

# AR-HUDシステムにおける重畳ずれ補正

Misalignment Correction for AR-HUD System

犬飼 文人\*

Fumihito Inukai

辻 勝長\*

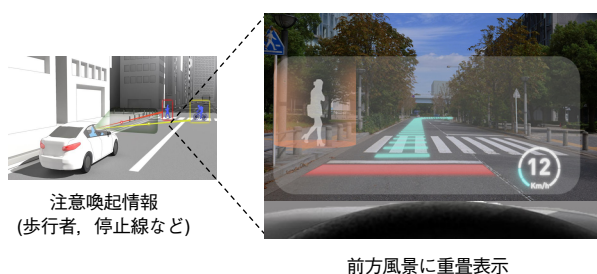
Masanaga Tsuji

拡張現実 (Augmented Reality) を用いた次世代のヘッドアップディスプレイ (Head-Up Display) において、実風景と虚像位置の重畳ずれは、ドライバーの情報誤認識、煩わしさなどにつながる。本稿では、重畳ずれを低減するための要素技術 (3D方式の虚像投影光学技術、デジタルカメラなどの手振れ補正技術を用いた振動補正技術) について解説する。

In next-generation head-up display (HUD) that uses augmented reality (AR), position misalignment between real and virtual images cause drivers to misunderstand the information and feel annoyed. This paper explains the key technologies for reducing AR misalignment (3D projection optical technology and vibration correction technology).

## 1. ヘッドアップディスプレイを取り巻く環境

近年、車載用ヘッドアップディスプレイ (Head-Up Display, 以下HUD) に拡張現実 (Augmented Reality, 以下AR) の技術を用いた、AR-HUDの研究開発が進められている。第1図のように、ARを活用してフロントウィンドウ越しに見える実際の風景とHUD画面に表示する虚像を重ねて投影することで、注意喚起情報 (車線、標識など) や経路案内などを、より直感的にわかりやすく提示できる。



第1図 AR-HUDのイメージ  
Fig. 1 Image of AR-HUD

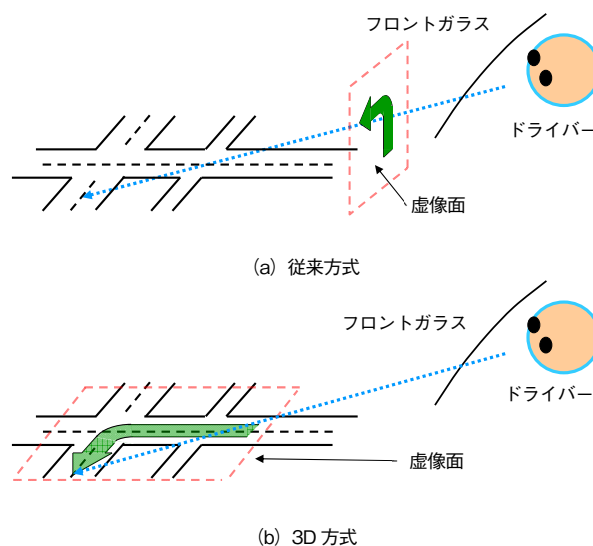
AR-HUDではドライバーに対して正確な奥行き知覚を提供することが重要だが、以下の要因で発生する重畳ずれが特に大きな問題点として指摘されている。

- 実風景の距離とHUDの表示距離 (虚像距離) との不一致
- 路面の凹凸、車両の加減速などによる車両振動

本稿では、これらの要因を解決する要素技術について解説する。

## 2. 虚像距離による重畳ずれの低減

従来方式のHUDは、第2図 (a) のように数メートル前方の固定された虚像面上に表示を行っているため、虚像面の距離 (以下、虚像距離) と虚像が重畳している実環境の距離が異なり、両眼視差の観点から自然な奥行き知覚を提供できない。筆者らは、第2図 (b) のように、虚像を現実空間に適合した位置に表示できる3D方式のHUDを開発、虚像距離を100mまで実現することにより、実風景と虚像位置のずれを低減した。

