

ISSN 1346-7328

国総研資料 第178号

平成16年 3月

国土技術政策総合研究所資料

№ 178

冬期道路における走行支援に関する研究

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of

National Institute for Land and Infrastructure Management

No. 178

March 2004

冬期道路における走行支援に関する研究

高度道路交通システム研究室

The result report of joint research about advanced cruise-assist technology in a winter road

Intelligent Transport Systems Division

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management

Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Japan

2

4

冬期道路における走行支援技術に関する共同研究

山田 晴利^{*1}
川崎 茂信^{*2}
喜安 和秀^{*3}
福田 敬大^{*4}
牧野 浩志^{*5}
鳥羽 保行^{*6}
大内 浩之^{*7}
水口 賢^{*8}
湯浅 雅也^{*9}
加治屋安彦^{*10}
松沢 勝^{*11}
鈴木 武彦^{*12}

概要

本資料は、積雪および寒冷地域での走行支援道路システム（AHS：Advanced cruise-assist Highway Systems）の利用について、平成12年度(2000年)から14年度(2002年)の三ヶ年間にわたり、国土交通省国土技術政策総合研究所 高度情報化研究センター 高度道路交通システム研究室と、独立行政法人北海道開発土木研究所 道路部 防災雪氷研究室が共同で実施した内容についてとりまとめたものである。

キーワード：

AHS、積雪および寒冷地域、道路状況把握センサ、路面状況把握センサ、自発光式視線誘導標

- | | | | | |
|-----|------------------|-------------|---------------|-------|
| *1 | 国土交通省国土技術政策総合研究所 | 高度情報化研究センター | センター長 | |
| *2 | 国土交通省国土技術政策総合研究所 | 高度情報化研究センター | 高度道路交通システム研究室 | 室長 |
| *3 | 国土交通省国土技術政策総合研究所 | 高度情報化研究センター | 高度道路交通システム研究室 | 室長 |
| *4 | 国土交通省国土技術政策総合研究所 | 高度情報化研究センター | 高度道路交通システム研究室 | 主任研究官 |
| *5 | 国土交通省国土技術政策総合研究所 | 高度情報化研究センター | 高度道路交通システム研究室 | 主任研究官 |
| *6 | 国土交通省国土技術政策総合研究所 | 高度情報化研究センター | 高度道路交通システム研究室 | 主任研究官 |
| *7 | 国土交通省国土技術政策総合研究所 | 高度情報化研究センター | 高度道路交通システム研究室 | 研究官 |
| *8 | 国土交通省国土技術政策総合研究所 | 高度情報化研究センター | 高度道路交通システム研究室 | 研究官 |
| *9 | 国土交通省国土技術政策総合研究所 | 高度情報化研究センター | 高度道路交通システム研究室 | 交流研究員 |
| *10 | 独立行政法人北海道開発土木研究所 | 道路部 防災雪氷研究室 | 室長 | |
| *11 | 独立行政法人北海道開発土木研究所 | 道路部 防災雪氷研究室 | 副室長 | |
| *12 | 独立行政法人北海道開発土木研究所 | 道路部 防災雪氷研究室 | 研究員 | |

The technical note of joint research about advanced cruise-assist technology in a winter road

Harutoshi YAMADA^{*1}
Shigenobu KAWASAKI^{*2}
Kazuhide KIYASU^{*3}
Yukihiro FUKUDA^{*4}
Hiroshi MAKINO^{*5}
Tomoyuki TOBA^{*6}
Hiroyuki OUCHI^{*7}
Satoshi MIZUGUCHI^{*8}
Masaya YOASA^{*9}
Yasuhiko KAZIYA^{*10}
Masaru MATSUZAWA^{*11}
Takehiko SUZUKI^{*12}

Synopsis

This note is collected about the result of joint research which “Disaster Prevention & Snow Engineering Division ,Road Department Civil Engineering Research Institute of Hokkaido” and [Intelligent Transport Systems Division, National Institute for Land and Infrastructure Management, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Japan] studied the report together about AHS(Advanced cruise-assist Highway Systems) in snow coverage and a cold district region over about three years from 2000 to 2002.

Keywords

AHS, Cold/Snowy region, Road surface condition detection sensor, Road condition detection sensor, Intelligent self-illuminating delineator

-
- *1 Head, National Institute for Land and Infrastructure Management, Ministry of Land, Infrastructure and Transport
 - *2 Director, National Institute for Land and Infrastructure Management, Ministry of Land, Infrastructure and Transport
 - *3 Director, National Institute for Land and Infrastructure Management, Ministry of Land, Infrastructure and Transport
 - *4 Senior Researcher, National Institute for Land and Infrastructure Management, Ministry of Land, Infrastructure and Transport
 - *5 Senior Researcher, National Institute for Land and Infrastructure Management, Ministry of Land, Infrastructure and Transport
 - *6 Senior Researcher, National Institute for Land and Infrastructure Management, Ministry of Land, Infrastructure and Transport
 - *7 Researcher, National Institute for Land and Infrastructure Management, Ministry of Land, Infrastructure and Transport
 - *8 Researcher, National Institute for Land and Infrastructure Management, Ministry of Land, Infrastructure and Transport
 - *9 Guest Research Engineer, National Institute for Land and Infrastructure Management, Ministry of Land, Infrastructure and Transport
 - *10 Director, Disaster Prevention & Snow Engineering Division ,Road Department Civil Engineering Research Institute of Hokkaido
 - *11 Sub Director, Disaster Prevention & Snow Engineering Division ,Road Department Civil Engineering Research Institute of Hokkaido
 - *12 Researcher, Disaster Prevention & Snow Engineering Division ,Road Department Civil Engineering Research Institute of Hokkaido

目 次

第1章	はじめに	1
第2章	積雪および寒冷地域における気象環境と冬期事故の調査	3
2. 1	積雪および寒冷地域での気象環境	3
2. 1. 1	冬期道路の通行止め要因	3
2. 1. 2	視程障害の実態（一般国道 275 号角山）	4
2. 1. 3	まとめ	4
2. 2	冬期事故の特徴	5
2. 2. 1	冬期事故と夏期事故の現状	5
2. 2. 2	冬期事故における冬型事故現状	6
2. 2. 3	冬期事故要因・類型・道路形状	7
2. 2. 4	冬期事故の路面発生状況	8
2. 2. 5	吹雪時の多重衝突事故	9
2. 2. 6	まとめ	9
第3章	積雪および寒冷地域における事故対策	11
3. 1	AHSからのアプローチ	11
3. 1. 1	前方障害物衝突防止支援	11
3. 1. 2	カーブ進入危険防止支援	11
3. 1. 3	車線逸脱防止支援	11
3. 1. 4	出合い頭衝突防止支援	11
3. 1. 5	右折衝突防止支援	11
3. 1. 6	横断歩道歩行者衝突防止支援	12
3. 1. 7	路面情報活用車間保持等支援	12
3. 2	まとめ	13
3. 2. 1	積雪および寒冷地域におけるAHSの適用検討	13
3. 2. 2	積雪および寒冷地域特有のシステム検討	14
第4章	積雪および寒冷地域におけるAHSの適用検討	15
4. 1	道路状況把握センサの性能検証	15
4. 1. 1	目的	15
4. 1. 2	実験方法	15
4. 1. 2. 1	道路状況把握センサの特徴	15
4. 1. 2. 2	実験場所および期間	18
4. 1. 2. 3	走行車両検出実験	18
4. 1. 2. 4	停止車両検出実験	19
4. 1. 2. 5	歩行者実験	19
4. 1. 2. 6	信頼性・耐久性実験	20
4. 1. 3	実験結果	20
4. 1. 3. 1	走行車両検出実験	20
4. 1. 3. 2	停止車両検出実験	23

4. 1. 3. 3	歩行者実験	30
4. 1. 4	まとめ	38
4. 1. 4. 1	実験結果のまとめ	38
4. 1. 4. 2	今後の課題	39
4. 2	路面状況把握センサの性能検証	39
4. 2. 1	目的	39
4. 2. 2	実験方法	39
4. 2. 2. 1	路面状況把握センサの特徴	39
4. 2. 2. 2	実験場所および期間	42
4. 2. 2. 3	各センサの稼働率実験	43
4. 2. 2. 4	各センサの正解率実験	43
4. 2. 3	実験結果	45
4. 2. 3. 1	各センサの稼働率実験	46
4. 2. 3. 2	各センサの正解率実験	46
4. 2. 4	まとめ	52
4. 2. 4. 1	実験結果のまとめ	52
4. 2. 4. 2	今後の課題	53
第5章	積雪および寒冷地域における	
	AHS構成機器を適用したシステム構成案	54
5. 1	目的	54
5. 2	システム構成案	54
5. 2. 1	道路状況把握センサと検出事象処理装置を接続する場合	54
5. 2. 2	路面状況把握センサと検出事象処理装置を接続する場合	55
5. 2. 3	道路状況把握センサ、路面状況把握センサと 検出事象処理装置を接続する場合	55
5. 3	今後の課題	56
第6章	積雪および寒冷地域特有のシステム検討	
	(自発光式視線誘導標を利用した寒冷地走行支援サービスの検証)	58
6. 1	自発光式視線誘導標を利用したサービスのユーザ受容性評価	58
6. 1. 1	目的	58
6. 1. 2	実験方法	58
6. 1. 2. 1	ビデオ映像による自発光式視線誘導標点滅に関する意識調査	58
6. 1. 2. 2	ビデオ映像による自発光式視線誘導標点滅パターンの検討	59
6. 1. 2. 3	動画CGによる自発光式視線誘導標の 発光部の仕様と設置位置に関する検討	60
6. 1. 2. 4	自発光式視線誘導標の発光点滅による運転挙動調査	62
6. 1. 3	実験結果	63
6. 1. 3. 1	ビデオ映像による自発光式視線誘導標点滅に関する意識調査	63
6. 1. 3. 2	ビデオ映像による自発光式視線誘導標点滅パターンの検討結果	65
6. 1. 3. 3	動画CGによる自発光式視線誘導標の	

	発光部の仕様と 設置に関する検討	68
6. 1. 3. 4	自発光視線誘導標の発光点滅による運転挙動調査	71
6. 1. 4	まとめ	74
6. 1. 4. 1	実験結果のまとめ	74
6. 1. 4. 2	今後の課題	75
6. 2	汎用型ミリ波センサの振動に対する影響調査	76
6. 2. 1	目的	76
6. 2. 2	実験方法	76
6. 2. 2. 1	ミリ波センサの特徴	76
6. 2. 2. 2	実験場所および期間	77
6. 2. 2. 3	実験	77
6. 2. 3	実験結果	80
6. 2. 4	まとめ	84
6. 2. 4. 1	実験結果のまとめ	84
6. 2. 4. 2	今後の課題	84
第7章	安全性・信頼性	85
7. 1	安全性・信頼性について	85
7. 1. 1	定義	85
7. 1. 2	システム動作状態の安全性分析	85
7. 1. 3	安全度	87
7. 1. 3. 1	道路状況把握センサの安全度目標値	87
7. 1. 3. 2	路面状況把握センサの安全度目標値	87
7. 1. 4	信頼性	87
7. 1. 4. 1	システム稼働率	87
7. 1. 4. 2	サービス稼働率	88
7. 2	検討内容	89
7. 3	検討結果	89
7. 4	まとめ	90
7. 4. 1	検討結果のまとめ	90
7. 4. 2	今後の課題	90
第8章	総括	91
8. 1	まとめ	91
8. 2	今後の課題	93
第9章	謝辞	96
第10章	参考文献	97
第11章	索引	98

第1章 はじめに

走行支援道路システム（AHS：Advanced cruise-assist Highway Systems 以下、AHS）は、最新の情報通信技術を利用して、交通事故要因であるドライバーの「発見の遅れ」に対する情報提供、「判断の誤り」に対する警報、「操作の誤り」に対する操作支援等の段階的な支援をドライバーへ行うことにより、事故そのものを回避させ、大幅に交通事故を削減するシステムとして研究開発を進めているテーマである。

図1に示すようにAHSは、道路上の障害物や走行車両を検出する道路状況把握センサ、湿潤・凍結・積雪等の路面状態を検出する路面状況把握センサ、車両へセンサ情報等を提供する路車間通信装置、センサ情報や道路線形情報等の編集処理を行う路側処理装置、およびアンテナ・処理装置・ディスプレイ等を搭載したAHS車両から構成され道路インフラと車両が協調することにより、道路走行の安全性や効率性等を向上させるシステムである。システムの実現にあたっては、日本全国で標準化されたサービスが提供されなければならない。

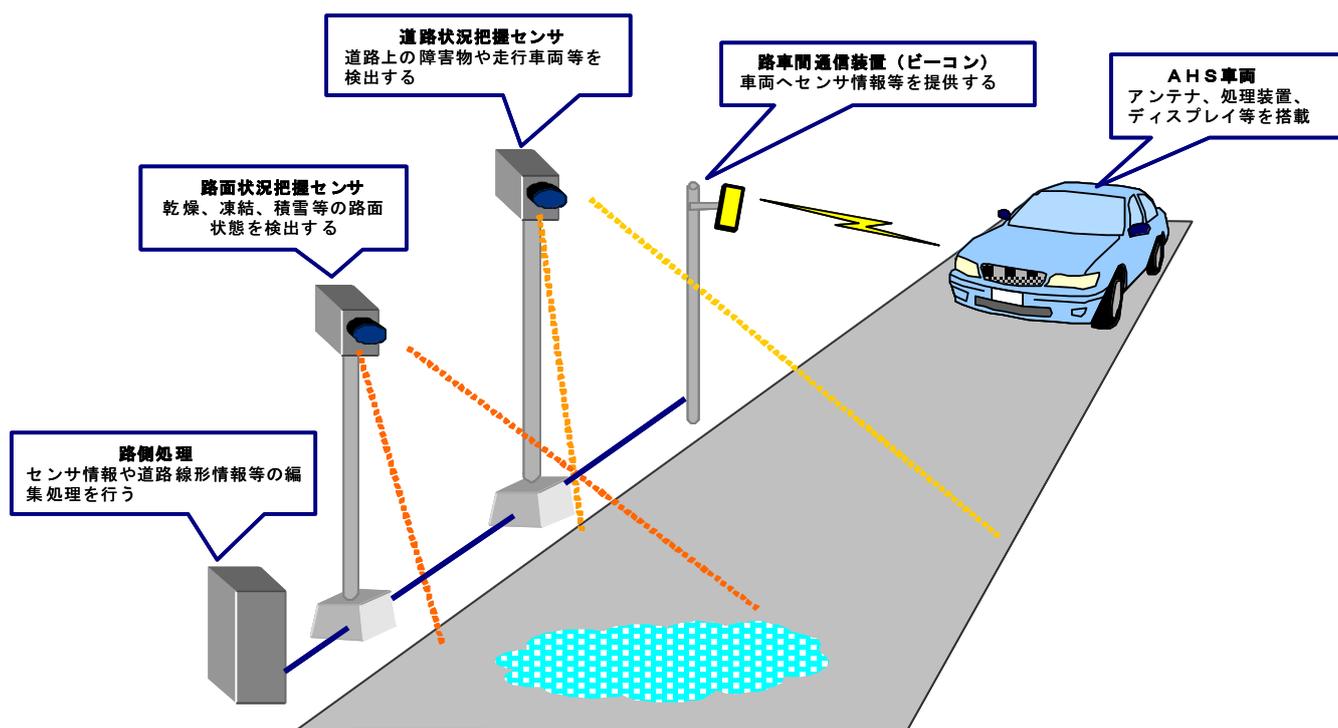


図1 AHSを構成する要素技術

日本では、国土の約60%が「積雪寒冷特別地域における道路交通確保に関する特別措置法（雪寒法）」による積雪および寒冷地域に指定されており、全国民の約20%の人々がそこに暮らしている（図2）。特に、北海道はAHSを運用するにあたって日本で最も過酷

な道路環境であり、このような環境条件をシステムの設計や運用に反映させる必要がある。

以上のことから、国土技術政策総合研究所（以下、国総研）と独立行政法人北海道開発土木研究所（以下、開土研）は、積雪および寒冷地域におけるAHS要素技術の適用性の検討やシステム設計上の課題検討等を主な目的として、平成11年9月から「冬期道路の走行支援技術に関する共同研究」を実施している。

本報告書は、①北海道における事故特性や気象環境の調査、②積雪および寒冷地域におけるAHSの適用検討、③積雪および寒冷地特有のシステム検討、④稼働率からみた各センサ設備の安全性・信頼性の検討についてまとめたものである。

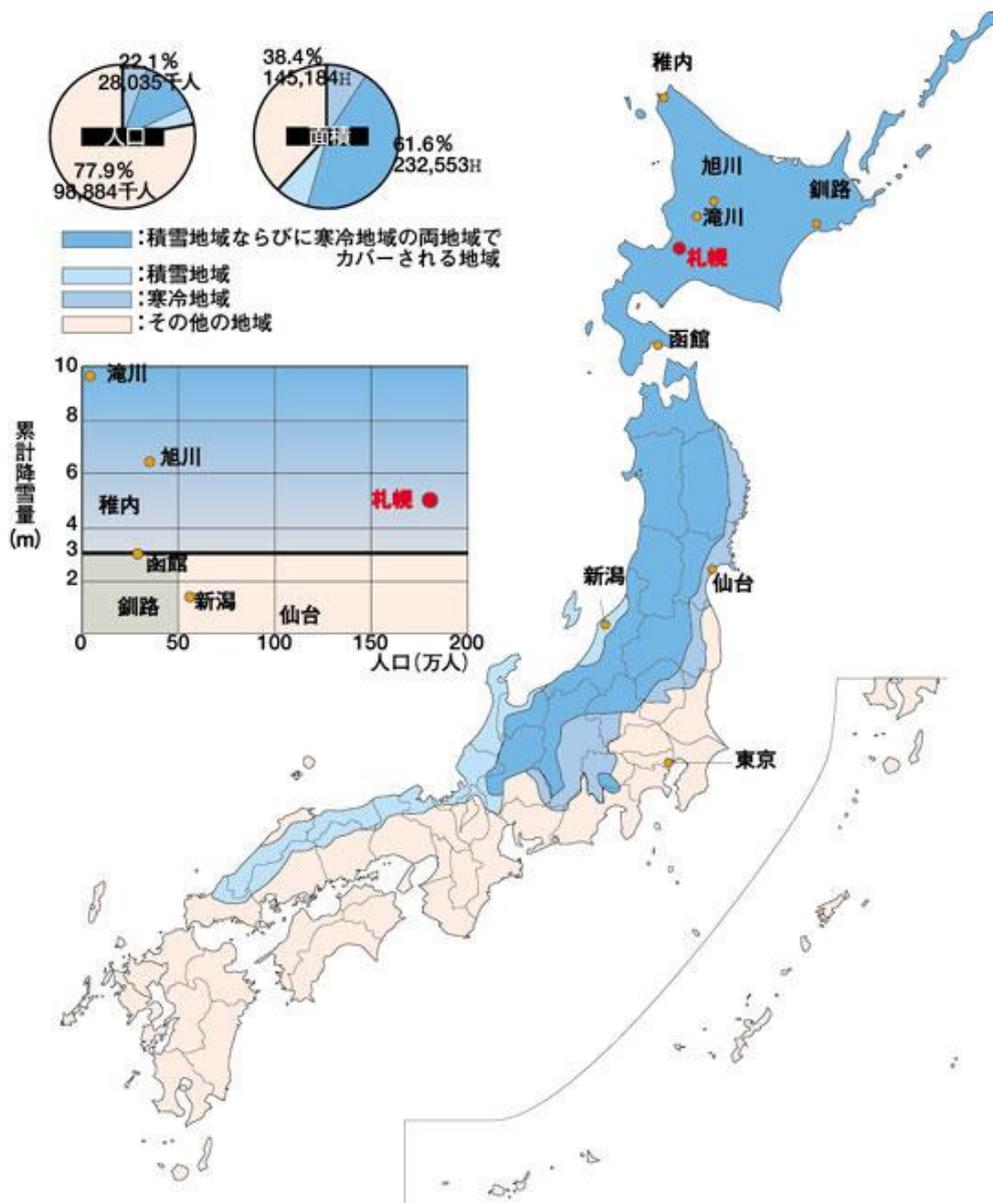


図 2 積雪および寒冷地域全国図

第2章 積雪および寒冷地域における気象環境と冬期事故の調査

2. 1 積雪および寒冷地域での気象環境

北海道の気象の特徴は、西高東低の気圧配置による北西の季節風と、台風並みに発達した温帯低気圧による吹雪（写真 1）である。冬期の気象状況は、時間的および空間的に時々刻々と変化し、道路管理上の予測や対応を困難にさせている。



写真 1 吹雪

2. 1. 1 冬期道路の通行止め要因

図 3 に道路管理上での冬期道路の通行止め発生原因の内訳を示す。図のように 41% は吹雪による視程障害が原因で通行止めが発生している。

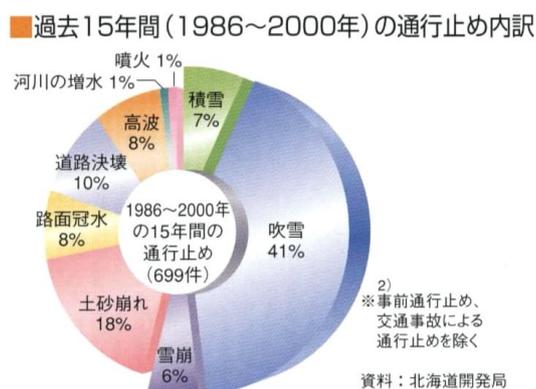


図 3 国道における通行止め要因

2. 1. 2 視程障害の実態（一般国道 275 号角山）

札幌周辺の江別市角山（札幌市内から約 10 k m）における視程障害発生状況について図 4 に示す。なお、データ計測は、防雪柵の風下側で行った。図のように、視程 200m 以下の発生日数は年間 80 日程度、そして、視程 50m 以下の発生日数は、30 日程度であった。

ドライバは、少しでも見えるものを頼りに運転する⁸⁾。視程 50m 以下になると、路側に視線誘導施設などがなければ、見えるものは前方車両のみとなるため、車間距離が視程と同程度になる。よって、制動停止距離が十分確保できない状況となり、追突事故が発生する危険性が增大する。

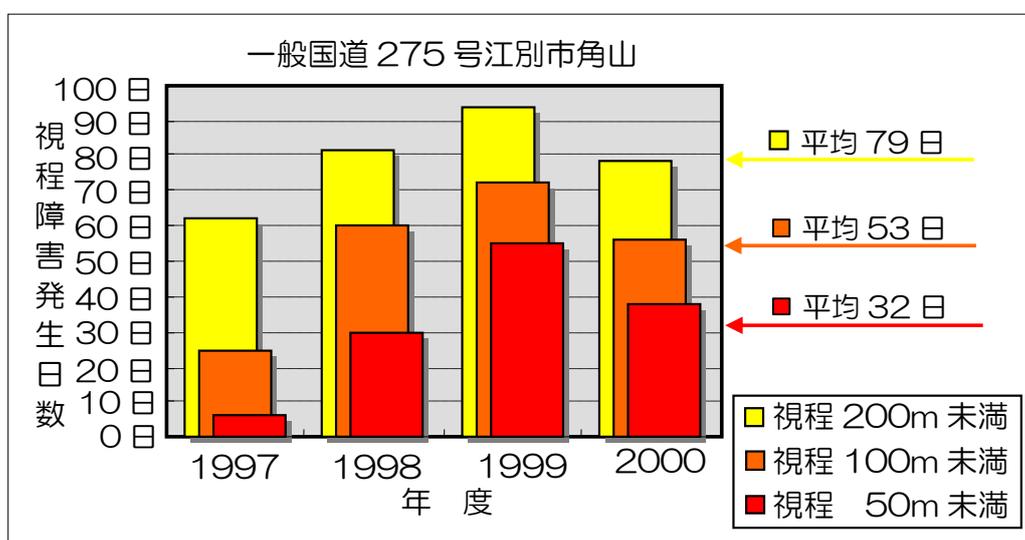


図 4 国道 275 号角山における視程障害日数

2. 1. 3 まとめ

以上のように、積雪および寒冷地域では、現状のリクワイアメントよりも厳しい気象条件が発生する。この厳しい気象条件下では、AHS の稼働率が低下し、サービス提供に支障を来す可能性があることが想定される。よって、積雪および寒冷地域へのシステム導入を検討する場合には、厳しい気象条件を十分考慮したリクワイアメントや要素技術機器の選定が必要となる。

2. 2 冬期事故の特徴

AHSサービスのコンセプトやリクワイアメント（開発目標）は、事故分析結果を基本として検討が進められている。積雪および寒冷地域におけるシステム導入を検討する場合には、上述の気象特性は勿論、その地域の事故特性についても十分考慮する必要がある。

平成4年度から罰則の適用がはじまった北海道におけるスパイクタイヤ禁止条例は、粉じんの減少などの道路交通環境を改善した反面、写真2のような非常に滑りやすい路面（通称、つるつる路面）の出現等により、激しい交通渋滞等の発生や冬期事故が急増し、冬期交通状況を一変させた。

以下に平成元年からのデータを利用して、主に北海道の国道における冬期事故、冬型事故の傾向や特徴について述べる。なお、北海道では、冬期間（11、12、1、2、3月）に発生する事故を「冬期事故」、積雪・凍結・吹雪等の冬期現象が事故の直接又は間接要因となった事故を「冬型事故」として整理している。



写真 2 非常に滑りやすい路面（通称、つるつる路面）

2. 2. 1 冬期事故と夏期事故の現状

図5に、夏期・冬期別1ヶ月当たりの死者数と事故件数の推移を示す。平成元年から11年までの冬期事故の死者数は、夏期（4月～10月）に比べ5割程度であるが、事故発生件数は夏期を上回る。また、平成9年度から冬期事故は増加傾向にある。

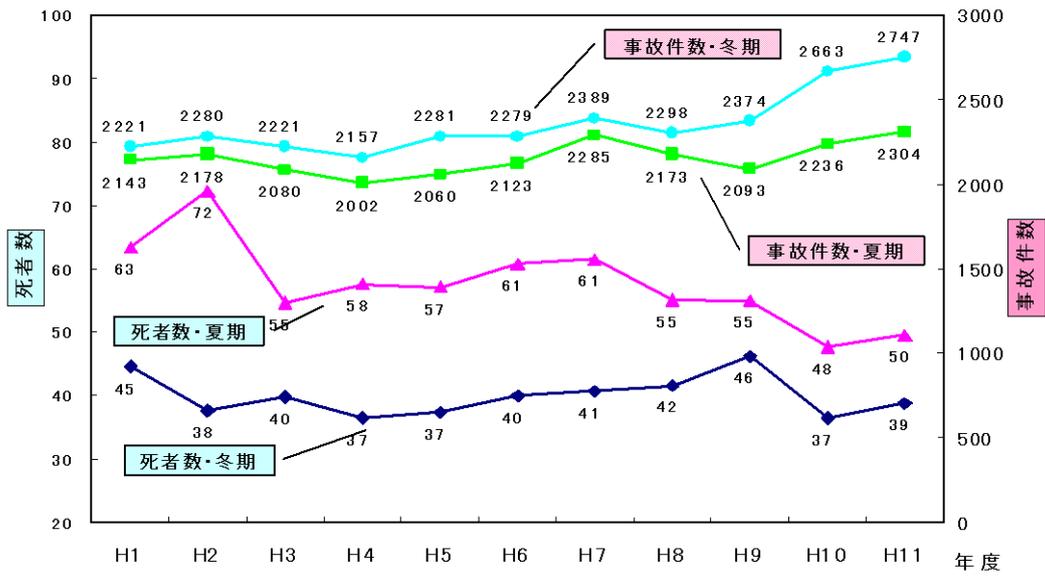


図 5 夏期冬期別 1 ヶ月当たりの死者数と事故件数の推移（全道路）

2. 2. 2 冬期事故における冬型事故現状

図 6 に、冬期事故と、積雪・凍結・吹雪等の冬期現象が事故の直接又は間接要因となった冬型事故の発生推移を示す。図のように、冬型事故は冬期事故の約 30%を占める。

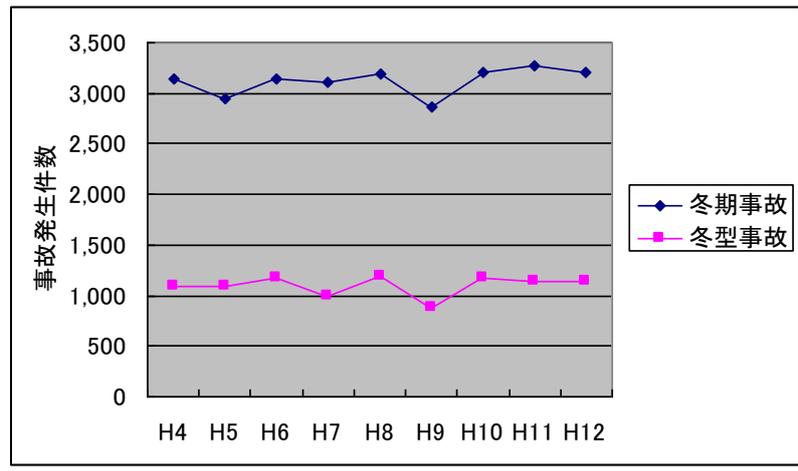


図 6 冬期事故と冬型事故の発生推移(国道)

2. 2. 3 冬期事故要因・類型・道路形状

図 7 に平成 4～12 年における冬型事故の要因別事故発生状況を示す。図のように、91%がスリップ事故である。

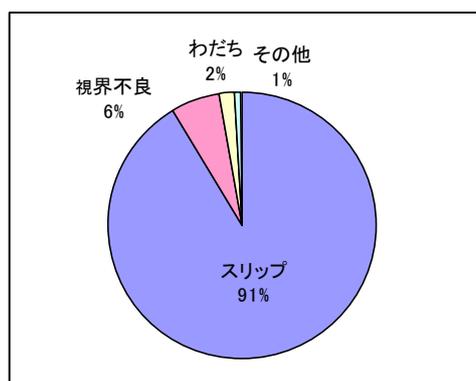


図 7 冬期要因別事故発生状況（国道）

図 8 に道路形状別スリップ事故の推移を示す。図のように、交差点周辺が最も多い。

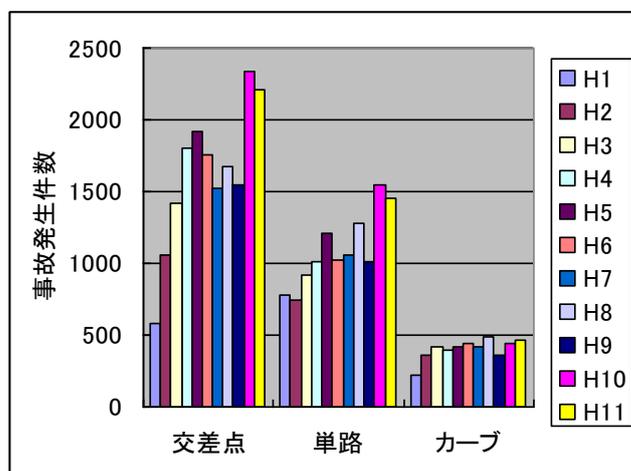


図 8 道路形状別スリップ事故の推移（全道路）

図 9 に事故類型別スリップ事故の推移を示す。図のように、追突事故が顕著に多い。

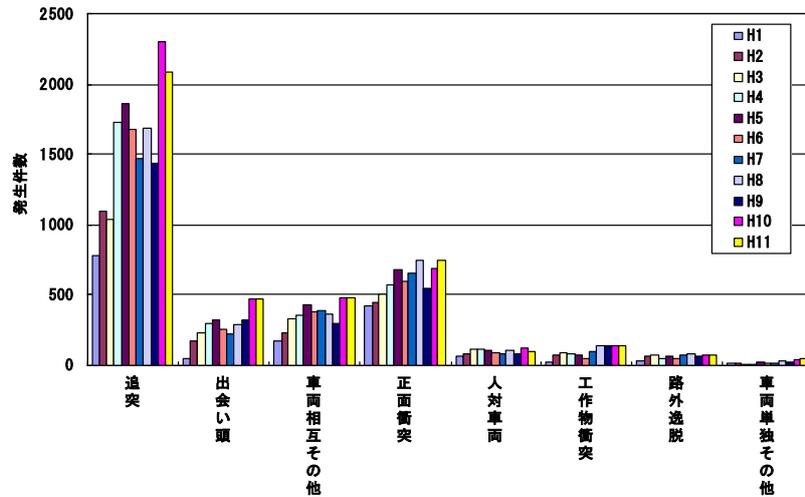


図 9 事故類型別スリップ事故の推移 (全道路)

