

2023（令和5）年度 修士学位論文

磁気センサを用いた側方からの車両検出装置の開発

Vehicle detection by magnetic sensor
in the lateral direction

2024年2月13日

高知工科大学大学院 工学研究科基盤工学専攻
知能機械工学コース

1265001 安達 雄紀

指導教員 岡 宏一

目次

1章 緒言	4
1-1 研究背景	4
1-1-1 交通管制システム	4
1-1-2 車両検知器	4
1-1-3 本研究で使用する磁気センサ	6
1-1-4 研究目的	8
1-2 研究概要	8
2章 埋設式を用いた磁気センサでの車両検出	9
2-1 車両検出原理	9
2-2 大型車駐車単体マス検知	10
2-2-1 子機埋設工事	10
2-2-2 大型車単体マス車両検出	11
2-2-3 進入時における磁束密度の変化	11
2-2-4 退出時における磁束密度の変化	13
2-2-5 進入時と退出時における磁束密度の変化についての考察	14
2-2-6 センサ#8における進入時と退出時の磁束密度比較	15
2-3 隣接マスの磁束密度の変化	16
2-4 他の駐車マスでの車両検出	17
2-4-1 進入時における磁束密度の変化	17
2-4-2 他の駐車マスでの退出時における磁束密度の変化	18
2-4-3 隣接マスの磁束密度の変化についての考察	20
3章 埋設式を用いた単独駐車と隣接駐車における磁束密度の比較	21
3-1 比較方法	21
3-2 隣接駐車の影響	21
3-2-1 比較結果	21
3-2-2 単独駐車と隣接駐車の前平均値比較	22
3-2-3 単独駐車の前最小値と隣接駐車の前最大値の比較	22
3-3 考察	23
4章 埋設式を用いた2隣接駐車の影響の検証	24
4-1 検証方法	24
4-2 2隣接駐車の影響	25
4-2-1 比較結果	25
4-2-2 単独駐車,駐車無し,2隣接駐車の前平均値比較	25
4-3 考察	26

5章	埋設式を用いた駐車判定アルゴリズムの提案	27
5-1	急激な変化点の検出ischange関数を用いる方法	27
5-2	微分により求めた傾きと閾値を比較する方法	29
6章	側方からの車両検出装置の提案	31
6-1	側方式車両検出装置の利点	31
6-2	車両検出方法	32
6-3	使用環境による違い	32
6-4	車両別磁束密度変化の比較	33
6-5	考察	35
7章	高感度磁気センサを用いた側方からの車両検出装置の提案	36
7-1	使用する高感度磁気センサ	36
7-2	車両検出方法	37
7-3	高感度磁気センサでの磁束密度変化比較	37
7-4	条件別車両判別比較	40
7-5	考察	40
8章	結言	41
8-1	まとめ	41
8-2	今後の展望	41
	謝辞	41
	参考文献	42

1 章 緒言

1-1 研究背景

1-1-1 交通管制システム

交通管制システムとは、道路交通の安全と円滑を基本とし、交通管理を一元的に行うため、警察が設置し運用するものである。交通管制システムでは、交通量を計測する車両検知器などにより交通情報を収集し、収集した交通情報に基づき交通信号機を制御する。また、フリーパターン式交通情報板や路側通信、ラジオ放送などを通じてドライバーへ交通情報を提供する。交通管制センターから現場の警察官へ指示を行い、また、収集した情報を分析し、将来の交通管理に役立てる⁽¹⁾。

1-1-2 車両検知器

車両検知器は交通管制システムを用いて、交通量、道路状況、速度、車両占有率などを収集している。これらの交通情報により、道路の渋滞予測を行い、事故を未然に防ぐことができる。車両検知器は、交通管制センターで収集した情報を基に渋滞情報や旅行時間情報などを作成し、VICS を通じて一般ドライバーに提供する他、交通情報板や交通情報ラジオ等を通じて提供する交通情報提供システム(AMIS)(図 1-1(a))、ドライバーから直接見えない、または見落としのおそれがある交通事象を ITS 無線路側等を通じて車載機に送信し、状況に応じてドライバーに情報を提供することで、交通事故を低減させる安全運転支援システム(DSSS)(図 1-1(b))、交差点手前に設置された車両検知器でバスを検知し、青信号の延長や赤信号の短縮などの信号制御を行い、優先的に通行させる公共車両優先システム(PTPS)(図 1-1(c))、緊急車両を検知し、信号を優先制御することで、緊急車両の現場に到着するまでの時間の短縮を支援する現場急行支援システム(FAST)(図 1-1(d))などに用いられている⁽²⁾。

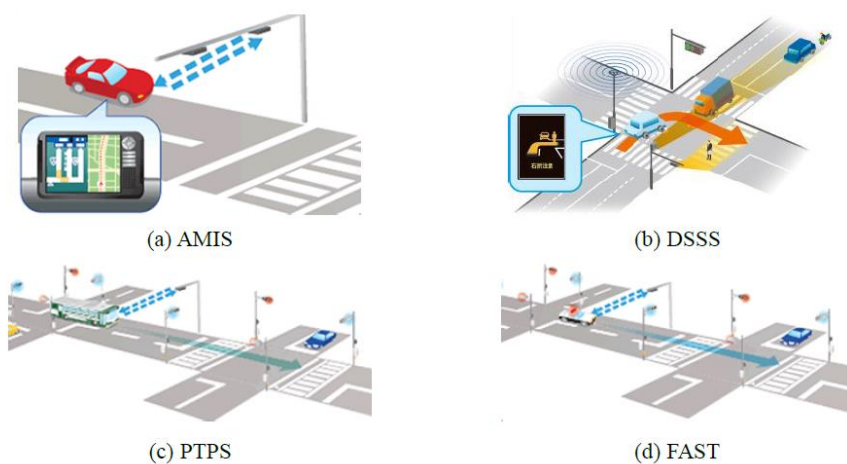


Fig.1-1 Traffic control system

現在の駐車車両検知器には、主にループコイル式、画像式、超音波式がある。これらの特徴を以下に示す。

ループコイル式車両検知器

地中に電線をコイル状に埋設した状態で電流を流すと磁界が発生し、その上を車両が通過すると、ループコイルのインダクタンスが変化し、その変化を捉え車両の有無を検知する。車両(金属物)のみに反応し、人やその他非金属物には反応せず、コイル幅を調節することで幅広い場所での検知が可能である。しかし、コイルの埋設工事が必要であり道路工事が頻繁に行われる場合にはループコイルの切断が生じやすい⁽³⁾。



Fig.1-2 Loop coil type vehicle detector⁽⁴⁾

画像式車両検知器

道路の上に設置したカメラからの映像を画像処理することで、交通量や速度の計測や、渋滞や事故等の異常事象を検出することができる。交通管理センターでは、これらの情報を利用して最適な信号制御を行う⁽⁵⁾。しかし、雨、雪、及び光景の変化などの外部環境の影響を受け、誤検出が多い。



Fig.1-3 Image type vehicle detector⁽⁵⁾

超音波式車両検知器

超音波送受器から超音波を路面に向けて間欠的に発射し,車両からの反射波と路面からの反射波を比較し,車両の存在を感知することができる.単純に走行車両の台数を把握するためにも用いられるが,高速道路の渋滞予測や,地点感応による信号機の切り替えなど,円滑な交通環境を目的とした交通管制システムにも幅広く利用されている.しかし,人間や動物など車両以外のものに反応してしまうことがある.



Fig.1-4 Ultrasonic vehicle detector

1-1-3 本研究で使用する磁気センサ

磁気センサとは,地球の磁気を検出するセンサであり,磁界を介して被検出量を電圧に変換する電子デバイスである.電磁気量,力学量,生化学量などの被検出量を磁石や着磁媒体,磁束跳躍素子などの,種々のトランポнда(中継変換器)による一次変換器によって磁界に変換し,その磁界を種々の動作原理の磁気ヘッドで検知する⁽⁶⁾.地球により生じる磁場である地磁気を検出し,磁束密度の大きさや方向を測定することを目的としたセンサであり,電子コンパスとも呼ばれている.カーナビゲーションやスマートフォンなどにも利用されており安価に入手することができる.また,地磁気センサには X 軸,Y 軸の 2 軸で計測するものや,Z 軸を加えて 3 軸を用いたものがあり,その方向の磁力の値を計測する.目的に応じて様々なセンサがあり,以下に代表的なセンサの例を示す.ホールセンサは,ホール効果を用いて磁束密度を測定するセンサで磁束密度に比例した電圧を出力する.ドアやノートパソコンなどものの開閉検出など,主に非接触スイッチ用途に用いられる.MR(Magneto Resistance)センサは,磁気抵抗効果センサとも呼ばれており,個体の電気抵抗が磁界によって変化することを利用して磁場の大きさを測定するセンサである.ホールセンサに比べ,感度が高く消費電力も小さい.地磁気検出用途のほか,モータの回転,位置検出用途などに用いられる.MI(Magneto Impedance)センサは特殊なアモルファスワイヤを使用し,その磁気インピーダンス効果は特殊なアモルファスワイヤを使用し,その磁気インピーダンス効果を応用した次世代磁気センサである.ホールセンサに対して 10000 倍以上も感度に倍以上も感度に優れており,地磁気の微小な変化も高精度に測定ができる小さな変化も高精度に測定ができる⁽⁷⁾.代表的なセンサをまとめた

ものを代表的なセンサをまとめたものを表 1-1 に示す.本研究では, 以下の図 1-5 に示す 3 軸タイプで MI センサである ROHM 社の SensorShield-EVK-001 の磁気センサを用いる. 現在使用されている車両検知器と比較して,磁気センサを用いた車両検知器は,小型なユニットで設計が可能であり,数十 cm の工事で設置できるため,埋設工事が容易である.低電力で稼動することができるため,費用削減が期待できる.また,天候など外部環境の影響を受けないなどの利点があるため,磁気センサを用いた車両検知器を提案する.

Table 1-1 Type and characteristic of the magnetic sensor

検出方法	ホール	MR	MI
構成	<p>磁界の変化によりホール効果で電圧が変化</p>	<p>磁界の変化によりMR素子の抵抗値が変化</p>	<p>磁界の変化によりパルス電流でコイルから電圧を検出</p>
対ノイズ(感度)	×	△	◎
消費電流	×	△	◎
応答速度	×	△	◎

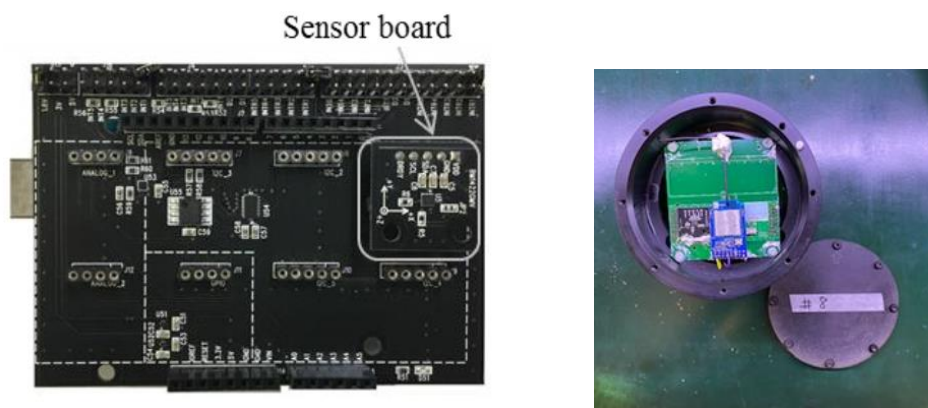


Fig.1-5 Board of the magnetic sensor

1-1-4 研究目的

磁気センサを用いた側方からの車両検出方法を提案する。学部の時には磁気センサを地面に埋設し、車両検出や駐車判定アルゴリズムの作成を行った。しかし、埋設式には工面的な課題や横軸方向の磁力による誤検知などの課題が残った。今回提案する側方からの車両検知器は、埋設式磁気センサの車両検知器と比較してさらに設置工事が容易である。また、規制工事が困難な1車線道路やIC流入道路など、更なる利用範囲の拡大を見込める。

1-2 研究概要

磁気センサを地面に埋設し、磁気変化を測定することにより、車両検出や駐車判定する検出方法があり、その術は上記の問題を解決できる可能性がある。しかし、埋設式にも工面的な課題や横軸方向の磁力による誤検知などの課題が残った。今回はセンサを側方に配置する方法を提案する。側方からの車両検知器は、埋設式磁気センサの車両検知器と比較して設置工事が容易である。また、規制工事が困難な1車線道路やIC流入道路など、更なる利用範囲の拡大を見込める。センサの原理は、磁化された車両の磁性体が持つ残留磁束密度の大きさを磁気センサによって車両の有無を検出するものである。本研究では、磁気センサを用いて実際に側方から車両を検出し、側方からの車両検知器の可能性を検証する。

2章 埋設式を用いた磁気センサでの車両検出

2-1 車両検出原理

磁気センサとは、磁気の大さを検出するセンサであり、 x 軸、 y 軸、 z 軸の3軸の磁束密度検出が可能である。自動車の車体は通常、鉄板で残留磁気を持っており、発生する磁束密度の大さを検出することにより、車両を検出することができる。図2に示すように、車両が2つのセンサ上を通過すると、図2-2のような磁束密度の波形が検出できる。このように磁束密度の値の大さを比較することで車両の有無を判定する。

