

利 用 実 証 結 果 報 告 書

平成 28 年 3 月 18 日 Ver.1

テーマ	変電所構内における準天頂衛星システムの受信電界および測位精度調査
実証機関 (共同機関)	(一財)電力中央研究所 システム技術研究所 通信システム領域
実証期日	2015 年 12 月 8 日～21 日、2016 年 2 月 12 日・22 日
実証場所	東京都狛江市岩戸北、群馬県前橋市苗ヶ島町
実証目的	変電所構内における位置情報の精度を取得し、遮蔽物や妨害電界に対する影響について評価する。
実証内容	別紙参照
実証構成	別紙参照
受信信号	・GPS:L1C/A、L1C、L2C、L5 ・QZS:L1C/A、L1C、L1-SAIF、L2C、L5

テーマ	変電所構内における準天頂衛星システムの受信電界および測位精度調査
実証結果	別紙参照
考察	別紙参照



変電所構内における準天頂衛星システムの受信電界および測位精度調査 変電所構内におけるセンチメートル級測位の利用可能性検討

電力中央研究所 システム技術研究所

通信システム領域

利用実証結果報告

2016年3月18日

 電力中央研究所

電力保安業務での利用可能性(背景)

◆ 電力事業における準天頂衛星システムの利活用可能性については、衛星測位サービス以外にも展開があり得る

➤ 衛星測位サービスの活用展開例

■ 電力中央研究所 研究報告

- R13005「設備保全フィールドセンサネットワークの構成手法(その3)―無線センサノードの位置推定に関する基礎検討―」(宮下ら)
- V08063「GPS携帯テレメトリと高解像度衛星データを活用したタヌキの行動および生息環境の調査・解析手法の提案」(竹内ら)
- U12017「西岡純, 津旨大輔, 芳村剛, 武田重信, 津田敦. 海洋への鉄散布による生物的CO2固定―鉄散布手法および観測手法と海洋プランクトン生態系の応用」(西岡ら)

➤ 高精度時刻の活用展開例

■ 故障点標定装置

- GPS利用送電線路故障点システム(東京電力 黒澤ら など)

■ 通信ネットワーク クロック(電力業界では未導入)

- Time Provider 1000/1100(NECマグナスコミュニケーションズ など)

■ 電力中央研究所 研究報告

- R09012「電力用通信網における高精度時刻同期方式の技術動向と適用検討―IEEE1588を用いた電力用時刻同期網の基礎評価―」(藤川ら)

電力保安業務をターゲットとした検討(目的)

◆我が国の重要インフラのひとつである電力保安業務においては、過酷な環境においても安定的に利用できる必要があるため、以下について見通し試験を実施した

➤電力設備における過酷環境での利用見通し

■豪雨時の信号受信(水力発電所を想定)

■変電所構内での信号受信(変電所での利用を想定)

➤電力設備付近での測位精度の影響見通し

■変電所外

■変電所構内(電線の下)

■変電所設備付近

受信電界レベル検証試験

荒天時での利用見通し試験(概要)

- ◆ 受信機にて電界強度を測定し、晴天時と雨天時との強度影響変化を測定する
- ◆ 受信機アンテナを水槽に沈め、電界強度の影響を測定する



荒天時での利用見通し試験(場所・期間)

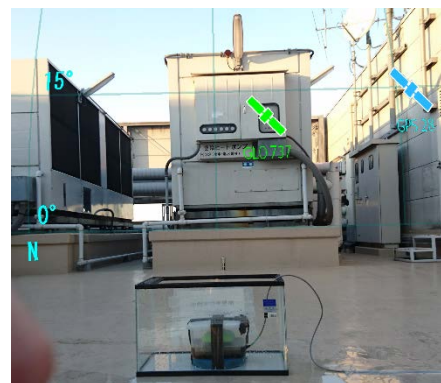
- ◆ 測定場所:(一財)電力中央研究所 狛江地区
(北緯35度38分15.07848秒, 東経139度35分2.40324秒, ジオイド高37.1319m)
※ 検証測定器による測位
- ◆ 測定期間:2015年12月8日～21日
- ◆ 測定装置:ALPHA G3T
- ◆ 評価方法:搬送波電力対雑音電力比(C/N_0)による受信信号レベル比較
測定周期を30秒に1回とする



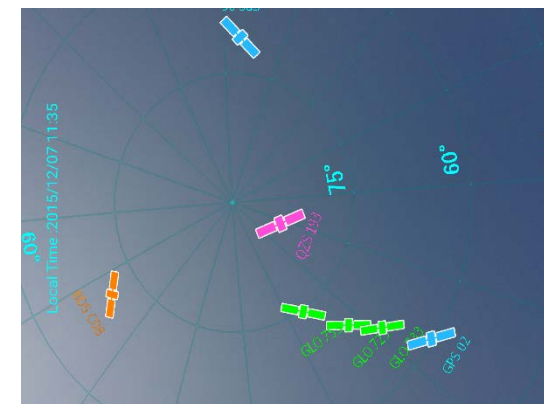
Googleマップの緯度経度入力を利用

荒天時での利用見通し試験(周囲環境)

◆ 遮蔽物があり, 仰角 40° 程度以下では電界強度が大きく下がり得る



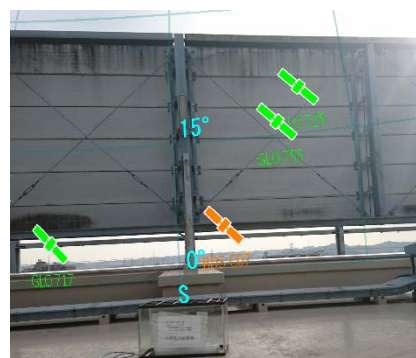
北(仰角 20° 以下に遮蔽物)



天頂



東(仰角 30° 以下に遮蔽物)



南(仰角 40° 以下に遮蔽物)



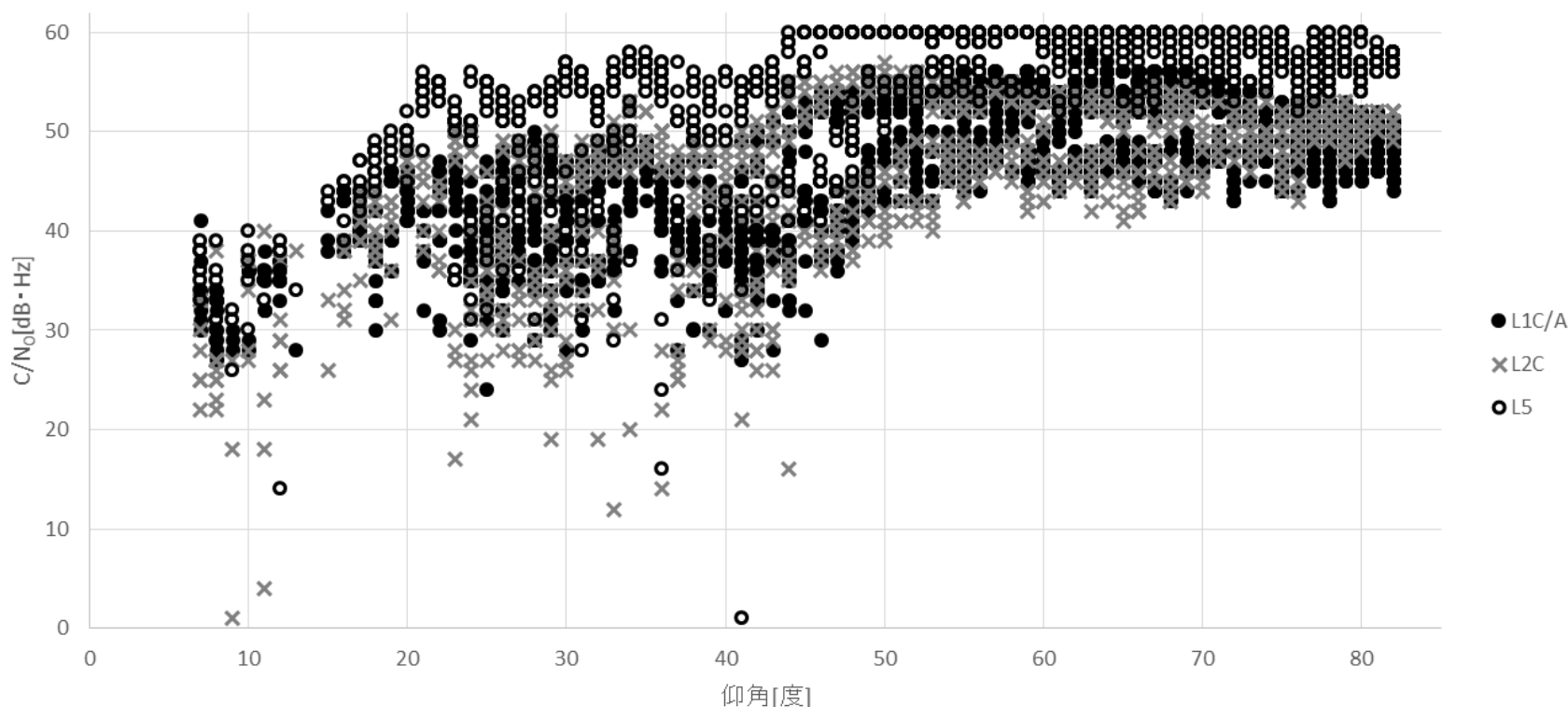
西(仰角 40° 以下に遮蔽物)

GNSS Viewにて撮影

予備試験結果(仰角-受信信号レベル)

