

## 携帯電話基地局 LTE 信号の電波干渉による GNSS 測位への影響と対策

GPS 機構が管理運用する GPS 基準局の一部において、受信（補足）衛星数低下の異常が頻発し、測位が不安定となる事例が発生した。また、当機構神戸監視センター（神戸市兵庫区）で、調査・試験用に設置した GNSS アンテナ（Zephyr Geodetic2）においても受信（補足）衛星数低下の異常があり、測位が不安定となる現象が発生した。これら異常発生の原因を調査したところ、共通して携帯電話基地局が近傍にあり、この携帯電話基地局の LTE（1.5GHz 帯）信号（※1）の電波が、GNSS の L1 帯（1.56GHz～1.61GHz）周波数に干渉し異常が発生していることが判明した。

海上 GPS 利用推進機構は、令和 2 年度に、携帯電話基地局から発信される LTE 信号（※1）による GNSS アンテナへの電波干渉と対策について現地実証試験を行った。実証試験は、当機構神戸監視センター（神戸市兵庫区和田山通）で行い、屋上には NTT ドコモ携帯基地局があり、約 10m 離れた地点に設置された GNSS アンテナへの LTE 信号による電波干渉の影響と対策について試験を行い評価した。

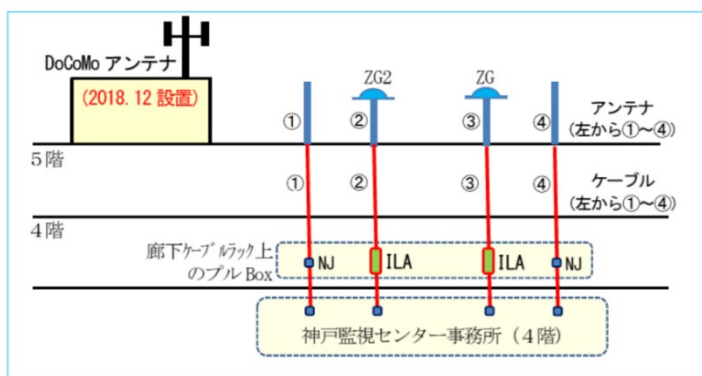


図-1 神戸監視センター屋上の GNSS アンテナ等配置

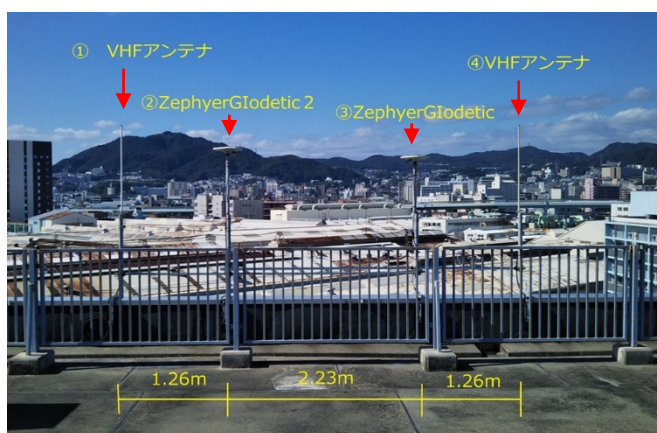


図-2 神戸監視センター屋上の GNSS アンテナ等配置写真

- ①補正情報受信アンテナ
- ②GNSS アンテナ  
(Zephyr Geodetic2 (ZG2))
- ③GNSS アンテナ  
(Zephyr Geodetic (ZG))
- ④補正情報受信アンテナ

- ①補正情報受信アンテナ
- ②GNSS アンテナ  
(Zephyr Geodetic2 (ZG2))
- ③GNSS アンテナ  
(Zephyr Geodetic (ZG))
- ④補正情報受信アンテナ

LTE 信号による電波干渉対策として、国土地理院報告書『LTE 信号の電波干渉による GNSS 観測への影響と対策（測位監視センター、平成 29 年 12 月 22 日）』に基づき、①電波干渉対策が施された GNSS アンテナの使用、②LTE 信号減衰器の挿入、③LTE 帯域フィルターの挿入についてそれぞれ試験を行い評価した。

(※1) LTE とは、NTT ドコモなど大手通信キャリアによるスマートフォンや携帯電話の無線高速通信サービスで、GNSS の L1 周波数 1.575GHz の近傍に割り当てられている。このため GNSS 観測への電波干渉が指摘され、国土地理院の電子基準点においても信号強度低下などの問題が報告されている。

