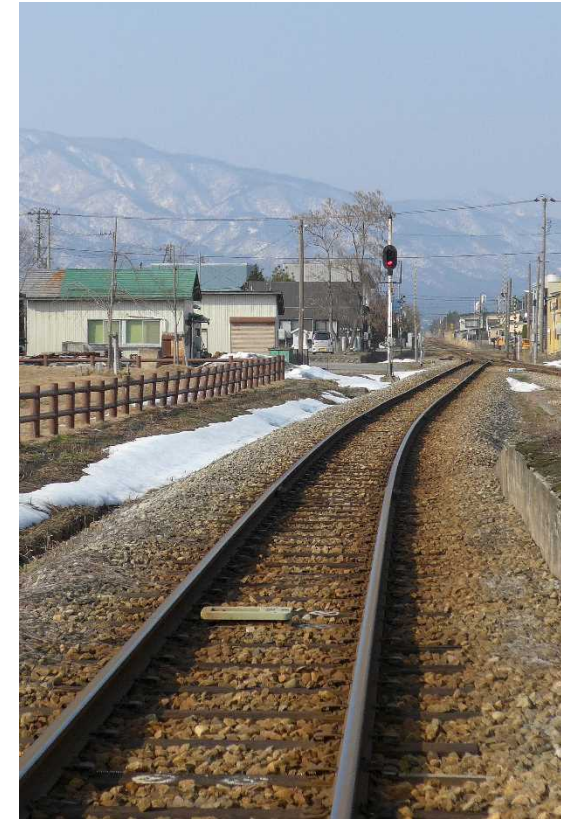


# 車上主体型列車制御システムにおける 列車位置検知技術の評価に関する取組

交通システム研究部 主任研究員 山口 大助

# はじめに

- 鉄道ではこれまで軌道回路や地上子を用いて列車の位置検知を正確に行う列車制御システムによって安全を確保
- 地方鉄道をはじめとする採算性の厳しい路線では、軌道回路のような地上主体の設備の維持や更新に係るコストが大きな負担
- 車上で列車の位置検知が可能な技術への期待
- 列車の位置検知にGPS等の衛星測位システム(GNSS\*)の利用を検討するも測位精度が課題



GNSS\*: Global Navigation Satellite System

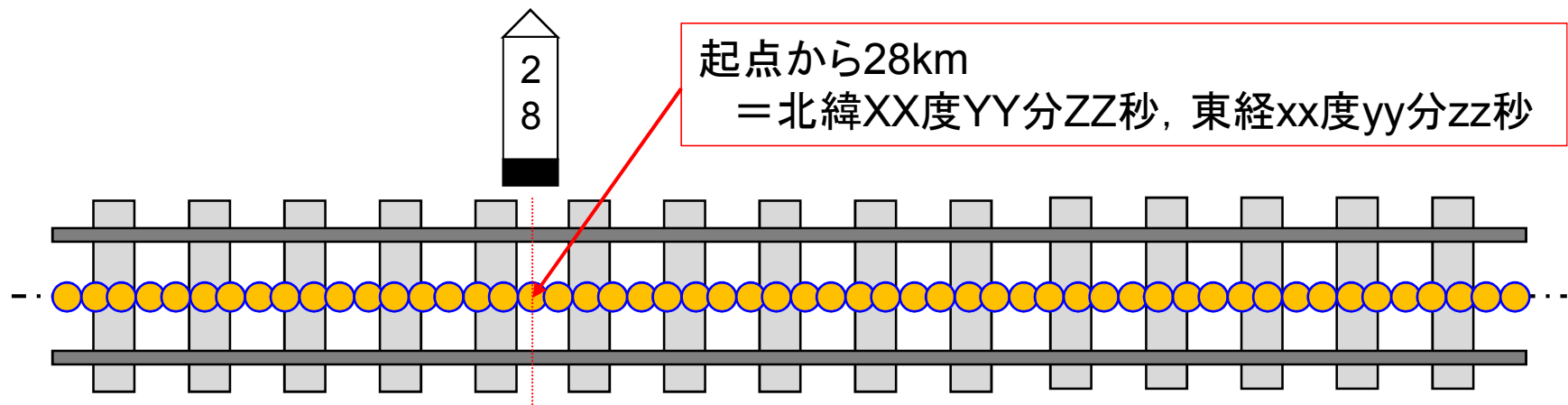
# はじめに

---

- GNSSによる位置検知精度向上を図る手法(仰角マスク等)の検討を行ってきたが、精度向上の効果が一定ではなく、引き続き検討が必要
- 本発表では、車上主体型の列車位置検知を基本とする列車制御システムへの活用等を想定して、既に列車位置検知に活用されているセンサと今後活用される可能性のあるセンサについて技術的な観点での整理や、GNSSをはじめとする複数の位置検知センサの組み合わせの整理を試みるとともに、列車位置検知技術の評価に関する取組などを紹介

