

教育現場におけるパーソナルモビリティ STAVi の有効性検証

—八代キャンパスでの走行実験と機能改良検討—

谷 亮輔* 開 豊**

山下 徹*** 下田 貞幸****

Verifying the Effectiveness of Personal Mobility Vehicle "STAVi" in Schools
- Running Test and Examination of Functional Improvement at Yatsushiro Campus -

Ryosuke TANI*, Yutaka HIRAKI**, Toru YAMASHITA***, Sadayuki SHIMODA****

STAVi is the personal mobility vehicle that has some useful functions for handicapped persons. Therefore it will be effective to support a handicapped student in schools. However, it is a prototype machine whose is not assumed to use at school, so it is necessary to improve the mechanism and function. In this study, as the first step of universalizing educational environment using STAVi, the situation where STAVi was used was confirmed by the fabricated simulator and actual running test. As the second step, the speed change system that is according to the distance to the object and the presence or absence of a difference in level was made using an ultrasonic sensor, infrared sensors and an Arduino Leonardo. The collision of the STAVi and pedestrians or going off the shoulder of the road is avoided by this method. As a result, the safety of STAVi was enhanced.

キーワード：パーソナルモビリティ, 身体的弱者, 教育環境, 走行実験

Keywords: personal mobility Vehicle, handicapped persons, educational environment, Running Test

1. はじめに

近年、電動車いすに代表されるアシスト装置の開発は目覚ましい進歩があり、ジョイスティック操作を始めとして、使用者の身体的負担を軽減する装置が様々に開発されている。さらに現在では、ロボット技術を活用した新しいタイプのモビリティ装置もいくつか試作・提案されてきている。

しかし、教育現場という環境を考えると、現状のこれらの装置が十分な性能と仕様を備えているとは言い難い。一口に障害を抱える学生と言っても様々だが、積極的に学ぼうとするとき、教室内での活動、図書館での図書探索、体育館での競技参加など、様々な局面で課題がある。したがって、これらの学生が生き生きと学習参加できる環境をつくるためには、教育現場からの視点が重要となる。

熊本高専では、平成23年度より、地元企業が開発中のパーソナルモビリティ STAVi を導入して、学校現場での有効性向上のための提案を行う研究プロジェクトが発足し

た¹⁾。これは、本校の教育環境のユニバーサル化も視野に入れたプロジェクトで、本研究では、STAVi プロトタイプ機について、八代キャンパスでの利用実験を行い、その結果をもとに STAVi を利用しやすくするための機能改良も検討した。

2. パーソナルモビリティ STAVi

STAVi は、地元の企業、株式会社サンワハイテックが研究開発している室内用パーソナルモビリティである。平成22年にプロトタイプ1号機、平成23年にはプロトタイプ2号機が開発されている²⁾。本研究では2号機を取り扱った。図1に、2号機の外観と基本仕様を示す。

STAVi は、高齢者や障害者向けに開発された新しい発想の室内用の移動装置で、従来の電動車いすと異なり、立つ・座するという下肢の負担が伴う移乗動作を抑え、後方からスムーズに乗る・降りるという移乗動作が行える点に特徴がある。また、座面が上下することで健常者と同一視線を確保し、人間としての尊厳回復、自立意識の醸成などが期待されている。さらに、操作についても、ジョイスティックによる制御が可能で、利便性も追求されている。

したがって本研究の対象としても効果的で、車いすでは活動が困難な場面や学生が委縮してしまうような状況でのサポートが期待できると考えられる。しかし、現状は教育

* 専攻科 生産システム工学専攻 (現:ユニバーサル造船)

** 地域イノベーションセンター

*** 機械知能システム工学科

**** 建築社会デザイン工学科

〒866-8501 熊本県八代市平山新町2627

Dept. of Mechanical and Intelligent Systems Engineering,

2627 Hirayama, Yatsushiro-shi, Kumamoto, Japan 866-8501



本体寸法：W=700 × L=1164 × H=1040 mm
重量（バッテリー含む）：91kg
タイヤサイズ：13インチ
モーター出力：200W × 2
駆動方式：後輪駆動
制動方式：回生+電磁ブレーキ
制御方式：マイクロコンピュータ制御
最高速度：前進 6km/h, 後進 2km/h
座席昇降ストローク：240mm
バッテリー容量：12V/24Ah × 2
連続走行距離：10km

