

慣性センサと速度発電機を併用した 線路特徴点検出による列車長算出手法

信号・情報技術研究部 列車制御研究室
室長 岩田 浩司



発表内容

1. 背景と目的
2. 特徴点検出による列車長算出手法
3. 試験結果
4. まとめと成果の活用



発表内容

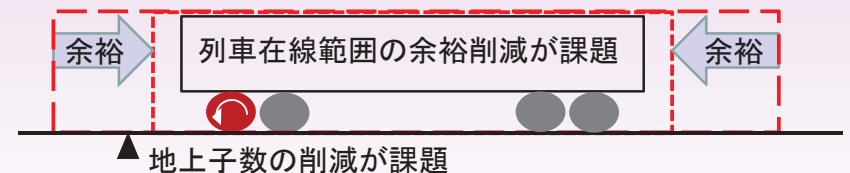
1. 背景と目的
2. 特徴点検出による列車長算出手法
3. 試験結果
4. まとめと成果の活用



背景

車上装置の位置情報は、無線を用いた列車制御システム (CBTC等)では、列車の間隔制御のための**停止限界**にも使用。

位置検知は、地上子と速度発電機のパルス数の積算によるが、**車輪の滑走・空転による距離誤差**が発生。



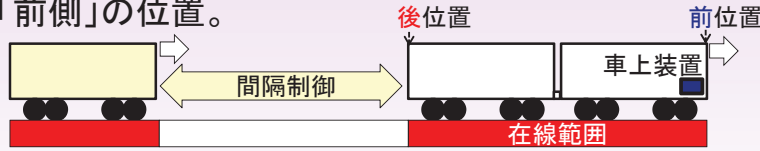
滑走・空転時の補正と地点(曲線箇所等)検出に**慣性センサ**を利用した車上位置検知方式を開発。

機器の設置スペースに制約がある**短編成**にも適用可能。



列車長算出の目的

- 列車位置は、列車の間隔制御のため、列車の「前」と「後」の両方の位置による「在線範囲」での検出が必要。
- 軌道回路方式は、列車の在線範囲の検出が可能。しかし、CBTC等で使用する車上装置での位置検出結果は「前側」の位置。



後部位置検出に列車長を利用。

- 固定編成は、記憶した列車長で対応可能。
- 編成長が固定的でない貨物列車や、固定編成の分割併合に対しては、記憶した固定値では対応不可能。



列車長算出手法の基礎検討

		追加装置	安全性	補足
地上方式	軌道回路の占有区間で検出	全種類の編成長に応じた地上設備の設置が多数必要	○	列車長の算出結果を、車上装置に対して伝送が必要
車上方式	列車通信ネットワーク	なし	△	フェールセーフ装置への変更が必要
	前後車両での車上位置検出結果	なし (客車、貨物列車に対応不可)	○	
	前後車両で地上マーカを検出し、その間の走行距離で列車長を算出する方式	地上マーカは、線路の特徴点(曲線箇所)を利用することで、地上装置は不要	○	滑走・空転、特徴点検出用の装置を利用(アプリケーション追加)



