

⑥鉄道等陸上交通における衛星測位の健全性判定手法の検討

交通システム研究部

※山口 大助

工藤 希

望月 駿登

1. はじめに

地方鉄道等では列車の位置検知に使用する軌道回路の維持や更新に係るコストが大きな負担となっている。これを解決する手段として軌道回路によらない列車位置検知技術が期待されており、その一つに米国のGPS (Global Positioning System) や日本の準天頂衛星に代表される衛星測位システム (GNSS: Global Navigation Satellite Systems) がある¹⁾。衛星測位は複数の衛星から発信される電波を受信して現在位置を算出するが、トンネル等の電波の受信が難しい場所では測位できず、高層ビル等が密集する場所などでは建物に反射した電波を受信すること (マルチパス) で測位精度の低下が懸念される。これらが生じる路線では衛星測位とセンサ (速度発電機やジャイロセンサ等) を組み合わせた仕組みが必要となる。

一方、衛星からの電波の受信が不可の懸念やマルチパスの懸念がほとんどない路線では衛星測位単独による列車の位置検知の可能性がある²⁾。この場合、列車の走行位置が衛星測位のみによって確定するため、特に列車制御等の保安への利活用という観点からは衛星測位で検知した列車位置が健全なものであるかを判定する必要がある。そこで、衛星測位単独での列車位置検知の実現に向けて、地上側で衛星測位の健全性を判定する手法を検討したので報告する。

2. 衛星測位の健全性判定と列車位置検知の関係

衛星測位のみによって走行位置が確定する列車と衛星測位の健全性判定の関係を図1に示す。前述の通り、本稿で提案する判定手法は列車の車上位置検知を衛星測位単独で行う場合に衛星測位の健全性を地上側で確認するためのものである。提案手法によって地上側で健全性を常時確認し、健全性に懸念が生じた場合はその旨を列車へ通知し、衛星測位による位置検知を中断して列車の走行を停止する (図1(a))。一方、健全性を常時確認する地上側自体が健全性を失う場合 (地上受信機の故障等) もあり、列車側では正常に衛星測位を行えているかもしれないが、地上側が健全性を確認できる状況にないため、列車の走行を停止する (図1(b))。

3. 衛星測位の健全性判定手法

提案する地上側で衛星測位の健全性を判定する手法の概略を図2に示す。提案手法では3個の受信機 (アンテナを含む) を頂点とする三角形を地上に構成する。この三角形を「基準三角形」と呼ぶことにする。各頂点の受信機は常時衛星測位を行う。衛星測位によって逐次得られる測位結果が許容できる誤差の範囲内にあるかを判定するため、基準三角形の頂点である各受信機の設置点を中心とした円 (「許容誤差円」と呼ぶことにする) を描く。許容できる誤差の範囲が許容誤差円の半径に相当し、この

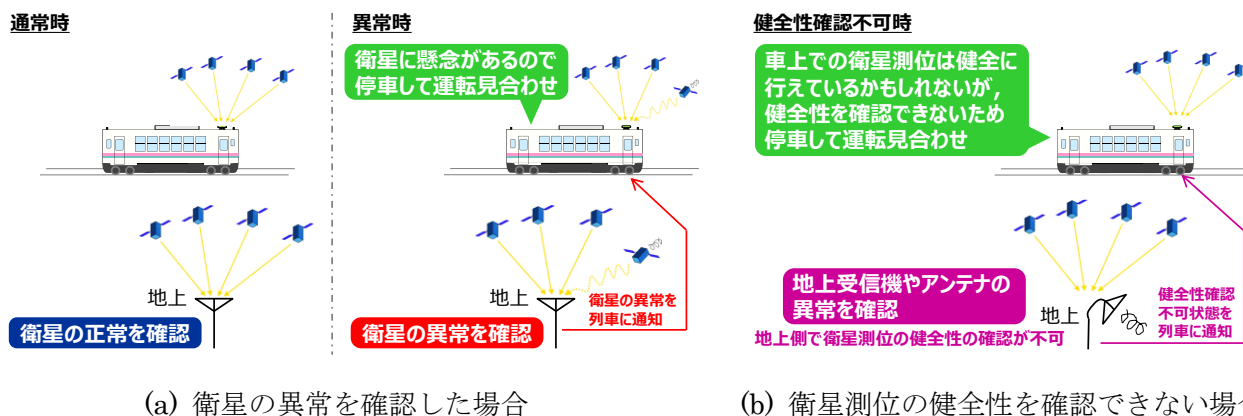
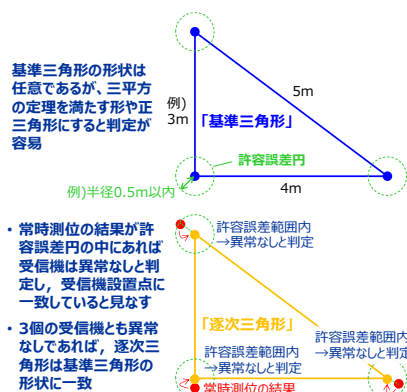
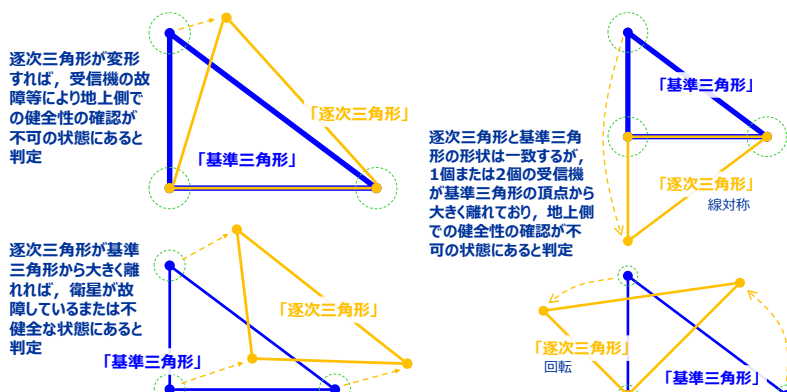