図1 STAVi プロトタイプ2号機の外観と基本仕様

現場での利用を想定していないため、学校現場で用いるには、構造や機能の改良が不可欠である。

ここでは、このプロトタイプ機を使って現場での実地検証を行い、機能改良の試行を含め、教育現場で利用しやすい装置開発のための検討を行った結果について報告する。

3. 3D-CAD を利用した学校現場での STAVi 利用シミュレーション

STAVi 本機の納入が遅れたために、まず、3D-CAD システムを使って、STAVi 本機と校舎の3Dモデルを作成し、この3Dモデルを利用して、教育現場での STAVi 活用状態を簡単に検証できるシステムを検討した。これを用いることにより、STAVi を校舎内で使用するときのおおまかなシミュレーションが行えるようになった。ここでは、3Dモデル作成結果と検討したよるシミュレーション結果を示す。

3.1 3Dモデルの作成

STAVi 本体の3Dモデルの作成には SolidWorks2010を使用し、校舎3Dモデルの作成には Google SketchUp8 を使用した。作成した STAVi の3Dモデルを図2に、校舎の3Dモデルを図3に示す。

3.2 STAVi 使用状況のシミュレーション

作成した STAVi の3Dモデルを Google SketchUp で読み込み、読込んだ STAVi の3Dモデルを校舎モデルの中に置くことで、校舎内での STAVi の活用状態を検討するシミュレーションを行った。教室等の空間に置いた STAVi の3D-CAD 上の干渉などから、利用状況等をおおまかに推測することができる。図4に、熊本高専八代キャンパスの様々な場所

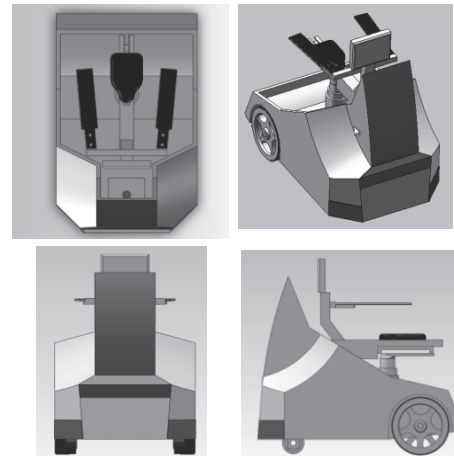


図2 STAVi プロトタイプ2号機の3Dモデル

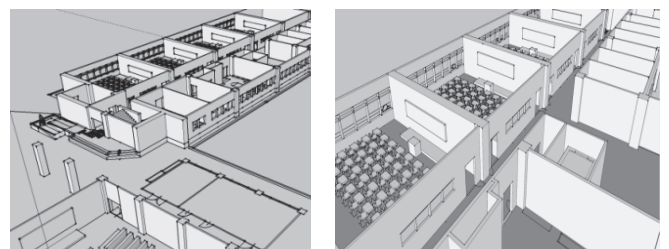


図3 作成した校舎の3Dモデル

で STAVi を利用したときのシミュレーション結果を示す。このシミュレーションを行うことで、STAVi を校舎内の廊下、エレベータ、共通教育棟、図書館等で運用した際の



図4 STAVi 使用状況シミュレーション

取り回し状況や空間的余裕の把握が可能となり、教室への出入りや廊下でのUターン等もある程度可能であることが確認できた。また、建物の構造上、現状ではSTAVi本機の乗り入れが難しい場所においても、使用状況のおおまかな推定を行うことができた。

4. 学校現場での走行実験

STAVi本機が納入されてからは、具体的な使用の状況を検証するため、実際にSTAViを学校現場で走らせて走行



a) 専門棟入口



b) スロープへの移動



c) スロープの走行



d) スロープ幅の確認



e) 廊下の走行



f) 教室内の走行



g) エレベータの利用



h) エレベータ内



i) ピロティの走行



j) 外庭通路の走行

図5 学校現場での走行実験の様子

表1 走行実験のためのチェック項目表

場所	チェック項目
棟入口	入口の幅は問題ないか
	STAViに乗ったまま扉の開閉ができるか
	扉を開くとスロープの道幅が狭くなるが、スロープの方向に向きを変えられる余地があるのか
スロープ	幅にどの程度余裕があるのか
	使用者に恐怖感・不安感はないか
	点字ブロック等がたつかないか
ピロティ	タイルの上でも安定した走行ができるか
	掲示物の閲覧は可能か
	マット等で引っかかることなどはないか
廊下	安全に走行できるか
	方向転換ができるか
	歩行者と衝突する危険性はどうか
エレベータ	入口の幅は問題ないか
	入口とエレベータ内のボタンは押せるか
	中で方向転換は可能か
教室	入口の幅は問題ないか
	扉の開閉ができるか
	机の間は通り抜け可能か
	机と机の間での停止、黒板までの移動、黒板への板書、ノートを作成等が可能で、授業に問題なく参加できるか