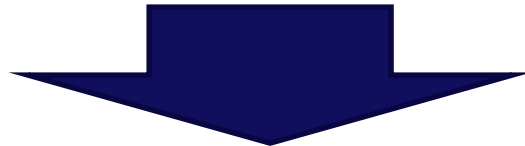
- ◆ GPSからのメッセージにて、仰角と受信信号レベルとの関係を確認した
 - 45° 以上から安定した受信信号レベルが得られたことから、 60° 以上の準天頂衛星システムは、他のNSSより安定したメッセージ提供が期待できる
 - 検証用受信機においては、 $L5 > L2C > L1C/A$ の順番で受信レベル耐力が期待できる

仰角-受信信号レベルの関係



荒天時でのレベル影響(結果概要)

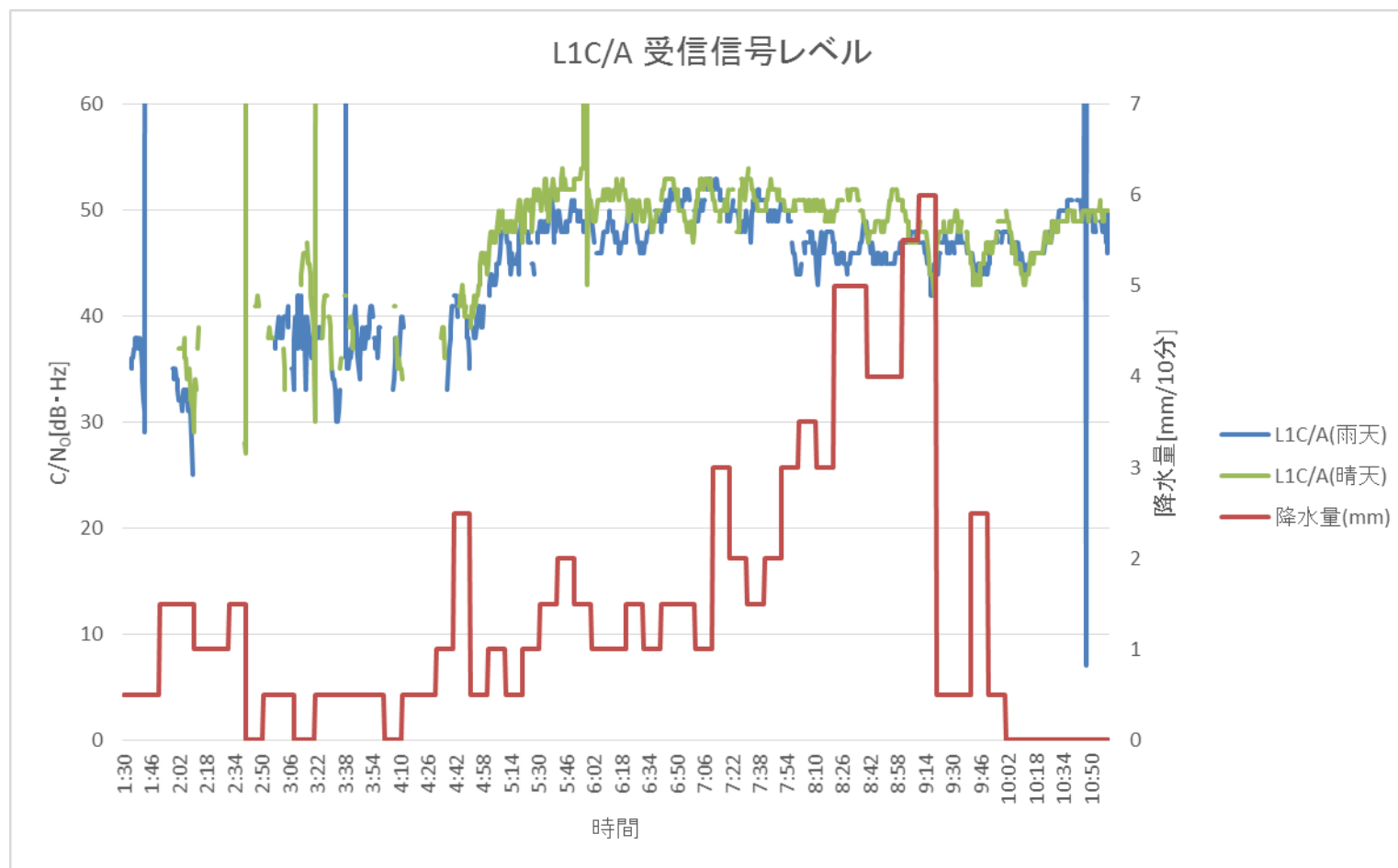
- ◆ 2015年12月11日午前中に最大6 mm/10分(36 mm/時相当)の大雨時のデータを偶然測定できたことから、翌日の晴天時と比較した
 - ※ 降雨量は気象庁 世田谷雨量計データ(世田谷区岡本)を利用



- ◆ 比較の結果、瞬間的に急激な電界強度低下または欠損が見られるものの、受信メッセージの継続断は発生しないことが明らかとなった
- ◆ 信号によっては雨天により定常的レベル低下は見られるものの、 C/N_0 の最低レベルまで十分にあるため100 mm/時以上ある水力発電設備での利用も可能である見通し
- ◆ L1C/Aよりコード長(周期)チップレートが大きいL2C, L5のほうが、より雨天によるレベル低下が小さく耐力がある

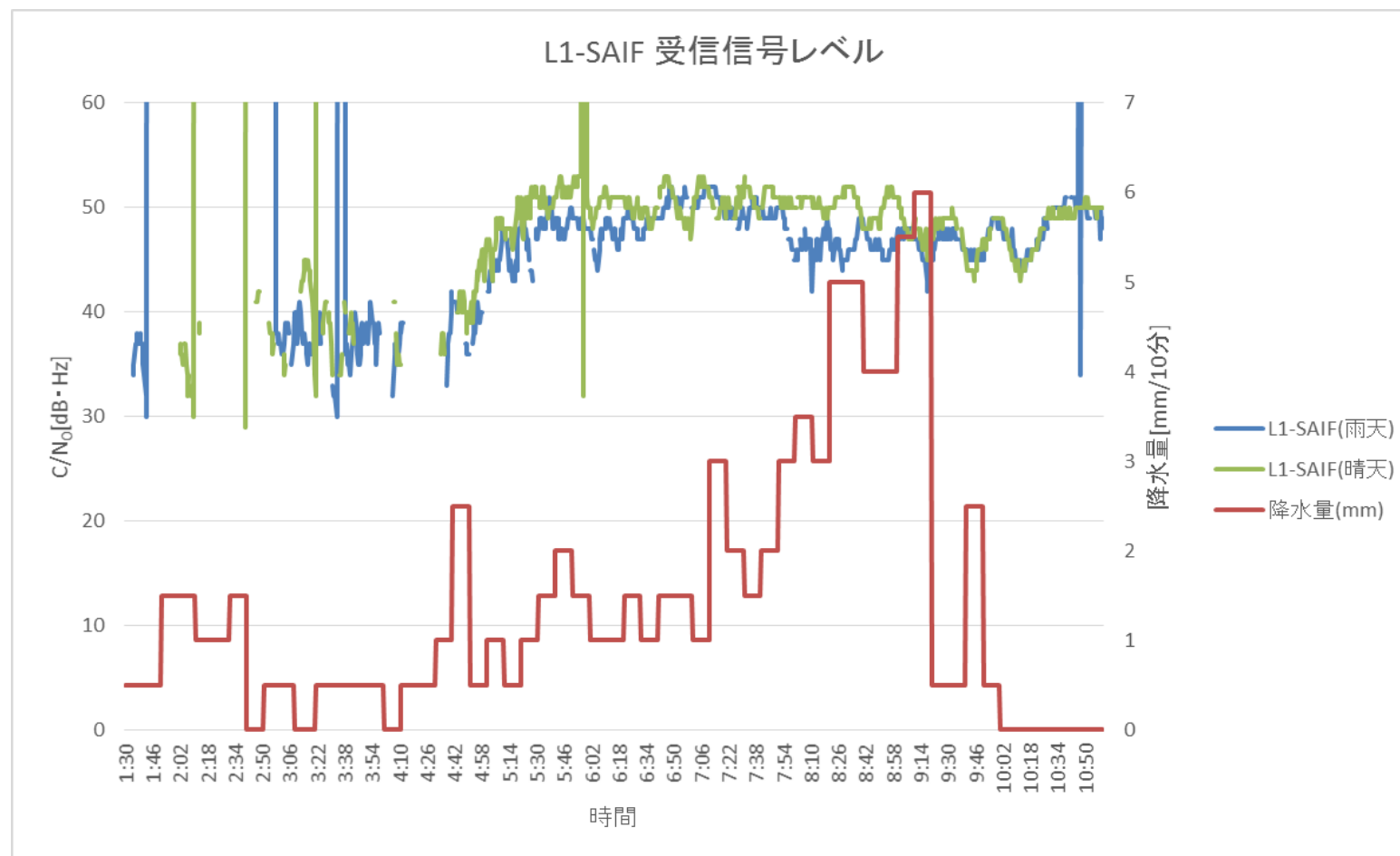
雨天時の受信信号レベル(L1C/A)

- ◆ 最大－8dB-Hz程度のレベル低下が確認されたものの、およそ30dB-Hz程度まで低下しても受信メッセージには影響ない
- ◆ ところどころで異常な信号レベルが確認できる