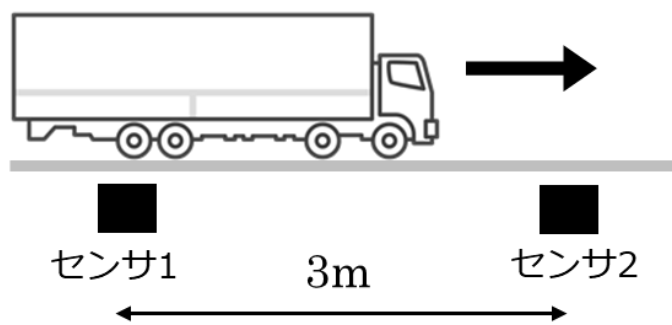


Fig.2-1 Vehicle passes over two sensors

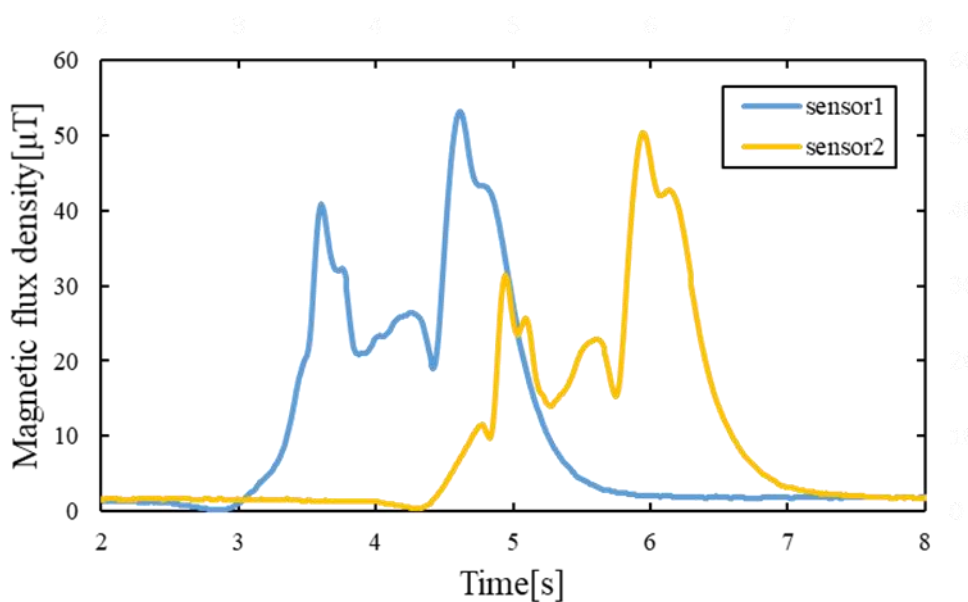


Fig.2-2 Variation of the magnetic flux density

2-2 大型車駐車単体マス検知

2-2-1 子機埋設工事

実際に高知自動車道下り南国サービスエリア（南国 SA）の大型車駐車マスで行った。図 2-3 に、下り南国 SA の全体図を示す。また、図 2-4 に工事写真と、図 2-5 に子機の埋設寸法を示す。

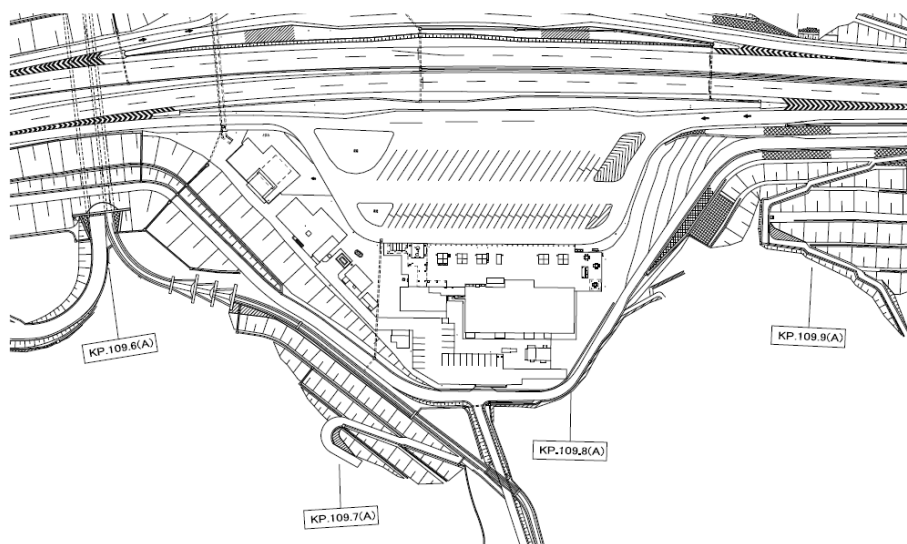


Fig.2-3 Overall view of Nankoku SA



Fig.2-4 Construction scenery

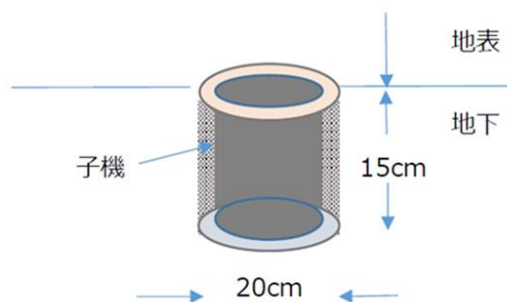


Fig.2-5 Sensor burial dimensions

2-2-2 大型車単体マス車両検出

実測データ取得のため、磁気センサの親機及びビデオは、大型車マス近くに駐車した車両の中に設置し、計測を行った。図 2-6 のように、計 4 マスの駐車スペースに各 2 つの磁気センサ#1～#8 を埋設した。親機は、これら 8 つのセンサの x 軸、 y 軸、 z 軸の磁束密度を 2 秒間隔で受信収集している。駐車マスに進入、退出するときの x 軸、 y 軸、 z 軸の 3 軸それぞれの磁束密度の変化量を観察し、大型車駐車単体マス検出を行う。また、大型車両による磁束密度の大きさ、向きの違いなども検証するために別の車両でも同じ実験を行う。さらに、当該マスへ駐車した際の隣接マスの磁束密度の変化と比較することで、判定の際の精度向上を目指す。

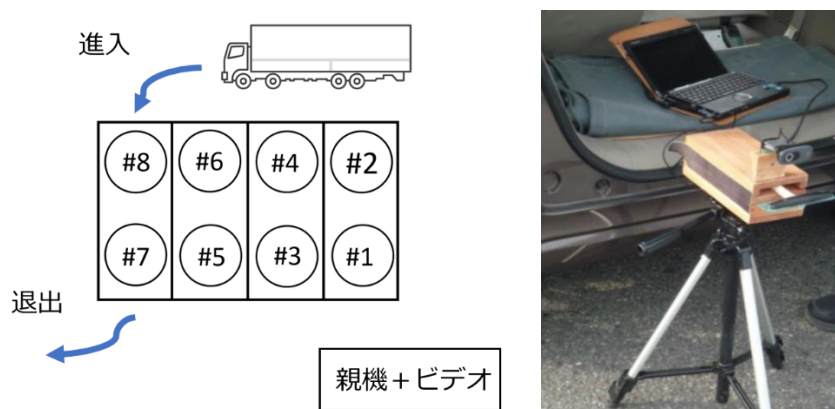


Fig.2-6 Data acquisition information

2-2-3 進入時における磁束密度の変化

実際に磁気センサを用いて、南国 SA にて 10 日間駐車データの取得を行った。図 2-7 に車両が駐車マスへと進入する時のビデオからの写真と、その状況を図にしたものを示す。

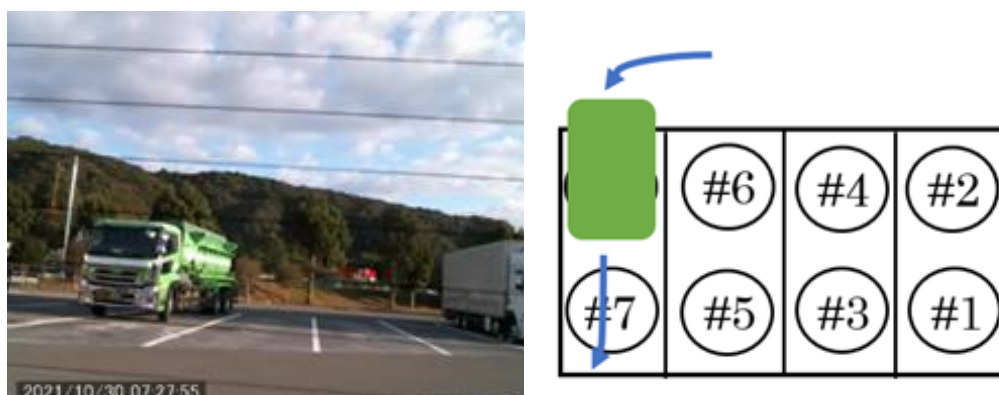


Fig.2-7 Vehicle enters the parking space

図 2-8 と図 2-9 に、車両がセンサ#7 とセンサ#8 が埋設されている駐車マスに進入した時の磁束密度の変化を示す。車両はセンサ#7 より先にセンサ#8 上を通過するため、図 2-9

のグラフより図 2-8 のグラフの立ち上がりが早くなっている。また、3 軸方向のうちz軸の磁束密度はセンサ#7,センサ#8 も増加している。しかし,x軸,y軸の磁束密度はセンサ#7とセンサ#8 で増減が逆転している。さらに,変化の割合に着目すると,センサ#7の方が大きくなっていることがわかる。センサ#7,センサ#8ともにZ軸の磁束密度の値は最終的に増加して一定になっているため,駐車されたことが判定できる。

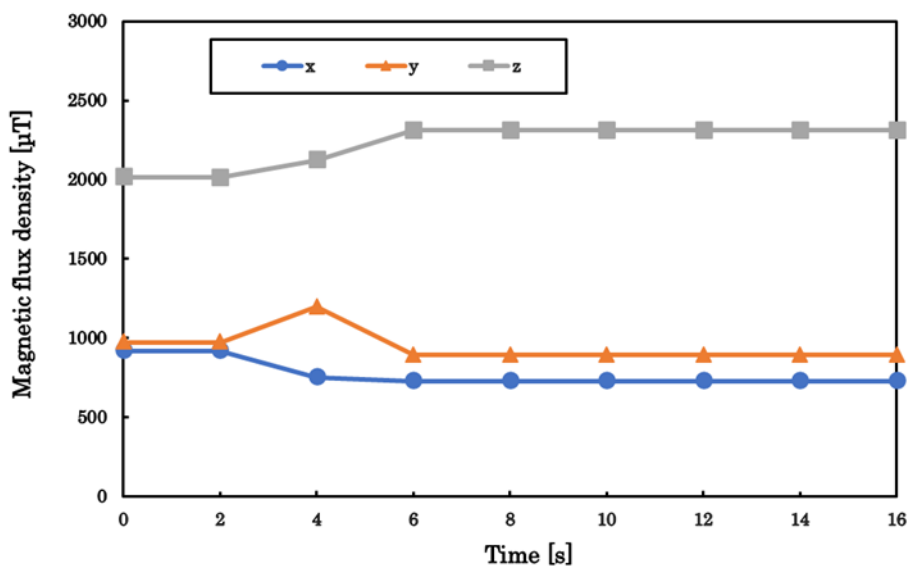


Fig.2-8 Change in magnetic flux density of sensor #8

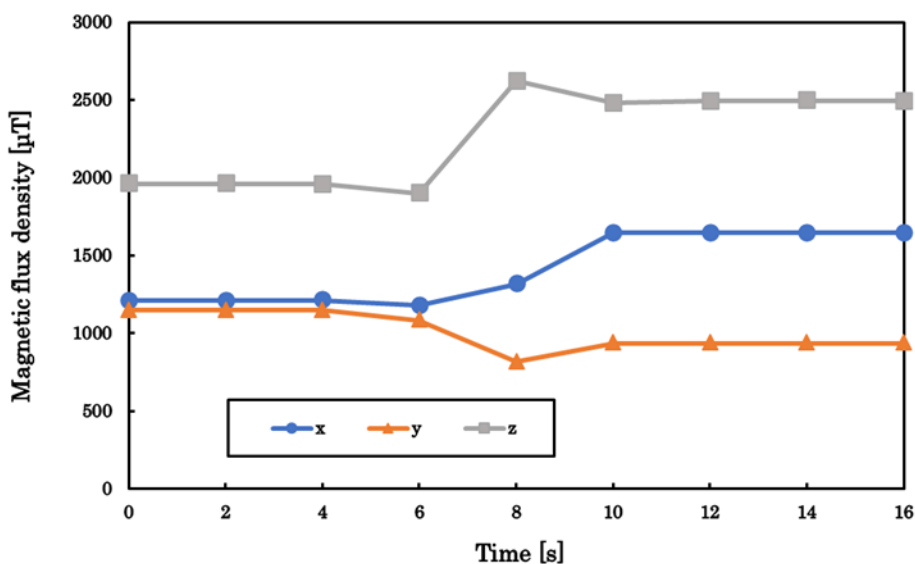


Fig.2-9 Change in magnetic flux density of sensor #7

2-2-4 退出時における磁束密度の変化

図 2-10 に車両が駐車マスから退出するときのビデオからの写真と,その時の状況を図にしたものを示す.

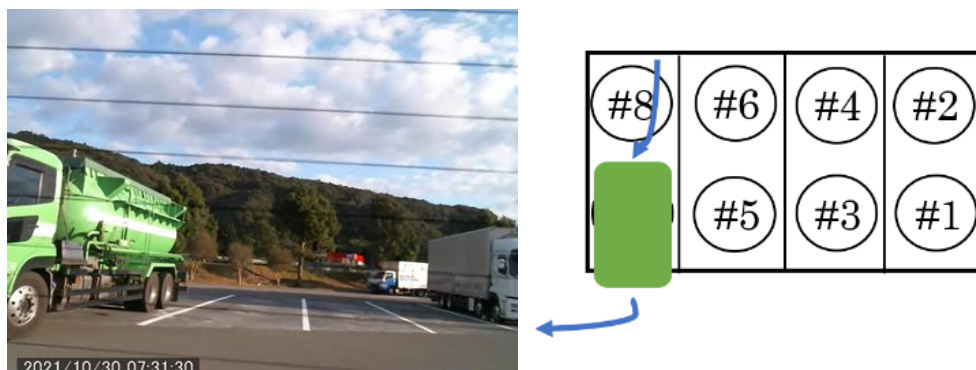


Fig.2-10 Vehicle leaves the parking space

図 2-10 と図 2-11 に,車両がセンサ#7 とセンサ#8 が埋設されている駐車マスから退出した時の磁束密度の変化を示す.センサ#8 のz軸の磁束密度は,車両が退出すると大きく減少し,増加傾向は見られない.しかし,センサ#7 は減少した後増加し,その後再び減少し一定値に落ち着いている.これは,センサ#7は車両の前方と後方が通過することが原因であると考えられる.センサ7,センサ#8ともに最終的には駐車時よりもz軸,x軸の磁束密度の値は小さくなっていることから,退車判定することができる.

