサ	メカニカルストップとリミットスイッチ類の併用
位置記憶方式	パッチ・ボード、ピンボード・マトリクス、切替スイッチ
動作順序記憶方式	シーケンサ
駆動源	電動、空気圧作動、まれに油圧作動
ポーズ繰り返し精度	±0.1~0.5mm
<u>非サーボ・CP制御のもの</u>	
	存在せず

1.5 成熟期 (1990年以降)

産業用マニピュレーティングロボット技術の進展は、初期の時点での予測とは裏はらに、より高度な方向への一本道をたどったわけではなかった。日本産業用ロボット工業会が設立された頃、デルファイ法による技術予測が行われたが、例えば20年後には知能ロボットの世界になるといったものであった。しかし、2003年現在でも、プレイバックロボットや数値制御ロボットが幅を利かせている状態である。知能ロボット化は、予想以上の大きな課題であったわけだが、ほかの理由の一つとして、投資金額の枠という制約があると感じる。しっかりしたジグを作り、相応のプレイバックロボットないしは数値制御ロボットを使うことが、採算性上リスクが少ない、ということであろうか。特にプレイバックロボットの場合、現物合わせ的教示方法であるため、産業用マニピュレーティングロボット側にも、作業対象物体側にも、

誤差要因があっても表に出てこないというメリットがある。予想ほどの技術的進展をしなかったのは、ユーザ側の採算性の壁であったと感ずる。

1990年代は、コツコツと地道な性能向上の努力が積み重ねられた時代である。バブル崩壊で、生産設備投資意欲が減退したのも、マイナス要因の一つである。

(1) 交流サーボモータ化

直流サーボモータには、ブラシと整流子という消耗性構造があり、保守が面倒である。このため、これを半導体素子で置き換えた交流サーボモータが取って代わった。電力制御半導体素子の性能向上、希土類磁石の採用による高効率小型化、合成樹脂的電気絶縁物の耐熱性向上の3つがこの背景にある。多くのメーカーによって同時期に行われ、先行メーカーは特定できない。

(2) 制御性の向上

マイクロプロセッサによって制御することが一般となり、この面でも大幅な性能向上があった。その一つに、制振制御がある。産業用マニピュレーティングロボットの構造体で異常な振動が発生すると、サーボモータの電流も大きく振動的变化をするので、現代制御理論に基づいたオブザーバで感知したら、電源周波数を変えて対処するのが一般的手法である。この技術もほぼ同じ時期に多くのメーカーによって同時期に行われ、先行メーカーは特定できない。

(3) 感覚制御ロボットの普及

1990年代後半になって、マシンビジョンが高性能で安価となった。ジグ等で作業対象物体の位置を規定するのではなく、視覚機能でポーズを同定する。ジグはその数だけ必要だが、コンピュータ・ソフトウェアは、ダビングで安価に複製できる。

(4) 軽量化

構造部の丈夫さを保証する上と、機械的共振発生の特から、軽量化には限界があった。しかし、制振制御の技術により、軽量化が進んだ。

【この時期の製品の構成概要】

代表的なもののみ示す。

サーボ・PTP制御のもの

座標系 垂直多関節系 水平多関節系
一部に直角座標系
内界センサ アブソリュートエンコーダへ移行 = 電源を落とした場合、再通電でそのポーズから動作させることができ、原点復帰の手間が
いない。精密加工技術の進展で安価になったため。

位置記憶方式 制御用コンピュータのメモリ
動作順序記憶方式 同上
駆動源 電動 交流サーボモータへ移行
ポーズ繰り返し精度 $\pm 0.1 \sim 0.5 \text{mm}$

サーボ・CP制御のもの

座標系 垂直多関節系
内界センサ アブソリュートエンコーダへ移行 = 電源を落とした場合、再通電でそのポーズから動作させることができ、原点復帰の手間が

いない。精密加工技術の進展で安価になったため

経路記憶方式 制御用コンピュータのメモリ

動作順序記憶方式 同上

駆動源 電動 交流サーボモータへ移行

経路繰り返し制御 $\pm 0.2 \text{mm} \sim 1 \text{mm}$

非サーボ・PTP制御のもの

座標系 直角座標系 円筒座標系
垂直多関節系 特殊構造

内界センサ メカニカルストップとリミット
スイッチ

位置記憶方式 シーケンサまたはコンピュータ
のメモリ

動作順序記憶方式 同上

駆動源 電動または空気圧作動

ポーズ繰り返し精度 $\pm 0.005 \sim 0.2 \text{mm}$

非サーボ・CP制御のもの

存在しない

導入のすべてが公開されているわけではなく、人の目に付かないところで大きな効果を上げている導入例はきわめて多いと考えるべきである。たとえば、マスコミによって紹介されたものが当該分野の先駆とは限らない。秘密厳守を前提に見学したシステムも多い。一般公開される方がむしろ特殊なケースともいえよう。

ある一つの用途が作業のどの分類に当たるのか、この厳密な区分は難しい。例えばマシニングセンタに対してワークピースのローディング・アンローディング作業を行うものが、機械加工ロボットと呼ばれることが多いが、厳密にはこれは搬送作業である。

2.1 加工

(1) 機械加工

実用化レベルでは、産業用マニピュレーティングロボットが機械加工作業を行った例はこれまではない。(株)不二越が参考出品として、ボール盤作業等を行うものを日本工作機械見本市に参考出品したことはある。

(2) 鍛圧加工

産業用マニピュレーティングロボット単独で行った例は皆無であろう。

(3) 塗装

有機溶剤等、引火性のものを使う場合は、防爆対策の規定があり、塗装ロボットKTR3000CRCが実用に供された時点が実用化のはじめであろう。この応用の先駆者を特定することは不可能である。

(4) スポット溶接

1970年、米国GM社がオハイオ州ローズタウンの工場、24台のユニメートによるシステムで、自動車のホワイトボディのスポット溶接を行ったのが始まりである。産業用マニピュレーティングロボットで作業できない部分を人間の手作業でカバーしたが、これが過酷な労働であり、他の労働争議の当て馬に使われ打ち壊しの憂き目にあった(E. Rothschild著 PARADISE LOST 1973 Vintage Books刊)。1972年に修復されたこのシス

テムを日本からの見学者が視察し、これを参考に、日本での大規模導入が始まった。

例2-1

日産自動車工業(株) 追浜工場

ブルーバードのホワイトボディのスポット溶接

トヨタ自動車工業(株) 堤工場

カローラのホワイトボディのスポット溶接

[2201] 1973年

両社とも、使われた産業用マニピュレーティングロボットの信頼性等が十分なものであったとは言い難く、改良のためにメーカーに対して有益な非常に多くの助言がなされたことを付記しておく。

例2-1はスポット溶接ガンを持った産業用マニピュレーティングロボットが、固定された対象に対して作業するものであったが、小規模のものでは溶接ガンは固定された機器であって、産業用マニピュレーティングロボットの動作で所定の位置を溶接するものも多い。

はじめの頃は油圧作動でメンテナンスが煩雑だ等の問題があったが、例1-19の(株)不二越電動大型ロボットの出現で、一気に使いやすいものとなった。

(5) アーク溶接

ユーザサイドの先駆者の特定は不可能である。

メーカーとしては、例1-12で示した新明和工業(株)が専用機の色が濃いとはいえ普及先駆者といえよう。中小企業サイドでも、プログラマブルで便利だと多くで導入された。

汎用ロボットでアーク溶接作業への導入を普及させたのは、例1-17の(株)安川電機製作所である。この成功に刺激されて、1980年代前半、10社を超えるアーク溶接ロボットメーカーがあった。

(6) バリ取り

汎用産業用マニピュレーティングロボットでバリ取りを行うことは多く試みられたが、バリそのものの判別が難しいほか、機械剛性・ツール等の問題もあって、満足できるものではなかった。バリ取り用として特記できるのは、次の2社であろう。

例2-2

ヤマハ(株)

A-1

円筒座標系 CP・サーボ制御 自由度6 電動

[2120] 198X年

例2-3

豊田工機 (株)

RA6-5X70

垂直多関節系 CP・サーボ制御 電動 自由度6

[2121] 1988年

2.2 搬送

搬送という表現がなされるが、産業用マニピュレーティングロボットの場合、離れた距離の間を物体を運ぶという作業は少ない。ハンドリングという方がふさわしい。離れた距離の搬送は、ロボット感覚的機器である無人搬送車 (AGV) がこの役割を果たしているが、日本の場合、産業統計上はこれはロボットには含まれない。

この分野でも、先駆者を特定することはできない。多くの場でほぼ同時期に試用されはじめ、かつ、失敗はもちろんのこと、効果が上がっても世に公表されるとは限らなかったからである。メーカーサイドは、販売促進のための資料として、自社内試用 (本当に成功したのかと疑われるものもないではない) 例を積極的に公表したとも見られる。

(1) 機械加工工程における搬送・ハンドリング

システムとしての形態の一つに、産業用マニピュレーティングロボットを取り囲むように工作機械を配置し、機械から機械へと渡り歩かせるという形で加工部品のハンドリングを行うものである。

例2-4

川崎重工業 (株) 西神戸工場

油圧装置部品の機械加工セル

(写真2.2.1) [2202] 1973年



写真2.2.1
油圧装置部品の機械加工セル

しかし、このタイプのものは産業用マニピュレーティングロボットが中央を占拠して腕を振り回すなど、人間にとって使い勝手がいいものとは言い難く、小型の産業用マニピュレーティングロボットを工作機械の間近に配置する、あるいは工作機械に取り付けるといった方向へ移行した。

例2-5

富士通ファナック (株)

FANUC ROBOT-MODEL O

(俗称蟬ロボット)

(写真2.2.2) [2103] 1979年



写真2.2.2 FANUC ROBOT-MODEL O

1970年頃には、床または天井にレールを敷設して台車等の形態の車輪をつけた産業用マニピュレーティングロボットを走行させるといったことが比較的多く行われた。

例2-6

富士電機製造 (株) 四日市工場

電動機シャフトの機械加工と回転子のハウジングへの挿入

当時としては自動化率が高い方であった。

[2203] 1974年

例2-7

富士通ファナック (株) 本社 (日野) 工場の機械加工システム

2台の川崎ユニメートを天井走行させ、7台の工作機械に対してワークのローディング・アンローディング作業を行うもの。

(写真2.2.3) [2204] 1974年



写真2.2.3
富士通ファナック（株） 日野工場の加工システム

2本レールの場合要求される平行度を維持できるようなレールの施設はかなり面倒な作業であるため、無人搬送車やコンベアでの搬送に置き換えられもした。

(2) 金属プレス

例1-5に示した、金属プレス機械の正面に産業用マニピュレーティングロボットが居座る形態のものは、人間の作業上邪魔であるとされた（現在でもこの形態のものは多く使われているが、やむを得ず我慢しているというところが多い）。代わって登場したのが、複数の金属プレス機械に順送りするタイプのロボットである。

例2-8

東芝精機（株）

トランサーRHP-200T

機械カム式

これは比較的小型のものである。油圧サーボ制御あるいは非サーボ制御の大型順送りタイプも多く使われた。

(写真2.2.4) [2117] 1980年



写真2.2.4 トランサーRHP-200T

(3) プラスチック成形機の取り出し

産業用マニピュレーティングロボット導入当初から、成形機の上部に取り付け人間の作業領域と交差させない方法がとられたため、効果を発揮、現在に至っている。最初は取り出しだけであったが、直にインサート成型作業にも使用されるようになった。

これらの先駆者は、ほぼ同時に多くのところでの試用が始まり、特定できない。

(4) 入出荷

自動立体倉庫は、生産統計上ロボットの範疇外である。

物流関連では、ハンドリング・パレタイジング・デパレタイジングが、汎用大型ロボットを使って行われていた。専用の産業用マニピュレーティングロボットが出現したのは、1980年代である。ここのワークに対応するパレタイジングパターンの自動形成など技術が必要であり、この対応がなされている。

例2-9-1

不二輸送機工業（株）

AC-1

円筒座標系 電動 サーボ・PTP制御
パレタイジング用

[2118] 1982年

例2-9-2

三機工業（株）

SD-1

円筒座標系 電動 サーボ・PTP制御
パレタイジング用

[2119] 1983年

2.3 組立

組立の自動化は、古くから単能機によって行われてきた。人間の作業方法を機械に移すのではなく、独自の手法で機械は実現されてきた。高速性を実現するため、水平面上に置かれた物体に、鉛直方向から挿入・嵌合する、これが大前提である。大量生産が前提である。多品種少量生産とはいか

ないまでも、フレキシブルな自動組立設備としての産業用マニピュレーティングロボットへの関心が持たれたのは、それほど早い時期ではない。1960年代後半に、単純な押し出し操作ではなく、マニピュレーション感覚で搬送しようという自動組立機が現れたが、これはロボットの範疇ではない。

例1-18の産業用マニピュレーティングロボットの出現に触発されて、本格的組立ロボットの開発が始まった。1980年代前半は、比較的小さなものが対象であったが、90年代に入って、自動車の最終臓装ラインなど、大きなものまで自動組立が産業用マニピュレーティングロボットで行われるようになった。多くは非公表である。

例2-10

セイコー電子工業・セイコーエプソン 腕時計ムーブメント組立ライン

[2205] 198X年

2.4 その他

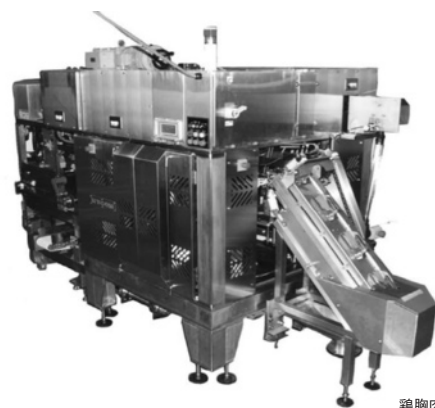
チキン加工の大ばらし、胸肉及び腿肉脱骨の2次解体工程については人の器用さに頼る必要もあって、人海戦術により作業が行われていた。

1994年には、腿肉の脱骨ロボット（写真2.4.1）[2401]が、1998年には胸肉の脱骨ロボット（写真2.4.2）[2402]が商品化された。

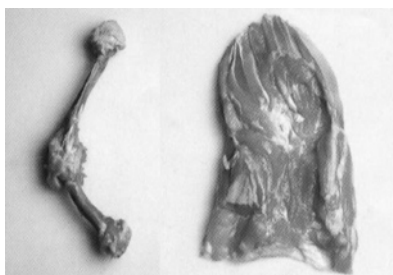
また、生活に密着した環境で使われる専用機械的なものとして「すしにぎりロボット」[2403]、「うなぎ捌きロボット」[2404]がある。これらは省力化の観点と同時にアトラクションとしての狙いから導入され話題を呼んでいる。水ジェット切断装置を用い、魚を3枚におろし、一定重量の切身に加工する「さかなおろしロボット」[2405]が開発されている。



