



卓球への光線投影による新たなスポーツ演出方法の検討

原田 亘¹⁾, 奥寛雅¹⁾

1) 群馬大学大学院理工学府 (〒 376-8515 群馬県桐生市天神町 1-5-1, t181d058@gunma-u.ac.jp)

概要: 近年東京オリンピックに向けてスポーツへの関心が高まっており, スポーツを盛り上げる新たな演出方法が潜在的に期待されている. 本発表では, ラリー中の卓球を高速視線制御装置で追従しながらレーザー光線を球に投影し, その光強度をプレー状況に合わせて変化させる新たなスポーツ演出方法について検討した結果を報告する.

キーワード: エンタテインメント/スポーツ/卓球/演出

1. はじめに

近年東京オリンピックに向けてスポーツの関心が高まっている. その中でスポーツ観戦を盛り上げる, 新しい演出方法が潜在的に期待されている. 新たな演出方法の一つとして視覚的情報を付与するプロジェクションマッピングが挙げられる. プロジェクションマッピングには建物の壁面などの静的物体を投影対象にしたものと人が着用している衣服などの動的物体を対象にしたものがある. 前者に対し後者は, 動的な対象へ投影し続けるため位置や姿勢を画像から計測する必要がある. 絶え間なく状況が変化するスポーツに演出を加える場合, この動的なプロジェクションマッピングが効果的に作用することが予想される.

動的プロジェクションマッピングを目指した研究は数多く行われているが [1][2][3], その一つにるみぺんがある [4]. るみぺんはサッカードミラー [5] と呼ばれる高速視線制御装置に高速カメラとプロジェクターを組み合わせ, 対象を画像の中心に捕えながら, カメラと同軸上にプロジェクターの映像を投影することで運動する対象を追従しながら映像を投影することができる. この装置を利用することで, ラリー中の不規則に運動する卓球に対しても映像を投影することが可能になる.

スポーツの特に球技において観戦時の重要となる要因の一つに球がフィールドのどの位置に存在するかということがある. そこで本研究では球の三次元位置に依存したプロジェクションマッピングによる演出を行うこととした. 本発表では, るみぺんをスポーツの卓球に応用することで新たな演出を行い, その結果それを見ている人と卓球プレイヤーにどの程度の影響を与えたのかアンケート調査を行った結果を報告する.

2. 構築した光線投影システム

提案手法を実現するために構築した実験システムは, ステレオトラッキングシステムによる三次元位置計測と, 動的対象に投影を行う技術である「るみぺん」に基づいてい

る. そこで, まずこれらについて説明する.

2.1 るみぺん

るみぺんはサッカードミラーと呼ばれる高速視線制御装置を利用した投影手法である [4]. サッカードミラーは 2 枚の回転鏡を操作することで, カメラの視線方向をミリ秒で制御することができる. ハーフミラーを通すことでプロジェクターの投影方向とカメラの視線方向を同軸に設置できる. これによりカメラで対象を認識し, 常に画像中心に対象を補足するように回転鏡を制御しながらプロジェクターから映像を投影することで, 運動している対象上に常に映像を投影することが出来る. 図 1 にるみぺんの構成図を示す.

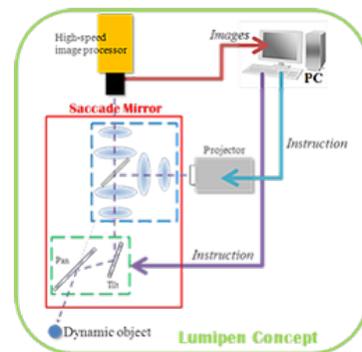


図 1: Lumipen[4].

3. ステレオトラッキングシステム

ステレオトラッキングは 2 台のサッカードミラーを利用することで対象の三次元位置を計測する手法である. [6] 図 2 に示すようにカメラによって対象物体を異なる 2 点から計測すると, カメラ間の位置関係と視線方向が交わる点に対象物体が存在することから対象の位置を一意に求めることが出来る. サッカードミラーによって対象を追跡しながら, この処理を行うことで高速に対象の位置を計測し続けることが出来る.

