

旅客船のバリアフリー化に関する研究

宮崎 恵子*, 平田 宏一**, 勝原 光治郎***, 松倉 洋史****,
今里 元信*, 疋田 賢次郎*, 川田 正國**

Study for Barrier-Free Passenger Ships

by

Keiko MIYAZAKI, Koichi HIRATA, Mitsujiro KATSUHARA,
Hiroshi MATSUKURA, Motonobu IMASATO,
Kenjiro HIKIDA and Masakuni KAWADA

Abstract

In response to the need for promoting barrier-free on passenger ships, National Maritime Research Institute conducted a research project for six years from 2001 to 2006. Through the several investigations and field works with disabled persons, the needs of both disabled persons and ship navigation companies became clear. The tasks to be solved were development of barrier-free machineries for ships and improvement of safety in emergency situations. For wheelchair users in passenger ships, an experimental wheelchair was developed and the characteristics of wheelchair movements on board were clarified. Based on this a simulation program of wheelchair movement on board was developed. This simulation program is able to be used to examine an appropriate width of aisles on ships for example. We also developed proto-types of several barrier-free machineries such as an assistance device for a wheelchair on board. Furthermore some methods to give information became clear for disabled persons on ships. Aimed to improvement of evacuation safety for disabled persons, a fire drill and several experiments were executed and behaviors of a wheelchair user and related pedestrians in evacuation situations were made clear. Then simulation programs to express escape behaviors were developed. Using the evacuation simulation program, it is obtained that optimal escape routes and some features of evacuations taking disable persons into account in a passenger ship.

* 運航・システム部門, ** エネルギー・環境評価部門
*** 元・物流研究センター, **** 物流研究センター
原稿受付 平成 19年 4月 16日
審査済 平成 20年 10月 28日

目 次

1. まえがき	2
2. 旅客船のバリアフリーに関する調査研究	3
2.1 バリアフリー旅客船の現状	3
2.1.1 バリアフリーフェリーへの乗船調査	3
2.1.2 運航事業者への聞き取り調査	4
2.2 非常時対応に関する調査	5
2.2.1 陸上施設における避難と旅客船での対応	5
2.2.2 エレベータを利用した避難	6
2.2.3 非常時対応の課題	7
3. 旅客船内のバリアフリー機器に関する研究	7
3.1 計測用車いすの開発	7
3.1.1 計測用車いすの基本構造	8
3.1.2 計測用車いすの測定装置	8
3.1.3 データ処理方法	9
3.2 手動車いすの走行特性	10
3.2.1 実験の概要	10
3.2.2 実験結果並びに考察	10
3.2.3 車いす走行特性評価の留意点	12
3.3 車いす走行シミュレーションの開発	12
3.3.1 車いす走行シミュレーションの構成	12
3.3.2 走行モデルの概要	13
3.3.3 操作モデルの概要	13
3.3.4 車いす走行シミュレーションの検証実験	13
3.4 車いす用走行補助装置の開発	15
3.4.1 自動ブレーキ制御機構を用いた走行補助装置	15
3.4.2 差動制限機構を用いた走行補助装置	16
3.4.3 無段変速機構を有する手動車いす	17
3.5 情報提供機器に関する研究	17
3.5.1 無線 LAN を利用した情報提供装置	18
3.5.2 色覚障害者に対する情報提供	18
3.5.3 聴覚障害者に対する情報提供	19
4. バリアフリー旅客船の非常時対応に関する研究	20
4.1 バリアフリーフェリーにおける避難実験	21
4.1.1 旅客船における非常時の対応	21
4.1.2 実船における避難実験	21
4.2 車いす使用者と歩行者群集の避難実験	22
4.2.1 実験概要	22

4.2.2 車いす使用者と群集の相互干渉	23
4.3 車いす使用者を含む群集歩行のモデル化	24
4.3.1 群集歩行モデルの概要	24
4.3.2 シミュレーション結果	25
4.4 避難シミュレーションプログラムの開発	25
4.4.1 従来の旅客船用避難シミュレーションプログラム	25
4.4.2 障害者並びに高齢者を考慮した避難シミュレーションプログラムの開発	26
4.4.3 避難シミュレーションプログラムによる解析例	26
4.4.4 避難シミュレーションプログラムの活用	28
5. あとがき	28
謝 辞	29
参考文献	29

1. まえがき

交通機関をはじめ様々な分野でバリアフリー化、ユニバーサルデザインの考えが浸透しつつある中、旅客船においてもバリアフリー化が確実に推進されている。平成 12 年 5 月 17 日、交通バリアフリー法（高齢者・身体障害者等の公共交通機関を利用した移動の円滑化の促進に関する法律）が公布され、平成 14 年 5 月 15 日以降、新たに一般旅客定期航路に供する総トン数 5 トン以上の船舶に交通バリアフリー法技術基準が適用されることとなった¹⁻¹⁾。少しずつではあるが、毎年、着実にバリアフリー化された旅客船が増えてきている。平成 17 年 3 月 31 日現在、一般定期旅客船の総隻数 1,129 隻のうち、交通バリアフリー法技術基準適合船は 79 隻であり、全体の 7 % である。

これらのバリアフリー旅客船では、身体障害者や高齢者等は船内移動や施設利用を円滑に行えるようになっている。しかし、非常時対応を含めて、安全性や利便性の確保のためのさらなる研究が必要である。そこで、著者等は、当研究所の指定研究「旅客船のバリアフリー化に関する研究（平成 13 年度～16 年度）」並びに先導研究「旅客船におけるバリアフリー環境構築に関する研究（平成 17 年度～18 年度）」において、旅客の安全性確保や利便性向上を目指し、調査研究や機器開発等、幅広い研究を実施してきた¹⁻²⁾⁻¹⁻⁶⁾。本稿はこれらの研究成果をまとめたものである。

本稿第 2 章では、旅客船のバリアフリーに関する様々な調査結果をまとめている。第 3 章では、

旅客船内での車いす利用や情報提供機器等のバリアフリー機器についての研究成果をまとめている。第4章では、バリアフリー旅客船の非常時対応に関する研究として、避難実験並びに避難シミュレーションについて述べる。

2. 旅客船のバリアフリーに関する調査研究

本研究において、旅客船のバリアフリーに関する調査研究を継続的に行ってきた。平成12年には東京都八王子市及び三鷹市にある障害者の自立グループに対して聞き取り調査を実施し、主として車いす使用者から旅客船のバリアフリー化に関する意見を収集した。その結果、障害を持っていても積極的に活動したい、旅客船で目的地に行きたい、船旅そのものを楽しみたいという要望があった。一方、運航事業者によってソフト面・ハード面ともに受け入れ体制の相違があることや乗船時の車いす走行に不安があること、さらに各自の車いすや固定装置の機能、非常時対応等についての課題が明らかになった²⁻¹⁾。

また、平成14年10月にはバリアフリーフェリーへの乗船調査、平成15年7月には交通バリアフリー法技術基準適合旅客船を運航している会社9社への聞き取り調査を行った。以下、これらの調査結果を記す。

2.1 バリアフリー旅客船の現状²⁻²⁾

2.1.1 バリアフリーフェリーへの乗船調査

平成14年10月、交通バリアフリー法技術基準適合船「らいらく」(新日本海フェリー株式会社、新潟～小樽間に就航)に乗船し、船内移動の円滑化状況や船内のバリアフリー設備について調査した。乗船者は、著者等と聴覚障害者1名(30代男性)、車いす使用者1名(30代男性)、視覚障害者2名(50代男性全盲、50代女性弱視の夫婦)である。乗船調査では、バリアフリー特等客室及びバリアフリー一等客室に宿泊し、その他のバリアフリー二等客室をはじめとした船内施設を利用し、その利便性等を調査した。また、乗組員と陸上職員からの情報収集も実施した。

図2-1から図2-3は船内のバリアフリー設備の一例であり、図2-1は視覚障害者が触知案内図を用いている様子、図2-2はボーディングブリッジ、図2-3はビデオシアターに設置された車いす固定装置を示している。

以下に、調査結果の概要を示す。

(1) 半年間(平成14年5月～10月)に本船を利用した障害を持った乗客は、昨年同期間と比較して2割程度増え、中でも障害を持った乗客の単独



図 2-1 触知案内図



図 2-2 乗下船用ボーディングブリッジ
(手前が船)



図 2-3 車いす固定装置

での乗船が大幅に増えている。

(2) 各等級のバリアフリー客室、手すり、トイレ、スロープ、点字及び照明等のバリアフリー関連設備は充実しており、調査に同行した障害者の方から船内移動に大きな支障はないとの評価が得られた。

(3) 図2-1に示した触知案内図等の情報提供機器が設置されていたが、これらの情報があることを視覚障害者に気づかせる方策が必要であるとの指

表 2-1 バリアフリー船運航者への調査結果の概要

番号	総トン数 (トン)	種別	航路	特徴	乗客の主な反応・評価	運行会社の意見(抜粋)
1	19	P	生	船内への階段を栈橋からの一体スロープで解決。	特になし。	メリット・デメリット特になし。
2	19	P	生		車いす使用者・高齢者を中心に評判良い。	定員は減ったが乗客に喜ばれ満足。デメリットは特にない。
3	19	F	生	乗下船は新機構のランブウェイ。		左記の新技術が不完全で困っている。
4	20 以上 100 未満	H	生		乗下船装置・トイレ・通路は高齢者を中心に評価高い。	なじみの乗客なので GPS 表示・行き先案内への反応はあまりない。経路幅について意見あり。
5	100 以上 200 未満	F	生	車両甲板にバリアフリー客席設置。	乗客には好評。	常連乗客だが台風情報・動揺情報等で電光掲示板を有効活用。
6	200 以上 700 未満	F	生	車両甲板にバリアフリー客席設置。	車いす使用者・高齢者に喜ばれている。	乗客からの評価がメリット。車両甲板形状がいびつになり積込み時間増・収容台数減(図 2-4 参照)。
7	700 以上 2000 未満	F	生		快適と好評。高速船から乗客が移動。	定員減。設備のメンテナンス費用が心配。
8	5000 以上 10000 未満	F	長		車いす使用者には概ね好評。細かい設備の注文あり。	今まで非常事態はないが、退船となったら難しい。
9		F	長	1フロアにバリアフリー設備集約。	身体障害者からの評判は芳しくない。	メリットはない。交通バリアフリー法が先走っているように感じる。

P：旅客船 F：フェリー H：高速船 生：生活航路 長：長距離フェリー

摘があった。なお、聴覚障害者には案内所で注意事項を記した簡単なリーフレットを配布していた。(4) 非常事対応については、障害者、高齢者、子供、女性は最優先で避難させるという旅客船の安全教本²⁻³⁾に基づき実施されているとのことであった。

2.1.2 運航事業者への聞き取り調査

平成 15 年 7 月、交通バリアフリー法技術基準適合船舶を運航している会社 9 社に聞き取り調査を行った。表 2-1 に主な調査結果を示す。生活航路では、車いす使用者が全くない航路と毎週定期的に利用されている航路があった。また、1 回の航海における障害者は 1～2 人程度とのことであ

った。その他、車いすを使用しないまでも、どうにか単独で歩行できる高齢者の乗客もいるとのことであった。

乗客の評判は概ね良く、バリアフリー設備の意義はよく認識されている。しかし、図 2-4 に示すように、乗客の要望で車両甲板にバリアフリー優先席を設置したフェリーでは車両の積込み時間や収容台数にデメリットが生じた例もあった。

表 2-2 に運航事業者からのバリアフリー設備と非常時対応に関する意見や要望をまとめている。バリアフリー設備に関する問題として、船内移動経路幅を確保するためにバリアフリー優先席の位置に制限を受けること等があげられた(図 2-5)。

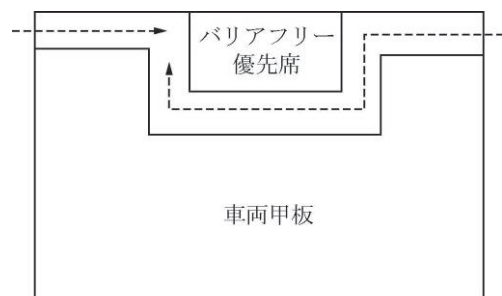


図 2-4 車両甲板の形状がいびつになった例

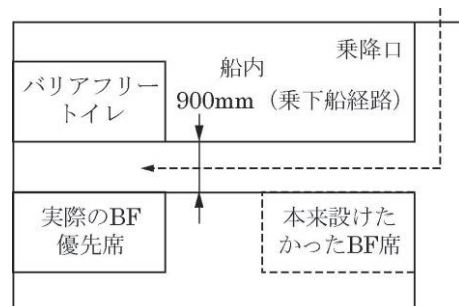


図 2-5 船内移動経路幅を確保するためにバリアフリー優先席の位置に制限を受けた例

表 2-2 バリアフリー船運航事業者からのバリアフリー設備と非常時対応に関する個別意見と要望

項目	運航者からの意見・要望等
バリアフリー設備	・交通バリアフリー法技術基準である 1200mm の船内通路を確保できないので、バリアフリー優先席を本来設けたい位置と違う場所にせざるを得なかった(図 2-5 参照)。 ・バリアフリー客席を車両甲板にするか上にするかは、島の人の意見を聞いて決めた。航行時間が短いこともあり、乗ってすぐ座れる車両甲板が良いとの意見が 9 割を占めたので、そのようにした。ただ、防火扉が重く、介助者又は船員が開かないといけない。 ・全ての大型船がバリアフリー化されているという先入観があり、交通バリアフリー法技術基準を満たしていても、(十分に)バリアフリーになっていないというクレームがある。 ・バリアフリー設備のためにトン数が大きくなってしまう。 ・ターミナル等のインフラを整備しないと船だけではバリアフリー化とは言えない。しかし、ターミナルの改造は運航会社だけではできない。
非常時対応	・本調査の生活航路は全般に航行時間が 20 分前後と短く、行き先も視認でき、非常時の不安は感じないとの意見が多かった。 ・海上への退船は、実際には難しいと回答している運航者もある。 ・機関室内の自動消火装置設置や旅客区画の巡視により退船に至らないようにしている運航者もある。

表 2-3 情報提供の要点

要件	説明
ターミナルから本船の情報提供をする。	事前の情報提供が重要である。特に視覚障害者には、船内に触知案内図、点字案内等の情報提示があることを前もって知らせることが、設備の有効利用につながる。
大まかな情報から詳細な情報へ流れを示す。	乗降口・エントランスホールでは本船に関しての大まかな情報を提供し、各フロアや客室区画入口と進むにつれて詳細な情報を提供することが、理解を助ける。
手すり等の点字の情報は省略しない。	点字では情報を省略して提示されることが多いが、案内の文字表示されている情報を省略せずに点字でも提示することが必要である。
ハードウェアは陸上施設等との整合性をとる。	音声システム等ハードウェアに関しては、特に陸上施設等との整合性が必要なところであり、盛んに研究開発されているので、それらと合わせることも重要である。

また、非常時対応については、障害者の海上への避難(退船)は実際には難しいと回答している運航者もあった。ただし、本調査の航路ではこれまで退船に至るような非常事態が起こったことはない。

本調査では、情報提供に関する今後の対応についての聞き取りも行った。表 2-3 にその要点を示す。

以上の調査結果より、交通バリアフリー法技術基準に沿えば通常時の行動には特段の支障がないと言える。しかし、大型船では技術基準以上の身体障害者対策が行われることを乗客から期待されていること、小型船では交通バリアフリー法技術基準を満たすが故に融通が利きにくくなっている面があること等の問題が見受けられる。

技術基準はバリアフリー化の推進に大きく貢献するのは間違いない。一方、運航事業者は乗客の要望にできる限り応えたいと考えており、航路毎の事情に沿える柔軟性の高い基準を求める声がある。バリアフリー旅客船の安全性や利便性をさらに高めるためには、多くの事例を詳細に検討する必要があると考えられる。

2.2 非常時対応に関する調査

我国においては、旅客船から生存艇を用いて海上に避難した事故例は少ない。しかし、今後は多くの高齢者や障害者の旅客船利用が想定されることから、乗客に安心感を提供するためにも適切な避難設備並びに避難計画を備える必要がある。以下、陸上施設等での非常時対応について調べ、旅客船への適用について検討する。

2.2.1 陸上施設における避難と旅客船での対応

平成 13 年 9 月 11 日、米国ニューヨーク市のワールドトレードセンター(以下、WTC という)でテロによる大惨事が発生した。2 機の航空機突撃により WTC の建物が崩壊に至ったものであるが、このとき WTC から避難した人々からの証言を基に、避難行動に関してまとめた結果が、避難行動に関する報告会²⁻⁴⁾において報告された。この中には、身体障害者の避難についての報告もあり、身体障害者が避難した実例として貴重なデータである。

