

図3 60°傾斜型ディスク弁による二弁置換時の弁サイズ組み合わせと術後予後の関係 (女子医大心研, 1972-1976)

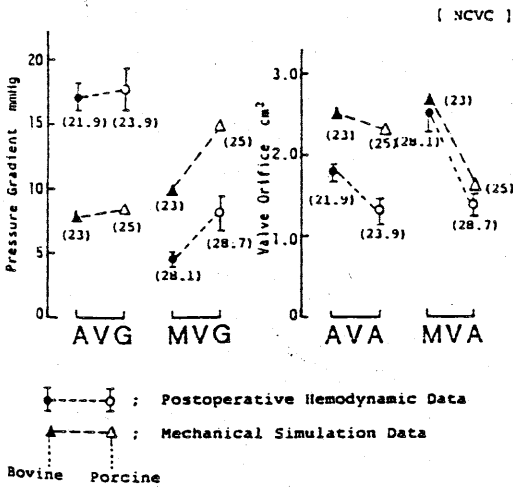


図4 シミュレーションと臨床データにおける生体弁の機能特性の比較 (国立循環器病センター, 1979-1982)

においても循環モデルを用いた結果をもとに使用する生体弁をブタ弁から牛心のう膜弁へと変更した。その際、両者の術後カテーテル検査による弁前後の圧較差、弁口面積をまとめてみると、大動脈弁位、僧帽弁位とも図4のようにシミュレーション結果から得られた傾向と極めてよく一致した。以上述べた2つの事例では、シミュレーション結果と臨床データがよく一致した例である。このような実験データは動物実験によって求めることは大変難しい。これに対し、シミュレーション実験では各種口径または各種形状の弁を次々と取り替えてデータが容易に取得

でき、同一条件の下での比較検討ができるので循環モデルを最も有効に利用できた例である。その他静動脈バイパスや補助人工心臓の適正な流量制御法の解明などにも応用し、成果を得ている。

5. 今後の展望

以上述べたように血液循環モデルは多くの成果を得、治療という点に関しても有益な資料を提示してきた。モデルは現在さらに精度の向上をめざしており、マイクロコンピュータと運動させて生体の自律神経系の抵抗調整ができるようなものや、心臓のスターリング曲線と類似させるよう人工心臓ポンプ駆動条件を時々刻々変化させること、などができつつある。今後もこの循環モデルを目的に応じて使いわけながら患者の治療に直接反映しうるようなデータを求めていきたい。

＜ 参考文献 ＞

- 1) 梅津光生：東女医大誌, 49: 626, 1979.
- 2) 梅津光生ほか：人工臓器, 5: 304, 1976.
- 3) 梅津光生：東女医大誌, 53: 53, 1983.

運動・感覚系の機能補綴とモデル

館 暉 (通産省工技院機械技術研究所)

1. はじめに



モデルを作る目的としては、対象を理解するため、人の頭の中にある漠然とした概念を具体的なものとして表現するため、システムを計測したり制御するための補助などさまざまである。ここでは、失われた人間能力、とりわけ運動機能や感覚機能を人間との調和を保ちながら機械で補い代行しようとする補綴工学の立場から、この問題へアプローチする。補綴工学においては人の正常な機能を解明する解析的な仕事とともに、ともかくも実際の代用物を構築しようとするシンセシスの問題も非常に重要となる¹⁾。その構成された代用物は人間の機能の一部を代替するという意味で不完全ではあるが人間機能の一つのハードウ