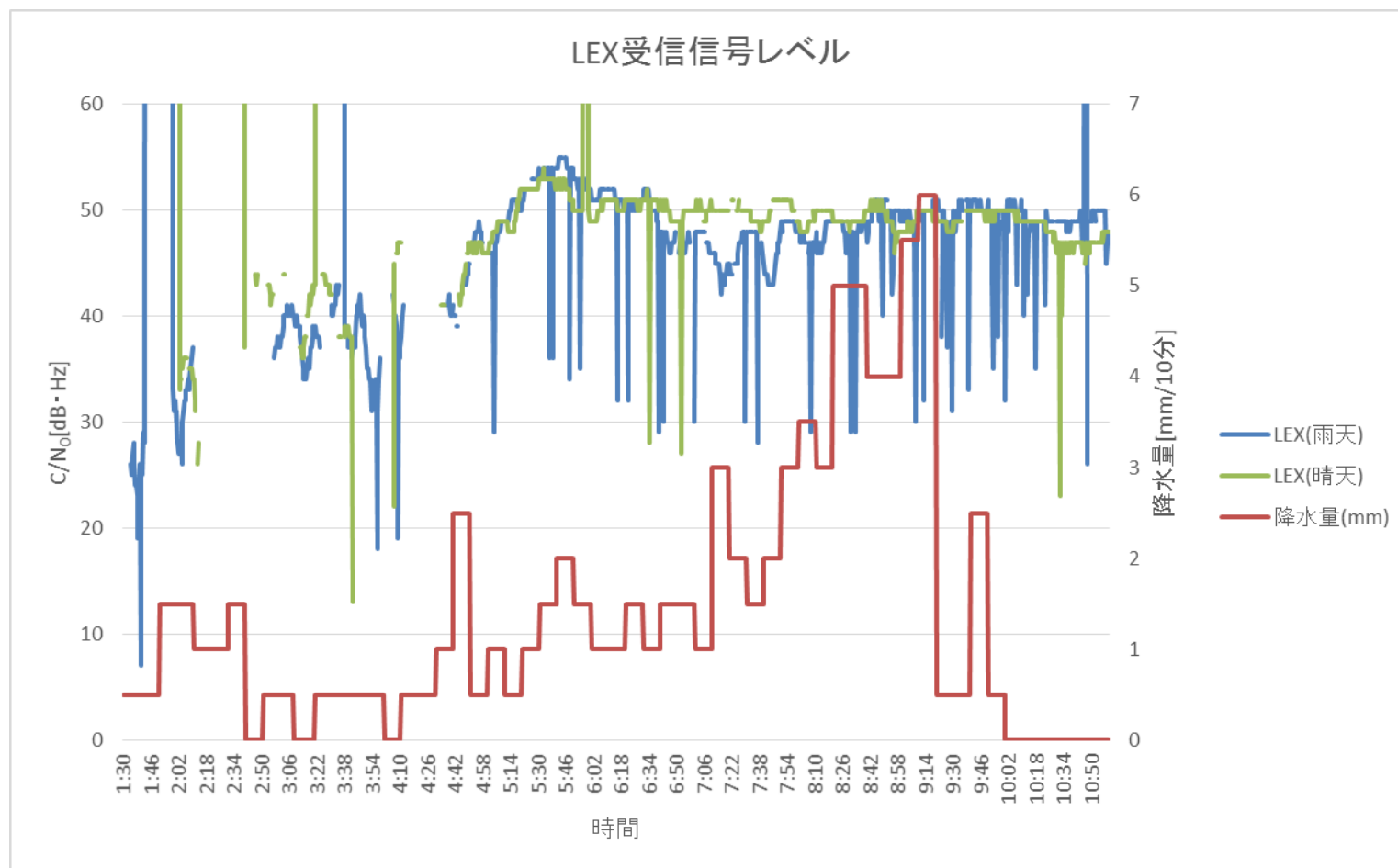
雨天時の受信信号レベル(L1-SAIF)

◆ おおよそL1C/Aと同じ受信信号レベルであった



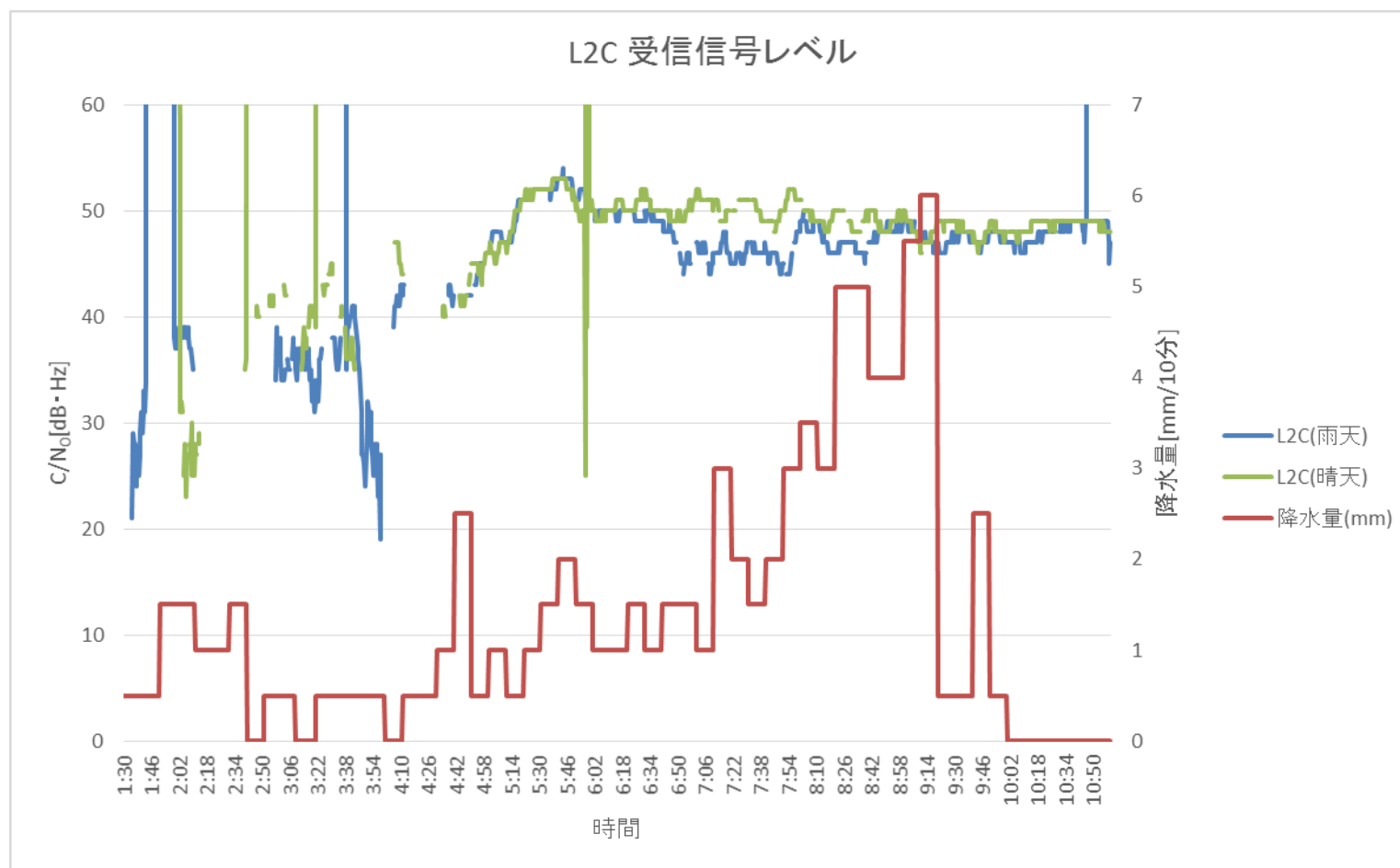
雨天時の受信信号レベル(LEX)

- ◆ 定常的に最大－8dB-Hz程度，瞬間的には更に最大－18dB-Hz程度まで低下した。ただし，メッセージ受信には異常なく，LEX信号のみ欠損するなどの影響はなかった。



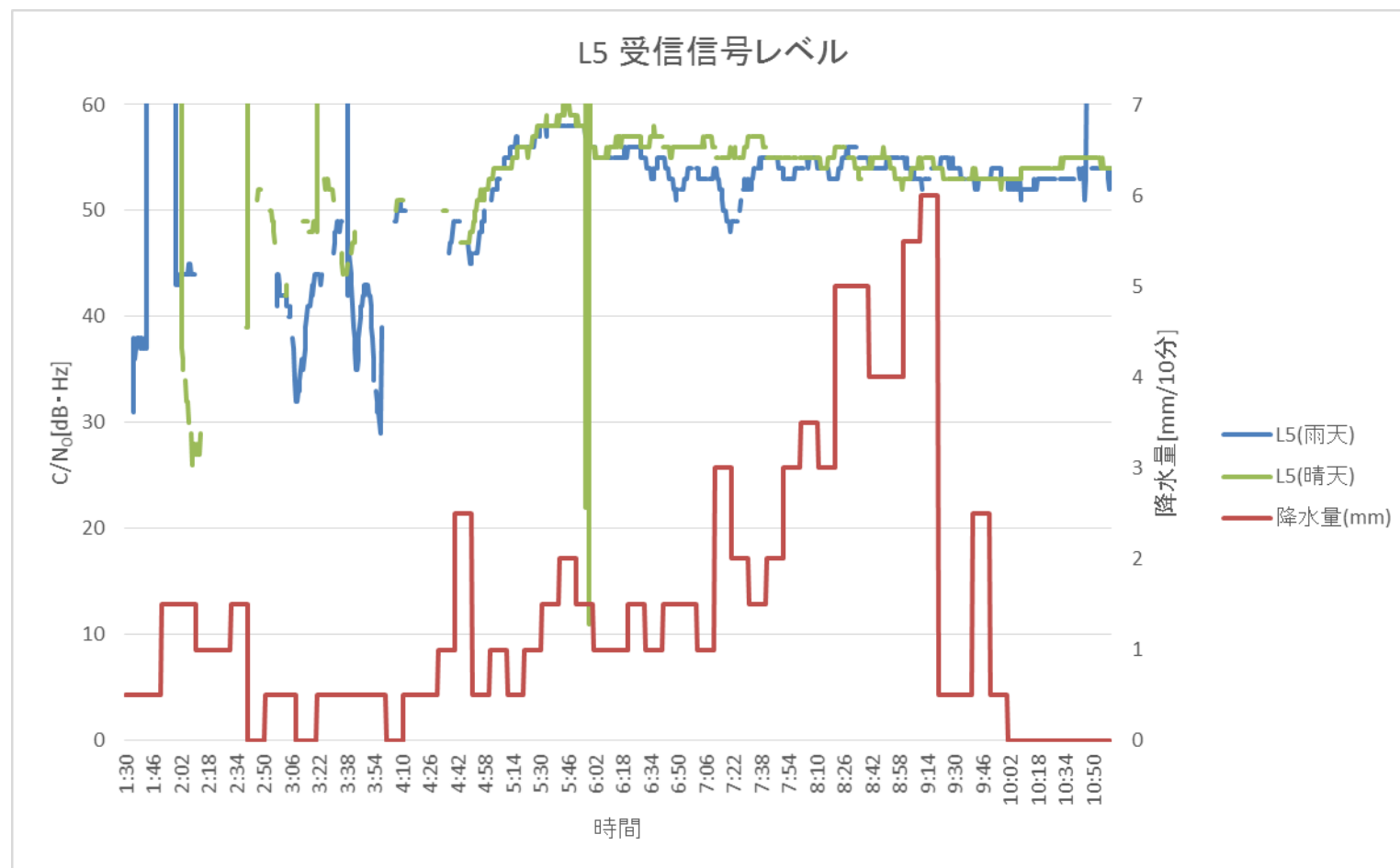
雨天時の受信信号レベル(L2C)

