

ロボット 2

ロボット 2

4章 ロボットの制御とセンシング

4-1 人工知能

ロボットは機械であり、その機械的知能は人工知能 (AI: artificial intelligence) ということになる。もともと人工知能はコンピュータによる知的な情報処理システムの一分野である。ここに知的な情報処理システムとは、ことばの理解、画像・風景などの認識、問題解決、学習などといった、人が日常的に行う情報処理である。

この研究は1956年の夏にアメリカのダートマス大学で開かれた「人工知能に関する研究会議」で本格的に始まり、現在では検索、知識表現、自然言語理解、話しことばの理解、人工知能研究用プログラミング言語、知識工学、自動プログラミング、認知のモデル、コンピュータビジョン、学習と帰納的推論、問題解決などの問題が研究されている。

人工知能における基礎は「検索」「知識表現」「人工知能プログラミング言語」「推論」「問題解決」などであり、これらの上に応用分野が積み重ねられている。例えば検索では、主に、チェスなどのゲームに利用するプログラムのためのものである。敵方がこまを動かしたら、そこから次の敵方の手を想定し、勝つためのチェスのこまを何手も先まで読むものであり、さまざまなこまの動かし方から適切な動かし方を検索する。

応用分野の一つである自然言語理解においては、われわれが日常的に使うことば（自然言語）をどのようにして機械的に理解させるかを扱っている。言語の形態素解析、構文解析、意味解析、文脈解析などにおけるさまざまな手法がある。この分野では、文脈や知識情報の蓄積と利用のメカニズムの開発が重要であり、知識表現の研究とも関連させつつ、その研究が進められている。これらはいずれも観念的知識の世界の中での研究が主であり、外界やその外界を動くという状況で活躍する知的能力について論じているものは少ない。

4-2 ロボットにおける人工知能

ロボットは動く機械であり、この知能を考える場合、ロボットの外側にある対象からの情報の扱いとロボット内部の知的情報処理（人工知能）が適切に融合されなければならない。かつてカント (Kant) は、人の認識は外界からの情報を取り入れる能力である感性 (sensation) とあらかじめ人の思考処理装置に組み込まれ、それをもとにして理解する能力である悟性 (understanding) との両者が物事を客観的に認識する源泉であると述べた。

頭脳内で何手も先を読むチェスや将棋のための人工知能の場合、単に脳内情報処理ですむが、ロボットのように現実世界を動くものにとって現実世界から情報を取り込む機械的感性の存在が不可欠である。この機械的感性をセンサ (sensor) と呼ぶ。

センサによりロボット内部のエネルギー、モーション、機構にかかるストレスやロボット外部の環境信号をとらえ、この環境信号をコンピュータに送り込み、適切な数理的信号処理により必要とする情報を抽出し、それらに対して人工知能による適切な判断を下し、その判断に従って、ロボットの体を動かす制御信号を発生するという一連の知的処理を行うことがロボットにおける知能である。

4-3 ロボット体内センサの役割

人を例に考えよう。人が痛みを感じる間隔がなかったとしよう。痛みは人の皮膚の触覚や体内の痛覚として人が持つセンサである。痛みという苦痛を感じない人は、幸せそうであるが、実際には人の皮膚の強さは有限であり、外部からの力により容易に破壊する。もし皮膚に触覚がなければ、皮膚が破壊して血液が流出したことに気づかないであろう。あるいは大きな外力により人の構造を支える骨が折れても、運動を可能にする筋肉が断裂しても気づかない。

このような人は正常に身体を維持できない。また人が歩行する際、われわれ自身は意識しないが、人の神経細胞ではひざの角度や角速度をセンシングし、歩行を可能にしている。もしもこのセンシング機能がなかったならば、歩行はできない。

現在のところ、ロボットの場合、歩行や運動を可能にする角度センサや角速度センサは普通に搭載されている。ロボットのひざの角度が現在何度であるかがわからない状況でひざをいくら動かしても、歩行はもとより、立っていることもできない。ロボットの姿勢を知るためのセンサはロボットを動かすために必須である。このほかにロボットの動作をスムーズにし、若干の外からの影響があってもそれを吸収できるようにするためには、重力方向からのロボットの部位の角度センサ、足裏にかかる圧力分布センサなどは必要である。

上述の例のように、けがをししたり、消耗しないためのセンサをロボットに搭載したりすることが望まれる。これはロボットの劣化や故障検知センサにあたる。それはロボットに搭載されるモータの消費電力、モータの発熱、ロボットの機構部を支える部材にかかるストレスの大きさとその累積、運動に伴う衝撃加速度などがそれである。しかし、現在のロボットでは、このような劣化や故障検知センサはほとんど考えられていない。ロボットを長い時間、高い信頼性で稼働させるためには、このようなセンシング機能は不可欠である。

4-4 ロボット体外センサの役割

人が自律して街を歩くためには、街に関する外界情報を取り込む必要がある。歩道の空間配置、信号、歩道脇の植込み、他の歩行者の存在、背後から近づく自転車の音、路面の凹凸、ぬかるみ、現在における自己位置などが、この外部情報である。人が自律して歩行するために必要な情報と同じような情報を取り込むことなしに、ロボットは外界環境で自律して歩行することができない。

これらの情報は画像、音響、レンジ（周辺の物体までの距離）や GPS などにより計測できる。画像はワイドアングルのレンズや全方位ミラー付きの CCD カメラ、音響は狭い指向性マイクロホン、レンジはレーザレンジファインダ、また位置は GPS などのセンサデバイスやセンサシステムにより計測される。

