

## 安全移動支援技術を有する電動車いすベースの生活支援モビリティ

### Development of life support personal mobility with safety moving assistance technology

○安藤充宏(アイシン精機) 小太刀 崇(千葉工大) 戸田健吾(千葉工大)

猪俣宏明(日本信号) 村田記一(オプテックス) 森川聡久(ヴィッツ)

Mitsuhiro ANDO, AISIN SEIKI Co., Ltd. Takashi KODACHI, Chiba Institute of Technology  
Kengo TODA, Chiba Institute of Technology Hiroaki INOMATA, THE NIPPON SIGNAL Co., Ltd.  
Norikazu MURATA, OPTEX Co., Ltd. Akihisa MORIKAWA, WITZ Co., Ltd.

**Abstract:** The aging-population issue, the environmental problem, and the energy problem are getting serious as social problems all over the world including Japan. In particular, in urban areas, suburbanization progresses, a decline of population in urban areas, and movability limitation and reduction of the going-out opportunity for elderly people accompanying it have been concern. To solve these problems, we are aiming at practical use of life support personal mobility with safety moving assistance technology. In order to be accepted by the new mobility society, it is important to ensure safety. Safety moving assistance technology aims at development of the safety technology under acceptable risk in a life space. Real-time risk analysis of the moving risk which changes every moment will be established. The calculation technique of "risk diminution velocity" based on the risk analysis will be developed.

**Key Words:** Life Support, Personal Mobility, Safety

#### 1. はじめに

日本をはじめ、世界的にも高齢化問題、環境問題、エネルギー問題が深刻な社会問題となっている。その中で、影響が大きいと考えられている移動手段のあり方について様々な検討や技術開発、実証試験などが進められている。特に、都市部では郊外化の進行が進み、中心市街地の衰退、高齢者の移動制約とそれに伴う外出機会の減少が問題視され、これらへの対応として、超小型で低速な新しい移動手段の導入に向けたガイドライン<sup>(1)</sup>の報告もされている。

このような背景から、公道を含む屋内外の歩行者空間を利用シーンとした、新しい生活支援モビリティとその安全移動技術の実用化を目指す。まず、対象モビリティが移動する際のリスク「生活空間内移動リスク」についてユースケースレベルでのリスクアセスメントを実施し、明確化した。リスクアセスメントの結果より、モビリティに対して、段差、溝、支柱などの固定障害物及び、人、自転車などの移動障害物との「距離」「相対速度」「方向」などの因果関係に応じ「リスク低減速度」以下になるようモビリティの速度を自律的/動的に制限する機能と搭乗者及び、周囲に接近を警告する注意喚起の機能を安全技術として搭載する。

さらに、上記安全技術を実現するために、各事象検出に必要なセンサ性能、安全機能等の仕様を洗い出し、安全要素モジュール群(3次元レーザ測域センサ、距離画像カメラ、安全無線通信モジュール)を開発する。リスク低減動作パターン算出および通信ソフトウェアについてもIEC61508 SIL2に準拠した機能安全ソフトウェア開発プロセスに基づき構築する。これらの安全技術、安全要素モジュールを組み込んだ生活支援モビリティを開発する。本研究開発は、NEDO 受託研究テーマ<sup>(2)</sup>として実質的に平成23年度から3年間の開発期間で実施され、本稿では、これまでの1年半の開発で取組んだ、リスクアセスメント及び、安全技術とその要素技術の開発について紹介する。

#### 2. めざす生活支援モビリティ

日常生活の手軽な移動手段として、自転車や電動アシスト自転車が注目されている。また障がい者や高齢者の歩行支援として、電動車いすが市販されている。さらに、2人

乗りの超小型EVなど新しい規格をめざしたモビリティ開発や実証試験も試みられている。

これらの移動手段は、比較的近距离で尚且つ一人移動が中心となる都市部の日常生活移動に合致したものとなっている。特に日用品の買物、通院、最寄駅までの移動など2~3km程度の移動は日常生活に欠かせない。さらにシームレスなドアツーポイントの移動が可能となれば利用者の利便性は高い。そのために、歩行者空間の移動に親和性の高い電動車いすの特徴を活かしつつ、移動速度を拡張する事で自転車の機動性を兼ね備えた新しい生活支援モビリティを提案する。

