

# 建築系学生の設計作品のバリアフリー性評価のための バーチャル車椅子体験システムの開発

下条 太一 田中 宏子 飯野 秋成

## 1. はじめに

高齢者や障がい者のバリアフリーについて、小学校から大学まで、多様な分野で教育実績が蓄積されつつある<sup>1) 2)</sup>。近年では、建築系学生の建築設計演習において、バリアフリーに関する法規の確実な運用を求められることも多い。その場合、教科書や法規の知識の活用だけでなく、高齢者や障がい者の視点となる教育プログラムが求められる<sup>3)</sup>。

建築系学生のバリアフリー体験は主に、車椅子体験や視覚障がい者体験<sup>4)</sup>などの教育事例が蓄積、報告されている。近年ではAR<sup>注1)</sup>を活用した学生による簡易なナビゲーションシステムの開発<sup>5)</sup>、VR<sup>注2)</sup>での疑似体験<sup>6)</sup>など、IoT<sup>注3)</sup>技術との連携としても、一定の教育効果が報告されている。多くの報告は、学内の空間で高齢者や障がい者の視覚、また身体感覚に近い体験をさせるものが多い。一方で学生が取り組む建築設計課題の実施段階では、自ら設計した建築作品に対してバリアフリー性をフィードバックできる何らかの取り組みは、まだ見られない。

本研究では建築設計製図の授業における、学生が設計した建築作品を用いたバリアフリー教育のあり方を明らかにしようとするものである。第一段階として車椅子の動きを読み取り、VR空間内で動きをコントロールすることのできるシステムの開発と、学生のVR鑑賞に関する被験者実験を行った成果を報告する。

## 2. 研究の方法

### 2-1 研究対象とした設計製図授業の課題と作品

本研究では新潟工科大学工学部2年前期「建築基礎製図」の授業を対象として実験を行った。課題内容および課題実施期間を表1に示す。全15週のうち前半7週はパースドローイング演習、後半8週に住宅設計課題を2課題実施した。

研究対象は、後半8週の住宅設計課題うち、第2課題として実施された「子育て世帯と親世帯が同居する住宅」の提出作品とした。設計条件に、将来の車椅子利用についても考慮した住宅であることを求めている。1階に将来の「介護室」「車椅子対応の便所」と転用できる「多目的室」「納戸」を配置、駐車場から玄関まで車椅子で移動できるスロープの設計などを求めている。課題提出には、

手書き図面で作成した平面図や室内パースのほか、設計のコンセプト、および設計で力を入れた点について文章で表現が求められた。

「建築基礎製図」履修者57名の作品うち、完成度が高く、VR表現に必要な情報を含む作品として12名の作品を抽出した。表2に抽出した12の住宅作品を示す。抽出基準は、必要諸室がすべて含まれ、図面のクオリティが一定の水準を満たし、かつ、バリアフリーに対する考えが文章として記載されている作品とした。

### 2-2 車椅子システムの開発

図1のように車椅子の車輪の動きをPCで読み取るため、マイクロコンピュータであるArduino Uno R3 (以

表1 「建築基礎製図」の住宅設計課題の課題概要

授業名	建築基礎製図 (学部2年次対象)
講義期間及び課題実施期間	2023年度前期 (4月~7月) 住宅設計の第2課題 2023年7月7日~7月28日
課題内容	課題：地方都市の住宅地において3世帯が同居し、子供の成長・独立や将来の祖父母の介護等のライフステージの変化に対応できる住宅の設計 敷地：南北17m、東西17m、西側道路に接する 構造：木造2階建てとし、最高高さ10m以下、軒の高さ7m以下とする 延べ面積：170m <sup>2</sup> 以上、210m <sup>2</sup> 以下とする 1階必要諸室：玄関、居室、食事室、台所、祖父母室、多目的室、納戸、浴室、洗面脱衣室、便所 2階必要諸室：夫婦寝室、子供室、納戸、ミニキッチンコーナー、洗面コーナー、便所 屋外施設：家庭菜園、屋外物置、屋外スロープ、駐車スペース、駐輪スペース 留意事項：家族全員が集うことのできる居室、食事室を計画する。多目的室は将来、祖父母が要介護者となった場合に寝室として利用する。将来の車椅子を考慮し、駐車スペースから玄関ポーチへのアプローチは屋外スロープを計画し、玄関の土間部分には段差解消のスペースを確保する。

