

# 3次元位置センサと俯瞰映像モニタを用いた 自由視点映像提示インタフェース

渡邊哲哉<sup>†</sup> 北原格<sup>‡</sup> 亀田能成<sup>‡</sup> 大田友一<sup>‡</sup>

† ‡ 筑波大学 大学院システム情報工学研究科 知能機能システム専攻  
〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1

E-mail: † twatanabe@image.iit.tsukuba.ac.jp, ‡ {kitahara | kameda | ohta}@iit.tsukuba.ac.jp

**あらまし** サッカーシーンを対象とした自由視点映像提示インタフェースを提案する。両手に持った3次元位置センサを用いて、自由視点映像を撮影する仮想カメラの位置・姿勢を設定することにより、直感的なカメラ操作を実現する。また、サッカーシーンを俯瞰した映像を観察しながら仮想カメラ操作を行う提示方式を採用することにより、観察空間で発生している事象を把握しながらカメラを操作することが可能となる。プロトタイプシステムを用いて評価実験を行い、提案方式の有効性を確認する。

**キーワード** 自由視点映像, インタフェース, 3次元位置センサ

## An Interface for Capturing Free-Viewpoint Video by Using a 3D Position Sensor and a Overhead-View Display

Tetsuya WATANABE<sup>†</sup> Itaru KITAHARA<sup>‡</sup> Yoshinari KAMEDA<sup>‡</sup> and Yuichi OHTA<sup>‡</sup>

† ‡, Tsukuba University 1-1-1 Tennohdai, Tsukuba-shi, Ibaraki, 305-8573 Japan

E-mail: † twatanabe@image.esys.tsukuba.ac.jp, ‡ {kitahara | kameda | ohta}@iit.tsukuba.ac.jp

**Abstract** This paper proposes an interface system for 3D free-viewpoint video of soccer scene by using a 3D position sensor (3D Tracker). A user watches a 3D free-viewpoint by observing a miniature soccer stadium set on a table top. In order to utilize a human hand that can do dexterous manipulation, we use 3D Tracker. to input 3D position and orientation of a virtual camera that captures a 3D free-viewpoint video. The proposed system displays overhead view on the table top where a user manipulates the virtual camera. By browsing this overhead view, it is possible to understand the position of players and a ball in a virtualized soccer scene. We develop a pilot system and show the effectiveness of our proposed method by conducting on the subjective evaluations.

**Keyword** Free-Viewpoint, Interface, 3D Position Sensor

### 1. はじめに

コンピュータの処理能力や映像技術の向上に伴い、観察者が好みの視点位置を選択し、そこからの見え方を観察することが可能な“自由視点映像”の研究が盛んに行われている[1]-[2]。特に、サッカースタジアムのような大規模空間では、従来の撮影技術では困難であった、フィールド内部からの映像や、上空からフィールド全体を見下すような映像を撮影・提示することが可能となるため、自由視点映像技術の応用対象として期待が高まっている。

Koyamaらは、個々の選手を1枚の平面で近似する“人物ビルボード”とよばれる手法を用いて、ライブ配信が可能な自由視点映像の提示システムを提案して

いる[3]。このシステムは、マウスのボタンと上下左右の移動を組み合わせることにより、仮想カメラの位置・姿勢を操作するインタフェースを備えている。しかし、仮想カメラの位置・姿勢を制御するためには、3次元空間中での平行移動・回転とズームの計7次元の自由度が必要であるため、マウスによる簡単な操作（ボタンのON/OFFと2次元移動）で入力可能な3次元の情報では、情報量が不足してしまう。その結果、状況がめまぐるしく変化するサッカー観戦において、注目している選手やボールを映像中から見失わないように仮想カメラを操作するためには、ある程度の熟練が必要となる。

