

S-NAP Wireless紹介資料

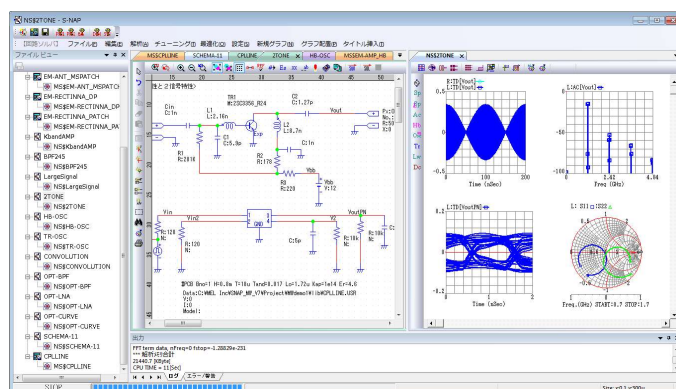
IoT,RFID,WPT関連

株式会社 エム・イー・エル

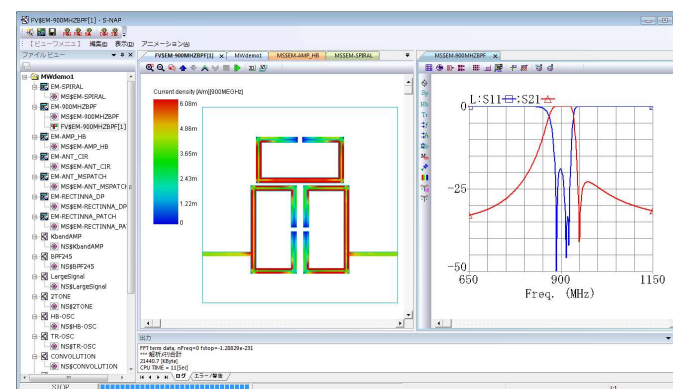
2025/2

S-NAP Wireless Suite

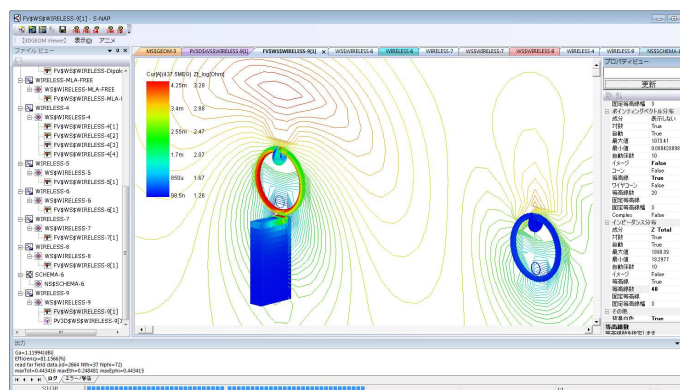
- ワイヤレス電力伝送
- IoT組み込みアンテナ
- 3次元EMC問題



回路解析



多層基板電磁界解析



3次元電磁界解析

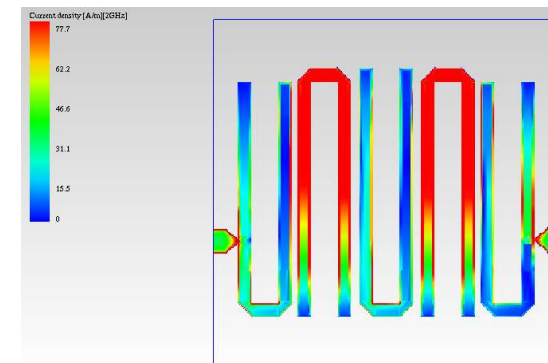
S-NAP Wirelessの電磁界機能

多層基板解析では、2種類のソルバを実装

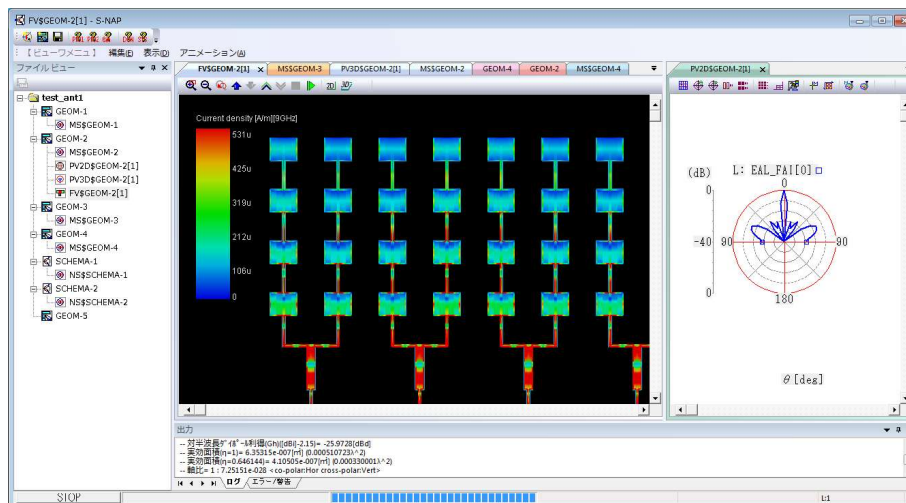
2.5D電磁界

シールド領域グリーン関数、オープン領域グリーン関数

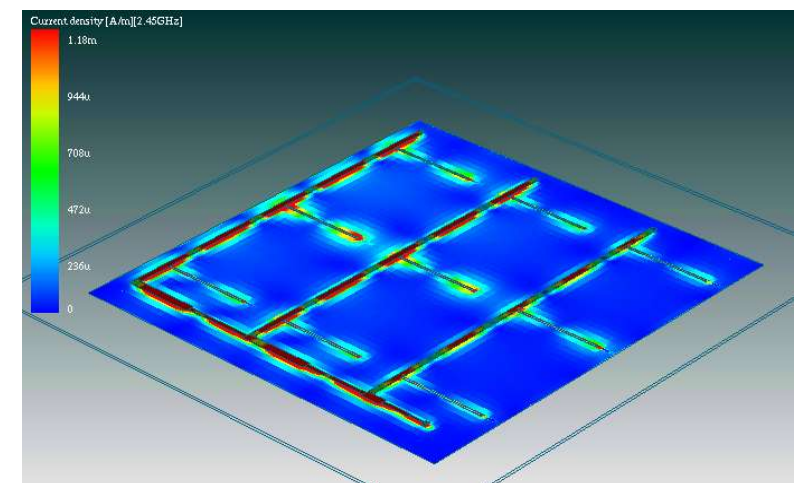
プリント基板用電磁界を用いた比較的大規模な解析例



平面回路



パッチアレイアンテナ



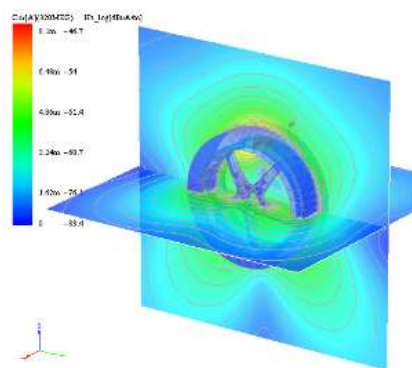
スロットアレイアンテナ(2.4GHz RFTAG親機)

S-NAP Wirelessの電磁界機能

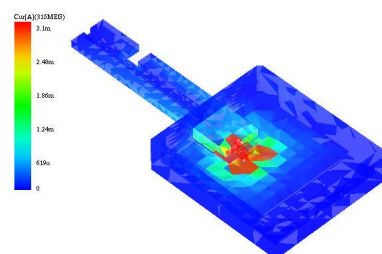
3D電磁界

自由空間グリーン関数、半空間グリーン関数、Sommerfeld グリーン関数

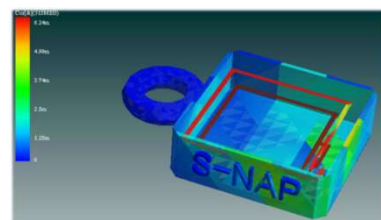
アンテナ系サンプル(小型アンテナ、組み込みアンテナ、線状アンテナ、パラボラ等)



空気圧センサ

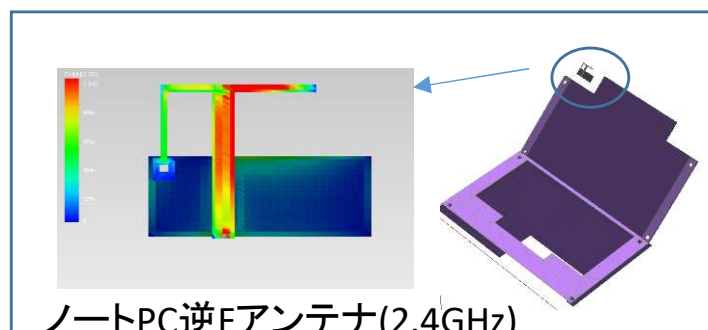


キーアンテナ(315MHz)

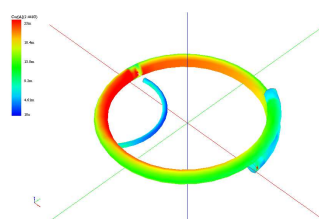


キーホルダアンテナ(315MHz)

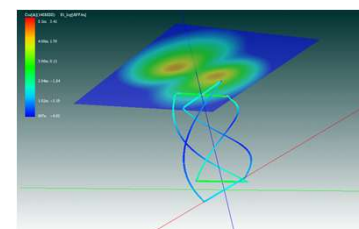
© MEL Inc.



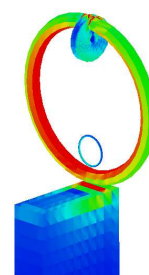
ノートPC逆Fアンテナ(2.4GHz)



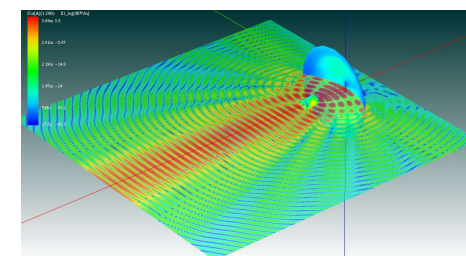
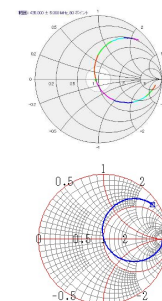
ループアンテナ(2.4GHz) QFH円偏波(145MHz)



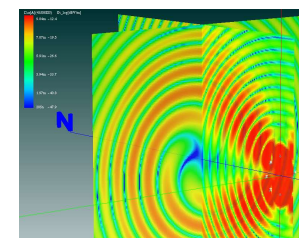
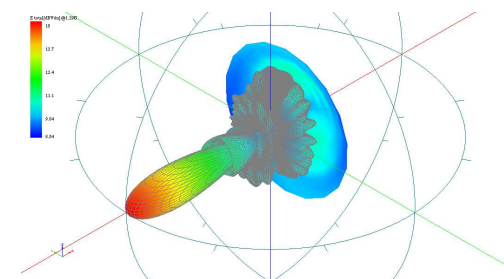
435MHz MLA



実測(上)とシミュレーション(下)

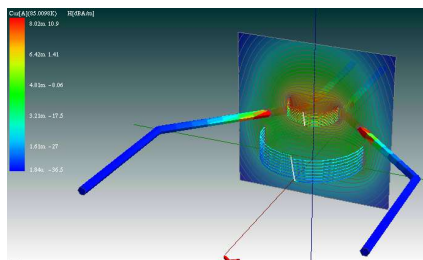


パラボラ電界分布↑
指向性↓

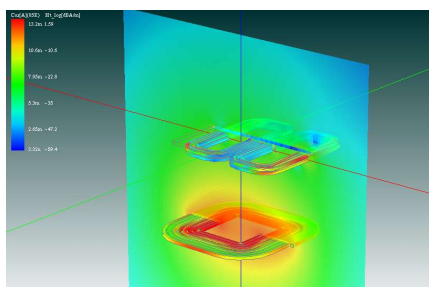


OAM(空間多重)電界分布

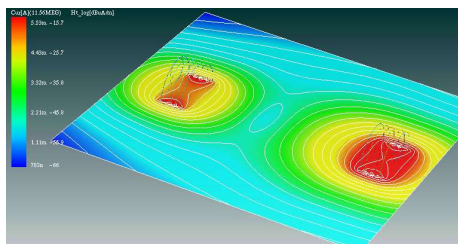
3D電磁界 電力伝送／非接触充電サンプル



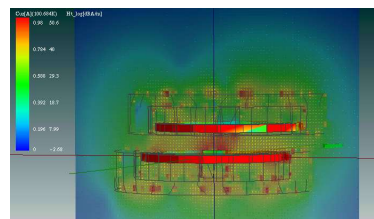
磁界結合85KHz



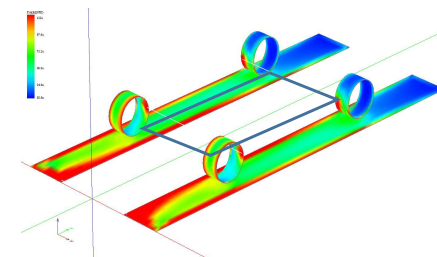
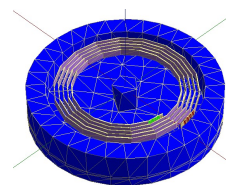
磁界結合85KHz



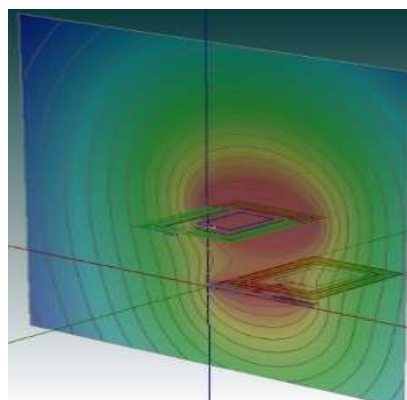
磁界共鳴10.7MHz



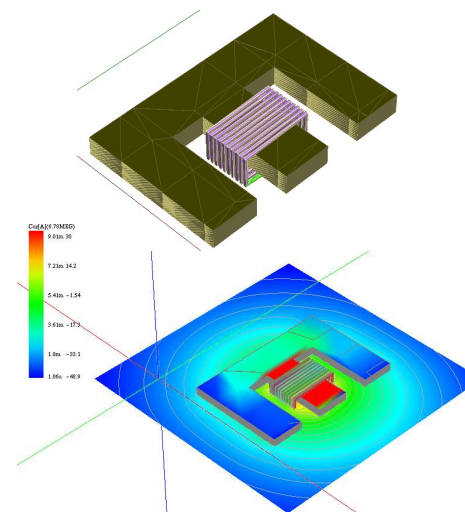
電磁誘導300KHz



電界結合

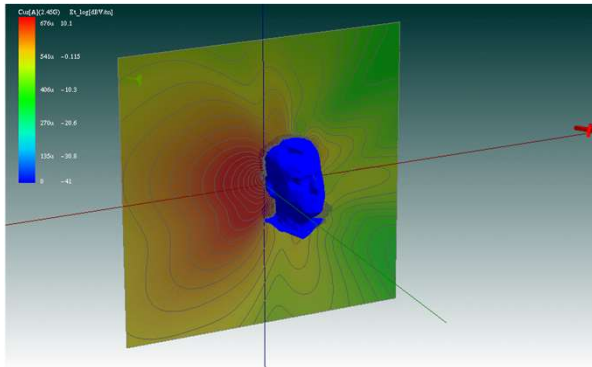


NFC(13.56MHz)
(スイッチなど)

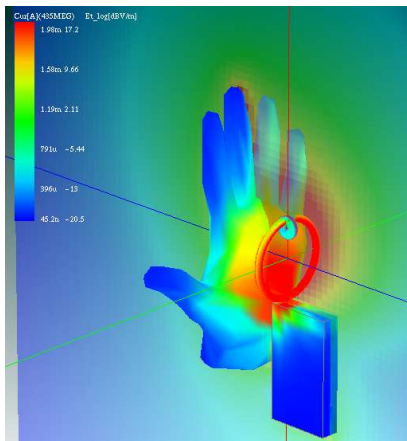
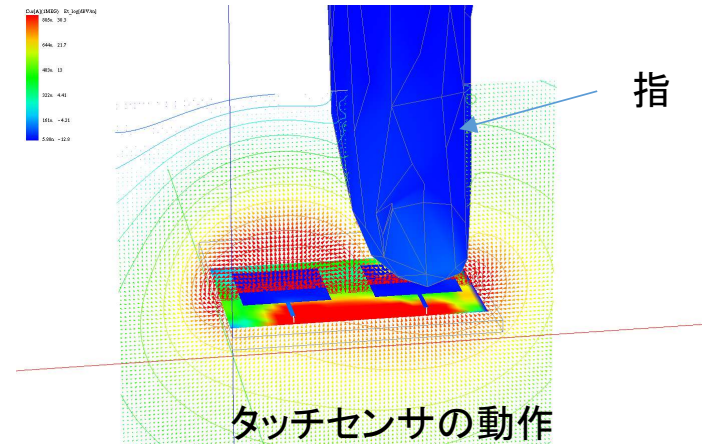


トランス構造

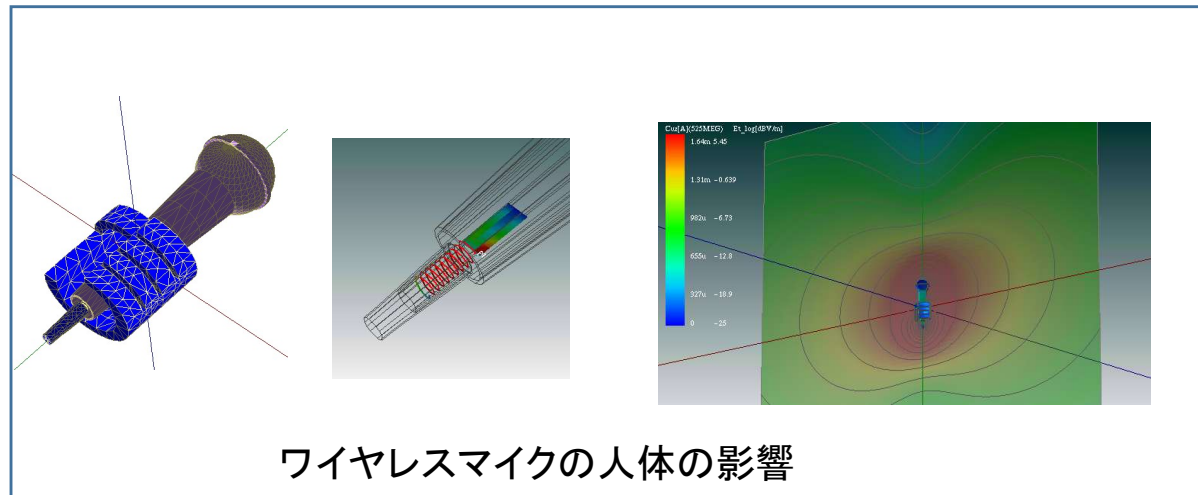
3D電磁界 人体の影響サンプル



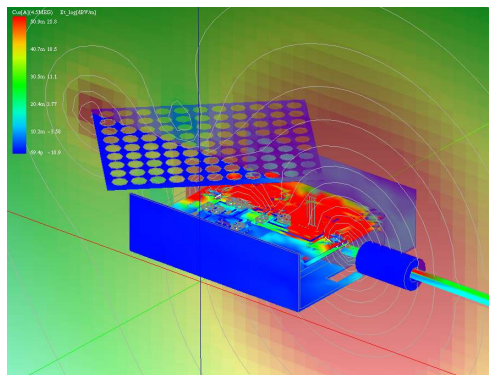
BlueTooth人体の影響



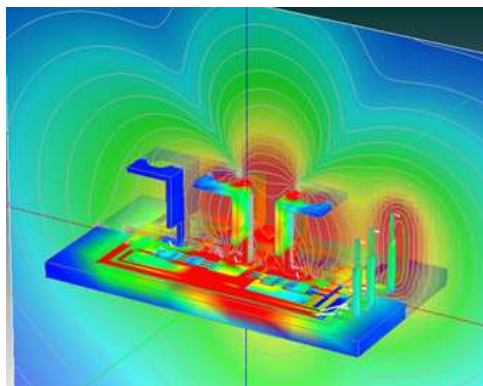
ループアンテナの人体の影響



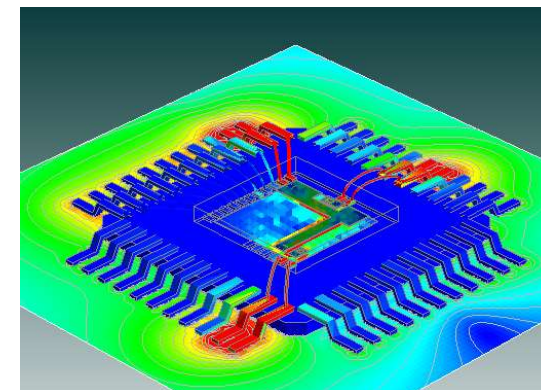
3D電磁界 EMCサンプル



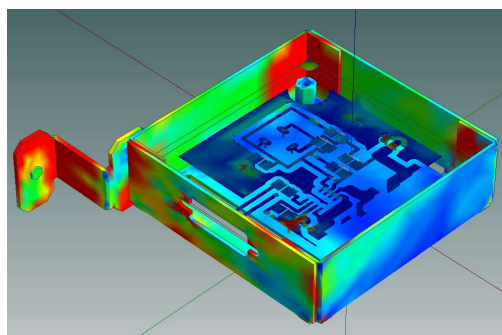
DCDC動作時の電界
プリント板+筐体+ケーブル+EMCフィルタ



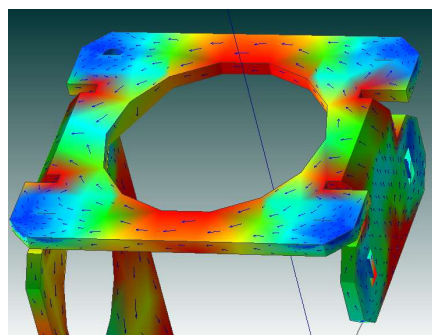
IGBT動作時の磁界



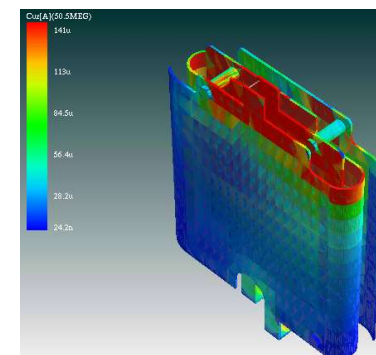
ICパッケージ伝送特性、クロストーク



筐体のノイズ電流



筐体のノイズ電流

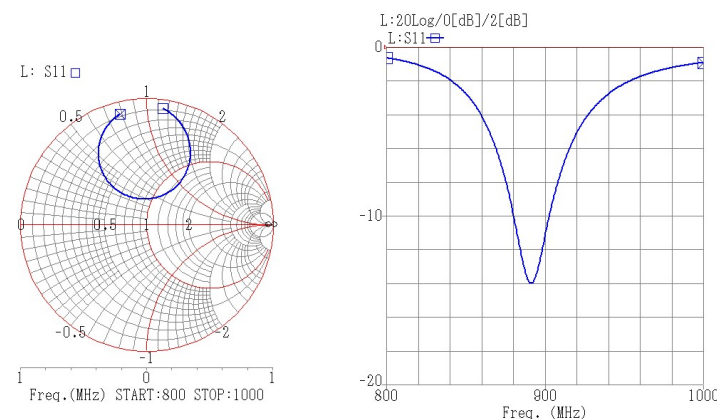
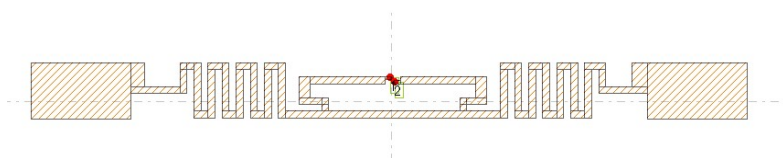