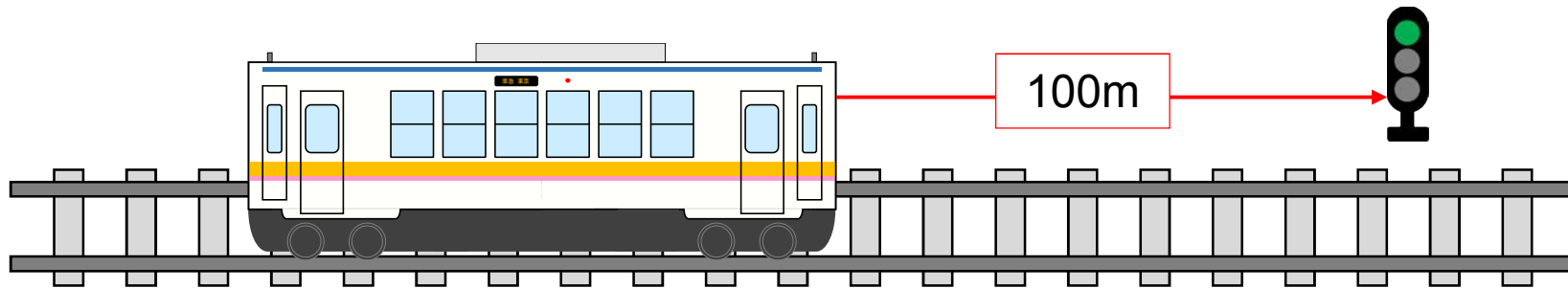
# 軌道上の列車位置

- 位置には「絶対位置」と「相対位置」
- 絶対位置はキロ程や緯度・経度が該当
- 列車制御における軌道回路や地上子，架線柱等の構造物の位置はキロ程に紐付けられ，これに基づく管理
- 軌道中心を点と捉えると，軌道は列車走行方向にこの点が無数に連なったものと見ることができ，この点を介してキロ程と測量等で得た緯度・経度の紐付けが可能

