

学 士 論 文

題 目 チームスポーツの戦術改善に資
する選手向け可視化システムの
開発

指導教員 小山田 耕二 教授

京都大学工学部 電気電子工学科 電気工学専攻

氏 名 今井 晨介

平成 27 年 2 月 13 日

目次

第1章 序論	1
第2章 関連研究	3
第3章 本提案システム	5
3.1 システム設計	5
3.1.1 評価グリッド法による予備調査	5
3.1.2 アンケート調査	7
3.2 システム実装	10
3.2.1 ダッシュボード	10
3.2.2 パネル	11
3.2.3 パネルの選択	12
3.2.4 ダッシュボードファンクション	13
第4章 評価実験	14
4.1 本提案システム操作実験	14
4.1.1 評価方法	14
4.1.2 評価結果	16
4.1.3 評価考察	16
4.2 システム操作時間比較実験	16
4.2.1 評価方法	16
4.2.2 評価結果	16
4.2.3 評価考察	17
4.3 アンケート評価	17
4.3.1 評価方法	17
4.3.2 評価結果	18
4.3.3 評価考察	18

第 5 章 結論	19
謝 辞	20
参 考 文 献	21
付 録 A アンケート項目について	23

第1章 序論

ビッグデータを用いた視覚的分析の需要の高まりに伴い、スポーツの分野でも様々な手法が提案されている。スポーツ分野における既存の視覚的分析システムは、試合のデータを用いたデータマイニングを支援し、主に監督、コーチ、または記者を対象としている。特に、プロの監督、コーチは試合での戦術戦略に関する意思決定を行う際に視覚的分析システムを用いていることがあり、その需要に合ったシステム研究も行われている¹⁾⁻³⁾。また、記者がスポーツに関する記事を書く時、出来得る限り偏った表現をしないように補助する視覚的分析システムの開発も行われている¹⁾。

しかしながら、選手自らが戦術、戦略を練るチームや、選手自らの分析が試合に大きく影響するスポーツの場合、上記の既存の視覚的分析システムは選手が頻繁に利用することを想定しておらず、操作が複雑、もしくは表現が難解であり、分析に時間を要する事が多い。例えば、選手自らが戦術、戦略を練ることが多く、選手個人の戦術理解が重要な男子ラクロスというスポーツの場合、監督やコーチのみならず、選手自らもビデオを観ることで出場した試合を分析し、その試合に用いられた戦術戦略はいかに機能したか、選手たちのコンディションはどうだったのかを振り返り、以後の戦術改善に活かすことが多い。また、これから対戦をする相手チームに勝つための戦術を練る際に、相手のプレーをビデオで観る、もしくは試合データを視ることで分析を行うこともある。これらすべての分析を行うのに多くの時間を費やしているのが現状である。練習やトレーニングに時間を割かなければいけないスポーツ選手にとって、分析に要する時間は非常に負担である。にもかかわらず、選手たちが日々利用することを想定し、彼らの試合分析方法に適した、多くの時間を費やさず、戦術改善に資する分析を可能にするシステム開発に関する先行研究は見受けられない。また、ラクロスの可視化技術開発自体少ない現状である。筆者は男子ラクロスを4年間プレーしており、上記の現状を痛感し、常に問題視していた。

そこで、本研究では既存システムの複雑さを解消し、視覚的に分析を行えるようにすることで、試合分析にかかる時間を軽減し、選手たちが容易に利用でき、かつ有益な情報を得ることが可能な視覚的分析システムを開発した。システム開発

に際して本研究では、選手の利用を想定した分析ツールの需要を調査し、その必要性を確認した。本提案システムへの要望調査では、評価グリッド法⁴⁾とアンケート手法を用いて、選手たちの視覚的分析システムに対する要求を明確にし、実装を行った。本提案システムはアンケート調査の結果から、既存のダッシュボードフレームワーク⁵⁾が適すると考え、選手の利用のため改良した。以降、本提案システム概要の紹介に際して、分析ツールのメイン画面をダッシュボードと呼称する。本提案システムでは、ダッシュボード上に複数のパネルを配置でき、各パネルにそれぞれゲームに関する情報を視覚化したグラフとともに表示するようにした。また、ダッシュボードに下記の機能を加えることで、選手たちは容易に利用でき、戦術改善に有益な情報を得ることができた。

- 試合を俯瞰する機能。
- 対話的に情報探索を行える機能。
- パネル間の比較補助機能。
- 結果の善し悪しによってパネルの配置、配色を変えることで情報探索補助する機能。
- 特定のプレーを動画にて確認する機能。

ダッシュボードの機能は以上である。ただし、本論文での有益な情報とは、例えば「どのプレーで負けていたのか、もしくは勝っていたか」「どのようなプレーをしていたから勝っていたのか、負けていたのか」「相手チームの誰が要注意人物であるか」などの選手にアンケート調査を行って要求の高かった項目のことである。また、上述の視覚的分析システムの容易性とは、選手に対して調査を行った際に要望として高かった「視覚的分析システムの扱いやすさ」「グラフのイメージしやすさ」「分析時間を短縮できる視覚的分析システムの優れた情報探索能力」である。

本論文の構成は以下のとおりである。第1章は、本論文の序論である。第2章は、本論文の関連研究を挙げ、第3章ではシステム設計、実装について説明し、第4章では本提案システムの評価実験について述べる。第5章では本論文の結論と今後の展望について述べる。

第2章 関連研究

本章では、スポーツに関する視覚的分析システム、及び本提案システムで採用したダッシュボード形式の視覚的分析システムについて、本論文での関連研究を述べる。

Charles らは、SoccerStories¹⁾。このサッカーの分析ツールを用いることで、サッカーの練習効率を上げ、正しい分析によるコミュニケーションを促すことができると Charles らは述べている。SoccerStories では 1 つずつゲームを俯瞰し、また詳細をも見ることができる。SoccerStories を用いることで、記者は試合について記事を書く時に、監督は試合について分析する時に従来より時間を短縮できるようになると主張している。SoccerStories では一つの試合での出来事をフィールド上にグラフを配置することで、その試合のダイジェストを視覚的に得ることができる。しかしながら、試合間のデータの比較を行えない点で不便さがある。

Tom らは、これまでに研究されているテニスの可視化技術は、プロ選手の試合放送の質を高め、コーチが選手をコーチングするために、ボールや選手のトラッキングデータを用いることに終始している事に注目した。Tom らはデータの収集はコストがかかることを考慮し、データを手入力できるためアマチュアでも低コストで分析可能なシステムを考案した³⁾。本提案システムでも、手入力可能なデータを可視化している。スコアや、ラリーの長さや、サーブの情報や、試合のビデオなどをコンシューマ向けビデオカメラから取り入れることで、簡単に試合データを収集し、Tom らの開発した tenniVis システムにより 3 種の手法を用いている。TennisVis システムを用いることでテニスのコーチ、プレーヤーは試合のパフォーマンスを素早く振り返ることができると主張している。しかしながら、サッカーストーリーと同様、試合間のデータの比較には不便さが存在する。

Krist らは、イベントの流れを視ることができる OutFlow システムを開発した⁶⁾。OutFlow システムでは特定のイベントフローデータに対しての可視化手法としては優れており、容易にフローの結果を知ることができ、複数の試合の俯瞰する機能としては優れている。複数の試合を俯瞰する機能は本提案システムでは、OutFlow のようにフローで視るのではなく、試合を列に並べることで行っている。

上述の視覚的分析システムは、選手も利用対象であると言及しながらも、実装

段階，評価段階において選手の意見は含まれていない．選手自らが戦術，戦略を練るチームや，選手自らの分析が試合に大きく影響するスポーツの場合，こういった既存の視覚的分析システムの多くは選手の利用を想定しているとはいいつつも，操作が複雑，もしくは表現が難解であり，分析に時間を要する事が多い．また，評価実験に際して，定量的な評価を行わず数名の専門家に対して定性的な意見を得ることに終始しているものが多く，必ずしも有用性が明らかとは言えない．

したがって，本論文では利用想定者を幅広くせず，あえてターゲットを選手のみに絞り，選手の目線で必要な要素を考慮して視覚的分析システムを開発した．

次に，システム開発に利用したフレームワークについて述べる．Arunらは，レイアウト変更可能なダッシュボードフレームワークを作成した⁵⁾．Arunらの提案しているダッシュボードフレームワークは，レイアウト変更可能なダッシュボード上でのデータ可視化プロセスの自動化をできるよう開発された．このフレームワークではデータの種類には依存せず，また，ユーザー好みの構成にもとづいてグラフを生成することができ，サードパーティ製やチャートライブラリを用いたグラフの生成が可能であり，柔軟性も合わせ持っている．

本提案システムでは，選手たちの要望を考慮した所、ダッシュボードフレームワークが適すると判断したため、既存のダッシュボードフレームワークシステムを参考にしつつ，独自の機能を加え、システムを実装した．

第3章 本提案システム

3.1 システム設計

選手の利用に合致する視覚的分析システムの条件を明らかにするため、選手に対してアンケート調査を実施した。アンケート調査を実施する前段階に、アンケート質問項目を検討するにあたり、評価グリッド法による予備調査を行った。

3.1.1 評価グリッド法による予備調査

ラクロス可視化ツールへの要望を抽出するために、評価グリッド法⁴⁾によるインタビュー調査を行った。

評価グリッド法

評価グリッド法についての概要を説明する。評価グリッド法は、讃井らが提案した定性評価手法であり、基本的に一人ひとりに対してインタビューを行う。まずインタビューの起点となる評価項目を複数提示し、それらエレメントを比較し良い部分を抽出する。次に、抽出した評価項目の上位項目と下位項目を答えてもらい、グラフにマッピングする。ここで述べる上位項目とはオリジナル評価項目を挙げた理由であり、オリジナル評価項目について「〇〇だとなぜいいのですか」と質問を行う。この作業をラダーアップと呼ばれる。またこれとは逆に、下位項目はオリジナル評価項目を挙げるにあたり、「具体的にどういうところ〇〇なのですか」と質問を行う。この作業をラダーダウンと呼ばれる。ラダーアップとラダーダウンを合わせてラダリングと言い、ラダリングされた項目について再度ラダリングを行い、回答者の回答が引き出せなくなった時点でインタビューを終了する。これらオリジナル評価項目とラダリングされた項目を視覚的に認識しやすいよう表現するために評価構造ネットワーク図が作成される。以上の手法を取ることで、評価グリッド法は認知心理学的な立場から人々の深層心理を引き出し、ある概念に対する評価をあきらかにすることができる。従って、評価グリッド法は回答者全体の価値観を把握するのに有効な手段であり、本調査では選手向

け可視化ツールの要望を把握する手段として適すると判断し，採用した．

調査方法

京都大学男子ラグロス部から協力を受け，5名に対して評価グリッド法に基づいたインタビューを行った．まず，尾上らの開発する E-Grid* を用いて1人ずつインタビューを行い，評価構造を図を作成した．エレメントとして，同部で利用されていた表計算ソフトの表データと，可視的分析システムのプロトタイプを用いた．視的分析システムのプロトタイプとして，ラグロスにおけるある二つのプレーに関して，フィールド図上にプロットしたグラフを提示した．この5人の評価構造を，項目の重複をマージすることにより一つの全体評価構造にまとめた．

