

サッカーのゴールキーパーのための練習データ分析システム - Smart Goal : 2 台の魚眼カメラによる 3 次元トラッキング -

1 背景

ゴールキーパーはサッカーにおいて特殊なポジションである。11 人のプレイヤーの中で唯一手を使ってプレーすることが許され、その指導には特別な知識と経験が必要である。このような背景から、多くのアマチュアチームでは専属のコーチがつかず、練習を振り返ることで自分自身にフィードバックをしつつ、成長しなければならないポジションである。実際に、2021 年度の JFA のチーム登録数と指導者登録数、ゴールキーパーライセンスの取得数を見ると、1 チームあたりに指導者登録数は 3 人以上いるのに対し、ゴールキーパーライセンス取得者はわずか 10 チームに 1 人である。またプロ選手においても、自分のプレーを振り返ることはさらなる競技力の向上のために非常に重要である。

2 目的

このような背景から、我々は練習や振り返りの質を高め、選手の競技力向上をサポートするツールが必要であると考えた。具体的には、ゴールキーパーの骨格情報とボールの位置情報を 3 次元で捉え、それを 3DCG 上に再構成して自由な視点から振り返りが行えるようにすることで、先述の練習振り返りの質の向上に大きく寄与できると考えた。本プロジェクトは、2 台のカメラをゴールに取り付けるだけで、ゴールキーパー及びフィールドプレイヤーの 3 次元トラッキングを可能にすることを目指す。3 次元で選手の骨格情報を取得する技術はすでに実用化されている一方、スタジアムに設置した 10 台以上のカメラを用いた、数億円規模の莫大なコストを必要とするシステムである。これに対し、本プロジェクトでは、ゴールにカメラを取り付けることで多様な練習環境に対応し、十数万円程度の安価で高精度なデータ取得を可能にするシステムを開発することを通して、プロ・アマ問わず練習の振り返りの質を格段に向上にさせることを目指した。

3 開発の内容

本プロジェクトは、2 台のカメラをゴールに取り付けるだけで、ゴールキーパー及びフィールドプレイヤーの 3 次元トラッキングを可能にする Smart Goal というシステムを開発した。以下に、実際の使用の流れに沿って Smart Goal の機能の概要を説明する。

3.1 練習動画の撮影

Smart Goal では、魚眼レンズ (GoPro Max Lens Mod 2.0) を接続したアクションカメラ (GoPro9) を用いて撮影を行う。Smart Goal ではサッカーゴールにカメラを設置する必要があるが、一般に市販されている粘着型マウントでは、接着力が弱い・毎回の設置が面倒・設置するたびに位置と角度が変わる・ボールの衝突時にカメラに大きな衝撃が加わるなどの問題がある。そのため、図 1,2 に示すような磁石型のマウントを独自に開発した。



図 1: 磁石型のマウント



図 2: カメラの設置時の様子

これにより、ユーザは意識せずともカメラを磁石マウントに近づけるだけで、毎回同じ位置、同じ角度でカメラを設置でき、設置時にかかる時間もおよそ 3 秒程度となっている。

3.2 動画の取り込み・撮影機器の充電

我々は、日々の練習の撮影におけるユーザの負担を軽減し、継続してシステムを利用できるようにするために Smart Goal Dock を開発した。Smart Goal Dock は、ユーザがカメラを接続するだけで、カメラの左右を認識してカメラ内の動画を自動でサーバーの適切なフォルダにアップロードし、カメラ内の動画を消去すると同時に、カメラの充電を完了して再使用可能な状態とする（図 3）。これにより、ユーザはカメラの容量や残バッテリーを機にすることなく、継続してシステムを利用することが可能になる。



図 3: Smart Goal Dock

3.3 3次元姿勢推定

まず、各カメラにおいてそのカメラに写っている選手の姿勢推定とボールの位置推定を行う。この時、選手の姿勢推定とボールの位置推定はそれぞれ 4DHumans (Goel et al., ICCV 2023) と YOLOv8 (Jocher et al., 2023) を用いた。次に、各カメラに対して骨格推定とボールの位置推定から得たキーポイントのピクセル座標の情報と、2つのカメラの内部パラメータ、外部パラメータの情報を組み合わせることによって、各キーポイントからの光線がどのような角度でカメラに対して入射したかを計算する。これを両方のカメラに対して計算し、光線の交点を計算することで、3次元の座標を再構成することができる（図 4）。