表 2-4 は、その避難概要の報告書を精査し、旅

表 2-4 WTC で起こった避難に関する主な事項と船舶での対応状況

WTC で起こった事項	補足説明	船舶での対応状況
避難開始の早さが避難の正否を分ける。避難開始のきっかけは、自分で異変を感じることと、(強制力のある人からの) 指示が有効。	1フロアに1人の防火責任者が今回役に立った*。放送による避難開始の指示と防火責任者から促されることが効果的だった。	船長から船内放送により避難開始は指示される。非常部署配置でも乗組員の担当者が確保されている。
通信手段が足りなかった。最上階にあった通信装置が壊れ、通信が途絶えてしまった。		トランシーバ等使用。船長に情報を集約する体制。
避難訓練は役に立った。新規入居の2年までは3カ月に1度、それ以降は半年に1度実施。	WTC では、そのフロアの非常階段の位置確認だけで、実際に階段を下りるわけではないが、役立った。	船員の訓練が義務付けられている。
避難中、パニックはなく、整然と静寂の中を避難した。		船員は乗客を落ち着かせるよう指示されている。
救助隊が来るものと思い、避難せずその場で待ってしまい避難が遅れてしまった例があった。	一般的に、人は救助隊が来るものと思っている。	船長からの避難開始指示や担当船員による誘導がある。
肢体不自由者は、Evacuation chair という避難器具を同僚等が使うことにより、避難に成功した例と、避難途中にビルが崩壊し、避難失敗した例があった。	Evacuation chair は簡易型避難用車いす。介助者1人で操作でき、階段を降りることができる。WTC には、100台用意されていた。	
聴覚障害者は、周りの人が教えてくれて事態がわかった。	避難を開始後、避難速度等移動行動は健常者と変わらなかった。	交通バリアフリー法技術基準の情報提供設備は、聴覚障害者へ非常事態発生が報知できることが望ましいとされている。
視覚障害者は異変を感じたが何が起こったかわからなかった。階段での避難では、避難速度が遅く後ろから何度もぶつかられた。	普段から定期的に避難訓練をしていたので、避難経路はわかっていた。	船員の誘導や周りの旅客の支援があれば避難可能。単独の場合に、船員ではなく、周りの乗客から支援を受けることに抵抗は感じない**。

*1993年のWTCのテロ事件での課題を克服するため設置されたもの

**視覚障害者自身からの意見で、乗船時に確認してもらえれば抵抗感はない。

客船で身体障害者が避難すると想定した場合の対応状況をまとめたものである。

同表からもわかるように、旅客船においては、非常時の体制が既に整えられているものがある。例えば、乗客全員が避難した後、船員が担当部署を最終的に確認することは現在も周知されており、障害者に安心感を与える。既にある体制を有効に活かしながら、設備等のハード面と船員によるソフト面の対策を充実させることが重要である。また、WTC において、避難者は地上、すなわち下方向に避難した。一方、旅客船においては下方向だけでなく上方向へ避難することもあることから、高齢者・身体障害者等の避難は陸上建築物とは異なる困難さがあると想定される。

2.2.2 エレベータを利用した避難

障害者・高齢者の非常時対応を考える上で、避難時のエレベータ利用の検討を欠かすことはできない。船用エレベータ製造メーカーによると、計算上、エレベータはローリング 15 度、ピッチング 10 度の動揺条件まで運転可能であるとのことであった。しかし、防火・防煙・防水の対策、閉じ込め防止、非常用電源の確保等、解決すべき課題

は多い。

陸上建築物の分野でも非常時のエレベータ利用について本格的な検討が始まっている。(社)日本建築学会「エレベータを利用した避難の可能性」シンポジウム²⁻⁵⁾によると、エレベータを利用した避難は、避難経路移動のバリアフリー(円滑化・明快化・並列化・分割化)の重要な手法であること、避難階段が通過不能となることを想定した場合の自力避難可能な避難者も含めた並列避難経路となること、また車いす使用者等階段での自力避難が困難な在館者の場合は日常動線がそのまま避難動線になることで円滑化・明快化を併せもつ効果があること等が示されている。

一方、陸上建築物における非常時の管制運転(火災時管制・地震時管制)は、建築防火に関連する法規(建築基準法・消防法)ではなく、関連団体の自主的な規制(日本エレベータ協会標準 JEAS-D405「火災時管制運転の標準」)に基づいて運用されている。火災時管制が必要な理由として以下の4つがあげられている。

- (1) 停電によって走行不能となり閉じ込めが発生する。
- (2) 消防活動の放水による電気回路への障害が起

こり走行不能となり閉じ込めが発生する。

(3) 避難者が殺到しパニックが発生する。

(4) 火災発生階で停止し扉が開くと火熱や煙がエレベータ内部へ入り込む。

これらは、過去の事故例を踏まえた検討結果であり、いずれも技術的立場また運用を計画する立場において検討すべき妥当な想定であるとされている。また、エレベータシャフトの煙の伝播も大きな課題となっている。

未解決の課題は残されているものの、同シンポジウムでは、非常時のエレベータ利用の可能性を検討するためのモデル的なケーススタディを実施している。旅客船に対応するホテルを対象としたエレベータ利用避難のケーススタディにより、さらに具体的な次の課題が明らかになっている。

(1) 非常時のエレベータ利用における誘導者を設定し、同乗者の人数等を定める。

(2) 避難対象者を乗車させた後は、途中階の停止ボタンが押されていても停止せず、避難階まで直行する等、エレベータの制御方法を新たに構築する。

(3) エレベータを利用した避難が行われていることを周囲に知らせるサインを設置する。

(4) エレベータ避難の対象者及びその人数の設定方法並びに一時待機場所となるエレベータホールの滞留可能面積の算定方法を検討する。

2.2.3 非常時対応の課題

以上の調査研究の他にも、高齢者・障害者の旅客船での避難について、集合場所までの移動手段の確保や生存艇への乗り込み装置の不足等が指摘されている²⁻⁶⁾。さらに、(社)全国脊椎損傷者連合会の報告書²⁻⁷⁾では、車いす使用者等に対応できる緊急時を想定した旅客船の設備要件の規定に関する提言がある。

以上の調査結果を踏まえ、非常時対応の際、最も考慮すべき乗客は、事態の進行により次の通りまとめられる。

- ・ 避難の開始時は聴覚障害者、
 - ・ 避難場所までの移動及び海上への退船では車いす使用者をはじめとする肢体不自由者、
 - ・ 海上への避難後は体力弱者である高齢者
- 視覚障害者は、避難設備のある場所や使い方をいかに認知してもらうかが重要である。

また、非常時対応の今後の課題としては次のようにまとめられる。

(1) 船員及びサービス員が使用する避難マニュアルの整備が必要である。そこでは、避難時における高齢者・障害者等のための避難手順、乗員配置等が、想定される非常事態及び避難シナリオを基

にして規定される。

(2) 垂直移動のためのハードウェアの検討が必要である。特に車いす使用者にとって垂直移動は困難であり、非常時のエレベータ利用の検討及び船内での階段移動を補助する装置の開発等が必要である。

(3) 高齢者・身体障害者等の実際の移動実験等により、生存艇への乗り込み装置等の各種救命設備の適用性を確認する。また、現在は想定されていない高齢者・障害者等の海上避難、個人用浮器、救助船による回収装置等の検討が必要となる。

なお、垂直移動と海上避難に関連して、(社)日本船舶品質管理協会では、降下袋の利用方法等について実験的検討を行い、シュータの利用ガイドラインを作成している²⁻⁸⁾。

3. 旅客船内のバリアフリー機器に関する研究

本研究では、手動車いすの走行特性を測定するための実験用模型車いす^{3-1),3-2)}や計測用車いすを設計・試作し、様々な実験を行ってきた。さらに、手動車いすの運動を力学的に解析するためのシミュレーションの開発や動揺条件下での車いすの走行を安定させるための補助装置の提案をした。また、前章の調査結果を踏まえて、いくつかの情報提供機器を提案し、実験的検討を進めた。以下、それらの概要を紹介する。

3.1 計測用車いすの開発

旅客船では動揺を軽減する方策が採られているものの、動揺を完全に取り除くには至っていない。船内を歩行する場合でも、動揺により足下がふらつくことがある。同様に、車いすも前後左右に傾斜したり上下方向に動揺する走行面を移動することとなり、陸上のような安定した走行は難しくなる。これらの変化は、車いすの転倒・暴走を引き



図 3-1 計測用車いすの外観

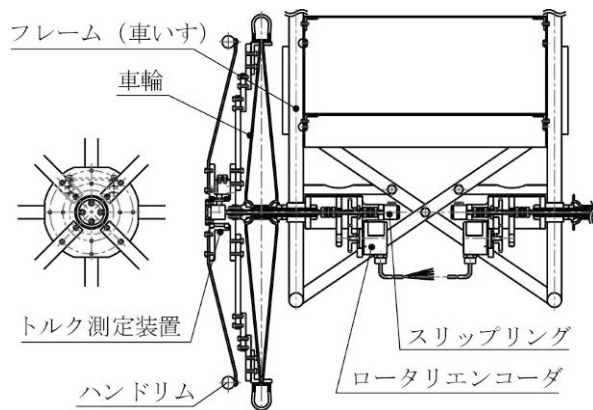


図 3-2 計測用車いすの構造

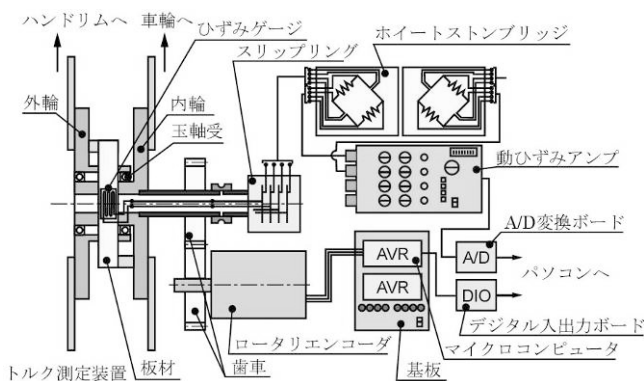


図 3-3 測定装置系統

起こしかねない。さらに、旅客船は通路幅やスペースが限られるため、走行には厳しい条件となっている。このような観点から、手動車いすの走行特性を測定するための計測用車いすを開発した(3-3), 3-4)。

3.1.1 計測用車いすの基本構造

図 3-1 及び図 3-2 は本研究で設計・試作した計測車いすの外観並びに主要測定部の構造、図 3-3 は測定装置系統を示している。本計測用車いすは、市販の手動車いすに、左右車輪の駆動トルクと回転角度の測定装置を取り付けており、駆動トルクの測定には汎用箔ひずみゲージ、回転角度の測定にはロータリエンコーダを用いている。これらの測定データを処理するノートパソコンは、車いすの操作者自身が測定操作する場合は座席前方に、他の者が測定する場合は座席後方に配置される。ホイットストンブリッジ及び動ひずみアンプ等の計測機器は、座席後方に配置されている。また、走行実験での取り扱いやすさを考慮して、全ての測定機器の電源に乾電池または充電式電池を使用でき、完全なワイヤレス化を図っているのが特徴である。

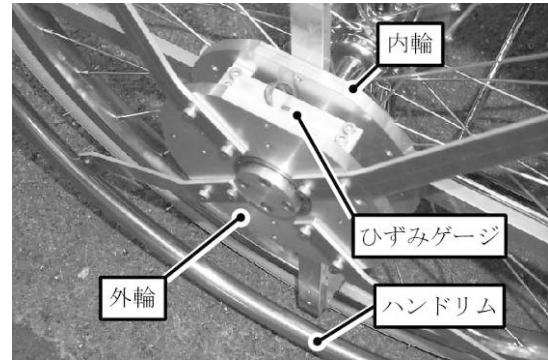


図 3-4 トルク測定装置の外観

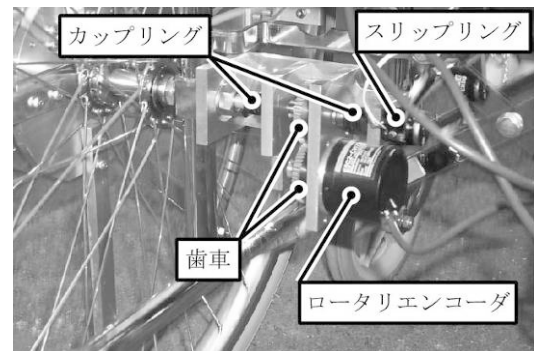


図 3-5 回転角度測定部の外観

3.1.2 計測用車いすの測定装置

車輪の駆動トルクを測定する方法として、軸のねじれを直接測定する方法や市販のトルク計を用いること等が考えられたが、本計測用車いすにおいては、駆動トルクを板材の引張力・圧縮力に変換し、板材のひずみを汎用箔ひずみゲージで測定している。手動車いすの駆動トルクの最大値は、運転条件によって大きく変化する。ひずみゲージは、安価であるばかりでなく、板材の厚さや幅を変更することで測定範囲を幅広く設定できるという特長がある。

図 3-4 にトルク測定装置の外観を示す。車輪に接続された内輪とハンドリムに接続された外輪とは転がり玉軸受で支持されている。内輪と外輪の間には、アルミニウム合金製の板材（A2024S、厚さ 1.5 mm、幅 16 mm）を取り付け、その表・裏両面にひずみゲージを接着し、引張力及び圧縮力により生じるひずみを検出する。

トルク測定装置は車輪の回転運動に伴い回転するため、信号線のとりまわしには十分な配慮を要した。本計測用車いすにおいては、車輪とフレームとを固定しているシャフトを中空とし、それにステンレス鋼製パイプ（外径 6 mm、内径 4 mm）を貫通させている。ひずみゲージの信号線は、パイプの中を通り、端部に配置したスリップリング

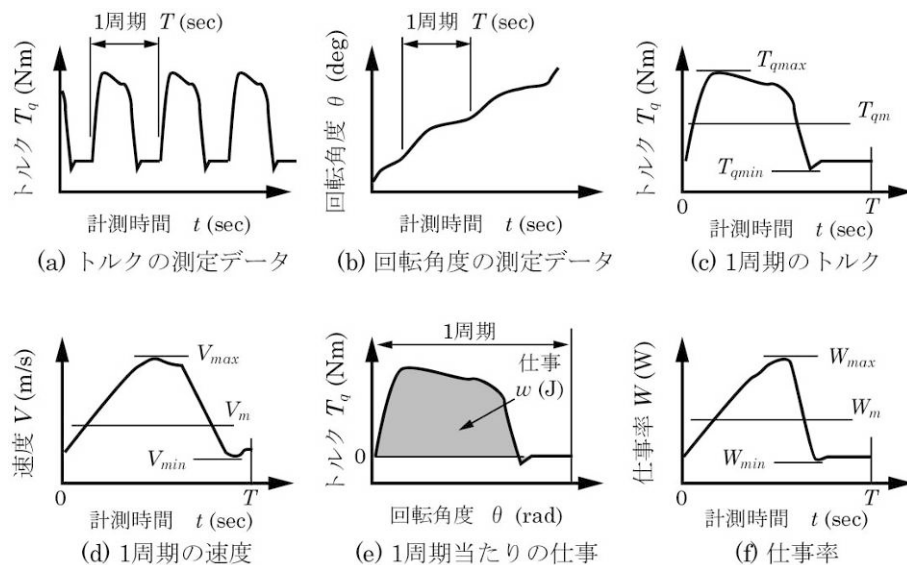


図 3-6 トルク，速度及び仕事率のデータ処理方法

に接続される。さらにホイットストンブリッジ及び動ひずみアンプを介して，ノートパソコンの A/D 変換ボードに入力され，処理される。

手動車いすの車輪は，一般の回転機械に比べて，回転数が低く，回転数変動が大きい。したがって，車輪の回転角度から速度や走行軌跡を求めるためには，回転角度の高精度な測定が必要である。本計測用車いすの回転角度の測定には，1 回転に 2000 パルスが発生するインクリメンタル形ロータリエンコーダを使用している。図 3-5 に示すように，ロータリエンコーダは，回転軸から歯車を介して取り付けられている。ロータリエンコーダが発生する 2 相のパルスは，マイクロコンピュータに入力され，12 ビットの信号に変換された後，ノートパソコンのデジタル入出力ボードに取り込まれる。

3.1.3 データ処理方法

ノートパソコン上の測定プログラムは，A/D 変換ボード及びデジタル入出力ボードに取り込まれた駆動トルク並びに回転角度から，速度や走行軌跡，仕事率，各変動率等を計算する。

手動車いすの操作は，手で車輪を漕ぐ操作と手を戻す操作を繰り返す。すなわち，手動車いすの運動は周期的に変動することとなり，ここでは，漕ぎ始めから次の漕ぎ始めまでの 1 周期を 1 ストロークと呼ぶ。測定プログラムは，駆動開始から次の駆動開始までの 1 ストローク毎のデータを抽出し（図 3-6(a)～(d)参照），以下のデータ処理を行う。

各車輪の瞬時速度 $V[\text{m/s}]$ は，サンプリング周波数 $f_s[\text{Hz}]$ ，車輪の回転角度変化 $\Delta\theta[\text{rad}]$ 及び車輪

