

医用生体工学研究連絡委員会・  
医療技術開発学研究連絡委員会報告

「医用生体工学の現状と展望」

平成8年2月23日  
日本学術会議  
医用生体工学研究連絡委員会  
医療技術開発学研究連絡委員会

この報告書は、第5部医用生体工学研究連絡委員会の審議結果を第7部医療技術開発学研究連絡委員会においても審議し、その結果をとりまとめて両研究連絡委員会連名の報告書として発表するものである。

#### 第5部医用生体工学研究連絡委員会

委員長 金井 寛 (上智大学理工学部教授)  
幹事 佐藤 俊輔 (大阪大学基礎工学部教授)  
須磨 幸藏 (東京女子医科大学付属第二病院教授)  
委員 宇田川 重和 (日本学術会議第5部会員, 千葉工業大学工学部教授)  
赤池 敏宏 (東京工業大学生命理工学部教授)  
赤塚 孝雄 (山形大学工学部部長)  
上野 照剛 (東京大学医学部教授)  
小塚 隆弘 (大阪府立羽曳野病院院長)  
土肥 健純 (東京大学工学部教授)  
中林 宣男 (東京医科歯科大学医用器材研究所教授)  
林 紘三郎 (大阪大学基礎工学部教授)  
松尾 裕英 (香川医科大学第二内科教授)

#### 第7部医療技術開発学研究連絡委員会

委員長 渥美 和彦 (日本学術会議第7部会員, 鈴鹿医療科学技術大学学長)  
幹事 井街 宏 (東京大学医学部教授)  
渡邊 涩 (京都府立医科大学教授)  
委員 井上 鐵三 (防衛医科大学教授)  
坂本 澄彦 (東北大学医学部教授)  
佐々木 康人 (東京大学医学部教授)  
東田 善治 (熊本大学医療技術短期大学部教員)  
藤 正巖 (東京大学先端科学技術研究センター教授)

## 要　　旨

今世紀における科学技術の発展は目覚ましく、医学・医療の分野においても、X線CT(Computerized Tomography)やMRI(Magnetic Resonance Imaging, NMR CT)など各種医療機器の開発によって客観的計測・診断技術や制御・治療技術あるいは情報処理技術が提供され著しく高度化された。医師にとっては「見えなかったものを見る」、「聞こえなかったものを聞く」、「手の届かなかったところに手を伸ばす」という夢が現実のものとなり、診断や治療技術はかってないほど急激に進歩しつつある。医用生体工学はこうした医学と工学の接点に位置する学問で、工学の医学への応用にとどまらず、“科学技術と、人間を含む生物との共生”という考え方を広め、かつそれを可能にする技術の開発を目指している。医用生体工学は比較的若い学問分野であるがこの数十年間、大学や研究機関のエム・イー関連学科や講座の研究者あるいは日本エム・イー学会およびその関連諸学会に支えられて発展してきた。また日本学術会議の医用生体工学研究連絡委員会および医療技術開発学研究連絡委員会の活動などによって、医用生体工学に対する学問的及び社会的な評価が徐々に高まってきた。医用生体工学の研究環境は欧米に比べて著しく遅れていたが、最近になって大学院に医用生体工学専攻、学部に医用生体工学専門学科が開設されるようになった。最近の世界的な動向をみても、工学系の各分野がこそって研究領域を医用生体工学分野へ拡充しようとしている。

しかしながら、科学技術の想像を越える急激な展開は人間と機械の共生について新たな問題を投げかけている。さらにより現実的な問題として、この分野でも、先端的な研究へのニーズや、研究者および指導者はもとよりコメディカル職員などの人材養成に対するニーズが高まり、それらに対する早急な対応が迫られるようになった。しかも十数年後には人類が経験したことのない速さで社会の超高齢化が始まる。わが国のように労働賃金の高い先進国において、高齢者の看護のために、医用生体工学機器の適切な援用は極めて有効であり欠くことができない。さらに医療技術の向上を図るばかりでなく、人々の精神的に豊かな生活を支援するための活動をすべきである。また今日のわが国の国際的な役割を考えるとき、医用生体工学分野の果たすべき役割は国内的なものにとどまらない。諸外国の医用生体工学関連機関との交流をさらに深めるべきである。現在、国際社会は複雑化しており、広い意味での国の外交は高度な専門知識なしには成り立たない。医療分野で世界に貢献するには、我が国が率先してWHOやユネスコなどの国連の機関を通じて活動を広める必要がある。このような平和的活動こそ我が国が国際社会から求められているものであり、そのために進んで貢献すべきものと考える。

近年生命科学分野における研究の重要性が叫ばれ、その推進計画は先進各国で活発に討議されている。それは生命科学の領域が極めて広大であり、人類の未来が懸かっているとの認識によると思われる。日本学術会議第5部医用生体工学研究連絡委員会・第7部医療技術開発学研究連絡委員会は、こうした医学・医療の変革に対応可能な医用生体工学の新たな発展を目指し、同分野の将来展望と今後重要なと考えられる事項について検討してきたので報告する。

## 1. はじめに

今世紀になって医療は理工学領域で開発された技術を導入し、めざましい発展をとげた。1856年、コリガーらは心拍動時における活動電流を計測し、ハンス・ベルガーは人の頭皮上で脳の電気現象が記録できることを発見した。また今からちょうど100年前の1885年にレントゲンによって発見されたX線は人体内部の透視に応用され診断に大いに役立った。これらは新時代の医療の性格を象徴する発見であった。さらに現代ではX線CT (Computerized Tomography) やMRI (Magnetic Resonance Imaging, NMR CTともいう) など各種医療機器の導入により医師は客観的計測制御技術や情報処理技術を手に入れた。そして医師は「見えなかったものを見る」、「聞こえなかったものを聞く」、「手の届かなかったところに手を伸ばす」という夢を実現し、診断や治療技術はかってないほど急速に進歩しつつある。いまや医療は周辺科学と近代技術の支援なくしては成立しない状況にある。

かつて医学は理工学分野で得られた最新の科学技術の成果を貪欲に取り込んだ。理工学分野から見れば医学は新技术の応用分野としての存在にすぎなかった。しかし最近では工学でも医学に関連したテーマが重要な研究対象になってきている。この分野の研究には問題解決型テーマ（たとえば医用画像処理装置の解像力の改善など）や目標展望型テーマ（たとえば筋肉に物理的負荷がかかった場合、遺伝子が刺激されて筋繊維蛋白質が生成される。そのメカニズムを組み込んだインテリジェント材料の設計など）に未踏技術のシーズまたは萌芽が潜んでいることが、ようやく認識されつつある。

しかしながら視野を遠く人類の未来に置くと、衣類はイチジクの葉から紡績技術に進んだに過ぎず、食料は採集・栽培・品種改良までで停止し、住居は自然環境からの遮断をはかるのみである。というように、これらは技術としてはすこぶる単純で発展や進歩の第一段階に止まっている。いわばすべての科学や技術は本当の進歩の緒についたばかりである。これまで人間が技術によって自然から種々の便益を収奪しそれを享受してきたが、今後の技術は、資源や環境を子孫に継承し、生命の質を高め、自然と調和した道を進むことを可能にするように開発され、使われねばならない。