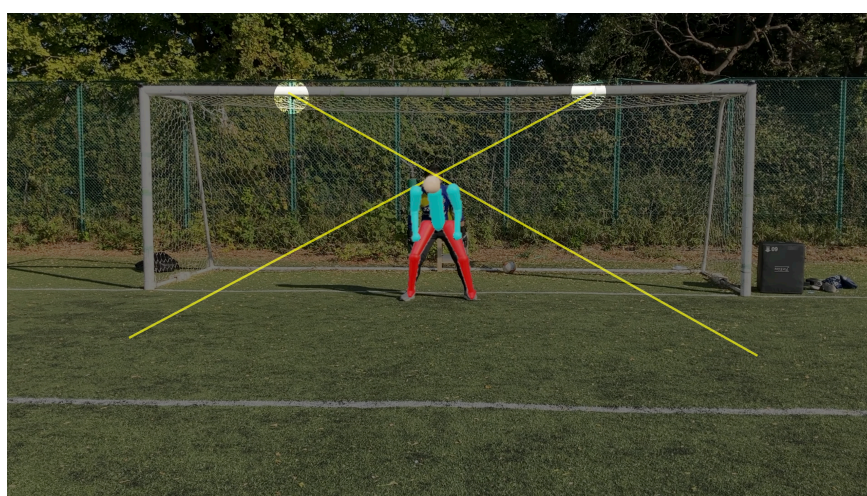


図 4: 光線の交点による 3次元座標再構成の模式図

厳密には 2つの光線は交差しないため、光線の交点は右カメラと左カメラからの光線同士の距離が最小になるようなそれぞれの光線上の点を結んだ半直線の中点を採用している。また、取得した 3次元トラッキングデータが自然な動作となるように、移動平均を用いた平滑化を行っている。

3.4 3DCG を通した練習振り返り

取得された 3 次元データは、以下のような Web アプリケーション上で確認が可能になっている (図 5)。

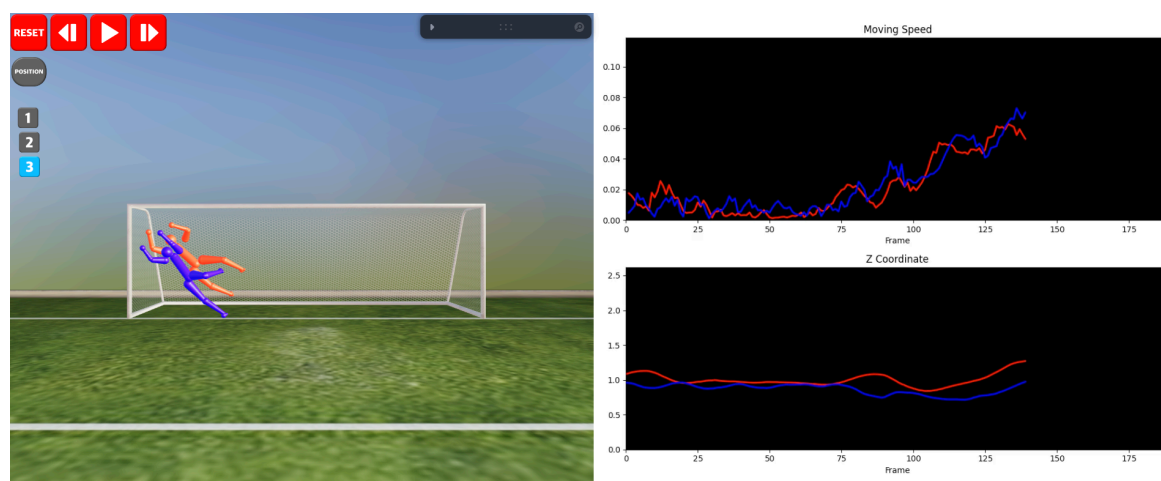


図 5: Web アプリケーションのサンプル画面

Smart Goal を用いると、ユーザは 1) 多様な視点からの振り返りや、2) 自分のプレーと他の人のプレーの比較、そして 3) データに基づいて自分のプレーを客観的に把握することができるようになる。これら 3 点について、以下で項目を分けて説明を行う。

■視点を变える Smart Goal を用いると、ユーザは 3DCG 上で自由な位置から、自由な角度で自らのプレーを確認することができるようになる。例えば、図 6 のように多様な視点に自由に動かしてプレーを確認することができる。