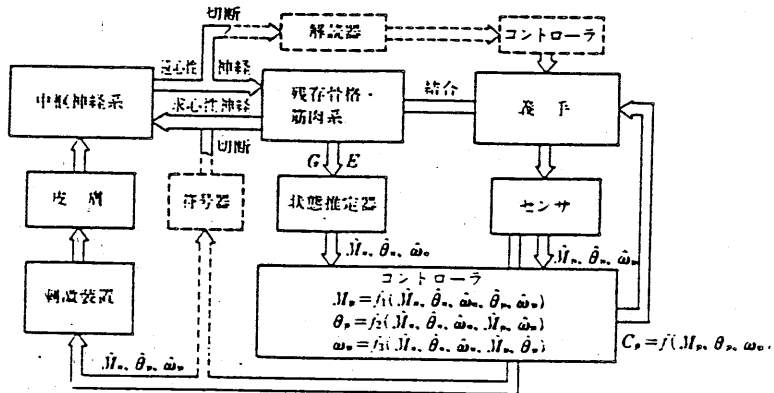


図1 人工の手の制御システム

ニアモデルとしての意味を持つ。また、そのような機械による代用物を人間の残存機能との調和のもとに制御しようとする時、人間の制御メカニズムから得られる何らかのモデルが利用される。さらに人が作った機械自身のモデルもまた、制御アルゴリズムの中に取り込まれるといった別の意味でのモデルも生じてくる。同様なことは代用感覚器による計測・認識の問題においてもいえることである。代用感覚器自体がハードウェアモデルであると同時に、そのハードウェアである計算機システムが環境を認識する際には外部環境に関するモデルを利用するという二重の使われ方となる。

本報告では、人間の運動機能補綴の例として能動義手を取り上げ、その機械の腕を筋電を利用して制御する試みについて述べる。また将来義手の制御にも利用されるであろう運動方程式モデルを用いるロボットの腕の動的な制御手法についても言及する。

人の感覚のメカニズムは極めて精妙で複雑なため、現時点では非常にローカルな現象あるいは大雑把なマクロな現象の一部が解明されているにすぎない。従って感覚器の機能のすべてを同時に代行するような装置を設計するようなことはせず、その行っているいくつかの機能（例えば視覚におけるコミュニケーションとか歩行補助）に分け、それらを個別に人間機械系として代行する設計法が現存の研究方向である²⁾。その一例として盲人歩行補助を盲導犬をモデルとした機械（盲導犬ロボット）で行おうとする一連の研究について述べる³⁾。また、ロボットの視覚として研究されている機械による三次元認識におけるモデルの役割についても言及する。

2. 上肢機能補綴とその制御

図1に義手の制御システムを示す。腕の切断された部位を義手で補ったシステムにおける義手の理想的な制御は次のようになる。まず図中の点線に示すように切断された遠心性神経の切断端をすべて集め、そのコーディングを解釈し人の意志を知り、その結果に基づいてコントローラーが義手を制御する。一方、義手の実際の動きをセンサーでとらえて、それに人の体で行っているのと同じ符号化を施して、切断された求心性神経の断端に入力してやればよい。

しかし、現実には神経インパルスの解釈や符号化の問題は未解決であり、神経の切断端をすべて取り出す手術や、生体と機械とのインターフェイスの問題などについても解決されていない。そのため、それにかわる手段が求められているのが現状である。一つの有力な方法として図1の実線の流れが考えられる⁴⁾。残存骨格・筋肉系から姿勢情報 G を、例えばゴニオメータなどの測定から得ると同時に筋電の情報 E から内部の力の状態に関する情報を得て、それらから残存骨格筋系の状態（各関節に働く力 M_n 、角度 θ_n 、角速度 ω_n ）を実時間で推定する。その推定値と、義手についているセンサーから測定された義手の状態（各関節のトルク M_p 、関節角 θ_p 、角速度 ω_p ）とを利用して、それらの関係として、次にあるべき義手の状態（ M_p 、 θ_p 、 ω_p ）を推定する。この推定の仮定は実際の人のプロセスの一つのモデルとなっている。また、制御量 C として M_p を出力すれば力制御、 θ_p を制御すれば位置制御、 ω_p を制御すれば速度制御となる。一般にはそれらの関数としての複合量が出来されるパターン制御となる。後者の一例として手先における作業対象面での力と位置の分離をは

