

可視光通信を利用した事故防止のための 音声システムの開発

梶田 温子*・高田 陽大**

Development of Audio System for Traffic Accident Prevention Using Visible Light Communication

Haruko Masuda*, Haruhiro Takata**

Abstract

In Japan, the sum of head-on collisions and rear-end collisions account for about 60% of the total number of traffic accidents that occurred in 2015. We develop the audio system to prevent those accidents. It's receiving signal information using traffic signals by the visible light communication, calculating and saying when the driver should brake, and notifying the driver before an intersection.

1. 緒言

我が国で発生する交通事故は、交通量の急激な増大に伴い、昭和45年には死者数が約1万7千人に達した。これに対し、同年に交通安全対策基本法が制定され、昭和50年代前半にかけて交通事故の発生件数や死者数、負傷者数が減少した。しかし、その後車両保有台数や運転免許保有者数の増加により昭和50年代半ばから再び増加に転じ、平成16年に交通事故の発生件数や負傷者数は最多となった。交通事故が発生する要因として、ドライバーの行動による人的要因や道路形状、路面の状態などによる道路要因が挙げられるが、それに対応するように自動車の安全性能の向上や道路の改良などが行われたため、平成17年から交通事故の発生件数や負傷者数は減少傾向にある。また、死者数はいち早く減少傾向にあり、平成8年以降は1万人を下回り、平成21年には5千人を下回るまでに減少した^[1]。ここで、道路形状別で交通事故を比較すると、この10年間は交差点付近及び交差点内での交通事故が最も多く、発生件数は年々減少しているが事故全体を占める割合は毎年50%以上とほとんど変動していない。また、事故類型別で比較すると、この10年間は車両同士の追突事故が最も多く、次いで車両同士の出会い頭衝突事故となっており、この2種類の交通事故の合計は年々減少しているが、全体を占める割合は毎年60%近くを上る^[2]。

交差点付近及び交差点内における出会い頭衝突事故や追突事故を防止する対策として、信号機や道路標示、アンチロック・ブレーキシステム、安全運転支援システムなどが挙げられる。その中でも、安全運転支援システムは、光ビーコンから車載器に対して送信された信号情報や路側センサ情報などを用いて、出会い頭衝突防止支援や追突防止支援などの機能をドライバーに提供する。ここで、信号情報は、信号の灯色情報や残り予定表示秒数などの対象信号交差点の信号制御情報を指す^[3]。また、光ビーコンは、光学式車両感知器ともいい、赤外線を媒体とする双方向通信が可能なインフラ設備のことである^[4]。安全運転支援システムが全国展開を始めた平成23年における事故件数は、約69万件となっており、これは前年から3万4千件近く減少している。従って、このシステムは事故削減の助けになっているといえるが、光ビーコンが充実していない場所では利用できないという問題がある。

一方、車両用交通信号機の灯器（以下、信号灯器という）は、平成24年度末において約4割がLED式となっており、今後も増加していくと予想される^[5]。LEDは高速で明滅の切り替えが可能のため、可視光通信の送信器に利用でき、信号機や道路標示、街灯、車両のヘッドライトなど道路交通において広く利用されている。そのため、可視光通信を利用した歩行者やドライバーへの情報提供や、ヘッドライトやテールランプを用いた走行中の車同士の通信など、高度道路交通シ

*情報工学科

**生産システム工学専攻

テム分野への応用が期待されている⁶⁾。

以上のことから、信号灯器の LED による可視光通信で信号情報の送信が可能ならば、光ビーコンが設置されていない場所でも、交差点付近及び交差点内での出会い頭衝突事故や追突事故を防止するように機能を充実させた安全運転支援システムを使用できるため、最大で約半数の交通事故の削減が可能である。

そこで、本研究では、信号の切り替え時の無理な交差点進入や急ブレーキによる追突事故を防止するため、可視光通信によって信号灯器から送信された信号情報を受信し、自動車が交差点に侵入する前に、音声によって適切な地点でドライバーがブレーキを踏むよう促すシステムを開発する。まず、GPS モジュールを用いて取得した位置座標から自動車の速度を算出する。次に、可視光通信で得られた信号情報をもとにブレーキを踏むように促す音声を出力する。そして、信号情報の受信から音声による通知までの開発手順を明らかにする。最後に、作成した音声システムを自動車に取り付けて動作確認を行い、その結果について考察する。

