

S-NAP【評価版】を用いた非接触カードの解析(13.56MHz)

T. Ogawa/ MEL Inc.
2010/8/14

あらまし

S-NAP Microwave Suite を用いて 13.56MHz を用いた非接触カードの解析を紹介し
ます。評価版を用いて、カード単体のインピーダンス解析を行った後、製品版を用いて伝送
特性のシミュレーションを行います。Sパラメータによる評価だけでなく、実際の変調信
号による応答なども含めて紹介します。

S-NAP/Field の図形入力

図 1 に S-NAP/Field に入力する構造図を示します。(a)に全体図、(b)にコイルパター
ン図、(c)にポート部分の拡大図を示します。解析 BOX のサイズは、128mm□で、高さは
40mm です。BOX の上下は自由空間に接続しています。コイルパターンは BOX の中央
に配置されています。パターンの寸法は、おおよそ 80mm×50mm で、誘電体は $27\mu\text{m}$ 、
比誘電率を 2.47 としています。パターンは、コイル部分とキャパシタ部分に分かれてお
り、キャパシタは誘電体フィルムを挟んで上下の面状のパターンで作られています。

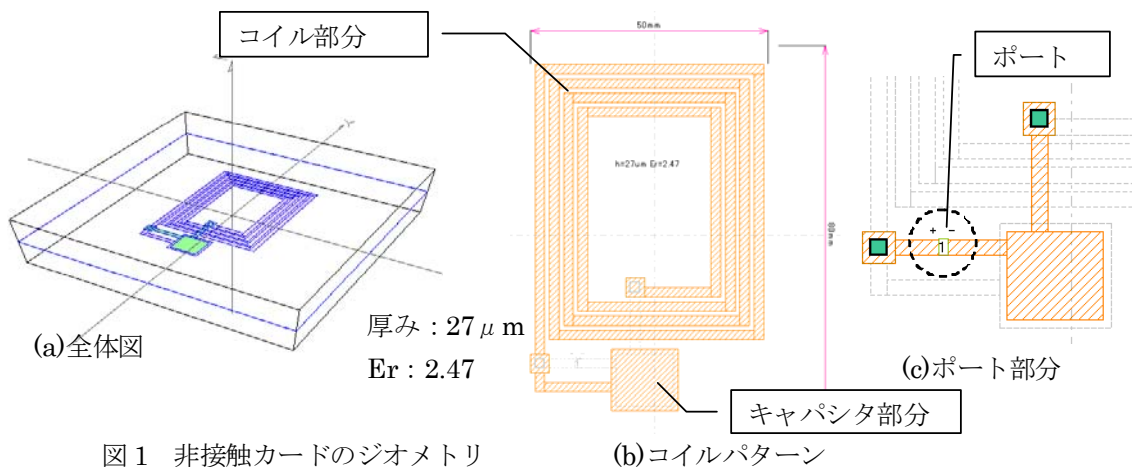


図 1 非接触カードのジオメトリ

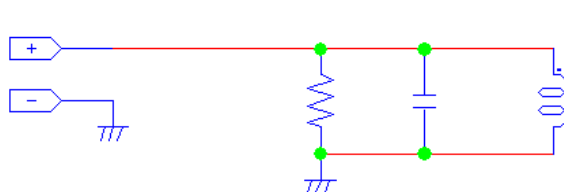


図 2 非接触カードの等価回路

非接触カードの等価回路は、おおよそ図 2 のように示すことができます。ポートは図 2 のように L,C に並列に取り付けることにより、共振回路のインピーダンスを調べることができます。S-NAP/Field のジオメトリにおけるポートは、図 1 のようにメタルの間に設定します。S-NAP/Field

におけるポートは 50Ω の抵抗で回路素子になります。面電流を変数とするモーメント法電磁界方程式において、パターンは大きさを持ち実体をもっていますが、回路素子は実体を持っていませんので、図 1 のように導体の間に挟み込む形になります。

