

## 障害者のためのレーザ光を用いた 選択式制御命令入力装置に関する基礎的検討

村上 肇\* 伊藤 文昭\* 江川 尚\* 渡辺 高志\*\* 星宮 望\*\*\*

\*新潟工科大学情報電子工学科 〒945-1195 新潟県柏崎市藤橋 1719

\*\*東北大学情報シナジーセンター 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-05

\*\*\*東北学院大学 〒980-8511 仙台市青葉区土樋一丁目 3-1

E-mail: \*murakami@iee.niit.ac.jp

**あらまし** 本研究では、機能的電気刺激(FES)システムをはじめとする福祉工学機器の制御命令入力装置として、重度四肢麻痺者でも操作可能な頭部運動に着目した。そして、頭部に光源を設けて、机上の受光素子を照射し、機器の命令を選択するシステムについて検討した。非照射時の受光量を基準として、多数の受光素子の信号に変化があった場合は背景光の状態変化とみなし、また1個の受光素子の信号が増加した場合には命令選択と推定する。試作システムを用いた健常被験者による実験の結果、さまざまな光環境下で選択命令を正しく識別できること、また照明の状態が変化した場合に背景光量を取得し直すための要求が正しく出力されることを確認した。

**キーワード** 制御命令入力装置、重度四肢麻痺者、機能的電気刺激、命令選択、受光素子、レーザ光

## Fundamental study on selective control command input system by using laser devices for handicapped

Hajime MURAKAMI\* Fumiaki ITO\* Takashi EGAWA\* Takashi WATANABE\*\*  
and Nozomu HOSHIMIYA\*\*\*

\*Niigata Institute of Technology 1719 Fujihashi, Kashiwazaki, Niigata, 945-1195 Japan

\*\*Tohoku University 6-6-05 Aoba-yama, Aoba-ku, Sendai, 980-8579 Japan

\*\*\*Tohoku Gakuin University 1-3-1 Tsuchitoi, Aoba-ku, Sendai, 980-8511 Japan

E-mail: \*murakami@iee.niit.ac.jp

**Abstract** We studied a selective control command input system for the handicapped. A user of the system selects one of the photo-detectors on a desk by using a laser pointer on his/her head. Each detector corresponds to a command of a device for the handicapped, e.g. Functional Electrical Stimulation system. A signal from the detector is compared to the baseline that is a signal measured without laser light. If one of the detected signals is much greater than the baseline, the system recognizes that the detector receives the laser light. Therefore, the user can select a control command by using the laser light. We verified the feasibility of the system that recognized the selected photo-detector, even if the background light varied.

**Keyword** control command input system, handicapped people, Functional Electrical Stimulation, selecting command, photo-detector, laser light

### 1. はじめに

脊髄損傷や脳卒中等の中枢神経障害による運動機能障害者に対する動作再建法として、「機能的電気刺激」(Functional Electrical Stimulation; FES)が知られている[1]. 重度四肢麻痺者が操作できる制御命令入力装置を構築する上で、頭部運動は有効な入力情報である。その利用法として、頭部の運動角度を用いる方法[2], 頭部運動を用いて作業空間内の座標を指示する方法[3], その特殊な例として、さまざまな命令ボタン(に

相当する区画)を頭部運動で指示し、3次元位置角度センサで計測する方法[4], について我々は検討している。また指示点計測の簡略のために、机上に受光素子を配置し、頭部運動によって所望の命令に対応する素子にレーザ光を照射することで機器の命令を選択するシステムを試作した[5, 6]. 本研究は、同システムについて、さまざまな光環境下で選択した受光素子を正しく識別できること、また照明器具の状態が変化した場合に背景光量を取得し直すための要求が正しく出

