

プロジェクションマッピング技術を使用した体験型メディアアトラクション 「デジタルバッティングセンター」の仕組みと原理 —CDRM2における教育学部と芸術学部の連携を通じた共同開発—

細川 賢司 (名古屋芸術大学 教育学部 講師)
大久保 拓弥 (名古屋芸術大学 芸術学部 非常勤講師)
加藤 良将 (名古屋芸術大学 芸術学部 講師)
真弓 英彦 (名古屋芸術大学 教育学部 教授)

要旨

本研究は、名古屋芸術大学教育学部と芸術学部の協働を通じた「アート×スポーツ×テクノロジー」の融合により、インタラクティブなスポーツ体験を創出することを目的として実施された。本稿ではプロジェクションマッピング技術を活用した体験型メディアアトラクション「デジタルバッティングセンター (DBC)」の開発過程、およびその仕組みと原理について詳述する。

DBC は、プロジェクションマッピングによって野球場の環境を再現し、投影された投手の映像と光のボールを用いることで、打撃体験を提供するシステムである。開発には openFrameworks, MadMapper, Max などのソフトウェアを活用し、投球に関する制御 (投球速度の決定, 投球動作の表示, ボールの表示), 打撃に関する制御 (バットの検出, 当たり判定, 打撃結果の判定) を行った。

2024 年度には「中日ドラゴンズスポンサーゲーム」「あいちワークショップギャザリング」「ちびっこチャレンジカップ」などのイベントへの出展を通じて、合計 1000 名以上の参加者に体験を提供し、子どもから大人まで幅広い層に好評を得たことが確認された。一方で、スイング速度や、外光の影響によるバットの検出精度に関係する課題も浮き彫りになった。

今後は、カメラや画像処理技術の改良によるバットの検出精度の向上に加え、変化球の導入や新たなゲーム要素の開発を通じて、より多様な参加者に対応するメディアアトラクションへの発展を目指す。本研究は、プロジェクションマッピングを用いたインタラクティブなスポーツ体験の新たな可能性を示すものであり、STEAM 教育やエンターテインメント領域における応用が期待される。

1. 取り組みの背景

名古屋芸術大学教育学部は開設後 3 年目を迎え、今後「芸術大学の中の教育学部」としての強みをますます発揮していくことが求められる。しかし、これまで教育学部と芸術学部が協働して開催した行事は少なく、筆頭著者が担当する子ども健康・スポーツコースではまだ事例がない。

そこで、昨年度からクロスディシプリナリ研究会議 (Cross Disciplinary Research Meeting: CDRM) 「子ども教育×メディア (STEAM 教育)」領域 (以

下、CDRM2) に参加している教育学部子ども学科子ども ICT コース教員に相談し、芸術学部との連携の可能性を探ってきた。今年度より、筆頭著者も CDRM2 に参加し、芸術学部芸術学科デザイン領域先端メディアコースの教員と協働し、体験型メディアアトラクション「デジタルバッティングセンター (以下、DBC)」を開発することになった。

今年度は DBC を用いて「中日ドラゴンズスポンサーゲーム (於：バンテリンドームナゴヤ)」「あいちワークショップギャザリング (於：椋山女学園

大学)」「ちびっこチャレンジカップ(於:中部国際空港)」の3つの行事に参加・出展した(図1-3)。その実践の様子は名古屋芸術大学人間発達研究所年報第13巻1-2号(細川, 2025a, b, c)に別途報告している。本稿では、これまで紙幅の都合上割愛していた内容であるDBCの仕組み・原理について詳述する。



図1. パンテリンドームナゴヤにおける体験の様子

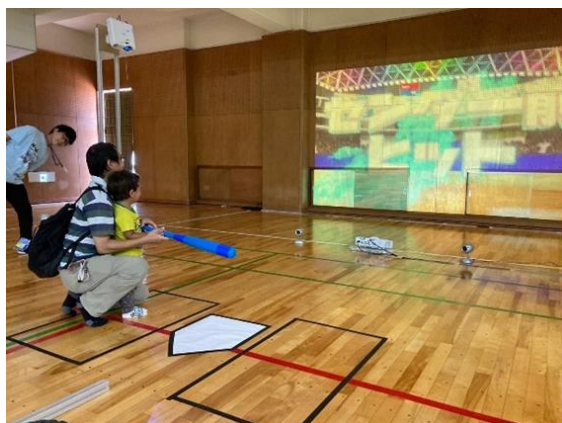


図2. あいちワークショップギャザリングにおける体験の様子



図3. ちびっこチャレンジカップにおける体験の様子

2. DBCの概要

DBCは、プロジェクションマッピング技術を使用して野球場の環境や選手を投影し、光の球として移動してくるボールを打ち返す体験型メディアアトラクションである。環境構成について、最初の参加行事かつその後の参加行事の基準となった「中日ドラゴンズスポンサードゲーム」における機材の配置等を図1に示した。投手が投影されるスクリーンから打者(バッターボックスおよびホームベース)までは約6mが確保された。また、ピッチャー-バッター間に投射する光量を減少させるため、周囲にアルミフレームを設置し暗幕を張った。