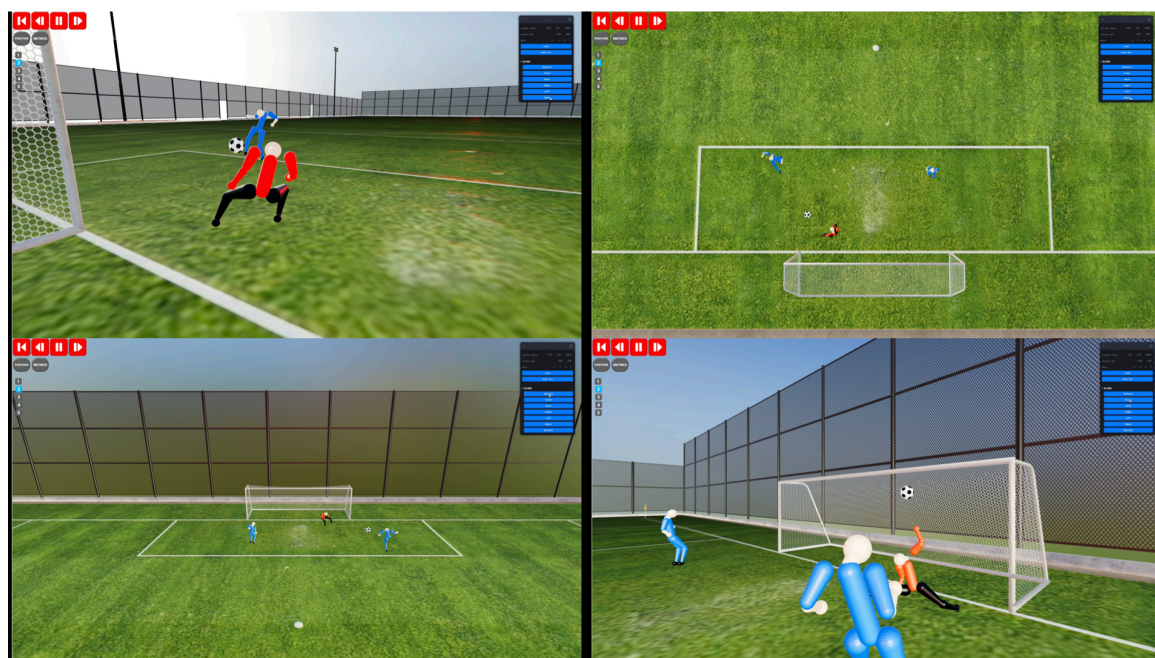


図 6: 多様な視点からのプレーの振り返り

注目すべきは、鳥瞰図など普通のカメラで撮影した映像を用いた振り返りでは絶対に得られない視点からの振り返りが行うことができる点である。特に、シュートした選手からの視点のような一人称視点が得られると、ゴールキーパーにとっては、自分のポジショニングが正しいのか、自分が相手にどれだけのプレッシャーをかけられているのかなどを客観的に見ることができ、今までにない振り返りシステムである。また、3DCG であることを活かし、図 7 のように補助線を引いてポジションを確認することも可能である。

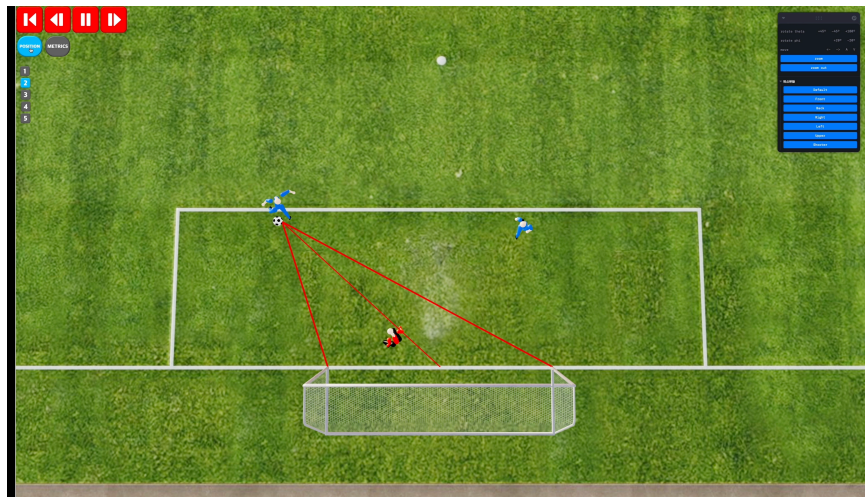


図 7: 補助線によるポジショニングの確認

このように、選手がプレーを振り返る際に様々なオプションを提供することによって、詳細な振り返りを可能にすることは、Smart Goal の大きな特徴の一つである。

■比較する また、複数のプレー動画とデータを蓄積することで、複数のプレー間の比較を行うことができる。同じ練習や、類似した状況下でのプレーについて、3DCG を重ねて表示する機能である。例えば図 8 では、異なる 2 人の選手のプレーを表示しており、動作のタイミングや方向、体の沈み具合、足の関節の角度や腕の動き方の違いなどを視点の変更を交えて確認することができる。図 8: 正面（左図）と横（右図）からの比較