図1 衛星測位の健全性判定と列車位置検知



(a) 基準三角形と逐次三角形



(b) 基準三角形と逐次三角形の比較

図2 提案する衛星測位の健全性判定手法

大小で判定の厳しさが決まり、半径が小さいほど判定が厳しくなる。まず受信機自身の測位結果がこの許容誤差円の中に収まっているかを確認する。円の中に収まっていれば受信機は正常に動作していると判定し、測位結果は受信機の設置点に一致しているものと見なす。受信機から出力される測位結果を用いて三角形を逐次描くことができ、この三角形を「逐次三角形」と呼ぶことにすると、3個の受信機とも正常動作していれば逐次三角形の形状は基準三角形の形状に一致する（図2(a)）。

一方、受信機のうちの1個に故障や何らかのトラブルが発生すると測位結果が許容誤差円の中に収まらなくなり、逐次三角形の頂点の一つが基準三角形の頂点から離れ、逐次三角形の形状が基準三角形の形状と一致しなくなる。これによって地上側の健全性が損なわれた状態にあると判定できる（図2(b)左上）。この場合は、列車上では衛星測位を正常に行えていたとしても列車を速やかに停車させることになる。

衛星に故障やトラブルが発生し、衛星が異常な状態に陥っても、電波を放送し続けると衛星測位の結果に影響を及ぼす可能性がある。また、周辺から妨害電波が放送されても、受信機は妨害電波であることを識別できないためにそのまま計算してしまい、測位結果に影響を及ぼす可能性がある。衛星の故障や妨害電波は3個の受信機に一律に影響を与えることが予想され、逐次三角形は基準三角形から大きく離れたところで描かれることになるため、衛星測位の健全性が損なわれた状態にあると判定できる（図2(b)左下）。この場合は列車を速やかに停車させることになる。

図2(b)右段のように、逐次三角形の形状が基準三角形の形状と一致するケースが発生し得るが、受信機の一部が許容誤差円の中に収まっていないことから、地上側の健全性が損なわれた状態と判定され、列車を速やかに停車させることになる。

上述より、提案手法では3個の受信機がそれぞれ許容誤差円の中にいるかの自己監視と、隣り合う受信機同士の距離や方位（一方の受信機から他方の受信機への方向ベクトル）の一致度合いを確認する相互監視を行っているといえる。三角形の各頂点では一般的な単独測位（コード測位）による測位を想定しているが、準天頂衛星独自のセンチメートル級測位補強サービス（CLAS）を利用することで健全性の判定をより精密に行える可能性がある。

4. おわりに

衛星測位単独での列車位置検知の実現に向けて、地上側で衛星測位の健全性を判定する手法を提案した。本稿では鉄道を想定して述べたが、提案手法は鉄道に限らず、自動運転バスやその他の陸上交通への適用も可能と考えている。衛星の故障や妨害電波の発信の模擬が難しいが、提案手法の有用性について検討を進めていきたい。

参考文献

- 1) 山口大助、工藤 希、“鉄道分野における衛星測位システム利活用のための測位精度評価”，日本信頼性学会誌，Vol.45，No.4，pp.164-171
- 2) 鉄道における準天頂衛星等システム活用検討会第4回検討会配布資料，国土交通省ホームページ，https://www.mlit.go.jp/tetudo/tetudo_tk7_000014.html