

プロジェクタを搭載した移動体による インタラクティブプロジェクションマッピングの提案

榎原 拓実¹ 水野 慎士¹

概要：本稿では、車などの移動体に搭載したプロジェクタで床面に映像を投影して、移動体に乗りながら投影される映像を鑑賞して楽しむプロジェクションマッピングの提案と制作を行った。投影する映像は立体的なシーンであり、トリックアートの原理を取り入れながら移動体の位置に合わせて変化させて運動視差を与える。これにより、移動体に乗りながら映像を観察した場合に映像に対して運動視差による立体感を得ることができるため、CG で構築した立体シーンの上部を移動体で移動しているような感覚が得られる。

キーワード：プロジェクションマッピング, インタラクション, 3DCG, LiDAR

1. はじめに

CG のアートやエンタテインメント分野への応用として、イベントの演出などでプロジェクションマッピングが盛んに用いられている。プロジェクタの高輝度化や CG の高精細化によって大規模なプロジェクションマッピングが比較的容易に実現することが可能となり、東京駅 [1] や大阪城 [2] などの建造物に対するプロジェクションマッピングは一般の人にも広く知られるようになってきた。

そして、近年はユーザなどの動きにインタラクティブに反応するプロジェクションマッピングがいくつも制作されている。例えば、古民家の障子を用いたプロジェクションマッピングでは、観覧者の動きに応じて花火が打ち上がるなど映像が反応して、見るだけでなく参加できるプロジェクションマッピングとなっている [3]。また、舞台「魔界転生」では、役者にマーカを取り付けることで、役者の移動に応じた舞台壁面へのプロジェクションマッピングを行い、オーラなどの演出映像が実現されている [4]。

このように様々な種類のプロジェクションマッピングが提案される中、本稿では車などの移動体に搭載したプロジェクタで床面に映像を投影して、移動体の上から投影される映像を鑑賞して楽しむプロジェクションマッピングの提案と制作を行ったので報告する。床面に投影する映像はトリックアートの原理を取り入れながら移動体の位置に合わせて変化させる。これにより、映像を移動体から観

察した場合には移動に応じた運動視差が組み込まれたトリックアートとなるため、映像から大きな立体感が得ながら CG 等で構築された立体シーンの上方を移動するように感じられることが期待される。

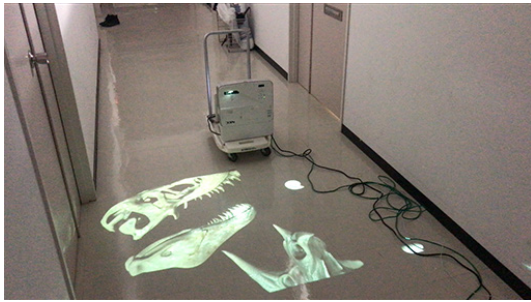
著者らはすでに移動体を用いたプロジェクションマッピングの制作を行なっている [5]。この作品では、移動体が行く床面に外部に設置したプロジェクタで映像を投影するとともに、移動体自身にも映像を表示する。そして、移動体の移動に合わせて床面の映像や移動体の映像を変化させたり、床面映像と移動体映像を連動させたりする。そのため、この作品は移動体の中から鑑賞することもできるが、どちらかと言えば外から映像を見て楽しむコンテンツとなっている。それに対して、本稿で制作するプロジェクションマッピングは移動体に乗って移動する人を対象にしたコンテンツとなっている。

移動体に乗って移動する人に特化した作品として、ディスプレイ付きマルチメディアカートを用いた MR コンテンツも制作されている [6]。このコンテンツでは、移動体に乗車した際に大型ディスプレイ越しに前方のカメラ映像を見ることができるが、その映像に魚やモンスターを重畳表示させることで、カートで移動しながら MR 映像を楽しむことができる。それに対して、本稿で制作するプロジェクションマッピングは前方を直接眺めるが、そこにプロジェクタで映像を投影することで MR を実現したコンテンツとなっている。

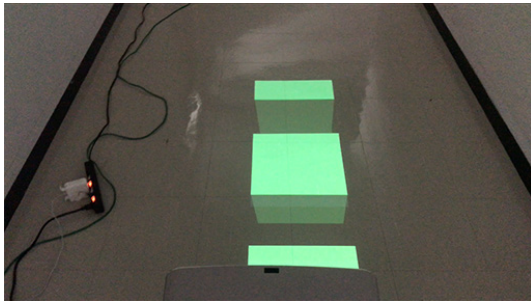
2. 作品について

今回制作した移動体プロジェクションマッピングは、地

¹ 愛知工業大学大学院経営情報科学研究科
Graduate School of Business Administration and Computer
Science, Aichi Institute of Technology



