

## 本田財団レポート No.13

### 「医学と工学の対話」

東京大学教授 涩美和彦

#### 本田財団レポート

- No.1 「ディスカバリーズ国際シンポジウム ローマ1977」の報告 昭53.5  
電気通信大学教授 合田周平
- No.2 異文化間のコミュニケーションの問題をめぐって 昭53.6  
東京大学教授 公文俊平
- No.3 生産の時代から交流の時代へ 昭53.8  
東京大学教授 木村尚三郎
- No.4 語り言葉としての日本語 昭53.10  
劇団四季主宰 浅利慶太
- No.5 コミュニケーション技術の未来 昭54.3  
電気通信科学財団理事長 白根禮吉
- No.6 「ディスカバリーズ国際シンポジウム パリ1978」の報告 昭54.4  
電気通信大学教授 合田周平
- No.7 科学は進歩するのか変化するのか 昭54.4  
東京大学助教授 村上陽一郎
- No.8 ヨーロッパから見た日本 昭54.5  
NHK解説委員室主幹 山室英男
- No.9 最近の国際政治における問題について 昭54.6  
京都大学教授 高坂正堯
- No.10 分散型システムについて 昭54.9  
東京大学教授 石井威望
- No.11 「ディスカバリーズ国際シンポジウム ストックホルム1979」の報告 昭54.11  
電気通信大学教授 合田周平
- No.12 公共政策形成の問題点 昭55.1  
埼玉大学教授 吉村 融
- No.13 医学と工学の対話 昭55.1  
東京大学教授 涩美和彦

## 講師略歴

渥美和彦（あつみ・かずひこ）

昭和3年 大阪に生まれる。

昭和29年 東京大学医学部を卒業。

現在 東京大学医学部教授

及び東京大学医用電子研究施設長

専攻 医用生体工学

著書 「人工臓器」(岩波新書)「心臓置換」(東大出版)

「人工臓器」(東大出版)「科学の役割」(共著・潮出版)

「科学文明の復権」(共著・日経新聞)「生命と情報」(共著・学研)

「医療情報システム総説」(共著・企画センター)

「生命と機械」(共著・共立出版)「人工臓器と臓器移植」(共著・共立出版)

はじめ多くの著書がある。

このレポートは昭和54年10月25日、国際文化会館において行なわれた第9回本田財団懇談会の講演の要旨をまとめたものです。

## はじめに

医学とは、いうまでもなく患者を治すことが最大の使命です。病気の原因だとか経過がよくわからなくて、ともかく病気による苦しみを和らげ、痛みを止めればよいと言うことから、医学は言わば経験的な学問であったわけです。人類の誕生以来、今日まで次から次へと多くの病気が現われたため、医学はそれらの征服に追いまくられてきました。

最近になって、やっと医学に余裕がでてきて、計画的な対策がとられるようになったと言う状況です。昔は医療と言えば、薬などで痛みを止める、苦しみを和らげると言った対症療法が中心で、根本的治療法を行なうには至らなかったのです。つまり、医療の方法は論理的でなかつたため、「医学は科学でない」という時代が実は、19世紀くらいまでつづいていたのです。19世紀後半になってやっと、フランスあたりで「医学は科学である」と認められるようになったのです。



## 医用工学

この医学をよく分析してみると、医学と薬というものは切っても切れない関係でした。薬、つまり化学的な物質で病気の診断をして、化学的な物質で治療をするという、化学を中心であったわけです。しかしこの20数年の間に、物理とか工学がより緊密に医学に入りこんできて、これらの新技術や新知見が医学を近代化したというのが、最近の医学の傾向だと思います。

従って、昔は病院に行きますと、病床に患者が寝ており、その傍に机があって花かなにかが置いてあるというような非常に簡素な病室だったわけです。しかし、最近は心電計とか脳波計、超音波診断装置のような様々な測定機械、あるいはコンピューターまでが並んでいて、たいへん大がかりな機械化が行なわれています。

こういう分野を医用工学と言い、今日の近代医学の大きなテーマとなっており、これをメディカル・エンジニアリング (Medical Engineering) と呼んでいます。つまり医学の工学です。

この分野が最近また広がり、これに生物とか生体と言うものが入ってきて医用生体工学、バイオメディカル・エンジニアリング (Biomedical Engineering) と呼んでいます。これを省略してM・Eと我々は呼んでおり、この領域にはいろいろなものが含まれます。例えば心臓から出ている電気を調べて心臓の動きを調べる心電図とか、脳が働いていると脳波が出ますがそれを測定するものとか、血圧とか血流や体温などを計測する器械、あるいはそれらのデータを情報処理する器械などいろいろなものがあります。

今日は、人間の身体を機械あるいは工学の技術で作り上げる人工臓器の話ををしてみたいと思います。

## 人工臓器

現在、人工臓器という分野は非常に進歩しており、脳を除いたほとんど全ての人工臓器が研究されています。つまり脳を機械で変えてしまうとその人でなくなってしまうため、医学においては、人工的な脳は存在しませんが、それ以外は全て研究あるいは開発されていると言ふことです。

