

コンシューマ・デバイス論文

ワイヤレス M2M 向け汎用アンテナの開発

本田 和明^{1,a)} 森 信一郎² 中村 嘉隆³ 高橋 修³

受付日 2012年12月14日, 採録日 2013年4月26日

概要: 携帯電話インフラの成熟やセンサネットワークの発達とともに, マシンとマシンをつなぐワイヤレス M2M 市場も大きな広がりを見せてきた. ワイヤレス M2M は通常, アンテナと無線モジュールおよび, 各種インタフェースを装備したルータにより 1 つのシステムとして構成されるが, それぞれに設置環境が異なり, 周囲に金属が多いことから, 取り付けるアンテナの汎用性がシステム導入の低コスト化にとって重要な要素であった. 本稿では, 金属からアンテナを離すのではなく, 金属に近付けていく手法により, 汎用性と低コスト化を実現した新しいシステムを構築した. 新システムは現在, 自動販売機を含め, コインパーキング精算機およびメガソーラーシステムなどで採用されている. また, 新システムのアンテナは, その汎用性と低コストが評価され, 自動販売機向けに累計 16 万台 (2013 年 3 月現在) が出荷され, 活用されている.

キーワード: ワイヤレス M2M, ルータ, アンテナ, 汎用性, 低コスト

Development of Generalized Antenna for Wireless M2M

KAZUAKI HONDA^{1,a)} SHINICHIRO MORI² YOSHITAKA NAKAMURA³
OSAMU TAKAHASHI³

Received: December 14, 2012, Accepted: April 26, 2013

Abstract: Wireless M2M market is expanding with maturity of a mobile phone infrastructure, and development of the sensor network. Usually, wireless M2M are constituted by one system with an antenna, a radio module, and the router that equipped various interfaces. However, system introduction cost was high because the installation environment at the time of introduction differs respectively and there is no flexibility in an antenna. In this paper, not the method of separating the distance of an antenna from metal but the method of shortening distance of metal and an antenna was used. Thereby, the new system which realized flexibility and low cost has been built. This new system is adopted by the vending machine, the settlement-of-accounts machine of coin parking, and the large-scale solar power system. Moreover, the antenna by which flexibility and low cost were evaluated is used for a total of 160,000 sets (as of March, 2013), being shipped-out for vending machines.

Keywords: wireless M2M, router, antenna, multipurpose, low cost

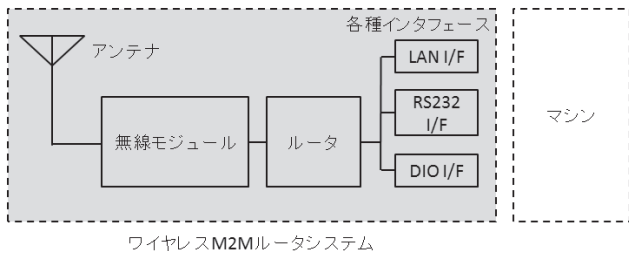
1. はじめに

ワイヤレス M2M とはその名のとおりに “Machine to Ma-

chine” の意であり, 無線を利用して人を介することなくマシンとマシンが通信を行うことである [1]. その市場規模は 2010 年度には 418 億円, 2011 年度には 473 億円と前年比 113.2% で成長しており, 2010 年からの 6 年間においては, 年平均成長率 18.4%, 2016 年度では 1,152 億円の市場規模が見込まれている [2].

ロングテールマーケットであるこの市場は, 1 台あたりの月額平均単価が 7,357 円/月 [3] とコストの高い携帯電話 (従来のお客様) とは異なり, 月単価は数百円/月からと低い ARPU や Acquisition Cost (顧客獲得コスト) およ

¹ 株式会社 IDY
IDY Corporation, Taito, Tokyo 111-0036, Japan
² 株式会社富士通研究所
FUJITSU LABORATORIES LTD., Kawasaki, Kanagawa
211-8588, Japan
³ 公立はこだて未来大学
FUTURE UNIVERSITY HAKODATE, Hakodate,
Hokkaido 041-8655, Japan
a) honda@idy-design.com



ワイヤレスM2Mルータシステム

図 1 ワイヤレス M2M ルータシステム構成図

Fig. 1 Wireless M2M router system block diagram.

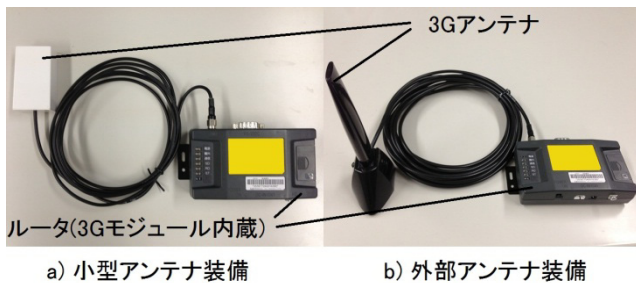


図 2 既存のワイヤレス M2M ルータシステム

Fig. 2 Wireless M2M router system.

び、アフタケアコストが求められる [4]。有線無線を含めた M2M 全体の潜在市場は、国内人口の 20 倍以上、数にして 31 億以上の需要が存在し [5]、既存製品の流用や適応範囲の広がりによって市場は好調に推移している。無線を介してデータを送受信するワイヤレス M2M では、アンテナと無線モジュールおよび、通信を制御して異なるネットワーク間を中継する各種インタフェースを装備したルータとあわせて、1 つの通信制御システムを構築している。ここでは前述したこのシステムをワイヤレス M2M ルータシステムと定義する (図 1, 図 2)。ワイヤレス M2M ルータシステムと各種インタフェースで接続されたマシンは、離れた場所にあるため、データを送受信に関して安定した性能を求められる。特に、本システムではアンテナを金属の近くに設置しなければならず、電波環境や設置スペースから、そのつど設置環境に適したアンテナが個別に選択されているのが現状である。これは、手間とコストのかかる汎用性を欠いたシステムであり、市場の拡大と潜在的な需要があるにもかかわらず、これが大きな導入障壁となっていた。本システムで使用されるアンテナが、金属に設置しても安定した運用性能を維持することができれば、汎用的な利用や低コスト化が可能となり、導入障壁を下げられると考えた。

