

マイクロコンピュータのリハビリテーション機器への応用  
(環境制御装置の試作)

奥 英久, 坊岡正之, 相良二朗, 中村春基  
(兵庫県リハビリテーションセンター)

1 緒言

昨今の交通災害・労働災害の激化および種々の疾病等により、重度身体障害者の増化には著しいものがある。彼等は、自分自身で独立した日常生活を行うことがほとんど不可能なため、家族や介助者に多大の労を煩しているのが実情である。これは、災害や病気により人間本来の機能の一部もしくは大部分が損なわれたものと考えられ、近年に至るまでは、従来の医療技術では回復(リハビリテーション)しえない領域として、半ば放置された状況であった。

一方欧米においては、以前からリハビリテーション工学の分野が開拓され、このような重度身体障害者が自立した生活を行うための、工学的な各種補助装置の研究開発が進められており、環境制御装置(Environmental Control System - 以下ECSという)と呼ばれる多機能を生活補助装置が実用化されている。この装置は、上記のような要介助の重度身体障害者(以下使用者という)が、自分自身の身体に僅かに残っている機能により各種の周辺機器(電動ベッド・テレビジョンなど)を操作するものであり、1960年代当初に英国で実用化されて以来、現在では数多くの機種が市販されるに至っている(本邦では開発されていない)。しかしこれらの装置は、周辺機器として操作の簡単なものしか使用できず、また社会復帰に必要な教育や職業介助のための拡張性に欠けているため、本邦との仕様の相異も含めて、そのままの使用を困難にしているのが現状である。

筆者らは、このような欠点を除去するため、小型化・高性能化・低価格化の著しいマイクロコンピュータを主たる制御装置とした、新しいECSの開発に着手している。本論文では、ECSの基本的考え方・マイクロコンピュータによるECSの構成および試作システムについて報告する。

2. 市販ECSの構成

図1は、市販されているECSの概要を示したものである。システムは、センサから成る入力部、センサからの信号受理および周辺機器への制御信号の分配を行う制御部、動作の状態を使用者に知らせる表示部、それに加えて各種の周辺機器から構成されている。

2.1 入力部

単一もしくは複数のセンサから成り、使用者の残存機能による僅かな身体の動き(生体情報)をシステム制御のための電気信号に変換する。

市販ECSに標準装備されているのは、息(呼吸気)の圧力変化を検出するセンサで、他に音・光・圧力(機械的)を検出する各種センサがオプションとして設けられている。

表1は、市販ECSに関係なく、使用者

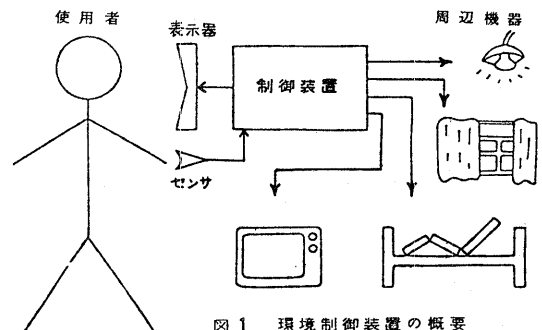


図1 環境制御装置の概要

の残存機能と生体情報およびこれに対応するセンサの一般例を示したものである。表側のクラス分類において、クラスAは首から下の機能が全廃の使用者に、クラスBは首から下の機能が僅かでも残っている使用者に、それぞれ対応している。

また、ECSの制御部から離れて、たとえば電動車イス使用時に操作を行いたい場合には、無線方式によるセンサ出力信号の伝達が望ましいが、このような遠隔操作装置（リモートセンサ）は約半数の機器がオプションとして備えている。