### ●人工の手

サリドマイド中毒と言うのが10数年前に我が国にも発生しました。この患者さんは不幸にも両手や両足が丁度つけ根から無いわけです。片手の場合には、片手で食事もできるし、字もかけますが、それが両手がない子供となると、字も書けないし、食事もできません。しかし、今までの人工の手と言うのは形だけ似せて造ってありますが、機能はありません。このような人工の手では、両方の手がないと生活できないわけです。

そこで、字が書ける、スプーンが持てる、はしが握れると言う、文字通り機能を持った人工の手を造ると言うことが必要となってきたわけです。人工の手の中には動かすエネルギーが入っていますし、いろいろなセンサー、例えば物を握る時にどれだけの圧力がかかっているかを計るセンサー等が、ぎっしりと入っています。さらに驚くことに、この子供が右手を動かそうとすると、脳からの神経信号が手のつけ根の所の筋電図を発生させ、それを感知して、フィードバックにより右の人工の手が脳の指令通りに動くのです。我々がコップを取りうると思ふと、簡単にコップを割らずに取れるわけですが、この人工の手ですと感触が悪いのでコップを割ってしまうのです。また、我々は極めてスムースに手を動かせますが、人工の手はぎこちなく動きます。そういう意味で我々の体は実にうまくできていると言うことが、人工の手を造ることによって始めてわかります。

しかし、最近では人工の手の技術が進歩して、だいたい人間の手に近い働きを持った手の利用が可能になってきています。

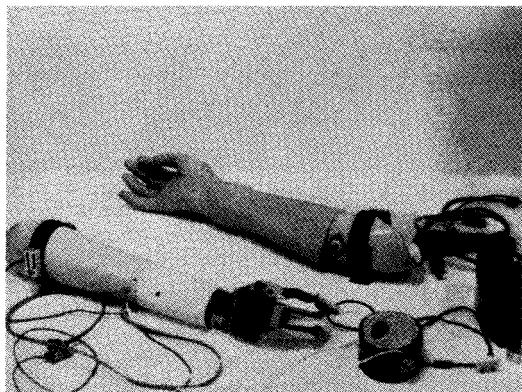


図-1

## ●人工の足

我々は現在二本足で歩いています。赤ん坊の四つ足から二本足になる時、非常に苦労して覚えた事をもう忘れ、二本足で歩くのが当然として、不思議に思わないのですが、人工の足を二本足で歩かせると、なかなか歩けないです。一番歩きやすい人工の足は六本足なのです。六本足ですと階段も登れるし、安定も非常によいのですが、人工の二本足ですと非常に歩きにくいし、前へ進めないです。

このように人工の足の研究をすることは、我々がどの様に歩くのかが理解できると言うことになります。

## ●人工の骨

次に、人工臓器もだんだん人体の中に入っていきます。

骨折あるいは腫瘍などでやむを得ず骨を切除する時、骨の代わりが必要になってしまいます。人工の骨の材料は金属かプラスチックかと言うことになりますが、実は金属が非常によい材料なのです。金属の中でもステンレスから合金、最近はチタンのようなものまで使用されます。チタンという金属は非常に良い材料として体の中へ入ります。もし悪い金属を使うと、それが生体になじまないために拒絶されて体外に出されるのです。その意味で体になじみやすい材料で、しかも強いと言うことになると、チタンなどの金属が使われます。

人工の股関節は、大腿骨と骨盤の所の関節でその代りをするわけで、大腿骨と受け皿の二つから成り立っています。その時に大腿骨も受け皿の方も金属で造るとうまくいかないのです。つまり、固いチタンという金属と同じチタンの金属の受け皿ですとうまくいかず、生体の中でその金属の粉ができ炎症を起こすのです。

しかし、例えばテフロンのような別の材料を中間に入れると非常にうまくなじみ、スムースにいくのです。このように金属とプラスチックを組み合わせるという所に、うまい知恵があるようと思えます。

現在、単に骨の大きな突っかい棒を造ると言うことは、技術的にはそれほど難しくありませんが、膝の関節のように曲げたり延ばしたりと言うことになると、非常に難しくなってきます。

こんな意味で材料をどのように組み合せて、どういうメカニズムにするかという工学の技術が医学にも重要となっていました。

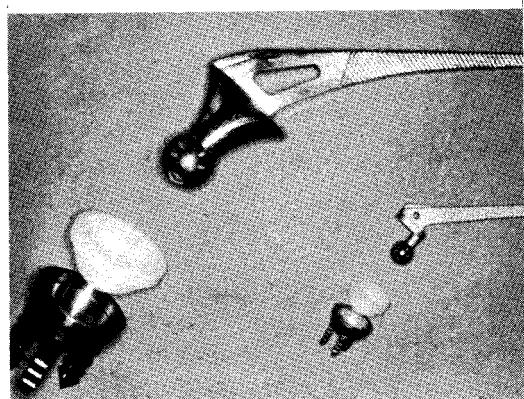


図-2

## ●人工の血管

次に人工の血管です。図3は腹部大動脈を人工血管で入れかえた所です。この管は先の方で分れて、枝を出して、腎臓とか肝臓に入り、更に両足の方に分れていくのですが、現在これらを全て人工血管でつないで入れ換ることができます。この材料はテフロンとかダクロン（日本ではテトロン）とか、ワイシャツの生地と同じような材料でできています。