### 1. GNSS アンテナの比較検討（電波干渉対策が施された GNSS アンテナの使用）

実証試験では神戸監視センター屋上において、GNSS アンテナから GNSS 受信機に入力される信号の周波数スペクトルを測定し、LTE 信号の電波干渉の状態を確認し、GNSS 受信機の衛星受信データを解析した。

GNSS アンテナはニコン・トリンプル製の、

- ①GPS 対応の Zephyr Geodetic
- ②広範囲な周波数帯に対応した GNSS 対応の Zephyr Geodetic 2
- ③LTE 信号の電波干渉対策が施された GNSS アンテナ Zephyr 3 Geodetic

を比較評価した。

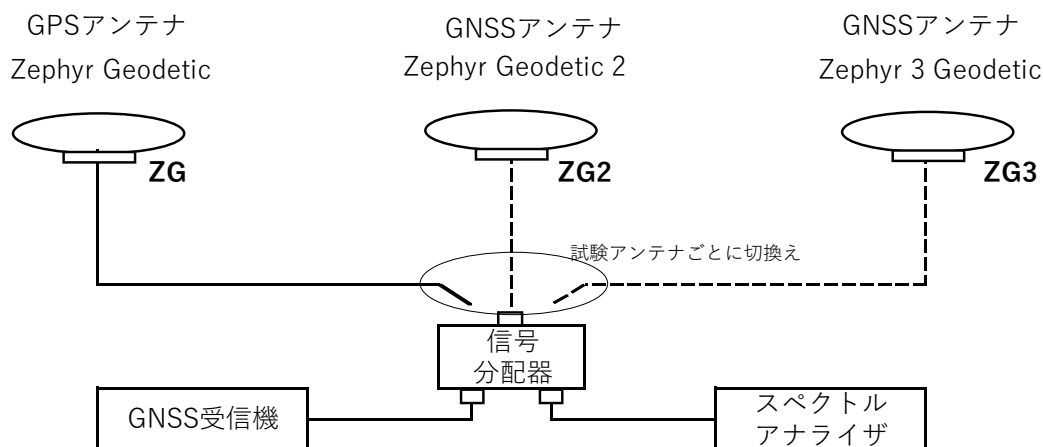


図-3 LTE 信号干渉レベル測定系統図

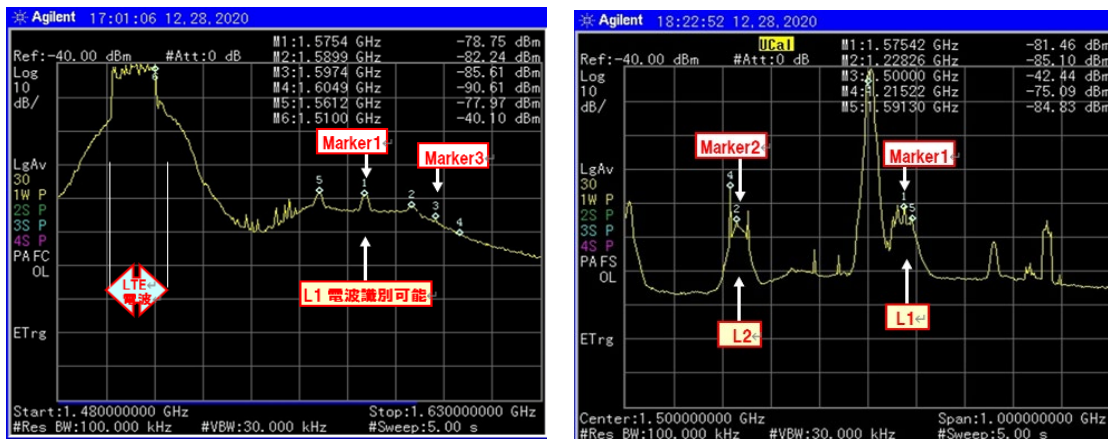
#### (1)GNSS アンテナに対する LTE 信号の電波干渉

スペクトルアナライザを用いて、GNSS アンテナから GNSS 受信機に入力される信号の周波数スペクトルを測定し、LTE 干渉周波数帯（1.5GHz 付近）およびその周辺（1GHz～2GHz）の状況を確認した。周波数スペクトル画面(図-4～6)からは、

