

# 作業に応じたマニピュレータ形式の選択

藤原基芳\*, 中北賢司\*, 増田峰知\*\*

## A Classification of the Manipulator Classified from the Required Works

by Motoyoshi FUJIWARA, Kenji NAKAKITA and Takanori MASUDA

"Manipulator" is defined as the machine whose aim is to grasp or move objects, and which is constituted from divisions connected mutually. First, this paper describes a classification of the manipulator classified from the machine structure. Next, the manipulators used and studied widely, is extracted. Then the specifications of works when a manipulator is applied to them are determined. Then the manipulators commonly used for each work are extracted. The advantages and disadvantages of the each manipulator are extracted from this result.

Key words: Manipulator, Multiple Degrees of Freedom, Design, Application

### 1. はじめに

マニピュレータとは、「互いに連結された分節で構成し, 対象物(部品, 工具など)をつか(掴)む, 又は, 動かすことを目的とした機械。」<sup>1)</sup>である。すでに多くの形式のマニピュレータが生産され作業現場で活躍している。しかし作業の目的に応じてどのような形式のマニピュレータを選択するかは, 経験によるところが多い。マニピュレータの選択は, 作業に要求される仕様にに基づき合理的に選択できることが望ましい。

本稿では, まず機械構造形式からマニピュレータを分類した。分類は, 現在知られているマニピュレータについてインターネット検索を用いて抽出し整理した。次に, マニピュレータの特徴を整理するために, 4つの要求される仕様(精度, 速度, 出力, 自由度)について, 4ビットの情報として表現した。更に, 4ビットで分類した仕様に基づき, それぞれの作業に用いることが望ましいマニピュ

レータ形式を示した。これらの結果より, 各形式のマニピュレータの利点, 欠点を整理するとともに, 現在マニピュレータが適用されていない作業に向けた形式を検討した。

### 2. 機械構造形式からみたマニピュレータの分類

表1に機械構造形式からみたマニピュレータの分類を示す。また図1に, これらの形式をインターネットの Google<sup>d)</sup>で検索した結果を示す(日本語のページのみ)。このうち, ヒット件数が100件を超えた「直交型ロボット(直角座標ロボット, 図2)」、「スカラロボット(水平多関節ロボット, 関節ロボットの一種, 図3)」、「垂直多関節ロボット(関節ロボットの一種, 図4)」、「パラレルロボット(図5)」を本報告の対象とする。

Google 検索においてヒットした内容をみると, 「直交型ロボット」はロボットの製品紹介, 適用事例が多く, 「スカラロボット」, 「垂直多関節ロボット」はロボットの製品紹介が多く, 「パラレルロボット」は研究紹介が多かった。

\* 機械情報電子グループ

\*\* 金属研究室研究グループ

表 1. 機械構造形式からみたマニピュレータの分類

用語	JISB0134:1998 <sup>1)</sup> による定義
直角座標ロボット	腕の機械構造が、三つの直進ジョイントを持ち、それらが直角座標形式であるロボット。
円筒座標ロボット	腕の機械構造が、少なくともひとつの回転ジョイントとひとつの直進ジョイントを持ち、それらが円筒座標形式であるロボット。
極座標ロボット	腕の機械構造が、二つの回転ジョイントとひとつの直進ジョイントを持ち、それらが極座標形式であるロボット。
関節ロボット	腕の機械構造が、三以上の回転ジョイントで構成されているロボット。
スカラロボット	腕の機械構造が、平行軸の回転ジョイントを持ち、軸に直交する平面内にコンプライアンスを持つロボット(一般には、垂直方向に直進ジョイントを持ち、水平方向に二つ以上の回転ジョイントを持つロボット)
ガントリロボット	腕の機械構造が、ガントリを含む直角座標ロボット。備考 ガントリとは、門型の架構をいう。
振り子ロボット	腕の機械構造が、ユニバーサルジョイントで旋回する部分を含む極座標ロボット。
スパインロボット	腕が、二つ又は三つの球ジョイントで構成されているロボット。
パラレルロボット	ベースとメカニカルインタフェースとの間の機械構造に複数の動力伝達経路を持つロボット
垂直多関節ロボット	JISでは定義されていない。(1. 回転ジョイントのみからなる, 2. 水平方向の回転ジョイントは根元だけ, 3. 4軸以上 のロボットの一般的呼称。)

