

生体機能をもつ情報処理系の研究 (I)

— 神経細胞モデル IMICTRON の応用 —

Studies of Information Processing Systems having a Living Mechanism.
— Some Applications of Artificial Neuron, IMICTRON —

合 田 周 平*

Shuhei AIDA

生体のすぐれた機能を工学系に導入する研究は、バイオニクス的一端としてかなり行なわれている。しかし生体機能の本質については不明の点多く、一義的に定義することは困難といえる。この論文は、生体の神経系における生理学的データをもとに、新しい情報処理系 Time Interval Modulation Information Coding (TIMIC または IMIC) 系を定義し、これを工学的に実現する素子 IMICTRON について述べ、さらに生体機能のモデルおよび工学的システムにおいて TIMIC-系がすぐれた機能を発揮するための諸方式について、2 回にわたって解説する。まず、前半においては TIMIC-系について論じ、これを用いた生理学的論理回路や生体機能のモデルなどの基本的な諸問題について述べる。

1. 生体の機能

人間が動物と異なり、現在のように高度に進歩することができたのは、人間が自らの能力を拡張するための道具、すなわち機械をつくり、さらに言語、文字などの情報伝達手段を使ったことにあるといわれる。

刺激 → 感覚器 → 中枢 → 効果器(手足) → 行動のシステムの中で、主として前半を拡張する道具が「通信」であり、後半を延長する道具がいわゆる「機械」であると素朴に考えると、通信方式や機械の構造が人間に都合のよい形式になっていなければならない。そこで工学研究者にとって人間の諸機能の研究が必要となってきた。たとえば視覚を拡大する光学機械、写真、印刷、ファクシミリ、テレビなどの広義の画像伝達技術では、伝送系の末端器としての視覚の性質が研究されている。また人間全体の機能も研究され人間のためのよりよい機械が考案されている。これらの研究は情報を主としたもので、生体の内部構造を black box とした研究である。人工頭脳といわれる電子計算機は、大脳中枢の能力拡大をねらったもので、人間の欠点というべき論理の浅さ、情報処理の遅さと不正確さを補っているものと考えられる¹⁾。

Norbert Wiener が生物系と機械系の間に存在する共通原理を「サイバネティクス」として、1947年に提唱して以来、生物系の機能を機械系とみだてる研究が行なわれ、さらに生物系に存在するすぐれた機能を工学系に導入しようとする研究が世界各所で行なわれ、バイオニクスとして、新しい学問の形体をとりつつある。

(1) 外在する機能

歩き、走り、手を使うというような、生体の外側からみた機械的構造面をとらえ、これらの機能を工学的に解

析し、現存するメカニズムを用いて機械化する研究で、倒立機械²⁾や人工の指³⁾などがあげられ、これらは一つには、はん用性のあるハンドリング機械などの実現をめざすものといえ、自動制御などの分野で重要な役割をはたすものである。

(2) 内在する機能

生体の内部構造に注目する研究で、おもに神経系の情報伝達系のすぐれた機能を工学的に方式化し、工学装置に应用することを目的とするものである。ここで解説する研究はこのように生体に内在する機能の工学的方式についての筆者の考案を中心に、その特徴、機能について述べ、工学系はもとより、人間-機械系 (Man-Machine System) が確立した際に必要になる新しい有機的なシステムを提示するものである。したがって、神経細胞ニューロンのモデル化に端を発したものであるが、それによる生理学的な脳モデルなどの研究を目的としたものではなく、生体の神経系のもつ機能を広くシステムに導入し、新しい情報処理方式を確立することが目的である。その意味からも、神経系の情報処理系をもとに、工学的な Time Interval Modulation Information Coding (TIMIC または IMIC) 系を定義し、この系を満足する素子ということで、単にニューロン・モデルとせず、IMICTRON⁴⁾と名づけ、とりあえずエレクトロニクスにより実現したが、その目的によっては電気化学的素子または流体素子を用いることも十分考えられる。

2. Time Interval Modulation Information Coding (TIMIC) 系

TIMIC-系は、生体の情報処理機能をもつ情報処理方式といえ IPFM(Integral Pulse Frequency Modulation)⁵⁾ や Σ PFM (Sigma Pulse Frequency Modulation)⁶⁾ のように PFM(パルス周波数変調)の拡張形である。一般