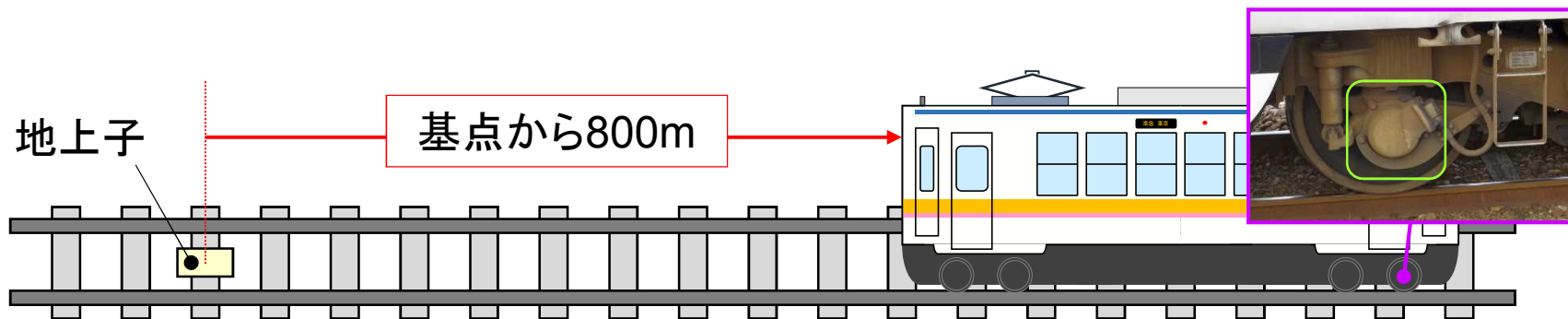


# 軌道上の列車位置

- 相対位置は列車の走行距離，列車と構造物（架線柱，信号機柱，建築物等）の間の距離が該当



- 無線式列車制御システムでは車両に備わった速度発電機等から得られる速度情報によって基点からの列車走行距離を演算



## 軌道上の列車位置

---

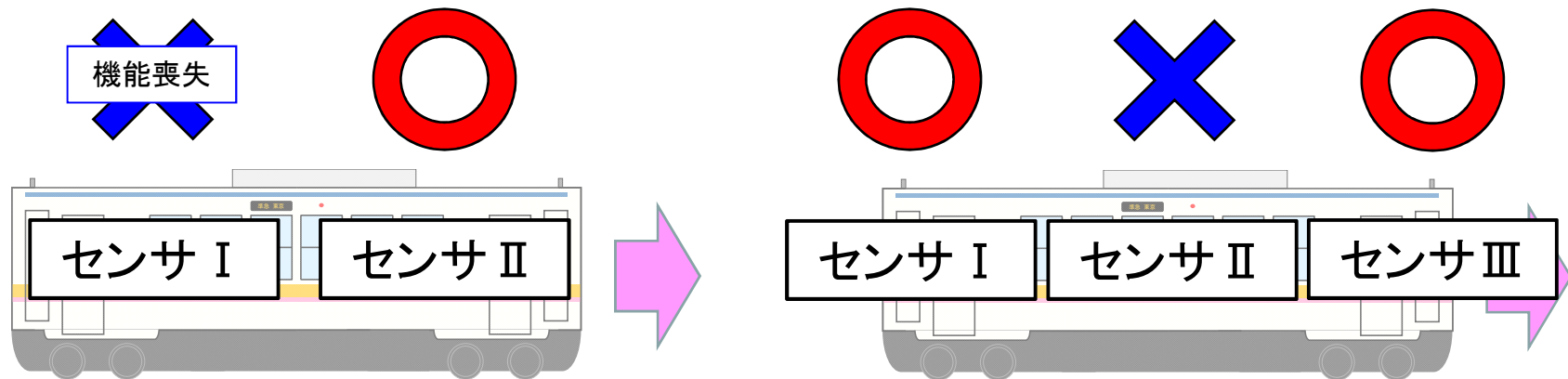
- 速度発電機から得られる速度情報によって基点からの列車走行距離を演算する方法は、車輪の滑走・空転や車輪の摩耗による車輪径の変化によって演算結果に誤差が発生
- 誤差を消去するために一定間隔で軌道に地上子を設置
- この地上子が「基点」にもなる
- 列車制御は軌道回路や地上子を使って行われ、いずれもキロ程に紐付けられることから、列車制御は絶対位置に基づいて行われるといえる
- 無線式列車制御システムでは、列車走行距離と地上子の組み合わせで絶対位置を得て、前後の列車の各絶対位置から算出される相対距離(間隔)によって制御

# 位置検知センサの併用

- 列車制御システムには、万が一システムを構成する装置に故障が発生した場合にも、故障後の事象が安全側に遷移するフェールセーフ性が求められる
- 車上主体で列車位置を検知するシステムにおいて、位置検知が困難になった場合は速やかに停止措置を取ることが最もシンプルな安全対策
- 位置検知システムの点検や安全確認を経て再発車するまでには時間を長く要する場合も考えられるので、停車せずに走行を続けられ、走行の継続が困難な状況に陥った場合に限り停車させるような対策の方が望ましい
- 位置検知の確実性を高め、列車の走行を極力継続する手段として、位置を検知するセンサを複数組み合わせることが有用と考えられる

# 位置検知センサの併用

- 2個以上のセンサの併用が想定されるが、個数が増えるほど導入や維持管理のコストが増加
- 2個の場合は1個目のセンサが位置検知機能を喪失しても2個目のセンサが正常作動していれば列車の位置検知を継続できる可能性がある
- 3個の場合は各センサの検知結果に基づく多数決により列車位置検知を正確に行える可能性がある





# 位置検知センサの併用

---

- コスト等も踏まえると、複数のセンサは2個ないし3個が適当かつ現実的
- 検討を容易にするため、今回は2個の位置検知センサを使用するケースを対象とし、それぞれⅠ系、Ⅱ系と呼ぶことにする
- Ⅰ系、Ⅱ系になり得るセンサについて技術的な観点での整理を試みる

# 列車位置検知に活用されているセンサ

- 列車の位置検知手段として、軌道回路、地上子、速度発電機が既に活用されている
- このほかにも、ループコイル、アクスルカウンタ(車軸検出器)、RFID(Radio Frequency IDentification)、トロリコンタクタ、無線測距、GNSSがある
- これらのセンサについて、設置箇所(地上／地下)、計測可能な項目等を整理