本稿では、この問題を解決し、より多くのユーザに気軽に自由視点映像を楽しんでもらうために、より直

感的に仮想カメラの制御できる自由視点映像提示インタフェースを提案する。

以降、2節では、自由視点映像のインタフェースに関する従来研究を紹介し、その有効性や問題点から、提案システムに要求される条件を示す。3節では、提案インタフェースの概要について述べる。4節では、自由視点映像の生成処理を説明し、5節では、3次元位置センサを用いて仮想視点位置・注視点位置を獲得する手法と視点位置の調整方法について述べる。6節では、新たに提案するフィールドインタフェースについて述べる。7節では提案システムを用いた従来システムとの比較実験について述べ、最後にまとめを行う。

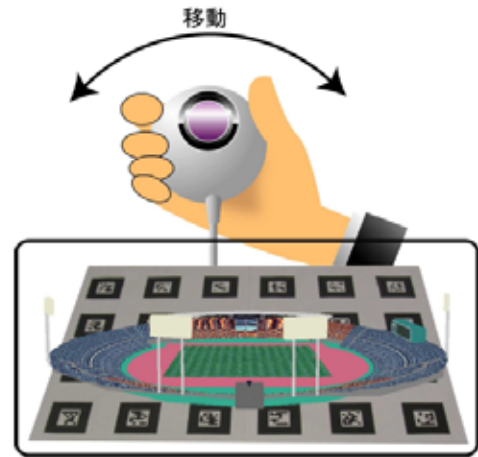


図1．箱庭スタジアム

## 2. 関連研究

橋本らは、従来の自由視点映像で用いられている、マウスを使用するインタフェースの代わりに、複合現実感を用いた新しいインタフェースである箱庭スタジアムを開発した[4]。箱庭スタジアムとは、図1に示すように、机上スペース程度のサイズに縮小された仮想サッカースタジアムを ARToolkit[5]を用いて、机上に重畳提示したものである。観察者は、小型カメラで撮影された映像に重畳された仮想スタジアムを観察することにより、自由視点映像を視聴する。小型カメラを仮想カメラの観察視点に見立てて動かすことで、従来のインタフェースに比べ、より直感的に視点位置の指定が可能となる。



図2．稲本らのMRサッカー提示

しかし、箱庭スタジアムの操作性は、ARToolkitのマーカの検出精度に大きく依存し、マーカに対する小型カメラの俯角がある程度大きくなければ、仮想スタジアムを安定して重畳提示することが困難である。また、少なくとも一つのマーカが小型カメラで撮影される映像中に写り込んでいる必要がある。さらに、小型カメラを向ける先は、単なる机であるため、モニタ上に複合現実提示されたサッカーシーンを見ながら仮想カメラの操作を行わなければならない。

稲本ら[6]は、多視点のサッカー映像から視点の内挿によって観察者の視点位置に相当する仮想視点映像を生成し、HMD(Head Mounted Display)を用いて図2に示すように、現実空間の模型上にサッカーシーンの頂上提示を行う手法を開発した。この手法では、HMD映像に写り込んだフィールドの白線などの自然特徴量を用いることでマーカなどを必要とせず、仮想視点の位置・姿勢を決めることができる。その際、撮影する空間を観察しながら仮想カメラを制御するため、状況を把握したカメラ制御が可能であるといった利点がある。しかし、フィールドに近い位置からの映像を提示したい場合、フィールドとなる模型を大きくする、もしくはHMDと模型を近づける必要がある。

上述した二つのインタフェースに共通していることは、どちらも直感的に仮想カメラの位置・姿勢を決定することができることである。自由視点映像を快適に視聴するためには、この条件は必須であろう。図3に、本研究で提案する自由視点映像提示インタフェースを示す。本提案システムでは、橋本らの方式のように、人間の器用な手を用いて仮想視点を直接制御することにより、簡単な入力操作を実現する。また、仮想カメラを向ける先にサッカーシーンの俯瞰映像を提示することにより、稲本らの方式のように撮影空間の状況を把握しながら仮想カメラを制御することができるという特長を有する。