* 東京大学生産技術研究所第2部

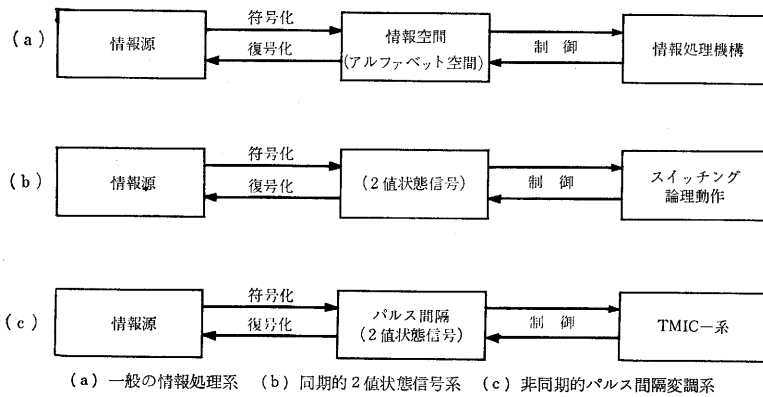


図1 情報処理系 (TIMIC⇒TIMIC)

に情報処理系は、情報源、情報の符号化、処理機構より成り図1のように分類して考えられる。

図1(a)は、一般の言語などの認識系にみられるごく自然な情報処理系で、(b)はブール代数で表わされる、0、1をもとにした通常の同期の情報処理系である。このような考えから TIMIC-系を示すと、図1(c)となる。すなわち、情報はつづくパルス間隔で表わされる非同期系である。TIMIC-系においては、出力パルスは閾値(threshold)、積分その他の複雑な内部機能により決定されるとみなされ、つぎのような特徴と機能をもつ。すなわち。

- 1) 系の動作はアナログ的であるが、伝達はデジタル的で、デジタル系のもつ利点をもかね備えているアナログ変調をもとにした系である。
- 2) 同程度のデジタルまたはアナログ系よりも、より多くの容量をもたせることが可能である。
- 3) デジタル系または他の情報処理系との結合を容易にする。すなわち、デジタル⇄アナログの変換に特別の変換部を必要としない。
- 4) 出力パルス系列の時間間隔は、系のそれまでのパルス・パターンすなわち、パルスの数と周期に依存する。
- 5) TIMIC-系は、生体機能の高度な制御である Homeostasis* を可能にしている基礎的性質をもつと考えられ、広範囲の情報を扱い(アナログ、デジタルのいずれをも入力としうる)これを処理することができる。このことは TIMIC-系により高度の制御が可能であると考えられる。

一般に「情報処理系」は人間の存在するあらゆる集団に見いだされ、特定の定義を下だすと自体困難であるといえる。ここでは、図1(c)に示した系をもとに、生体機能をもつ情報処理系についての、符号化、制御およびそれを実現する要素について述べる。一般に物理的な系または装置の限界は、理論的な最大容量で示される。

すなわち、通信系においては、1秒あたりのビット数**で表わされ、これをもとにその系の効率が決まされ、その情報処理系における設計がすすめられる。

TIMIC-系において、2値状態の信号による情報表現の手段をとったのは、それらが物理的実現性と信頼性において、すでに有利であることが確かめられているからである。また、通常連続する同期的なパルスのパターンによる情報処理方式をとらずに、非同期的に連続するパルス

の間隔による方式としたのは、それがより多くの情報を含みうることにある。とくに、TIMIC-系においてはパルス間隔が現時点において一義的に決まらず、過去のパルス・パターンの状態により、時間的なひろがり、すなわち空間的な要素をもって決定されることである。この系は生体の神経系にみられる2値状態信号によるパルス伝達系を、デジタル計算機においてシミュレーションする研究を行っていたとき^{7,8)}、神経細胞による情報処理系の機能と特徴とを考慮し、新しい工学的情報処理系として方式化したものである。

Shannon などにより展開された情報理論をみると、どんな情報も通信路を通るときには2値状態信号、または少なくとも PCM 信号の形で伝送されるものと想定される。この傾向は、最近さかんになってきたデータ伝送により裏書されているし、また実際の通信も通信路を通るときはすべてパルスの形に将来置換される前おれではないかと想像されている⁹⁾。これらの事実を考えると、生体の情報処理系をもとに開発した TIMIC-系が、

