

た。歩行の困難な人々は、旅程のプロファイルが出るシステムに利点があった。聴覚障害のある人々は、他のユーザグループよりも特別なサービスの要求は少なかった。

BAIM プロジェクトの異なるフェーズ I、II へのユーザの参加は、システムの設計にとって重要な価値ある情報源であった。予備的な仮定とユーザサイドからの要求が確認できた。プロジェクトに参加した主要なユーザから得られた情報は、間違いなくメリットのあるものであった。異なったユーザグループにおける要求は、かなり違っていた。それゆえ、各自の移動性の制限を考慮しながら、情報修正に基づく基準を確認できた。今後は、次のプロジェクトフェーズで進めていきさらなる評価を行っていくと報告されていた。

#### ○ATM 評価手法におけるユーザの役割[5]

ポルトガルにおいて、障害者や高齢者が ATM を使うときに経験する多くの問題を改善していくという目標をもって行われたプロジェクトである。SIBS（ポルトガル銀行協会）がプロジェクトの出資者となって進められた。このプロジェクトは、リスボン工科大学によって組織化され、3つの学科が加わっている（建築学部設計部門、工学部コンピュータサイエンス部門、特殊教育・リハビリテーション学部人間運動学部門）。

このプロジェクトは、次の3つを目的に行われた。

- ・ソフトウェアの改善と新しいソフトウェアを開発する領域を特定すること
- ・導入過程のためのガイドラインを作ること
- ・新しい ATM のためのいくつかの提案を作ること

このためにプロジェクトは、以下の領域に焦点をあて、インクルーシブデザインのアプローチによって実行された。

- ・高齢者、障害者のための ATM におけるアクセシビリティ及びユーザビリティの分析
- ・ユーザの要求定義（実験による試用状況による）に合うインタフェースの開発
- ・ATM のインタラクションと導入、そして利用サービスを含めたチェックリストの構築
- ・十分な練習や、フォローアップ、将来の問題に対する製品の提案

このプロジェクトは、説得力のある結果を得る唯一の方法として、プロジェクトの初めから終わりまで、すべてのフェーズに渡ってユーザを取り込むことであると徹底していた。そして 346 人も大勢の協力者が参加しているとのことであった。このうち ATM 使用経験者は 206 人、未経験者は 150 人である。協力者の主な内訳は、視覚障害、身体障害（車いす・電動車いす使用者、下肢切断者、歩行杖使用者）、認知機能障害、高齢者である。次のフェーズの観点からプロジェクトにユーザを取り込んだ。

- ・フェーズ I：ポルトガルにおける ATM のアクセシビリティ及びユーザビリティの特性を評価する
- ・フェーズ II：新しいインタフェースを、ユーザの意見を考慮して開発する
- ・フェーズ III：ユーザの提案や意見を、導入、双方向性、コミュニケーションに関しての製品提案に向けて考慮する

これまでに得た主な結論および提案は、調整または特別なデザインの必要性なしに、より広

い様々なユーザに対応するために、デザインフォアオール(Design for all)の手法によって再デザインすべきであるとしている。例えば、音声フィードバックのためのヘッドホン用ミニプラグをATMに装着したり、ピクトグラムを貼付したり、指先で認識し易いように点字ラベルを水平面から45度の角度で装着をすべきであることを導き出していた。またユーザがより身体的な労力なしに効率よく使えるように、カードスロットやキーパッドなどの外部入力装置は、機器の中央付近に配置することが望ましいことを導き出していた。ATMのサイズやスペースも、車いすユーザが前方からアクセスできる必要があること、誘導ブロックを設けることを提案していた。ユーザらの積極的な関与が、ATMのテストに大きく貢献したものであった。

### 3. アメリカの動向

アメリカの動向をみるため、NIDRR (The National Institute on Disability and Rehabilitation Research (障害リハビリテーション国立研究所)) で、2007年から開始された研究プロジェクトを抽出し調査した。毎年、NIDRRは300以上の障害とリハビリテーションの研究および計画に資金を供給している。それらのミッションは、ある革新的な製品を開発し、長期の臨床的な研究を行っていき、またはリハビリテーションのアウトカムを改善する新しいサービスを開発していくのを含むものである。

<http://www.naric.com/research/>から Rehabilitation engineering でキーワード検索して得られた研究プロジェクトのうち、2007年より開始されたものを最新の動向として抽出した。そのいくつかのプロジェクトを提示する。

○脳梗塞からの回復を支援するリハビリテーションロボットと遠隔操作機器 (Rehabilitation Institute of Chicago, Project Number: H133E070013) [6]

このプロジェクトは、脳梗塞の生存者の機能回復のために、ロボットの使用を中心に研究開発に関するプログラムを設計して実施する。上肢による取って掴む動作と全身の運動動作に対して、全身の機能的な結果を改善する新しいアプローチを応用することを焦点としている。脳梗塞は、集中的に長期にわたるリハビリテーションが必要である最も一般的な神経学的な疾患である。そして脳梗塞の回復リハビリテーションの問題は、脊髄損傷や外傷性の脳傷害のような他の主な神経学的疾患で直面する問題とは大きく異なる。心臓血管の病気を同時にもった半身の運動と知覚の傷害に関連したリハビリテーションの必要性は、治療法の目標と社会的インパクトについて、固有の疑問を提起している。それに従い、目的は、合理的で徹底的な、長く持続した脳梗塞の治療を提供するうえで、セラピストを支援する機器を開発することにある。そのような機器（装置）は、（回復の）進捗を監視することができ、彼らがコミュニティや仕事に復帰するより大きな可能性があるという意図を持っており、脳梗塞の生存者の機能的なパフォーマンスを改良する助けになるものである。5年の予定で実施される。

○脳梗塞後に機能的なリーチング（手を伸ばす動き）を回復させるための、腕と手の機能不全に誘発される重力の克服（Northwestern University, Project Number: H133G070089） [7]

この研究は、重力による荷重が作用する下で手を伸ばす間の肘、手首、指に関連する異常な屈曲動作に、伸筋の電氣的な刺激によって克服できるかどうかをテストする。このテストにおいて 3D の力を制御するロボットを使って行う。さらに、もし実際に手首と指の屈曲に過度の力がかけられるのであれば、この研究は、同じようなリーチングの条件の間、多電極アレイが指の伸筋と独立して手首の伸筋に選択的に刺激することができるかどうかを決定する。もしうまくいった場合、選択した刺激は、手の機能的な能力の範囲を増やすだろうし、脳梗塞者の生活の質を、さらに一層良くするだろう。以下はこのプロジェクトの具体的な目的である。

目的 1：異常な屈曲動作が脳梗塞者個人で存在しているという基本的な前提を得るために、上肢の重量増加によって異常な手首と指の屈曲が進行する増加の程度を測る。これは、45 人の脳梗塞者で、手を伸ばす動きの間に経験する重力の量を実際に操るのに、3D の力で制御されるロボットを使用することによって達成される。

目的 2：次に、リーチング中にロボットと一体となって不全麻痺者の上肢の重量を徐々に増やしていくとき、肘、手首、指の伸展可動域での、肘、手首、指の伸筋の電気刺激を定量化する。

