

⑦衛星測位による列車位置検知の健全性を検証する試験環境の検討

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

保守管理の省力化等の観点から、地上設備である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、その一つに衛星測位システムがある¹⁾。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衛星測位には、トンネル等で電波を受信できず測位が困難となる懸念や、高層ビルの密集等によって測位精度が低下する懸念がある。一方、測位不可や測位精度低下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位置検知の可能性がある。ただし、列車の走行位置が衛星測位のみによって確定するため、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。この健全性に対して、衛星の故障やトラブル、周辺からの電波妨害によって本来の位置とは大きく異なった現在位置の算出結果になるなどの懸念がある。これらの懸念に対応しつつ衛星測位単独での列車位置検知の実現に向けて、筆者らは地上側で衛星測位の健全性を判定する手法を提案した²⁾。しかしながら、提案手法の有用性の検証が課題となっていた。本稿では、提案手法の有用性を検証するための試験環境について検討した結果を報告する。

2. 有用性検証の試験環境の概要

筆者らが提案した衛星測位健全性判定手法は、3個のアンテナを地上に設置し、3個のアンテナで形成される三角形（基準三角形）を基準として、常時測位によって逐次形成される三角形（逐次三角形）と比較することで、衛星測位の健全性を判定するものである²⁾。例えば、衛星に故障が発生して両者に差が生じた場合には不健全な状態にあると判定し、列車の運行を停止させる。

衛星の故障の模擬は困難であるが、衛星のトラブルによって本来放送される電波とは異なった電波をアンテナが受信するような試験環境を用意できれば、提案手法の有用性を検証可能と考えられる。そこで、屋外のアンテナで受信した衛星測位の信号を再送信するリピータ（再放射器）³⁾を用いる。リ

ピータによる試験環境のイメージを図1に示す。健全性判定のための常時測位に使用する健全性判定用アンテナ(図1中の黒色)に対し、衛星から本来放送される電波に加えて、このアンテナから離れた地点に設置した試験環境用アンテナ(同青色)で受信した衛星測位信号をリピータを介して再放射する。これによって、健全性判定用アンテナは本来放送される電波(同橙色)に加え、不要な電波(同桃色、黄緑色、紫色)を受信することになる。

なお、試験環境は屋外を想定しているが、再放射した電波の強度によっては電波法に抵触する恐れがあり、電波強度の設定には注意を要する。

3. 有用性検証の試験環境に関する実験

前章で述べた試験環境の実現可能性を検討するための実験を行った。衛星測位健全性判定手法は地上側で判定を行うものであるが、試験環境の車上への拡張を見据えて、実験では実車を使用し、車上に健全性判定用アンテナ、試験環境用アンテナ、リピータを設置した。実験ではリピータを1個使用したが、1組の試験環境用アンテナ、リピータによって試験環境の実現可能性を確認できれば、3個の健全性判定用アンテナと同数の試験環境用アンテナによる構成を実現可能と考えられる。実車実験における機材構成を図2に示す。車内に減衰器を設置し、電波法に抵触しないよう再放射の電波強度を調整する。

試験環境の実現可能性の検討には、筆者らが提案した車上測位精度評価手法¹⁾を用いる。図2中の測

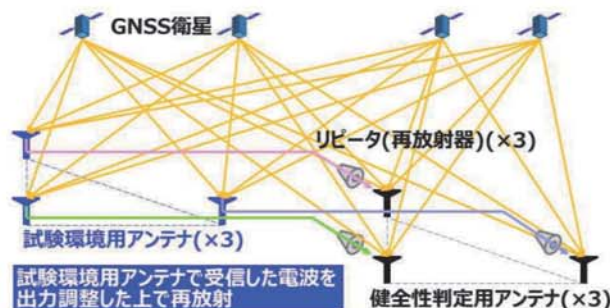


図1 リピータを使用した試験環境



図2 実車実験における機材構成

位精度評価基準用アンテナ（以下、基準用アンテナ）は本手法での測位精度の評価基準となるもので、地上に固定の基準局を設置する RTK (Real-Time Kinematic) 測位を用いる。健全性判定用アンテナでの測位も同様に RTK 測位を用いる。また、日本の準天頂衛星独自のサービスである CLAS (Centimeter Level Augmentation Service) に対応のアンテナを設置する。このアンテナではリピータによる再放射の影響がないことを確認する。