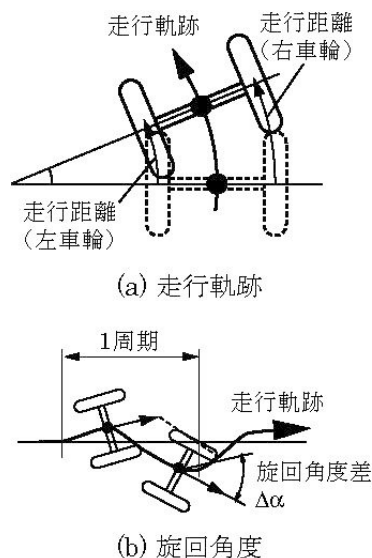


図 3-7 走行軌跡と旋回特性

の半径 $R[\text{m}]$ より次式で求められる。

$$V = \Delta\theta R f_s \quad (3-1)$$

1 ストローク当たりの仕事 $w[\text{J}]$ は，図 3-6(e) に示すように駆動トルク $T_q[\text{Nm}]$ を回転角度 $\theta[\text{rad}]$ で積分することにより求められる。したがって，各車輪の平均仕事率 $W_m[\text{W}]$ は，1 ストロークの時間 $T[\text{s}]$ を用いて次式により算出される。

$$W_m = w/T \quad (3-2)$$

走行軌跡は，図 3-7(a) に示すように左右車輪の回転角度変化から得られる走行距離より求められる。ただし，タイヤと床面の間で滑りが発生した場合は測定不能となる。また，図 3-7(b) に示すよ

うに、走行軌跡から蛇行の大きさを表す指標となる旋回角度差 $\Delta \alpha$ [deg] が求められる。さらに、左右車輪の単位時間当たりの旋回角度変化から旋回角速度 β [deg/s] が求められる。旋回角速度の最大値 $\beta_{\max}$ は、旋回運動の激しさを表す指標となると考えられ、この値が大きいほど暴走の危険性が高いものと考えられる。

3.2 手動車いすの走行特性

前節に述べた計測用車いすを用いて、静的傾斜条件下における様々な走行実験を行った^{3-5)・3-7)}。以下、日常的に車いすを利用している 20 代女性の被験者による実験結果を紹介する³⁻⁸⁾。

3.2.1 実験の概要

5.5×5.5 m の走行面を持ち、0 から 10 度まで 1 度刻みで傾斜角度を変更できる傾斜装置で実験を行った。本傾斜装置の走行面には旅客船で使用されているビニル樹脂製の床材を張り、斜面に対して横方向と縦方向に 0.8 m の間隔の線を引き、これを通路に見立てた (図 3-8 参照)。被験者は、計測用車いすに乗り、縦断走行 (登坂走行) と横断走行を行った。被験者には、通路からはみ出さないように走行するよう指示しているが、走行速度や操作方法については特に指示を与えていない。

3.2.2 実験結果並びに考察

(1) 縦断走行

手動車いすの速度やトルクは、1 ストローク中、大きく変動している。図 3-9 は、縦断走行における 1 ストローク毎の最高速度、平均速度及び最低速度の測定結果を示している。最高速度の傾斜角度による変化は少ないが、平均速度及び最低速度は傾斜角度が大きくなるに従って低下している。最高速度の変化が少ないということは、操作のリズムがかなり安定していることを表している。傾斜角度が大きくなると、平均速度と最低速度が低下するのは、手をハンドリムから離している間に、重力の影響を受けて急激に減速しているためである。

図 3-10 は、縦断走行における 1 ストローク毎

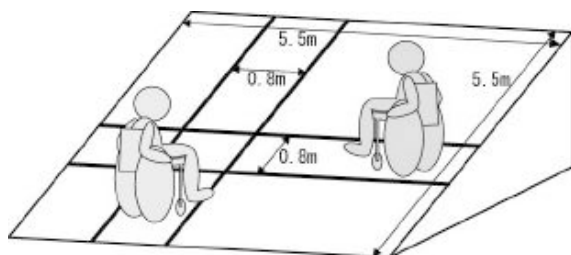


図 3-8 走行実験に用いた傾斜装置

の最大トルク及び平均トルクの測定結果を示している。これより、最大トルク及び平均トルクは、傾斜角度が大きくなるに従って増加していることがわかる。図 3-11 に 1 ストローク毎の平均仕事率と最大仕事率の測定結果を示す。仕事率は操作速度の影響を大きく受ける。仕事率は、図 3-10

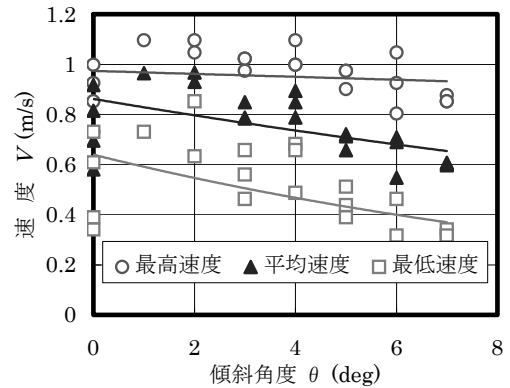


図 3-9 走行速度の測定結果 (縦断走行)

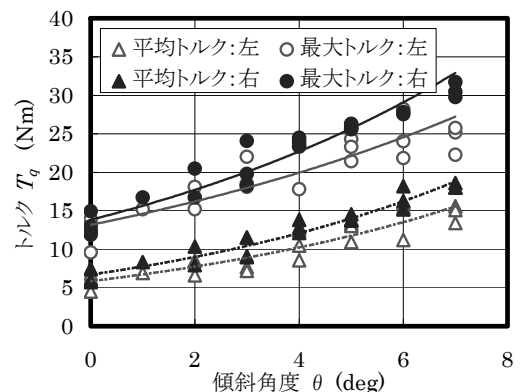


図 3-10 トルクの測定結果 (縦断走行)

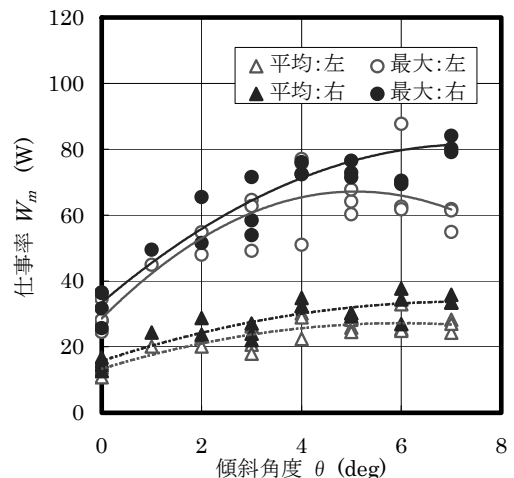


図 3-11 仕事率の測定結果 (縦断走行)

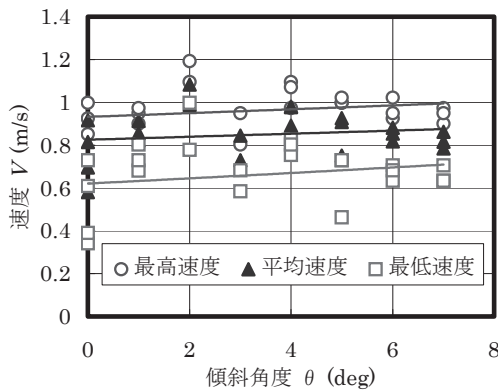
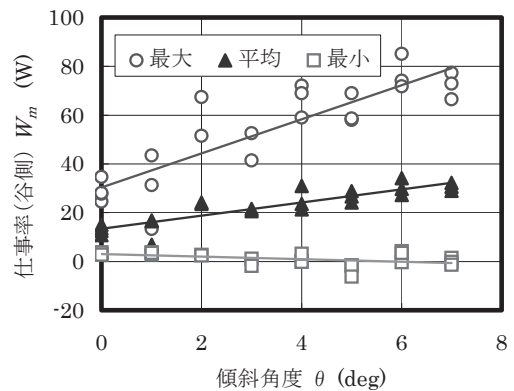
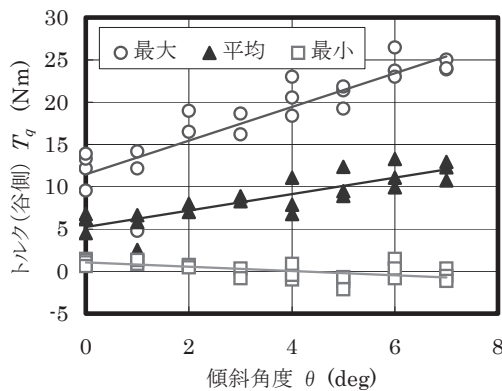


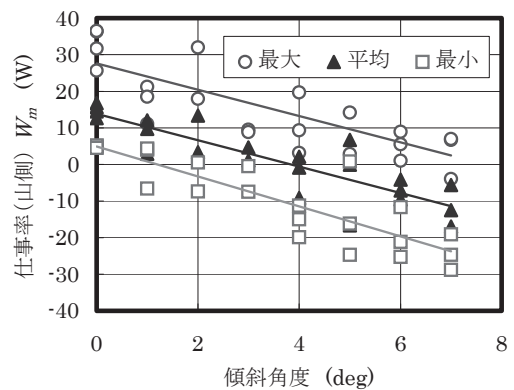
図 3-12 走行速度の測定結果 (横断走行)



(a) 谷側

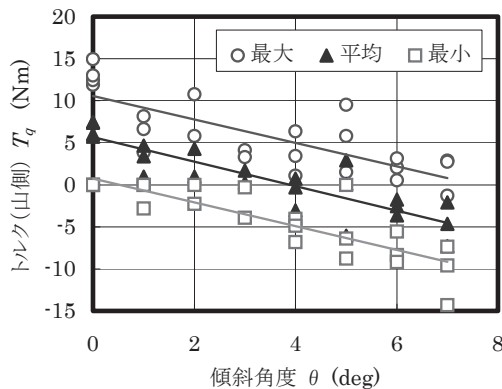


(a) 谷側



(b) 山側

図 3-14 仕事率の測定結果 (横断走行)



(b) 山側

図 3-13 トルクの測定結果 (横断走行)

に示したトルクと同様、傾斜角度が大きくなるに従って概ね増加しているが、平均仕事率は 30 W 程度、最大仕事率は 60~80W 程度で頭打ちになる傾向が見受けられる。これは、傾斜角度が大きい場合、トルクは大きくなるものの、車いすの速度が低下しているためである。

(2) 横断走行

車いすが傾斜面を横断走行する場合、前輪・後

輪の構造と重心位置の関係により、谷側（落下する方向）に旋回する力が働く。そこで、狭い通路を走行する場合は、進行方向に向かって車いすを修正しながらの走行となる。図 3-12 は、横断走行における最高速度、平均速度及び最低速度の測定結果を示している。これより、傾斜角度による速度の変化はほとんど見られず、本被験者は常に安定した操作をしていることがわかる。

図 3-13 は、横断走行（左下がり斜面）における最大トルク、平均トルク及び最小トルクの測定結果を示している。横断走行における谷側車輪のトルクは、縦断走行と同様、直線的に変化している。一方、山側車輪のトルクは、傾斜角度が大きくなるに従って低下している。さらに、傾斜角度が約 4 度以上になると平均トルクは負の値を示し、ブレーキをかけていることがわかる。

図 3-14 は、谷側並びに山側車輪の最大仕事率、平均仕事率及び最小仕事率の測定結果を示す。トルクと仕事率では、グラフの傾向はあまり変わらない。これは、傾斜角度が変化しても、車いすの速度の変化が少ないためであると考えられる。

一方、狭い通路を走行する船内での横断走行で

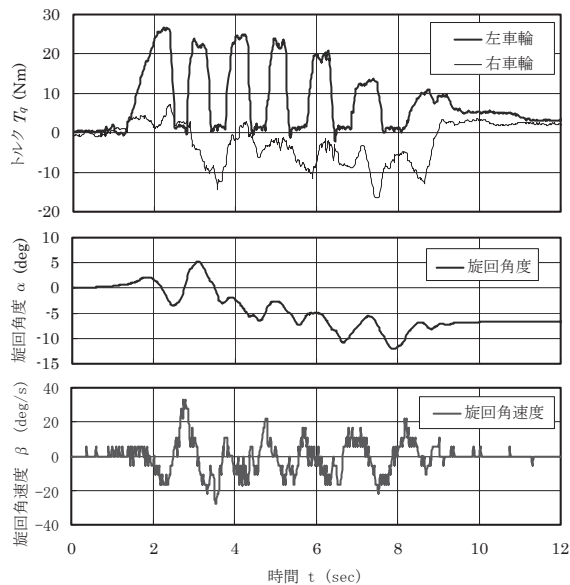


図 3-15 横断走行時の測定結果（傾斜角 7 度）

は、進行方向からのぶれが問題になる。

図 3-15 に駆動トルクと旋回角度並びに旋回角速度の時系列データを示す。同図は、傾斜角度 7 度の横断走行（左下がりの斜面）のものである。旋回角度並びに旋回角速度は、谷側（車いすが左を向く）が正、山側（同右向き）が負である。旋回角度と谷側車輪のトルクに着目すると、駆動を始めてから方向修正をしていることがわかる。また、谷側車輪のトルクが 0 となってから駆動を始めるまでの間に、旋回角度が落下方向に向かっていることがわかる。

旋回角速度は、谷側車輪のトルクが 0 になった時から正になり、落下方向に旋回している。最大旋回角速度（旋回角速度の落下方向のピーク）は、トルクが 0 から正になる時点と概ね一致している。そして、谷側車輪を駆動し、同時に山側車輪にブレーキをかけることで、落下方向になっている旋回角速度を減少させ、山側に方向修正している。

谷側車輪のトルクがかかっていない状態では、落下するのを止める力が働かないので車いすの運動は不安定になる。最大旋回角速度は、このトルクのかかっていない時間が長いほど大きくなり、車いす走行が操作されていない不安定な状態を表していると考えられる。さらに、最大旋回角速度が大きいということは、落下する速度が大きく、落下が激しいことを示している。最小旋回角速度（旋回角速度の登り方向のピーク）は方向修正の速度を示し、この絶対値が大きいと、方向修正の操作が慌たしいことを示す。

3.2.3 車いす走行特性評価の留意点

以上、傾斜条件下において車いすの駆動トルク及び車輪の回転角度を測定し、車いすの走行特性を詳細に調べた。その結果、仕事率及び旋回角速度が車いすの走行特性をよく表していることがわかった。一方、実際の船内では左右の傾斜が不規則に変化するため、左右の操作量が一定にはならず、方向修正はさらに困難になることが予想される。そのような複雑な条件であっても、仕事率及び旋回角速度に着目することで、車いすの運動と操作の両方を評価できるものと考えられる。ただし、車いすは操作者の運転技術あるいは操作方法によって走行特性が大きく変わることには注意しなければならない。

また、上記の実験において、被験者にはそれぞれの走行が終了する毎に、車いすの操作や疲労感についてのアンケート調査を実施している。例えば、傾斜角度 0 度から 7 度の縦断走行（登坂走行）において、本被験者は恐怖感や疲労感を全く感じないと答えている。アンケート結果から判断すると、本実験条件下では負担感や恐怖感が操作に及ぼす影響については適切に評価できなかったことがわかる。

一方、横断走行において、被験者は、傾斜角度が 5 度以上のときに方向修正をしていると意識し始め、6 度以上のときに意志と違う方向にぶれたと答えている。これらの被験者の感覚は測定データと必ずしも一致していない。

車いすの走行特性をより詳細に評価する場合には、これらの車いす操作者の運転技術、操作方法、さらに操作者の意識についても留意しておく必要がある。

3.3 車いす走行シミュレーションの開発

本研究では、手動車いすの運動や操作者の動作を力学的に解析するためのシミュレーションを開発した^{3-9)・3-12)}。以下、シミュレーションモデル及び検証実験の概略を紹介する。

3.3.1 車いす走行シミュレーションの構成

本シミュレーションは、走行モデルと操作モデルより構築されている。

走行モデルは、トルクと外力加速度を入力条件とし、車いす重心位置の軌跡を算出する。トルクは操作モデルにより計算され、外力加速度は路面の傾斜あるいは動揺条件から与えられる。

操作モデルは、車いすの向きや速度等を予測し、目標位置へ向かうための左右後輪に与えるトルクを求める。その際、適切と考えられる仮定及び評価関数を導入し、トルクが目標位置に向かうのに適当かを評価する。評価に必要な車いすの位置や

速度等は、車いすの状態を推定できる走行モデルにより計算する。

図 3-16 にシミュレーションの流れを示す。操作モデルと走行モデルを時間ステップで繰り返すことによって、車いすの軌跡が算出できる。

3.3.2 走行モデルの概要

走行モデルは、各時刻における車いすの運動と各種の力の関係式より構成されている。走行モデルの主な仮定は以下の通りである。

- (1) 床面は凹凸がない平面とし、後輪のスリップはないものとする。
- (2) 搭乗者を含む車いすは剛体とみなし、重心位置及び慣性モーメントは変化しない。
- (3) 前輪の接地点には走行面の法線方向の力及びこの力に比例する転がり摩擦抵抗のみが作用するものとする。
- (4) 後輪の接地点には走行面の法線方向の力及びこの力に比例する転がり摩擦抵抗、横滑りを起こさないための横力、トルクに応じた推力が作用するものとする。

