1.用途別のロボットタイプ対応

自動化をする際に使用されることの多いロボットであるが、その種類により適した用途が異なる。実際のシステムを構築する際にはロボットを使用する必要があるかどうかを判断し、使用する場合には状況に適したロボットを選択する必要がある。また、近年話題となっている人協働ロボットに関してもその特徴をしっかり把握し提案を行う必要がある。

ロボットとは

ロボットとは、「『センサ』『知能・制御系』『駆動系』の３つの要素技術（ロボットの３条件）を有する知能化した機械システム」といわれることが多い（平成18年5月経済産業省「ロボット政策研究会 報告書」）。視覚・聴覚・触覚などの感じる部分があり（センサ）、その情報を元に考え（知能・制御系）、手や足などが動く（駆動系）機械ということとなる。この定義はかなりロボットを広く捉えたものであり、自動掃除ロボットやコミュニケーションロボットなどのサービスロボット、さらには自動運転機能付き自動車やドローンなどもロボットの範囲に含まれることとなる。

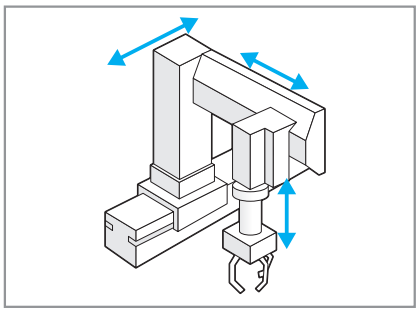
これに対し、産業用に使用されるロボットに関してはより限定的な定義が存在する。日本工業規格（JIS）の定義では、「産業用ロボット（産業用マニピュレーティングロボット）とは、自動制御によるマニピュレーション機能又は移動機能をもち、各種の作業をプログラムによって実行できる、産業に使用される機械」（自動制御とはセンサで状態を検知し、自動で動作を制御することをいい、マニピュレーション機能とは人間の腕や手に類似した多様な動作機能のことをいう）とされる。特定の作業のために作られた専用機と違い、プログラミングによって作業内容を変更できる多様性を持った機械であることが大きな特徴である。ただし、その分特定の作業に特化された専用機と比べ複雑性が増し、若干スピードが遅くなったり精度が低くなることが通常である。

本項ではシステムインテグレータが最も多く接することとなる産業用ロボットを対象とする。

機構別に見たロボットの種類

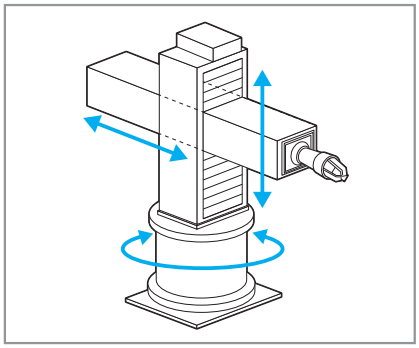
産業用ロボットは機構の仕組みによって主に下記のように分類される。それぞれ長所、短所があるため実際の現場では様々な種類のロボットが組み合わされてラインが構成されていることが多い。

1. 直角座標ロボット



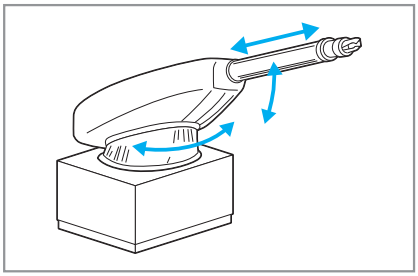
腕の機械構造が、３つの直進ジョイントをもち、それらが直角座標形式であるロボット。構造的に高精度の位置決めに向いているが、設置面積に比して作業範囲が小さくなるのが欠点である。可動式の門型の３軸で位置決めし、エンドエフェクタが上から吊り下げられるタイプのものはガントリーロボットと呼ばれる。可搬質量はその構造上大きく、重いものにも対応できる構造である。

2. 円筒座標ロボット



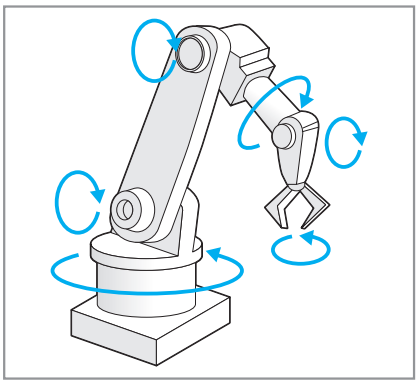
腕の機械構造が、少なくともひとつの回転ジョイントとひとつの直進ジョイントをもち、これらが円筒座標形式であるロボット。直角座標ロボットより設置面積の割に大きな作業空間がとれる。

3. 極座標ロボット



腕の機械構造が、ふたつの回転ジョイントとひとつの直進ジョイントをもち、それらが極座標形式であるロボット。円筒座標より広い作業空間を確保できるが、位置決めの３軸を動かすことによりアーム先端の姿勢が変化するので姿勢保持の制御が複雑になる。鉛直面内に円筒座標より広い作業領域が確保できる。天井や壁などに取り付ける極座標ロボットでちょうど振り子のように見える振り子ロボットと呼ばれるものもある。

4. 垂直多関節ロボット

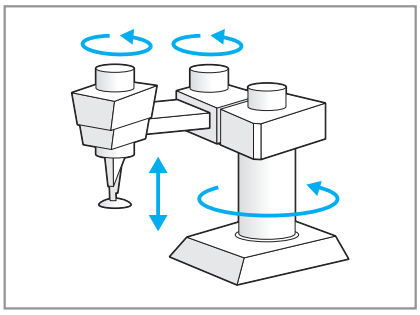


腕の機械構造が、３以上の回転ジョイントで構成されているロボット。より人間の腕構造に近い構造をもっているので、関節をそれぞれ肩関節、肘関節と呼んだり、関節間の部分を上腕・前腕と呼んだりすることもある。設置面積の割に大きな作業空間がとれる。廻り込み動作も可能となる。ハンドリングや塗装、溶接、組立など広い用途で使用されている。

	専用機	ロボット
特徴	特定の作業を繰り返し行う装置	プログラムにより作業内容の変更ができる装置
メリット	・高精度、高スピードの作業が可能 ・取扱が容易	再プログラミングにより様々な作業を担当可能
デメリット	特定の作業しか行う事ができない	・プログラミングが必要なため、インテグレーションコストがかかる ・高精度、高スピードの作業には不向き

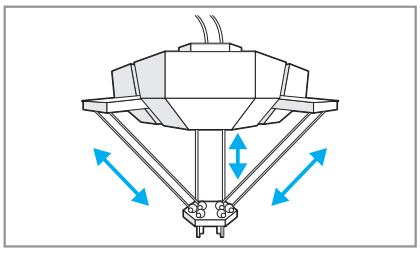
専用機とロボットの比較

5. 水平多関節ロボット



腕の機械構造が、並行軸のふたつの回転ジョイントと直進ジョイントをもつロボット。スカラロボットも含まれる。水平面内における並進力に対しては剛性が低く、垂直方向の力・モーメントに対しては剛性が高い。組立作業用途向けに開発されたロボットであり、電機分野における組立工程で広く使用されている。ただ、その性能の良さから組立以外の分野でも用いられている。

6. パラレルリンクロボット



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もつロボット。アクチュエータを協調させて動かす必要があり、より制御が複雑である。高速動作が得意であるが、可搬質量は少ない。小物の移動に使われることが多い。

人協働ロボット

近年、人協働ロボットということばが多く用いられるようになっている。産業用ロボットは労働安全衛生規則150条の4に基づき基本的に安全柵が必要とされており、人とロボットが同じ空間でしきりなしに働く姿は想定されていない。人協働ロボットと表現するときは、この安全柵なしで人と同じ空間で働くことができるロボットを指すことが多い。

80W規制の誤解

労働安全衛生規則の定義する産業用ロボットから昭和58年の通達で定格出力（駆動用原動機を二以上有するものにあつては、それぞれの定格出力のうち最大のもの）が80W以下のロボットが除外された。これは当時のモータ性能から80W以下であれば危険性が低いと判断されたためと考えられる。しかし、現在のモータ性能では80W以下でも十分危険であり、80W以下であれば安全であるとはいえない。また、労働安全衛生法は労働災害防止のための管理措置を定めており、リスクアセスメントに努力義務を課すなどしている。80W以下のロボットを使用したからといって、これらの義務を逃れるものではない。80W以下のモータを使用しているからといって人協働ロボットということはできない。