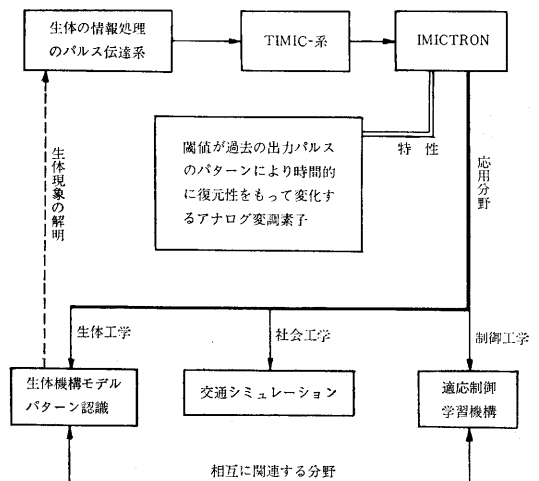


図2 神経細胞の機能を持つ制御素子 IMICTRON (または TIMIC-系) の応用系列

* 恒常性ともいわれ、生体の内部において、ホルモンその他の生理学的平衡が自動的にバランスし生体機能を保つこと。

** 情報量の単位数で、2進数1桁で表わされる情報量の数

制御を目的とした通信の自然の姿であり、今後このような系に落ち着くと考えても、けっしてとっぴなことではないといえる。

一般に、通信の目的は知識を伝えるとか意志を疎通することであるといわれるが、ここでいう通信とは制御することである。すなわち、神経系においては、通信の目的は手足を制御したり、体温を調節したりすることであり、人工衛星や宇宙ロケットの姿勢制御や軌道修正のための通信も、自動制御系の一部として行なわれているもので、こうした通信方式に TIMIC-系がすぐれた機能を発揮することを、つぎに述べる基本モデル IMICTRON をもとに、図 2 に示した応用範囲についてその代表的なものを解説しよう。

3. 基本モデル IMICTRON

IMICTRON は、さきに定義した TIMIC (または IMIC)-系の動作を行なう基本素子として考案したものである。したがって IMICTRON の解析は TIMIC-系の解析ということもできる。また IMICTRON は、一般的には、神経細胞ニューロンのモデルであるが、従来いくつか行なわれてきた¹⁰⁾局所的な神経モデルの研究とは異なり、本研究の目的は、神経モデルとしてはもとより生体機能をもつ情報処理系として、図 2 に示したように制御工学をはじめとし広く社会工学の分野にまで応用することである。

(1) IMICTRON の機能

IMICTRON は神経細胞のもつ機能、すなわち、興奮および抑制性入力、不応期、時間的に変化する閾値をもとに、出力パルスを発生するもので、要約するとつぎのような諸機能をもつ。すなわち、

- 1) パルスまたは連続信号いずれをも入力信号となり正は興奮性入力、負は抑制性入力とみなす。
- 2) 内部電位 $I(t)$ は、入力信号 $x(t)$ が存在するときはその強さにより 1 次遅れをもって増加し、存在しなければ 1 次遅れをもって減少し、ゼロに到達する。また出力パルスの存在により、その時刻 t_p でゼロにリセットされる。すなわち $I(t) = 0$ 、 $t = t_p$ のとき
- 3) 出力パルスは振幅 m 、パルス幅 h すなわち強さ $\mu = m \times h$ で示される正パルスとする。
- 4) 時間的に変化する閾値 $\theta(t)$ は、出力パルス発生の基準となるものである。すなわち、内部電位 $I(t)$ が閾値 $\theta(t)$ に等しくなると、その時刻 t_p において出力パルスを発生し、かつ内部電位をゼロにリセットする。一方、閾値 $\theta(t)$ は出力パルスにより増加し(パルス幅 h だけ)その後減少して、つづくパルスがなければ最大閾値 θ_{max} に復元する。もし、つづく出力パルスが存在すれば閾値の最低レベルは次第に低下し、最小閾値 θ_{min} に到達する。このように IMICTRON の閾値は、復元性をもつ