図-3

蛇腹状に加工して、体内で伸び縮みできるようにしてあります。

こういう人工血管の材料は1950年頃に合成纖維という形で開発されました。しかし、最初のナイロンとかオーロンの人工血管は生体の中で劣化して、弱くなり破れてしまうことがわかつてきました。そのためテフロンとか、ダクロンが開発されて、すぐれた人工血管が造られるようになってきたのです。

テフロンが何故よいのかと言いますと、ナイロンは2%から3%の水を吸着するのですが、テフロンは水を全く吸着しないのです。従って、テフロンのワイシャツは洗濯をしてもすぐ乾くのです。この様に水を吸着しないと、表面に蛋白質が付着しないので、生体の中での生体反応が少なく、人工血管は劣化しないのです。

このような人工の太い血管は殆ど体のいたる所の動脈で使われています。しかし、現在まだ使えない所がいくつかあります。それは細い動脈であり静脈です。動物の循環系は全てそうですが、動脈と静脈二つの管のシステムから成り立っています。動脈は血圧が高く、流れが早いのですが、静脈は血圧が低く、流れが遅いのです。血液というのは流れの遅いところでは凝固しやすいわけで、そのため静脈を人工の物で造ると言うのは、内部で血液が固まるので非常に難しいし、動脈は比較的やり易かったのです。最近、新しい材料ができ、細い動脈の人工血管も可能になってきました。

さて、腎臓から膀胱の所へ尿を送る管を尿管といいます。この尿管を人工的に造ったものが人工尿管です。これはハイドロゲルという水をものすごく良く吸着する材料で造られます。造り方によって水を50%、又は60%も吸着することができるものです。

先程の人工血管は水を吸着するから悪いということでしたが、逆に水を良く吸着する材料は、反対に生体の中でとてもなじんで良いのです。つまり、水を吸着すると体内の物質が留まることなく、そのまま通り抜けてしまうわけです。従って、水を全く吸着しないか、又は逆に非常に水をよく吸着するかの両極端のものが良いと言うことは、非常におもしろいことです。

一般に、物事を考える場合に、反対のものはちょっと無理だらうとやりま

せんが、やってみると以外にうまくいく場合があります。これが生体の不思議だと思います。

### ●人工の乳房

人工の乳房も人工臓器の一種です。例えば、乳癌で乳房を取り去った後の美容整形などに使うのです。これはシリコンというゲル状のものでできています。

### ●人工の睾丸

人工の睾丸も人工臓器です。病気で睾丸を取り去る人がありますし、又性的転換という時に必要になります。

### ●人工臓器の分類

さて、今まで人工臓器をいろいろ述べましたが、ここでその分類をしてみたいと思います。

#### 人工臓器の分類

第1群	すでに半永久的に生体内に内蔵されていて十分に目的の臓器の機能を代行し、ほとんど生体の一部と化しているもの	人工血管・人工弁・人工骨・人工乳房など 人工食道・人工気管 人工尿管・人工膀胱
第2群	長時間にわたり、目的の臓器の機能の代行は可能であるが、現在、その装置は大型で体外にあり、近い将来に小型化され、生体内への内蔵化が考えられているもの	人工腎臓・人工心臓・人工肺
第3群	現在、目的とする臓器の機能の部分的、あるいは一時的な機能の代行に成功しているが、将来、長時間の代行を目的として研究が行なわれているもの	人工肝臓
第4群	目的とする臓器の機能が複雑なために、最近ようやくその研究が始められたもの	人工子宮

今まで述べました人工臓器は第1群でして、これから述べますのは第2群です。第3群の肝臓になるとかなり造るのが難かしく、しかも大型の装置になります。肝臓は複雑な機能を行なう工場で、これを人工的に造るとなると、丸ビル位の大きさになるのではないかと言われています。又第4群の人工子宮になりますと、ちょっとまだどう造って良いかわからないのです。つまり、子宮がどんな働きをしているのかまだわからない状況です。しかし人工子宮の研究も一応アメリカとソビエトで行なわれています。

## ●ペースメーカー

日本には比較的少なく、欧米に多い病氣に房室ブロックという病氣があります。これは心臓内の神経の伝導系がやられて、心臓のリズムが乱れ、心臓の脈がだんだん少なくなっていく病氣です。成人の心臓は1分間に60から70位の脈を打っており、正常な血液の循環を保っているわけですが、それがこの病氣では1分間に30とか20に脈が少なくなってしまいます。1分間20以下になりますと、いくら心臓が働いていてもなにしろ脈が少ないですから、血液の流れの総量が減ってしまいます。脳へ行く血液が少なくなるので、失神したり、倒れたりします。

そこで心臓の筋肉に電極をつけ、1分間に60というメモリーと電池などを入れたペースメーカーを皮膚の下に植え込みます。すると、心臓は1分間に60づつの脈を打ってくれます。一度、60回と決めるとこの人の脈は走っても、寝ていても、お酒を飲んでも、1分間に60の脈ということになるわけで、ドキドキしないのです。例えば気の弱い大学の先生は大衆団交になるとドキドキするわけですが、これを入れると泰然自若、いつも60ということで優れた効果があります。ただちょっと、お酒を飲んだ時などは脈を増したいのですが、それができない残念さもあります。