大電流コンデンサの電流分布

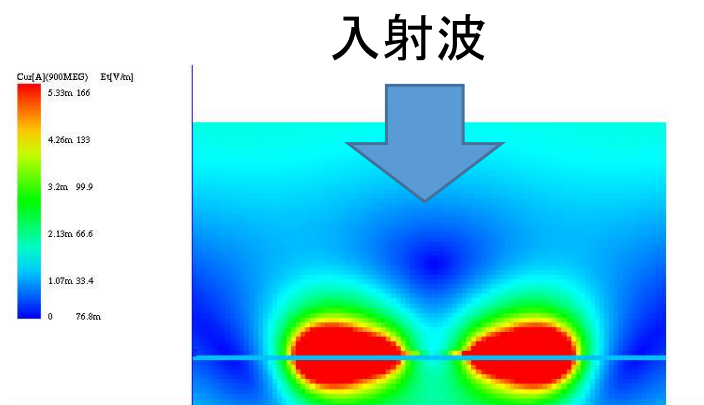
RFID解析

RFTAG(900MHz)の特性

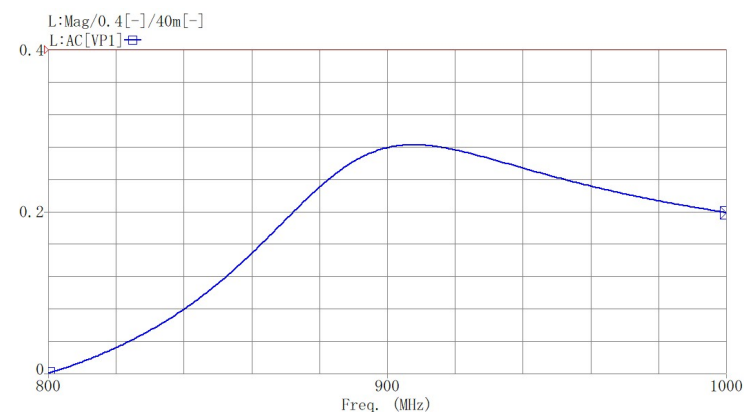
- ・Sパラメータ解析
 - ・入射波解析
- ポートインピーダンス:200Ω



Sパラ特性



入射電界、散乱電界

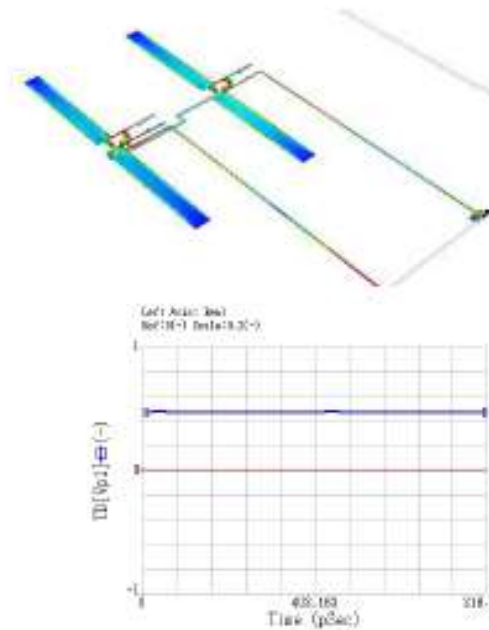
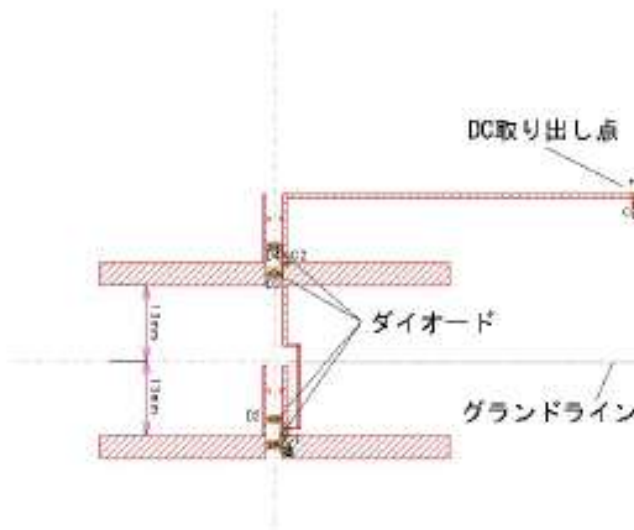


0dBm入射時のポート誘起電圧

電波放射による電力伝送

ダイポールレクティナアンテナ

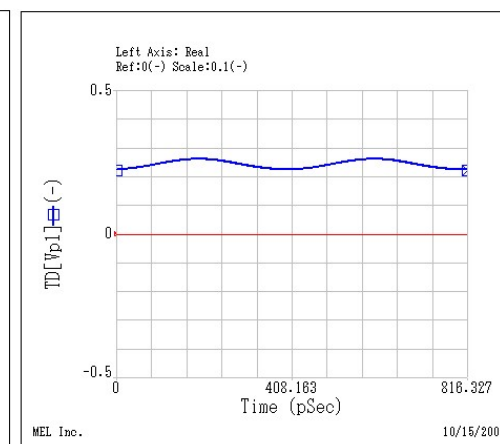
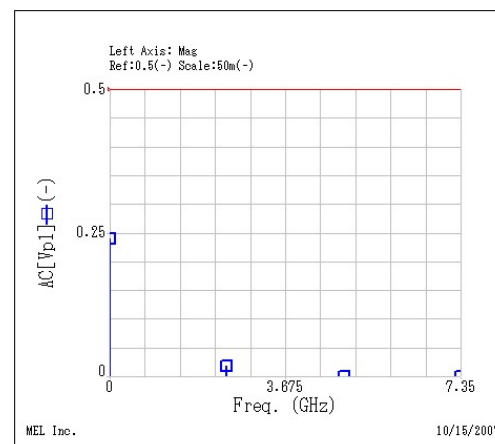
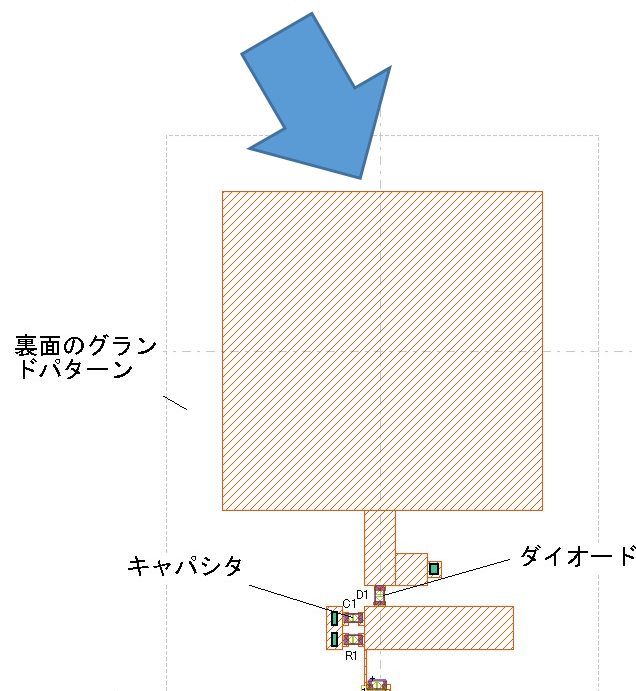
ダイポールアンテナを2個使用したレクティナアンテナです。1アンテナあたりダイオードを2個用いて倍電圧検波回路を構成しています。解析条件としては、 $14\text{V/m}@2.45\text{GHz}$ の電界強度の電磁波が正面方向から到来している場合の特性を解析しています。ポート抵抗は $500\text{K}\Omega$ として開放電圧を見ています。約 460mV のDC成分が得られ、この値はモノポールアンテナ時のほぼ2倍の値になっています



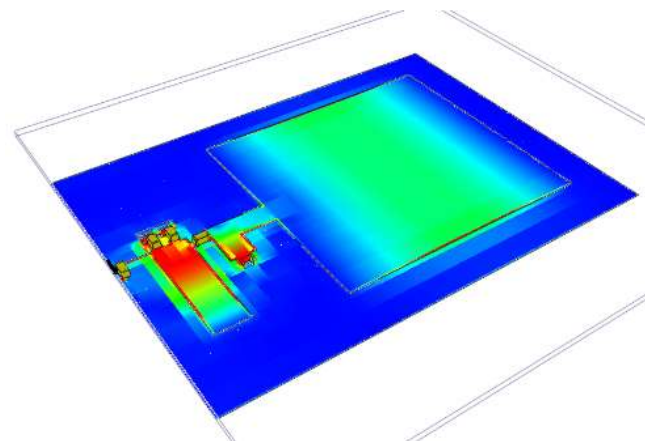
電波放射による電力伝送

マイクロ波による電力伝送

入射波(2.45GHz)



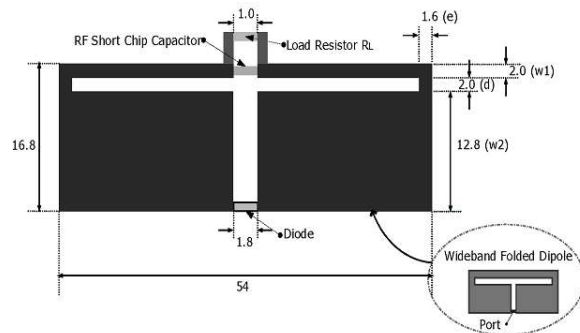
ポート端子でのスペクトルと波形 240mVのDC出力が出ている
入射電界強度 : 14V/m (開放電圧)
負荷抵抗 (ポート抵抗) : 500KΩ



入射レベルの検証

レクティナアンテナの解析と実測比較

ハーモニックバランスと連携した
入射波解析

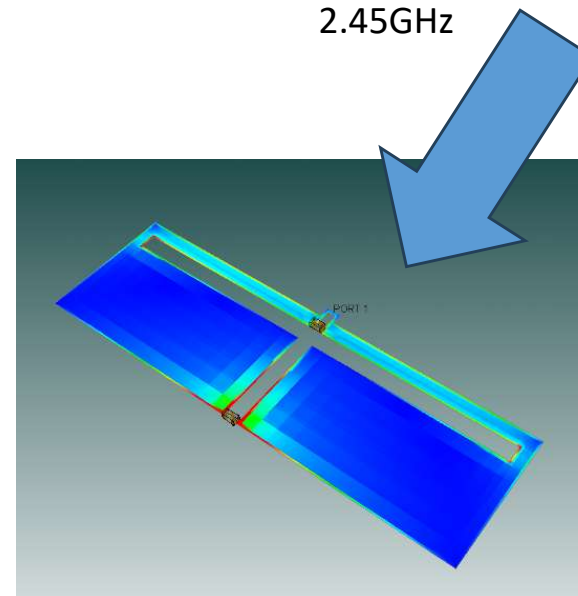


OUTPUT VOLTAGE AND CONVERSION EFFICIENCY WITH
VARIOUS LOAD RESISTORS

Load Resistor (ohm)	Output Voltage (volt)	Simulated (S-NAP/Field)
100	0.21	0.272
500	0.45	0.519
1000	0.6	0.603

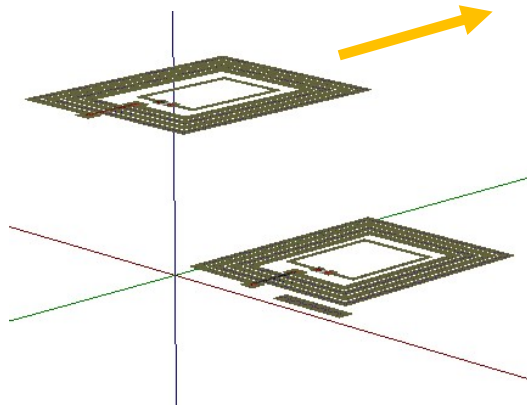
REF: Fang Zhang, Hee Nam, Jong-Chul Lee, "A Novel Compact Dipole Architecture for 2.45GHz Rectenna Application", IEEE/MTT

2.45GHz

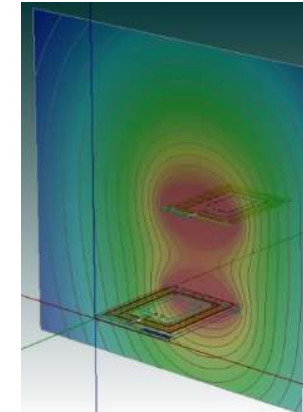
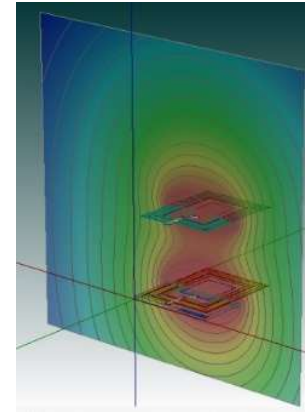
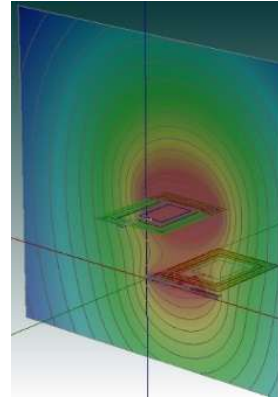


レクティナアンテナ解析
(フォールディッドダイポール)
←表 赤文字: シミュレーション
黒文字: 文献測定値

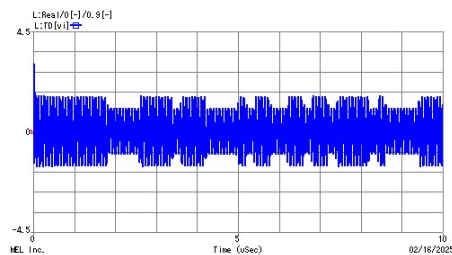
NFC(Near Field Communication)(13.56MHz)



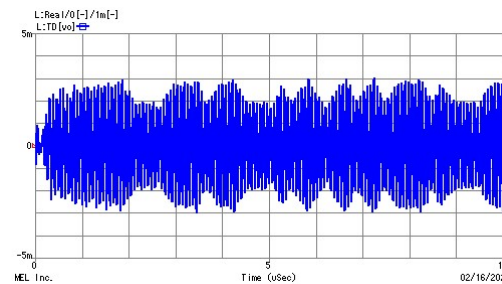
NFC(13.56MHz)



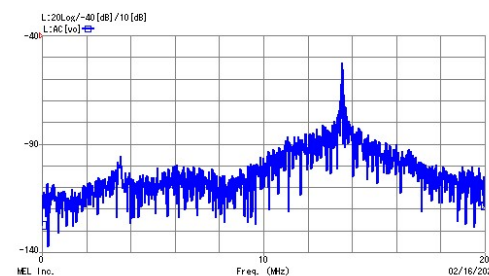
L=100mm 対向時



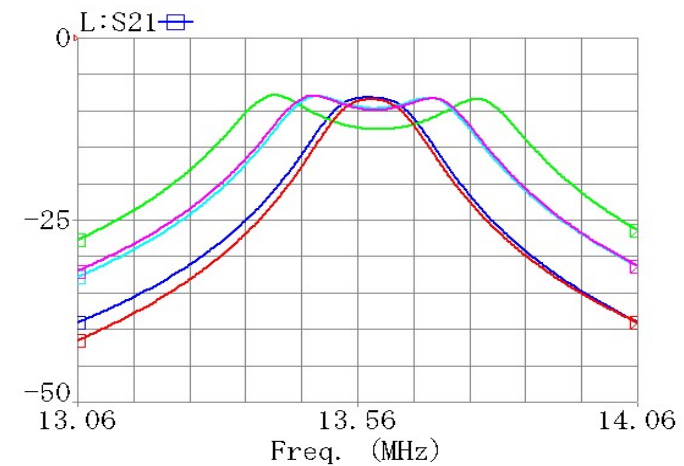
リーダー側出力



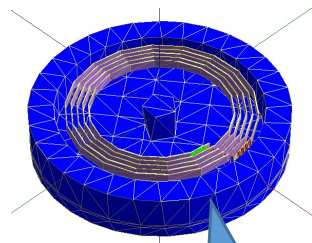
カード側波形



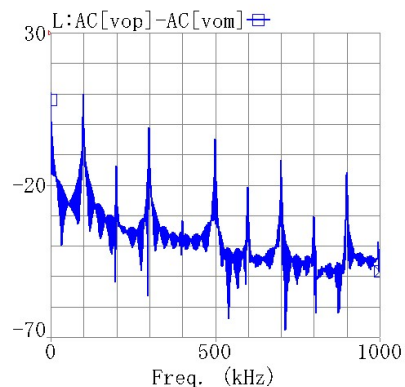
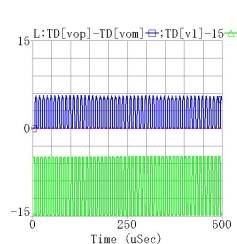
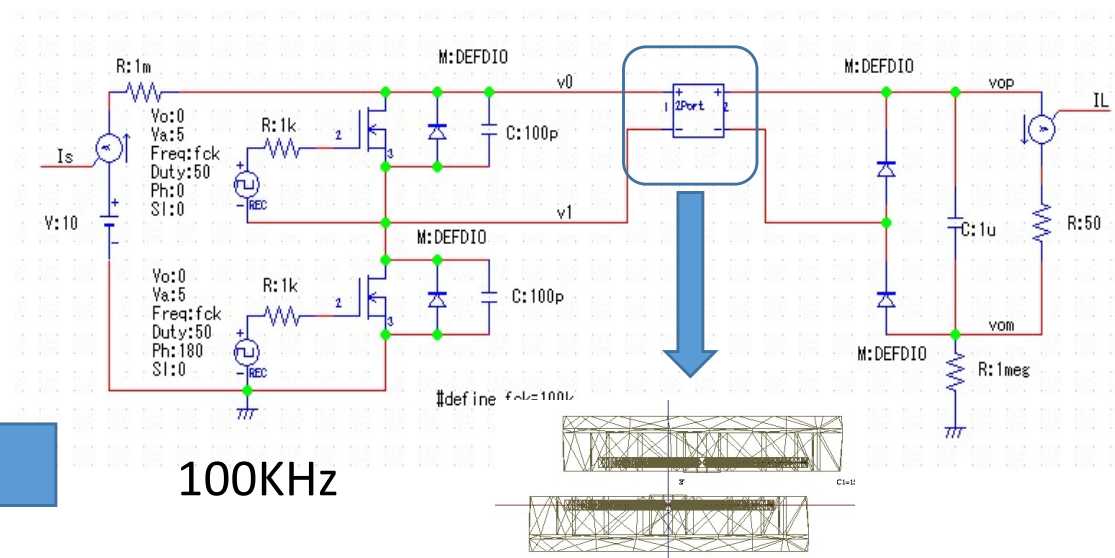
カード側スペクトル



