

## 課題情報シート

テーマ名 :	歩行補助機能を有する誘導ロボットの開発 ～人にやさしいロボットの制御～				
担当指導員名 :	吉崎, 水尾, 安井	実施年度 :	27 年度		
施設名 :	北海道職業能力開発大学校				
課程名 :	応用課程	訓練科名 :	生産システム技術系		
課題の区分 :	開発課題	学生数 :	9 人	時間 :	54 単位 (972h)

### 課題制作・開発のポイント

#### 【開発（制作）のポイント】

高齢者を対象とした福祉ロボットの開発を行いました。ユニバーサルデザインを意識した高齢者にやさしい仕様を実現するために、新しい駆動システムの開発、24 コア並列マイコンによる動作制御を取り入れました。

高齢者に使用していただき、主観的かつ客観的に使いやすさ・安全・安心を評価しました。

#### 【訓練（指導）のポイント】

工学的要素以外の情報とロボットとの関連性をどのように持たせるかを注意深く指導する必要があります。誤った関連性は、必要とされない「もの」を生み出します。

### 課題に関する問い合わせ先

施設名 : 北海道職業能力開発大学校  
住所 : 〒047-0292 北海道小樽市銭函 3 丁目 190 番地  
電話番号 : 0134-62-3553 (代表)  
施設 Web アドレス : <http://www3.jeed.or.jp/hokkaido/college/>

### 課題制作・開発の「予稿」および「テーマ設定シート」

次のページ以降に、本課題の「予稿」および「テーマ設定シート」を掲載しています。

# 歩行補助機能を有する誘導ロボットの開発

## ～人にやさしいロボットの制御～

### 1 はじめに

日本人口の高齢化に伴い、何らかの歩行補助を必要としている者が増えている。私達は歩行補助を必要とする高齢者にインタビューを行い、「身体への負担をある程度軽減して歩きたい」「初めて訪れた施設で迷わず目的地まで行きたい」の意見に着目した。また、株式会社Will-Eに福祉ロボットの基本視点や技術をアドバイスしていただいた。

本研究は、歩行補助を必要とする者が、使いやすく、安心安全に感じてもらえるような、歩行補助機能を有し、目的地へ誘導するロボットの開発を目的とした。

### 2 システムの全体構成

#### 2.1 全体の構成・仕様

本開発課題では歩行補助機能を有する誘導ロボットを「アンナイド」と命名し、仕様を定めた。アンナイドは、歩行補助機能への依存度が軽度から重度までの方に利用してもらうため、馬蹄型歩行補助器のデザインをモチーフにし、利用者の好みで負荷軽減への依存度を調整できるようにした。図1に馬蹄型歩行補助器とアンナイドを示す。



図1 馬蹄型歩行補助器 (左) とアンナイド (右)

アンナイドのサイズ (幅×奥行×高さ) は、710 mm×1100 mm×1000 mm～1350 mmで、重量は93 kgとなった。アンナイドのサイズは、一般的な歩行補助器に準ずるサイズとした。

アンナイドは、学校や病院などの屋内で使い、利用者に引率して歩行補助と誘導・案内とをする。

#### 2.2 システム構成と技術仕様

##### 2.2.1 操作部・現在地取得

アンナイドの操作部を図2に示す。

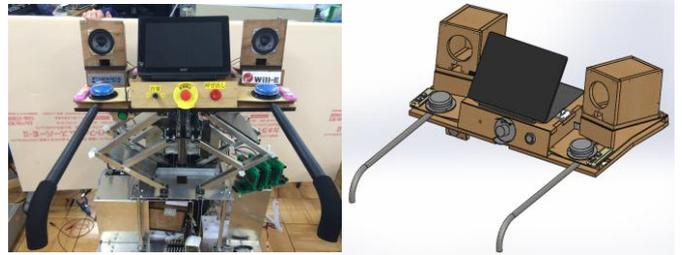


図2 アンナイド操作部 (左: 実機, 右: 3Dモデル)

アンナイドの操作部には、タッチスイッチ、速度調整スイッチ、呼び出しスイッチ、非常停止スイッチ、起動スイッチが搭載されている。

利用者の誘導は、利用者と操作部の接触状態を両側のタッチスイッチの押下で読み取り、利用者とアンナイドの距離を赤外線測距センサで検知して、利用者と離れない走行を制御する。操作、誘導中は音声によるガイドが実装されている。利用者は、操作部に実装されているボリュームを回すことで音声ガイドの音量調節ができる。利用者は、呼び出しスイッチを押すことで、管理者へ通知することができる。利用者は、非常停止スイッチを押すことで、非常時にアンナイドを停止させることができる。起動スイッチを押すことで、停止させたアンナイドを起動することができる。

利用者は、図3に示すアンナイド上部にあるタッチパネル操作で情報の入力を行う。

タッチパネルのGUIを図3に示す。



図3 タッチパネルGUI

タッチパネルのGUIはユニバーサルデザインの考え方<sup>1)</sup>に則ったデザインや配色を施した。イラストや音声ガイドで、利用者が操作しやすいようにした。

操作内容は、「目的地」、「ナースコール」、「トイレへの誘導」、「往復路」の選択がある。「目的地」の選択は、画面上の階段を除く地図に触れ、直感的にわかる操作で行われる。「ナースコール」は、画面上にあるナースコールボタンに触れることで、管理者端末へ通知することができる。「トイレへの誘導」は、誘導中の画面上に常時表示されているトイレボタンに触れることでトイレへ誘導する。「往復路」の選択は、「はい」、「いいえ」のみである。

誘導中のタッチパネルのGUIを図4に示す。

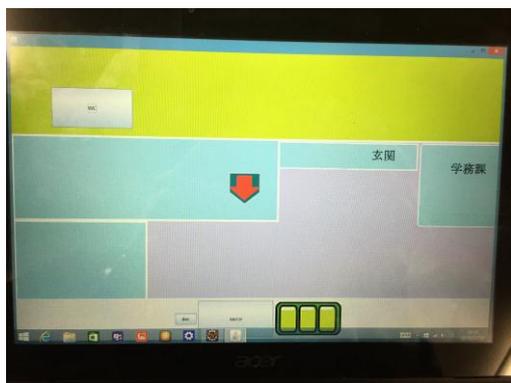


図4 誘導中のタッチパネルGUI

アンナイドの誘導経路は、アンナイド内部で最短経路を算出する。誘導中の位置情報、アンナイドの向きをリアルタイムに表示しながら誘導する。

位置情報は、アンナイドの下部に実装しているQRコード<sup>®</sup>リーダーによって路面の要所に設置されたQRコード<sup>®</sup>を読み取ることによって取得する。

図5にアンナイドのQRコード<sup>®</sup>リーダーを実装した部分と、その3Dモデルを示す。

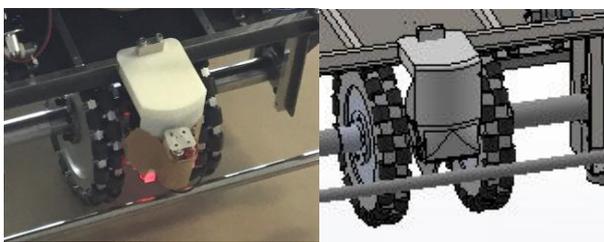


図5 QRコード<sup>®</sup>リーダー実装部分  
(左：実機，右：3Dモデル)

