

海外スマートメータ対応通信ユニット

Transceivers for Oversea Smart Meters

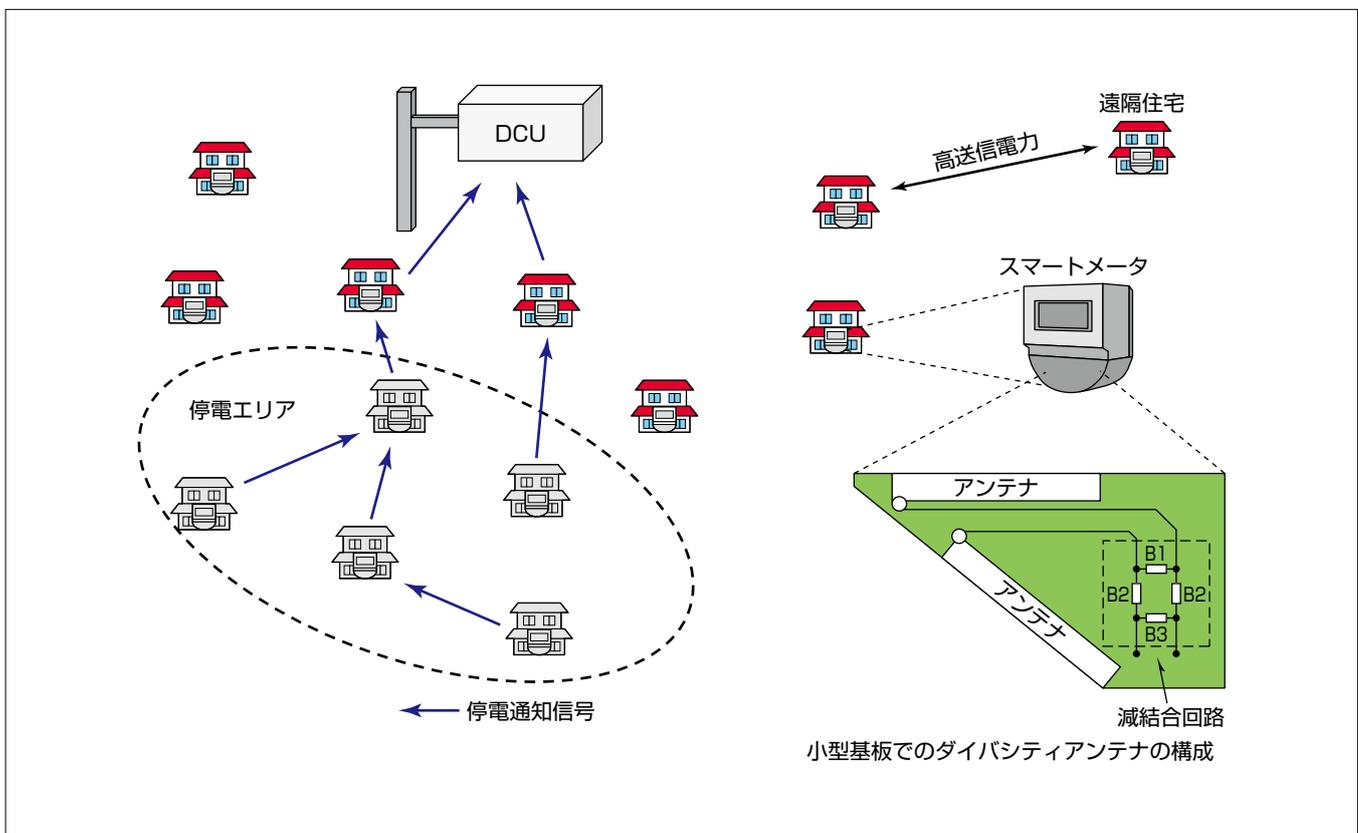
要 旨

電力スマートメータ(以下“スマートメータ”という。)は通信機能を備えた電力メータで、遠隔自動検針、遠隔制御、HEMS(Home Energy Management System)連携による電力使用量の可視化を実現する。三菱電機はスマートメータ用に920MHz特定小電力無線を適用した無線マルチホップネットワークを実用化しており、国内電力会社に広く採用されている。

