

# 二輪車ヘルメット内での至近距離 LED 情報提示手法の提案

松並 拓弥<sup>1</sup> 木谷 友哉<sup>1</sup>

**概要:** 二輪車向けのハンドルなどへ取り付けられるナビゲーションシステムでは運転中に大きな視線の移動を伴い, 安全上の配慮が十分にされているとはいえない. ここ数年, HUD (ヘッドアップディスプレイ) やカメラを搭載した二輪車用ヘルメットのコンセプトが提案されてきている. しかし, ヘルメット内に取り付けられた情報提示システムの多くは高精細のモニタを想定しており, ピント調節に時間がかかり, 道路の重要な情報を見逃すという問題がある. そこで我々はデータの与える形式を LED にして, 可能な限り情報を減らすことで, ピント調節をせずに周辺視野を用いて認識させる, 運転時の情報認識負荷が小さい情報提示手法について提案し, 至近距離 LED によるナビゲーションシステムが反応速度において十分な安全性を確保しうるかどうかを検証する. ライディングシミュレータを用いた実験にて, 約 80 回の試行での結果, 右左折の情報を提示してから運転者が認識して方向指示器を操作するまでの時間は, 90 cm 遠方の液晶ディスプレイへの提示で平均 0.96 秒であったのを, 至近距離 LED による提示では 0.85 秒に短縮することができた.

## A Proposal of Close-range Navigation with a few LEDs in Motorcycle Helmet

Takumi MATSUNAMI<sup>1</sup> Tomoya KITANI<sup>1</sup>

### 1. はじめに

経路情報を提示するナビゲーションシステムは, 四輪自動車では広く利用されているにも関わらず, 自動二輪車では十分に普及しているとは言えない. その理由の一つは, 二輪車では車体の大きさに制限があり, ナビゲーションを取り付ける場所が限られているためである. 実際の二輪車の利用シーンでは, スマートフォンをハンドルなどへ取り付け Google Maps といったスマホ用ナビゲーションアプリケーションがよく使われる. 自動車の車載情報機器の安全性に関しては, 飯星は車載情報機器の基準として, アイポイントから画面中心への俯角が 30° 以内であることが必要だと述べている [1]. スマートフォンをハンドルなどへ取り付けられるナビゲーションシステムは, この基準を満たすことが困難であり, 運転中に視線を大きく移動させ運転に悪影響を及ぼす危険性がある.

そのような中, 2019 年 1 月初旬にアメリカのラスベガス



図 1 SHOEI と NS ウェストが共同開発中の “スマートヘルメット” ([2] より引用)

で開催されたコンシューマー・エレクトロニクス・ショーでは通信モジュールと HUD (ヘッドアップディスプレイ) やカメラを搭載した “スマートヘルメット” (図 1) の出展があった [2]. 大手バイクヘルメットメーカーが開発に取り組んでいるため, HUD の今後の普及が期待される.

“スマートヘルメット” とは, 通信モジュールと HUD やカメラを搭載したヘルメットのことである. スマートヘル

<sup>1</sup> 静岡大学大学院総合科学技術研究科情報学専攻  
Graduate School of Integrated Science and Technology,  
Shizuoka University

メットに搭載される HUD のシステムはコンバイナを用いて HUD ユニットからの情報を虚像として表示し、遠距離へ情報の提示を行う。コンバイナとは、車両の速度といった基本情報、道路状況、注意喚起情報などを表示する HUD において、これらを表示するために用いる透明な板状部品のことである。しかし、コンバイナを用いた HUD のシステムでは大掛かりな装置を取り付ける必要がある。これは、ヘルメットの構造が複雑になり、十分な安全性を確保することが難しい。

そこで、新たなナビゲーションシステムの方法として、ヘルメットに取り付けながらコンバイナを用いる必要のないシステムを提案する。K. Gish らは、一般的に運転中の視覚的な情報提示は、運転中の周りの景色とのピント調節の時間を短縮するために、可能な限り遠方に表示するのが効果的であると述べている [3]。そのため、ヘルメット内に取り付けた情報提示システムはピント調節に時間がかかり、道路の重要な情報を見逃すという問題がある。しかし、我々はデータの与える形式を LED にして、可能な限り情報を減らすことで、ピント調節をせずに周辺視野を用いて認識することが可能であると考え。

本稿では、遠方に表示したピント調節の必要が少ないナビゲーションシステムと私が提案する至近距離 LED によるナビゲーションシステムを比較し、至近距離 LED によるナビゲーションシステムが反応速度において十分な安全性を確保しうるかどうかの検証を行う。

## 2. 既存の二輪車用ナビゲーション

### 2.1 スマートフォンによる視覚ナビゲーション

最も多く利用されているバイク向けのナビゲーション方法として、ハンドルにスマートフォンを取り付けるものがある。しかしながら、ハンドルにつけたスマートフォンのナビゲーションはアイポイントから画面中心までの俯角が  $30^\circ$  を超えるため、スマートフォンの画面に注視することで運転中によそ見をすることになり、安全基準を十分に満たしているとは言えない。

また、スマートフォンによるナビゲーションは操作性の点でも問題がある。バイクの運転者は安全のためにグローブの着用が義務付けられている。そのため、信号待ちの停車中などにおいて操作することが難しい。運転時では、左手でクラッチ、右手でアクセルを操作しているため、スマートフォンに触れることも難しい。

### 2.2 音声ナビゲーション

ヘルメットにインカムを付けることで、音声ナビゲーションを受けるシステムがある。このシステムは、スマートフォンによる視覚ナビゲーションと併用されることが多い。しかし、バイクは四輪車のような密閉空間ではないために、走行中の風切り音やバイクから出るエンジン音の影



図 2 BMW ナビゲーションディスプレイ ( [4] より引用 )