# 列車位置検知に活用されているセンサ

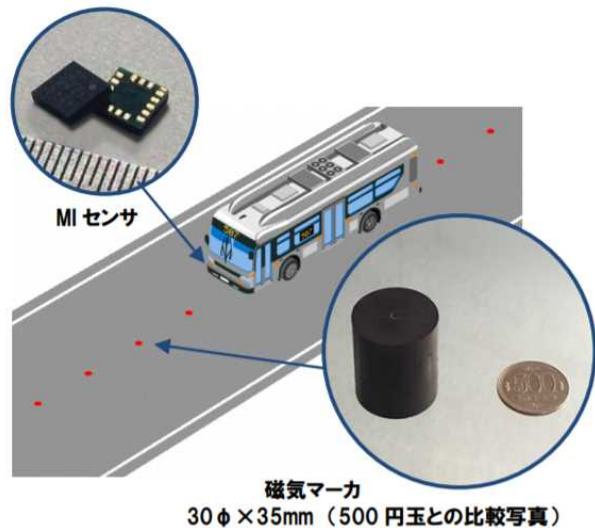
センサ	地上側	車上側	絶対位置/ 相対位置	位置/速度		分類
				位置	速度	
軌道回路	○	○ (ATC受電器)	絶対	○	—	面
ループコイル	○	○	絶対	○	—	面
アクスルカウンタ (車軸検出器)	○	—	絶対	○	—	点
地上子	○	○(車上子)	絶対	○	○	点
RFID	○(タグ)	○(読取機)	絶対	○	○	点
トロリコンタクタ	○	—	絶対	○	○	点
無線測距	○ (沿線無線機)	○ (車上無線機)	絶対	○	—	電波
衛星測位(GNSS)	—	○	絶対	○	○	電波
速度発電機	—	○	相対	◇	○	速度

地上側のみの設備につき検討の対象外

◇: 計算等を介して間接的に取得可

# 列車位置検知に活用できる可能性のあるセンサ

- 活用可能性のあるセンサとして、磁気マーカ、慣性計測装置 (IMU\*), レーダドップラ速度計, レーザドップラ速度計, カメラ, レーザセンサ (LiDAR\*\*) が挙げられる



磁気マーカ  
(愛知製鋼株式会社ホームページ)



慣性計測装置  
(多摩川精機株式会社ホームページ)



ステレオカメラ  
(ZMP株式会社ホームページ)



LiDAR  
(ジック株式会社ホームページ)

