

## ALS患者のためのCAの入力方法

加納尚之 井上倫夫\* 小林康浩\* 井上公明\*\*  
米子工業高等専門学校 \*鳥取大学工学部 \*\*鳥取赤十字病院

意志伝達能力を損なったALS(ALS: Amyotrophic Lateral Sclerosis)患者のための意志伝達補助装置(CA: Communication Aid)を開発している。現在までに数台を製作し、鳥取大学医学部付属病院、鳥取赤十字病院等に設置している。CAを使用する上で最も重要な点は、患者の症状に合わせて入力センサを付け換えなければならないことにある。そこで本報告では、患者や看護人等にとって、従来のセンサより扱いやすい、まぶたの開閉を判定できるニューラルネットワークを応用した画像入力センサを検討した。

## An Input System of CA for ALS Patients

Naoyuki Kano Michio Inoue Yasuhiro Kobayashi Kimiaki Inoue\*\*

Electronic Control Engineering, Yonago National College of Technology  
4448, Hikona-cho, Tottori, 680, JAPAN

\*Department of Information and Knowledge Engineering, Faculty of Engineering,  
Tottori University  
Minami 4-101, Koyama-cho, Tottori, 680, JAPAN

\*\*Department of Anesthesiology, Tottori Red Cross Hospital

We have been developing several CAs (CA: Communication Aid) for ALS (ALS: Amyotrophic Lateral Sclerosis) patients who lose their ability of communication. Those CAs are now used in several hospitals. The input sensor of CA should be chosen according to the symptoms of the patients. We have studied the neural network system that recognizes winking images of patients. Patients and nurses can use it easily.

## 1. はじめに

筋萎縮性側索硬化症（ALS: Amyotrophic Lateral Sclerosis）は厚生省の特定疾患で、いわゆる難病に指定されている。これは全身の運動神経が次第に麻痺して行き、末期には寝たきりとなり、周囲の人に全く意志を伝えられないという状態になる。しかし、知的能力は正常であることから、患者の苦しみは我々が想像することができないくらい甚大であると思われる[1]～[6]。

そこで、筆者らは患者のこの苦しみを少しでも緩和させるために、意志伝達補助装置（CA: Communication Aid）を開発している[7]～[10]。これは、患者の損なわれた意志伝達の手段を代行するものである。しかし、このCAをうまく使いこなせるかどうかは、患者との接点である入力センサの性能によるところが大きい。現在は、病状に合わせて歪ゲージ、筋電位アンプ、光センサなどが使用され良好に動作している。しかし、病状が進むに従って、麻痺の範囲が広がり、その程度が重くなって行く。そこで、患者は非常に応答が弱く、かつ、動作が緩慢になるので、これらのセンサを操作することが大変困難になる。

そこで、このような末期のALS患者向けの入力センサとして、本報告では、ニューラルネットワークを応用した画像入力センサを検討したので報告する。すなわち、患者の片方の目をテレビカメラに入力し、まぶたの開閉によってON/OFFを判定するものである。

## 2. CA: コミュニケーション・エイド

CAは患者の失われた意志伝達能力を代行するものでなければならない。図1にシステム構成を示す。患者に、50音表や機能などを映し出

した画面を提示する。患者はそれを見ながら、わずかに動く随意筋を利用して制御信号を送る。ここでは末期の患者を対象としている。一般に、末期のALSになると、センサをうまく動作させる取り付け部位が限定され、複数のセンサを同時に使用することには無理がある。しかも、患者にそれだけ負担をかけることになる。そこで、ここではセンサは一組しか使用しない。CA本体には、文字表示のためのディスプレイ、印刷のためのプリンタが接続されており、音声出力のための音声合成ボード、TVや照明器具、そして、ナースコールのためのリレーを内蔵し