## 2. 医用生体工学とは

われわれはいまだ生命の本質を知らない。言うまでもなく、生命の本質を探ることは、物質の極限や宇宙の起源に関する命題とともに、人間が文明を築きあげて以来の大命題のひとつである。生命の深遠な意義と尊厳は現代における人間に共通する意識である。医学は生命体と第一線で直接的にかかわり合ってきた。医学は疾患組織の自然治癒を補助する

新薬の開発と、X線CTやMRIなど各種医療機器の導入により飛躍的な進歩を遂げた。これらの新薬や機器なしには近代医学・医療はもはや成り立たない。工学は医学に対し、単に医療機器の開発という技術的なことばかりでなく、工学技術の基盤となる思考体系を提供することによって医学・医療へ貢献してきた。一方、生命とそれが宿る生体は、人工物がいまだ及ばない複雑・精緻な存在である。その複雑さと精緻さの機序を追及することは新しい工学分野の発展につながり、その成果はまた人間を含めた生命の保護と環境の改善のために役立つ。医用生体工学はこうした医学と工学の接点に位置する学問で、工学の医学への応用に止まらず、“科学技術と、人間を含む生物との共生”という考え方を広め、かつそれを可能にする技術の開発を目指している。そして、合理性の高い医療技術の開発により医学を通じて生命の質の向上へ貢献し、ひいては人類共通の願いである生命の尊厳の具現化に資することを目標に掲げる。

### 3. 医用生体工学分野の発展の経緯

医用生体工学分野は日本エム・イー学会および関連する諸学会に支えられて発展してきた。従って医用生体工学の発展の経緯は日本エム・イー学会をはじめとするこれらの学会の活動の経緯でもある。日本エム・イー学会は、“本会は、生物学における電子工学、機械工学などの方法、および工学における医学、生物学的知見の応用に関する研究の発展、知識の交流および社会における事業の振興をはかることを目的とする”とその定款にあるように、医学・生物学と理工学との中間領域に関わる研究者の協力の場として1962年11月10日に設立された。この分野はmedical electronics, medical engineering, biological engineering, biomedical engineeringなど種々の呼び方があり、適切な日本語訳がないので学会の名称としてはエム・イー(ME)という言葉を用いることになった。本報告書でもMEを医用生体工学の同義語として用いる。その後会員の努力と、関連学協会や官公庁および民間諸団体の協力により、会員数や事業規模などに驚異的な発展をとげ、国内的にはもとより国際的にも確固たる地位を築くにいたった。現在、日本エム・イー学会(以下日本ME学会)の正会員数は4300人を越え、関連諸学会のME関連の会員と共に、医用生体工学分野の研究活動を支えている。国際的には、日本ME学会は国際医用生体工学連合(IFMBE)に加盟し、米国につぐ規模の有力加盟団体として、国際組織において指導的役割を果している。1966年に第6回国際ME会議を東京で、1991年には第16回国際ME会議を京都でそれぞれ主催した他、これまでに多数の関連する国際的学術会議の開催とそれへの協力活動を行なってきた。また開発途上国援助、ME安全対策、ME教育などについても、日本ME学会がその指導的役割を果たしてきた。

わが国の医用生体工学の発展は日本M E学会によるところが大きいが、関連する諸学会の支援を忘れてはならない。医用生体工学研究連絡委員会委員および医療技術開発学研究連絡委員会委員の推薦母体である電子情報通信学会、電気学会、計測自動制御学会、日本機械学会、精密工学会、日本セラミックス協会、日本化学会、日本人工臓器学会、日本医学放射線学会、日本外科学会、日本超音波医学会、日本医科器械学会、日本放射線技術学会、日本レーザー医学会、日本核医学会、日本医療情報学会、日本サーモロジー学会をはじめとする工学や医学の関連諸学会がそれぞれの専門を通じて医用生体工学の発展に大きく貢献してきた。例えば、電子情報通信学会のM Eとバイオサイバネティックス研究会、電気学会の医用生体工学研究会、計測自動制御学会の生体生理工学部会、日本機械学会のバイオエンジニアリング部門などはそれぞれの立場から医用生体工学に関する研究を活発に進めてきた。また日本セラミックス協会や日本化学会は計測に欠かせないセンサーや医用新素材の開発に関わり医用生体工学の発展を支えてきた。上記その他の学会の医用生体工学分野への貢献は言うまでもない。上記学協会や関連学会の機関誌や学会大会では医用生体工学関係の研究論文が多数掲載され、また発表してきた。

医用生体工学の発展にとって重要だったもうひとつのことは、1960年代から大学を中心に関連する研究施設や学科が設立されたことである。すなわち、日本M E学会と関連諸学会が医用生体工学分野の研究者に学会活動の場を提供したのに対し、東京大学医学部医用電子研究施設、北海道大学応用電気研究所（現同大学電子科学研究所）、東京医科歯科大学医用器材研究所、東京女子医科大学医用工学研究施設、大阪大学基礎工学部生物工学科、川崎医科大学医用工学教室、東京工業大学生命理工学部、国立循環器病センターなどが医用生体工学の研究や教育を実際に推進してきた。また、多くの大学や研究機関の研究者が、医用生体工学あるいはその他の名称の講座のもとで、医用生体工学の研究に夢を託し、また若い研究者を育ててきた。最近になって北海道大学大学院および慶應大学大学院に生体工学専攻が設置され、医用生体工学の専門学科も3つの大学に設けられた。

今日いわゆる医用生体工学の意味する範囲は非常に拡大され、学問的には広く医療や保健に役立つ工学技術全般と、工学技術開発への医学・生物学からの貢献を目標とする横断的かつ学際的な分野を形成している。現在、科学は一つの転換期を迎えており、物理学と化学の時代から、生命科学を中心とする総合科学の時代へと移行しつつあり、研究領域も急激な変化と再編成が迫られている。医用生体工学は、このような時代の推移に対処するため学問的にはもちろん社会的にもさらに一層大きな役割りを果たすべき立場におかれている。その役割を果たすには複合領域に属する医用生体工学は、将来にわたって上述の諸学会および大学研究機関からの強力な支援が必要である。

#### 4. 医用生体工学の研究の現状

医用生体工学の研究をさまざまな角度から検討してみる。まず医用生体工学の研究者は日本M E学会に関する限り、医学者と理工学者はほぼ同数である。医学の分類に従えば、循環系を研究の対象とする研究者が最も多く、ついで脳・神経系、医学一般となる。工学の分類としては、エレクトロニクス、画像処理、バイオメカニクスなどの領域に多く研究者が集中している。彼らはそれぞれの分野で生体計測一般にかかわり、機器開発、人工臓器、医用材料、医療情報システムの構築などの研究にかかわる。また研究の目的は生体機能や生体物性の解明であり、診断や治療への応用である。

医用生体工学が関わる分野は広く、ここでそれらすべての現状を網羅することは不可能であるので、特に注目すべきものを挙げておく。

##### 1) センサーおよび計測技術の開発

すべての科学は計測から始まる。計測は科学の出発点である。実際、医用生体工学は電気電子工学者による生体計測から始まったといえる。現在では時間的には、ナノ、ピコ秒の時間分解能をもつ計測技術の開発、また逆に計測時間の長時間化が図られている。計測の高感度化、高精度化、高速化、装置の小型化、無拘束化なども同時に研究の対象となってきた。サイズ的にはナノメートルの計測、空間的には複数チャンネルの同時計測に対する要求があり研究してきた。こうした計測は一種の極限計測技術にかかわる。医用生体計測における新技術の開発は医療のニーズが動機となっているとはかぎらないが、いずれ応用への道がひらけることは他の基礎科学における成果と同様である。同時に、センサーの開発も重要な命題であった。生体電気・磁気現象の観測のためのセンサーばかりではなく、各種化学センサーやバイオセンサーが開発されている。

