

除雪車支援ICTシステム の研究開発

SCOPE (地域ICT振興型研究開発)
平成21年度ー平成22年度

長岡技術科学大学
山崎克之、山本寛

豪雪地帯の一風景



-2-

豪雪地帯の一風景



-3-

発表の順序

研究開発の背景と目的

最初に結論 ー 研究成果

情報ネットワーク技術の研究成果

高精度地図データ作成技術の研究成果

まとめ

-4-

研究開発の背景

■ 除雪車の安心・安全運行

- ◆ 路肩の積雪で路側(ガードレール、崖、、、)が識別できない
- ◆ (小雪であっても)猛烈な地吹雪(ホワイトアウト)で路面と路側が区別できない
➢ 道路外に墜落する、ガードレールに衝突する
- ◆ 路面上の積雪で障害物(マンホール、グレーチング、、、)が識別できない
➢ 障害物を損傷する(路面障害物は保険対象とならない)
➢ (春先の補修費用が1千万円になることもある)

■ 除雪車の運行管理の効率化

- ◆ 300台近くの除雪車が出動し、短期間に除雪を行わないといけない
➢ 除雪車の位置を把握して、適切な配備を実施したい

■ 住民への安心・安全の提供

- ◆ 除雪車が、どこで、どこまで、除雪したか、解らない
➢ 除雪車が、今、どこにいるか、などの情報を提供したい

-5-

研究開発の目的

■ 除雪車を高精度でナビゲートする情報ネットワーク技術の開発

- ◆ 目標精度: 25cm (除雪車のタイヤ幅の半分以下)
- ◆ 現在、くびき野地域で運用中のRTK-GPS(測量固定業務、後述)を移動体向けに改良する、というアプローチ

■ 除雪車位置をサーバに通知するシステムの開発(期間中に実用化)

- ◆ 除雪管理者が除雪車稼働状況を把握、住民に対して除雪車位置を周知

■ 路側・路面障害物を含む高精度地図作成方式の開発

- ◆ 既存の地図は路側・障害物は含まれない。相対位置が主で絶対位置は正確でない。
✓ 路側の種別(ガードレール/ワイヤー、崖)なども必要
- ◆ 最近、市場にでてきた車載型3Dレーザスキャナのデータから路側・路面障害物を検出するアルゴリズムを開発する、というアプローチ

■ 路面センシング技術の研究開発

- ◆ 降雪の状況が変わりつつある。昨年度は違うところが豪雪となる、など
- ◆ 安価な方法で積雪量や降雪量を計測できる方法を探る、というアプローチ。

-6-

除雪車の大きさ — 実装イメージを

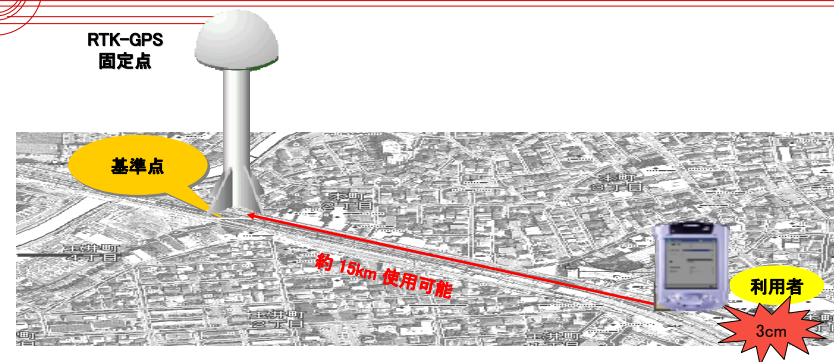


■ 精度の要求は、最高で25cm

- ◆ 除雪車のタイヤ幅が50cmなので

-7-

背景技術: RTK-GPS (Real Time Kinematic GPS) とは



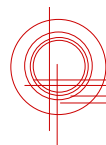
■ 固定点(位置情報が既知となる電子基準点)を設置

- ◆ 固定点から受信する電波の位相差を計測し測位計算を行う方式
- ◆ 固定業務の場合、測位時間1分以下で、誤差数cmが可能となる
(一般的に利用されている衛星利用の測位では、誤差10m-数m)

