

メタマテリアル電波散乱シート —貼るだけで5G電波の不感地帯をなくす—

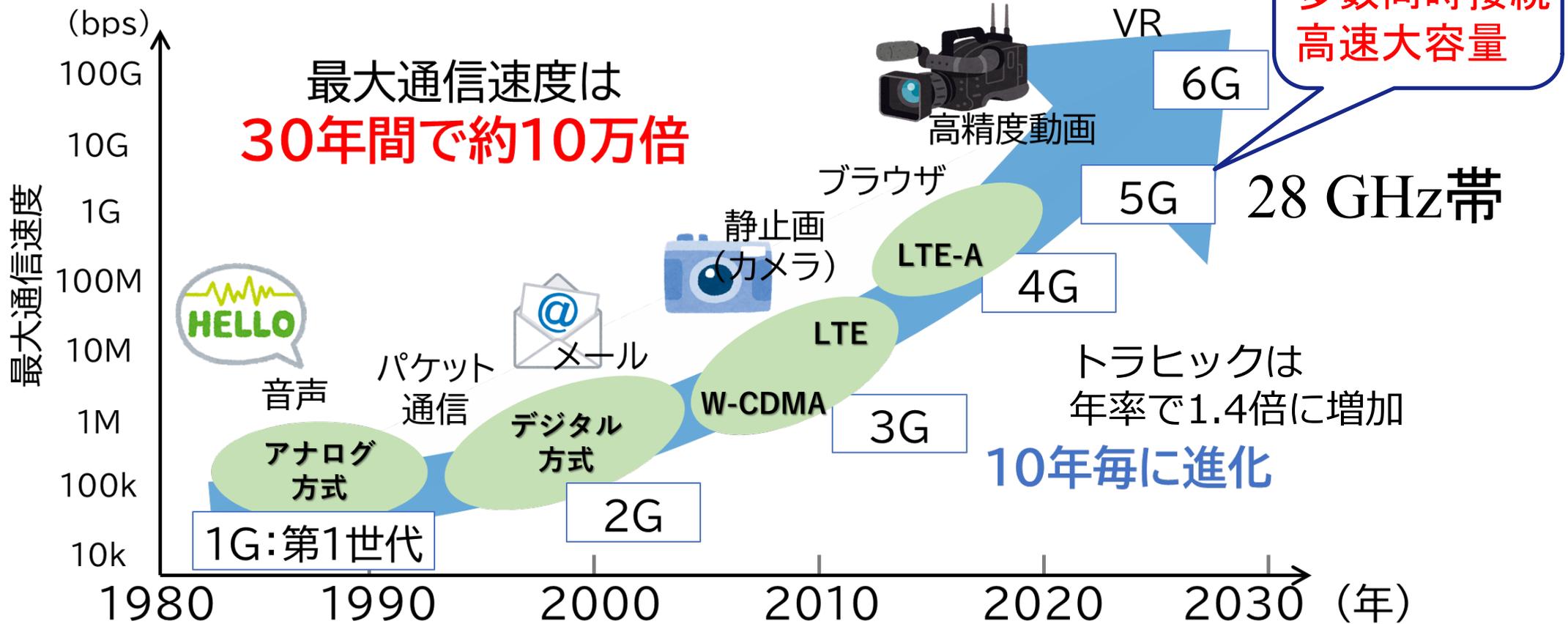
国立研究開発法人情報通信研究機構
電磁波研究所電磁波標準研究センター
電磁環境研究室 協力研究員

国立大学法人電気通信大学
情報理工学研究科 情報・ネットワーク工学専攻 助教

村上 靖宜

2024年10月24日

シャノンの定理 (B :帯域幅)
通信容量 $C = B \log_2(1 + S/N)$



https://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/policyreports/joho_tsusin/5th_generation/index.html

広い帯域幅の確保
➡ 高い周波数の利用

背景2: ミリ波帯での無線通信の弱点



極超短波

300 MHz
~3 GHz

マイクロ波

3 GHz
~ 30 GHz

ミリ波

30 GHz
~ 300 GHz

通信容量

使用帯域幅を広くできるため高速・大容量通信に適している

伝達距離

伝搬損失が大きくなり、伝達距離が短く通信カバレッジが狭くなる

障害物の影響

直進性が強くなり障害物の後ろに回り込みが少なくなる



フリスの伝達公式
$$P_r = \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 G_r G_t P_t$$

P_r : 受信電力 [dBm]

G_t : 送信アンテナ利得 [dBi]

P_t : 送信電力 [dBm]

λ : 波長 [m]

G_r : 受信アンテナ利得 [dBi]

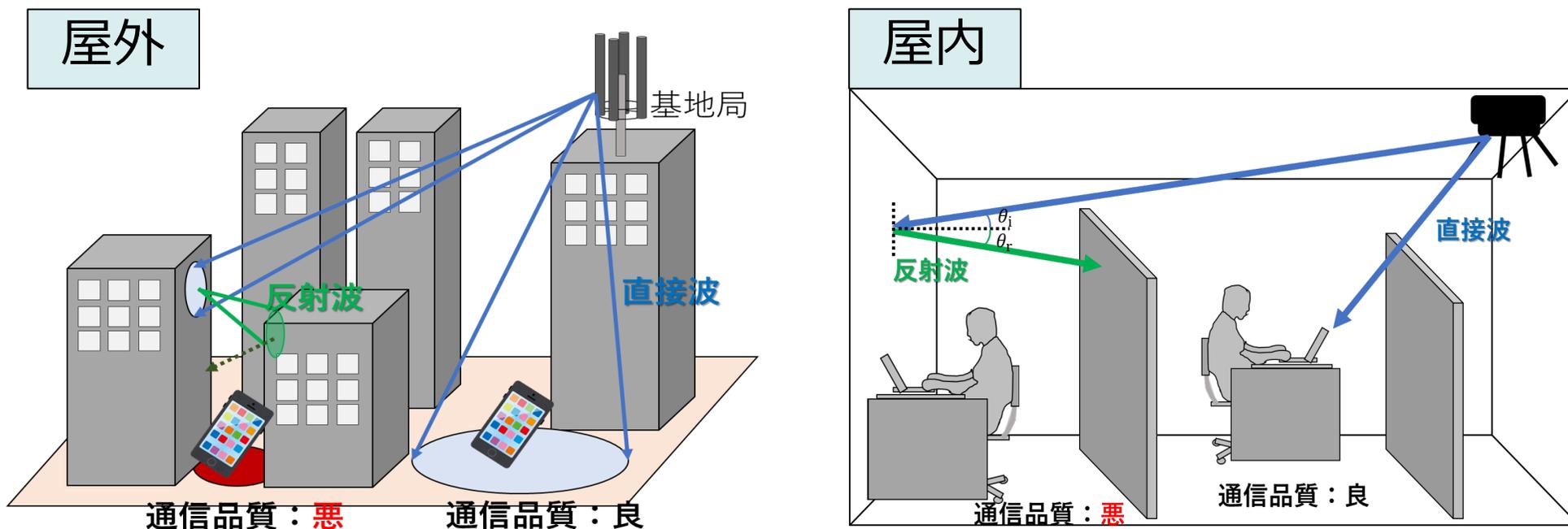
d : 送受信アンテナ間距離 [m]

同じ通信速度が実現できる伝達距離は....

(条件: 同じ電力・帯域幅・アンテナ利得)