以上の仮定に基づき、計算条件として外力加速度及びトルクを与え、モーメントのつり合いや運

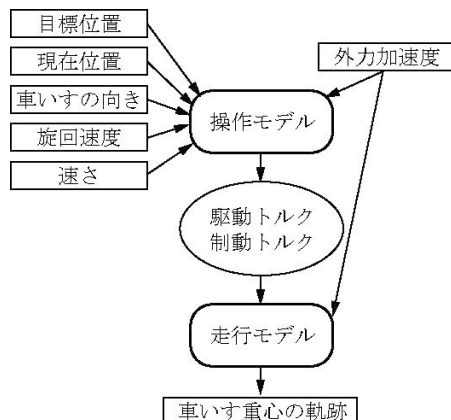


図 3-16 車いす走行シミュレーションの流れ

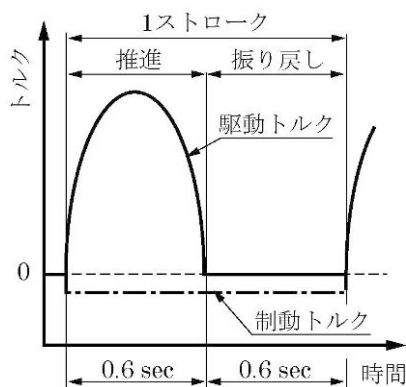


図 3-17 車いす操作のトルク波形

動方程式を解くことにより車いすの重心位置の軌跡を計算できる。なお、後述する走行モデルの検証においては、運動と力の関係式の妥当性を調べるため、外力加速度及び車いすの軌跡を計算条件としてトルクを計算し、実験結果と比較している。

3.3.3 操作モデルの概要

車いす走行シミュレーションを構築するためには、前述の走行モデルに加え、与えられた加速度条件下において、操作者が車いすに作用させるトルクを推定するための操作モデルが必要である。操作モデルでは、操作者の漕ぎ方、すなわち左右後輪のトルク（駆動及び制動）の与え方を模擬する必要がある。そのため、トルクの与え方に様々な仮定を設けると同時に、評価関数に基づく車いすの向きと速さの予測計算を導入している。

操作者の身体的条件は多様であり、操作を一つのモデルで表すことはできない。本シミュレーションでは、比較的操縦に慣れている操作者の計測結果に基づき、以下の仮定を設けてモデル化している。

- (1) 操作者は、次のストロークを行う前に、次のストローク後の車いすの向きと速さを予測する。その際、操作者は1ストローク終了後の外力加速度を予測できないと考え、外力加速度はストローク開始時のまま一定とする。
- (2) 1ストロークにおける推進時間、振り戻し時間はともに0.6秒とする。この時間は、傾斜角3～7度の傾斜台上における車いすの横断走行実験より求めた平均値である。
- (3) 駆動時のトルクは楕円形の上半分で表し、振り戻し中のトルクは0とする（図 3-17）。
- (4) 制動時のトルクは一定とする。
- (5) 1ストローク後の速さが設定速さ0.6 m/sに近づくようにする。この値は横断走行実験において計測した定常走行中の平均速さである。
- (6) 走行開始時における過大な推進トルクの印加を排除するため、走行開始直後の1ストローク終了時における設定速さは収束時の設定速さ0.6 m/sの60%とする。

3.3.4 車いす走行シミュレーションの検証実験

(1) 走行モデルの検証

走行モデルを検証するために、傾斜台上で車いすの走行実験を行った。前節の実験と同様、縦断走行（登坂走行）と横断走行を行っている。各実験では、データとして左右後輪の回転角度が得られる。さらに、このデータより車いす重心の加速度及び旋回角加速度が求められる。これらの実験から得られた車いす重心の加速度、旋回角加速度

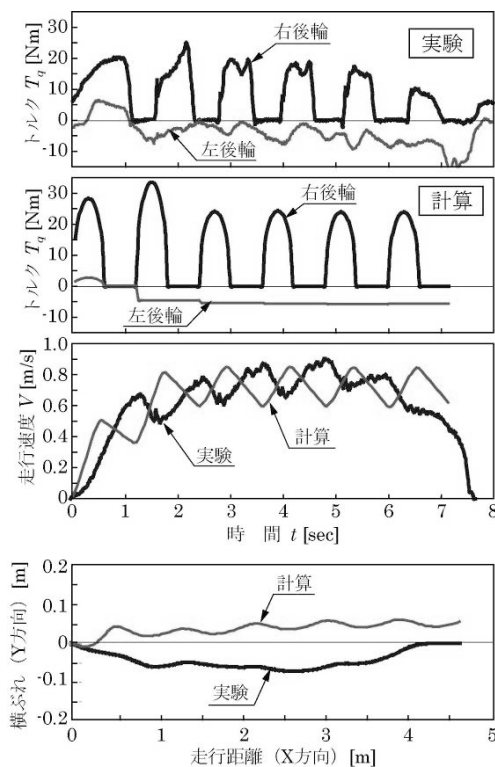


図 3-18 車いす操作の実験結果と計算結果との比較

及び外力加速度が得られるように走行モデルを用いて、トルクを算出し、実験で得られているトルクと比較した。

図 3-18 は、傾斜角 5 度の横断走行（右下がり）の結果である。右下がりの走行面において車いすを直進させる場合、右後輪に駆動トルクを与えながら、左後輪に制動トルクを与える。同図より、右後輪の駆動トルクの計算結果は、実験結果に概ね一致していることがわかる。一方、左後輪の制動トルクについては、計算結果と実験結果が一致しているとは言い難い。

(2) 車いす走行シミュレーションの検証

車いす走行シミュレーションを検証するため、平成 13 年 3 月、北米航路のコンテナ船に乗船し、航行中、体育室において車いすの走行実験を行った。体育室の広さは、船首尾方向に約 5 m、左右舷方向に約 7.5 m である。被験者には、前項の陸上実験と同様、体育館床上の線を模擬通路に見立てて、直進するように指示した。車いすの向き及び重心位置の軌跡は、後輪の回転角度から計算により求めた。同時に体育室床面上に 3 軸の加速度センサを設置し、3 方向の加速度を計測した。

図 3-19 に実験結果と計算結果の一例を示す。同図(a), (b), (c)はそれぞれ車いすの走行開始時の方向 (X 方向), 床面に平行で X と垂直な方向

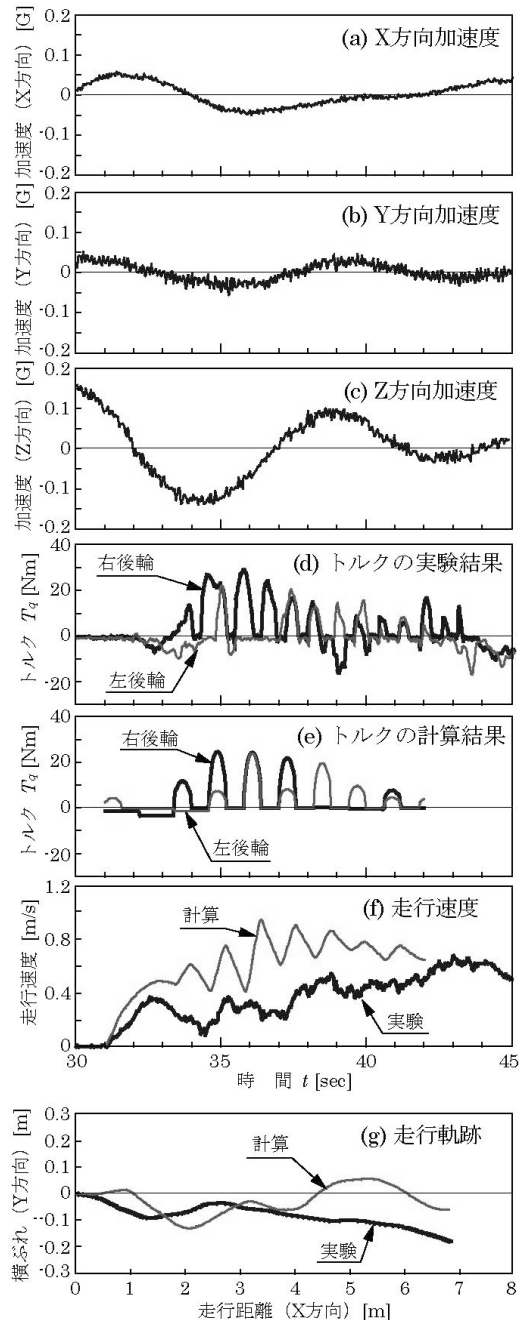


図 3-19 実船実験における車いす操作の実験結果と計算結果との比較

(Y 方向), 床面に対する鉛直方向 (Z 方向) の加速度を表している。(d)はトルクの実験結果, (e)は操作モデルにより計算したトルク, (f)は速さの計測結果と計算結果を表している。(g)は X-Y 平面上の車いす重心位置の軌跡を表している。

同図は左舷側から右舷方向へ走行した結果である。同図(b)からわかるように、走行開始直後 36 秒付近で、約 3 度相当の外力加速度が右向きに作用している。そのため、同図(d)の実験結果からわかるように、右後輪に与えるトルクは左後輪に与

えるトルクを大きく上回っている。同様に、同図(e)の計算結果においても、右後輪に与えるトルクは左後輪に与えるトルクを上回っている箇所が見られるものの、ストロークの時間やトルクの大きさはやや異なっている。これは、動揺路面において、実験では推進時間に比べて振り戻し時間を短くしているためであると考えられる。この操作は、外力加速度の影響を受けやすい振り戻し時間をできる限り短くするために無意識に行っている操作であると考えられ、本操作モデルでは考慮されていない。そのため、操作モデルにより求めたトルクを用いて計算した速さは、外力加速度の影響を強く受け、実験結果よりも高い値を示している(同図(f))。また、直進が指示されているにも関わらず、陸上における実験と異なり、計算結果と実験結果とは大きな相違が生じていることがわかる。このことは、船体の動揺の影響によって、車いすの正確な進路保持が困難であることを示唆している。

同図(g)で示した軌跡についてみると、走行開始直後並びにX方向4m以降の軌跡は、計算結果と実験結果が一致しているとは言い難いものの、1~4m間の走行範囲における蛇行の具合や振れ幅は概ねよく合っていると言える。走行開始直後の計算結果と実験結果が異なるのは、実験では複雑な操作を行って、トルクの与え方を調整し慎重に走行を始め、さらに43秒にかけてゆっくりと加速しているのに対し、計算では操作を単純化しており、仮定に基づき、2ストローク目には設定速さに達成するための操作を行ったためと考えられる。

動揺する船内における車いすの走行は、同じ加速度条件で繰り返し行っても、外力の変動があるため、同じトルクや軌跡が得られるといった再現性があるものではない。したがって、操作モデルの仮定や計算条件を的確に設定することは極めて難しい。しかし、上記の計算例は、傾斜台や実船での車いす走行実験を実施してきた筆者らの経験から概ね妥当な結果であると考えており、本シミュレーションは、車いすの走行特性を評価するための有効なツールとなり得るものと考えている。

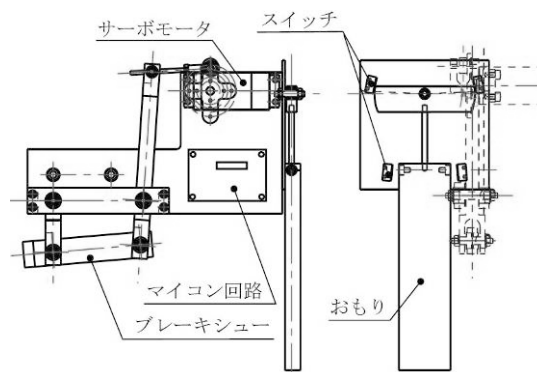
3.4 車いす用走行補助装置の開発

以上に記した実験結果からもわかるように。動揺条件下において、手動車いすで移動することは非常に困難であり、しかも危険を伴う。本研究では、動揺条件下での手動車いすの移動を安全かつ快適にすることを目的とした走行補助装置の開発を進めてきた。以下、本研究で開発した数種の走行補助装置を紹介する。

3.4.1 自動ブレーキ制御機構を用いた走行補助装置

車いすは状況に応じてブレーキ力を調整しながら走行している。以下に述べる自動ブレーキ制御機構は、傾斜角度に応じて自動的にブレーキ力を調整する機構である³⁻¹³⁾。

図3-20に自動ブレーキ制御機構の構造及び外

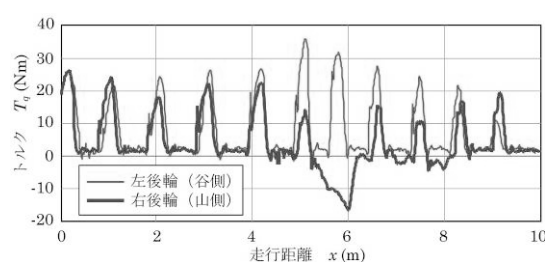


(a) 構造

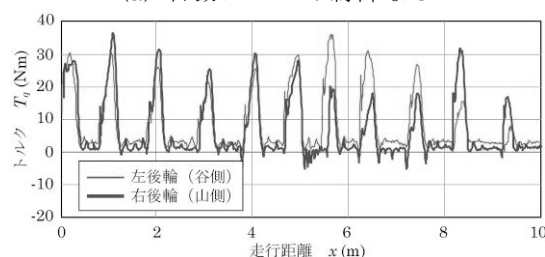


(b) 外観

図3-20 自動ブレーキ制御機構



(a) 自動ブレーキ制御なし



(b) 自動ブレーキ制御あり

図3-21 自動ブレーキ制御機構の効果

観を示す。本機構は、ラジコン模型用サーボモータを用いることにより、ブレーキ力を調整できる構造としている。また、振り子を利用した傾斜角度センサを取り付けており、傾斜角度が3度及び5度となったとき、2段階のスイッチが作動する。このスイッチはマイコン回路に接続されており、スイッチの組み合わせで、サーボモータの運動を制御し、ブレーキ力が調節される。

自動ブレーキ制御機構が操作特性に及ぼす影響を調べるため、動揺を模擬した全長11 mの走行路面において走行実験を行った。実験に用いた走行路面は、剛性が低いベニヤ板の下にスパーサを入れ、波状のねじれを作ることにより動揺を模擬している。

図3-21は、走行路面中央部の最大傾斜角度を5度にした場合、自動ブレーキ制御がトルク変化に及ぼす影響を測定した結果である。これより、ブレーキ制御を行わない場合、走行距離5～6 m付近において、手動によりブレーキ力を与えることで進路補正をしていることがわかる。一方、ブレーキ制御を行った場合、手動によるブレーキ操作をほとんど行うことなく、左右後輪へのブレーキ操作を均一化できることがわかる。すなわち、自動ブレーキ制御機構は動揺条件下での操作の困難さを低減できることが確認された。

一方、本機構は、駆動走行時にもブレーキ力が働くため駆動の操作を重く感じることもあり、実験における被験者の印象として、図3-21に示したような明瞭な効果はほとんど感じられなかった。本機構を高性能化するためには、操作感に関する詳細な実験が必要不可欠である。

3.4.2 差動制限機構を用いた走行補助装置

3.2節で述べたように、車いすが斜面を横断走行する場合、後輪にトルクが与えられていない状態では、落下するのを止める力が働かないので車いすの運動は不安定になる。そこで、後輪に作用するトルクが小さいときに左右の車軸を連結することによって、車いすの直進性を高める機構を提案した(3-14)・(3-16)。

図3-22に示す差動制限機構を用いた走行補助装置は、4個のかさ歯車、左右後輪につながる2本の回転軸、複数のばね、かさ歯車並びにクラッチ機構等から構成されている。ばね押さえ板とクラッチディスクとは、キーにより軸方向にだけ運動できる。また、ばね押さえ板と回転軸とは機械的に固定されておらず、回転方向にフリーである。2本の回転軸に与えられるトルク差が小さい場合、クラッチディスクはばねによりクラッチ板に押し付けられているため、左右後輪の車軸は機械的に

締結された状態(クラッチ入)となる。トルク差が大きい場合、回転軸に取り付けたピンが、クラッチディスクに取り付けたカムテーパ面を押し、クラッチディスクがクラッチ板から離れ、車軸の締結が解除される(クラッチ切)。

本装置は、左右後輪へのトルク差が所定の値を下回る場合に、左右後輪の独立した回転を制限する機構である。すなわち、慣性走行時の重力による旋回を減少でき、操作者は複雑な操作を与えることなく、安定した直進走行を期待できる。一方、手動車いすを意識的に旋回させる場合、左右後輪へのトルク差が所定の値を上回るため、後輪が左右独立して回転し、従来通りの旋回運動が可能となる。

本走行補助装置を試作した後、図3-23に示すように市販の車いすに取り付け、波状走行面や傾斜面を走行し、本装置の動作確認を行った。その結果、クラッチ入の状態において、慣性走行時の