■ ネットワーク型RTK-GPS

- ◆ 国土地理院が設置した基準点のデータを、ネットワークを経由して利用する方式

-8-



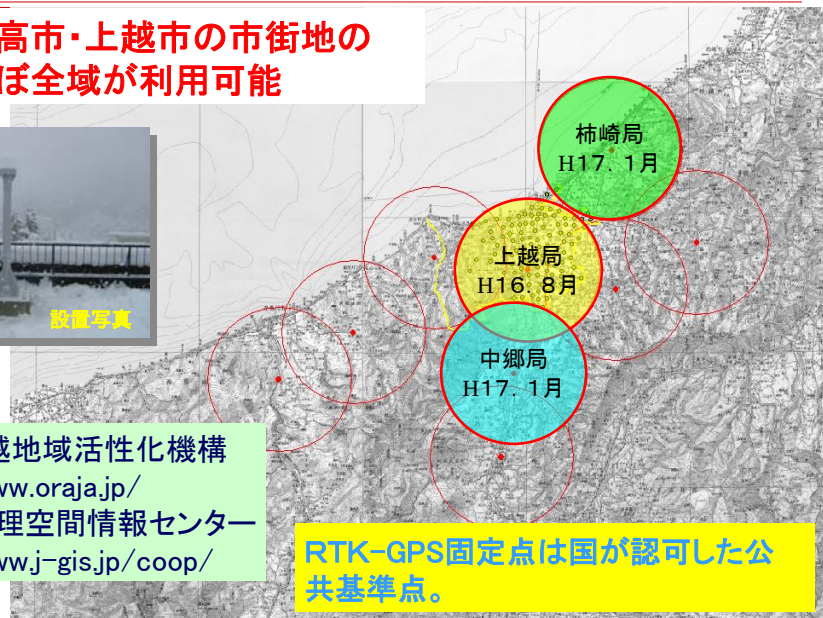
くびき野地域で独自のRTK-GPS固定点を設置

妙高市・上越市の市街地の
ほぼ全域が利用可能



(NPO)上越地域活性化機構
<http://www.oraja.jp/>
くびき野地理空間情報センター
<http://www.j-gis.jp/coop/>

RTK-GPS固定点は国が認可した公
共基準点。



研究開発の体制 — プロジェクトメンバー

(特定非営利活動法人)上越地域活性化機構 (ORAJA)

- くびき野地域(上越市、妙高市、糸魚川市)においてICTを基盤技術として提供することで地域活動を活性化することを目的としている。産・学・官・民連携の促進、教育や介護・福祉などを核とした産業クラスター形成の促進や人材育成などを行っている。
- 本プロジェクトには、特に、上越地域活性化機構のメンバーとして、金井度量衡(株)、に参加いただいた。

(協同組合)くびき野地理空間情報センター(旧くびき野GIS協同組合)

- くびき野地域の測量設計業者の組合であり、上越地域活性化機構と連携しGIS基盤を整備すると共に、地域密着のGISアプリケーションの開発を行っている。上越地域活性化機構とくびき野地理空間情報センターは、連携してRTK-GPS固定点サービスを運用している。
- 本プロジェクトには、特に、くびき野地理空間情報センターのメンバーとして、(株)桑原測量社、新潟県上越国土測量(株)、に参加いただいた。

(株)ジェミックス

- CATV事業を提供する上越ケーブルビジョン(JCV)の系列会社であり、地域ネットワーク事業を展開している。RTK-GPSなどGISアプリケーションのためのシステム・ネットワークを提供している。

(株)トプコン

- ポジショニング(GPS、マシンコントロール、レーザー応用機器、一般測量機)、アイケア、ファインテック等の製造・販売を主業務とする。くびき野地域におけるRTK-GPS固定点システムを提供している。

-10-



くびき野地域

- くびき野平野
 - ◆北陸地域、新潟県、長野県を結ぶ交通の要所
 - ◆海から急に山岳地帯になるため、豪雪、局所的豪雪、などの被害が多い
- 日本の半分、日本海側は雪害地域
 - ◆平成22-23年冬季、山陰地方の豪雪被害など、ここ数年は雪害地域が拡大している