本稿では、飲料水の自動販売機に使用されているアンテナに着目し、金属に取り付けても運用性能を維持できるシステムを開発し、汎用性と低コスト化を図ることで導入障壁を下げることを試みた。従来までの自動販売機では、ワイヤレス M2M ルータシステムのアンテナを取り付ける場合、外部アンテナに比べ比較的成本の低い小型アンテナ

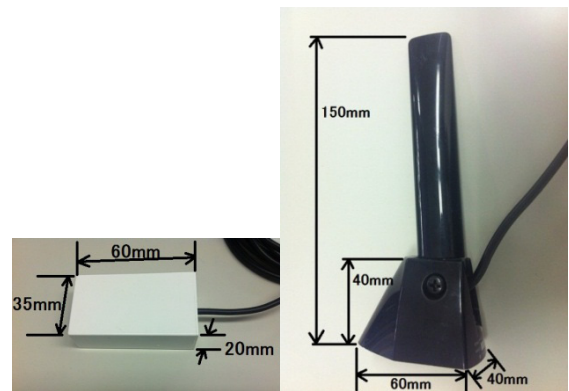


図 3 小型アンテナと外部アンテナ

Fig. 3 Miniaturized antenna and external antenna.

(図 2, 図 3) が使用されてきた。しかし、従来の小型アンテナでは、金属に取り付けられることが想定されていないため、取り付け面が金属であった場合、アンテナの性能は劣化することがある [6]。アンテナ性能の劣化は自動販売機が電波環境の悪い場所に設置されることで致命的な運用性能の劣化となる。また、小型アンテナの取扱説明書 [6] では、金属から 30mm 離してアンテナを取り付けるよう指示があるが、すべての取り付け業者が無線通信に知見があるとは限らないため、特別な取り付け作業を要し、内蔵・外部 (外付け) 問わず設置環境により取り付け位置が異なり、取り付け位置によりアンテナ性能が変化することは、既存システムにおける大きな不安定要因である。このため、電波環境の悪い設置場所においては、コスト高で外観は損なうものの、小型アンテナより不安定要因の少ない外部アンテナ (図 3) を機器の内外部に設置していた。一方、金属に取り付けても安定した性能を発揮するアンテナとしては、パッチアンテナが考えられる [7]。しかし、国内 3G 網における使用周波数は 800~2,100 MHz と広帯域であり [8]、パッチアンテナでは小型化が難しく、立体構造となることから、コスト高となり採用ができない。

2. 提案手法

反射器を持たない無指向性のアンテナは、金属の影響を受けて性能が劣化することが多い [8]。逆に、金属への影響を受けにくいアンテナを考えた場合、コスト高と広帯域対応が難しく、低い ARPU や Acquisition Cost および、アフタケアのコストを考えると、これらアンテナはワイヤレス M2M ルータシステムでは採用できない。また、自動販売機への内蔵を求める以上、周囲の金属の影響すべてを排除することはできない。したがって、既存の小型アンテナや外部アンテナを用いたシステムでは、技術的な性能を追求するアプローチとなり、アンテナを金属に取り付けている以上、性能の劣化により技術的に最適な状態であるとはいえない。しかし、デバイス単体 (アンテナ) としては性能が劣化した状態でも、ワイヤレス M2M ルータシステム

として運用性能を十分満たすことができ、つねに安定して使用することができれば、アンテナ性能のみを重視した既存システムと異なる観点をいながら、導入障壁を下げた新しいシステムが構築できると考えた。通常、アンテナは金属から離すことで金属による影響を受けなくなる。しかし、取り付け位置の金属から離しても、金属に囲われた機器の中に取り付ける以上、今度は周囲の金属を考慮しなければならない。よって、技術的な性能を追求し、金属から離すアプローチではなく、運用性能を十分満たすことができるかという観点到に立ち、アンテナを金属にいかにかに近付けられるか、どのくらいの性能劣化であれば受け入れることができるのかという視点で検討を行った。

従来のワイヤレス M2M ルータシステムでは、コストを重視するあまり、コストは低い金属に弱い小型アンテナを図 4 に示すように商品陳列棚の内壁に取り付けていた。また、小型アンテナでは性能が低く通信のできない設置環境においては、アンテナの性能を重視した外部アンテナを図 5 に示すように取り付けしていた。したがって、まず、コ



図 4 自動販売機の金属面に設置された小型アンテナ
Fig. 4 Miniaturized antenna on vending machine.



図 5 自動販売機の金属面に設置された外部アンテナ
Fig. 5 External antenna on vending machine.

ストの低い従来の小型アンテナが金属の影響でどれだけ性能が劣化しているかを調査し、アンテナと金属との距離を見直すことで、運用性能を満たしたアンテナを試作した。また、試作したアンテナと性能を重視した外部アンテナとの比較を行うことで、設置環境に左右されない汎用性の確認を行った。

3. 提案システムの試作と実証実験

3.1 従来システムの問題点

まず、図 6 の放射特性測定環境で、市販されている図 3 の小型アンテナを用い、金属板から一定の距離を離れた状態で固定した。そのうえでアンテナの正面を 0 度、背面を 180 度とし、0 mm 離れた状態と、15 mm、25 mm 離れた状態とで金属板がアンテナの放射特性に与える影響を調査した (図 7)。離す距離が長くなるほど金属の影響を排除できるが、商品を見せることを前提とする自動販売機では、アンテナが目立たないようにアンテナと金属板との距離を可能な限り近づける必要がある。