## 3. 自由視点映像提示インタフェース

提案する自由視点映像提示インタフェースの実現方法について述べる。人間の手を用いて仮想カメラを3次的に操作するために、提案方式では3次元位置センサを用いる。3次元位置センサのマーカ(以降、3次元マーカ)を二つ用意し、仮想視点位置と注視点位置を同時に指定することにより、ユーザが、仮想カメラでシーンの何処を撮影しているのか直感的に理解

できるようにする。

3次元マーカを動かすことによって仮想視点・注視点位置を制御するため、仮想視点・注視点と実世界に存在する机（フィールド面）との位置関係が把握しやすい。一方で、仮想世界に存在する選手やボールと仮想視点・注視点の位置関係は直感的には理解しにくい。そこで提案方式では、3次元マーカの操作を行う実空間にフィールドを俯瞰した映像を提示する“フィールドインタフェース”を導入する。俯瞰映像を提示することにより、観察者は、実世界・仮想世界双方に対し、より直感的に撮影空間を把握し、容易に仮想視点の位置・姿勢を決定することが可能となる。

提案方式を用いて自由視点映像を生成・提示する処理の流れについて述べる。まず、実空間において、サッカーフィールドを重畳する領域を指定する。具体的には、机など提示対象となる領域の四隅に3次元マーカを配置し、それらの位置を計測することにより、実世界（大型ディスプレイ）と仮想世界（フィールド面）の3次元対応関係を獲得する。この指定された領域に、自由視点映像技術を用いて生成したフィールド俯瞰映像を提示することにより、フィールドインタフェースを実現する。次に、仮想視点の位置と注視点の位置を表す3次元マーカを計測し3次元位置を獲得する。視点位置から注視点位置に向けたベクトルを計算することにより、仮想カメラの位置・姿勢を求め、仮想的に撮影される映像が生成・提示される。



図3．提案インタフェース概要

#### 4. 自由視点映像生成法

図4に提案方式の構成を示す。自由視点映像の生成には、Koyamaらの人物ビルボード方式を用いる。シーン解析部では、2台のカメラを用いて選手の3次元位置を推定する。自由視点映像生成部では、シーン解析部で獲得された選手の3次元位置に人物ビルボードを配置し、多視点映像から抽出した選手テクスチャを

マッピングすることにより、選手の3次元モデルを生成し、データサーバへ転送する。自由視点映像提示部では、観察者が指定した仮想視点と注視点の3次元位置から仮想カメラの位置・姿勢を算出し、それをデータサーバ部に送信する。データサーバ部では、自由視点映像提示部から送られてきた仮想視点からの見え方の映像を生成し、自由視点映像提示部に送信する。

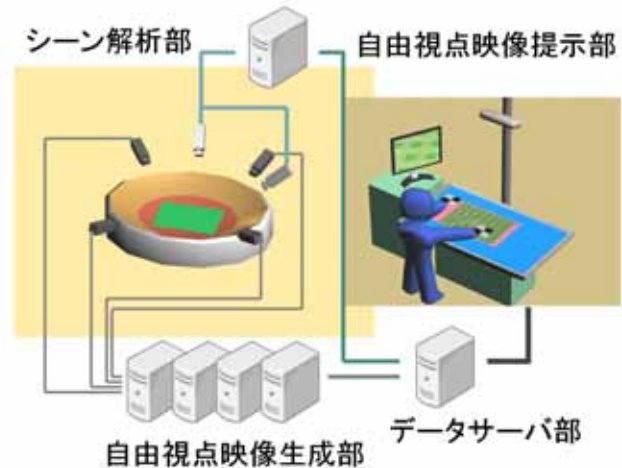


図4．自由視点映像システム全体図

#### 5. 仮想カメラの位置・姿勢の獲得

仮想視点からの映像を提示するために必要な、仮想視点と注視点の位置を入力する方法について述べる。

##### 5.1. 3次元位置センサ

本研究では、3次元位置センサとして Claron Technology社製の Micron Tracker[7]を用いる。Micron Trackerは、格子状のビジュアルマーカを2台のカメラを用いてステレオ視することにより、マーカの3次元位置を計測することが可能である。Micron Trackerの計測範囲は最大で  $115 \times 70 \times 55$  [cm] となっている。フィールドのサイズが小さい場合、手ブレなどの影響により3次元マーカが微小に変動したとしても、相対的には大きな仮想視点・注視点の位置変化が生じてしまう。そこで、今回フィールドサイズを計測範囲内できるだけ大きくなるように設置した結果、A3サイズとほぼ同じ大きさになった。