目的 3：最終的に、手首や指の伸筋が選択的に刺激されるかどうかを判断するために、存在する多電極刺激アレイの活用を調査する。

3 年の予定で実施される。

○脊髄損傷におけるリハビリテーション工学研究（University of Pittsburgh, Project Number: H133E070024）

このプロジェクトは、脊髄損傷(SCI)の人々において、治療、リハビリテーション、雇用を改善する革新的な技術とアプローチの研究、開発、および評価を行う。研究開発の活動は、(軟部)組織保安全管理、上肢筋骨格の外傷予防、および膀胱機能の問題を解決するために努力していく。具体的なプロジェクトを述べる。

- (1) 褥瘡予防と検出の一般的な技術/診療評価のため、そして特定の診療アセスメントのための治療と炎症のコンピュータモデルの開発
- (2) アクティブに冷やす表面素材とせん断力を低く保持する効果の評価と開発、そしてこれらの特徴を取り入れた新しいシートクッションの評価
- (3) 手動車いすの推進トレーニングのためのツールの開発と評価
- (4) 肩の損傷を防ぐため、新しい手動車いすの推進動作の装置の評価
- (5) 褥瘡を予防するための重量を移動(シフト)するアプローチの評価
- (6) 膀胱機能や筋骨格系の損傷状態を評価するための治療と炎症の予備的なコンピュータモデルの開発

研究チームと協力者は、ピッツバーグ大学を中心に、ケースウエスタンリザーブ大学、ノ

ースウエスタン大学、ベイラー医療大学、IBM が加わり、リハビリテーション科学技術部、理学療法部、McGowan 再生医療研究所、作業療法部を含むものである。技術移転するプログラムは、個人と公的領域をターゲットとしている。このプランの訓練と知識の適用は、大学生や大学院生、開業している臨床医、研究者、脊髄損傷者個人とその介助者と、広い範囲に基づいている。5年の予定で実施される。

○就労の場の適応に関するリハビリテーション工学研究 (Georgia Institute of Technology, Project Number: H133E070026) [8]

障害のある人々が就労の場において最大限に自立して参加できるよう、新しく支援するためにユニバーサルにデザインされた技術を、確認し、開発し、促進していく。それは、研究、開発、訓練、普及を通してすべての働く者のためのツールや装置を、就労の場での利用をより良くしていくために、ユニバーサルデザイン(UD)のコンセプトを適用することに焦点を置く。研究活動は、これまでの研究によって確認された下記の5つのトピックスについて調べる。

- ・ユーザのニーズ
- ・設備の長期にわたるコスト/利益
- ・高齢就労者を用いた場合の戦略
- ・設備にアクセスし、利用する際のポリシーのインパクト
- ・就労の場に従業員が参加する上での設備の効果

開発活動のいくつかは、訓練生 (practitioners) や従業員が使用するための新しい就労の場におけるアセスメントツールを作り、その正当性を確認する。他に、新しい就労の場の設備(アコモデーション)を設計し、試作し、そして評価する。

ユニバーサルにデザインされたワークステーションや、人間—コンピュータのインタフェースは、これまで開発されてきている。加えて、障害のある従業員のために進歩した支援とコミュニケーション障害をもつ従業員のための設備を含めながら、要求に合っていないといった設備のニーズをもった就労者のための、技術を開発する。最終的に、就労の場における訓練活動は、訓練のアウトカムにおける教育と評価の両方を含む。そしてこれは、VR 専門家、障害のある就労者、デザインや工学に興味のある学生をターゲットにしていくものになる。5年の予定で実施される。

○障害者の利益になるレクリエーション技術と運動生理学に関するリハビリテーション工学研究 (University of Illinois at Chicago, Project Number: H133E070029) [9]

このプロジェクトは、障害者がより健康で、より活動的に生活を送れるように支援して促進することに焦点をあてている。それらは研究、開発、能力の向上、普及といった一連の連携を含む。研究開発プロジェクトの主な目標は、レクリエーションと運動の現状を改善していき、有益な運動ができるよう障害のある人々が参加していく機会を増やしていくこと、規則的な運動をサポートするための技術を使いながら、活動的なライフスタイルを通して障害のある人々

がより良く健康を促進することにある。研究開発の議論は、工学、研究、医療従事者における次世代のリーダーをターゲットとするだけでなく、関連する学際領域のカリキュラムの中にリハビリテーション工学のコンセプトや法則を注ぎこむ努力を作り上げて、能力を育てていくための内容を提供する。この広範囲で活動的な普及プログラムは、障害のある人々のレクリエーションや運動の機会を包括するために、民間の非営利団体を効果的に使用する。現在、Inclusive Fitness Coalition (IFC—[www.incfit.org](http://www.incfit.org)) には、障害をもっている人々が、彼ら自身の共同体でレクリエーションと運動に参加する包括的な機会を促進するという一般的な目標をもって結びついたレクリエーション、フィットネス産業、フィットネス、および運動科学の専門家を代表する 53 の会員組織、研究者、障害者組織、専門家団体、リハビリテーションセンターその他で成り立っている。5 年の予定で実施される。

#### 4. ユーザ中心設計からみた国内の動向

##### 4.1 福祉機器開発と人間中心設計

福祉用具の研究開発及び普及に関する法律（福祉用具法）が施行されて以降、使用者（ユーザ側）、開発者側で福祉機器に対する関心は非常に大きくなった。これに伴い、多くの研究機関や企業等によって福祉機器の研究・開発が活発に行われている。しかし、開発された福祉機器がユーザになかなか受け入れられていないとの指摘がある[10]。また以前から福祉機器を手がけている企業を除き、新規参入企業は撤退も多くみられている[11]。これにはユーザ側が考えるニーズと実際に開発された機器との間にギャップがあることが指摘されており[12]、これはすなわちユーザのニーズと開発者が考える開発・設計の着想との間に差異があることを示すものであろう。福祉機器は、一般機器と異なり、使用者層の母集団はとても小さく、障害を含めた様々な多様性は大きい。そのため、開発者にとって、福祉機器開発はとても難しいものとなる。しかしながらこの開発の難しさは、福祉機器に特化したものではなく、ユニバーサルデザインの考えもあって一般機器製品にも共通する問題として当てはまり、近年においてユーザセナタードデザイン（またはヒューマンセナタードデザイン；人間中心設計）の必要性が国内に急激に浸透してきた。これは福祉機器に限らず一般機器においても、ユーザに受け入れられる機器となるためには、ユーザビリティが高くなければならないとされ、設計プロセスとして人間中心設計が提唱されてきたことによる。1999 年には、人間中心設計の規格として ISO 13407 が制定され、この規格に対応して日本でも JIS Z 8530 が制定された。

人間中心(human-centered)は、欧州において生活の質を重視する基盤として成り立ってきた。この欧州における人間中心設計に対するアプローチは、「情報技術に対する人間工学 (ITE: Information technology ergonomics) と称される研究領域が元となり、積極的にユーザビリティを考えた製品づくりがなされていた。

国内においても人間中心設計の考えが急速に広がってきたが、その取り組みは、各企業によって程度に差があり、開発ライフサイクルにおいて設計・開発・評価・設置と分けた場合、評価段階で人間中心設計が利用される場合が多い [13]。設計前の企画段階では、ユーザニーズ

