

UHF 帯 RFID 対応電波吸収材の開発

倉橋真司 重松博之*1 加藤秀教*2 堀内健太郎*3 西内正樹*3 松永真由美*4

The development research of UHF band RFID compatible
electromagnetic wave absorption materialKURAHASHI Shinji, SHIGEMATSU Hiroyuki, KATOH Hidenori, HORIUCHI Kentarou, NISHIUCHI Masaki
and MATSUNAGA Mayumi

UHF 帯 RFID システムは、遠距離からの情報読み取りや書き換えまで可能なため、RFID 用途の拡大が見込める技術として、物流管理や商品管理など様々な分野から注目を集めている。一方、通信電波が遠方に放射されることから、隣接するシステム間で発生する電波干渉問題や、利用環境下の床面や金属壁などからの反射波によるマルチパスの問題が指摘されている。これらの電波障害を解決する手段として、不要な通信電波を吸収し、通信領域の電波環境を改善する電波吸収材が必要となっている。

そこで、UHF 帯 RFID システム通信領域内の電波干渉を効果的に防止できる電波吸収材として、磁性材と誘電材の多層構造により斜入射特性に優れかつ、薄型化の新しい電波吸収材を提案するとともに、吸収材の有効性を検討した。

キーワード: RFID、電波吸収材、電磁干渉

はじめに

通信距離や通信範囲が従来の RFID (13.56MHz 帯) と比較して優れている UHF 帯 RFID (950MHz 帯) の国内利用が総務省の省令改正により平成 17 年 4 月から可能となった。UHF 帯 RFID システムは、遠距離からの情報読み取りや書き換えまで可能なため、RFID 用途の拡大が見込める技術として、物流管理や商品管理など様々な分野から注目を集めている。一方、通信電波が遠方に放射されることから、隣接するシステム間で発生する電波干渉問題や、利用環境下の床面や金属壁などからの反射波によるマルチパスの問題が指摘されている。これらの電波障害を解決する手段として、不要な通信電波を吸収し、通信領域の電波環境を改善する電波吸収材が必要となってきている。

そこで、UHF 帯 RFID システム通信領域内の電波干渉を効果的に防止できる電波吸収材を開発するとともに、システムの安定性や読み取り領域の広範囲化について検討を行なった。具体的には、磁性材と誘電材の多層構造により斜入射特性に優れかつ、薄型化の新しい電波吸収材を提案するとともに、その有効性を確認するために RFID システムを用いた通信領域内の電界強度分布を評価した結果を報告する。

実験方法

1. 電波吸収材の設計

UHF 帯 RFID で使用される周波数 950MHz 帯域に吸収特性を有する電波吸収材を検討した。最も簡単な構造である $\lambda/4$ 型吸収材¹⁾では、厚みが 79mm となり現実的な厚みではなく、また、カーボンなどを含有した誘電損失型においてもほぼ同様な厚みとなる。また、フェライトなど磁気損失型では、この周波数帯域に吸収特性を得るためには、焼結体か、ゴムに粉末を複合する場合には粉末混合比率が増

加するため、コスト面と重量面から製品化は困難である。そこで、磁気損失型と誘電損失型の 2 層構造により、厚みや重量面を考慮した吸収材設計を行った。

2 層型吸収材の基本構造を図 1 に示す。磁性材料と誘電材料を組合せた構造であり、設計手法は、各層それぞれの吸収特性に起因する材料定数 (比誘電率、比透磁率) を測定し、その値から厚みを変数として以下に示す多層型吸収材の理論計算により、最適な厚みとともに吸収特性を求めた。

ここでの材料定数測定には、同軸導波管法²⁾を用いて測定した。

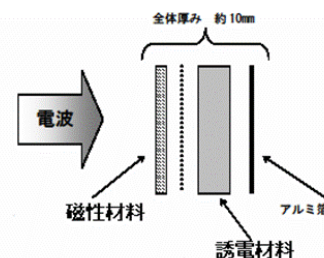


図1 2層型吸収材の基本構造

理論計算に用いた多層型電波吸収材の吸収特性³⁾は、吸収材の材料定数 (比誘電率、比透磁率)、厚み、周波数によって以下の式により求められる。図 2 に示す多層型吸収材の第 n 層の特性インピーダンス Z_n 、伝搬定数 γ_n とすると、第 n 層の表面インピーダンス Z_n は、以下の式で表すことができる。