- ◆ L1C/Aと比べて非常に安定した C/N_0 が得られ, 雨天・晴天に関わらず安定した



雨天時の受信信号レベル(L5)

- ◆ L2Cと同様に安定した C/N_0 が得られ、かつ最も高いレベルで受信できる信号で、レベルマージンがある見通し



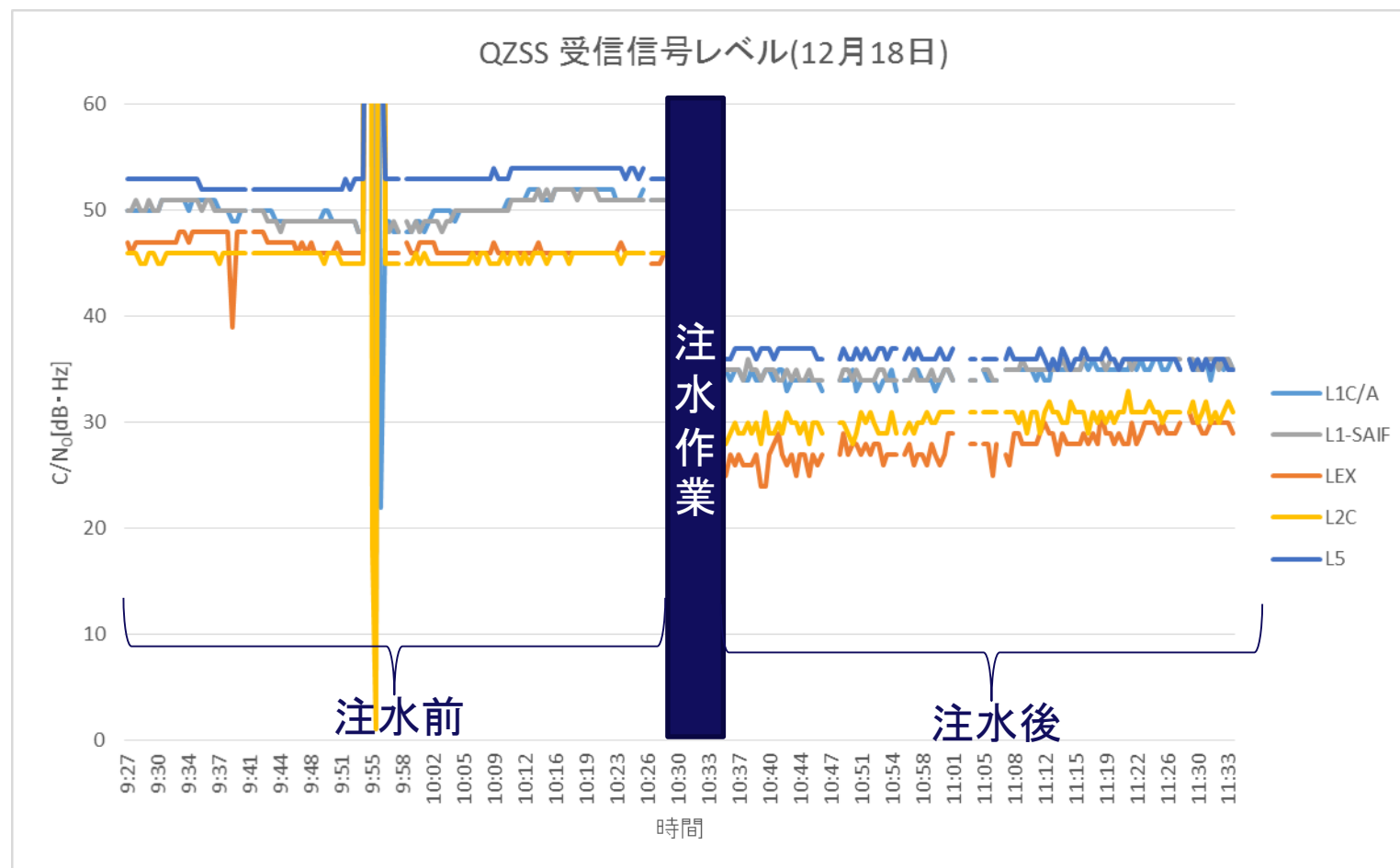
積雪環境時での受信電界レベル影響

- ◆ 衛星信号受信アンテナを設置している水槽に水を入れ、受信信号レベルの変化を確認した
 - 上部冠水状態(写真のとおり)でL1C/A信号が限界レベルまで低下し、それ以上では受信不可となった



積雪環境時での受信信号レベル影響

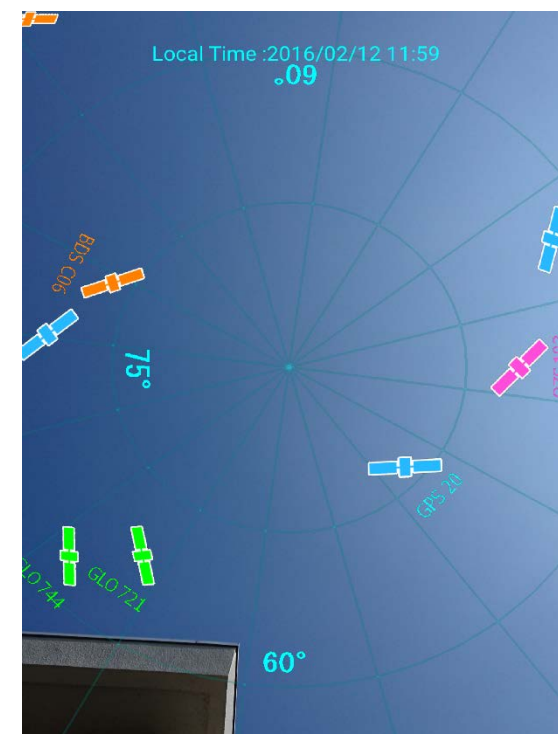
- ◆ 冠水前まではレベルはほぼ変化せず，上部冠水し始めると急激に低下した。捕捉衛星数も19～22から5～7へと減った。
(グラフは上部完全冠水直前の受信信号レベルの変化)



衛星測位検証試験

電力設備付近での測位精度の影響見通し試験(概要)

- ◆ 台車に衛星測位システムに置き, 各測定ポイントにて衛星測位を実施
 - ◆ 電力保安業務への利活用を想定し, 測位値がある程度の見通しが得られる収束時間を計測する
- (測位のばらつきは他の利用実証にて推進されているため参考程度)



電力設備付近での測位精度の影響見通し試験(場所・期間)

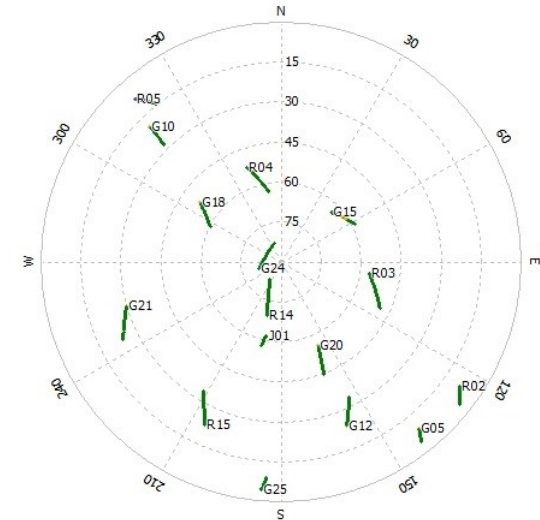
- ◆ 測定場所:(一財)電力中央研究所 赤城試験センター 変電所周辺
(北緯36度27分40.0644秒～28分6.3196秒,
東経139度11分15.6336秒～18.2904秒,
ジオイド高41.563～41.564m)
- ◆ 測定期間:2016年2月12日・22日
- ◆ 測定装置:ALPHA G3T,
センチメートル級衛星測位システム
- ◆ 評価方法:
 - 各測定ポイントにてアンテナを設置し,
衛星測位を実施する(5分以上)
 - 測位結果をヒストグラム化し, 最大ピーク
が得られた最大値を確認する。フィックス
状態が得られた場合はその時間を計測
 - 電力中央研究所報告R13005「設備保全
フィールドセンサネットワーク...」の
目標精度10 cmを参考指標として,
ヒストグラムの配列区間は緯度, 経度
ともに5 cm程度相当とする。