調査結果

調査で得られたネットワーク図を図 3.1 に示す．

調査考察

本調査で得られたネットワーク図からアンケート質問項目を抽出し，インタビューに際して選手たちに共通していた分析に関する意見についてまとめる．

全体評価構造図に関する考察 評価グリッドインタビューを行った結果，下位項目に，選手たちが知りたい具体的なプレーが何であるかという具体的な要望が読み取れた．また，上位項目には，「こんな感じであってほしい」といったシステムへの抽象的な要望が読み取れた．

選手たちの共通意見 選手が共通して強く望んでいた一つが，視的分析システムの容易性であった．選手たちの述べる容易性とは「視的分析システムの扱いやすさ」，「グラフのイメージしやすさ」，「分析時間を短縮できる視的分析システムの優れた情報探索能力」などのことである．彼らスポーツ選手は，練習，トレーニングに加え，ビデオによる戦術分析に多くの時間を割いており，負担を感じていた．戦術分析は必要な要素ではあるので欠かせないが，表計算ソフトを用いた試合情報の集計では戦術分析に活かせておらず，試合のすべてのビデオを見直すことで戦術分析を行っている」と述べていた．そこで，表計算ソフトより容易に利

* <http://www.egrid.jp>

用可能な、可視化技術を用いた分析補助システムの実用化が望まれていた。したがって本調査により、序論で述べた、本提案システムのニーズを男子ラクロスの選手から確認した。

3.1.2 アンケート調査

調査方法

評価グリッド法によるインタビューでは視覚的分析システムへの要求要件として数が多く、優先度が明確ではない。よって、評価グリッド法の結果からアンケート項目を作成し、同部に対してアンケート調査を行ない、システム要件を明確にした。

アンケート項目には、「視覚的分析システムの利用目的」、「視覚的分析システムに対する要望」、「選手の知りたい情報」の3種のグループにわけ、アンケートを作成した。アンケート質問項目については、付録にて詳細を記述する。

「視覚的分析システムの利用目的」に関する質問は自由回答とした。この項目は、全体評価構造図での上位項目にあたる。

「視覚的分析システムに対する要望」は全体評価構造から15項目を抽出した。選択形式にて、複数回答可とした。この項目は全体評価構造図での中間層にあたる。

「選手の知りたい情報」も、評全体評価構造から35項目を抽出した。選択形式にて、複数回答可とした。この項目は全体評価構造図での下位項目にあたる。

調査結果

同部より78名の回答を得た。アンケート結果を以下に示す。

- 「視覚的分析システムの利用目的」は、重複が多かったものを挙げる。
 1. 対戦相手チームの特徴を把握し、自チームの戦術を練るため。
 2. 試合後に、自チームの反省を行ない、以後の方針を決定するため。
 3. 結果の良かったエレメントと、悪かったエレメントの違いを見出し、新たな視点を得るため。
 4. 試合に出るレギュラーを選定する材料とするため。

5. データの蓄積を行うことで，最適な戦術を選び出すため．
- 「視覚的分析システムに対する要望」は，選択数の割合が全体回答者数の 25% 以上であった項目を挙げる．
 1. データを簡単に見ることができる．(43 人，69%)
 2. データの比較をすることができる．(37 人，60%)
 3. イメージしやすい．(32 人，52%)
 4. フィールド図で視覚化されている．(28 人，45%)
 5. グラフを用いている．(23 人，37%)
 6. 一つの画面にデータがまとめられている．(22 人，35%)
 7. 映像を含んでいる．(17 人，27%)
 - 「選手の知りたい情報」は，選択数の割合が全体回答者数の 50% 以上であった項目を挙げる．
 1. ショット (46 人，74%)
 2. 1on1 (39 人，63%)
 3. グラウンドボール (34 人，55%)
 4. 選手の動き (33 人，53%)
 5. クリア (32 人，53%)
 6. パス (31 人，50%)
 7. 得点 (31 人，50%)

調査考察，システム要件要項

評価グリッド法を用いたインタビュー調査と，アンケート調査により，具体的なシステム要件を抽出された．評価グリッド法を用いることで，精査されたアンケート質問項目が作成され，質問項目に漏れの少ないアンケート調査を行う事により，アンケートのみの調査に比べると，正確な選手の要望を確認出来たと考えられる．

「視覚的分析システムの利用目的」に関する回答についての考察を行う． システム利用用途として様々なデータとの比較と，試合の俯瞰の要素が求められていると考えられる．従って，データの比較と，試合の俯瞰を補助する機能を実装する．以上より，本提案システムの特徴的な機能を以下にまとめる．

1. 試合を俯瞰する機能
2. 結果の善し悪しによってパネルの配置，配色を変えることで比較分析を補助する機能
3. 対話的に情報探索を行える機能
4. 特定のプレーを動画にて確認する機能

「視覚的分析システムに対する要望」に関する回答についての考察を行う．

データを簡単に見ることができる：評価グリッドインタビューで聞かれた「選手たちの共通した意見」にある，分析にかかる時間短縮を望んでの回答であると推察される．．従って要求要件として，分析処置時間短縮のためにデータへ容易にアクセスできることを考え，Web アプリケーションによる実装を行う．視覚的に認識することを可能にすることで，選手がデータを認識するに要する時間の短縮を図る．また，簡単さという表現から，アプリケーションのわかりやすい操作性も求められていると推察されるので，選手が扱いやすいユーザーインターフェイスを実装する．

一つの画面にデータがまとめられている，データの比較をすることができる：データ表示ページが複数の画面に分断されている視覚的分析システムの場合，ページ遷移により理解の妨げになる．従って，本提案システムでは一つの土台の上に「パネル」を配置する方式を提案する．本論文では，この土台を「ダッシュボード」と呼称する．他人，他チーム，他日時とのデータの比較を容易にするべく，本論文で提案するパネルベースの視覚的分析システム構築を行う．一つのデータのまとまりを一つの「パネル」の中で表現し，複数の「パネル」を画面上に配置し，パネル間の比較を補助する機能を実装する．

イメージしやすい，フィールド図で視覚化されている，グラフを用いている：全体評価構造図にて「イメージしやすい」の下位項目に「フィールド図で視覚化

されている」,「グラフを用いている」が現れていた。可視化技術を用いることにより,ユーザーが生データより認識しやすいグラフを提示するとともに,フィールド図を用いたデータの可視化を行った。

映像を含んでいる: ユーザーが詳細に観たいプレーについては,グラフ上のプロット等を選択することにより対話的に動画を再生できるよう実装する。

「選手の知りたい情報」に関する回答についての考察を行う。回答から抽出した7項目を表現するため,以下の4つのグラフを作成した。詳細についてはシステム実装にて述べる。

- Ground ball
- Shots
- Score
- Ballmove

3.2 システム実装

本提案システムは,Web技術を用いて実装された。アプリケーションを起動する際,スマートフォン,タブレット,電子計算機などの電子端末であれば,ほぼすべてに搭載されているWebブラウザにてアプリケーションを実行することが可能である。専用アプリケーションのインストールや,データファイルのダウンロードの必要がなく,Web上で実行可能な環境はユーザーの要望する容易性に応える要素となる。

3.2.1 ダッシュボード

本提案システムメイン画面はダッシュボードと呼称し,ユーザーの操作によりこのダッシュボード上にパネルを配置していく(図3.2)。パネルに,プレーに関するデータを可視化した。ダッシュボード上部にナビゲーションバーを配置しており(図3.3),本提案システムに搭載している機能は,このナビゲーションバーから選択することで利用できるようにした。ダッシュボードにてユーザーが主に行う操作は対象試合を選びパネルを配置することと,配置されたパネル間を比較する

ことであり、複雑なズーミングやわかりにくいフィルタリングは行わずに扱えるようにした。

3.2.2 パネル

セレクションモーダル画面よりダッシュボード上に生成されるパネルについて詳細を述べる。パネルでは二つのタブを開けるようになっており、ひとつのタブにはパネルの主目的である、プレーに関するグラフを表示しており(図 3.4)、もうひとつにはパネルの詳細情報を表示するようにした(図 3.5)。詳細情報とは選択された試合の詳細な記述である。要素の種類としては 4 種類の実装を行った。グラフ生成には JavaScript、D3js ライブラリ⁷⁾を用いた。

Ground ball

図 3.6 に示すように、フィールド図上にグラウンドボールをスクープした選手をプロットした。対象チームを青、対戦チームを赤とし、プロット点内にスクープした選手の背番号を表記した。また、エリアごとにチームのスクープ頻度を色分けし、視覚的に勝敗を分析する補助を加えた。プロットした選手をブラウザにてタッチすると、その時間の動画再生できるようにした。

Shots

図 3.7 に示すように、ショットグラフは 2 つの要素から構成した。ひとつはフィールド図、もうひとつはゴール図である。フィールド図ではショットを打った方法と場所をプロットした。またショットの 3 種の結果、ゴール、アウト、セーブをプロットの色で分けた。対象試合での全体的なショット結果を視覚的に表記し、この分布プロットから対象チームのショットに関する傾向と成功率を解釈できるようにした。ゴール図では、対象チームのショットの分布をプロットした。フィールド図と同様にショットの結果を色分けプロットした。この分布プロットから対象チームのショットに関する傾向と成功率を解釈できるとともに、相手ゴールリーの得手不得手を分析することを可能にした。

Score

図 3.8 に示すように，対象チームでの得点者に関して分析できるようにし，対話的な棒グラフと円グラフにより視覚化した．この棒グラフと円グラフは相互に対応し，棒グラフには対象チームの選手の総ショット数を表示し，ある選手を選択すると，その選手のショットの内訳が円グラフに表示されるようにした．また，円グラフには対象チームの総ショット内訳を表示し，一つのショット要素を選択すると，そのショット要素の内訳選手が棒グラフに表示されるようにした．

Ballmove

図 3.9 に示すように，対象チームの試合中の動きと試合の展開を視覚的に視ることができるようにした．Ball move はフィールド図と試合展開図の 2 つのグラフにより視覚化した．試合展開図では，試合の状況について横軸は時間を取り，縦軸は試合状況を取った．この試合展開図により試合状況を俯瞰して視ることができ，詳細に視たい場合は，Fig のように範囲を指定することで詳細を確認できる．

また，フィールド図において，試合展開図にて範囲を指定すると，その時間内でのボールの動きと，ボールの動きに関わった選手が表示される．このグラフにより，「1on1」，「選手の動き」，「クリア」，「パス」を分析することができる．