2. 2. 4 冬期事故の路面発生状況

図 10 に平成 10 年～12 年の冬期事故の路面状況別事故発生割合を示す。図のように、冬期事故の 5 割が凍結路面で発生している。

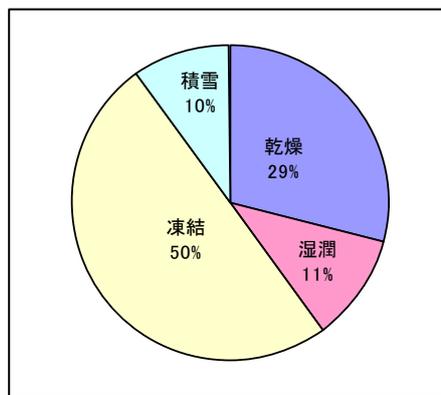


図 10 路面状態別冬期事故発生状況 (国道)

2. 2. 5 吹雪時の多重衝突事故

図 1 1 に要因別多重衝突事故の発生件数を示す。なお、多重衝突事故とは、交通事故の内、1 個の事故要因の事故誘発行為によって時間的、場所的に接近し、かつ連続して同乗者を除く 3 以上の当事者（単独事故の第 2 当事者（物件等）を含む）が相互に関連した事故である。図のように、スリップ事故が最も多く、次いで視程障害（視程不良）が多い。

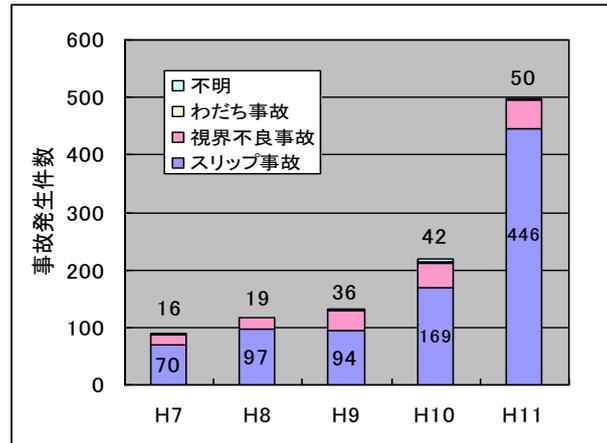


図 1 1 要因別多重衝突事故の発生件数

図 1 2 に冬期道路に関するヒヤリ・ハットアンケート調査結果を示す。図のように、94%のドライバが視程障害を経験しており、その内の91%が事故の危険を感じたと答えており、潜在的に視程障害対策の必要性があるといえる。

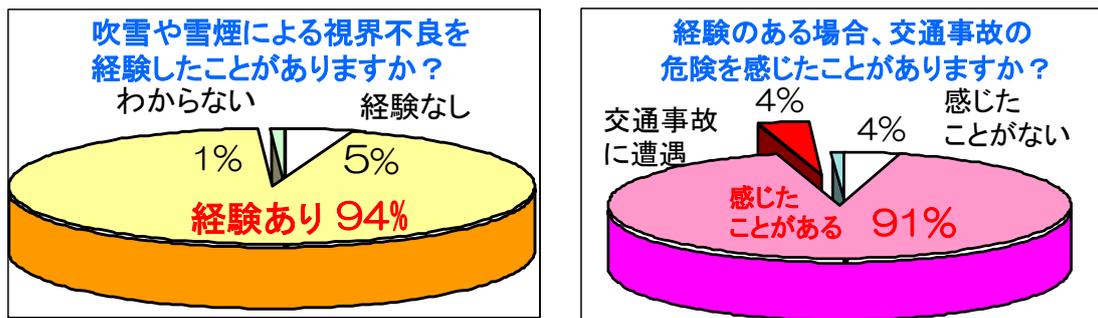


図 1 2 ヒヤリ・ハットアンケート調査結果

2. 2. 6 まとめ

積雪および寒冷地域における気象環境および冬期事故の特徴を以下に示す。

①気象環境

- ・ 冬期における通行止め要因としては、吹雪による視程障害が 41%を占める。
- ・ 北海道江別市角山で実施した視程障害実態調査では、年間のうち視程 200m 以下が 80 日、視程 50m 以下が 30 日発生した。

②冬期事故

- ・ 冬期は、事故による死者数は夏期の半分程度であるが、事故件数は夏期よりも多い。
- ・ 冬期事故における「冬型事故」は、30%を占める。
- ・ 冬期事故要因はスリップが 91%を占める。その多くは交差点で発生しており、類型としては追突が多い。また、路面が凍結・積雪の場合が 60%を占める。
- ・ 多重衝突事故の原因は、スリップが最も多く、次いで視程障害が多い。アンケート調査から、ドライバーの大半が視程障害により危険を感じていることが明らかとなった。

以上の調査結果から、積雪および寒冷地域における事故対策には、①吹雪による視程障害、②ドライバーの路面状況把握の 2 点について、特に考慮すべきであるといえる。

第3章 積雪および寒冷地域における事故対策

3. 1 AHSからのアプローチ

AHSの検討では、交通事故を類型別に分類し、死者数、死傷者数および損害額などについて、全体に占める割合の高い順に累積で90%までを占める7つのサービスを選択している。以下に、7サービスを示す。

3. 1. 1 前方障害物衝突防止支援

見通し不良地点において車両や落下物等の障害物を検知し、車両に通知する。車両はドライバに対し情報提供、警報、操作支援を行う。

3. 1. 2 カーブ進入危険防止支援

カーブ手前においてカーブまでの距離やカーブ形状を車両に通知する。車両はドライバに対し情報提供、警報、操作支援を行う。

3. 1. 3 車線逸脱防止支援

路面に設置されたレーンマーカー等により車線内の横方向位置情報を車両に提供する。車両はドライバに対し情報提供、警報、操作支援を行う。

3. 1. 4 出合い頭衝突防止支援

交差点において優先道路側の接近車両を検知し車両に通知する。車両はドライバに対し情報提供、警報を行う。

3. 1. 5 右折衝突防止支援

右折可能な交差点において、対向車両を検知し右折しようとする車両に通知する。車両はドライバに対し情報提供を行う。

3. 1. 6 横断歩道歩行者衝突防止支援

横断歩道上の歩行者を検知し車両に通知する。車両はドライバに対し情報提供を行う。

3. 1. 7 路面情報活用車間保持等支援

路面状況等の情報を把握し車両に提供する。車両は車間保持等の各種サービスに活用する。

以上7サービスのイメージを、図 13 に示す。

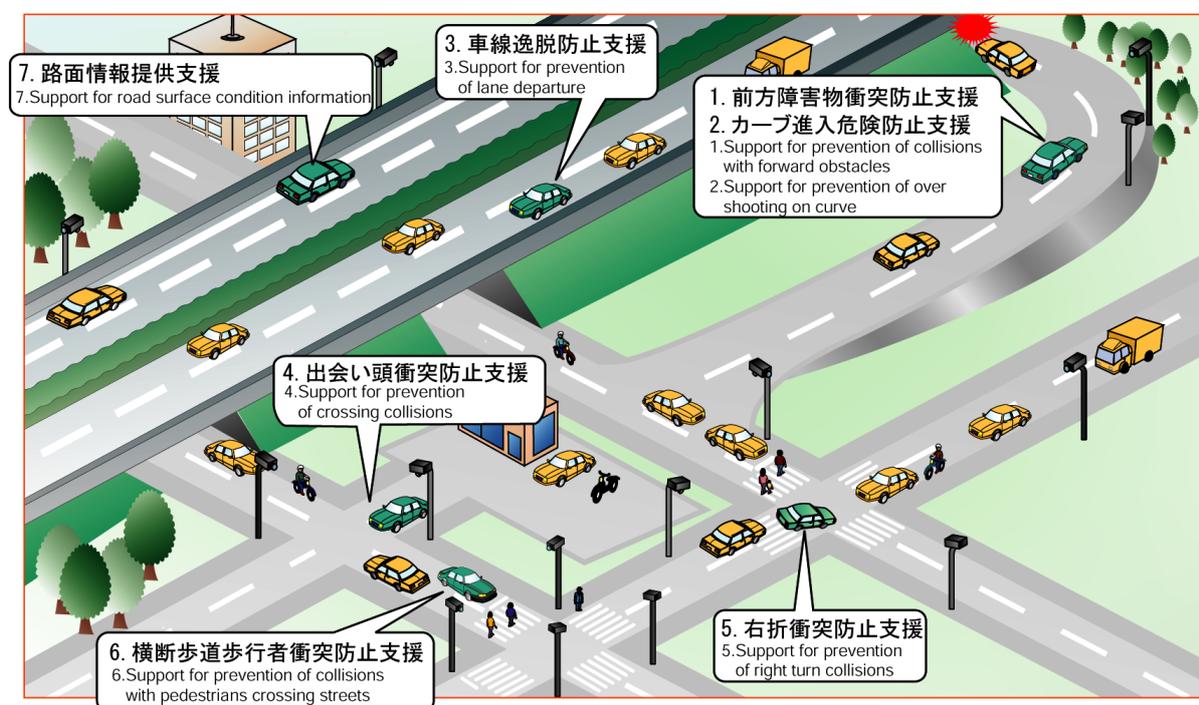


図 13 AHS 7サービスのイメージ図

ここで、積雪および寒冷地域における事故の原因について、AHS 7サービスの要因別に検討する。図 14 に7サービス毎の要因別事故発生状況を示す。図のように、多くは操作の誤りで、全体の 60%程度を占める。一般地域における操作の誤りによる事故は、全体の 10%であり、この傾向は、一般地域とは明らかに異なる。これは、凍結路面の発見の遅れ、判断の誤りが主原因と考えられる。このことから、ドライバが路面状況を正確に把握することで事故が減少すると考えられ、(7) 路面情報活用車間保持等支援は最も重要なサービスであると考えられる。

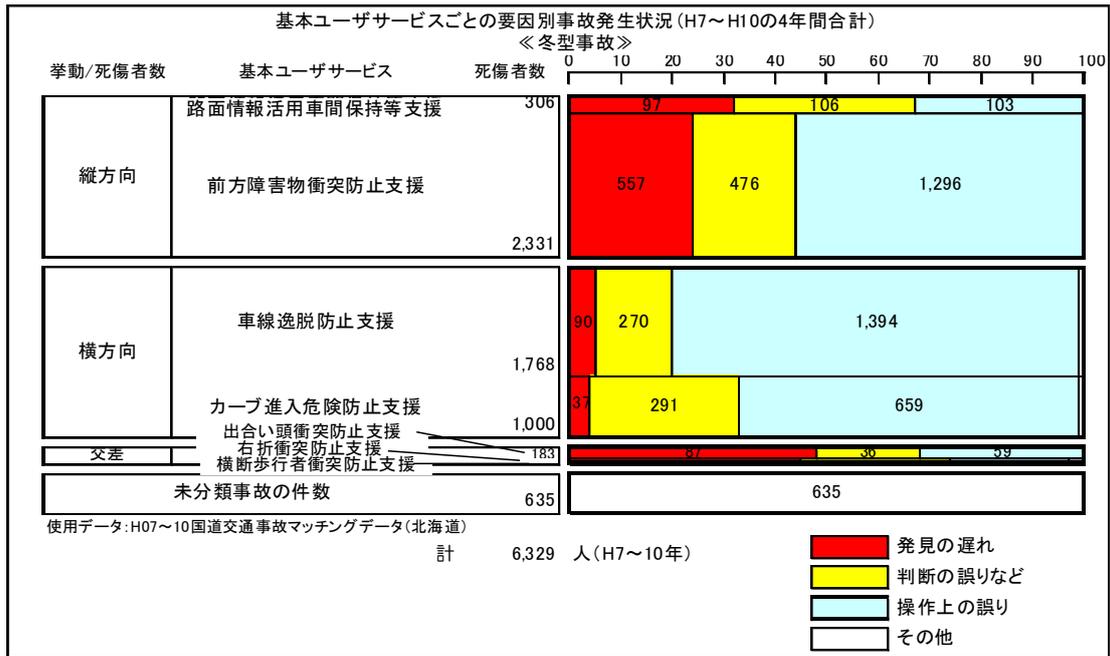


図 1 4 7 サービス毎の要因別事故発生状況 (冬型事故 : H7-H10)

3. 2 まとめ

第1章および第2章での分析結果から、積雪および寒冷地域における事故対策では、①吹雪による視程障害、②ドライバの路面状況把握の2点について、考慮すべきであると考えられた。このことを念頭に、「積雪および寒冷地域におけるAHSの適用検討」と、「積雪および寒冷地域特有のシステム検討」の2つの切り口で、以下の検討を行うこととした。

3. 2. 1 積雪および寒冷地域におけるAHSの適用検討

- ・ 前方障害物衝突防止支援サービスにおいて、特にサービスの可否に大きく影響する道路状況把握センサの性能の検証評価 (吹雪による視程障害対策)。
- ・ 路面情報活用車間保持等支援サービスにおいて、特にサービスの可否に大きく影響する路面状況把握センサの性能の検証評価 (ドライバの路面状況把握対策)。

3. 2. 2 積雪および寒冷地域特有のシステム検討

- ・ 自発光式視線誘導標を利用した、吹雪時の視線誘導・情報提供対策（吹雪による視程障害対策）。
- ・ 前方障害物衝突防止支援サービスなどへの利用が考えられる、汎用型ミリ波センサの振動に対する影響確認（吹雪による視程障害対策）。

第4章 積雪および寒冷地域におけるAHSの適用検討

4.1 道路状況把握センサの性能検証

4.1.1 目的

吹雪による視程障害対策として重要であるサービスに、前方障害物衝突防止支援がある。特にサービスの可否に大きく影響する道路状況センサ性能の検証評価を行い、定量的な検出性能を把握することを目的とする。

4.1.2 実験方法

4.1.2.1 道路状況把握センサの特徴

道路状況把握センサは、道路上を走行する個々の車両の位置および走行速度を計測し、低速走行車両および停止車両を検出するセンサである。道路状況把握センサとしては、可視画像センサ、赤外画像センサ、およびミリ波センサをピックアップした。

表1に道路状況把握センサのリクワイアメント（開発目標）を示す。

表1 道路状況把握センサのリクワイアメント（開発目標）

要求性能	内容
検出対象 検出事象	自動二輪以上 個別車両の位置、速度 交通統計量（平均速度、交通密度） 事象判定（停止、低速）
検出範囲	100m（普通車以上） 70m（二輪車）

以下に、各道路状況把握センサの特徴を示す。

(1) 可視画像センサ

可視画像センサは、可視カメラの映像を使い、背景映像との差分または異なる時間間隔で撮像した画像の差分から特徴量を抽出し、道路上を走行する車両を検出する。なお可視カメラとして、既存の道路監視用CCTVカメラを使用することも可能である。可視画像センサは、影や日照、あるいは霧や豪雨などの影響を受けやすいといわれる。以

下に、可視画像センサの検出性能を、図 15 に設置条件を示す。

- ①検出範囲：100m 以内の道路状況を把握可能
- ②検出時間：100ms
- ③車両検出精度：位置精度 縦：±5m(車尾位置) 横：±1m
速度精度 ±10% (or ±10km/h の大きい方)
- ④車両検出率：96%以上

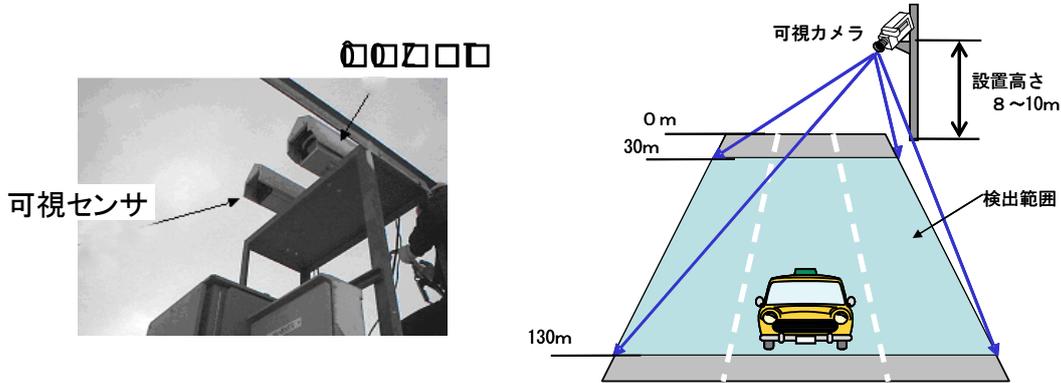


図 15 可視画像センサの設置条件

(2) 赤外画像センサ

赤外画像センサは、赤外カメラの映像を使い、背景映像との差分画像から、背景（道路面）より高温部と低温部の1対を特徴量として抽出し、道路上を走行する車両を検出する。

西日やヘッドライト等の外乱光や降雨や降雪の影響が小さく、昼夜を問わない検出が可能であるが、得られる画像は白黒であり、可視画像センサよりも見難い。

以下に、赤外画像センサの検出性能を、図 16 に設置条件を示す。

- ①検出範囲：100m 以内の道路状況を把握可能
- ②検出時間：100ms
- ③車両検出精度：位置精度 縦 ±5m(車尾位置) 横 ±1m
速度精度 ±5 km/h
- ④車両検出率：96%以上

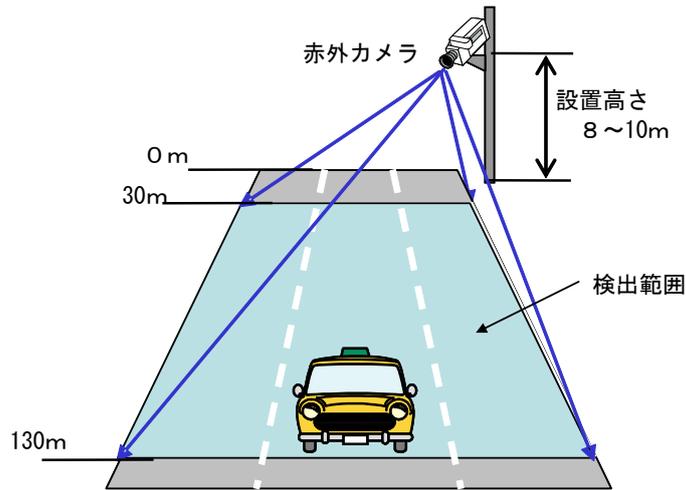


図 16 赤外面像センサの設置条件

(3) ミリ波センサ

ミリ波センサは、76GHz のミリ波帯の連続波 (CW : Carrier Wave) の送信信号に、周波数変調 (FM : Frequency Modulation) を施し、反射信号のドップラー効果から車両の速度を、信号の遅延時間からセンサからの距離を計測する。また、走査方向にスキャンすることで複数車線を計測できる。

ミリ波センサは、降雨、降雪時等天候に左右されない検出性能を発揮し、視程不良時の運用に適する。しかし、周辺構造物からの反射波 (クラッタ) の影響を受けやすく、他のセンサに比べて検出時間が長く、映像は得られない。

以下に、ミリ波センサの検出性能を、図 17 に設置条件を示す。

- ①検出範囲：100m 以内の道路状況を把握可能
- ②検出時間：400ms / 3 車線
- ③車両検出：位置精度 縦：±5m (車尾位置) 横：±1m
速度精度 ±10% (or ±10km/h の大きい方)
- ④車両検出率：96% 以上

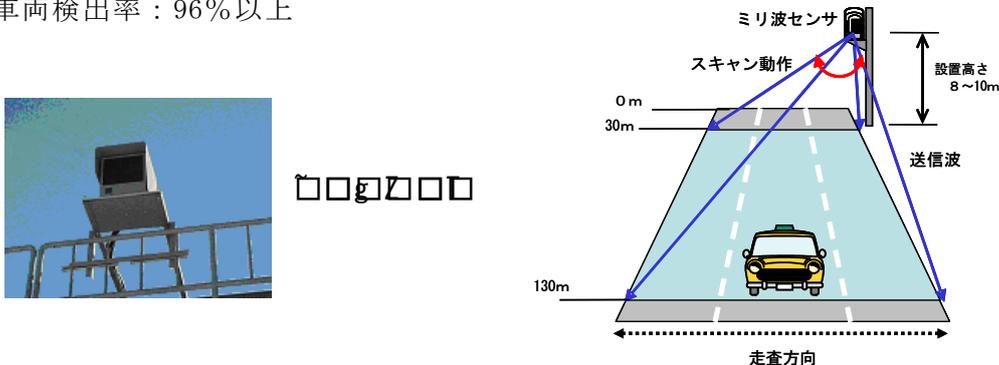


図 17 ミリ波センサの設置条件

4. 1. 2. 2 実験場所および期間

実験場所は、北海道開発土木研究所 石狩吹雪実験場 試験走路である。実験設備全体を図 18 に示す。

実験期間は、平成 11 年 12 月 13 日～平成 12 年 2 月 16 日である（平成 11 年 12 月 13 日に据え付け）。

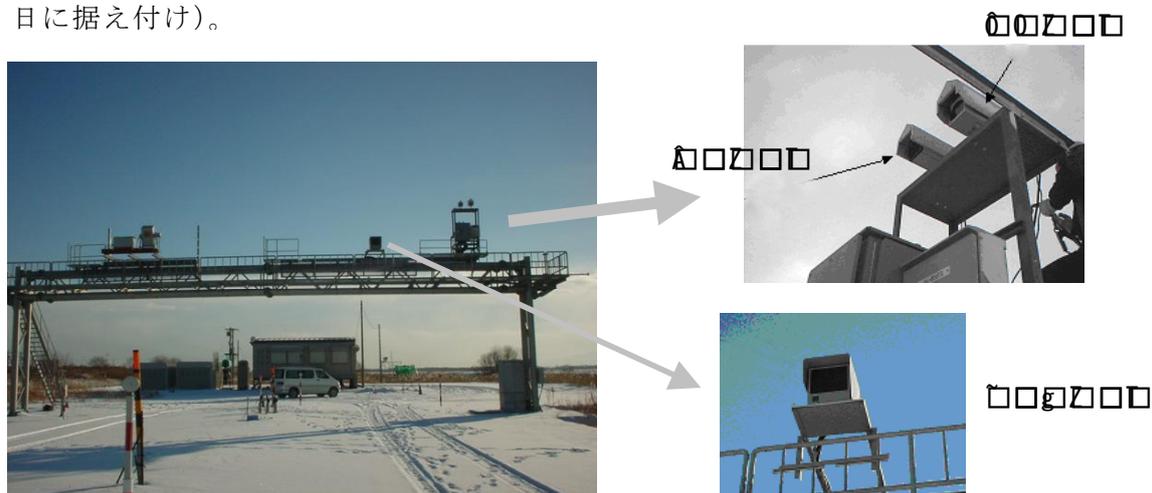


図 18 実験設備全体

4. 1. 2. 3 走行車両検出実験

図 19 に示す車両を用い、試験走路を手前から遠方に向かって走行させた場合の車両位置検出と車両速度検出を確認する。併せて、実験時の吹雪視程データを取得する。

- ・実験に用いた車両：セダン（黒色）、ライトバン（白色）
- ・車両走行速度：20km/h および 30km/h



図 19 実験に用いた車両（黒色、白色）

4. 1. 2. 4 停止車両検出実験

図 19 に示す車両を用い、試験走行路を手前から遠方に向かって走行させ、任意の停止位置に 5 秒停止させた場合の車両位置検出と車両速度検出を確認する。併せて、実験時の吹雪視程データを取得する。

- ・実験に用いた車両：セダン（黒色）、ライトバン（白色）
- ・車両走行速度：20km/h
- ・停止位置：50m、65m、および 100m

4. 1. 2. 5 歩行者実験

図 20 に示す歩行者が、試験走行路の左側を手前から遠方に向かって歩行し、約 65m 地点で 10 秒停止する場合の位置検出を行った。

- ・歩行者衣装：ナイロン製ウィンドブレーカ（黒色）、ナイロン製ウィンドブレーカ（白色）

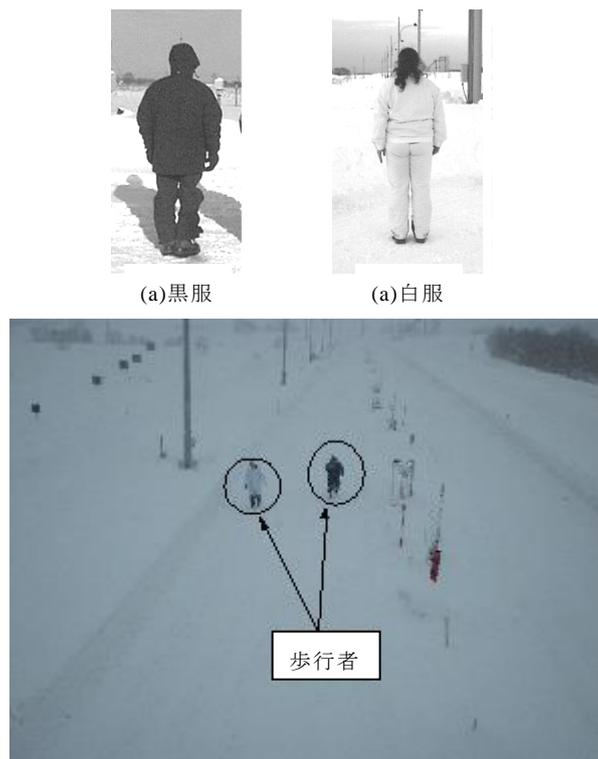


図 20 歩行者実験

4. 1. 2. 6 信頼性・耐久性実験

各センサのセンサヘッド、中継器、あるいは制御器を平成 11 年 12 月 13 日に据え付けた後、平成 11 年 12 月 13 日～平成 12 年 2 月 16 日の約 2 ヶ月間設置放置し、稼働状況の確認から、降雪低温下での信頼性・耐久性について検証した。

4. 1. 3 実験結果

4. 1. 3. 1 走行車両検出実験

(1) 可視画像センサ

図 21 に、降雪時の視程と検出距離の関係を示す。図のように、吹雪視程が 1000m 未満の時、最大検出距離が 100m 未満となった。

色の違いが検出に与える影響は、最大検出距離の違いよりも、車両の分離という点に現れた。具体的には、白色の車両は、吹雪時の車両の検出が困難となり、タイヤ部分と

窓部分との2つに分離して検出される。このため、白色車両は2台の車両として検出された。一方、黒色の車両では、分離して検出されることはないものの、晴天時に白色車両よりも最大検出可能距離が短くなっていた。これは、積雪があるために景色全体が白色となり、カメラのゲインが高輝度に対応したためと思われる。つまり、黒色の車両の輝度が、解像度の低い遠方では平坦になり、フレーム間差分方式をベースとする本処理装置では、検出が困難となったためと推測される。

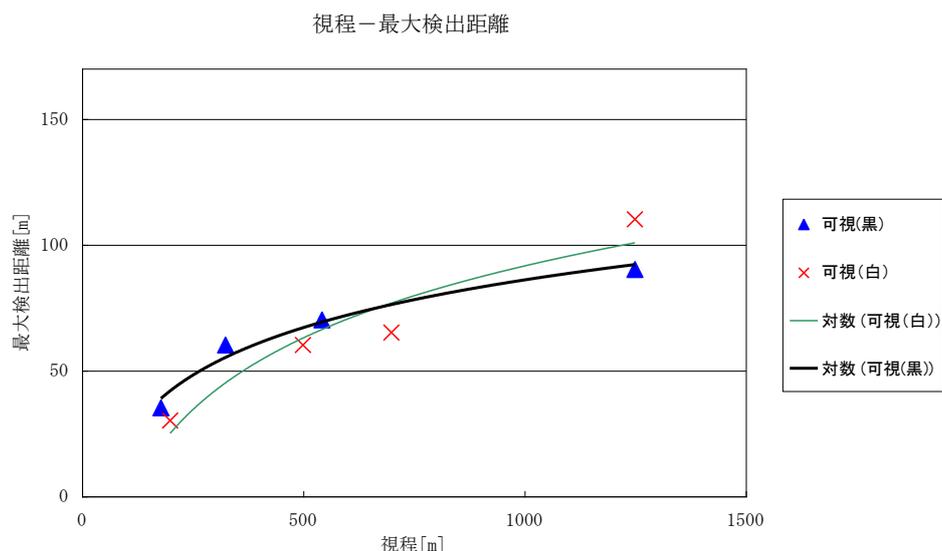


図 2 1 降雪時の視程と検出距離の関係

(2) 赤外画像センサ

図 2 2 に、降雪時の視程と検出距離の関係を示す。図のように、吹雪視程が 500m 以下の時、最大検出距離が 100m 以下となった。

図 2 3 に示すように、赤外画像においては、視程が 1000m 未満になると、視程 1000m 以上の晴天時と比較して画像全体が白くなる。画像上のコントラストは視程の低下とともに徐々になくなり、視程約 200m 以下になると顕著にコントラストが低くなり、検出能力の低下を招くことがわかる。これは、気温の低下、または吹雪による赤外映像への影響、あるいはハウジング窓材への着雪が原因と推定する。

一方、最大検出距離の低下は、路面状態によっても左右されることがわかった。これは、圧雪されていない路面を走行する車両はタイヤが巻き上げる路面雪によって車両の車尾が隠れたり、車両の走行跡に車両と同じ温度差によるコントラスト（輝度の変化）が発生したりするためと考えられる。