2. 位置座標の取得と速度の算出

2. 1 位置座標の取得

自動車の位置座標を取得するため、Arduino に GPS モジュールを接続する。Arduino は、マイコンチップや入出力ポート、基盤、開発システムが一体となったオープンソースハードウェアである。Arduino の利点として、開発環境である Arduino IDE は無料で利用することができ、マイコンと基盤が一体となって市販されているため、誰でも安価かつ簡単にシステムを開発できる⁷⁾。

まず、GPS モジュールの位置精度を明らかにするため、GPS モジュールと Arduino をある位置に固定し、GPS Viewer ソフトウェアを用いて 5 分ごとの CEP (Circular Error Probability) の数値を、10 回ずつ繰り返し記録する。CEP は、平均誤差半径とも呼ばれ、数値に示された半径の中に GPS が受信した位置座標が 50% の確率で存在することを示す指標である⁸⁾。

次に、GPS モジュールが出力するデータから緯度と経度の座標データをそれぞれ取得する。GPS モジュールから出力されるデータは NMEA-0813 形式の数字と文字で構成されており、1 つのセンテンスは「\$」から始まって改行コードで終わる。また、センテンス中の各項目はカンマによって区切られている。緯度と経度の座標データを取得するためには、受信したデータを改行コードごとに行データとして抽出し、カンマごとに分割する。それから、抽出した行データ中に緯度と経度の座標が含まれているかを行データの先頭の文字

列で判定し、特定の文字列と一致した場合、緯度と経度の座標データをそれぞれ変数に格納する。

2. 2 速度の算出

Arduino と GPS モジュールによって取得した位置座標から速度を算出するため、まず、2 点の位置座標の差を求め、その差から移動距離 D を算出する。 D は、東西方向の距離 D_x と南北方向の距離 D_y を用いた三平方の定理で求められる。

東西方向の距離 D_x は、経度 1 分あたりの長さを求める必要があり、次式で算出される。

$$D_x = 2\pi R \times \cos\left(\frac{\pi}{180}\theta\right) \times \frac{1}{360 \times 60} \times A_x \quad (1)$$

ここで、 R は地球の半径 (m)、 θ は測定地点の緯度、 A_x は 2 点の経度の差を表す。

また、南北方向の距離 D_y は、緯度 1 分あたりの長さを求める必要があり、緯度 1 分あたりの長さは 1 海里と等しい。1 海里をメートルに換算すると 1852 (m) であり、南北方向の距離 D_y は次式で算出される。

$$D_y = 1852 \times A_y \quad (2)$$

ここで、 A_y は 2 点の緯度の差を表す。

式 (1) と式 (2) から、移動距離 D は次式で算出される。

$$D = \sqrt{(D_x)^2 + (D_y)^2} \quad (3)$$

自動車の速度 V は、2 点の自動車の位置座標を用いて算出した D を GPS モジュールの更新時間 G で除することによって求められ、次式で算出される。

$$V = \frac{D}{G} \quad (4)$$

また、停止線までの距離 D は、停止線と自動車の 2 点の位置座標の差から、式 (3) を用いて算出する。そして、停止線までの到達時間 T は、停止線までの距離 D を自動車の速度 V で除することによって求められ、次式で算出される。

$$T = \frac{D}{V} \quad (5)$$

3. 可視光通信の実現

3. 1 可視光通信の原理

可視光とは、人の目で知覚することができ、波長が約 380~780 (nm) の帯域にある電磁波のことを言う⁹⁾。可視光通信は、その可視光を搬送波として利用する

通信方法であり、光源を人間の目には知覚できない程の速さで点滅させ、受信器が受光して電気信号に変換することで情報の伝送を行う。

3. 2 LED アレイと送信モジュールの接続

可視光通信を行うため、LED 駆動を行う送信モジュールと信号灯器を模した青・黄・赤 3 色の LED アレイを図 1 に示すようなスイッチング回路を用いて接続する。それにより、複数の LED アレイを、送信モジュールが出力する信号に合わせ、同じ波形とタイミングで発光させる。回路にはスイッチング素子として n 型 MOSFET とフォトカプラを使用する。MOSFET は、外部から電圧を加えることで電流を制御するトランジスタであり、フォトカプラは、電気信号を光に変換し再び電気信号へ戻すことによって、電気的に絶縁しながら信号を伝達する素子である。それによって、スイッチングで発生するノイズを除去しつつ、スイッチの OFF と ON の動作を表現することができる。