3.2.3 パネルの選択

本提案システムでは，セレクションモーダル画面にて，これまでのすべての試合を探索できるようにした．本提案システムの起動時，もしくはナビゲーションバーから「graph」を選択することで，セレクションモーダル画面に移行する．ユーザーは分析する試合を探し，チームのボタンを押すことで，ダッシュボード上にパネルが生成される．セレクションモーダルに 3 つのタブを備え，目的に応じてタブを使い分けられるようにした．ゲームタブでは，フィルタリング機能を備えているため，特定のキーワードから試合を探索でき，チームを選択することで，全データから絞り込むことができるようにした (図 3.10)．チームタブでは，試合の点数差によって選択ボタンの配色を変えており，特定のチームのこれまでの試合状況の俯瞰を可能にした (図 3.11)．グラフタブでは試合ではなく，パネルを直接選択する．複数のパネルを選択することができ，またフィルタリング機能を備えているため，試合間でのデータ比較が容易に行えるようにした (図 3.12)．

3.2.4 ダッシュボードファンクション

本提案システムのダッシュボードに搭載されている機能について述べる．ダッシュボードファンクションはナビゲーションバー (図 3.3) から利用できる．

レイティング機能

パネルにはプレーに関するグラフが表示されるが，そのプレーの質をパネルの色によってわかるようにした．パネルの色はユーザーが任意に色を設定できるようにした (図 3.13)．この配色機能により，ある試合のデータについてダッシュボードにパネルを出力すると，試合中の良い箇所，悪い箇所を一目で理解できるようにした (図 3.14)．あるチームのあるプレーの時系列変化を知りたい場合にも，この機能を利用することで経過を視ることができるようにした．

ソート機能

パネルの配置順序はパネルタイトルバーもしくはダッシュボードファンクションの一つであるソート機能により変更できるようにした (図 3.15)．ソート機能はパネルのデータに従って自動的に配置順序をソートできるようにした．日時によるソートや、相手チームと比較したプレーの質を定量的に数式化することによりソートを行えるようにした．

メモ機能

パネルは基本的にグラフを表示する役割であるが，ユーザーによりパネル内にメモを加える事ができるようにした．ユーザーがメモを加えられることにより，分析の補助を狙った (図 3.16)．

最小化機能

パネルのタイトル，もしくはコラプスボタンを押すことでパネルを最小化できるようにした (図 3.17)．パネル数が多くなる場合，スクロールして見るには見づらくなるため，この最小化可能な機能を加えた．

第4章 評価実験

本提案システムの有効性を検証するため，選手に対し評価実験を行った．本評価実験では下記の観点から本提案システムの有効性について議論する．

- 選手が容易に操作可能な視覚的分析システムであるか (NE 比法)
- 従来のシステムに比べ，利便性は向上したのか (t 検定)
- 選手が望む利用用途に即した情報探索が可能な視覚的分析システムになっているか (アンケート調査)

以上の有効性を検証するために，同部 15 名に対して本提案システム評価実験を行った (図 4.1) ．

4.1 本提案システム操作実験

4.1.1 評価方法

本提案システムが選手にとって容易に操作可能な視覚的分析システムであるか，NE 比法を用いて検証を行った．

NE 比法

鱗原らによって開発された NEM(Novice Expert ratio Method)⁸⁾ は，行動データを定量的に分析することができる方法である．あるタスクを与え，開発者(エキスパート)と初心者ユーザ(ノービス)の操作に要する時間のギャップを比較し，視覚的分析システムの扱いやすさを示すことが可能である．あるタスクをいくつかのステップに分割し，エキスパートとノービスのステップの時間差の比に注目することで，問題のあるステップを抽出することが可能である．

$$NE \text{ 比} = \frac{T_N}{T_E} \quad (4.1)$$

T_N はエキスパートの操作時間であり、 T_E はノービスの操作時間である。つまり、NE 比が大きいステップは改善優先度の高いシステム要素であるといえる。システムの有効性を示すために必要なノービスの数は 15 人であれば十分であると言われている⁹⁾。

本実験では、選手の視覚的分析システム利用目的の一つである「対戦相手チームの特徴を把握し、自チームの戦略を練る」場合を想定し、4 つのステップを与え計測実験を行った。本評価においては 2 つの目的を持って操作を行うことを想定した。

ひとつは、男子ラグロスではしばしば「最も得点を重ねる選手を封じる戦術」を取るため、この戦術を行うに際して必要な情報を探索するべく、「相手チームの最も得点を取る選手を探し出すこと」をタスクとして与えた。ただし今回のタスクでは、より正確に高得点者を抽出するため、「試合におけるチーム間の得点差が大きい試合から探し出す」という条件を加えた。この課題をタスク 1 とする。

もうひとつは、相手チームの弱点を見つけ出しその弱点をつくために、データから弱点を探すこととする。同上の試合から「相手チームの弱点を見つけ出す」タスクを与えた。この課題をタスク 2 とする。

本評価実験では、評価実験のための試合のサンプルデータを 10 試合分作成し、用いた。ユーザーの操作をスクリーンキャプチャソフトを用いて録画し、実験終了後、本提案システムを用いたタスク処理に要した時間を計測した。数名ずつ時間を分けて、本提案システム使用方法を 10 分ほど説明した後、計測実験を行った。図のように、1 人ずつ計算機に向かってもらい、実験を行った。本評価での操作ステップを示す。

1. システムの立ち上げブラウザを立ち上げる。ブックマークを選択して、Web アプリケーションを立ち上げる。
2. データの俯瞰と選択対戦チームを teamA とした時、teamA のこれまでの試合にて最も得点差の大きかった試合を選択し、ダッシュボード上にパネルを生成する。
3. データ分析パネル内を対話的に操作し、高得点者を探し出す。タスク 1 が完了する。
4. パネル間の比較パネル間比較機能を用いて、相手チームの弱点を見つけ出す。タスク 2 が完了する。

また、本提案システム開発者も同計測を行った。

4.1.2 評価結果

15名のノービスと、1名のエキスパートに対して実験を行った。ここで述べるエキスパートとは、本提案システム開発者である。実験結果を図 4.2 に示す。図 4.3 ではステップに要したノービスの平均時間とエキスパートの時間、それぞれのステップの NE 比を表している。

4.1.3 評価考察

操作性について、一般的に、NE 比 4.5 以上でなければシステムの操作性について問題がないといわれている¹⁰⁾。本実験では最大 NE 比は 1.85 であるので、本提案システムが選手にとって容易に操作可能なシステムであると言える。NE 比が最も大きいステップ 3 に関しては「パネル内を対話的に操作し、高得点者を探し出す」動作であるが、本著者が見ている限り、被験者は参照すべきグラフをわかっているものの、どのように対話すればいいのか迷う場面が多く見られた。このステップ 3 の操作性に対する解決策としては、ユーザーの慣れと、対話性の実装の見直しが考えられる。

4.2 システム操作時間比較実験

4.2.1 評価方法

同部での従来のシステムに比べ、利便性は向上したのかを検証するため、t 検定を用いて有意差があるか確かめた。NE 比法と同様の方法にて、表計算ソフトを利用して「相手チームの最も得点差の大きかった試合での高得点者を探し出す」課題を与え、タスク処理にかかった時間を t 検定を用いて本提案システムを用いた場合と比較することで、本提案システムの優位性を検証し、情報探索にかかる時間を削減出来るか試みた。

4.2.2 評価結果

実験結果を実験 1 の結果を加えて図 4.4 に示す。図 4.5 では各々のタスク処理時間と、利用アプリケーションの平均時間を記している。また、各ステップでの平

均処理時間と，実験対象者全員の処理時間の標準偏差をエラーバーにて記している．図 4.6 では同部での各々の表計算ソフト利用状況と，表計算ソフトでの分析に要する処理時間について記している．

4.2.3 評価考察

t 検定

対応のある片側 t 検定を用いて本提案システムと，表計算ソフトによるタスク 1 の処理時間の検定を行った．結果として，p 値は 6.0×10^{-5} となり，本提案システムの優位性が示された．一般に p 値が 0.05 以下であれば有意差があるとされている．

各ステップでの処理平均時間について

各ステップの標準偏差は全てにおいて本提案システムの方が，表計算ソフトより小さい．後述するアンケート結果より，これまで表計算ソフトでの分析の利用頻度に差が見られた．表計算ソフトでの分析を行っていなかった人は，表計算ソフトでの処理に時間がかかっているのではないかとも思われたが，図に示すように相関関係は弱い， $R^2 = 0.054$ であった．表計算ソフトでは操作に迷いやすい，もしくは情報探索能力が低いと言える．従って，本提案システムは表計算ソフトに比べ，だれでも短いタスク処理が可能であると推測される．

4.3 アンケート評価

4.3.1 評価方法

選手が望む利用用途に即した情報探索が可能な視覚的分析システムになっているか，アンケート調査によって評価した．アンケート結果から，t 検定を用いて本提案システムと同部で用いられている表計算ソフトとの比較をし，有意差があるか調べ，本提案システムの優位性を検証した．

評価実験 1，2 の後に，アンケート記入を行ってもらった．アンケート項目は表に示す．

4.3.2 評価結果

アンケート結果を図 4.7, 4.8, 4.9 に示す.

4.3.3 評価考察

アンケートの考察を行う. アンケート結果から, 対応のある片側 t 検定を用いて本提案システムと同部で用いられている表計算ソフトとの比較を行う. 本アンケートでは, 本提案システムと表計算ソフトを用いた分析の利用について利用用途に沿っているか 5 段階評価を行った. この結果を分析するにあたり, 対応のある片側 t 検定を行った. 結果として, p 値は 1.5×10^{-6} であった. つまり, 表計算ソフトによる分析に比べ, 本提案システムは利用用途に沿った視覚的分析システムであることがわかった. 同様に実用可能かのアンケートを行ったが, 同じく p 値は 9.4×10^{-6} であり, 表計算ソフトに比べ, 実用可能な視覚的分析システムであることがわかった.