-11-



発表の順序

研究開発の背景と目的

最初に結論 — 研究成果

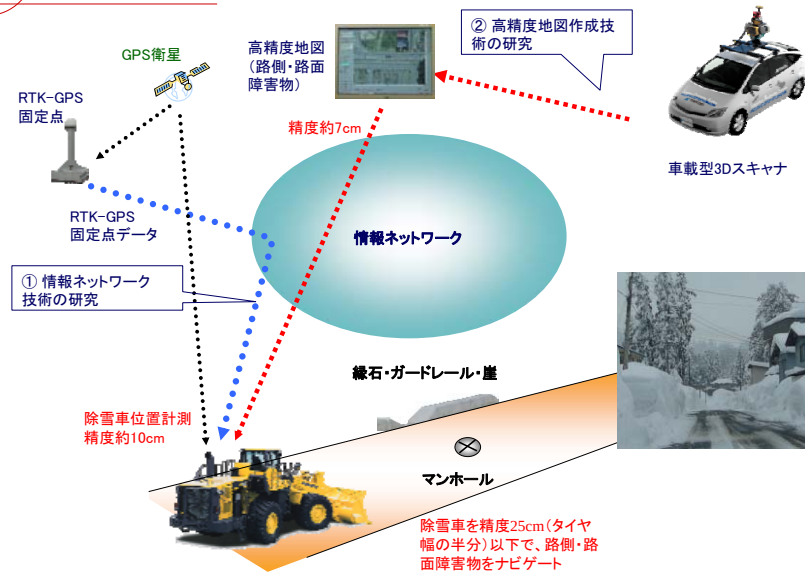
情報ネットワーク技術の研究成果

高精度地図データ作成技術の研究成果

まとめ

-12-

最初に結論 — 研究成果の一覧



-13-

研究開発の途中で、一部、実用化

- 平成21年度、総務省のユビキタスタウン構想推進事業
 - ◆ 地域安心安全ネットワークとwebプロモーション事業
 - ◆ 妙高市の除雪車112台にGPSを配備
- 通常のカーナビ程度の精度であるが、除雪車の運行状況をwebの地図上で表示
 - ◆ 住民に対する除雪状況の周知
 - ◆ 除雪車運行履歴の自動管理

<http://gis.city.myoko.niigata.jp/webgis15217pout/indexform.aspx>



-14-

発表の順序

研究開発の背景と目的

最初に結論 — 研究成果

情報ネットワーク技術の研究成果

高精度地図データ作成技術の研究成果

まとめ

-15-

既存システムの評価 — 実験模様



-16-

既存システムの評価 — 実験場所

- ①あらい道の駅周辺道路
- ②新井総合公園周辺道路
- ③妙高市街地
- ④高田市街地
- ⑤妙高高原
- ⑥高田市街地～新井道の駅まで



-17-

既存システムの評価 — 精度の分類

1-FIX

RTK-GPS

- ◆最良解
- ◆精度: 数cm

2-FLOAT

- ◆FIXに次ぐ精度
- ◆精度: 数十cmから数m

3-単独

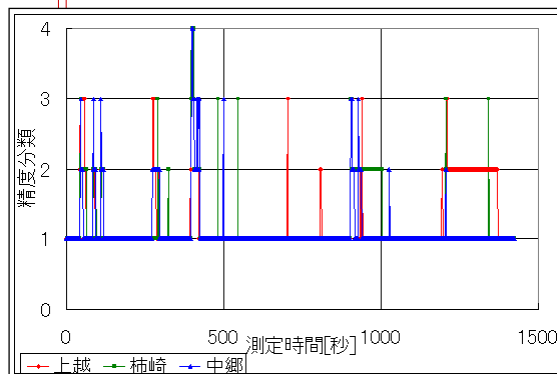
- ◆単独測位系GPSと同程度の精度
- ◆精度: 数mから数十m

4-なし(瞬断)

- ◆通信が一時的に途切れた状態

-18-

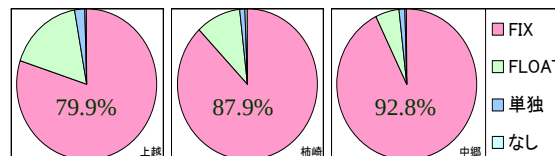
既存システムの評価 — 実験結果①



高田市街地

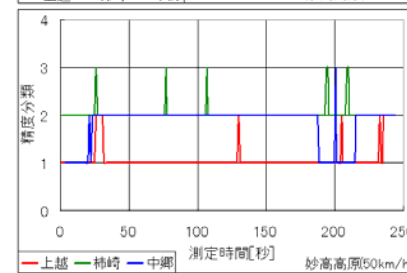
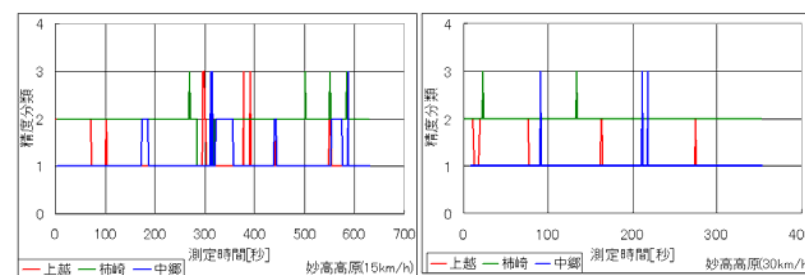


