

# ARを利用したスポーツ観戦支援システムのための 光マーカの提案

A Light Emitting Markers for Spectator Sports Support system using Augmented Reality

●  
新井 浩志  
機械電子創成工学科 准教授  
平川 洋紀  
機械電子創成工学科 研究生  
田村 大地  
(株)リアルテック

●  
Hiroshi Arai  
Dept. of Innovative Mechanical and Electronic Engineering, Associate Professor  
Hiroki Hirakawa  
Dept. of Innovative Mechanical and Electronic Engineering, Research Student  
Daichi Tamura  
Realtec Inc.

●  
2016年9月16日受付

●  
Received : 16 September 2016

Image processing technology is increasingly used in sports videos in order to enrich the experience of watching a game. However, such technology is not usually intended to support the audience at a stadium. We previously developed a system that provides game information to the audience by means of multiple AR markers set at positions where people in the audience can see. This system makes it possible to obtain information in real time by viewing the AR marker through a smartphone. We found through experiments that the system works well in miniature, but when it comes to practical use, it is necessary for the marker to be recognized from far away. Moreover, the marker should not interfere with the watching of the game. To meet these requirements, we came up with a "light emitting marker" made from four LEDs, each of which repeats an original blinking pattern. The virtual object is displayed by recognizing the four blinking LEDs through a smartphone. Experimental results showed that the marker could be recognized from a distance of about 200 m, thus demonstrating that the light emitting markers will be effective in football stadiums.

キーワード：拡張現実，スポーツ観戦システム，光マーカ

## 1. はじめに

### 1.1 背景と目的

近年、サッカーなどのスポーツ映像を対象とした画像処理の研究がおこなわれている。スポーツ映像に画像処理を行うことで、様々な付加的な情報を視聴者に提供することができる。特に近年のスポーツ中継では、撮影した現実環境に仮想物体を表示させる拡張現実（AR：Augmented Reality）を用いて、サッカーのオフサイドラインや水泳の世界記録ラインを表示する技術が利用されている。拡張現実とは、カメラの位置・姿勢に合わせて仮想物体を表示することで現実空間に仮想物体が存在しているように見える映像を作り出す技術であり、スポーツ中継の視聴者に、より分かり易いスポーツ映像を提供することができる。一方で、試合会場で実際に観戦し、周囲の人々と感動を共有することもスポーツ観戦の醍醐味の一つである。しかし、試合会場で観戦している観客がスポーツ中継のテレビ映像を

携帯端末で見ていたとしても、中継しているカメラの視点と自分の居る場所から見た視点とは異なるため、試合情報を十分に受け取れるとは限らない。2020年に開催される東京オリンピックでは、多くの人々が試合会場に訪れて観戦することが予想され、今後、試合会場の観客への情報提供が増々求められるようになって考えられる。そこで本研究では、試合会場で観戦している観客に、それぞれの観客の視点でAR技術を用いて試合情報を提供するための4点式光マーカを提案する。

### 1.2 従来研究

観客1人1人の視点で仮想物体を表示するためには、各観客のカメラの位置と方向を取得する必要がある。そのため西氏によりスタジアムに複数のARマーカを配置するスポーツ観戦支援システムが提案された<sup>1)</sup>。このスポーツ観戦支援システムはスポーツ中継と同じ様な情報を、実際に

試合会場で観戦している観客に提供するためのシステムである。試合会場の観客が見える位置に複数のARマーカを設置する。観客は各々の席からスマートフォンを通してARマーカと会場を覗くことにより、試合情報をリアルタイムに得ることができる。システムのプロトタイプが作成され1m×1mのARマーカを屋外に立てかけて実験を行った。この結果、100m程度の距離までマーカを認識できることを確認できた。しかし、100m以上離れるとARマーカを読みとれず認識はできなかった。サッカースタジアムでは、観客席から反対側のマーカまでは200m程度離れている場合もある。認識率向上のためにARマーカを大きくした場合、観戦自体の妨げになりかねない。

一方ARマーカを用いないマーカーレスAR技術として早稲田大学の吉永氏は、画像中の直線から特徴量を抽出してマーカとすることを提案している<sup>2)</sup>。撮影された画像から直線を検出し、その直線を長軸として楕円を描いたマスク画像に含まれるSURF特徴量の集合をマーカとしている。しかしサッカースタジアムのフィールドの白線を直線として抽出することを考えた場合、スタジアムを見る角度と席の高さによっては白線を認識できない可能性がある。またフィールドはメインスタンドとバックスタンドのどちらから見てもほぼ同じ見え方となるため、観客がメインスタンド側とバックスタンド側のどちらを向いているかを区別できない。