響を大きく受けてしまい、音声ナビゲーションに気づけなかったり、聞き逃してしまうことがある。

### 2.3 計器位置の液晶ディスプレイ

BMW は、図 2 のようにバイクの計器類のある位置を液晶ディスプレイにすることでナビゲーションを可能にするシステムを一部車種に提供している [4]。スマートフォンの BMW Motorrad コネクテッドアプリとバイクをつなぐことで、ディスプレイに目的地までの矢印による経路ナビゲーションを行う。ネットワークに接続していないときには、オフライン地図をナビゲーションに使うことも可能である。他社も旅行用などの高級二輪車には同様のサービスなどを提供している。しかし、対応している車種に限られることや、メーカー毎に独自製品であることから、普及しているとは言えない。また、計器位置においてもアイポイントから計器位置までの俯角が  $30^\circ$  を超えるため、計器位置に注視することで運転中によそ見をすることとなり、安全基準を十分に満たしているとは言えない。

### 2.4 透過型ディスプレイを用いた HUD

HUD とは、Head-Up Display の略称で、人間の視野に直接情報を映し出す手段のことである。その中でも、とりわけ頭部に装着するディスプレイのことを HMD (Head Mounted Display) と呼ぶ。現在、“スマートヘルメット”に搭載される HUD システムの手法に透過型ディスプレイを用いたものがある。これは、NS ウェスト株式会社によると [5]、HUD ユニットの映像をコンバイナという、車両の速度といった基本情報、道路状況、注意喚起情報などを表示するために用いる透明な板状部品に反射させて、前方視界遠方に虚像を表示するシステムである (図 4)。このシステムを利用することで、K.Gish らが述べている [3]、ナビゲーション情報の提示位置によるピント調節時間の問題点を解決している。

八百山は、スマートヘルメットによる透過型ディスプレイを用いた HUD を体験したところ、視界には違和感がほぼなく、とても自然に使えるものであったと述べている [6]。しかし、コンバイナや HUD ユニットといった大掛かりな装置を取り付けることで、ヘルメットの構造が複雑になる。そのような大掛かりな装置を作成することで、ヘルメットの狭い空間の中にディスプレイなどを取り付ける必要が出てくるために、ヘルメットの安全性にも問題が

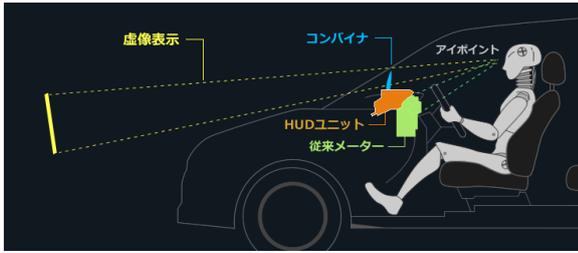


図 3 虚像を用いた遠隔への情報提示システムの原理 ( [5] より引用)



図 4 透過型ディスプレイによる情報提示 ( [6] より引用)



図 5 HUD を取り付けけたバイクシミュレータ ( [7] より引用)

出てくると考えられる。そこで、本研究における LED を利用したナビゲーションシステムが可能になれば、コンバイナや HUD ユニットといった大掛かりな装置を用いる必要なく、ヘルメットの基本構造に大きな影響を与えずにナビゲーション情報を与えることができる。

### 3. 関連研究

#### 3.1 バイク向け HUD に関する研究

伊藤らは、ウィンドスクリーン上に透過ディスプレイを取り付けて虚像を投影することが可能にしたバイクシミュレータシステム (図 5) と、実車のウィンドスクリーン上に HUD システムを取り付けて (図 6) 実験を行った [7-10].

文献 [7] では、HUD を取り付けけたバイクシミュレータを用いて、バイクシミュレータにおいて認識することが可能な情報量を文字列の認識から評価した。発見時間において、文字列に意味があるか否かと文字列の提示位置が有意

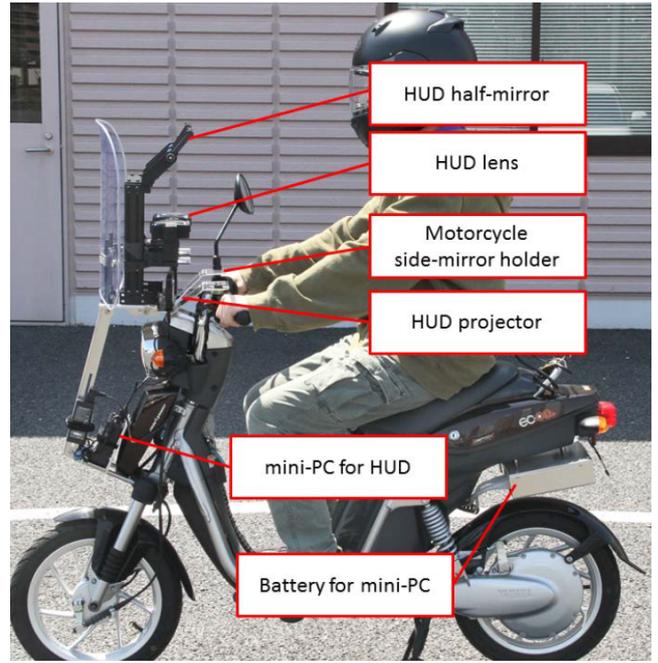


図 6 HUD を取り付けけたバイク ( [10] より引用)

な差をもたらすことはなかった。提示文字数が増加するにあたって、視認時間は増加した。これは、文字数が増えることで、情報を処理するのに必要な時間が増えるからであると伊藤らは考えている。1文字の視認時間に関して、読書時の視認時間と比較して4倍以上の時間を要することを検証し、ひらがな1文字と記号1つのデータにおいて情報処理速度の比較を行い、情報量に対する情報処理速度がどちらも約5bit/sの値になることも検証した。