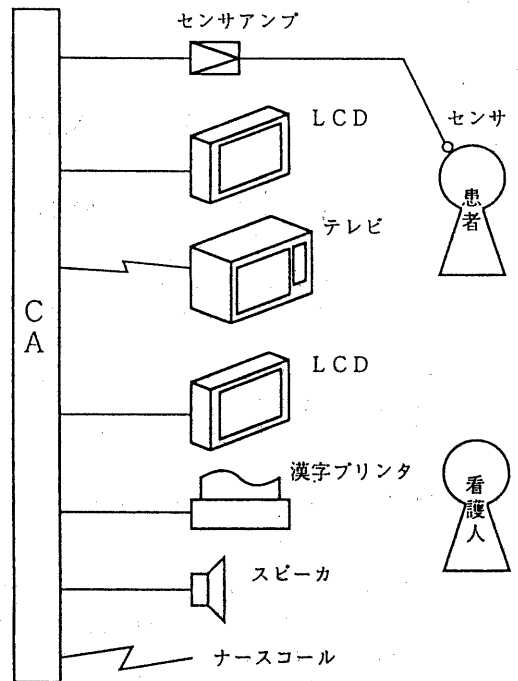


図1 CAのシステム構成

ている。図2にCAの基本機能を示す。機能は大きく3つに分けられる。制御機能では、緊急時のナースコール、カーソルの走査速度の変更、TVの制御などのコントロールを行う。音声出力では、あらかじめ登録されている文章を音声として出力できる。文章作成では、日記、手紙の作成、記憶、編集、印刷などが可能である[10]、[11]。

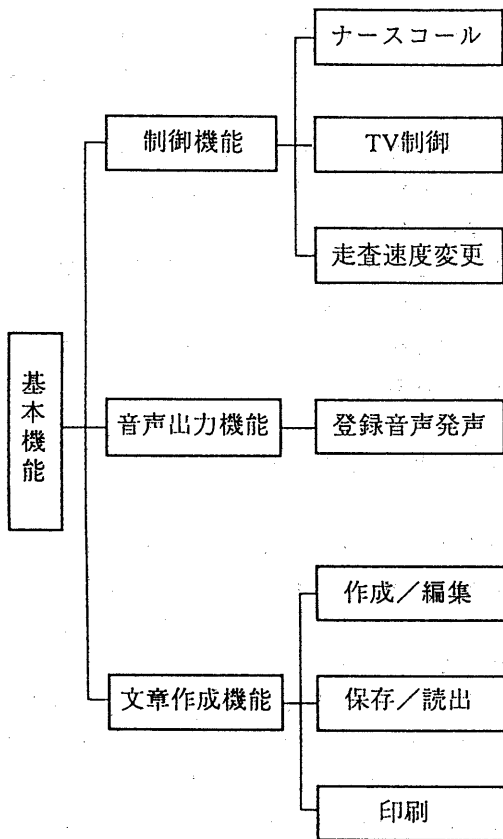


図2 CAの基本機能

### 3. 患者からの制御信号の入力方法

末期のALS患者には、自力で動かせる筋肉はごくわずかしが存在しない。しかも病状が進むにつれて、その筋肉の動きは微弱なものとなっていき、とても複数のセンサを同時に使える状態ではなくなる。そこで、センサは、ただ1組しか使用することができない。初期には、歪ゲージなどのセンサが有効であるが、病状が進めば筋電位アンプなどの高感度のセンサが必要になる。このように病状が進行するにつれて、センサはその病状に合わせて、付け換えられるものでなければならない。現在使用しているセンサは、有効に機能しているものの、問題点も幾つかあげられる。ここで、現在使用しているセンサを次にあげる。

- (1)歪ゲージ (図3.1 参照)
- (2)筋電位アンプ (図3.2 参照)
- (3)光センサ (図3.3 参照)

これらのセンサは、初期には良好に作動するが、病状が進むにつれて筋肉の力がしだいに弱くなり、センサを最適な位置に取り付けることが非常に難しくなる。しかも、患者は治療や入浴時にはセンサを取り外さなければならないので、