3. 3 送信モジュールの開発

任意の文字列や数値データを可視光通信によって送信するため、送信モジュールの開発を行う。まず、シリアル通信ソフトによって入力されたデータを、I-4PPM (Inverted 4 Pulse Position Modulation) 変調にかける。I-4PPM 変調は、ある特定のシンボル時間を 4 つに分割し、データとして与えられた 2 ビットの値に対して、それぞれ 1 スロットのパルスのオフ時間を与える。この変調方式は、図 2 に示すように 2 ビットのデータがどの値であっても 1 シンボル時間に対し、3/4 は必ず LED を ON にできるため、光のちらつきを感じにくくなるという利点がある[9]。そして、I-4PPM 変調を行った値に、データ先頭を示すプリアンブルやフレームタイプ、誤り検出を行う CRC-16 デ

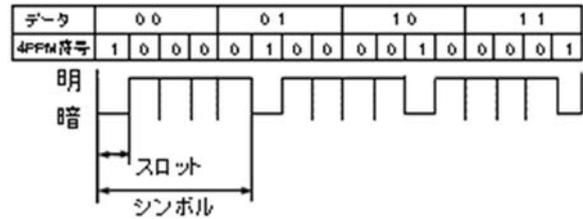


図 2 I-4PPM 変調

ータを付加し、最後に、接続された LED アレイの駆動を行う。

3. 4 Processing による受信データの加工

受信モジュールが復調したデータを別ポートに接続されている Arduino へ送信して処理させるため、Processing を用いてデータの加工と Arduino へデータの送信を行う。Processing は Java 言語をベースとした統合開発環境で、シリアルライブラリを利用することで Arduino と接続し、データのやり取りを行うことができる[10]。受信モジュールがデータの復調を行った際、受信データに先頭を示すチルダや改行コードなど余分なデータを追加して PC に転送するため、それを取り除いて文字列や数値データのみを Arduino へ送信する。

3. 5 光センサによる通信速度の算出

光センサをオシロスコープと接続し、波形を読み取って通信速度 I を算出する。光センサは、LED が出力する光をピンフォトダイオードによって電気的な信号に変換する器具である。

I-4PPM 変調では、1 つのパルスの内 1 ビットのみ必ず Low であるから、Low 時のパルス幅は、1 ビットを送信するためにかかった時間と考えることができる。

通信速度 I はその逆数であり、次式で算出される。

$$I = \frac{1}{P_L} \tag{6}$$

ここで、 P_L は、Low 時のパルス幅を表す。

4. 音声の出力

まず、音声を出力する適切な地点を求めるため、自動車の停止距離 S を算出する。停止距離 S は、空走距離と制動距離の合計であり、空走距離は、自動車を停止させる必要があると判断した瞬間から、ブレーキが利き始めるまでに自動車が走行した距離を言い、制動距離は、ブレーキが効き始めて車輪の回転が止まり、自動車が滑走して停止するまでの距離を指す。停止距離 S は次式で算出される[11]。