実験を行った。走行実験は、棟入口、スロープ、ピロティ、廊下、教室、エレベータ等で行い、表1に示すチェック項目について確認した。図5に実際の走行実験の様子を示す。

実地走行を行った結果、大きく分けて、①使用者と歩行者の安全性、②スムーズな移動、③学習時の利用の面などで問題・課題があることがわかった。問題点・課題は次の通りである。

①使用者と歩行者の安全性

- ・最高速度が時速6km程出るので、人との衝突など大きな事故につながる危険性がある。
- ・乗車中、搭乗者からは車輪の位置がわかりにくいいため脱輪等の恐れがある。

②スムーズな移動

- ・ジョイスティックの操作に慣れないと、狭い通路での方向転換等には時間がかかる。
- ・スロープでは、幅に50mmほどの余裕しかなく、登り降りには慣れが必要である。
- ・スライド式の扉の開閉は体をひねらないとできず、押し引きタイプの扉は乗ったままでは開閉が難しい。
- ・エレベータは使用可能であるが、中での旋回はできず、頭から入ると出るときはそのままバックで出なければならない。

③学習時の利用

- ・前方の位置に特別なスペースを用意しないと、授業への参加は難しい。
- ・現段階ではSTAViに乗ったままノートを取ることが難しい。
- ・段差等があり、黒板下への移動は困難である。

これらの問題点の中で、第一に解決すべきことは、使用者と歩行者の安全性の確保であると考えた。教育現場では、脱輪することなく、また狭い通路を歩行者や障害物と接触することなく安全に走行できるようにすることが不可欠であるため、まずは安全性を高めるための STAVi の機能改良を目指すことにした。

5. STAVi の機能改良のための検討

本研究では学校現場での走行実験の結果を受け、その改良提案のための第一歩として障害物検知・脱輪防止システムの作成と検討を行った。

ここでは、超音波センサで障害物までの距離を、赤外線測距モジュールで段差を測定し、測定した距離・段差に応じて走行速度が変わるシステムを、マイコンボードと簡単な制御回路を利用して試作した結果について示す。

5.1 VR2コントロールシステム

STAVi には走行用コントローラとして、PG ドライブテクノロジー社の VR2 コントローラが搭載されている。VR2 は電動車いすを制御することを前提に設計されたコントローラで、一般の電動車いすにも広く利用されている。前進、後進、回転の速度や感度、加速度、減速度等がプログラムとパラメータ設定によって変更可能である。さらに、反応抑制機能があり、Inhibit と呼ばれる制御端子に外部から制御信号を入力することで速度を制御できる。

図6に VR2 の制御端子の状態を示す³⁾。図中 Inhibit2 端子の入力については、3つのしきい値をパラメータで設定することで、4段階の速度制御が可能である。具体的には Inhibit2 端子に接続した回路の電気抵抗の値によって走行速度をバンド0、バンド1、バンド2、バンド3のいずれかに振り分けられるようになっており、各バンドでの速度を異なる値に設定することで、外部入力による速度調整が可能である。

本研究ではこの反応抑制機能を利用して、障害物と段差を検知して STAVi の移動速度を変化させるシステムを試作することにした。

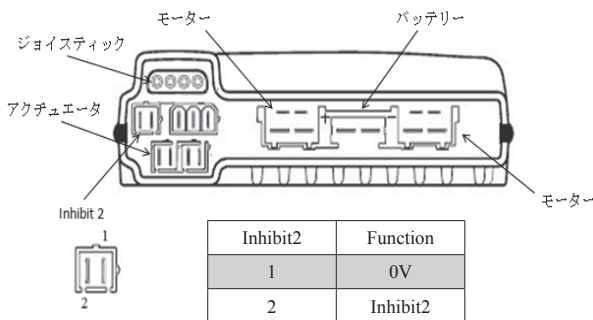


図6 VR2の制御端子

5.2 超音波センサモジュール (障害物センサ)