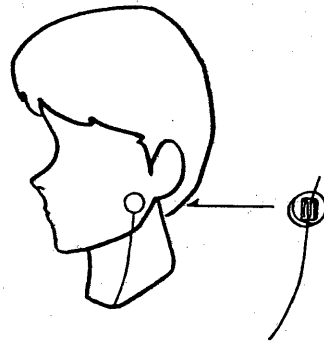


図3・1 歪みゲージ

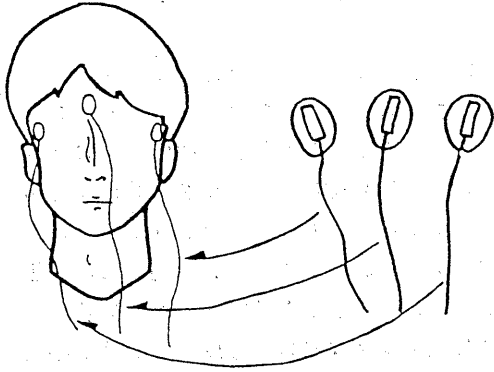


図3・2 筋電位アンプ

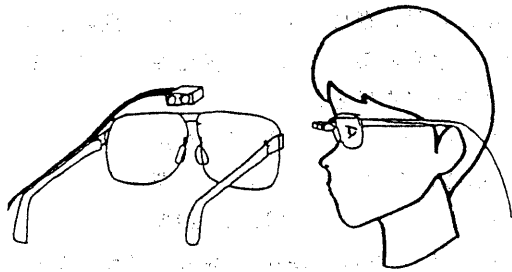


図3・3 光センサ

その度に看護人にセンサを適切に取り付ける作業を強いることになる。

#### 4. 画像入力

現在、患者や看護人にとって操作性が良く、取り付けの煩わしさが伴わないセンサとして、テレビカメラを使用し、その映像を基に患者の意志の有無を判別する方法を検討中である。具体的には、患者の顔の映像をテレビカメラに入力して、ニューラルネットワークを用い[12]・[13]、まぶたの開閉を判別するシステムである。

これにより、以下の点が改善される。

(a) センサを最適な位置に取り付けるときの煩わしさが無い。

患者からセンサ(カメラ)を遠ざけることができる。そこで、自動でカメラを適切な方向に合わせることができる。

(b) 従来のセンサに比べ、本手法はそれぞれの患者個人に適している。

病室にて患者のまぶたの開閉の特徴を学習することができる。

ここでは、

(1) まぶたの開閉は一連の動作であり、この動きに対応できるシステムでなければならない。

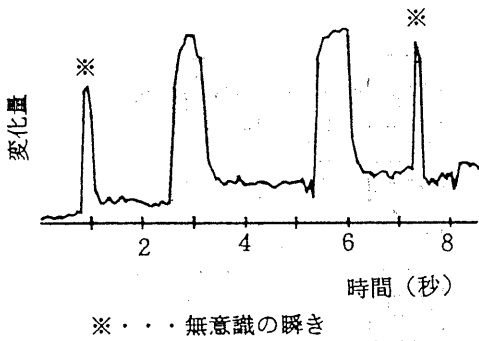
(2) 無意識のうちに「瞬き」をすることがあり、これに反応させないようにしなければならない。

(3) ニューラルネットワークを用いる場合、学習や判定に時間がかかる。

以上の点に配慮して、ニューラルネットワークモデルを作製した。

#### 4-1. まぶたの開閉パターン

目をテレビカメラで捉え、意識的にまぶたの開閉をした場合と、無意識のうちに「瞬き」をした場合の、時間の変化に対する、その映像の変化量を図4に示す。これより、まぶたの開閉の速度にはあまり変化はなく、閉じている時間に違いがあることがわかる。そこで、意識してまぶたを閉じたときには、閉じたままの時間がほぼ0.6~1.0秒、無意識のうちに「瞬き」をしたときはほぼ0.2~0.3秒であることがわかった。ここで、判定を高速化するために目の部分を24×16ドットで切り出して、1秒間に15枚の処理をするとすれば、66.7mS/枚に判定すればよいことになり、ほぼ実時間処理が可能と思われる。



※・・・無意識の瞬き  
 図4 時間に対する「瞬き」の画面の変化量

#### 4-2. ニューラルネットワークの構造

ネットワークの構造は図5に示すように、入力層、中間層、出力層の3層構造にしている。入力層は32グループに分かれ、1つのグループは、 $24 \times 16$ ドットからなる1枚の画像のビットイメージがそのまま対応する384個の入力ノードからなっている。入力ノードの合計は12288個である。中間層は、入力層の1グループについて3ノードとしているので、合計96ノードである。このとき、他のグループとの接続は行わない。出力層は1ノードでどの中間層とも接続している。それぞれの層間の重みは、中間層-出力層間では個々に違うが、入力層-中間層間では全グループを共通にする。これにより、逐次入力される画像の判定では、各グループの計算をそれぞれその都度する必要はない。1判定することにより、中間層の出力結果を隣のグループにシフトしていく。そこで、1画像が入力される度に出力層の計算ができるので、計算量が大幅に減少する。