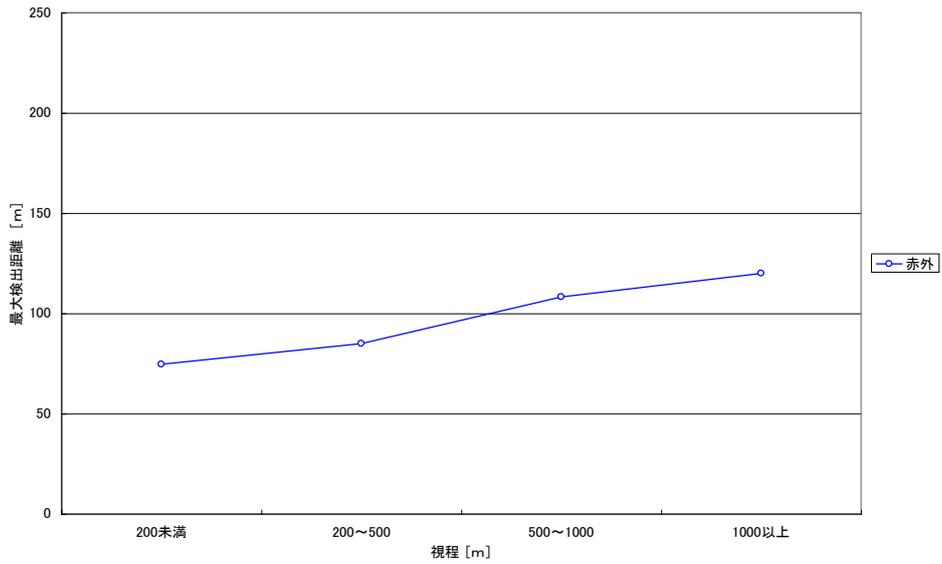


図 2.2 降雪時の視程と検出距離の関係



(a) 視程 1000m 以上
車両色：黒



(b) 視程 500m 以上 1000m 未満
車両色：黒



(c) 視程 200m 以上 500m 未満
車両色：黒



(d) 視程 200m 未満
車両色：黒

図 2.3 赤外センサで取得した画像

(3) ミリ波センサ

図 2 4 に、走行車両の検出結果を示す。図のように、全ての吹雪条件下において目標仕様であるセンサ直下から 50～150m の範囲を検出できる結果を得た。特に、視界 200m 以下の激しい吹雪時においても、検出距離精度、検出可能範囲とも、センサの機器仕様を満足した。

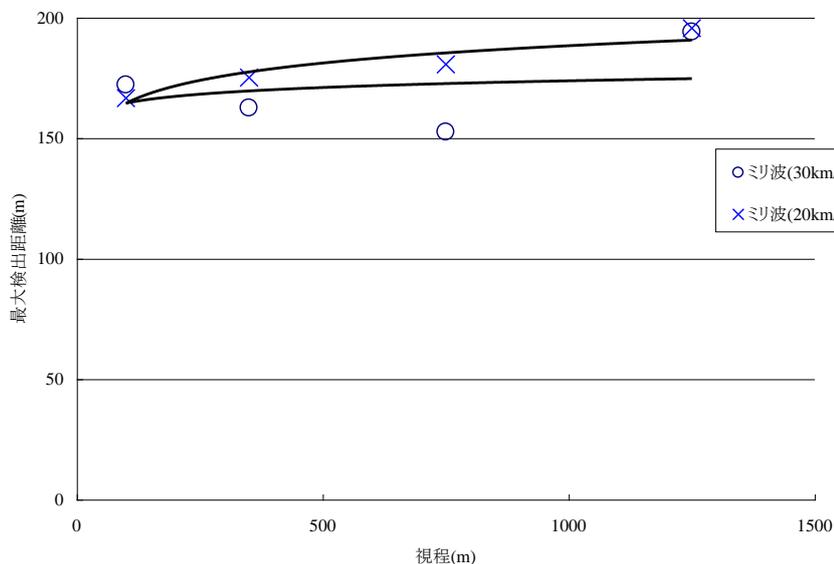


図 2 4 視程－最大検出距離 (20km/h、30km/h)

4. 1. 3. 2 停止車両検出実験

(1) 可視画像センサ

図 2 5～図 2 8 に、停止車両の検出結果を示す。図の縦軸は、実測値から検出値を引いた値であり、この値が大きいほど検出誤差が大きいと言える。図のように、視程 1000m 以上では誤差がほとんどない。しかし、視程が悪くなるにつれて誤差が大きくなり、視程 200m 未満になると白色車両の検出が不能となった。

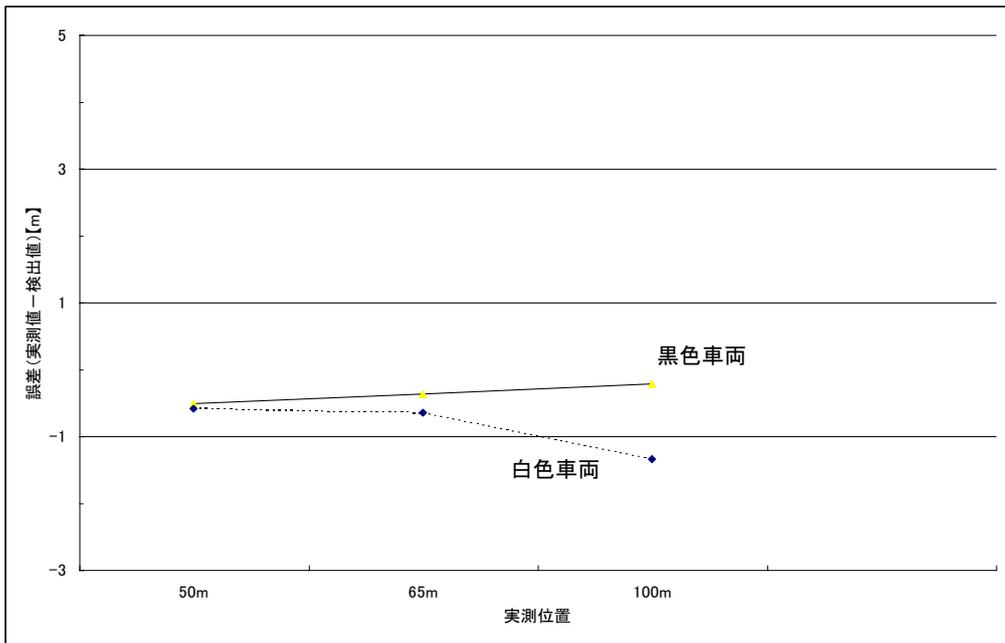


図 2 5 晴天時（視程 1000m 以上）の検出結果

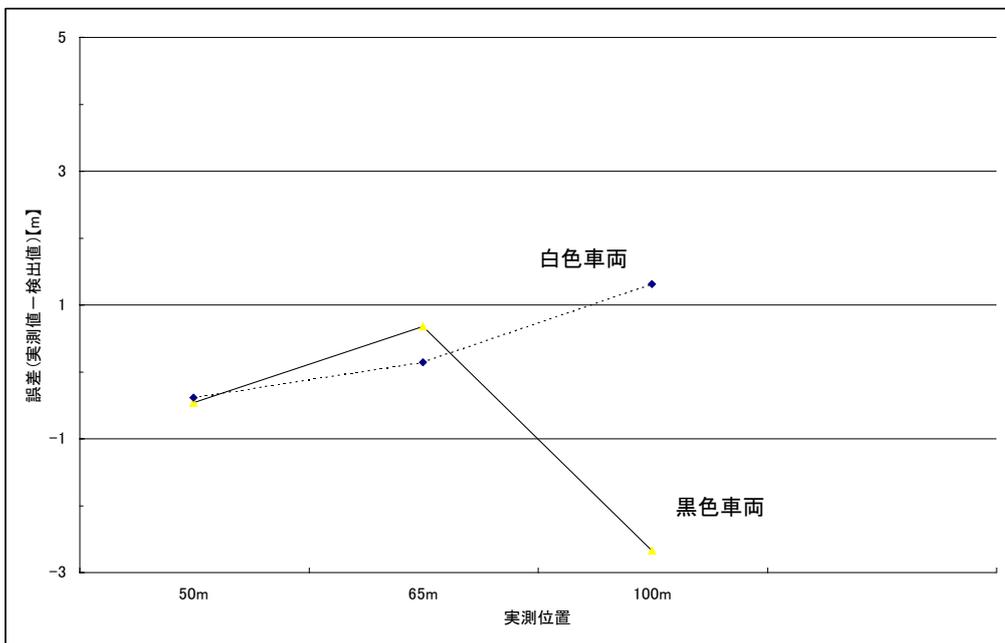


図 2 6 吹雪時（視程 500-1000m）の検出結果

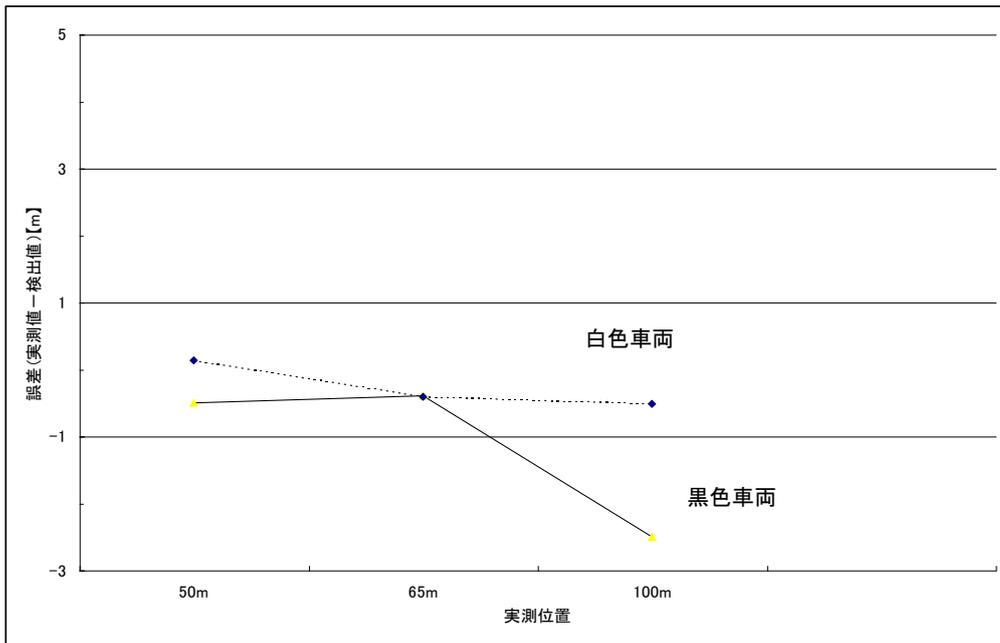


図 27 吹雪時（視程 200-500m）の検出結果

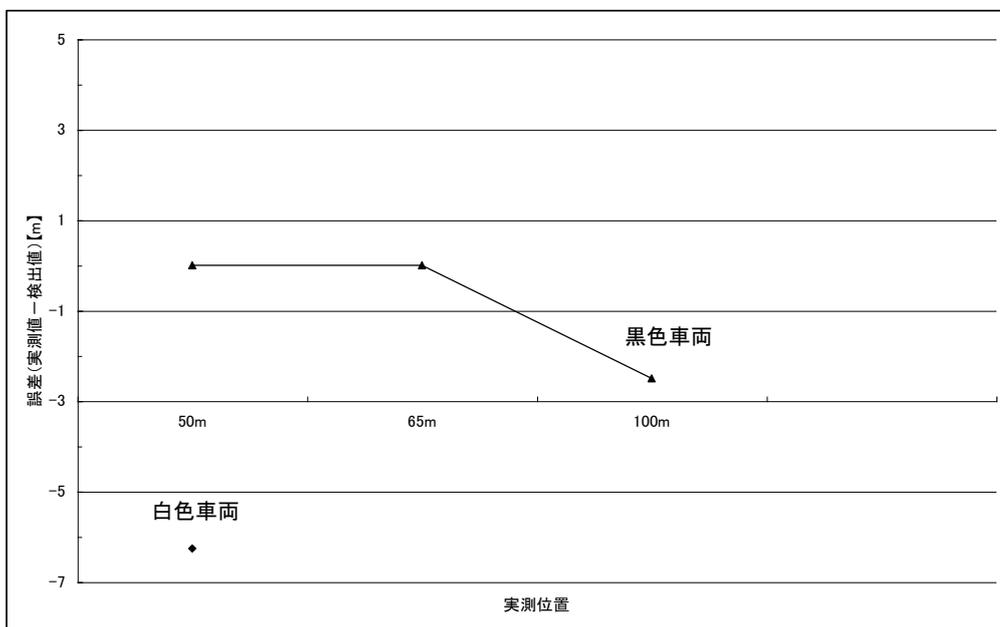


図 28 降雪時（視程 200m 未満）の検出結果

(2) 赤外画像センサ

図 29～図 32 に、停止車両の検出結果を示す。図のように、実測値と検出値との誤差が視程 200m 以上の場合に約±3m 以内の範囲内にあるのに対し、視程 200m 未満の場合には誤差がさらに大きくなることを確認した。

視程が 200m 未満の降雪状態ではカメラハウジングの窓材への着雪や降雪の影響により車両画像のコントラストが低下するため検出精度が低下したものと考えられる。

また、視程 1000m 未満の場合、同じ視程であっても遠方に行くほど「実測値 < 検出値」の傾向が顕著となり、検出値が実測値（実際に、後輪が停止した位置）よりも遠方に出力されていることを確認した（図 30～図 32）。これは、次のような理由によるものと考えられる。

車尾（ボディ）は、着雪などの影響により温度が低く、路面とのコントラストの差が少ないために検出しにくいと考えられる。一方、リアウィンドは、暖房によって温められた車内の影響で高温となり、路面とのコントラストが大きいため検出されやすいと考えられる。そのリアウィンドは、車尾に比べ高い位置にあるため、画像平面上においては、遠方に位置するように見えるため検出値が実測値よりも遠方となり、また、遠方ほど画素の重みがあるために誤差も大きくなるという結果になったと推定される。

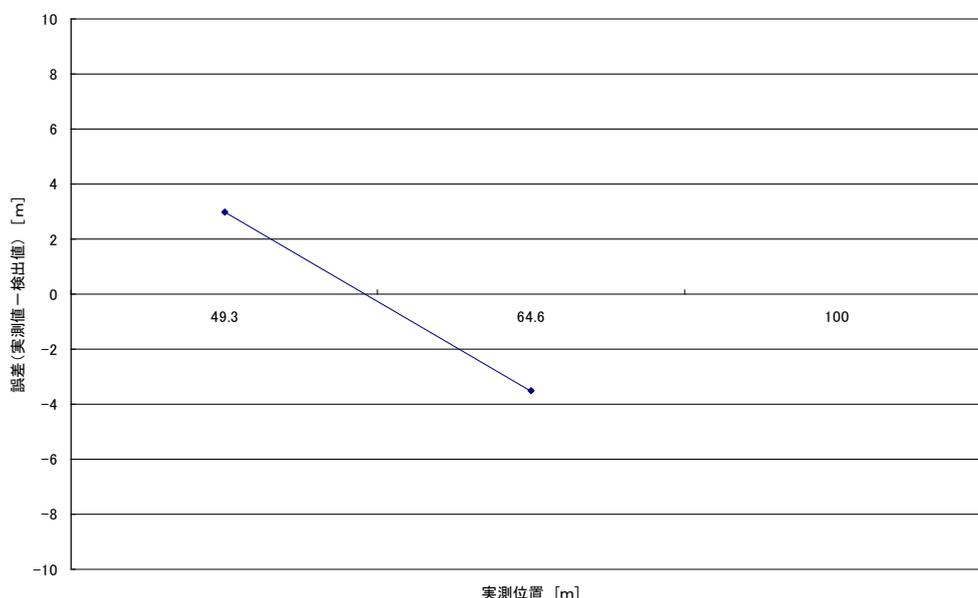


図 29 晴天時の停止車両検出結果

(50m・65m・100m 停止、視程 1000m 以上、車両色：黒、20km/h 昼間)

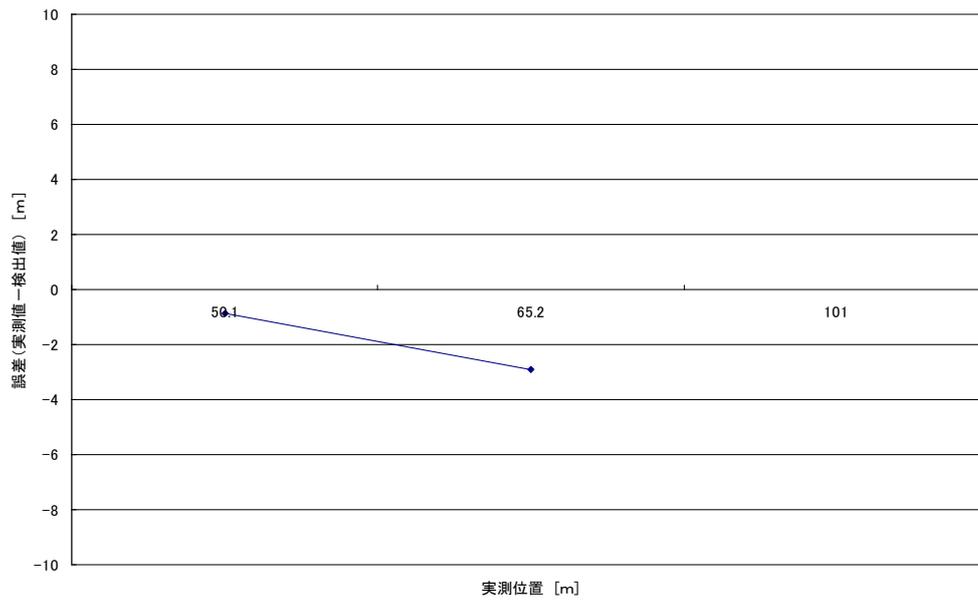


図 3 0 降雪時の停止車両検出結果

(50m・65m・100m 停止、視程 500m 以上 1000m 未満、車両色：黒、20km/h 昼間)

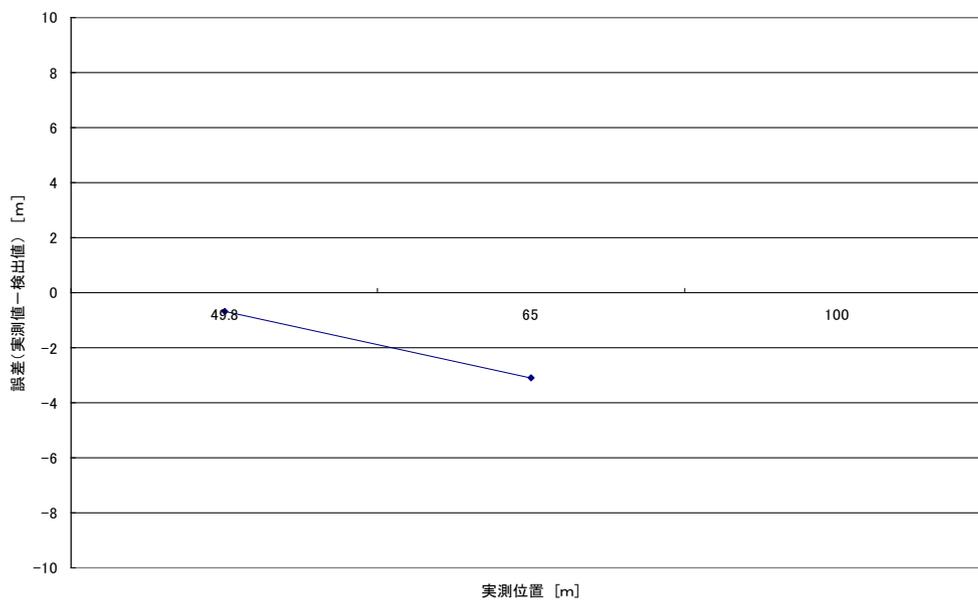


図 3 1 降雪時の停止車両検出結果

(50m・65m・100m 停止、視程 200m 以上 500m 未満、車両色：黒、20km/h 昼間)

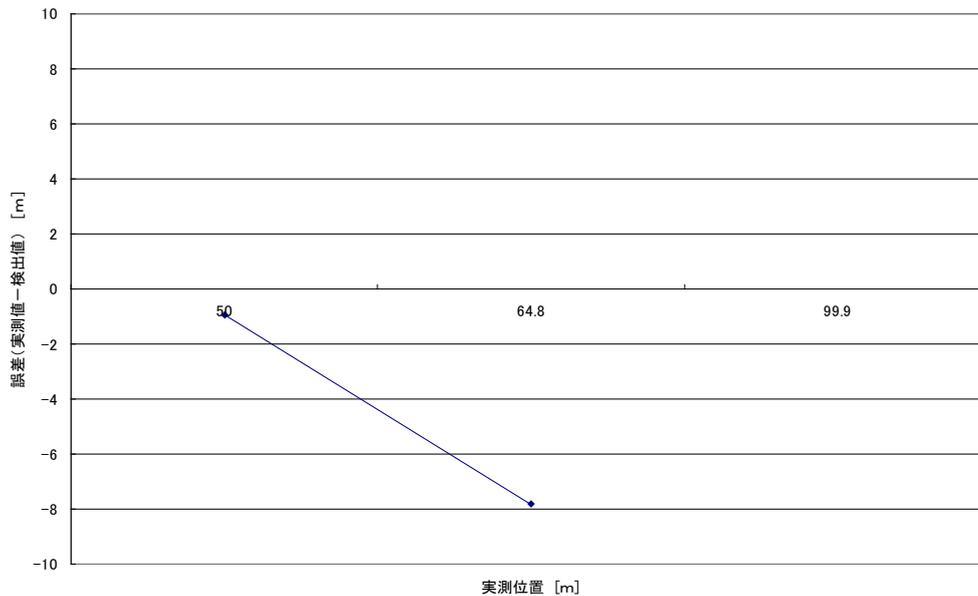


図 3 2 降雪時の停止車両検出結果

(50m・65m・100m 停止、視程 200m未満、車両色：黒、20km/h 昼間)

(3) ミリ波センサ

図 3 3～図 3 6 に、停止車両の検出結果を示す。図のように、どの視程条件においても停止位置の誤差は 5m 以内 (5% 以内) に収まっており、ほぼ走行車両実験と同様の検出結果となった。傾向として、遠距離になるほど誤差が大きくなるが、ほぼ一定の割合で－ (マイナス) 方向にだけ誤差が出ていた。これは、必ず近い方向に、一定の割合で誤差が出ているということなので、設置状態に合わせた一定のチューニング (補正值) を施すことで、距離精度向上につながられると思われる。

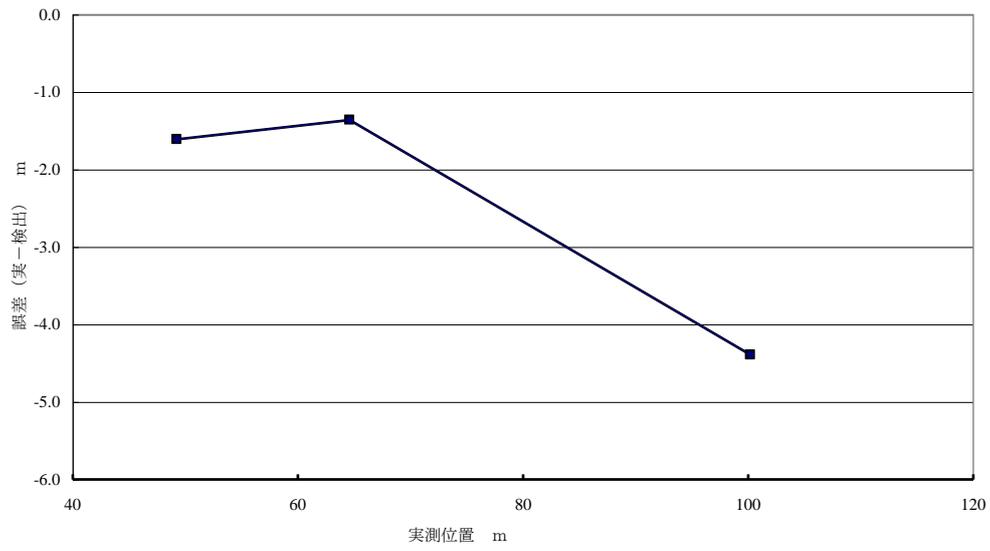


図 3 3 停止車両 20km/h (昼間-視程 1000m 以上)

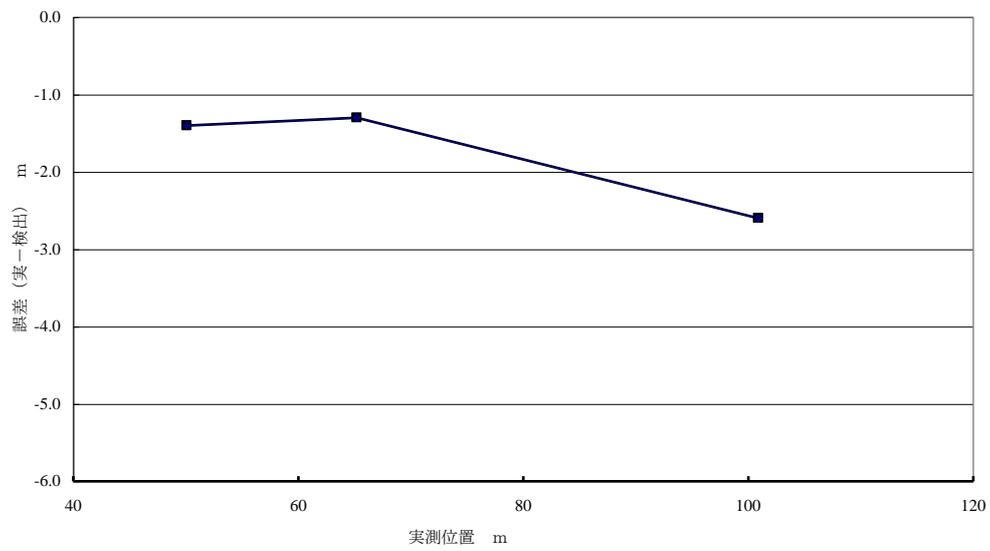


図 3 4 停止車両 20km/h (昼間-吹雪 視程 500~1000m)

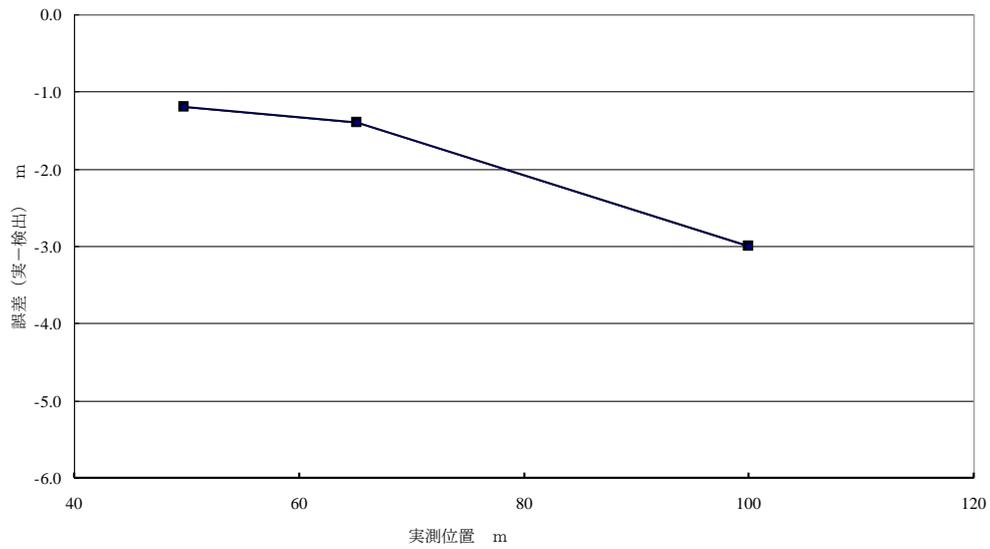


図 3 5 停止車両 20km/h (昼間-吹雪 視程 200~500m)

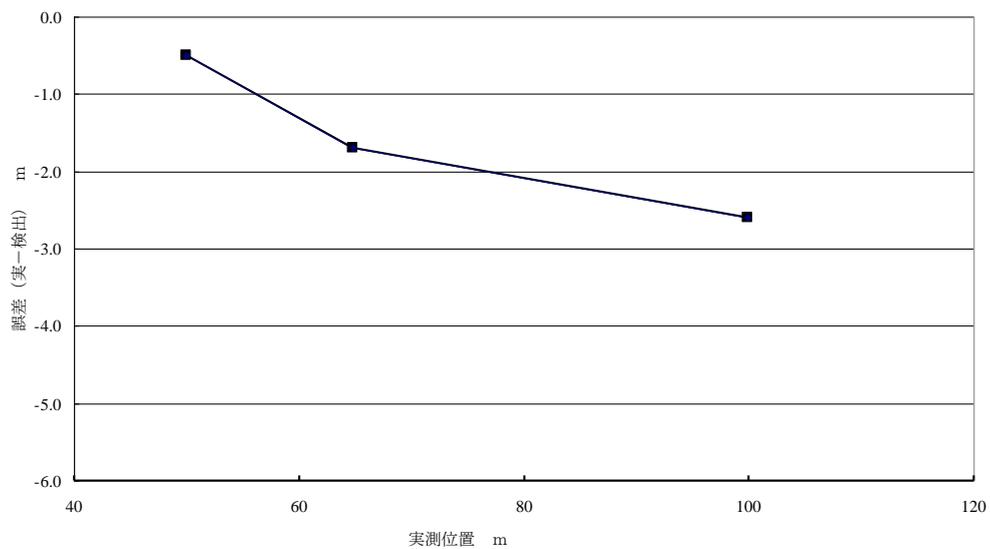


図 3 6 停止車両 20km/h (昼間-吹雪 視程 200m 未満)

4. 1. 3. 3 歩行者実験

(1) 可視画像センサ

図 3 7 ~ 図 4 0 に、降雪時における視程と検出結果との関係を示す。なお、停止車

両検出と同様に、高輝度領域のコントラスト改善を行っている。歩行者は道路手前から遠方 65m 地点(停止位置)に向かって歩いている。歩行者は車両に比べて小さいため、視程によるコントラストの影響を受けやすいと考えられる。しかしながら、今回の実験結果では、十分にコントラストが得られると考えられる黒服歩行者サンプルでは、視程 500m 以上あれば、65m 位置でもほぼ良好に検出することができた。

一方、白服歩行者サンプルでは、視程 500~1000m、視程 200~500m とも 60m 前後付近で検出することができない場合があった。また、その着衣の輝度が路面に似ているため、頭部(黒色)と足部(黒色)に分離して検出されることがあった。

