

TR-ACR-0007

003

エスパアンテナの数学モデル構築のための Y 行列フィッティング

Admittance Matrix Fitting to Establish
an ESPAR Antenna Mathematical Model

樋口 啓介, 青野 智之, 飯草 恭一, 大平 孝

Keisuke Higuchi, Tomoyuki Aono,
Kyouichi Iigusa and Takashi Ohira

2003.5.6

(株)国際電気通信基礎技術研究所
適応コミュニケーション研究所

〒619-0288 京都府相楽郡精華町光台二丁目 2 番地 2

Tel: 0774-95-1501 Fax: 0774-95-1508

Advanced Telecommunications Research Institute International
Adaptive Communications Research Laboratories
2-2-2 Hikaridai, Seika-cho, Soraku-gun, Kyoto 619-0288, Japan
Telephone: +81-774-95-1501 Fax: +81-774-95-1508

©2003 (株)国際電気通信基礎技術研究所

©2003 Advanced Telecommunications Research Institute International

目次

1. はじめに	1
1.1 目的	1
1.2 エスパアンテナの構成	2
2. 計算に用いるパラメータ	4
3. 計算結果	5
3.1 素子半径に対するアドミタンスの変化	5
3.2 素子分割数に対するアドミタンスの変化	6
3.3 素子数・素子間隔に対するアドミタンスの変化	9
3.4 フィッティング近似式	10
4. まとめ	26
謝辞	27
参考文献	27

付属データ

計算値・近似曲線のグラフ

計算結果のデータ

参考. アドミタンスの計算方法 (モーメント法)

1. はじめに

1.1 目的

自律分散型無線ネットワークは、基地局等のインフラストラクチャに依存しないシステムであり、ネットワークを形成する各端末局は独自に無線送受信機能や中継機能を備える必要がある。そのため従来のネットワークに比べ、無線トラフィック量の増大による周波数資源の枯渇や、端末搭載のための消費電力の低減等の課題が浮上してきている。これらの課題克服のため、周波数資源の有効活用や消費電力の抑制に効果的な指向性アンテナの端末局への搭載が期待されており、我々ATRでは、1本の給電素子とそれを取り巻く複数の無給電素子からなる小型・低消費電力のエスパアンテナ(ESPAR:Electronically Steerable Parasitic Array Radiator)を提案・試作している。

一方、無線ネットワークシステムの設計段階ではスループット等の性能評価が不可欠であり、一般にQualNet、OPNET等の無線ネットワーク用シミュレーションツールが利用され、システム構築時の指標として用いられている。

以上から、自律分散型無線ネットワークの詳細なシステム設計・性能把握のためには、これらのシミュレーションツールに端末搭載可能な指向性アンテナであるエスパアンテナのモデリング機能を組み込むことが重要となる。

本報告は、無線ネットワークシミュレーションツールでのエスパアンテナの数学モデル構築を目的とし、指向性制御に必要なパラメータであるアドミタンスを、モーメント法を用いて計算し、汎用性を持たせるため近似式を用いたフィッティングにて数式化する。

1.2 エスパアンテナの構成

エスパアンテナは、素子間の電磁界結合を利用し指向性パターンを形成する空間合成型のアレーアンテナであり、1本の給電素子とその周囲に配置された M 本の無給電素子の計 $M+1$ 本のモノポール素子で構成される。解析には地板のないダイポール型等価モデルを用いる。ダイポール型のエスパアンテナの例として、図 1.1 に $M=6$ の 7 素子エスパアンテナの構成を示す。中心に給電素子を、その周囲円周上等間隔に無給電素子を配置し、これらの無給電素子の底部に可変リアクタを装荷している。このリアクタに印加する直流電圧を変化させることで、指向性パターンを制御している。

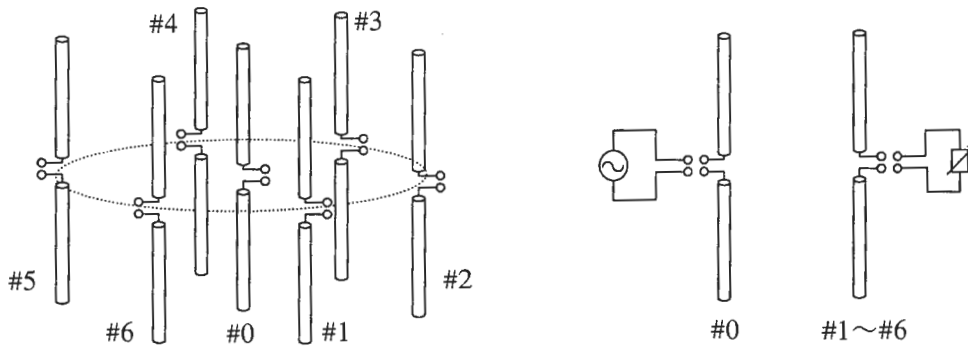


図 1.1 7 素子エスパアンテナの構成

i 番目と j 番目のモノポール素子間のアドミタンスを Y_{ij} と表し Y 行列と呼ぶ。このとき、 i 番目のモノポールに流れる電流 i_i は式 (1.1) で表される。

$$[v_i] = [Y_{ij}] [i_i] \quad (1.1)$$

また、アドミタンス行列の独立な行列要素はエスパアンテナの対称性により、構成する無給電素子数 M に対して次のようになっている。

$$M \text{ が偶数の場合} \dots \frac{1}{2}(M+6)$$

$$M \text{ が奇数の場合} \dots \frac{1}{2}(M+5)$$

この独立な行列要素で、2 素子から 9 素子までのアドミタンス行列を表すと次のようになる。

$$\begin{bmatrix} y_{00} & y_{01} \\ y_{01} & y_{11} \end{bmatrix}$$

2 素子

$$\begin{bmatrix} y_{00} & y_{01} & y_{01} \\ y_{01} & y_{11} & y_{12} \\ y_{01} & y_{12} & y_{11} \end{bmatrix}$$

3 素子

$$\begin{bmatrix} y_{00} & y_{01} & y_{01} & y_{01} \\ y_{01} & y_{11} & y_{12} & y_{12} \\ y_{01} & y_{12} & y_{11} & y_{12} \\ y_{01} & y_{12} & y_{12} & y_{11} \end{bmatrix}$$

4 素子

$$\begin{bmatrix} y_{00} & y_{01} & y_{01} & y_{01} & y_{01} \\ y_{01} & y_{11} & y_{12} & y_{13} & y_{12} \\ y_{01} & y_{12} & y_{11} & y_{12} & y_{13} \\ y_{01} & y_{13} & y_{12} & y_{11} & y_{12} \\ y_{01} & y_{12} & y_{13} & y_{12} & y_{11} \end{bmatrix}$$

5 素子

2. 計算に用いるパラメータ

エスパアンテナの無給電素子数・中央給電素子と周囲無給電素子の間隔（以下では素子間隔という）を変化させたときの、アドミタンス行列の変化について検討する。アドミタンスの値は NEC-Win Pro を用いてモーメント法によって計算する。モーメント法の計算では、素子は完全導体であると仮定される。なお、アドミタンスの単位は $[\Omega^{-1}]$ である。

アドミタンスを計算するにあたって、無給電素子数・素子間隔のほかにも素子長・素子半径・アンテナ素子の分割数などがパラメータとして存在する。そこで、まず1素子のときの素子半径・素子の分割数に対するアドミタンスの変化について検討し、その結果を用いて無給電素子数・素子間隔に対するアドミタンスの値を計算する。

アドミタンスの計算に必要なパラメータを表 2.1 に示す。ここで、計算が周波数に依存しないように、パラメータの単位を波長 λ_0 で統一している。ただし、今回の計算には周波数 2.5[GHz]・波長 $\lambda_0=0.12$ [m]を用いた。周波数 5[GHz]・波長 $\lambda_0=0.06$ [m]においても同様の計算結果が得られることは確認済みである。

解析にあたり図 2.1(a)に示すようにアンテナの各素子を自由空間中のダイポールとして扱う。解析したダイポール型のモデルと等価なモノポール型のモデルを図 2.1(b)に示す。モノポールモデルのアドミタンスは図 2.1 に示すように、ダイポール解析モデルのアドミタンスの2倍となる。

表 2.1 基本パラメータ

	記号	単位	値
素子長	L	λ_0	0.5
素子半径	a	λ_0	3.1 で検討
分割数	N	—	3.2 で検討
素子間隔	r	λ_0	0.1~0.5
無給電素子数	M	本	1~8

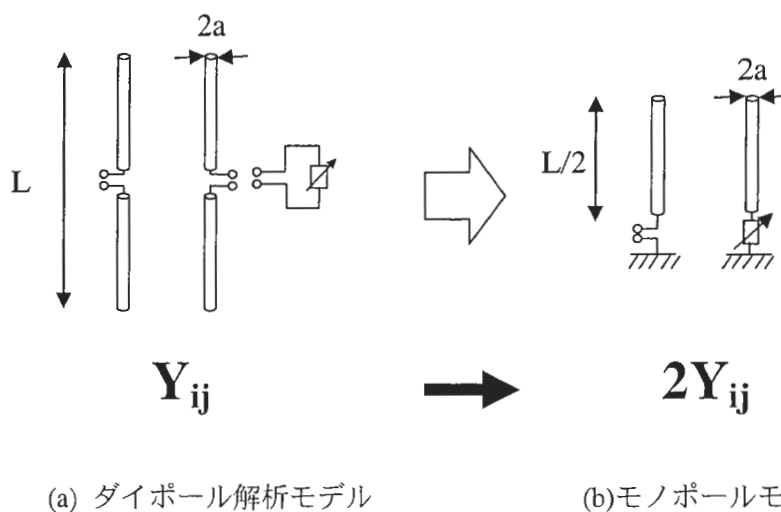


図 2.1 ダイポール解析モデルとモノポールモデルのアドミタンス変換

3. 計算結果

3.1 素子半径によるアドミタンスの変化

解析のモデルとして、素子半径については試作されているエスパンテナの素子半径である $0.01 (10^{-2}) [\lambda_0]$ から、素子半径無限小までを考えたい。しかし、表 3.1.1・図 3.1.1 に示すように、素子半径を小さくしても値は収束せず変化している。このことから、素子半径が小さすぎても計算に影響すると思われる。表 3.1.3 に示すように素子半径 10^{-16} のときの値は素子半径 10^{-8} の値に対し差分が 5%以内であり、ほぼ同様の値であるといえるので $10^{-8} [\lambda_0]$ を素子半径の最小値とする。また、表 3.1.2 に示すように素子半径 10^{-2} の値と素子半径 10^{-8} の値の差分は大きいので、その間である 10^{-6} 、 10^{-4} についても計算する。つまり、素子半径は 10^{-8} 、 10^{-6} 、 10^{-4} 、 10^{-2} の 4 通りについて今後の計算を行う。

(グラフ中 1.E-02 は 1.0×10^{-2} を表す)

表 3.1.1 素子半径に対するアドミタンス

素子半径 $[\lambda_0]$	real	imag	mag
0.01	0.0077915	-0.0033926	0.00849807
0.001	0.0089298	-0.0051	0.01028355
0.0001	0.0094332	-0.0054313	0.01088505
1.00E-05	0.0096035	-0.005594	0.01111396
1.00E-06	0.0096742	-0.0056978	0.01122742
1.00E-07	0.0097053	-0.0057719	0.01129193
1.00E-08	0.0097162	-0.0058291	0.01133062
1.00E-09	0.009715	-0.0058758	0.01135369
1.00E-10	0.009706	-0.0059157	0.0113667
1.00E-11	0.0096916	-0.0059507	0.01137268
1.00E-12	0.0096734	-0.0059822	0.01137371
1.00E-13	0.0096523	-0.006011	0.01137097
1.00E-14	0.0096291	-0.0060376	0.01136539
1.00E-15	0.0096042	-0.0060626	0.01135763
1.00E-16	0.0095779	-0.0060861	0.01134799

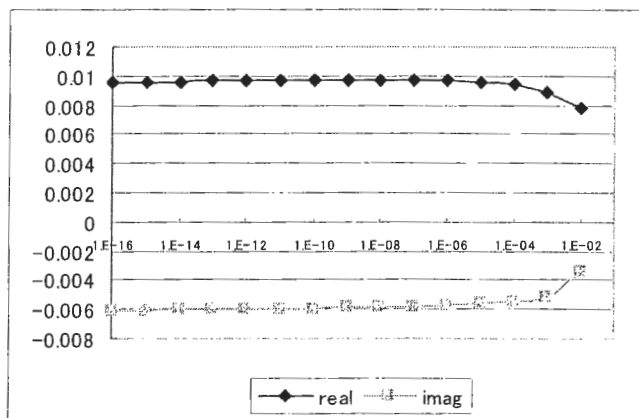


図 3.1.1 素子半径に対するアドミタンス

表 3.1.2 素子半径 10^{-8} の値に対する素子半径 10^{-16} の値の差分

real	imag	mag
1.423%	4.409%	0.153%

表 3.1.2 素子半径 10^{-8} の値に対する素子半径 10^{-2} の値の差分

real	imag	mag
24.703%	71.818%	33.332%

3.2 素子分割数に対するアドミタンスの変化

経験的にセグメント長は 0.1 波長未満であるべき。アンテナの臨界域をモデル化するには、より短いセグメント(0.05 波長あるいはより少ない数量)が要求されるだろう。また、多少長いセグメントは急な変化のない長い素子上で使用されてもよい。(NEC-Win Pro の User's Manual より)

分割数をあまり増やすとデルタギャップの間隙が小さくなりすぎ、間隙容量によって入力インピーダンスが正確に求まらなくなる。

参考：電磁界理論 平野拓一 「<http://www-antenna.pe.titech.ac.jp/~hira/hobby/edu/em/em-j.html>」

素子長が $0.5[\lambda_0]$ なので、分割数 5 でセグメント長は 0.1 波長である。また、臨界域には 0.05 波長またはそれ以下が必要ということから、分割数 11 以上は必要である(中心を励振させる為、分割数は奇数)。分割数を多くしても正確性がなくなるので、分割数 25 まで計算し、分割数 15 を基準に比較する。ここで素子半径は 10^{-8} 、 10^{-6} 、 10^{-4} 、 10^{-2} の 4 通りについて計算する。

素子半径： $10^{-8}[\lambda_0]$

表 3.2.1 素子分割数に対するアドミタンス

分割数	real	imag
5	0.0097656	-0.0057502
7	0.0097491	-0.0057981
9	0.009737	-0.0058154
11	0.0097281	-0.0058231
13	0.0097214	-0.005827
15	0.0097162	-0.0058291
17	0.009712	-0.0058303
19	0.0097086	-0.005831
21	0.0097057	-0.0058314
23	0.0097033	-0.0058316
25	0.0097013	-0.0058317

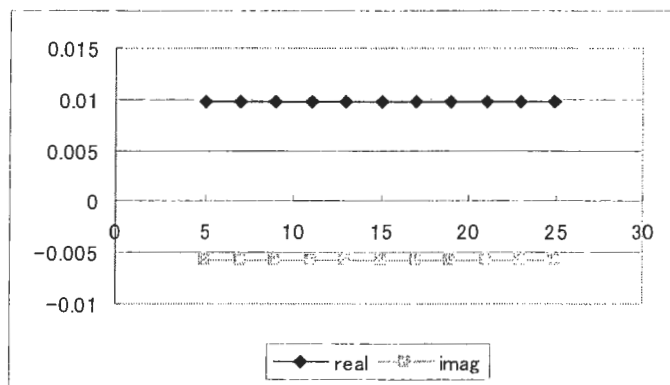


図 3.2.1 分割数に対するアドミタンス

素子半径： $10^{-6}[\lambda_0]$

表 3.2.2 素子分割数に対するアドミタンス

分割数	real	imag
5	0.0097656	-0.0057502
7	0.0097491	-0.0057981
9	0.009737	-0.0058154
11	0.0097281	-0.0058231
13	0.0097214	-0.005827
15	0.0097162	-0.0058291
17	0.009712	-0.0058303
19	0.0097086	-0.005831
21	0.0097057	-0.0058314
23	0.0097033	-0.0058316
25	0.0097013	-0.0058317

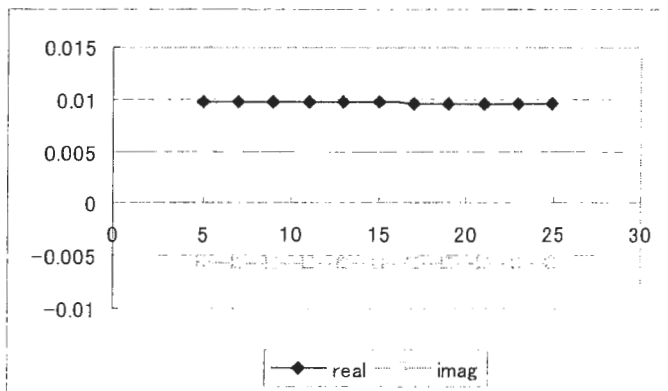


図 3.2.2 分割数に対するアドミタンス

素子半径 : $10^{-4} [\lambda_0]$

表 3.2.3 素子分割数に対するアドミタンス

分割数	real	imag
5	0.0096145	-0.0054262
7	0.0095481	-0.0054417
9	0.0095048	-0.0054414
11	0.0094741	-0.0054381
13	0.0094512	-0.0054346
15	0.0094332	-0.0054313
17	0.0094187	-0.0054284
19	0.0094067	-0.0054258
21	0.0093965	-0.0054237
23	0.0093878	-0.0054218
25	0.0093802	-0.0054201

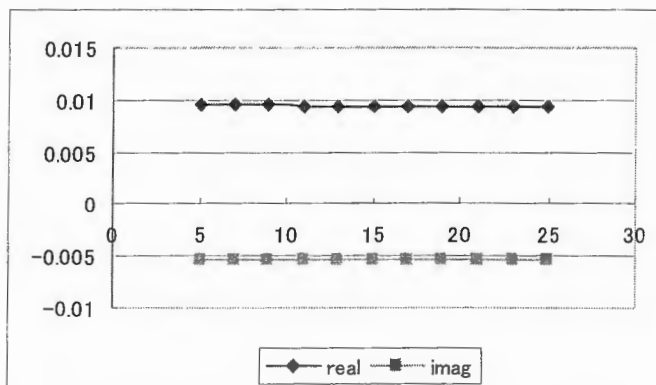


図 3.2.3 分割数に対するアドミタンス

素子半径 : $10^{-2} [\lambda_0]$

表 3.2.4 素子分割数に対するアドミタンス

分割数	real	imag
5	0.0081965	-0.0042441
7	0.0080269	-0.0039815
9	0.0079302	-0.0037896
11	0.0078689	-0.0036368
13	0.0078256	-0.0035073
15	0.0077915	-0.0033926
17	0.0077621	-0.0032875
19	0.0077353	-0.0031886
21	0.0077099	-0.0030936
23	0.0076855	-0.0030008
25	0.0076623	-0.0029088

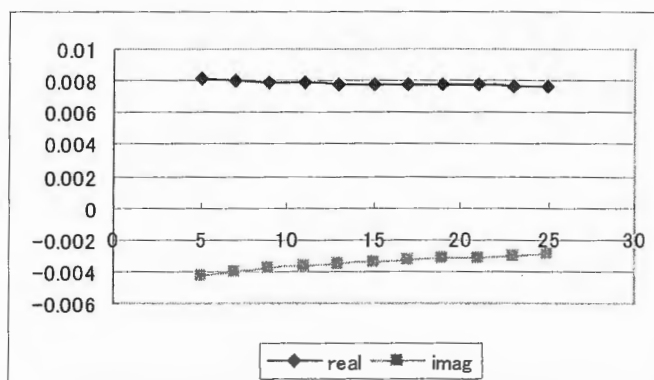


図 3.2.4 分割数に対するアドミタンス

分割数 15 に対する差分

表 3.2.5 素子半径 : 10^{-8}

	real	imag
分割数 5	0.508%	1.354%
11	0.122%	0.103%
25	0.153%	0.045%

表 3.2.6 素子半径 : 10^{-6}

	real	imag
分割数 5	0.871%	1.058%
11	0.198%	0.051%
25	0.248%	0.011%

表 3.2.7 素子半径 : 10^{-4}

	real	imag
分割数 5	1.922%	0.094%
11	0.434%	0.125%
25	0.562%	0.206%

表 3.2.8 素子半径 : 10^{-2}

	real	imag
分割数 5	5.198%	25.099%
11	0.993%	7.198%
25	1.658%	14.260%

素子半径が 10^{-8} 、 10^{-6} 、 10^{-4} については、素子半径が小さいので、分割数によるセグメントの形状（細長い円柱）の変化がなく、アドミタンスもほぼ変化しないと予測できる。実際、表 3.2.5~7 に示すように、基準とした分割数 15 のときの値を分割数 5 および分割数 25 と比較しても差分は 2% 以下であり、アドミタンスはほぼ変化ないと言える。素子半径 10^{-2} に関しては、分割数によってアドミタンスの変動が大きい。これは、セグメントの形状が大きく変化するためと考えられる。モーメント法の計算は、素子が細線状であるという仮定しているため素子半径 10^{-2} のときの数値は信頼性が低い。素子半径 10^{-2} 以外では分割数 11 と分割数 15 の間に差分は小さいので、今後の計算では分割数=15（セグメント長 1/30 波長）に固定する。

3.3 素子数・素子間隔に対するアドミタンスの変化

無給電素子数 1 から 8 のそれぞれについて、素子間隔を $0.1[\lambda_0]$ から $0.5[\lambda_0]$ まで $0.25[\lambda_0]$ 刻みで変化させたときのアドミタンスの値を計算する。このときのアンテナ配置のイメージを図 3.3.1 に示す。また、表 3.3.1 には、これまでに設定したパラメータを示す。このときの中央素子、周辺素子はすべて同一形状とする。

また、NEC によるアドミタンス計算時の素子の座標点は、MATLAB による計算値の小数点以下 9 桁までを使用した。

表 3.3.1 基本パラメータ

	記号	単位	値
素子長	L	λ_0	0.5
素子半径	a	λ_0	$10^{-2}, 10^{-4}, 10^{-6}, 10^{-8}$
分割数	N	—	15
素子間隔	r	λ_0	0.1~0.5
無給電素子数	M	本	1~8

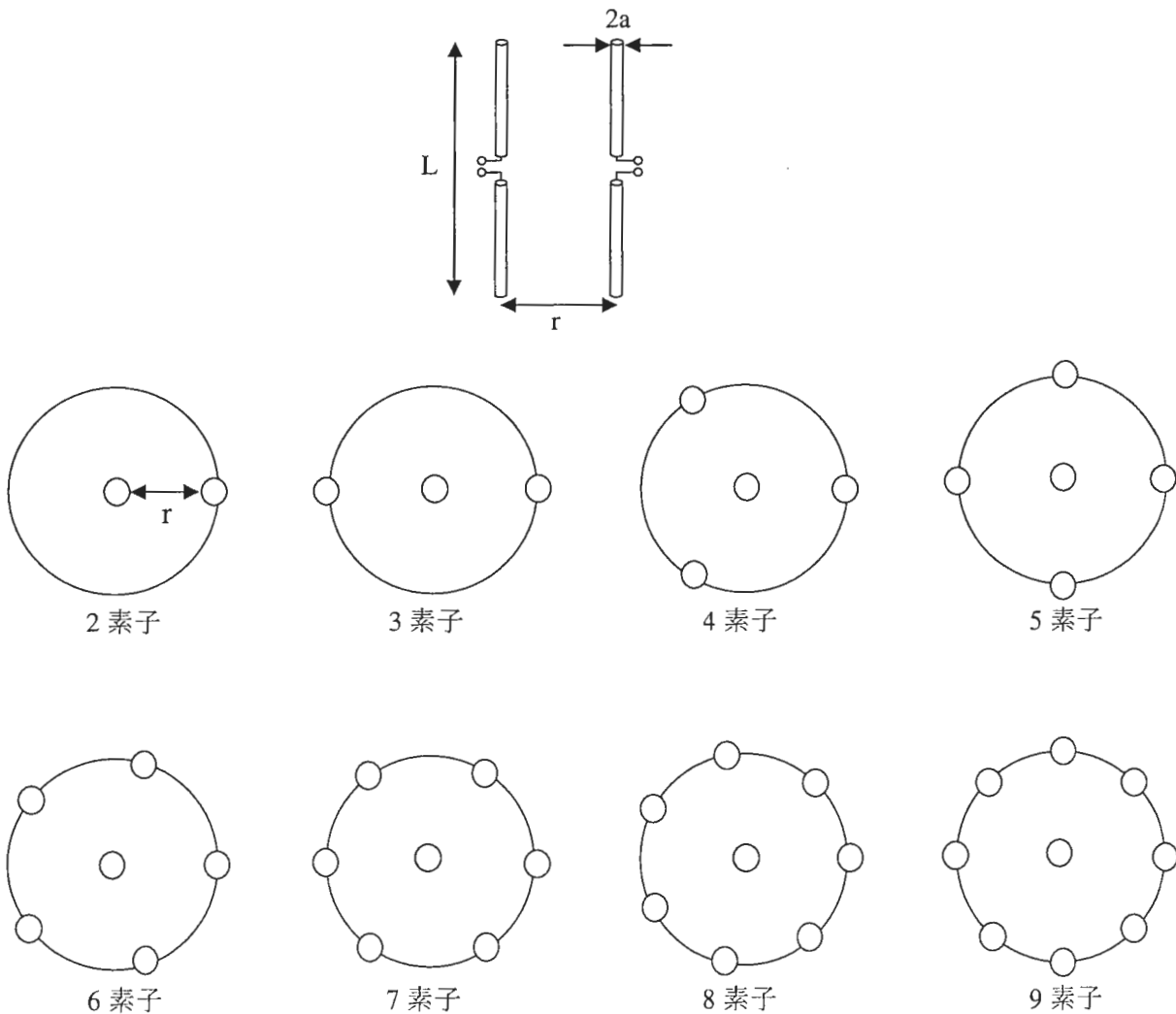


図 3.3.1 アンテナ配置イメージ

3.4 フィッティング近似式

フィッティングは Excel の近似曲線（多項式近似）のツールを用い、多項式の次数はツール上で最高の 6 次を用いた。

フィッティングの評価値として用いる R^2 値について

R^2 値：近似曲線の予想値が実際のデータにどの程度近いかを示す値。0 から 1 の値で示され、 R^2 値が 1 に近づくほど、近似曲線の精度が高くなる。 R^2 値は決定係数とも呼ばれている。(Excel ヘルプより)

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST}$$

ただし、

$$\text{残差平方和} : SSE = \sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2$$

Y_i : 実測値

および

\hat{Y}_i : 予想値 (近似式の値)

$$\text{偏差平方和} : SST = \sum (Y_i - \bar{Y})^2$$

\bar{Y} : 平均値 ($Y(i=1,2,\dots,n)$ の平均)

フィッティング近似式

	記号	単位	値
素子長	L	λ_0	0.5
素子半径	a	λ_0	10^{-2}
分割数	N	—	15
対応素子間隔	r	λ_0	0.1~0.5
無給電素子数	M	本	1~8

素子半径： $10^{-2} [\lambda_0]$

2 素子 y00 real	$y = -1.0792x^6 + 1.0682x^5 - 0.3218x^4 + 0.0235x^3 + 0.0124x^2 + 0.0064x + 0.0032$	$R^2 = 1$
imag	$y = -12.177x^6 + 25.928x^5 - 22.799x^4 + 10.564x^3 - 2.7726x^2 + 0.4132x - 0.0316$	$R^2 = 1$
y01 real	$y = -1.6068x^6 + 2.133x^5 - 1.2026x^4 + 0.4004x^3 - 0.0755x^2 + 0.0116x + 0.0003$	$R^2 = 1$
imag	$y = 16.604x^6 - 33.26x^5 + 27.307x^4 - 11.952x^3 + 2.9915x^2 - 0.4235x + 0.0313$	$R^2 = 1$
y11 real	$y = -1.0792x^6 + 1.0682x^5 - 0.3218x^4 + 0.0235x^3 + 0.0124x^2 + 0.0064x + 0.0032$	$R^2 = 1$
imag	$y = -12.177x^6 + 25.928x^5 - 22.799x^4 + 10.564x^3 - 2.7726x^2 + 0.4132x - 0.0316$	$R^2 = 1$
3 素子 y00 real	$y = 3.1724x^6 - 5.4383x^5 + 3.1733x^4 - 0.8242x^3 + 0.1542x^2 - 0.0076x + 0.0002$	$R^2 = 1$
imag	$y = -29.922x^6 + 62.921x^5 - 53.783x^4 + 23.956x^3 - 6.0264x^2 + 0.8696x - 0.0621$	$R^2 = 1$
y01 real	$y = -0.0471x^6 + 0.2289x^5 - 0.3895x^4 + 0.2364x^3 - 0.0617x^2 + 0.015x - 0.0004$	$R^2 = 1$
imag	$y = 15.287x^6 - 31.179x^5 + 26.262x^4 - 11.789x^3 + 2.9996x^2 - 0.4281x + 0.032$	$R^2 = 1$
y11 real	$y = -3.5675x^6 + 5.1646x^5 - 2.9298x^4 + 0.846x^3 - 0.1241x^2 + 0.0177x + 0.0029$	$R^2 = 1$
imag	$y = -12.513x^6 + 26.046x^5 - 22.616x^4 + 10.434x^3 - 2.74x^2 + 0.4093x - 0.0314$	$R^2 = 1$
y12 real	$y = 4.2284x^6 - 6.5512x^5 + 4.0863x^4 - 1.347x^3 + 0.2465x^2 - 0.0251x + 0.0015$	$R^2 = 1$
imag	$y = -3.5993x^6 + 7.0084x^5 - 5.2812x^4 + 2.0338x^3 - 0.432x^2 + 0.0473x - 0.0024$	$R^2 = 0.9999$
4 素子 y00 real	$y = -15.443x^6 + 12.577x^5 - 0.0869x^4 - 2.2096x^3 + 0.733x^2 - 0.0907x + 0.0039$	$R^2 = 0.9999$
imag	$y = 42.285x^6 - 59.844x^5 + 26.188x^4 - 1.3501x^3 - 1.9523x^2 + 0.5722x - 0.0586$	$R^2 = 0.9999$
y01 real	$y = 14.146x^6 - 28.588x^5 + 21.488x^4 - 7.7392x^3 + 1.4392x^2 - 0.1262x + 0.004$	$R^2 = 0.9998$
imag	$y = 42.539x^6 - 73.554x^5 + 51.35x^4 - 18.955x^3 + 4.007x^2 - 0.478x + 0.0303$	$R^2 = 1$
y11 real	$y = 11.908x^6 - 21.256x^5 + 14.684x^4 - 5.0278x^3 + 0.9142x^2 - 0.0738x + 0.0058$	$R^2 = 1$
imag	$y = -8.6075x^6 + 21.771x^5 - 21.193x^4 + 10.364x^3 - 2.7915x^2 + 0.4211x - 0.0322$	$R^2 = 1$
y12 real	$y = 13.176x^6 - 23.212x^5 + 15.843x^4 - 5.3963x^3 + 0.9781x^2 - 0.0889x + 0.0036$	$R^2 = 0.999$
imag	$y = 7.2274x^6 - 10.229x^5 + 5.7091x^4 - 1.7055x^3 + 0.3071x^2 - 0.0356x + 0.0027$	$R^2 = 0.9999$
5 素子 y00 real	$y = -158.46x^6 + 274.71x^5 - 186.73x^4 + 63.824x^3 - 11.527x^2 + 1.0383x - 0.0362$	$R^2 = 0.9985$
imag	$y = -181.57x^6 + 300.64x^5 - 203.8x^4 + 73.199x^3 - 14.916x^2 + 1.721x - 0.1006$	$R^2 = 1$
y01 real	$y = -97.926x^6 + 164.15x^5 - 108.8x^4 + 36.525x^3 - 6.5253x^2 + 0.5892x - 0.0213$	$R^2 = 0.9988$
imag	$y = -14.538x^6 + 10.917x^5 + 1.6833x^4 - 3.9025x^3 + 1.4918x^2 - 0.251x + 0.0204$	$R^2 = 0.999$
y11 real	$y = -49.415x^6 + 79.794x^5 - 51.121x^4 + 16.646x^3 - 2.8843x^2 + 0.262x - 0.0068$	$R^2 = 0.9999$
imag	$y = -4.2026x^6 + 9.2303x^5 - 10.469x^4 + 6.4092x^3 - 2.1352x^2 + 0.388x - 0.0339$	$R^2 = 0.9997$
y12 real	$y = -45.917x^6 + 74.761x^5 - 48.353x^4 + 15.901x^3 - 2.7872x^2 + 0.2454x - 0.0076$	$R^2 = 0.9986$
imag	$y = 16.799x^6 - 34.349x^5 + 27.086x^4 - 10.821x^3 + 2.3763x^2 - 0.285x + 0.0168$	$R^2 = 0.9993$
y13 real	$y = -41.668x^6 + 68.162x^5 - 44.162x^4 + 14.473x^3 - 2.5173x^2 + 0.2196x - 0.0081$	$R^2 = 0.9963$
imag	$y = 4.6979x^6 - 9.7828x^5 + 6.8473x^4 - 1.983x^3 + 0.1711x^2 + 0.0262x - 0.0048$	$R^2 = 0.9972$

6 素子 y00 real	$y = 130.63x^6 - 207.85x^5 + 133.03x^4 - 43.521x^3 + 7.6408x^2 - 0.6806x + 0.0242$	$R^2 = 0.9994$
imag	$y = -105.68x^6 + 194.91x^5 - 145.52x^4 + 57.025x^3 - 12.57x^2 + 1.5572x - 0.0973$	$R^2 = 0.9999$
y01 real	$y = 47.925x^6 - 74.8x^5 + 47.039x^4 - 15.101x^3 + 2.5906x^2 - 0.2215x + 0.0069$	$R^2 = 0.9998$
imag	$y = -38.865x^6 + 61.675x^5 - 37.769x^4 + 11.113x^3 - 1.5046x^2 + 0.051x + 0.0075$	$R^2 = 0.9965$
y11 real	$y = 12.781x^6 - 18.715x^5 + 11.343x^4 - 3.5728x^3 + 0.6181x^2 - 0.0449x + 0.0031$	$R^2 = 1$
imag	$y = -58.063x^6 + 103.65x^5 - 76.112x^4 + 29.698x^3 - 6.6108x^2 + 0.8402x - 0.0542$	$R^2 = 1$
y12 real	$y = 14.193x^6 - 21.287x^5 + 12.964x^4 - 4.0305x^3 + 0.6704x^2 - 0.0563x + 0.0028$	$R^2 = 1$
imag	$y = -20.422x^6 + 29.287x^5 - 15.233x^4 + 3.0741x^3 + 0.06x^2 - 0.1134x + 0.0147$	$R^2 = 0.9992$
y13 real	$y = 16.848x^6 - 26.445x^5 + 16.73x^4 - 5.4374x^3 + 0.9536x^2 - 0.0854x + 0.0027$	$R^2 = 0.9996$
imag	$y = -23.712x^6 + 40.846x^5 - 28.254x^4 + 10.099x^3 - 1.9869x^2 + 0.2104x - 0.0102$	$R^2 = 0.9987$
7 素子 y00 real	$y = 50.825x^6 - 81.357x^5 + 52.49x^4 - 17.338x^3 + 3.0864x^2 - 0.2812x + 0.0105$	$R^2 = 0.9995$
imag	$y = -20.495x^6 + 53.405x^5 - 52.082x^4 + 25.764x^3 - 7.0189x^2 + 1.0652x - 0.0808$	$R^2 = 1$
y01 real	$y = 22.184x^6 - 35.085x^5 + 22.31x^4 - 7.2229x^3 + 1.2447x^2 - 0.1059x + 0.003$	$R^2 = 0.9996$
imag	$y = 12.177x^6 - 21.678x^5 + 16.373x^4 - 6.6732x^3 + 1.5772x^2 - 0.211x + 0.0152$	$R^2 = 1$
y11 real	$y = 14.432x^6 - 22.628x^5 + 14.425x^4 - 4.7281x^3 + 0.8407x^2 - 0.0674x + 0.0035$	$R^2 = 1$
imag	$y = -29.679x^6 + 60.588x^5 - 50.666x^4 + 22.463x^3 - 5.664x^2 + 0.8119x - 0.0585$	$R^2 = 1$
y12 real	$y = 12.192x^6 - 19.224x^5 + 12.261x^4 - 3.9889x^3 + 0.69x^2 - 0.0589x + 0.0028$	$R^2 = 0.9998$
imag	$y = 13.863x^6 - 28.129x^5 + 23.683x^4 - 10.586x^3 + 2.6964x^2 - 0.386x + 0.028$	$R^2 = 1$
y13 real	$y = 7.7068x^6 - 12.274x^5 + 7.8127x^4 - 2.5303x^3 + 0.4417x^2 - 0.0412x + 0.0015$	$R^2 = 0.9984$
imag	$y = -1.6377x^6 + 4.4542x^5 - 4.3263x^4 + 2.0742x^3 - 0.5354x^2 + 0.075x - 0.0051$	$R^2 = 1$
y14 real	$y = 5.8542x^6 - 9.8301x^5 + 6.6553x^4 - 2.3288x^3 + 0.4386x^2 - 0.0403x + 0.0011$	$R^2 = 0.9958$
imag	$y = 2.3409x^6 - 3.0208x^5 + 1.304x^4 - 0.0891x^3 - 0.0957x^2 + 0.0288x - 0.0027$	$R^2 = 0.9999$
8 素子 y00 real	$y = 22.317x^6 - 35.541x^5 + 22.955x^4 - 7.6303x^3 + 1.3814x^2 - 0.1304x + 0.0054$	$R^2 = 0.9998$
imag	$y = -25.52x^6 + 60.773x^5 - 56.553x^4 + 27.186x^3 - 7.2728x^2 + 1.09x - 0.0821$	$R^2 = 1$
y01 real	$y = 8.1999x^6 - 12.779x^5 + 8.0116x^4 - 2.5488x^3 + 0.4283x^2 - 0.0345x + 0.0006$	$R^2 = 0.9998$
imag	$y = 11.569x^6 - 20.647x^5 + 15.49x^4 - 6.2347x^3 + 1.4483x^2 - 0.1901x + 0.0134$	$R^2 = 1$
y11 real	$y = 6.0076x^6 - 9.3961x^5 + 5.998x^4 - 1.9753x^3 + 0.3579x^2 - 0.0259x + 0.0017$	$R^2 = 1$
imag	$y = -32.483x^6 + 67.959x^5 - 58.057x^4 + 26.191x^3 - 6.6908x^2 + 0.9651x - 0.0696$	$R^2 = 1$
y12 real	$y = 4.8711x^6 - 7.6791x^5 + 4.9396x^4 - 1.6287x^3 + 0.2834x^2 - 0.0228x + 0.0014$	$R^2 = 0.9999$
imag	$y = 21.354x^6 - 42.351x^5 + 34.75x^4 - 15.127x^3 + 3.7431x^2 - 0.5192x + 0.0364$	$R^2 = 1$
y13 real	$y = 2.7669x^6 - 4.2812x^5 + 2.6124x^4 - 0.793x^3 + 0.1285x^2 - 0.013x + 0.0006$	$R^2 = 0.9998$
imag	$y = -2.1919x^6 + 5.4401x^5 - 5.0842x^4 + 2.382x^3 - 0.6005x^2 + 0.081x - 0.0052$	$R^2 = 1$
y14 real	$y = 1.423x^6 - 2.477x^5 + 1.7536x^4 - 0.6519x^3 + 0.1323x^2 - 0.013x + 0.0003$	$R^2 = 0.9993$
imag	$y = 1.0865x^6 - 1.2994x^5 + 0.4281x^4 + 0.0806x^3 - 0.0878x^2 + 0.0218x - 0.002$	$R^2 = 0.9999$

