

# コミュニケーションエイドの 生体工学的研究

伊福部 達

北海道大学応用電気研究所

## 内容梗概

感覚系障害者のためのコミュニケーションエイドの研究では、センサーやパターン認識に関する技術的な問題をどのように解決するかということよりも、どのように情報を変換して障害者に分かりやすい刺激に変換するかがより重要な課題となる。そのため、障害者の残存感覚によるパターン認識機能や障害のある部位について十分調べることが重要になるし、開発した補助機器の限界を明確にした上で障害者に適用する必要がある。ここでは、我々の研究室で生体工学的な観点から開発したコミュニケーションエイドについて述べる。

A Study on Communication Aids designed from  
a viewpoint of Bio-medical Engineering.

Tohru IFUKUBE

Research Institute of Applied Electricity,  
Hokkaido University, Sapporo 060, Japan

## Abstract

What is more important is how to make stimulation patterns which can be recognized by the disabled than how to solve the technical problems concerning sensor or pattern recognition in a study of communication aids for the sensory disabled. The most important point is to analyze the sensory and pattern recognition functions that are still active in such people. We have to know the ability of the disabled and the limitation of the communication aid devices. In this report, we describe some devices which have been developed in our laboratory based on a viewpoint of bio-medical engineering.

## 1.はじめに

目や耳の機能が著しく低下すると、コミュニケーションや環境の認識に支障をきたすようになる。すでに、点字とか手話などを利用するコミュニケーション法が定着しているのであるが、これらの方法だけでは伝達できる情報量が少なすぎるとか健常者とのコミュニケーションが難しいなどの問題がある。これを最新の生体工学の技術を駆使して補おうというのが本報告で述べるコミュニケーションエイドであり、わが国では20年前から本格的な研究が開始している。

ここでは主に我々の研究室で開発された機器について簡単に述べ、コミュニケーションエイド機器を開発する上での問題点について考察するとともに、このような研究が人にやさしいヒューマンインターフェースを構築する上でどのように役に立つかを述べる。

## 2. 感覚代行研究とその立場

生体工学を基礎とするコミュニケーションエイドの開発研究の位置づけを図1に示した。筆者の研究室では、聴覚と発声、触覚と手指、視覚と平衡機能など感覚機能とそれに付随する運動器系を心理物理学や生理学的手法を用いて解析し、その知見をもとに代行機器を開発している。

また、九官鳥やコウモリの発声認知機構など、動物の持つ特殊能力を解析し福祉工学へ利用する研究も行っている。さらに、開発した機器を実際に身障者に適用して評価し、問題点を明確にするとともに改良化を進めている。ここで重要なことは、このような研究を通じてヒトの大脳における概念形成や感覚運動連合など高次情報処理機能について色々なことが分かって来ることである。

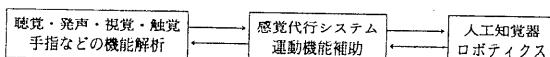


図1 生体工学研究に基づくコミュニケーションエイド機器の位置づけ

そして得られた知見や技術をコンピュータやロボットのための人工知覚器やヒューマンインターフェースに応用するという立場をとっている。コンピュータにてもロボットにてもその感覚に重度の障害を持っているといえるので、このような研究は先端の工学技術を開発する上でも役に立つのである。これがコミュニケーションエイドを開発する上での生体工学的な方法論である。

## 3. コミュニケーションエイド機器

### 3-1. 触知ボコーダ

聴覚代行の方法としては、図2に示したような三つの経路がある。まず、最初に考えられるのは、残された皮膚の感覚を介して音声情報を伝達させようという試みである。2つ目は、音声や音響情報を目で分かるようにして視覚を介する方法である。3つ目は、残っている聴覚神経を直接刺激して聴覚領野へ情報を送る方法である。

