

(7) デプスと色情報の統合による 車椅子バリアの検証と3次元マッピング

高橋 里緒¹・檀 寛成²・安室 喜弘³

¹非会員 関西大学大学院 理工学研究科 環境都市工学専攻 都市システム工学分野

(〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35) E-mail: media.englab.tostemkuniv15@gmail.com

²非会員 関西大学准教授 環境都市工学部 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35)

³正会員 関西大学教授 環境都市工学部 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35)

E-mail: yasumuro@kansai-u.ac.jp

近年、我が国では高齢者の急速な増加に伴い、車椅子ユーザが増加傾向にある。福祉政策により新しい施設のバリアフリー化は進むものの、既存の物理的バリアの詳細な検証や把握は容易ではなく、身近な環境に見過ごされたバリアが多く存在する。デプスカメラで物理的バリアを検証し、実時間で AR (Augmented Reality) 表示する既往研究では、検証結果を蓄積・閲覧する方法が考慮されていない。本研究では、バリアデータと共に検証に使った入力画像を記録し、SfM (Structure from Motion) により検証空間の 3 次元モデルを構築する。そこにバリアデータを配置する方法を提案する。バリア情報を含めた実環境を 3 次元マップ化することにより、バリアの存在が立体的に記録・確認でき、施設管理に役立つと期待される。

Key Words: wheelchair, barrier-free, depth camera, 3D point cloud, augmented reality, SfM

1. はじめに

近年、少子高齢化が加速する日本社会では、国民人口における高齢者の割合が高まっており、平成 27 年現在の高齢者数は約 3,400 万人、高齢化率は 26.7%である¹⁾。また、高齢者の外出率は 6 割前後となっており、高齢者が気兼ねなく外出できるための環境整備が必要とされている²⁾。高齢者もよく利用する車椅子での移動では、設備品の出っ張りや動的な配置物による日常的な物理的バリアが生活の障害となりやすい。平成 18 年にはバリアフリー新法が制定され、バリアフリーマップの整備も普及しているが、特に既存施設におけるバリアフリー化は進みにくいという現状があり、車椅子利用者の生活環境をカバーするようなバリア情報も得難い。また、こうしたバリアを、施設の管理者は日常的に把握することが難しいという現状がある³⁾。したがって本研究では、健常者が物理的バリアを容易に検証し今後の施設管理に役立てるシステムを提案する。気づきにくい身近なバリアを容易に検証することが可能となり、施設管理者が現状の実態を把握・改善しやすくなることで、バリアフリーな環境づくりに役立てることを目的とする。

2. 関連研究・技術

(1) 現在のバリア検証方法

現在、具体的な福祉住環境整備を検討するための実施手順は 4 段階に設定されている。まず障害者の生活動作を把握するためのチェックシートの記入を行い、次に改修希望箇所を方眼紙やスケールなどを用いて計測し、さらに採寸したデータから見取り図の作成を行い、最後に見落としのないように現状写真の撮影を行う⁴⁾。この手順には多くの時間と費用が付きものであるがゆえに、バリアフリー推進のためにバリア検証簡易化の需要があると考えられる。

(2) デプスカメラを用いた車椅子利用者のための物理的バリアの可視化検証

筆者らは、デプスカメラにより取得される実空間の 3 次元点群上で、実時間で車椅子が占める空間と周辺の物体との干渉を検知するシステムを提案した⁵⁾。実寸で作成した車椅子モデルを、点群から推定した床平面上に設置し、車椅子モデルの占める空間と周辺環境の点群との交差判定によりバリアを確認する方法である。3次元情

報により干渉を検証しているため、立体的な狭隘箇所を確認できる利点がある。一方で、実環境の色情報を利用した情報提示は検討しておらず、デプスカメラの画角が比較的狭いため、検証結果と実世界との視覚的な対応が困難な場面があった。また、検証終了後でも検証空間の情報とバリアの位置をいつでも確認できるような、データの蓄積機能があればシステムの活用の幅が広がると考えられる。

3. 提案手法

(1) 概要

本研究では、バリア検出機能を視覚的に分かりやすくユーザに提供し検証結果を自由に確認・利活用するために、検出されたバリアを広角な視野とカラー画像上で強調し、さらにこの AR 画像を実環境に即した 3 次元モデル上に重畳するバリアマップ化を提案する。