9 素子 y00 real	$y = 13.777x^6 - 21.878x^5 + 14.177x^4 - 4.7517x^3 + 0.8766x^2 - 0.0858x + 0.0039$	$R^2 = 0.9999$
imag	$y = -30.621x^6 + 68.694x^5 - 61.563x^4 + 28.82x^3 - 7.5636x^2 + 1.117x - 0.0833$	$R^2 = 1$
y01 real	$y = 4.0102x^6 - 6.1486x^5 + 3.788x^4 - 1.1773x^3 + 0.1907x^2 - 0.014x - 1E-05$	$R^2 = 0.9999$
imag	$y = 9.0237x^6 - 16.388x^5 + 12.514x^4 - 5.1252x^3 + 1.2113x^2 - 0.1617x + 0.0116$	$R^2 = 1$
y11 real	$y = 2.8412x^6 - 4.4588x^5 + 2.8686x^4 - 0.9562x^3 + 0.1789x^2 - 0.0112x + 0.001$	$R^2 = 1$
imag	$y = -40.683x^6 + 84.426x^5 - 71.685x^4 + 32.15x^3 - 8.1584x^2 + 1.1643x - 0.0827$	$R^2 = 1$
y12 real	$y = 26.112x^6 - 52.306x^5 + 43.213x^4 - 18.895x^3 + 4.6792x^2 - 0.646x + 0.0447$	$R^2 = 1$
imag	$y = 2.2809x^6 - 3.5963x^5 + 2.3379x^4 - 0.7873x^3 + 0.1392x^2 - 0.01x + 0.0009$	$R^2 = 1$
y13 real	$y = 1.3441x^6 - 2.076x^5 + 1.2585x^4 - 0.3693x^3 + 0.0544x^2 - 0.0059x + 0.0005$	$R^2 = 1$
imag	$y = -3.5285x^6 + 7.8638x^5 - 6.9319x^4 + 3.1378x^3 - 0.7729x^2 + 0.1009x - 0.0061$	$R^2 = 0.9999$
y14 real	$y = 0.5851x^6 - 0.9001x^5 + 0.5409x^4 - 0.1722x^3 + 0.0349x^2 - 0.0045x + 0.0001$	$R^2 = 0.9997$
imag	$y = 0.2634x^6 - 0.0673x^5 - 0.2321x^4 + 0.2015x^3 - 0.0745x^2 + 0.0151x - 0.0015$	$R^2 = 1$
y15 real	$y = 0.5567x^6 - 1.1892x^5 + 1.025x^4 - 0.4493x^3 + 0.0999x^2 - 0.0095x + 0.0002$	$R^2 = 1$
imag	$y = 0.5454x^6 - 0.5898x^5 + 0.0549x^4 + 0.184x^3 - 0.1021x^2 + 0.0214x - 0.0017$	$R^2 = 0.9999$

フィッティング近似式

	記号	単位	値
素子長	L	λ_0	0.5
素子半径	a	λ_0	10^{-4}
分割数	N	—	15
対応素子間隔	r	λ_0	0.1~0.5
無給電素子数	M	本	1~8

素子半径： $10^{-4} [\lambda_0]$

2 素子 y00 real	$y = -2.0871x^6 + 2.8451x^5 - 1.5575x^4 + 0.4705x^3 - 0.0749x^2 + 0.0155x + 0.0038$	$R^2 = 1$
imag	$y = -14.245x^6 + 29.936x^5 - 26.13x^4 + 12.092x^3 - 3.1867x^2 + 0.4809x - 0.0393$	$R^2 = 1$
y01 real	$y = -2.1863x^6 + 3.0224x^5 - 1.687x^4 + 0.514x^3 - 0.0814x^2 + 0.0102x + 0.0004$	$R^2 = 1$
imag	$y = 18.111x^6 - 36.838x^5 + 30.665x^4 - 13.6x^3 + 3.4548x^2 - 0.4979x + 0.0376$	$R^2 = 1$
y11 real	$y = -2.0871x^6 + 2.8451x^5 - 1.5575x^4 + 0.4705x^3 - 0.0749x^2 + 0.0155x + 0.0038$	$R^2 = 1$
imag	$y = -14.245x^6 + 29.936x^5 - 26.13x^4 + 12.092x^3 - 3.1867x^2 + 0.4809x - 0.0393$	$R^2 = 1$
3 素子 y00 real	$y = 1.8585x^6 - 3.4196x^5 + 2.0088x^4 - 0.503x^3 + 0.1175x^2 - 0.0057x + 0.0002$	$R^2 = 1$
imag	$y = -30.999x^6 + 65.326x^5 - 56.273x^4 + 25.407x^3 - 6.5251x^2 + 0.9725x - 0.0743$	$R^2 = 1$
y01 real	$y = -0.1387x^6 + 0.1923x^5 - 0.1961x^4 + 0.1055x^3 - 0.0233x^2 + 0.0101x - 9E-05$	$R^2 = 1$
imag	$y = 16.303x^6 - 33.475x^5 + 28.365x^4 - 12.831x^3 + 3.3097x^2 - 0.4837x + 0.0375$	$R^2 = 1$
y11 real	$y = -4.7651x^6 + 7.316x^5 - 4.4652x^4 + 1.4192x^3 - 0.2406x^2 + 0.0301x + 0.0033$	$R^2 = 1$
imag	$y = -14.926x^6 + 30.643x^5 - 26.354x^4 + 12.105x^3 - 3.1804x^2 + 0.4794x - 0.0392$	$R^2 = 1$
y12 real	$y = 4.6348x^6 - 7.1967x^5 + 4.4416x^4 - 1.4208x^3 + 0.2455x^2 - 0.023x + 0.0013$	$R^2 = 1$
imag	$y = -1.3527x^6 + 2.8933x^5 - 2.1698x^4 + 0.7892x^3 - 0.1544x^2 + 0.0148x - 0.001$	$R^2 = 0.9999$
4 素子 y00 real	$y = -38.155x^6 + 52.588x^5 - 27.644x^4 + 7.3052x^3 - 1.0011x^2 + 0.0668x - 0.0017$	$R^2 = 1$
imag	$y = 26.584x^6 - 35.61x^5 + 10.936x^4 + 3.8738x^3 - 3.0494x^2 + 0.726x - 0.0735$	$R^2 = 0.9999$
y01 real	$y = 2.5322x^6 - 9.1691x^5 + 8.7854x^4 - 3.5827x^3 + 0.7264x^2 - 0.0658x + 0.0019$	$R^2 = 0.9999$
imag	$y = 42.416x^6 - 75.231x^5 + 53.76x^4 - 20.259x^3 + 4.3674x^2 - 0.5334x + 0.0352$	$R^2 = 1$
y11 real	$y = 6.8939x^6 - 13.022x^5 + 9.3361x^4 - 3.252x^3 + 0.5956x^2 - 0.0441x + 0.0056$	$R^2 = 1$
imag	$y = -8.4068x^6 + 21.684x^5 - 21.704x^4 + 10.957x^3 - 3.0521x^2 + 0.4776x - 0.0397$	$R^2 = 1$
y12 real	$y = 8.3058x^6 - 15.33x^5 + 10.796x^4 - 3.7479x^3 + 0.6864x^2 - 0.062x + 0.0025$	$R^2 = 0.9991$
imag	$y = 11.165x^6 - 17.894x^5 + 11.572x^4 - 3.9811x^3 + 0.7875x^2 - 0.0891x + 0.0053$	$R^2 = 1$
5 素子 y00 real	$y = -56.27x^6 + 106.83x^5 - 77.026x^4 + 27.467x^3 - 5.1139x^2 + 0.4701x - 0.0165$	$R^2 = 0.9994$
imag	$y = -207.23x^6 + 351.04x^5 - 242.04x^4 + 87.799x^3 - 17.949x^2 + 2.0696x - 0.1233$	$R^2 = 0.9999$
y01 real	$y = -58.072x^6 + 100.13x^5 - 67.736x^4 + 23.102x^3 - 4.1755x^2 + 0.3809x - 0.0141$	$R^2 = 0.9993$
imag	$y = -47.234x^6 + 67.684x^5 - 37.037x^4 + 9.3099x^3 - 0.8556x^2 - 0.0525x + 0.0156$	$R^2 = 0.9996$
y11 real	$y = -40.287x^6 + 66.369x^5 - 43.251x^4 + 14.311x^3 - 2.5184x^2 + 0.2347x - 0.0053$	$R^2 = 0.9999$
imag	$y = -30.575x^6 + 54.77x^5 - 42.049x^4 + 17.736x^3 - 4.3837x^2 + 0.6339x - 0.0489$	$R^2 = 1$
y12 real	$y = -36.088x^6 + 60.158x^5 - 39.726x^4 + 13.319x^3 - 2.3759x^2 + 0.2121x - 0.0064$	$R^2 = 0.9988$
imag	$y = -4.9082x^6 + 1.8218x^5 + 3.4068x^4 - 3.109x^3 + 1.0907x^2 - 0.1882x + 0.0152$	$R^2 = 0.9999$
y13 real	$y = -30.859x^6 + 51.807x^5 - 34.311x^4 + 11.459x^3 - 2.0301x^2 + 0.1814x - 0.0072$	$R^2 = 0.9967$
imag	$y = -17.005x^6 + 27.025x^5 - 17.868x^4 + 6.4208x^3 - 1.3577x^2 + 0.1693x - 0.0107$	$R^2 = 0.9998$

6 素子 y00 real	$y = 89.449x^6 - 142.52x^5 + 91.356x^4 - 29.915x^3 + 5.2566x^2 - 0.4691x + 0.0169$	$R^2 = 0.9994$
imag	$y = -45.779x^6 + 96.622x^5 - 81.719x^4 + 36.347x^3 - 9.1518x^2 + 1.3177x - 0.0994$	$R^2 = 1$
y01 real	$y = 38.897x^6 - 61.349x^5 + 38.993x^4 - 12.656x^3 + 2.1981x^2 - 0.1905x + 0.0059$	$R^2 = 0.9997$
imag	$y = -4.7902x^6 + 5.5136x^5 - 0.7043x^4 - 1.397x^3 + 0.7789x^2 - 0.1669x + 0.017$	$R^2 = 0.9997$
y11 real	$y = 15.805x^6 - 24.076x^5 + 15.068x^4 - 4.8672x^3 + 0.8528x^2 - 0.0645x + 0.0042$	$R^2 = 1$
imag	$y = -44.302x^6 + 82.636x^5 - 63.784x^4 + 26.36x^3 - 6.2691x^2 + 0.8612x - 0.0623$	$R^2 = 1$
y12 real	$y = 15.467x^6 - 23.799x^5 + 14.797x^4 - 4.6787x^3 + 0.7893x^2 - 0.0678x + 0.0034$	$R^2 = 0.9999$
imag	$y = -2.9774x^6 + 0.379x^5 + 4.14x^4 - 3.6699x^3 + 1.3674x^2 - 0.2535x + 0.0222$	$R^2 = 0.9998$
y13 real	$y = 15.77x^6 - 25.338x^5 + 16.332x^4 - 5.385x^3 + 0.9516x^2 - 0.0847x + 0.0025$	$R^2 = 0.9962$
imag	$y = -6.116x^6 + 11.935x^5 - 9.2666x^4 + 3.7559x^3 - 0.8607x^2 + 0.1116x - 0.0072$	$R^2 = 0.9999$
7 素子 y00 real	$y = 27.342x^6 - 43.304x^5 + 27.721x^4 - 9.0913x^3 + 1.6131x^2 - 0.1479x + 0.0059$	$R^2 = 0.9998$
imag	$y = -23.965x^6 + 59.517x^5 - 56.957x^4 + 28.055x^3 - 7.7006x^2 + 1.1946x - 0.096$	$R^2 = 1$
y01 real	$y = 12.291x^6 - 19.309x^5 + 12.242x^4 - 3.9616x^3 + 0.6848x^2 - 0.0582x + 0.0014$	$R^2 = 0.9998$
imag	$y = 13.538x^6 - 24.317x^5 + 18.437x^4 - 7.5334x^3 + 1.7888x^2 - 0.2425x + 0.018$	$R^2 = 1$
y11 real	$y = 10.268x^6 - 15.959x^5 + 10.13x^4 - 3.3145x^3 + 0.5906x^2 - 0.0437x + 0.003$	$R^2 = 1$
imag	$y = -28.984x^6 + 60.511x^5 - 51.728x^4 + 23.48x^3 - 6.0838x^2 + 0.9031x - 0.0697$	$R^2 = 1$
y12 real	$y = 7.8806x^6 - 12.289x^5 + 7.7645x^4 - 2.4927x^3 + 0.4221x^2 - 0.0352x + 0.0022$	$R^2 = 0.9999$
imag	$y = 15.731x^6 - 31.409x^5 + 26.126x^4 - 11.612x^3 + 2.9702x^2 - 0.4334x + 0.0326$	$R^2 = 1$
y13 real	$y = 3.1004x^6 - 4.8056x^5 + 2.9338x^4 - 0.8996x^3 + 0.1503x^2 - 0.0152x + 0.0005$	$R^2 = 0.9994$
imag	$y = 0.4233x^6 + 0.5002x^5 - 1.2562x^4 + 0.8349x^3 - 0.2626x^2 + 0.045x - 0.004$	$R^2 = 1$
y14 real	$y = 1.4687x^6 - 2.838x^5 + 2.1761x^4 - 0.8563x^3 + 0.1737x^2 - 0.0145x - 3E-05$	$R^2 = 0.9999$
imag	$y = 2.0207x^6 - 2.3433x^5 + 0.6401x^4 + 0.2654x^3 - 0.2018x^2 + 0.0454x - 0.0038$	$R^2 = 0.9998$
8 素子 y00 real	$y = 12.873x^6 - 20.19x^5 + 12.891x^4 - 4.2363x^3 + 0.7634x^2 - 0.0731x + 0.0034$	$R^2 = 0.9999$
imag	$y = -31.2x^6 + 70.769x^5 - 64.131x^4 + 30.434x^3 - 8.1374x^2 + 1.2376x - 0.0981$	$R^2 = 1$
y01 real	$y = 4.6812x^6 - 7.2527x^5 + 4.5472x^4 - 1.4541x^3 + 0.2475x^2 - 0.0201x + 0.0001$	$R^2 = 0.9999$
imag	$y = 10.549x^6 - 19.314x^5 + 14.907x^4 - 6.1931x^3 + 1.4934x^2 - 0.2053x + 0.0154$	$R^2 = 1$
y11 real	$y = 4.209x^6 - 6.5103x^5 + 4.1259x^4 - 1.3529x^3 + 0.2463x^2 - 0.0147x + 0.0016$	$R^2 = 1$
imag	$y = -32.886x^6 + 69.186x^5 - 59.572x^4 + 27.19x^3 - 7.0729x^2 + 1.0513x - 0.0812$	$R^2 = 1$
y12 real	$y = 3.1434x^6 - 4.9234x^5 + 3.1621x^4 - 1.0373x^3 + 0.1759x^2 - 0.0131x + 0.0013$	$R^2 = 0.9999$
imag	$y = 19.831x^6 - 39.604x^5 + 32.828x^4 - 14.507x^3 + 3.6782x^2 - 0.5318x + 0.04$	$R^2 = 1$
y13 real	$y = 1.0806x^6 - 1.5002x^5 + 0.7511x^4 - 0.1539x^3 + 0.0124x^2 - 0.0031x + 0.0003$	$R^2 = 1$
imag	$y = -0.5365x^6 + 1.853x^5 - 1.964x^4 + 0.9781x^3 - 0.2559x^2 + 0.0379x - 0.0033$	$R^2 = 1$
y14 real	$y = 0.1249x^6 - 0.4053x^5 + 0.42x^4 - 0.2074x^3 + 0.0493x^2 - 0.0041x - 0.0002$	$R^2 = 1$
imag	$y = -0.0748x^6 + 0.745x^5 - 1.0848x^4 + 0.6843x^3 - 0.2268x^2 + 0.0395x - 0.003$	$R^2 = 0.9999$

9 素子 y00 real	$y = 8.5533x^6 - 13.326x^5 + 8.5051x^4 - 2.8052x^3 + 0.5138x^2 - 0.0512x + 0.0027$	$R^2 = 1$
imag	$y = -35.231x^6 + 77.12x^5 - 68.236x^4 + 31.816x^3 - 8.3954x^2 + 1.2635x - 0.0994$	$R^2 = 1$
y01 real	$y = 2.4582x^6 - 3.7639x^5 + 2.3355x^4 - 0.7381x^3 + 0.1235x^2 - 0.0094x - 0.0002$	$R^2 = 1$
imag	$y = 8.2729x^6 - 15.442x^5 + 12.146x^4 - 5.139x^3 + 1.2609x^2 - 0.1762x + 0.0134$	$R^2 = 1$
y11 real	$y = 2.0325x^6 - 3.1581x^5 + 2.0151x^4 - 0.667x^3 + 0.1258x^2 - 0.0053x + 0.001$	$R^2 = 1$
imag	$y = -39.013x^6 + 81.462x^5 - 69.781x^4 + 31.711x^3 - 8.2155x^2 + 1.2147x - 0.0933$	$R^2 = 1$
y12 real	$y = 1.5117x^6 - 2.3742x^5 + 1.5502x^4 - 0.5239x^3 + 0.0899x^2 - 0.0053x + 0.0009$	$R^2 = 1$
imag	$y = 22.449x^6 - 45.337x^5 + 37.901x^4 - 16.861x^3 + 4.2918x^2 - 0.6213x + 0.0469$	$R^2 = 1$
y13 real	$y = 0.5951x^6 - 0.8351x^5 + 0.4169x^4 - 0.0736x^3 - 0.0005x^2 - 0.0015x + 0.0003$	$R^2 = 1$
imag	$y = -0.7304x^6 + 2.0495x^5 - 2.0316x^4 + 0.9852x^3 - 0.2514x^2 + 0.0351x - 0.0029$	$R^2 = 1$
y14 real	$y = -0.0594x^6 + 0.184x^5 - 0.1985x^4 + 0.0863x^3 - 0.0136x^2 + 0.0004x - 0.0002$	$R^2 = 1$
imag	$y = -0.6929x^6 + 1.6401x^5 - 1.4927x^4 + 0.6959x^3 - 0.186x^2 + 0.0295x - 0.0024$	$R^2 = 1$
y15 real	$y = 0.2207x^6 - 0.7083x^5 + 0.7491x^4 - 0.3606x^3 + 0.0791x^2 - 0.0059x - 0.0001$	$R^2 = 1$
imag	$y = -0.1457x^6 + 0.6626x^5 - 0.9165x^4 + 0.5955x^3 - 0.202x^2 + 0.0343x - 0.0024$	$R^2 = 0.9999$

フィッティング近似式

	記号	単位	値
素子長	L	λ_0	0.5
素子半径	a	λ_0	10^{-6}
分割数	N	—	15
対応素子間隔	r	λ_0	0.1~0.5
無給電素子数	M	本	1~8

素子半径： $10^{-6} [\lambda_0]$

2 素子 y00 real	$y = -2.2916x^6 + 3.2125x^5 - 1.82x^4 + 0.568x^3 - 0.0946x^2 + 0.0176x + 0.0038$	$R^2 = 1$
imag	$y = -14.262x^6 + 29.948x^5 - 26.144x^4 + 12.111x^3 - 3.1987x^2 + 0.4847x - 0.0401$	$R^2 = 1$
y01 real	$y = -2.2027x^6 + 3.023x^5 - 1.6563x^4 + 0.4877x^3 - 0.0719x^2 + 0.0087x + 0.0005$	$R^2 = 1$
imag	$y = 18.009x^6 - 36.706x^5 + 30.615x^4 - 13.607x^3 + 3.4668x^2 - 0.5017x + 0.0382$	$R^2 = 1$
y11 real	$y = -2.2916x^6 + 3.2125x^5 - 1.82x^4 + 0.568x^3 - 0.0946x^2 + 0.0176x + 0.0038$	$R^2 = 1$
imag	$y = -14.262x^6 + 29.948x^5 - 26.144x^4 + 12.111x^3 - 3.1987x^2 + 0.4847x - 0.0401$	$R^2 = 1$
3 素子 y00 real	$y = 1.6515x^6 - 3.0891x^5 + 1.8089x^4 - 0.4452x^3 + 0.1105x^2 - 0.0053x + 0.0002$	$R^2 = 1$
imag	$y = -30.414x^6 + 64.182x^5 - 55.403x^4 + 25.088x^3 - 6.4718x^2 + 0.9718x - 0.0753$	$R^2 = 1$
y01 real	$y = -0.1059x^6 + 0.0997x^5 - 0.0984x^4 + 0.056x^3 - 0.01x^2 + 0.0083x + 2E-05$	$R^2 = 1$
imag	$y = 15.978x^6 - 32.857x^5 + 27.888x^4 - 12.646x^3 + 3.2743x^2 - 0.4816x + 0.0378$	$R^2 = 1$
y11 real	$y = -4.9616x^6 + 7.6819x^5 - 4.7375x^4 + 1.5253x^3 - 0.2632x^2 + 0.0327x + 0.0033$	$R^2 = 1$
imag	$y = -15.001x^6 + 30.754x^5 - 26.437x^4 + 12.149x^3 - 3.1969x^2 + 0.4836x - 0.04$	$R^2 = 1$
y12 real	$y = 4.6677x^6 - 7.242x^5 + 4.4571x^4 - 1.4175x^3 + 0.2423x^2 - 0.0223x + 0.0013$	$R^2 = 1$
imag	$y = -0.8652x^6 + 1.9599x^5 - 1.4326x^4 + 0.4816x^3 - 0.0828x^2 + 0.006x - 0.0005$	$R^2 = 0.9999$
4 素子 y00 real	$y = -40.409x^6 + 56.649x^5 - 30.496x^4 + 8.3091x^3 - 1.1878x^2 + 0.0842x - 0.0023$	$R^2 = 1$
imag	$y = 25.157x^6 - 33.706x^5 + 10.008x^4 + 4.0803x^3 - 3.0751x^2 + 0.7311x - 0.0747$	$R^2 = 0.9999$
y01 real	$y = 1.3119x^6 - 7.1225x^5 + 7.4527x^4 - 3.1539x^3 + 0.6559x^2 - 0.0604x + 0.0018$	$R^2 = 0.9999$
imag	$y = 41.765x^6 - 74.231x^5 + 53.128x^4 - 20.048x^3 + 4.3298x^2 - 0.5307x + 0.0353$	$R^2 = 1$
y11 real	$y = 6.3017x^6 - 12.017x^5 + 8.6566x^4 - 3.0152x^3 + 0.5505x^2 - 0.0395x + 0.0056$	$R^2 = 1$
imag	$y = -8.3618x^6 + 21.584x^5 - 21.655x^4 + 10.968x^3 - 3.0671x^2 + 0.4824x - 0.0406$	$R^2 = 1$
y12 real	$y = 7.7058x^6 - 14.34x^5 + 10.148x^4 - 3.5315x^3 + 0.6471x^2 - 0.0582x + 0.0024$	$R^2 = 0.9991$
imag	$y = 11.584x^6 - 18.761x^5 + 12.277x^4 - 4.2737x^3 + 0.8542x^2 - 0.0973x + 0.0057$	$R^2 = 1$
5 素子 y00 real	$y = -45.115x^6 + 88.354x^5 - 64.864x^4 + 23.416x^3 - 4.3979x^2 + 0.4068x - 0.0143$	$R^2 = 0.9995$
imag	$y = -205.15x^6 + 348.1x^5 - 240.35x^4 + 87.297x^3 - 17.874x^2 + 2.0678x - 0.1244$	$R^2 = 0.9999$
y01 real	$y = -52.8x^6 + 91.5x^5 - 62.09x^4 + 21.22x^3 - 3.8386x^2 + 0.3502x - 0.013$	$R^2 = 0.9994$
imag	$y = -49.257x^6 + 71.438x^5 - 39.756x^4 + 10.295x^3 - 1.0428x^2 - 0.0354x + 0.0152$	$R^2 = 0.9995$
y11 real	$y = -38.512x^6 + 63.583x^5 - 41.506x^4 + 13.757x^3 - 2.4252x^2 + 0.2271x - 0.0049$	$R^2 = 0.9999$
imag	$y = -32.592x^6 + 58.264x^5 - 44.476x^4 + 18.61x^3 - 4.5602x^2 + 0.6545x - 0.0504$	$R^2 = 1$
y12 real	$y = -34.252x^6 + 57.263x^5 - 37.907x^4 + 12.738x^3 - 2.2772x^2 + 0.2036x - 0.0061$	$R^2 = 0.9989$
imag	$y = -6.722x^6 + 4.8988x^5 + 1.3647x^4 - 2.439x^3 + 0.98x^2 - 0.1805x + 0.0152$	$R^2 = 0.9999$
y13 real	$y = -28.888x^6 + 48.667x^5 - 32.316x^4 + 10.815x^3 - 1.9199x^2 + 0.1722x - 0.007$	$R^2 = 0.9969$
imag	$y = -18.49x^6 + 29.532x^5 - 19.516x^4 + 6.9587x^3 - 1.4492x^2 + 0.1772x - 0.011$	$R^2 = 0.9999$

6 素子 y00 real	$y = 84.528x^6 - 134.59x^5 + 86.203x^4 - 28.2x^3 + 4.9488x^2 - 0.4409x + 0.0158$	$R^2 = 0.9994$
imag	$y = -41.128x^6 + 88.672x^5 - 76.291x^4 + 34.471x^3 - 8.8146x^2 + 1.2913x - 0.0996$	$R^2 = 1$
y01 real	$y = 37.349x^6 - 58.946x^5 + 37.502x^4 - 12.19x^3 + 2.1219x^2 - 0.1846x + 0.0057$	$R^2 = 0.9997$
imag	$y = -2.5451x^6 + 1.8859x^5 + 1.6246x^4 - 2.153x^3 + 0.91x^2 - 0.1788x + 0.0176$	$R^2 = 0.9998$
y11 real	$y = 15.697x^6 - 23.924x^5 + 14.98x^4 - 4.8399x^3 + 0.8476x^2 - 0.0638x + 0.0043$	$R^2 = 1$
imag	$y = -42.913x^6 + 80.401x^5 - 62.368x^4 + 25.926x^3 - 6.2093x^2 + 0.8606x - 0.0632$	$R^2 = 1$
y12 real	$y = 15.121x^6 - 23.253x^5 + 14.445x^4 - 4.5603x^3 + 0.7679x^2 - 0.066x + 0.0034$	$R^2 = 0.9999$
imag	$y = -1.7987x^6 - 1.5073x^5 + 5.3534x^4 - 4.0746x^3 + 1.444x^2 - 0.2622x + 0.0228$	$R^2 = 0.9999$
y13 real	$y = 15.151x^6 - 24.383x^5 + 15.734x^4 - 5.1917x^3 + 0.9174x^2 - 0.0815x + 0.0024$	$R^2 = 0.9952$
imag	$y = -4.5133x^6 + 9.2219x^5 - 7.4168x^4 + 3.1069x^3 - 0.7376x^2 + 0.0998x - 0.0068$	$R^2 = 1$
7 素子 y00 real	$y = 25.352x^6 - 40.037x^5 + 25.552x^4 - 8.3476x^3 + 1.4742x^2 - 0.1345x + 0.0054$	$R^2 = 0.9998$
imag	$y = -23.585x^6 + 58.604x^5 - 56.159x^4 + 27.727x^3 - 7.6394x^2 + 1.193x - 0.0971$	$R^2 = 1$
y01 real	$y = 11.532x^6 - 18.125x^5 + 11.51x^4 - 3.7356x^3 + 0.6491x^2 - 0.0556x + 0.0013$	$R^2 = 0.9999$
imag	$y = 13.338x^6 - 23.956x^5 + 18.169x^4 - 7.4306x^3 + 1.7684x^2 - 0.2409x + 0.018$	$R^2 = 1$
y11 real	$y = 9.9055x^6 - 15.377x^5 + 9.7544x^4 - 3.1908x^3 + 0.5686x^2 - 0.0415x + 0.003$	$R^2 = 1$
imag	$y = -28.469x^6 + 59.585x^5 - 51.068x^4 + 23.253x^3 - 6.0507x^2 + 0.904x - 0.0707$	$R^2 = 1$
y12 real	$y = 7.4893x^6 - 11.654x^5 + 7.3466x^4 - 2.3512x^3 + 0.3963x^2 - 0.0329x + 0.0022$	$R^2 = 0.9999$
imag	$y = 15.411x^6 - 30.744x^5 + 25.577x^4 - 11.385x^3 + 2.9229x^2 - 0.4296x + 0.0328$	$R^2 = 1$
y13 real	$y = 2.6961x^6 - 4.1448x^5 + 2.4971x^4 - 0.7516x^3 + 0.1235x^2 - 0.0128x + 0.0004$	$R^2 = 0.9995$
imag	$y = 0.7696x^6 - 0.2202x^5 - 0.6492x^4 + 0.5685x^3 - 0.1985x^2 + 0.0371x - 0.0037$	$R^2 = 1$
y14 real	$y = 1.1137x^6 - 2.2772x^5 + 1.8192x^4 - 0.7386x^3 + 0.1519x^2 - 0.0121x - 0.0002$	$R^2 = 1$
imag	$y = 1.936x^6 - 2.2029x^5 + 0.5355x^4 + 0.3104x^3 - 0.2138x^2 + 0.0472x - 0.0039$	$R^2 = 0.9998$
8 素子 y00 real	$y = 11.979x^6 - 18.686x^5 + 11.858x^4 - 3.8652x^3 + 0.6897x^2 - 0.0654x + 0.0031$	$R^2 = 0.9999$
imag	$y = -30.852x^6 + 69.952x^5 - 63.425x^4 + 30.148x^3 - 8.0864x^2 + 1.2373x - 0.0993$	$R^2 = 1$
y01 real	$y = 4.4381x^6 - 6.8938x^5 + 4.3426x^4 - 1.3995x^3 + 0.2414x^2 - 0.02x + 0.0001$	$R^2 = 0.9999$
imag	$y = 10.287x^6 - 18.856x^5 + 14.58x^4 - 6.0727x^3 + 1.4703x^2 - 0.2035x + 0.0155$	$R^2 = 1$
y11 real	$y = 4.0449x^6 - 6.2444x^5 + 3.9513x^4 - 1.2943x^3 + 0.2358x^2 - 0.0137x + 0.0016$	$R^2 = 1$
imag	$y = -32.005x^6 + 67.467x^5 - 58.227x^4 + 26.66x^3 - 6.9673x^2 + 1.0435x - 0.0818$	$R^2 = 1$
y12 real	$y = 3.0035x^6 - 4.7015x^5 + 3.0191x^4 - 0.9894x^3 + 0.167x^2 - 0.0123x + 0.0013$	$R^2 = 0.9999$
imag	$y = 18.984x^6 - 37.931x^5 + 31.487x^4 - 13.953x^3 + 3.5562x^2 - 0.5191x + 0.0397$	$R^2 = 1$
y13 real	$y = 0.9241x^6 - 1.2353x^5 + 0.5684x^4 - 0.0892x^3 + 0.0004x^2 - 0.0021x + 0.0003$	$R^2 = 1$
imag	$y = -0.0861x^6 + 0.9077x^5 - 1.1571x^4 + 0.6181x^3 - 0.1672x^2 + 0.0265x - 0.0027$	$R^2 = 1$
y14 real	$y = 0.0264x^6 - 0.2482x^5 + 0.3179x^4 - 0.1722x^3 + 0.042x^2 - 0.0031x - 0.0003$	$R^2 = 1$
imag	$y = -0.1573x^6 + 0.8806x^5 - 1.1803x^4 + 0.7218x^3 - 0.2358x^2 + 0.0408x - 0.0031$	$R^2 = 0.9999$

9 素子 y00 real	$y = 7.9837x^6 - 12.343x^5 + 7.8069x^4 - 2.5436x^3 + 0.4592x^2 - 0.0452x + 0.0024$	$R^2 = 1$
imag	$y = -34.768x^6 + 76.129x^5 - 67.426x^4 + 31.499x^3 - 8.34x^2 + 1.263x - 0.1006$	$R^2 = 1$
y01 real	$y = 2.3649x^6 - 3.641x^5 + 2.2793x^4 - 0.7307x^3 + 0.1253x^2 - 0.01x - 0.0002$	$R^2 = 1$
imag	$y = 8.072x^6 - 15.088x^5 + 11.891x^4 - 5.0448x^3 + 1.2428x^2 - 0.1748x + 0.0135$	$R^2 = 1$
y11 real	$y = 1.9581x^6 - 3.0359x^5 + 1.9326x^4 - 0.6384x^3 + 0.1205x^2 - 0.0048x + 0.0011$	$R^2 = 1$
imag	$y = -37.65x^6 + 78.759x^5 - 67.617x^4 + 30.826x^3 - 8.025x^2 + 1.1965x - 0.0935$	$R^2 = 1$
y12 real	$y = 1.4372x^6 - 2.2547x^5 + 1.4723x^4 - 0.4975x^3 + 0.0849x^2 - 0.0048x + 0.0009$	$R^2 = 1$
imag	$y = 21.13x^6 - 42.716x^5 + 35.785x^4 - 15.976x^3 + 4.0914x^2 - 0.5989x + 0.0461$	$R^2 = 1$
y13 real	$y = 0.5184x^6 - 0.7036x^5 + 0.3243x^4 - 0.0399x^3 - 0.0069x^2 - 0.001x + 0.0003$	$R^2 = 1$
imag	$y = -0.1074x^6 + 0.7654x^5 - 0.951x^4 + 0.5081x^3 - 0.1342x^2 + 0.0198x - 0.0021$	$R^2 = 1$
y14 real	$y = -0.1232x^6 + 0.2959x^5 - 0.2783x^4 + 0.1156x^3 - 0.0194x^2 + 0.0011x - 0.0002$	$R^2 = 1$
imag	$y = -0.7286x^6 + 1.6892x^5 - 1.5183x^4 + 0.7024x^3 - 0.1873x^2 + 0.0298x - 0.0024$	$R^2 = 1$
y15 real	$y = 0.2062x^6 - 0.6927x^5 + 0.7427x^4 - 0.3577x^3 + 0.0774x^2 - 0.0054x - 0.0002$	$R^2 = 1$
imag	$y = -0.2064x^6 + 0.7751x^5 - 1.0076x^4 + 0.6364x^3 - 0.2126x^2 + 0.0357x - 0.0025$	$R^2 = 1$

フィッティング近似式

	記号	単位	値
素子長	L	λ_0	0.5
素子半径	a	λ_0	10^{-8}
分割数	N	—	15
対応素子間隔	r	λ_0	0.1~0.5
無給電素子数	M	本	1~8