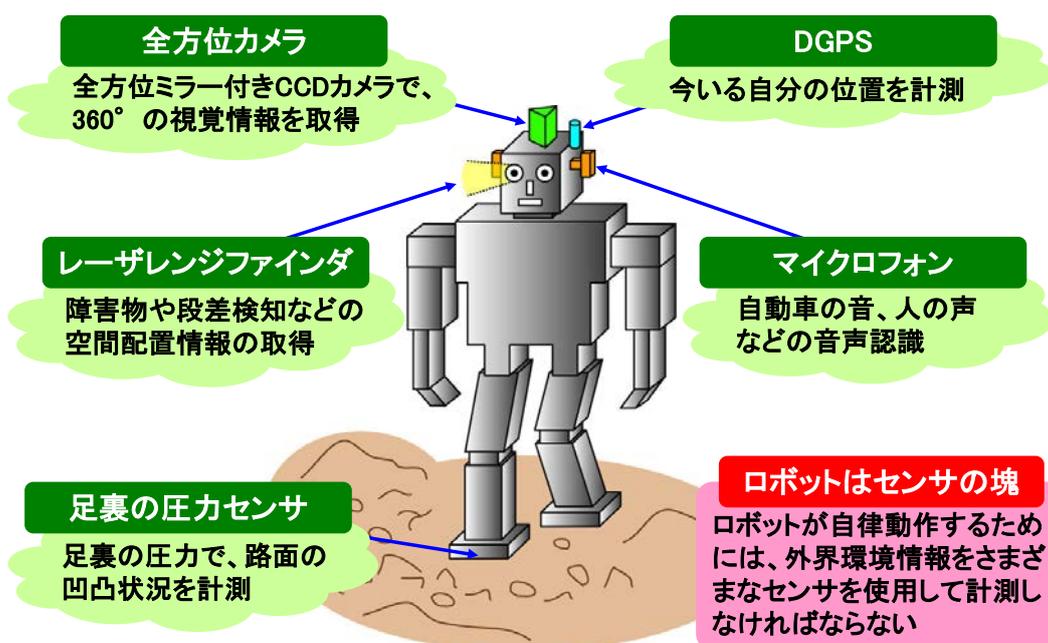


図 1 ロボット体外センサ

4-5 システムとしてのロボット

システムとは「所定の目的を達成するために要素又は系を結合した全体」（JIS Z 8116 自動制御用語）と定義されるように、複数個の要素が結合したものである。ロボットの要素は駆動部・機構部・センサ部・知的処理部からなる。

二足歩行ロボットの場合、駆動部は DC モータからなるサーボ（servo、奴隷を意味する）系がよく使われる。少なくとも歩行のために 10 個、上半身の動きのために 4 個のサーボ系が駆動部として使われる。これらはロボットを構成する要素である。

ロボットの制御は、ロボットの要素、要素を結合したロボットシステム全体、また単純にロボットを歩行させるというレベル、自律的にロボットを動かすという複合レベルの、それぞれの段階で機能している。

4-6 フィードフォワード制御とフィードバック制御

フィードバック制御においては、制御したい量（制御量）をセンサで検出しそれをコンピュータに送り、目標値と常に比較し、制御量が目標値に一致するように循環的に信号を送っている。このため、サーボ系では重力負荷のような負荷が加わらない限り、一定目標値に対して制御量は目標値に一致できた。制御量を目標値に一致させる制御が自動的に行われているのである。

一方、フィードフォワード制御 (feedforward control) では、このような循環的な信号流れ経路は存在しない。すなわち入力に信号を加えた結果を知らないまま次の操作に移ることになる。これは定性的に考えても怖いことである。操作を繰り返したあと結果を見たら、とんでもない状況になっている可能性があることが想定できる。

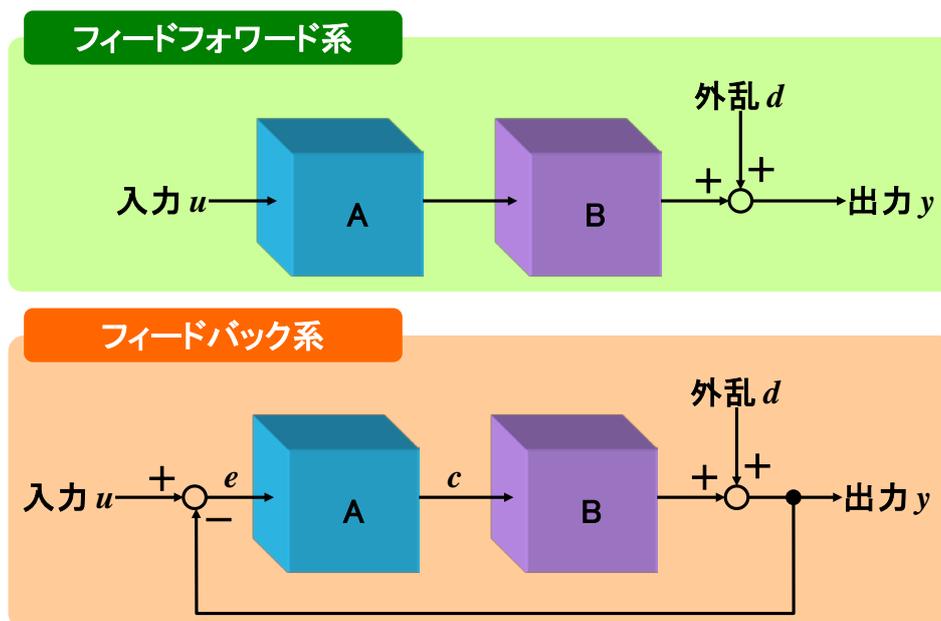


図2 フィードフォワード系とフィードバック系

4-7 ロボットの基本動作の制御

DC サーボ系をロボットの関節部分につけ、ロボットの動きに応じてそれぞれのサーボ系の目標角度に角度指令を与える。歩行ロボットの場合、それぞれ左右の腰、ひざ、足首という順番で角度指令が入力されていく。静歩行の場合には、着地している足裏の面内にロボットの重心がある範囲で腰、ひざ、足首の角度を制御する。

14 個のサーボ系からなるロボットに前進歩行を行わせる。歩行のために左右それぞれ 5 個のサーボ系、腕の動きのために、それぞれ左右 2 個のサーボ系からなっている。それぞれのサーボ系に角度指令を与える。この指令に基づきロボットの各関節が動き、前進歩行する。

このロボットの歩行制御は、それぞれのサーボ系においてフィードバック制御はされているが、ロボットの歩行動作全体についてはフィードフォワード制御である。実際のロボットではサーボ系に加わる重力負荷の影響で、関節の角度と指令で与えられた角度は一致していない。各サーボ系に加わる重力負荷はロボットの姿勢により異なり、まさにフィードフォワード系で想定しにくい外乱が加えられている。特にロボットが腿から大きく脚を上げた場合、腰のサーボ系に対し、外乱が大きくなり、指令角に対して大きなオフセットを持つことになる。

このようなオフセットを残したまま次の歩行動作に移行すると、状況によって、着地している足裏の外にロボットの重心が移動して転倒する。ほとんどの二足歩行ロボットのこのような誤差による不安定性は、比較的広い足裏面積により吸収され転倒を免れている。