エネルギー源として水銀電池が入っていますが、水銀電池ですと2年位しか持ちません。そこで最近はリチウム電池とか、又さらにプルトニウム238という原子力を使った電池がでてきました。プルトニウム238ですと10年から15年もつようで、実際にこの原子力ペースメーカーを体内に植え込んだ患者さんが、現在欧米で300から350人位います。日本では原子力を使うことは禁止されており、一人も居りません。

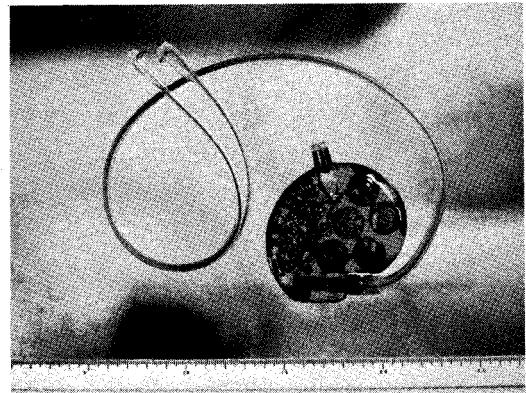


図-4

## ●心臓の人工弁

だんだん難しい臓器になってきますが、次は心臓の弁です。昔は心臓の弁膜症になりますと、安静にしているより他に手がなかったのです。というのは心臓の入口・出口に四つの弁があり、その弁がうまく働かないわけですから、心臓から血液がうまく送り出せないので。

人間の心臓も、それから哺乳類も心臓の弁は花びらが三枚あるいは二枚寄ったもので弁ができており、三尖弁あるいは二尖弁といいます。弁は薄いが非常に強く、血圧に耐えて、一方向に血液を送っています。

この弁の材料として、最初は合成高分子のポリエチレンとかテフロンとか

いろいろなものが使われました。しかし、弁の花びらを同じ厚みにできない、長持ちしないと言うことで諦めました。そこで、ラムネ玉のような人工弁ができたわけです。ラムネ玉といつてもこの中に入れるシリコンの玉を造るのは非常に難しいのです。シリコンの材料で全部造ると血液よりも重くなるので、動きが悪くなります。そこで中央を空洞にして固いシリコンの玉をつくり、その上にやわらかいシリコンを乗せて造ります。二つの球の中心を一致させて、しかもつなぎ目が無い玉を作るのですから難しいのです。しかしこれだと、ラムネ玉を入れる外枠の高さが高くて、心臓の中で心臓の内壁にぶつかってしまいます。そこでこれの背を低くしようと言うことで、碁石の形をしたものを入れるものもあります。しかし、これらの弁は血流の抵抗が強く、かつ流入の状態がよくないのです。

次に、では人間と同じ形のものを作ろうとして、豚の心臓の弁を取ってくることを考えました。豚の弁はグルタール・アルデハイドという薬で、化学的に処理すると豚としての抗原性がなくなり、人間の弁と同じような形のものができあがりました。これは生体の材料でできるので生体弁と呼びます。

このことで非常におもしろいと思ったのは、この生体弁をアメリカで生産しているということです。アメリカという国は大量生産を機械で自動的にやるという典型的な国ですが、この生体弁は手工業でなければ造ることができないからです。

ハンコック社という500人位の会社で、若い人達が消毒をした手術着を着て、無菌室の中で手で縫って造ります。手造りですので、一つの弁が70万円と高いのですが、それだけ手がかかっているわけです。

大量生産でやることもさることながら、個人的に患者にフィットしたものを手造りする必要があり、これがアメリカで行われていることに非常な感銘を受けたわけです。

この弁を実際に入れ替るために心臓を一時止めなければならず、そのためには人工心肺と言う装置が必要となります。これは1~3時間心臓と肺の代りをする機械で、日本では人工心肺を使う心臓の手術が年間で1万人位行われています。

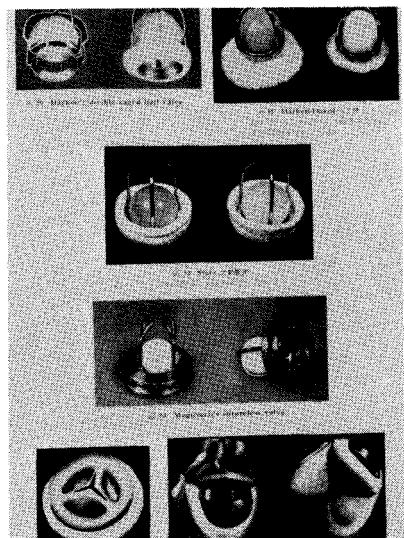


図-5

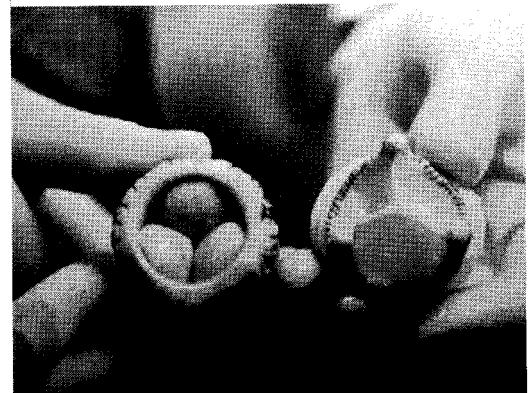


図-6

## ●人工腎臓

健康な人は体の中の老廃物（尿素・クレアチニンなど）を尿として外に排出するのですが、腎臓の機能が衰えると尿の排泄ができなくなります。そこで血液内にたまる老廃物を透析などのメカニズムにより、体外に出す働きを機械でやらせようと言うのが人工腎臓です。