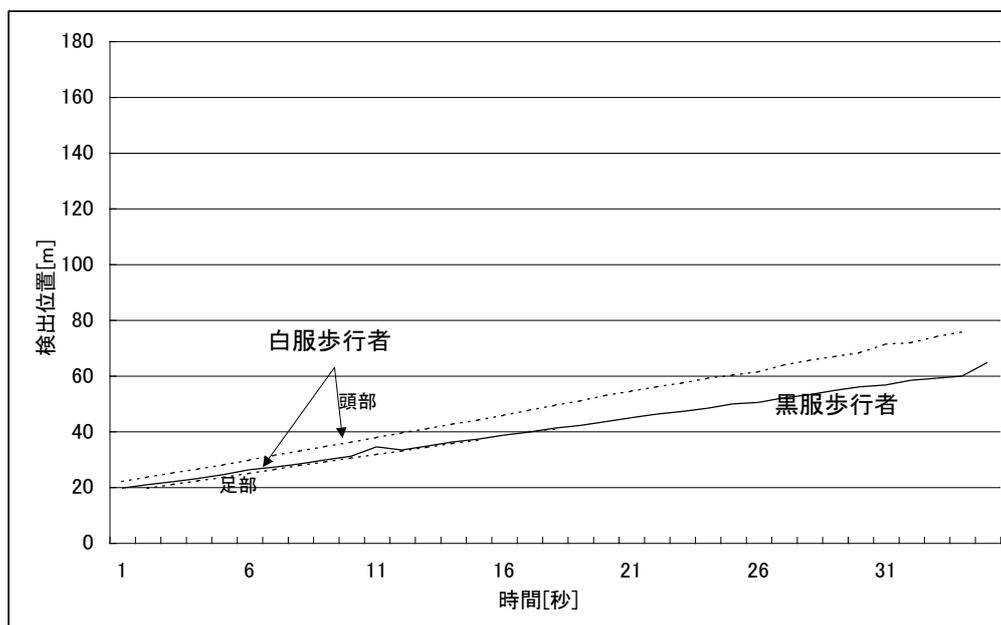


図 3 7 視程 1000m 以上の検出結果

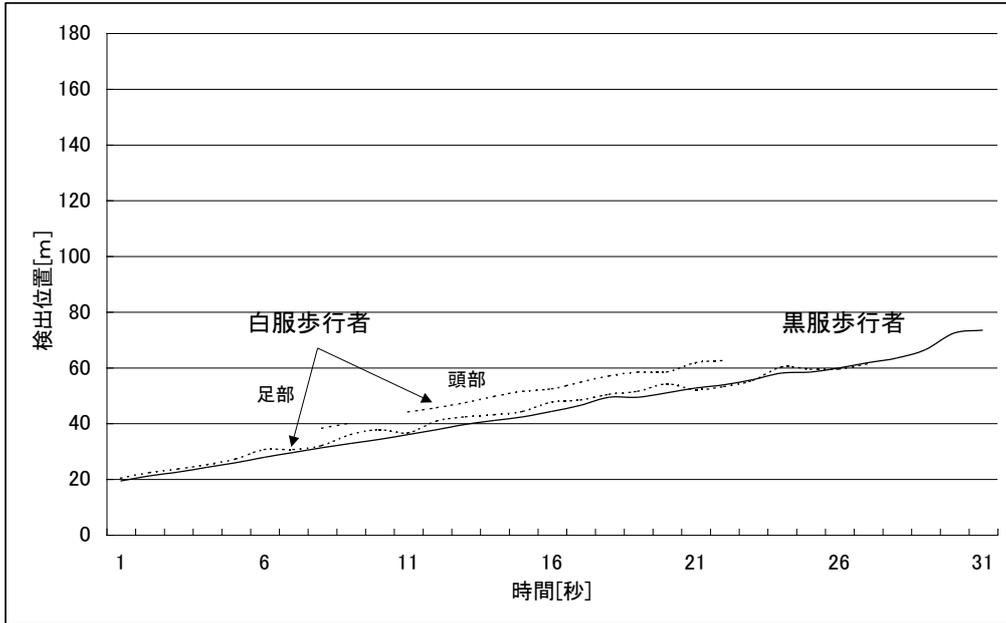


図 3 8 視程 500-1000m の検出結果

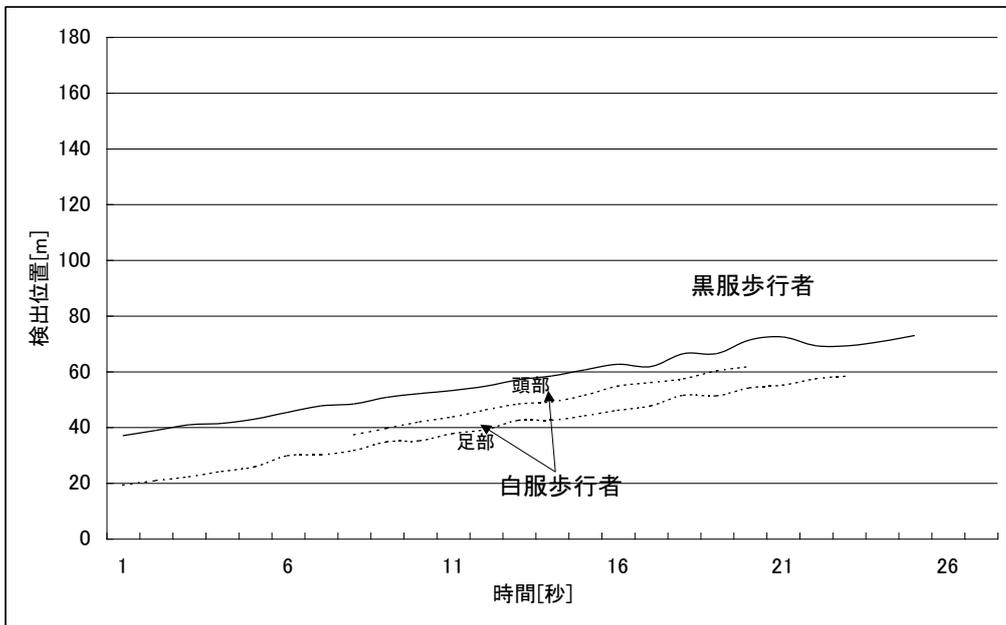


図 3 9 視程 200-500m の検出結果

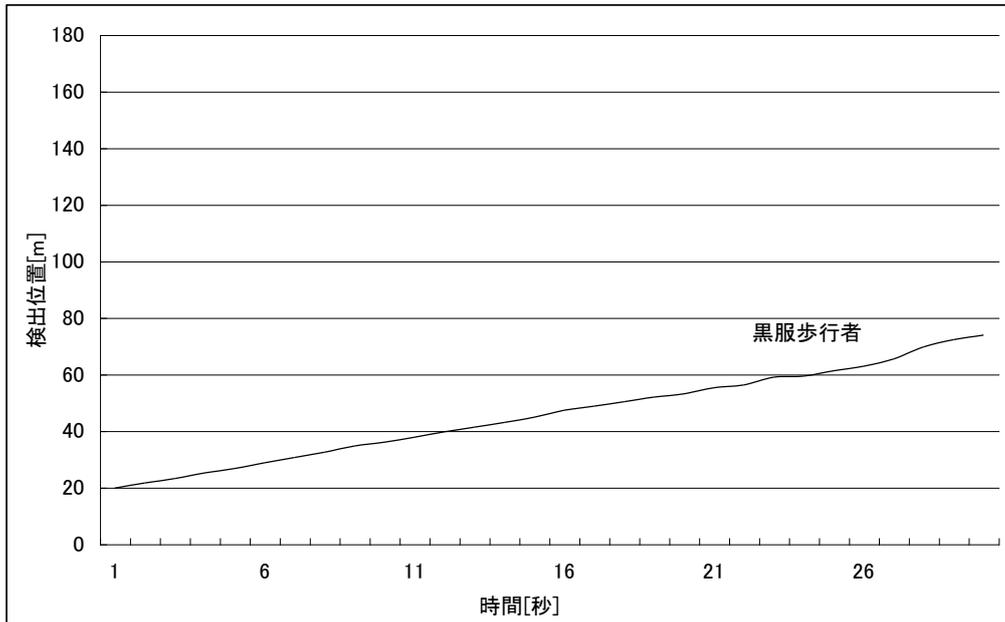


図 4 0 視程 200m 未満の検出結果

(2) 赤外画像センサ

図 4 1～図 4 4 に、降雪時における視程と検出結果との関係を示す。図のように、時間とともに検出位置が移動し歩行者が停止するまで検出している。視程 200m 未満の場合にも検出可能であることがわかった。

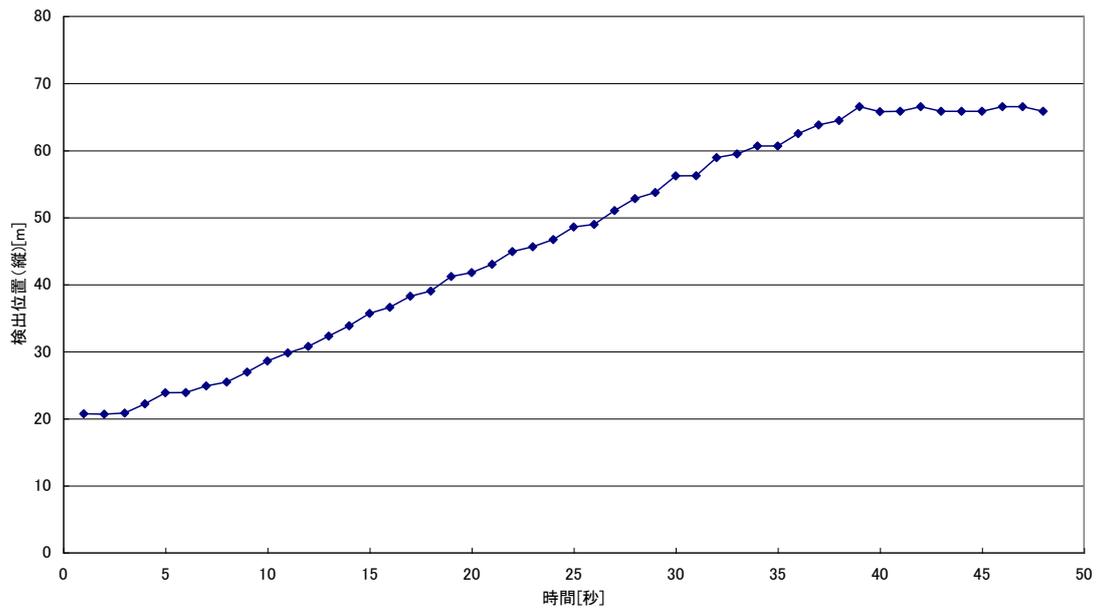


図 4 1 視程 1000m 以上の検出結果

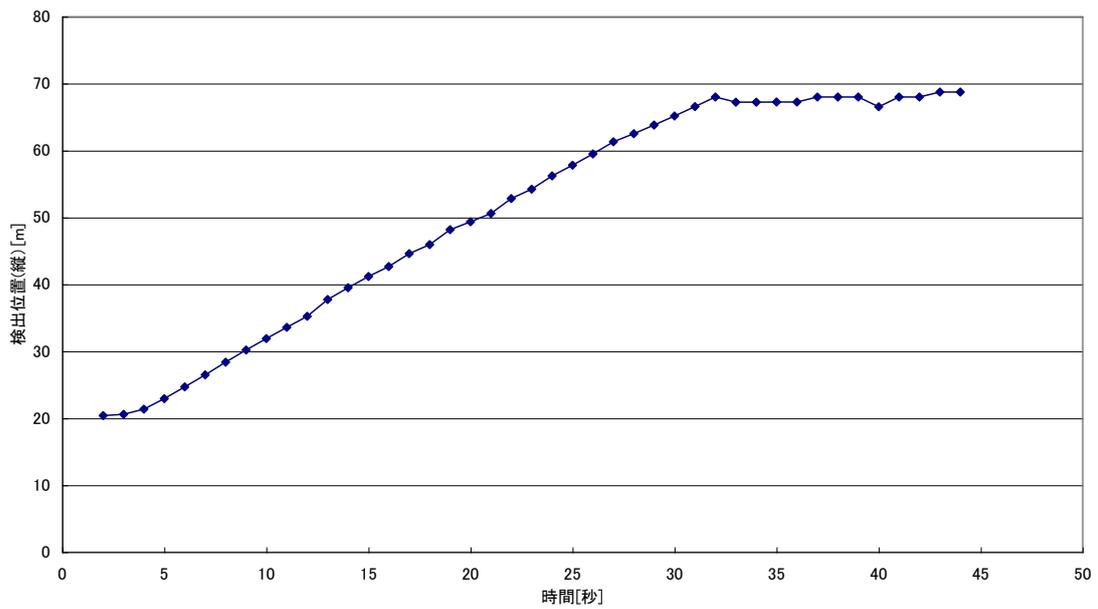


図 4 2 視程 500-1000m の検出結果

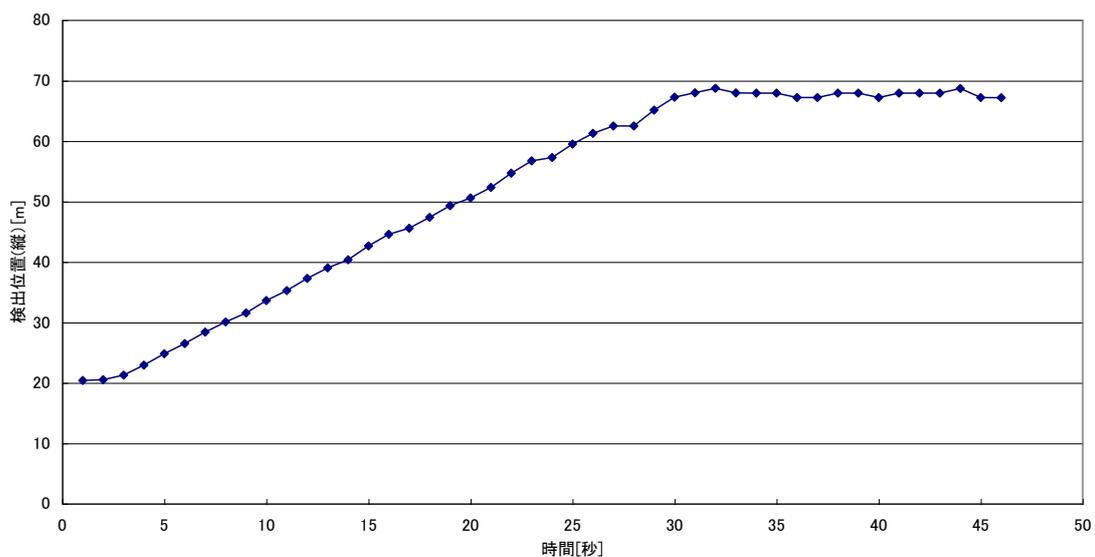


図 4 3 視程 200-500m の検出結果

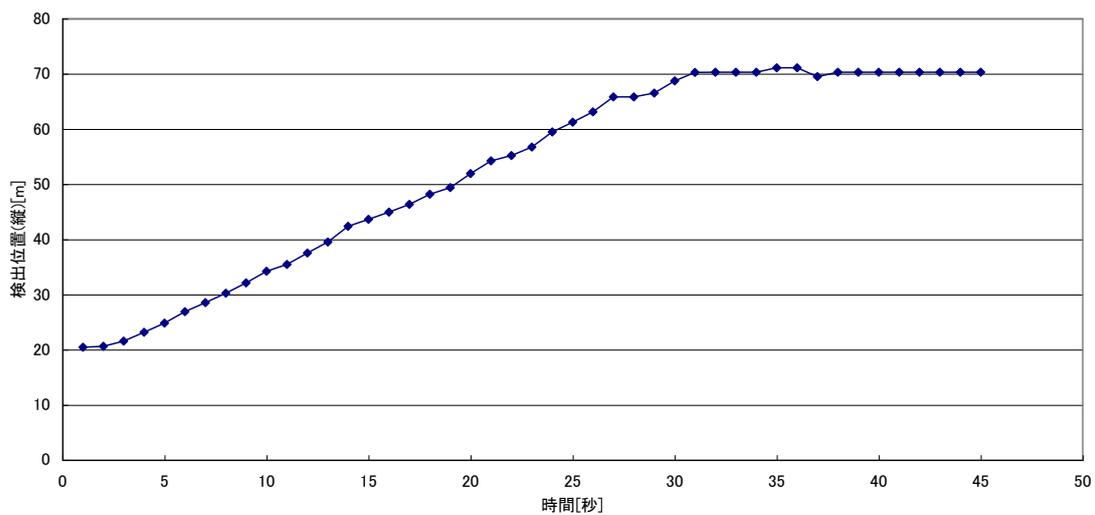


図 4 4 視程 200m 未満の検出結果

(3) ミリ波センサ

図 4 5～図 4 8 に、降雪時における視程と検出結果との関係を示す。図のように、どの視程でも歩行者を検出した。

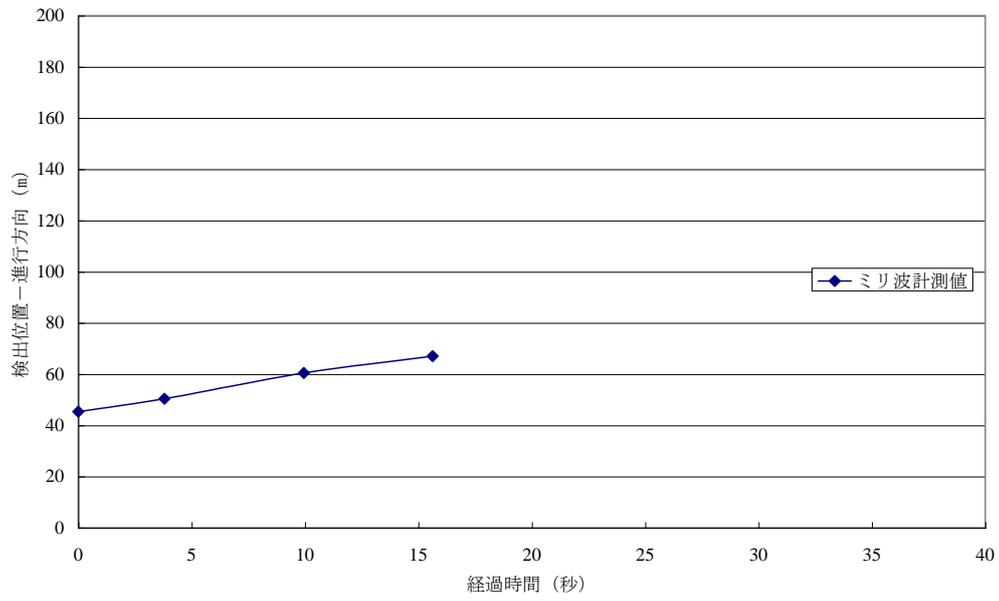


図 4 5 視程 1000m 以上の検出結果

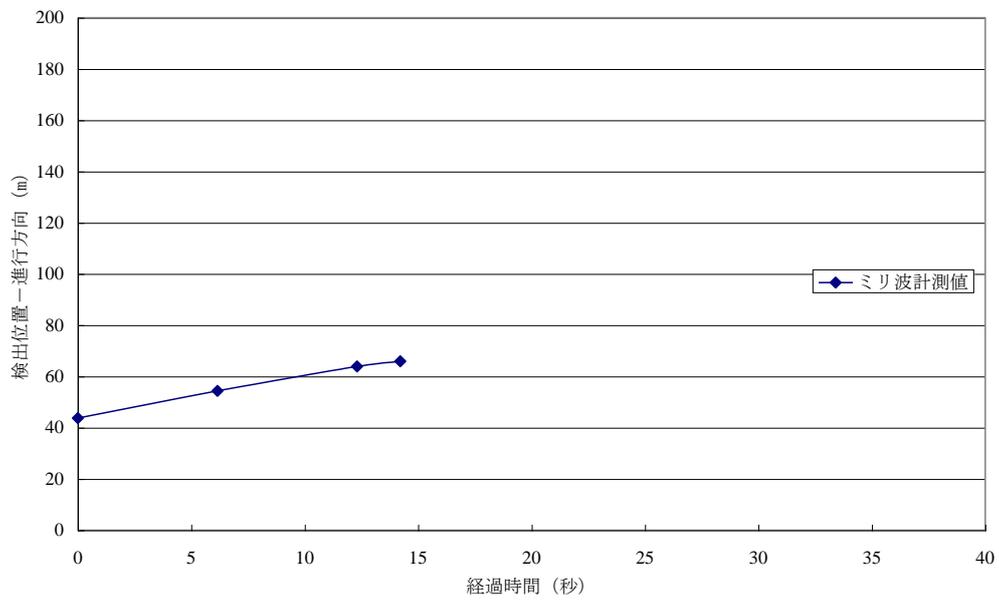


図 4 6 視程 500-1000m の検出結果

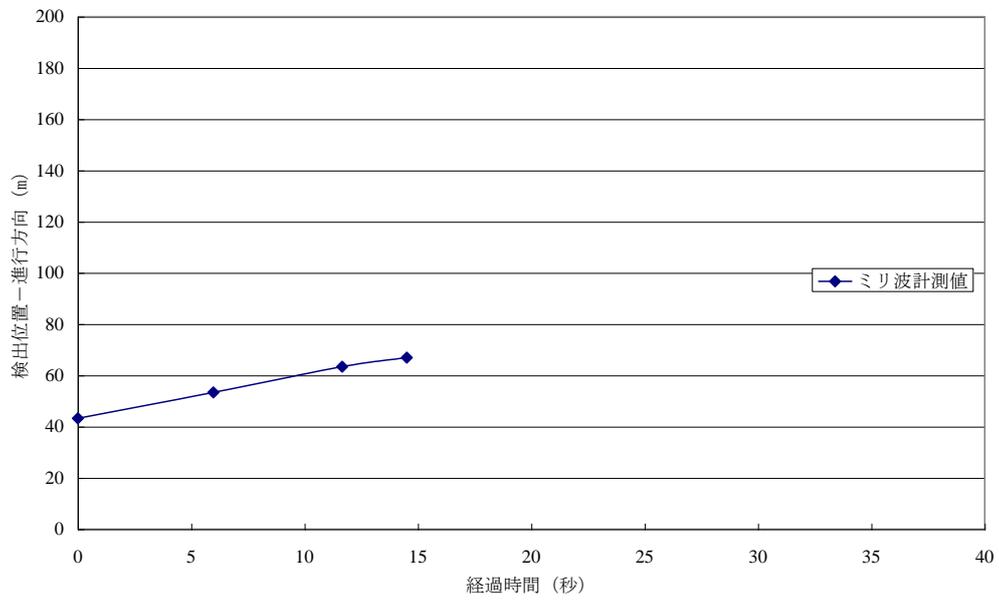


図 4 7 視程 200-500m の検出結果

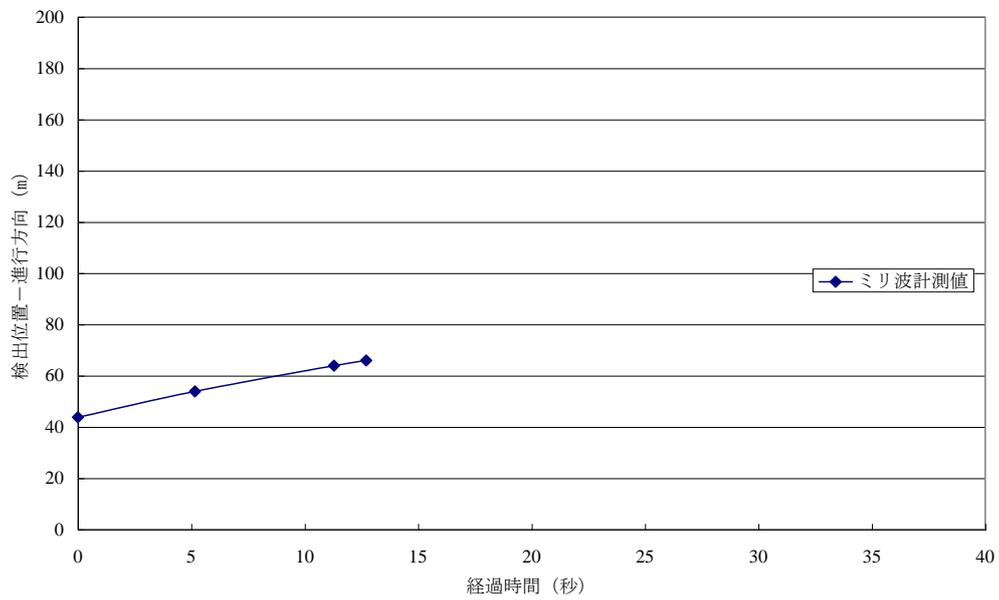


図 4 8 視程 200m 未満の検出結果

4. 1. 4 まとめ

4. 1. 4. 1 実験結果のまとめ

積雪および寒冷地域にて積雪・降雪環境下の各種センサ（可視画像センサ、赤外画像センサ、ミリ波センサ）の検出性能を定量的に評価すること、およびセンサの信頼性・耐久性について評価検証することを目的に、開土研 石狩吹雪実験場の試験走路を利用したフィールド実験を実施した。その結果、機器の動作において問題はなく、積雪および寒冷地域で使用できることを確認した。しかし、検出性能に以下の特徴がみられた。

(1) 可視画像センサ

走行車両検出実験では、吹雪視程が 1000m 未満の時、最大検出距離が 100m 未満となった。停止車両検出実験では、吹雪視程が 500m 以上であれば、100m 位置でもほぼ良好に車両を捉えることが出来た。歩行者実験では、吹雪視程が 500m 以上であれば、65m 位置でもほぼ良好に歩行者を捉えることが出来た。

(2) 赤外画像センサ

走行車両検出実験では、吹雪視程が 500m 以下の時、最大検出距離が 100m 以下となった。停止車両検出実験では、吹雪視程が 200m 未満でも、最大検出距離が 65m であった。歩行者実験では、吹雪視程が 200m 未満の時でも、最大検出距離が 200m であった。

(3) ミリ波センサ

全ての吹雪条件下において最大検出距離 100m 以上を達成した。

吹雪視程の観点に限定して考えると、降雪、積雪時における各センサの使用条件としては、表 2 が想定できる。

表 2 吹雪視程条件と使用想定センサ

雪視程条件	使用想定センサ
1000m 以上	ミリ波センサ 赤外画像センサ 可視画像センサ
500m 以上 1000m 未満	ミリ波センサ 赤外画像センサ
500m 未満	ミリ波センサ

4. 1. 4. 2 今後の課題

(1) 可視画像センサ

視程が 1000m 未満の吹雪により、検出距離がばらつく、検出が一時途切れるなどの影響がみられた。具体的には、雪により背景が白くなることで白色車両を複数台に誤認識すること、あるいは黒色車両の検出精度が低下する傾向があった。積雪および寒冷地域で利用する場合は、この対策について考える必要がある。

(2) 赤外画像センサ

吹雪視程 200m 未満においてコントラストの差が出にくい傾向となる。対策としては、赤外画像センサ制御用のコンピュータからの適宜輝度調整が考えられ、その方法について確立する必要がある。

(3) ミリ波センサ

今回の実験では、対象物のミリ波反射面への着雪や、ミリ波センサのドームへの着雪がみられなかった。今後、着雪の影響についても確認する必要がある。

また、一般にミリ波センサは、送信波長よりも大きい物質に影響を受けやすいと言われており、その波長（5mm 程度）よりも大きい雪粒の影響についても確認する必要がある。

4. 2 路面状況把握センサの性能検証

4. 2. 1 目的

路面情報活用車間保持等支援サービスにおいて、特にサービスの可否に大きく影響する路面状況把握センサ性能の検証評価を行い、定量的な検出性能を把握することを目的とする。

4. 2. 2 実験方法

4. 2. 2. 1 路面状況把握センサの特徴

路面状況把握センサは、湿潤・積雪・凍結など路面の様々な特徴量や路温を基に路面状態を判別するセンサである。路面状況把握センサとしては、可視画像センサ、レーザ

レーダセンサ、電波放射計、および光ファイバセンサ（埋設型）をピックアップした。

表 3 に路面状況把握センサのリクワイアメント（開発目標）を示す。

表 3 リクワイアメント（開発目標）

要求性能	内容
検出路面状況	乾燥・湿潤・水膜・積雪・凍結の5状態
検出範囲	道路幅員方向全幅、及び路線方向監視範囲で車両挙動に影響を与える場所
検出状態	5状態以上
出力単位範囲	サービスに影響を与える最小区間に区切りその区間を代表する状態を出力する。
検出時間性能	検出周期 1分

以下に、各路面状況把握センサの特徴を示す。

（1） 可視画像センサ

可視画像センサは、可視カメラの映像を用い、色相、彩度、明度、および光の3原色等の特徴量に基づき路面状態を判別する。可視カメラとして既存道路監視用CCTVカメラを使用することも可能である。可視画像センサは、影や日照、あるいは霧や豪雨などの影響を受けやすいといわれる。

以下に、可視画像センサの性能を、写真 3 に外観を示す。

- ①検出範囲：横断方向 7 m、縦断方向 100m
- ②検出可能な路面状況：乾燥、湿潤、水膜、積雪、凍結の 5 状態
- ③分解能：縦 2 ～20m、横： 2 m以内
- ④映像種別：NTSCカラー映像
- ⑤CCTV種別：固定式
- ⑥データ出力周期： 1 分
- ⑦検出分解能：10x10 画素（2m～20m）
- ⑧画像素子：インターライン転送方式CCD
- ⑨フレームタイム：1/30sec



写真 3 可視画像センサの外観

(2) レーザレーダセンサ

レーザレーダセンサは、パルスレーザ光を路面に照射し、反射光の行程時間差と反射強度等により路面状態を判別するものである。レーザレーダセンサは、視程不良時の運用に適するといわれている。なお、以下に、レーザレーダセンサの検出性能を、写真 4 に外観を示す。

- ①検出範囲：4 m×7 m以内の路面状況を把握可能
- ②検出可能な路面状況：乾燥、湿潤、水膜、積雪、凍結の5状態
- ③分解能：縦横とも25 cm以上
- ④発光方式：パルスレーザ発光
- ⑤レーザ光の波長：890nm（可視領域ではないため、網膜に与える影響はない）
- ⑥行程時間差分解能：0.5nsec 以下



写真 4 レーザレーダセンサの外観

(3) 電波放射計センサ

電波放射計センサは、路面から放射される95GHz帯の電波エネルギー（放射温度）を検出することにより、路面状態を判別する。

以下に、電波放射計センサの検出性能を、写真 5 に外観を示す。

- ①検出範囲：7 m×40m以内の路面状況を把握可能
- ②検出可能な路面状況：乾燥、湿潤、水膜、積雪、凍結の5状態

- ③分解能：2 × 8 m
- ④周波数：95GHz
- ⑤空中線方式：レンズアンテナ方式
- ⑥ビーム幅：0.8 度（半値幅）
- ⑦受信方式：ディック方式
- ⑧基準温度：高温 330K 低温 303K
- ⑨周波数帯域：1.8GHz



写真 5 電波放射計

(4) 光ファイバセンサ

光ファイバセンサは、路面に埋設した光ファイバで路面温度を計測し、気象計器による気温・湿度・風速・雨雪量・放射収支量の観測と合せて、大気温度と路温、温度差、温度変化等をもとに路面状態を5状態分類で検出する。

以下に、光ファイバセンサの検出性能を、図 4 9 に設置イメージを示す。

- ①検出範囲：光ファイバ1本で1車線×1kmまで計測可能
- ②検出可能な路面状況：乾燥、湿潤、水膜、積雪、凍結の5状態
- ③分解能：10m
- ④外径：4 mm
- ⑤構造：S U S管被覆光ファイバ
- ⑥光ファイバ芯線型式：G I -50/125

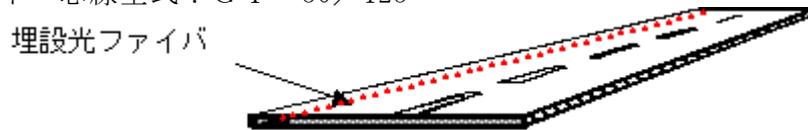


図 4 9 光ファイバセンサの設置イメージ

4. 2. 2. 2 実験場所および期間

実験場所は、一般国道 230 号喜茂別町中山峠である。なお、道路構造は3車線（片側1車線+登坂2車線）、交通量は約2万台/日、大型車混入率は約20%である。実験設