IMU\* : Inertial Measurement Unit    LiDAR\*\* : Light Detection and Ranging

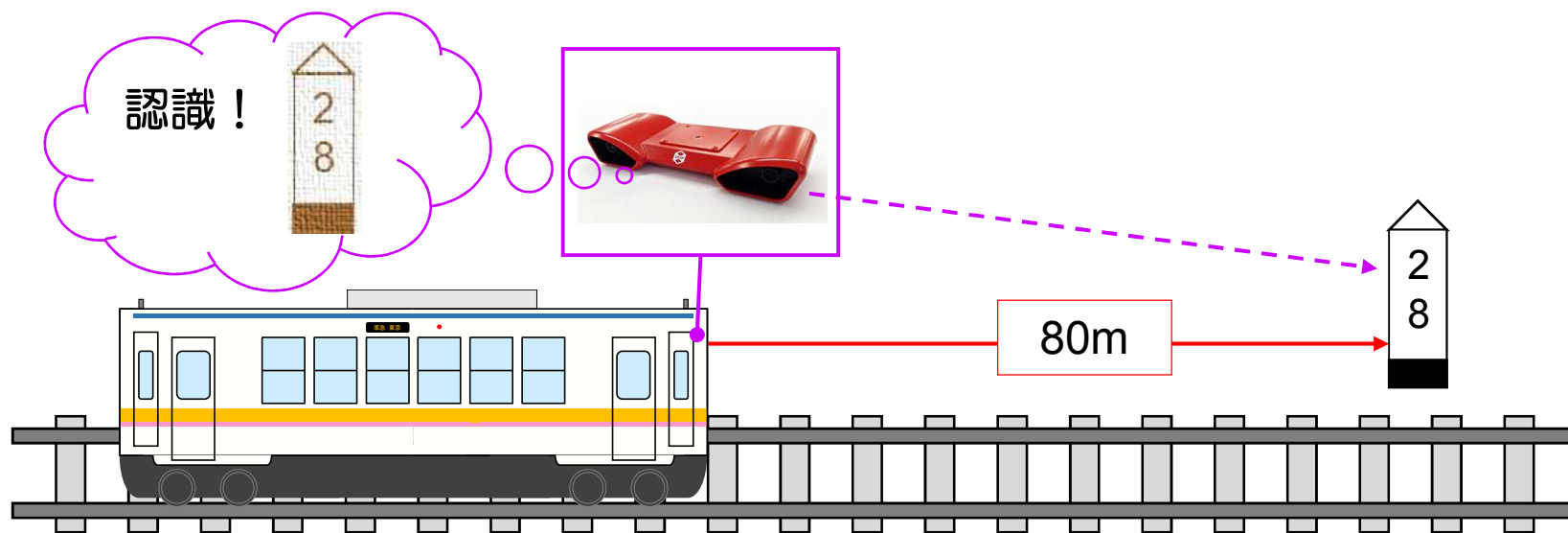
# 列車位置検知に活用できる可能性のあるセンサ

センサ	地上側	車上側	絶対位置／ 相対位置	位置／速度		分類
				位置	速度	
磁気マーカ	○	○ (読取機)	絶対	○	○	点
慣性計測装置(IMU)	—	○	相対	◇	◇	速度
レーダドップラ速度計	—	○	相対	◇	○	速度
レーザドップラ速度計	—	○	相対	◇	○	速度
カメラ (単眼, ステレオ)	○ (地物, ターゲット)	○	相対 絶対	○	—	周辺 環境 認識
レーザセンサ (LiDAR)	○ (地物, ターゲット)	○	相対 絶対	○	—	周辺 環境 認識