まずセロハンの膜の中に血液を入れ、それをある薬の入った所に浸すと、血液の中から薬の方へこの膜を介して老廃物が出て行くのです。これを透析といい、人工腎臓により人工透析を行なうと言います。

1940年頃に、オランダのコルフがセロファン膜をコイル状に巻いた人工腎臓を造りました。最近では人工腎臓もだんだん改良され、家庭の電機洗濯機の様な物を使って人工透析ができるようになりました。

この人工透析の利用の進歩の鍵となったのは、生体と機械をつなぐ所です。人工臓器では生体と機械とのつなぎ目と言うのは非常に難しいのです。先程の人工の血管でも、うまくいかないのは生体と人工血管のつなぎ目の所です。つまり生体と機械とは全然違う性質ですから、それを一体にするのが難しいのです。動脈と静脈の間に人工腎臓をつなぐわけですが、血液を抜いてきて、きれいになったものを送り返すと言うことになりますと、何回もつないでいる内に、血管が使えなくなってくるのです。頸、肘、股とやっても、せいぜい20回ぐらいで血管が使えなくなるので考えられたのが、動脈・静脈シャントというものです。これは、プラスチックの管を肘の動脈と静脈に入れておくのです。普通はこのバイパスの中を血液が流れていって、人工の腎臓を使う時だけこれを外せば、すぐつなげることができます。こういうものができてから、人工透析は非常に進歩したのです。このバイパス管は細い血管のなかに入る所以、多分だめだらうと思われていたのですが、若い人がこれに挑戦して、見事に成功しました。これによって、何十回、何百回という人工腎臓のつなぎが可能となって、慢性の腎臓病の患者さんに長期にわたって使用されるようになりました。

人工腎臓にはセロハンの膜を数枚重ねて、血液、セロハンの膜、薬液とサンドイッチのように並べ、パックしたものもあります。

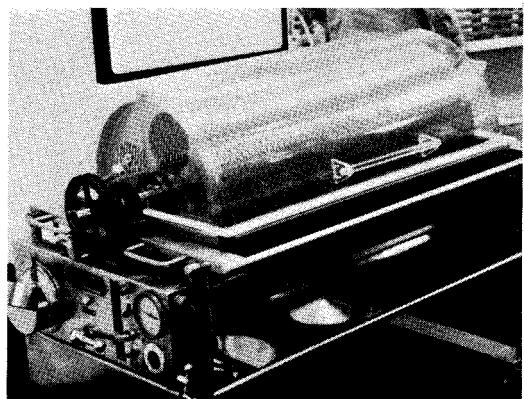


図-7

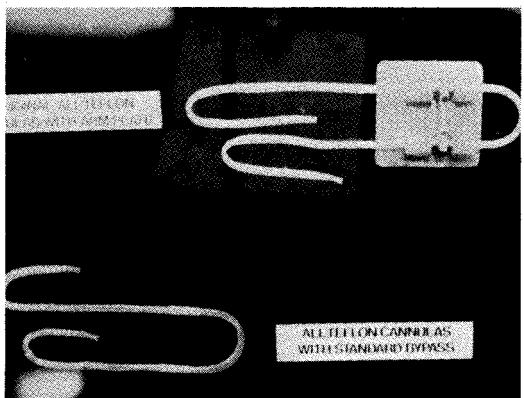


図-8

人工透析の治療をうける患者は週2回あるいは3回病院に来なくてはならないのです。この人工腎臓というのは腎臓を治す機械ではなく、体にたまつた毒物を洗い流すだけだからです。流入するだけでは腎臓の病気は治らないのです。従って、人工腎臓の治療は始めると死ぬまで続けなければならず、それがこの機械の一番の泣き所であるわけです。そしてこの機械が高価で大型であるため、そこへ患者さんが行かねばならず、これも問題なのです。

そこでこれを何とかして小型にして、できたらトランクに入れて持ち運びができるとか、車の運転中にできるとかが考えられました。さらにもっと小さくして体に巻きつけるとかになれば、より便利になるというわけで、そういう小型化の方向に人工腎臓の研究が進んでいます。

小型化を目指したものに、ホロファイバー型の人工腎臓があります。細い繊維を一万本くらいまとめて造りますが、その細い繊維のなかはくり抜かれています。そのくり抜かれた繊維の中を血液が通り、その繊維の周りに薬液があります。細い繊維ですから表面積が広くなり、小型ですが能率が向上します。

これをさらに球にすると表面積は大きくなり、容積は小さくなります。そこで、小さなカプセルの中に活性炭素という吸着剤をつめると、表面積は大きくなりますが、容積は小さくなります。これが血液の毒物を吸着すれば、これも小型の人工腎臓になります。