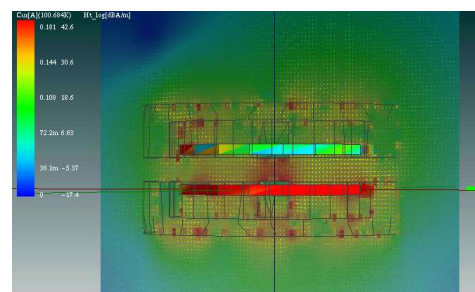
電磁誘導方式の電力伝送解析(100KHz)



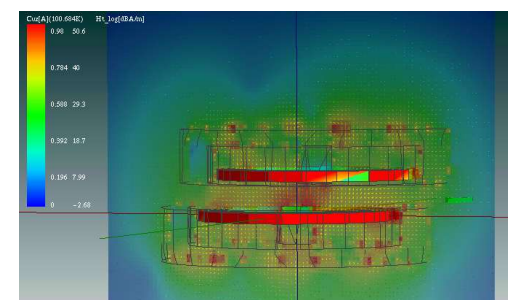
フェライト



出力スペクトル

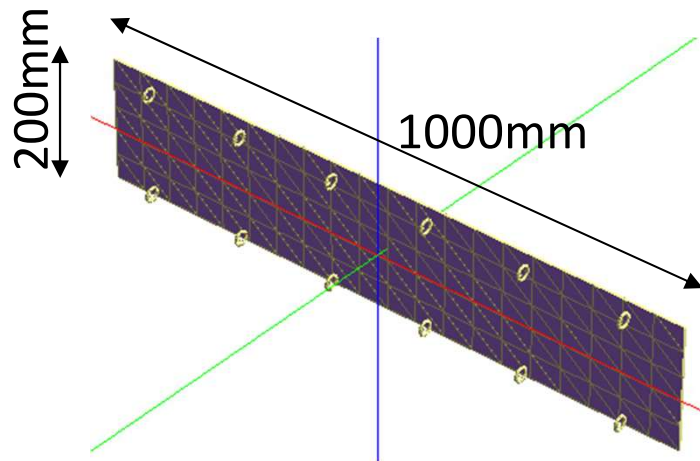


オフセット無し

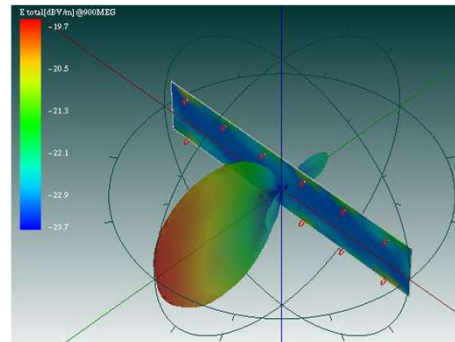


オフセットあり

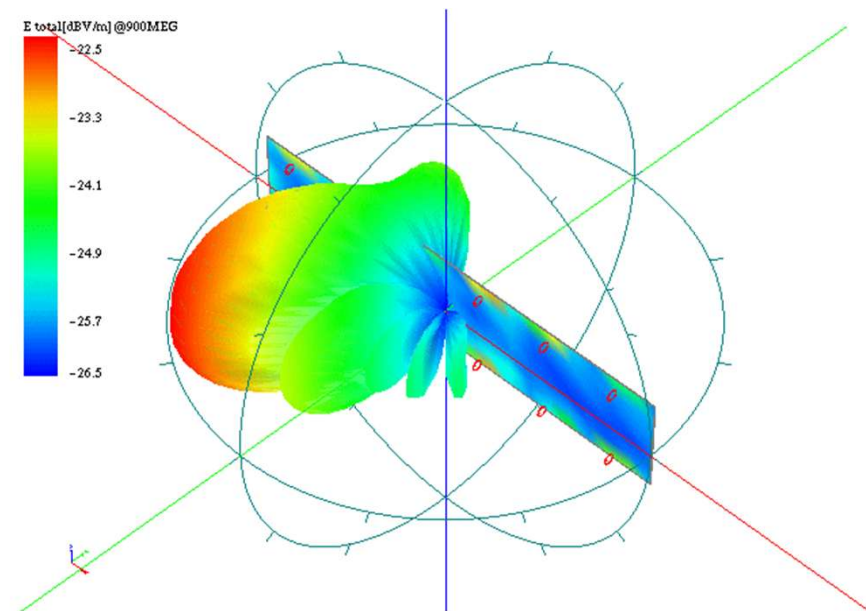
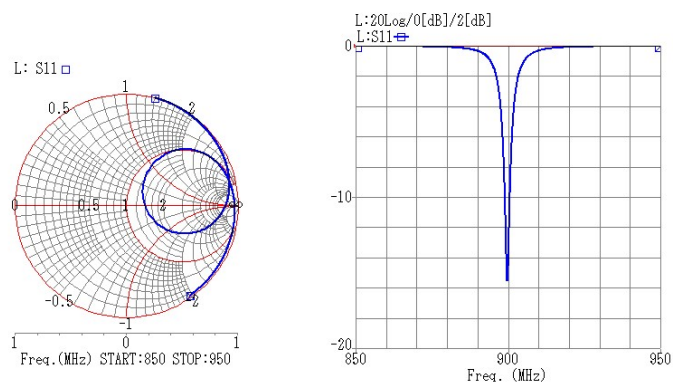
900MHz リニアアレイ



6MLA × 2リニアドアレイ

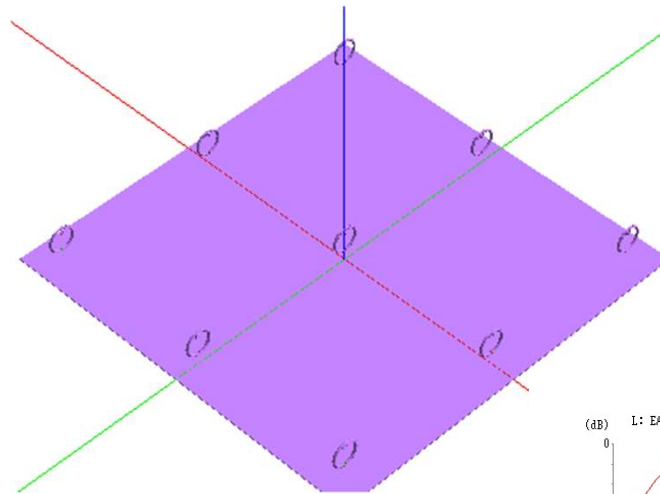


--- Far field analysis ---
 Frequency 900MEG Hz
 Direction : th=90,phi=270
 Gd=15.0042[dBi]
 Ga=14.1344[dBi]
 Efficiency=81.8506[%]
 Axis ratio= 1:6.17297e-07



ビームフォーミング
 ±45° スイープ(15° ステップ)

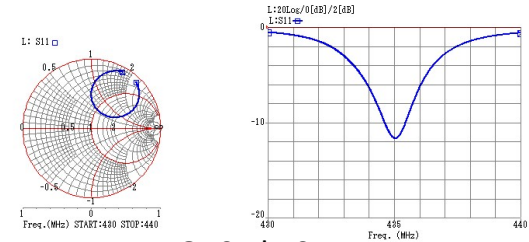
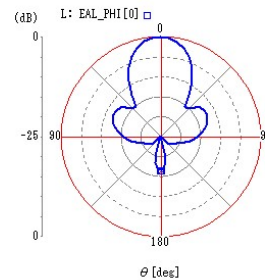
9MLAフェーズドアレイ(435MHz)



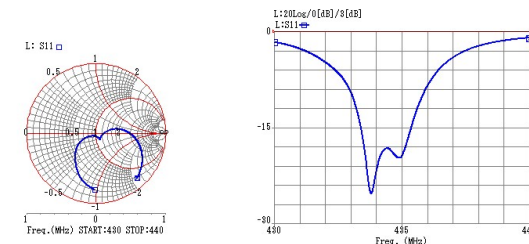
MLA間隔=344.8mm($\lambda/2$)

$\Theta=45^\circ, \phi=-135^\circ$ 時の位相角例

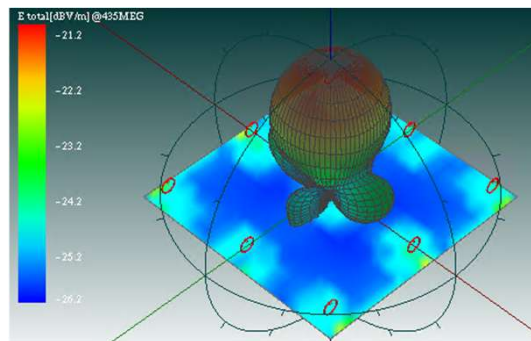
Th1 ;位相を入力	126
Th2 ;位相を入力	216.3
Th3 ;位相を入力	306.6
Th4 ;位相を入力	35.7
Th5 ;位相を入力	126
Th6 ;位相を入力	216.3
Th7 ;位相を入力	305.4
Th8 ;位相を入力	35.7
Th9 ;位相を入力	126



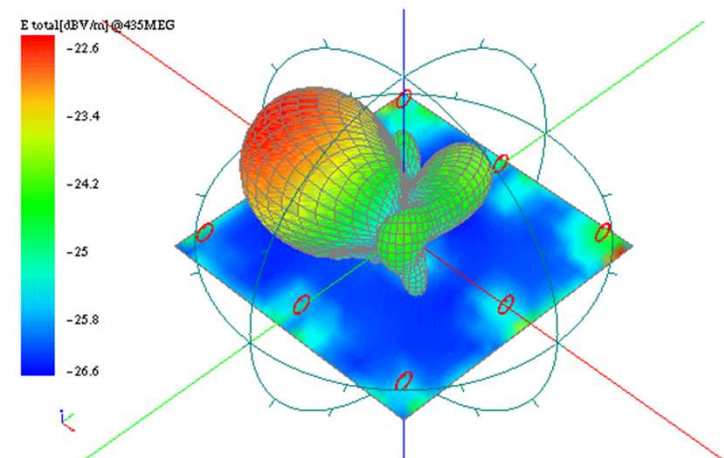
$\Theta=0^\circ, \phi=0^\circ$



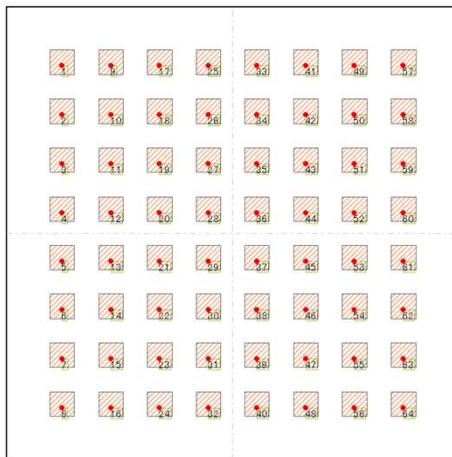
$\Theta=45^\circ, \phi=-135^\circ$



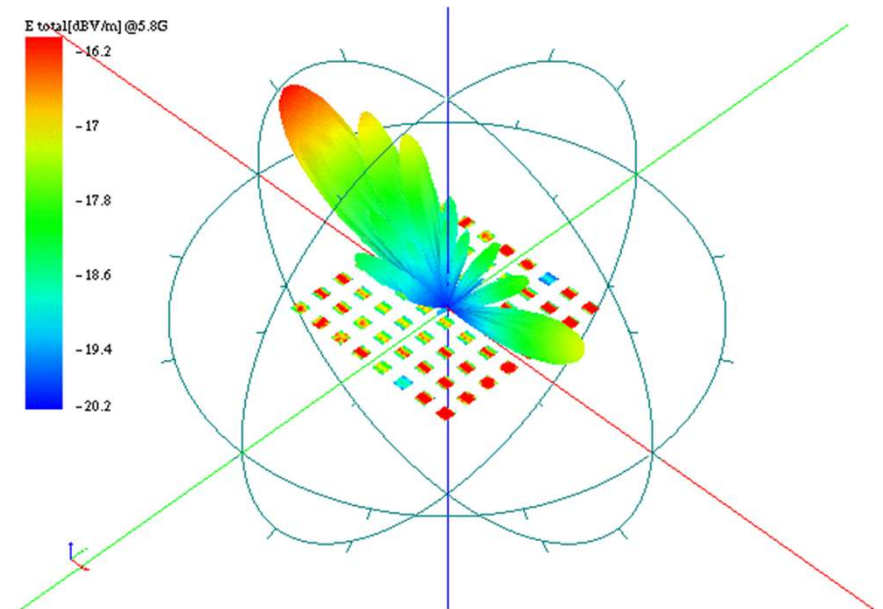
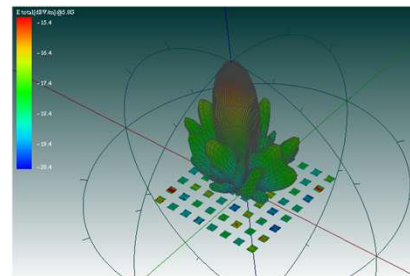
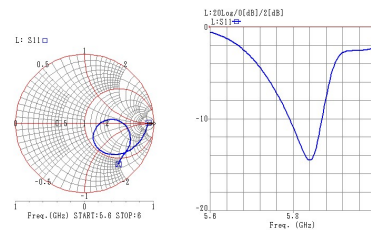
--- Far field analysis ---
 Frequency 435MEG Hz
 Direction : th=0,phi=0
Gd=13.3491[dBi]
 Ga=12.5024[dBi]
 Efficiency=82.2867[%]
 Axis ratio= 1:3.79161e-08



64MSパッチフェーズドアレイ(5.8GHz)

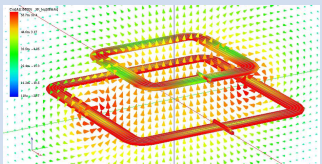
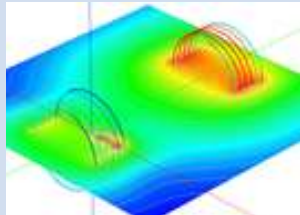
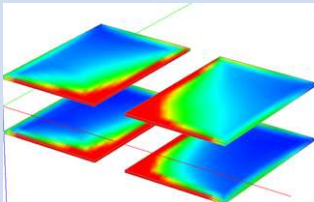
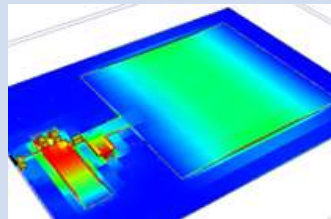


$\Delta=1.7\text{mm}$
エッジメッシュ=ON
サンプル=800
公差=1E-9



ワイヤレス電力伝送解析

ワイヤレス電力伝送の種類

磁界結合	磁界共鳴	電界結合	電波放射
			
電磁誘導により電力を供給。	コイルの自己共振を利用	対向した金属間で容量性結合を行う	放射電界を拾いダイオード検波で直流を得る
密着か近距離	数メートルの距離が伝送可能	密着か近距離	レクティナ

自動車関係ワイヤレス電力伝送

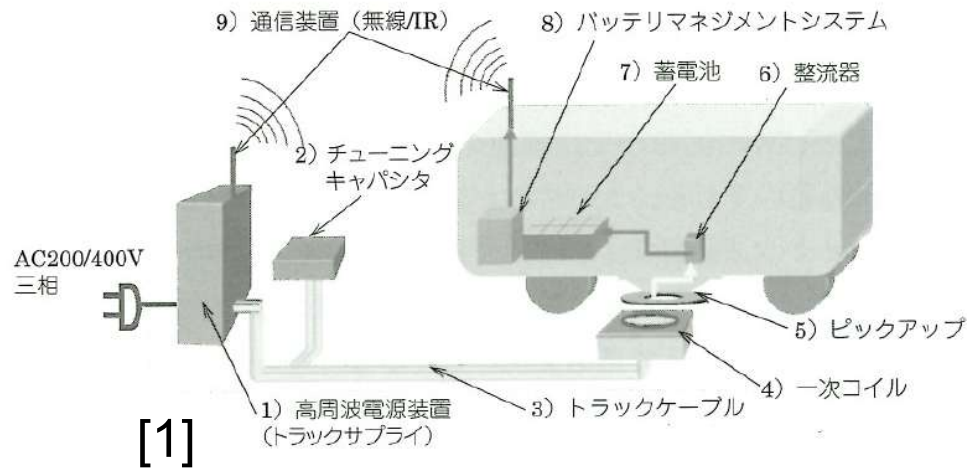
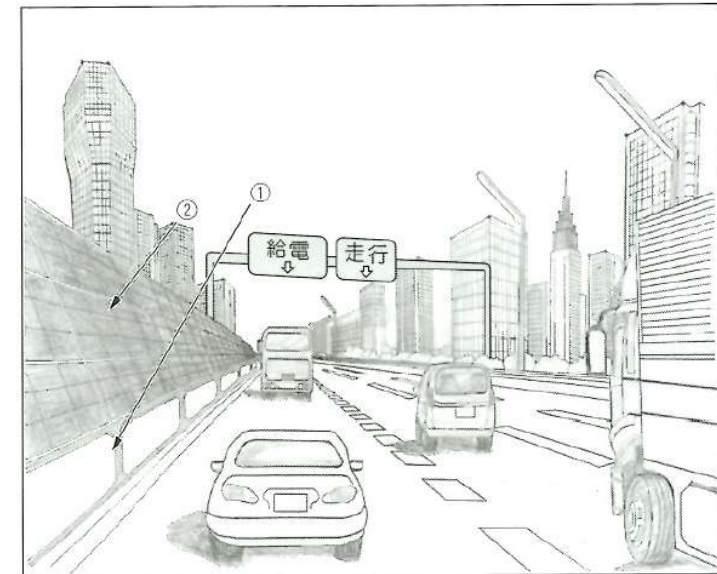


図 3.10 電磁誘導式充電システム構成図
(出典：昭和飛行機工業株式会社のカタログより)



2 次コイルを地上コイル上に降ろしての充電状況



① 壁面取付け型ワイヤレス給電装置 (送電側)
② 太陽電池パネル

図 3.17 ハイウェイ走行ワイヤレス給電システム利用シーン
(出典：昭和飛行機工業株式会社の資料より)

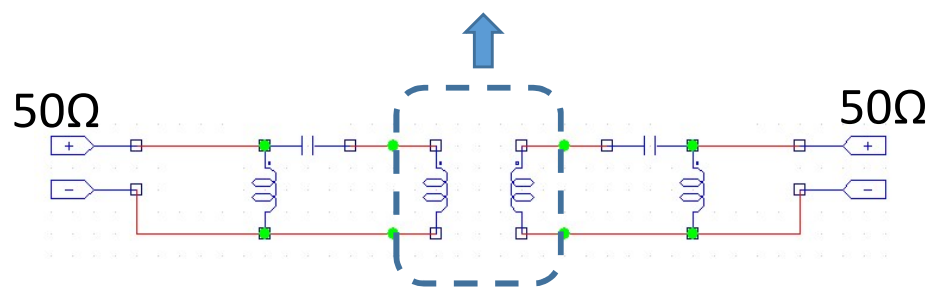
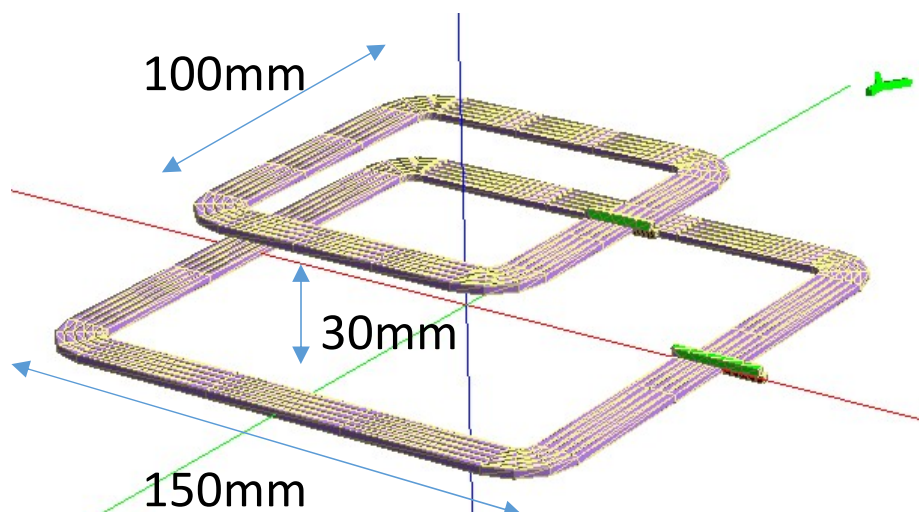


Figure 8. ORNL's EVWPT experimental facility.