#### 3. 研究開発項目

新しい移動手段が社会的に受け入れられるためには、安全が確保されねばならない。新しく提案するモビリティに要求される、許容リスク以下安全移動技術の開発にあたり、以下の3つの研究項目について実施したので報告する。

- (1) ISO12100-1 に則ったリスクアセスメント手法によりモビリティの生活空間内の移動リスクについての分析<sup>(3)</sup>
- (2) (1)の分析結果に基づく、リスク低減方策の立案、その具体化するためのシステム設計及び、アルゴリズムの開発
- (3) アルゴリズムの開発推進及び機能検証の為に機能検証モデル開発

#### 4. モビリティの安全分析

##### 4-1 対象となるモビリティ

歩行者空間を移動可能な電動車いす(JIST9203)をベースとし、最高速度6km/hを10km/hまで拡張したモビリティである。従って、ベースとなる電動車いすの機能はそのまま継承され、搭乗者のクラッチ操作により、電動操作から手動操作への切換えも可能である。尚、現道路交通法において、速度が6km/hを越える電動車いすの公道走行は認められていない事をお断りしておく。

#### 4-2 リスクアセスメントの実施

モビリティの概要仕様、使用制限及び同定した危険源に関する情報を元にユースケースレベルでのリスクアセスメントを実施した。リスク見積りにあたり、リスクの「酷さ」「頻度」「確率」「回避可能性」についての評価基準を策定し点数化した。また、安全ゴールを現電動車いす(JIST9203)規格と同等レベルとし、リスク判定基準を設定した。リスクアセスメント実施にあたり、生活支援ロボット実用化プロジェクト<sup>(2)</sup>コンセプト検証 WGにて開発されたひな形シート<sup>(4)</sup>を使用した。

リスクアセスメントの結果、約 300 件の危険事象及び、その内約 100 件のリスク低減が必要な危険事象を抽出した。歩行者や自転車との衝突だけでなく、路面段差・溝への衝突・転落により姿勢バランスを崩し転倒する危険事象がこの様な超小型モビリティにおいては特徴的である。この約 100 件のリスク低減が必要な危険事象に対し、実用的なリスク低減方策を立案し、許容リスク以下となるまで再リスク評価を実施した。この結果リスク低減方策は、「速度制限」「搭乗者及び周囲への注意喚起」の 2 つの防護策に集約でき、これを安全要求機能として安全技術を開発する。

### 5. 許容リスク以下安全移動技術の開発

#### 5-1 安全技術を搭載したシステム構成及びふるまい

Fig. 1 に安全技術を搭載した生活支援モビリティのシステム構成を示す。システムは左右独立した駆動ユニット、操作ユニット、電源部及び、周囲環境を認識するセンサ部とリスク計算ユニットから成る。センサーリスク計算ユニット間は Ethernet で、駆動ユニット、操作ユニット、リスク計算ユニット間は CAN 通信にて接続されている。

搭乗者は、操作ユニットに設けられたジョイスティックの操作により、モビリティの移動方向、速度を制御する。リスク計算ユニットは周囲環境を認識するセンサからの情報を元に周囲障害物（歩行者など）を検出し、モビリティの現在の移動方向、速度から周囲障害物との衝突等のリスクを計算する。このリスク値に基づき、周囲又は搭乗者への注意喚起、リスク回避可能な速度域への速度制限を実行する。本モビリティは、自動走行を提供するものではない。あくまで搭乗者の操作の下、制御されるものである。従って注意喚起・速度制限を実行する事で、搭乗者及び周囲に対し、十分な回避余裕を作り出し、許容リスク以下となるよう制御する。安全移動技術によるモビリティの利用シーンのイメージを Fig. 2 に示す。

