

H面導波管シミュレータ サンプル(誘電体導波管)計算結果

アプリVer 1.2.0.5

本書Ver 1.00

Copyright © 2012 りゅうじみや
All Rights Reserved.

目次	2
本書について	3
誘電体導波管直線(dielectric_filled_straight.cad)(1/2)～(2/2)	4 - 5
アイリス構造共振器 (dielectric_filled_iris.cad)(1/2)～(2/2)	6 - 7
ポスト構造共振器 (dielectric_filled_post.cad)(1/2)～(2/2)	8 - 9
ポスト構造フィルタ (dielectric_filled_post2 - 3.cad)(1/3)～(3/3)	10 - 12
誘電体スラブ導波路(dielectric_slab_straght.cad)(1/5) ～(5/5)	13 - 17
誘電体スラブグレーティング (dielectric_slab_grating.cad)(1/3)～(3/3)	18 – 20
参考文献	21
本書の更新履歴	22

本書について

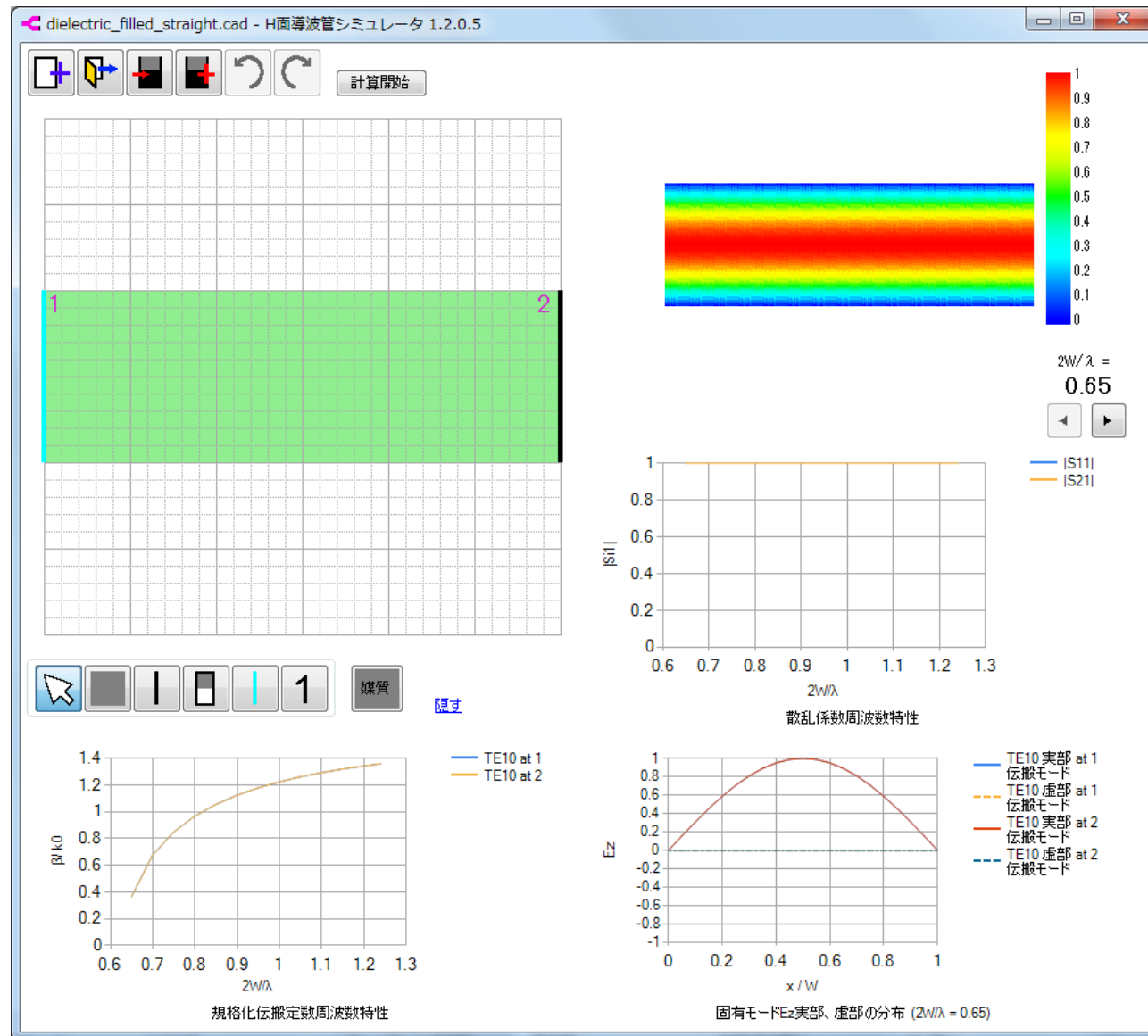
Version1.2.0.5で誘電体を充填した導波管を入出力ポートに接続した回路を解析できるようになりました。

そこで本書では誘電体導波管回路をH面導波管シミュレータで計算した結果を示します。

なお、図面はHPlaneSimulator.zip書庫のsampleフォルダに追加しています。

誘電体導波管直線(dielectric_filled_straight.cad)(1/2)

比誘電率2.5の誘電体を充填した導波管の計算結果です。



誘電体導波管直線(dielectric_filled_straight.cad)(2/2)

誘電体を充填した導波管の場合、伝搬定数 β は

$$\beta = \sqrt{(k_0^2 \epsilon_r - (\pi/W)^2)} = k_0 \sqrt{\epsilon_r} \sqrt{1 - \lambda^2 / (4 \epsilon_r W^2)}$$

となり、 $2W \sqrt{\epsilon_r} / \lambda$ が中空導波管の $2W/\lambda$ に相当するので、誘電体導波管の規格化周波数 $2W/\lambda$ は、同寸法の中空導波管に比べると比誘電率のルートで割った値になります。

