

高層都市部における、電波伝搬環境、アンテナパターン等を考慮した総合的な衛星測位環境の評価

概要

近年急速に普及したスマートフォンにより、多くの一般ユーザがマルチGNSS (Global Navigation Satellite System) 受信機や加速度センサー、無線通信を活用出来る環境が整っており、それらを活用した安全運転支援システムV2P (Vehicle to Pedestrian) も実現しつつある。そして、V2Pにより注意喚起などを行う場合は、両者の位置情報の精度が重要となる。

GNSS衛星は上空にあるため、高仰角の衛星ほど誤差が少ない傾向にある。また測位精度は可視衛星の配置にも依存するため、アンテナの指向性は地面に対して垂直方向に高く、上空の衛星の信号を幾何学的に均等に受信出来ることが望ましい。

しかし、歩行者や自転車の運転者がスマートフォンを携帯する場合、GNSS用アンテナは理想的な方向・環境に配置されるとは限らないため、測位精度が悪化しやすい環境 (図1) となるが、測位精度に対する影響の定量的な検証は困難である。



		
交通状況	道路の端を走行	道路の中央を走行
周囲の環境	建物や車両が傍にあるため、上空は開けていない	道路中央を走行しているため、上空は開けている
GNSSアンテナ	スマートフォン内蔵のもの 保持位置も人により様々	自動車用のアンテナ アンテナ位置は固定されている

図1：自転車と車の衛星測位環境に関する比較

構造計画研究所ではシミュレーションによる衛星測位精度の評価[1][2]に取り組んでおり、本稿ではシミュレーションによりスマートフォン保持位置による自転車の運転者が置かれている衛星測位環境の定量評価を行った。

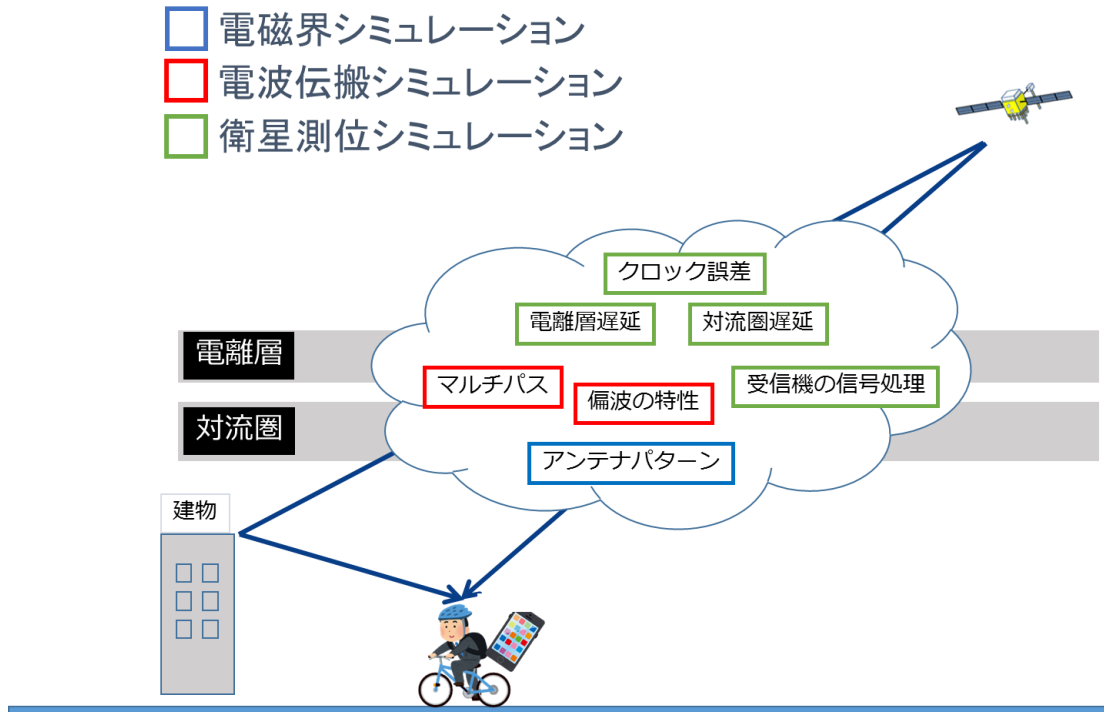


図 2 : シミュレーションの概要

シミュレーションの概要を図 2 に示す。今回実施したいシミュレーションでは、クロック誤差、電離層遅延、対流圏遅延、マルチパス、偏波の特性、受信機の信号処理、アンテナパターン、等の非常に多くのパラメータを考慮する必要がある。そして、このように幅広い事象をシミュレーションするためには、それぞれの事象に適合する複数のシミュレーションを組み合わせることが必要である。今回は、電磁界・電波伝搬・衛星測位という 3 つのシミュレータを組み合わせることで実現した。シミュレーションソフトは、それぞれ、[XFDTD](#)、[RapLab](#)、[GPS-Studio](#)を用いた。

電磁界シミュレーション

初めに、電磁界シミュレーションによりスマートフォンのアンテナパターンを求めた。なお、アンテナパターンには周囲の環境も影響することが考えられるため、求めたいものは「スマートフォンを持った人間が自転車に乗っている」状態のパターンである。そのため、手順としてはまずスマートフォン単体でモデルを作成しパターンを解析し、その後、人体モデルを加えた解析により全体のパターンを求めることとした。

