

フィールドスポーツのための 現場指向型可視化システムの研究開発

姜 文淵^{1,a)} 山本 雄平¹ 中村 健二² 田中 成典³ 田中 ちひろ⁴
政木 英一⁵ 山田 貴之⁵ 藤本 雄一⁵ 鳴尾 丈司⁶

受付日 2018年8月19日, 採録日 2019年2月5日

概要: 我が国では、2020年の東京オリンピックに向け、日本代表選手の活躍や競技水準の向上を目的としたスポーツ情報科学に関する研究支援が求められている。そのため、昨今では、スポーツ分野に特化した計測機器が新たに商品化され、それらを用いた計測データの可視化システムの開発や、戦術分析のための応用研究が試行されている。しかし現状では、選手個人のリテラシーを指標化することにとどまり、チーム全体のパフォーマンスを多様な観点から分析できるような現場指向型システムにはほど遠い。そこで、本研究では、サッカーを対象とし、選手個人だけでなく、チームのフォーメーション、選手間の間合い、連携度合、試合の局面・流れなどを確認できる現場指向型スポーツ可視化システムを考案する。この実現に向けて、まず、既存研究の調査と専門家へのヒアリングを通して、必要な可視化項目を整理する。次に、可視化項目に基づき、利用場面を考慮したシステムの各機能を構築する。そして、提案システムを用いて、実試合における選手個人やチーム全体のパフォーマンスを分析し、指導者に新たな気づきを提供できるかの視点から実用の可能性を検証する。最後に、提案システムの新たな展開の可能性について論述する。

キーワード: スポーツ情報学, フィールドスポーツ, 現場指向型可視化システム, フォーメーション, TIN

Research and Development of Coach Oriented Visualization System for Field Sports

WENYUAN JIANG^{1,a)} YUHEI YAMAMOTO¹ KENJI NAKAMURA² SHIGENORI TANAKA³
CHIHIRO TANAKA⁴ HIDEKAZU MASAKI⁵ TAKAYUKI YAMADA⁵
YUICHI FUJIMOTO⁵ TAKESHI NARUO⁶

Received: August 19, 2018, Accepted: February 5, 2019

Abstract: In Japan, to prepare for the 2020 Olympic Games, additional research in sports information sciences is necessary to improve the performance and competitive level of athletes. For this reason, new specialized measuring instruments that are uniquely applicable to the field of sports are available for purchase. The development of data visualization systems and the application of tactical analytic research using these instruments, are also being attempted. However, current instruments and methods are only capable of indexing athletes' individual performance levels. They are inadequate as field or team-oriented systems that can analyze the overall performance of a team from various perspectives. Therefore, in this research, we propose a coach-oriented sports visualization system for soccer that can confirm not only the individual capabilities of the players, but also the optimized team lineup, distance between individual athletes, competitive fitness, and also analyze various phases of a game. To develop this system, first we organized the items that needed to be visualized by studying existing research and interviewing soccer specialists. Second, we considered various applications for applying this system, and then created every function based on the visualization items. Third, we analyzed the performance of individual athletes as well as the entire team in actual competition to provide new ideas and supporting data for instructors based on verifiable, practical possibilities. Finally, we summarized the areas of potential improvement for this proposed system.

Keywords: sports informatics, field sports, coach oriented visualization system, formation, TIN

1. はじめに

我が国では、東京オリンピックをはじめ、ラグビーワールドカップや関西ワールドマスターズゲームズなどの大規模なスポーツイベントに備え、スポーツ振興法 [1] の全面改定など、スポーツに関わる政策が推し進められている。特に平成 27 年に設置されたスポーツ庁 [2] は、日本代表選手の活躍を期待し、重点政策 [3] として「我が国の国際競技力の向上」を推進している。これらの政策を受けて、選手の競技水準の向上を目的としたスポーツ分野における ICT の応用に関する研究がさかんに行われている。既存研究では、動画の解析や GNSS (Global Navigation Satellite System) など各種センサによる計測で得た選手の位置や軌跡情報を可視化することで、パフォーマンスを分析し、監督やコーチなどの指導者に選手やチームの改善点を提案している。なかでも、GNSS による計測は、高精度に選手の位置や軌跡を取得できることから注目されている。しかし、これらのセンサは、機器の導入コストが高価なことや、デバイスに付属するソフトウェアの取扱いが専門的で難しいことなどが普及の障害となっている。また、これらのソフトウェアは、デバイスに依存しており、選手個人のリテラシーを指標化することにとどまっていることから、チーム全体の分析には限界がある。

このような背景の下、著者らは、チームスポーツにおける選手の位置や状態を安価に計測する技術、計測結果を蓄積・解析する技術と解析結果を可視化する技術の検討を行ってきた。そして、その技術の 1 つとして、アメリカンフットボールを対象としたプレーの可視化システムを開発し、プレー分析 [4] を試みた。その結果、選手の位置や軌跡情報を監督やコーチがチームの戦術分析に活用できる可能性を示唆した。一方で、このシステムを現場で積極的に利用して普及促進を図るには、選手個人のリテラシーの指標化以外にチーム全体のパフォーマンスを可視化する機能の拡充が求められることが分かった。その具体例として、単純な選手の位置や軌跡以外にも、速度やポジショニング、

選手間の連携 (チームフォーメーション) などのプレーパフォーマンスを可視化することがあげられる。これらの情報を正確に把握することで監督やコーチの指導に寄与できると考えられる。

そこで、著者らは、選手の交代が少なく、またサインプレーが複雑でないサッカーを対象として、フィールドスポーツをリアルタイムに分析でき、監督やコーチを支援可能な現場指向型のスポーツ可視化システムを新たに開発することを目指した。これを実現するには、サッカーの試合や練習時の指導で求められるシステムの要件を明らかにする必要がある。そこで、本研究では、まず、既存研究の調査と専門家へのヒアリングを通して、現場指導で求められる情報のニーズを整理する。そして、ニーズに関連する既存のシステムやサービス、既存研究などを調査し、そのニーズに合致したシステムの対応方針を検討する。最後に、調査およびヒアリングで得られた知見に基づきシステムの実装を行い、監督、コーチへのレビューを通じてシステムを評価する。

2. 現場指導のニーズの調査

2.1 既存研究の調査

既存研究の調査結果では、既存研究 [5], [6], [7] から、走行距離、速度、加速度、スプリント回数、ボールの位置、パスの軌跡などの基本情報や、選手の疲労度などの状態の把握が求められていることが分かった。さらに、既存研究 [8] では、サッカーの試合・練習時に、個人戦術、グループ戦術、チーム戦術の把握と分析が求められていることが分かった。また、それらの戦術分析を実現するため、オフense・ディフェンス選手間のエッジや、スペースの把握が必要とされていることも分かった。特に、DF (ディフェンダー) と MF (ミッドフィルダー) 間のスペース [9] や、スペースの幅と厚み [10] が重要であることが指摘されており、それらのエッジや、面積の重心を分析することで、戦術的現象を客観的に評価 [11] できることが言及されている。

2.2 専門家へのヒアリング

ヒアリングは、選手個人の能力の把握からチームのパフォーマンスの分析までを対象として、サッカーで把握したい情報について網羅的に行う。ヒアリング対象は、2016～2017 年度のジェフユナイテッド市原・千葉の監督やコーチと、関西大学サッカー部の監督やコーチ、選手、マネージャとした。

関西大学でのヒアリングは、サッカー部の監督 1 名、コーチ 1 名、選手 3 名、マネージャ 1 名の計 6 名に対して行った。監督は、Jリーグで選手として 6 年間活躍した後、コーチとして 4 年間、監督として約 2 年間にわたって指導した経歴があり、日本サッカー協会指導者ライセンス B 級を所有している。コーチは、関西大学の A チーム (1 軍) を指導し、A 級のジェネラルのライセンスを所持している。3

¹ 関西大学先端科学技術推進機構
Organization for Research and Development of Innovative Science and Technology, Kansai University, Suita, Osaka 564-8680, Japan

² 大阪経済大学情報社会学部
Faculty of Information Technology and Social Sciences, Osaka University of Economics, Osaka 533-8533, Japan

³ 関西大学総合情報学部
Faculty of Informatics, Kansai University, Takatsuki, Osaka 569-1095, Japan

⁴ 関西大学大学院総合情報学研究所
Graduate School of Informatics, Kansai University, Takatsuki, Osaka 569-1095, Japan

⁵ アジア航測株式会社
Asia Air Survey Co., Ltd., Shinjuku, Tokyo 160-0023, Japan

⁶ ミズノ株式会社
Mizuno Corporation, Osaka 559-8510, Japan

a) b.kyo@kansai-u.ac.jp

表 1 サッカーにおける情報のニーズ項目
Table 1 Needs of information for soccer.