素子半径： $10^{-8} [\lambda_0]$

2 素子 y00 real	$y = -2.3619x^6 + 3.3472x^5 - 1.9302x^4 + 0.6169x^3 - 0.1069x^2 + 0.0194x + 0.0037$	$R^2 = 1$
imag	$y = -13.637x^6 + 28.698x^5 - 25.123x^4 + 11.674x^3 - 3.0949x^2 + 0.4718x - 0.0395$	$R^2 = 1$
y01 real	$y = -2.1417x^6 + 2.8872x^5 - 1.5359x^4 + 0.4318x^3 - 0.057x^2 + 0.0065x + 0.0007$	$R^2 = 1$
imag	$y = 17.45x^6 - 35.562x^5 + 29.66x^4 - 13.192x^3 + 3.3671x^2 - 0.4891x + 0.0375$	$R^2 = 1$
y11 real	$y = -2.3619x^6 + 3.3472x^5 - 1.9302x^4 + 0.6169x^3 - 0.1069x^2 + 0.0194x + 0.0037$	$R^2 = 1$
imag	$y = -13.637x^6 + 28.698x^5 - 25.123x^4 + 11.674x^3 - 3.0949x^2 + 0.4718x - 0.0395$	$R^2 = 1$
3 素子 y00 real	$y = 1.7251x^6 - 3.2132x^5 + 1.8875x^4 - 0.4705x^3 + 0.1157x^2 - 0.006x + 0.0002$	$R^2 = 1$
imag	$y = -28.631x^6 + 60.595x^5 - 52.449x^4 + 23.811x^3 - 6.166x^2 + 0.9333x - 0.0734$	$R^2 = 1$
y01 real	$y = -0.0386x^6 - 0.0348x^5 + 0.0117x^4 + 0.0076x^3 + 0.0023x^2 + 0.0066x + 0.0001$	$R^2 = 1$
imag	$y = 15.04x^6 - 30.959x^5 + 26.32x^4 - 11.968x^3 + 3.1119x^2 - 0.461x + 0.0367$	$R^2 = 1$
y11 real	$y = -5.0571x^6 + 7.8688x^5 - 4.8913x^4 + 1.5933x^3 - 0.2802x^2 + 0.0351x + 0.0032$	$R^2 = 1$
imag	$y = -14.338x^6 + 29.432x^5 - 25.362x^4 + 11.691x^3 - 3.0893x^2 + 0.4703x - 0.0394$	$R^2 = 1$
y12 real	$y = 4.6761x^6 - 7.2418x^5 + 4.4455x^4 - 1.4087x^3 + 0.2394x^2 - 0.0218x + 0.0013$	$R^2 = 1$
imag	$y = -0.4906x^6 + 1.1881x^5 - 0.7803x^4 + 0.1922x^3 - 0.0113x^2 - 0.0035x - 2E-06$	$R^2 = 0.9999$
4 素子 y00 real	$y = -40.473x^6 + 56.634x^5 - 30.421x^4 + 8.2713x^3 - 1.1807x^2 + 0.0838x - 0.0023$	$R^2 = 1$
imag	$y = 28.369x^6 - 39.87x^5 + 14.822x^4 + 2.1096x^3 - 2.6257x^2 + 0.6766x - 0.072$	$R^2 = 0.9999$
y01 real	$y = 1.6298x^6 - 7.7384x^5 + 7.9187x^4 - 3.3321x^3 + 0.6932x^2 - 0.0646x + 0.002$	$R^2 = 0.9999$
imag	$y = 41.28x^6 - 73.095x^5 + 52.074x^4 - 19.551x^3 + 4.2027x^2 - 0.5137x + 0.0344$	$R^2 = 1$
y11 real	$y = 6.3133x^6 - 12.014x^5 + 8.626x^4 - 2.9877x^3 + 0.5404x^2 - 0.0377x + 0.0054$	$R^2 = 1$
imag	$y = -7.8034x^6 + 20.509x^5 - 20.805x^4 + 10.613x^3 - 2.9845x^2 + 0.4723x - 0.0402$	$R^2 = 1$
y12 real	$y = 7.8723x^6 - 14.625x^5 + 10.335x^4 - 3.592x^3 + 0.6571x^2 - 0.059x + 0.0024$	$R^2 = 0.9991$
imag	$y = 11.845x^6 - 19.24x^5 + 12.645x^4 - 4.4267x^3 + 0.8907x^2 - 0.1021x + 0.006$	$R^2 = 1$
5 素子 y00 real	$y = -47.617x^6 + 92.66x^5 - 67.799x^4 + 24.431x^3 - 4.586x^2 + 0.4246x - 0.015$	$R^2 = 0.9995$
imag	$y = -204.3x^6 + 345.6x^5 - 237.76x^4 + 86.001x^3 - 17.53x^2 + 2.0211x - 0.1219$	$R^2 = 0.9999$
y01 real	$y = -54.099x^6 + 93.635x^5 - 63.471x^4 + 21.667x^3 - 3.9138x^2 + 0.3562x - 0.0132$	$R^2 = 0.9994$
imag	$y = -50.105x^6 + 72.97x^5 - 40.925x^4 + 10.777x^3 - 1.1555x^2 - 0.0211x + 0.0144$	$R^2 = 0.9995$
y11 real	$y = -39.224x^6 + 64.755x^5 - 42.28x^4 + 14.021x^3 - 2.4745x^2 + 0.232x - 0.0052$	$R^2 = 0.9999$
imag	$y = -31.728x^6 + 56.55x^5 - 43.106x^4 + 18.042x^3 - 4.4309x^2 + 0.6391x - 0.0498$	$R^2 = 1$
y12 real	$y = -34.916x^6 + 58.357x^5 - 38.628x^4 + 12.982x^3 - 2.3217x^2 + 0.2078x - 0.0062$	$R^2 = 0.9989$
imag	$y = -6.7644x^6 + 5.0019x^5 + 1.2491x^4 - 2.3732x^3 + 0.9607x^2 - 0.1778x + 0.0151$	$R^2 = 0.9999$
y13 real	$y = -29.479x^6 + 49.627x^5 - 32.933x^4 + 11.017x^3 - 1.9546x^2 + 0.1751x - 0.0071$	$R^2 = 0.9969$
imag	$y = -17.82x^6 + 28.191x^5 - 18.437x^4 + 6.509x^3 - 1.3459x^2 + 0.1646x - 0.0103$	$R^2 = 0.9999$

6 素子 y00 real	$y = 85.908x^6 - 136.73x^5 + 87.527x^4 - 28.609x^3 + 5.0136x^2 - 0.4455x + 0.0159$	$R^2 = 0.9994$
imag	$y = -39.407x^6 + 84.953x^5 - 73.024x^4 + 32.98x^3 - 8.4402x^2 + 1.2419x - 0.097$	$R^2 = 1$
y01 real	$y = 37.994x^6 - 59.989x^5 + 38.19x^4 - 12.426x^3 + 2.1667x^2 - 0.1892x + 0.0059$	$R^2 = 0.9997$
imag	$y = -3.6051x^6 + 3.8371x^5 + 0.1583x^4 - 1.5744x^3 + 0.7828x^2 - 0.1638x + 0.0168$	$R^2 = 0.9997$
y11 real	$y = 15.814x^6 - 24.085x^5 + 15.067x^4 - 4.8619x^3 + 0.8498x^2 - 0.0636x + 0.0042$	$R^2 = 1$
imag	$y = -42.215x^6 + 78.84x^5 - 60.978x^4 + 25.29x^3 - 6.051x^2 + 0.8402x - 0.0622$	$R^2 = 1$
y12 real	$y = 15.264x^6 - 23.457x^5 + 14.557x^4 - 4.5893x^3 + 0.771x^2 - 0.066x + 0.0034$	$R^2 = 0.9999$
imag	$y = -2.7516x^6 + 0.2809x^5 + 3.9793x^4 - 3.5206x^3 + 1.3202x^2 - 0.2476x + 0.0221$	$R^2 = 0.9999$
y13 real	$y = 15.391x^6 - 24.76x^5 + 15.972x^4 - 5.2688x^3 + 0.9307x^2 - 0.0826x + 0.0024$	$R^2 = 0.9954$
imag	$y = -4.4116x^6 + 8.9203x^5 - 7.0938x^4 + 2.938x^3 - 0.6908x^2 + 0.0931x - 0.0064$	$R^2 = 0.9999$
7 素子 y00 real	$y = 25.777x^6 - 40.659x^5 + 25.899x^4 - 8.4362x^3 + 1.4825x^2 - 0.1341x + 0.0053$	$R^2 = 0.9998$
imag	$y = -20.878x^6 + 53.235x^5 - 51.79x^4 + 25.862x^3 - 7.1971x^2 + 1.1375x - 0.0943$	$R^2 = 1$
y01 real	$y = 11.828x^6 - 18.619x^5 + 11.848x^4 - 3.8567x^3 + 0.6735x^2 - 0.0583x + 0.0014$	$R^2 = 0.9998$
imag	$y = 12.947x^6 - 23.134x^5 + 17.471x^4 - 7.1219x^3 + 1.693x^2 - 0.2311x + 0.0175$	$R^2 = 1$
y11 real	$y = 10.023x^6 - 15.549x^5 + 9.854x^4 - 3.2189x^3 + 0.5725x^2 - 0.0417x + 0.003$	$R^2 = 1$
imag	$y = -26.944x^6 + 56.495x^5 - 48.514x^4 + 22.149x^3 - 5.7866x^2 + 0.8708x - 0.0691$	$R^2 = 1$
y12 real	$y = 7.6078x^6 - 11.832x^5 + 7.4529x^4 - 2.382x^3 + 0.4005x^2 - 0.0331x + 0.0022$	$R^2 = 0.9999$
imag	$y = 12.099x^6 - 24.824x^5 + 21.321x^4 - 9.8034x^3 + 2.5992x^2 - 0.3945x + 0.0312$	$R^2 = 0.9999$
y13 real	$y = 2.7763x^6 - 4.2669x^5 + 2.5697x^4 - 0.7725x^3 + 0.1264x^2 - 0.0129x + 0.0004$	$R^2 = 0.9995$
imag	$y = 1.2221x^6 - 1.1274x^5 + 0.099x^4 + 0.2432x^3 - 0.1194x^2 + 0.0267x - 0.0031$	$R^2 = 1$
y14 real	$y = 1.1941x^6 - 2.4118x^5 + 1.9104x^4 - 0.7706x^3 + 0.1578x^2 - 0.0126x - 0.0002$	$R^2 = 1$
imag	$y = 2.073x^6 - 2.4555x^5 + 0.7268x^4 + 0.2349x^3 - 0.1975x^2 + 0.0454x - 0.0038$	$R^2 = 0.9998$
8 素子 y00 real	$y = 12.084x^6 - 18.791x^5 + 11.871x^4 - 3.8426x^3 + 0.6782x^2 - 0.0632x + 0.0029$	$R^2 = 0.9999$
imag	$y = -28.191x^6 + 64.648x^5 - 59.093x^4 + 28.294x^3 - 7.6457x^2 + 1.1819x - 0.0965$	$R^2 = 1$
y01 real	$y = 4.5753x^6 - 7.1313x^5 + 4.513x^4 - 1.4646x^3 + 0.2556x^2 - 0.0218x + 0.0002$	$R^2 = 0.9999$
imag	$y = 9.9574x^6 - 18.162x^5 + 13.989x^4 - 5.8106x^3 + 1.4061x^2 - 0.1951x + 0.015$	$R^2 = 1$
y11 real	$y = 4.0897x^6 - 6.307x^5 + 3.9852x^4 - 1.3028x^3 + 0.2368x^2 - 0.0136x + 0.0016$	$R^2 = 1$
imag	$y = -29.799x^6 + 63.014x^5 - 54.554x^4 + 25.074x^3 - 6.5873x^2 + 0.9954x - 0.0793$	$R^2 = 1$
y12 real	$y = 3.0287x^6 - 4.7304x^5 + 3.0293x^4 - 0.9892x^3 + 0.1661x^2 - 0.0121x + 0.0013$	$R^2 = 0.9999$
imag	$y = 17.499x^6 - 34.916x^5 + 28.988x^4 - 12.868x^3 + 3.2949x^2 - 0.4856x + 0.0379$	$R^2 = 1$
y13 real	$y = 0.9421x^6 - 1.2562x^5 + 0.5747x^4 - 0.0878x^3 - 0.0007x^2 - 0.0019x + 0.0003$	$R^2 = 1$
imag	$y = 0.4634x^6 - 0.2008x^5 - 0.2385x^4 + 0.2168x^3 - 0.0689x^2 + 0.0136x - 0.002$	$R^2 = 1$
y14 real	$y = 0.0434x^6 - 0.2768x^5 + 0.3373x^4 - 0.1789x^3 + 0.0432x^2 - 0.0032x - 0.0003$	$R^2 = 1$
imag	$y = -0.0655x^6 + 0.7069x^5 - 1.0455x^4 + 0.6672x^3 - 0.2236x^2 + 0.0394x - 0.0031$	$R^2 = 0.9999$

9 素子 y00 real	$y = 7.9938x^6 - 12.294x^5 + 7.7194x^4 - 2.4875x^3 + 0.4416x^2 - 0.0424x + 0.0022$	$R^2 = 1$
imag	$y = -32.198x^6 + 70.983x^5 - 63.208x^4 + 29.687x^3 - 7.9083x^2 + 1.2086x - 0.0979$	$R^2 = 1$
y01 real	$y = 2.451x^6 - 3.7948x^5 + 2.394x^4 - 0.7764x^3 + 0.1357x^2 - 0.0114x - 9E-05$	$R^2 = 1$
imag	$y = 7.7796x^6 - 14.475x^5 + 11.372x^4 - 4.8149x^3 + 1.1866x^2 - 0.1675x + 0.0131$	$R^2 = 1$
y11 real	$y = 1.9789x^6 - 3.063x^5 + 1.9454x^4 - 0.6405x^3 + 0.1205x^2 - 0.0047x + 0.0011$	$R^2 = 1$
imag	$y = -34.674x^6 + 72.755x^5 - 62.666x^4 + 28.686x^3 - 7.5116x^2 + 1.1311x - 0.0901$	$R^2 = 1$
y12 real	$y = 1.4516x^6 - 2.2716x^5 + 1.4787x^4 - 0.4978x^3 + 0.0845x^2 - 0.0047x + 0.0009$	$R^2 = 1$
imag	$y = 19.15x^6 - 38.695x^5 + 32.446x^4 - 14.522x^3 + 3.7392x^2 - 0.5534x + 0.0436$	$R^2 = 1$
y13 real	$y = 0.5213x^6 - 0.7019x^5 + 0.3176x^4 - 0.0351x^3 - 0.0084x^2 - 0.0008x + 0.0003$	$R^2 = 1$
imag	$y = 0.5596x^6 - 0.585x^5 + 0.1709x^4 + 0.017x^3 - 0.0138x^2 + 0.0039x - 0.0012$	$R^2 = 1$
y14 real	$y = -0.1198x^6 + 0.2931x^5 - 0.2794x^4 + 0.1173x^3 - 0.0201x^2 + 0.0012x - 0.0002$	$R^2 = 1$
imag	$y = -0.6552x^6 + 1.5458x^5 - 1.4027x^4 + 0.6533x^3 - 0.1757x^2 + 0.0284x - 0.0023$	$R^2 = 1$
y15 real	$y = 0.2122x^6 - 0.7049x^5 + 0.753x^4 - 0.3621x^3 + 0.0782x^2 - 0.0054x - 0.0002$	$R^2 = 1$
imag	$y = -0.1547x^6 + 0.6776x^5 - 0.9331x^4 + 0.6072x^3 - 0.2065x^2 + 0.0351x - 0.0025$	$R^2 = 1$

4. まとめ

今回、ネットワークシミュレータなどに用いる数学モデル構築のために、エスパアンテナの形状の変化に対するアドミタンスを計算し、6次多項式近似でフィッティングを行った。その結果、フィッティングの評価値である R^2 値はほぼ 1、誤差の大きいところでも R^2 値が 0.9952 と非常に精度のよい近似ができ、この近似式を用いることで、素子半径は 10^{-2} 、 10^{-4} 、 10^{-6} 、 $10^{-8}[\lambda_0]$ の 4 通り、無給電素子数 1 素子から 8 素子における、素子間隔 $0.1[\lambda_0]$ から $0.5[\lambda_0]$ までのアドミタンスの値を設定でき、詳細なシミュレーションが可能となる。また、可変パラメータの単位を $[\lambda_0]$ で統一してあるので、どの周波数に対しても使用可能である。

謝辞

日頃より御指導御鞭撻を賜る ATR 適応コミュニケーション研究所小宮山牧兒所長に深謝致します。
また、本報告をまとめるにあたり数々の御指導と御鞭撻を賜った第三研究室の皆様に感謝の意を表します。特に本報告について直接御指導頂きました大平孝第三研究室室長、飯草恭一研究員、青野智之研究員に深く感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 廣瀨，神谷，大平，“サブバンド信号処理に基づくアダプティブアレーアンテナ制御アルゴリズムの DSP 化に関する検討並びに、エスパアンテナの解析およびその制御アルゴリズムの開発”，ATR Technical Report（所内資料），2001 年 2 月
- [2] 飯草，橋口，平田，大平，“エスパアンテナの実測値に基づくパラメータフィッティング”，信学技報，AP2001-104,RCS2001-143，2001-10

付属データ

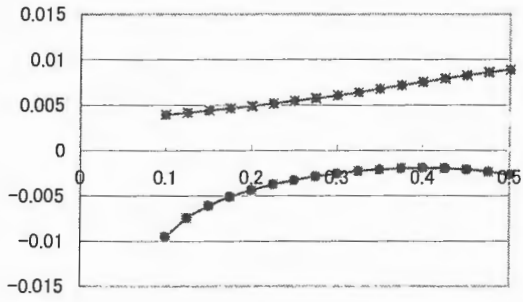
- ◆計算値・近似曲線のグラフ
- ◆計算結果データ

データは素子半径 $10^{-2} [\lambda_0]$ 、 $10^{-4} [\lambda_0]$ 、 $10^{-6} [\lambda_0]$ 、 $10^{-8} [\lambda_0]$ の順に記載

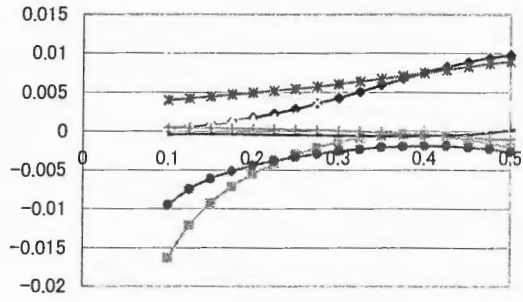
計算値・近似曲線のグラフ

	記号	単位	値
素子長	L	λ_0	0.5
素子半径	a	λ_0	10^{-2}
分割数	N	—	15
素子間隔	r	λ_0	0.1~0.5
無給電素子数	M	本	1~8

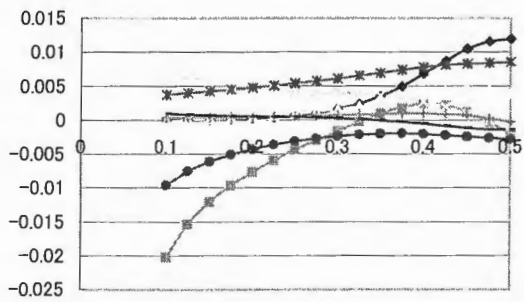
2素子



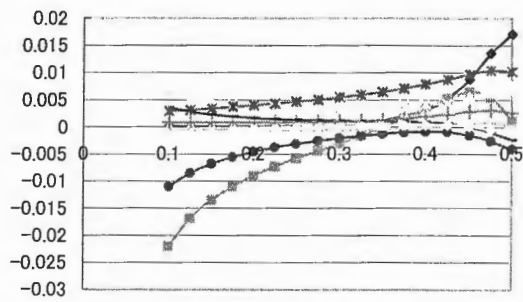
3素子



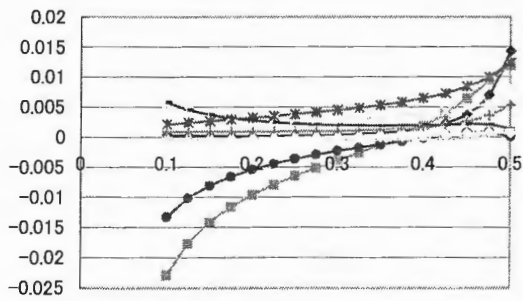
4素子



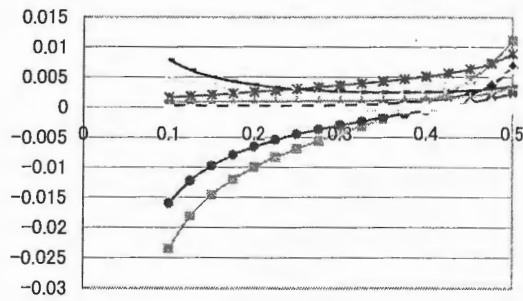
5素子



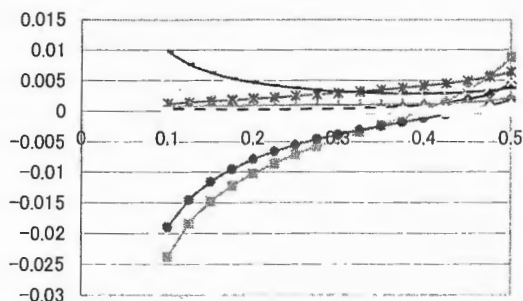
6素子



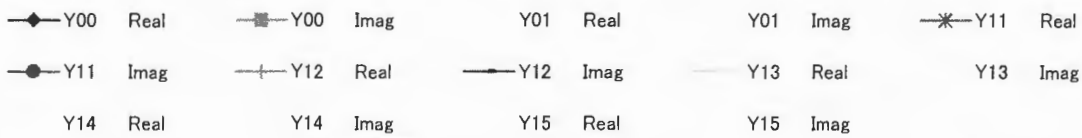
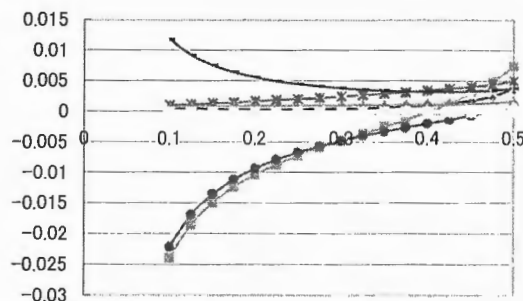
7素子

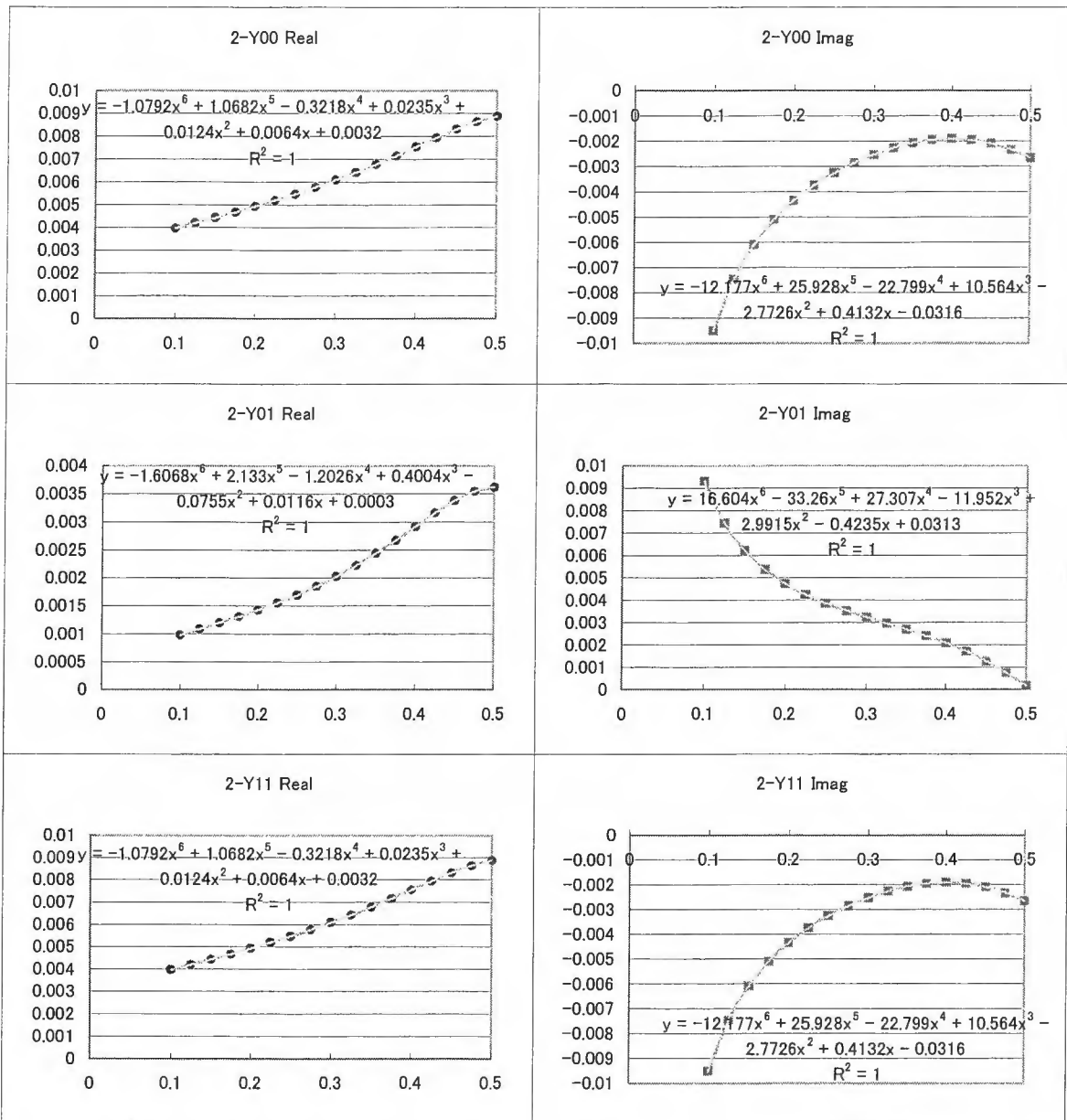


8素子

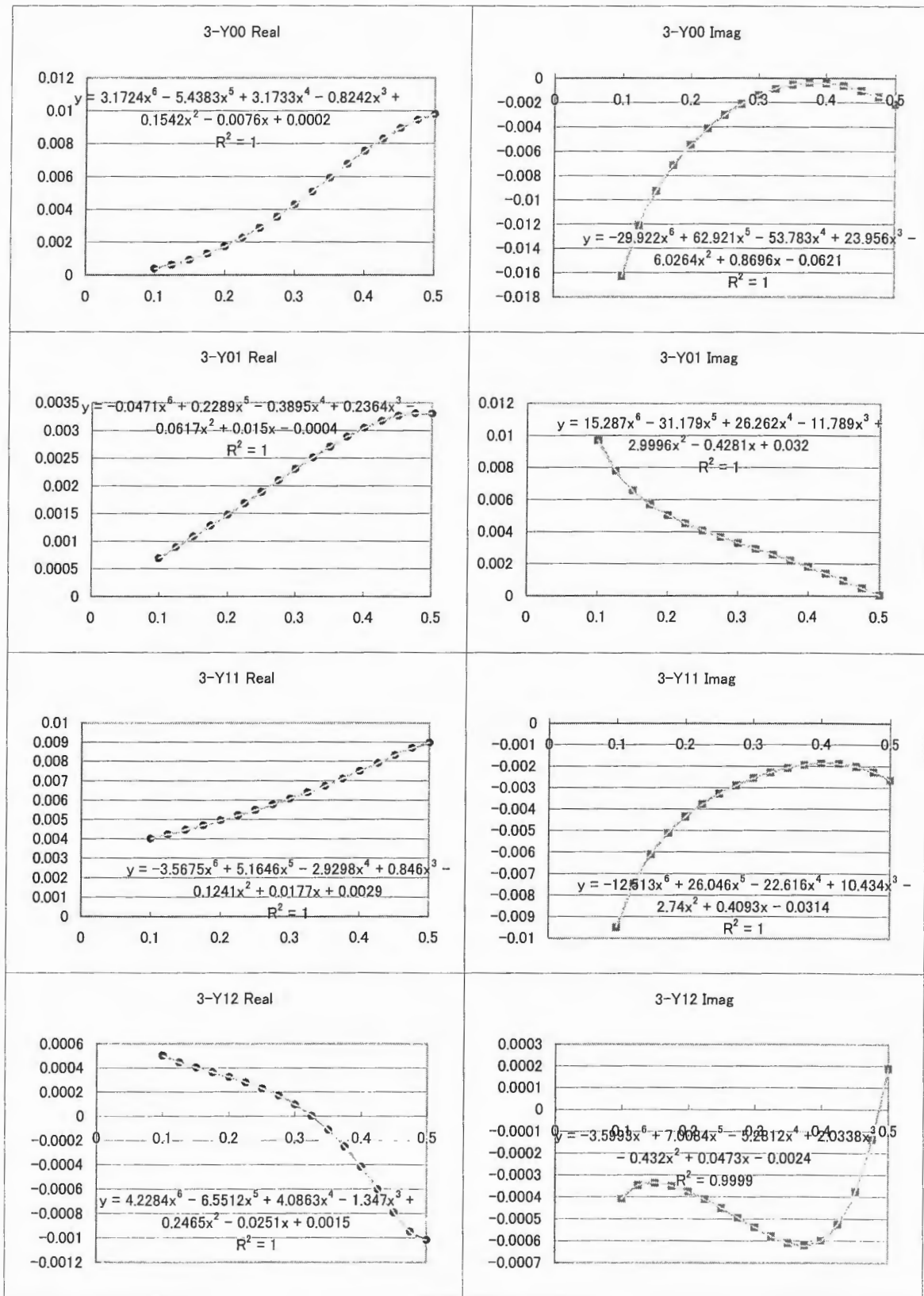


9素子

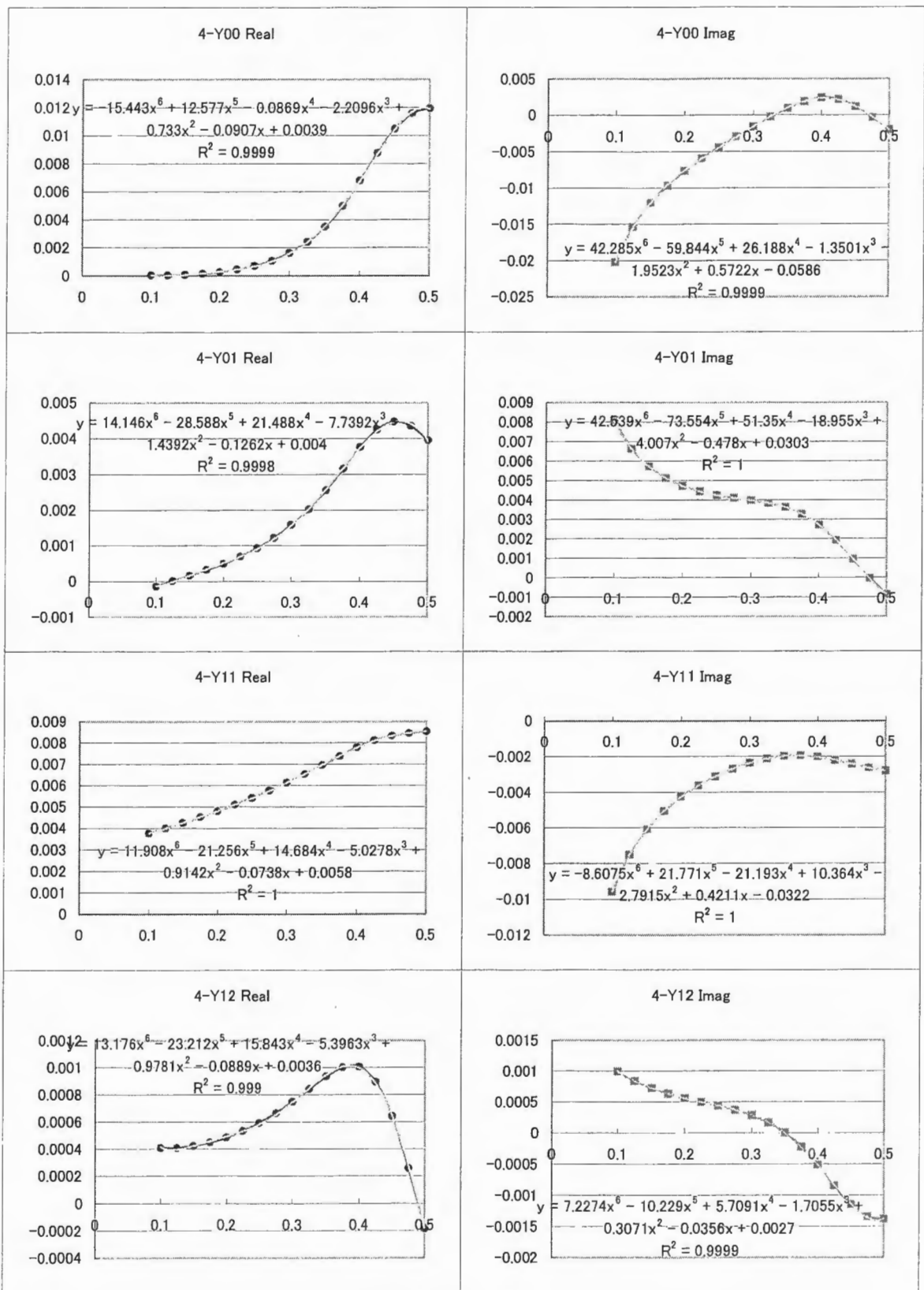




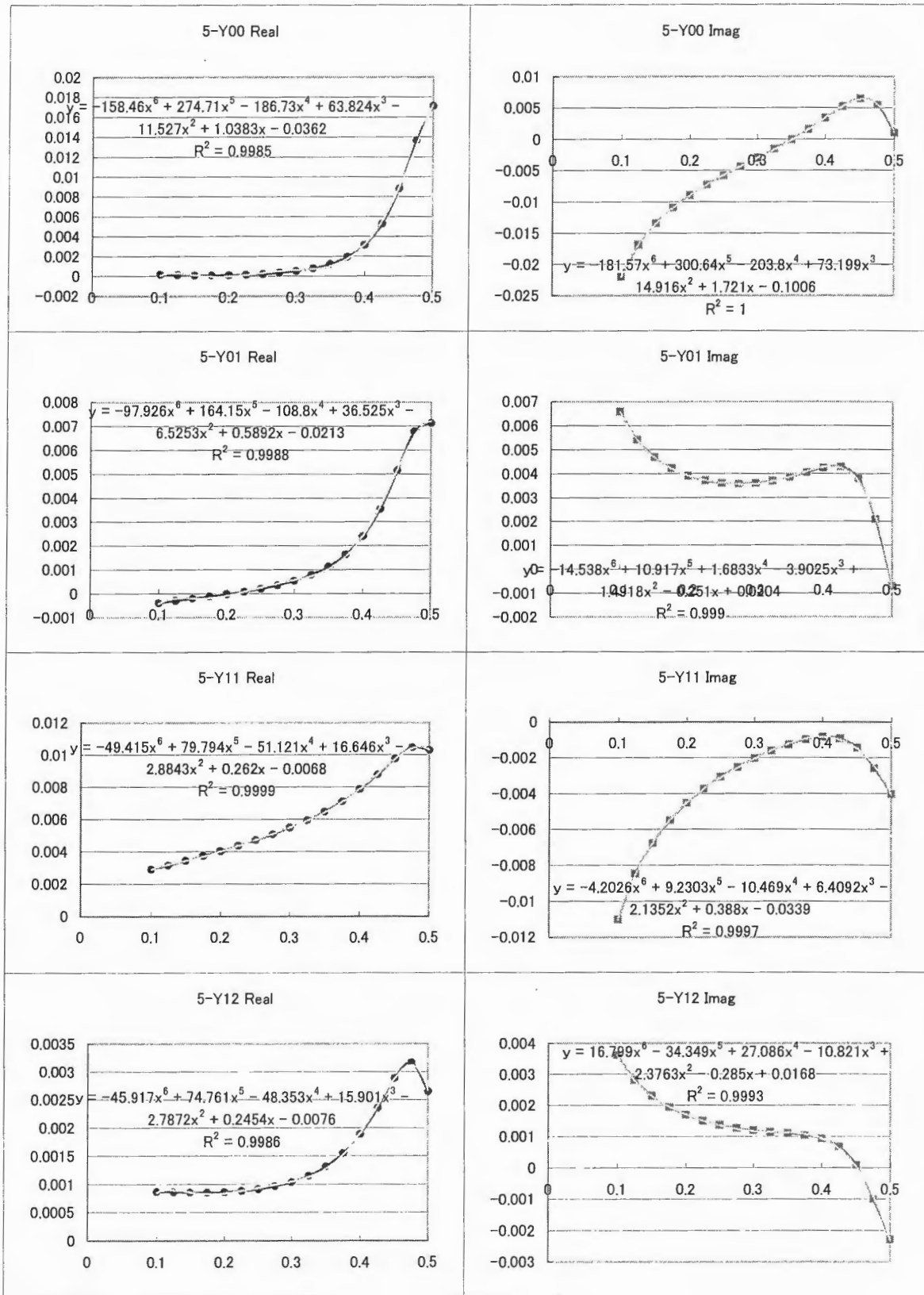
2素子 (素子半径: 10^{-2})



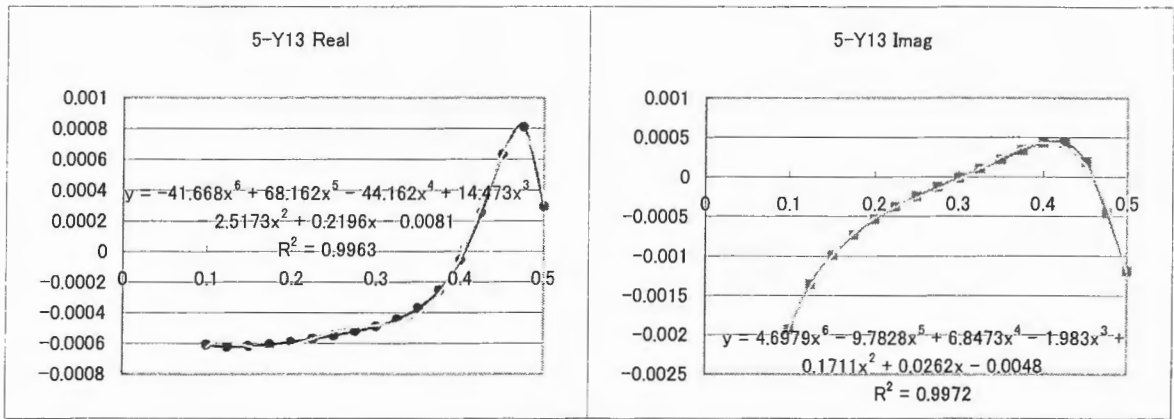
3素子 (素子半径: 10^{-2})