1つのECSで使用するセンサの数は2～1で、その数に応じて独特の操作方式が構成されている。

### 2.2 制御部

制御部は、センサ部からの出力信号を受けて、表示部および周辺機器の制御を行う。構成は使用するセンサの数により異なり、表2に示す3種類の操作モードがある。

### 2.3 表示部

制御部からの信号により、ECSの動作状態を使用者に知らせ、操作を簡便に行わせるためのフィードバック装置であり、視覚と聴覚の2種

	残存機能	生体情報	センサ(例)
CLASS-A	首の3次元運動	○顔の向き ○頭の位置	○水銀スイッチ ○歪センサ
	顎の運動	顎の位置	タッチスイッチ
	舌の運動	○舌の位置 ○舌の湿度	○マイクロスイッチ ○モイステイックセンサ
	呼吸	○呼吸気圧 ○CO2分圧	○呼気圧センサ ○CO2センサ
	発声	○音圧(音量) ○言語	○マイクロホン ○音声認識装置
	まぶたの運動	眼球の露出	フォトセンサ
	眉の上下運動	前額部の筋電	筋電増幅器
CLASS-B	口唇の運動		
	肩甲骨の挙上	○肩峰の位置 ○手指の前後動	○マイクロスイッチ ○フォトセンサ
	上腕の運動	肘関節の位置	タッチスイッチ
	前腕の運動	○手指の角度 ○手指の平面位置	○フォトセンサ ○タッチスイッチ

表1 残存機能とセンサの対応

操作モード	センサ数	周辺機器の選択方法	操作方法
モード1	2	S1で/ケづつ順次選択	S2で操作
モード2	2	最初のS1で走査開始次のS1で走査を停止して選択	S2で操作
モード3	1	最初のSで走査開始次のSで走査を停止して選択	次のSで操作

(S:センサ)

表2 市販ECSの操作モード

類がある。

### 2.3.1 視覚フィードバック

文字どおり使用者が見て確認する装置で、図2に示すような表示器が標準的に使用されている。各機器名の前  
に設けられている発光ダイオード（丸印）は、その機器  
が選択された時に点灯し、操作時には上部の発光ダイオ  
ードが点灯して確認する方式である。

### 2.3.2 聴覚フィードバック

機器選択と動作の模様を音で使用者に知らせる方式で  
、習熟すると発光ダイオード等による視覚フィードバッ  
ク装置無し、いわゆる無視覚操作が可能であるが、音  
色・ピッチなどの条件を使用者の好みに合わせる必要が  
ある。

### 2.4 周辺装置

接続可能な周辺機器としては、商用電源（ACコンセント）制御が全ての機種に  
3組以上設けられているが、具体的な機器については各ECSにより若干の相異が  
ある。比較的多くのECSに設けられている制御能力の対象機器としては、ナース  
コール・インターホン・電気式ドア錠・電気式自動ドア・有線によるテレビジ  
ョンのチャンネル切換え、ページターナ・電動カーテンなどがあり、特殊な機器と  
してはラジオの同調・カセットレコーダの操作・電灯の調光などがある。また、  
コミュニケーションの手段として欠くことの出来ない電話は、オプションも含め  
て可能である。

## 3. ECSの基本的考え方

### 3.1 リハビリテーション機器としてのECSの位置づけ

ECSを理想的に解釈すれば、その機能として次の2点が含まれなければならない。

- 可能な限り自立的生活を行わせる
- 介助者が必要であればその負担を出来る限り軽減する。

土屋らは、このような機能を有する具体的な装置として、以下に示す分類を行  
っている。

- |                |                  |
|----------------|------------------|
| (a) 褥瘡防止用ベッド   | (g) 日常生活介助システム   |
| (b) トランスファ・エイド | (h) レクリエーション・エイド |
| (c) シーツ取換システム  | (i) 情報伝達介助システム   |
| (d) 入浴介助システム   | (j) 教育・訓練システム    |
| (e) 排便処理システム   | (k) 職業介助システム     |
| (f) 人工呼吸システム   | (l) 緊急対策システム     |

この中で(a)～(f)および(g)の一部は主として介助者の肉体労働に依存しており、  
代替となるハードウェアは現在の工業用ロボットの技術を応用すれば比較的簡単  
に開発可能であるが、対象が「物」でなく「人間」であるのと、非生産的な仕事  
内容であることを考え合わせると、その実現には多大の経費と時間が心要である  
。

一方(h)～(l)および(g)の一部は、簡単なハードウェアと種々の周辺機器の操作手

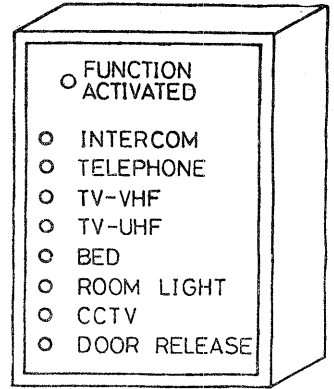


図2 視覚フィードバック  
(米国FD社製)