あらい道の駅周辺



-19-

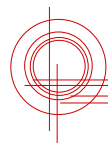
既存システムの評価 — 実験結果②



妙高高原

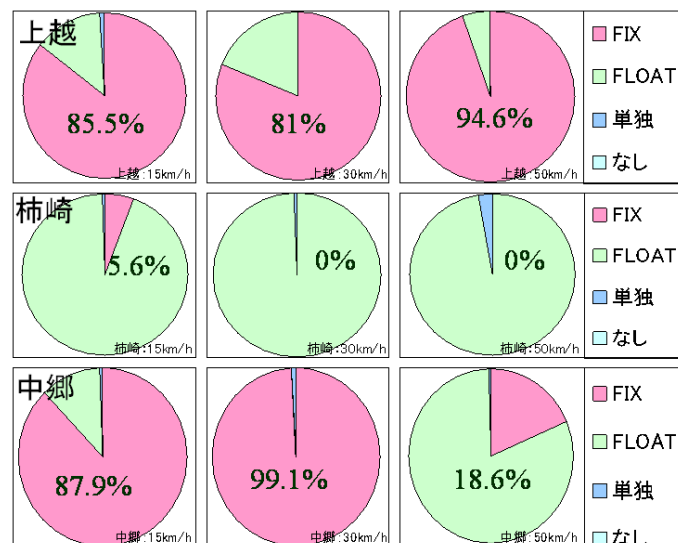


-20-



既存システムの評価 — 実験結果③

妙高高原で3固定点毎のRTK-GPS精度



-21-



既存システムの評価 — 考察

■移動体、としての影響

- ◆ハンドオーバー等に起因する回線断の影響が大きい
- ◆回線断によるTCPパケット遅着・未着＞測位精度の悪化

■高精度測位を行う条件

- ◆固定点側と移動体側が同じ衛星を補足
- ◆必ずしも、移動体から近い固定点が良いわけではない

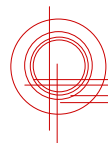
■固定点と移動体の距離

- ◆固定点と移動体の距離が精度に及ぼす影響は大きくはない
- ◆距離よりもGPS衛星の配置の方が大きな影響を及ぼす

■要求精度

- ◆FIXが理想だが、FLOATでも使える

-22-



既存システムの評価 — 手順の問題、他

■データ受信とGPS処理

- ✓受信と測位を連続して実行
- ✓データ遅着で測位悪化

■認証処理

- ✓毎回、手動で認証
- ✓除雪車では、支障が大

■固定点の選択

- ✓1点のみを手動で選択

■端末(PDA)の不安定さ

-23-



研究成果：除雪車用システムの設計

■転送プロトコルの高度化

- ◆(現行TCPから)UDPの利用:再送がなく、常に新しいデータを使用可能(ただし、UDPを通さないネットワークも存在する)
- ＞新しいTCPの考案(＞継続して研究し、平成23年度に完成)

■データ受信及びGPS測位処理を非同期処理

- ◆移動体で発生する補正データ遅着・未着時の影響を低減、測位精度向上

■認証方式の高度化

- ◆サーバ・クライアント間にOpenVPNを適用

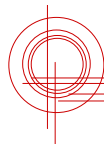
■補正データの3点同時転送

- ◆除雪車オペレータが固定点を選択する必要がなくなる
- ◆最適な固定点を使用する事による測位精度の向上

■クライアント端末の安定性の向上

- ◆(現行WindowsMobileから)Linux化

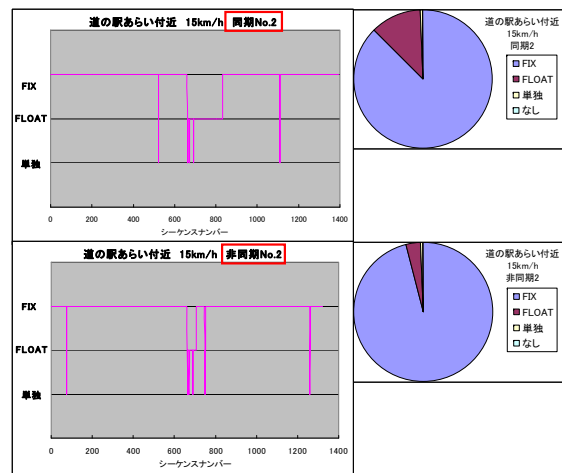
-24-



非同期処理の効果確認の実証実験

同期方式と非同期方式を評価

非同期方式の場合、FIX率が向上した



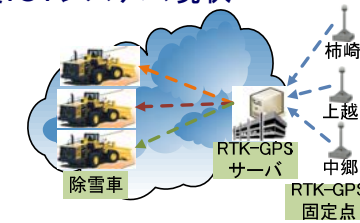
-25-



OpenVPNの適用性評価

想定する除雪車支援ICTシステム現状

除雪車約300台



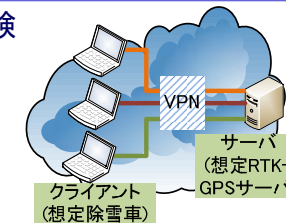
固定点を3局利用
(データ量約900[B])