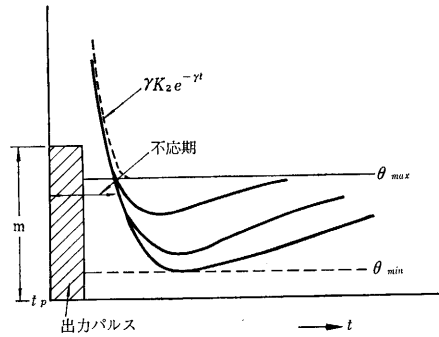


図 3 出力パルス周期と時間的に変化する閾値との関係。パルスのひん度が高くなると、閾値レベルは次第に低下し、最小値 θ_{min} に到達する

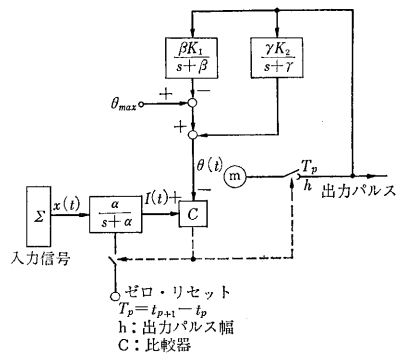


図 4 IMICTRON のサンプル値系モデル

て時間的に変化するもので、この特徴を用いて、適応制御、学習機構などに応用することが可能である。これらの機能を図 3 に示した。

5) 不応期*は最少パルスくり返し間隔に相当し、図 2 および 3 における要素 α と $\gamma K_2/(s+\gamma)$ により決定される。

(2) IMICTRON のサンプル値系モデル

TIMIC-系をデジタル・シミュレーションするために、TIMIC-系の動作をする基本モデル IMICTRON をサンプル値系モデルで示し、状態ベクトルによる解析などの基礎としたもので、図 4 はそのブロック線図である。

(3) IMICTRON の入-出力関係

IMICTRON の入-出力関係は、さきにあげた機能のうち $[I(t), \theta(t), \mu]$ の 3 要素で特性づけることができる。これらの動作を明確にするために、次のような定義をもうける。すなわち、図 4 において

* 神経細胞においてみられる現象で、刺激(入力)の強さにかかわらず、つづいて興奮し出力パルスを発生するに要する最少時間間隔をいう。

1) m : 定電圧

C : 比較器

T_P : 出力パルス周期

$$T_P = t_{P+1} - t_P$$

$$K_1 \ll K_2, 0 < \beta \ll \gamma, 0 < \alpha \ll \gamma$$

2) $I(t) - \theta(t) \geq 0$ となる時刻 $t = t_P = n\tau$ において, 出力パルス $m(t)$ を発生する. (τ : 基本サンプリング周期)

3) $t_0 = 0 (P = 0), I(t) = 0, \theta_0(t) = \theta_{max}$ で, かつ出力パルスのない状態を IMICTRON の休止状態と定義すると, ある期間, 入-出力が存在しなければ IMICTRON を休止状態にもどして考えることができる.

ここで, 入力 $x(t)$ にたいする IMICTRON の出力パルス系列を $m(t)$ とすると,

$$m(t) = m \sum_{P \geq 1} [U(t - t_P) - U(t - t_P - h)] \quad (1)$$

U : 単位ステップ関数

h : 出力パルス幅

なお, 出力パルス発生時刻 t_P は

$$t_P = \text{Min}[t \{ I(t) - \theta_{P-1}(t) \geq 0, t > t_{P-1} \}]^* \quad (2)$$

$P \geq 1$ の整数

$\theta_{P-1}(t)$: $t_{P-1} \leq t < t_P$ における閾値レベル

$\theta_0(t)$: $t_0 \leq t < t_1$ すなわち休止状態から最初のパルス間における閾値レベル

$$\theta_{P-1}(t_P^-) = I(t_P^-)$$

$t_P \leq t < t_{P+1}$ における閾値レベルは

$$\begin{aligned} \theta_P(t) = & \theta_{max} + m \sum_{P \geq 1} [K_2 \{ (1 - e^{-\gamma(t-t_P)}) \\ & - (1 - e^{-\gamma(t-t_P-h)}) \} - K_1 \{ (1 - e^{-\beta(t-t_P)}) \\ & - (1 - e^{-\beta(t-t_P-h)}) \}] \end{aligned} \quad (3)$$

以上のことから出力パルス系列 $m(t)$ は入力信号 $x(t)$ が与えられると一義的に決定され, この系は非線形要素であるといえる. 動作の一例として, 一定入力について考えよう.