2013年安衛則150条の4解釈改正

安全柵を要求する安衛則150条の4の解釈が2013年に改正され、以下の場合に人とロボットの協働作業が可能となった。

①リスクアセスメントにより危険のおそれが無くなったと評価できるとき
②ISO規格（ISO 10218-1：2011及びISO 10218-2：2011）に定める措置を実施した場合

近年ロボットメーカより発売されている「人協働ロボット」の多くは2番目のISO規格に則った製品である（一部ISO規格に則っていない製品も人協働ロボットとして販売されている場合があるので注意が必要である）。ISOに則った製品であればメーカの指示する使用条件に基づき使用すれば問題がないとされているので、リスクアセスメントが容易となる。逆にISOに則っていない製品であれば残留リスクを厳格に見極め厳格なリスクアセスメントを行いリスク低減措置をとらなければならない。

人協働ロボットの用途

人協働ロボットの利点は人と同じ空間で作業できることであるので、安全柵を設けるスペースがない現場や、昼間は人が作業し、夜はそのスペースにロボットを置いて作業させるといった人との交代作業が要求されるような現場に適している。

しかし、自動化による生産性向上は、単なる作業の代替ではなく工程自体の見直しや効率化によって実現されることが多い。人協働ロボットを入れて人の作業をそのまま代替させることが最善なのか、工程自体を見直し人とロボットを分離した形での自動化が最善なのか各現場においてしっかりと見極める必要がある。

産業用ロボットの歴史

＜黎明期＞

産業用ロボットの歴史は古く、1962年にアメリカで商品化された産業用ロボットが日本に紹介されたのが1960年代の後半である。東京オリンピックを契機として戦後に別れを告げ年率10%という高度成長が始まった時代である。当時の産業用ロボット技術は直交・極座標・円筒座標系の単純な機械構造で、駆動は油圧／空気圧、制御はシーケンス制御によるという原始的なものでしかなく、自動車のスポット溶接作業など一部の市場を形成するに留まった。

＜実用化の開始＞

1974年スウェーデンのASEA社が電気駆動／マイクロプロセッサ制御による垂直多関節型ロボットIRB-6を発表した。対象物への回りこみ性が向上し、産業用ロボットの新しい分野への応用が可能となった。1977年に安川電機が可搬質量10kgの電機駆動／マイクロプロセッサ制御垂直多関節型ロボットL10を開発。アーク溶接分野を開拓した。

＜飛躍的な発展＞

1980年が日本の「ロボット普及元年」と呼ばれる。1980年は日本の自動車生産台数が世界一になった年であるが、ロボットの世界でも電気式多関節ロボットの製品化という大きなムーブメントが醸成された年であった。山梨大学の牧野教授が組立作業用に必要な方向選択性のある剛性を持つSCARA（Selective Compliance Assembly Robot Arm）ロボットをマイクロプロセッサ制御、DCサーボモータ駆動によって実現した。以後SCARAロボットは世界の組立ロボットの定番の地位を確立する。また、不二越もスポット溶接用電気式多関節ロボットを製品化するなど、各社が電気式多関節ロボットの製造を開始した。

その後、物流分野や半導体ウェハ搬送用のロボット、簡易な製造用の小型ロボットなどが開発され、ロボットの応用範囲は大きく広がった。このようにして、日本は世界一のロボット製造国かつ利用国となり、一時は「世界で稼動するロボットの2/3は日本製」といわれるまでになったのである。

欧米でロボットが普及しなかった理由

アメリカで開発されたロボットであるが、欧米での利用はあまり進まなかった。原因の一つとしては、欧米人はロボットを日本人のように好感を持って受け入れていないということがいわれる。これは、人を創造できるのは神のみであるというキリスト教的世界観も影響しているようである。確かに欧米では「ターミネーター」のようにロボットが敵と描かれることは少なくなく、また、「ロボットに職を奪われる」という工場労働者の抗議も目立つ。日本のようなロボットは友達という感覚が薄いようである。

2.ロボットシステムのシミュレーション

ロボットシステムシュミレーションは、ロボットシステム実機を設置する前に予めどのような問題が起こるかをコンピューター上で確認をすることである。実機の製作前に予め問題を把握することで手戻りを防止し、無駄なコストを削減することができるとともに、納期も短縮することができる。シミュレーションソフトでできること及びその限界を知ることはシステムインテグレータにとって非常に重要である。

ロボットシステム シミュレーションとは

ロボットシステムシミュレーションとは、ロボットシステム実機を設置する前に予めどのような問題が起こるかコンピューター上で確認をすることをいう。

各設備の配置（レイアウト）の機能や妥当性、ロボットやその周辺の設備を含めた全体の動作、また動作をさせた際の時間など、問題を事前に把握し解決しておく事は作業上非常に有用である。

また、ロボットの動作をさせるための教示プログラミングもシミュレーターで行うことができ、実機製作前にプログラムの問題把握をすることが可能となる。

シミュレーションソフトウェアは各ロボットメーカに応じたロボットコントローラと同一の機能を持っている。従って、実機でプログラミングやティーチングをすることなく、コンピューター画面上でオフラインプログラミング（通称：OLP）をすることができる。

何ができるか

コンピューター上で以下のような作業を行うことができる。

- ロボット動作リーチ（作業対象物に動作エリアが届くかどうか）確認
- ロボット動作時の周辺設備との干渉確認
- 複数台でのロボット作業をさせる際の静的はもちろんのこと、動作中の干渉確認
- オフラインティーチング
- ロボットプログラミングの妥当性確認
- 完成プログラムやティーチング動作パスの実機へのアップロード
- 実機ロボットコントローラからプログラムダウンロードしたデータのコンピュータ画面での確認
- ロボット動作時間の確認
- ロボット動作姿勢の各軸の余裕の確認

など

どんな時にどう使うか

以下のような場合に使用される。

- 機械設計で各設備やロボットハンドなどのエンドエフェクターの3Dデータを作成後、データのXYZの各基点をあわせ配置する。
- 各メーカから出されている対象ロボットのキネマティクスの付いたロボット3Dモデルを用い、同様に基点に合わせて配置しレイアウトする。
- ロボットの動作基点座標にロボットハンドやエンドエフェクタを合わせ動作させる。

