

# 高信頼性を実現する無線システムの解析技術

Analysis Technology for Wireless Systems to Realize Higher Reliability

四蔵 達之 Tatsuyuki Shikura

石井 美里 Misato Ishii

高崎 靖夫 Yasuo Takasaki

電波を通信媒体として用いる無線システムでは、構造物の設置状況や人の動きなどによりエリア内で電波強度が大きく変動する。信頼性の高い無線システム構築には電波分布を考慮した無線機設置やアンテナ技術が重要であり、電波分布やアンテナ特性を効率的かつ精度良く行うための解析技術開発に取り組んでいる。アンテナ解析技術では、解析対象に最適な手法の開発と実機適用を進めている。また、電波伝搬特性解析では、レイトレース法を適用し、フェージングによる電界強度の誤差数%内の高い精度で解析が可能であり、無線システムの置局設計にて中継用無線機の最適配置が行えるようにした。

In wireless systems that use radio waves as their communications medium, the strength of the radio waves varies significantly within certain areas due to the installation of structures, people's movements and the like, and therefore in order to construct wireless systems that are highly reliable, it is important that the wireless equipment installation and antenna technology consider how the radio waves are distributed. Fuji Electric is working to develop technology for efficiently and precisely analyzing the radio wave distributions and antenna characteristics. For antenna analysis technology, we are advancing the development of techniques optimized for the analysis objects, and are applying the results to actual devices. Also, for analyzing radio wave propagation characteristics, we use the ray trace method which enables highly accurate analyses for performing with a field strength error due to fading to be within several percent, so that wireless relay devices can be placed in their optimal locations when designing the layout of a wireless broadcast station.

## 1 まえがき

ユビキタスネットワーク社会の実現には、多様な無線通信技術や無線を用いた各種応用システムの実現が必要である。富士電機では、これまで高周波利用設備や特定小電力無線などの適用を受ける免許が不要な近距離無線通信技術に力を入れ、各種システムを開発してきた<sup>(1)~(3)</sup>。

電波を通信媒体として用いる無線システムでは、構造物の設置状況や人の動きなどによりエリア内で電波強度が大きく変動する。したがって、信頼性の高い無線システム構築に当たっては、電波分布を考慮して無線機を設置する必要がある。また、電波をより効率的に送信・受信するためのアンテナ技術も、システムの信頼性向上には重要である。

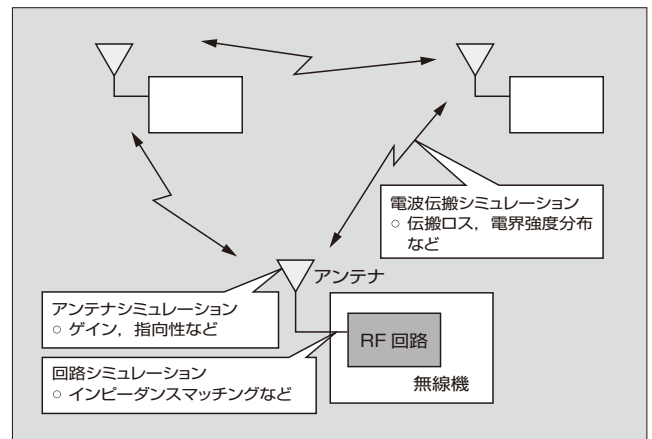
本稿では、無線機設置やアンテナ設計を効率的かつ精度良く行うための各種シミュレーション技術について、富士電機の取組みを紹介する。

## 2 無線システムのシミュレーション技術

無線システムを開発するには、図1に示すようなアンテナ、回路、電波伝搬のシミュレーションが必要である。

アンテナは筐体（きょうたい）に組み込まれる場合も多く、アンテナシミュレータを用いて筐体やプリント板・実装部品などの周囲構造物の材質・形状を考慮して、利得、指向性、インピーダンスなどを計算する。アンテナのシミュレーション手法には、モーメント法、有限要素法、FDTD（時間領域差分）法などがある。それぞれ一長一短があり、適材適所で用いる必要がある。富士電機では、電磁界解析技術として、これまで、用途に応じて最適な手法の開発と実機適用を進めてきている。アンテナのシミュレーションにはモーメント法を適用した解析技術を開発し

図1 無線システムのシミュレーション技術



ている<sup>(4), (5)</sup>。

また、アンテナとRF回路とのインピーダンスマッチングなどの解析には、アンテナのシミュレーションと電子回路解析を連成させたシミュレーション技術を開発している<sup>(6)</sup>。

