平成28年度　経済産業省委託

エネルギー使用合理化国際標準化推進事業委託費
（省エネルギー等国際標準開発（国際標準分野））

金属製循環型物流機材(RTI)用 RFIDに関する国際標準化

成果報告書

別紙1

金属製RTIに貼付するRFタグ単体評価

平成 29 年　2 月 27日
東洋製罐グループホールディングス株式会社

成果報告書は、以下のように構成されている。

本編・・・・・・・・・・・・・金属製循環型物流機材(RTI)用 RFID に関する国際標準化
成果報告書

別紙１・・・・・・・・・・・・（本資料）成果報告書 別紙 1
金属製 RTI に貼付する RF タグ単体評価

別紙２・・・・・・・・・・・・成果報告書 別紙 2
金属製 RTI 用 RF タグ実証実験評価

別紙３・・・・・・・・・・・・ISO-TR　NP 提案書類
NP 提案時の全書類

目次

目次 3
【要旨】 実証実験の概要と主な結果 4
1 解決すべき課題と主な結果 4
2 実験の趣旨と目的 6
3 実験方法の概要 6
4 主な結果 10
5 まとめ 25
1 実証実験に至る背景と目的 26
1.1 H26年度フィージビリティスタディの結果 26
1.2 解決すべき課題 29
1.3 RFタグ単体評価の目的 30
2 細実証実験結果補足資料、データ 31
2.1 大容量RFタグ基本評価（交信可能距離評価） 31
2.1.1 評価条件 31
2.1.2 結果 交信可能距離 42
2.2 大容量RFタグ基本評価（交信時間評価） 57
2.2.1 計測条件 57
2.2.2 結果交信時間評価 63
2.3 地域差特性検証 70
2.3.1 各国の周波数及び出力 70
2.3.2 交信可能距離の確認例 74
2.4 RFタグ適用化評価 77
2.4.1 耐候性試験の追加試験結果 77

【要旨】 実証実験の概要と主な結果

1 解決すべき課題と主な結果

RFID（Radio frequency identification）システムの最適な導入のためには多くの試験が必要であるが、この標準化で RFID を利用した金属製 RTI（RTI : Returnable transport items）管理に於ける特性（電波特性、システム特性など）の明確化と効果的な方法を提示できれば導入障壁が下がり、RFID システムが普及し、また、製造業、物流業の効率化の一助となる。

本事業は平成 27 年度、28 年度、29 年度の 3 ヵ年実施する計画である。本年度は 2 年目にあたり、昨年度実施した評価（単体評価、実証実験）で発見された以下のような課題に対して、解決案の提言を行った。また、昨年度完了しなかった RF（Radio frequency）タグ適用化評価の耐候性試験を実施した。

【H27 年度実証実験からの課題】

I. RF タグ脱落に対する保護方法

II. 読み書き落としのバックアップ方法

III. 大容量 RF タグ(ユーザエリアの活用)に関する評価

【H27 年度検討委員会指摘課題】

IV. RF タグをサプライチェーンで使用するためのアプリケーション提言へ

V. 地域による使用周波数相違

【H27 年度未完了の実証実験】

VI. RF タグ適用化評価より耐性評価の耐候性試験

表 1-1. に示すとおり、上記 6 項目（I、II、III、IV、V、VI）の課題に対して、本報告書の「金属製 RTI に貼付する RF タグ単体評価」では、I、III、V、VI の 4 項目の課題評価を実施した。

表 1-1. 単体評価で実施した項目と主な結果

記号	平成 28 年度の課題	実証実験実施項目	主な結果
I	RF タグ脱落に 対する保護方法	【RF タグ脱落防止】 H27 年度実証実験で脱落した RF タグの脱落要因を分析し、対策を検討する。	・脱落要因を衝突と分析した結果、防止策として RF タグのサイズダウン及びガード追加が有効だが交信可能距離の低下に注意が必要。 （結果の詳細は **4.1 (**P.10)に記載）
II	読み書き落としの バックアップ方法	「**別紙 2 金属製 RTI に貼付した RF タグの実証実験評価**」にて実施	
III	大容量 RF タグ (ユーザエリアの 活用)に関する評価	【大容量 RF タグ基本評価】 汎用 IC で最大容量の IC を使用した金属対応 RF タグを開発し評価。	・大容量 IC でも H27 年度試験相当の基本性能（交信可能距離、交信時間）を実現できる。 （結果の詳細は **4.2 (**P.14)に記載）
IV	サプライチェーンの アプリケーション 提言	「**別紙 2 金属製 RTI に貼付した RF タグの実証実験評価**」にて実施	
V	地域による 使用周波数相違	【地域差特性検証】 各地域の周波数の相違による交信可能距離の変化を検証	・交信可能距離－周波数特性評価結果とリーダライタ出力（各地域の電波法）から地域毎の交信可能距離が確認可能である。 （結果の詳細は **4.3 (**P.20)に記載）
VI	RF タグ適用化評価 耐候性試験	【耐候性試験】 H27 年度実施した耐候性試験で、昨年度中に終了しなかった”耐候性試験”を実施する。	・10 年相当の耐候性試験後、初期の 90%の交信可能距離を維持できないことが確認された（通信は可能）。従って、低下する交信可能距離分の余裕を持たせた条件設定をすべきである。 （結果の詳細は **4.4 (**P.23)に記載）

2 実験の趣旨と目的

本事業ではサプライチェーン用 RFID の国際規格普及の手段として、物流機材のなかでは高額な“金属製 RTI”の RFID 管理をターゲットとする。ユーザが導入を検討する際に参考となるデータや注意すべきポイントを示し、“RFID 管理導入時の障壁を低減する”ことが趣旨であり、導入時の試験負担を軽減するために、共通項目についてデータを整備することが目的である。

3 実験方法の概要

3.1 RF タグ脱落防止

H27 年度実証実験時に発生した RF タグ脱落状況を分析し、それを防止する対策を検討する。また、防止対策の一つとして RF タグのサイズダウン（薄く）することが考えられるので、交信性能を維持しつつ薄くすることが可能かについて実証を行う。

3.2 大容量 RF タグ基本評価　（交信可能距離（※1）・交信時間評価）

本年度実証実験用として開発した大容量 RF タグについて、交信可能距離・交信時間を計測し、H27 年度実証実験で使用した RF タグとの性能差を確認する。

3.3 地域差特性検証　（各地域の周波数相違による特性変化の検証）

UHF 帯 RFID は各国の電波法で使用できる周波数と最大出力が規定されるので、国際物流の様に、同一の RF タグを複数の国で使用する場合の性能（交信可能距離）の変化を検証する。

3.4 耐候性試験　（RF タグ適用化評価）

H27 年度に実施した耐性試験で、昨年度中に終了しなかった“耐候性試験”を行う。

※1　交信可能距離について

今回の評価では、リーダライタの送信波が 2W ERP（実効輻射電力 Equivalent Radiated Power）の直線偏波の場合に、RF タグが応答できる限界の距離を交信可能距離とした。

※1　交信可能距離の計測について

金属製 RTI への RF タグ取付け

今回、金属製 RTI をターゲットとして RFID の管理を検証しているが、そのためには金属製 RTI へ管理用の RF タグを取付ける必要がある。RF タグの取付けは、以下の位置とすべきである。

・金属製 RTI へ RF タグを取付ける位置

条件 1. リーダライタと交信を妨げない位置

荷物積載時、運搬時、返却時、保管時、全ての場合について交信可能な位置とするべきである。特に返却、保管時は折り畳む RTI も多いので、折り畳んだ際に RF タグが隠れない位置を選定する。また、フォークリフト等で運搬する際に RF タグが交信しやすい位置とすることも重要である。他にも RF タグが床や地面に近い位置にあると反射波の影響で交信可能距離が低下するので、上方に付けることも有効である。

条件 2. RF タグが衝突、擦れ等の負荷を受けない位置

物流容器は、効率的に運搬・保管をするためのサイズとなっているので、RF タグが RTI の外寸から飛び出てしまう場合、他の RTI と衝突するだけで無く、コンテナ、トレーラ等に積載できなくなる恐れもある。他にも、スタック（積重ね）を行う時の他の RTI、コンベア搬送のガイドレールなどが衝突しない位置とする必要もある。

条件 3. RF タグを目視、交換可能な位置

RFID は RF タグにはバックアップ用に目視文字を付加する場合もあるし、ハンディターミナルで交信を行うこともあるので、目視可能な位置とすべきである。また、RF タグ故障時には交換作業を行う必要があるので、容易に交換できる位置とした方が良い。

上記条件について、特に条件 1. と条件 2. はトレードオフの関係となる場合が多いので、交信性能の変化を考慮しながら取付け位置を検討する必要がある。

H27 年度の実証実験ではこれら条件を考慮して、**写真 1-1.** の位置へ RF タグを取付けた。この位置は折り畳み時も**写真 1-2.** の通り RF タグが隠れることが無いので交信可能となる。

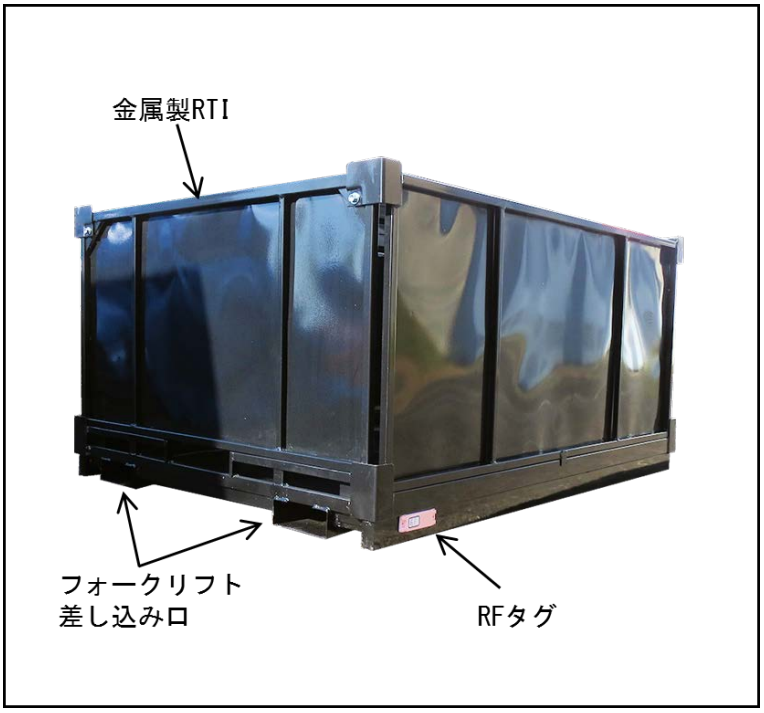


写真 1-1. H27 年度実証実験での RF タグ取付け位置（RTI を広げた状態）

写真 1-2. H27 年度実証実験での RF タグ取付け位置（RTI を折り畳んだ状態）

条件 2. の検討は**写真 1-3.** の通り検討したが、実際に取付けられる場所は限定される状況であった。**図 1-1.** はこの RTI がコンテナへ積載されるときのイメージ図となる。

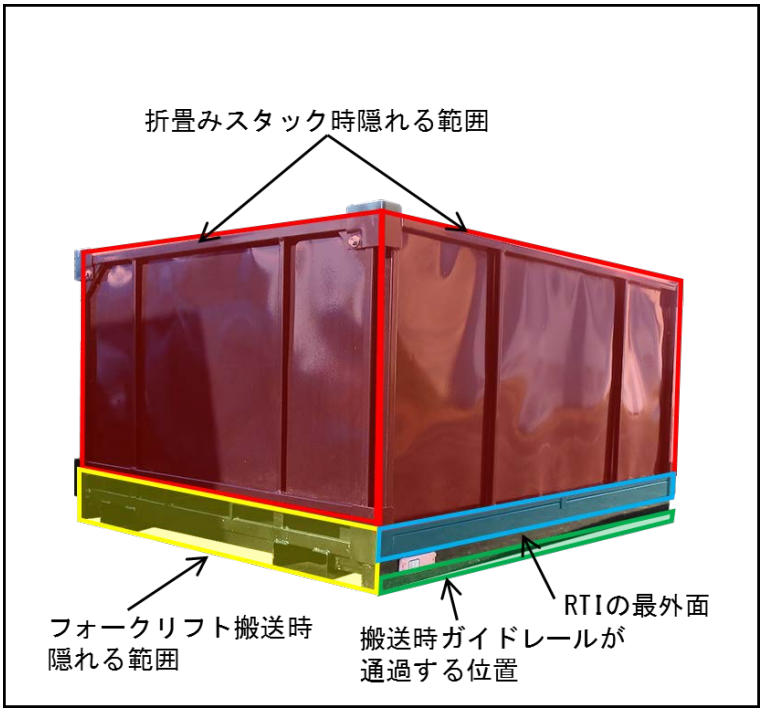


写真 1-3. RF タグ取付け可能位置の検討

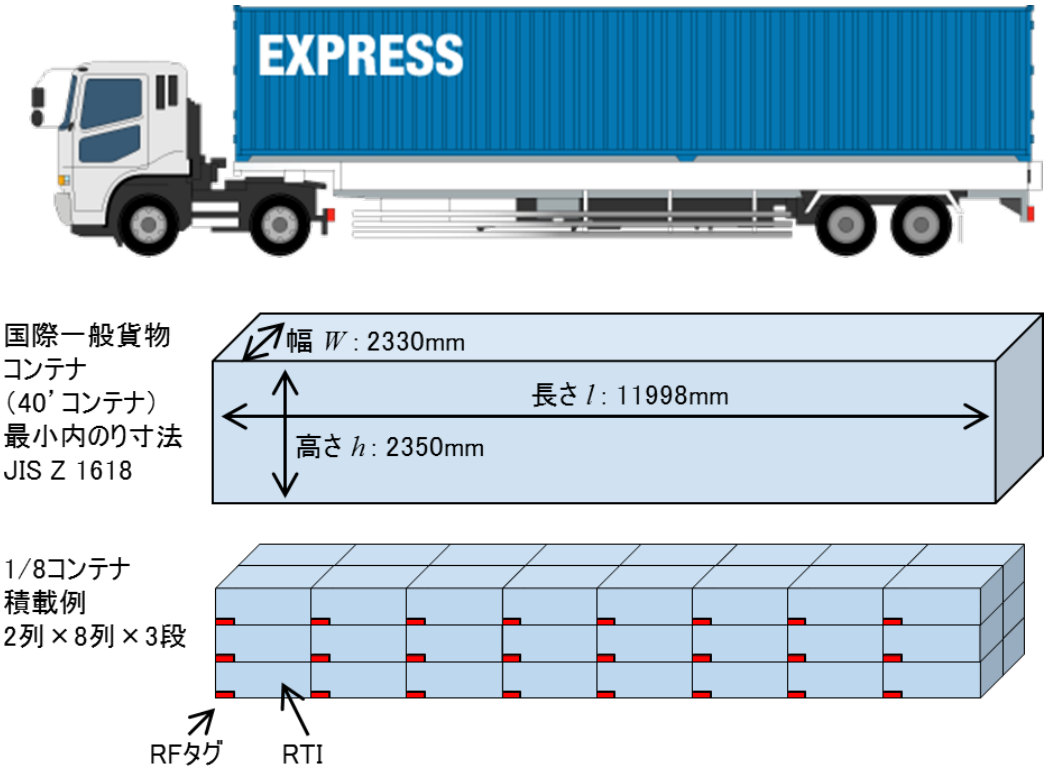


図 1-1. RTI コンテナ積載イメージ

・RF タグ単体評価の測定条件

金属製 RTI 用の RF タグ単体評価なので、実際の金属製 RTI へ取付けて評価を行うべきであるが、計測場所や工数の関係上、基本測定は**写真 1-4.** の通り評価用金属板（ステンレス板 100mm × 150mm × t 2mm）へ RF タグを貼付して行っている。また、指定が無い限り電波暗室（他の電波や周辺（床・壁）からの電波反射が無い理想環境）での評価となる。

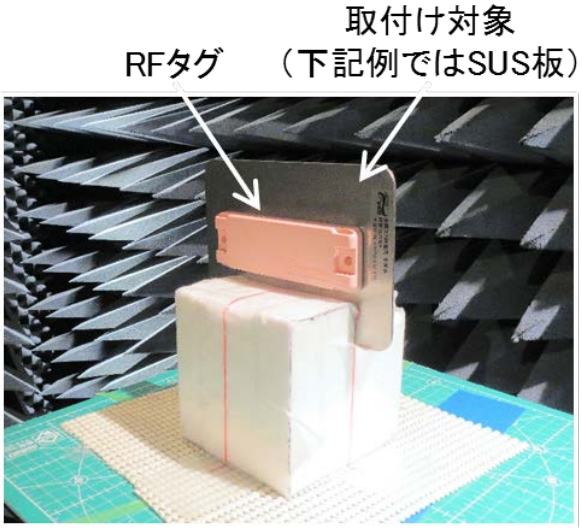


写真 1-4. RF タグ単体評価の基本計測状態

4 主な結果

4.1 RF タグ脱落分析結果

H27 年度実証実験の結果、脱落、破損が確認された RF タグ数は**表 1-2.**の通りであった。

表 1-2. H27 年度実証実験で脱落、破損が確認された RF タグ

項目	貼付数	出荷数	受入数	脱落	外観破損	傷 汚れ	RF 読取り 不可	QR 読取り 不可
個数	1,983	1,327	1,253	4	3	20	0	0

上記の結果から、脱落タグ 4 個、破損タグ 1 個、傷・汚れタグ 3 個について、現物及び金属製 RTI の状態を確認した結果、以下の要因で脱落が発生していると考察した。

- フォークリフト、他の RTI、搬送用ガイド等の RF タグへの衝突

写真 1-5. H27 実証結果　上からの衝突落下例（赤丸部に新しい傷）

写真 1-6. H27 実証結果　横からの衝突例（赤丸部に衝突跡）

RF タグ脱落対策

分析結果から、外部衝撃が直接 RF タグへ加わり難くするために、

- RF タグサイズダウン（薄く）する
- 衝撃ガード構造の追加

が考えられる。どちらの対策も交信性能（交信可能距離）が変化（低下）するので、脱落対策を施す場合には対策後の交信性能で RF タグを選定する必要がある。

・RF タグサイズダウン（薄く）するについて

写真 1-7. H27 実証 RF 取付け位置

H27 年度の金属製 RTI 取付け位置の寸法関係は以下の通りであった。

a 寸法 ：RF タグ取付け面から RTI 最外面までの寸法　　約　14　mm

b 寸法 ：RF タグ取付け面から上部角パイプ面まで　　約　 8　mm

H27 実証実験使用タグ（Tag-A）厚み　　8.7 mm

写真 1-5. の様な上部からの衝突でタグが落下した原因のひとつとして、RF タグ上部の角パイプより RF タグが飛び出ていたためと考えられる。従って、RF タグの厚みを薄くして飛び出ない様にすれば、衝突を回避できる。

試作薄型タグ（Tag-F’）厚み　　6.7 mm

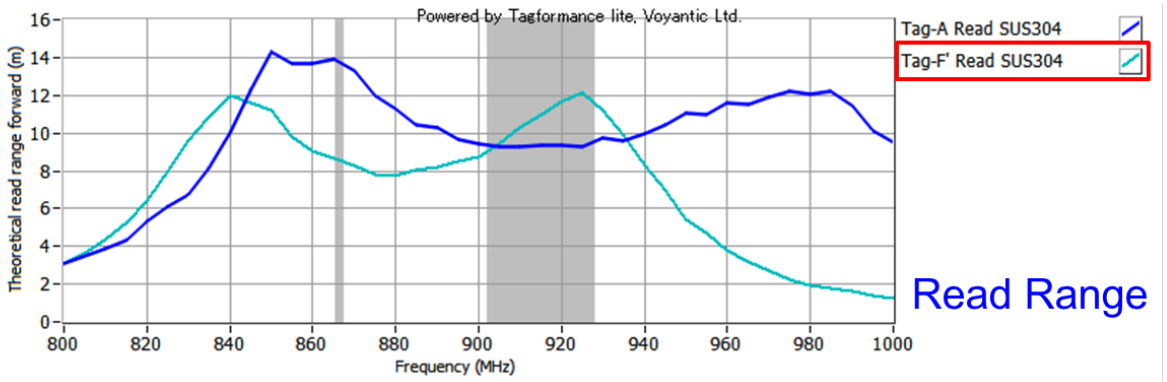
一般的に金属対応タグは、その厚みを薄くすると取付け対象の金属とアンテナとの距離が近づき交信可能距離が低下する。今回の薄型タグ開発は交信可能距離の低下を抑えるためにタグ全長を長く（113.6mm → 140mm）し、また、薄型化による強度不足を補うために筐体（PC 材）へガラス繊維（GF）を添加した。

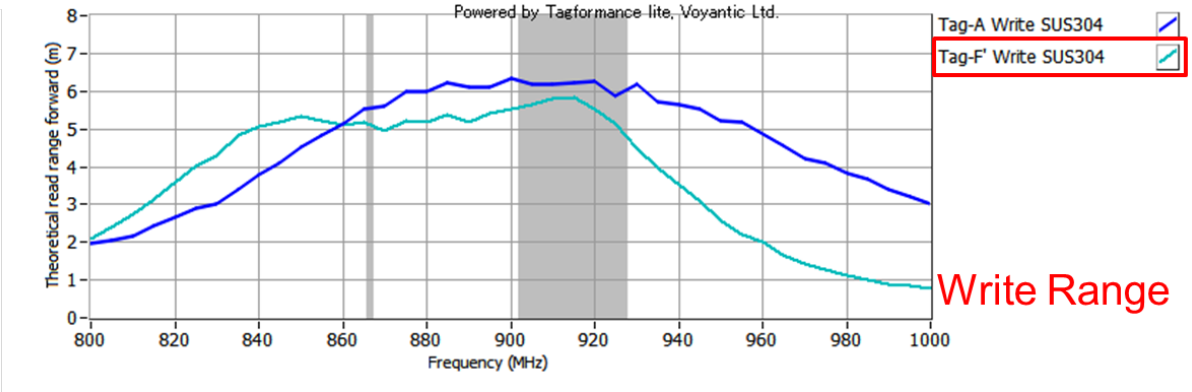
結果、昨年実証実験で使用した RF タグとほぼ同じ交信可能距離を有する RF タグを薄型で実現できることが確認できた。

写真 1-8. 試作薄型 RF タグ

表 1-3. 試作薄型 RF タグ

Sample ID	Tag-A	Tag-F’
IC (Sample ID)	IC X	IC Y’
Tag Size [mm] W D H	113.6 35.6 8.7	140.0 35.6 6.7
Case Material	PC	PC GF 添加
Notes	H27 実運用試験 使用タグ	H28 試作 薄型タグ





グラフ 1-1. 試作薄型 RF タグ交信可能距離

・衝撃ガード構造の追加について

写真 1-6.の様な左右からの衝突に対しては、RF タグの左右へ衝撃ガード構造を追加することで RF タグの脱落を防げると考えられる。

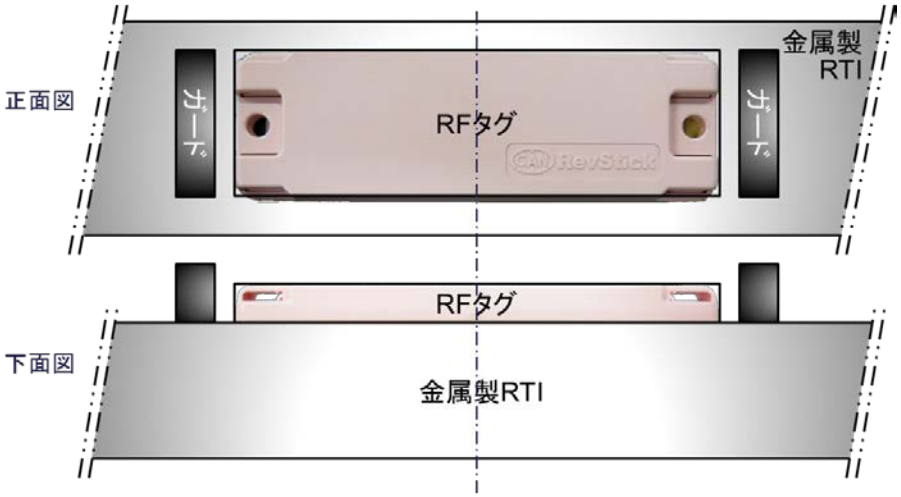
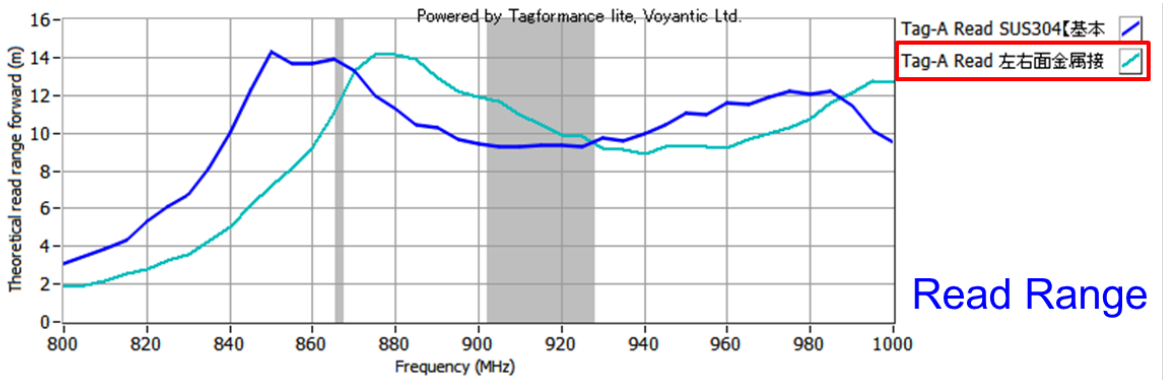
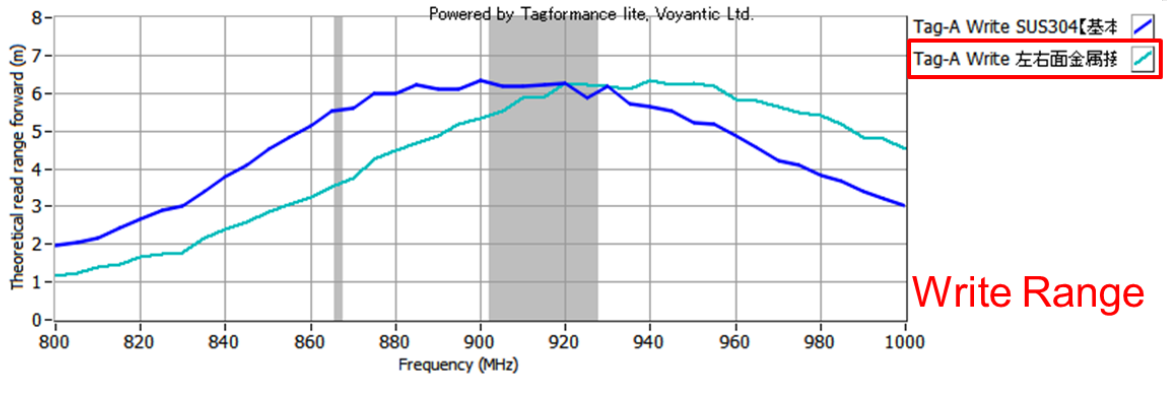


