

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 14 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25280056

研究課題名(和文)大規模空間を対象とする人物ビルボードを用いた任意視点映像生成提示方式の高画質化

研究課題名(英文)Enhancing Image Quality of the 3D Free-Viewpoint Video in Large-Scale Space Utilizing Player-Billboard Method

研究代表者

大田 友一(OHTA, Yuichi)

筑波大学・システム情報系(名誉教授)・名誉教授

研究者番号：50115804

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,000,000円

研究成果の概要(和文)：複数の視聴者が任意に視点を選びながら、標準画質映像(SDTV)レベルの3次元映像をネットワーク経由で観ることができる技術を実現した。
任意視点映像生成技術として、我々が独自に開発した人物ビルボード方式と、3次元形状復元に基づく方式について、高画質化適性についての比較検証を行い、人物ビルボード方式が、高画質化にも優位性が高いことを実証した。開発技術を、スポーツなどの中継や、蓄積・再生型コンテンツ制作に活用する可能性を検証するとともに、選手の視点になった没入型提示などの複合現実型提示手法を開拓した。

研究成果の概要(英文)：We realized a technology that enables multiple viewers to observe 3D free-viewpoint video with SDTV image quality via the network arbitrarily choosing their viewpoints. As the free-viewpoint video generation technology suitable for higher image quality, we made a systematic comparison between the player-billboard method which we originally have developed and the method based on 3D shape reconstruction. We confirmed the player-billboard method is superior to the 3D reconstruction based method for generating high quality video. We have examined the feasibility of our technology to utilize in the live video delivery via network and in the playback type content production. We also developed Mixed-Reality presentation methods such as an immersive display with player's point of view.

研究分野：知覚情報処理

キーワード：任意視点映像 ビルボード 高画質化 没入型提示 複合現実感 スポーツ中継 ネットワークメディア
インタフェース

1. 研究開始当初の背景

本研究では、インターネットなどのコンピュータネットワークを経由して、動的なイベントを、ライブ中継できる任意視点映像技術について取り組む。

大規模空間でのスポーツイベントをライブ中継可能な「任意視点」映像技術として、KanadeらがCBSと共同開発し、スーパーボールの中継などに使われたEyeVisionがある。しかし、これは、視聴者が自由に視点を選べる技術ではない。スタジアムに設置した多数の可動カメラの注視点を一人のカメラマンが制御し、得られた多視点映像のスイッチングを一人のディレクターが行うシステムであり、視聴者が観るのは、通常の野球の中継映像などと同じように、送信側で全て制作された映像でしかない。

動的なイベントを対象とした任意視点映像技術は、当初、CMUのKanadeらによって蓄積・再生型の技術として開発された。その後、視体積交差法などにより多視点映像から対象物体の3次元形状を復元して、任意視点映像を生成する方式の研究が国内外でいくつか行われており、アルゴリズムの改良や、計算機能力の向上によって、リアルタイムでの映像生成も可能となりつつある。しかし、扱うべきデータ量が膨大なままであるため、ネットワークの先に居る視聴者にライブでデータを配信して、視聴者が自由に視点を制御できるような、ネットワークメディアとしての使い方は、極めて困難である。また、多視点の映像データを1個の3次元形状モデルに集約するため、映像上での動物体のセグメンテーション時に発生するエラーが、形状モデルの精度に著しく影響するため、形状モデルの復元精度を上げるために入力視点数を増加させても、生成される任意視点映像の画質向上には必ずしも結びつかないという本質的な難しさを抱えている。

本研究がキーアイデアとする人物ビルボード方式では、3次元形状復元方式が抱えるこれらの問題の影響は小さい。入力が多視点映像から任意視点映像を生成するまでに必要な計算コストも小さいため、画質向上のために入力映像をHDTV化しても、現在のPCの性能で処理可能である。また、入力視点数の増加は、画質向上にリニアに反映されるため、任意視点映像の高画質化を目指すのに適した方式であると言える。

2. 研究の目的

本研究の目的は、我々が発案した人物ビルボード方式を用いて、視聴者が自由に視点を選択可能、ネットワーク配信が可能、ライブ中継が可能、大規模空間でのイベントに適用可能な任意視点映像技術を実現することである。