S-NAP/Field での解析

S パラメータ解析

S-NAP/Field のスイープ設定は、図 3 のように 13.56MHz を中心にスパン 1MHz で行っています。ステップモードは、AWE (Asymptotic Wave Evaluation) モードを用いています。AWE モードは、帯域内を高速にスイープする手法の一つで、解の漸近方程式を得ることである帯域内の解を一度に計算する手法です。漸近方程式には、Pade の有理多項式を用います。

$$Z(k)J(k) = V(k)$$

$$J(k) = \frac{\sum_{i=0}^L a_i (k - k_0)^i}{1 + \sum_{j=1}^M b_j (k - k_0)^j}$$

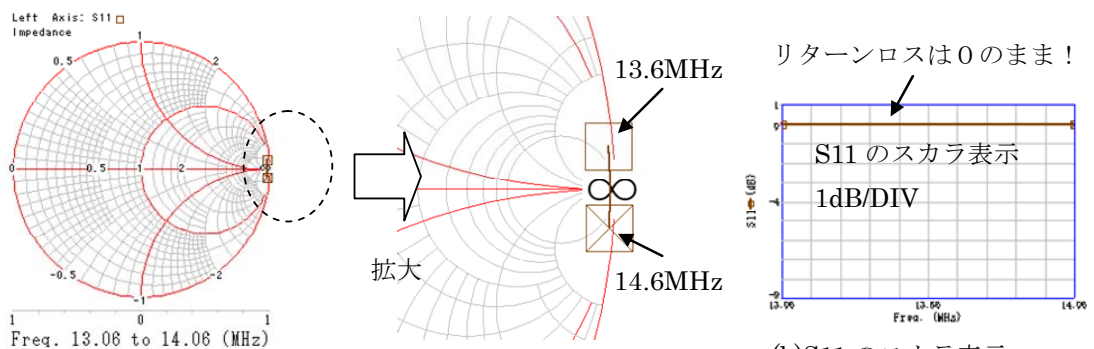
(Pade rational function)

ここで、 k_0 は展開ポイント

AWE 法の有理多項式

図 3 スイープ設定

図 4 に S パラメータ解析の結果を示します。(a)図は S11 のスミスチャート表示で、S11 の軌跡は、ほぼ右端にはり付いています。拡大図をみるとインピーダンス無限大の近傍であることがわかります。前述したように、非接触カードの等価回路はおよそ図 2 のようになりますので、共振周波数付近におけるインピーダンスは抵抗のみに依存してきます。また、共振周波数ではリアクタンスが正→負に変わりますので、反射係数の虚数部=0のラインを横切ることが、共振点が存在することを意味しています。したがって、図 4 の解析結果は概ね等価回路通りで正しいと言えます。この特性をスカラ表示でみた場合、リターンロス(b)図のようにほぼ 0dB のままで、リターンロスの変化はほとんど現われません。このことは、共振解析に於いては留意が必要です。

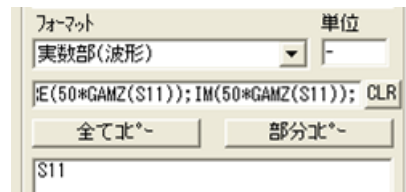
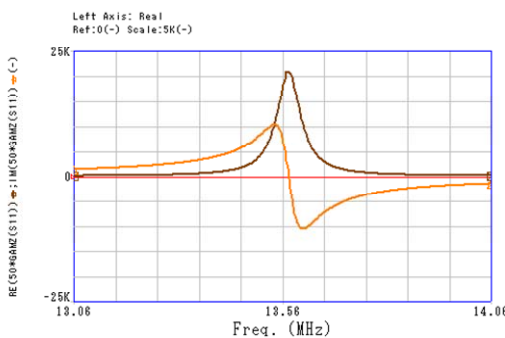


