

東京大学大学院新領域創成科学研究科
社会文化環境学専攻

2020 年度
修 士 論 文

サッカー選手のフォーメーションの評価手法の提案
Proposed Methodology for Evaluating Football Players' Formations

2021 年 1 月 18 日提出
指導教員 貞広 幸雄 教授

金子 修史

目次

第1章 序論	
1.1 研究の背景.....	3
1.2 研究の目的.....	3
1.3 本論文の構成.....	4
第2章 関連する既存研究	
2.1 優勢領域に基づいたスポーツチームワークの定量的評価	5
2.2 トラッキングデータを用いたサッカーの試合における戦況変化の抽出.....	5
2.3 重力モデルを用いたサッカー選手の動きの定量化	5
2.4 Validity of a soccer Defending Skill Scale (SDSS) Using Game Performances....	6
2.5 サッカーにおけるパス行動決定の計算モデル化.....	6
2.6 サッカー指導現場におけるコーチングの研究 -指導者の発することばのイメージと生徒・選手が構想する運動イメージ-.....	6
第3章 研究で用いる選手の位置情報データ	
3.1 データ概要.....	9
3.2 データ形式.....	9
3.3 ディフェンスとオフENSEの定義	11
第4章 アンケート調査	
4.1 アンケート調査概要.....	13
4.2 アンケート調査結果.....	16
第5章 フォーメーションの評価手法提案	
5.1 評価手法概要.....	23
5.2 任意時点のフォーメーションと望ましいフォーメーションの抽出.....	24
5.3 プロクラステス解析	27
5.4 プロクラステス解析結果.....	28
第6章 結論	
6.1 まとめ.....	34
6.2 今後の課題と展望.....	35
謝辞	36
研究発表履歴	37
参考文献	58
付録	40

第 1 章

序論

1.1 研究の背景

トラッキング技術の進歩により、様々なスポーツのパフォーマンスが数値化、可視化されてきている。例えばサッカー、野球、ラグビー、バレーボールなどの集団スポーツにおいて、詳細な時空間データが収集され、解析されている。日本では、パナソニック株式会社が 3D トラッキング技術を活かし、バレーボールにおけるサーブの軌跡などを解析している他、データスタジアム株式会社は、野球、フットボール、ラグビーなど様々なスポーツのパフォーマンスを数値化し、ツールとしてチームに還元している。提供されているデータ例としては、サッカーにおいては、選手の位置、走行距離、ポジショニング、スピードや試合サマリーなどである。

上述の通り、データ収集技術は確立されつつあるが、膨大なデータを有効に活用する方法論は、未だ少ない。現在は、日本の他に海外においても、プロ、アマチュア問わずスポーツのデータ分析を行っているが、各選手のスピードや走行距離といった単純な数値、あるいは選手の位置分布をヒートマップで示した分析に留まっており、選手の隠れたポテンシャルや新しい戦術の発見、新たな指標の確立などには至っていないのが現状である。学術的な観点を考慮しても、日本統計学会にスポーツ分科会が設立され、スポーツデータの統計分析コンペティションを開催され始めたのが、2009 年のことであり、やはり方法論の確立は進んでいない。

そこで、本研究では代表的な集団スポーツの一つであり、流動的に試合が動くサッカーを取り上げ、データ活用の方法論を提示する。サッカーにおいてはフォーメーションについて、データの活用例が非常に少ない。特に、相手チームの戦略の研究など、サッカーの戦術において不可欠であるフォーメーションの良否については、主として選手や指導者による主観的判断が行われており、客観的評価が欠如しているのが実情である。そこで本研究ではフォーメーションの良否を客観的に判断する手法を提案する。具体的には、望ましいフォーメーションと実際との差異を示す指標を提案する。

1.2 研究の目的

上述の背景を踏まえ、本研究ではフォーメーションに関して評価手法を確立し、従来は主観的に判断していたフォーメーションの良否を客観的に評価することを目的とする。評価手法の確立により、以下の2つの効果が期待できる。

1. 選手と指導者が共通の尺度を用いることで、客観的に戦略分析等を行うことが出来る。
2. 位置情報の新たな汎用性を示すことで、サッカーをはじめとした集団スポーツの質的向上につながる。

1.において、戦略分析の他に、選手と指導者が共通の尺度を持つことで、認識のズレなどの問題が起りにくくなることも期待できる。又、2.において、位置情報を用いた評価手法を確立することで、サッカーだけではなく、ラグビーなどの集団スポーツへの位置情報の汎用性を示すことが出来る。

1.3 本論文の構成

本論文の構成は次の通りである。第1章では、「序論」として研究の背景、目的と、本論文の構成について述べた。続く第2章では、「関連する既存研究」として、本研究と特に関連する6つの論文を採り上げ、概要を説明し、本研究との関わりについて考察する。第3章では、「研究で用いる選手の位置情報データ」と題して、本研究で用いる選手の位置情報データについて説明する。第4章では、「アンケート調査」と題し、東大ア式蹴球部を対象に実施したアンケート調査概要と結果について説明する。第5章では、「フォーメーションの評価手法の提案」と題し、アンケート調査結果と選手の位置情報データを元にプロクラステス解析を行い、評価手法の定義をする。第6章では、本研究で得られた知見をまとめ今後の課題と展望を示す。

第 2 章

関連する既存研究

サッカーなどの集団スポーツにおいて、選手の位置情報や、定量的評価を扱った論文の他に、選手と指導者の認識の違いに関する論文を以下に記し、本研究の新規性及び意義を示す。

2.1 優勢領域に基づいたスポーツチームワークの定量的評価

藤村、杉原（2004）らは、選手がフィールド上を動き回り、目標に対して競い合う集団スポーツを対象にして、チームワークの定量的評価を行った。著者らは、集団スポーツでは、各選手が支配するフィールドを把握することがチームワーク評価へとつながると主張した。その主張に基づき、フィールドを支配関係によって空間分割する優勢領域図の概念を応用し、チームワークの定量的評価を提案している。この研究では、優勢領域図の作成にあたって、実験に基づいたより現実的な運動モデルを採用しており、経験者の直感に合うチームワーク評価を実現できたと著者らは主張している。

2.2 トラッキングデータを用いたサッカーの試合における戦況変化の抽出

神谷、中西（2017）らは戦況変化を自動的に抽出できれば試合を有利に進めるための戦略が立てられるだけでなく、観戦者に対する情報提供などの面で有用だと考えた。戦況変化を選手やボール位置の時系列的な振る舞いの変化と考え、統計的変化検知手法である ChangeFinder を使用することでサッカーの試合における戦況変化の抽出を試みている。ChangeFinder とは2段階の VAR モデルのオンライン学習を行うことで非定常かつ多ノイズな時系列データへの変化検知が可能な手法である。トラッキングデータ等からボール位置、前線位置、コンパクトネス、守備脆弱度、攻撃率の5種類の指標の入力変数を作成した実験の結果、検出された変化点に対応するように、その直前で VAR モデルパラメータの時系列的振る舞いに大きな変動が存在することが確認された。そのパラメータ変動から想定される戦況変化の内容は実際のプレー内容と概ね合致していたとともに、想定される戦況変化が検出できたことが確認された。

2.3 重力モデルを用いたサッカー選手の動きの定量化

土田、宿久（2017）らは、全体の動きを考慮しつつ、選手個人の動きを評価する指標として、選手質量を用いている。選手質量の定義には重力モデルを用いている。重力モデルにおいて選手質量はパラメータとなるが、重力モデルの式が対数線形モデルと同様のモデル式として定義されることから、選手質量の推定が可能となり、選手質量について、対数線形モデルにおける主効果と同様の意味付けができることを示した。また、トラッキングデータを用いて、選手間密度、および選手間距離を算出し、選手質量を推定した結果を示した。加えて、推定された選手質量に対して、階層ベイズモデルを用いてどのようなプレーが選手質量に影響を与えているかをモデリングした結果を報告した。

2.4 Validity of a soccer Defending Skill Scale (SDSS) Using Game Performances

Suzuki et al. (2003) は、ゲームパフォーマンスからチームの守備技能を測定するためのサッカー守備技能尺度 (SDSS) を開発することを目的とした。尺度構成手続きを経て、共分散構造分析の一種である多次元的 CFA (Confirmatory Factor Analysis) モデルを適用し、SDSS の信頼性及び妥当性を検証した上で、守備技能を構成する下位技能の因果構造を解明した。その上で以下の結論を得た。

1. 守備技能は、守備局面に従う攻撃の遅延技能、プレー方向、スペースの限定技能、スペースの削減技能、そして守備対象に従うボール保持者に対する守備技能、非ボール保持者に対する守備技能、スペースに対する守備技能から構成されている。これらを測定する、サッカー守備技能尺度 (SDSS) の 9 項目は守備局面と守備対象に基づく内容妥当性、論理的整合性を満足する守備パフォーマンス項目から構成され、客観性、因子妥当性が高い。
2. 下位技能を因子に持つ守備技能の構造は守備局面の推移に従った因果構造であり、攻撃の遅延技能、プレー方向、スペースの限定技能、スペースの削減技能が逐次的因果関係を有する。

2.5 サッカーにおけるパス行動決定の計算モデル化

瀬古沢・大森 (2014) らは、集団行動におけるチームワーク的な行動決定のモデルとしてサッカーに注目した。著者らは、サッカーのパス行動の合理性を検討するための優勢領域モデルに注目し、その計算に必要なボールモデルとダッシュモデルを実際の人間の試合データに基づいて求めた。その過程で、選手の向きとダッシュの方向により遅延が生じることを発見し、それをモデルに組み込むことでより現実的な優勢領域が計算できたと主張している。又、この研究でのパス行動の評価基準は、次の 2 つとしている。第 1 に、「味方選手がパスされたボールを受け取ってから、その地点に敵選手が駆けつけるまでの時間が長いパスほど効果的」、第 2 に「ゴール前のシュートを打てる位置に出せるパスほど効果的」としている。このように、人間の直感的とも思える行動の背後には物理制約を考えた合理的な計算と意思決定があり、さらにその先には物理制約を超えるための協調行動のプランニングがあるはずであると著者らは結論付けている。

2.6 サッカー指導現場におけるコーチングの研究 -指導者の発することばのイメージと生徒・選手が構想する運動イメージ-

中村・日野 (2010) らは、サッカーの指導にあたる指導者が発する言葉とそれを受容する選手のイメージに「ズレ」があるという仮説のもと、アンケート調査を実施した。そして調査結果から、指導者と選手の相互間において、動きやすいと思える描くコーチング用語には若干の「ズレ」があることを示した。例えば、キック動作の直後に身体の動きを静止させることなくプレーを続行する際、イメージしやすい言葉として、指導者は「パス&ゴー」であるのに対し、選手は「パス&ムーブ」

という結果となった。こうした指導者と選手間の「ズレ」を把握、解消することで、パフォーマンスが向上すると著者らは主張している。

以上の様に、選手の位置情報などを元に定量的評価を行った研究は存在する。しかし、フォーメーションに関して定量的評価を行った研究は無く、本研究の新規性はフォーメーションの定量的評価及び、評価手法の確立にある。又、中村・日野らの研究より、選手と指導者が共通の認識を持つことがパフォーマンス向上の面で重要であるとしており、本研究の様に共通の評価手法を確立することは有意である。

第 3 章

研究で用いる選手の位置情報データ

第 3 章では、本研究に使用するデータについて説明する。本研究で用いたデータは東京大学ア式蹴球部にご協力頂き、研究上利用可能な状態で拝借した。まず、第 3.1 節では、データの概要について述べる。続く、第 3.2 節では、データ形式 について、第 3.3 節ではディフェンスとオフENSEの定義を説明する。

3.1 データ概要

選手には CATAPULT 社の装具が付けられ、ゴールキーパー以外の選手からデータを収集している。収集出来るデータは選手の座標、走行距離、スピード、加速度、心拍数などである。本論では、選手の座標データを用いて任意時点のフォーメーションを抽出する。

尚本論で使用するデータは、2019 年 4 月 28 日に行われた東京大学 対 東京農業大学の試合前半のデータである。又、試合映像を前半、後半共に頂いている。

3.2 データ形式

試合映像の他に入手したデータ形式は、CSV ファイルで、1 試合ごとに、3 つの CSV ファイルに分割されている。各構成は以下のとおりである。1 つ目は、各選手の座標や走行速度を記した時空間情報ファイル（図 3-1）であり、2 つ目は、試合前半のボールのアクション発生時（パス、シュート、タックル等）の時空間情報ファイルである（図 3-2）。3 つ目は試合後半の時空間情報ファイルである（形式は図 3-2 と同様）。

Time	Cumulative T	Heart Rate	Heart Rate Zone	Speed (km	Speed Zor	Distance (X (m)	Y (m)	Latitude	Longitude	Sats	Acceleration (m/s/s)	
00:00.0	00:00:00.000	0	1	8.316	2	0	17.313	53.758	35.71203	139.7633	T 8	11.1
00:00.1	00:00:00.070	0	1	8.1	2	0.152	17.31	53.895	35.71203	139.7633	T 8	11.1
00:00.1	00:00:00.130	0	1	7.884	2	0.3	17.307	54.033	35.71203	139.7633	T 8	11.1
00:00.2	00:00:00.200	0	1	7.668	2	0.444	17.304	54.17	35.71203	139.7633	T 8	11.1
00:00.3	00:00:00.270	0	1	7.764	2	0.613	17.322	54.323	35.71204	139.7633	T 8	-0.25
00:00.3	00:00:00.330	0	1	7.86	2	0.758	17.339	54.475	35.71204	139.7633	T 8	-0.25
00:00.4	00:00:00.400	0	1	7.956	2	0.905	17.357	54.628	35.71204	139.7633	T 8	-0.25
00:00.5	00:00:00.470	0	1	7.68	2	1.049	17.336	54.748	35.71204	139.7633	T 8	-0.375
00:00.5	00:00:00.530	0	1	7.404	2	1.189	17.316	54.869	35.71204	139.7633	T 8	-0.375
00:00.6	00:00:00.600	0	1	7.128	2	1.324	17.296	54.989	35.71204	139.7633	T 8	-0.375
00:00.7	00:00:00.670	0	1	6.504	1	1.45	17.297	55.067	35.71204	139.7633	T 8	-1.875
00:00.7	00:00:00.730	0	1	5.88	1	1.564	17.299	55.144	35.71204	139.7633	T 8	-1.875
00:00.8	00:00:00.800	0	1	5.256	1	1.668	17.3	55.222	35.71204	139.7633	T 8	-1.875
00:00.9	00:00:00.870	0	1	5.016	1	1.763	17.292	55.293	35.71204	139.7633	T 8	-1.8
00:00.9	00:00:00.930	0	1	4.776	1	1.853	17.284	55.365	35.71204	139.7633	T 8	-1.8
00:01.0	00:00:01.000	0	1	4.536	1	1.94	17.275	55.437	35.71204	139.7633	T 8	-1.8
00:01.1	00:00:01.070	0	1	4.116	1	2.02	17.231	55.463	35.71204	139.7633	T 8	-1.375

図 3-1 選手の座標などを記した時空間ファイル

図 3-1 に格納されている主な項目を以下に記す。()内は実際の見出し名である。

行 1 選手名 (Player)

行 2 試合開催日時 (Session)

...

列 1 経過時間 (Time)

...

列3 心拍数 (Heart Rate)

...

列5 選手の走行速度 (Speed(km/s))

...

列7 選手の走行距離 (Distance(m))

列8 選手の X 座標 (X(m))

列9 選手の Y 座標 (Y(m))

...

列13 選手の加速度 (Acceleration(m/s/s))

...

時間	default	東大	東京農業	ゾーン	レーン	プレー(バド ドリブル)	ファール	空中戦	シュート	守備プレー	ボールア GKプレー	セットプレー
0:00:01:00		18松山		MD1	中央L							キックオフ
0:00:03:26		10白藤		MD1	中央L	トラップ						
0:00:03:67		10白藤		MD1	中央L	パス(繋ぎ)						
0:00:04:80		5内倉		DF2	右HS	トラップ						
0:00:06:53		5内倉		DF2	右HS	パス(展開)						
0:00:09:37			22田谷	AT1	右HS					クリア(そ)		
0:00:10:04		8中村知		MD2	右HS	パス(繋ぎ)						
0:00:11:51		7中村紳		AT1	右SL	パス(繋ぎ)						
0:00:13:44			4瀬戸山	AT1	中央L					クリア(頭)		
0:00:15:31		10白藤	32瀬戸	MD2	右HS			空中戦勝利		クリア(頭)		
0:00:16:71			22田谷	AT1	右HS					クリア(頭)		
0:00:17:68		8中村知		AT1	右HS	トラップ						
0:00:18:58			17平山	MD2	右HS					クリア(そ)		
0:00:19:98			32瀬戸	MD2	右HS	トラップ						
0:00:20:92		8中村知		MD2	右HS	トラップ						
0:00:21:72			32瀬戸	MD2	右HS							
0:00:27:22			32瀬戸	DF2	右SL	パス(繋ぎ)						
0:00:28:29			17平山	DF2	右SL	トラップ						
0:00:29:92			17平山	DF1	右SL	パス(繋ぎ)						
0:00:30:56			32瀬戸	DF1	右HS	トラップ						
0:00:31:33			32瀬戸	DF1	右HS	パス(展開)						
0:00:32:39			19池田	DF1	中央L	パス(裏)						

図 3-2 ボールのアクション発生時の時空間情報ファイル

図 3-2 に格納されている主な項目を以下に記す。()内は実際の見出し名である。

列1 経過時間 (時間)

...

列3 自チームのアクションを起こした選手名 (東大)

列4 相手チームのアクションを起こした選手名 (東京農業)

列5 選手名2 (ゾーン)

列6 選手2のチーム名 (レーン)

列7 以降 イベント (ex: ドリブル、ファール、空中戦…)

...

3.3 ディフェンスとオフENSEの定義

自チームのディフェンス、オフENSEの定義は、自チームがボールを持っている時間帯をオフENSE、相手チームがボールを持っている時間帯をディフェンスと仮定する。本論では図3-2の列1（経過時間）、列3（自チームのアクションを起こした選手名）、列4（相手チームのアクションを起こした選手名）を元に各チームのオフENSE、ディフェンスを決定した。

第4章

アンケート調査

第4章では、東京大学ア式蹴球部を対象に実施したアンケート調査の概要を第4.1節にて述べ、その結果を第4.2節にて述べる。

4.1 アンケート調査概要

サーストンの一対比較法を用いたアンケート調査によって、試合における局面毎のフォーメーションの適切さを評価する。サーストンの一対比較法とは、データの度数の相対頻度に標準正規分布を適用し、尺度を算出する方法である。対象は東京大学ア式蹴球部であり、部員の方40名からの回答を得た。

アンケート調査では、自チームのディフェンス時、オフェンス時において、二つの図を比較し、より望ましい図を選択する。これを繰り返すことで、局面毎により望ましいフォーメーションを決定する。図4-2は自チームがディフェンス時、図4-3は自チームがオフェンス時のアンケート調査の一部である。

アンケートにおけるフォーメーションは5種類あり、4411、4312、4123、4141、3313と記している。これらの数字は自チームのゴール側から数えた場合の選手の人数を表している。例えば図4-1では、陣形は442となる。

又、表における自4411、敵4411などの表記は、自チーム、相手チームのフォーメーションの陣形を表している。

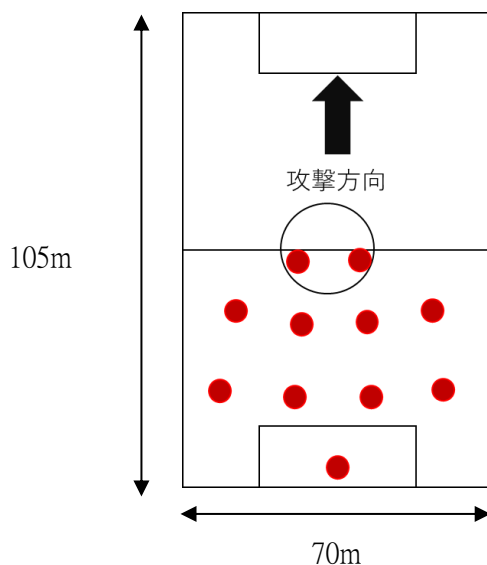
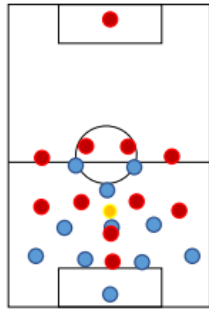


図4-1 442のフォーメーション例

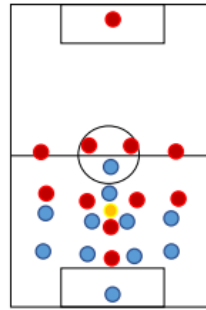
アンケートにおいて、全選手の向きは、相手チームのゴールを向いているとし、その走行スピードなどのパラメータは全選手で同一だと仮定する。

A.任意時点の自チームのフォーメーションとして、どちらが望ましいですか。左右の図から、望ましい方に丸をつけて下さい。(自チームのフォーメーションはディフェンス時)

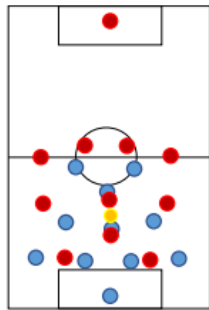
※青点は自チーム、赤点は相手チームの選手、黄点はボールを表しています。全選手の向きは、相手チームのゴールを向いているとし、その他パラメータは全選手において同一だと仮定します。