- ①Zephyr Geodetic では L1 電波が識別でき、LTE 信号の電波干渉の影響は軽微であることが判明した。

②Zephyr Geodetic 2では雑音に隠れてL1電波が識別できず、LTE信号の電波干渉の影響が大きいことが判明した。なお周波数スペクトルのすそ野が広がっているのは、アンテナ内蔵のプリアンプが干渉信号で飽和し、LTE信号以外の周波数成分が発生したためと考えられる。

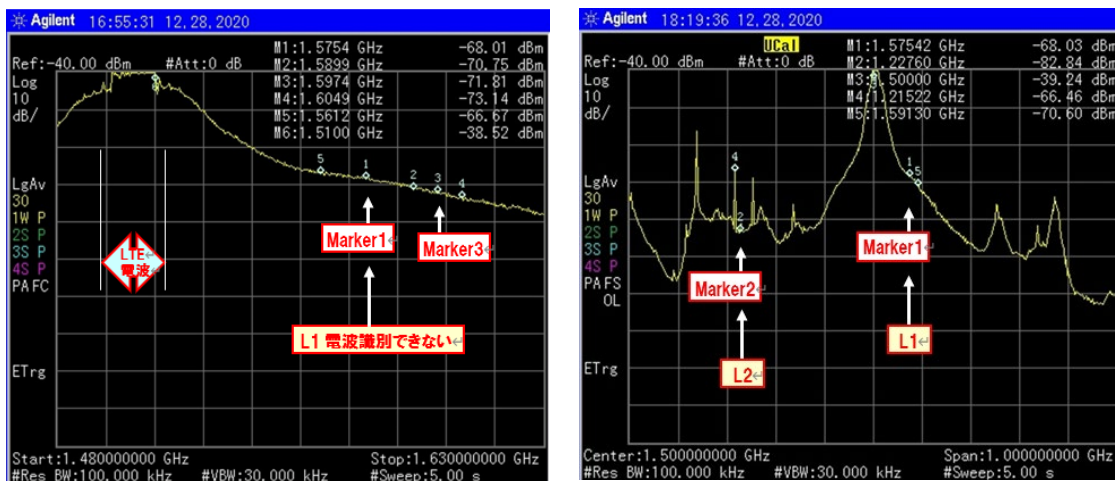
③Zephyr 3 GeodeticではL1電波が鮮明に識別でき、LTE信号の電波干渉の影響は軽微であることが判明した。



LTE 干渉周波数帯 (1.48~1.63GHz)

広帯域周波数帯 (1.0~2.0GHz)

図-4 Zephyr Geodetic の周波数スペクトル画面



LTE 干渉周波数帯 (1.48~1.63GHz)

広帯域周波数帯 (1.0~2.0GHz)

図-5 Zephyr Geodetic2 の周波数スペクトル画面



LTE 干渉周波数帯 (1.48~1.63GHz)



広帯域周波数帯 (1.0~2.0GHz)

図-6 Zephyr 3 Geodetic の周波数スペクトル画面

## (2)GNSS 受信機の衛星受信データの解析

GNSS 受信機内部に保存された静止測量用の衛星受信データを使用し、受信衛星数、衛星信号の強度、衛星追尾状況等を解析した。データ取得は 30 秒間隔とし、1 日分 2,880 のデータを使用した。

①受信衛星数は、Zephyr Geodetic、Zephyr 3 Geodetic では終日 6 衛星以上を補足し、FIX 解 (RTK-GNSS 測位の高度な厳密解) を確保した。Zephyr Geodetic 2 では衛星が 3 基以下になる割合が 1 日の 865 回 (30%) 発生し、FIX 解が失われていた。

②信号追尾を失敗すると RTK-GNSS 測位では再初期化が必要となるので、信号追尾状況は測位安定性の指標となる。信号追尾失敗の発生率 (発生回数/データ数) は、Zephyr Geodetic で 0.05%~0.07%、Zephyr 3 Geodetic で 0.62%~0.68% と低く、測位の安定性が保たれ、Zephyr Geodetic 2 では 13.85%~14.20% と高く、測位が不安定であることが判明した。

表-1 受信衛星数の比較表

被試験機構成		受信衛星数											
アンテナ	GNSS受信機	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9~12	13~14	合計
ZG	NetR9	0	0	0	0	0	0	34	195	1,459	1,192	0	2,880
ZG2	SPS855	201	228	205	231	248	245	271	431	632	188	0	2,880
ZG3	SPS855	0	0	0	0	0	0	257	795	1,009	819	0	2,880