文献 [8] では、HUD ディスプレイを用いて提示するナビゲーション情報の位置が、発見時間、視認時間、情報伝達時間に与える影響を評価した。ナビゲーション情報の位置を変化させるために、透過ディスプレイを縦3つ横3つの9分割にして情報の提示を行った。視認時間に関して、透過ディスプレイの情報提示位置、左・中央・右の因子では左側への提示が透過ディスプレイ中央への提示より早く視認され、上段・中段・下段の因子では上段と中段に比べて、下段への情報提示に対して視認時間が早いことを確認した。下段からの情報提示における視認時間が早くなった理由として、バイク運転者は路面情報を注視的に確認するにあたって、人間が視覚から情報を得ている中心視野が一番近くなったためであると伊藤らは述べている。

文献 [9] では、HUD ディスプレイを用いて運転者が認識しやすい情報提示タイミングについての評価を行った。情報提示のタイミングは十字路の交差点までの距離によって、25m から 85m の距離で 15m 毎にデータの提示を行った。これは、時速 30km で走行しているときに 2 秒から 11 秒の時間においてデータを与えることになる。結果として、いずれのタイミングでの情報提示においても視認時間は 1 秒未満の平均値を示し、十分に短い視認時間で情報提



図 7 安全支援システム プロトタイプ ([11] より引用)

示を視認することができるといえる。しかし、情報提示までの距離について比較を行ったところ、25m、55m と 70、85m の間には有意な差が見られた。これは、距離が長いと右左折を行う点からわき見運転をしてしまうためであると伊藤らは考えている。わき見運転の視認時間を短くするために、25m、55m が 70m 以上よりも適切なタイミングであると伊藤らは述べている。よって、情報提示タイミングにおいて、情報提示は 55m 以下の距離で行うことが適切なタイミングである。

文献 [10] では、HUD ディスプレイをバイクのウィンドスクリーン上に取り付けて路上での走行実験を行った。図 6 を作成し、走行実験を用いて、ナビゲーションシステムとして妥当な情報提示方法であることを確認をした。しかし、シミュレータを用いて実験を行った研究 [7-9] では問題にならなかった、情報提示が見えづらくなる点が指摘されている。これは、シミュレータ環境に比べて周りの照明が明るくなったために起こった問題であると伊藤らは考えている。

伊藤らは、バイク向けのナビゲーションシステムとして HUD を利用した手法をとっている。そのため、本研究における LED を用いた至近距離ナビゲーションシステムと比較することで LED を用いた至近距離ナビゲーションの有意性を検討する。また、伊藤らが行った情報提示タイミングや情報提示位置の評価結果をもとに、本研究では至近距離ナビゲーションシステムの設計を行う。

### 3.2 HUD を用いた二輪車向け運転支援システムに関する研究

三善らは、ヘッドマウントディスプレイを用いることで、自動二輪車および自転車向けに安全支援システムの開発、評価を行った [11]。三善らが開発した安全支援システムのプロトタイプが図 7 である。

このシステムを利用することによって、後方の交通状況を把握するために必要な最小限の情報を抽出し、情報提示を行うことで、ユーザの混乱を防ぐことができ、カメラ映像をそのまま提示するよりも、三善らが開発した安全支援システムに有意性があることを今後検証していく。

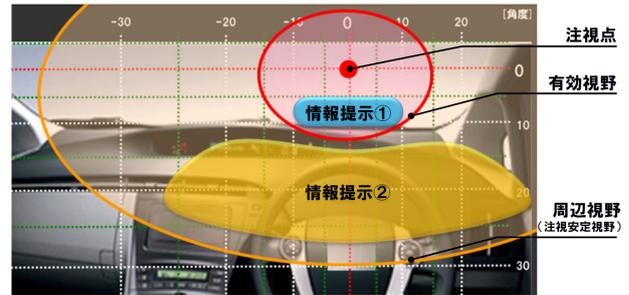


図 8 周辺視野を活用した情報提示 ([12] より引用)

三善らは、HUD によって情報提示を行う方法を検討しているが、このシステムの情報量であれば、LED によって情報提示を行う方が適していると考えられる。本研究によって、至近距離での LED による情報提示の安全性を確認することが出来れば、ヘルメット内 LED による安全支援システムも検討する。

### 3.3 周辺視野の視覚特性を利用した情報提示に関する研究

望月は、中心視野と周辺視野の違いによる視覚特性に注目して情報提示の方法を検討した [12]。中心視野では、文字などの細かい情報や、時間的な変化の緩やかな情報の変化を識別することが可能であり、周辺視野では、文字などの細かい情報の識別は難しいが、時間的な変化については高い感度を持つと望月は述べる。そこで、周辺視野を活用した情報提示を図 8 のように運転風景の周辺に行う。

実験によって、中心視野の情報提示は情報を誤って受け取ったり、情報を受け取れないことが低いために情報への信頼性が高くなることがわかった。周辺視野から受ける情報は、中心視野に比べて、情報を見落としてしまう可能性があるため、十分な信頼性のある情報として運転者に情報を与えるには至らなかった。これらを踏まえて、対向車両などの緊急度の高い情報を中心視野に置くべきであり、周辺視野に歩行者などの緊急度の低い情報を表示する形態を望月は決定した。

加えて、周辺視野領域へ情報提示を行うときは、運転中に路面を注視しながら周辺視野で認知可能とするために、左右約 15° から 30°、俯角は約 12° から 25° の範囲で行い、周辺視野で認知可能な表示サイズであること、刺激の高い色を用いることが重要であると述べている。今後は、さらなる交通事故低減、運転負荷の軽減を目的として、HMI システムを用いて自動運転中のドライバーが周辺環境をモニタリングすることができるシステムの提案を行っている。

本稿において我々が作成するヘルメット内における至近距離ナビゲーションシステムは、情報を至近距離で提示する。その時、ナビゲーションシステムを中心視野におくと、ナビゲーションシステムによる死角ができてしまい、歩行者や周りの道路情報を見逃す危険性がある。そこで、望月