(a)S11 のスミスチャート表示

図 4 S パラメータ解析の結果

インピーダンスを表示する

Sパラメータは図4のように解析できましたが、インピーダンスの変化として捉えるにはスミスチャートでは少々見づらいですから、インピーダンス表示を行います。S-NAP/Fieldで解析されている値はSパラメータで、これは反射係数ですから、インピーダンスに変換しなければなりません。反射係数平面(Γ)とインピーダンス平面(z)には図5(1)式の関係がありますので、この式を用いてS11をインピーダンスに変換します。表示式に「GAMZ(・)」関数を用いて、図5のように記述します。この関数は、括弧内の変数を反射係数の値として、Z平面に等角写像を行います。セミコロンで、2つの式が記述してあるのは、それぞれ実数部と虚数部の計算です。この回路は1ポート回路ですので、この式を用いずに解析時にZパラメータのオプションを指定して、Zパラメータで表示しても同じ結果が得られます。Zパラメータでは、1ポート回路の場合では違いはありませんが、2ポート以上の回路では特性が異なります。Zパラメータは端子が開放状態のパラメータですので、Z11はポート2に何も接続されていない状態の値になります。これに対し(1)式で計算される値は、ポート2に接続されたものを含めてみた値になります。たとえば図6のようなシャunt抵抗1本だけの回路を考えます。この場合のZ11は(2)式より明らかのようにZ11=50になります。これに対して、(1)式で計算したものは、ポート2(50Ω)が接続された状態で、ポート1から覗いたインピーダンスですから、25Ωになります。



<表示式の書き方>

RE(50*GAMZ(S11));IM(50*GAMZ(S11));

図5 インピーダンス表示と表示式

$$\text{反射係数平面とインピーダンス平面の関係} \quad Z = \frac{1+\Gamma}{1-\Gamma} \quad (1)$$

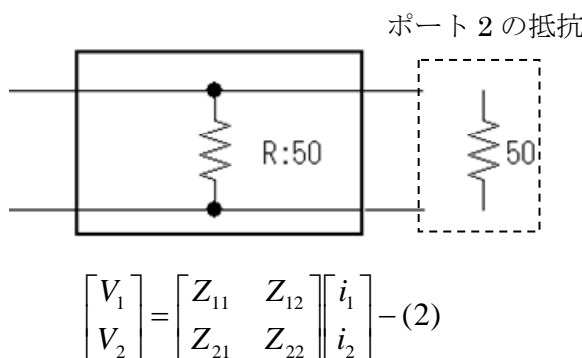
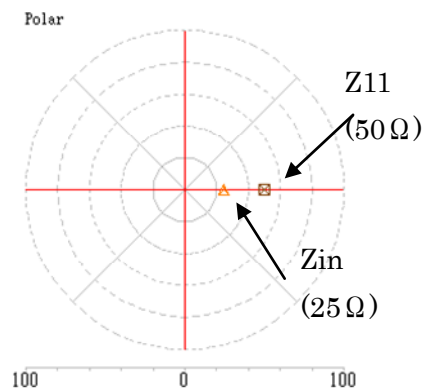


図6 ZパラメータとZinの違い



話がそれてしまいましたが、非接触カードのインピーダンスに戻りますと、そのインピーダンス特性は、図5のようになります。13.56MHz付近で実数部は21kΩ程度を示し、虚数部はプラスからマイナスに動いていることがわかります。前述したように、非接触カードの等価回路は概ね図2の通りですから、この等価回路のインピーダンスは、(3)(4)式の

ようになります。(4)式において第 2 項が 0 になる近辺で虚数項が正負入れ替わりますので、図 5 の 13.56MHz 付近ではこの状況が発生していることがわかります。

$$Z = 1/y - (3)$$

$$\text{ここで、} y = G + j(\omega C - \frac{1}{\omega L}) - (4)$$

このようにして、S-NAP/Field を用いて非接触カードのインピーダンス特性を解析することができます。

電流分布を表示する

解析時に電流分布出力スイッチが ON であれば、パターン上の電流密度分布を表示することができます。赤い部分は電流密度が高く、青い部分が最も低くなっています。

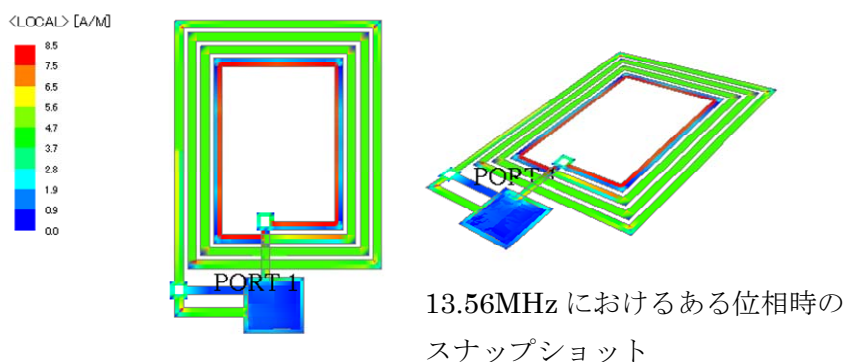


図 7 電流密度分布の表示

以上、ここまでの解析は S-NAP Microwave Suite(Ver6)評価版を用いて行うことができます。評価版のインストールホルダの、「Field¥Example¥アンテナ ¥1356MEG¥CARD.SGM」にこのサンプルファイルがあります。これ以降の解析は、製品版を用いて行います。