※太字はバリアフリーの配慮を求めている箇所を示す

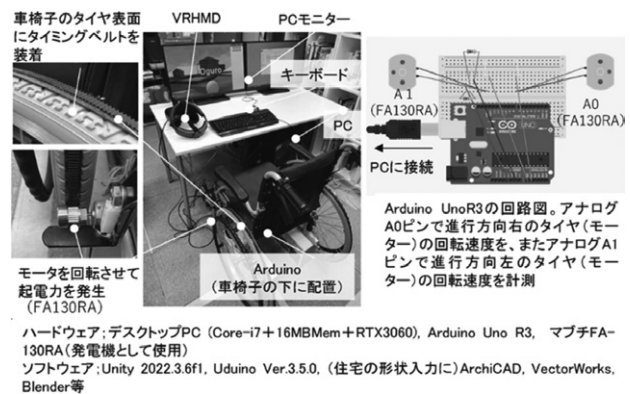


図1 開発した車椅子体験システム

しもじょう たいち 新潟工科大学大学院 生産開発工学専攻修士課程  
たなか ひろこ 滋賀大学教育学部 教授  
いいの あきなる 新潟工科大学工学部 教授

〒945-1195 新潟県柏崎市藤橋1719  
〒520-0862 滋賀県大津市平津2丁目5番1号  
〒945-1195 新潟県柏崎市藤橋1719

表2 抽出した12名の住宅作品のコンセプトと外観パース

設計者	タイトル	設計コンセプト	外観パース	設計者	タイトル	設計コンセプト	外観パース
A	適応の家	将来的に過ごしやすいことを意識した住宅とした。家族が集う回数を増えるようにLDKとした。多目的室は介護者が不便に感じないように、玄関、水回りの近くに配置し動線を短くした。		G	unite	ひとりひとりが繋がるといった意味が込められている。キッチン、居間、食事室、多目的室、庭が繋がりのある空間にする事で家族を感じられることのできる配置とした。	
B	ぬくもりある家	家族全員がコミュニケーションをとれるようLDKにした。夫婦寝室以外、水回りに行くのに必ずLDKを通るようになっていたため、自然と会話が生まれるような配置とした。		H	悠悠閑閑	家族全員がのんびりできる空間・時間に。世代を越えてもお色褪せないものに。玄関は吹き抜けにすることで開放的な空間にした。玄関、祖父母室、水回りを近くに配置し、動線を短くした。	
C	寄り添う家族のマイホーム～at home care	家族全員が集まっても狭くないように23.5畳の大きなLDKにした。多目的室は水回り、玄関に近くリビング、ダイニングに簡単に行くことができるようにした。		I	温かい家	居間と食事室を一つにし、家族との距離が近く感じられるような空間とした。多目的室は将来、介護室として使用するため、リビングの帯内に配置した。	
D	将来性のある家	居間、食事室を合わせて22畳以上確保し、車椅子使用者がいても広く使用できる配置とした。多目的室は車椅子でも移動しやすいよう玄関の近くに配置した。		J	小さな余白	ダイニングの窓先に小さなウッドデッキを配置することで、晴れた日には外で食事をとることができる。また子供の遊び場や家族団らんの場にもなるよう配置した。	
E	共に住む家	家族全員が集まることができるよう、LDKとした。多目的室の近くに玄関、トイレを配置し、動線を短くした。		K	内と外、上と下がつながる家	高齢者が暮らしやすく、子供の遊び場がある家をコンセプトとした。土間や吹き抜けを設けることで、明るく開放的な住宅とした。	
F	明るい開放的な家	開放的な家にするため、リビングに西面から豊かな採光が差しよる空間にした。駐車場からスロープ、玄関、祖父母室に直接入れる開口部を設けた。		L	斜陽	リビングに吹き抜けを設け、2階にいる家族に声が通るようになっており家族が集まりやすいようにした。多目的室から外に行けるため、家庭菜園や子供が簡単に外に出れるようにした。	

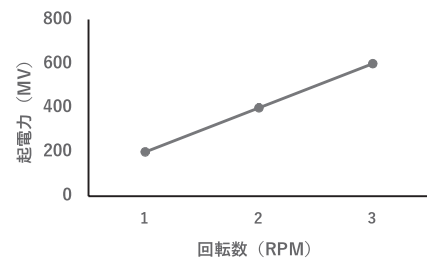
下 Arduino) を用いた。車椅子の左右の車輪にそれぞれタイミングベルトを装着させ、小型のモーター<sup>注4)</sup>の歯車と噛み合わせた。車輪を手動で回すことでモーターが回転し、起電力を発生させ、その電圧を Arduino に読み取らせた。Arduino で読み取った信号を USB ケーブルで PC に繋ぎ、ゲーム開発エンジン Unity 2022.3.6f1 (以下 Unity) で構築した VR アプリケーションでリアルタイム処理させた。