4-8 ロボット全体に対する制御

ロボットの姿勢による指令角からオフセットをなくすためには、このサーボ系にさらに積分制御を施せばよいように思える。サーボ系自体は制御量を角度にした場合、すでに積分要素が内在し、そのうえにさらに積分制御すると、これは 2 型制御系となる。すなわちフィードバックの循環系に二重に積分が入ることになる。この安定化は容易ではない。

フィードフォワード制御では外乱消去法という方法がある。これは外乱が予想できる場合、その外乱を打ち消す入力を制御入力から加える方法である。これにより完全に外乱が打ち消されるわけではないが、外乱の大きさが抑制できる。残った外乱による成分は、フィードバック制御により抑制する。

4-9 ロボット制御のためのセンシング

(a) ポテンショメータ

サーボ系において、モータの回転角度を制御するために、モータ出力の回転角度を計測する角度センサが必要である。アナログ的に角度を電圧に変換する最もポピュラーなセンサは、ポテンシオメータと呼ばれる回転型可変抵抗器である。

回転角度に対する出力電圧 E_0 は次のように

$$E_0 = \frac{R}{R_T} E = \frac{\theta}{\theta_T} E$$

与えられ、回転角度に比例した直流電圧が得られる。抵抗体の上にスライダが接触する構造となっている。したがって原理的に磨耗するが、最近の抵抗素材の開発やスライダの開発により、その耐久性は大幅に改善されている。簡単な回路により角度が電圧に変換できる便利なセンサである。

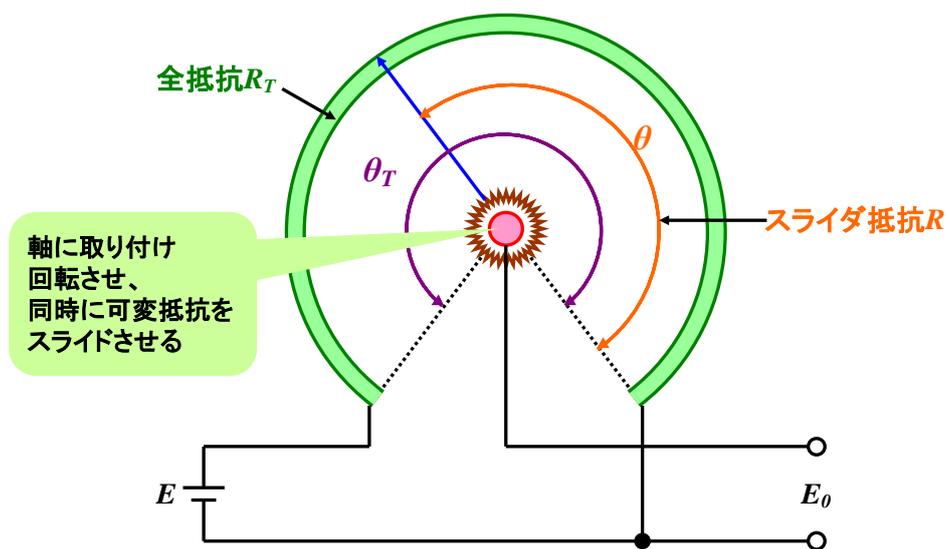


図3 ポテンションメータ

(b) ロータリエンコーダ

ポテンシオメータと同様に、回転角度をセンシングするデジタル角度センサである。光式が多い。スリット付き円盤を回転軸に付け回転させる。LEDの光を円盤のスリットに通過させ、その光を検知することで回転角度や回転速度を計測する。インクリメンタル型とアブソリュート型がある。

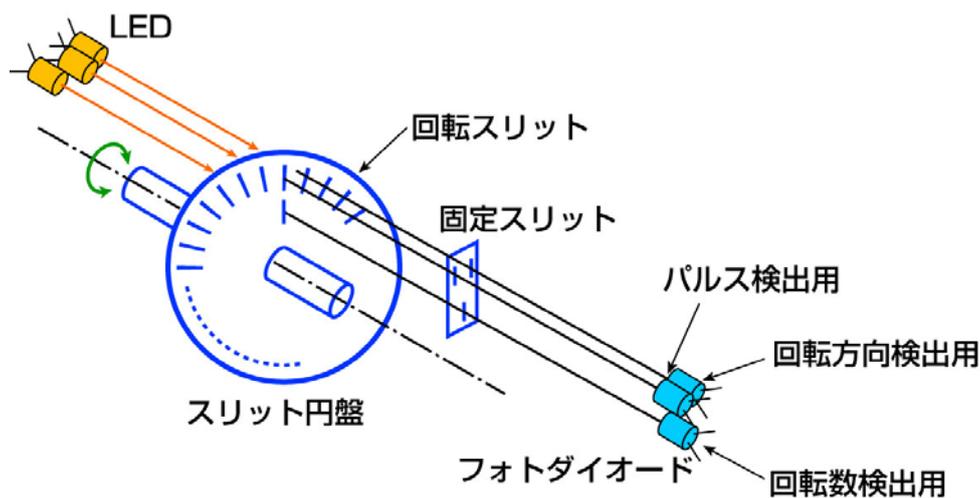


図4 インクリメンタル型ロータリエンコーダ

回転板のスリットだけでなく固定板に二つのスリットを設け、これらを対向させる。一つのLEDと対向するフォトダイオードにより、スリットを光が通過するごとに発生する光パルスを検出し、回転速度や角度を計測する。もう一つのスリットとLEDとフォトダイオードペアでは順方向に回転する場合、回転速度、角度検出用フォトダイオード出力より1/4だけ位相が進み、逆方向の場合には位相が遅れるようにしておき回転方向も判定する。もう一つの別なスリットでは回転数を計数する。

この角度センサは絶対角度を計測するのではなく、回転しだしてからの回転量を計測するものである。そのためインクリメンタル（incremental、増加分）を測る角度センサである。

アブソリュート型ロータリエンコーダの原理は、円盤の円周方向に必要な分解能分のトラックを設ける。例えば360度を1024等分に分解する場合には10トラックを用意する。それぞれのトラックに2分割、4分割、8分割、16分割、……、とスリットを設ける。それにトラック数だけの固定式スリットを対向させ、円盤と固定板スリットを通過してきた光をトラック数のフォトダイオードで検出する。それぞれの回転角度において2進数で角度の情報が与えられる。絶対回転角度がトラック数のビットのデジタル数で与えられる。ロボットのマイコンに2進数をそのまま取り込むことで回転絶対角度がわかる。