本研究における追跡対象は卓球であるため, 卓球が運動

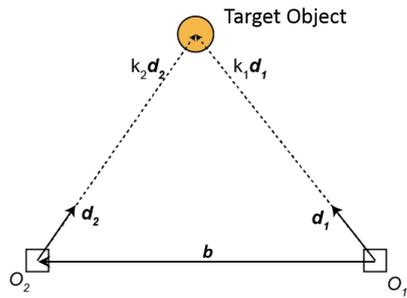


図 2: Estimation of the 3D position.

する範囲を十分計測可能となるようにサッカードミラーは図 3 のように卓球台から挟んで左右にそれぞれ約 5500mm 離し、高さ約 2000mm の位置に設置した。また、基準となるグローバル座標系原点は卓球台の卓上中心に設定した。グローバル座標系を $^W\Sigma$ 、一台目のサッカードミラー座標系を $^1\Sigma$ 、二台目のサッカードミラー座標系を $^2\Sigma$ とする。また R_1, R_2, T_1, T_2 はグローバル座標系から各サッカードミラー座標系へ変換するための 3×3 回転行列と並進ベクトルである。これらの回転行列と並進ベクトルはあらかじめキャリブレーションを行って推定した。[7] 実際に構築したシステムの外観写真を図 4 に示す。

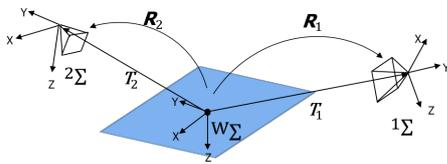


図 3: Configuration of the coordination systems.

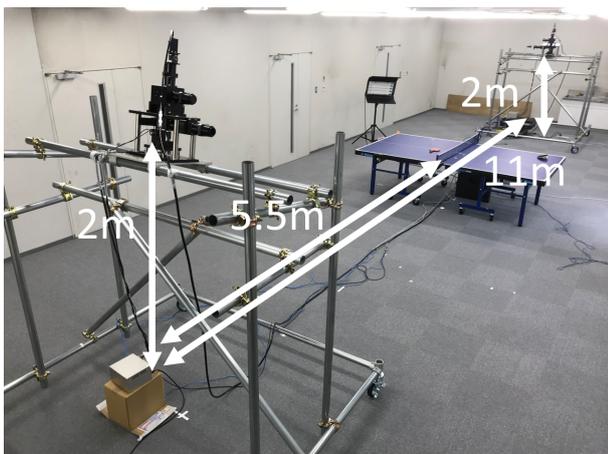


図 4: Photograph of the experimental setup.

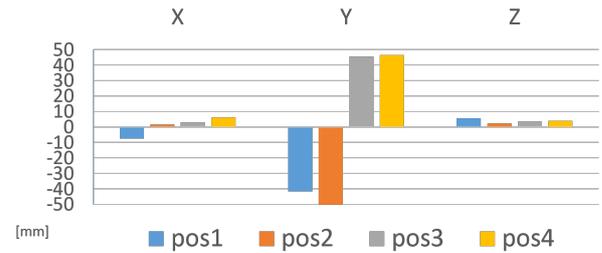


図 5: Errors between the measured values and the estimated values.

4. レーザーによるラリー中の卓球への投影

4.1 提案手法

従来のみぺんではプロジェクターから 1,2m 程度離れた比較的近い対象に映像を投影していた。しかし卓球のように小さくかつ遠い対象にプロジェクターで投影すると、ほとんどの領域を利用できず光の利用率が悪く、非常に暗くなるという問題がある。また高速で運動する物体に映像を投影したとして、人間が目視したとき映像を認識するのは難しい。卓球のような小型の運動物体には映像を投影するよー様に照明してその明るさを変調したほうが効果的に演出できることが予想される。