##### 2) 生体の構造と機能発現のメカニズムの解明

これはバイオメカニクスとよばれる分野の研究対象を含む。実際、バイオメカニクスは生体の構造と機能を力学的に解析し、またその結果を応用する分野といえる。分子レベル、細胞レベルあるいはよりマクロなレベルでの生体の構造と機能に関する研究において、力学的なものの見方は重要である。逆に現存の生物は淘汰というふるいによって選りすぐられた機械とみなすこともでき、その構造と機能の力学的理解は新しい工学技術の開発につながる。

##### 3) 可視化技術

目で直接には見えない体内はX線CTや、MRI、超音波技術等の助けをかりて可視化してきた。胃カメラなども可視化技術のひとつである。他方、心電図、脳波などは、生

体内の状態の時間的な変化に関する情報を提供してきた。体表面上の多数の部位における電気的あるいは磁気的情報から、人体内部における起電力の分布やその時間的変動を推定する問題を逆問題というが、これは可視化技術に深くかかわっている。可視化技術は医者の目の機能を拡張するという意味できわめて重要である。

#### 4) 医用生体材料、人工臓器の開発

人工臓器の臨床応用は1940年代にはじまった。現在日本で14万人の患者が人工腎臓の世話になり、それを必要とする患者は毎年7千人ずつ増えているといわれる。人工血管は一部の血管を除けばこれで置き換えることができ、臨床的に成功した人工臓器のひとつである。人工心肺はいまや開心術には不可欠であり、人工骨・関節などもよく使用されている。人工心臓についてはいまのところ心臓の手術時における補助心臓としての役目が多いが、近い将来には完全人工心臓が開発されるものと考えられる。

人工臓器の開発に対しての日本人の貢献は大きかった。しかし残念ながらこれらの大半は外国とくに米国でなされたもので、あくまで外国の研究成果として認められている。これは人工臓器のような研究開発に対するわが国の研究体制がきわめて貧弱であったことによる。現在も改善されていない。この代表的な例は心臓ペースメーカーである。心臓の刺激伝達経路が壊れると心臓は止まってしまうが、心臓ペースメーカーを体内に埋め込んで刺激すれば、ほとんど普通の人と同じ生活ができる。現在心臓ペースメーカーのお陰で生存している患者は日本で20万人近くいるが、日本ではまだ心臓ペースメーカーを製作することができない。また米国では1964年に人工心臓開発のための国家プロジェクトがスタートし、以来今日まで年間50億円前後の研究予算が大学や研究所企業に対して投じられている。わが国では文部省科学研究費補助金が中心で、長期的国家プロジェクトではなく、2,3年の散発的な予算が不特定の個人やグループに配分されているにすぎない。その額も米国の数十分の一程度というのが現状である。また人工臓器の研究開発には医学と工学の連係が必要であるが、研究の人員やスペースに関しては、大学を例にとれば講座当たりの定員や面積の制限を受けているので、連係を具体的に実施することは困難である。このようにわが国の人工臓器の研究環境はきわめて悪い。現在研究の水準を維持しているのは研究者の時間的及び経済的自己犠牲によるところが多い。

#### 5) 医療情報システムの構築

医療のトータルな効率を高めるにはすぐれた医療情報システムを構築する必要があり、大学病院を中心にして整備され始めている。また在宅医療の実現のために、地域医療情報システムの開発も始まった。

以上の研究は医用生体工学を支える基礎的研究の例であるが、この成果を具体的な装置として試作検討し、将来の製品として実用化をめざしたり、またシステムとして構築するプロジェクト指向の研究も必要である。なかでも医用マイクロマシンの実用化、在宅介護・在宅治療装置の実用化、治療ロボットの開発、ゲーム感覚の治療訓練コンピュータソフトウェアの開発などは、世界的にもそうであるが、特に我が国では緊急かつ重要とされている。これらは高齢化社会における人々の生活の質QOL (Quality of Life) の向上をはかる短・中期的研究プロジェクトであり、産官学が一体となって推進しなければならない。

## 5. 医用生体工学における教育

わが国におけるMEの教育と研究は、大学の工学部や医学部における研究室で始まったといえる。最初はMEに興味を持つ研究者が研究室の学生に個別に教育と研究指導を行っていた。そのうちに、3. で述べたように、東京大学医学部医用電子研究施設、北海道大学応用電気研究所（現同大学電子科学研究所）、東京医科歯科大学医用器材研究所、東京女子医科大学医用工学研究施設、大阪大学基礎工学部生物工学科、川崎医科大学医用工学教室、東京工業大学生命理工学部、国立循環器病センターなどが設置または設立され、本格的な医用生体工学の研究と教育がなされるようになった。また、多くの大学や研究機関の研究者が、医用生体工学あるいはその他の名称の講座のもとで、MEの研究と教育を行ってきた。これら諸大学が医用生体工学における教育や若手研究者の育成に果たしてきた役割はきわめて大きい。

最近におけるMEの著しい発展により、ME教育の重要性はいっそう増しつつある。ME教育は、最近のチーム医療という観点からして、大学医学部においてのみならず、大学工学部、大学院、各種医療技術専門学校や関連企業など、種々の分野においてなされる必要がある。

日本ME学会では、1983年より教育委員会を設置し、こうした各分野におけるME教育に関して、より木目の細かい内容の検討を行い、実施に向けて努力してきた。さらに、1990年からワーキンググループを設置して

- 1) 第2種ME技術認定および第1種ME技術認定、臨床工学技士およびそれに関する短期大学、専門学校におけるME教育
- 2) 医療技術大学、工学部医用生体工学科、医用工学部など、今後登場すると考えられる医用生体工学専門の大学におけるME教育
- 3) 医学教育にかかわるME教育

4) 臨床工学技士以外のコメディカル職員に対するME教育

5) 医用生体工学大学院におけるME教育

6) 企業内のME教育

に関して検討した。その結果、今後のME教育の普及と充実にはつきの事項が重要であると結論した。すなわち、

1) 医学教育においてME教育が重要であるという認識を高めるための活動

2) 系統的なME教育を行うための適正なガイドラインの作成

3) ガイドラインの達成に必要な教官数の算定と、それらの教官の養成機関を設立するための活動

4) 医師国家試験へのME関連科目の取り入れの働きかけ

5) 教科書などモデル的な教材の作成

6) ME関連科目の教育に関する参考資料の作成と整備

などである。

最近の医療の現場では、新たに開発されたME機器の導入が盛んであり、これを正しく操作し、維持・管理する臨床工学技士の制度も設けられている。しかし、現状では、これらコメディカル職員を教育・指導して養成し、かつ医学部学生や医師・看護婦などに基本的なMEの指導を行いうる高度の教育を受けた人材が大量に不足している。機器を理解して臨床治験のできる臨床医不足も深刻である。