順（ソフトウェア）を備えた装置で容易に実現可能であるが、使用者個々の仕様に対応する柔軟な構成が必要である。

以上を総合すると、現時点では (a)～(l) の全機能を有するトータルな ECS の開発は時期尚早であり、(h)～(l) および (g) の一部の機能を含んだ ECS が有効と考えられる。

### 3.2 市販 ECS の評価と考察

すでに述べたように、市販されている ECS は (g) の一部の機能しか有しておらず、周辺機器もメーカー指定以外の増設は不可能であり、(h)～(l) の機能を付加するのに必要な拡張性を有しているとは言えない。これは、市販 ECS の制御部が標準的な論理素子である SSI（TTL or CMOS）を中心に構成されていることに起因するものと考えられる。SSI はそれぞれが固定された論理機能であるため、これらを高集積化しても一つの専用 LSI が出来ることにより現在の市販 ECS が小型化される程度で、本質的な性能向上には至らない。また ECS は、拡張するほど各使用者間の仕様差が大きくなるため、その標準化が困難である。

このような理由により、本邦に比べて開発意欲の高い諸外国においても、汎用性・拡張性に富む ECS が実現されなかったものと考えられる。

### 4. マイクロコンピュータによる ECS の構成

近年の電子工学の飛躍的發展に伴ない、論理素子の超高集積化が実現され、その成果はマイクロコンピュータとして種々の分野に著しい技術革新をもたらしている。このマイクロコンピュータは、ICメーカーが製造したハードウェア（素子）をユーザ独自の方法で種々のシステムへ応用可能としたもので、その機能変更がソフトウェア（プログラム）により容易であるため、構成に柔軟性が要求される ECS に最適である。

以下、マイクロコンピュータを使用した ECS の構成について述べる。

#### 4.1 システム設計（ハードウェア）

一般にコンピュータシステムでは、キーボードやプリンタ等の入出力装置が標準的に接続されるが、ECS は主としてシーケンス・コントロールを行うため、これらの代わりにセンサや周辺機器が接続される。

図 3 は、マイクロコンピュータによる ECS の構成を示したものである。図中でマイクロコンピュータから外へ向っている矢印は出力ポートを、逆の矢印は入力ポートを示している。

入力ポート A にはセンサを、出力ポート A には表示装置

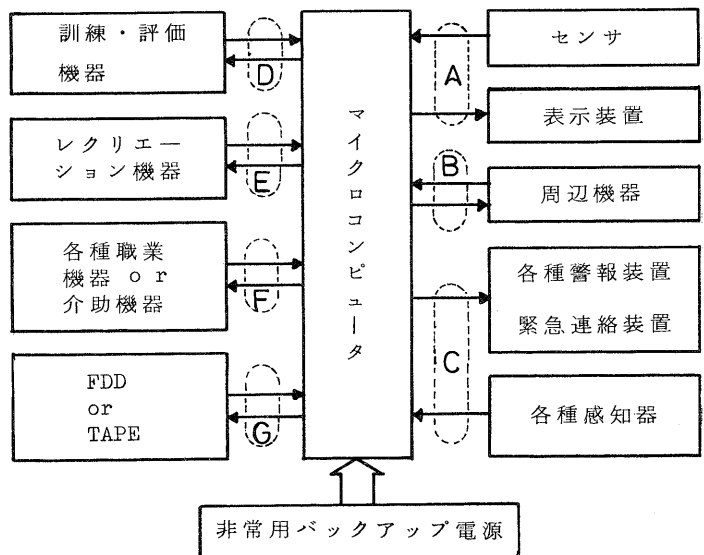


図 3 マイクロコンピュータによる ECS

を接続する。入出力ポート B には周辺機器を接続する。出力ポート C には、各種の警報装置および緊急連絡装置を接続するが、その動作は使用者の意志により通常の手順で行われる場合と、入力ポート C に接続された各種感知器により無条件で行われる場合の 2 通りがある。

教育・訓練機器およびレクリエーション機器は、それぞれ入出力ポート D と E に接続されるが、内容としてソフトウェアだけの場合も可能なので、この時には入出力ポート G を介して供給される。職業機器については、インターフェースを含めて、入出力ポート F に接続する。