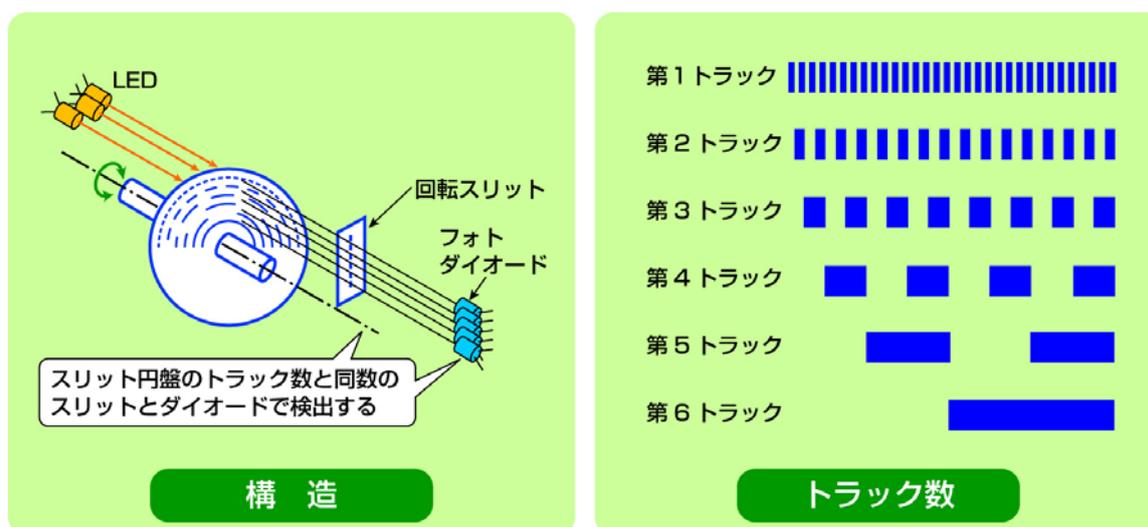


図5 アブソリュート型ロータリエンコーダ

(c) ジャイロセンサ

ジャイロセンサは回転角速度を検出するセンサである。サーボ系において、回転角速度を検出しその信号をフィードバックすることで、予期せぬ外乱が加わったとき、その外乱の影響を小さくすることができる。歩行中のロボットが障害物に衝突し転倒しそうになったとき、すばやく逆方向に回転し転倒を避けることができる。回転角速度センサはポテンシオメータやロータリエンコーダと異なり、サーボ系の回転軸に直接取り付けする必要がない。回転運動の軸方向に平行に回転角速度センサを取り付けられればよい。したがって、ロボットを組み上げたのちに腕や脚などに取り付けることができる。

4-10 ロボットの早期異常状態を診断する体内センサ

(a) 温度センサ

人は無理に走ったりすると筋肉に熱を持ち、そのまま放置すると乳酸がたまり痛くなる。生きた人の場合には2、3日でこの乳酸も分解され、さらに脚の筋肉の量も増強される。しかしロボットの場合、このようにはいかない。

ロボットを動かすことができるモータのパワーの上限は、モータの電機子巻線の電気抵抗による熱量により決まる。この熱により発生する温度は、モータ内部の磁石の磁束密度を減らす。これより発生する力が減り、この減った分を補うためにさらに電流を多く流すことになる。結果として発熱がさらに大きくなり、温度がさらに上昇するという悪循環に陥り、最終的には過電流のために電機子巻線が溶解してモータが機能不全故障に陥る。

ロボット歩行のように、小型のサーボ系を高負荷の状態動かす場合、モータからの発熱を計

測し、状況に応じて休ませる必要がある。発熱は温度センサで検知できる。

温度センサにはバイメタル、熱電対、測温抵抗体、赤外線センサやサーミスタがある。これらのうちサーミスタは比較的安価で温度変化に対して感度が高い。サーミスタはマンガン、ニッケル、コバルト、鉄、銅などの金属酸化物の焼結体であり、温度による電気抵抗値が変化する特性を利用する。サーミスタは広い温度範囲で温度の上昇に伴い抵抗値が減少する NTC サーミスタ、ある狭い温度範囲で急激に抵抗値が増加する PTC サーミスタ、またある狭い温度範囲で抵抗値が急激に減少する CTR サーミスタに分類される。

電氣的に温度を計測することなく、ロボット操作者は目でロボットの発熱の状態を見るだけであれば、示温インクを塗布した紙をモータ発熱部に貼り付けておけばよい。

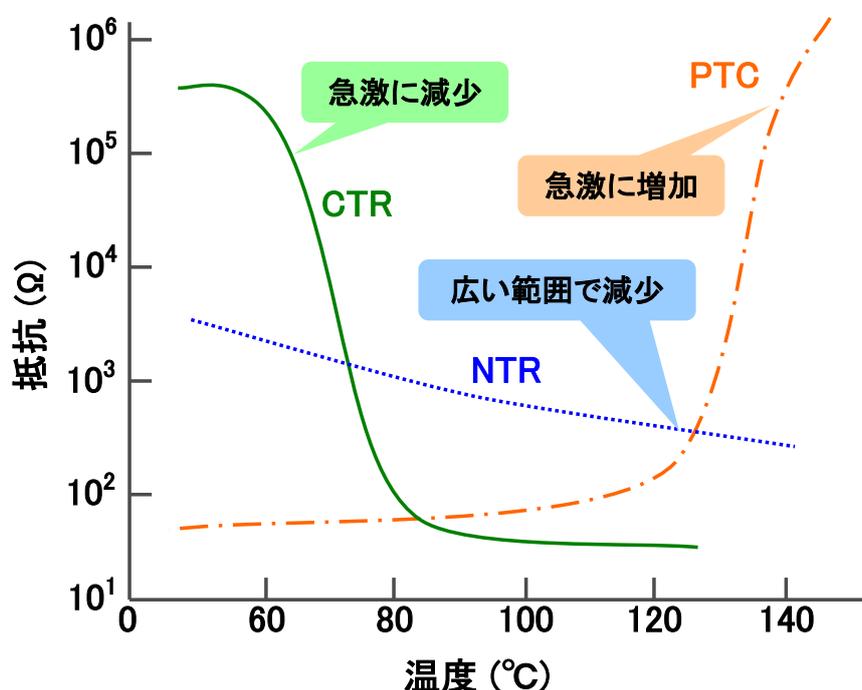


図6 サーミスタの特性

(b) ジャイロセンサ

ロボットの動作に伴い、繰り返し大きな力が加わる部分は、軽量化のために肉厚を極限まで薄くしたロボットにとって、強度的な弱点の場所である。例えば板金加工によるロボットの構造体を作った場合、曲げの部分には集中応力が作用する。