第5章 結論

スポーツ分野において、試合データの視覚的分析システムは様々な意思決定を支援している。ラグロスなどのチームスポーツのように、選手による試合分析が盛んのスポーツがあるにもかかわらず、既存の視覚的分析システムでは選手が扱うには操作が複雑であり、利用に困難な点がある。そこで本研究では、チームスポーツ向けの戦術改善に資する選手向け視覚的分析システムを開発した。選手が容易に扱える視覚的分析システムを構築すべく、選手たちのシステムへの潜在的要望を調査し、本提案システムの設計を行った。視覚的分析システムが容易に扱え、かつ視覚的分析システムにより戦術改善に役立つ有益な情報を得られるという、選手の要望として高かった項目に対してシステム要項を整理し、実装を行った。選手の要望を取り入れ開発した本提案システムを、実際に選手に利用してもらい、完成度を評価した。結果として、本提案は選手たちにより本提案システムは、定量的にも、定性的にも既存のシステム以上に利用しやすく、また戦術改善に役に立つと評価された。

本研究では、視覚的分析システムを選手が用いるに際に重要となる要素に注目した。システム利用者を見定め、設計を行い、定量的な評価を得たことで、選手を対象とする実用性を考慮した視覚的分析システムの開発として、先行研究としての役割を果たすと考えられる。

今後、本提案システムをスポーツの現場にて、選手たちに使用してもらい、フィードバックを得ることで改善を行っていく。チームスポーツの現場では選手間のコミュニケーションが重要であり、そのコミュニケーションの内容は選手の感覚を頼りに行われている事柄が多いが、本提案システムの利用により客観的な新たな見方を得ることが出来、より一層コミュニケーションを密に取ることができるようになるとも思われる。また、本論文では利用対象としてラグロスだけに絞り、調査、実験を行ったが、今後は、他のスポーツにも応用していきたいと考えている。

謝 辞

本研究を進めるにあたり，有益な御指導，御助言を頂きました京都大学高等教育院の小山田耕二教授，坂本尚久特定助教，学際融合教育研究推進センター政策のための科学ユニットの久木元伸如特定講師に深く感謝致します．本研究を進めるにあたり，プログラミング技術を始め，様々な御助言を頂きました京都大学工学研究科博士後期課程２年生の尾上洋介氏に深く感謝致します．本研究を進めるにあたり，アンケート調査や，システム評価実験に協力して下さった京都大学男子ラクロス部の皆様にはご協力を賜りました．ここに深く御礼申し上げます．最後に，家族をはじめとする私の学生生活を支えてくださったすべての皆様へ心から感謝の意を表します．

参 考 文 献

- 1) Charles Perin, Romain Vuillemot, and Jean-Daniel Fekete, Soccerstories: A kick-off for visual soccer analysis, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 19, No. 12, (2013), pp. 2506–2515.
- 2) Hannah Pileggi, Charles D Stolper, J Michael Boyle, and Jhon T Stasko, Snapshot: Visualization to propel ice hockey analytics, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 18, No. 12, (2012), pp. 2819–2828.
- 3) Tom Polk, Jing Yang, Yueqi Hu, and Ye Zhao, Tennivis: Visualization for tennis match analysis, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 20, No. 12, (2014), pp. 2339–2348.
- 4) Junichiro Sanui, Visualization of users requirements: Introduction of the evaluation grid method, *the 3rd Design & Decision Support Systems in Architecture & Urban Planning Conference*, (1996), pp. 365–374.
- 5) Arun Sai K, A data-agnostic dashboard visualization framework with customizable layout for e-commerce data analytics, *SIGSOFT Softw. Eng. Notes*, Vol. 39, No. 4, (2014), pp. 2–6.
- 6) Krist Wongsuphasawat and David Gotz, Exploring flow, factors, and outcomes of temporal event sequences with the outflow visualization, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 18, No. 12, (2012), pp. 2659–2668.
- 7) Michael Bostock, Vadim Ogievetsky, and Jeffrey Heer, D3 : Data-driven documents, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 17, No. 12, (2011), pp. 2301–2309.
- 8) Haruhiko Urokohara, Kenichi Tanaka, Kazuyoshi Furuta, Michiyo Honda, and Masaaki Kurosu, Nem: 'novice expert ratio method' a usability evaluation

method to generate a new performance measure, *Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, (2000), pp. 185–186.

- 9) Jakob Nielsen and Thomas K Landauer, A mathematical model of the finding of usability problems, *Proceedings of the INTERACT '93 and CHI '93 Conference on Human Factors in Computing Systems*, (1993), pp. 206–213.
- 10) Masaaki Kurosu, Haruhiko Urokohara, and Daisuke Sato, A new data collection method for usability testing- nem : Novice expert ratio method, *Gap Finder*, (2002).

付 録 A アンケート項目について

あなたが、ラクロスの試合、練習を分析し、戦術、試合、練習を改善する立場にいる(チームの分析、自分個人の分析)と考えて回答してください。

- どういった表現方法で見せて欲しいか、今のイントラ表現と比較して答えてください。「～」表現方法。(いくつ選んでも ok)
 - － 他人と、他チームと比較しやすい。
 - － 可視化されたデータの日の試合の写真がある。
 - － イメージしやすい。
 - － 一つの画面にまとまっている。
 - － カッコイイデザイン。
 - － 映像データを含んでいる。
 - － グラフがある。
 - － 文字が少ない。
 - － フィールド図がある。
 - － 3Dで表現されている。
 - － インタラクティブ性がある。(例えばクリックしたらグラフが出るとか)
 - － データを見るのが簡単。
 - － 時系列で見れる。
- その他、上にない表現方法で、要望となるようなものがあれば書いてください。
- 分析をする際に欲しい情報は何か「～」に関すること。(いくつ選んでも ok)
 - － ラントレ
 - － 体組成

- － 筋力
- － 短距離能力 (持久力)
- － 長距離能力
- － ライド
- － GB
- － 試合中の運動量，走行量
- － ショット
- － セーブ
- － クリア
- － パス
- － FO
- － パスカット
- － キープ力
- － 6on6
- － EX
- － MD
- － 気温
- － 湿度
- － 1on1
- － フィード
- － アシスト
- － 得点
- － 声量
- － ダッチ
- － ステップ
- － ファール

－ アップ

- その他，上にない欲しい情報があれば書いてください．
- ラクロスの様々なデータが見やすくなったとします (可視化された)．あなたならどういったシチュエーションで可視化ツールを使いますか？

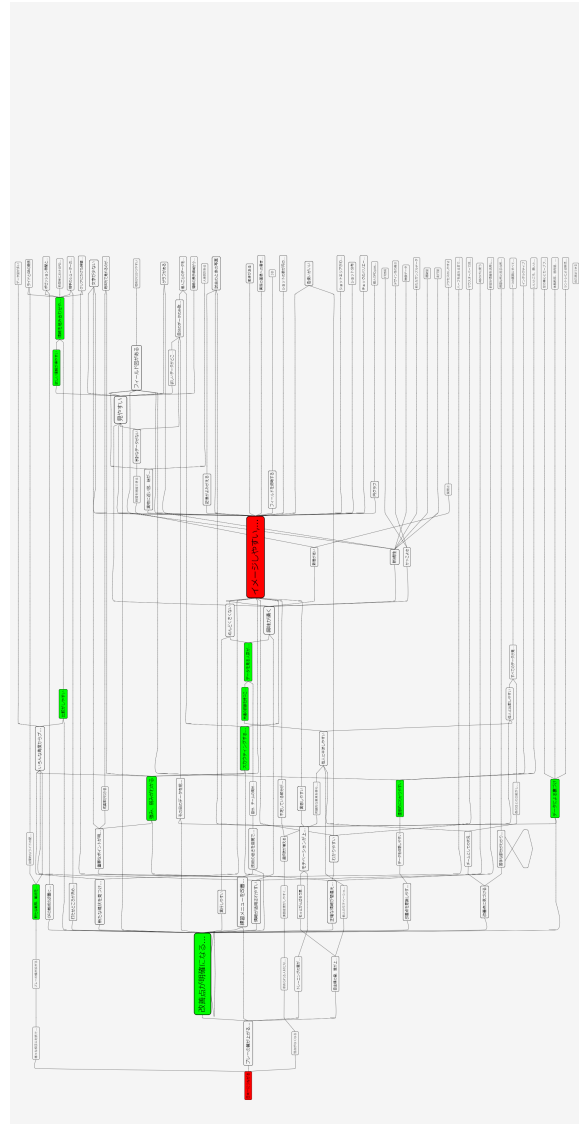


図 3.1: 評価構造図

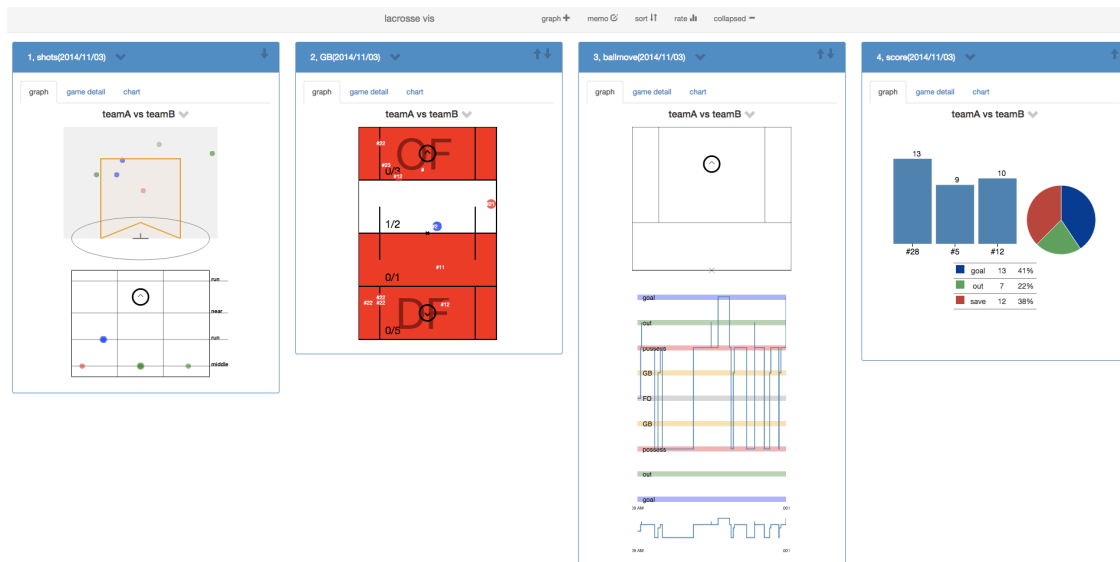


図 3.2: ダッシュボード

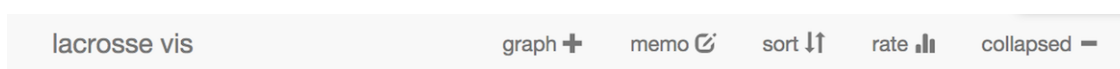


図 3.3: ナビゲーションバー

1, shots(2014/11/03) ▼

graph

game detail

teamA vs teamB ▼

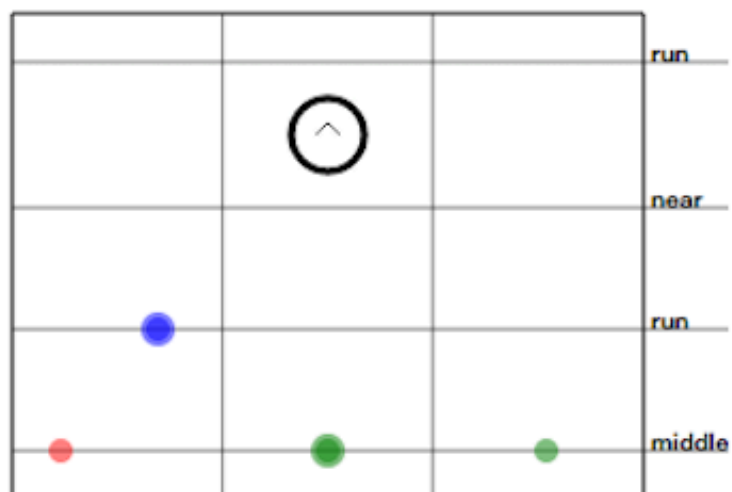
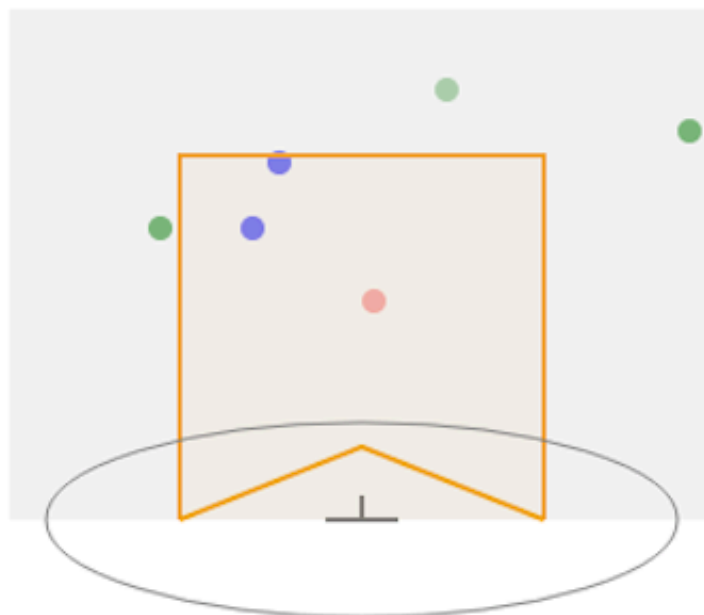