電波伝搬特性には、伝搬損失（距離による電波の減衰）やフェージング（電界強度の短時間変動）がある。前者には自由空間伝搬損や対地反射2波モデルなどの極めて簡単なモデル、後者にはレイリー分布や仲上-ライス分布などの確率密度分布を適用する方法がある。しかし、これらの方法は特定条件下にて成立するものであり、個々の実環境に適用するには精度が不十分である。さらに、これらは定点間の特性を求めるものであり、電波分布を求めるには非実用的であるという問題があった。

そこで、富士電機では無線機設置環境における電波伝搬特性を精度良く推定するために、シミュレーション技術を開発したので、次に説明する。

### ③ 電波伝搬のシミュレーション技術

電波伝搬のシミュレーション方法としては、先に示した電磁界解析方法も用いられる場合があるが、ここでは、レイトレース法を用いた電波伝搬シミュレーション技術の適用例について述べる。

#### 3.1 シミュレーション方法

図2に示すように、レイトレース法は、送信点から放射される電波をレイ（光線）と見なす。周囲の構造物で反射、透過、回折を繰り返しながら受信点に到達するレイをトレース（追跡）し、各レイの伝搬距離と受信点への入射角度などの情報から、伝搬損失や伝搬遅延、到来角度などの電波伝搬特性を求める方法である。レイトレース法では、送受信間のレイを求めることで比較的簡易に伝搬特性を推定できる方法であるが、構造物の数などに演算時間が大きく依存する。そのため、計算アルゴリズムの高速化が検討されている。富士電機では、実環境での精度確保に重点を置き、構造物の形状や数、レイの反射、透過、回折の回数などの解析パラメータの最適化を図ることで、シミュレーション環境の構築に取り組んできた。

図2 レイトレース法

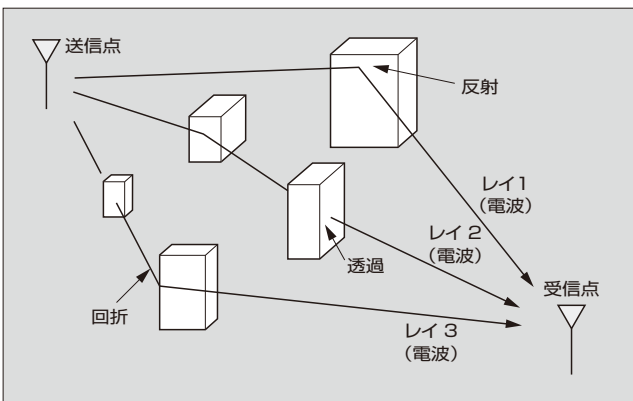


図3 電波伝搬計算モデル

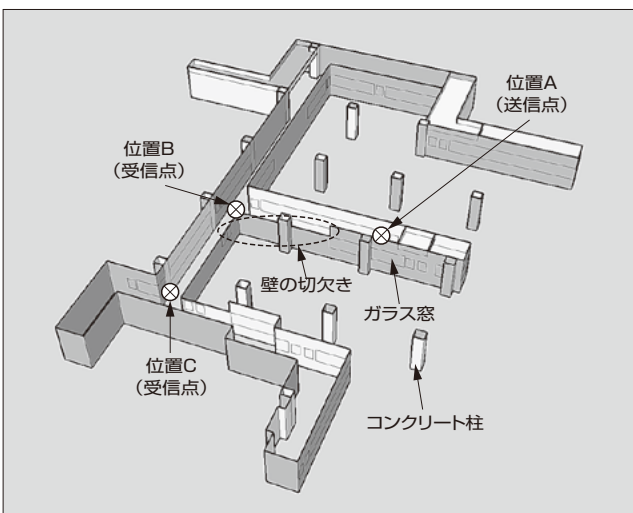


図3の計算モデルは、金属製の仕切り壁（一部、ガラス窓あり）およびコンクリート壁で複数に区切られた社内実験スペースのモデルである。位置A（送信点）から電波を送出し、2か所の受信点の近傍100ポイントにおける受信電界を求め、これらの計算結果を統計処理する。壁、ガ