らが検討を行っている周辺視野に情報提示を行うことで、運転中の中心視野に死角を作ることなく、ナビゲーション情報を提示することができるシステムの検討を行う。

### 3.4 ドライバへの危険認知支援方法に関する研究

高田らは、素早くかつ正確にドライバに危険情報を気づかせるための視覚的な提示手段として、LEDの光源を用いた警報提示方法の検討を行った [13]。実験因子として、LEDの色、直径、提示位置について評価した。反応時間の指標は、LEDの発光に気づきステアリング部分に設置したボタンを押すまでの時間を評価した。赤色LEDの検知時間が、青色LEDと黄色LEDの検知時間と比較して有意に遅れることが認められた。この理由として、提示位置が中心視野から遠ざかるにつれて色み成分を感じる事が出来なくなり、中心地から遠い提示位置の条件において黒味成分を多く含む赤色が顕著に気づきにくくなったためであると高田らは推測する。提示位置の水準において、中心視野に近いほど検知時間に有意な差が出た。

本研究では、ヘルメット内での情報提示装置としてLEDを使用する。そこで、高田らが述べている、LEDの大きさや提示位置、色による評価結果をもとに使用するLEDの選定を行った。

### 3.5 HUDにおける視覚情報受容に関する研究

岡林は、ヘッドアップディスプレイとヘッドダウンディスプレイを用いて与えた情報がどれだけ正しく受け取れるかについて検証を行った [14]。また、ヘッドアップディスプレイから与える情報に関して、虚像を用いて0.7 mから5.0 mの範囲で情報提示を行い、どの距離においてデータを提示することが効果的であるのかを情報認識の正答率から検証した。前景情報と表示像情報を正しくドライバに伝達できる指標について、ヘッドアップディスプレイ表示像距離を長く探り、表示像位置をより前景に近く、できるだけ目から遠方に設定したほうが優れていることを確認した。表示像距離を長くすることによる表示像情報認識特性（正答率）改善の効果は高齢者層ドライバでより顕著になった。

岡林らは、HUDの情報提示において0.7 mより近くの至近距離での情報提示についての評価を行っていない。これは、HUDによるシステムを用いて情報認識の正答率を評価するにあたって、至近距離では与えられた情報を認識できないと考えたためである。本研究では、至近距離での情報提示を評価するにあたって、情報認識の正答率についても、遠距離での情報提示と比較して検討を行う必要がある。

### 3.6 HMD利用時の刺激に対する主観時間評価の研究

清水らは、腕時計型デバイスを用いた触覚振動刺激とHMDを用いた視覚映像刺激により、ウェアラブル機器で主観時間を制御するための情報提示手法の提案を行った [15]。

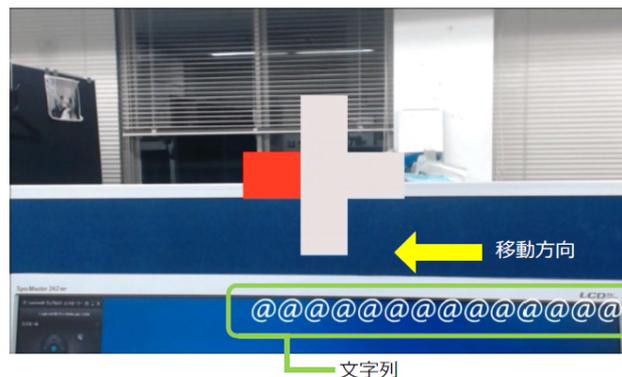


図 9 視覚映像による刺激の提示手法（[15]より引用）

主観時間を制御するにあたって、触覚刺激では、提示刺激の強度を強くすることで主観時間を長く感じさせ、逆に刺激を小さくすることで主観時間を短く感じさせることが可能であると清水らは考えた。腕時計型デバイスでは、振動周期を短くするほど刺激回数が増えるため、ユーザは時間を長く評価し、振動周期を長くすると、刺激回数が減るため、ユーザは時間を短く評価すると思った。HMDを用いた手法では、動くオブジェクトを図9のように視界に提示して、このオブジェクトの動く速度が速いほど刺激が増えるためにユーザは時間を長く評価し、オブジェクトの動く速度を遅くすると刺激が減るため、ユーザは時間を短く評価すると思った。結果として、触覚振動提示実験では振動周期による刺激が時間評価に影響を与えたにもかかわらず、視覚映像提示によるオブジェクトの移動速度の刺激は時間的评价に影響を与えることはなかった。

清水らの提案する図9のような情報提示方法は、HUDに関わらずLEDの明滅頻度やLEDの明るさの変化による刺激の強度によっても、オブジェクトの移動速度による刺激が与える主観時間評価と同様に検討を行うことが可能であると考えられる。そこで、本研究によるLEDを用いた情報提示方法において、LEDの明滅や移動が主観時間に与える影響を検討する必要がある。

## 4. ヘルメット内における至近距離ナビゲーションシステムのコンセプト

二輪車向けのスマートフォンを使ったナビゲーションシステムは、ハンドルなどにスマートフォンを取り付けるため、俯角30°を超えてしまう。これは、ナビゲーションシステムの情報を見るために、路面から視線を外す必要がある、よそ見をしてしまうことが問題となっている。そこで、現在開発が進められているのがHUDを用いた“スマートヘルメット”である。しかし、スマートヘルメットではコンパイナやHUDユニットを取り付けることによって、ヘルメットの構造が複雑になるという問題点がある。そこで、ヘルメットとしての機能を大きく変更することなく、