特に重量全体を支えるひざの部分における曲げ部はダメージを受けやすい。初めのうちは耐えているが、そのうち少し変形が始まる。このような状態になると、設計形状と実際のロボットの形状が異なり、設計形状のもとで与えた指令角度は変形のために適正なものとはいえなくなる。結果として、ロボットは転倒しやすくなり、転倒を繰り返すうちに、さらに変形が大きくなるという悪循環に陥る。

このような状況は、集中応力が作用しやすい場所に、できればアール(R)をいれ、応力集中を避けるべきである。しかし、それでもなおロボット構造体に加わる微小ひずみをモニタしておきたい。なぜなら、このひずみの累積によりロボットの構造疲労や変形・破断が予測できるからである。実際には、ロボットモーションを作り上げる試行錯誤のプロセスの中で、ロボットの構造的脆弱部のひずみも計測し、ひずみの量のある値以内になるようなモーション作りに応用する必要がある。

ロボットが搭載できるコンピュータの能力がもっと高ければ、このひずみ情報をロボットの動きにフィードバックすることも可能である。サーボ系では回転角度からフィードバックしている。外付けのジャイロセンサにより回転角度をフィードバックすると、モータの等価的時定数を小さくし応答速度を速めることができた。さらに、トルクにより直接生じるひずみからフィードバックをかけると、より優れた制御が可能になる。

ストレインゲージはひずみセンサである。あるばね定数を持つ構造体に貼り付けると、その構

造体のひずみセンサを貼り付けた場所に作用した力が計測できる。したがってひずみセンサは力センサとして使われるのがほとんどである。ひずみセンサは、

あるばね定数を持つ構造体に作用する力⇒その力による構造体の変形⇒変形に伴うひずみセンサの内部の抵抗変化⇒ブリッジ回路などにより抵抗変化を電圧に変換

という順番で力が電圧に変換される。

(c) 加速度センサ

加速度センサは、衝撃加速度をとらえるセンサから、重力加速度からの方向をとらえられるレベルまである。前者はロボットに対する累計衝撃によるダメージを推測するのに役立ち、後者はロボットの姿勢制御にも使える。加速度計の原理は、基本的に質量に作用する力から加速度を推定するものである。

サイズモ系加速度センサはある加速度で運動している対象の加速度を変位の大きさに変換するものであり、すべての加速度計はこの原理に従っている。サイズモ系は、加速度を力に変換する慣性質量と力を変位に変換するばね、およびばねと質量による振動を減衰させるダンパからなっている。加速度センサを重量加速度の方向に対して回転させると、重力加速度に対する加速度センサの角度が計測できる。この加速度センサにより、ロボットの各部位の重力加速度からの角度が計測でき、姿勢制御用のセンサとして利用できる。

衝撃加速度を計測する程度のものであれば、片持ばりのはりの部分にひずみゲージ、 piezo素子などひずみを電圧に変換するデバイスを取り付ければよい。piezo素子は静電容量形デバイスであり、直流ひずみはカットされる。このような素子を使った加速度センサは直流加速度をとらえることができないが、衝撃などの加速度はとらえることができる。これらは小型で比較的安価である。

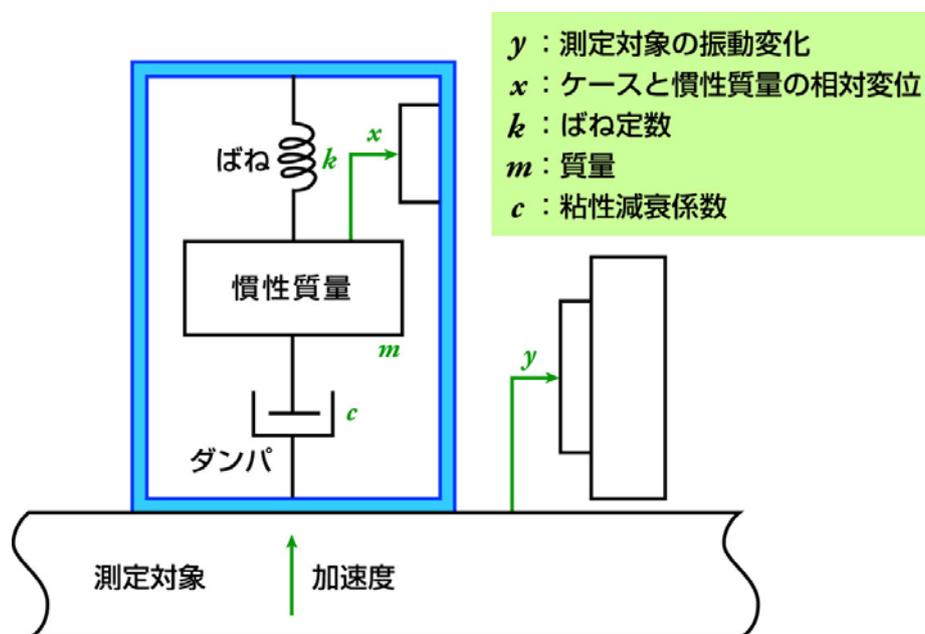


図7 サイズモ系加速度計

4-11 外界環境情報をとらえるセンサ

(a) 距離センサ

レーザにより、ロボットのいる環境周辺の障害物までの距離プロフィールを得るセンサは、将来におけるセンシングデバイスである。レーザ技術の進歩は小型のレーザを可能にし、小型の二足歩行ロボットにも搭載されるようになるであろう。ここでは、このようなレーダの基礎となる距離センサについて述べる。距離センサとして古くから用いられているものが超音波距離計である。40 kHz程度の周波数の超音波を送り、障害物から反射した音を検知して送受信までの時間差と音速から距離を計測するものである。最近、音ではなく、光による距離センサが開発され、手軽に使用できるようになってきた。

(b) マイクロホン

環境の中で音を検知し、しかも音の到来方向が検知できれば、音を発生している対象の方向が

把握できる。マイクロホンは音響センサとして利用する限りでは、20 Hz～10 kHz の周波数帯で 1 Pa 程度の振幅の圧力変動を、10 mV の振幅程度の電圧に変換するセンサである。

