

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 13 日現在

機関番号：32714

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500661

研究課題名(和文) 視覚障害者向け商業施設内誘導インタフェースの開発

研究課題名(英文) Development of Ambulatory Navigation Interface for the Visually Impaired in the Commercial Facility

研究代表者

高尾 秀伸 (Takao, Hidenobu)

神奈川工科大学・創造工学部・准教授

研究者番号：60329307

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円、(間接経費) 1,170,000円

研究成果の概要(和文)：「買い物」という日常的な生活行動を対象として、商業施設において視覚障害者を的確かつ快適に目的の売り場および商品へと誘導するナビゲーションインタフェースの開発に成功した。開発においては、ISO9241-210人間中心設計の開発プロセスに準拠することで、機能性だけでなく視覚障害者の認知行動特性を実験的に踏まえたインタフェースの設計・実装を行った。その結果、実証実験において、従来ではほぼ不可能であった、単独で店舗内を探索し、目的の商品をレジまで誰にも頼ることなく持参できる、高いユーザビリティを備えたシステムを実現することができた。

研究成果の概要(英文)：We developed the ambulatory navigation interface for the Visually Impaired in the commercial Facility. The characteristics of this interface were 1) AR by the 3D sounds interface and 2) designed in conformity with ISO9241-210 "Ergonomics of human-system interaction -- Part 210: Human-centred design for interactive systems". The usability test showed that the walking speed is significantly higher, and the mental workload score is significantly lower than the conventional guidance method.

研究分野：複合領域

科研費の分科・細目：人間医工学

キーワード：視覚障害 ナビゲーション 立体音響 拡張現実 ユーザインタフェース 人間中心設計 買い物

## 1. 研究開始当初の背景

障害者自立支援法およびバリアフリー新法の施行により、視覚障害者による外出機会の増加が期待されている。しかし、従来の点字表示や触地図のみでは空間認知が不十分で道に迷いやすいと考えられる。また、最近では音声言語による案内機能を備えているものがあるが、言葉を記憶しておくことと距離や方角での指示を実空間と照合することにおいて認知負担が大きく、特に初心者には慣れるまでに訓練が必要と考えられる。そこで、記憶や空間認知においてより低負担な呈示方法が必要となる。この点において、H19~20年度・科研費・若手(B)研究にて、ユーザの目前に仮想のガイド音を立体音像として提示し続け、これを頼りに歩行することにより、他人の手を借りることなく、認知負担が低く、初心者でも効率的に目的地まで案内を行うユーザインタフェース(UI)を備えたシステムの開発に成功した。

当該システムを実用化するためには様々な点について検討を重ねる必要があるが、特に、頻繁に行う生活行動に焦点を当てることで、実用性の高い機能を提供できると考えられる。この点について、視覚障害者を対象とした日常生活の不便さ調査によると、スーパーマーケットやショッピングモールなどの商業施設において「売り場の位置がわからない」、「商品の位置がわからない」といった問題に直面していることが指摘されている。

## 2. 研究の目的

「買い物」という日常的な生活行動を対象として、商業施設において視覚障害者を的確かつ快適に目的の売り場および商品へと誘導するナビゲーションインタフェースの開発を行う。開発においては、ISO9241-210 人間中心設計の開発プロセスに準拠することで、機能性だけでなく視覚障害者の認知行動特性を実験的に踏まえたユーザビリティを備えたシステムを目指す。

## 3. 研究の方法

コンセプトは視覚障害者が、1)聴覚情報を頼りに売り場内/間を単独で移動できること、および 2)商品の位置情報が単独で理解できることである。これらを実現するため、一般的な開発プロセスに人間中心設計の概念を導入して当初からユーザビリティを考慮した機能設計を行う。

<H23年度>

企画および概念設計フェーズと位置づける。研究【1】フィールド調査によって視覚障害者が商業施設の売り場を移動する際の問題点および、空間認知の特徴をまとめ、「問題シナリオ」を作成する。これをユーザ要求事項とし、要求仕様および制約条件を明確化する。具体的には、研究【2】にて現在開発進行中の立体音響メニューを発展させることで、コンセプト1における行き先設定およ