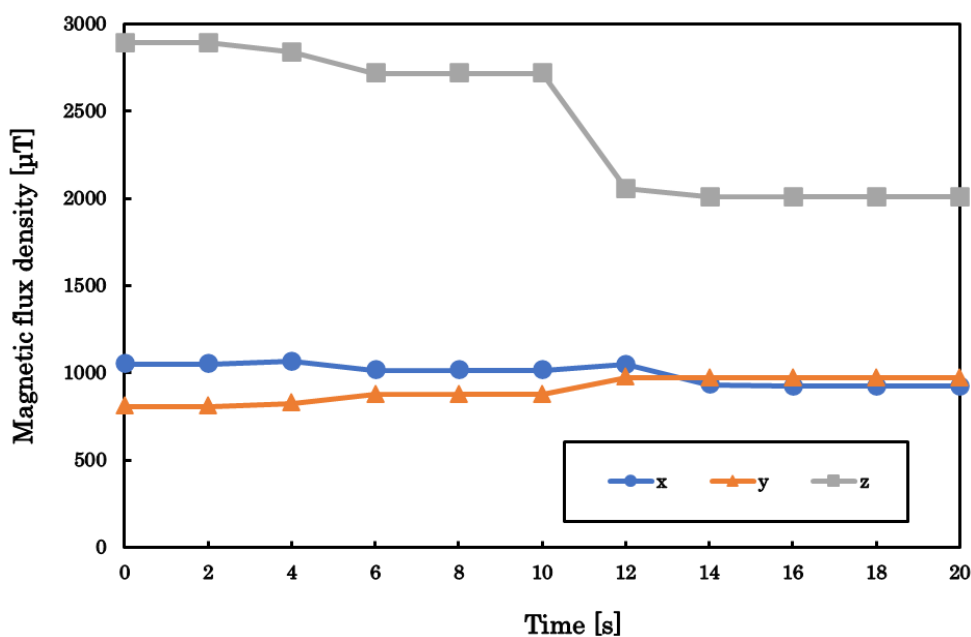


Fig.2-10 Change in magnetic flux density of sensor #8

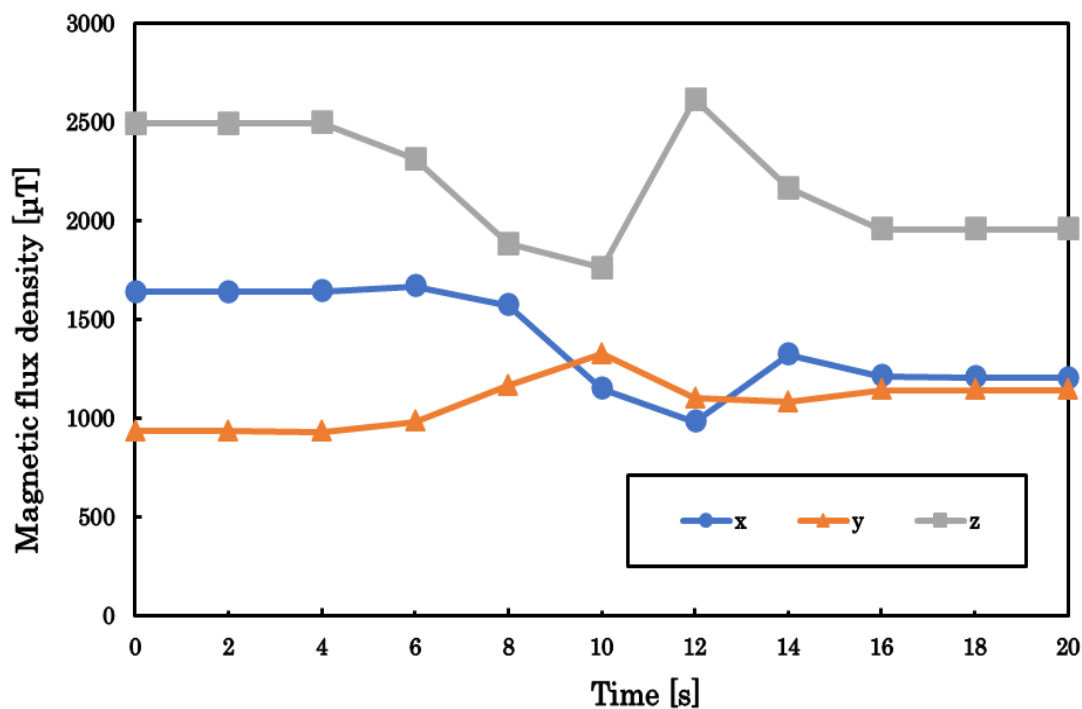


Fig.2-11 Change in magnetic flux density of sensor #7

2-2-5 進入時と退出時における磁束密度の変化についての考察

最初に,進入時における磁束密度の変化について考察する.図 2-8,図 2-9 より,磁束密度の3軸方向のうち,z軸の変化はセンサ#7,センサ#8 も両方増加している.しかし,センサ#7 とセンサ#8 において,x軸,y軸の磁束密度の増減が逆転している.1つのマスにセンサ2つが同じ向きで埋設され,車両がそのマスに駐車されたにもかかわらず,2つのセンサのx軸,y軸のグラフの増減が反転していることは不自然である.これは,センサ#7 とセンサ#8 が180度回転して埋設されている可能性がある.また,センサ#8 は車両が斜め方向から進入してしまったことで,磁束密度の向きが変化し,センサ#7 とセンサ#8 のx軸,y軸が逆転してしまっている可能性も考えられる.さらに,変化の割合がセンサ#7の方が大きくなっているのは,センサ#8 は車両が斜め方向から進入してくるのに対し,センサ#7 は車両の中心がセンサ上を通過することが要因ではないかと考える.

2-2-6 センサ#8における進入時と退出時の磁束密度比較

図 2-8 の一定となったz軸の磁束密度と図 2-10 の最初のz軸の磁束密度を比較すると500 μ Tほど増加している. 図 3-12 に,センサ#8のみ値が変動した時の磁束密度の変化を表したグラフを示す.グラフより,徐々に増加した傾向はなく,急激に増加した後すぐに一定となっていることがわかる.なお,他のセンサ#1~#7は一定値を保っていた.さらにビデオで確認できる限りでは,その瞬間に周囲の状況に変化は見られなかった.よって,磁束密度の変化とは別に,偶発的に発生したセンサの出力が急に変化したものと考えられ,用いたセンサ基板のプログラムの異常ではないかと考える.

以上のことから,新たな検知アルゴリズムを作成する時には,他のマスとの値の変動を比較し,このような状況が起こった時に,センサの誤作動を打ち消せるようにする必要がある.

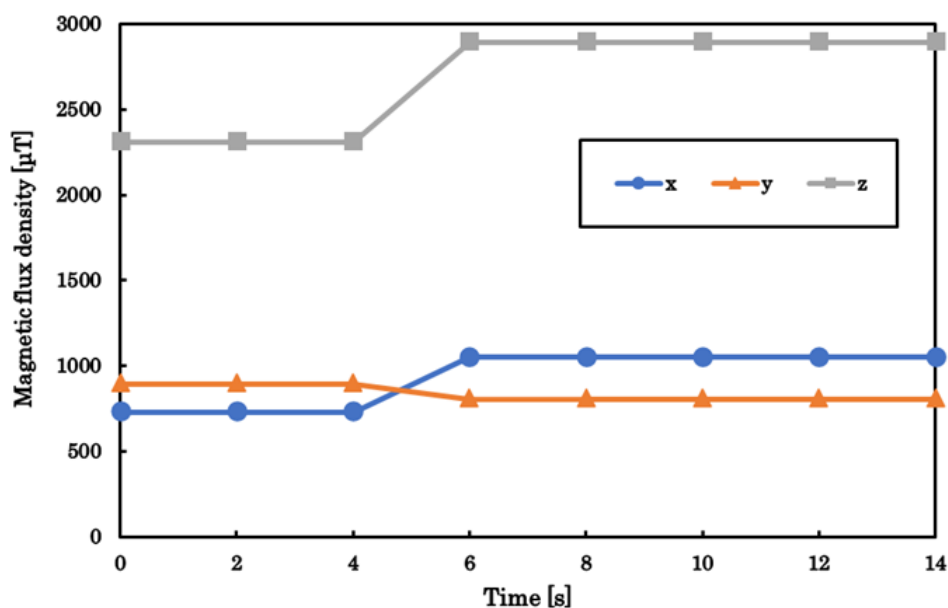


Fig.3-12 Change in magnetic flux density of sensor #8

2-3 隣接マスの磁束密度の変化

次にセンサ#7,センサ#8に車両が駐車した時の,当該マスの磁束密度変化と隣接マスのセンサ#6,センサ#5の磁束密度変化を比較した.図 2-13 に,進入時における隣接マスの磁束密度変化を示す.また図 2-14 に,退出時における隣接マスの磁束密度変化を示す.センサ#6よりセンサ#5の方がy軸の磁束密度の値が少し大きくなっているが,おおよそその磁束密度の値はセンサ間に違いはないことがわかる.また,進入時,退出時ともに僅かな磁束密度の変化は見られるが,当該マスへの進入時の磁束密度の変化を示した図 3-6,図 3-7と比較すると,隣接マスではなく,当該マスへの駐車と判定することができる.よって,隣接マスへの駐車と誤検知を防ぐための手段として,当該マスとの磁束密度の変化を比較することは有用であると考えられる.

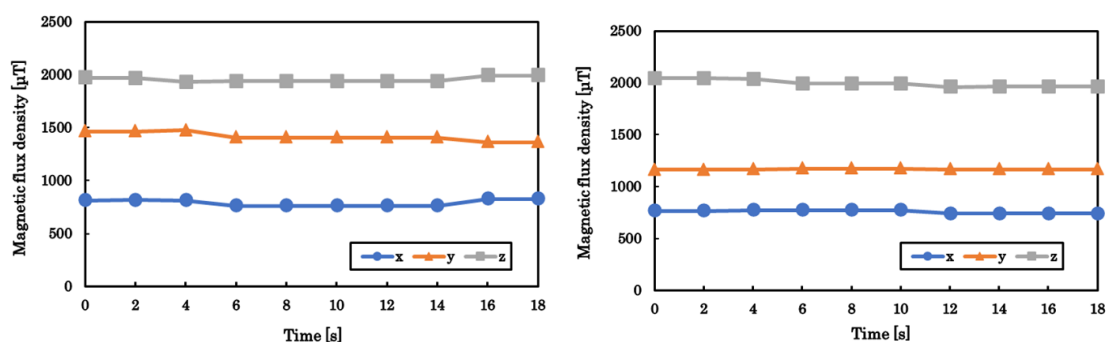


Fig.2-13 Change in magnetic flux density of sensor #6 and sensor#5 at the time of approach

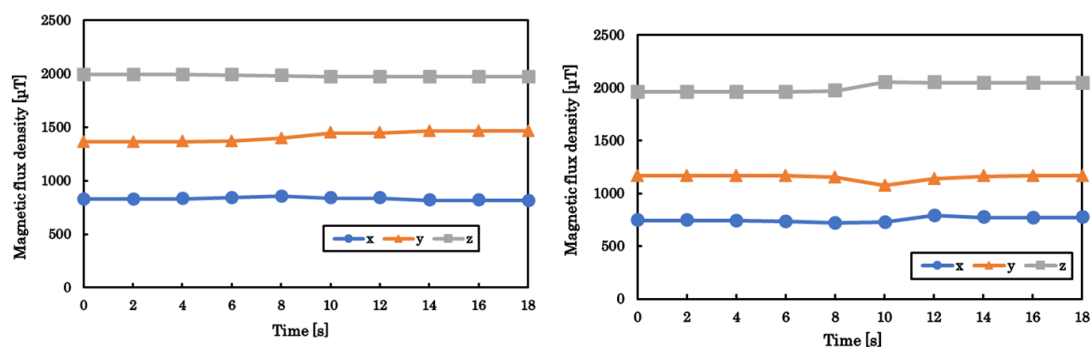


Fig.2-14 Change in magnetic flux density of sensor #6 and sensor#5 when leaving

2-4 他の駐車マスでの車両検出

2-4-1 進入時における磁束密度の変化

センサによる特性の違いや,他のマスでも駐車判定が可能かを検証するため,同様の実験を別の車両と別のマスで実験した.図 2-15 に車両が駐車マスから退出するときのビデオからの写真と,その時の状況を図にしたものを示す.

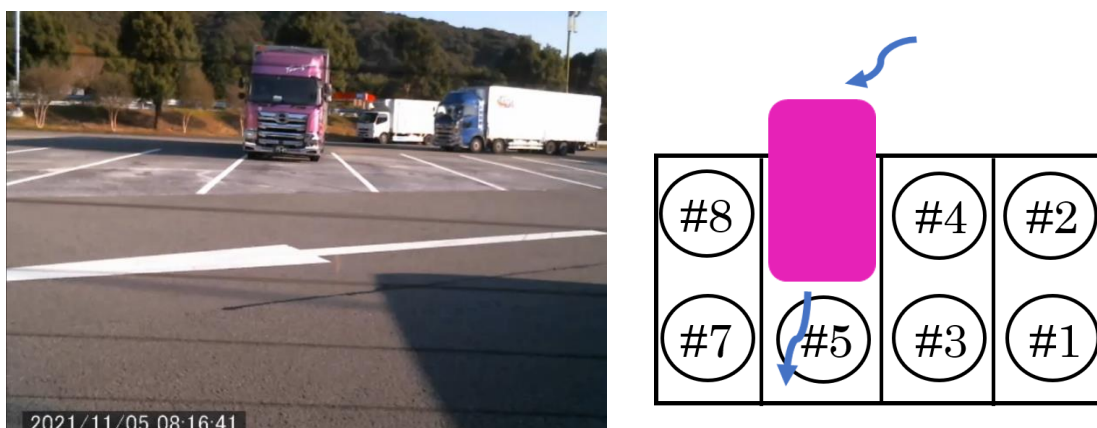


Fig.2-15 Vehicle enters the parking space

図 2-16 と図 2-17 に,車両がセンサ#5 とセンサ#6 が埋設されている駐車マスに進入した時の磁束密度の変化を示す. 車両はセンサ#5 より先にセンサ#6 上を通過するため,図 2-17 のグラフより図 2-16 のグラフの立ち上がりの方が早くなっている.図 2-8,図 2-9 と比較すると,今回は増減が反転することなく磁束密度を検出できている.また,センサ間でz軸の変化の割合を比較すると,センサ#5の方が大きくなっている.これは,センサ#6を通過した時よりも,車両の中心をセンサの真上を通過していることが要因である.