本稿では、スマートフォン内蔵のアンテナとして逆Fアンテナを想定した。電磁界シミュレータ上で図3に示す3次元形状をモデリングした。

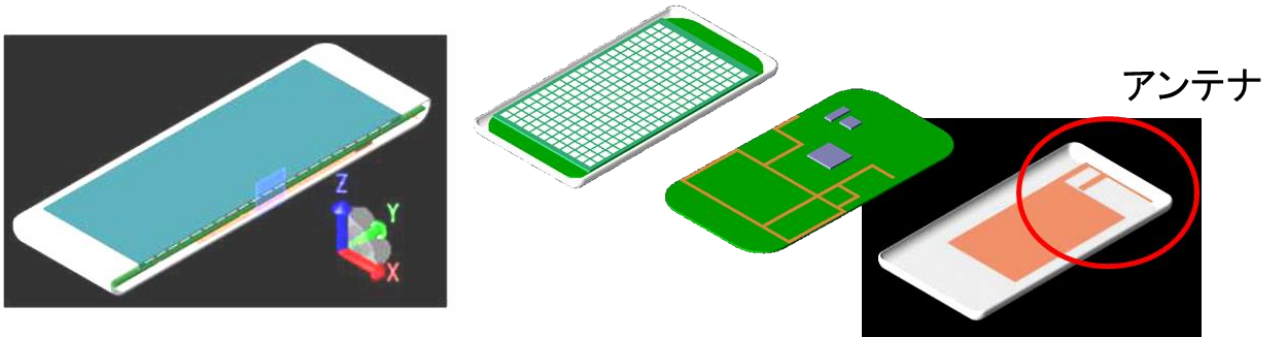


図3：スマートフォンモデル

今回の解析では、ケース、タッチパネル基板、タッチパネル電極、基板と基板の金属パーツおよび配線、を考慮した。なお、各物性値は表1の通りである。

表1：物性値

電磁界シミュレーションに使用した物性値				
寸法(mm)		136 × 70 × 11		
物性値			導電率(S/m)	比誘電率
	ケース		0	4
	タッチパネル基板		0	7
	タッチパネル電極		10000	1
	基板		0	4
	金属パーツ(基板)		1.39E+06	1
	配線(基板)		5.98E+07	1

電磁界シミュレーションにおいて、モデルをどこまで詳細に作り込めば良いかは難しい問題である。なぜなら、解析空間のメッシュの数やサイズがマシンリソースや計算時間に影響するためである。特に今回使用したFDTD法においては、メッシュの数に比例して計算に使用するメモリ量が増加し、メッシュサイズが波長に対して細かいと計算時間が増加する。このため、細かいメッシュを大量に切ると精度は良いが、多くの場合で計算できないか計算時間がかかることとなる。この辺りが計算リソースと精度のトレードオフとなるため、ユーザ側での調整が必要である。

今回のモデルの場合は、アンテナパターン並びにS11パラメータのようなアンテナ特性に影響を与えるものとして、主な金属部品や基板などを重点的にモデル化した。影響が読めない部品に関しては、その部品の有無で解析結果の差異を確認する、などといった検証を行う必要がある。加えて、出来上がったモデルに対してメッシュサイズを変えながら複数回解析し、結果に影響ない程度にモデルやメッシュの簡略化を実施している。これは、この後の人体を含めた解析を見据えたものである。このメッシュの簡略化により大きな解析領域においてもメッシュ数を抑えることができる。

電磁界シミュレーション結果

スマートフォン単体のアンテナパターン（1.575 GHzの右旋円偏波）を図4に示す。アンテナは衛星測位に使用される1.2～1.6 GHzで受信可能となるようにチューニングした。

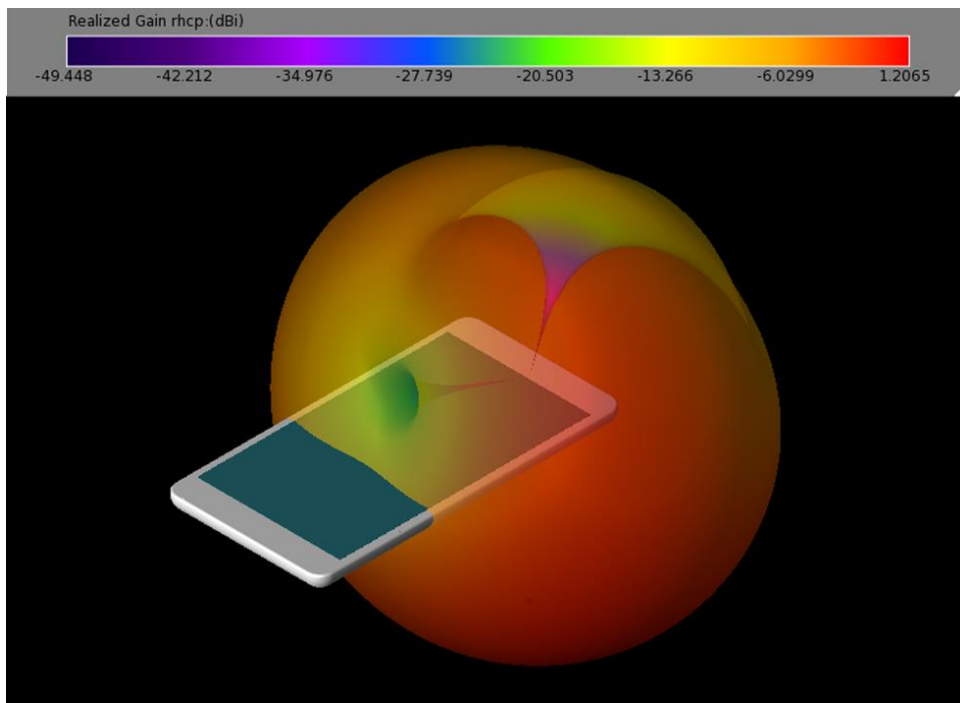


図4：スマートフォン単体のアンテナパターン
右旋円偏波、L1帯（1.575 GHz）

次に、このスマートフォンのモデルを人体モデルに設置したシミュレーションを行った。人体モデルの姿勢とスマートフォンの保持位置を図5に示す。人体モデルの姿勢は自転車に乗車している状態を想定している。