本研究では STAVi の周囲の状態を感知し、自動的に速度制御を行うために障害物検知システムとしてパララックス社製の超音波距離センサモジュールを使用した。図7に超音波距離センサモジュールの外観、表2にその仕様を示す。

この超音波距離センサは、約2cm から3m の範囲で距離を測定でき、1本の信号線により制御することが可能である。超音波の発信モジュールと反射波を受信する超音波マイクが並んでおり、トリガ・パルス SIG ピンに入力すると、発信モジュールから40kHz の超音波が200μs 間パースト信号として発信され、それと同時に SIG ピンから HIGH のパルスが出力される。その後、超音波マイクが反射波を受信すると SIG ピン出力パルスが LOW となる。SIG ピンの出力パルスが HIGH になってから LOW になるまでの時間を測定することで障害物までの距離を算出できる⁴⁾。図8は SIG ピンタイムチャートである。



図7 超音波センサの外観

表2 超音波センサの仕様

動作電源電圧 : 5V
消費電流 : 30mA
測定距離範囲 : 2cm ~ 3m
パルス入力 : 5μs
パルス出力 : 115μs ~ 18.5ms
寸法 : 22 × 46 × 16mm
ホールドオフ時間 : 750μs
パースト信号周波数 : 40kHz

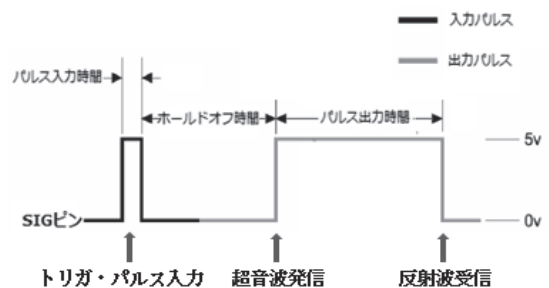


図8 SIG ピンタイムチャート

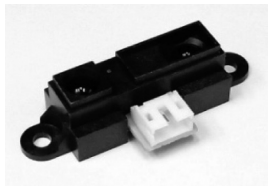


図9 測距モジュール

表3 測距モジュールの仕様

動作電源電圧 :4.5~5.5V
消費電流 :最大40mA
測定距離範囲 :10~80cm
寸法 :29.5×13×13.5mm
出力 :アナログ電圧出力

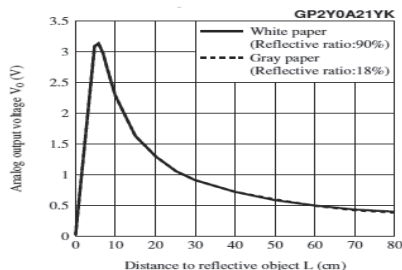


図10 データシート

5.3 赤外線測距モジュール (足元センサ)

段差検出にはシャープ社製赤外線測距モジュール GP2Y0A21YK OFを用いた。このモジュールは、センサから赤外線を出して物体から反射してくる赤外線の量を計測し、その反射光の強さを電圧で出力する。図9に測距モジュールの外観、表3にその仕様を示す。

購入時に付属されているデータシート (図10)⁵⁾ に電圧と距離の関係がグラフで示されているので、モジュールから入力された値によって距離を割り出すことができる。

5.4 マイコンボード

本研究では、超音波センサ及び赤外線測距モジュールで測定した距離・段差に応じて合成抵抗が変わる回路を、マイコンボード Arduino Leonardo を利用して試作した。

Arduino は AVR マイコンチップを実装した基板と開発システムから構成されるオープンソースハードウェアである。デジタル及びアナログ入出力が可能で、マイコンチップにプログラムを書きこむための ROM ライタ等が不要で、PC から直接プログラムの書込み・修正ができる。プログラム開発は PC 上で Arduino IDE を使用して行うことができる⁶⁾。

今回使用した Arduino Leonardo は AVR マイコン : ATmega32U4 を実装したマイクロコントローラボードで、20 のデジタル I/O ピンがあり、そのうち 7 ピンが PWM 出力ピン、12 ピンがアナログ入力ピンとして使用できる。