周波数(波長)	2.4 GHz (125 mm)	28 GHz (10.7 mm)
距離	12 m	1 m

直接波も反射波も届かない領域が生じ通信品質が劣化



不感地帯ある受信アンテナ対して

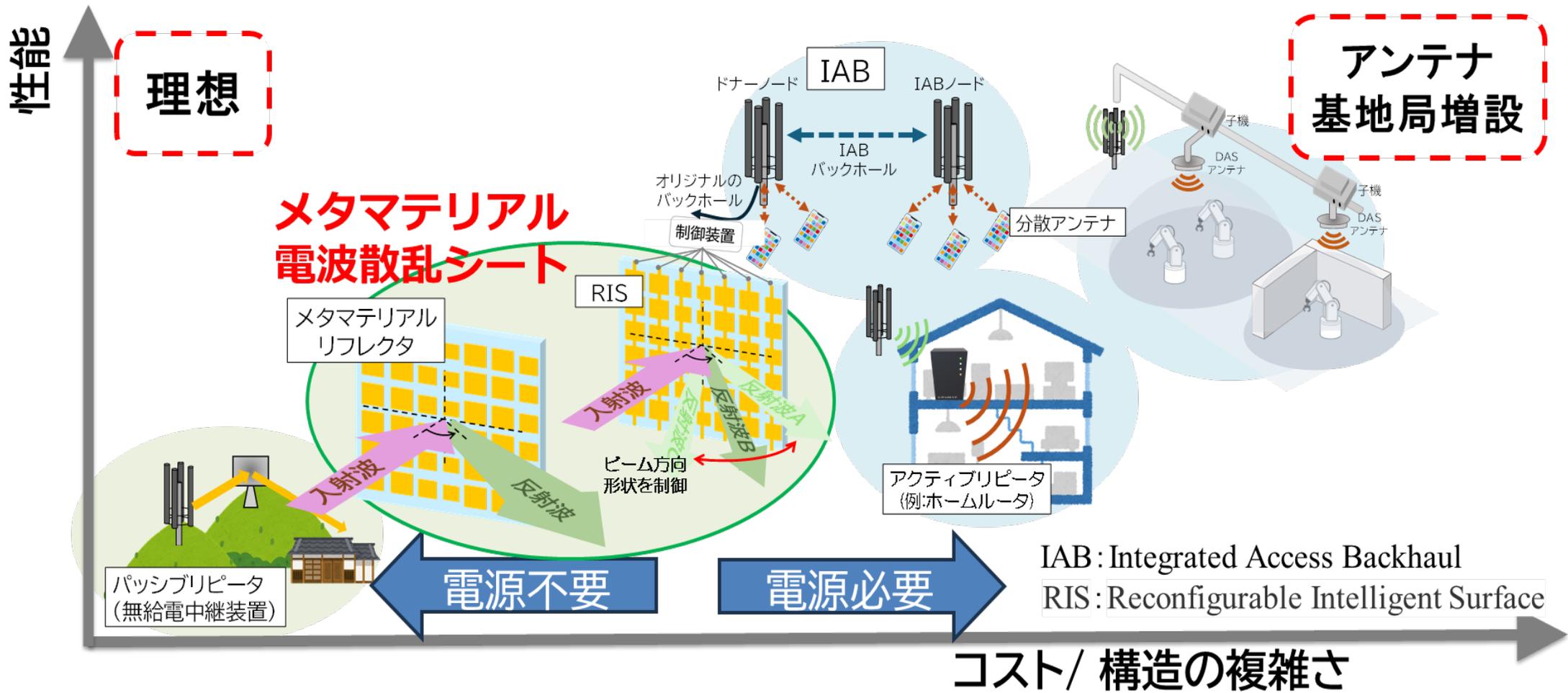
「電波をいかに到達させるか?」が重要

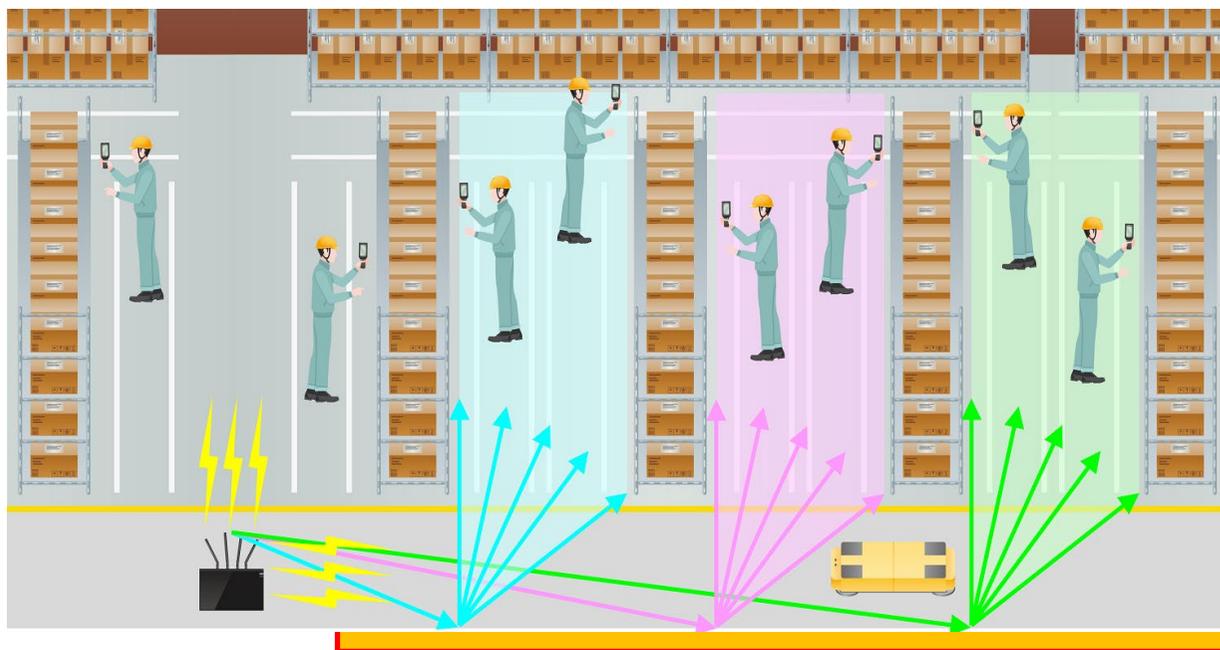
— 解決方法は基本的には2つ

【1】直接波を受信アンテナに到達させる

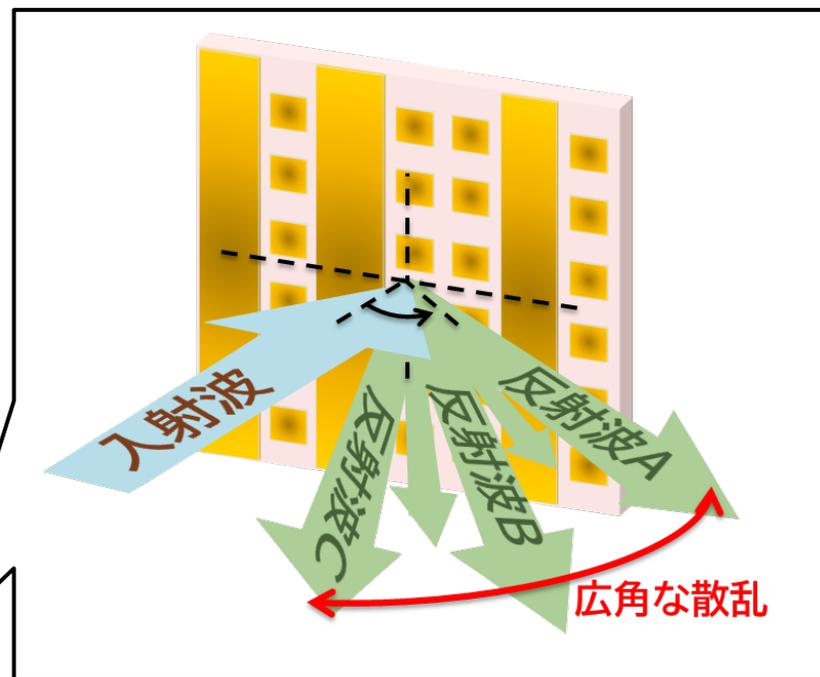
【2】反射波を受信アンテナに到達させる

【1】直接波を受信アンテナに到達させる 【2】反射波を受信アンテナに到達させる



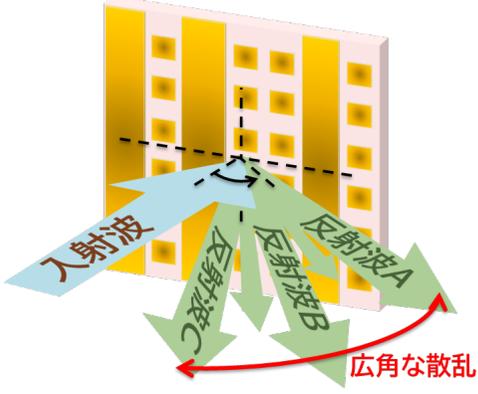
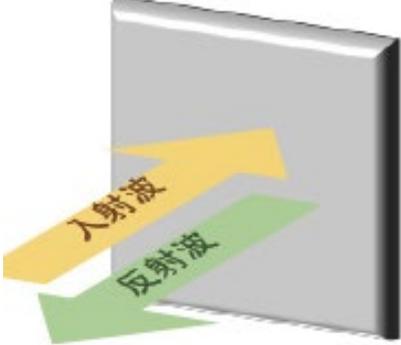
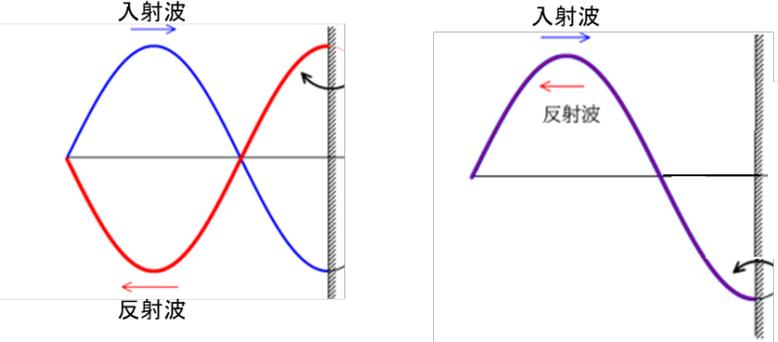
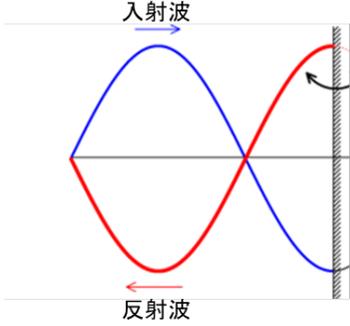