除雪車からの要求で
送信される(1秒に1回)

OpenVPN適用評価実験

クライアント数
最大300台

パケットロス率を測定



データ量900[Bps]
を100秒間送信

平均CPU使用率を測定

⇒これにより、VPNを用いても
サーバが安定してデータを送信出来るか判断

-26-



OpenVPNの適用性評価 — 実験結果

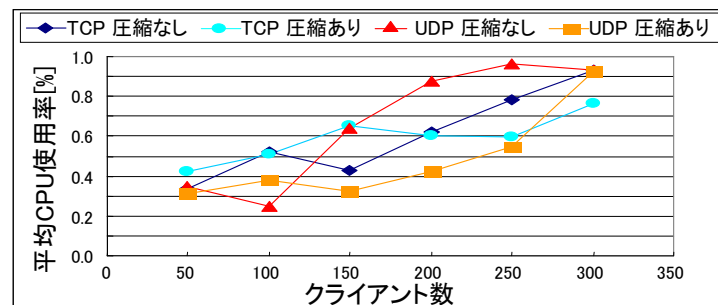
■平均CPU使用率(サーバ)の結果

◆VPNをTCP/UDP、圧縮あり/なしの4パターンで張った

◆全実験で平均CPU使用率は1[%]以下であった

■パケットロス率(クライアント)の結果

■全ての実験を通してパケットロスは発生しなかった



-27-



発表の順序

研究開発の背景と目的

最初に結論 — 研究成果

情報ネットワーク技術の研究成果

高精度地図データ作成技術の研究成果

まとめ

-28-

高精度地図の必要性① — 既存の地図

■路側・障害物の情報が記載されていない

◆除雪においては路側・路面障害物の種類も重要

- ✓路側: 縁石、ガードレール、ガードワイヤ等
- ✓路面障害物: マンホール、グレーチング、消火栓等

■絶対的な精度が低い

◆誤差25cm未満の精度が必要

◆最も精度が高いところで40cmの誤差

- ✓妙高市の地図データにて確認した

-29-

高精度地図の必要性② — 既存の方式

■CCDカメラなどによる研究・実用化例

◆走行中に障害物を検出しこれを避ける

◆前方を走行する車を追従する

■対象とする障害物が異なる

◆CCDカメラ: 走行のための障害物: 自動車、歩行者等

◆本研究: 除雪のための障害物: 縁石、マンホール

■雪が積もっているとカメラでは路面状況は不明

-30-

研究開発のアプローチ

■ 車載型3Dレーザスキャナで路面をスキャン

■ スキャンデータを処理

1. 路側の検出
2. 障害物の検出
3. 路側・障害物地図の作成

■ 除雪車に路側・障害物地図を搭載

1. RTK-GPSで自位置を高精度で計測
2. 路側・障害物との距離を計算
3. 路側・障害物への近接をアラート



-31-

システムの全体像

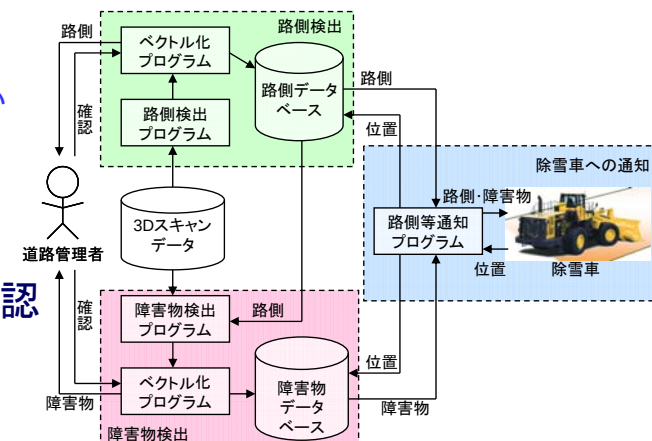
路側の検出を先に行う

路側の外の障害物は検出する必要がない

検出対象を減らすことで、処理を高速化

道路管理者が確認

システムは候補を提示



-32-

DBとして、PostgreSQL・PostGISを利用

■データベースにはPostgreSQLを使用した

◆GISに対応(サードパーティ)