システムの処理手順は図-1 のとおりである。図のハッチング部分が、デプスカメラによるバリア検出処理である⁵⁾。デプスカメラで取得した 3 次元点群において、RANSAC⁹⁾を用いた平面近似で推定した床面上に、車椅子実寸の円筒形モデルを設置し、モデルと干渉する点群をバリアとして検出する。また、図-1 中の点線部ではデプスカメラとカラーカメラで捉えた 3 次元と 2 次元の画素対応をとることで、3 次元点群の被写体がカラーカメラの視点で投影される射影行列を求めておく。これにより、3 次元で行ったバリア検出の結果をカラーカメラの視点で精度よくリアルタイムに投影したバリアの立体的な AR 表示を生成する。さらに、事後処理として図-1 右下の破線部では、検証に使用したカラー画像群から、対象空間の 3 次元データを作成し、検証したカメラ視点位置からバリアの AR 検証結果を重畳させることで、実環境のバリア位置を反映させた 3 次元バリアマップを作る。

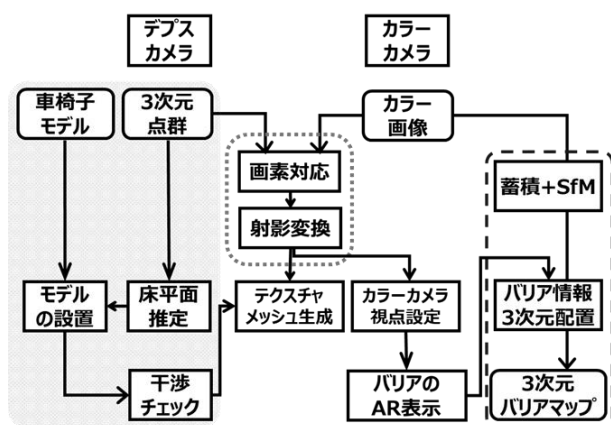


図-1 提案手法による処理手順

(2) カラー画像におけるバリアの AR 表示

カラー画像上でバリアと車椅子の位置を AR 表示するために、カラーカメラとデプスカメラの 2 次元と 3 次元の対応付けと、3 次元点群をポリゴン化しカラーカメラ視点でのテクスチャレンダリングを行う。

まず、カラーカメラのキャリブレーションにより内部パラメータを求め、デプスカメラで観測された 3 次元点とカラーカメラ画像上の画素との組合せをもとに PnP (Perspective-n-Points) 問題を解くことで、デプスカメラの視点をカラーカメラの視点へ変換する射影行列を定める。さらに、3 次元点群を広角のカラー画像に投影することで、常に 1 対 1 で画素対応することができ、3 次元点群のカラーカメラ視点での表示が可能となる。

次に、バリア検証作業においてバリア判定された 3 次元点をマークする。背景としてカラーカメラ映像を表示し、前面には点群を頂点としたポリゴンを構成し、バリアを赤色でハイライト表示することで、実写映像にバリア情報を重畳した AR を表現する。また、全点群に対してポリゴンを構成し、カラー画像をテクスチャとしてマッピングした 3 次元 CG を描画する。これにより、バリア検証中の仮想の車椅子モデルが実際に存在する物体に隠蔽されるようなオクルージョンが表示でき、バリア検証の空間的な配置状況を容易に見て取れるようになる。

(3) 3 次元モデルへのバリア検証の重畳マッピング

前節により、バリア検証結果がリアルタイムに AR 表示できるものの、検証結果やその過程を、いつでも容易に確認できるようにするための機能が必要である。そこで、検証作業の経過を 3 次元モデル化した検証空間にマッピングし、検証結果を重畳させて Web ブラウザ上で 3 次元 CG として表示することを考えた。

まず、検証中に撮影した複数枚のカラー画像から、SfM (Structure from Motion) 技術を用いて実環境の 3 次元形状を復元したテクスチャ付きメッシュモデルを作る。こうすることで、3 次元モデルを別途作成するコストが省ける。SfM は、多視点画像から 3 次元形状とカメラの位置姿勢を推定する。

次に、Web 上に表示した 3 次元モデルに、推定されたカメラの位置と方向でバリア検証結果画像を投影することで、検証作業での視点と対象部分が再現され、検証結果が一覧できる 3 次元モデルとなる。WebGL で実装することにより、Web ブラウザ上で対話的な 3 次元 CG として表示できる。また、各視点にアイコンとして結果画像を配置し、これを画面上で選択することで詳細な AR 結果画像がポップアップする機能を付与する。