この図面の場合 $\epsilon_r = 2.5$ ですから、TE₁₀モードが単独で伝搬可能な帯域は、 $2W/\lambda = 1.0/\sqrt{2.5} = 0.63 \sim 2W/\lambda = 2.0/\sqrt{2.5} = 12.6$ です。

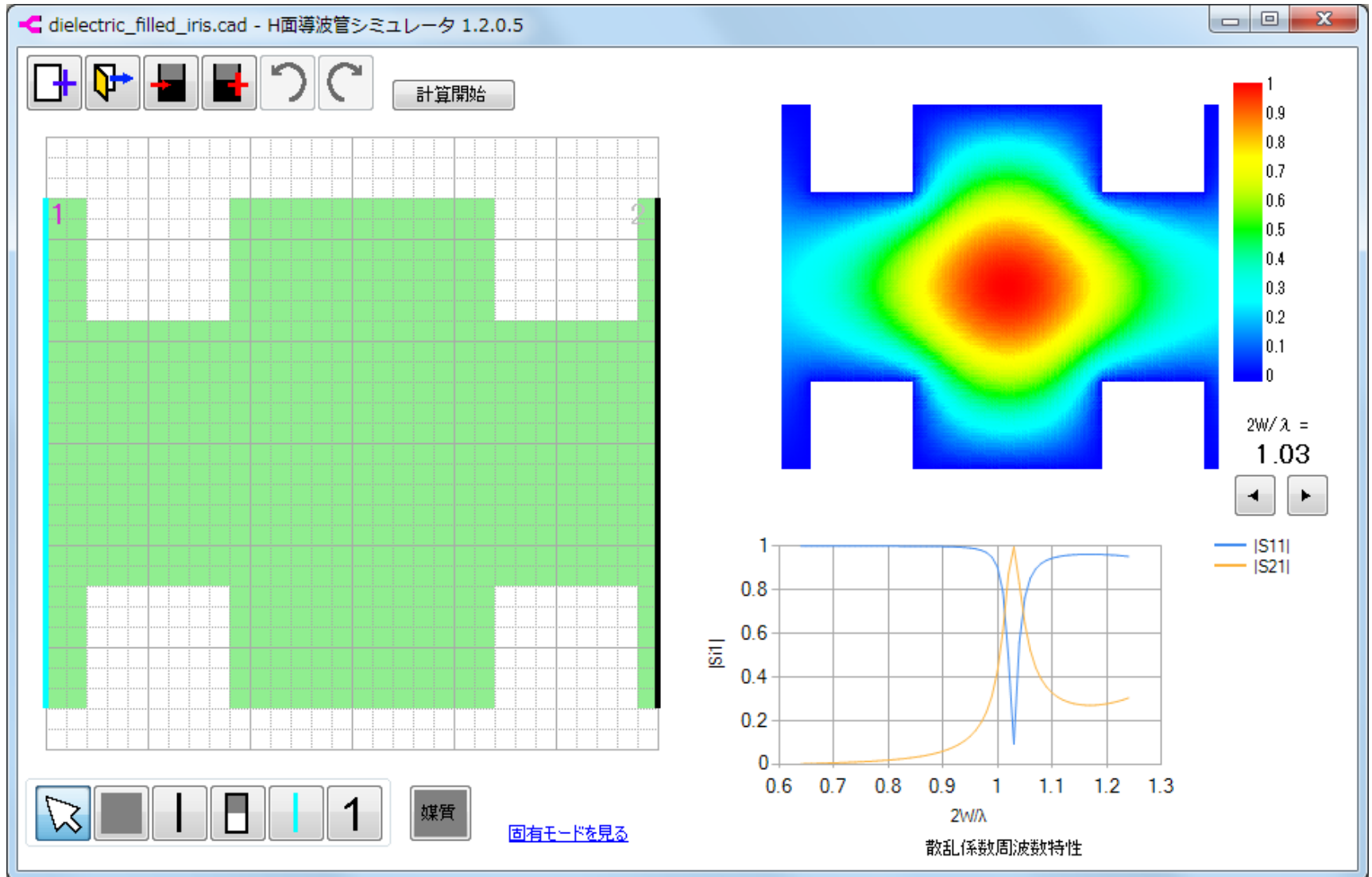
先ず固有モードの計算結果ですが、 $2W/\lambda = 0.63$ では減衰モードとして計算されましたが、 $2W/\lambda = 0.64$ からの結果は良好です。

散乱係数は、全周波数でほぼ反射係数($|S_{11}|$)が0、透過係数($|S_{21}|$)が1.0となっており(*1)誘電体導波管として解析できていることが確認できました。

*1 Version 1.2.0.5未満のアプリで同じ図面を計算すると、入出力ポートは中空導波管として扱われるのでかなりの反射が発生した計算結果になります。

アイリス構造共振器 (dielectric_filled_iris.cad)(1/2)