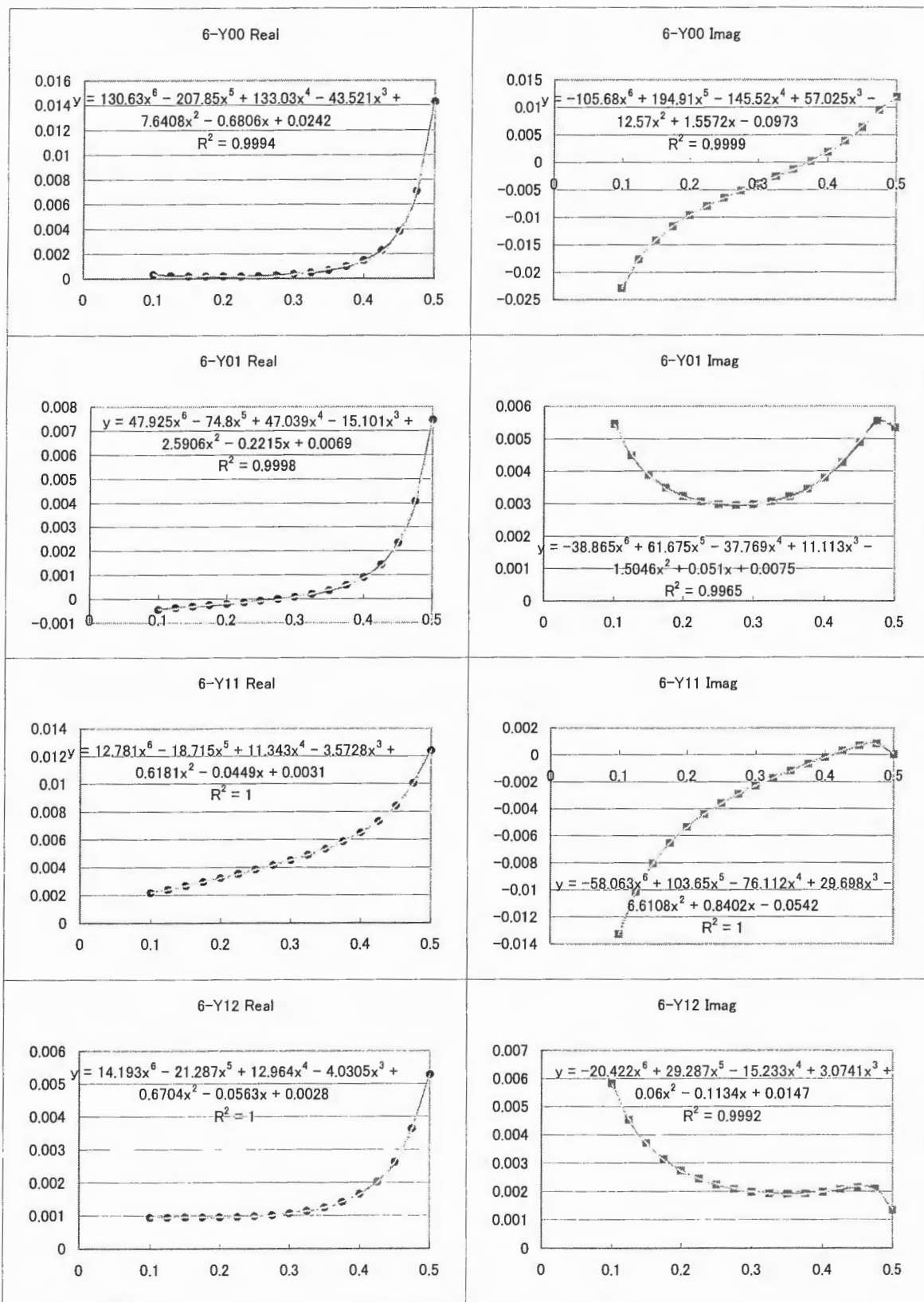
4素子 (素子半径: 10^{-2})



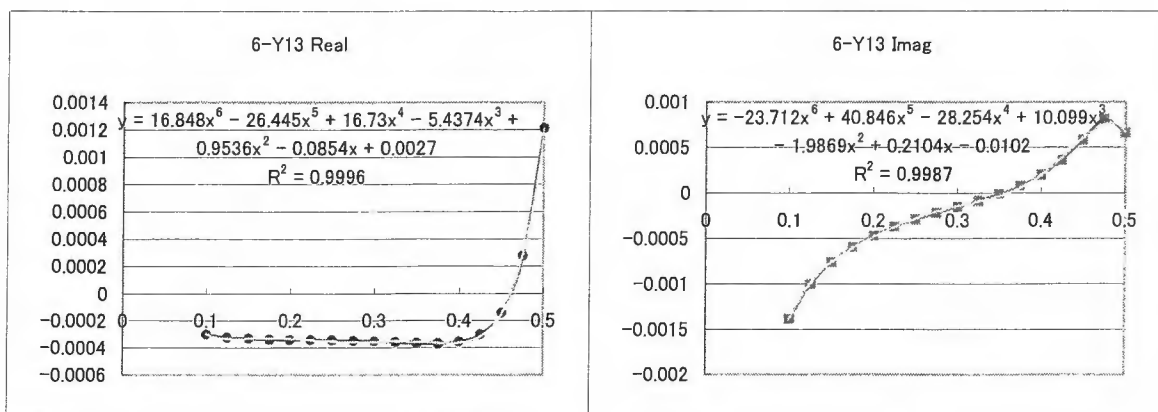
5素子 (素子半径: 10^{-2})



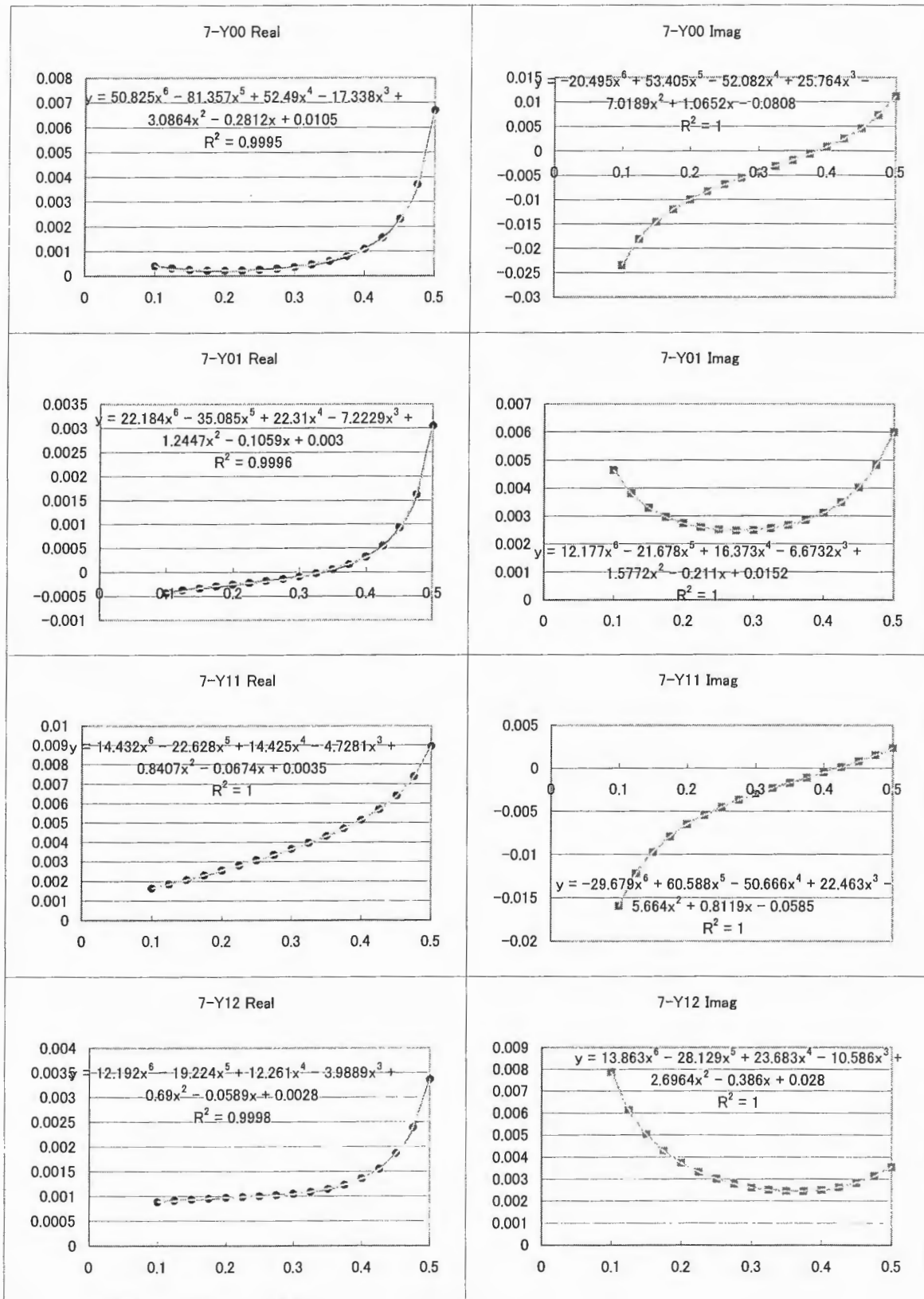
5素子 (素子半径: 10^{-2})



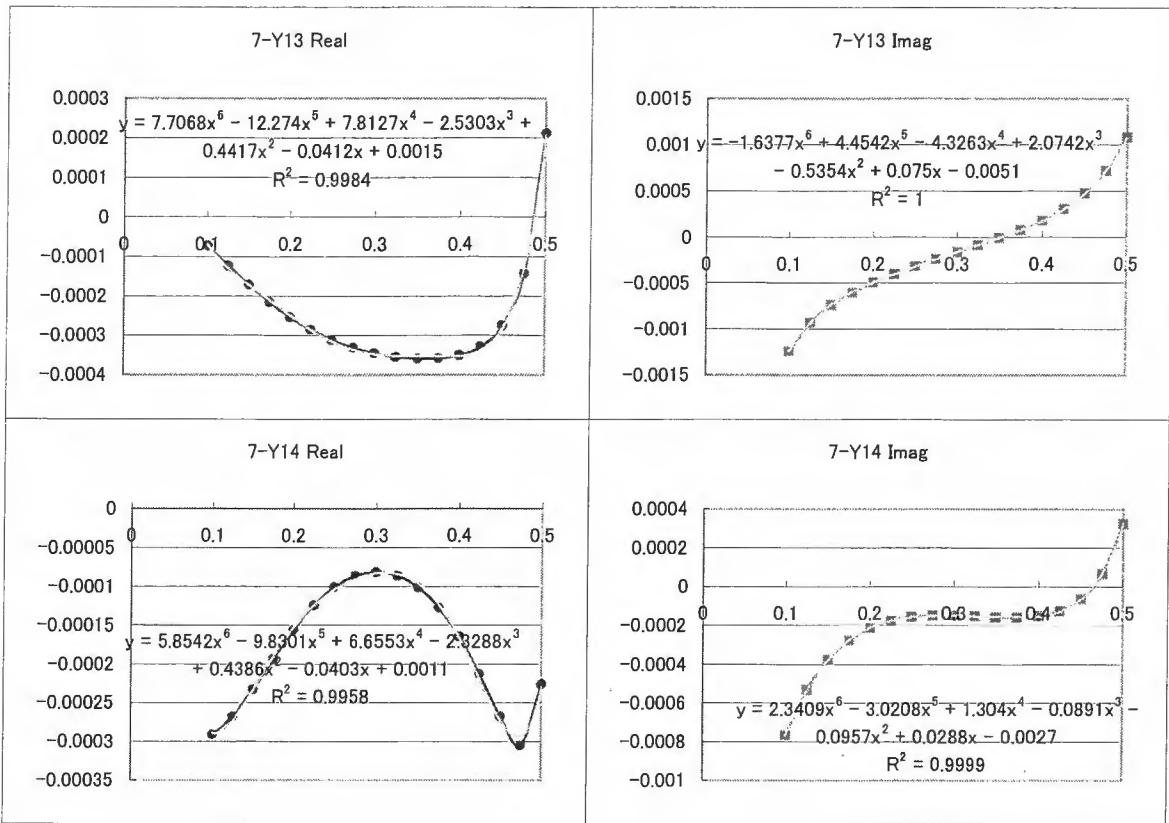
6素子 (素子半径: 10^{-2})



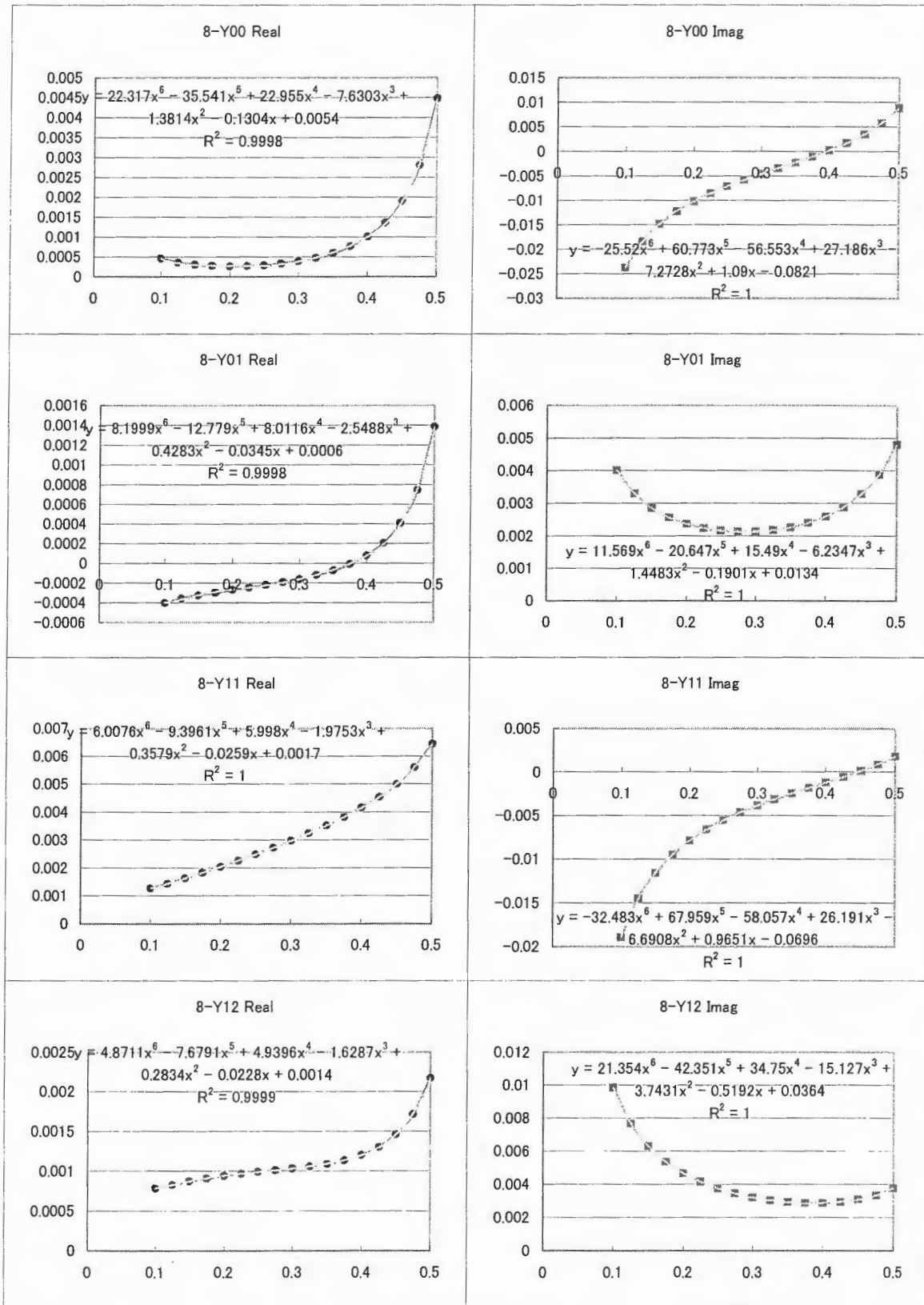
6素子 (素子半径: 10^{-2})



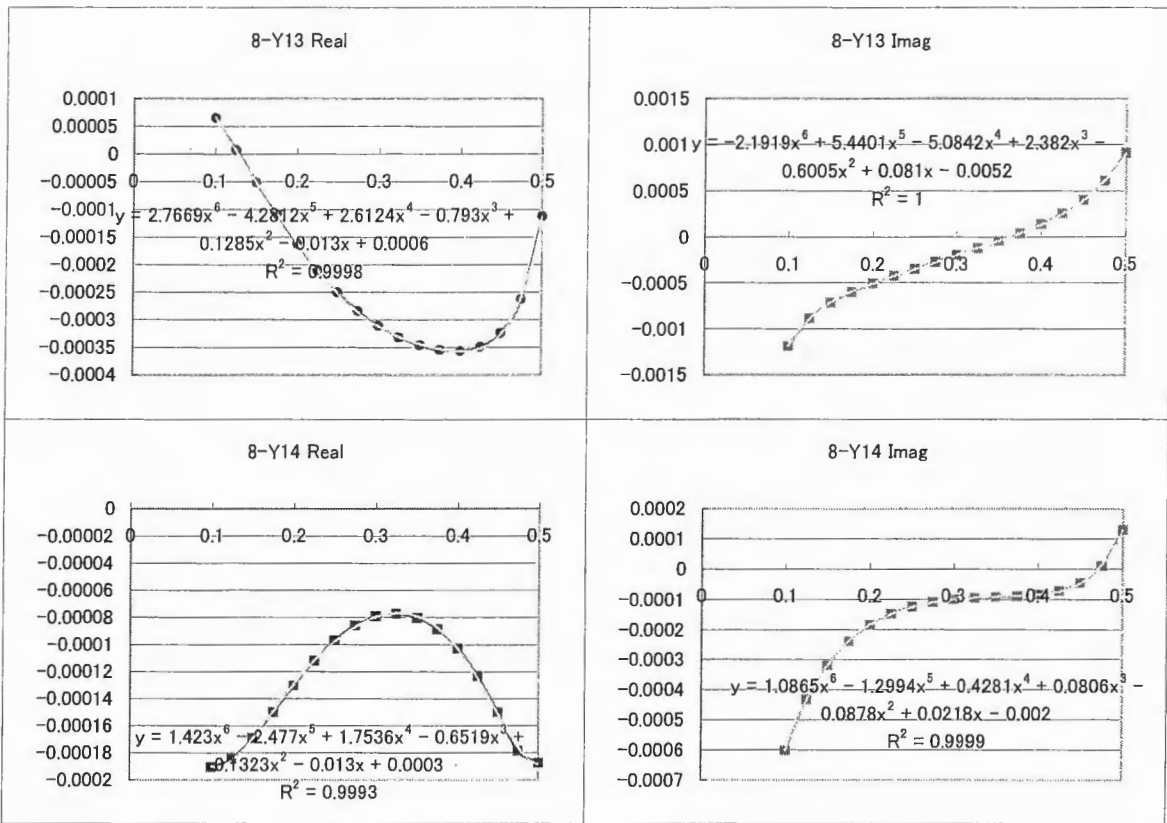
7素子 (素子半径: 10^{-2})



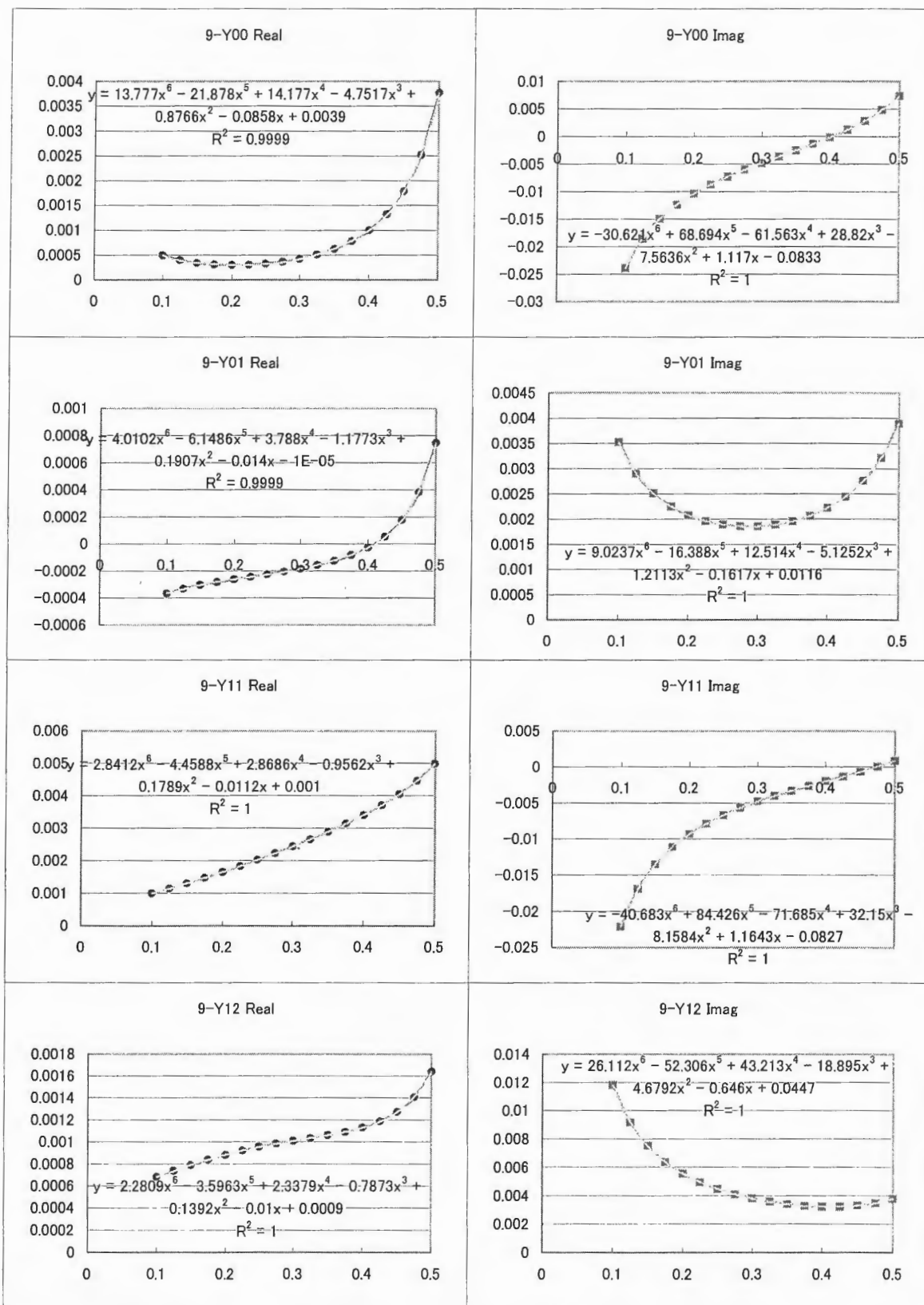
7素子 (素子半径: 10^{-2})



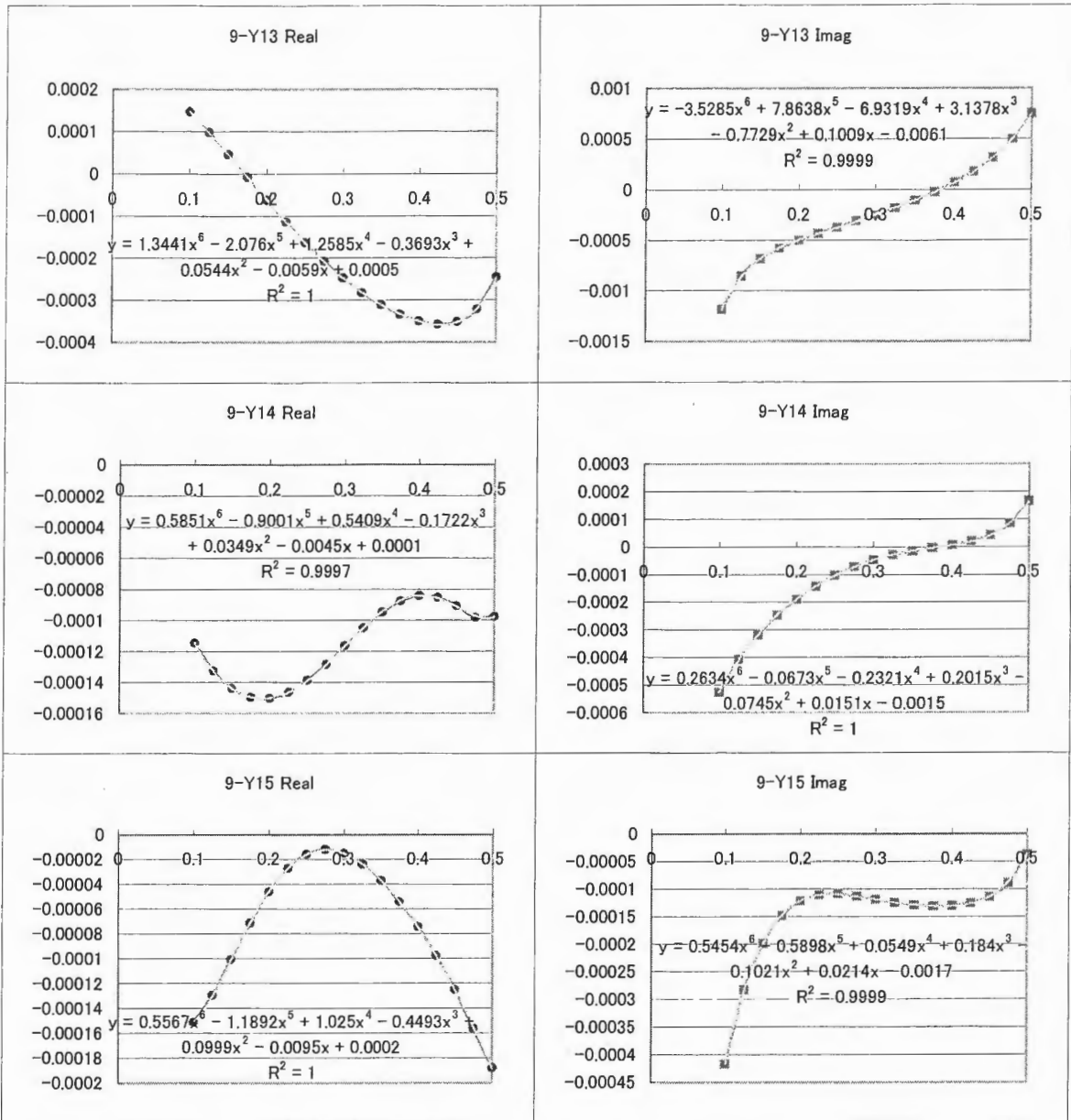
8素子 (素子半径: 10^{-2})



8素子 (素子半径: 10^{-2})



9素子 (素子半径: 10^{-2})

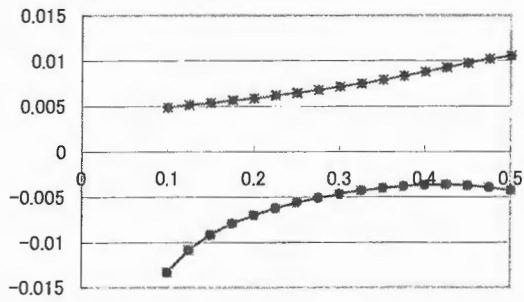


9素子 (素子半径: 10^{-2})

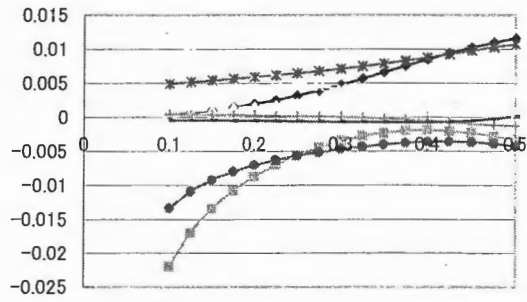
計算値・近似曲線のグラフ

	記号	単位	値
素子長	L	λ_0	0.5
素子半径	a	λ_0	10^{-4}
分割数	N	—	15
素子間隔	r	λ_0	0.1~0.5
無給電素子数	M	本	1~8

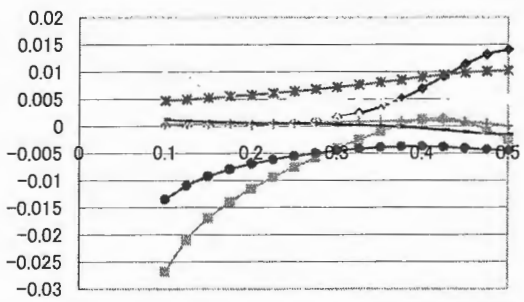
2素子



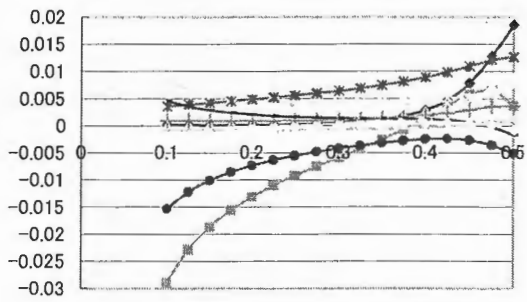
3素子



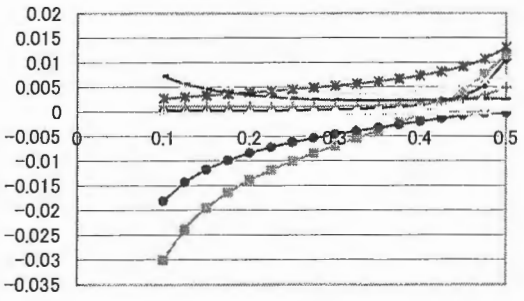
4素子



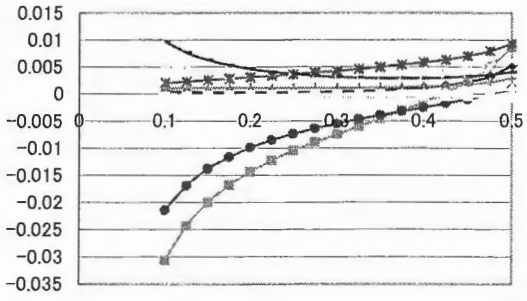
5素子



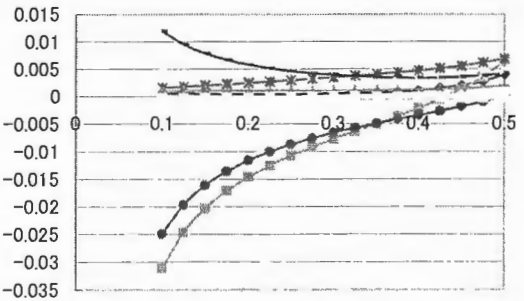
6素子



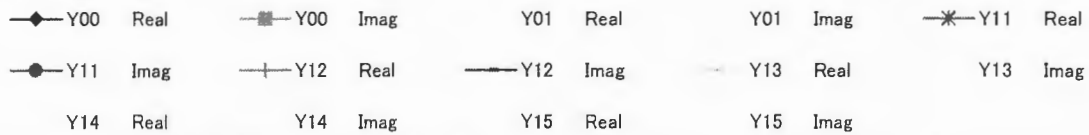
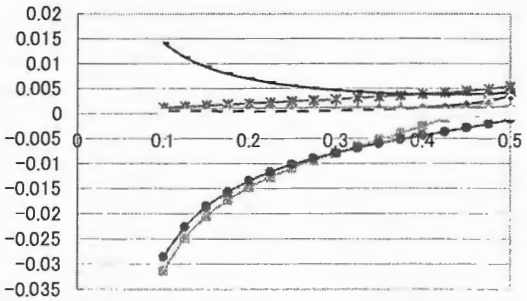
7素子