これにより、ユーザは過去の検証環境とそのバリアの実態を俯瞰して把握することができ、継続的なバリアフリー環境の整備に役立てることが出来る考える。

4. 実装実験

本研究では、車椅子利用者の日常生活での動線におけるバリア検証を考慮し、室内の居住空間を対象として実験を行った。近赤外線 TOF (Time of Flight) 方式 3 次元距離計測カメラ SwissRanger SR4000 (Mesa 社製) ⁷⁾を用いた実測により、176×144 画素のデプス画像を取得した。カラーカメラには、UCAM-C750FBBK (ELECOM 社製)を用い、1024×768 画素のカラー画像を取得した。開発環境には Visual Studio 2015 (Microsoft 社)、画像処理には OpenCV、AR 表示には OpenGL を利用した。図-2 (左)に示すようにデプスカメラの上にカラーカメラを固定し PC に接続した装置一式を、図-2 (右) のように持ちカメラを床面に向けて歩き進め、バリア箇所を確認する。

図-3 に示すように、床に多くのものが置かれた通路を直角に曲がって移動することを想定して検証を行った。車椅子モデルについては、図-4 のように国交省と JIS (Japanese Industrial Standard) の規格を参考にし、高さ 100cm、回転半径 35cm を基準値とし、車椅子の取り回し方に応じてサイズを変更した。

検証では、図-5 に示すように、車椅子モデルである緑色の円柱モデルの内部に入り込んだ点群をバリアとして検知し、点群をポリゴン化してメッシュ状で赤く強調し、カラー画像上にレンダリングした 3 次元 CG として結果を表示している。通路を直進する検証箇所図-5 中の①と③では車椅子モデル直径を実寸幅 (70cm)、直角に曲がる②では回転動作を考慮してモデルの直径を (100cm) とした。通路の直進は可能であるものの、曲がり角では角に積み上げられた段ボールや床面に置かれた物品により、方向を変える空間的余裕は無く、通路の一部にバリアがあり辿り着けないエリアがあることが分かった。これは本システムにより、日常的に去来する物品がバリアとなることが確認された例である。

この検証作業の間に、カラーカメラからの画像 28 枚を記録しておき、検証後に Metashape (Agisoft 社製) を用いて SfM を実施し、検証空間の 3 次元モデルを作成した (図-6)。SfM の結果として得られる、図-5 中の①、②、③の 3 箇所での検証に使用されたカラー画像に対する撮影視点と方向の情報により、その検証結果画像を配置した様子を図-7 に示す。図-3 の検証空間のモデルを上から捉えたときの 3 箇所の検証結果画像 (図-5) を実際の撮影カメラ視点から 3 つの四角錐で表示している。この四角錐をクリックすると結果画像を別ウィンドウでポップアップ表示し確認することが出来る (図-8)。

以上の機能を Web ブラウザで利用できることから、場所や時間を問わず、バリアとなった箇所を角度を変えながら俯瞰して見る事が可能となり、バリアデータの集約とその分布を明瞭に把握することができる。



図-2 検証機器 (左) と検証風景 (右)

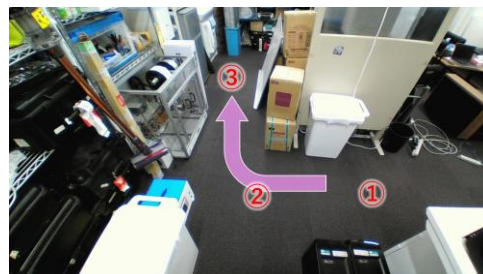


図-3 検証空間

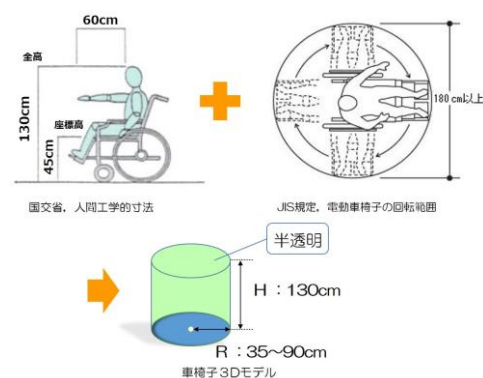


図-4 車椅子モデル



図-5 検証結果の AR 表示 (上から図-3 の①、②、③に相当)

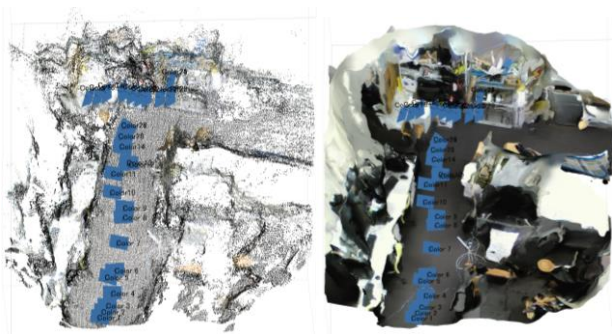


図-6 検証空間の3次元モデル
(点群表示(左), テクスチャ付きポリゴン表示(右))