種類

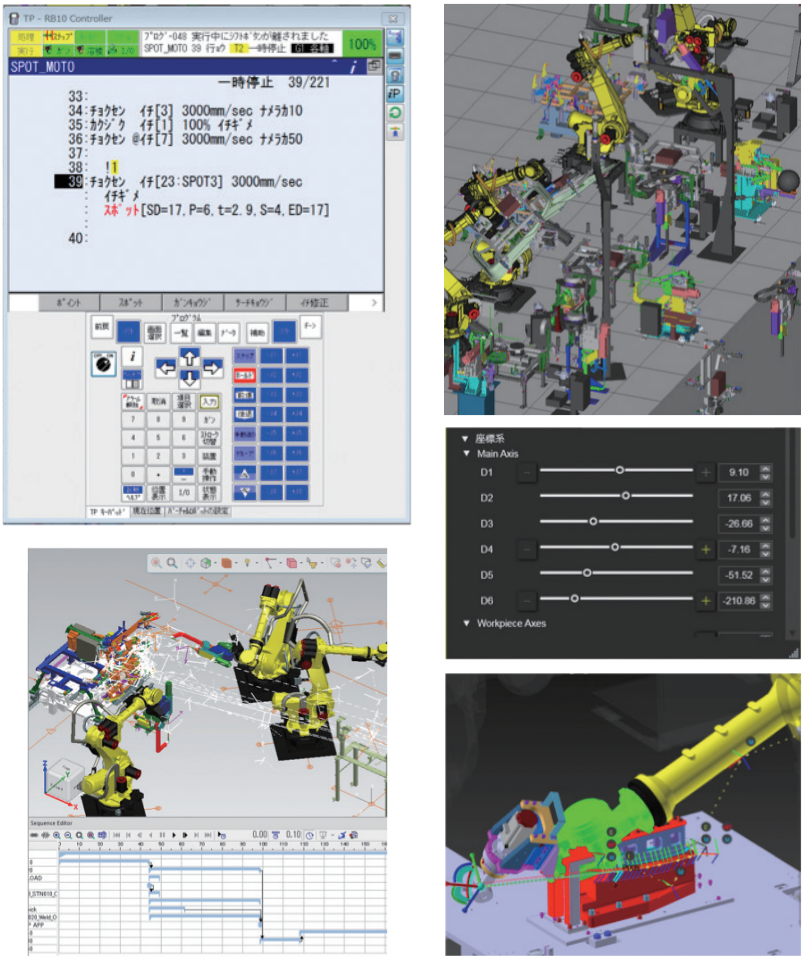
ロボットメーカ独自のソフトウェアは以下のようなものがある。

ファナック：ROBOGUIDE
安川電機：MOTOSIM
川崎重工業：K-ROSET
三菱電機：MELFA Works　など

それ以外にメーカに依存しないシミュレーションソフトウェアとして以下のようなものがある。

TECNOMATIX社：ROBCAD
DASSAULT社：DELMIA
SIMENS社：PROCESS SIMULATE　など

図1：システムシミュレーション例



特徴

最近のソフトウェアの特徴として以下のようなものが挙げられる。

- ロボットティーチペンダントが表示され実機と同じロボットティーチングができる。
- シミュレーション動作が実機と一致。
- 稜線やポイント配置しておけば最短、最速、最適な動作を自動生成する。
- 干渉やロボット動作範囲オーバーすると表示で知らせてくれる。
- 周辺機器の標準テンプレートが準備されている。
- 簡単な図形であれば、CADソフトがなくてもシミュレーションソフトで作成可能。

選定

ソフトウェアの選定は以下のような特徴を把握して行う必要がある。

各ロボットメーカ専用ソフトウェア

- メーカに特化されているため汎用性はない。
- ソフト操作は各メーカ毎に学ぶ必要がある。
- 原則ロボット購入ユーザで無いと提供されない。
- 比較的安価である。
- ロボットメーカオプションにも対応している。
- 他のソフト（3D CAD、設備シミュレーター）とのダイレクト連携が基本的にできない。

汎用ソフトウェア

- どのロボットメーカでも基本的に対応可能であるため汎用性がある。
- ソフト操作を覚えればどのロボットメーカでも基本的に同様である。
- ロボットタイプ別にロボットキネマティクスRCSを都度購入する必要がある。
- 比較的高価である。
- メンテナンス契約が必要である。
- 他の3D CADソフトとのダイレクト連携ができるものもある。
- ロボットプログラムが実機に正しく反映されないことが稀にある。

その他のシミュレーション種類と特徴

ロボットシミュレーションソフトの他に生産ラインシミュレーションソフトがある。これは、他の設備と連携したシミュレーションが行えるものである。

具体的には、

①機械３D CADソフト
②PLCロジック シミュレーションソフト
③ロボット シミュレーションソフト

の3つを連携させ、ロボットシステムやロボットを導入した生産ラインの動作・プログラムの妥当性シミュレーションを実機を製作する前に行うことができるものである。

注意点

以下のような点に注意する必要がある。

- シミュレーションによる結果の正確性と実機一致度は評価する必要がある。

・動作時間
・動作中の位置ズレ

- CAD機能はあるが、周辺機器を正確に３Dモデル化する場合はCADソフトで設計しなければならない。
- 数台のロボットを同時動作させる場合は応答処理限界があり、スムーズに作動画が描画されないなどの課題がある。
- シミュレーションは同一のロボットマニピュレータでもロボットコントローラ毎に違うため注意が必要。
- 自重落下のシミュレーションはできない。
- 各メーカ独自のソフトライセンス規定があり、ソフト共有することは原則できない。企業毎、グループ毎、工場毎、パソコン毎など、ライセンスがどこまで許容されているかを確認する必要がある。

図2:
ラインシミュレーター例

コラム

ロボットだけのシミュレーションではなくシステムとしてのシミュレーションができれば、ロボットシステムインテグレートする上で実機を作らなくても問題が把握できるため、コスト、納期の面で大変役に立つ。

しかしながら、そういったニーズはあるものの、課題が多く著しい進化がなされているとまではいえないのが実情である。その背景として、一部の海外メーカでは積極的に推進されているようであるが、ロボット数十台規模のシステムのラインシミュレートするためのコストは数千万円かかるといわれており、投資に見合った効果が本当にあるのか疑問とされていることがある。また技術的課題として、各シミュレータの持っているタイムスタンプの一致が挙げられる。時間が合わないことには、ロボットと周辺設備の動作時間が一致せず、サイクルタイムのシミュレート精度信頼性に影響してしまう。また、技術面だけでなくラインシミュレーターとロボットシミュレーター、PLCシミュレーター同士を接続することへのお互いの利得もあるようだ。

ユーザサイドからも、機械設計の3D CAD、ロボットメーカのシミュレーター、PLCメーカのシミュレーターをラインシミュレーターソフトで動作するためには準備に時間がかかり、実機設計製作するに匹敵するほどの時間を費やすため、メリットを見出せないといった声も聞かれる。

ものを作る前に課題を確認、解決し、短納期且つ効率よく低コストでものづくりを行うことは日本の製造業が世界で競争力を維持するためには必要である。そのためにも、ぜひ総合メリットを業界で共有して、一部の利害に囚われず、業界全体で環境構築を行い、世界のものづくり産業をリードする体制を整えていくべきであろう。

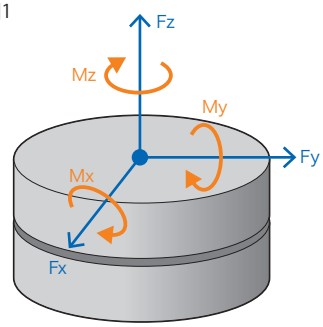
3.力覚センサの活用

力覚センサを用いることで、ロボットに人のような力感覚を与えることができ、今までロボットでは自動化が難しかった作業の自動化が可能となる。力覚センサをシステムインテグレーションの現場で有効に活用するためにその機能と限界を知ることが重要である。また、力覚センサを有効に活用するためにツールやワーク側への工夫をすることも忘れてはならない。

力覚センサとは

力覚センサは、複数方向の力やモーメントを同時にリアルタイムに検出することができるセンサである。

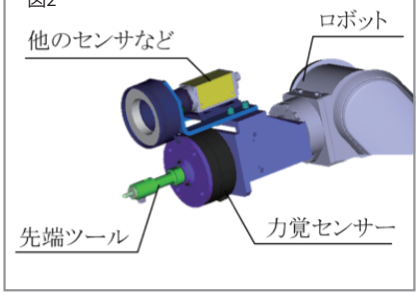
図1



力覚センサは、ロボットシステムをインテグレートする際にロボットのエンドエフェクタに取り付け、外力や反力（力、モーメント）を検出するのに使用する。

繊細なセンシングを実現するためには、ワークに接触するツールやハンドの直近にセンサを取り付ける必要がある。センシングに不要な機器はロボット側に取り付ける。

図2



どんな時にどう使うか

熟練作業者の感覚に頼った作業や精密な作業といった、従来のティーチング作業やビジョンセンサなどの非接触センサで自動化が難しい作業に適している。

何ができるか

力覚センサ情報を用いて、ロボットに人の手のような感覚を持たせることができる。今までのロボットでは難しかった微小な力加減を必要とする作業が実現できるようになる。

例えば、精密な嵌め合いやギアなどの位相合わせなどの部品組立作業、研磨作業やバリ取りなどの仕上げ作業、押し付け力管理、重量測定による品種判別作業など幅広く応用することができる。