誘電体導波管に絞り(アイリス)を入れた場合の計算結果です。比誘電率は2.5です。



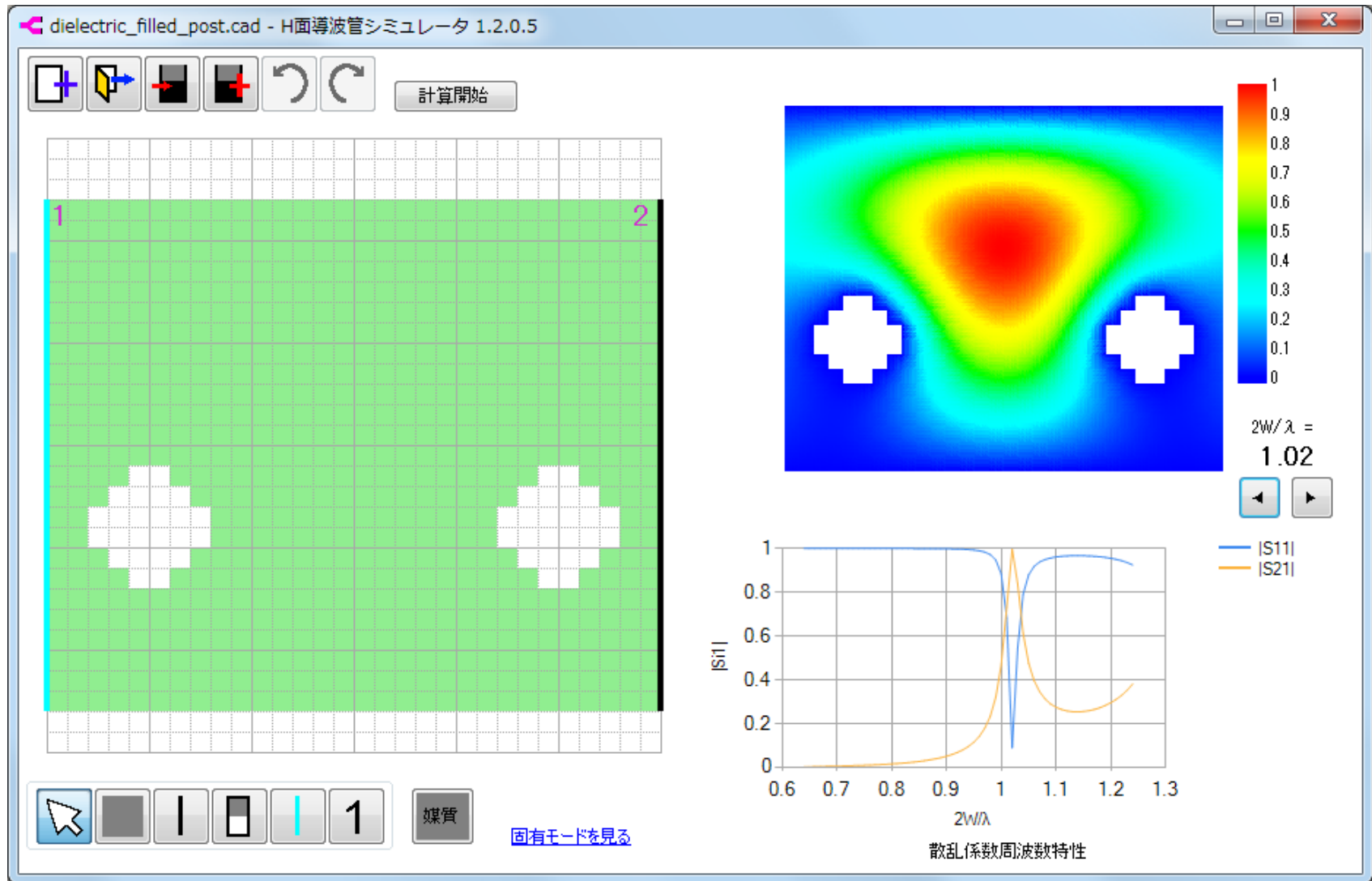
アイリス構造共振器 (dielectric_filled_iris.cad)(2/2)

このサンプルは参考文献[1]に掲載されているアイリス構造を再現したものです。

参考文献[1]に誘電体の比誘電率や散乱係数の周波数特性は載っていない為、計算結果の検証はできませんでしたが共振器としては動作しているようです。

ポスト構造共振器 (dielectric_filled_post.cad)(1/2)

次は絞りでなく穴をあけてポスト構造にした場合の計算結果です。比誘電率は2.5です。



ポスト構造共振器 (dielectric_filled_post.cad)(2/2)