アンテナ ZG・・・Zephyr Geodetic ZG2・・・Zephyr Geodetic2 ZG3・・・Zephyr 3 Geodetic

表-2 信号追尾失敗(Loss of Lock)比較表

被試験機構成		データ数	周波数 L1		周波数 L2	
アンテナ	GNSS受信機		発生回数	発生率 %	発生回数	発生率 %
ZG	NetR9	24,287	151	0.62	164	0.68
ZG2	SPS855	24,078	336	13.85	3,420	14.20
ZG3	SPS855	24,078	151	0.05	15	0.07

アンテナ ZG・・・Zephyr Geodetic ZG2・・・Zephyr Geodetic2 ZG3・・・Zephyr 3 Geodetic

### (3)まとめ

今回の実証試験の結果、近接した NTT ドコモ携帯電話基地局からの LTE 信号による電波干渉で、GNSS に対応し周波数帯域を広帯域化した Zephyr Geodetic 2 が強く影響を受け、信号強度の低下、受信衛星数の低下 (FIX から外れる) が著しいことが確認された。GPS に対応した Zephyr Geodetic、GNSS に対応し LTE 信号干渉対策を施した Zephyr 3 Geodetic については、電波干渉の影響が少なく、これら機材の使用が有効であることが確認できた。

## 2. LTE 信号減衰器挿入、LTE 帯域フィルター挿入の検討

LTE 信号の電波干渉対策として、①干渉対策が施された GNSS アンテナ (Zephyr 3 Geodetic) の使用の他に、より簡易で経済的な方法として、②LTE 信号減衰器の挿入、③LTE 帯域フィルターの挿入についても試験を行い評価した。その際使用するアンテナは、GNSS 対応として広く普及 (LTE 信号の電波干渉を強く受けている) している Zephyr Geodetic 2 とした。実証試験の結果、今回のような携帯電話基地局から GNSS アンテナまでの距離が短い (10m 程度) 場合には、②LTE 信号減衰器の挿入、③LTE 帯域フィルターの挿入ともに電波干渉の低減効果は得られないことが判明した。

### (1)LTE 信号減衰器挿入による電波干渉の低減効果

LTE 信号減衰器 (アッテネータ、以下 ATT) は GNSS アンテナが受信する信号全体を減衰させる装置であり、受信機内のアンプの飽和が原因である場合、それを解消し見かけの上下変動を改善することが期待される。さらに周波数依存性がないというメリットがあり、価格は安い信号全体を減衰させるため CN 比は完全に戻らないほか、減衰量に上限があるというデメリットがある。

実証試験は、LTE 信号の電波干渉を強く受ける GNSS 受信アンテナの Zephyr Geodetic 2 に ATT を挿入し、スペクトルアナライザを用いて、GNSS アンテナから GNSS 受信機に入力される信号の周波数スペクトルを測定し、LTE 干渉周波数帯 (1.5GHz 付近) の状況を確認した。また、RTCM 補正データ Type18 (信号品質とサイクルスリップ情報) から 1 秒毎の補足衛星数をカウントして低減効果を確認した。同時に、LTE 信号の電波干渉の影響が少ない Zephyr Geodetic を同じ条件で試験を行い比較した。

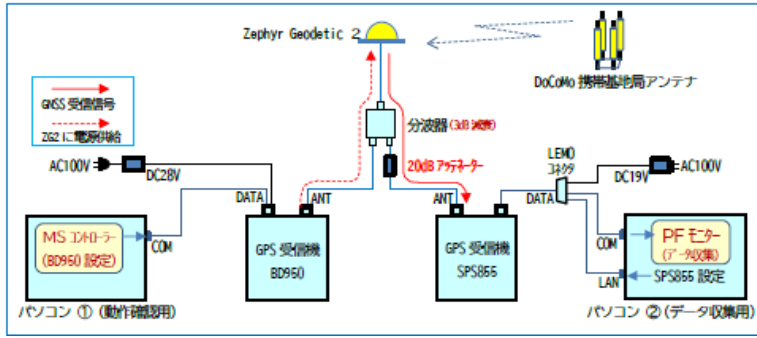


図-7 試験機器構成図



図-8 アッテネータ(ATT)