ニーズ番号	ニーズ内容
1	試合中の走行距離の把握
2	選手の疲労状況, パフォーマンスレベルがキープできているかの把握
3	試合中にトップスピードで走れているかの把握
4	ダッシュとストップのバランスの把握
5	選手の移動方向の把握
6	選手の体の向きの把握
7	選手間の横・縦の距離やスペース, または全員の選手間の距離の把握
8	各チームのフォーメーション, ポジショニングの把握
9	練習と試合の時の運動強度, スピード, ポジショニング, 動き方などの共通点や違いなどの把握
10	情報把握のしやすさ
11	パスルートやボールの保持者の把握

名の選手は、2名がAチームの現役選手と卒業生（2018年卒）であり、1名がBチームの卒業生（2018年卒）である。マネージャは、Aチーム所属の卒業生（2018年卒）である。

ヒアリングの結果、サッカーの指導では、走行距離や選手のトップスピード、疲労状況などの他のスポーツでも求められる情報に加えて、フォーメーションやポジショニングなど、チーム全体に関する情報も必要とされていることが分かった。監督、コーチへのヒアリングによると、フォーメーションとは、単なる選手の位置ではなく、任意の複数名の選手、または選手全員の距離の関係を表す。たとえば、ディフェンス時において、各選手間の距離はバランスを保つ必要があり、1人でも他の選手との距離が短くなれば、必ず空きスペースができるため失点につながる。逆にオフense時に相手の選手間の距離のバランスを崩すことができれば、1対1などの有利の状況を作り出すことができる。また、現場指導に必要な要件として、試合や練習において、リアルタイムに状況の変化をとらえることが重要であるため、各種情報が一目で分かる把握のしやすさも求められている。

2.3 調査とヒアリングのまとめ

既存研究の調査やヒアリングで得られた意見から整理したニーズ項目を表1に示す。本研究では、それらのニーズ項目を実現するための可視化内容（内容項目）を表2に整理した。表2のニーズ項目の5, 6の内容は、位置・軌跡、速度・加速度、心拍、向きのセンサから取得した情報（i~iv）である。ニーズ項目の1~4, 11の内容は、それらの情報に基づき、計算したものや組み合わせたものである。一方、ニーズ項目の7~10の内容は、新たな可視化方法が必要な項目である。

以上の結果をふまえ、本研究では、既存研究や、監督・

コーチが求めるチーム全体の分析が可能な現場指向のシステムを検討する。

3. 実在する可視化システムの調査

3.1 調査の概要

本調査は、表1のニーズ項目への対応方法の検討を目的とする。調査は、国内外で実施されているスポーツの可視化に関する既存サービスや既存研究を対象に行う。調査結果から得られた知見に基づき、本研究で提案するシステムへの実装方針を決定する。

3.2 既存サービスに関する調査結果

既存サービスの調査結果では、GPEXE [12], miCoach [13], Garmin Connect [14], Polar Flow [15], Charts [16], FieldWiz [17], ZXY Go Wearable Tracking [18], データバレー [19], ZEBRA Motion Works [20] などがある。

多くのシステム [12], [13], [14], [15], [16] は、より効果的なトレーニングを行うために、計測機器で取得した選手の位置、走行距離、速度、加速度、心拍などの選手個人の状態を定量化し、指導者に提供している。これらの定量的な数値の可視化は、表2の内容項目 i~ix, xvii に対応するものであり、これを実現すると、ニーズ項目 1~6 を満たすことができる。本研究では、定量的な数値のほかに、各種情報が一目で分かる把握のしやすさ（ニーズ項目 10）を考慮するため、色の変化を利用した表示を検討する。

FieldWiz [17] は、選手個人のリテラシーを指標化する機能に加えて、戦術分析の実現に向けた機能として、移動軌跡により生成したヒートマップを構築している。この方法は、表2の内容項目のいずれにも対応していないが、選手の動きの習慣などを分析できる可能性がある。

表 2 ニーズに応じた可視化内容

Table 2 Visualization contents according to needs of information for soccer.

ニーズ番号	可視化内容																	
	i	ii	iii	iv	v	vi	vii	viii	ix	x	xi	xii	xiii	xiv	xv	xvi	xvii	
	位置・軌跡	速度・加速度	心拍	体の向き	平均速度	最大速度	累積距離	スプリント回数	スプリント距離	距離	円	フォーメーションの形状	情報のグラフ化	情報の統計	複数画面の情報表示	線や色の使用	動画との連携	ボールの位置・軌跡
1	○																	
2		○	○		○	○		○										
3		○			○		○		○									
4		○						○	○									
5	○																	
6				○														
7	○									○	○					○		
8	○										○					○		
9												○	○	○				
10																○	○	
11																	○	○

ZXY Go Wearable Tracking [18] は、リアルタイムに選手の位置や軌跡、速度、心拍などをグラフで提示している。これは、表 2 の内容項目 xii, xiv に対応しており、本研究にも適用可能であると考えられる。一方、このシステムでは、選手個人に関する各種情報をグラフで表示するのみであるため、本研究では、複数選手の情報をグラフで表示することを検討する。

データバレー [19] は、バレーボールの試合中に選手やチームのパフォーマンスの情報を手入力することで、選手の状態やアクションなどを統計し、チーム全体のリテラシーの指標化を試みている。しかし、手入力による入力操作は、高度な専門知識が必要であること、入力のミスや漏れが発生することから、本研究への適用は不向きであるといえる。一方、情報提供の観点では、統計された情報を提示することで表 2 の内容項目 xiii を実現しているため、本研究では、サッカーに適した統計情報の提示を試みる。

ZEBRA Motion Works [20] では、RFID タグを利用し、選手の位置や軌跡、スピードなどの選手個人の状態を動画上に可視化している。同様の方法で表 2 の内容項目 xvi に対応できるため、本研究にも適用可能である。一方、このシステムでは、選手個人の状態のみを動画上に表示するため、本研究では、複数選手の連携などのチーム全体のパフォーマンスの表示を検討する。

3.3 既存研究に関する調査結果

既存研究の調査結果では、選手やボールをトラッキング [21], [22], [23], [24], [25], [26] し、プレーの分類・認識 [27], [28] や、戦術分析 [29], [30], [31] を行う研究、自由視点や選手目線の映像を生成 [32], [33], [34] する研究などがある。これらの研究では、戦術分析を目的として、選手の位置情報や移動軌跡などの抽出精度の向上に着眼し、その結果を可視化している。しかし、個人またはチーム全体の選手の位置や軌跡を可視化することにとどまっており、チーム全体のパフォーマンスを多様な観点から分析できるような現場指向型システムが完成されているとはいえない。そのため、これらの研究に含まれる要素技術を活かしながら監督やコーチのニーズに応えるシステムの検討が必要と考えられる。

一方、既存研究 [35], [36], [37] では、各母点の最近隣領域を分割するボロノイ図に着眼し、選手の位置情報を母点としてボロノイ分割することで、ある地点（たとえば、ボールの落下地点）に最も早く到着可能な選手を確認できる優勢領域を可視化している。この手法は、内容項目には直接関係していないが、選手の位置情報を母点とする場合の図形の分割方法を改良することで、表 2 の内容項目 xi のチーム全体のフォーメーションの形状を把握できる可能性がある。そのため、本研究では、図形の分割方法を改良し、チーム全体のフォーメーションを分析できる新たな可視化方法を検討する。

3.4 既存システムのまとめと研究目的

調査の結果、多くの既存システムは、選手の位置や軌跡、速度、心拍などの個人のリテラシーを指標化することにとどまっており、多様な観点から分析する現場指向型システムは実現されていないことが分かった。

本研究では、調査した既存のシステムをふまえて、現在満たされていないニーズ項目に対して、新たな機能を追加することで、すべてのニーズ項目に備えた戦術分析に適用可能な新たな可視化システムを提案する。

具体的には、既存のサービスや研究でも実現されている手法を応用することで、表 2 の内容項目 i~ix, xii~xiv, xvi, xvii に対応する。項目 x は、著者らの既研究 [4] の可視化方法で対応する。また、残りの内容項目 xi, xv への対応のため、新たな可視化方法を提案する。これにより、すべての内容項目に対応し、監督やコーチのニーズを満たす現場指向型可視化システムを開発する。

4. 可視化システムの開発

4.1 可視化システムの概要

本研究では、戦術分析の実現に向けた現場指向型スポーツ可視化システムを提案する。本システムは、既存研究で開発したシステムに対して、サッカーに関わる監督・コーチのヒアリングから得られたニーズ項目(表 1)を満たすための機能を拡充したものである。また、現場での利用を想定し、情報を練習中や試合中に確認できるようにリアルタイムで表示するための機能を備えることを目指す。