Arduino には、左右それぞれのモーターに 1 チャンネルずつ接続し、常時 +2.5V の電圧を流した。+2.5V の状態を静止状態とし、モーターが回転することで、前進時は +2.5V 以上の数値、後進時は +2.5V 以下の数値が計測されるよう回路を組んだ。VR 空間内では図 2 のように車輪の回転数と電圧の関係を大まかに割り出し、体感上自然な速度となるよう、プログラムを手動で調整した。

2-3 VR アプリケーションに搭載した機能

表 3 に開発した VR アプリケーションに搭載した機能を示す。車椅子アバター、スタッフアバターの頭部入室者を識別する番号を常時表示させた。また車椅子利用者の視点と、車椅子を押す人の視点を切り替えることができるようにした。スロープの傾斜角度を画面中央に表示させ、勾配が 1/12 を超えた場合には赤字で表示するようにした。さらに Arduino の数値の読み取りの乱れなどにより、アバターが一時的に不安定な動きをすることがあった。その場合にも、実験を続行できるように、コントローラーのサムステック、キーボードでもアバターの操作を行える機能を搭載した。また扉や家具との隙間に入り車椅子が動かないことが想定されたため、玄関前にワープできる機能を搭載した。

被験者実験中でのネットワーク接続の状況を図 3 に示



※各10回ずつ計測して平均を出して作成した  
図2 車輪の回転数と起電力の関係

表3 アプリに搭載した機能

実装機能一覧
(a)傾斜角度表示
(b)玄関リフターの設置
(c)車椅子アバター、スタッフアバターに識別IDの表示
(d)一人称、三人称の切り替え
(e)スタート地点への復帰
(f)コントローラー、キーボードでの操作

す。実験中はすべてのPCをLAN接続し、HMD (ヘッドマウントディスプレイ) はPCと有線接続してPCから送られるHDRP (High Definition Render Pipeline) モードの映像をQuestLinkモードで動作させた。

2-4 作品の3D化プロセス

課題提出の手書き図面に基づき、CADやCGソフトで建物やスロープ等の外構の形状を作成した。その後、Unityに取り込み、内外装の表面素材や家具、植栽などを加え、完成したのちPC用のVRアプリケーション形式でビルドした。

いくつかの作品は、複数の図面間での形状の矛盾や、通路や諸室での寸法の勘違いや計算ミスが散見された。これらの矛盾やミスには、設計した学生に確認や変更を

求めた。設計の修正をヒアリングしながら、可能な範囲で設計者の意向に合わせる方向で対応した。全12の住宅作品の3D化には約2か月程度を要した。

### 2-5 被験者実験の方法

被験者実験は抽出した12名の学生を2～3名ずつのグループに分け、グループ全員が同時に車椅子アバターとしてVR空間内に入ってもらった。スタッフがHMDや車椅子、コントローラーの使い方をレクチャーし、被験者1人あたり20分程度をかけてグループメンバーの鑑賞を行った。その間、スタッフはファシリテーターとなり、コンセプトの質問や回答、適宜感想を述べてもらった。鑑賞後は直ちに、設計した住宅作品のバリアフリー性の評価、VRアプリケーションに関するアンケートに回答してもらった。

## 3. 被験者実験の結果および考察

### 3-1 自身が設計した住宅の評価

実験日当日までに事前のアンケートの提出を求めた。被験者の学生たちが設計作品を提出してから、被験者実験の実施までに数か月経過していた。そのため自身が設計した住宅を思い出してもらうため事前アンケートを行い、図面やコンセプト、設計で力を入れた点、考えが及ばなかった点などを再確認してもらった。

事前アンケートの設問と回答を表4に示す。実験前には廊下の幅や移動のための諸室の繋がりなどに多様な工夫を施していた。一方で、諸室の移動やスロープの傾斜などに問題があったことを多くの学生が把握していた。また、事後アンケートの設問と結果を表5に示す。体験することでイメージより廊下や諸室が狭く、動きにくいことを実感した学生が多く見られた。

学生自らの設計作品に対する自己評価をまとめた結果を図4に示す。「実験前に、自身の作品を最低点1点～最高点5点で自己評価してもらったところ、2～4点に分布した。実験後には評価を上げた学生から評価を下げた学生までさまざまな学生がみられたが、評価が1ランク以上低くなった学生は11名中7名であった。