広島大学の遠藤氏らはLEDを用いたマーカを提案している<sup>3)</sup>。8×8ドットの赤色LEDアレイを特定の発光パターンで点滅させる。動的に変化するLEDマーカをタブレット等のカメラで撮影し、連続する2枚の差分からLEDかどうかの判定を行う。LEDと判断された場合には発光している部分の4隅の座標を取得し、仮想物体の表示位置を算出する。しかしこのLEDマーカを長距離で利用するためには、西氏の研究のようにLEDマーカのサイズを2m×2mにしなければならない。このサイズのLEDマーカをサッカースタジアムのフィールド脇や観客席付近に配置した場合、観戦の妨げになることが予想される。

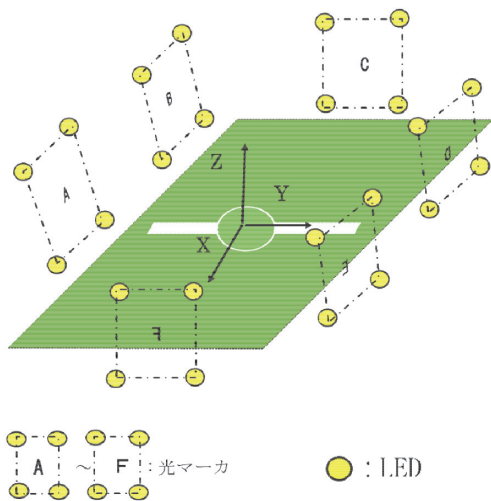


図1 光マーカ配置図

## 2. 4点式光マーカの提案

### 2.1 スポーツ観戦支援システムの概要

以下では本研究で提案する4点式光マーカを組み込むことを想定している観戦支援システムの概要を説明する。このシステムは閉じた空間で行われる競技を対象としている。また競技を行うフィールドは平地であること、観戦者はフィールドより高い位置から観戦することとする。

以下本システムでは、競技を行うフィールドをグラウンドと呼ぶ。図1の様事前にグラウンドの周囲や観客席に光マーカを設置する。解説者はテレビカメラの映像を通してグラウンドの任意の場所に試合情報を配置する。システムはこの映像のマーカを認識し、解説者が指定した場所を特定する。試合情報は拡張現実による仮想的な図形やテキストを用いて観戦に付加価値を与えるものとなる。観戦者は光マーカとフィールドをスマートフォン等の携帯端末のカメラを通して見る。マーカをカメラで認識することにより、グラウンドには解説者から指示された試合情報が表示される。システムには各光マーカの座標系とグラウンド座標系との変換行列を登録しておく。これにより各光マーカの物体表示座標系をグラウンドの中心を原点とするグラウンド座標系(X, Y, Z)に設定する。表示物体の位置はすべてグラウンド座標系から算出される。カメラを通していずれかの光マーカのうち最低一つ以上を写すことでカメラ座標系とグラウンド座標系の相互変換が可能となる。

### 2.2 4点式光マーカ

4点式光マーカは可視光を用いた光通信を行うことで、遠距離からのマーカ認識を可能にする。光マーカは、ある時間間隔で点滅を繰り返すLEDを用いる。これは4つのLEDを図2のように正方形の4隅に配置することで構成し、これを一組の光マーカとする。この四隅の見え方によって光マーカの向きを取得する。各々のLEDは別々の点滅パターンで発光させ、LEDがARマーカの四点のどの部分にあたるかを識別する。またLEDを点滅させることで、スタジアムの照明等の他の発光と区別する。従来のARマーカを認識する場合、二次元画像上よりマーカの黒枠を探し、その中身の画像によりARマーカとして認識していた。しかし、今回提案する光マーカは、枠と中身を必要とせず四隅のみを使って認識する。これによりLEDを数メートル離して配置できる。またLED単体の大きさは数十センチ程度なので観客席の邪魔にならない場所に配置することで観戦の妨げにはならない。また、LEDの光は、LEDが配置されている反対側の席から見た場合には、それほど大きな光には見えないので、観戦の妨げにはならない。従来のARマーカは明るさによって認識率が左右されるため暗所では使用が困難であるが、光マーカは光を用いるので夜間などの試合でも用いることが可能である。