車上測位精度評価手法によれば、衛星から本来放送される電波のみを受信して測位すると、測位環境が良好な場合は、評価対象である健全性判定用アンテナ及び CLAS 対応アンテナでの測位結果は誤差が概ねゼロとなり、健全性判定用アンテナと基準用アンテナの離隔及び CLAS 対応アンテナと基準用アンテナの離隔を差し引くと基準用アンテナの測位結果に一致することになる。しかしながら、健全性評価用アンテナは再放射の電波も受信するため、本来の位置とは大きく異なった測位結果を出力し、測位誤差が生じることが予想される。測位精度の評価結果からこのことが示されれば、試験環境の実現可能性を確認できるものと考えられる。

4. 実験結果に基づく実現可能性の検証

車上測位精度評価手法による測位誤差の算出結果を図3に示す。図3中の二つのグラフの横軸は測定時間、縦軸は測位誤差でゼロに近いほど精度が高い¹⁾。図中の色分けは測位品質で、RTK 測位や CLAS を利用した測位では高精度に測位を行えた

場合に FIX 解（図中の水色）を得られる。図3(a)より CLAS 対応アンテナでの測位は FIX 解を得られたときの測位誤差が小さいことが分かる。図3(b)より健全性判定用アンテナでの測位は FIX 解を得られているものの、測位誤差が 1m 程度定期的に発生していることが分かる。これらのことから、CLAS 対応アンテナは試験環境用アンテナで受信した電波の再放射の影響を受けていないことと、測位誤差が小さい区間を走行中は測位環境が良好であることを確認した。また、健全性判定用アンテナにおいては電波の再放射の影響を受けて定常的な測位誤差が発生したことを確認した。

以上より、試験環境用アンテナとリピータの組み合わせによる試験環境は実現可能と考えられる。

5. おわりに

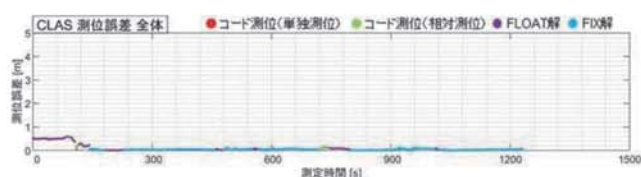
衛星測位健全性判定手法の有用性を検証するための試験環境として、試験環境用アンテナとリピータを組み合わせたイメージを示し、実車による実験と車上測位精度評価手法によって検討を行ったところ、試験環境の実現可能性を確認した。

謝 辞

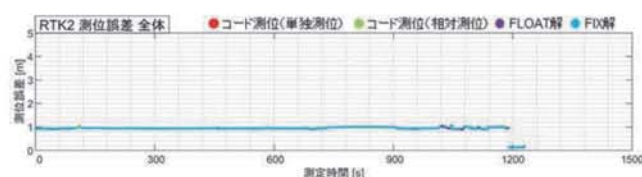
技術協力いただきましたイネーブラー株式会社と実車実験にご協力いただきました山形鉄道株式会社に謝意を表します。

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, (2023)
- 2) 山口大助, 工藤 希, 望月駿登, “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”, 交通研フォーラム 2023 講演概要, pp.65-66, (2023)
- 3) 坂井丈泰, “GPS のセキュリティ”, 日本信頼性学会誌, Vol.39, No.4, pp.158-164, (2017)



(a) CLAS 対応アンテナ



(b) 健全性判定用アンテナ

図3 測位精度評価結果