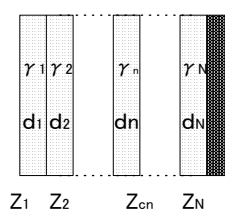


図2 多層型吸収材

*1(現)経済労働部産業支援局産業創出課 *2(現)産業技術研究所紙産業技術センター *3 株式会社タケチ *4 愛媛大学工学部
この研究は、「産学官連携共同研究開発事業」の予算で実施した。
愛媛県工業技術センター業績第 6 3 2 号 - 17 -

$$Z_n = Z_{cn} \frac{Z_{n+1} + Z_{cn} \tanh \gamma_n d_n}{Z_{cn} + Z_{n+1} \tanh \gamma_n d_n} \quad (n=N-1, \dots, 2, 1)$$

ここで、垂直入射の場合 ($\theta = 0^\circ$) には

$$Z_{cn} = \sqrt{\frac{\mu_n}{\epsilon_n}} \quad \gamma_n = j \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\epsilon_n \mu_n}$$

斜入射の場合には、

$$\begin{aligned} < \text{TE 波} > & < \text{TM 波} > \\ Z_{cn} &= \frac{\mu_n}{\sqrt{\epsilon_n \mu_n - \sin^2 \theta}} & Z_{cn} &= \frac{\sqrt{\epsilon_n \mu_n - \sin^2 \theta}}{\epsilon_n} \\ \gamma_n &= j \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\epsilon_n \mu_n - \sin^2 \theta} & \gamma_n &= j \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\epsilon_n \mu_n - \sin^2 \theta} \end{aligned}$$

上式により、最前面吸収材の表面インピーダンス(図の場合にはZ1)を求め、垂直入射及び斜入射(TE/TM)における反射係数から吸収特性を求めることができる。

この多層型電波吸収材の理論を用いて、開発吸収材の検討を行った。吸収材を構成する各層は、1層目にゴム系磁性吸収材、2層目には誘電材料として発泡プラスチック材とアクリル材を選定し、吸収材の設計を行った。各層間を両面テープで接着しており、実際には磁性材料+両面テープ層+誘電材料+両面テープ+裏打ち金属の4層構造であるが、両面テープ層については、200 μ mと波長に対して短いために今回の設計においては考慮しなかった。

2. 電波吸収材の吸収特性評価

試作した電波吸収材の吸収特性を評価するために、図3に示す測定系により吸収特性を測定した。

送受信アンテナに直線偏波アンテナであるダブルリジッドガイドホーンアンテナを用いて、入射角度を5度~40度まで変化させてTE波及びTM波における吸収特性を評価した。測定周波数範囲を700MHz~2GHzとし、吸収材サイズは、アンテナの放射パターンと測定距離(2m)から900mm×900mmとした。

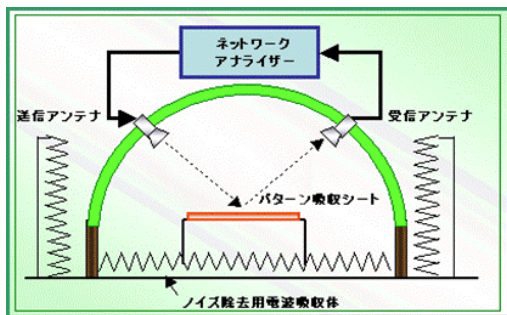


図3 吸収特性評価測定図

入射角度が広がると測定対象である測定吸収材サンプルからの反射波と送受信アンテナ間の直接波とを分離して測定する必要があり、ネットワークアナライザのタイムゲート機能により、測定対象からの反射波のみを選択する手法で測定した。なおタイムゲートは、5nSに設定し測定評価を行った。