送信アンテナ／非接触カード間の通信特性

シミュレーション構造

送信アンテナと受信アンテナ（非接触カード）との通信特性を解析するために、図 8 のような解析モデルを作成してみます。前述の非接触カードの上部 30mm の位置に送信用のコイルを配置しています。非接触カードとの間は空気層をレイヤとして挿入します。送信アンテナは、およそ 50mm 口のコイル部分のみで共振用のキャパシタはありません。ポートは、コイルの端から引き出し線を設けて、ポート 2 を配置しています。

※このモデルは評価版では解析できません。S-NAP/Field(MODEL2)以上が必要です。

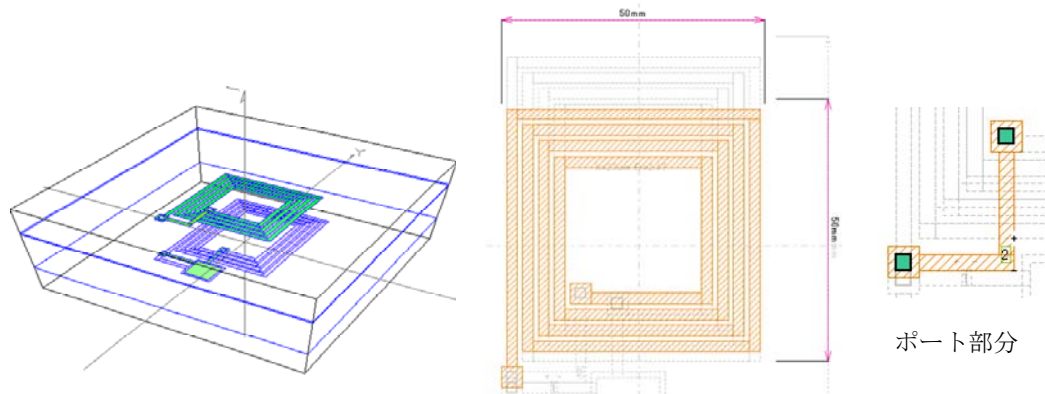


図 8 通信特性のシミュレーションモデル 送信アンテナのジオメトリ

S パラメータ解析

非接触カード側がポート 1、送信アンテナ側がポート 2 として S パラメータ解析を行ってみました。図 9 に 100KHz~15MHz までの特性を示します。スミスチャートでは、S11 と S22 は外周円にはりついており、インピーダンスのほとんどはリアクタンスであることがわかります。S11 は $\Gamma = 1$ の位置で、実軸を横切っているため共振があることがわかります。しかしこれをスカラで表示した場合は、S21 が 7MHz ぐらいで緩やかなピークが見受けられるだけで、13.56MHz での特性はほとんどわかりません。