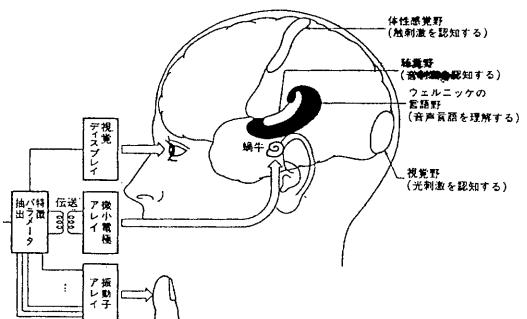


図2 聴覚代行の3つの方式

我々は、聴覚と指先の振動触覚の類似性を心理物理学実験を通じて調べ、その結果に基づいて約15年前に「触知ボコーダ」と呼ばれる代行機器を開発した<sup>1)</sup>。これは、図3に示したように、一本の手指の指腹面に16列×3行からなる振動子アレイを装着し、音声のスペクトルパターンを指先に伝達する方法をとっている。母音ならば振動する位置が異なり、子音の場合には振動する位置が時間的に急激に変化するが、

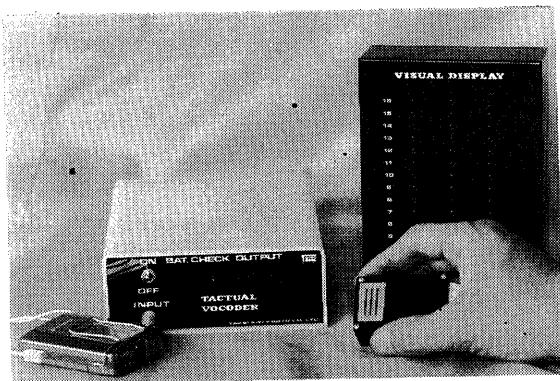


図3 触知ボコーダの外観

これを一本の指先で識別させる方法をとっている。これは、ポータブル装置として実用化されて聾学校でしばらく使われ、聾児とその母親とが電話だけでは会話をするという実験をしたことがあるが、簡単な会話なら十分できることが分かっている。

また、読話と併用すると認識率が非常に高くなることも確かめられているが、残念ながら高価であったことなどの理由で普及しないまま終わっている。そのため触覚領野に伝達された音声情報が言語領野に連合するかどうかという結論はまだ得られていない。触知ボコーダは、スペクトルだけでなく音声の持つリズム、アクセント、イントネーションなどの音響的なイメージも伝達できるという利点もあり、現在の技術があれば一昔の補聴器程度の大きさにできる。このことから、現在、音声呈示方法の改良化を進めるとともに、DSPを利用した小型の触知ボコーダを開発している。

### 3-2. 単音節音声タイプライタ

中途失聴者は手話や読話を覚えるのが大変で、普段の生活では筆談を使う場合が多い。また、触知ボコーダを中途失聴者に適用したとき、音声の違いは分かるがそれが音として聞こえてこないという不満がでてきた。それよりは音声を文字に変換するタイプライタの方が役に立つという要望が強かった。誰の音声でも日常会話のように話しても認識してくれる装置はまだまだ

先の話なので、とりあえず日本語音声の特徴を活かして、一音一音区切って発音した単音節音声を仮名文字に変換する「音声タイプライタ」の開発に踏み切った。

試作の時点ではできるだけ聴覚における信号処理のやり方をモデルとして、実時間で認識することを目標とした。試行錯誤の結果、図4に示したような特定話者の日本語6-8単音節音声を96%の精度で約0.2秒で文字に変換するものを開発した<sup>2)</sup>。発声はきわめて不自然になるが、認識するのは最終的に人間であるので、認識率が悪くても前後の関係から全体の意味を把握することができる。この音声タイプライタは、現在の技術があればポケットに入る位の大きさにできることができる、かつ、価格も非常に安くできるので筆談の代行としては十分実用性がある。