そこでプロジェクターの代わりにレーザーを設置し、レーザーの点灯/消灯のみを制御する形式のプロジェクションマッピングをスポーツシーンの演出用に提案している。レーザー光は平行光であるため距離に依存しないで一定の明るさで対象を投影でき、また人が視認するのに十分な明るさ可以实现できる。

4.2 実験システム

提案した方式の基礎的な検討用として、次のようなシステムを構築した。

サッカードミラー 2 台のうち片方にレーザーを組み合わせ、レーザーの点灯/消灯はマイコン (mbed) により 1000Hz の制御周波数で制御した。使用するレーザーは緑色の出力 10mW のものを用いた。さらに安全性に考慮し、ビームエキスパンダーを使ってビーム径を広げることで国際標準 IEC60825-1 で長時間裸眼で観察しても問題ないとされているクラス 1M 相当までエネルギー密度を下げている [8]。

サッカードミラーシステム 2 式は制御用計算機により制御され、1000Hz の制御周波数で対象の認識とトラッキング制御、三次元位置の推定、レーザーの点灯/消灯の指令出力を行った。制御用計算機からマイコンへはイーサネットを介してレーザー点灯/消灯に関する指令が送られる。レーザーを取り付けたサッカードミラーは、一部のレーザー光が鏡筒内部で散乱して高速ビジョンにノイズとして入射してしまうため、カメラレンズにレーザー光を遮断するノッチフィルターを取り付けた。利用した実験機材は以下通りである。

- サッカードミラーシステム (2 台)

— 高速ビジョン: N-Box(nac), 640x480, 1000fps

- ガルバノミラー: ケンブリッジテクノロジー 6240H XY 軸
- 制御用計算機: Intel Xeon E5-2643 v3 3.40[GHz] 6 コア 2 プロセッサ, DDR4 64.0[GB]
- レーザーシステム (片側サッカードミラーに設置)
 - ビームエキスパンダー: 4x
 - レーザー: グリーンレーザー, ビーム径 3mm, 波長 532nm, 出力 10mW
 - 制御用マイコン: mbed LPC1768

図 6 にレーザー制御時の写真を示す。図は、球がテーブルにバウンドする時にレーザーを点灯するように制御した際の写真を示している。

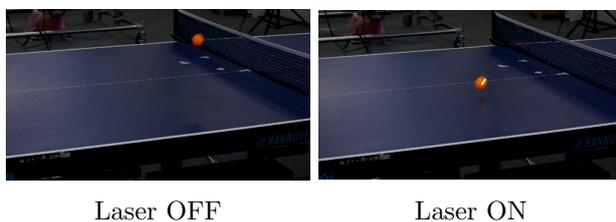


図 6: Photographs of the projection mapping experiment.

5. 卓球演出の評価

構築したシステムを使ってラリー中の卓球に演出を行い、20代から30代の男女13名に対して観客側とプレイヤー側それぞれで体験してもらい、演出に関してのアンケート調査を行った。レーザーによる演出は次の5通りを実施した。

- A. 卓球が卓球テーブル領域内に存在するとき、レーザー光線を照射
- B. 卓球が卓球テーブル領域外に存在するとき、レーザー光線を照射
- C. 卓球がバウンドするときに、レーザー光線を照射
- D. 卓球テーブル領域内に存在するとき、0.05秒毎にレーザー光線を ON/OFF を切り替え
- E. 卓球テーブルの長辺 (X 軸) 方向に 100mm 毎にレーザー光線を照射する領域と照射しない領域を設定

光の演出を行う際に注意しなければならない一つに光過敏性発作が挙げられる。これは激しい光の明滅を見たことで発作様症状、眼・視覚系症状、不定愁訴、不快気分、頭痛や吐き気などを引き起こす症状である [9]。本実験でも D と E で明滅を伴う演出を行っているが、投影対象である卓球の面積が非常に小さく、観察者の視界のごくわずかな面積を占めるだけであること、投影している光のエネルギーがクラス 1M 相当と小さいことから、危険性はほとんどないと判断した。