管理者は、外部サーバへアクセスしてアンナイドの状態、目的地、誘導中の位置情報、経過時間を確認できる。

## 2.2.2 駆動制御

誘導における走行速度は、最高速度を1m/sとし、利用者が任意に速度調整できる速度調整スイッチが実装されており、最高速度に至るまでの加速度は0.25m/s<sup>2</sup>以内とし、段階的に速度を調整できるようにした。

駆動方式は、歩行補助と誘導との機能を兼ね備えるため、前輪にオムニホイール<sup>®</sup>、後輪は球駆動を採用している。その理由は、アンナイドの方向変換時の回転支点を利用者に近づけることで、利用者は体のバランスが取りやすいことと、段差を乗り越えることができる推力を得るからである。また、アンナイドは方向変換時に利用者に曲がる方向を悟らせつつ、ゆとりを持って膨らむように曲がる制御を可能とした。

図6にオムニホイール<sup>®</sup>の機構部と3Dモデルを示す。図7に製作した球駆動機構部と3Dモデルを示す。

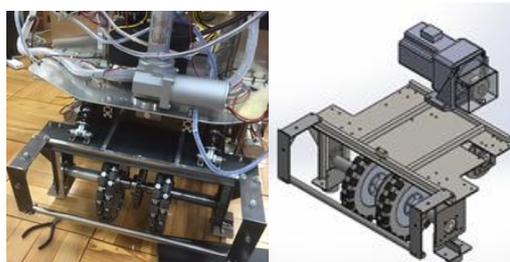


図6 オムニホイール機構部  
(左：実機，右：3Dモデル)

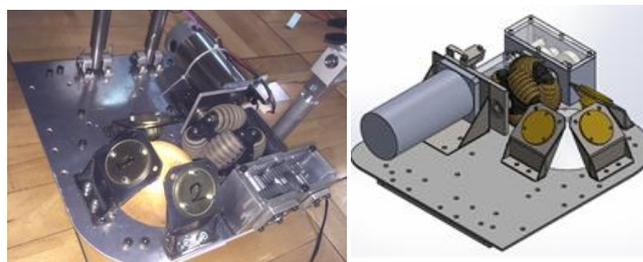


図7 球駆動機構部 (左：実機，右：3Dモデル)

## 2.2.3 高さ調節機構

アンナイドは、利用者の肘の高さに合わせて操作部の高さを調節することができる。製作した昇降装置の3Dモデルと実機を図8、図9に示す。

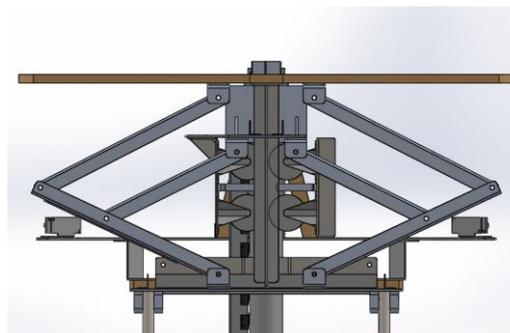


図8 昇降装置の3Dモデル

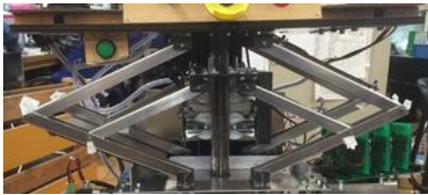


図9 実機の昇降装置

昇降装置は、定格 24V のパワーシリンダを使い、自動車のジャッキアップに使われているパンタグラフを参考にして設計、製作を行った。シリンダの横にマイクロスイッチを 8 つ実装し、リミットスイッチの状態を読み取ることでパワーシリンダの動作を制御し、操作部の高さを決める。高さは、利用者に合わせて 8 段階で 1000 mm ~ 1350 mm まで調整することができる。

#### 2.2.4 ベース

アンナイドのオムニホイール機構と、球駆動機構を取り付けるためのベースの 3D モデルを図 10 に示す。製作したベースを図 11 に示す。

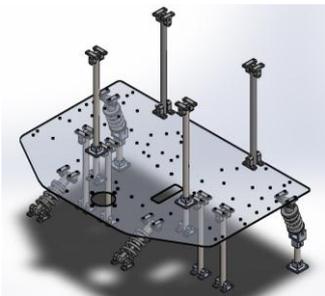


図10 アンナイドベースの3Dモデル



図11 実機のベース

オムニホイール機構と球駆動機構を取り付けるための支柱は、ステンレスパイプを採用した。段差による振動や利用者の荷重を吸収するためにサスペンションを実装した。アンナイドの重量に合わせて、ベース板の下にアルミのリブを搭載し、強度を確保した。

#### 2.2.5 筐体

アンナイドの筐体には、FRP<sup>TM</sup>を採用した。その理由は、衝突による怪我の防止と見た目による利用

者への威圧感の緩和とを考慮したためである。筐体を駆動部と操作部の 2 つに分けて製作することで、高さ調整時にアンナイドの内部が見えないようにした。

設計した筐体の 3D モデルを図 12 に示す。

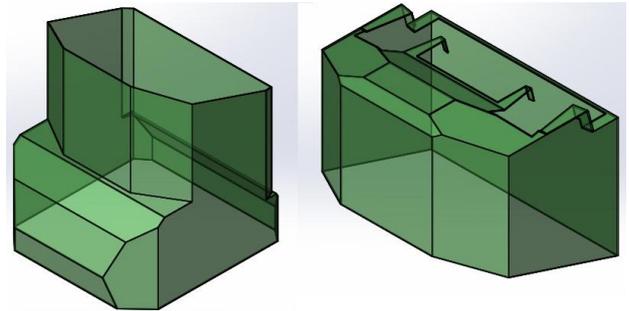


図12 筐体の3Dモデル (左:駆動部, 右:操作部)

#### 2.2.6 障害物・傾き・回転数の検知

アンナイドは利用者の認知、機体の向き、障害物の検知、複数のモータの制御を必要とする。沢山の情報を収集し、複雑な処理を同時に行うため、高速並列同時処理が行えるイベント駆動型マルチコアプロセッサ (XMOS<sup>TM</sup>: 8 コア) を 3 つ使用した (合計 24 コア) マイコンである。表 1 にマイコンの性能を示す。マイコンを用いる利点は、イベント駆動による高速な応答を実現し、かつソフトウェアによる柔軟なインターフェースを作成することができる点にある。さらに、用途に応じてリンクによるコア数の拡張もできる<sup>[2]</sup> (アンナイドはコア数を 3 倍に拡張している)。

アンナイドのセンシングとモータ制御は、フェールセーフに基づいてマイコンが担っている。

表1 マイコンの性能

デバイス名	XS1-L8
コア数	8 個
クロック周波数	400MHz
メモリ	RAM (64KB)
コア間の通信方式	チャンネル通信
コア間, I/O ポートの応答速度	10ns

障害物の検知は超音波センサで行う。誘導中に超音波センサが障害物を検知した場合は、スムーズに回避行動を行う。使用する超音波センサの検知距離は 3000 mm, 検知角度は中心を 0° とすると ±20° で、検知範囲の高さは 700 mm である。超音波センサを 4 つ使用し、正面に 2 つと左右にそれぞれ 1 つとを、検知範囲が重ならないように配置をする。正面のセンサが障害物を検知した時、左右の超音波センサで壁と前方との距離、障害物との距離を検出しながら障害物を避ける。

