リハビリテーション工学からみた補装具の諸問題

土 屋 和 夫

I. はじめに

リハビリテーションの向上を工学的にみると、階層的に次の4種に大別できる。即ち、

i) 障害者にとっても健常者にとっても快適な社会環境とはどのような構造であるべきか、

ii) 環境の変化に対し、障害者がいかにこれを克服するか、またはいかにこれに順応できるか、その動的挙動を解析する。

iii) 障害者の動的挙動をいかに計測し、いかに客観的評価をするか、

iv) 障害者の機能的欠陥を補う機器はどうあるべきか、

現在までのリハビリテーション工学は、まだ最低次のiv)しか着手しておらず、少しiii)に手を伸ばし始めた段階である。その理由は、従来の工学では、計測し評価できるのは、物理的挙動、つまり、力学的挙動のみに限られ、心理学的または社会的には把握できなかったから、人間の動的挙動に関しては手がつけられなかったためである。

II. 福祉社会指数

以前から筆者が提唱してきた¹⁾この指数は、社会環境の面からリハビリテーションの容易さを計測しようとするもので、これを図1に示す。 I_M , I_R , I_T , I_P , I_S は図の下に説明してある。福祉社会指数 I_W は、これら各指数の積で表わされる。例えば、 $I_M = I_R = I_T = I_P = I_S = 0.5$ とすると、 $I_W = (0.5)^5 = 0.03125$ となり、約3%の障害者

REHABILITATIVE INDEX

$$(0.5)^5 = 0.03125$$

図1 福祉指数 I_W

$$I_M = \frac{\text{リハに精通した医師の数}}{\text{リハに従事する医師の総数}}$$

$$I_R = \frac{\text{リハ設備の完備した施設の数}}{\text{リハに関係する病院、施設の総数}}$$

$$I_T = \frac{\text{リハに精通したチームの数}}{\text{リハに従事する医療チームの総数}}$$

$$I_P = \frac{\text{本当に役に立つ福祉機器の数}}{\text{社会に出廻っている福祉機器の総数}}$$

$$I_S = \frac{\text{障害者も自由に使える施設の総数}}{\text{社会にある公共機関、施設の総数}}$$

が満足に社会復帰できるに過ぎないことを表わす。実情は、例えば、 I_M を整形外科医、リハ科医の総数に対して、リハ専門医、認定医及び厚生省社会局、労働省労働基準局の実施している義肢装具適合判定医研修会の講師と受講者の総数と考えると、 $I_M \leq 0.05$ 程度と推定される。他の指数もこれと同程度と推定すると、 $I_W \leq 1.5 \times 10^{-5}$ となり、工学的にはほとんど0に近い。これを向上させるには、各指数をバランスさせて大きくするようなシステム・アプローチが必要となる。

III. 動的挙動の計測、評価について

ADL 評価や歩行分析に関しては、動的挙動の記述が必要である。即ち、力、関節位置、関節角度情報の経時変化が必要である。これらのデータは物理的な運動方程式を解くのに必要なもので、十分とはいえない。心理的パラメータを加えれば、更に複雑なものとなる。物理量のみを扱うにしても、人体は各種のリンクから構成されているため、実際には単純な微分方程式ではなく、多数の連立微分方程式モデルとなる。これに対しては臨床医

1983年6月10日、第20回日本リハビリテーション医学会総会セミナーⅢ。「リハビリテーション工学の最近の進歩」より。

* The problems of prosthetics and orthotics from the viewpoint of rehabilitation engineering.

** 労働福祉事業団労災義肢センター、所長 Kazuo Tsuchiya: Rosai Prosthetics and Orthotics Center.

図 2 環境制御の構造モデル

側に著しい数式アレルギーがあることと、工学側の現象説明があまりにも数式変換と境界条件の与え方に偏り過ぎていたため、相互理解が得られず、両者間にフラストレーションが蓄積してきている。このギャップを埋めるには、医、工が双方で歩み寄ることが大切である。一方のみに殻を破れと要求するだけでは、双方が不幸になるのみであるばかりか、障害者が最も迷惑を受ける。

さて、いろいろの動的挙動を評価するのに、最小限の数式は止むを得ないとしても、全般を統一した評価体系を確立しておくことが重要である。ADL 評価法は、従来比較的時間の概念が少なく、工学側からみると、静的な平衡状態においてその動作が可能であったかどうかを論ずる主観的要素の方が、主をしめてきたように思われる。