このようにホロファイバー型と活性炭素とを組合せた携帯用の小型人工腎臓が実際に造られ、患者さんにも利用され始めています。

### ●人工の膀胱

自動車事故などで脊髄が損傷をうけると、尿や糞便がたれ流しになり、患者さんは非常に困るわけです。そこで腎臓から膀胱へ来る尿管に人工膀胱をつなぎだものがつくられました。この中に圧力を測定するものを入れておくと、尿が溜ると内圧が上り、ベルが鳴って、患者さんが外側からボタンを押すと、弁が開き尿が外に出るわけです。

非常に幼稚なメカニズムですが、こういうものが実際にフランスで犬で実験され、今人間にテスト中です。



図-9

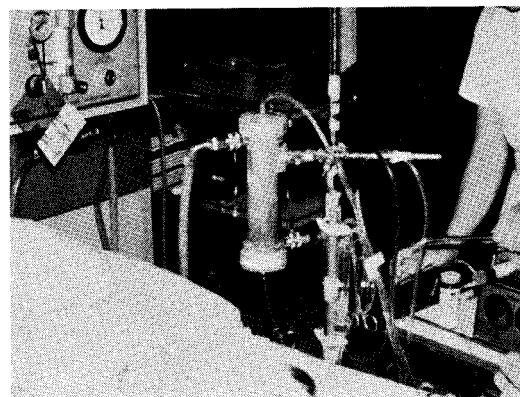


図-10

## ●人工の血液

人工の血液には現在、3種類のものがあります。1種類はフルオロ・カーボン(有機フッ素化合物)という液体で、酸素をたくさん溶かす薬液を使って、これを血液の代りにします。これは白い色をしているので、白い血液と呼ばれています。

次いで、赤血球の周りに膜を被せて血液型をなくそうという試みもあります。さらに、微小のカプセルの中に酸素を運ぶヘモグロビンを入れた、本格的な人工血液を作ろうとするものもあります。

血液は酸素を付けて運び、炭酸ガスを持ってくるという役目があります。酸素をつける物質を合成し、これをカプセルの中に入れ込むことは非常に難しいわけで、これが今後の人工臓器の排戦すべき1つの課題です。

人工の血液というものは一つ一つが細胞ですから、細胞を作るということになり、これは生命の合成というものへの挑戦にもなるわけです。

## ●人工の視覚・聴覚

最近の人工臓器のトピックスは、人工の視覚・聴覚です。今まで眼球のない人に義眼とか、耳のない人に人工の耳とかがありましたが、これは働きのない形状だけのものでした。ところが、見えない人に見えるように、聴こえない人に聴こえるようにするという試みがアメリカでなされています。

脳の後の方に視覚の中枢がありますが、そこに数十本の電極を埋め込み、電極に電気刺激をしてある信号を与え、脳に直接に刺激して、見えるようにしようという大胆な試みです。小さなテレビを使って、ゆくゆくはマイクロ・コンピューターを内蔵しようと考えています。今は大型の装置で、この人の耳のところにソケットを埋め込んで、体外のコンピューターとつなぐようになっています。

## ●人工の心臓

最後に人工心臓の話をしてみたいと思います。

心臓を機械で造ろうという話は、昔からありました。大西洋を単独飛行で横断したリンドバーグと、血管の研究でノーベル賞をもらったカレルの二人が1900年代に、ガラスと金属で心臓の代わりをするものを造りました。

しかし、本格的な人工心臓の開発が始まったのは1950年代後期で、米国でクリーブランドのコルフという人と日本の阿久津という人が始めました。

いろいろなアイディアがありました。最初は六角形の鉄箱を造り、その四面から四本の管が出ており、これが心臓の出入口につながっています。鉄箱の中には磁石が入っており、電磁石で中のゴム袋をふくらませたり、凹ませたりして、血液を押し出したり、吸引したりするわけです。しかし、この

実験では電磁石で熱が出て、犬の血液の温度がどんどん上ってしまい、犬は熱のために死んでしまいました。

日本でも私達東大グループが、同じような時期に人工心臓の研究をスタートさせていました。

最初は水圧式のベローズポンプで犬の実験を行い、数時間犬を生存させることができました。そこで、小型化をはかるために、マイクロモーターでローラーポンプを造り、犬の実験で7時間の生存に成功しました。

しかし、この頃は動物がこれ以上長生きできない状態でした。と言うのは、まだどういう具合に人工心臓を調整したら良いかわからない。つまり、外側で非常に精密に調節するメカニズムがわからなかったのです。そこでとりあえず血液ポンプのみを体の中に入れ細い管で体外の大きな駆動装置をつなぎ、外で制御しようという空気圧駆動が利用されたのです。

これにコンピューターを使って、オンライン制御しようという実験も1964年頃やったことがあります。しかし、その頃まだ十分に心臓の生理がわからなかつたので、1ヶ月以上、犬を生存させることはできませんでした。

その頃、流体素子のメカニズムを使って、人工の心臓を作ったことがあります。流体素子とは、人工衛星が地球の回りを飛んでいく時に姿勢を空気の圧で制御するわけで、電気とか磁気の影響を受けず、非常に小さく、制御可能で、しかも永久に動くということで使用したことがあります。