##### 5.2. 仮想視点・注視点位置の獲得

3次元マーカの計測結果から、仮想視点・注視点の3次元位置を算出する手法について述べる。なお、観察者が容易に操作できることを目的とするため、仮想視点映像は、光軸周りには回転させないものとする。

###### 5.2.1. 座標系の変換

図5に示すように、自由視点映像処理は、フィールドの角のひとつを原点とし、サイドラインをX軸、ゴ

ールラインを Y 軸とするフィールド座標系  $C_f=(X_f, Y_f, Z_f)$  を基準に行うこととする。一方、3次元マーカの計測値は、Micron Tracker の中心を原点とした3次元位置センサ座標系  $C_c=(X_c, Y_c, Z_c)$  を基準としている。フィールド座標系における仮想視点の位置を得るためには、 $C_c$  から  $C_f$  への変換処理が必要である。この座標の変換式は、回転行列  $R$  と平行移動ベクトル  $T$  を用いて、以下に示す剛体変換によって実現される。

$$\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} X_f \\ Y_f \\ Z_f \end{bmatrix} + T \quad (1)$$

この  $R, T$  を求める処理について述べる。まず、実空間においてサッカーのフィールドとなる面（大型ディスプレイ面など）を決定する。図6に示すように、フィールドの頂点となる3ヶ所に3次元マーカを配置し、Micron Tracker を用いて各々の  $C_c$  における3次元位置

$$\begin{aligned} \alpha_c &= (X_{c_\alpha}, Y_{c_\alpha}, Z_{c_\alpha}) \\ \beta_c &= (X_{c_\beta}, Y_{c_\beta}, Z_{c_\beta}) \\ \gamma_c &= (X_{c_\gamma}, Y_{c_\gamma}, Z_{c_\gamma}) \end{aligned} \quad (2)$$

を計測する。獲得した3点のうち点  $c_\gamma$  をフィールド座標系の原点とすることにより、平行移動成分

$$T = \begin{bmatrix} X_{c_\gamma} \\ Y_{c_\gamma} \\ Z_{c_\gamma} \end{bmatrix} \quad (3)$$

が求まる。次に、 $C_c$  におけるベクトル  $c_\alpha c_\gamma, c_\beta c_\gamma$  をそれぞれ正規化し、正規化ベクトル  $nX, nY$  を生成する。この正規化ベクトルの外積として面  $XOY$  に対して垂直な正規化ベクトル  $nZ$  が算出される。回転行列  $R$  は、この3本のベクトルで構成される正規直行基底  $nX, nY, nZ$  を用いて以下のように表される。