https://www.nict.go.jp/riac/usecase_Scattering_ver1.html

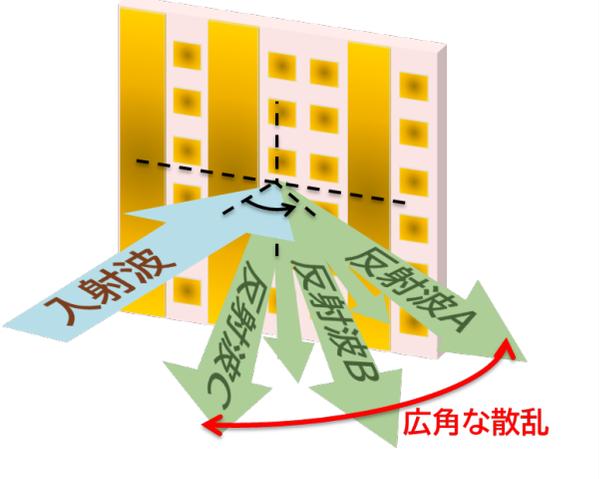
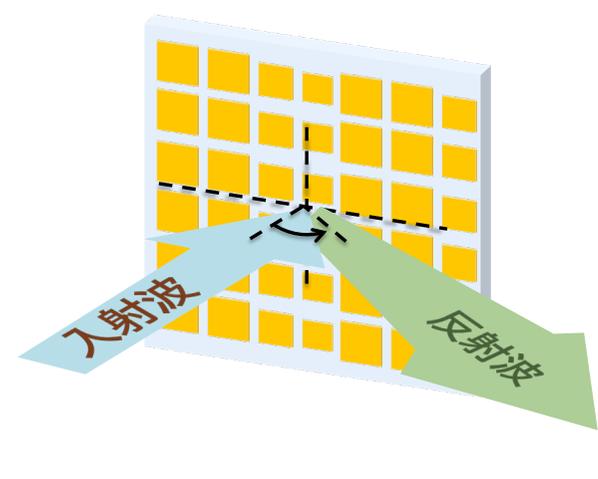
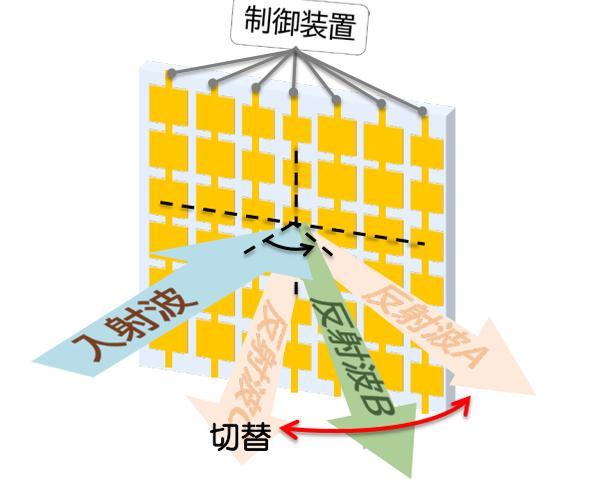


【特長】

- 電源不要で、電波が届きづらい場所における5G通信品質を改善
- アクセスポイントから見通せる場所に貼るだけで効果を発揮
(電波に関する専門的な知識は不要)
- 壁紙・塗料等の保護層を設けることで、意匠性・耐候性の向上だけでなく、電波の散乱性能も向上

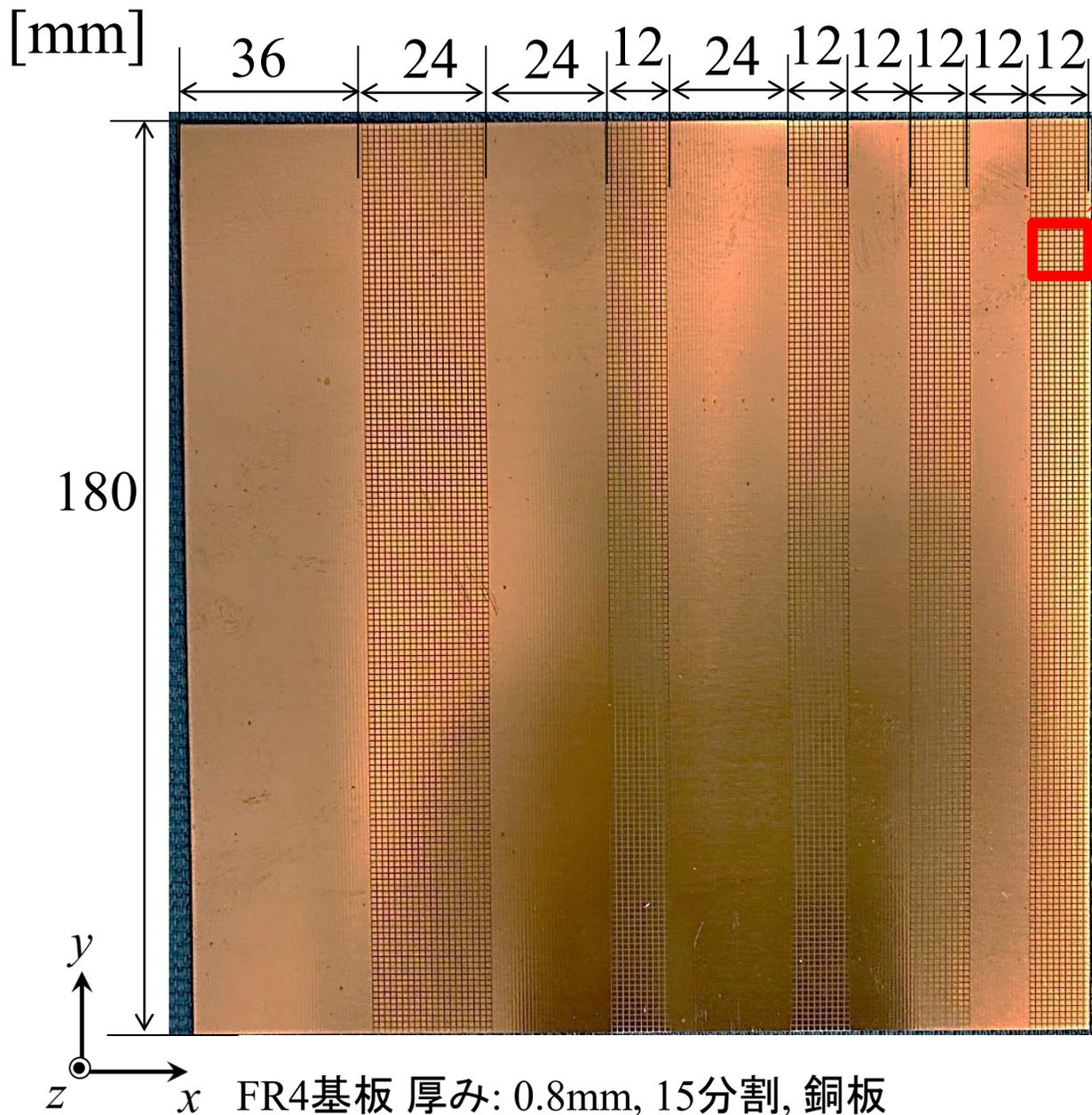
	メタマテリアル電波散乱シート	通常の金属平板
散乱	広角な散乱パターン	一方向に鋭い散乱パターン
図		
表面	電流分布が一様ではない	電流分布が一様 (同相・同振幅)
方法	<p>表面での反射位相が0° (メタマテリアル)と180°の異なる部分を組み合わせ</p> 	<p>表面での反射位相は180°で均一</p> 

メタマテリアル電波散乱シートと類似技術との比較

	電波散乱シート	メタサーフェス	RIS
			
反射波	入射角 ≠ 反射角 (複数)	入射角 ≠ 反射角 (一方向)	入射角 ≠ 反射角 (切替)
送信	複数の方向	特定の1方向	特定の1方向 (切替)
受信	複数の方向	特定の1方向	特定の1方向 (切替)
受信強度	散乱されるため弱い	設計した方向に強い	特定方向に強い (切替)
設計	○	○	△
コスト	◎	○	△

電波散乱シートのユースケース

	ケース1	ケース2	ケース3
図			
用途	不特定多数の利用者の移動端末がアクセスポイントから見通し外の位置にきたとしても、途切れず通信できる環境の構築	移動端末(ロボット・AGV等)との途切れない無線通信の実現	アクセスポイントやレピーターの設置が困難な場所における通信品質の改善
場所	オフィス・ホテル・学校・病院	工場・物流センター	工事現場