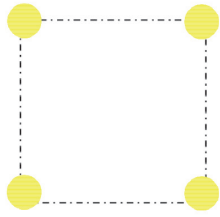


図2 光マーカ

### 2.3 点滅の仕組み

各LEDにはそれぞれ特定の点滅パターンを割り振る。点滅パターンは、8bitのコードを用いた周期的な点滅とし、携帯端末のカメラでこれを読み取ることで光マーカのLEDであると識別する。8bitコードを周期的に繰り返す場合、例えば”00000001”と”00001000”は同じ点滅として扱われ、8bit256通りの点滅パターンのうち、識別できる8bitコードは、表1に示す36通りのパターンとなる。点灯していない状態を’0’、点灯している状態を’1’、としている。表1の中で、”00000000”と”11111111”は点滅していない状態と区別がつかないので除外する。よって点滅パターンは、34通りとなる。これ以降8bitコードの1bit分の信号を1/8bitコードと呼ぶ。本研究では、30fpsのカメラを使用しており、1/8bitコードの送信を0.033秒(1f)で行えば、点滅パターンを認識することができるが、同期のずれが起こる場合があるので、最低1/8bitコードを0.066秒(2f)で送信することで点滅パターンを認識することができる。

### 2.4 画像処理とマーカ認識の流れ

以下では、カメラでLEDを撮影してから、光マーカとして検出するまでの処理の流れ記述する。まず取得した画像をグレースケールに変換したのちメディアンフィルタでノイズを除去し、二値化する。二値化処理後の画像では、複数の発光領域が抽出されるので、それぞれにラベリングを行い発光領域の重心座標やピクセル数などを取得する。ピクセル数が一定の範囲の領域をマーカ候補として保存する。以上の処理を連続するフレームに対して行い、各フレームで検出された重心座標が近い領域を同じLEDとみなし、その点滅パターンを判断する。このパターンが表1のどれかに一致した場合にLEDと認識する。さらに、1つのマーカを構成する4つのLEDを特定できたときに、1つの4点式光マーカを検出できたことになる。光マーカを検出できた場合、4点のLEDの座標情報を基に、マーカ座標系とグラウンド座標系の変換行列を求めることで仮想物体の表示が可能になる。この一連の流れを図3に示す。

## 3. システムの検証と考察

### 3.1 検証実験

2章で提案した4点式光マーカについて、2通りの検証実験を行った。本実験のプログラムでは点滅候補となった

表1 光マーカで用いる8bitコード

番号	8bitコード	番号	8bitコード	番号	8bitコード
1	00000000	13	00010111	25	00110111
2	00000001	14	00011001	26	00111011
3	00000011	15	00011011	27	00111101
4	00000101	16	00011101	28	00111111
5	00000111	17	00011111	29	01010101
6	00001001	18	00100101	30	01010111
7	00001011	19	00100111	31	01011011
8	00001101	20	00101011	32	01011111
9	00001111	21	00101101	33	01101111
10	00010001	22	00101111	34	01110111
11	00010011	23	00110011	35	01111111
12	00010101	24	00110101	36	11111111