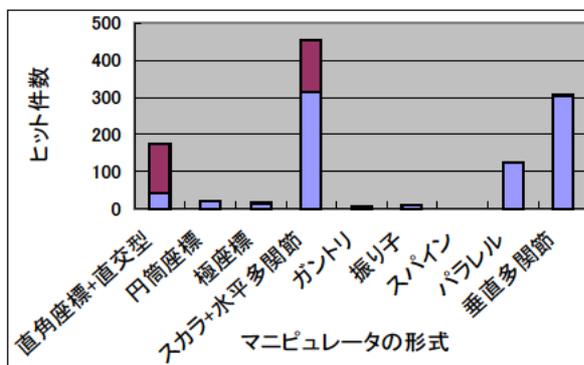


図 1. Google 検索におけるヒット件数(日本語のページのみ)

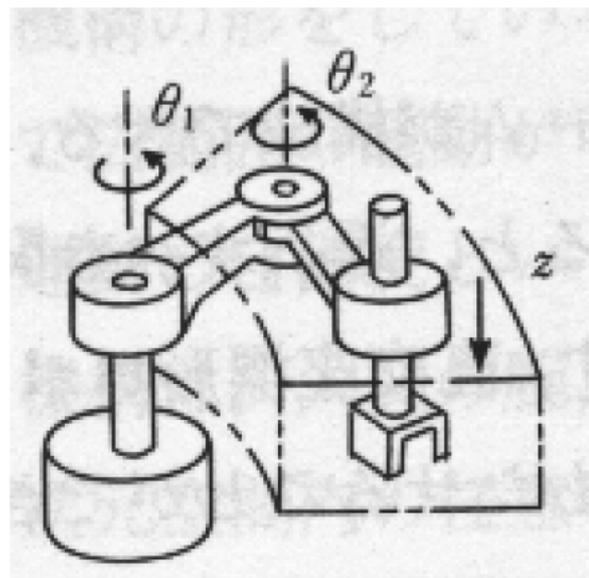


図 3. スカラロボット <sup>7)</sup>

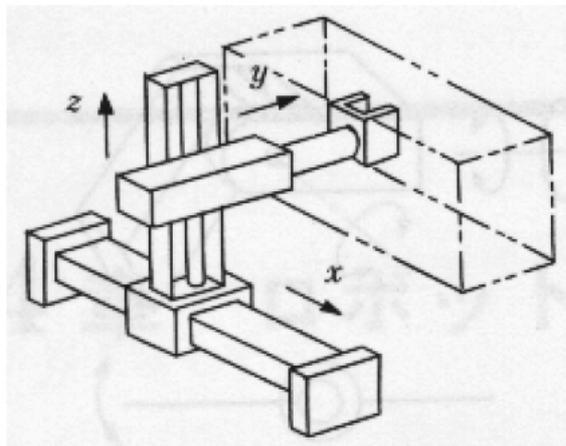


図 2. 直交型ロボット <sup>7)</sup>

「直交型ロボット」は製品として単軸から 4 軸 (XYZ 方向への直進と Z 軸周りの回転) のが出ている。「スカラロボット」は製品として 2 軸から 6 軸まで出ているが、4 軸が多い。「垂直多関節ロボット」は製品として 4 軸から 6 軸が出ているが、6 軸と 5 軸が多い。