- ✓ GIS: 地理情報システム
- ✓ MySQLでは、ストレージエンジンによって使えないものも

◆道路管理者が利用

■PostGIS

◆PostgreSQLで地理空間情報を扱うための拡張

◆地理データ型

- ✓ 点、線分、ポリゴン。それらの組み合わせ

◆地理空間情報(に対して)の演算を行える

- ✓ 面積、距離、周囲の長さ。和、差、対象差

◆R木インデックスによる高速な検索

-33-

スキャンしたルート①



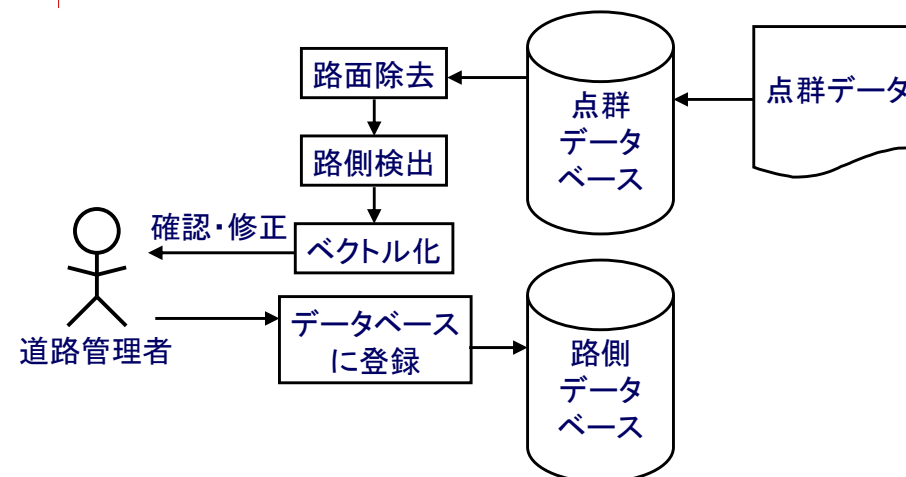
34
-34-

スキャンしたルート②

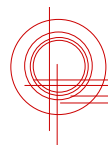


35
-35-

路側検出の処理方法



36
-36-



路側検出 : 路面除去①

■取得した点群すべてにおいて路側検出を行うと、
膨大な時間がかかるため実用的ではない

■路面のデータをあらかじめ路側の検出対象から
除去

◆路側の検出に、路面は必要ない

◆処理対象となるデータが減るため、高速化が図れる

■除去対象

◆1m四方を対象に、点データの高低差が10cm未満の
場合、路面と判断して除去する

✓縁石の高さが15cm、ガードレールの高さが60cmであるため

-37-



路側検出 : 路面除去②

■縁石検出結果のベクトル化

✓緑: 実測データ

✓青: 路面除去なし

✓赤: 路面除去あり

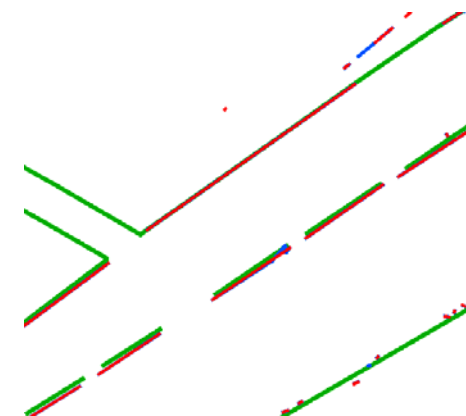
■出力される結果が同じ

■縁石検出の処理時間

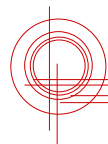
✓路面除去なし: 11時間40分

✓路面除去あり: 5時間40分

処理時間が半分に減少



-38-



路側検出 : 路側検出①

■ 検出手順

1. ある点Pの周囲1m四方でzが一番小さい点を $z_{\min}$ とする