3. UHF 帯 RFID システムの通信領域

現在市販されているUHF帯RFIDシステムを用いて、実際の通信領域を確認するとともに、反射波や干渉波の影響を把握するために以下の測定を行った。

測定対象としたシステムは、タグとシステムを同時に販売しているオムロン(株)製V750シリーズ、タグは代表的な形状であるWave型とLoop型を用いた。

UHF帯RFIDシステムでは、送受信アンテナから円偏波で電波が送信されているため、タグの方向に関係なく読み取りできる特徴がある。そのためにタグはどの方向からの電波に対しても同じ受信感度であることが理想的である。そこで現状のタグを対象として、RFIDシステムを用いてタグの指向性を評価した。

次に、RFIDシステムの通信領域を測定するためタグを以下の示す場所に変化させて受信電界強度を測定した。

送受信アンテナ-タグ間距離: 0.5m~3m:0.5mStep

タグ高さ:0.25m~2.0m 0.25mStep

測定は電波暗室内で測定概要図を図4に示す。

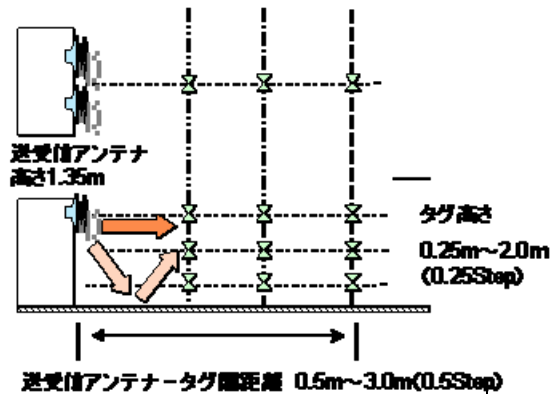


図4 通信領域測定

次に、タグの背面に金属板がある場合を想定した背面金属板からの電磁干渉を評価するために、タグと背面金属板間距離を0.01m~2.0mまで変化させて、タグ受信電界強度を図5に示す測定系により測定した。

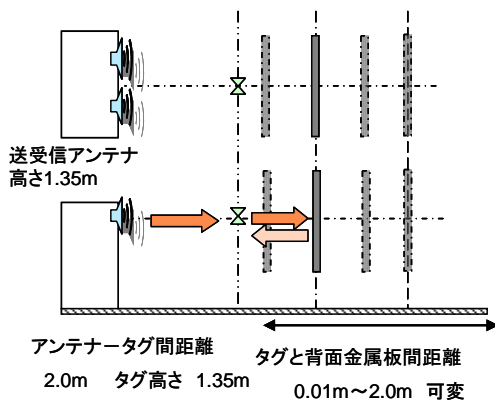
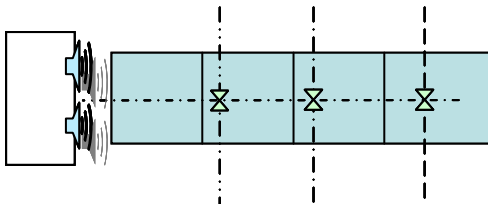


図5 背面金属板の干渉測定

4. 試作吸収材の有効性評価

図4に示したUHF帯RFIDシステムの通信領域測定法の床面に試作吸収材を設置して吸収材の有効性を評価

した。試作吸収材 900mm×900mm4 枚を図 6 に示すように床面に設置して、同様な測定を行い受信電界強度の変化を測定した。



吸収材設置 : 900mm×900mm 4個

図 6 吸収材の設置した通信領域測定

次に、背面金属板の干渉測定についても金属板の表面に試作吸収材を設置して、吸収材の有効性を評価した。

結果と考察

1. 試作電波吸収材の吸収特性評価

1 層目にゴム系磁性吸収材、2 層目に誘電材料としてアクリル材と発泡プラスチック材とした 2 層型吸収材の設計を行った。まず各層の材料定数を測定し、その値から UHF 帯 RFID において使用されている 950MHz 帯に吸収特性を有する最適な厚みを理論計算により求めた。ここで、2 層目の誘電材料については市販品の使用を前提としたことから、厚みが限定される。そのために、1 層目のゴム系磁性材料の厚みを変数と理論計算により、吸収材を設計した。

設計により求めた吸収材厚みは、

ゴム系磁性吸収材(1.15mm)+アクリル材(8.0mm)