アンナイドの傾きの検知は、3軸加速度センサで行う。アンナイドが転倒した時に管理者端末に通知をする。

モータの回転数の計測は、透過型フォトマイクロセンサを3つ使用する。前輪と後輪のモータ軸の回転数を計測し、アンナイドの走行距離を求める。

### 2.2.7 全体配線構成図

全体配線図を図13に示す。

アンナイドの電源は、12V12Ah、重量4kgの鉛蓄電池バッテリー2個と12V22Ah、重量7kgの鉛蓄電池バッテリー1個とを使用する。バッテリーの過放電を防止するための保護回路を搭載する。アンナイドの主電源及び前輪を駆動させるための24Vの電源は、12V12Ah、重量4kgの鉛蓄電池バッテリーを2つ直列に繋げることで生成している。この24Vの電源を1つのバッテリーと見なし、24Vバッテリーとした。

24Vバッテリーは、アンナイドの主電源及び前輪のオムニホイールを駆動させるためのモータとモータドライバに使用する。

前輪のオムニホイールを駆動させるためのモータはマイコンの命令により動作させる必要があるため、マイコンの出力電圧をモータドライバの入力電圧へと電圧値の変換を行う回路を製作した。

マイコンへの電源供給は、24VバッテリーからDC-DCコンバータを用いて5Vに変換し、供給している。

12V22Ah、重量7kgのバッテリーは、後輪の球駆動モータとモータドライバに使用する。また、足元を明るくするためのLEDの電源にも使用する。

前輪用DCモータと後輪用のDCモータの電流調節には、それぞれのモータの定格に合わせたリレーを使用する。

### 2.2.8 ドライバ回路

ドライバ回路は、オムニホイール機構に用いる24Vモータドライバへの入力信号を、マイコンの出力信号で制御するため、マイコンと24Vモータドライバの間にフォトカプラを用い、電圧の変換を行う。

マイコンの出力信号電圧がLowレベルの時、24Vモータドライバの入力信号がHighレベルになり、マイコンからの出力信号がHighレベルの時、24Vモータドライバの入力信号がLowレベルになる。

マイコンの出力信号により、24Vモータドライバで正転、逆転、瞬時停止・減速停止の切り替え、速度設定をすることができる。

瞬時停止・減速停止の切り替えは、利用者の安全を考慮した駆動を目指すため、常に減速停止するようにしている。

速度設定では、マイコンからの出力電圧で、最高速度を1m/sとして加速度0.25m/s<sup>2</sup>を超えないように段階的にPWM値を設定し、徐々に加減し速度の設定を行う。

### 2.2.9 バッテリー

アンナイドの電源部分には、主電源と前輪駆動用に12V12Ah、重量4kgのバッテリーを2個、後輪駆動と昇降装置用に12V22Ah、重量7kgのバッテリーを1個、充電量低下時用の予備電源として9Vの角型電池と電圧降下用のレギュレータ、バッテリーの過放電を防ぐための保護回路を搭載する。

アンナイドのバッテリーは着脱式とし、充電時の作業負担が最小限で済むようにしている。

図14、図15にバッテリーボックスの3Dモデルとバッテリーボックスの実機を示す。

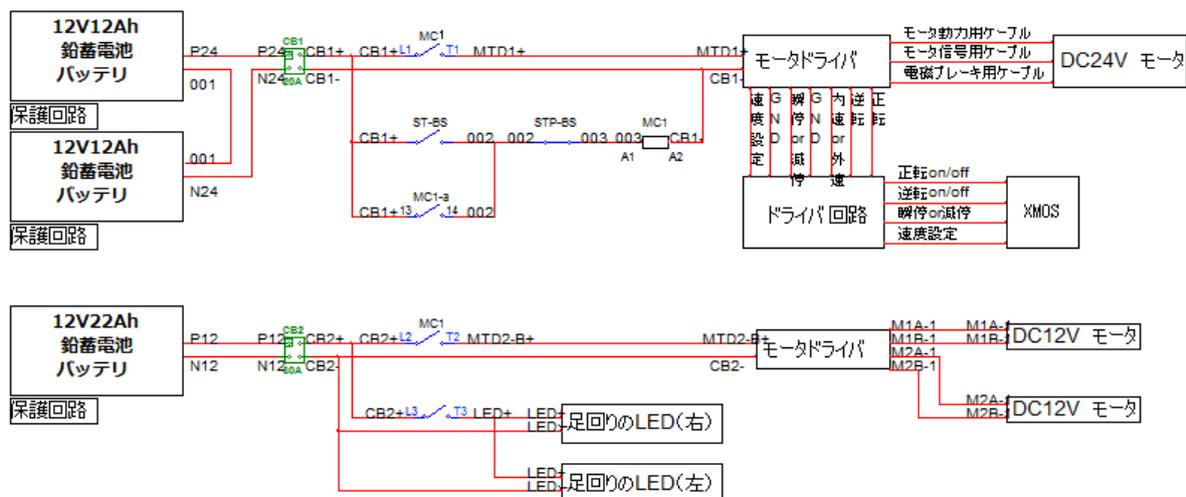


図13 全体配線構成図

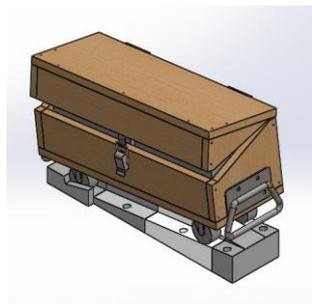


図 14 バッテリーボックスの 3D モデル



図 15 実機のバッテリーボックス

### 2. 2. 1 0 バッテリー残量表示回路

バッテリー残量表示回路は、それぞれのバッテリーの残量電圧が、11.1V 以下になった時と、11.3V 以下になった時に、マイコンに High レベルの信号を出力し、バッテリー残量電圧が低いことを通知する信号をマイコンへ出力する。

マイコンは、バッテリー残量表示回路の出力信号を読み取り、出力信号に応じてバッテリーの残量を 3 分割し、タブレット PC へバッテリー残量のデータを送信し、タブレット PC は、マイコンから受信した文字列に応じて、画面上にバッテリー残量を表示する。

回路構成は、オペアンプを使用して、比較回路を製作した。抵抗とツェナーダイオードの組み合わせにより、設定した電圧の値とそれぞれのバッテリーの残量電圧を比較して、バッテリーの残量電圧が設定した電圧値よりも高い時は、オペアンプからの出力が High レベルになり、低い時は Low レベルになる。オペアンプの出力が High レベルの時の電圧値が、10V 以上になり、マイコンにそのまま出力するとマイコンが壊れてしまうので、オペアンプの出力とマイコンの間にフォトカプラを通して 5V に電圧変換を行っている。図 16 にドライバ回路と図 17 バッテリー残量表示回路を合わせた回路を示す。

### 2. 2. 1 1 非常停止機能

アンナイドを起動するにはまず起動スイッチを押す。起動スイッチが押されるとマグネットコンダクタが動作し、それぞれのモータドライバに電源が供給され、動作が可能になる。また、足元を照らすために取り付けた LED も点灯する。

非常停止スイッチが押されるとマグネットコンダクタの動作が止まり、それぞれのモータドライバに電源が供給されなくなり、動作が停止する。足元に取り付けた LED も消灯する。

アンナイドは、非常停止した時、利用者が管理者を呼び出すことができるように、9V 角型電池を予備電源として搭載することで、マイコンの電源を確保する。

### 2. 2. 1 2 保護回路・非常用電源回路

製作した保護回路は、可変抵抗により設定した電圧の値とバッテリーの入力電圧をコンパレータで比較し、入力電圧が設定値よりも低くなった時に負荷への放電を止めるための回路である。