2. Pの周囲5cm四方にある点Qが基準の範囲内なら
路側の可能性がある点とする

✓ 縁石

➢ PとQの高度差が5cm以上、20cm未満

➢ Qと $z_{\min}$ の高度差が20cm未満

✓ ガードレール

➢ PとQの高度差が30cm以上、60cm未満

➢ Qと $z_{\min}$ の高度差が60cm未満

-39-



路側検出 : 路側検出②

■ 10m四方ごとに切り分けて処理

◆ 一度に処理対象とする点を減らすことにより高速化を図る

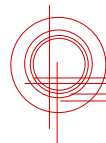
◆ 最終的に50cmでベクトル化。10mはその20倍

■ ベクトル化の利点

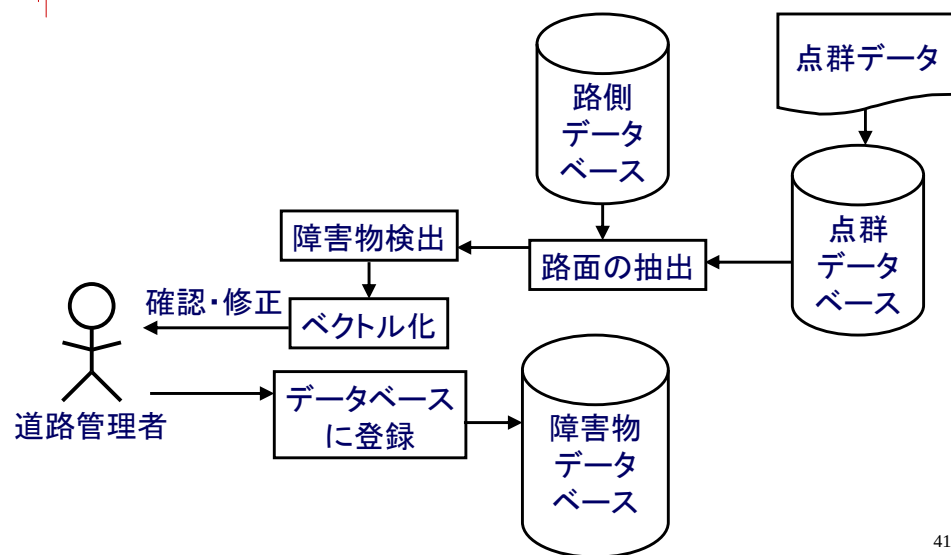
◆ データ量の抑制

◆ 障害物検出への応用が容易

-40-



障害物検出の処理方法



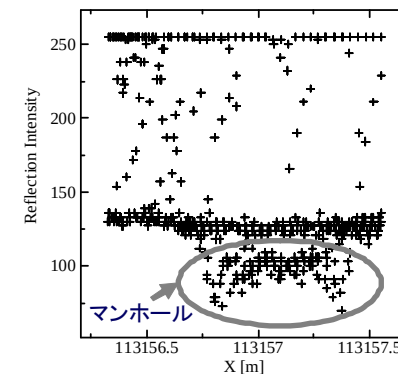
41
-41-



障害物検出 : アプローチ

■ 障害物の定義

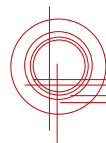
- ◆ 路面と高さが違う
 - ✓ 消火栓、段差等
- ◆ 路面と反射強度が違う
 - ✓ マンホール、グレーチング等
 - ✓ 反射強度の違いは材質の違いである可能性が高い



■ 色による検出

- ◆ 路面とそれ以外とを明確に分ける色空間を見つけられなかった

42
-42-



障害物検出 : 路面の抽出①

- 路側と同様、すべての点群に対し障害物の検出を行うと膨大な時間がかかる
- 路面のデータをあらかじめ抽出する
 - ◆ 除雪車による除雪作業においては、路側より外の障害物は関係ない
 - ◆ 処理対象となるデータが減るため、高速化が図れる
- 抽出対象
 - ◆ ある点が、一番近い路側ベクトルと、それに平行する路側ベクトルの間に場合、路面として抽出