図 1-2. 左右衝突ガード





ラフ 1-2. 左右金属接触時の交信可能距離変化（H27 実証結果より）

ガードは衝突防止に有効であると考えるが、RF タグ近傍に金属を追加した場合に交信可能距離が変化することに注意が必要である。**グラフ 1-2.** は、H27 年度に左右金属接触時の交信可能距離変化を測定した結果である。この RF タグの場合、大きな距離の低下は発生していないが、RF タグのアンテナへ金属が近づくことで交信可能距離が大きく低下する場合がある。また、価格、取付け工数も増加する。

［結果］RF タグ脱落防止対策の提言ができた

4.2 大容量RFタグ基本評価　交信距離・時間評価

大容量 RF タグの課題に対して、汎用 IC の中で最大容量の物（IC-Y’）を使用した金属対応 RF タグ（Tag- F）を開発した。H27 実証実験した RF タグ（Tag- A）と比較した仕様は**表 1-4.**の通り。

表 1-4. 大容量金属対応 RF タグ（Tag -F）仕様

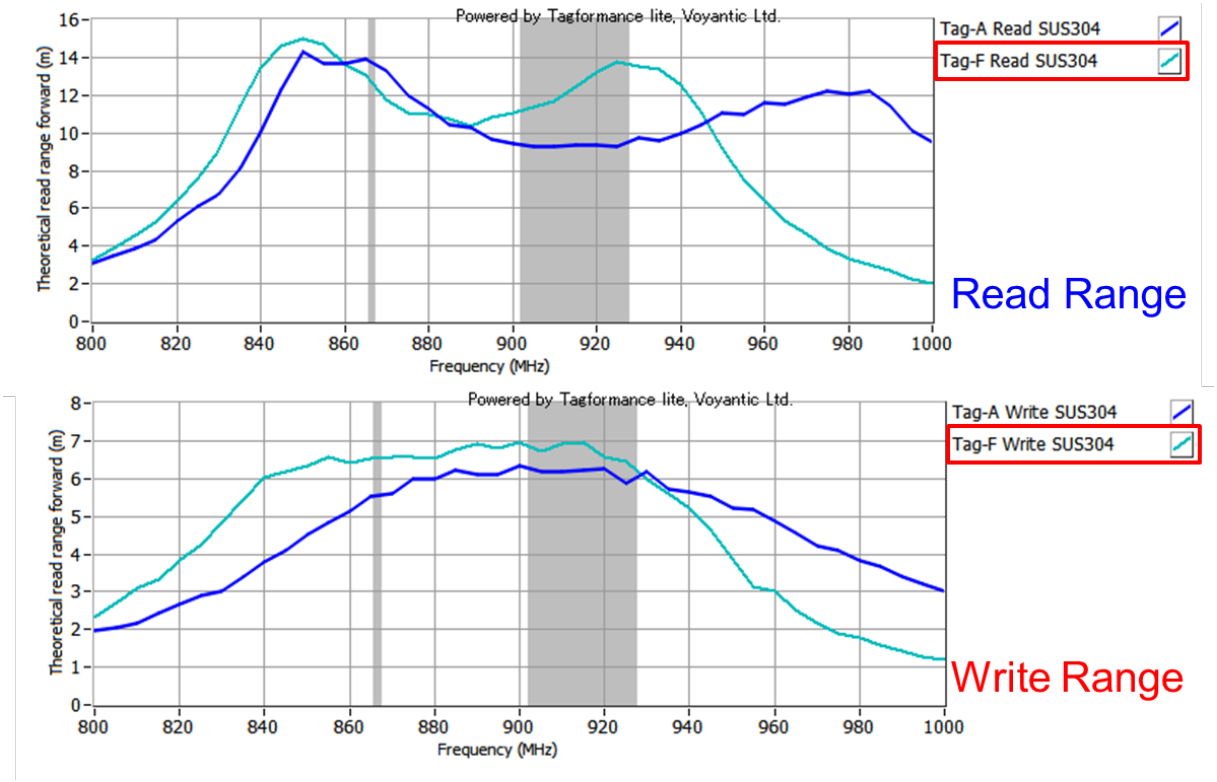
Sample ID	Tag-A	Tag-B	Tag-C	Tag-D	Tag-E	Tag-F
IC (Sample ID)	IC-X	IC-Y	IC-Z	IC-Z	IC-X	IC-Y’
Memory [bits] UII / USER	224 /384	256 /512	128 /512	128 /512	96(256) /512(352)	448 /1024
Tag Size [mm] W D H	113.6 35.6 8.7	113.6 35.6 8.7	110 25 12.85	84 21 10	119 32 5.8	113.6 35.6 8.7
Case Material	PC	PC	ABS	Plastic	PC	PC
Storage temperature	100℃	100℃	85℃	85℃		100℃
Read range	6m	5m	8m	8m	9m	6m
Notes	H27 実運用試験 使用タグ					H28 実運用試験 使用タグ
選定条件	（H27 選定条件） ・UII メモリ 128bits 以上、USER メモリ 300bits 以上 （UII は、ISO 規定の 6bits コード 35 桁である 210bits 以上とするべきであるが、汎用タグが少ないので今回は 128bits 以上とした。） ・交信可能距離 4.5m 以上 （カタログ値） （H26 フィージビリティスタディ調査の RFID ユーザ様の規定を参考とした。） ・長期屋外使用可能である事 ・50mm 角パイプへ取付け可能な事（仮設定） （H28 追加条件） ・汎用 IC で最大容量のもの					

昨年度実証実験で使用した Tag-A に対して、UII メモリが 2 倍、USER メモリ 2.7 倍を準備して評価を行った。（昨年度実証実験で使用した RF タグは UII メモリ 224bits、USER メモリ 384bits として使用したので、その容量との比較。）

交信可能距離評価

評価用金属板（ステンレス板）貼付時の正面交信可能距離結果を下記**グラフ 1-3.** へ示す。グラフは横軸が周波数[MHz]、縦軸が交信可能距離[m]となる。グラフ中の 865MHz 付近の灰色の帯が欧州で使用できる周波数帯、900-920MHz 付近の灰色の帯が北米、アジアで使用できる周波数帯である。日本のパッシブタイプ UHF 帯 RF タグの使用周波数は 915-925MHz である。

結果、昨年使用 RF タグと交信可能距離性能に於いては同等となる RF タグである。



グラフ 1-3. 大容量金属対応 RF タグ（Tag-F）交信可能距離

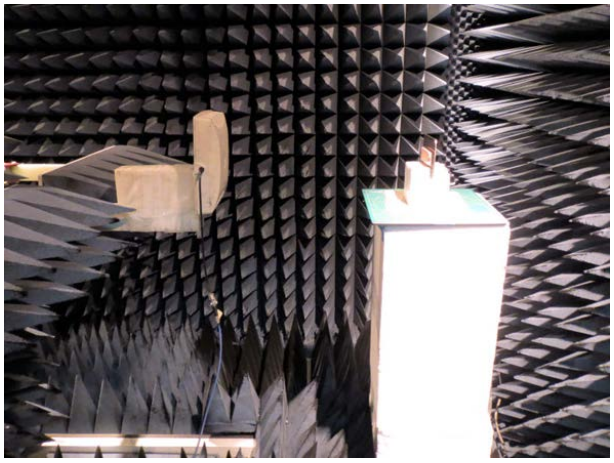
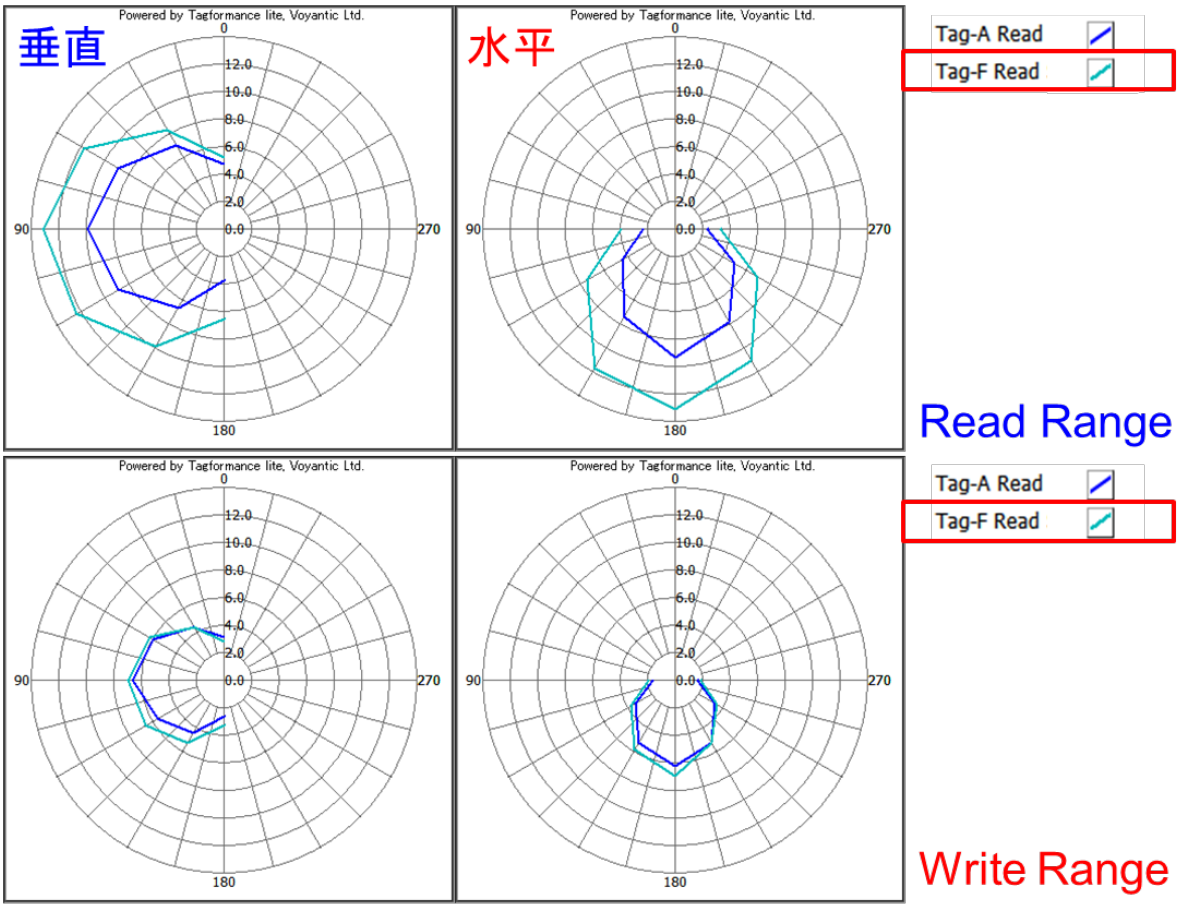


写真 1-9. RFID 評価測定器による評価状況

次に、評価用金属板（ステンレス板）貼付時の各角度方向からの交信可能距離結果を下記**グラフ 1-4.** に示す。測定は日本の周波数帯 920MHz で行った。



グラフ 1-4. 大容量金属対応 RF タグ（Tag-F）各方向の交信可能距離

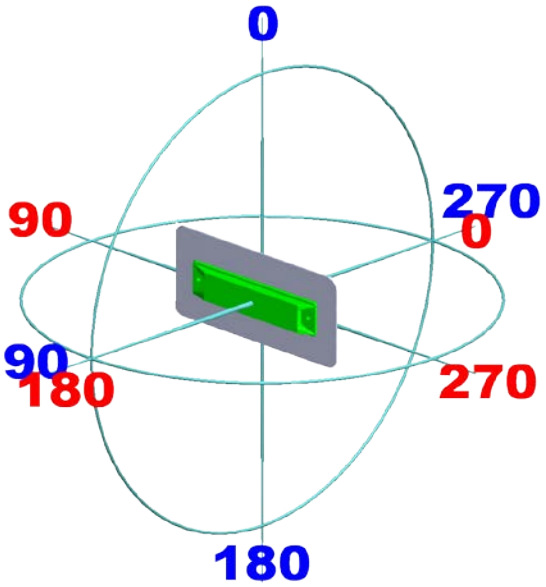


図 1-3. 各方向測定角度

［結果］大容量 IC を使用しても昨年同等以上の交信可能距離性能を実現できることが確認できた。

交信時間評価

交信時間評価は、今回準備した新規 IC-Y'について、昨年同様、**写真 1-10.** の様に電波暗室にて静止状態で計測を行った。結果、昨年計測したサンプル IC-X、IC-Y、IC-Z と同傾向であった。交信時間評価の主な結果は以下の通りである。

書込みは読取りに比べて長時間を要する（時間が 1 桁異なる）。また、IC-Y の書込み時間が他の IC に比べて特に長い。

リーダライタはアンテナを切り換えて交信を行うので、使用アンテナ枚数に比例して交信時間が延びる。

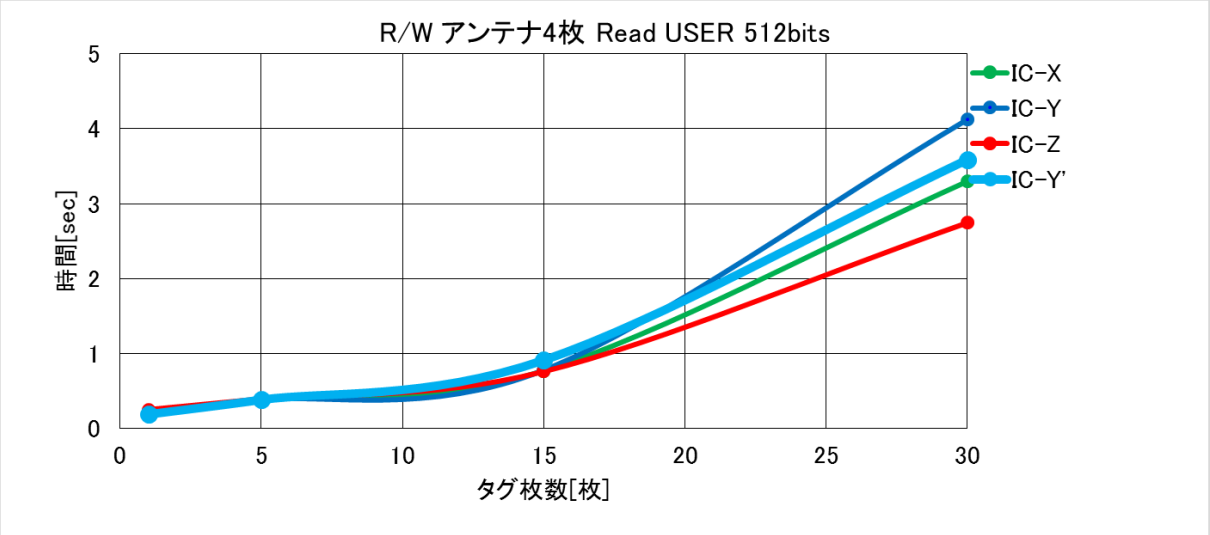
読取りについて

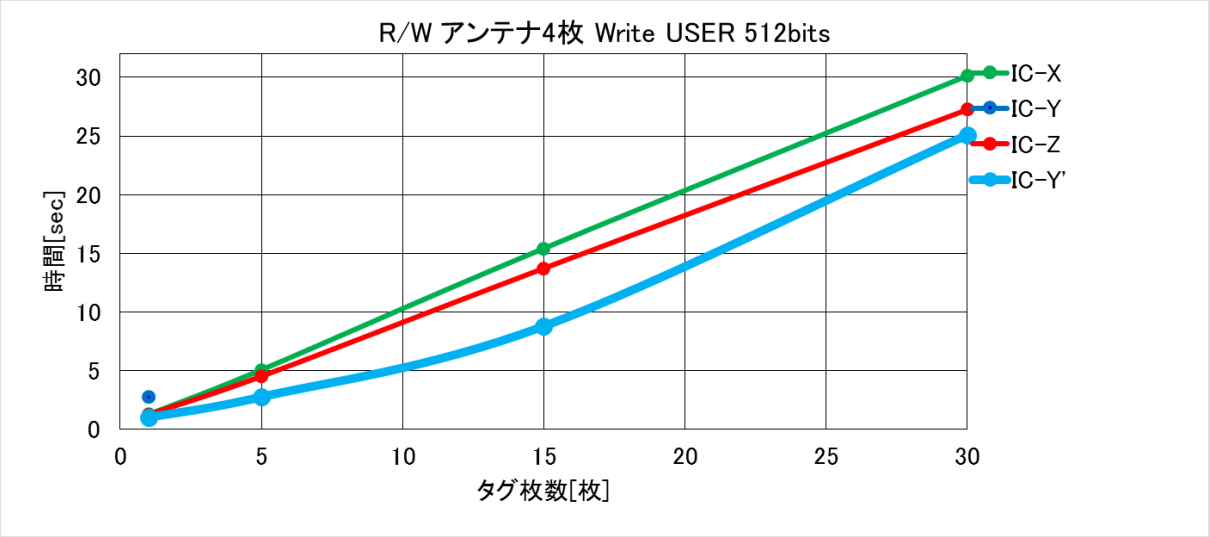
- UII メモリのリード（Inventory）が圧倒的に速い
- メモリ量、タグ数が多くなると時間がかかる
- タグ 1 枚より 5 枚の方が速い場合があった
- IC 比較では速い順で　IC-Z > IC-X > IC-Y' > IC-Y

書込みについて

- メモリ量、タグ数が増えると時間がかかる
- タグ 1 枚より 5 枚の方が速い場合がある
- IC 比較では速い順に IC-Y' > IC-Z > IC-X > IC-Y
- IC-Y は書込みが完了しない場合があった

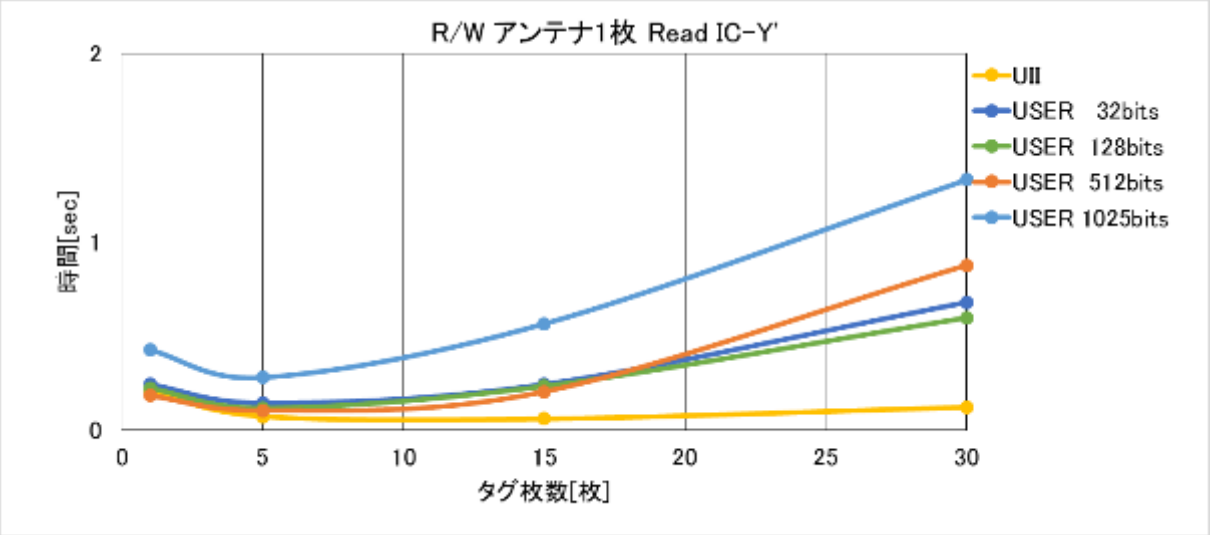
写真 1-10. 交信時間計測状況

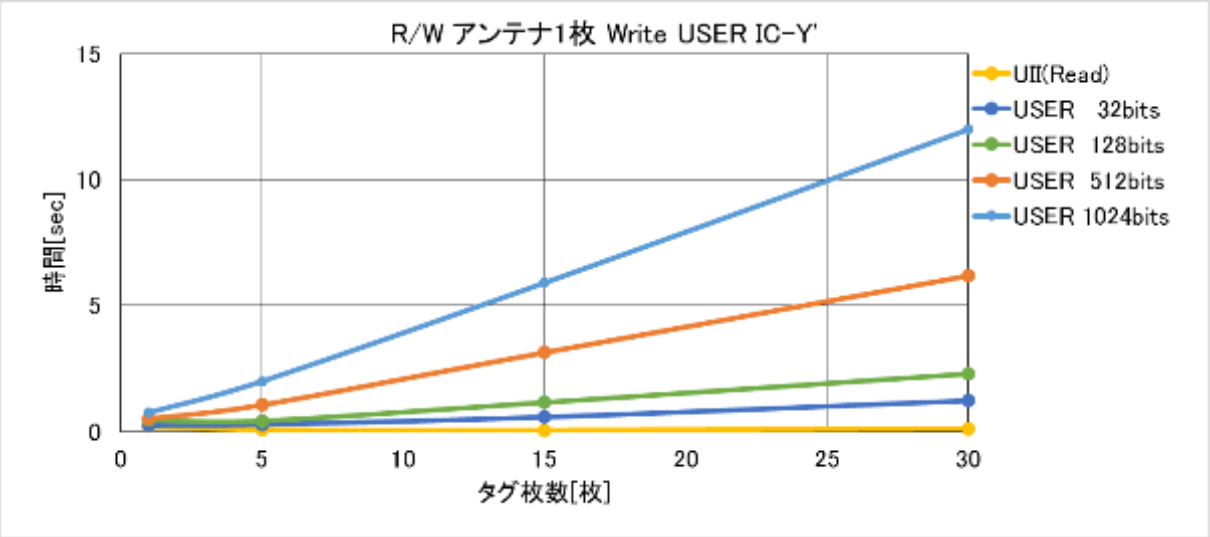




グラフ 1-5. アンテナ 4 枚 交信時間計測

特徴的な結果として、大容量 IC を小容量使う（IC-Y’（最大 1024bits）を 512bits で使用する）場合に書込み時間が一番短かったが、この性能は、IC-Y’が最新 IC であるためと考えられる。（新 IC の性能向上が確認できた。）





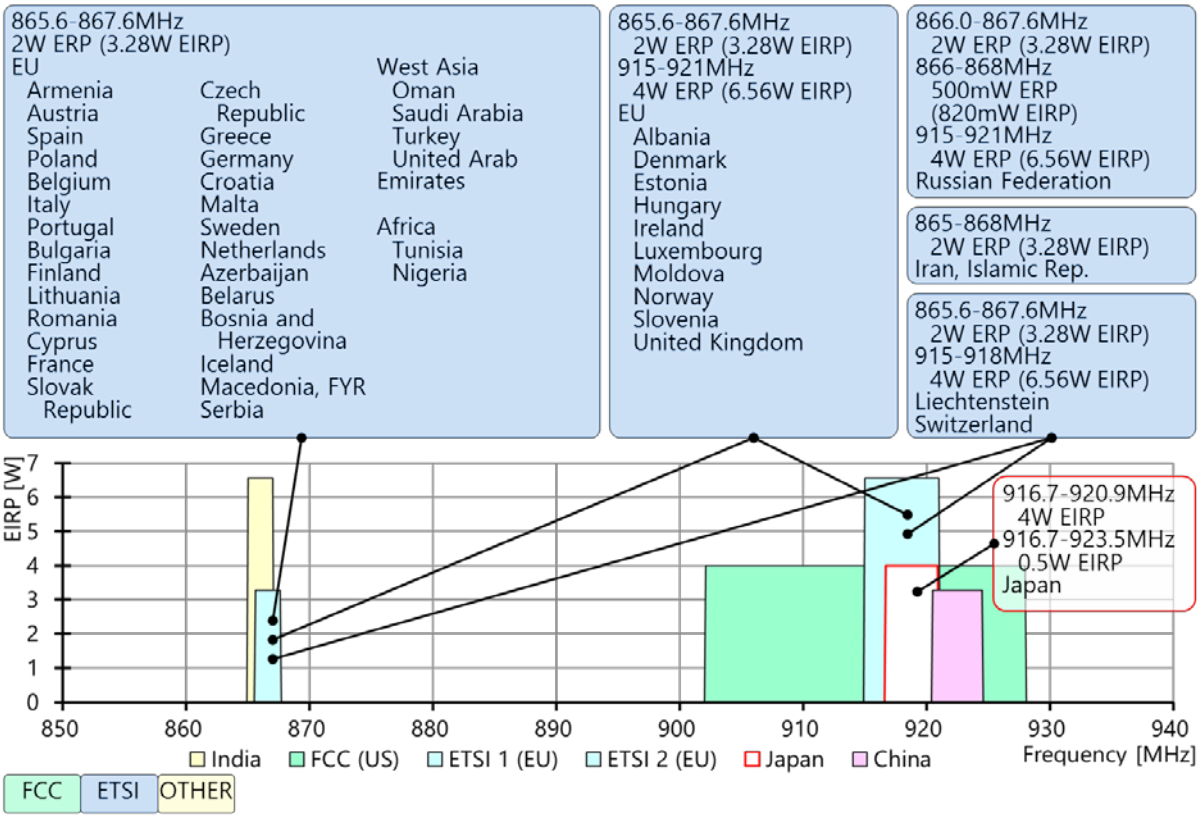
グラフ 1-6. アンテナ 1 枚 IC Y'交信時間計測

昨年同様、やはり UII の読取り（Inventory）の速度が圧倒的に速い。1024bits の書込みとなると、RF タグ数 15 枚でも 5 秒以上の時間が必要となってしまう。これでは製造工程や出荷ゲートの自動化で採用することは難しい。その対策としては、大容量メモリ全てを書換えず、固定長データ運用でタイムスタンプなどのデータのみを書換えることで時間を短縮できると考える。

