医用精密工学*

Biomedical Precision Engineering

佐久間一郎**
Ichiro SAKUMA

「医用精密工学」とは1980年前後に当時東京大学工学部精密機械工学専攻教授であった舟久保らが提唱した用語である¹⁾。当時、代表的な工学技術の医学応用という観点からは心電計、血流計、血圧計など電気電子工学を基礎におくものが主流であり、「医用電子工学」という名称が示すように電子工学の応用が先行していたが、機械工学・化学工学の医療分野への応用も人工透析や人工心肺に代表される機器の開発も進められていた²⁾。舟久保は要求機能を実体の機械として実現する精密工学の観点からの医用精密工学の研究により実現する医用機器の技術要素として、(1)機械の超マイクロ化、(2)定量測定できるマイクロセンサ、(3)測定データの情報処理、(4)情報の無線伝送方式、(5)超マイクロ機械を実現するための機能性材料の開発を挙げている¹⁾。

わが国の少子高齢化は急速に進行しており、活力のある社会を維持するためには健康の維持が大きな課題となりつつある。一方医療産業は今後成長の見込まれる分野であり、先進各国においては産業化へのさまざまな取り組みがなされており、このような方向性はわが国にもあてはまるものと考えられる。社会的にも産業的にも健康で活力のある社会の実現に貢献する種々の医療機器・福祉機器・生活支援機器を実現するための工学である医用精密工学は今後その重要性を増すものと予想される。

現在と1980年当時の状況を比較した際の最も大きな変化として、ヒトゲノム解読に代表される生命科学の進歩が挙げられる。得られた膨大な知見を統合化して複雑な生命現象を数学的にモデル化し、計算機シミュレーションを通じて生命現象を統合的に理解しようとする試みがなされている³⁾。しかしまだ膨大な未解明の生命現象が存在することから、ニュートン力学や電磁気学のように機械設計に適用できる体系化された知識体系が生命科学には未成熟であることは否定できない。

医用精密工学はこのような生命科学分野における新たな

方法論も提供できるものである。例えばMEMS技術を活用した μ TAS (micro total analysis system) は細胞レベルでの微量な化学成分の分析を可能としつつあり⁴⁾、また各種MEMS技術を応用した細胞操作により、従来困難であった高い再現性と定量性を有する操作を可能としつつある⁵⁾。生体組織・細胞は体内から取り出すとその応答が体内におけるものと大きく異なることが生じ得ることはよく知られている。このため生体内の自然な状態での細胞・組織の機能を観測したいという要求は常に存在する。近年、生理活性物質により生体の特定部位をマーキングし、あるいはある特定の機能が働いた場合のみマーキングし、放射線画像計測技術、核磁気共鳴画像計測技術等を駆使して、生体の機能を可視化する分子イメージングの研究も盛んになりつつある⁶⁾。従来の形態画像に加えて、組織の代謝、遺伝子の発現などを時空間的に把握しようとする技術であり、生体機能の解明に大きな貢献が期待されている。前述の数学的モデリング手法とこれら精密工学技術を用いた定量測定解析技術を駆使することで、ゲノム、細胞、組織、臓器というマルチレベルのスケールを有する多階層の現象を構成論的に理解する試みがなされ、特定の疾患のメカニズムが徐々に明らかになり、当該疾患に対する有効かつ合理的な治療戦略立案が可能になっていくことが期待される⁷⁾。

一方医療機器開発の立場からは「低侵襲性」と「診断と治療の一体化」が今後重要になるものと考えられる。健常な組織にはできるだけ傷害を与えず、病変部のみを治療あるいは切除する標的治療を、内視鏡やカテーテルといった体内に挿入される微小なデバイスを駆使して体内で治療を行う機器の開発が進められている。これらは高齢者に適用可能な優しい治療であり、可能な限りの機能温存につながることから治療後の生活の質(QOL)の向上にもつながる。3次元医用画像処理技術、術中各種生体計測技術、各種標的治療技術、精密位置決め技術、ロボット技術等の融合により、新たな治療システムの実現が期待される⁸⁾。

福祉工学の分野においては、高齢者、障がい者の自立を支援する機器、介護者の負担軽減を目指した機器の開発がなされてきた。特にロボット技術をこの分野に応用することが検討されてきたが、いまだに実用化は限定的である。人間と接触する機械システムの安全実現手法、軽量かつ高出力のアクチュエータ開発、優れたヒューマンインターフェースの開発等が技術的課題となる。