これは、3 自由度までの作業は安価で高剛性で

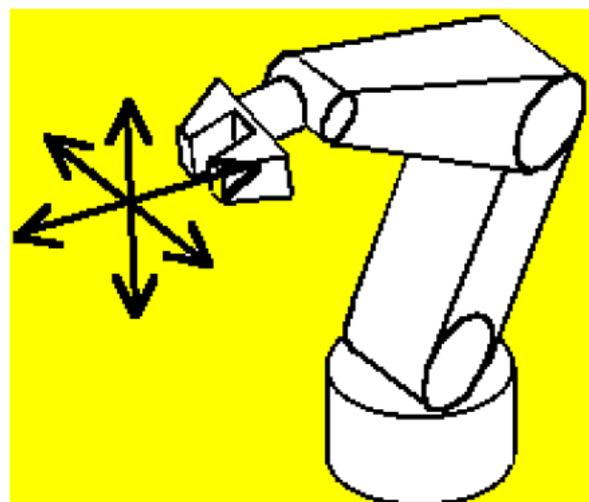


図 4. 垂直多関節ロボット <sup>5)</sup>

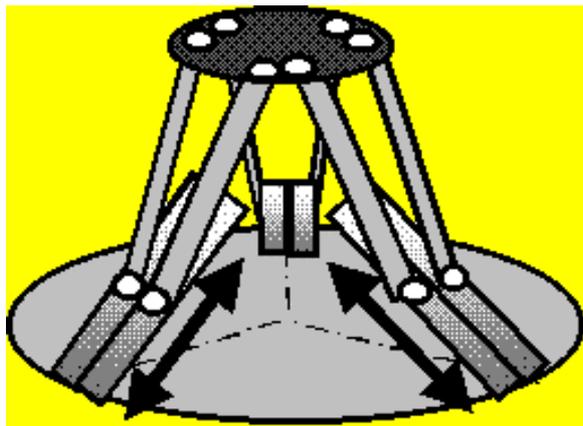


図 5. パラレルロボット<sup>5)</sup>

構造が単純な直交ロボットが用いられることが多く、4 自由度以上の作業は占有床面積に比べて動作面積が大きい関節ロボットが用いられることが多いためと考えられる。また、4 自由度 (XYZ 座標と Z 軸周りの回転を指定できる) の作業には垂直方向の剛性が高く、水平方向への移動が速いスカラロボット、5 自由度以上の作業には柔軟な姿勢をとることができる垂直多関節ロボットが用いられることが多いためと考えられる。

パラレルロボットに関しては主に 3 軸のものと 6 軸のものが製品化されているが市場での利用は限られている。

(なお、「自由度」は「機構がある状態にあるとき、その状態をいくつの変量で表せるかを示す数」、「軸数」は「『機械などの回転する丸い棒』の数」であるが、本報告のロボットにおいては「自由度」=「軸数」である。)

### 3. マニピュレータを作業に適用する場合に要求される仕様

次に、マニピュレータを作業に適用する場合に要求される仕様に基づいて、マニピュレータの分類を試みる。現在、インターネット上で見られる多くのマニピュレータ資料<sup>8)-26)</sup>を参考にして、「繰り返し精度」、「速度」、「出力」、「自由度」の 4 つの要求仕様について分類した。この分類を表 2 に示す。分類では「5 自由度以上でエンドエフェクタの姿勢変化の大きいもの」は、このような作業は関節ロボットを用いるしかないため除いている。この分類により、マニピュレータに要求される仕様を 4 ビット情報で表現できるため、以降これを

基準にマニピュレータの選定基準を検討する。

表 3 は、表 2 の要求仕様の分類を基準に、それぞれに代表的な作業と、想定されるマニピュレータの機構形式を当てはめて整理したものである。概ね、現在マニピュレータが適用されている作業を当てはめることができたが、マニピュレータが適用されていない作業もみられた。当てはめることができた作業については、表 4 において機構形式毎にまとめ、その形式の利点を整理した。当てはめることができなかったものについては、表 5 において想定される作業例や適用可能と考えられる機構について整理した。

表 4 より、各機構形式別の特徴が以下になることがわかる。

#### (1) 直交型ロボット

利点：高精度，高出力を出しやすい，構造が簡単。

欠点：5 自由度以上の動きができない，関節ロボットより速度が遅い。

#### (2) スカラロボット

利点：直交型ロボットより速度が速い，専有面積が小さい。

欠点：直交型ロボットより精度，剛性が劣る。

#### (3) 垂直多関節ロボット

利点：5 自由度以上の動きができる，動作範囲に対して設置面積が小さい。

欠点：高精度，あるいは高速度+高出力を出しにくい。

#### (4) パラレルロボット

利点：他の形式ではできないほどの高精度，あるいは高速度+高出力の動きが可能。5 自由度以上の動きができる。

欠点：動作領域に対して設置面積が大きい。構造が複雑。

このようにマニピュレータ性能を 4 ビット情報で整理することで、機構形式の特徴の違いがよりはっきりし、従来定性的であったマニピュレータの選判判断基準を合理的に整理することができた。

表 5 は現在ロボットが適用されていない作業仕様についてまとめたものである。これは、作業仕様そのものが現実的でないか、これまでマニピュレータの適用が見られなかったものか、または現在研究が進んでいるが市販されていないものである。表 5 に示した要求性能組み合わせへの対応は、