備全体を図 50 に示す。

実験は、三年に渡って行った。年度毎にアルゴリズムの改良を行った。

①平成 12 年 11 月 25 日～平成 13 年 2 月 18 日

②平成 13 年 4 月 1 日～平成 14 年 1 月 28 日

③平成 14 年 7 月 9 日～平成 15 年 2 月 3 日

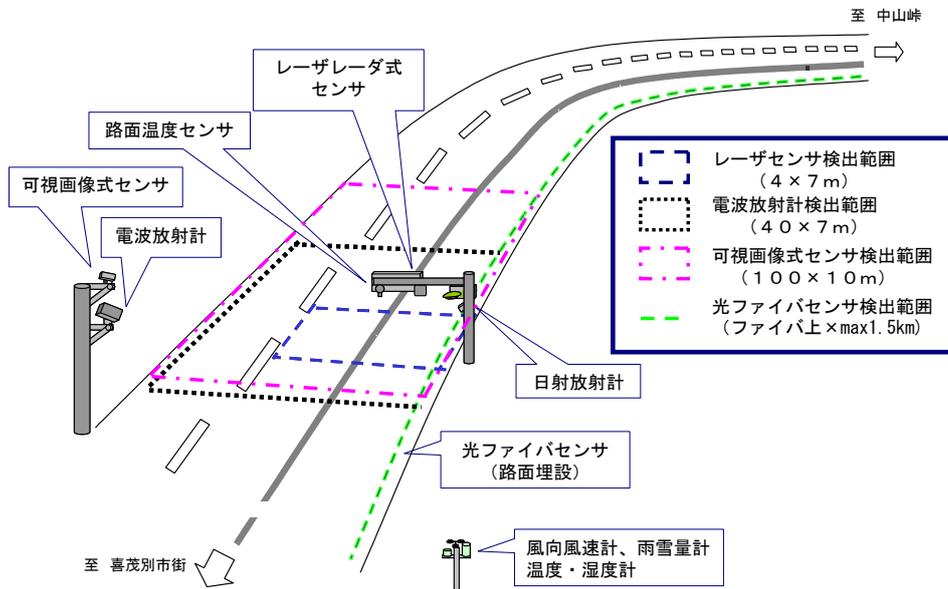


図 50 実験機器設置概要図

4. 2. 2. 3 各センサの稼働率実験

各センサの稼働状況を確認する。稼働率については、以下の 2 式で評価する。

$$\text{年間システム稼働率 (\%)} = \text{正常動作データ数} / \text{総データ数}$$

$$\text{年間サービス稼働率 (\%)} = \text{正常判定データ数} / \text{総データ数}$$

4. 2. 2. 4 各センサの正解率実験

路面状態の目視判定では、北海道開発局発行の「冬期路面管理マニュアル (案)」を参考として、リクワイアメントに基づいて、乾燥、湿潤、水膜、積雪、凍結の 5 状態に判別した (表 4)。参考までに、図 51 に基本 5 状態および 8 状態分類における路面状況を示す。

表 4 路面状態区分

5状態	冬期管理マニュアル(案)
乾燥	乾燥
湿潤	湿潤
水膜	
積雪	シャーベット
	つぶ雪
	こな雪
	圧雪
	つぶ雪下層氷板
凍結	氷膜
	こな雪下層氷板
	氷板
	非常に滑りやすい圧雪
	非常に滑りやすい氷板
	非常に滑りやすい氷膜

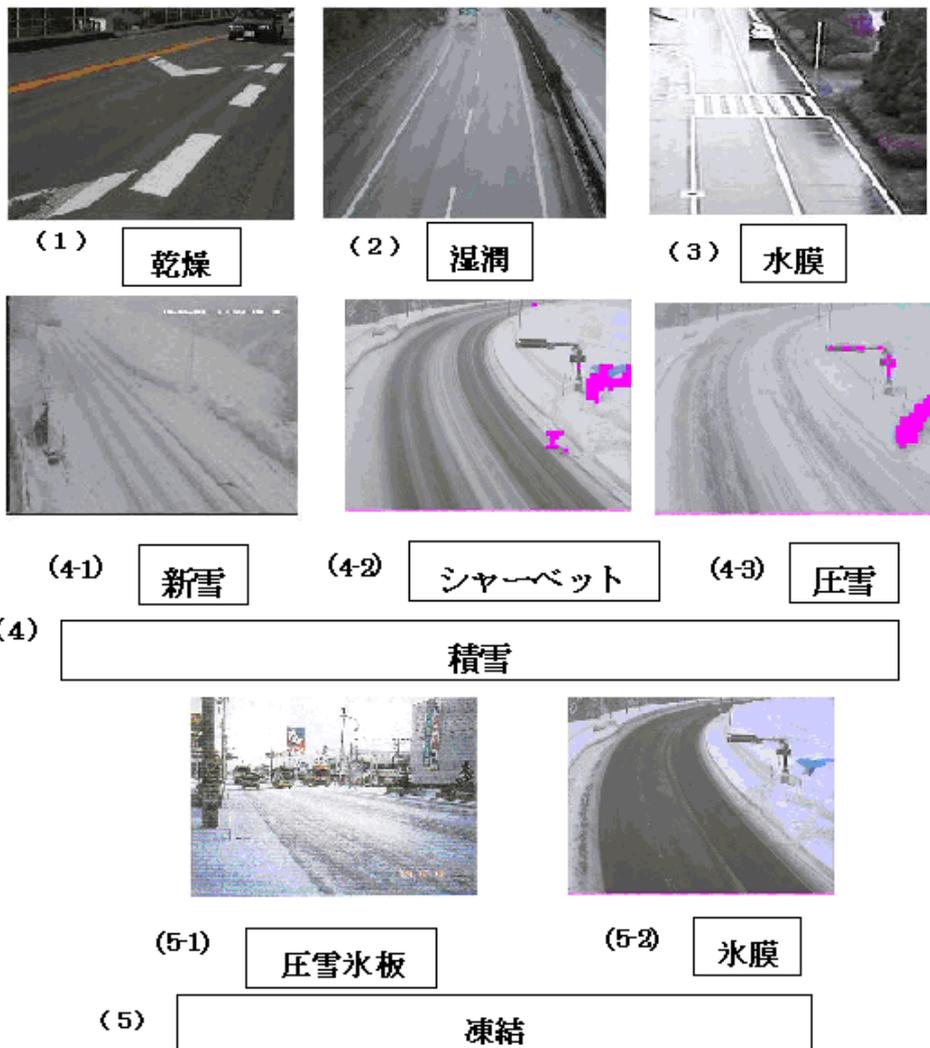


図 5 1 基本 5 状態および 8 状態分類における路面状況

センサ検出精度は、路面の目視判定結果とセンサ出力結果を10分毎に比較し、以下の正解率により評価を行った。

$$\text{正解率 (\%)} = \frac{\text{センサ出力と目視判定が同一の結果数}}{\text{目視判定結果数}}$$

また、目視判定結果とセンサ出力結果を、わだち部と非わだち部に分けて分析を行うことにした(図52)。なお、各センサにより検出範囲や最小分解能の違いがあり、電波放射計と光ファイバセンサについては、センサ最小分解能が一般的なわだち幅より大きいいため、非わだち部とわだち部における最も滑りやすい路面状態を目視判定の真値としてセンサ出力結果との比較を行った。

AHSでは、わだち部と非わだち部の滑りやすい路面状態を必要とするため、センサの正解率は、滑りやすい路面状態を検出しているかどうかで評価した。



図 5 2 わだち部と非わだち部

4. 2. 3 実験結果

表 5 に、平成 12、13、14 年度におけるデータ取得数を示す。平成 12 年度は冬期のみ、平成 13、14 年度は通年で実施した。

表 5 データ取得数

路面状態	H12年度	H13年度	H14年度
乾燥	1	6,502	8,900
湿潤	109	2,373	4,900
水膜	19	1,313	2,570
積雪	1,344	5,158	9,560
凍結	691	809	3,520
計	2,164	16,155	29,450

4. 2. 3. 1 各センサの稼働率実験

表 6 に平成 13、14 年度における各センサのシステム稼働率を、表 7 にサービス稼働率を示す。表のように、電波放射計センサの稼働率が顕著に低い。電波放射計センサは、回転台故障そして交換、高周波部品、接続ケーブルの故障そして交換のために動作停止せざるを得なかった。このことに対する対策の見込みが立たず、電波放射計センサは、平成 14 年度の実験を断念した。また、平成 13 年度の可視画像も稼働率が低いが、21%がメンテナンスによるものであり、実質 90%程度稼働していた。

表 6 システム稼働率

センサ名	H 1 3 年度 (%)	H 1 4 年度 (%)
可視画像センサ	77.2	94.9
レーザレーダセンサ	89.8	90.7
電波放射計センサ	56.0	—
光ファイバセンサ	95.4	99.9

表 7 サービス稼働率

センサ名	H 1 3 年度 (%)	H 1 4 年度 (%)
可視画像センサ	72.6	92.9
レーザレーダセンサ	89.8	86.9
電波放射計センサ	55.0	—
光ファイバセンサ	95.4	99.9

4. 2. 3. 2 各センサの正解率実験

(1) 可視画像センサ

図 5 3 に平成 12 年度、図 5 4 に平成 13 年度、図 5 5 に平成 14 年度における可視画像センサの正解率を示す。図のように、年度毎に正解率が向上している。年度毎の改良点および結果について以下に示す。

平成 12 年度は、冬季のみの評価であった。総合正解率が 80.7%であった。湿潤を乾燥と誤検出するケースが多くみられた。また、早朝や薄暮などの昼夜切替え時における判別精度が低い傾向がみられた。

平成 13 年度は、四季での評価を試みた。湿潤を乾燥と誤検出する誤りを低下させるため、感雨計などの補助センサによるアルゴリズムを追加した。また、早朝や薄暮などの昼夜切替え時における判別精度を向上させるため、日射条件を考慮した照明条件判定アルゴリズムを追加した。さらに、画像特徴の分散度によるアルゴリズムを追加、およ

びH S B方式およびR G B方式の2方式を統合した画像特徴量を追加して検出率を向上させる改良を行った。その結果、総合正解率は83.9%に向上した。特に危険と考えられる凍結路面の個別正解率は、97.4%と、良好な結果が得られた。

平成14年度は、画像特徴の統計量を持つように調整したデータベースを用いて判別する段階絞込み方法のアルゴリズムの開発を行った。その結果、総合正解率は92.7%と昨年度より8.8%向上した。個別正解率は、乾燥、積雪は90%以上であった。湿潤、水膜、凍結は90%に近い高い性能であった。

今後の課題として、湿潤、水膜、凍結のさらなる精度向上を検討する必要がある。

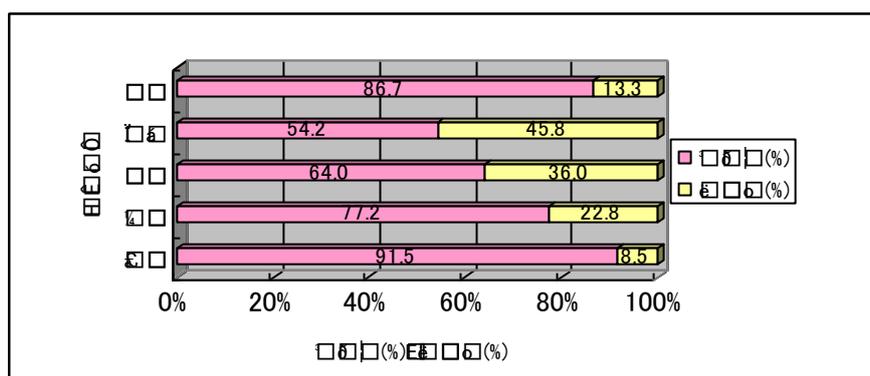


図 5 3 平成12年度可視画像センサ実験結果

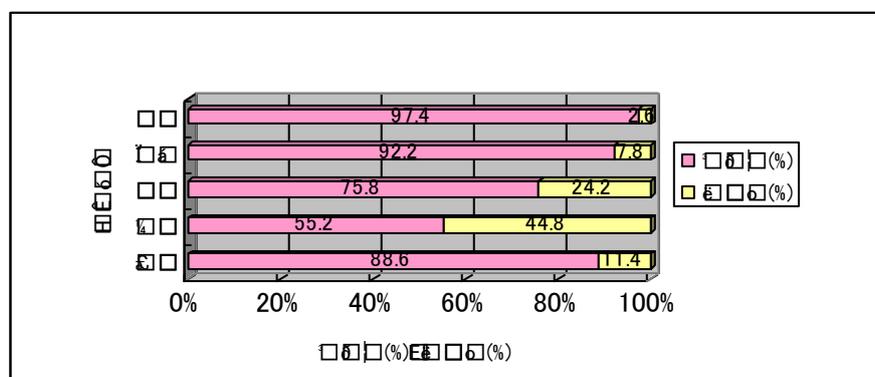


図 5 4 平成13年度可視画像センサ実験結果

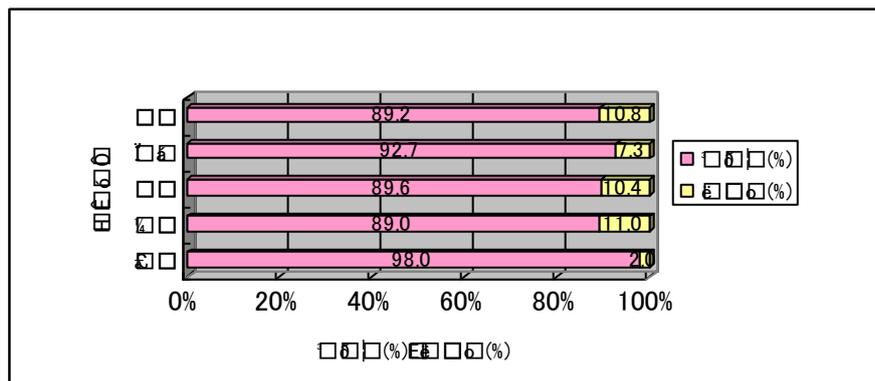


図 5 5 平成 14 年度可視画像センサ実験結果

(2) レーザレーダセンサ

図 5 6 に平成 12 年度、図 5 7 に平成 13 年度、図 5 8 に平成 14 年度におけるレーザレーダセンサの正解率を示す。図のように、年度毎に正解率が向上している。年度毎の改良および結果について以下に示す。

平成 12 年度は、冬季のみの評価であった。総合正解率が 79.6%であった。乾燥状態から湿潤状態へ変化するときの誤判定が多かった。

平成 13 年度は、四季での評価を試みた。誤判定が多かった乾燥状態から湿潤状態へ変化するときの原因を調査し、判別基準値設定の最適化を行ない、湿潤判別精度の向上を図った。また、路面温度データの統計処理により凍結判定精度の向上を図った。これらの改良により、総合正解率が向上し、平成 13 年度の総合正解率は 86.6%となった。なお、特に危険と考えられる凍結路面の個別正解率は、62.2%となった。

平成 14 年度は、測定領域細分化手法を取り入れたシャーベット路面判定方法、反射強度変化を利用した水膜検出処理アルゴリズムを開発し、霧検出による確信度判定アルゴリズムの開発により精度の向上を図った。その結果、総合正解率は 90.9%と昨年度より向上した。個別正解率は、乾燥、水膜、積雪は 90%以上であった。湿潤、凍結も向上し、80%以上の性能であった。

今後の課題として、湿潤/水膜および積雪/凍結の判別のさらなる精度向上を検討する必要がある。

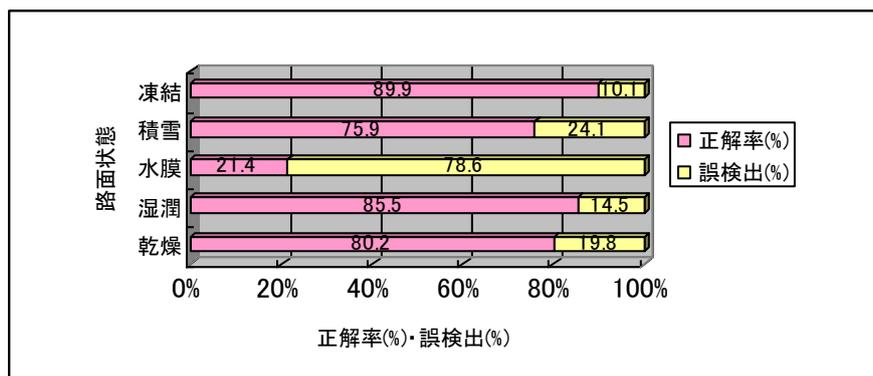


図 5 6 平成 12 年度レーザレーダセンサ実験結果

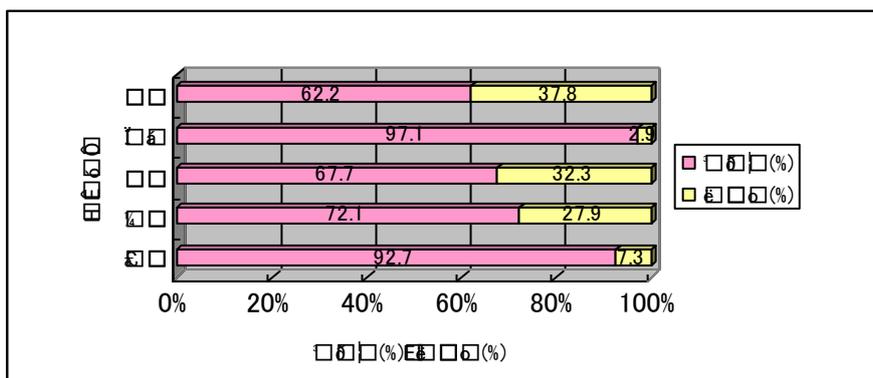


図 5 7 平成 13 年度レーザレーダセンサ実験結果

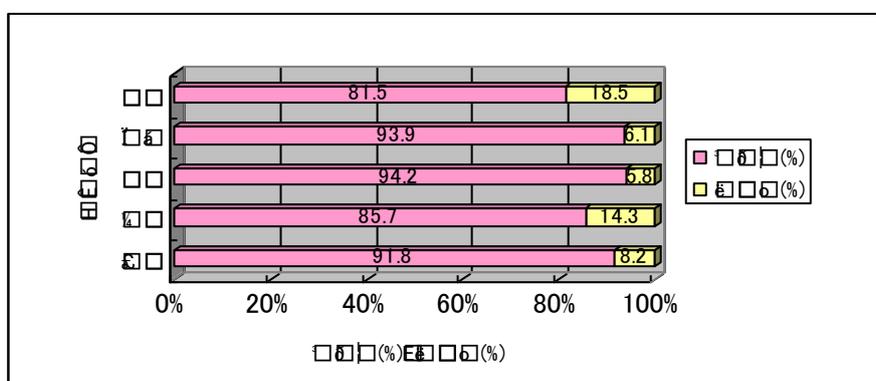


図 5 8 平成 14 年度レーザレーダセンサ実験結果

(3) 電波放射計センサ

図 5 9 に平成 12 年度、図 6 0 に平成 13 年度における電波放射計センサの正解率を示す。図のように、年度毎に正解率が向上している。年度毎の改良および結果について以下に示す。

平成 12 年度は、冬季のみの評価であった。総合正解率が 64.3%であった。通過車両による影響、回転台の故障が主な原因となり、低い正解率となった。

平成 13 年度は、四季での評価を試みた。誤検出の大きな原因である通過車両による影響を除去するため、垂直および水平偏波の放射率算出において移動平均処理アルゴリズムを追加した。また、天球放射温度の計測回数を 9 回から 5 回に短縮し、機械式回転台の負担を軽減させた。さらに、乾燥から水膜、凍結から乾燥等のように通常起こり得ない路面状態の遷移を除去する時系列判定アルゴリズムを追加した。その結果、総合正解率が向上し、平成 13 年度の総合正解率は、87.0%となった。特に危険と考えられる凍結路面における個別正解率は、42.6%となった。

平成 14 年度については、3. 2. 3. 1 各センサの稼働率実験で述べた通り、耐久性に対する対策に目処が付かず、実験を断念した。

今後の課題として、回転台の耐久性向上の検討が必要である。

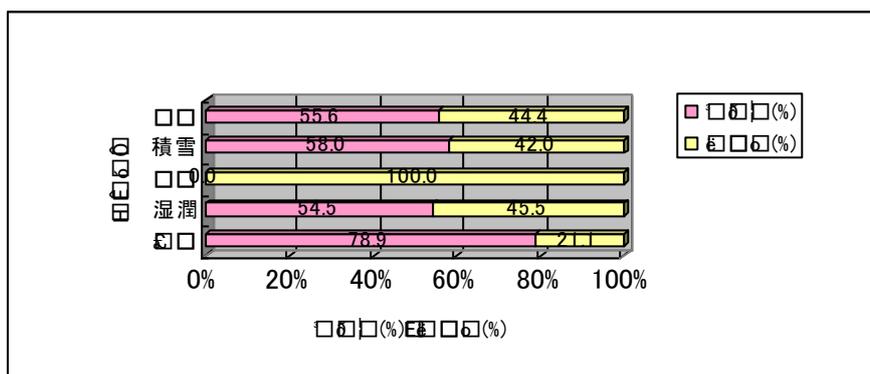


図 59 平成 12 年度電波放射計センサ実験結果

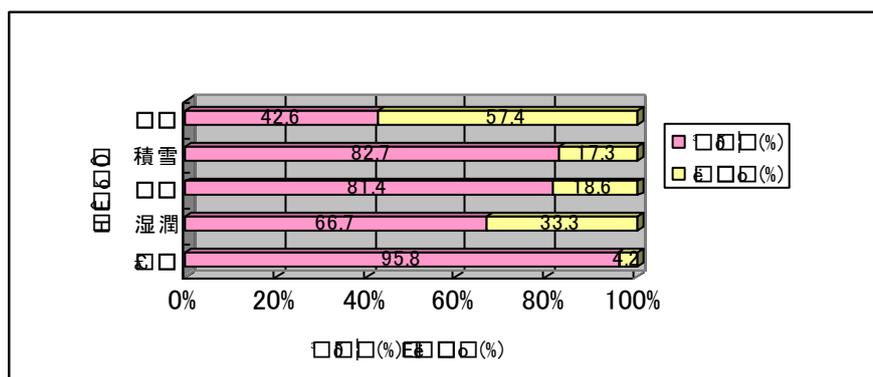


図 60 平成 13 年度電波放射計センサ実験結果

(4) 光ファイバセンサ

図 6 1 に平成 12 年度、図 6 2 に平成 13 年度、図 6 3 に平成 14 年度における光ファイバセンサの正解率を示す。図のように、年度毎に正解率が向上している。年度毎の改良および結果について以下に示す。

平成 12 年度は、冬季のみの評価であった。総合正解率が 80.5%であった。降雨開始時の湿潤状態判別精度低下および熱計算誤差による判別精度低下が主な原因であった。

平成 13 年度は、四季での評価を試みた。降雨開始時の湿潤状態判別精度低下および熱計算誤差による判別精度低下に対し、感雨計を追加して湿潤検出感度の向上を図った。また、熱計算誤差を考慮した路面状態判別アルゴリズムを開発すると共に、実験データベースにより路面状態判定しきい値の最適化アルゴリズムの改良を行った。その結果、検出率で 11%の向上がみられた。平成 13 年度の総合正解率は、83.2%となった。特に危険と考えられる凍結路面における個別正解率は 25%となった。

平成 14 年度は、蒸発熱量のパラメータ調整、感雨・降雨を考慮した判定アルゴリズムの開発を行うとともに、積雪、凍結の境界部分での誤判定については気温、路温およびその変化率を用いるアルゴリズム開発を行った。その結果、総合正解率は 91.4%と向上した。個別正解率は、乾燥、積雪は 90%以上であった。湿潤、水膜、凍結は、昨年度より向上しており 80%以上の性能であった。

今後の課題として、湿潤/水膜、積雪/凍結の判別のさらなる精度向上を検討する必要がある。

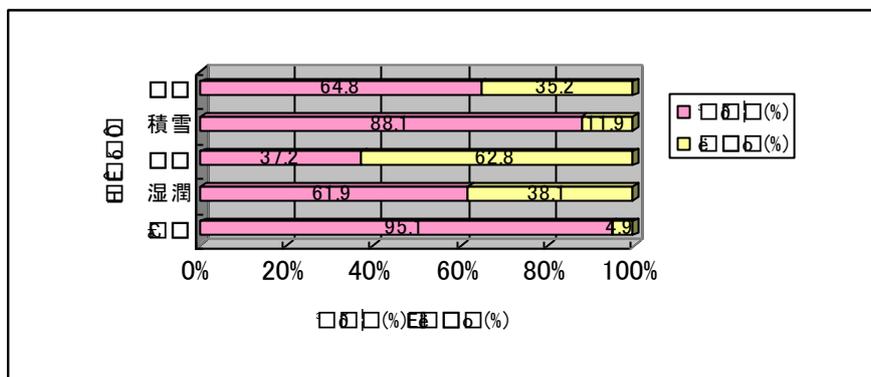


図 6 1 平成 12 年度光ファイバセンサ実験結果

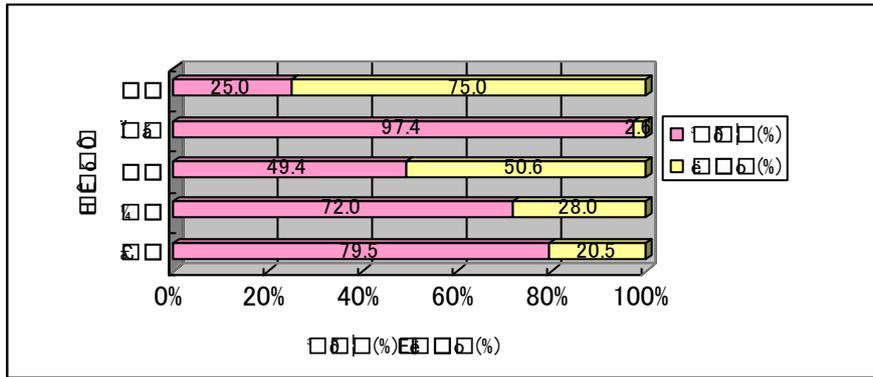


図 6 2 平成 1 3 年度光ファイバセンサ実験結果

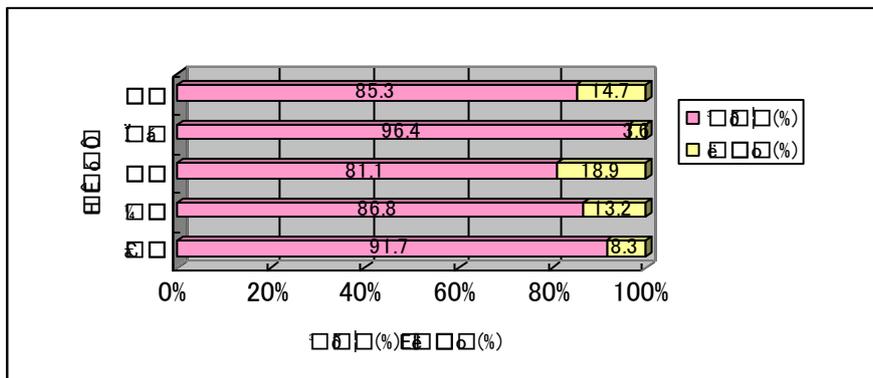


図 6 3 平成 1 4 年度光ファイバセンサ実験結果

4. 2. 4 まとめ

4. 2. 4. 1 実験結果のまとめ

積雪および寒冷地域にて積雪・降雪環境下の各種センサ（可視画像センサ、レーザレーダセンサ、電波放射計センサ、光ファイバセンサ）の稼働率および検出性能を定量的に評価することを目的に、一般国道 230 号喜茂別町中山峠を利用したフィールド実験を実施した。その結果を以下に要約する。

(1) 可視画像センサ

最終年度（平成 14 年度）のシステム稼働率は 94.9%、総合正解率は 92.7%であった。

(2) レーザレーダセンサ

最終年度（平成 14 年度）のシステム稼働率は 90.9%、総合正解率は 90.9%であった。

(3) 電波放射計センサ

最終年度（平成 13 年度）のシステム稼働率は 56.0%、総合正解率は 89.6%であった。回転台故障そして交換、高周波部品、接続ケーブルの故障そして交換のために動作停止せざるを得なかった。このことに対する対策の見込みが立たず、電波放射計センサは、平成 14 年度の実験を断念した。

(4) 光ファイバセンサ

最終年度（平成 14 年度）のシステム稼働率は 99.9%、総合正解率は 91.4%であった。

4. 2. 4. 2 今後の課題

(1) 可視画像センサ

湿潤/水膜および積雪/凍結の判別のさらなる精度向上を検討する必要がある。

(2) レーザレーダセンサ

湿潤/水膜および積雪/凍結の判別のさらなる精度向上を検討する必要がある。

(3) 電波放射計センサ

回転台の耐久性向上の検討が必要である。高周波回路の小型化により回転台の小型化は可能であり、このことについて検討する必要がある。

(4) 光ファイバセンサ

湿潤/水膜、積雪/凍結の判別のさらなる精度向上を検討する必要がある。

第5章 積雪および寒冷地域におけるAHS構成機器を適用したシステム構成案

5.1 目的

以上の検討により、積雪および寒冷地域における「道路状況把握センサ」および「路面状況把握センサ」の実用可能性を見いだした。

AHSの導入を効率的に行うため、技術の一部実用化から着手し段階的に推進する。導入シナリオとしては、①センサから得られる情報の道路管理への利活用、②センサから得られる情報を情報板に表示し、ドライバへ伝達、③センサから得られる情報について、ビーコンを介して車載器に表示し、ドライバへ伝達と、3段階を考えている。

ここでは、導入初期段階である、①道路管理への利活用が可能なシステムの構築案を検討する。

5.2 システム構成案

5.2.1 道路状況把握センサと検出事象処理装置を接続する場合

道路状況把握センサと検出事象処理装置のシステム構成案を図64に示す。

道路状況把握センサとしては、可視画像センサ、赤外面像センサ、およびミリ波センサがある。ただし、可視画像センサや赤外面像センサは、吹雪による視界不良の影響に留意する必要がある。

検出事象処理装置は、センサにより検出された異常データを発報し、監視員へ通知する。通知は自動的に行われるため、監視員による集中監視が容易になる。通知に利用される発報の方法としては、発報情報をコンピュータの画面上に表示する方法や、ブザーにより音で通知する方法などがある。

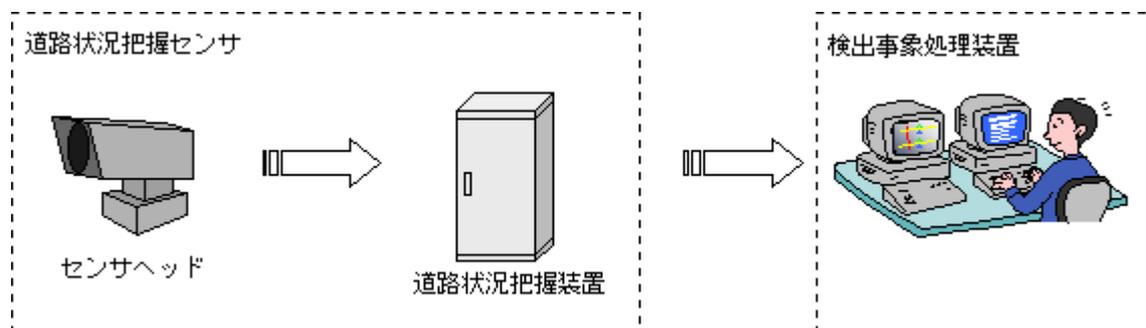


図 6 4 道路状況把握装置と検出事象処理装置のシステム構成案

5. 2. 2 路面状況把握センサと検出事象処理装置を接続する場合

路面状況把握センサと検出事象処理装置のシステム構成案を図 6 5 に示す。

路面状況把握センサとしては、可視画像センサ、レーザレーダセンサ、および光ファイバセンサがある。ただし、可視画像センサは、吹雪による視界不良の影響に留意する必要がある。

検出事象処理装置は、センサにより検出された異常データを発報し、監視員へ通知する。通知は自動的に行われるため、監視員による集中監視が容易になる。通知に利用される発報の方法としては、発報情報をコンピュータの画面上に表示する方法や、ブザーにより音で通知する方法などがある。