- [1] 松木英敏, 高橋俊輔, “ワイヤレス給電技術がわかる本”, オーム社
[2] IEEE Circuits and Systems, Vol.15

磁界結合方式

磁界で結合して電力を伝送する



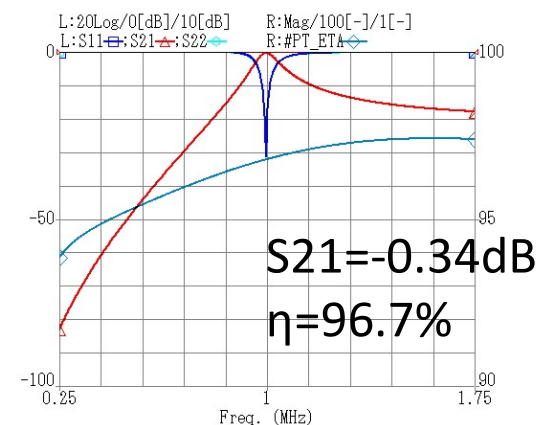
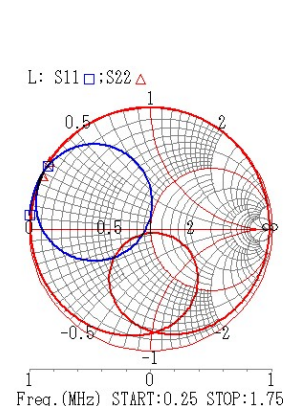
整合回路を含めた全体回路
(自動設計機能)

解析時間:

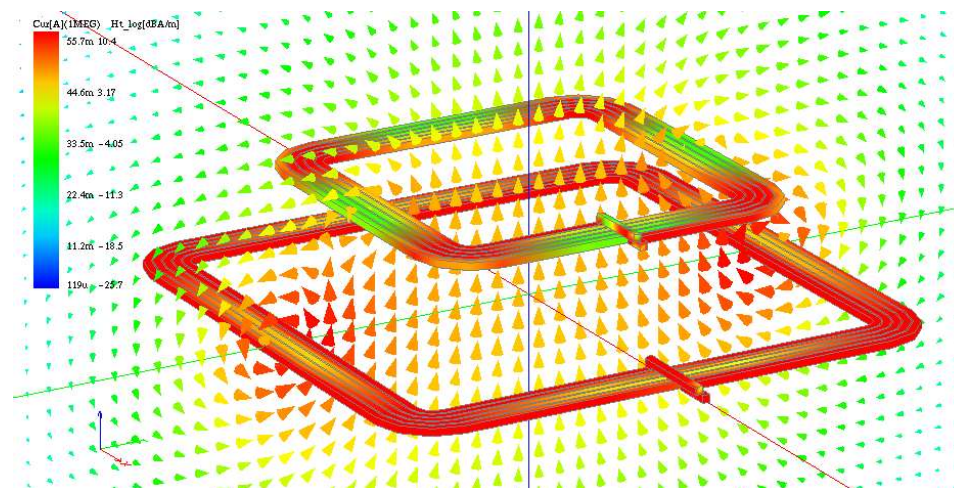
11秒/周波数

帯域スweep: 56秒/1000 周波数 (VFモード)

※MPIEモーメント法は高速に解析

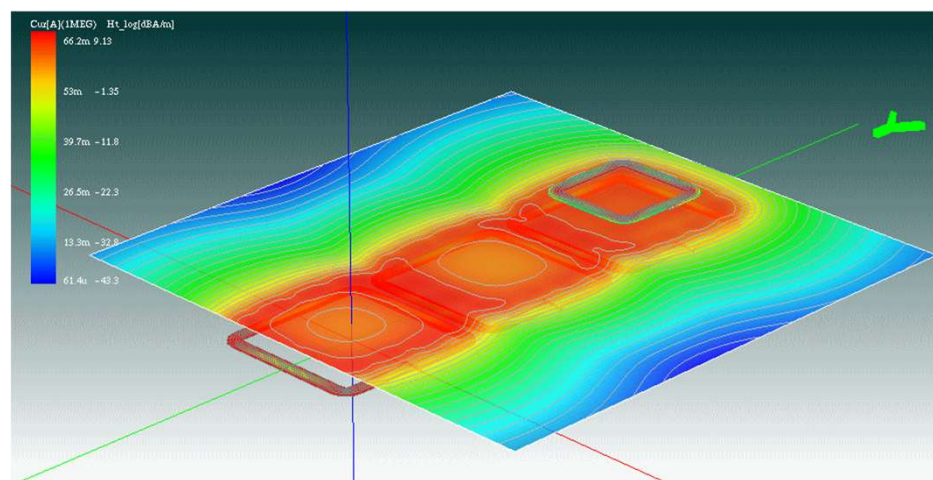
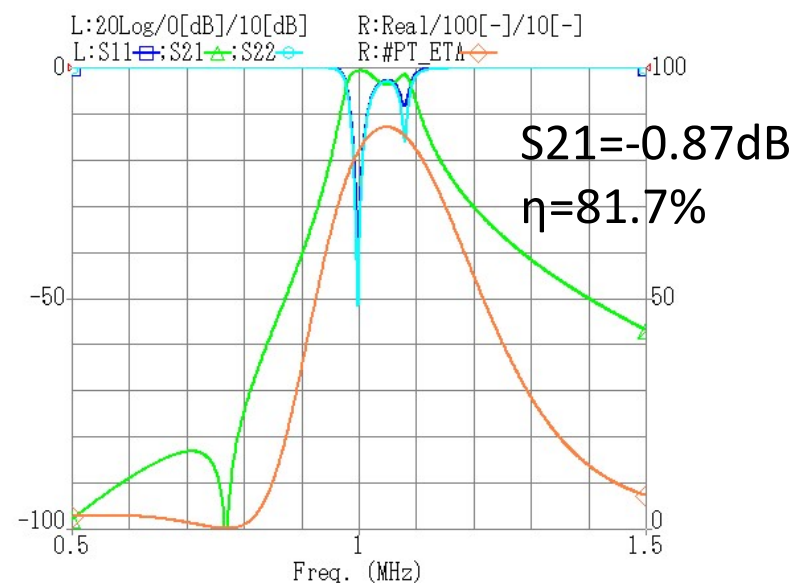
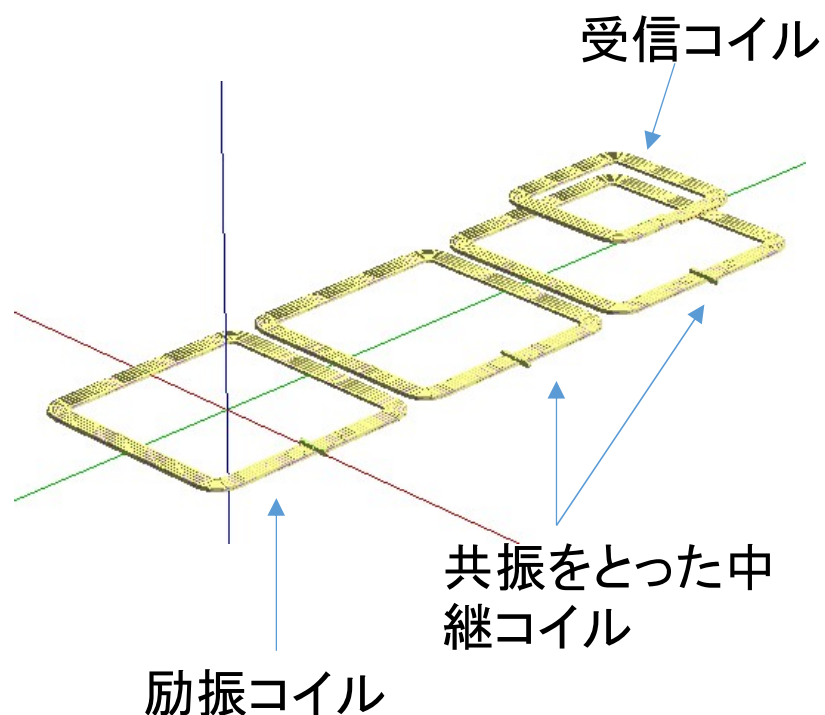


※ η の特性は負荷に依存しない



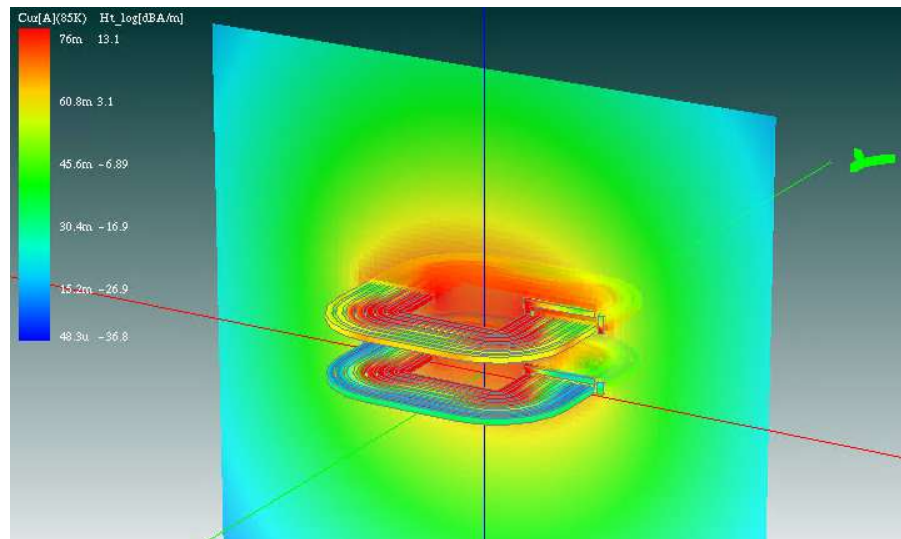
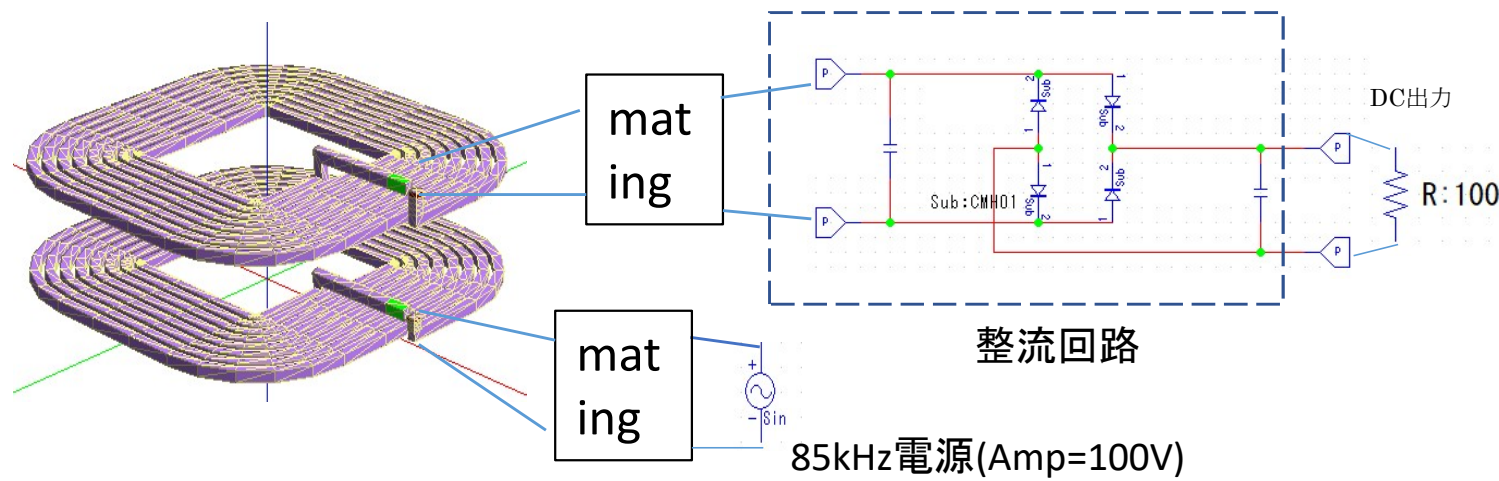
磁界分布 @1MHz

中継コイルを用いた伝送

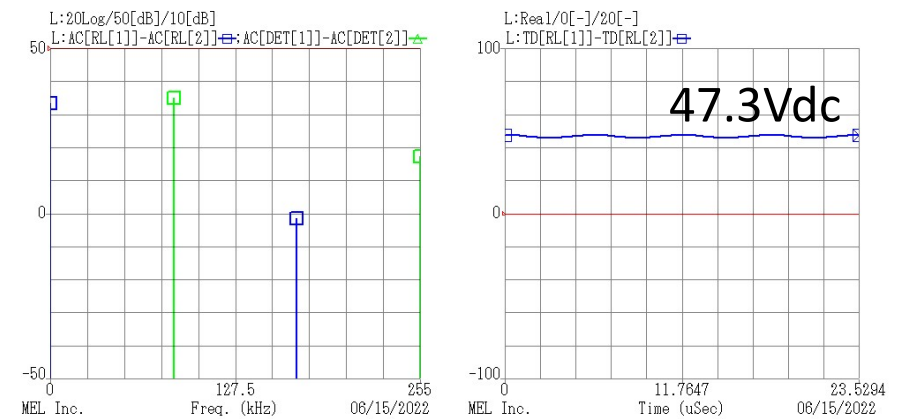


磁界分布 @1MHz

サーキュラーコイルペアによるWPT



磁界分布



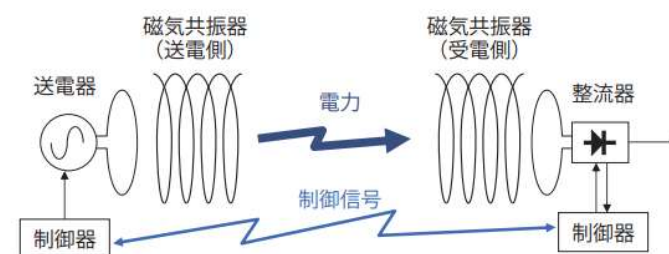
スペクトルとDC出力
変換効率=89.4%

磁界共鳴型ワイヤレス電力伝送

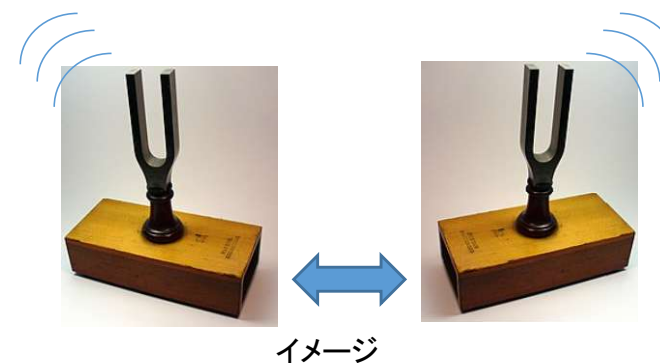
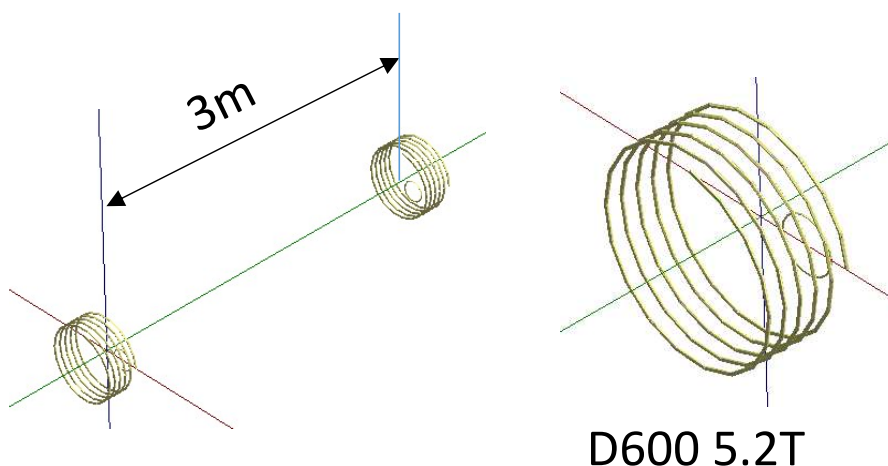
2007年6月、マサチューセッツ工科大学(MIT)は磁界共鳴型ワイヤレス電力伝送装置により2.1m離れたコイルに電力を送って60Wの電球を点灯させた実験結果を発表した(写真)。この発表により、送受間距離や位置ずれの自由度が高い方式への関心が高まり、電気自動車等様々な機器へのWPTに期待が高まった。



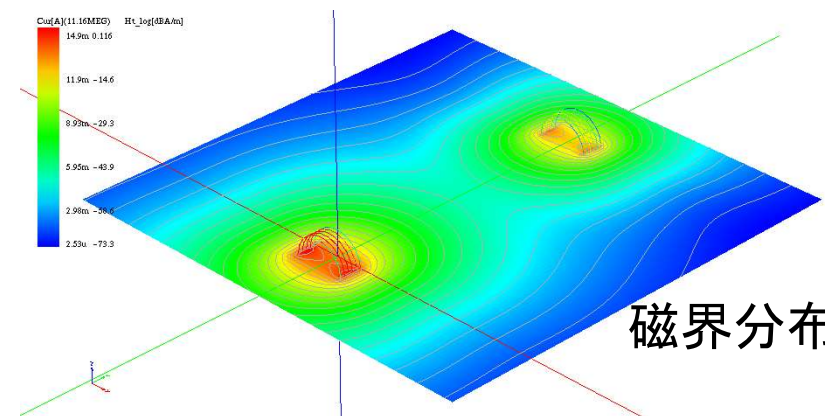
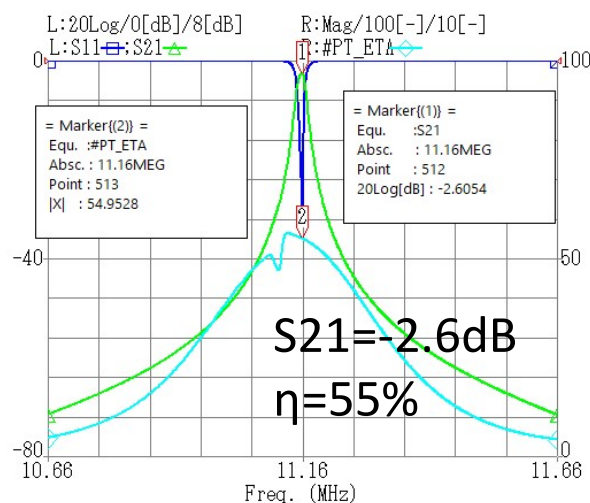
■写真. MITの発表 (2.1m離れた60W電球の点灯 2007年6月発表)
(出典: http://www.mit.edu/~soljacic/MIT_WiTricity_Press_Release.pdf)



磁界共鳴方式



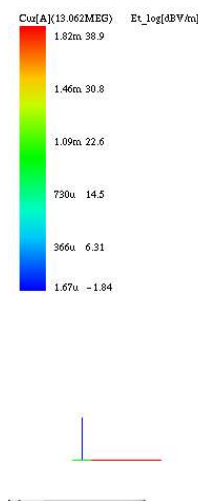
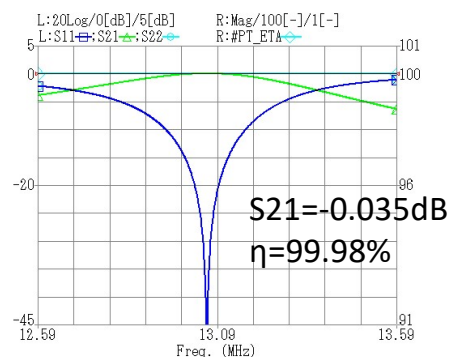
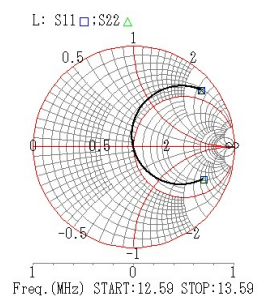
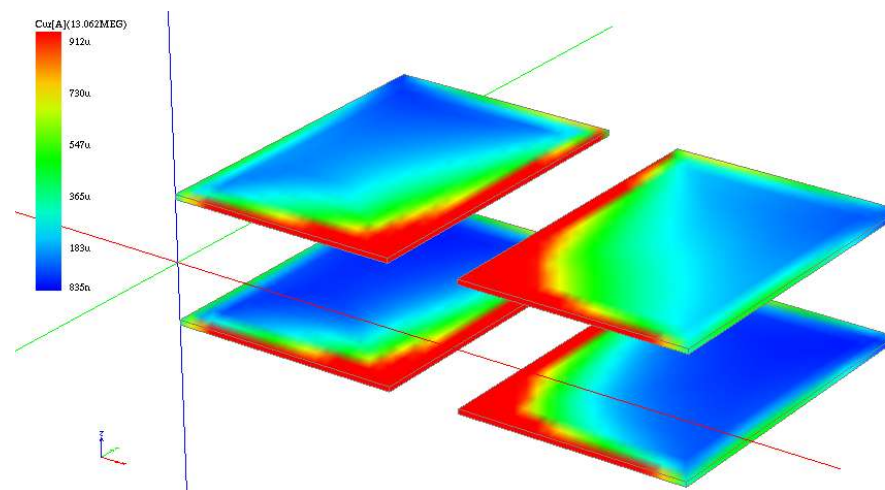
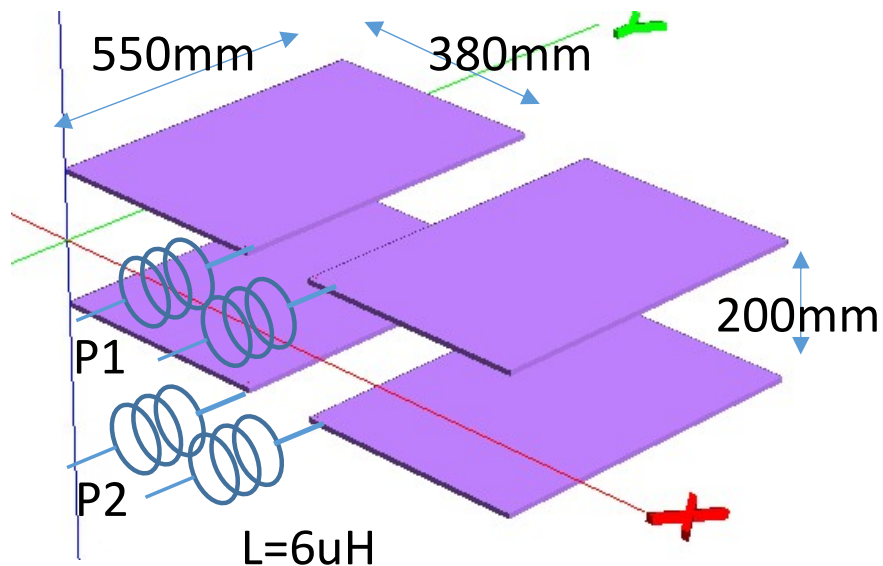
磁界共鳴方式は、コイルの自己共振を利用した共振コイルを用いた電力伝送方式で、長距離での電力伝送が可能