我々は、これまでの研究により『複数の視聴者が、それぞれ自由に視点を選びながら、スタジアムや体育館で行われるスポーツイ

ベントのライブ中継を、ネットワーク経由で観ることができる技術』を実現してきた。動物体を背景から切り出して、ライブ映像をテクスチャとして貼り付けたビルボードで人物を表現する方式(人物ビルボード方式)を発明し、国立競技場などにおける実証実験を重ねることにより、任意視点映像のライブ中継という研究目的は、概ね達成された。しかし、競技場などの大規模空間を標準画質映像(SDTV)の解像度の機材で撮影しているため、人物をクローズアップするような視点では、画質の劣化が目立ち、人物ビルボード方式は高画質の3次元映像生成に適さない、という誤解を生じさせる一因ともなっていた。

人物ビルボード方式は、シーン中の動物体の配置に関する3次元構造を復元することにより任意視点映像の生成を可能にしているが、個々の動物体の3次元形状の復元は行わない。このため、人物にクローズアップするような視点での任意視点映像生成には適していないように思われがちである。しかし、3次元形状の復元自体が目的ではなく、高画質な任意視点映像の生成が目的の場合には、視体積交差法などの3次元形状を復元する方式に比べて、人物ビルボード方式の優位性が高いことを、我々は確信している。本研究の主要な目的は、これを実験的に検証することである。

さらに、映像処理コストが小さい人物ビルボード方式の特長を活かし、ネットワーク経由での中継が可能な任意視点映像方式という世界的にも他に例をみない我々の方式の特徴を継承した、高画質の任意視点映像配信システムを実現する。

任意視点映像の提示方法として、2次元ディスプレイへの提示だけではなく、頭部装着型ディスプレイを用いて、選手の視点になった没入感の高い提示をする方法や、模型のコートを着た素人にも操作しやすい視点移動インタフェースなどの開発を行う。遠隔地への中継、資料や教材としての蓄積・再生型コンテンツによって、任意視点映像活用のスポーツ科学分野への浸透を図る。

3. 研究の方法

これまでの研究によって、『複数の視聴者が、それぞれ自由に視点を選びながら、スタジアムや体育館で行われるスポーツイベントのライブ中継を、ネットワーク経由で観ることができる技術』の開発については、概ね達成されているが、競技場などの大規模空間全体をSDTV解像度の機材で俯瞰撮影しているため、人物をクローズアップするような視点を選択した場合には、画質の劣化が著しく目立つ問題があった。本研究課題では、生成される任意視点映像を、標準画質映像レベル(SDTV)にまで高画質化することを目的に、以下の六つの研究項目を達成する。

(1) 高解像度の多視点映像データセットの

構築：高画質な任意視点映像を生成するためには、固定視点の多視点映像撮影系の HDTV 化は、最低限必要である。本研究では、将来的には HDTV よりも高解像度の撮影系が利用可能となることを見据えて、超高解像度の多視点映像データセットを作成し、研究開発の基本データとして用いる。具体的には、20Mega 画素以上の撮像素子を持つデジタル 1 眼カメラにより撮像系を構築し、超高解像度(6k x 4k 画素、毎秒 6 フレーム)から HDTV 解像度(2k x 1k 画素、毎秒 30 フレーム)までの、多様な高解像度多視点映像を撮影できる環境を整え、実際のシーンを撮影した多視点映像データセットを構築する。

また、生成された任意視点映像の画質評価を組織的に行えるようにするため、撮影時の様々なノイズ(撮像素子のノイズだけでなく、モーションブラー、キャリブレーションエラーなどを含む)を定量的に制御した多視点映像データを、コンピュータグラフィックス(CG)により生成したデータセットも構築する。

(2) 映像テクスチャデータの効率的圧縮方式の開発：最終目標である高画質な任意視点映像の生成のために、映像テクスチャの解像度を上げるとデータ量も増大する。固定視点映像撮影系の HDTV 化によって約 7 倍、さらに高解像度の撮像系を用いると、従来のシステムの数十倍のデータ量になる。伝送データ量の削減は、映像テクスチャデータの MPEG などによる圧縮と、ユーザ側に伝送されるデータの絞り込みの両面からアプローチする。後者では、ユーザが希望する任意視点の映像をユーザ端末で生成するのに必要最小限のデータを厳選してユーザ側に伝送することにより、必要なバンド幅を抑制する。