図 3.4: パネル (メイン)

1, shots(2014/11/03) ▼

graph

game detail

about this game

date	2014/11/03
gameID	0
graphType	shots
place	████████████████████
team	teamA
vs	teamB
youtube	http://youtu.be/xo

Team

number	name	position	age	detail
#36	██████	FO	21	
#5	██████	AT	21	
#28	██████	AT	21	

Enemy

number	name	position	age	detail
#11	nanashi	AT		
#13	nanashi2	DF		

図 3.5: パネル (詳細)

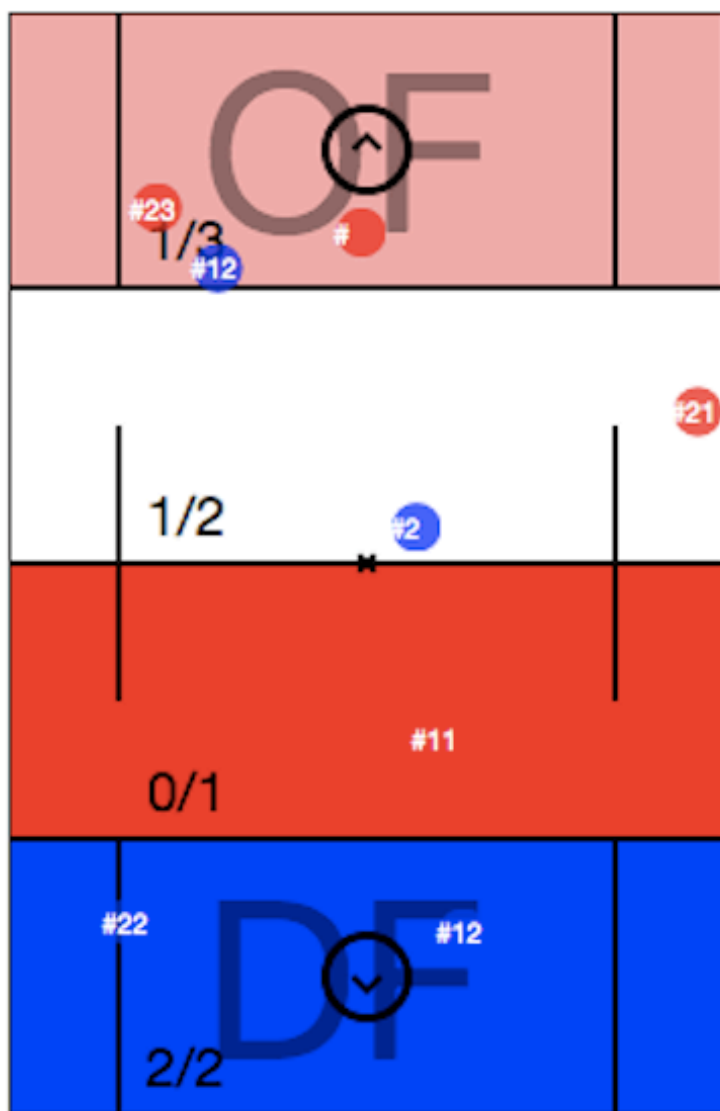


図 3.6: グラウンドボール

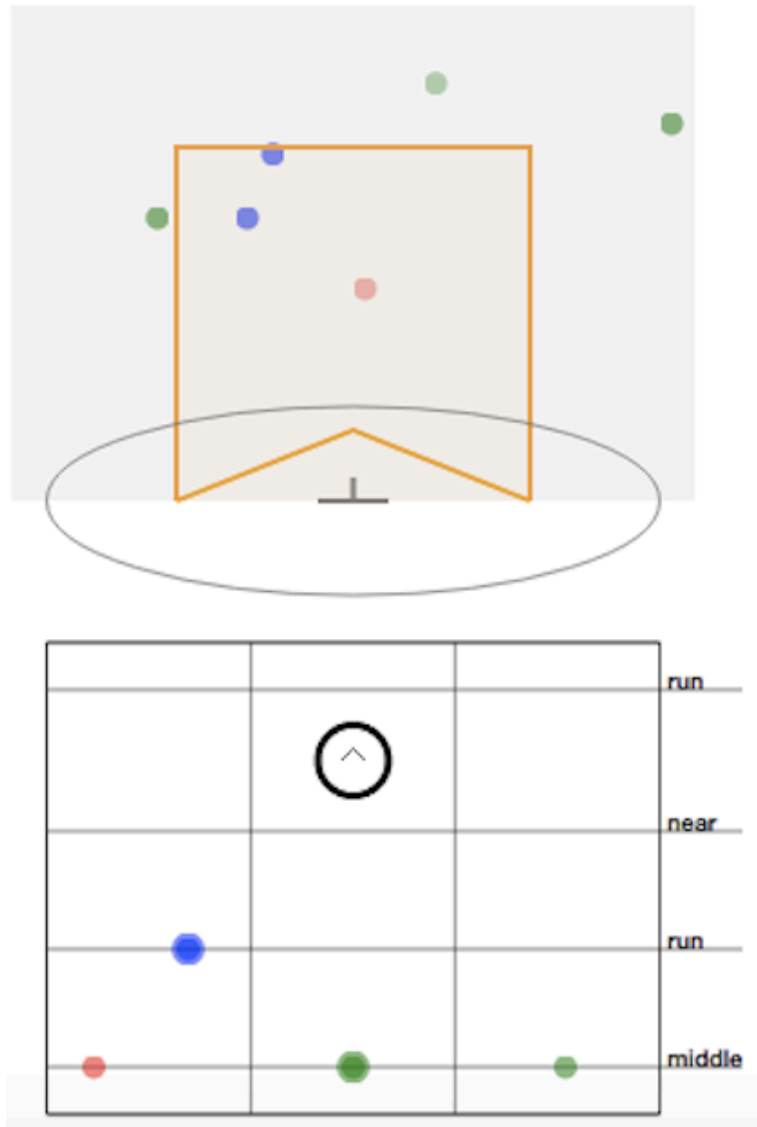


図 3.7: ショット

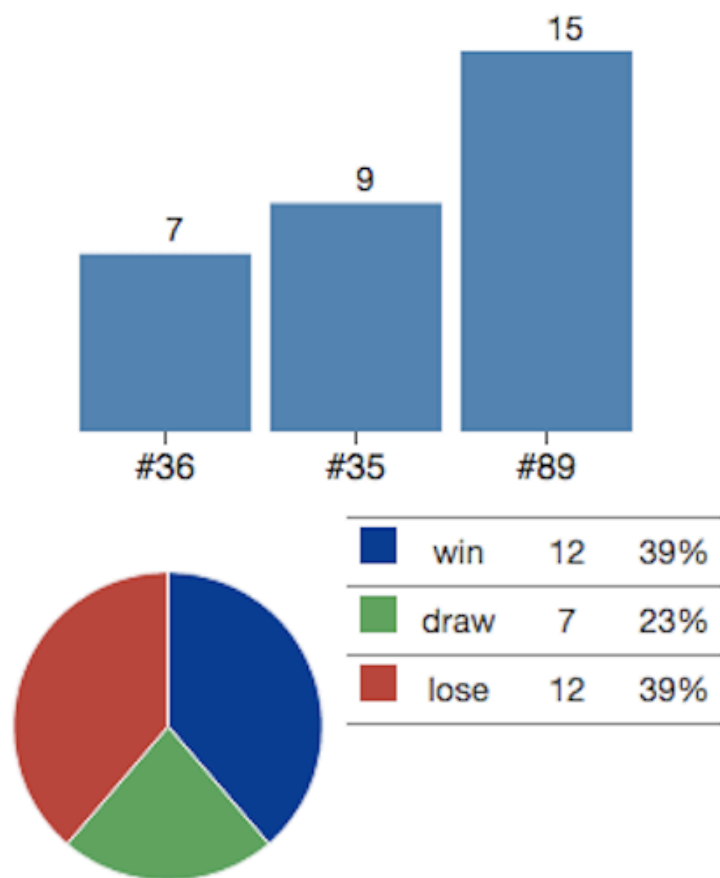


図 3.8: スコア

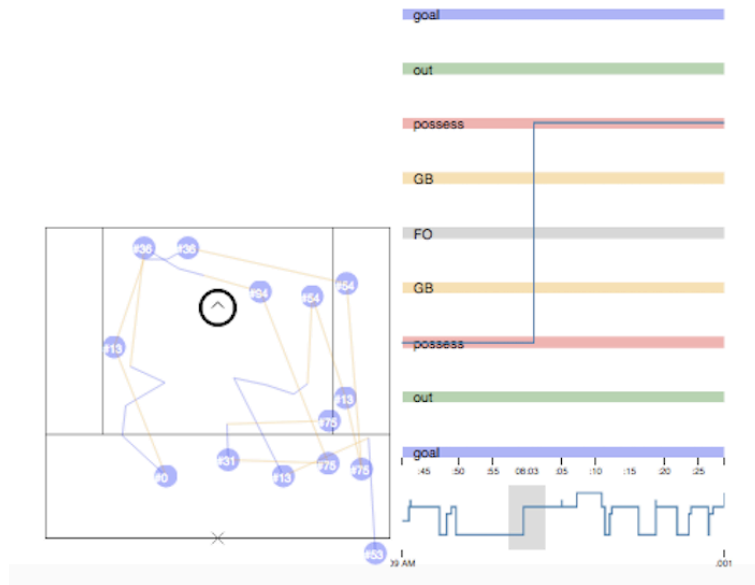


図 3.9: ボールムーブ

lacrosse vis graph memo sort rate collapsed

Graph selection

games teams graphs

ID	team	v.s.	date
9	teamA	teamB	2014/10/12
8	teamA	teamB	2014/10/12
7	teamA	teamB	2014/10/12
6	teamA	teamB	2014/10/12
5	teamB	teamB	2014/10/12
4	teamA	teamB	2014/10/12
3	teamA	teamD	2014/10/12
2	teamB	teamC	2014/10/12
10	teamF	teamB	2014/10/12
1	teamA	teamC	2014/10/12
0	teamA	teamB	2014/11/03