特徴

力覚センサの特徴として以下のようなものが挙げられる。

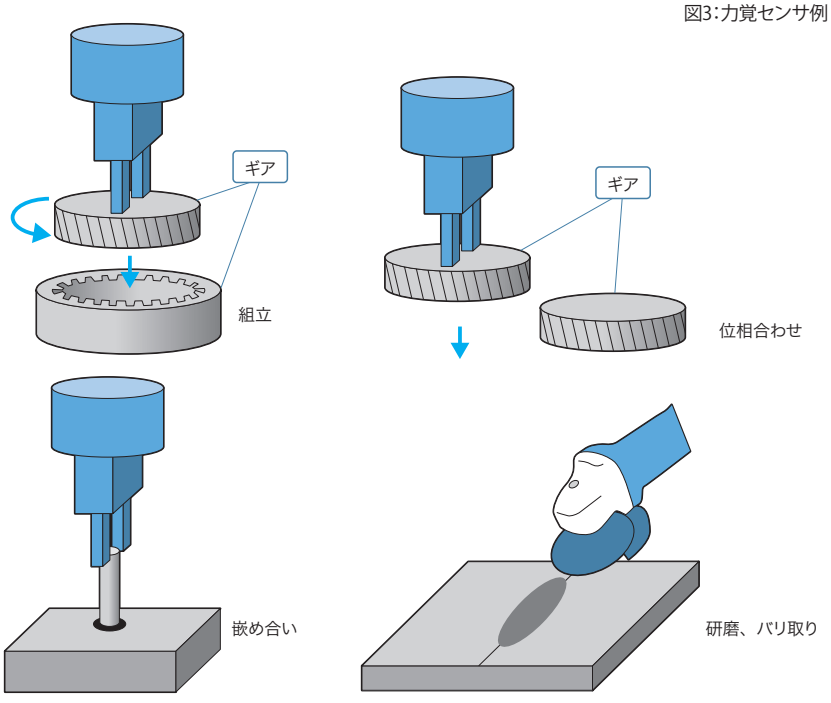
- 一般的にセンサ内部にアンプや演算用のマイコンが内蔵されており、小型で軽量な構造になっている。
- 力成分3軸方向（Fx、Fy、Fz）とモーメント成分3軸方向（Mx、My、Mz）を同時に検出でき、静的・動的両方の測定ができる。
- 応答性の高いものが求められており、一瞬の変動を検出することが可能。
- 出力形式には、USBやRS422、Eternet、Analogなど様々な形態がある。

種類

メーカによって力を検出する原理構造や外形サイズ、定格荷重などが異なり、様々なタイプが存在する。

参考	ロボット
原理構造	半導体歪ゲージ式、光学式、静電容量型など
検出軸数	3軸、6軸など ＊主流は6軸タイプ
外径サイズ	Φ10mm、Φ80、Φ200mmなど
定格荷重	USB、RS422、Analog、Ethernetなど
出力形態	10N、200N、1000N、2500Nなど
電源	ロボットコントローラ供給、内部電源、外部電源など
防塵防水	IP65など

図3：力覚センサ例



選定

ロボットによる力覚制御機能はロボットのオプション機能として準備されており、ロボットメーカによって使用可能な力覚センサのラインアップが用意されていることが一般的である（一部、使用するセンサは問わないロボットメーカも存在する）。

力覚センサ選定にあたっては、採用を検討している作業に“どの程度の負荷がかかるか”や“どの程度の繊細さが必要か”をまず想定し、センサの定格荷重や計測分解能といった仕様と照らし合わせて選定する必要がある。

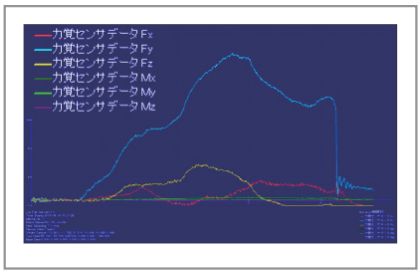
特にモーメント成分の定格荷重は、力成分の定格荷重に比して小さいことを考慮する必要がある。

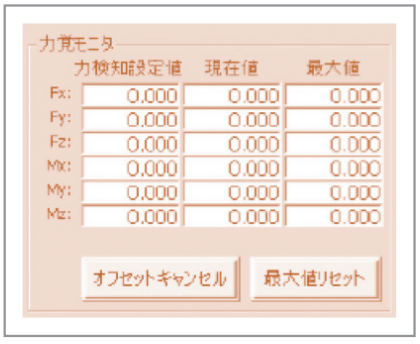
モニタリング

一般的にロボットメーカの力覚制御オプション機能の一部に力覚センサのデータをモニタリングできる機能があり、ティーチペンダントやロボットコントローラへ接続したPCの専用ソフトから見ることができる。

取得できるデータには力覚センサの生データや座標変換後のデータ、位置指令などがあり、数msの周期でサンプリングされる。

取得したデータは、リアルタイムにデータを見ることもできるし、ログデータとしてCSVファイルに出力することも可能である。この機能を有効に利用することで、対象作業への力のかかり具合を分析することができ、力覚制御パラメータ調整や作業状態の確認をすることができる。

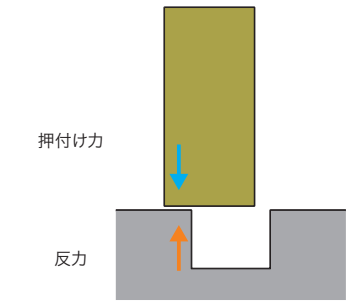




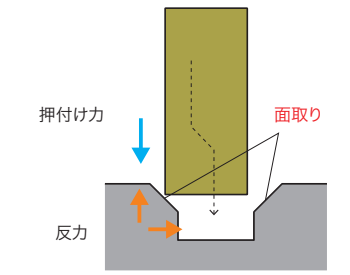
ツールやワーク側の工夫

力覚センサを使用しても、難しかった作業が簡単に自動化できるわけではない。力覚制御はあくまで力覚センサで検出した力成分を基に制御を行うため、センサで上手く力を検出しやすいようにワークやツール・ハンド側の形状に工夫を施すことも必要となってくる。対象作業にどのような力がかかり、どのように動作させたいのかを、人の作業を分析しながら把握し、設備設計やプログラムに落とし込んでいくことがロボットシステムインテグレータとしての重要な役割となる。

図4



悪い例
押付け力と反力が釣り合い静止して嵌め合いができない



良い例
面取りすることで誘い込む力を検出でき嵌め合いが可能になる

注意点

①パラメータ調整

力覚制御のパラメータは、接触するワークの材質・サイズ・重量により大きく変わってくる。

特に、力覚センサの応答性感度に当たるパラメータは設定値が高いほど力覚制御の応答性が高くなり、上げすぎると接触時に過敏に反応してしまい動作が不安定になる（危険な場合があるので注意）。作業の最初は応答性感度を低く設定し、現象を確認しながらパラメータを調整していく必要がある。

②噛み付き現象

精密な嵌め合い作業を行う場合、ワークの挿入時に摩擦などの要因によりワーク同士が噛み合って動かなくなる噛み付き現象が発生することがある。この場合、力覚センサ上は指令値と反力が釣り合った状態となり、作業途中に静止してしまうこととなる。

③作業時間は長くなる

力覚制御を使用し、人作業を自動化して置き換える場合、微小な力をセンシングしながらロボットを制御するため作業時間は基本的に長くなる。そのことを十分に考慮した工程やシステムを検討しなければならない。

コラム

近年、力覚センサの性能の向上や低価格化とロボットの力覚制御機能が普及してきている。ロボットに人のような力感覚を与えることができるため、いままでのロボットでは自動化が難しかった作業を対象に適用が広がりつつある。

ただ、そういう話を聞くと、一見、人のように何でもできそうな感じがするが、実際は何でもできるわけではない。あくまで力覚センサで検出した力成分を基にロボットが制御できるのであって、思ったような力が検出できない場合や検出できる力が微小な場合、ノイズの影響を受けたりする場合は望んでいる動作にならず、作業を中断してしまうこともある。

またシステムとして考えると、人のような柔軟性や臨機応変な判断ができるわけではなく、システムとしてのロバスト性や信頼性が十分とは言えない場合もあったり、作業時間は人に比べると遥かに遅く設備の工程設計を大幅に見直す必要が出てくる場合もある。

上記のような課題に対して、力覚センサでは、肌触りのような繊細な感覚を検出できる高感度な力覚センサも登場してきているようである。制御機能では、ＡＩ技術を力覚制御に応用して作業時間を高速化したり、外部のノイズ影響をキャンセルするステップを不要にする取組みなども報告されている。