【構造】

- ・銅箔部分と正方形部分(メタマテリアル)の組み合わせ
- ・銅表面に壁紙、コーティング剤

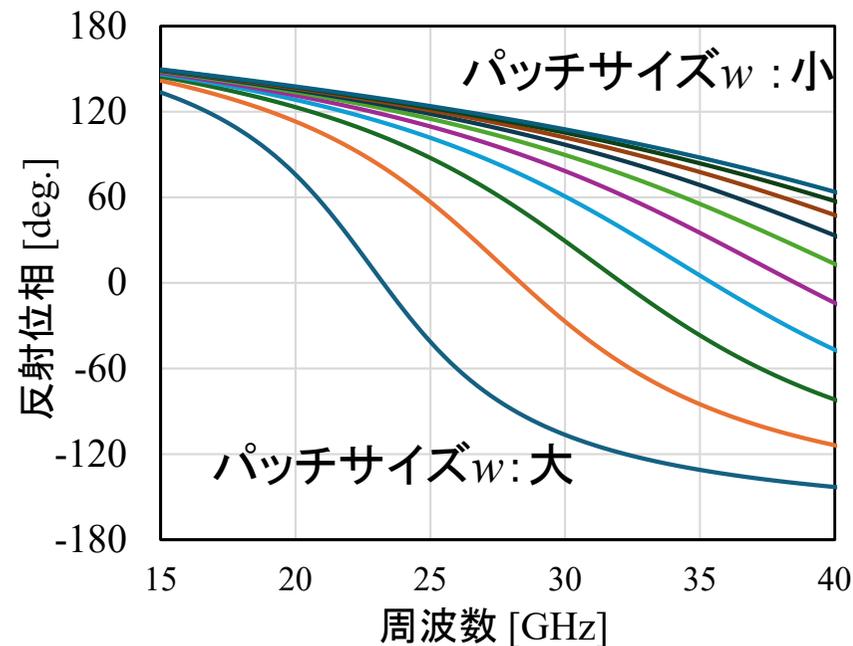
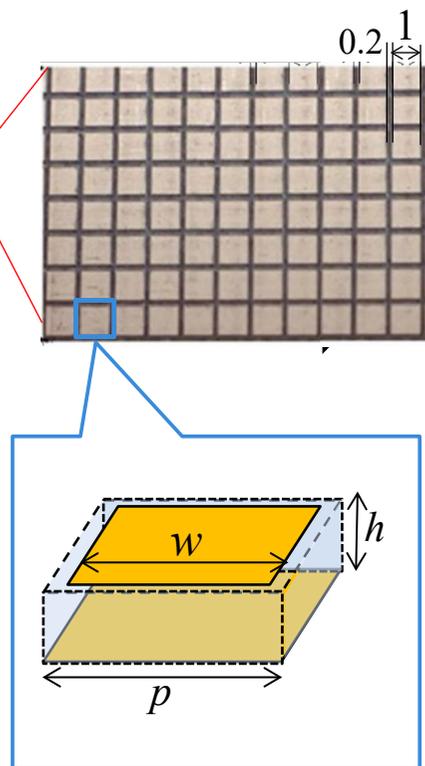
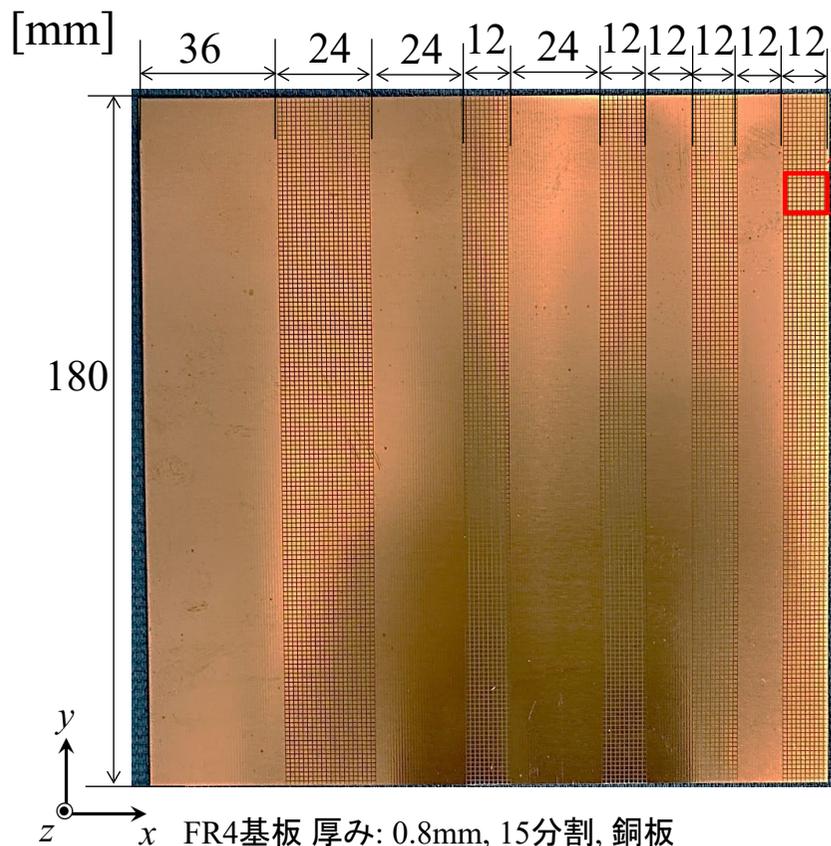
【性能】

- ・ xz 平面で広角な散乱

【使用方法】

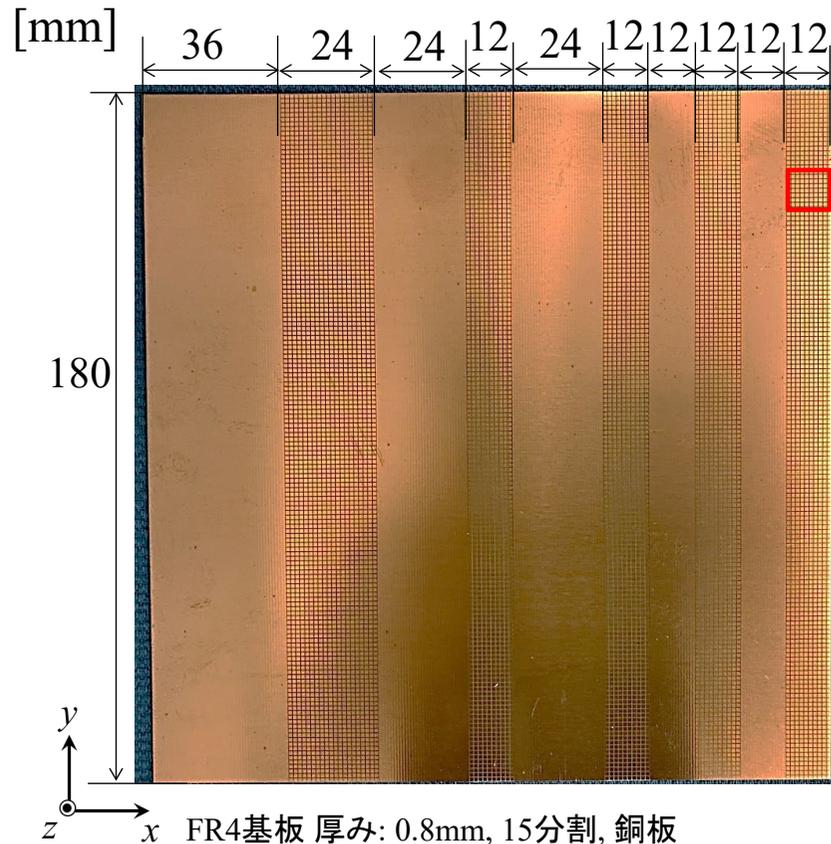
- ・壁紙のように貼って使用(複数枚)
- ・電源不要

設計について:メタマテリアルの大きさ



28 GHzで**反射位相 0°**
: 正方形(パッチ)の大きさ、
厚みで調整

電磁界シミュレーションを用いなくても、
等価回路に置き換えた簡易な式で反射位相を導出可能



28GHzの**散乱パターン**が最も広角になるように2種類の面を適切設計

例)

全体サイズ 180 mm × 180 mm
領域を15分割: 1つの領域の長さ 15 mm
各領域に 0° 又は 180° を割当
→ 全ての組み合わせ 2^{15}

組み合わせの決定法:

遺伝的アルゴリズム(GA: Genetic Algorithm)で高速な設計が可能

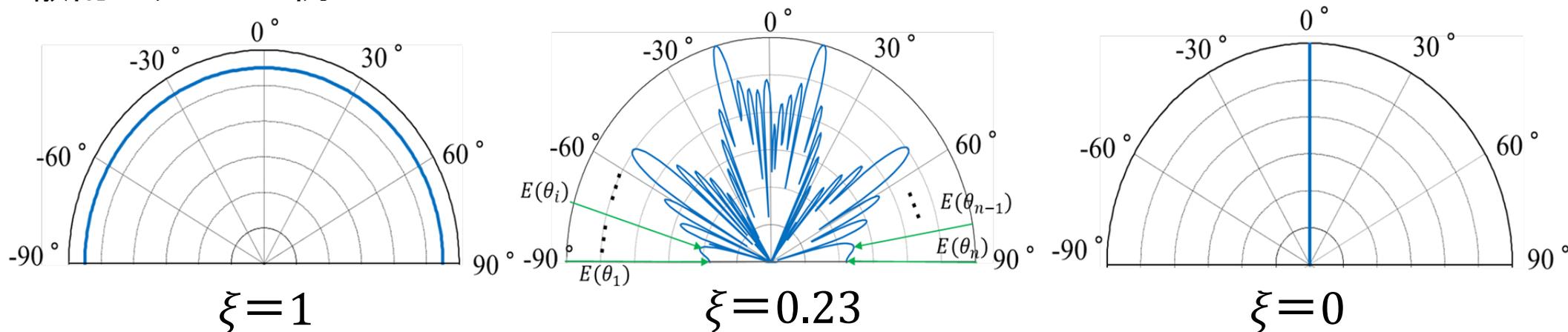
* 散乱パターンも計算式で導出

$$\xi = \frac{(\sum_{i=1}^n |E(\theta_i)|)^2 - \sum_{i=1}^n |E(\theta_i)|^2}{(n-1) \sum_{i=1}^n |E(\theta_i)|^2}$$