図 8 に金属板のない自由空間で測定した放射特性を、図 9 にアンテナの背面に設置した金属板との距離を 0 mm

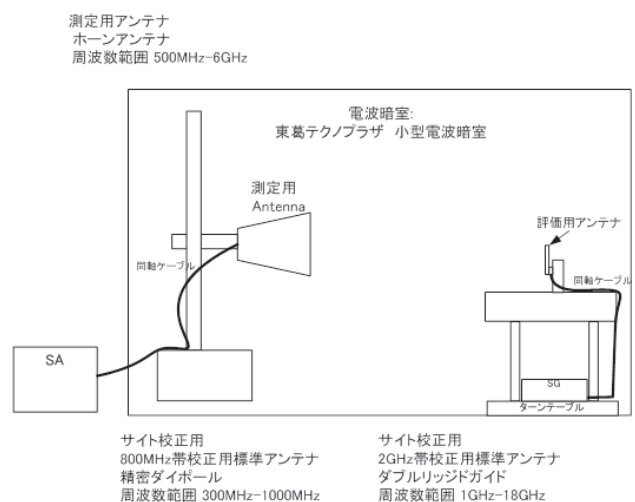


図 6 放射特性測定環境

Fig. 6 Environment of testing radiation pattern.

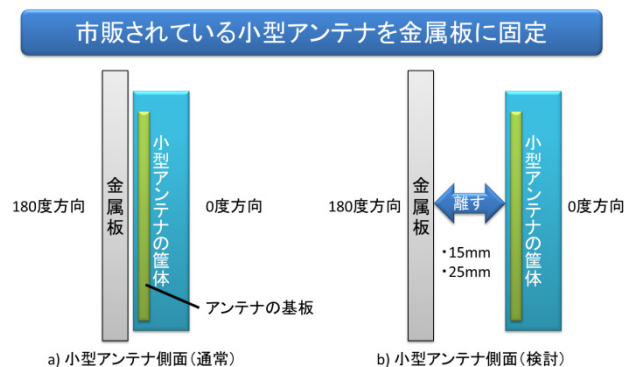


図 7 小型アンテナを使った実験

Fig. 7 Test of using miniaturized antenna.

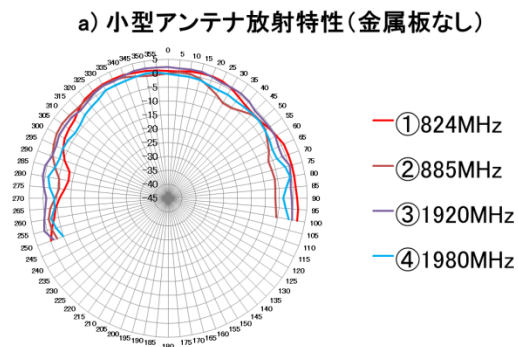


図 8 自由空間結果

Fig. 8 Result of testing open air.

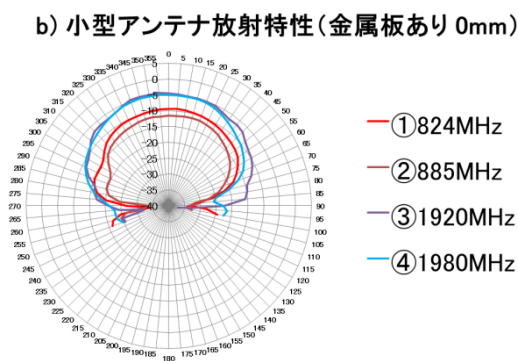


図 9 金属板あり (距離 0mm) 結果

Fig. 9 Result with metal (Distance 0mm).

でアンテナを設置した場合の垂直面放射特性を示す。利得の単位は dBm であり、周囲の角度はアンテナの向きを示している。評価に使用した周波数は本システムで利用する代表的な周波数である。各周波数における放射特性(曲線)によると、金属板なしの状態では大きな弧を描いているのに対し、金属板あり(距離 0mm)では、背面の利得が小さく、小さな弧となっていることが分かる。これは、従来の小型アンテナは金属板に取り付けられることで大きく性能が劣化し、本来の性能をほとんど維持していない状況であることを示す。特に 90 度、270 度における利得は 0 度と比較して大きく劣化している。商品陳列面内側に設置するアンテナ設置環境の自由度を大きくするには、少なくとも前面 120 度の範囲(300 度から 60 度)での利得の劣化を多くても 10 dBm 程度に抑えなければならない。

次に、小型アンテナと金属板との距離を 15 mm 離れた場合(図 10)と、25 mm 離れた場合(図 11)の放射特性を示す。どちらも 0 mm と比較して大幅に特性が改善され、離す距離が大きくなるほど曲線は自由空間に近づいていることが分かる。また、金属板との距離を 25 mm としたものと、15 mm まで近づけたものの放射特性を比較すると、15 mm まで近づけても、90 度、270 度における利得は悪いものの、前面 120 度の範囲では、0 mm と比較して十分な放射特性が維持できており、金属とアンテナの距離を 15 mm とすることが、金属との距離を可能な限り近づけた

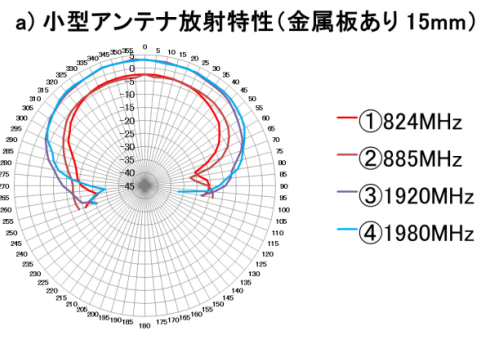


図 10 金属板あり (距離 15 mm) 結果

Fig. 10 Result with metal (Distance 15 mm).