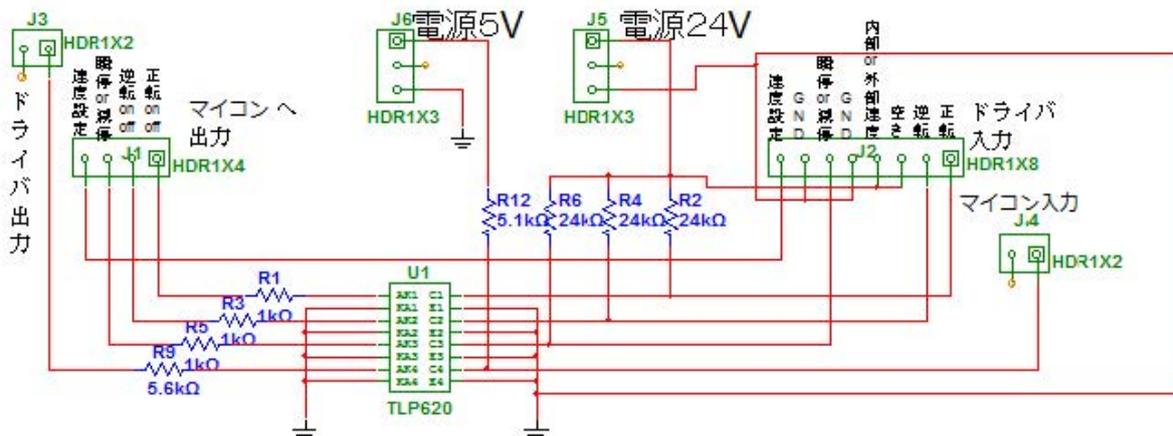


図 16 電圧レベル変換回路図

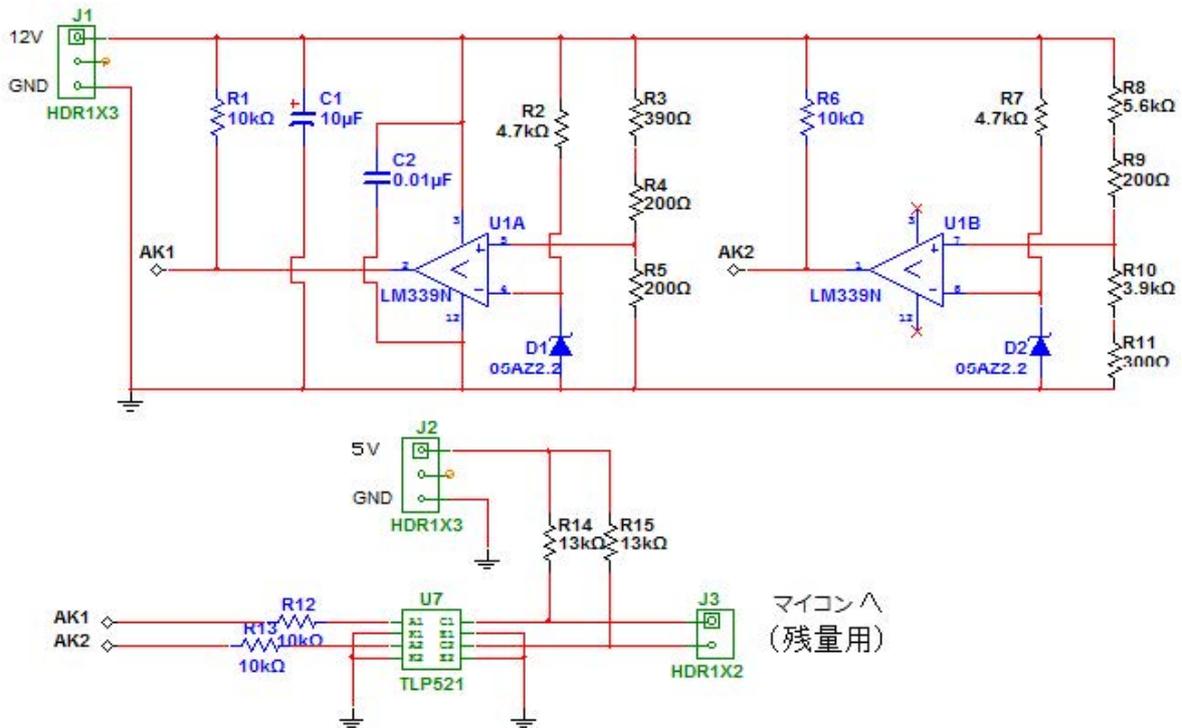


図 17 バッテリ残量表示回路図

保護回路は、前輪を動かすモータの 24V 用と後輪を動かすモータの 12V 用の 2 つを搭載している。図 18 に 12V 用保護回路、図 19 に 24V 用保護回路・非常電源回路を示す。

また、負荷への放電が止まり、バッテリーの交換が必要になったことを管理者へと伝えるための 9V 角型電池を予備電源として搭載しており、予備電源を三端子レギュレータで 5V に変換し、マイコンへ電源を供給するための非常電源回路が、24V 用の保護回路の基板に搭載されている。

非常電源回路は、前輪の 24V を生成するために使っている 12V バッテリ 2 つと、後輪の 12V バッテリとの 3 つのうちどれかが設定電圧を下回ると動作する。