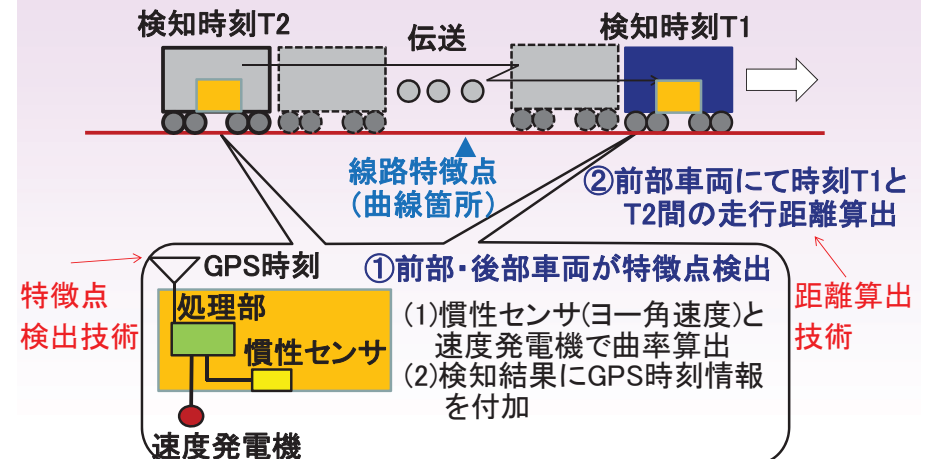
発表内容

1. 背景と目的
2. 特徴点検出による列車長算出手法
3. 試験結果
4. まとめと成果の活用



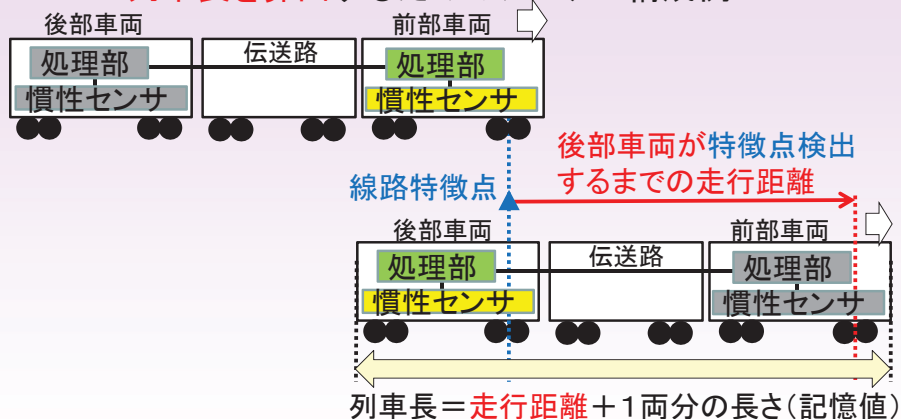
特徴点検出による列車長算出手法の概要

前部・後部車両での特徴点検知間の走行距離が列車長



列車長算出のための構成

前部、後部車両で線路の特徴点を検出して
列車長を算出するためのシステム構成例



前・後車両の処理部の同期のため、GPS時刻を使用

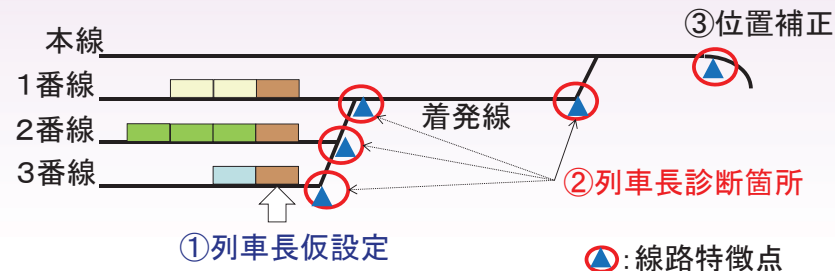


列車長の算出箇所

本線に進出するまでの線路特徴点(分岐器・曲線)にて
列車長を算出。

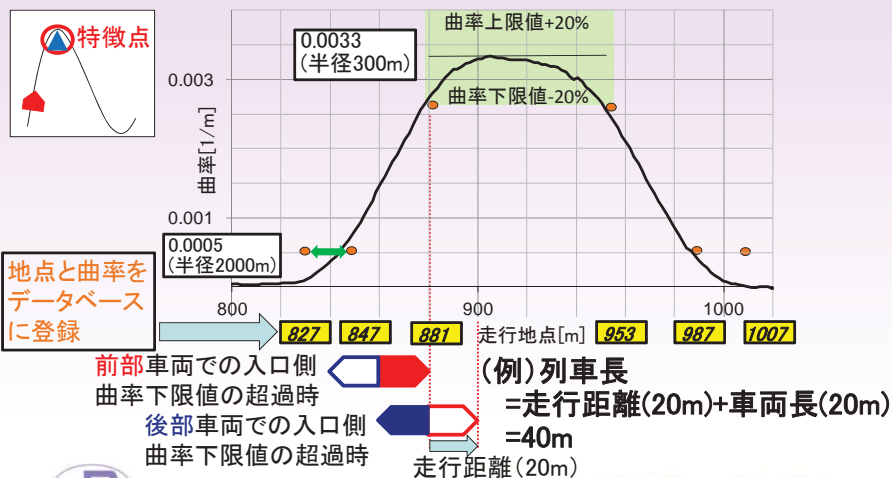
仮設定した列車長に対して、診断後に列車長を確定。

列車長の仮設定手段: 取扱者、GPS、TCN、FRENS等
(単体では安全性の確保が困難)