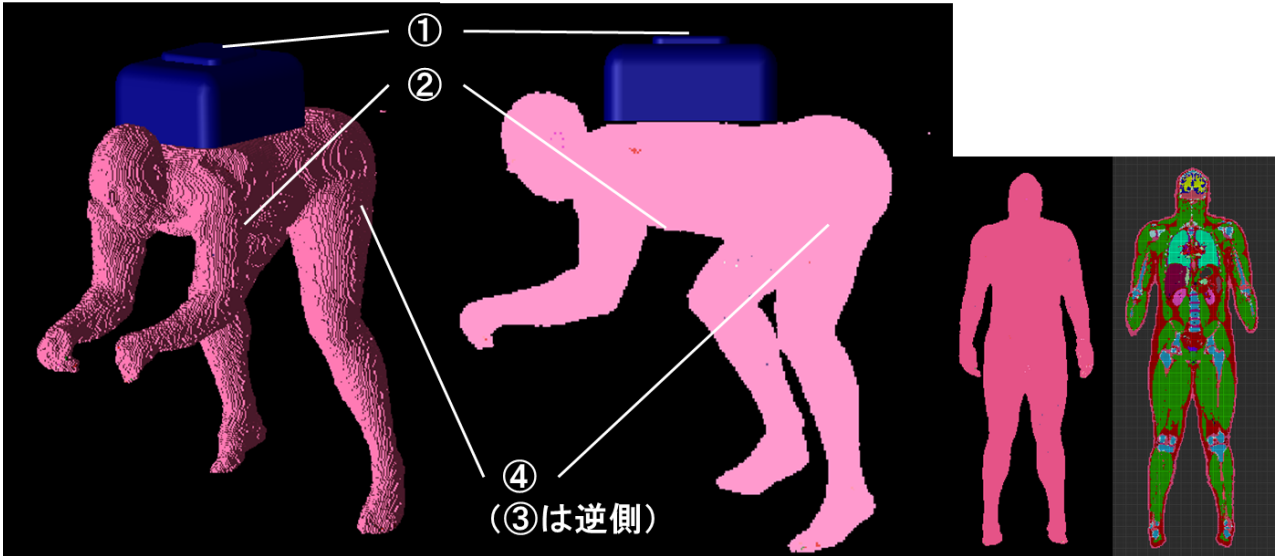


図5：人体モデルの姿勢とスマートフォンの保持位置（左）、直立した人体モデルとその断面図（右）

図5の保持位置はそれぞれ、①：リュック、②：胸ポケット、③：足ポケット（右）、④：足ポケット（左）、を想定している。

次に、人体モデルを考慮したアンテナパターンを図6～9に示す。

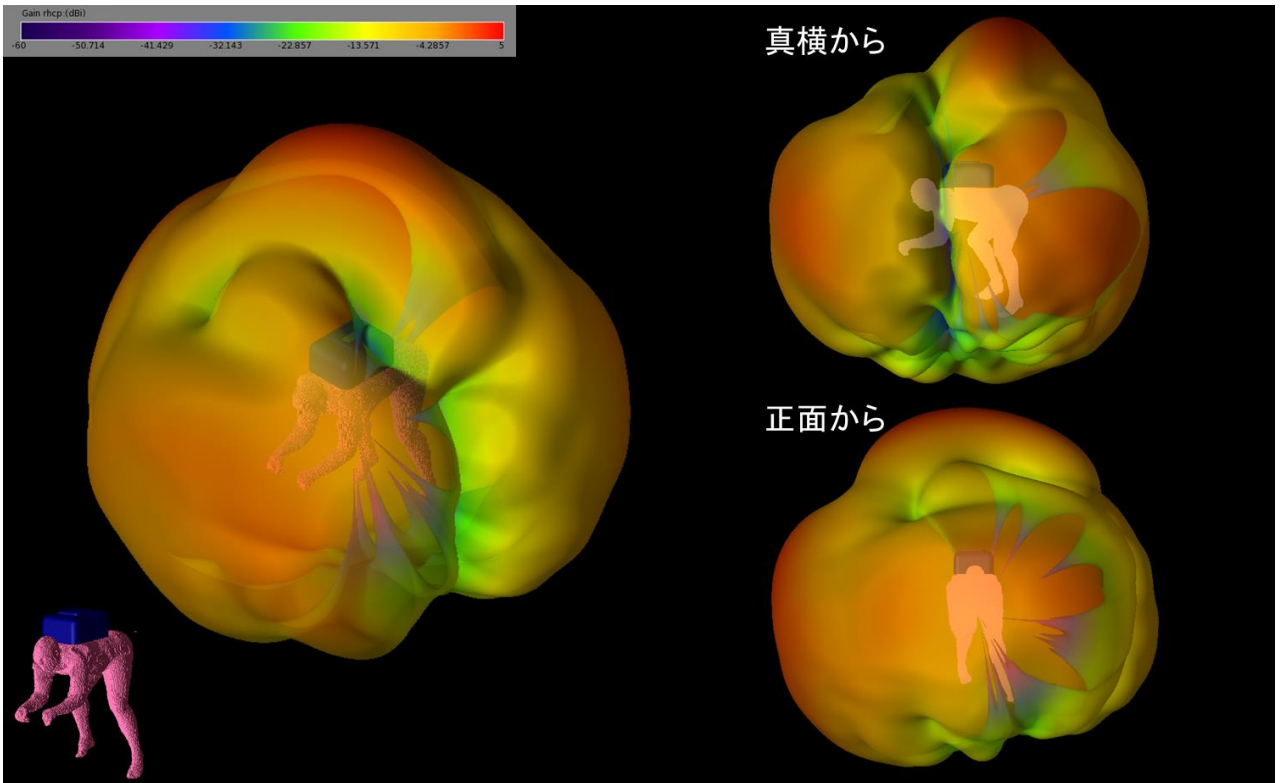


図6：スマートフォンの保持位置①（リュック）のアンテナパターン
右旋円偏波、L1帯（1.575 GHz）

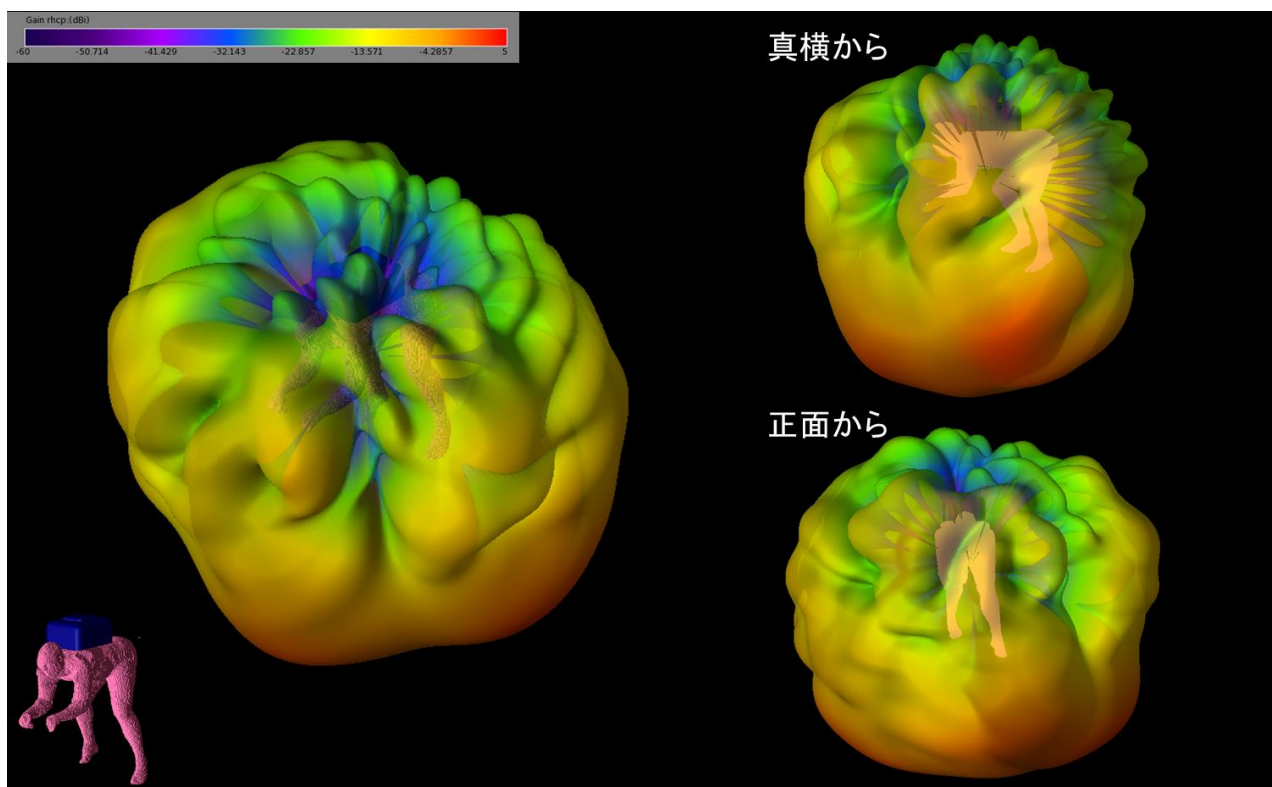


図7：スマートフォンの保持位置②（胸ポケット）のアンテナパターン