### 2.2.13 全体配線基板の作成

全体配線基板は、2.2.8 から 2.2.11 までの回路とアンナイドに実装する時に必要な電気機器類とを取り付け、配線したものである。

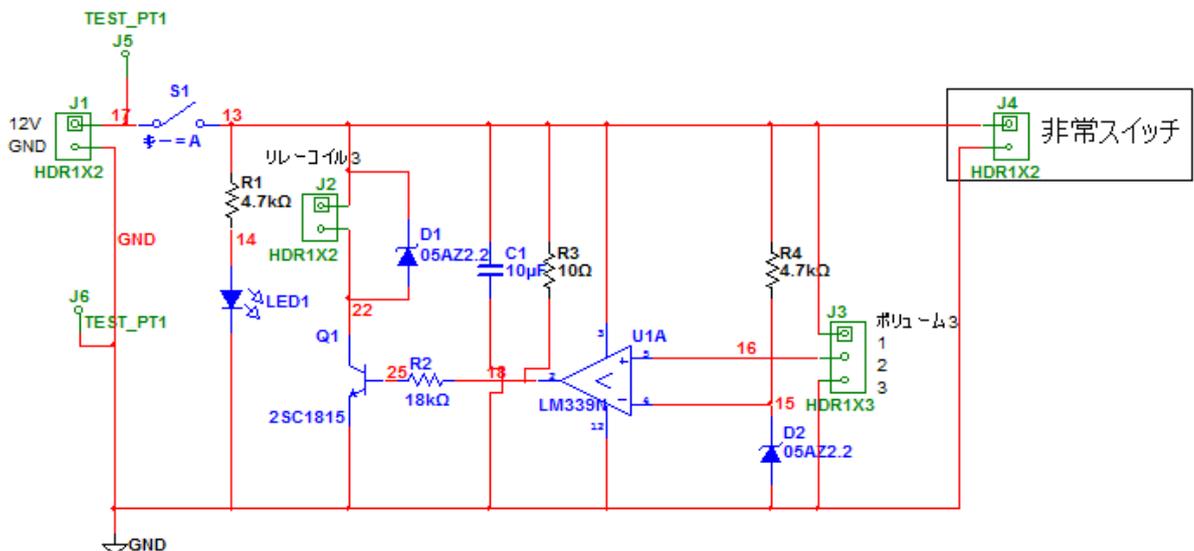


図 18 12V 用保護回路図

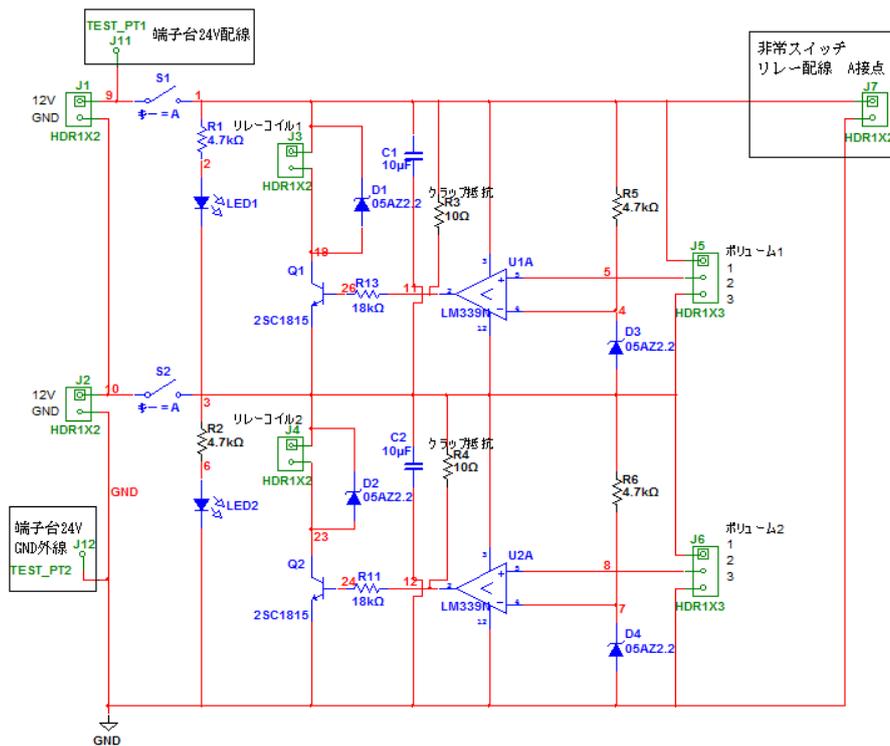


図 19 24V 用保護回路・非常電源回路図

縦 300 mm×横 330 mmの木材板を用い、取り付けた。取り付けられている電気器具は次のようになっている。

- ・ 20A 用ブレーカ , 30A 用ブレーカ
- ・ パワーリレー G7J ×3
- ・ マグネットコンダクタ
- ・ ボリューム

20A 用ブレーカは、24V バッテリーを切り離すために使用している。

30A 用ブレーカは、12V バッテリーを切り離すために使用している。

パワーリレーは、バッテリー残量電圧が無くなった時、予備電源に切り替えるために用いている。

マグネットコンダクタは、非常停止機能を実現させるために用いている。

全体配線基板を図 20 に示す。



図 20 全体配線基板

### 2.2.14 昇降装置制御回路

昇降装置制御回路は、高さ調節に用いるパワーリレーを作動させるために2つのリレーを用いている。この2つのリレーのうち1つを上昇用、もう1つを下降用として使用している。使用するリレーはマイコンからの信号により動作する。

図 21 に昇降装置制御回路の回路図を示す。

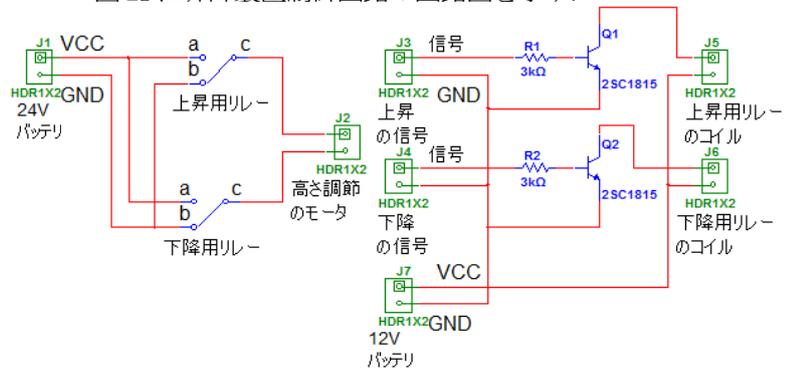


図 21 昇降装置制御回路図

## 3 安全・安心な使いやすさの評価実験

アンナイドの使いやすさは、利用者に対して人間工学的に評価される必要がある。被験者の心電から自律神経を評価し、加速度から体幹の振動を評価することにより、使いやすさを定量的に検証すること、さらに、客観的評価と主観的評価を比較し、人間工学の理論体系に基づき、総合的にアンナイドの「使いやすさ」を評価することを目的とする。

### 3. 1 心拍変動による自律神経評価法

#### 3. 1. 1 定量的評価法

心拍は、自律神経活動時であっても心拍変動と呼ばれる揺らぎを生じている。心拍変動は、低周波数成分 (LF) 0.04~0.15Hz と高周波数成分 (HF) 0.15~0.40Hz とが定義されている。LFは主に交感神経と一部は副交感神経の活動を反映し、HFは副交感神経の活動を反映している<sup>[3]</sup>。心拍変動の帯域積分値の比 LF/HF は、交感神経活動の指標としてよく利用されている。自律神経活動は、精神的ストレスや緊張、快適性等の影響を受けることから、自律神経活動が反映される心拍変動を解析することで人の感性を客観的、かつ定量的に評価できる。

本開発課題では、交感神経活動の指標として LF/HF を用い、アンナイド利用者が感じる「使いやすさ」を定量的に評価する。

#### 3. 1. 2 心拍変動による自律神経評価解析

心拍センサで得られた心電データ (サンプリング周波数 40Hz) をサンプリングし、ハイパスフィルタ (零位相 FIR 型フィルタ) により 0.04Hz 以下の周波数成分を除去し心拍変動データとした。

得られた心拍変動データより、全体の LF/HF の算出、全体の周波数特性の算出、時間周波数解析 (LF/HF の時間変化) を算出した。

心電図から心拍数への変換には職業能力開発総合大学校不破教授作成の「心電図 to 心拍変動.exe」を参考にした。

心拍変動データの時間周波数解析と LF/HF の算出には職業能力開発総合大学校 不破教授作成の「自律神経評価プログラム.exe」を参考にした。

### 3. 2 体幹上の加速度変化による評価方法

#### 3. 2. 1 定量的評価

人のバランス機能は歩行に影響する因子とされている。安定した歩行は、バランス機能が働く範囲で可能となる。しかし、突発的な外的要因によってバランス機能に対応出来なくなるとそれは転倒の要因となる。特に高齢者は、外乱刺激に対する身体反応、筋力ともに低下し、動的バランス能力が劣り、転倒のリスクが高い。

体幹上の加速度を測定し、体幹の前後、左右、上下の加速度変化を計測する。アンナイドの旋回等の挙動が、外的要因となってバランスを崩し、安定した歩行を害する要因となりうるかを評価する。

本開発課題では、バランスを崩す外的要因となる大きく急激な加速度変化の有無により、アンナイド利用者が感じる「使いやすさ」を定量的に評価する。

#### 3. 2. 2 体幹上の加速度変化による評価解析

体のバランスを崩す原因となる体幹上のふらつきを加速度の大きさとして比較するため<sup>[4]</sup>、得られた前後、左右、上下の各加速度の大きさを算出した。