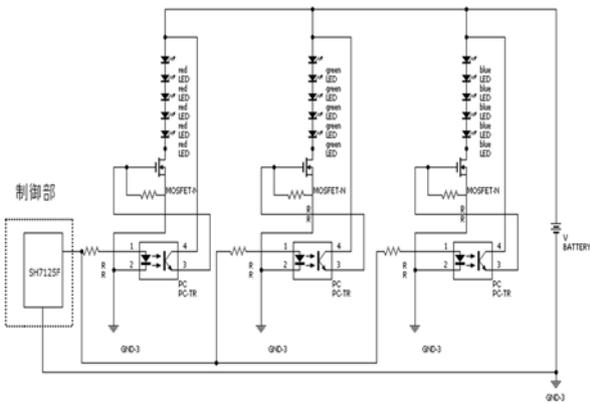


図 1 スwitching回路図

$$S = \tau V + \frac{V^2}{2\mu g} \quad (7)$$

ここで、 τ はドライバーの反応時間 (s)、 V は走行速度 (m/s)、 μ は摩擦係数、 g は重力加速度 (m/s²)を表す。

平均的なドライバーの反応時間 τ は約 0.7 秒から 0.8 秒程度とされるため、開発するシステムでは τ を 0.75 秒に設定する。また、摩擦係数 μ は、表 1 に示すように路面の状況や路面の濡れ程度などによって異なる。開発するシステムでは、走行する路面を乾いたアスファルトとして考え、 μ を 0.7 に設定する。

次に、式 (7) を用いて算出した停止距離 S と音声の出力中に自動車が進む距離の和 L を次式によって算出する。

$$L = S + 7 \times V \quad (8)$$

ここで、7 という数値は実際に出力する音声メッセージの時間 (秒) を表す。そして、式 (8) を用いて算出した L と停止線までの距離 D が一致した地点で音声を出力する。

最後に、音声の出力を行うため、図 3 に示すような回路で Arduino に対し、音声合成 LSI と圧電スピーカーを接続する。

表 1 各種路面に対するタイヤの摩擦係数

各種路面	摩擦係数
乾いたアスファルトまたは コンクリート	0.6~0.8
濡れたコンクリート	0.5
濡れたアスファルト	0.45~0.6
砂利道路	0.55

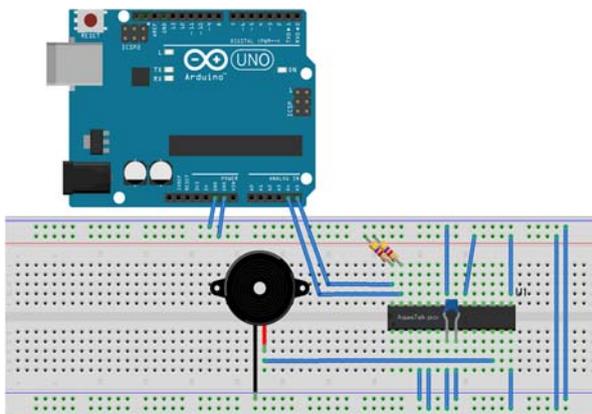


図 3 音声出力のブレッドボード図

5. システムの開発手順

本研究で開発するシステムの開発手順を図 4 に示す。最初に、GPS モジュールによって自動車の位置座標を取得する。次に、式 (3) と式 (4) を用いて自動車の移動距離である D と速度 V を求め、式 (3) と式 (5) を用いて停止線までの距離である D と到達時間 T を算出する。また、可視光通信によって LED から送信される信号情報を受信し、Processing を用いて受信したデータに含まれるチルダや改行コードなどの余分なデータを取り除き、Arduino へ送信して処理できるようにした後、光センサを利用して通信速度 I を算出する。そして、受信した信号情報から青信号かどうかを判定し、青信号なら停止線までの到達時間 D と残り予定表示秒数を比較して自動車が信号交差点に到達した時点での信号の灯色を判定する。最後に、自動車が信号交差点に到達したとき黄信号に切り替わっているならば、式 (7) と式 (8) を用いて停止距離 S と音声の出力中に自動車が進む距離の和 L を算出し、 L が停止線まで