わが国の医用生体工学研究の水準は、諸外国に比べていささかも見劣りするものではなく、世界の一流レベルを維持しつつその発展に寄与していることは、最近の国際ME会議の情勢からみても明らかである。しかし、医用生体工学研究全体にいえることは、医学（あるいは工学）からのニーズに追われてとかく応用的研究に走りがちになり、ともすれば他の学問領域から学問としてのアイデンティティーの有無を問われかねない状況にある。医用生体工学研究において、学問的存在意義を示しうる基礎的研究の充実が必要と考えられる。

上述のような問題点を解決し、良質の教官と優秀な基礎研究者を育成していくためには、大学院研究科における医用生体工学の教育と研究体制の拡充と質的向上が必要であることはいうまでもない。

医用生体工学の研究の在り方、教育方法などについてはいろいろな考え方があるが、医用生体工学の研究を専門とする人は医用生体工学を体系的に学び、体系的に研究を進めることができ望ましい。これまで基礎医学と基礎工学をベースにして生体の構造・機能および生体物性を確実に理解し、その上で生体計測、生体情報処理、診断、治療などを考えると

いう体系ができていた。生体物性としては細胞レベルから上を考えれば十分であったが、周辺領域の進歩に従って分子生物学や遺伝子工学などで扱われるレベルを含めて考えなければならなくなつたように思われる。

このように考えると医用生体工学は医学、工学、生物学、理学などに関する新しい複合的な領域が育つことができるよう広い共通基盤を確立し、いろいろな新しい領域が育ちやすいように体系化した研究体制をもつてゐることに価値があると思われる。

## 6. 医用生体工学をとりまく環境の変化

日本の医用生体工学は医学・医療の発展に大きく貢献してきたし、理学や工学にも多くのインパクトを与えてきた。この間1969年に、日本学術会議第5部に現医用生体工学研究連絡委員会の前身である電気研究連絡委員会医用生体工学分科会が発足し、爾来20余年を経ている。また1985年に第7部に現医療技術開発学研究連絡委員会の前身である放射線ME研究連絡委員会が新設されてから10年が経過している。最近の高度医療には各種のME機器を欠くことはできない。このような実績や3.で挙げた大学や研究機関におけるMEの先輩研究者の努力及び日本学術会議医用生体工学研究連絡委員会および医療技術開発学研究連絡委員会の活動などによって、医用生体工学に対する学問的及び社会的な評価が徐々に高まってきたが、最近になり、下記の3つの出来事によって急激に環境が整備されてきた。

### 1) 文部省科学研究費補助金に医用生体工学・生体材料学の分科が設けられたこと。

1993年度から文部省科学研究費補助金の部「複合領域」に多年の夢であった医用生体工学・生体材料学の分科が設けられた。一般研究(C)と奨励研究だけで1993年度に56件、1994年度に88件の医用生体工学関連の研究課題に補助金が交付され、医用生体工学の研究を活性化させた。医用生体工学の分科の設置は1978年度に日本学術会議から文部省に要望されており、実現まで15年かかっている。

### 2) 大学院に生体工学専攻および学部に医用生体工学科が設置されたこと。

教育の面では長年の念願であった生体工学専攻が1986年に北海道大学大学院工学系研究科に、そして1992年に慶應大学大学院工学研究科に設けられた。さらに1991年度からは東海大学と鈴鹿医療科学技術大学に、1994年度から北里大学に、それぞれ医用生体工学の専門の学科が発足した。さらに、1996年度には山形大学大学院工学系研究科に生体センシング機能工学専攻が設置される予定である。3.で挙げた既設のME関連の大学に加えてこれらの学部、学科や大学院専攻が新設されたことは将来の人材の育成を考える上で画期的な出来事として特筆に値する。

### 3) 臨床工学技士が国家資格化されたこと.

他方臨床においてはME機器なしには高度医療が行えない領域が増え、これらの機器の操作・保守・管理が医療の質に直接関係するようになった。このための専門職として臨床工学技士の国家資格制度が1987年度に発足し、これまでに1万名を超える臨床工学技士が誕生し医療の現場で活躍している。これにともなって臨床工学技士養成のための4年制大学が1校、3年制の短期大学が1校、3年制の養成学校が12校、看護婦や臨床検査技師などが臨床工学技士国家試験の受験資格を得るための1年制の短期大学と2年制の養成校が各1校設立され、毎年約700名の卒業生が世に送り出されている。これも臨床の場に工学の知識が必要となり、工学が医療に貢献できることが認められたという意味で重大な出来事である。

この3つの画期的な出来事はやっと日本でも医用生体工学が社会的にも学問的にも、また医療においても認められたことを意味する。

一方医用生体工学の周辺領域はめざましい勢いで発展し、かつて医用生体工学の一部と考えられていた分野や、医用生体工学と深い関連があつてお互いに貢献しうると考えられていた分野などが著しく発展し、それ自身が独立するに十分な体系を整えてきた。また、遺伝子診断や治療に代表される遺伝子医学・分子生物学が急速に進歩し、近い将来医学・医療を画期的に変革させるであろうと考えられている。従来細胞レベルを基盤として体系的に進められてきた医用生体工学の研究も、分子レベル、遺伝子レベルにおける研究を基礎の一部として体系づけなければならないようになると思われる。これは医用生体工学始まって以来の大変革である。

一方、社会においては、情報化社会、社会福祉優先、国民生活と社会の変容など大きな変化が予想され、そこで生じる諸問題の解決にも医用生体工学領域の研究と技術の果たすべき役割りは極めて大きい。

このように医用生体工学に関する環境は学問的にもまた社会的にも著しく変化しまた改善されたので、これを機会に今後の医用生体工学の飛躍的な発展が期待される。

## 7. 医用生体工学研究の将来展望

日本学術会議第5部医用生体工学研究連絡委員会は、医用生体工学に関連をもつ多数の学会から推薦され、選定された12名の委員により、また第7部医療技術開発学研究連絡委員会は8名の委員により、医用生体工学の発展策について討議している。最近3年間は将来の医学・医療の変革を考慮して、これに対応できるような医用生体工学の体系化を重要テーマのひとつとして検討してきた。このためにはまず上記計20名の委員のそれぞ

が所属する学協会における医用生体工学の現状を知ることが重要で、これまでに調査を進めてきた。しかしこれら関連12学会の現状だけから結論を出すのは妥当ではないと考える。近年進歩が著しい周辺領域の現状と展望を調査し、医用生体工学の将来の発展を見通して体系化する必要がある。ここでは、4. に記した医用生体工学分野の現状とあわせ、今後重要なと考えられる研究課題について述べよう。

まずセンサーや計測技術の分野では、小型化、高精度化、短時間分解能化、長時間計測、多チャンネル化が一段と進むものと考えられる。血流量や血圧などのほかに、いろいろな意味で生体の機能発現に関与する活性酸素や一酸化窒素（NO）のような容易に破壊されやすい気体の濃度などの計測法の開発もテーマになる。これには新しいセンサーの開発が欠かせない。その他、バイオテクノロジーの医学への応用に伴い、バイオセンサーや分子認識センサーへの要求も高まるだろう。また非接触計測などへの要求もでてくるであろう。リモートセンシング技術の開発や物理的原理の新らたな応用も必要であろう。SQUID (Superconducting Quantum Interference Device, 超電導量子干渉計) などによる脳磁図の計測から逆問題を解くことによって脳内の神経細胞興奮の時空間変化を高い時間的空間的分解能で知るには、更なる多チャンネル化が必要になろう。ストレスを数量化する動きもでてくるだろう。すでに述べたように、計測は科学の原点であり、新しいセンサーや計測技術の開発は医用生体工学の研究を推進するにはきわめて重要である。計測された生体信号の解釈をめぐって新しい展開がなされるであろう。従来の信号処理は、信号源としての生体システムが線形であるという仮定にたつスペクトル解析を中心であった。信号生成のメカニズムを考慮した非線形モデルに基づく信号解釈の技術が開発される。信号生成の物理・化学的過程あるいは生理学的機構が解明される。