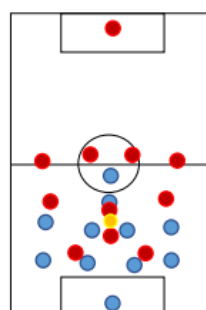
A



B



A

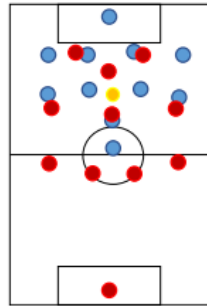


B

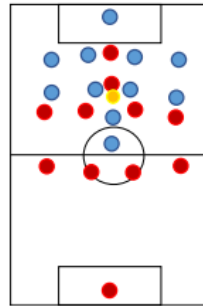
図 4-2 自チームがディフェンス時のアンケート調査

A.任意時点の自チームのフォーメーションとして、どちらが望ましいですか。当てはまる方に丸をつけて下さい。(自チームのフォーメーションはオフェンス時)

※赤点は自チーム、青点は相手チームの選手、黄点はボールを表しています。全選手の向きは、相手チームのゴールを向いているとし、その他パラメータは全選手において同一だと仮定します。



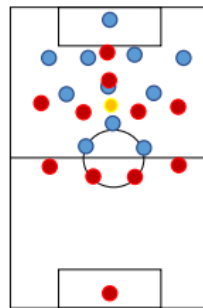
A



B



A



B

図 4-3 自チームがオフェンス時のアンケート調査

4.2 アンケート調査結果

初めにディフェンス時のアンケート調査結果を以下に示す。表内の数字は人数を表す。

尚、表 4-1 以降の表の読み方を以下に記す。例えば図 4-4 において、27 という数は「①自 4411 と②自 4312 とを比較して、②自 4312 の方がより望ましいとされるフォーメーションと評価した人数」である。対して 13 という数は「②自 4312 よりも①自 4411 の方が望ましいと評価した人数」ということになる。

敵4411	①自4411	②自4312
①自4411		27
②自4312	13	

図 4-4 表 4-1 の一部

表 4-1 相手チームが 4411 の場合の自チームのフォーメーション比較

敵4411	①自4411	②自4312	③自4123	④自4141	⑤自3313
①自4411		27	21	17	30
②自4312	13		18	24	11
③自4123	19	22		38	14
④自4141	23	16	2		24
⑤自3313	10	29	26	16	

表 4-2 相手チームが 4312 の場合の自チームのフォーメーション比較

敵4312	①自4411	②自4312	③自4123	④自4141	⑤自3313
①自4411		11	5	18	23
②自4312	29		4	12	10
③自4123	35	36		28	21
④自4141	22	28	12		33
⑤自3313	17	30	19	7	

表 4-3 相手チームが 4123 の場合の自チームのフォーメーション比較

敵4123	①自4411	②自4312	③自4123	④自4141	⑤自3313
①自4411		31	22	21	4
②自4312	9		30	27	2
③自4123	18	10		36	20
④自4141	19	13	4		3
⑤自3313	36	38	20	37	

表 4-4 相手チームが 4141 の場合の自チームのフォーメーション比較

敵4141	①自4411	②自4312	③自4123	④自4141	⑤自3313
①自4411		31	35	37	2
②自4312	9		36	30	11
③自4123	15	4		18	38
④自4141	3	10	22		32
⑤自3313	28	29	2	8	

表 4-5 相手チームが 3313 の場合の自チームのフォーメーション比較

敵3313	①自4411	②自4312	③自4123	④自4141	⑤自3313
①自4411		35	24	32	19
②自4312	15		3	10	5
③自4123	16	37		23	10
④自4141	8	30	17		6
⑤自3313	21	35	30	34	

次に表 4-1 から表 4-5 の結果を、図 4-5 から図 4-9 に順位尺度として示す。各図において数値が大きい点程、より望ましいフォーメーションであることを意味する。

敵4411

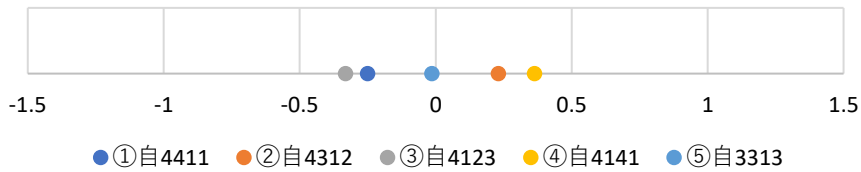


図 4-5 自チームのフォーメーションの尺度図 (相手チームが 4411 の場合)

敵4312

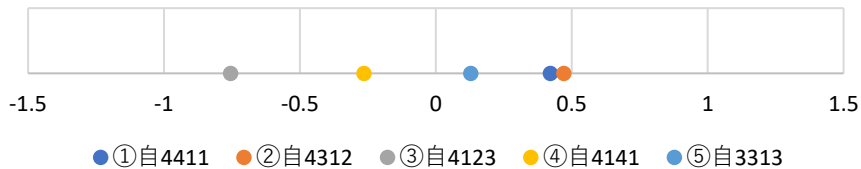


図 4-6 自チームのフォーメーションの尺度図 (相手チームが 4312 の場合)

敵4123

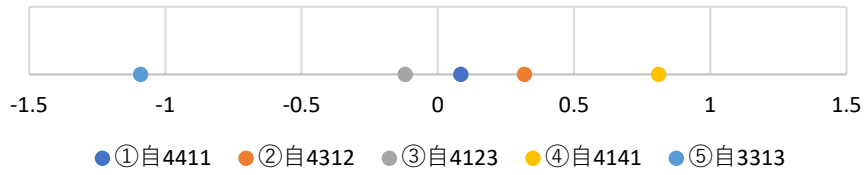


図 4-7 自チームのフォーメーションの尺度図 (相手チームが 4123 の場合)

敵4141

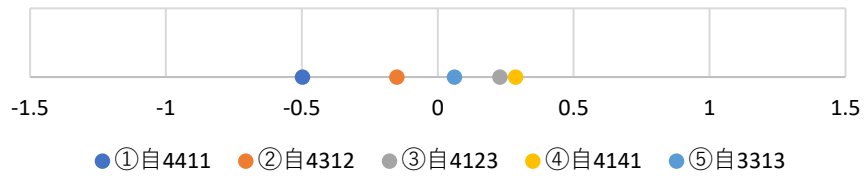


図 4-8 自チームのフォーメーションの尺度図 (相手チームが 4141 の場合)

敵3313

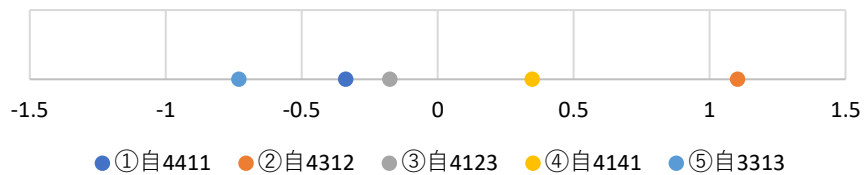


図 4-9 自チームのフォーメーションの尺度図 (相手チームが 3313 の場合)

図 4-5 から図 4-9 より、ディフェンス時の局面毎に望ましい自チームのフォーメーションが分かる。敵 4411、4123、4141 の時は、自チームのフォーメーションは 4141 が望ましく、敵 4312、3313 の時は、自チームのフォーメーションは 4312 が望ましいことが分かる。

次にオフェンス時のアンケート調査結果を以下に示す。

表 4-6 相手チームが 4411 の場合の自チームのフォーメーション比較

敵4411	①自4411	②自4312	③自4123	④自4141	⑤自3313
①自4411		37	30	5	36
②自4312	3		6	2	19
③自4123	10	34		22	27
④自4141	35	38	18		37
⑤自3313	4	21	13	3	

表 4-7 相手チームが 4312 の場合の自チームのフォーメーション比較

敵4312	①自4411	②自4312	③自4123	④自4141	⑤自3313
①自4411		31	30	20	26
②自4312	9		20	14	25
③自4123	10	20		10	23
④自4141	20	26	30		31
⑤自3313	14	15	17	9	

表 4-8 相手チームが 4123 の場合の自チームのフォーメーション比較

敵4123	①自4411	②自4312	③自4123	④自4141	⑤自3313
①自4411		37	30	22	36
②自4312	3		20	12	20
③自4123	10	20		10	19
④自4141	18	28	30		37
⑤自3313	4	21	20	3	

表 4-9 相手チームが 4141 の場合の自チームのフォーメーション比較

敵4141	①自4411	②自4312	③自4123	④自4141	⑤自3313
①自4411		38	29	20	35
②自4312	2		20	10	28
③自4123	11	20		15	36
④自4141	20	30	25		37
⑤自3313	5	12	4	3	

表 4-10 相手チームが 3313 の場合の自チームのフォーメーション比較

敵3313	①自4411	②自4312	③自4123	④自4141	⑤自3313
①自4411		31	27	33	38
②自4312	9		14	19	8
③自4123	13	26		11	34
④自4141	7	21	29		21
⑤自3313	2	32	6	19	

表 4-6 から表 4-10 の結果を、図 4-10 から図 4-14 に順位尺度として示す。

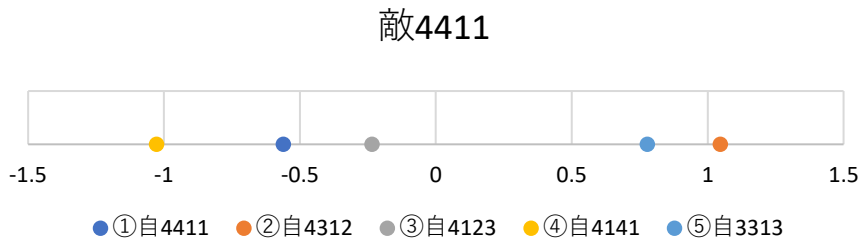


図 4-10 自チームのフォーメーションの尺度図 (相手チームが 4411 の場合)

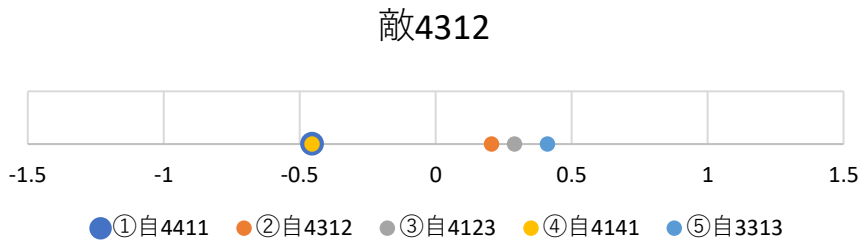


図 4-11 自チームのフォーメーションの尺度図 (相手チームが 4312 の場合)

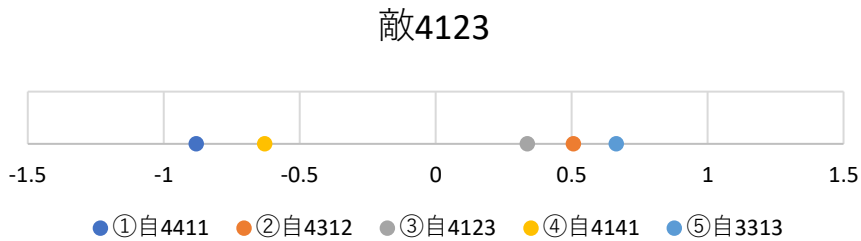


図 4-12 自チームのフォーメーションの尺度図 (相手チームが 4123 の場合)

敵4141

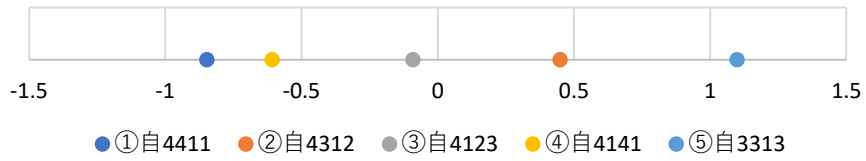


図 4-13 自チームのフォーメーションの尺度図 (相手チームが 4141 の場合)

敵3313

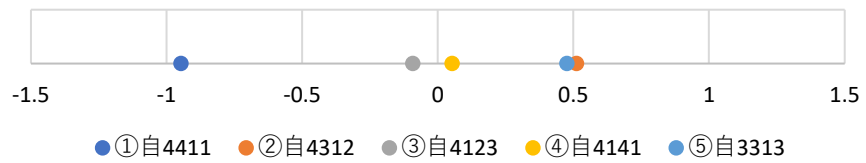


図 4-14 自チームのフォーメーションの尺度図 (相手チームが 3313 の場合)

図 4-10 から図 4-14 より、オフェンス時の局面毎に望ましい自チームのフォーメーションが分かる。敵 4411、3313 の時は、自チームのフォーメーションは 4312 が望ましく、敵 4312、4123、4141 の時は、自チームのフォーメーションは 3313 が望ましいことが分かる。

第 5 章

評価手法提案

第5章では、第3章にて示した選手の位置情報データと、第4章にて示したアンケート調査結果から、解析を行い、評価手法の提案を行う。

第5.1節においては、評価手法の概要について記す。次に第5.2節にて任意時点のフォーメーション、望ましいフォーメーションの抽出方法について記す。更に、第5.3節においてプロクラステス解析について記し、第5.4節にて解析結果を示す。

5.1 評価手法概要

評価手法として以下の手順を実行する。

1. 任意時点のフォーメーションを試合データより抽出
2. アンケート調査を実施し、局面毎に望ましいフォーメーションを決定
3. プロクラステス解析を行い、局面毎に任意時点のフォーメーションと望ましいフォーメーションとの差異を評価

1.について、相手の特定のフォーメーションに対し、任意時点の自チームのフォーメーションを5つ抽出する。例えば試合において、敵4411となっている時の自チームのフォーメーションを5つ抽出する。本論では、相手チームの座標データが入手出来ないため、試合映像から敵のフォーメーションを判断した。

2.については、第4章に記した以下の結果を用いる。

ディフェンスでは、敵4411、4123、4141の時は、自チームのフォーメーションは4141が望ましく、敵4312、3313の時は、自チームのフォーメーションは4312が望ましい。

オフェンスでは、敵4411、3313の時は、自チームのフォーメーションは4312が望ましく、敵4312、4123、4141の時は、自チームのフォーメーションは3313が望ましい。

3.では、2.で示した望ましいフォーメーションと1.で示した任意の5時点のフォーメーションを比較する。例えば、敵4411の時は、自チームの任意5時点のフォーメーションと、望ましいとした自4141を比較し、差異を算出する。その差異を望ましいとされるフォーメーションと、実際のフォーメーションとの「ズレ」とし、フォーメーションの良否を判断する指標とする。

5.2 任意時点のフォーメーションと望ましいフォーメーションの抽出

上述の通り、本論では、試合における任意時点のフォーメーションをディフェンス、オフense毎に抽出し、第4章で示した、局面毎の望ましいフォーメーションと比較する必要がある。

本節では、3.2 で示したデータを元に任意時点のフォーメーション、及び望ましいフォーメーションを抽出する方法を以下に記す。本節ではオフense時のデータを元に説明する。

図 3-1 の列 8 (選手の X 座標)、列 9 (選手の Y 座標) を元に図 5-1 の様な 10 名の選手の座標を記した csv ファイルを作成する。

x1	y1	x2	y2	x3	y3	x4	y4	x5	y5	x6	y6	x7	y7	x8	y8	x9	y9	x10	y10
17.316	54.869	29.32	58.745	12.338	50.176	37.827	60.922	9.667	40.242	17.927	41.704	20.282	45.522	40.771	48.926	29.584	38.345	20.461	31.833
17.296	54.989	29.312	58.802	12.089	50.099	37.825	60.979	9.56	40.216	17.832	41.751	20.282	45.567	40.768	48.922	29.674	38.369	20.695	31.899
17.297	55.067	29.324	58.867	12.007	50.081	37.818	61.034	9.463	40.187	17.673	41.854	20.246	45.588	40.768	48.922	29.753	38.377	20.833	31.945
17.299	55.144	29.335	58.931	11.924	50.062	37.811	61.09	9.366	40.157	17.513	41.956	20.21	45.61	40.768	48.922	29.832	38.386	20.971	31.991
17.3	55.222	29.346	58.996	11.842	50.043	37.804	61.146	9.269	40.127	17.354	42.059	20.174	45.632	40.791	48.937	29.911	38.395	21.109	32.037
17.292	55.293	29.37	59.063	11.776	50.031	37.775	61.183	9.119	40.126	17.229	42.166	20.16	45.633	40.791	48.937	30.023	38.381	21.177	32.043
17.284	55.365	29.393	59.13	11.71	50.018	37.745	61.22	8.968	40.124	17.105	42.273	20.147	45.634	40.791	48.937	30.135	38.367	21.245	32.049
17.275	55.437	29.417	59.197	11.643	50.006	37.715	61.257	8.817	40.123	16.98	42.38	20.133	45.635	40.866	48.79	30.247	38.354	21.313	32.056
17.231	55.463	29.442	59.264	11.527	49.966	37.675	61.295	8.638	40.14	16.868	42.501	20.133	45.635	40.866	48.79	30.29	38.372	21.375	32.072
17.186	55.489	29.468	59.331	11.412	49.926	37.634	61.332	8.459	40.156	16.756	42.622	20.133	45.635	40.866	48.79	30.334	38.39	21.438	32.089
17.142	55.515	29.493	59.398	11.296	49.887	37.593	61.369	8.279	40.172	16.644	42.743	20.063	45.605	40.979	48.564	30.377	38.408	21.5	32.106
17.104	55.538	29.49	59.467	11.228	49.833	37.548	61.415	8.172	40.2	16.519	42.827	20.063	45.605	40.994	48.508	30.456	38.386	21.469	32.078
17.066	55.56	29.487	59.537	11.161	49.78	37.502	61.461	8.065	40.228	16.393	42.91	20.063	45.605	41.009	48.453	30.534	38.364	21.438	32.051
17.029	55.583	29.484	59.607	11.093	49.727	37.456	61.507	7.959	40.256	16.268	42.994	19.931	45.692	41.024	48.398	30.612	38.343	21.408	32.023
16.979	55.631	29.457	59.697	11.055	49.589	37.424	61.561	7.829	40.297	16.19	43.135	19.931	45.692	41.028	48.359	30.718	38.428	21.359	31.984
16.116	56.086	29.461	60.686	10.918	47.279	36.857	62.523	7.218	41.662	14.039	43.761	18.927	46.764	41.138	48.139	31.024	39.858	19.423	31.375
16.067	56.119	29.455	60.731	10.941	47.174	36.814	62.576	7.243	41.789	13.943	43.791	18.862	46.856	41.045	48.352	30.962	39.94	19.264	31.306
16.034	56.158	29.444	60.77	10.927	47.063	36.795	62.653	7.248	41.887	13.941	43.872	18.798	46.935	40.964	48.482	30.913	40.034	19.09	31.291

図 5-1 オフenseにおける任意時点フォーメーションの座標

次に、第 5.1 節で記した望ましいフォーメーション (オフenseでは、自 4312、自 3313) の座標を csv ファイルにまとめる。2 行目は自 4312、3 行目は自 3313 のフォーメーションの各選手の座標を表す。

x1	y1	x2	y2	x3	y3	x4	y4	x5	y5	x6	y6	x7	y7	x8	y8	x9	y9	x10	y10
14	50	28	50	42	50	56	50	17.5	40	35	40	52.5	40	35	32.5	23	20	46	20
17.5	20	35	20	52.5	20	35	32.5	17.5	40	35	40	52.5	40	17.5	50	35	50	52.5	50

図 5-2 オフenseにおける望ましいフォーメーションの座標

図 5-1、図 5-2 の CSV の読み込み、及び図の描画などには、Python を使用した。以下にコードを示す。

```
#パッケージのダウンロード
import numpy as np
import matplotlib
import matplotlib.pyplot as plt
import pandas as pd

import os
os.chdir("CSV を保存したディレクトリ")

dataA=pd.read_csv(' Ideal placement OF.csv') #望ましいフォーメーション (OF)
data2=np.array(dataA)
```

```

#OF
b=0 #望ましいフォーメーションが自 4312 の場合
#b=1 #望ましいフォーメーションが自 3313 の場合
x1=data2[[b], [0]]
y1=data2[[b], [1]]
x2=data2[[b], [2]]
y2=data2[[b], [3]]
x3=data2[[b], [4]]
y3=data2[[b], [5]]
x4=data2[[b], [6]]
y4=data2[[b], [7]]
x5=data2[[b], [8]]
y5=data2[[b], [9]]
x6=data2[[b], [10]]
y6=data2[[b], [11]]
x7=data2[[b], [12]]
y7=data2[[b], [13]]
x8=data2[[b], [14]]
y8=data2[[b], [15]]
x9=data2[[b], [16]]
y9=data2[[b], [17]]
x10=data2[[b], [18]]
y10=data2[[b], [19]]

x1y1=np.array([[x1, y1], [x2, y2], [x3, y3], [x4, y4], [x5, y5], [x6, y6], [x7,
y7], [x8, y8], [x9, y9], [x10, y10]])
x1y1=x1y1.reshape(10, 2)

d=x1y1
plt.scatter(d[:, 0], d[:, 1], c='g', label='Ideal placement')
plt.xlim(0, 70)
plt.ylim(0, 105)
plt.axes().set_aspect('equal')

```

以上のコードより、図 5-3 の様な望ましいフォーメーションを描画することが出来る。又、コートサイズはアンケート調査と同様に 105m×70m とし、試合映像との整合性を取るために下方方向を攻撃方向とする。