本システムは、アニメーション画面、選手のプロパティ表示画面と撮影動画画面で構成され、10 fps での描画を実現している。また、本システムは、選手ごとの計測日時、位置(緯度・経度・高度)、速度、加速度、心拍、向きを入力できる。これらの情報を取得するため、著者らは、GNSS や 9 軸センサにより、安価かつ高精度に選手の位置などを計測可能なデバイスの開発を行っている。

開発のデバイスは、SPI-HPU [38] や CATAPULT [39] などの既存のデバイスの単独測位と異なり、Wi-Fi を用いた基準局による RTK 測位で、位置精度を 0.02~0.05 m 程度に抑えている。また、GNSS の計測頻度は 10 Hz となっている。さらに、9 軸センサを内蔵することで、選手の姿勢や向きの計測が可能である。

このデバイスを利用することで、リアルタイムに情報を取得し、本システムにより解析できる。本システムの入力データは、このデバイスで取得した情報を想定しているが、システムの汎用性を考慮すると、他のデバイスや、画像処理により取得した情報も利用できるように、CSV 形式に設定している。それらの情報は、システムの入力用 CSV フォーマットに変換することで利用できる。また、本システムは、自チームの情報のみの場合や、ボールの軌跡がない場合などデータが不完全な状況を考慮し、撮影動画との

連動を実現する。これにより、データの不完全な部分を動画で確認することができる。

4.2 システムのデータ入力

本システムは、あらゆるデバイスからの入力を想定し、CSV 形式のファイルを入力としている。そのため、本システムは、同様の形式のデータを入力することで、選手以外のボールなどの位置や軌跡の可視化にも対応可能である。

本システムは、位置情報を可視化するため、サッカーフィールドの 4 コーナの実座標の設定により射影変換を行っている。具体的には、まず、フィールドの 4 コーナの実座標を設定し、その縦と横の比率を用いて、描画のフィールドのサイズと座標を決定する。次に、フィールドの 4 コーナの実座標と描画用の座標を用いて、射影変換のパラメータ(スケール、回転角度と変位)を計算する。最後に、CSV データから読み込んだ選手やボールの位置座標を、射影変換のパラメータで描画用の 2 次元座標に変換する。

4.3 アニメーション画面

4.3.1 基本情報の可視化機能

本機能は、表 2 の i, iv, x と xvii の内容項目を実現する。具体的には、まず、図 1 の a と b に示すように、選手やボールの位置情報に基づき、軌跡(i, xvii)をアニメーション画面に表示する。次に、選手の位置情報を拡張し、既存研究 [4] と同様に距離円(x)を表示する。このように選手の軌跡により選手の移動方向を判断でき、距離円により選手間の距離による接触判定が把握可能である。ボールの位置と軌跡により、パスルートや、ボールの保持者を把握できる。また、本機能では、図 2 のように選手の体の向き(iv)を 45°ごとの 8 方向で表示することで、選手の詳細な動きを把握できる。

本機能は、試合や練習中において、選手交代のタイミングや戦術の実行度合いの把握、さらに試合や練習後における選手の行動パターンの把握での利用を想定している。

4.3.2 選手状態の可視化機能

本機能は、内容項目の ii, iii, v~ix の選手の状態をリアルタイムに可視化する。選手の状態とは、累積距離、速度、加速度、平均速度、スプリント回数、スプリント距離、心拍を指す。これらの値は、手動選択で切り替えることで、確認したい項目を図 3 のように画面に表示できる。これらの情報は、試合や練習時に、選手の素質を把握することができる。たとえば、FW の移動速度が速いほど、相手チームへ脅威を与えることができる。また、速度が速いが、スプリント回数や距離が少ない選手は、持久力が低いと考えられる。このような選手は、レギュラーとしては使いにくいですが、交代選手としては良い選択となる。走行距離と心拍を確認することで、選手の疲労度の変化を確認でき、選手



図 1 位置、軌跡と距離円の可視化

Fig. 1 Visualization for position, trajectory and distance circle.



図 2 体の向きの可視化

Fig. 2 Visualization for direction of body.

交代のタイミングの把握にも活用できる。

本機能では、ニーズ項目の 10 の内容 (内容項目の xv) を実現するため、それらの情報の値の変化にとともに、数値に色のグラデーション (図 4) を付与する。色のグラデーションによる表示は、効率的かつ効果的に情報を伝えることが可能 [40] である。そのため、色のグラデーションを利用することで、選手ごとのパフォーマンスの違いや、選手全員の疲労状態の変化などを素早く容易に確認できると考えられる。

本機能は、試合中に選手交代のタイミングや戦術の実行

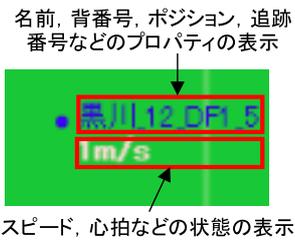


図 3 選手のプロパティと状態の可視化

Fig. 3 Visualization for property of player and its status.



図 4 可視化内容の色のグラデーション

Fig. 4 Color gradation of visualization contents.

度合いを把握することや、練習中にトレーニング量を最適化する目的での利用を想定している。さらに、試合や練習後に選手の行動パターン特徴の把握と怪我の可能性の分析などでの利用を想定している。

4.3.3 フォーマーションの可視化機能

本機能は、内容項目の xi, xv を実現するため、チームフォーメーションの形状を可視化する。具体的には、図 5 に示すように各選手を頂点として、次の 3 種類の図形を用いる。

- ドロネー三角形分割による生成した TIN (Triangulated Irregular Network)
- ポジションごとのライン
- カスタマイズした多角形 (またライン)

ドロネー分割の三角形は、外接円に他の頂点が含まれないため、ディフェンス時の近い選手同士の連携や全体のフォーメーションを正確に把握できる。ポジションごとのラインは、同ポジションの選手間の連携を容易に把握可能である。カスタマイズした多角形は、試合中に監督やコーチが指定する任意の複数選手間の連携を確認できる。

この 3 種類の図形は、選手間を線で接続するため、線の長さや面積などの定量的な数値情報を用いた分析に活用できる。さらに、一目で連携の状態を把握できることから、現場指導においてリアルタイムにデータを確認する場合にも有効であると考えられる。

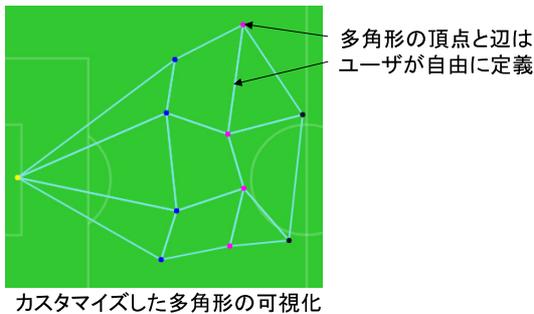
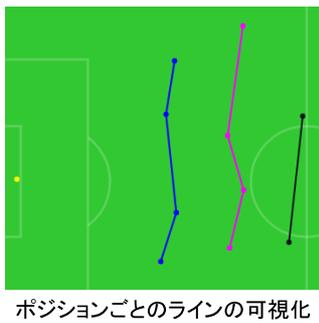
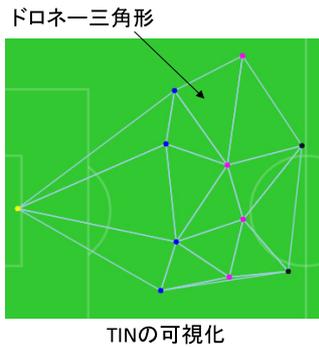


図 5 チームフォーメーションの可視化
Fig. 5 Visualization for team formation.

本機能は、試合や練習中において、チームパフォーマンスの確認や戦術の実行度合いの把握、さらに試合や練習後のフォーメーションや戦術の特性の分析での利用を想定している。

4.4 選手のプロパティ表示画面

選手のプロパティ表示画面では、内容項目の xii~xiv を実現するため、選手の状態のグラフと統計情報を可視化する。

まず、内容項目の xii, xiv を実現するため、本画面では、利用者が選択した選手の速度、加速度、平均速度、心拍などの情報を随時グラフ化(図 6)し、複数の子画面で可視化する。これにより、選手ごとの情報の比較や、練習や試合中の情報の比較が容易に行える。

そして、内容項目の xiii を実現するため、本画面では、選択した選手の蓄積した状態の情報(最大速度、スプリント回数、スプリント距離、走行距離)の統計値を表示する。これにより、練習や試合後に選手間の状態の違いを定量的に把握し、選手に指摘することが可能である。



図 6 選手状態のグラフ
Fig. 6 Visualization of status of player.