Googleマップより

変電所外試験(建屋付近)-信号レベル

- ◆ 建屋南西から2.65m離れた位置で測定(予備として10分間計測した)
 - 変電所設備からは十分な離隔があり, 受信信号レベルが安定している
 - 建屋の遮蔽により北東にある衛星からのメッセージは受信できない



スカイプロット



アンテナ設置状況

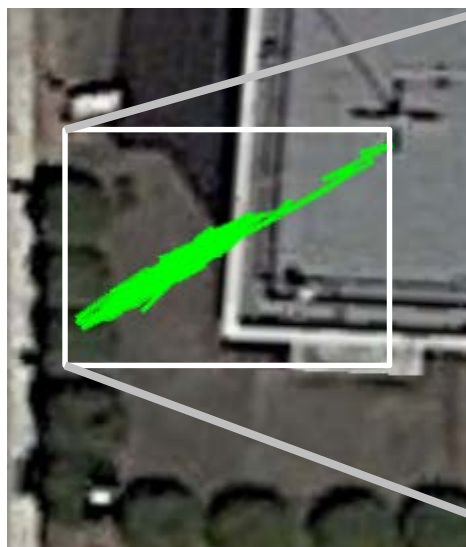


QZSSの受信信号レベル(L1C/A), 仰角

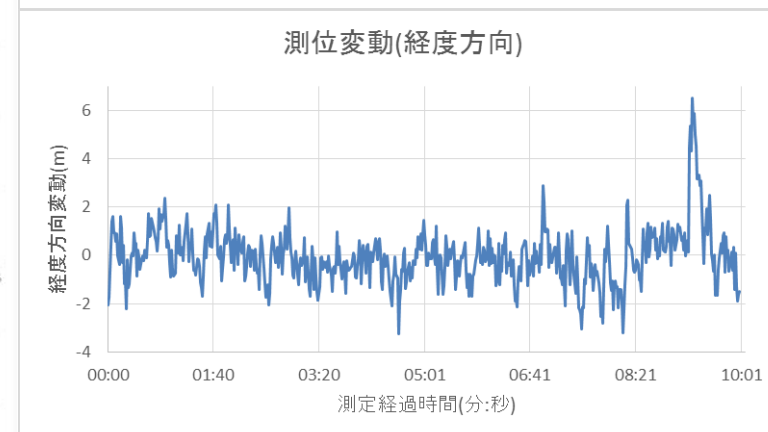
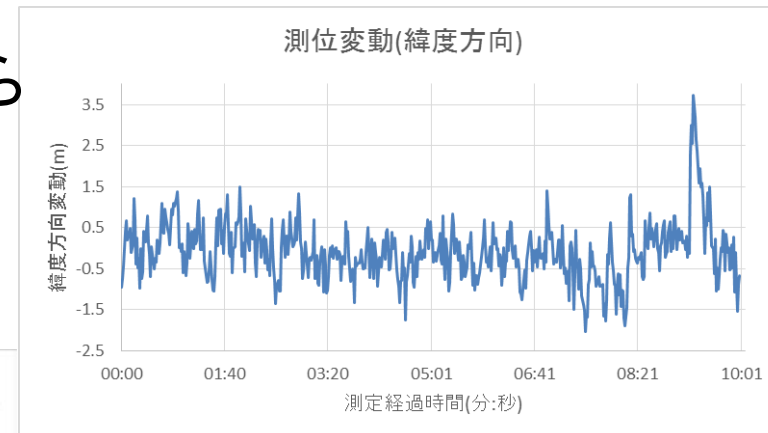
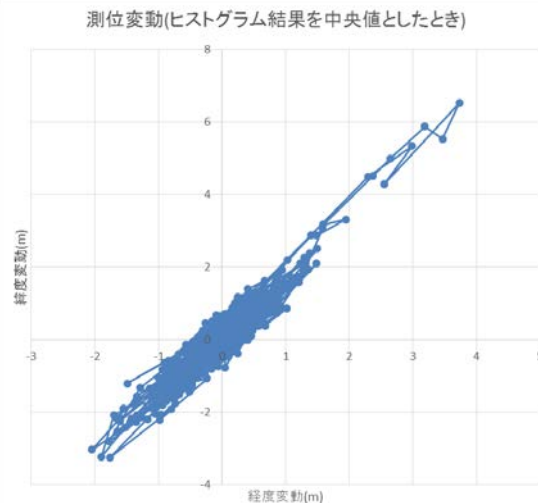
変電所外試験(建屋付近)-GNSS

◆測位変動のばらつきが大きい

- 補正情報は用いないがGNSS+GLONASS+QZSSにて16のメッセージを受信している
- およそ7分15秒後でヒストグラムから緯度経度を推定できた
- 測位変動幅は大きい
(緯度距離5.8m 程度, 経度距離:9.8 m程度)



GNSS結果(Googleマップ)

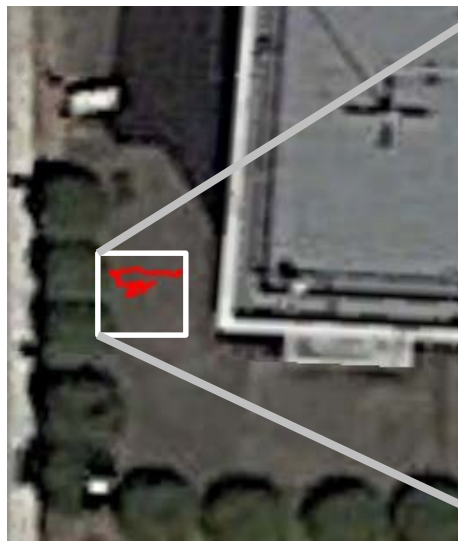


GNSS結果

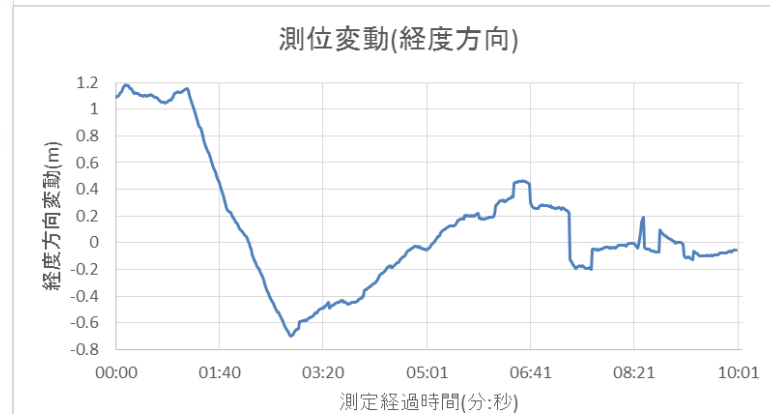
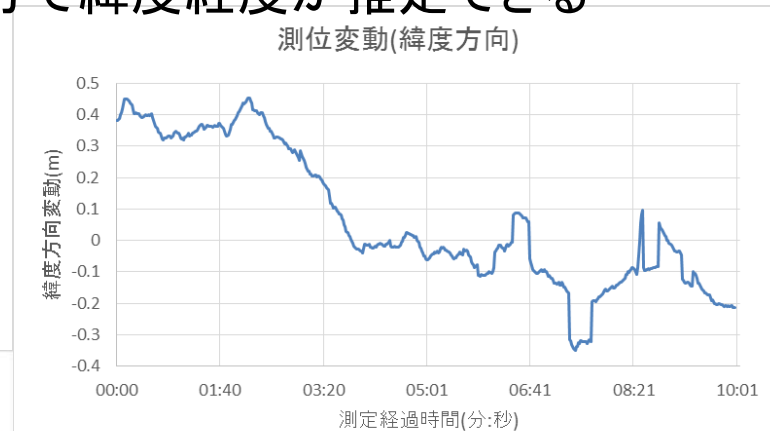
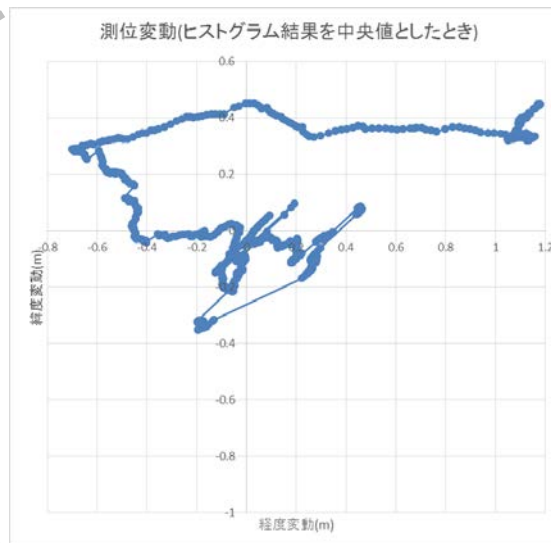
変電所外試験(建屋付近)-サブメータ級

◆ 変動が緩やかであるが補正が収束(フィックス)するまで時間がかかる(フローティング状態がある)

- およそ5分後に補正がフィックスし、以降数分で緯度経度が推定できる
- 測位変動幅は6衛星(GPS+QZSS)の割に小さい
 - 緯度距離0.8m 程度, 経度距離1.9 m程度 (フローティング状態含む)
 - 緯度距離0.5m 程度, 経度距離0.7 m程度 (フィックス状態のみ)