$$x(t) = K (\text{一定入力}), \theta_{max} < K$$

i) $t_0 \leq t < t_1$

$$I(0, t) = \int_0^t \alpha K e^{-\alpha\tau} d\tau \quad (4)$$

$$K(1 - e^{-\alpha t}) = \theta_0(t)$$

$$\theta_0(t) = \theta_{max}$$

$$t_1 = -1/\alpha \log(1 - \theta_{max}/K)$$

ii) $t_P \leq t < t_{P+1}$

$$I(t_P, t) = \int_{t_P}^t \alpha x(\tau) e^{-\alpha(t-\tau)} d\tau = \int_{t_P}^t \alpha K e^{-\alpha(t-\tau)} d\tau \quad (5)$$

式 (4), (5) をふくむ IMICTRON の動作を図解すると図 5 となる. この動作は図 6 のようなアナログ計算機シミュレーションにより容易に確かめられる.

* $t_P = \text{Min}[t | X, Y, \dots]$

条件, X, Y, \dots を同時に満足する最小 (Min) の t を t_P と定義すること.

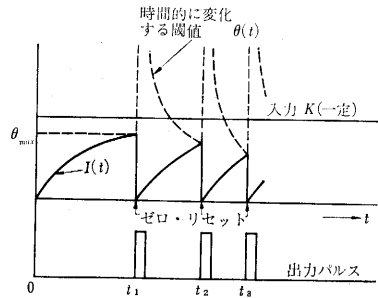
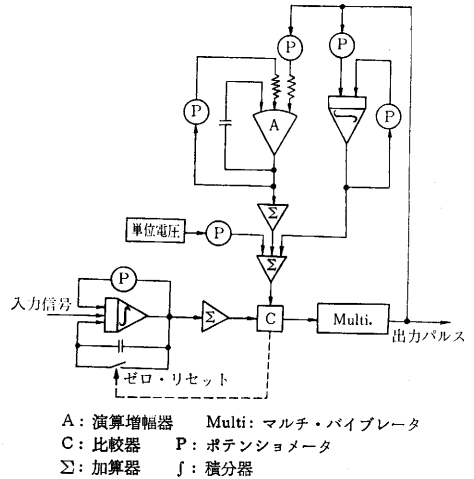


図 5 一定入力信号にたいする閾値の変化と出力パルスとの関係(図 6 より得られる)



A: 演算増幅器 Multi: マルチ・バイブレータ
C: 比較器 P: ポテンシオメータ
Σ: 加算器 J: 積分器

図 6 IMICTRON のアナログ計算機によるシミュレーションのブロック線図

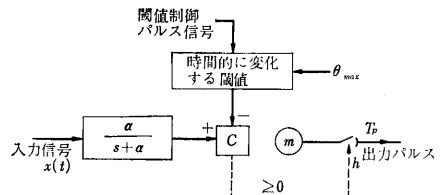


図 7 拡張-IMICTRON のブロック線図

(4) 拡張-IMICTRON

生理学的にみられる生体機能を満足するため, 通常の IMICTRON を拡張したもので, 基本的には閾値制御パルス信号を用いて IMICTRON の出力パルス系列を制御したもので, 図 7 のようなブロック線図で示され, エレクトロニクスにより容易に実現される. また, 内部電位 $I(t)$ は出力パルスによりゼロ・リセットしないのも異なるところである.

1) On-IMICTRON: 視覚神経系において見いだされた現象で, 光刺激入力にたいし, ある遅れをもってパルスが数個, 出力として存在する細胞を IMICTRON で実現したものである. すなわち, 図 7 の入力 $x(t)$ の存在に

よりパルスを1個発生させ、これを閾値制御信号として用いたもので、それによる閾値の復元性をもつ時間的な変化により遅れと数個のパルスを発生させることが可能となる。したがって、On-IMICTRON の出力パターンは、入力 $x(t)$ と閾値変化 $\theta(t)$ により決定される。

2) **Off-IMICTRON**: この現象は、光刺激入力が中断されることにより生じる細胞の出力パルス・パターンを IMICTRON で実現したもので、入力中断ののち、わずかの遅れをもって数個のパルスを出力とする。ここでは、図7の入力 $x(t)$ が中断されたとき1個のパルスを発生させこれを閾値制御信号として用いたものである。

これらの現象も、IMICTRON のもつ閾値変化の特性により容易に実現されたもので、そのうえ時間領域においても従来のモデルより、アナログ的なあいまいさをもっていることなどは注目に値する。また、これらを用いて生理学的 On, Off Logic を開発し¹⁰⁾、シンプルモデルとして、動く物体を認識する視覚モデルを考案したので説明しよう。