図4 単音節音声タイプライタの外観

### 3-3. 人工内耳

触覚や視覚を介して音声に関する新たな概念を形成させるよりは、音声や音響の記憶が少しでも脳の中に残っているのであれば、それを利用した方が有利である。残っている聴神経を直接電気刺激して音声情報を伝達するという試みは人工内耳という形である程度の成功を収めている。一番普及しているのはオーストラリアのメルボルン大学で開発されコクレア社で販売されている人工内耳である(図5)。これは、音

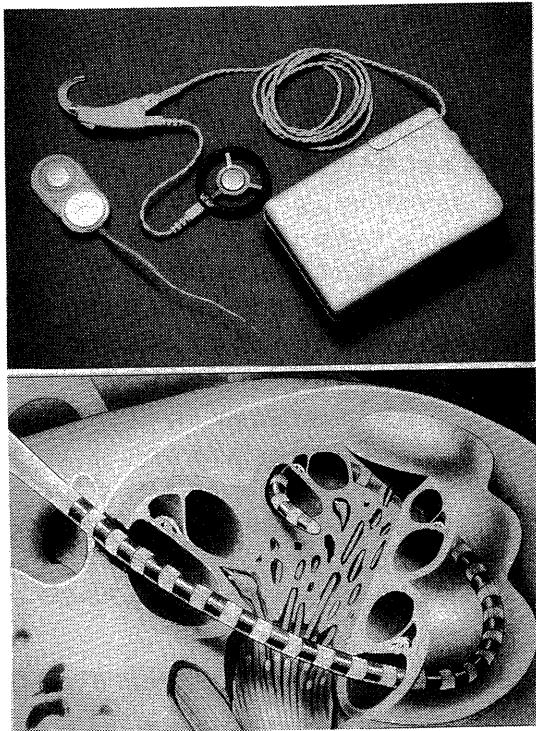


図5 コクレア社の22チャンネル人工内耳の外観と蝸牛管への電極挿入の図

声に含まれるピッチと第一、第二ホルマントという重要な情報を検出して、内耳の蝸牛管内に埋め込んだ22チャンネルの電極を介して通電し、電極の近傍の聴神経を刺激するという方法をとっている。わが国でも厚生省の認可が降りて、内耳に障害ある後天的な高度難聴者に本格的に適用する段階にきている<sup>3)</sup>。



図6 サルの蝸牛管に埋め込まれた8チャンネル電極

図6は筆者がスタンフォード大学で開発した工内耳のための8チャンネル刺激電極で、蝸牛管の中に納まっているのを写真にしたものである。基本的に音を8段階に周波数分解した後、それぞれの強さに比例する電流を8個の電極を介して通電する方法をとる。ただし、蝸牛管の中のリンパ液は導電性であるので刺激電流が広がってしまい<sup>4)</sup>、特定の聴神経だけを刺激することは難しい。そのため、側抑制回路をつけて電流の広がりを少なくするという工夫をした<sup>5)</sup>。この人工内耳を聾者に装着してもらい、5母音の認識実験を行ったところ90%程度の認識率が得られることが分かった。

しかし、与えた刺激は患者には雑音として知覚されるに過ぎなく、記憶している音声のイメージからは程遠いものであるという答が返ってきた。その理由は色々考えられるが、一つは神経を刺激するタイミングが実際の正常な聴覚とでは大きく異なっていることがあげられる。いずれにしても、正常な音声として知覚させるためにはまだまだ解決しなければならないことが多い。

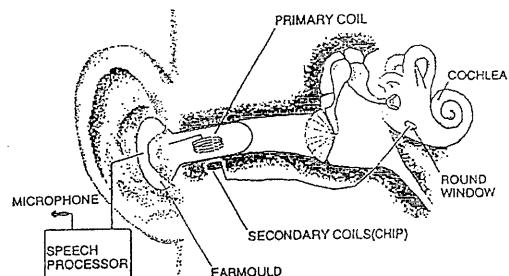


図7 蝸牛外刺激型人工内耳の概念図

これらの埋め込み型人工内耳は内耳の機能を破壊してしまうとか、音声言語を獲得する上で大切な幼児や子供に適用しにくいという問題がある。そのため現在は図7に示したように、蝸牛の外から刺激をあたえる人工内耳の開発研究を進めている。これは、高分子で作った電極を蝸牛の正円窓膜というところに貼つけて内耳の外から電流刺激を与える方法をとっており、電