マイクロホンに指向性を持たせ、ロボット周辺の音響環境をとらえる道具として使う。マイクロホンはコンデンサマイクロホン、ダイナミックマイクロホン、セラミックマイクロホンなど圧力検出方法により数種類があるが、これらの中でコンデンサマイクロホンが周波数特性の平坦さや感度からいって最も優れている。永久電荷がチャージされたエレクトレットフィルムが鼓膜に相当し、このフィルムに作用する微小圧力によりフィルムがわずかにひずむ。これによりエレクトレットフィルムと対向電極間の静電容量が変化して、フィルムと電極間に圧力変動に比例する電圧が発生する。

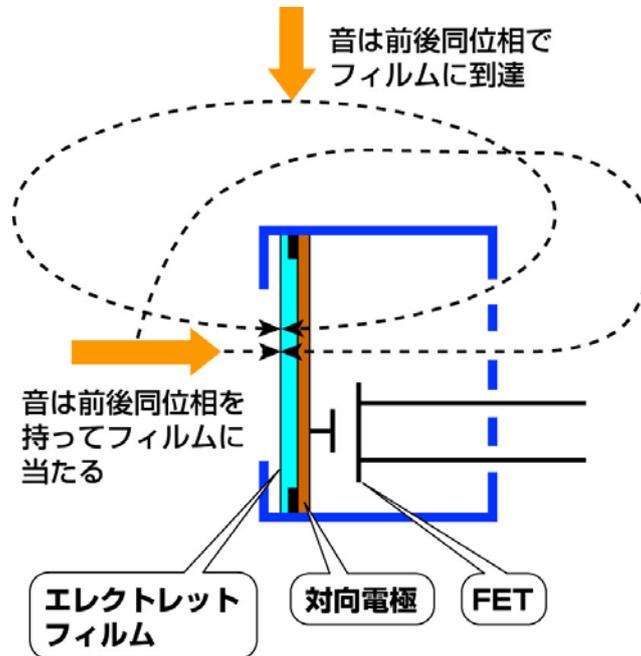


図8 コンデンサマイクロホン

(c) 全方位カメラ

1 台のカメラでロボット周辺全域の映像をとらえると、ロボットの環境情報として価値の高い情報が得られる。このようなカメラが全方位カメラ（オムニカメラ）である。

実際はカメラが全方位であるのではなく、カメラの直前に曲率の大きな反射ミラーを置き、そのミラーに 360 度方向から入り込む映像を取り込むものが全方位カメラである。ミラーの曲面が球状のものと放物線状のものがある。このミラーの関係や放物線関数がわかっていると、ミラーを介して取り込まれた映像は座標変換により上から見た映像や 360 度の全方位画像に変換できる。

5 章 ロボットの機構

5-1 機構

どんなによいセンサを用い、よい制御をしても、ロボットの機構（mechanism）によってはその能力を十分に発揮できない場合がある。機構が粗末だと、所望の動作を行わせるためのプログラム作成が困難になり、コンピュータにかかる負荷（計算量）が大きくなる。逆に、機構が合理的であると、高い仕様のセンサやコンピュータを搭載しなくても、簡単なプログラムで所望の動作を行わせることができる。からくりロボットはその最たる例といえるだろう。

機構とは「2 種類以上の要素からなり、一つの運動により他が運動を起こすように配備された機械の部分」のことをいう。要は、モータの回転運動やシリンダの直線運動を利用して、ある部分に所望の動作を実現させるものが機構である。機構は、リンク（link）、カム（cam）、歯車（gear）、など、さまざまな部品から成り立つ。これらの部品のことを機械要素（machine element）という。これら機械要素から構成される機構は、組合せによって、平面的な動作や立体的な動作をする。前者を平面機構、後者を立体機構といい、ロボットには平面機構のものや立体機構のものなどいろいろな種類がある。

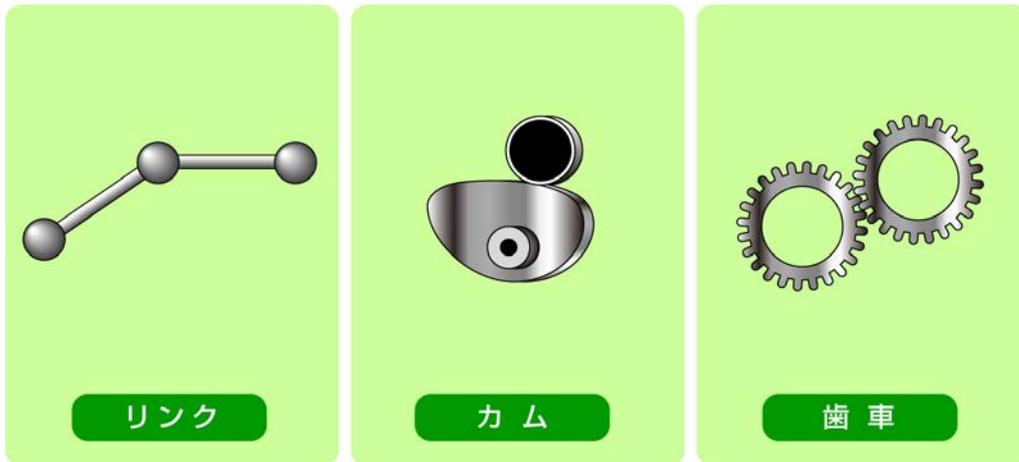


図9 機構要素

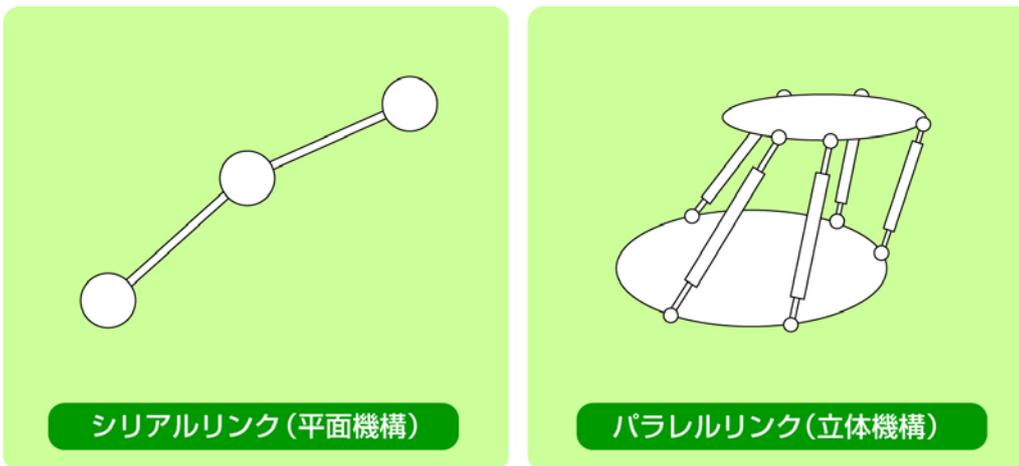


図10 平面機構と立体機構

番号	名称	自由度	図記号	運動の方向	備考
1	直進ジョイント(1)	1			
2	直進ジョイント(2)	1			
3	回転ジョイント(1)	1			
4	回転ジョイント(2)	1			平面
5		1			立体
6	円筒ジョイント	2			
7	球ジョイント	3			
8	エンドエフェクタ				一般系 用途別表示例 —┴— 溶接 —┴— 真空吸引