ゴム系磁性吸収材(0.9mm)+発泡プラスチック材(10.0mm)である。

設計厚みでゴム系磁性吸収材を作製し、それぞれの誘電材料と両面テープにて接着し、誘電材料の裏側に裏打ち金属としてアルミ箔を接着させた構造の吸収材を試作した。吸収材サイズは、900mm×900mm である。

試作吸収材の吸収特性を図 3 の測定系により電波暗室内で測定した。吸収特性の測定手順としては、測定対象である吸収材と同じサイズの金属板をサンプル台に設置し反射波を測定し、次に吸収材を同じ位置に設置して同様の測定を行い、金属板と吸収材との反射波の差から吸収特性を求めた。この測定法では、測定対象である金属板と吸収材からの反射波のみを正確に測定することが重要であり、タイムゲート機能により測定対象からの反射波のみを選択し測定した。

図 7、図 8 には、TE 波の 5 度と 40 度における時間軸波形とタイムゲートでの選択波形を示す。

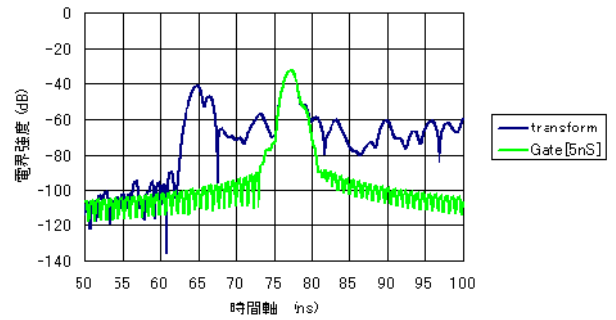


図 7 時間軸波形 [TE 波 5 度]

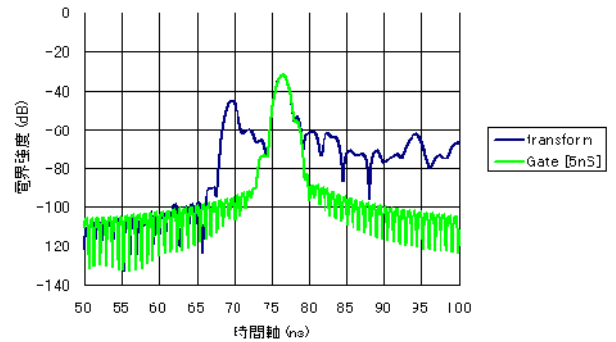


図 8 時間軸波形 [TE 波 40 度]

時間軸波形からは、さまざまな反射波が確認できるが、入射角度が変更しても変化しないピークが測定対象からの反射波であるため 75nS がピークであると考えられる。最初のピークについては、5 度と 40 度で 65nS から 70nS の位置に移動しており、送受信アンテナ間での干渉波であると考えられる。このことは、入射角が大きくなるにつれてアンテナ間距離が離れることから理解できる。それ以外にも多重反射や不要な反射波が含まれていることが確認できる。

今回の測定では、75nS ピークに対して図中に示した 5nS ゲート幅を設定し、吸収特性を評価した。

図 9 には、誘電材料にアクリル材を用いた試作吸収材の吸収特性を示す。入射角度 5 度と 40 度における TE 波/TM 波の測定結果である。

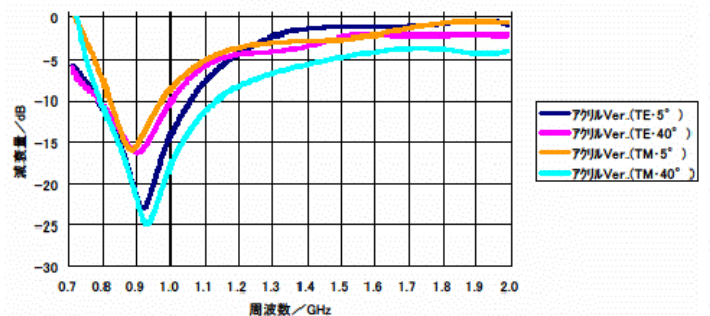


図 9 試作吸収材の吸収特性図 [アクリル材]