周波数スペクトル画面(図-9~10)からは、

- ①Zephyr Geodetic2 では ATT 挿入の有無にかかわらず、L1 電波を識別することができず、LTE 信号の電波干渉の影響を低減することができないことが判明した。
- ②Zephyr Geodetic では ATT 挿入の有無にかかわらず、L1 電波を識別することができ、LTE 信号の電波干渉の影響は軽微であることが判明した。

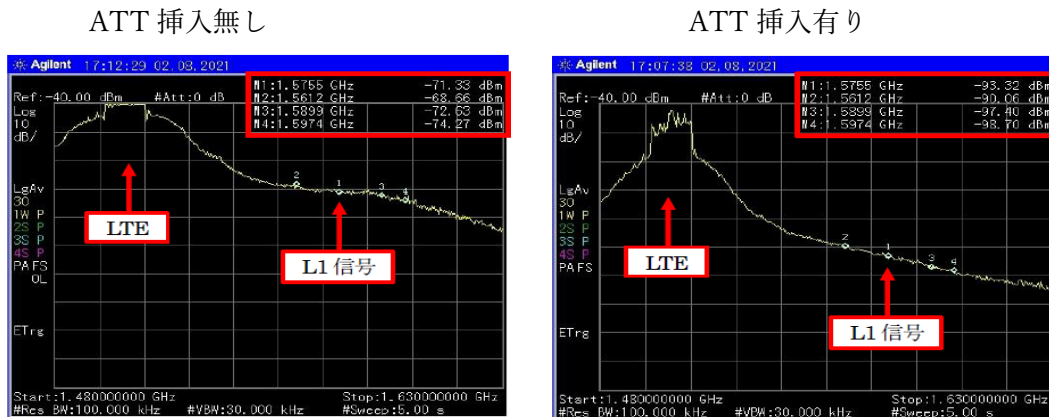


図-9 Zephyr Geodetic2 の ATT 挿入の有無による周波数スペクトル画面

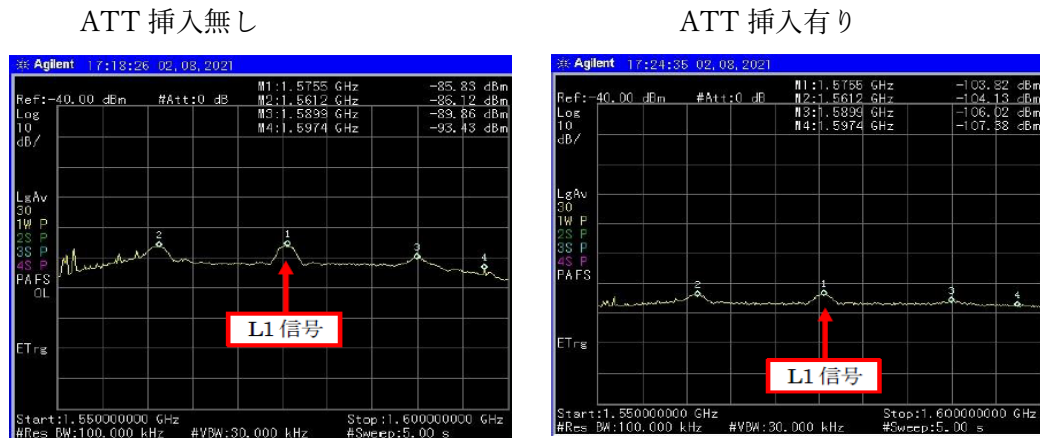


図-10 Zephyr Geodetic の ATT 挿入の有無による周波数スペクトル画面

GNSS 受信機の RTCM 補正データ Type18 (信号品質とサイクルスリップ情報) から 1 秒毎の捕捉衛星数をカウントして、ATT 挿入による LTE 信号の電波干渉低減効果を評価した。追尾衛星数の分布ごとにサイクルスリップとデータ欠落を解析した結果、

- ① Zephyr Geodetic2 ではサイクルスリップとデータ欠落が多発し追尾衛星数が 0 個の場合を含め 3 個以下に低下した時間は、L1 搬送位相信号で計 3,413 秒 (17%) 発生した。信号誤差指標は全て最良値だったことから LTE 干渉があるとサイクルスリップが完全に信号追尾不能に陥ると思われ、ATT 挿入による低減効果は見られなかった。
- ② 一方 Zephyr Geodetic の障害発生はきわめて少なく、追尾衛星数は最低でも 6 個であり、ATT 挿入の有無にかかわらず LTE 信号の電波干渉の影響は軽微であると判断できた。