4.3 地域差特性検証　各地域の周波数相違による特性変化の検証

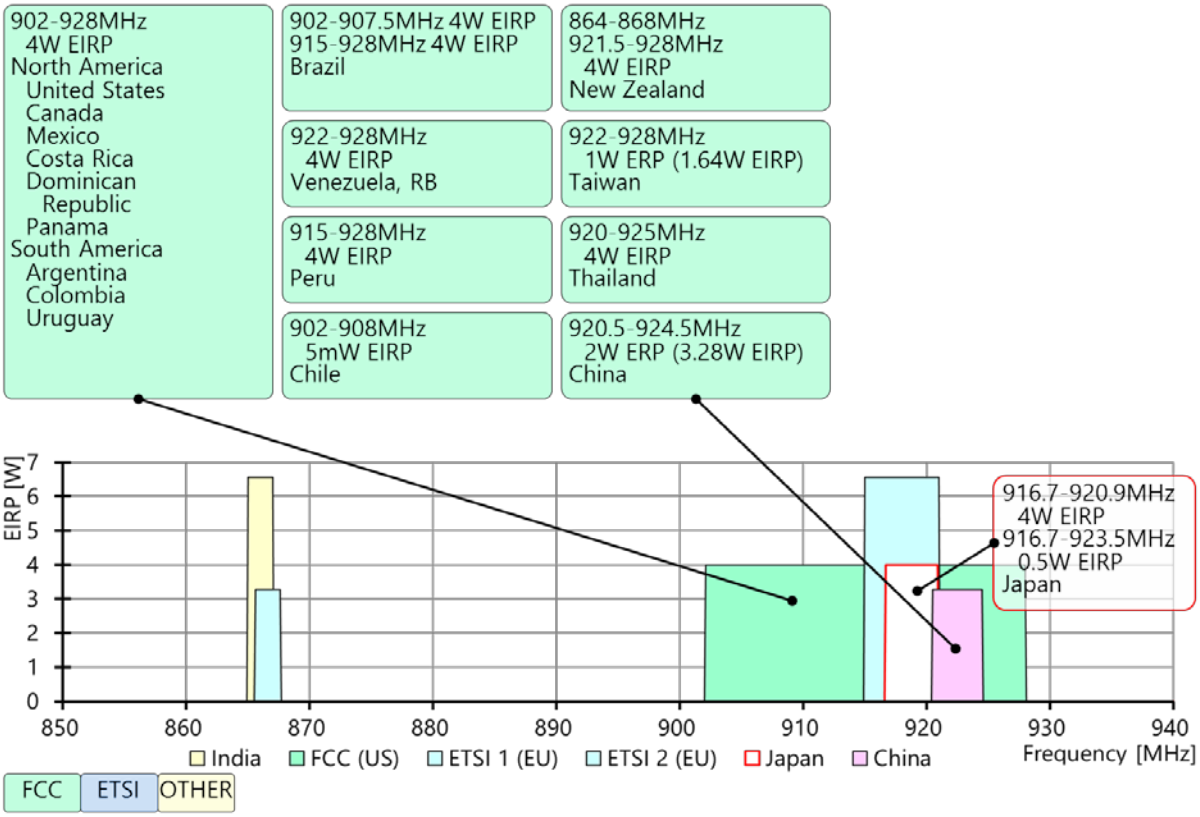
UHF 帯の RFID は、各国の電波法により使用できる周波数と最大出力が規定されている。今回対象としている金属製 RTI は国際物流で使用されることが多いので、同じ RF タグを日本以外の国でも使用することになる。その場合、RF タグの特性（交信可能距離）の変化について検証した。

主な国の周波数と最大出力は**グラフ 1-7.** ～**1-9.** の通りである。

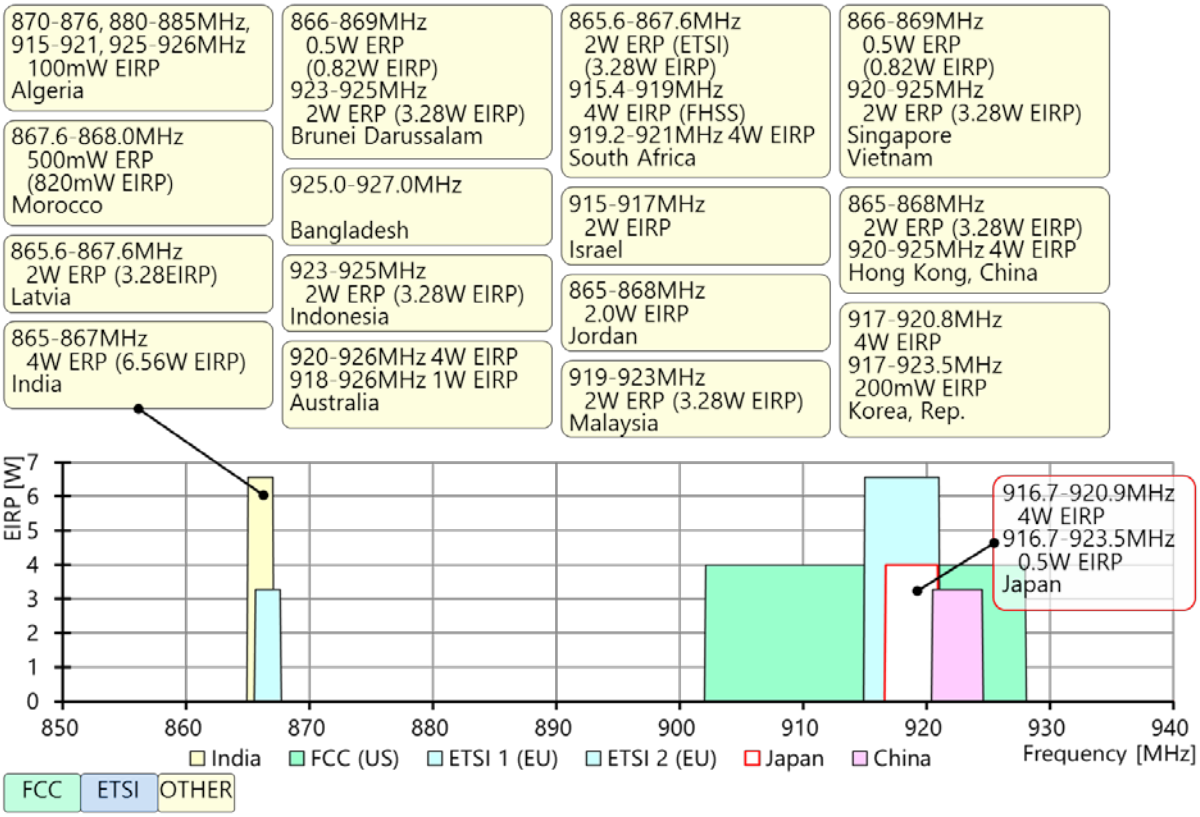


グラフ 1-7. 各国の UHF 帯 RFID の周波数と最大出力①

参考：**GS1 Regulatory status for using RFID in the EPC Gen 2 (860 to 960 MHz) band of the UHF spectrum (30 November 2016)**（**グラフ 8, 9.**もこの資料を参考とした。）

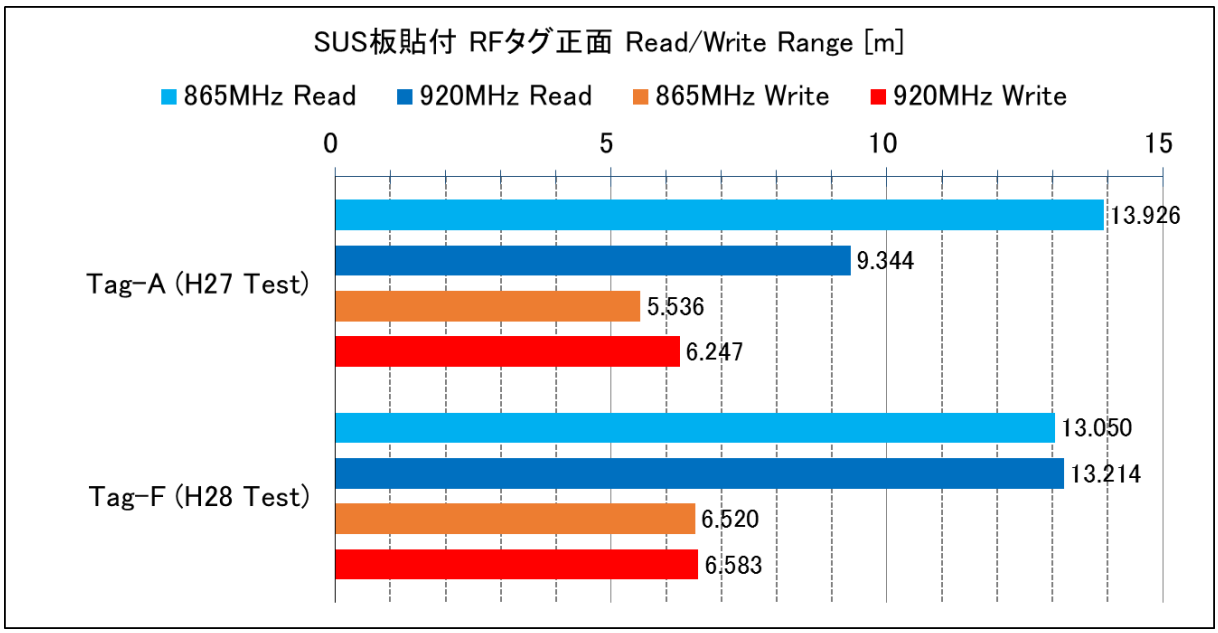


グラフ 1-8. 各国の UHF 帯 RFID の周波数と最大出力②



グラフ 1-9. 各国の UHF 帯 RFID の周波数と最大出力③

周波数帯は日本を含む 920MHz 帯とヨーロッパで広く規定されている 865MHz 帯がある。H27 年度実証実験で使用した RF タグ（Tag-A）と今年評価を行った大容量 RF タグ（Tag-F）について、**グラフ 1-3. 大容量金属対応 RF タグ（Tag-F）交信可能距離**から分かるそれぞれの周波数の読取り／書込み可能距離は、下記**グラフ 1-10.** のとおりとなる。



グラフ 1-10. 異なる周波数の交信可能距離比較

Tag-F は周波数が異なる場合でも交信可能距離に殆ど変化は無いが、Tag-A の読取り可能距離は、日本の周波数（920MHz）に対して欧州の周波数（865MHz）の距離が約 1.5 倍となっているので、欧州で使用する場合には誤読（読み過ぎ）に配慮が必要となる。また、交信可能距離が長くなる場合、交信可能範囲も広くなることにも注意が必要となる。（交信可能範囲は、交信可能距離を直径とした円形となることを昨年の計測で確認している。前後の交信可能距離が 1.5 倍となる場合には、RF タグの左右方向の交信可能範囲の最大値も 1.5 倍程度となる。）

単体評価で測定している交信可能距離の周波数特性グラフはそれぞれの周波数の交信可能距離が確認できるので、使用する国の距離が確認できる。ただし、この周波数特性グラフは 2W ERP の場合なので最大出力（又は使用出力）が異なる場合は換算が必要となる。また、これらの評価はリーダライタへ直線偏波アンテナを接続した条件で行ったいるため、円偏波アンテナを用いる場合にも換算が必要である。換算の詳しい方法や交信範囲等については H27 年度の報告書へ記載しているのでご参照いただきたい。

4.4 耐候性試験　RF タグ適用化評価

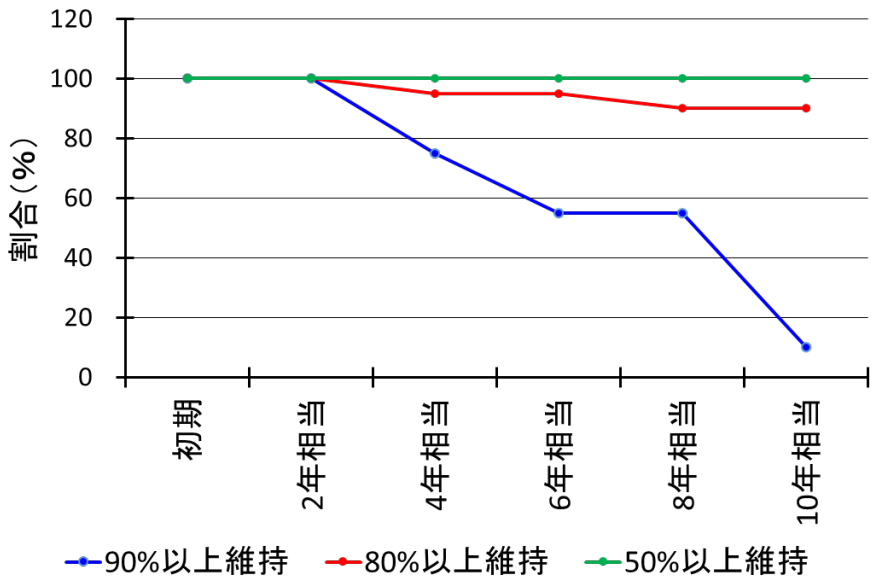
金属製 RTI 用途として選定した Tag-A について、**ISO 18185-3 Freight containers -Electronic seals - Part 3:Environmental characteristics** の規定に屋外実使用 10 年相当の耐久性確認の評価などを加えて試験を行った。試験条件によっては RF タグの交信可能距離の低下が発生しているので、使用年数と導入時の交信性能に余裕を持たせるなどの注意が必要である。また、金属製 RTI へ取付ける用途となるため、耐性評価も金属へ取付けた状態で実施しなければならない。RF タグ単体の試験では RF タグの樹脂筐体と取付け対象金属の熱膨張率の違いによる応力負荷が加わらないためである。

表 1-5. 促進試験項目一覧

No.	試験項目	試験条件	結果
01	高温高湿保管	85℃85% 1000 時間	△10 年相当で初期の 90%の交信可能距離を維持できない（通信可）
02	低温保管	-80℃ 60 日間	○問題無し
03	高温保管	100℃ 3500 時間	△10 年相当で初期の 90%の交信可能距離を維持できない（通信可）
04	ヒートサイクル	-40～100℃ 各温度で 20 分保持、630 サイクル（1 サイクル約 2 時間）	△10 年相当で初期の 90%の交信可能距離を維持できない（通信可）
05	ヒートショック	-40～125℃ 各温度で 20 分保持、730 サイクル	○問題無し
06	耐候性試験	120 分 光照射（そのうち 18 分シャワ）のサイクルを 3000 時間	△10 年相当で初期の 90%の交信可能距離を維持できない（通信可）

表 1-6. 外部影響に対する耐性試験一覧

No.	試験項目	試験条件	結果
07	ブロック衝撃試験	**ISO 8611-1:2011** ブロック衝撃試験をタグに適用	×樹脂筐体が破壊された（通信可）
08	振動試験	3G、1 軸跳ね返りランダム振動、3 時間	○問題無し
09	衝撃試験	100G、正弦半波、6ms パレット貼付状態で落下	○問題無し
10	塩水噴霧試験	35℃ 96 時間	○問題無し
11	イミュニティ	50V/m（電磁界） 25kV（静電気）	○問題無し
12	耐薬品性試験	想定薬品に 2h 浸漬	△一部液体に侵される場合有り



グラフ 1-11. 促進試験 06 耐候性試験結果

耐候性試験の結果を**グラフ 1-11.** へ示す。試験サンプル 20 個で実施し、試験前の交信可能距離を維持したサンプル数の割合をグラフにしたものである。10 年相当完了時の状態は以下の通りである。

耐候性試験 10 年相当完了時の状態

- 90%以上の交信可能距離を維持したサンプル　2/20 個（ 10%）
- 80%以上の交信可能距離を維持したサンプル 18/20 個（ 90%）
- 50%以上の交信可能距離を維持したサンプル 20/20 個（100%）

ユーザは 10 年間運用するアプリケーションへ RFID を適用する場合、設計時には初期交信性能（交信可能距離）の 80%程度での設定が必要であり、可能であれば 50%程度の条件で設定するべきである。

RF タグのベンダは、導入試験用として交信可能距離の低下した RF タグを準備した方が良いと考える。また、H27 年度の耐性試験と合わせ、RF タグの更なる耐性強化の開発が望まれるところである。

5 まとめ

表 1-1. に示すとおり、本年度は６項目（I、II、III、IV、V、VI）の課題に対して、RF タグ単体評価では、I、III、V、VI の４項目の課題評価を実施し**表 1-7.** の成果を得た。

昨年度得られたデータへ本年度確認した事項を加えることによって、金属製 RTI の RFID 導入時に参考となる特性（交信可能距離の変化、交信時間、RF タグ耐久性）が明確になり、導入ポイントをユーザへ提示できる状態となった。ユーザや RFID ベンダがこの特性変化を参照することで、導入時の現場調整項目と時間の削減が可能となる。また、“カタログスペックだけを頼りにトライアルする”、“交信が瞬時であるとしてアプリケーションを構築する”などの導入時の失敗を低減することも期待できる。

表 1-7. 単体評価で得られた成果

記号	平成 28 年度の課題	成果
I	RF タグ脱落に 対する保護方法	・H27 年度実証実験で発生した RF タグの脱落、破損を検証した結果、要因を衝突と分析した。その防止策として RF タグのサイズダウン及びガード追加が有効であると提言する。しかし、対策を行う際の交信可能距離の低下に注意する必要がある。
III	大容量 RF タグ (ユーザエリアの 活用)に関する評価	・UHF 帯 RF タグの汎用 IC の中で最大容量のものを用いて金属対応タグ開発を行い、H27 年度試験相当の基本性能（交信可能距離、交信時間）が実現できることが分かった。
V	地域による 使用周波数相違	・交信可能距離－周波数特性評価結果から、地域毎の交信可能距離を確認することが可能であるが、各国の電波法によってリーダライタ最大出力にも差があるので、出力による換算も必要である。また、地域差とは直接関係は無いが、リーダライタへ接続するアンテナが直線偏波か円偏波によっても換算が必要。
VI	RF タグ適用化評価 耐候性試験	・10 年相当の耐候性試験後、初期の 90%の交信可能距離を維持できないことが確認された（通信は可能）。長期間運用するアプリケーションの場合は、低下する交信可能距離分の余裕を持たせた条件設定をすべきである。今回の結果では、10 年間運用する場合は初期交信性能の 80%程度で初期設定を行う必要があり、可能であれば 50%程度の条件で設定すべきである。

1 実証実験に至る背景と目的

1.1 H26年度フィージビリティスタディの結果

（平成 26 年度事業「金属製循環型物流機材（RTI）用 RFID に関する国際標準化フィージビリティスタディ」成果報告書より引用）

本事業の事前調査として平成 26 年度「金属製循環型物流機材（RTI）用 RFID に関する国際標準化フィージビリティスタディ」を実施した。調査では、金属製 RTI を多く使用している自動車業界をターゲットとして「金属製 RTI への RF タグ取付け要件調査」「金属製 RTI の RFID 管理要件調査」「金属対応 RF タグ技術要件調査」の 3 項目を行い、結果からまとめた実証実験の要件は以下の通りである。

1.1.1 金属製 RTI への RF タグ取付け要件調査

表 1-1-1. 金属製 RTI への RF タグ取付け調査結果

項目	要件	課題・備考
取付け対象	角パイプ、金属板 （丸パイプ） （メッシュ）	先ずは平面取付けから対応。
取付け方法	確実で工数が少ない方法	両面テープ、リベット（金属・樹脂）、結束バンドを検討。
対象サイズ	1/8 コンテナ又は 1/10 コンテナサイズ（暫定）	実証試験先の運用状況、結果を参考とし易いサイズを選定する。
物理強度	耐衝撃、耐荷重の指標未定	現状 RF タグの性能、RTI 運用上想定される衝撃、荷重を計測して指標を定める。
表面処理	塗装	塗装剥がれを考慮。
耐用年数	10 年以上	促進試験条件設定が必要。
運搬・積載対応	フォークリフト運搬、トラック積載、段積み、折畳みへの対応必要	取り付け場所、方法の検討、また、交信性能確保の必要がある。
国際物流対応	要対応	各国周波数、出力規制条件における交信性能の確保の必要がある。
屋外保管	要対応	耐紫外線、防水性能付与。
耐性	**ISO18185-3 Freight containers -Electronic seals – Part 3: Environmental characteristics** 適合	RTI に明確な仕様が無いため、RTI 運用シーンから確認する必要があるが、基本は左記規格とする。

写真 1-1-1. 金属製 RTI 運搬、一時保管状況

1.1.2 金属製 RTI の RFID 管理要件調査

表 1-1-2. 金属製 RTI の RFID 管理要件調査結果

項目	要件	課題・備考
RFID 管理ニーズ	有り	費用対効果が有る有効な使い方を示すことができるかが課題。
実証試験の有効性	有り	RFID 利用者が実施している多くの検証試験の状況や、RTI ユーザ意見のトライアル形跡からみて、実証試験で成功事例を示せれば導入障壁が低減することは明らか。
管理要件	RTI 紛失抑制 RTI の滞留防止 主入庫管理等物流管理工数削減 物流管理精度向上 他、以下の内容も要検討。 「海外返却 RTI のキズ、汚れ抑制」「物流合理化（自動化）」「数量管理工数削減」「使用/遊休の区別」「リアルタイムの所在確認」	RFID を手段として解決できれば理想だが、他管理方法との併用も考慮すべき。
RFID 機器	コストダウン 金属対応の性能向上 適切なゲート設置	コストダウン及び、金属に対する交信性能が大きな課題。
試験項目	自動読取り 複数一括読取り など	現状の運用状況、解決すべき課題、RFID の特性などから有効な試験項目を選定することが非常に重要。
その他	サプライチェーン用 RFID の普及啓発が必要	認知度が非常に低いことと、RTI 運用の場合複数社、場合によっては業界を越えて運用する場合もあるので、複数社或いは、業界ごと運用を開始する必要があり広く認知度向上が必要。

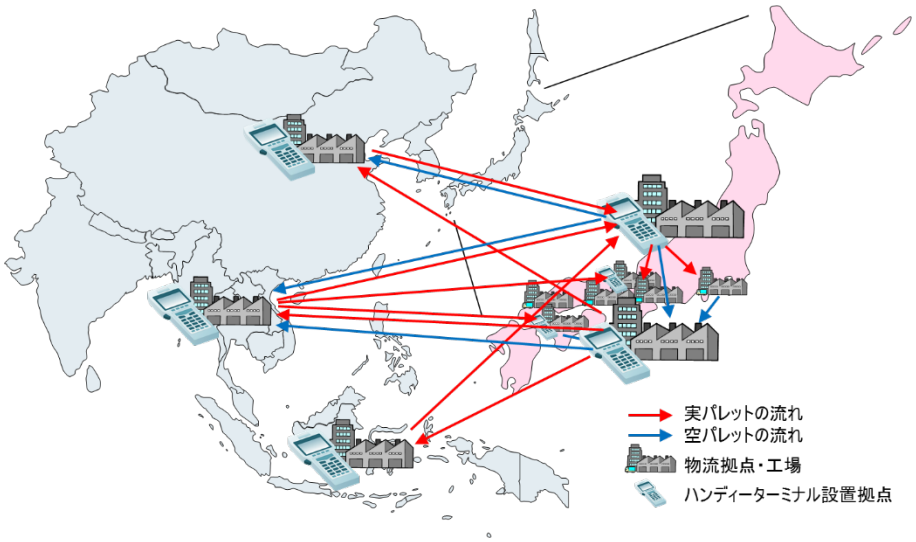


図 1-1-1. 金属製 RTI の流れ例

1.1.3 金属対応 RF タグ技術要件調査

表 1-1-3. 金属対応 RF タグ技術要件調査結果

項目	要件	課題・備考
交信距離	ゲート読取り（書込み）を考慮した場合、ゲート条件に於いて 2m 以上は必要と考えられる。 交信範囲は、リーダライタの読取りサイクル、タグ数量などで可変なので不明。	適切なリーダライタ動作に於いて、想定される RTI 形状、RF タグ数量などと、実際の運用条件下での試験にて必要な要件が確定出来る。 また、国際物流を考慮し、各国の UHF 帯の周波数で交信可能な広帯域 RF タグの必要がある。
動作周波数帯	世界バンド対応	国際物流対応として各国周波数規制へ適合するべき。
メモリ量	UII 256bits 以上	ISO コード 35 桁対応。
取付け方法	角パイプ取付けで工数が少なく確実な方法 要求耐性によりガード取付けが必要	両面テープ、リベット、結束バンドが考えられるが、取付けの工数、耐性、交信性能への影響確認が必要。
耐性	**ISO 18185-3** 適合 屋外 10 年以上の耐性評価 （試験条件は未確立） 耐紫外線 防水	樹脂製品の長期屋外耐性評価のデータが無く、試験方法確立が困難。 金属製 RTI 取付け時の想定衝撃強度、荷重が不明。
データバックアップ	必要	RF タグ表面へのレーザダイレクトマーキングが耐性的に有効と考えている。
価格	RFID 導入効果以下	運用内容、RTI の価格、RF タグ以外の RFID 機器費用、システム運用費用、工数などを含めた費用対効果の確認が必要。

写真 1-1-2.金属製 RTI 保管の例

1.2 解決すべき課題

RFID は 1 次元・2 次元コードに置き換わる技術として開発され、

RFID の（他の ID 技術に対する）主な特徴

- ID の取得が複数一括して行える
- 汚れに強い ID である
- データを書換えて使うことができる

などの特徴から物流の管理手段として普及することが予測された。加えて、サプライチェーン用 RFID の国際規格 **ISO 1736X シリーズ**が 2013 年に成立しており、ID の記述方法、ユーザデータの使用方法が規定されている。更に、平成 26 年度に実施した調査事業「金属製物流機材（RTI）用 RFID に関する国際標準化フィージビリティスタディ」の結果では、金属製 RTI に対する管理ニーズが有り各ユーザで RFID 管理をトライアルした経緯が確認された。これまで殆ど管理されていなかった RTI を管理することは、その先のサプライチェーンの可視化実現へ繋がる第一歩と考えられ、“ID”管理（RFID 管理に限定しない）することで以下の省エネ、製造コスト・工数削減など多くの効果が考えられる。

RTI の ID 管理効果

- RTI 資産管理、紛失・破損抑止（適正管理可能、ライフサイクル適正化）
- 入出庫工数削減
- 物流精度向上（誤配削減、所在把握、適正運用）
- ヒューマンエラー削減
- 静脈物流の活用
- RTI 数量削減（適正数量把握）
- 共同集荷・配送化推進
- RTI 通関手続き簡素化
- 物流分析

そして RTI の“ID”管理を“RFID”で行うことに対しては先に述べた RFID の特徴から以下の効果を期待されている。

RTI の ID 管理における RFID に期待される効果

- 管理工数低減 ← RFID の自動読取り、一括読取り性能
- 長期使用可能な耐久性の高い ID ← 汚れに強い ID、且つ耐性を高められる
- 履歴などの情報を追加書込みが可能 ← データの書換えが可能

しかし、この規定を採用し RFID で管理を行っている事例が存在しない（EPC コード採用を除く）。なぜ普及しないのか。その主な原因と思われる RTI の RFID 管理の課題を次に示す。

RTI の RFID 管理の課題

- 他の ID に比べ ID の価格が高い
- 貼付対象物や周辺環境による性能低下がある（特に金属）
- 成功事例がない（RFID の性能が十分か？効果は？）

一つ目の課題 ID の価格について、RF タグの価格は 5～10 年前に比べ安くなっているが、他の ID と比べるとまだまだ高価である。そこで、今回の事業では RTI のなかで比較的高価で資産価値が高い金属製 RTI を対象とした。価格の課題は RTI 管理用途がスタートし普及が進むことと、他の ID では出来ない書込みなどの利用価値で解決していくと考えている。

本実証実験は二つ目、三つ目の課題の中から、“金属製 RTI の RFID 管理”を対象シーンとして測定・検証を行った。具体的には、平成 26 年度調査事業の結果の中で金属製 RTI ユーザ調査から「RFID の性能の誤解や金属の影響などによってトライアルが失敗となり採用に至っていない。」ことと、金属製物品の RFID 管理を実現しているユーザ調査から「導入時に非常に多くの項目を試験する必要があった（調査先のユーザでは導入試験に数年間かけていた）。」の 2 項目に注目し、次の項目を本事業の解決すべき課題として掲げた。