そういった多くの期待と課題の両面があるのが現状であり、今後の更なる技術の進歩に大いに期待したい。

4.コンベアトラッキング

コンベアなど製品を移動させる装置からロボットが製品を取る場合、通常はその製品をストッパーや位置決め機構にて止め、コンベアを停止し、製品の位置を一定にしてからロボットに取得させる。しかし、早く製品を取得したい場合にはコンベアを止めずにコンベアの早さと同じ速度でロボットが製品を追いかけ取得させる。これがコンベアトラッキング技術である。

コンベアトラッキングとは

産業用ロボットでの「トラッキング」とは“追従する”という意味で使用される。「コンベアトラッキング」とはコンベアの移動距離、速度を知るためのセンサを取り付け、コンベアの速度と同じ速度でロボットを動作させ、コンベア上の製品を取得するなどの動作をさせることである。

コンベアトラッキングにはガイドで製品の動く横方向を制限する場合（コンベアトラッキング、又はセンサトラッキング）と製品の位置を制限せず、上からビジョンカメラで見て位置を把握する場合（ビジョントラッキング）がある。

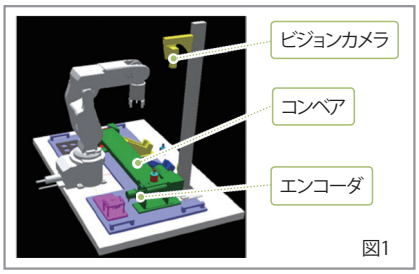


図1

ビジョントラッキング

「ビジョントラッキング」とはコンベアトラッキングに画像を認識するカメラを使用し、特定の製品の位置や向きを認識させ、その情報とエンコーダの情報からロボットが追従し製品を取得する技術である。

ビジョンセンサには取得するワークの形状と取得する位置を予め記憶させる。

コンベア上でワークが流れてくるとビジョンカメラが、そのワークを認識し、ロボットのX、Y座標に変換し、ロボットに伝える。ロボットはエンコーダからの情報を元にビジョンカメラからのワークのX、Y座標の情報をシフトしていく。

ロボットの稼働範囲にワークが流れてくるとロボットはワークの動きに同期しコンベア上に移動し、ワークを取得する。

この動作にはロボットの演算する能力が必要であり、コンベアの速度が速い場合やワークの数が多い場合にはロボットが追従しきれず、取りこぼしが発生することとなる。

キャリブレーション

ロボットシステムにコンベアを取付け、トラッキング（追従動作）機能を実現するには、コンベア上のワーク位置がロボットにとってどの位置にあるかを計算する必要がある。

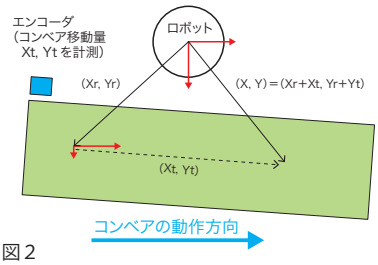


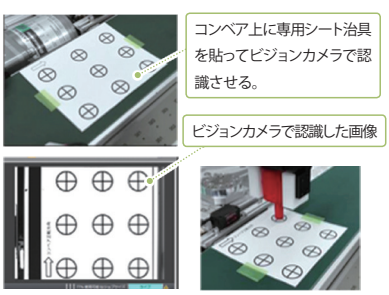
図2

コンベアが動作すると、コンベアに取付られたエンコーダからパルス信号が出力され、その信号をロボットが受け取り、自分の座標系に補正を行い、その位置に移動する。

図2では、製品の現在位置が（Xr,Yr）でコンベアが動作した際のエンコーダからの信号による補正データが（Xt,Yt）とするとロボットが動作すべき位置は（X,Y）=（Xr+Xt,Yr+Yt）となる。

この計算をするためにはエンコーダからの信号とコンベアの移動距離の関係を設定する必要がある。この設定を行う事を「キャリブレーション」という。

また、ビジョンカメラを使用する場合、ビジョンで撮像した画像の位置とロボットの座標を合わせる必要があり、これも「キャリブレーション」という。



コンベアを動作させ、ロボットの届く位置で丸の中心をティーチングし、カメラでの座標とロボットの座標を設定する。

必要な機器

コンベアトラッキングに必要な機器には以下のようなものがある。

1. コンベア

ビジョンカメラを使用しない場合はガイド（製品が横方向にずれない為の機構）が必要である。製品の流れる量やロボットの負荷によって速度を変更できるような可変速制御のできるコンベアが適している。

2. エンコーダ

回転をオン、オフの信号でコントローラに伝えるセンサの一種である。

コントローラはそのオン／オフをカウントし、どれだけ動いたかを計算する。

3. トリガー用センサ

エンコーダでカウントし始めるタイミングを取ったり、ビジョンカメラで撮像するタイミングを取るために使用する。ビジョンカメラで撮像する場合、このセンサを使用せず、一定時間毎に撮像し、認識させる場合もある。

4. ビジョンカメラ

製品を認識するためのカメラ。コントローラ内蔵タイプが多く、製品の形状を記憶させ、その形状に近い物体を探す方法が一般的によく使用されている。

カメラ自体の画素数と正しく認識するための機能で性能と価格が決まる。

5. ビジョン用照明

製品を認識しやすくするための照明。ちらつきが少ないLED照明がよく使用される。また、製品の色や光沢によって照明の色を変える場合がある。また、影を作らないような工夫が必要である。外光の影響を受けやすくカバーで覆う場合もある。

6. キャリブレーション治具

ビジョンカメラとロボットの座標系を合わせるために使用する治具。最初の設定時に使用するが、定期的にキャリブレーションを行うことで誤差の発生をなくす事が可能となる。

7. キャリブレーション用製品

形状が一定でない製品の場合、最初のキャリブレーションを行った製品を保存

し、再度確認する際にこれを使用すると誤差の発生の原因を把握しやすくなる。

メリット

コンベアトラッキングを利用すると下記のようなメリットがある。

①コンベアを止める、動かすといった時間が必要なく、装置の動作時間が短くなる。
②位置決め治具が必要なくなり、装置を簡素化でき、多品種生産がしやすくなる。
③品種切替の際、ガイド部のみで済み、容易に段取り替えができる。

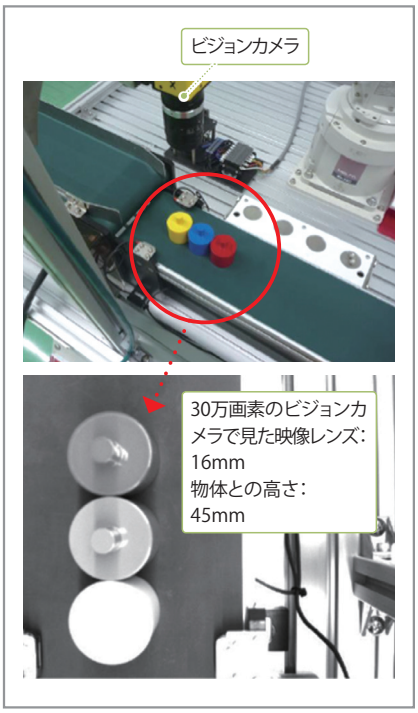
ビジョントラッキングの精度に影響する項目

ロボットによるビジョントラッキングは動いているワークを取得した後、そのワークを決められた場所に決められた状態で置く必要がある。その置く場所に応じた取得する精度が必要となってくる。

ここではロボットがビジョントラッキングでワークを取得する精度に影響する項目を記述する。

1. カメラの解像度

ロボットが正確にワークを取得するためには、ワークの輪郭を正確に認識する必要がある。例えば、ワークを沢山流すためにコンベアの幅を広くするとビジョンカメラを高い位置に取り付けないと全体を見ることができなくなる。ただ、カメラの位置を高くすると1画素あたりの認識する面積が広くなり、全体的にボヤけた画像となってしまい位置の認識精度は悪くなる。そこで画素数を大きくするとデータ量が増え、ビジョンカメラの処理速度の早さが求められ、高価になってしまう。



2. 照明

自動装置の画像処理カメラでは外光を極端に嫌う。太陽光は時間や季節によって照度や色彩、方向が変わり非常に不安定である。また、蛍光灯は人の目には気にならない程度のチラツキがあり、このチラツキがカメラで取得する画像に大きく影響する。