4. 生理学的 On, Off Logic によるパターン認識回路

TIMIC-系を用いた視覚モデルともみなされるもので説明上図8のようなきわめてシンプルな方向認識回路について述べる。ここで、円の中に“on”または“off”と示してあるのは、それぞれ、さきに述べた On または Off-IMICTRON を表わし、エレメント、1および2は光刺激を電気信号に変換する受容器、3、4は通常の IMICTRON で、これらの出力パルスの有無により、物体の移動方向を認識することから認識 IMICTRON とよぶ。いま、もし両方の IMICTRON に、同時に出力パルスが存在すれば、移動速度が速く認識不可能と考える。このことは、われわれの視覚においても、速度の増加により点光源が線光源として認識され方向性をまったく見失うなどしばしば経験されることである。方向認識の速度限界は、TIMIC-系によるモデルにおいては、IMICTRON のもつ遅れ、閾値変化などの要素によりある程度、可変性をもって決定することができる。

図8において、もし物体が、受容器1から2に移動すると認識 IMICTRON 3は、On および Off-IMICTRON

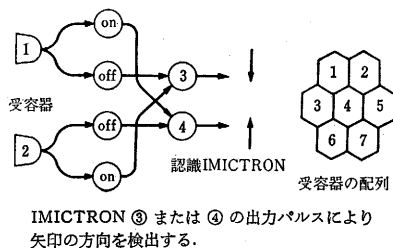


図8 生理学的 On, Off Logic による IMICTRON の方向認識回路

の出力を同時に入力とするので、認識 IMICTRON 3 の内部電位が十分増加し、閾値レベルに達するので、数個の認識パルスを発生する。一方、認識 IMICTRON 4 はそれぞれ異なる時刻に On および Off-IMICTRON の出力を受けるので、認識 IMICTRON 4 の内部電位は十分に増加せず、パルスを発生しない。また、生じたとしても1個程度で認識するために十分なパルス系列とは認められない。一度、方向を認識した後、IMICTRON の閾値レベルが十分に最大値 θ_{max} まで復元しないうち、逆方向より光源が移動すると、さきに述べたように両方の認識 IMICTRON に出力パルスを生じ、認識不可能となる。このように、認識能力は On および Off-IMICTRON の遅れと、認識 IMICTRON の閾値レベルの復元性によって決定される。

図9は図8の入-出力関係を図解したもので、点光源が受容器1から2に移動したときの認識 IMICTRON 3, 4への入力を示している。また、図8に示したように受容器をかめのこ型に配置することにより、デジタル計算機によりシミュレーションを行ない、移動物体の追跡と認識についての視覚モデルなどの研究に一役を演じている。

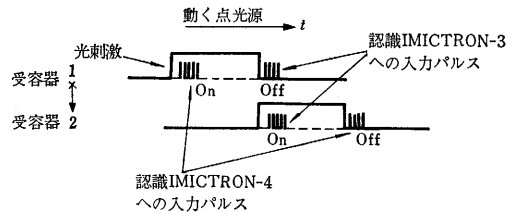


図9 図8の入-出力関係の図解

これらのことからわかるように、TIMIC-系はあいまいさをもった論理回路を形成するともいえ、時間的空間的にひろがりをもった論理として、生体の認識系のモデル化には最適であると思われ、N. Wiener が指示したような生物系のオートマトンが可能であれば、ここに提案した TIMIC-系のような情報処理系により実現されるといっても、決して的はずれではないと思う。

つぎに生体の感覚器のモデルとしての IMICTRON の応用について述べ、生体の神経機能との類似性を明らかにしよう。

5. 感覚神経系と IMICTRON

ここでは、IMICTRON が神経細胞モデルとしても、かなりすぐれたものであることを神経系の受容器のもつ諸機能との比較において述べる。まず、これらの研究をすすめるにあたって、つぎの2項目に注目しよう。すなわち

- 1) 神経細胞のモデル化には、神経系の電気化学的データを定量的かつ定性的に分析し、これを用いることで

ある。これらの多くは非線形で、かつ時間的に変化する特性をもつため数学的な解析がきわめて複雑となる。そこで、いきおいデジタルまたはアナログ計算機によるシミュレーションが行なわれる。こうしたことにも生理学者と工学研究者の共同が必要となってくる。したがって神経細胞の生理学的研究の進展とともに、より高度なモデル化を実現し、これをもとに生体機能の現象の解明に役立て、生理学の発展に寄与することを目的とする。