力されることの確認を目的とする。さらに、システム設計の実験的根拠を得ることも目的とする。

## 2. システムの概要

### 2.1. 基本構成

システムの全体像を図1に示す。本システムは、操作者の頭部（例えば眼鏡フレーム）に設置する送光部と、机上の命令盤とから構成される。送光部は、レーザー光を照射する。命令盤には、操作者が選択すべき制御命令に対応する受光素子を複数個配置する。試作器を図2に示す。ここでは受光素子を縦に5個、横に3個、計15個並べている。

命令盤の受光素子は、EG&Vastec製可視光導電素子VT43N2を採用した。これは外径が約10mmで、可視光の入射により抵抗値が減少する。ピーク分光応答は550nmで、暗抵抗は300kΩ以上、10ルクスの入射に対して8~24kΩの抵抗値をとる。この受光素子を反転増幅回路の帰還抵抗として組み込み、抵抗-電圧変換回路とする。受光素子に光を照射すると、抵抗値が下がり、出力電圧が上昇する。これによって、受光量に対応する信号電圧を取り出す。

### 2.2. 信号認識法

操作者が制御命令を選択するときには、命令盤上の制御命令に対応した受光素子を、送光部のレーザー光で指示する。命令盤上の受光素子が光を検出することにより、システムは、その受光素子（すなわち、それに対応する制御命令）が選択されたことを認識する。

入力装置周辺には通常は照明からの背景光が存在するため、命令盤は、送光部からのレーザー光が照射されない場合でも、常に背景光にさらされている。よって、受光素子の信号変化が、操作者による照射なのか、あるいは背景光の変化なのかを、システムは区別する必要がある。そこで、受光素子*i*から抵抗-電圧変換回路を経て得られる信号*S*[*i*] (*i*=1~15)を計測し、以下の手順で信号認識を行う。

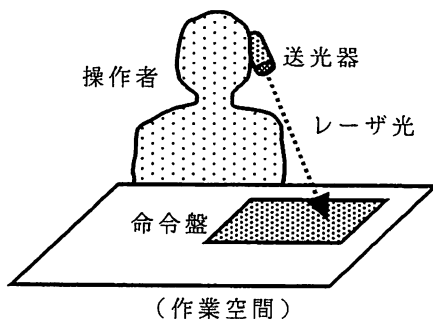


図1 システムの基本構成

### (1)背景光の測定

測定開始直後は操作者による照射は行われないので、*S*[*i*]は背景光のみを反映している。そこで、その区間の最大値*S*max[*i*]、最小値*S*min[*i*]を求め、式(1)から非照射時の変動*R*[*i*]を計算し、式(2)、(3)から、非照射状態の上限*Sh*[*i*]、下限*Sl*[*i*]を定める。但し、式(2)、(3)の*k*は、感度調整用の定数である。

$$R[i] = S_{\max}[i] - S_{\min}[i] \quad (1)$$

$$Sh[i] = S_{\max}[i] + k \cdot R[i] \quad (2)$$

$$Sl[i] = S_{\min}[i] - k \cdot R[i] \quad (3)$$

### (2)背景光変化の判定

以降、受光素子*i*での*S*[*i*]について、*Sh*[*i*]、*Sl*[*i*]と比較し、表1に基づいて受光量変化を推定する。

操作者が受光素子*i*にレーザー光を照射している場合には、その素子のみ受光量が増加し、他の素子は同程度となる。一方、照明を増やすなどして背景光量が増えた場合には、複数の受光素子で受光量が増加する。また、照明を減らすなどして背景光量が減った場合には、複数の受光素子で受光量が減少する。よって、*n*個 (*n*>1)の受光素子が、増加または減少の受光量変化をした場合には、操作者による照射ではなく、背景光の変化と判定する。その場合、背景光強度を求め直す必要があり、そのための「初期化要求」を出力する。本来は、それを受けて手順(1) (背景光の測定)に戻るが、本研究では省略している。