このように工学と医学は密接な関係があり、それをいかにうまく取り入れるかによって、医学の進歩が促進されたわけです。

それでは現在、人工心臓をいかに調節するのかと言いますと、電磁流量計を人工心臓にはめ込んで、血液の流れを測定しています。この流量計は元来、磁場の変化で大きなダムから落ちてくる流れを計るためのものです。

話は變りますが、このように工学の分野で使っていたものを医学に使う例として、心臓の診断に、魚をつかまえるための超音波探知器を利用したものや、乳癌の診断に赤外線検知器を利用したもの等、多くの応用があります。

さて、人工心臓となると、左と右の2つのポンプが必要になり、しかも心臓と同じような人工の弁が2つづつ、計4つついています。米国のユタ大学では人工心臓を仔牛に植え込んで、最長が7ヶ月以上と、長生きに成功して

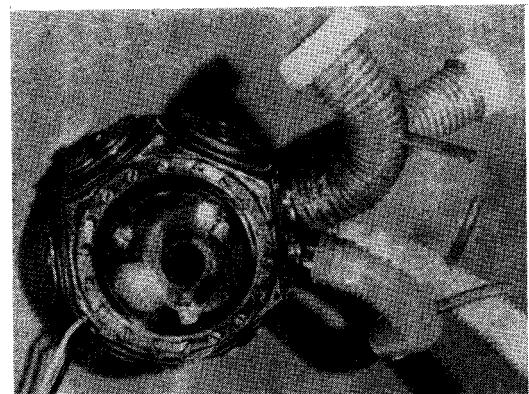


図-11

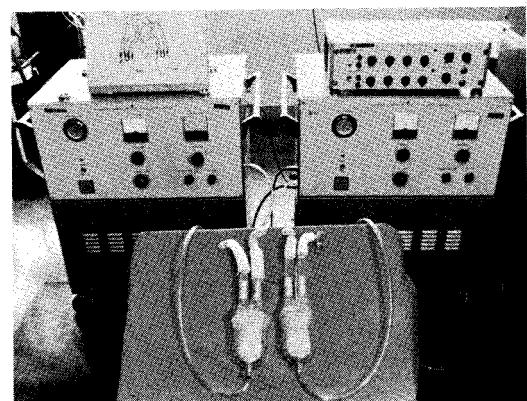


図-12

います。心臓の働きが止まると、牛は3～5分で死ぬわけですが、それが7ヶ月以上も生きているということは、医学的には大変な偉業です。

我々の所の東京大学では山羊に人工心臓を入れて、174日の生存に成功しています。

人工心臓の世界記録をみると、第1位は221日でユタ大学、第2位は196日でベルリン大学、第3位は174日で東大、第4位は145日で米国のクリーブランド・クリニック、第5位が115日で米国のハーシー・メデカル・センター、となっています。つまりアメリカと日本とドイツが世界的な記録を競い合っているわけです。

アメリカで15年前にこのプロジェクトができた時、“月へ人を送るアポロ計画”と同じ位大きな国家的なプロジェクトでした。心臓に機械を使って人を助けるという偉大なプロジェクトだったのです。その時、6ヶ月以上動物を生かすことと、そして2年以上その機械がこわれなければ、それを人間に使ってもよいと言われていましたが、最近になってようやく、それが可能になってきました。

15年程前は最初の1日で死んだわけです。それは心臓の外科医の腕が悪いので、手術がうまくいかないからです。その次は3日位で死ぬわけです。それは手術をする時の麻酔医が悪くて肺炎を起すからです。それからだんだん長生きして1週間位で死にます。これは心臓の専門医の管理が悪いわけです。ここまで医者ですが、だんだん生きてきて、1ヶ月位たちますと栄養が悪いとか、いろいろなことがあります。獣医つまり動物のことをよく知っていないと、動物は生きられないのです。その次に今度は機械がこわれるという障害が起きてきて、技術者の番が出てくるのです。つまり、人工心臓の実験の成功には、このように医学と工学の総合的な技術が必要なのです。

現在、人工心臓で一番の問題点は、血液のポンプの中で血液の固まりができてくることです。この血液の固まりができるないようにするにはどうしたらよいか、どのような材料を使用するか、が最大の難関です。

次の問題はエネルギーです。今までのようにひもつきでやってきますと、人工心臓を入れた患者さんには自由度が無いわけです。そこで人工心臓のすべてのものを体に埋め込もうという研究が始まっています。血液を送り出すポンプ・システムを体内に埋め込み、原子力で動かそう