図 10 には、誘電材料として発泡プラスチック材を用いた試作吸収材の吸収特性を示す。

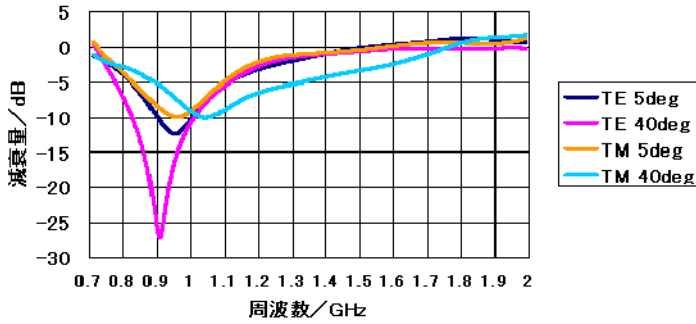


図 10 試作吸収材の吸収特性図 [発泡材]

どちらの試作吸収材ともに、吸収ピーク周波数が設定した 950MHz 付近にあり、理論計算による設計値とほぼ一致した結果であった。吸収量を表す反射減衰量については、アクリル材の方が 5 度で約-15dB、40 度で約-25dB であり、発泡プラスチック材と比較して若干大きな吸収量である。また、発泡プラスチック材は、入射角度が大きくなったときには、アンテナの偏波面により吸収特性に大きな差があることが分かった。

この点については、吸収材自身の特性なのか測定時の誤差要因が影響しているのかなどが考えられ、今後詳細に検討する必要がある。また、今回の試作吸収材では、市販品の誘電材料を選定したために、比誘電率と厚みの選択が十分に検討することができなかった。今回の結果から、誘電材料の比誘電率値とともに、厚みを設計要因に追加すれば、試作吸収材よりも、高性能で薄型の吸収材が設計可能であると考えられ、その点についても検討が必要である。

今回試作した吸収材の吸収特性測定結果から、どちらの試作吸収材も UHF 帯 RFID 用吸収材としての性能を有していることが確認できた。ただし、コスト面とともに、重量面を考慮すると発泡プラスチック材での吸収材の方が優れていることから、RFIDシステムを用いた試作吸収材の有効性の評価には、発泡プラスチック材吸収材で評価試験を行った。

2. UHF 帯 RFID システムの通信領域

市販されている RFID システムとして、オムロン(株)製 V750 シリーズ、タグは代表的な形状である Wave 型と Loop 型を用いて通信領域の把握とともに、吸収特性の有効性を確認した。

通信領域を測定する前に、タグの指向性を評価した結果を図 11 (Wave 型)、図 12 (Loop 型) に示す。

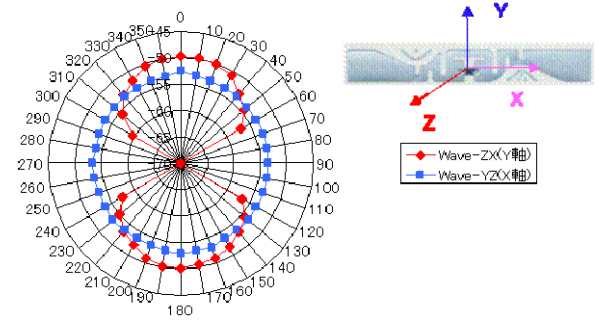


図 11 Wave 型タグの指向性

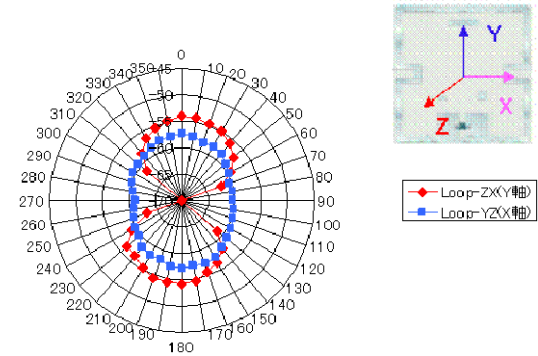


図 12 Wave 型タグの指向性

Wave 型の方が Loop 型よりも全体的な感度が高く、YZ 面では無指向性であるが、Wave、Loop 型ともにタグ方向により、感度が大きく異なる方向性を有しており、指向性が確認できた。指向性があるとタグ方向により通信領域が変化するため、無指向性のタグが理想的であるが、現状でのタグ状況を把握することができた。