一般的にビジョントラッキングで使用する照明はLED照明を使用し、外光を遮断するためカメラ、照明、視野範囲をカバーで覆う。また、製品の色や光沢によって照明の色を選択し、輪郭などの特徴を見やすくする工夫を行う。

3. エンコーダ

エンコーダはコンベアの動作を正確にロボットに伝える役目をする。エンコーダ自体では誤差は発生しないが、エンコーダに取り付けたローラーとコンベアのベルトの滑りが発生することで進行方向に誤差が発生する。また、コンベアのベルトが新品の場合としばらく使い続けることで発生する「初期伸び」という現象で誤差が発生する可能性がある。定期的に調整をする事が推奨される。

4. 処理速度

ビジョンカメラで画像を処理するCPUの速度やそれを伝える通信方法により処理速度がコンベアの速度やロボットの速度に遅れを発生させることがある。

製品の位置の認識と良否判定を同時に行ったり、カメラの判別している状況をモニタ表示したり、取得した画像結果をファイルとして保存する場合、処理速度が低下する事がある。この場合、ロボットがコンベアの動作に追いついていけず、ずれが発生する可能性がある。

誤差の発生

コンベアトラッキングは長い期間使用していると次第に位置がずれていくことがある。

「位置のずれが発生する原因」

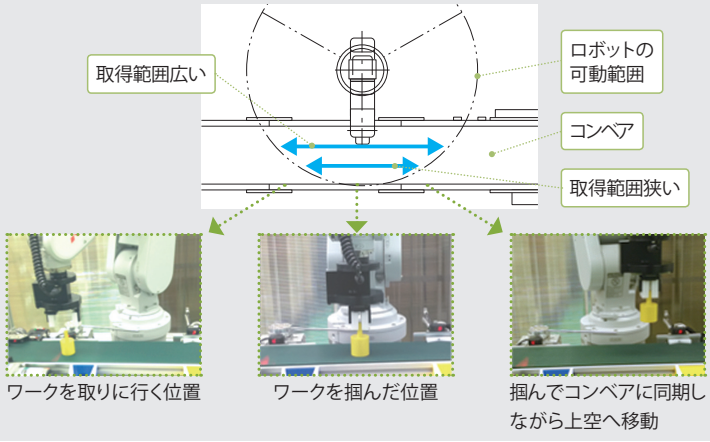
①ベルトの伸び、蛇行
②エンコーダのローラーの磨耗
③ローラーの滑り

上記のような原因により位置ずれが発生することがあるため、定期的なメンテナンスが必要となる。

他に画像処理の画像をモニタリングすることで処理が負担になり誤差が発生する場合もある。

コンベア上の取得範囲

ロボットの可動範囲は平面で考えると円形がほとんどである。ロボットとコンベアの位置関係によっては取得できる範囲が狭くなってしまうことがあり注意が必要である。また、コンベアの動作速度が速い場合、ロボットは追従を始めても自分自身の可動範囲外になる可能性がある場合、取得動作をあきらめ、次のワークを取りに行く動作をする。コンベアを流れるワークが多い場合には何度もあきらめてしまい、取得数が低下する場合がある。



ビジョントラッキングとハンド

ビジョントラッキングの際にワークを認識し、どのようにロボットが把持するかを決める必要がある。

把持する方法には主に、平行ハンドなどで「掴む」場合と真空を使用し「吸着する」場合がある。

平行ハンドで掴む場合

吸着ハンドで吸着する場合（ソーセージ）

5.産業用ロボットの制御プログラム

産業用ロボットを動作させるには移動する位置とその位置にどのようにして移動するのか、その位置で何をするのかを指定する制御プログラムが必要である。制御プログラムではロボットがどの様な順番で動作するのか、外部との機器と動作のタイミングをとるのかなどを考える必要がある。また、ロボットの頭脳であるコントローラが高度になり、単なる動作を教えるだけでなく、演算やIoTなどに利用される通信なども行えるようになってきている。ロボットSIerには、これらの機能を把握し、使いこなせる能力が求められている。

ロボットの制御プログラムとは

一般的に産業用ロボットは移動させたい位置を記憶（教示）させて、その位置へどのようにして移動するか指示（制御プログラム）するティーチングプレイバック方式で動作させる。

制御プログラムはロボットの種類やメーカ、業界毎に詳細は異なるが、大別すると次のパターンに分ける事ができる。

1.位置データと命令データが独立しており、移動命令や入出力の処理、繰り返しや条件分岐などの命令を組み合わせプログラムを記述する方法。各メーカで少しづつ記述方法は違うが、Basic言語やC言語と同じような記述方法が主流である。

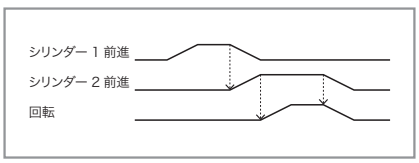
2.ティーチングを行いながらその場所にどのように動作するかを指定する方法。移動する位置にロボットを移動させ、その場所に移動する速度や入出力の条件などを設定して記憶させる。

タイムチャート（タイミングチャート）

タイムチャート（タイミングチャートとも言う）とは横軸に時間、縦軸に動作または信号のオン／オフを記述した図をいう。

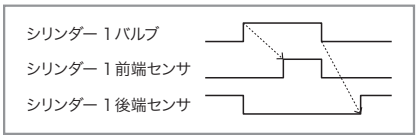
停止もしくはオフしている状態と動作もしくはオンしている状態を線で表現したものである。

機械のシリンダやモータなどの動作を時間に沿って表現する場合、加減速時間があり、それを考慮して斜めの線を記述することがある。



機械設計担当者は移動距離や速度を考えながらそれぞれの機器の動作を考え、全体の時間を検討する。

物の動作からセンサのオン／オフで記述する場合は加減速時間は考慮せず、縦に垂直に線を記述する。



この際、シリンダのバルブをオンさせた際、そこからシリンダが前進端に行き切った状態で前端信号がオンするため時間のずれが発生する。

制御設計担当者は物の動作から信号のオン／オフをこのタイムチャートに記述し、プログラムを考える際の材料とする。

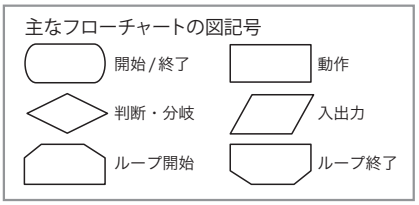
動作とフローチャート図

ロボットプログラムは一般的にロボットの動きに沿った記述が行われる。

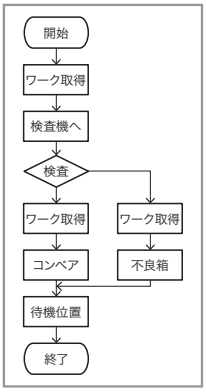
「Aの位置へ移動する」→「掴む」→「Bの位置へ移動する」→「離す」→「元の位置へ戻る」、といった動作の順番に記号を記述する。

このような実際の動きの順番やプログラムの動作順序などを記号を使用し視覚的に分かりやすくした図で表現する。これをフローチャート図という。

フローチャート図は動作や分岐判断を表す図記号とそれらの動作の流れを表す矢印で記述される。



フローチャート図はロボットや装置の動作の順番を記述する際だけでなく情報処理の分野や事務などの作業フローを記述する際にも使用される。



記号については「JIS X 0121:1986情報処理流れ図・プログラム網図・システム資源図記号」で規定されている。

ロボットの安全

ロボットは非常停止スイッチや安全柵に取り付けられた安全スイッチなどを入力信号として受け、ロボットプログラムと関係なく、ロボットを緊急停止させたり、サーボを切ることができる。

それとは別に他の機器との干渉をセンサで検知したり、他の機器からの信号を確認し、ロボットを止めたり、他の機器へ動作しないよう指令を出したりするロボットのプログラムを記述する必要がある。