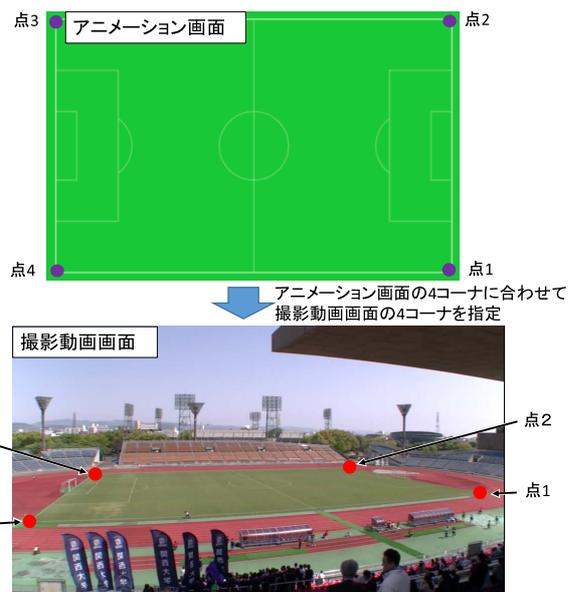


図 7 射影変換のための 4 コーナの指定
Fig. 7 4 Corners appointed for projective transformation.

本画面は、試合中における選手交代のタイミングの把握や戦術の実行度合いの把握、また試合や練習後における選手の能力の限界を把握するといった利用を想定している。

4.5 撮影動画画面

撮影動画画面では、内容項目の xvi を実現するため、試合や練習時に撮影した動画を再生する。また、再生するとき、各種情報を容易に確認できるように、アニメーション画面上の情報を動画にオーバーレイする。具体的には、図 7 に示すように、動画上のフィールドの 4 コーナを手動で指定し、射影変換によりアニメーション画面上の情報を動画上の正しい位置に重畳する。最終的に、図 8 に示すように、試合の動画の情報を確認すると同時に、アニメーション画面上の情報の把握を実現する。これにより、相手チームやボールなどの情報が入力されていない場合でも、それらの情報を動画上で確認し、分析に活かすことができると考えられる。

本画面は、試合や練習後における選手の能力の限界や行動パターンの特徴の把握、フォーメーションや戦術の特性

表 3 システムの各機能の主な想定利用場面

Table 3 Assumed usage scene of each function from system.

利用の想定場面		アニメーション画面			選手のプロパティ表示画面	撮影動画画面
		基本情報の可視化機能	選手状態の可視化機能	フォーメーションの可視化機能	選手の状態のグラフと統計情報の可視化	情報のオーバーレイ
試合中	選手やチームのパフォーマンスの確認により、交代タイミングの把握	○	○	○	○	
	フォーメーションの形状や軌跡から戦術の実行度合いの把握	○		○		
練習中	選手の体力と限界の把握により、臨機応変にトレーニングの量を最適に修正		○		○	
	フォーメーションの形状や軌跡から戦術の実行度合いの把握	○		○		
試合・練習後	選手の能力の限界や、行動パターンの特徴などの特性の把握	○	○		○	○
	フォーメーションや戦術の特性の分析	○		○		○
	選手のパフォーマンスとトレーニングの量から怪我の可能性の分析		○			○

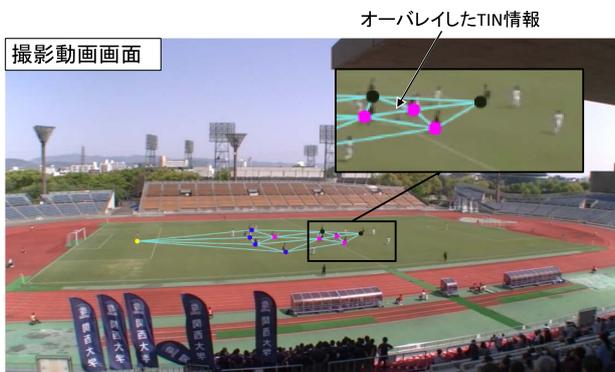


図 8 動画にオーバーレイした可視化情報

Fig. 8 Visualization information overlaid on video.

の分析，選手の怪我の可能性の分析への利用を想定している。

4.6 提案システムのまとめ

本システムは，リアルタイムに受信したデータを可視化することで，現場の状況に応じた指導に利用可能である。たとえば，戦術の実行度合いや，選手のリアルタイムな状態などの把握などに利用できる。また，本システムは，蓄積したデータを読み込むことで，試合後の詳細なパフォー

マンスの確認と解析にも利用できる。

システムの各機能の主な想定利用場面を表 3 に示す。本システムは，試合や練習中と，試合や練習後の両方において利用できる。

アニメーション画面において，基本情報の可視化機能は，選手の軌跡から適切な行動がとれているかを判断できるため，選手のパフォーマンスの把握に利用できる。

選手状態の可視化機能は，スプリント距離，累積距離，心拍から，選手の疲労度の把握に利用できる。

フォーメーションの可視化機能は，各選手間の距離やスペースの面積から，チーム全体の連携状況をリアルタイムに確認できるため，チームのパフォーマンスの把握に利用できる。この3つの機能は，選手のパフォーマンスや疲労度を確認することで，各選手の交代タイミングの把握に利用できる。

選手のプロパティ表示画面において，選手の速度や，心拍のグラフを利用することで，選手の状態の変化や他の選手との比較により，試合や練習中に選手の疲労度をリアルタイムに確認し，交代タイミングを容易に把握できる。また，試合後，統計した累積距離や，スプリント回数と距離を分析することで，選手の能力の限界を把握でき，今後の試合でより良い選手のパフォーマンスを引き出すことがで

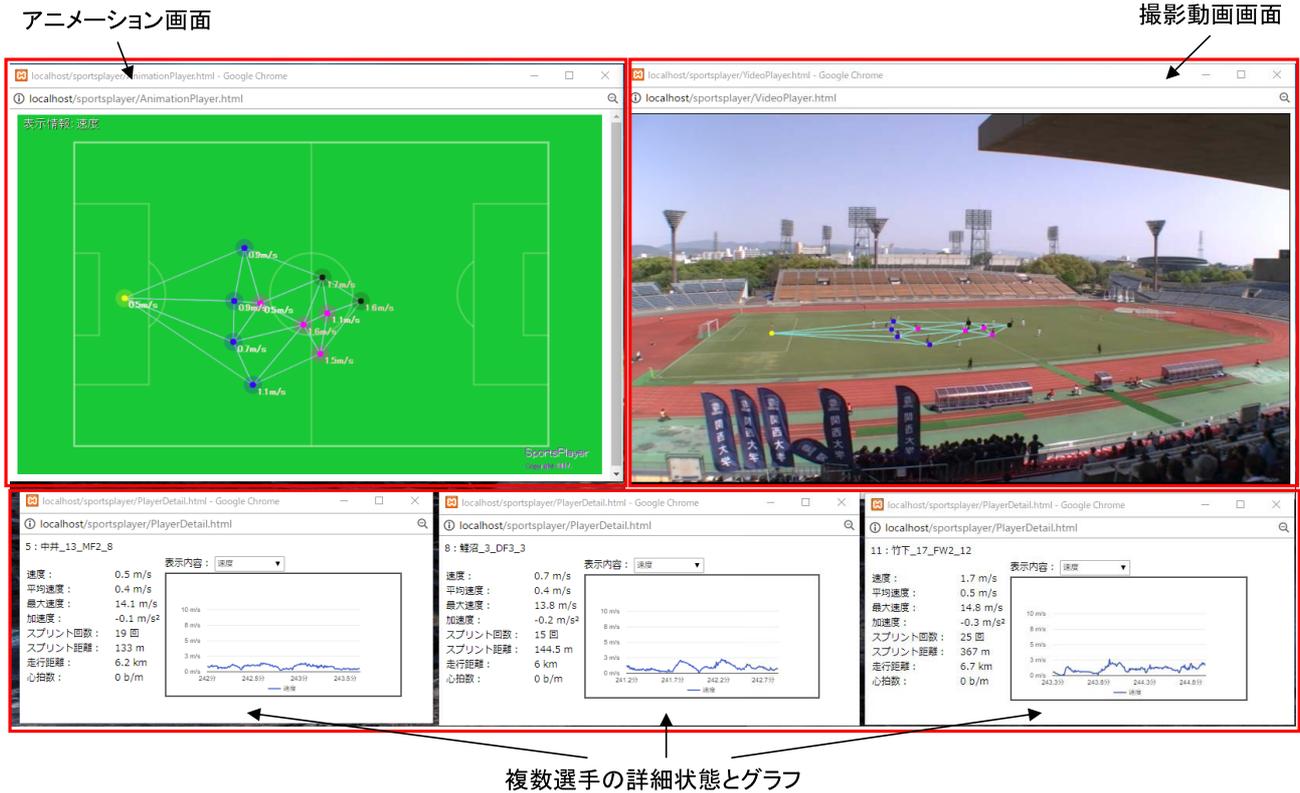


図 9 可視化システムの全体イメージ
 Fig. 9 Whole image of coach oriented visualization system.

