

1. 担当 PM

五十嵐 悠紀（お茶の水女子大学 理学部 情報科学科 准教授／
東京大学 先端科学技術研究センター 准教授）

2. クリエータ氏名

福島 隆人（東京大学 大学院情報理工学系研究科）
梶尾 直哉（東京大学 大学院情報理工学系研究科）

3. 委託金支払額

2,487,500 円

4. テーマ名

スポーツ現場での怪我を予防するための筋骨格解析システムの開発

5. 関連 Web サイト

なし

6. テーマ概要

本プロジェクトでは、カメラ映像を用いた姿勢推定技術と、GPS・加速度センサ・インソールセンサといった各種センサデータを統合し、筋骨格解析を行うことで、関節や筋肉の負荷を可視化するシステムの開発を行った。本システムにより、スポーツ現場における怪我予防やパフォーマンス向上の支援に加え、医療やリハビリテーション分野への応用も視野に入れた基盤の構築を目指した。

7. 採択理由

本提案は、提案者自身のスポーツ経験および怪我の経験から端を発した、スポーツ現場の映像から筋骨格データを取得し、怪我リスクの評価やフィードバックを行うプロダクトの開発を目指すものである。本プロダクトの特徴は、映像解析を通じて筋肉や関節の状態を可視化し、怪我の予防を目的としたアドバイスを提供する点にある。動作の改善や、筋力トレーニング、ストレッチメニューの提案といった機能は、スポーツ現場にとどまらず、リハビリテーションや日常生活での動作改善など、幅広い応用可能性を持つと評価した。提案者が

実際にプレイしてきたサッカーを題材に取り組む点にも説得力がある。五十嵐はこれまでサッカー関連のプロジェクトを担当してきた立場から、本提案にも強い関心を持ち、採択をした。本プロダクトは、予防医学やヘルスケア市場においても活用されうる技術へと発展する可能性があり、その展開にも大いに期待している。

8. 開発目標

本プロジェクトでは、姿勢推定と複数センサデータの統合による高精度な身体解析を実現し、関節および筋肉への負荷を定量的に評価・可視化するシステムの構築を目標とした。具体的には、以下を実現することを目指した。

- カメラ映像に基づく姿勢推定結果を、各種センサのデータと統合し、推定精度を向上させる
- 統合データを用いた筋骨格解析により、関節および筋肉への負荷を定量化する
- 筋骨格シミュレーションを活用し、姿勢データを直感的に理解可能な形で可視化する
- 負荷情報を基に、怪我リスクの評価や練習強度の調整を支援する機能を実現する

これらにより、従来は把握が困難であった動作中の身体負荷を定量的に捉え、安全かつ効果的なトレーニングおよびリハビリテーションを支援することを目指した。

9. 進捗概要

本プロジェクトでは、映像およびセンサデータを統合し、筋骨格負荷を推定・可視化するシステム「PhysIn」の開発を行った。本システムは、三次元姿勢の推定と補正、人体モデルの変換、力学解析の3段階からなる解析パイプラインにより構成される（図1）。