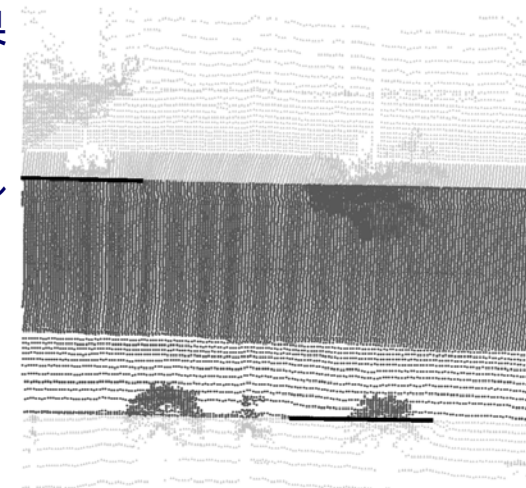
43
-43-



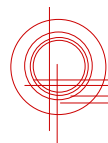
障害物検出 : 路面の抽出②

■ 路面の抽出結果

- ◆ 薄いグレー: 全点群データ
- ◆ 黒: 路側ベクトル
- ◆ 濃いグレー: 路面抽出結果



44
-44-



障害物検出 : 障害物の抽出①

■ 10m四方ごとに切り分けて処理

- ◆ 対象とする点を減らすことにより**高速化が図れる**

■ 検出対象

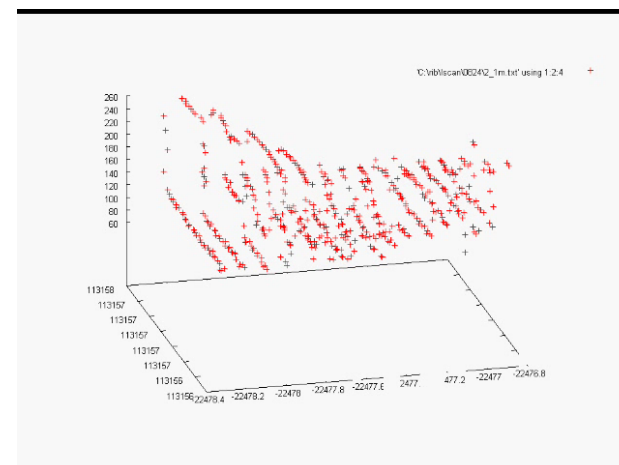
- ◆ ある点Pの周囲1mにある点の高低差が5cm以上
 - ✓ 高低差のある障害物として検出
- ◆ Pの周囲1mにある点の反射強度の差が20以上あり、Pの反射強度が点群全体の反射強度の最頻値の1/3
 - ✓ 反射強度が違う障害物として検出

45
-45-

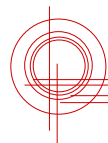


障害物検出 : 障害物の検出②

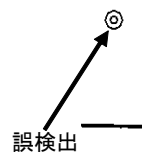
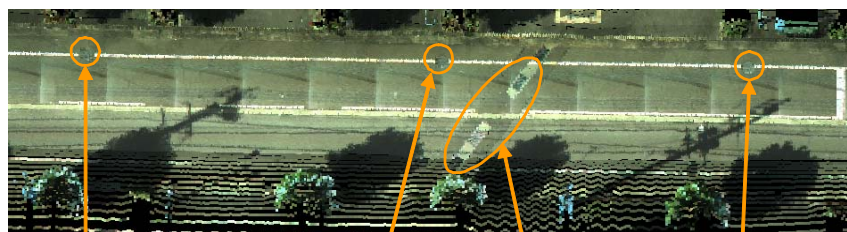
■ マンホールの反射強度の例



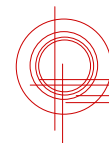
46
-46-



障害物検出 : 障害物の検出③



-47-



システムの性能評価①

■ 検出率の考え方

- ◆ 誤検出は**許容できる**
 - ✓ 道路管理者が誤検出かそうでないかをチェックするため
- ◆ 検出見逃しは**許容できない**

■ 検出率(今回評価した地図上のマンホールで)

- ◆ 検出見逃し率: **0%**
- ◆ 適合率(出力と正解の一致数/出力の数):
80%(グレーチング検出を入れて)

-48-

システムの性能評価②

■システムの処理時間

◆路側の検出とベクトル化 : 1時間/km

◆路面障害物の検出 : 4時間/km

◆実用化にむけて

✓妙高市市道の総延長: 700km(実用化時に1回)

➢ 3,500時間(145日) > 20クラウドで1週間

✓妙高市市道の改良: 3.1km(1年に1回)

➢ 15.5時間 > 1日で終わる

-49-

発表の順序

研究開発の背景と目的

最初に結論 — 研究成果

情報ネットワーク技術の研究成果

高精度地図データ作成技術の研究成果

まとめ

-50-

まとめ — 最終評価実験



平成23年3月11日、妙高市で実施

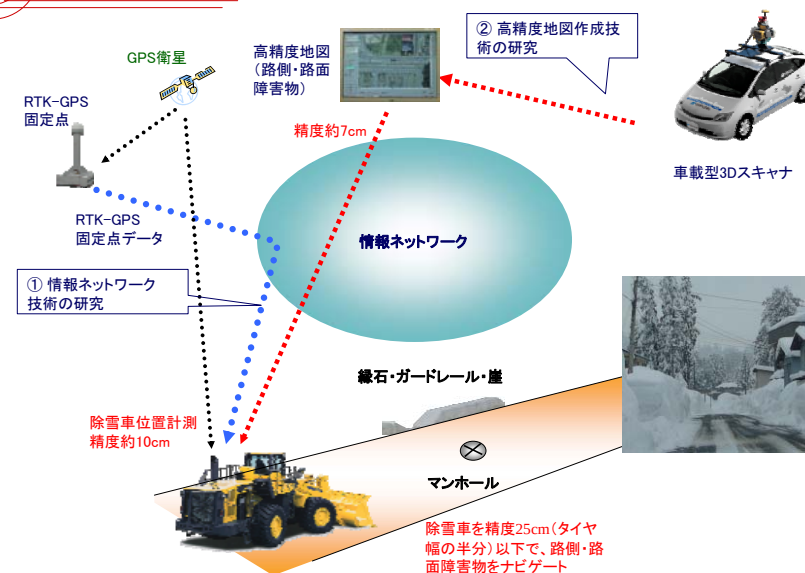
およその精度

高精度地図: 7cm

RTK-GPS位置計測: 10cm

-51-

まとめ — 研究成果の一覧



-52-