図 8: 正面（左図）と横（右図）からの比較

これにより、自分よりレベルの高い選手など、参考にしたい選手との比較や過去の自分のプレーとの比較を詳細に行うことができる。CG を重ねて表示することで、1 点からの動画だけでは認識が困難な細かい動作比較を可能にしており、解決すべき課題や練習による改善の度合いを客観的に確認できると考えられる。

■データで気づく さらに、Smart Goal では 3DCG を構成する際に、選手の各関節の角度や動き方をデータとして取得している。このデータを用いることにより、3DCG を用いた多視点からの振り返り、重ね合わせによる比較を行っても必ずしも得ることができない示唆を、データを通して得ることができる。図 9 に、3 人のアマチュア選手と 1 人のプロ選手（青で表示）の横方向へのダイビング動作を比較した例を示す。左画面で行われる目視での動作比較では、各選手の動作の違いは必ずしも感じられないが、実際に横方向（X 軸方向）の移動スピードを比べてみると、プロ選手の方がボールが蹴られた直後の移動速度が速く、ボールが蹴られた直後にスムーズに移動できていることがわかる。

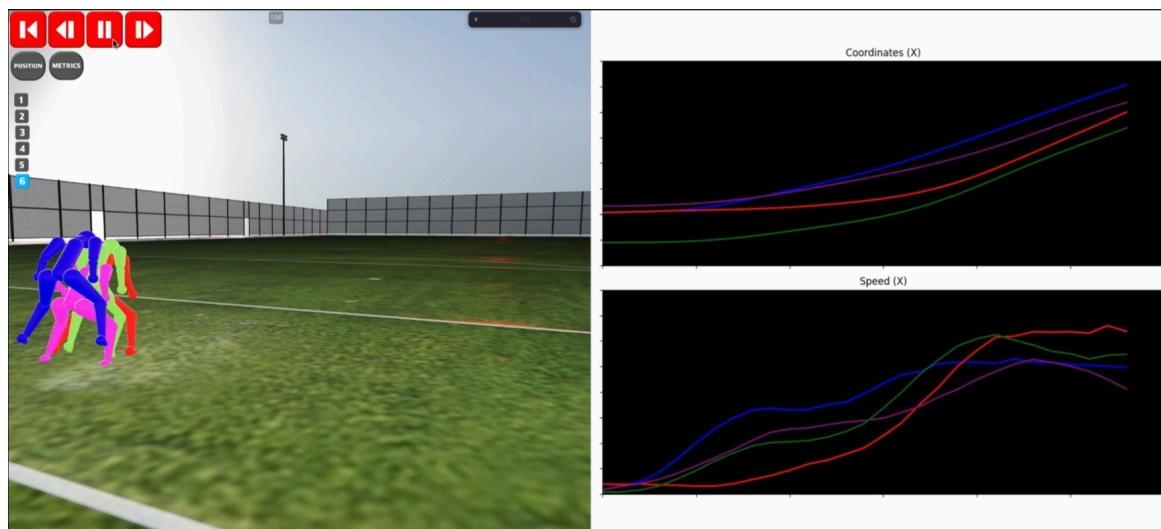


図 9: 3 人のアマチュア選手と 1 人のプロ選手（青で表示）の動作（左）と各選手の横方向（X 軸方向）の速度と座標のデータ（右）

また、継続して Smart Goal を使用することにより、各選手ごとのエリア別失点データなどといった、統計データを取得することもできる。これにより、各ゴールキーパーがどのような場合に失点する傾向にあるのかなど、各選手の苦手なポイントが把握でき、より効率的なトレーニングが可能になると考えられる（図 10）。