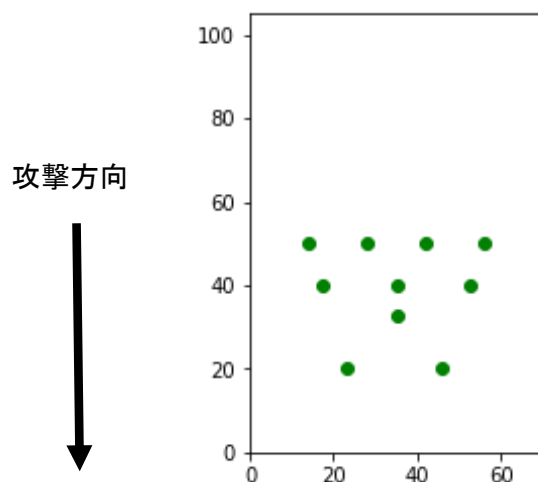


図 5-3 オフェンスにおける望ましいフォーメーション

```

data= pd.read_csv('20190428vs toukyou noudai0F.csv') #任意位置座標(0F)

data1=np.array(data)

#任意位置座標
a=5050 #a の値によって抽出する時点が変化する
x1a=data1[[a], [0]]
y1a=data1[[a], [1]]
x2a=data1[[a], [2]]
y2a=data1[[a], [3]]
x3a=data1[[a], [4]]
y3a=data1[[a], [5]]
x4a=data1[[a], [6]]
y4a=data1[[a], [7]]
x5a=data1[[a], [8]]
y5a=data1[[a], [9]]
x6a=data1[[a], [10]]
y6a=data1[[a], [11]]
x7a=data1[[a], [12]]
y7a=data1[[a], [13]]
x8a=data1[[a], [14]]
y8a=data1[[a], [15]]
x9a=data1[[a], [16]]
y9a=data1[[a], [17]]
x10a=data1[[a], [18]]
y10a=data1[[a], [19]]

xy=np.array([[x1a, y1a],[x2a, y2a],[x3a, y3a],[x4a, y4a],[x5a, y5a],[x6a,
y6a],[x7a, y7a],[x8a, y8a],[x9a, y9a],[x10a, y10a]])
xy=xy.reshape(10, 2)

e=xy
plt.scatter(e[:, 0], e[:, 1], c='g', label='Arbitrary placement')
plt.xlim(0, 70)
plt.ylim(0, 105)
plt.axes().set_aspect('equal')

```

以上のコードより、図 5-4 の様な任意時点のフォーメーションを描画することが出来る。

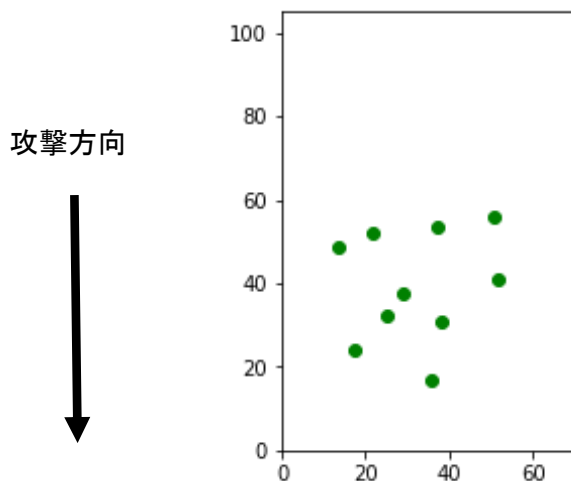


図 5-4 オフェンスにおける任意時点のフォーメーション

5.3 プロクラステス解析

プロクラステス解析とは点同士の対応がとれた2つの点群に対して、並進・回転・スケーリングの変換のもとで、点群間の二乗誤差が最小になるように重ね合わせを行う処理である。以下に処理手順を示す。

1. 点群 X、Y の重心が原点になるよう、X、Y からそれぞれの平均 \bar{X} 、 \bar{Y} を引き、 X_0 、 Y_0 を算出する。

$$X_0 = X - \bar{X} \quad 1$$

$$Y_0 = Y - \bar{Y} \quad 2$$

2. 2つの点群のスケールを正規化し、 X_{norm} 、 Y_{norm} を算出する。

$$X_{norm} = \frac{X_0}{\|X_0\|_F} \quad 3$$

$$Y_{norm} = \frac{Y_0}{\|Y_0\|_F} \quad 4$$

3. 重心を原点に位置合わせし、スケールを正規化した2つの点群を改めて A、B とすると、A を回転して誤差が最小になるように B に重ねあわせる時の回転行列 R は以下の式で求めることができる。

$$R = \operatorname{argmin}_{\Omega} \|\Omega A - B\|_F \quad \text{s.t. } \Omega^T \Omega = I \quad 5$$

以上の操作を行い、対応する各点間の二乗誤差の和を、望ましいフォーメーションと実際のフォーメーションとの差異を示す指標とする。

以下にプロクラステス解析を実行するコードを記す。コード内の d、e は第 5.2 節のコードに記したものと同様。

```
#パッケージのダウンロード
import scipy
from scipy.spatial import procrustes

d=x1y1
e=xy
mtx1, mtx2, disparity=procrustes(d, e) #disparity は二乗誤差の合計を表す
print(disparity)
```

5.4 プロクラステス解析結果

プロクラステス解析結果として、各局面における二乗誤差の和を算出し、その妥当性を検証する。尚、相手チームの座標データは入手出来なかったため、試合映像からフォーメーションを判断し、アンケート調査に示したフォーメーションと近いものを選んだ。

はじめにディフェンスにおける二乗誤差の和を示す。ディフェンスにおける望ましい自チームのフォーメーションは図 5-5 であり、これらのフォーメーションと、任意の 5 時点の自チームのフォーメーションと比較する。又、二乗誤差の和を以下 d と表す。

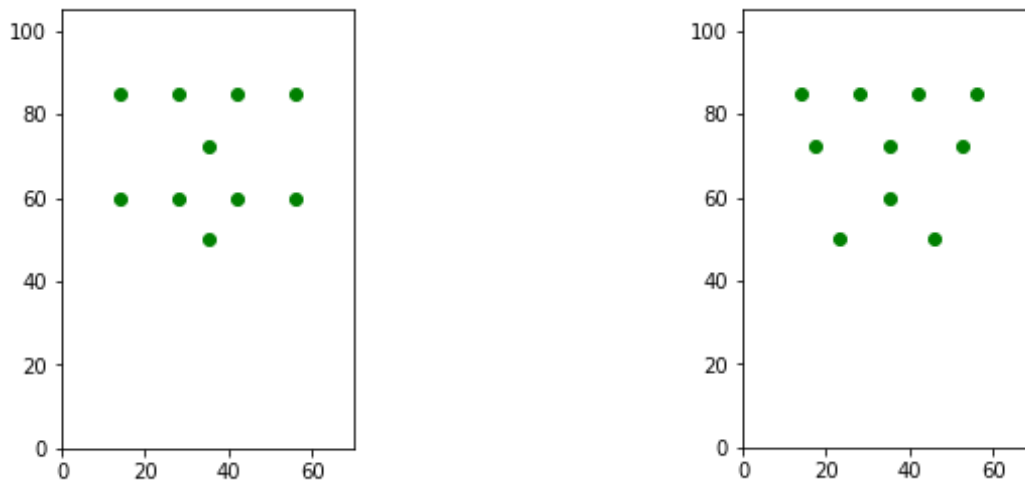


図 5-5 ディフェンスにおける望ましいフォーメーション(左：自 4141、右：自 4312)

表 5-1 敵 4411 の場合 (任意の自フォーメーションと望ましいとされる自 4141 との比較)

経過時間	4:56	23:27	30:31	37:23	38:11
自チームのフォーメーション					
d	0.614	0.670	0.676	0.679	0.733

表 5-2 敵 4312 の場合 (任意の自フォーメーションと望ましいとされる自 4312 との比較)

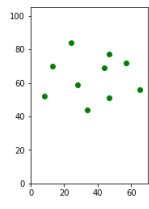
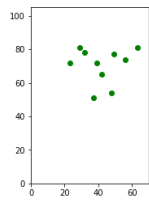
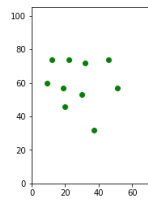
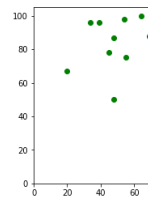
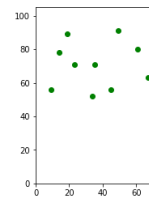
経過時間	23:32	24:08	24:47	40:46	43:47
自チームのフォーメーション					
d	0.652	0.597	0.647	0.605	0.670

表 5-3 敵 4123 の場合 (任意の自フォーメーションと望ましいとされる自 4141 との比較)

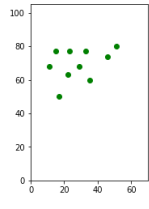
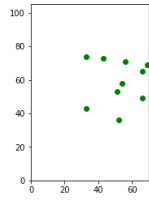
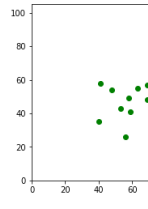
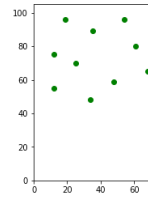
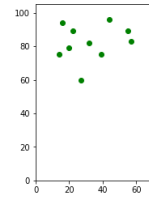
経過時間	3:45	24:16	34:28	42:57	43:42
自チームのフォーメーション					
d	0.601	0.613	0.675	0.675	0.596

表 5-4 敵 4141 の場合 (任意の自フォーメーションと望ましいとされる自 4141 との比較)

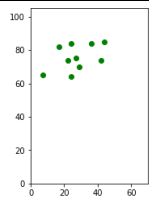
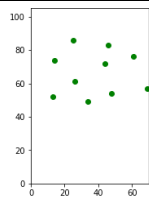
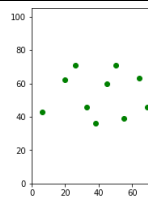
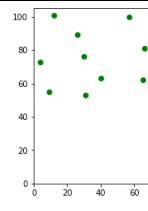
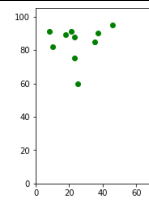
経過時間	2:32	22:37	27:23	28:30	42:38
自チームのフォーメーション					
d	0.712	0.648	0.649	0.730	0.655

表 5-5 敵 3313 の場合 (任意の自フォーメーションと望ましいとされる自 4312 との比較)

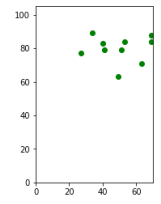
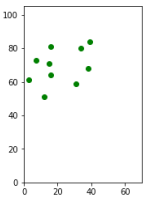
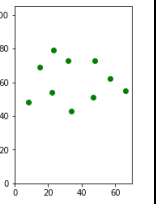
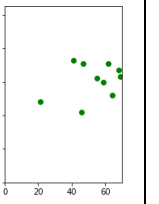
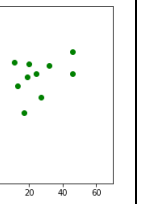
経過時間	2:51	3:58	12:22	26:03	35:06
自チームのフォーメーション					
d	0.677	0.772	0.766	0.685	0.674

表 5-1 から表 5-5 において、 $d \geq 0.65$ のものを赤字で記した。 $d \geq 0.65$ となっているフォーメーションは、望ましいとされるフォーメーションと比べて、選手が密集しすぎている、又は広がりすぎていることが分かる。

次にオフenseにおける二乗誤差の和を示す。オフenseにおける望ましい自チームのフォーメーションは図 5-6 である。これらのフォーメーションと、任意の 5 時点の自チームのフォーメーションと比較する。

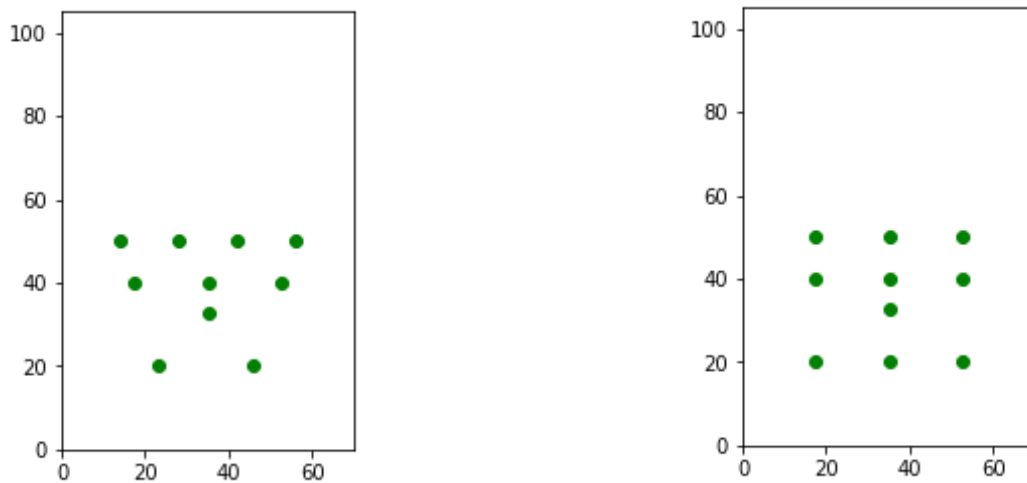


図 5-6 オフenseにおける望ましいフォーメーション(左：自 4312、右：自 3313)

表 5-6 敵 4411 の場合 (任意の自フォーメーションと望ましいとされる自 4312 との比較)

経過時間	7:23	14:25	15:29	31:31	43:58
自チームのフォーメーション					
d	0.768	0.658	0.722	0.656	0.647

表 5-7 敵 4312 の場合 (任意の自フォーメーションと望ましいとされる自 3313 との比較)

経過時間	7:25	12:45	13:27	19:20	22:59
自チームのフォーメーション					
d	0.849	0.777	0.743	0.853	0.729

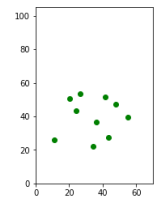
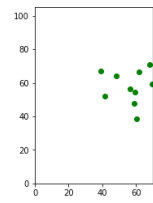
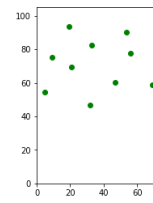
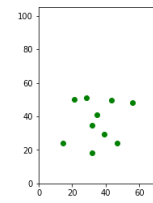
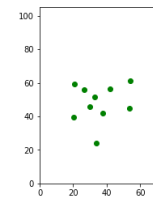
表 5-8 敵 4123 の場合 (任意の自フォーメーションと望ましいとされる自 3313 との比較)

経過時間	15:29	26:56	32:55	33:05	41:42
自チームのフォーメーション					
d	0.798	0.798	0.853	0.759	0.764

表 5-9 敵 4141 の場合 (任意の自フォーメーションと望ましいとされる自 3313 との比較)

経過時間	2:22	5:23	8:34	36:09	38:03
自チームのフォーメーション					
d	0.824	0.808	0.727	0.790	0.835

表 5-10 敵 3313 の場合（任意の自フォーメーションと望ましいとされる自 4312 との比較）

経過時間	14:05	18:49	32:17	33:50	33:59
自チームのフォーメーション					
d	0.667	0.763	0.770	0.610	0.634

オフense時も同様に、表 5-6 から表 5-10 において、 $d \geq 0.65$ のものを赤字で記した。 $d \geq 0.65$ となっているフォーメーションは、望ましいとされるフォーメーションと比べて、選手が密集しすぎている、又は広がりすぎていることが分かる。特に、オフenseではディフェンスに比べて、上記の傾向が顕著であり、オフense時の望ましいフォーメーションがあまり達成されていないことが分かる。

上記より、 d の値が小さい程、望ましいフォーメーションとの差異が小さく、 d の値が大きい程、差異が大きくなることが分かった。特に、 $d \geq 0.65$ となると選手が、密集しすぎている、又は広がりすぎているという状態にある傾向がある。以上より、 d が望ましいフォーメーションと、実際のフォーメーションとの差異を表す指標として成立し、 $d=0.65$ を境にフォーメーションが整っているか否かを判断できることが分かる。

第 6 章

結論

本章では、本研究の総括と今後の課題を述べる。第 6.1 節では、「まとめ」と題し、本研究の総括を行う。続く第 6.2 節では、「今後の課題と展望」と題し、改良点や本研究では取り上げられなかった問題等について言及する。

6.1 まとめ

本研究では、選手の位置情報、アンケート調査結果を用いて、これまで主観的に判断していたフォーメーションを客観的に判断する際の一助となる様、フォーメーションに関する評価手法を提案した。

本節では各章を振り返りつつ、本研究の総括をする。

第 1 章では「序論」と題し、本研究の背景、目的と構成について述べた。

第 2 章では「関連する既存研究」と題し、本研究に特に関連する 6 本の論文を取り上げ、本研究との関連性について整理した。GIS 分野におけるスポーツ分析ならばに複数の軌跡データ分析は、技術的及び社会的制約から、近年始まったばかりであり、サッカーのフォーメーションに関する研究は特に少ないなど、本研究の新規性と有用性について論じた。

第 3 章では「研究で用いる選手の位置情報データ」と題し、本研究で使用したデータについて述べた。第 3.1 節では、東京大学ア式蹴球部から提供して頂いたデータの概要について述べ、第 3.2 節では、データの詳細な内容、形式について示した。更に、第 3.3 節では本論におけるディフェンスとオフENSEの定義について説明した。

第 4 章では「アンケート調査」と題し、東大ア式蹴球部を対象としたアンケート調査の概要と、その結果について述べた。第 4.1 節では、局面毎に望ましいフォーメーションを特定するために実施したアンケート調査の実施方法、調査内容について示した。第 4.2 節では、アンケート調査結果について記し、ディフェンス、オフENSEにおいてそれぞれ望ましいとされる自チームのフォーメーションを示した。

第 5 章では「評価手法提案」と題し、選手の位置情報データと、アンケート調査結果を元に、評価手法の提案を行った。第 5.1 節では、評価手法の概要を三段階に分けて述べた。第 5.2 節では、選手の位置情報データから、Python を用いて、任意時点のフォーメーションと望ましいフォーメーションの抽出、描画する方法を示した。第 5.3 節では、プロクラステス解析の概要、アルゴリズムについて記した。更に第 5.4 節では解析結果を示し、評価手法の提案を行った。具体的には、局面毎に、自チームの望ましいとされるフォーメーションと、任意時点のフォーメーションを比較し、プロクラステス解析によって二乗誤差の和（以下： d ）を算出した。その結果、 d の値が小さい程、望ましいフォーメーションとの差異が小さく、 d の値が大きい程、差異が大きくなることが分かった。又、 d が 0.65 以上となった時、選手が密集している、又は広がりすぎている傾向にあった。以上より、 d が望ましいフォーメーションと、実際のフォーメーションとの差異を表す指標として成立し、フォーメーションの良否を客観的に判断する指標になり得ることが分かった。

6.2 今後の課題と展望

前節で述べた通り、本研究では、フォーメーションの良否を判断する客観的な手法を提案出来た。一方で、より実用的な指標、研究とするには、次の改善の余地を残している。

第一にアンケート調査における、フォーメーションのバリエーションである。本論では、サッカーチームごとに異なるであろう望ましいフォーメーションを把握するためにアンケート調査を行ったが、設問数の関係からフォーメーションを5種類に絞った。しかし、試合の中で流動的に変化するフォーメーションを把握するためには、より多くのバリエーションが必要だった様に思える。今後は、アンケート調査の設問数を増やし、より多くの局面に対して評価が出来る研究を目指したい。

第二に、各選手の走行スピードなどのパラメータを同一として扱っている点である。各選手の能力によって、フォーメーションは変化する可能性があり、アンケート調査に記した均等な配置なフォーメーションと、実情は異なっている可能性がある。

謝辞

本論文の作成にあたり、多くの方々にご助言・ご協力を頂きました。指導教員である貞広先生には、大学院から本研究室に所属した私に対し、研究に対する考え方から分析方法、理論構築の仕方まで熱心にご指導をして頂き、大変感謝しております。コロナ禍という特殊な状況の中でも、オンラインにて、様々なお話しを通じ楽しい時間を過ごすことが出来ました。

また、浅見先生をはじめ樋野先生、薄井先生には、研究室会議の場で未熟な私の発表に対し熱心にご指摘・ご助言頂き、大変感謝しております。都市・住宅都市解析研究室の皆様とは、この2年間で多くの時間を共有し、楽しく充実した時間を過ごすことができました。博士の西さん、卒業された對間さんは、未熟な私に対し研究面での相談に乗って頂いたことは勿論、研究室全体の良い雰囲気を作って下さいました。西さんには、分析手法について私が納得できるまで、丁寧に何度も教えて頂きました。對間さんは、研究だけでなく、ご飯をご一緒する機会も多く、楽しい時間を過ごさせて頂きました。ありがとうございました。また、研究室の同期には非常に感謝しています。特に新領域創成科学研究科の同期である、山本君と内田さんとはコロナ禍で中々会うことが出来ない日々が続きましたが、頻繁に情報を交換し互いに切磋琢磨出来る関係であり、研究を行う上でモチベーションの一つとなりました。最後に、家族の協力があってこそ、今日を迎えられました。大学院進学に理解を示し、日常生活の様々な場面で支えてくれた、両親にも感謝する次第です。

2021年1月 金子修史

研究発表履歴

金子修史、對間昌宏、貞広幸雄(2019)「サッカー選手の地理的情報を利用した分析」
『第 28 回 地理情報システム学会学術研究発表大会』, 徳島,ポスターセッション賞受賞

参考文献

Anderson, C., and D, Sally. (2014) *Why Everything You Know about Soccer is Wrong*, New York, PENGUIN BOOKS

Carling, C. (2010) Analysis of physical activity profiles when running with the ball in a professional soccer team, *Journal of Sports Sciences*, vol.28, no.3, pp. 319-326.

Daniel, J. (2003) *The Complete Guide to Coaching Soccer Systems and Tactics*, Pennsylvania, Reeds wain Publishing.