び、コンセプト2の実現のための基礎的な人間特性を得る。平行して、研究【3】ではコンセプト1を実現させるために必要となるに諸認知特性について基礎的検討を行う。

<H24年度>

設計値導出および詳細設計フェーズと位置づける。活動シナリオで定義した要求仕様について、具体的な設計値を得るため研究【4】設計値導出実験を行い、詳細設計を行う。

<H25年度>

研究【5】システムの統合実装を行う。実装されたシステムは研究【6】ユーザビリティ実証実験にて、人間工学的評価を行う。

## 4. 研究成果

(1)フィールド調査による問題シナリオの導出(研究【1】)

商業施設内ナビゲーションシステムの設計

本システムの設計にはISO9241-210に規定された人間中心設計のプロセスを用いる。

本調査では全盲の視覚障害者3名を被験者とし、課題として設定した商品の探索を行うフィールド調査を実際の店舗を利用して行った。また、フィールド調査の前後にはインタビューによる調査も実施した。フィールド調査では現場に近い利用状況の収集および問題シナリオ導出を目的とした。一方、インタビュー調査では、フィールド調査と平行して行うことにより文脈依存効果による記憶の再生を促し、より多くの買い物行動事例の収集を行うことを目的とした。

結果

本調査ではバーバルプロトコル法を用い、問題シナリオを導出した。以下はその一例である(図1)。この図は上から時系列順に項目が並んでおり、要約した被験者の行動(左列)に加え、インタビューおよびフィールド調査で報告された不満・要望(右列)を併記した。これにより、インタビューのように時系列を加味していない報告についても、実際の時系列(シナリオ)上のどの時点で発生しているかを参照することが可能となった。

左列の色分けは報告された場所を表し、右列は不満・要望のカテゴリの分類を表した。左端の上下に伸びる矢印は、目的別に分類した行動の段階を示した。この例では「教示」・「商品探索」および「レジへ」の3段階が存在している。

このシナリオではサンドイッチの探索を行っている。図からは、被験者は売場までは自力で到達できることが読み取れた。問題はその先にあり、まず商品が売場内のどこに位置しているかがわからず、更に商品前では商品の中身を特定できずに、結果として探索を断念している。前者は自力で気づき解決することができたが、後者は情報を得ようにも食品という商品の特性上、触覚を多用して情報収集を行うことができない。情報利用の制限は、視覚障害者にとって情報取得の選択肢を

更に狭めることになるため問題である。また、個人の努力で解決できない点でも重大な問題と思われる。故に、次の設計段階では、何らかの情報の補完を行う機能設計が必要といえる。

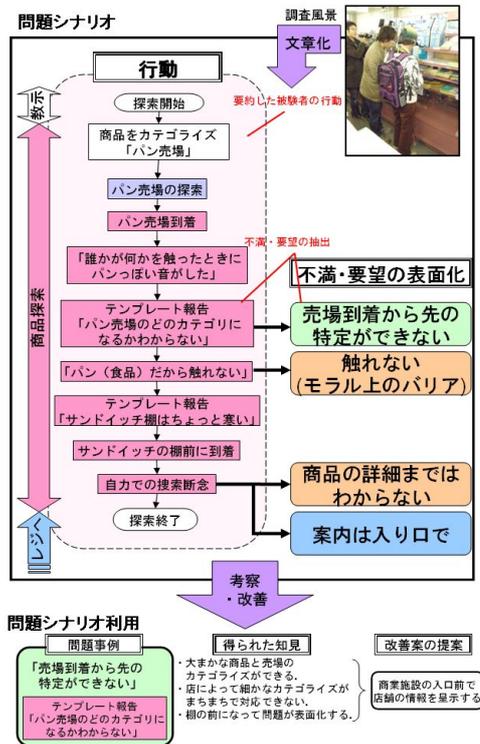


図1 問題シナリオ例

## (2) 間接音の付加による仮想音響空間の現実感向上の検討 (研究【2】【3])

### システム構成

ナビゲーションシステムは、利用者を誘導する「ナビゲーション音機能」、周りの環境情報を呈示する「サウンドマーク音機能」等があり、これらは立体音響を用いて呈示されている。本研究では、立体音響生成ソフトウェアを複数同時起動し、個別に制御可能なプラグインソフトを開発した。