今回、新たに海外スマートメータ対応として無線マルチホップ方式の通信装置(以下“通信ユニット”という。)を開発した。開発に当たり、

(1) 海外メータ形状への対応、停電通知機能(Last Gasp機能)の実装要求を踏まえた装置の小型・低消費電力化

(2) 各戸のメータ間距離が大きい、設置環境によってDCU(Data Concentrator Unit)の設置が困難などの厳しい電波伝搬条件下での安定した無線通信品質の確保という課題があった。特に無線通信品質の確保に対しては電波の到来方向による影響を最小化するダイバシティアンテナ技術が有効であるが、装置の小型化に伴ってダイバシティを構成する2アンテナ間で利得差が発生してしまうことが問題であった。これを集中定数素子を用いた減結合回路によって解決し、小型化と無線通信品質確保を両立させた。また、低消費電力化の実現によって、1,000台規模のメッシュネットワークエリアで、停電エリア検出を可能にした。



メッシュネットワークでの停電通知と無線通信品質の確保

メッシュネットワークでの停電エリア検出は、停電状態での自メータ及び他メータの停電通知信号の転送動作を、キャパシタの保持電力を有効活用することで実現した。小型化に伴うアンテナ性能劣化は集中定数素子を用いた減結合回路によって解決し、所望の無線通信品質を確保した。

1. ま え が き

スマートメータシステムはエネルギーの効率的な利用、計量データの活用による様々なサービス提供などが期待され、各国で導入が進められている。例えば、

- (1) 検針作業の自動化による省力化
- (2) 電気利用状況の見える化による省エネルギー効果
- (3) 需給逼迫(ひっばく)時の需要抑制による停電回避
- (4) 料金メニューの多様化によるユーザーメリット向上
- (5) 計量データの活用による新規サービス提供
- (6) スマートグリッド対応
- (7) 盗電対策

など、スマートメータシステム導入によって、電力供給の安定化、効率化、及び計量データの幅広い分野への活用が期待できる。

無線マルチホップ方式によるスマートメータ通信システムの全体構成を図1に示す。各戸のスマートメータに取り付けられる通信ユニットは、相互通信機能によるメッシュネットワークを構築している。メータの情報はメッシュネットワーク内の通信ユニットを経由することで、DCUへ集約され、IP(Internet Protocol)ネットワーク網を介して上位システムであるHES(Head End System)へ転送される。