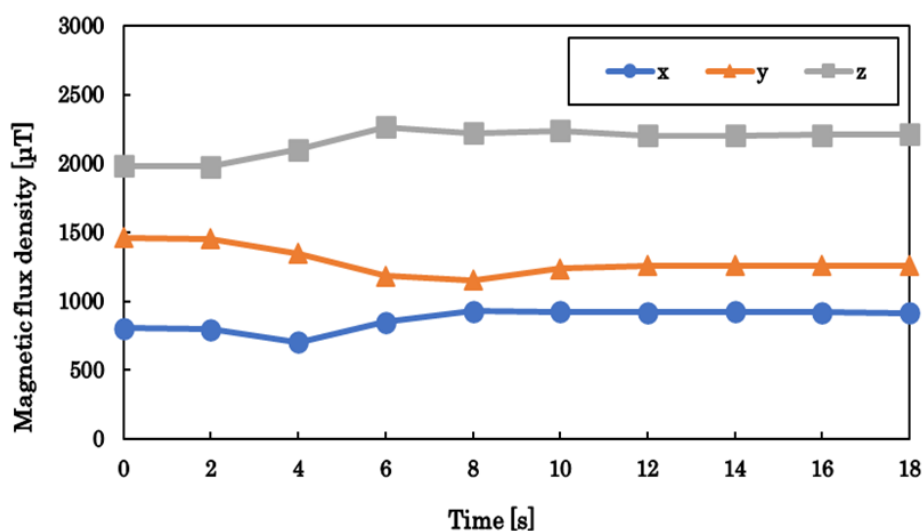


Fig.2-16 Change in magnetic flux density of sensor #6

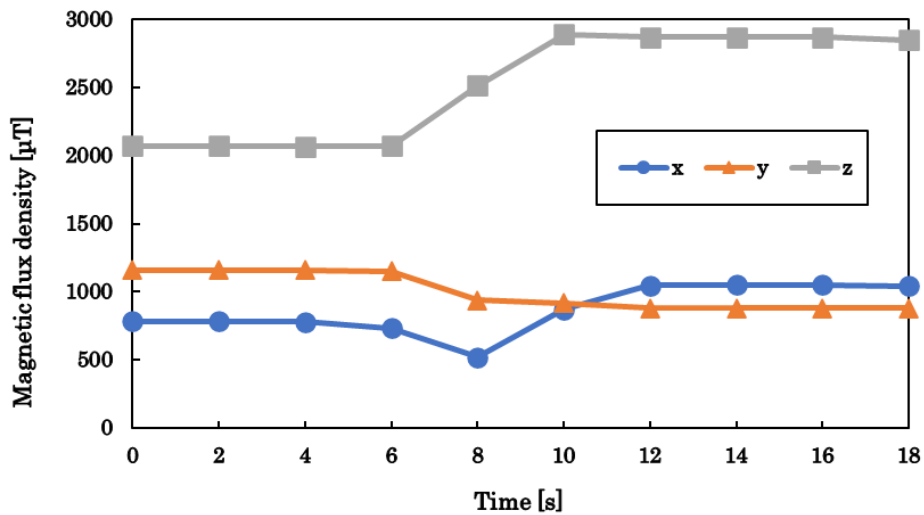


Fig.2-17 Change in magnetic flux density of sensor #5

2-4-2 他の駐車マスでの退出時における磁束密度の変化

図 2-18 に車両が駐車マスから退出するときのビデオからの写真と、その時の状況を図にしたものを示す。

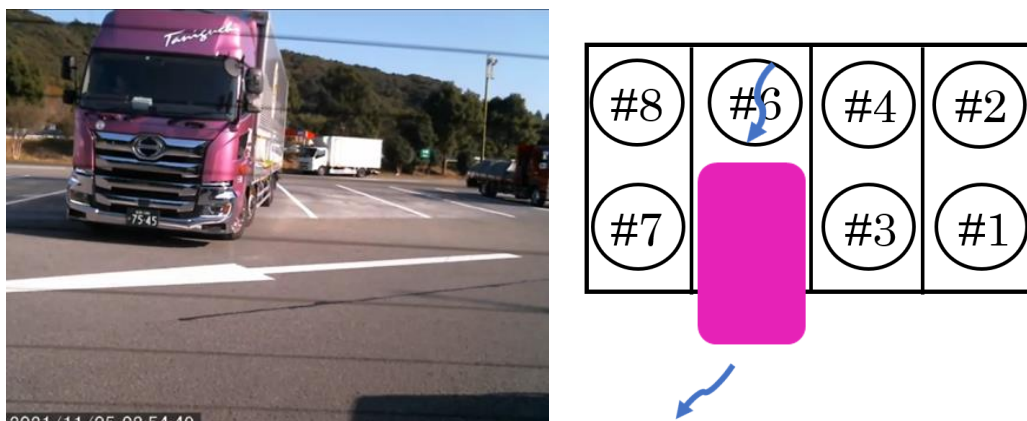


Fig.2-18 Vehicle leaves the parking space

図 2-19 と図 2-20 に、車両がセンサ#5 とセンサ#6 が埋設されている駐車マスから退出した時の磁束密度の変化を示す。センサ#6 は一度大きく変化した後、一定値になっているが、センサ#5 は何度か増減を繰り返した後、一定値になっている。これは、センサ#5 は車両の前方と後方がセンサ上を通過することが原因である。しかし、両センサの最終的な磁束密度を比較すると減少していることがわかるため、退車判定ができる。

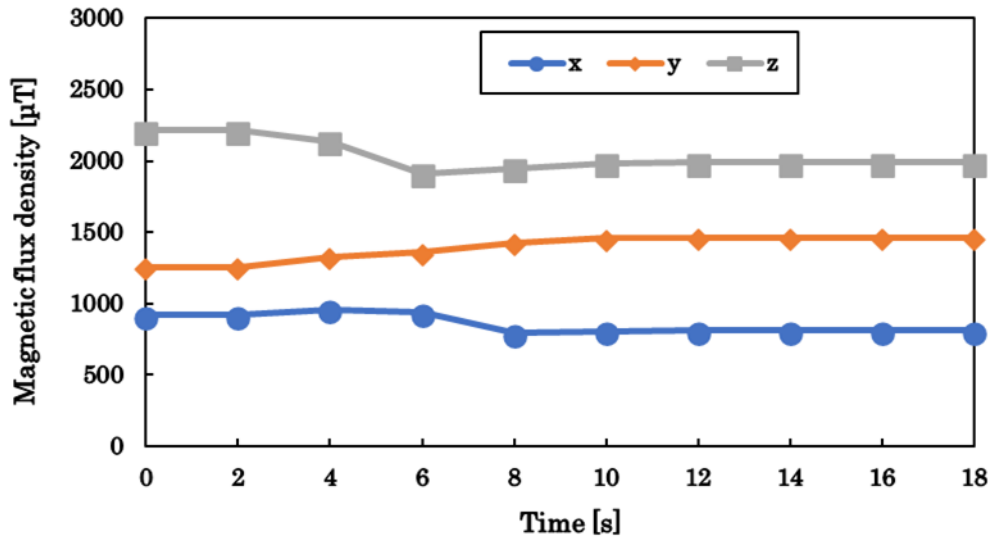


Fig.2-19 Change in magnetic flux density of sensor #6

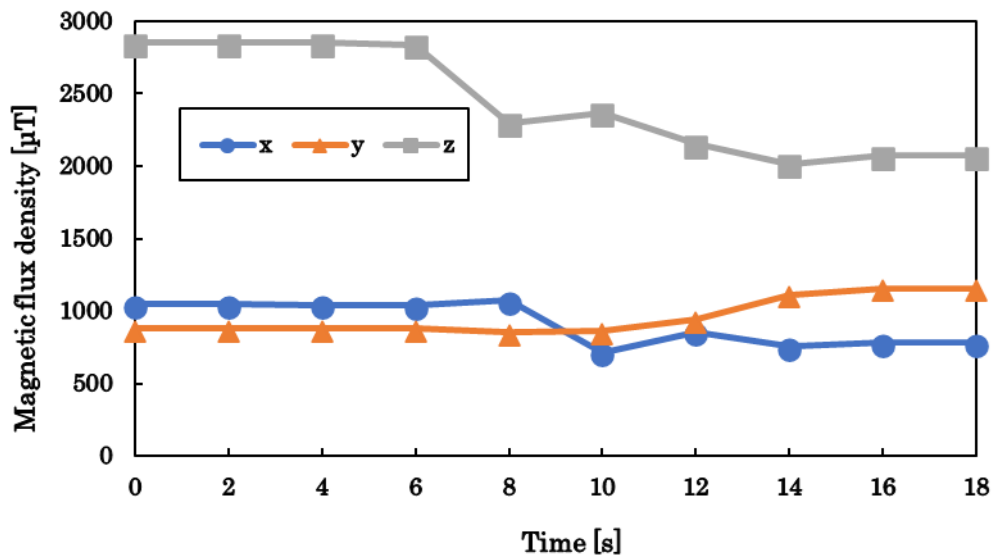


Fig.2-20 Change in magnetic flux density of sensor #5

2-4-3 隣接マスの磁束密度の変化についての考察

次にセンサ#6,センサ#5に車両が駐車した時の,当該マスの磁束密度変化と隣接マスのセンサ#4,センサ#3の磁束密度変化を比較した.図 2-21 に,進入時における隣接マスの磁束密度変化を示す.また図 2-22 に,退出時における隣接マスの磁束密度変化を示す.センサ#4のz軸の磁束密度の値はセンサ#3に比べて小さい.このことからセンサによって,磁束密度の差があることもわかった.また,センサ#6,センサ#5の隣接マスの変化を示した図 2-13,図 2-14と比較すると,今回のセンサ#3,センサ#4の方が変化の割合が大きいことがわかる.このことから,車両やセンサによっても隣接マスの影響を与えやすさ,受けやすさにも個体差があると考えられる.しかし,当該マスへの進入時の磁束密度変化を示した図 2-16,図 2-17と当該マスから退出する時の磁束密度変化を示した図 2-19,図 2-20と,その時の隣接マスの磁束密度変化を示した図 2-21と図 2-22を比較することで,隣接マスへの駐車ではなく,当該マスへの駐車であると判定できると考える.

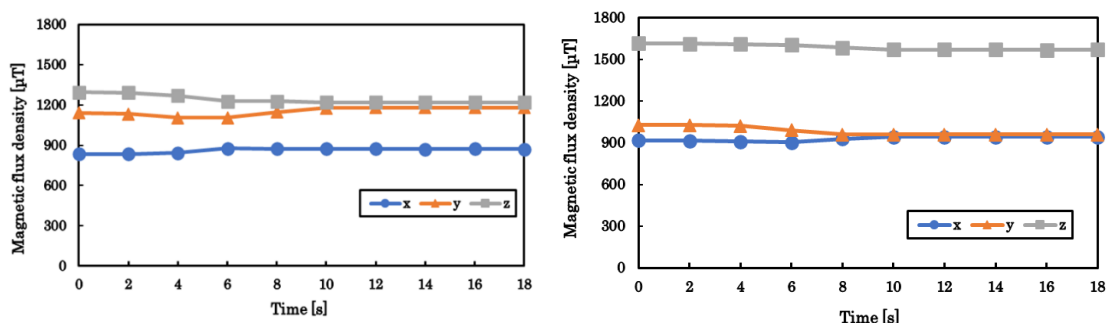


Fig.2-21 Change in magnetic flux density of sensor #4 and sensor#3 at the time of approach

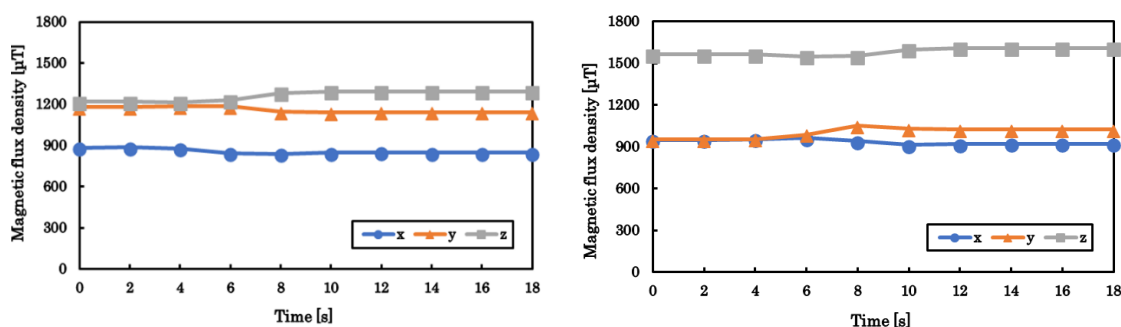


Fig.2-22 Change in magnetic flux density of sensor #4 and sensor#3 when leaving

3 章 埋設式を用いた単独駐車と隣接駐車における磁束密度の比較

3-1 比較方法

磁力の 3 軸方向の内、横軸方向の磁力が隣接マスに影響を与え、誤検知を起こす可能性がある。そこで、単独駐車と隣接駐車との磁束密度の平均値、最大値、最小値を比較して隣接駐車の影響を検討した。図 3-1、図 3-2 に単独駐車と隣接駐車を比較した時の状況を示す。

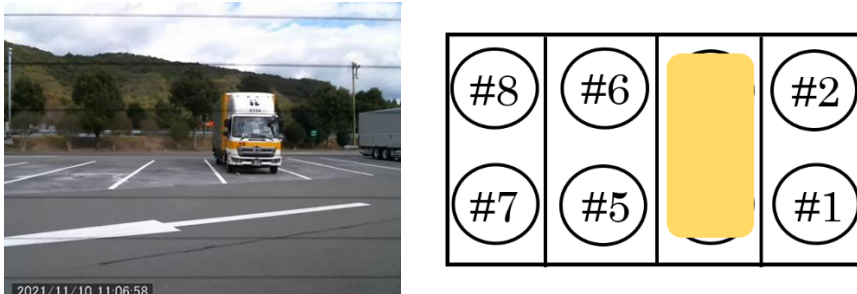


Fig.3-1 Single parking

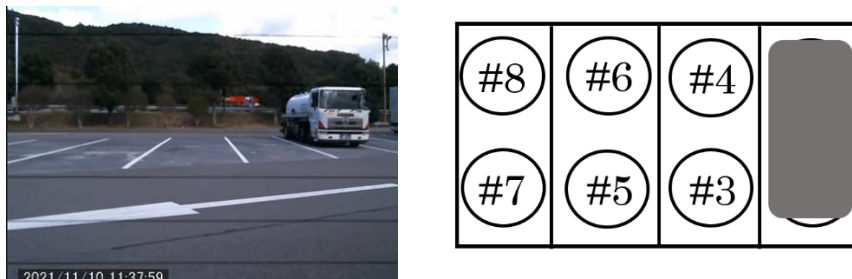


Fig.3-2 Adjacent parking

3-2 隣接駐車の影響

3-2-1 比較結果

表 3-1 に単独駐車と隣接駐車それぞれの 3 軸磁束密度の平均値、最大値、最小値の検知結果を示す。

Table.3-1 Comparison of single parking and adjacent parking

		Sensor 3	Sensor 4
Single parking	Average	1101	1210
	Max	1332	2418
	Min	948	405
Adjacent parking	Average	1182	1070
	Max	1613	1265
	Min	914	749

3-2-2 単独駐車と隣接駐車の前平均値比較

図 3-3 に,単独駐車の前平均値と隣接駐車の前平均値をセンサ別に比較したものを示す. 図 3-3 より,センサ#4 は単独駐車の方が磁束密度の値は大きくなっているが,センサ#3 では隣接駐車の前磁束密度の方が大きくなっていることがわかる.また表 3-1 より,センサ#3 の磁束密度の前平均値,最大値は,隣接駐車の方が大きくなっている.