### 評価実験

実環境下で仮想音源に間接音を付加した場合、仮想音響空間が実音響空間をどの程度再現しているのか、評価を行った。

実験場として、神奈川工科大学 E1 号館 1 階のエントランスを使用した。実験はスピーカから呈示する「実音源」と、ヘッドホンから呈示される「仮想音源」とを交互に呈示し、音響空間の印象の比較を行った。実験条件は従来までの「間接音無し」条件および、実験場の間接音を計算し仮想音源に付加し呈示する「間接音有り」条件の計 2 条件を行った。これら仮想音源を呈示中、仮想音源の方位および距離に実音源と差を感じた場合、被験者は実験者へ指示を行い、実音源であるスピーカを動かす事で方位および距離の回答を行った。また、空間の印象を評価グリッド法を用いた主観評価を行い、音響空間の印象から

「音の広がり」について知覚しているのかわかるかにする。

### 結果

実験の結果、被験者は実音源と仮想音源で方向の差を知覚する事が出来なかった。これは、従来の「間接音無し」条件でも「方向」を再現しているため、差を知覚する事が出来なかったと考えられる。しかし、距離の知覚は、条件間で差を感じており、それぞれの距離を測定した。その結果、「間接音有り」条件では「間接音無し」条件と比較し、距離の誤差が最大 483cm 改善した(図 2)。

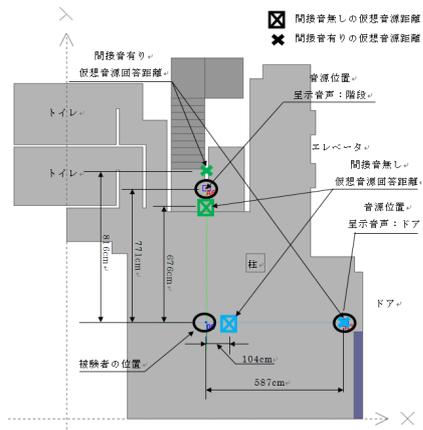


図2 実験場内における仮想音源と実音源の距離の比較

また、「間接音有り」条件において、「空間印象が同じ」という評価構造モデルから「ほぼ同じ距離を感じられる」という報告があり、これらの結果から、実空間でも距離を知覚していると考えられる。また、「音の広がり」について、「間接音有り」条件では、「音源の場所との独特の響きを再現している」等といった評価から、本システムの仮想音響空間で間接音を呈示する事で、視覚障害者が空間認知に利用している「音の広がり」を呈示する事ができたと考えられる。

## (3) 立体音響を用いた商品陳列棚の配列呈示インタフェースの検討 (研究【2】【3】【4])

### 音階呈示時の正中面での知覚方位誤差調査実験

実験に使用する音源は Midi のピアノ音源による「音階」、「バンドノイズ」ならびに「音階+バンドノイズ」の 3 条件とし、仮想音源および実音源で知覚方位誤差を比較することで、仮想音源の有用性の評価を行う。バンドノイズは、ピンクノイズに対して正中面上での角度弁別に必要とされている周波数帯域である 4.8kHz から 9.6kHz(4) をバンドパスした。

被験者の前方 1m の地点を基準として床と直交する垂線を作成し、被験者の肩の高さを基準として垂線上に 10 度間隔で計 7 個のスピーカを配置し、実音源の呈示を行った。また、同様の位置となる仮想音源を作成し、開

放型ヘッドホンよりバイノーラル呈示を行った。

今回は視覚障害者の利用を想定して、被験者にはアイマスクを装着させた。また、指示棒を持たせ音像位置を指し示させることで回答を行わせた。被験者は健聴・晴眼の成人男性6名(20歳から25歳)とした。