次に、図 4 で測定したタグ位置と受信電界レベルの測定結果を表 1 に示す。ここでは、Wave タグを用いた測定結果を示す。なお、タグ方向は、最大感度となる ZX 面方向 (0 度) で測定した。また、表 2 には、Loop タグでの測定結果を示す。

表 1 タグ位置と受信電界レベル [Wave 型]

	0.5m	1.0m	1.5m	2.0m	2.5m	3.0m
2 +0.65m	-50.5	-47	-48.5	-52.875	-52.875	-52.875
1.75 +0.40m	-43.25	-45.5	-47.975	-47.75	-52.5	-53.9
1.5 +0.15m	-38.125	-40.875	-46.5	-51.5	-50.625	-51.125
1.35 0m	-34.875	-40.125	-45.5	-47	-54.875	-48.875
1.25 -0.15m	-35.75	-42.5	-48.125	-48.875	-49.25	-52.625
1 -0.35m	-40.125	-44.25	-47.25	-47	-56.625	-49.16
0.75 -0.60m	-47.375	-47.375	-48.5	-48.125	-49.625	-52.875
0.5 -0.85m	-53.75	-48.875	-48.5	-53.375	-47.375	-48.65
0.25 -1.10m	-53.375	-48.875	-55.25	-55.375	-55.375	-52.725

また、同様に表 2 には、Loop タグでの測定結果を示す。

表 2 タグ位置と受信電界レベル [Loop 型]

	0.5m	1.0m	1.5m	2.0m	2.5m	3.0m
2 +0.65m	-58	-54.5	-53.5	-56.5	-62.5	-58.625
1.75 +0.40m	-51.625	-53.8	-55.375	-57.25	-56.5	-61
1.5 +0.15m	-44	-49	-53.5	-55.75	-61	-56.5
1.35 0m	-42.125	-50.5	-54.7	-55.4	-57	-57.5
1.25 -0.15m	-42.125	-49.5	-53.7	-58	-55	-63.5
1 -0.35m	-47.5	-50.875	-57.5	-55.375	-61.5	-55
0.75 -0.60m	-53.5	-53.875	-56.5	-54	-58.5	-58.625
0.5 -0.85m	-54.5	-54.5	-59	-57.625	-53.5	-57
0.25 -1.10m	-57.25	-57.25	-57.25	-57.25	-62.5	-59.125

Wave、Loop 型ともに、通信できない位置(黒部分)が複数ある。アンテナタグ間距離が同じでもタグ高さにより通信できない位置があることから、床面からの反射波が影響しているものと考えられる。タグの高さの違いにより受信レベル値が変動しており、アンテナからの直接波と床面からの反射波との干渉が原因で、通信領域内の電界強度分布に乱れが生じている。

また、タグの背面位置に金属板が存在する場合の測定結果を図 13 に示す。

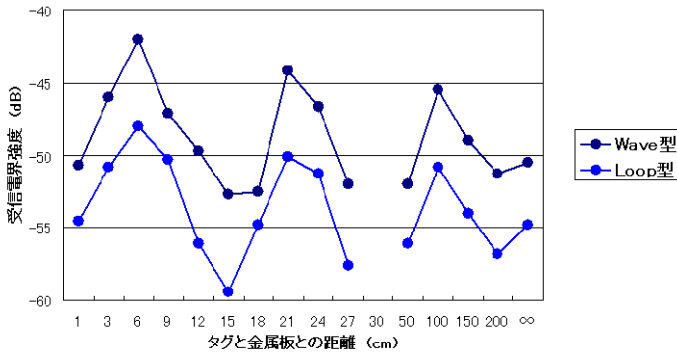


図 13 背面金属板位置と電界強度

タグと背面金属板との距離により、受信レベルが大きく変動する結果となった。Wave 型 Loop 型タグともに同様な傾向であり、距離が 30cm の場合には通信不可であった。タグ受信レベルが一定周期で強弱している状況であり、金属板からの反射波が影響していると考えられる。