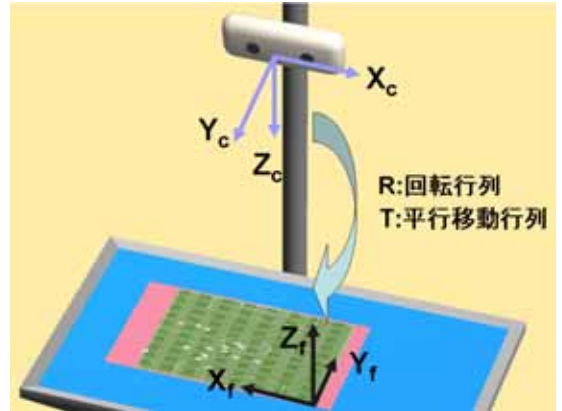


図5 . 3次元位置センサ座標系とフィールド座標系

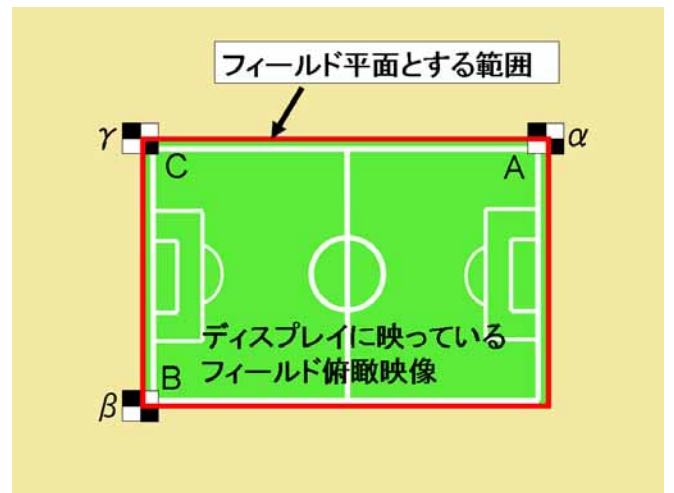


図6 . フィールドインタフェースとマーカの関係

$$R = [nX, nY, nZ] \quad (4)$$

$R$  は  $C_f$  から  $C_c$  への回転行列であるため、この逆行列  $R^{-1}$  を求めることで、 $C_c$  から  $C_f$  への回転行列が求まる。以上のようにして求まる剛体変換を用いることにより、式(5)に示すように、センサ座標系  $C_c$  で検出される仮想視点の3次元位置  $M_c=(X_{c_m}, Y_{c_m}, Z_{c_m})$  から、フィールド座標系  $C_f$  における仮想視点位置  $M_f=(X_{f_m}, Y_{f_m}, Z_{f_m})$  を算出する。

$$\begin{bmatrix} X_{f_m} \\ Y_{f_m} \\ Z_{f_m} \end{bmatrix} = R^{-1} \left( \begin{bmatrix} X_{c_m} \\ Y_{c_m} \\ Z_{c_m} \end{bmatrix} - T \right) \quad (5)$$

### 5.2.2. 視点位置の平滑化

Micron Tracker は1mm未満の誤差で3次元計測が可能であるため、マーカを持つ観察者の手ブレの影響を強く受ける。そこで、式(6)に示すように、過去4フレームの仮想視点・注視点位置情報を用いて平滑化した値を、仮想視点・注視点位置とすることにより、



手ブレによる画面の揺れを軽減する。

$$M_f(k) = \frac{\sum_{n=k-4}^k \text{mask}(k) * M_f(n)}{\sum_{n=k-4}^k \text{mask}(n)} \quad (6)$$

このとき、 $M_f(k)$ は、 $k$ 番目のフレームで計測された視点位置・注視点の3次元位置、 $\text{mask}(n)$ は  $n$ 番目のフレームで得られた3次元計測値に対する重みである。

オクルージョンなどが原因で3次元マーカが計測できなかった場合は、仮想視点・注視点位置マーカ両方が計測されるまで、最後に計測された視点位置・注視点位置情報を保持する。