これらは標準の安全機能とは別に設備毎にロボットプログラムを作成する人が考え記述する必要がある。

ロボットでよく行われる制御

ロボットは使用目的に応じて様々な処理を行う。

ピック＆プレース

特定の場所からワークを取り、指定された場所に移載し置く一連の動作をいう。

外部入力による処理

センサやPLCからの信号をロボットは入力信号として受け取り、プログラムにてその信号のオンかオフで動作を変化させる。

出力信号による外部制御

モータやPLCなどをロボットの外部出力信号に接続し、ロボットのプログラムからその出力信号のオン／オフを制御することで外部の機器を動作させる。

変数による演算

ロボットのプログラム中で四則演算や論理演算を行いその答えからロボットの動作回数や動作ポジションを変更することが可能である。入出力信号などと連携し、外部の状況に応じロボットの動作を変化させることが可能である。

外部機器からのデータ処理

外部機器からの入力信号をロボットプログラムが数字や文字のデータとして受け取り演算することができる。そのデータをロボットの座標データとして処理をしたり、位置の補正値とすることが可能である。

プログラムの作成、編集

ロボットのプログラムを新規で作成したり、既存のプログラムを編集するには二通りの方法がある。

1. ティーチングボックスから入力、編集を行う

入力方法はメーカにより大きく違う場合がある。キーにより1文字ずつ入力する場合と画面に表示されるコマンドを選択する方法がある。

2. パソコンのソフトウェアを使用しプログロムの作成や編集を行う

最近では同じソフトウェアでシミュレーションもできるようになっており、ロボットがなくてもプログラムの作成と動作確認が可能である。編集ソフトウェアはロボットメーカがそれぞれ独自の物を出している。ロボットのコントローラとUSBやイーサネットで接続し、プログラムや位置データのダウンロード（パソコンかロボットのコントローラに送る）したりアップロード（ロボットのコントローラからパソコンに送ること）を行う。

マルチ・タスク制御

ロボットのコントローラでは複数のプログラムを同時に実行することが可能である。同時に同じ関節のモータを複数のプログラムで制御することはできないが、モータを動作させるプログラムとセンサを常に監視するプログラム、ロボットの動作とセンサを監視し、その状況に合わせて外部の機器を動作させるプログラムなど、複数のプログラムで別々の処理をさせ、効率的に周辺機器とロボットを動作させるプログラムを作ることが可能である。

ロボットプログラムの命令

ロボットのプログラムの命令には次のようなものがある。

移動命令

指定した位置へ移動させる命令。直線補間や円弧補間で移動する。

速度命令

移動する速度を指定する。実際の速度（mm/分）や指定の速度のパーセンテージ（%）で指定する。また、加減速を指定する命令も用意されている。加減速を調整することでタクトや停止位置精度に影響をおよぼす。

入出力命令

外部と信号やデータの受け渡しを行う命令。信号のオン／オフやRS-232C、イーサネットなどでのデータ通信を行う命令などもある。

繰り返し処理命令

同じ処理を指定した回数、または無限に繰り返す命令。

分岐、ジャンプ命令

指定した条件の結果を元に、次の動作を選択し実行する。検査後不良品を捨てるなどの処理を行う。

演算命令

四則演算や三角関数などの演算以外に位置データを演算する命令など、ロボット特有の演算命令も用意されている。

その他専用命令

溶接ロボットやパレタイズングロボットなどある作業を専門とするロボットにはその作業に特化した命令が用意されている。

標準ロボット言語「SLIM言語」

各ロボットメーカでロボットを動作させるプログラム言語が異なっている。そこでロボット工業会が中心になって標準言語が作成された。これを「SLIM（Standard Language for Industrial Manipulators）言語という。

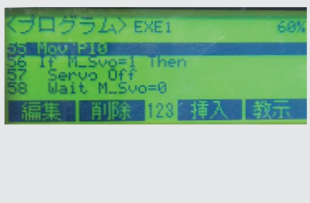
1992年にJISに制定されたが、各ロボットメーカが新たに開発する機能に追従できず、依然としてそれぞれのメーカ独自のプログラム言語が使用されている。SLIM言語はBASIC言語に似た記述方法であり、SLIM言語をベースに独自の命令を追加しているメーカもある。

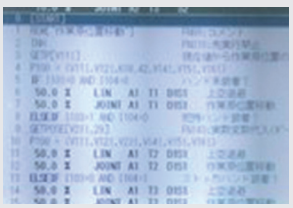
SLIM言語の例
1「MOVE L,P001,P002」
　現在の位置からP001を経由してP002へ移動する。
2「MOVE C,P001,P002」
　現在の位置からP001を経由してP002へ円弧を描いて移動する。
3「GOHOME」
　現在位置からホーム位置へ移動する。

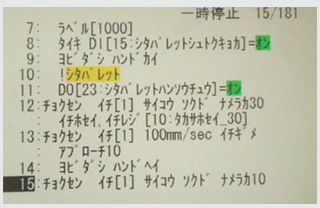
バッテリーによるデータの保持

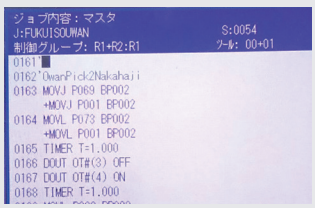
現在、ほとんどの産業用ロボットは位置データやプログラムデータをバッテリーで記憶させている。バッテリーでの保持期間は1年間としているメーカが多く、バッテリーがなくなってしまった場合データが消える、もしくは部分的に消えてしまう場合がある。その際は全ての調整を再度やり直す必要がある。バッテリーの交換はこまめに行うことを推奨する。

メーカ毎のティーチングペンダントとプログラムの違い









6.ロボットのティーチング

現在の産業用ロボットの多くはプログラムと位置データで構成されている。人間が決めた位置へどのように移動するか、移動した後に何をするかを教える必要がある。そのロボットが動くべき位置をロボットに教える作業がティーチングである。ティーチングはロボットの可動範囲の中に入って行うことが多く、この作業を行うには労働安全衛生法に定められた教育を受ける必要がある。ロボットを扱うにはまずティーチング作業の内容を正しく把握し、安全に作業することを学ぶ必要がある。

ティーチング作業

ロボットが動作するには

ロボットは予め教えられた動作を実行する機械である。ロボットに動作を教えるために、制御内容と作業する位置（姿勢）を定める必要がある。

制御内容は「プログラミング」により定められる。ロボットが作業する位置（姿勢）をロボットに教えることを「教示作業」という。教示作業には、「ティーチング方式」と「マニュアル数値入力方式」がある。

「ティーチング方式」はロボットの現在位置（姿勢）を、ロボットに利用できる形式で覚えさせる。

「マニュアル数値入力方式」はロボットの位置姿勢を表す数値を直接入力する。マニュアルデータ入力方式（Manual Data Input）の頭文字よりMDI方式と記される。

ロボットと周辺機器の位置が判っていればMDI方式が便利と考えられるが、ロボットと周辺機器の位置は組立作業などによりズレが発生するため、通常ティーチング方式が多く利用されている。

3D CADの普及に伴い、予め大まかな数値をMDI方式で入力しておき、微調整のみをティーチングで行う場合が増えている。

装置内に人が入れない場合や、装置の位置情報と実際の位置にズレが少ない場合、求められる位置精度が粗い場合、部品が位置ズレ無く供給される場合などにMDI方式が有効である。

ロボットが、装置内の補助装置となる場合、例えば半導体装置のようなウェハの印刷が主目的となる場合には、搬送役のロボットは粗い位置精度でも装置が停止しないよう、装置全体が構成されている。

教示作業の手順

具体的な教示作業は次のような順序で行う。

①プログラム作成
　教示内容を保存するためのプログラムに名前を付けて保存する。

②ロボットを教示位置に移動
　ティーチングボックスを使ってプログラムで使用したい位置にロボットを移動させる。

③教示位置の記憶
　ティーチングボックスを使って名前を付けて、現在の位置（姿勢）を覚えさせる。

④ロボットを次の位置に移動
　ロボットを次に記憶する位置に移動させ、その点を記憶する。

⑤必要な作業点数を教示
　作業に必要な教示を全て①～③のように行う。

ティーチング作業時の安全

1. 操作権の考え方

ロボットには「操作権」という考え方がある。メーカにより「制御権」など他の表現もあるが、同じ内容を指している。ロボットが工場内で使われる時、必ずしも操作する場所からロボットが直接見えるとは限らない。このような時に、ロボットの教示作業やメンテナンスでロボットを触ろうとロボットの作業範囲内に入った時に、外部から誤ってロボットを起動できないようにする必要がある。

