

# 磁気地上子と自転車側最小センサによる事前減速・停止警告システム

加藤 逸<sup>1,a)</sup> 爰川 知宏<sup>1</sup>

**概要:** 本研究は、信号機のない交差点における自転車の出会い頭事故を低減するため、低コストかつ電源不要のインフラ協調型事前警告システムを提案する。本システムは、路面に設置された磁気地上子（永久磁石列）と、自転車に搭載された最小限の車載器（マイコンと3軸磁気センサ）により構成される。交差点手前に設定したゾーンへの自転車の進入をN-S-N磁気パターンで検出し、ゾーン内での滞在時間に基づいて安全行動を判定する「一時停止ゾーン」方式を確立した。正確な速度計測を廃止し、「滞在時間」というロバストな指標を用いることで、低速走行時やノイズ環境下でも安定した判定を実現した。実地試験の結果、地上子検出率は95.8%に達し、ゾーン滞在時間に基づく判定ロジックが実際の安全確認行動（徐行・停止）を正しく評価できることを実証した。

## 1. はじめに

### 1.1 背景と先行研究

自転車が関与する事故は交差点で多発し、とりわけ出会い頭衝突が最も多い事故類型である。警察庁は「自転車と自動車の事故のうち、出会い頭衝突が約55%で最も多く、この種の事故では自転車側にも安全不確認や一時不停止等の違反が多く見受けられる」と整理している[1]。また、ITARDA（交通事故総合分析センター）は、信号のない交差点での出会い頭事故では自転車側の一時不停止や安全不確認が多いことを報告している[2]、[3]。

事故抑止の観点からは、「止まる／減速すべきときに確実に減速・停止する」行動を促す仕組みが重要である。自動車分野ではISA（Intelligent Speed Assistance）がEUで新型車への装備を義務化する流れとなり、速度超過抑止による死傷者大幅減が期待されている[4]、[5]。

一方、中川らは「リアルタイム学習」（運転中のリアルタイム警告）と「事後学習」（運転後の振り返り学習）の2段階から構成されたスマートフォンアプリ「ポケットポリス」を提案している。これらを繰り返すことで自転車利用者の学習を深める設計となっているが、危険地点への接近を事前に警告する機能は有していない[6]。近年のKapousizisらの実地研究では、危険地点接近時に事前警告を与えるとライダーの速度が実際に低下し、安全感も高まる可能性が示されているが、信頼性や実装形態についてはなお検討の

余地がある[7]。

### 1.2 研究目的

本研究の最終的な目的は、自転車関連の交通事故を減少させることであり、そのために、自転車の減速・停止を事前に促す安全装置をローコストで標準装備化することを目指す。具体的には、インフラ側への電源供給や通信機器を必要とせず、路面設置の磁石のみをトリガーとして動作する、自転車用交差点進入前減速・一時停止支援システムの開発と評価を行う。

## 2. 磁気センサと地上子による検知システム

### 2.1 システムの設計コンセプト

信号機のない交差点における出会い頭事故を低減するためには、交差点に進入する前に十分な見通しを確保し、運転者が安全確認を行う時間を設けることが不可欠である。

本研究で提案するシステムの役割は、この「安全確認に必要な時間の確保」を技術的に支援することにある。

この支援を実効性あるものにするためには、自転車が交差点に対して「どの位置にいるか」を高い解像度で特定する必要がある。既存のナビゲーション等で普及しているGNSS（GPS）は、数メートル単位の測位誤差を含むため、「一時停止線の手前数メートル」といった局所的な領域判定には精度不足である。

そこで本研究では、これらの要件（高精度・高環境耐性・メンテナンスフリー・低コスト）をすべて満たす最適解として、「磁気センサと永久磁石」の組み合わせを選定した。

<sup>1</sup> 東京国際工科大学

<sup>a)</sup> hayaru.kato@gmail.com

磁界は泥や水、アスファルトを透過するため環境の影響を受けず、インフラ側を無電源の永久磁石とすることでメンテナンスフリー化が可能である。

## 2.2 システム概観

本研究で提案するシステムは、路面に設置される「磁気地上子（インフラ側）」と、自転車に搭載される「車載検知ユニット（ユーザ側）」の2点から構成される。地上子とは、自動列車停止装置（ATS）を構成する要素の一つであり、主に鉄道のレール付近に設置される装置である。通過する列車に対して信号や速度制限に関する情報を送信する機能を持ち、鉄道の安全運行を確保する上で重要な役割を果たしている。本研究ではこの概念を応用し、地面から垂直方向に磁極の向きを揃えた永久磁石を一列に配置した構造を持つものを「磁気地上子」として路面に設置する。