Fujimura, A., and K, Sugihara. (2005) Geometric analysis and quantitative evaluation of sport teamwork. *Systems and Computers in Japan*, vol.36, no.6, pp. 49–58.

Furutani, T., T, Nagano., and T. Kato. (2014) A Study on Soccer Offence Patterns via Spatio-temporal Statistical Analysis, *International Conference on Sport Statistics and Performance Analysis*.

Gudmundsson, J., and T, Wolle. (2014) Football analysis using spatio-temporal tools, *Computers, Environment and Urban Systems*, vol.47, pp. 16-27.

Laube, P., S, Imfeld., and R, Weibel. (2005) Discovering relative motion patterns in groups of moving point objects, *International Journal of Geographical Information Science*, vol.19, no.6, pp. 639-668.

Long, J.A, Nelson, T.A. (2011) Sports, time geography, and mobility data. *Spatial Knowledge and Information (SKI) Canada*. Mar. 4-6; Fernie, BC.

Ritschard, M., and Tschopp, M. (2011) *Physical Analysis of the FIFA's Women's World Cup Germany 2011*, Aesch/ZH, Switzerland: Rüegg Media AG.

Suzuki, K., and T. Nishijima. (2004) Validity of a Soccer Defending Skill Scale (SDSS) Using Game Performances, *International Journal of Sport and Health Science*, vol. 2, pp. 34-39.

Taki, T., and J, Hasegawa. (2000) Visualization of dominant region in team games and its application to teamwork analysis. In *Proceedings of the IEEE international conference on computer graphics*, pp. 227–235.

大西圭子, 大場渉 (2007) 「小学校バスケットボール授業におけるゲームパフォーマンスの評価に関する探索的研究」 『大阪教育大学紀要』 第 5 部門 教科教育, Vol. 56, No.1, pp.49-61.58

加藤久 (1999) 「サッカーの戦術とコンピュータ分析の現状と課題」 『オペレーションズ・リサーチ:経営の科学』 vol. 44, no. 3, pp.125-131

北研二, 津田和彦, 獅々堀正幹 (2002) 『情報検索アルゴリズム』, 共立出版, 196p.
関根和生, 高梨克也 (2011) 「サッカーにおける守備側選手が攻撃側選手との時間的と空間的ズレを埋めるための手がかり」, 2011 年度日本認知科学会第 28 回大会, (P3-3),pp.601-608.

瀬古沢理一, 大森隆司 (2014) 「サッカーにおけるパス行動決定の計算モデル化」 日本人工知能学会学術大会 第 28 回 4L1-2

データスタジアム株式会社 < <https://www.datastadium.co.jp/> > 2021. 01.05.参照

中村泰介, 日野公美子 (2010) 「サッカー指導現場におけるコーチングの研究：指導者の発することばのイメージと生徒・選手が構想する運動イメージ」 『サピエンチア：英知大学論叢』 vol. 44, pp. 83-92.

藤村光, 杉原厚吉 (2004) 「優勢領域に基づいたスポーツチームワークの定量的評価」 『電子情報通信学会論文誌』 D-II, 情報・システム, II-パターン処理 J87-D-II no. 3, pp. 818-828.

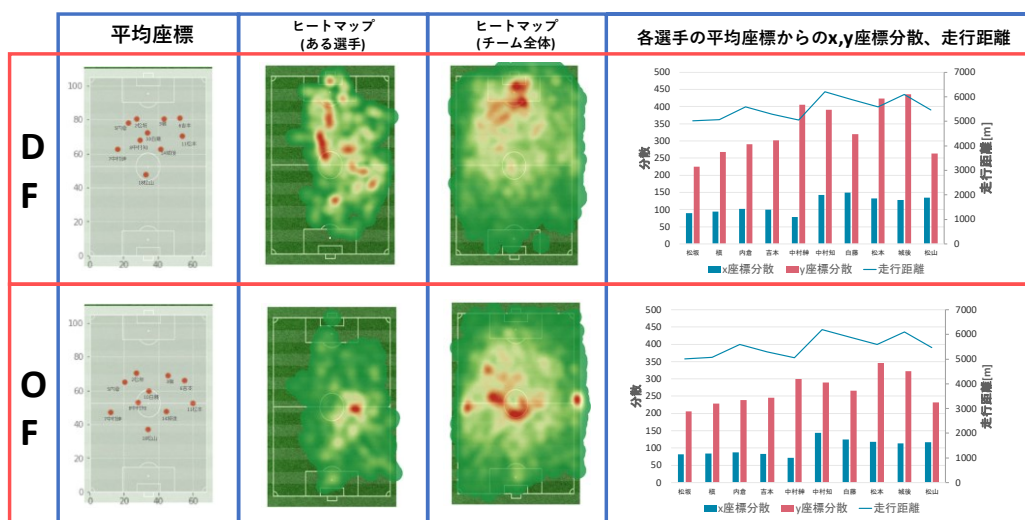
森岡渉 (2016), 「サッカーの試合中における守備局面の評価ーパスの可能性に着目してー」

付録

付録では、第3章で示した各選手の位置情報や走行スピードなどのデータを用いて、作成したツールなどについて記す。各分析はオフENSE、ディフェンスで分けて行った。

1. 各選手の平均座標、ヒートマップ、分散と走行距離

ヒートマップでは選手が留まっていた時間が長い場所ほど赤、短い場所ほど緑で表している。座標の可視化により、フォーメーションが守れていたか、オフENSE、ディフェンス時のフォーメーションの違いが分かる。又、ヒートマップより選手の行動範囲、動き方の特徴などが、x、y座標の分散より選手の行動範囲の数値化、ポジション毎の動き方の違いが把握できる。



※OF(オフENSE)、DF(ディフェンス)

図1 平均座標、ヒートマップ、分散と走行距離

上記のツールは、Pythonを用いて作成した。以下にコードを示す。

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import pandas as pd
import os
import math
import scipy
from tqdm import tqdm
%matplotlib inline
from scipy.stats.kde import gaussian_kde

import os
os.chdir("任意のディレクトリ")

data1 = pd.read_csv('各選手の座標を記したcsv')

#平均座標を抽出
avedata=data1.mean()
xdata=avedata.iloc[[0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18]]
```

```

ydata=avedata. iloc[[1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19]]

#散布図
plt.scatter(xdata, ydata)
plt.xlim(0, 68)
plt.ylim(0, 105)
plt.axes().set_aspect('equal')
plt.xlabel("[m]")
plt.ylabel("[m]")

#分散
data1.var().plot("bar")
plt.ylim(0, 700)
plt.xlabel("player")
plt.ylabel("variance")

#ヒートマップ
dirname = "任意のディレクトリ "
os.makedirs(dirname, exist_ok=True)

data3 = np.genfromtxt('各選手の座標を記したcsv ', delimiter=',',
unpack=True, skip_header=1, encoding='utf-8')

for t in tqdm(range(0, 17, 2)):
    x=data3[t]
    y=data3[t+1]
    k = gaussian_kde(np.vstack([x, y]))
    xi, yi =
np.mgrid[x.min():x.max():x.size**0.5*1j, y.min():y.max():y.size**0.5*1j]
    zi = k(np.vstack([xi.flatten(), yi.flatten()]))
    fig = plt.figure(figsize=(13.6, 21))

    #ax1 = fig.add_subplot(211)
    #ax1.axis("equal")
    ax2 = fig.add_subplot(212)
    ax2.axis("equal")

    #alpha=0.5 will make the plots semitransparent

    #ax1.pcolormesh(xi, yi, zi.reshape(xi.shape), alpha=0.5)
    ax2.contourf(xi, yi, zi.reshape(xi.shape), cmap="YlOrRd", alpha=0.5)

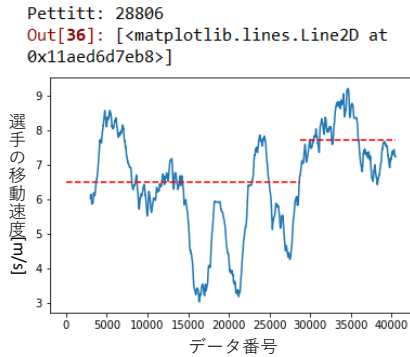
    #ax1.set_xlim(x.min(), 68)
    #ax1.set_ylim(y.min(), 105)
    ax2.set_xlim(0, 68)
    ax2.set_ylim(0, 105)
    plt.xlabel("[m]")
    plt.ylabel("[m]")

    # overlay soccer field
    im = plt.imread('soccerPitch.jpg')
    #ax1.imshow(im, extent=[0, 68, y.min(), 105], aspect='equal')
    ax2.imshow(im, extent=[0, 68, 0, 105], aspect='equal')

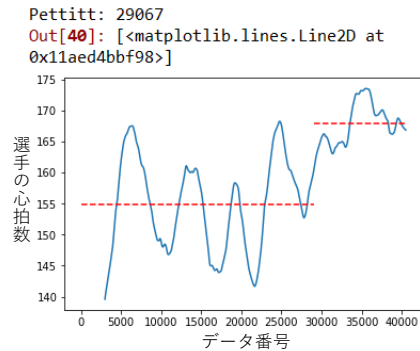
```

2. 選手がパフォーマンスを維持した状態でプレー可能な時間

各選手がパフォーマンスを維持した状態でプレー可能な時間を調査する。本論では選手の移動速度が落ちた時間又は、選手の心拍数が上昇した時間にパフォーマンスが落ちたと判断する。そこで、移動速度、心拍数の時系列の均質性を調査する。手法としてはPettitt検定を用いた。Pettitt検定とは任意の系列が時間軸上で均質とみなされるか、又変化が起きている時間が存在するかを調査する検定である。



試合開始から約32分地点で均質性に变化



試合開始から約32分地点で均質性に变化

図2 ある選手の移動速度、心拍数

図2における選手の移動速度、心拍数はどちらも試合開始から約32分後に均質性に変化が起きていることが分かる。

上記のツールは、Pythonを用いて作成した。以下にコードを示す。

```
import pandas as pd
import numpy as np
import matplotlib
import matplotlib.pyplot as plt

df=pd.read_csv('各選手の座標を記したcsv')

data1=df['h ave1']
#心拍数、速度などの項目を選択

def Pettitt_change_point_detection(inputdata):
    inputdata = np.array(inputdata)
    n          = inputdata.shape[0]
    k = range(n)
    inputdataT = pd.Series(inputdata)
    r = inputdataT.rank()
    Uk = [2*np.sum(r[0:x])-x*(n + 1) for x in k]
    Uka = list(np.abs(Uk))
    U = np.max(Uka)
    K = Uka.index(U)
    pvalue          = 2 * np.exp((-6 * (U**2))/(n**3 + n**2))
    if pvalue <= 0.05:
        change_point_desc = '重要'
    else:
        change_point_desc = '重要でない'
```

```

return K #, Pettitt_result

dt = data1
print("Pettitt:", Pettitt_change_point_detection(dt))

```

3. 選手の密集度の定量化

各クラスターの重心から選手までの距離を算出することで密集度を定量化する。クラスター分析の手法は混合ガウスモデルを用いた。混合ガウスモデルの特徴として、サンプルについて、各クラスターに属する確率を求めることが出来る、クラスター数を自動的に決定する、ことが挙げられる。

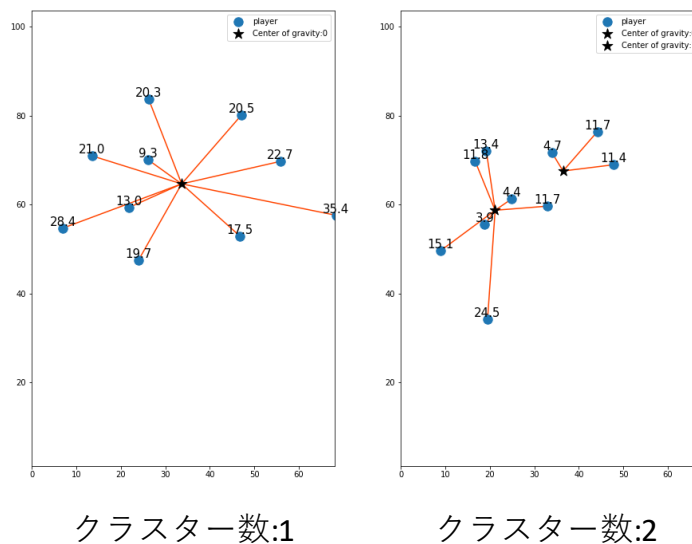


図3 ある場面のクラスター数

図3において、点近くの数字は重心からの距離を表す。又、フォーメーションにおいて、クラスター数が1つであり、重心から選手が離れている場合、選手の均等な配置が出来ていると言える。

上記のツールは、Pythonを用いて作成した。以下にコードを示す。

```

import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import pandas as pd
import os
import math
from sklearn import mixture

from tqdm import tqdm

%matplotlib inline
dirname = "任意のディレクトリ"
os.makedirs(dirname, exist_ok=True)

data1 = pd.read_csv('各選手の座標を記した csv ')

```

```

n_player=9
datas = []
results=[]
for i in tqdm(data1.index):
    # 空の配列をつくる
    data2=np.zeros((n_player, 2))

    # 配列を埋める (モデルに入れるデータをつくる)
    for j in range(n_player):
        cx='x {}'.format(j+1)
        cy='y {}'.format(j+1)
        c=[cx, cy]

        data2[j]=data1.loc[i, c]

    # モデルを学習する (クラスタリングする)
    model = mixture.BayesianGaussianMixture(n_components=9)
    result = model.fit(data2)

    # 作った結果 (データとモデル) を格納する
    datas.append(data2)
    results.append(result)

N=len(results)
thres = 0.01
n_clusters = []
for n in range(N):
    result=results[n]
    # print(np.count_nonzero(result.weights_>thres))
    n_clusters.append(np.count_nonzero(result.weights_>thres))