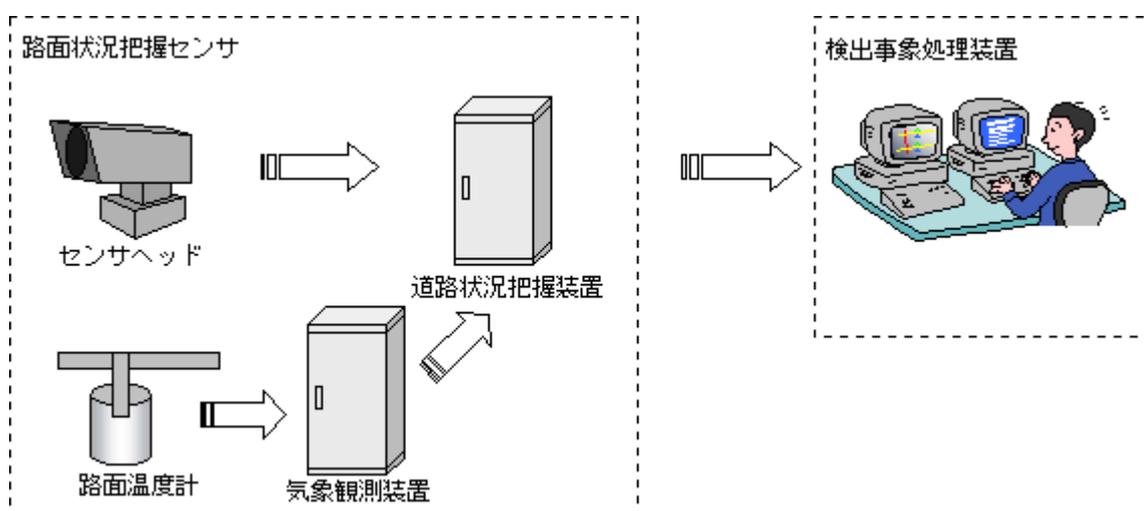


図 6 5 路面状況把握装置と検出事象処理装置のシステム構成案

5. 2. 3 道路状況把握センサ、路面状況把握センサと検出事象処理装置を接続する場合

道路状況把握センサ、路面状況把握センサと検出事象処理装置のシステム構成案を図 6 6 に示す。

道路状況把握センサとしては、可視画像センサ、赤外面像センサ、およびミリ波センサがある。路面状況把握センサとしては、可視画像センサ、レーザレーダセンサ、および光ファイバセンサがある。ただし、可視画像センサや赤外面像センサは、吹雪による視界不良の影響に留意する必要がある。

検出事象処理装置は、センサにより検出された異常データを発報し、監視員へ通知す

る。通知は自動的に行われるため、監視員による集中監視が容易になる。通知に利用される発報の方法としては、発報情報をコンピュータの画面上に表示する方法や、ブザーにより音で通知する方法などがある。

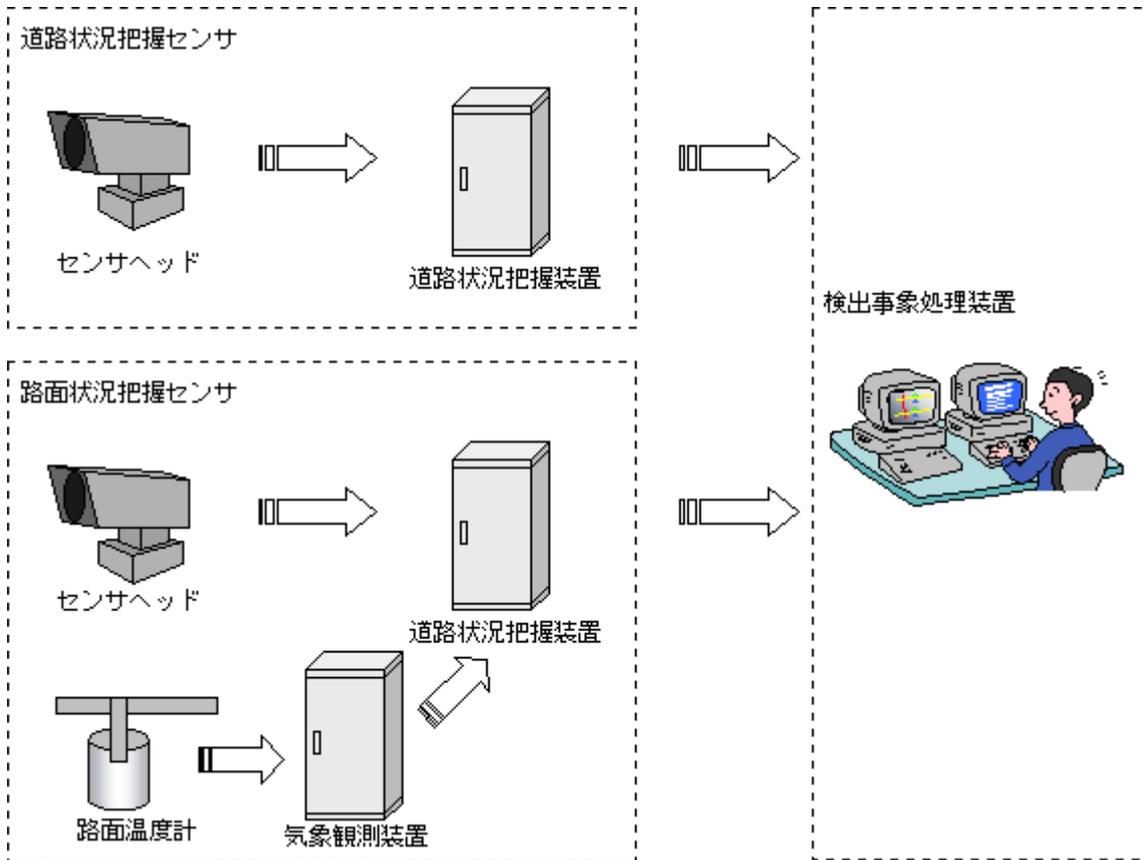


図 6 6 道路状況把握装置、路面状況把握装置と検出事象処理装置のシステム構成案

5. 3 今後の課題

ここでは、道路管理への利活用が可能なシステムの構築案を検討した。以下に、今後の課題を記する。

①構築したシステムの導入効果検討

今回の検討では、道路管理への利活用に対するシステムの構築案に留まっている。今後は、本システムの導入による道路管理の効率化やコスト削減効果の検討を進める必要がある。

②既設施設の活用検討

今回は、AHS専用センサの性能確認結果を基にシステムの構築案を検討した。そのため、センサの新規導入が前提となっている。しかし、可視画像センサとして既設のCCTVが利用可能であれば、センサ設置コストが削減されるなどメリットが大きい。このことから、可視画像センサとして既設のCCTVが利用可能であるかを検討する必要がある。

第6章 積雪および寒冷地域特有のシステム検討

(自発光式視線誘導標を利用した寒冷地走行支援サービスの検証)

6. 1 自発光式視線誘導標を利用したサービスのユーザ受容性評価

6. 1. 1 目的

吹雪の視程障害時、ドライバは少しでも見えるものを頼りに運転する⁸⁾。このことから、吹雪の視程障害時に見えるものと成り得る自発光式視線誘導標は、冬期走行支援として重要な位置付けにある。

一方、視程障害時の前方の事故発生については、道路表示板によりドライバへ情報を伝えることが一般的と考えられるが、情報提供位置が「点」でしかなく、かつ、視程障害のため文字が見えにくく、的確に情報を伝えられないことがあると考えられる。このことから、道路の「線形」を示すべく連続的に設置される自発光式視線誘導標を利用することで、前方の事故発生 of 情報を提供することが有効と考えられる。

具体案として、上部の一部を縦断的に点滅等させ、前方の事故発生等の危険事象を後方車両へいち早く伝達することが挙げられた。この方策について、ビデオ映像、動画CG（コンピュータグラフィックス）による被験者アンケート、試験走路における走行実験によって有効性を確認し、その結果から寒冷地走行支援サービスとしての自発光式視線誘導標の仕様を検討することを目的とする。

6. 1. 2 実験方法

6. 1. 2. 1 ビデオ映像による自発光式視線誘導標点滅に関する意識調査

自発光式視線誘導標の発光点滅の意味を理解していない被験者に対して、自発光式視線誘導標の上部が点滅するビデオ映像を見せた後、以下のアンケート調査を行った。

- ・ 被験者：男性26名、女性13名の計39名

質問の内容は以下のとおりである。

- ①自発光視線誘導標の上部が点滅しましたが、吹雪時の一般道路を走行している場合、何を想像しますか？（状況の想定）

- ②自発光視線誘導標の上部が点滅しましたが、吹雪時の一般道路を走行している場合、どのように感じますか？（警戒感の確認）
- ③自発光視線誘導標の上部が点滅しましたが、吹雪時の一般道路を走行している場合、その後どのような運転をしますか？（点滅を確認した後の運転行動）

6. 1. 2. 2 ビデオ映像による自発光視線誘導標点滅パターンの検討

本実験は自発光式視線誘導標の発光パターンに関するビデオ映像を見せた後、アンケート調査を実施した。

- ・ 被験者：30歳代男性、女性、初心者、高齢者の計40人（写真 6）

実験は以下の3種類とし、ビデオ映像（図 67）には平成11年に一般国道40号豊富町開源にて収録した8種類の発光パターン（図 68）を用い、アンケート方式で以下の6項目について調査した。

【実験の種別】

実験1：発光パターンの一対比較

（予備実験、2種類の映像を同時に見せて優劣を二者択一）

実験2：発光パターンの個別評価

（個々の映像に関する絶対評価）

実験3：発光変化の個別評価（常時点灯状態から点滅発光に変化する映像を用いた絶対評価）

【評価項目】

- a) 発光変化の認知性（気づき易い～気づき難い）
- b) 警戒感（感じる～感じない）
- c) 他の施設との紛らわしさ（判り易い～判り難い）
- d) 視線誘導機能（見易い～見難い）
- e) 不快感（快適～不快）
- f) 発光の受容性（適度～煩わしい）



写真 6 被験者実験状況



図 6 7 ビデオ映像状況

実験種別	実験内容	発光パターン	評価項目					
			a)	b)	c)	d)	e)	f)
実験 1	発光パターンの一対比較	①②③④⑤⑥⑦⑧		○		○	○	
実験 2	発光パターンの個別評価	①②③④⑤⑥⑦⑧		○	○	○	○	○
実験 3	発光変化の個別評価	①②③	○	○	○	○	○	○

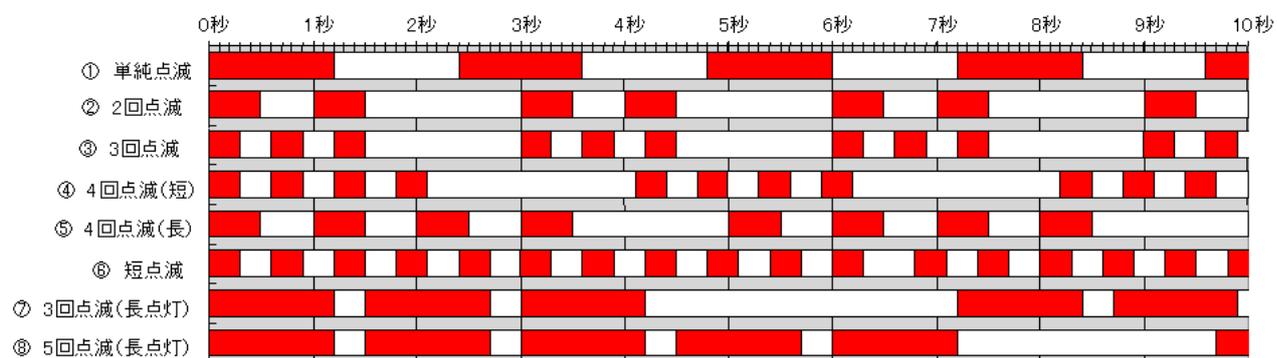


図 6 8 自発光式視線誘導標の注意喚起発光パターン (白が消灯時)

6. 1. 2. 3 動画CGによる自発光式視線誘導標の発光部の仕様と設置位置に関する検討

本実験は、図 6 9 に示すCG例を用いて警告灯の構造（警告部一体型、分離型）や、設置位置（路側、中央分離帯）による受容性の優劣、および発光体の高さ等による受容性の変化について調査した。

- ・ 被験者：熟練・初心者ドライバ（3年未満）、高齢者、女性ドライバの各15名
- 注意喚起灯の構造に関する実験では、2種類の映像を同時に見せる一対比較と、1種

類の映像の7段階評価による絶対評価を行ったが、両実験結果とも同様の傾向となっていたことから、以下には一対比較を中心に記載する。

自発光式視線誘導標の設置位置、設置高さに関する実験の評価の視点は、次の3点から行った。被験者には、事前にアンケート用紙を配布し、動画CGを見ながら記入してもらった。

- ①警戒感：危険警告の有効性
- ②誘導性：視線誘導の有効性
- ③快適性：走行に対する煩わしさ・不快感の少なさ

設置位置については、上記3つの視点から、4パターンの一対比較（2つのパターンを同時に見せて優劣を付ける比較方法）と、パターン毎の5段階評価によって評価した。また、発光体の高さは、危険警告部離れを一定として、視線誘導部高さを変化させたCGを見て、警戒感、誘導性、快適性を総合的に判断した上で、5段階で評価した。

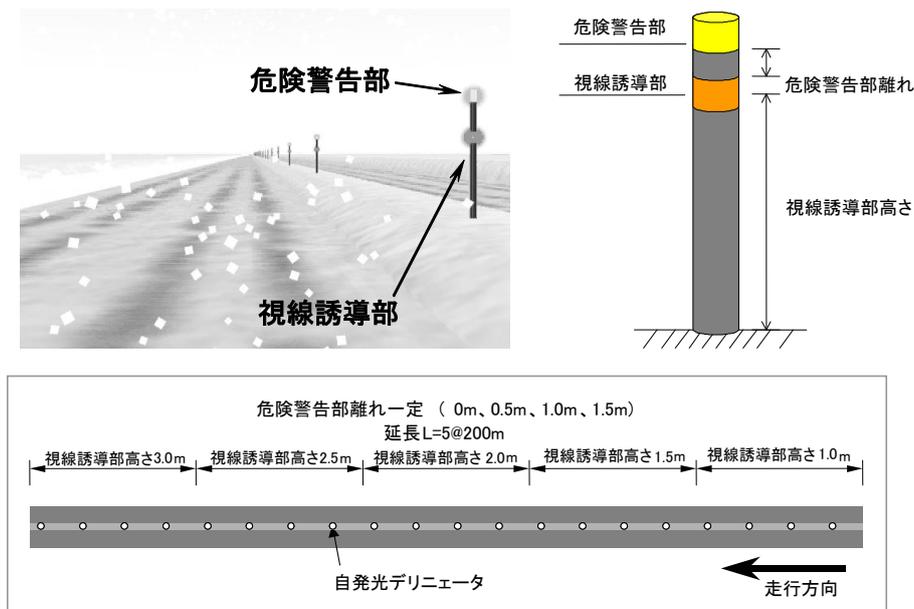


図 69 CGの例（左上）、自発光式視線誘導標（右上）、自発光式の視線誘導部高さを比較したCGの構成（下）

（1） 本体構造の評価

自発光式視線誘導標の構造について、一体型と分離型の評価比較を行った。

(2) 設置位置の評価

自発光式視線誘導標の設置位置について、路側と中央分離帯のどちらが良いか検討した。本研究では、片側 2 車線の中央分離帯のある多車線道路を想定し、表 8 の 4 パターンの CG を作成して比較した。

表 8 検討した動画 CG の条件

	自発光デリネータ設置位置	走行
1	路側	左側車線
2	路側	右側車線
3	中央分離帯	左側車線
4	中央分離帯	右側車線

(3) 設置高さの評価

寒冷地走行支援システムの自発光式視線誘導標は、視程障害時等における視線誘導機能、および前方の障害物等の危険警告機能を有し、それぞれ別個の発光体を同一ポール上に配置するものである。よって、これら発光体の高さは、ドライバが視認、判断しやすいものとなるよう検討する必要がある。

本研究では、視線誘導部の高さが 1.0～3.0m、視線誘導部と危険警告部との間隔（以下、危険警告部離れと示す）が 0～1.5m の間で、それぞれ 0.5m ピッチで変化させた組み合わせについて比較検討を行うこととした。

6. 1. 2. 4 自発光式視線誘導標の発光点滅による運転挙動調査

ビデオ映像や動画 CG による机上評価に基づき、吹雪などの視程障害時における自発光式視線誘導標の発光点滅による事故拡大防止支援の有効性を試験走路において検証した。

これらの有効性を検証するためには、吹雪時の事故につながる要因を抑制できるかを検討する必要がある。過去の研究から吹雪時の多重衝突事故の多くは吹雪の中で急減速・停止した車両に後続車が追突することがトリガーとなって発生している。このような事故の要因として次の事項が考えられる。

- ①障害物回避行動の遅れ

②発見の遅れによる急激な運転動作

③ドライバ間の運転挙動の個人差

このような知見から、本実験では以下の評価視点から、札幌の北約20kmにある開土研の石狩吹雪実験場で実車を用いた運転実験により発光点滅の有効性を検証することにした。

A)回避行動の位置がより手前になるか

B)急激な運転動作が回避されるか

C)各運転動作の個人差が軽減されるか

石狩吹雪実験場は、直線部約300m、カーブ部の曲率半径50mの周回試験路をもつ。この試験路で運転走行中に、発光警告を行い、前方に障害物を発生させた。使用した試験車両では、速度のほか、ブレーキ踏力、ハンドル操舵角などの計測も行っている。なお、危険警告の意味は事前に被験者に伝えてある。

・被験者：被験者は30歳台と60歳台の男性計20名（運転歴1年未満の初心者は含まれていない）

6. 1. 3 実験結果

6. 1. 3. 1 ビデオ映像による自発光式視線誘導標点滅に関する意識調査

(1) 状況の想定

「自発光式視線誘導標の上部が点滅しましたが、吹雪時の一般道路を走行している場合、何を想像しますか？」という質問を行った。

アンケート結果を図70に示す。図のように、「この先で吹雪などによる視程不良」が最も多く、次に「前方のカーブ」、「前方の障害物」という回答が多かった。これらのことから、自発光視線誘導標が点滅することにより、通常の状態より、道路情報に変化があったことを意識していることが分かった。

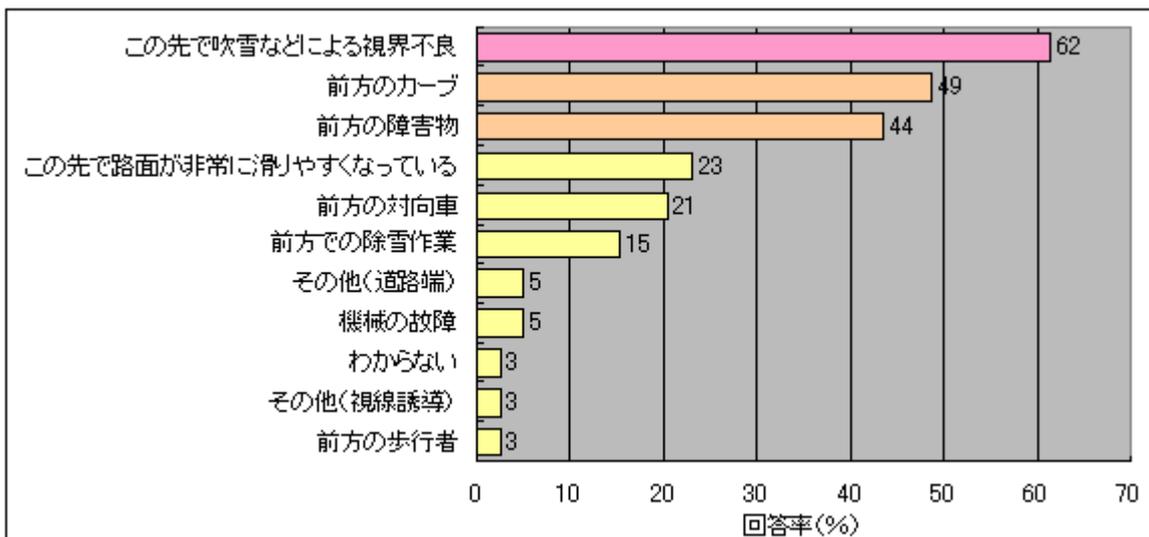


図 70 自発光式視線誘導標点滅から何を想像するか（複数回答）

(2) 警戒感の確認

「自発光視線誘導標の上部が点滅しましたが、吹雪時の一般道路を走行している場合、どのように感じますか？」と質問を行った。

アンケート結果を図 71 に示す。図のように、発光点滅により、約7割の被験者が警戒感を感じると回答しており、「何かおかしいと思う」、「危険を感じる」、「異常を感じる」という被験者を含めると約9割以上となる。

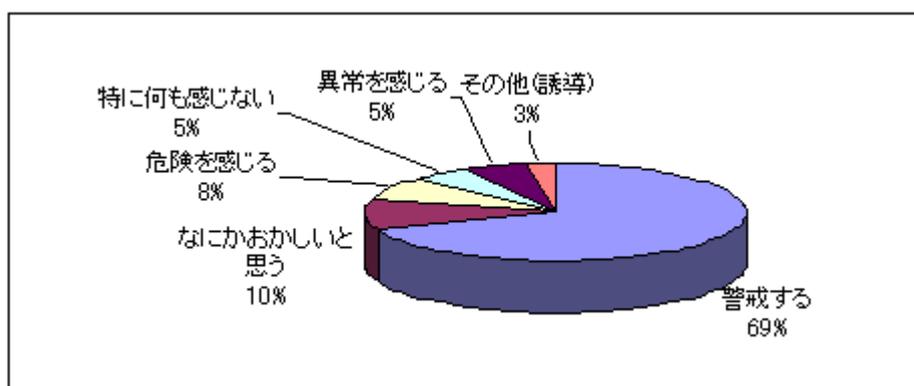


図 71 自発光視線誘導標の点滅から感じる事

(3) 運転行動

「自発光視線誘導標の上部が点滅しましたが、吹雪時の一般道路を走行している場合、その後どのような運転をしますか？」という質問を行った。

アンケート結果を図 72 に示す。図のように、発光点滅を確認した後の運転行動としては、「警戒してやや減速する」と回答した被験者が 66% と最も多く、徐行すると回答した被験者を含めると 74% に達する。

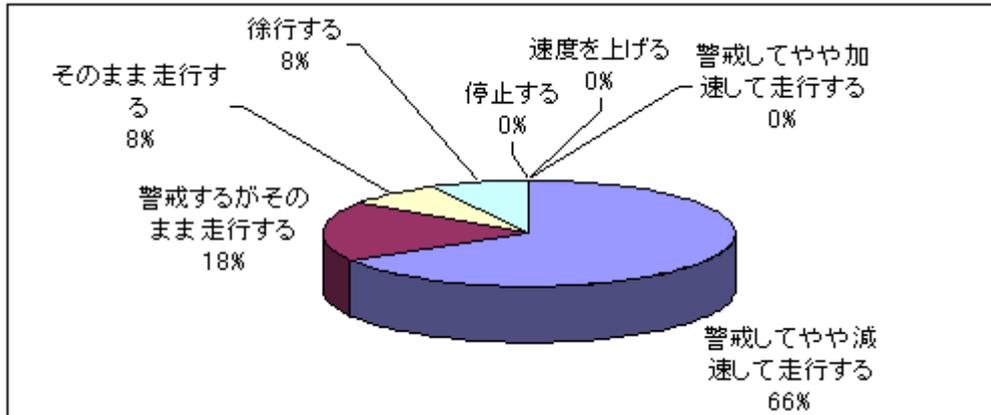


図 72 自発光視線誘導標点滅後のドライバ運転挙動

6. 1. 3. 2 ビデオ映像による自発光視線誘導標点滅パターンの検討結果

実験 1（発光パターンの一対比較）において、2 種類の映像を同時に見せ（1 被験者あたり 14 回実施）、警戒感（危険警告らしさ）、道路線形の視認性、不快感の各項目について、選択された側を +1 点、選択されなかった側を -1 点とし、全被験者の得点を平均して図 73 に示す。

警戒感については 2 回点滅、3 回点滅、短点滅のように点滅周期の短い発光パターンの評価が高く、道路線形の視認性については 4 回点滅（長）と 3 回点滅（長点灯）のように点灯時間の長いものの評価が高かった。また、不快感は周期の短いもので高く、点灯時間の長いもので低い傾向となっていた。

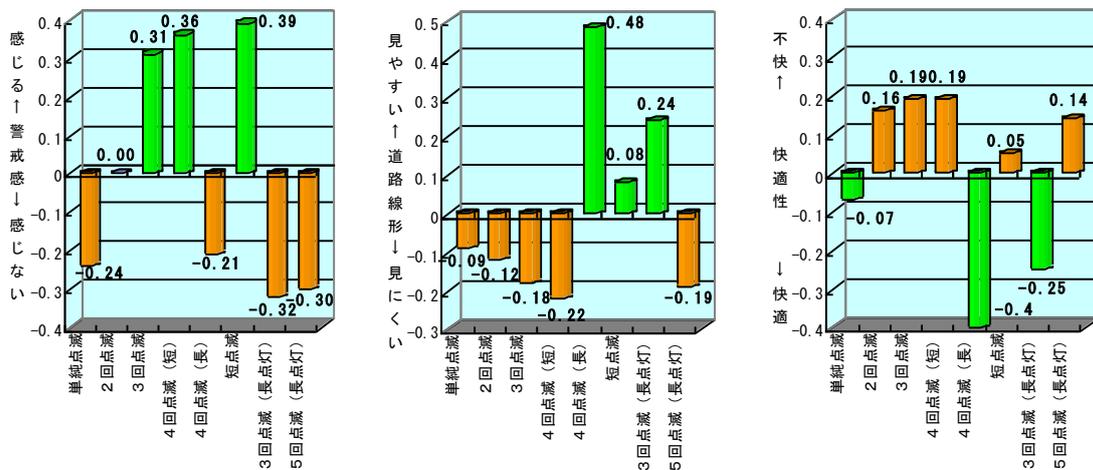
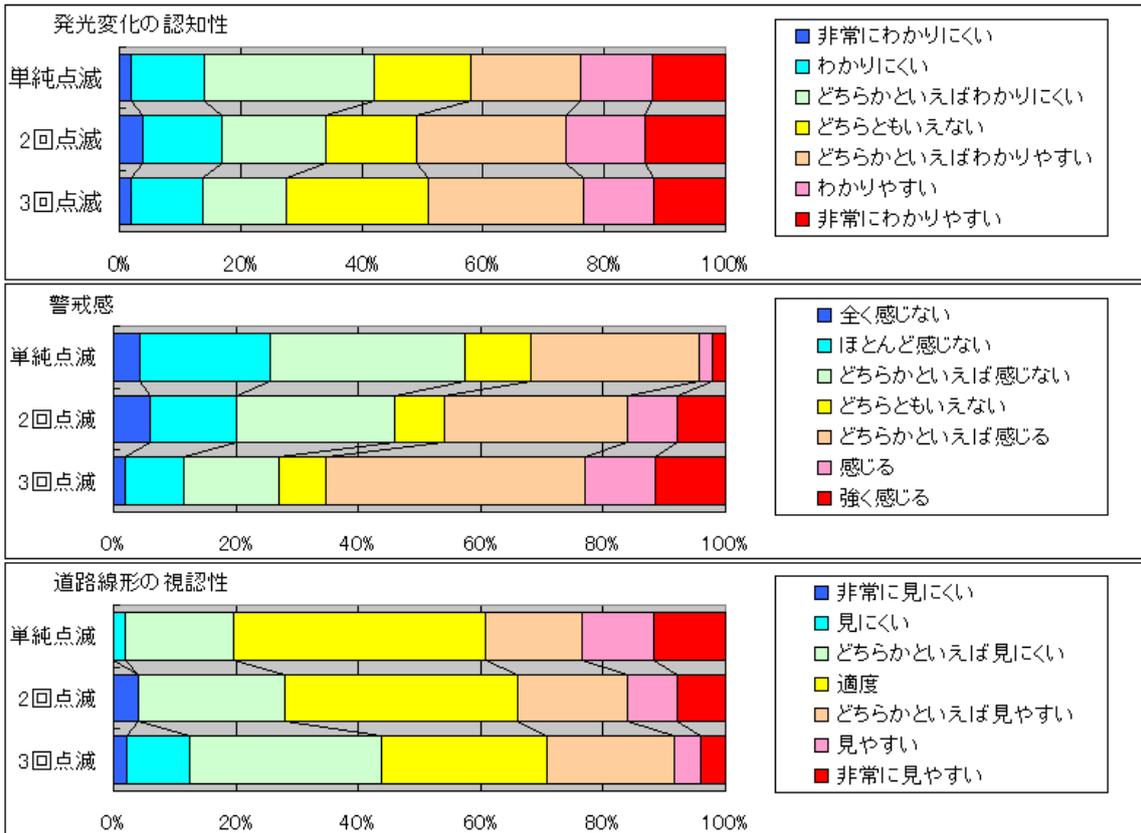


図 7.3 実験 1（発光パターンの個別評価）の結果概要

実験 2（発光パターンの個別評価）および 3（発光変化認知の個別評価）の結果の中から、実験 1（発光パターンの一対比較）で警戒感の評価が高く、危険警告に適すると考えられた単純点滅、2回点滅、3回点滅のものを図 7.4 に示す。

どの発光パターンの場合でも、視線誘導のための常時点灯から、危険警告のための点滅発光に切り替わる発光変化の認知性については大差無かったものの、警戒感については 3回点滅が優れ、次いで 2回点滅、単純点滅の順となり、また、道路線形の視認性については警戒感の場合と逆の評価となる等、発光パターンによる違いがみられた。



また、実験 2 における道路線形の視認性と警戒感に関する回答について、どちらも言えない：0 点、非常に優れる：3 点、優れる：2 点、やや優れる：1 点とし、劣る側を同様のマイナス点とし、平均したものを図 7 5 に示す。

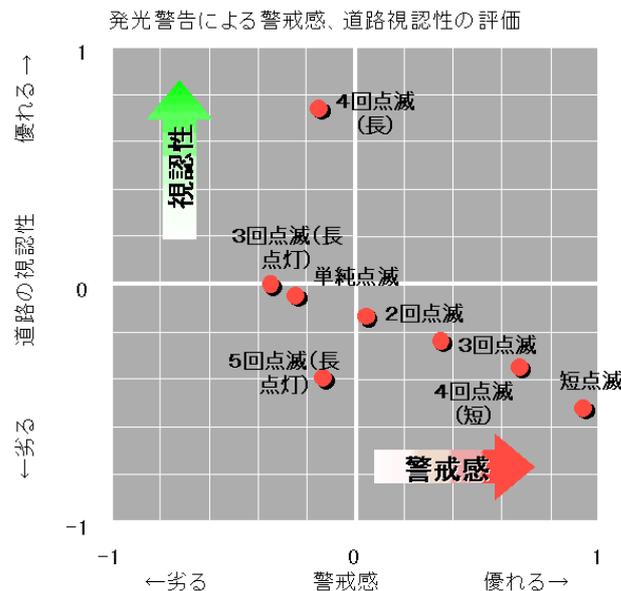


図 7 5 実験 2 (発光パターンの個別評価) の結果概要

道路線形の視認性と警戒感の評価は概ね反比例の関係にあり、視認性、警戒感の道路線形の視認性と警戒感の評価も概ね反比例の関係にあり、視認性、警戒感とも優れた発光パターンは見つからなかった。