サブメータ級結果(Googleマップ)



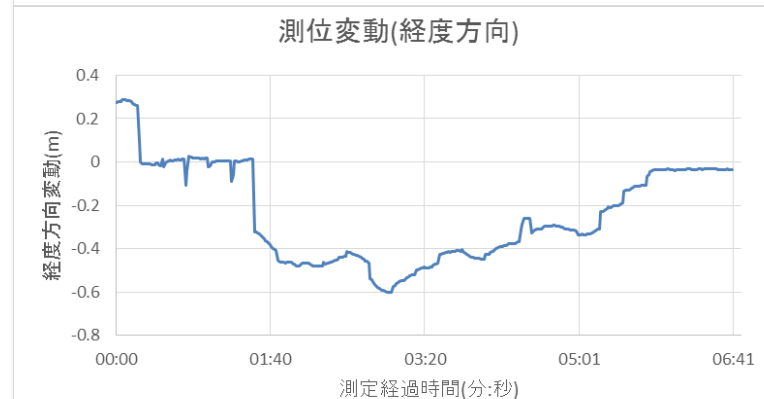
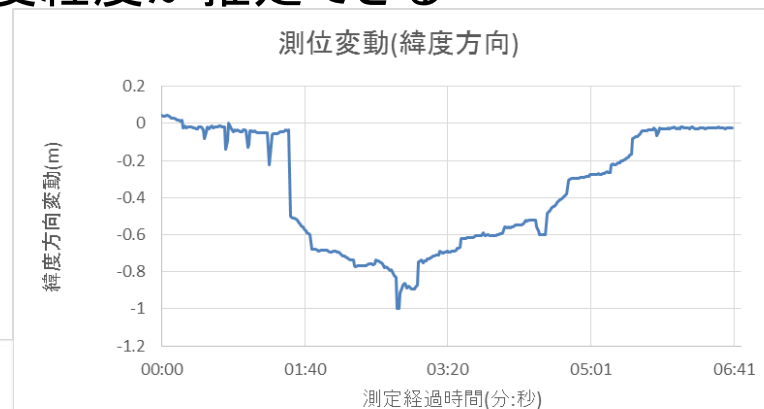
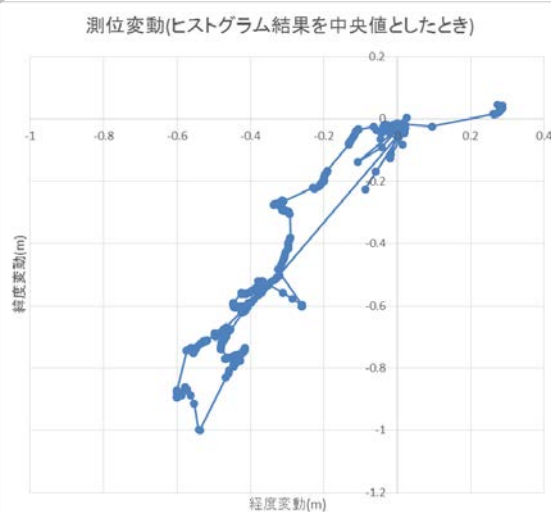
GNSS結果

変電所外試験(建屋付近)-センチメートル級

- ◆ 収束(フィックス)状態になる時間はサブメータ級と同程度であった。
- ◆ ヒストグラム解析が不要なほど変動が小さい
 - 5分54秒後に補正がフィックスし、数秒で緯度経度が推定できる
 - 測位変動幅は6衛星(GPS)でも非常に小さい
 - 緯度距離1.1m 程度, 経度距離0.9 m程度 (フローティング状態含む)
 - 緯度距離0.02m 程度, 経度距離0.01 m程度 (フィックス状態のみ)



センチメートル級結果(Googleマップ)

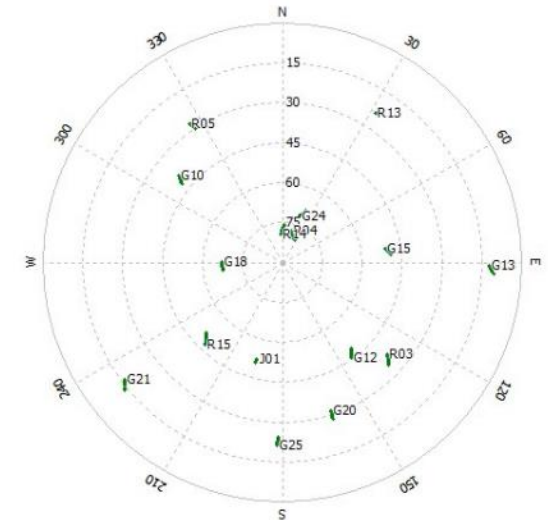


GNSS結果

変電所内試験(送電線下)-信号レベル

◆ 変電所に引き込まれている送電線の真下にて測定

- 若干, 受信信号レベルが変動しているが受信信号レベルに影響なくメッセージを受信でき, 測位に支障なし
- 送電線やフェンスは遮蔽物やマルチパス要因とはならない見通し



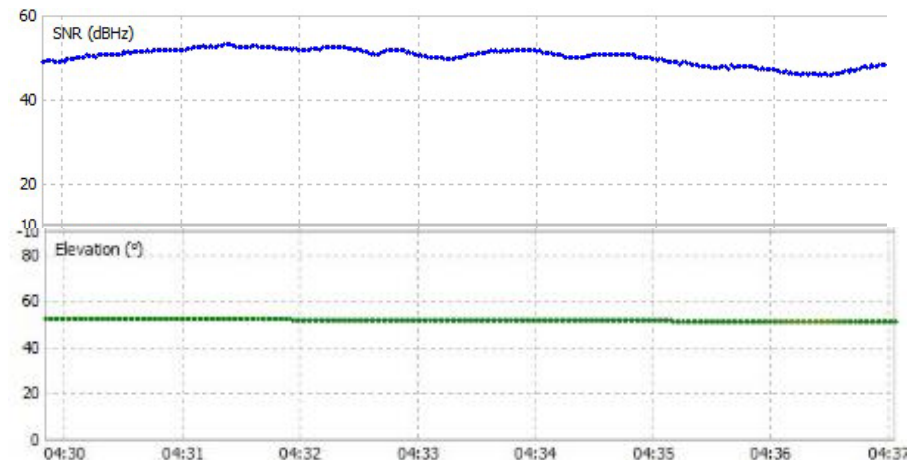
スカイプロット

補正信号受信
アンテナ

衛星信号受信
アンテナ



アンテナ設置状況(センチメートル級)



QZSSの受信信号レベル(L1C/A), 仰角

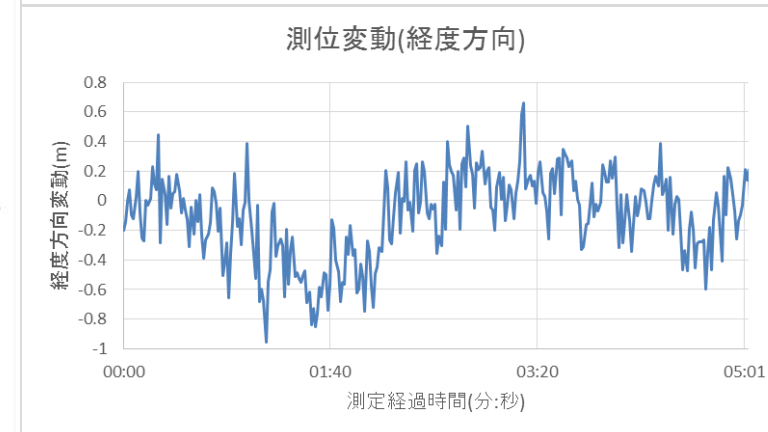
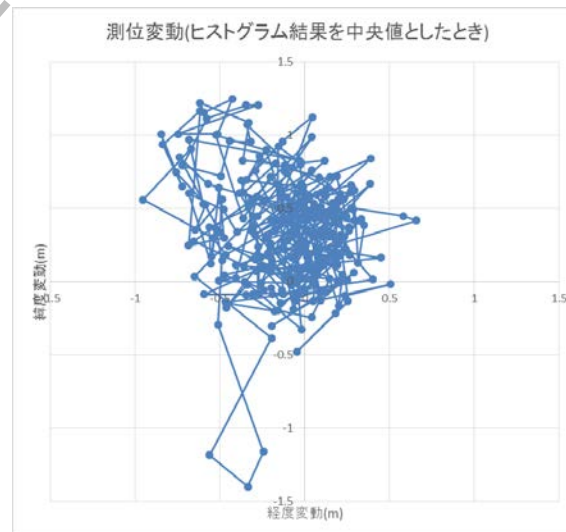
変電所内試験(送電線下)- GNSS

◆ 電気所外GNSSより測位変動のばらつきが小さい

- 電気所外と同じく16のメッセージを受信しているが、衛星の配置が良く測位変動が変電所外よりも小さい
- 5分測定でヒストグラムから緯度経度を推定できたが、データ量として不足し、定量的評価としては不十分
- 測位変動幅は変電所外より良いが、最大値としては同程度
(緯度距離2.7m 程度, 経度距離:1.7 m程度)



GNSS結果(Googleマップ)