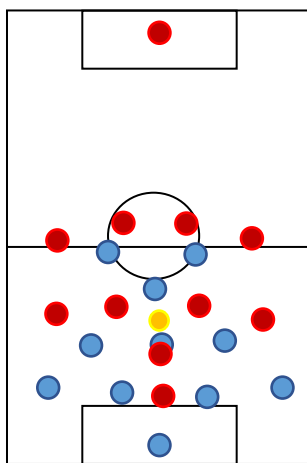
```

4. アンケート調査全文

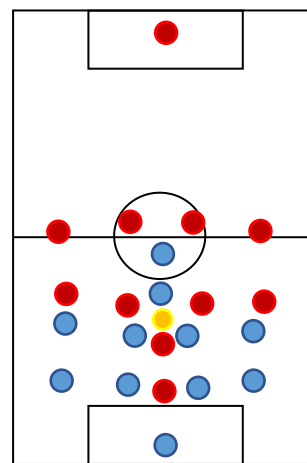
第4章で記したアンケート調査の全文を以下に示す。

A.任意時点の自チームのフォーメーションとして、どちらが望ましいですか。左右の図から、望ましい方に丸をつけて下さい。(自チームのフォーメーションはディフェンス時)

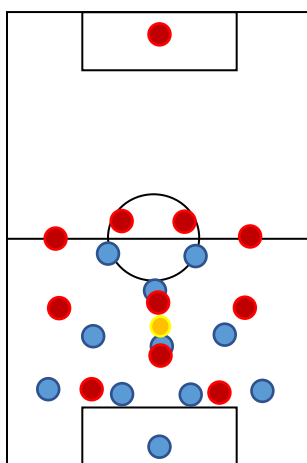
※青点は自チーム、赤点は相手チームの選手、黄点はボールを表しています。全選手の向きは、相手チームのゴールを向いているとし、その他パラメータは全選手において同一だと仮定します。



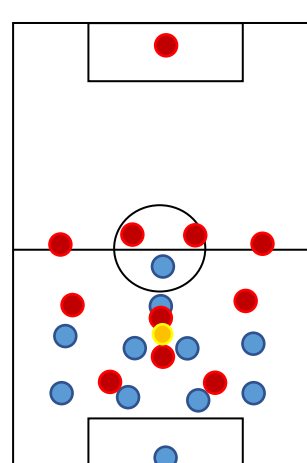
A



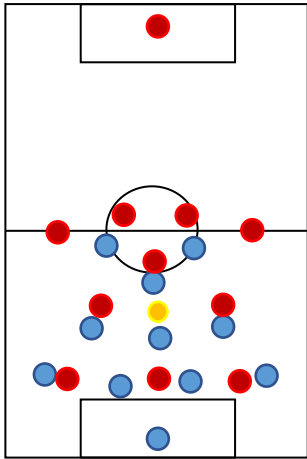
B



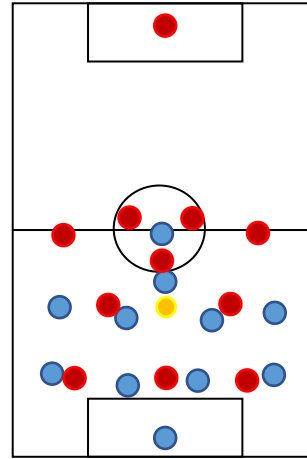
A



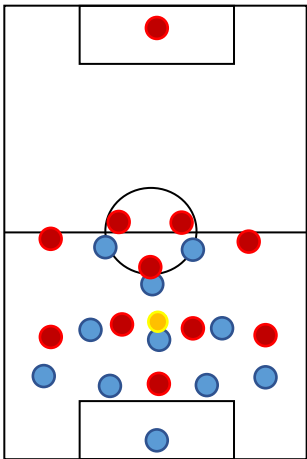
B



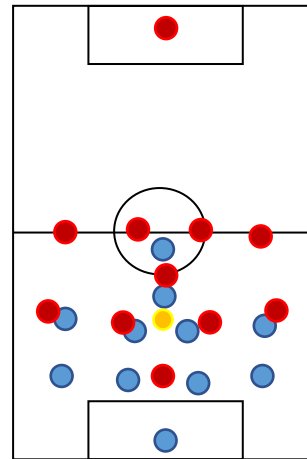
A



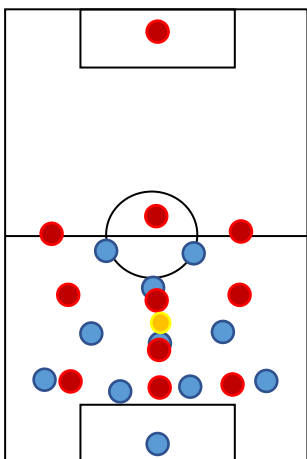
B



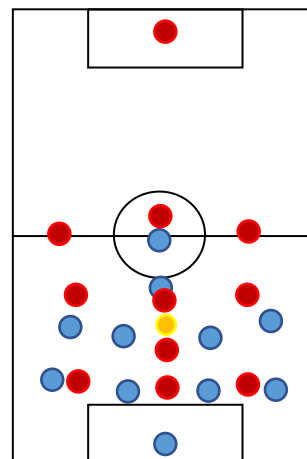
A



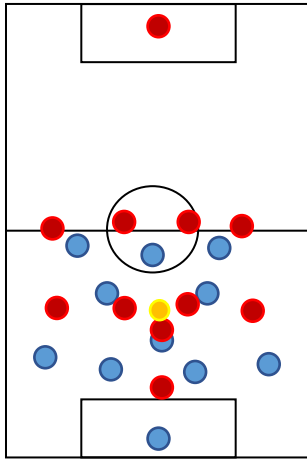
B



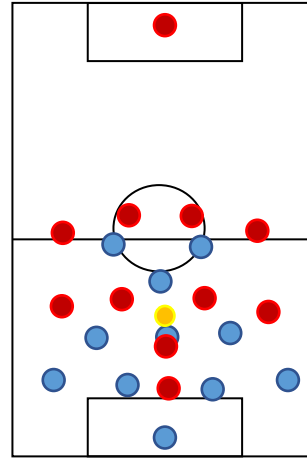
A



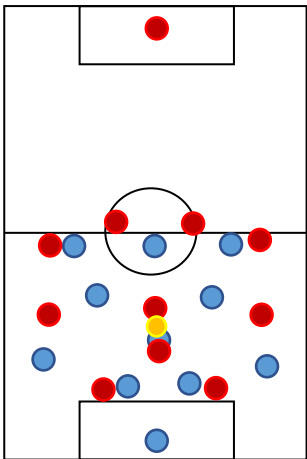
B



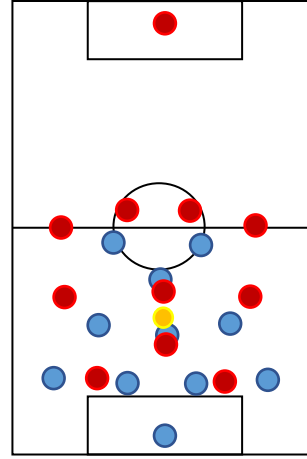
A



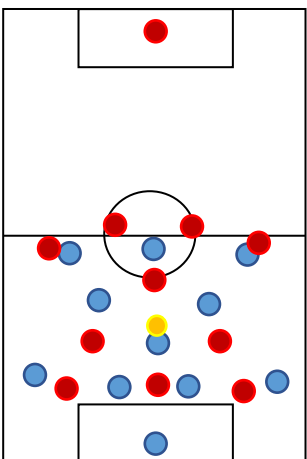
B



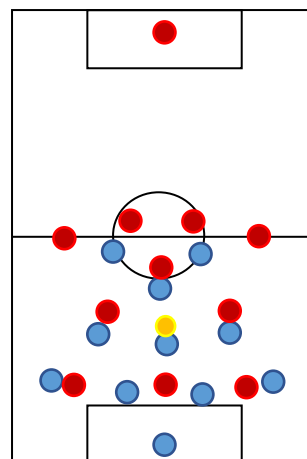
A



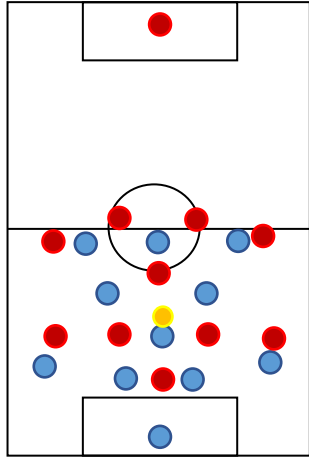
B



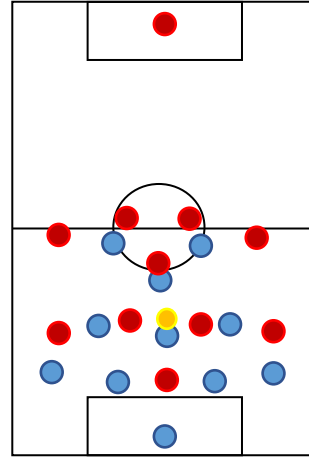
A



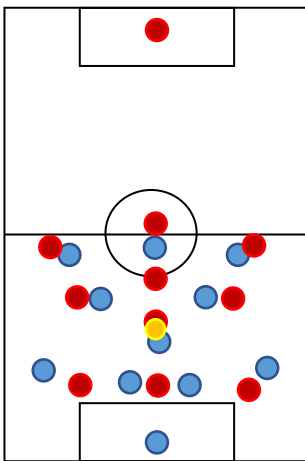
B



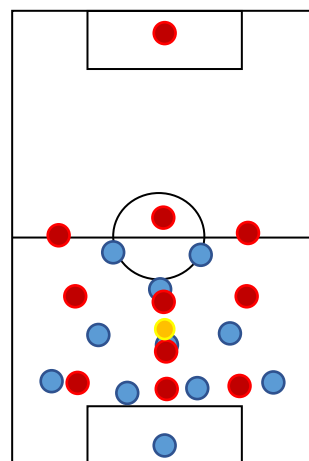
A



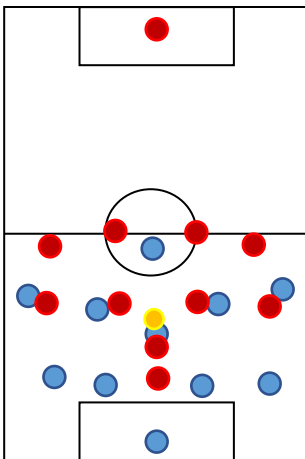
B



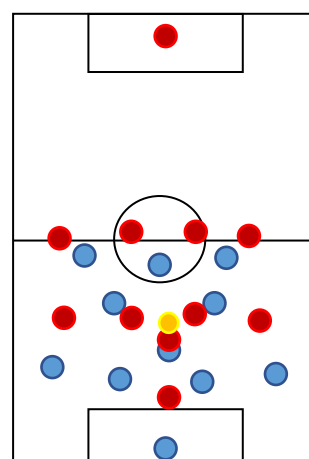
A



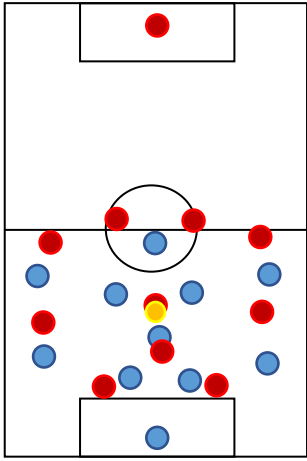
B



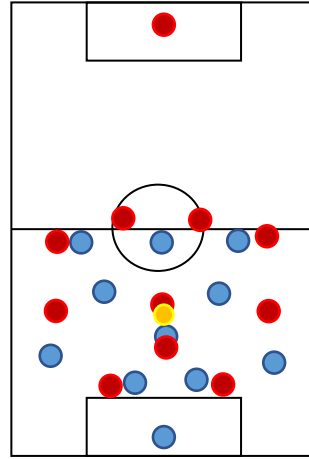
A



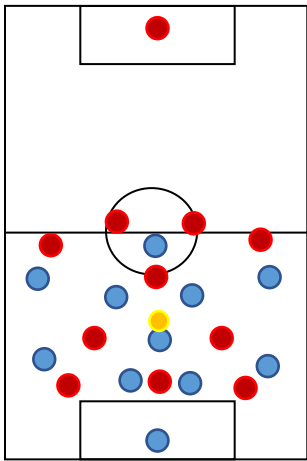
B



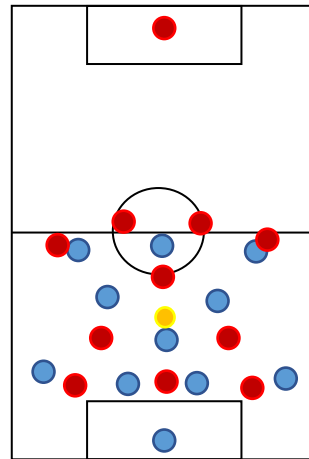
A



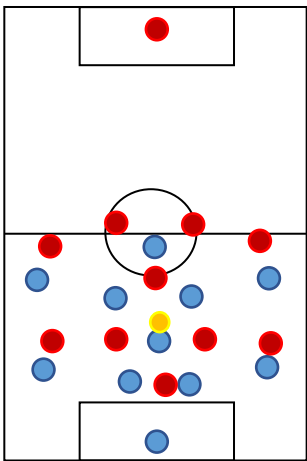
B



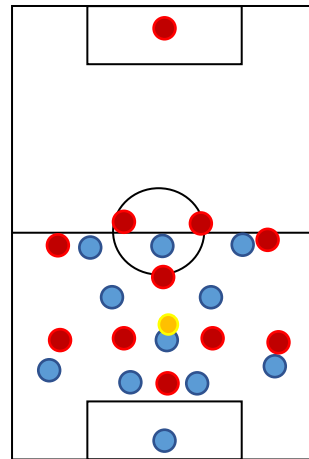
A



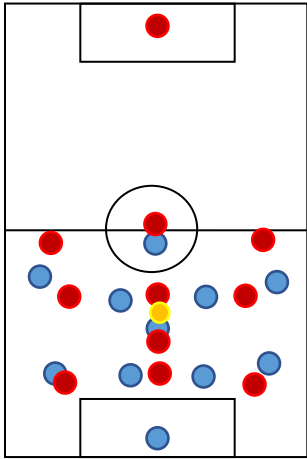
B



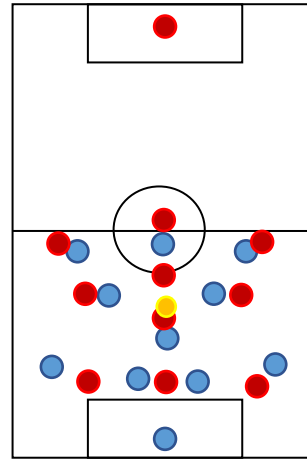
A



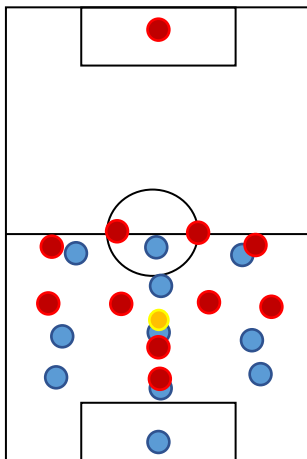
B



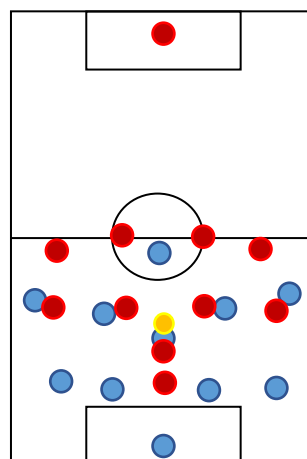
A



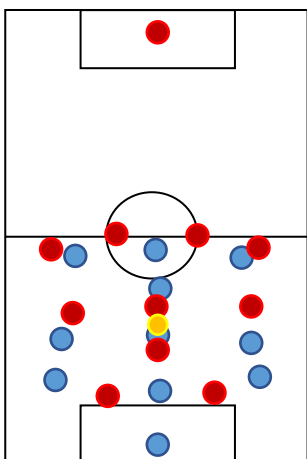
B



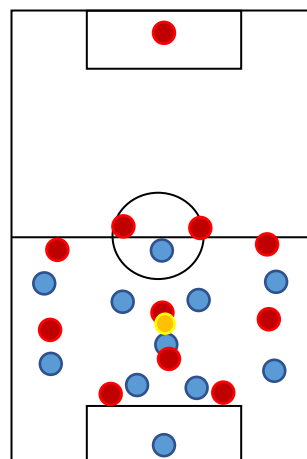
A



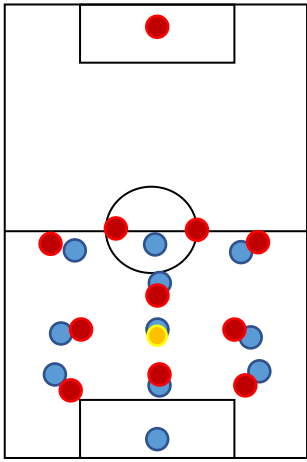
B



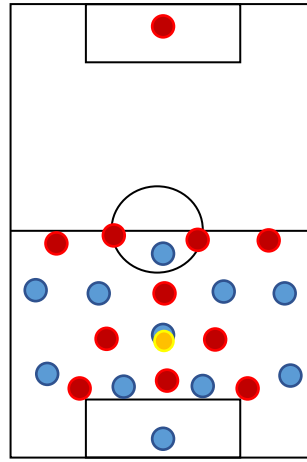
A



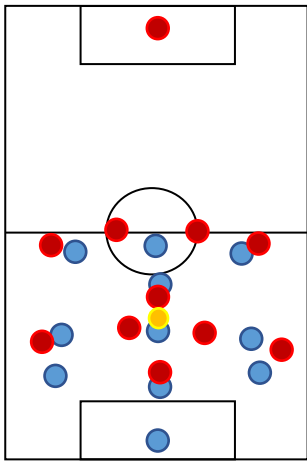
B



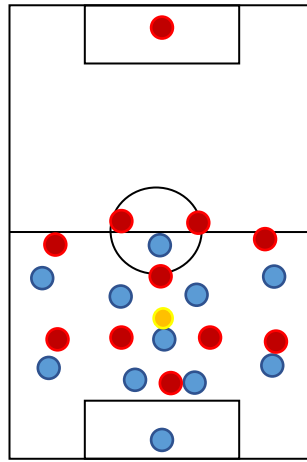
A



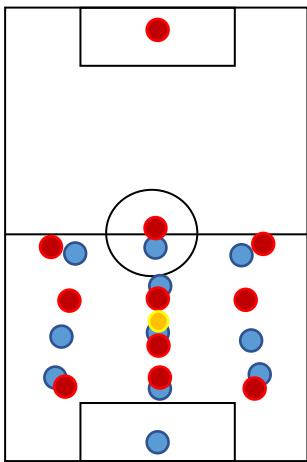
B



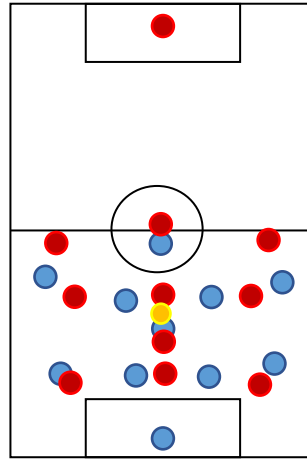
A



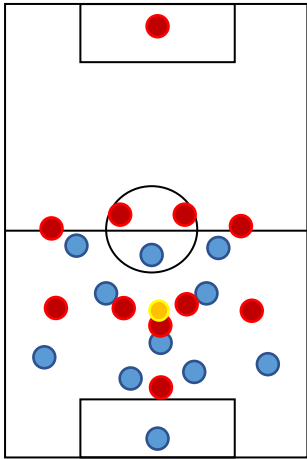
B



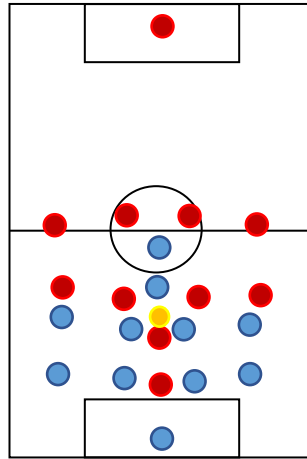
A



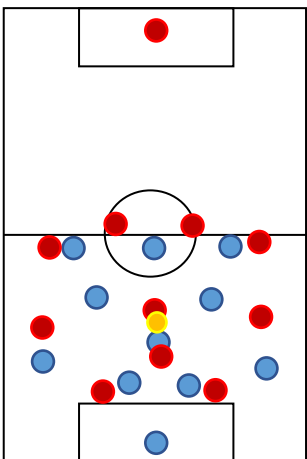
B



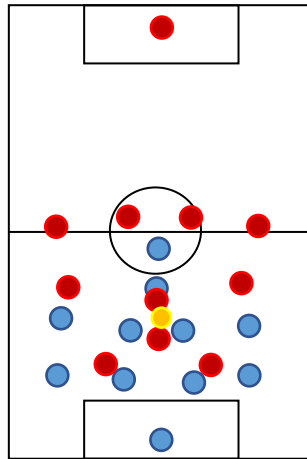
A



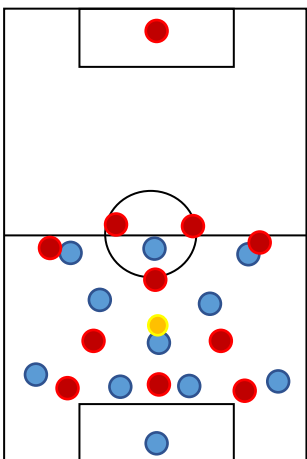
B



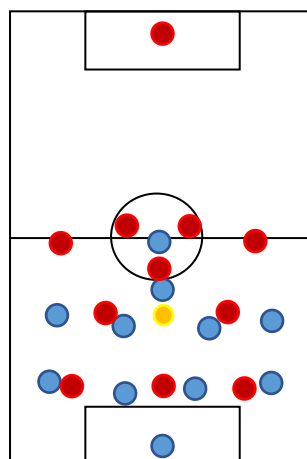
A



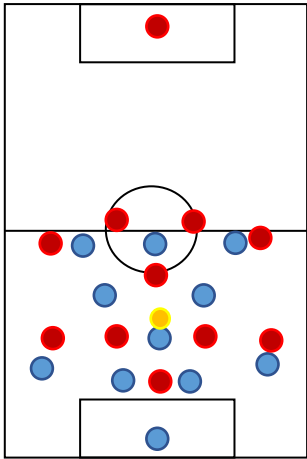
B



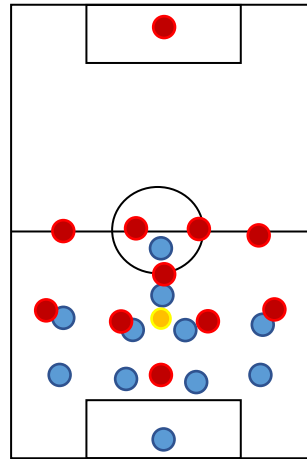