◇: 計算等を介して間接的に取得可

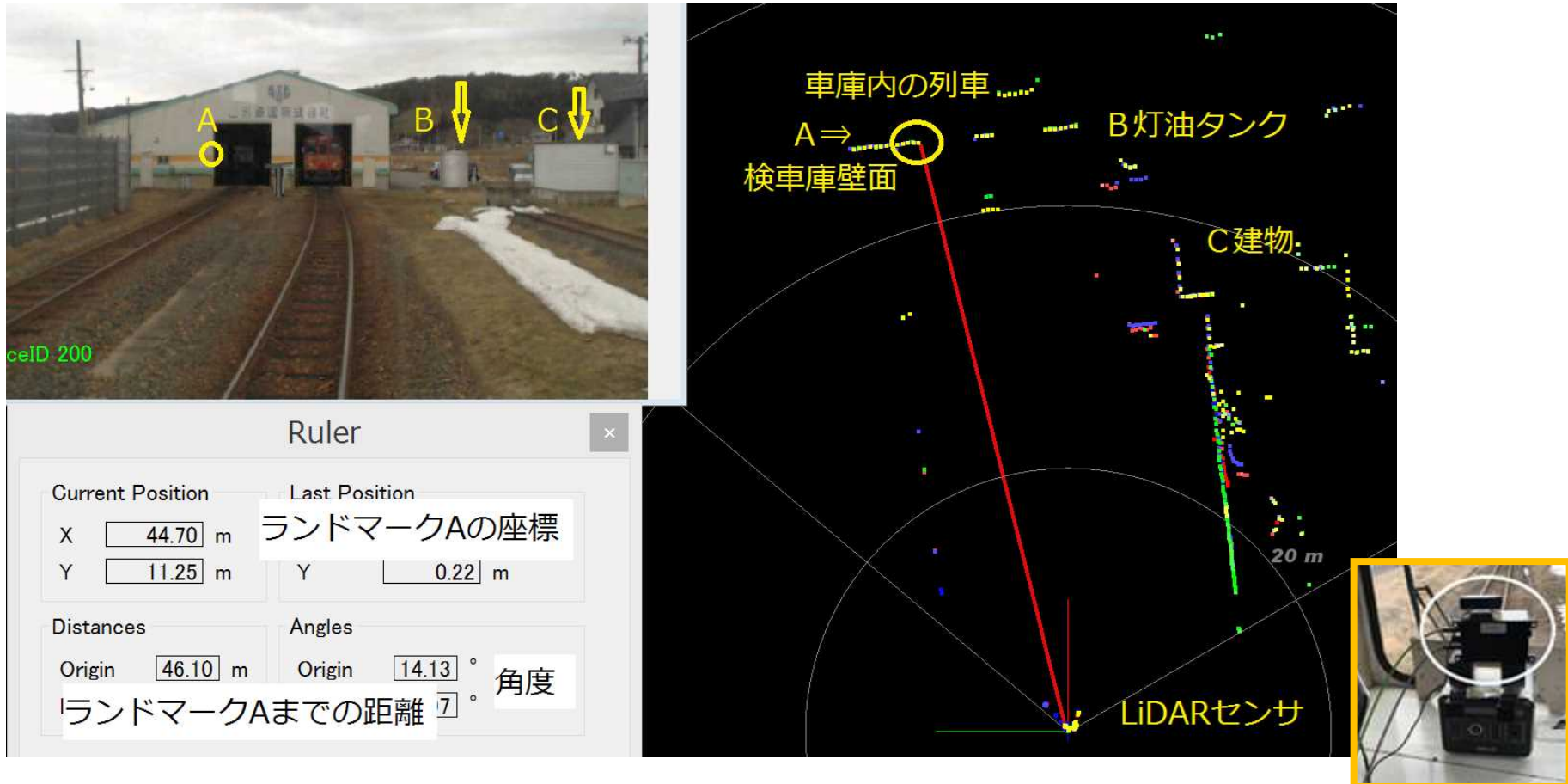
# カメラやレーザセンサ(LiDAR)を鉄道に当てはめた場合

- 車両に設置したカメラやLiDARが地物(構造物, 建築物等)やターゲット(キロポスト, 数字が書かれた標識等)の映像を記録
- 記録映像から列車との間の相対距離を検出可能
- 列車制御に用いる位置は絶対位置であることから, 絶対位置を測定できる他のセンサとの組み合わせによってカメラやLiDARを列車位置検知に活用できる可能性あり



# LiDARによる列車と建築物等の間の相対位置の検出

- 列車と建築物等の間の相対位置を検出できることを確認\*

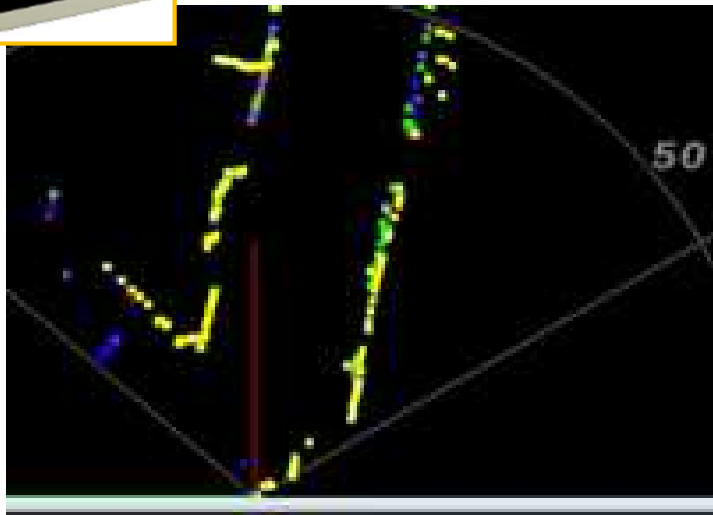


\*篠田ほか, “LiDARセンサを用いた絶対位置の把握について”, 第25回鉄道技術連合シンポジウム(J-RAIL2018)