図 3.10: セレクションモデル (games)

lacrosse vis graph memo sort rate collapsed

Graph selection

games teams graphs

select team

too bad bad even good very good

select team ▼

ID	team	date	vs	point gap
9	teamA	2014/10/12	18 v.s. 6	12
9	teamB	2014/10/12	6 v.s. 18	-12
8	teamB	2014/10/12	6 v.s. 2	4
8	teamA	2014/10/12	2 v.s. 6	-4
7	teamB	2014/10/12	14 v.s. 10	4
7	teamA	2014/10/12	10 v.s. 14	-4
6	teamB	2014/10/12	16 v.s. 10	6
6	teamA	2014/10/12	10 v.s. 16	-6
5	teamB	2014/10/12	6 v.s. 20	-14
5	teamB	2014/10/12	20 v.s. 6	14
4	teamB	2014/10/12	6 v.s. 10	-4
4	teamA	2014/10/12	10 v.s. 6	4
3	teamD	2014/10/12	6 v.s. 4	2

図 3.11: セレクションモデル (teams)

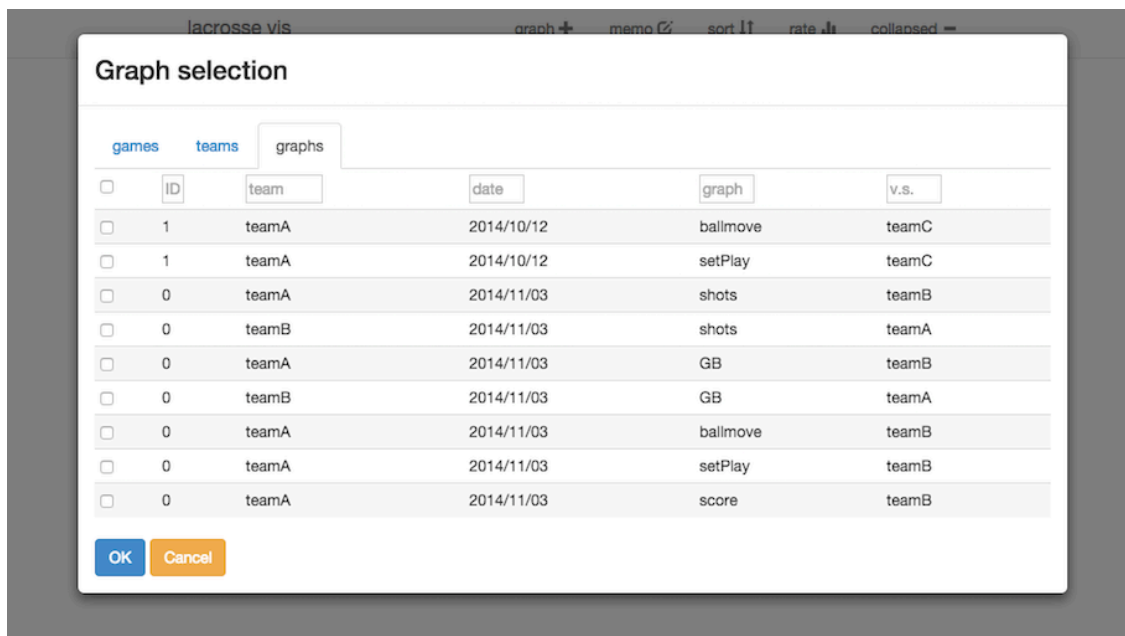


図 3.12: セレクションモデル (graphs)