の把握や他製品との競合分析は行われるが、この結果がユーザに関連した問題として、その後の開発ライフサイクルに一貫して生かされることは稀であり、さらにそれ以降のサービスに関しては対応されていないことが多い。このため、使いやすさや安全性などのユーザに関連する事項が、実際に要求として明確になっているかどうかということが指摘されている[13]。冒頭にも述べたように、近年では人間中心設計への関心が急速に高まっている。そのような中で、機器（製品）の複雑化により、ユーザインタフェースの要素である使いやすさ、安全性、快適性の向上が注目されている。そうした中で、ユーザインタフェース設計支援、ユーザビリティに関する調査研究等も増えてきている。

ここで「人間中心設計」の特徴を述べると、まず次の4つの原則がある。

- ・ユーザの積極的な参加及びユーザならびに仕事の要求の明確な理解
- ・ユーザと技術に対する適切な機能配分
- ・設計による解決の繰り返し
- ・多様な職種に基づいた設計

この原則を開発に取り入れるために、人間中心設計では下記の(a)～(d)の活動プロセスを定義している。

- (a) (ユーザの) 利用の状況の把握と明示
- (b) ユーザと組織の要求事項の明示
- (c) 設計による解決案の作成
- (d) 要求事項に対する設計の評価

将来の動向として、人間中心設計における ISO 規格の改訂作業が進められ、ISO9241-210 として改訂される予定である。この改訂では、人間中心設計が提唱された当初にはなかったアクセシビリティの概念が、近年急速に広まり、人間中心設計にアクセシビリティを考慮したプロセス規格となる予定である。これまで人間中心設計においては、一般機器分野と障害者や高齢者を対象とした機器分野が実質的に隔たりのある状況であったのが、規格改訂されてその普及がされると障害者、高齢者への配慮も含めた人間中心設計論として今後より一層発展していくものと考えられる。またこれまでの4つの原則から、6つの原則に改められる予定であり、その原則の詳細は明らかになっていないが、よりユーザを取り込んで設計を進めていく考え (User Involvement) を強調したものとなることを、2007年11月に開催されたヒューマンインタフェース学会研究会で報告されている。

福祉機器開発に限定した人間中心設計のアプローチは未知な領域で発展途上段階にあるが、今後、障害者や高齢者を対象とする福祉機器開発が人間中心設計プロセスに包括され、そしてその適応事例が増加していくことが予想される。よりユーザに受け入れられる福祉機器へ発展をみるための設計プロセスとして、人間中心設計プロセスを検証していくことが将来にわたり必要である。そしてそのプロセスを踏まえて開発された機器が、障害者や高齢者が家庭や地域での暮らしを続け、自立と社会参加を行うための支援技術として貢献できることが期待される。

#### 4.2 人間中心設計を実現するための手法—福祉機器開発から

人間中心設計の規格（ISO 13407, JIS Z 8530）はプロセス規格であるため、どのような方法論をもってユーザを取り込み設計活動に活かすかは、設計者が選択または構築するものである。プロセス(a)で提示したように、人間中心設計の初期段階でユーザの利用の状況の把握と明示を進めるためには、あらゆる既存の手法を駆使してでも徹底して明らかにしなければならない、プロセスを回していくためにはまず必須な第一歩である。

一般機器の場合は、対象となるユーザから質問紙調査やインタビュー調査等を通して、このプロセス (a) の生成を可能にする。すなわち設計者とユーザが双方向でニーズ等の情報のやりとりが可能である。しかし福祉機器開発の場合、その対象となるユーザは障害等による多様性があるため、直接的にユーザから調査を得られない難しさが存在する。ここで福祉機器ユーザを、2つに大別する。

- ①障害当事者（ユーザ）自身は、直接ニーズや状況を説明できる（コミュニケーション可能なユーザ）
- ②障害当事者（ユーザ）自身は、直接ニーズや状況の説明が困難（コミュニケーション困難なユーザ）

上記①は、一般機器開発同様にインタビュー調査等で直接的にニーズや状況を聞きとれるユーザのケースである。これに対して②は、それが困難なケースであり、福祉機器開発の難しさを表している。このため、肝要となる利用の状況の把握を進めるためのユーザの状況の取得には、インタビュー調査等によらない他の何らかの手法を用いるか、新たに方法を構築しなければならない。このため、主に②のケースを対象に、ユーザを中心とした福祉機器開発の方法論の提案の1つとして、ペルソナ手法とエスノグラフィとを用いた手法を提案する（図1）。

ペルソナは、実際に存在するユーザデータに基づいて作成する仮想ユーザである（図2）。ペルソナという極めて具体的なユーザ像を描くことによって、ユーザを明確にし、設計や開発における選択のゆれをなくし、確度の高い機器やシステムの開発を目指すために使われる[14]。ペルソナという理解・記憶しやすい表現にすることで、開発に関わる関与者でユーザの把握内容を共有できる可能性が高まる利点をもつ。すなわち開発工程内でその関与者をペルソナ作成作業に参加させることによって、対象とする開発機器の設計に対する合意の共有が可能となり、その後の設計作業や開発がスムーズとなることが期待できるものである。

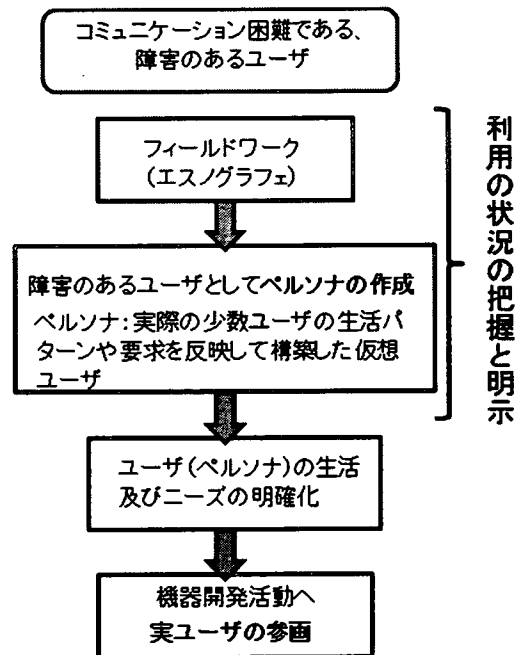


図1 福祉機器開発初期段階におけるプロセス提案

近年、人間中心設計においてはペルソナ手法が急速に広まってきた[15]-[19]。しかし福祉機器の開発専用に適用された事例はない。対象とするユーザが重度な障害となるほど、開発機器の汎用化が難しくなる。またある個人のみしか使えないといった一品料理的な機器開発は、恩恵を受けるユーザ数を相当狭めてしまう。このため重度の障害を対象とするほどの製品レベルまで考えた機器開発は難しいものとなる。したがって類似する障害の範囲をある程度広げ、使われる機器としての普及までを考慮することが機器開発の観点の一つとして重要である。すなわち（I）使用効果を高めるために一人に絞って機器開発

を進めるのが理想的であるが、（II）開発した機器がどのくらい障害のあるユーザに汎用性があるのかも機器開発の観点として考えていかなければならない。（I）と（II）の間を埋め合わせられる努力が必要である。その一つとして人間中心設計におけるペルソナ手法の適用を考えた。少数の障害者像を対象としたペルソナを構築したうえで機器の概念設計を行うことで、開発の初期段階から少しでも機器として使用されるユーザの裾野を広げられる要素をもたせる。かつ、使用効果を高めるための対象者（ユーザ）を限定した試用評価をしっかりと行い、機器使用効果を明確化して機器の完成度を上げていく。利用の状況の把握と明示のプロセスで、ペルソナを作りあげることで、要求事項に対する設計の評価のプロセスに向けて、福祉機器開発への効用を高めていくと同時に、開発に関わる研究者集団がユーザ像を明確に共有できるといった効果が期待される。