プレイヤーは体験者同士で数回ラリーをしてもらい、観客側はそれを観察してもらった。各パターンについてラリー

を行った後、アンケートに回答してもらった。アンケートは5段階評価で観客に対して17項目、プレイヤーに2項目回答を求めた。

以下に設問を示す。

観客側

- Q1. レーザー光線の明るさはちょうどよかったか
 - Q2. レーザー光線は観戦の邪魔になったか
 - Q3. A~E について楽しいと感じたか
 - Q4. A~E について生理的嫌悪感を覚えたか
 - Q5. A. についてテーブル領域外から内に横切るときに連動して光が卓球に照射するように見えたか、逆に内から外に出るときに消えているように見えたか
 - Q6. B. についてテーブル領域内から外に横切るときに連動して光が卓球に照射するように見えたか、逆に外から内に出るときに消えているように見えたか
 - Q7. C. についてバウンドする瞬間に卓球が光ったように見えたか
 - Q8. D. について明滅する時間間隔はちょうど良かったか
 - Q9. E. について明滅する距離間隔はちょうど良かったか
- プレイヤー側
- Q10. レーザー光線はよく見えたか
 - Q11. レーザー光線はプレイに影響を及ぼしたか

アンケートの結果、ほとんどの人が Q1 は 3(適切だった)、Q2 は 1(ほとんど邪魔にならなかった) と答えた。また Q4 については A, B, C, E についてほぼ全ての人が 1(あまり嫌悪感を感じなかった) と回答した。その他の結果については図 8, 9 に示す。

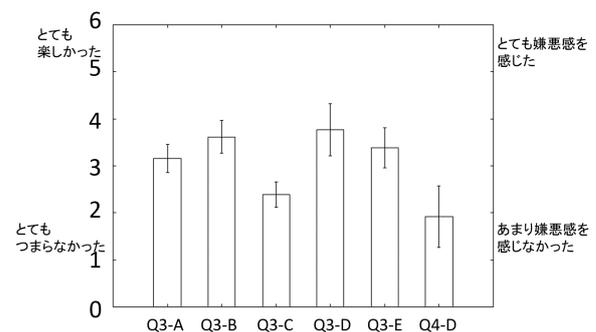


図 7: Questions to the Spectators.

観客についてはまず、C を除いて普通より少し楽しめたことが分かる。C の演出は点灯時間が短く、観客からあまり見えなかったことが Q7 から分かる。このことから C 以外の演出は点灯/消灯するタイミングと観客の意識が一致していることが分かる。つまり演出は意図した通りに見えた。嫌悪感については D の激しく明滅する演出で少し嫌悪を示す人が現れたが、それ以外はほとんど嫌悪感を示さなかった。

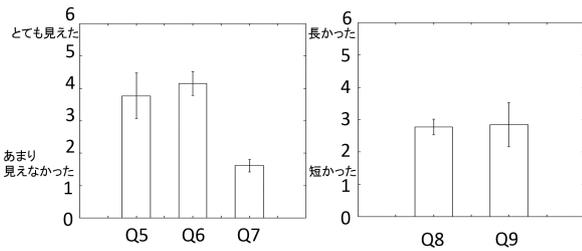


図 8: Questions to the Spectators.

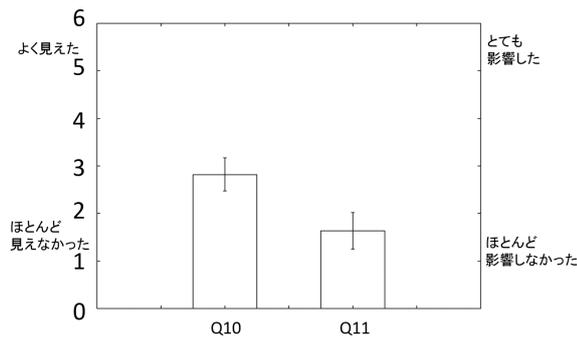


図 9: Questions to the Players.