きる。

撮影動画画面において、試合後のミーティングで、可視化内容を重畳した動画から、軌跡や状態に合わせた選手の姿勢や、挙動など細かい行動を確認でき、正確に選手のパフォーマンスを解析できる。

5. システムの有用性の評価

5.1 評価の概要

本システムの可視化結果を図 9 に示す。図 9 は、選手の基本的な位置や軌跡のほか、TIN、選手の名前や速度などのプロパティ、TIN をオーバーレイした同期動画をシステム利用者に提示したものである。

本研究では、これらの可視化結果に基づき有用性を評価する。評価では、ニーズ項目に対する本システムの適合性の確認と、プレー分析の試行による戦術分析の実現可能性の検証を行う。

5.2 ニーズ項目に対する本システムの適合性の確認

5.2.1 確認方法

ニーズ項目に対する本システムの適合性の確認では、各ニーズ項目が適切な方法で可視化され、満たされているかどうかを確認する。評価は、関西大学サッカー部の監督、コーチ、選手に対してシステムのレビューを行い、各機能が実用的かどうかの観点に基づき意見を収集して行う。

5.2.2 確認結果

監督、コーチ、選手へレビューを実施した結果、本システムは、表 1 の各ニーズ項目に応じて適切な方法で実現されており、データを用いた分析や選手へのフィードバックに活用できるとの意見が得られた。特に、次に示す 3 点は高い評価を得た。

- アニメーション画面で、TIN で接続された選手を確認することで選手間の距離のバランスが全体的に保たれているかを把握しやすいこと
- アニメーション画面で、色のグラデーションにより、選手の状態の変化や、試合の流れの変化を把握しやすいこと
- 選手のプロパティ表示画面で、選手の状態の時系列的な変化をリアルタイムに確認してタイムリーに指示を出すためのグラフと、試合後や練習後に定量的な数値に基づく指導が可能な表示方法の双方が揃っていること

これらの意見から、本システムは、監督やコーチ、選手へのヒアリングに基づくニーズ項目を満たしていることが分かった。一方、本システムのレビュー結果から、さらに追加で確認したい情報として次の 3 点の意見（ニーズ）が得られた。

- エリアごとのボールの保持率の把握
- 選手のプレーの意識（場面に応じた適切な行動）の把握

● 敵・味方選手のオフENSEの習慣の把握

これらの意見に対しては、新たな可視化方法を考案する必要がある。たとえば、1点目に対しては、既存システム [17] で実現されているヒートマップによる可視化で実現可能と考えられる。そして、2点目と3点目に対しては、大量の試合を計測したビッグデータから、場面に応じた選手の移動軌跡などを機械的に学習することで、意識と習慣を推測して解決できると考えられる。今後は、それらの意見への対応方法を検討し、システムの現場指向性を高めることが必要である。

また、本システムの撮影動画画面は、すでに撮影された動画に情報を重畳する機能であるため、現時点でのリアルタイム表示は実現できていない。そのため、今後、Webカメラなどの機器との連携を検討する必要がある。

5.3 プレー分析の試行による戦術分析の実現可能性の検証

5.3.1 分析の概要

本研究では、システムによる戦術分析の実現可能性を確認するため、実試合の計測データを本システムに入力し、戦術分析に有用で新たな情報を得ることが可能かどうかを関西大学サッカー部の監督、コーチとともに検証する。

検証に用いるデータは、2017年4月30日に京都府の西京極総合運動公園陸上競技場にて行われた関西大学対立命館大学の試合の計測データを対象とした。開発中のデバイスは現在小型化に向けた改修を行っているため、計測には、試合時における選手の快適さと安全面などを考慮して、製品化されているGNSS端末「SPI-HPU」[38]を用いた。

SPI-HPUは、著者らが開発しているデバイスとほぼ同種類のデータの取得が可能で、パッケージされているソフトウェア Teams AMS により、そのデータを可視化できる。しかし、Teams AMS は、計測したデータの統計と解析が主であり、リアルタイムの選手状態の確認と軌跡のアニメーション表示ができないため、疲労度や速度などの変化の把握が困難である。また、Teams AMS は、フィールドが可視化されていないことから、選手のフィールド上の位置を確認するには、位置情報を GoogleEarth などにプロットする必要がある。そのため、本研究では、SPI-HPU の計測データを提案システムに適用し、Teams AMS では実現が難しいアニメーションなどの機能を用いた分析を試みる。

本システムへの入力には、このデバイスで取得できる計測日時、位置（緯度・経度・高度）、加速度を CSV 形式に変換したものをを用いた。

5.3.2 プレー分析の結果

実試合の計測データを詳細に分析した結果、次に示す5つの事項が明らかとなった。

- オフェンスやディフェンスに参加する選手が確認できる
監督、コーチから、オフェンスの選手は、相手チームの

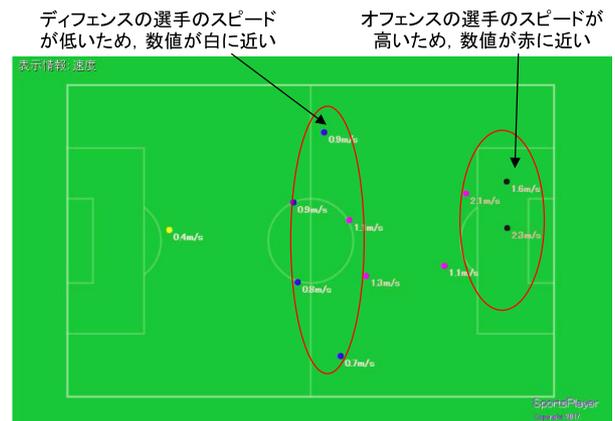


図 10 オフェンスとディフェンス選手の状態値の色の違い
Fig. 10 Difference between colors of offence and defense players' status value.

フォーメーションを崩すため、複数名が連携して素早く走る必要がある。一方で、ディフェンスの選手は、自分の陣地を守るため、各選手間の距離のバランスをとり、緩々と動くことが多いという意見が得られた。

実際に本システムを用いて、オフェンス時のシーン(図 10)を確認すると、フィールド上の最も右側の3人の選手が素早く走り、速度の数値の色が赤くなっている。一方、最も左側の5人の選手がフィールドにとどまっており、速度の数値の色が白くなっていることが分かる。このことから、色グラデーションを使用することで、容易に、オフェンスやディフェンスに参加する選手を確認できることが分かった。また、このようなシーンを数値データから発見することや、状態を維持する時間を集計することで、試合が有利に進んでいるかどうかの状況を把握することにも利用できると考えられる。

- オフェンスやディフェンスのタイミングが把握できる
1点目のオフェンスに関する分析を通じて得られた意見に関連して、ディフェンス時には、オフェンスの選手が相手チームのフィールドにとどまりチャンスを待つことが多いといった意見も得られた。

プレーのシーンにおけるFWとDFの速度の変化のグラフ(図 11)を確認すると、FWの速度が高い場合(オフェンス時)は、DFの速度が低く(図 11の左の区間)、DFの速度が高い場合(ディフェンス時)は、FWの速度が低くなっている(図 11の右の区間)。

このことから、グラフを使用することで、オフェンスとディフェンスが切り替わるタイミングを把握できることが分かった。また、このようなパターンのグラフを自動で認識すれば、試合の流れが変化したタイミングを容易に把握でき、自チームがどの程度試合で主導権を握れているかなどを定量的に把握できることが分かった。

- ポジションごとのラインのコントロールが確認できる
レビューの結果から、良いディフェンスのフォーメー

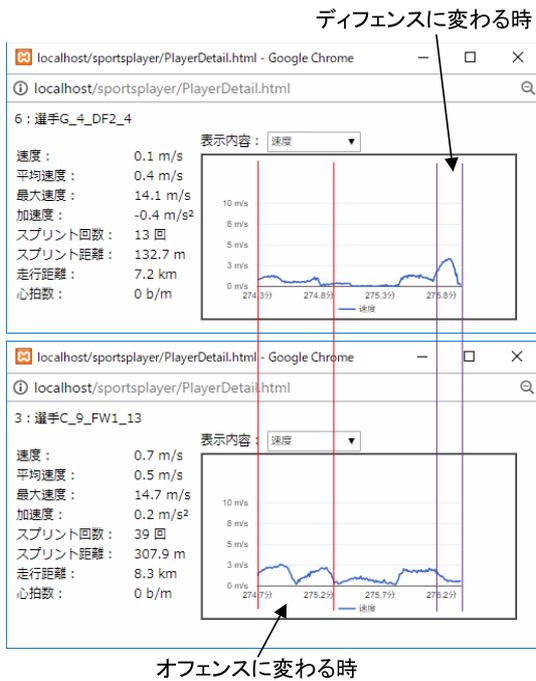


図 11 FW と DF の速度の違い

Fig. 11 Difference between speed values of FW and DF.