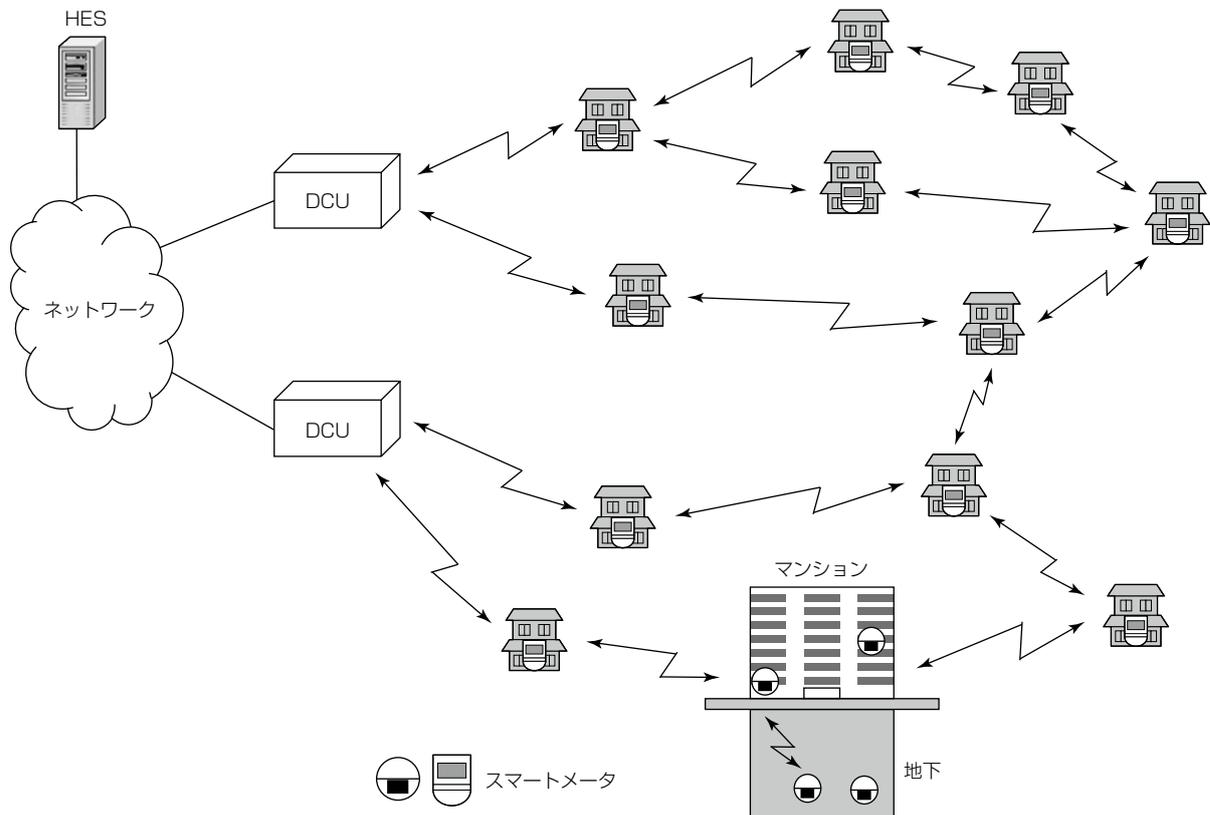


図1. スマートメータ通信システムの全体構成

海外では、電力需給逼迫やインフラ不備などによって、電力品質が不安定で停電発生頻度が高い国や地域があり、停電発生時の早急なエリア検出と復旧が重要な課題になっている。通信ユニットへの停電通知機能(Last Gasp機能)搭載は、早急な停電検出とともにメータ単位で停電を監視できるメリットがある。ただし、メッシュネットワークシステムでは、自メータの停電通知だけでなく、他メータの停電通知信号の転送処理が必要になり、電源が供給されない状態で動作しなければならないため、その電源確保が必須になる。

一方、スマートメータは各国、各地域で様々な形状・構造のものが採用されており(図2)、同一地域内で形状・構造の違うメータが設置されることも少なくない。通信ユニットはメッシュネットワーク全体の通信品質を確保するために、どのメータにも実装可能かつ無線性能を均一に保つ必要がある。

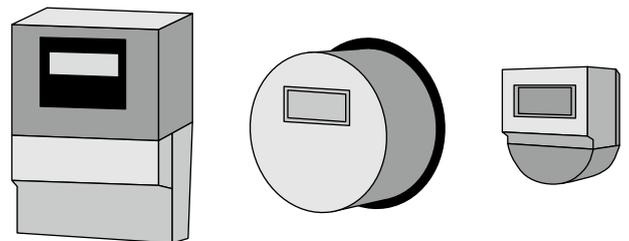


図2. スマートメータの形状例

2. 海外向けスマートメータ通信ユニット

図3に通信ユニット基板のブロック構成を、図4に機能ブロック図を示す。通信ユニットはメータ内部に実装する必要があり、小型化を目的にして全機能を1枚基板で実現している。次に、各ブロックについて述べる。

2.1 外部インタフェース部

メータとの電源と信号のインタフェースを行う。メータへの通信ユニットの装着と抜去はメータ電源が入った状態で行う必要があるため、活線挿抜に対応したインタフェースを実現している。

2.2 電源・Last Gasp部

メータ供給電源からキャパシタへの充電、及び内部動作電源供給を行う。停電時はキャパシタの保持電力によって、Last Gasp機能を行う。

2.3 制御部・無線部

通信ユニットの各機能を制御するとともに、無線通信機能を実現する。無線周波数は800MHz帯、無線規格はEN300-220に対応する。国内向け特定小電力無線の送信電力は、電波法に20mW以下(ライセンスバンド除く)と