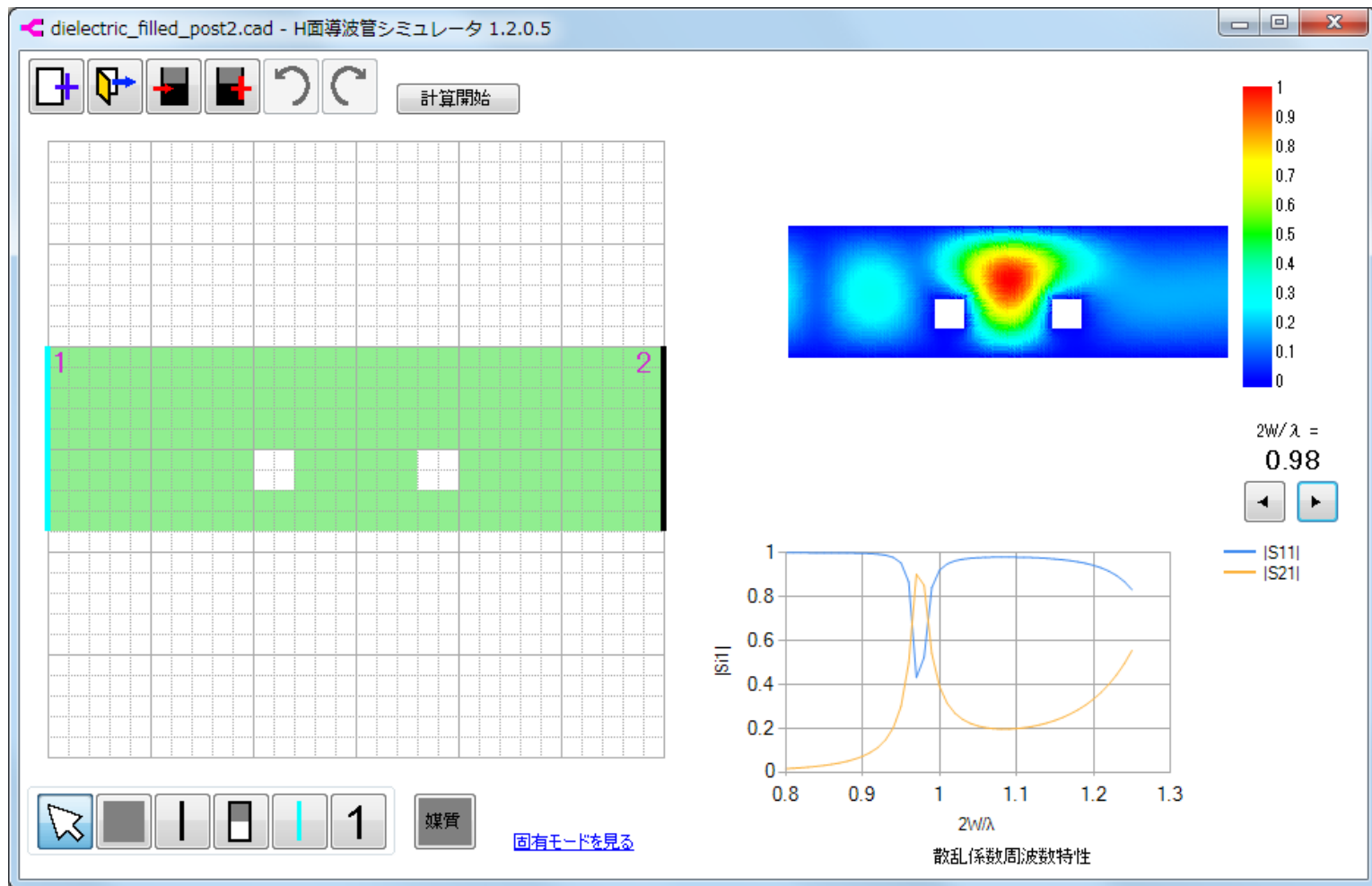
この構造は、参考文献[1]で扱われている主要構造です。

ポストは円柱ですが、本アプリでは階段近似しかできないので階段近似で計算してみました。

比誘電率やポストとポストの間隔等の記載が参考文献[1]にないため、数値的な検証はできませんが先ほどのアイリス構造共振器と同じく共振器として動作していることが確認できます。

ポスト構造フィルタ (dielectric_filled_post2 - 3.cad)(1/3)

本アプリで計算できるのは領域的に先のサンプル程度が限界ですが、大雑把な近似でフィルタを合成してみました。先ず、ポスト構造の1つを下記のように直方体の柱に置き換えます。これは解析領域を削減するために行っています。比誘電率は2.5です。



ポスト構造フィルタ (dielectric_filled_post3 - 4.cad)(2/3)

共振周波数は、 $2W/\lambda$ が0.97と0.98の間のようなのですが、本アプリでは0.01までしか計算できないので少し共振周波数からずれた0.98の $|E_z|$ 分布図を示しています。

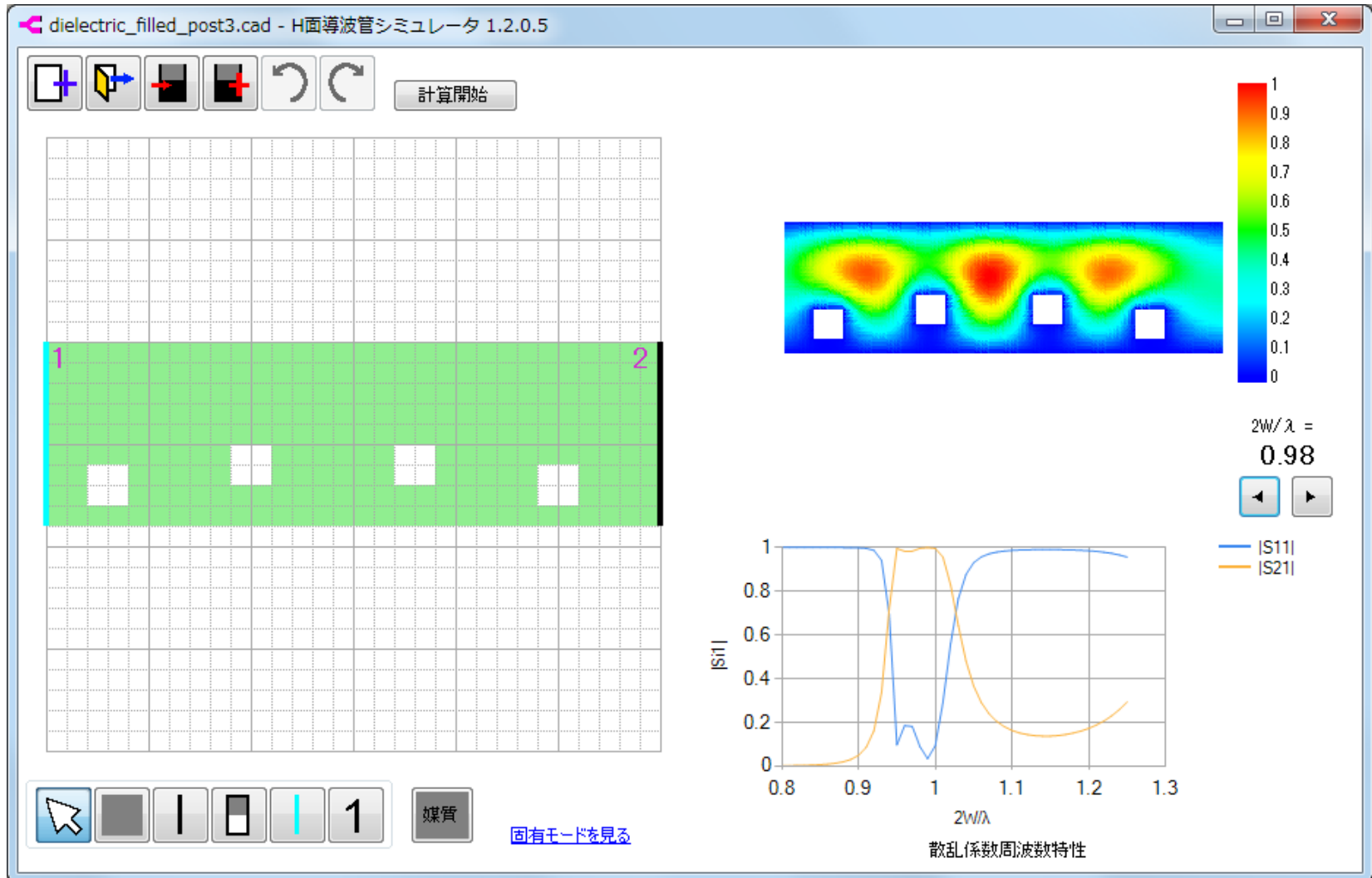
ポスト2つの構造で共振器として動作していることが確認できたので、次にこれをベースにポストを外側に2つ増やして帯域フィルタにしてみたいと思います。