またこれに先立ち、ペルソナの構築のためのユーザの把握を行うことが必要であるが、②のユーザの場合に対応したユーザの把握として、エスノグラフィによる状況観察手法の下に行くことと考えた。ユーザがフィールドで、実際にどのような活動をしているのかを観察・分析するために、開発者等が先入観を持たずにユーザのフィールドに入るのが「エスノグラフィ」である[20]。エスノグラフィによって、開発を行う早い段階からユーザの生活の下で徹底して生のユーザ個々と向き合い、ユーザの状況を把握し、ペルソナの作成に繋げていく。エスノグラフィによるユーザの状況把握とその後のペルソナ手法によるユーザの明確化は、潜在化しているニーズを導きだし、そのニーズの実現が生活にもたらす「意味」を考えることで、開発に活かしていくことを目的とするものである。

最後に、ペルソナは、実際に存在するユーザデータに基づく仮想ユーザである。開発初期段階で、開発に関わる研究者集団がユーザ像を明確に共有できることに効果を見いだせると予想しているが、開発初期を過ぎ、開発過程が進むと実ユーザにおける参画と評価が不可欠である。福祉機器に特有である重度の障害をもつユーザを対象とし、ペルソナによる開発研究の出発とその後のユーザの参画をシームレスに進めていくにはどのようなプロセスメカニズムが必要となるのか、具体的な開発事例の推進と検証が解決課題である。

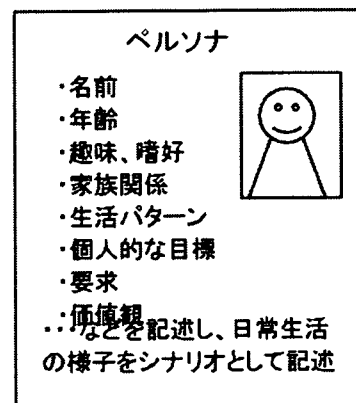


図2 ペルソナ手法



## 5. ユーザが参画した観点に基づく福祉機器開発事例における調査

国内において、ユーザが参画した福祉機器開発を結果分析した報告は大変少ない。将来的に福祉機器開発研究がユーザの自立できる生活に真に貢献していくためには、開発研究プロセス上にどのような取り組むべき問題があるのでしょうか。科学振興調整費により行われた重度障害者の自立移動支援技術の開発研究プロジェクト（以下、科振費プロジェクト）に関わった開発研究者に、ユーザと連携した観点から実際に研究開発を遂行したその過程と問題意識を調査した。

国内の福祉機器研究開発の動向として、科振費プロジェクトは、臨床機関（国立身体障害者リハビリテーションセンター研究所）と産業技術総合研究所とのコラボレーションにより行われた[21]。これは、メインストリームの技術開発と、障害の実態をより把握している臨床機関、そしてユーザとのコラボレーションにより進められた研究開発事例である。このような研究の枠組みは決して多くはなく特殊な事例に入るが、今後より効果的な福祉技術開発を進めていくためには理想的な枠組みであると考えられる。そこで科振費プロジェクトの貴重な開発事例を基に、プロジェクトの遂行における利点や問題点を、実際に携わった開発技術者に面接調査を実施して分析した。これまで開発事例をユーザと連携した観点から分析の報告は、そのような開発事例自体が貴重なものであるため大変少ない。得られた結果は、今後同様な福祉機器開発の枠組みが行われた際、将来的に福祉機器の開発研究の向上に役立てるものとなることを目的とした。

### 5.1 実例分析の方法

科学振興調整費により行われた重度障害者の自立移動支援技術の開発研究プロジェクトに関わった開発研究者に、実際に研究開発を遂行したその過程について、及びユーザと連携した開発におけるメリットや問題意識について面接方式で調査を行った。面接対象者は、メインストリームの技術開発を行い、プロジェクト以前は福祉機器開発経験の無い研究者4名である（以下、開発技術者と称す）。いずれも産業総合技術研究所に所属している者である。調査項目は、下記である。

- ①プロジェクトの開発研究はどのような過程であったか（プロセス）。
- ②研究開発において、当事者（ユーザ）が参加したメリットはどの程度あったか。
- ③研究開発を通して、開発技術者は当事者（ユーザ）参加の重要性をどの程度感じたか。
- ④当事者（ユーザ）像のイメージをどの程度把握できたか、当事者ニーズをどの程度考慮できたか。
- ⑤福祉機器の研究開発において、当事者一人（すなわちサンプルN=1）を対象とするのは、メリットが大きかったか。それともデメリットがあったか。
- ⑥開発研究されている福祉機器が実用化まで到達するには、今後どのような取り組みが必要か（今後の展開や実用化へのブレークスルー）。または問題となることはどのようなことか。

得られた回答データの分析は、面接調査による回答（自由発言）を音声データで記録し、音声データから発言をすべて筆記、文字変換した。そして質問項目ごとに共通要素や特徴的な要素の抽出をした。

以下に、回答項目毎の結果を要約する。

## 5.2 各調査項目における結果

①プロジェクトの開発研究はどのような過程であったか

図3は、開発技術者4人の開発研究過程をまとめてプロセスを示したものである。まず1年目に入る前からプロジェクトの出発点では、開発研究課題の内容の大枠は障害の実態を十分把握している臨床機関側で整えられて決められた。またその課題を解決するためのメインストリームの要素技術、例えば音声認識による電動車いすの開発であれば、音声認識技術自体は、既に存在しているところから、このプロジェクトは始まっていた。それらの研究課題を進めていくために、ユーザ情報の獲得が行われていた。これは、臨床現場に所属する研究開発者が従来より臨床研究の経験を基に把握できていたユーザの情報が、主な獲得源であった。

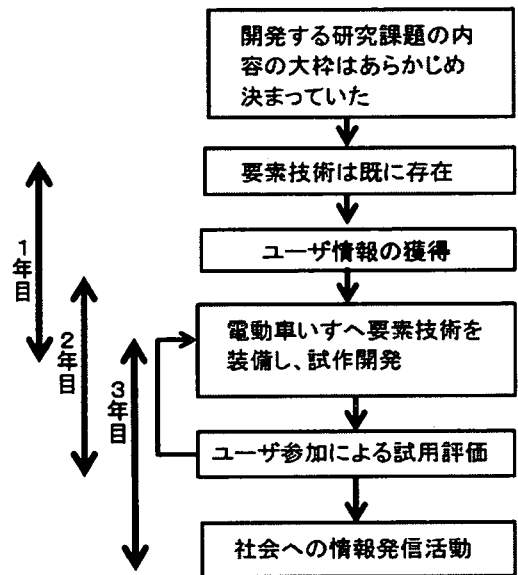


図3 科振費プロジェクトにおける開発過程

具体的に開発技術者とユーザとの関わり（連携）に注目すると、1年目では研究課題の対象となるユーザの情報を、臨床機関側の研究開発者から聞くという過程があった。1年目の後半からは、電動車いすへ要素技術を実装する試作開発を開始していた。開発技術者がユーザに実際に接して連携が始まったのは、主に2年目に入ってからであった。この時期は試作電動車いすがほぼ完成し、その試用評価のためにユーザが関わっていたものであった。この試用評価では、一度ユーザの評価を行うと、その度毎に課題が明確に見出され、その解決に多くの時間を費やしていた。ユーザに直接参画してもらうことで課題がはっきりすることは大きなメリットでもある。3年目にかけては、試作電動車いすの完成度の高まりとともに社会への情報発信活動も行われていた。