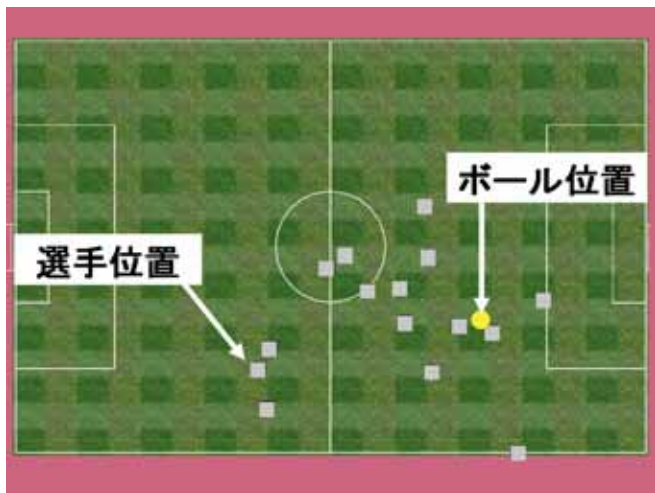


図7．フィールド俯瞰映像

## 6. フィールドインタフェース

### 6.1. フィールド俯瞰映像

提案システムでは、自由視点映像提示インタフェースに、図7のようなフィールド全体を見ることが可能なフィールド俯瞰映像を追加する。

フィールド中央の真上にフィールド全体を見渡すように位置・姿勢を設定した仮想カメラを設置し、その映像を仮想的に撮影する。生成されたフィールド俯瞰映像は、実世界でフィールド面とする机の上に設置したディスプレイに提示される。このとき、図7に示すように、5節で述べた3次元マーカ、 $M_{f\_gp}$ 、 $M_{f\_vp}$ にフィールド俯瞰映像のコーナーA, B, Cを一致させることにより、描画されているフィールド俯瞰映像とフィールド座標系を一致させる。フィールド俯瞰映像中には、ボールの位置、選手の位置をそれぞれ円形、四角のCGオブジェクトで表示する。選手、ボールの位置を表示することによって、観察者は仮想空間の状況を簡単に確認することができる。観察者は、フィールド俯瞰映像中の注目したい選手やボールのCGオブジェ

クトの上に注視点位置マーカを置くことにより、簡単に仮想カメラの注視点位置を決定することができる。

### 6.2. 仮想カメラの位置・姿勢

仮想カメラの視点位置・注視点位置を決めるためのマーカは5節で述べた方法で獲得する。仮想カメラの視点位置は  $C_f$ における視点位置マーカの座標値  $M_{f\_vp}$ である。仮想カメラの姿勢は、注視点位置マーカの  $C_f$ での座標値  $M_{f\_gp}$ から  $M_{f\_vp}$ の差を単位ベクトルにした方向を向き、式(7)で示される。

$$e = \frac{M_{f\_gp} - M_{f\_vp}}{|M_{f\_gp} - M_{f\_vp}|} \quad (7)$$

このとき  $e=(X_{f\_e}, Y_{f\_e}, Z_{f\_e})$ が仮想カメラの姿勢ベクトルとなる。



図8．実験風景

## 7. 実験

### 7.1. 実験環境

提案する自由視点映像インタフェースの有効性を検証するために、従来のマウスデバイスを用いた自由視点インタフェースとの比較実験を行う。インタフェース以外の環境をそろえることにより、インタフェースの違いに注目した評価を実現する。自由視点映像生成・提示処理に使用する計算機は同一のものとし、提示映像のフレームレートを60[fps]に統一した。

構築した実験環境を図8に示す。プラズマディスプレイを画面が上を向いた状態で設置し、フィールド俯瞰映像を提示する。マーカの検出範囲を広くするために、Micron Trackerをフィールド俯瞰映像の真上に設置する。また、従来のインタフェースであるマウスによる実験で仮想視点からの映像を提示するディスプレイは、提案システムのインタフェースで仮想視点映像を表示するディスプレイと同じものを用いた。

被験者は、20代の男性5名で、いずれの被験者も、

提案インタフェース，従来インタフェースともに今回で初めて使用する．操作に慣れてもらうために，5分程度それぞれのインタフェースを実際使用してもらった後，実験を行う．

## 7.2. 視点移動実験

フィールドインタフェースの有効性を示すために，観察者にある物体を一定以内の距離で観測できるような視点からの映像を提示してもらう際に，どの程度時間がかかるのかに関する実験を行った．ここで所要時間が短くなるほど，仮想視点映像中で注目物体を見失ってしまった場合などに，いち早く注目物体を再補足できることになる．

実験開始時には，予め定めた位置に仮想視点が設置されている．被験者には，静止しているボールを一定以上の大きさで観測できるような視点位置に仮想カメラを移動するように指示を出し，その作業にかかる時間を計測する．