- RFID の金属等による影響（性能変化）が理解されていない。
- RFID 管理導入時に多くの試験が必要。
-

1.3 RFタグ単体評価の目的

本事業ではサプライチェーン用 RFID の国際規格普及の糸口として、高額で他の物流容器より資産管理効果が見込める“金属製 RTI”の RFID 管理をターゲットとしている。今回使用する UHF 帯の RFID は周辺金属の影響で交信性能が阻害されてしまうが、その阻害要因を技術的に克服し、且つ、屋外耐性のある金属対応 RF タグは存在している。それではなぜ導入トライアルが失敗となっているのか。昨年の調査事業のアンケート結果から 2 つのご意見を以下に引用する。

「RTI 管理における RFID の導入は検討したことがあるが、ID タグの費用が高価であることや確実な読み取りを行う手段が見出せないことから断念した経緯があるため、これらの課題を業界全体で解消できればよいと考える」

「RFID により個体識別を可能にし、国際間入出庫管理を実現させたい。しかしながら、金属性の RTI に RF タグを取り付けた際の読み取り距離の低下が大きな課題。読み取りがバーコードと同様で一点ずつでは意味がない」

どちらも管理ニーズに従ってトライアルをしたが、“交信性能不足”が原因で導入を断念している。この“交信性能不足”と判断した状況をユーザに直接聞くと、

「思ったより交信距離が短かった」

との回答があった。これは、トライアル当時の RF タグの性能が不足していたことと、RF タグのカタログ値と実際の交信距離に違いがあったことが考えられる。金属対応 RF タグは金属へ取付けても使えるが、周辺金属やその他環境の影響、リーダライタ出力、アンテナの条件で性能が変わってしまう。また、RF タグメーカ側はカタログに全ての条件下の性能を列挙することが出来ないので、参考値として各社の条件下（開発環境での測定値が多いと考えられる。）の読取り距離のみを表示している。

この状態では、RFID の知見が無いユーザはカタログスペックで導入試験を行い、目論見通りの結果が出ず失敗に終わることを繰り返してしまう。

そこで、RF タグの交信距離のカタログ値が実環境を想定した条件で使用した場合にどう変わるのかを測定し、参照データとして公表することでユーザの誤解を回避させたい。同時に、交信時間の測定や耐性の確認を行い、ゲート構築や ID 取得時間、移動体との交信の可能性など、導入試験をする前に目安となる性能を確認できる状態としたい。

そこで、共通項目について導入時の試験負担を軽減するためのデータを整備することを目的として「金属製 RTI に貼付する RF タグ単体評価」を実施した。

2 細実証実験結果補足資料、データ

2.1 大容量RFタグ基本評価（交信可能距離評価）

2.1.1 評価条件

2.1.1.1 概要

① 金属製 RTI 用途として選定した RF タグを金属板当に取り付け、RF タグ評価測定器にて交信可能距離を測定する。

② 実際の金属製 RTI へ RF タグを取り付け、RFID のリーダライタ（固定式、ハンディ式）を用いて交信可能距離を測定する。

2.1.1.2 計測場所

東洋製罐グループホールディングス株式会社　綜合研究所

（神奈川県横浜市保土ヶ谷区岡沢町 22-4）

① RFID 評価測定器　　電波暗室

② RFID リーダライタ　屋外駐車場

2.1.1.3 実施期間

事前準備　H28 年 5 月～ 9 月（サンプル RF タグ製作など）

計測実施　H27 年 9 月～H28 年 1 月

2.1.1.4 DUT(Device Under Test)計測対象 RF タグ

表 2-1-1. は、H27 年度に評価を行った RF タグ（Tag-A、Tag-B、Tag-C、Tag-D、Tag-E）へ本年度評価を行った大容量 RF タグ（Tag-F）及び脱落対策の薄型化として試作した RF タグ（Tag-F’）（赤枠表記）を加えた表である。評価は、H27 年度評価を行った RF タグの中で実運用試験に使用した RF タグ（Tag-A）（青枠表記）との性能比較評価を行った。（Tag-A の計測値は、H27 年度事業で計測した値である。）

表 2-1-1. 大容量金属対応 RF タグ（Tag -F）仕様

Sample ID	Tag-A	Tag-B	Tag-C	Tag-D	Tag-E	Tag-F	Tag-F’
IC (Sample ID)	IC-X	IC-Y	IC-Z	IC-Z	IC-X	IC-Y’	IC-Y’
Memory [bits] UII / USER	224 /384	256 /512	128 /512	128 /512	96(256) /512(352)	448 /1024	448 /1024
Tag Size [mm] W D H	113.6 35.6 8.7	113.6 35.6 8.7	110 25 12.85	84 21 10	119 32 5.8	113.6 35.6 8.7	140.0 35.6 6.7
Case Material	PC	PC	ABS	Plastic	PC	PC	PC GF 添加
Storage temperature	100℃	100℃	85℃	85℃		100℃	100℃
Read range	6m	5m	8m	8m	9m	6m	6m
Notes	H27 実運用試験 使用タグ					H28 実運用試験 使用タグ	H28 試作 薄型タグ
選定条件	（H27 選定条件） ・UII メモリ 128bits 以上、USER メモリ 300bits 以上 （UII は、ISO 規定の 6bits コード 35 桁である 210bits 以上とするべきであるが、汎用タグが少ないので今回は 128bits 以上とした。） ・交信可能距離 4.5m 以上 （カタログ値） （H26 フィージビリティスタディ調査の RFID ユーザ様の規定を参考とした。） ・長期屋外使用可能である事 ・50mm 角パイプへ取付け可能な事（仮設定） （H28 追加条件） ・汎用 IC で最大容量のもの						

昨年度実証実験で使用した Tag-A に対して、UII メモリが 2 倍、USER メモリ 2.7 倍を準備して評価を行った。（昨年度実証実験で使用した RF タグは UII メモリ 224bits、USER メモリ 384bits として使用したので、その容量との比較。）

2.1.1.5 計測機器

① RFID 評価測定器

・ RFID 評価測定器　　Voyantic 社 TagformanceTM Lite
直線偏波アンテナ（3.28W EIRP 相当）

写真 2-1-1. Voyantic 社 TagformanceTM Lite（出典：Voyantic 社 HP）

② RFID リーダライタ

・ 固定式リーダライタ　　Impinj 社 SPEEDWAY REVOLUTION (IPJ-REV-R420-JP2)

写真 2-1-2. 固定式リーダライタ SPEEDWAY REVOLUTION（出典：Impinj 社 HP）

・ 円偏波アンテナ　　YEON TECHNOLOGIES 社 YAP-100CP (8dBic)
・ アンテナケーブル　　YEON TECHNOLOGIES 社 YAP-CA00X 6m (-2.1dB)

写真 2-1-3. 円偏波アンテナ、直線偏波アンテナ（出典：YEON TECHNOLOGIES 社 HP）

・ ハンディ式リーダライタ Atid 社製 AT-880-RF 1W

写真 2-1-4. ハンディ式リーダライタ AT-880 （出典：Atid 社 HP）

2.1.1.6 計測方法

① RFID 評価測定器

【測定状況】

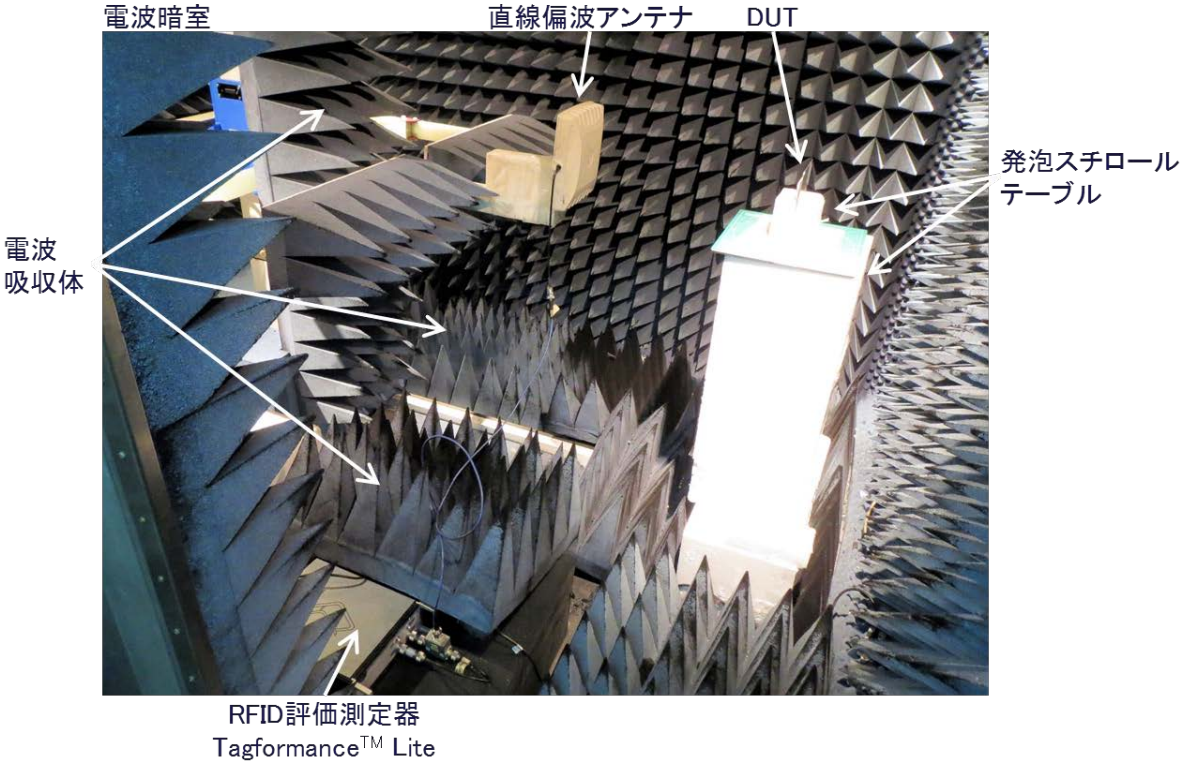


写真 2-1-5. RFID 評価測定器 測定状況

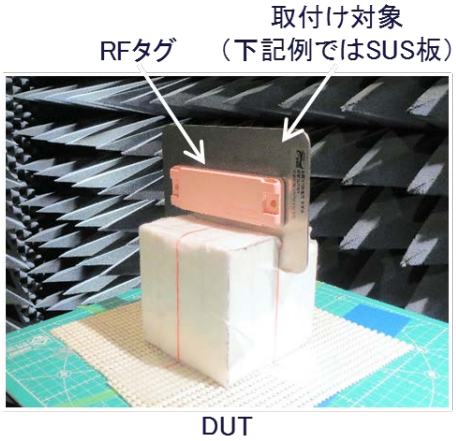


写真 2-1-6. RFID 評価測定器 RF タグ配置例

RFID 評価測定器による交信距離（読取り／書込み距離）の計測を行う。測定器から **ISO/IEC 18000-6C** の読取り／書込みコマンドを送信し、RF タグから応答がある最小の測定器送信出力を測定して RF タグの応答可能距離を換算する。

交信可能距離を得る方法は、アンテナと RF タグを既知の距離に配置（使用した測定器の場合は 0.5m）、測定器から読取り／書込みコマンドを送信し RF タグの応答有無を確認する。測定器の出力を下げ、RF タグが応答する最小の測定器出力から、RF タグ位置の RF タグ最小応答電波強度を得る。そして、リーダライタからの EIRP（等価等方放射電力 Equivalent Isotropic Radiated Power：アンテナから空中に放射される電力の値）が RF タグ最小応答電波強度になるまでの自遊空間損失に必要な距離から RF タグの交信可能距離を得る。

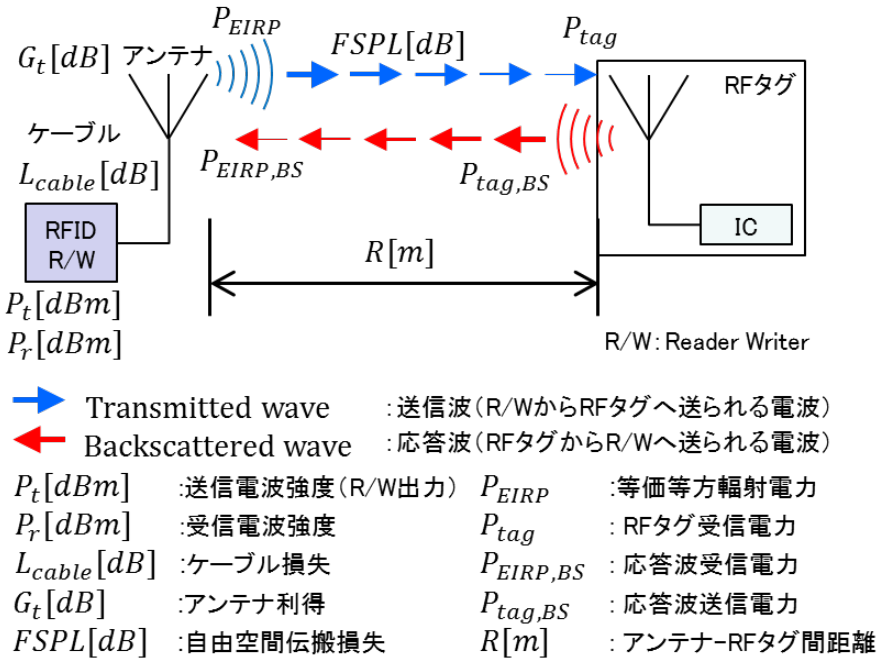


図 2-1-1.RFID リーダライタと RF タグ送受信概念図

RFID のリーダライタと RF タグの送受信は**図 2-1-1.** に示す通り行われる。リーダライタ本体から出力する電波 P_tはケーブルを通ってアンテナから放出される。そして、空中を伝搬して RF タグまで到達する。到達した電力を P_{tag}とすると(1)の関係式が成り立つ。

$$P_{tag} = P_t[dBm] - L_{cable}[dB] + G_t[dB] - FSPL[dB] \tag{1}$$

また、電波が空中を伝搬する際電力が減衰する量、自由空間伝搬損失は(2)式となる。

$$FSPL = 10\log_{10}\left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right)^2 [dB] = \left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right)^2 \tag{2}$$

λ：波長$[m]$

波長は周波数 fと光速 cで表すことができるので、P_tをリーダライタのアンテナから放出される電力：等価等方輻射電力 P_{EIRP}で表すと(3)の式が得られる。

$$P_{tag} = P_{EIRP}\left(\frac{c}{4\pi f R}\right)^2 \tag{3}$$

f：周波数[Hz]　c：光速 299792458 $[m/s]$

この(5)式をアンテナ-RF タグ間距離 Rについて解くと(4)式が得られる。

$$R = \sqrt{\frac{P_{EIRP}}{P_{tag}}}\frac{c}{4\pi f} \tag{4}$$

従って、RF タグが応答することができる最小 RF タグ受信電力と送信電力（等価等方輻射電力）が分かれば RF タグの交信可能距離を算出できる。今回使用した RFID 評価測定器は、ETSI（欧州電気通信標準化機構（European Telecommunications Standards Institute）で規定される最大出力 2W ERP（※）（実効放射電力 Equivalent Radiated Power）の場合の交信距離が測定結果となる。

例として RF タグが応答する最小電力を $P_{min\,tag}$= -13.485$[dBm] = 44.823\mu W$であったときの交信可能距離を計算する。

$$R_{max} = \sqrt{\frac{P_{EIRP,max}}{P_{tag,min}}}\frac{c}{4\pi f}$$
$$R_{max} = \sqrt{\frac{3.28[W]}{44.823 \times 10^{-6}[W]}} \times \frac{299792458[m/s]}{4 \times \pi \times 920 \times 10^{6}} = 7.015[m] \tag{5}$$

上記式(5)から分かるように、この結果はリーダライタの出力で換算ができる。

$$\begin{aligned} &3.28[\mathrm{W}]\text{のとき} \quad R_{max} = 7.015[m] \\ &4[\mathrm{W}]\text{のとき} \quad R_{max} = 7.015[m] \times \sqrt{\frac{4[W]}{3.28[W]}} = 7.747[m] \\ &1[\mathrm{W}]\text{のとき} \quad R_{max} = 7.015[m] \times \sqrt{\frac{1[W]}{3.28[W]}} = 3.873[m] \end{aligned} \tag{6}$$

※2W ERP

主に欧州で採用されている規定。北米は FCC（連邦通信委員会 Federal Communications Commission）で日本は電波法で最大出力が規定されるが、どちらも 4W EIRP である。ERP と EIRP は基準とするアンテナが異なり、換算は以下の式の通りで 2W ERP は 3.28W EIRP である。

$$P_{ERP}[W] \times 1.64 = P_{EIRP}[W] \tag{7}$$

以上の様に、今回の交信可能距離の評価はリーダライタの送信波が ETSI 規定最大出力の場合に、RF タグが応答できる限界の距離を計測している。しかし、**図 2-1-1.** から分かる様に、リーダライタと RF タグの交信では、もう一つ“応答波”の交信可能距離がある。その距離は RF タグからの電波強度を計測することと、リーダライタ側のアンテナ利得と感度を指定することで評価可能である。今回使用した RFID 評価測定器では、リーダライタ感度-70dBm、接続するアンテナ利得 4dBi とした場合の交信可能距離が測定できる。

$$R_{max,BS} = \sqrt{\frac{P_{tag,BS}}{P_{EIRP,BS,limit}}}\frac{c}{4\pi f}$$
$$P_{EIRP,BS,limit} = -74[dBm] = 39.8[\rho W] \tag{9}$$

基本計測（SUS 板へ貼付した RF タグ正面の交信可能距離計測）の送信波、応答波の交信可能距離比較については、H27 年度実証実験で評価を行った読取り／書込み距離 20 パターンで、いずれも送信波の方が短い結果となったので、リーダライタと RF タグ間の交信可能距離の性能は送信波の計測結果を採用している。

【測定方向】

交信可能距離計測は、以下の RF タグに対して正面方向を基本として、垂直、水平の各角度からの方向の距離の計測を行う。

・ 正面方向　RF タグ正面の交信可能距離

・ 垂直方向　正面から上下方向 180 度範囲、30 度刻み

（**図 2-1-2.** 青字角度 0、30、60、90、120、150、180 度の計 7 方向）

・ 水平方向　正面から左右方向 180 度範囲、30 度刻み

（**図 2-1-2.** 赤字角度 90、120、150、180、210、240、270 度の計 7 方向）

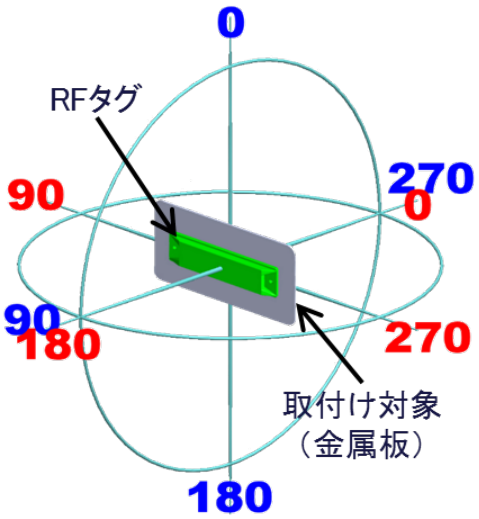


図 2-1-2. RF タグ測定方向

【計測画面】

正面交信可能距離評価

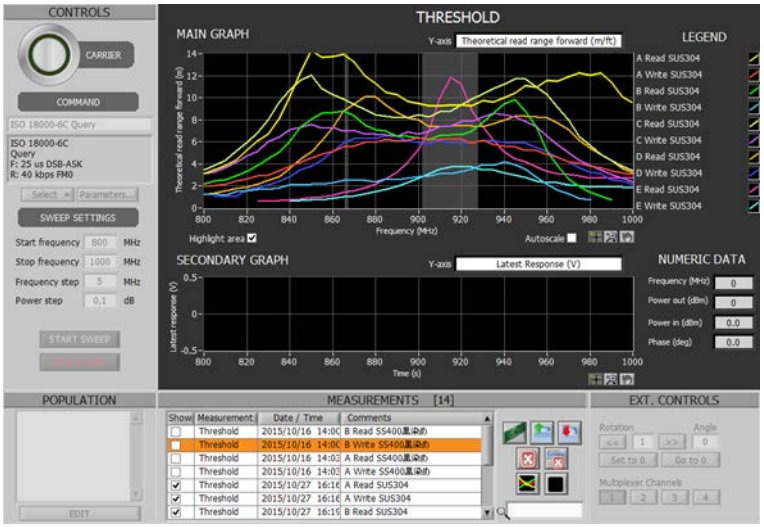


図 2-1-3. 正面交信可能距離評価画面

各角度方向交信可能距離評価

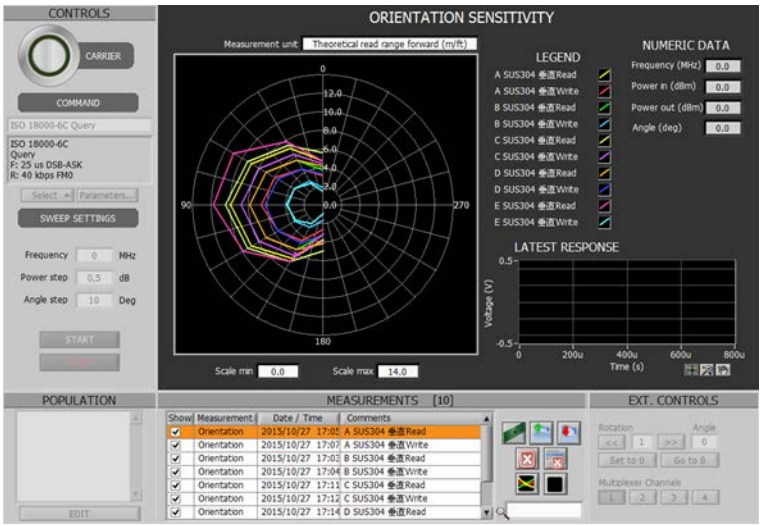


図 2-1-4. 各角度方向交信可能距離評価画面

② RFID リーダライタ

【計測状況】

駐車場のアスファルトの上で固定式リーダライタによる計測を行った。アンテナ、RF タグ等の詳細な寸法関係は各計測結果を参照。

写真 2-1-7. RFID リーダライタ 計測状況

【判定方法】

次の基準で交信可能距離の判定を行った。

・ 読取り距離

RFID リーダライタ用デモソフトウェアにて、UII メモリ（96bits）連続読取りを行いながら、固定式リーダライタのアンテナ及びハンディ式リーダライタを RF タグから離して行き、連続読取りが最初に途切れた場所から反対に近づけ読取りが再開した場所を読取り可能距離とする。

・ 書込み距離

UII メモリ（96bits）へ下記データの書込みを行う。RF タグ近傍からスタートし、10cm 間隔で固定式リーダライタのアンテナ及びハンディ式リーダライタを RF タグから離して行き、書込みが出来なくなった 1 回前の位置を書込み可能距離とする。

書込みデータ：FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF [Hex]

写真 2-1-8. RFID リーダライタ交信距離

【計測方向】

交信可能距離の計測は、**写真 2-1-7.** の通り RF タグ位置を基準にリーダライタアンテナを正面へ配置した正面方向で計測を行った。

・　正面方向　RF タグ正面の交信可能距離

【RFID リーダライタ出力】

条件で出力の指定が無い場合は、以下の出力設定で計測を行った。

・　固定式リーダライタ（円偏波アンテナ接続）

RFID リーダライタ出力　1　W (30dBm)
EIRP　3.89W (35.9dBm)

・　ハンディ式リーダライタ（円偏波アンテナ）

EIRP　1　W (30dBm)

2.1.1.7 計測項目

① RFID 評価測定器

表 2-1-2. RFID 評価測定器 計測項目

No.	測定項目		測定方向		測定対象	
			正面	角度	Tag-F	Tag-F’
001	フリーエア		○		○	○
002	金属板貼付	ステンレス板 SUS304 表面処理無 100x150xt2mm【基本】	○	○	○	○
003		アルミ板 A5052 白アルマイト処理 100x150xt2mm	○		○	○
004	金属製 RTI 近似	角パイプ中 □60x500mm(SS400)	○		○	○
005		角パイプ大 □100x500mm(SS400)	○		○	○
006		金属板中 500x500xt10mm (Al)	○		○	○

（○：実施項目　無印：実施しない）

② RFID リーダライタ

表 2-1-3. RFID リーダライタ 計測項目

No.	測定項目		測定 R/W		測定対象	
			固定式	ハンディ	Tag-F	Tag-F’
101	金属板貼付 ステンレス板 SUS304 表面処理無 100x150xt2mm	（比較用） RFID 評価測定器			○	
102		正面方向	○	○	○	
103	金属製 RTI	折畳み 7 段積み直置き 4 段目（中段）	○		○	
104		組立て 3 段積み直置き 2 段目（中段）	○		○	

（○：実施項目　無印：実施しない）

2.1.2 結果 交信可能距離

① RFID 評価測定器

【計測結果グラフの説明】

・ 正面読取り可能距離の結果

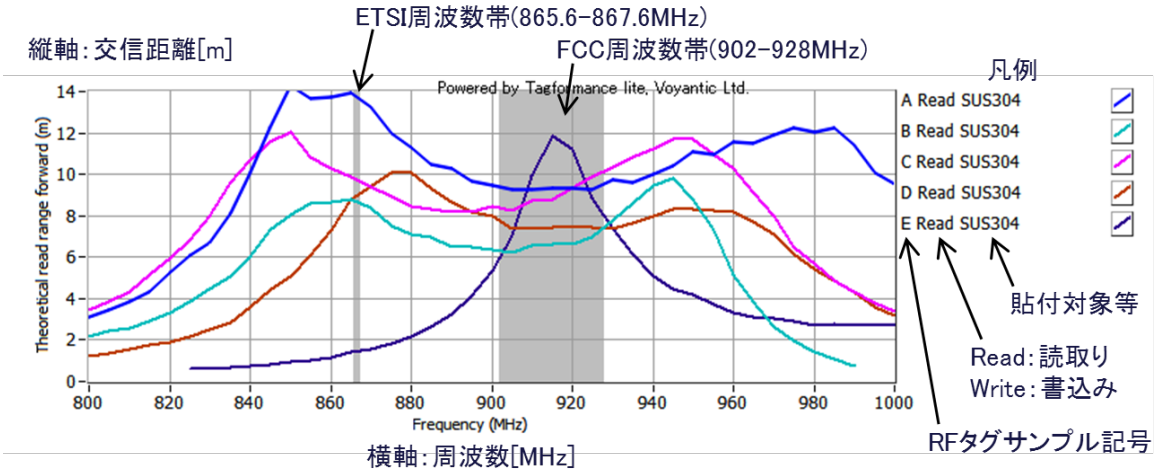


図 2-1-5. 正面読取り可能距離結果の説明

正面読取り可能距離は上記の様な周波数特性グラフが計測結果となる。各サンプル RF タグの各周波数の読取り可能距離の評価結果をグラフとしている。グラフ中の 2 つの灰色の帯は、865MHz 付近にある帯が ETSI（欧州電気通信標準化機構）で使用が認められている周波数帯で、900 から 930MHz 付近にある帯が FCC（連邦通信委員会（米））で使用が認められている周波数帯を表している。日本の電波法では 916.7-920.9MHz となる。国内で使用する場合は 920MHz の時の交信可能距離がその RF タグの性能となる。上記のグラフの例では RF タグサンプル A の日本での読取り可能距離は約 9m、欧州での読取り可能距離は約 14m となる。