### 3. 3 PPP評価法による主観的評価

PPP 評価とは、ユニバーサルデザインを意識して開発された製品が「使いやすさ」をどれだけ実現しているか、達成度を測ることを目的とした評価システムである<sup>[5]</sup>。標準的な評価項目としては、ユニバーサルデザイン原則7、附則3に合う55項目からなるが、評価時には評価対象に合わせてアレンジして用いる。利用者の漠然とした違和感や評価は、評価コメントの中に込められた肯定や否定の心理で分類される。表2に被験者によるアンナイドの運用実験での被験者の主観的評価を得る為の質問内容と、質問による項目 (KEY) 別で複合した表を示す。

「使ってみたい」、「分かりやすい」、「安心安全」毎に被験者が全部の質問を肯定した場合を100%とした場合の度合いを平均し、総括した。

### 3. 4 計測システム

本開発課題では、被験者に図22に示す心拍センサ WHS-2<sup>®</sup> (ユニオンツール株式会社製) を装着して心電と体幹上の加速度とを計測する。

このセンサは、専用のディスプレイ電極を心臓付近の表皮に密着し、その電極上に設置する。センサの受領は13.7gであり、装着時の重量による心理的ストレスは生じにくい。

このセンサは、心臓の発生する電気と体幹上の加速度センサとをサンプリング周波数40Hzにて計測する。1回の充電で、20時間の計測が可能である。図22に心拍センサ WHS-2 とディスプレイ電極を示す。



図22 心拍センサ WHS-2 とディスプレイ電極

表2 被験者の主観的評価を得るための質問内容と項目

	KEY
屋内で誘導案内を必要とする人なら、誰にでも利用できそうだと思いますか？	使ってみたい
歩行の困難度に応じて利用することができましたか？	使ってみたい
操作は簡単でしたか？	わかりやすい
音声ガイド、画面のタッチ操作などはわかりやすかったですか？	わかりやすい
危険にならないようにする配慮を感じましたか？	安心・安全
ストレスなく誘導されましたか？	安心・安全
装置の大きさは適切でしたか？	使ってみたい
使用中に「壊れないかな」と思いましたか？	使ってみたい
使用してみたいデザインでしたか？	使ってみたい
利用中、安心して利用できましたか？	安全・安心

アンナイドは、被験者に安全・安心を提供するためにスタート時の加速度と、旋回時の加減速の加速度を  $0.25\text{m/s}^2$  を超えないように制御されている。また、アンナイドの速度は、被験者に安心・安全を提供するために被験者の歩行に合わせて変化するが、最高速度  $1\text{m/s}$  を超えないようになっている。

### 3. 5 評価実験

#### 3. 5. 1 高齢者誘導実験

高齢者2名に対してアンナイドを用いた誘導実験を行った。

- ・ 被験者Aさん女性80歳は、脊柱管狭窄症のため、要介護支援1に認定され、歩行補助器は使用していないものの、長距離歩行は辛い。
- ・ 被験者Bさん女性73歳は、疾患は指摘されていないが、長距離歩行をすると腰が痛くなる。

アンナイドの利用中の両被験者の心電と体幹上の加速度を測定するために、心拍センサ WBS-2 を用いた。

実験は、被験者の安全を考慮して、体育館に設置したテストコースで行った。テストコースを図23に示す。

テストコースには、左折2回、右折2回、左反転1回、右反転1回の4つの走行中のイベントを用意し、障害物などは設置しなかった。被験者には、アンナイドを利用してテストコースを5分間歩行していただいた。

アンナイドは実験での誘導中の右左折時、左右反転時に音声ガイドを流した。

実験者は、計測データと歩行行動の相関を比較できるようにするため、旋回行為毎にスタート時からの絶対時間を記録した。また、実験終了後にPPP評価に基づくアンケートを実施した。

#### 3. 5. 2 高齢者誘導実験の結果と考察

アンナイド利用中の被験者AさんのLF/HF、体幹上の加速度の大きさの複合グラフを図24に示す。図24のグラフは、テストコースでの走行中の測定結果を時系列で表し、横軸を経過時間、縦軸を被験者のLF/HFと体幹上の加速度の大きさを表し、複合したグラフである。また、イベント発生時が分かりやすいようにマーカ線を引いた。

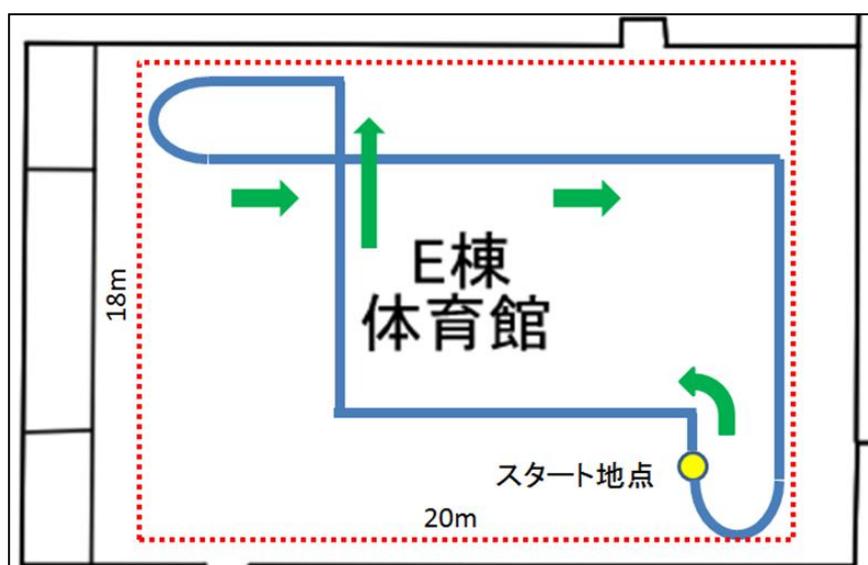


図23 高齢者誘導実験テストコース

図 24 の横軸の 100 秒の時と、300 秒の時にアンナイドは音声ガイドを流し、右折をしている。この 2 つの時間の時の被験者の LF/HF の値が変動している。これは音声ガイドとアンナイドの動きに対して、被験者 A さんの心の動揺が見られるが、体幹上の加速度の大きさに大きな変動はないので、走行中の体のバランスへの影響はなかったといえる。

図 24 の横軸の 200 秒の時と、350 秒の時にアンナイドは音声ガイドを流し、右反転をしている。この 2 つの時間の時の被験者の LF/HF の値が大きく変動している。これは音声ガイドとアンナイドの動きに対して被験者 A さんの心の動揺があったことが分かるが、体幹上の加速度の大きさに大きな変動はないので、走行中の体のバランスへの影響はなかったといえる。グラフは載せていないが、被験者 B さんも同様の傾向を示した。

被験者 A さんの主観的評価の結果は、「使ってみよう」の項目は 70%、「分かり易さ」は 75%、「安全・安心」は 50%という結果になった。

### 3. 5. 3 構内運用実験

被験者は、学生 4 名 (21.8±0.5 歳) とし、実験時に高齢者疑似体験教材® (スタンダードセット, 株式会社 三和製作所) によって、視力・聴力・俊敏性を弱めた。

アンナイド利用中の両被験者の心電と体幹上の加速度を測定するために、心拍センサ WHS-2 を用いた。

実験は、北海道職業能力開発大学の構内で行った。構内運用実験のコースを図 25 に示す。コースには、左折 2 回、右折 1 回、下り坂がある。また、廊下は道幅 2400 mm と限られている。実験はタッチパネル操作による行先指定を含め、G109 室までの時間を計測し、イベント毎に絶対時間を記録した。アンナイドは、実験での誘導中のタッチパネル操作、右左折時に音声ガイドを流した。