(3) 人物ビルボード方式と 3 次元形状復元に基づく方式の高画質化適性についての比較検証：人物ビルボード方式は、シーン中の動物体の配置に関する 3 次元構造を復元することにより任意視点映像の生成を可能にしているが、個々の動物体の 3 次元形状の復元は行わない。このため、人物にクローズアップするような視点での任意視点映像生成には適していないように思われがちである。しかし、3 次元形状の復元自体が目的ではなく、高画質な任意視点映像の生成が目的の場合には、視体積交差法などによって 3 次元形状を復元する方式に比べて、人物ビルボード方式の優位性が高いことを実験的に比較検証する。

カメラの台数や画像の解像度などの条件を等しくし、生成過程で発生するノイズをコントロールすることで、任意視点映像提示に求められる画質などの要求について両方式を比較・検討する。撮影対象を高解像度に撮影したデータを用いて両方式の比較を行うことにより、任意視点映像の高画質化を目指

す上で有効な任意視点映像生成方式を検討する。

任意視点映像生成におけるノイズの影響を定量的に調査し、撮影カメラ台数による影響を検討するために、最大 32 台程度の仮想カメラを設置した仮想環境内での撮影を行い、ノイズを制御した多視点映像データセットを作成する。ノイズは、我々のこれまでの大規模実空間での撮影実験の経験に基づき、「ホワイトノイズ」、「モーションブラー」、「カメラ間の同期ズレ」、「カメラキャリブレーション後のカメラの物理的なズレ」の 4 種類を人工的に発生させる。

(4) 頭部装着型高精細ディスプレイによる複合現実型提示法の開発：任意視点映像の提示方法として、2 次元ディスプレイへの提示だけではなく、頭部装着型の高精細ディスプレイを用いて、スポーツ選手の視点になった没入感の高い提示を行う方法を開発する。任意視点映像システムでは、ユーザの視点を対象とする 3 次元空間中の任意の位置に置くことが可能である。また、背景から切り出された動物体のみを描画することも可能である。このようなシステムの特長を最大限に活かした提示方法として、通常の 2 D ディスプレイに表示するだけでなく、選手の視点になって 360 度見回し可能な没入型提示や、模型のコート上で実写の選手がプレーするといった、複合現実型提示が有効と考えられる。

(5) 素人にも直感的に操作可能な視点移動インタフェースの開発：人物ビルボードを利用した任意視点映像システムでは、視点移動の自由度が大きいこと、マウスなどの入力デバイスを用いて視点移動の操作を行うことは、慣れた研究者にとっても必ずしも容易ではない。スポーツ科学関係者などの素人にも容易に操作可能な視点移動インタフェースを開発する。具体的には、模型のコートを手で操作することによって視点移動を指示する方式や、指定された視点移動方法を半自動で維持する方式などを考えている。

(6) 任意視点映像のスポーツ科学分野への浸透：開発した任意視点映像システムを、スポーツ団体や体育科学分野の研究者に提供し、トップアスリートを撮影対象とした実証実験を通じて、システムの有効性を検証する。遠隔地へのライブ中継、資料や教材としての蓄積・再生型コンテンツによって、任意視点映像活用のスポーツ科学分野への浸透を図る。

4. 研究成果

(1) 高解像度の多視点映像データセットの構築

図 1 に、本研究で構築した多視点映像撮影システムを示す。デジタル一眼レフカメラ(キヤノン EOS 5D Mark II)と撮影 PC (Apple

MacBookAir) 各 10 台と制御 PC (Apple MacBookPro) によって構成される。カメラは USB ケーブルで撮影 PC に接続され、本研究で開発した制御システムによって撮影の開始終了操作および撮影モードの設定が可能である。撮影 PC の操作は、無線ネットワークを介して制御 PC から一括して行う。撮影した映像データは、カメラのメモリに一時的に保存された後、制御 PC に順次転送される。5616 画素×3744 画素の超高解像度多視点画像と、1920 画素×1240 画素の高解像度多視点映像の撮影が可能となった。

撮影時の様々なノイズを定量的に制御した多視点映像データセットは、図 2 に示す仮想環境にモーションデータを付与することで、多視点映像シーケンスをレンダリングすることによって生成した。