・ 正面書込み可能距離の結果

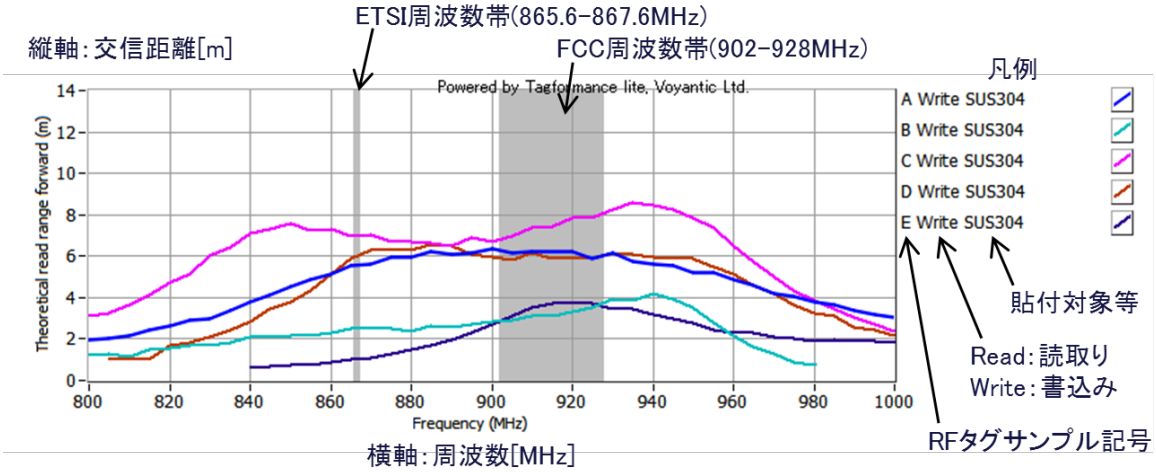


図 2-1-5. 正面読取り可能距離結果の説明

正面書込み可能距離の結果も読取り可能距離の場合と同様である。上記のグラフの例では RF タグサンプル A の日本の書込み距離は約 6m、欧州での書込み距離も約 6m となる。

・ 垂直方向交信可能距離
・ 水平方向交信可能距離

垂直方向及び水平方向の交信可能距離計測は、RF タグ正面に対して±90 度の範囲で向きを変えた方向からの交信可能距離を計測する。今回の計測は全て日本の周波数 920MHz の場合のみ実施している。

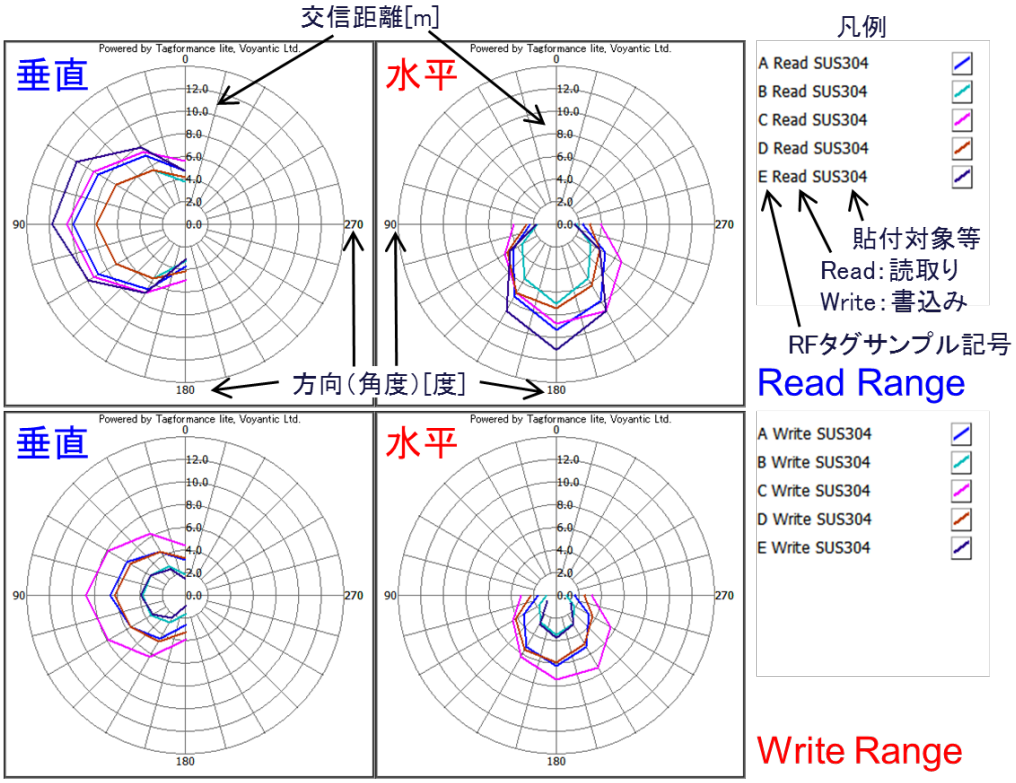


図 2-1-6. 垂直／水平方向交信可能距離結果の説明

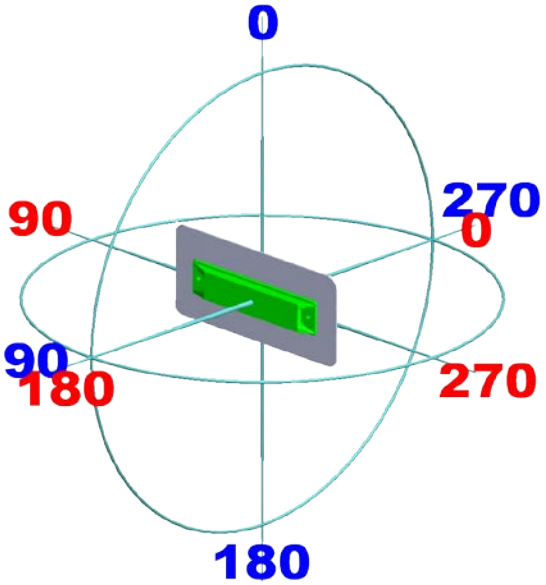


図 2-1-7. 垂直／水平方向交信可能距離評価の方向

図 2-1-7. の通り、垂直方向の角度は上記青文字の角度、水平方向の角度は赤文字の角度となっている。

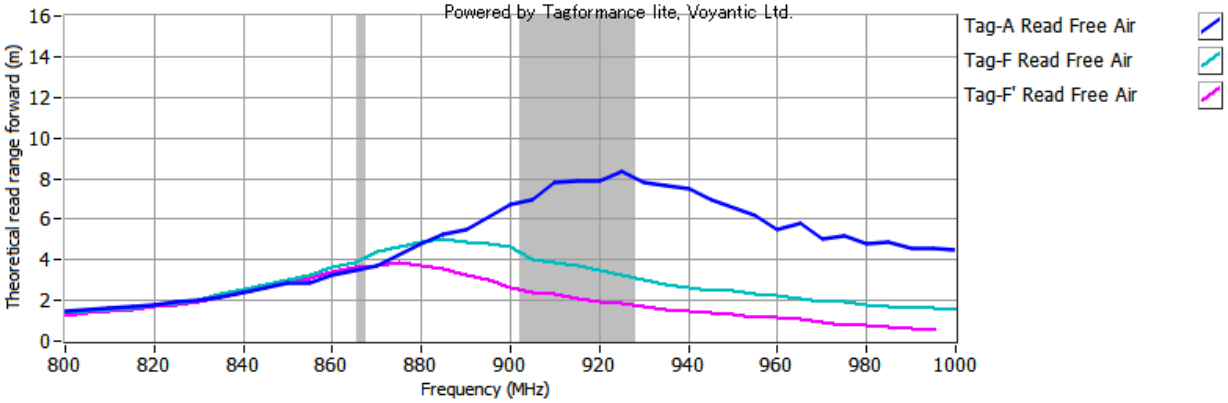
【結果】

※　RFID 評価測定器による計測はそれぞれの条件による特性変化を確認するため、各 RF タグサンプル同一の個体で計測している。

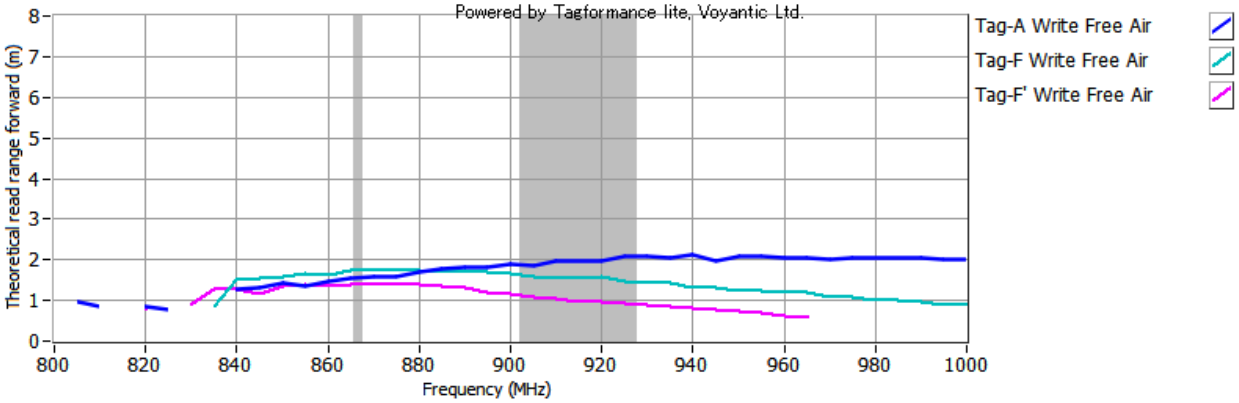
表 2-2-1. RFID 評価測定器 計測項目 001

No.	測定項目		測定方向		測定対象	
			正面	角度	Tag-F	Tag-F’
001	フリーエア		○		○	○

正面読取り可能距離



正面書込み可能距離

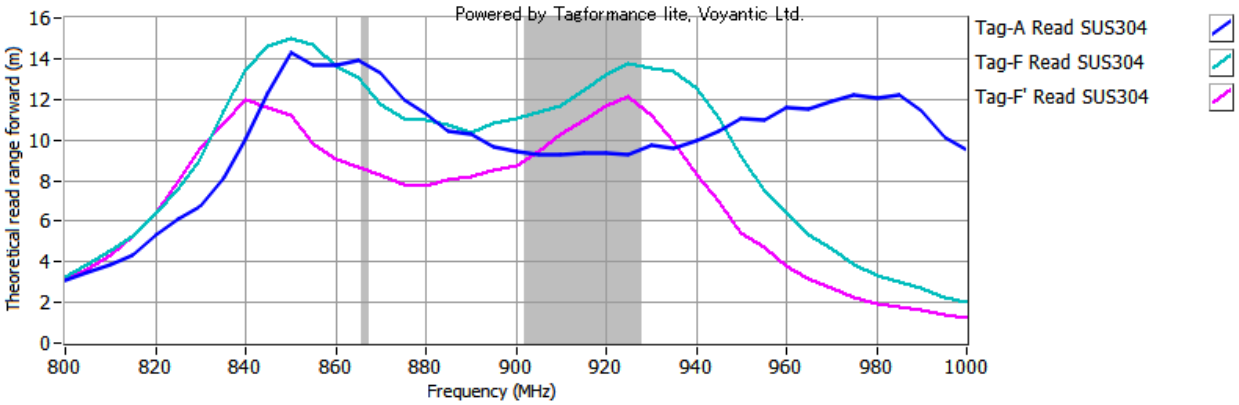


グラフ 2-2-1. RFID 評価測定器 計測項目 001（正面方向）

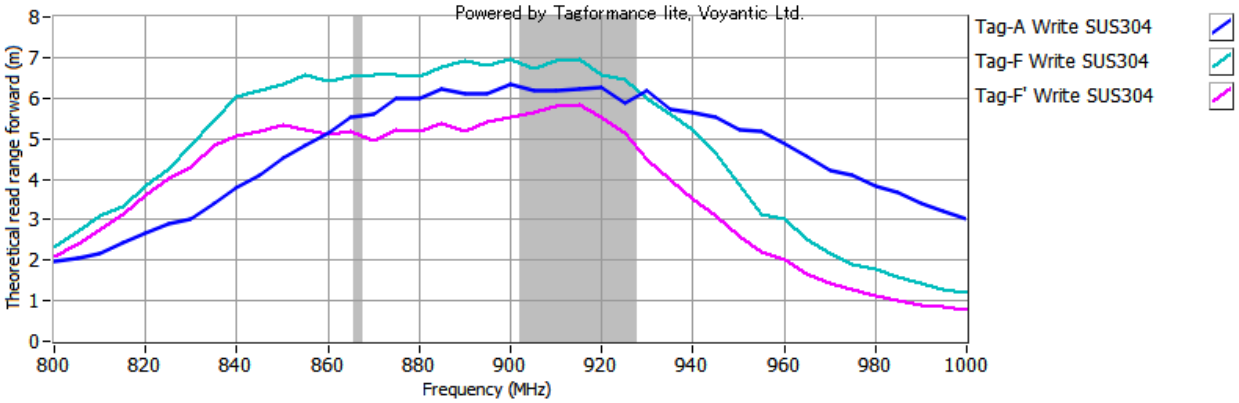
表 2-2-2. RFID 評価測定器 計測項目 002

No.	測定項目		測定方向		測定対象	
			正面	角度	Tag-F	Tag-F’
002	金属板貼付	ステンレス板 SUS304 表面処理無 100x150xt2mm【基本】	○	○	○	○

正面読取り可能距離



正面書込み可能距離



グラフ 2-2-2. RFID 評価測定器 計測項目 002（正面方向）

計測状況

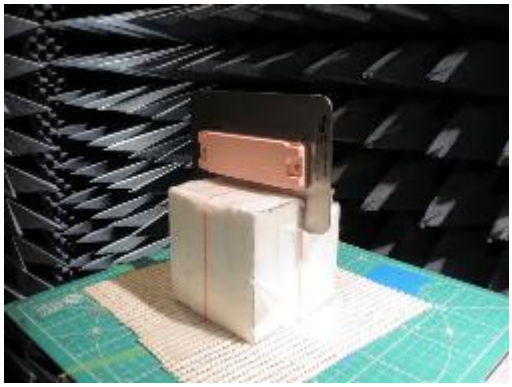
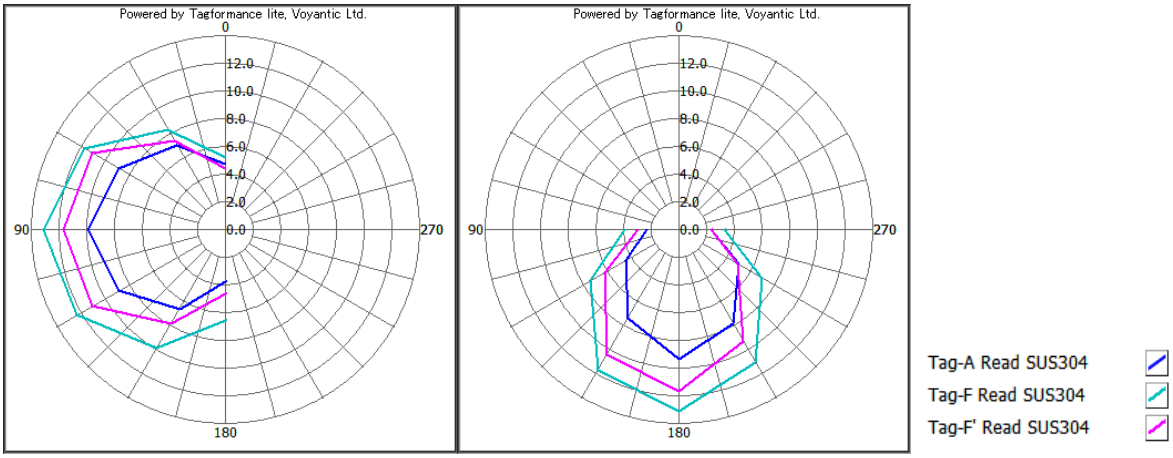
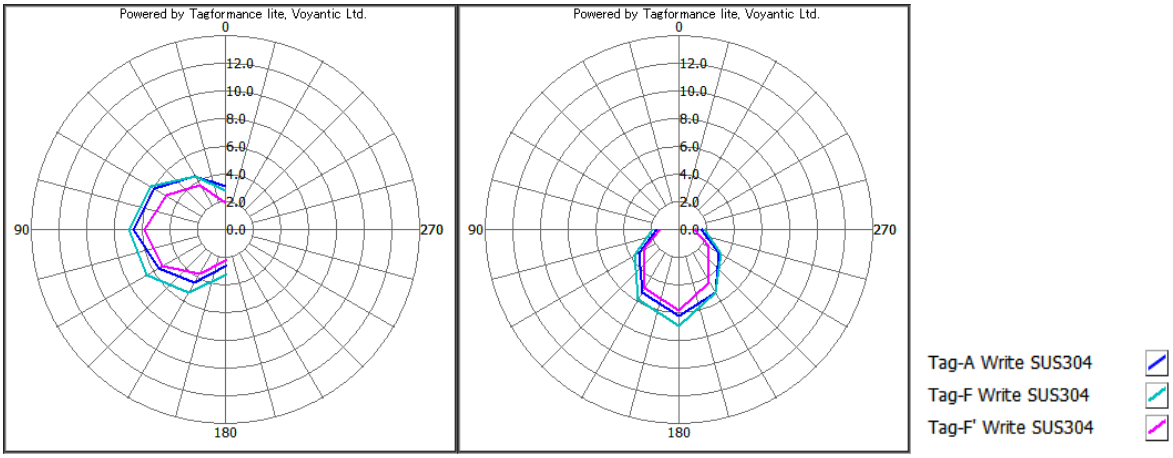


写真 2-2-1. RFID 評価測定器 計測項目 002

垂直方向読取り可能距離　　水平方向読取り可能距離



垂直方向書込み可能距離　　水平方向書込み可能距離

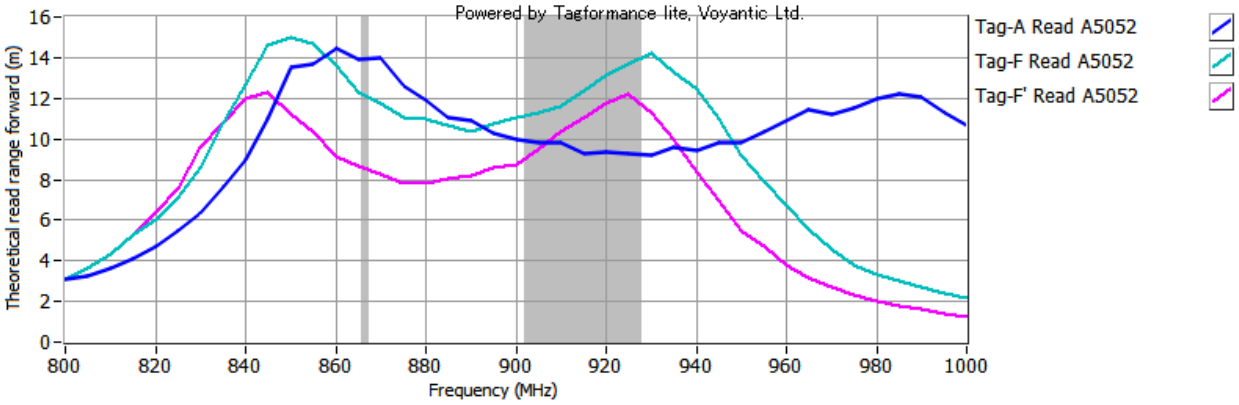


グラフ 2-2-3. RFID 評価測定器 計測項目 002（垂直・水平方向）

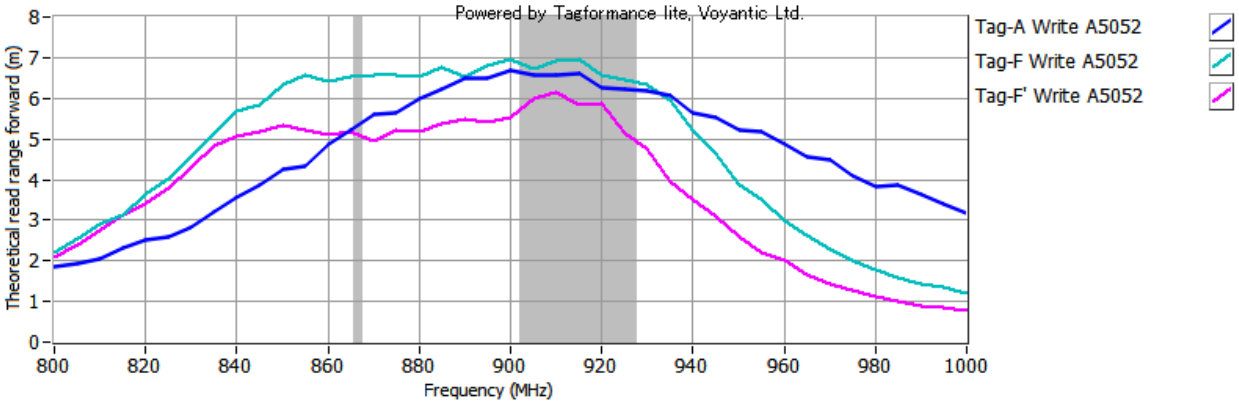
表 2-2-3. RFID 評価測定器 計測項目 003

No.	測定項目		測定方向		測定対象	
			正面	角度	Tag-F	Tag-F’
003	金属板貼付	アルミ板 A5052 白アルマイト処理 100x150xt2mm	○		○	○

正面読取り可能距離



正面書込み可能距離

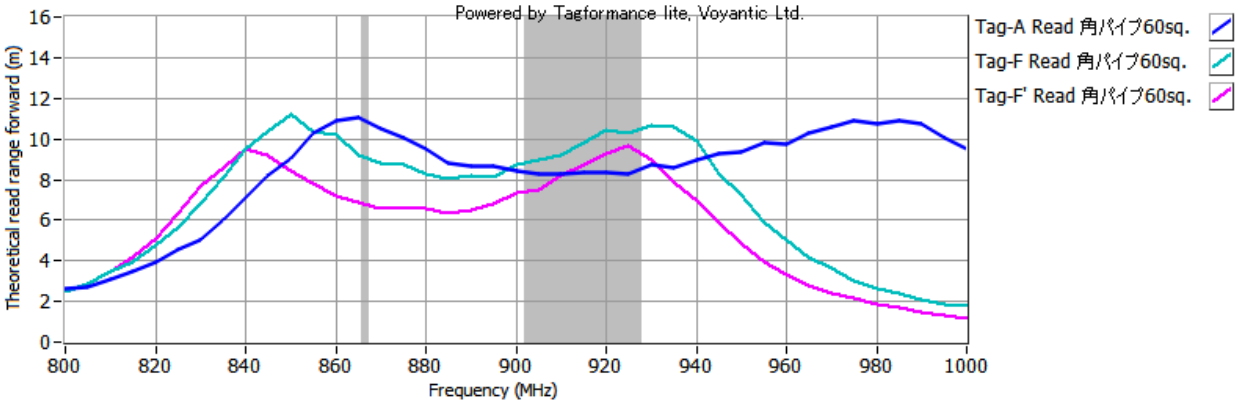


グラフ 2-2-4. RFID 評価測定器 計測項目 003（正面方向）

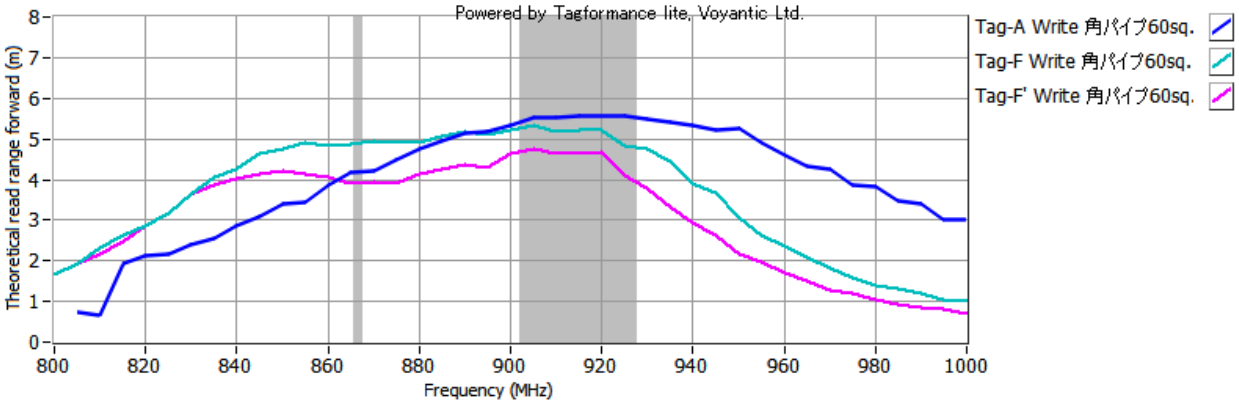
表 2-2-4. RFID 評価測定器 計測項目 004

No.	測定項目		測定方向		測定対象	
			正面	角度	Tag-F	Tag-F’
004	金属製 RTI 近似	角パイプ中 □60x500mm(SS400)	○		○	○