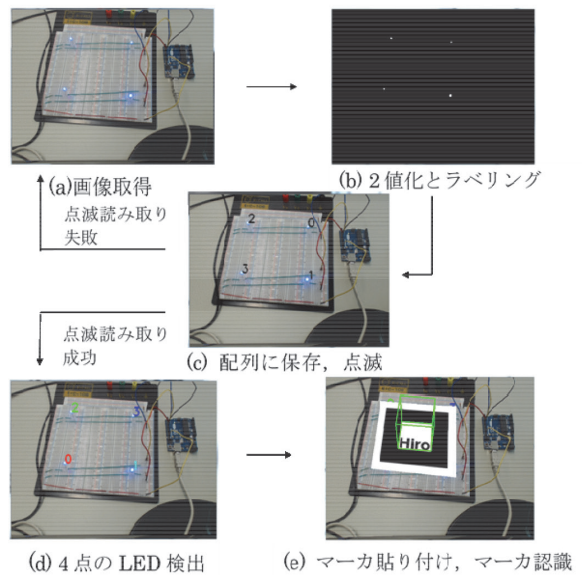


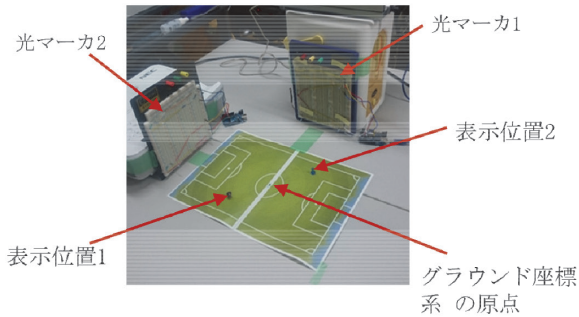
図3 認識までの流れ

領域の位置に黒色の数字を描画している。LEDの点滅と判断した場合、数字が何らかの色に変わる。よって数字が色付きで描画された時点で点滅を認識したことになる。また4つの点滅を認識した場合には仮想的にARマーカを貼り付け、物体を表示した場合を、マーカを認識したとする。

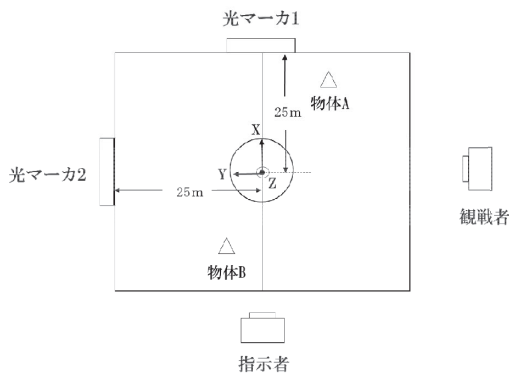
#### (1) ミニチュアを用いた座標共有実験

完成した光マーカの読み取りプログラムを使用し、ミニチュア環境での実験を行った。この実験では異なる端末2台がそれぞれ異なるマーカを認識した場合、表示する物体がグラウンド上で同じ位置に表示されるかを確認した。ブレットボード上に大きさ12cm×12cmの光マーカを作成し4つのLEDを各々特定のパターンで点滅させる。この





(a) ミニチュアでの実験環境



(b) レイアウト

図4 ミニチュアでの実験

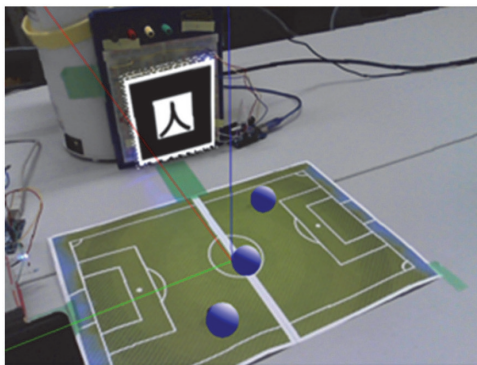
光マーカーを2つ準備し図4の様に配置する。解説者側は光マーカー1を、観戦者側は光マーカー2を見ているものとする。それぞれ異なる光マーカーを別々のタブレットで認識する。それぞれのタブレットはルータを介して座標情報を通信する。また光マーカーのグラウンド座標系の原点は、各々のマーカーの25cm前方に設定しておく。マーカーが正しく認識されるとそれぞれX, Y, Z軸がフィールド中央部に表示される。両者がこの状態になった時に、解説者側は原点と表示位置に表示物体を表示する。解説者側の端末では、端末画面をタッチすることにより、対応するグラウンド上に青い球の仮想物体が表示される。この仮想物体が観戦者側の端末にもグラウンドの同じ位置に表示されるかを確認した。以上の実験により、解説者側から指示された表示物体は観戦者側の端末上のグラウンド上の同じ位置に表示されることを確認した。このことから、異なる光マーカー同士での表示物体のグラウンド上での位置共有は可能であることが分かったので、本システムでの光マーカーの使用は有効であると判断した。