(a) 化石を表示した様子



(b) 床に立方体を表示した様子

図 1 プロジェクションマッピング作品例

中の透視を擬似的に体験することができる作品となっている。

床に投影される映像は地中を模した三次元 CG モデルで構築されており、恐竜の骨やアンモナイトなどの化石が配置されている。また、立方体が配置された幾何学的なコンテンツも生成している。そして移動体が移動すると、その移動量や移動方向に応じて表示内容が変化する。これにより運動視差が再現される。そして、投影する映像は三次元 CG はトリックアートの一種であるアナモルフォーシスの原理に基づいて生成されており、立体感が感じられるものになっている。このように、運動視差とトリックアートの組み合わせによって、移動体から見た映像はまるで地中を立体的に透視したようなものとなる。なお、移動体の位置に応じて恐竜の化石が襲いかかってくるような演出も取り入れている。

本稿で制作したプロジェクションマッピング作品例を図 1 に示す。

3. 実装

3.1 必要な要素

本稿で紹介する移動体プロジェクションマッピングを実現するには、まず床面に映像を投影するプロジェクタを搭載した移動体が必要になる。そして、移動体の位置や方向をリアルタイムで取得しながら移動体の移動状態を検出する必要がある。そして、移動体の位置と方向に応じて適切な三次元 CG をリアルタイムで生成して投影する必要がある。

3.2 試作システムについて

3.2.1 システム構成

本稿で提案する移動体プロジェクションマッピング手法の有用性を検証するため、試作システムを構築する。図 2 に試作システムの概要を示す。

試作システムでは、移動体として台車を用いる。台車に超短焦点プロジェクタを設置することで、床面に映像を投影することができる簡易的な移動体を構築する。

移動体の追跡は外部に設置した二次元 LiDAR を用いる。そして二次元 LiDAR のスキャン結果から台車の位置と方向をリアルタイムで取得する。

投影する映像は三次元 CG モデルで構築したシーンに基づく。そして取得した台車の位置と方向に基づいて三次元 CG シーン中の視点と視線を決定して CG 映像を生成して、台車に設置したプロジェクタで生成映像を床面に投影する。

試作システムはある程度直線的に移動することを想定しており、構築した三次元 CG シーンも細長い構造となっている。そして、試作システムの台車に人を乗せて、図 3 に示すように人力で移動させながら映像投影実験を行う。

3.2.2 移動体追跡処理

移動体追跡処理では 1 台の二次元 LiDAR（北陽電機 UST-20LX）を用いる。台車の進行方向の前方の高さ約 20cm の位置に LiDAR を設置して、台車が移動する範囲



(a) システム全体の様子



(b) プロジェクタと PC を搭載した台車



(c) 設置された LiDAR

図 2 移動体とプロジェクタを用いたプロジェクションマッピング

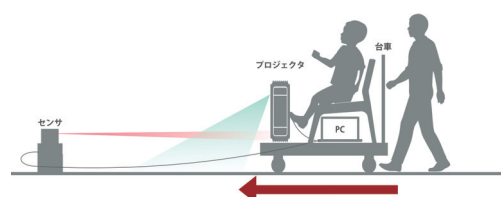


図 3 移動体の台車を人力で移動する様子



(a) 二値画像に変換した LiDAR のスキャン結果 (b) 確率的ハフ変換による線分検出

図 4 画像処理手順に基づく台車の位置と方向の取得

内（長さ約 6m，幅約 3m）をスキャンする。

スキャン結果を二値画像として表現すると，台車の前面が線分のように可視化される（図 4(a)）．そこで，可視化した画像に対して確率的ハフ変換を施すことで画像中の線分を検出する（図 4(b)）．台車前面の長さは既知であるため，検出された線分の中から台車前面の長さに近いものを選出することで，台車の位置と方向を算出することができる．

3.2.3 映像生成処理

前述したように，投影する映像は三次元 CG モデルで構築したシーンに基づく．3.2.2 節で取得した台車の位置と角度に基づいて三次元 CG シーン中の視点と視線を決定する．また，台車に乗る人の視点とプロジェクタの投影エリアの位置関係に基づいて三次元 CG シーンに対する投影変換を行い，プロジェクタ投影用の映像を生成する．生成される映像は正面から観察した場合は歪んで見えるが，プロジェクタで投影して台車から眺めた場合には正しく観察される．つまり，トリックアートにおけるアナモルフォーシスの効果が実現されており，立体感を感じることができる．

移動体追跡処理と映像生成処理はリアルタイム（30fps）で行う．そのため，台車の移動に応じて投影映像もリアルタイムで変化することになり，プロジェクタ投影映像にも台車移動に基づく運動視差が生じる．そして，アナモルフォーシスの効果と合わせて，台車から観察した場合の立体感のある映像の観察を実現している．

映像中の演出の一つとして，恐竜の化石が襲いかけてくるイベントがある．これは台車の位置情報を用いて，台車が特定の場所から一定範囲内に近づいた場合にイベントを発生させる．

4. 実験

実装した試作システムを用いて映像投影実験を行った．

図 5 に台車から観察される投影映像の変化の様子を示す．台車の移動に応じて投影映像が適切に変化していることが確認された．また，運動視差とアナモルフォーシスの効果によって，床下に埋まる物体が透過して立体的に見えるような感覚が得られることを確認した．