#### 4-3. ネットワークの学習

学習パターンを図6に示す。一番上のパターンは、まぶたを開いた状態から閉じて再び開い

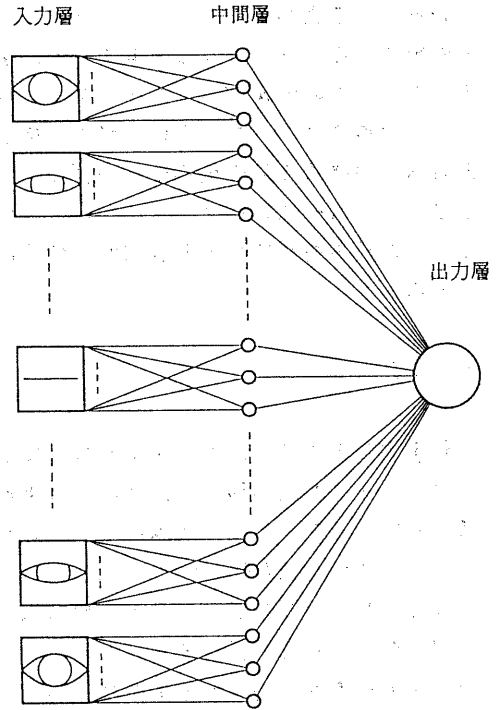
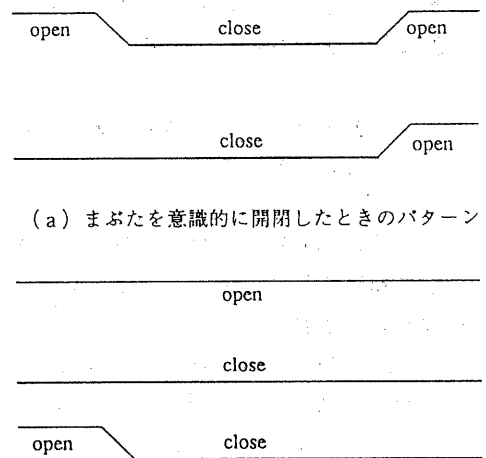


図5 3層ニューラルネットワーク



(a) まぶたを意式的に開閉したときのパターン

(b) まぶたを意式的には開閉していないパターン

図6 学習パターン

ていることを表している。このパターンは学習の対象になる1フレームの画像である。学習は、第1フレームの画像が第1グループに、第2フレームが第2グループにという順に対応させる。入力層と中間層の間の重みはどのグループも共通なのでそれぞれのパターンについて一つのグループの重みを計算するときに共通の重みを更新する。

## 5. 検討

判定するときのアルゴリズムを図7に示す。どのグループも入力層と中間層の間の重みを共通にしていることから、実際には、入力層は1フレームにつき384ノードしか存在しない。まず、1枚のフレーム分のデータを入力層に入力し、中間層の出力までを計算する。そして、つぎのフレーム画像が入力されるまでに、隣りの中間層のグループにその値をシフトする。このようにして、32枚目のフレーム画像が入力されるまでこれを繰り返し計算し、それから出力層の出力を計算する。これ以降は常に、1枚入力される度に出力層の計算を行える。

### 5-1. ネットワークの構造の違いによる判定に必要な計算量

センサの応答性は、CAのシステム全体の操作性に影響を与えるので、判定に必要な計算量は少ない方がよい。ニューラルネットワークの構造を、(1)隣接する層のすべてのノードを結合した場合、(2)中間層を32グループに分割し、重みを共通にしない場合、(3)(2)において、重みを共通にする場合、の3つの場合について、判定に要する「掛け算」の量を検討した。表1にその結果を示す。(1)は(3)のほぼ945倍、(2)はほぼ30倍であることがわかる。(3)は、(1)はも