A



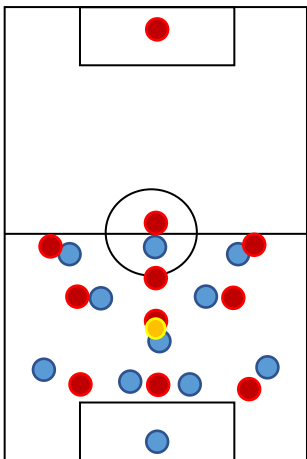
B



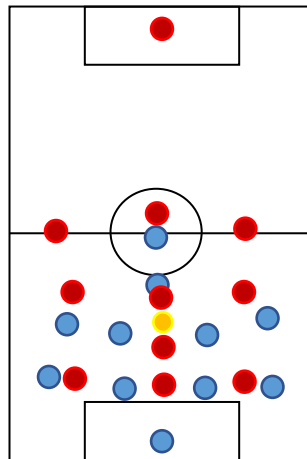
A



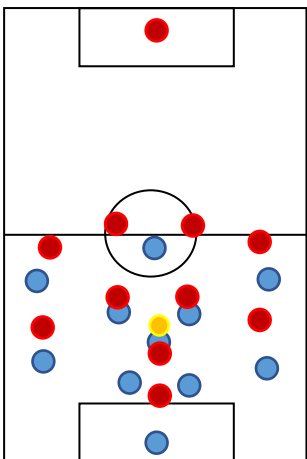
B



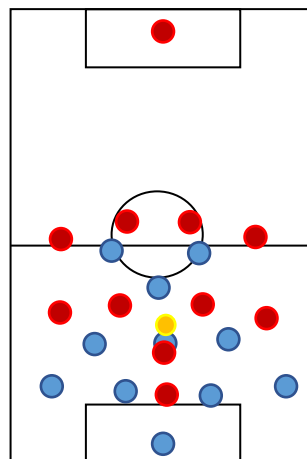
A



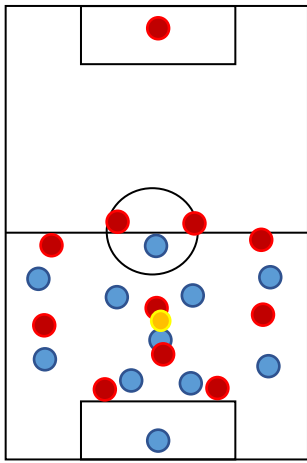
B



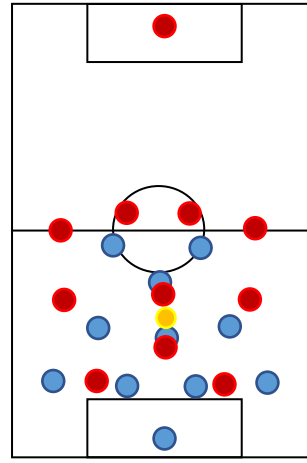
A



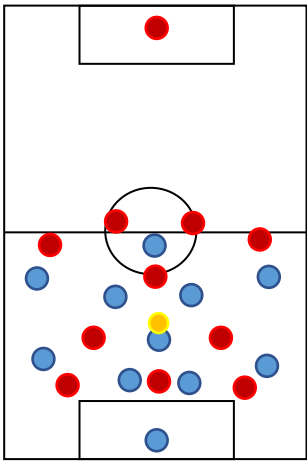
B



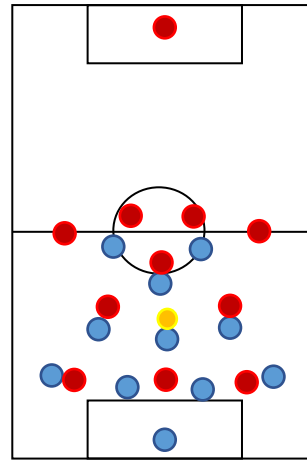
A



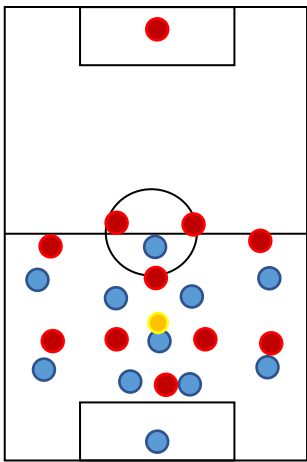
B



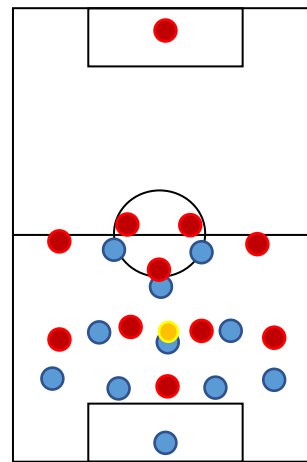
A



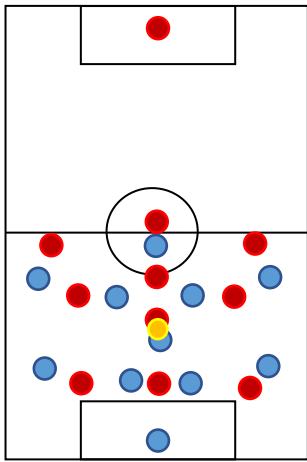
B



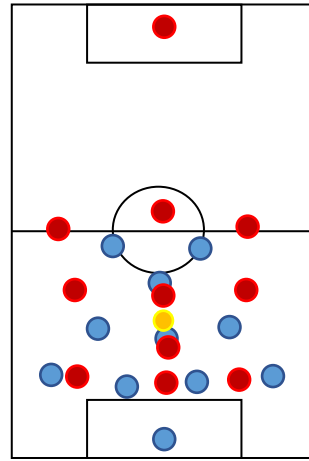
A



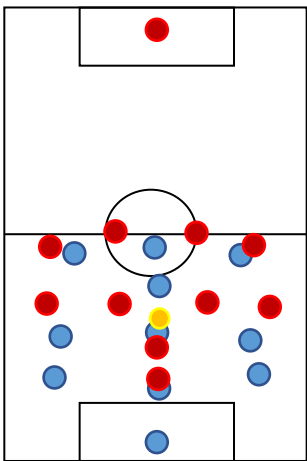
B



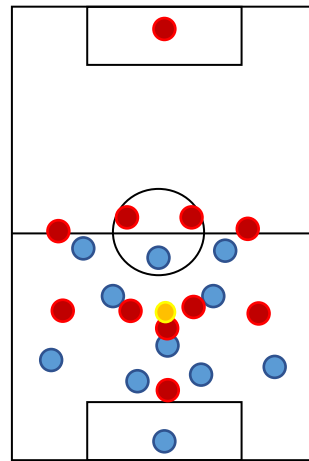
A



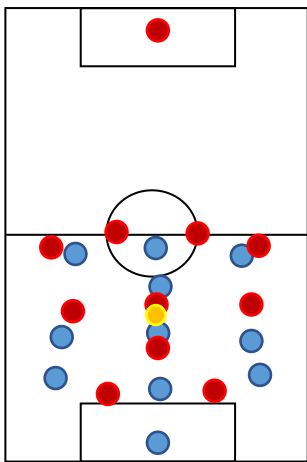
B



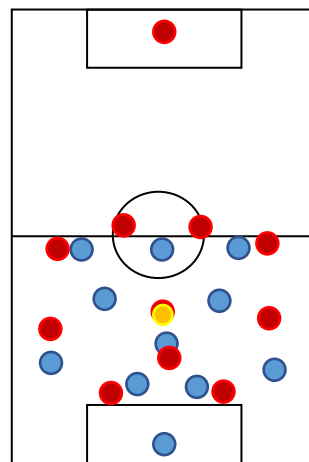
A



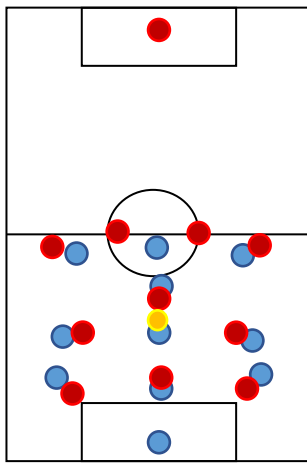
B



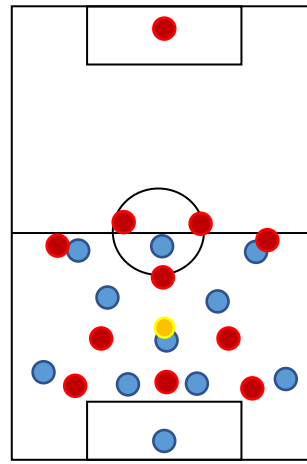
A



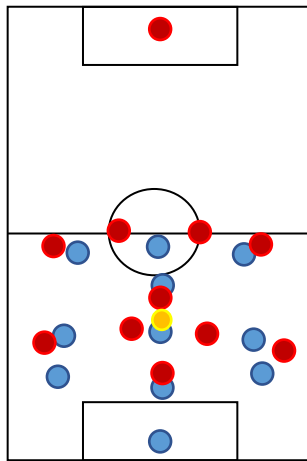
B



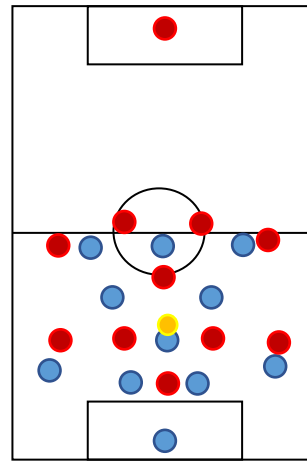
A



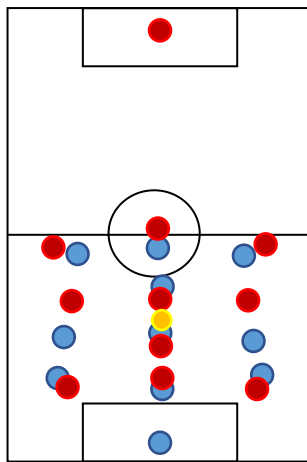
B



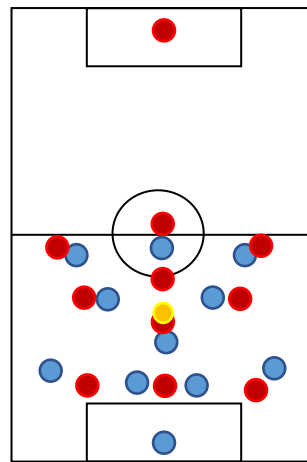
A



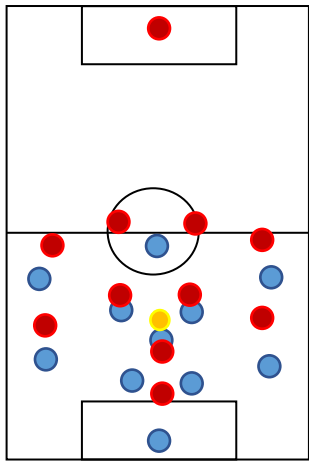
B



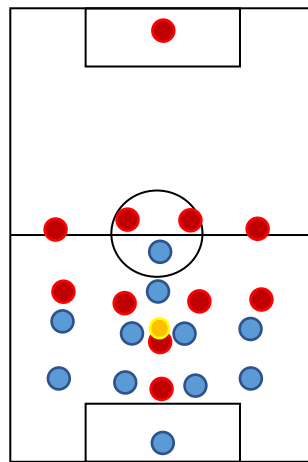
A



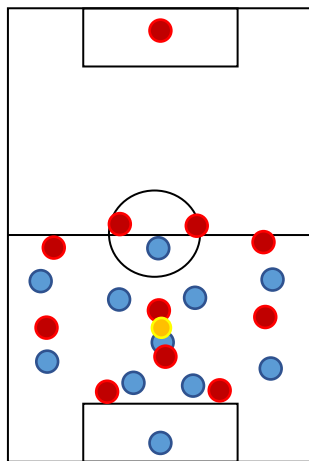
B



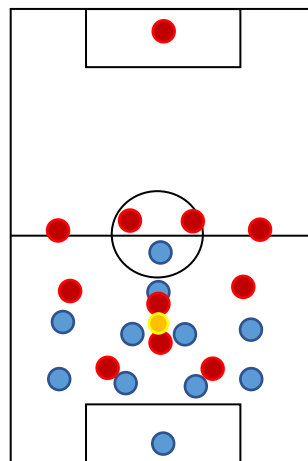
A



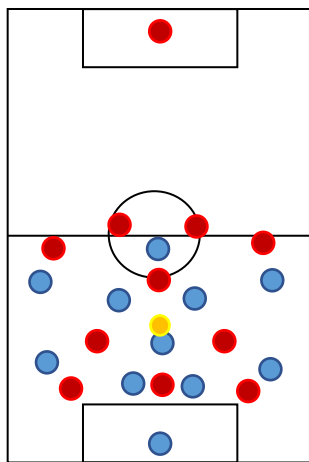
B



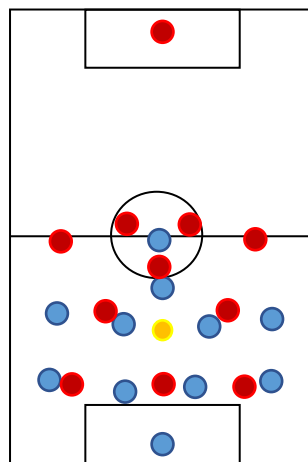
A



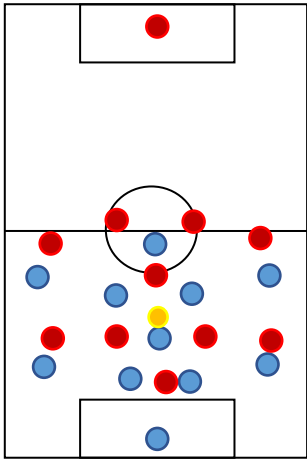
B



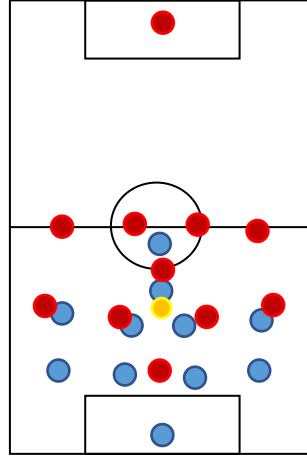
A



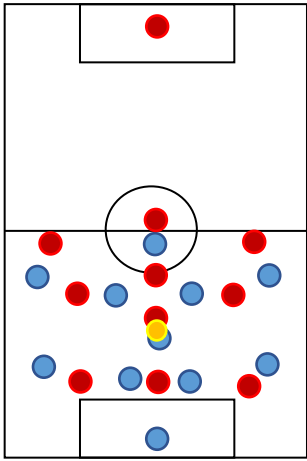
B



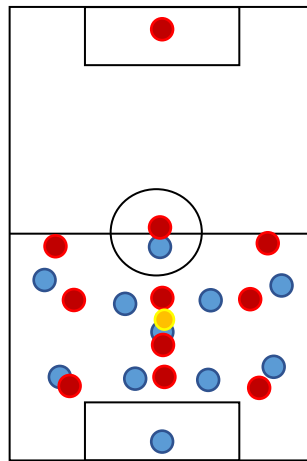
A



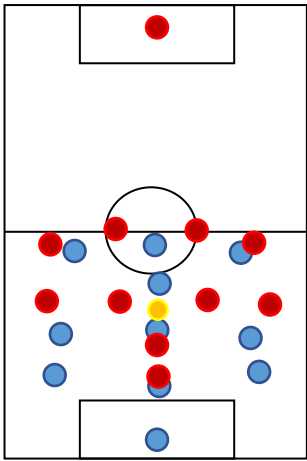
B



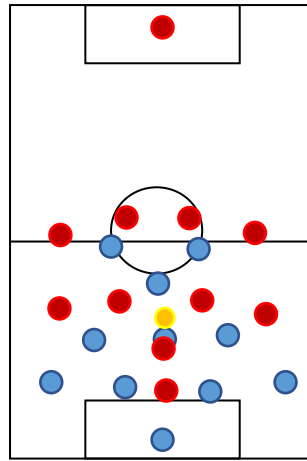
A



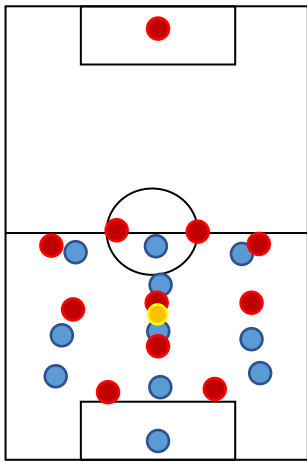
B



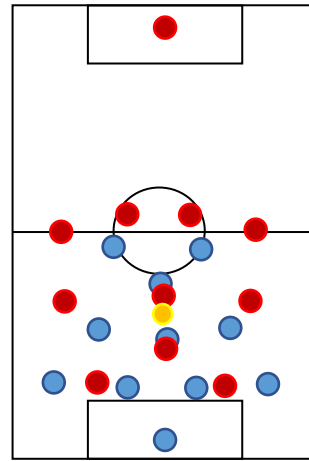
A



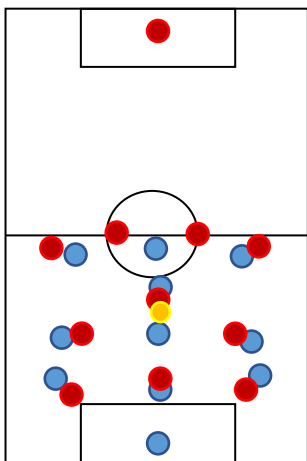
B



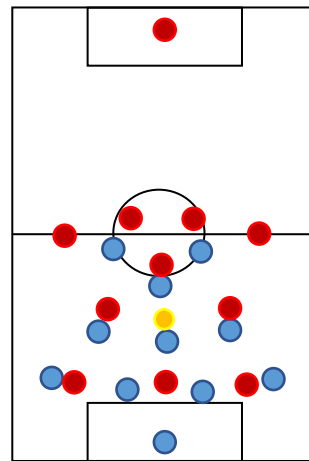
A



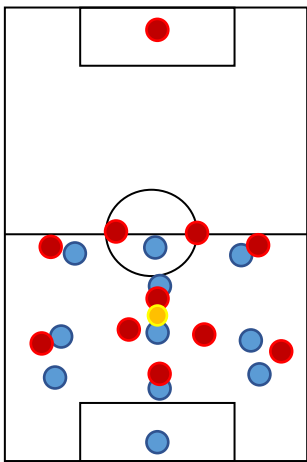
B



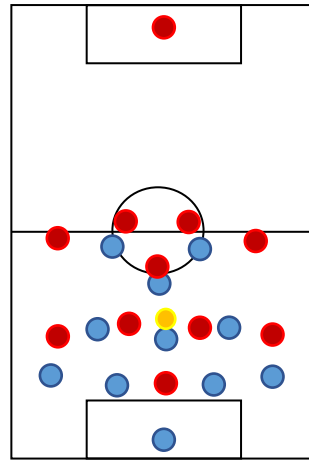
A



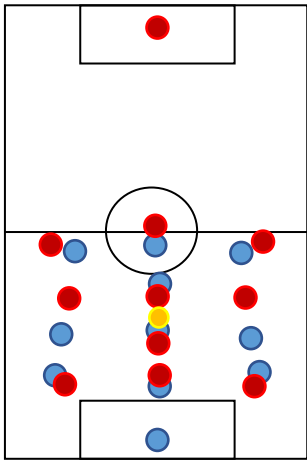
B



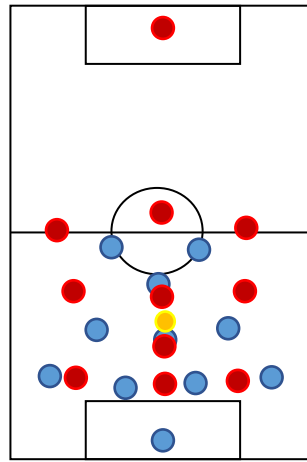
A



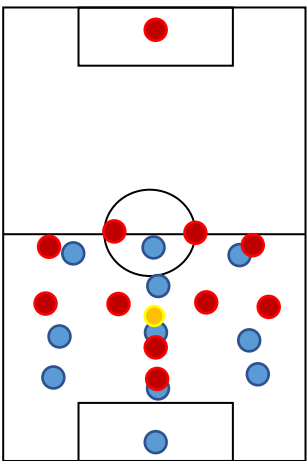
B



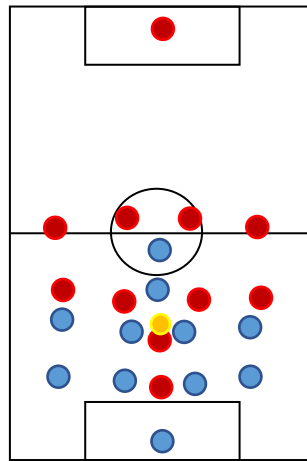
A



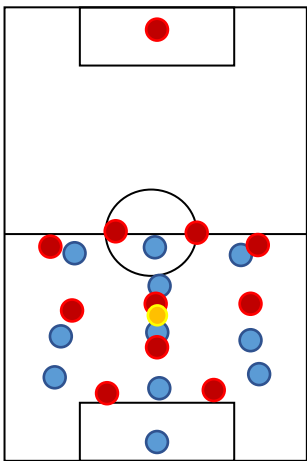
B



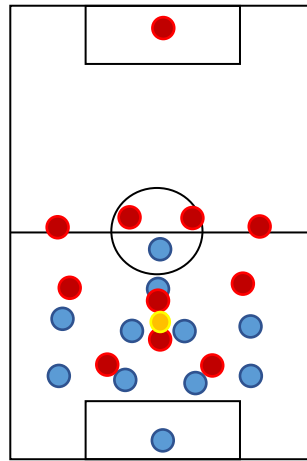
A



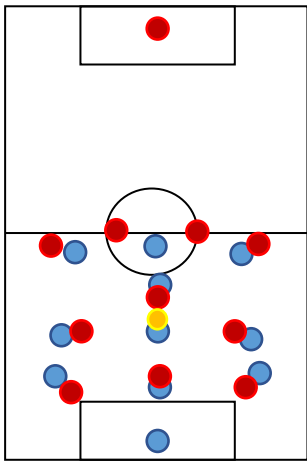
B



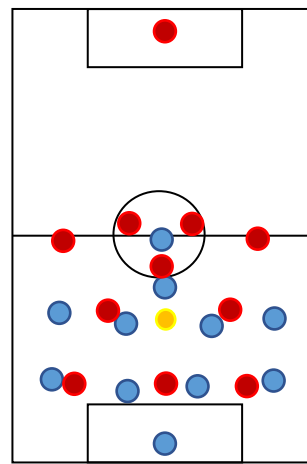
A



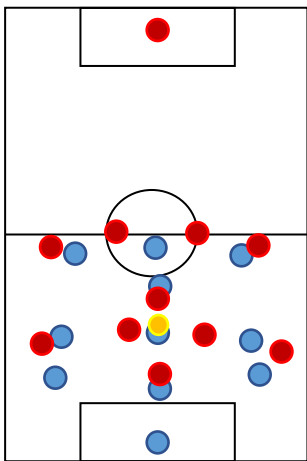
B



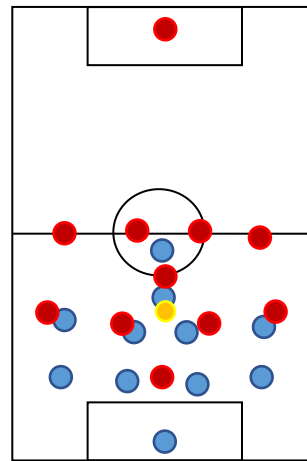
A



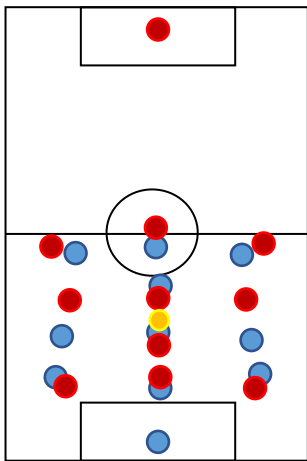
B



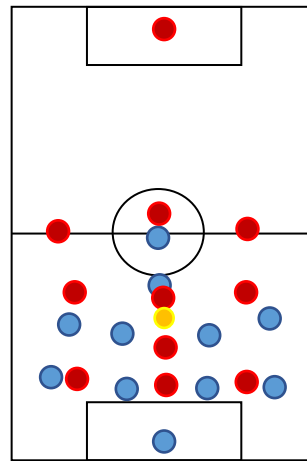