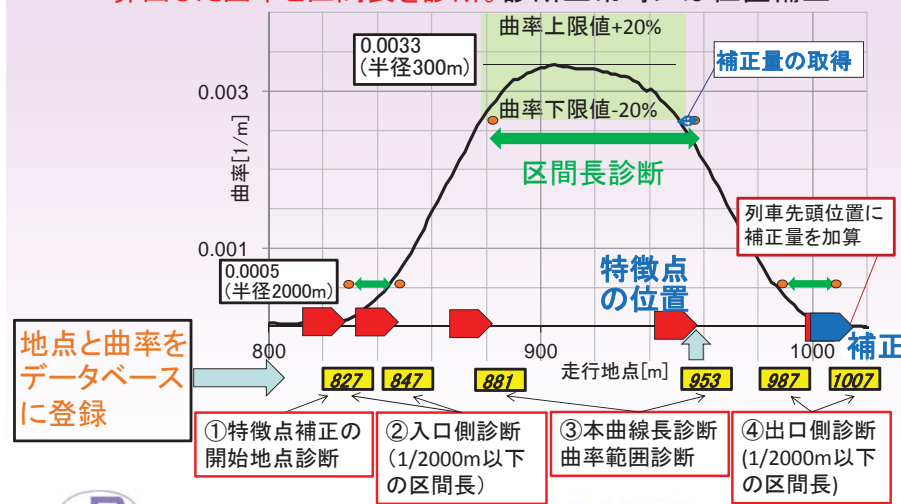
線路特徴点検出と列車長算出法

曲率(1/R)をヨー角速度(ω)と速度(v)から算出(ω/v)。
データベースの情報と比較して線路特徴点を検出。
列車長は前後車両での特徴点検出間の走行距離で算出



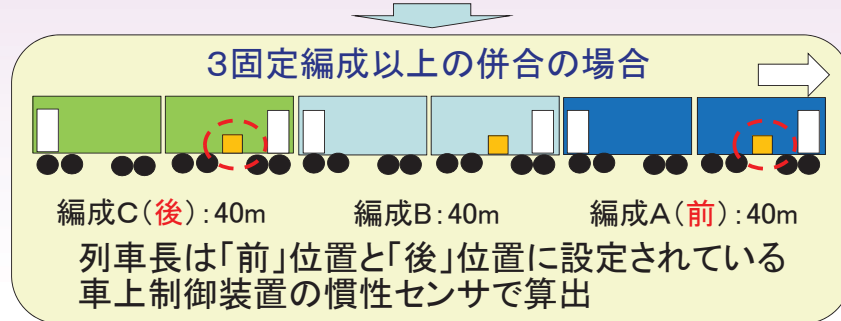
線路特徴点を用いた位置補正法

データベースに登録した地点・曲率情報をもとに、
算出した曲率と区間長を診断。診断正常時には位置補正



対象編成

- ・固定編成 : 編成長の記憶
 - ・固定編成の分割、併合 : 全編成を把握できる場合は合計
- しかし、可変長編成(客車・貨物列車、中間編成数の把握が必要となる3固定編成以上の併合)時の列車長算出が課題

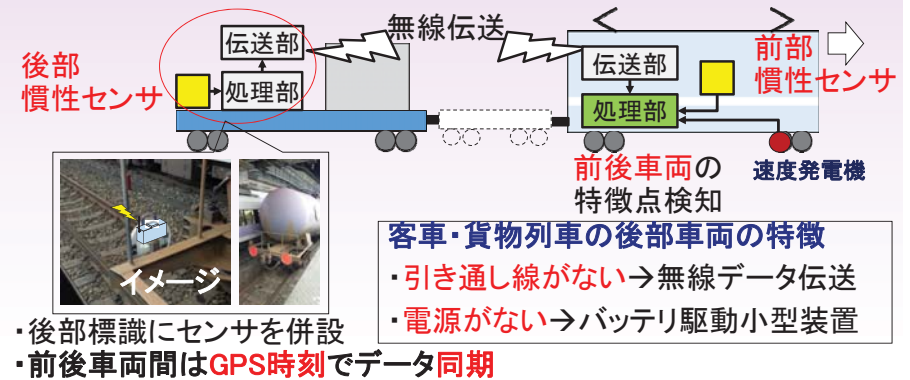


客車・貨物列車の列車長算出手法

客車・貨物列車での後部での速度算出

- 速度発電機 : 車両とのインタフェースが必要
- GPS速度 : 真値の判断が困難
- ドップラー速度計 : 電源・スペース等の確保が困難

⇒ 前部車両の速度を利用



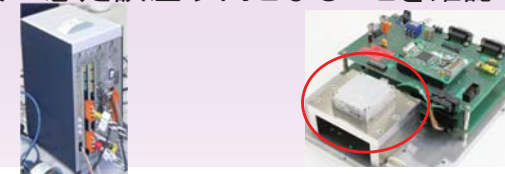
発表内容

1. 背景と目的
2. 特徴点検出による列車長算出手法
3. 試験結果
4. まとめと成果の活用



システム評価

前後車両に処理部・センサを設置した構成で列車長が想定誤差以内となることを確認

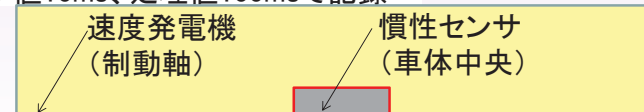


フェールセーフ処理部

慣性センサ(丸印)