右旋円偏波、L1帯（1.575 GHz）

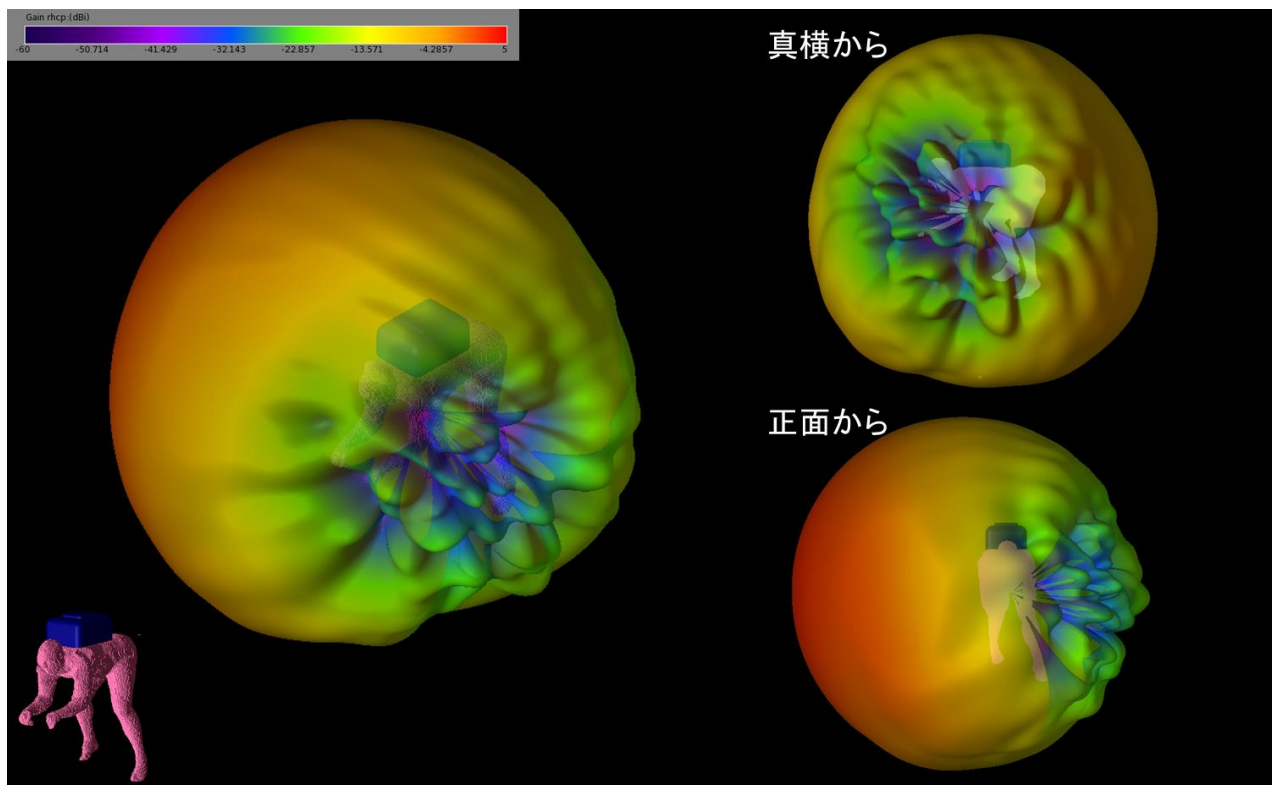


図8：スマートフォンの保持位置③（足ポケット（右））のアンテナパターン
右旋円偏波、L1帯（1.575 GHz）

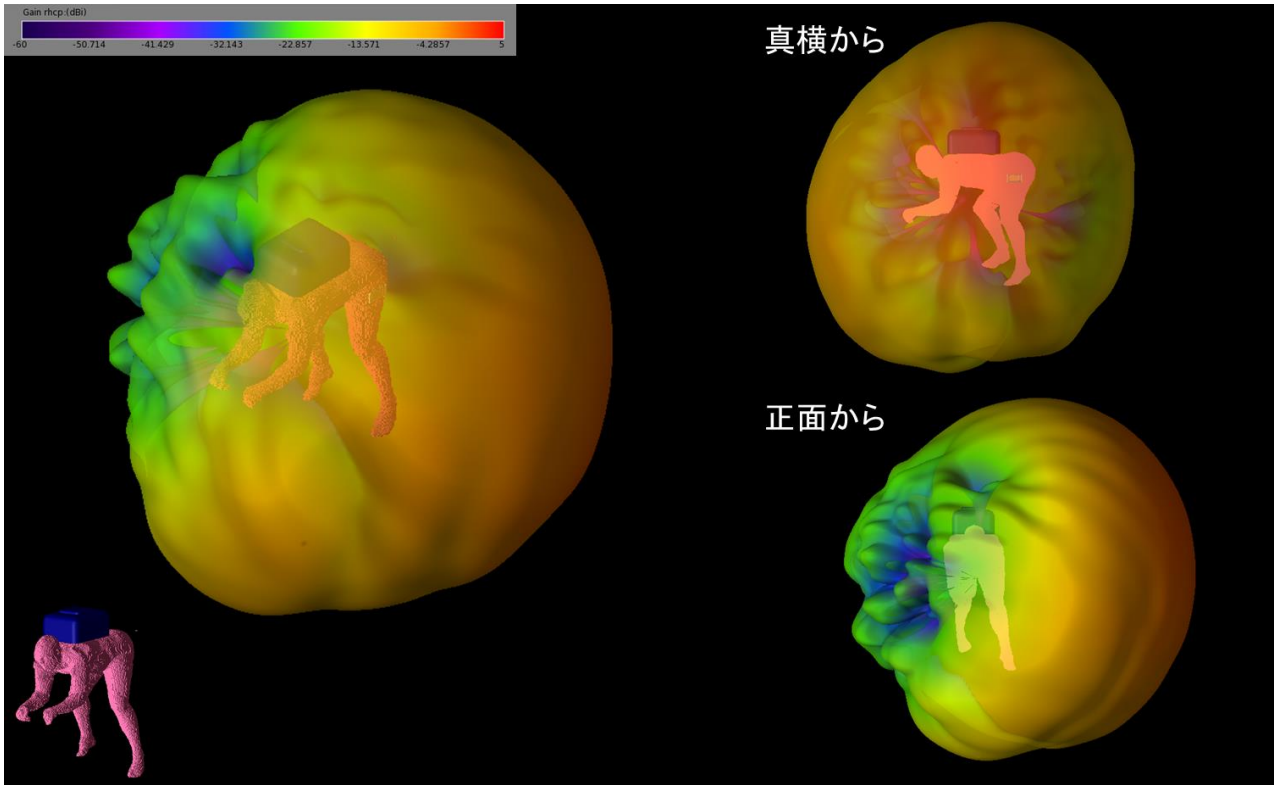


図9：スマートフォンの保持位置③（足ポケット（左））のアンテナパターン
右旋円偏波、L1帯（1.575 GHz）

図6～9のパターンを正面から見た場合の2次元パターンの比較を図10に示す。

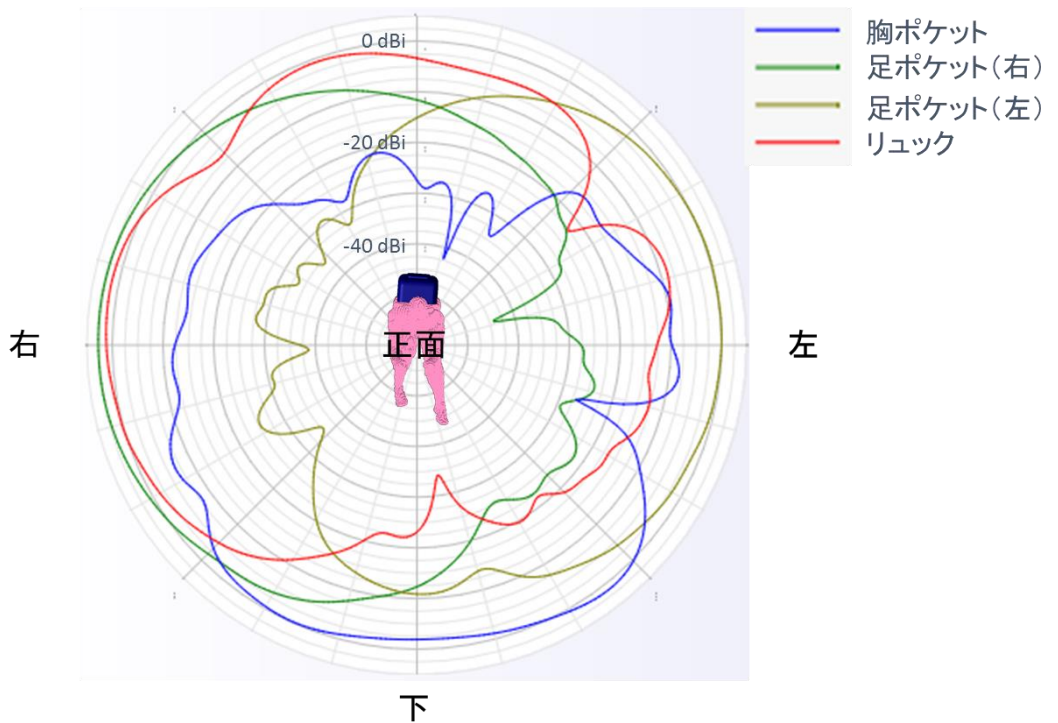


図10：各保持位置の2次元パターンの比較