ECS が高性能化するにつれ問題となるのは、停電等の電源供給不可能時の対策であるが、一時的な補助電源によるバックアップを計っている。

#### 4. 2 システム設計 (ソフトウェア)

図 3 の ECS を制御するソフトウェアは、初期化を行うイニシャライズ・プログラム、全体の統括を行うコントロール・プログラム、個々の周辺機器の操作手順を示すオペレーション・プログラムの 3 種類で構成される。

##### 4. 2. 1 イニシャライズ・プログラム

電源投入直後に各出力ポートをリセットすると共に、接続している各周辺機器のコード番号を入力ポート B から読みとるプログラムである。コード番号の読み取りは、システム設置時の配線簡略化と、同一コネクタ使用に起因する誤接続を防止するために有効である。すなわち、周辺機器の接続順序をあらかじめ設定しておかず、接続後にその配列をプログラムにより読み取り、表示のためのデータを作成する方式である。

##### 4. 2. 2 コントロール・プログラム

目的の機器を選択するまでの手順、すなわち操作モードを作成するプログラムで、センサからの出力信号に対応して動作する。

##### 4. 2. 3 オペレーション・プログラム

コントロール・プログラムにより選択した周辺機器を実際に操作するためのプログラムで、対象周辺機器の操作の複雑さにより構成も階層化する。

#### 5. モデルシステムの試作

以上に述べた基本構成をもとに、市販のマイクログンピュータによる、ECS のモデルシステムを試作した。

##### 5. 1 仕様

今回の試作では、CRT ディスプレイへのカナ文字表示による視覚フィードバック、および複雑な機器の操作を目的として以下のように仕様を構成した。

- 操作モード：1 つのセンサによる自動走査 (表 2 のモード 3)
- センサ：呼気圧センサか接触センサのいずれか 1 つ
- 表示部：モニターテレビジョンへのカナ文字表示による視覚フィードバック
- 周辺機器：電動ベッド (背・足・全体高の各上下)、電動カーテン (開閉・途中停止)、テレビジョン (電源入切・チャンネル切換・音量調整)、電灯 (4 段階の調光)

操作の複雑な周辺機器として、テレビジョンを採用した。これは、現在リモコン型として多数市販されている機種の一つで、チャンネルの直接選択と 32 段階の

音量調節機能を有している

使用したマイクロコンピュータは、T社製の8ビット汎用マイクロコンピュータシステムの基本仕様で、外部に入出力ポートを増設して図4

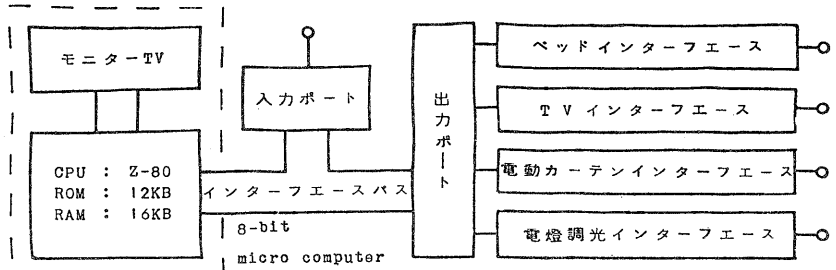


図4 市販マイクロコンピュータによるECS

のように構成した。各周辺機器は、出力ポートとの間にインターフェースを介することにより、無改造で使用している。

### 5.2 ソフトウェア

イニシャライズ・プログラムは、接続する周辺機器を限定しているため、各出力ポートをリセットするのみとした。また自動走査の速度は、使用したマイクロコンピュータに付属しているキーボードからの入力により設定している。

コントロール・プログラムは、接続している4種類の周辺機器名をカタカナで表示すると同時に、その左側を正方形の点滅マークにより自動走査し、随時のセンサ出力信号により各オペレーション・プログラムへ遷移する方式である。

オペレーション・プログラムは、各周辺機器の操作手順に従って構成した。電灯調光のように簡単な操作は、図5のように簡略化されるが、テレビジョンのように電源・チャンネル・音量の各選択項目の次にもう一段階の選択項目(電源であればオンかオフか)を有する機器では、図6のように複雑化する。

また電動ベッドにおいては、使用者の位置が操作により影響を受けるため、センサ出力信号が有る場合のみ作動する(モメンタリ)方式としている。

オペレーション・プログラムから上位のコントロール・プログラムへの復帰は、使用者の操作により可能であるが、放置していても3回自動走査した後自動復帰する構成としている(図5、図6参照)