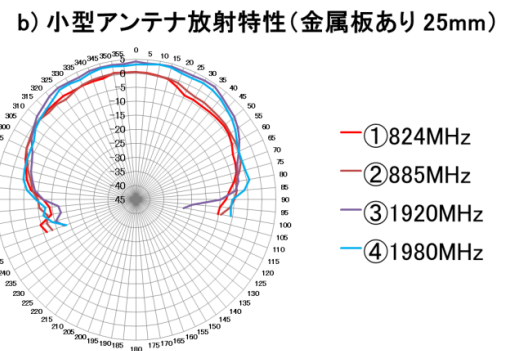


図 11 金属板あり (距離 25 mm) 結果

Fig. 11 Result with metal (Distance 25 mm).

本システムに適したアンテナであると判断した。

3.2 アンテナの試作

前節の調査により、金属に弱い小型アンテナでも金属との距離を 15 mm 離すことで改善が見られたが、金属を考慮した設計となっていないため、特別な取り付け作業を要し、設置環境により取り付け位置が異なるアンテナでは汎用性がない。よって、調査内容をふまえ、金属への取り付けを想定したアンテナを試作し、検証した。

表 1 に通信に求められるアンテナの技術仕様を、表 2 に本システムの汎用性に求められるアンテナの仕様を示す。試作するアンテナは、低コストでかつ、800 MHz 帯と 2,100 MHz 帯の離れた 2 つの周波数に対応する必要がある。したがって、基板のパターンのみで実現できるダイポールアンテナをベースにマルチバンド化するため、 $\lambda/2$ ダイポール組合せアンテナ [9] を採用した。また、金属に近づけた際の周波数変動やインピーダンスのずれに対応するため、アンテナ基板のパターンを太くした [10]。対応周波数の中で最も長い波長を持つのは 824 MHz であり、その長さ(λ)は約 363 mm、採用した $\lambda/2$ でも約 182 mm となる。本システムの汎用性を実現するには、既存システムの中で一番長い外部アンテナと同等以下に収める必要がある。このため、アンテナエレメントを折り曲げてシミュレーションを行い(図 12) [11]、 $\lambda/2$ ダイポールの長さでアンテナの小型化(長さの短縮)を図ることで要求された

表 1 本システムに求められるアンテナの技術仕様

Table 1 Required antenna specification for wireless M2M router system.

項目	規格	備考
型式及び構成	単一型(V), λ , $1/2\lambda$, $1/4\lambda$, $3/8\lambda$, $1/8\lambda$ いずれか	
使用周波数	アップリンク : 824MHz~840MHz ダウンリンク : 869MHz~885MHz	800MHz 帯
	アップリンク : 1920MHz~1980MHz ダウンリンク : 2110MHz~2170MHz	2GHz 帯
特性インピーダンス	50Ω	
VSWR	1.9 以下	
水平面内指向性	無指向性	
利得	3dBi 以下	2GHz 帯
コネクタ	SMA-P	
ケーブル	ケーブル長 : 2.5m	
耐電力	1W 以上	
使用温度	-20°C~90°C	
屋外使用	防水 : IPX6 相当	

表 2 本システム汎用性に求められるアンテナの要求事項

Table 2 Required antenna specification for multipurpose.

項目	規格	備考
金属板による影響	金属を背面に置いた状態でも、前面方向に対し自由空間同等の性能を有する	取り付け場所を選ばない
サイズ	縦 140mm x 横 25mm x 高さ 25mm 以内	縦方向を現行外部アンテナと同等以下、横方向を現行小型アンテナと同等以下、高さ方向を商品見本の半分以下
コスト	現行小型アンテナと同等	

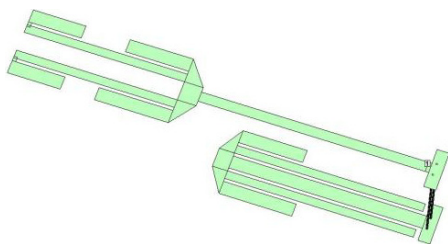


図 12 試作アンテナのシミュレーションモデル

Fig. 12 Simulation model of trial manufacturing antenna.

サイズに収めた。また、シミュレーションではアンテナを金属に近付けた際の放射特性への影響を調べ、前方向に有効な放射特性となることを確認した [12]。図 13 に試作したアンテナの寸法図を、図 14 に実際に試作したアンテナ基板を示す。小型アンテナによる調査により、取り付け位置から 15mm 離すことで取り付け部が金属であった場合に有効であることが確認されているため、アンテナの筐体は図 15 のように 15mm 膨らませることで、距離を意識せずに取り付けられるよう設計した。試作したアンテナを測定周波数はシステムとして要求される各周波数帯の上下限

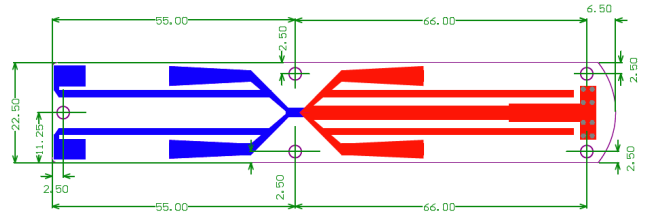


図 13 試作アンテナの基板寸法図

Fig. 13 PCB size of trial manufacturing antenna.

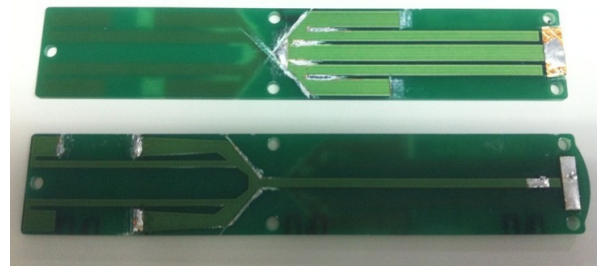


図 14 試作したアンテナ基板

Fig. 14 Antenna PCB of trial manufactured.