②研究開発において、当事者（ユーザ）が参加したメリットはどの程度あったか

ここでは自由回答と一緒に、5段階のスケールで答えていただいた。その結果を図4に示す。

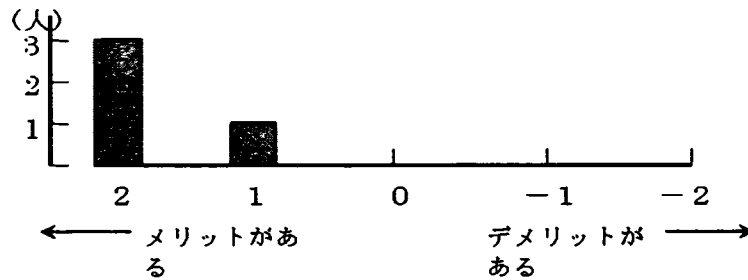


図4 ユーザが研究開発に参加したメリット

メリットがあると+2、デメリットがあると-2、どちらでもない場合は0である。この結果から、総合的には当事者参加による研究開発はメリットがあるといえるものであった。メリット、デメリットについてそれぞれ挙げてもらったところ、メリットは、

- ・当事者から色々な情報や意見をいただき、メリット以外の何ものでもなかった、すなわち開発に十分活かされた
- ・ユーザが使えないと意味がない（使える機器でなければならない）という明確な動機付けがあり（気づかされて）、研究開発上モチベーションがあがった

が挙げられ、ユーザが関わることの十分な利点を示す結果であった。一方でデメリットは、

- ・汎用性、一般性をどのくらい対応できるのかというのが詰め切れない面があった
- ・単純に当事者の意見を鵜呑みにして、なぜそのような意見が出たのかという背景を追及しない場合は、デメリットとなる

が挙げられ、福祉機器特有の問題としてよく言われている個別性と汎用性との間が見えにくい点を憂慮していたことがわかった。

③研究開発を通して、開発技術者は当事者（ユーザ）参加の重要性をどの程度感じたか

上記の質問について、プロジェクト開始前と終了後それぞれについて聞いた。また質問に対する自由発言のほかに、5段階のスケールで答えていただいた。その結果を図5に示す。

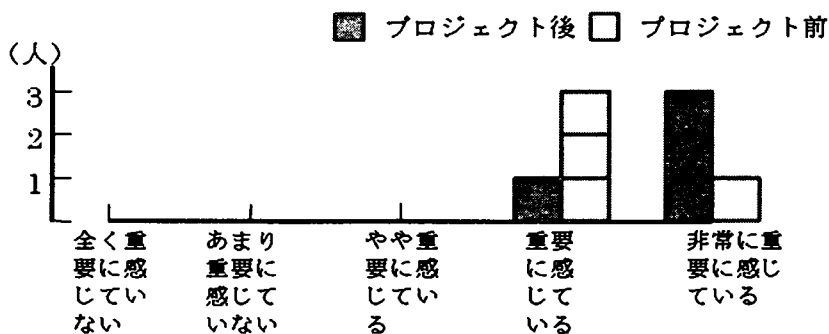


図5 研究開発における当事者参加の重要性

結果から、プロジェクト前から重要には感じていたが、プロジェクトを通してその重要さをさらに感じたものとなった。すなわち、福祉機器開発の取り組みは、開発技術者にとってユ

ユーザの参画が非常に重要であった。このことは、同様な福祉機器開発を行う際には、ユーザとの連携を推進していくことが必須であることを示している。他に挙げた意見として、「重要ではあるが、一緒に活動する同情心が入って、短期的な解決方法を選びがちになる」といったユーザと関わっていく上で開発技術者の注意すべき点が出された。

④ 当事者像のイメージをどの程度把握できたか、当事者ニーズをどの程度考慮できたか

この質問に対し、

- ・開発技術者は、当事者像のイメージやニーズについては、臨床機関に所属する工学研究者 1 名のみ情報しか得られないことに不安感を抱き、その状態を危惧していた。
- ・これまで福祉分野は全く経験がなく、ニーズはわからない状態からスタートした。
- ・障害や車いすについて知らないことが多かった

といったことが得られた。これより開発技術者は、開発研究のスタートの時点で、当事者（ユーザ）像の把握の困難さが問題であることがわかった。

⑤福祉機器の研究開発において、当事者一人（すなわちサンプルN=1）を対象とするのは、メリットが大きかったか。それともデメリットがあったか。

福祉機器をテーマにした研究開発は、対象となるユーザが重度となるほど障害が多様となり、個別性が大きくなる。そして取り組む研究も、対象者を絞らざるを得なくなり、関わってもらったユーザを 1 人（サンプルN=1）に絞って進めることも多くなる。その時の利点や問題点を明らかにするため本質問を設定した。本質問も自由回答と一緒に、5段階のスケールで答えていただいた。その結果を図 6 に示す。

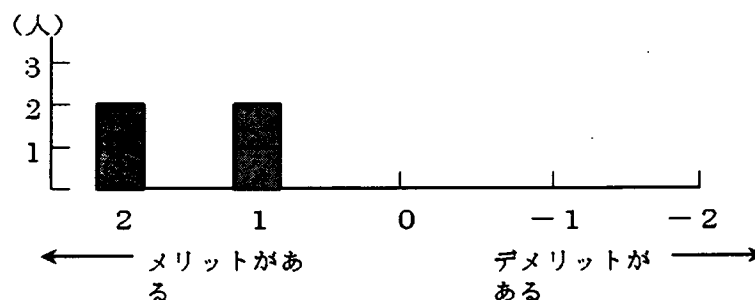


図 6 当事者一人（サンプルN=1）を対象としたメリットおよびデメリット

メリットがあると+2、デメリットがあると-2、どちらでもない場合は0である。この結果から、総合的には当事者一人（すなわちサンプルN=1）に絞った研究開発はメリットがあるといえるものであった。メリット、デメリットについて挙げてもらったところ、メリットは、

- ・当事者が本当に不自由にしていることが、本当に解決されない限り良いと言ってもらえない。研究が非常に具体的になる。

- ・予算、期間、研究者の人数を考えると、1人に集中するのは良かった

・一人の人で重点的にやって、似たような人がもう一人、二人いるというのが理想だが、今回は十分メリットがあった。

といった点が出され、当事者一人（サンプルN=1）に絞った開発研究が特に具体的になるといった高い効果を挙げていた。

デメリットは、

・一人に対して詰めていくことと、多くの人に役に立つ取組を、同時にできないのがデメリット

・似たような方が他にどのくらいいるのかが見えないのがデメリット

が挙げられ、ここでも福祉機器特有の問題としてよく言われている個別性と汎用性との間が見えにくい点を憂慮していたことがわかった。

⑥開発研究されている福祉機器が、実用化まで到達するには今後どのような取り組みが必要か（今後の展開や実用化へのブレークスルー）。または問題となることはどのようなことか。