表 2. マニピュレータを作業に適用する場合に要求される仕様及び 2 値化基準

要求仕様	特性	コード	内容	可能な形式
繰り返し精度	低	0	0.01mm以上	すべて
	高	1	0.01mm未満	直交, パラレル
速度	低	0	作業時間の制限がない	すべて
	高	1	ライン作業のように, 作業時間の制限が厳しい	
出力	小	0	マニピュレータに固定された数kgオーダーの物体だけを支えれば良い, あるいは搬送物の重量を0とみなして差し支えない	すべて
	大	1	マニピュレータ本体に固定されている以外のものを搬送, あるいは外部環境との接触があるもの.	
自由度	4自由度以下	0	XYZ座標の位置とZ軸周りの回転角を指定できればよいもの	すべて
	5自由度以上	1	Y軸, Z軸周りに30° 以下の姿勢変化を要するもの	パラレル, 垂直

直交:直交ロボット      スカラ:スカラロボット      垂直:垂直多関節ロボット  
 パラレル:パラレルロボット

表 3. 要求仕様に当てはまる作業と, 適用されているマニピュレータ

精度	速度	出力	自由度	実施されている作業内容	適用されている機構形式
0	0	0	0	組立	直交, スカラ
0	0	0	1	溶接, 組立	垂直
0	0	1	0	重量物の搬送・移載	直交, スカラ
0	0	1	1	仕上げ加工, 組立	垂直
0	1	0	0	数kgの物の搬送・移載	直交, スカラ, (回転型)パラレル
0	1	0	1		
0	1	1	0	重量物の搬送・移載	直交, スカラ
0	1	1	1	動揺装置	(伸縮型)パラレル
1	0	0	0	測定, 放電加工	直交
1	0	0	1	微細操作	(伸縮型)パラレル
1	0	1	0	穿孔・切削, 脱着, 保持, 組立	直交
1	0	1	1		
1	1	0	0	ハードディスクヘッドの位置決め	(1軸回転アクチュエータ)
1	1	0	1		
1	1	1	0		
1	1	1	1		

今後のマニピュレータ研究の目標でもある。例えば, 現在研究されているパラレルロボットでは以下の作業が研究されている。

- ・ 5 自由度以上で高速
- ・ 5 自由度以上で高精度+高出力
- ・ 5 自由度以上で高精度+高速度

#### 4. まとめ

本研究では, 主にインターネット情報に基づき, 作業要求仕様からマニピュレータを分類, 整理し, その選択判断基準になる情報を示した。本研究に

より, 以下の知見を得た。

- (1) マニピュレータを作業に適用する場合に要求される仕様が, 4 ビット情報として整理できる。
- (2) この情報に基づき, 該当する作業とそれぞれの作業に用いられているマニピュレータを抽出した。
- (3) マニピュレータの機構形式別に特徴を整理し, それをマニピュレータの利点, 欠点としてまとめた。この情報は, マニピュレータを選択する時の合理的な判断基準となり得る。
- (4) 現在マニピュレータが適用されていない作業

表 4. マニピュレータが適用されている作業

機構形式	精度	速度	出力	自由度	実施されている作業内容	作業可能な他の形式	この形式を使う利点
直交	0	0	0	0	組立	スカラ	構造が簡単
	0	0	1	0	重量物の搬送・移載, 組立	スカラ	構造が簡単, 高剛性
	0	1	0	0	数kgの物の搬送・移載	スカラ, (回転型)パラレル	構造が簡単
	0	1	1	0	重量物の搬送・移載	スカラ	構造が簡単, 高剛性
	1	0	0	0	測定, 放電加工	—	
	1	0	1	0	穿孔・切削, 脱着, 保持, 組立	—	
スカラ	0	0	0	0	組立	直交	高速, 占有面積が小さい
	0	0	1	0	重量物の搬送・移載, 組立	直交	高速, 占有面積が小さい
	0	1	0	0	数kgの物の搬送・移載	直交, (回転型)パラレル	高速, 占有面積が小さい
	0	1	1	0	重量物の搬送・移載	直交	高速, 占有面積が小さい
垂直	0	0	0	1	溶接, 組立	—	
	0	0	1	1	仕上げ加工, 組立	—	
(回転型)パラレル	0	1	0	0	数kgの物の搬送・移載	直交, スカラ	高速, 占有面積が小さい
(伸縮型)パラレル	0	1	1	1	動揺装置	—	
	1	0	0	1	微細操作	—	