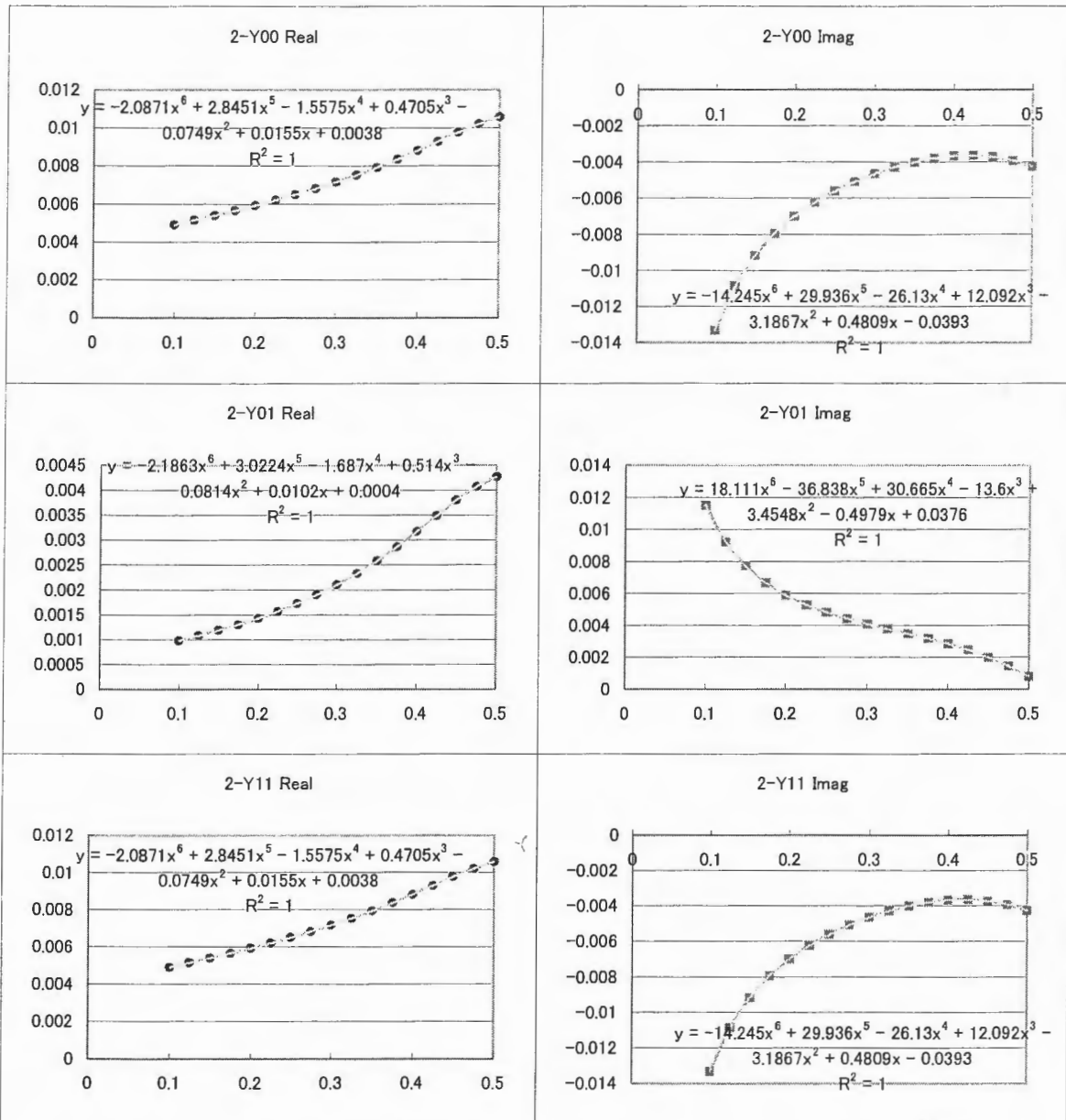


8素子

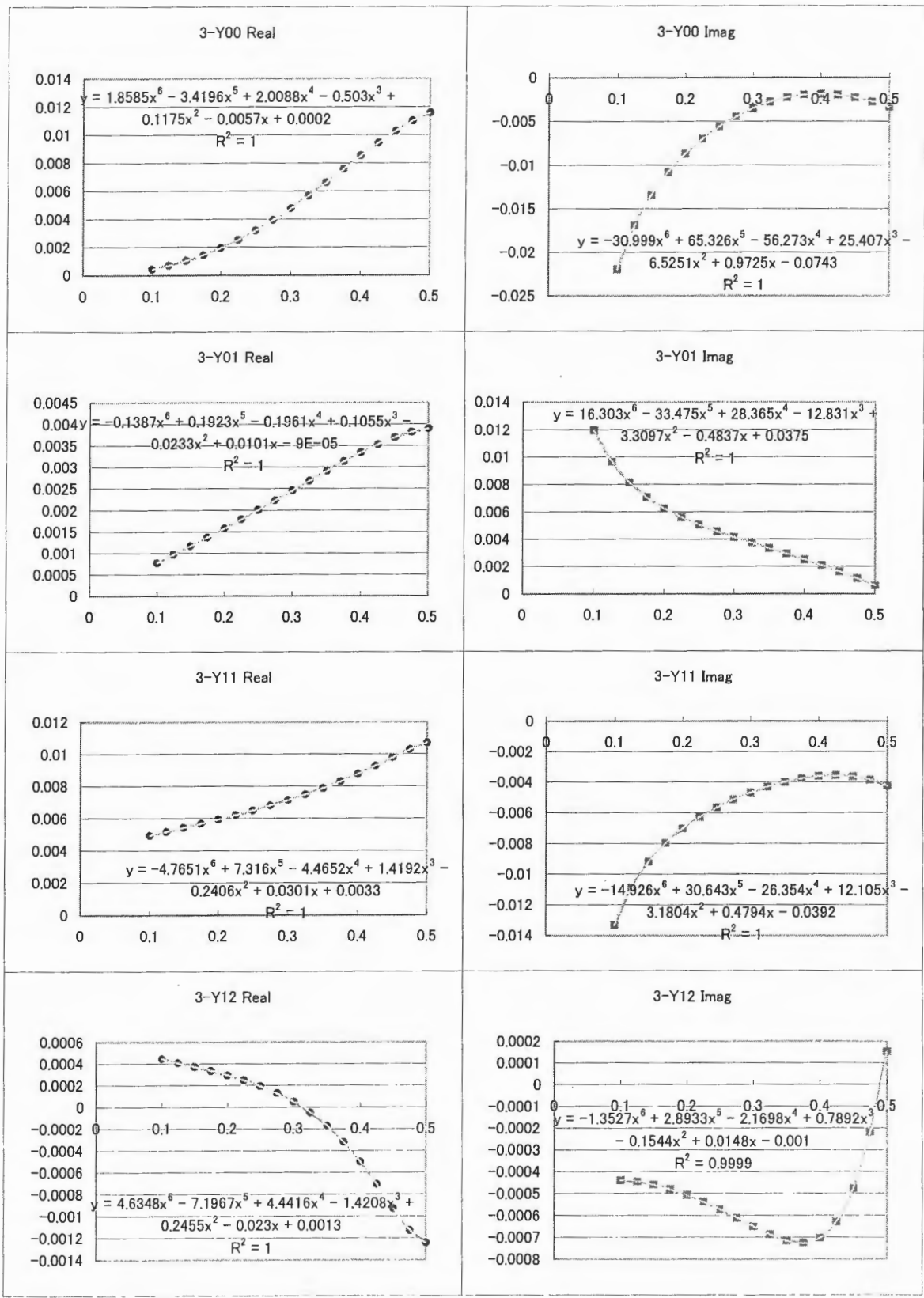


9素子

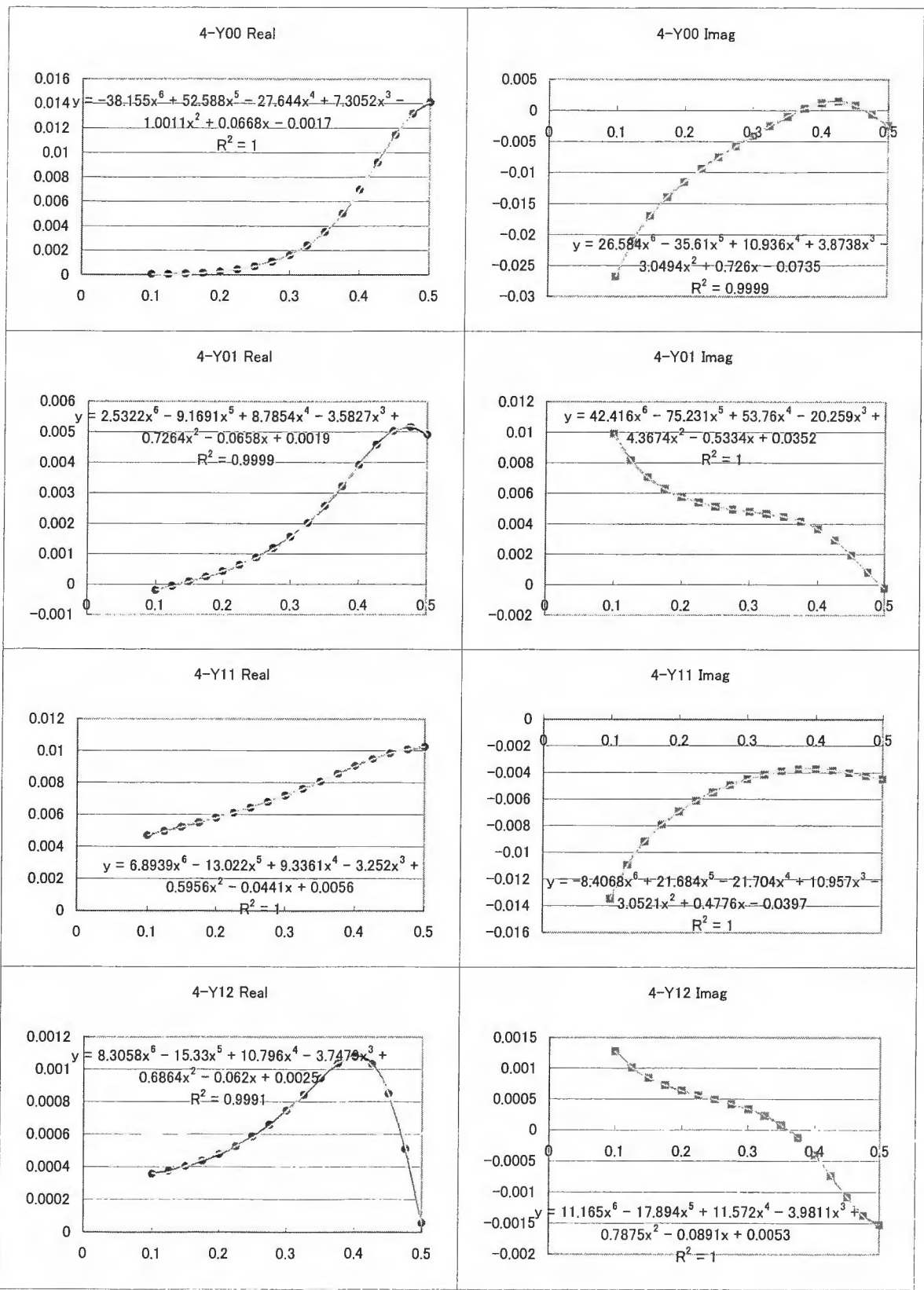




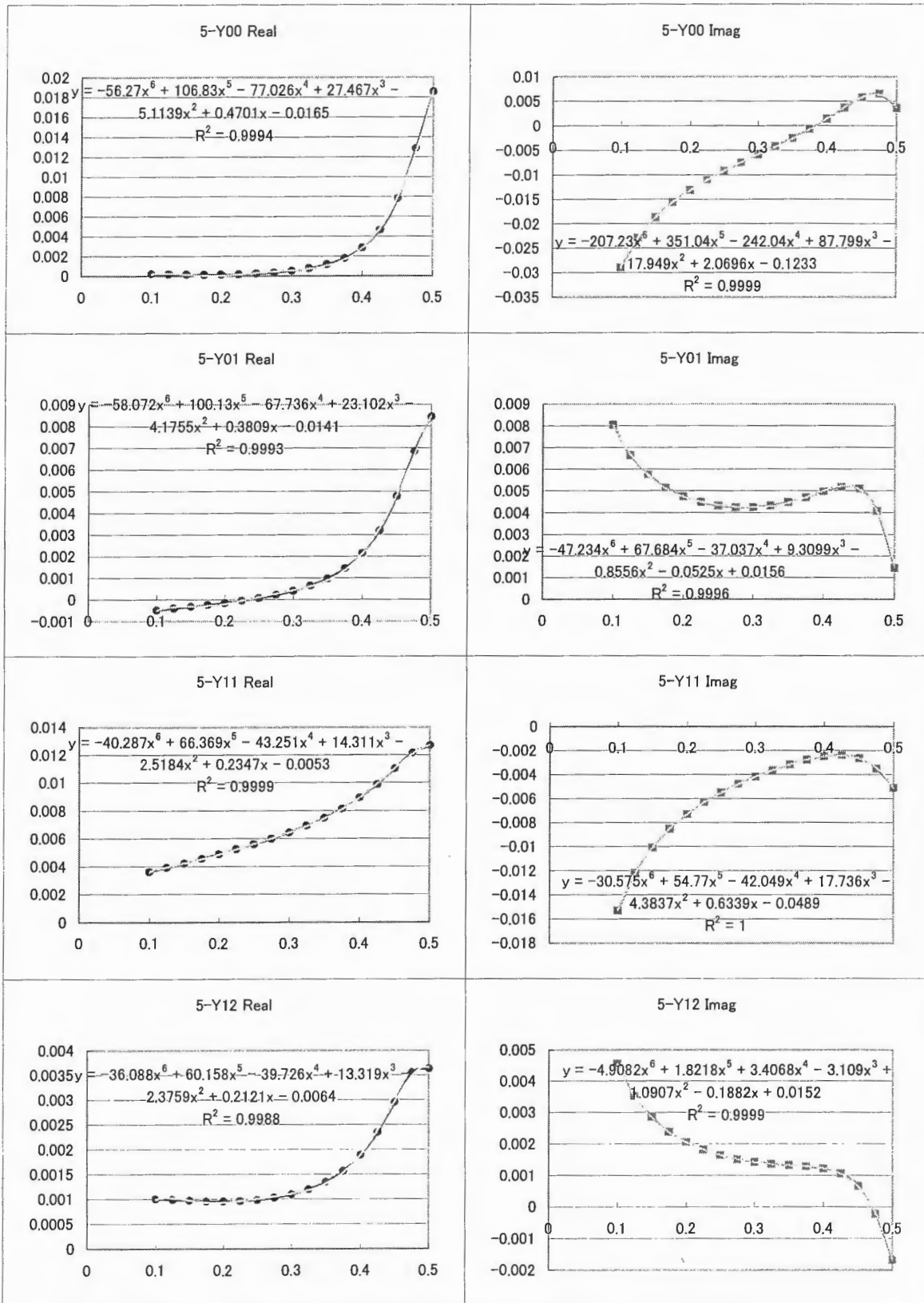
2素子 (素子半径: 10^{-4})



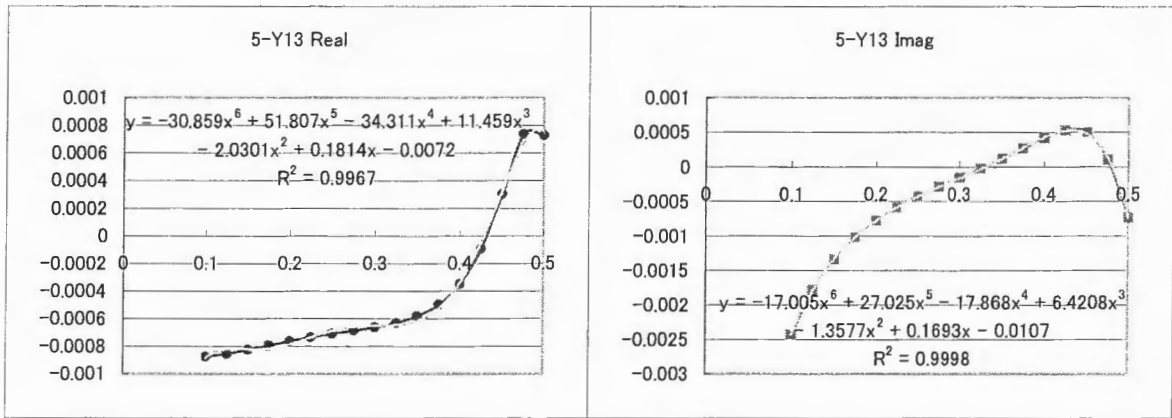
3素子 (素子半径: 10^{-4})



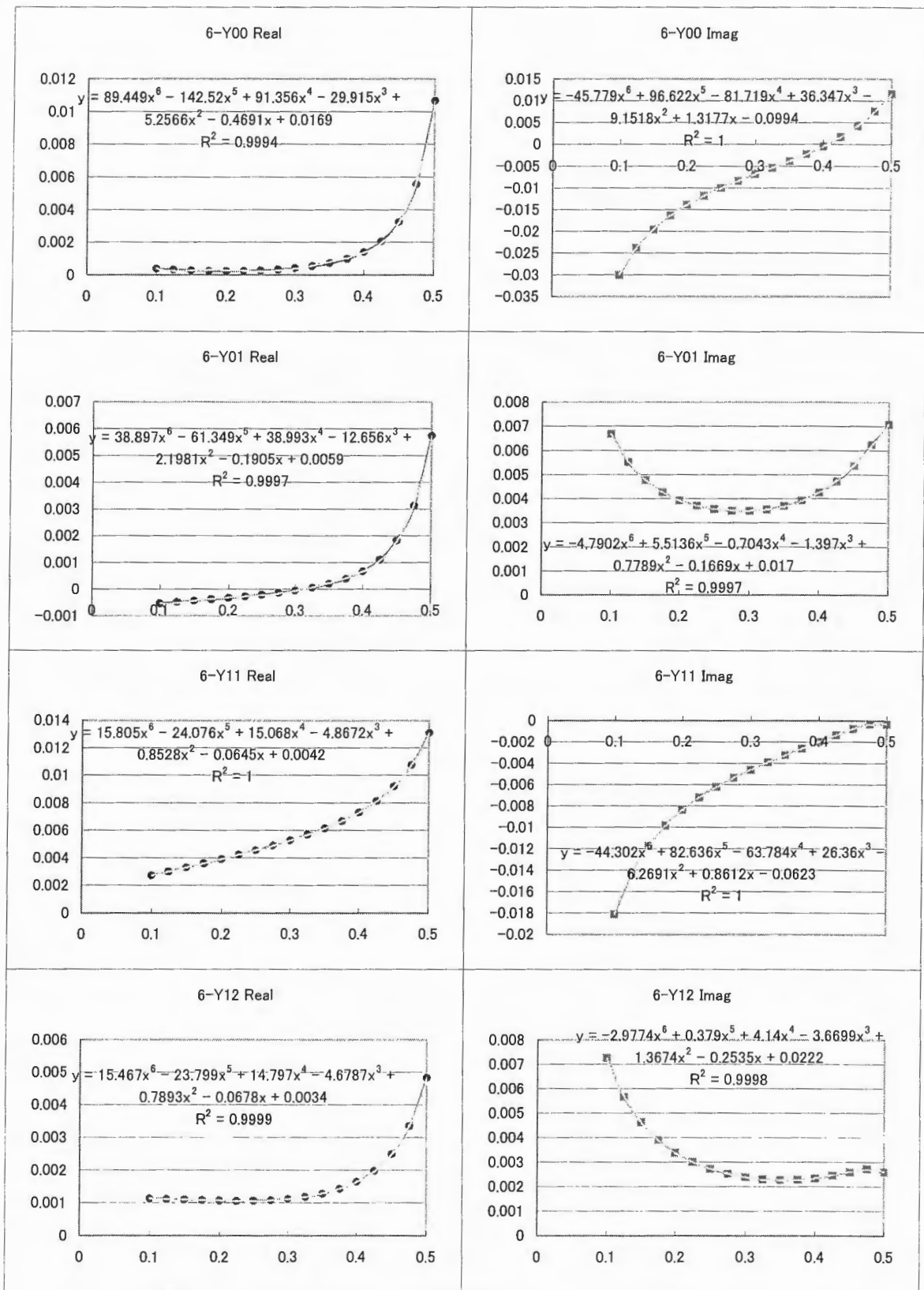
4素子 (素子半径: 10^{-4})



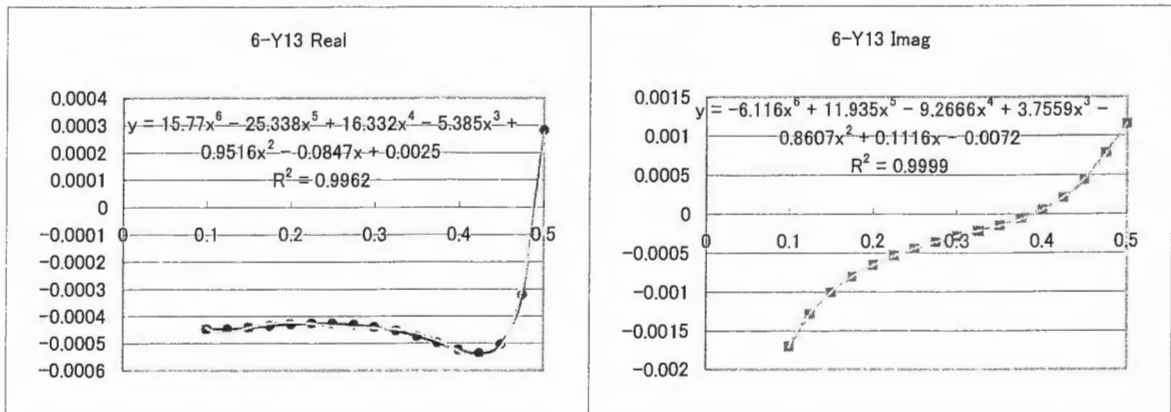
5素子 (素子半径: 10^{-4})



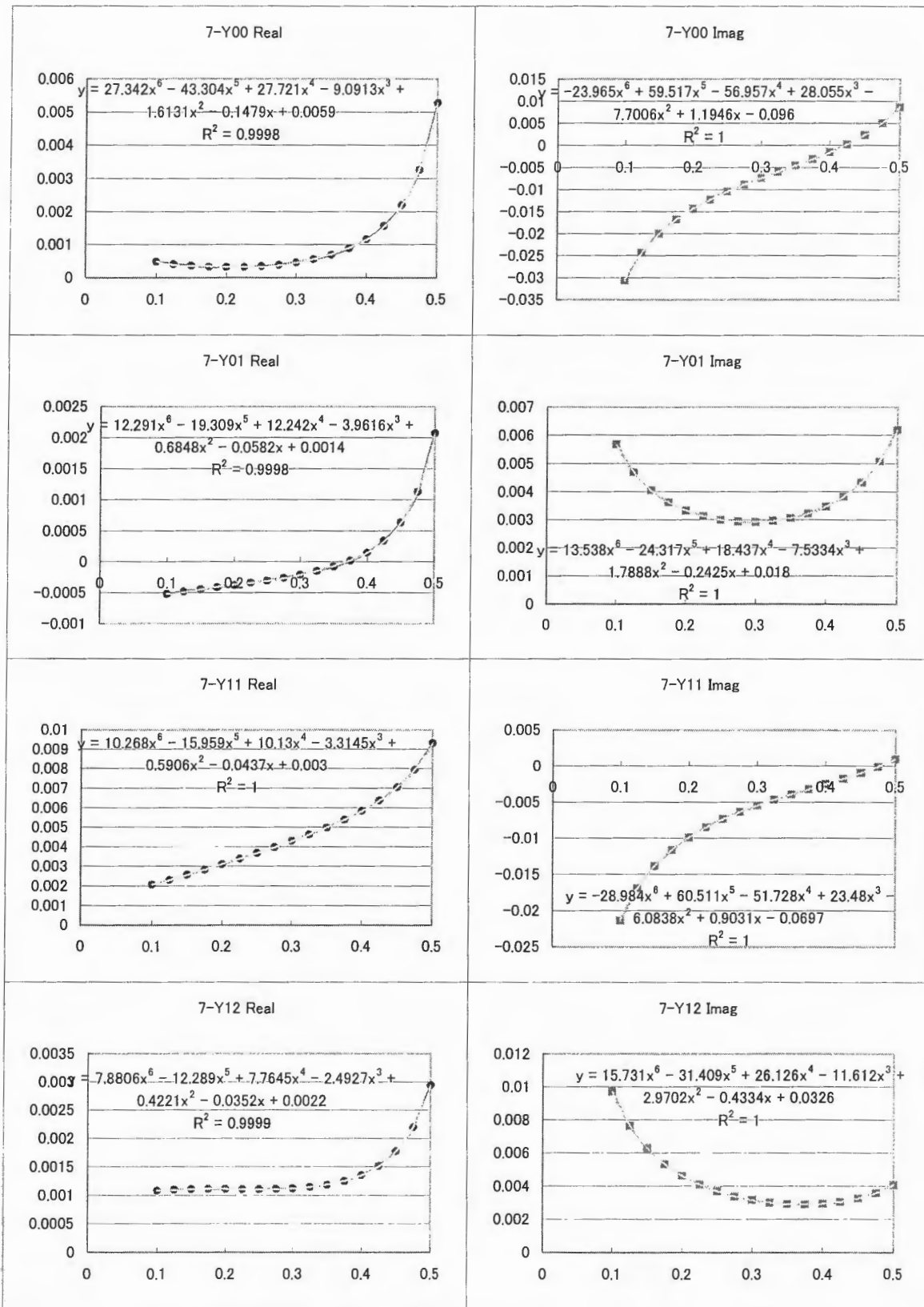
5素子 (素子半径: 10^{-4})



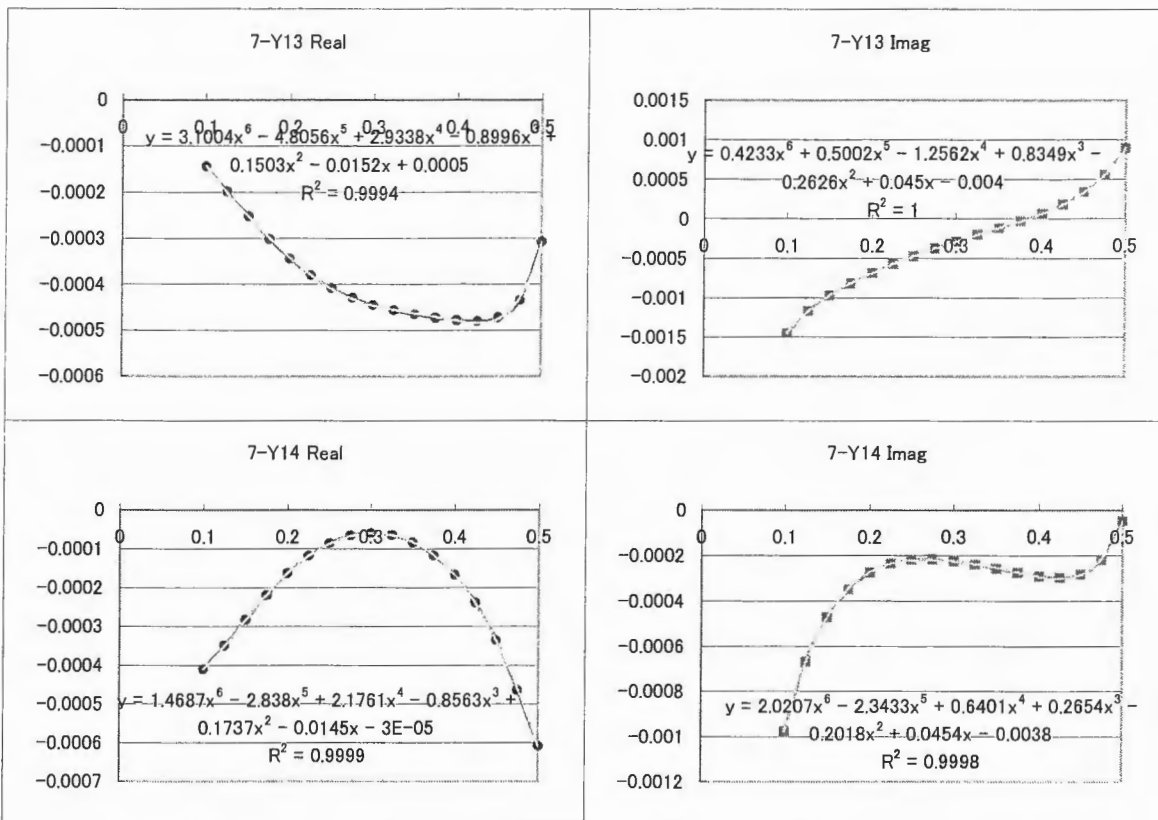
6素子 (素子半径: 10^{-4})



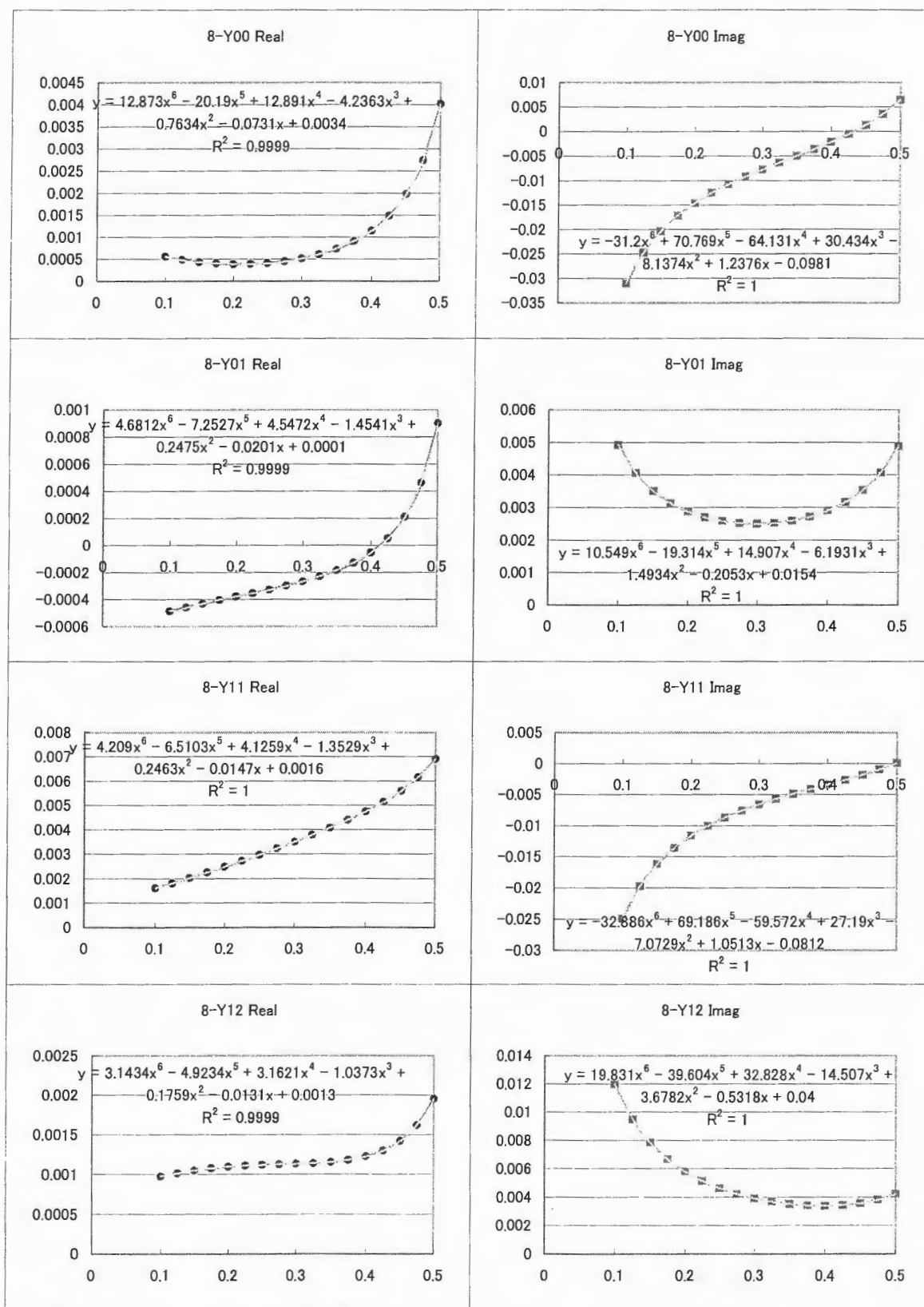
6素子 (素子半径: 10^{-4})



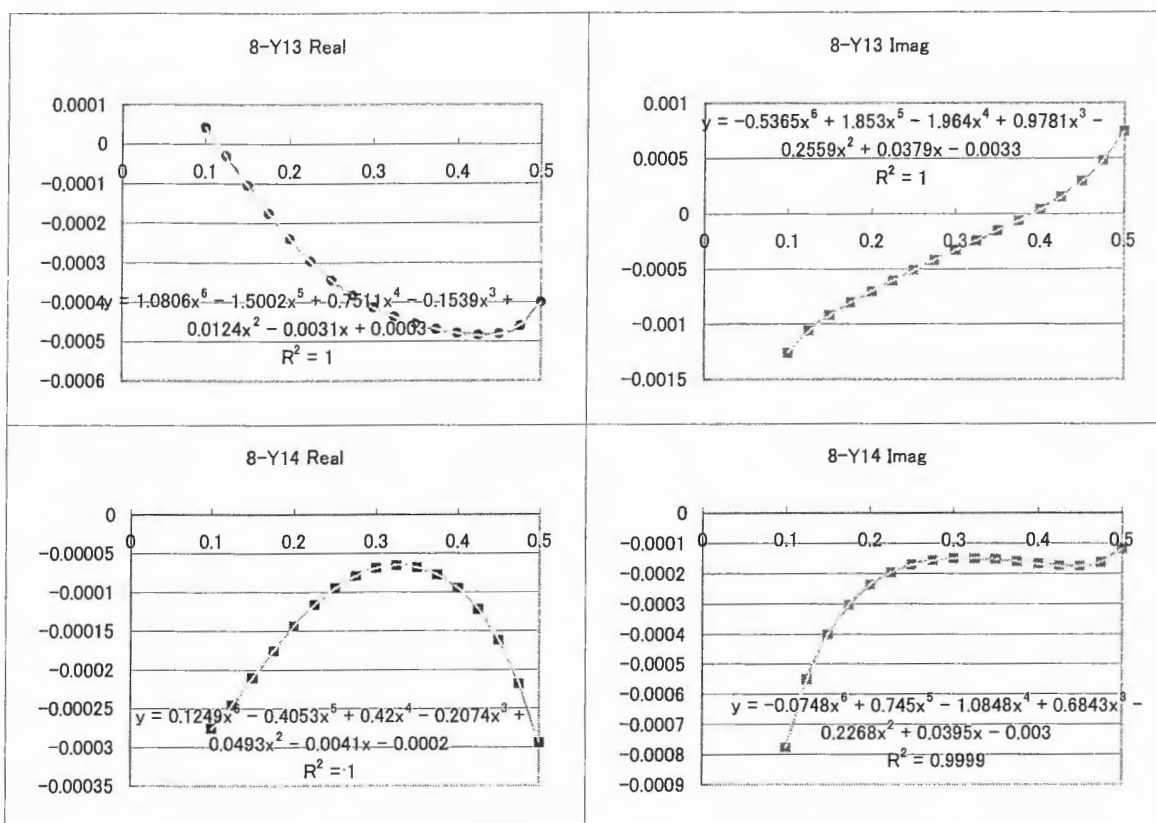
7素子 (素子半径: 10^{-4})



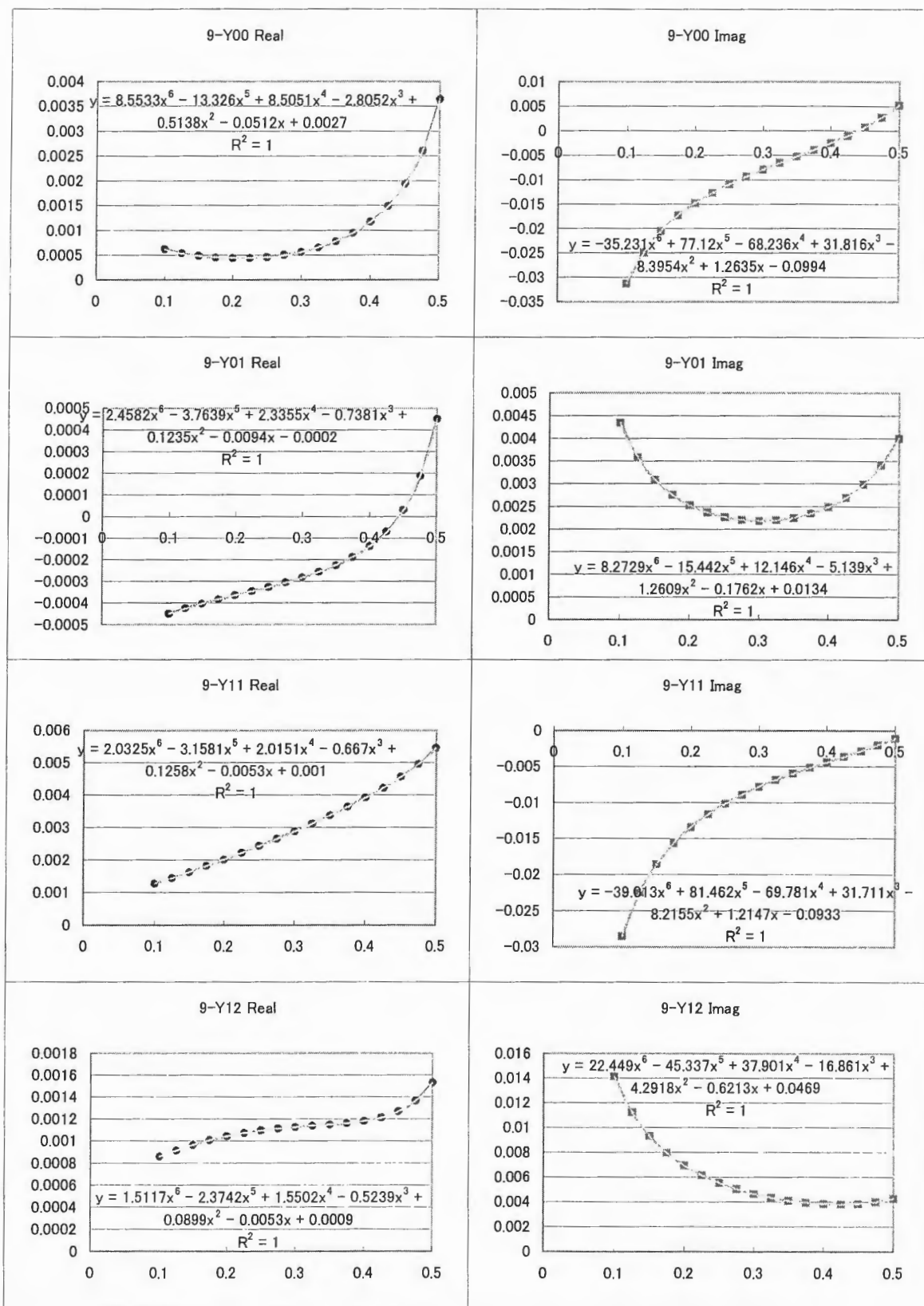
7素子 (素子半径: 10^{-4})



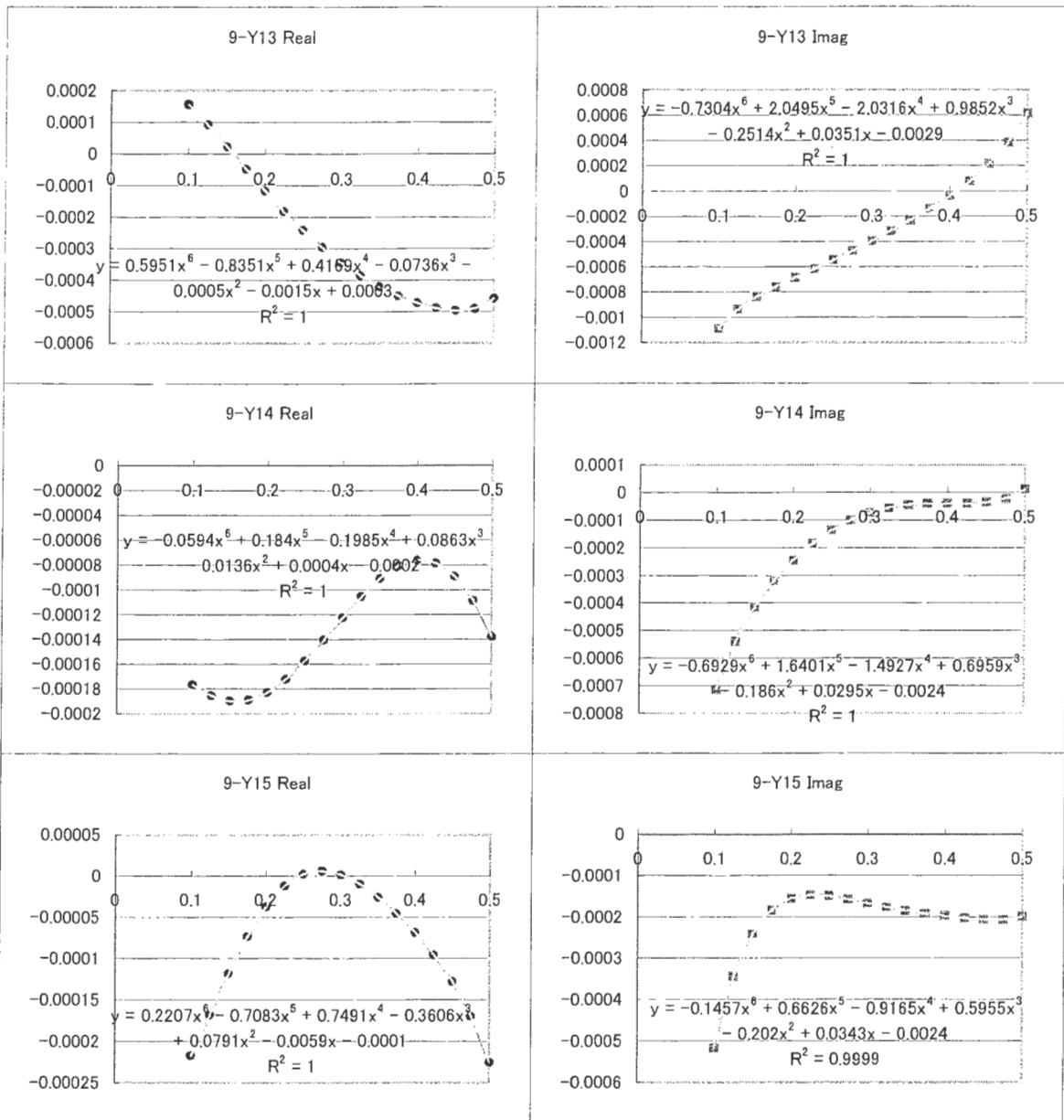
8素子 (素子半径: 10^{-4})



8素子 (素子半径: 10^{-4})



9素子 (素子半径: 10^{-4})

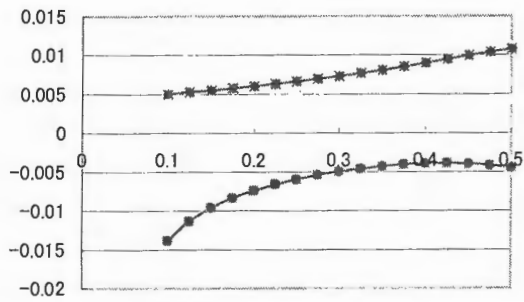


9素子 (素子半径: 10^{-4})

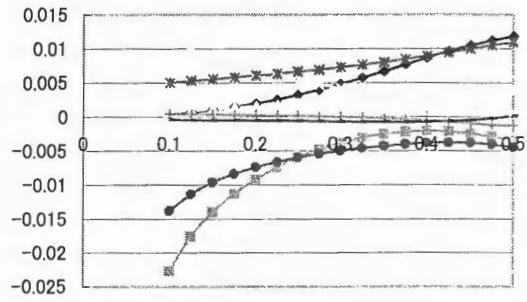
計算値・近似曲線のグラフ

	記号	単位	値
素子長	L	λ_0	0.5
素子半径	a	λ_0	10^{-6}
分割数	N	—	15
素子間隔	r	λ_0	0.1~0.5
無給電素子数	M	本	1~8