$E(\theta_i)$: i 番目の電界強度

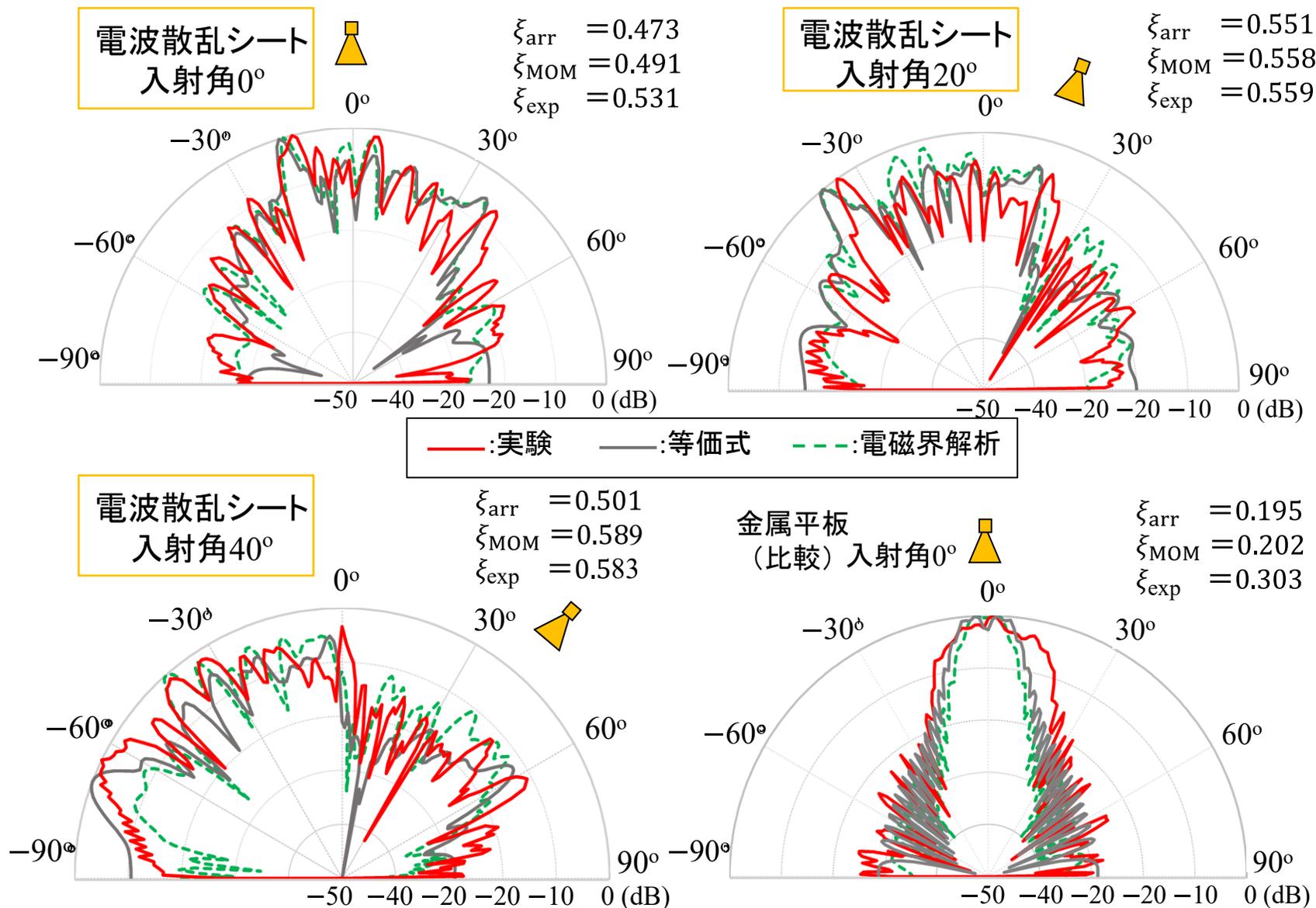
n : $\pm 90^\circ$ の範囲を分割した評価点の数

散乱パターンの例



指向性拡散度の値がより1に近いメタマテリアル電波散乱シートを最適な構成とし、設計する

メタマテリアル電波散乱シートの散乱特性



* ξ_{arr} , ξ_{MOM} および ξ_{exp} はそれぞれ, 等価式, 電磁界解析および実験の指向性拡散度

実際の通信環境(16QAM変調信号)でBERを測定

QAM: Quadrature Amplitude modulation(直角位相振幅変調)

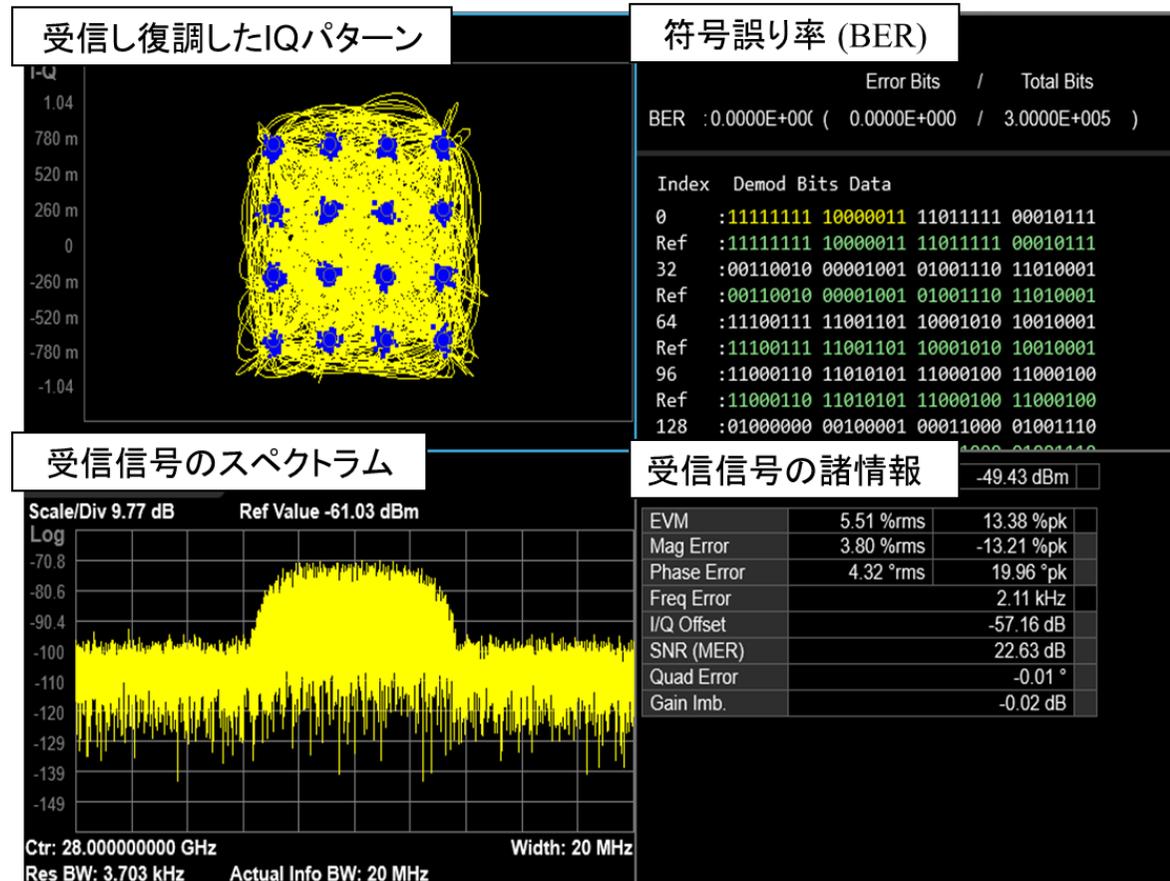
BER: Bit Error Rate(符号誤り率)

<実験諸元>

▲送信電波 → デジタル送信信号

Modulation Type	16QAM
Frequency [GHz]	28
Symbol Rate [Mbps]	5
Filter Alpha	0.5
Data	PN9
Power [dBm]	25

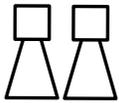
<計測画面>



デジタル受信側の設定

Pre Amp	On (Full length)
BW [MHz]	20
Search length [μs]	610
Measure Interval	1,000
Total bit	10,000,000

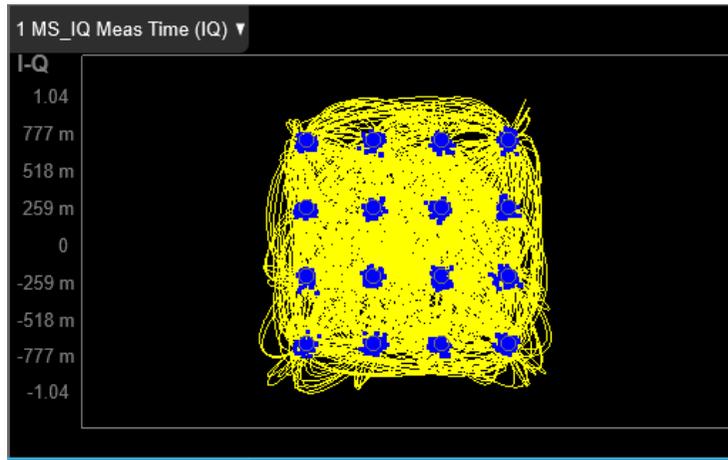
送信アンテナの方向 0°, 受信アンテナの方向0°



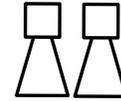
<計測画面>

金属平板

BER=0.0



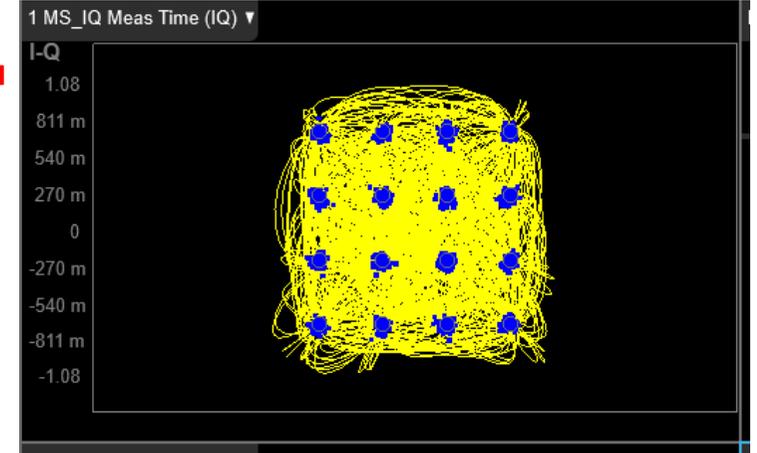
MS_Demod Bits & BER			
	Error Bits	/	Total Bits
BER	: 0.0000E+00	(0.0000E+00 / 1.0000E+008)
Index	Demod Bits	Data	
0	: 11111111	10000011	11011111 00010111
Ref	: 11111111	10000011	11011111 00010111