表 5. 現在マニピュレータが適用されていない作業

精度	速度	出力	自由度	人間が行っている作業の例	研究されているもので可能な形式
0	1	0	1	(卓球)	FALCON(ワイヤ駆動型パラレル) <sup>5)</sup>
1	0	1	1	高自由度の穿孔, 切削, 脱着, 保持, 組み立て	パラレル
1	1	0	1		パラレル
1	1	1	0		
1	1	1	1		

を整理した。この情報は、今後のマニピュレータ研究のターゲットである。

参考文献

- 1) 日本規格協会編. “産業用マニピュレーティングロボット B0134:1998-用語.” JIS ハンドブック 2001. (14)産業オートメーションシステム, 991-1006(2001)
- 2) 下条誠: “ロボットの機構”. <http://www3.rm.mce.uec.ac.jp/lecture/robot/kikou/kikou.pdf>
- 3) “やさしいFA 機器ガイド: <産業用ロボット

の動作機構からの分類>”. [http://www.nagoya.melco.co.jp/fair/fa\\_basic/09/92ap02.htm](http://www.nagoya.melco.co.jp/fair/fa_basic/09/92ap02.htm)

- 4) <http://www.google.co.jp/>
- 5) “パラレルメカニズム研究会”. <http://www-arailab.sys.es.osaka-u.ac.jp/parallel/index.htm>
- 6) 川村貞夫ほか: “パラレルワイヤ駆動方式を用いた超高速ロボット FALCON の開発”. 日本ロボット学会誌, 15(1), p82-89, (1997).
- 7) 川崎晴久: “ロボット工学の基礎”. 森北出版株式会社, p40(1991)

- 8) “DENSO WAVE” . <http://www.denso-wave.com/product/>
- 9) “NACHI ロボット” . <http://www.nachi-fujikoshi.co.jp/rob/index.htm>
- 10) “ロボット商品 - 商品案内 - ファナック” . [http://www.fanuc.co.jp/ja/product/m\\_robot.htm](http://www.fanuc.co.jp/ja/product/m_robot.htm)
- 11) <http://www.yamaha-motor.co.jp/im/robot/index.html>
- 12) “カワサキロボット・ジャパンホームページ” . [http://www.khi.co.jp/robot/index\\_j.html](http://www.khi.co.jp/robot/index_j.html)
- 13) “Finishing Robot System” . [http://www.yamaha.co.jp/finetech/products\\_j/robo.html](http://www.yamaha.co.jp/finetech/products_j/robo.html)
- 14) “三協精機－製品情報－” . <http://www.sankyoseiki.co.jp/pro/robots/index.htm>
- 15) “F A 機器部えぷろぼホームページ” . <http://fa.epson.co.jp/products.htm>
- 16) “【安川電機の製品・技術情報サイト】 ロボットショールーム” . <http://www.e-mechatronics.com/robot/>
- 17) “ラインアップ・ロボット” . <http://www.nagoya.melco.co.jp/robot/details/series.htm>
- 18) “事業-製品紹介ページ” . [http://www.daihen.co.jp/seihin/seihin\\_top.htm](http://www.daihen.co.jp/seihin/seihin_top.htm)
- 19) “Sony Precision Technology Inc.” . [http://www.sonypt.co.jp/jp/products/p\\_15.html](http://www.sonypt.co.jp/jp/products/p_15.html)
- 20) “精機製品 - 製品紹介” . <http://www.jp.nsk.com/jp/seiki/products/intro/>
- 21) “SONY MANUFACTURING SYSTEMS CORPORATION” . [http://www.sonypt.co.jp/jp/products/p\\_15.html](http://www.sonypt.co.jp/jp/products/p_15.html)
- 22) “janome” . <http://www.janome.co.jp/zigyou2.htm>
- 23) “松下溶接システム株式会社” . <http://www.mie.panasonic.co.jp/mwsc/index.html>
- 24) <http://www.kobelco.co.jp/welding/system2>
- 25) “東芝機械システムロボット” . <http://www.toshiba-machine.co.jp/seiji/prod/sr/index.html>
- 26) “ぺんてる(株)機設事業部 ホームページ” . <http://www.machine.pentel.co.jp/>