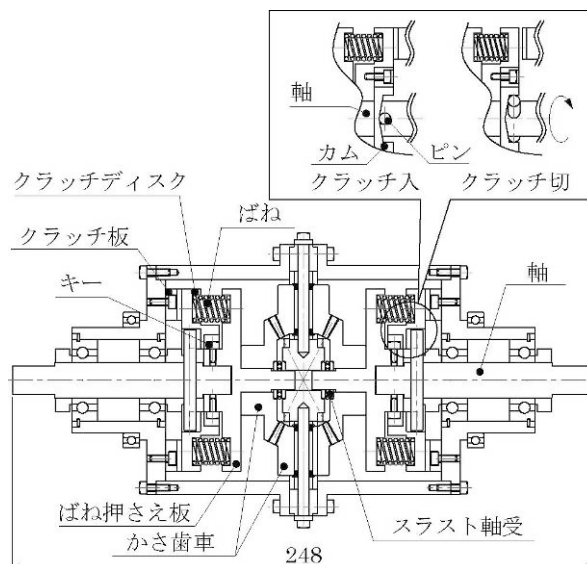


図3-22 差動制限機構を用いた走行補助装置

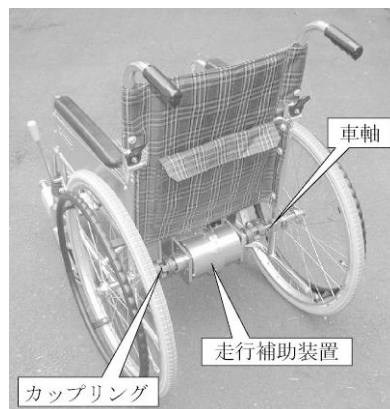


図3-23 差動制限機構を取り付けた車いす

重力による旋回が少なくなり、操作感が向上した。しかし、車いすを意識的に旋回させる際、クラッチが適切に動作しないことがあり、本装置の高性能化を図る場合には、クラッチの材質や形状、ばねの強さ、テーパ面の形状等の調整が必要である。

3.4.3 無段変速機構を有する手動車いす

以上の走行補助装置は、傾斜あるいは動揺条件下での直進性を保つための装置である。以下で紹介する無段変速機構は、手動車いすの操作性及び機能性を向上させることを目的としている。

従来の手動車いすは、車輪とハンドリムとが機械的に固定されているため、登り坂を走行する場合や路面上の段差を乗り越える場合、車いす操作者は、通常時の平坦な路面を走行する場合と比べて、1.5～2倍程度のトルクをハンドリムに与える必要がある。一方、平坦な路面を比較的速い速度で走行する場合、車いす操作者は短い周期あるいは長い行程でハンドリムに回転運動を与える必要があり、過度な負担を受けることとなる。したがって、車いすの車輪とハンドリムの間に変速機構を取り付け、路面や走行の状況によって変速比を変化させることで、車いす操作者の負担を軽減できると考えられる。

図 3-24 及び図 3-25 に本研究で設計・試作した変速機構付車いすを示す(3-17,3-18)。図 3-24(a)に示すように変速機構は車輪内部に配置され、外形寸法は通常の手動車いすとほとんど変わらない。また、変速操作のためのワイヤを除いて、車いすの折り畳みを妨げるものではなく、車いすの可搬性は損なわれていない。

図 3-24(b)に示すように、本変速機構は、ハンドリムに接続された球面プーリ A と車いす後輪に接続された球面プーリ B、それらの回転運動を連結するための摩擦車から構成されている。同図において、摩擦車がピン A を中心として反時計回りに回転した場合、球面プーリ A の回転運動に対して球面プーリ B の回転運動は減速される。そして、操作者が同一の駆動トルクをハンドリムに与えた場合、後輪には高いトルクが発生し、段差の乗り越えや登り坂での走行を容易にする。一方、摩擦車がピン A を中心として時計回りに回転した場合、球面プーリ A の回転運動に対して球面プーリ B の回転運動は増速されるため、平坦な路面を速い速度で走行する際、車いす操作者の負担が低減されることが考えられる。

しかし、無段変速機構を市販の手動車いすに搭載し、簡易的な動作試験を行った結果、球面プーリと摩擦車の間に滑りが生じ、車いすの走行に十分な動力を伝達することができなかった。本機構

を適切に機能させるためには、球面プーリと摩擦車の接触部の材質並びに形状、さらに各部品の加工精度や組立精度、摩擦車の押し付け力等の詳細な実験的検討が必要不可欠である。

3.5 情報提供機器に関する研究

第 2 章で示した乗船調査等において明らかになったように、旅客船のバリアフリー化を推進するためには、情報提供機器の開発並びに運用に関する研究も必要とされている。そこで本節では、当

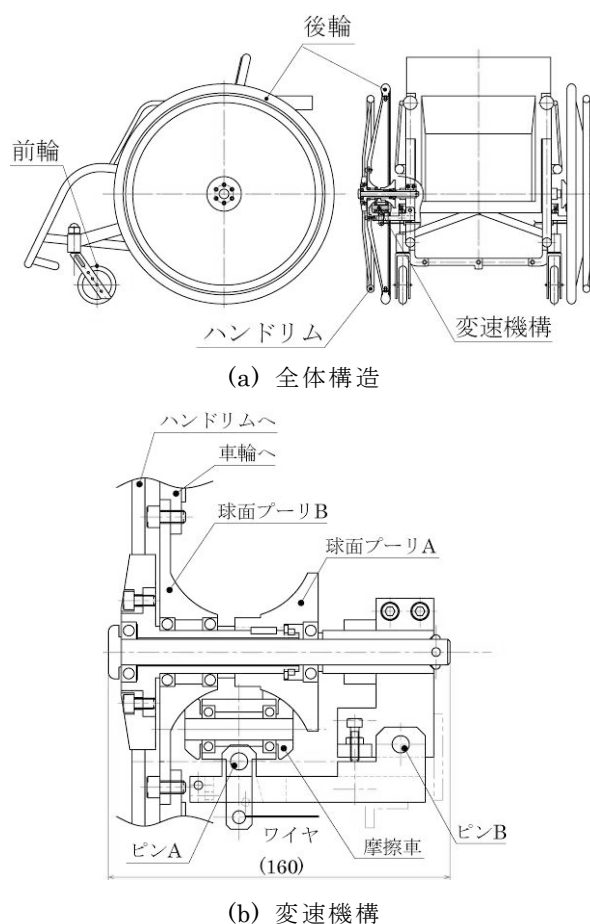


図 3-24 変速機構付車いす



図 3-25 変速機構付車いすの外観

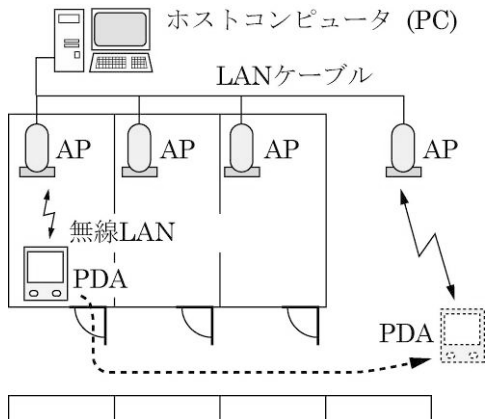


図 3-26 無線 LAN を使用した情報提供システム

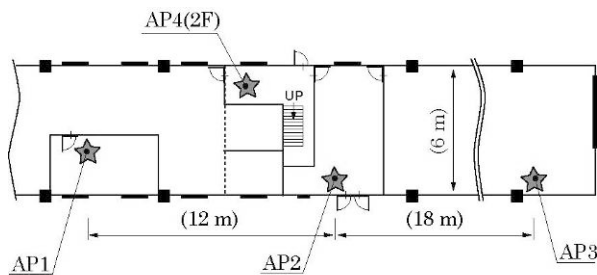


図 3-27 基本動作の確認

研究所で行った情報提供機器に関する研究について述べる。

3.5.1 無線 LAN を利用した情報提供装置

本研究では、安価な旅客船用情報提供システムの開発を目的とし、既存のハードウェアを利用した簡易システムを提案した³⁻¹⁹⁾。本システムは、パソコンを用いた WEB サーバ、昨今急速に普及して低価格化が進んでいる無線 LAN 機器及び既存の端末機 (PDA) で構成され、旅客の大まかな位置情報を検知できることが特徴である。

図 3-26 に無線 LAN を使用した情報提供システムの構成を示す。ホストコンピュータは、複数のアクセスポイント (AP) と有線 LAN で接続され、端末機から AP への接続状況を監視し、端末機が持つ固有の MAC アドレスを管理することによって、旅客の大まかな位置情報を検知できる。さらに、情報を発信する WEB サーバとして機能し、その内容 (WEB コンテンツ) は AP への接続状況に応じて随時更新される。AP は各部屋あるいは区画毎に設置され、旅客が持つ端末機の中継処理を行う。旅客は、ホストコンピュータから提供される WEB コンテンツによって、状況に適した情報提供を受けることができる。また、旅客が移動した場合、無線 LAN のローミング機能と呼ばれる機能によって、端末機が接続する AP が自動的

に切り替えられる。これにより、旅客に移動先の大まかな位置情報がホストコンピュータによって検知・管理されることとなり、より充実した情報提供サービスが可能となる。

本情報提供システムの基本動作を確認するため、当研究所内の実験棟において動作試験を行った。図 3-27 に示すように、1 階の 3 つの実験室及び中央 2 階の研究室の計 4 ヶ所に AP を設置した。ホストコンピュータは、Windows XP をセットアップしたパソコンである。Visual Basic で記述された情報管理プログラムは、4 つの AP への端末機の接続状況を順番に監視し、それぞれの端末機に対して、個別の WEB コンテンツを作成する機能が設けられている。

動作試験における端末機には、無線 LAN を内蔵した 2 種類のノートパソコン及び 1 種類の PDA を使用した。動作試験の結果、定量的な評価には至らなかったものの、ノートパソコンを使用した場合は概ね良好に動作することが確認できた。一方、PDA を使用した場合、ローミング機能がやや不安定であり、誤動作や遅延動作をすることもあったが、無線状況が良好なときにはそれぞれの位置に応じた情報を PDA の画面上に表示させることができた。

本情報提供システムの通常時の運用においては、乗船案内や船内サービス等の情報を提供できる。一方、本システムは、簡易的なシステムでありながらも大まかな旅客の位置を検出できるため、非常時対応にも有効なツールとなり得る。例えば、火災発生等の非常時には、本システムを利用し、旅客の位置検出を行い、船員及びサービス員による避難誘導を支援するシステムに発展できるものと考えている。

3.5.2 色覚障害者に対する情報提供

色覚障害へのバリアフリー対策としては、神奈川県が「カラーバリアフリー 色使いのガイドライン」を作成している。また、各方面の取り組みとしては、正明堂印刷 (株) が「地下鉄マップ TOKYO」並びに「鉄道マップ Osaka」を制作し、イベントでの無料配布と販売を行っている。また、NPO 法人のカラーユニバーサルデザイン機構は色覚障害へのバリアフリーに関する情報をまとめている。

色覚障害に対しては、情報提供に用いる線や文字に、色を不用意に使うのではなく、各種の色覚障害者が識別しやすい配色を考慮することが重要である。以下、神奈川県の色覚障害対応のガイドライン等を参考にして、旅客船で案内板等を作成する上での対策をまとめた。なお、実際の配色に

表 3-1 調査実験の概要

時間	実験項目
09:30-10:00	本実験調査の説明並びに操練の説明
10:00-10:30	カフェテリアと同一甲板の客室にて被験者全員と通訳者が参加した操練の実施
10:30	客室にて閃光ライトの点灯に気づくかの実験
11:20	フォワードサロンにて閃光ライトの気づきやすさ主観評価実験

表 3-2 実験に用いた情報提供機器と閃光ライト

機器	仕様	調査内容
LED 型電光文字表示機	3 色表示, 文字表示部大きさ 7×37cm	操練における情報提供の有効性
パトライト	使用電球 12V5W 回転灯黄色 閃光数 150 回/分	客室にて背を向けていても点灯に気がつくか、並びに、フォワードサロンにて気づきやすさ
光るチャイム	キセノンランプのフラッシュ光点滅周期約 3Hz	
ストロボライト	キセノンランプのフラッシュ光 (75cd 以上) 点滅周期約 1Hz	



図 3-28 使用した閃光ライト(左からパトライト, 光るチャイム, ストロボライト)

については、神奈川県「カラーバリアフリー 色使いのガイドライン」を参照したり、当事者による評価を実施したりする必要がある。

電光掲示板を用いて情報提供を行う際の留意点は以下の通りである。

- (1) 1つのランプの光の変化だけで情報を伝えない。
- (2) 長波長の赤(高輝度赤)のLEDの光は第1色盲の障害者には見えない。緑(長波長), 黄緑, 黄色, オレンジ, 赤のLEDは, 赤緑色盲の障害者には同じ色に見える。したがって, 色を使用する場合は, 緑を青や白のLEDと組み合わせて使用

する。

掲示板や図版で情報提供を行う際の留意点は以下の通りである。

- (1) 1つの図版に使う色を可能な限り少なくする。
- (2) 区別が必要な情報を色情報だけで識別させない。
- (3) 明度や形状の違いや文字・記号を併用して冗長性を与え, 色に頼らなくても情報が得られるようにする。
- (4) 白黒でも意味が通じるように図版をデザインし, その後に装飾として色をつける。
- (5) 線を太くし, シンボルを大きくする。
- (6) 線は実線同士で色だけを変えるのではなく, 実線, 破線及び波線など様々な線種と色を組み合わせで情報を提供する。
- (7) 色相の差ではなく, 明度の差を利用した塗り分けをする。
- (8) 塗り分けは色だけでなくハッチングを併用する。輪郭線や境界線で, 塗り分けの境を強調する。
- (9) 図中の説明は, 図の脇の凡例だけでなく, 図中にも直接書き込む。
- (10) 対象物を色名だけで示さない。場所や形も指定する。
- (11) 色をつけるときは, 背景と文字の間にはっきりした明度差をつけ, 色相の差としない。
- (12) 書体(フォント)は, 線の細い明朝体でなく, 線の太いゴシック体を使用する。
- (13) 色だけでなく, 書体, 太字, イタリック, 傍点, 下線, 囲み枠等, 形の変化を併用する。

3.5.3 聴覚障害者に対する情報提供

平成19年3月, 新潟港において, 聴覚障害者と健常者を被験者とし, バリアフリー法技術基準適合船「ゆうかり」の避難訓練(操練)に参加した。操練では, LED型電光文字表示機を使用し, 非常時の情報提供の課題等を調べた³⁻²⁰⁾。さらに, 3種類の閃光ライトの気づきやすさの実験調査を行った。表3-1に実験の概要, 表3-2及び図3-28に使用した情報提供機器を示す。

本船の非常時の警報・情報提供は船内放送と乗組員が直接客室を回ることによって実施されている。操練及び実験は岸壁に係留された状況で行われた。

被験者は, 新潟在住の聴覚障害者10名(40～60代, 男女混合), 健常者11名(新日本海フェリー職員及び学生, 20代前半から30代, 男女混合)である。聴覚障害者の内, 手話を使用する障害者は6名である。通訳者として2名の手話通訳者及び4名の要約筆記者が参加した。

(1) 操練時の情報提供の課題

船舶における避難は陸上施設等とは異なり, 自

表 3-3 客室で閃光ライト点灯に気づいた人数

機器	気がついた人の人数／被験者数
パトライト	2/6
光るチャイム	6/6
ストロボライト	5/6

表 3-4 各閃光ライトの主観評価結果

機器	気づきやすいと回答した数	緊急度が高いと回答した数
パトライト	9	14
光るチャイム	19	16
ストロボライト	25	22

室客室での待機後、救命胴衣着用、退船（船を放棄し海上に逃げる）の必要がある場合には救命筏のある脱出甲板に避難するという手順で行われ、逐一乗組員による指示が発令される。本実験の操練では、聴覚障害者と健常者全員に加え、通訳者も参加し、聴覚障害者の同伴者として行動した。操練については感想・意見を自由記入する調査票と座談会形式の意見徴収を行った。操練開始時に全被験者が待機していたカフェテリアにはLED型電光文字表示機を設置していたが、あえて設置の説明を事前に行わなかったため、聴覚障害者並びに健常者共に気づく人が少なかった。機器の設置の告知や基準の交通モード横断的な統一が必要であると考えられる。

一方、通訳者が同伴者となり、手話並びに要約筆記によって船内放送の内容が聴覚障害者に情報伝達された。また、乗組員が各部屋に来て救命胴衣着用方法説明や避難開始連絡にきた場合も通訳者による情報提供がなされた。そのため、聴覚障害者は、車両甲板での火事発生連絡、自室客室での待機指示、乗組員による消火状況報告、火災の進展による救命胴衣着用指示、脱出甲板への避難指示といった必要な情報を得ることができた。

(2) 閃光ライトの気づきやすさの評価

閃光ライトの気づきやすさを調べる実験には、聴覚障害者9名、健常者9名が参加した。同型の3室の客室に、表3-2に示した閃光ライトを1種類ずつ設置した。被験者は客室で操練の調査票に回答するよう教示され、1人ずつ客室に入った。操練の調査票を記入中に、被験者背後の閃光ライトを点灯させ、気づくかどうかを調査した（図3-29参照）。表3-3に実験結果を示す。パトライトの点灯に気づいた被験者は6人中2人で健常者と聴覚障害者の差はなく、点灯に気づく割合が低かった。一方、光るチャイムとストロボライトは壁に閃光が反射しライトに背を向けていても目に