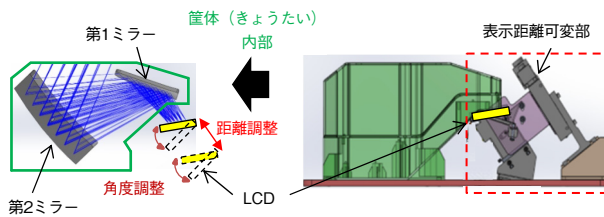


第2図 虚像位置と実風景の関係  
Fig. 2 Relationship between image position and visual target

### 2.1 虚像投影光学系の概要

今回試作した虚像投影光学系の構成を第3図に示す。液晶ディスプレイ (Liquid crystal display, 以下LCD) の表示画面は、2枚のミラーで反射、拡大された後、フロントウィンドウに投影される。表示距離可変部では、LCDと第1ミラー

\* オートモーティブ社 HMI システムズ事業部  
HMI Systems Business Div., Automotive Company



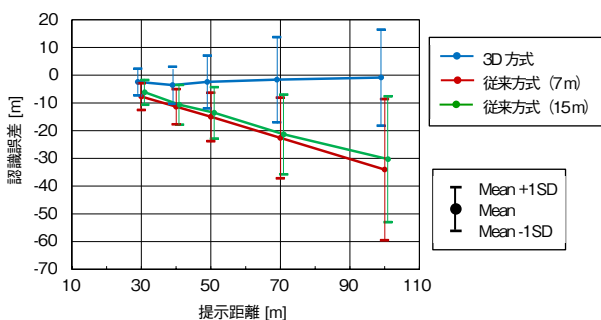
第3図 3D方式の虚像投影光学系の構成図

Fig. 3 Projection system of 3D method

間の距離および設置角を調整できるように工夫した。また、LCD調整時に生じる画像歪（ひず）み対策として、当社の光学技術を活用した低歪み高倍率な光学系を設計し、視認性を向上させた。これらの技術により、虚像面は地表面に対して水平に、虚像距離は重畳する実風景の位置と一致させ、重畳ずれを低減した。

## 2.2 虚像距離と認識誤差の関係

従来方式（虚像距離7 m, 15 m）と今回試作した3D方式のHUDを用いて、虚像距離が奥行き知覚に与える影響の被験者実験を行った[1]。具体的には、経路を模擬した看板（実像）に対する経路案内矢印の虚像をHUD画面に提示し、矢印が指し示している看板名を実験参加者が回答するものとした。HUDは地面に固定し、実像は実験参加者の前方5 mから110 mまで配置した。虚像が重畳して指し示している実環境の看板までの距離（以下、提示距離）は30 m～100 mとした。実験参加者は20歳～30歳までの男女10名とした。第4図は、従来方式および3D方式のHUDについて提示距離（横軸）に対する奥行き認識誤差（縦軸）の結果であり、認識誤差が0 mに近いほど実験参加者が認識した奥行き位置と提示距離が一致していること示す。本実験の結果から、従来方式では提示距離が長くなるほど手前に奥行きを認識する傾向があるのに対し、3D方式では提示距離にかかわらず正確な奥行き知覚が提供可能であることが確認できた。また、Shapiro-Wilk検定で正規性を仮定し、Huyhnh-Feldの方



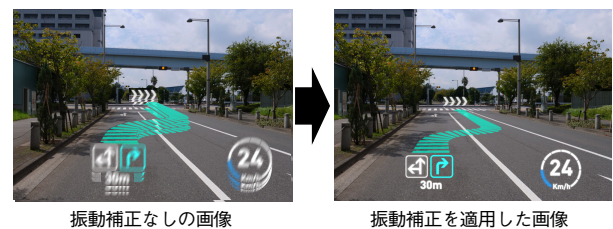
第4図 HUD方式別の提示距離と認識誤差の関係

Fig. 4 Relationship between indicated distance and judgement error

法によって自由度を修正した被験者内二要因分散分析を実施したところ、HUDの種類の主効果 ( $p=0.0021$ )、提示距離の主効果 ( $p=0.018$ )、HUDの種類と提示距離の交互作用 ( $p<0.0005$ ) がそれぞれ有意となった。

## 3. 車両振動による重畳ずれの低減

走行中の車両振動は、実風景とHUDの虚像位置の関係が動的に変化するため重畳ずれとなり、ドライバーの奥行き知覚に影響する。筆者らは、デジタルカメラなど当社独自の手振れ補正技術を応用した振動補正システムにより、車両振動による重畳ずれを低減した。第5図に振動補正の効果のイメージ図を示す。