通信電波の周波数 954MHz であることから波長 λ は 31.4cm である。受信レベルの強弱の山谷の発生位置は、 $\lambda/4$ である約 7.8cm 毎と一致する結果となる。また、金属板が 30cm の位置で通信不可となるも説明ができることから、タグへの直接波と金属板からの反射波の干渉が原因であることは明らかである。

3. 試作吸収材の有効性評価

試作した吸収材の反射波低減効果を測定するために、発泡プラスチック材の試作吸収材を図6に示すように設置して、タグ位置と受信電界レベルの測定を行った。その結果を表3、4に示す。表3に Wave 型、表4には Loop型タグで測定結果を示す。

表3 タグ位置と受信電界レベル [Wave 型]

		0.5m	1.0m	1.5m	2.0m	2.5m	3.0m
2	+0.65m	-51.625	-50.25	-50.75	-53.083	-53.625	
1.75	+0.40m	-45.917	-46.958	-49.042	-51.708	-54.292	-54.417
1.5	+0.15m	-39.333	-45.375	-50.25	-51.375	-52.5	-56.875
1.35	0m	-37.083	-43.75	-47.833	-51.625	-52.625	-55.75
1.25	-0.15m	-36.958	-44.75	-47.708	-50.5	-55.208	-54.917
1	-0.35m	-40.625	-44.375	-48.917	-53.375	-51.833	-56.75
0.75	-0.60m	-47.083	-47.375	-49.583	-50.375	-54.625	-53.917
0.5	-0.85m	-52.458	-50.125	-53.5	-50.25	-54.25	-59.958
0.25	-1.10m	-56.25	-53.083	-55.167	-54.958	-54.042	-55.625

表4 タグ位置と受信電界レベル [Loop 型]

		0.5m	1.0m	1.5m	2.0m	2.5m	3.0m
2	+0.65m	-57.458	-56	-56.5	-57.583	-59.083	-63.125
1.75	+0.40m	-52.667	-52.542	-54.25	-56.5	-58.625	-59.083
1.5	+0.15m	-44.875	-50.75	-55.042	-56.625	-58.25	-59.125
1.35	0m	-41.583	-49.25	-53.5	-57	-56.875	-59.5
1.25	-0.15m	-41.708	-49.25	-53.083	-56	-59.25	-59.208
1	-0.35m	-47.375	-50.5	-53.833	-58.042	-56.375	-60.667
0.75	-0.60m	-54.667	-53.083	-55.75	-55.625	-60	-58.792
0.5	-0.85m	-60.667	-55.625	-57.833	-54.375	-58.5	-63
0.25	-1.10m		-59.52	-60.25	-61.75	-59.292	-61.375

床面に吸収材を設置することにより、通信できない位置(黒部分)が Wave 型 Loop 型ともに一箇所に減少した。また、タグ高さの違いによる受信レベルの変動が少なく、送受信アンテナからの距離が遠くなるにつれ、受信レベルも徐々に減少する傾向であり、床面からの反射波を低減させていることが確認できる。

次に、背面金属板の干渉測定についても金属板の表面に試作吸収材を設置して、タグの受信レベルを測定した結果を図 14 に示す。

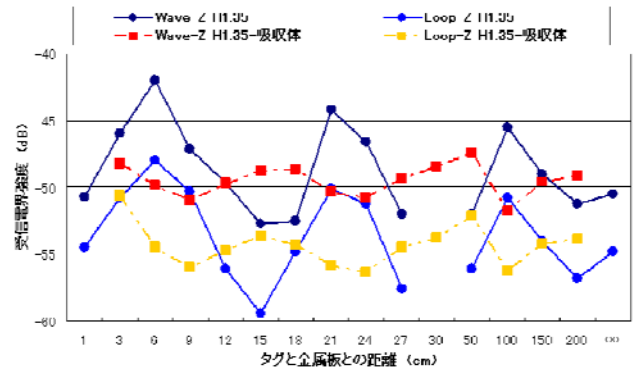


図 14 背面金属板位置と電界強度 (吸収材設置)