図 3-29 客室での実験の様子



図 3-30 公室での実験の様子

入ったため気づくことができた。

さらに、主観的な気づきやすさを調査する実験では、フォワードサロンにてソファに着座させた被験者の前で、表3-2の3種類の閃光ライトを10秒ずつ点灯させ、一対比較法を用いた質問紙調査を行った（図3-30参照）。表3-4に示した主観評価による気づきやすさの実験結果は、気づきやすさ並びに緊急度の高さの感じ方のいずれもストロボライト、光るチャイム、パトライトの順に高いという結果になった。

4. バリアフリー旅客船の非常時対応に関する研究

着実に増加しているバリアフリー化された旅客船では、身体障害者や高齢者等による通常時の利用が円滑に行えるようになってきている。一方、非常時の障害者や高齢者の避難経路や避難方法等についてはまだ明確に定められていないのが実情である。そこで、本研究では、非常時の安全性向上を目指して、車いす使用者と歩行者を対象とした避難に関する実験的研究を行い、その実験結果に基づき避難経路を解析する避難シミュレーションプログラムの開発等を行った。

表 4-1 操練の経過状況（抜粋）

経過時間 (分：秒)	状況（放送内容）	職員	車いす使用者
00:00	実験開始		
01:07	火災発生放送、職員へ案内所前集合指示	→案内所集合	
04:25	職員へ、旅客を部屋に戻し状況説明を指示	→旅客に声をかけ、車いす使用者を迎えに行く	
05:02	火災状況の説明、部屋に戻るよう放送		
05:30			係員と部屋に戻る
06:58	職員へ、旅客の人数確認を指示	心配が不要であることと待機を説明	
07:35	職員へ、旅客の救命胴衣着用を指示		
08:29		救命胴衣を持ってくる	
08:47	厚着と救命胴衣着用を放送		
10:22		旅客は部屋から通路へ	
10:25	警察官等への協力要請を放送		
10:42		胴衣着用法の説明開始	
11:05			救命胴衣を着用開始
11:18	消化状況と携行品について放送		
13:48	職員へ、誘導開始を指示		
14:53		誘導の説明後、移動開始	移動開始
17:23		集合場所へ	集合場所へ

4.1 バリアフリーフェリーにおける避難実験

本節では、旅客船における非常時対応の現状についてまとめる。さらに、実際の車いす使用者の避難方法について調べるために実施した模擬車いす使用者を含む避難実験並びに避難要素実験の概要について述べる（4.1.4.2）。

4.1.1 旅客船における非常時の対応

バリアフリー化された旅客船では、非常時においては、表示装置及び音声案内装置により非常時の情報を提供しつつ、介助者または職員（船員及びサービス員）によるソフト対応がなされることになっている。職員が非常時の対応を実施する際のマニュアルとなる「旅客船の安全教本」及び「旅客船操練手引書」（いずれも国土交通省船員部労働基準課監修）では、身体障害者・高齢者を最優先に避難させることが明記されている。また、各船とも、非常時の作業人員の配置、作業、指揮系統等を明記した非常部署配置表があらかじめ作成されており、それに基づき、非常時の対応がとられる。同表に基づいて操練（避難誘導訓練）が定期的に行われるなどして、職員は訓練され、旅客の安全を守るための体制がとられている。しかし、移動制約のある車いす使用者や、情報制約のある視覚障害者・聴覚障害者がいる場合を想定した操練の実施は少なく、そのような状況での詳細な手順については十分に確立していない。そこで、より具体的な避難・誘導手順や旅客の特性に応じた避難経路を求める必要があると考える。

4.1.2 実船における避難実験

新潟港で実施された新日本海フェリー株式会社所有のバリアフリーフェリーでの操練では、模擬車いす使用者1人と歩行者25人（いずれも大学生）が旅客として参加した。図4-1に操練を実施したバリアフリーフェリーの一般配置図を示す。本操練では、旅客の初期配置と集合場所は同一甲板であり、甲板間の上下移動はなく、図4-1に示した範囲を1人の職員が担当し誘導した。乗客が配置された部屋（乗客配置の初期状態）をハッチングで示す。

表4-1に、操練の経過に沿った、時刻と状況（放送内容）、職員と車いす使用者の行動をまとめた。本操練を行った結果、本船はバリアフリー化され通路幅等が十分にあるため、車いす使用者と職員

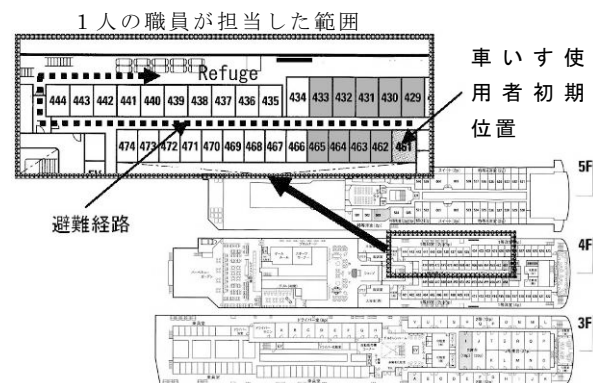


図 4-1 対象船一般配置図



図 4-2 おんぶでの避難の様子

を先頭にしてスムーズに移動できることが確認された。また、本操練では火災の進展に沿って旅客を待機させる等、各段階で時間をとっていた。よって、特に車いす使用者だけのために時間を要することはなかった。すなわち、実際の避難においては、避難開始から集合場所までの移動時間よりも、避難を開始するまでの時間及び誘導後の避難者確認等に要する時間が長い。しかし、甲板間移動がある場合や介助を必要とする旅客が多い場合、あるいは緊急性が高い場合は、効率的な避難・誘導手順を決めておく必要があると考える。

本操練に引き続き、甲板間の下方向移動に限定した避難実験を実施した。職員 1 人の誘導により、模擬車いす使用者 1 人と歩行者 25 人がそれぞれの自室前に整列し、階段前まで移動、さらに、階段を使って一甲板分下方向に移動するという要素避難実験である。本実験では、職員が、車いす使用者とその他の乗客の避難誘導に、どのような方法を取り、時間がどの程度かかるかを観測、測定する目的で行った。よって、著者らは何も指示や提案をせず、職員が自分の判断で誘導方法をとった。

その結果、車いす使用者の移送方法は、職員の判断に基づき、(1) 職員が車いす使用者をおんぶする方法 (図 4-2 参照)、(2) 車いす使用者を車いすごと 3 人で移送する方法の 2 つの方法がとられた。いずれの方法でも、職員は、歩行で移動する旅客を階段脇のスペースに待機させておき、車いす使用者を先頭にして階段の移動を開始した。階段を下り始めるとほぼ同時に、職員は待機している歩行者に声をかけ、階段の移動を開始させ、職員と車いす使用者に続いて避難させるという手順であった。

当該職員は、初めて甲板間移動のある避難を誘導したが、その都度自分が選択した方法に沿って、逡巡せずに、手伝いを依頼する乗客の選択、他の乗客への階段脇での待機指示、車いす使用者の移送中での他の乗客への階段移動開始指示等、各指示を明瞭に出していた。本船では、これまでの避

難訓練で同様の内容を実施してはいないが、状況が違っても、避難誘導という目的のために適切に行動できるのは、毎月の避難訓練、日頃の乗客への接遇並びに職員の意識の高さ (社員教育等) の成果と思われる。

4.2 車いす使用者と歩行者群集の避難実験

詳細な避難性状について明らかにするために、車いす使用者と歩行者の集団 (以下、群集という) が船内通路で一緒に避難する際の挙動を調べる実験を実施した⁴⁻¹⁾。本節では、実験の概要、実験結果から導いた歩行者の心理状態や開口部が群集歩行に与える影響について述べる^{4-3), 4-4)}。

4.2.1 実験概要

車いす使用者が群集と共に、非パニック状態で直線通路を避難する場合を想定した実験を実施した。図 4-3 と図 4-4 には、本実験の様子を示す。

旅客船内通路に用いられる床材を張った歩行面と、ベニヤ板製の壁からなる、長さ 15 m の実験用通路を作成した。群集はこの通路内を移動し、車いす使用者を追い越す。群集は大学生 30 人か



図 4-3 船内通路の模型



図 4-4 実験の様子 (通路幅 2m)

らなり、識別のために、それぞれ、色の異なるヘルメットを着用した。実験の様子は、通路脇に設置したクレーン車の高度 30 m の位置に取り付けたビデオカメラで撮影した。

車いす使用者の移動速度を一定にするため、主として電動車いすを使用し、通路中央を走行した。実験条件として、先頭者の歩行速度は、通常の歩行速度である 1.5 m/sec とした。表 4-2 に示す条件を組み合わせて計 60 回の実験を行った。条件の内、歩行者の感情は、それらが車いす使用者との干渉（離隔距離等）に与える影響を見るために設定している。すべての歩行者にそれらの感情を持つよう指示した。なお、60 回の実験それぞれで条件の組み合わせは異なっているが、全ての組合せで実施してはいない。

実験の概要を図 4-5 に示す。通路幅は、車いすの両側を歩行者が通るため 2 m を基準とし、それを 3 m, 4 m, 5 m と段階的に広げていった。

取得したビデオ画像から、全ての歩行者と車いす使用者の座標データを取得し、アフィン変換⁴⁻⁵⁾によってカメラ位置等によるひずみを取り除いた。しかし、計 60 回の実験のうち、通路幅 5 m と 4 m のものは、画像のひずみが大きく補正が困難であったため、残りの 41 ケースを解析対象とした。図 4-6 は取得したビデオ画像（アフィン変換済み）の一例であり、通路幅 3 m、歩行開始時の密度 3 人/m² とし電動車いすを用いた場合のビデオ画像を示す。(a)から(d)の時間間隔は約 1.2 秒である。

4.2.2 車いす使用者と群集の相互干渉

本実験により、車いす使用者と群集が避難行動の際に示す両者の挙動の変化を観測することができ、以下のことが明らかになった⁴⁻¹⁾。

- (1) 幅 2 m 以上の通路における避難行動では、車いす使用者と群集と一緒に避難しても避難行動の速度は変わらない。
- (2) 歩行者の心理状態により、車いす使用者や周りの歩行者に対する行動が変化し、競争心もしくは意地悪な気持ちがあると、車いす使用者への接

表 4-2 実験条件

項目	内容
通路幅	2m, 3m, 4m, 5m, 開口部通過
歩行開始密度	2 人/m ² , 3 人/m ² , 4 人/m ² 初期配置の密度, 歩行中ではない
車いす使用者の状態	電動, 手動, 介助者押す, 停止 全て移動速度は 0.8m/sec 程度
歩行者の感情	設定無し, 車いす使用者への優しい気持ち／意地悪な気持ち, 他歩行者への競争心のあり／なし

近が見られる。

- (3) 歩行者に優しい気持ちがあると、各歩行者の歩行速度の変動が大きくなり、一部で一時的な速度低下があるが、群集の平均歩行速度としては低下しない。また、車いす使用者との接触は避けられるが、その分、周りの歩行者への接近が見られる場合がある。

- (4) 車いす使用者の行動の違いにより、周りの歩行者の挙動が変化する。速度一定の電動車いす並びに介助者が車いすを押す場合は、手動車いすと比べて、スムーズな追い越しになる。

- (5) 手動車いすは速度変動があり、歩行者が追い越しをする際にとまどいが見られた。ただし、本実験では車いすの移動速度を 0.8m/sec とし、通常の走行よりも遅く設定していたことも影響していると考えられる。

- (6) 開口部 3 m の通過では、群集の平均歩行速度

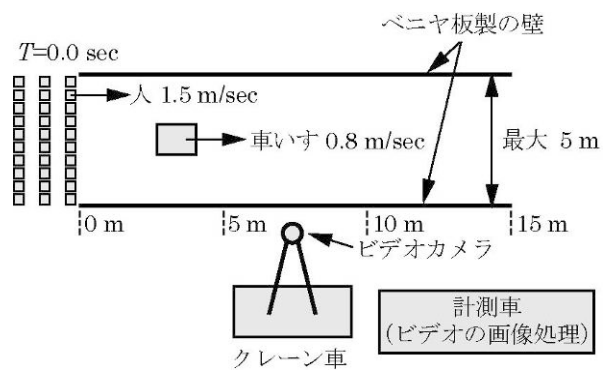


図 4-5 実験の概要

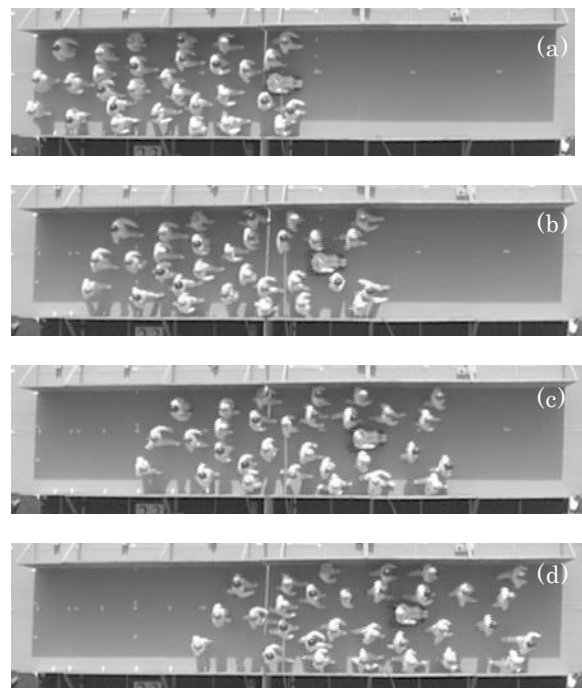


図 4-6 ビデオ画像例

並びに流出速度は、車いす使用者の影響を受けない。

(7) 2 m の開口部を通過する際、車いす使用者の側方並びに後方を通過する複数の歩行者に歩行速度の低下が見られる。また、開口部における車いす使用者の通過時間は歩行者の 3~4 倍に相当する。さらに、車いす使用者は群集の影響を受け停止する場合がある。

以上の通り、限られた条件ではあるが、車いす使用者と歩行者が共存する避難実験を実施し、相互干渉が、両者の行動にどのような影響があるかについて明らかにした。

現状のバリアフリー旅客船の最低通路幅は 0.8m であり、この通路幅では、歩行者が車いす使用者を追い越すことはできない。そのため、車いす使用者に合わせて移動することになる。通常の電動車いすの最高速度は 1.6 m/sec であり、手動車いすでも使用者によりさらに高い速度で走行できる。また、介助者が押して群集の歩行速度まで速度を上げることも可能である。これらの場合は、歩行者が車いす使用者を追い越せなくても問題ないとする。

4.3 車いす使用者を含む群集歩行のモデル化

前節に述べた避難実験の解析から、非パニック状態の群集が直線通路で車いす使用者を追い越す際の群集歩行モデルを構築した⁴⁻²⁾。これは、人間の予見・修正行動を含む認知サイクルや行動戦略選択ルール等を用いて避難時の基本的な行動を表す計算モデルである^{4-6)・4-8)}。

4.3.1 群集歩行モデルの概要

取得したビデオ画像から、群集の行動特性を抽出し、それらを表現するルールとして、以下の 5 項目からなる群集歩行モデルを提案した。なお、これ以降、進行方向とは壁と平行なものをいい、左右方向とは進行方向に対して直角をなすものをいう。

(1) 行動パターン選択ルール

車いすに対する歩行者の相対距離によって、歩行区域を図 4-7 に示す 4 つのゾーンに分け、そのゾーン毎に歩行者の行動パターンが切り替わるとした。接近ゾーンは、歩行者が車いす使用者に対して十分遠方にある区間であり、歩行者は車いすの影響を受けず、一定の進路を保つ。進路変更ゾーンは、歩行者が車いす使用者を避けるために、必要に応じて進路を変更する区間である。追い抜きゾーンは、進路変更を終了し、車いす使用者を追い抜きつつある区間である。追い抜き後ゾーンは、車いす使用者の追い抜きを終了した以降の区

間であり、歩行者は進路変更を開始する前の歩行位置に戻り、歩行を継続する。

(2) 進路変更ルール

歩行者は車いす使用者の追い抜きに際し、進路変更が必要な場合は、追い抜きゾーンに入る前に必要な進路変更が完了するよう進路変更を行う。歩行者が車いす使用者に対して右側にいる場合は右方向に、左側にいる場合は左方向に進路を変更する。

(3) 速度調整ルール

集団行動をしている歩行者は、他の歩行者との距離に従い、図 4-8 のように自らの速度を調整する。すなわち、歩行者は前方を歩行する者との位置関係について、快適と感じる区間（快適区間）があると仮定する。両者の距離が、その区間を構成する最短距離よりも短くなると減速して快適と感じる距離を確保しようとし、その区間を構成する最長距離よりも距離が長くなると加速して快適と感じる距離を確保しようとする。

(4) 回避行動ルール

歩行者が他の歩行者との衝突を回避するため、最も近い位置にいる他の歩行者の位置に対応し、進行方向及び左右方向に適正距離（快適区間の最短から最長距離の範囲）が維持されるよう速度を調整する。