上記の質問に対して、次の意見があった。

・臨床現場の人が使えるように、しっかりとした使い方をレクチャーする、使えるためのケアをしっかりとしないといけない。そのためには使えるためのケアは、ビジネス的な要素だけでなく、研究的な要素が関わるので、その辺何か良い体制を作らないといけない

・当事者へのフォローアップとして、予算的なものがない

これらは当事者や臨床現場で真に使われる機器となるための視点といえる。すなわち開発研究された機器が、臨床現場で真に使われる機器となって効果を上げるためには、研究側としても臨床現場に対して使い方のアプローチを行うといった何らかの体制作りが必要である。またプロジェクトが例えば3年という期限で終わると、その後予算的な措置がないことから、当事者に継続的に使えるための評価を進めていくフォローアップができず、実用化を考えるとネックとなってしまうことが問題である。

### 5.3 プロジェクト分析のまとめ

以上をまとめると、まず②、③、⑤の結果より、当事者（ユーザ）が研究に参画することの貢献度の大きさが明確であり、重要度が高いことがわかった。これは、①の結果で示したプロセスのように、試用評価の段階でユーザが直接参加していた科振費プロジェクトがとても有益であることを裏付けるものである。これは、開発研究へのユーザ参加の重要性を明示している。しかし④の結果からは、開発技術者が、開発研究のスタートの時点ではユーザ像を把握できていない問題が明らかになった。すなわち開発技術者には、臨床機関の研究者から開発コンセプト（開発課題）とその対象となるユーザの情報が伝達されたプロセスとなっており、ユーザと直接的に連携したものではなかった。これを開発技術者側からみると、開発機器の詳細な仕様を決めていく1年目あたりにおいて

・プロジェクトの初期から、ユーザとの関わりがほとんどなかった

・ユーザについての情報源が多くはなかった

ことが、ユーザ情報の不明確さになり、不安を抱く結果であった。このことから、科振費プロジェクトで行われたメインストリーム技術、臨床技術、ユーザとの連携による福祉機器開発研究では、できるだけ早い段階からユーザが開発に参加できるプロセスを構築できること、そしてその連携を推進していく枠組みがより一層必要である。それが、先端技術を重度障害のあるユーザへ活かせる効果的な福祉機器開発研究を生み出すことになると考えられる。しかしながらこの枠組みだけであれば良いのではなく、開発研究された機器が試作段階で終わらずに実用化されることが、このような研究が社会に大きく貢献することになる。すなわち⑥の結果より真に使われる機器となるためには、

- ・研究サイドとして開発された機器の使い方を臨床現場や当事者へレクチャーする体制づくり
- ・ユーザが生活の中で使い続けられるレベルまで評価を行うための予算的措置

も方策として併せて考えていく必要がある。今回のような重度の障害をもつユーザの社会参加を可能とする技術開発プロジェクトを推進して完成度を高めていくためには、将来の方策としてメインストリームの技術開発と臨床技術だけではなく、プロジェクトが終わった後のフォローアップの充実度合を高めることが、開発研究のより完成へ到達できる必要十分条件となる要素であろう。

## 6. まとめ

本章では、ヨーロッパパリア工学カンファレンス(AAATE2007)の講演発表内容、アメリカのNIDRRの支援によって開始された研究プロジェクトの内容から、欧米における福祉機器開発研究の動向についてふれた。また国内において、近年急速に広まってきた人間中心設計の観点から、ユーザを中心とした福祉機器開発への方向性を展望した。さらに国内における重度障害者向け福祉機器の研究開発の動向として、科学振興調整費プロジェクトの貴重な開発事例を基に、ユーザが参画した観点からプロジェクトの遂行における利点や問題点について調査を実施して明らかにした。そして今後真にユーザに効果的なプロジェクトとなるためにはどのような方策が必要かを展望した。より重度な障害となるほど福祉機器開発と普及が困難になっている状況は、国内のみならず欧州でも依然問題である実態であったが、欧州での福祉機器開発はよりユーザを取り込んだアプローチを徹底して展開しており、今後ユーザと福祉機器開発とのコラボレーションのさらなる具体的枠組みが進展していくことを一層期待されるものである。

## 参考文献

- [1] <http://www.fatronik.com/aaate2007/english/index.php>
- [2] B.Prazak, A. Hochgatterer, T. Holthe, S. Walderhaug, User Requirements as Crucial Determinants for the Development of New Technological Solutions in Elderly Care-Exemplified in an European Project, Challenges for Assistive Technology, p. 826-830, (2007)

- [3] [http://www.sintef.no/content/page12\\_\\_\\_\\_13218.aspx](http://www.sintef.no/content/page12____13218.aspx)
- [4] C. Buhler, R. Wallbruch, J. Becker, H. Heck, D. Sischka, Users' Information Needs in Accessible Public Transport, Challenges for Assistive Technology, p. 831-835, (2007)
- [5] L. M. Pereira, C. Espadinha, The Users' Role in ATM Evaluation Methodology, Challenges for Assistive Technology, p. 815-820, (2007)
- [6] <http://www.ric.org/research/centers/mars2/mars2.aspx>
- [7] <http://dewaldlab.com/Research.htm>
- [8] <http://www.workrerc.org/>
- [9] <http://www.rectech.org/>
- [10] 福田恵美子, 日本機械学会誌付録, Vol. 103, No. 974, p. 10 (2000)
- [11] 手嶋教之, 福祉機器・介護機器の設計は使用者をよく知るところから始めよう, 機械設計, Vol. 46, No. 14, 日刊工業新聞社, p. 12-17 (2002)
- [12] 早野幸雄, 人にやさしい福祉用具の開発の推進; ノーマライゼーション障害者の福祉, Vol. 15, No. 171, p. 17-20, (1995)
- [13] 黒須正明, 平沢尚毅, 堀部保弘, 三樹弘之, ISO13407 がわかる本, p. 3-45, (2001)
- [14] 郷 健太郎, HCD シナリオのデザインヒューリスティックス, ヒューマンインタフェース学会研究報告集, Vol. 9 No. 4, p. 1-6, (2007)
- [15] 山崎和彦, 磯野真美, ペルソナ手法と拡張HCIモデルを活用したUCD手法(1) 手法の提案, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2007DVD-ROM 論文集, p. 50, (2007)
- [16] 磯野真美, 山崎和彦, ペルソナ手法と拡張HCIモデルを活用したUCD手法(2) 手法の実践, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2007DVD-ROM 論文集, p. 50, (2007)
- [17] 吉武良治, 松田奈美子, 土屋和夫, 岡本郁子, 横田祐介, UCD活動の事例からみたペルソナの有効性の検討, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2007DVD-ROM 論文集, p. 50, (2007)
- [18] 横田祐介, 吉武良治, 松田奈美子, 土屋和夫, 岡本郁子, UCD実務者の経験分析に基づくペルソナ構築・活用の有効性と課題の検証, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2007DVD-ROM 論文集, p. 50, (2007)
- [19] 伊賀聡一郎, 新西誠人, 中臣政司, 嶋田敦夫, 「すごい」ペルソナ法: UCD手法とファシリテーション技法の融合, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2007DVD-ROM 論文集, p. 70, (2007)
- [20] <http://marketing.mitsue.co.jp/archives/000143.html>
- [21] T. Inoue, et al, Development of Intelligent Wheelchairs for Persons with Sever Disability, Challenges for Assistive Technology, p. 40-45, (2007)