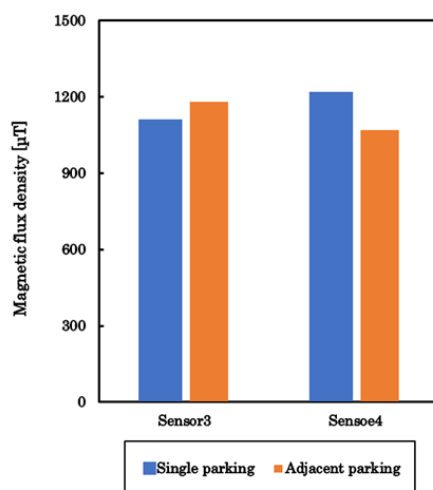


Fig.3-3 Comparison of average values of single parking and adjacent parking

3-2-3 単独駐車の前最小値と隣接駐車の前最大値の比較

図 3-4 に,単独駐車の前最小値と隣接駐車の前最大値をセンサ別に比較したものを示す. 図 3-4 より,センサ#3 もセンサ#4 も隣接駐車の前磁束密度の方が大きくなっているが,センサ#3の方が隣接駐車の影響を受けやすいことがわかる.

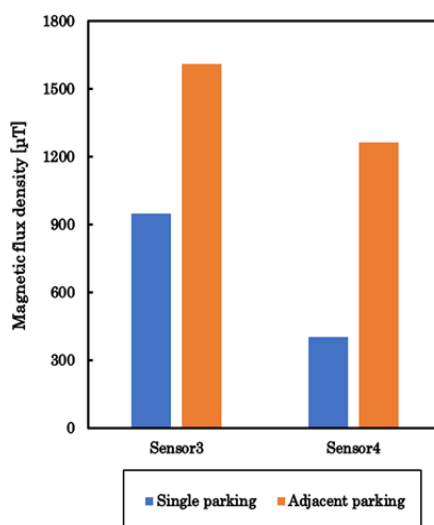


Fig.3-4 Comparison of minimum value for single parking and maximum value for adjacent parking

3-3 考察

図 4-3 の単独駐車と隣接駐車との平均値を比較した時の、センサ#3 では隣接駐車の方が大きくなっている原因について考える。表 4-1 より、単独駐車と隣接駐車それぞれの最大値を比較すると隣接駐車の方が大きくなっていることが影響していると考えられる。センサ#4 では単独駐車と判定できる。よって、車種によっては当該マスへの単独駐車より、隣接駐車の方が大きい逆転現象も見られることがわかった。このことから、駐車判定において、単独駐車で得られた 3 軸のデータを絶対値の総和で駐車マスを判断するのは誤検知を起こしやすい可能性があるといえる。図 4-4 より、単独駐車と隣接駐車との最小値と最大値を比較すると、隣接駐車の影響が大きいことは明らかである。よって、当該マスの変化のみの判断はせず、両隣接マス合わせて、3 マス比較することで当該マスに入退出があったことを判定できると考える。また、具体的なしきい値を決め、それ以下の変化はオフセットするようなプログラムを作成するといった方法が考えられる。

4 章 埋設式を用いた 2 隣接駐車の影響の検証

4-1 検証方法

前章で,単独駐車と隣接駐車との平均値,最大値,最小値を用いて,隣接駐車の影響は大きいことがわかった.次に 2 隣接駐車の影響についても検証する.検証方法は,4 マス何れにも駐車がない状態と,単独駐車,2 隣接駐車それぞれの平均値を比較して,2 隣接マスの影響を検討した.図 4-1,図 4-2,図 4-3 に比較した時の状況を示す.

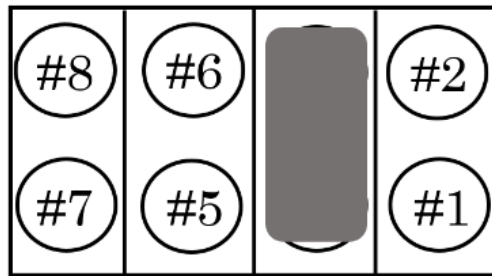


Fig.4-1 Single parking

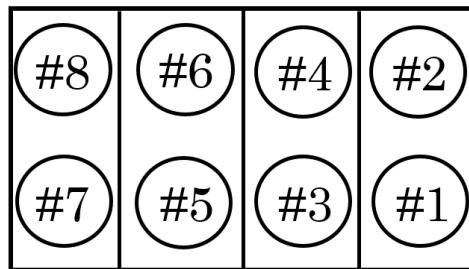


Fig.4-2 No parking

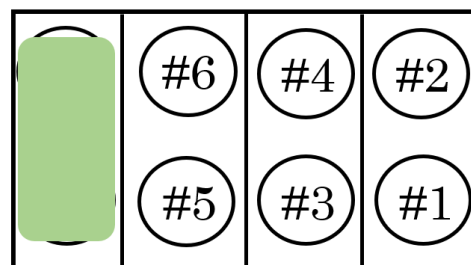


Fig.4-3 Two Adjacent parking

4-2 2 隣接駐車の影響

4-2-1 比較結果

表 4-1 に単独駐車,駐車無し,2 隣接駐車それぞれの磁束密度の平均値,最大値,最小値の検知結果を示す

Table.4-1 Comparison of single parking, no parking and two adjacent parking

		Sensor 3	Sensor 4
Single parking	Average	1328	889
	Max	1969	1426
	Min	944	369
No parking	Average	1184	1062
	Max	1622	1230
	Min	911	818
Two Adjacent parking	Average	1171	1058
	Max	1604	1238
	Min	893	816

4-2-2 単独駐車, 駐車無し, 2 隣接駐車の前平均値比較

図 4-4 に,単独駐車,駐車無し,2 隣接駐車の前平均値をセンサ別に比較したものを示す.センサ#3 においては,単独駐車の前平均値が一番大きくなっているため,隣接駐車ほど影響が大きくないことがわかる.

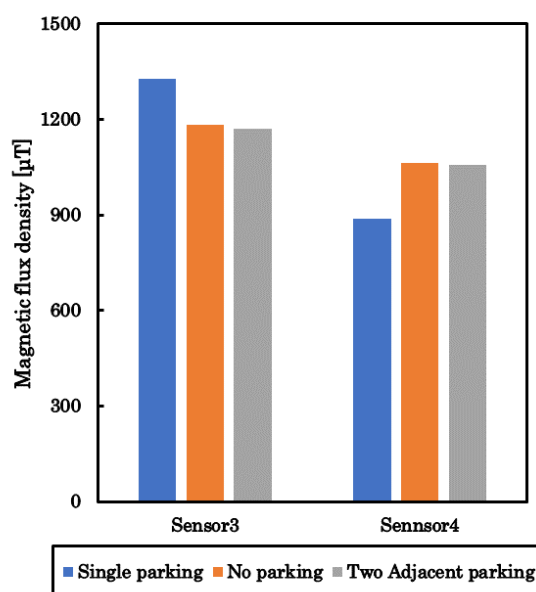


Fig.4-4 Comparison of average value of single parking, no parking and two adjacent parking

4-3 考察

図 4-4 より,2 隣接駐車と駐車無しの平均値を比較すると,ほとんど同値となっている. また,センサ#4 では単独駐車の平均値が大幅に小さくなっている原因として考えられるのは,表 4-1 の,単独駐車におけるセンサ#4 の最小値が他の状況,センサと比べて,500 μ Tほど小さいため,平均値に影響していることが挙げられる.このことから,2 隣接駐車においては,隣接駐車の影響ほど大きくなく,それほど考慮する必要はないと考える.

5 章 埋設式を用いた駐車判定アルゴリズムの提案

5-1 急激な変化点の検出ischange関数を用いる方法

ischangeとはデータの急激な変化点を検出できる MATLAB の関数である.以下にその構文を示す.

$$[TF, S1, S2] = ischange(A, '^ linear^', '^ Threshold^', '^ \tau')$$

入力引数の A は入力データである.Threshold は変化点の閾値で, τ を 1 より大きい値にすると変化点が少なくなる.また,linear は変化点メソッドであり,データの勾配と切片の急激な変化の検出を行う.出力引数の TF は入力引数の A と同じサイズの logical 値で 0 か 1 を返す.S1 は各セグメントの勾配,S2 は各セグメントの切片を出力する.図 5-1,5-2 に,急激な変化点の検出ischange関数を用いる方法の判定結果を示す.

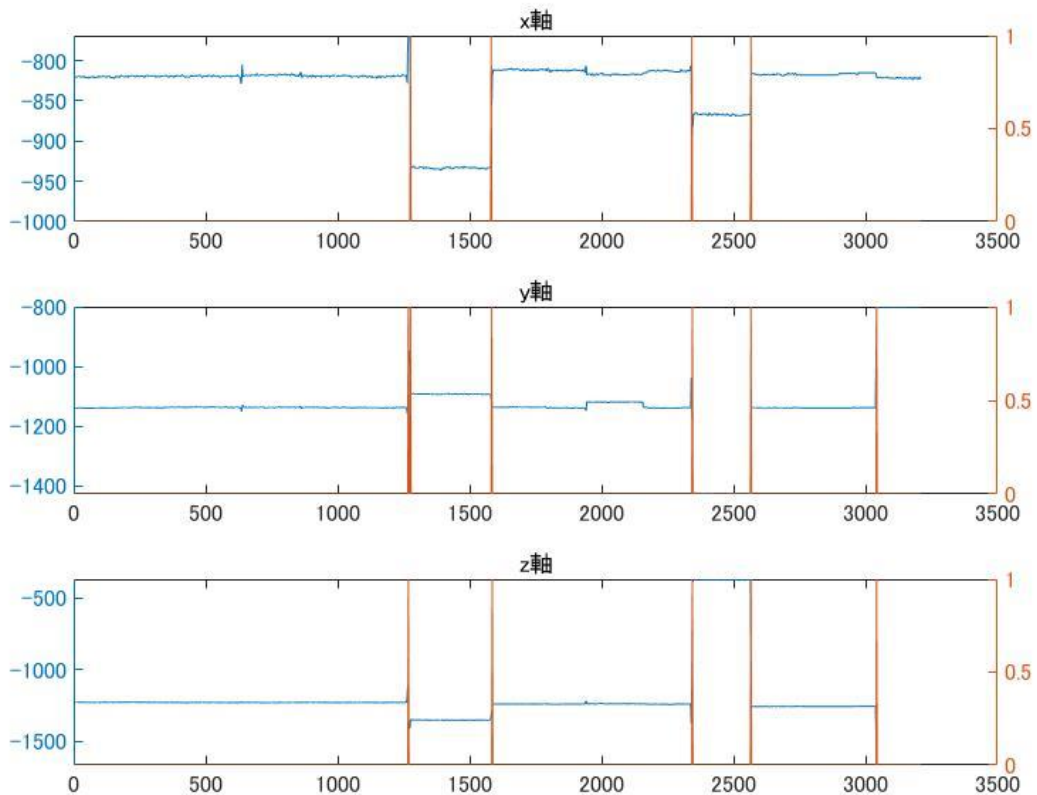


Fig.5-1 Judgement result sensor #4

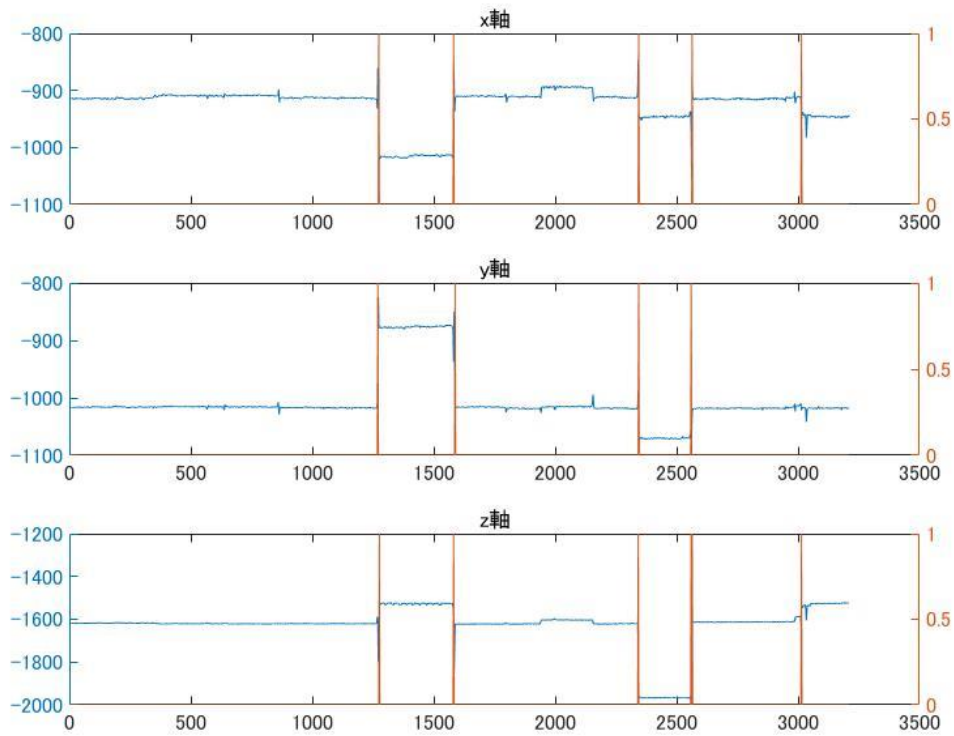


Fig.5-2 Judgement result sensor #3

この時間帯に駐車された車両の台数は、ビデオで確認すると2台だった。図5-1,5-2より、水色の数値は、センサ3とセンサ4のマスでの1時間の磁束密度変化を表す。オレンジ色の数値は、0か1の判定結果である。1が2回判定されたら車両の進入、退出が終了とすると、図5-1,5-2より3軸とも車両検出できていることがわかる。また、ここで閾値 τ は $\tau_x = 20000, \tau_y = 20000, \tau_z = 10000$ と設定した。