図10から、スマートフォンが露出している方向に比べ、人体が遮る方向への放射は20dB程度小さくなる傾向が確認できた。

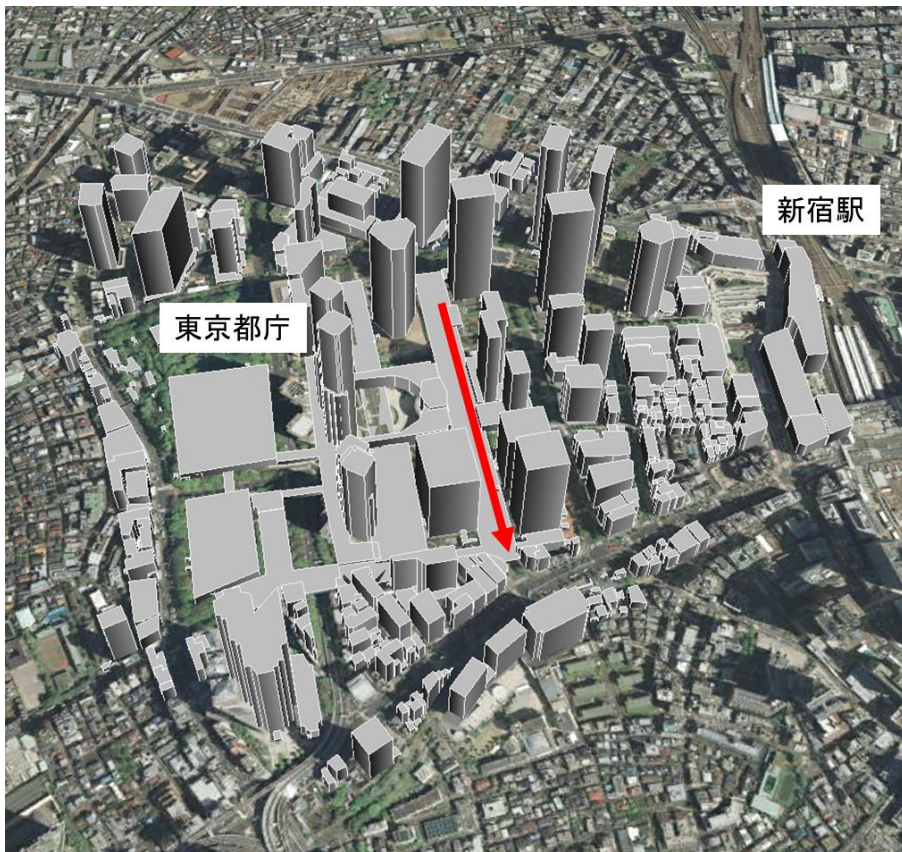
これで、電磁界シミュレーションによってアンテナパターンを得ることができた。次に、これらのパターンを電波伝搬・衛星測位シミュレータに渡す。

電波伝搬・衛星測位シミュレーション

電波伝搬シミュレーションでは、電波の伝搬経路を光に近似する手法であるレイトレース法を用いた。レイトレース法を用いることで、電磁界シミュレーションに比べて広範囲の領域を考慮することが可能となる。具体的には、自転車の周囲の建物の反射や回折、透過を考慮し、送受信点間の伝搬経路(パス)に対して、電力、位相、到来角等の遅延プロファイルを求めることができる。

衛星測位シミュレーションでは、衛星の軌道情報と観測点の座標から、上空の衛星の位置を算出する。電波伝搬シミュレーションの結果を用いることで地図上の任意の地点での受信可能衛星数や衛星配置などを求めることができる。

今回は、送信点を衛星、受信点をスマートフォンとし、周囲の建物は新宿区の高層ビル群とした。解析シナリオを図11に示す。



解析シナリオ

【場所】

新宿の都庁周辺

【道程】

赤矢印の道を120秒で移動

【日時(UTC)】

1. 2016年1月1日 8:30 ~ 8:32
2. 2016年1月1日 11:30 ~ 11:32
3. 2016年1月1日 14:30 ~ 14:32
4. 2016年1月1日 17:30 ~ 17:32
5. 2016年1月1日 20:30 ~ 20:32