自動脱骨ロボット
トリダス



鶏胸肉脱骨ロボット
イールダス



脱骨後の腿肉

写真2.4.1 チキン腿肉脱骨ロボット トリダス



胸肉の分割

写真2.4.2 チキン胸肉脱骨ロボット イールダス

3.1 建設

我が国に建設ロボットが登場したのは1980年初頭で、まさにロボット産業の「普及元年」とほぼ時期を同じくする。当時、建設業界は建設労働者の不足とともに、優れた技能労働者の高齢化によって今後生じるであろう問題に対処する危惧感から、施工の合理化、生産性の向上に向けた各種の自動化、ロボット化への取組を行ってきた。

また、建設ロボットおよび自動化システムの特徴としては、生産工場でのロボットに比べて①作業条件が厳しい、②作業現場がその都度替わる、③取り扱う資材の寸法や重量が大きく重い、④一品仕様のものが多い、などから、結果として研究開発費がかさみ、技術的な困難度も高いといった要素を持ち合わせている。

建設ロボットとしては建築分野と土木分野に大別されるが、次の表にあるロボット（自動化システムも含め）化の中で、その代表的な開発例を分

野ごとに時系列に記述する。

建築分野では鉄骨工事として、1982年に清水建設／神戸製鋼所が耐火被覆材料のロックウールを鉄骨に吹き付ける被覆作業において、PTP制御方式を採用した「鉄骨耐火材被覆ロボット」を開発し、自動化した（写真3.1.1）[3101]。また、1984年に大林組／極東マックグレゴリーが鉄骨玉掛け外し作業を無線により遠隔操作で行う「オートクランプ」を[3102]、そして1985年には清水建設／イーグルクランプが「マイティシャックルエース」[3103]をそれぞれ開発した。



写真3.1.1 鉄骨耐火材被覆ロボット

建設ロボット化の歴史

	1980	1990	
〔建築〕	鉄骨工事	◆耐火被覆吹付ロボット ◆鉄骨玉掛外し装置	◆鉄骨柱溶接ロボット ◆鉄骨柱建方システム
	鉄筋工事	◆重量鉄筋用配筋ロボット	◆鉄筋自動加工システム ◆鉄筋地組装置
	コンクリート工事	◆コンクリート水平ディストリビュータ ◆コンクリート床仕上げロボット	◆コンクリート自動締固めシステム ◆コンクリート床均しロボット
	仕上工事	◆外壁塗装ロボット ◆天井ボード張りロボット	◆壁面塗装ロボット ◆石材ハンドリングマニピュレータ ◆外壁PC板取付装置 ◆ガラス取付ロボット ◆タイル張りロボット ◆内装パネル建込み装置
	保守・点検・改修工事	◆クリーンルーム検査ロボット ◆外壁塗膜剥離機 ◆配管劣化診断システム	◆タイル剥離検知機
	揚重・搬送		◆資材自動搬送システム
	ビル自動化施工システム		◆高層ビル自動化施工システム
〔土木〕	トンネル	◆セグメント自動組立装置 ◆コンクリート吹き付け	
	橋梁	◆橋梁塗装ロボットシステム	
	港湾・海洋	◆8脚歩行式海底調査ロボット ◆水中捨て石均し機	

鉄筋工事では、1984年に鹿島建設／日立建機が原子力発電所建設における鉄筋配筋作業をPTP制御によるプレイバックタイプの「自動配筋ロボット」を開発した[3104]。本作業では、1本の鉄筋が長尺(12m)かつ、重量が100kgを超えることから、鉄筋作業の自動化に大きく貢献した。

コンクリート工事では、1983年に竹中工務店／極東開発工業がビル建設での配筋後のコンクリート打設を遠隔操作で行う「コンクリートディストリビュータ」を(写真3.1.2) [3105]、また大林組／



写真3.1.2 コンクリートディストリビュータ

三菱重工業がプレーシングクレーンを1985年にそれぞれ開発した[3106]。そして、従来コンクリート打設後の床を人がコテで表面を平滑に仕上げていた作業を、1984年に鹿島建設／カジマメカトロエンジニアリングがジャイロコンパス、走行距離センサを用いた自律航法装置による「コンクリート床直仕上げロボット」の開発を行った(写真3.1.3) [3107]。



写真3.1.3 コンクリート床直仕上げロボット

仕上げ工事では、1987年に清水建設が天井ボード(パネル)の取り付け作業として、ボードの供給、リストアップ、位置決めをシーケンス制御に

よって行う「天井ボード貼ロボット」を開発した(写真3.1.4) [3108]。また、1989年には東急建設／



写真3.1.4 天井ボード貼ロボット

東都電機工業がこの作業をサーボ制御によってさらにねじ締めまでの一連の作業を自動化した「内装工事ロボット」を開発した(写真3.1.5) [3109]。



写真3.1.5 内装工事ロボット

吹付・塗装工事では、1986年に大成建設が従来、ゴンドラに乗って人手で実施していた地上200mの高層ビルでの塗装作業を完全自動化した「超高層ビル外壁塗装システム」を[3110]、同じく1986年に、清水建設が高層住宅の廊下やバルコニーの外壁塗装を自動化した「外壁塗装ロボット」を開発した(写真3.1.6) [3111]。

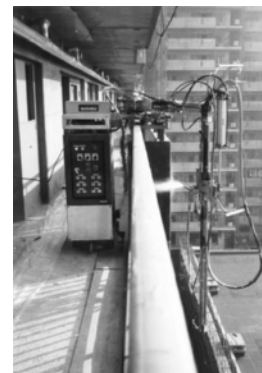


写真3.1.6 外壁塗装ロボット

保守・点検・検査としては、1984年に鹿島建設／カジマメカトロエンジニアリングが壁面仕上げ層のタイルの剥離診断を屋上パラペットからの吊り下げ方式による「タイル剥離検知ロボット」を開発（写真3.1.7）[3112]、同じく1984年に竹中工



写真3.1.7 タイル剥離ロボット

務店が壁面に吸着して横行・旋回・後退もできる「外壁タイル検査システム」を開発した（写真3.1.8）[3113]。また、半導体や医薬品等の製造室内であるクリーンルームの完成時には、施設をユーザに引



写真3.1.8 外壁タイル検査システム

き渡すにあたって環境の厳格なテスト（塵埃リークや塵埃、温湿度、気流の分布）が求められている。1986年に大林組がこの施設環境の測定作業に知能移動ロボット「クリムロ」を開発し（写真3.1.9）[3114]、その自動化を行った。



写真3.1.9 クリムロ

建築現場を1つの自動化工場とするビル自動施工システムとしては、1989年に大林組が「ABCS」システムを開発[3115]、翌年の1990年には竹中工務店、大成建設、清水建設などの各社も様々なタイプの自動施工システムの開発を行っている[3116-3118]。

一方、土木分野でのトンネル工事では、シールド工事におけるトンネル一次覆工であるセグメントをリング状に組立する作業として、1985年に石川島播磨重工業が「セグメント自動組立ロボット」を開発した（写真3.1.10）[3119]。また、NATM工



写真3.1.10
セグメント自動組立
ロボット

法では吹き付けコンクリートが重要な支保要素となっているが、1986年に大林組／神戸製鋼所がブレイバックタイプの「コンクリート吹き付けロボット



写真3.1.11 コンクリート吹き付けロボット

ット」を開発し（写真3.1.11）[3120]、その吹付作業のノズルを一定の角度、距離を保ちながら附着効率を高めるなど自動化された。

橋梁作業としては、1986年に川崎重工業が橋梁の塗装作業を予め作成されたNCデータ指令により

作業が可能となる「橋梁塗装ロボット」を開発した(写真3.1.12) [3121]。



写真3.1.12 橋梁塗装ロボット

海岸／海洋の作業として、1979年に小松製作所が本州四国連絡橋のための海底調査として8脚歩行式の「8脚歩行式海底調査ロボット」を開発し、大水深、急潮流、凹凸のある自然条件の下で、海底地盤を観察・調査を行った(写真3.1.13) [3122]。

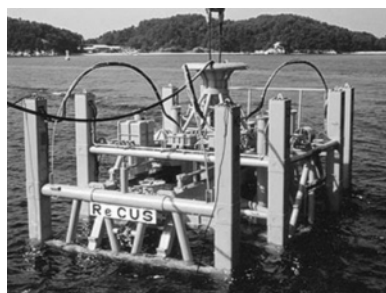


写真3.1.13 8脚歩行式海底調査ロボット

また、1985年に同じく小松製作所が、海底に着座し防波堤建設のための捨石ならし作業全てを海上から遠隔操作で行う8脚歩行式の「水中捨石ならし機」を開発した(写真3.1.14) [3123]。



写真3.1.14 水中捨石ならし機 YL1000

参考文献

- 1) ロボット導入便覧
(社) 日本ロボット工業会 1997

- 2) 建設作業のロボット化
工業調査会 1999.6.10
- 3) 建築の技術 施工5月号
彰国社 1988 No.271

3.2 保守・点検

各種プラントの保守・点検作業は人間によって行われてきたが、危険であったり、点検中はプラントを停止する必要がある等の問題があった。本作業をロボット化することで、これらの問題が解決するだけでなく、点検内容の高度化や時間の短縮、点検機会の増加等によって経済的に大きな効果を得られる。以下代表例を示す。なお、原子力施設の保守点検ロボットは、次章で極限作業ロボットの原子力の部に示している。

1985年には東京電力により、発電所の取水路に付着する貝藻類を除去するロボットが開発された[3201]。ホースで動力供給や信号授受をロボットと地上間で行う。従来は作業員による取水路の点検清掃に長期間プラントを止めていたが、プラントが稼動しながらの作業が可能となり、大きなコストダウン効果を得た¹⁾。

1987年に、オートマックスが石油タンクのスラッジ除去ロボットを開発した[3202]。従来はタンクを空にして作業員がスラッジを除去していたが、本ロボットは稼動中のタンクに投入され内部を移動しながらスラッジを攪拌して再溶解させる。自動化による作業の安全化、時間短縮、費用削減の他に、油分回収率の向上が得られた²⁾。

1988年には川崎重工業と関西電力により、より高機能なシステムが開発された(写真3.2.1) [3203]。

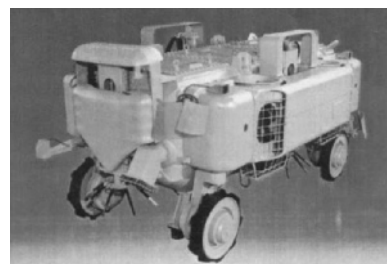


写真3.2.1 発電所取水路清掃ロボット

カメラによる目視検査、超音波センサによる路面凹凸の計測と清掃が可能で、挿入部から1km以上の距離で作業ができる。水中重量をほぼ0にして、複数のスラストで3次元移動を行い、壁面に押し付けながら車輪走行を行う。取水路の側面や天井面も清掃が可能になっている³⁾。

同じ頃に神戸メカトロニクスにより、コンパクトなシステムも開発されている(写真3.2.2) [3204]。



写真3.2.2 取水路除口ロボット

2基のスラストで壁面に吸着し、走行しながら貝類の除去を行う⁴⁾。

1988年に関西電力により、発電所の水圧管の点検ロボット「KPMAS-87」が開発されている[3205]。管径0.5から2.0mの水圧鉄管に対して、テレビによる目視検査、電磁波による塗膜厚測定、内面研磨、清掃、塗装の作業が可能である。鉄管の上部から挿入し、ウインチで引上げながら遠隔制御する⁵⁾。

1988年には三菱重工業と大阪ガスが円筒タンク底板溶接部の探傷検査システムを開発した[3206]。隅肉と突合せ溶接部を自動走行し、渦電流で溶接欠陥を探索する。探傷装置の出力信号を処理し、画像表示や記録が実時間ででき、作業効率を改善している⁶⁾。1988年には中部電力が地中送電用洞道の監視ロボットを開発した[3207]。従来は作業員が点検していたが、換気やガスのチェックの必要性、高温多湿環境、災害時の危険性等の問題点があった。天井に設置したレール上を走行し、カラー画像の他に自己位置、温度、湿度、ガス、音、超音波のセンサを持つ。火災防止に留意したモータ、充電方式を採用している⁷⁾。

1990年頃、東京ガスと日立が球形ガスホルダーの自動検査ロボットを開発した[3208]。ホルダーの外面に多数の脚で真空吸着し、吸着脚の切替で移

動を行う。溶接部の割れを超音波探傷する。16個の探傷子を使用し精度と効率を上げている⁸⁾。

1988-90年に安川電機製作所と九州電力が配電線工事ロボットを開発した(写真3.2.3) [3209]。電柱



写真3.2.3 活線作業ロボットシステム Phase II

の配線工事は危険であるために停電して作業を行っていたが、ロボット化により無停電作業を実現した。2本の関節型マニピュレータを装備し、遠隔操作と作業単位に自動化機能がある。3台のカメラで距離情報も得ている。本システムが各電力会社の同様ロボットのさきがけとなった⁹⁾。

1992年に富士重工業とジェイアール東日本ビルテックが車両清掃用のロボットを開発した[3210]。ジャイロと各種センサを内蔵し、車輪式で自律走行する。バッテリーの1回の充電で2時間40分稼働でき、清掃能力は毎時1110平方mである¹⁰⁾。

1993年に東京ガスと日立が都市ガス製造プラントの運転監視ロボットを開発した[3211]。プラント周囲にモノレール式のガイドレールを設置し、赤外線カメラ、ガス検知機、マイクを備え、これらの入力から異常を自動判断する。従来人間が3交代制で24時間巡回監視していたが、本ロボットで置きかえることが可能になり、15人程度の省人効果を得た¹¹⁾。

1995年には関西電力と日立造船が火力発電所の煙突点検・清掃ロボットを開発した[3212]。ロボッ

ト本体は煙突内部に吊下げられ、外部のウインチで昇降する。カメラでの目視検査のほか、打音装置、凹凸センサで煙突内面の劣化状況を測定する。また、清掃ブラシによるスス払い機能もある。地上150mもの高所で行う危険作業を自動化した安全性の効果は大きい¹²⁾。

1998年には中国電力と日立造船が火力発電所の復水器細管用清掃・点検ロボットを開発した[3213]。自走式で4本のアームを持つ。アームを復水器細管の開口部から挿入し、装備した水圧ブラシで清掃すると共に、探傷子で傷の検査を行う。従来7~8人の作業者の業務を操作員1名に省略できた¹³⁾。