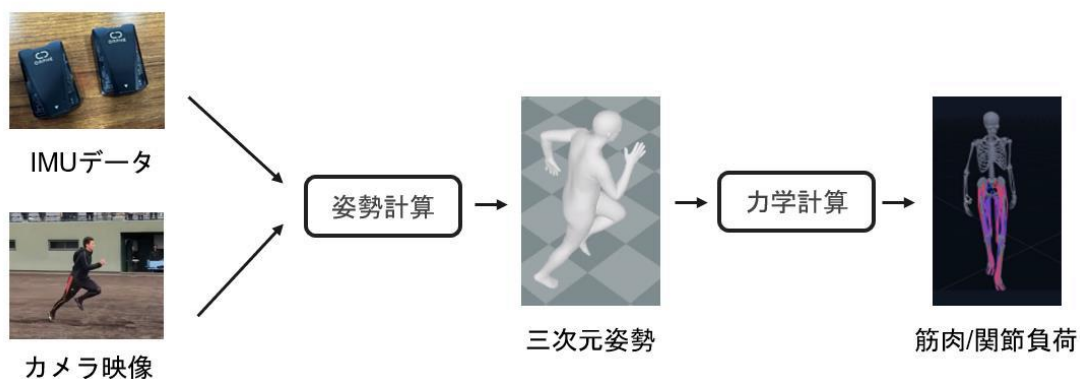


図1：PhysInにおける解析パイプラインの概要

まず、単眼カメラ映像から三次元姿勢推定技術を用いて姿勢を推定し、足部に装着した IMU センサ (ORPHE CORE) の加速度データを用いて、地面へのめり込みや浮きといった誤差を数理最適化により補正する手法を実装した (図 2)。次に、姿勢推定で得られた SMPL モデルを、力学解析に適した OpenSim の骨格モデルへ変換する処理を構築した。さらに、OpenSim を用いた逆動力学計算により、関節トルクや筋発揮力を推定する仕組みを実現した。

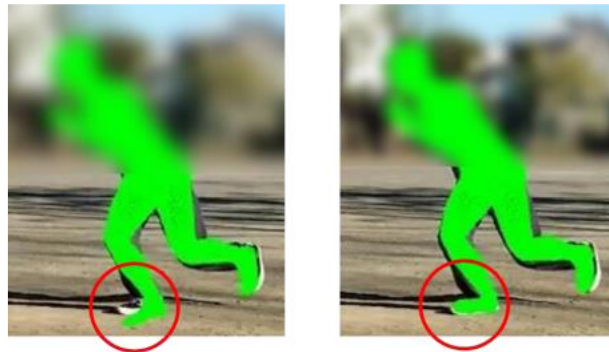


図 2 : IMU を用いた足部の姿勢修正

アルゴリズム開発においては、解析パイプラインの近似手法を独自に実装することで計算の高速化を達成し、従来は数時間を要していた力学計算を、5 秒程度の動作に対して約 15 分 (システム全体で約 27 分) まで短縮した。また、図 3 に示すように、足部に装着する IMU センサからデータを Bluetooth で受信し MicroSD に記録する小型デバイスを、マイコン (ESP32) を用いて開発した。これにより、現場でのデータ取得環境を構築した。

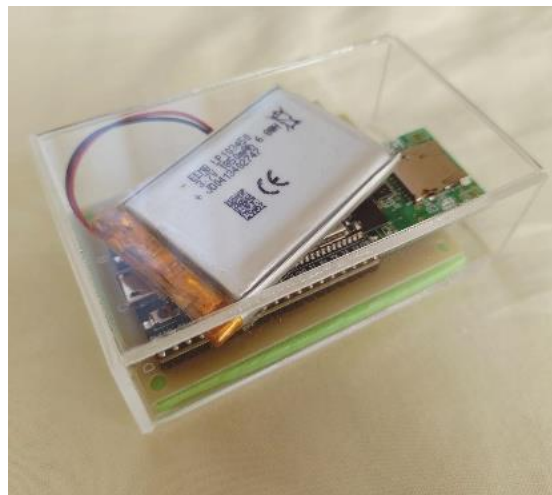


図 3 : 選手のベスト等に装着可能な小型データ受信デバイス

さらに、カメラおよび IMU センサのデータを入力として、三次元姿勢および関節・筋肉への負荷を可視化する Web アプリケーションを開発した (図 4)。本アプリケーションでは、動画のトリミングおよびアップロード、三次元骨格お

および筋経路の可視化、左右の筋出力バランスや筋発揮力比率といった動作評価指標の提示などの機能を提供する。解析処理はバックグラウンドで非同期に実行される設計とした。