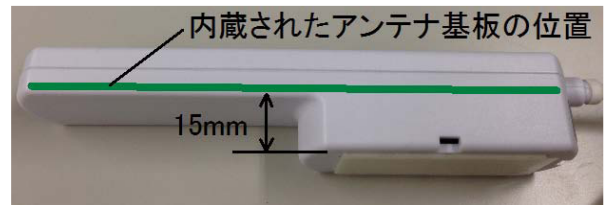


図 15 試作したアンテナの筐体

Fig. 15 Antenna case of trial manufactured.

限として以下の 6 波で測定した。

- ① 824 MHz 800 MHz 帯 下限
- ② 885 MHz 800 MHz 帯 上限
- ③ 1,920 MHz 1,900 MHz 帯 下限
- ④ 1,980 MHz 1,900 MHz 帯 上限
- ⑤ 2,110 MHz 2,100 MHz 帯 下限
- ⑥ 2,170 MHz 2,100 MHz 帯 上限

金属板のない自由空間における試作アンテナの放射特性を図 16、金属板を背面に設置した場合の放射特性を図 17 に示す。小型アンテナによる調査と同様に、試作アンテナにおいても金属板ありでは 180 度方向（後方）および 90 度、270 度方向の放射特性が著しく劣化した。その一方、0 度方向（前方）においては金属板に取り付けている場合でも大きな劣化はなかった。また、前方向 120 度の範囲（300 度から 60 度）では前方向の最大値と比べると約 10 dBm の差異が確認できた。これは、本試作アンテナが前調査した小型アンテナと同等以上の性能を有していることを示す。

3.3 試作アンテナと従来アンテナの比較

次に、試作アンテナと市販の外部アンテナにおける自

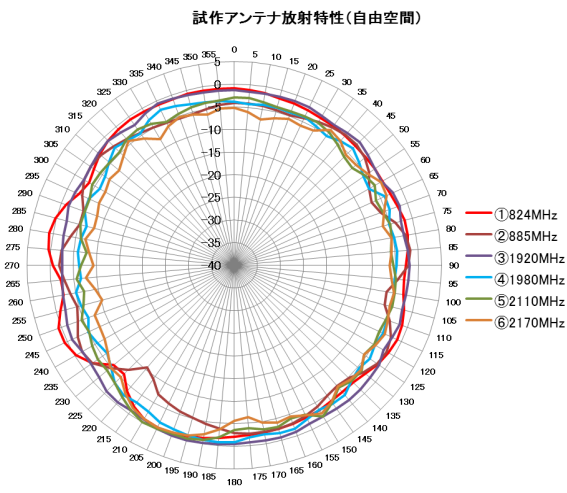


図 16 試作アンテナの放射特性 (自由空間)

Fig. 16 Radiation pattern of trial manufactured antenna (Open air).

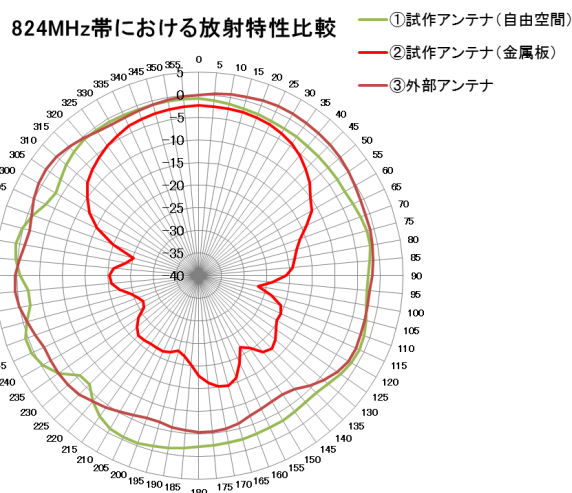


図 18 824 MHz における放射特性比較

Fig. 18 Radiation pattern of 824 MHz.

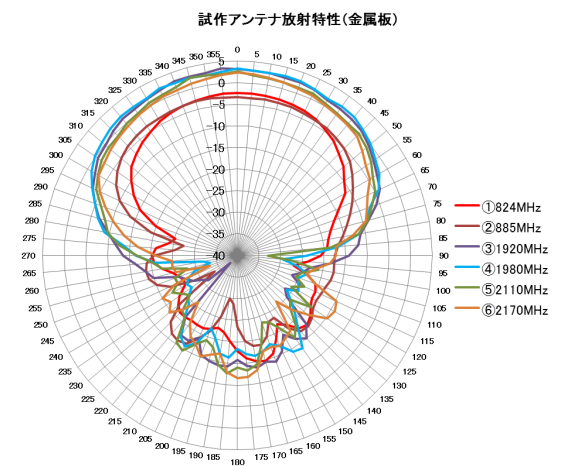


図 17 試作アンテナの放射特性 (金属板)

Fig. 17 Radiation pattern of trial manufactured antenna (Metal).

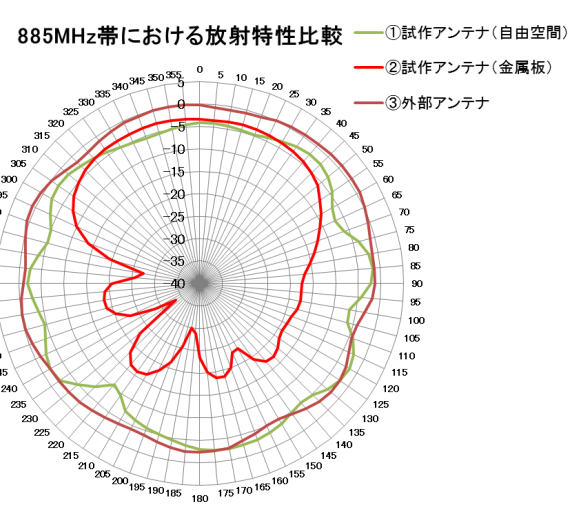


図 19 885 MHz における放射特性比較

Fig. 19 Radiation pattern of 885 MHz.