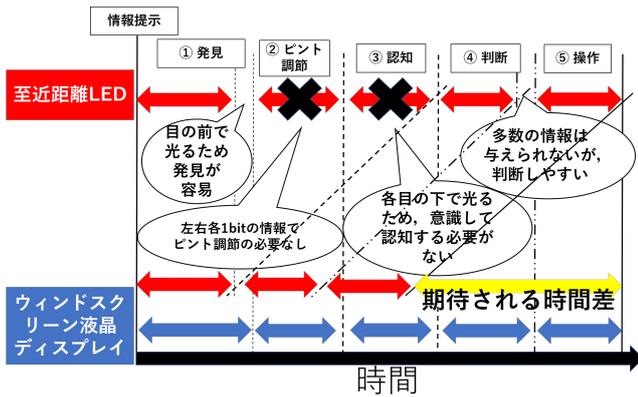


図 10 情報提示から操作までの流れ

視覚内でナビゲーションを行えるシステムを考える。

K. Gish らによると [3], 一般的に運転中の視覚的な情報提示は、運転中の周りの景色とのピント調節の時間を短縮するために、可能な限り遠方に表示するのが効果的であると述べられている。ヘルメット内にコンバイナといった虚像を遠距離に投影するシステムを取り付けずに、ヘルメット内で情報提示を行うとどうしても情報提示は至近距離になってしまうために、運転中の周りの景色から至近距離ナビゲーション情報へピントを調節する時間が長くなってしまふ。そこで、LED を利用して情報量を十分に減らすことによって、至近距離でもナビゲーション情報を受け取ることができ、ピント調節の時間をなくすることができるのではないかと考える。

ヘルメット内における LED を利用した至近距離ナビゲーションシステムを設計するにあたって、与える情報を選択する必要がある。そこで、北岡らによる [16] 方向と距離の簡易な表示で経路案内をするナビゲーションシステムをもとに、与えるデータを右左折の方向情報のみに絞る。右左折の情報を LED を用いて誤解なく伝えるために、左右の情報を別々の LED を用いて与える。

ヘルメット内から至近距離で右左折のナビゲーションを行う今回のシステムを用いることで、期待される情報提示から行動までの流れを図 10 に示す。

図 10 のように、目の前で LED が光ることによって発見が容易になる点、左右各 1bit の情報にすることでピントを調節する必要がない点、各目の下で光るので意識して認識する必要がない点、情報量が少ないことによって判断しやすい点から、反応速度を十分に短縮することが出来ると思われる。

情報提示方法を LED にすることによって、与えられる情報は限られてしまう。しかしながら、清水らが行った文字を横方向に動かす速さを変える視覚的な情報提示方法 [15] を利用して、LED の位置を横方向に動かしたり、LED の明滅頻度を変えたり、LED の色を変えることによって十分なナビゲーション情報の提示を行うことができると考える。

表 1 実験の使用機材

機材の種類	製品名
赤色 LED	1L0534V24H0CA003
制御用マイクロコンピュータ	M5Stack Basic
液晶ディスプレイ	
バイクシミュレータ	Honda ライディングシミュレータ RC5 シリーズ
バイクヘルメット	マルシン (MARUSHIN) フルフェイス M930 ブラック フリーサイズ (57-60 cm)
データ収集カメラ	Kodak SP360 Insta360 ONE

## 5. ヘルメット内での至近距離ナビゲーション装置の設計による運転者の反応時間実験

### 5.1 実験目的

本実験の目的として、4 章で述べたように、ピント調節時間の有無、認知時間の有無、発見時間の減少、判断時間の減少によって期待される、至近距離 LED ナビゲーションのウィンドスクリーン液晶ディスプレイに対する情報提示から操作までの時間減少を検証する。

### 5.2 実験機材

実験で使用した機材を表 1 に示す。

LED の選定理由としては、高田らによると [13], 赤色は黒み成分を多く含み、黒み成分は周辺視野において非常に強く知覚される色であると述べられているためである。

M5Stack は、プロトタイピング用マイコンモジュールであり、2 インチの液晶が内蔵されている。提示する右左折の情報は遠距離でも認識しやすいために今回の実験において矢印画像を M5Stack の液晶モニタに提示した。また、マイコンであるために、提案デバイスの LED も同時に制御することが可能である。以上の理由で実験装置として使用した。

バイクシミュレータは、自動車免許教習所で使用されているものを利用した。二輪車の運転状況をシミュレータによって安全に再現することが可能であるために今回の機材として選んだ。

バイクヘルメットは、顎から頭部全体を覆うことが可能であり安全性が高いフルフェイスヘルメットを選んだ。どのような被験者でも使用することができるように、フリーサイズのヘルメットを用いることで、違う被験者でも同じ状況で実験を行えるようにした。

データ収集カメラには、360° の範囲を取ることが可能な Kodak SP360 と Insta360 ONE を用いた。これは、運転状況、シミュレータの走行道路情報、ナビゲーション情報の与え方について同時に一つの画像データとして解析できるために選択した。

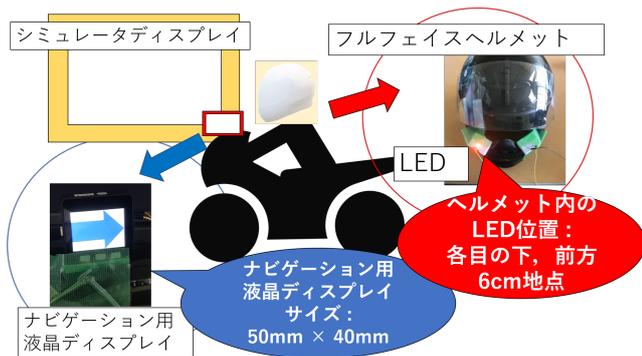


図 11 実験システムの模式図

### 5.3 実験手順

まず初めに、実験装置の作成を行った。ヘルメット内における至近距離ナビゲーションシステムは、フルフェイスヘルメットの両目の下の前方 6cm 地点に設置した。これは、ヘルメット内におさまり、かつできる限り目から離すことが可能な位置である。左折を示すときには左目の下の LED が点灯し、右折を示すときには右目の下の LED が点灯する。対して、液晶ディスプレイによるナビゲーションは、バイクシミュレータのスクリーンを隠すことができず、遠方で設置可能であったウィンドスクリーン上、被験者の頭から約 90cm 前方の地点に設置した。液晶ディスプレイによるナビゲーションは右左折に合わせた向きの矢印によって行う。液晶ディスプレイは俯角 30° 以内で視野の中に恒常的に入る位置に設置した。俯角 30° 以内におさめることにより、視線を道路から離す必要がなくてもナビゲーションを確認することができる位置にナビゲーション用液晶ディスプレイを設置した。