<計測画面>

メタマテリアル
電波散乱シート

BER=0.0

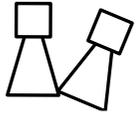


MS_Demod Bits & BER			
	Error Bits	/	Total Bits
BER	: 0.0000E+00	(0.0000E+00 / 1.0000E+008)
Index	Demod Bits	Data	
0	: 11111111	10000011	11011111 00010111
Ref	: 11111111	10000011	11011111 00010111
32	: 00110010	00001001	01001110 11010001

メタマテリアル電波散乱シートを用いることで、IQ*パターンが広がるが、BERは0であり問題なく通信可能

*IQ: In-Phase/Quadrature-Phase (同相/直交位相)

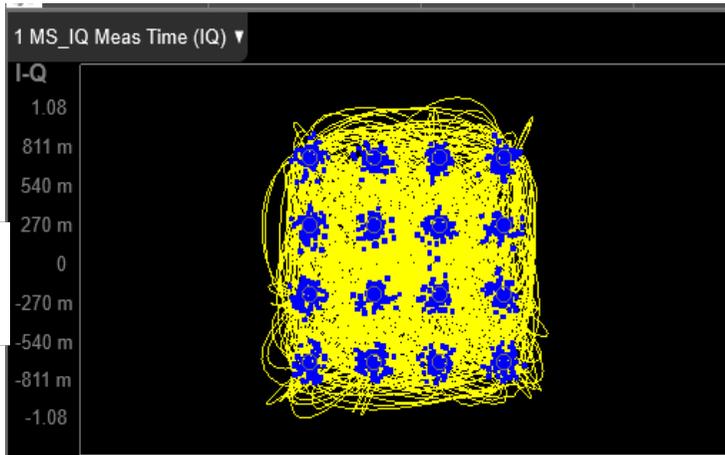
送信アンテナの方向 0°, 受信アンテナの方向15°



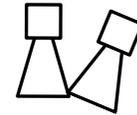
<計測画面>

金属平板

BER=0.028
(BER<0.0002で不良)



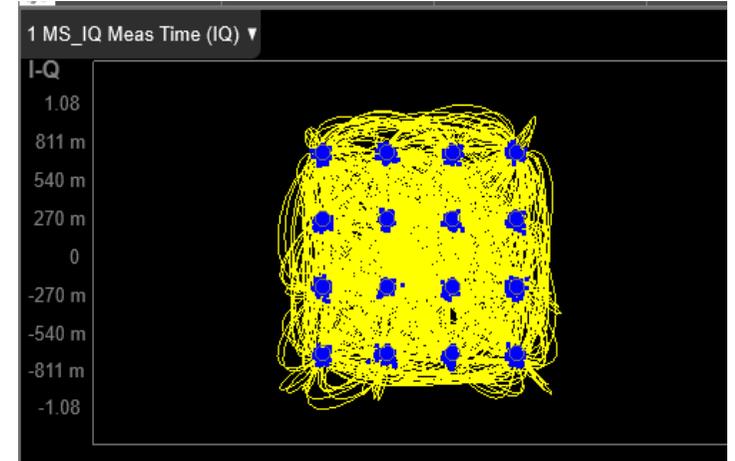
MS_Demod Bits & BER			
	Error Bits	/	Total Bits
BER	: 2.8172E-002 (3.8088E+004	/	1.3520E+006)
Index	Demod Bits	Data	
0	: 11111111 10000011	11011111	00010111
Ref	: 11111111 10000011	11011111	00010111



<計測画面>

メタマテリアル
電波散乱シート

BER=0.0



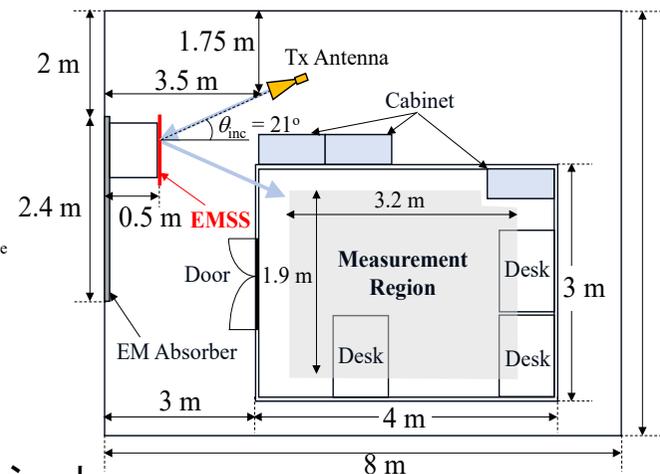
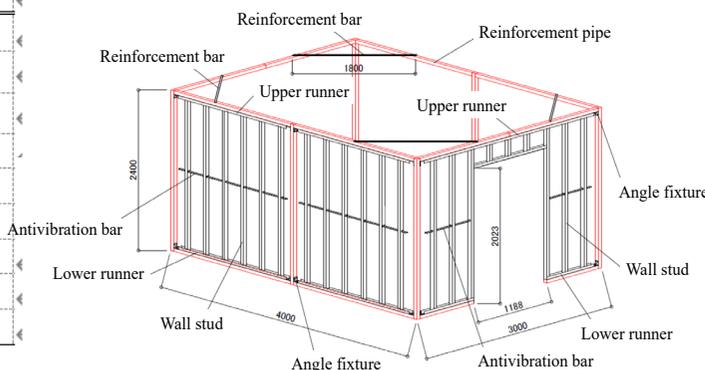
MS_Demod Bits & BER			
	Error Bits	/	Total Bits
BER	: 0.0000E+00 (0.0000E+000	/	1.0000E+008)
Index	Demod Bits	Data	
0	: 11111111 10000011	11011111	00010111
Ref	: 11111111 10000011	11011111	00010111

メタマテリアル電波散乱シートを用いることで、受信アンテナ15°でも、BERは0であり問題なく通信可能

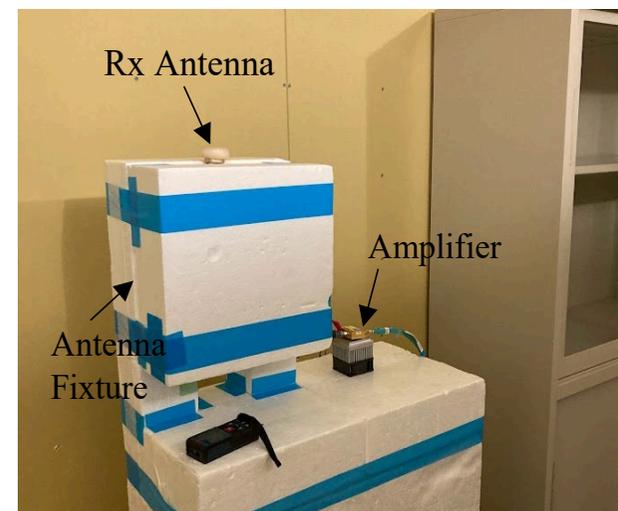
- 【特長】
- 電源不要で、電波が届きづらい場所における5G通信品質を改善
 - アクセスポイントから見通せる場所に貼るだけで効果を発揮(電波に関する専門的な知識は不要)

居室を模擬した部屋で実験

Parameter	Value
Carrier frequency	28 GHz
Modulation type	16-QAM
Attenuation at receiver	6 dB
Symbol rate [Mbps]	5
Filter alpha	0.5
Data generation pattern	PN9
Internal preamplifier	On
Bandwidth [MHz]	20
Search length [μ s]	610