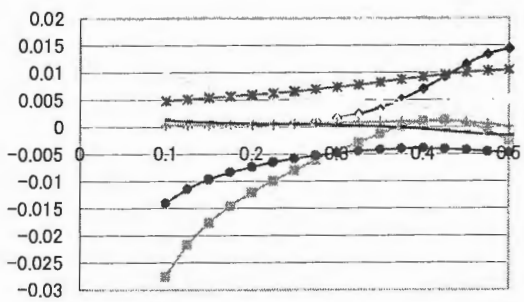
2素子



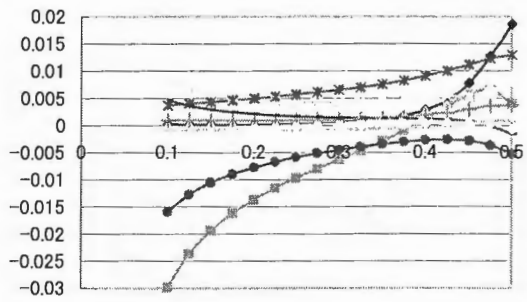
3素子



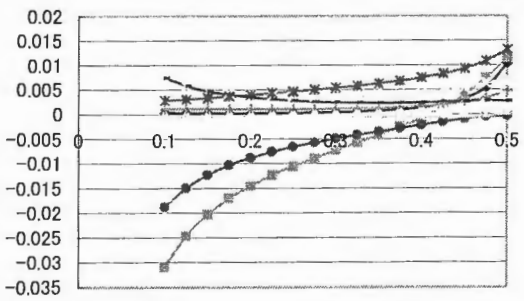
4素子



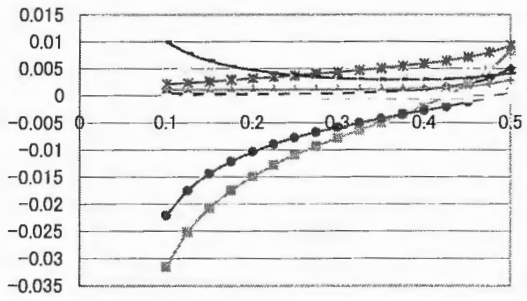
5素子



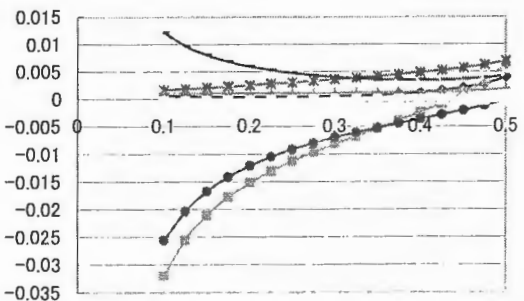
6素子



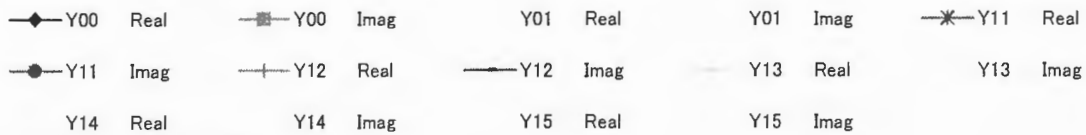
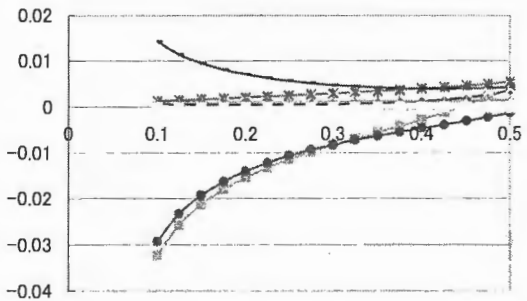
7素子

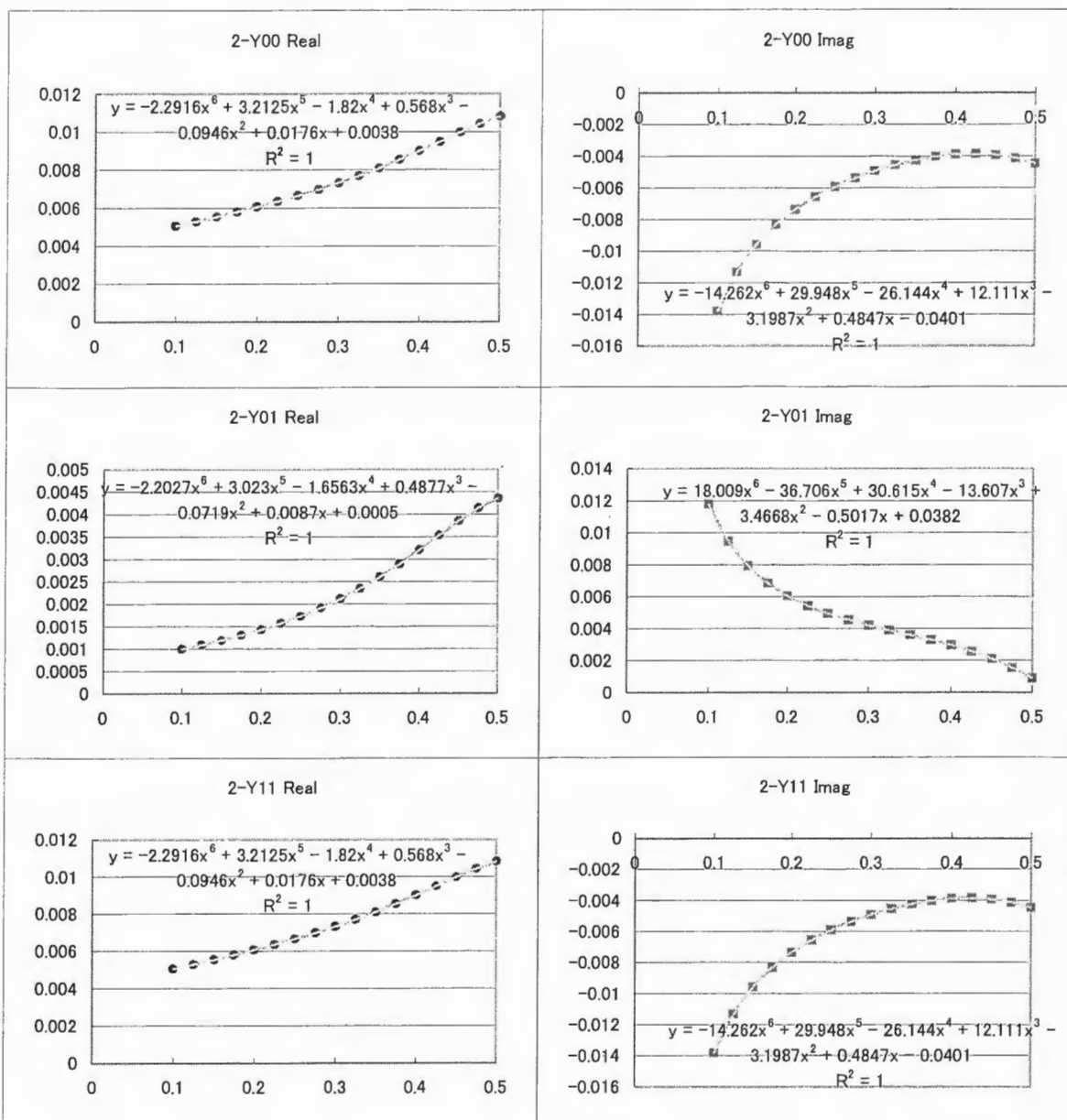


8素子

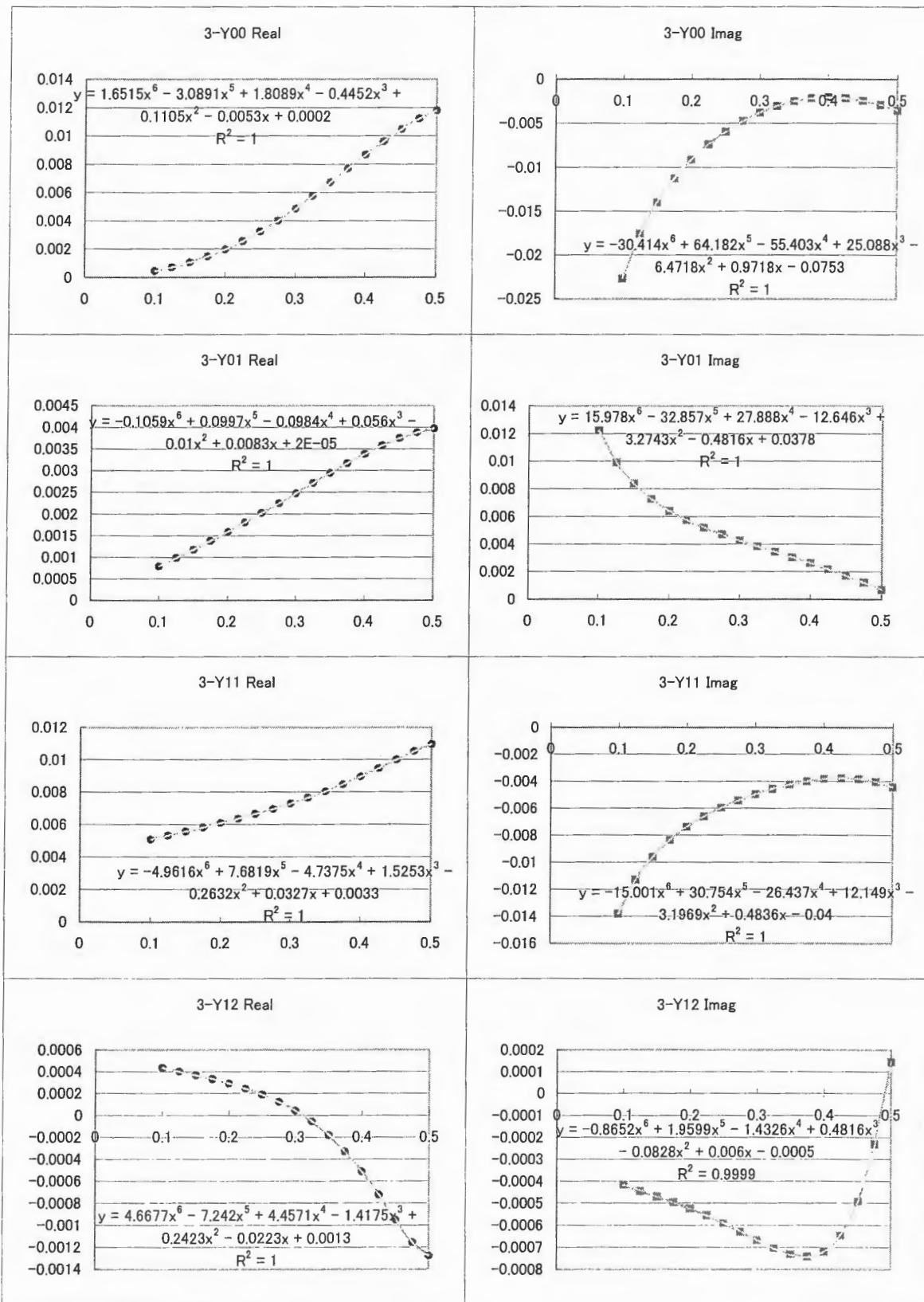


9素子

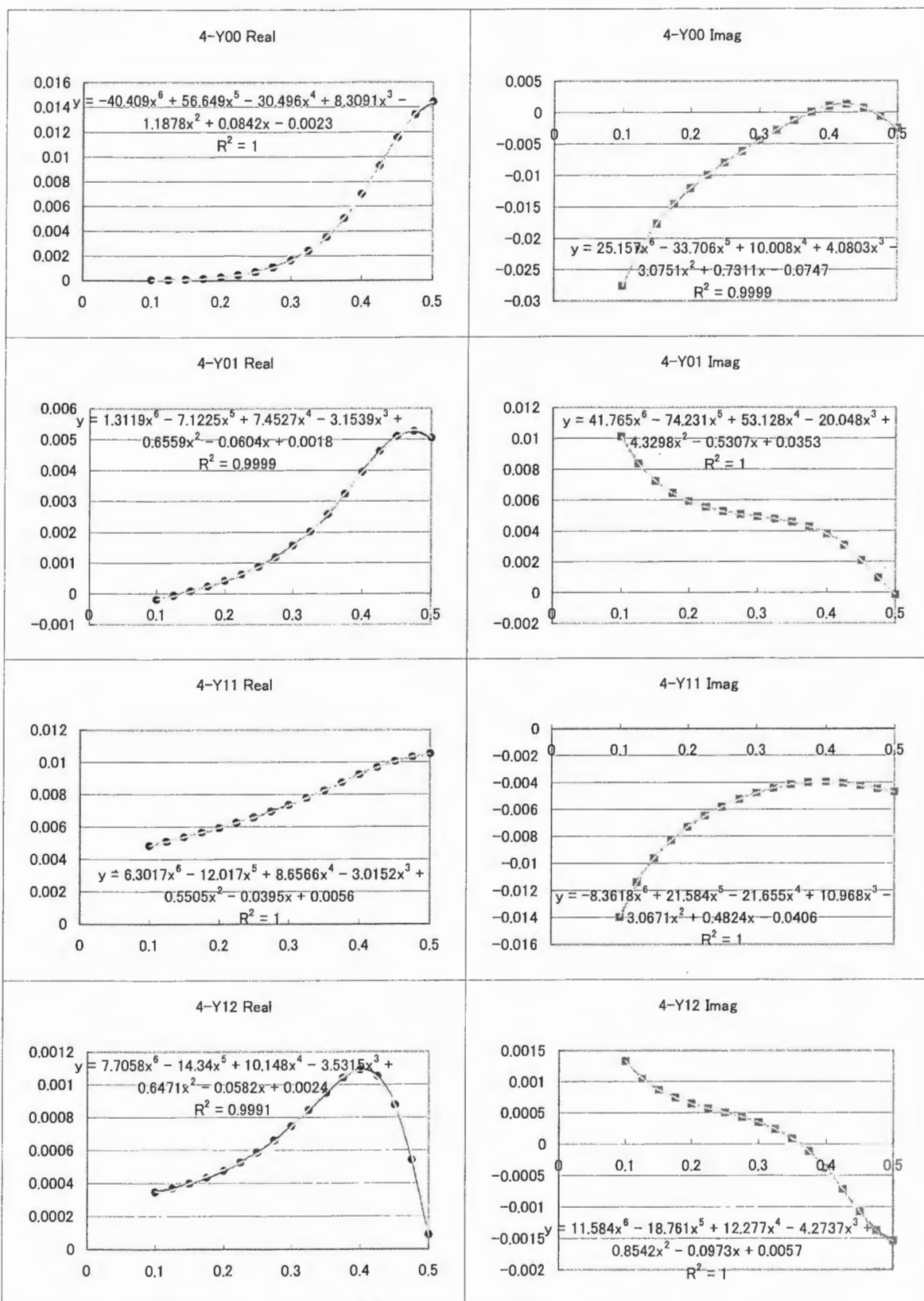




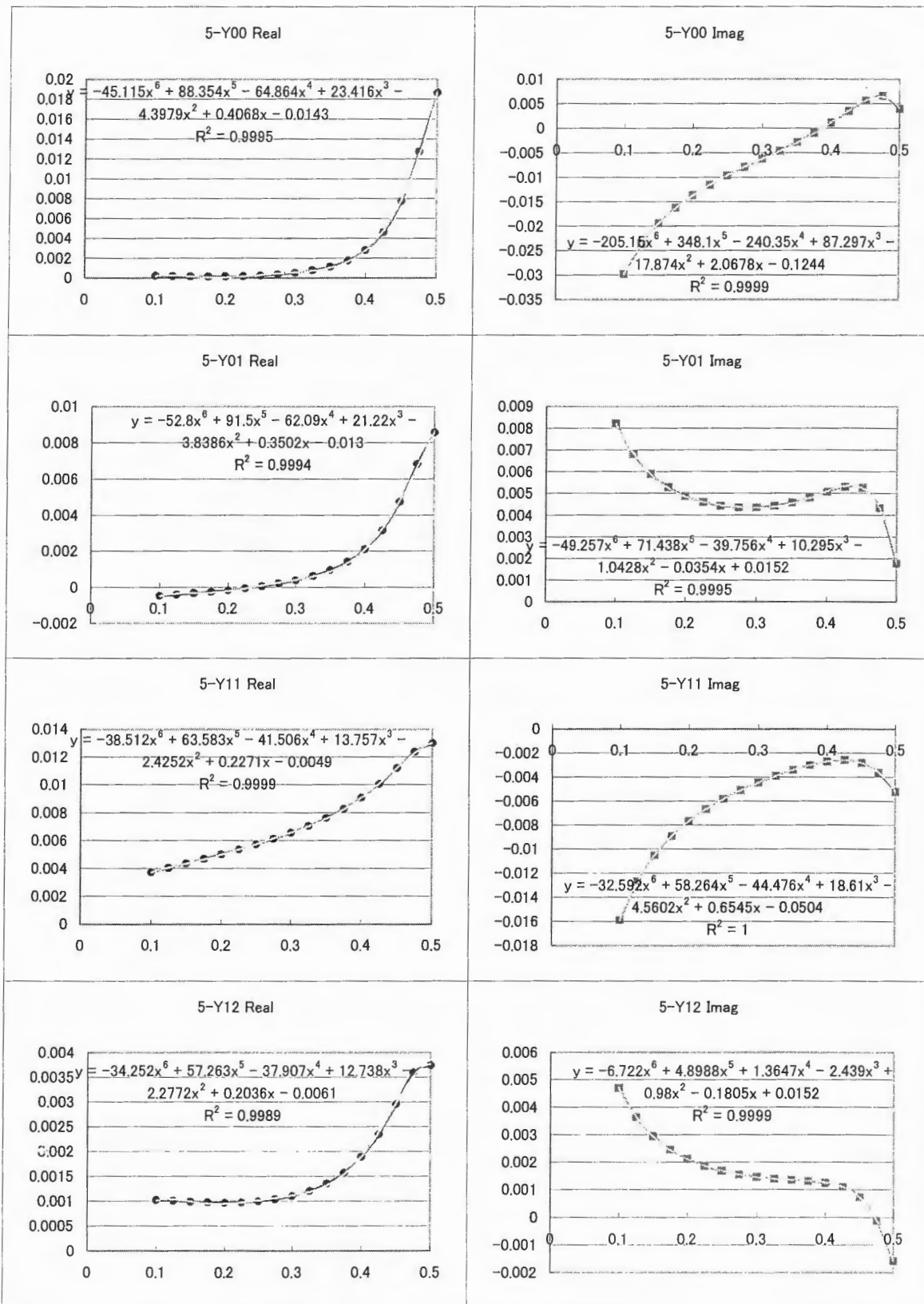
2素子 (素子半径: 10^{-6})



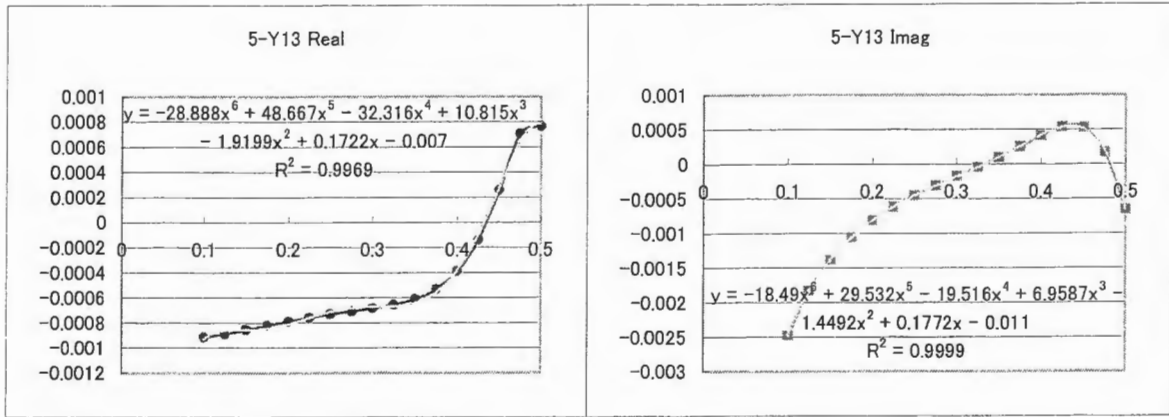
3素子 (素子半径: 10^{-6})



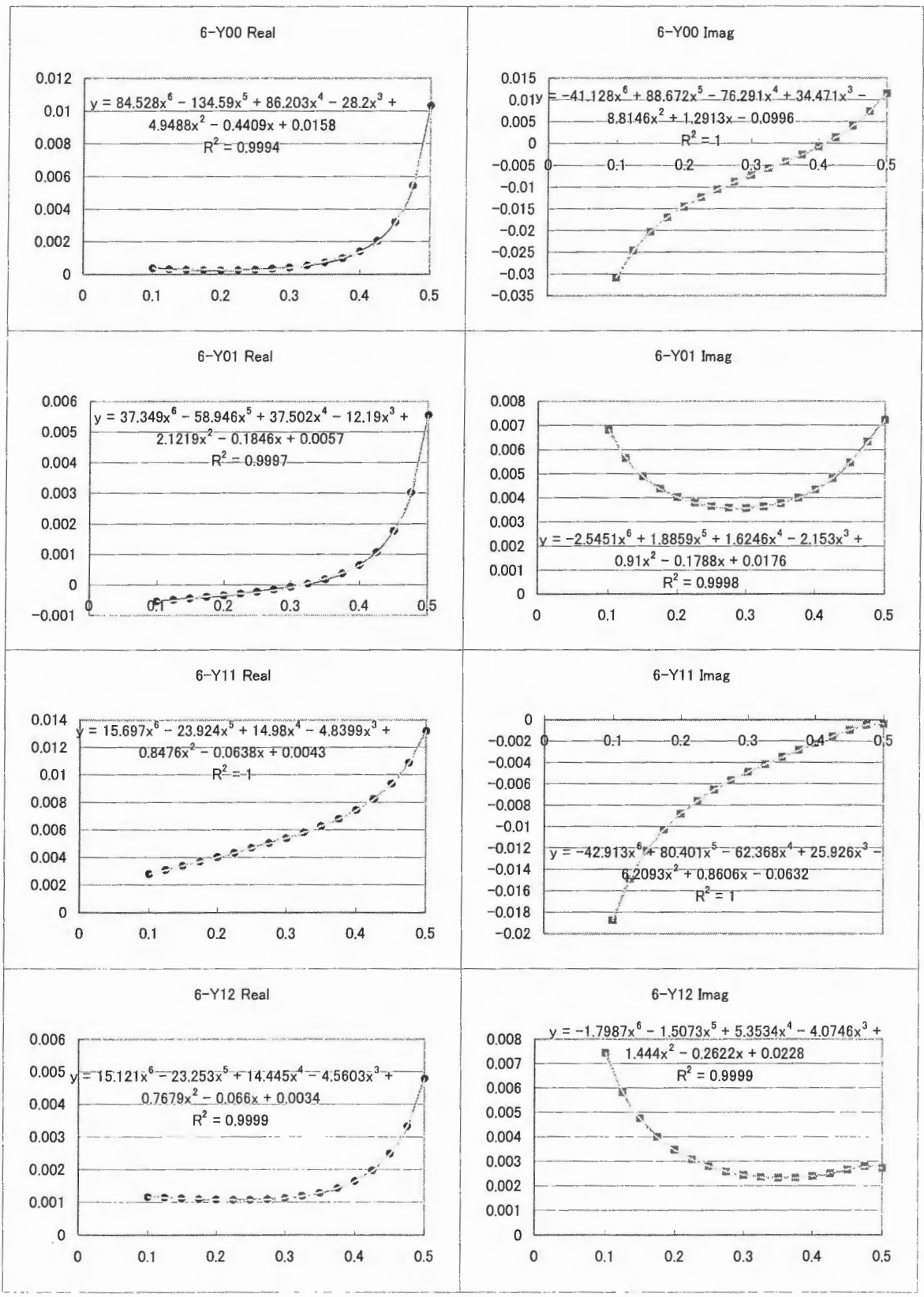
4素子 (素子半径: 10^{-6})



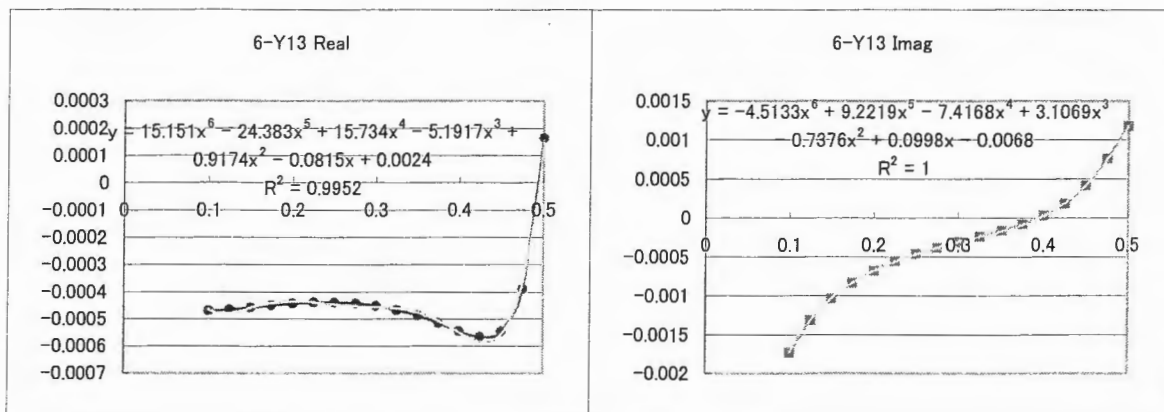
5素子 (素子半径: 10^{-6})



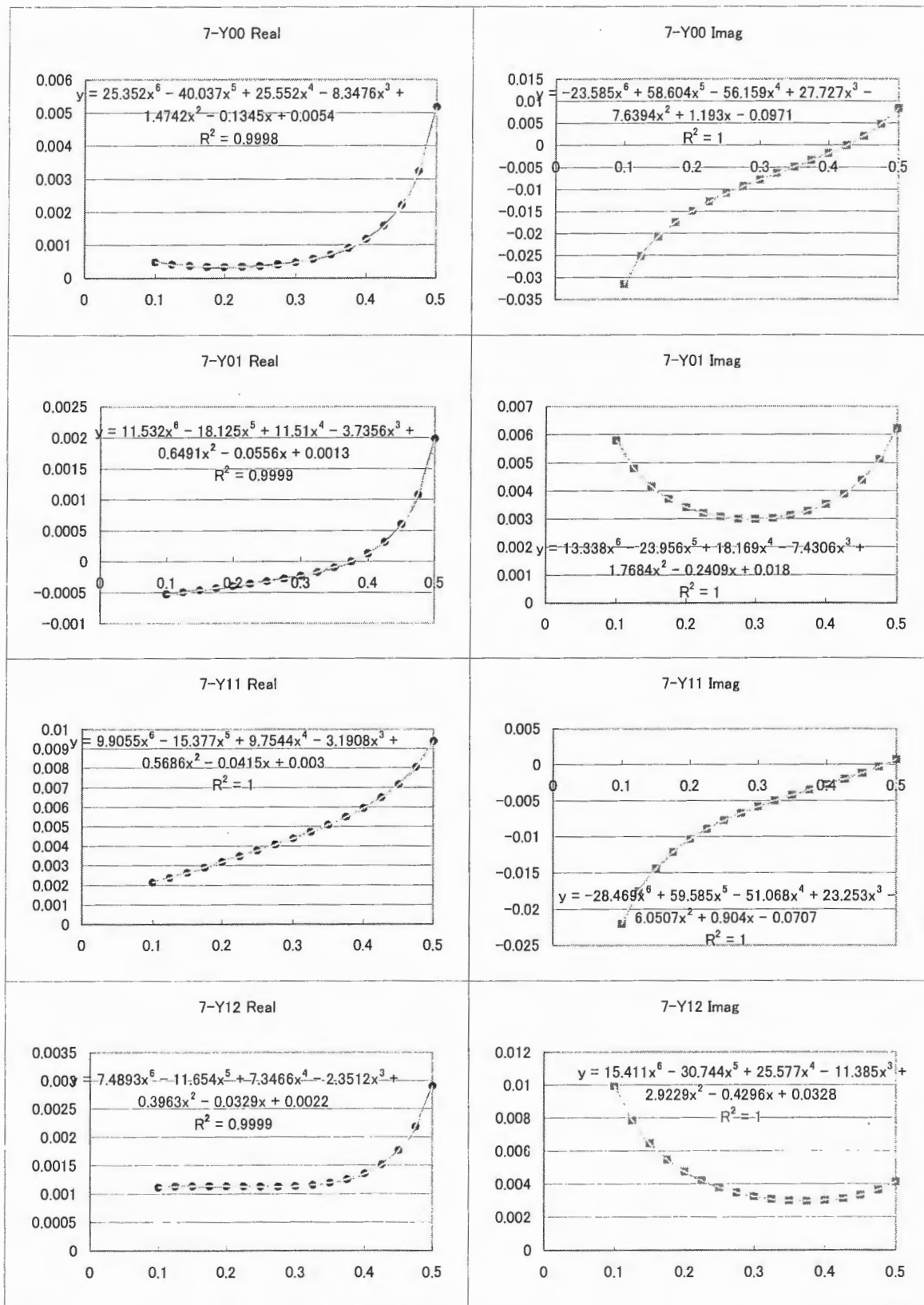
5素子 (素子半径: 10^{-6})



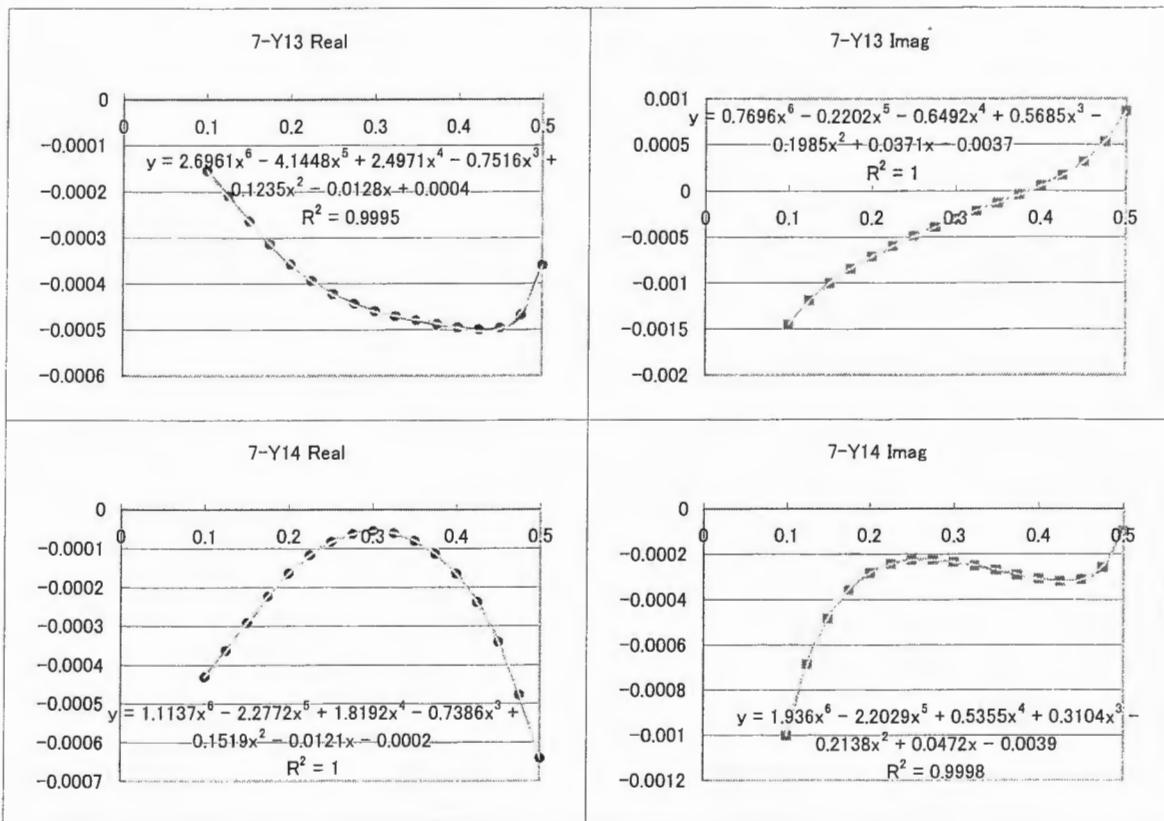
6素子 (素子半径: 10^{-6})



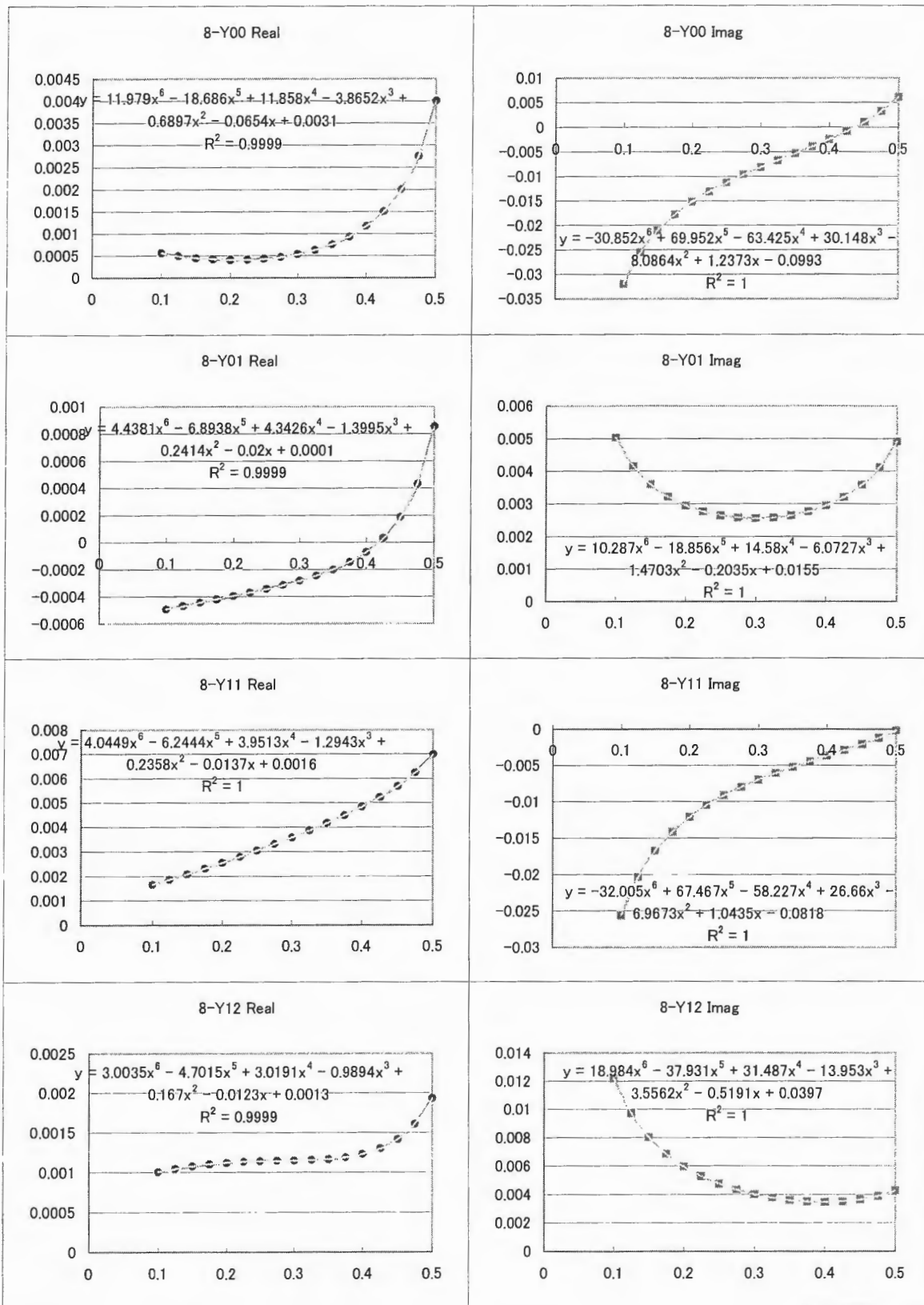
6素子 (素子半径: 10^{-6})



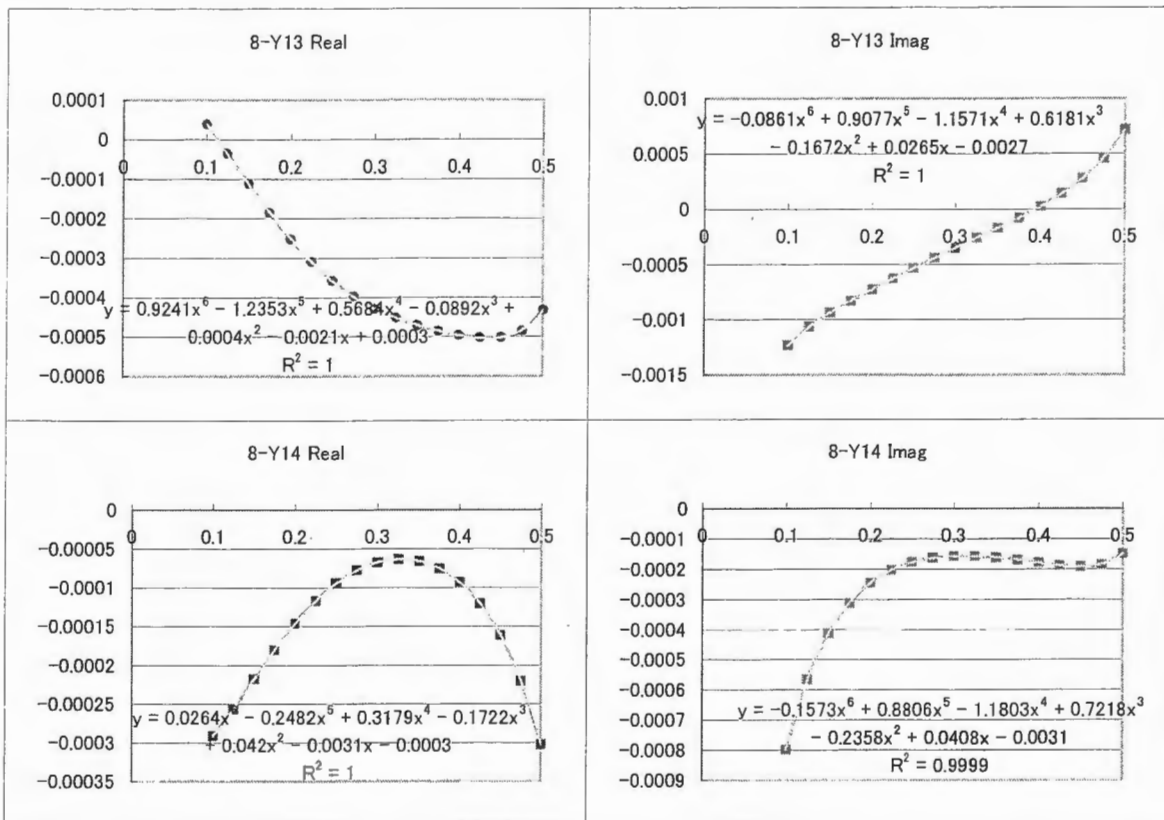
7素子 (素子半径: 10^{-6})