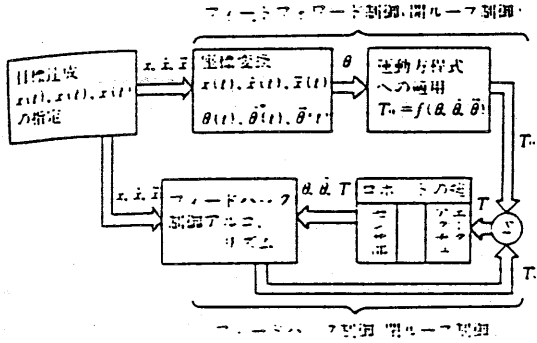


図2 ロボットの腕の運動制御系

かったハイブリッド制御がある。なお、義手の時々刻々の状態は残存感覚器。例えば皮膚感覚を介して使用者にフィードバックされる。このような考え方は例えば Jacobsen の postulate 制御などに具体化されており、現在までに1自由度と3自由度の実験が行われ有効性が確かめられている⁹⁾。

ロボットの腕の力学は現在でははっきりと分かっており、簡単な微分方程式で表せる。従って、ロボットの腕の構造からロボットの腕の運動方程式の形でモデルが求められ、目標の運動軌道から各関節のとるべき角度の時間関数を定めれば、それをモデルに適用することによって、各関節に加えるべきトルクが、やはり時間の関数として次々と求まってゆくの、人工の手の自由な操作が可能となる。図2にそのようなロボットの腕の運動制御系を示す。

図中のフィードフォワード制御がそれにあたり、もし人工の腕のモデル化が百パーセント正確であれば、これが制御のすべてである。しかし現実には、モデルは不正確な部分を必ず有するし、また物を持った場合には慣性モーメントが変化する。そのような場合を補う部分がフィードバック制御アルゴリズムであり、それらを合わせて所要の制御が達成される。

3. 感覚代行装置とモデル

現在この分野で実用上最も効果を上げているのは、失われた感覚器の持っていた能力を基本的で典型的な機能に分離して、目的別、機能別に個別の装置を設計し問題を解決していこうとする、いわゆる機能分離型の研究である。視覚代行の問題を例にとるならば、読み書きといったコミュニケーションの問題と単独な自由行動といったモビリティの問題に分け、さらに読み取りの問題は印刷された文字、手書き文字、図や表などのパターンに対象を細分し、歩行補助の問題も、障害物検出、道案内を含む盲人の誘導、あるいは外部の状況をパターンとして把握する環境認識の問題などに分けて研究し、それぞれに適した装置を開発することがこれにあたる。

モビリティの問題においては、a) 次の一步の確保、b) 方向付け、c) 道案内をも含むナビゲーションの3つの問題の総合的な解決が必要とされる。機械技術研究所ではa)からc)の機能を総合した意味

