

ボタン型操作インタフェースで操縦する 障害児用全方向移動支援機器の操作支援について

On an operation assist system of omni-direction movement support apparatus operated
by button type interface for disabled children

○正 安田寿彦（滋賀県立大） 高塩純一（びわこ学園）
奥屋憲利（滋賀県立大） 口分田政夫（びわこ学園）

Toshihiko YASUDA, University of Shiga Prefecture, yasuda@mech.usp.ac.jp
Junichi TAKASHIO, Biwako Gakuen
Manabu TOKYO, University of Shiga Prefecture
Masao KUMODE, Biwako Gakuen

The mobile experience of infant stage is important, in order to encourage the development of the cognitive faculty. We are developing an omni-directional vehicle, which has various functions for handicapped children. In this study, we discuss the button type interface and the operation assist system that the collision avoidance assists the inadequate operation of handicapped infants.

Key Words: Omni-directional movement, Operation assist, Button type interface

1. 緒言

障害のために自立移動が困難な子ども達がいる。子ども達は、幼少期に獲得した移動手段によって自ら周りの環境に働きかける。早期の移動経験は、すべて、その後の行動に影響を及ぼすと言われるほど重要であり、ここで学習した「物事の原因」や「人との関わり」は認知や情緒など心理的発達へとつながる。しかし、運動機能に障害をもつ幼児は、自立移動ができず、社会や周りの環境に働きかけることが困難となり、移動、認知、情緒といった面の学習機会を制限されることがある。また、環境に働きかけにくくなるため受動的かつ依存的になる。努力しても思うように体が動かず、自らの行動で社会に働きかけることを失敗し続けた幼児は無気力になり、再び試みることを諦めてしまうことがある[1]。このように子供の早期の運動機能の障害は運動することを妨げるだけではなく、人間が発達していく障害となる。本研究では、運動能力にハンディキャップをもつ子どもの自立移動を可能にする全方向移動機器（図1参照）の試作に取り組んでいる[2,3]。全方向移動能力を備えた移動支援機器は、直感的な操作で操縦可能であるので、運動能力や判断能力にハンディキャップがある子どもたちが最初に体験する移動支援機器として適切であると考えている。

ハンディキャップを持つ子ども達に電動の移動支援機器を用い、保護者や理学療法士と一緒に移動経験を行おうという試みがはじまっている[4～7]。ハンディキャップを持つ子どもが単独で能動的に好きな場所へ自由に移動することができれば、学習の機会の増加や移動経験による効果が増大する。しかし、ハンディキャップを持つ子どもは、操作能力が十分ではなくジョイスティックをうまく操作できない場合がある。また、判断力、環境変動への対応能力が十分ではない。そのため、壁などの障害物と衝突する危険がある。本研究では、「押しボタンを用いた操作装置」と「操作者の不注意や誤操作による障害物との衝突を防ぐ操作支援」の組み合わせによる走行システムについて検討する。

2. 操作インタフェース

電動車椅子に用いられている操作インタフェースは、ジョイスティックが一般的である。しかしながら、ジョイスティ

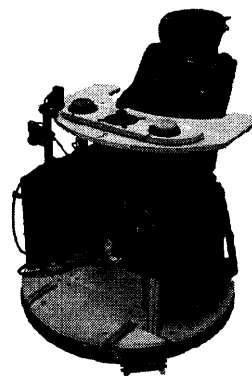


Fig. 1 Prototype of mobile support equipment

ックをうまく操作できない操作者のために、ボタンやレバーを利用したインタフェースを用いることもある。ボタン型の操作インタフェースは、全方向移動機器の運動能力を使いこなす操作指令を生成することができないが、走行の安全性を考えたときに有利となることもある。

図2に、試作している移動機器に搭載することができるボタン式インタフェースを示す。この操作インタフェースは、ジョイスティックの細かな操作を得意としない操作者に適している。ボタンは最大で6つまで搭載が可能であり、操作者の残存能力に合わせてボタンの数を調節することができる。各ボタンの走行指令の例を表1に示す。