また今後は脳卒中などの後遺症としての運動障害をリハ

*原稿受付 平成20年11月13日

**正会員 東京大学大学院工学系研究科(東京都文京区本郷7-3-1)

佐久間一郎

1985年東京大学大学院工学系研究科博士課程中退、平成元年工学博士(東京大学)、東京大学工学部助手、東京電機大学理工学部、助手、講師、助教授、東京大学大学院新領域創成科学研究科、助教授、教授を経て、2006年東京大学

大学院工学系研究科教授、現在に至る。専門分野は医用精密工学、生体医学、コンピュータ外科。

ビリテーションにより回復するための技術支援も重要な研究課題である。リハビリテーションにおいては筋肉などの運動器官のリハビリテーションだけではなく脳の高次機能も含めた神経系全体のリハビリテーションを効率よく短期間に行うための科学的な知見が蓄積されつつあり⁹⁾、これとロボット技術を融合した高機能なリハビリテーションシステムが出現しつつある¹⁰⁾。

これらの新規な医療機器・福祉機器の研究開発成果を実用化するには、ヒトを対象とした臨床研究が不可欠であるが、わが国においては、種々の社会的要因から臨床研究を行いにくい環境が存在する。また革新的な技術であるほど、ヒトに臨床使用した場合のリスクアセスメント手法は未知であり社会的に受容されうる評価方法の確立が大きな課題となる。過度に厳しい基準を適用することは研究開発を阻害することにつながり、安易な基準は臨床試験中の事故の発生という重大な事態につながる。学問的な知見に基づく適正なリスク評価の手法についても工学の立場から検討することが、研究開発成果の社会への還元には今後重要となると思われる¹¹⁾。

今後の医用精密工学研究は生命科学の基礎研究により明らかになる疾病治療のメカニズムや、生体の制御システムに関する知見を得るための新たな方法論を提供する役割をもつ。そして得られたこれらの生命科学の知見を現実の疾患の診断治療技術開発に活用する工学的設計手法の研究を推進すべきであろう。また福祉工学においても単なる失われた機能の代替を行う機器の開発ではなく、積極的に失われた機能の回復、治癒を促進するような機器の開発が求められる。そのためには再生医学的な知見も含めた総合的なアプローチが必要になるものと考えられる。このような観点からも四半世紀前に設定された(1)機械の超マイクロ化、(2)定量測定できるマイクロセンサ、(3)測定データの情報

処理、(4)情報の伝送方式、(5)超マイクロ機械を実現するための機能性材料の開発という課題設定は、具体的内容は技術の進歩とともに変化するが、基本的には現在においても適用できる。そして現段階でこれらに追加すべき課題として(6)生命科学の最新の知見の積極的な工学的活用を挙げたいと考える。

参 考 文 献

- 1) 舟久保康：医用精密工学序説，精密機械，**48**，5（1982）545.
- 2) 太田和夫・阿岸鉄三：人工臓器 機能代行の現状と未来，南江堂.
- 3) E.J. Crampin, M. Halstead, P. Hunter, P. Nielsen, D. Noble, N. Smith and M. Tawhai: Computational Physiology and the Physiome Project, *Exp Physiol*, **89**, 1（2003）1.
- 4) J. West, M. Becker, S. Tombrink and A. Manz: Micro Total Analysis Systems: Latest Achievements, *Analytical Chemistry*, **80**（2008）4403.
- 5) H. Andersson and A. van den Berg: Microfluidic Devices for Cellomics: A Review, *Sensors and Actuators B*, **92**（2003）315.
- 6) T.F. Massoud and S.S. Gambhir: Molecular Imaging in Living Subjects: Seeing Fundamental Biological Processes in a New Light, *GENES & DEVELOPMENT*, **17**（2003）545.
- 7) 科学技術振興機構 研究開発戦略センター：医工融合によるイノベーションの推進，(<http://crds.jst.go.jp/output/pdf/06sp14.pdf>)（2007）.
- 8) 佐久間一郎：低侵襲手術と精密工学の今後，精密工学会誌，**74**，11（2008）1135.
- 9) H. Barbeau, K. Norman, J. Fung, M. Visintin and M. Ladouceur: Does Neurorehabilitation Play a Role in the Recovery of Walking in Neurological Populations?, *ANNALS NEW YORK ACADEMY OF SCIENCES*, **860**（1998）377.
- 10) L. Dipietro, M. Ferraro, J.J. Palazzolo, H.I. Krebs, B.T. Volpe and N. Hogan: Customized Interactive Robotic Treatment for Stroke: EMG-Triggered Therapy, *IEEE TRANS. NEURAL SYSTEMS AND REHABILITATION ENG.*, **13**, 3（2005）325.
- 11) 科学技術振興機構 研究開発戦略センター：医療機器開発における ICR の推進（<http://crds.jst.go.jp/output/pdf/07sp14.pdf>）（2008）.