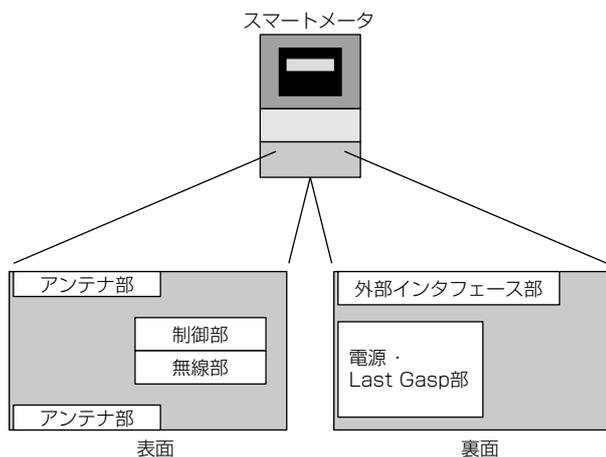


図3. 通信ユニット基板のブロック構成

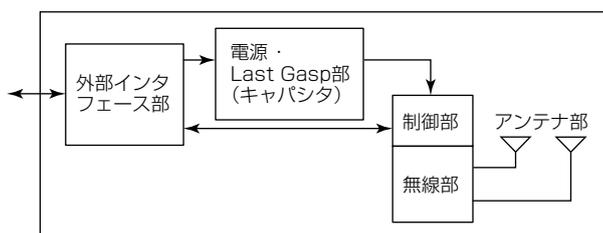


図4. 通信ユニット基板の機能ブロック図

定められているが、海外では最大1Wまでの規定が存在する。海外特有のメータ設置環境を考慮して送信電力の高出力化を行っている。

2.4 アンテナ部

実使用環境での無線信号のレベル変動下でも安定した通信を確保するため、アンテナ2本による2ブランチ選択ダイバシティを行っている。

3. 海外向けスマートメータ通信ユニットの特長

3.1 停電通知機能 (Last Gasp機能) の実現

3.1.1 Last Gasp機能の動作

Last Gasp機能の停電発生時の動作について図5を用いて述べる。

(1) 停電検出

メータからの停電検出信号受信又は供給電源低下検出を行い、停電動作を開始する。

(2) 復電確認

短時間停電時の通信の輻輳(ふくそう)及び上位システムでの処理の輻輳を防ぐため、停電検出後メータからの供給電源状態を確認することで、最終的な停電判定を行う。

(3) Last Gasp動作へ移行

キャパシタエネルギーの有効利用のため、省電力動作(外部インタフェースの停止、不要動作ブロックの停止など)へ移行する。

(4) 自メータの停電通知と他メータの停電通知信号転送

無線通信で自メータの停電通知処理を行う。また、メッシュネットワーク内の他メータの停電通知信号転送処理を行う。図6に停電状態にあるメータからの停電通知信号のDCUまでの転送イメージを示す。この動作によって、同一メッシュネットワーク内の停電エリアが上位システム側で把握可能になる。

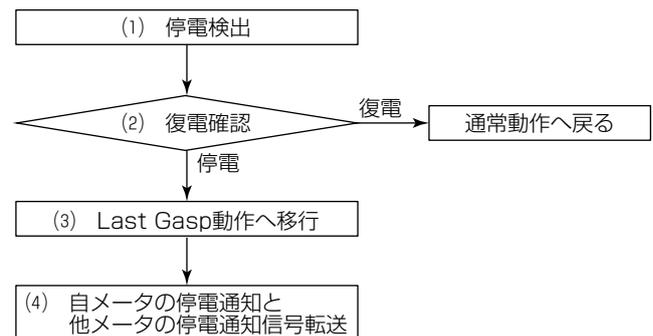


図5. Last Gasp機能の動作フロー

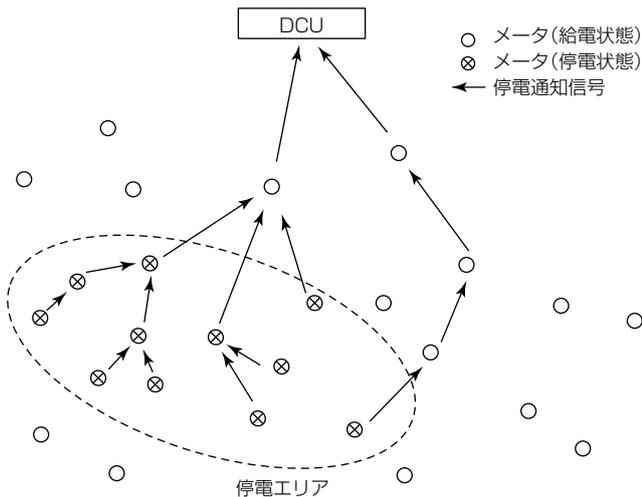


図6. 停電通知信号の転送イメージ

3.1.2 停電エリア検出動作

Last Gasp機能動作では有限のキャパシタエネルギーの有効活用が重要になる。動作用電源生成にDCDCコンバータを用いることで、低電圧までキャパシタのエネルギーを取り出し可能にした。また、装置回路構成、及び制御を含めた装置動作の最適化によって低消費電力化を実現し、1,000台規模のメッシュネットワークエリアで、停電エリア検出を可能にしている。

3.2 送信電力の高出力化

通信ユニット無線部のブロック図を図7に示す。RF (Radio Frequency) -ICからの出力にパワーアンプを追加することで、約10dBの送信電力アップを図っている。