そこで、図 2 に示すように、環境と本人の関係を考慮に入れて、ある 1 つの動作を観察し、記録をとる一般的な ADL 評価方法を工学側ではモデル化をした。即ち、例えば、ネクタイを結ぶとか食事をする動作の場合に、環境にある物と物との距離と結合方法をその人がどのようにに制御したかを忠実に記録し、その動作完了までに、どのような手順ステップで運動し、どのくらいのステップ数と所要時間を要したかを分析記録するという基本案を出した。この場合は、物との距離、手順ステップ数、所要時間と所要経費をパラメータとして挙げてある。評価関数は今のところ、これらパラメータの線形または非線形結合で表わそうとしている。このためには、かつて生産現場で行なわれたような作業分析手法が重要な鍵となってくるであろう。各パラメータの重みづけには、社会学者、心理学者、経済学者、医学者、工学者のシステム・アプローチが必要となるであろう。リハビリテーション工学はこの段階にまで少しずつ拡大しつつある。

図 3 寝たきり障害者介助機器システムの 1 例

IV. 現在の義肢開発の状態

WIME ハンドが実用化されて、すでに数年が経過した。その間に科学技術庁では昭和 52 年以後、サリドマイド児用義手システムの開発計画がプロジェクトとしてとり上げられ、引き続いて“寝たきり障害者介助機器システム”の開発班が東大舟久保教授により設けられた。これは、上記サリドマイド児用義手をマニピュレータとして利用し、マイクロコンピュータによって、義手ばかりではなく、物品収納棚（食品収納）や自動搬送車も含めて、寝たきりの患者が呼吸や音韻でマイコンを駆動して自立的な日常生活が営めるようにと企図されたものである。これを図 3 に示す。一種の環境制御システム (Environmental Control System, 略して ECS) である。2 本のマニピュレータがあり、両腕での協調運動もできるようになっている。例えば、ジュースびんからカップにジュースを注ぎ、そのカップを患者の口許まで運搬したり、トイレの上にある食物をそのまま患者の前に運ぶことができるようになっている。しかし、1 kg 以上のものは現状では把握することが困難である。音韻制御というのは、三シラブルの音のピッチの高さを変えて発声することにより符号化された命令をコンピュータに記憶パターンと比較して認識させ、指令に相当する制御信号をコンピュータがマニピュレータや物品収納棚及び自動搬送車に発信するという方式である。現在このマニピュレータを音声で制御できるよう研究が進められている。

これに対し、義足の方も動力化とマイコン化が進行している。昭和 55 年度から、下肢機能の拡張という形のプロジェクトが工業技術院から医療福祉機器研究所へ委託された。内容は動力義足、動力装具及び三次元車椅子の 3 本立てになっている。研究所では直ちに企業参加を公募し、今仙技術研究所が幹事会社となって、三菱金属東京製作所と三菱電機中央研究所が参加し、開発委員会

図 4 動力義足システム

前列：左より、パワーユニットコントローラ、モータ切替装置、コンピュータ、パワーユニット
後列：動力義足

を設けて開発に着手した。プロジェクトは昭和 60 年に完了する予定である。

基本計画として、動力義足、動力装具には三菱金属の開発にかかる RSA（ロータリー・サーボ・アクチュエータの略語）という油圧の揺動型アクチュエータを小型化して各関節に利用し、その制御用コンピュータを三菱電機中央研究所がソフトウェアを含めて開発する。本体の義足部分や装具部分は今仙技術研究所が担当し、LAPOC 義足にならってモジュール化を行なうことになっている。

RSA は現行直径 70 mm 前後、幅 110 mm 前後まで小型化され、膝継手に導入された。これを駆動する油圧ポンプの小型化が重要ポイントで、油圧 100 kg/cm^2 のパワーユニットが弁当箱程度の大きさになるように試験中である。

エネルギー節約のため、平地等を歩く時にはパワーユニットの出力をほとんど 0 に近づけて、一般のパッシブな義足と同じように、摩擦係数を制御するのみにし、階段の昇降時には油圧をフルに出力にして膝の動きを制御するように計画されている。これにより、被験者に義足をはかせて過日臨床試験を実施した。

当初は健常者の階段昇降時の膝の動きをモデルとしてコンピュータに組み込み、試験の際に、被験者の感覚を尊重して歩き易いようにプログラムを修正した。その結果 10 段程度の階段の昇降ならば、左右脚を交互に踏み出して歩けるということを確認めた。パワーユニットと電池を別にして、RSA とソケット及び義足部分で約 10 kg の重量があり、装着感が重過ぎるのではないかと懸念されたが、パワーがついているためか、それほど重いと感じなかったと被験者は述べている。