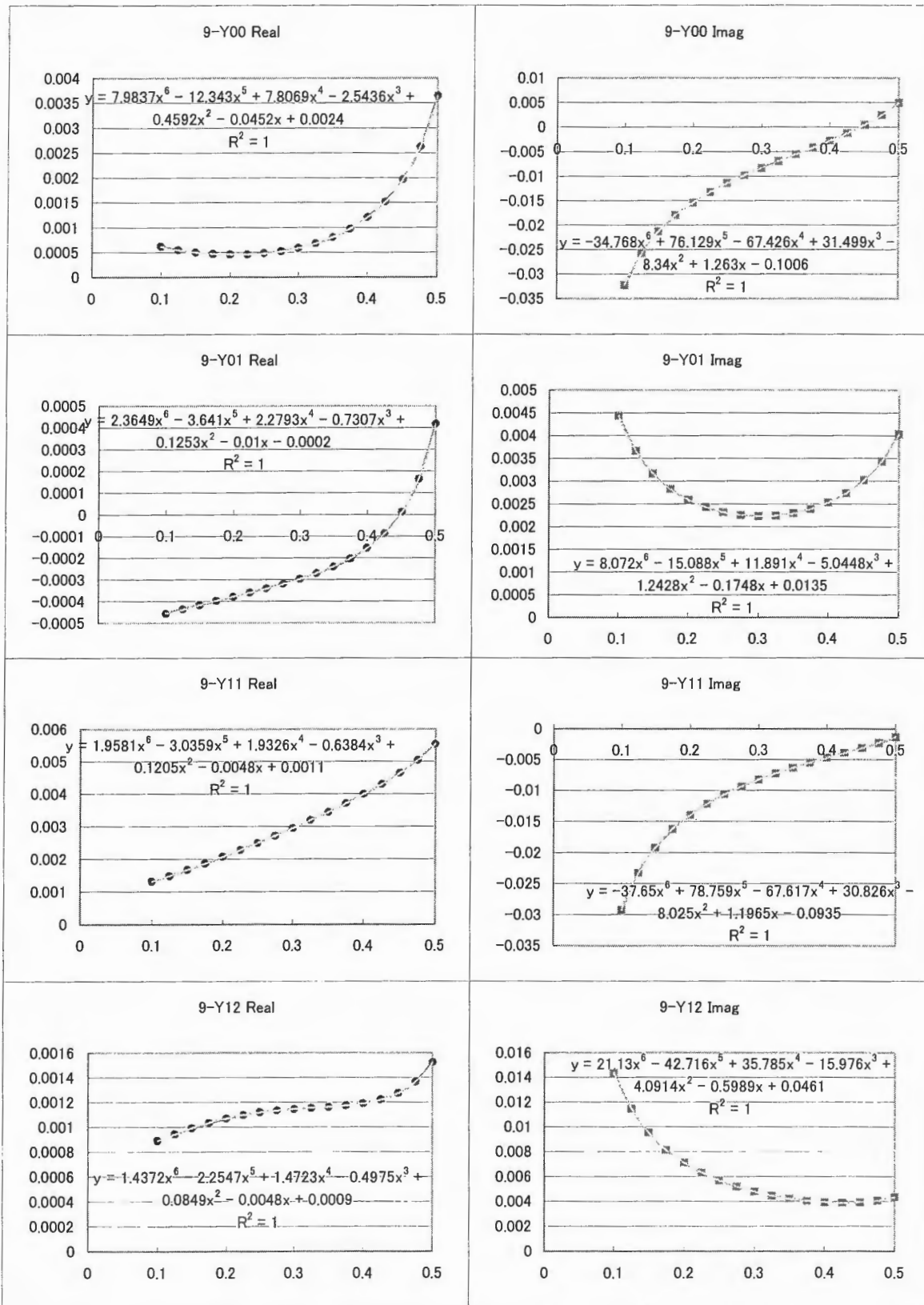
7素子 (素子半径: 10^{-6})



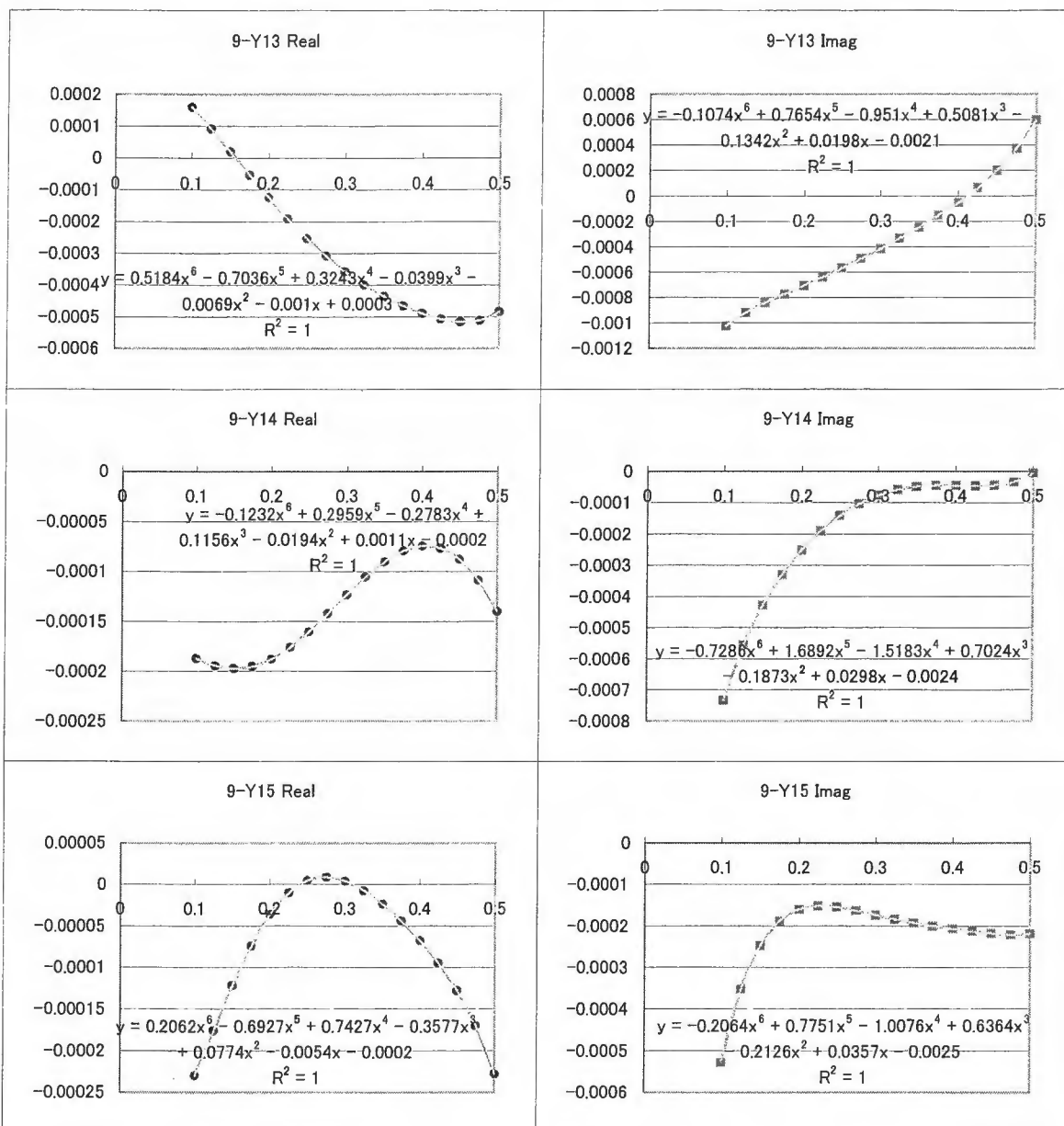
8素子 (素子半径: 10^{-6})



8素子 (素子半径: 10^{-6})



9素子 (素子半径: 10^{-6})

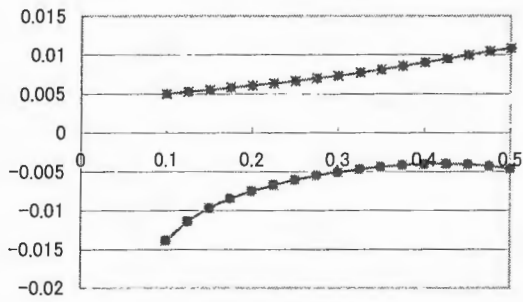


9素子 (素子半径: 10^{-6})

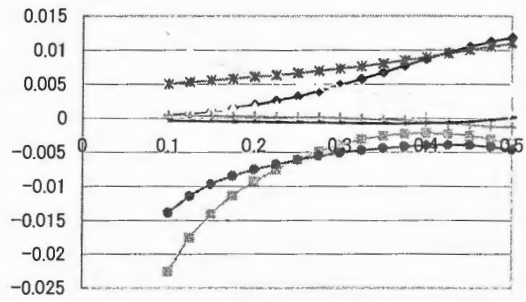
計算値・近似曲線のグラフ

	記号	単位	値
素子長	L	λ_0	0.5
素子半径	a	λ_0	10^{-8}
分割数	N	—	15
素子間隔	r	λ_0	0.1~0.5
無給電素子数	M	本	1~8

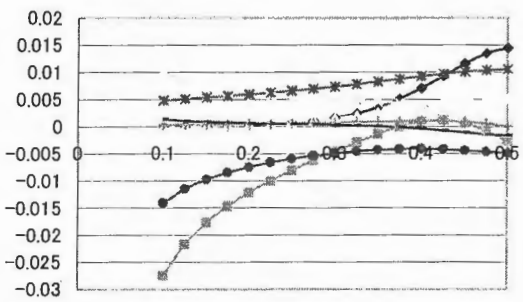
2素子



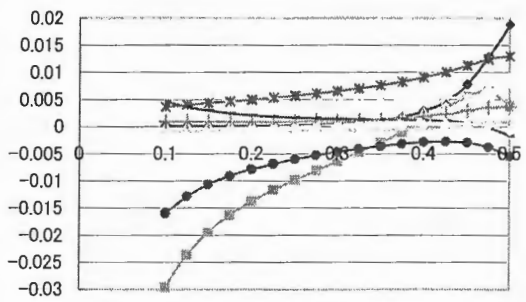
3素子



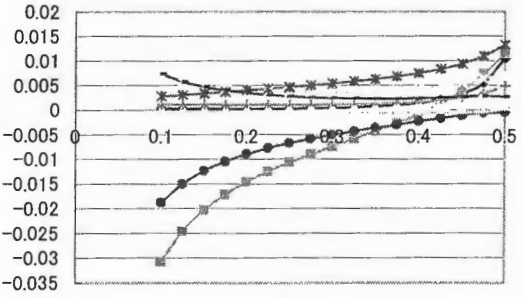
4素子



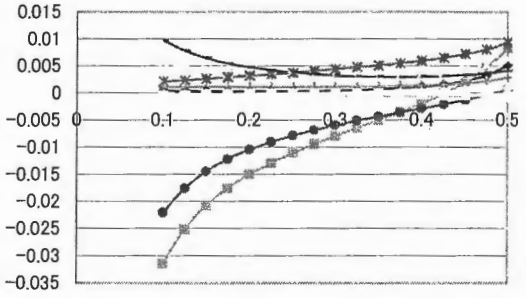
5素子



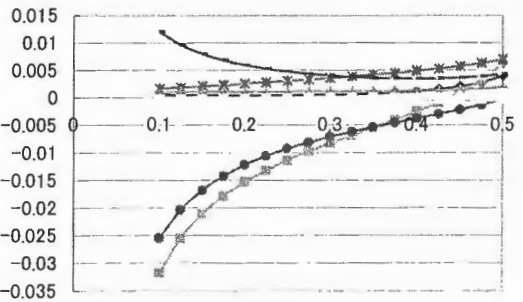
6素子



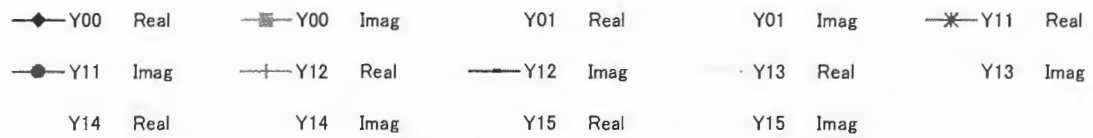
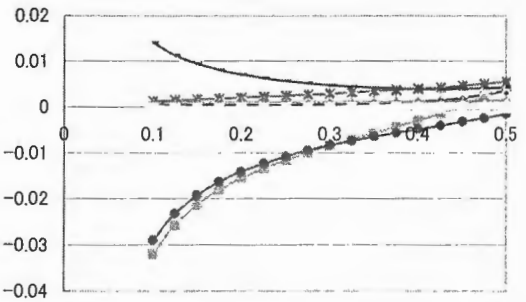
7素子

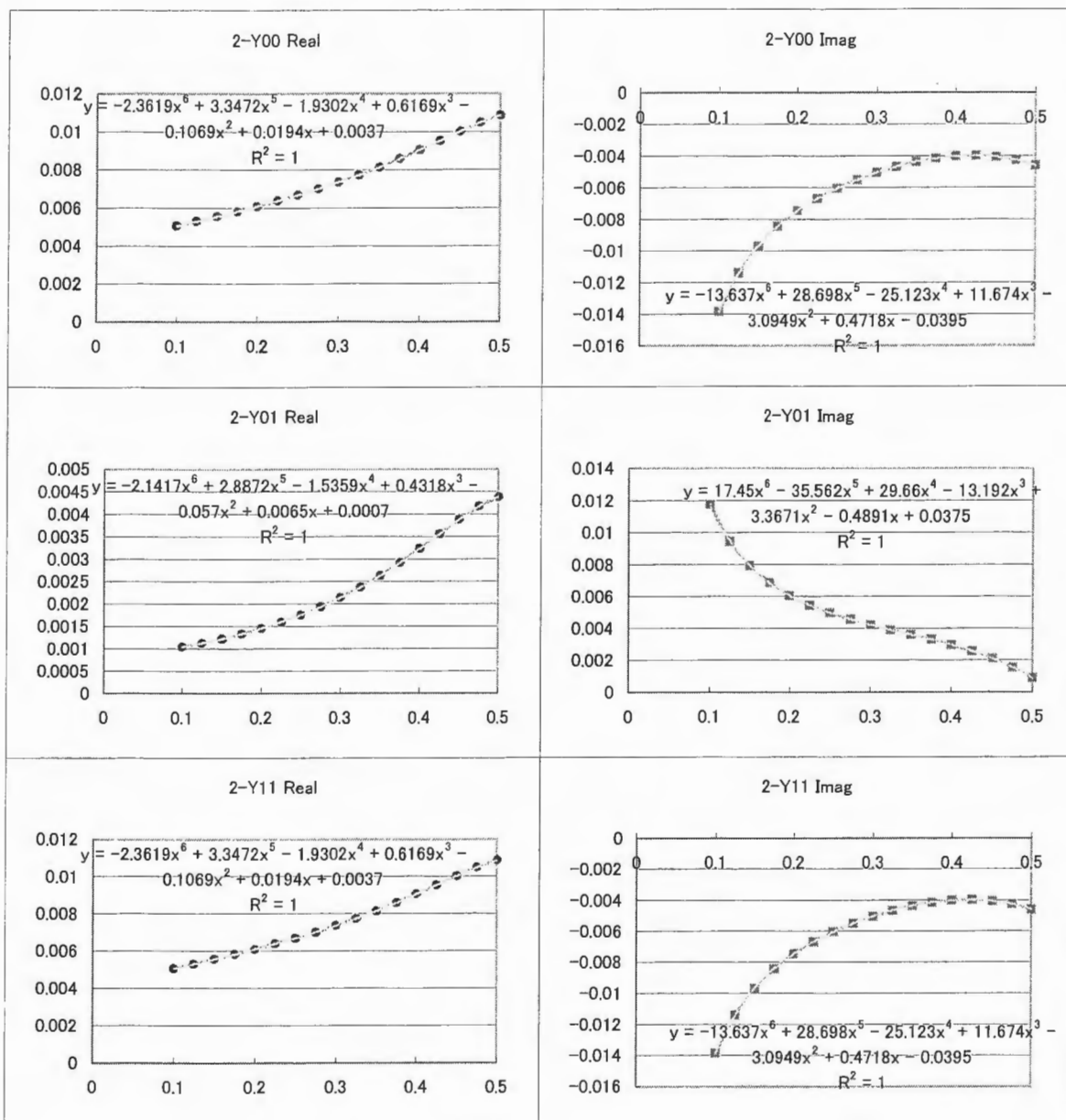


8素子

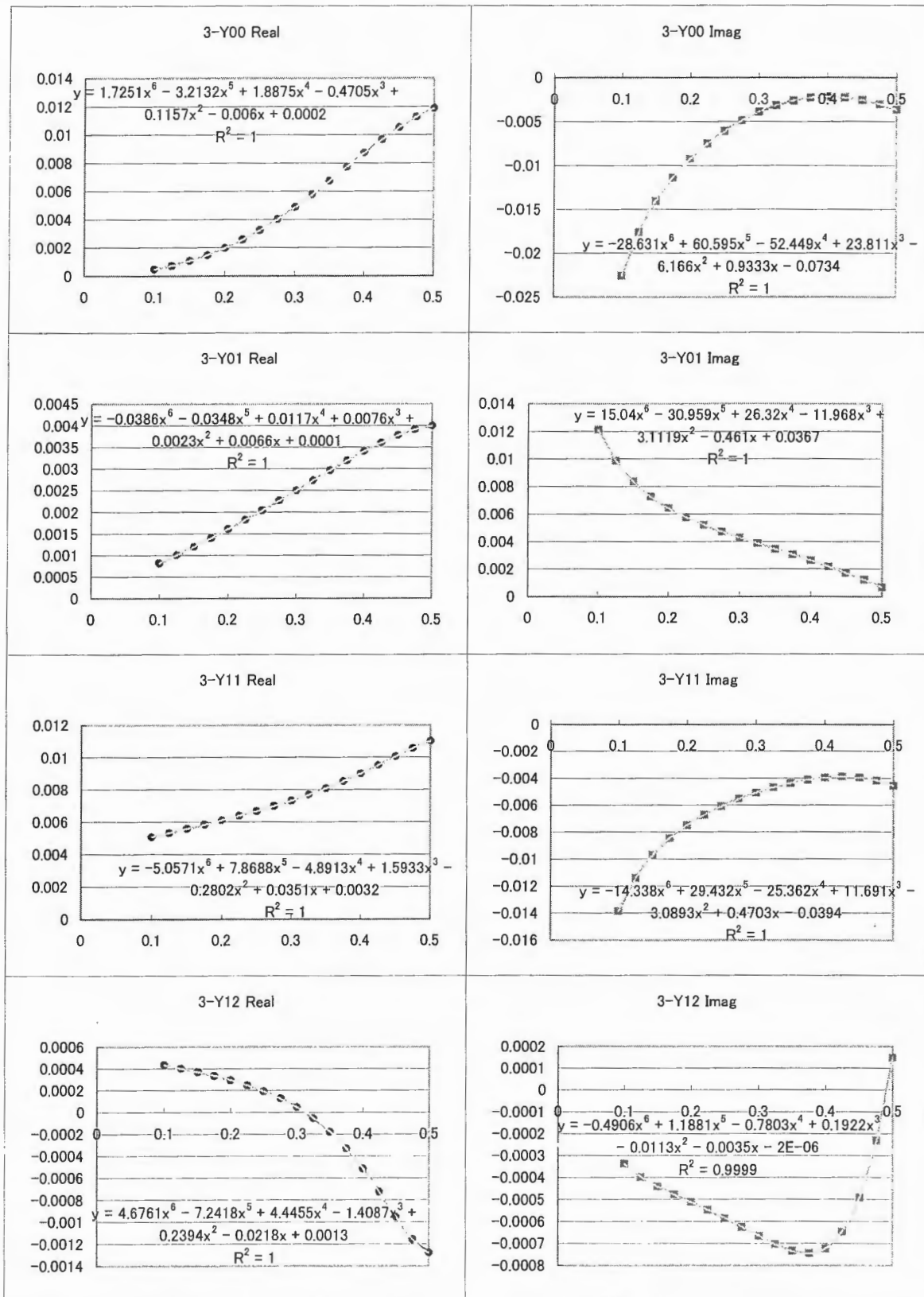


9素子

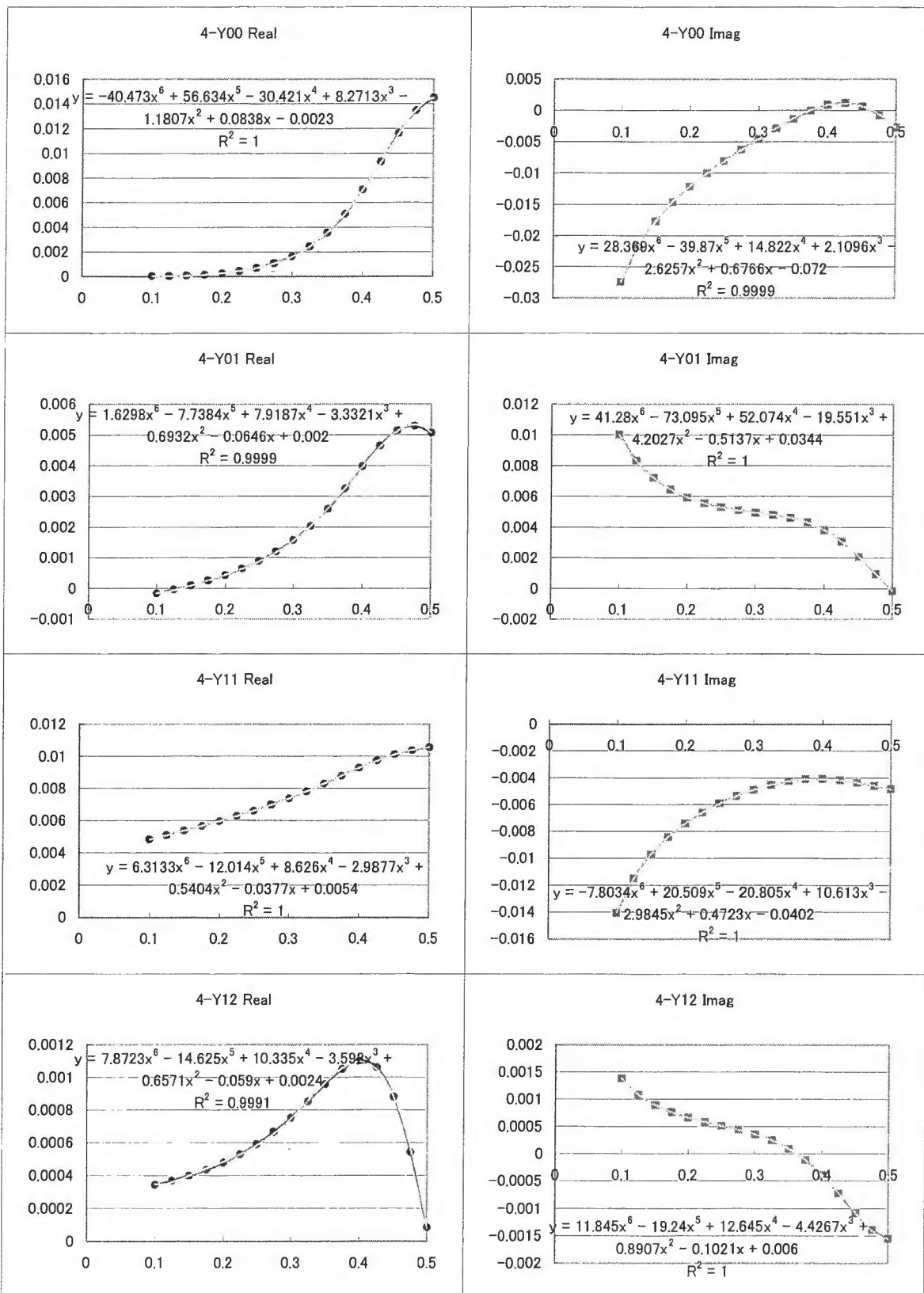




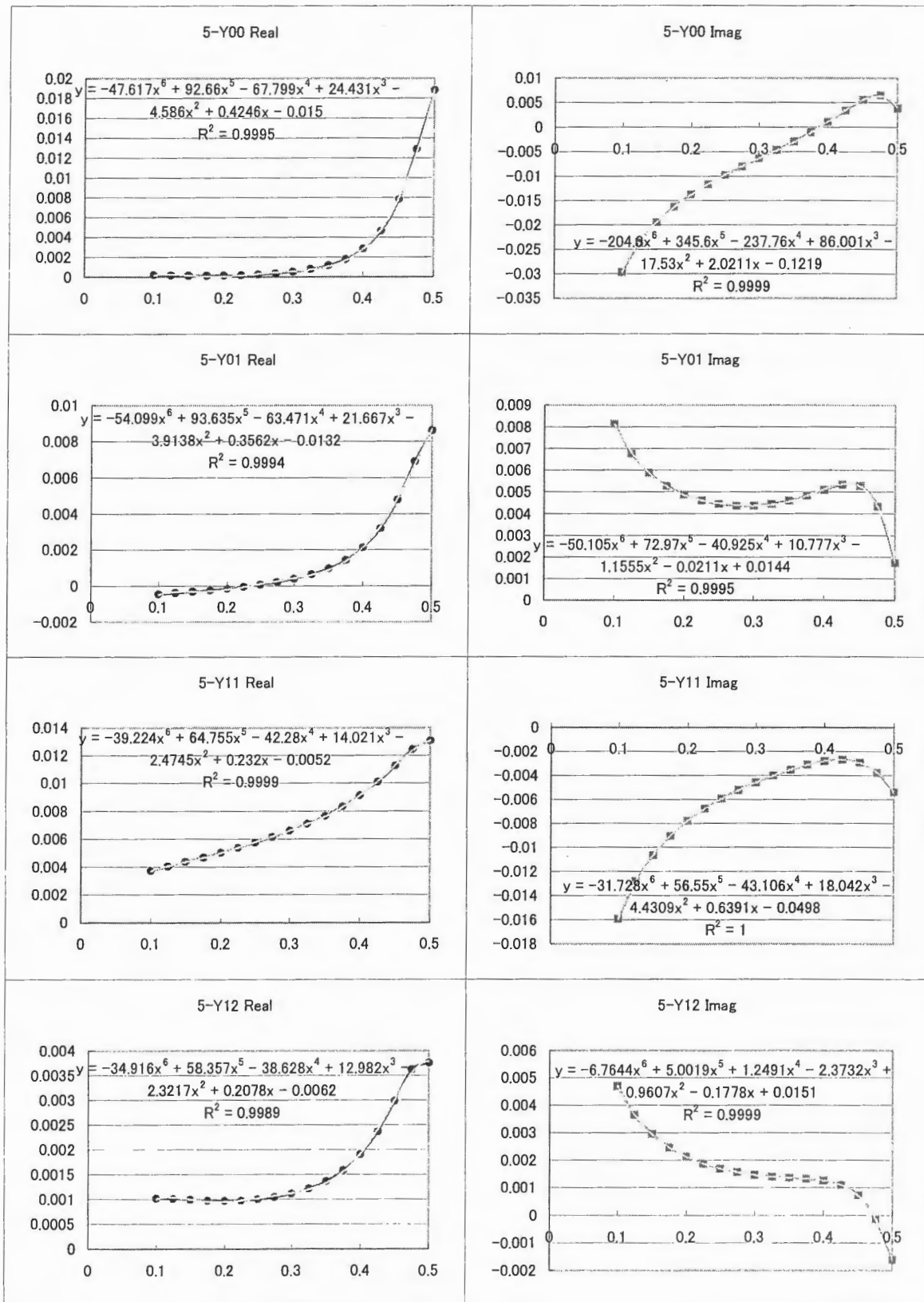
2素子 (素子半径: 10^{-8})



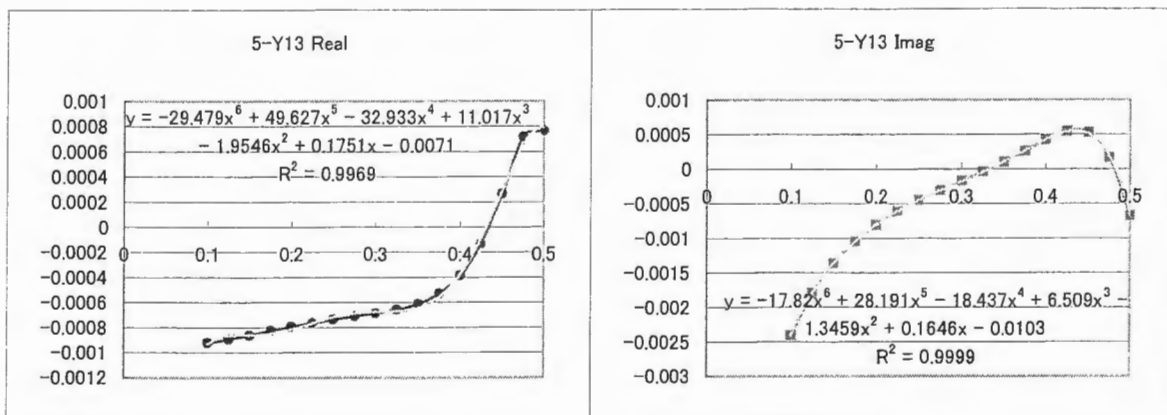
3素子 (素子半径: 10^{-8})



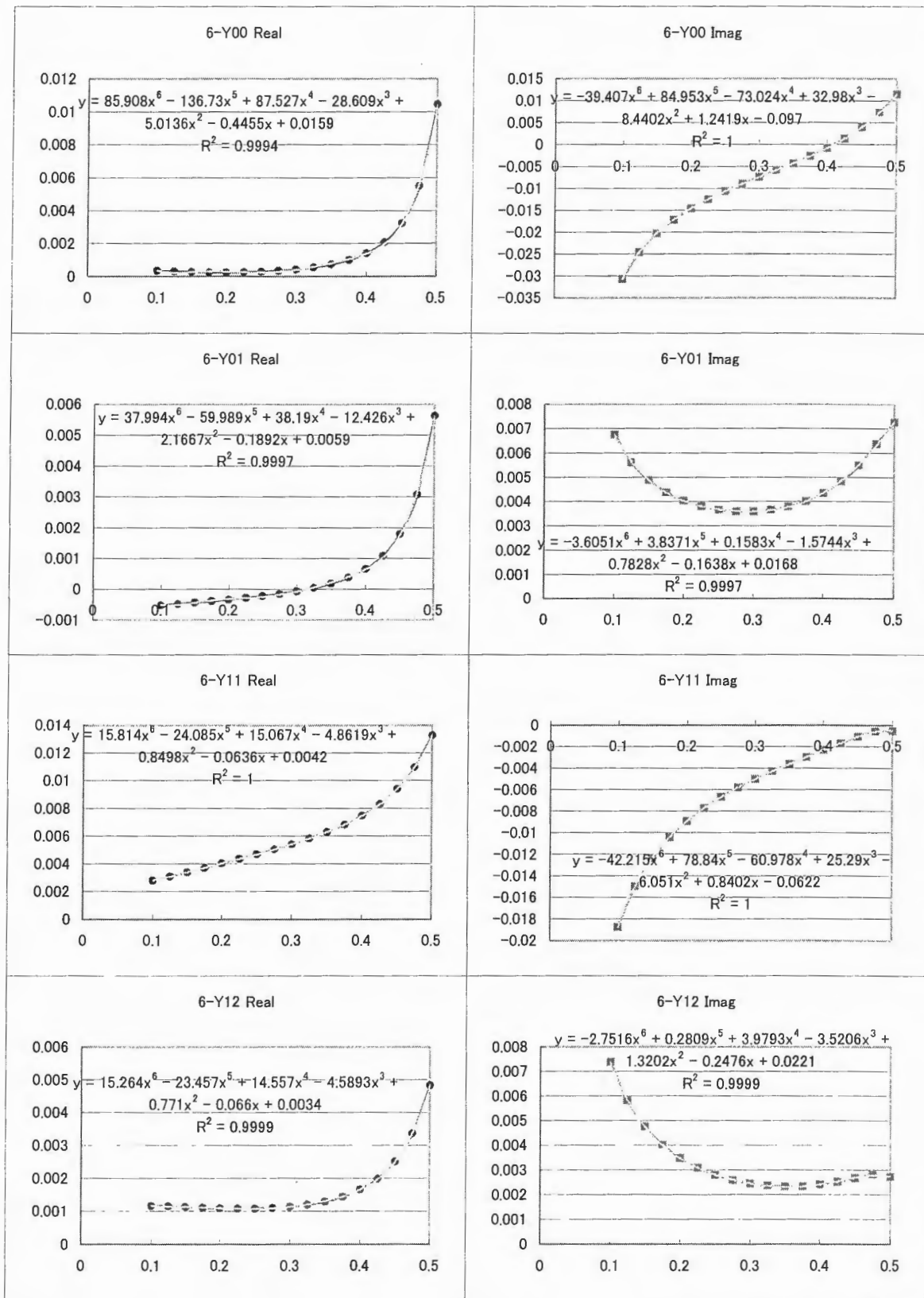
4素子 (素子半径: 10^{-8})



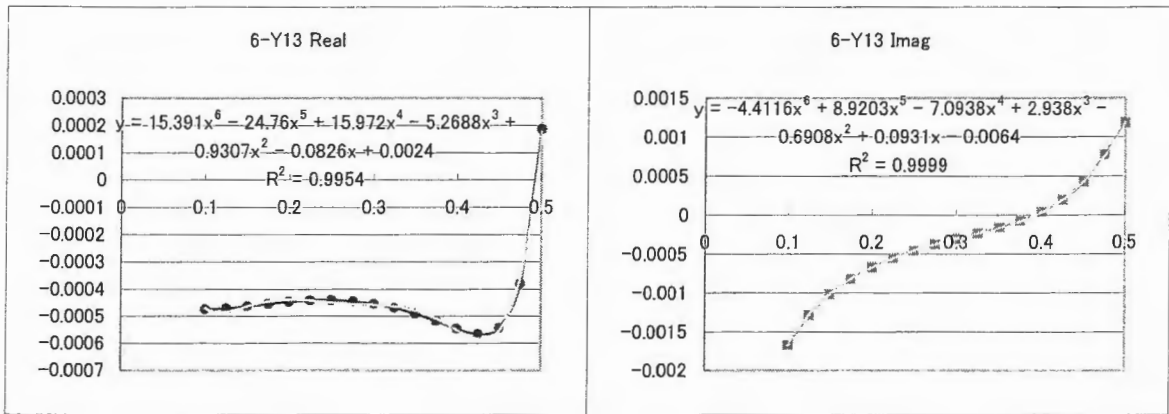
5素子 (素子半径: 10^{-8})



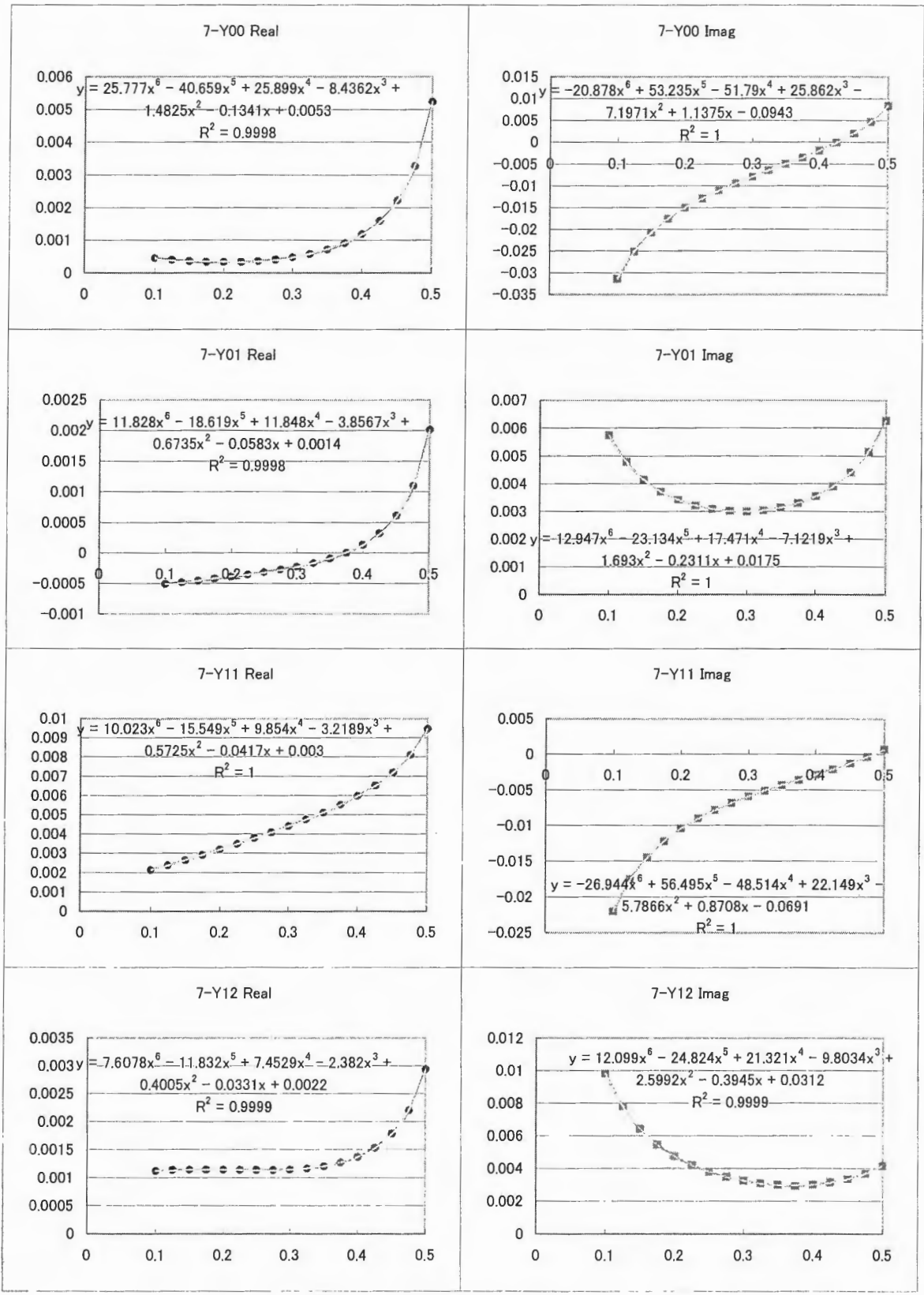
5素子 (素子半径: 10^{-8})