正面読取り可能距離



正面書込み可能距離

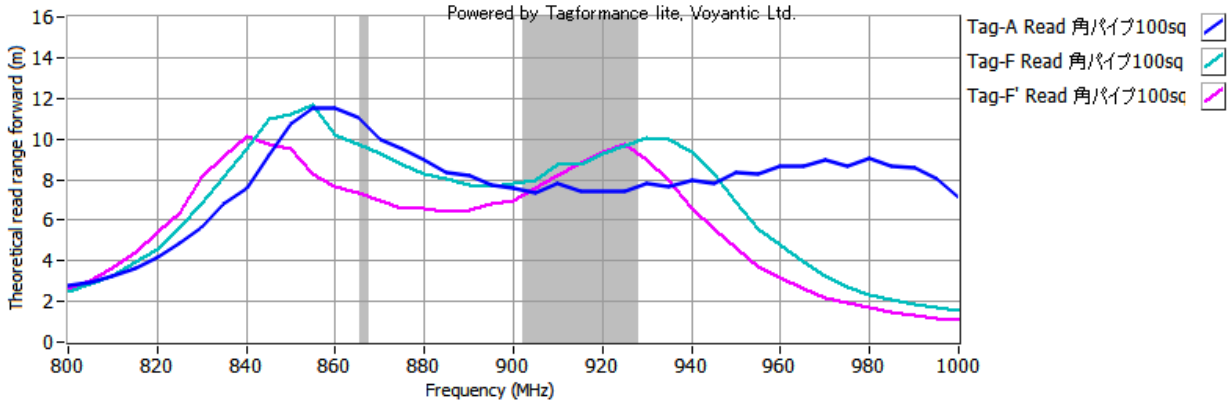


グラフ 2-2-5. RFID 評価測定器 計測項目 004（正面方向）

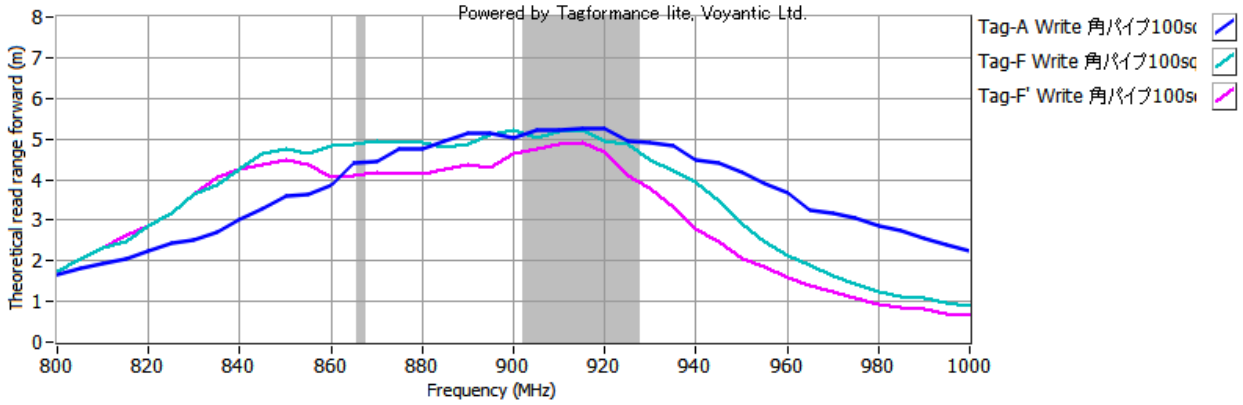
表 2-2-5. RFID 評価測定器 計測項目 005

No.	測定項目		測定方向		測定対象	
			正面	角度	Tag-F	Tag-F’
005	金属製 RTI 近似	角パイプ大 □100x500mm(SS400)	○		○	○

正面読取り可能距離



正面書込み可能距離

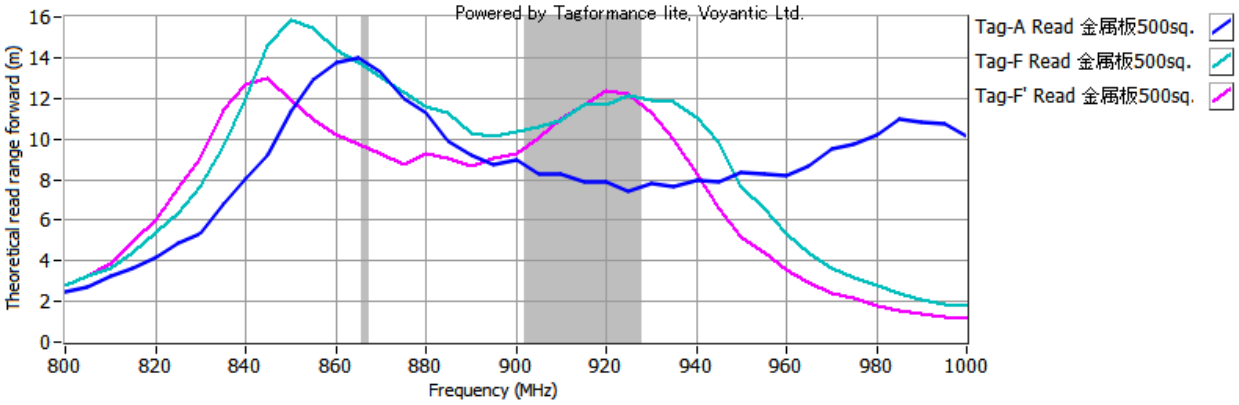


グラフ 2-2-6. RFID 評価測定器 計測項目 006（正面方向）

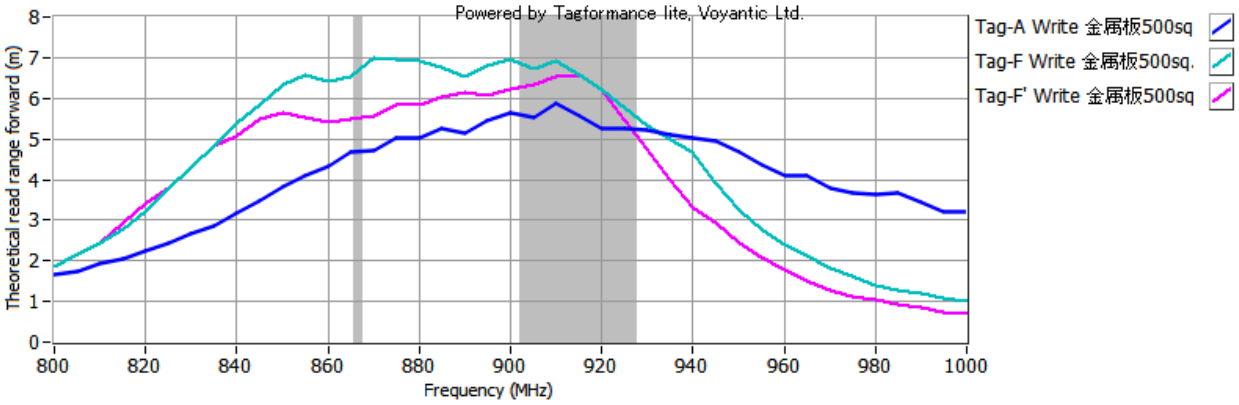
表 2-2-6. RFID 評価測定器 計測項目 006

No.	測定項目		測定方向		測定対象	
			正面	角度	Tag-F	Tag-F’
006	金属製 RTI 近似	金属板中 500x500xt10mm (Al)	○		○	○

正面読取り可能距離



正面書込み可能距離



グラフ 2-2-7. RFID 評価測定器 計測項目 006（正面方向）

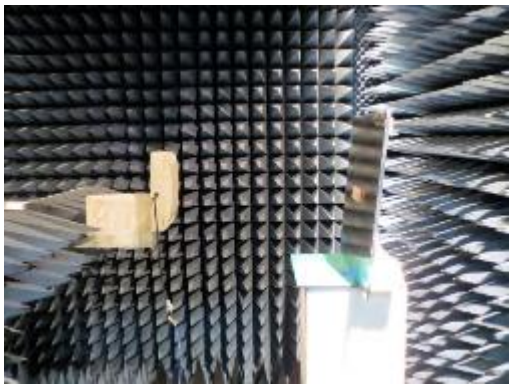
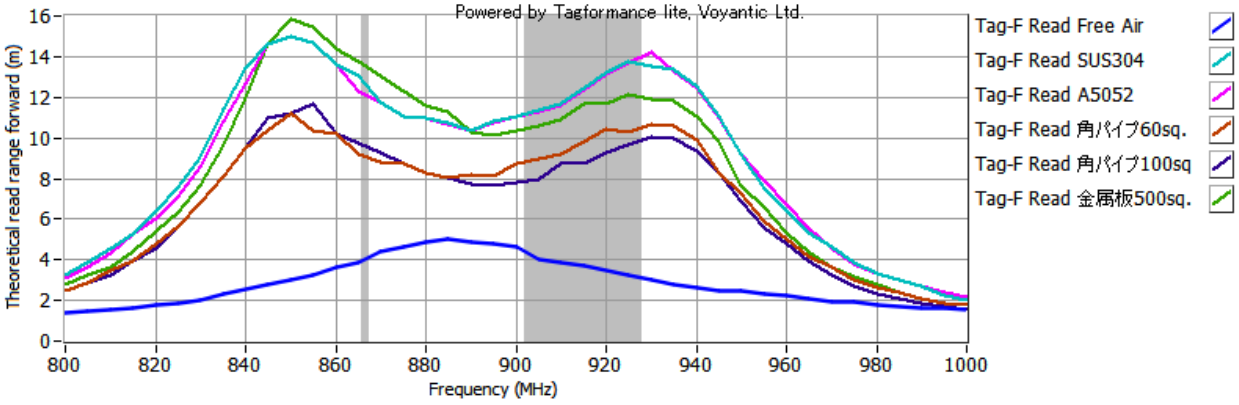


写真 2-2-2. RFID 評価測定器 計測項目 006

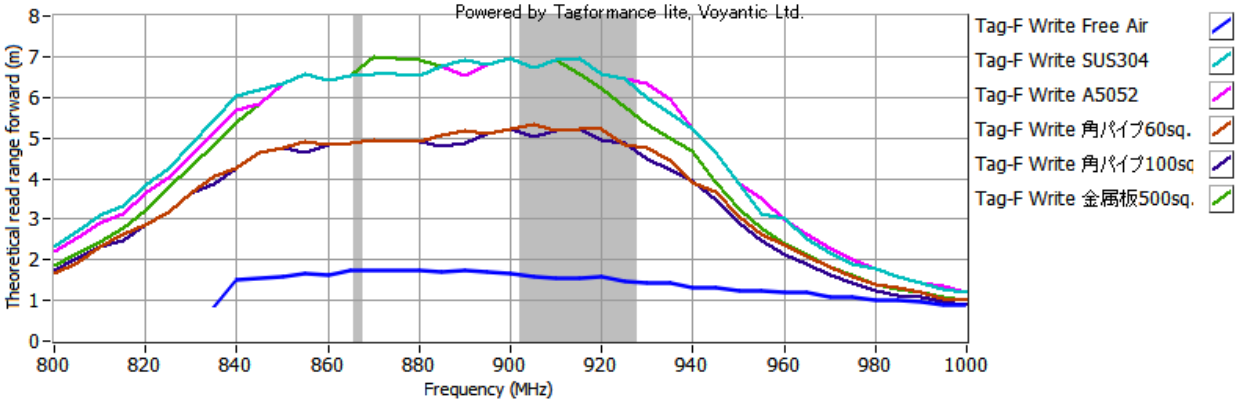
表 2-1-7. RFID 評価測定器 計測項目 同一タグ比較 Tag-F

No.	測定項目		測定方向		測定対象	
			正面	角度	Tag-F	Tag-F’
001	フリーエア		○		○	○
002	金属板貼付	ステンレス板 SUS304 表面処理無 100x150xt2mm【基本】	○	○	○	○
003		アルミ板 A5052 白アルマイト処理 100x150xt2mm	○		○	○
004	金属製 RTI 近似	角パイプ中 □60x500mm(SS400)	○		○	○
005		角パイプ大 □100x500mm(SS400)	○		○	○
006		金属板中 500x500xt10mm (Al)	○		○	○

正面読取り可能距離



正面書込み可能距離

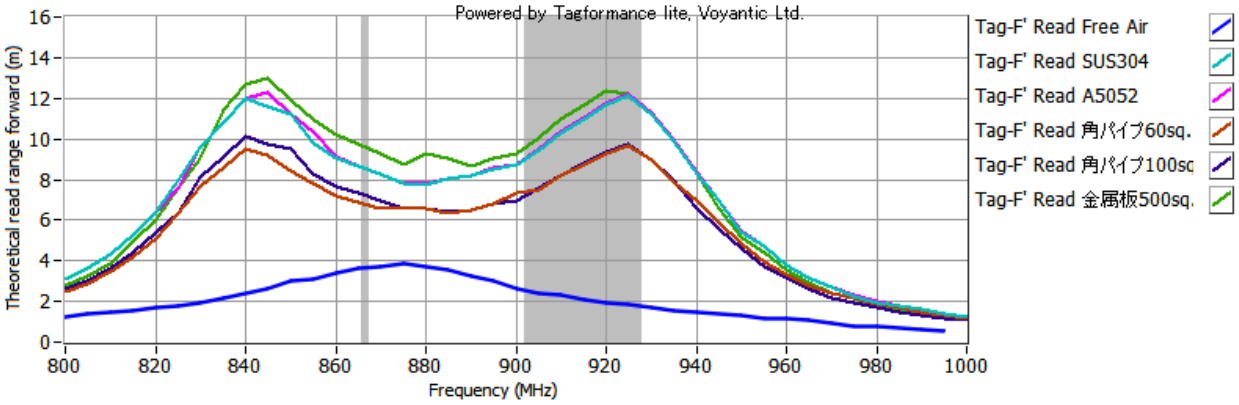


グラフ 2-2-8. RFID 評価測定器 計測項目 同一タグ比較 Tag-F

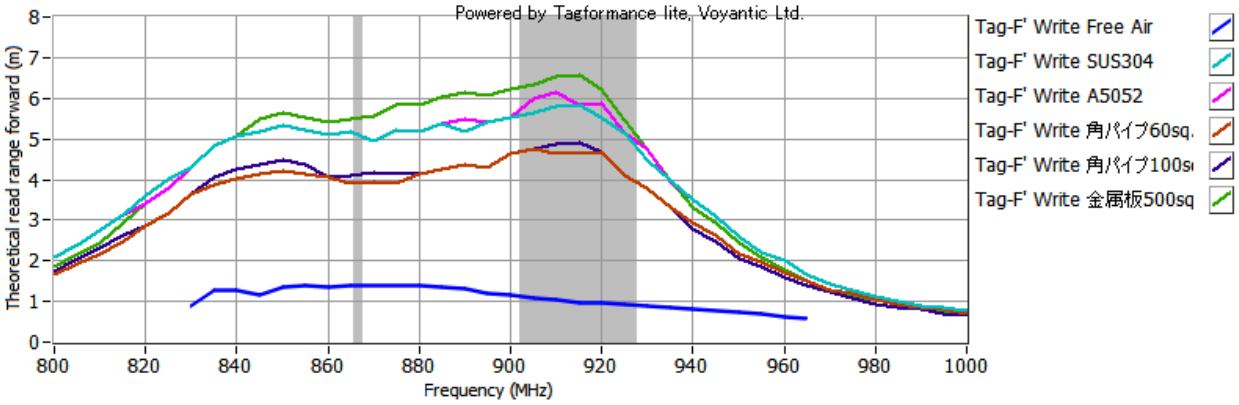
表 2-1-8. RFID 評価測定器 計測項目 同一タグ比較 Tag-F'

No.	測定項目		測定方向		測定対象	
			正面	角度	Tag-F	Tag-F'
001	フリーエア		○		○	○
002	金属板貼付	ステンレス板 SUS304 表面処理無 100x150xt2mm【基本】	○	○	○	○
003		アルミ板 A5052 白アルマイト処理 100x150xt2mm	○		○	○
004	金属製 RTI 近似	角パイプ中 □60x500mm(SS400)	○		○	○
005		角パイプ大 □100x500mm(SS400)	○		○	○
006		金属板中 500x500xt10mm (Al)	○		○	○

正面読取り可能距離



正面書込み可能距離



グラフ 2-2-9. RFID 評価測定器 計測項目 同一タグ比較 Tag-F'

② RFID リーダライタ

【結果】

表 2-1-9. RFID リーダライタ 計測項目 101 102

No.	測定項目		測定 R/W		測定対象	
			固定式	ハンディ	Tag-F	Tag-F’
101	金属板貼付 ステンレス板 SUS304 表面処理無 100x150xt2mm	（比較用） RFID 評価測定器			○	
102		正面方向	○	○	○	

RFID リーダライタ計測の比較評価用データである RFID 評価測定器の計測値は、**グラフ 2-2-2. RFID 評価測定器 計測項目 002（正面方向）**の結果を用いた。

計測状況詳細

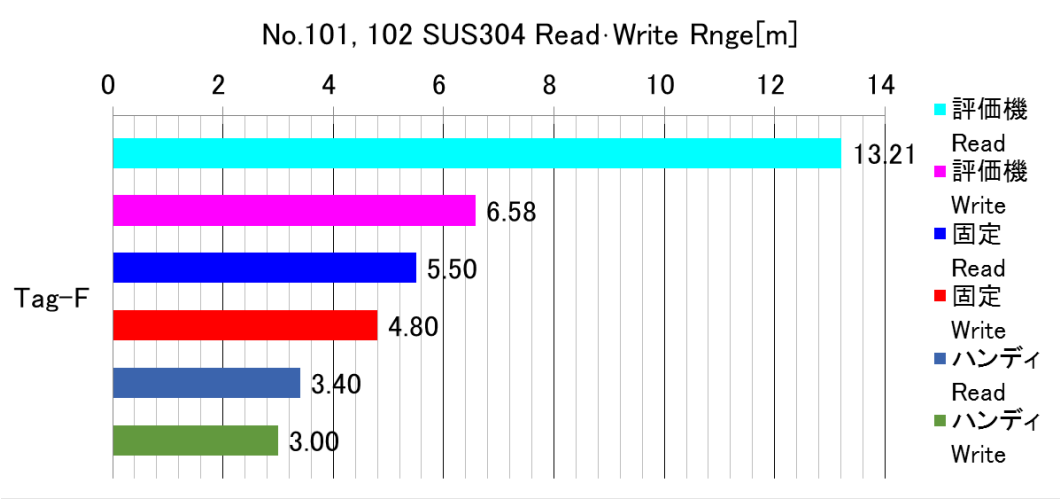
写真 2-2-3. 固定式リーダライタ計測状況

写真 2-2-4. ハンディ式リーダライタ計測状況

交信距離計測結果

表 2-1-10. RFID リーダライタ 計測結果 101 102

SUS304	920MHz 交信距離[m]					
Dut	評価機 Read	評価機 Write	固定 Read	固定 Write	ハンディ Read	ハンディ Write
Tag-F	13.21	6.58	5.50	4.80	3.40	3.00



グラフ 2-2-10. RFID リーダライタ 計測結果 101 102

表 2-1-11. RFID リーダライタ 計測項目 102 103

No.	測定項目		測定 R/W		測定対象	
			固定式	ハンディ	Tag-F	Tag-F’
103	金属製 RTI	折畳み 7 段積み直置き 4 段目（中段）	○		○	
104		組立て 3 段積み直置き 2 段目（中段）	○		○	

使用した金属製 RTI

約 1500(L) X 約 1100(W) X 約 750(H) （折畳み時 約 170(H)） 自重 約 80 kg

写真 2-2-5. RFID リーダライタ計測 103 104 使用金属製 RTI

計測状況詳細

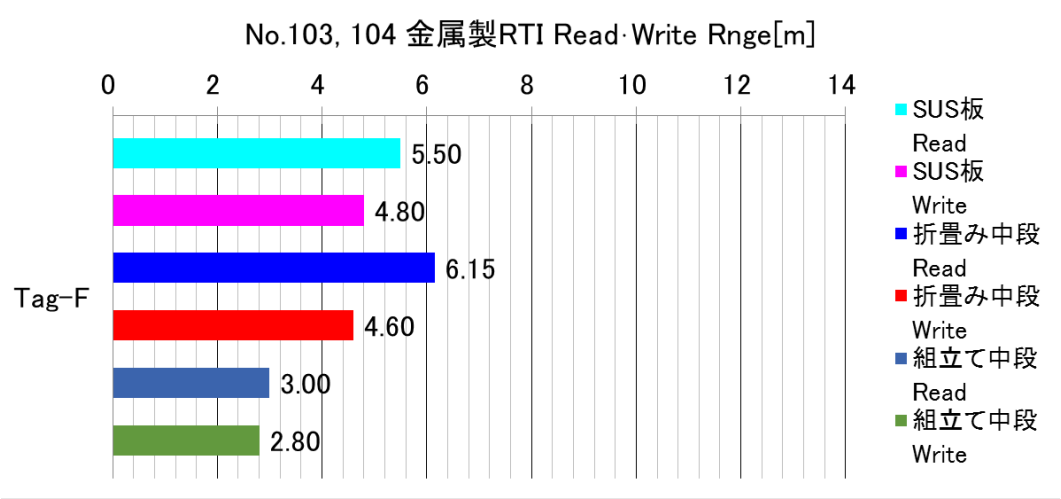
写真 2-2-6. RFID リーダライタ計測 103 計測状況

写真 2-2-6. RFID リーダライタ計測 104 計測状況

交信距離計測結果

表 2-1-12. RFID リーダライタ 計測結果 103 104

	920MHz 交信距離[m]					
Dut	SUS 板 Read	SUS 板 Write	折畳み中段 Read	折畳み中段 Write	組立て中段 Read	組立て中段 Write
Tag-F	5.50	4.80	6.15	4.60	3.00	2.80



グラフ 2-2-11. RFID リーダライタ 計測結果 103 104

2.2 大容量RFタグ基本評価（交信時間評価）

2.2.1 計測条件

2.2.1.1 概要

① 実際の RFID リーダライタと RF タグ（インレイ）間の各交信コマンド完了時間を計測する。

2.2.1.2 計測場所

東洋製罐グループホールディングス株式会社　綜合研究所
（神奈川県横浜市保土ヶ谷区岡沢町 22-4）
電波暗室

2.2.1.3 実施期間

計測実施　H27 年 7 月～H28 年 1 月

2.2.1.4 DUT(Device Under Test)計測対象 RF タグ

表 2-2-1. は、H27 年度に評価を行った IC（IC-X、IC-Y、IC-Z）へ本年度評価を行った大容量 RF タグ用 IC（IC-Y’）（赤枠表記）を加えた表である。IC-Y’以外の計測値は、H27 年度事業の計測値である。

表 2-2-1. 大容量金属対応 RF タグ IC（IC-Y’）仕様

Sample ID	IC-X	IC-Y	IC-Z	IC-Y’
Memory [bits] UII / USER	96(256) /512(352)	256 /512	128 /512	448 /1024
Antenna Size [mm] W H	70 17	70 14	86 24	94 16
選定理由	・汎用品として流通している RF タグに採用されている各 IC メーカから、メモリ量が最大の物を選定。			

2.2.1.5 計測機器

① RFID リーダライタ

・ 固定式リーダライタ　　Impinj 社 SPEEDWAY REVOLUTION (IPJ-REV-R420-JP2)

写真 2-2-1. 固定式リーダライタ SPEEDWAY REVOLUTION（出典：Impinj 社 HP）

・ 円偏波アンテナ　　CSL 社 CS771 (9dBi)

写真 2-2-2. 円偏波アンテナ CS771（出典：CSL 社 HP）

2.2.1.6 計測方法

【測定状況】

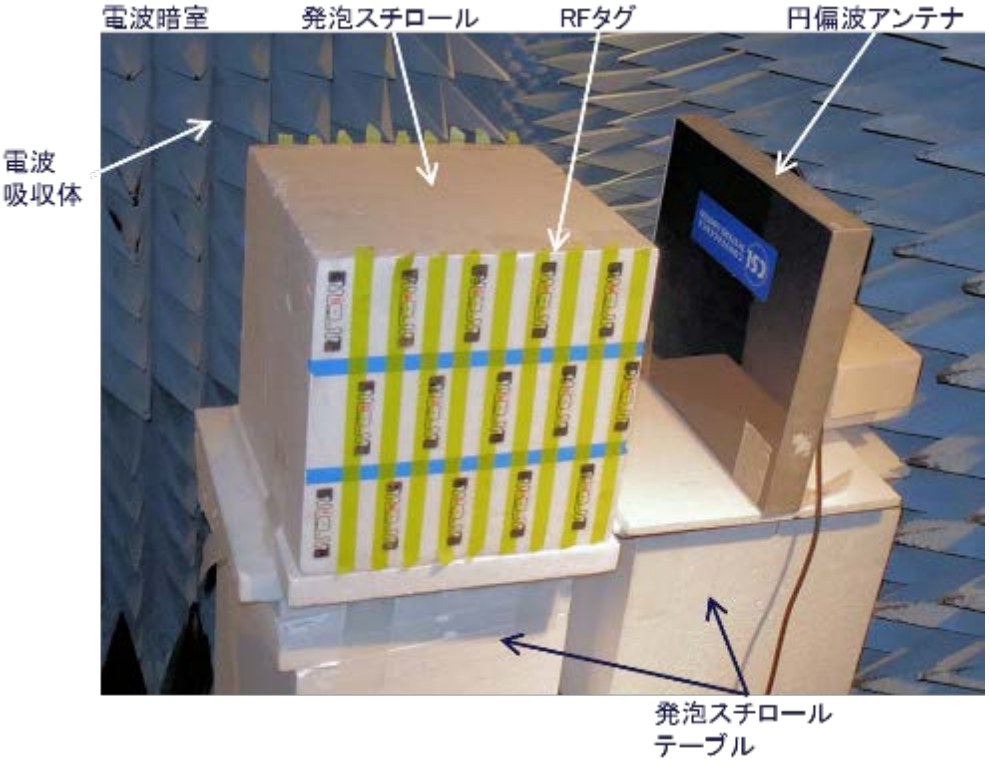


写真 2-2-3. 時間計測 測定状況

電波透過性が高い発泡スチロールへ計測対象 IC のインレイを貼り、円偏波アンテナの前へ配置する。UII 読取り（Inventory コマンド）で対象のインレイ全てと交信可能状態であることを確認して、計測用のコマンドを発信し完了までの時間を計測する。

それぞれ 10 回計測を行い、平均値を結果として記録。

書込みは以下のデータを使用した。

- USER メモリ 32bits=2W

  10012002[Hex]

- USER メモリ 128bits=8W

  100120023003400450056006700780 08[Hex]

- USER メモリ 512bits=32W

  100120023003400450056006700780089009101011111212131314141515161617171818191920202121222223232424252526262727282829293030313132 32[Hex]

  又は

  1234200230034004500560067007800890091010111112121313141415151616171718181919202021212222232324242525262627272828292930303131323 2[Hex]

- USER メモリ 1024bits=64W

  先頭 16bits を 1111[Hex]、AAAA[Hex]、BBBB[Hex]、CCCC[Hex]等設定し、残りを 00000[Hex]で埋めたデータを使用

【固定リーダライタ　アプリケーションの設定】

Modes
Reader Mode=Max Throughput
Search Mode=Single Target Inventry
Session=0

Power, Rx
Port1Ant1=30dBm、Rx=Max　（4 枚アンテナ時-55dBm 程度）
Port2Ant1=30dBm、Rx=Max　（4 枚アンテナ時-55dBm 程度）
Port3Ant1=30dBm、Rx=Max　（4 枚アンテナ時-55dBm 程度）
Port4Ant1=30dBm、Rx=Max　（4 枚アンテナ時-55dBm 程度）

Filter
Filter1：EPC
Value=111122223333444455550001
start bit=32、Length=96bit
Filter2：User
Value=1234
start bit=0、Length=16bit

Inventory
Search Tag Cnt. = N, Same Tag (on/off)
Low Duty Cycle Mode (off)
Empty Field Timeout=2000ms
Field Ping interval=250ms
Population Estimate=32

Read
fast tag (on)（ ※一部 fast tag (off) での計測あり）
（IC-Y’ 1024bits 計測時は fast tag (off) ）
Start Word=0
Tag Cnt. = N, Same Tag (on/off)

Write
fast tag (off)
Start Word=0
Tag Cnt. = N, Same Tag (on/off)　※1 枚アンテナ時は off、4 枚アンテナ時は on