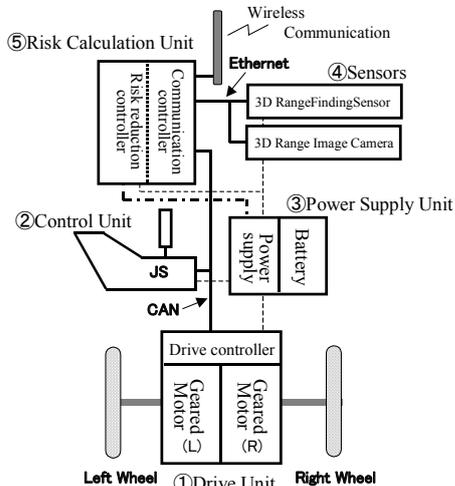


Fig. 1 Block diagram of system architecture

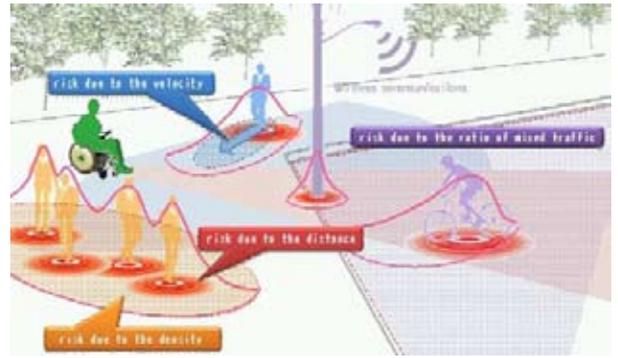


Fig. 2 Image of the use scene by the safety moving assistance technology

#### 5-2 安全センシング技術

モビリティの周囲環境を認識するセンサとして、3次元レーザ測域センサ及び距離画像カメラの2種類のセンサを搭載した。各センサの外観と仕様をそれぞれ Fig. 3 と Fig. 4 に示す。

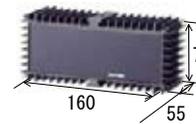


Unit: mm

Items	Specifications
Range	0.3~5.0m (Munsell scale N4.0, equivalent to reflectance of 12%) A maximum of 16m (Munsell scale N9.5, equivalent to reflectance of 90%)
Field of View	H 60 degrees x 50 degrees
Frame rate	16fps
Angular resolution	H 20 mrad x V 26 mrad
Operating temperature	-10 ~ + 50 degree C
Vibrations / Impacts	10-500Hz x 1G / 40Hz x 2G / 30G
IP rate	IPx4
Stray light immunity	100,000 Lx or more

Fig. 3 3D Range Finding Sensor

3次元レーザ測域センサは、MEMS 光スキャナを使ってレーザ光を2次元走査し、各方向の距離値を計測してモビリティ周囲の障害物を検知する。屋外での移動体への搭載に耐えられるように、小型・軽量、耐振動/耐衝撃性、耐外乱光性（太陽光 10 万 lx 以上）等のロボタ性の向上を図った。パルスレーザによる光飛行時間測距方式（TOF=Time of Flight）を採用し、モビリティ周囲の中・長距離の障害物の検知を行う。



Unit: mm

Items	Specifications
Range	0.5 - 5m
Field of View	H 70 degrees x 55 degrees
Frame rate	16fps
Detection requirement	5cm height step at 1m
Transmission DATA	2 Mbyte/sec for all Range sensors.
Operating temperature	-10 ~ + 50 degree C
Vibrations / Impacts	1G (10-500Hz) / 30G
IP rate	IPx4
Stray light immunity	more than 100,000 Lx (as a target value)

Fig. 4 3D Range Image Camera

距離画像カメラは、特殊 CMOS イメージセンサを利用し、撮像空間内の対象物を最速 60fps でリアルタイムに 2 万点の距離計測が可能であり、太陽光や影の影響を受けることなく（10 万 Lx 以下）、TOF 位相差法により、暗闇下でも対象物までの距離情報を取得することができる。モビリティの近距離周辺の地面付近の障害物（段差など）の検出を行う。データ量が多いため、データ圧縮や、雑音処理などの機能を開発しカメラ側に実装した。

### 5-3 安全無線通信モジュールの開発

搭載センサの情報だけでなく、将来、無線インフラの普及により、無線通信にて環境情報を取得し活用することで、更に安全性を高められる可能性がある。本研究開発では、その実現に向け、無線通信も研究対象に含め、無線通信における安全性の実現方法について検討した。