新しい可視化技術の開発の重要性はいうまでもない。直接観察が難しい対象物ほどそれを可視化することによってもたらされるインパクトは大きい。人体3次元アトラスなど、人体内部の可視化技術が大きく進展する。またPET (Positron Emission Tomography) やfMRI (functional MRI) による画像の優れた時間・空間分解能はこうした技術のレベルを高めるのに役立つと考えられる。体表面電位からの人体内部電源の位置や強さの推定など、いわゆる逆問題に関する技術も進むであろう。

バイオメカニクスの分野では生体分子や細胞の力学的性質の測定と機能の解析が一段とすすむであろう。また、生体素材、組織や器官の力学的適応制御機能および再構築過程の正確な理解がなされ、医学における診断や治療あるいは予防への応用が図られる。コンピュータの高性能化と低価格化および種々の応用プログラムの開発によって、計算バイオニクスとよばれる分野が一段と発展する。バイオメカニクス分野の知識の工学応用が図られ、

また健康科学やスポーツ科学などへの貢献がなされる。生体機能の力学的解析のみならず、機能発現のシステム論的理解が重要である。すなわち生体現象のシステム理論や力学系理論による解釈が必要になろう。生体の機能発現の仕組みをめぐって個体から、臓器、細胞、遺伝子、分子というようにマクロからミクロな階層に向かって研究が進んできた。これは分子生物学や生物物理学に基盤をおく従来の生命科学がたどってきた方向である。すなわち機能単位を最終的には蛋白質分子に求める還元主義的な考え方であり、これが生命科学の発展に大きく寄与したことは論を待たない。しかも、極限操作や計測技術の支援を受けてこの考え方に基づく生命科学の研究が今後当分の間同様に展開されるであろう。しかし、生体の高度な機能は分析的な方法だけでは解明しきれない。いいかえれば要素として個々の細胞の機能あるいはそれらの単なる相互作用だけから高度な機能の発現のメカニズムは説明できない。異なる階層を相互につなぐ道具建てが必要とされる。下位の階層から上位の階層の秩序が形成される過程は、生物では自己組織化として古くから知られている。しかし、生物では下位の階層の相互作用が上位の時空間的秩序を作るだけではなく、上位の秩序が下位の要素の相互作用を時間空間的に統御するメカニズムがある。生物における形態形成や分化などはよい例である。生体の機能、例えば脳における情報処理や筋肉におけるエネルギー変換の問題を考える上で、階層内相互作用と階層間相互作用が重要な鍵を握っていることが示唆されている。生体の機能の理解において分析的方法の次には、この2種の相互作用を扱う方法の開発と応用が重要であり、医用生体工学の新たな研究課題となるであろう。

脳死による死の判定に国民的コンセンサスがない以上、わが国では臓器移植はきわめて困難な現状にある。仮にそれが認められても臓器提供数は必要数にくらべて絶対的に不足する。それゆえ人工臓器への期待は大きい。臓器移植が可能な社会的状況をつくりあげる努力もさることながら、人工臓器の開発は医療の現場から強く望まれている。

人工臓器には生体臓器とおなじ機能をもつことが要求される。そのうえ、体内に埋め込んで患者に負担を与えることなく、生体組織や血液とよく適合し、生体の要求に適応し長期間機能維持できるものでなければならない。しかし、現実にはこのような要求を満たすものは少なく、今後の研究が期待される。こうした要求をみたす人工臓器の開発には材料、エネルギー、機能（システム）の面から総合的に研究することが必要である。優れた人工臓器の開発には、優れた素材の開発が欠かせないのである。従来の人工臓器の製作には一般産業で開発された材料を流用してきたために、新しい進歩が期待できにくくなっている。分子レベルで数種類の異なる機能を内蔵し、必要とする機能のみを何らかの方法で作動させることのできる新しい材料が注目されている。これは多くの機能を分子レベルで連係させ

た材料とみなせ、材料構造の動的制御という観点から、系統的な検討をするに値する。こうした材料はインテリジェントDDS (Drug Delivery System) の開発を可能にする。この領域はインテリジェント材料の研究に新局面を開くものと考えられる。人工材料だけでは十分にその機能の再構築が難しい場合には、生体の機能と複合化することによってハイブリッド型人工臓器を構築するという考え方も大切になってきている。このようはじめからバイオマテリアルとしてデザインされた新素材の開発が待たれている。結局のところ、人工臓器の研究分野は医学と工学にまたがる典型的な境界領域に属し、その開発には医学や工学および医用生体工学に関するひろい多くの学問領域の知識が必要であるといえる。

治療は医療の基本である。生体を精緻な機械にたとえるなら、治療は故障した部分の修理作業である。その場合、体内の直接手でふれることのできない部位にふれる必要がある。医者の手の機能拡張か、または代替をする機器を作りたい。治療に当たっては、医者の目の機能拡張をはかる必要もある。これは可視化技術を応用したコンピュータ外科の考え方であり、安全な手術の手順の決定や精密手術の実現を目指して最近研究が始まった。計測や治療は無侵襲あるいは無拘束で行えるならそれにこしたことはない。工学は診断や治療において医師の感覚の感度や精度、ダイナミックレンジを向上させるための機器を開発してきた。これらを可能にする究極の技術としてマイクロマシンの開発が望まれる。目、耳、触覚、手の機能拡張または代替物としてのマイクロマシンである。

治療に当たって、ある場合には「修理部品」が必要である。これは医用生体材料の開発あるいは人工臓器を含む代替機器の開発の必要性を意味する。生体材料や代替機器を生体にとりつけることは、生体の部分システムを変えることを意味するので、当然生体システムの動作（パフォーマンス）は変化する。生体の適応能力には限界があるので、生体システムの中でよいパフォーマンスが得られるように代替物を設計しなければならない。そのためには工学的立場に立って生体の構造と機能、並びに生体システムの動作特性を知る必要がある。

冠動脈は心臓を栄養する血液が流れる動脈であるが、その疾患の発生は、空間的、時間的ならびに個体的にみて決して均一ではない。たとえば時間的には正午前に発生頻度が最大になる。また個体的にも冠動脈疾患の危険因子は特定の人に発生しやすい。発症する地域も偏っている。現在の医学では治療の目標を主に罹患臓器の機能回復においており、病因の除去や形態の修復はまだ困難である。これを可能にするには、人の一生という時間スパンを考慮した新しい生命科学すなわち時間医学をあらたに展開する必要がある。

今後の医療技術はマクロからミクロの世界へと進む。治療技術では人の手で直接に患者にさわる方法から間接的かつ遠隔的に機械的な手で操作する技術へと変化する。肉眼で直

接見て操作する技術から人工的につくられた空間で我々の手が操作し、実際の空間では機械の手が操作するという治療技術が開発される。また、検査の世界では疾病から生じる各種代謝物の計測にもとづいて発生源を探索するという手法から、その発生源を直接探査し、その構造や機能を直接に検査する手法、また疾病の根本原因となる遺伝子の遺伝情報の解読へとすすむものと考えられる。究極には人の誕生から死までが遺伝子によって予測される時代が到来するであろう。医療では侵襲から低侵襲そして非侵襲の生体操作技術が開発され、そして取り扱う対象は疾病からその発生の過程へと変化するであろう。