プログラム言語はBASICで、全体で約4.5kバイ

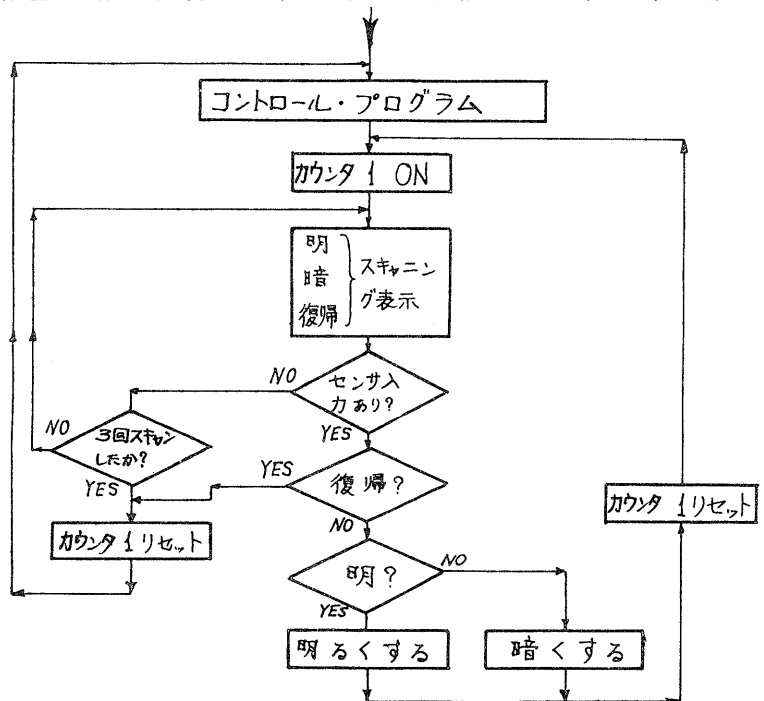


図5 電灯調光プログラム



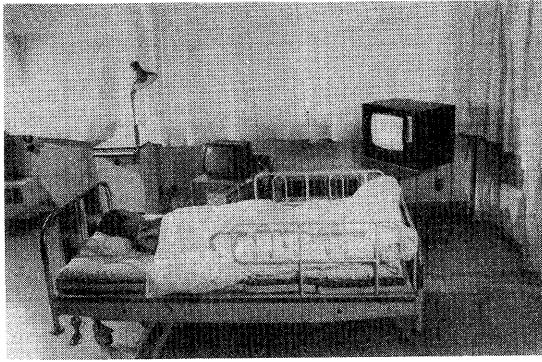


図 7 試作した ECS

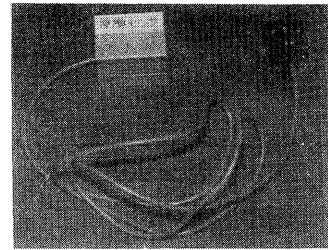


図 8 タッチスイッチ

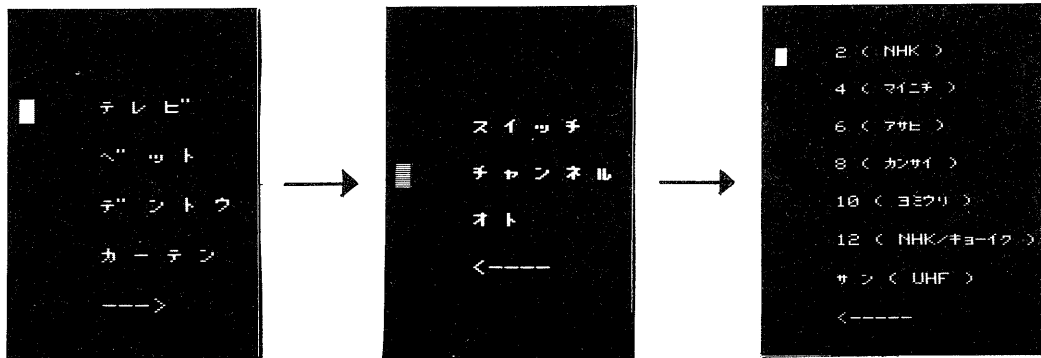


図 9 テレビジョンのチャンネル切換えの様相

操作が可能であった。図 9 は、周辺機器の中で操作が最も複雑なテレビジョンの、チャンネル切換えの手順を表示部により示したものである。

自動走査の速度は、最初は 2～3 秒程度必要であったが、少し馴れると 1 秒程度でも操作可能であった。

各周辺機器の操作手順は、あらかじめ筆者らがシステムの設計時に構成した方式であるため、本被験者の使用に際しては若干の修正が必要であったが、プログラムの変更だけで済みマイクロコンピュータの ECS への有効性が認められた。