## 3. 提案方式：一時停止ゾーン方式

### 3.1 方式の概要

制御ロジックと検知手法については、実環境における課題に対応するため、段階的な改良を行っている。速度計測に基づく判定を行おうとした場合、環境磁気ノイズによる誤検知や速度平滑化の遅延といった課題が生じることが判明した。これらを解決するため、本研究では「一時停止ゾーン」方式を提案する。この方式では、交差点手前に定義されたゾーンへの進入を磁気パターンで検出し、ゾーン内の滞在時間に基づいて安全行動を判定する。

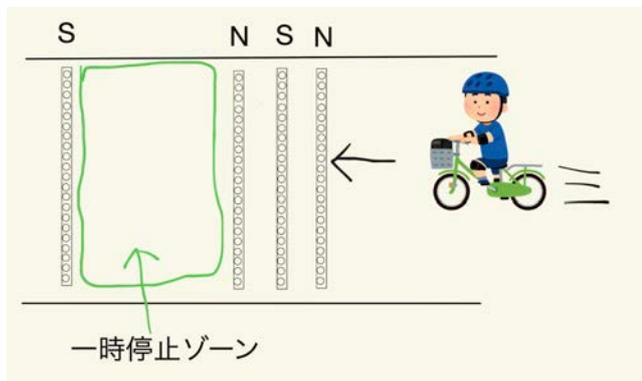


図 1: システムイメージ（一時停止ゾーン方式）

### 3.2 ゾーン地上子の構成

提案方式では、図 1 に示すように、路面に設置される地上子を2つのセクションで構成する。

#### 進入セクション（N-S-N 磁気パターン）

交差点から手前約 3m の位置に、「N 極 → S 極 → N 極」の順に配置した磁石で構成される。各磁石の間隔は 25 cm とし、特徴的な磁場パターンを形成する。このパターンにより、自転車がゾーンに進入したことを確実に検出できる。

#### 出口マーカー

ゾーン出口には S 極の単一磁石を配置し、自転車がゾーンを離脱する際の目印とする。

### 3.3 パターン認識アルゴリズム

センサの読み取りでは、3 軸磁気センサの Y 軸出力を用いる。Y 軸の生値  $y(t)$  に対して、以下の指数移動平均によるベースラインを定義する。

$$y_{\text{base}}(t) = (1 - \alpha) y_{\text{base}}(t - 1) + \alpha y(t) \quad (1)$$

係数を  $\alpha = 0.01$  と設定することで、数秒スケールの緩やかな磁場変動は吸収しつつ、地上子通過による急激な変化は強調される。

ハイパスフィルタ出力は以下の式で得られる。

$$y_{\text{hp}}(t) = y(t) - y_{\text{base}}(t) \quad (2)$$

この値が基準閾値  $\pm 40 \mu\text{T}$  を超えたときに「正側」「負側」のイベントとして量子化される。 $|y_{\text{hp}}(t)| \leq 40 \mu\text{T}$  のときは 0,  $y_{\text{hp}}(t) > 40 \mu\text{T}$  で +1,  $y_{\text{hp}}(t) < -40 \mu\text{T}$  で -1 に変換される。

N-S-N パターンが正しく検出されたと判定される条件は、符号の遷移が「+1 → -1 → +1」となることである。また、最初の +1 を検出してからパターン全体が完了するまでの最大許容時間を 1s とする時間窓を設ける。

### 3.4 滞在時間に基づく判定

進入パターンの検出後、システムはゾーン内での滞在時間を計測する。滞在時間が十分に長い場合（例：2.0s 以上）、自転車が「一時停止」または「徐行」による安全確認を実施したと判定される。

この手法の利点は、正確な速度計測を必要としないことである。低速走行時やノイズ環境下でも、滞在時間というロバストな指標により安全行動を判定できる。

### 3.5 実装の詳細

マイコンとして M5StickC Plus2 を用い、その I<sup>2</sup>C バスに 3 軸磁気センサ LIS3MDL を接続した（図 2）。地上子は永久磁石と粘着テープ、補強用の結束バンドを用いて作成し、地面に設置する仕様とした。