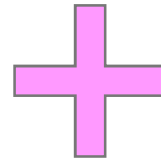
# カメラやレーザセンサ(LiDAR)を鉄道に当てはめた場合



LiDARで見えているもの



特徴物を検出しているが  
それがどこの何かが分からない



「〇〇町の△△ビル」のような  
具体的な情報を付加して初めて判明

- LiDARやカメラを位置検知に活用するには、これらが検出した形状や物体と絶対位置を紐付けるものが必要

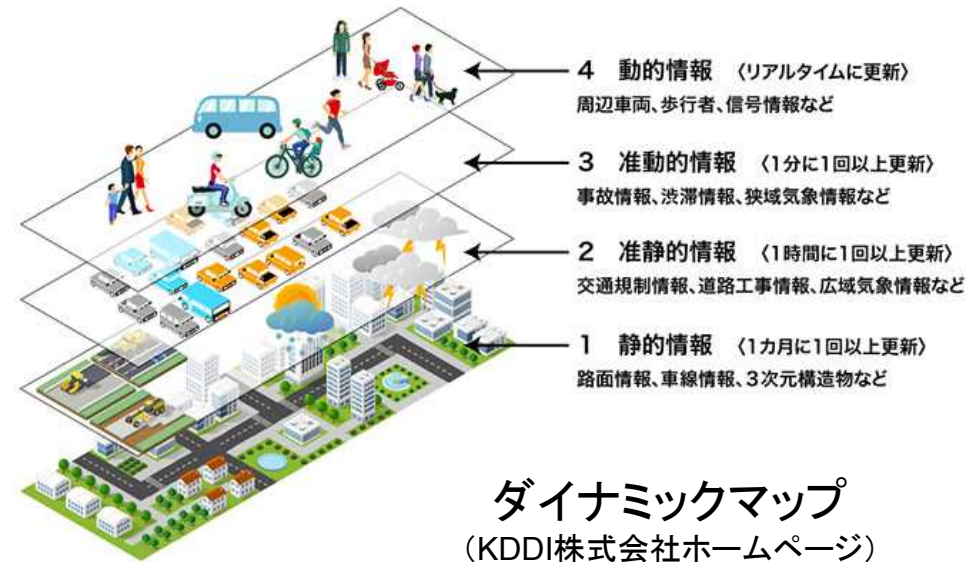


# 自動車分野でのカメラやレーザセンサ(LiDAR)の活用

- 自動車の自動運転ではカメラやレーザセンサ(LiDAR)をセンシングデバイスとして自車周辺の環境認識のために活用
- デジタル地図(ダイナミックマップ)に収録された建築物等の形状や位置の情報とカメラやLiDARから得られる情報を照合しながら自車の走行位置を推定



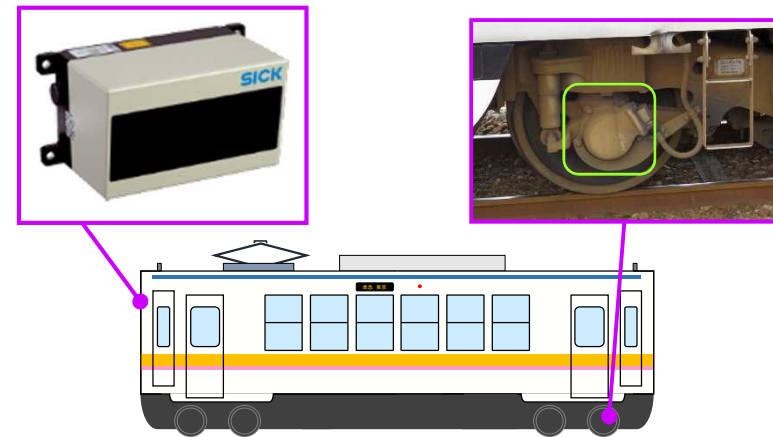
(SENSORS ONLINEホームページ)



# 位置検知センサの組み合わせ方

- 列車制御はキロ程に基づく絶対位置の情報を用いて行われる
- I系, II系ともに相対位置を出力するセンサでなければ, I系, II系のどちらかに相対位置を出力するセンサの使用は可能
- 様々なI系とII系の組み合わせ構成が考えられるが, これは列車制御システムの設計コンセプトや全体構成により決定
- I系とII系が共通原因故障に至らないよう, I系とII系は特性の全く異なることが望ましい

		II系センサ	
		絶対位置	相対位置
I系センサ	絶対位置	○	○
	相対位置	○	×

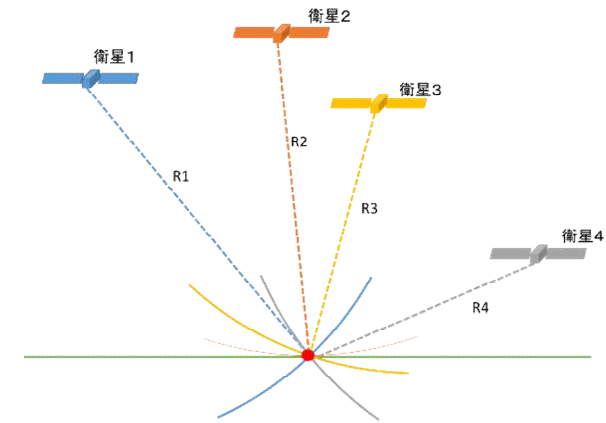


# 列車位置検知技術の評価方法の検討

- 個別の組み合わせの評価については以下の手順が考えられる
  - ① 適用線区の状況(列車密度や列車編成長等)や列車制御システムの設計コンセプトより要求性能が定められる
  - ② この要求性能としては、検知精度やリアルタイム性のほか、信頼性(要求された機能を果たせる能力)、アベイラビリティ(継続して稼動できる能力, 可用性)、保全性(要求された機能を修復させる能力)、安全性(フェールセーフ性, 故障検知機能等)、環境性能(耐振動性, 耐環境性等)がある
  - ③ コストや寿命の観点も組み合わせを評価していく上で重要になる
- 更に、要求性能を満たすことの検証・評価方法も必要であるが、これについては今後検討を進めていく