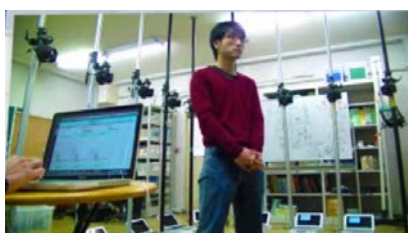


図 1 高解像度多視点映像撮影システム

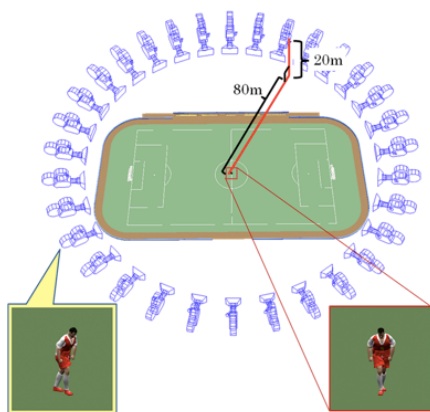


図 2 CG データセットの構築

(2) 映像テクスチャデータの効率的圧縮方式の開発

任意視点の映像を生成するのに必要最小限のデータを選択するためには、被写体がシーンの何処に存在するのかに関する情報が有用である。本研究では、被写体の影領域の情報を活用することで、比較的低解像度の映像情報から被写体の位置を高速かつ正確に推定する手法を実現した。図 3 に示すように、二つの視点から撮影した映像中で観測される前景領域 (影領域と選手領域) を地面上で統合することにより、選手の足元位置の推定精度を向上させる。国立霞ヶ丘競技場で開催されたサッカー大学選手権決勝戦において、実証実験を実施し、観察されるフィールド上の全サッカー選手と審判の足元の 3 次元位

置を 1/30 秒以下の処理時間で推定することに成功した。図 3 の最下段に追跡処理結果 (移動軌跡) を示す。

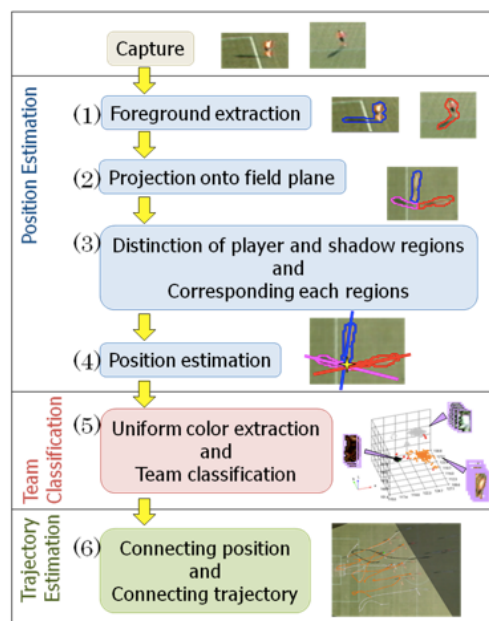


図 3 映像テクスチャデータの効率的圧縮のための実時間選手追跡

(3) 人物ビルボード方式と 3 次元形状復元に基づく方式の高画質化適性についての比較検証

ホワイトノイズ、モーションブラー、多視点カメラ間の同期ズレ、キャリブレーション誤差といった映像撮影時に発生するノイズを定量的に変化させながら、図 4 に示すように、同一の多視点映像データを入力に用いて、人物ビルボード方式 (method A) と 3 次元復元方式 (method B) の代表的手法である視体積交差方の二つの方式で任意視点映像を生成した場合の画質について、一対比較による主観評価を行った。一対比較による主観評価実験は、極限法を用いてノイズを定量的に変化させてノイズによる両手法への影響を調査した。比較実験により、視体積交差法よりも人物ビルボード法がノイズに対して頑強であり、撮影カメラ台数の増加とともに、その欠点である運動視差の滑らかな再現も可能になり、大規模空間での高画質な任意視点映像生成に適していることが確認された。

(4) 頭部装着型高精細ディスプレイによる複合現実型提示法の開発

頭部装着型高精細ディスプレイ (Oculus Rift CV1) を用いて、選手の視点になって 360 度見回し可能な没入型 (一人称視点映像) 提示システムを開発した。スポーツトレーニングにおける一人称視点映像の有効性を確認するために、図 5 に示すように、サッカーのパス出しのタイミングを例題とした教示コンテンツを作成し、学習効果や判断能力の向上に関する評価実験を実施した。