実験中はデータを収集するために常時観測者が寄り添うので、超音波センサは動作させていない。実験終了後に PPP 評価に基づくアンケートを実施した。

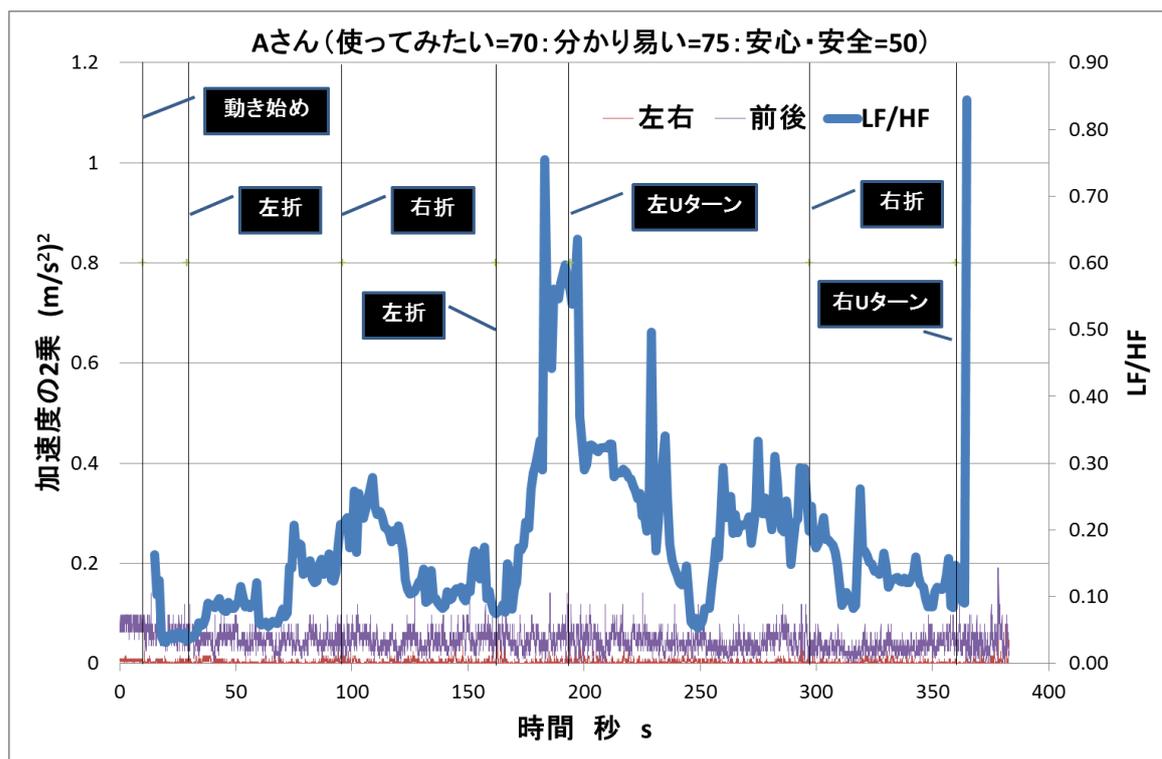


図 24 高齢者誘導実験 被験者 A さんの計測結果

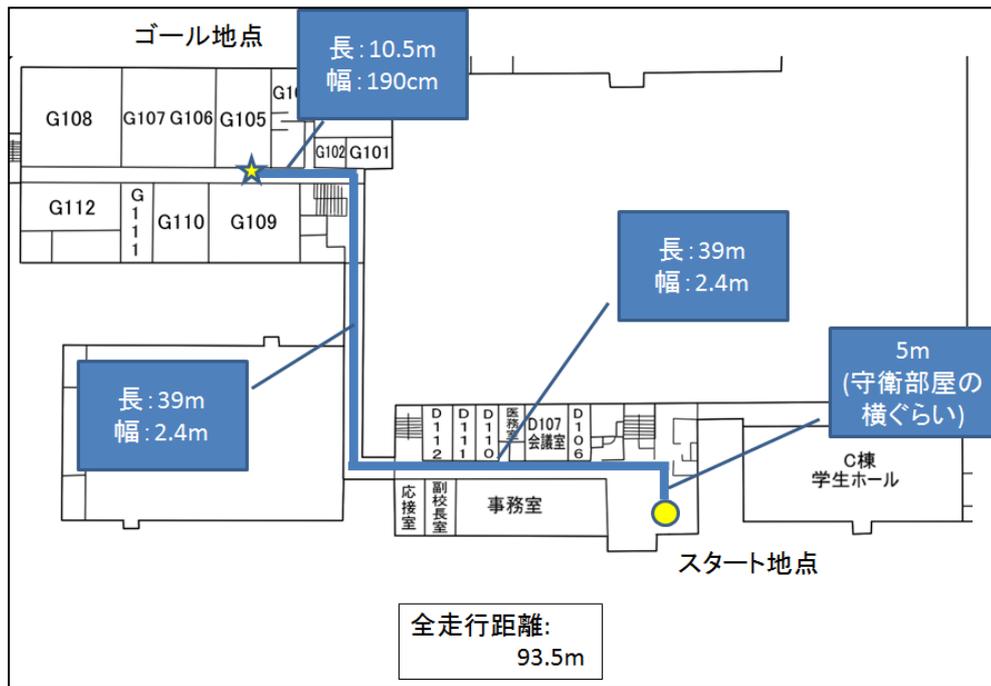


図 25 構内運用実験コース

### 3. 5. 4 構内運用実験結果と考察

アンナイド利用中の被験者 C さんの結果を図 26 に示す。

被験者 C さんは、右左折時に LF/HF の値の大きな変化があったが、体幹上の加速度には大きな変化がなかった。グラフは載せていないが、被験者 D, E, F さんも同様の傾向を示した。被験者の中にはイベント時以外にも心の動揺があったが、利用者は体のバランスを崩さなかった。

その理由は、超音波センサを動作させていない上に、常時観測者が寄り添っていたため、緊急回避行動による心の動揺があったためだと考えられるが、走行中に体のバランスを崩すには至らないものだということがわかった。

この実験結果から、走行中の音声ガイドとイベントにおけるアンナイドの動きに対して、利用者の心は動揺し、緊張してしまうが、走行中の体のバランスに影響なく利用できることが分かった。