2) 神経系や感覚受容器の複雑な動作の研究から、それらの動作の根本的なものをとらえた単純なモデルの開発が、いまなお残された問題である。この問題の解決には、いくつかの定義をもとにした工学的な方式を提案することで、こうした研究は、生理学者よりはむしろシステム工学の研究者にとって容易であり、また興味あることである。すなわち、生体機能の特異性に注目し、最適なモデルを定義することは、それが適応機能やデータ処理の分野にも役立つと考えることができるからである。

すでにお気づきと思うが、上にあげた2項目はこの種の研究をすすめる方向性を示したもので、筆者の意図するものは後者であることはいままでのことから明らかであるが、それによるモデルも当然前者の事項をある程度満足し、従来のこの種のモデルよりもすぐれた点をもつにこしたことはない(図2の破線はこのことを意味する)。

(1) 感覚受容器のモデル

生体の感覚受容器の概略図とそのモデル化のためのブロック線図を図10に示した。感覚刺激たとえば圧力など

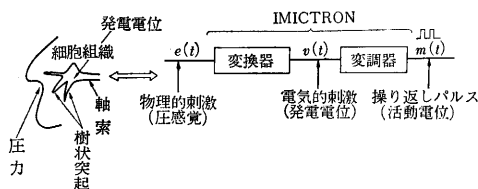


図 10 感覚受容器とその等価回路

は、神経細胞の樹状突起(dendritic branch)の変形により分極性(polarization)の静止電位(resting potential)を喚起し、これをもとに感知されるとみなされる。ここに示した感覚器モデルはつぎの2要素をもつ。すなわち

- 1) 変換器: 物理的刺戟 $e(t)$ を電気信号 $V(t)$ に変換する要素
- 2) 変調器: 電気信号 $V(t)$ による情報を、活動電位(action potential)とよばれるパルス信号系列に変換する要素。

IMICTRON はこれら2要素をかねそなえていると考えられる。つぎにIMICTRONによる生体の受容器の電気的特性のモデル化について代表的なものについて述べる。

- 1) 刺戟と活動電位(パルス信号)の形状とは無関係

である。

IMICTRON の場合も、入力信号と出力パルス波形は無関係で、パルス発生時刻にのみ関係する。

- 2) 一定の刺戟にたいし、電気信号 $V(t)$ は指数関数的に増加し、刺戟の中断により減少する。

IMICTRON においては、内部電位 $I(t)$ が、これに相等するものである(本文3(3)節参照)。

- 3) 連続的に減少する閾値曲線: IMICTRON の時間的に変化する閾値 $\theta(t)$ により表現される(本文3(3)節参照)。

- 4) 刺戟(入力)の強さにかかわらず、つづいて興奮し出力パルスを発生するために要する時間間隔、すなわち不応期が存在する。

IMICTRON においては、閾値 $\theta(t)$ において容易に実現することができる(図3参照)。

- 5) 圧感覚において、一定の刺戟(入力)により、初期に高ひん度の放電を示すが次第に低ひん度となり持続する現象を順応(adaptation)という。また、触感ではこれが持続せずに中止する。したがって圧覚は持続性の刺戟に応じ、触覚は一過性の刺戟に応ずる。

これらの現象は、いずれも拡張IMICTRONの最大閾値 θ_{max} をそれぞれ一定入力信号より低く(順応-IMICTRON)または高く(On-IMICTRON)とることにより実現できることは3(4)節において容易に理解されよう。

- 6) 二つの刺戟(入力)により生ずる活動電位の大きさは、個々の刺戟が十分大ならば、二つを別々に刺戟して生じる活動電位の和より小で、これを減却(occlusion)とよぶ。また刺戟がある程度小であれば、二つを同時に刺戟して生じた活動電位の大きさは、別々に刺戟したときの活動電位の和より大であり、これを促進(facilitation)という。これはまた適当な一定の刺戟により放電のひん度が次第に高くなることも解せられる。

IMICTRON においては、減却は、入力信号による内部電位 $I(t)$ の特性により説明され、促進は一定入力にたいする出力パルスのひん度が時間的に変化する閾値により次第に高くなることにより実現される。すなわち、この性質はIMICTRONの特徴とするものの一つで、これを用いて後半に述べる適応制御などを構成することができる。