【衛星システム】

GPS, GLONASS, QZS, BEIDOU

【建物】

周辺の建物を考慮

※国土地理院の航空写真kmlを使用

図11：解析シナリオ

東京都庁付近の道路（図11の赤矢印）を異なる5つの時間帯に自転車で走行する場合を解析シナリオとした。なお、考慮した衛星システムはGPS、GLONASS、QZS、BEIDOUの4つとした。その他のシミュレーション条件を表2に示す。

表2：シミュレーション条件

計算日時	5つのシナリオの各時刻
中心周波数	1.575 GHz(GPS/QZSS) 1.602 GHz(GLONASS) 1.561 GHz(BEIDOU)
反射・回折回数	最大反射2回、最大回折1回、最大反射&最大回折1回 ずつまで
送信電力	30 W
偏波	右旋円偏波
建物材質、地面材質	コンクリート
受信条件	受信電力： -140 dBm 以上 仰角： 15 度以上

電波伝搬・衛星測位シミュレーション結果

特定の衛星（GPS10番）とスマートフォン（足ポケット（左）に保持）のパスの結果を図12に示す。衛星と見通しがあるパスは赤色で表している。図12から、自転車の位置と周囲の建物によってパスが目まぐるしく変化している様子が確認できる。

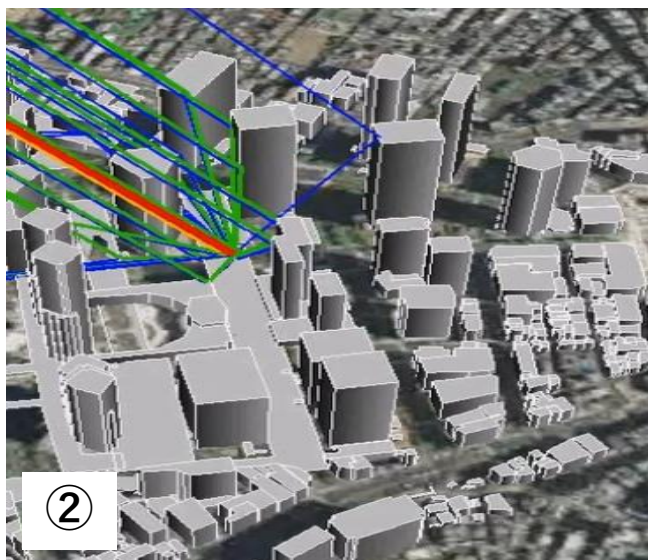
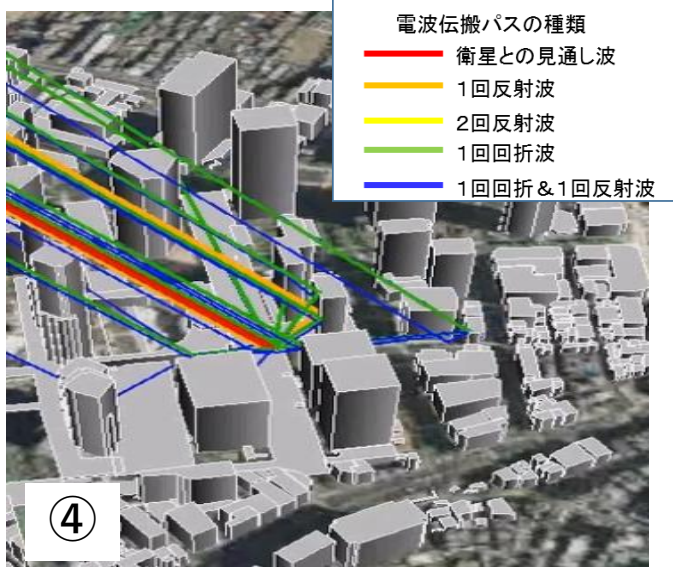
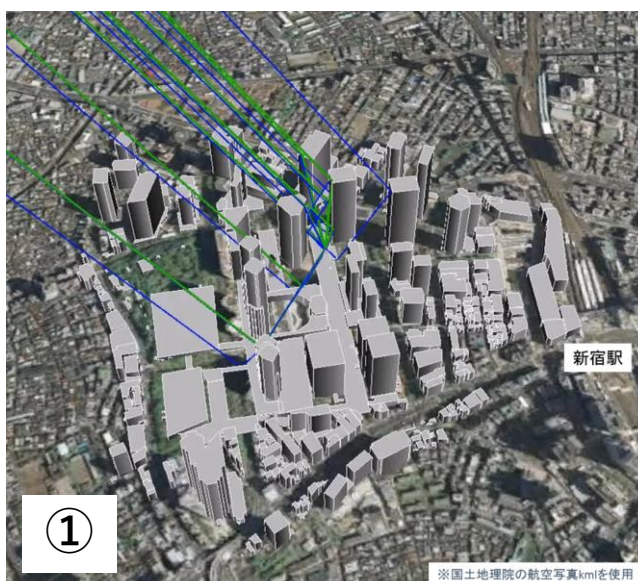


図12：GPS10番とスマートフォンのパス
自転車は図11の赤矢印の道を①～⑥の順に進行している

図12から、衛星とスマートフォンの見通しがない場合には、電波は周囲の建物による反射や回折を利用してマルチパスで届いていることが確認できる。このような場合、測位精度にはマルチパスの影響が含まれることになる。

図12は特定の衛星のパスを示していたが、図13では全衛星の中で受信可能な衛星数（5つのシナリオの平均）を求めた。ここで、受信可能であるか否かは表2の受信条件で判定している。