#### 結果

音階はそのままでは実音源より定位が不正確であり、仮想音源呈示時は音階とバンドノイズを組み合わせて使用することで知覚方位誤差が有意に減少することが明らかになった。

陳列棚配列呈示における音源の妥当性の評価

知覚方位誤差が最も少なく、実音源と同等の定位特性を得られる音階+バンドノイズ条件について、陳列棚の配列呈示に利用可能かどうか検討を行った。

まず、音階+バンドノイズ条件の知覚方位誤差の測定結果から近似曲線を作成し、二次多項式を導出した(図3)。

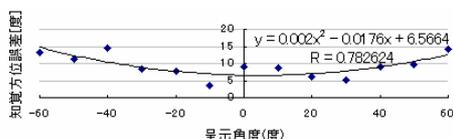


図3 知覚方位誤差の近似曲線

次に、求めた二次多項式を用いて、音源の呈示位置を棚の各段の中央としたときの知覚方位誤差を算出した。このときの利用者と陳列棚間の距離は50cmとした。その結果、頭部に近い上から3段目までであれば、他の段と誤差の範囲が重複せず、棚の寸法値の範囲内に収まることが明らかになった(例:6段目棚間隔=18.5cm>6段目誤差範囲=11.7cm)。このことから、実用上問題ないと考えられる。

(4) 拡張現実空間における残響時間の変化が音像の距離知覚に与える影響の検討(研究【2】【3】【4】)

#### 残響時間が距離知覚に及ぼす影響の検討

標準刺激および比較刺激には、仮想音源を用いた。被験者は健聴な聴力を持つ心身共に健康な23歳(±1歳)の男性健常者6名で行った。実験は神奈川工科大学D3号館5階507号室、認知行動科学測定研究室で行った。本実験において独立変数を『標準刺激の距離』(1m, 2m, 4m, 6m, 10m)(5水準)および残響時間『0.0s, 0.1s, 0.3s, 0.6s, 0.9s, 1.2s』(6水準)の2要因とし、従属変数を『音源距離に対する音像距離』とした。

#### 結果

a. 音像の距離知覚の精度が高い残響時間条件

1~10mの距離において、実音響空間の残響時間が0~1.2sである場合、それと同等の残響時間を仮想音響空間に付加し、双方の残響時

間差を無くす事が最も望ましい。

b. 近距離における残響の有無が音像の距離知覚に与える影響

実音響空間に0.1s以上の残響がある条件で、かつそれと仮想音響空間に残響時間差が生じる場合、1mの距離において精度の高い音像の距離知覚を行うためには、仮想音響空間に0.1~1.2sの残響時間を持たせることが望ましい。

c. 拡張現実音響空間における実音響空間に対する仮想音響空間の許容残響時間誤差

拡張現実音響空間における実音響空間の残響時間が0.1s以上0.3s未満である場合、それと仮想音響空間の間に残響時間差が生じると精度の高い音像の距離知覚が行えない。実音響空間及び仮想音響空間の残響時間差を0sとすることが望ましい。

拡張現実音響空間における実音響空間の残響時間が0.3s以上1.2s以下である場合、精度の高い音像の距離知覚を行うためには実音響空間に対する仮想音響空間の残響時間差を0~0.3s以内にする事が望ましい。

#### (5) 統合実装および実証実験(研究【5】【6】) システム概要

本システムは、一般的な商業施設における入店から目的商品購入までの行動フローとして、1)店舗内構造の把握、2)目的の陳列棚への到達ならびに、3)目的商品の探索という一連をサポートする機能設計を行った。

まず、上記1)では、歩行中の進むべき方向、レジ、複数の陳列棚から構成される売り場コーナー、各陳列棚ならびに商品の実際に存在する位置から立体的に音源を呈示することにより、直観的に進行方向や各アイテムの店舗内における空間的な位置関係が認知できるようにする。ナビゲーションのための現在地測位は床面に敷設されたRFIDタグの位置座標を白杖の先端に装着したRFIDタグリーダーで読み取ることで行う。

次に2)では、ユーザの現在位置から目的の陳列棚までの最短ルートを随時計算し、ルート上を歩行させるために、進むべき方向から誘導音を立体的に呈示し続けることで、これを頼りに目的の陳列棚まで歩行させる。また、歩行中にユーザが各売り場コーナーへ接近した際にはその売り場コーナー名をその場所から立体的に音声呈示することで、ユーザが現在位置を把握できるようにした。