実験は3回行い，それぞれ以下に示す場所にボールを提示する．

- ・ scene1:開始時の視点位置から遠いが，仮想視点の位置を移動させるだけで見つけることができる位置
- ・ scene2:開始時の視点位置から遠く，仮想視点の位置と姿勢を変化させなければ見つけることが困難な位置
- ・ scene3:開始時の視点位置から近いが，仮想視点の位置と姿勢を変化させなければ見つけることが困難な位置

実験結果を図9に示す．従来のマウスによるインタフェースに比べ，提案インタフェースでは，指定された視点位置まで移動する時間が大幅に低減されていることがわかる．これは仮想視点映像内でボールが確認できない場合でも，フィールドインタフェースに表示されるボールの位置をみることによって，ボールを探す時間が短縮できたためである．また，提案手法では，フィールドインタフェースに表示されているボールの位置に注視点位置マーカをかざすだけで，容易にボールを仮想視点映像内に収めることができることも，その一因と考えられる．

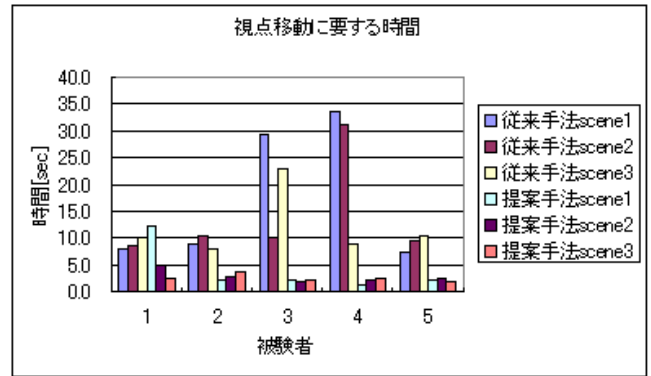


図9. 実験結果

## 8. おわりに

直感的で簡単に視点位置・注視点位置を指定することができる3次元位置センサと俯瞰映像提示ディスプレイを用いた自由視点映像提示インタフェースを提案した．仮想視点からの映像以外に，新たにフィールドを上空から見下ろし，そこに選手，ボールの位置を表示することにより，それぞれの位置関係を容易に判断することが可能である．従来の提示方式で採用されていたマウスを用いた仮想カメラ制御インタフェースと提案方式の比較実験を行い，フィールドインタフェースの有効性を確認した．

今後の課題としては，システムの操作性についての実験や3次元センサマーカのオクルージョンが起こった際の対処方法，生成映像の印象評定を含めた評価実験を検討している．

## 文 献

- [1] T.Kanade,P.Rander,P.J.Narayanan,"Virtualized Reality: Constructing Virtual Worlds from Real Scenes",IEEE Multimedia 1997,Vol.4,No1,pp.34-47
- [2] 谷本正幸, "自由視点テレビ", 三次元映像フォーラム, Vol.15 No.3, pp.17-22, 2001
- [3] Takayoshi Koyama,Itaru Kitahara,Yuichi Ohta,"Live Mixed-Reality 3D Video in Soccer Stadium",ISMAR 2003,pp.178-187
- [4] K.Hashimoto,I.Kitahara,Y.Ohta,"Automation Viewpoint Decision Method for generation a 3D Video"
- [5] 加藤, Billinghamurst, 浅野, 橋, 「マーカー追跡に基づく拡張現実感システムとそのキャリブレーション」, 日本バーチャルリアリティ学会論文紙, Vol4, No4, pp.607-616, 1999
- [6] 稲本奈穂, 齊藤英雄, "視点の内挿を用いた没入型サッカー観戦システム", 電子情報通信学会技術報告, PRMU2003-200, Jan. 2004
- [7] [http://www.clarontech.com/measurement\\_products.php](http://www.clarontech.com/measurement_products.php),Claron Technology Inc.