由空間および、金属板に取り付けた際の放射特性を比較した (図 18~図 23). 800 MHz 帯の低い周波数 (図 18, 図 19) においては、60 度、300 度の向きで試作アンテナは市販の外部アンテナと比較して 10 dBm 程度の劣化が見られる。しかし、試作アンテナにおける金属板の有無で比較すると、前方 0 度および 60 度または 300 度の向きでは、5 dBm 程度の劣化にとどまっておき、システム側の出力調整により改善が可能と判断した。また、2 GHz 帯の高い周波数 (図 20, 図 21, 図 22, 図 23) における前方向 120 度の範囲 (300 度から 60 度) より後方で試作アンテナの自由空間のグラフと試作アンテナの金属板のグラフが交わっていることが分かる。これは、金属板に取り付けた場合でも、前方向 120 度の範囲では劣化が発生していないことを示す。また、外部アンテナと比較しても大きな劣化が認められなかった。よって、性能を重視した外部アンテナと比べても運用性能として遜色はなく、本試作アンテナを使用

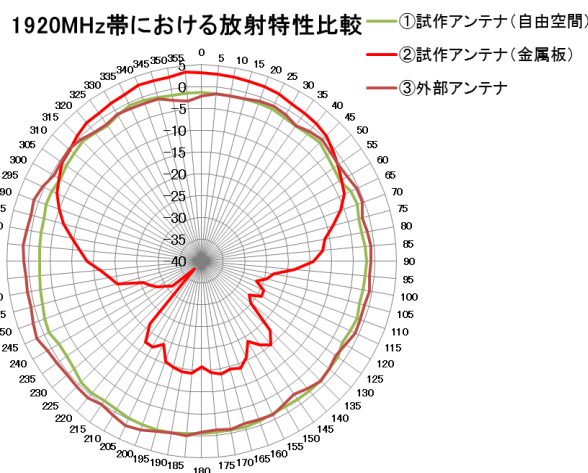


図 20 1,920 MHz における放射特性比較

Fig. 20 Radiation pattern of 1,920 MHz.

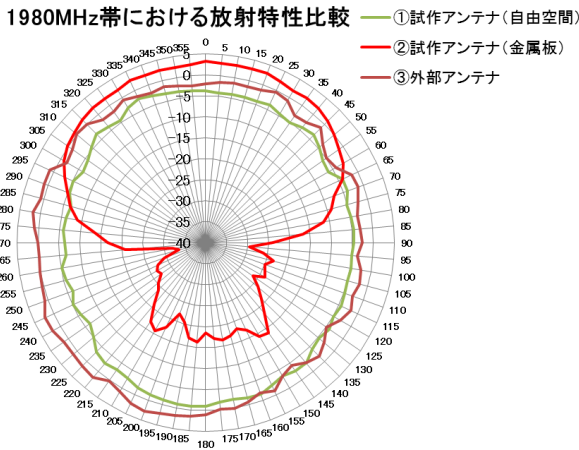


図 21 1,980 MHz における放射特性比較
Fig. 21 Radiation pattern of 1,980 MHz.

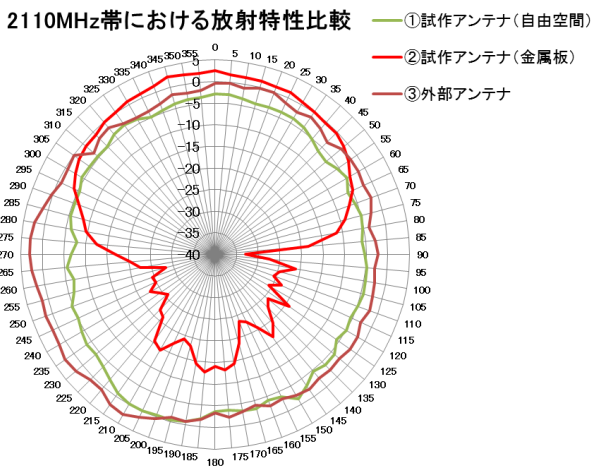


図 22 2,110 MHz における放射特性比較
Fig. 22 Radiation pattern of 2,110 MHz.

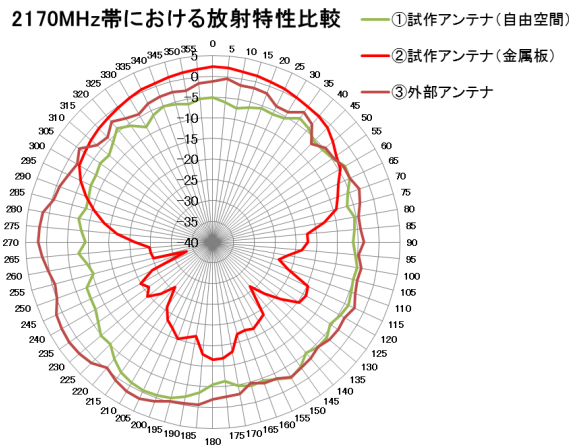


図 23 2,170 MHz における放射特性比較
Fig. 23 Radiation pattern of 2,170 MHz.

してシステムを構築することで、より汎用性のあるワイヤレス M2M ルータシステムの構築が可能であると考えられる。

表 3 新しいワイヤレス M2M ルータシステム仕様 1

Table 3 Specification of wireless M2M router system (1).