最後に、3)では、まず、ユーザの正面にある陳列棚の段毎の商品ジャンル情報をユーザ任意のタイミングで呈示する。次に商品もしくは陳列棚に手を触れると、それぞれに設置されたRFIDタグを手の甲部に装着したRFIDリーダーが認識することで商品情報を立体的に音声呈示する。音声は、完全開放型ヘッドホン(PFR-V1, SONY)から呈示することで、実音響空間に仮想音響空間を重畳した。

#### 実証実験

開発システムの実証評価を行うため、全盲

の視覚障害者2名と弱視の視覚障害者1名を実験協力者とし、実験場所は神奈川工科大学・幾徳会館通路および館内の売店とした。実験条件は、「従来条件」および「開発システム条件」の2つとした。従来条件は、従来の誘導方法を模した誘導方法で行った。具体的には、実験者が口頭で陳列棚情報および現在位置情報を伝えた。陳列棚情報は「入り口を背に左から、飲料水・パンコーナー、菓子・カップ麺コーナー、菓子・文房具コーナー、文房具・書籍コーナー」とした。現在位置情報はコーナー名および棚ジャンル名(例えば「カップ麺・ラーメンの棚の周辺です」とした。さらに、これらに加え、店舗の上面図を模式的に表した触地図(各アイテムは点字表記)を随時使用することで空間把握を行ってもらった。

実験手順は、それぞれの条件で、幾徳会館内の開始地点から売店まで移動し、目的の商品2種類を買い物行動した後、レジまで移動していただいた。

評価項目は実験時に撮影したビデオ映像から達成率、歩行距離、達成時間、歩行速度、メンタルワークロード(NASA-TLX)ならびに、評価構造モデル(評価グリッド法)の5つとした。

#### 結果・考察

達成率は、商品情報が特に提供されない従来条件は0%であったのに対し、商品情報を直接触れて確かめる機能を有する開発条件は、100%であった。

実験タスク全体での歩行距離、達成時間には、条件間に大差は見られなかった。これは、開発条件において、2人のユーザが経路案内の誘導音を意図的に無視して、店舗内を歩行することで探索を行ったためであることが実験後の聞き取りでわかった。そこで、目的の陳列棚への到達における歩行速度を算出したところ、従来条件に比べ開発条件が29.5%高かった(図4)。条件間でt検定を行った結果、5%水準で有意差が認められた(両側検定: $t(10)=2.228, p=0.019<0.05$ )。

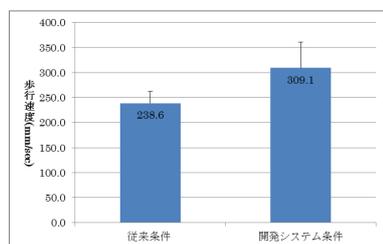


図4 目的商品探索時の歩行速度

さらに、評価構造モデルにおいて、「誘導音(歩行ナビゲーション機能)があることで、道順を考えることが少ないので、スムーズに歩行できる」といった意見や「売り場コーナー名が空間的に呈示されることで、現在位置を把握しやすく、立ち止まることなく歩行できた」といった意見が多く見られた。また、メン

タルワークロードについて従来条件に比べ開発条件が33.3%低減された(図5)。条件間でt検定を行った結果、5%水準で有意差が認められた

(両側検定: $t(4)=2.776, p=0.021<0.05$ )。

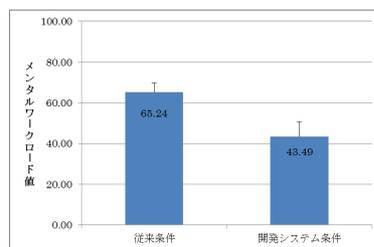


図5 メンタルワークロード値

以上から、音声言語や触地図による空間情報は、視覚障害者が認知している実空間と大きく異なる情報形式(コード)であるため、意味を理解した後に実空間との整合性を認知する必要があるため、歩行速度の低下を招いていることが考えられる。一方、開発システムでは、進行方向および周辺情報を拡張現実として呈示したことにより、仮想-実空間の整合がスムーズに行われ、認知的に低負担であったため、歩行速度が低下しなかったと考えられる。