磁結合による信号伝送も外耳道内で行っているという特色がある。内耳を破壊しないで済むため幼児でも適用できるという利点がでてくる。

しかし、伝達できる情報量が少なくなるためスペクトル情報を時系列信号に変換して認識させる必要がある。現在、どのような時系列にすればどこまで音声の認識が可能であるかを患者による急性実験により調べているが、聴神経の時間分解能はきわめて高く、音声のピッチと第二ホルマントを組み合わせた方法でもある程度母音の認識ができるこことを確認している。その結果に基づいてDSPを使った実時間音声信号処理装置を開発している<sup>6)</sup>。ただし、与えた刺激のイメージは記憶しているものとは大きく異なっているため、それらを結び付けるためのリハビリテーションがこれから重要な問題となってくる。

#### 3-4. 人工喉頭

コミュニケーションエイドでもう一つ重要な課題として発生機能を失った無喉頭者のための人工喉頭がある。従来の方法は食道発声とか電気人工喉頭を利用しているのであるが、前者は訓練が大変なこと、後者ではブザー音になるなど、いずれにしても極めて不自然な音声になってしまう。これを解決するために音声の自然性がどのような要因で決定されるのかを心理物理実験で調べ、自然な音声を生成できるような人工喉頭音源を作っている<sup>7)</sup>。

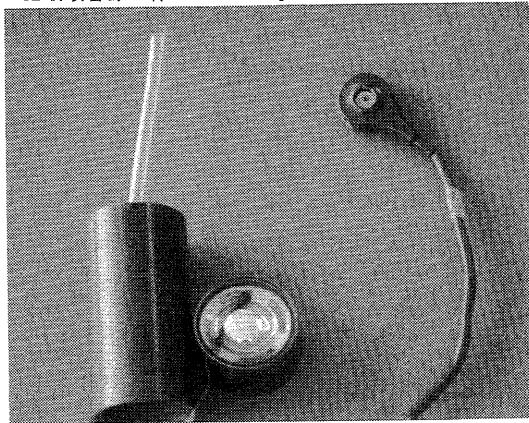


図8 電気人工喉頭の外観

九官鳥音声はピッチゆらぎと波形ゆらぎがヒトの音声ときわめて類似していることから、ヒトらしい音声として知覚されることを見いだしているが、人工喉頭の研究では九官鳥の发声機構が基礎となっている。また、図8は試作したパイプ挿入式人工喉頭であるが、この音源のピッチと強度を制御する方法でよりヒトの声らしい人工喉頭音声を作り出せることが分かっている。現在、気管穴から発生する呼気量と残存する喉頭付近の筋肉の動きを検出して、音源のピッチと強度を制御する方法を検討している。

#### 3-5. 超音波眼鏡

歩行中に遭遇する障害物や環境の情報を音に変換して耳に提示する補助機器も色々な方式が提案されている。一般には、コーカウモリが超音波だけで環境を認識する反響定位の原理を模擬した方式が利用されているが、その中でもソニックガイドと呼ばれる装置が最も広く使われている<sup>8)</sup>。

この装置では、障害物までの距離が音の高さに変換され、方向は聴覚のステレオ効果である程度識別でき、しかも物体のおおよその材質感が伝わるというものである。ただし、この方法は条件によっては障害物が無いところでも音が発生して虚像を知覚してしまうという問題点もある。

ところで、反響定位を行うコーカウモリは全て周波数が高い方から低い方へ急激に変化する超音波を使っている。筆者らはコーカウモリが何故下降するFM超音波を利用しているのかを、その超