# 衛星測位(GNSS)に関する取組

- 衛星測位とは、少なくとも4機の衛星からの電波を受信し、衛星から受信機に到達するまでの時間を求め、電波の速度を乗じて距離を得て現在位置を算出すること
- GNSSとして最も有名な米国のGPSをはじめ、日本の準天頂衛星等の電波を受信して測位することが可能
- GNSSのデメリットは下記の通り
  - 測位に誤差が生じやすい。誤差の要因は時々刻々異なる衛星配置や建物での電波の反射(マルチパス)によるものなど
  - トンネル内では電波を受信できず測位が困難
- GNSSを活用するにはGNSSの誤差やデメリットを補完する必要がある、これには他のセンサとの併用が有用と考えられる



衛星測位の原理

# GNSSと他のセンサの併用例

- GNSSを補完するセンサは複数あると考えられるうち、その一つに挙げられる慣性計測装置(IMU)を併用し、実車走行時に測位を行った結果の一例\*



\*多摩川精機株式会社との共同研究によって得られたもの

# 衛星測位(GNSS)に関する取組

- 準天頂衛星をはじめとするGNSSの鉄道への利活用については、「鉄道における準天頂衛星等システム活用検討会」\* (座長: 中村英夫 日本大学名誉教授, 事務局: 国土交通省鉄道局, 交通安全環境研究所) にて検討されているところ
- 列車位置検知にGNSSを適用する場合については同検討会の議論を参照しながら今後検討を進めていくこととしたい

国土交通省 Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism Press Release

平成31年2月18日  
鉄道局技術企画課

**鉄道における準天頂衛星等活用の検討を開始**  
～「第1回 鉄道における準天頂衛星等システム活用検討会」の開催～

準天頂衛星等を活用した衛星測位については、様々な分野で利活用の促進に向けた検討がなされているところです。今般、「第1回 鉄道における準天頂衛星等システム活用検討会」を開催し、鉄道分野において、本技術の実用化に向けた検討を開始します。

宇宙基本計画(平成28年4月1日閣議決定)等を受けて、我が国の測位、通信等のための宇宙システムが強化されてきており、特に、昨年11月に運用が開始された準天頂衛星(みちびき)については、官民からなる大臣会合が設置され、様々な分野で同衛星による高精度測位等の利活用の促進に向けた検討がなされているところです。

鉄道分野では、本技術の活用により、走行する列車の位置を精度高く検知することが可能となることから、

- ・ これまで用いていた列車位置を検知するための地上設備の省力化・効率化
- ・ 接近する走行列車の位置を踏まえた保守作業の安全性の向上

などが期待でき、将来的には鉄道の運行管理への活用など、鉄道分野での生産性革命にも資するものと考えられます。

このため、「第1回 鉄道における準天頂衛星等システム活用検討会」を開催し、準天頂衛星を含む衛星測位システムの活用方やその課題等の抽出、フィールド試験による測位データの信頼性の検証等を行い、鉄道分野における本技術の実用化に向けた方向性等をとりまとめるための検討を行います。

記

1. 開催日時 : 平成31年2月19日(火) 9時00分～12時00分
2. 場 所 : 中央合同庁舎3号館11階特別会議室  
(東京都千代田区霞が関2-1-3)
3. 構 成 員 : 学識経験者、鉄道事業者、関係団体、研究機関、鉄道局
4. 内 容 : 鉄道分野における衛星測位の検討状況や課題、活用の可能性について 等
5. 取 材 等 : 傍聴は不可ですが、撮影は冒頭のみ可能です。希望される方は、8時50分までに、会場へお越し下さい。
6. その他 : 今後のとりまとめ結果は、国土交通省ホームページに掲載する予定です。

連絡先: 鉄道局技術企画課技術開発室  
担当者: 溝手、松原  
電 話: 03-5253-8111(内線40756、40754)  
直 通: 03-5253-8547  
FAX: 03-5253-1634

\*国土交通省ホームページ[http://www.mlit.go.jp/tetudo/tetudo\\_tk7\\_000014.html](http://www.mlit.go.jp/tetudo/tetudo_tk7_000014.html)

## おわりに

---

- 本発表では以下について試みた
  - 既に列車位置検知に活用されているセンサと今後活用される可能性のあるセンサについて技術的な観点での整理
  - GNSSをはじめとする複数の位置検知センサの組み合わせの整理
- また、列車位置検知技術の評価に関する取組について述べた
- 今後は検知精度や信頼性などの観点から複数のセンサの適切な組み合わせについて検討を進めるとともに、車上主体型の列車位置検知技術に求められる要件やその評価方法などを検討する
- 今後検討を進めていくにあたり、関係各位のご意見やご知見を多く賜れば幸いである