図11 機構を表す図記号

5-2 自由度と姿勢

互いに接触して相対運動する二つの機械要素の組合せを対偶 (pair) といい、二つの機械要素の相対位置を確定することができる最小の入力の数を対偶の自由度 (degree of freedom) という。自由度とは「空間において剛体の運動を記述するのに必要な独立変数の数 (最大 6)」と定義されており、運動の数を示す。対偶は自由度によってさまざまな種類に分類できる。

ロボット分野では対偶をジョイント (joint) と呼び (対偶は機構学のことば)、直進ジョイント、回転ジョイント、円筒ジョイント、球ジョイントに分類され、自由度はそれぞれ 1、1、2、2 となる。そして、これらのジョイントの組合せによってロボットの形式が決定される。図は、これらを図記号で表現したロボットアームである。

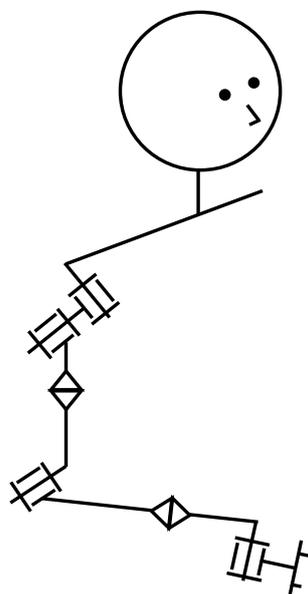


図 12 ロボットアームの図記号表現

剛体の運動の自由度は 6 である。直交座標で三次元空間の剛体の位置、姿勢、運動を表す場合、 X 軸、 Y 軸、 Z 軸の三つの座標成分と各軸まわりの α 、 β 、 γ の三つの回転部分 (ロール、ピッチ、ヨー) の合計 6 に対応する。したがって、物体の位置、姿勢を任意に操るためには、最低 6 自由度が必要となる。

人間の腕は機械的な視点から、肩 3、肘 1、手首 3 の合計 7 自由度あり、6 よりも多くなっている。この 6 よりも多い自由度を冗長自由度 (redundant degree of freedom) と呼び、このような自由度構成を冗長性 (redundancy) があるという。人間はこの冗長性により、手先の方向と手首の位置を固定したままでもひじを回転することで、腕の姿勢を変えることができる。

例えば、コーヒーカップでコーヒーを飲むとき、自由度が 5 の腕だとその動作によってはコーヒーをこぼす (コーヒーカップが傾く) おそれがある。コーヒーカップ自体の自由度は 6 なので、コーヒーをこぼさずに飲むためには自由度 6 の腕が必要になる。しかし人間の腕は、冗長自由度が 1 加わって自由度が 7 存在するため、コーヒーカップの位置や姿勢を変えずに腕の姿勢を変化させることが可能となる。このように、人間は冗長性のある腕や脚を持つことで、巧みに障害物を回避し、状況に応じた安全な行動ができるのである。

ロボットでは、目的とする作業に適した動作が可能になるように、自由度が与えられる。ロボットが平面機構で二次元平面内でしか作業しないものであるならば、自由度は位置を決定するのに 2、方向を決定するのに 1 の合計 3 自由度あれば十分である。しかし、最近では作業効率の上昇、可動範囲の省スペース化により、冗長自由度を持ったロボットアームが増えてきている。

多くの自由度を持つ場合、注意しないといけないのが特異点 (singular point) の存在である。特異点とはある特定の方向の自由度が失われてしまう姿勢のことである。これを自由度の縮退 (degeneracy of degrees of freedom) といい、このときの姿勢を特異姿勢 (singular configuration) と呼ぶ。