図11 Arduino Leonardo の外観

表4 Arduino Leonardo の仕様

マイクロコントローラ : ATmega32U4
作動電圧 : 5V
電源電圧 : 6~20V
推奨電源電圧 : 7~12V
デジタル I/O ピン数 : 20
PWM チャンネル : 7
アナログ入力チャンネル : 12
I/O ピン電流 : 40mA
3.3V ピン電流 : 50mA
クロックスピード : 16MHz
フラッシュメモリ : 32kB
SRAM : 2.5kB

内蔵メモリはフラッシュメモリが32kB、SRAM が2.5kB である。

図11に Arduino Leonardo の外観、表4に仕様を示す。

5.5 障害物検知システム

人との衝突など、大きな事故につながる恐れがあるという問題を解決し、障害物や人との衝突安全性を高めるために、上記の VR2、超音波センサ、およびマイコンボードを用いて、前方の障害物や人との距離が近くなるにつれ移動速度を遅くさせ、一定の範囲内に近づいたら、STAVi の動きを停止するシステムの製作を目指した。

本研究で試作した障害物検知システムは、STAVi 前部に超音波センサを取り付け、超音波センサで前方の障害物や人との距離を測定する。そして、障害物や人との距離に応じて出される超音波センサの信号を Arduino に入れ、その信号に応じて制御を行うというものである。超音波センサの設置位置を図12に示す。

具体的には、VR2コントロールシステムの Inhibit 端子に Arduino の出力によって合成抵抗が2.2k Ω、4.4k Ω、6.6k Ω、10k Ω 以上のいずれかに切り替わるインターフェース回路 (図13) を接続した。この回路は、超音波センサ SIG ピンの信号を入力信号として Arduino に入れ、入力状態によってトランジスタを ON/OFF させることで、Inhibit2端子に接続した回路の合成抵抗を変える仕組みである。

なお、インターフェース回路を VR2コントロールシステムに接続するためには STAVi のカウルを取り外さなければならない。カウルの取り外しには手間がかかるため、カウルを取り外した状態でそのまま走行実験を行えるように、超音波センサを取り付けている。

表5 Arduino の PIN 出力

	PIN11	PIN12	PIN13
a) 高速	HIGH	LOW	LOW
b) 中速	LOW	HIGH	LOW
c) 低速	LOW	LOW	HIGH
d) 停止	LOW	LOW	LOW

障害物との距離によって回路の抵抗を変えるよう Arduino をプログラムし、STAVi の移動速度を a) 障害物までの距離が1.5m 以上であるとき高速, b) 75cm から1.5m の間であるとき中速, c) 30cm から75cm の間であるとき低速, d) 30cm 未満であるとき停止するようにした。実際には、表5のような PIN 出力で抵抗値を変え、速度を切り替える。

同時に、VR2コントローラについても、パラメータ設定で、しきい値を30, 50, 70と設定することで、Inhibit 端子間の抵抗が0Ωまたは2.2k Ωのときバンド0に、4.4k Ωのときバンド1に、6.6k Ωのときバンド2に、10k Ω以上のときバンド3に振り分けられるようにした。また、バンド0での速度を100, バンド1での速度を60, バンド2での速度を30, バンド3での速度を0にパラメータ設定して、STAVi の速度を調整可能にした。図14に Inhibit 端子間の抵抗によるバンド振り分けのイメージと VR2の設定画面を示す。

なお、トグルスイッチを取り付け、スイッチを切り替えれば障害物検知システムが働かないようにした。また、Arduino の電源はスマートフォン用モバイルバッテリーから供給した。

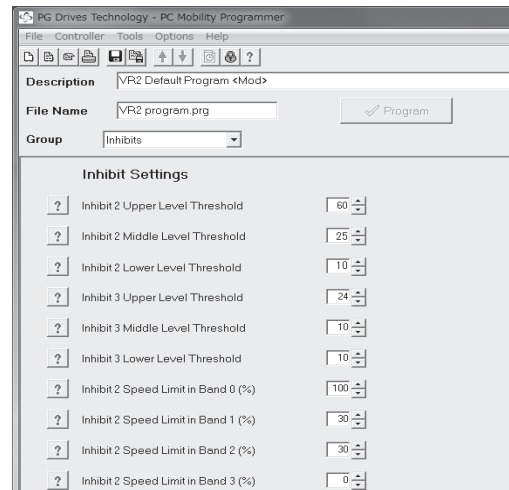
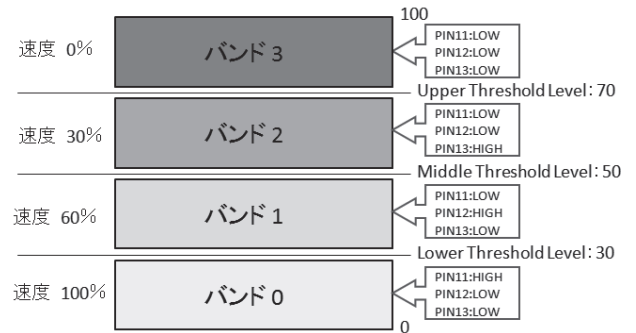