#### 5.3.1 右左折行動実験

4 で設計したヘルメットシステムの検証を行うために、バイクシミュレータを用いて予備実験を行った。その時の風景が図 12 である。この時、ナビゲーションが行われてから右折または左折を行い、ハンドルをまっすぐに戻すまでの時間を右左折完了時間としてデータの収集を行った。

予備実験において、Kodak SP360 のカメラを用いてナビゲーションが行われてから右左折の行動が完了するまでの時間をデータとして計測した。今回の実験では、普通自動二輪車の運転免許を持つ 20 代の男性 1 名に対して、至近距離 LED によるナビゲーションと液晶ディスプレイによるナビゲーションをもとにバイクシミュレータで市街地を走行してもらい、各ナビゲーション毎に 15 回ずつの右左折走行を行った。しかし、動画データを確認したところ、道路状況に影響されて右左折の仕方が違ったために定量的に評価することが出来なかったために、実験方法の再検討を行った。この時にとったデータをまとめたものが表 2 である。

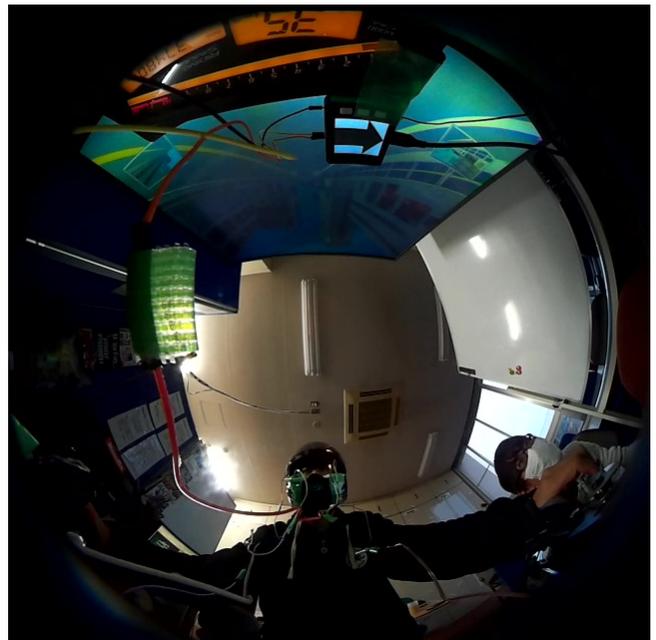


図 12 右左折行動実験風景

表 2 右左折行動実験結果

	至近距離 LED	液晶ディスプレイ
最長時間 (sec)	35.05	23.16
最短時間 (sec)	8.13	9.08
合計時間 (sec)	147.20	161.15
平均時間 (sec)	14.70	16.11



図 13 方向指示器操作実験風景

#### 5.3.2 方向指示器操作実験

定量的な反応時間のデータを取るにあたって、ナビゲーション情報を与えられて認識したときに方向指示器を操作してもらうことで、ナビゲーションによる情報表示から方向指示器の操作までの時間を評価する。ナビゲーション情報は右左折地点からの距離がランダムなところで表示し、被験者が方向指示器を行ったあとで、方向指示器を出した方向に曲がること可能なタイミングで曲がってもらった。

普通自動二輪車の運転免許を所有している 20 代男性 3 名の被験者から、ヘルメット内における至近距離ナビゲーションとナビゲーション用液晶ディスプレイの各ナビゲー

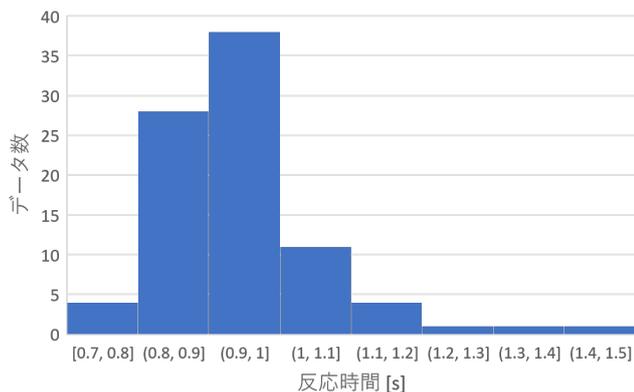


図 14 液晶ディスプレイによる情報提示から方向指示器操作の反応時間分布図

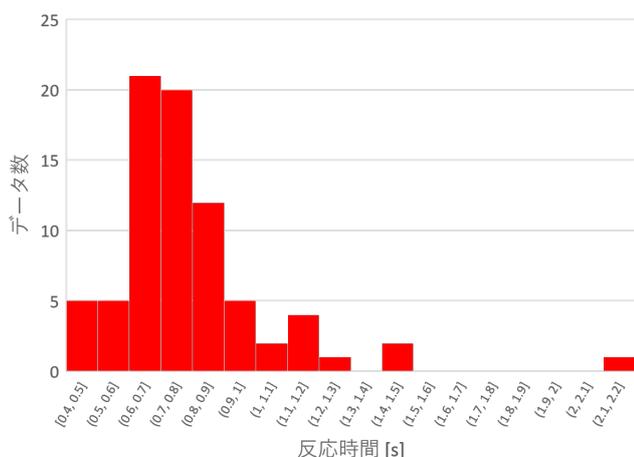


図 15 至近距離 LED による情報提示から方向指示器操作の反応時間分布図

ションで 90 回ずつのデータを取得した。データはカメラによって収集を行い、後処理によって動画の解析を行う。

#### 5.4 実験結果

30 fps で撮影した動画データを解析し、各ナビゲーションにおいて反応時間をデータとして作成した。この時に得た情報提示から方向指示器操作までの反応時間のデータをヒストグラムにまとめたものが、図 14 と図 15 である。