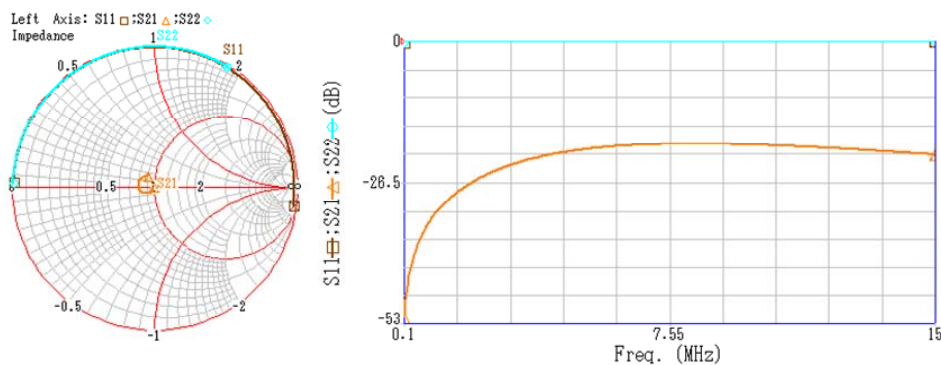


図 9 S パラメータ解析結果

回路シミュレータによる解析

AC 解析

図 9 のように、S パラメータ解析の結果からだけでは伝送特性を知ることは困難ということがわかります。これは S パラメータ特性では、 50Ω で終端されたポートで発生する電力を観測しているためです。非接触カードでの誘起電圧をみるために、カード側の負荷を開放して AC 解析を行ってみます。図 10 に S-NAP/Pro の回路を示します。回路中央部の四角は S-NAP/Field の解析により得られた S パラメータのデータで、ポート 2 側が送信アンテナ側、ポート 1 側が非接触カード側になっています。AC 解析では、ポート 2 側にスイープ電源を接続し（回路では PT1 になっている）、非接触カード側は $100K\Omega$ で終端しています。(b) 図の AC 解析結果では、非接触カード側での出力電圧を見ています。14MHz で電圧が最大になっていることが確認できます。これは非接触カード側が、この周波数で共振を起こしインピーダンスが最大になるためです。周波数が 13.56MHz でなく少し上側にずれた原因は、送信コイルが近傍にあるために、非接触カード側の共振周波数がずれたためだと推測できます。必要ならば、図 8 のシミュレーションモデルでコイル間の距離をパラメータにして解析を繰り返すと様子がわかります。

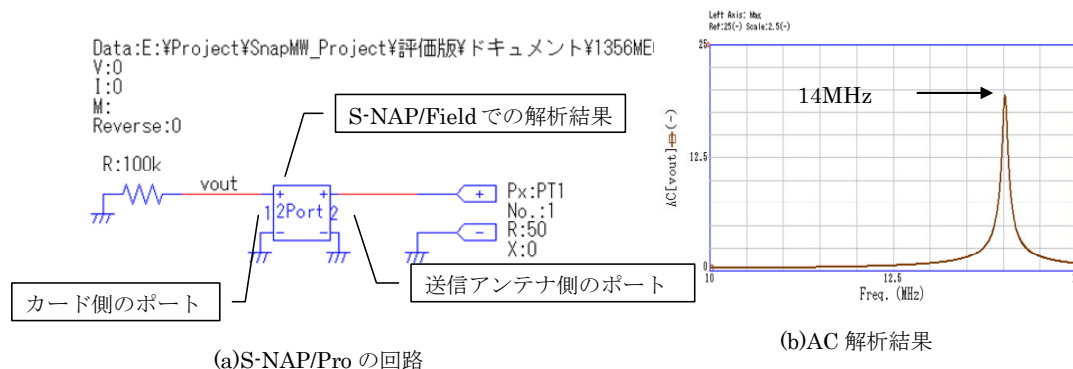


図 10 AC 解析の回路図と解析結果

変調信号を加えた場合の応答解析

周波数ドメインの議論ばかりでなく、実際と同じように 13.56MHz の信号を送信アンテナから送った場合の応答特性をシミュレーションしてみます。全体回路図およびシミュレーション波形を図 11 に示します。送信アンテナには 13.56MHz を疑似ランダム符号 (PN 符号) で変調したものを入力しています。S-NAP/Pro はコンボリューション法のトランジェント解析を実装しており、S-NAP/Field が出力した S パラメータを用いて時間領域での解析を行うことができます。解析出力は図 11 右側のグラフで、グラフ(上)は非接触カード側での出力波形を示しており、グラフ(下)はスペクトルを表しています。振幅変調のかかった 13.56MHz の信号が非接触カード側に現われていることがわかります。

等価回路の抽出

非接触カードの等価回路は、前述で説明したように概ね図 2 のようになります。図 2 の等価回路を、カーブフィット最適化機能を用いて、S-NAP/Field での解析結果にフィティングさせることで、等価回路定数を探ることが可能です。図 12 に最適化結果を示しま