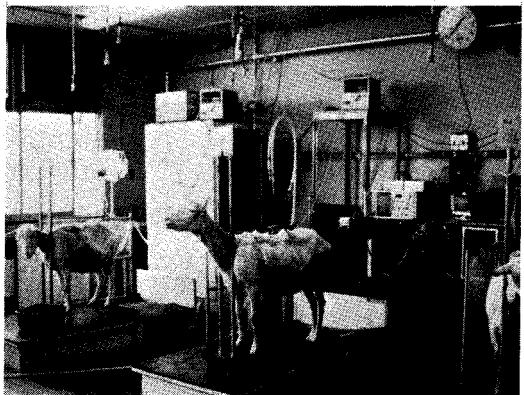


図-13

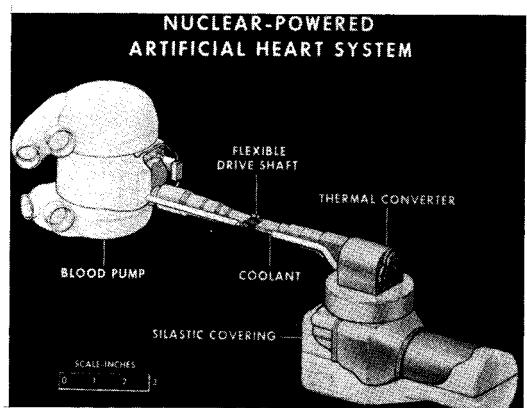


図-14

としています。例えばプルトニウム 235を使い、このエネルギーでスターリングエンジンを動かそうという研究がされています。

このような原子力人工心臓を、実際に牛に埋め込んでどうなるかという実験をアメリカでやっており、熱の発生が一つの難関になっています。しかし、35ワット位ならば原子力エネルギーを体内に埋め込んで、しかも動物がなんとか生きれるという報告がされています。

我々成人の自然心臓は静かに寝ている時で1ワット、ちょっと読書をしたり、針仕事をしたりすると2～3ワット、自転車に乗ったり、かけ足をしたりすると5～6ワット位、それから水泳になると8ワット位になります。

しかし、実際のエネルギー源はさらに大きいものとなります。それはエネルギーの変換効率が悪いからです。20ワット埋め込んでも、20ワット全部は機械エネルギーにならないのです。その効率はだいたい3%位だと言われています。従って1ワットとすると、30ワット位のエネルギーがないと人工心臓は動かせないわけです。そこで35ワットと言うのが1つの目標になっており、これなら可能だと言うことです。

それでは、将来はどうなるかと言いますと、現在は機械にひも付きになつてヤギがつながれています。これが人間になると、患者さんがベットの上に寝ており、やはりひも付きです。患者さんはベットの上で寝起きできる程度です。

この例として、先程のアメリカのハーシー・メディカルセンターやスイスのチューリッヒ大学、あるいはオーストリアのウィーン大学、またアメリカのテキサス心臓研究所などで実際に人工の左の心臓だけが造られ、患者さんに埋め込み、1～2週間助かったという報告があります。この場合は自然の心臓は動いていて、左だけ人工の心臓がそれを補助する状態です。これが人工心臓の第一歩の研究になるわけで、心臓が弱っている時に心臓の補助をするというものです。

その次の段階は、動物が人工心臓を動かすための装置を自分で運んでいくという、ポータブルの人工心臓の形式になります。

人間の応用では、患者さんが車いすに乗り、車いすの中に駆動制御装置が入っていて、この患者さんは外に出て日光浴を楽しむことができます。

将来はさらに、体の中に人工心臓の装置を全部入れてしまい、原子力で動かすエネルギー源だけ外に出ているような状態になるだろうと思われます。

## 人工臓器の将来

最後に人工臓器の将来の需要予測ということで、2～3年前に科学技術庁で専門家を集めてディスカッションをしたことがあります。

それによると1980年の日本では人工臓器の需要が1千億円くらい、世界では4兆円のオーダー、1990年になると日本では3千億円、世界は11兆円のオーダーになると予想されています。すなわち現在の自動車産業なみになるわ

けで、人工臓器についても国家的にこれを応援しようという気運が盛んになって来ています。

この分野というのは、医学と工学との対話を非常に必要とする分野であり、単にエレクトロニクスだけではなく、メカニックスも必要であり、材料、情報処理の技術、システムの技術も必要になり、総合的に医学と工学との共同の成果がこれに反映されてきます。その意味で、日本ではこの分野のポテンシャルが高いので、今後の発展を期待したいわけです。

以上、人工臓器ということを中心として、医学と工学との対話の話をしました。本日は医用工学のほんの一部の分野を紹介しました。

最近のあるアメリカの未来予測ですと、2000年にはほとんどあらゆる医療技術が実現すると言っています。例えば癌も治るだろうし、老化についてもある程度の解明が行われるし、太ったりやせたりすることも自由になるだろうと言われています。そしてそのような革新的技術は、医学と工学の対話によって初めて可能なものが多いと言われています。

今後の医用生体工学の発展を期待したいと思います。

種類	1980年				1990年			
	日本		世界		日本		世界	
	需要数 コスト 消費数 (台)	コスト (億円)	需要数 コスト 消費数 (台)	コスト (億円)	需要数 コスト 消費数 (台)	コスト (億円)	需要数 コスト 消費数 (台)	コスト (億円)
人工骨・関節	1500	45	7500	225	2000	60	10000	30
人工血管	7500	15	750000	150	24000	48	240000	480
人工弁	3000	75	450000	1125	9000	225	135000	3375
人工心肺	1500	750	22500	1125	3500	1750	9200	2825
ベースメーカー	8000	400	240000	1200	12000	600	30000	1800
人工腎臓	12000	4800	380000	14400	27000	10900	86000	32400
人工心臓	3000	4500	150000	22500	10000	15000	50000	15000
計	10365		393975		28463		115710	

図-15