#### 5.5 実験結果の解析

至近距離 LED ナビゲーションと液晶ディスプレイナビゲーションを比較するにあたって、各データの平均値についてどちらに有意性があるのか検定することが可能な t 検定を用いる。実験で得たデータを t 検定を用いて分析するにあたり、データ分布が正規分布にのっとっていないと t 検定を行うことができないため、データが正規分布に従うかどうかの検証を行った。ここでは、ヒストグラムの形と歪度、尖度を用いて検証した。歪度を求める式を式 (1)、尖度を求める式を式 (2) に示す。サンプルサイズを  $n$ 、各データ  $x_i (i: 1, 2, \dots, n)$  の平均値を  $\bar{x}$ 、標準偏差を  $s$  とする。

表 3 元データの歪度と尖度

	至近距離 LED	液晶ディスプレイ
歪度	2.48	1.12
尖度	10.44	2.06

表 4 外れ値を除いた後の歪度と尖度

	至近距離 LED
歪度	1.07
尖度	1.2

$$\frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n \left( \frac{x_i - \bar{x}}{s} \right)^3 \quad (1)$$

$$\frac{n(n+1)}{(n-1)(n-2)(n-3)} \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^4}{s^4} - \frac{3(n-1)^2}{(n-2)(n-3)} \quad (2)$$

歪度とは、データ分布の非対称性を表したものである。正規分布において、データ分布は左右対称になる。歪度の絶対値の値が大きくなるほど分布が非対称であることを表し、4 を超えるとデータの変数を変換する必要がある。尖度とは、データ分布がどれほど一点に集中しているかを表しており、正規分布では単峰になって一点にデータが集中することからこの値を用いる。尖度の値が 3 より大きいときにはヒストグラムを確認して外れ値についての検討を行う必要がある。

ここで、実験によって得たデータの歪度と尖度を表 3 に示す。

表 3 によると、至近距離 LED ナビゲーションの尖度の値が 3 より大きくなっているためにヒストグラムを用いて外れ値の検討を行う必要がある。そこで、至近距離 LED ナビゲーションによる反応時間のデータをヒストグラムにしたものが図 15 を用いて、外れ値の検討を行った。図 15 から、反応時間 2.1 s から 2.2 s の間にある 1 つのデータについて、元の動画データを用いて検討を行ったところ、二車線道路において左車線を走行中に右折のナビゲーションが出たことで、右車線に一度移動ののち右折を行うという特殊な走行を行っていた。この移動に伴って、方向指示器を操作するタイミングが一度車線を変更することで遅れていたため、このデータは外れ値として扱うこととした。外れ値を除いた後の歪度、尖度とヒストグラムを表 4、図 16 に示す。

表 4 から、この 1 つの外れ値を抜いたこのデータを用いて t 検定を行う。

#### 5.6 反応時間有意性の検定

至近距離 LED ナビゲーションの反応時間が、液晶ディスプレイナビゲーションの反応時間に比べて有意であることを求めたいため、2 標本による片側 t 検定を行う。片側 t 検定では、至近距離 LED ナビゲーションの反応時間が液

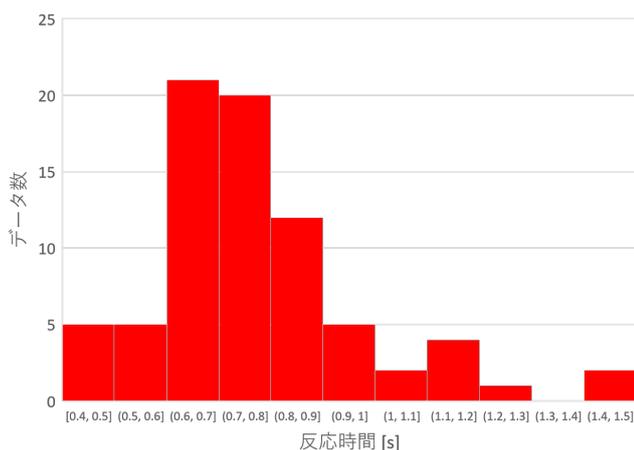


図 16 外れ値を除いた後の至近距離 LED データのヒストグラム

表 5 分散が等しくないと仮定した 2 標本による t 検定の結果

	至近距離 LED	液晶ディスプレイ
平均時間 (sec)	0.85	0.96
標準偏差 (sec)	0.21	0.15
観測数	77	88
t	-3.86124	
P(T ≤ t) 片側	0.00009	
t 境界値 片側	1.65597	

晶ディスプレイナビゲーションの反応時間に比べて短縮可能であるときに、t の値が負の値となる。

表 5 から、P の値が 0.01 よりも小さいこと、t の値が負の値になっていること、t の絶対値が t の片側境界値よりも十分に小さくなっていることが分かる。よって、至近距離 LED ナビゲーションの反応時間が短くなるという有意性がある。

### 5.7 考察

表 5 から、P 値が 0.00009 という非常に小さい値になることを確認することができた。P 値は t 検定において、これ以上偏った検定統計量が得られる確率を示し、0.01 を下回ることで有意差を述べる事が可能である。今回の検定は P 値から、とても精度の高い確率でこれ以上偏った検定結果が得られないことを示すことができた。

5.3.2 節では、各ナビゲーション毎に 90 回ずつの試行をした。しかし、表 5 では観測数がどちらも 90 に満たない。これは、データ取得装置に不備があったためにデータに欠損値がでてしまったためである。t 検定を行うにあたって、データ数が多いほうが検定結果の精度が上がるため、欠損値を出さないようにするべきであった。欠損値を出さないようにすることで、より精度の高い t 検定結果を出すことが可能になる。今後は、被験者を増やして今回の検定結果と同様に精度の高い検定結果になることを確認する必要がある。