解析時間:
36秒/周波数
帯域スイープ: 10.4分/1000 周波数 (VFモード)
※モーメント法では距離が変わっても解析時間は同じ

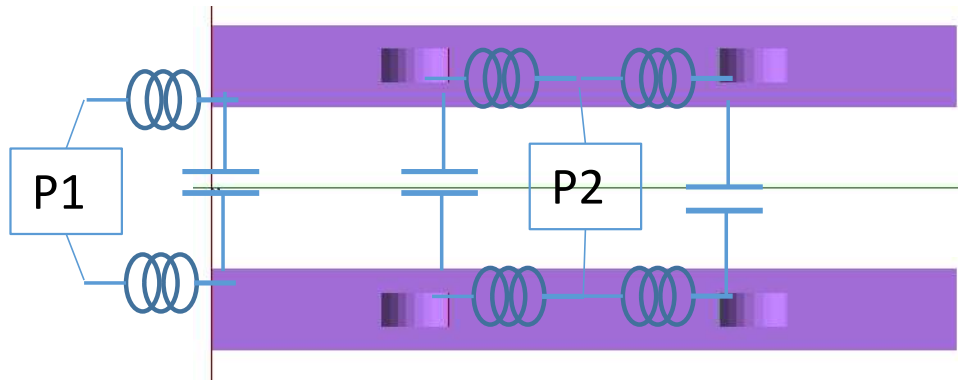
空間離散化方式のEM-SIMでは距離が離れると解析が重くなる

電界結合方式(電界共鳴)

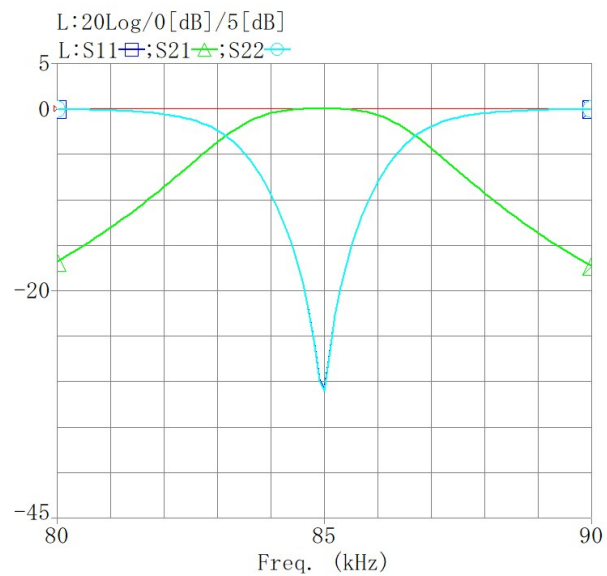


解析時間:
135秒/周波数
帯域スイープ: 10.2分/1000 周波数(VFモード)

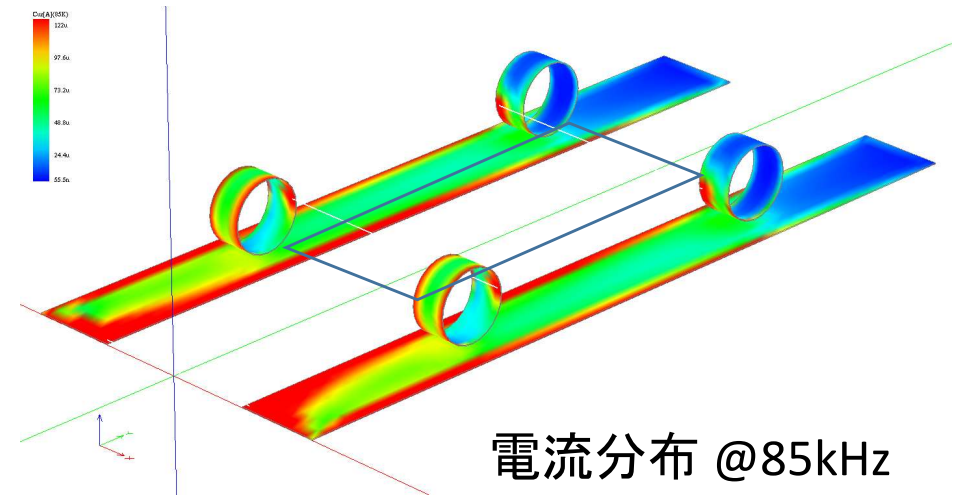
電界結合方式 (EV 85kHz)



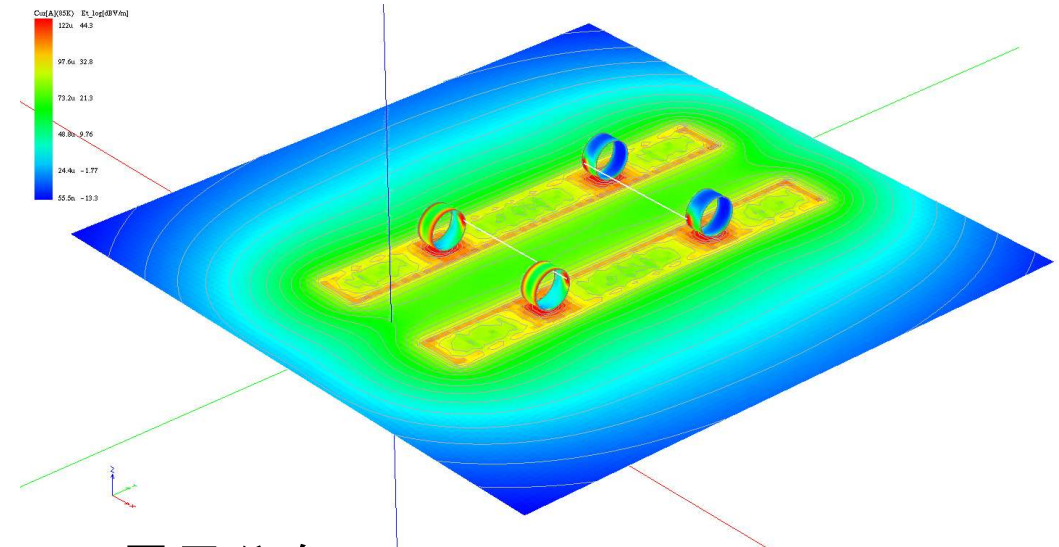
回路構成
全輪給電



解析時間:
144秒/周波数
帯域スweep: 12.3分/1000 周波数 (VFモード)



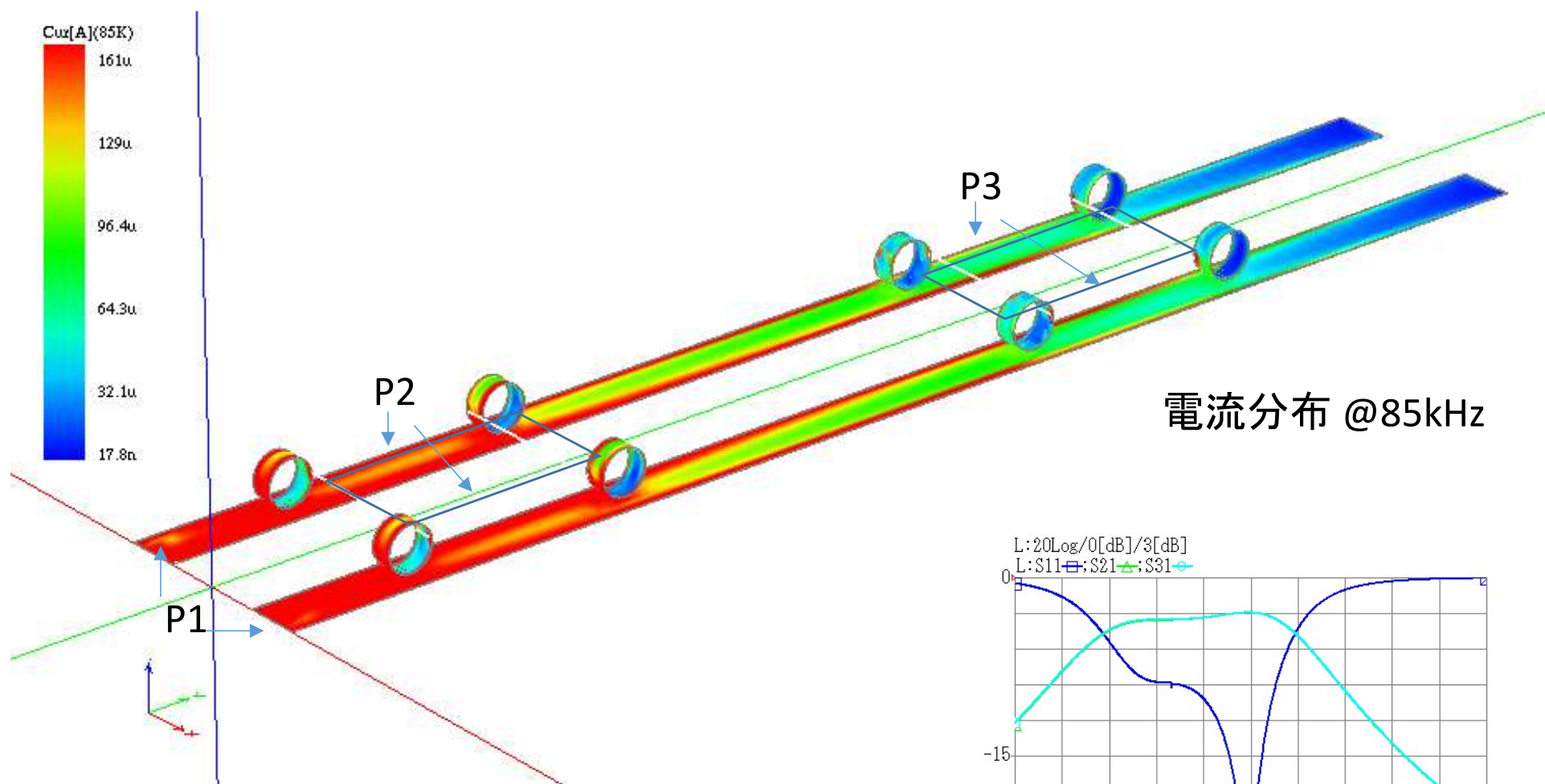
電流分布 @85kHz



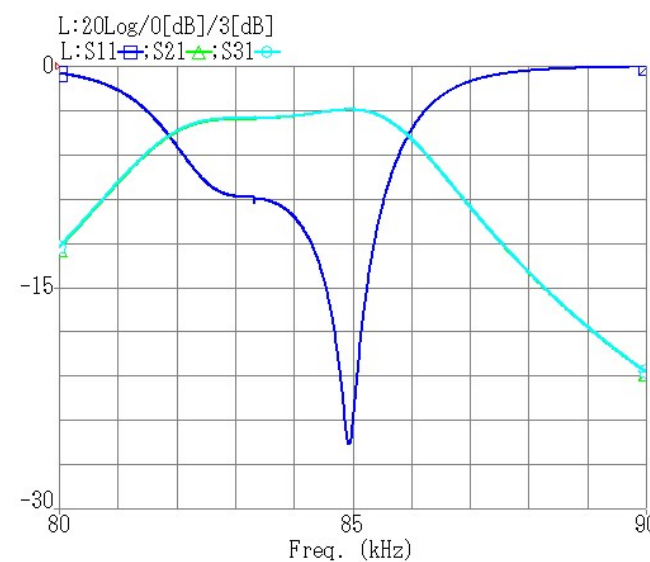
電界分布 @85kHz

Z=25mm (タイヤと線路の中間位置) 27

車両を2台置いた場合



解析時間:
18.6分/周波数
帯域スイープ: 1.6時間/1000 周波数 (VFモード)



$S21 = S31 = -3\text{dB}$

IoT機器小型アンテナ

IoT 組み込みアンテナ色々

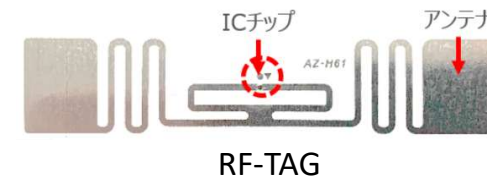
IoT化で筐体への組み込みが必須

- ・アンテナ導体のサイズは制約される
- ・筐体の影響を受ける
- ・人体の影響を受ける

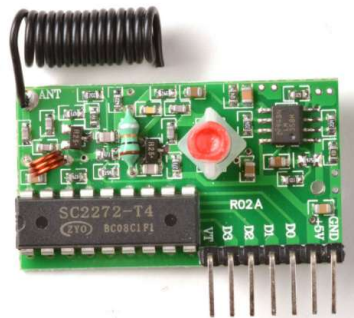
300MHz (微弱機器)

2.45GHz ISM (Wi-Fi, Bluetooth, etc.)

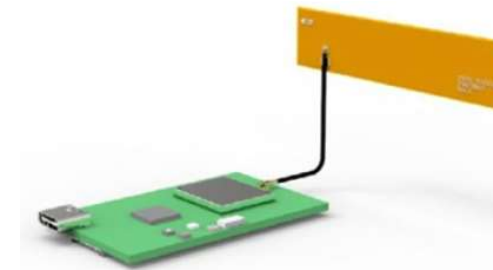
900MHz (RF-TAG)



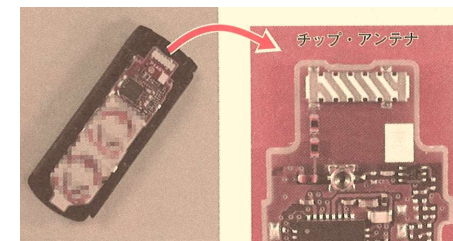
パッチアンテナ



微弱機器(315MHz)[2]



チップアンテナ[1]

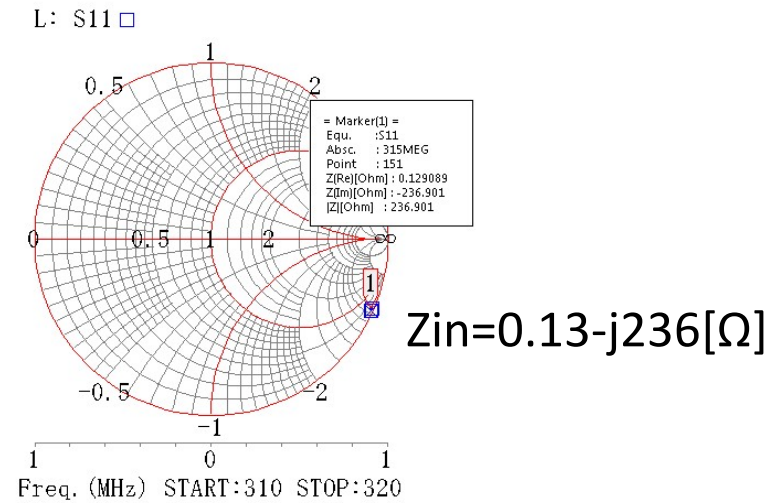
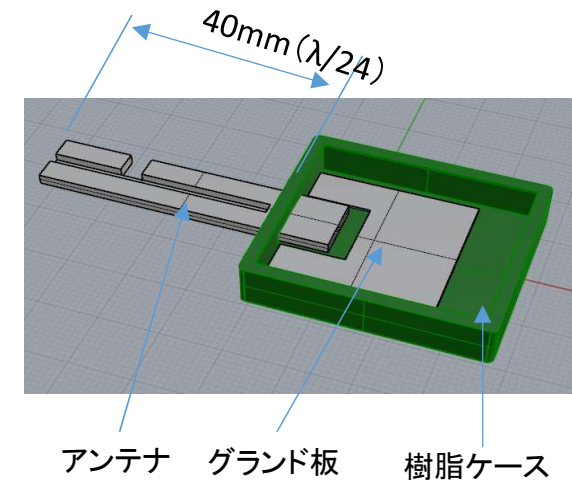
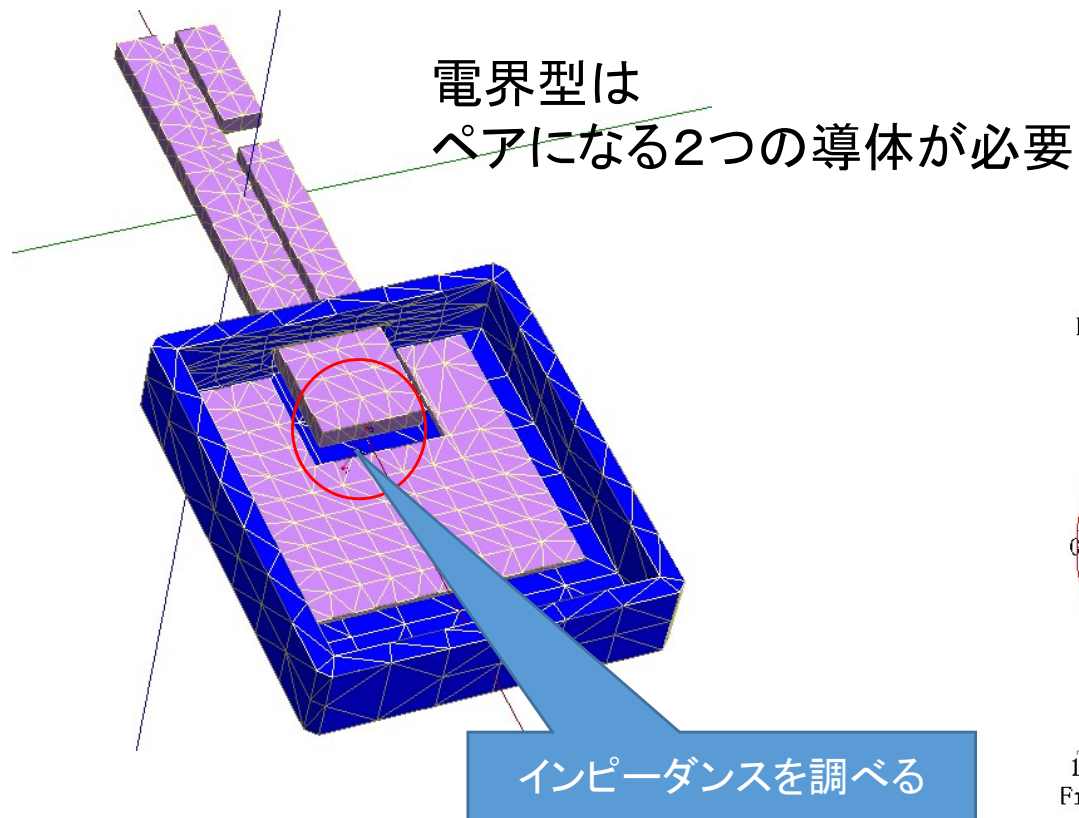


[1]RFワールド No.44

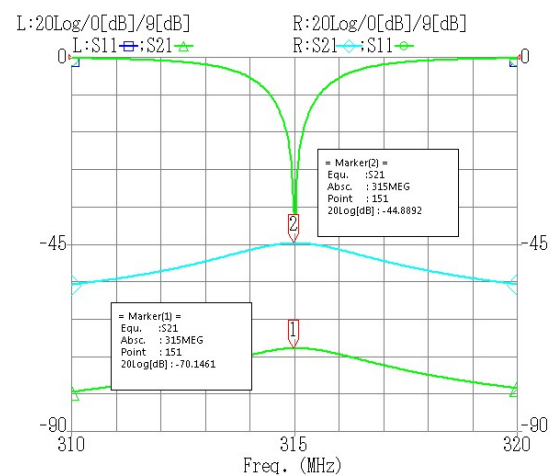
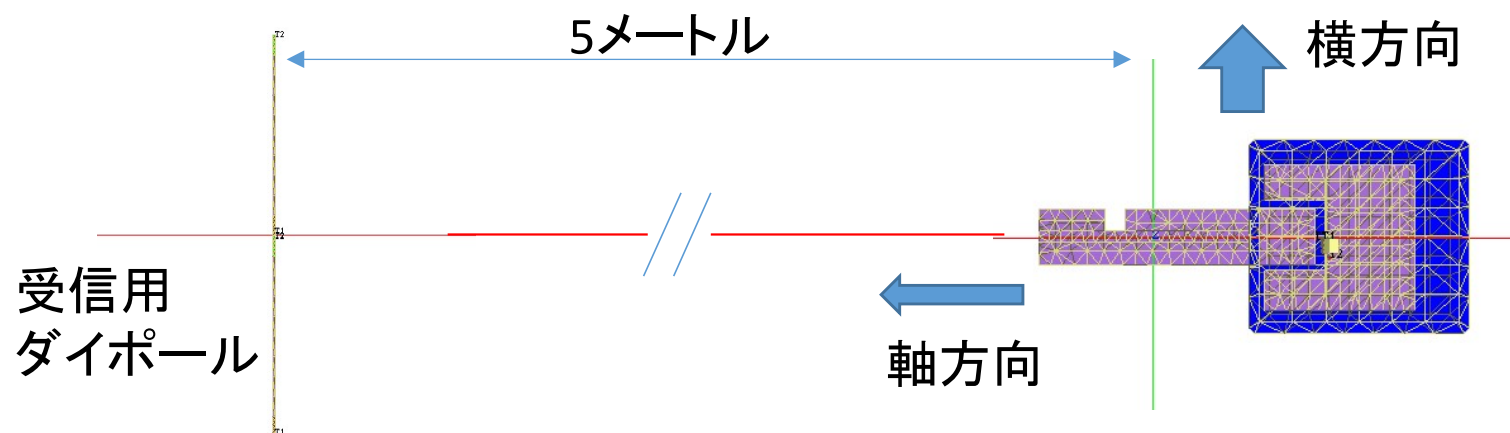
[1][2]以外の画像はWEB上のデータです