### 3-2 開発したアプリケーション評価

車椅子体験の自由記述の結果を表6に示す。車椅子体験システムは、車椅子利用者の視点で設計作品のスケール感を体験できたとする評価が多かった。また設計時とは違った視点が見ることや、VR空間内のクオリティについても十分な評価であったことが読み取れる。一方で改善してほしい点として、タイヤの操作と車椅子の挙動にずれがあることやタイヤの回転が軽いといった意見が見られた。体験中にアバターが壁をすり抜けてしまうことからリアリティを損ねているとの指摘に繋がった。

VR酔いに関する申告結果を図5に示す。事前アンケートの申告と比較して、事後に変わらない、または酔った側の回答をした学生が11名中9名あった。VR酔いの多くは慣れにより解決できるものと考えられるが、この評価結果においては、VR内の車椅子の動きが、タイヤの操作の感覚と必ずしも一致しない場合がみられた点も

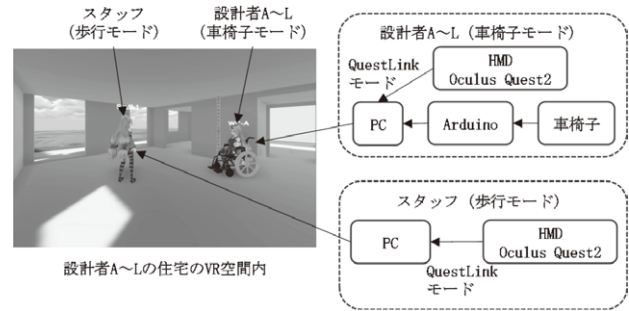


図3 実験時におけるネットワーク接続状況

表4 事前アンケート結果

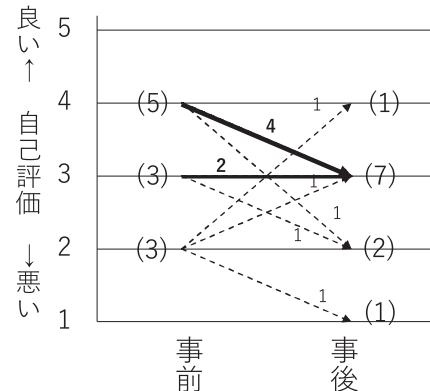
質問	回答
事前	バリアフリーの観点から力を入れた点 移動を快適にする間取り (6) 扉などの幅を広くした (5) 部屋、廊下を広くした (5) 扉を引き戸にした (3) 段差をなくす 玄関スロープの配置
	考えが及ばなかった点 諸室の配置がよくない (7) 玄関スロープの形状 (4) 図面表現、寸法ミス (2) 廊下が長い、曲がっている (2) 玄関と廊下の段差

※ ()内の数字は類似の意見の人数を示す

表5 事後アンケート結果

質問	回答
事後	イメージ通りだった点 住宅の間取りが良かった (7) スロープの角度 (3) 廊下、扉の幅 (2) 建物のデザイン、大きさ (2) 天井高さ
	イメージと違った点 室内、廊下が狭い (7) 配置が悪く、動きにくい (3) スロープが急、狭い (2) 玄関、階段の段差 (2)
	他の学生の作品を見て感じたこと 間取りが参考になった スロープの工夫 段差が少ない 廊下が広い、短い 窓の形

※ ()内の数字は類似の意見の人数を示す



※図中の数字は人数を示す。また人数が多いほど矢印を太く表示した。

図4 実験前後の自己評価の変化

影響しているものと考えられる。

#### 4. 結論

本論文により得られた知見は以下のとおりである。

1) 車椅子とPCをArduinoを介して接続し、バーチャル空間内を車椅子で移動できるVRアプリケーションを開発した。スロープの傾斜角度をリアルタイム表示できる機能を達成した。

2) 建築を学ぶ大学2年次学生12名を対象として、各々の学生が建築基礎製図の授業で作成した手書きのバリアフリー住宅の作品を、VRアプリケーション内で鑑賞してもらった。元の作品にはしばしば寸法のミスなどが含まれたが、VR化にあたり設計した学生の協力を得てエラーを修正しながら進めることの作業上のメリットを確認した。

3) 住宅作品を設計した学生12名を被験者としたVRによる鑑賞実験では、車椅子使用者の視点で自己評価できたとする学生が多かった。一方で、タイヤの操作と車椅子の挙動にずれがあることやタイヤの回転が軽い、車椅子の挙動がやや不安定なことが原因となりVR酔いを訴えた被験者もみられた。