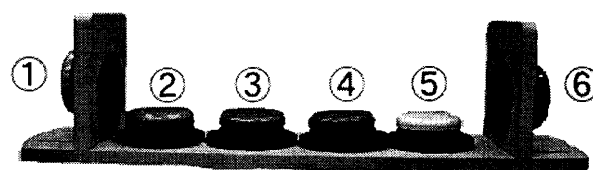


Fig. 2 Button type interface

Table.1 Running pattern

ボタン番号	走行パターン
①	左方向平行移動
②	左その場旋回
③	前進
④	後進
⑤	右その場旋回
⑥	右方向平行移動

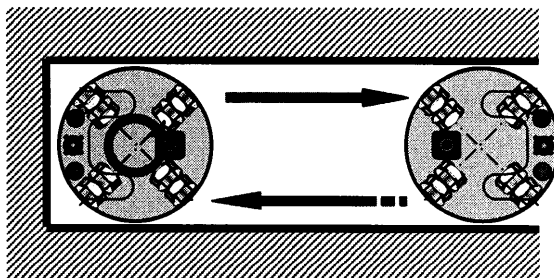


Fig.3 A driving in a narrow way

試作した全方向移動機器の機体の特徴のひとつは、機体の平面形状が円形になっている点である。直径 $700[\text{mm}]$ の円盤をベースとして、ベースに取り付けられた全ての構成要素および搭乗者が直径 $700[\text{mm}]$ の円内に収まるように配置している。直径 $700[\text{mm}]$ という大きさは、国土交通省の定めたバリアフリー新法において推奨される出入り口の幅が $80[\text{cm}]$ 以上であることに基いて決定した。また、駆動輪の車軸の延長線が仮想円の中心を通る構造になっている。このような構造によって、その場旋回をしているとき、移動機器と障害物との距離は一定であり、全方向移動機器が存在する領域が移動することがない。つまり、その場旋回動作時に障害物に接触する危険性を排除でき、常に方向の転換が可能になる。したがって、走行経路がある限り前進とその場旋回動作のみで目的地に到達することが可能である。例えば、図3のような行き止まりになっている狭い通路でも「前進」と「その場旋回」の組み合わせだけで進入と脱出が可能である。

3. 障害物検知センサ

本研究では北陽電機製の測域センサ UBG-04LX-F01 を障害物検知センサとして採用した。この測域センサは、 $360/1024[^\circ]$ 間隔で $0[^\circ] \sim 240[^\circ]$ の範囲を走査して、対象物までの距離を出力する。1回の測定で取得した 682 個の距離情報に、センサデータ番号 $[0]$ から $[681]$ を割り当てて、データを管理する (図4参照)。センサデータ番号 i ($i=0, \dots, 681$) の距離データ r_i ($0 \leq r_i \leq 3000[\text{mm}]$) とセンサデータ番号から、測域センサにより得られる障害物情報は、つぎのような極座標データ (r_i, θ_i) (センサ取り付け位置を原点とする) が生成される:

$$(r_i, \theta_i) = \left(r_i, \frac{360}{1024} (341 - i) \right) \quad (1)$$

さらに、極座標データを XY (直交) 座標データに変換して移動機器と対象物の相対位置を把握する (図5参照):

$$(\text{sen_}x_i, \text{sen_}y_i) = (r_i \sin \theta_i, r_i \cos \theta_i) \quad (2)$$