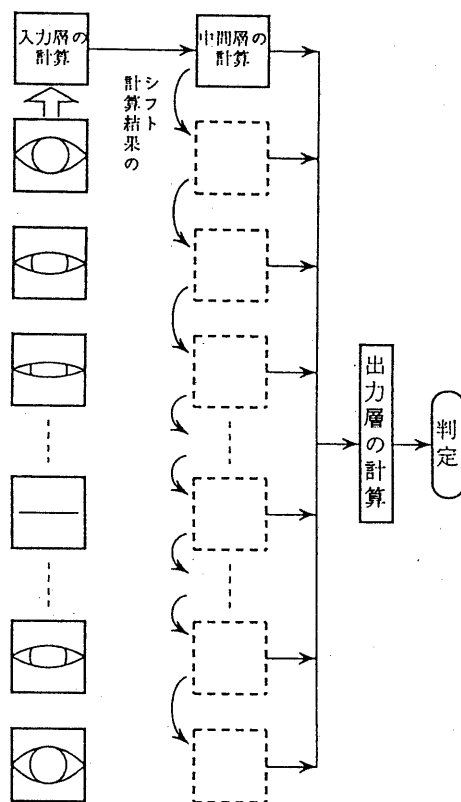


図7 アルゴリズム

表1 ネットワークの違いによる「掛け算」の量

ネットワークの構造	(1)	(2)	(3)
計算回数	1179744	36960	1248
倍率	945	30	1

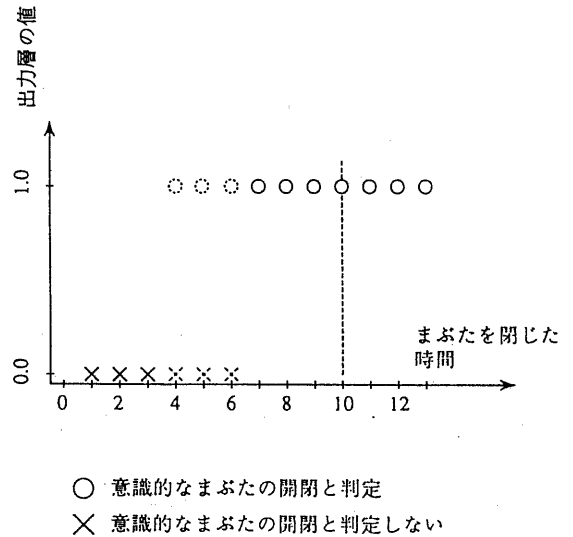
ちろん(2)と比べても、かなり計算量が少ないことがわかる。

### 5-2. まぶたを閉じている時間の違いによる判定

患者はいつも、学習時にサンプルしたデータと全く同様のまぶたの開閉をすることはかぎらない。そこで、5-1(3)において判定するパターンとして、まぶたを閉じている画像の枚数によって、どのように判定するかを図8に示す。これは、まぶたを閉じている時間によって、反応するかどうかを表している。学習パターンはまぶたを閉じている画像の枚数が10枚であり、その付近では意識的と判定していることがわかる。また、実際に無意識で「瞬き」をした場合、まぶたを閉じている画像は2枚程度であり、その付近では、意識的にまぶたの開閉をしたと判定していないこともわかる。しかし、判定の境界は学習毎に、異なっているので、学習パターンのまぶたを閉じている時間は、あまり短いと誤った判定をする恐れがある。5-1(2)についても同様の結果が得られた。

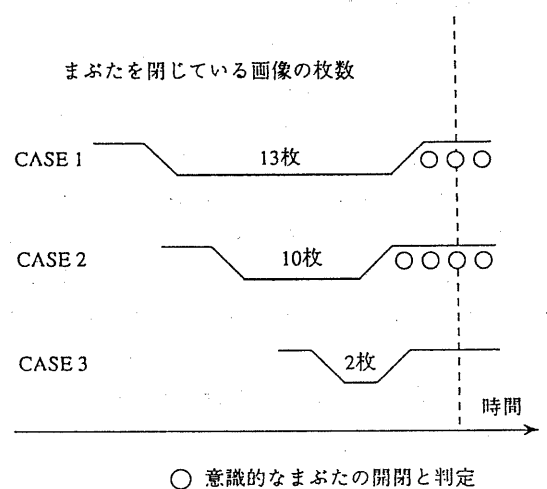
### 5-3. 時間的にずれたパターンの判定

判定は、1枚の画像が入力される度に行う。そこで、学習パターンとは時間的にずれたパターンの判定も行うことになる。判定パターンは、まぶたを閉じた画像の枚数によって3種類選び、それぞれ時間的にずらして判定を行った。その結果、まぶたを閉じている画像の枚数が、学習パターンとほぼ同じパターンについては、学習パターンとほぼ一致する付近で反応していることがわかった。また、まぶたを閉じている枚数が、少ないパターンでは反応を示さなかった。その例を図9に示す。学習パターンは、まぶたを