	項目	規格
ルータ部	対応モジュール	HUAWEI 製 EM701 HUAWEI 製 EM770J NTT docomo 製 UM-01HW
	内部 I/F	PCI Express mini card
	外部 I/F	WAN x 1 LAN x 3 RS232 x 1 DIN x 1
	WiFi 規格	IEEE802.11n 1T1R
	WiFi 暗号化	WEP 64/128bit WPA/WPA2
	ルータ機能	DHCP サーバ DMZ サポート IP シェアリング MAC アクセスコントロール 最大接続数: 256 マルチ BSSID
	電源	5V Φ 2.1 DC ジャック
	サイズ	縦 116x 横 189x 高 30 (mm)
	消費電力	待受時: 4W 動作時: 5W (3G/WiFi/WAN/LAN 使用)
	温度・湿度	動作保証: 0~50°C 保存温度: -30~70°C 湿度: 10%~95% (結露なし)

表 4 新しいワイヤレス M2M ルータシステム仕様 2

Table 4 Specification of wireless M2M router system (2).

	項目	規格
アンテナ部	型式及び構成	単一型(V), 1/2 λ
	周波数帯域	824MHz~885MHz 1920MHz~2170MHz
	特性インピーダンス	50 Ω
	VSWR	1.9 以下
	水平面内指向性	無指向性
	最大利得	824MHz: 1.0dBi 885MHz: -2.1dBi 1920MHz: 0.0dBi 2170MHz: -2.0dBi
	コネクタ	SMA-P
	ケーブル	ケーブル長: 2.5m
	耐電力	10W
	使用温度	-20°C~90°C
防水仕様	IPX6	

3.4 提案システムの実装と品質の検証

システムとしての品質を確認するため、試作したアンテナを工場で生産し、ルータを組み合わせ、ワイヤレス M2M ルータシステム全体として品質を検証した。新しいワイヤレス M2M ルータシステムの仕様を表 3 および表 4 に示す。生産ではアンテナの接地面を増やし、取り付け部のストレスを軽減するため、図 24 のように長方形の構造とした。検証環境は生産した 3G アンテナをルータと接続し、ルータの LAN および RS232 インタフェースをパソコンと接続することで構築した (図 25)。また、検証では金属板の有無において RSSI (信号強度), Ping 応答速度, ス



図 24 試作アンテナと工場生産したアンテナ

Fig. 24 Trial manufactured antenna and manufactured antenna.

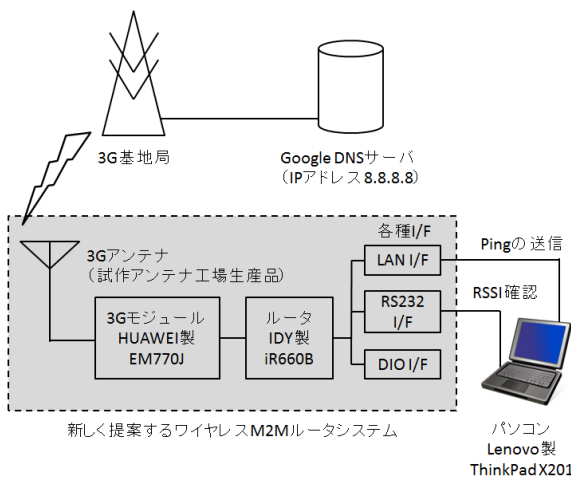


図 25 提案システムにおける品質測定環境

Fig. 25 Environment of measuring quality for proposed system.

表 5 提案システムにおける品質測定結果

Table 5 Result of testing proposed system.

アンテナ	金属板	RSSI 信号強度 (dBm)	Ping 応答 (ms)	Throughput	
				Downlink (Mbps)	Uplink (Mbps)
工場生産	なし	-73	301	1.23	0.29
アンテナ	あり	-71	271	1.38	0.27

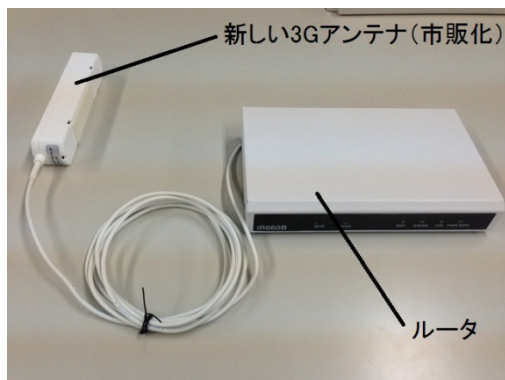


図 26 新しいワイヤレス M2M ルータシステム

Fig. 26 Proposed wireless M2M router system.

ループットを品質評価パラメータとして測定した。測定結果を表 5 に示す。結果からも分かる通り、新しいシステムでは、金属板の有無によって性能に大きな違いが発生していない。これは、金属の影響によりアンテナの性能に劣化が生じるものの、金属を想定した設計とあらかじめ 15 mm 離す工夫を加えたことで、金属に取り付けてもシステムとして十分な性能を保持することができたためである。新しいシステム (図 26) は低コストで製造できる設計を採用しており、金属に取り付けても前方方向に大きな性能の劣化がない。このため、既存システムで課題となっていた取り付け場所による不安定要因が解消され、汎用的なシステムとなった。また、このシステムは品質と性能の面においても十分実運用に適しているといえる。

4. まとめ

現在のワイヤレス M2M 市場では、システムが既存製品の組合せで構成されるものが多く、個々の案件ごとに性能を調整しなければならないという問題をかかえていた。特に狭いスペースに取り付けられることの多い自動販売機では、設置場所が屋外や屋内など多岐にわたるため、それぞれの場所に応じて調整しなければならないことが多く、本システム導入時の障壁となっていた。また、設置環境に依存しない商品陳列面内側へ設置する場合、機器を覆う金属がアンテナの性能劣化を招き、汎用的なシステムを提供することが困難であった。

そこで、金属の影響で性能が劣化するアンテナと、本システムで必要とされる性能のバランスを検証し、自動販売機として許容できるアンテナの劣化限界を検証することで、本システムとして十分な運用性能を維持できることを示した。