(5) 認知活動サイクルルール

歩行者は、図 4-9 に示す(a) 希望、(b) 予測、(c) 修正、(d) 実行の 4 段階からなる認知活動のサイ

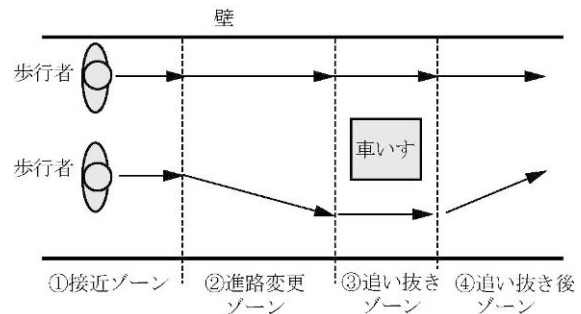


図 4-7 ゾーンによる進路変更ルール

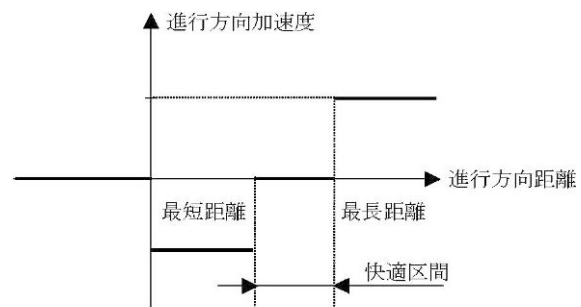


図 4-8 速度調整ルール

クルを行い、それを繰り返すことで継続的に行動する。

(a) 希望

他の歩行者や車いす使用者との相対区間により選択される意図を達成するよう希望速度を設定する。意図の種類は、速度維持、車いす回避、加速、移動しない(静止)、快適距離維持、追い越し前の進路に復帰する、の6種類とする。

(b) 予測

現在時刻の周囲の状況(速度・位置等)を基に、ある時間後に周囲の歩行者、車いす使用者並びに壁がどの位置にいるのかを計算する。各歩行者に関しては(a)希望の段階で設定した速度を実行した場合の位置を予測する。

(c) 修正

各歩行者は、上記で予測した各自の位置と他のオブジェクトとの位置関係から、回避行動ルールにより必要な修正を行う。

(d) 実行

最終的に決定された速度で実際に移動を行う。

上記(1)～(3)のルールは(a)希望で実施され、(4)のルールは(c)修正で実施される。群集の中で後続の者は(a)希望の段階で、進行方向に関して前方歩行者と常に快適距離を維持するという意図を採用する。これにより群集の行動をモデル化でき、シミュレーション計算が可能となる。

4.3.2 シミュレーション結果

上記のモデルに基づき、シミュレーション計算を行い、4.2節の実験結果と比較する。なお、シミュレーションは、電動車いすを用いた場合を対象とし、壁の制約による歩行者の行動への影響が比較的大きい通路幅2mと3mについて、それぞれ3種類の歩行者初期配置密度に対して実施した。

シミュレーション結果の一例として、図4.10に、図4-6の実験に対応するシミュレーションの表示画面を示す。各図の時間間隔は約1.2秒である。シミュレーションの初期条件として、同実験

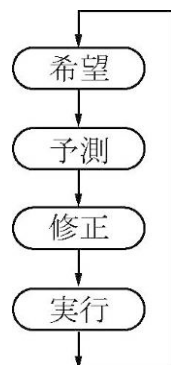


図 4-9 認知活動サイクル

の歩行者と車いす使用者の位置と速度を用いた。また、シミュレーション中の車いす使用者の位置は実測値を用いた。

図4-6と図4-10との比較から、シミュレーションにより車いす使用者および歩行者の一連の滑らかな動作を再現していることがわかる。さらに提案した群集歩行モデルによって得られた群集の全体的な動き、車いす使用者との相対位置関係による各歩行者の行動、車いす使用者を避けるための各歩行者の進路並びに歩行者相互間距離といった群集の行動特性は、実験結果と定性的傾向において一致しているといえる。さらに、実験とシミュレーションの数値データを基に、歩行者が車いす使用者を追い越す際の軌跡と位置の差異を比較し、本モデルが定量的にも適切であることを確認した。

シミュレーション計算の結果と実験結果とを比較・検討した結果、認知活動サイクルを含む本群集歩行モデルが概ね適切であることが確認できた。

4.4 避難シミュレーションプログラムの開発

本研究では、4.1節のバリアフリーフェリーでの避難実験並びに旅客船用避難シミュレーションプログラム⁴⁻⁹⁾を基に、障害者並びに高齢者を考慮した避難シミュレーションプログラムを開発した。

4.4.1 従来の旅客船用避難シミュレーションプログラム

旅客船用避難シミュレーションプログラムは、旅客船の一般配置図と、各避難者(旅客と職員)の初期配置、歩行速度並び避難開始時間に基づき、各避難者の避難時間(初期位置から集合場所までの移動に要した時間)、各避難者の滞留時間(混雑

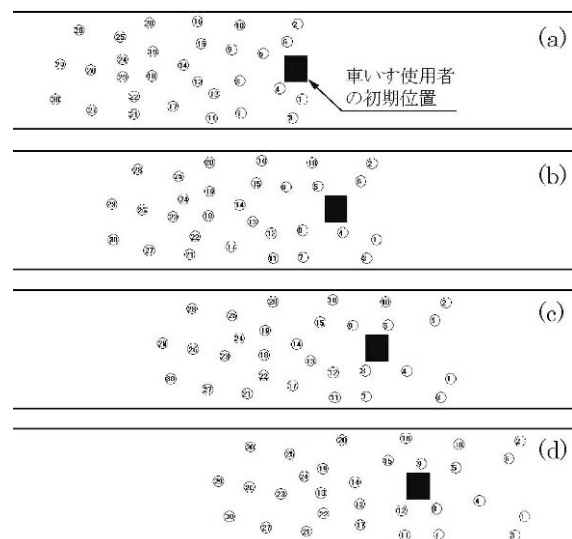


図 4-10 シミュレーション結果

した箇所で待つ時間)等を求めるものである。旅客船用避難シミュレーションプログラムでは、避難者の移動する経路は、図 4-11 に示すようにノード(避難者の初期位置と避難者が通る可能性のあるドア、通路、階段上に適当な間隔で置いた点)、パス(ノードをつなぐ線)及びスペース(部屋、通路、階段等の空間)で構成するネットワークで表される。各避難者は、ノードを越えるときに経路選択判断をする。その手順は、時々刻々、各避難者の集合場所に至るすべての経路について、自甲板上の歩行時間、自甲板上の滞留時間及び自甲板の階段から集合場所までの仮定した距離を歩く時間の和を計算し、それが最小値となる経路を選ぶというものである。さらに、自甲板の階段から集合場所までの仮定した距離を変化させ、全避難者が避難を終了する時間が最短になるように避難者の経路を振り分ける。本シミュレーションプログラムでは、この避難時間と避難者が通った経路を、それぞれ最短避難時間と最適避難経路としている。

4.4.2 障害者並びに高齢者を考慮した避難シミュレーションプログラムの開発

本研究で開発した避難シミュレーションプログラムでは、障害者の特性の反映、プログラムの効率的な運用、船の規模等に依存しない避難解析等を実現するため、従来のプログラムに対し主に次のような改良を行った。

- (1) 従来のプログラムを大幅に改良し、パソコン上で稼働できるようにした。さらに対象船のデータ入力方法を改良し、入力データの整合性を確認する機能を付加することで、プログラムの利便性を高めた。
- (2) 情報制約を持った障害者・高齢者の特性を反映するため、避難者の避難開始時間を個別に設定できるように改良した。これにより、IMO の暫定

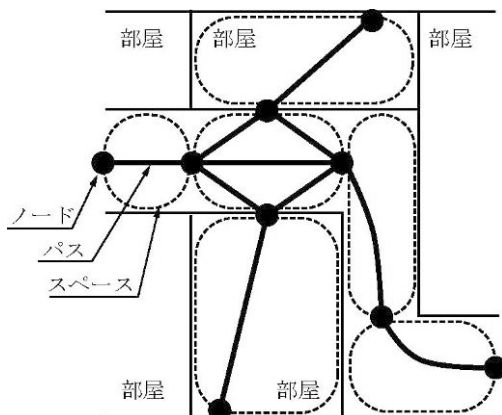


図 4-11 ノード・パス・スペースのネットワークモデル

避難解析指針 MSC/Circ.1033⁴⁻¹⁰⁾にも対応できる。(3) 移動制約を持った障害者・高齢者の特性を反映するため、避難者の歩行速度を個別に設定できるように改良した。これにより、MSC/Circ.1033にも対応できる。

(4) インターネットの電子メールを利用して対象船の入力データ等と解析結果の出力データ等を授受するアプリケーションサービスプロバイダ(ASP)を開発した(図 4-12)。ASP はパスワード認証やデータの暗号化により情報セキュリティが高められている。

4.4.3 避難シミュレーションプログラムによる

解析例 ⁴⁻¹¹⁾⁻⁴⁻¹⁴⁾

障害者・高齢者の特性を考慮した避難シミュレーションプログラムを用いて、図 4-13 のバリアフリーフェリーを対象に、集合場所を 4 階暴露甲板に限定し、車いす使用者を含む旅客の避難経路を求め、全避難者の避難時間と滞留時間を算出した。避難者の通路上及び階段での移動速度は、4.1 節のバリアフリーフェリー船上での模擬車いす使用者を含む避難実験で計測した結果を基に設定した。なお、非常時を想定しているため、甲板間の移動はエレベータではなく階段を用いた。

避難解析の条件を表 4-3 に、車いす使用者の人数と初期位置を表 4-4 に示す。各ケースとともに乗客は 892 人、職員は 60 人であり、ケース A は車いす使用者なし、ケース B は車いす使用者を 9 人、ケース C は車いす使用者を 36 人とした。ケース B は全人口の車いす使用者推定割合が 1% であること、ケース C は障害者・高齢者の全人口中推定割合の 4% であることから設定した値である。

図 4-14 にケース A から C の最短総避難時間でのそれぞれの避難経路(避難方向の分岐)を矢印で示している。車いす使用者の人数と初期位置により、3 階での避難方向の分岐箇所が変化することが示された。

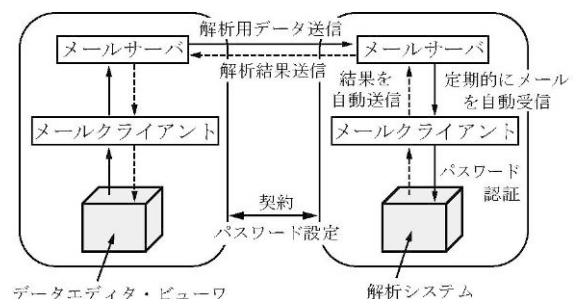


図 4-12 メールを利用した ASP 概要

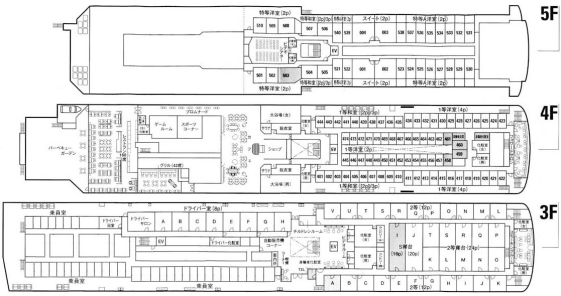


図 4-13 避難経路解析対象のフェリー一般配置図

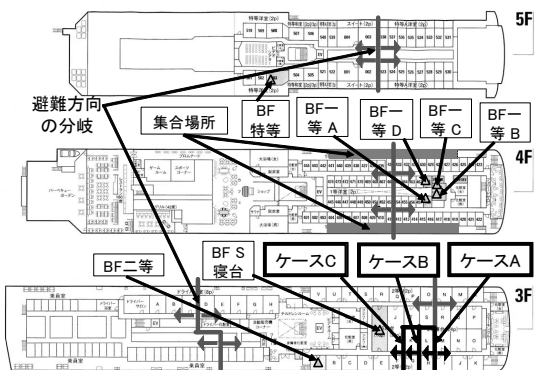


図 4-14 避難経路の分岐点の変化

表 4-3 避難解析の条件

避難者数	乗客	892 人
	職員（船員・サービス員）	60 人
避難開始場所	船室	
避難経路	階段のみ，エレベータは使用不可，階段では介助者が車いす使用者をおんぶ	
歩行者速度	平面	1.0 m/s
	階段	0.5 m/s
車いす使用者移動速度	平面	1.0 m/s
	階段	0.1 m/s

表 4-4 車いす使用者の人数と初期位置

甲板	初期配置と人数							車いす使用者の人数合計
	5 階	4 階					3 階	
移動手段	階段	水平移動のみ					階段	
クラス	BF 特等	BF 一等 A	BF 一等 B	BF 一等 C	BF 一等 D	BF 二等	BF S 寝台	
ケース A	0	0	0	0	0	0	0	0
ケース B	2	1	1	1	1	2	1	9
ケース C	2	2	2	2	2	12	14	36

さらに、同じフェリーを対象に、表 4.4 と同じ条件を前提にして、聴覚障害または視覚障害といった情報制約者を旅客の一部として設定した場合と、高齢者が含まれる場合について、上記と同様の避難解析を行った。

情報制約者が含まれる場合では、表 4-4 のケース B と同様に、情報制約者 9 人をバリアフリー客室 7 部屋に配置した。他の避難者は避難開始が一斉であるが、情報制約者の避難開始時刻がそれぞれ 10 秒、60 秒遅れることを想定し、それぞれケース D、E とした。なお、情報制約者の移動速度は、車いす使用者と同じく通路では 1.0 m/s，階段では 0.1 m/s と仮定した。解析結果として、表 4-5 に、全員が避難を完了した総避難時間と、3

表 4-5 総避難時間と避難の順番(952 人中)

	総避難時間(秒)	初期配置	
		BF 二等情報制約者①	BF 二等情報制約者②
ケース A	161	302 番※	686 番※
ケース D	178	397 番	952 番
ケース E	174	803 番	948 番

※ ケース A では情報制約者①と②と同じ初期配置の健常者の避難完了の順番

表 4-6 歩行速度

人員構成		通路平面(m/s)	階段上り(m/s)	階段下り(m/s)
高齢者	女性	0.57	0.37	0.45
	男性	0.85	0.39	0.51
その他避難者	女性	1.24	0.63	0.75
	男性	1.48	0.67	1.01

階バリアフリー二等客室から避難開始した情報制約者①と②が避難完了した順番を示す。但し、ケース A は情報制約者がいない場合で、表 4-4 のケース A と同じ条件及び結果である。即ち、表 4-5 のケース A は、情報制約者①と②に相当する初期配置の健常者の避難者が、一斉避難開始で避難完了した順番を示している。当該 2 人は同室であるが、各々の初期配置が室内で分かれていることと、当該 2 人が避難開始する際には通路に既に他の避難者がいることのため、当該 2 人の避難完了順番に差がついている。表 4-5、ケース D、E の結果が示すように、全員が避難を完了した総避難時間は大幅には変わらないが、情報制約者①と②の避難完了順位が遅くなっており、避難開始の遅れが影響している。

ケース F として、全旅客に占める高齢者の割合を 20%と、また移動速度については文献(4-10)を参考にして表 4-6 のように設定し、追い越しありとして、初期配置をランダムに変化させ 50 回の避難解析を実施した。総避難時間の解析結果を図 4-15 に示す。本解析では、階段前が滞留箇所となり、特に 3 階の階段前で避難者は待つことになる。3 階で避難集合場所からある程度以上遠いところ

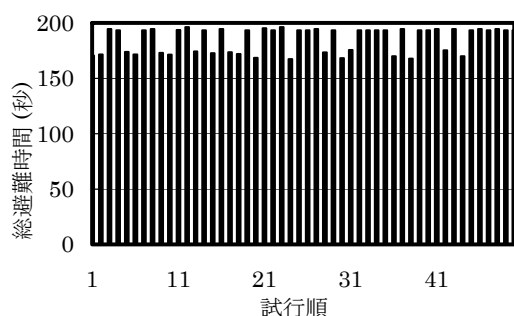


図 4-15 総避難時間の解析結果

に高齢者が配置された場合に、歩行速度の差が大きく追い越しありのため、階段昇降時の最後尾の方に高齢者が避難することになる。それらの高齢者の階段での歩行速度で総避難時間が決まってくるため 200 秒近傍に固まり、総避難時間は最大約 30 秒程度遅くなる。しかし、移動時間のみを示すこの総避難時間自体は、4.1 節で述べた操練観測において計測した避難開始に至るまでの時間に比べ十分に小さい。そのため、非常時発生のアナウンスから集合場所へ移動が完了するまでの全体の避難時間の中では、多少、移動時間が延びても、安全確保の観点からは問題ないと考えられる。

さらに、図 4-13 と同じフェリーを対象に、動揺による歩行速度の低下の影響についても本避難シミュレーションプログラムにより検討を行った。その結果、避難者の流れが合流する箇所において、避難者の待ち時間が顕著に長くなる等の避難性状の変化について明らかにすることができた。