ロボットにコントローラの操作パネル、ティーチングボックス、パソコンなど、複数の機器が接続されていても、同時にロボットに対する操作（運転、サーボオンなどの動作指令）が有効な機器を1つに制限する。この時、この限られた1つの機器が「操作権を得ている」状態という。

操作権には優先順位がある。順位の高い順から、「ティーチングボックス」、「ロボットコントローラ」、「外部機器からの操作」となっている。

ロボットの動作範囲内で作業する可能性が高いティーチング作業者の安全のために、ティーチングボックスの操作権取得操作が最優先される。次いで、ロボットコントローラのパネル操作が優先される。これはシステムトラブル時などに単体動作を行うためである。

反対に、停止やサーボオフなどロボットを停止させるような操作は安全上操作権がなくても行えるようになっている。

2. サーボ電源

ロボットの各軸はサーボモータと呼ばれるモータで動作させている。教示を行うモードにした際はサーボ電源はオフとなっている。これは作業者の意思と関係なくロボットが動作することを防ぐためである。

教示作業を行うには、「操作権」を有効にした後にサーボ電源をオンにする必要がある。このサーボ電源をオンにするためには「デッドマンスイッチ」をオンにする必要がある。

「デッドマンスイッチ」は 3 ポジションスイッチとなっており、力をかけていない時はオフ、適度に力をかけている時はオン、強く力をかけるとオフとなるスイッチである。これは操作する人がサーボ電源をオンにする意思を持って軽く力を入れてサーボ電源をオンにし、もし危険を感じた際に手を離したり、恐怖を感じ強く力を入れた場合にサーボ電源がオフとなるような構造になっている。

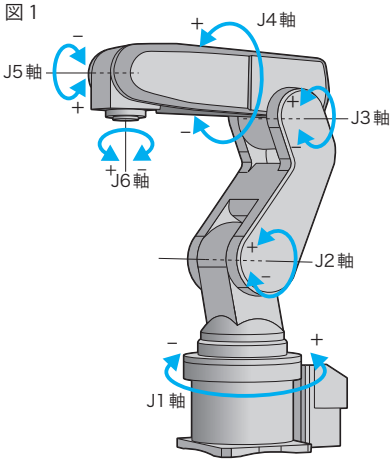
教示作業時に発生する事故が多いため数多くの安全装置が使用されている。

ロボットの座標系

ロボットをティーチングする際、座標系を選択し操作する。座標系には、関節座標系・直交座標系・ツール座標系などがある。

1. 関節座標系

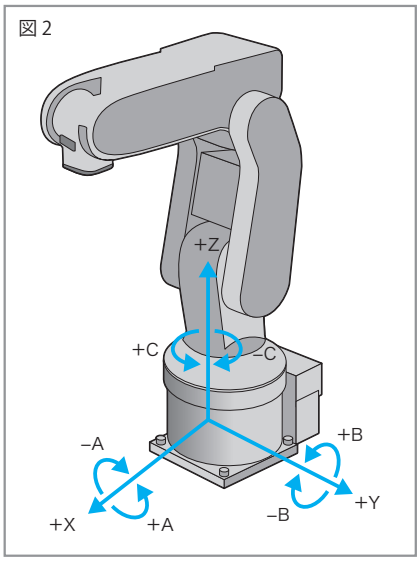
図 1



ロボットの各関節の回転角度を値とする座標系のことをいう。6軸多関節型ロボットの場合、関節座標は6個の要素で成り立っており、図1のように表される。

2. 直交座標系

図2



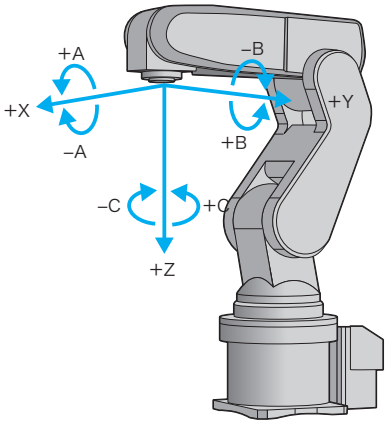
直交座標系とは互いに直交している座標軸を指定することによって定まる座標系のことをいう。 例えば点P=（50, -10, 20）の点は、X軸の＋方向に50、Y軸の－方向に10、Z軸方向の＋方向に20示した位置となる。（図２）

3. ツール座標系

ツール座標系とは、ロボットのハンド先端を原点とした直交座標系のことをいう。ハンドの向きに対する前進・後退動作を行うため、ハンドの向きを変えずに動作させることができる。

6軸多関節ロボットの場合、ツール座標は直行座標と同じく6個の要素で成り立っており、座標値を（0, 0, 0, 0, 0, 0）のように表記した場合は、先頭からそれぞれ図3のX、Y、Z、A、B、Cを表している。

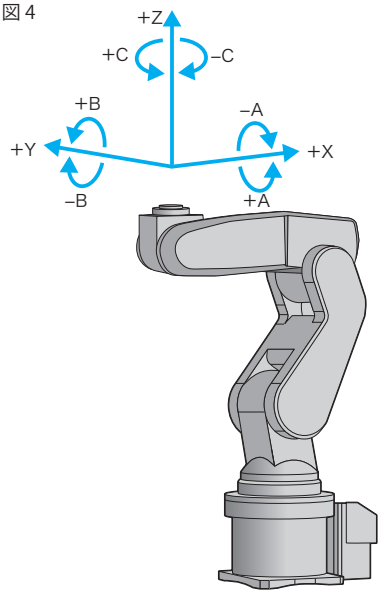
図3



ハンドが下を向いている場合は、図3のような座標軸の向きになる。

また、ハンドが上を向いている場合は、図4のような座標軸の向きになる。

図4



教示作業に関する関係法令

教示作業時に守らなければならない関係法令には次のようなものがある。

労働安全衛生規則第36条第31号、第150条の3、第151条などでは次のような手順を踏むように規定されている。

1. 作業規定の作成（第150条の3）

産業用ロボットの種類、構造、作業方法に見合った作業規定を作成し、これを遵守するように自主管理を行う。

2. 直ちに運転を停止できる措置を講じる（第150条の3）

教示中に危険を察知したならば直ちに可動領域内にいる教示者か、外部にいる監視者などにより産業用ロボットを緊急に停止できるようにする。

3. 作業中である旨の表示（第150条の3）

教示作業中である事を明示し、教示者以外には産業用ロボットの操作を行わせないようにする。

4. 特別教育の実施（第36条 第31号）

教示者には、産業用ロボットの基本的な構造、危険の源泉、回避方法などを教育する事により、災害防止のために必要な知識、技能を習得させる。

5. 作業開始前の点検等（第151条）

作業を開始する前には決められた点検を実施する。点検に漏れがないよう、予めチェックリストを作成しておく。

その他「ロボットシステムインテグレータに要求されるシステム構築における機能安全に関する知識」の資料がロボット工業会のホームページに掲載されている。
http://robo-navi.com/webroot/sier_download.html

ティーチング作業中の安全確保「デッドマンスイッチ（イネーブルスイッチ）」

デッドマンスイッチ（イネーブルスイッチ）とはJIS B8433（産業用ロボット－安全性）によると、「あらかじめ定められた位置で保持されている間に限り、ロボットの作動を可能にするための手動操作装置」と定義されている。ティーチングボックス背面についているイネーブルスイッチは2ポジションスイッチと3ポジションスイッチがあり、最近は3ポジションスイッチが搭載されている物が多く存在する。

この3ポジションスイッチは中央についているレバーの状態を、①握っていない状態、②半分程度握った状態、③完全に握った状態の3パターンに区別する。イネーブルスイッチは②の状態でオン、それ以外ではオフの判定になる。写真は右側に倒しているが、左側に倒しても同様の操作が行える。

なぜ、維持しにくい半分程度握り込んだ状態がオンなのか、それは人間工学に基づいた安全のための発想によるものである。

人間は、物を握った状態で驚いたときは、強く握るか、落としてしまうかのどちらかが多いといわれている。すなわち、ロボットを操作していて物や人にぶつかりそうになり驚いたときに、意識せずとも止めることができるように、②の状態がオンの状態だと決められているのである。

握っていない状態　半分程度握った状態　完全に握った状態