吸収材を設置することで、通信不可位置(30cm)で通信可能となった。また、タグと背面金属板との距離により、受信レベルが大きく変動していたが、変動がほとんどなく安定した受信レベルとなるなど、吸収材を設置することで、背面金属板からの反射波の影響を除去することができた。

これらの結果から、UHF 帯 RFID システムの通信可能領域は、周辺環境により大きく変化することが分かった。特に、床面や壁面などからの反射波の影響により、受信レベルが不安定になるとともに、通信できない位置も存在する。不要な反射波や電波干渉を低減させ安定した通信領域を確保するためには、電波吸収材が有効であり、試作吸収材でその効果が確認できた。

今回の実験では、最大受信感度になるタグ面で測定した結果であり、実際の使用状況においては、送受信アンテナとタグ面(方向/回転)は一定方向ではなく、また、タグを貼り付ける製品形状や物質(金属、液体など)によっても受信感度が低下することが考えられる。そのため、より反射波を低減できる電波吸収材が必要とされ、UHF 帯 RFID システムの普及には通信領域を安定化させる安価で高性能な電波吸収材が必要不可欠である。

ま と め

文 献

UHF 帯 RFID システム通信領域内の電波干渉を効果的に防止できる電波吸収材として、磁性材と誘電材の多層構造により斜入射特性に優れかつ、薄型化の新しい電波吸収材を提案するとともに、RFID システムにより吸収材の有効性を検討し、以下の成果を得た。

- (1)1層目にゴム系磁性吸収材、2層目に誘電材料としてアクリル材と発泡プラスチック材とした2層型吸収材を試作した。
 ゴム系磁性吸収材(1.15mm)+アクリル材(8.0mm)
 ゴム系磁性吸収材(0.9mm)+発泡プラスチック材(10.0mm)
 試作吸収材の吸収ピーク周波数が設定した950MHz付近にあり、理論計算による設計値とほぼ一致した。
- (2)市販されているタグの指向性及び、通信領域を把握した。
 タグについては、Wave型の方がLoop型よりも全体的な感度が高く、YZ面では無指向性であるが、Wave、Loop型ともにタグ方向により、感度が大きく異なる方向性を有しており、指向性を確認した。また、通信領域測定では、通信領域内の電界強度分布を把握した。また、通信できない位置が複数あり、アンテナからの直接波と床面からの反射波との干渉が原因として考えられる。
- (3)タグの背面位置に金属板が存在する場合には、背面金属板とタグとの距離により、受信レベルが大きく変動し、距離が30cmの場合には通信不可であった。通信電波の周波数954MHzであることから波長 λ は31.4cmであり、受信レベルの強弱の山谷の発生位置は、 $\lambda/4$ である約7.8cm毎と一致したことから、タグへの直接波と背面金属板からの反射波との干渉が原因であることが分かった。
- (4)試作吸収材を床面に設置して通信領域測定を行い、通信できない位置が一箇所に減少し、タグ高さに違いによる受信レベルの変動が少なく、送受信アンテナからの距離が遠くなるにつれ、受信レベルも徐々に減少する傾向であり、吸収材で床面からの反射波の低減効果を確認した。また、背面金属板の干渉測定についても吸収材を設置することで、通信不可位置(30cm)で通信可能、受信レベル変動がなく安定し、背面金属板からの反射波の影響を除去することができた。
- (5)UHF帯RFIDシステムの通信可能領域は、周辺環境により大きく変化することが分かった。特に、床面や壁面などからの反射波の影響により、受信レベルが不安定になるとともに、通信できない位置も存在する。不要な反射波や電波干渉を低減させ安定した通信領域を確保するためには、電波吸収材が有効であり、試作吸収材でその効果が確認できた。UHF帯RFIDシステムの普及には通信領域を安定化させる安価で高性能な電波吸収材が必要不可欠であることが分かった。

- 1) 清水康敬, 杉浦行, 石野健: 最新電磁波の吸収と遮蔽, 第2版, (日経技術図書), 135-137(1999).
- 2) 橋本修, 西方敦博ほか: 新電波吸収体の最新技術と応用, (シーエムシー)p. 49-53(1999).
- 3) 青柳, 清水: 斜め入射ポイント整合による多層型電波吸収体の設計, 電子情報通信学会論文誌, p. 414(1994).