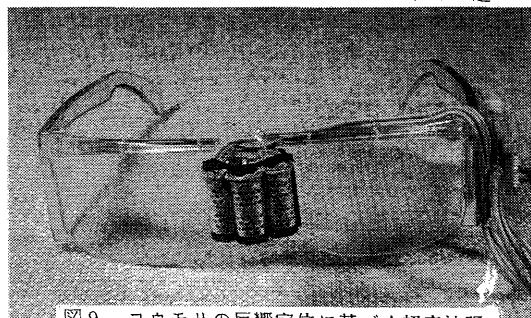


図9 コウモリの反響定位に基づく超音波眼鏡の外観

音波をヒトの耳に聴こえるように変換してヒトによる心理物理実験で調べた。

その結果、やはり下降FM超音波が障害物の認識に有利であることを確かめている。それを基に、1 ms以内に70 kHzから40 kHzに下降するFM超音波を発生し、その反射音をコンピュータに取り込み50倍に引き延ばしてヒトの両耳に呈示する超音波眼鏡を開発した<sup>9)</sup>(図9)。これは現在盲学校の協力により評価に関する実験を行っているが、訓練された盲人は超音波眼鏡無しでもある程度の障害物認知能力があることが次第に分かってきており、その獲得した機能を損なわないように、反射音をどのように呈示するかが現在の課題となっている。

#### 4. コミュニケーションエイド機器の開発上の問題点

以上、コミュニケーションエイド機器について筆者の研究室で開発してきたものを中心にその現状を述べたが、コミュニケーションエイドはコンピュータの入力装置が壊れたから他の装置に置き換えればよいといった簡単なものではない。入力装置が壊れたためにメモリの内容まで変化し、しかも、どのように変化したかという法則も知らないで修理に臨むようなものである。しかし、このような研究を続けていく内に、感覚や発声に障害が生じると大脳の情報処理がどのように変化していくかということが次第に明らかにされていくことが期待される。

従って、新しい経路を介して伝達された情報が大脳の視覚領域や言語領域に本当に流れ込むのかを常に意識しながら研究を進める必要がある。難題ではあるが、真に役立つコミュニケーションエイド機器を開発するためには、大脳における可塑性、連合、感覚統合など高次の機能を調べていく生体工学的研究が最も重要になる。

そして、このような方法論で作られた機器はヒトと機械とのヒューマンコミュニケーション機器を設計する上でも重要な役割を果たすものと考えている。

#### 文献

- 1) T. Ifukube and C. Yoshimoto, "A Sono-Tactile Deaf-Aid made of piezoelectric vibrator array," J. Acoustical Society of Japan, 30, 461-462, 1974
- 2) 伊福部達「音声タイプライタの設計」CQ出版、1983
- 3) 船坂宗太郎、高橋 整、湯川久美子「22ch人工内耳装着患者の日本語聴取能」電子情報通信学会技術研究報告SP87-72, 1987
- 4) T. Ifukube and R. L. White, "Current distribution produced inside and outside the cochlea from a scala tympani electrode array," IEEE Trans., BME-34, 883-890, 1987
- 5) T. Ifukube and R. L. White, "A speech processor with lateral inhibition for an eight channel cochlear implant and its evaluation," IEEE Trans., BME-34, 876-882, 1987
- 6) T. Ifukube, Y. Hirata and J. Matsushima, "A new model of auditory prosthesis using a digital signal processor," J. Microcomputer Applications 13, 219-227, 1990
- 7) 伊福部達、橋場参生、松島純一「母音の自然性における「波形ゆらぎ」の役割」日本音響学会誌(印刷中) 1991
- 8) L. Kay, "An ultrasonic sensing probe as a mobility aid for the blind," Ultrasonics, vol. 2, p. 53, 1964
- 9) T. Ifukube, T. Sasaki and C. Peng, "A blind mobility aid modeled after echolocation of bats," IEEE Trans., BME-38, 461-465, 1991