表1 照射開始前と比較した受光量変化

条件式	受光量変化
$Sh[i] < S[i]$	増加
$Sl[i] < S[i] < Sh[i]$	同程度
$S[i] < Sl[i]$	減少

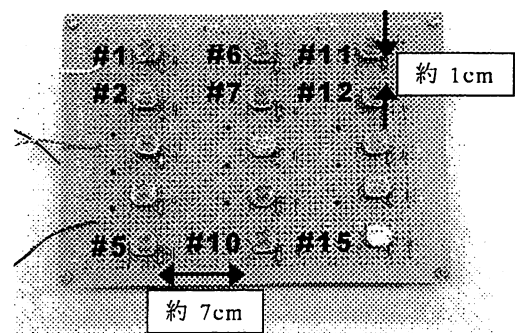


図2 命令盤

### (3) 選択された受光素子の推定

ある受光素子  $i$  の受光信号  $S[i]$  のみが増加した場合には、操作者の照射によると思われる。但し、命令盤が比較的小さいことから、周囲の受光素子に誤って照射する可能性がある。そこで同一の素子に連続して 0.5 秒以上照射した場合に、「その素子が選択された」と推定し、その受光素子の番号  $i$  を「選択命令番号」として出力する。なお 2 個以上の受光素子の選択が同時に推定された場合には、「選択命令番号なし」とする。

この選択命令番号を、次段に接続するであろう FES 装置等の福祉工学機器に送ることで、本システムによって当該機器を制御できる。

## 3. 実験

### 3.1. 実験(1)

健常被験者が操作者となり、命令盤上の受光素子を頭部の送光器からのレーザー光で指示していく。指示は、命令盤上の左奥 (#1) から左手前 (#5)、中央奥 (#6) から中央手前 (#10)、右奥 (#11) から右手前 (#15) と、順番にレーザー光を照射していく。そして、システムが選択命令を正しく認識することを確認する。

背景光の条件は以下の通りである。電気スタンドは命令盤左奥 (受光素子 #1 近傍) の机上に設置する。

条件(1-a): 天井の蛍光灯の使用時。

条件(1-b): 天井の蛍光灯と電気スタンドの併用時。

条件(1-c): 電気スタンドのみの使用時。

### 3.2. 実験(2)

レーザー光非照射で、システムを起動して 6 秒程度経過の後、以下のように室内の照明を変化させる。その際に、背景光変化の認識を確認する。ここでも電気スタンドは命令盤左奥 (受光素子 #1 近傍) の机上に設置する。

条件(2-a): 天井の蛍光灯の使用時に、さらに電気スタンドを点ける。

条件(2-b): 天井の蛍光灯と電気スタンドの併用時に、電気スタンドを消す。

条件(2-c): 天井の蛍光灯と電気スタンドの併用時に、蛍光灯を消す。

条件(2-d): 電気スタンドのみの使用時に、天井の蛍光灯を点ける。

### 3.3. 実験装置

送光器としては PLUS Vision 製レーザーポインタ LP-110 を使用した。これは波長 635nm の赤色光を照射する。最大出力は 1mW (クラス 2)、ビームスポット

は縦約 0.8mm、横約 0.4mm である。

命令盤の概要については、2.1. で述べた通りである。受光素子から抵抗-電圧変換して得られる 15 チャネルの信号を、サンプルレート 100Hz で保存し、オフラインで 2.2. の処理を行う。ここで感度調整用の定数  $k$  を変えて、結果を比較する。背景光の測定は、測定開始後 0.5 秒間で行う。また、背景光変化測定用の定数  $n$  は、命令盤上の受光素子の過半数として 8 とする。

## 4. 結果・考察

### 4.1. 感度調整用定数の決定

信号認識において、感度調整用定数  $k$  の値が必要以上に大きいと、レーザー光を照射しても「非照射」と誤認識したり、背景光が変わったのに初期化要求が生じなかったりする。逆に  $k$  の値が小さいと、レーザー光非照射でも「受光素子選択」と誤認識したり、背景光が変わっていないのに不要な初期化要求が生じたりする。