表-3 Zephyr Geodetic2 L1 搬送位相信号追尾衛星数の分布と異常数のカウント

追尾状態		衛星数	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
発生件数 (秒数)			232	1,084	1,024	1,073	1,303	1,659	2,786	5,630	4,365	794	110	0	0
異常内容	サイクルスリップ		512	330	284	314	310	276	215	103	27	4	0	0	0
	信号誤差大		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	データ欠落		912	4,610	3,689	3,042	2,754	2,488	1,754	794	186	45	0	0	0

GNSS 受信アンテナ: Zephyr Geodetic2 ATT 挿入

(データ: 2021/02/04 12:00:00~17:59:59)

表-3 Zephyr Geodetic L1 搬送位相信号追尾衛星数の分布と異常数のカウント

追尾状態		衛星数	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
発生件数 (秒数)			0	0	0	0	0	0	445	5,048	11,815	3,303	987	0	0
異常内容	サイクルスリップ		0	0	0	0	0	0	0	27	1	0	0	0	0
	信号誤差大		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	データ欠落		0	0	0	0	0	0	0	30	20	1	0	0	0

GNSS 受信アンテナ: Zephyr Geodetic ATT 挿入

(データ: 2021/02/04 12:00:00~17:59:59)

## (2) LTE 帯域フィルター挿入による電波干渉の低減効果

帯域フィルターは、不要な周波数の信号 (ノイズ) を選択的に抑圧することによって、必要な信号を減衰させることなく干渉を防ぐ効果が期待される。ただし、帯域フィルターには一般的に遮断周波数付近の位相を変化させ、温度によって周波数特性が変化するなどの特性がある。

実証試験は、LTE 信号の電波干渉を強く受ける GNSS 受信アンテナの Zephyr Geodetic 2 に LTE 帯域フィルター (以下、ノッチ FLT) を挿入し、スペクトルアナライザを用いて、GNSS アンテナから GNSS 受信機に入力される信号の周波数スペクトルを測定し、LTE 干渉周波数帯 (1.5GHz 付近) の状況を確認した。また、RTCM 補正データ Type18 (信号品

質とサイクルスリップ情報) から衛星補足情報により低減効果を確認した。

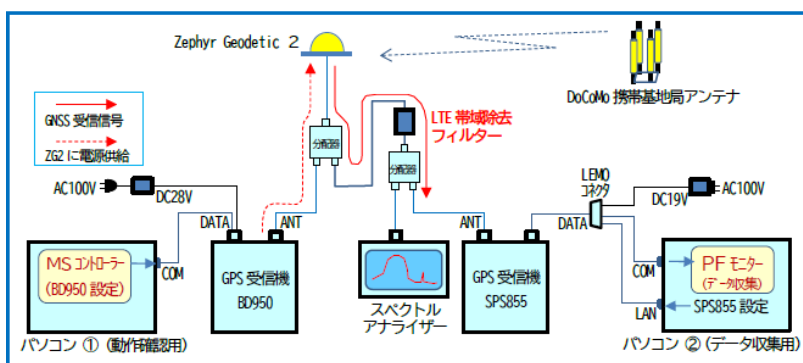


図-11 試験機器構成図



図-12 ノッチ FLT

周波数スペクトル画面(図-13)からは、LTE 電波帯域でノッチ FLT により信号レベルが約 40dB 低減されているが、GNSS の L1 信号は雑音に埋もれて識別することができない。前項で示したように、Zephyr Geodetic 及び Zephyr Geodetic 3 GNSS 受信アンテナでは明確に L1 信号を識別できたがノッチ FLT 挿入による LTE 信号の電波干渉の影響を低減することができないことが判明した。