GNSS結果

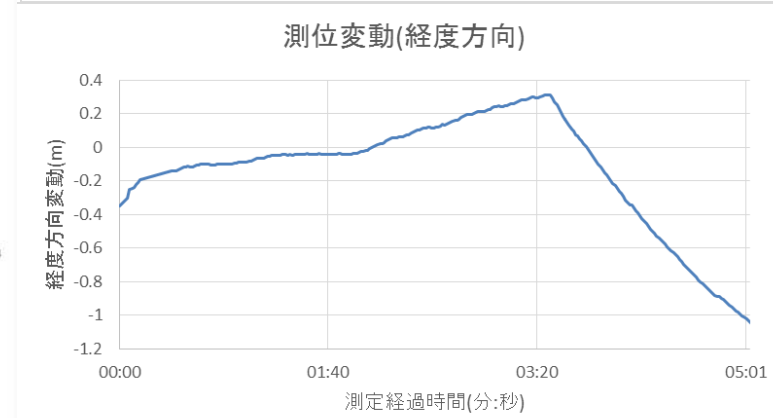
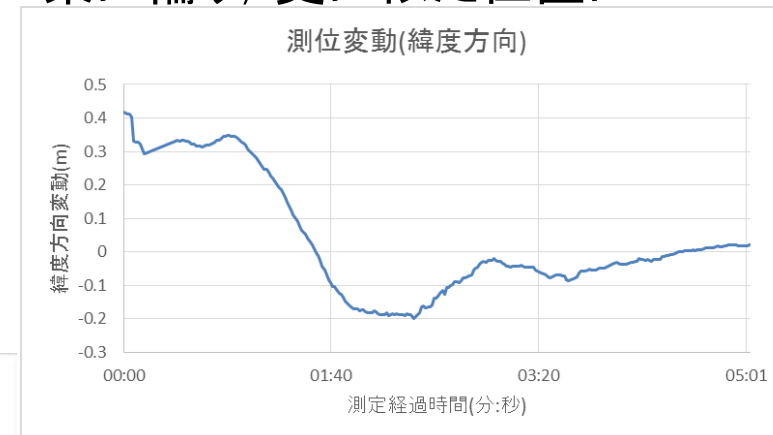
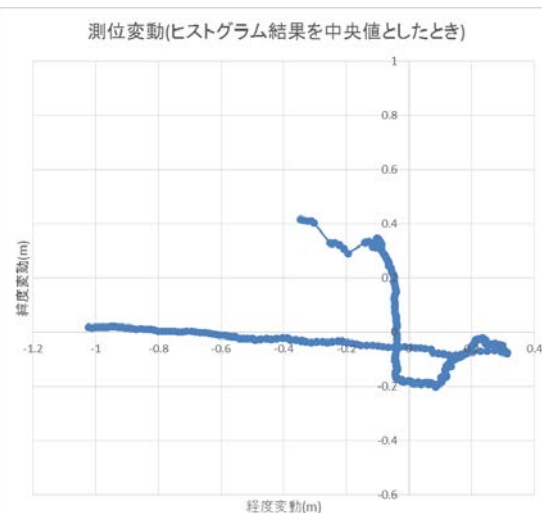
変電所内試験(送電線下)-サブメータ級

◆ 衛星測位が5分で収束(フィックス)せず, 緯度経度の選定に至らなかった

- 測位衛星が6衛星(GPS+QZSS)の配置が南～東に偏り, 更に似た位置にGPSが集中したことがフィックスしなかった一因と考えられる
- 緯度距離0.7m 程度, 経度距離1.4 m程度(フローティング状態)
- フィックス状態ではないため緯度経度について再度測定が必要である



サブメータ級結果(Googleマップ)



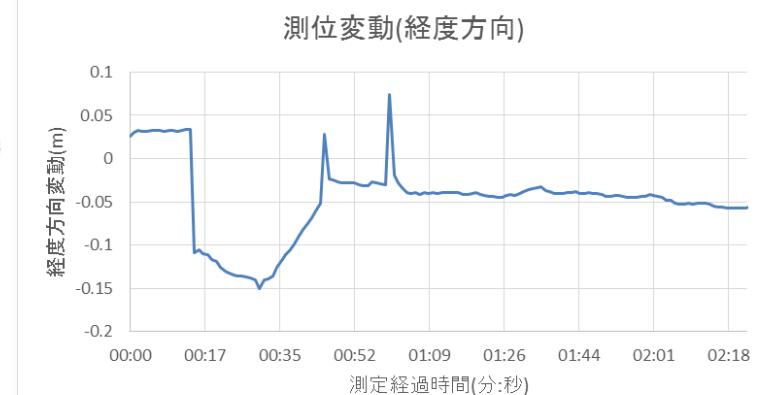
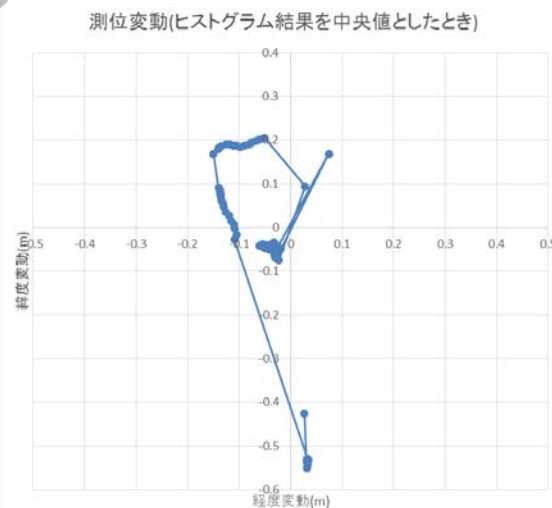
GNSS結果

変電所内試験(送電線下)-センチメートル級

- ◆ 変電所外よりも収束(フィックス)状態への移行が早かった。
- ◆ ヒストグラム解析が不要なほど変動が小さい
 - 2分10秒後にフィックス状態となり, 数秒で緯度経度が推定できる
 - 測位変動幅は6衛星(GPS)でも非常に小さい
 - 緯度距離0.8m 程度, 経度距離0.25 m程度 (フローティング状態含む)
 - 緯度距離0.02m 程度, 経度距離0.02 m程度 (フィックス状態のみ)



センチメートル級結果(Googleマップ)

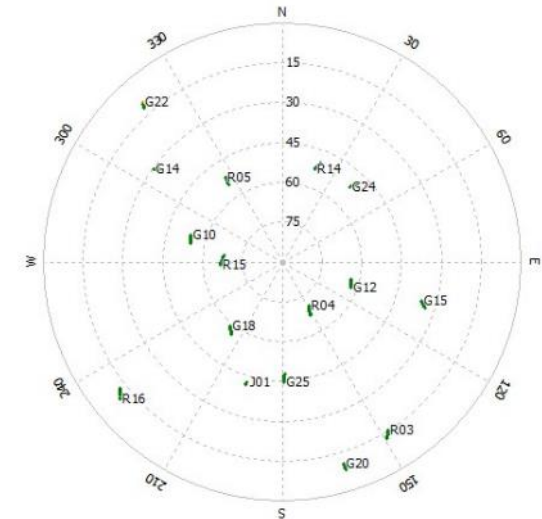


GNSS結果

変電所内試験(変電設備付近)-信号レベル

◆ 運用中変電設備のダクト直下にアンテナを設置して測定

- 準天頂衛星が仰角 40° 付近にあるうえ、ダクト部直下であるため南側に配置しているQZSSの受信信号レベルは大きく低下した
- メッセージ受信には支障ないがマルチパス誤差が生じると予想される



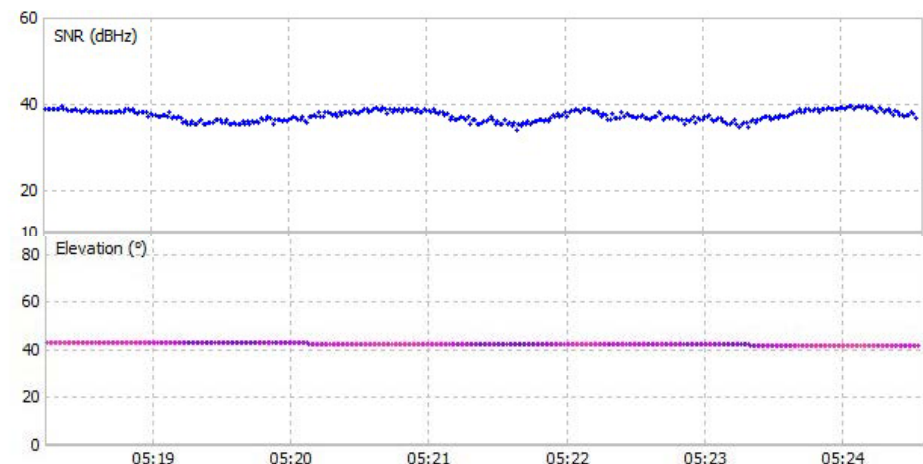
スカイプロット



衛星信号受信
アンテナ

補正信号受信
アンテナ

アンテナ設置状況(センチメートル級)