実験(1)、(2)から得られたデータについて、さまざまな  $k$  を用いて処理したところ、3.5 以上 105 以下で、全ての条件において正しい結果が得られた。これに基づき、 $k$  を 20 として以降の検討を行う。

今回の背景光の条件は日常的に用いられる状況と考えられ、ここで定めた  $k$  によって一般的な場面でシステムは動作すると思われる。但し、極端な光環境を考慮すると、 $k$  の簡便な調整法も求められる。それについては、簡単な試行と学習機能を付加することで実現できるものと思われる。

### 4.2. 実験(1)

受光信号の一例を図 3 に示す。これは、条件(1-a)における左奥の受光素子 (#1) と、その手前の素子 (#2) からの信号であり、それらに照射した区間を切り出している。照射中の電圧の上昇は著明であり、識別は容易である。条件(1-b)、(1-c)でも、信号変化の推移は同様であるが、背景光の違いが電圧として現れた。

レーザー光非照射 0.5 秒間における、信号の平均値を図 4 に示す。ここで、いずれの条件・素子でも、非照射時の変動  $R[i]$  は最大でも 0.014 [V] であったことを確認している。条件の違いに着目すると、どの受光素子でも条件(1-b)で大きい信号が得られる。条件(1-a)、(1-c)については、受光素子の位置の違いで大小関係が異なる。

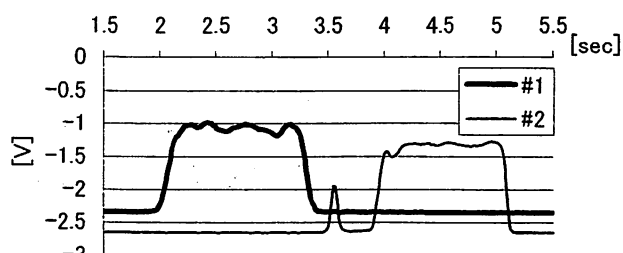


図 3 受光信号の一例 (条件(1-a)), 受光素子 #1, #2

例えば電気スタンドに近い受光素子#1 では条件(1-a)よりも(1-c)での信号が大きい。電気スタンドから遠い受光素子#15 では条件(1-c)よりも(1-a)での信号が大きい、差は小さい。このように、背景光源によって命令盤上の受光量は一様でなく、さらに受光素子及び抵抗-電圧変換回路での素子の特性のばらつきも影響し、信号の特性は単純ではない。

次に、識別結果の一例を図5に示す。これは、条件(1-a)での受光素子からの信号に2.2.の処理を行った場合の、各時刻における選択命令番号である。なお番号0は、「選択命令番号なし」を意味する。選択命令番号は、指示した順番に正しく出力されていることが分かる。他の条件(1-b), (1-c)でも同様であった。また、いずれの場合でも、初期化要求は生じなかった。

### 4.3. 実験(2)

識別結果を表2に示す。これは、各条件での受光信号に2.2.の処理を行った場合の、受光素子の選択が最初に推定された時刻と素子の番号、初期化要求が出力された時刻、信号変化が最初に現れてからの遅延である。条件(2-a), (2-d)では、照明器具の点灯で受光量が増えるため、レーザー光非照射にも関わらず、「選択」と推定された素子がある。しかしそれは複数であるため、「選択命令番号なし」となる。さらに、それに先行して初期化要求が出力され、実際には背景光量を取得し直すので誤認識は起きないと考えられる。条件(2-b), (2-c)では、照明器具の消灯で受光量が減るため、誤認識は生じない。しかし認識の判定基準となる非照射時受光量に変化していることから、操作者がレーザー光を照射しても認識しない恐れがあり、初期化の必要がある。全ての条件において、信号変化とほぼ同時に初期化要求を出力しており、処理は適切に行われたと考えられる。