3.3 ダイバシティアンテナ特性の改善

3.3.1 小型化とアンテナ性能の関係

通信ユニットでは2本のアンテナによる2ブランチ選択ダイバシティを構成しているが、小型の通信装置に2本のアンテナを搭載する場合には、アンテナ間の相互結合が強くなり、ダイバシティ効果(相関係数)やアンテナの放射効率が劣化するため、その改善が課題になる。

また、各国、各地域で採用されている様々なスマートメータの形状に合わせる場合、通信ユニットの小型化が必

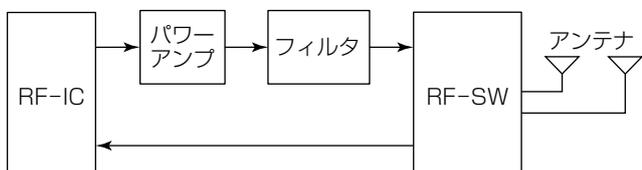


図7. 無線部のブロック図

要になる。それに伴い、基板上のアンテナ配置が平行配置からずれてしまうケースがある(図8)。このような場合、アンテナ間の離隔距離が非常に小さい上に相対位置が非対称になるために、相互結合による個々のアンテナ性能(利得)の劣化、アンテナ間の性能差を生じてしまい、ダイバシティ効果も期待できない。

この劣化原因であるアンテナによる結合を、集中定数素子からなる回路による結合で相殺させる減結合回路⁽¹⁾を適用して最適化することによって、アンテナ間の性能差を改善してダイバシティ効果を確保した。

3.3.2 減結合回路

図9に、少数の集中定数素子からなる小型の減結合回路の構成を示す。図8のメータA用では2個の直列のサセプタンスB2と1個の並列のサセプタンスB3の3素子でアンテナ間結合を低減していたが、メータB用では、並列のサ

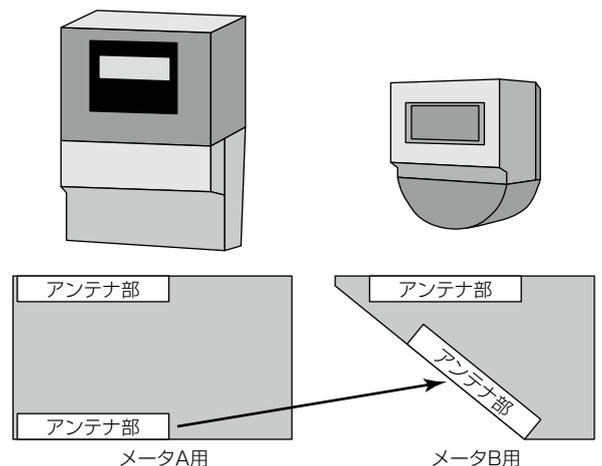


図8. 小型化に伴うアンテナ配置の変更例

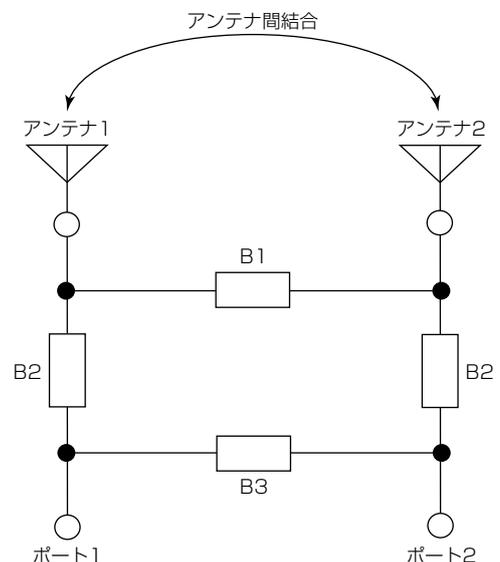


図9. 減結合回路

セプタンスB1を追加して改善を行った。

負荷B1の反射係数の偏角を $\gamma = 2 \tan^{-1}(-B1R0)$ とおき($R0 = 50\Omega$)、 γ を変化させた時のポート1, 2給電時の相対放射効率を図10に示す。B1がない従来の減結合回路($\gamma = 0^\circ$)では、ポート1, 2給電時の放射効率の差が大きくなるが、B1を挿入して $\gamma = 105^\circ$ とすることで、ポート1, 2給電時の放射効率を等しくした。