被験者 C さんの PPP 評価の結果は、「使ってみた」の項目は 70%、「分かり易さ」は 75%、「安心・安全」は 50%という結果になった。

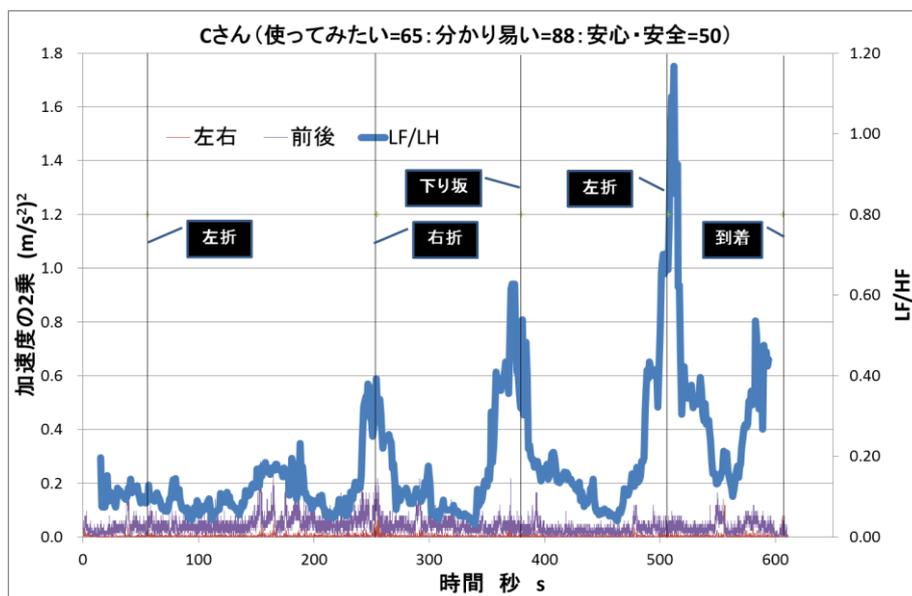


図 26 構内運用実験 被験者 C さんの計測結果

#### 4 高齢者誘導実験と構内運用実験の結論

PPP 評価での結果では、「使ってみたい」と「分かりやすい」はいずれの被験者にも高評価であったが、「安全・安心」においては、安全を確保していることが示された。

本実験結果を主観的かつ客観的に総括すると、アンナイドが安心安全で使いやすかったといえる。

#### 5 終わりに

本開発課題の目的は、高齢者が安全・安心に使うことができる歩行補助機能を有する誘導ロボットを開発することであった。

それ故、高齢者への聞き取り調査、福祉機器開発に携わる株式会社 Will-E のご意見をいただき仕様を決めた。聞き取り調査だけでは決められない仕様は、馬蹄型歩行補助器を購入し、高齢者疑似体験教材を用いて自らの体験に基づいて補完した。

歩行補助をしながら人を誘導するロボットは、様々な課題から現存しないため、人とロボットの立ち位置、動き、関わり合いを決め、それを機構的かつソフトウェアサービスとして実現するために今までにない発想を要した。本開発課題では、それを形として実現することが出来た。

アンナイドが安全・安心で「使いやすい」を評価するために客観的評価手法と主観的評価手法を用いた。客観的評価には、心電図の LF/HF と 3 軸加速度の値を用い、主観的評価には、ユニバーサルデザインの PPP 評価手法を用いた。

その結果、課題は残しながらも高齢者 2 名と高齢者疑似体験教材を着用した学生 4 名が、安全・安心で使いやすいとする結果を示すことが出来た。

#### 参考文献

- [1] 色のユニバーサルデザイン 日本色彩研究所(財) 全国服飾教育者連合会(社)  
2012年3月6日発行
- [2] XMOS プログラミング入門 中原博史 (著)  
2014年4月8日発行
- [3] 山口勝機:「心電変動による精神負荷ストレスの分析」, 志學館大学人間関係学部研究紀要 Vol. 31No. 1 (2010)
- [4] 獅飼哲夫, 辰濃尚, 宮野佐年:「歩行能力とバランス機能の関係」, リハビリテーション医学 Vol. 43No. 12 (2006)
- [5] 監修 中川聡:「ユニバーサルデザイン実践マニュアル」, (2005)

#### 謝辞

本開発課題を行うにあたって、担当の吉崎先生、水尾先生、意見を下さった安井先生、開発課題 E チームの方々、技術指導をしていただいた株式会社 Will-E の N 社長、被験者として協力をしていただいた O さん、N さん、マイコンを使用する上でのアドバイスをいただいた N 氏、開発拠点を設けてくれた S 氏、福祉機器に関するアドバイスをいただいた K 先生、駆動部に関するアドバイスをいただいた K 先生、A 先生、たくさんの方々に多大な協力をしていただきました。この場を借りて、お礼申し上げます。

# 課題実習「テーマ設定シート」

作成日：9月 14日

科名：生産システム技術系（開発課題実習）

教科の科目	実習テーマ名
(生産機械システム技術科) (生産電気システム技術科) (生産電子情報システム技術科) (開発課題実習)	歩行補助機能を有する誘導ロボットの開発 - 人にやさしいロボットの制御 -
担当教員	担当学生
生産機械システム技術科 安井雄祐	
生産電気システム技術科 水尾準	
○生産電子情報システム技術科 吉崎昌彦	
課題実習の技能・技術習得目標	
<p>歩行補助機能を有する誘導ロボットの開発を通して、「ものづくり」全工程を行うことにより、複合した技能・技術及びその活用能力（応用力、創造的能力、問題解決能力、管理的能力等）を習得することを目的とします。具体的には、製品設計技術、板金・切削を複合的に活用した製品製造技術、マイコン制御技術、電子回路設計製作技術、製品設計製造情報のドキュメント作成及び管理技術などの習得を目標にします。</p>	
実習テーマの設定背景・取組目標	
実習テーマの設定背景	
<p>超高齢化社会を迎え、生きがいを助長する支援システムや支援機器が求められる時代になりました。更にユニバーサルデザインの普及は、これらの機器・システムを手に入りやすく、より使いやすいものへと進化させました。しかし、人の生きがいで最も大切な「歩いて目的地へ行く」ことを支援するシステム・機器は、現存しません。人の動きに応じて歩行を支援し、更に誘導要素を加えることは、困難であるばかりか、「安全」「安心」「使いやすい」システム・機器と認められなければ、決して使用してもらえないからです。</p> <p>本開発課題は、将来的に高齢者を含む誰もが「安全」「安心」「使いやすい」と思ってもらえる、歩行補助機能を有する誘導ロボットの開発を目的とします。</p>	
実習テーマの特徴・概要	
<ul style="list-style-type: none"> <li>歩行補助をしながら誘導するには、人の動きを複数の種類のセンサで同時に取り込み、それに応じた動作をリアルタイムに指示する並列処理が必要となります。並列処理プロセッサ X MOS™ は、CSP 理論に基づくプログラミングによって並列高速処理を実現し、複数の情報によるイベント駆動を可能にします。本開発課題では、人間の動きに応じたロボット動作を X MOS™ プロセッサによって制御します。</li> <li>誘導ロボットと人の動きとの間に緩衝効果を期待できる移動方向制御機構を必要とします。ウォーカー歩行補助具を引っ張って使用感を調べたところ、使用者に近いところで方向変換の力を加え、更に徐々に方向変換させることが快適な使用感であることがわかりました。本開発課題では、前輪にオムニホイール®と強力なモータを用意して前進機能を提供し、使用者に近い後輪に球駆動を用いて方向制御に用いたいと考えています。後輪による方向の変化の力は、使用者に方向変換を悟らせつつ、その力の一部は前輪のオムニホイール®によって逃がされ、徐々に方向を変えていく制御を実現します。</li> </ul>	
No	取組目標
①	障がい者・高齢者疑似体験セットを活用し、日常生活全般の不便さを体験します。
②	障がい者・高齢者が移動時に感じる不便さをまとめ、歩行補助機能を有する誘導ロボットに必要な機能を提案します。
③	ユースケース図より、シナリオを作成し、分析・評価して合理的な手順や方法をまとめます。
④	工程・日程・人材・他部門との関係・予算・リスク等の観点から計画を立て、進捗を調整します。
⑤	グループメンバーの意見に耳を傾け、課題解決に向けた目的や目標及び手順や方法について共通の認識を持ちます
⑥	各自が与えられた役割を果たし、グループメンバーをフォローし合って、グループのモチベーションを維持します。
⑦	図や表を効率的に利用した分かり易い報告書や発表会予稿原稿を作成し、発表会では制限時間内に伝えたい内容を説明します。
⑧	5 S（整理、整頓、清掃、清潔、躰）の実現に努め、安全衛生活動を行います。