## 5. 結論

本研究では、機能的電気刺激(FES)システムの制御命令入力装置として、重度四肢麻痺者でも操作可能な頭

部運動に着目し、頭部に光源を設けて、机上の受光素子を照射し、機器の命令を選択するシステムについて検討した。そして、さまざまな光環境下で選択命令を正しく識別できること、また照明の状態が変化した場合に背景光量を取得し直すための要求が正しく出力されることを確認した。さらに、システム設計の実験的根拠を得た。今後は処理をオンラインで実行し、評価する予定である。

なお本研究の一部は、財団法人内田エネルギー科学振興財団より助成を受けた。記して感謝する。

## 文 献

- [1] 村上肇, 星宮望, “生体電気刺激入門,” クリニカルエンジニアリング, vol.12, no.1, pp.3-9, Jan.2001.
- [2] 比嘉広樹, 仲村郁夫, 村上肇, 星宮望, “機能的電気刺激システムのための頭部動作を用いた制御命令入力装置,” 第18回バイオメカニズムシンポジウム前刷, pp.133-140, Jul.2003.
- [3] 安西昭裕, 渡辺高志, 村上肇, 二見亮弘, 星宮望, 半田康延, “任意のFES手先リーチング再建のための目標検出に関する検討,” 信学技報, MBE2001-164, pp.25-30, Mar.2002.
- [4] 藤原大樹, 渡辺高志, 村上肇, 古瀬則夫, 吉澤誠, 星宮望, “頭部動作を利用した運動機能障害者の多目的な制御命令入力システムの基礎的検討,” 第37回日本エム・イー学会東北支部大会講演論文集, p.23, Nov.2003.
- [5] 村上肇, 野村祐介, 渡辺高志, 星宮望, “光素子を用いた頭部運動による障害者用制御命令入力装置に関する基礎的検討,” 第10回日本FES研究会学術講演会講演論文集, pp.21-26, Dec.2003.
- [6] 林剛哉, 村上肇, 渡辺高志, 星宮望, “光素子を用いた頭部運動による障害者用制御命令入力装置に関する基礎的検討—第2報: 光通信部におけるパルス変調方式の検討—,” 第11回日本FES研究会学術講演会講演論文集, pp.37-41, Dec.2004.

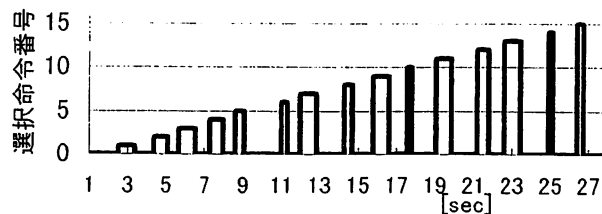


図5 識別結果(条件(1-a), k=20)

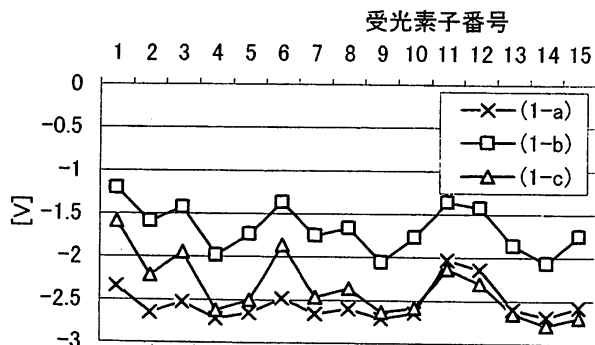


図4 レーザ光非照射状態の受光信号

表2 実験(2)における識別結果(k=20)

条件	最初に選択された受光素子		「初期化要求」	
	時刻 [sec]	番号	出力時刻 [sec]	信号変化からの遅延 [sec]
(2-a)	6.42	#1, #6	5.94	0.02
(2-b)	-	-	5.88	0.00
(2-c)	-	-	5.82	0.00
(2-d)	6.70	#10, #15	6.22	0.02