神経細胞の工学的解析には、著名なHodgkinとHuxleyの方程式があり¹¹⁾、IMICTRONも部分的にはこれを満足するが、この種のモデルとしては、細部において神経細胞そのものと一致する必要はなく、さきにも述べたように神経系の情報伝達系のシミュレーションが他のモデルより単純かつ容易であることが必要でIMICTRONはその条件を満たすものといえよう。またIMICTRONは、すでに述べたように、パラメータを容易に変えられ簡単に種々の機能を追加した拡張形にすることができる

特徴がある。

従来までも、種々のモデルが提案され神経系のシミュレーションに用いられたが¹³⁾、一定閾値を用いたため、ここに述べた生理学的な諸機能をすべて実現することは困難であった。しかし IMICTRON のもつ“復元性をもって時間的に変化する閾値”(図 3 参照)の機能によってこれらの問題は容易に解決されたといえよう。さらに、この機能は生体のもつ特有な適応作用や人間のもつ論理的あいまいさに通じるものといえ、つぎに述べる学習系、制御系さらに社会工学的現象のシミュレーションにも大きな役割を演じるものである。(1967年7月3日受理)

文 献

- 1) 樋渡: バイオニクスについて, 情報の科学-1, 視聴覚情報研究会 (AVIRG) 編, 丸善, (1967).
- 2) 村上, 森: バイオメカニクス, 医用電子と生体工学, 日本 ME 学会誌, VOL. 5, No. 1 (1967.1).
- 3) 森: 指の機能と人工の指, 自然, (1966.10) など.
- 4) Aida, S: Theory and Applications of IMICTRON: A Control Element having the Mechanisms of a Living Neuron, 東京大学生産技術研究所報告, VOL.17 No. 5 (1967.3).
- 5) Jury, E. I. & Blanchard, J. G.: A Non-Linear Discrete System Equivalence of Integral Pulse Frequency Modulation Systems, Joint Automatic Control Conference, (1967.6).
- 6) Pavlidis, T. & Jury, E. I.: Analysis of a New Class of Pulse Frequency Modulated Feedback Systems, IEEE, Trans. AC, VOL. AC-10, No. 1 (1965.1).
- 7) Aida, S. & Cheng, G: The Realization of On, Off Etc., Cell-Net by Artificial Neurons, and their Utilization, IEEE, Proc. of Eng. in Medicine & Biology (1964.11).
- 8) ibid: A Dynamic Visual-Pattern-Recognition Network of Artificial Neuron, Digest of the 6th int. Conf. on Medical Electronics & Biological Eng., (1965.8).
- 9) 関: 通信についての語義的考察, 情報の科学-1, 視聴覚情報研究会 (AVIRG) 編, 丸善, (1967).
- 10) 合田: 神経細胞モデル IMICTRON による生理学的 On, Off Logic, 電気通信学会秋期大会 No. 93 (1966.11)
- 12) Hodgkin, A. L. & Huxley, A. F, A Quantitative Description of Membrane Currents and its Application to Conduction and Excitation in Nerve Axon, Proc. IRE, VOL. 50, No. 10 (1962.10).
- 13) Jury, E. I. & Blanchard, J. G., "On the Neuron Modeling" Univ. of Calif. Research Report (1966) など.

次 号 予 告 (10 月号)

巻 頭 言

雀部高雄君を悼む.....江 上 一 郎

研 究 解 説

将来の製鉄法のための研究について.....中 根 千 富
大 蔵 明 光

生体機能をもつ情報処理系の研究 (II)合 田 周 平
——神経細胞モデル IMICTRON の応用——

自己同期符号について.....安 田 靖 彦

SCR を用いた交流サーボ増幅器原 島 文 雄
内 田 克 己

設計方法のシステム化.....池 辺 陽

研 究 速 報

MOS 形 FET を用いた A-D 変換器用局部復号回路.....森 脇 義 雄
高 木 羽 下 禎 英 雄
西 森 英 武 美 弘

急しゅん波測定における負レスポンス時間.....河 村 達 雄

データ伝送におけるひずみ補償の一方式.....高 木 幹 雄

研 究 室 紹 介

試験溶鋳炉研究グループ.....江 上 一 郎
中 根 千 富