## 6. 結語

本論文では、現在の技術で可能な究極の ECS およびマイクロコンピュータの応用によるその実現性について言及するとともに、市販のマイクロコンピュータを使用した試作 ECS について報告した。

本邦の電子工学の技術レベルは世界でも最高水準にあり、本稿で述べた究極の ECS についても十分に対応する技術力を有しているといっても過言ではない。しかしながら、周辺機器とのインターフェースならびに医療（臨床）サイドでの機器の受け入れに問題があり、その実用化を妨げているのが現状である。

インターフェースについては、ECS 本体が高性能化しても周辺機器との接続は避けられない問題であり、これを解決するには市販の周辺機器（ほとんどが電気製品）全てにリモート・コントロール端子を設置するのが最も有効と考えられる。すなわち、単独の機器をこの仕様に改造するためにはかなり経費が必要である。



が、メーカーが設計時にその仕様を組み込めば市販時における価格増は僅かであり、関連諸機関の積極的指導が望まれる。

医療サイドにおける受け入れ問題については、ECSそのものが本邦において過去に類を見ないリハビリテーション機器であり、一部関係者の間でその有効性が高く評価されているものの、その効果を計りかねているのが実情と考えられる。本稿で報告した欧米の市販ECSは、価格・様式・保守などの面で本邦の仕様に合致しないため、一部のリハビリテーションセンターや施設で実験的に使用されている程度である。

以上から、医療サイドの評価が定着するまでの期間（過渡期）には、欧米の市販ECSと同等の機能で本邦の生活様式に適合した安価なECSが必要であり、この普及を通じてインターフェースの問題を除々に解決し、その後には究極のECSを開発すべきであると考えられる。

#### 参 考 文 献

- 1) Loman Klinger et al: Aids to Independent living. (1969) .Mcgraw-Hill
- 2) Anthony Staros et al: VAPC Reseach Report.BPR10-21 (1974spring).81~97
- 3) Anthony Staros et al: VAPC Reseach Report.BPR10-19 (1973spring).164~184
- 4) Anthony Staros et al: VAPC Reseach Report.BPR10-23 (1975spring).241~250
- 5) Rehabilitation Monograph No.55: ENVIRONMENTAL CONTROL SYSTEMS & VOCATIONAL AIDS for person with HIGH LEVEL QUADRIPLIGA.NYU Medical Center.1979
- 6) 中村 裕: 四肢麻痺者のための電動空気制御.総合リハ.2.570.1974
- 7) 荻島 秀男: 高位脊髄損傷四肢麻痺患者のリハビリテーションにおけるUpper Extremity Orthotics およびExternally Powered Device の臨床的応用比較.リハビリテーション医学.7.18.1970
- 8) J.G.Parish et al: A STUDY OF THE USE OF ELECTRONIC ENVIRONMENTAL CONTROL SYSTEMS BY SEVERLY PARALYSED PATIENTS.Paraplegia17-2.147~152.1979
- 9) Roger Jefcote: Electronic Aids for Severely Handicapped People.リハビリテーション医学.17.41.1980
- 10) 土屋、他: 「重度身障者用環境制御システムのありかた」に関する報告.労働省災害科学に関する研究昭和54年度研究業績報告書
- 11) 奥、他: 環境制御装置の開発 (第/報). 第8回兵庫県リハビリテーション研究会.(神戸).1979
- 12) 相良、他: 電動ベッドコントローラの開発.第8回兵庫県リハビリテーション研究会.(神戸).1979
- 13) 中村、他: 環境制御装置の開発-第/報.第14回日本作業療法士学会.(大阪).1979
- 14) Booka et al: Microcomputer for ENVIRONMENTAL CONTROL SYSTEM.the 2nd International Microcomputer Conference. (Tokyo).1980
- 15) 中村、他: 環境制御装置の開発-第2報.第9回兵庫県リハビリテーション研究会.(神戸).1980