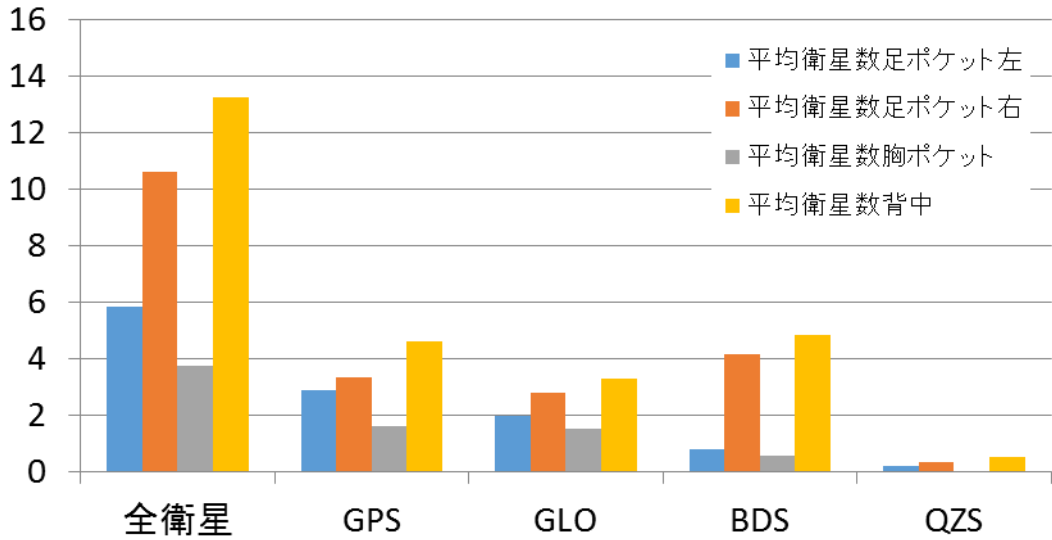


図13: スマートフォン保持位置別の受信可能衛星数 (5つのシナリオ平均)

図13から、最も受信衛星数が多いのは、スマートフォンの保持位置がリュックの場合であることが確認できる。これは、リュックに保持した場合のアンテナパターン（上方向に強い）と、衛星からの電波の到来角度（主に上方向から到来する）の特性が一致している事による。図14にアンテナパターン毎の受信可能衛星数の大小関係を示す。

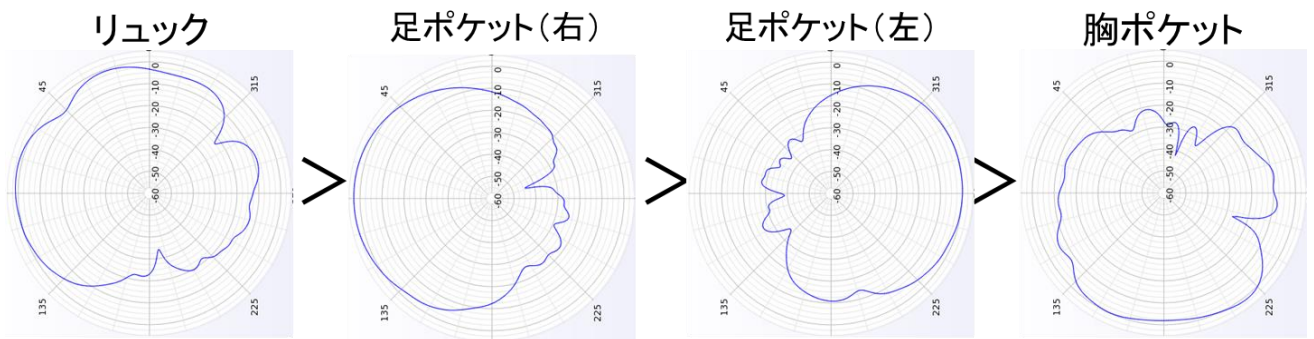


図14: アンテナパターン毎の受信可能衛星数の大小関係
上方向に強いパターンの方が受信可能衛星数が多い

最後に、5つのシナリオ別の衛星配置を図15に示す。赤い四角で囲まれたBEIDOUをみると、5つのシナリオ全てにおいて西側に偏っていることが確認できる。BEIDOUの主な軌道は中国大陸での利用目的として設計されており、また本評価を行ったエリアにおいて西側がやや開けているため、このエリアから見た場合にこのような方角の偏りが出る。この事は、スマートフォンの保持位置が足ポケットの右（西側）と左（東側）の場合に、受信可能衛星数の差として現れている（図14）。

まとめ

今回実施した電磁界シミュレーションにより、人体を含めたスマートフォンのアンテナパターンを求め、その保持位置によるパターンの変化と傾向を確認することができた。また、電波伝搬・衛星測位シミュレーションにより、スマートフォンの保持位置によるアンテナパターンに対応して、受信可能衛星数が変化することが確認できた。さらに、その変化は衛星配置を反映していることがわかった。

電波伝搬・衛星測位シミュレーションを行う場合には、アンテナの設置方向や周囲の環境によるアンテナパターンの変化を考慮しないことも多い。しかし、本稿の様に周囲の環境によってはアンテナパターンの変化は無視できないため、予め電磁界シミュレーションでパターンを求めておくとその後の解析の精度向上に効果的である。

受信可能衛星数を増加させるためには、当然、アンテナパターンを上空に強くすることが有効であるが、BEIDOUの衛星配置を考えると、南西の方角にアンテナパターンを強くすることも本稿の評価においては有効となった。

[全ての事例はこちら](#)

[お問い合わせ等はこちら（製品HP）](#)

[1] 都市部における自転車乗車時のスマートフォン保持位置による位置測位精度の評価, IEICEソサイエティ大会, 2017.

[2] 電磁界・電波伝搬シミュレーションを活用した都市部における自転車の位置測位精度の評価, IEICE, ITS研究会, 2016.