図14 Inhibit 端子間の抵抗によるバンド振り分けのイメージと VR2の設定画面



- 超音波センサ取り付け想定位置
- 実際の取り付け位置

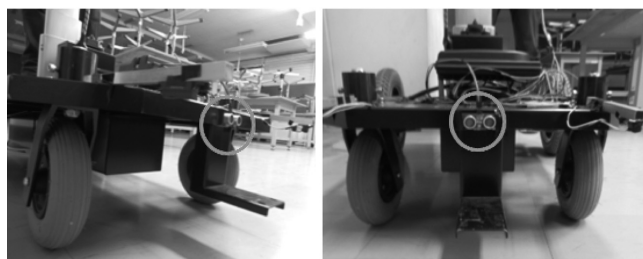


図12 超音波センサの取り付け位置

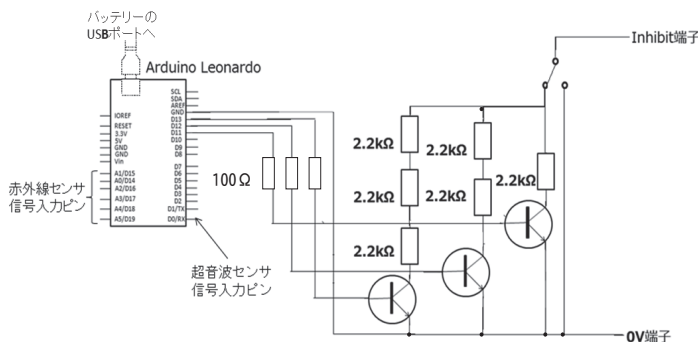


図13 VR2と Arduino のインターフェース回路

5.6 脱輪防止システム

本研究では、乗車中、搭乗者からは車輪の位置がわかりにくいと脱輪等の恐れがあるという問題から、障害物検知システムに加え、STAVi が脱輪することなく安全に走行できるようにするためのシステム開発も目指した。

試作した脱輪防止システムは、STAVi の足元回りの状況を、複数の赤外線測距モジュールを使用して把握し、走行できない程度の段差があった場合に STAVi の移動を停止させるというものである。赤外線測距モジュールを図15の位置に取り付け、それぞれ地面までの距離を測定する。取り付け個数については、STAVi は後輪駆動で前輪がキャスターのようになっているため、前輪に2個ずつ、後輪1個ずつ、計6個のモジュールを取り付けた。

モジュールと地面までの距離が基準より4cm より高い、あるいは4cm より低い場合、つまり地面から4cm を超える段差があった場合に、障害物検知システムと同様の方法で STAVi の移動を停止させる。Arduino には障害物検知システムのプログラムに加え、4cm を超える段差があった場合、PIN11, PIN12, PIN13を LOW の出力として抵抗値を切り替えるようなプログラムを加えた。Arduino による制御のおおまかな流れを図16に示す。