今後は、VR内の車椅子の挙動が不安定なことによって被験者にVR酔いの現象が見られた場合があったことを受け、システムの安定的な運用に向けた改良を進める。Arduinoの回路設計の見直しとUnityでのプログラム数値の調整を中心に見直し、建築設計製図の授業への応用を蓄積する。

#### 謝辞

本研究における被験者実験の実施にあたっては、小黒颯一朗君、川合さくらさん、堀友生奈さん（2023年度新潟工科大学卒論生）の協力を得た。また、2023年度2年次前期「建築基礎製図」履修学生12名、および当授業をご担当の樋口秀先生より、献身的なご協力をいただいた。ここに感謝の意を表す。本研究はJSPS科研費（基盤研究（C）、課題番号23K01961、代表 飯野由香利（新潟大学））の研究助成を受けた。

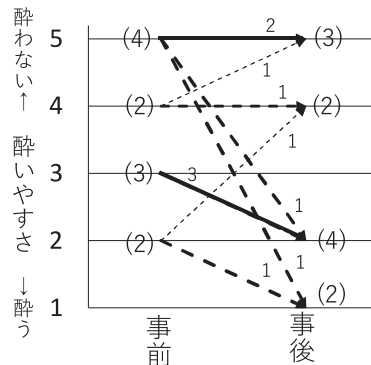
#### 参考文献

- 1) 窪谷珠江, 角 正美, 植草泰憲;車いす体験学習の実施報告;植草学園大学研究紀要16,pp.59-66,2024
- 2) 上野優子,井上修一,飛田和樹,尾久裕紀;大学授業における福祉体験学習の必要性;大妻女子大学人間関係学部紀要,人間関係学研究25,pp.49-63,2024
- 3) 国土交通省;高齢者,障害者等の円滑な移動等に配慮した建築設計標準,第2部,2021
- 4) 立川英治,田中泰斗,安藤敏弘;バリアフリー住宅設計支援システムの開発,岐阜県生産情報技術研究所研究報告,No.1,pp.69-15,1999
- 5) Luciene Chagas de Oliveira, Alcimar Barbosa Soares, Alexandre Cardoso, Adriano de Oliveira Andrade, Edgard Afonso Lamounier Júnior; Mobile

表6 車椅子体験システム体験後の自由回答

良かった点	車椅子の利用者の視点で見ることができ、移動スピードも実際の車椅子のようだった。(6) 自分で車椅子を操作することで、自分の設計した住宅を自由な視点で見ることができ、空間の大きさを感じ取れた。(3) 設計時とは違った視点で見ることができた。 使いにくい部分などを発見できた。 画質がきれいで没入感があった。 影の入り方や奥行きが感じられた。
改善点	滑ぎと映像にズレがあったり、スピードが一定せず、操作がしにくい。(4) 2階に上がりたかったが、上がれなかった。(2) タイヤを回すのが軽い。 幅を意識するのに苦労した。 壁の当たり判定がなく移動の際にリアリティが感じづらい。

※数字は類似の意見の人数を示す



※図中の数字は人数を示す。また事後に酔った側になった場合を太い矢印で示す。

図5 VR酔いに関する申告結果

Augmented Reality enhances indoor navigation for wheelchair users, Research on Biomedical Engineering,32(2), pp.111-122,201

- 6) 松田 洋,大山麻里,野口祐子,糸野文洋,山地秀美;「心のバリアフリー」啓発のためのVR映像コンテンツ制作プロジェクト演習の実践,工学教育70(3),pp.83-88,2022

#### 注

- 1) AR (Augmented Reality) とは、日本語で拡張現実と呼ばれ、現実の世界にスマートフォンやタブレットを通して、画面上にデジタルの情報を重ねて表示する技術である。
- 2) VR (Virtual Reality) とは、日本語で仮想現実と呼ばれ、コンピューターで作られた仮想世界に入り込み、VRヘッドセットを装着することで、視界全体がデジタル空間に置き換わり、360度の没入感体験できる技術である。
- 3) IoT (Internet of Things) とは、家電や車、センサーなどがインターネットに接続され、遠隔操作や自動制御、データ収集が可能となる技術のことである。
- 4) 本実験ではマブチモーター社製のものに統一したが、製作段階の試行時には、形状互換の他社製モーターに、車輪の回転による発電電圧の安定性が高いものもあった。本実験に適したモーターの選択については、今後も鋭意検討する。