1999年にクボタと東京大学生産技術研究所浦教授が上下水道を断水することなく通水状態のまま管内の状況を広範囲にわたって調査出来る管内調査ロボットを開発した。

通水状態での管内の観察調査が行えることで、既設管路の状況を的確に把握出来るようになり、効率的な管路の更新や維持管理に役立つ(図3.2.1)

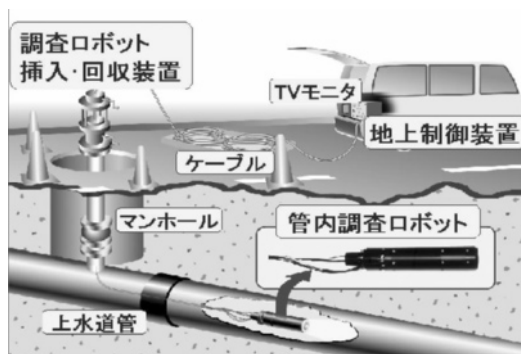


図3.2.1 水道管管内調査ロボット

[3214]。¹⁴⁾

参考文献

- 1) 日刊工業新聞 1985.3.15
- 2) 産業用ロボット導入便覧
(日本産業用ロボット工業会) P270-271、1992
- 3) 川重技報
- 4) 神戸メカトロニクス(株)
ホームページ
<http://www.kansai.ne.jp/kmc/annai.htm>
- 5) 日刊工業新聞 1988.5.10

- 6) 電波新聞 1988.11.15
- 7) 日刊工業新聞 1988.2.3
- 8) 球形ガスホルダーの検査ロボット：
日本ロボット学会誌Vol.10 No.5 pp43-45 1992
- 9) 日経産業新聞 1988.3.24
- 10) 日本工業新聞 1992.7.16
- 11) 日本工業新聞 1993.1.25
- 12) 日刊工業新聞 1995.12.12
- 13) 日刊工業新聞 1998.7.17
- 14) 機関誌ロボット132号 P47-50、2000

3.3 サービス

ここでは生活環境のなかで人間に密着しサービスする、搬送ロボット、警備ロボット、掃除ロボットを取り上げる。



写真3.3.1 Helpmate

搬送ロボットの代表例に病院等の施設で食器やカルテ・薬・検体等を運ぶHelpmateがある(写真3.3.1)[3301]。これは(株)安川電機が、米国Helpmate社とのライセンス契約で生産している、車輪走行型の知能移動ロボットである。電子地図を内在し、目的地を指示されると、センサで現在地や障害物を確認しながら移動する。Helpmateは一般の施設で利用できるようにした最初の搬送ロボットであると見なすことができる。

警備ロボットとして、総合警備保障は初めて本格的な自律移動型の「ガードロボ」を開発し、試

験運用を行っている（写真3.3.2）[3302]。このロボットは、センサによる障害物検知、人体検出センサによる侵入者検出、充電装置との自動ドッキング機能を有しエレベータを利用した階移動が可能である。そのほか、インターホン機能、音声警



写真3.3.2 ガードロボ

告機能といったマンマシンインタフェース機能や火災検知器、漏水検出器等犯罪以外の問題点を告知する機能を有している。「ガードロボ」は全高1.58m、全幅0.61m、重量130kgと、廊下、ドア、エレベータに人間と同様に侵入可能な巨体にまとめられている。

掃除ロボットは、主にビルメンテナンスの分野で使われており、ビルの床面清掃や窓ふきの作業を行う。床面清掃には主に駅や空港などの広い場所で移動式のもの、ビルの窓ふきには屋上から吊されたゴンドラが移動するものが使われている。また、各種清掃作業に目を向ければ、電力、公共、交通などさまざまな分野分野でさまざまな清掃用ロボットが開発されている。これらには電力の各種設備、石油タンク、航空機、プールなどそれぞれの対象に合わせた専用機能的なものが使われている。掃除、清掃作業をロボット化するメリットとしては、省力化・省人化がある。床面清掃以外は高所作業や悪環境などの3K作業でありロボット化への要求は高い。また病院内などの清掃では作業員による汚染や作業員の感染を避けるメリットもある。ビル用の清掃ロボットとしてはオートマックス・エレクトロラックスが1990年に開発した「床面清掃ロボット AXV-01」（写真3.3.3）[3303]と、東芝と三井不動産が1986年に開発した「床面清掃ロボット AS-100」（写真3.3.4）[3304]が実用化第1号であり、実用清掃ロボットとして

は2001年に富士重工業が開発した「ロボハイター」がある（写真3.3.5）[3305]。「AXV-01」は、ジャイロセンサで自己位置を認識ながら車輪走行し、回転ブラシとパキュームクリーナで床面の清掃を行う。毎時900平方mの能率で連続5時間稼働可能



写真3.3.3 床面清掃ロボット AXV-01



写真3.3.4 床面清掃ロボット AS-100



写真3.3.5 清掃ロボット

である。バンパセンサ、超音波センサ、階段センサ等の安全対策を取っている¹⁾。

三菱電機が開発した「自動窓拭きシステム」は屋上をビル外周に沿って移動するルーフカー、2本のワイヤーロープで吊り下げられ、ビルの外壁

に設けられたガイドレールに昇降車輪をかみ合わせて下降しながら清掃する清掃ユニットなどから構成される（図3.3.6）[3306]。

参考文献

1) 産業用ロボット導入便覧

(日本産業用ロボット工業会) P254-255、1992

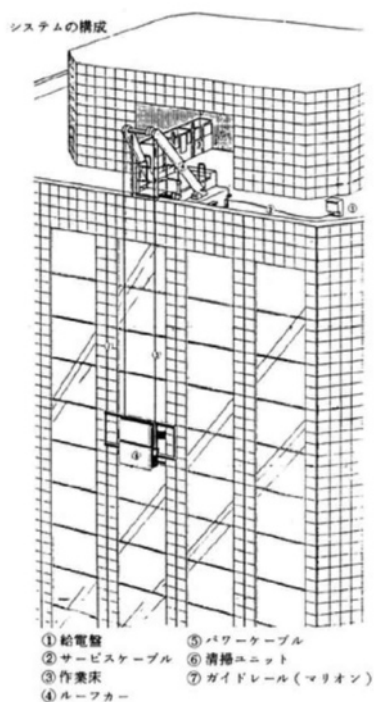


写真3.3.6 自動窓拭きシステム

3.4 農林水産

農業は自然を相手にするものであり、対象が生物であるため、作業のロボット化が難しい分野である。その中で、耕うん整地作業において人間と同程度の作業を行うことのできる「耕うんロボット」が生物系特定産業技術研究推進機構（生研機構）において開発され企業化が進んでいる。また、飼料生産作業に対応した「草地用農作業ロボット」が草地試験所や東京大学において、農業用車両の自律移動のための「通信システム」が北海道大学や北海道工業研究所などで研究されている。酪農関連では「搾乳ロボット」が生研機構などで開発され、乳牛

が自ら搾乳を行う場所へ移動してくるフリーストール方式が実用化している（写真3.4.1）[3401]。



写真3.4.1 搾乳ロボット

果実や野菜等の収穫作業のロボット化は日本が最も進んでいる分野であり「イチゴ・キュウリ・トマト」のほかに「りんご・桃・ぶどう・みかん」などに関する研究・開発が盛んに進められている。岡山大学が開発した「いちご収穫ロボット」はマニピュレータ・エンドエフェクタ・視覚センサ・移動機構から構成されており、キーとなる収穫用エンドエフェクタは2層構造の吸引ヘッド、開閉部、フィンガ、モータ、ソレノイド、フォトインタラプタ、カッタ等から構成される。野菜では重量野菜の収穫能率と作業者への負担の軽減を図り「キャベツ・ハクサイ・レタス」などの収穫ロボットの開発が進められている。そのほか「野菜苗接ぎ木ロボット」、「育苗ロボット」、「薬剤散布ロボット」、「施肥ロボット」、「除草ロボット」などさまざまなロボットが開発されている。

ヤマハ発動機は1997年に無人ヘリコプターを使った薬剤散布用ロボット「産業用無人ヘリコプター エアロロボット ヤマハRMAX」を開発した（写真3.4.2）[3402]。農薬なら24kgまで搭載でき、1時間に3ヘクタールの散布が可能である。



写真3.4.2
無人ヘリコプター RMAX

井関農機は1993年に「接ぎ木ロボット」を開発した[3403]。野菜や果物の連作障害などを回避する接ぎ木栽培向けで別々の苗木から自動的に台木と穂木をそれぞれ接合する。

林業における作業は、作業者にとって危険な作業が多い。また歩行が容易でない山林を移動することや、林業従事者の高齢化などにより、その機械化が強く望まれている。林業での作業は大きく分けて木材の伐採・搬出と、育林（枝打ち、下草刈り）に分類される。前者においては、樹木を伐採しながら作業を進めるため、大型の機械が比較的容易に樹木に接近可能であることから機械化が進んでいる。伐採、枝払い、測尺、玉切りなどを行うハーベスタ、プロセッサ、ワイヤを展開し、伐採した木材をワイヤに懸垂して搬出するタワーヤーダー、伐採された木材を積載あるいは牽引して搬出するフォワーダーといった機械が、主に建設機械をベースとして開発され、利用されている。

後者において、木に取り付き、枝打ちを自動的に行う装置（ロボット）として「ツリーモンキー」などが古くから開発され、実用化されている[3404]。現在は林地内を移動する作業の機械化が求められている。林内での移動を伴う作業については、日本の育林密度が非常に高いこと、大形機械が走行すると林地が荒れてしまうことなどから、人手に頼っているのが実情である。このロボット化を目指してイワフジ工業では、全幅1.3m、全長2.5m、重量1.2tと小型で、段軸駆動による不整地走行能力をもたせた下草刈り機械を試作している。実験により、斜度20～30度の育林地において、0.7m/sの速度で連続した下草刈りが可能であることが示されている。本機は現在、無線によりオペレータが遠隔操作する形態をとっているが、姿勢維持制御などは搭載されたコンピュータ及びセンサにより自律化されており、データキャリアシステムとの統合による自律行動の実現が考察されている。

水産業関連では「カツオ釣りロボット」が古くから試作、商品化されている。釣り竿を上下に振るだけの簡単なものであるが、カツオが巧

みに船上まで釣り上げられる（写真3.4.3）[3405]。



写真3.4.3 カツオロボット

3.5 エンタテインメント

エンタテインメントへのロボットの応用は、ロボットの技術の解釈とエンタテインメントの定義に依存して、その歴史の内容が変化する。和洋を問わず、まずロボット的な製品としてからくり人形が作られた。これらは、その動作で人を楽しませたという意味でエンタテインメント商品の範疇に入る。ロボット研究が1960年の中ごろから話題にされるとともに、江戸時代の機功図彙に記述されている茶運び人形（写真3.5.1）[3501]や、スイスのヌーシヤテル博物館に展示されている習字自動人形（宮川からくり人形館）（写真3.5.2）[3502]などが展示物として再現された。ただし、これらは、商品として販売されたものではない。

また、自動人形の分野では、1970年に開催された大阪万博などで、展示用にプログラムで動く実際人間（女優）を模擬したリアルな人形や



写真3.5.1 茶運び人形



写真3.5.2 習字自動人形

文楽人形が作られた。これらは、イベントの企画者の発注に基づいて製作された受注生産品である。その後、この分野ではビジネスとして、テーマパークの自動人形、自然博物館の展示用の動く恐竜などが製作されている[3503]。1985年のつくば万博では、展示用に様々なエンタテインメントロボットが製作された。その代表例は、早稲田大学と住友電工、ヤマハグループが政府館に展示した楽譜を認識してエレクトーンを弾く人間型ロボットで、開会式ではNHK交響楽団と競演して注目された（写真3.5.3）[3504]。

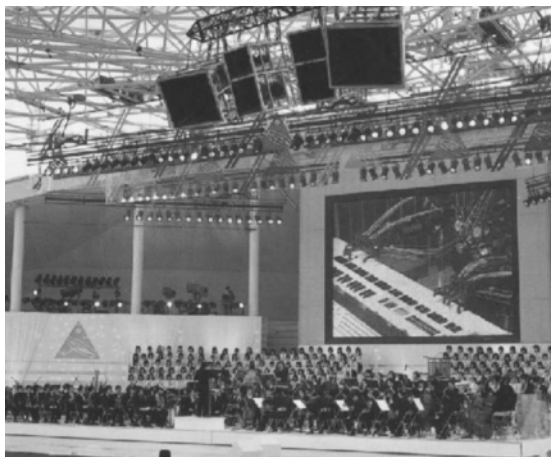


写真3.5.3 エレクトーン演奏ロボット（科学万博開会式）

また、1970年代には、富谷龍一がメカニカルとよぶ、カムやリンク機構を巧みに組み合わせ、生物的な運動をする様々なユニークな移動機構を試作し発表した。その興味深い動きから、人々の関心を呼び、学研が教育用キットとして発売した[3505]。また、このようなリンク、カム機構を用いた水・陸を移動する機構は、1970年代の後半ごろに東海大学海洋科学博物館などで、フタヒレイルカ、オオソコバサミ、ヒトデフミアシ、フタヒレウミバシリ、ミツフシウナギ、ヒカリフナムシといった名称のものが展示用に製作された（写真3.5.4）[3506]。

1990年までのエンタテインメント用ロボットは、主に、展示会や博物館、イベント会場で人をひきつける道具として使われたものがほとんどである。一方、1990年以降になると、高齢化社会のニーズに答えるために、人間共存型ロボットが注目され、

一人暮らしの高齢者の孤独を癒すために、あるいは生活を豊かにする新しい個人用のエンタテインメント機器として、ロボット技術の適用が検討されるようになった。この動きは、MITの人工知能研究所のBrooksや同研究所に客員研究員として滞在していた機械技術研究所の柴田氏、リモートブレ

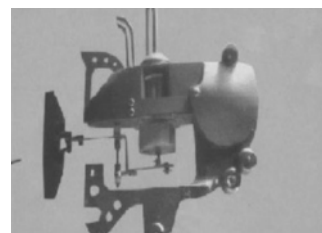
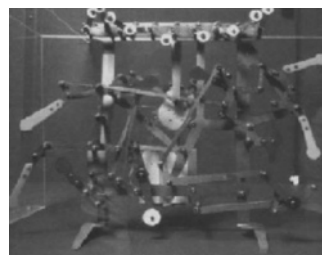


写真3.5.4 いろいろなメカニカル

インアプローチを提唱し、知的ソフトウェアで動く小型ロボットの開発を推進した東大の稲葉氏らの研究に始まり、その後、ソニーやオムロンの犬型ロボットやネコ型ロボットが生まれた。ソニーの犬型ロボットは、2000年にAIBOの商品名で売り出され、初めての成功した個人用エンタテインメントロボット商品となった（写真3.5.5）[3507]。また、