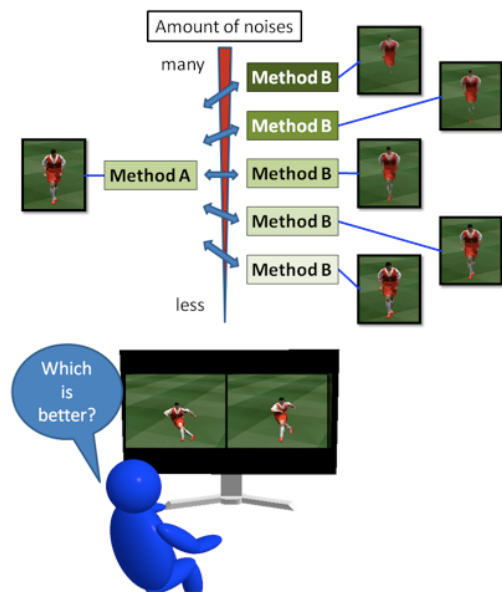


図 4 高画質化適性についての比較検証

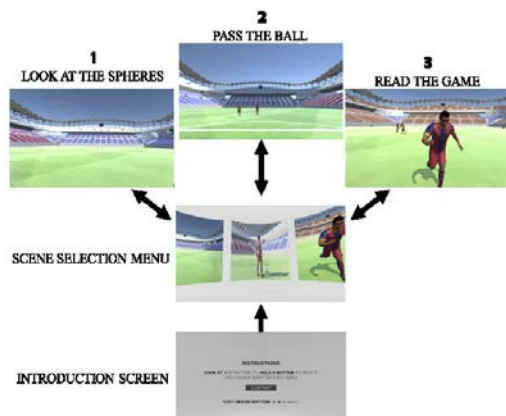


図 5 頭部装着型ディスプレイを用いたスポーツトレーニングシステム

(5) 素人にも直感的に操作可能な視点移動インタフェースの開発

タブレット端末やスマートフォンの普及により多くのユーザが日常的に利用しているマルチタッチ操作を用いて、図6に示すように観察視点の位置姿勢を操作するインタフェースを開発した。入力ジェスチャとカメラ操作を様々な組み合わせで、それらの操作性に関する主観評価実験を行った結果、カメラの首振り動作には1本指ストローク、カメラの平行移動には2本指ストローク、ズーム操作にはピンチイン・アウトを用いると直感性が向上することがわかった。

(6) 任意視点映像のスポーツ科学分野への浸透

トップアスリートを擁する団体であるバドミントン協会と共同で実証実験を実施した。図7にナショナルトレーニングセンターでの撮影実験の様子を示す。様々な方向から

の映像観察が選手パフォーマンスに与える効果について協議した結果、選手を多方向から観察することによるフォーム分析に加え、選手がプレー中に見ていた領域（選手の視野）を確認することによる状況判断の分析に、任意視点映像提示が有効であるとの知見が得られた。



図 6 直感的操作が可能な視点移動インタフェース



図 7 ナショナルトレーニングセンターにおける撮影実験の様子

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 8 件)

- ① Takashi Kamiyama, Yoshinari Kameda, Yuichi Ohta, Itaru Kitahara, Improvement of Badminton-Player Tracking Applying Image Pixel Compensation, ITE Transactions on Media Technology and Applications, 査読有, Vol. 5, No. 2, 2017, pp. 36-41, DOI: 10.3169/mta.5.36
- ② 宍戸英彦, 北原格, 亀田能成, 大田友一, モーションブレンダーを活用したバドミントンシャトル追跡手法, 電子情報通信学会論文誌D, 査読有, Vol. J98-D, No. 7, 2015, pp. 1083-1097, http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=j98-d_7_1083&category=D&year=2015&lang=J
- ③ 宍戸英彦, 北原格, 亀田能成, 大田友一, 異なるシャット速度で撮影した映像を用いたバドミントンシャトル軌跡推定法, 映像情報メディア学会誌, 査読有,