## II. 分担研究報告

### 4-1 Brain-Machine Interface (BMI) 研究の最新動向

協力研究者 神作憲司

**要旨** 脳からの信号を計測し、それを利用して、義手、電動車いす、コンピュータ、ロボットなどの機器を操作し、運動の補助、およびコミュニケーションの補助を行おうとするブレイン-マシン・インターフェイス (Brain-Machine Interface: BMI) 技術が、患者・障害者のための最新技術として注目されている。ここでは、ブレイン-マシン・インターフェイスについてのこれまでの研究と最新の動向を、特に手術が必要な『侵襲型』と、必要でない『非侵襲型』とに分類し報告していく。このブレイン-マシン・インターフェイス技術をさらに研究開発していくことで、外傷や神経難病などにより四肢の運動麻痺や発話の困難を伴い、日常動作やコミュニケーションに支障をきたしている患者・障害者の自立を支援して、その生活の質を向上させていくことが期待されている。

#### 1. はじめに

脳からの信号を計測し、それを利用して運動の補助およびコミュニケーションの補助を行おうとする試みが行われている。これらの技術は、ブレイン-マシン・インターフェイス (Brain-Machine Interface: BMI) もしくはブレイン-コンピュータ・インターフェイス (Brain-Computer Interface: BCI) と呼ばれ、患者・障害者のための最新技術として注目されている<sup>1</sup>。

これまでも、科学技術の発展は新たな医療・福祉を生み出しており、最も成功したブレイン-マシン・インターフェイス関連技術の例としては、人工内耳が挙げられるだろう。また、脳神経外科にて行われてきた脳深部刺激といった治療法も、ブレイン-マシン・インターフェイス関連技術の例として挙げられる。こうしたこれまでの取り組みに加えて、近年注目されているブレイン-マシン・インターフェイスでは、より積極的に脳からの信号を利用して、義手、電動車いす、コンピュータ、ロボットなどの機器を操作し、運動の補助、およびコミュニケーションの補助を行おうとする。さらに、機器から脳へ信号をフィードバックさせ、脳と機器との間で相互作用させる将来技術も提唱されている。ここでは、ブレイン-マシン・インターフェイスに関するこれまでの研究と最新の動向を、特に手術が必要な『侵襲型』と、必要でない『非侵襲型』とに分類し報告していく。



## 2. 侵襲型ブレイン-マシン・インターフェイス研究の動向

特に手術が必要なブレイン-マシン・インターフェイス技術は、侵襲型ブレイン-マシン・インターフェイスと呼ばれている。脳の神経細胞から侵襲的に計測された信号を用いて外部の機器を操作しようとするアイデアは1980年代からあったが<sup>2</sup>、研究の展開には科学技術の発展を待たねばならなかった。こんにちブレイン-マシン・インターフェイス技術が着目される端緒の一つとなったのは、1990年代に行われたデューク大学のNicolelisらの研究である。ラットの一次運動野から多数の単一神経細胞活動を記録してその信号をロボットアームに送ると、ラットがそのロボットアームを、単純な動きではあるものの制御できるようになることを示したのである<sup>3</sup>。その後も、慢性埋め込み電極の工夫などを積み重ね、実用化に向けての基礎技術開発が進められている<sup>4</sup>。

これら今日のブレイン-マシン・インターフェイス研究を支えているのが、HubelとWiesel<sup>5</sup>やEvarts<sup>6</sup>の研究などを起源とする、サルなどの動物の脳に電極を刺して神経細胞活動を記録する研究であり、これらの研究で、脳の中で神経細胞の発火パターンがどのような情報をコードしているのかということが地道に調べられてきた。運動制御に関する研究では、例えばFetzらは、一次運動野の神経細胞の発火確率と筋張力との間で相関があることを報告している<sup>7</sup>。また、画期的であったのは、Geougpoulusらの研究だろう<sup>8</sup>。この研究では、一次運動野の神経細胞活動の記録から、神経細胞の発火パターンが運動の方向をコードしていることを示した。こうした基礎研究の積み重ねを背景として、近年は、よりブレイン-マシン・インターフェイスへの将来応用を期待させる研究もみられ、例えば記録された単一神経細胞の発火パターンから、より複雑な腕の動きを再現するために有用な情報を引き出す研究も行われている<sup>9-11</sup>。また最近では、デューク大学で計測した歩行中のサルの脳からの信号をATR脳情報研究所に送り、人型ロボットの下肢を制御する実験も成功している。

1960年代、70年代に行われていたFetzらの研究は時代を先取りしたものとして名高い<sup>12,13</sup>。この一連の研究では、サルが随意運動を行っている際に大脳皮質から単一神経細胞活動の記録を行い、その発火頻度を感覚刺激に変換してフィードバック刺激として提示すると、サルが発火頻度を変化させることが出来るようになることを報告した。これらは先見性が高すぎたためか、当時はそれほどの展開は見られなかったが、昨今になり注目されている。Fetzらは近年、これまでの一連の研究を発展させ、一次運動野の単一神経細胞活動の記録を行い、さらにその信号をフィードバックさせて今度は脳の別領域の刺激を行ったところ、記録していた神経細胞の特性が変化した、という画期的な研究を行った<sup>14</sup>。脳からの信号を取り出して機器につなぎ、さらに同機器からの信号を脳にフィードバックするといった閉回路を作成することで、脳の可塑性を誘発する、つまり脳そのものを再構成させ失われた機能を復活させていくことが期待されている。

この他、脳神経外科手術中に人間の脳表（硬膜下）に留置した電極を利用し、脳からの信号を計測してブレイン-マシン・インターフェイスに将来応用できる情報を取り出そうとする基

礎研究も行われている。

ここで紹介した研究は、直接的な医療・福祉への応用へは未だ距離があると考えられるが、すでに米国では、こうした侵襲的な方法を用いた臨床研究も始まっている（Cyberkinetics Neurotechnology Systems, Inc: <http://www.cyberkineticsinc.com/content/index.jsp>）。未だ技術的に解決すべき問題を多く残すため、早期の実用化は困難と考えられるが、これらの技術を発展させていくことで、より細かな運動の補助が行える自由度の高い義手が作成される、といったことが期待されている。

### 3. 非侵襲型ブレイン-マシン-インターフェイス研究の動向

脳に電極を差し込むなど、手術を行う必要のある侵襲型ブレイン-マシン-インターフェイスに対して、手術を行う必要の無いものを、非侵襲型ブレイン-マシン-インターフェイスと呼ぶ。計測方法としては、頭皮に電極を貼り付け電位を記録する脳波（Electroencephalography: EEG）が比較的簡便であり歴史も古い。Fetzらが単一神経細胞活動を記録してブレイン-マシン-インターフェイスの先駆的研究を行っていた頃、脳波を用いて同様の先駆的研究も行われていた。その研究では、脳波信号を計測してこれを感覚刺激に変換しフィードバックすることで、被験者が $\alpha$ 波のリズムを制御できるようになったとしている<sup>15</sup>。