写真3.5.5 AIBO

AIBOはエンタテインメントロボット商品ブームの火付け役となり、その後、多くの玩具メーカーが類似品を発売した。しかし、ソニーのAIBOはこれらの類似品にくらべて高価なものの、4脚歩行、情動生成モデル、音声認識、視覚認識、感覚制御機能などを持つ、ロボットの先端技術を搭載した本格的な知能移動ロボットであり、真のエンタテインメントロボット製品と呼べるものである。オムロンはソニーとほぼ同時期に研究開発を開始したが、遅れて2002年の3月にネコ型ロボットを商品化した[3508]。このロボットは、体表に分布する触覚センサを持つが移動機能はなく、人が触るとそれに応じて首などを動かし人の関心を引く挙動を発現するロボットである。発売後半年ほどで発売を中止している(写真3.5.6)。



写真3.5.6 ネコ型ロボット



上記のほかに、商品化にはまだ至っていないがその一歩手前にある開発途上の癒し効果を持つロボットとして、産業技術総合研究所が1990年代の初頭以来開発を進めているアザラシロボット「パロ」がある。このロボットは2002年3月に世界一癒し効果のあるロボットとしてギネスブックに登録された。特に養護施設や、自閉症児の治療など精神医療への応用を目指して開発が進められており、近々商品化が計画されている(写真3.5.7)[3509]。



写真3.5.7 パロ

3.6 教育

ロボットは教育用のツールとして効果的なことは古くから認識されてきた。ロボットを開発するためには、機械、電気・電子、計算機、通信などの要素技術に精通しているか、精通している人とコミュニケーションできる能力が必要である。ロボットに接しロボットを研究することで、上記の要素技術を取り扱わざるを得なくなるという点で、ロボットは要素技術を総合的に学ばせる教育機器として有用なものと考えられてきた。

こうした問題意識のもとに、積極的に工学教育にロボットを導入することが試みられるようになった。一般の産業用ロボットが教育ツールとして使われることも多く、大学、高専の教育現場に産業用ロボットが導入されて学生実験に使われている。それとともに、ロボット教育のイベントとしてロボットコンテストやコンクールが開催されている。すなわち、課題を与えそれをコンテスト形式で競わせることで、ロボット技術ひいては科学技術への関心を高め、工学的知識を身につけさせることを目指したイベントが数多く企画されている。こうしたイベントはホビーとしても定着している。一部のコンテストではそのトピックスに即したロボットキットが参加者向けに商品化され、大規模ではないがロボット市場を構成している。

ロボットコンテストのもっとも古い試みはマイクロマウスコンテストで、1980年に開始され現在においても継続されている。その他、相撲ロボット、ロボカップなど各地で多数のコンテストが開催されている。多くはオリジナルなロボットで協議するものが多いが、マイクロロボットコンテストではマイクロマウスロボットの基本モジュールが市販されている[3601]。また、相撲ロボットでも競技者の開発の便宜を考慮した要素部品モジュールや標準キットが製品化されている[3602]。

コンテスト以外では、運動制御技術やロボット工学の教育用の標準プラットフォームとしてのロボットアームや移動ロボットが開発・市販されている。しかし、いずれも市場は大きくはない。

移動ロボットでは、群ロボットの研究用として Keperaがよく使われているが、国産品ではない。国産の実験・教育用移動ロボットとしては、筑波大学の油田研究室で30年来研究が進められている「山彦」がある。2輪型の移動機構でコンピュータ、超音波センサを搭載し、移動ロボットのナビゲーションや運動計画、感覚制御などの知能ロボット研究の標準プラットフォームとして使用できる機能を備えている（写真3.6.1）[3603]。



写真3.6.1 自律移動ロボット 山彦

また、脚型ロボットの実験用プラットフォームとして、東工大の廣瀬研究室が開発した4脚歩行ロボット（TITAN-VⅢ）がある。このロボットは、1990年代に実施された文部省の重点領域研究の成果で、また、この研究プロジェクトの中でも共通実験プラットフォームとして活用された（写真3.6.2）[3604]。

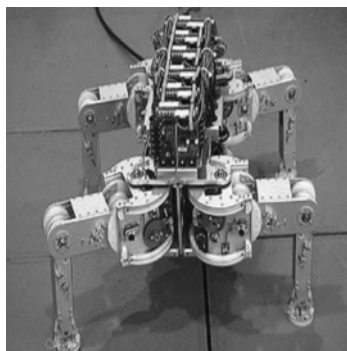


写真3.6.2 TITAN-VⅢ

ロボットアームでは計測自動制御学会のロボット工学部会などが中心となって開発されたダイレクトドライブモータを使用したSICE-DDアームがある[3605]。ダイレクトドライブアームは構造が単

純なため、機構パラメータが同定しやすく、従って制御理論の検証用に適している。こうしたダイレクトドライブモータを使用したアームの特徴に注目し、1997年に教育用の製品がSR402DDアームとして市販された（写真3.6.3）。



写真3.6.3 教育用DDアーム (SR402DD II(S))

近年、特に1990年代中ごろからの新しい動向にヒューマノイドロボット研究への関心の増大がある。この動向を反映し、多くのヒューマノイド研究が行われるようになり、こうした研究に使われるヒューマノイドが市販されている。2002年に、富士通オートメーションは富士通が開発したヒューマノイドHOAP-1を販売している（写真3.6.4）[3606]。また、ZMP社は科学技術振興団ERATO北野共生システムプロジェクトが開発した実験用のヒューマノイドPINOを発売している（写真3.6.5）[3607]。また、1998-2002年にかけて実施された産業



写真3.6.4 ヒューマノイドHOAP-1

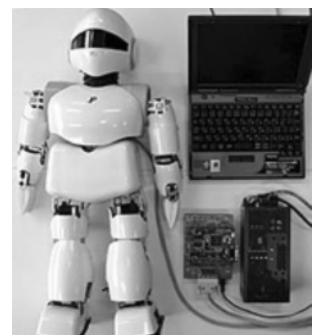


写真3.6.5 ヒューマノイドPINO

科学技術研究開発プロジェクト「人間協調共存型ロボットシステム研究開発」で開発されたヒューマノイド HRP-2は、2003年4月の市販を予定している。当面は大学・研究機関での実験・教育用

ラットフォームとして販売される予定である（写真3.6.6）[3608]。



写真3.6.6 HRP-2

3.7 医療福祉

(1) 福祉ロボット

ロボット技術の応用研究において、福祉分野は比較的初期の頃から注目されてきた。欧米では、1940年代から生体の電気信号（筋電）で動作する義肢や装具の研究が開始されている。これらは動力義肢・装具と呼ばれ、ドイツでは義手が1950年代に実用化されている。日本では、こうした研究は1960年代の後半から活発に行われるようになり、筋電制御動力義手の開発が早稲田大学で、また、当時深刻な社会問題となったサリドマイド児の支援機器としての動力装具、脊髄損傷者の機能補助のための動力装具が開発された。しかし、これらの多くの研究は実際に障害者に装着する実験まで行ったが、ほとんどは実用機にはつながらなかった。唯一早稲田大学が開発を進めてきた前腕筋電義手がリハビリテーションセンタとの協力のもとに実施された数々のフィールドテストを経て、開発開始から約13年を経た1978年に今仙電機（現今仙技研）からWIMEハンドの名称で商品化された。このハンドは現在も市販されている（写真3.7.1）[3701]。

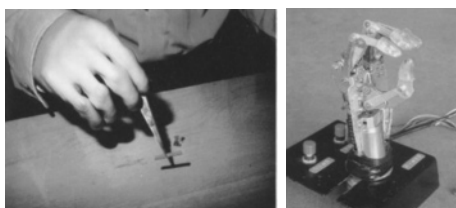


写真3.7.1 WIMEハンド

義肢の研究以外では、福祉分野では研究開発は数多く行われてきたが、ロボット産業に貢献した事例は少なく、ロボット研究開発成果の商品化は1980年代後半以降になる。1980年代後半になるとリハビリテーション分野にいくつかの実用品が出現した。まず、1988年に川崎重工業(株)は、ロボット技術を活用した運動機能評価・訓練装置REHAMATEを開発、市販している（写真3.7.2）[3702]。



写真3.7.2 REHAMATE

この装置は、ロボット腕のようなアーム機構に人の腕、あるいは脚を固定し、そのアームの拘束状態を種々のプログラムによって可変にするもので、種々の負荷状態で訓練者、リハビリ患者の四肢を拘束し運動を行わせると同時に、また、その運動状態を計測することができる。川崎重工業(株)は、さらに1990年に(株)アシックスと共同でより改善したシステムMYORETを開発・市販した（写真3.7.3）[3703]。これらは現在、病院やスポーツジムなどに導入されている。一方、(株)日立製作所は1995年頃に歩行訓練機を開発、商品化した。その構造はロボットアーム状の構造体が下肢に障害のある患者の体を支えた状態で、



写真3.7.3 MYORET

患者はトレッドミルの上に立ち、前方に打ちし出されるディスプレイの映像を見ながら歩行訓練を行うものであり、リハビリテーションセンタに導入されている（写真3.7.4）[3704]。



写真3.7.4 歩行訓練機

また、1998年頃には安川電機が、療法士の作業を支援するリハビリ装置を開発商品化した。患者の関節部に装着し、その関節部に療法士が加える動作を記憶するとその動作を繰り返し再生し実行する。関節の制御にはインピーダンス制御技術が導入されており、療法士の力加減を考慮した動作が実現できる（写真3.7.5）[3705]。



写真3.7.5
下肢リハビリ支援装置

介護作業に関しては、最近、日本ロジックマシンが、患者搬送支援装置（レジーナ）を商品化している（写真3.7.6）[3706]。特に、患者の移動補助に効果があるのが特徴である。



写真3.7.6 介護ロボット レジーナ

脊髄損傷者など障害者支援機器の中で、比較の実用化が進んでいるのは、食事支援ロボットである。スウェーデンでは以前から実用機が市販されているが、日本には実験レベルにとどまっていた。セコムは以前から研究開発を続けていたが、2001年にマイスプーンの名称で商品化し、注目されている（写真3.7.7）[3707]。



写真3.7.7 食事支援装置 マイスプーン

(2) 医療ロボット

ロボット技術の医療応用はこれまで研究開発は多く行われているが、わが国で実用化されたものはなかった。しかし、NEDOの医療福祉プロジェクトで日立製作所、東京女子医科大学などが開発した内視鏡下手術支援ロボット「MTLP-1」が商品化され、2002年7月に受注を開始した（写真3.7.8）[3708]。また、ZEUS、DaVinci、Robodocといった手術支援ロボットがわが国でも使われているが、いずれも外国製である。しかし、Robodocに関しては、製品は外国製であるが、ロボットには日本製（三協精機）が使われている。



写真3.7.8 内視鏡下手術支援ロボット MTLP-1

4.1 原子力

人間が存在できない極限環境下では、遠隔または自律性を持つロボットが必要とされるが、この分野のロボットの特徴として、耐放射線性と場合によっては耐高温性、耐腐食ガス性等が求められる。その他の要素技術としては、原子力プラント内での移動技術、自立型の場合のエネルギー制御技術、情報処理技術、通信技術等が挙げられる。

作業としては、原子力プラントのライフサイクル全てに渡ってロボット化が求められるが、現状は保守点検分野が大部分で、稼働作業の一部を受け持つものが少数ある。また、近年は原子炉解体向けロボットの開発も計画されている。

具体例を示すと、1972年に三菱重工業により蒸気発生器伝熱管検査用に蒸気発生管を懸垂歩行するロボットが開発された。空気圧を動力源に5軸の動作を行い、渦電流探傷装置を電熱管端部に案内して全自動探傷を実現した。自重12.5kgで最大15kgの可搬能力がある¹⁾ [4101]。

1984年に石川島播磨重工業により原子力容器の定期検査用ロボットが開発された[4102]。これは超音波プローブを持ち、検査部周囲に設置されたレールやラックに装着されて移動しながら探傷を行うもので、動力は電気と空気圧である。自重は18kg以下で最大速度25mm/s、検査個所に応じて各種のロボットが開発された²⁾。

1985年には東芝によりCRD（制御棒駆動機構）交換用のロボットが開発された[4103]。電気と空気圧を動力とし、10種の駆動部でCRD取付ボルト8本の同時脱着など複雑な動作を行う。ボルト締付時のトルク制御や誤動作防止機能等を装備している。200kgの可搬能力があり、自重10tonの大型システムである³⁾。

同年には東芝によりモノレール軌道を走行し、原子力施設の目視点検を行うロボットが開発された[4104]。3次元物体認識機能があり、異常の自動検出が可能である。7.2m/minの速度で施設内の広い範囲の点検が可能である⁴⁾。

なお、実用レベル以前であるが、1985年に三菱

重工業により原子力格納容器内で軽作業ができるロボットが開発されている[4105]。脚車輪機構で階段昇降や配管の跨ぎ越えが可能である。自重420kg、20kgの可搬能力を持ち、0.1m/sの速度で移動する。移動性が高いので、軽い故障であれば、プラントを停止せずに対処できる可能性がある⁵⁾。

1986年には東芝、日本原燃サービスによりプラント保守用に電動式のマススレーブマニピュレータシステムが開発された[4106]。7自由度の双腕で、バイラテラル制御を行っており、可搬重量(15kg)と自重の比を1:4に抑えている。また、重力補償やグリップの交換可能等作業性に考慮している⁶⁾。

1987年には富士電機と日本原子力発電により原子炉検査用の大型多関節マニピュレータが開発された(写真4.1.1) [4107]。全長14mで10関節を持ち、狭隘部にも進入可能である。先端部を交換して保守や点検作業を行う⁷⁾。



写真4.1.1 炉内構造物検査用
マニピュレータ電動多関節形

1990年には三菱重工業により狭隘部の定期点検用のロボットが開発された[4108]。車輪型で、20mm/sの速度で250～350mmの隙間を移動できる。200℃の高温環境下で作業可能である。溶接線の自動追尾機能、ファイバーによる目視検査機能、電磁超音波探傷機能を備えている（開発段階）⁸⁾。

1992年には三菱重工業により原子炉容器内の水中を移動して超音波探傷試験を行うロボットが開発された[4109]。自重は空中で300kg、水中で0kg。水深20mの範囲で、6台のスラスト、4輪走行装置、