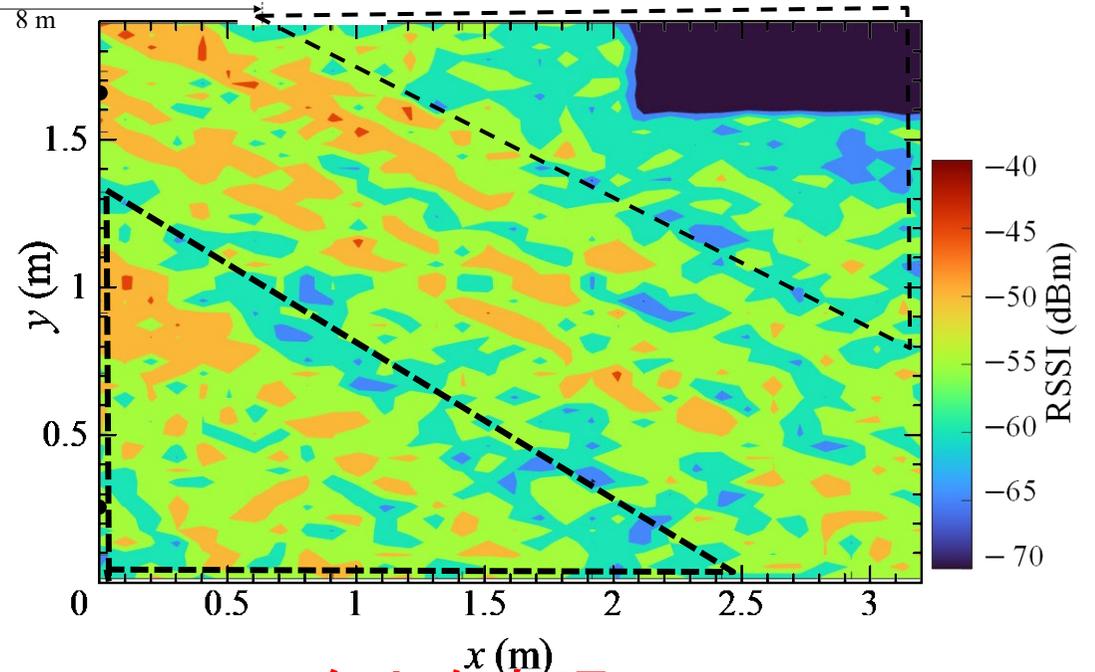
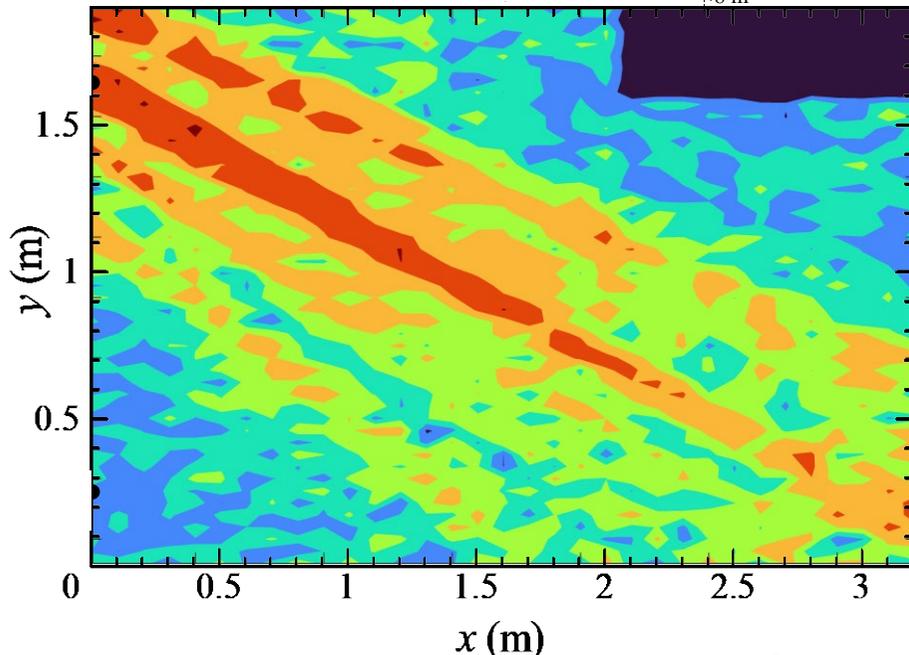
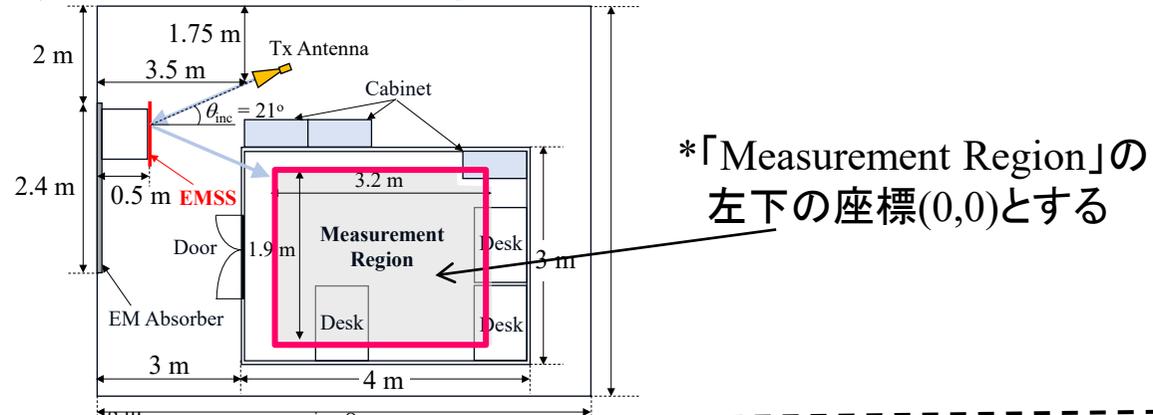


EMSS:電波散乱シート



【特長】

- 電源不要で、電波が届きづらい場所における5G通信品質を改善
- アクセスポイントから見通せる場所に貼るだけで効果を発揮(電波に関する専門的な知識は不要)

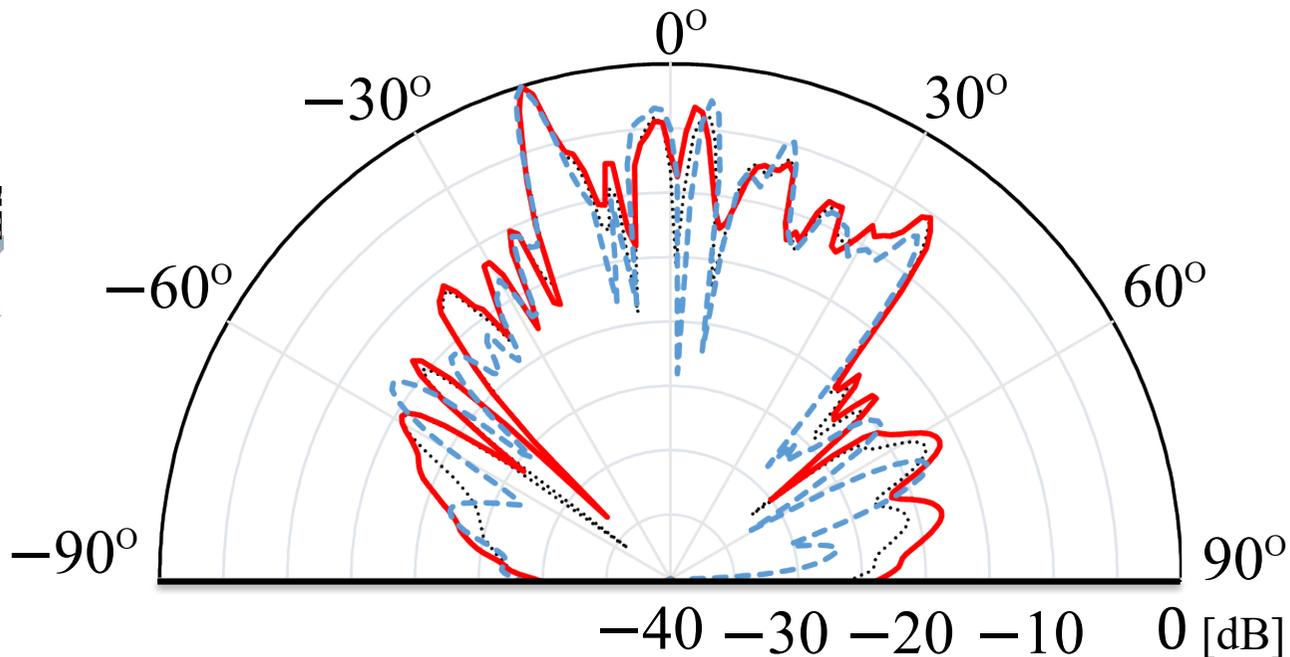
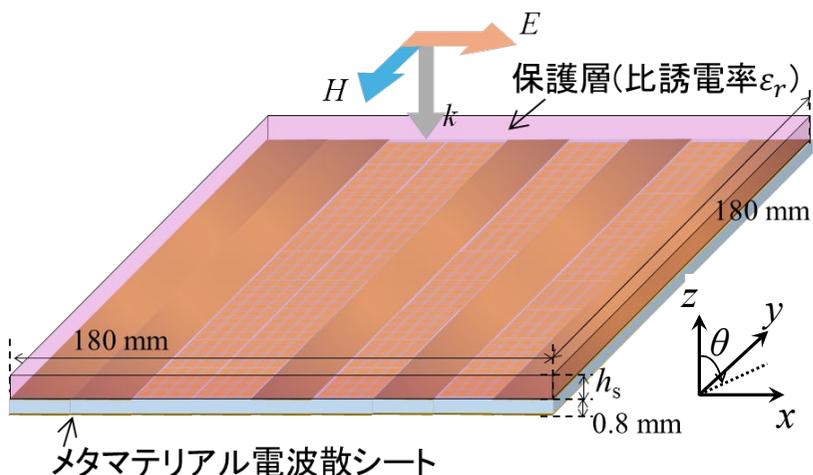