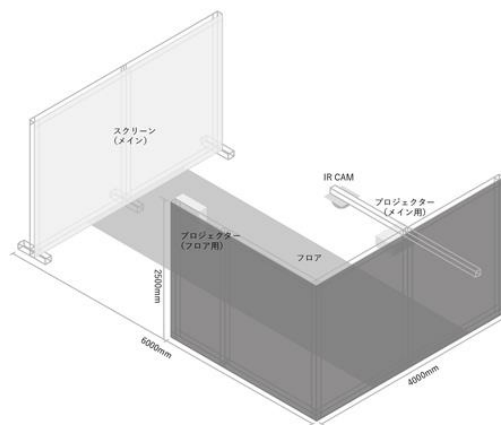


図4. DBCの環境構成

3. DBC制御システムおよびプログラム

3-1. DBC制御システムの構築

今回は、openFrameworks(以下、oFと略す)を用いて、主にバットの位置や角度の取得、投球の開始とボール速度の決定、打撃結果の判定など行う制御用ソフト(以下、oF(c)と略す)およびフロア出力用ソフト(以下、oF(f)と略す)を開発した。また、このソフトをプロジェクションマッピングソフト(MadMapper, Garage Cube社製)、およびビジュアルプログラミングソフト(Max 8, Cycling'74社製)と連携させ、DBCの制御システムを構築した(図5)。

また図5においてはMadMapperによってプロジェクターからスクリーンへの投影を調節するプロセスを

MadMapper(S), フロアへの投影を調節するプロセスを MadMapper(f), システム全体を制御するソフトを oF(c), フロアに投影するアニメーションを生成するソフトを oF(f), 映像の再生と制御をするソフトを Max と表記する. なお, 今回は 2 台のプロジェクター (EB-L210SW, EPSON 社製) を使用し, フロアとスクリーンに映像を表示した.

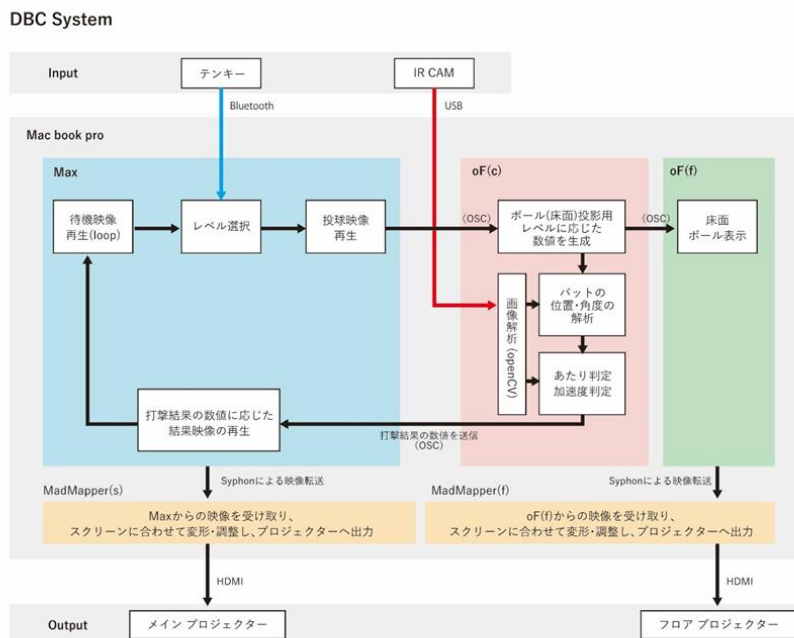
(1) MadMapper を採用した理由

通常, プロジェクターを用いたスクリーンへの投影においては, プロジェクターの距離と角度の影響により歪みが発生する. プロジェクター本体の調整機能を使用して歪みを補正することも可能であるが, 膨大な時間がか

かる. その点, MadMapper を導入することにより, ソフトウェア上での歪み補正が可能となるため, 設営時間の大幅な短縮が可能となる. 今回 DBC を出展したイベントにおいては短時間での設営が必要であったことから, これは大きな利点であった. また, 1 台の PC から 2 台のプロジェクターへ映像出力を行ったため, MadMapper 経由で出力したほうがプロジェクターの動作を管理しやすくなるという利点もあった.