このように、Smart Goal では、自由な視点からの振り返りや比較だけではなく、目視の比較では必ずしも得られない示唆を蓄積されたデータから得ることができる。

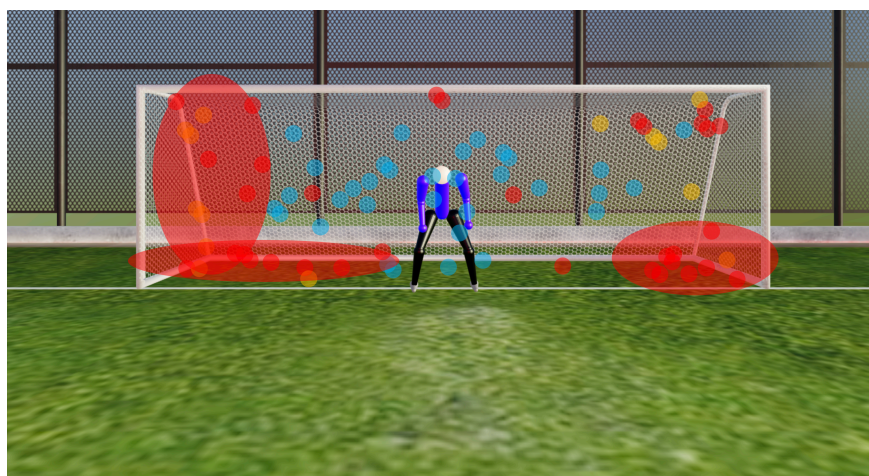


図 10: エリア別失点データの例

4 従来の技術との相違

3次元で選手の骨格情報を取得する技術はすでに実用化されており、実際 2022 年のカタールワールドカップにおいては、スタジアムに設置された 12 台のカメラを用いて、試合中の選手の骨格情報を取得し、オフサイドの半自動検出等を行っていた。このように、試合用のデータ分析システムは数多く存在するが、1 試合でゴールキーパーが受ける枠内シュート数は平均 5~7 本程度であり、ゴールキーパーのプレー改善に十分な情報を得られない。また、試合用のシステムは練習で使用するにはコストが大きく、様々な形状でグラウンドを使用する練習の多様性にも対応できない。我々は、ゴールとプレーエリアの寸法が定まっていることなどを上手く利用することで、これらの練習でのデータ取得の課題を解決しつつ、練習から安価で手軽に、それでいて高精度なデータ取得を可能とした。Smart Goal はゴール前に限り、詳細な練習データを大量で安価に取得することができ、練習の多様性にも対応できる。これにより、ゴールキーパーのデータを数百倍のコストパフォーマンスで取得することができる。さらに、出場機会の少ないゴールキーパーのデータも取得可能となる。

5 期待される効果

従来は、どのレベルの選手であっても、基本的にはピッチ中央やゴール裏から撮影された一つの映像から練習の振り返りを行っていた。しかし、このように撮影された動画では、他の選手と被ってしまったりうまく動作が確認できなかったり、ある一つの画角からしか動作を確認できなかったりする課題があった。Smart Goalは、3DCGを作成することにより自分の動作を多様な画角から確認したり、また各関節の角度など定量的なデータを元に分析したりすることを可能にする。これにより、精緻な動作分析を元に更なる競技力向上を目指すプロ選手や、専属コーチがいない中で技術向上を目指すアマチュア選手にとって、普段の練習の振り返りの価値を格段に向上させることができるシステムとなっている。

6 普及の見通し

まず本プロジェクトの成果は、製品化してプロサッカーチームを中心に普及させたいと考えている。海外を含めゴールキーパーに特化した同様のシステムは存在していないため、大きなシェアを獲得できる可能性がある。また、先述した他のスポーツへの拡大やフィールド全体への適用が進めば、さらに大きな市場価値を持つ製品となると考えられる。また、今後の機能拡張として大きく3つの方向性を考えている。1つ目は、筋骨格推定の技術を使用した、詳細な身体運動データの提示である。現状でも、骨格情報による体の動きを3次元で把握できるが、筋骨格推定を行うことにより、さらに詳細な動作解析、怪我予防への活用が期待される。2つ目は、ゴール前のシーンだけでなく、フィールドプレーヤーも含めた全選手の3次元トラッキングである。これはフィールドの周囲全体にカメラを配置することで実現できると考えており、スタジアムでの設備を必要とする現状のシステムより圧倒的に安価で導入が可能となる可能性がある。3つ目は、他のスポーツへ拡張である。実際に本プロジェクト期間中には、サッカーだけでなくバスケットボールへの応用を行った。その他にも、バレーボールやハンドボールをはじめとしたゴール型やネット型球技はフィールド内に規格化された構造物を持つため、容易に転用が可能であると考えている。

7 クリエータ名 (所属)

- 王 方成 (東京大学 理学部 物理学科)
- 松尾 勇吾 (東京大学 理学部 生物情報学科)
- 染谷 大河 (東京大学 大学院総合文化研究科 言語情報科学専攻)