A



B



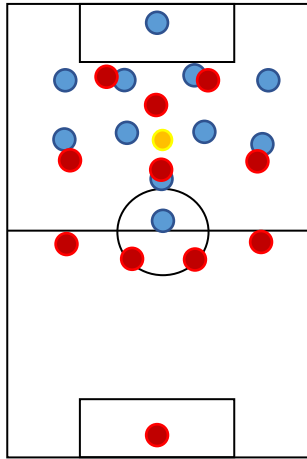
A



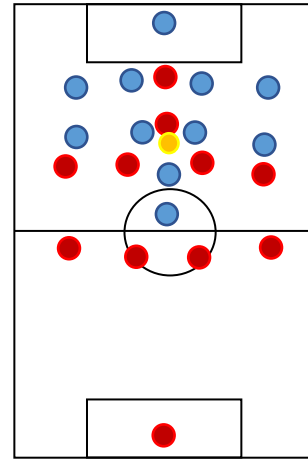
B

B.任意時点の自チームのフォーメーションとして、どちらが望ましいですか。当てはまる方に丸をつけて下さい。(自チームのフォーメーションはオフェンス時)

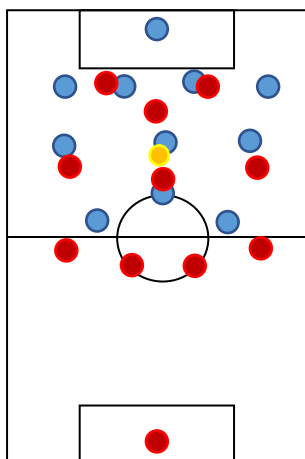
※赤点は自チーム、青点は相手チームの選手、黄点はボールを表しています。全選手の向きは、相手チームのゴールを向いているとし、その他パラメータは全選手において同一だと仮定します。



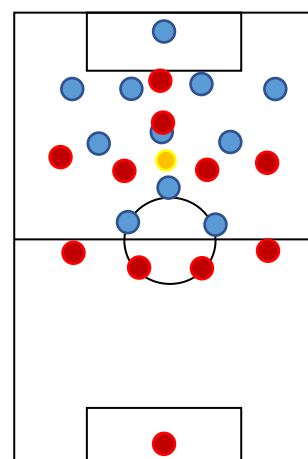
A



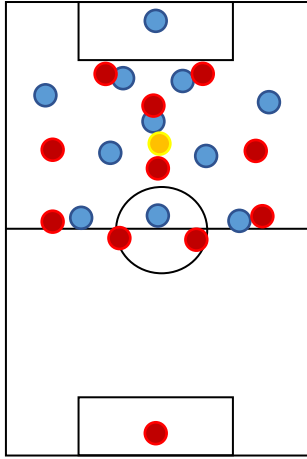
B



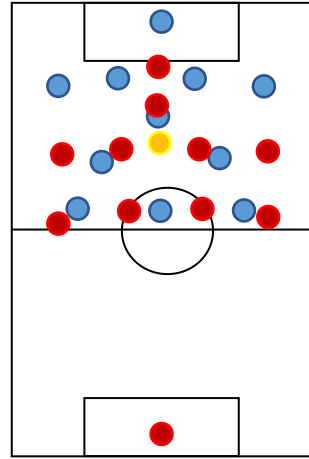
A



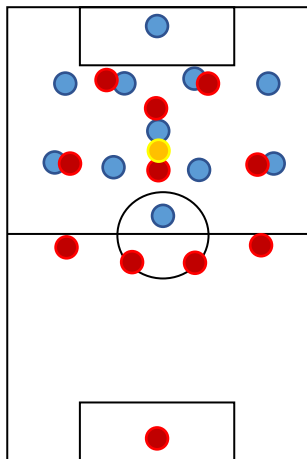
B



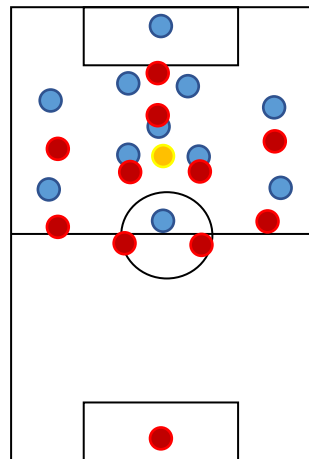
A



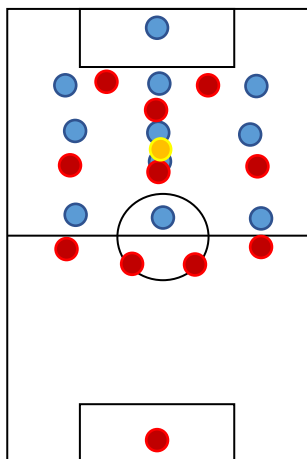
B



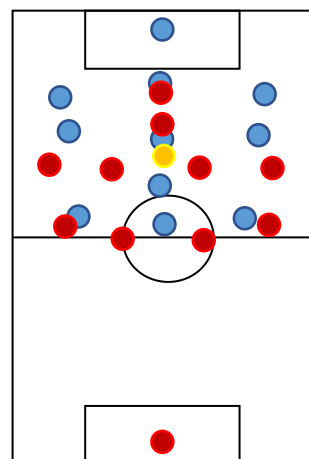
A



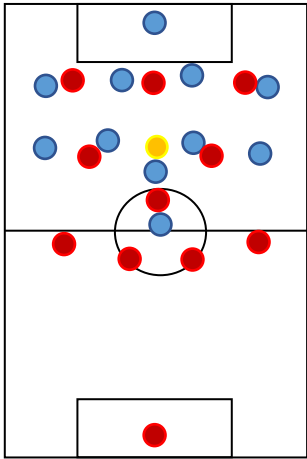
B



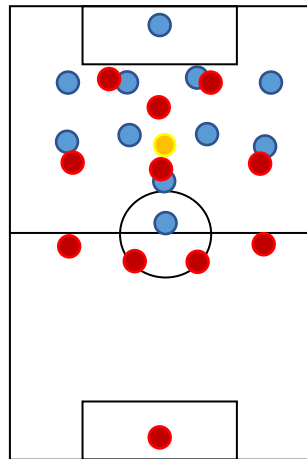
A



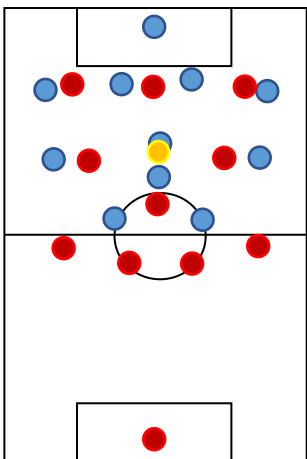
B



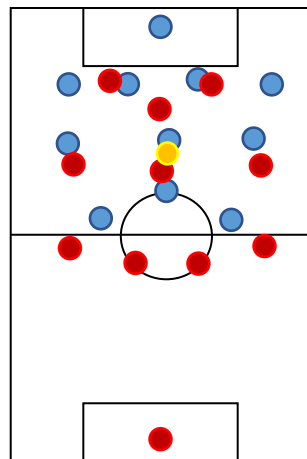
A



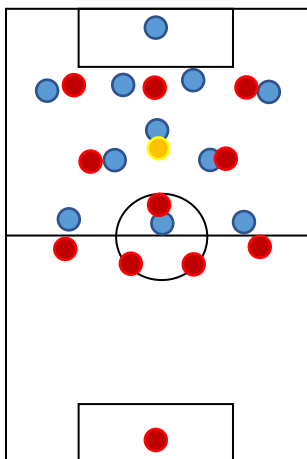
B



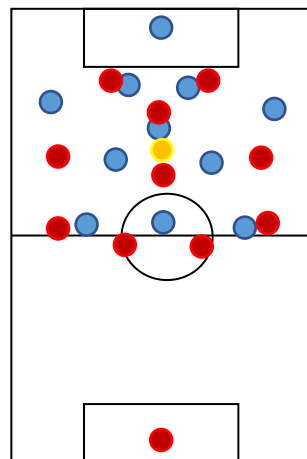
A



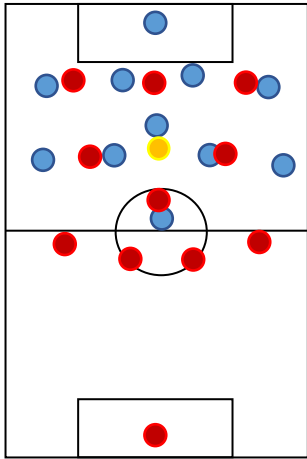
B



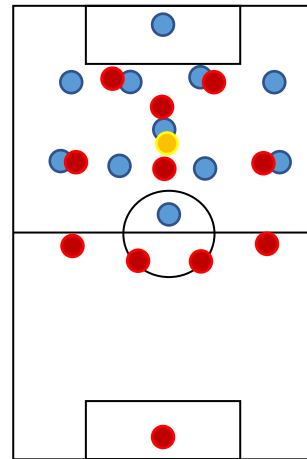
A



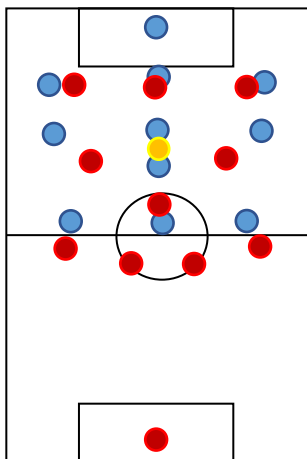
B



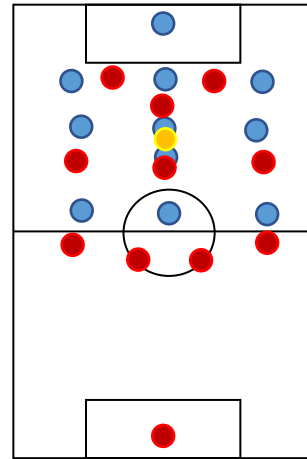
A



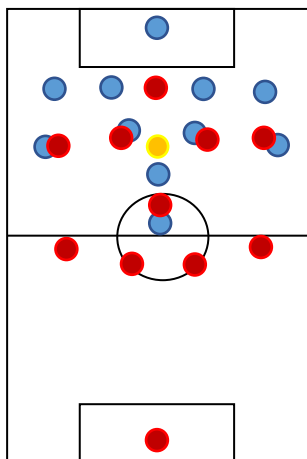
B



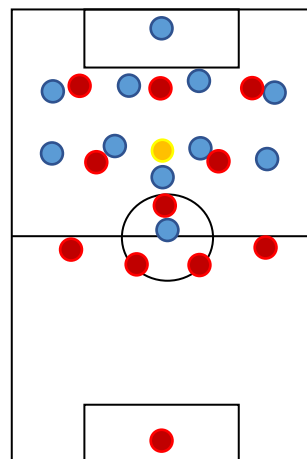
A



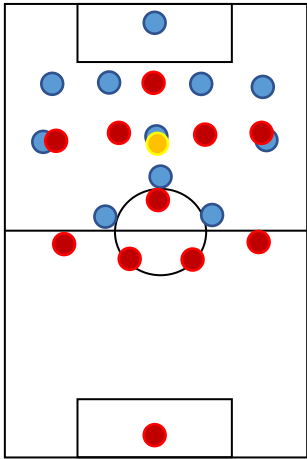
B



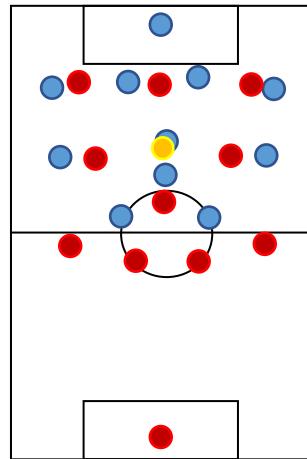
A



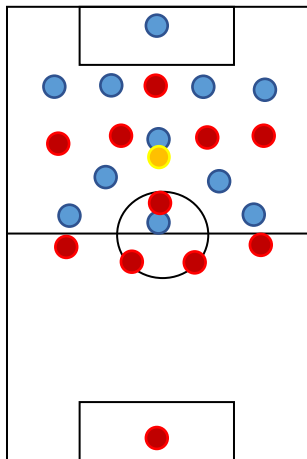
B



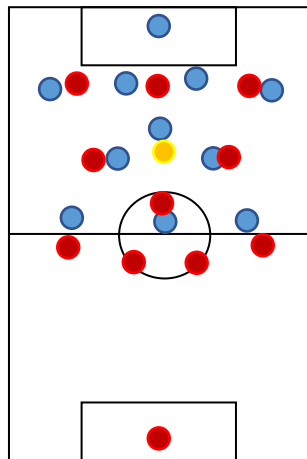
A



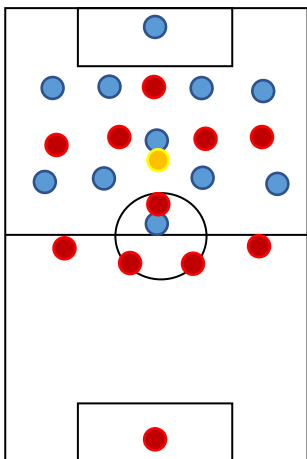
B



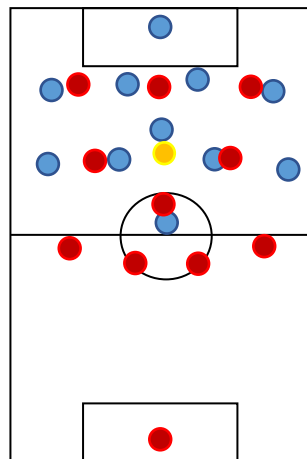
A



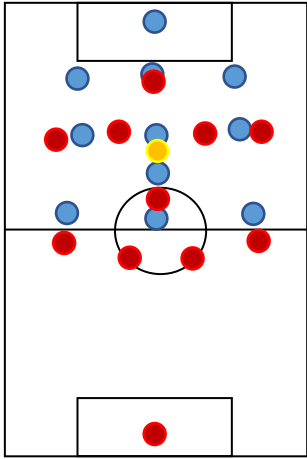
B



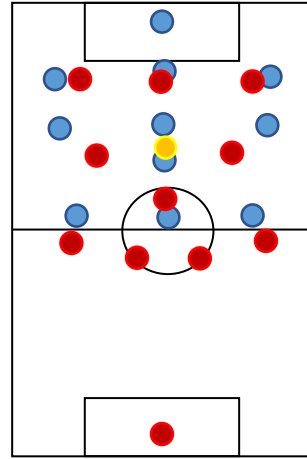
A



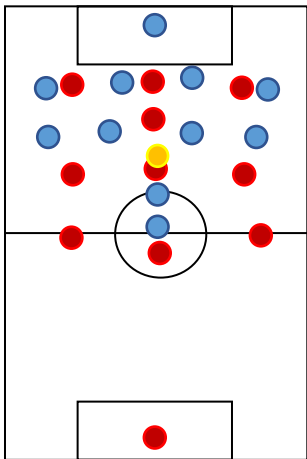
B



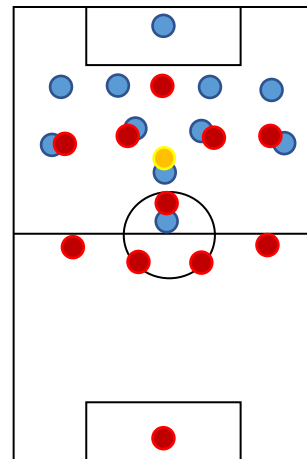
A



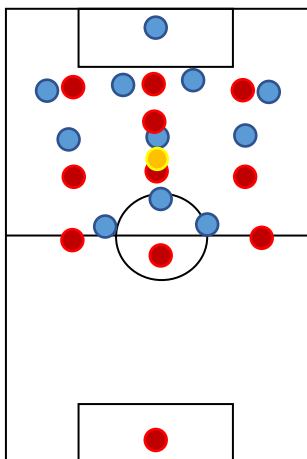
B



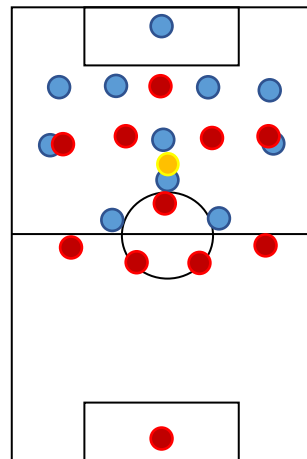
A



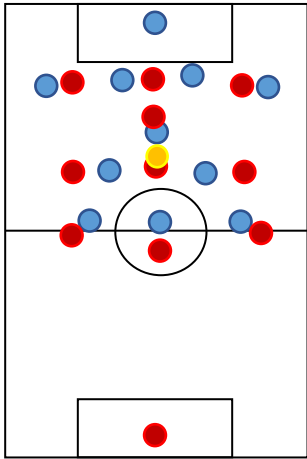
B



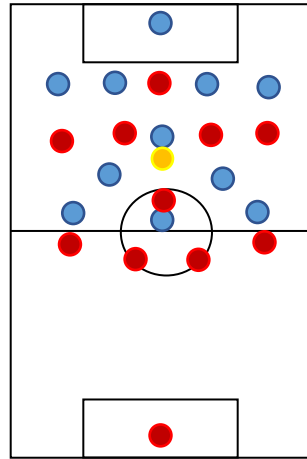
A



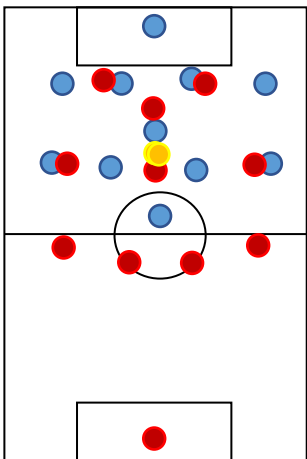
B



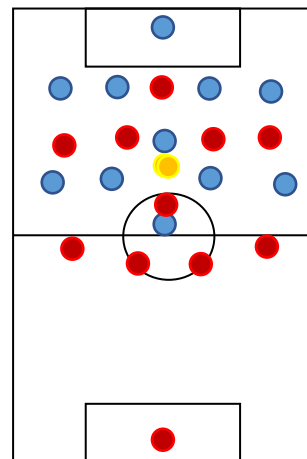
A



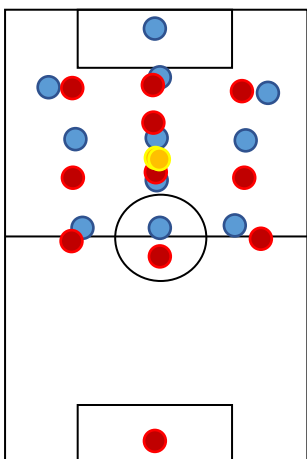
B



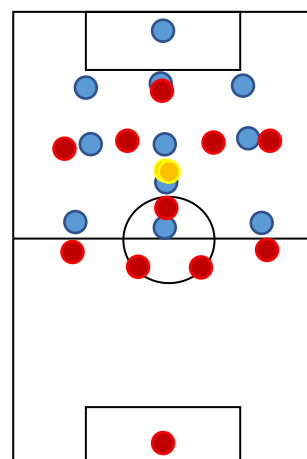
A



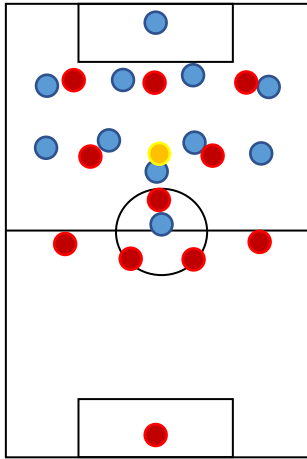
B



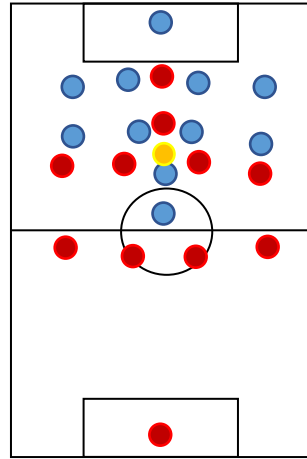
A



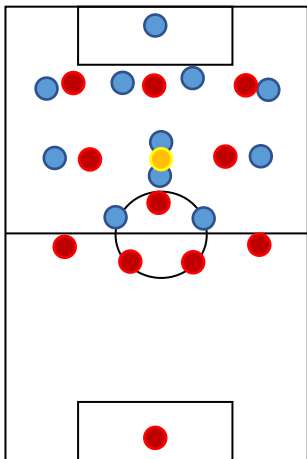
B



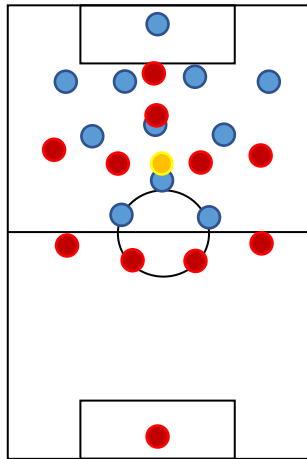
A



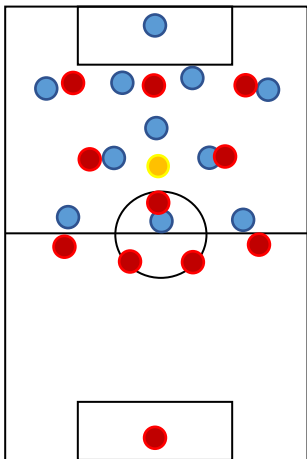
B



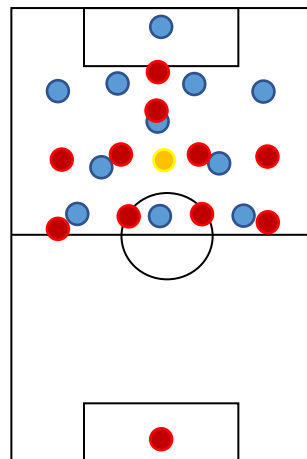
A



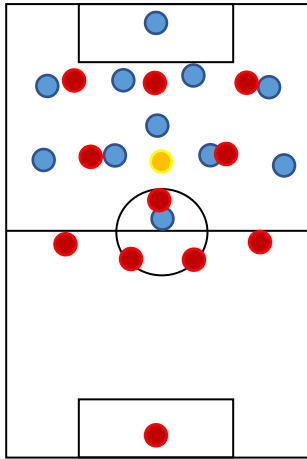
B



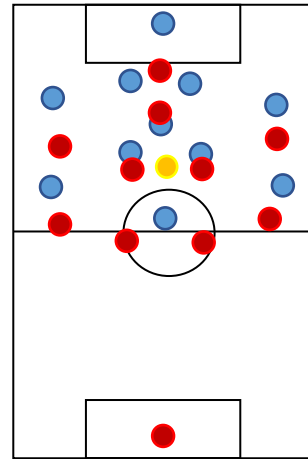
A