### 5-4 リスク算出アルゴリズム／速度制限制御

各種センサから得られる3次元データを統合することで、Fig. 5 (b)に示すような3次元統合データが得られる。得られた3次元統合データを高さ方向に重ね合わせて2次元に圧縮することにより、Fig. 5 (c)に示すような搭乗型移動モビリティの上部から見た2次元占有極座標マップを得る。

この2次元占有極座標マップをもとに、車体と障害物との相対距離・相対速度や障害物の密集度等からリスク算出を行い、その値に基づいて車体の最大速度を制限する。このとき、搭乗者のジョイスティック操作より得られる車体の進行方向を考慮したリスク算出を行うことで、開けた方向への速度制限は緩やかに、障害物ある方向への速度制限は厳しく行う。

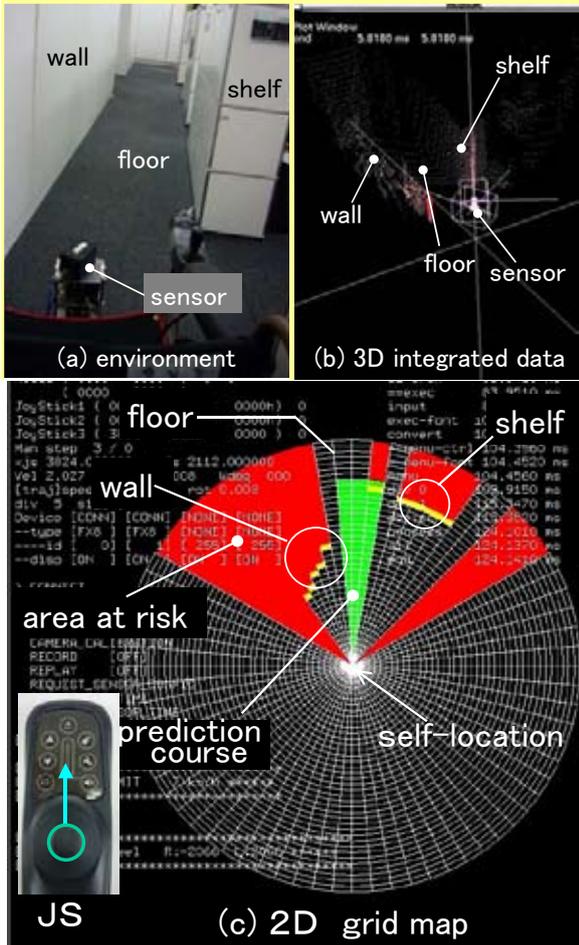


Fig. 5 result of risk calculation

### 5-5 機能検証モデルの開発

Fig. 6 にリスク計算アルゴリズム等の機能確認を行うため開発した機能検証モデルを示す。センサの搭載位置の最適化をはかるため、治具によりセンサの取付け位置変更が可能な設計とした。リスク計算アルゴリズム開発を円滑に進めるため、リスク計算ユニットに相当する部分はパソコンにて構成した。

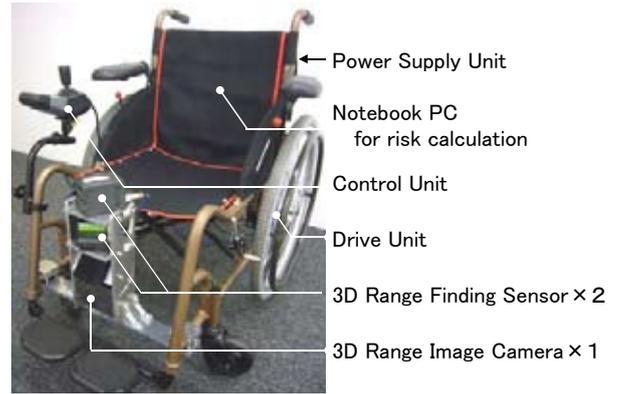


Fig. 6 Prototype

実際に機能検証モデルを用い、屋内環境にてモビリティ周辺のリスク計算を行った結果は Fig.5 に示したとおりである。各センサからの情報がうまく統合され、それに基づきモビリティ周辺におけるリスクが高い領域を2次元グリッドマップとして提示する事ができた。またジョイスティックの操作情報と速度情報から、予測した進路を2次元グリッドマップに重ね合わせ、リスク領域との兼ね合いから、許容される速度上限を演算し、それを超える速度である場合は速度上限以下になるよう減速制御された。