図4 レイ計算例

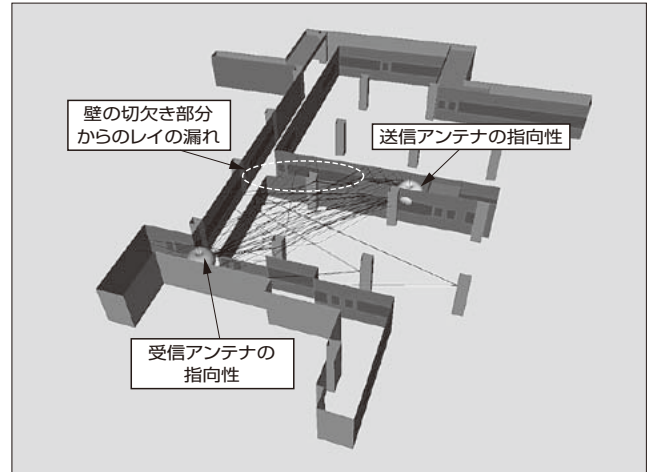


図5 累積確率分布比較

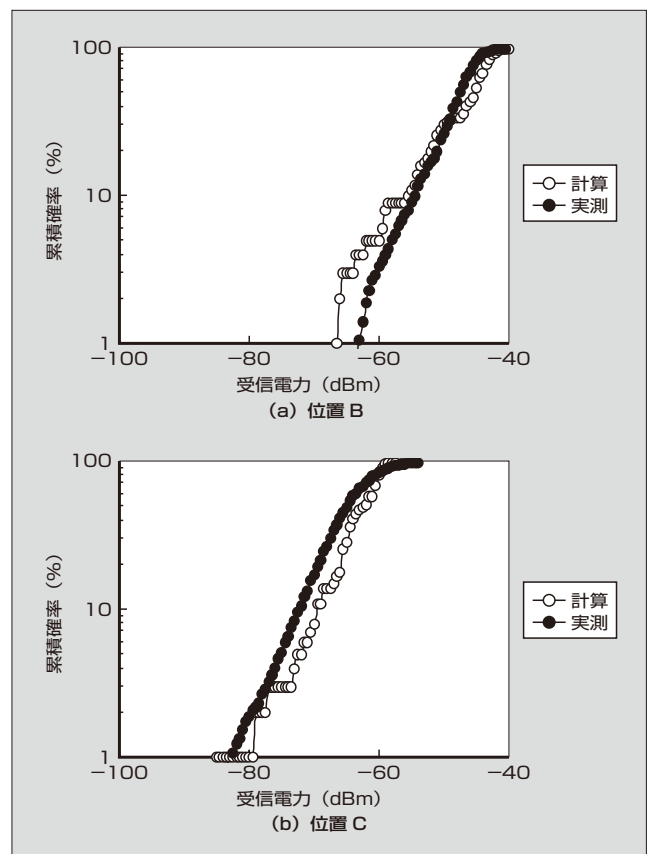


表1 電界強度中央値の実測と計算結果の比較

	受信電力差 (dB)	誤差 (%)
位置 B	2.2	4.6
位置 C	2.1	3.2

ラスなどの構造物は物理定数（誘電率，導電率，透磁率），送信・受信の各ポイントに設置したアンテナの指向性をそれぞれ入力して計算する。

### 3.2 シミュレーション結果

図4に，位置A（送信点）から位置C（受信点）へのレイの計算結果を示す。壁の上部にある切欠きからの漏れや窓を貫通するレイが確認できる。

図5に，実測および計算で求めた電界強度の累積確率分布を示す。また，このデータから求めた電界強度中央値の実測と計算結果の比較を表1に示す。受信電力誤差2dB程度，誤差5%程度と実用上十分な性能が得られている。

図6は，本解析技術の適用例であり，ある建屋内のA地点にあるセンサ情報をB地点まで，無線にて伝送を行

うシステムであり，A地点とB地点の間には鉄またはコンクリートで仕切られた複数の区画が存在している。図6(b)，(c)に，レイ分布の計算結果を示す。これらは，図6(a)の平面図にレイの計算結果を重ね合わせて表示している。図6(b)は無線機の受信感度を上回るレイ，図6(c)は同じく受信感度以下のレイ分布である。これらの結果から分かるように，A地点からB地点までは，無線機の受信感度を上回るレイはなく，建屋外壁を通り抜ける受信感度以下のレイがあるのみで，このままでは無線伝送ができない。

そこで，中継用の無線機を置くことを考える。この時の計算結果を図7に示す。A地点-中継点間および中継点-B地点間には受信感度以上の複数のレイが確認でき，C地点に無線機を置きデータ中継させることで，データ無線伝送が可能であることが分かる。

以上のように，本解析技術を用いることにより，無線機の最適設置を効率良く行うことができ，設置・運用コストの低減と通信信頼性の高い無線システム構築ができるようになった。