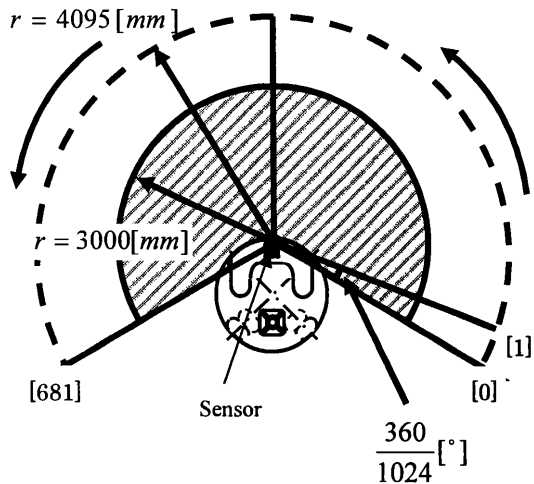


Fig.4 Numbers and scanning lines of

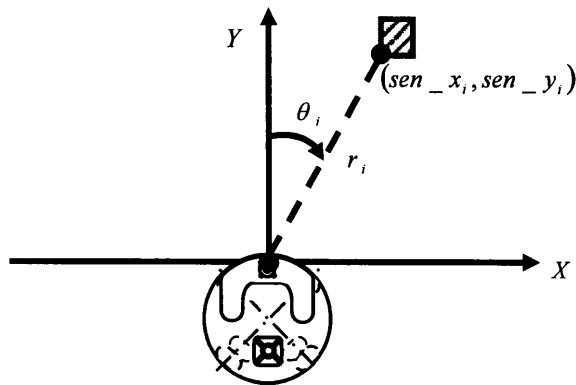


Fig.5 Polar coordinate system and X-Y coordinate system

4. 衝突防止機能

(1) 基本構想

○ 操作入力による動作の選択

本研究で提案する操作支援システムは、減速、停止、回避動作によって障害物との衝突を防止する。操作者が押しボタン型操作インタフェースから、前進を入力している場合にのみ、回避動作を選択する可能性を残し、後進や左右への平行移動を入力している場合は、減速してから停止する動作によって障害物との衝突を防止する。

○ 障害物の位置に応じた動作の選択

「操作入力による動作の選択」において、前進時と判断され、「回避動作」の選択が残された場合には、障害物と移動機器の位置関係によって、第2段階の動作選択を行う。

本研究では、図6で表される領域を前進時における動作選択の領域とする。すなわち、図6の青い斜線領域に障害物が存在するとき、この障害物との衝突を防止するために、停止するか回避をするか、動作を選択する。

センサの障害物情報 $(\text{sen_}x_i, \text{sen_}y_i)$, $0 \leq i \leq 681$ から、図6の選択領域に含まれる障害物の中で、y方向距離が最も移動機器に近い障害物情報を求め、最短 XY 座標データ $(\text{near_}x, \text{near_}y)$ とする。センサデータ番号 $i=341$ の y 方向の距離データを $\text{CEN_}y = \text{sen_}y_{341}$ とする。最短 XY 座標デ

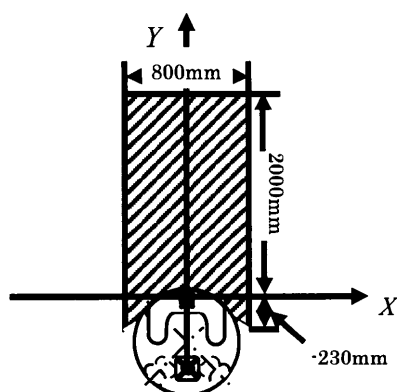
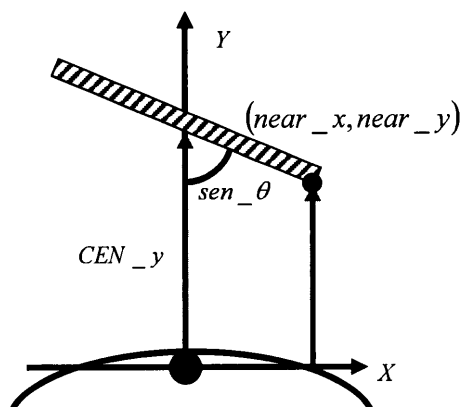


Fig.6 Determination area for action with go-ahead


Fig.7 Selection of action using $sen_ \theta$

一タ $(near_x, near_y)$ と CEN_y から、角度 $sen_ \theta$ を求める (図7参照) :

$$sen_ \theta = \tan^{-1} \left\{ \frac{near_x}{(CEN_y - near_y)} \right\} \quad (3)$$

$sen_ \theta$ は、障害物に対して移動機器がどのような角度で接近しているかを表す。(図7参照) 次の条件が成立したときに回避動作を選択する :

$$near_y \leq 1000 \quad (4a)$$

$$sen_ \theta \leq 45^\circ \cup sen_ \theta \geq -45^\circ \quad (4b)$$

(4a)式は減速動作を始める距離 2000[mm]よりも近づいてから回避動作の選択を行うことを示している。これは、回避動作の前に減速動作を取り入れて、急激な回避動作を避けるためである。すなわち、回避動作選択が保留されたとき、障害物までの距離が 1000[mm]以下になるまでは減速を行い、安全で確実な回避動作が行える状態にする。また、(4b)式は移動機器の障害物への接近角度が小さいときに回避動作が選択されることを示している。

(2) 減速動作

全方向移動機器は4つのオムにホイールによって駆動される。(図8参照) 減速による衝突防止機能では、「操作インタフェースから入力される操作指令」と「障害物情報から生成される衝突防止指令」を(5)式を用いて融合し、各駆動輪の速度指令が生成される :

$$M_{LF} = I_{LF} \times (1 - B_{LF}), \quad M_{RF} = I_{RF} \times (1 - B_{RF})$$