Lock
fast tag (off)
Tag Cnt. = N, Same Tag (on/off)
※ロックしたタグは、アンロックせずに上書き。

PermaLock
fast tag (off)
Tag Cnt. = N, Same Tag (on/off)
※ロックしたタグは、アンロックせずに上書き。

Same Tag について　アンテナ 1 枚時は off、4 枚時は on
Tag Con について　 4 枚アンテナ時は配置枚数の 4 倍枚数

【RF タグ（インレイ）配置】

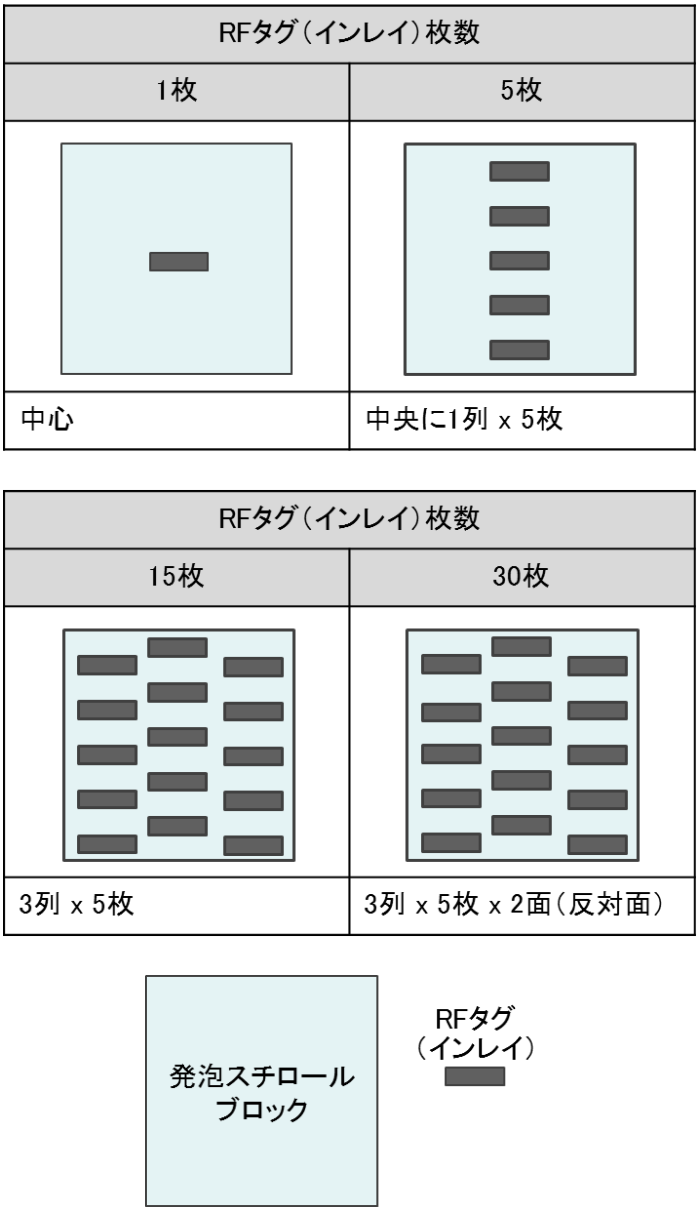


図 2-2-1.時間計測 RF タグ（インレイ）配置図

【アンテナ配置】

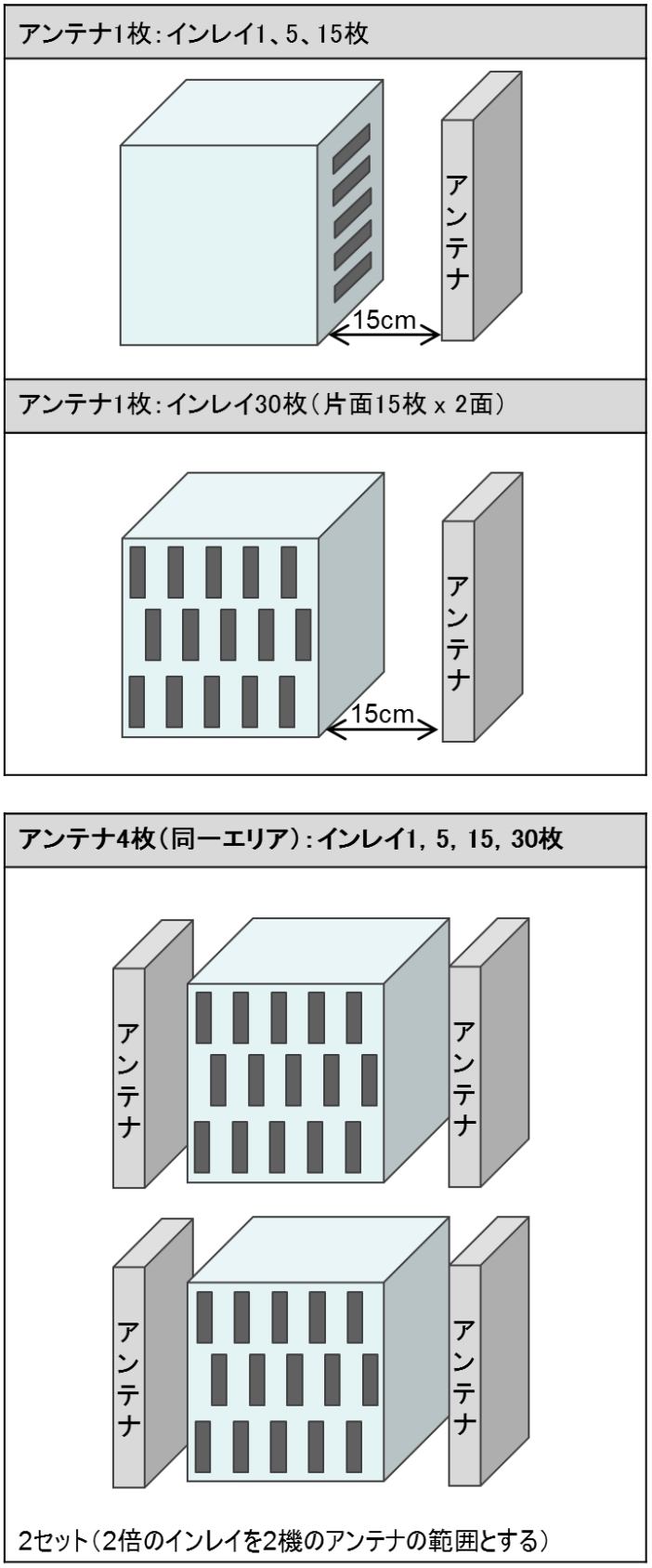


図 2-2-2.時間計測　アンテナ配置図

2.2.2 結果 交信時間評価

【IC-Y’ 1 枚アンテナ　Inventory/Read】

表 2-2-2. IC-Y’ 1 枚アンテナ Inventory/Read 計測結果

計測条件							計測結果[s]			
IC-Y’	Mask	Pass	メモリ[bits]				RF タグ枚数			
			UII	USER	RESE	TID	1 枚	5 枚	15 枚	30 枚
読取り 1			448	-	-	-	0.203	0.073	0.060	0.121
読取り 2			448	32	-	-	0.244	0.144	0.243	0.679
読取り 3			448	128	-	-	0.223	0.117	0.233	0.597
読取り 4			448	512	-	-	0.183	0.105	0.205	0.877
読取り 5			448	1024	-	-	0.426	0.280	0.565	1.329
読取り 6			448	-	64	-	0.243	0.137	0.248	0.646
読取り 7			448	-	-	64	0.244	0.135	0.251	0.711
読取り 8			448	512	64	64	0.120	0.155	0.322	1.267
読取り 9			448	512	64	208	0.119	0.145	0.319	1.126
読取り 10	UII		448	512	-	-	0.207	0.207	0.257	0.175
読取り 11	USER		448	512	-	-	0.206	0.150	0.209	0.148
読取り 12	UII or USER		448	512	-	-	0.203	0.154	0.215	0.152
読取り 13	UII and USER		448	512	-	-	0.230	0.230	0.256	0.227
読取り 14		有り 1	448	512	-	-	0.224	0.150	0.265	1.852
読取り 15		有り 2	448	512	64	64	0.169	0.209		2.514

【IC-Y’ 1 枚アンテナ　Write】

表 2-2-3. IC-Y’ 1 枚アンテナ Write 計測結果

計測条件							計測結果[s]			
IC-Y’	Mask	Pass	メモリ[bits]				RF タグ枚数			
			UII	USER	RESE	TID	1 枚	5 枚	15 枚	30 枚
書込み 1			-	32	-	-	0.256	0.288	0.578	1.226
書込み 2			-	128	-	-	0.453	0.429	1.159	2.292
書込み 3			-	512	-	-	0.509	1.060	3.136	6.182
書込み 4			-	1024	-	-	0.760	2.000	5.904	11.988
書込み 5			-	-	64	-	0.273	0.293	0.752	1.563
書込み 6	UII		448	512	-	-	0.505	0.509	0.545	0.505
書込み 7	USER		448	512	-	-	0.507	0.743	0.785	0.745
書込み 8	UII or USER		448	512	-	-	0.504	0.737	0.757	0.737
書込み 9	UII and USER		448	512	-	-	0.504	0.505	0.557	0.507
書込み 10		有り 2	-	32	-	-	0.309	0.298	0.606	1.351
書込み 11		有り 3	-	128	-	-	0.458	0.457	1.199	2.441
書込み 12		有り 4	-	512	-	-	0.506	1.116	3.205	6.331
書込み 13		有り 5	-	-	64	-	0.383	0.348	0.838	1.739

【IC-Y’ 1 枚アンテナ　Lock/Kill】

表 2-2-4. IC-Y’ 1 枚アンテナ Lock/Kill 計測結果

計測条件							計測結果[s]			
IC-Y’	Mask	Pass	メモリ[bits]				RF タグ枚数			
			UII	USER	RESE	TID	1 枚	5 枚	15 枚	30 枚
Lock1		有り	✔	-	-	-	0.278	0.292	0.583	1.203
Lock2		有り	-	✔	-	-	0.254	0.291	0.553	1.166
Lock3		有り	-	-	✔	-	0.254	0.302	0.528	1.220
Lock4		有り	✔	✔	✔	-	0.257	0.289	0.583	1.224
Lock5	UII	有り	✔			-	0.491	0.492	0.505	0.500
Lock6	USER	有り		✔		-	0.509	0.336	0.523	0.505
Lock7	UII or USER	有り			✔	-	0.504	0.270	0.529	0.510
Lock8	UII and USER	有り	✔	✔	✔	-	0.505	0.505	0.507	0.507
Kill1		有り	✔	✔	✔	✔	0.507	0.266	0.544	0.863
Kill2	UII	有り	✔	✔	✔	✔	0.508	0.510	0.508	0.508
Kill3	USER	有り	✔	✔	✔	✔	0.510	0.509	0.511	0.510
Kill4	UII or USER	有り	✔	✔	✔	✔	0.507	0.509	0.509	0.510
Kill5	UII and USER	有り	✔	✔	✔	✔	0.510	0.508	0.506	0.507

【1 枚／4 枚アンテナ RF タグ 1 枚　Inventory/Read/Write】

表 2-2-5. 1 枚／4 枚アンテナ RF タグ 1 枚 Inventory/Read/Write 計測結果

計測条件							計測結果[s]							
RF タグ 1 枚	Mask	Pass	メモリ[bits]				アンテナ 1 枚（IC 種）				アンテナ 4 枚（IC 種）			
			UII	USER	RESE	TID	IC-X	IC-Y	IC-Z	IC-Y’	IC-X	IC-Y	IC-Z	IC-Y’
読取り 1			256	-	-	-	0.257	0.244	0.256	0.203	0.257	0.255	0.254	0.211
読取り 2			256	32	-	-	0.255	0.254	0.256	0.244	0.256	0.256	0.256	0.240
読取り 3			256	128	-	-	0.253	0.256	0.255	0.223	0.254	0.256	0.255	0.225
読取り 4			256	512	-	-	0.216	0.201	0.219	0.183	0.234	0.220	0.253	0.189
読取り 5			256	1024	-	-				0.426				
読取り 6	UII		256	512	-	-	0.244	0.226	0.249	0.207	0.247	0.247	0.256	0.205
読取り 7	USER		256	512	-	-	0.244	0.226	0.248	0.206	0.246	0.245	0.254	0.205
読取り 8	UII or USER		256	512	-	-	0.255	0.238	0.255	0.203	0.255	0.256	0.256	0.215
読取り 9	UII and USER		256	512	-	-	0.254	0.251	0.256	0.230	0.255	0.256	0.257	0.228
書込み 1			-	32	-	-	0.504	0.254	0.506	0.256	0.518	0.538	0.520	0.516
書込み 2			-	128	-	-	0.506	0.253	0.505	0.453	0.760	1.160	0.756	0.512
書込み 3			-	512	-	-	0.506	0.757	0.505	0.509	1.262	2.754	1.255	1.011
書込み 4	UII		-	512	-	-	0.555	1.006	0.507	0.505	1.257	2.756	1.258	1.227
書込み 5	USER		-	512	-	-	0.531	1.005	0.503	0.507	1.263	2.755	1.256	1.256
書込み 6	UII or USER		-	512	-	-	0.530	1.004	0.509	0.504	1.358	2.756	1.253	1.252
書込み 7	UII and USER		-	512	-	-	0.557	1.005	0.504	0.504	1.345	2.759	1.255	1.256

【1 枚／4 枚アンテナ RF タグ 5 枚　Inventory/Read/Write】

表 2-2-6. 1 枚／4 枚アンテナ RF タグ 5 枚 Inventory/Read/Write 計測結果

計測条件							計測結果[s]							
RF タグ 5 枚	Mask	Pass	メモリ[bits]				アンテナ 1 枚（IC 種）				アンテナ 4 枚（IC 種）			
			UII	USER	RESE	TID	IC-X	IC-Y	IC-Z	IC-Y’	IC-X	IC-Y	IC-Z	IC-Y’
読取り 1			256	-	-	-	0.101	0.088	0.087	0.073	0.168	0.149	0.144	0.251
読取り 2			256	32	-	-	0.186	0.152	0.170	0.144	0.256	0.453	0.402	0.429
読取り 3			256	128	-	-	0.174	0.136	0.148	0.117	0.277	0.413	0.453	0.415
読取り 4			256	512	-	-	0.110	0.105	0.111	0.105	0.390	0.381	0.397	0.383
読取り 5										0.280				
読取り 6	UII		256	512	-	-	0.243	0.226	0.250	0.207	0.246	0.255	0.255	0.266
読取り 7	USER		256	512	-	-	0.172	0.166	0.174	0.150	0.182	0.204	0.208	0.182
読取り 8	UII or USER		256	512	-	-	0.177	0.173	0.181	0.154	0.189	0.209	0.212	0.178
読取り 9	UII and USER		256	512	-	-	0.256	0.252	0.254	0.230	0.255	0.256	0.257	0.260
書込み 1			-	32	-	-	0.279	0.960	0.279	0.288	0.944	4.565	0.864	1.090
書込み 2			-	128	-	-	0.539	1.332	0.521	0.429	1.745	5.282	1.492	1.518
書込み 3			-	512	-	-	1.373	3.195	1.258	1.060	5.070		4.522	2.764
書込み 4	UII		-	512	-	-	0.505	1.007	0.506	0.509	1.410	2.756	1.253	0.810
書込み 5	USER		-	512	-	-	0.760	1.478	0.760	0.743	2.255	5.207	2.005	1.259
書込み 6	UII or USER		-	512	-	-	0.761	1.505	0.755	0.737	2.280	5.257	2.007	1.282
書込み 7	UII and USER		-	512	-	-	0.605	0.981	0.506	0.505	1.410	2.755	1.256	1.007

【1 枚／4 枚アンテナ RF タグ 15 枚　Inventory/Read/Write】

表 2-2-7. 1 枚／4 枚アンテナ RF タグ 15 枚 Inventory/Read/Write 計測結果

計測条件							計測結果[s]							
RF タグ 15 枚	Mask	Pass	メモリ[bits]				アンテナ 1 枚（IC 種）				アンテナ 4 枚（IC 種）			
			UII	USER	RESE	TID	IC-X	IC-Y	IC-Z	IC-Y’	IC-X	IC-Y	IC-Z	IC-Y’
読取り 1			256	-	-	-	0.067	0.071	0.068	0.060	0.372	0.253	0.192	0.307
読取り 2			256	32	-	-	0.159	0.254	0.146	0.243	0.716	0.727	0.771	0.779
読取り 3			256	128	-	-	0.148	0.226	0.246	0.233	0.674	0.759	0.755	0.783
読取り 4			256	512	-	-	0.196	0.196	0.199	0.205	0.769	0.778	0.759	0.911
読取り 5										0.565				
読取り 6	UII		256	512	-	-	0.245	0.226	0.247	0.257	0.256	0.245	0.247	0.249
読取り 7	USER		256	512	-	-	0.170	0.165	0.172	0.209	0.201	0.177	0.197	0.188
読取り 8	UII or USER		256	512	-	-	0.178	0.170	0.180	0.215	0.208	0.204	0.200	0.187
読取り 9	UII and USER		256	512	-	-	0.254	0.251	0.256	0.256	0.256	0.252	0.256	0.256
書込み 1			-	32	-	-	0.652	3.737	0.559	0.578	2.491	5.203	2.677	2.409
書込み 2			-	128	-	-	1.214	3.886	1.090	1.159	5.122	5.506	4.805	4.285
書込み 3			-	512	-	-	3.664		3.306	3.136	15.423		13.722	8.793
書込み 4	UII		-	512	-	-	0.531	0.980	0.507	0.545	1.336	2.756	1.254	0.885
書込み 5	USER		-	512	-	-	0.756	1.481	0.757	0.785	2.255	5.205	2.006	1.264
書込み 6	UII or USER		-	512	-	-	0.762	1.482	0.763	0.757	2.254	5.258	2.004	1.261
書込み 7	UII and USER		-	512	-	-	0.509	1.007	0.505	0.557	1.508	2.759	1.254	1.008

【1 枚／4 枚アンテナ RF タグ 30 枚　Inventory/Read/Write】

表 2-2-8. 1 枚／4 枚アンテナ RF タグ 30 枚 Inventory/Read/Write 計測結果

計測条件							計測結果[s]							
RF タグ 30 枚	Mask	Pass	メモリ[bits]				アンテナ 1 枚（IC 種）				アンテナ 4 枚（IC 種）			
			UII	USER	RESE	TID	IC-X	IC-Y	IC-Z	IC-Y’	IC-X	IC-Y	IC-Z	IC-Y’
読取り 1			256	-	-	-	0.060	0.095	0.098	0.121	0.497	0.307	0.417	0.380
読取り 2			256	32	-	-	0.257	0.413	0.256	0.679	2.084	2.693	1.485	2.648
読取り 3			256	128	-	-	0.257	0.511	0.269	0.597	2.392	2.784	1.405	3.013
読取り 4			256	512	-	-	0.483	0.943	0.518	0.877	3.297	4.122	2.745	3.587
読取り 5										1.329				
読取り 6	UII		256	512	-	-	0.244	0.226	0.247	0.175	0.246	0.226	0.249	0.211
読取り 7	USER		256	512	-	-	0.173	0.165	0.172	0.148	0.193	0.167	0.194	0.173
読取り 8	UII or USER		256	512	-	-	0.177	0.172	0.181	0.152	0.197	0.173	0.201	0.176
読取り 9	UII and USER		256	512	-	-	0.255	0.252	0.254	0.227	0.256	0.252	0.255	0.237
書込み 1			-	32	-	-	1.166	7.515	1.100	1.226	4.864	30.883	4.299	4.736
書込み 2			-	128	-	-	2.382		2.164	2.292	10.049	31.927	9.177	9.191
書込み 3			-	512	-	-	7.587		6.746	6.182	30.140		27.251	25.108
書込み 4	UII		-	512	-	-	0.605	1.002	0.510	0.505	1.506	2.759	1.254	1.239
書込み 5	USER		-	512	-	-	0.758	1.456	0.756	0.745	2.261	5.247	2.005	1.759
書込み 6	UII or USER		-	512	-	-	0.762	1.458	0.756	0.737	2.259	5.248	2.007	1.757
書込み 7	UII and USER		-	512	-	-	0.682	1.005	0.504	0.507	1.504	2.755	1.256	1.255

2.3 地域差特性検証

2.3.1 各国の周波数及び出力

今回、実証試験している UHF 帯 RFID については、国ごとに使用できる周波数帯と最大出力が規定されており、EPCglobal の調査結果では、**グラフ 2-3-1.** ～**2-3-2.** の通りとなっている。

参考資料：**GS1 Regulatory status for using RFID in the EPC Gen 2 (860 to 960 MHz) band of the UHF spectrum (30 November 2016)**

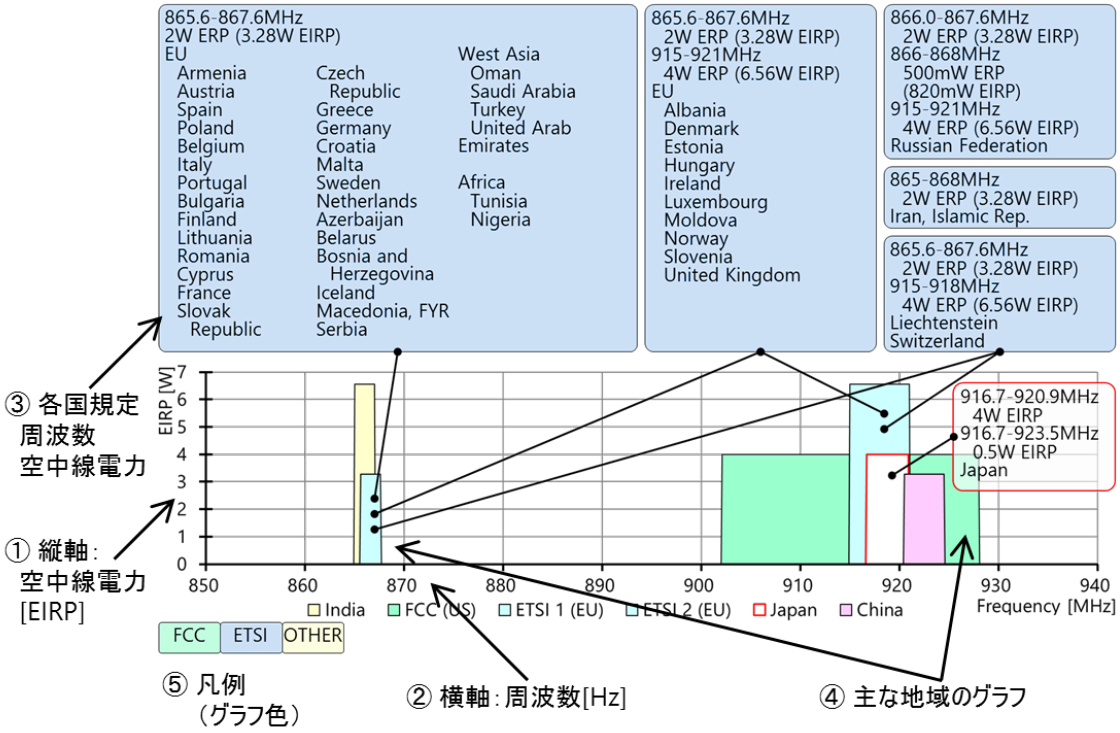


図 2-3-1. 各国の UHF 帯 RFID の周波数と最大出力グラフ説明

グラフ 2-3-1. ～**2-3-3.** のグラフは**図 2-3-1.** の通りの内容で記載しており、各部の説明は以下の通りである。

① 縦軸 ：各国の最大空中線電力（アンテナから外へ発せられる電波の強さ）を EIRP（(等価等方放射電力 Equivalent Isotropic Radiated Power）換算値として表記。

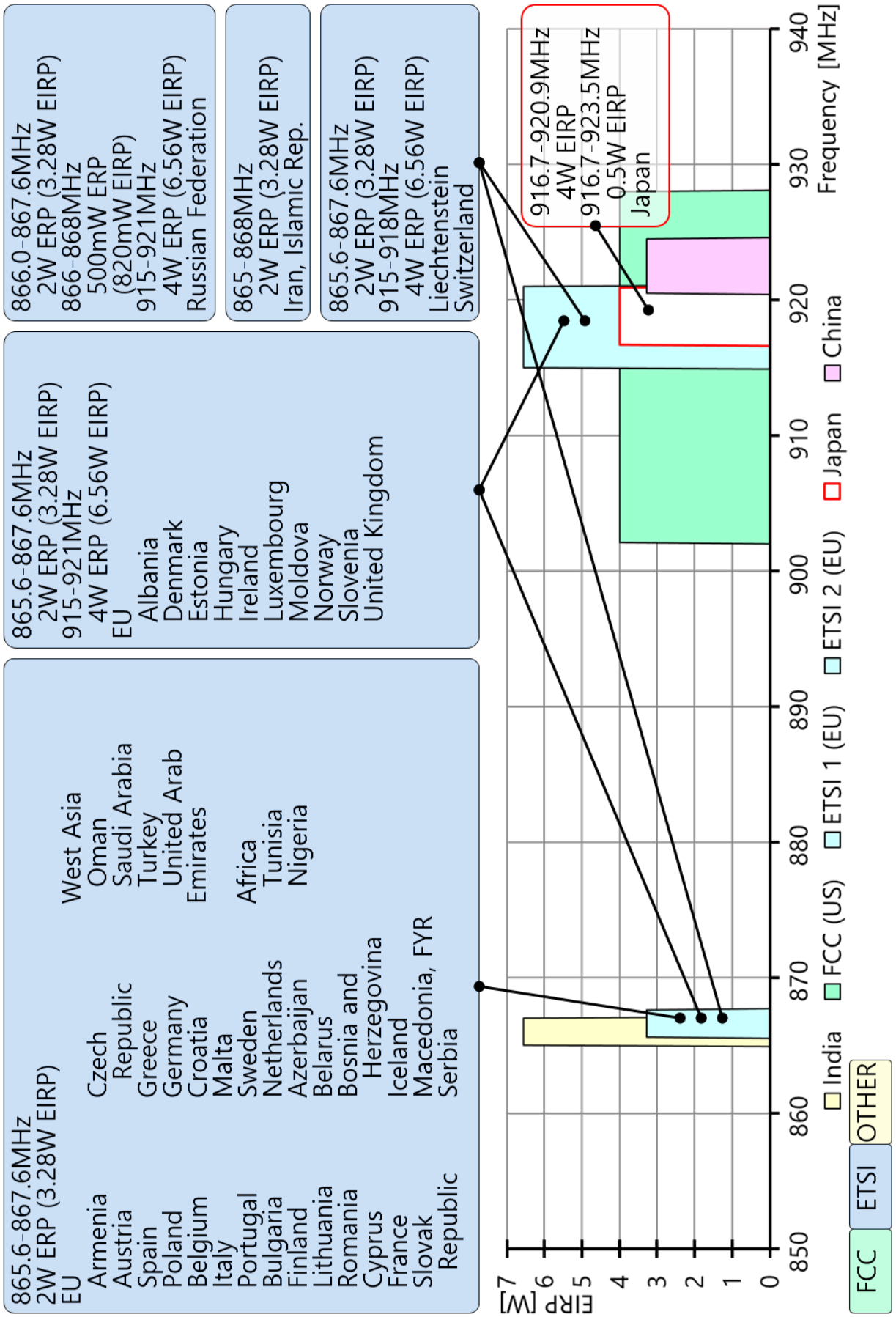
② 横軸 ：各国の使用できる周波数[Hz]