参考文献[1]では結合係数を元に理論的に合成する方法が掲載されていますのでご参照ください。

ここではポストの位置をアプリの図面上で適当に調整して帯域フィルタを合成してみました。結果を次に掲載します。

ポスト構造フィルタ (dielectric_filled_post3 - 4.cad)(3/3)

帯域通過フィルタらしき散乱係数周波数特性を得られました。



誘電体スラブ導波路(dielectric_slab_straght.cad)(1/5)

本アプリはH面導波管を対象にしていますが、解析領域を広くとればTEモード限定で誘電体スラブ導波路を解析することができます。が、かなり重い計算になるのでご注意ください。

誘電体スラブ導波路については、参考文献[2]を参考にさせていただきました。

誘電体スラブのTEモードは、0周波数から伝搬可能で、シングルモード伝搬領域は、“規格化周波数 V ”が0から $\pi/2$ の間です。ここで、“規格化周波数 V ”は、

$$V = k_0 \cdot (W_1/2) \cdot \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

W_1 はスラブ導波路の幅(=コア媒質の幅)、 n_1 はコアの屈折率、 n_2 はクラッドの屈折率です。したがって、本アプリの規格化周波数に対応させると

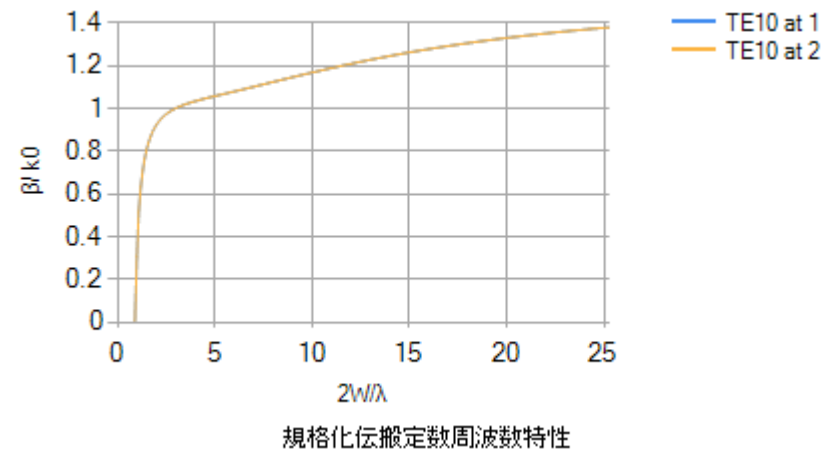
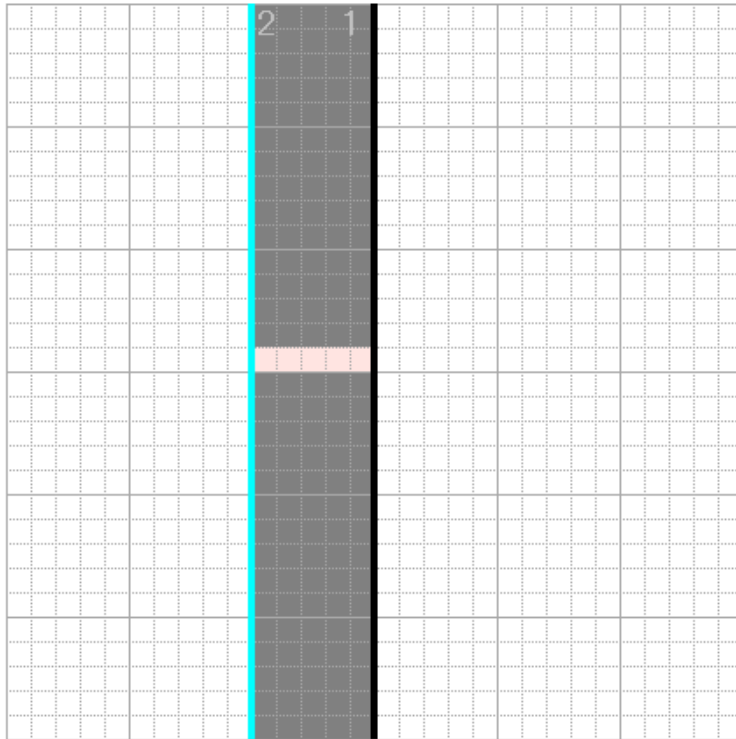
$$2W/\lambda = V \cdot (2/\pi) \cdot (W/W_1) / \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = V \cdot (2/\pi) \cdot (W/W_1) / \sqrt{\epsilon_1 - \epsilon_2}$$

となり、0から $(W/W_1) / \sqrt{\epsilon_1 - \epsilon_2}$ がシングルモード伝搬領域です。 $(\epsilon_1, \epsilon_2$ は比誘電率、 W は解析領域の幅です。)

例として $\epsilon_1 = 1.55^2$ 、 $\epsilon_2 = 1.0^2$ の場合を計算してみます。

シングルモード伝搬領域は0～25.3です。 $(W=30, W_1=1)$

誘電体スラブ導波路(dielectric_slab_straght.cad)(2/5)