真空吸着装置を組合せて、水中の3次元移動、壁面移動を実現している。6軸の関節型アームの先端に超音波探傷子を装備する。自己位置はレーザ測長方式を採用している⁹⁾。

1997年には石川島播磨重工業により同様の機能のAIRIS21が開発されている¹⁰⁾ (写真4.1.2) [4110]。

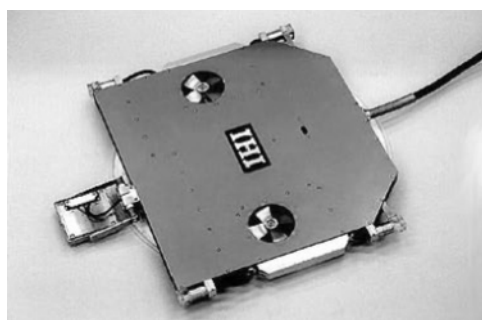


写真4.1.2 AIRIS 21™

2001年には原子力防災支援システムとして、製造科学技術センターのもとで三菱重工業、東芝、日立、サイバネティクスにより6台のロボットが開発された[4111]。作業監視2種、小型軽作業ロボット、作業ロボット、重量物運搬用ロボット、耐高放射線性対応ロボットよりなる。一部を除いて階段昇降やドアの開閉等が行え災害状況の把握や弁の操作、機材の搬送を行う¹¹⁾。

参考資料

- 1) 蒸気発生器全自動ECT探傷システム：
産業用ロボット導入便覧
(日本産業用ロボット工業会) P186-187、1992
- 2) 原子力発電所のISI検査用ロボット：
産業用ロボット導入便覧
(日本産業用ロボット工業会) P174-175、1992
- 3) CRD(制御棒駆動機構)自動交換システム：
産業用ロボット導入便覧
(日本産業用ロボット工業会) P196-197、1992
- 4) モノレール走行による原子力発電所内施設の
点検・監視：産業用ロボット導入便覧
(日本産業用ロボット工業会) P168-169、1992
- 5) 原子力格納容器内軽作業ロボット：
産業用ロボット導入便覧
(日本産業用ロボット工業会) P162-163、1992

- 6) 日本工業新聞 1986.11.7
- 7) 日経産業新聞 1988.4.12
- 8) ISI用狭隘2壁間点検システム：
産業用ロボット導入便覧
(日本産業用ロボット工業会) P184-184、1992
- 9) 原子力容器超音波探傷装置：
産業用ロボット導入便覧
(日本産業用ロボット工業会) P188-189、1992
- 10) AIRIS21：日本工業新聞 1997.10.3
- 11) 原子力防災支援システムの開発：
日本ロボット学会誌 N0.6、pp717-721、2001

4.2 海洋

海洋環境もそのままでは人間の存在できない領域であり、遠隔または自律ロボットによる作業が望まれる。当初ニーズとしては軍事や石油資源開発関連が主であったが、今後は地球科学、港湾土木、海底ケーブル、環境保全、水産業、鉱業、レジャー等への適用が主になると考えられる。

海洋ロボットの技術的特徴としては、耐圧技術(10m深度が深まるにつれて1気圧環境圧力が増加する。大深度では特に対策を要する)、通信技術(水中では電磁波の減衰が大きく、遠距離通信は音響方式を使用せざるを得ないが、伝送速度や耐ノイズ性等課題が多い)、自己位置計測技術(水中ではGPSは使えず、慣性航法もドリフト問題があり高精度は期待できない。現実にはトランスポンダを使用するが多いが、広域を活動する場合は工夫を要する)、移動技術(3次元空間を効率良く移動もしくは位置保持する技術が求められる)、動力源技術(作業領域が狭い場合は有索で動力を供給することが可能であるが、広くなると長時間の活動を保証する小型高効率の動力源が必要となる)、センサ技術(水中の視界は一般に悪く、周囲の情報を正確に効率良く得る工夫が必要になる)等がある。海洋ロボットの開発に当たっては、その要求機能に合わせてこれら技術をバランス良く組合せてシステムを構成する必要がある。以下具体的に代表事例を示す。

1981年には海底ケーブル捜索点検を目的に、KDDにより「MARCAS」が開発された。有索方式で200mの深度まで潜航できた¹⁾ [4201]。

1984年には観察・偵察用の小型ROV (Remotely Operated Vehicle) であるRTV100が三井造船により商品化された[4202]。30kgという超軽量で、TVカメラで観察が行えた。操作は水上でジョイスティックで行なわれる。水力発電所のダムや水路の点検が当初の対象作業であり、以後種々の分野に活動範囲を広げた²⁾。

1985～89年にかけて港湾建設に伴う水中調査作業用に運輸省港湾技術研究所において「アクアロボ」が開発された[4203]。使用深度は50m程度であるが、凹凸面や傾斜地の海底面でも作業できるよう、6脚による歩行方式を取っている。水中位置測定装置で正確な位置計測を行うことと、超音



写真4.2.1 MARCAS2500

波距離計と水中テレビで海底の捨石の状況確認や、水中構造物の破損状態の調査観察を行うのが具体的対象作業である³⁾。

1987年には最初に述べた「MARCAS」の発展型「MARCAS2500」が三菱重工業とKDDによって開発された(写真4.2.1) [4204]。有索方式であるが、世界最高の2500mまで潜水し、海底の土質調査、磁気センサによる海底ケーブルの探査、ウォータージェットによる海底ケーブルの掘出し、2本のマニピュレータによる海底ケーブルの保守作業が可能である。水上部も含めてコンパクトなシステムに構成され、数百トン規模の船舶に搭載可能な経済性も実現した⁴⁾。

同じく1987年には三井造船と海洋科学技術センターにより3300mまで潜水できる「ドルフィン3K」

が開発された(写真4.2.2) [4205]。有索方式で2本のマニピュレータを持つ。海洋調査のほかに、2000m級の有人潜水艇救難の作業もこなす⁵⁾。

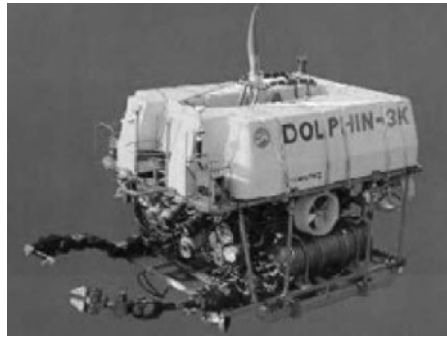


写真4.2.2 ドルフィン3K

1992年にはKDDにより海底ケーブル敷設・保守の支援用として「Aqua Explore 1000」が開発された[4206]。1000mまでの海洋で海洋調査、海底ケーブルの埋設状況調査、海底ケーブルの敷設・保守作業の支援を目的とし、TVカメラや各種の計測装置を搭載する。無索式でロボット本体に人工知能を搭載して判断機能を持たせ、水中での移動性を大幅に改善している⁶⁾。

1993年には三井造船と海洋科学技術センターにより、世界最高の11,000mに潜航できる無人潜水艇「かいこう」が開発された(写真4.2.3) [4207]。

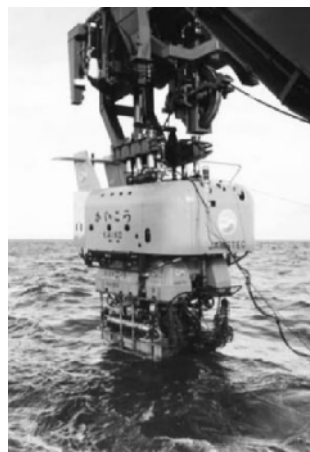


写真4.2.3 かいこう

有索方式であるが、母船からは中間ランチャーを通じて結合され、大深度での移動性を向上している。各種調査のほかに、6500m級の有人潜水艇「しんかい6500」の救難作業も対象にしている⁷⁾。

1997年にはKDDにより「Aqua Explore 1000」の実用機である「Aqua Explore II」が開発された（写真4.2.4）。1999年には台湾海峡で合計400kmに渡る海底ケーブルの調査を行った⁸⁾ [4208]。



写真4.2.4 Aqua Explore II

2000年には海洋科学技術センターにより氷海の下を自律航行するAUV（Autonomous Underwater Vehicle）「うらしま」が開発された（写真4.2.5） [4209]。3500mまで潜航し、100kmの航続距離を持つ。燃料電池を動力源にすることによって、300kmの航続距離を目指している⁹⁾。



写真4.2.5 うらしま

参考文献

- 1) 海中ロボット
((社) 国際海洋科学技術協会)
pp49-50、1993
- 2) 海中ロボット
((社) 国際海洋科学技術協会)
pp50-51、1993
- 3) 海中ロボット
((社) 国際海洋科学技術協会)
pp75-77、1993
- 4) 産業用ロボット導入便覧
(日本産業用ロボット工業会)

pp292-293、1992

- 5) 海中ロボット
((社) 国際海洋科学技術協会)
pp53-55、1993
- 6) 海中ロボット
((社) 国際海洋科学技術協会)
pp100-101、1993
- 7) 海中ロボット
((社) 国際海洋科学技術協会)
pp55-57、1993
- 8) 自律型海中ロボット
(日本ロボット学会誌) Vol.18 No.7
pp31-34、2000
- 9) 自律型海中ロボット
(日本ロボット学会誌) Vol.18 No.7
pp31-34、2000

4.3 宇宙

宇宙環境でのロボットは、研究レベルでは移動体もあるが、現在の所実用化されているのはマニピュレータのみである。わが国では研究は盛んに行われているが、宇宙空間で作動した例はまだ極めて少ない。1997年にスペースシャトルでマニピュレータ飛行実証試験（MFD）が行われたのが最初で、技術試験衛星ETS-VIIに国産マニピュレータを搭載して実験を行った。今後は国際宇宙ステーションの日本宇宙実験モジュール（JEM）に搭載する親子型のマニピュレータ（JEMRMS）が計画されている（写真4.3.1） [4301]。

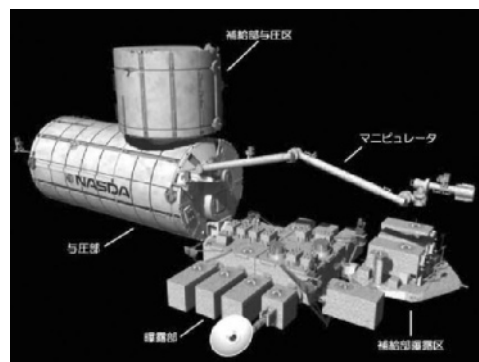


写真4.3.1 日本宇宙実験モジュール（JEM）(©NASDA)

人間の生存できない低温、真空環境下で物体のハンドリングを行う宇宙ロボットには以下のような多くの技術課題がある。小型軽量化（ロケットの打上能力から徹底的な軽量化が望まれる）、耐環境性（真空、温度、宇宙線、打上時の振動等に耐える必要がある）、反動（宇宙ではロボットは地上のように踏ん張ることができないため、反動でロボット自体が動くことへの対策が必要になる）、通信遅れ（地上との距離が非常に大きく、通信遅れによる制御系の不安定化を防止する必要がある）が挙げられ、それらを高水準に解決して組合せる必要がある。以下代表例を示す。

1997年に宇宙開発事業団と東芝で、技術試験衛星ETS-VIIに搭載するマニピュレータが開発された（写真4.3.2）[4302]。約2mの長さで6自由度の

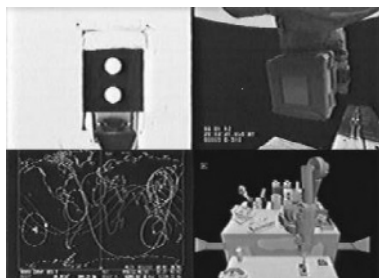


写真4.3.2
ETS-VII

関節型アームである。最大430kgの負荷を操作できる。打上後宇宙空間で種々の実験を行った¹⁾。

1997年に通産省が高機能ハンドシステム（ARH：Advanced Robotic Hand System）を開発した[4303]。3指を持ち、多くのセンサを装備した小型の精密作業ロボットである。技術試験衛星ETS-VIIに搭載して打ち上げられ、1998に実験が行われて機能が実証された¹⁾。

参考資料

- 1) 特集 ETS-VIIにおける宇宙ロボット実験：
日本ロボット学会誌 Vol.17 No.8 1999

4.4 災害

災害ロボットの目的として災害予防または災害に対処するものと、災害復旧時に働くものがある。

災害予防的な実例はほとんどないが、林業や土木・建設ロボットでその役目を果たすことが考えられる。災害に対処するものとしては消防ロボットがその代表であり、その他の例はほとんど見当たらない。災害復旧時に使用されるものとして人命救助ロボットがあるが実用化の例は少ない。現在研究中のものが多くあり、今後実用化する例も増えていくことと思われる。

災害ロボットの技術上の特徴としては、耐環境性（高温、粉塵等）、頑健性（厳しい稼働条件下で故障しないこと）、移動能力（不整地での移動を要求される場合が多い）、通信技術（安全な距離から確実に遠隔操縦ができることが求められる）等が挙げられる。以下代表例を示す。

1986年にはいすゞ自動車と東京消防庁によって無人放水車「レインボー5」が開発された（写真4.4.1）



写真4.4.1 レインボー5

[4401]。クローラで走行し、有索および無線で遠隔操縦される。爆発危険や強い放射熱から消防隊員を守り、長時間人間の10倍もの放水能力を持つ。化学工場の火災等で高い実績を残している¹⁾。

1990年には東京消防庁が救難用水中検索ロボット「ウォーターサーチ」を開発した（写真4.4.2）

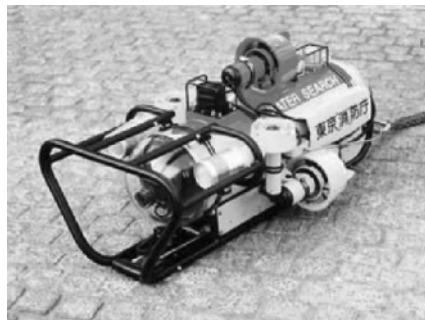


写真4.4.2 ウォーターサーチ

[4402]。全長1m、重量38kgの小型ROVで、水中救難現場で救助隊員に代わってテレビカメラによる水中検索をする。1993年の北海道南西沖地震の際、津波にさらわれた被害者の捜索に派遣された²⁾。

1993年には高層ビルでの消火活動支援ロボット「レスキュークライマー」が石川島播磨重工業と東京消防庁により開発された(写真4.4.3) [4403]。



写真4.4.3 レスキュークライマー

人間が容易に近づけないビルの火災現場に壁を伝って接近して救助可能な人がいるか確認する。また、窓ガラスに穴を開け放水することも可能である³⁾。

1993年にはアイチコーポレーションと東京消防庁が災害現場で被災者救出口ロボット「ロボキュー」を開発した(写真4.4.4) [4404]。クローラ走行車



写真4.4.4 ロボキュー

両にマスタスレープ方式の2台のマニピュレータが装備されており、これで被災者を把持、救出する。その他の装備として、マイクとスピーカ、酸素供給器、自衛用水噴霧装置等がある⁴⁾。