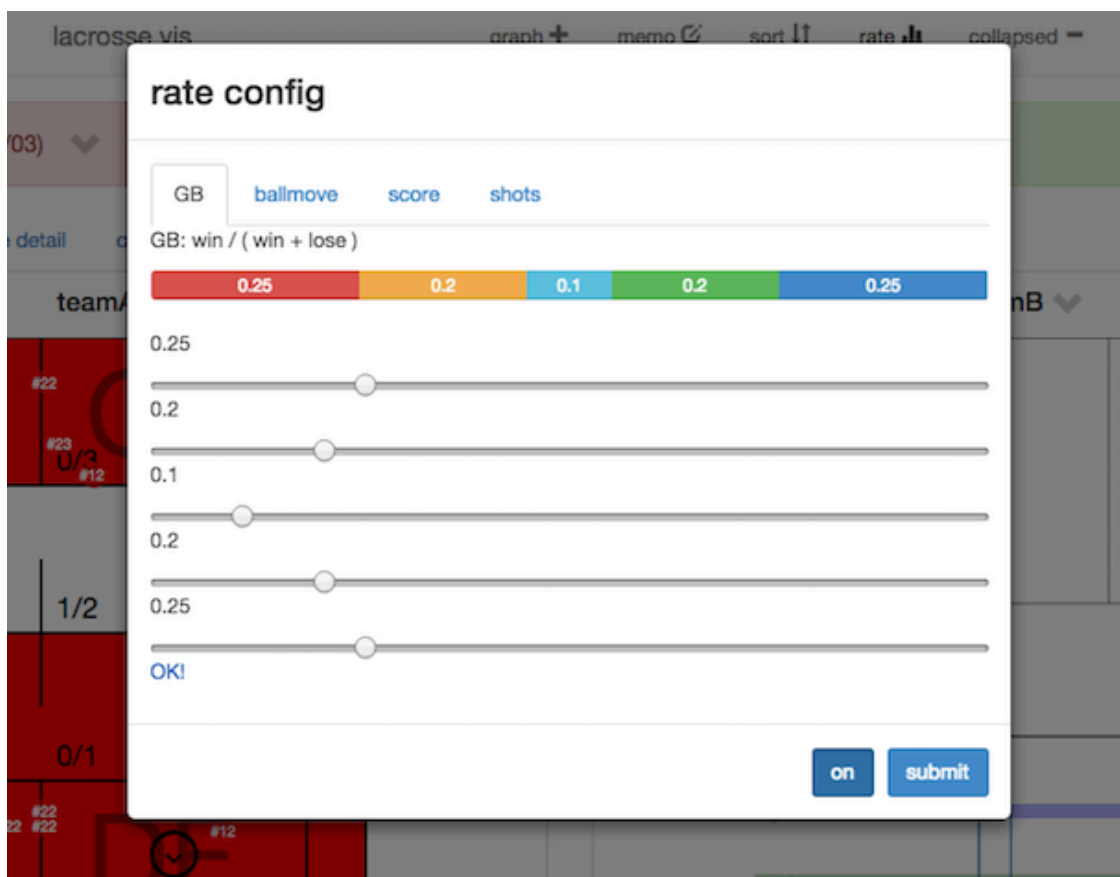


図 3.13: レイティング機能

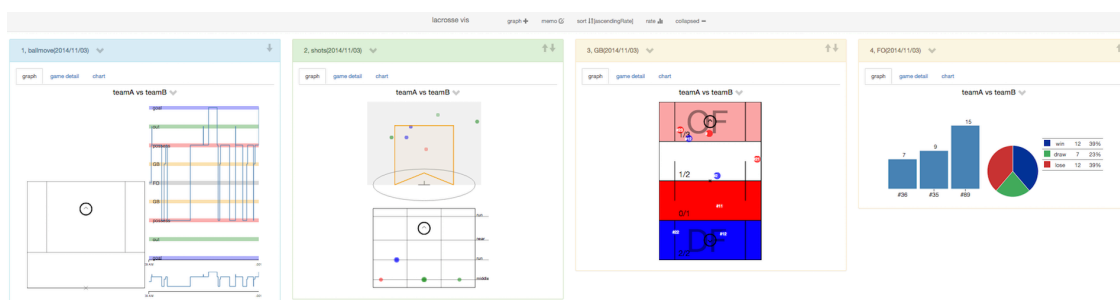


図 3.14: レイティング結果

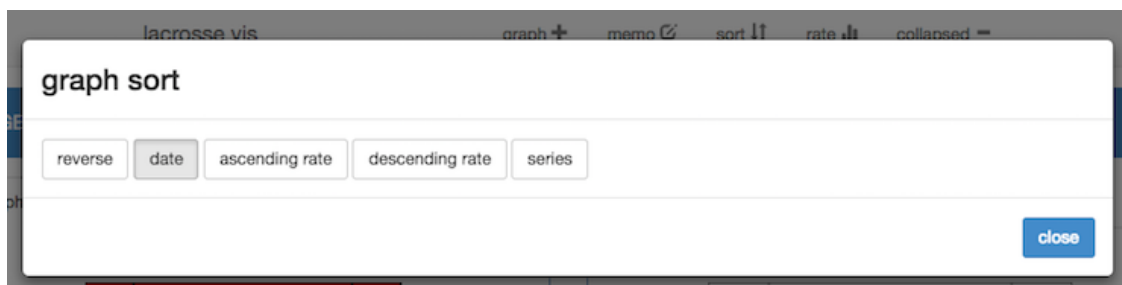


図 3.15: ソート機能

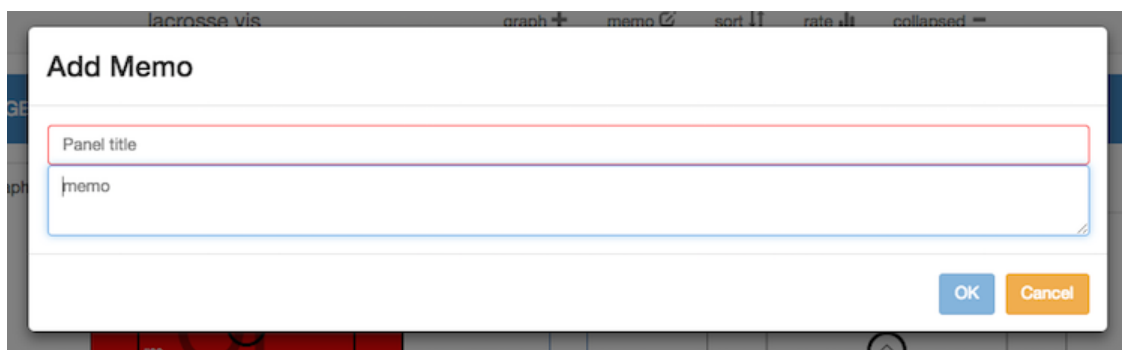


図 3.16: メモ機能



図 3.17: 最小化機能

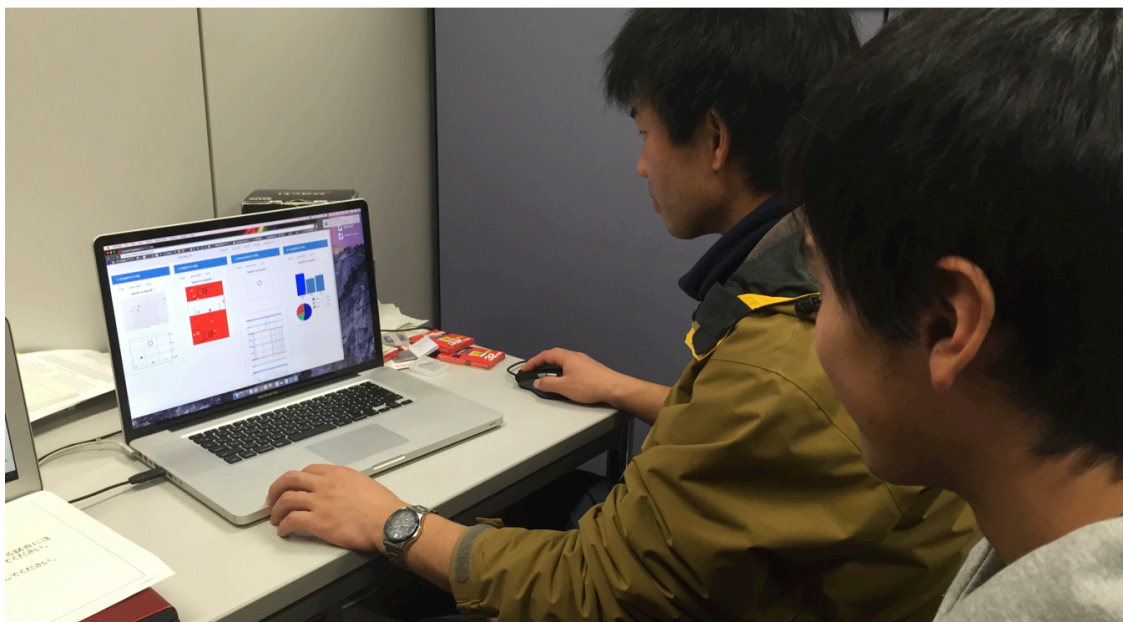


図 4.1: 評価実験風景

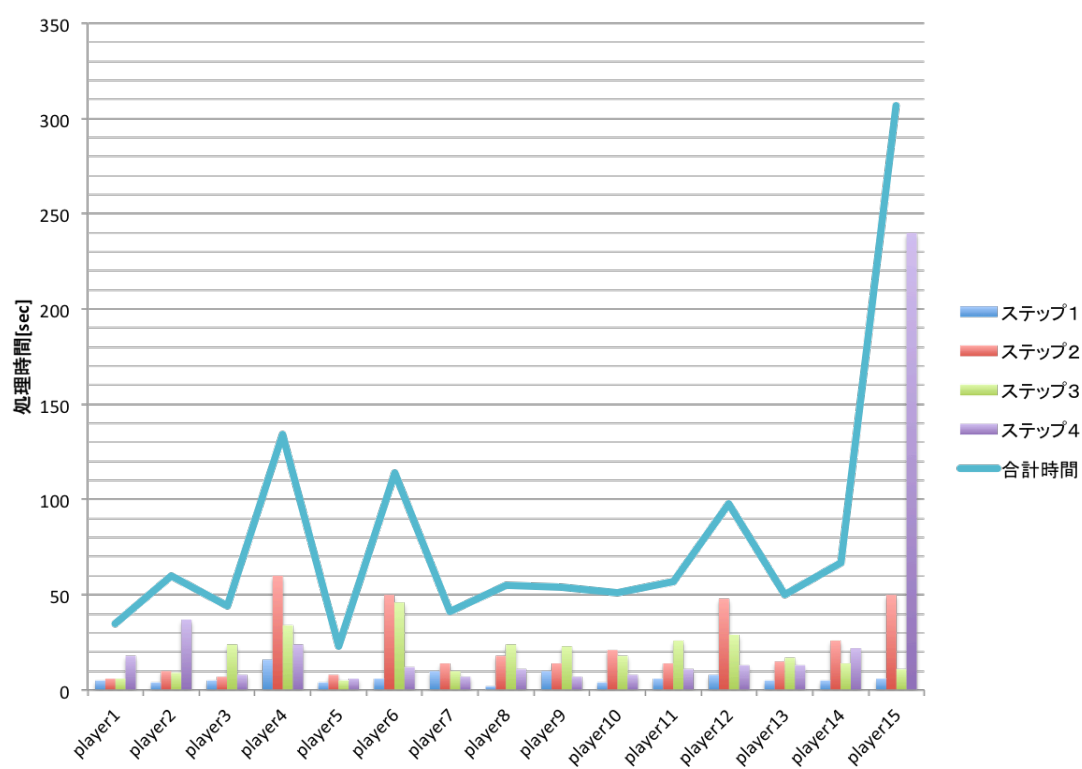


図 4.2: 本提案システムの操作時間

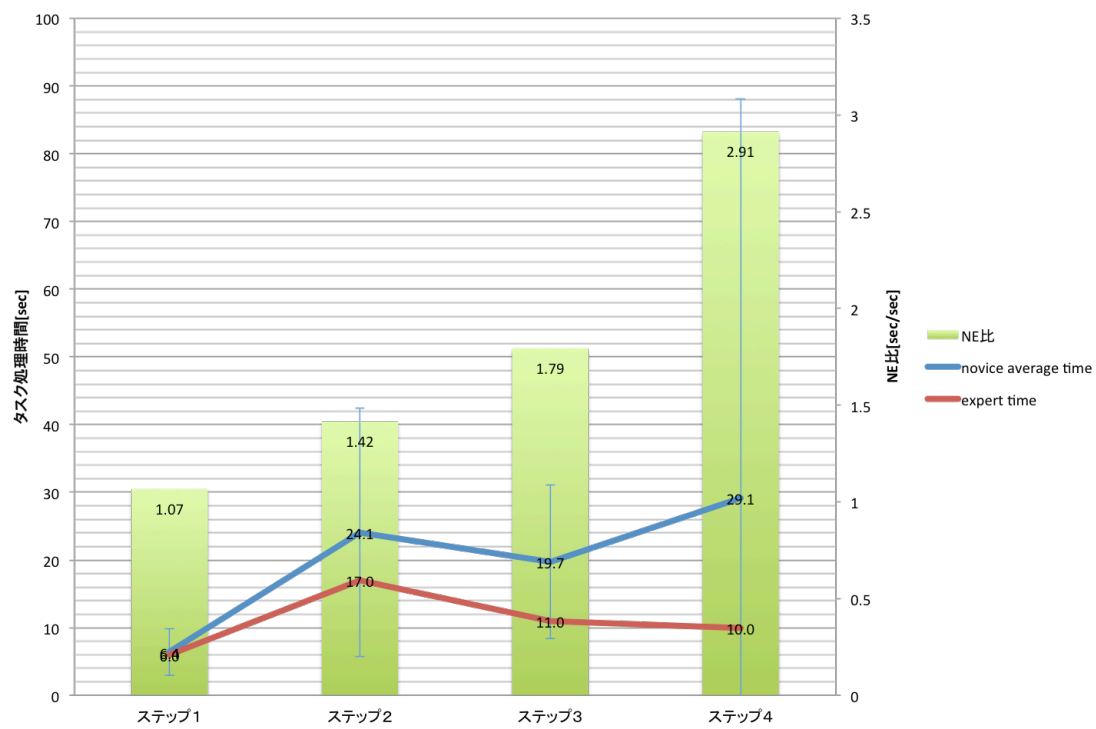


図 4.3: NE 比