5-2 微分により求めた傾きと閾値を比較する方法

図 5-3 のように、微分により各データの傾きを算出し、その傾きと閾値を比較する方法を提案する。この方法のメリットは、傾きの時間変化を参照しながら、閾値が設定できる点であると考えられる。図 5-4、5-5 に微分により求めた傾きと閾値を比較する方法の判定結果を示す。なお、磁束密度変化は、図 5-1、5-2 と同じである。

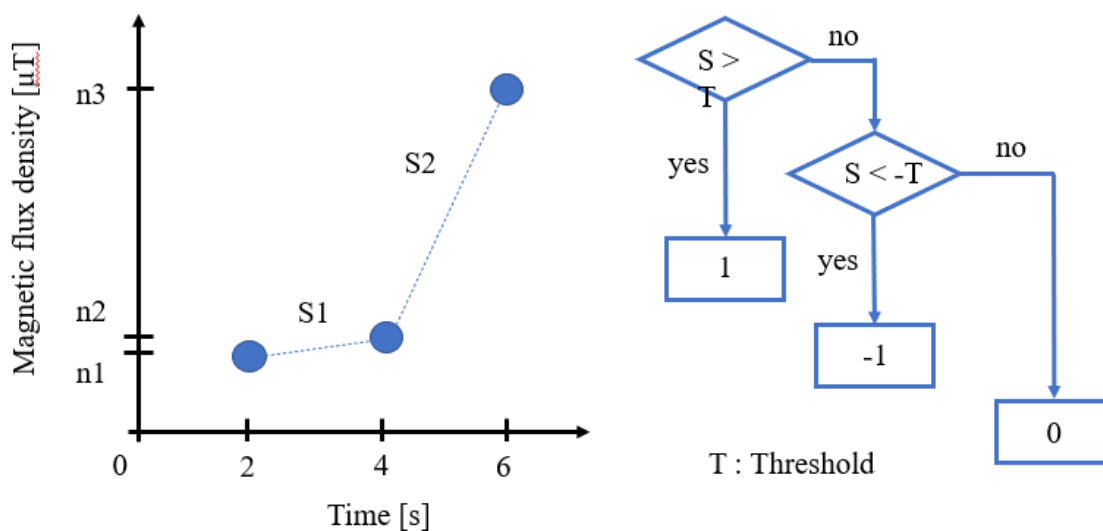


Fig.5-3 A method of comparing the slope obtained by differentiation and the threshold

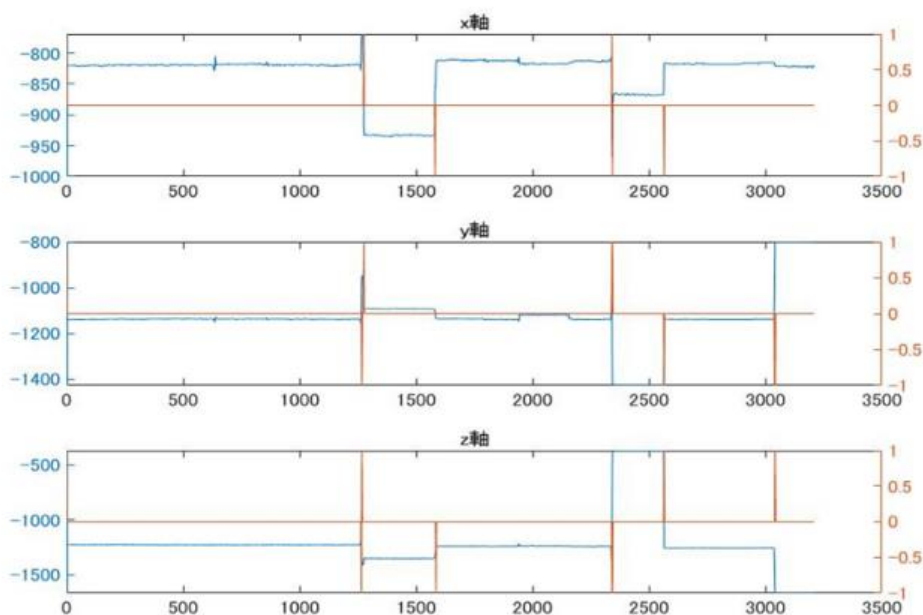


Fig.5-4 Judgement result sensor #4

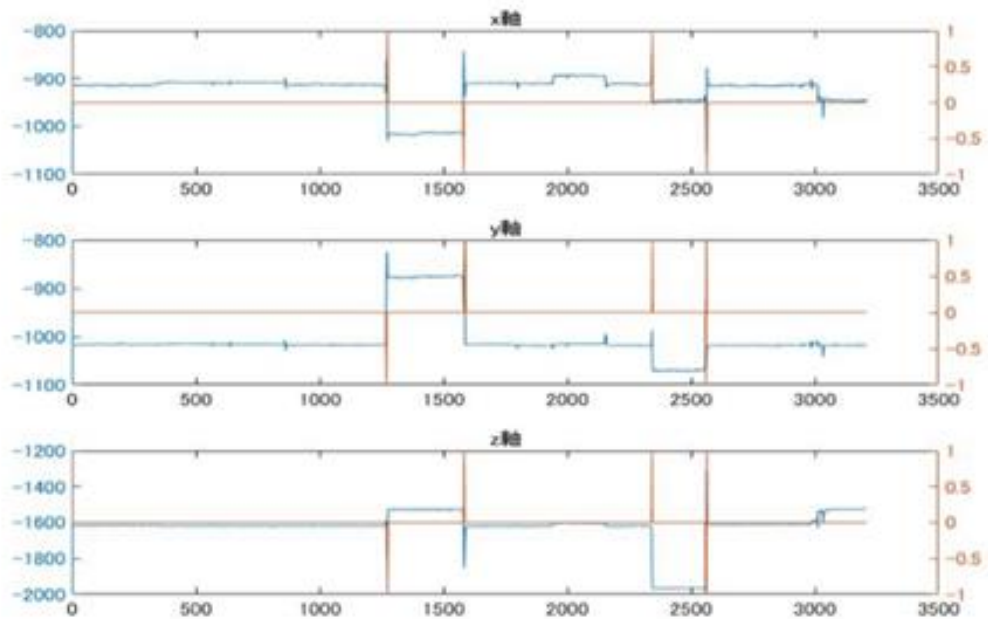


Fig.5-5 Judgement result sensor #3

微分により求めた傾きと閾値を比較する方法では 1 と-1 が交互に検出されると車両の進入,退出が終了とする.図 17,18 より,全体的に車両検出はできていることがわかる.しかし,どのセンサであっても車両が進入した際は一度大きく変化してから,定常値に落ち着くため,変化量によっては,いくら閾値を調整しても,同時に 1,-1 が検出されている箇所がある.また,閾値を調整すると駐車のない箇所にも 1,-1 が検出されることもある.そこで,今後の改善案として,2 秒間隔ではなく,4 秒間隔で傾きを算出することで,1,-1 の同時検出は抑えることが考えられる.

6章 側方からの車両検出装置の提案

6-1 側方式車両検出装置の利点

埋設式磁気センサでの車両検出では、横軸方向の磁力による誤検知や埋設にかかる費用や時間など課題が残った。次に、センサを側方に配置する方法を提案する。側方からの車両検知器は、埋設式と比較して設置工事が容易である。図 6-1 のように、車両のセンサ通過位置によって波形が変化することから、車両を特定する際に誤検知を起こす原因となる。よって、側方から車両検出を行うことで、その波形により車両を特定できると考えられる。また、規制工事が困難な1車線道路やIC流入道路、トンネル内道路など、更なる利用範囲の拡大を見込める。

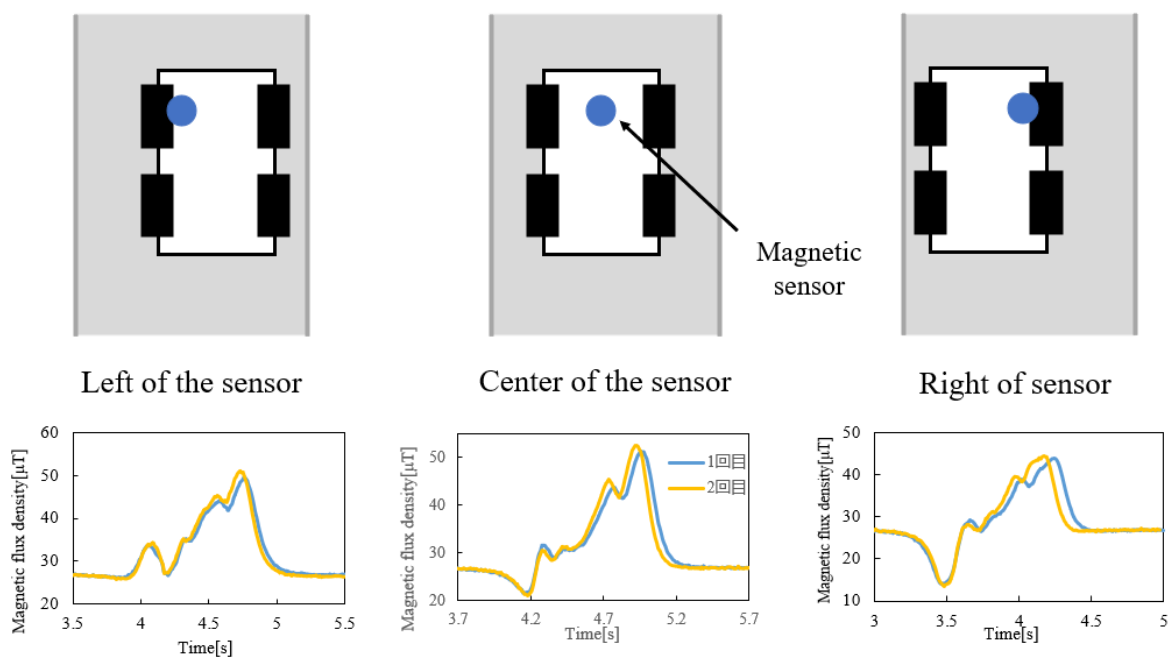


Fig.6-2 Differences in waveform depend on driving position

6-2 車両検出方法

車両の鉄製対象物による残留磁気の変化を用いることで、センサ横を通過する車両を検出することができる。グラフの x 軸は車両の進行方向、 y 軸は道路に対し垂直方向、 z 軸は奥行き方向を表す。車両とセンサ間の距離 d 、センサ高さ h 、車両速度 v とする。図6-2のように車両の進行方向に対し側方に設置したセンサによって車両を検出する。右側のグラフは、車両がセンサ横を通過した際の3軸別の波形のグラフである。

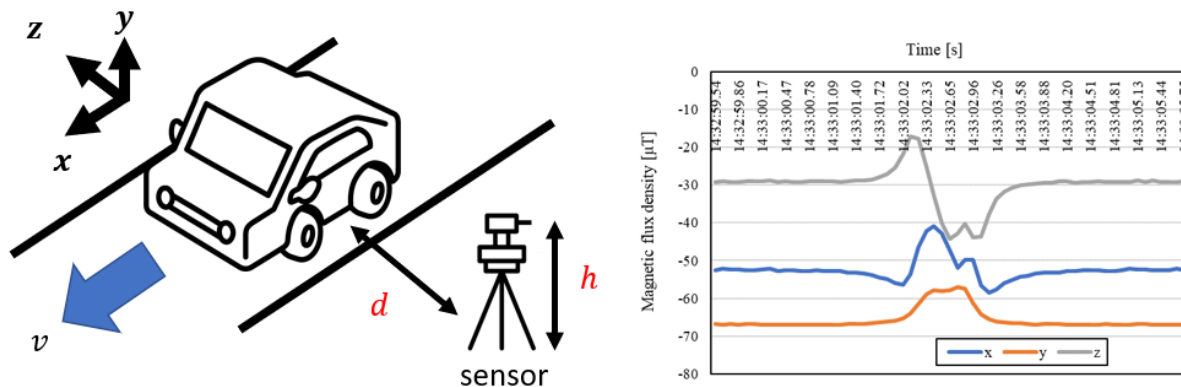


Fig.6-2 Vehicle detection method

6-3 使用環境による違い

実際に z 軸方向に建物の有無による磁束密度の変化や波形の違いを検証した。図6-3,6-4に車両が通過した際の写真と、3軸別の磁束密度変化を示す。グラフを比較すると、 z 軸の磁束密度の0点の値は変化しているが3軸ともに波形に変化はないことがわかる。これより、側方からの車両検知器は埋設式と比較すると、車両通過位置にも依存しないことがわかる。