1995年頃東京消防庁が小型の無人消火装置「ジ

ェットファイター」を開発した(写真4.4.5) [4405]。外形が小さく、ケーブルトンネルや地下街に進入して放水することができる⁵⁾。



写真4.4.5 ジェットファイター

1997年には三菱重工業と東京消防庁が建物内に進入して放水する消火ロボットを開発した(写真4.4.6) [4406]。800℃で3分間、400℃で30分以上の耐熱能力があり、毎分200L以上の放水能力がある。クローラで35度の階段昇降ができ、立体視用のテレビカメラを装備する⁶⁾。



写真4.4.6 消火ロボット

参考資料

- 1) 東京消防庁ホームページ：
www2.newweb.ne.jp/wc/ebara71/a/h/rescue.htm
- 2) 東京消防庁ホームページ：
www2.newweb.ne.jp/wc/ebara71/a/h/rescue.htm
- 3) 日経産業新聞 1993.2.3
- 4) 危険作業ロボット：日本ロボット学会誌
Vol.18 No.7 2000
- 5) 東京消防庁ホームページ：
www2.newweb.ne.jp/wc/ebara71/a/h/rescue.htm
- 6) 危険作業ロボット：日本ロボット学会誌
Vol.18 No.7 2000

ロボットに関する国家プロジェクトは、通産省（現在経済産業省）、文部省（現在文部科学省）、科学技術庁（現在文部科学省）、建設省（現在国土交通省）、厚生省（現在厚生労働省）などで実施されているが、ここでは産業界と強く連携して実施されている点を重視し、通商産業省・経済産業省で実施されてきたプロジェクトの歴史を概説する。

通商産業省では昭和45年度の大規模プロジェクト研究開発制度を発足させて以来、ロボットに関するプロジェクトを2件、また、一部にロボット技術が関わるものを3件実施してきた。前者は、極限作業ロボットの研究開発（1983年-1990年）、人間協調共存型ロボットシステム研究開発（1998年-2002年）、後者は自動縫製システムの研究開発（1982年-1989年）、大深度地下空間掘削システムの研究開発、マイクロマシンの研究開発（1990年-2000年）である。ここではロボットを中心に取り上げた4つのプロジェクトについて、概要を述べる。

(1) 極限作業ロボットの研究開発

このプロジェクトはロボットを本格的に研究課題として取り上げた最初のプロジェクトである。日本におけるロボット研究を発展させるきっかけを作る上で重要な役割を果たした。産業用ロボットのビジネスが軌道に乗り始めた時期に、ロボットの応用分野を製造産業用から非製造業へと拡大することを意図して企画され、原子力プラントメンテナンス、海底石油プラントメンテナンス、災害応用の3応用分野に注目して、産学官連携のもとに、知能ロボットの要素技術と応用技術の研究開発が推進された。プロジェクトの目的そのものが、要素技術を追求し、上記3分野に適用可能なロボット技術の基盤を作るということであったため、直接実用につながるロボットは開発されなかったが、プロジェクトの成果を実証するシステムとして、原子力プラントメンテナンスロボットが製作された（写真5.0.1）。また、要



写真5.0.1
原子力プラント
メンテナンスロボット

素技術の一部を実証するための、海底ロボット、災害対応ロボットが製作された[5001]。

(2) 自動縫製システムの研究開発

わが国には多数の中小の企業で構成されるアパレル産業が存在する。アパレル産業ではユーザーの多様化、ファッションのサイクルの短縮化から、短サイクルでの超多品種少量生産が避けられない情勢にあった。こうした状況下で、熟練労働者の確保なども深刻な問題となり、多品種少量生産に耐え得る自動化技術実現が急務の課題となっていた。この問題を解決する手段を提供すべく本プロジェクトは計画され、一部でロボットによる縫製作業の自動化が試みられ、自動縫製ロボットが研究開発された。その構造は、ロボットアームの先端に小型ミシンを保持し、計画された軌道に沿って、縫製作業を行うもので、実用化はされなかったが、ロボットによる縫製作業の自動化の可能性を示す成果を挙げた（写真5.0.2）[5002]。

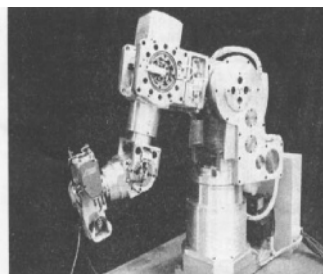


写真5.0.2 研究開発された縫製作業ロボットの一例
(機会技術研究所)

(3) マイクロマシン技術の研究開発

日本では新しい概念として、機械の微小化に軸足を置き、製作技術として半導体プロセスを取り込むが、そのみを基本技術と考えず、従来の機械加工をより細密な領域まで拡張すること、さらにはこのような微小機械をシステム化すること、いうなればマイクロメカトロニクスとでも呼ぶような概念を「マイクロマシン」として発表した。

本プロジェクトは平成3年度から平成12年度まで行われ、10年間で2期に分けた。第1期ではマイクロマシンをシステム化するときに必要な機能デバイスの開発を、第2期では第1期の成果を基本にそれらをシステム化する時の問題点を探ることを重点に置いた。しかし第2期では第1期で開発し

た機能デバイスの全てが必ずしも第2期の対象システムに適用されるものばかりではなかったもので、そのような技術はさらにその機能を高めるための技術開発も併せて行った。

ここでシステム化技術の対象として発電施設の検査システム、マイクロファクトリー、医療応用システムの3種類の分野に関するシステムを開発することが試みられた(写真5.0.3) [5003]。

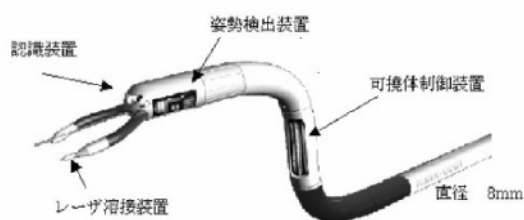


写真5.0.3 発電施設機器内部作業用試作システム

(4) 人間協調共存型ロボットシステム研究開発

1996年に発表されたホンダのヒューマノイドロボット(人間型ロボット)に端を発し、人間型ロボットをプラットフォームに設定し、その応用分野を発掘するプロジェクトが計画された。従来のプロジェクトでは、ある種の応用を想定した上で、要素技術が特定され、まず、その要素技術が追求

された後、応用ニーズに応えるためにシステム統合がなされる。この方法は要素技術の追求にはよいが、応用研究に割く時間が少なく、実際に使えるロボットを開発するには問題があった。そこで、このプロジェクトでは、前半で既存技術を集大成したプラットフォームを開発し、後半でその技術が何に使えるかを追求する仕組みを導入した。結果として、プラントメンテナンス、対人サービス、遠隔警備、建設機械運転、屋外作業などの応用動作が検討されるとともに、次の応用研究のベースとなるオープンな構造をもつ実用的なヒューマノイドロボット(HRP-2)が開発された。この成果はすでに高いポテンシャルを持つ日本のヒューマノイド技術をさらに飛躍的に発展させる成果で国内外の注目を集めた(写真5.0.4) [5004]。

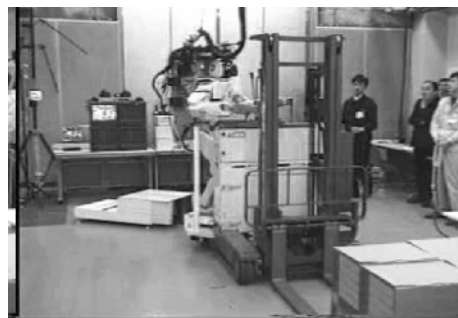


写真5.0.4 ヒューマノイドによるフォークリフト運転

付表1.1 ロボット技術の年表

年次	産業界	プロジェクト	大学・産総研	関連技術
1970	第一次ロボットブーム ・自動車スポット溶接ロボット ・100社のロボット事業への参入		ロボット工学の揺籃期 ・二足歩行 ・マニピュレーション ・教示再生位置決め制御 ・2次元視覚センサ、触覚センサ、カセンサ ・スカラロボット	・16ビットのマイクロプロセッサの登場
1980	産業ロボットの普及本格化 ・自動車のアーク溶接ロボット ・100社のロボット事業への参入 ・視覚センサ制御ロボット (ワイヤボンディング)	1982-89 (8ヶ年) 極限作業ロボット (約180億円)	極限作業ロボット ヒューマノイド(機構) ・多脚歩行 ・二足歩行 ・知的遠隔操作 ・多関節マニピュレータ ・高臨場感遠隔操作 ・感性ロボット (テレイグジスタンス) ・モデルベースド機能	・マイコンの小型高能化 ・半導体センサ(CCDなど)の出現 ・人工知能の研究が本格化
1990	産業ロボット普及 約8万台生産(91年) ・自動車、電機分野での成熟 ・ロボット事業からの撤退が続出 ・本田技研が「P2」の発表 ・ベットロボット、活線作業ロボット 市場の成熟 6万台生産、数千億円	1991-2000 (10ヶ年) マイクロマシン (約250億円) 1998-2002 (5ヶ年) 人間協調・共存 型ロボットシステム (約50億円)	ヒューマノイド(認知形)、マイクロロボット ・VRによる遠隔操作 ・小型コンピュータのオンボード化 ・感性ロボット ・マルチロボット ・微小ロボット ・行動知能	・パソコンの低価格化 ・マイクロマシン技術 ・VR技術 ・インターネットの普及
2000	第二次ロボットブーム ・新分野への応用の模索 ・RT、IT、NTの融合 ・ヒューマノイド型プラットフォーム ・知能型エンターテインメント	産学官の役割分担の在り方(シナジー効果)	将来のロボット研究開発(前期) 将来のロボットの要素技術(シーズ、性能)	・インターネットの拡大
2010	将来のロボット普及 数十万台 将来のロボットの姿(イメージ、市場予測)		将来のロボットの研究開発(後期)	
2020	将来のロボット成熟 数百万台			

付表1.2 産業用ロボット略年表

	国際的な動き	マニピュレーティングロボット	ロボット全般	備考
1960	62 バーサトラン・ユニメートの商品化			高度成長期へ
1965		66 人工の手研究会発足	早稲田大学におけるWABOTの開発	
		68 簡易型ロボットの普及 金属プレス プラスチック成型		
1970	70 自動車工場へ大量導入 失敗・再試行			
	72 成功 → 触発	72 自動車工場へ大量導入		第1次 オイルショック
1975	74 電動垂直多関節ロボットの商品化	74-77 ロボットの標準化に関する調査研究		
		76~ JIS制定・改廃		
		77 中型電動ロボット開発 アーク溶接への応用		第2次 オイルショック
1980		80 大型電動ロボット開発 油圧から電動へ		
	81 SCARA商品化	81 ロボットの一般への普及 例えばムーブマスター	82 日本ロボット学会設立	
	83 ISO/TC184設立	83 安全防護法制化		
	84 ISO/TC184/SC2設立		建設ロボットの概念普及	
1985		ボールねじから減速機へ		
	87~ マニピュレーティングロボット 国際規格制定・改廃			
1990		交流サーボモータへ		
			電子部品実装ロボット 標準化調査研究 JIS制定	バブル崩壊
1995		知能化本格軌道に	2足歩行の高度化	PL
			ペットロボット普及へ	
2000	00 ISO/TC184/SC2 組織リストラ			

付表1.3 ロボット年表1 (ロボット全般)

*国の大型プロジェクト

年	ロボット全般	世 情
1960	62 産業用マニピュレーティングロボットの開発 62～ 無人化工場(MUM)*	シーケンス制御一般化
1965	66 人工の手研究会発足 67～ 早稲田大学におけるWABOTの開発 腕・2足歩行	
1970	70 自動車工場へ大量導入(GM社)失敗・再試行 72 " 成功 74～77 産業用ロボット標準化調査研究 74 第1回国際ロボット展(晴海) 第4回国際シンポジウム(東京)	マイクロプロセッサ普及始まる 第1次オイルショック
1975	77～ 産業用ロボットJIS制定・改廃	8ビットCPU全盛期
1980	80～90 「極限作業ロボット」プロジェクト* 80 ロボット元年 82 日本ロボット学会設立 83 安全防護法制化 83 ISO/TC184設立 84 ISO/TC184/SC2設立	シーケンサー開発 16ビットCPUへ
1985	87～ マニピュレーティングロボット 国際規格制定・改廃	メカトロニクスブーム
1990	91～2000 「マイクロマシン」プロジェクト*	
1995	93～ 電子部品実装ロボット 標準化調査研究 JIS制定	バブル崩壊
2000	98～2002 「人間協調・共存型ロボットシステム」プロジェクト*	98 PL法施行 99 生産海外シフト 00 ITブーム 02 IT不況
2005		