電界型小型アンテナ (315MHz)

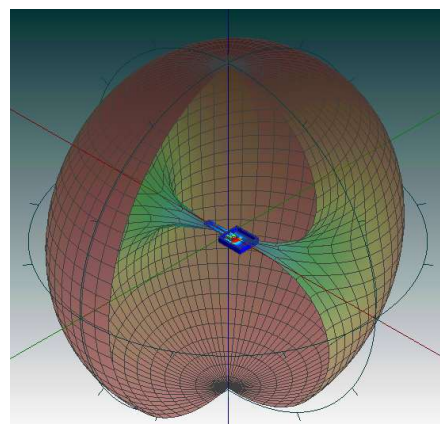
約40mmの金属鍵部を持つキーを315MHzのワイヤレス化する場合のアンテナ設計例



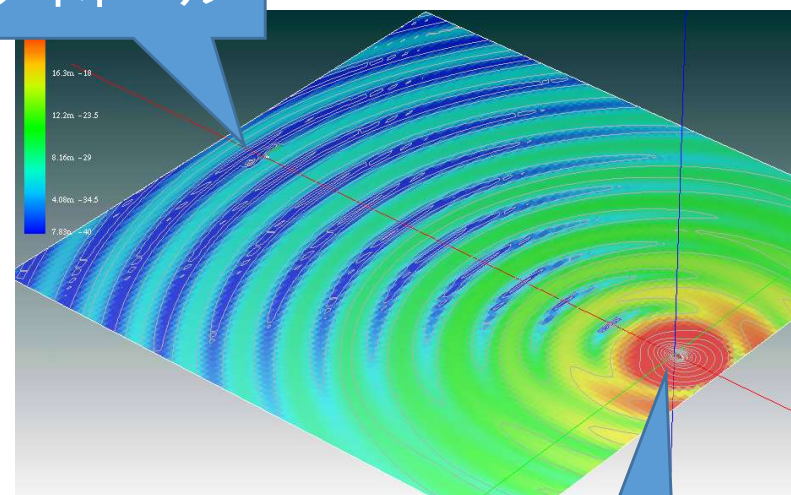
到達距離を調べる



S21=-70dB 軸方向
S21=-45dB 横方向



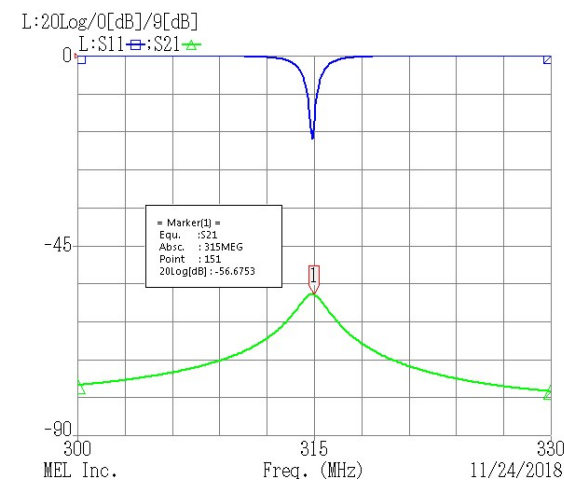
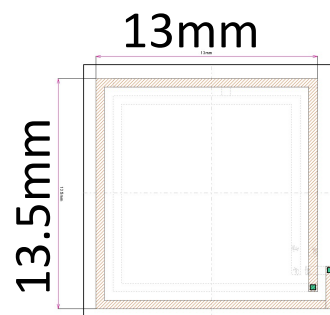
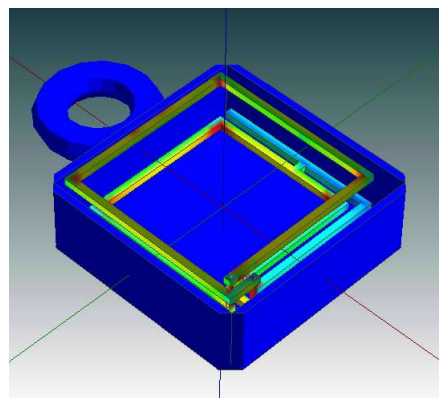
ダイポール



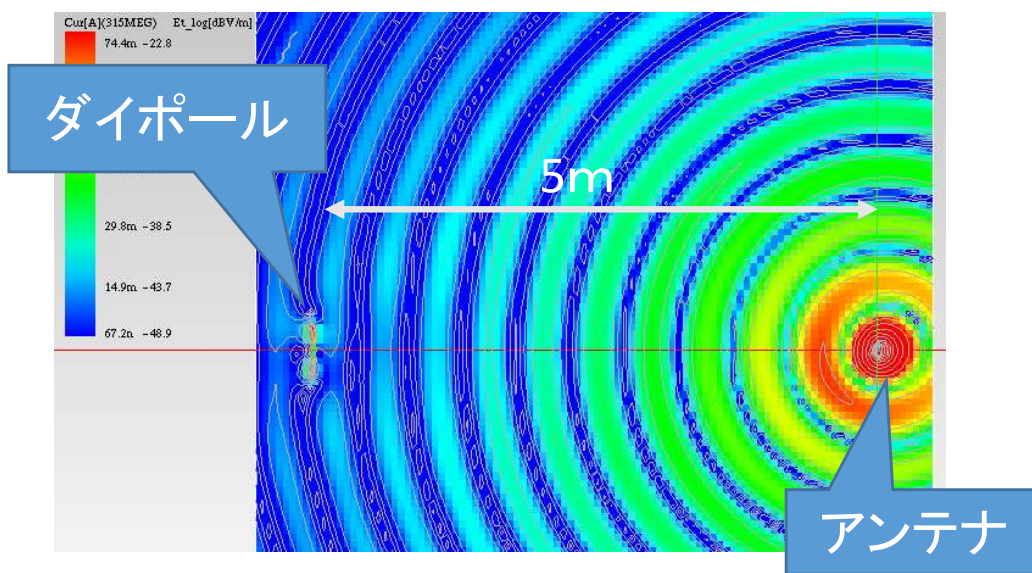
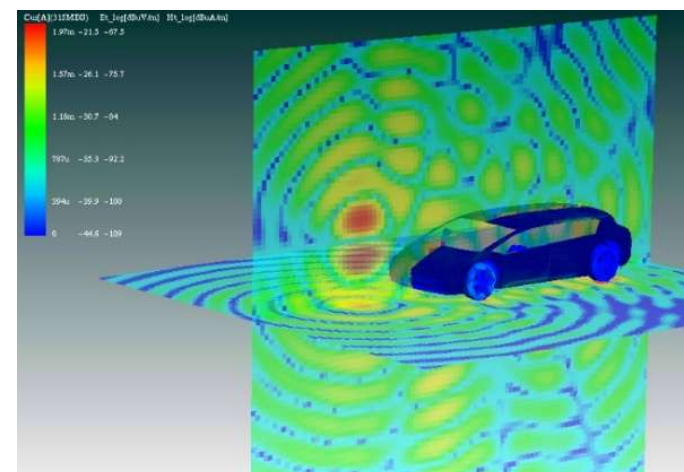
電界分布

磁界型アンテナ例 (315MHz MLA)

約15mm□の樹脂ケースに入った315MHzのワイヤレスキーのアンテナ設計例

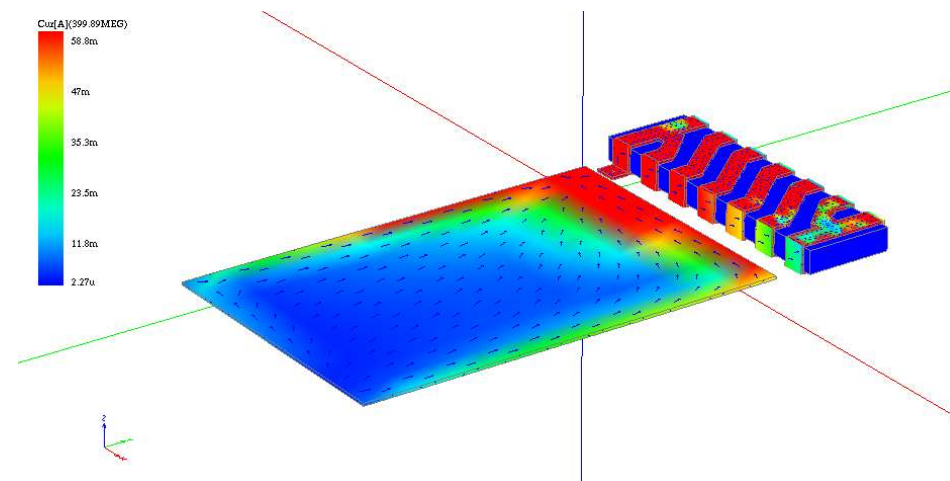
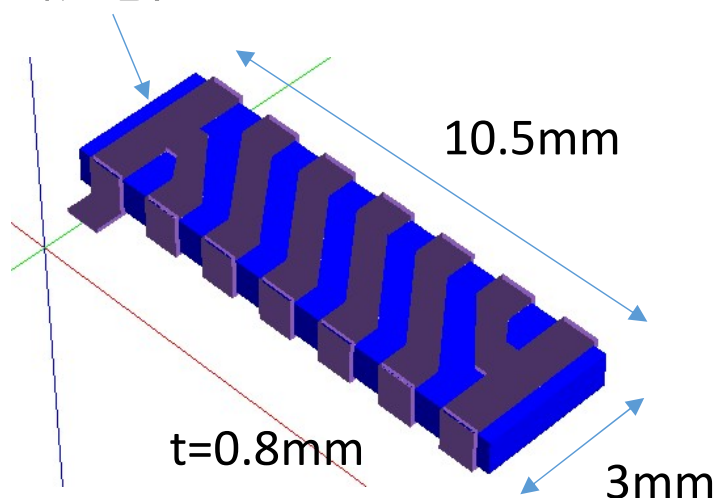


S21=-56.6dB @315MHz

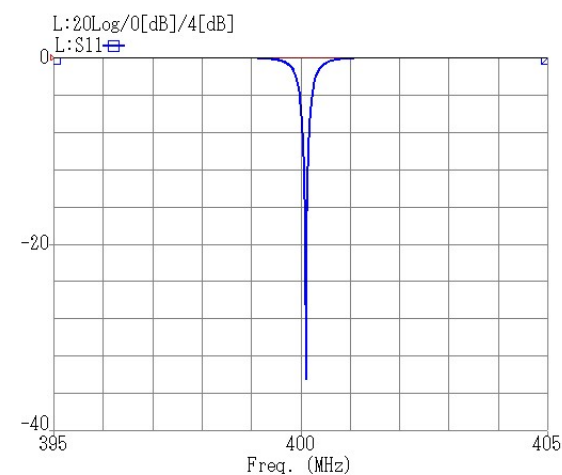
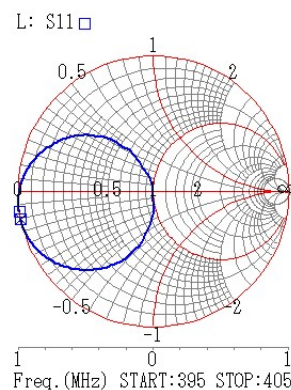
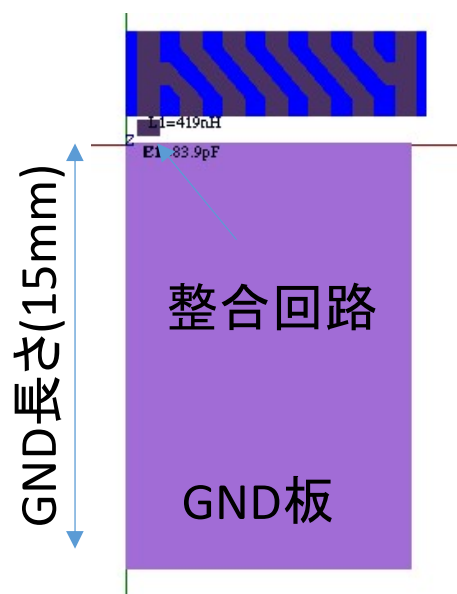


電界分布

小型アンテナと車が混在して解析可能

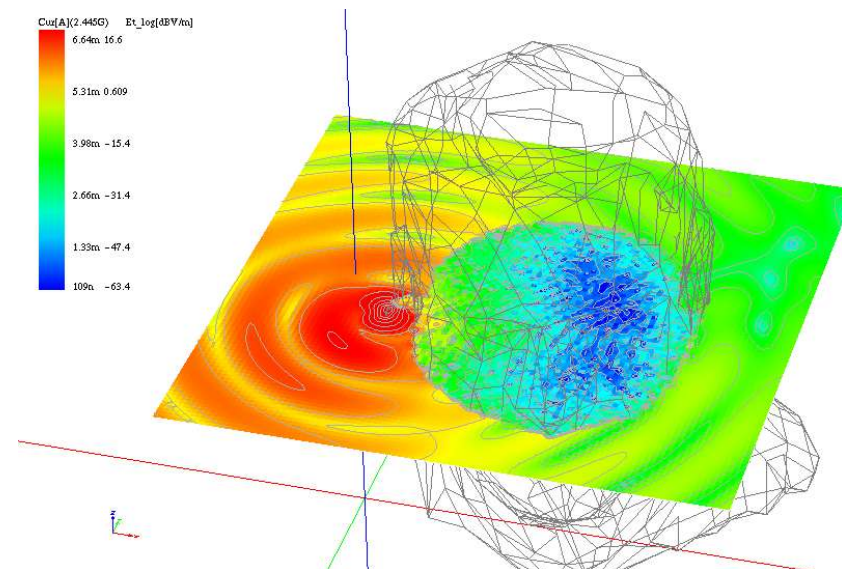
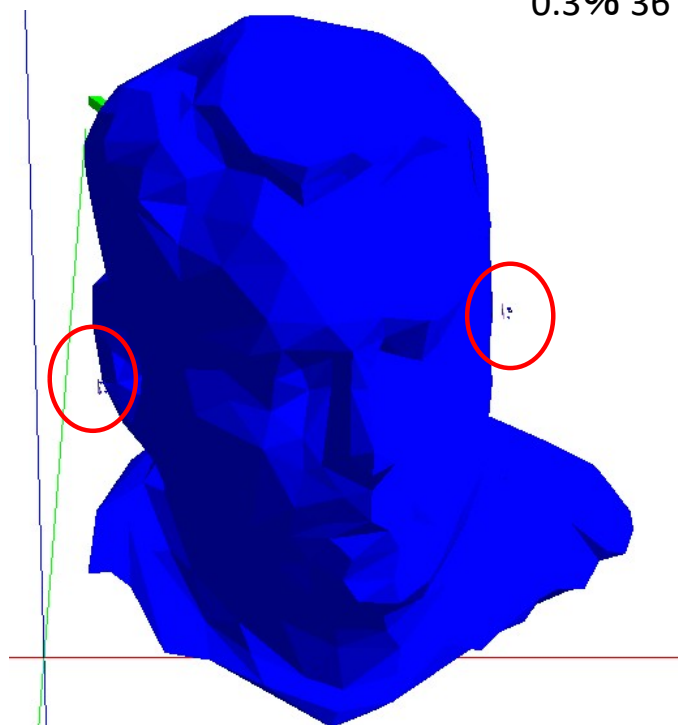


電流分布 @400MHz



人体の影響と左右の伝送特性

人体モデル:
0.3% 36°C塩水



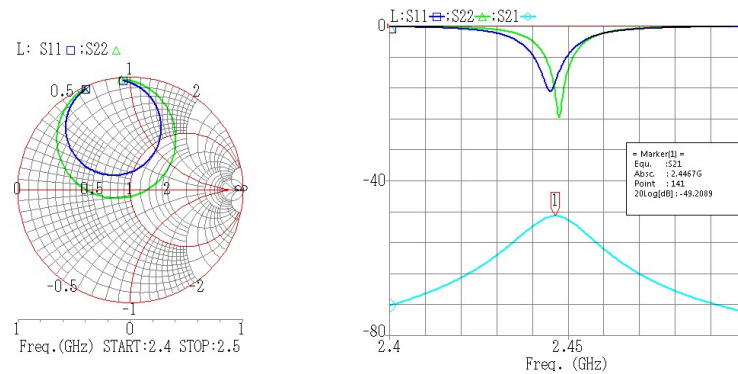
人体の影響と左右の伝送特性

MEL

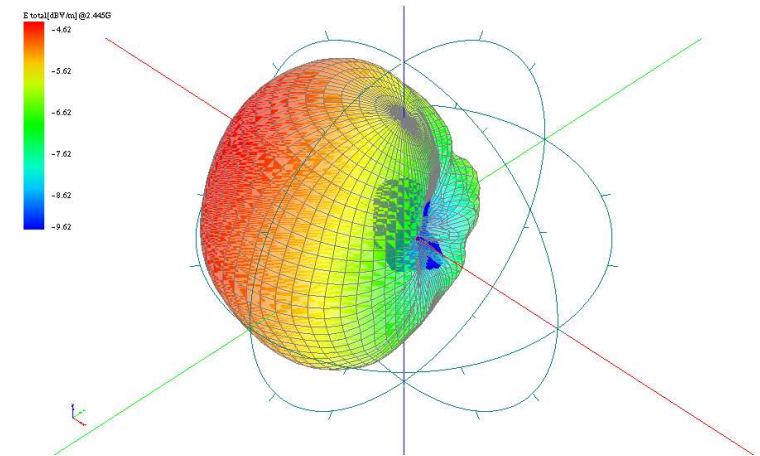
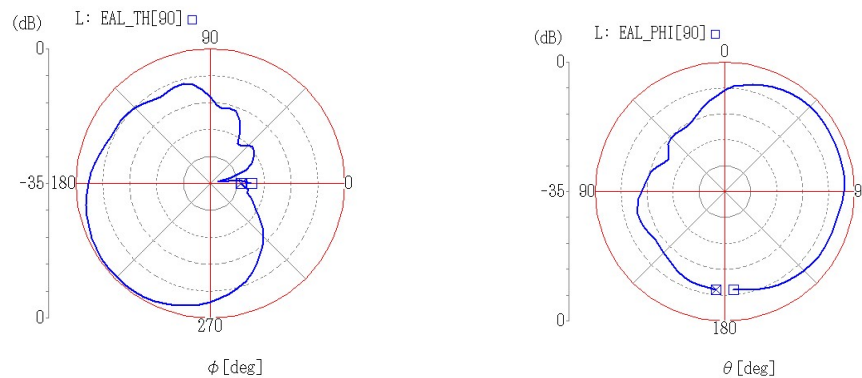
Microwave & Electronics Laboratory

リターンロス、伝達特性、指向性

人体による周波数変動は少ない



左右の伝達特性: -50dB



Active port imp.=50

VSWR=1

Direction : $\theta=55, \phi=220$

$S_r=0.000916654$ [W]

$G_d=6.11958$ [dBi]

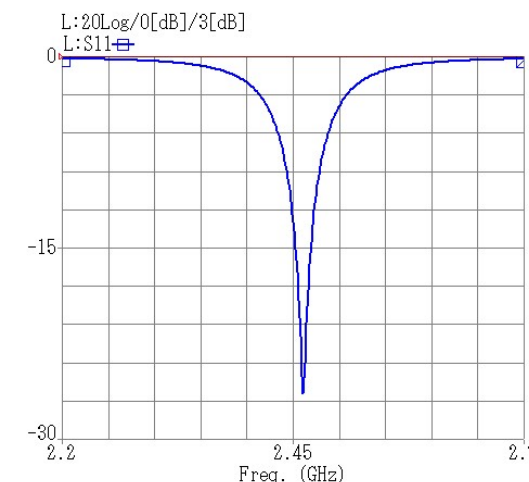
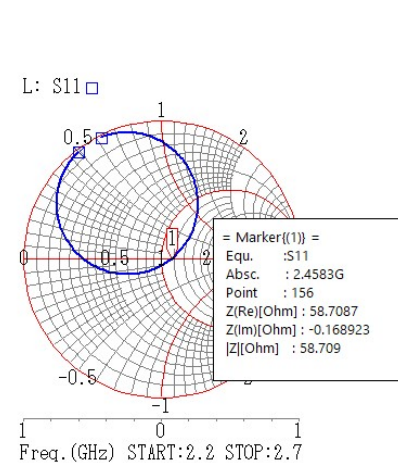
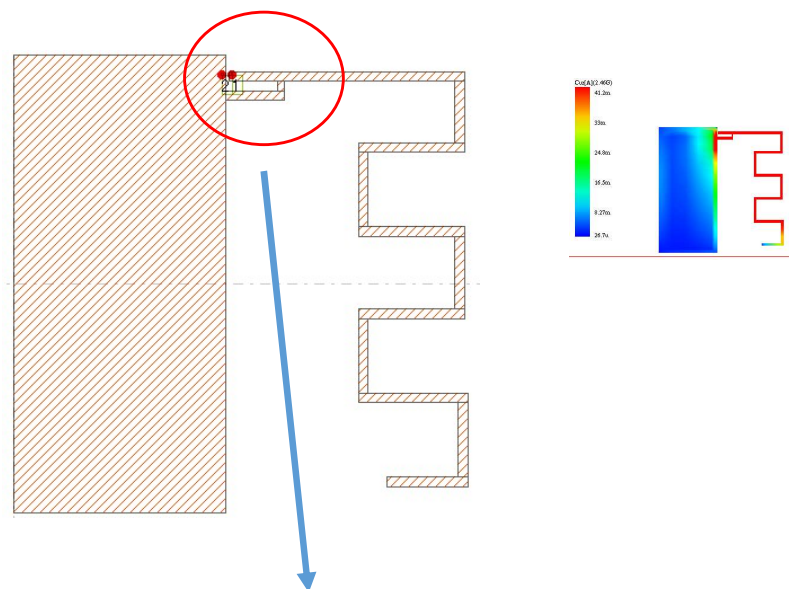
$G_a=3.62445$ [dBi]