(2) Max を採用した理由

Max は視覚的なコードの作成・修正が可能であり, 学生による運営を想定し初学者でも操作しやすいことから採用した.



		Max	oF(c)	oF(f)	MadMapper(s)	MadMapper(f)
3-2. 待機映像の再生		①			②	
3-3. 投球に関する制御	(1) 投球速度の決定	①	②			
	(2) 投球動作の表示	①		①	②	
	(3) ボールの表示		①	②		③
3-4. 打撃に関する制御	(1) バットの検出		①			
	(2) 当たり判定		①			
	(3) 打撃結果の表示	①			②	

※下表における数字 (3-2~3-4) および括弧内の数字 (①~③) は本文中との対応関係を示している.
また, 丸数字 (①~③) は制御に関係するソフトおよび機能する順序を示している.

図 5. DBC 制御システムの全体像

3-2. 待機映像の再生

ホームベース後方のアルミフレーム上部に設置したプロジェクターを使用し、スクリーンにグラウンド背景と投手を投影した。投影する映像（待機映像）はMax上で再生したものを、MadMapperで補正しスクリーンに表示した。待機映像は、テンキーが押され投球速度の決定（3-3. (1)）～投球動作の表示（3-3. (2)）が開始されるまでループ再生した。

なお、グラウンド背景は共著者に依頼し、バンテリンドームナゴヤをモチーフとしたCGを作成した（図6）。投手は筆頭著者がユニフォームを着用して投球動作を行う様子をグリーンバックで撮影し、その後グラウンド背景のCGに合成した（図7）。



図6. グラウンド背景のCG



図7. グリーンバックによる投球動作の撮影風景

3-3. 投球に関する制御

(1) 投球速度の決定

投球速度の操作には、体験者とコミュニケーションが取りやすいようBluetoothによってPCに接続されMaxと連携したテンキーが使用された。テンキーで入力されたレベル（1～8の数字）は、oF(c)上で変換・処理することで、投球動作の表示（3-3. (2)で詳述）とフロアへのボール表示（3-3. (3)で詳述）に反映された。

(2) 投球動作の表示

待機映像の再生と同じくホームベース後方のアルミフレーム上部に設置したスクリーン用プロジェクターを使用した。投球動作は図7で示した映像素材を活用し、Maxを用いて再生速度を制御した。制御の方法については以下の通りである。

- ・ テンキー入力3をデフォルト状態（投球開始から、ボールが手を離れるまで8秒間）として設定した。
- ・ テンキーによるレベル入力（1～8）の数値をデフォルト状態の再生速度に乗算することで早送り・スロー再生の制御を行った。
- ・ Maxで処理された結果をMadMapperへ送信し、プロジェクターへの出力を行った。

(3) フロアへのボールの表示

ホームベース側方のアルミフレーム上部に設置したフロア用プロジェクターを使用した。ボールの表示の制御の方法については以下の通りである。

- ・ 3-3. (2) 投球動作の表示が終了次第、フロアにボールが投影されるようMaxを用いてタイミングを制御した。
- ・ なお、ソフト上ではメインスクリーンからフロアまではシームレスに繋がっており、スクリーンからボールが飛び出てきたように感じられるようタイミングを調整した。

ボールの移動速度の制御の方法については以下の通りである。

- ・ ボールの移動速度については、3-3. (2) 投球速度の再生速度の制御と同様に手順で行っ

た。まず、デフォルト状態（テンキー入力 3）を設定した。これはソフト上では 1 フレームにつき 10 ピクセル動くスピードとなる。

- ・ 次に、テンキー操作によってレベル入力（1～8）が行われた場合、その数値をデフォルト状態の数値に乗算し、ボールの移動速度を決定する数値を $oF(c)$ で生成した。
- ・ $oF(c)$ により生成された数値は $oF(f)$ へ送信し、ボールが移動するアニメーションをリアルタイムで作成した。
- ・ 最後に、 $oF(f)$ で生成された映像を MadMapper へ送信し、フロア用のプロジェクターへ出力することにより、ボールの移動速度を 8 段階で表現した。