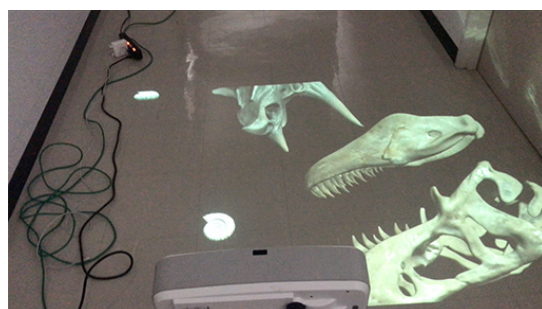
図 6 に台車が近づくことで恐竜の化石が襲ってくる様子

を示す．

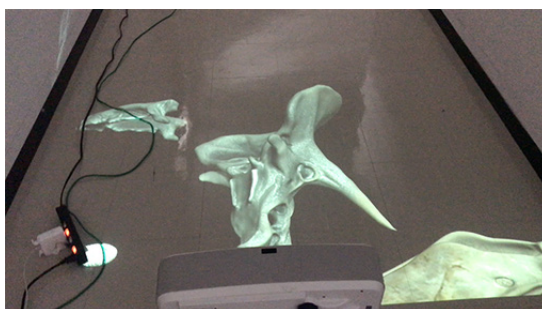
5. まとめ

本稿では，プロジェクタを搭載した移動体によるインタラクティブプロジェクションマッピングの提案およびシステムの試作をおこなった．移動体にプロジェクタを搭載することで，プロジェクションマッピングを固定位置でなければ体験できないなどの制約を取り払うことができ，エンターテインメントとしての自由度が広がるのではないかと考えている．また，電動車椅子等プロジェクタを搭載し，移動方向などを投影することで周囲へ警戒を促したりするなどエンターテインメント分野以外にも活用法があるのではないかと考えている．

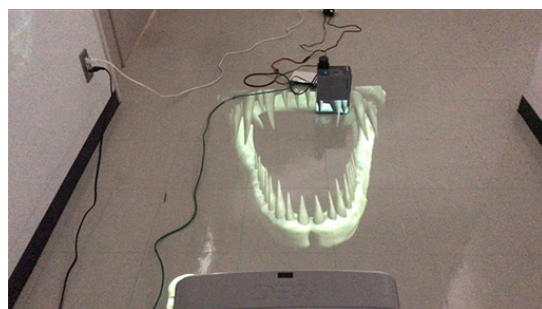
今後は移動体の追跡に GPS を用いることで移動体の移動の自由度を高めたり，複数のプロジェクタを搭載することで前後左右に立体的な映像を投影することを検討している．



(a) 開始地点

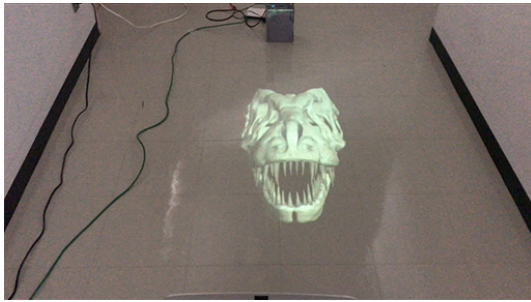


(b) 中間地点

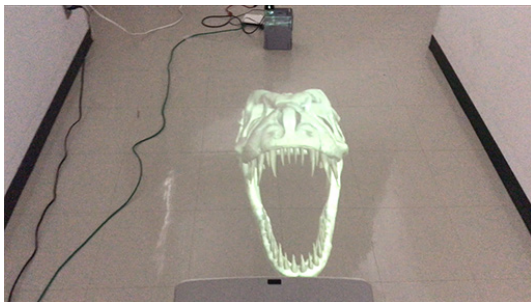


(c) 終了地点

図 5 移動により映像が変化の様子



(a) 恐竜が待ち構えている様子



(b) 襲いかかる様子

図 6 恐竜の化石が襲いかかる様子

参考文献

- [1] (株)NAKED: TOKYO HIKARI VISION,
<http://naked-inc.com/works/383> (2012).
- [2] 大阪城 3D プロジェクションマッピング 2014-2015,
<https://youtu.be/iXBAt2YeWo> (2014).
- [3] 水野慎士, 小栗真弥, 小栗宏次, 安田孝美: 日本の伝統的住宅を用いたインタラクティブプロジェクションマッピング, 情報処理学会論文誌・デジタルコンテンツ, Vol. 7, No. 1, pp. 22-32 (2019).
- [4] 日本テレビ開局 65 年記念舞台「魔界転生」,
<http://makaitensho.jp/> (2018).
- [5] 榊原拓実, 水野慎士: ディスプレイ付きニューコンセプトカートと床面を用いたインタラクティブプロジェクションマッピング, 情報処理学会研究報告, Vol. 2019-DCC-23, No. 15, pp. 1-6 (2019).
- [6] カヌチャリゾート沖縄: MOONLIGHT CRUISE,
<https://www.kanucha.jp/feature/stafan/event/moonlightcruise> (2019).