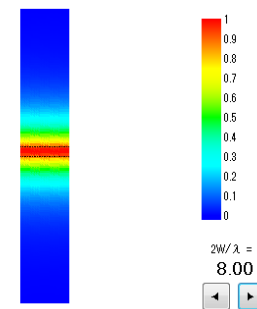
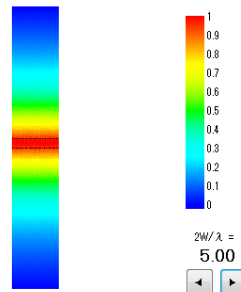
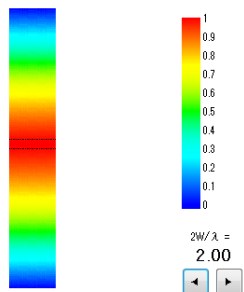
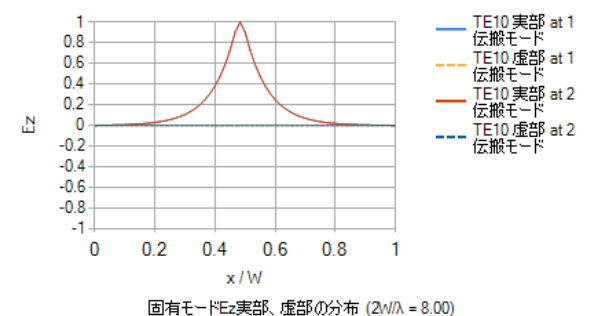
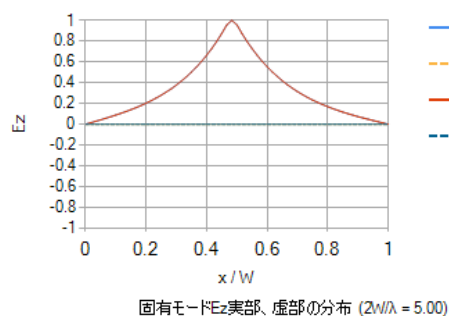
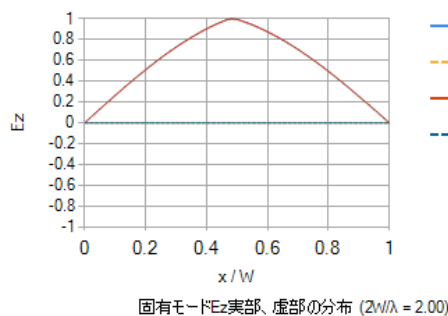
誘電体スラブ導波路(dielectric_slab_straght.cad)(3/5)

先ず固有モード解析結果です。

回路として計算したときの $|E_z|$ の分布も併せて示しています。

平行平板を上下に導入した為(導波管として計算しているので自動的に上下に金属壁が設置される)低周波では $\beta/k_0 < 1$ となっています。

ある程度波がコア媒質部に集中する周波数領域になると、誘電体スラブ導波路のモードに近くなります。

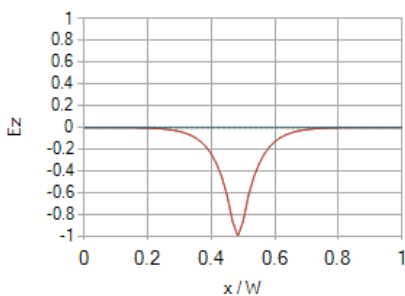


誘電体スラブ導波路(dielectric_slab_straght.cad)(4/5)

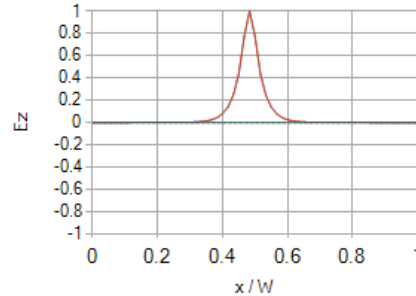
時々モード電界分布の正負が逆転しますが、仕様ということで。

$2W/\lambda = 20$ 以上の周波数の高い範囲では、導波路の分割数が足りなくなり、怪しい結果になってきます。

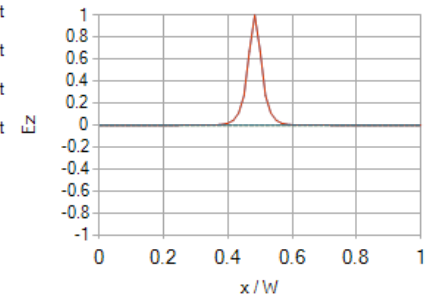
中～高周波帯を計算する場合は、誘電体に波が集中しているので、誘電体の幅をもっと広くして計算した方がいいと思われます。



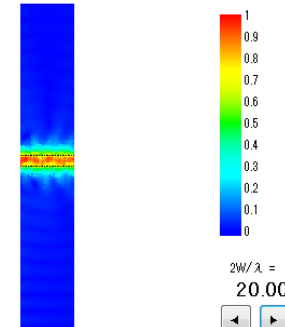
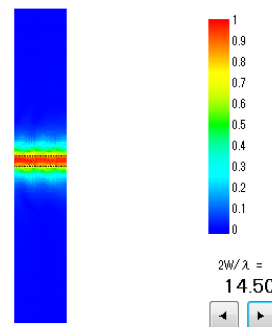
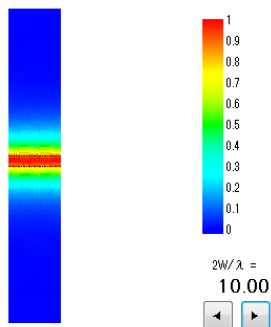
固有モードEz実部、虚部の分布 ($2W/\lambda = 10.00$)



固有モードEz実部、虚部の分布 ($2W/\lambda = 14.50$)



固有モードEz実部、虚部の分布 ($2W/\lambda = 20.00$)



誘電体スラブ導波路(dielectric_slab_straght.cad)(5/5)