図 5 研究開発の内容

また、義足ソケットは全接触型吸着式になっており、何らの懸垂帯もつけないで作られている。第二次試作では義足重量を 5 kg 程度以下にする計画がたてられている。

動力装具は義足に比し、少し計画がおくれている。これは被験者に装着する前に、健常者に装着し、マスタースレーブ方式の最適手段を研究しているためである。

なお、図 4 に電池を除いた全動力義足システムの写真を示す。

さらに三次元車椅子は、生産過程における下肢麻痺患者の職場拡大を目標として、前後左右任意の方向に動きうる台車と、上下動が 30 cm 程度可能な座席または起立式座席とを組み合わせ塔乗者が自由に駆動できるように設計されている。駆動は、自動車モードの場合はジョイスティックを用い、全方向モードの場合には音声制御ができるようになっている。これは生産作業中に手を使用するから、音声認識で全方向へ動きうるようにしたものである。現在第二次設計が進行中である。

こうした、エレクトロニクス化が次第にリハビリテーション領域に浸透して、リハビリテーション工学は新極面を迎えることになってきた。

V. リハビリテーション工学の今後の課題と展望

研究開発には二つの方法がある。1 つは良い機能をもったハードウェアの開発である。これに対し、実用化という面では、悪い機能をもったものを消去していくことが重要である。即ち図 5 に示すような努力が払われないと、良くも悪くもない物で市場がおおわれ、実際の使用者は困ることになる。リハビリテーション工学では特にこの努力が必要と考える。しかし、現状においては工学があまりにもハードウェア・オリент過ぎるため、企業としてはリハビリテーション領域の研究に着手しようとしなない。

つまり、従来の工学は効率の向上を中心として、ある

アイデアが出ると直ちに新製品を作り、そのマーケットをふやすための努力はしてきた。しかし、リハビリテーション分野における障害というものは、一人一人でその様子を異にするから量産には適しないのである。そこで、障害者の立場にたって、その人は何を望んでいるのかということからスタートし、そのためにはどのようなシステム構成が必要なのかを検討し、そのシステムを作るのには、どのようなモジュールを準備しなければならないかという形の発想転換が最も重要と考える。このような発想を筆者はハート・ウェア (Heart-ware) と名づけ、ハート・ウェア→ソフト・ウェア→ハード・ウェアという展開こそがリハビリテーション工学の基本であると提案している。

世の中の価値観が多様化し、メーカーもこれに対応しなければならなくなってきた、ようやく多種少量生産の必要性を感じ始めた。

リハビリテーション分野のハードウェアはこの極限として多種単品生産が要求されるようになろう。従って、どのような基本モジュールを準備すれば、需要が充たし

うるかという考え方に移行せざるを得なくなってくる。

これが将来の工学の目標となるならば、リハビリテーション工学は工学の発想の原点となるであろう。そのためには、工学は従来以上に心理学、社会学等を取り入れ、“人間”を尊重し、その役に立つものを生み出す努力が必要となる。今まで一般工学は規格化により発展してきたが、物を使用する人間の機能まで、平均値と標準偏差値とで規格化してしまった。そのため、障害者が社会で共存することができなくなった。人権回復の思想を引っぱりだしたと同時に重要視されるようになったのは、工学の規格化がトリガーになったとも言えよう。

今後は“誰でも使える機械”という機器設計の原点へ立ち戻って工学は進展すべきで、これがリハビリテーション工学の原点となれば、その将来は極めて輝かしいものとなるであろう。同じことをディンズ・オリエンともいわれるリハビリテーション医学にも希望し、今後はヒューマン・オリエンという立場で手を握り、リハビリテーションという言葉のいらない社会を作り上げたいと考える。

□ 次号予告 □

21 巻 4 号

〔エディトリアル〕 日本工業規格の国際単位系 (SI) 採用について …リハ機器委員長 加倉井 周一

〔研究と報告〕 成人における下肢伸展挙上角度について

—特に SLR テストに対する考察……………佐賀医大整外 忽那 龍雄・他
多発性硬化症に対する障害度分類法と予後推定について

……………東邦大第 4 内科 鳥居 重夫・他

重度脳性麻痺例に対する座位保持装具 ……愛媛大整外 首 藤 貴

機能的電気刺激 (FES) による麻痺手の動作 ……新町病院整外 八木 了・他

錘内筋の組織化学的観察 —特に除神経による影響……………神戸大整外…吉田 和也・他

〔短 報〕 中枢神経疾患患者の社会的技能 ……東北大リハ研 青木 扶実・他

リウマチ女性患者の排尿動作 ……広島市民病院リハ 椎 野 泰 明

〔学会創立 20 周年記念論文〕

日本リハビリテーション医学会史——学会発足以後 ……川崎医大リハ 明 石 謙

〔追 悼〕 故水野祥太郎先生を偲ぶ ……天児 民和・津山 直一・野島 元雄