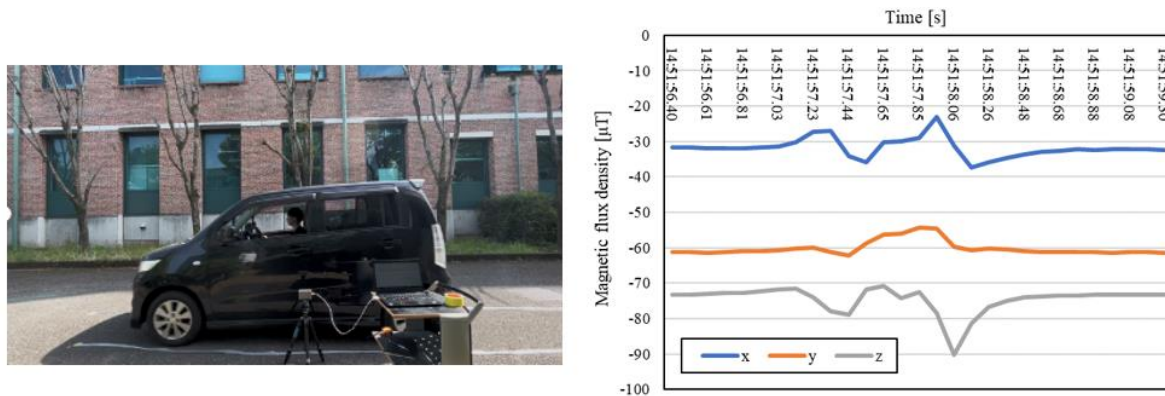


Fig.6-3 When there is a building in the Z-axis direction

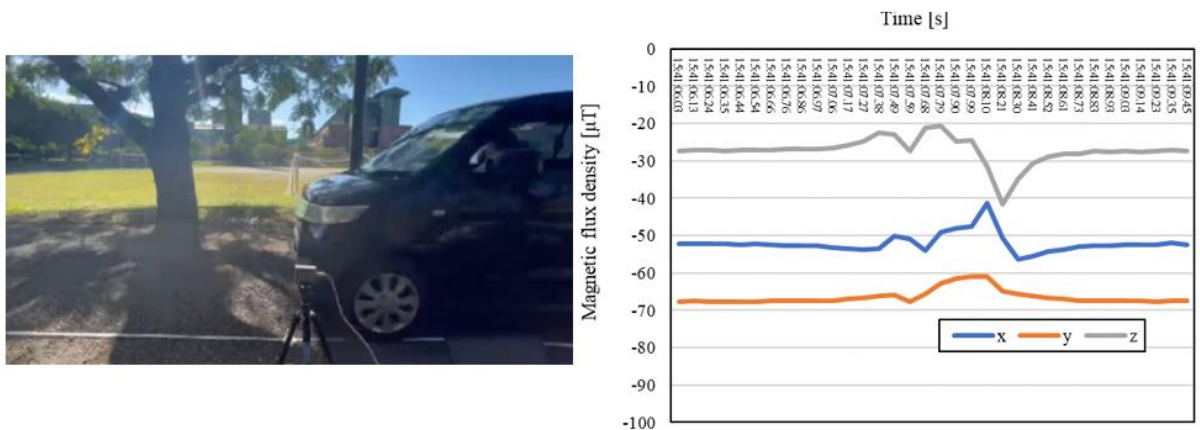


Fig.6-4 When there is no buildings in the Z-axis direction

6-4 車両別磁束密度変化の比較

センサ間の距離 d ，センサ高さ h をそれぞれ変化させ車体の大きさの違う車両の磁束密度変化の波形を比較した．表 6-1 に使用した車両の寸法や重量をまとめたものを示す⁹⁾．図 6-5 にワゴン R を 4 つの条件で比較したものを示す．また，図 6-6 にラクティスとノアを 2 つの条件で比較したものを示す．

Table.6-1 Vehicle information

	SUZUKI ワゴンR	TOYOTA ラクティス	TOYOTA ノア
全長	3395 mm	3995 mm	4710 mm
全幅	1475 mm	1695 mm	1735 mm
全高	1650 mm	1585 mm	1870 mm
車両重量	840 kg	1110 kg	1700 kg

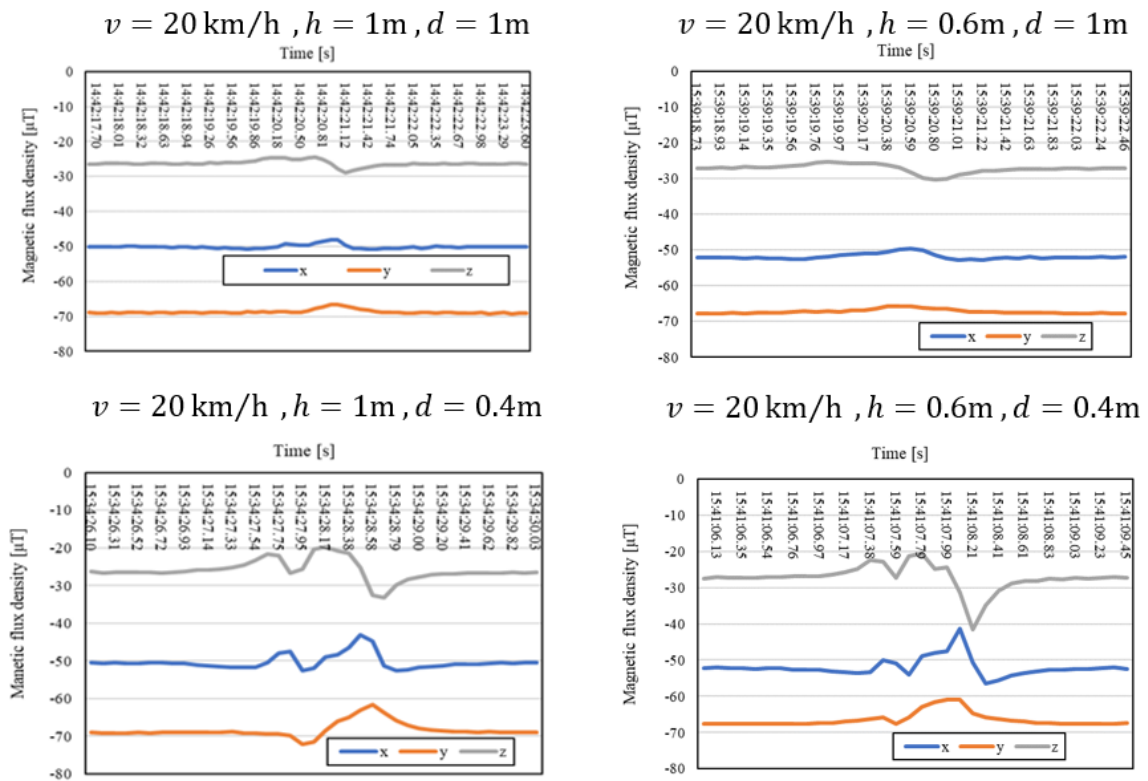


Fig.6-5 Compare Wagon R in 4 conditions

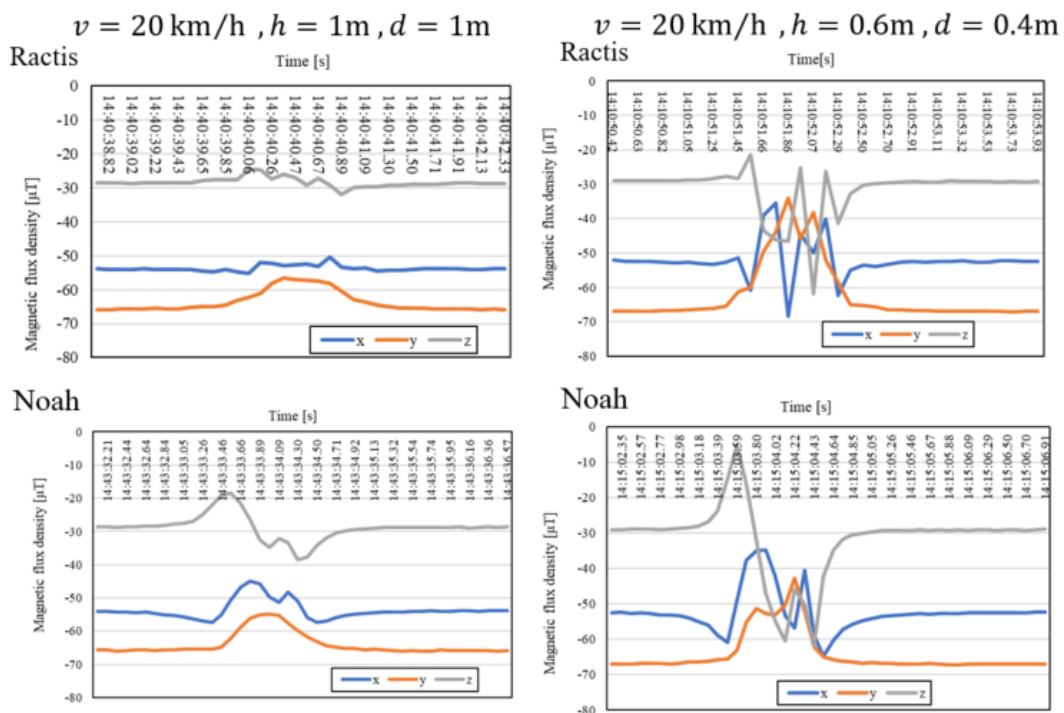


Fig.6-6 Compare 2conditions between Ractis and Noah

図 6-5 より $h = 1\text{m}$, $d = 1\text{m}$ の時, 車両検出できていないことがわかる. センサ高さを $h = 0.6\text{m}$ と変化させたが, 車両の検出はできなかった. センサ間距離 $d = 0.4\text{m}$ とすると波形が出力され, 車両検出できている. センサ高さ h とセンサ間距離 d 両方を変化させると, 磁束密度変化が大きくなった. これは $h = 0.6\text{m}$ 周辺にエンジンなどの磁性体部品が多いことが要因と考えられる. よって, 側方からの車両検出において, センサ高さ h よりも車両とセンサ間の距離 d に依存することがわかる. 図 6-6 より, ラクティスとノアでは $h = 1\text{m}, d = 1\text{m}$ の時, ワゴン R と比較すると波形の概形が表れている. $h = 0.6\text{m}, d = 0.4\text{m}$ と比較すると, 概形が類似している. よって, 車体が大きいほど磁束密度変化量が大きくなり, 大型車以上の大きさの車両であればセンサ間距離 d は 1m 確保できることがわかる. また図 6-5, 6-6 より, 車両によりそれぞれ波形に特徴があることから, 波形の概形の違いを利用した車両特定が可能だと考えられる.

6-5 考察

図 6-5, 6-6 より, 車体が大きいほど磁束密度の大きさと変化量ともに大きくなる傾向があることがわかる. このことから大型車両の車両検出には, 5章で述べた傾きの閾値検出は有効だと考えられる. また, 車両によりそれぞれ波形に特徴があったことから, 車両検出システムでの車両特定に生かすことができる. しかし, 車両とセンサ間の距離 $d = 0.4\text{m}$ が実用的な距離でないため, より高感度な磁気センサを用いて車両検出距離の拡大を図ることが重要である.

7章 高感度磁気センサを用いた側方からの車両検出装置の提案

7-1 使用する高感度磁気センサ

図 7-1 に今回用いた高感度磁気センサと磁気ノイズ特性を示す⁽¹⁰⁾。また、表 7-1 に各々の性能を比較したものを示す。この高感度磁気センサは MI センサの中で最高の磁気分解能をもつセンサである。地磁気の 1/50000 の nT オーダーの磁界変化を検出が可能である。地磁気のような静磁界信号成分を除去し、交流信号のみを検出する。

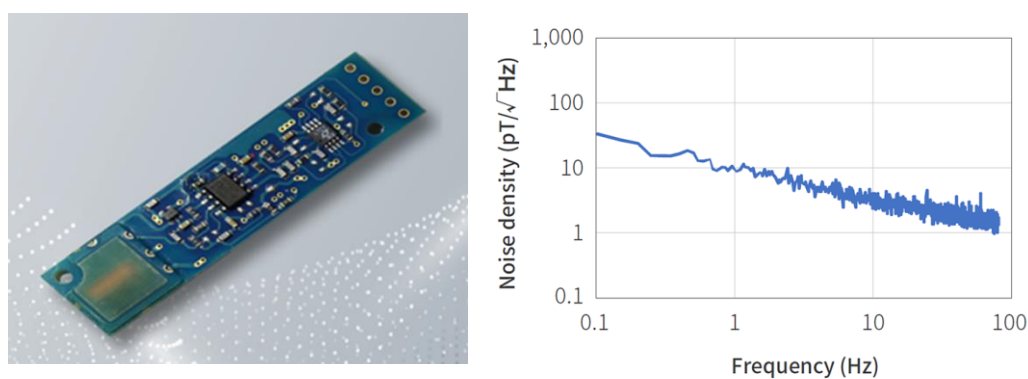


Fig.7-1 High sensitivity magnetic sensor and its magnetic noise characteristics

Table.7-1 Sensor performance comparison table

	ローム株式会社 BM1422AGMV	愛知製鋼(株) MI-CB-1DJ-S-B
感磁方向	3軸	1軸
電源電圧	4.5 V	15 V
磁気感度	0.042 μ T/LSB	0.000195 μ T/LSB
分解能	0.3 μ T	10 pT
基板サイズ	2mm \times 2mm	55mm \times 13.5mm

7-2 車両検出方法

車両とセンサ間の距離 d ，センサ高さ h ，車両速度 v とする．図 7-2 のように車両の進行方向に対し側方に設置したセンサによって車両を検出する．右側のグラフは，車両がセンサ横を通過した際の波形である．従来のセンサは感磁方向が 3 軸であることに対し高感度磁気センサは感磁方向が 1 軸であることから 1 つの車両に対して 1 つの波形が出力される．また，感磁方向は道路に対して垂直の向きとしている．

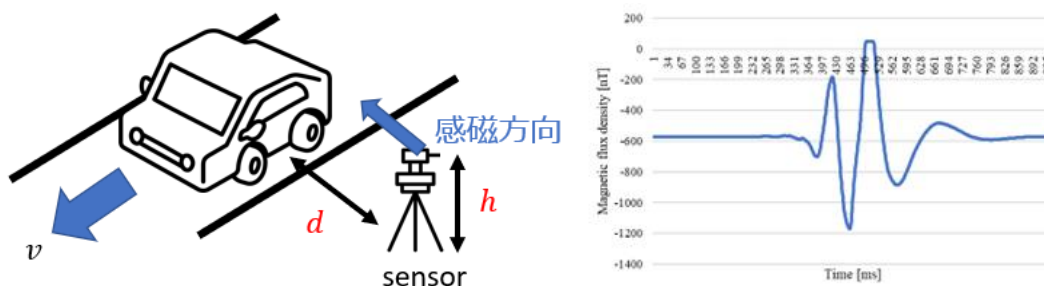


Fig.7-2 Vehicle detection with high sensitivity sensor

7-3 高感度磁気センサでの磁束密度変化比較

車両とセンサ間の距離 d ，センサ高さ h をそれぞれ変化させ車体の大きさの違う車両の磁束密度変化の波形を比較した．表 7-2 に使用した車両の寸法や重量をまとめたものを示す⁽¹⁾．図 7-3 にワゴン R でそれぞれ 5 つの条件で比較したものを示す．また図 7-4 にジーンで 2 つの条件でそれぞれ 2 回データを取得し，比較したものを示す．

Table.7-2 Vehicle information

	SUZUKI ワゴンR	DAIHATSU ジーン
全長	3395 mm	3995 mm
全幅	1475 mm	1695 mm
全高	1650 mm	1515 mm
車両重量	840 kg	790 kg