3-4. 打撃に関する制御

タイミングを合わせて実際にバットを振り、打撃結果を体感することは、DBC の重要な側面である。ここでは、バットスイングを捕捉する仕組みと、多種多様な打撃結果が判定される仕組みに分けて記述する。

(1) バットの検出

バットの検出は、ホームベース後方のアルミフレームを延長しホームベースの真上に設置された赤外線カメラ（ELP-USBFHD05MT-DL36-J、ELP 社製）、および $oF(c)$ を介して行った。赤外線カメラを用いた理由としては、プロジェクターから発せられる可視光線およびその他の可視光線の影響を受けずに撮影できること、モノクロ（グレースケール）で撮影されるためその後の処理（2 値化）が行いやすいことなどが挙げられる。なお、今回は防犯用の安価な赤外線カメラを使用しており、DBC 用に最適化するため、以下の処理を行っている。

- ・ カメラには周囲の明るさを自動で読み取る光センサーが装着されているが、今回は外光に影響されないようこの装置を取り外した。
- ・ より限定した赤外線のみ透過するように、「富士フイルム（FUJIFILM）光吸収・赤外線透過フ

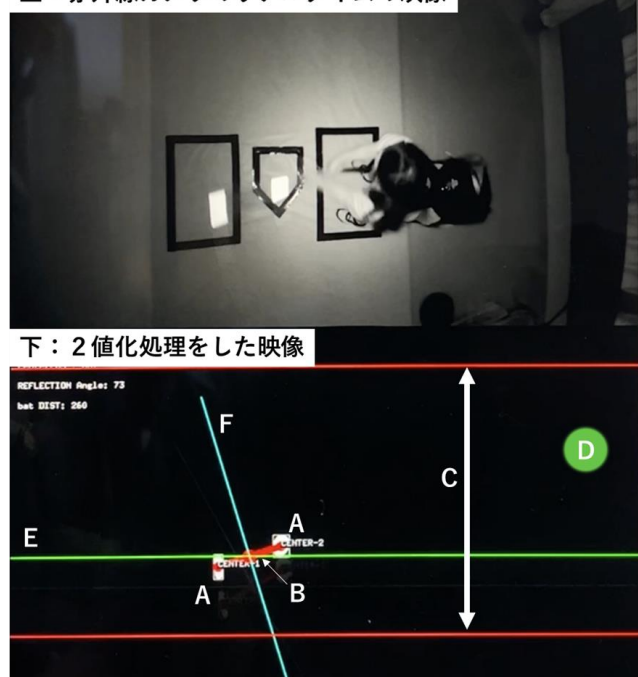
ィルター（IR フィルター）IR 80」を取り付けた。

- ・ カメラは防犯用のため撮影範囲が広角であることから、歪みを補正するソフトウェア（openCV）を使用した。

バットの検出における手順や方法については以下の通りである。

- ・ カラーバットの根本と先端に反射テープ（再帰性反射材）を巻き、赤外線カメラの撮影空間においてその 2 ヶ所が最も明るく（白く）映るようにした（図 8 上）。
- ・ 次に、赤外線カメラによって撮影されたグレースケールの映像は $oF(c)$ 上で 2 値化し、反射材が巻かれた 2 ヶ所が最も強い白色の塊になるようパラメーターを調整した（図 8 下）。
- ・ さらに、 $oF(c)$ 上で 2 ヶ所の白色部分（図 8 下：A）の中心点の座標（図 8 下：B）を取得することで、バットの位置と角度を検出した。

上：赤外線カメラのリアルタイムの映像



下：2 値化処理をした映像

図 8. バットの検出における $oF(c)$ の制御画面

- A : バットに貼られた反射材の位置
- B : A を結んだ線（バットの角度の算出に使用）
- C : ヒッティングゾーン（当たり判定に使用）
- D : フロアに表示されているボールの位置（当たり判定に使用）
- E : B の中心を通る水平線（当たり判定に使用）
- F : B に垂直な線（打球の軌道の算出に使用）