次に、減結合回路有無時の相互結合測定結果を図11に示す(横軸は使用周波数帯域の中心周波数 f_0 で規格化した周波数)。図9の減結合回路によって f_0 近傍(使用周波数帯域幅は $f/f_0 \pm 0.005$)で相互結合を大きく低減させた。

3.3.3 改善効果

(1) アンテナ性能の改善結果

図10に示すとおり、減結合回路の改善によって、2ア

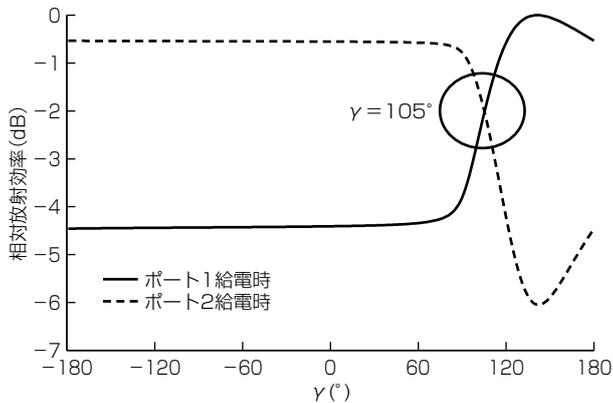


図10. γ とポート1, 2給電時の放射効率

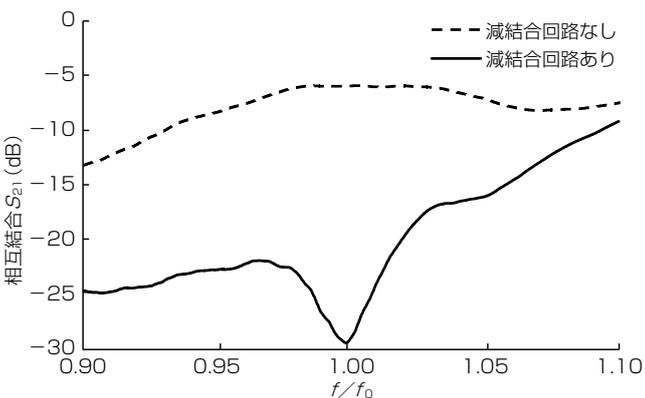


図11. 減結合回路有無時の相互結合測定結果

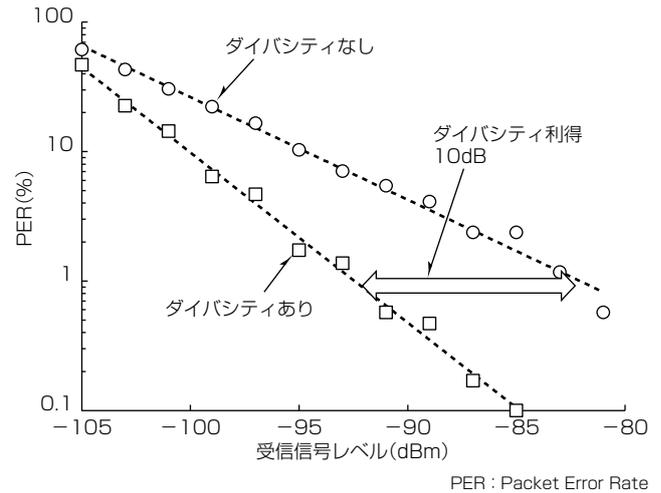


図12. アンテナダイバシティ利得(フェージングあり)

ンテナの利得をほぼ等しくし、2アンテナ間の利得差を約4 dB改善した。

また、この改善の適用は、アンテナ配置の変更に伴う2アンテナ間の性能差だけでなく、通信ユニットを実装するスマートメータ内の構造物による影響も低減させる効果がある。

(2) ダイバシティ効果

アンテナダイバシティによる効果を図12に示す。3.3.2項で述べたとおり、2アンテナ間の相関を下げ、利得のバランスを確保することで、約10dB(感度規定 PER = 1%)の利得改善を実現した。

4. む す び

海外スマートメータに搭載する通信ユニットについて、海外で重要になる機能であるLast Gasp機能、及びアンテナを含む無線性能向上について述べた。海外向け通信ユニットは、各国、各地域で採用されているスマートメータの形状に合わせてアンテナ性能を安定して確保することが課題になる。今後の製品開発では、アンテナ性能を中心とした無線性能の更なる改善を進める。

参考文献

- (1) Nishimoto, K., et al.: Decoupling networks composed of lumped elements for diversity/MIMO antennas, 2013 IEEE APWC, 307~310 (2013)