(100ms定周期処理)

センサ値10ms、処理値100msで記録



滑走・空転補正、特徴点検知・補正のハードウェアを活用



列車長算出時の想定誤差

ID	要因	補足	特徴点通過速度と想定誤差	
			130km/h	45 km/h (分岐箇所を想定)
(a)	取り込み誤差	-100ms~100ms	±3.6m	±1.25 m
(b)	前後車両処理開始誤差	±100ms	±3.6m	±1.25 m
(c)	移動平均誤差	$1/2 \times \alpha \times (T/2)^2 \times 2$ α :加減速度、T:移動平均時間	±0.78m	±0.78 m
(d)	センサ検出誤差	センサ検出可能値 /曲率変化率	約±5m	約±5 m
誤差合計			約13m	約9m

- 算出した列車長に**想定誤差もしくは1両分の余裕を加算**すれば間隔制御の情報としては問題ない
- また、特徴点の**通過速度に制約**を設けて、想定誤差を半車両長(10m)以下とすれば、両数に対する余裕は不要



ステージを用いた事前機能確認



現車試験の線区概要

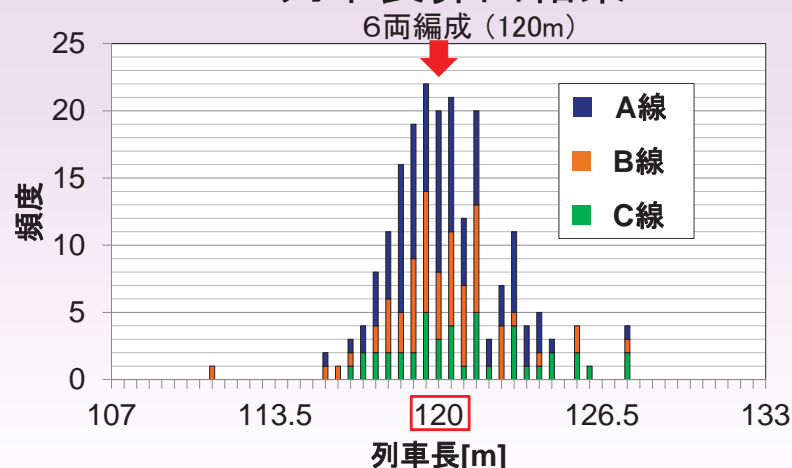
走行線区		特徴点
A線区 (約130km)	往路	・53 箇所 (半径362~1193m) ・分岐部4箇所
	復路	・54 箇所 (半径275~1149m) ・分岐部1箇所
B線区 (約120km)	往路	・29 箇所 (半径346~1200m) ・分岐部8箇所
	復路	・30 箇所 (半径310~1250m) ・分岐部5箇所
C線区 (約50km)	往路	・17 箇所 (半径368~1115m) ・分岐部5箇所
	復路	・16 箇所 (半径350~982m) ・分岐部2箇所

線路特徴点は
約3~4km間隔

線路特徴点の検出も含めた試験であり、**全特徴点で列車長を算出**



列車長算出結果



平均120.1 m、範囲110.8 m~127.5 m (総数202地点)
想定誤差(約±13m)以内



発表内容

1. 背景と目的
2. 特徴点検出による列車長算出手法
3. 試験結果
4. まとめと成果の活用



まとめ

- ① 列車長設定値を検定する方法として、編成の前後車両が曲線通過時の曲率変化から地点を検出し、その間の走行距離から列車長を算出する方式を提案
- ② 地点検出は、データベースに登録した線路特徴点を編成の前後車両に設置した慣性センサと速度発電機を用いて行う、地上設備を設置しない方式として提案
- ③ 客・貨列車の後部車両での特徴点検出に用いる速度センサとして速度発電機、GPS、ドップラ速度計の適用は困難。前部車両の速度発電機で列車長算出する方式として提案
- ④ 6両編成(120m)の列車による現車試験にて、列車長の算出値が想定誤差(約13m)内となることを確認



成果の活用

無線を用いた列車制御システム(CBTC等)での軌道回路を用いない車上位置検知に活用し、地上設備削減を図る

今後の課題

現在、地上設備を用いない車上位置検知を実現するため、初期位置検知、故障後の再位置検知、列車分離検知手法を検討中