第5図 振動補正の効果 (イメージ図)

Fig. 5 Image of vibration correction

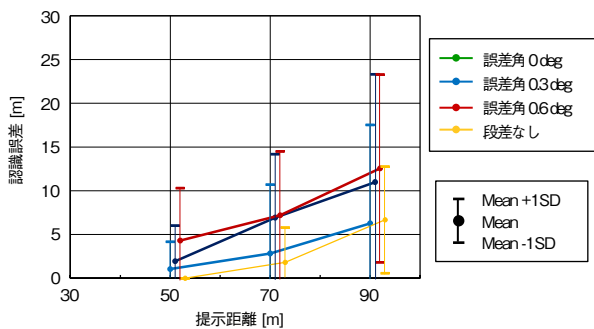
### 3.1 振動補正システムの概要

今回開発した振動補正システムは、ジャイロセンサとFPGA (Field Programmable Gate Array) から構成される。FPGAでは、ジャイロセンサで検知した路面振動をデジタル信号処理により補正信号に変換し、振動を打ち消す方向に表示コンテンツをシフトさせる処理を行う。デジタル信号処理には、低遅延のIIR (Infinite Impulse Response) 型フィルタを採用した。本システムにより補正処理の遅延を1frame (=60 Hz) 以内に抑え、舗装路、石畳路、砂利道などさまざまな路面走行を想定した車両振動を補正することができた。

### 3.2 車両振動と認識誤差の関係

3D方式のHUDにおいて車両振動が認識誤差に与える影響を確認するため、試験走行路内に最大ピッチ角1.4 deg、ピーク周波数1.4 Hzとなる段差を作成し、被験者実験を行った[2]。具体的には、経路を模擬した看板（実像）に対する経路案内矢印の虚像をHUD画面に提示し、矢印が指し示している看板名を実験参加者が回答するものとした。振動条件は一般道および高速道路を走行して抽出した車両振動の観測データにおける最大振幅およびピーク周波数から決定した。HUDは走行車両内に設置し、実像は実験参加者の前方10 mから110 mまで配置した。提示距離は50 m～90 mとした。また、車両振動の補正誤差角の影響を確認するため、

誤差角は0.6 deg, 0.3 deg, 0 degとし, 比較のために段差のない路面でも実験した. 実験参加者は21歳~24歳までの男性10名とした. 第6図は, 誤差角を変化させた場合の提示距離(横軸)に対する奥行き認識誤差(縦軸)の結果であり, 認識誤差が0 mに近いほど実験参加者が認識した奥行き位置と提示距離が一致していること示す. 本実験の結果から, 車両振動を補正することで, 振動による認識誤差が大きく改善できることが確認できた. また, 2.2節と同様の分散分析の結果, 提示距離, 誤差角の主効果 ( $p=0.01$ ) がそれぞれ有意となった.



第6図 補正誤差角と認識誤差の関係

Fig. 6 Relationship between pitch angle and judgement error

#### 4. 今後の展望

筆者らは, 本技術を実装したAR-HUDを開発し評価用車両に搭載し, 現在, 量産車両に向けた開発を行っている. 今後HUDが大画面化するに伴い, 本技術に対する必要性がさらに増加すると思われる. 他社もAR-HUD向けに虚像距離の遠方化や車両振動を補正するための技術開発を進めているが, 実用化には至っていない. また, 量産にあたっては, 本稿で対策した要因以外に経路表示に使用するGPS, 地図情報の精度などによる重畳ずれの影響も無視できない. そのため, 表示コンテンツの表現を工夫することで, ドライバーが重畳ずれを感じにくくする対策も進めている.

HUD評価の実験にあたっては, 慶應義塾大学の大門樹教授ならびに大門研究室の皆様にご協力いただきました. 感謝申し上げます.

#### 参考文献

- [1] 野口涼 他, “3Dヘッドアップディスプレイにおける虚像位置が奥行き知覚に与える影響,” 自動車技術会論文集, vol.48, no.2, pp.439-444, 2016.
- [2] 松橋和紀 他, “車両振動が3Dヘッドアップディスプレイにおける奥行き知覚に与える影響およびその低減手法に関する基礎的研究,” 自動車技術会2018秋季大会学術講演会講演予稿集, 講演番号133, 2018.