破線で囲まれた領域(不感地帯)でのRSSI*向上を実現

*RSSI: Received Signal Strength Indicator (受信信号強度)

【特長】

- 壁紙・塗料等の保護層を設けることで、意匠性・耐候性の向上だけでなく、電波の散乱性能も向上



保護層の厚さと比誘電率が変化した場合：

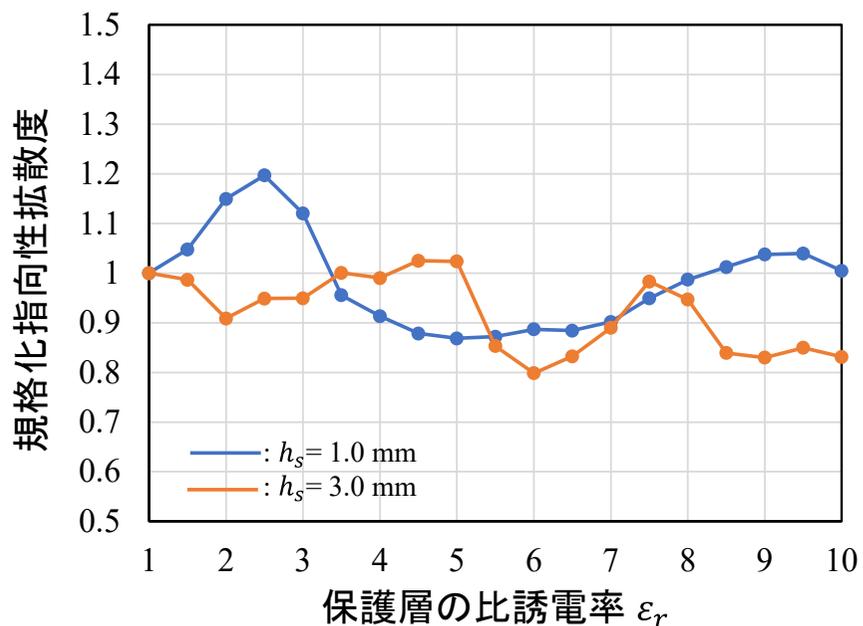
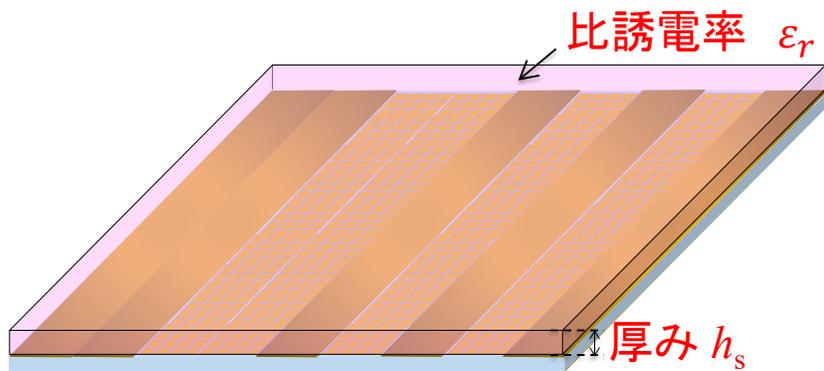
散乱特性に大きな変化はないが、保護層を付けたことにより、**指向性拡散度が向上**

-: 保護層なし ($\xi = 0.49$)
- : $h_s = 1 \text{ mm}, \epsilon_r = 2.0$ ($\xi = 0.55$)
- - -: $h_s = 3 \text{ mm}, \epsilon_r = 2.0$ ($\xi = 0.45$)

保護層が指向性拡散度に与える影響

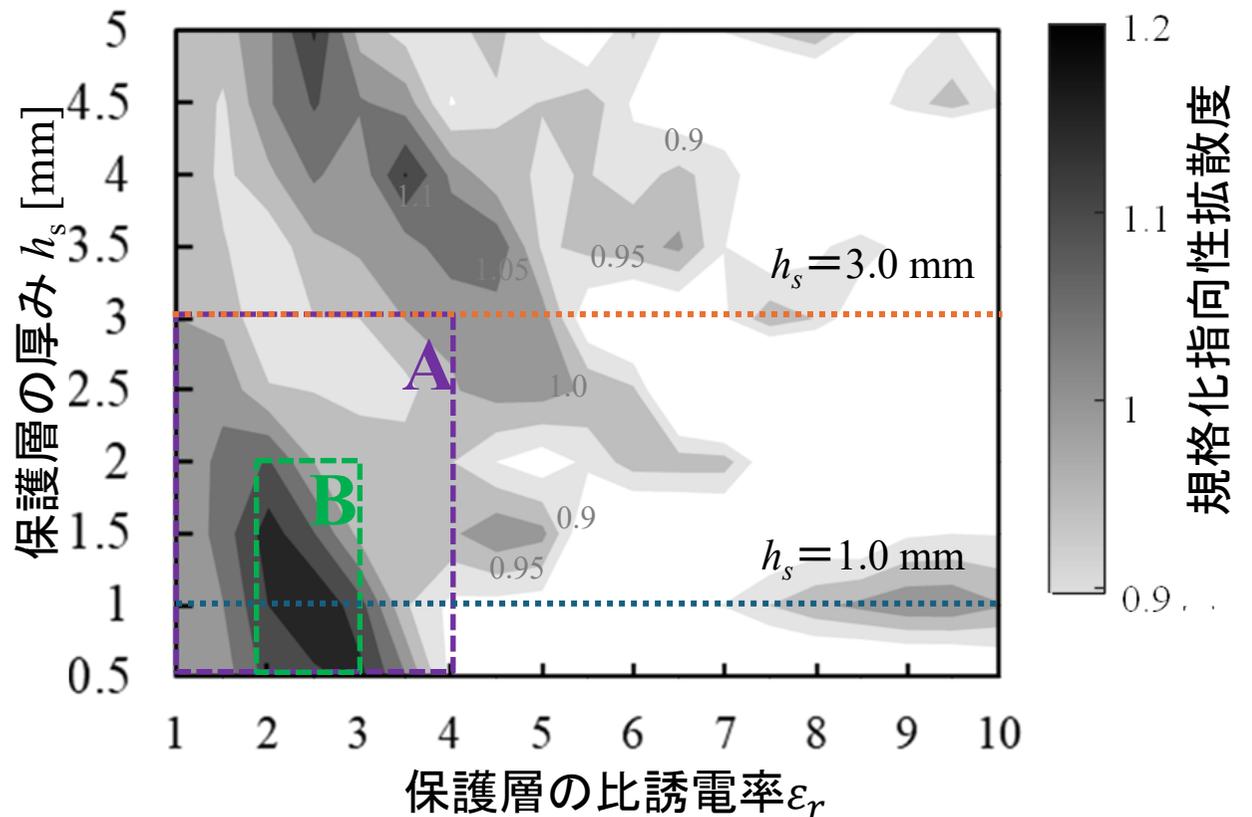
【特長】

- 壁紙・塗料等の保護層を設けることで、意匠性・耐候性の向上だけでなく、電波の散乱性能も向上



規格化指向性拡散度:

保護層の比誘電率 $\epsilon_r=1.0$ (従来の電波散乱シート)の指向性拡散度で規格化



- A**: 規格化指向性拡散度の低下が10%以内の範囲
- B**: 保護層を設けていない場合より高い指向性拡散度の範囲

メタマテリアル電波散乱シートは以下の特長を有する。

- シートに当たった電波を様々な方向へ散乱させることで電波の到達範囲を拡大できる。
- 電源不要で、電波が届きづらい場所における5Gの通信品質を改善できる。
- アクセスポイントから見通せる場所に貼るだけで効果を発揮できる。
- メタマテリアル技術で薄型化・軽量を実現させている。
- シート上に設けた保護層は、意匠性だけでなく散乱性能の向上も実現させている。

<用途>

- 不特定多数の利用者に対して、移動端末がアクセスポイントから見通し外の位置に来た場合でも、途切れない通信
- 工場・物流センター等における移動端末(ロボット・AGV等)との無線通信
- 電源が必要なアクセスポイントやレピーターの設置が困難な場所における通信

<展開>

- 5G/B5Gの無線通信における通信カバレッジが狭くなる問題の解決

メタマテリアル電波散乱シートの実用化に向けて、以下の技術をお持ちの企業様との連携を希望します。

- メタマテリアル電波散乱シートの量産化技術
- NICT保有の電波散乱シートの特許を利用し、商品開発できる企業
- 5G関連の無線通信品質に関する知見を有し、不感地帯対策を実施している企業

○ 保護層付き電波散乱シート

- 出願番号： 特許7418883号
- 出願人： 国立研究開発法人情報通信研究機構
- 発案者： 村上 靖宜、浜田 リラ、チャカロタイ ジェドヴィスノプ、
藤井 勝巳

○ 無線通信システム

- 出願番号： 特願2024-163886
- 出願人： 国立研究開発法人情報通信研究機構
- 発案者： 村上 靖宜、浜田 リラ、チャカロタイ ジェドヴィスノプ、
藤井 勝巳、佐藤 慎一

- 2021年 株式会社竹中工務店と共同実験
- 2021年～ 国立大学法人電気通信大学と共同研究
(継続中)

国立研究開発法人情報通信研究機構
イノベーション推進部門
知財活用推進室

TEL 042-327-6950

e-mail ippo@ml.nict.go.jp