LIS3MDL は、地上子からの磁束を効率よく捉えるため、検知軸である Y 軸が地面に対して垂直下向きとなるようにダウンチューブ下部に固定した。設置高さは地上から 15 cm とし、走行中にタイヤが巻き上げる砂利や水滴による回路の破損・短絡を防ぐため、センサモジュール全体をプラスチックフィルムで被覆する保護対策を行った。性能モードを High Mode に設定し、内部のオーバーサンプリング回数を増やしてノイズを低減した。測定レンジは  $\pm 16 \text{ gauss}$  に設定し、ネオジム磁石による強い磁場でもクリッピングを起こさないようにした。



(a) M5StickC Plus2 (b) LIS3MDL

図 2: 自転車への実装

### 3.6 実験手順と結果

システムの有効性を検証するため、実際の路上環境で試験を実施した。

直線道路上に入口 (NSN) と出口 (S 極) の地上子を設置し、これらに挟まれた領域を一時停止ゾーンとして定義した (図 3)。4 名の被験者が普段の自転車走行速度を意識しつつ、停止行動の有無と速度帯を変えた走行パターンで計 24 回の試行を行った (表 1)。

表 1: 実験結果

速度域	試行回数	検出成功	検出率
低速 (< 10 km/h)	8	8	100%
常用 (10 ~ 15 km/h)	8	8	100%
高速 (> 15 km/h)	8	7	87.5%
合計	24	23	95.8%

磁気地上子の検出率は 95.8% に達し、ゾーン滞在時間に基づく判定ロジックが実際の安全確認行動 (徐行・停止) を正しく評価できることを実証した。

また、新宿駅周辺から世田谷線松原駅までの往復走行により、一般的な街路環境での誤検知状況を検証した。結果として、NSN パターン地上子を設置していない一般の車道・歩道区間では誤検知はほとんど発生しなかった。

## 4. まとめ

本研究は、低コストかつ電源不要のインフラ協調型自転車事前警告システムを提案した。磁気地上子と最小限のセンサにより、交差点への進入を高い精度で検出し、ゾーン滞在時間に基づいて安全行動を判定する仕組みを実現した。実験を通じて、本システムの実用性と有効性が確認された。

### 参考文献

[1] 警察庁: 自転車は車のなかま～自転車はルールを守って安全運転 (自転車関連事故の特徴等), <https://www.npa.go.jp/bureau/traffic/bicycle/info.html> (2024), 閲



図 3: フィールド実験における一時停止シーン (被験者がゾーン内で停止中)。写真手前側の一列の地上子が出口 (S 極単独)、奥側の三列の地上子が入口 (NSN パターン)

覧 2025-09-04.

[2] ITARDA, : インフォメーション No.149 「自転車はどんな交差点で、どんなミスで出会い頭事故を起こすのか」, <https://www.itarda.or.jp/contents/10597/info149.pdf> (2013), 閲覧 2025-09-04.

[3] ITARDA, : インフォメーション No.69 「道路環境からみた出会い頭事故」, <https://www.itarda.or.jp/contents/469/info69.pdf> (2005), 閲覧 2025-09-04.

[4] European Commission, : Intelligent speed assistance (ISA) set to become mandatory across Europe, <https://road-safety-charter.ec.europa.eu/resources-knowledge/media-and-press/intelligent-speed-assistance-isa-set-become-mandatory-across>: 閲覧 2025-09-04.

[5] ETSC, : Intelligent Speed Assistance (ISA), <https://etsc.eu/intelligent-speed-assistance-isa/>: 閲覧 2025-09-04.

[6] 中川晋平, 後藤田中, 林敏浩: 自転車ドライバのための交通安全教育アプリ “ポケットポリス” -リアルタイム学習環境の構築-, 教育システム情報学会 2015 年度学生研究発表会, pp. 145-146 (2015).

[7] Kapousizis, G., Jutte, A., Ulak, M. B. and Geurs, K.: How do cyclists experience a context-aware prototype warning system? Assessing perceived safety, perception and riding behaviour changes through a field study, *Journal of Cycling and Micromobility Research*, Vol. 3, p. 100051 (2025).