○ 意識的なまぶたの開閉と判定  
× 意識的なまぶたの開閉と判定しない

図8 まぶたを閉じている時間とその判定  
10枚閉じているのを意識的なまぶたの開閉として学習させた。



○ 意識的なまぶたの開閉と判定

図9 時間的にずれたパターンの判定  
破線の位置で意識的にまぶたを開閉したと判定する。

閉じている画像を10枚持つ。これに対して、その学習パターンと、閉じている画像を13枚、2枚のそれぞれのパターンの時間的にずらしたパターンを入力した結果を示す。これより、まぶたを開けた付近で判定していることがわかる。5-1(2)についても同様の結果が得られた。

## 6. おわりに

ニューラルネットワークの構造を、入力層を32のグループに分割し、しかも入力層と中間層の重みを、それぞれのグループで共通にすることによって、(1)まぶたの開閉を一連の動きとして捉えることができる、(2)意識的なまぶたの開閉だけを判定することができる、(3)判定において格段に計算量を減らせることができる。

入力センサは患者とCAの接点であり、その性能によって、CAを使いこなせるかどうかが決まる。ALS患者は、初期にはある程度自分の意志で体を動かすことができる。しかし、次第に運動神経が麻痺していき、末期には全く体を動かすことができなくなる。そこで、入力センサは患者の病状に合わせて、取り換えられるものでなければならない。歪ゲージなどの入力センサは、末期の患者でも比較的良好に動作しているものの、全ての病状に対応できるものではない。そこで、この画像入力センサが実現すれば、従来対応できなかった患者にも対応できるようになり、CAの操作性が向上する。現在、その画像入力センサを開発するための作業を行っている。

## 参考文献

- [1]奥, 相良, 古田: 肢体障害者用コミュニケーション・エイドの開発現況, 総合リハ, Vol. 13, No. 9, pp. 669-675(1985).
- [2]Perry, A. R., Gawel, M. and Rose, F. C.: Communication Aids in Patients with Motor Neurone Disease, British Medical Journal, Vol. 282, pp. 1690-1692(1981).
- [3]別府, 古田: 神経疾患におけるコミュニケーションの障害と対策-筋萎縮性側索硬化症の場合-, 看護技術, Vol. 22, pp. 99-106(1976).
- [4]塩沢: 長期生存中の筋萎縮性側索硬化症患者における外肛門括約筋-意志伝達のための活用について-, 神経内科, Vol. 9, pp. 407-408(1978).
- [5]林田, 光達ほか: ALS患者におけるコミュニケーションの工夫-モルルス符号を試みて-看護技術, Vol. 29, No. 4, pp. 39-42(1983).
- [6]西川, 原田ほか: ALS患者との対話-筋電波形入力による文章作成システム-, 臨床神経学, Vol. 24, No. 10, pp. 963-967(1984).
- [7]山田, 福田: 眼球運動による文章作成・周辺機器制御装置, 信学論(D), Vol. J69-D, No. 7, pp. 1103-1107(1986).
- [8]小林, 井上ほか: 筋萎縮性側索硬化症患者のための意志伝達補助装置, 鳥大工研報, Vol. 17, No. 1, pp. 19-26(1986).
- [9]徳永, 井上ほか: 筋萎縮性側索硬化症患者のための意志伝達補助装置の一構成法, 信学技報, CAS 87-26, pp. 1-8(1987).
- [10]井上, 小林ほか: コミュニケーション・エイドのためのかな-漢字変換法について, 情報処理学会研究報告, Vol. 89, No. HI26-1(1989).
- [11]Heckathorne, C. W. and Childress, D. S.: Applying Anticipatory Text Selection in a Writing Aid for People with Severe Motor Impairment, IEEE MICRO, Vol. 3, No. 3, pp. 17-23(1983).
- [12]宮田: ニューラルネットと時系列処理, 電学論(C), Vol. 113, No. 6, pp. 372-377, (1993).
- [13]甘利: 神経回路網の数理, 産業図書, (1988).