また、5.4 節では、歪度と尖度およびヒストグラムを用

いて外れ値の検証を行った。しかし、今回の試行実験において、反応時間は情報が与えられるよりも前に反応することはできないが、情報提示が行われてから情報に気づかずに反応が遅れることから、一点にデータが集中しつつも非対称のデータ分布になることがある。そこで、標本が正規分布に従うかを検討する、正規性検定によって判断するべきであった。今回の実験結果では正規性検定を行うために、今回の実験は十分なデータ数を取ることができていたとは言えない。加えて、被験者が 20 代の男性のみになってしまったことから被験者の種類や性別が偏ってしまい、十分に検証することができたとはいえない。今後は、自動二輪車の免許を持っている人に限らず、自動車の運転免許を持っている人を対象に、原動機付き自転車によるシミュレータの走行モードを利用して、同様の実験を行うことを検討する。

## 6. まとめと今後の課題

今回の実験において、ヘルメット内における至近距離の LED ナビゲーションは遠方に表示したナビゲーション情報よりも、情報が提示されてから方向指示器を操作するまでの反応時間を短縮することが可能であることを、t 検定を用いて、表 5 のように、P 値が 0.01 よりも小さくなること、t の絶対値が t 境界値よりも十分に小さくなっていることから確認した。これは、ヘルメット内における至近距離の LED ナビゲーションは、ピント調節の時間をなくすことで、遠方に表示したナビゲーション情報よりも反応速度を短縮することが出来ることを示す。よって、ヘルメット内における至近距離 LED ナビゲーションシステムにおける問題点であった至近距離で情報提示を行われることによる認識時間の問題点は、情報量を少なくすることでピント調節の時間をなくすことで短縮することができた。

しかし、LED が目の前で光ることによる安全性や夜間時の対向車のヘッドライトの影響といった点において今回の実験では十分に検討することができなかつたために、今後はこのシステムの安全性を検証していく必要がある。

今回の実験およびシステムにおいて、LED は右左折の方向を 2bit の LED だけを用いて行った。しかし、右左折をするにあたって、右左折をする場所までの距離を与えることで、誤解なく情報を伝えることが可能になる。そこで、今後は北岡らが示すグラフによる距離の提示方法 [16] を多数の LED を設置することで実装し、検証を行っていきたいと考える。LED を多数に設置することで認識しやすさや安全性に影響を与える可能性が示唆されるため、至近距離 LED ナビゲーションを用いて与える情報量についての検討も行っていく必要がある。

## 参考文献

- [1] 飯星明, “車載情報機器の基準と運転中使用規制”, 国際交通安全学会誌, Vol. 31, No. 2, pp. 33–38, 2006.
- [2] キムロウ, “2020 年にも発売予定! SHOEI のスマートヘルメットを東京モーターサイクルショーで体験してきたぞ!”, タンデムスタイル, <https://www.tandemstyle.com/news/49586/>, 2019.
- [3] K.W. Gish, and L. Staplin, “Human factors aspects of using head up displays in automobiles: A review of the literature”, National Highway Traffic Safety Administration, 1995.
- [4] “コネクティビティ BMW Motorrad”, BMW, <https://www.bmw-motorrad.jp/ja/engineering/detail/navigation-communication/connectivity.html>.
- [5] “車載用ヘッドアップディスプレイ”, NS ウェスト株式会社, <http://www.nswest.co.jp/product/hud.html>.
- [6] 八百山ゆうすけ, “スマートヘルメット新時代到来【視界に情報が浮かび上がる未来】”, ヤングマシン, <https://young-machine.com/2019/02/26/26773/>, 2019.
- [7] 伊藤研一郎, 立山義祐, 西村秀和, 小木哲朗, “自動二輪車用ヘッドアップディスプレイにおける提示情報量の評価”, 日本機械学会論文集, Vol. 81, No. 830, pp. 1–9, 2015.
- [8] 伊藤研一郎, 立山義祐, 西村秀和, 小木哲朗, “ヘッドアップディスプレイを用いた自動二輪運転者への情報提示位置の評価”, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 18, No. 4, pp. 435–442, 2016.
- [9] 伊藤研一郎, 西村秀和, 小木哲朗, “自動二輪車用ヘッドアップディスプレイにおける情報提示タイミングの評価”, 日本機械学会論文集, Vol. 83, No. 853, pp. 1–10, 2017.
- [10] 伊藤研一郎, 西村秀和, 小木哲朗, “実車走行試験による自動二輪車用 HUD を用いた情報提示の評価”, 設計工学・システム部門講演会講演論文集, Vol. 2017, p. 1210, 2017.
- [11] 三善優紀, 安藤大地, 笠原信一, “周辺情報の把握による二輪車向け運転支援システムの開発”, 情報処理学会インタラクシオン 2016, pp. 367–370, 2016.
- [12] 望月誠, “周辺視野の視覚特性を活用した複数の運転支援情報の提示方法に関する研究”, PhD thesis, 香川大学, 2015.
- [13] 高田一, 荒井稔博, 松浦慶総, 岡田緑郎, 林宗平, “ドライバへの危険認知支援方法に関する研究 (第 1 報): 光による視覚認知”, 自動車技術会論文集, Vol. 38, No. 1, pp. 43–48, 2007.
- [14] 岡林繁, “自動車用ヘッドアップディスプレイにおける視覚情報受容に関する研究”, PhD thesis, 名古屋大学, 1993.
- [15] 清水友順, 双見京介, 寺田努, 塚本昌彦, “ユーザの主観時間制御のためのウェアラブルデバイス向け情報提示手法”, マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2016 論文集, pp. 162–169, 2016.
- [16] 北岡広宣, 中野倫明, 山本新, 林健, 白井仁, 関野和彦, “簡易表示ナビの視認性評価”, テレビジョン学会年次大会講演予稿集, Vol. 32, pp. 419–420, 1996.