プレーヤー側については光があまり見えず、プレイにはほとんど影響しなかったことが分かる。本プロジェクションマッピングは、側面からレーザーを照射する性質上卓球を行っているプレーヤーではなく、そのプレイを見ている観客を対象にしたものである。プレーヤーから球の点灯があまり見えず、プレイにほとんど影響しないというのはプレーヤーに演出を意識させず通常どおり卓球が出来るというメリットになる。

アンケート結果から浮き彫りになった問題点の一つに視認性がある。短時間の明滅を含む提示手法である C,D,E について楽しさのスコアを比較すると、C のスコアが他の 2 つに比べて低い。Q7 から C は視認性がよくないことが示唆されており、これは視認性の違いが原因となっていると推測される。D や E の楽しさのスコアが C より高いことを考えると、おそらくバウンドした時だけ光らせる C では視認できなかったのに対し、D や E の明滅では観客者は視認できていたと推測される。また同じ明滅でも D は E より視認性が高いことが推測される。アンケートでは視認性を直接聞いた項目はないが、D の方が E よりやや楽しさのスコアが高く、また実験時に被験者から直接聞いた感想でも E の視認性が悪いという感想があったからである。この違いは明滅頻度や明滅継続時間の違いにあると推測している。

6. おわりに

本発表では、2 台のサッカードミラーを使ったステレオトラッキングシステムから、レーザーによって三次元位置に対応した演出を卓球に行い、アンケート調査を行った。そ

の結果、高速で運動する卓球に対してレーザー光による動的な照明を行うことで観客にとって楽しいと感じられる演出が可能であること、また、その楽しさは照明方法やその視認性に強く依存することが明らかになった。今後は明滅時間と視認性の関係と観客がより楽しいと感じる演出について考えていく。

参考文献

- [1] A. H. Bermano, M. Billeter, D. Iwai and A. Grundhfer, "Makeup Lamps: Live Augmentation of Human Faces via Projection," Computer Graphics Forum (Proc. Eurographics), 2017.
- [2] G. Narita, Y. Watanabe and M. Ishikawa, "Dynamic Projection Mapping onto Deforming Non-Rigid Surface Using Deformable Dot Cluster Marker," IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol.23, No.3, pp.1235-1248, 2017.
- [3] S. Kagami, K. Hashimoto "Sticky Projection Mapping: 450-fps Tracking Projection onto a Moving Planar Surface," Proc. 8th ACM SIGGRAPH Conference and Exhibition on Computer Graphics and Interactive Techniques in Asia (SIGGRAPH Asia 2015), Emerging Technologies, Article No. 23, Kobe, Japan, 2015.09.29-10.03.
- [4] K. Okumura, H. Oku and M. Ishikawa, "Acitve Projection AR using High-speed Optical Axis Control and Appearance Estimation Algorithm," 2013 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME 2013) / Conference Proceedings [doi:10.1109/ICME.2013.6607637].
- [5] K. Okumura, H. Oku and M. Ishikawa, "1ms auto pan-tilt-video shooting technology for objects in motion based on saccade mirror with background subtraction," Advanced Robotics, 29, 7, pp. 457-468,2015.
- [6] 小池裕太, 奥寛雅, "2 台の 1ms オートパンチルトシステムによるステレオトラッキングとそのスポーツへの応用", 2016 年映像情報メディア学会年次大会/講演予稿集, 24E-2.
- [7] 原田亘, 小池祐太, 奥寛雅, "動的プロジェクションマッピングによる新たなスポーツ演出手法の基礎検討", ロボティクス・メカトロニクス講演会 2018 / 講演予稿集, 2P2-H16.
- [8] 石川憲, "レーザー・オプティクスの国際標準 レーザー製品の安全基準と作業安全", O plus E, 346 号, pp940-945, 2008 年 08 月 25 日
- [9] 内川 恵二, "視覚心理入門 ー基礎原理から応用視覚までー", オーム社出版, 2009.