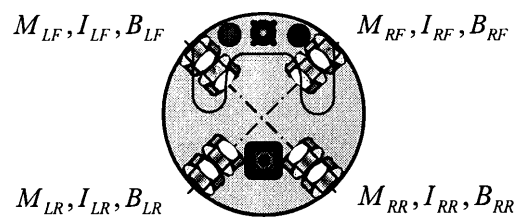


Fig.8 Four omniwheels and symbols of each wheels

$$M_{LR} = I_{LR} \times (1 - B_{LR}), \quad M_{RR} = I_{RR} \times (1 - B_{RR}) \quad (5)$$

図8に示すように M_{LF} , I_{LF} , B_{LF} は左前方駆動輪の速度指令と操作指令と衝突防止指令である。以下同様である。(5)式に示すように、各駆動輪の速度指令 M は、操作指令 I を衝突防止指令 B を用いて補正することで決定している。衝突防止指令 B は 0 から 1 の数値であり、1 に近づくほど各駆動輪の速度が抑制される。前進時は y 軸方向の距離が最も近い障害物のデータを用いて衝突防止指令を求める :

$$B = \frac{1}{1 + \exp \left\{ 100 \left(\frac{near_y}{7000} - 0.03 \right) \right\}} \quad (6)$$

左右方向への移動時は x 軸方向の距離が最も近い障害物のデータを用いて衝突防止指令を求める :

$$B = \frac{1}{1 + \exp \left\{ 100 \left(\frac{near_x}{7000} - 0.055 \right) \right\}} \quad (7)$$

(6)および(7)式で求めた衝突防止指令 B が各駆動輪の減速指令 B_{LF} , B_{RF} , B_{LR} , B_{RR} となる :

$$B_{LF} = B_{RF} = B_{LR} = B_{RR} = B \quad (8)$$

(3) 旋回と全方向移動による回避動作の併用

柱などの障害物の回避動作は全方向移動による衝突防止機能が有効であり、壁などの広い面を有する障害物に対する回避動作は旋回による衝突防止機能が有効である。

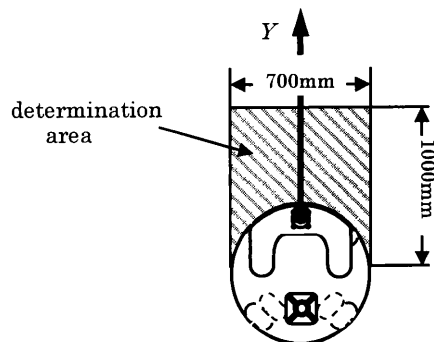


Fig.9 Determination area for avoidance actions

本研究では、図9に示すように領域には、横幅 700[mm]、縦 1000[mm]の領域を、回避動作の選択に用いる。図9に示された領域を Y 軸によって2つに分割して、どちらか一方の領域に障害物が存在するときには全方向移動によって回避動作を行い、それ以外のときには旋回動作によって回避を行う。

(4) 旋回による障害物回避

回避動作では、図9で示す右側領域と左側領域に含まれる障害物に対して、それぞれ、衝突防止指令を生成する。

右側領域に存在する障害物の距離データ (sen_x_i, sen_y_i) 、 $0 \leq i \leq 341$ から、移動機器の走行進路に最も近い x 軸方向の距離データ $(near_x_x, near_y_x)$ と移動機器に最も近い y 軸方向の距離データ $(near_x_y, near_y_y)$ を求める：

$$\begin{aligned} & (near_x_x, near_y_x) \\ & = \{(sen_x_i, sen_y_i) : sen_x_i \leq sen_x_j \quad (9a) \\ & \quad \text{for any } j, 0 \leq i, j \leq 341\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & (near_x_y, near_y_y) \\ & = \{(sen_x_i, sen_y_i) : sen_y_i \leq sen_y_j \quad (9b) \\ & \quad \text{for any } j, 0 \leq i, j \leq 341\} \end{aligned}$$