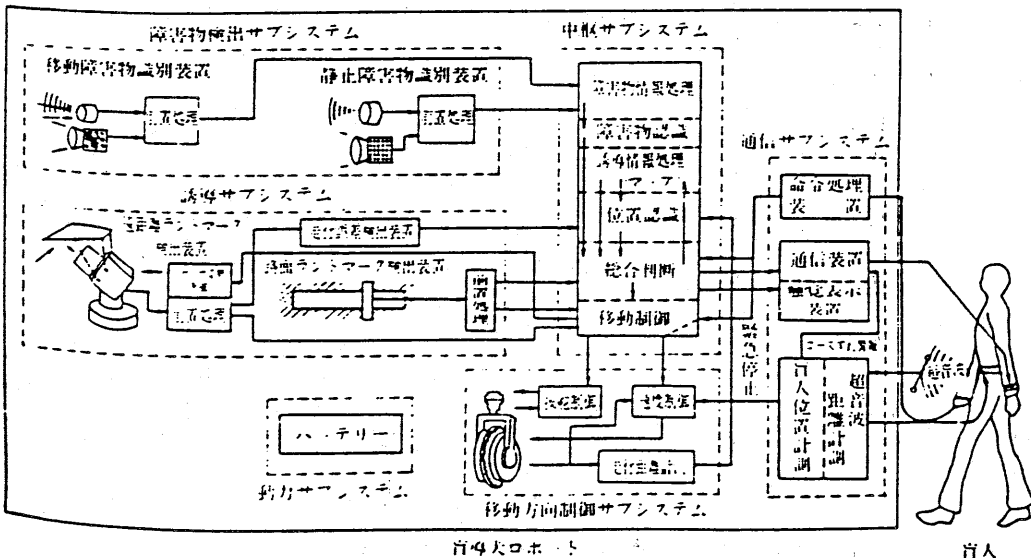


図3 盲導犬ロボットのシステム構成

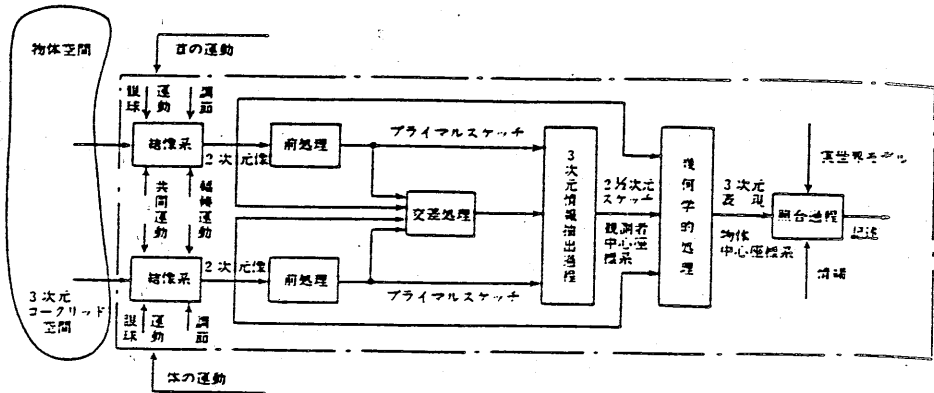


図4 人間型物体認識機械における視覚情報処理過程の概念図

での盲人の歩行補助が盲導犬により行われていることから、盲導犬を一つのモデルとした歩行誘導機械(盲導犬ロボット, MELDOG)の研究を行っている。現在までのところ MARK IV (図3) までの試作と、それらを用いた基礎実験が行われている。この研究では、a) ロボット自身が自由に街路を移動することを可能にするための技術開発、b) その時ロボットが得た情報を人に最適に伝えたり、逆に人の意志をロボットに効果的に伝えるためのコミュニケーション技術、の2つの課題を中心テーマとしている。

人間の視覚情報処理を計算機ないしロボットで模擬するコンピュータビジョンの研究も行われており、その中でもモデルは重要な役割を果たしている。図4は、人間型物体認識機械における視覚情報処理過程の概念を示したものである。

4. おわりに

人工の手足や感覚器を補綴として利用する研究の各段階において、生体のモデリングや機械・環境のモデルが重要な役割を果たす一方、実際に作られたハードウェアやその制御法、処理法が、ある意味では一つの生体のモデルとなり逆のインパクトを与える。どちらにしても、運動・感覚系の機能補綴において、機械ないしはモデルと生体との調和が今後いっそう重要なテーマとなろう。

〈参考文献〉

- 1) 舘 暲: 精密機械, 48: 572, 1982.
- 2) 舘 暲: 計測と制御, 20: 1113, 1981.
- 3) Tachi, S. et al.: Proc. 4th Annual Conf. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, p. 356, 1982.
- 4) Raibert, M.H. et al.: IEEE Trans., SMC-11-6: 418,

1981.

5) Jerad, R.B. et al.: Trans. ASME, J. Biomech. Eng., 102: 199, 1980.

動物による治療制御モデル

—その適用と限界について—

竹内 啓 (東京大学農学部畜産獣医学科家畜外科)

佐々木伸雄 大橋 文人



1. はじめに

治療制御モデルとして異常あるいは病的状態の動物を使用する最大のメリットの一つは、対象疾患のみに限らず他臓器を含めての生体全体の反応として、その治療手段の評価を多面的・総合的になし得る点であろう。今日このような目的で用いられる動物モデルは、主として正常な動物から実験的に作った病的状態と、動物に自然発生した疾患の二つに大別できよう。いずれの場合にも、前述した動物モデルの長所を利用するには、評価の対象とする事象の生体反応系や病態の特徴、殊に人間のそれとの違いについて正しい認識を持つことが必要であろう。

以上の観点にたつて、前者の例としては、実験的尿毒症犬を用いての血液透析実験上の問題点について、また後者の例としては、従来自然発生疾患のそ