す。グラフは、最適化が出力した等価回路の特性と S-NAP/Field での解析結果を重ねたものです。両者は完全に一致していることがわかります。

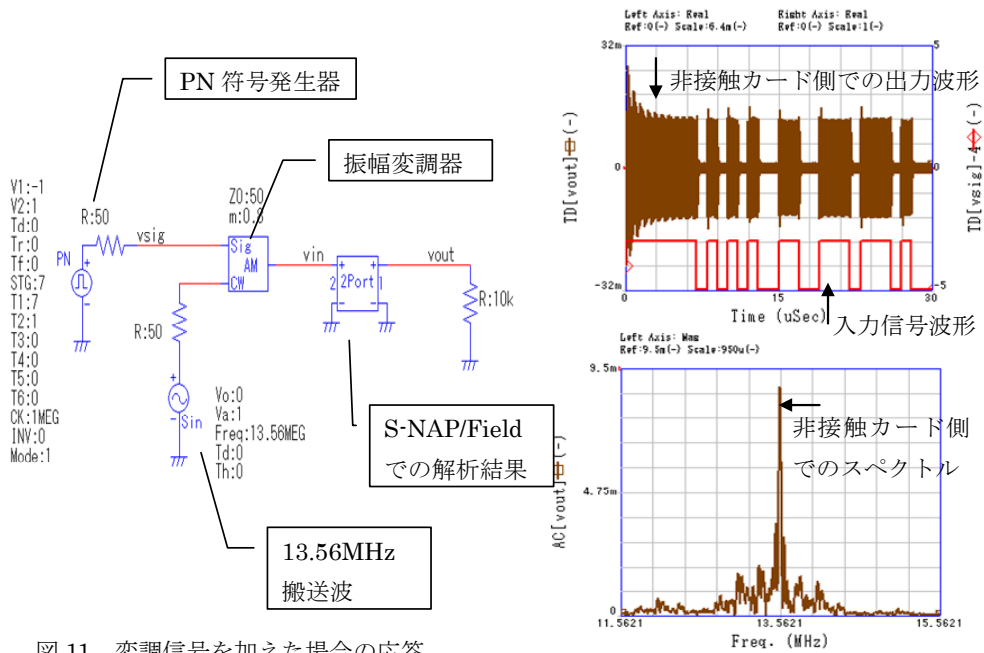


図 11 変調信号を加えた場合の応答

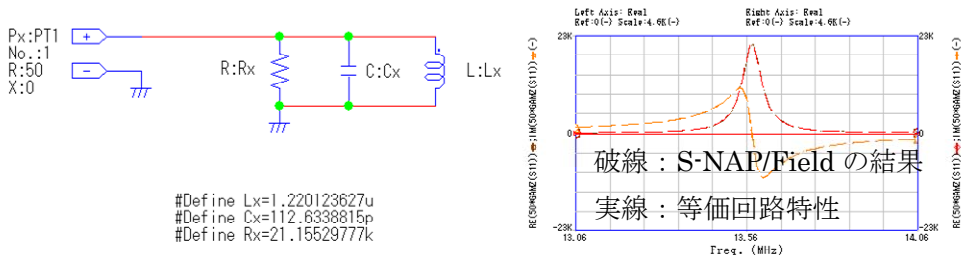


図 12 カーブフィット最適化を用いた非接触カードの等価回路抽出

まとめ

S-NAP/Field の評価版を用いて 13.56MHz の非接触カードのインピーダンス特性を解析し、評価版でも解析が可能であることを紹介しました。非接触カードのインピーダンス特性評価は S パラメータで判断することは難しく、インピーダンス平面への等角写像法が有効であることを示しました。続いて、送信アンテナを追加し、製品版 S-NAP/Field と製品版回路シミュレータ (S-NAP/Pro) を用いて、送受間の通信特性の解析を行いました。通信特性に関して、S パラメータでの判別よりも AC 解析での評価の方が有効的であることを示し、最後に変調信号を加えた場合の応答波形のシミュレーション例を紹介しました。このように、電磁界シミュレーションの結果だけではなく、電磁界解析の結果と回路シミュレータを用いることで、より詳細な検討が可能になります。特に回路シミュレータ (S-NAP/Pro) には関数演算、マクロ回路、プログラム処理など多彩な機能が備わっておりますので、機能を把握していただくことで、確信に迫る解析が可能になると考えます。

——— 以上 ———