## 4 あとがき

ユビキタスネットワーク時代に向けて，無線技術の重要性は高まっていく。その場合，シミュレーション技術の果たす役割はますます大きくなる。

無線技術は，本稿で述べたアンテナ・電波伝搬などの物理層レベルはもちろんのこと，通信方式や通信理論，これを実現するプロトコルなど幅広い。

今後は，本項で紹介した技術の高度化はもちろんのこと，ネットワーク解析などにも取り組み，無線ユビキタスネットワーク実現に貢献する所存である。

### 参考文献

- (1) 松添雄二ほか. 個人線量モニタリングシステム. 富士時報. 2007, vol.80, no.4, p.237-239.
- (2) 町田潤一ほか. 各種センサと無線技術の融合によるユビキタス環境の実現. 富士時報. 2008, vol.81, no.5, p.375-378.
- (3) 高田正美, 堂面俊則. 自動決済機器の展開. 富士時報. 2007, vol.80, no.4, p.297-302.
- (4) 藤田満ほか. 三次元磁界解析技術. 富士時報. 1994, vol.67, no.4, p.249-252.
- (5) 坪井始ほか. モーメント法によるアンテナの電磁界解析. 電気学会静止器回転機合同研究会資料. 2005. SA-05-12. p.63-68.
- (6) 四蔵達之ほか. 非接触ICカードリーダーライタのシミュレーション技術. 富士時報. 2002, vol.75, no.9, p.527-529.

図6 置局設計例

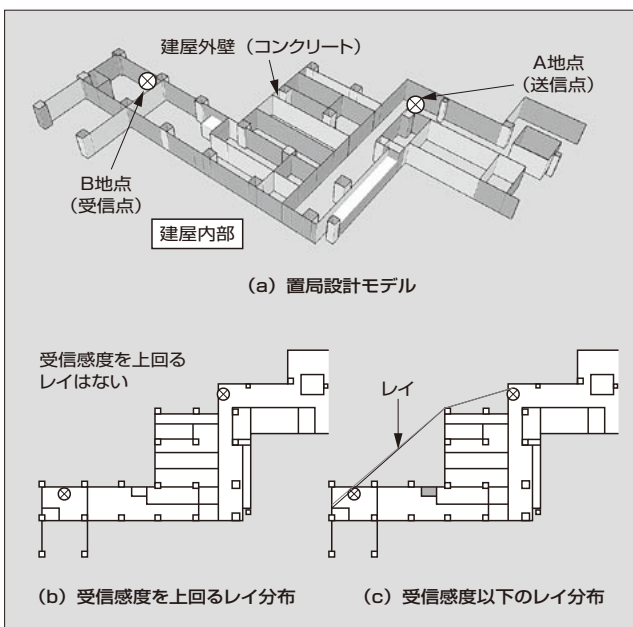
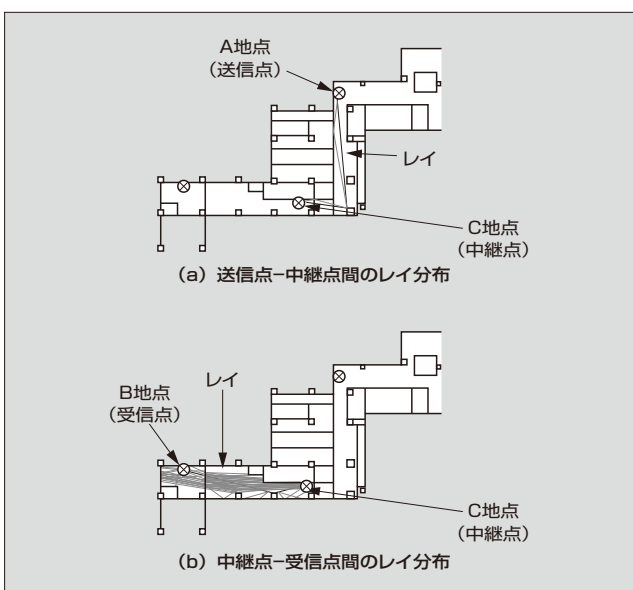


図7 無線機追加による通信性能確保





**四蔵 達之**

無線システムの企画，研究開発に従事。現在，富士電機アドバンステクノロジー株式会社情報通信制御開発センター通信システム部課長。電気学会会員。



**高崎 靖夫**

電子応用機器，ネットワーク機器の開発に従事。現在，富士電機機器制御株式会社開発企画本部開発部担当部長。電子情報通信学会会員。



**石井 美里**

熱・流体シミュレーション技術の研究開発に従事。現在，富士電機アドバンステクノロジー株式会社生産技術センター生産技術研究所。電気学会会員。





\*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する  
商標または登録商標である場合があります。