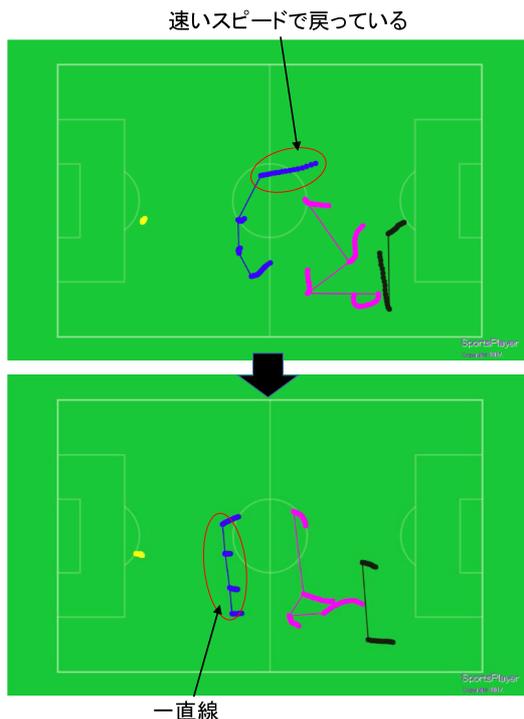


図 12 直線ディフェンスライン

Fig. 12 Straight line while defending.

ションを作るには、ディフェンスラインの選手が一直線に並ぶ必要があるといった意見が得られた。

実際に、図 12 に示すディフェンスのシーンを確認すると、4 人の DF 中の 1 人がオーバーランしたことで、フォーメーションどおりに動けておらず、急いで正確なポジションに戻るといった状況を確認できた。このことから、ポジションごとのラインの直線性を評価することで、ディフェ

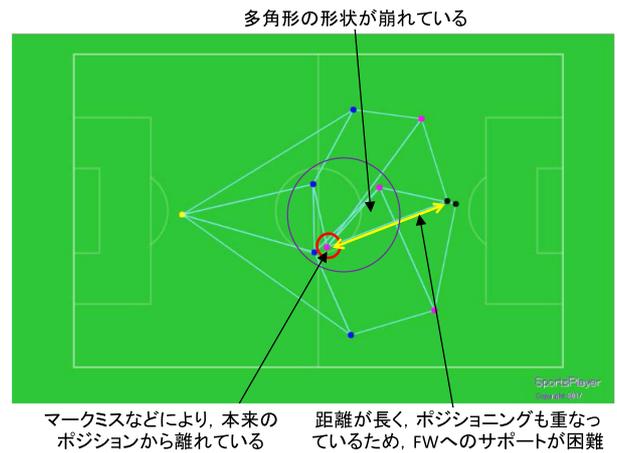


図 13 フォーメーションの形状の崩れ

Fig. 13 Collapsed formation.

ンスラインのコントロールができていないかを定量的に確認できることが分かった。また、ラインの近似直線との誤差を算出し、数値が大きくなるタイミングを自動で認識して学習すると、プレーのパフォーマンスが低下する状況などを素早く把握でき、定量的に選手にフィードバックすることも可能であると考えられる。

● 任意の選手のポジショニングが確認できる

レビューの結果から、監督、コーチが指示する戦術が実現できているかを確認するには、戦術のキーマンとなる複数名の選手間の距離が重要であるという意見が得られた。

実際のオフENSEの失敗シーンにおいて、カスタマイズした多角形を表示して分析すると、FW とそれを支援する MF の距離が長くなり、多角形の形状が乱れている (図 13) ことが分かった。この形状の乱れは、選手がボールに気をとられ自身の居場所を忘れることや、マークミスによるポジショニングの入れ替えなどが原因である。形状が乱れる状況が長時間続くとオフENSEの失敗の可能性が高まる。このことから、カスタマイズした多角形の表示を利用することで、重要選手のポジショニングのミスなどを定量的に確認できることが分かった。

● 得点や失点につながるプレーを定量化できる可能性がある

レビューの結果から、ディフェンス時には、選手全員の連携が非常に重要であり、複数名の選手が密集することなく、選手間の距離を一定に保つ必要があるといった意見が得られた。

実際に、図 14 のディフェンス成功のシーンと図 15 ディフェンス失敗のシーンを確認すると、まず、図 14 において各選手間の距離のバランスが保たれており、守備しやすい陣形となっている。このようなシーンでは、相手チームのオフENSEの選手は、フィールド中央へのパスを出しづらく、サイドからの攻撃方法を選択せざるをえない。図 14 では、守備の 3 人の選手 (a, b, c) が連携可能な状態 (三

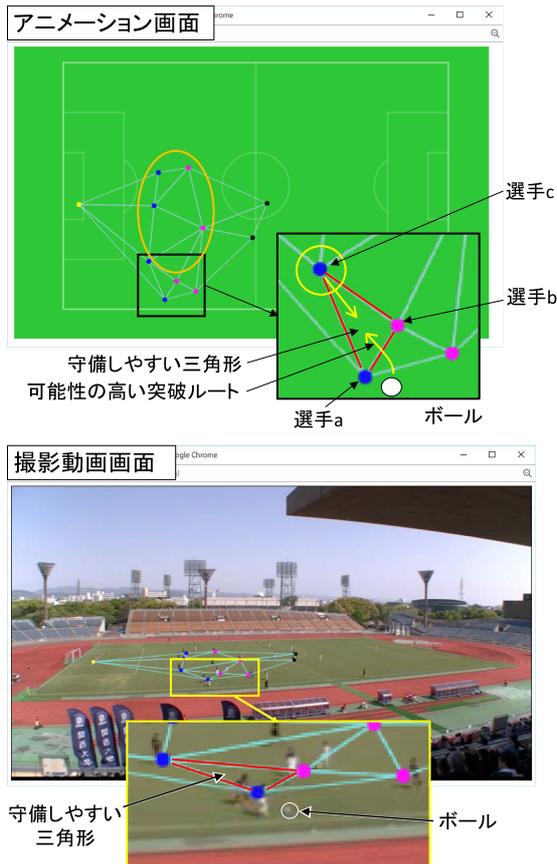


図 14 ディフェンス時に成功したフォーメーション
Fig. 14 Succeed formation while defending.



図 15 ディフェンス時に失敗したフォーメーション
Fig. 15 Failed formation while defending.

角形で表示されている) になっており、サイドからの攻撃ルートも防げる陣形となっていることが確認できる。

一方、図 15 では、多くの選手が一カ所に集中し、全員の距離のバランスが崩れると、オフェンス選手の前に位置する守備の3人が連携できない状態(三角形で表示されていない)となる。また、全員の距離のバランスが崩れることにより、フィールド中央部に大きな空きスペースも発生している。そのため、オフェンス選手は、サイドからの攻撃(図 16 のルート 1)が成功する可能性があると同時に、ロングパスによる攻撃(図 16 のルート 2)が成功する可能性もある状況となる。この場合、ディフェンス側が防ぎきれず、失点を招く可能性が非常に高い。

得点や失点の定量化の可能性を検証するため、ディフェンスの成功時と失敗時のフォーメーションにおける選手間の距離やスペースの面積(表 4)などの情報を用いた分析を試みる。これらの情報は、既存研究 [9], [11] や指導書 [10] でディフェンス時において非常に重要と指摘されている。

表 4 では、ディフェンスの成功時に、ポジションごと(DF, MF, FW)のフォーメーションの幅(ポジションごとの最前の選手と末尾の選手の距離)は、それぞれ 4.5m, 7.3m, 3.8m となっている。一方、失敗時は、それぞれの幅が 11.7m, 12.6m, 4.1m となっている。失敗時の幅の平均と偏差は、成功時と比較して、約 2 倍広がっている。

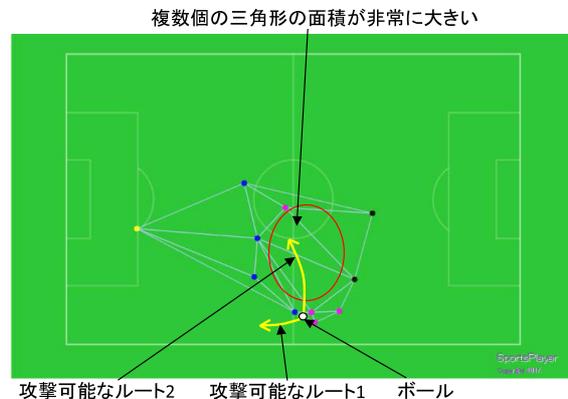


図 16 2つの攻撃ルート
Fig. 16 Two kinds of offence routes.