これらのことから、一般的に用いられている1灯式の自発光式視線誘導標により危険警告を行う場合、発光が危険警告に変化したことは概ね良好に認知されるものの、点滅発光警告時には道路線形の視認性が低下するものと考えられた。

6. 1. 3. 3 動画CGによる自発光視線誘導標の発光部の仕様と設置に関する検討

(1) 本体構造の評価

ビデオ映像による自発光式視線誘導標の点滅パターンの結果を受けて、本実験で警告灯の構造について受容性を確認した。図76に本体構造2案を示す。この2案について受容性の調査をした結果を図77に示す。図のように、視線誘導灯と警告灯が分離した構造（分離型）の方が一体型と比べ、不快感、道路の見やすさ、警戒感の3項目とも優れていた。

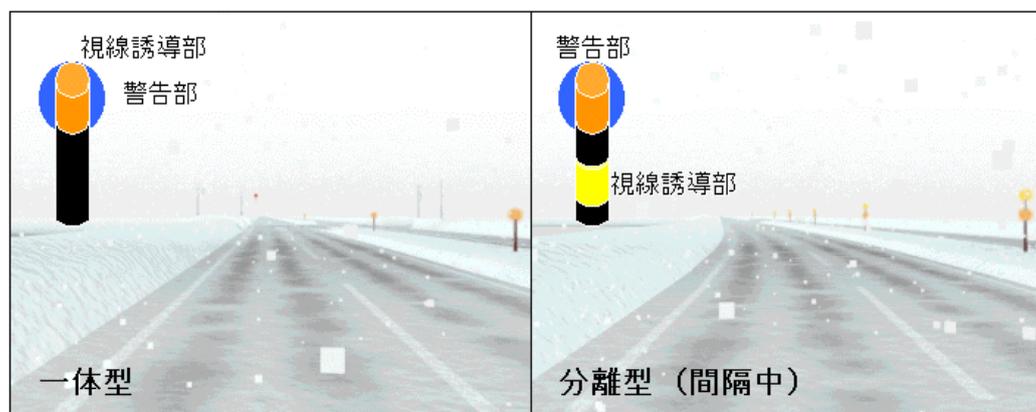


図 7 6 動画CG映像による本体構造の評価（一体型、分離型）

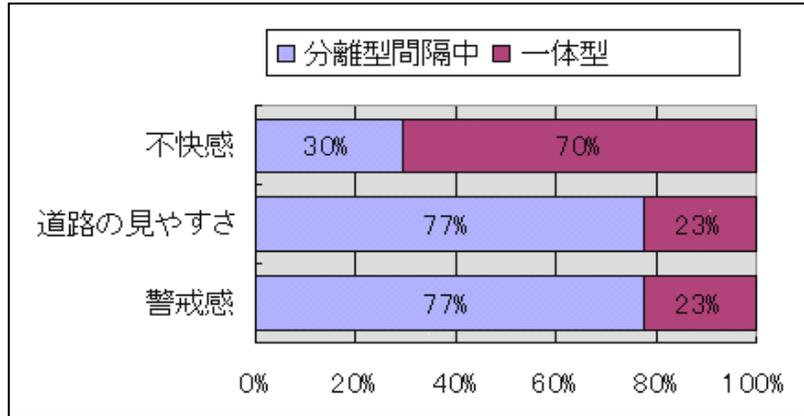


図 7 7 本体構造の評価

ビデオ映像による実験で、視線誘導と危険警告の両方に適した発光パターンが無かったことに加え、動画CGによる実験で分離型の評価が高かったことから、危険警告機能を有するデリネータは、常時点灯する視線誘導灯と、障害物等の発生時に点滅発光する警告灯とを独立させた構造（分離型）が良いと考えられる。

（２） 設置位置

デリネータ設置位置（中央分離帯、左側路側）に関する比較実験の結果をまとめると、以下のとおりである。

一対比較結果（図 7 8）をみると、警戒感は、デリネータ近くの車線を走行している場合に大きく感じる傾向があり、これは、デリネータ設置位置が中央分離帯、左側路側のどちらでもみられる傾向である。誘導性については、走行する車線、設置位置の組み合わせで大きな変化はない。快適性は、デリネータ近くの車線を走行している場合に低い傾向がある。この傾向は、デリネータ設置位置が中央分離帯、左側路側のどちらでもみられる。

一方、各パターンの 5 段階評価結果（図 7 9）をみると、誘導性、快適性については、評価点の大きな差は見られない。警戒感は、高齢者を除き左側設置・右車線走行の場合が最も評価が低い。車線による評価の差が小さいものが、設置位置として望ましいと考えられるので、多車線道路の場合は、右側（中央分離帯）に設置するほうが適切と考えられる。

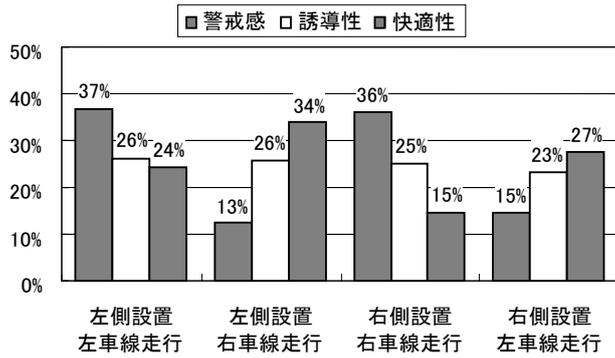


図 78 一対比較評価における各パターンの選択割合

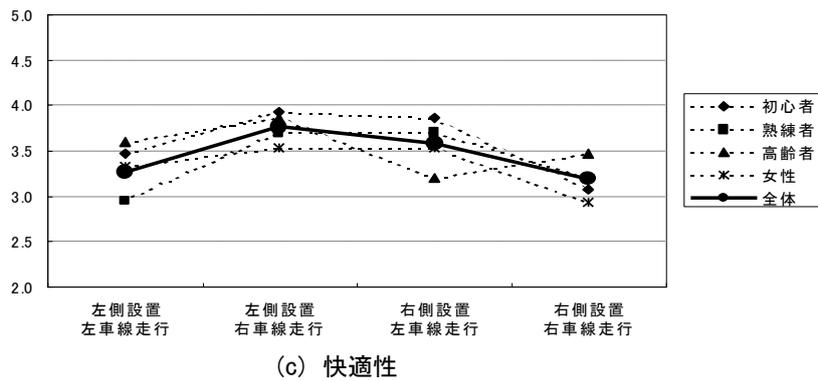
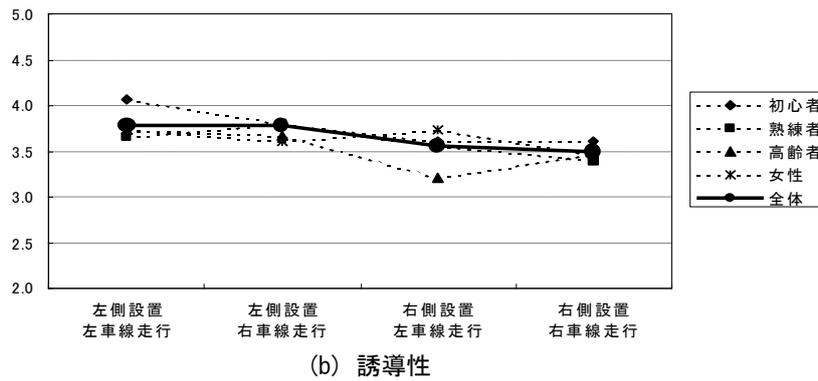
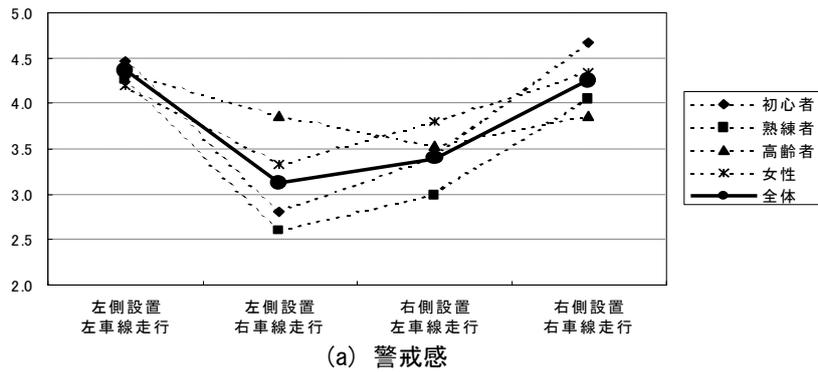


図 79 各評価項目に対する5段階評価の得点化

(3) 発光体の高さ

発光体の高さについて、危険警告部離れを一定として視線誘導部高さを変化させながら、5段階評価を行った結果を図 80 に示す。図のように、視線誘導部の高さが 1.5m の自発光デリネータの評価点が最も高い傾向にある。その中でも、危険警告部離れが 0～1.0m の範囲で特に高い評価を得ている。次に評価が高いのが、視線誘導部の高さが 2.0m で、危険警告部の離れが 0～0.5m の自発光デリネータである。

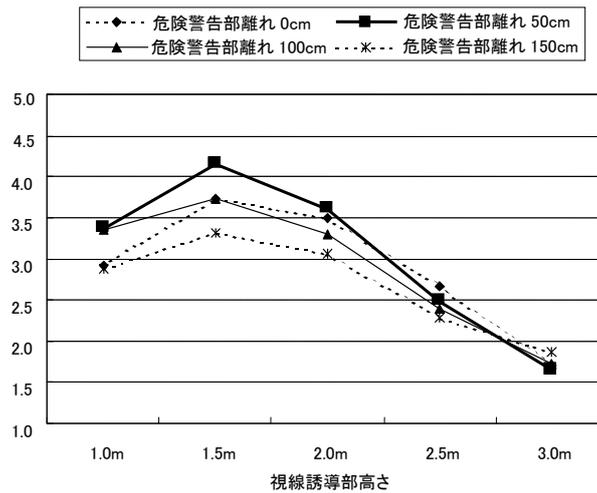


図 80 危険警告部離れを一定とした時の、視線誘導高さの5段階評価結果

6. 1. 3. 4 自発光視線誘導標の発光点滅による運転挙動調査

(1) 回避行動の開始位置の比較

直線区間およびカーブ区間で実施した実験の結果から、障害物に対してドライバーが何らかの回避行動を開始した位置について、発光点滅（警告）を行った場合と行わなかった場合を比較したのが図 81 である。この回避行動の開始とは、アクセル操作、ブレーキ操作、ハンドル操作のうちいずれか早い方の回避挙動をさす。図のように、発光点滅（警告）を行った場合には行わなかった場合に比較して、より手前から被験者の回避行動が開始される傾向にある。

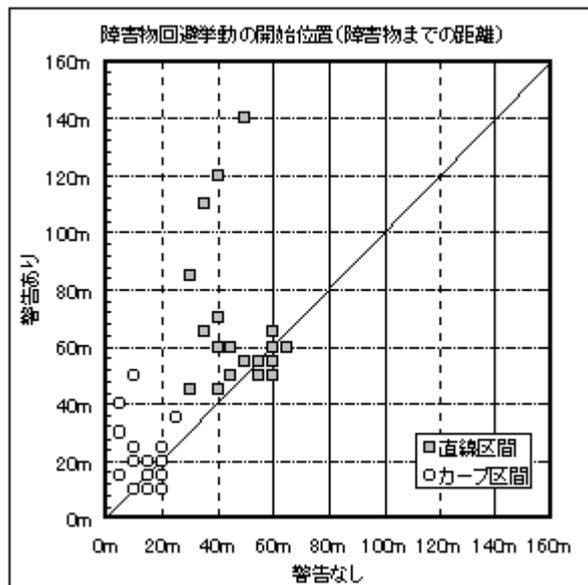


図 8 1 障害物回避行動開始位置の比較

(2) 急激な運転動作の軽減

障害物回避行動時にドライバーが行う恐れのある急激な運転動作としては、急ブレーキや急ハンドルを挙げることができる。直線区間での詳細実験から、障害物回避行動に関わるブレーキ踏力とハンドル操舵角について最大値とその位置を示したのが図 8 2、8 0である。これらの図で縦軸はブレーキ踏力、ハンドル操舵角の最大値を表し、横軸はその位置を障害物の位置を 0 m とした距離を表す。

ブレーキ踏力では、発光警告を行わなかった場合、障害物まで 20 m 以内の距離で最大のブレーキ踏力となる被験者が半数近くを占め、障害物まで 15 m の距離で約 10 kgF の強いブレーキを踏む被験者もいる。一方で、発光警告を与えた場合、障害物近くで最大ブレーキを踏む被験者は少なくなり、ブレーキ踏力も 5 kgF を超える被験者は皆無となる。

ハンドル操舵角では、発光警告を行わなかった場合、被験者が最もハンドルを切った位置は障害物まで 50 m 以内の距離に集中し、ハンドルを 45 度以上切る被験者も数名いた。しかし、発光警告を行った場合、被験者のハンドル操舵角は最大でも約 45 度であり、障害物の遠方で余裕を持ってハンドルを切る傾向がみられる。

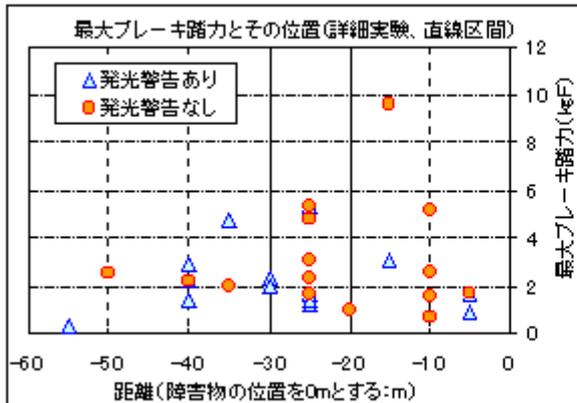


図 8.2 最大ブレーキ踏力の比較

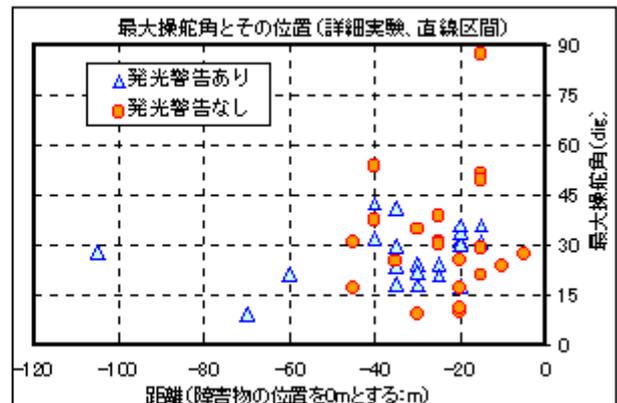


図 8.3 最大操舵角の比較

(3) 個人差の軽減

直線区間で、障害物出現前の速度に対する障害物回避中の最低速度の比を減速比として、発光警告の有無を比較したのが図 8.4 である。直線区間では障害物の出現によって全ての被験者は減速する傾向にあるが、その減速比には個人差がある。

発光警告を行わなかった場合、停止してしまった被験者や半分以下の速度に減速した被験者がいる一方、障害物があるにも関わらずほとんど減速しない被験者(減速比 0.9~1.0)も7人あり、個人差が極めて大きい。しかし、発光警告を行った場合、減速比 0.5 以下の被験者は皆無となる一方、ほとんど減速しない減速比 0.9~1.0 の被験者も4人に減少する。これらの結果から、発光警告が安全運転の支援に効果があると言える。

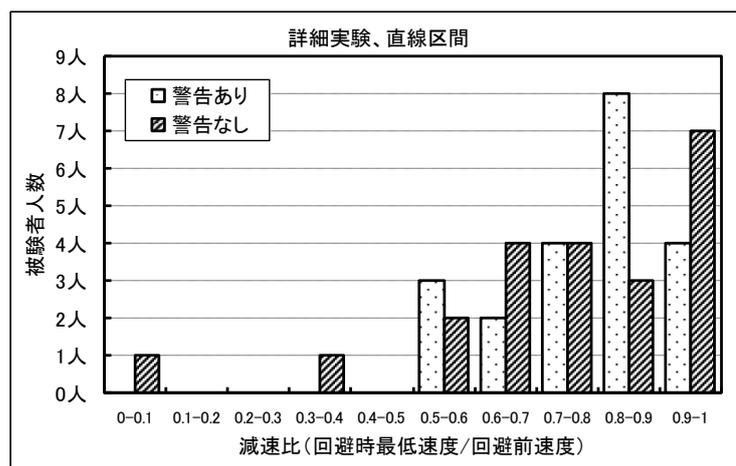


図 8.4 減速比の比較

6. 1. 4 まとめ

6. 1. 4. 1 実験結果のまとめ

(1) ビデオ映像による自発光式視線誘導標点滅に関する意識調査

自発光視線誘導標の発光点滅によって、「前方への警戒感」を感じる被験者が多いことが示された。また、運転挙動としては、「減速する」という回答が多く、「停止する」等の極端な運転挙動を行うという回答は得られなかった。しかし一方で「特に何も感じない」と回答した被験者もいることから、事前に発光点滅の意味を示しておくことが必要と考えられた。

(2) ビデオ映像による自発光式視線誘導標点滅パターンの検討

道路線形の視認性と警戒感の評価は概ね反比例の関係にあり、視認性、警戒感、道路線形の視認性と警戒感の評価も概ね反比例の関係にあり、視認性、警戒感とも優れた発光パターンは見つからなかった。

これらのことから、一般的に用いられている1灯式のデリニエータにより危険警告を行う場合、発光が危険警告に変化したことは概ね良好に認知されるものの、点滅発光警告時には道路線形の視認性が低下するものと考えられた。

(3) 動画CGによる自発光視線誘導標の発光部の仕様と設置に関する検討

自発光式視線誘導標の発光部は、一体型より分離型が検証項目の全てにおいて優位なものとなった。

また、設置位置については、多車線道路の場合は、右側（中央分離帯）に設置するほうが適切と考えられた。設置高さについては、視線誘導部の高さが1.5mの自発光デリニエータの評価が最も高い。これは、ドライバの視線の高さに一番近いものとなった。また、その中でも、危険警告部離れが0～1.0mの範囲で特に高い評価が得られた。

以上の実験結果をもとに、既存施設の設置状況、および積雪および寒冷地域の除雪作業や堆雪高さ等の状況を勘案すると、表9のとおりと想定される。

表 9 自発光式視線誘導標の基本仕様

区分	基本仕様項目	仕様(案)
基本仕様	本体構造 (一体・分離)	分離構造
	警告部離れ	50cm
	設置位置	中央分離帯
	設置間隔	25~30m
	設置高さ	2.0m
	視線誘導部色	橙色 ※
危険警告	危険警告部色	黄色 ※
	危険警告点滅方法	短周期の複数回点滅

※印については、今後、要検討

(4) 自発光視線誘導標の発光点滅による運転挙動調査

石狩吹雪実験場の試験道路で被験者による走行実験を行い、自発光視線誘導標による発光点滅に関する有効性について検討を行った結果、自発光式視線誘導標による危険警告に関して、極端な運転挙動を抑制し、余裕を持った運転を促し、運転の個人差を少なくすることで、安全な運転を支援できる可能性があることが明らかになった。

6. 1. 4. 2 今後の課題

本実験では、自発光視線誘導標を用いた危険警告が、特に吹雪時に有効であることが明らかになった。

また、今回の実験では、発光警告（点滅）の意味を被験者に事前に伝えてあったが、実際に道路へ配備された場合には、発光点滅の意味を理解していないドライバーも存在する。従って、事前情報を与えられていないドライバーが発光を見て、どのような理解をし、どのような運転挙動をとるかが、今後の検討課題である。また、実際の配備に当たっては、受容性だけでなく、費用対効果など他の要因も考慮したシステムの検討や導入箇所を選定が必要であり、今後、これらの検討を進める予定である。

6. 2 汎用型ミリ波センサの振動に対する影響調査

6. 2. 1 目的

2. 2において、道路状況把握センサのうち、ミリ波センサは積雪および寒冷地域において有効であることが確認された。しかし、積雪および寒冷地域にてミリ波センサを適用する場合、激しい吹雪などによるセンサの振動が大きな課題となる。また、コスト面では、センサ本体価格はもとより設置環境や支柱設置などが大きな影響を及ぼす。

このことから、既存道路付属物の利活用および振動の影響に関する検討をする必要がある。既存施設として、北海道を中心として設置されている固定式視線誘導柱「矢羽根」を利用した。矢羽根にミリ波センサを設置した場合における、振動に対する影響を定量的に確認することを目的とする。

なお、ミリ波センサには、汎用性や小型化などを考慮し、実用化されている自動車用の製品を利用した。

6. 2. 2 実験方法

6. 2. 2. 1 ミリ波センサの特徴

ミリ波センサの特徴は、天候に左右されず安定した検出性能を持つ全天候型センサで、近年、自動車に搭載されたミリ波レーダの高性能化、低価格化が進んでいる。今回の実験では、表 10に示す自動車用ミリ波センサを使用する。本実験に使用するミリ波センサは水平走査ユニットを持たないため、縦方向の検出のみを対象とする。

表 10 ミリ波センサの性能(目標値)

項目	性能	備考
検出対象	自動二輪車以上	
検出範囲	約 100m	センサ直下から 50~150m
速度検出精度	±10%又は±10km/hの大きい方以下	昼夜 24 時間
位置検出精度	縦：±5m(車尾位置)	センサ直下から 100m 位置で保障
データ更新周期	200ms±20ms	将来目標 100ms
環境条件	霧視程 20m 以上、降雨 50 mm/h 以下	降雪視程は本実験で検証

6. 2. 2. 2 実験場所および期間

写真 7に示すように、石狩吹雪実験場に設置されている矢羽根の支柱にミリ波センサ、振動計測装置を取り付け、支柱の揺れの影響評価を行った。

- ・ 実験場所：北海道開発土木研究所石狩吹雪実験場
- ・ 実験期間：平成 15 年 1 月 17 日～平成 15 年 2 月 21 日



写真 7 矢羽根支柱（ミリ波センサ、振動計測装置取り付け後）

6. 2. 2. 3 実験

(1) 概要

駆動機構のないミリ波センサは、設置高 5 m の条件では 50m 地点で横方向 3.5m 以上×縦方向 150m 以上のビームを照射する。支柱の揺れは、計測エリアの面の揺れに現れるが、計測エリア内であれば、速度・位置精度の悪化は画像センサより遥かに少ない。なお、上下の揺れは、計測エリアの最近部、最遠部が前方方向にずれるため、最近部、最遠部近傍に存在する車両検出が不完全となるので、未検出・誤検出が発生する可能性がある。これらを考慮して、表 11 のとおり、許容目標値を設定し、以下のデータを取得することにより評価を行った。

- ・ ミリ波センサの検出データ
- ・ 振動計測装置の計測データ
- ・ 気象計測装置の計測データ

表 1 1 ミリ波センサの設置点での揺れの目標許容範囲

揺れ方向	左右回転方向	上下方向	前後方向
許容揺れ角 (許容範囲)	±0.31度以内	±1度以内	周波数×振幅<±0.38m/s (例)±0.08m以内@5Hz ±0.9度以内

※センサ設置高さ（支柱高さ）5mを前提。許容範囲とは、センサ設置から50m～150mの範囲。左右回転方向の揺れは、スキャンする場合。

(2) 実験環境

図 8 5 に実験環境を示す。

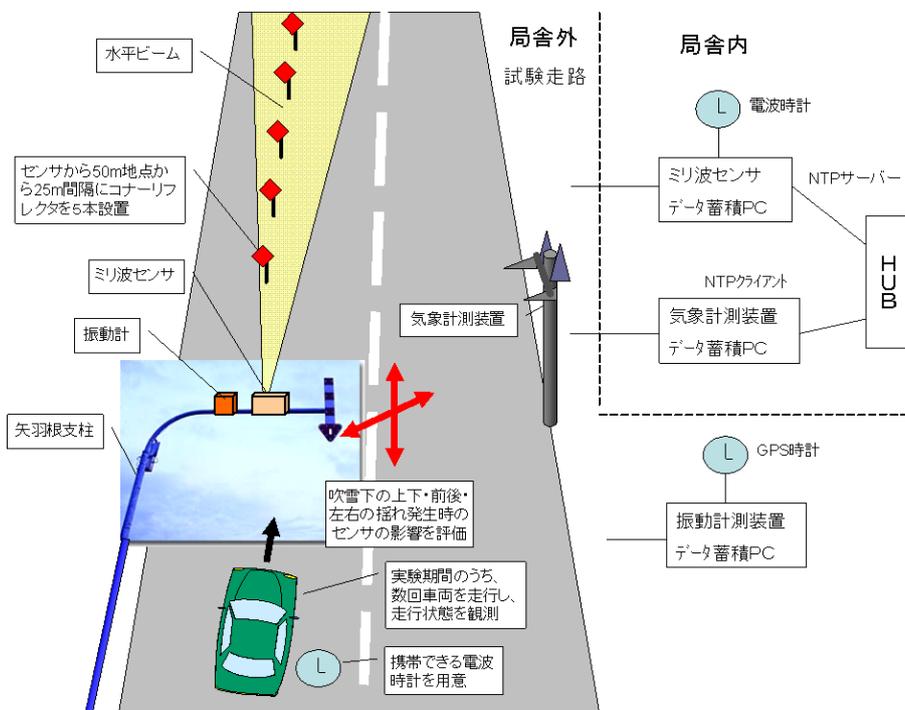


図 8 5 実験環境（凡例）

また、取得したデータを評価するにあたり、風向・振動方位を定義する。風向は 16 方位，振動は 3 軸の±方向を表すこととし、風向・風速と振動の相関を評価するため、図 8 6 に試験走路を上から見た風向・振動の方位を示す。

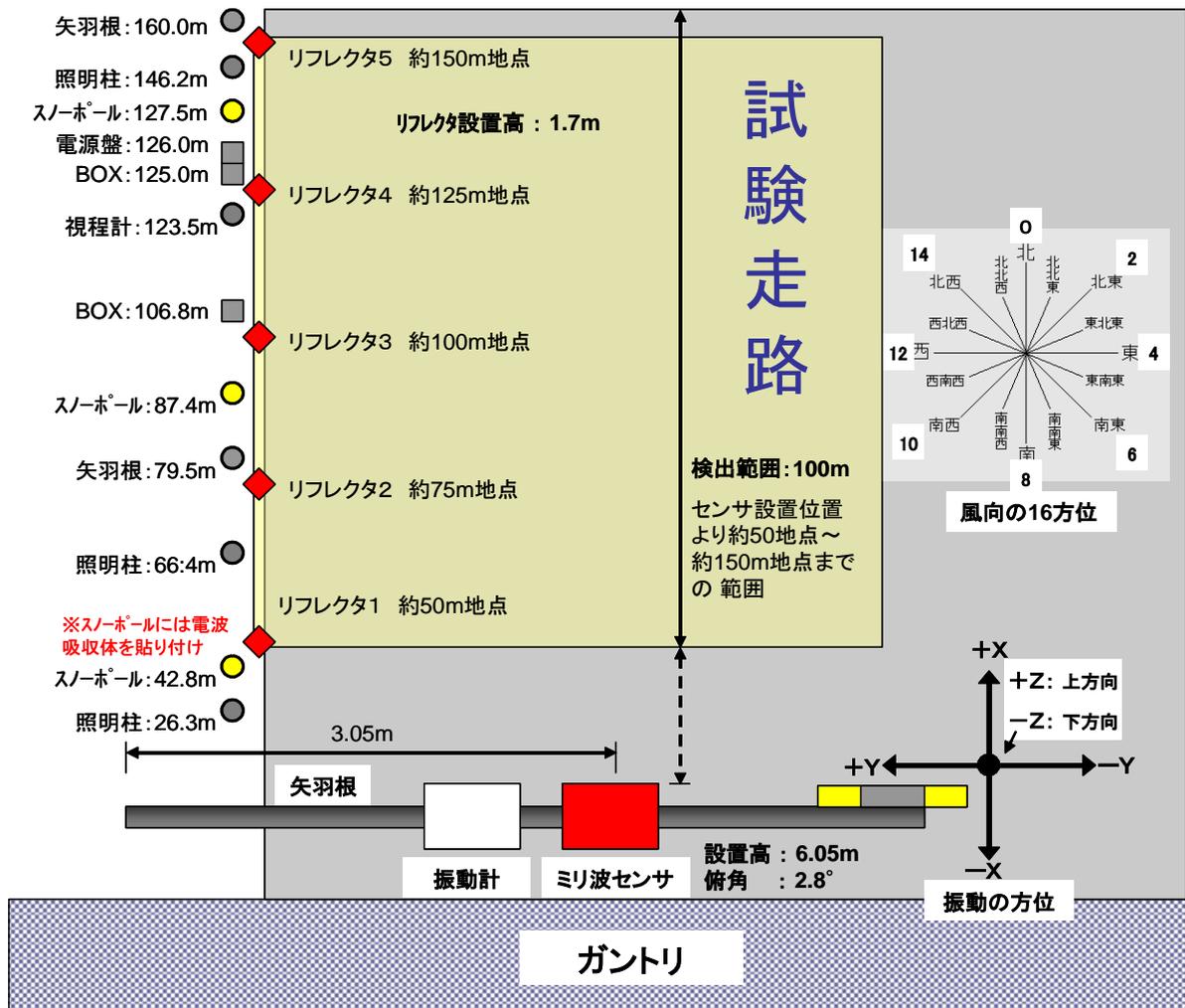


図 8 6 風向・振動の方位

(3) 実験ケース

強風や吹雪での環境下で、支柱（センサ）の揺れの影響を把握する実験として、リフレクタを一定間隔に設置して、リフレクタの検出状況を評価する実験と、車両を使って低速・停止を一定距離毎に繰り返して、車両を連続検出しているかを評価する試験を以下の2ケース実施した。

・揺れ影響把握実験

図 8 6 に示したようにリフレクタを 50, 75, 100, 125, 150m の 5 箇所に配置し、強風や吹雪での環境下で、5 つのリフレクタの検出漏れはないか、気象データと振動データとつき合わせて評価した。実施期間中は 24 時間連続して行った。使用したリフレクタは電波反射強度 (RCS 値) : 15dBsm (普通車セダンタイプ相当) のものを使用した (写真 8)。



写真 8 リフレクタ

・ 走行車両検出実験

写真 9 の車両を 50m 地点から 150m 地点まで走らせ、これを 2 回実施した。このとき、携帯用電波時計を車内に持ち込み、50m 地点で実験開始時刻を記録した。この走行車両実験を適時行い、走行車両の検出漏れがないか、気象データと振動データとつぎ合わせ評価した。



写真 9 走行実験風景

6. 2. 3 実験結果

写真 10 および写真 11 に実験風景を示す。実験期間中の最大風速は 25.7m/s (1 月 28 日/当日の最小視程 29m) で、実験期間中の最小視程は 17m (2 月 12 日/当日の最大風速 21.9m/s) であった。

実験結果から、前後方向・左右方向・上下方向ともに、振動の変位 $\pm 8\text{cm}$ ($\pm 1.5^\circ$) の振動でも検出できることが分かった。実験結果の一例として、1 月 17 日の状況を以下に示す (図 87、表 12)。