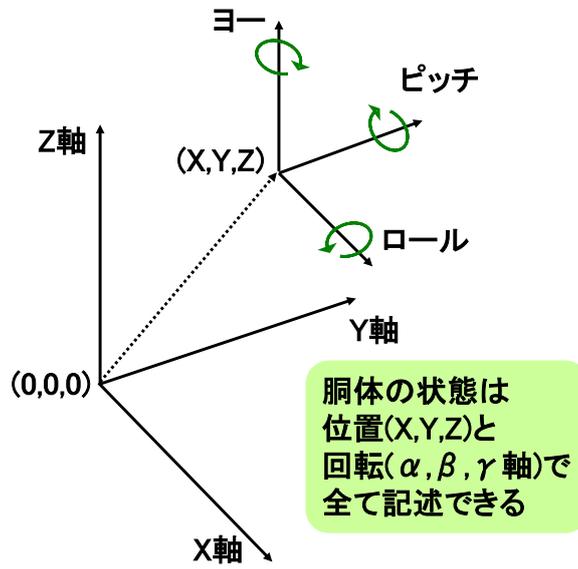


図 13 ロボットアームの動作図

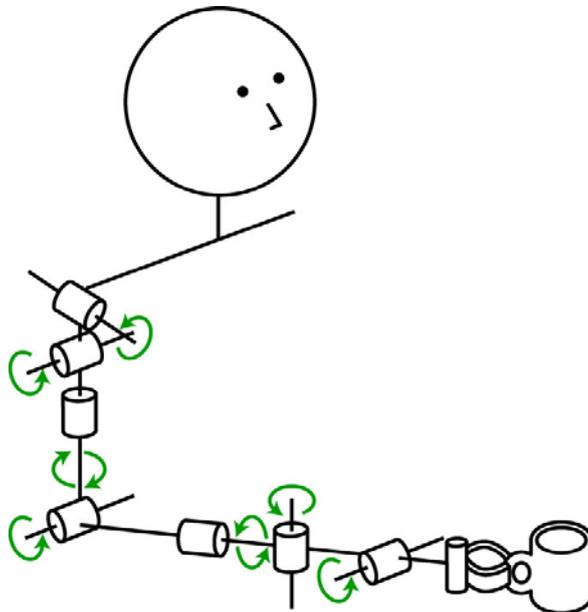


図 14 6自由度のロボットアーム

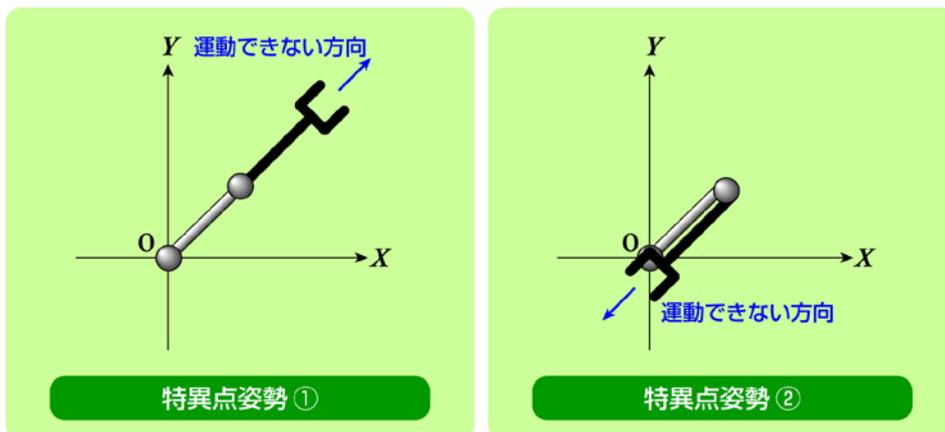


図 15 2自由度のロボットアームの特異点

5-3 マニピュレータ

ロボットアームはマニピュレータ (manipulator) と呼ばれる。産業用ロボットは主にマニピュレータで構成されている。三次元空間内でマニピュレータの先端 (これをエンドエフェクタという) の位置決めをするには、最低 3 自由度が必要となる。マニピュレータは直動・回転・旋回の組合せしだいで、さまざまな機構を構成することができる。

円筒座標ロボット (cylindrical coordinate robot) は、回転と二つの直動関節が組み合わさった構造で、極座標ロボット (polar coordinate robot) は、回転・直動・旋回関節が組み合わさった構造をしている。これらの構造のマニピュレータは動作範囲が広く、エンドエフェクタの位置の記述がしやすく、制御も比較的容易である。また、他のマニピュレータに比べて位置決め精度も高い。

1962 年に世界で最初に製品化された産業用ロボット「バーサトラン (Versatran)」と「ユニメート (Unimate)」は、それぞれ円筒座標型、極座標型ロボットである。1960 年代から 1970 年代初期まではこれらの形式のマニピュレータが活躍していた。日本では川崎重工業が 1969 年に発表した「川崎ユニメート 2000」が、国産の産業用ロボット第 1 号で、自動車のボディ溶接ラインに導入されていた。

直角座標ロボット (Cartesian coordinate robot) は、関節の持つ自由度が x 軸、y 軸、z 軸に独立しており、それぞれの座標軸が直交している。構造が単純なため、制御が簡単であり精度が高い。ひかし広い動作範囲をとる場合、大型化してしまう。

5-4 移動ロボット

(a) 車輪移動機構

車輪移動機構は平坦な移動環境では、他の移動機構に比べて高速・効率的な移動が可能であり、機械的にも比較的シンプルで制御性もよい。そのため、自動車や産業用車両、福祉機器 (車いす) などに用いられる。最近では全方位に移動できる車両移動機構のロボットも開発されており、アイデアしだいでさまざまな形式の車輪移動機構のロボットが開発される可能性がある。

(b) クローラ式移動機構

クローラ式移動機構は不整地やぬかるみ、凹凸のある地面に対して有効な移動機構である。そのため、農林業、建設、軍用などに用いられる。駆動力も大きく、安定しているので、バランス制御の必要もない。クローラの構造にはさまざまな形式があり、最近では階段や障害物がある空間 (災害現場、地雷除去など) の移動機構として使われることが多くなっている。ちなみに通称「キャタピラー」と呼ばれているが、これは米国のキャタピラー社の登録商標なので、一般名称ではない。

(c) 2脚移動機構

2脚ロボット (biped robot) はヒューマノイドに限らず、鳥類も使用している移動形式である。もちろん、2脚ロボットも機能に応じてさまざまな形式のものが研究・開発されている。ここでは主に人間型ロボット (humanoid robot) について述べる。

通常、2脚ロボットは回転関節を利用した多リンク機構で構成される。また、片足につき、股と足首関節に 3 自由度、膝関節に 1 自由度の計 7 自由度でモデル化される。しかし、実際に使用されている 2脚ロボットの自由度構成は、股関節 3 自由度、膝関節 1 自由度、足首関節 2 自由度の計 6 自由度となっているものが多い。これは前述したように、物体 (足裏) の位置や姿勢を表現するには、自由度が 6 で十分だからである。

脚移動ロボットの機構は、関節の駆動方法によって、その形式は大きく異なる。なぜなら、ロボット全体の重量の中でモータの重量は大きな割合を占めるため、その配置によって駆動形式や制御方法が異なるからである。駆動方法は、慣性モーメントの減少や機構のスマートさを考慮したプーリやタイミングベルトを使用した駆動法、軽量化や衝突時の安全性を考慮したワイヤ駆動法、高出力が魅力である直動油圧シリンダ駆動法などさまざまである。

また、モータを全く使用しない受動歩行ロボット (passive walking robot) や直動アクチュエータを使って、スチュアートプラットホームと呼ばれるパラレルリンク機構を用いているものなど、2脚ロボットには多様な機構が存在する。

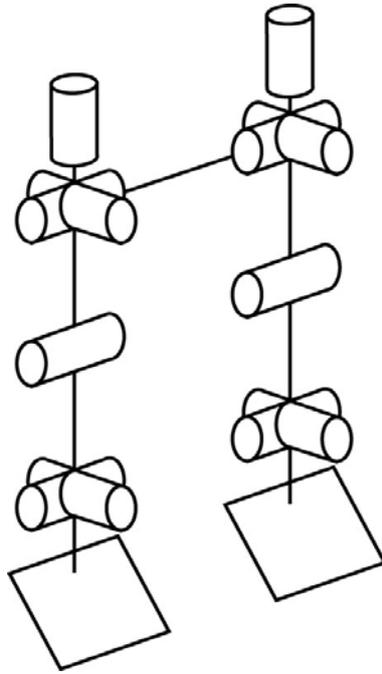


図 16 2脚ロボット自由度構成の例