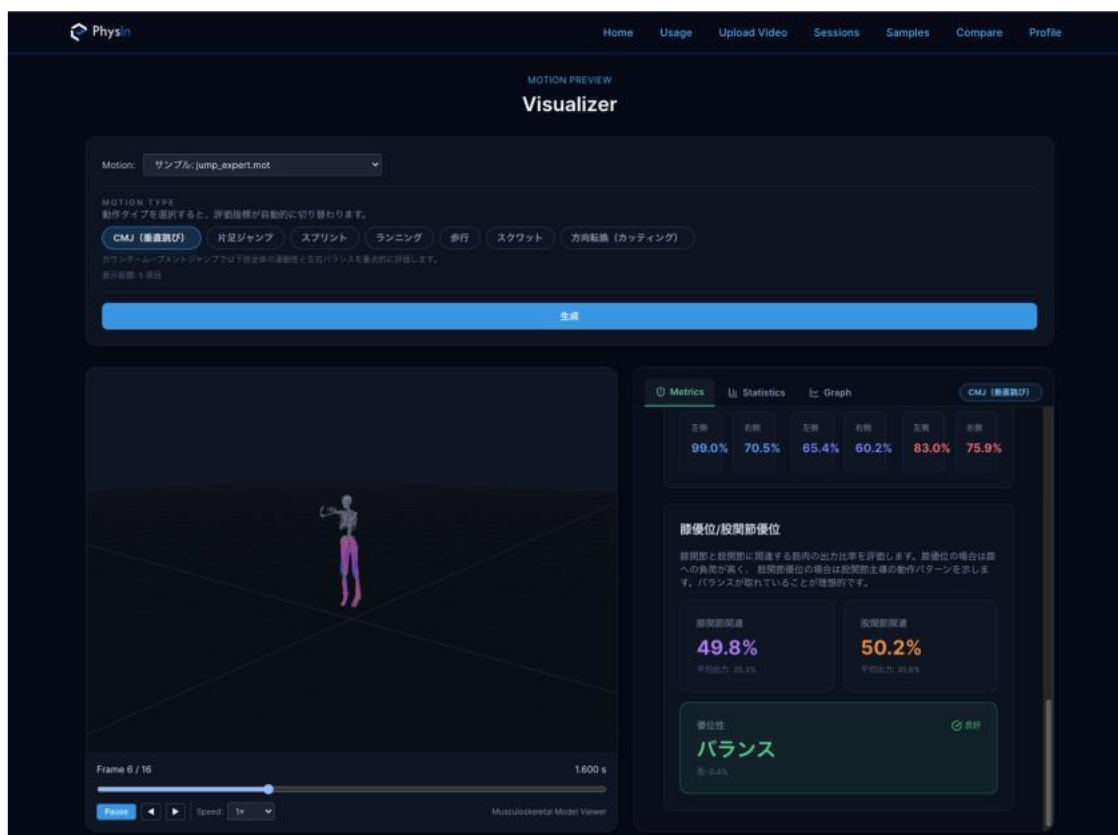


図 4 : PhysIn の 3D ビジュアライザ
左右の出力差や動作特性を直感的に理解できる。

これらにより、実環境で取得可能な映像およびセンサデータから、動作中の身体負荷を定量的に推定し、直感的に理解可能な形で提示する統合的な解析基盤を実現した。本システムは単眼カメラと小型 IMU のみで構成される可搬性の高い構成となっており、スマートフォン 1 台で撮影可能な形まで簡便化を図ることができた。解析はリアルタイム処理には至っていないものの、現場において動作の評価や検討に活用可能な水準で実現することができた。

10. プロジェクト評価

本プロジェクトは、カメラ映像と各種センサデータを統合した筋骨格解析という明確な目標に対し、当初掲げた機能を一貫して実装し、関節および筋肉への負荷の定量化と可視化を実現した点が評価できる。特に、姿勢推定とセンサデータを組み合わせることで精度向上を図り、さらに筋骨格シミュレーションを用いて負荷情報を直感的に理解可能な形で提示している点は、技術的統合性と実用性の両面において優れている。

また、単眼カメラと小型 IMU のみで構成される可搬性の高いシステムとして設計されており、スマートフォンによる撮影が可能なレベルまで簡便化されている点は、現場導入を強く意識した実装として評価できる。リアルタイム処理には至らないものの、現場における動作分析やトレーニング検討に活用可能な水準に到達している。

さらに、プロの指導者からのフィードバックを取り入れながら開発を進めており、実利用シーンを踏まえた現実的なプロジェクト推進が行われている点も評価できる。本システムは、スポーツ現場における怪我予防やコンディショニングの在り方を、定量データに基づくものへと転換する可能性を有しており、その第一歩となる基盤を構築した点に意義がある。

11. 今後の課題

今後は、実際のスポーツ現場における継続的な運用を通じて、本システムの有効性を検証することを是非行って欲しい。特に、怪我予防やパフォーマンス向上への具体的な寄与について、実データに基づく評価がなされることで、システムの有用性がより明確になると考えられる。

加えて、より多くの現場で活用されるためには、導入支援や普及に向けた取り組みも重要である。本システムはスポーツおよび医療分野における実用的な身体解析基盤として発展する可能性を有しており、今後の展開が期待される。