高齢化社会における医療福祉技術の開発も緊急のテーマである。わが国はいまや平均寿命80年という世界最長寿国であり、21世紀初頭には国民全人口の4人に1人が65歳以上の年寄りが占めるようになる。そのうち半数は75歳以上であり、15-64才の勤労者人口が急減する。高齢者の生活援助費や医療費などを単純にその時代の勤労者全員が負担すると仮定すると、現在高齢者1人当たり勤労世代5.8人、2020年には2.3人が負担しなければならない。高齢者ケアの主体を在宅に求める必要があり、家族やホームヘルパーなどの介護負担を軽減する介護支援機器や福祉ロボットの開発が急務である。高額医療をさけるための在宅医療というのではなく、高齢者が地域の中で生活ができるような社会的背景をつくり、そのなかでの在宅医療を推進するべきである。医師が病院から遠隔で指示することにより、在宅のままで患者自身またはその周囲の人が治療を行ったり、高齢者の生活を維持するシステムの構築が必要になろう。また高齢者が外科手術をうける場合、術後の社会復帰のためには低侵襲外科治療が必要であり、それを可能にする手術支援ロボットの開発が待たれる。高齢化社会が抱える様々な問題に対し、わが国は政治、経済、文化などの面から解決をはからねばならないが、この社会を構成する高齢者、および高齢者を介護する者一人ひとりの生命や生活に関わるのは、医学と医用生体工学であることを忘れてはならない。

科学技術の発展に伴い、人はこれまでに経験しなかった新しい環境、例えば、宇宙、深海、高深度地下、乾燥した砂漠、極地やその他の環境へ進出するようになる。そういった異環境、極限環境に対応する医用生体工学も必要になるだろう。実際、宇宙や深海の探索が始まっている、こうした研究へのニーズが高まっている。

また、科学技術の想像を越える急激な展開は人間と機械の共生について新たな問題を投げかけている。これらの問題を適切に解決し、生命と技術の在り方について考察を深めることが医用生体工学の目指すところでもある。上述のような将来展望のもとに医用生体工学の基盤を確立し、同分野の学問的・社会的責務を遂行するには、包括的かつ統一的な観点からこの領域の再編成を行うことが必要である。そうすることにより医学や関連する工

学諸分野とのより一層密接な協同と協調関係が生まれ、他の学術への影響力も増大するであろう。

以上をふまえ、医用生体工学研究における先端的な研究分野や研究対象の例を示す。

1) 生体高分子・医用材料工学分野

生体物性（材料、機械力学），生体高分子，先端無機材料，セラミックス，生体物質輸送と生体膜，材料表面物性，医用材料，生体物性計測など

2) 人工臓器工学／人工感覚工学分野

生体情報制御，生体エネルギー輸送・転換系，流体力学・レオロジー，生体刺激装置，治療制御工学，人工臓器工学，生体臓器機構学，臓器代行器工学，ハイブリッド技術，言語発生力学，人工感覚工学，感覚器生理，臓器型DDSなど

3) 医学・生物学信頼性工学分野

信頼性工学，人間工学，生体物性工学，医療機器およびシステムの安全性設計技術，病院安全工学，環境工学，航空宇宙支援技術，極限環境生理学，事故発生と対策，バイオエシックスなど

4) 生体サイバネティクス分野

サイバネティクス，生体制御，生体機械機構，生体刺激装置，運動器代行学，ロボット工学，人工生命，自己組織学，集団生態学など

5) 先端生体計測技術

生体計測，無侵襲・無拘束・リアルタイム計測技術，超微弱信号計測（電場・磁場），体内超高感度トランスデューサ技術，計測オートメーション，超信頼性・耐久性センサー，ディスピセンサー，医学・医療における先駆的未踏計測技術など

6) 医療システム工学分野

医療計画（需要モデル，スタッフ計画養成，疾病時間病理など），医療評価，医療情報システム，医療安全工学，ホスピタルオートメーション，自動健診／地域医療システム，医用データベース，医用ソフトウェアとテレメディシン

7) 生体情報処理工学分野

生体情報処理，モデルに基づく生体信号解釈，医用数理統計，数量診断，医工学におけるシミュレーション技術，医用画像処理，高速三次元医用画像，医用情報圧縮復元技術（伝送・処理），逆問題，光情報処理工学，スーパーコンピュータ利用問題など

8) 電磁波医療応用工学分野

電磁波の生体作用と生体電磁物性，電磁環境問題，自由電子レーザ技術，オプトエレクトロニクス技術，高レベルエネルギー利用医学など

#### 9) マイクロ・マシン工学分野

先端材料，新素材，極限微小加工，治療用マイクロ・ロボティクス技術，細胞内機械機構制御など

#### 10) バイオテクノロジ一分野

生体ミメティクス，治療用生体組織培養技術，生体内超微量成分，分子創薬理論，スマートDDS，未踏技術による感染症対策，Computer-assisted Drug Designs，遺伝子治療のための導入法，細胞外マトリックス修飾による細胞増殖制御，細胞接着と発癌・転移調節，遺伝子工学：制限酵素の設計，ヒト由来遺伝子トランスジェニックマウスによる薬物試験法ジーンターゲッティングによる遺伝病モデルの作成，サイトカイン・成長因子の受容体・拮抗物質，人工神経纖維，中枢神経系の再生・修復など

#### 11) 治療工学

生体物性，工学的治療法，コンピュータ外科，医用バーチャルリアリティなど

#### 12) 医療の倫理，終末医療

### 8. 医用生体工学研究を推進する研究機関の現状

世界の先進各国では，形態や運営はそれぞれ異なるが医用生体工学関係の研究機関があり，医学に貢献するのみならず，工学のユニークな新分野として育成している。ドイツのMax-Planck Institut für Kybernetik，オランダのInstitute of Medical Physics，イスのInstitut für Biomedizinische Technik，ロシアのAll-Union Medical Engineering Research Institute，アメリカのNational Institute of Health（N I H），チェコ共和国のCenter for Theoretical Study，ポーランドのNational Center for BioCyberneticsなど枚挙に暇がない。わが国でも生物学系の国立研究所としては，岡崎共同研究機構生理学研究所および基礎生物学研究所，三島市の国立遺伝学研究所などの他に，最近では各地に生命科学を指向した研究施設がつくられているが，どちらかといえば狭義の生命科学の研究を指向しているものが多い。また山形県の生物ラディカル研究所等のように，生命生活支援工学の実現を期したもの，生体光情報研究所のように生体計測指向の研究所もある。しかしながらわが国のこれらの研究所は，生命科学の基礎研究のみを指向するもので，そこでの成果は医療の向上には直接結びつかない。21世紀に向けて，これらの研究所の成果を生命の尊厳のために還元し，人間性の復活を指向する医用生体工学の研究を強力に推進しなければならない。この意味でわが国が国力に見合った医用生体工学研究所を持っているとはいえない。