- 赤外線測距モジュール
取り付け想定位置
- 実際の取り付け位置

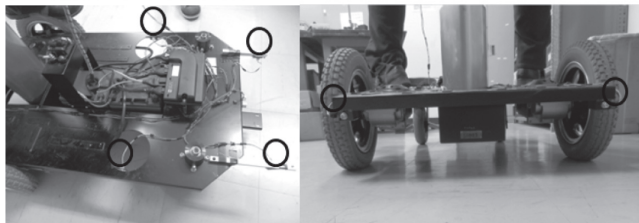


図15 赤外線測距モジュールの取り付け位置

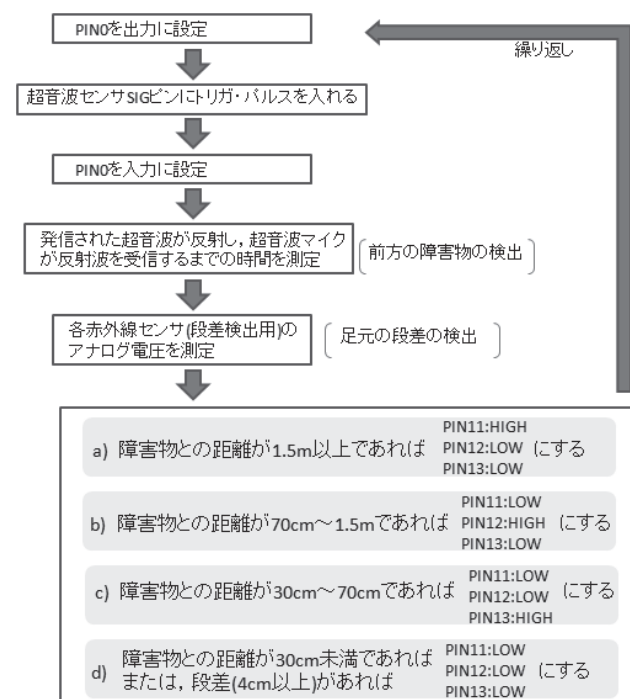


図16 Arduino による制御の流れ

6. 障害物検知・脱輪防止システムを用いた走行実験

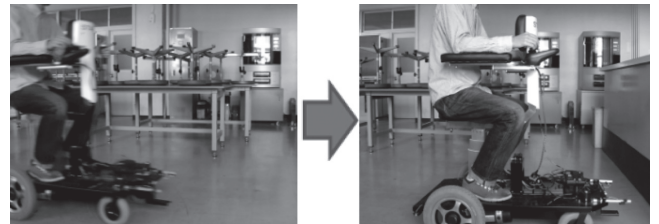
試作した障害物検知・脱輪防止システムが正しく動作するのを確認するため、両システムを実装して、走行実験を行った。

障害物検知システムの動作確認は、壁に向かって走行速度6km/h程度でSTAViを走らせ、正確に減速・停止することを確認した。実験では、実際に無理なく減速し、壁から10cmから20cm程度の位置で停止することが確認できた。対象を人にしても、同様に減速・停止することが確認できた。しかし、少しセンサの範囲を外れると対応が遅れることもわかった。図17に走行実験の様子を示す。

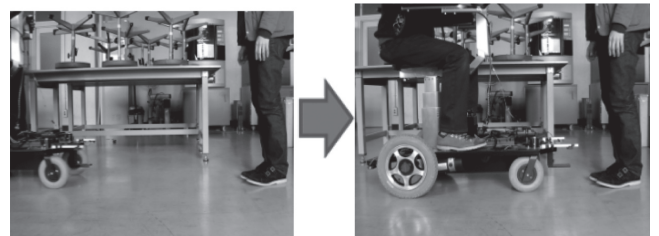
脱輪防止システムの動作確認は、実際に校内にある段差を利用して行った。①段差に向かって前進する、②段差に向かって後進する、の2パターンでSTAViが停止するかを

確認した。どちらの場合も脱輪防止システムが働き、1km/h程度の低速での移動であれば脱輪することなくSTAViが停止することが確認できた。しかし、STAViの移動速度が速くなると停止が間に合わず、脱輪する可能性があることもわかった。図18に動作確認実験の様子を示す。