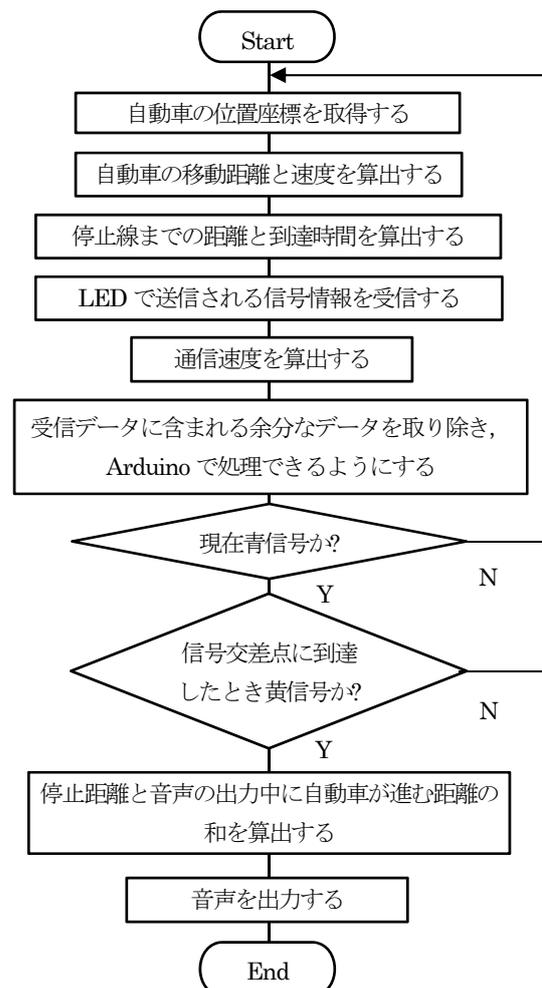


図 4 システムの開発手順

の距離 D と一致した地点でドライバーに対してブレーキを踏むように促す音声を出力する。

6. 研究結果と考察

6. 1 CEP の測定結果と考察

使用した GPS モジュール「GT-723F」の位置精度を明らかにするために Arduino と接続し、CEP を 8 回測定した。図 5 に示されるように、1 回目から 6 回目の測定は、単独測定で最終的な CEP は約 10 (m) に収束した。ところが、7 回目と 8 回目の測定は静止衛星の補正情報を利用できたため、CEP は 7 回目の測定で最終的に約 4.6 (m) となり、8 回目の測定で最終的に約 2.4 (m) となった。静止衛星の補正を得られない場合、この GPS モジュールの CEP は約 10 (m) 程度になると考えられ、補正情報を得られた場合はそれよりも良い精度の CEP が測定されると考えられる。

6. 2 速度の算出結果と考察

Arduino と GPS モジュールによって位置座標を取得し、自動車における速度の算出を 2 回行った。条件

として、なるべく平坦な直線道路を 30 (km/h) で自動車を走行させた。なお、この実験は平成 27 年 1 月 31 日 20 時から岡山県笠岡市の干拓地で行った。その結果をそれぞれ図 6、図 7 に示す。図 6 に示されるように、算出した速度は最小値 4.69 (m/s) から最大値 11.04 (m/s) の範囲で大きく振動しており、同じく図 7 に示されるように、2 回目の実験結果でも算出した速度は最小値 6.05 (m/s) から 9.79 (m/s) の範囲で大きく振動していた。これは、走行した路面のわずかな凹凸による速度の変動や使用した GPS モジュールの位置精度の影響が考えられる。

6. 3 可視光通信の結果と考察

可視光通信による信号情報の送受信を行うため、まず、図 8 に示すように送信モジュールと LED アレイをスイッチング回路によって接続した。送信モジュールには SH7125F マイコンボードを使用した。このマイコンは、動作速度が高速で強力なタイマ割り込み機能を持つ。また、受信モジュールには「VL-100-USB-3RA」を用いた。これは、PC と USB 接続ができ、フォトダイオードを受光素子としているため通信速度が