以上の通り、バリアフリーフェリーを対象に、車いす使用者、情報制約者、高齢者が含まれる全避難者数 952 人の避難経路解析を行った。様々な特性を持った避難者が含まれる場合でも、移動時間を計算する避難シミュレーション上では、避難時間は十分短いということが確認された。本避難シミュレーションプログラムによる避難経路解析は、避難者の特性による避難時間の変化や混雑発生箇所を確認でき、避難性状の変化を把握する際に役立てることができると考える。

一方、4.1.2 節で述べた通り、実際の避難においては、避難開始から集合場所までの移動時間よりも、避難を開始するまでの時間及び誘導後の避難者確認等に要する時間が長い。さらに、障害者・高齢者への情報提示・状況説明手段についても課題が残っている。様々な特性を持った旅客の避難については、これらの点からも検証していく必要があると考える。

4.4.4 避難シミュレーションプログラムの活用

4.4.2 項で述べた通り、本避難シミュレーションプログラムは、IMO の暫定避難解析指針 MSC/Circ.1033 並びに HSC コードに対応した避難解析を行える。本プログラムにより同避難解析指針の問題点の抽出を行い⁴⁻¹⁵⁾、IMO へのインフォメーションペーパー提案⁴⁻¹⁶⁾等を行った結果、同避難解析指針の改訂に役立つことができた。また、内航高速船に対する HSC コードによる避難解析を行い、その結果が建造に活用された。このように、本プログラムは、旅客船のバリアフリー化だけでなく、一般的な旅客船の避難解析にも活用できる。

一方、4.4.3 項で述べた通り、本プログラムは避難経路の設計・検証に役立つだけでなく、避難者の特性に応じた避難経路と時間の変化や混雑発生箇所を確認できる。そのため、乗組員がこれらの避難性状の変化を事前に把握しておくことで避難誘導にも用いることができ、乗組員が様々な避難誘導状況に対応するトレーニングツールとしての展開も考えている⁴⁻¹⁷⁾。

さらに、実際の避難時にも活用できるよう、避難者の位置を解析の途中で出力したり、避難者の位置と通行不能箇所を途中で入力したりできるよう、本プログラムの改良を進めている。3.5.1 項の無線 LAN を利用した情報提供装置等を活用し、避難者の位置を検出することで、状況に応じた避難経路解析並びに誘導等に活用していくことも考えられる。

5. あとがき

旅客船のバリアフリー化を推進するため、平成 13 年度から 16 年度の 4 年間、指定研究において様々な研究項目を実施した。さらに、平成 17～18 年度の 2 年間、先導研究「旅客船におけるバリアフリー環境構築に関する研究」を実施し、情報提供機器に関する実験や避難シミュレーションプログラムの開発等を行った。研究開始時には、旅客船を利用する立場である障害者の方へのニーズ調査を行い、その後も、様々な機会に、障害者の方との乗船調査、バリアフリー旅客船を運航している会社への聞き取り調査、他分野での非常時対応の調査等を実施してきた。これらの調査結果は第 2 章に述べた。

第 3 章では、旅客船での車いす利用に関する研究についてまとめた。ここでは、乗船実験にも用いることのできる計測用車いすの開発を行い、手動車いすの走行特性について明らかにした。この計測用車いすは他の教育機関でも利用され、人間

工学や医療・福祉の分野でも活用されている⁵⁻¹⁾。さらに、旅客船内での手動車いすの挙動を求める走行シミュレーションプログラムを開発した。これにより、動揺している船内での通路幅について考察することができる。また、手動車いすの走行補助装置の開発、差動制限機構を利用した車いす走行補助装置、無段変速機構を有する手動車いす、それぞれのプロトタイプの開発について述べた。一方、情報提供機器に関する研究として、無線LANを利用した情報提供機器を提案した。さらに、聴覚障害者を対象とした閃光ライトの比較実験を実施し、基礎的な知見を得た。

第4章には、バリアフリー旅客船の非常時対応に関する研究として実施した避難実験並びにシミュレーションプログラムの開発についてまとめた。車いす使用者と歩行者群集を対象とした避難実験を実施し、両者が一緒に避難する際の行動をモデル化した。そして、人間の認知サイクルに着目した車いす使用者と群衆の相互干渉を表すシミュレーションプログラムを開発した。また、車いす使用者と歩行者群集の避難を表すデータ等を収集し、これを基に避難シミュレーションプログラムを開発した。そして、全船の避難経路解析を実施し、効率的な避難経路を求めることができた。

以上の通り、本指定研究並びに先導研究では、ニーズに基づき様々な課題を設定し、旅客船のバリアフリー化に貢献できるように様々な研究を実施した。個々の研究成果である開発された機器や技術資料、シミュレーションプログラム等は、それぞれ、船内での車いす使用者並びに情報制約者の安全性・快適性向上、障害者及び高齢者等の避難時の安全性確保に貢献した。十分な具体的成果を上げ研究を終了することができた。

最後に、本研究は外部機関との協力のもと研究を実施した。今後も外部研究機関とも協力して本研究で得られた成果を発展させて、障害者等の当事者並びに運航会社等に直接役立つ使いやすしいバリアフリー機器やシステムの開発等につなげていきたいと考えている。

謝 辞

本総合報告の一部には、本指定研究並びに先導研究と関連して実施いたしました。国土交通省海事局からの請負研究の成果も盛り込んでおります。関係者の方へ感謝いたします。

また、手動車いすの走行補助装置の開発等に協力いただいた法政大学工学部機械工学科の多くの卒業生並びに指導教員諸氏に深くお礼申し上げます。実船実験にご協力いただいた新潟医療福祉大

学大鍋寿一教授、新日本海フェリー株式会社の関係各位並びに聴覚障害者を対象とした情報提供機器に関する実験にご協力いただいた株式会社ワールドパイオニア、コビシ電機株式会社の関係各位に感謝いたします。最後に、避難実験等にご協力いただいた当研究所の宮田修主任研究員、太田進上席研究員をはじめ関係各位に感謝いたします。

参考文献

- 1-1) 運輸省海上技術安全局安全基準課監修：旅客船バリアフリー～設計マニュアル，交通エコロジー・モビリティ財団，2000年12月．
- 1-2) 今里元信，宮崎恵子，宮本武，データベースに基づくバリアフリー旅客船の検討，平成13年度（第1回）海上技術安全研究所研究発表会講演集，pp243-246，2001年6月．
- 1-3) 宮本武，宮崎恵子，今里元信，旅客船のバリアフリーについて，平成13年度（第1回）海上技術安全研究所研究発表会講演集，pp229-232，2001年6月．
- 1-4) 鎌田実，宮崎恵子，平田宏一，今里元信，Wheelchair Accessible and Barrier-free Design of Passenger Vessel in Japan, 9th International Conference on Mobility and Transport for Elderly and Disabled People, pp598-601, 2001.7.
- 1-5) 宮崎恵子他，バリアフリー旅客船に関する一考察，日本機械学会第10回交通・物流部門大会講演論文集，pp333-336, 2001年12月．
- 1-6) 宮崎恵子，今里元信，太田進，船舶のバリアフリーへの取り組み，平成14年度（第2回）海上技術安全研究所研究発表会講演集，pp239-242，2002年6月．
- 2-1) 宮崎恵子，旅客船におけるバリアフリー研究サイドからの提言－，日本航海学会海洋工学研究会，日本造船学会造船設計・技術研究委員会合同シンポジウム「旅客船におけるバリアフリー」論文集，pp89-105，2001年5月．
- 2-2) 宮崎恵子他，バリアフリーの現状と今後の課題について，日本造船学会誌 Techno Marine, 第875号，pp69-75，2003年9月．
- 2-3) 運輸省海上技術安全局船員部労働基準課（当時）監修，旅客船の安全教本，（社）日本旅客船協会，（社）日本外航客船協会，1997年1月．
- 2-4) （社）日本火災学会火災時の避難行動専門委員会，ワールドトレードセンターテロ事件時の避難行動に関する報告会，2003年3月．

- 2-5) (社) 日本建築学会エレベータ利用避難特別研究委員会, エレベータを利用した避難の可能性, 2005 年 2 月.
- 2-6) 寶田直之助, バリアフリーとは, 日本航海学会海洋工学研究会・日本造船学会造船設計技術研究委員会合同シンポジウム旅客船におけるバリアフリー, 2001 年 5 月.
- 2-7) (社) 全国脊椎損傷者連合会, 旅客船および旅客船ターミナルにおけるバリアフリーに関する調査研究報告書, (財)三井住友海上福祉財団平成 13 年度研究助成事業, 2003 年 2 月.
- 2-8) 村山雅己他, 移動制約者の船舶脱出設備利用に関する実験—シューター(降下式乗り込み装置)の利用ガイドライン—, 日本船舶海洋工学会誌 KANRIN 第 2 号, pp55-59, 2005 年 9 月.
- 3-1) 平田宏一, 牧田安弘, 榊原寛明, 河野哲平, 御法川学, 船舶バリアフリーのための模型車いすの開発, 日本機械学会第 10 回交通・物流部門大会講演論文集, p.341-342, 2001 年 12 月.
- 3-2) 平田宏一, 牧田安弘, 榊原寛明, 模型車いすの走行特性, 平成 14 年度(第 2 回)海上技術安全研究所研究発表会講演集, p. 387-390, 2002 年 6 月.
- 3-3) 平田宏一, 今里元信, 宮崎恵子, 船舶バリアフリーのための実験用車いすの開発, 日本設計工学会平成 13 年度春期研究発表講演会講演論文集, p.103-106 (2001 年).
- 3-4) 平田宏一, 今里元信, 宮崎恵子, 計測用車いすの開発, 平成 13 年度(第 1 回)海上技術安全研究所研究発表会講演集, p.241-242, 2001 年 6 月.
- 3-5) 今里元信, 宮崎恵子, 平田宏一, 旅客船内での車いす利用に関する研究, 日本設計工学会東北支部, 平成 12 年度研究発表講演会, p.48-49, 2000 年 10 月.
- 3-6) 今里元信, 阿曾薫, 宮崎恵子, 平田宏一, 太田進, 船内における車いすの走行限界の把握, 平成 13 年度(第 1 回)海上技術安全研究所研究発表会講演集, p.233-236, 2001 年 6 月.
- 3-7) 宮崎恵子, 平田宏一, 今里元信, 太田進, 斜面上における車いすの操作限界と負担感に関する調査, 平成 13 年度(第 1 回)海上技術安全研究所研究発表会講演集, p.247-250, 2001 年 6 月.
- 3-8) 宮崎恵子, 平田宏一, 今里元信, 船舶における手動車いす走行の評価指標, リハ工学カンファレンス 2001, p. 169-172, 2001 年 8 月.
- 3-9) 今里元信, 太田進, 平田宏一, 宮崎恵子, 旅客船内における車いすの走行シミュレーション(駆動力推定用基本モデルの開発), 日本航海学会論文集, 第 105 号, p.35-41, 2001 年 9 月.
- 3-10) 今里元信, 平田宏一, 旅客船内における車いすの走行シミュレーション(II. 船内車いす走行軌跡推定モデルの構築), 日本航海学会論文集, 第 109 号, p.161-169, 2003 年 9 月.
- 3-11) 今里元信, 宮崎恵子, 平田宏一, 太田進, 旅客船内における車いすの利用について, 日本機械学会第 10 回交通・物流部門大会講演論文集, p.337-340, 2001 年 12 月.
- 3-12) 今里元信, 平田宏一, 阿曾薫, 宮崎恵子, 太田進, 加速度条件下における車いす操作モデルの開発, 日本機械学会第 11 回交通・物流部門大会講演論文集, p. 303-306, 2002 年 12 月.
- 3-13) 平田宏一, 宮崎恵子, 河野哲平, 車いす走行補助装置の開発(その 1 自動ブレーキ制御機構の設計・試作), 平成 14 年度(第 2 回)海上技術安全研究所研究発表会講演集, p. 391-392, 2002 年 6 月.
- 3-14) 平田宏一, 高田康夫, 御法川学, 手動車いす用走行補助装置の開発, 日本機械学会第 11 回交通・物流部門大会講演論文集, p. 301-302, 2002 年 12 月.
- 3-15) 平田宏一, 宮崎恵子, 高田康夫, 車いす走行補助装置の開発(その 2 差動制限機構を利用した車いす走行補助装置の特性), 平成 15 年度(第 3 回)海上技術安全研究所研究発表会講演集, p. 393-394, 2003 年 6 月.
- 3-16) 手動車いす, 特開 2004-65603, 平成 16 年 3 月.
- 3-17) 平田宏一, 川田正國, 宮崎恵子, 無段変速機構を有する手動車いすの開発, 日本機械学会第 13 回交通・物流部門大会講演論文集, p. 281-282, 2004 年 12 月.
- 3-18) 無段変速機構を有する手動車椅子特開 2006-015025, 平成 18 年 1 月,
- 3-19) 平田宏一, 宮崎恵子, 川田正國, 無線 LAN を利用した旅客船用情報提供システムの提案, 日本機械学会第 14 回交通・物流部門大会講演論文集, p. 401-402, 2005 年 12 月.
- 3-20) 宮崎恵子他, 旅客船における聴覚障害者のための情報提供機器に関する基礎実験, 第 43 回日本交通科学協議会総会・学術講演会講演抄録, 2007 年 5 月.
- 4-1) 宮崎恵子, 勝原光治郎, 松倉洋史: 避難時の

- 人の流れ, 関西造船協会誌「らん」第60号, pp15-20, 2003年7月.
- 4-2) 宮崎恵子他; バリアフリーフェリーにおける模擬車いす利用者を含んだ避難実験, 第4回海上技術安全研究所研究発表会講演集, pp315-316, 2004年7月.
- 4-3) 宮崎恵子他, 車いすと群集流の避難実験, 平成14年度(第2回)海上技術安全研究所研究発表会講演集, pp383-386, 2002年6月.
- 4-4) 宮崎恵子他: 車いす搭乗者と歩行者群集の避難実験, 日本航海学会論文集第108, pp129-138, 2003年3月.
- 4-5) 高木幹雄・下田陽久監修: 画像解析ハンドブック, pp427, (財)東京大学出版会, 1995年11月.
- 4-6) 松倉洋史他: 車いすと群集流の避難シミュレーション, 平成14年度(第2回)海上技術安全研究所研究発表会講演集, pp233-237, 2002年6月.
- 4-7) 松倉洋史他: 群集による車いす搭乗者追い越し人間モデルの研究, 日本航海学会論文集第108号, pp139-147, 2003年3月.
- 4-8) Keiko Miyazaki, Hiroshi Matsukura, Mitujiro Katuhara, Koichi Yoshida, Susumu Ota, Nobuo Kiriya, Osamu Miyata: Behaviors of Pedestrian Group Overtaking Wheelchair User, Proceedings of the 2ed International Conference in Pedestrian and Evacuation Dynamics, pp267-278, 2003.8.
- 4-9) 勝原他; 船上の避難行動のシミュレーションー□, 日本航海学会論文集第96号, pp283-293, 1997.3
- 4-10) International Maritime Organization (IMO), "Interim Guidelines for Evacuation Analyses for new and Existing Passenger Ships", MSC/Circ.1033, UK, 2002.
- 4-11) Keiko Miyazaki, Mitujiro Katuhara, Hiroshi Matsukura, Koichi Hirata : Evacuation Simulation for Disabled People in Passenger Ship, Proceedings of 10th International Conference on Mobility and Transport for Elderly and Disabled People (TRANSED2004), pp225-230, 2004.5.
- 4-12) 宮崎恵子他: 避難シミュレーションを用いたバリアフリーフェリーの避難経路の検討, 日本機械学会第13回交通・物流部門大会講演論文集, pp283-284, 2004年12月.
- 4-13) 宮崎恵子他: 避難シミュレーションを用いた高齢者等の船舶内避難経路の検討, 日本機械学会第14回交通・物流部門大会講演論文集, 2005年12月.
- 4-14) 宮崎恵子, 平田宏一, 今井康之他: 避難シミュレーションを用いた高齢者等の船舶内避難経路の検討(第2報乗客特性の影響), 日本機械学会第15回交通・物流部門大会講演論文集, 2006年12月.
- 4-15) Keiko Miyazaki et al.: Application of and Consideration to the IMO Guidelines for Evacuation Analysis for Passenger Ships, Proceedings of 2nd International Maritime Conference on Design for Safety, 2004.10.
- 4-16) Susumu Ota, Keiko Miyazaki et al.: Example of evacuation analysis and discussion points on MSC/Circ.1033, IMO FP49/INF.3, ANNEX, 2004.10.
- 4-17) Keiko Miyazaki et al.: A Support System for Flexible Arrangements of Escape Routes on Passenger Ships, Proceedings of the 7th International Symposium on Marine Engineering, 2005.11.
- 5-1) 中村孝文, 北濱由佳, 田内雅規, 平田宏一, 宮崎恵子, 健常者の車椅子操作時の筋活動及び動作特性, 人間工学会誌, 第40巻特別号(日本人間工学会第45回大会講演集), p.414-415, 2004年6月.