付表1.4 ロボット年表2（産業用マニピュレーティングロボット全般）

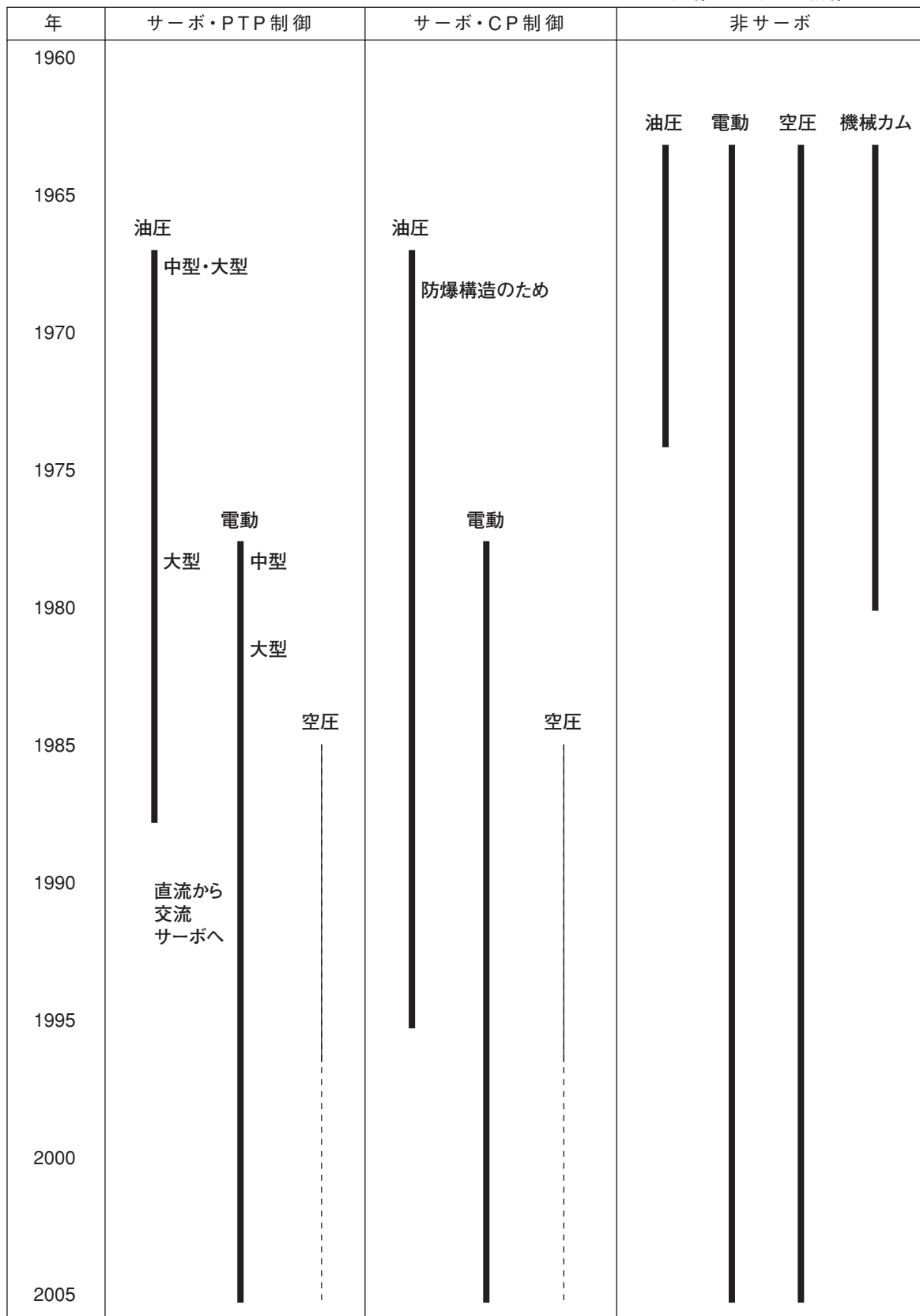
年	国内	海外
1960		62 パーサトラン・ユニメートの開発
1965	67 パーサトラン・ユニメート上陸	
1970	このころ、非常に多くの開発・試行 73 日産・トヨタで溶接システム導入 74 導入意欲減退・一部メーカー撤退	70 GM社溶接システム 導入 失敗 72 再構築成功 導入 74 ASEA社電動垂直多関節口 ボット開発
1975	75 MOTOMAN L-10 開発	
1980	80 UNIMAN 8600 開発 油圧から電動への転換はじまる このころ新規企業参入多数	
1985	ボールねじから減速機へ（先駆的メーカー特定不能）	
1990	直流サーボモータから交流サーボモータへ 現代制御理論に基づく制振制御導入（軽量化に結びつく先駆的メーカー特定不能） このころから撤退企業若干	
1995	マシンビジョンの普及（先駆的メーカー特定不能）	
2000		
2005		

付表1.5 産業用マニピュレーティングロボット技術年表1 (座標系・制御)

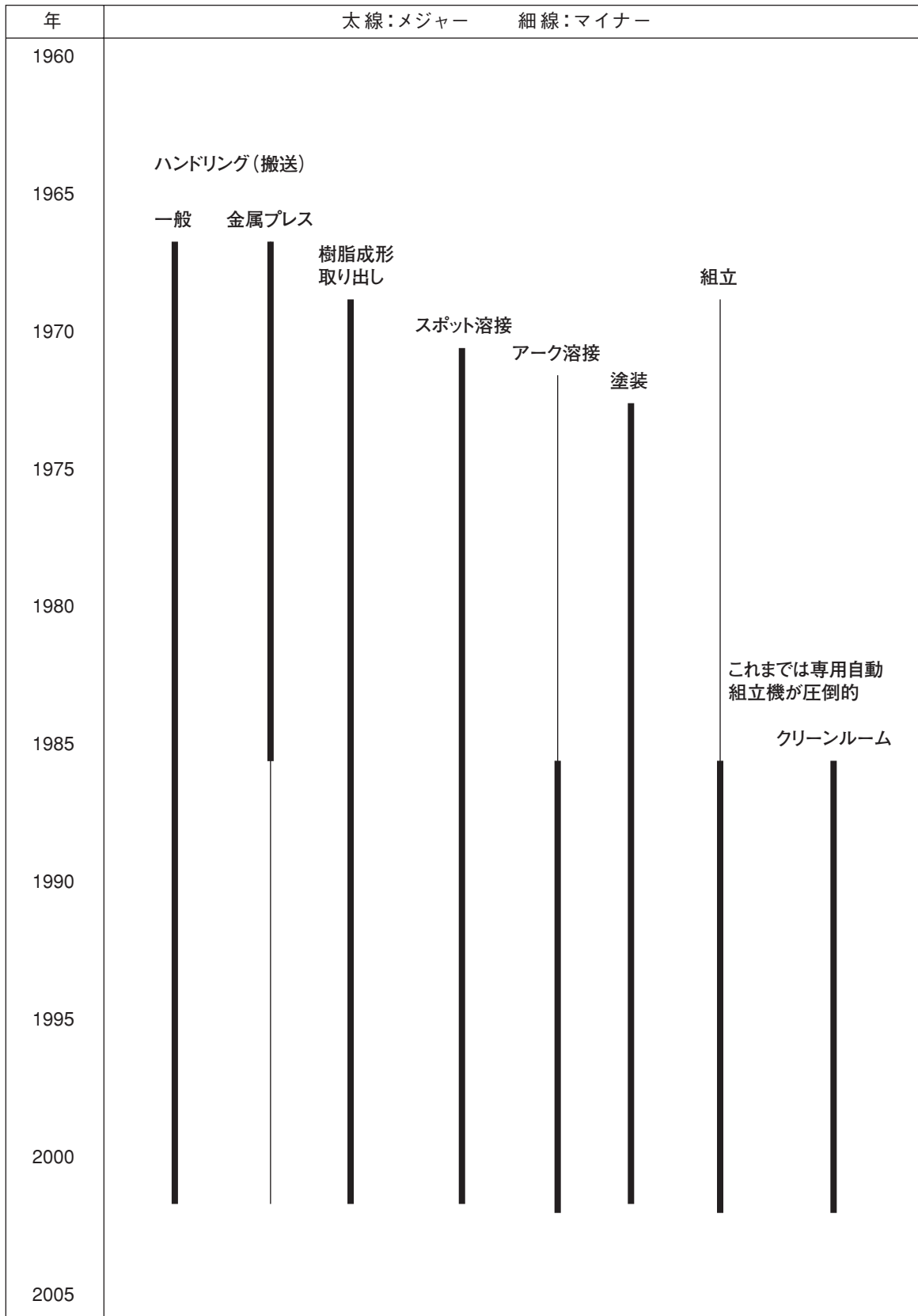
年	サーボ制御	非サーボ制御
1960		
1965	円筒座標 極座標	
1970	垂直多関節	直角座標 円筒座標 極座標 その他
1975		
1980	水平多関節	ガントリー スタンドアロン
1985	小型組立用	
1990		ガントリー 小型
1995		
2000		
2005		

付表1.6 産業用マニピュレーティングロボット技術年表2 (動力源)

太線:メジャー 細線:マイナー



付表1.7 産業用マニピュレーティングロボット用途年表（製造業）



1.産業用ロボット（機構・制御・コンポーネント）

番号	小分類(用途)	製品名(システム)	企業名	製作(造)年	選定理由
1001	ロボット	電動ハンド	東京芝浦電気 富士電機製造 安川電機製作所	1968	簡易型直角座標ロボットの草分け
1002	ロボット	MOTOMAN-L10	安川電機製作所	1977	国産の本格電動多関節ロボットの草分けであり、 アーク垂直多関節電動ロボットの国産、溶接に 本格使用されたものの草分けでもある
1003	ロボット	スカラロボット	スカラ研究会 メンバー企業	1980～	組立用の嚙矢
1004	組立作業用 コンポーネント	RCC	ニッタ バンドー化学	1974頃	
1005	センサ	6軸力センサ	ニッタ バンドー化学		
1006	減速機	RV減速機	帝人製機		1007の実用化の方が早い。大きな負荷で高性能 という点がポイント。
1007	減速機	ハーモニックドライブ	ハーモニックドライブ		ほとんどの産業用ロボットに使われている減速機
1008	減速機	サイクロコンバータ	住友重機械工業		
1009	アクチュエータ	DD(ダイレクト・ドライブ) モータ			
1010	ロボット	KAWASAKI PUMA PH560	川崎重工業	1981	
1011	ロボット	ソフトアーム	ブリヂストン	1985	ゴムを使ったアクチュエータ

2. 製造業

2.1～3 加工・搬送・組立 [A.ロボット単体]

番号	小分類(用途)	製品名(システム)	企業名	製作(造)年	選 定 理 由
2101	ハンドリング	ロボクレーン	クロガネクレーン	1970	クレーンの自動機械化
2102	ハンドリング	オートハンド	会田鉄工所	1968	金属プレス作業におけるハンドリング用として大量に使用された実績
2103	ハンドリング	FANUC ROBOT-MODEL 0	富士通ファナック	1979	NC工作機械に取り付け、機械と一体化してワーク着脱作業を行うロボット。その独特の形態から「蟬ロボット」として親しまれ、NC旋盤加工の自動化に広く使われた。
2104	ハンドリング	FANUC ROBOT-MODEL 1および2	富士通ファナック	1975 (MODEL1) 1978 (MODEL2)	当時主流だった油圧に代わりDCサーボモータを全面的に採用した独自の円筒座標系構造を持った電動ロボットである。複数工作機械へのワーク着脱作業に使われた。
2105	ハンドリング	オート・ワイマン	元田電子工業	1970	輸入品だが、後のこの種のものの手本
2106	樹脂成形	K-500	スター精機	1968	プラスチック成型機の取り出し自動化に大量使用された実績
2107	アーク溶接	ユニマンUM 4000	不二越	1972	
2108	アーク溶接	ローバルPW50	新明和工業	1974	簡易型ロボット+ポジションナ
2109	アーク溶接	MOTOMAN-W	安川電機製作所	1974	電動駆動方式の1号機、但し油圧駆動に比してスピードが劣り、実需には結びつかなかった。
2110	アーク溶接	ミスターアロス	日立製作所	1975	感覚制御のレベルではあるが知能ロボット商品化の草分け
2111	スポット溶接	ユニマンUM8600	不二越	1981	大型電動多関節ロボットにより、本格普及させた立役者
2112	塗装	塗装ロボット KTR3000CRC	神戸製鋼所	1973	塗装ロボットの草分けであるとともに垂直多関節ロボットの草分け
2113	塗装	三菱-岩田塗装ロボット	三菱重工業	1975	
2114	クリーンルーム	セルキャリアース AVH0.5-R5/1	神鋼電機	1986	クリーンルーム用のマニピュレータ搭載型移動ロボットの草分け
2115	真空内	Sシリーズ	セイコーエプソン	1989	真空ロボットの草分け
2116	組立・ハンドリング・検査	“ムーブマスター” RV-M1	三菱電機	1987	電機電子分野での組立・試験、機械加工での小物ハンドリング、LA分野での検査等の本格的な産業用途に幅広く採用され、教育・研究分野以外への小型ロボットの普及の可能性を大きく高めた。
2117	プレス	トランサーRHP-200T	東芝精機	1980	金属プレス機械に順送りする機械カム式のロボットの先駆者
2118	入出荷	AC-1	不二輸送機	1982	
2119	入出荷	SD-1	三機工業	1983	
2120	バリ取り	Λ-1	ヤマハ	198X	バリ取りロボットの先駆者
2121	バリ取り	RA6-5X70	豊田工機	1988	バリ取りロボットの先駆者

2.製造業

2.1～3 加工・搬送・組立 [B.システム]

番号	小分類(用途)	製品名(システム)	企業名	製作(造)年	選定理由
2201	溶接ライン	自動車ホワイトボディ溶接ライン	日産自動車工業 追浜工場 トヨタ自動車工業 堤工場	1973	本格ロボットを使った大規模システムの草分け (稼働は日産自動車の方が早い)
2202	加工ライン	油圧装置部品の機械加工セル	川崎重工業	1973	コンプライアンス機構による均一鏡面仕上げ。荒研磨、仕上げ研磨の両方が可能
2203	加工・組立ライン	電動機シャフト加工・組立システム	富士電機製造	1974	この手では大規模な生産ラインの嚆矢
2204	加工ライン	日野の本社工場の加工システム	富士通ファナック	1974	ユニメートを天井走行させて7台の工作機械のローディング・アンローディングを行った
2205	組立ライン	腕時計ムーブメント組立ライン	セイコー電子工業	198X	機械式時計の自動化ライン

2.4 その他

番号	小分類(用途)	製品名(システム)	企業名	製作(造)年	選定理由
2401	食品加工	チキン腿肉脱骨ロボット トリダス	前川製作所	1994	国内初
2402	食品加工	チキン胸肉脱骨ロボット イールダス	前川製作所	1998	国内初
2403	サービス	すしにぎりロボット	鈴茂器工		
2404	食品加工	うなぎ捌きロボット			
2405	食品加工	さかなおろしロボット			

3.非製造業・サービス

3.1 建設

番号	小分類(用途)	製品名(システム)	企業名	製作(造)年	選定理由
3101	鉄骨耐火材被覆	SSR-3	清水建設 神戸製鋼所	1982	鉄骨に耐火被覆材料であるロックウールを自動的に吹き付けるシステム
3102	建方自動玉掛け外し	オートクランプ	大林組 極東マックグレゴ	1984	無線による遠隔操作により、従来人手に頼っていた危険な玉掛け外し作業を自動化
3103		マイティシャックルエース ADSR	清水建設 イーグルクランプ	1985	
3104	鉄筋配筋	自動配筋ロボットMR-38	鹿島建設 日立建機	1984	原子力発電所建設における鉄筋配筋作業を自動化
3105	コンクリート工事	コンクリートディストリビュータ	竹中工務店 極東開発工業	1983	ビル建設における配筋後のコンクリート打設を自動化
3106		ブレーシングクレーン	大林組 三菱重工業	1985	
3107		コンクリート床直仕上げロボットMARK I	鹿島建設 カジマメカトロエンジニアリング	1984	
3108	仕上げ内外装壁取付け作業	天井ボード貼ロボットCFR-1	清水建設	1987	天井ボード(パネル)の取り付け作業において、ボードの供給、リストアップ、位置決め等を自動化
3109		内装工事ロボット	東急建設 東都電機工業	1989	
3110	吹付・塗装	超高層ビル外壁塗装システムTPR-02	大成建設	1986	地上200mの高層ビルでの塗装作業を、従来ゴンドラに乗って人手で実施していたものを完全自動化
3111		外壁塗装ロボット	清水建設	1986	高層住宅の廊下やバルコニーの外壁塗装を自動化
3112	保守・点検・検査(外壁検査、クリーンルーム)	タイル剥離検知ロボット	鹿島建設 カジマメカトロエンジニアリング	1984	壁面仕上げ層のタイルの剥離有無を移動ロボットによって自動化
3113		外壁タイル検査システムSC11-101	竹中工務店	1984	
3114		クリム口	大林組	1986	
3115	ビル施工システム	ABCS	大林組	1989	建築現場を1つの自動化工場としたシステム
3116		T-up工法	大成建設 三菱重工業	1990	
3117		ルーフプッシュアップ工法	竹中工務店		
3118		スマート工法	清水建設		
3119	トンネル	セグメント自動組立ロボット	石川島播磨重工業	1985	トンネルのシールド工法において、コンクリートセグメントを自動で組み立て、トンネル壁を作製する装置
3120	トンネル内吹き付け	コンクリート吹き付けロボット	大林組 神戸製鋼所	1986	トンネル(NATM工法)施工における吹付作業を、吹付けノズルを一定の角度、距離を保ちながら附着効率を高め、自動化
3121	橋梁塗装	橋梁塗装ロボット	川崎重工業	1986	橋梁の塗装作業を、予め作成されたNCデータ指令により作業が可能
3122	海底調査	8脚步行式海底調査ロボット	小松製作所	1979	8脚步行式の水中ロボットを用いて、大水深、急潮流、凹凸のある自然条件の下で、海底地盤を観察・調査
3123	捨石ならし	水中捨石ならし機 YL1000	小松製作所	1985	