1月17日は午前中まで晴れていたが、14時台から天候が急変して視程26m、最大風速19.1m/sとなり、実験期間中でも上位にランクされるほどの気象状況となった。



写真 10 実験風景（晴天時）



写真 11 実験風景（吹雪時）

吹雪実験 時刻対距離

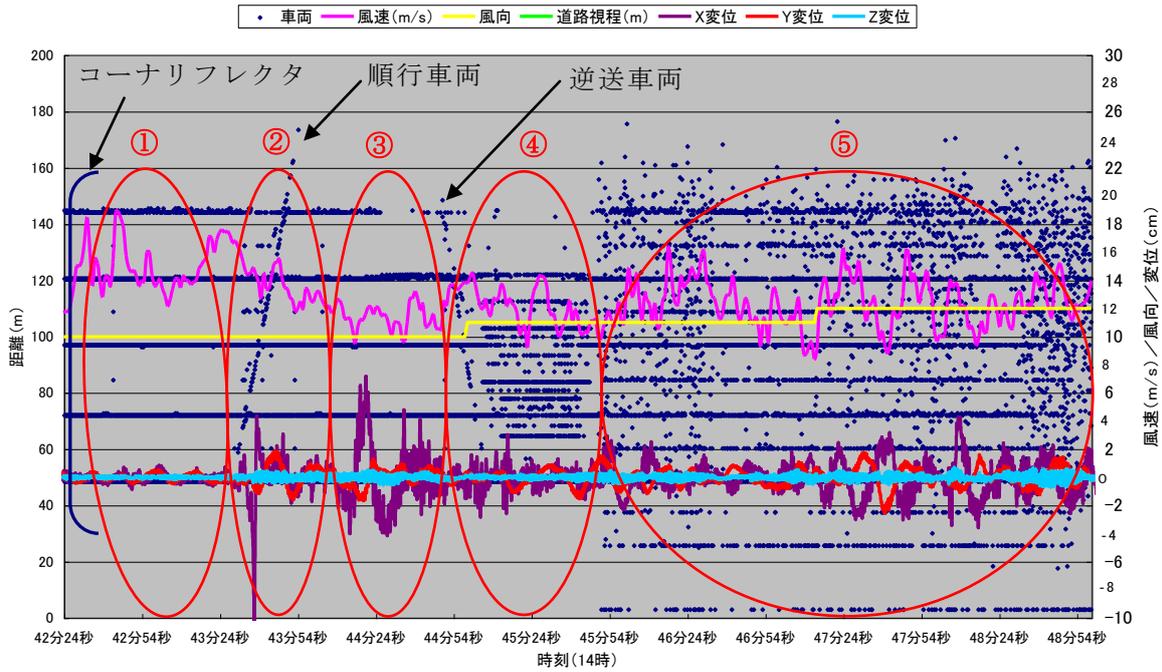


図 8 7 1 月 17 日の計測状況

表 1 2 計測状況一覧表

時系列	①	②	③	④	⑤
風向 16 方位	10(南西風)			11(西南西風)	11(西南西風)→ 12(西風)
風速	14m/s 以上	12m/s 程度	12m/s 以下	12m/s 程度	14m/s 以上
矢羽根の揺れ状態 (表 2.2.4-2)	追い風で矢羽根が前方に押されたままとする。	風速 14→12m/s に弱くなり、反動で後方に大きく揺れる。	①の影響で矢羽根が前後方向に円を描いて前後/左右に大きく揺れる。	横風となり矢羽根が左右方向に円を描いて前後/左右に揺れる。	横風で矢羽根が左右方向に円を描いて前後/左右に揺れる。
ミリ波センサの検出状態	正常にリフレクタを検出。	順行車両の検出と共に、左路肩の構造物(照明柱等)も検出。	前方に大きく揺れ円を描くように揺れるため、最遠方のリフレクタが検出できなくなる。	最遠方のリフレクタ、逆行車両の検出できなくなり、近距離の左路肩の構造物(照明柱等)の検出が顕著となる。	最遠部から最近部手前まで、左路肩の構造物(照明柱等)の検出が顕著となる。移動している(速度を持つ)ように見え、誤検出が多発。

追い風でも風速が安定していれば、矢羽根の揺れ(前後方向)は小さく検出結果に及ぼす影響は少ないが、風速が大きく変化すると、その影響を受けて矢羽根の揺れも大きく変化する。このとき、X 方向の検出に影響が出ることが分かった。横風になると、前後の揺れに左右方向の揺れが合成され、前後/左右方向の円を描く揺れが起こる。このとき、左路肩にある照明柱や他の矢羽根等の構造物を検出するようになり、前後方向の揺

れによって固定位置にあるものが移動しているように捕らえてしまうため、振動の周期に同期して移動位置として捕らえる誤検出が多発した。

また、矢羽根を上下方向、前後方向を人工的に同時に揺らして、上下の回転を起こす振動を発生させた。ここでは、X, Y, Z 方向の揺れが想定されるとき、複合的な振動を起こした時の検証と、検出アルゴリズムを組み込んで、左路肩の構造物を不要反射波(ノイズ)として定義し、除去する閾値を設定したときの検証を行った。その結果を図 8 8 に示す。図のように、今回の人工的な振動では左右方向も大きく振動しており、後半部分は長期振動を起こしており、ここで 50m 地点のリフレクタを見失った。これは、水平走査ユニットを持たないため、ビームの広がり小さい 50m 地点では左右の振動に弱いためである。水平走査ユニットを組み込めば、スキャン範囲内であれば左右の振動が発生しても見失うことはないと考えられる。

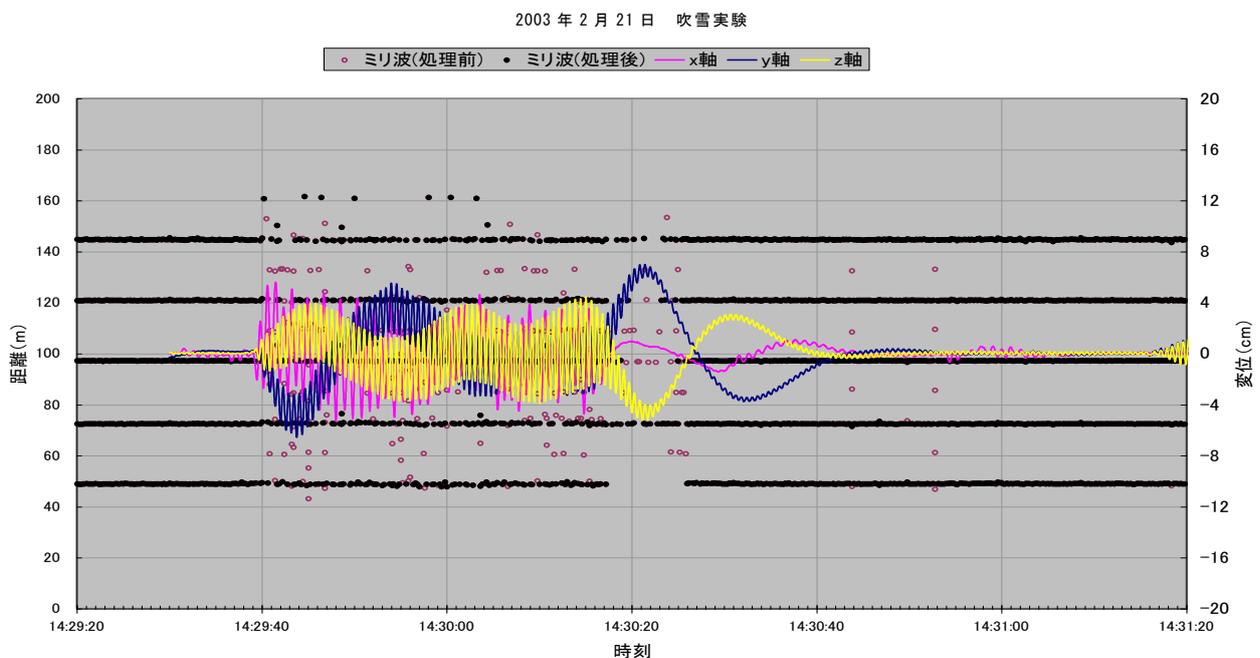


図 8 8 リフレクタと振動検出結果(±Z, ±X 方向の回転振動発生時)

6. 2. 4 まとめ

6. 2. 4. 1 実験結果のまとめ

表 1 1 で揺れの許容範囲の目標を設定したが、2 月 21 日の人工的な振動を起こした結果と、1 月 17 日からの実験結果を見ると、X(前後)方向、Y(左右)方向、Z(上下)方向ともに、変位で±8cm 以下(±1.5° 以下)の振動でも検出できることが検証できた。

6. 2. 4. 2 今後の課題

今後、吹雪等の視程障害に対応した安全走行支援システムについて、実道での実験を実施するためには、今回の実験結果を生かし、以下の改善とシステム設計が必要である。

- ・ 信号処理ミス（多重検出やノイズ等）の改善（ノイズ除去対策）。
- ・ 構造物の絶対位置が予め分かっているの、上記、図 8 8 の現象を考慮した既存構造物と移動物体等との切り分け。

今回の実験で想定許容値以上の揺れでも検出できることが分かった。今後、上記の改善項目を解決して、全国で実道実験が進められている AHS との整合を図りつつ、積雪寒冷地の走行支援システムの実道実験の推進を図りたい。

第7章 安全性・信頼性

7. 1 安全性・信頼性について

AHSでは、サービスおよびシステムの安全性、信頼性に関する指標を設定している。

7. 1. 1 定義

AHSでは、JIS B9705-1 の機械安全性・機械信頼性の定義を基本に、安全性に対応する指標として安全度を、信頼性に対応する指標として稼働率を定義した。稼働率は、システムとしての稼働率（システム稼働率）と、利用者にとっての稼働率（サービス稼働率）の2つを定義した。

安全性は、想定された走行条件のもとでドライバに危険な状態を引き起すような情報提供をすることなしにAHSがその機能を果たす能力と定義され、以下の式で表される。

$$\text{安全度} = 1 - \frac{\text{危険な事象を検知・伝達できない回数}}{\text{総機会数}}$$

ここで、総機会数はサービス提供時間において危険な事象を伝達すべき回数を表す。

信頼性は、AHSがサービスを提供すべき時間にわたって、所要のサービスを提供する能力と定義し、以下の式で表す。

$$\begin{aligned}\text{システム稼働率} &= \frac{\text{サービス提供時間} + \text{サービス断念時間}}{\text{サービス提供すべき時間}} \\ \text{サービス稼働率} &= \frac{\text{サービス提供時間}}{\text{サービス提供すべき時間}}\end{aligned}$$

7. 1. 2 システム動作状態の安全性分析

システムの各動作状態における危険側故障の発生可能性を分析した結果を表 13に示す。危険側故障は、危険状態のときその状態を「危険ではない」とドライバに伝達すること、およびその状態をドライバに伝達できないことをいう。一方、危険ではないときにドライバにその状態を伝達しなくても危険ではない。また、危険な状態でないときに「危険がある」と間違った情報を伝達することは、安全側の故障とする。

表 13 AHSの状態一覧（安全性・信頼性に関する状態）

(注)安全側判断を含む

	サービス提供すべき時間（一般車通行可能）						サービス不要時間（通行止）			
	サービス提供時間（正常動作時間）		システムの判断によるサービス断念時間	故障中の時間		保守休止時間	運用停止時間			
				車両に故障だと伝わる故障	車両に故障だと伝わらない故障					
システム動作 現実の事象	危険があるという情報を車両に伝える	危険がないという情報を車両に伝える	サービスを断念した状態を車両に伝える	故障状態を車両に伝える	車両に故障状態が伝えられない	動作停止	動作停止	危険があるなしの情報が所定時間内に正確に車両に伝わらない	車両の装置故障やHMIの不具合で、情報がドライバーに正確に伝わらない	ドライバーが情報を誤解したり、見落とししたり、無視したり、過信したりする
危険がない状態	① △ (注)	③ ○	⑤ ○	⑦ ○	⑨ △	⑪ ○	---	⑬ △	⑮ △	⑰ △
危険がある状態	② ○	④ ×	⑥ ○	⑧ ○	⑩ ×	⑫ ○	---	⑭ ×	⑯ ×	⑱ ×
問題の所在	路側のAHS設備						電波伝搬路	車両	ドライバー	

凡 例

- ：現実の事象が正確にドライバーに伝わるか、AHSが正確な情報を伝達できないことをドライバーに伝えられる
- △：現実の事象に危険はないが、状況を正しくドライバーに伝えていない
- ×：現実の事象に危険があるとき、危険でないとドライバーに伝わるか、AHSが故障であることをドライバーに伝えられない

表 13 に示すAHSの状態と安全性・信頼性指標との対応を以下に示す。

・AHSシステムの安全度 = 1 - (危険がある状態の中で④、⑩、⑭の状態の発生確率)

$$\text{サービス稼働率} = \frac{\text{正常動作時間 (①②③④)}}{\text{サービス提供すべき時間 (①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫)}}$$

$$\text{システム稼働率} = \frac{\text{正常動作時間 (①②③④)} + \text{サービス断念時間 (⑤⑥)}}{\text{サービス提供すべき時間 (①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫)}}$$

7. 1. 3 安全度

7. 1. 3. 1 道路状況把握センサの安全度目標値

道路状況把握センサの安全度目標値を設定するにあたり、実道路環境下の実験により、停止車両、低速車両の未検出が発生する環境条件と未検出発生頻度から危険側故障の発生確率を推定した。その実験では未検出の発生は約4%であった。従って、道路状況把握センサの安全度目標値として96.0%以上を設定した。

7. 1. 3. 2 路面状況把握センサの安全度目標値

路面状況把握センサの安全度目標値を設定するにあたり、実道路環境下の実験により、路面状況の誤検出が発生する環境条件と誤検出発生頻度から危険側誤出力の発生確率を算定した。その実験では危険側誤出力の発生は最大約11%であった。これに対して、雪質等を事前データとする誤出力低減対策を検討し、危険側誤出力の発生を約4%にできる見通しを得た。そこで、路面状況把握センサの安全度目標値として96.0%以上を設定した。

7. 1. 4 信頼性

7. 1. 4. 1 システム稼働率

システム稼働率は、故障時間と保守休止時間の許容値から求める。設備毎の故障時間および保守休止時間は、設備製作メーカーのこれまでの経験値をもとに設定し、それに基づいて稼働率を設定した。

(1) 道路状況把握センサのシステム稼働率目標値

年間の修理時間を含めた故障時間を11.5時間まで、保守休止時間を6時間まで許容するとして、システム稼働率目標値として99.8%以上を設定した。

(2) 路面状況把握センサのシステム稼働率目標値

年間の修理時間を含めた故障時間を 11.5 時間まで、保守休止時間を 6 時間まで許容するとして、システム稼働率目標値として 99.8%以上を設定した。

7. 1. 4. 2 サービス稼働率

AHS のセンサ設備は、視程の劣化等検出性能を十分に発揮できない条件であることを設備が検出すると、サービスを断念した状態にあることを車両に伝える。

道路状況把握センサおよび路面状況把握センサのサービス稼働率は、以下のとおりである。

(1) ・道路状況把握センサのサービス稼働率目標値

道路状況把握センサのサービス稼働率目標値は、実道路環境下の実験により、構造物の影、西日による逆光などの影響によるサービス断念時間を年間 280 時間まで許容することとし、サービス稼働率目標値として 96.1%以上を設定した。

(2) ・路面状況把握センサのサービス稼働率目標値

路面状況把握センサのサービス稼働率目標値は、国道 230 号（札幌道路）中山峠での実道路環境下の実験により、センサの検出限界（例えば可視画像センサにおける照度不足時間、黒色シャーベット状態等）によるサービス断念時間を年間 280 時間まで許容することとし、サービス稼働率目標値として 96.1%以上を設定した。

7. 2 検討内容

以上から、安全性、信頼性指標の仮目標値を、路側のAHS設備全体と路側のAHS設備を構成する各設備について、表14のように定めた。

ここでは、一般国道230号喜茂別町中山峠へ設置し、長期的に稼働状況を確認した「路面状況把握センサ」について安全性・信頼性の評価を試みる。

表 14 AHSの安全性・信頼性指標

	安全度 [%]	システム稼働率 [%]	サービス稼働率 [%]
システム全体	95.0 以上	99.0 以上	95.0 以上
センサ設備	96.0 以上	99.8 以上	96.1 以上
路車間通信設備	99.1 以上	99.9 以上	99.1 以上
路側処理設備	99.9 以上	99.8 以上	99.8 以上

7. 3 検討結果

路面状況把握センサの安全度・システム稼働率とサービス稼働率の確認結果を表15に示す。安全度については、可視画像センサおよび光ファイバセンサが仮目標を達成している。レーザレーダセンサは仮目標に近い値である。稼働率については、光ファイバセンサは、仮目標に達しているが、可視画像センサとレーザレーダセンサはもう少しで達成する値であり、実用化の可能性を見いだしたと考えられる。低下の原因はメンテナンスによる稼働停止であったため、実質的には稼働率を確保できると考えられる。電波放射計センサは稼働率が低く、実用化は困難であるとの結果となった。

表 15 H14年度中山峠路面状況把握センサ確認結果

センサ名	安全度 (%)		システム稼働率 (%)		サービス稼働率 (%)	
	目標	実績	目標	実績	目標	実績
可視画像センサ	96.0	96.8	99.6	94.9	96.0	92.9
レーザレーダセンサ		95.1		90.7		86.9
電波放射計センサ		(94.1)		(56.0)		(55.0)
光ファイバセンサ		96.0		99.9		99.9

注) 電波放射計のみは、H13年度の値

7. 4 まとめ

7. 4. 1 検討結果のまとめ

安全度については、可視画像センサおよび光ファイバセンサが仮目標を達成している。レーザレーダセンサは仮目標に近い値である。稼働率については、光ファイバセンサは、仮目標に達しているが、可視画像センサとレーザレーダセンサはもう少しで達成する値であり、実用化の可能性を見いだしたと考えられる。低下の原因はメンテナンスによる稼働停止であったため、実質的には稼働率を確保できると考えられる。電波放射計センサは稼働率が低く、実用化は困難であるとの結果となった。

7. 4. 2 今後の課題

可視画像センサ、レーザレーダセンサ、および光ファイバセンサは、実用化できる性能であるが、今後は、安全性・信頼性設計の仮目標値を達成するべく、さらなるセンサの改良が必要である。

第8章 総括

8.1 まとめ

国総研と開土研は、積雪および寒冷地域におけるAHS要素技術の適用性の検討やシステム設計上の課題検討等を主な目的として、平成11年9月から「冬期道路の走行支援技術に関する共同研究」を実施した。

本報告書は、①北海道における事故特性や気象環境の現状調査、②北海道における事故特性や気象環境の調査、③積雪および寒冷地域におけるAHSの適用検討、④稼働率からみた各センサ設備の安全性・信頼性の検討についてまとめたものである。

本報告書の結論を以下に要約する。

第1章では、北海道を代表とした積雪および寒冷地域での気象・事故調査および考察を行った。その結果から、積雪および寒冷地域における事故対策には、①吹雪による視程障害、②ドライバの路面状況把握の2点について、特に考慮すべきであるといえた。

第2章では、第1章の結論を念頭において、「AHSの適用」におけるサービスの可否に大きく影響するセンサ性能の検討、そして「積雪および寒冷地域特有のシステム検討」として、7つのAHSサービス以外に、自発光式視線誘導標を用いた視線誘導・情報提供対策の検討を行うべきとの提案を行った。

第3章では、積雪および寒冷地域におけるAHSの適用検討結果を示した。まず、道路状況把握センサの性能検証として、積雪および寒冷地域にて積雪・降雪環境下の各種センサ（可視画像センサ、赤外画像センサ、ミリ波センサ）の検出性能を定量的に評価した。その結果、同一吹雪視程値における最大検出距離は、ミリ波センサ>赤外画像センサ>可視画像センサであった。検出性能の顕著な低下が確認された吹雪視程距離は、可視画像センサで1,000m、赤外画像センサで500m、ミリ波センサにおいては確認されず、吹雪に対して有効であるといえた。次に、路面状況把握センサの性能検証として、積雪および寒冷地域にて積雪・凍結環境下での各種センサ（可視画像センサ、レーザレーダセンサ、電波放射計センサ、光ファイバセンサ）の検出性能を定量的に評価した。路面状況把握センサについては、平成12年度から3ヶ年に渡り性能検証および改良を試みた。その結果、可視画像センサ、レーザレーダセンサ、および光ファイバセンサに

については、稼働率および正解率に実用化の可能性を見いだした。しかし、電波放射計センサは、現状では実用化が困難と考えられた。

第4章では、第3章および第4章の結論を念頭において、道路管理への利活用が可能なシステムの構築案を検討した。

第5章では、積雪および寒冷地域特システム検討として、自発光式視線誘導標を利用した寒冷地走行支援サービスの検証結果を示した。ビデオ映像による自発光視線誘導標の点滅検討では、点滅によって「前方への警戒感」を感じる被験者が多いことが示された。また、運転挙動としては、「減速する」という回答が多く、「停止する」等の極端な運転挙動を行うという回答は得られなかった。しかし一方で「特に何も感じない」と回答した被験者もいることから、事前に発光点滅の意味を示しておくことが必要と考えられた。また、点滅により警戒感は向上するが、道路線形表示に関しては低下する傾向となった。次に、動画CGによる自発光視線誘導標の発光部の仕様と設置に関する検討では、自発光式視線誘導標の発光部は、一体型より分離型が検証項目の全てにおいて優位なものとなった。また、設置位置については、多車線道路の場合は、右側（中央分離帯）に設置するほうが適切と考えられた。設置高さについては、ドライバーの視線の高さが一番近い1.5mの自発光デリネータの評価点が最も高かった。また、その中でも、危険警告部離れが0~1.0mの範囲で特に高い評価を得た。最後に、石狩吹雪実験場の試験道路で被験者による走行実験を行い、自発光視線誘導標による発光点滅に関する有効性について検討を行った結果、自発光式視線誘導標による危険警告に関して、極端な運転挙動を抑制し、余裕を持った運転を促し、運転の個人差を少なくすることで、安全な運転を支援する可能性があることが明らかになった。

次に、道路状況把握センサのうち、汎用型ミリ波センサの振動に対する影響調査を行った。その結果、前後方向、左右方向、上下方向ともに、変位で±8cm以下(±1.5°以下)の振動でも検出できることが検証できた。

第6章では、路面状況把握センサの積雪および寒冷地域での稼働率および安全度の確認結果から、安全性・信頼性の検討を行った。その結果、安全度については、可視画像センサおよび光ファイバセンサが仮目標を達成している。レーザレーダセンサは仮目標に近い値である。稼働率については、光ファイバセンサは、仮目標に達しているが、可視画像センサとレーザレーダセンサはもう少しで達成する値であり、実用化の可能性を

見いだしたと考えられる。低下の原因はメンテナンスによる稼働停止であったため、実質的には稼働率を確保できると考えられる。電波放射計センサは、稼働率が低く実用化は困難であるとの結果となった。

8. 2 今後の課題

(1) 道路状況把握センサについて

・可視画像センサ

視程が 1000m 未満の吹雪により、検出距離がばらつく、検出が一時途切れるなどの影響がみられた。具体的には、雪により背景が白くなることで白色車両を複数台に誤認識すること、あるいは黒色車両の検出精度が低下する傾向があった。積雪および寒冷地域で利用する場合は、この対策について考える必要がある。

・赤外画像センサ

吹雪視程 200m 未満においてコントラストの差が出にくい傾向となる。対策としては、赤外画像センサ制御用のコンピュータからの適宜輝度調整が考えられ、その方法について確立する必要がある。

・ミリ波センサ

今回の実験では、対象物のミリ波反射面への着雪や、ミリ波センサのドームへの着雪はみられなかった。今後、着雪の影響についても確認する必要がある。

また、一般にミリ波センサは、送信波長によりも大きい物質に影響を受けやすいと言われており、ミリ波の波長（5mm 程度）よりも大きい雪粒の影響についても確認する必要がある。

(2) 路面状況把握センサについて

・可視画像センサ

湿潤/水膜および積雪/凍結の判別のさらなる精度向上を検討する必要がある。

・レーザレーダセンサ

湿潤/水膜および積雪/凍結の判別のさらなる精度向上を検討する必要がある。

・電波放射計センサ

回転台の耐久性向上の検討が必要である。高周波回路の小型化により回転台の小型化は可能であると考えられ、このことについて確認および検討することで耐久性の向上が図れる可能性がある。

- ・光ファイバセンサ

湿潤/水膜、積雪/凍結の判別のさらなる精度向上を検討する必要がある。

(3) 自発光式視線誘導標を利用した寒冷地走行支援サービスの受容性

今回の実験では、発光警告（点滅）の意味を被験者に事前に伝えてあったが、実際に道路へ配備された場合には、発光点滅の意味を理解しないドライバも存在する。従って、事前に情報を与えられていないドライバが発光点滅を見て、どのような理解をし、どのような運転挙動をとるかが、今後の検討課題である。また、実際の配備に当たっては、受容性だけではなく、費用対効果など他の要因も考慮したシステムの検討や導入箇所の選定が必要であり、今後、これらの検討を進める必要がある。

(4) 汎用型ミリ波センサの振動に対する影響調査

ミリ波センサを用いた振動に対する影響調査では、信号処理ミス（多重検出やノイズ等）の改善（ノイズ除去対策）、および位置ズレが判明した場合の対応が必要である。

また、今後、全国で実道実験が進められているAHSとの整合を図りつつ、積雪寒冷地の走行支援システムの実道実験の推進を図ることが必要と考えられる。

(4) 稼働率の向上

更に長期的な実験により、安全性信頼性設計の目標値が積雪および寒冷地域に適用できるかを確認する必要がある。

(5) その他の課題

- ・路面状態の情報提供内容

路面状態を5状態（乾燥、湿潤、水膜、積雪、凍結）分類したが、非常に滑りやすい路面が発生する積雪および寒冷地域では凍結路面を中心としたより細かな情報を提供することが必要である。例えば、8状態（乾燥、湿潤、水膜、シャーベット、新雪、圧

雪、圧雪氷板、氷膜) やつるつる路面の検出などが考えられる。

- ・サービスの提供範囲

通常環境下では、実勢速度または設計速度をベースとして決定した車両上限速度（現在検討中）より決定した車両速度を最大値とし、その速度の車両が情報提供後 0.2G の減速度で交通事故を回避可能な位置をサービス開始位置の最遠点として設定してきた。しかし、積雪地域および寒冷地域では、路面 μ が 0.2 を下回るような非常に滑りやすい路面状態が希ではあるが出現することがある事が知られている。この様な路面が発生する地域については、冬期間の実勢速度と車両の限界的な減速から計算されるサービス提供範囲と、路面管理レベル、および夏期の実勢速度と減速度 0.2G により計算されるサービス提供範囲の両者を考慮してサービス提供範囲を決定する必要があると考えられ、その基準について検討する必要がある。

第9章 謝辞

本研究に関わる中山峠での実験に際し、実験機器の設置等に関して多大なご協力をいただいた北海道開発建設部小樽開発建設部及び関係道路管理者の皆様に、心から感謝の意を表します。

また、AHSの研究開発に委託の立場から種々の助言をいただいた、技術研究組合走行支援道路システム開発機構に対し、謝意を表します。

第 10 章 参考文献

- 1) 鈴木武彦, 森昌文, 佐々田敬久: AHS(走行支援道路システム)を構成する要素技術について, 土木技術資料 2001. 7
- 2) 北海道開発局: 冬期路面管理マニュアル(案), 1997. 11
- 3) 鈴木武彦, 加治屋安彦, 松澤勝, 川崎茂信, 福田敬大: 路面状況把握センサ実道フィールド実験, 寒地技術シンポジウム, 2003. 11
- 4) 金子学, 加治屋安彦, 松澤勝: 寒地 AHS のユーザ受容性に関する基礎検討(その 1)～ビデオ・CG を用いた被験者実験～, 第 16 回寒地技術シンポジウム, 2001. 11
- 5) 松澤勝, 金子学, 加治屋安彦: 寒冷地 AHS のユーザ受容性にかかる基礎的検討(第 1 報), 北海道開発土木研究所月報 2 月号, 2002. 1
- 6) 松澤勝, 加治屋安彦, 鈴木武彦: 冬期道路の高度情報提供システムに関する基礎研究～路側情報提供サービスのユーザ受容性～, 北海道開発土木研究所月報 8 月号, 2003. 8
- 7) 香田一哉, 萩原亨: 吹雪時における視線誘導灯の視認に関する研究, 土木学会北海道支部論文報告集 第 52 号(B), PP. 434～437, 1995
- 8) 北海道開発土木研究所: 冬期道路とヒューマン・ファクターに関する研究(第 1 報)～ドライバー・ニーズ調査の結果から～, 土木学会北海道支部, 1998. 2

第 11 章 索引

A

AHS ・1, 2, 4, 5, 11, 12, 13, 15, 45, 54, 57,
84, 85, 86, 88, 89, 91, 94, 96, 97

C

CCTV ・15, 40, 57

あ

安全性 ・1, 2, 85, 86, 89, 90, 91, 92, 94

い

石狩吹雪実験場 ・18, 38, 63, 75, 77, 92

う

右折衝突防止支援 ・11

お

横断歩道歩行者衝突防止支援 ・12

か

カーブ進入危険防止支援 ・11

可視画像センサ ・15, 16, 20, 23, 30, 38, 39,
40, 41, 46, 47, 48, 52, 53, 54, 55, 57, 88,

89, 90, 91, 92, 93

稼働率 ・2, 4, 43, 46, 50, 52, 53, 85, 87, 88,

89, 90, 91, 92, 94

寒冷地走行支援サービス ・58, 92, 94

き

危険側故障 ・85, 87

く

個別正解率 ・47, 48, 50, 51

し

視程障害 ・3, 4, 9, 10, 13, 14, 15, 58, 62, 84,
91

視認性 ・65, 66, 67, 68, 74

自発光式視線誘導標 ・14, 58, 59, 60, 61, 62,
63, 64, 68, 74, 75, 91, 92, 94

車線逸脱防止支援 ・11

信頼性 ・2, 20, 38, 85, 86, 87, 89, 90, 91, 92,
94

せ

正解率 ・43, 45, 46, 48, 49, 50, 51, 92

赤外面像センサ ・15, 16, 17, 21, 26, 33, 38,
39, 54, 55, 91, 93

前方障害物衝突防止支援 ・11, 13, 14, 15

そ

総合正解率 ・46, 47, 48, 50, 51, 52, 53

ち

チューニング ・28

つ

つるつる路面 ・5, 95

て

出合い頭衝突防止支援 ・11

電波放射計センサ ・41, 46, 49, 50, 52, 53, 89,
90, 91, 93

と

冬期事故 ・3, 5, 6, 7, 8, 9, 10

道路状況把握センサ ・1, 13, 15, 54, 55, 76,
87, 88, 91, 92, 93

ひ

光ファイバセンサ ・40, 42, 45, 46, 51, 52, 53,
55, 89, 90, 91, 92, 94

ふ

不快感 ・59, 61, 65, 68

冬型事故 ・5, 6, 7, 10, 13

ほ

補助センサ ・46

み

ミリ波センサ ・14, 15, 17, 23, 28, 35, 38, 39,
54, 55, 76, 77, 78, 82, 91, 92, 93, 94

り

リクワイアメント ・4, 5, 15, 40, 43

リフレクタ ・79, 80, 82, 83

れ

レーザレーダセンサ ・41, 46, 48, 49, 52, 53,
55, 89, 90, 91, 92, 93

ろ

路面状況把握センサ ・1, 13, 39, 40, 54, 55,
87, 88, 89, 91, 92, 93, 97

路面情報活用車間保持等支援 ・12, 13, 39

国土技術政策総合研究所資料
TECHNICAL NOTE of NILIM
No.178 March 2004

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所
本資料の転載・複写の問い合わせは
〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地
企画部 研究評価・推進課 TEL 029-864-2675