求めた距離データを用いて、次式によりの衝突防止指令 B_{xy} を生成する。

$$B_x = \frac{1}{1 + \exp\left\{200\left(\frac{near_x_x}{10000} - 0.03\right)\right\}} \quad (10a)$$

$$B_y = \frac{1}{1 + \exp\left\{200\left(\frac{near_y_y}{20000} - 0.03\right)\right\}} \quad (10b)$$

$$B_{xy} = B_x \times B_y \quad (10c)$$

(10)式により生成される衝突防止指令 B_{xy} と距離データ $(near_x, near_y)$ の関係を図10に示す。

移動機器から見て右に存在する障害物に対しては、次式によって障害物回避指令を生成する：

$$B_{LF} = B_{LR} = B_{xy} \quad (11)$$

同様に、移動機器から見て左に存在する障害物に対しても回避指令を生成して、旋回動作を実現して、障害物を回避する。

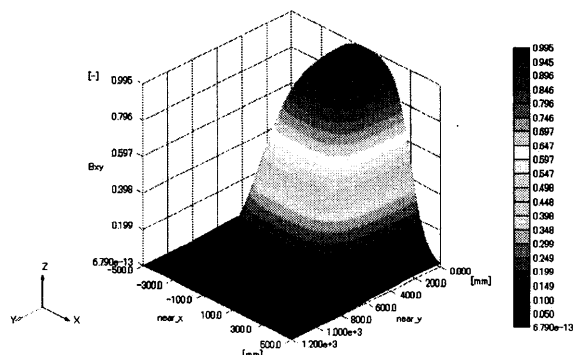


Fig.10 Function generating B_{xy}

(5) 全方向移動による障害物回避

移動機器に最も近いXY座標データ $(near_x, near_y)$ を用

いて、 I'_x および I'_y を求める：

$$I'_x = \frac{1}{1 + \exp\left\{200\left(\frac{|near_x|}{10000} - 0.03\right)\right\}} \quad (12a)$$

$$I'_y = \frac{127}{1 + \exp\left\{200\left(\frac{near_y}{20000} - 0.03\right)\right\}} \quad (12b)$$

実機から見て左側に障害物が存在するときは、

$$M = I + I'_x \times I'_y \quad (13a)$$

実機から見て右側に障害物が存在するときは、

$$M = I - I'_x \times I'_y \quad (13b)$$

によって操作指令を生成する。

5. 結言

本研究では、障害を持った子ども達の移動体験に利用するための全方向移動機器について検討した。現在、障害児施設で子ども達に移動機器を使用いただいている。ジョイスティックを操作できない子ども達もあり、押しボタン型インタフェースは重要な役割を果たしている。押しボタン型インタフェースは走行の安全性という面からは有利である。また、押しボタン型インタフェースを使用しているときに、子ども達の操作を支援して継続した走行を実現してくれる、操作支援システムの有用性を実感している。操作支援機能によって、保護者や理学療法士からの注意や操作の中断の頻度が減少し、子ども達が自分で移動機器を操作しているという感覚を生成することができる。このことが子ども達の自信を生み出し、自立を促す効果があると考えている。

謝辞 この研究は、日本学術振興会平成23年度科学研究費補助金（基盤研究(C)）（課題番号 21500519）により実施しました。

文 献

- [1] 高塩純一，口分田政夫，内山伊知郎，Joseph J. Campos, David Anderson：姿勢制御・粗大運動機能に障害をもった子どものための機器開発，ベビーサイエンス 2006.vol.6 (2006)
- [2] 安田寿彦，宮内繁之，小林晃，末廣尚也，田中勝之：障害児のためのリハビリテーション用全方向移動機器の試作，ロボティクス・メカトロニクス講演会'09CD-ROM 講演論文集 (2009).
- [3] 宮内繁之，安田寿彦，高塩純一，小林晃，奥屋憲利，口分田政夫，田中勝之：障害児のための移動支援機器の試作，第15回ロボティクス・シンポジウム講演論文集，pp.463-469 (2010).
- [4] 緒方純俊，岡本卓，石井和男，有菌秀昭，小田敦子：要介護者の自立を支援する自走式移動機器の開発，第21回バイオメカニクス学術講演会講演予稿集，pp.505-508 (2000)
- [5] 木下正作，川崎義則：障害児のための自立移動機器の開発，福祉工学シンポジウム 2005 講演論文集，pp.125-128 (2005)
- [6] 山川雄司，小竹元基，井上剛伸，藤田光伸，鎌田実：重度障害者を対象とした電動車いす力覚入力システムの開発，福祉工学シンポジウム 2006 講演論文集，pp.39-42 (2006)
- [7] 由良裕子，垣本映，鈴木重信，松野史幸，向後礼子：下肢障害幼児を対象とした自立移動支援装置の開発ー試作2号機の製作と試乗評価ー，第23回リハ工学カンファレンス講演論文集，pp.55-56 (2008)