Efficiency=56.2973 [%]

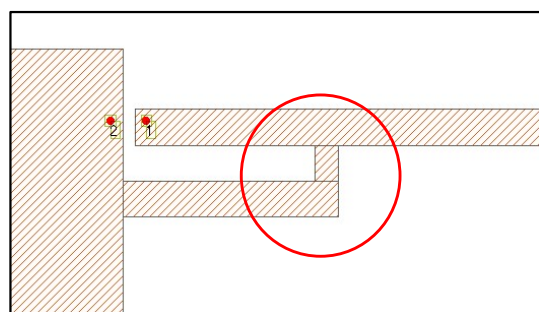
放射効率は28%減少

プリント板アンテナ

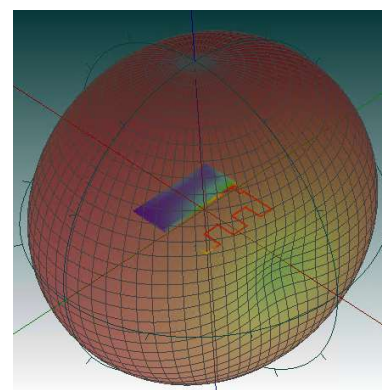
Wi-Fiアンテナ



整合特性



ガンママッチ

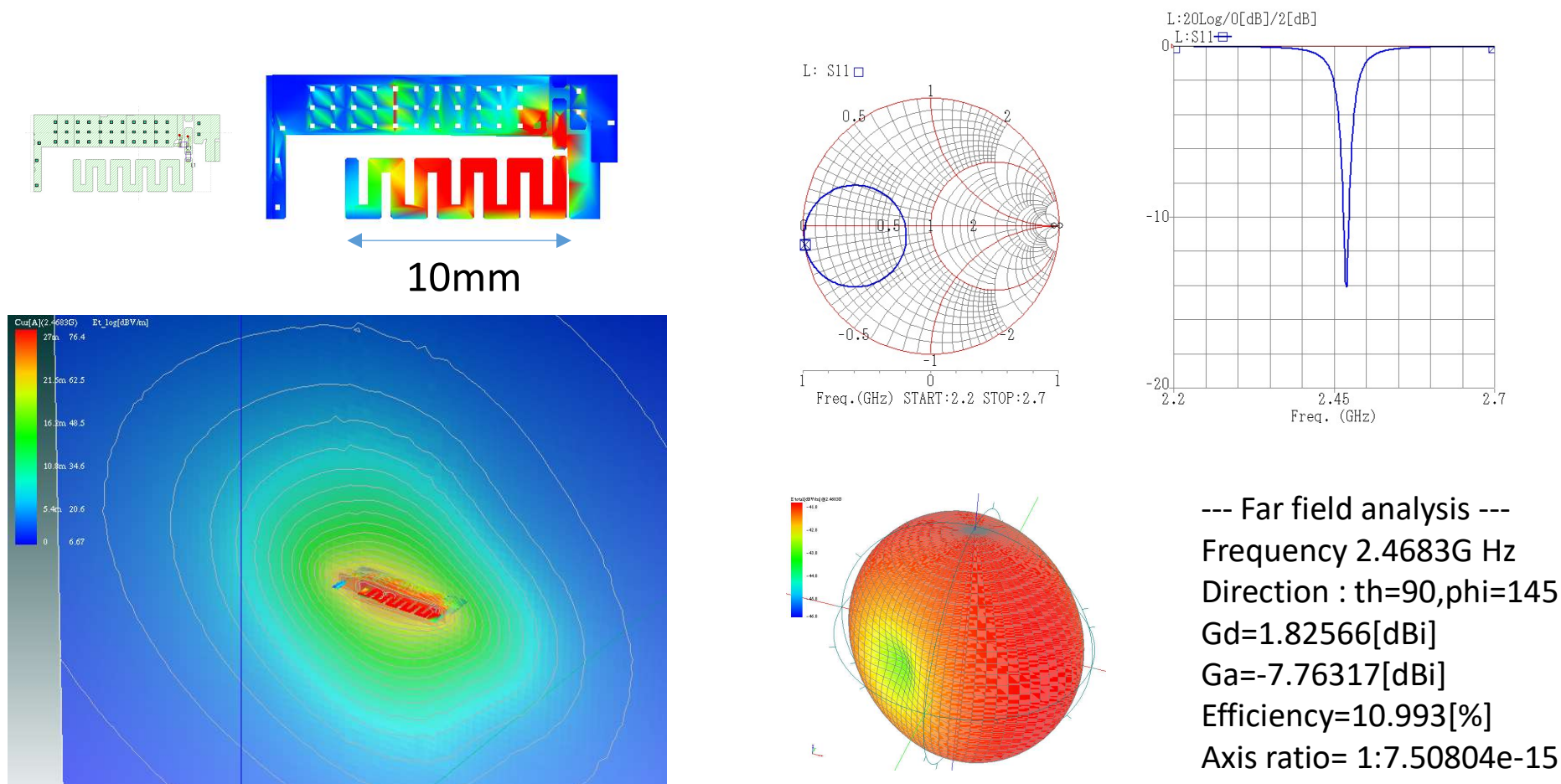


放射特性

--- Far field analysis ---
 VSWR=1
 Direction : $\theta=175, \phi=260$
 Gd=1.62058[dBi]
 Ga=1.19166[dBi]
Efficiency=90.5958[%]
 Axis ratio= 1: 0.000187325

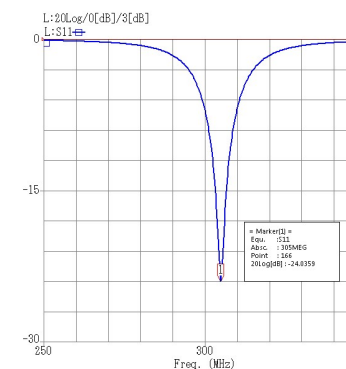
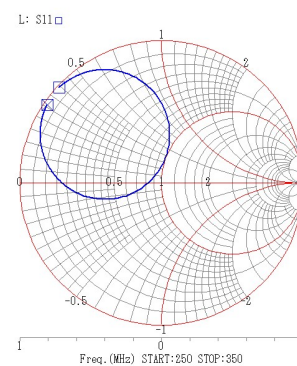
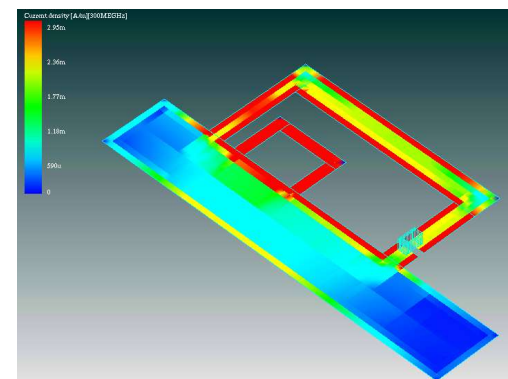
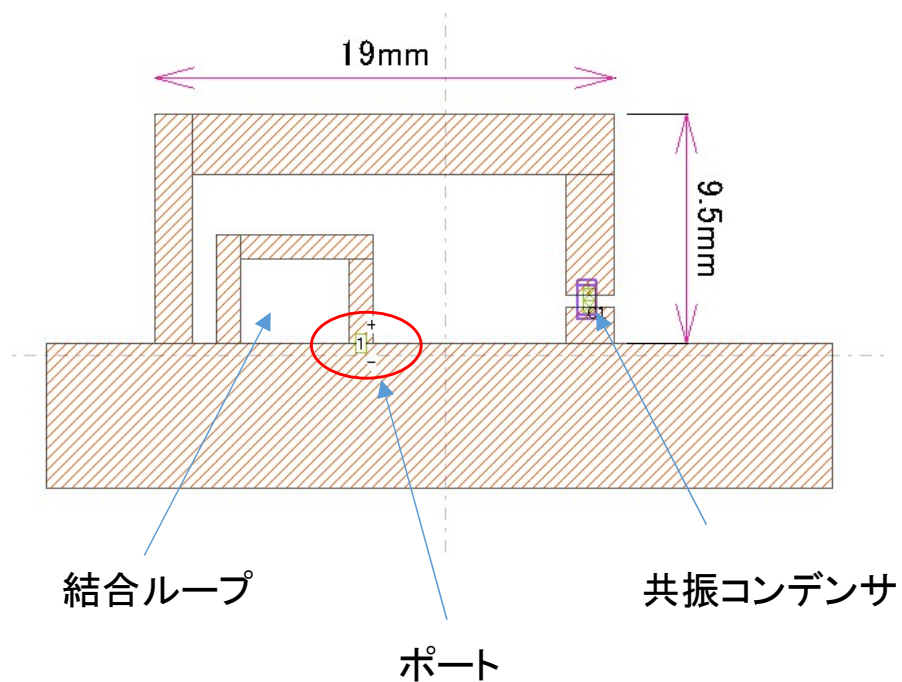
プリント板Wi-Fiアンテナ

ガーバーファイルからアンテナ部分を切り取ったシミュレーションです

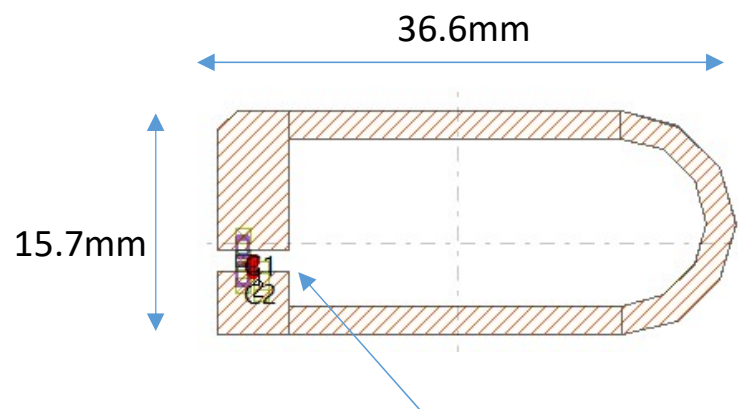
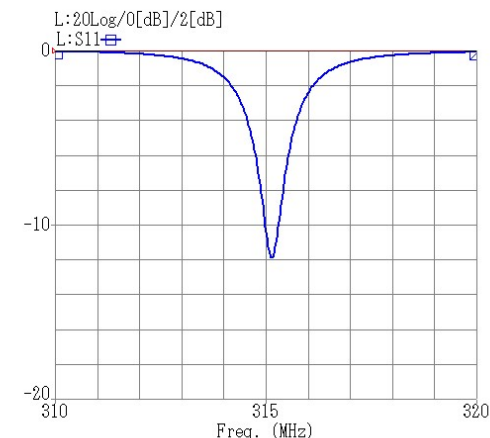
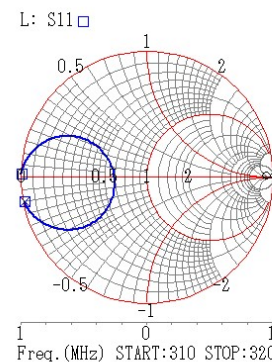
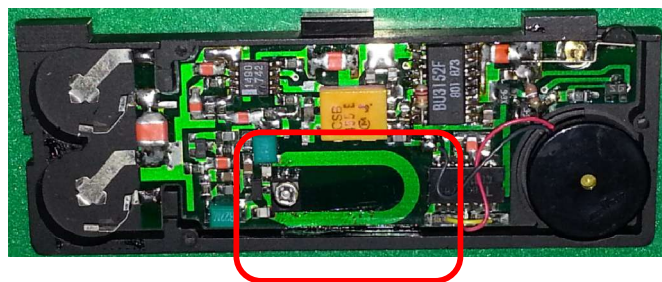


磁界型アンテナ例 (300MHz)

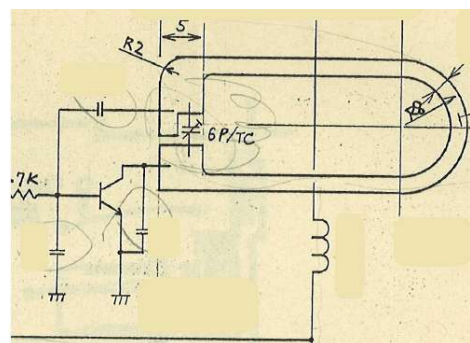
任意サイズで作成可能



小型機器への適用例



共振,整合回路

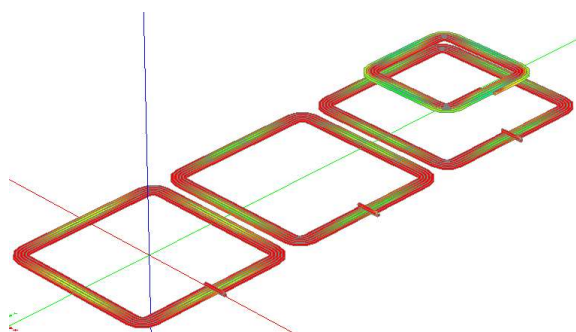


--- Far field analysis ---
 VSWR=1
 Direction : $\theta=90, \phi=180$
 $G_d=1.72737[\text{dBi}]$
 $G_a=-10.8688[\text{dBi}]$
Efficiency=5.50026[%]
 Axis ratio= 1: 1.53493e-14

その他

多ポートSパラメータ⇒等価回路変換機能

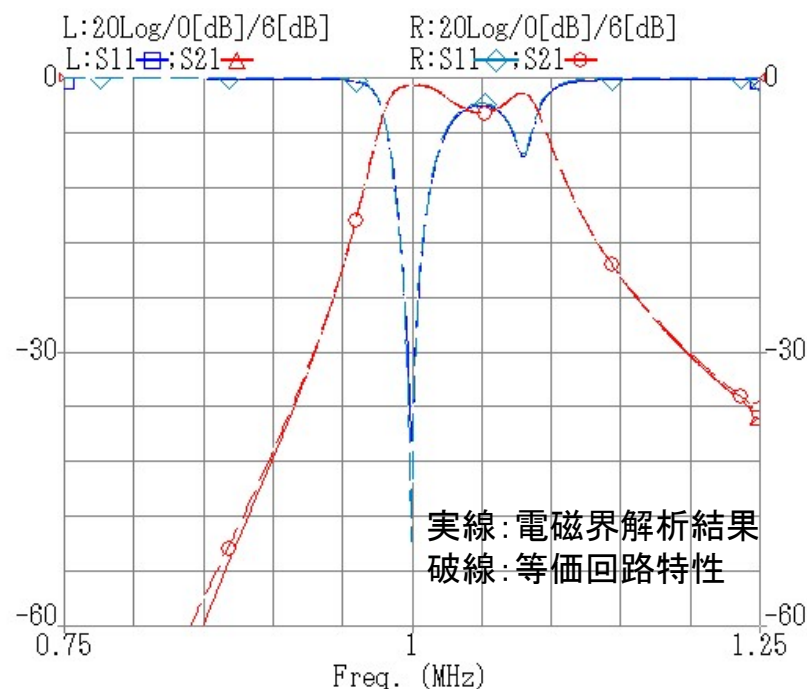
多ポートのS,Y,ZパラメータからSPICEのサブサーキットを出力できます。図は中継タイプのWPTの伝送特性の電磁界解析を行った結果を変換した例です。ほぼ同じ特性が得られています。



中継コイルタイプWPT

```
*****
* SPICE Model generated by S-NAP
*****
.SUBCKT x3_sparam p1p p1n p2p p2n
X1 p1p p1n p2p p2n x3_sparam0
.SUBCKT x3_sparam0 p1p p1n p2p p2n
VP_1 p1p p1c 0
HI_1 I1_1 I2_1 VP_1 1
VI_1 I1_1 I3_1 0
XAI_1 I3_1 I2_1 x3_sparam0_Ai1_1
FI_1 I4_1 p1n VI_1 1
.
```

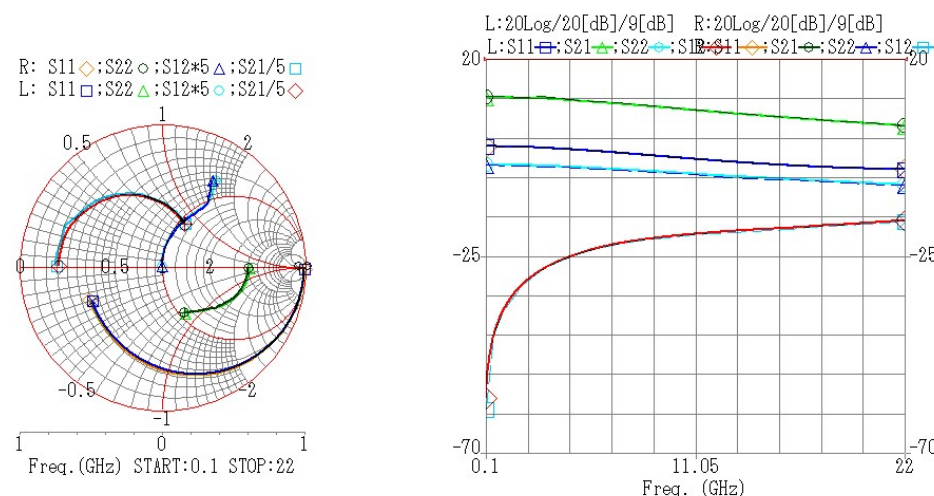
SPICE
サブサーキット出力



アクティブSパラメータ⇒等価回路変換機能

等価回路変換機能はパッシブ回路 ($|S_{mn}| \leq 1$) でない場合も変換可能です
以下は、FHX04XというHEMTのSパラメータを等価回路変換した例です。

100.00MEG	1.00000	-0.90000	3.72100	179.20000	0.00100	89.50000	0.60600	-0.40000
500.00MEG	0.99900	-4.70000	3.71700	176.00000	0.00700	87.70000	0.60500	-2.10000
1.00G	0.99600	-9.50000	3.70500	172.00000	0.01300	86.40000	0.60400	-4.20000
2.00G	0.98300	-18.80000	3.65800	164.10000	0.02600	81.00000	0.59800	-8.30000
3.00G	0.96400	-28.00000	3.68500	156.40000	0.03800	76.70000	0.58800	-12.30000
⋮								
19.00G	0.57800	-140.10000	1.91800	72.30000	0.12500	57.00000	0.38200	-55.70000
20.00G	0.57000	-145.40000	1.85300	68.80000	0.13000	57.80000	0.37300	-58.40000
21.00G	0.56400	-150.60000	1.79300	65.40000	0.13400	58.70000	0.36500	-61.10000
22.00G	0.56000	-155.60000	1.73600	62.10000	0.14000	59.80000	0.35800	-64.00000