QZSSの受信信号レベル(L1C/A), 仰角

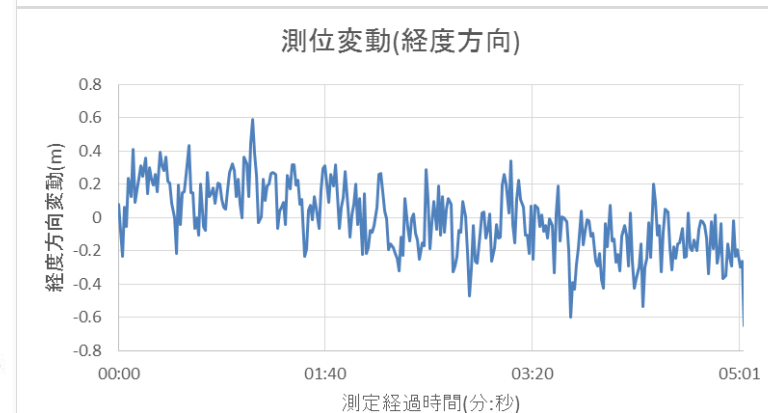
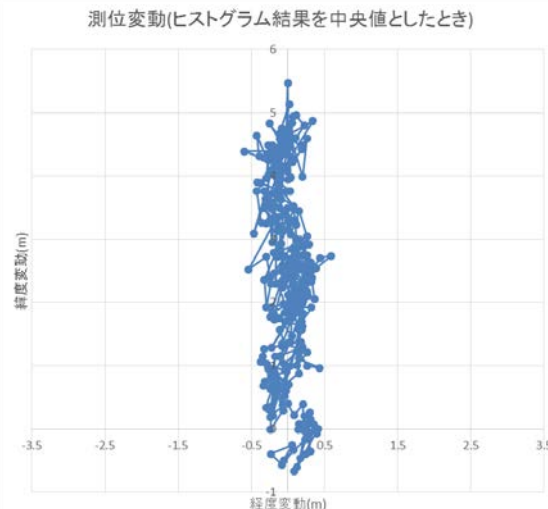
変電所内試験(変電設備付近)- GNSS

◆ 測位結果の緯度経度が明らかにずれている

- 衛星からは8つのメッセージしか受け取っておらず、マルチパスも生じているため衛星測位として悪条件。緯度経度もシフトしていると推察される
- 北側および南側が変電設備で遮蔽されているため、特に緯度方向のヒストグラムが正確に取得できない
- 測位変動幅は小さいが、緯度経度がずれていると予想される
(緯度距離7.0 m 程度, 経度距離:1.4 m程度)



GNSS結果(Googleマップ)



GNSS結果

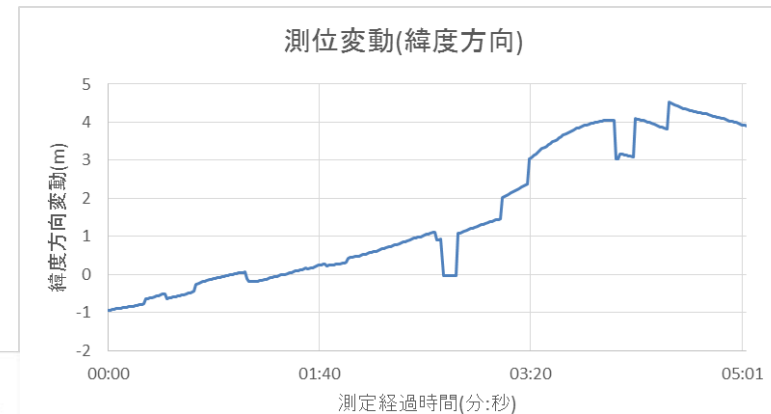
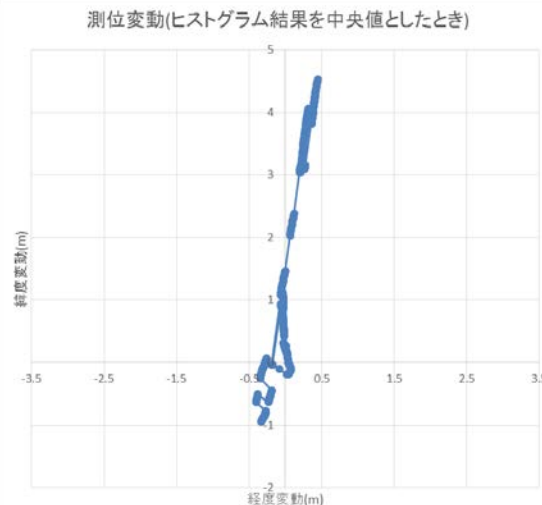
変電所内試験(変電設備付近)- サブメータ級

◆ GNSSより良い緯度経度が得られた

- 衛星からのメッセージが6となったため、5分以内でフローティング状態からフィックス状態に移行することがなかった
- 一方で、緯度経度がマップを確認する限り補正されていることが分かる
(緯度距離5.8m 程度, 経度距離:0.9 m程度)
- 衛星数が南北で不足しており、緯度側の測位変動が特に大きく、フィックス状態での衛星測位について測定する必要がある



サブメータ級結果(Googleマップ)



GNSS結果

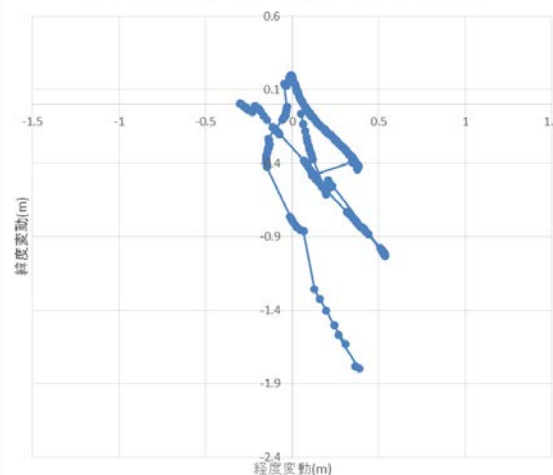
変電所内試験(変電設備付近)- センチメートル級

◆ センチメートル級より, 更に良い緯度経度が得られた

- 衛星からのメッセージが4~6となったため, 5分程度ではフローティング状態からフィックス状態に移行することがなかった
- 緯度経度がマップ上でほぼ完全に補正されていることが確認できた
(緯度距離2.0 m 程度, 経度距離:0.6 m程度)

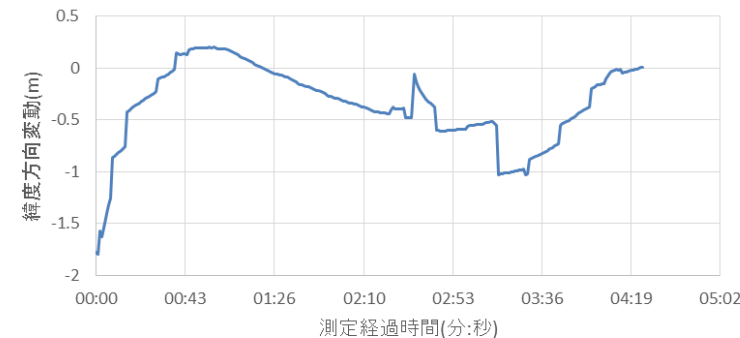


測位変動(ヒストグラム結果を中央値としたとき)

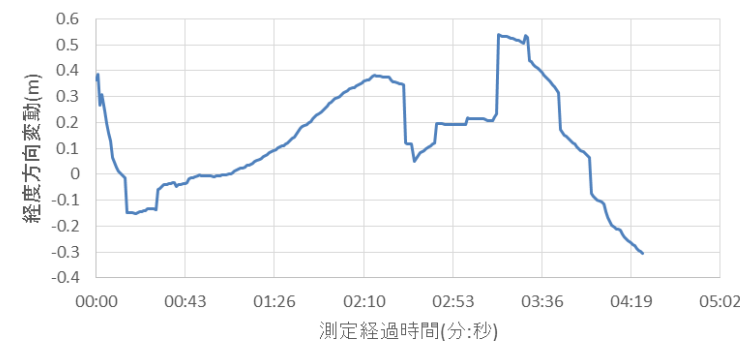


センチメートル級結果(Googleマップ)

測位変動(緯度方向)



測位変動(経度方向)



GNSS結果

考察

受信信号レベルに係る考察

- ◆雨天により受信信号レベルは若干低下するものの、レベルマージンは十分にある。
 - 水力発電所をはじめとした豪雨地域でも利活用できる可能性がある。
- ◆降雪については、アンテナが雪で完全に埋まるとメッセージを受信できない。
 - 高精度時刻同期を活用する場合に影響することが考えられるが、その際は衛星測位を行わないため、メッセージが受信できる範囲内で屋内に設置するなどの対策を行えば問題ないと考えられる。
- ◆今回の検証試験では、電磁波による劇的な受信信号レベル低下は確認されなかった。
 - 更に電磁波の強い大型設備付近での確認が必要であるものの、電力設備周辺でも十分な利活用が期待できる。

衛星測位システムに係る考察

- ◆ 変電所構内であっても相応の衛星測位精度が得られる見通し。
 - 電力設備は厳格なルールのもと設置されており、設備間も建造物と比較して離隔が大きく設備の高さも実質的に制限があるため、街中よりも良い精度が得られる。
 - 設備が金属遮蔽物であるうえ大型であるため、設備付近ではメッセージを受信できる衛星数が大きく減少する。特に現状の測位補正においては、サブメータ級測位ではGPS+QZSS、センチメータ級測位ではGPSのみであるため、その他の利用可能な衛星の拡大に期待したい。
 - 金属物であっても電線など細い設備については影響を受けない。
- ◆ サブメータ級測位サービスおよびセンチメータ級測位サービスにおいては、フローティング状態においても通常の衛星測位サービスと同程度の測位のばらつきに抑えられる。
 - 一方、そのためにカルマンフィルタのゲインを低く調整されていると推測され、フィックス状態になるまで一定の時間が必要である。
 - フローティング状態時は測位衛星メッセージを多く受信できるエリアに一時待避することで対処するなどの対策が必要である。

その他の考察

- ◆フィックス状態への遷移早期化対策として、以下が考えられる。
 - 電源断前に測位状態を保存し、再起動時に読込
 - 利用衛星の拡大
 - GPS以外のGNSSもサポートする
 - QZSS衛星を増やす
 - カルマンフィルタのパラメータ調整則高度化
- ◆本テーマでは見通しを得るための定性的評価であり、緯度経度の絶対評価や電磁波強度と受信信号レベルとの影響評価については、必要に応じて別途実施する必要がある。