最後に散乱係数周波数特性です。

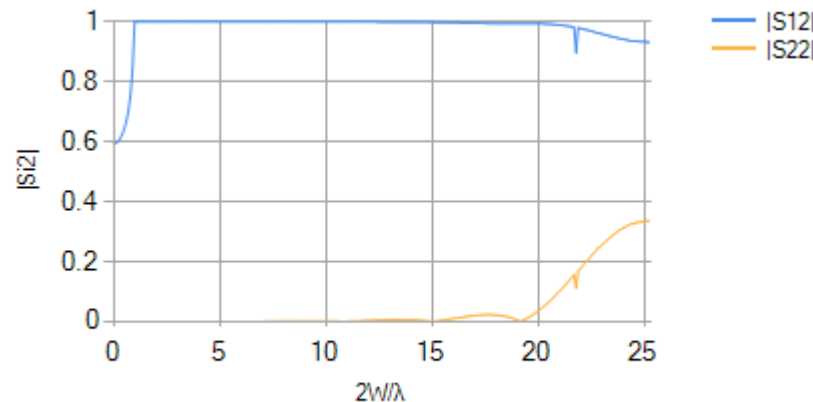
不連続のない導波路なので反射係数0、透過係数1のはずです。

$2W/\lambda = 5 \sim 15$ 、辛うじて20までは妥当的な結果になっています。

が、先ほどのモード解析の結果と同じく低周波帯と高周波帯で不正確な結果が得られました。

この図面で低周波、高周波の周波数領域を計算する場合はモデルを再検討する必要があるようです。

(電力保存 $|S_{11}|^2 + |S_{21}|^2 = 1.0$ を満足していないのは、計算上導波管なので $\beta/k_0 < 1$ の伝搬モードが存在し、それらのモードへ電力が逃げているためです。)

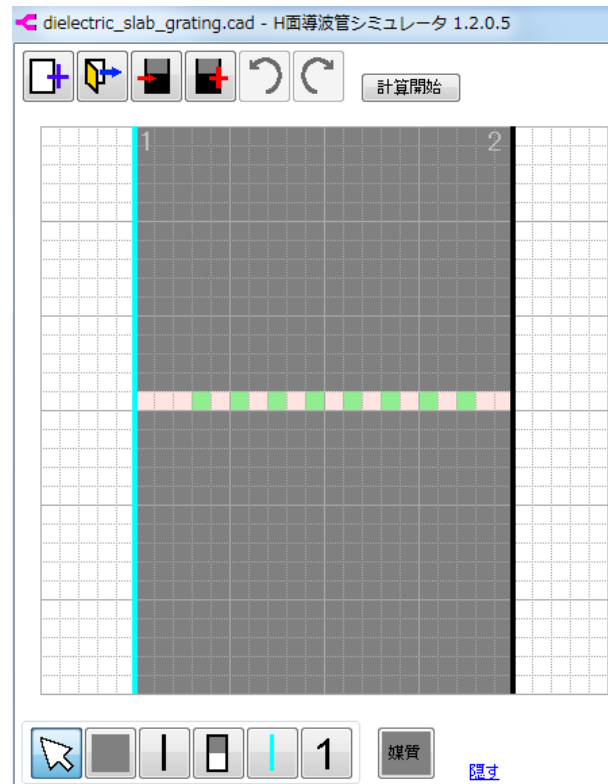


散乱係数周波数特性

誘電体スラブグレーティング (dielectric_slab_grating.cad)(1/3)

誘電体スラブ導波路の計算結果より、比誘電率 1.55^2 の誘電体導波路で幅 $W1 = 1$ 、導波管幅 $W = 30$ とした場合、 $2W/\lambda = 10 \sim 15$ であれば計算誤差は少ないようなので、その周波数帯でグレーティング光導波路の散乱特性を計算します。導波路の比誘電率は 1.55^2 、グレーティングを構成する誘電体の比誘電率を 1.45^2 とします。

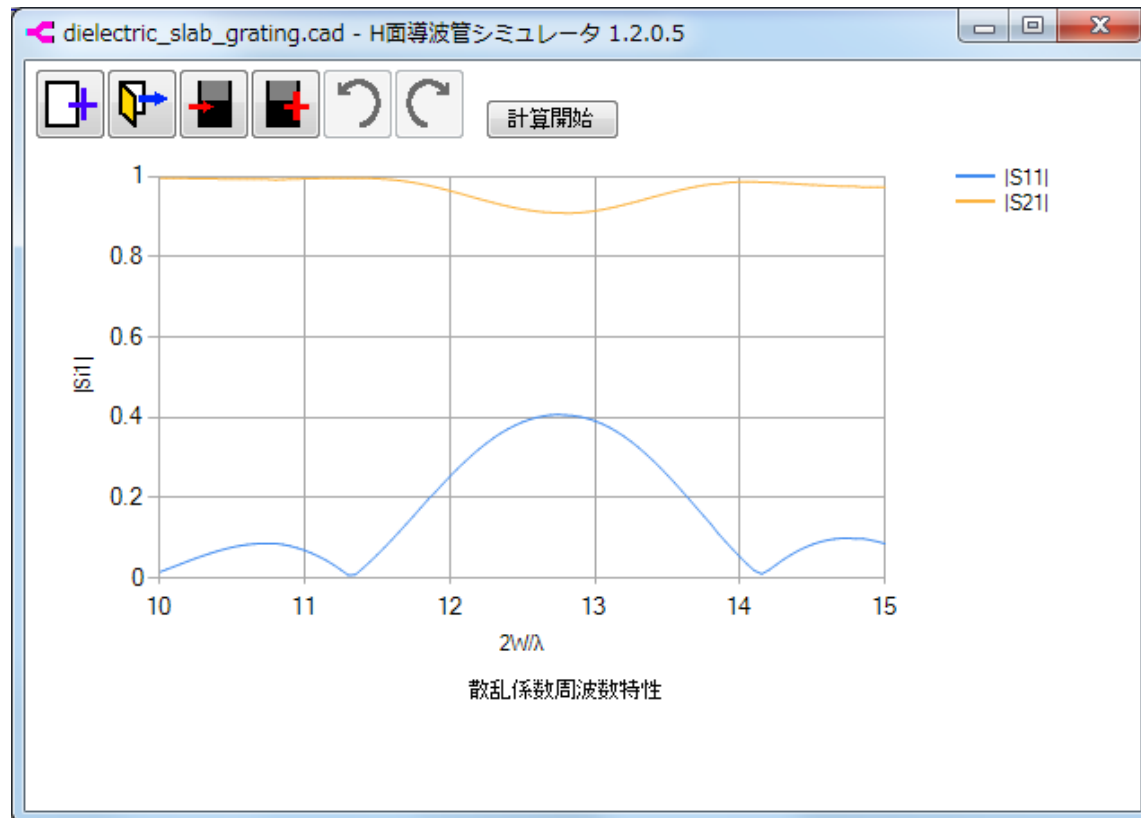
参考文献[3]にグレーティング光導波路の反射係数の周波数特性が載っているので、文献[3]の構造にできるだけあわせてみました。