本研究によって提案・検証された自動販売機向けワイヤレス M2M ルータシステムでは、従来までは外部アンテナを用いなければ利用できなかった環境での使用が可能となった。特殊な設置方法や専門知識を必要としないため、設置における導入障壁を下げることもできた。また、 $\lambda/2$ ダイポール組合せアンテナを採用し、基板を使ったパターンアンテナとしたため、従来のアンテナより安価での製造が可能となった。低コストで汎用性のあるアンテナは、本システムのみでなく、自動販売機向けの既存システムにも採用が決まり、現在までに累計 16 万台 (A 社向け 13 万台, B 社向け 3 万台: 2013 年 3 月現在) が出荷され、活用されている (図 27)。現在、本システムは、コインパーキング精算機システムや HEMS (Home Energy Management System) および BEMS (Building Energy Management System) のエネルギー監視システム [13], メガソーラーシステムの電力量確認システムへ順次導入している。単一のデバイス (アンテナ) を技術的なアプローチを用いて性能向上を図るのではなく、システム全体を俯瞰的にとらえ、システム



図 27 市販化され導入されたアンテナ

Fig. 27 Proposed manufactured antenna in the market.

の最適化を実現する本提案の応用範囲は広い。今後、このワイヤレス M2M ルータシステムは、市場のさらなる普及と発展に寄与できるものと期待している。

謝辞 本研究にアドバイスをいただいた株式会社ワイヤレスデザイン鎌田浩史様、ユニデン株式会社木津保隆様、サン電子株式会社小嶋修様、また、測定・評価にご協力いただいた株式会社 IDY 川津武志様、中嶋洋様、中山陽介様、萩原千夏様、石川さゆり様、村上一生様、山田朋子様に慎んで感謝の意を表します。

参考文献

- [1] ROA Holdings Inc. : B2C 向けモバイル M2M の展望と課題—センサーネットワークが成長ドライバーに (2010).
- [2] Business Report Online BRO コラム : 「今後 5 年で 1,000 億円市場へ急成長—ポテンシャルを秘めた “M2M” 市場をリサーチ」株式会社ミック経済研究所 (Nov. 2012).
- [3] 総務省 : 平成 23 年度電気通信サービスに係る内外価格差に関する調査携帯電話 (モデルによる比較)
- [4] ノキアシーメンスネットワークス株式会社 : M2M 標準対応とクラウドで急拡大する市場へ低コストのサービス提供で斬り込む, 入手先
(http://www.nokiasiemensnetworks.co.jp/hirameki/pdf/07_m2m.pdf) (Mar. 2013).
- [5] モバイルコンピューティング推進コンソーシアム : モバイル M2M ワーキンググループ「モバイル M2M ワーキンググループ活動開始のお知らせ」1. モバイル M2M ワーキンググループ設立の背景と目標 (狙い) (Feb. 2012).
- [6] FOMA アダプタ用小型防滴アンテナ取扱説明書, 第 1.1 版, Page2, NTT ドコモ株式会社 (2006).
- [7] 虫明康人 : 電波とアンテナのやさしい話—超ブロードバンド化の原理の発見, オーム社 (2001).
- [8] 長 敬三, 山口 良, 蔣 恵玲 : 次世代移動通信システム実現に向けた基地局・端末アンテナ技術, 電子情報通信学会論文誌 B, Vol.J91-B, No.9, pp.886-900 (2008).
- [9] 角居洋司, 吉村裕光 : アンテナハンドブック, p.344, CQ 出版社 (2005).
- [10] 玉岡弘行, 濱田浩樹, 上野孝弘 : マルチバンドアンテナ, 一般論文古河電工時報第 114 号 (July 2004).
- [11] 松田幸雄 : シミュレーションによるアンテナ製作, CQ 出版社 (2008).
- [12] 石飛徳昌 : Sonnet によるアンテナ解析のガイドライン, 有限会社ソネット技研平成 24 年 6 月 27 日, 入手先
(<http://www.sonnetsoftware.co.jp/support/tips/antenna.pdf>) (Mar. 2013).
- [13] HEMS とは (ヘムス) BEMS とは (ベムス) CEMS とは (セムス) FEMS とは (フェムス), 東京コスモス電機株式会社,

入手先 (<http://tocos-wireless.com/jp/tech/HEMS.html>) (Mar. 2013).



本田 和明 (正会員)

1995 年金沢工業大学電子工学科卒業。同年ユニデン株式会社入社。北米向け DirecTV, 日本向け SKY PerfecTV! 等多くのデジタル IRD/STB を開発。2001 年より株式会社ピコアプリケーションにて M2M 通信デバイスの開発に従事。2005 年よりネットツーコム株式会社にて Windows Mobile 搭載デュアルモードスマートフォンを開発。翌年同社代表取締役就任。現在は株式会社 IDY 代表取締役社長。ワイヤレスとブロードバンドの融合に向け事業を展開。



森 信一郎 (正会員)

1987 年関西大学工学部卒業。同年富士通 (株) 入社。2003 年 (株) 富士通研究所に異動。2011 年静岡大学大学院博士後期課程修了。半導体製造ロボットの開発, GPS 携帯端末関連の開発, 次世代携帯電話の開発, 仮想世界/オーギュメントドリアリティに関する研究を経て, 高精度測位技術の研究に従事。博士 (情報学)。



中村 嘉隆 (正会員)

2002 年大阪大学基礎工学部情報科学科卒業。2007 年同大学大学院情報科学研究科博士後期課程修了。同年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科助教。2010 年大阪大学大学院情報科学研究科特任助教。2011 年より公立はこだて未来大学システム情報科学部助教。博士 (情報科学)。センサネットワークセキュリティに関する研究に従事。IEEE 会員。



高橋 修 (フェロー)

1975年北海道大学大学院工学研究科修士課程修了。同年電電公社(現、NTT)横須賀電気通信研究所入所。コンピュータネットワークの研究・開発・標準化に従事。NTTドコモを経て2004年より公立はこだて未来大学教授。博士(工学)。本会業績賞。本会フェロー。電子情報通信学会, IEEE各会員。