3.非製造業・サービス

3.2 保守・点検

番号	小分類(用途)	製品名(システム)	企業名	製作(造)年	選定理由
3201	発電所取水路 清掃	水中掃除ロボット		1985	発電所取水路に付着した貝藻類を除去する
3202	タンク清掃	石油タンク清掃ロボット TARO	オートマックス	1987	移動中のタンクにロボットを投入することにより、自動的にスラッジの清掃作業(拡散・再溶解)が行えるため、従来の工法に比べて安全性の確保はもとより、清掃費用の削減とタンク効率の向上がはかれる。
3203	発電所取水路 清掃	発電所取水路清掃ロボット	川崎重工業	1988	発電所を止めず、取水路の長距離全周壁面清掃が可能
3204	発電所取水路 清掃	取水路除貝ロボット	神戸メカトロニクス	1988頃	水路側面底面の貝類を除去しながら走行する小型ロボット
3205	水圧鉄管点検	KPMAS-87		1988	水力発電所の水圧鉄管内で点検と塗装を行う
3206	溶接検査	円筒タンク底板溶接部 探傷検査システム	三菱重工業	1988	タンク底板の溶接線に沿って走行しながら渦電流式の溶接欠陥探査を行う
3207	洞道監視	洞道監視ロボット		1988	地中送電用洞道内を走行し、カメラその他のセンサで異常を検出する
3208	溶接検査	ガスホルダー検査ロボット	日立製作所	1990頃	球型ホルダーの外面に真空パッドで吸着し、走行移動しつつ超音波センサを溶接部に沿って移動させ、溶接部の探傷を行う
3209	高圧配電線 活線保守作業	活線作業ロボットシステム Phase II	安川電機製作所	1988～ 1990	双腕を持つ多関節ロボットで遠隔操縦とティーチングプレイバックを融合した製品
3210	車両清掃	掃除ロボット	富士重工業	1992	実用清掃ロボットの代表例
3211	監視	ガス製造プラント監視ロボット	日立製作所	1993	ガス製造プラントを巡回し、眼、鼻、耳の機能で監視を行う
3212	煙突点検清掃	煙突点検・清掃ロボット	日立造船	1995	火力発電所の煙突内を点検・清掃する
3213	細管用清掃・ 点検	復水器細管用清掃・点検 ロボット	中国電力 日立造船	1998	細管清掃についてはこれまでもレール式ロボットが開発されたことがあるが、実用化されていない
3214	水道管調査	水道管用管内調査ロボット	クボタ 東京大学生産技術研究所海中工 学研究センター 長浦環教授	1999	地中に埋設されている水道管路の内部状況を通水状態のまま長距離を調査できる管内調査システム

3.非製造業・サービス

3.3 サービス

番号	小分類(用途)	製品名(システム)	企業名	製作(造)年	選定理由
3301	病院内搬送	Helpmate	安川電機	1991~1992	
3302	警備	警備用知能ロボット ガードロボ	総合警備保障	1985	侵入者や火災を感知して写真を撮ると共に、威嚇や消火活動もする。異常情報は無線で監視センターに伝える。
3303	清掃	床面清掃ロボット AXV-01	オートマックス エレクトロラックス	1990	ジャイロセンサーやマイコンなどの働きで部屋の広さや形を自分でつかみ、障害物があっても迂回して掃除する。実用化第1号。
3304	床面清掃	床面清掃ロボット AS-100	東芝 三井不動産	1986	実用化第1号
3305	ビル床面清掃	掃除ロボット	富士重工業	2001	実用清掃ロボットの代表例
3306	窓ガラス清掃	自動窓拭きシステム	三菱電機		

3.4 農林水産

番号	小分類(用途)	製品名(システム)	企業名	製作(造)年	選定理由
3401	搾乳	搾乳ロボット	オリオン機械 プロライオンジャパン		
3402	薬剤散布	産業用無人ヘリコプター エアロボット ヤマハ RMAX	ヤマハ発動機	1997	農薬なら24kg(散布装置込みで30kg)まで搭載でき、1時間に3ヘクタールの散布が可能
3403	接ぎ木	接ぎ木ロボット	井関農機	1993	野菜や果物の連作障害などを回避する接ぎ木栽培向け。別々の苗木から自動的に台木と穂木をそれぞれ切断、取り出して接合する。
3404	枝払い	枝払いロボット ツリーモンキー			林業用実用ロボット
3405	魚釣り	カツオ釣りロボット	古野電気		

3.5 エンタテインメント

番号	小分類(用途)	製品名(システム)	企業名	製作(造)年	選定理由
3501		茶くみ人形	宮川からくり人形館	1970年代	展示館に実際に使用
3502		習字人形	宮川からくり人形館	1970年代	展示館に実際に使用
3503		自動人形(文楽)	ココロ	1970	大阪万博に展示
3504		エレクtoon演奏ロボット	早稲田大学・住友 電気工業・ヤマハ	1985	つくば万博政府館で展示
3505		メカニカル	学研・富谷研究所	1970年代	ホビー、教育機器としてのロボット商品のさきがけ
3506		機械生物	東海大学海洋科学 博物館	1970年代	博物館の展示品として使用
3507		AIBO	ソニー	2000	この分野での最初の本格商品
3508		ネコ型ロボット	オムロン	2002	販売実績は上がらなかったが、話題となった商品
3509		パロ	産業技術総合研 究所	1993-現在	開発中だが近日中の商品化予定品。 ギネス登録

3.非製造業・サービス

3.6 教育

番号	小分類(用途)	製品名(システム)	企業名	製作(造)年	選定理由
3601		マイクロマウス	ナムコ	1980	マイクロマウス競技会の標準キットとして活用されている。競技用商品のさきがけ
3602		相撲ロボット	ベストテクノロジー	1990年代	相撲ロボット競技会用のキットとして活用されている
3603		山彦	システムズ	1970	知能ロボット実験プラットフォームとして一部の研究者で使われている
3604		4脚歩行ロボット	東京精機	1997	知能ロボットの実験に使用される4脚ロボットの実用品
3605		SICE-DDアーム	安川電機製作所	1990	ホビー、教育機器としてのロボット商品のさきがけ
3606		ヒューマノイド HOAP-1	富士通オートメーション	2002	オープンソフト構造をもつヒューマノイド研究用プラットフォームの最初の商品
3607		ヒューマノイド PINO	ZMP	2002	ヒューマノイドの最初の実験用商品
3608		ヒューマノイド HRP-2	川田工業	2003	オープンソフトを備えた本格的なヒューマノイドプラットフォーム

3.7 医療福祉

番号	小分類(用途)	製品名(システム)	企業名	製作(造)年	選定理由
3701	義手	筋電義手 WIME ハンド	今仙技研	1978	日本初の筋電義手
3702	リハビリ	運動機能評価・訓練装置 REHAMATE	川崎重工業	1988	運動解析・リハビリ装置として代表的商品
3703	リハビリ	筋力評価・トレーニングマシン	川崎重工業 アシックス	1990	同上機器を機能改善したシステム
3704	リハビリ	歩行訓練装置	日立製作所	1995	歩行訓練機として初めての商品
3705	リハビリ	下肢リハビリ装置	安川電機	1998	初めての療法士支援機器
3706	介護	介護ロボット	日本ロジックマシン	2002	商品化されている介護用ロボット
3707	食事支援	食事支援装置 マイスプーン	セコム	2001	わが国初の食事支援ロボット商品
3708	手術支援	内視鏡下手術支援ロボット MTLP-1	日立製作所	2002	わが国初の実用手術ロボット

4. 極限作業

4.1 原子力

番号	小分類(用途)	製品名(システム)	企業名	製作(造)年	選 定 理 由
4101	探傷	蒸気発生器全自動ECT探傷システム	三菱重工業	1972	原子力作業自動化ロボットの先行例
4102	探傷	原子力発電所のISI検査用ロボット	石川島播磨重工業	1984	原子炉定期検査ロボットの先行例
4103	ルーチン作業	CRD(制御棒駆動機構)自動交換システム	東芝	1985	大規模ロボットシステム
4104	監視	モノレール走行による原子力発電所内施設の点検・監視システム	東芝	1985	モノレール走行型の代表例
4105	一般作業	原子力格納容器内軽作業ロボット	三菱重工業	1985	脚車輪方式の移動機構で階段等も走行可能
4106	一般作業	プラント保守作業ロボット	東芝	1986	7自由度双腕バイラテラル方式のマススレーブロボット。軽量化やグリッパ交換機能が特徴
4107	一般作業	原子炉内検査ロボット	富士電機	1987	10自由度の超多自由度マニピュレータ
4108	体積・目視検査	ISI用狭隘2壁間点検システム	三菱重工業	1990	200℃もの高温雰囲気の中の狭隘部での作業を実現した
4109	探傷	原子力容器超音波探傷装置	三菱重工業	1992	原子炉容器内の水中20mまで3次元移動ができる
4110	探傷	AIRIS21™	石川島播磨重工業	1997	水中探査ロボット(AIRIS21)は、原子炉圧力容器を内面から検査するために開発された新しいタイプのロボット
4111	災害対応	原子力防災支援システム	日立製作所、東芝、三菱重工業	2001	原子力施設の災害時に作業する遠隔操作ロボット群

4. 極限作業

4.2 海洋

番号	小分類(用途)	製品名(システム)	企業名	製作(造)年	選定理由
4201	ROV	MARCAS		1981	最初の海底ケーブル捜索・点検用ROV
4202	ROV	RTV100	三井造船	1984	最初の超小型ROV
4203	調査ロボット	アクアロボ		1985	港湾内で6脚歩行しながら環境調査
4204	ROV	MARCAS2500	三菱重工業	1987	マニピュレータによる保守作業もできる海底ケーブル用ROV
4205	ROV	ドルフィン3K	三井造船	1987	当時世界トップの大深度ROV
4206	AUV	Aqua Explore 1000		1992	発の実用的自律型AUV
4207	ROV	かいこう	三井造船	1993	10000m潜航できる世界トップのROV
4208	AUV	Aqua Explore II		1997	高い実用性を持つ海底ケーブル用AUV
4209	AUV	深海巡航探査機 うらしま		2000	自律型で、深度3,500m、航続距離100 k m

4.3 宇宙

番号	小分類(用途)	製品名(システム)	企業名	製作(造)年	選定理由
4301	実験・保全作業支援	JEMRMS	宇宙開発事業団	1997	STS-85 (ディスカバリー号) で実証試験を行った。
4302	ハンドリング	ETS-VIIアーム	東芝	1997	技術試験衛星ETS-VIIに搭載され、宇宙空間で実証試験を行った
4303	ハンドリング	ARH	電子技術総合研究所	1997	技術試験衛星ETS-VIIに搭載され、宇宙空間で実証試験を行った

4. 極限作業

4.4 災害

番号	小分類(用途)	製品名(システム)	企業名	製作(造)年	選定理由
4401	消防	無人放水車 レインボー5	いすゞ自動車	1986	人間の10倍の放水能力があり、長時間放水が可能。 96年に東京都足立区で起きたゴルフ用品倉庫の火災など、大規模火災に出動
4402	消防	水難救助用 ウォーターサーチ		1990	テレビカメラ装備の水中探索ロボット。 93年の北海道南西沖地震の際、津波にさらわれた被害者の捜索に派遣された。
4403	消防	高層ビル消火支援ロボット レスキュークライマー	石川島播磨重工業 東京消防庁	1993	高層ビルの壁面を移動し、火災時には状況を監視し、 窓を破り、自衛の水噴霧も行う
4404	ハンドリング	救出ロボット ロボキュー	アイチコーポレーション	1993	車輪による自走式のロボットで、赤外線カメラと テレビカメラの映像などをもとに100メートル離れた場所から無線で遠隔操作する。最高6メートルの高さまで作業できる腕を備え、逃げ遅れた被災者の衣服をつかんでロボットの救出台に乗せ、運ぶことが出来る。高輪消防署に配備している。
4405	消防	無人消火ロボット ジェットファイター		1995頃	小型でケーブルトンネルや地下街で放水する
4406	消防	消火ロボット	三菱重工業	1997	足元はブルドーザーのような無限軌道で階段の上り下りもでき、ホースを伸ばして毎分200リットルの水を放出する。

5.国家プロジェクト

番号	小分類(用途)	製品名(システム)	企業名	製作(造)年	選 定 理 由
5001	プロジェクト	原子力プラントメンテナンス ロボット	極限作業ロボット 研究組合	1990	日本初のロボット大型プロジェクトの成果
5002	プロジェクト	自動縫製ロボット	自動縫製システム 研究組合	1988	自動縫製プロジェクトの成果
5003	プロジェクト	マイクロマシン	マイクロマシンセ ンター	2001	プロジェクトの成果
5004	プロジェクト	ヒューマノイド HRP-2	川田工業	2002	プロジェクトの最終成果の代表

国立科学博物館
技術の系統化調査報告 第3集

平成15(2003)年12月19日

- 編集 独立行政法人 国立科学博物館
産業技術史資料情報センター
- 発行 独立行政法人 国立科学博物館
〒110-8718 東京都台東区上野公園 7-20
TEL : 03-3822-0111
- デザイン・印刷 株式会社ジェイ・スパーク