(2) 当たり判定

バットがボールに当たったかどうかの判定(当たり判定)は、oF(c)を用いて行われた。当たり判定における手順や方法については以下の通りである。

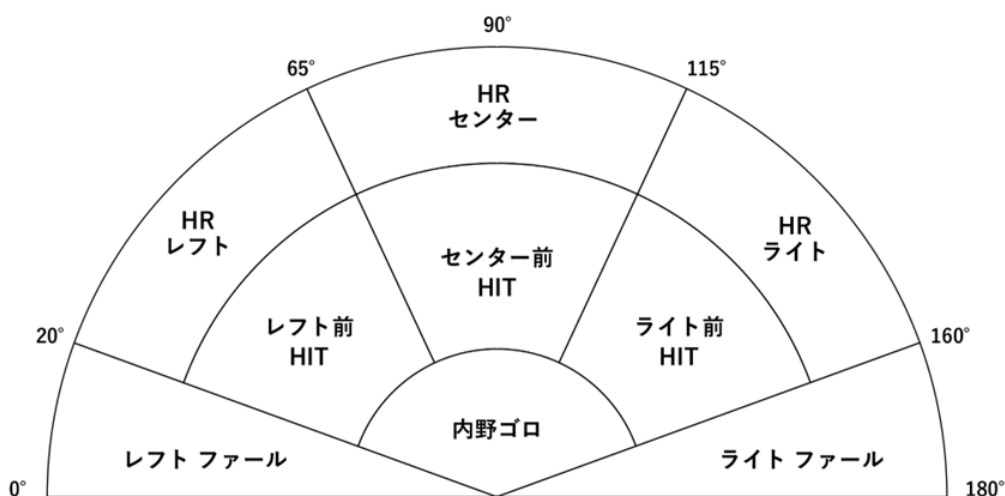
- ・ まず、oF(c)で設定したヒッティングゾーン(図8下:C)にバットがあるかどうかを3-3.(1)の手順により検出した。
- ・ 次に、投球動作が開始され、フロアをボールが移動すると同時に oF(c)上でもボールの位置(図8下:D)が示される。
- ・ このとき、ヒッティングゾーン内にバットとボールが両方あり、なおかつバットの中心点を通る水平線(図8下:E)にボールが接触した場合に当たりと判定した。この場合、続けて以下の処理が行われる。
- ・ 当たり判定が行われた瞬間のバットの位置(図8下:Bの中心点)と、1フレーム前のバツ

トの位置の差を取得した。この差はバットの加速度を意味し、打球の飛距離に影響する。

- ・ 判定した瞬間のバットの角度(図8下:B)およびそれに垂直な角度を取得した(図8下:F)。この角度は打球方向の決定に影響する。
- ・ 他方、ボールがヒッティングゾーンを通過する間に水平線との接触がなかった場合は外れ(ストライク)と判定した。

(3) 打撃結果の判定

打撃結果の判定には、引き続き oF(c)が用いられた。この処理には 3-4. (2)の当たり判定に続いて取得されたバットの加速度および打球方向の角度が用いられ、それらをかけ合わせて10種類の打撃結果が判定された(図9)。また、これらの判定結果の数値をMaxへ送信し、打撃結果の映像のメインスクリーンに再生した。



		打球方向の角度				
		0～20°	20～65°	65～115°	115～160°	160～180°
バットの 加速度	0～30	レフトファール	内野ゴロ			ライトファール
	30～100		レフト前 HIT	センター前 HIT	ライト前 HIT	
	100～		レフト HR	センターHR	ライト HR	

図9. 打撃結果の判定

4. 今後の展望

今年度は教育学部子ども健康・スポーツコースおよび ICT コース, 芸術学部先端メディア表現コースが協働した初めての取り組みとして DBC を開発した。また, 3 つの行事への出展で合計 1000 名以上の参加者に体験を提供し, 好評を得ることができた。一方で, 次のような課題も見られた。

- ・ 野球経験者や成人の体験時などバットスイングが速い場合, 現在使用しているカメラの性能では捕捉しきれないこと。
- ・ 太陽光など周辺環境からの光量が多い場合, oF(c) 上のバットの検出に関わるチューニングが随時必要になること。

今後は, 現在表出している課題を解決しつつ, 新たに変化球を導入するなどして, より多様な参加者がアート×スポーツによる感動体験を提供できるアトラクションへ発展させていきたいと考えている。

文献

- a) 細川賢司 (2025) 2024 年度前期 子ども健康・スポーツコース 実践報告. 名古屋芸術大学人間発達研究所年報, 第 13 巻 1 号, pp. 1-8.
- b) 細川賢司 (2025) 2024 年度後期 子ども健康・スポーツコース 実践報告①. 名古屋芸術大学人間発達研究所年報, 第 13 巻 1 号, pp. 9-17.
- c) 細川賢司 (2025) 2024 年度後期 子ども健康・スポーツコース 実践報告②. 名古屋芸術大学人間発達研究所年報, 第 13 巻 2 号, (in press).