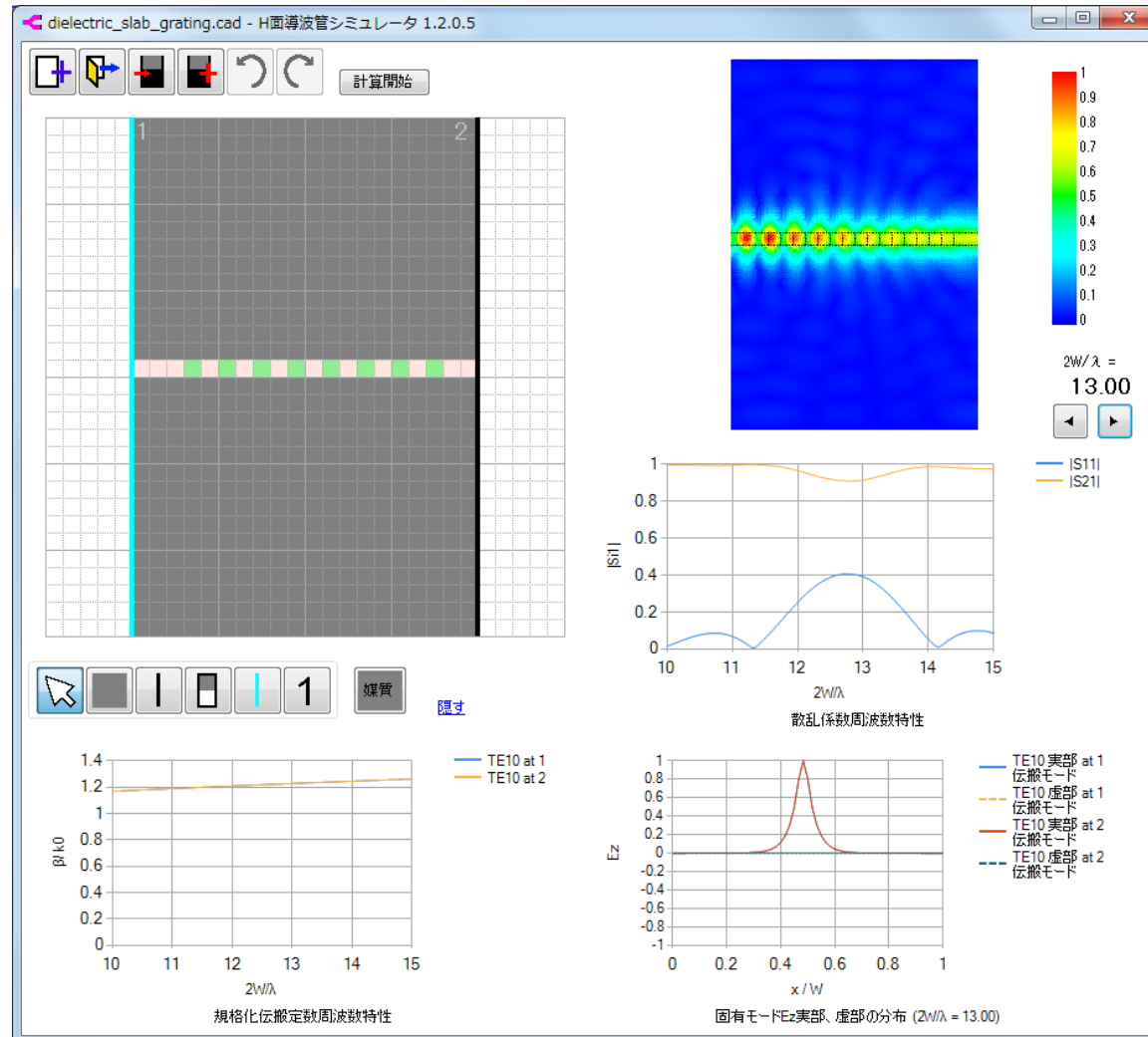
誘電体スラブグレーティング (dielectric_slab_grating.cad)(2/3)

散乱係数の周波数特性計算結果です。

参考文献[3]の計算結果とほぼ同じ傾向のカーブを描いていることが確認できます。ただし、構造が異なることや誘電体部を1層の三角形で分割している粗さもあり、数値的には正確ではないかもしれません。



誘電体スラブグレーティング (dielectric_slab_grating.cad)(3/3)



参考文献

1. 谷田部主一, 近藤俊介, 伊藤一洋, “60GHz 帯樹脂製誘電体導波管フィルタの開発”, 東光株式会社技術時報 2011 No.22, 東光株式会社,
<http://www.toko.co.jp/products/jp/report/report2011.html>,
http://www.toko.co.jp/products/jp/report/pdf/22/toko_technical_report_2011_1.pdf, p.1 - p.5, 2011
2. 小山 二三夫 植之原 裕行, “2009年度 光通信システム 第3回光ファイバのモード属性”,
<http://www.ocw.titech.ac.jp/index.php?module=General&action=T0300&GakubuCD=228&GakkaCD=228841&KougiCD=89109&Nendo=2009&Gakki=2&lang=JA&vid=05>, 東京工業大学, 2009-11-02
3. 財団法人電気学会, “計算電磁気学”, 培風館, pp.83-pp.93, 2003-07

本書の更新履歴

Ver1.00 (2012-09-12) 新規作成