なお、いずれの場合も、現状では前述のとおり、トグルスイッチで障害物検知システムを切って、緊急停止状態から手動操作で脱出するようにしている。

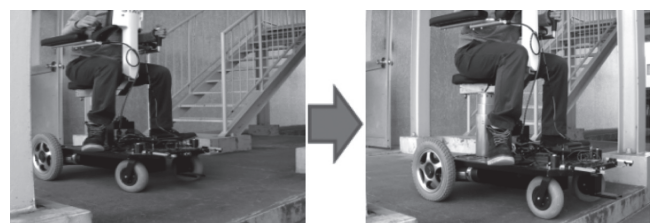


a) 壁が対象の停止実験

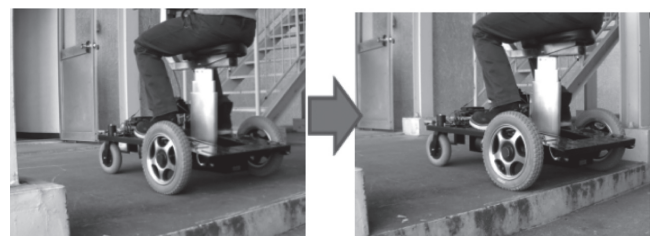


b) 人が対象の停止実験

図17 障害物検知システムの動作確認実験の様子



a) 前進時の停止実験



b) 後進時の停止実験

図18 脱輪防止システムの動作確認実験の様子

7. おわりに

今回、3D-CAD ソフトを利用したシミュレータを試作してシミュレーションを行うとともに、現場で走行実験を行うことで、STAVi を校舎内で使用する際の問題点・課題を確認することができた。また、超音波センサを用いた障害物検知システムを試作し、STAVi に取り付けることで、移動速度を障害物との距離に応じて4段階で自動調整できるようになった。更に、赤外線測距モジュールを用いた脱輪防止システムを試作し、4cm 以上の段差があれば STAVi を停止させることが可能となった。これらにより、障害物や人との接触を避ける、脱輪を防ぐことが可能となり、STAVi の安全性は向上したと考えられる。

しかしながら、現段階では超音波センサを設置しているのは前方の1箇所のみで、対象に超音波がうまく当たらなかった場合にはインターフェース回路の抵抗値が切り替わらず、スピード調整ができない。そのため、障害物や人と STAVi が接触してしまう可能性がある。STAVi 前方の障害物が動くものであっても、確実に超音波を当てるように、センサの設置位置、設置個数を考えて行く必要がある。また、段差検知についても低速での移動であれば脱輪を防ぐことが可能であるが、高速での移動では停止が間に合わず脱輪する可能性が高い。

脱輪を完全に防止するには、赤外線測距モジュールの取り付け位置・個数の改善、取り付け角度の検討、他のシステムとの連携等が必要であると考えられる。また、走行実験で得られたスムーズな移動や学習時の利用に関する問題を解決するシステムの検討も課題となる。

最後に、本研究での達成点をまとめると以下ようになる。

a) 3D-CAD を利用したシミュレーション

3D-CAD を用いて、STAVi を校舎内で運用した際のシミュレーションが可能となり、教室への出入りやスロープの通過等が確認できた。また建物の構造上、現状では STAVi 本機の乗り入れが難しい場所でも、使用状況の大きなシミュレーションが可能であることが分かった。

b) 学校現場での走行実験

大きく分けて、使用者と歩行者の安全性、スムーズな移動、学習時の利用の面などで課題があることがわかった。

c) 超音波センサを用いた、障害物の距離に応じて速度を調整するシステムの試作

移動速度を障害物までの距離が1.5m 以上であるとき高速、75cm から1.5m の間であるとき中速、30cm から75cm の間であるとき低速、30cm 未満であるとき停止の4段階で調整し、衝突安全性を高めた。

d) 赤外線測距モジュールを用いた、段差のあるところで STAVi の移動を停止するシステムの試作

4cm 以上の段差がある場合に STAVi の移動を停止し、脱輪を防ぐことが可能となった。

以上の結果を踏まえ、今後は、さらに安全性を高めた、より教育現場で利用しやすいモビリティにするための

STAVi 改良に向けた設計提案を行っていく必要があると考えている。

(平成25年9月25日受付)

(平成25年12月3日受理)

参考文献

- 1) 谷亮輔・開豊・下田貞幸・山下徹, 教育現場におけるパーソナルモビリティ STAVi の有効性検証 - 八代キャンパスでの走行実験と改良検討 -, 第11回電子情報系高専フォーラム講演論文集, (2012), pp35-38.
- 2) f-cite.com, STAVi 2号機パンフレット,
URL: <http://f-cite.com/stavi2.pdf>.
- 3) PG Drives Technology, SK77898/3, (2007), pp61-66,
URL: http://sunrise.pgdrivestechology.com/manuals/pgdt_vr2_manual_SK77898-03.pdf.
- 4) Parallax Inc, PING Ultrasonic Distance Sensor (#28015), (2008), pp1-2,
URL: <http://www.parallax.com/Portals/0/Downloads/docs/prod/acc/28015-PING-v1.5.pdf>.
- 5) sharp-world.com, データシート,
URL: http://sharp-world.com/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y0a21yk_e.pdf.
- 6) 河連庸子・山崎文徳・神原健, Arduino スーパーナビゲーション, (2012), 1章, 株式会社リックテレコム.