特に、肝心の DF のフォーメーションの幅は、約 3 倍広い状態になっている。このことから、フォーメーションの幅の変化を把握することで、得点や失点の可能性を定量化できると考えられる。

また、ディフェンスの成功時に、ディフェンスの各三角形(頂点が少なくとも1つがDF、または3つの頂点全部がMF)の面積の平均と偏差が 59.1m^2 と 32.5m^2 になっている。一方、失敗時は、 56.2m^2 と 47.2m^2 になっている。両方の平均ではあまり差が見られないが、偏差は、失敗時のほうが約 1.5 倍になっている。このことから、ディ

表 4 ディフェンスが成功のときと失敗のときの情報の比較
Table 4 Comparison of information while succeed and failed.

情報項目	内容	
	ディフェンス成功の時	ディフェンス失敗の時
ポジションごとのフォーメーションの幅の統計	DF : 4.5m, MF : 7.3m, FW : 3.8m 平均 : 5.2m 偏差 : 1.5m	DF : 11.7m, MF : 12.6m, FW : 4.1m 平均 : 9.5m 偏差 : 3.8m
ディフェンス三角形の面積の統計	7 個 (18.5 m ² , 28.1 m ² , 49.6 m ² , 74.7 m ² , 107.2 m ² , 99.2 m ² , 36.4 m ²) 平均 : 59.1 m ² 偏差 : 32.5 m ²	8 個 (4.2 m ² , 7.5 m ² , 33.0 m ² , 137.1 m ² , 45.3 m ² , 113.8 m ² , 52.9 m ² , 51.2 m ²) 平均 : 56.2 m ² 偏差 : 47.2 m ²
DF と連携している人の統計	DF : 4, MF : 4, FW : 0	DF : 4, MF : 3, FW : 2

フェンスの三角形の面積の変化を把握することで、得点や失点の可能性を定量化できると考えられる。

さらに、ディフェンスの要となる DF と連携 (TIN のエッジでつながっている) している各ポジションの選手の人数において、成功時は、FW との連携がなく、MF との連携が 4 人となっている。一方、失敗時は、FW との連携が 2 人で、MF が 3 人となっている。これは、MF のフォーメーションが崩れることが原因と考えられる。このことから、DF と連携している人のポジションを統計することで、得点や失点の可能性を定量化できると考えられる。

この 3 つの定量化された数値から、フォーメーションの是非を分析可能であることが分かった。

以上の分析から、動画にオーバーレイされた TIN を用いることで、そのなかのボールなどの情報もあわせて確認でき、容易にディフェンスのフォーメーションが正確にとれているかを把握可能であることが分かった。

それらの分析をふまえ、TIN を構成する線の長さや、その形状、面積などを算出することで、得点や失点の可能性のあるシーンを定量化でき、現場指導や試合の振り返り、戦術分析などに本システムを活用できると考えられる。

一方、得点や失点の定量化については、XG ゴール期待値 [41] が指標の 1 つとして注目されている。XG ゴール期待値は、シュートの距離と角度、ヘディングやボレーなどシュートの種類、周囲にいるディフェンダーの数、ゴールキーパーの位置などの情報をベースに得点の可能性を計算する。そして、これらの情報のうち、シュートの種類以外は、本システムで可視化されている選手やボールの軌跡と、選手間の距離やスペースの面積を利用し、計算が可能と考えられる。そのため、本システムを利用することで、得点や失点の定量化の実現が可能と考えられる。

5.4 検証結果のまとめ

検証の結果から、本研究で提案した可視化システムは、

表 1 のすべてのニーズ項目を適切な方法で満たしていることと、実試合における戦術分析の実現可能性があることが確認でき、現場指導において有用であると考えられる。

また、同期された動画に TIN などの情報をオーバーレイすることで、ボールや相手チームの選手の情報が得られない場合でも、それらのデータを動画から目視で確認すれば、戦術分析に活かすことができると考えられる。

5.5 今後の予定

今後は、5.2.2 項の 3 つの意見に対応できるようにシステムをアップデートすることを検討する。そのほか、ボールの位置情報を獲得する手段については、多視点映像に対してディープラーニングを適用し、ボールの位置を算出することで解決を試みる予定である。

また、試合の両チームの計測データを利用し、互いのフォーメーションの影響による変化を検討する予定である。そして、ボールの軌跡とフォーメーションの解析結果を用いて、XG ゴール期待値の計算を試みる。

今後は、XG ゴール期待値のほかにも新たな指標が登場することが予想される。そのため、今後のシステムの改良点として、新たな数値指標を自由に計算できる仕組みを開発する予定である。

さらに、スプリント距離、累積距離や、試合中の心拍情報などを含むデータを利用し、選手の疲労度に関する分析を行う予定である。選手の疲労度は、パフォーマンスや体調の管理に関わり、試合や練習において非常に重要な情報である。一方、疲労度は個人の体質の差により、症状が大きく異なり、把握することが非常に難しいことから、1 つの研究課題となっている。そこで、選手の状態と心拍とを関連付けて分析することで、疲労度の定量化を試みる。

6. おわりに

本研究では、フィールドスポーツの戦術分析や指導が可

能な現場指向型可視化システムを提案した。検証を通じて、本システムがスポーツの専門家のニーズ項目を満たしていることと、サッカーの実試合のプレー分析において有用であることを確認した。

将来的に、各選手間の距離や TIN の面積などの数値を用いて、定量的な分析を実現することを目指す。また、ディープラーニングなどの技術を用いて、大量のデータを学習させることで、戦術分析の自動化も実現できると考えられる。さらに、サッカーだけでなく、バスケットボールやバレーボールなどの室内のスポーツの専門家へのヒアリングを行い、様々なスポーツに適用可能なシステムの開発を目指す。

謝辞 本研究を取りまとめるにあたり、「第3回先進的IoTプロジェクト選考会議 IoT Lab Selection」および国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の「IoT社会の実現に向けたIoT推進部実施事業の周辺技術・関連課題における小規模研究開発」事業から研究のご支援をいただいた。また、本研究のシステム検討、データ計測、分析にジェフユナイテッド市原・千葉と関西大学サッカー部の監督、コーチ陣に多大なるご尽力をたまわった。ここに感謝の意を表する。