Vol. 69, No. 8, 2015, pp. 237-244,
DOI: 10.3169/itej.69.J237

- ④ 零泰裕, 北原格, 大田友一, 複合現実感を用いた関心共有による展示物閲覧支援, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 査読有, Vol.20, No.4, 2015, pp. 273-281,
DOI: 10.18974/tvrsj.20.4_273
- ⑤ 糟谷望, 北原格, 亀田能成, 大田友一, サッカー選手を対象とした一人称視点映像のための仮想カメラ運動モデル, 電子情報通信学会論文 D, 査読有, Vol. J97-D, No. 9, 2014, pp. 1385-1393,
http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=j97-d_9_1385&category=D&year=2014&lang=J
- ⑥ Hisatoshi Toriya, Itaru Kitahara, Yuichi Ohta, Mobile Camera Localization Using Aerial-View Images, IPSJ Transactions on Computer Vision and Applications (CVA), 査読有, Vol. 6, 2014, pp. 111-119,
DOI: 10.2197/ipsjtcva.6.111
- ⑦ 佐藤秀昭, 北原格, 大田友一, 鏡像を用いた現実世界と仮想世界の重畳提示における運動視差と前後関係把握精度の関係, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 査読有, Vol.18, No.3, 2013, pp. 421-430,
DOI: 10.18974/tvrsj.18.3_421
- ⑧ Hidehiko Shishido, Itaru Kitahara, Yoshinari Kameda, Yuichi Ohta, A Trajectory Estimation Method for Badminton Shuttlecock Utilizing Motion Blur, Springer LNCS 8333 (6th Pacific Rim Symposium on Image and Video Technology (PSIVT2013)), 査読有, 2013, pp. 325-336,
DOI: 10.1007/978-3-642-53842-1_28

[学会発表] (計 17 件)

- ① 大田友一, 大規模空間の自由視点ライブ映像配信に向けて, 第2回 PoTS 映像学シンポジウム (基調講演), 2017年3月13日, 神奈川県横浜市 慶應義塾大学日吉キャンパス
- ② Cesar Daniel Rojas Ferrer, Itaru Kitahara, and Yoshinari Kameda, A Prospective Study About Enhancing Effect of VR in Soccer Training, 電子情報通信学会 MVE 研究会, 2016年7月20日, 東京都文京区 東京大学
- ③ Hidehiko Shishido, Itaru Kitahara, Yoshinari Kameda, Yuichi Ohta, Trajectory Estimation of a Fast and Anomalously Moving Badminton Shuttle, 2015 Joint Conference of IWAIT and IFMIA, 2015年1月13日, 台南, 台湾
- ④ Yasushi Yamagiri, Itaru Kitahara,

Yoshinari Kameda, Yuichi Ohta, Body Motion Design for Maneuvering a Virtual Camera in 3D Soccer Game, The 23rd International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT2013), 2013年12月11日~13日, Tokyo, Japan

- ⑤ Junya Kashiwakuma, Itaru Kitahara, Yoshinari Kameda, Yuichi Ohta, A Virtual Camera Controlling Method Using Multi-Touch Gestures for Capturing Free-viewpoint Video [Best Paper Honorable Mention Award], 11th European Interactive TV Conference, 2013年6月25日 Como, Italy

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計 0 件)
○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

<http://www.image.iit.tsukuba.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大田 友一 (OHTA, Yuichi)
筑波大学・名誉教授
研究者番号: 50115804

(2) 研究分担者

亀田 能成 (KAMEDA, Yoshinari)
筑波大学・計算科学研究センター・教授
研究者番号: 70283637

北原 格 (KITAHARA, Itaru)

筑波大学・計算科学研究センター・准教授
研究者番号: 70323277

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

宍戸 英彦 (SHISHIDO, Hidehiko)
糟谷 望 (KASUYA, Nozomu)
佐藤 秀昭 (SATO, Hideaki)
明智 那央 (AKECHI, Nao)
柏熊 淳也 (KASHIWAKUMA, Junya)
上山 嵩 (KAMIYAMA, Takashi)
山桐 靖史 (YAMAGIRI, Yasushi)
鳥屋 剛毅 (TORIYA, Hisatoshi)
零 泰裕 (SHIZUKU, Taisuke)
上田 将司 (UEDA, Masashi)
佐藤 翔悟 (SATO, Shogo)