簡易実験をした様子を Fig.7 に示す。障害物(マネキン)に対し、最大速度(10km/h)で接近したところ、障害物から2m程度の距離において衝突回避に十分余裕のある速度域まで減速され、搭乗者は余裕のある回避操作ができています。

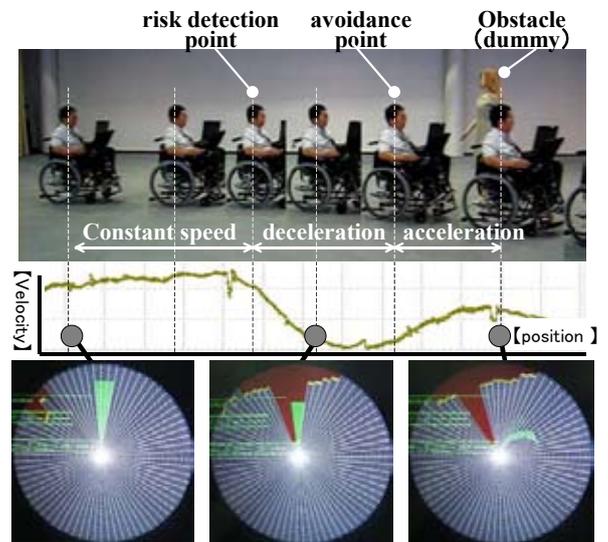


Fig. 7 result of running test

## 6. まとめ

本研究開発では、生活支援モビリティの生活空間内での安全移動技術の実用化を目指し、3つの研究開発項目について実施した。ユースケースレベルのリスクアセスメントの結果、定量的な危険事象の抽出ができ、有効なリスク低減方策の立案につながった。さらにリスク低減方策を実現するシステム設計、及びアルゴリズムの開発を進め、機能確認モデルを試作し、その機能確認を実施した。

今後は、機能確認モデルにて検証されたリスク低減方策を安全技術として実証モデルへ搭載し、生活支援ロボット安全検証センター<sup>(5)</sup>での安全性試験を実施する。安全性を

確認した上で、つくばモビリティロボット特区<sup>(6)</sup>にて実証実験を行い、モビリティの利便性と安全性の妥当性について検証する予定である。

## 謝辞

本研究は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託事業「生活支援ロボット実用化プロジェクト」において平成22年度に採択され、「安全技術を導入した搭乗型生活支援ロボットの開発／安全要素部品群と安全設計に基づく搭乗型移動ロボットの開発」の委託を受け行われている。本論文の執筆にあたり多大なご助言をいただきました関係者の方々に深く感謝いたします。

## 参考文献

- (1) 国土交通省都市局・自動車局：“超小型モビリティ導入に向けたガイドライン”，平成24年6月
- (2) 新エネルギー・産業技術総合開発機構：“「生活支援ロボット実用化プロジェクト」基本計画”，2009.
- (3) 向殿政男(監修)，“安全の国際規格 第1巻 安全設計の基本概念”，日本規格協会.
- (4) 池田博康，岡部康平，齋藤 剛，村上真之，芳司俊郎：“生活支援ロボットのリスクアセスメント雛形シートの作成”，第29回日本ロボット学会学術講演会予稿集，2B1-1 (DVD-ROM)，2011.
- (5) 藤川達夫，小口誠，大場光太郎，松本治，加藤晋，池田博康，村上真之：“生活支援ロボットの安全性試験方法の開発”，第29回日本ロボット学会学術講演会予稿集，2B1-3 (DVD-ROM)，2011.
- (6) つくば市ロボット特区実証実験推進協議会資料等
- (7) 安藤充宏，戸田健吾，川崎栄嗣，村田記一，森川聡久：“許容リスク以下安全移動支援技術を有する搭乗型移動ロボット”，第30回日本ロボット学会学術講演会予稿集，4O2-6 (DVD-ROM)，2012.