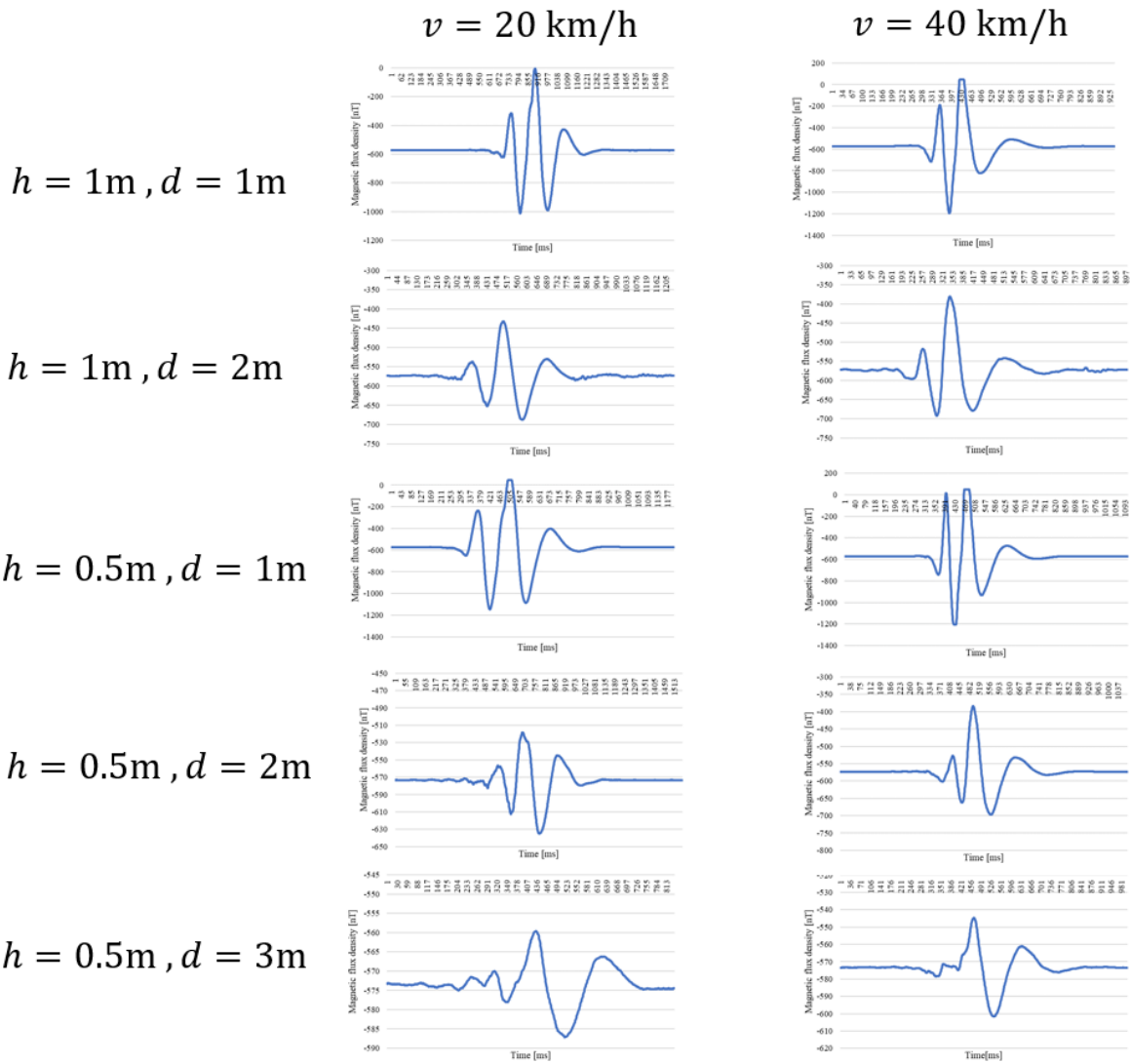


Fig.7-4 When comparing five conditions on Wagon R using a high-sensitivity magnetic sensor

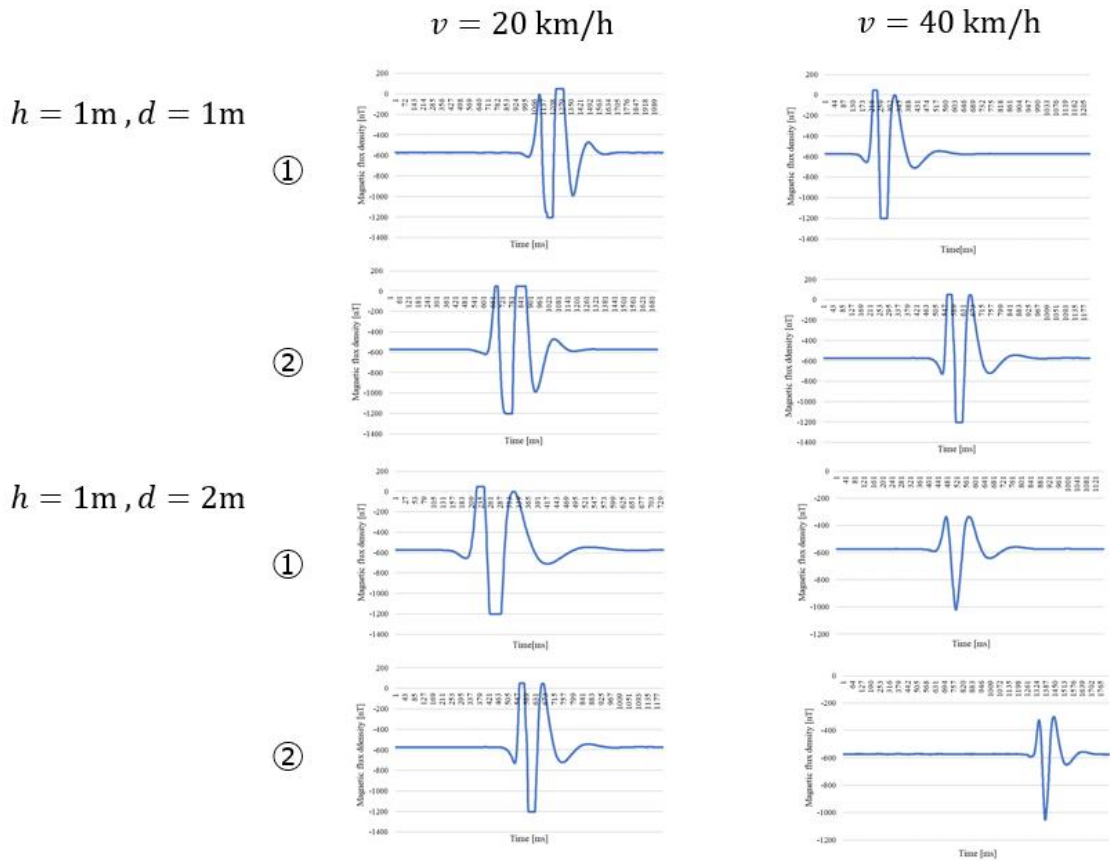


Fig.7-5 When comparing five conditions on Gino using a high-sensitivity magnetic sensor

図 7-4 より，高感度センサを用いると 5 つの条件全て車両検出できている．また，全ての波形が類似していることから車両特定は可能だと考える．しかし， $v = 40\text{km/h}$ ， $h = 0.5\text{m}$ ， $d = 1\text{m}$ のグラフでは，一つ目の磁束密度の最大値が他の条件の時よりも大きく，はずれ値のようにになっている．このことから，車両特定する際に波形の山ごとの最大値を平均し，車両の波形を決定する必要がある．しかし，センサ距離を 3m 離れた時は他の条件と比較すると，車両検出できていないため，3m 以上の距離がある場合，磁気センサを用いて車両検出を行うことは困難であるといえる．図 7-5 より，ジーノでは 2 つの条件ともに波形が類似しているうえに，ワゴン R とは波形が異なることから，車両特定は可能であるといえる．

7-4 条件別車両判別比較

車両速度 v ，センサ間の距離 d をそれぞれ変化させ，車両の磁束密度変化の波形を比較し，車両判別のために比較を行った．図 7-6 に 4 つの条件でワゴン R とジーノを車両判別の比較を示す．

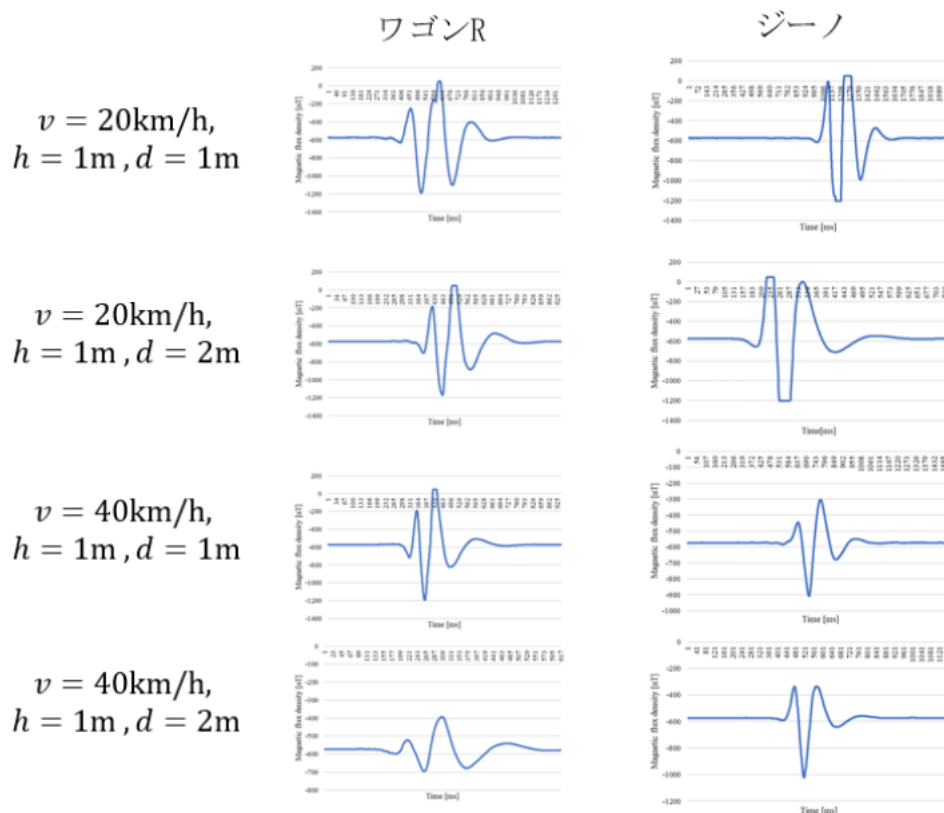


Fig.7-6 Vehicle discrimination by condition

図 7-6 より，車両速度 v ，センサ間距離 d を変化させても車両判別できることがわかる．以上のことから，側方からの車両検知での車両特定においては，波形の概形の違いを利用できると考えられる．

7-5 考察

車両検出距離は $d = 3\text{m}$ 以降であると波形が安定しないため，波形を用いた車両特定は困難であると考え．1 回目と 2 回目に波形の違いは見られなかったことから再現性については問題ないと考え．以上の比較より，センサ高さ h よりもセンサ間距離 d の方が磁束密度変化に影響を及ぼしやすいことがわかる．また，ワゴン R とジーノの出力波形に大きな違いはないが，波形の 1 つ目の山の最大値がそれぞれ異なる．よって普通車と大型車でも試した後，波形に違いがあるかを検証する必要があると考え．

8 章 結言

8-1 まとめ

磁気センサを用いた側方からの車両検知方法を提案し、車両検出の原理について言及した。また、使用環境による影響や従来の磁気センサでは車両検出距離に課題があることを示した。そこで、高感度磁気センサを用いることで、車両ごとの波形を特定することを提案した。その際、従来の磁気センサとの性能比較を行い、様々な磁気センサについて検討した。実際に高感度磁気センサを用いて様々な条件下で磁束密度変化を比較し、高感度磁気センサを用いて側方からの車両検知の有用性を示した。そこで、車両ごとに波形に特徴を利用するような車両判別のプログラムの有用性を提案した。

8-2 今後の展望

今後は、提案した車両判別システムのプログラム作成を行う。また、様々な条件で実験を行った後、磁束密度の最大値の平均値を算出し、はずれ値を補正することができるようなプログラムの作成を行う。

謝辞

本研究を行うにあたり、丁寧かつ熱心なご指導を頂きました指導教官の岡宏一教授に心から感謝いたします。また、研究についてご助言を賜りました原田明德准教授に深く感謝致します。さらに、西日本高速道路株式会社 (NEXCO 西日本)、株式会社の筒井啓造氏、東北大学の熊谷靖彦教授に多くの知識やデータの提供をして頂きました。ここに感謝の意を表します。最後に、学費や生活面、精神面など全面的に支えていただいた両親に感謝致します。

参考文献

- (1) 公益財団法人, 日本交通管理技術教会, 交通管制システムの構成
<https://www.tmt.or.jp/research/index5-02-1.html> 2022/01/24
- (2) 住友電工ソリューション株式会社, ITS インフラ 管制・制御システム
https://www.seiss.co.jp/products/its/traffic_control 2022/01/24
- (3) FUREX 株式会社, 車両検知センサの方式比較
https://www.fu-rex.co.jp/product1/sensor_info.html , 2022/01/24
- (4) NEXCO中日本, 安全性向上3カ年計画の取り組み状況
<http://www.c-nexco.co.jp/corporate/safety/torikumi/torikumi/> , 2022/01/24
- (5) 住友電工ソリューション株式会社, ITSインフラ感知器
<https://www.seiss.co.jp/products/its/> , 2022/01/24
- (6) 毛利佳年雄, 磁気センサ理工学 (増補) –センサの原理から電子コンパスまで–,
コロナ社, 2016
- (7) ROHM株式会社, エレクトロ豆知識地磁気センサ
https://www.rohm.co.jp/electronics-basics/sensors/sensor_what2 , 2022/01/24
- (8) 住友電工システムソリューション株式会社, ITS インフラ
<https://www.seiss.co.jp/products/its/sensor/> , 2024/01/25
- (9) スズキ ワゴン R 新型情報 | グレード/性能/新車・中古車
<https://car.motor-fan.jp/catalog/SUZUKI/10552003> , 2024/01/25
トヨタ ラクティス 主要諸元表
https://toyota.jp/pages/contents/ractis/002_p_007/pdf/spec/ractis_spec_201506.pdf , 2024/01/25
トヨタ ノア 諸元表
https://toyota.jp/pages/contents/noah/003_p_008/pdf/spec/noah_special_spec_201711.pdf ,
2024/01/25
- (10) AICHI STEEL, スマートカンパニー, MI Sensor
<https://www.aichi-steel.co.jp/smart/mi/products/type-dj.html>, 2024/01/25
- (11) ダイハツ ミラ ジーノ のボディサイズ
<https://spectank.jp/bdy/sl0060025.html> , 2024/01/25