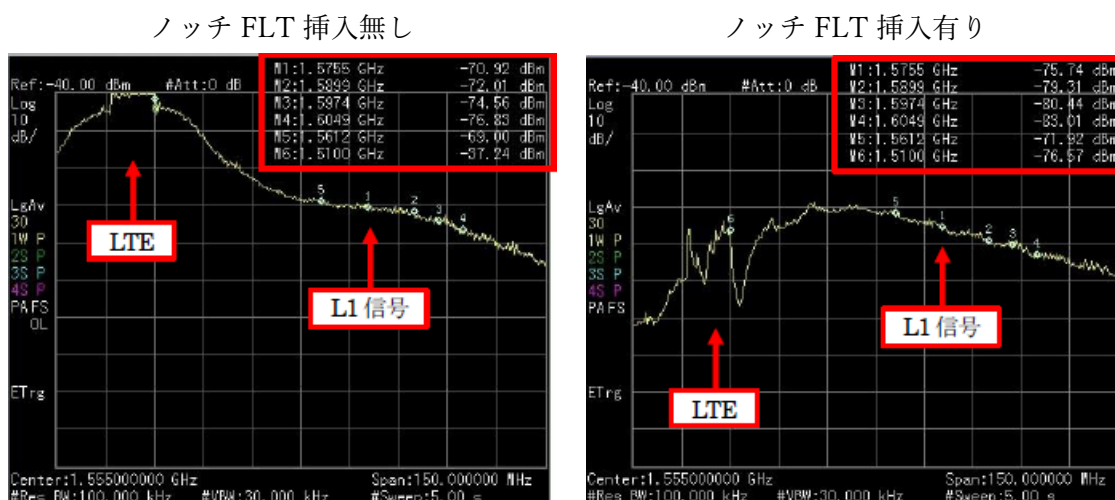


図-13 Zephyr Geodetic2 のノッチ FLT 挿入の有無による周波数スペクトル画面

GNSS 受信機の RTCM 補正データ Type18 (信号品質とサイクルスリップ情報) から 1 秒毎の捕捉衛星数をカウントして、ノッチ FLT 挿入による低減効果を評価した。図-14 捕捉衛星数のデータ解析結果 (1 時間強) から LTE 電波干渉がなく捕捉衛星数が安定している場合には、補足衛星数は最小=平均=最大 (同数) になるが、LTE 信号の影響により衛星数が激しく変動し、1 分の間に RTK-GNSS 測位が継続出来ない 3 個以下に低下する



ことが多発しており、ノッチ FLT 挿入による低減効果がないことが判明した。(安定的に RTK-GNSS 測位が出来ない)。

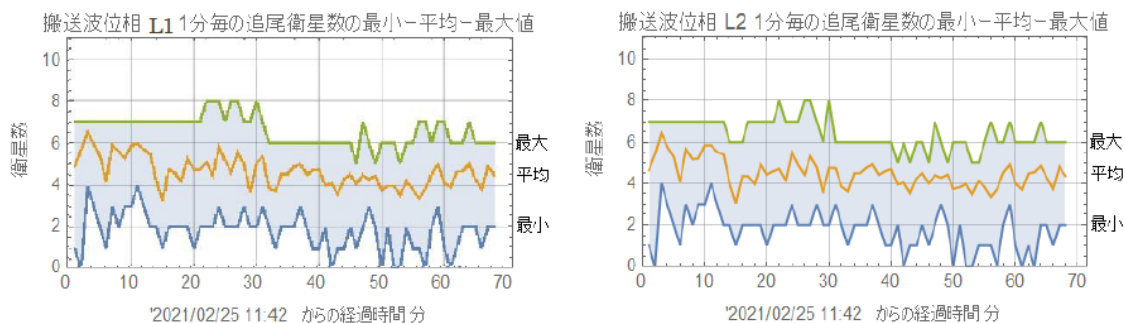


図-14 Zephyr Geodetic2 の補足衛星数

### (3)まとめ

LTE 信号による電波干渉に対して低減効果があると言われている、LTE 信号減衰器の挿入および LTE 帯域フィルターの挿入により実証試験を行ったが、いずれの方法も低減効果がないことが確認された。その理由として、近接 (10m 程度) した NTT ドコモ携帯電話基地局からの強力な電波干渉によるものと思われ、国土地理院報告書『LTE 信号の電波干渉による GNSS 観測への影響と対策 (測位監視センター、平成 29 年 12 月 22 日)』で効果があると報告されているのは、携帯電話基地局から 1km 程度離れた場所でのものである。

### 謝辞

実証試験では、データの収集から解析までの殆どを当機構前神戸監視センター長林忠夫氏に行っていただきました。ここに感謝の意を表します。

令和 3 年 8 月

執筆：海上 GPS 利用推進機構 主任研究員 藤内 義樹  
 : 海上 GPS 利用推進機構 神戸監視センター長 竿田 純功