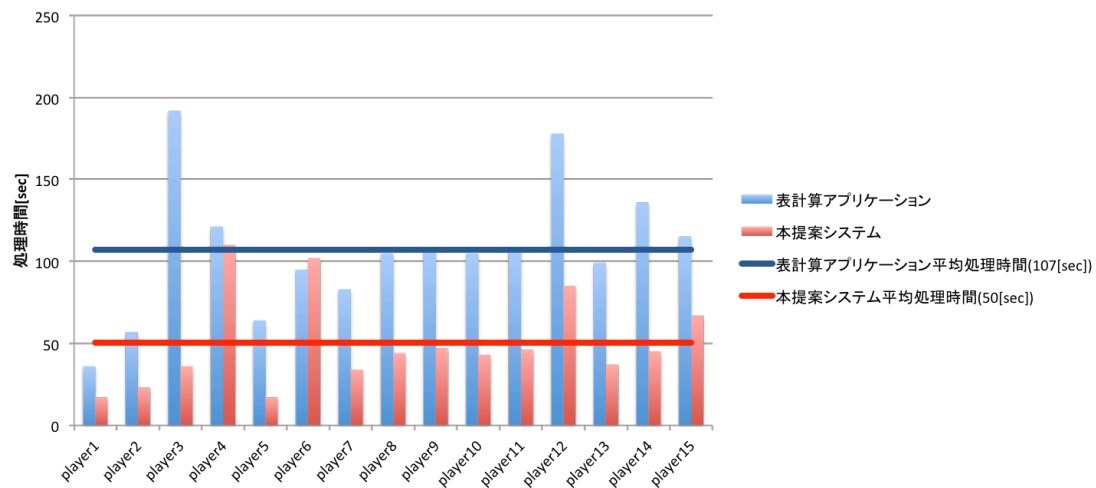


図 4.4: 本提案システムと、表計算ソフトの操作時間

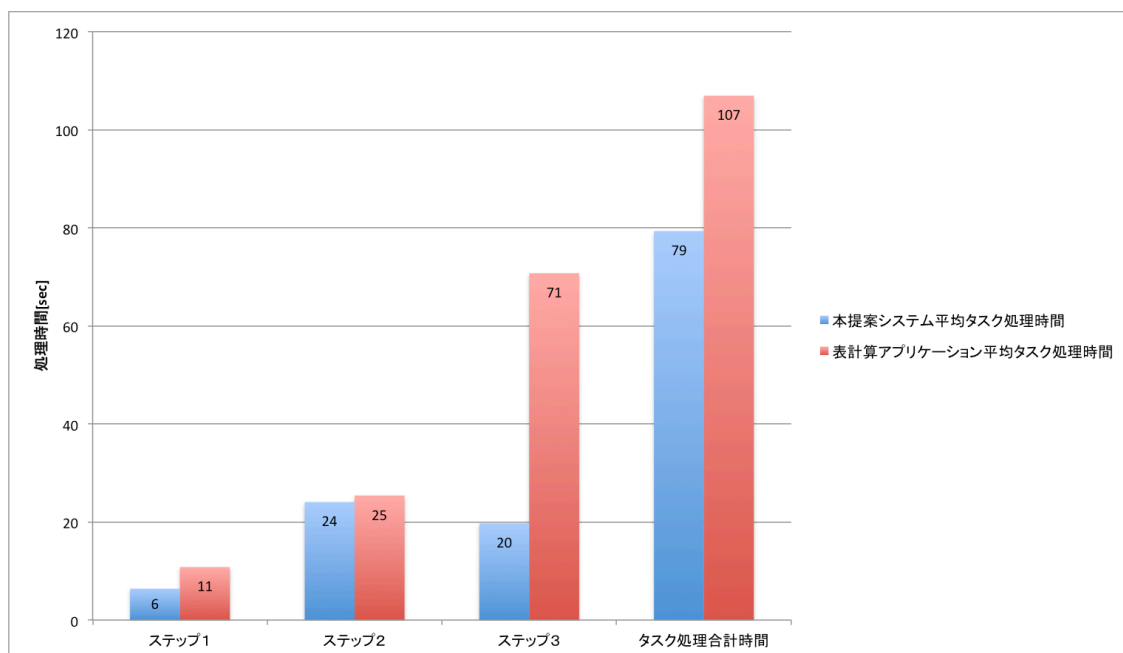


図 4.5: 本提案システムと、表計算ソフトのそれぞれのステップごとの平均処理時間

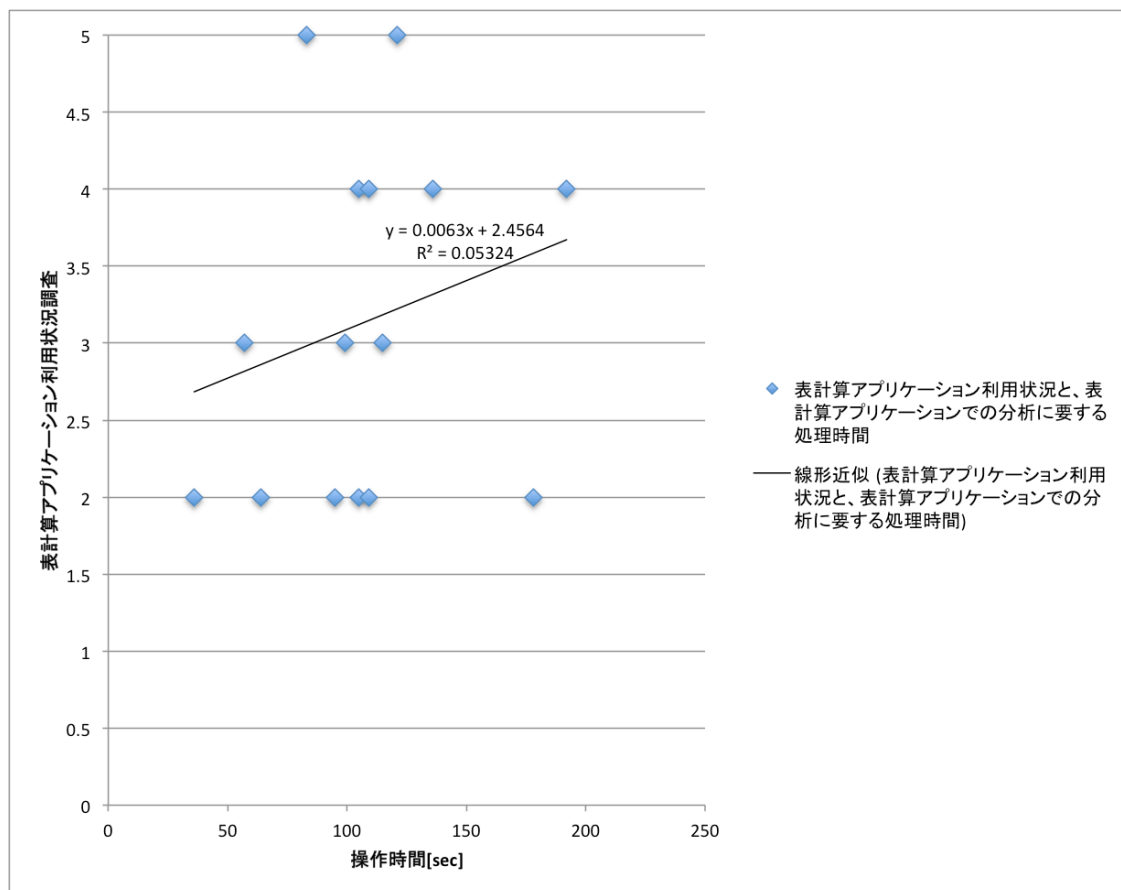


図 4.6: 表計算ソフトでの操作時間と被験者の表計算ソフトへの慣れの関係性について

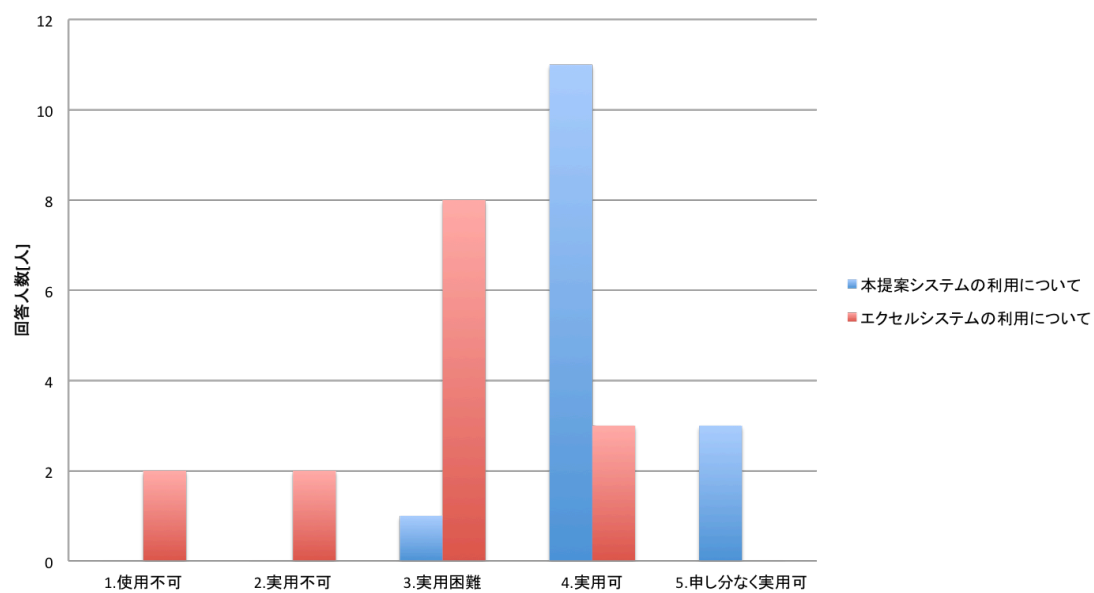


図 4.7: 実用性について

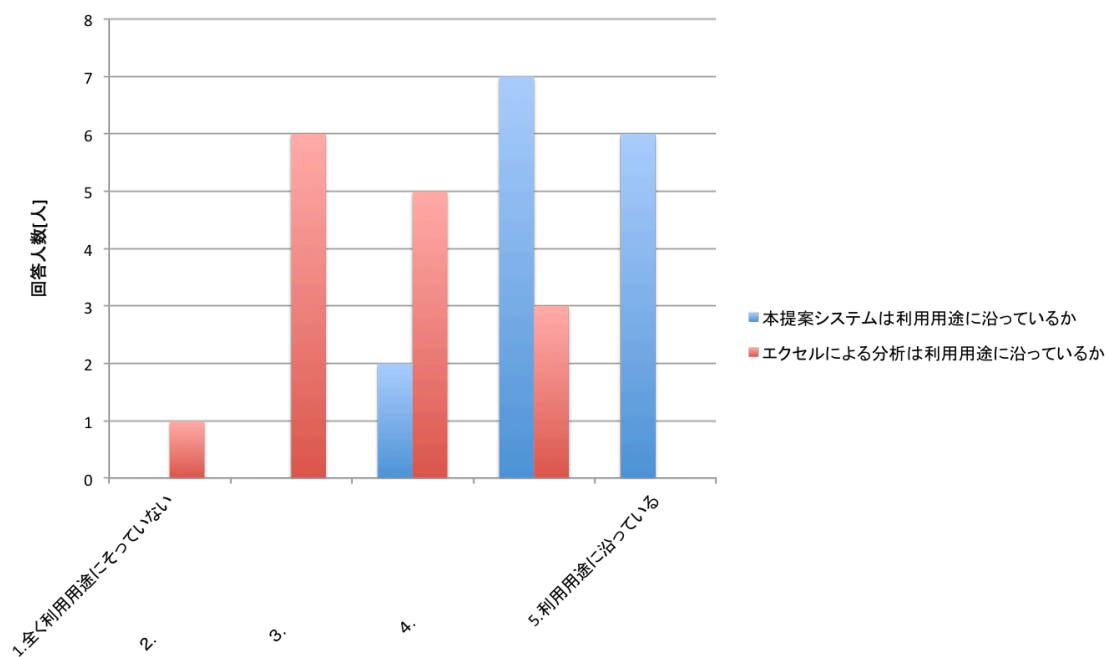


図 4.8: 利用用途について

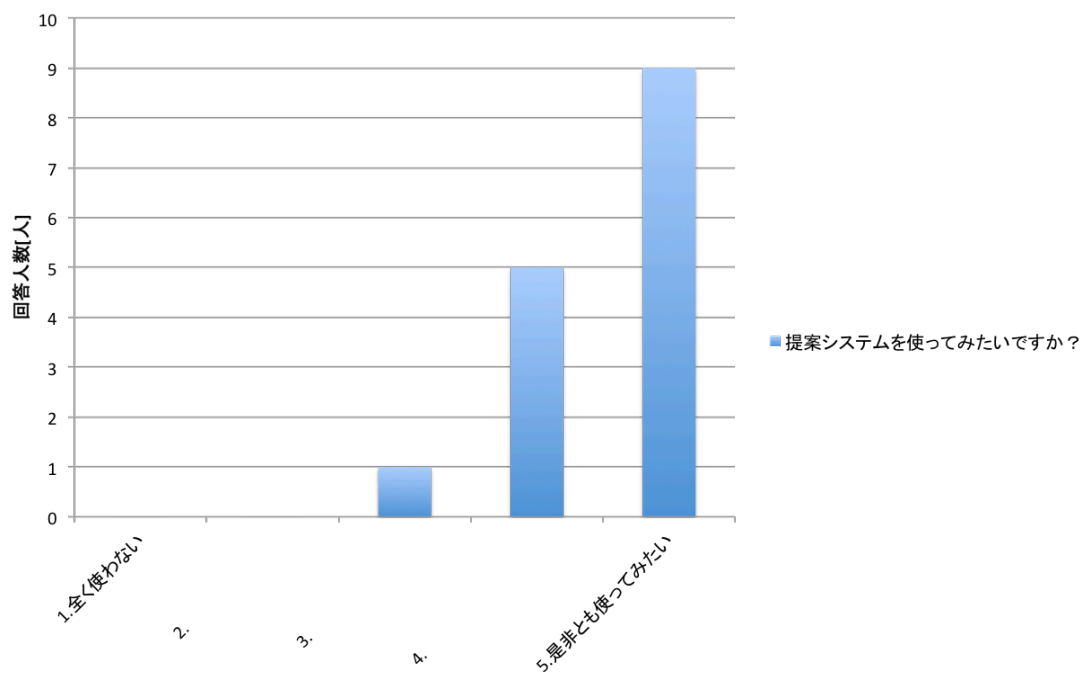


図 4.9: 提案システムについて