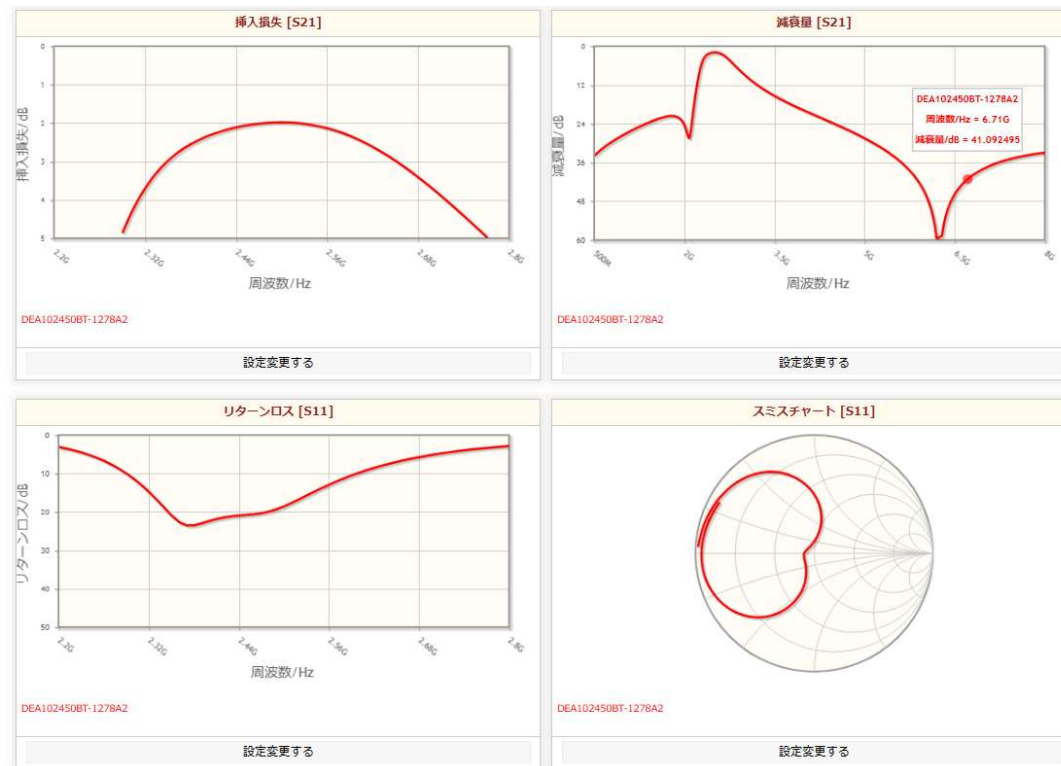
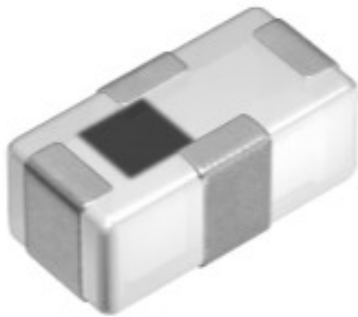


元のSパラメータと等価回路特性の比較

市販部品の等価回路化(1)

TDK社製
2.45GHz BPF

DEA102450BT-1278A2

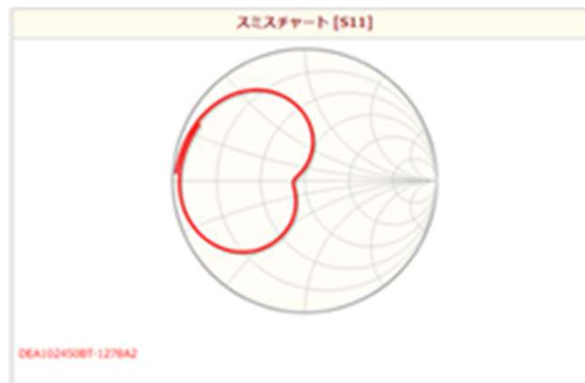
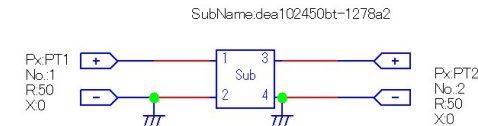


等価回路抽出

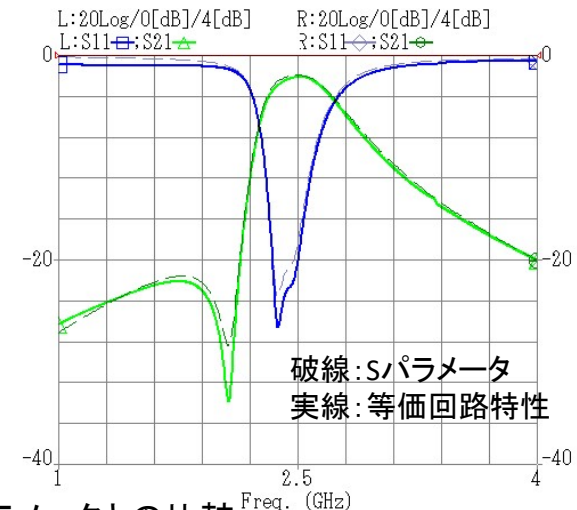
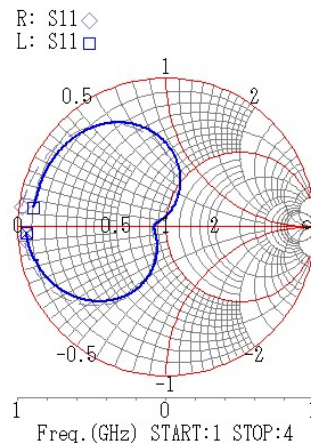
得られたSPICEサブサーキット(一部)

抽出設定

```
*****
*****
* SPICE Model generated by S-NAP/MEL Inc.
* Date: 2024 3月 27(水曜日)
* Sparameter : ¥TDKsample¥lib¥dea102450bt-1278a2.s2p (V=0,I=0)
* Base parameter : Sparameter
* Number of port : 2, symmetric=false
* Terminals : p1_pos,p1_neg,p2_pos,p2_neg,...
*****
*****
.SUBCKT dea102450bt-1278a2 p1p p1n p2p p2n
VFG1 p3p p3n 0
X1 p1p p1n p2p p2n p3p p3n dea102450bt-1278a20
.SUBCKT dea102450bt-1278a20 p1p p1n p2p p2n p3p p3n
VP_1 p1p p1c 0
HI_1 I1_1 I2_1 VP_1 1
VI_1 I1_1 I3_1 0
XAI_1 I3_1 I2_1 dea102450bt-1278a20_Ai1_1
FI_1 p1c p1n VI_1 1
XG_1 p1c p1n dea102450bt-1278a20_G1_1
.
```



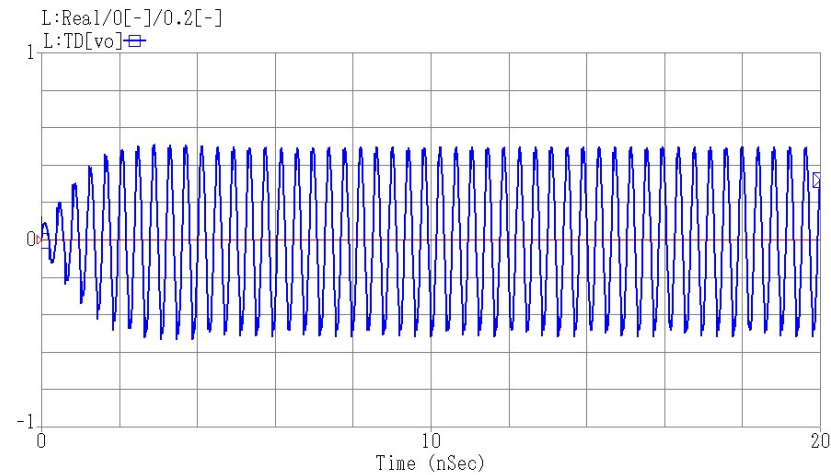
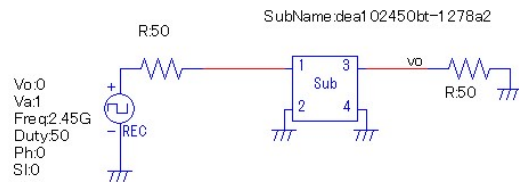
TDK社データシート



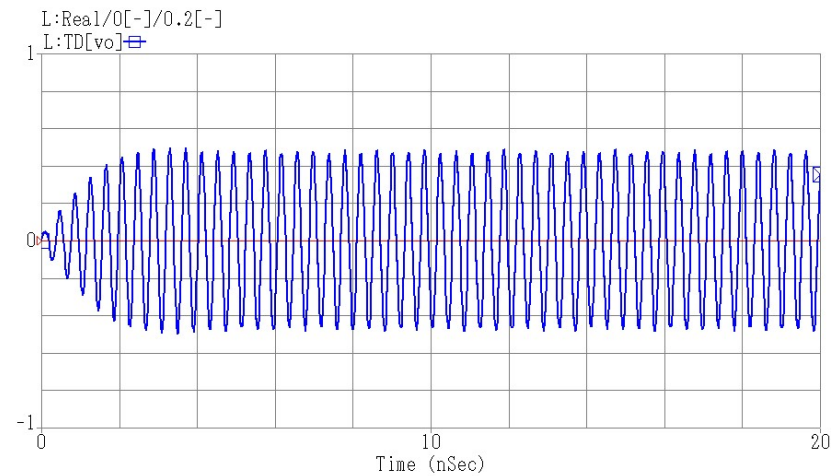
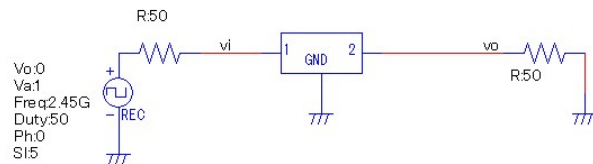
元のSパラメータとの比較

トランジェント解析

サブサーキット使用



Sパラメータ使用



市販部品の等価回路化(2)

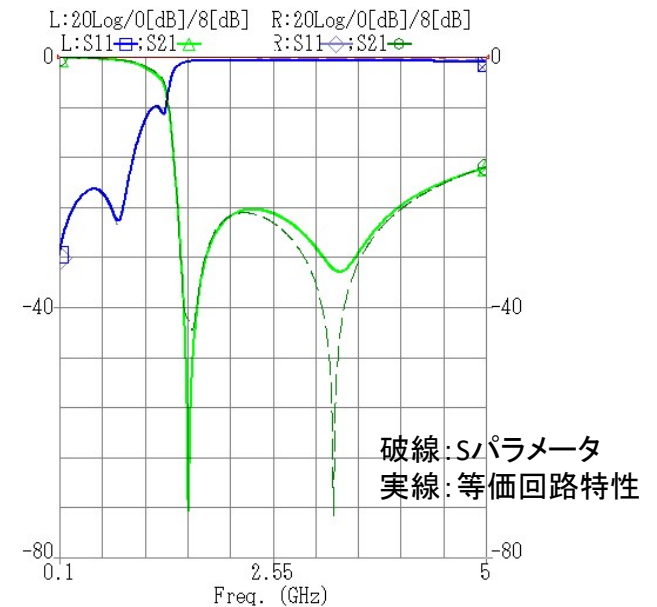
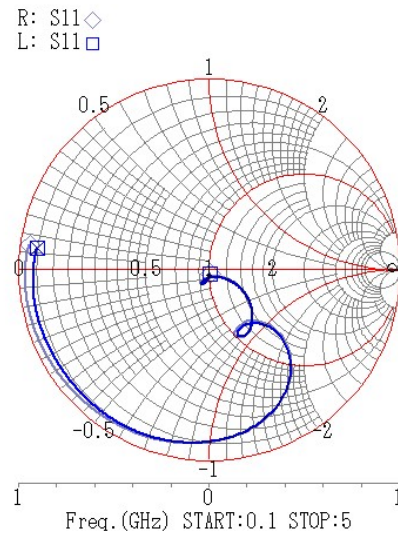
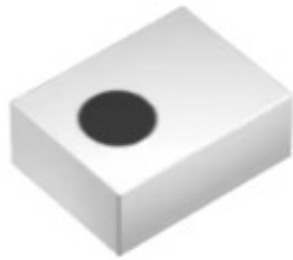
得られたSPICEサブサーキット(一部)

```
*****
**
* SPICE Model generated by S-NAP/MEL Inc.
* Date: 2024 3月 27(水曜日)
* Sparameter : ¥TDKsample¥lib¥dea070787lt-4002a1.s2p (V=0,I=0)
* Base parameter : Sparameter
* Number of port : 2, symmetric=false
* Terminals : p1_pos,p1_neg,p2_pos,p2_neg,...
*****

.SUBCKT dea070787lt-4002a1 p1p p1n p2p p2n
VFG1 p3p p3n 0
X1 p1p p1n p2p p2n p3p p3n dea070787lt-4002a10
.SUBCKT dea070787lt-4002a10 p1p p1n p2p p2n p3p p3n
VP_1 p1p p1c 0
HI_1 I1_1 I2_1 VP_1 1
.
```

TDK社製
1GHz LPF

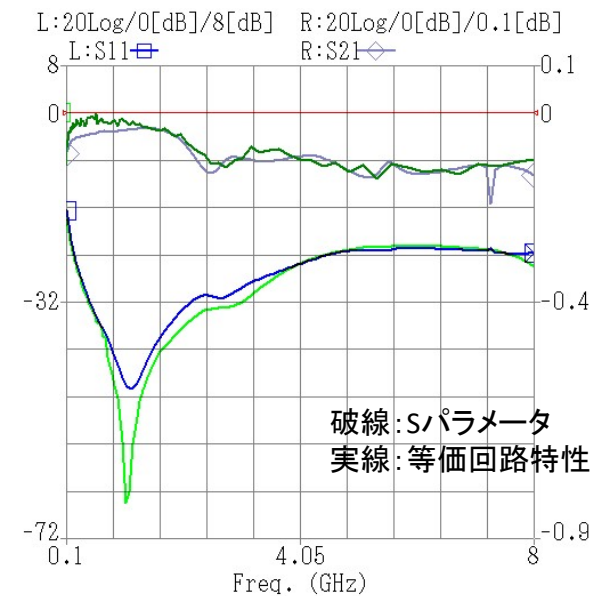
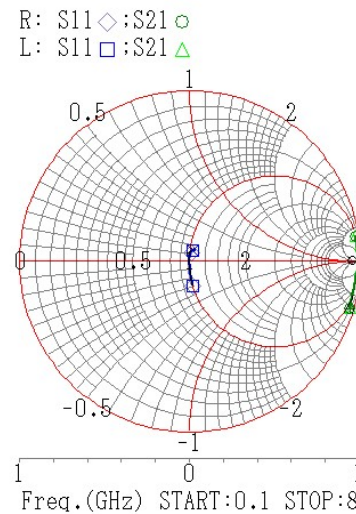
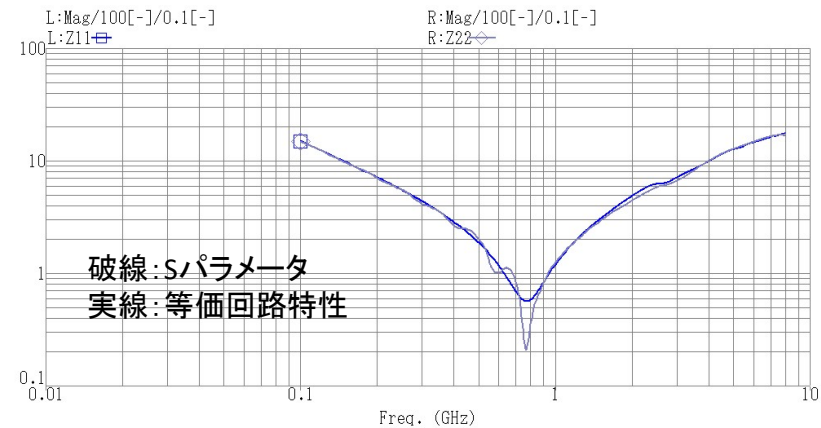
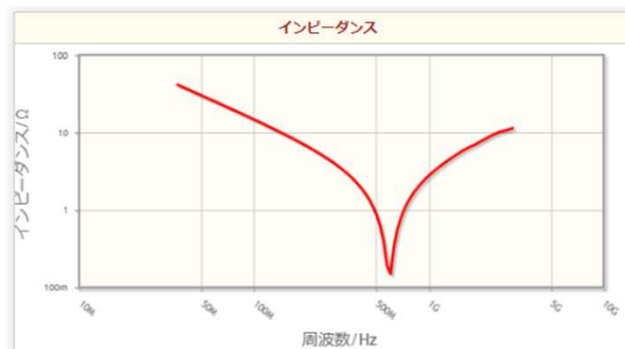
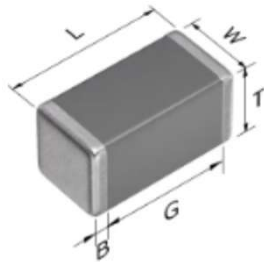
DEA070787LT-4002A1



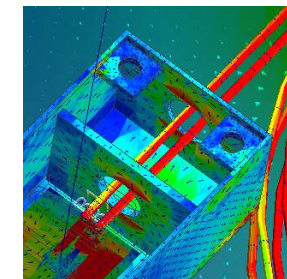
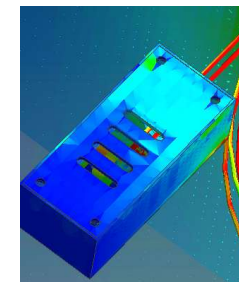
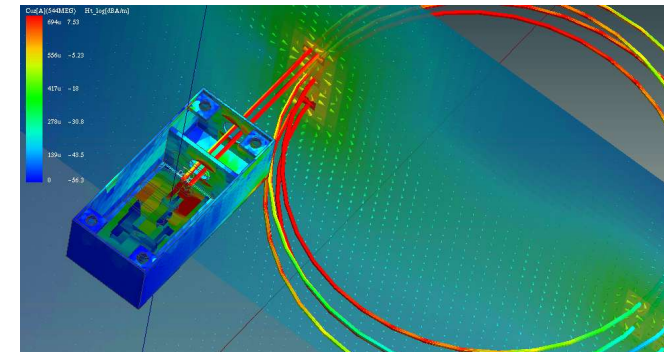
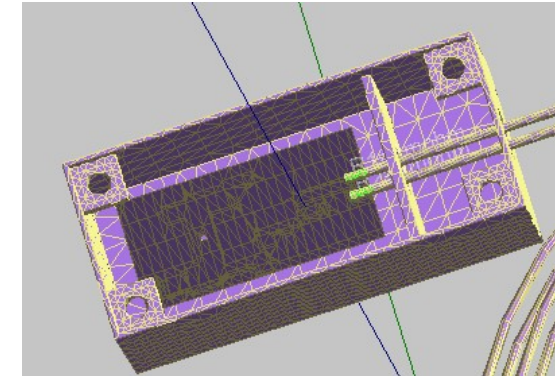
市販部品の等価回路化(3)

TDK社製
チップコンデンサ100pF

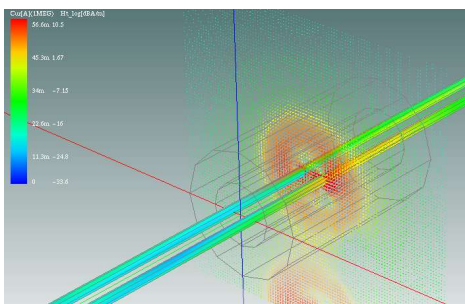
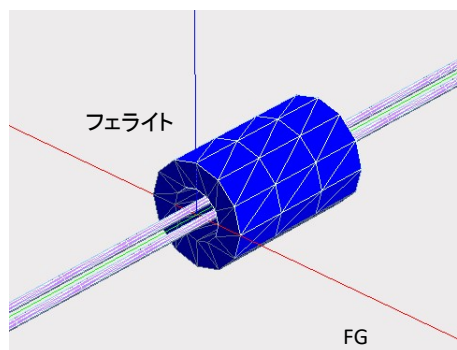
CGA2B2C0G2A101J050BA



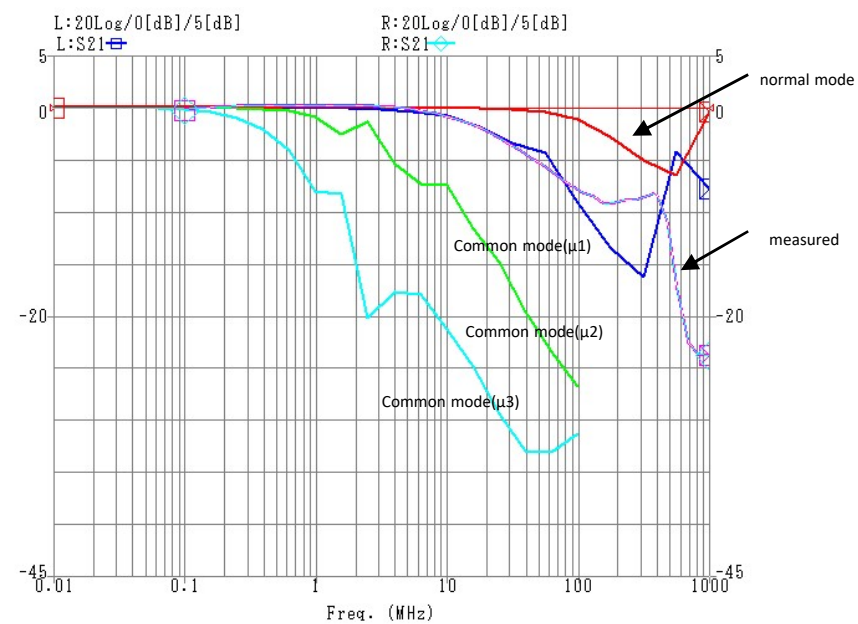
MEL
Microwave & Electronics Laboratory



クランプフィルタ特性



磁界分布 @1MHz



透磁率の違いによるコモンモード抑圧特性の相違

解析時間: 7.6秒/Freq

モーメント法の特徴

- <一般的な特徴>
- 境界面の変数のみなので必要な変数が少ない
マトリックスが小さくて済む(ただし密行列)
- 結合問題が高精度に解析可能
磁界共鳴方式などのHi-Q問題に適している
- 数十波長離れている遠方のオブジェクト間の解析が容易(1km程度まで可能)
ワイヤレス電力伝送など送受信ペアで解析する問題の解析
- 極大、極小問題の解析が容易
小型アンテナと車などの大規模な筐体との同時解析など
- <MPIE(Mixed Potential Integral Equation)>
- 超低周波から超高周波まで対応できる(kHz～ミリ波まで)
85kHzのワイヤレス電力伝送の解析も容易
- ポートを単独で設定できる