最近の世界的な動向をみても，工学の各部門は研究の対象を医用生体工学分野へ拡充し

ようとしていることは明らかである。医用生体工学は元来電子工学と医学との境界に発生した医用電子工学を基軸として発展した学術である。医用電子工学の成果が生体計測や生体への作用などに反映され、生体に対する工学的な理論と手法が具体化されていくにおよんで、いまや工学は生体を対象とする方向に飛躍的な発展を目指し、新しい科学技術の柱を築く時代を迎えており、すでにアメリカでは次世紀の医学の課題を、科学の立場からは Brain Research, Embryo Research, Medical Information の3つに絞り込み、また科学としての医学研究を推進する基盤要件として Medical Engineering, Gene Engineering および Computer のこれまた3つを挙げている。医用生体工学はこれまでの診断・治療機器を通じての臨床医学との協調ばかりでなく、直接に基礎医学研究の先端を開拓する役割を引き受け、究極には人類福祉の増進のために貢献すべきである。この辺りが西欧とくにアメリカで、次世紀の医学研究とその支援技術に Medical Information や Medical Engineering あるいは Computer という方針が確認された背景と考えられる。これは本来わが国でも先覚者が目指してきた方針に他ならない。しかしながらわが国では、これまで多くの関係者が医用生体工学研究所設立をはじめとしてこの分野の拡充の必要性を説いてきたにも拘わらず、為政者や政策決定者は研究所設立の調査研究などの必要性すら理解しているとはいえないのが現状である。

## 9. 国立医用生体工学研究機関設立の必要性

我が国には生物学系の国立研究機関としては、岡崎共同研究機構生理学研究所および基礎生物学研究所、三島市の国立遺伝学研究所などの他に、最近では各地に研究施設がつくれられかなり充実している。しかしこれらは基礎生命科学を指向しており、その成果の医学への応用をはかる研究機関はほとんどない。基礎生命科学や工学の成果を医療の向上に直接結びつける国立研究機関が是非必要である。

医療に先端科学技術研究の導入を促すには、まず関連の先端科学技術研究の中心的研究機関を設け、専門の学際研究者に研究のための場を提供することが必要である。またこの研究機関には“Explorative Clinic”と名付ける医療施設を併設し、医師と先端科学技術研究者の協力と、患者の理解のもとに実験診療を試みることが望まれる。もちろん国際的な人材の交流を行なう C O E (Center of Excellence)として次世紀への貢献を図るものでなければならない。

わが国は科学技術の分野において創造的かつ独創的な学問体系を確立しなければならない。なかでも医用生体工学は各大学等で研究すべき学術体系の新しい領域である。工学が産業を支援する科学技術の開発を目指すとすれば、医用生体工学は、個人の健康・医療・

福祉を支援する科学技術の開発を探究すべきである。アメリカは次世紀の医学にMedical Information, Medical Engineering, Computerといった先見的な理論や技術が必要であると予見したことはすでに述べたが、これは医用生体工学に対する認識の深さによる。医学の発展にとって理工学の貢献は欠かせない。要するに医用生体工学研究の基盤を確立し、持続的な発展を維持することが、医学の長期的な発展を約束する。とくに医用生体工学はこれまでのような診断治療機器を通じての臨床医学との協調から、直接に基礎医学研究の先端を開拓する役割を引き受け、究極として人類福祉の増進を目指さねばならない。

さて現実を見据えると、わが国では基礎生命科学や工学の成果をとりこみ横断的先端医療の推進をはかる国立研究機関がないために、これらの成果が医療や福祉水準の向上のために有効に生かされているとは言い難い。日本の医療水準は高く見えるが、実際には患者や家族の満足度の面では低劣である。いわばサービス産業としての基本である顧客満足度が著しく劣るのである。これは、日本の医療が日本の医学の単純な下流であり、疾患別に細分化された専門分化の弊害によるものである。臨床現場の患者の不満を解消するためには、薬剤ばかりでなく、介護や看護などのサポート機器、X線CTやMRIなどの物理的診断装置あるいは治療機器を使用するなど、医用生体工学の成果に頼るべきであろう。

十数年後には人類が経験したことのない速さで日本の超高齢化が始まる。地域の主婦の労働を当てにした現在の在宅ケアの解決シナリオは早晚破綻するものと考えられる。わが国のように労働賃金の高い先進国において、高齢者のための看護に、医用生体工学機器の適切な援用は有効であり、また欠くことができない。医用生体工学のみが、高齢化社会で不足する労働力を支援する介護機器や診断装置あるいは治療システムを開発しうる。厚生科学会議の報告書にもあるように、厚生科学研究への国民の強いニーズがここにある。

こうした状況下にあって、7. で述べた医用生体工学の先端的研究分野の諸課題を探求する研究所と、かつそこでの成果を社会に還元する医療施設が併設された疾患別や臓器別でない統合的な診断や治療一般に関する先端医用生体工学研究のナショナルセンターが必要である。このような研究機関に併設された医療現場では、患者や看護婦も医師と対等な主役であり、また研究所では理工学者も医学者と対等な開発・研究環境をもつべきである。幸いなことに、全国各地に広がる大学と先進医療グループには、医用生体工学の研究者が多い。大学や研究機関に、正式な講座やポストがないにもかかわらず、医学と工学の双方から医用生体工学への強い関心があり、いつでも協力を惜しまず、そして医療の現場のデータがすぐに工学の研究にフィードバックされる態勢がある。民間企業にもプラグマティストが多く、先例にとらわれず役にたつものを早く作り上げることに協力する風土がある。医用生体工学の研究開発に携わる人的基盤と国民性とでもいえるこうした特質は有效地に生

かすべきである。

アメリカは医学研究の水準向上を重要政策のひとつに位置づけ、その具体化の手段として首都ワシントンの近郊に、N I H (National Institute of Health) を設立し、長年にわたり成果を挙げてきた。アメリカに学ぶべきことは、こうした拠点に研究費を集中して、公私立の医学・生物学系大学などの研究活動を刺激するのみならず、自国内と等しく広く全世界の優れた研究を援助するという基本方針である。しかし時代の流れは、N I Hの功績を認めながらも、研究拠点を米国内各地に分散させる方向に向かっている。

わが国においては、まず医用生体工学の先端研究を推進しその成果を医療に還元する国立研究機関を設けるのが急務で、国として早急な整備計画を策定する時期にある。幸いわが国でも政治や経済の機能分散化に対応して、全国の多数の地区で学術研究都市の計画が進められている。この好機を活かして各研究都市構想の主要課題にマッチした先端医学研究施設を配置する案が浮上している。これははなはだ適切な案である。つまり既存の研究施設の課題と重複することなく、特徴的でかつその地区のニーズに整合性の高い医学・生物学上の研究課題を遂行する施設を複数並列に整備することが可能になるからである。とくに理工学系の先端科学技術研究施設を擁し、その技術を医学・生物学系と連係して独自の研究に発展させるような医用生体工学の国立研究機関の設立が望まれる。

医用生体工学は人類の平和と福祉、生物をとりまく環境に受け入れられやすい研究を目指すものであり、その推進を可能にする施策が21世紀の日本にとって重要であることを強調したい。