非侵襲脳機能計測の関連技術は、ここ数十年の間に格段に進歩していたが、ブレイン-マシン-インターフェイスの計測法としては、侵襲型のものでなければより複雑な（多次元・多段階の）情報を引き出すことが出来ないと考えられていた。こうした状況を一変させたのが、Wolpawらによる研究である<sup>16</sup>。この研究では、脳波を用いたブレイン-マシン-インターフェイスにより、2次元のカーソル制御に成功している。脳波の周波数成分に着目し、 $\beta$ 帯域（24Hz）のパワーを垂直成分の移動に、 $\mu$ 帯域（12Hz）のパワーを水平成分の移動に用いるなどした。時には何週間ものトレーニングが必要であるものの、1-2秒程度で90%程度の正確さで2次元のカーソル制御を成し遂げた。

感覚運動の変換過程における脳波の周波数特性については、感覚運動リズム（Sensorimotor Rhythm: SMR）とも呼ばれ、ブレイン-マシン-インターフェイス関連の研究で注目を集めている。Pfurtschellerらは運動関連課題を行う際に計測したデータを多く扱ってきており<sup>17</sup>、近年、運動イメージを反映する事象関連成分を解析し、 $\mu$ 波の脱同期が起こることを報告した<sup>18</sup>。我々もこの脳波の周波数特性に着目した研究を行い、手首の運動イメージを行う課題を用いると、頸髄損傷者と健常者がともに、 $\mu$ 帯域のパワーが感覚運動領域で抑制され、後頭領域で促進されるという結果を得てきている<sup>19</sup>。

また脳波では、P300等の認知機能を反映する成分への着目も、特にブレイン-マシン-インターフェイスのコミュニケーションへの応用を視野に置いた研究でなされてきている。例えば近年、筋萎縮性側索硬化症（Amyotrophic Lateral Sclerosis: ALS）などの患者にて、4方向への

カーソルのコントロール<sup>20</sup>や、スペリング<sup>21</sup>を可能とするための研究が報告された。ALS患者への脳波を用いたブレイン-マシン・インターフェイスの適用は、周波数特性に着目した研究でも行われており<sup>22</sup>、今後もそれぞれの手法でのさらなる技術開発が進んでいくと共に、実用性の比較検討もなされていくだろう。我々も、視覚刺激に対して誘発される脳波成分に着目したブレイン-マシン・インターフェイス研究を行っており、このなかで、視覚刺激にて提示した記号や文字のうちどれを見ているのかを脳波信号から判別し、この符号化信号をもとにライトの点灯やテレビのチャンネル切り替えといった家電の操作を行うシステムを開発し、頸髄損傷者を被験者としての実験にも成功している。

その他ユニークな研究として、機能的磁気共鳴画像 (functional Magnetic Resonance Imaging: fMRI) や近赤外分光法 (Near Infrared Spectroscopy: NIRS) を用いる研究も行われ始めている。また、fMRIや脳磁図 (Magnetoencephalography: MEG) など、それぞれ高い空間分解能や時間分解能にて非侵襲脳機能計測を可能とする装置を組み合わせることで、脳からのより多くの情報を取り出しこれを利用して、より効率的なブレイン-マシン・インターフェイスの開発を目指す研究の重要性も示唆されている<sup>23</sup>。

#### 4. 今後の課題

先述のように、近年ブレイン-マシン・インターフェイスが脚光を浴び、様々な研究開発がなされている。しかし、現時点では未だ患者・障害者を被験者とした研究や、実用化を直接の視野に入れた研究は少ない。

実際にこうしたブレイン-マシン・インターフェイス技術の応用を考えていく場合、より侵襲度が低く、判別までの時間も短い手法の開発が望まれる。また、これまで用いられてきた生体由来信号、例えば筋電やPHメーターなどとの有用性の比較検討も必要と考えられる<sup>24</sup>。ブレイン-マシン・インターフェイスを、2値の符号化信号といった単純な信号を取り出すために用いるのであれば、これらの従来方式とすぐに置換される場面は限られてくるかもしれない。ユーザーからさらにニーズを調査していくことや、ユーザーと開発中の技術の評価を積み重ねていくことも必要と考えられる。

もちろん、脳から取り出す符号化信号が複雑 (多次元・多段階) であることが望ましく、こうした技術が確立すれば、例えば自由度の高い義手をブレイン-マシン・インターフェイスで操作することが可能となる。また、機器から信号を脳へフィードバックして脳の可塑性を誘発する技術が実現化されれば、より幅広い応用が可能となっていく。

基礎医学研究では自由な発想が重要であり、それらのシーズから画期的研究成果が得られることも多い。基礎医学研究において得られたシーズ的研究のなかから、応用可能なものを適切に選択していく必要がある。

## 5. まとめ

ブレイン-マシン・インターフェイス技術をさらに研究開発していくことで、外傷や神経難病などにより四肢の運動麻痺や発話の困難を伴い、日常動作やコミュニケーションに支障をきたしている患者・障害者の自立を支援して、その生活の質を向上させていくことが期待される。

これまで「脳を知る」といった研究の方向性が中心であったシステム神経科学等の基礎医学分野が、このブレイン-マシン・インターフェイスというテーマで応用への道を見出しつつある。ブレイン-マシン・インターフェイス技術の応用・実用化には、基礎医学・臨床医学・工学等、分野間のこれまで以上の連携が不可欠だろう。応用への取り組みを進めていくためには、倫理的な問題を十分に配慮しながら進めていく必要があることは前提であるが、こうした問題にも真摯に向き合いながら、ブレイン-マシン・インターフェイス技術による先進的な障害保健福祉サービスの創生へと向きたい。

## 参考文献

1. 江藤文夫. リハビリテーション医学. *日本医事新報* **4322**, 80-84 (2007).
2. Schmidt, E.M. Single neuron recording from motor cortex as a possible source of signals for control of external devices. *Ann Biomed Eng* **8**, 339-349 (1980).
3. Chapin, J.K., Moxon, K.A., Markowitz, R.S. & Nicolelis, M.A. Real-time control of a robot arm using simultaneously recorded neurons in the motor cortex. *Nat Neurosci* **2**, 664-670 (1999).
4. Nicolelis, M.A., *et al.* Chronic, multisite, multielectrode recordings in macaque monkeys. *PNAS* **100**, 11041-11046 (2003).
5. Hubel, D.H. & Wiesel, T.N. Receptive fields of single neurones in the cat's striate cortex. *J Physiol* **148**, 574-591 (1959).
6. Evarts, E.V. Temporal Patterns of Discharge of Pyramidal Tract Neurons During Sleep and Waking in the Monkey. *J Neurophysiol* **27**, 152-171 (1964).
7. Fetz, E.E. & Finocchio, D.V. Correlations between activity of motor cortex cells and arm muscles during operantly conditioned response patterns. *Exp Brain Res* **23**, 217-240 (1975).
8. Georgopoulos, A.P., Schwartz, A.B. & Kettner, R.E. Neuronal population coding of movement direction. *Science* **233**, 1416-1419 (1986).
9. Wessberg, J., *et al.* Real-time prediction of hand trajectory by ensembles of cortical neurons in primates. *Nature* **408**, 361-365 (2000).
10. Taylor, D.M., Tillery, S.I. & Schwartz, A.B. Direct cortical control of 3D neuroprosthetic devices. *Science* **296**, 1829-1832 (2002).
11. Schwartz, A.B., Moran, D.W. & Reina, G.A. Differential representation of perception and action in the frontal cortex. *Science* **303**, 380-383 (2004).