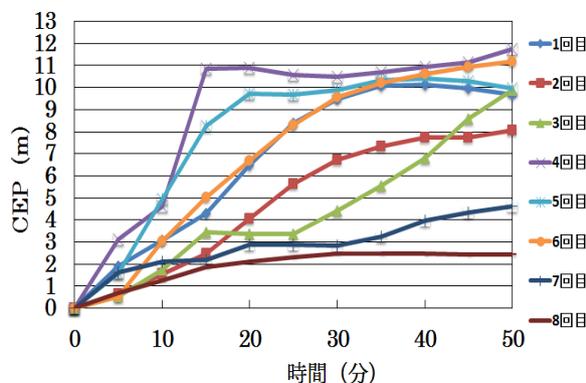


図 5 CEP の測定結果

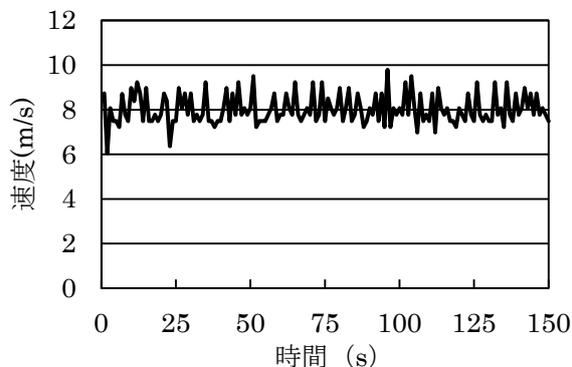


図 7 速度の算出結果 (2 回目)

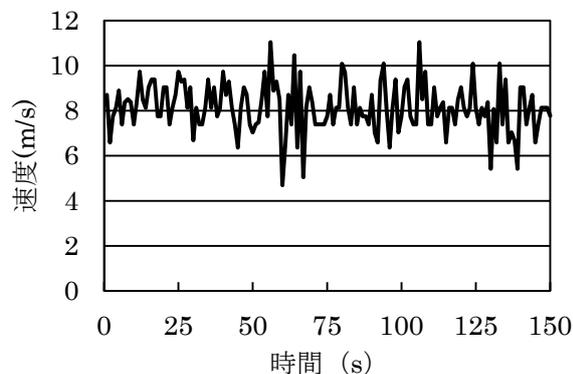


図 6 速度の算出結果 (1 回目)

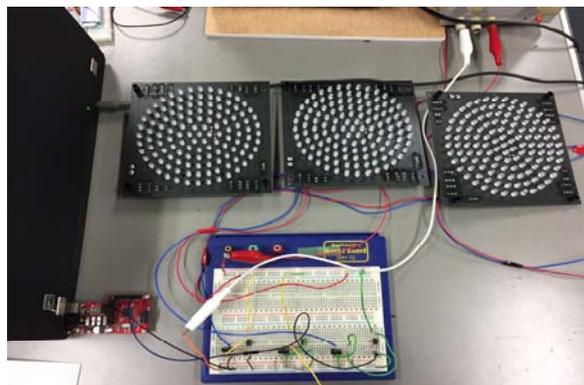


図 8 LED アレイと送信モジュールの接続結果

発手順を明らかにした。

今後の課題として、停止線の位置座標を地図データなどから取得して信号情報のフォーマットを決め、適切な地点でドライバーに対し音声を出力できるようにする。また、作成した音声システムを自動車に取り付けて動作確認を行い、その結果について考察することも挙げられる。

参考文献

- [1] 遠藤孝夫ほか, 福田正 (編) : 交通工学 第3版, (2012)
- [2] 警察庁交通局 : 平成 27 年における交通事故の発生状況, (2016)
<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/Pdfdl.do?sinfid=000031400112>
- [3] 安全運転支援システム (DSSS) 有識者懇談会 : 安全運転支援システム (DSSS レベルII) システム定義書 ー光ビーコンシステム編ー, (2009)
https://www.npa.go.jp/koutsuu/kisei/DSSS/sys_teigisyo.pdf
- [4] 社団法人 交通工学研究会編 : ITS ーインテリジェント交通システム, (1999)
- [5] 警察庁 : 各都道府県の LED 灯器数, (2013)
<https://www.npa.go.jp/koutsuu/kisei/institut/kazu.pdf>
- [6] 可視光通信コンソーシアム編, 中川正雄 (監修) : 可視光通信の世界, (2006)
- [7] Massimo Banzi, 船田巧 (訳) : Arduino をはじめよう, (2010)
- [8] Pratap Misra, Per Enge, 日本航海学会 GPS 研究会 (訳) : 精説 GPS 基本概念・測位原理・信号と受信機, (2004)
- [9] 中山雄太, 徳井直樹 : Arduino を用いた可視光通信システム送信機の作成, 石川工業高等専門学校紀要 第46号, pp.21~26, (2014)
- [10] Casey Reas, Ben Fry, 船田巧 (訳) : Processing をはじめよう, (2012)
- [11] 渡辺新三 : 新訂版 交通工学, (1980)