#### (6) 結論

「買い物」という日常生活行動を対象として、商業施設において視覚障害者を的確かつ快適に目的の売り場および商品へと誘導するナビゲーションインタフェースの開発に成功した。開発においては、ISO9241-210人間中心設計の開発プロセスに準拠することで、機能性だけでなく視覚障害者の認知行動特性を実験的に踏まえたインタフェースの構築を行った。

実証実験の結果、これまでほぼ不可能であった、単独で店舗内を探索し、目的の商品をレジまで誰にも頼ることなく持参することが可能であることが確かめられ、かつ高いユーザビリティを備えていることが示された。このような成果は国内外でもほとんど例がなく、本研究の成果は高い新規性と有用性を実証することができたと考えられる。

今後は、さらに実用化に向けた研究として、行き先設定機能の追加、商品探索支援機能の強化、様々な店舗形態に対応させることが考えられる。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表](計8件)

片山 遼介, 高尾 秀伸, “視覚障害者向け買い物行動支援システムの開発”, 人間工学会第55回大会講演集, pp304-305, 2014年6月6日, 神戸国際会議場

吉川 輝, 相原 達也, 高尾 秀伸:” 拡張

現実空間における残響時間の変化が音像の距離知覚に与える影響”, 日本人間工学会第 22 回システム大会抄録集, AE14-02, 2014 年 3 月 14 日, 八王子セミナーハウス

吉川 輝, 佐々木 大輔, 高尾 秀伸: "残響時間の有無が仮想音の距離知覚に及ぼす影響", 日本人間工学会第 21 回システム大会抄録集, pp. 35-36, 2013 年 3 月 15 日, 八王子セミナーハウス

久保田 敦大, 高尾 秀伸: "視覚障がい者向け商業施設内ナビゲーションシステムの開発", 日本人間工学会第 21 回システム大会抄録集, pp. 41-42, 2013 年 3 月 15 日, 八王子セミナーハウス

久保田 敦大, 高尾 秀伸, "立体音響を用いた商品陳列棚の配列表示インタフェースの検討 音階情報表示時の正中面定位特性", 日本人間工学会関東支部第 42 回大会抄録集, pp. 98-99, 2012 年 12 月 1 日, 東京電機大学

久保田 敦大, 吉川 輝, 露崎 高広, 高尾 秀伸, "視覚障害者向け商品情報提供システムの開発 立体音響を用いた商品位置情報表示", ヒューマンインタフェースシンポジウム 2012 抄録集, pp. 367-372, 2012 年 9 月 5 日, 九州大学

露崎 高広, 高尾 秀伸: "視覚障害者向け歩行ナビゲーションシステム-間接音の付加による仮想音響空間の現実感向上の検討-", 日本人間工学会第 20 回システム大会抄録集, AE12-06, 2012 年 3 月 17 日, 首都大学東京

吉川 輝, 高尾 秀伸: "残響時間の変化が仮想音の距離知覚に及ぼす影響の検討", 日本人間工学会第 20 回システム大会抄録集, AE12-04, 2012 年 3 月 17 日, 首都大学東京

〔その他〕

ホームページ等

サイトワールド 2013 出展

「視覚障害者向け立体音響ナビゲーションシステムの開発」

<http://www.sight-world.com/2013/report.htm>

毎日新聞デジタル版: 店舗の位置や方向を音声ガイドする立体音響ナビゲーションシステム

<http://mainichi.jp/universalon/news/20131111mog00m040012000c.html>

AccSell: 号外: サイトワールド 2013 特集 第 7 回 -- 神奈川工科大学

<http://accsell.net/podcast/sw2013-07.html>

シンタックスジャパン社: 「世の中で困っている人達の役に立ちたい」 - 神奈川工科大学 創造工学部

<http://www.synthax.jp/user-companies/articles/kait.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高尾 秀伸 (TAKAO Hidenobu)

神奈川工科大学・創造工学部・准教授

研究者番号: 60329307