## (2) 屋外での光マーカーを用いた認識実験

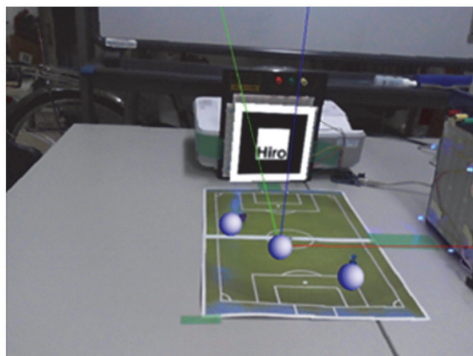
本実験では、実サイズの光マーカーを作成し、光マーカーの最大認識距離を検証した。実験器具を図6に示す。この器具に照射角60度、明るさ1800ルーメンのLEDを4つ固定した。光マーカーは1辺の長さが1.8mと、3.6mの場合の2通りについて実験をおこなった。タブレットで光マーカーを認識できた場合には、マーカー中央にX, Y, Zを表す3軸を仮想物体として表示した。最大認識距離は3軸の仮想物体がある程度持続して表示される距離とした。

まず、夕方の太陽光の影響がほとんど無い場合について、光マーカーの1辺の長さが最大認識距離に与える影響について検証した。この結果、1辺1.8mの場合の最大認識距離が45mであったのに対して、1辺3.6mの最大認識距離は100mとなった(図7)。このことから、光マーカーの1辺を長くすることにより、最大認識距離を大きくできることがわかった。また、認識可能角度については、タブレットをマーカーに向けて固定したのち、光マーカーの方向を回転させて認識できるかを確認した結果、30度では認識可能であったが、35度では認識できなかった。このことから、LEDの照射角度の範囲内であれば光マーカーを認識できることがわかった。本提案の4点式LEDマーカーでは、1辺の長さを長くするほど、最大認識距離を長く出来るが、いかに1辺の長さを長くしたとしても、1つのLEDの点滅を認識できない距離まで離れてしまえば、光マーカーとして認識できないと考えられる。そこで、1つのLEDの点滅を認識できる最大距離を検証する実験をおこなった。

本学津田沼キャンパスで最大直線距離200mを確保できる場所において1つのLEDの点滅を認識できる距離を検証した結果、最大の200m離れた点からも、1つのLEDを認識できた(図8)。このことから、3.6mよりも大きい、例えば1辺が7.2mのLEDマーカーを作成すれば、200m離



(a) 解説者側視点



(b) 観戦者側視点

図5 仮想物体表示の様子



(a) LED 間隔 1.8m の光マーカ



(b) LED 間隔 3.6m の光マーカ

図 6 屋外での光マーカ実験器具



図 7 3.6 m × 3.6 m マーカの約 100 m 地点での  
マーカ認識成功



図 8 200 m 地点から LED の点滅を認識した様子

れた地点からも認識できると考えられる。

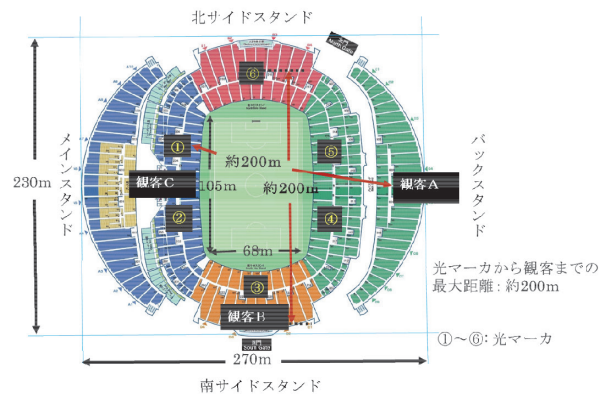
### 3.2 考察

検証実験の結果、以下のことがわかった。(1)の実験から、4点式光マーカによる座標共有は可能であることが示された。また、(2)の実験から、光マーカの1辺の長さを長くすることで最大認識距離を長くできること、LEDの照射角の範囲内であれば光マーカを認識できること、1つのLEDの点滅は200m以上離れていても認識できることがわかった。

以下では、本実験の結果より、実際のスタジアムに4点式光マーカを設置することの可能性について検討する。

まず1つのLEDの点滅の最大認識距離について、今回は1800ルーメンのLEDで200m離れても認識できることを確認したが、さらに強力なLEDを用いた場合に1つのLEDの点滅を認識できる距離が最大何mかを試算した。1800ルーメン、照射角60度の200m地点での照度は0.05ルクスとなる。一方、市販のLEDで光量6000ルーメンのものも入手可能である。このLEDを用いた場合に照度0.05ルクスとなる最大距離は750mであった(「明るさ計算のサイト」<sup>4)</sup>より)。従って、光量大きいLEDを用いれば、通常スタジアムであればどの位置からでもLED1つの点滅を認識できると考える。