参考文献

- [1] 文部科学省：スポーツ振興法，入手先 http://www.shugiin.go.jp/internet/itdb_housei.nsf/html/houritsu/03819610616141.htm (参照 2018-08-16)。
- [2] 文部科学省：スポーツ庁，入手先 <http://www.mext.go.jp/sports/> (参照 2018-08-16)。
- [3] 文部科学省：スポーツ庁の創設とスポーツ政策の推進，入手先 http://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/html/hpab201601/detail/1376605.htm (参照 2018-08-16)。
- [4] 山本雄平，田中成典，姜文淵，中村健二，田中ちひろ，清尾直輝：アメリカンフットボールの可視化システムの開発および選手のプレー分析に関する研究，情報処理学会論文誌，Vol.59，No.5，pp.1334–1350 (2018)。
- [5] 中川靖士：サッカー映像の自動ゲーム分析方法の提案と評価，Unisys 技報，日本ユニシス，Vol.22，No.4，pp.477–494 (2003)。
- [6] 榎藤聡志，樽川香澄，井上智雄，岡田謙一：トラッキングデータを可視化したサッカーの戦略分析支援システム，情報処理学会論文誌デジタルコンテンツ，Vol.2，No.1，pp.8–15 (2014)。
- [7] 神島正稔，折原良平，清雄一，田原康之，大須賀昭彦：サッカーのパス網分析における中心性測定の新指標，2018年度人工知能学会全国大会，No.32，人工知能学会，DOI：https://doi.org/10.11517/pjsai.JSAI2018.0_2H202 (2018)。
- [8] 高橋翔，長谷山美紀：サッカー映像におけるグループ戦術解析のための優劣度推定に関する一考察，映像情報メディア学会技術報告，映像情報メディア学会，Vol.39，No.49，pp.7–12 (2015)。
- [9] 鈴木健介，浅井武，平嶋裕輔，松竹貴大，中山雅雄：サッカーにおける相手ディフェンダーとミッドフィルダーとの間のスペースを利用した攻撃の有効性の検討およびJリーグとブンデスリーガにおける攻撃様相の比較，体育学研究，日本体育学会，DOI：<https://doi.org/10.5432/jjpehss.17137> (2018)。
- [10] 日本サッカー協会：サッカー指導教本 (2007)。
- [11] 大江淳悟，上田毅，沖原謙，磨井祥夫：サッカーにおけるゲームパフォーマンスの客観的評価，体育学研究，Vol.58，No.2，pp.731–736，日本体育学会 (2013)。
- [12] アーカイブティップス社：GPS デバイスパフォーマンス分析システム-GPEXE-，入手先 <http://archivetips.com/gpexe/> (参照 2018-08-16)。
- [13] adidas 社：miCoach，入手先 <https://japan.adidas.com/micoach/> (参照 2018-08-16)。
- [14] Garmin 社：Connect，入手先 <https://connect.garmin.com/ja-JP/features/> (参照 2018-08-16)。
- [15] Polar 社：Polar Flow，入手先 <https://www.polar.com/ja/products/polar-flow/> (参照 2018-08-16)。
- [16] NFL Enterprises LLC 社：Charts，入手先 <https://nextgenstats.nfl.com/charts/list/all/> (参照 2018-08-16)。
- [17] エスアンドシー社：FieldWiz，入手先 <http://sandcplanning.com/solution/category/detail/?cd=11> (参照 2018-08-16)。
- [18] ChyronHego 社：ZXY Go Wearable Tracking，入手先 <https://chyronhego.com/products/sports-tracking/zxy-go-wearable-tracking/> (参照 2018-08-16)。
- [19] バレーボール・アンリミテッド社：データバレー4，入手先 <http://unlimited.volleyball.ne.jp/datav/product/dv4.html> (参照 2018-08-16)。
- [20] Zebra 社：The official on-field player-tracking provider，入手先 <https://www.zebra.com/us/en/nfl.html> (参照 2018-08-16)。
- [21] 片岡裕雄，青木義満：サッカー映像解析のための遮蔽にロバストな複数選手追跡手法，電気学会論文誌C，Vol.130，No.11，pp.2058–2064 (2010)。
- [22] 西濃拓郎，滝口哲也，有木康雄：複数尤度を用いた3次元パーティクルフィルタによる選手の追跡，画像の認識・理解シンポジウム (MIRU 2010)，情報処理学会コンピュータビジョンとイメージメディア研究会，pp.307–312 (2010)。
- [23] 三須俊彦，苗村昌秀，境田慎一，鄭文涛，金次保明：複数情報の融合によるサッカー選手のロバストな追跡法，電子情報通信学会技術報告，Vol.101，No.203，pp.23–30 (2001)。
- [24] Beetz, M., Kirchlechner, B. and Lames, M.: Computerized real-time Analysis of Football Games, *IEEE Pervasive Computing*, Vol.4, No.3, pp.33–39, IEEE (2005)。
- [25] D’Orazio, T. and Leo, M.: A Review of Vision-Based Systems for Soccer Video Analysis, *Pattern Recognition*, Vol.43, No.8, pp.2911–2926, Elsevier (2010)。
- [26] Baca, A., Dabnichki, P., Heller, M. and Kornfeind, P.: Ubiquitous Computing in Sports: A review and analysis, *Journal of Sports Sciences*, Vol.27, No.12, pp.1335–1346, Routledge (2009)。
- [27] Varadarajan, J., Atmosukarto, I., Ahuja, S., Ghanem, B. and Ahuja, N.: A Topic Model Approach to Represent and Classify American Football Plays, *British Machine Vision Conference*, British Machine Vision Association, pp.64.1–64.12 (2013)。
- [28] Swears, E. and Hoogs, A.: Learning and Recognizing Complex Multi-agent Activities with Applications to American Football Plays, *Workshop on the Applications of Computer Vision*, pp.409–416, IEEE (2012)。
- [29] Li, R. and Chellappa, R.: Recognizing Offensive Strategies from Football Videos, *International Conference on Image Processing*, pp.4585–4588, IEEE (2010)。
- [30] 谷俊廣，黄宏軒，川越恭二：スポーツ競技戦略決定支援のための移動軌跡のマイニングと可視化システム，第6回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム，E1-6，DEIM (2014)。
- [31] Atmosukarto, I., Ghanem, B., Ahuja, S., Mutjuswamy, K. and Ahuja, N.: Automatic Recognition of Offen-

sive Team Formation in American Football Plays, *Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*, pp.991-998, IEEE (2013).

- [32] 権藤聡志, 樽川香澄, 井上智雄, 岡田謙一: スポーツの試合を再現した仮想空間を複数視点で提示する戦略分析支援システムの提案, 情報処理学会研究報告, No.5, pp.1-5 (2013).
- [33] 稲本奈穂, 斎藤英雄: 多視点スポーツ映像からの自由視点映像の合成と提示, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.88, No.8, pp.1693-1701 (2005).
- [34] 山田健太郎, 三功浩嗣, 内藤 整: 複数オブジェクトの追跡と分離に基づく野外空間における自由視点生成, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.112, No.189, pp.99-104 (2012).
- [35] 宮森勇作, 川村秀憲, 鈴木恵二: ハンドボールにおける戦術共有支援のためのボロノイ領域を利用したタブレット型アプリケーションの開発, 情報処理北海道シンポジウム 2014 講演論文集, pp.60-61 (2014).
- [36] 佐藤祐亮, 山中 亮, 大塚 寛: サッカーの攻守推移のモデルからのパスの抽出, 情報科学技術フォーラム講演論文集, FIT (電子情報通信学会・情報処理学会), Vol.14, No.1, pp.145-148 (2015).
- [37] 杉原厚吉, 藤村 光: 勢力圏図を利用したスポーツチームワークの解析, オペレーションズ・リサーチ, 日本オペレーションズ・リサーチ学会, Vol.47, No.3, pp.161-164 (2002).
- [38] フォーアシスト社: GPS システム SPI HPU, 入手先 (http://4assist.co.jp/gpsports/gpsports_top2.html) (参照 2017-08-10).
- [39] フォーアシスト社: カタパルト GPS システム, 入手先 (<https://www.4assist.co.jp/製品一覧/catapult/>) (参照 2018-12-03).
- [40] Komatsu, K., Nakano, H. and Tatsumi, S.: Study on Gradation of Colors Corresponding to Kansei Words, *Trans. Japan Society of Kansei Engineering*, Vol.10, No.3, pp.357-364, Japan Society of Kansei Engineering (2011).
- [41] Rathke, A.: An Examination of Expected Goals and Shot Efficiency in Soccer, *Journal of Human Sport and Exercise*, Vol.12, pp.S514-S529, University of Alicante (2016).



姜 文淵 (正会員)

1982 年生. 2017 年関西大学大学院総合情報学研究科総合情報学専攻博士課程後期課程修了. 博士 (情報学). 現在, 関西大学先端科学技術推進機構特別任命助教. MMS の点群データ, 画像処理に関連する研究に従事.



山本 雄平 (正会員)

1986 年生. 2015 年関西大学大学院総合情報学研究科総合情報学専攻博士課程後期課程修了. 博士 (情報学). 現在, 関西大学先端科学技術推進機構特別任命准教授. Web マイニング, 自然言語処理, スポーツ情報学に関連する研究に従事.

る研究に従事.



中村 健二 (正会員)

1981 年生. 2009 年関西大学大学院総合情報学研究科総合情報学専攻博士課程後期課程修了. 博士 (情報学). 現在, 大阪経済大学情報社会学部教授. 博士 (情報学). 2016 年度文部科学大臣表彰科学技術賞「科学技術振興部門」受賞.

門」受賞.



田中 成典 (正会員)

1963 年生. 1988 年関西大学大学院工学研究科土木工学専攻博士課程前期課程修了. 博士 (工学). 現在, 関西大学総合情報学部教授および社会空間情報科学研究センター長. 2016 年度文部科学大臣表彰科学技術賞「科学技術振興部門」受賞.

振興部門」受賞.



田中 ちひろ (学生会員)

1993 年生. 2018 年関西大学大学院総合情報学研究科知識情報学専攻博士課程前期課程修了. 現在, 同大学院総合情報学研究科総合情報学専攻博士課程後期課程在学中. アメリカンフットボールのデータ計測, 戦術分析に関連する研究に従事.

する研究に従事.



政木 英一

埼玉大学大学院理工学研究科理工学専攻博士課程後期課程修了。博士(学術)。1993年国際航業株式会社入社, 2014年アジア航測株式会社入社。現在, 同社社会基盤システム開発センター長。地理空間情報等の研究開発に

従事。



山田 貴之

1977年生。日本大学理工学部土木工学科卒業。2000年アジア航測株式会社入社。現在, 同社ベンチャー共創室担当課長。スポーツにおける生体情報プラットフォーム等の研究開発に従事。



藤本 雄一

1979年生。立命館大学大学院理工学研究科環境社会工学専攻博士課程前期課程修了。2004年アジア航測株式会社入社。現在, 同社社会基盤システム開発センター事業推進室担当課長。スポーツにおける生体情報プラット

フォーム等の研究開発に従事。



鳴尾 丈司

1963年生。1986年大阪大学工学部精密工学科卒業。博士(工学)。1986年ミズノ株式会社入社。現在, 研究開発部主任研究員, およびセンシングソリューション研究開発課課長。スポーツ用品の研究開発, ITやセンサを活用した機器やサービスの研究開発に従事。

した機器やサービスの研究開発に従事。