## 10. 国立医用生体工学研究機関の他の役割

今日のわが国の国際的な役割を考えるとき、このような医用生体工学研究機関の果たすべき役割は国内的なものにとどまらない。アジアの医用生体工学の教育と研究のセンターとしての役割をもち、アジアの医療技術の向上を図るばかりでなく、人々の精神的に豊かな生活を支援するための活動をすべきである。具体的には、国立研究機関の各部門には客員研究員のポストを作り、アジア各国をはじめとして世界からの研究者を受け入れ、教育と研究情報交換をはかる。国内外の医用生体工学とその周辺に関する研究状況の把握を容易にし、また情報の発信基地になるようにする。また教育部門を設け、国内外の若手研究員に対する短期セミナを開催したり、指導者や教育者および医用生体工学専門研究者の養成を行う。研究所には諸外国の医用生体工学関連機関との“人、もの、情報”的の交換の窓口になる国際部門が必要であろう。現在、国際社会は複雑化してきており、国の広い意味での外交は高度な専門知識なしには成り立たない。医療分野で世界に貢献をするには我

が我が国が率先してWHOやユネスコなどの国連機関を通じて活動を広める必要がある。このような平和的活動こそ我が国が国際社会から求められているものであり、そのために進んで貢献すべきものと考える。

国際的安全保障や地球規模のセキュリティを考慮すると、この種の国立医用生体工学研究機関がうまく機能する国は日本である。危機管理の面から見ると、アメリカに万一の事態が発生した時に、一部でも代替できるのは経済的にみて日本とヨーロッパ連合（EU）である。しかも危機対策をすべて欧米に任せてよいかは、これから議論を待つところである。先端的研究機構がアメリカ一国に集中することは、国際化時代に災害やテロに対して余りに脆弱と言うべきかも知れない。さりとて、アフリカや南アメリカなどに分散しすぎるのも非効率で現実的でない。

またこのような国際的な国立医用生体工学研究機関に併設される医療部門は、平時はもとより有事の際にも弱者救済の真価を發揮せねばならない。この点で空間的には24時間対応可能なハブ空港に隣接しているべきである。国内のみならず海外での災害にそなえて24時間にわたって対応できる態勢が必要である。社会的混乱への対処は、常に一刻を争うものである。有事には情報収集のみならず実際に援助や協力行為を通じて貢献しなければ信頼に足る国家とは言えない。1995年1月に起きた阪神・淡路大震災の教訓を活かさなければならない。世界第2位のGDPを誇るわが国は、アメリカへの依存から協力への一步を進める時期である。そうして国際的に納得される国力の示し方を検討すべきである。

医療産業は将来の巨大なビジネスを提供し、経済的波及効果が極めて大きい。この分野の研究開発は住宅産業と並んで投資の波及効果が大きくまた持続的である。また国民の納得できる内需拡大と、世界各国に向けて摩擦を起こさない輸出が可能である。基本特許権を獲得し基本規格を国際的に統一させることのできる大型ビジネスを生むことができる。バイオテクノロジーは、既に米国に取得された基本特許の網から逃れられない。マルチメディアやマイクロマシンなどの研究者が常に応用目標とするのは医用生体工学である。わが国が、経済摩擦なくして世界をリードできる分野のひとつは、医用生体工学とそれに関連する産業にある。国立医用生体工学研究機関の研究プロジェクトには、安全性、高信頼性、高稼働効率、使い易さ、多機能性などを評価基準にして、医療機器を安定に供給する技術も含まれる。また高度情報化社会におけるマルチメディアを活用し、在宅医療や個人健康情報を端末の機器との整合性まで含めて検討し推進する政策医療も、個別かつ並列の研究プロジェクトとすべきである。

かつてイギリスでは基礎研究と応用研究が乖離していた。今日、イギリスでは伝統の牙

城であるオックスフォード、ケンブリッジ両大学からの猛反対を押し切って、応用科学に注目した工科大学の計画設置を進めている。日本の技術戦略を考えると、医用生体工学にかかる技術は国際競争下に徒らな紛争を起さず、かつ先行開発が将来適切な経済的利益を生むものでなくてはならない。貿易額において日本の輸出の3分の1を占める自動車産業は今後はそれほど高い成長は望めない。医療産業はいまのところ輸出額にして自動車産業の1%に過ぎないが、成長率は年率6%に及ぶ成長が予測される未来産業である。医用生体工学はそのための基礎技術しかもヒューマニティに根ざした技術の開発を目指すものである。またそれを通じて国際平和に貢献するもので、単なる産業振興のための学問ではない。むしろ近年日本学術会議が提唱して注目されている「戦略研究」の目標に取り上げて然るべき領域である。

先進各国では、医療機器の開発技術は自国で持つべきであり、その評価もまた自国で可能でなければならないとされている。自動車やパソコンは、もはや発展途上国の技術開発目標である。医用生体工学研究機関は医用生体工学機器の国際標準化センターとして機能し、政治的にも経済的にもわが国のプレゼンスを高め、国際貢献の中核としての役割を果たすであろう。医用生体工学は次世紀の基盤産業を興す原動力となるべきものであり、自然との調和のとれた非軍事平和産業を育成する上で国家戦略的に重要であると認識すべき分野である。そしてこの世界から歓迎される研究は新しいビジネスチャンスをも主導することになるであろう。すなわち平和的産業活動の活性化による国際社会への貢献はわが国の国益に他ならない。

21世紀の世界において日本は何に拠って立つべきか。日本の今日の繁栄は何に依ってきたかを考えると答はひとつである。50年前、産官学の密接な連係と強力な指導力の下で実行された「傾斜生産方式」であった。今こそ再び産官学の密接かつ強力な指導性が求められている。

## 11. おわりに

近年生命科学分野における研究の重要性が叫ばれ、そのさまざまな推進計画が実現に向かって進んでいる。これは生命科学の領域が極めて広大であり、人類の未来が懸かっているとの認識によると思われる。医用生体工学の研究・開発は21世紀の人類の健康と福祉のために極めて重要で緊急を要する課題であるが、解決すべき問題点が多い。特に人材の育成、独創的な研究の推進が最も重要な課題である。この解決には教育機関の整備と専門研究所の設立が必要である。日本学術会議では、第6期以来学術の長期的洞察のもとに生命科学の将来像について検討し、近接領域との関連性を考慮しながら、いくつかの研究所

設立勧告を行なってきた。その結果、基礎生物学研究所や生理学研究所などが実際に設立された。生体工学基礎研究所についてもすでに1975年に日本学術会議は政府に対して設立を勧告している。近年に至って再び有識者の危機意識が高まり、関係者の努力によって設立計画が具体化しつつある。医用生体工学研究連絡委員会および医療技術開発学研究連絡委員会は、国立医用生体工学研究機関設立の必要性と緊急性に鑑み、今回の報告書を提案するに至った。

#### 「参考資料」

- (1) 日本学術会議医用生体工学研究連絡委員会主催 フォーラム「医用生体工学とその関連分野における研究の現状と展望」討議資料、1994年12月
- (2) 「BME教育に関するアンケート調査結果」医用電子と生体工学vol.31, No.1, 1993

「付記」

本報告書の作成にあたって、下記の方々の御協力を得た。ここに感謝する次第である。

石 原 謙（国立大阪病院臨床研究部部長）

稻 田 紘（国立循環器病センター研究所機器管理室室長）

医用生体工学研究連絡委員会・医療技術開発学研究連絡委員会報告

「医用生体工学の現状と展望」訂正表

頁・行	誤	正
16頁下から 12行目	ポーランドの <u>National</u> Center for BioCybernetics	ポーランドの <u>International</u> Center for BioCybernetics