そこで以下ではさらに、「埼玉スタジアム2002」<sup>5)</sup>(図9)を想定した場合の光マーカの具体的な設置案を提案する。この図において、①～⑥に光マーカの設置位置、光マーカから遠い位置に居る観客として観客A、観客Bを想定する。光マーカ①と観客A、光マーカ⑥と観客Bの距離は約200mとなる。また、光マーカまでの距離が短い、すなわち携帯端末画面内に必ず1つ以上の光マーカを捉えることが難しい位置に居る観客として観客Cを想定する。観客Cからバックスタンド側最前列までの距離は約70mとなる。光マーカの設置について以下の(1)～(3)について検討する。





(1) マーカ認識距離とLED配置間隔

まず1つは200mが観客と光マーカが最も離れた距離となることから200mでの認識を実現できる4点式光マーカの1辺の長さを検討する必要がある。1辺が1.8mの光マーカの最大認識距離が約45m、1辺が3.6mの光マーカの最大認識距離が約100mであった。このことからカメラから仮想ARマーカを見た時の視野角が約1.088度となる。従ってこの視野角約1.088度と認識距離200mから、最低でも1辺が約7.6mの光マーカを用いることで200mの距離からの認識が可能になると考える(図10)。

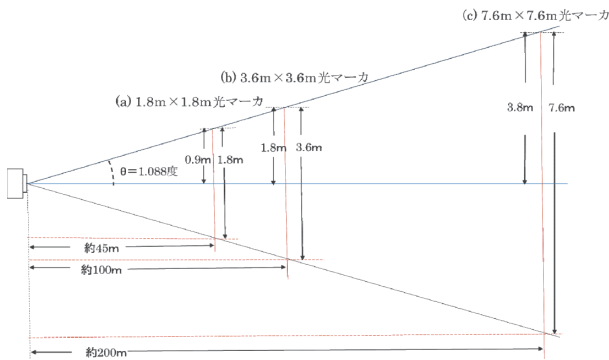


図10 光マーカの大きさと認識距離

(2) 使用するLEDの明るさと認識角度

2つ目に使用するLEDについてである。前提として日光の影響を考慮しない場合LEDは1800ルーメン以上の光の強さがあれば可能である。また、光マーカ(照射角度60度のLEDの場合)の1つのLEDの位置に、3つLEDを図11の様に3方向に向けて配置することで認識可能角度を180度にすることが可能である。

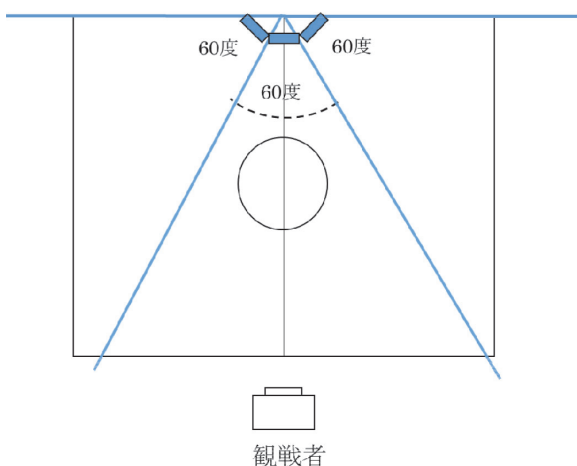


図11 LEDをそれぞれ3個配置にした場合の認識角度

(3) 携帯端末の画角を考慮した光マーカの設置間隔

3つ目に携帯端末の画角に合わせて光マーカの設置間隔

を検討する。iPhone 6を例として考えた場合、画角は約73度である。図12の観客CからiPhone 6でグラウンドを見た際に、グラウンドの反対側までの距離が約70mあることからカメラは70m先で横幅約100mの幅を捉えている。7.6m間隔の光マーカを使用した場合、図13の様に光マーカの横幅7.6mを2組分の幅を100mから引いて、84.8m間隔で複数の光マーカを設置することで、カメラがどの方向を向いていた場合でも必ず1つ以上の光マーカを画面上に捉えることができるようになる。よって埼玉スタジアムでは図9の様にメインスタンドとバックスタンドにそれぞれ2つずつ、ゴール裏になる北サイドと南サイドには1つずつの4点式光マーカを設置することにより、スタジアム観客席のどこ場所からでも1つ以上の4点式光マーカを画面上に捉えることができるようになる。