③ 規定（周波数、出力）ごとにまとめた国名

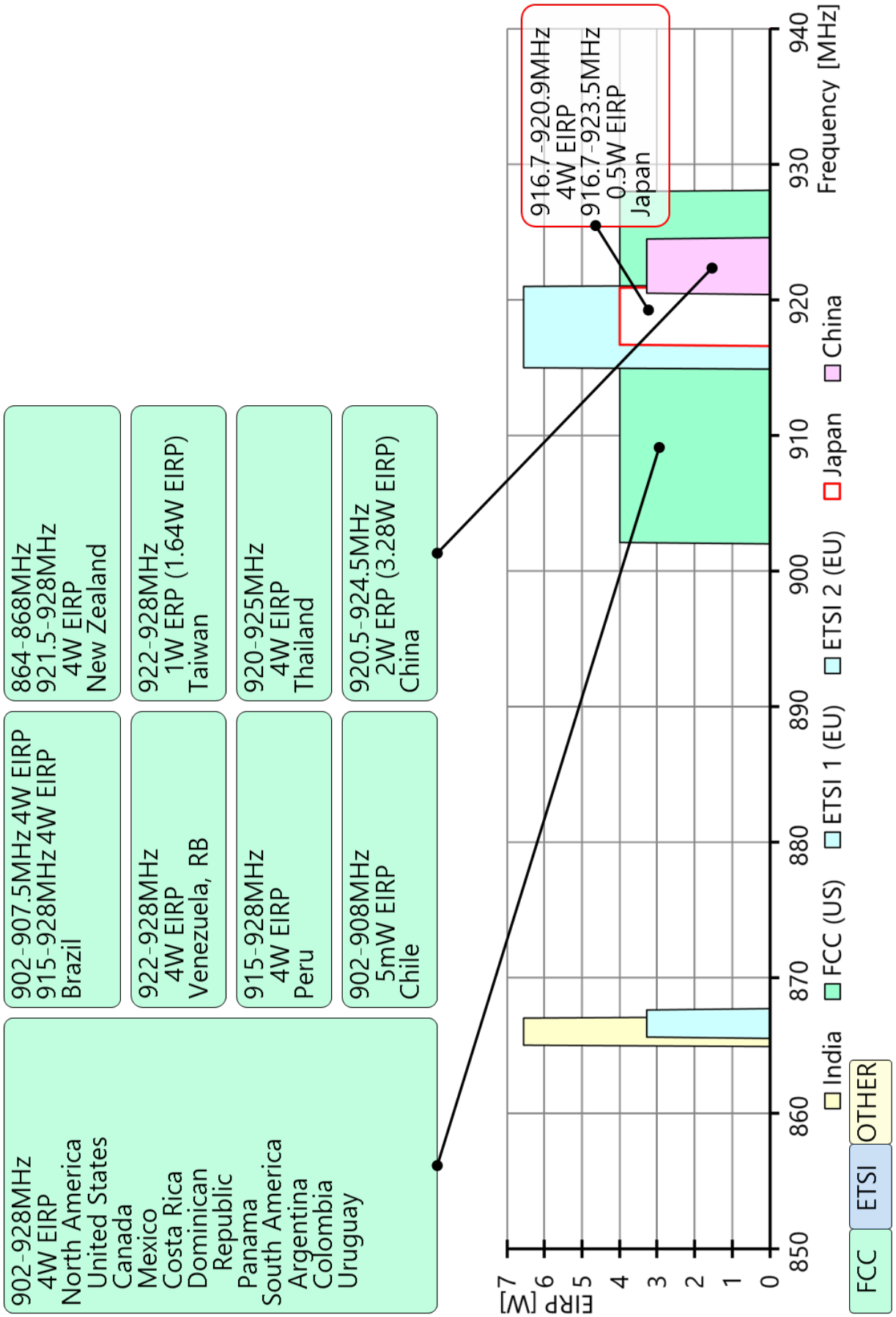
④ 主な地域のグラフ（表記していない国もある。）

⑤ 凡例（グラフ色）

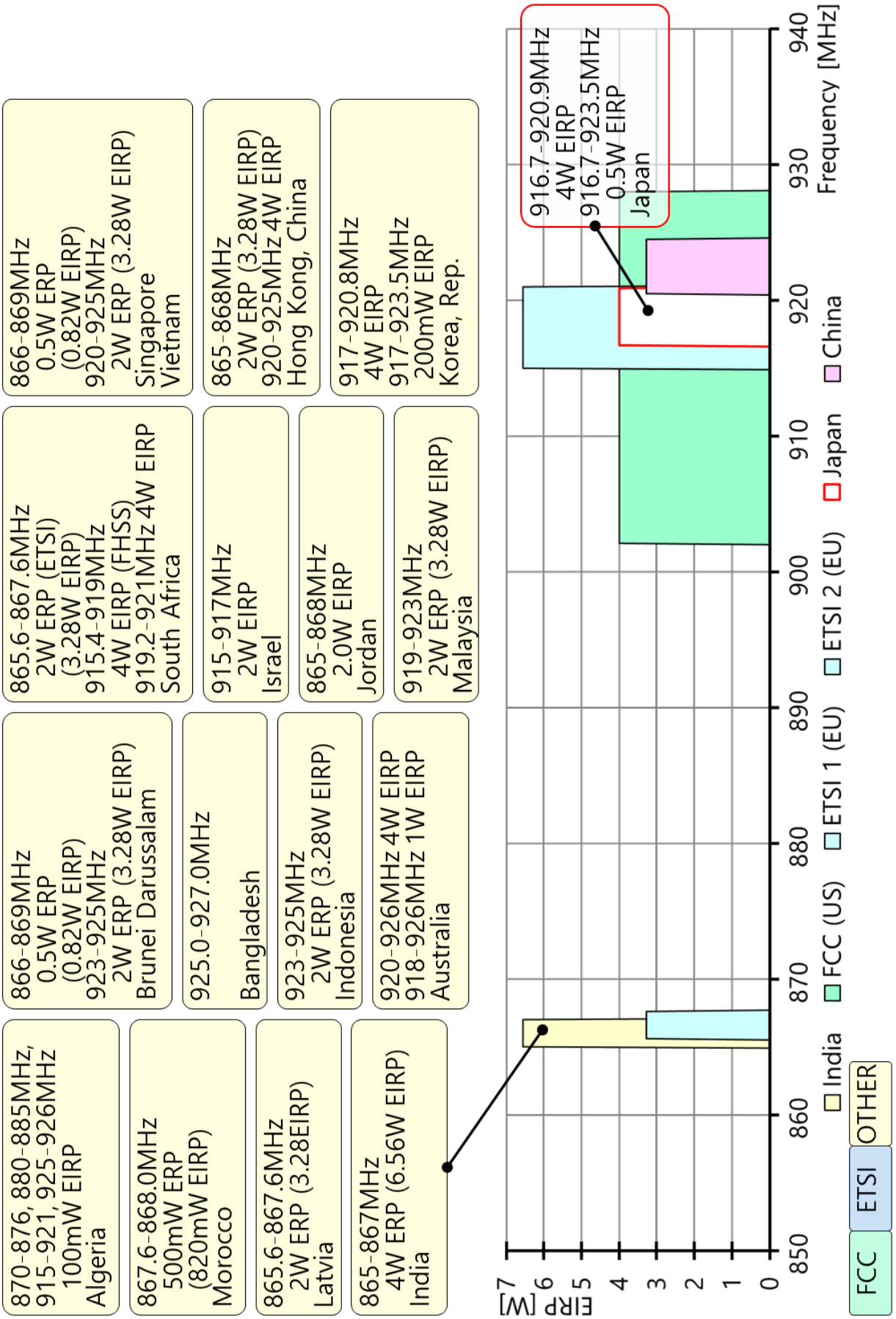
- FCC ：連邦通信委員会（Federal Communications Commission）規定
- ETSI ：欧州電気通信標準化機構（European Telecommunications Standards Institute）規定
- OTHER ：上記規格以外、その他の各国規定



グラフ 2-3-1. 各国の UHF 帯 RFID の周波数と最大出力①



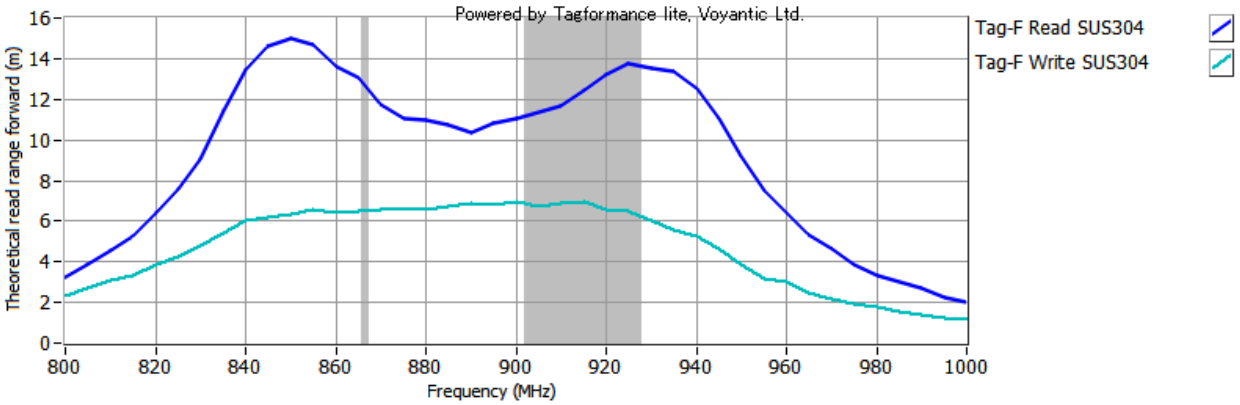
グラフ 2-3-2. 各国の UHF 帯 RFID の周波数と最大出力②



グラフ 2-3-3. 各国の UHF 帯 RFID の周波数と最大出力③

2.3.2 交信可能距離の確認例

地域差特性の検証例として、本年度大容量 RF タグ評価を行った Tag-F について、実証実験を行った日本、インド、ドイツの交信可能距離を確認する。



グラフ 2-3-4. 大容量 RF タグ（Tag-F）読取り／書込み可能距離ー周波数特性

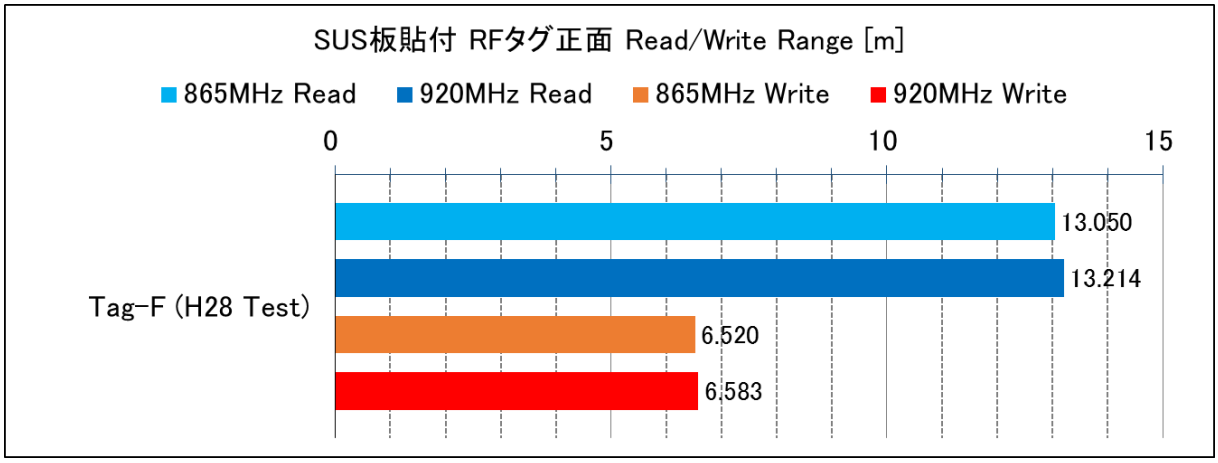
大容量 RF タグ基本評価（交信可能距離）の結果より Tag-F の読取り／書込み可能距離は、**グラフ 2-3-4.** の通りである。交信可能距離の確認を行う地域の使用周波数帯及び最大出力は、**グラフ 2-3-1.** ～**2-3-3.** から表 2-3-1. の通りである。

地域名	各国規制		最大空中線電力 EIRP 換算値
	周波数[MHz]	最大空中線電力	
日本	916.7-923.5	4W EIRP	4　W EIRP
インド	865-867	4W ERP	6.56W EIRP
ドイツ	865.6-867.6	2W ERP	3.28W EIRP

表 2-3-1. 日本、インド、ドイツの周波数帯と最大空中線電力

空中線電力の ERP から EIRP への換算式は、式(7)（P.36）に記載している。使用周波数には幅があるが、今回の検証では、日本を 920MHz、インド、ドイツを 865MHz として確認を行う。

グラフ 2-3-4. から 865MHz 及び 920MHz の交信可能距離を読み取ると、それぞれの周波数の読取り可能距離及び書込み可能距離は、**グラフ 2-3-5.** の通りとなる。



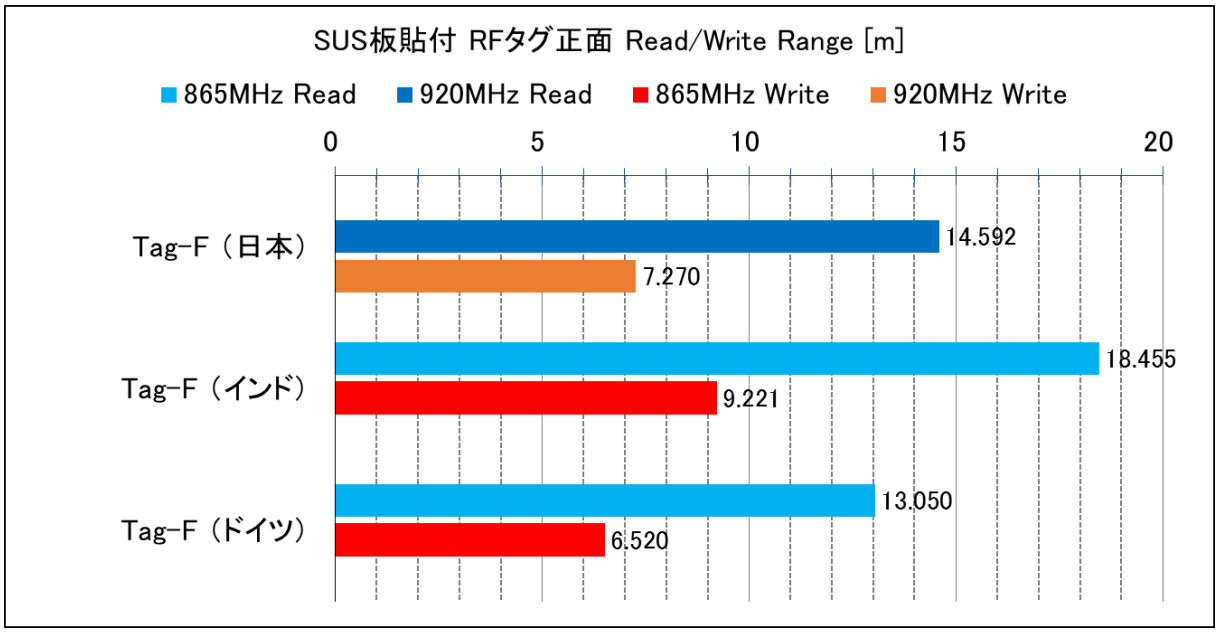
グラフ 2-3-5. 大容量 RF タグ 865MHz、920MHz 読取り／書込み可能距離

（R/W 送信波 3.28W EIRP 直線偏波の場合）

大容量 RF タグ基本評価（交信可能距離）で使用した RFID 評価測定器は、リーダライタの送信波が空中線電力 3.28W EIRP（2W ERP）の直線偏波を条件（P.33 **2.1.1.5 計測機器** ① RFID 評価測定器 参照）として評価しているので、リーダライタの送信波を各地域の最大空中線電力とする場合には、更に換算が必要となる。

今回確認する各地域の最大空中線電力の換算式は式(10)の通りであり、換算した結果はグラフ 2-3-6. の通りとなる。

$$
\begin{aligned}
&4\ [W]\text{EIRP のとき} \quad R_{max} = \text{（グラフ 2-3-5.の値）} \times \sqrt{\frac{4[W]}{3.28[W]}}[m] \\
&6.56[W]\text{EIRP のとき} \quad R_{max} = \text{（グラフ 2-3-5.の値）} \times \sqrt{\frac{6.56[W]}{3.28[W]}}[m] \\
&3.28[W]\text{EIRP のとき} \quad R_{max} = \text{（グラフ 2-3-5.の値）}[m]
\end{aligned}
\tag{10}
$$



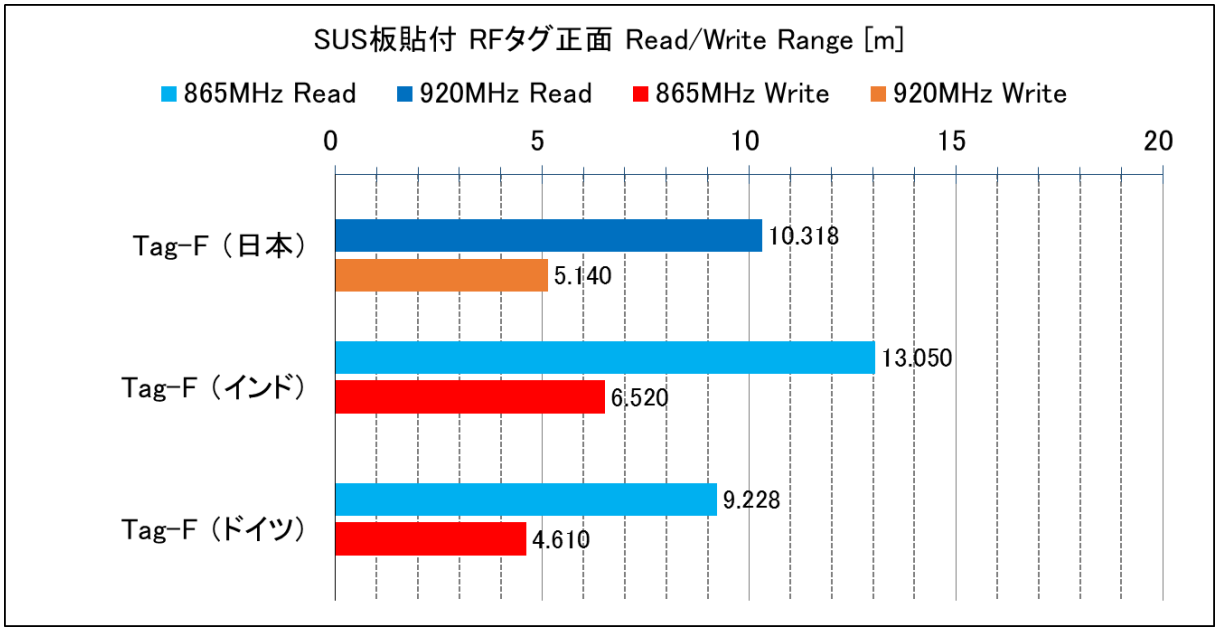
グラフ 2-3-6. 大容量 RF タグ 地域（日本、インド、ドイツ）別 読取り／書込み可能距離

（R/W 送信波 各地域最大出力 直線偏波の場合）

更に、実際の現場では RF タグの方向を統一化することが困難で、直線偏波アンテナでは無く円偏波アンテナを使用する場合が多い。そこで、グラフ 2-3-6. の結果を円偏波アンテナの場合で換算してみる。直線偏波アンテナから円偏波アンテナへの換算は、直線偏波の利得から 3dB 減算したものが円偏波の利得となることから、次の式で換算が可能である。

$$\begin{gathered}\text{直線偏波利得} - 3\text{dB} = \text{円偏波利得} \\ -3\text{dB のゲインは } \frac{1}{2} \text{ であるので以下の式が成り立つ} \\ \text{直線偏波の交信距離}[m] \times \sqrt{\frac{1}{2}} = \text{円偏波の交信距離}[m]\end{gathered} \tag{13}$$

リーダライタへ円偏波アンテナを用いて、出力を各地域の最大空中線電力とした場合の結果は、**グラフ 2-3-7.** の通りとなる。



グラフ 2-3-7. 大容量 RF タグ 地域（日本、インド、ドイツ）別 読取り／書込み可能距離

（R/W 送信波 各地域最大出力 円偏波の場合）

以上より、今回評価した大容量 RF タグ（Tag-F）の日本、インド、ドイツの各地域での使用について、使用する RFID システム（リーダライタ、ケーブル、アンテナなど）の空中線電力の値と、使用するアンテナ種（直線偏波又は円偏波アンテナ）が同一であれば、ほぼ同じ交信可能距離となる（**グラフ 2-3-5.** の通り）。しかし、各地域の最大空中線電力で RFID システムを構築した場合には、交信可能距離に違いがありインド＞日本＞ドイツの順番となる（**グラフ 2-3-6.** の通り）。更に、地域によって使用するアンテナ（直線偏波又は円偏波アンテナ）が異なる場合や、空中線電力をその地域の最大値で使用できない場合などは、交信可能距離の順番が変化するので、地域の条件に加えて実際に使用する RFID システムの条件で換算する必要がある。

また、上記確認は評価用ステンレス板へ RF タグを貼付した場合で行っているので、金属製 RTI へ取付けた場合には、取付け対象の形状やサイズで交信可能距離が変化することに注意が必要である。（H27 年度実証実験で、金属製 RTI へ取付ける想定で各条件の交信可能距離の評価を行っている。）

2.4 RFタグ適用化評価

2.4.1 耐候性試験の追加試験結果

RF タグの金属製 RTI 管理用途への適用化評価の結果は、**表 1-5.**、**1-6.** の通りであるが、本年実施した耐候性試験について、下記**表 2-4-1.** の追加試験を行ったので結果を報告する。

表 2-4-1. 耐候性試験 追加試験項目

No.	試験項目	試験条件	結果
13	変色試験	120 分 光照射（そのうち 18 分シャワ）のサイクルを 3000 時間	① △ダイレクトマーキングサンプルは 2 次元シンボルのグレードが C→D へ低下した ② ○塗装レーザマーキングサンプルは 2 次元シンボルのグレードに変化は無かった （グレード B→B）
14	防じん試験	IP 5X （耐候性試験後のサンプル使用）	○問題無し
15	防水試験	IP X6 （耐候性試験後のサンプルを使用）	○問題無し

2.4.1.1 変色試験

RF タグを使用する場合、目視確認及び IC 故障時のバックアップ用として RF タグ表面へ目視文字や 2 次元シンボルを印字、レーザマーキングする場合が多い。今回は金属製 RTI 管理用途として樹脂筐体の RF タグを選定していることから、運用時に使用される可能性が高いレーザマーキングを行い、耐候性試験前後のマーキングの評価を行った。

2.4.1.1.1 試験サンプル（RF タグ）

① ダイレクトマーキングサンプル

H27 年度実証実験使用 RF タグ Tag-A の筐体（薄桃色 PC 材）へ直接 2 次元シンボルをレーザマーキング（ファイバレーザ使用）したサンプル。レーザマーキングした 2 次元シンボルは、薄桃色地（筐体樹脂食）にグレー色パターン（レーザで発色）。（レーザマーカで発色する添加剤は使っていない。）

写真 2-4-1. ダイレクトマーキングサンプル

② 塗装レーザマーキングサンプル

H27 年度実証実験使用 RF タグ Tag-A を黒色の PC 材で製作し、白色ベタ塗装を行った後、2 次元シンボルをレーザマーキング（ファイバレーザ使用）したサンプル。レーザマーキングした 2 次元シンボルは、白色地（塗装色）に黒色パターン（レーザで表面塗装を飛ばし樹脂色でパターンを作成）。

写真 2-4-2. 塗装レーザマーキングサンプル

2.4.1.1.2 試験結果

耐候性試験 3000 時間前後の各サンプルのレーザマーキングの評価及び黄色味（b*値）上昇度（①ダイレクトマーキングサンプルは筐体樹脂について、②塗装レーザマーキングサンプルは白色塗装について実施）を確認し、結果は

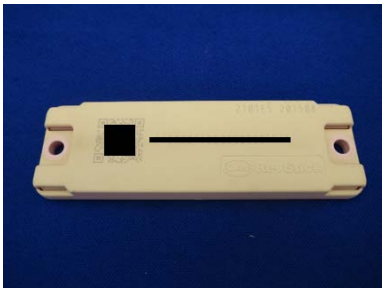
試験サンプル	耐候試験前	耐候試験後 （3000 時間：10 年分相当）
① ダイレクトマーキングサンプル		
2 次元シンボルグレード	B	B
黄色味上昇度（Δb*値）		Δb* 1.24
② 塗装レーザマーキングサンプル		
2 次元シンボルグレード	C	D
黄色味上昇度（Δb*値）		Δb* 12.6

表 2-4-1. 変色試験結果

今回の結果では、塗装レーザマーキングサンプルの劣化が殆ど無く、樹脂筐体の RF タグへの 2 次元シンボル等の刻印を長期屋外運用する場合に適している結果となった。また、ダイレクトマーキングについては、今回 RF タグの筐体として使用したポリカーボネート（PC 材）はレーザマーキングで発色し難い材料なので、使用する樹脂やレーザマーキングの種類を選定することで改善することもある。ただし、耐熱性が高い樹脂やバージン材が透明な樹脂は発色がし難い傾向にある。

2.4.1.2 防じん試験

耐候性試験後の RF タグ Tag-A（H27 年度実証実験使用 RF タグ）について防じん試験（IP 5X）を実施した。防じん試験前後で交信可能距離（読取り距離を計測）の変化が無いことを確認した。

RF タグ筐体内へ塵埃の侵入は確認されなかったが、試験後ダイレクトマーキングした 2 次元シンボルが読取り不可能となるサンプルがあった（2 個／10 個中）。

2.4.1.3 防水試験

耐候性試験後の RF タグ Tag-A（H27 年度実証実験使用 RF タグ）について防水試験（IP X6）を実施した。防水試験前後で交信可能距離（読取り距離を計測）の変化が無いことを確認した。

RF タグ筐体内へ水の浸入は確認されなかった。

この研究は、株式会社野村総合研究所からの委託で実施したものの成果である。

本件についてのお問合せ先

（内容等）
〒240-0062 神奈川県横浜市保土ヶ谷区岡沢町 22-4
TEL：045-331-5161
東洋製罐グループホールディングス株式会社 綜合研究所