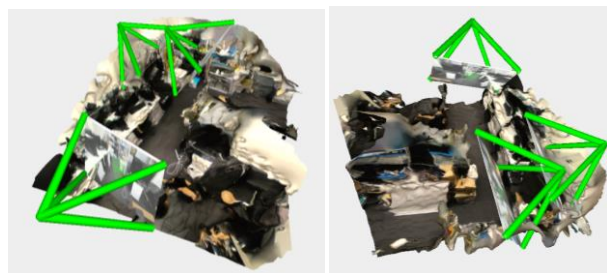


図-7 3次元バリアマップ

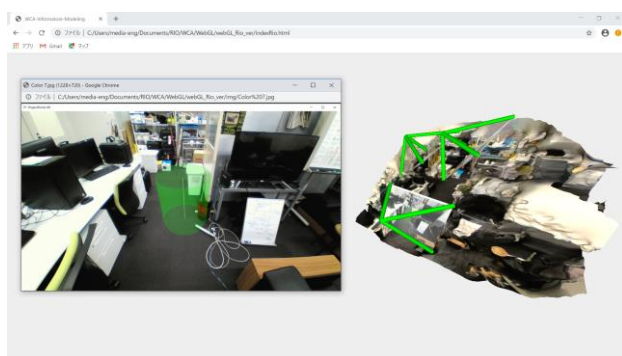


図-8 ブラウザ閲覧時に詳細結果がポップアップする様子

5. 考察

本研究では、デプスカメラと広角カラーカメラを組み合わせたバリア検証システムにより、車椅子を押し進める感覚でカメラを持って歩くことで、任意の経路・撮影視点・方向からバリアの有無をリアルタイムで動的に可視化することができるという利便性を活かしつつ、3次元で得られるバリア検証の情報を容易に記録し、閲覧性が高い方法を提案し、その効果を示した。先行研究により、画角が比較的狭いデプスカメラによるバリア検証と、広角なカラーカメラによる結果のAR表示において、カメラ間の情報が精密に統合された構成となっていることから、カラーカメラの広角な入力画像によって対象空間を3次元再構成することによって作業記録と検証結果を同じ空間に統合することが可能であることが確認できた。

記録した画像を一度保存して SfM を実施するためのシステム構成や、障害物と車椅子モデル間における余裕の幅や、検出されたバリアの奥行き・幅・高さの寸法などの詳細な情報を表示・記録する方法については検討中である。今後、検出されたバリアの詳細情報を更新するためのデータベースの開発を進め、CIM (Construction Information Modeling) のような枠組みによる持続的な施設維持管理に繋がる仕組みを考える予定である。

6. おわりに

本研究では、デプスカメラにより取得した3次元点群と併用したカラーカメラのカラー情報により、車椅子ユーザに対する物理的バリアの存在を明瞭に可視化し、3次元マップ化する方法を提案した。異種カメラ間の画素対応により、対象空間にカメラを向けるだけでバリア位置を2次元カラー上で正確に表示できることにより、実際に車椅子を持ち出さなくともバリアの確認が可能となることで作業が簡便化されるだけでなく、検証しながらバリアデータの記録と集約が効率化され、3次元マップ化によって閲覧性が高まることで、施設管理としての日常的なバリアフリー化対策やリノベーションへの貢献が期待される。

今後は、3次元マップ化に必要なカラー画像を自動選択する機能や、データベースと連携したシステム化を進めることで、情報更新の簡便化を図ることが、持続的な運用を目指す上で必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 内閣府：平成29年版高齢社会白書，pp.2-6，2017.
- 2) 国土交通省：高齢者の生活・外出特性について，pp.10-13.
- 3) 一般社団法人日本経営協会開発センター経営研究所：公共施設の管理運営に関する調査（中間報告書），2014.
- 4) 佐橋道弘：バリアフリー改修の実践ノウハウ，pp.22-23，株式会社オーム社，2011.
- 5) 高橋里緒，松下真之介，檀寛成，安室喜弘：デプスカメラを用いた車椅子利用者のための物理的バリアの可視化検証，土木学会論文集，F3S-0305，2018.
- 6) Fischler, M. A. and Bolles, R. C.: Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography, *Communications of the ACM*, vol. 24, no. 6, pp. 381-395, 1981.
- 7) Lange, R. and Seitz, P.: Solid State Time-Of-Flight Range Camera, *IEEE Journal of Quantum Electronics*, Vol. 37, Issue 3, pp. 390-397, 2001.