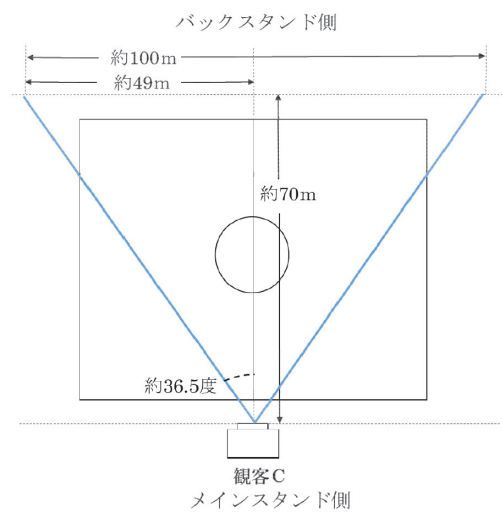


図12 客席中央最前席からカメラが捉える横幅

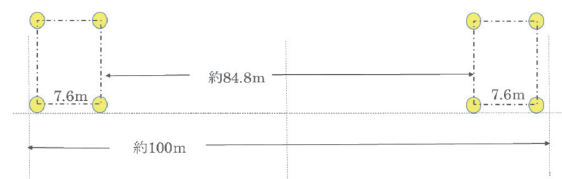


図13 光マーカ間設置間隔

以上の3点を考慮し、図9の様に埼玉スタジアムに光マーカを設置した場合、理論上システムを利用できると考える。

4. まとめと今後の課題

本研究では、西氏の拡張現実を利用したスポーツ観戦支援システムの研究<sup>1)</sup>の課題であるマーカ技術を改善するため4点式光マーカを提案した。本手法は4つのLEDを用いて光マーカを作成し、光マーカの点滅を検知することで従来研究と同様の仮想物体の表示を行った。4点式光

マーカと光マーカを認識するプログラムを作成し検証実験を行った。実験の結果、光マーカが有効であることを確認した。また、光マーカの1辺の長さを長くすることで光マーカの認識距離を長くすることができること、点滅を認識できる距離ではLEDの照射角度の範囲内から認識できること、日光の影響をあまり受けない場合では1800ルーメンのLEDを用いることで200mの点滅認識が可能であることが分かった。これらの検証結果から「埼玉スタジアム2002」<sup>5)</sup>を例に実装方法を検討した。3.2節の手法で実装することにより理論上システムを使用できることを示した。

今回実装したプログラムは手振れ補正機能を備えていない。このため、光マーカをプログラムで認識する際、認識が終わるまでカメラを固定し、画面上のLEDの位置がずれないようにする必要がある。この問題に対応するため手振れ補正機能を実装する必要がある。また、撮影中に携帯端末をパンすることを想定した場合、LEDの点滅スピードを速くし、認識をより高速化することが必要である。今回の実験は太陽光の影響が少ない環境で行ったが、晴天の昼間は最大認識距離が48mまで短くなることを確認している。今後はLEDにフードをつける等により日光の影響への対策を検討する必要がある。

## 参考文献

- (1) 西真悟, “拡張現実を利用したスポーツ観戦支援システムについて”, 電子情報通信学会, 2015年総合大会, ISS-P-151, 2015.
- (2) 吉永浩気, “特徴抽出を利用したAR向けマーカの作成”, 早稲田大学基幹理工学研究科, 情報理工学専攻修士論文, 2011.
- (3) 遠藤裕雄, 宮尾淳一, “拡張現実における位置認識のための動的発光マーカの開発”, 信学技報, PRMU2012, 84-127, pp.359-364, 2012.
- (4) “明るさ計算”, <http://tomari.org/main/java/hikari.html> (2016/01/29アクセス)
- (5) “埼玉スタジアム2002”, <http://www.stadium2002.com/> (2016/01/29アクセス)
- (6) 山川健司, 梶克彦, 河口信夫, “距離画像による空間情報マッチングに基づくマーカーレスARシステムの設計と実装”, 情報処理, Vol.4, No1, 12-21, 2013.