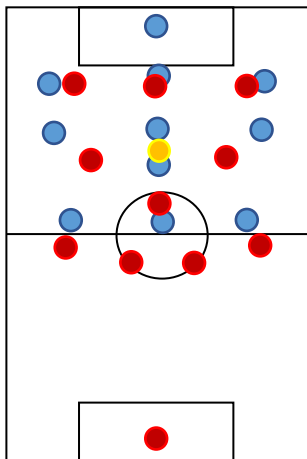
B



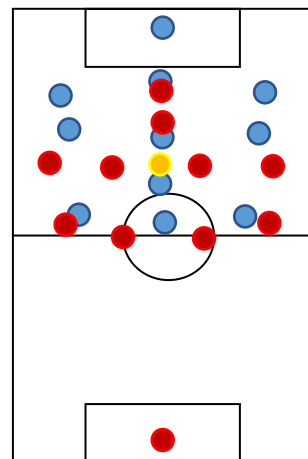
A



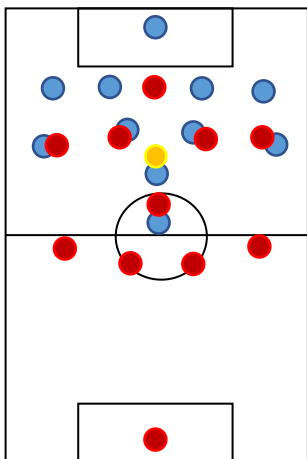
B



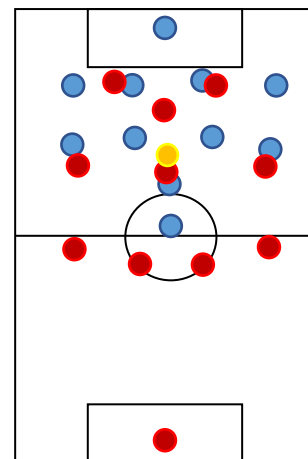
A



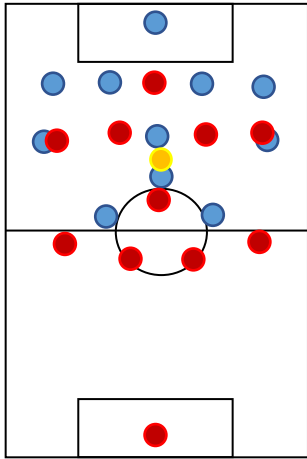
B



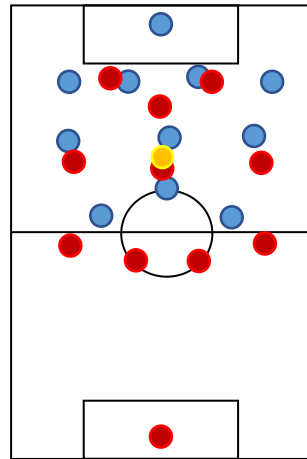
A



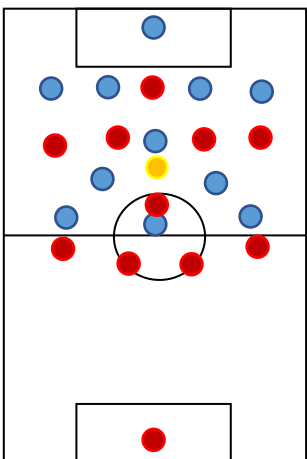
B



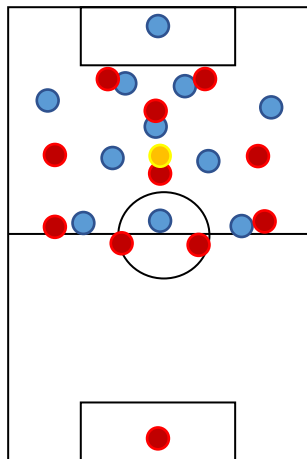
A



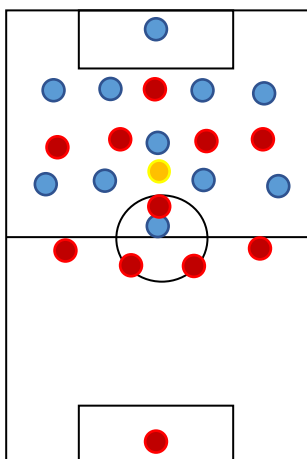
B



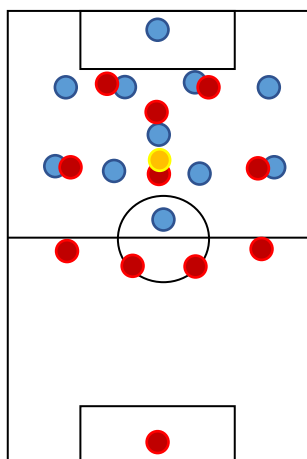
A



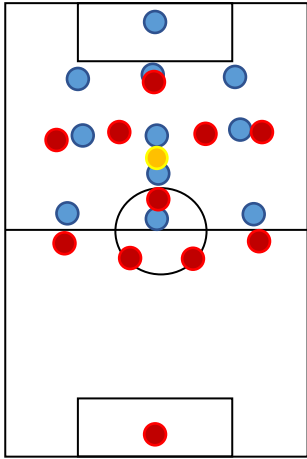
B



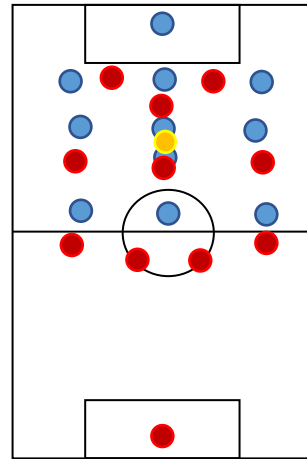
A



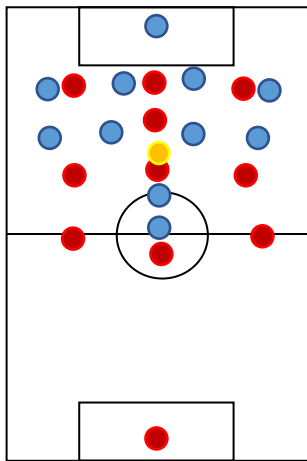
B



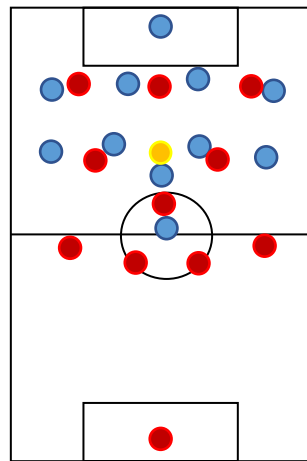
A



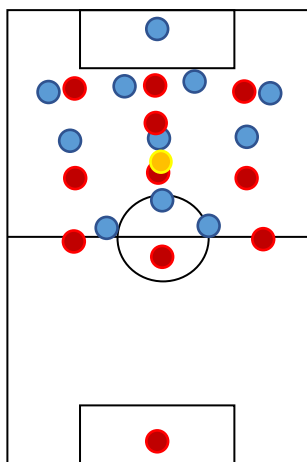
B



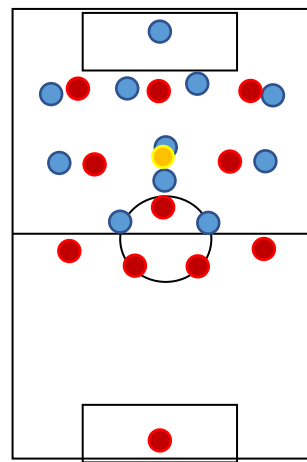
A



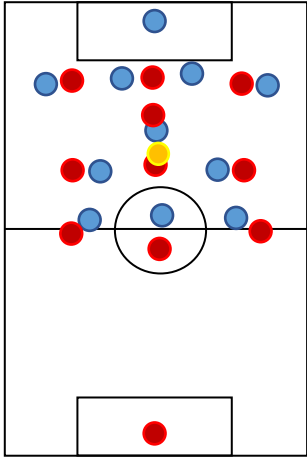
B



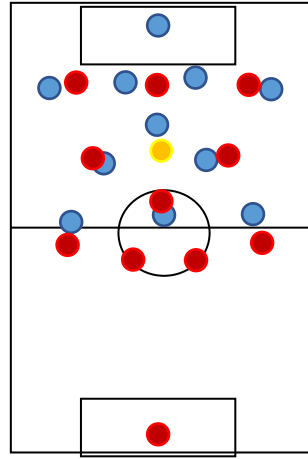
A



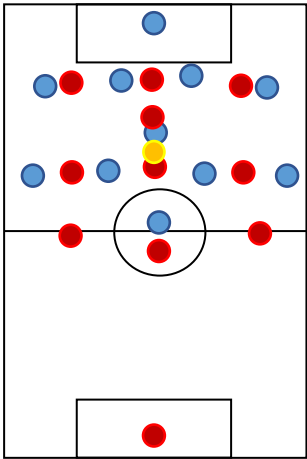
B



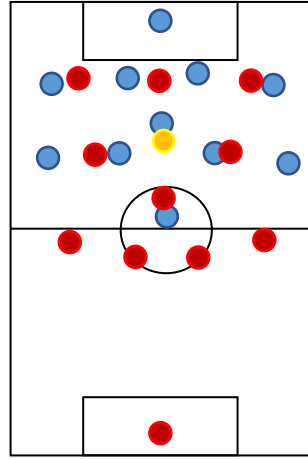
A



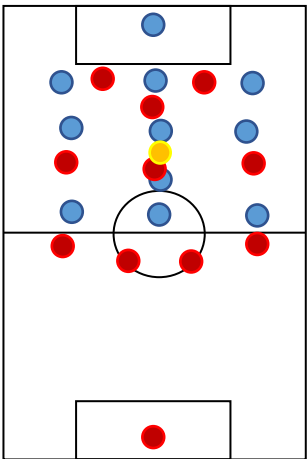
B



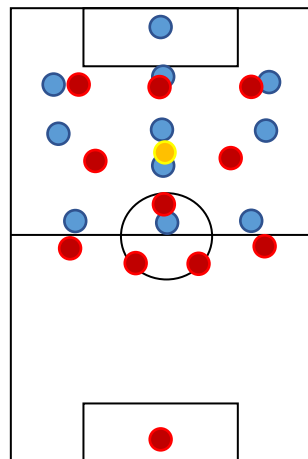
A



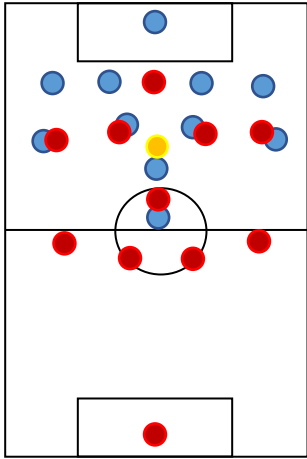
B



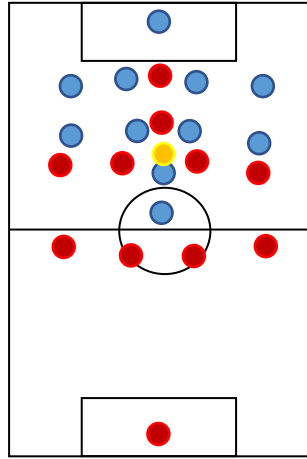
A



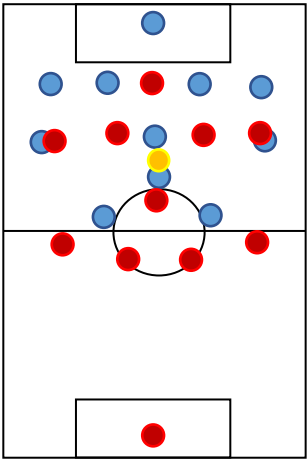
B



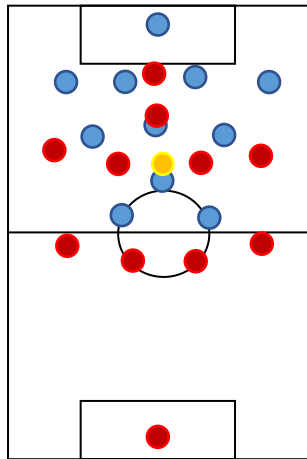
A



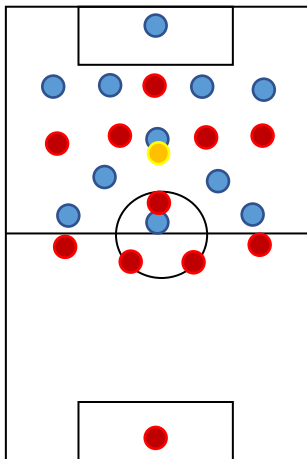
B



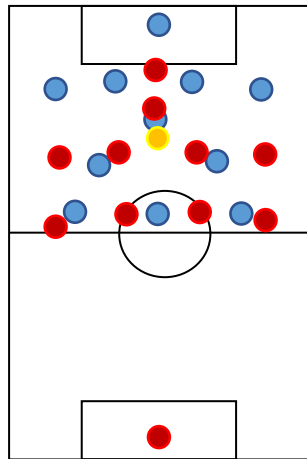
A



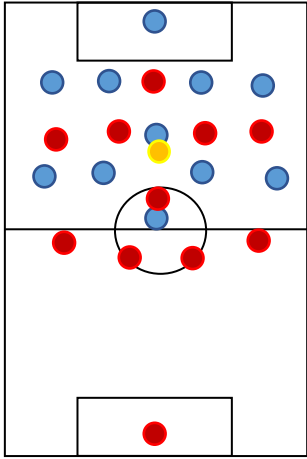
B



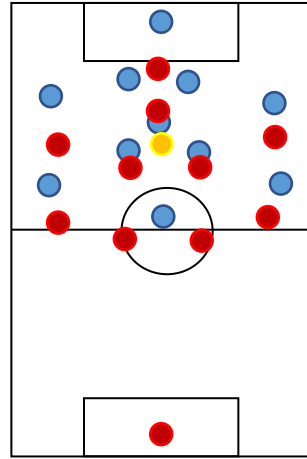
A



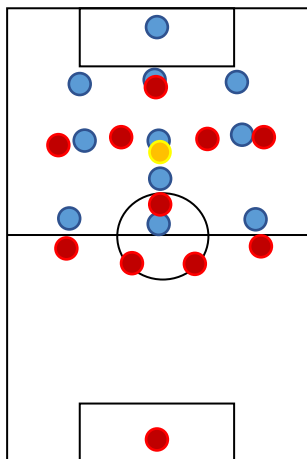
B



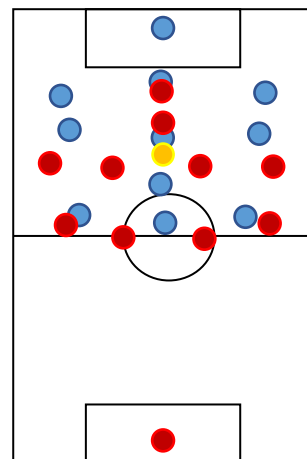
A



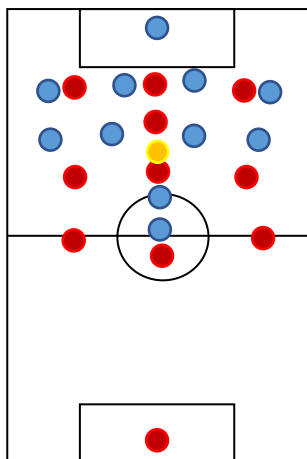
B



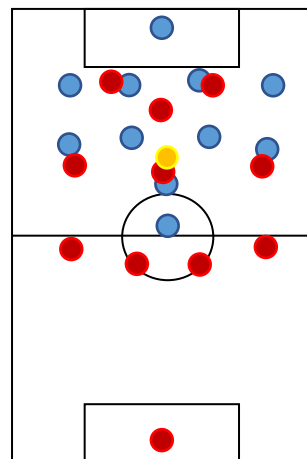
A



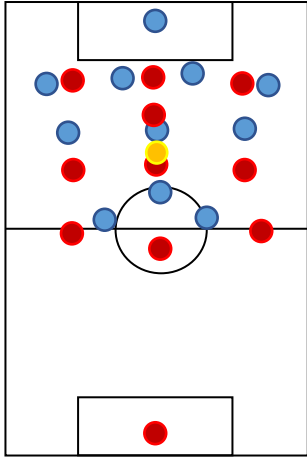
B



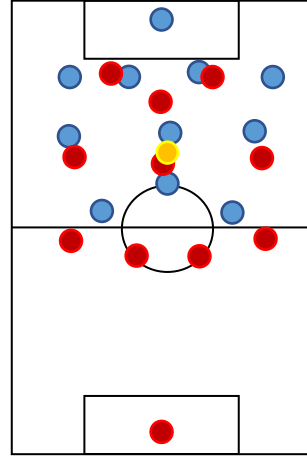
A



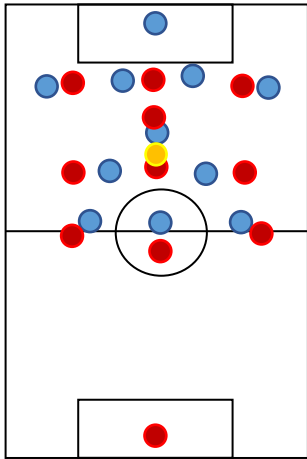
B



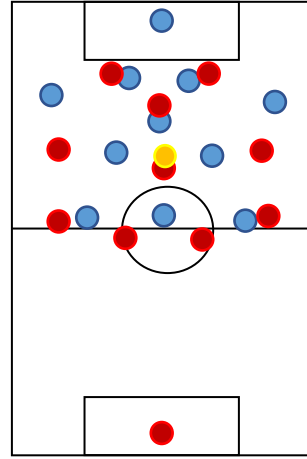
A



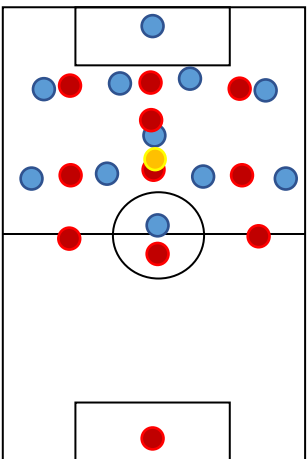
B



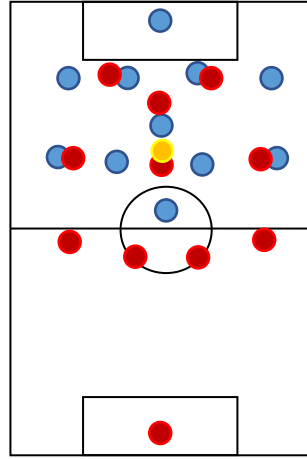
A



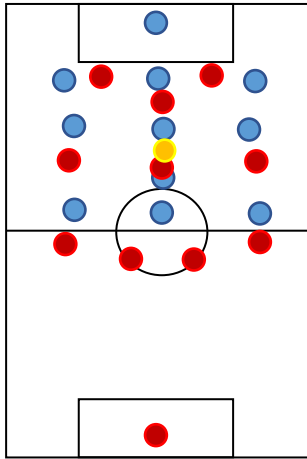
B



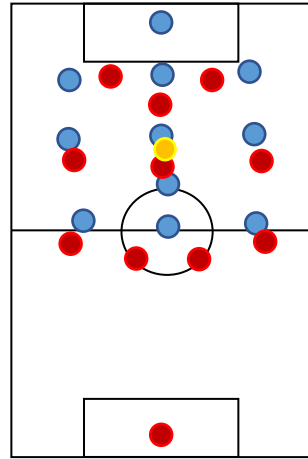
A



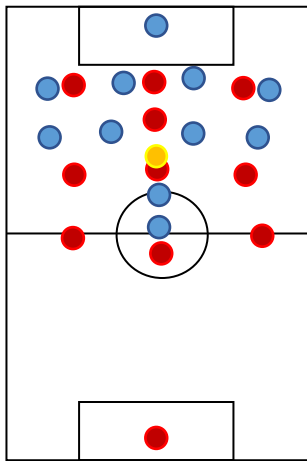
B



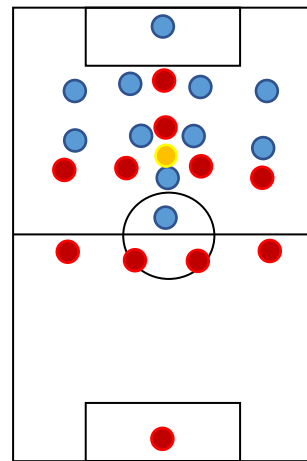
A



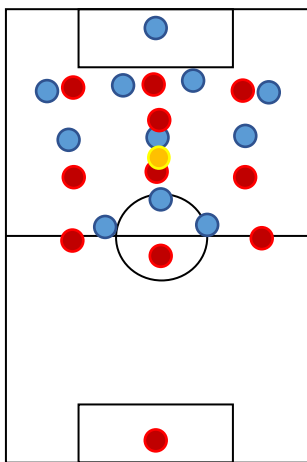
B



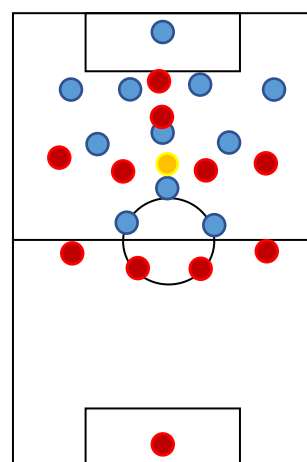
A



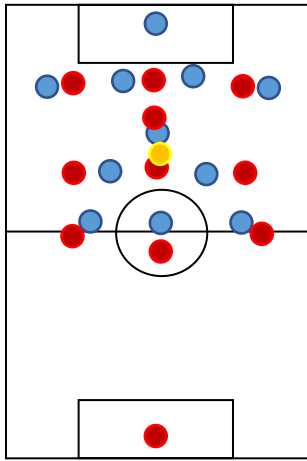
B



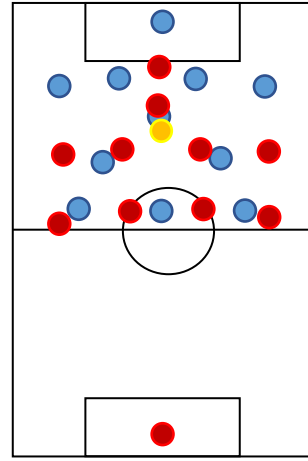
A



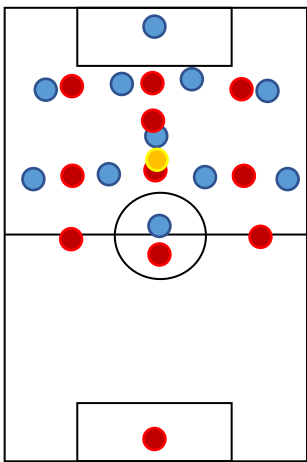
B



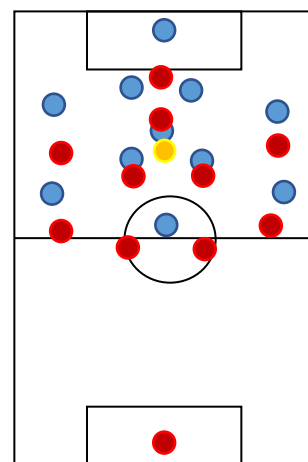
A



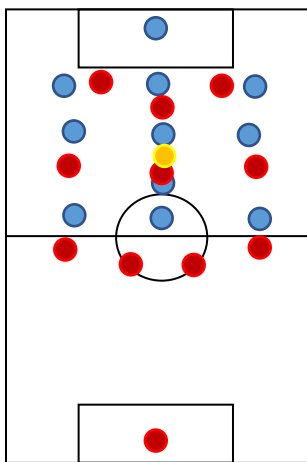
B



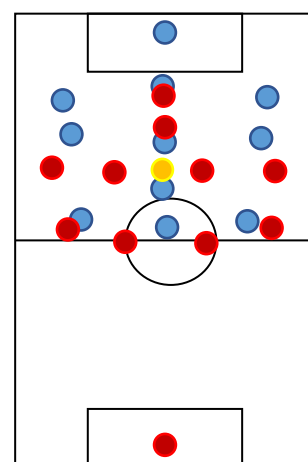
A



B



A



B