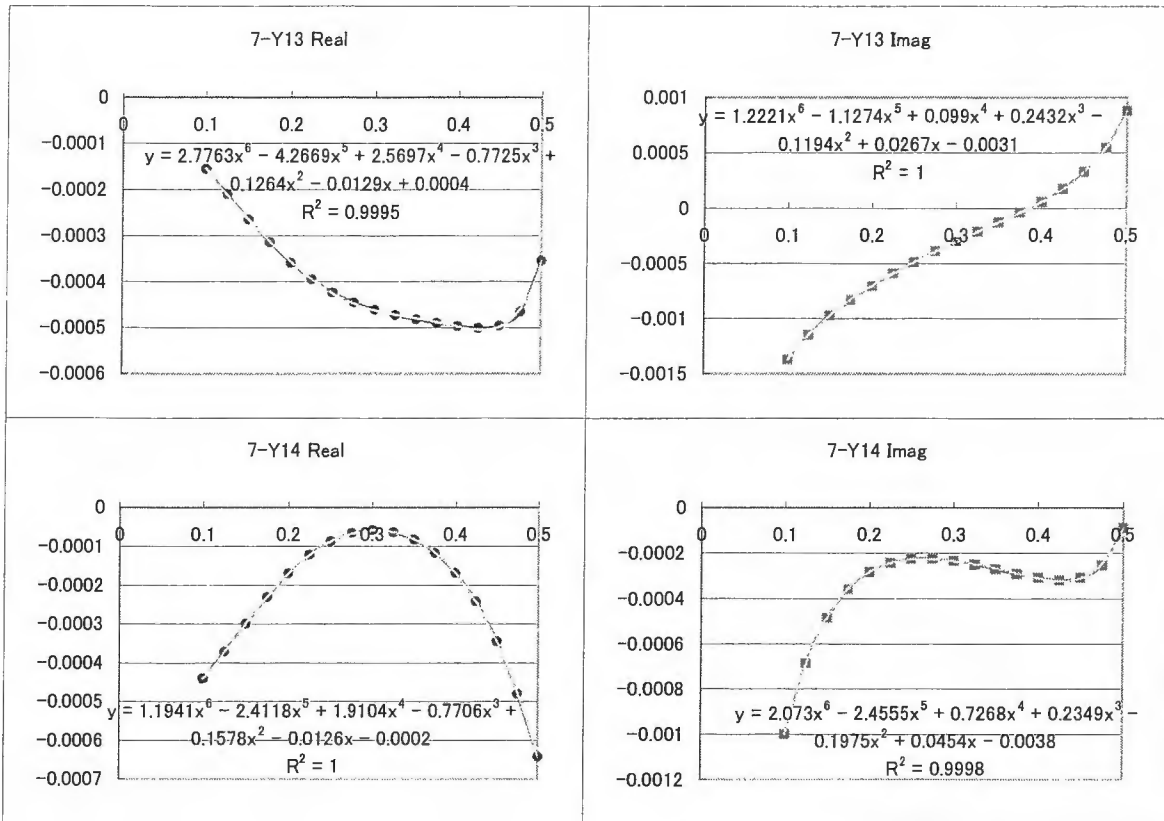
6素子 (素子半径: 10^{-8})



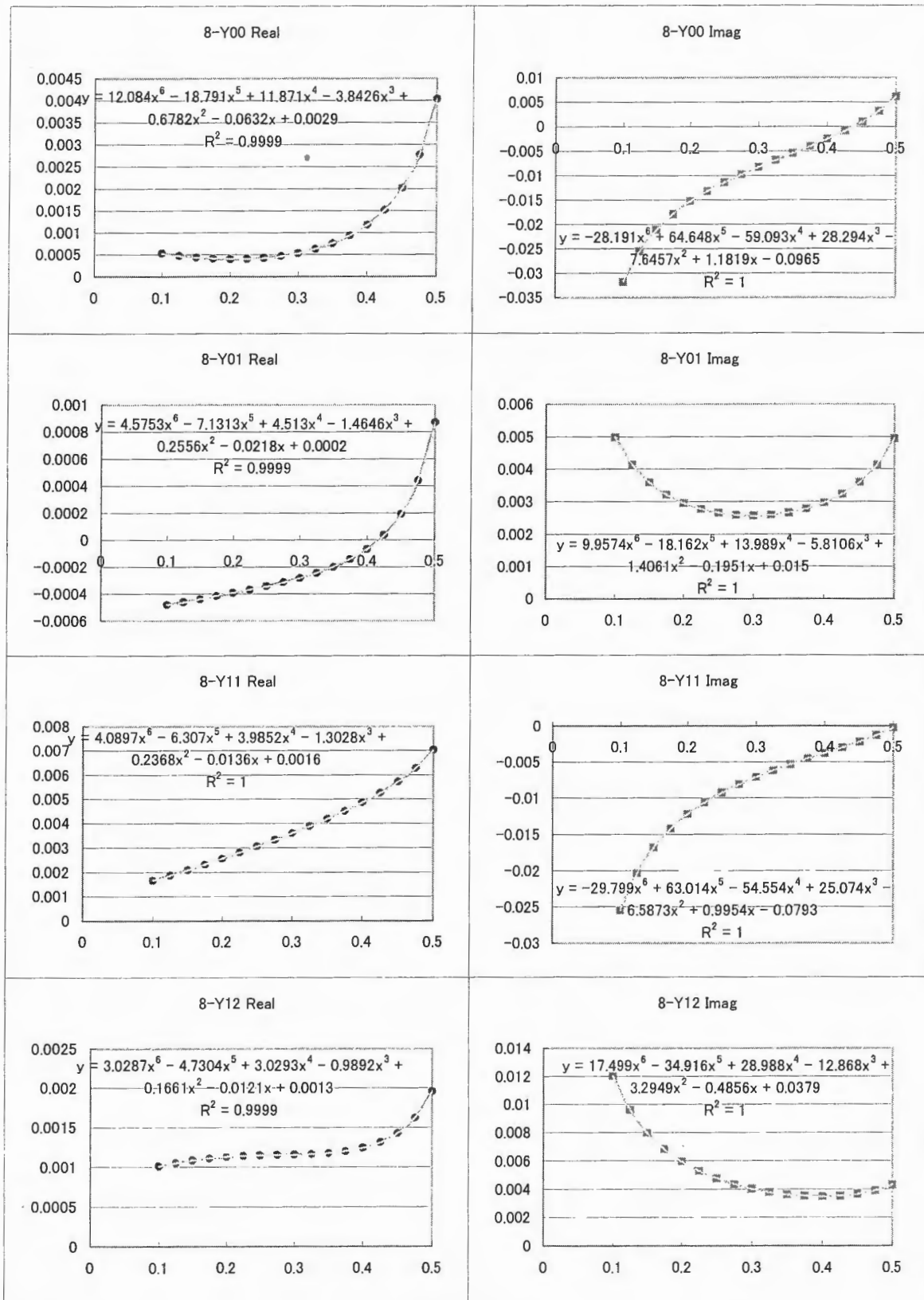
6素子 (素子半径: 10^{-8})



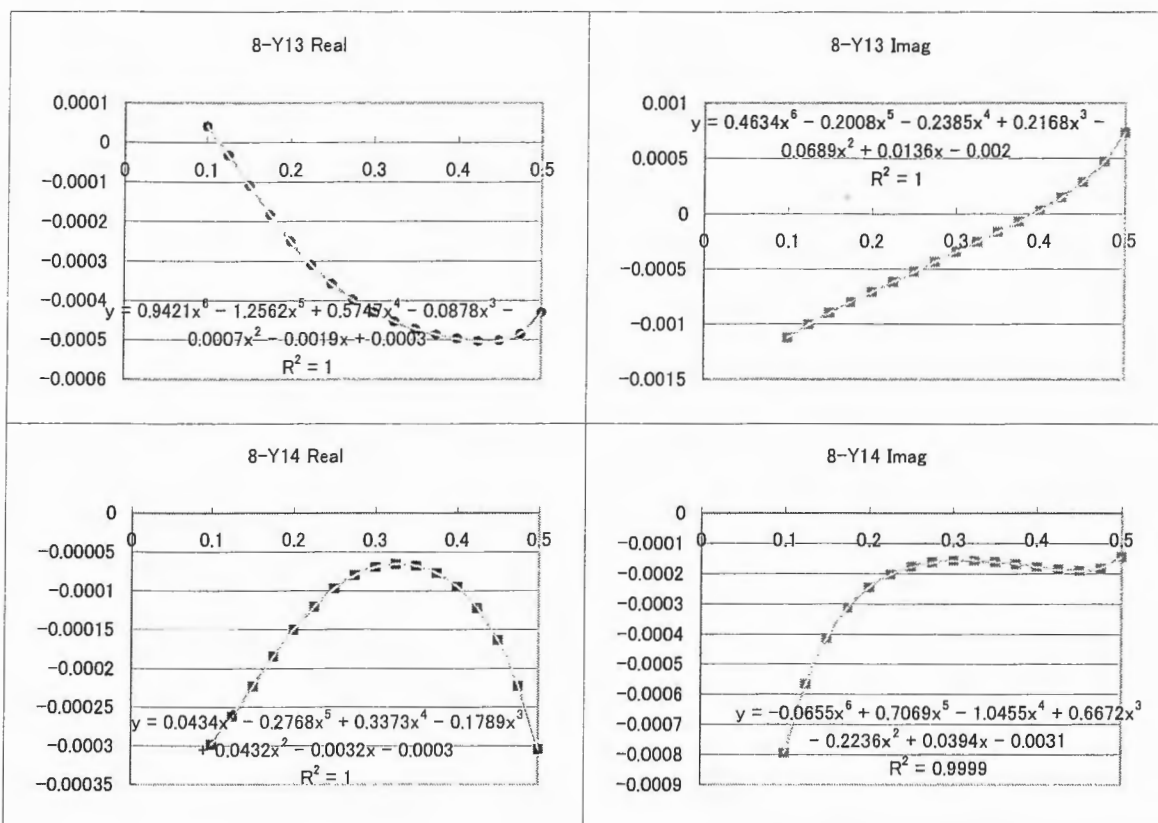
7素子 (素子半径: 10^{-8})



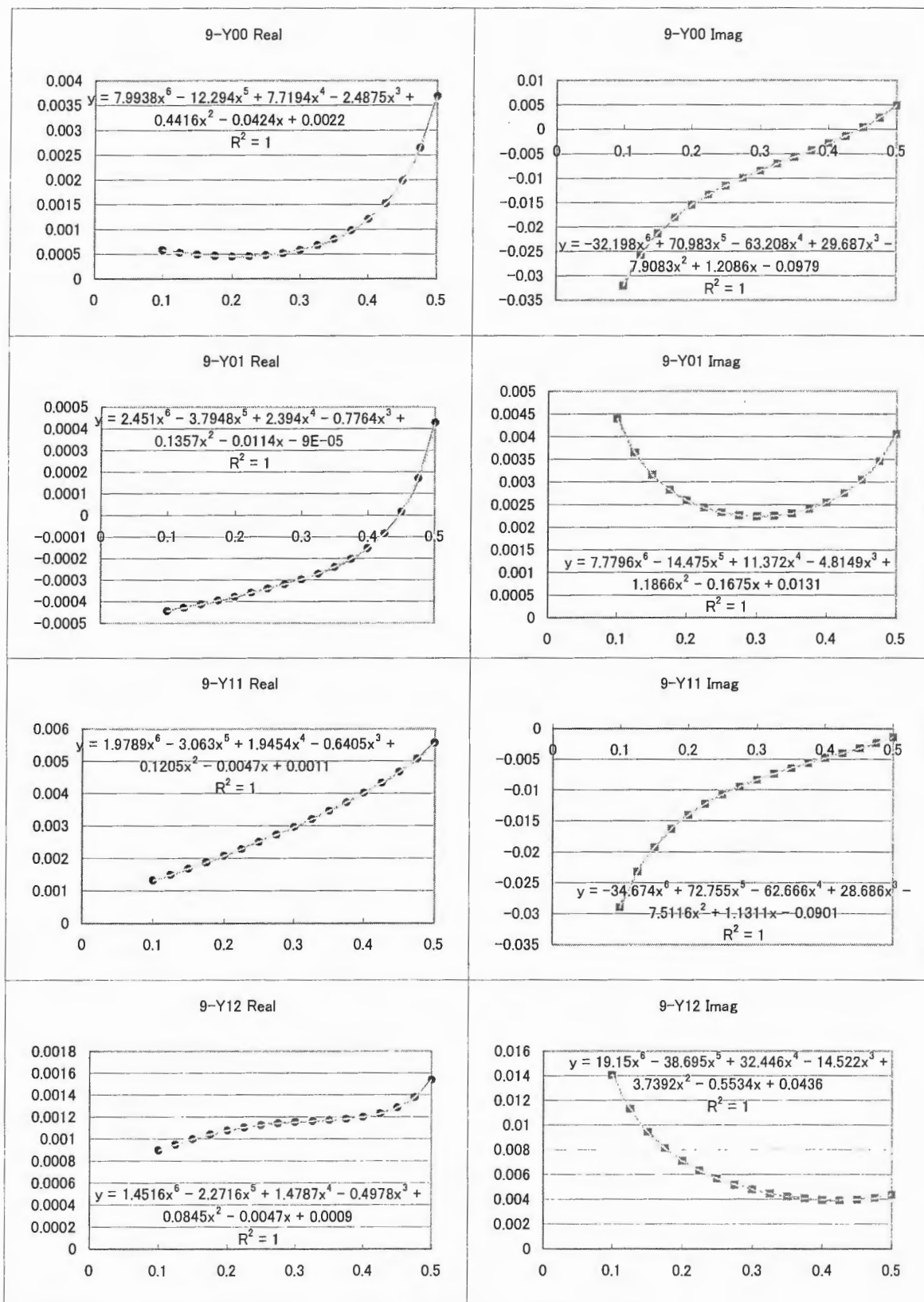
7素子 (素子半径: 10^{-8})



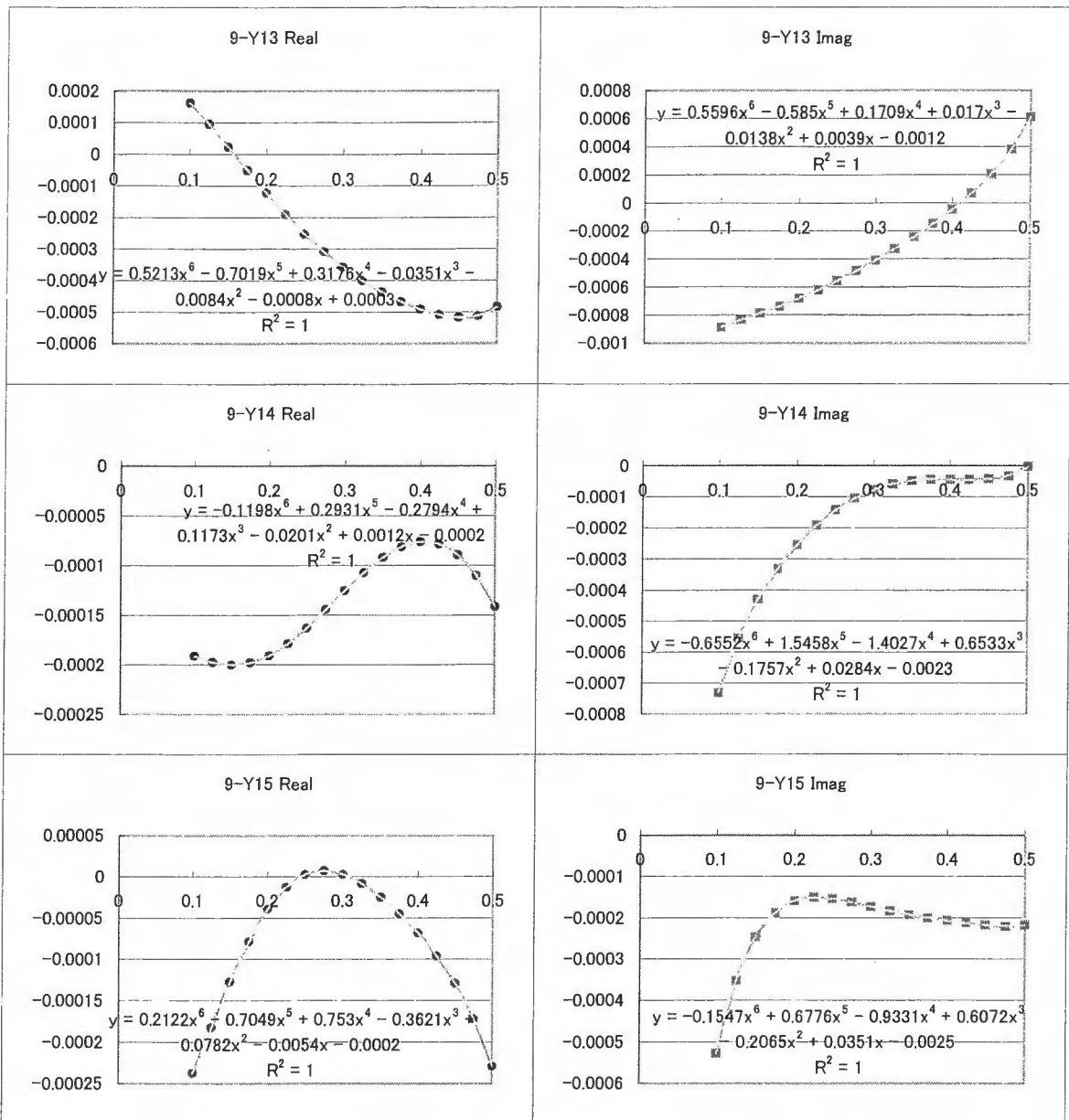
8素子 (素子半径: 10^{-8})



8素子 (素子半径: 10^{-8})



9素子 (素子半径: 10^{-8})



9素子 (素子半径: 10^{-8})

計算値結果のデータ

	記号	単位	値
素子長	L	λ_0	0.5
素子半径	a	λ_0	10^{-2}
分割数	N	—	15
素子間隔	r	λ_0	0.1~0.5
無給電素子数	M	本	1~8

素子半径: $10^{-2}[\lambda_0]$

2素子

r	Y00 Real	Y00 Imag	Y01 Real	Y01 Imag	Y11 Real	Y11 Imag
0.1	0.0039721	-0.009509	0.0009772	0.0093194	0.0039721	-0.009509
0.125	0.0041976	-0.007463	0.0010896	0.0074421	0.0041976	-0.007463
0.15	0.0044341	-0.006094	0.0011977	0.0062243	0.0044341	-0.006094
0.175	0.0046793	-0.005102	0.0013084	0.0053711	0.0046793	-0.005102
0.2	0.0049339	-0.004343	0.0014263	0.0047399	0.0049339	-0.004343
0.225	0.0051999	-0.003741	0.0015546	0.0042519	0.0051999	-0.003741
0.25	0.0054797	-0.003252	0.0016963	0.0038589	0.0054797	-0.003252
0.275	0.005776	-0.00285	0.0018541	0.0035286	0.005776	-0.00285
0.3	0.0060913	-0.002523	0.0020301	0.0032371	0.0060913	-0.002523
0.325	0.0064274	-0.002263	0.002226	0.0029646	0.0064274	-0.002263
0.35	0.0067849	-0.002069	0.0024417	0.002693	0.0067849	-0.002069
0.375	0.0071619	-0.001947	0.0026749	0.0024047	0.0071619	-0.001947
0.4	0.0075522	-0.001903	0.0029189	0.0020816	0.0075522	-0.001903
0.425	0.0079435	-0.001949	0.0031608	0.0017063	0.0079435	-0.001949
0.45	0.0083153	-0.002091	0.0033794	0.0012644	0.0083153	-0.002091
0.475	0.0086381	-0.002333	0.0035444	0.0007497	0.0086381	-0.002333
0.5	0.0088763	-0.002662	0.0036197	0.0001702	0.0088763	-0.002662

3素子

r	Y00 Real	Y00 Imag	Y01 Real	Y01 Imag	Y11 Real	Y11 Imag	Y12 Real	Y12 Imag
0.1	0.0003823	-0.016288	0.0006936	0.0097044	0.0040107	-0.009492	0.0005031	-0.000409
0.125	0.0006289	-0.0121	0.0008961	0.0077973	0.0042303	-0.007456	0.0004469	-0.000346
0.15	0.0009334	-0.009254	0.0010902	0.0065688	0.0044642	-0.006096	0.000403	-0.000336
0.175	0.0013038	-0.007137	0.001284	0.0057025	0.0047068	-0.005112	0.0003636	-0.000349
0.2	0.0017474	-0.005471	0.0014811	0.0050479	0.0049572	-0.004361	0.0003239	-0.000376
0.225	0.0022688	-0.004119	0.0016828	0.0045227	0.0052167	-0.003766	0.0002807	-0.000411
0.25	0.0028697	-0.003008	0.0018888	0.0040773	0.0054872	-0.003283	0.0002306	-0.000451
0.275	0.0035471	-0.002103	0.0020975	0.0036793	0.0057715	-0.002885	0.0001704	-0.000494
0.3	0.0042927	-0.00139	0.0023063	0.0033064	0.0060727	-0.002556	9.613E-05	-0.000538
0.325	0.0050918	-0.000864	0.002511	0.0029425	0.0063941	-0.002289	3.933E-06	-0.000578
0.35	0.0059229	-0.000527	0.0027066	0.0025761	0.0067389	-0.00208	-0.00011	-0.000609
0.375	0.0067584	-0.00038	0.0028868	0.0021992	0.0071094	-0.001935	-0.00025	-0.00062
0.4	0.0075654	-0.000419	0.0030448	0.0018064	0.0075052	-0.001864	-0.000416	-0.000598
0.425	0.0083083	-0.000636	0.0031731	0.0013953	0.0079192	-0.001882	-0.000602	-0.000524
0.45	0.008951	-0.00101	0.003264	0.0009656	0.008332	-0.002011	-0.000791	-0.000376
0.475	0.0094599	-0.001516	0.0033096	0.0005194	0.0087051	-0.002268	-0.000948	-0.000137
0.5	0.0098078	-0.002117	0.0033021	6.093E-05	0.0089798	-0.002648	-0.001017	0.0001893

4素子

r	Y00 Real	Y00 Imag	Y01 Real	Y01 Imag	Y11 Real	Y11 Imag	Y12 Real	Y12 Imag
0.1	3.591E-05	-0.020224	-0.000139	0.0081021	0.0037708	-0.00959	0.0004097	0.0009979
0.125	3.855E-05	-0.01535	1.897E-05	0.0066314	0.0040076	-0.007497	0.0004092	0.0008393
0.15	7.765E-05	-0.012066	0.0001688	0.0057239	0.0042615	-0.006084	0.0004238	0.0007244
0.175	0.0001525	-0.009614	0.0003248	0.0051267	0.0045281	-0.005053	0.0004495	0.0006369
0.2	0.0002711	-0.007633	0.0004978	0.0047204	0.0048084	-0.00426	0.0004857	0.0005659
0.225	0.0004487	-0.005931	0.0006979	0.0044398	0.0051054	-0.003628	0.0005327	0.0005031
0.25	0.0007093	-0.004392	0.0009368	0.0042435	0.0054231	-0.003115	0.0005917	0.0004409
0.275	0.0010888	-0.002948	0.001228	0.0040999	0.0057657	-0.002697	0.0006637	0.0003714
0.3	0.001638	-0.001563	0.0015872	0.0039778	0.006137	-0.002366	0.0007484	0.0002844
0.325	0.0024239	-0.000241	0.0020287	0.0038388	0.0065374	-0.002121	0.0008425	0.0001668
0.35	0.0035232	0.0009618	0.002559	0.0036304	0.0069611	-0.001973	0.0009353	2.844E-06
0.375	0.0049935	0.0019132	0.0031602	0.0032837	0.0073895	-0.001936	0.0010035	-0.000223
0.4	0.0068074	0.0023997	0.0037669	0.0027269	0.0077874	-0.002015	0.0010072	-0.000513
0.425	0.0087669	0.0021938	0.0042542	0.0019282	0.0081092	-0.002192	0.0008968	-0.000843
0.45	0.010492	0.0012195	0.0044753	0.0009531	0.0083246	-0.002419	0.0006407	-0.001148
0.475	0.011596	-0.000306	0.0043555	-3.35E-05	0.0084481	-0.002632	0.0002579	-0.001345
0.5	0.011936	-0.001963	0.003951	-0.00086	0.0085326	-0.002807	-0.000184	-0.001382

5素子

r	Y00 Real	Y00 Imag	Y01 Real	Y01 Imag	Y11 Real	Y11 Imag	Y12 Real	Y12 Imag
0.1	0.0001775	-0.022013	-0.000395	0.006585	0.0028992	-0.011011	0.0008699	0.0036202
0.125	0.0001146	-0.016872	-0.00029	0.0054076	0.0031617	-0.008469	0.0008617	0.0028235
0.15	8.827E-05	-0.013447	-0.000199	0.0046845	0.0034426	-0.00675	0.0008571	0.0023057
0.175	8.705E-05	-0.010927	-0.000112	0.0042154	0.0037369	-0.005492	0.0008568	0.0019477
0.2	0.0001082	-0.008931	-1.96E-05	0.0039075	0.0040442	-0.004519	0.0008636	0.0016917
0.225	0.0001534	-0.007248	8.263E-05	0.0037131	0.0043667	-0.003732	0.0008808	0.0015056
0.25	0.0002289	-0.005751	0.0002023	0.0036059	0.0047093	-0.003076	0.0009124	0.0013697
0.275	0.0003459	-0.004352	0.0003488	0.0035717	0.0050795	-0.002516	0.0009634	0.0012712
0.3	0.0005245	-0.002982	0.0005364	0.0036033	0.0054874	-0.00203	0.0010405	0.0012002
0.325	0.0008	-0.001579	0.0007867	0.0036971	0.0059475	-0.001608	0.0011533	0.0011478
0.35	0.0012363	-8.19E-05	0.0011351	0.0038493	0.0064791	-0.001251	0.0013167	0.0011026
0.375	0.0019515	0.0015653	0.0016399	0.0040465	0.0071083	-0.000977	0.0015521	0.0010447
0.4	0.003168	0.0033854	0.002396	0.0042415	0.0078661	-0.000833	0.0018888	0.0009323
0.425	0.0052829	0.0052468	0.0035384	0.0042863	0.0087719	-0.000922	0.0023501	0.0006732
0.45	0.0088248	0.0065059	0.005145	0.0037924	0.0097564	-0.001442	0.0028827	8.747E-05
0.475	0.013637	0.0055197	0.006789	0.0021057	0.010463	-0.002587	0.0031642	-0.001005
0.5	0.017117	0.0010798	0.0071198	-0.00071	0.01029	-0.004026	0.002644	-0.002282

r	Y13 Real	Y13 Imag
0.1	-0.000608	-0.001929
0.125	-0.000622	-0.001358
0.15	-0.000619	-0.00099
0.175	-0.000606	-0.00073
0.2	-0.000589	-0.000533
0.225	-0.000569	-0.000377
0.25	-0.000547	-0.000244
0.275	-0.000522	-0.000125
0.3	-0.000489	-1.17E-05
0.325	-0.000443	0.0001025
0.35	-0.00037	0.0002204
0.375	-0.000251	0.000338
0.4	-5.47E-05	0.0004327
0.425	0.0002509	0.0004355
0.45	0.0006331	0.0001923
0.475	0.0008104	-0.000456
0.5	0.0002926	-0.001189

6素子

r	Y00 Real	Y00 Imag	Y01 Real	Y01 Imag	Y11 Real	Y11 Imag	Y12 Real	Y12 Imag
0.1	0.00031	-0.022919	-0.000445	0.0054605	0.0021678	-0.013258	0.0009421	0.0058194
0.125	0.0002238	-0.01765	-0.00037	0.0044881	0.0024113	-0.010145	0.0009463	0.0045383
0.15	0.0001772	-0.014153	-0.00031	0.0038885	0.0026726	-0.008056	0.0009479	0.0037158
0.175	0.0001555	-0.011599	-0.000255	0.0034976	0.0029462	-0.006534	0.0009485	0.0031497
0.2	0.0001534	-0.009595	-0.0002	0.0032395	0.0032302	-0.005357	0.0009512	0.0027449
0.225	0.0001695	-0.007927	-0.000143	0.0030751	0.0035247	-0.004407	0.0009597	0.0024504
0.25	0.0002052	-0.00647	-7.89E-05	0.0029834	0.003832	-0.003609	0.0009775	0.0022365
0.275	0.0002641	-0.005136	-4.69E-06	0.0029535	0.0041567	-0.002917	0.0010088	0.0020847
0.3	0.0003534	-0.003862	8.577E-05	0.0029815	0.0045061	-0.002299	0.0010587	0.0019835
0.325	0.0004852	-0.002591	0.0002013	0.0030691	0.0048913	-0.001732	0.001134	0.0019258
0.35	0.0006809	-0.001265	0.0003561	0.0032235	0.0053286	-0.001197	0.001245	0.0019078
0.375	0.0009799	0.0001825	0.0005743	0.0034586	0.0058432	-0.000683	0.0014077	0.0019275
0.4	0.0014587	0.001844	0.0009008	0.003796	0.0064753	-0.000186	0.00165	0.0019832
0.425	0.0022805	0.0038509	0.001424	0.0042653	0.007292	0.0002871	0.0020216	0.0020681
0.45	0.0038262	0.0063776	0.0023353	0.004886	0.008411	0.0006854	0.0026184	0.0021511
0.475	0.0070662	0.00949	0.0040712	0.0055484	0.010038	0.0008263	0.0036255	0.0020972
0.5	0.014288	0.011859	0.0074561	0.0053433	0.012393	4.683E-05	0.0052736	0.0013422

r	Y13 Real	Y13 Imag
0.1	-0.0003	-0.001385
0.125	-0.000321	-0.001003
0.15	-0.000332	-0.00076
0.175	-0.000337	-0.000591
0.2	-0.000339	-0.000466
0.225	-0.000341	-0.000368
0.25	-0.000343	-0.000287
0.275	-0.000347	-0.000217
0.3	-0.000352	-0.000151
0.325	-0.000359	-8.37E-05
0.35	-0.000366	-9.18E-06
0.375	-0.000368	8.133E-05
0.4	-0.000355	0.0001998
0.425	-0.000301	0.0003623
0.45	-0.000143	0.0005821
0.475	0.0002776	0.0008137
0.5	0.001213	0.0006619

7素子

r	Y00 Real	Y00 Imag	Y01 Real	Y01 Imag	Y11 Real	Y11 Imag	Y12 Real	Y12 Imag
0.1	0.0004001	-0.023423	-0.000431	0.0046336	0.001639	-0.01596	0.0008828	0.0078697
0.125	0.0003053	-0.018088	-0.000375	0.0038098	0.0018488	-0.012204	0.0009109	0.006142
0.15	0.0002513	-0.014553	-0.000332	0.0032998	0.0020744	-0.009713	0.0009348	0.0050423
0.175	0.0002227	-0.01198	-0.000294	0.0029655	0.0023118	-0.007911	0.0009544	0.0042831
0.2	0.0002133	-0.009969	-0.000258	0.0027427	0.0025588	-0.006527	0.0009707	0.0037326
0.225	0.000221	-0.008309	-0.000221	0.0025983	0.0028152	-0.005414	0.0009855	0.0033223
0.25	0.0002459	-0.00687	-0.000182	0.0025143	0.0030816	-0.004484	0.001001	0.0030135
0.275	0.0002901	-0.005569	-0.000139	0.0024813	0.0033599	-0.003683	0.0010202	0.0027833
0.3	0.0003574	-0.004344	-8.78E-05	0.0024953	0.0036536	-0.002972	0.0010467	0.0026177
0.325	0.0004548	-0.003146	-2.53E-05	0.002557	0.003968	-0.002321	0.0010853	0.0025086
0.35	0.0005936	-0.001926	5.49E-05	0.0026716	0.0043111	-0.001709	0.0011425	0.0024525
0.375	0.0007929	-0.000631	0.0001632	0.0028499	0.0046956	-0.001114	0.0012277	0.0024495
0.4	0.0010875	0.0008065	0.0003173	0.0031106	0.0051421	-0.000516	0.0013556	0.002504
0.425	0.0015434	0.0024857	0.0005506	0.0034855	0.0056853	0.0001078	0.0015517	0.0026256
0.45	0.0023015	0.0045655	0.0009318	0.0040279	0.0063884	0.0007811	0.0018632	0.00283
0.475	0.0036996	0.0073141	0.0016204	0.0048254	0.0073768	0.0015275	0.0023887	0.003138
0.5	0.0066923	0.01115	0.0030465	0.0059896	0.0089322	0.0023308	0.0033626	0.003548

r	Y13 Real	Y13 Imag	Y14 Real	Y14 Imag
0.1	-7.19E-05	-0.001244	-0.000291	-0.000766
0.125	-0.000124	-0.00093	-0.000268	-0.000531
0.15	-0.000171	-0.000739	-0.000233	-0.000377
0.175	-0.000215	-0.000602	-0.000194	-0.000276
0.2	-0.000253	-0.000493	-0.000156	-0.000212
0.225	-0.000285	-0.0004	-0.000124	-0.000174
0.25	-0.000311	-0.000315	-0.000101	-0.000154
0.275	-0.000331	-0.000236	-8.61E-05	-0.000147
0.3	-0.000345	-0.00016	-8.12E-05	-0.000147
0.325	-0.000354	-8.5E-05	-8.62E-05	-0.000151
0.35	-0.000359	-6.9E-06	-0.000101	-0.000156
0.375	-0.000359	7.847E-05	-0.000127	-0.000157
0.4	-0.000351	0.0001782	-0.000164	-0.000149
0.425	-0.000329	0.0003036	-0.000213	-0.000124
0.45	-0.000275	0.0004738	-0.000267	-6.27E-05
0.475	-0.000143	0.0007208	-0.000305	6.82E-05
0.5	0.000212	0.0010835	-0.000226	0.0003247

8素子

r	Y00 Real	Y00 Imag	Y01 Real	Y01 Imag	Y11 Real	Y11 Imag	Y12 Real	Y12 Imag
0.1	0.0004583	-0.023724	-0.0004	0.0040108	0.0012643	-0.018943	0.0007852	0.0098523
0.125	0.0003608	-0.018353	-0.000356	0.0032982	0.0014408	-0.014482	0.0008307	0.0076728
0.15	0.0003045	-0.014797	-0.000323	0.0028558	0.0016312	-0.01156	0.0008727	0.0063022
0.175	0.0002737	-0.012212	-0.000295	0.0025644	0.001832	-0.009467	0.00091	0.0053595
0.2	0.0002621	-0.010198	-0.000269	0.0023688	0.0020418	-0.007872	0.0009422	0.0046732
0.225	0.0002672	-0.008541	-0.000244	0.0022404	0.0022601	-0.006598	0.0009695	0.0041554
0.25	0.000289	-0.007112	-0.000218	0.0021633	0.0024871	-0.005542	0.000993	0.0037571
0.275	0.0003288	-0.005829	-0.000189	0.002129	0.0027239	-0.004638	0.0010142	0.0034495
0.3	0.0003897	-0.004632	-0.000157	0.0021339	0.002972	-0.003843	0.0010355	0.0032151
0.325	0.0004769	-0.003473	-0.000118	0.0021776	0.0032339	-0.003125	0.00106	0.0030435
0.35	0.0005988	-0.00231	-7.02E-05	0.0022635	0.0035134	-0.002458	0.0010919	0.0029294
0.375	0.0007688	-0.001099	-6.89E-06	0.0023992	0.0038167	-0.001822	0.0011369	0.0028715
0.4	0.0010099	0.0002147	8.051E-05	0.0025977	0.0041534	-0.001194	0.0012032	0.0028724
0.425	0.0013627	0.0017049	0.0002082	0.0028816	0.0045399	-0.000551	0.0013038	0.0029404
0.45	0.001906	0.0034845	0.0004075	0.0032886	0.0050052	0.0001356	0.0014612	0.0030915
0.475	0.0028085	0.0057423	0.0007452	0.0038857	0.005604	0.0009074	0.0017188	0.0033543
0.5	0.0044865	0.0088153	0.0013853	0.0047935	0.0064535	0.0018245	0.0021727	0.0037782

r	Y13 Real	Y13 Imag	Y14 Real	Y14 Imag
0.1	6.516E-05	-0.001187	-0.00019	-0.000601
0.125	7.487E-06	-0.000886	-0.000184	-0.000432
0.15	-5.12E-05	-0.000715	-0.000169	-0.000318
0.175	-0.000109	-0.000598	-0.00015	-0.000239
0.2	-0.000162	-0.000505	-0.00013	-0.000185
0.225	-0.000209	-0.000423	-0.000112	-0.000148
0.25	-0.00025	-0.000346	-9.69E-05	-0.000124
0.275	-0.000284	-0.000271	-8.58E-05	-0.000109
0.3	-0.000311	-0.000197	-7.92E-05	-0.0001
0.325	-0.000331	-0.000122	-7.72E-05	-9.55E-05
0.35	-0.000346	-4.33E-05	-8.02E-05	-9.26E-05
0.375	-0.000355	4.176E-05	-8.85E-05	-8.96E-05
0.4	-0.000357	0.0001384	-0.000103	-8.41E-05
0.425	-0.000349	0.0002545	-0.000123	-7.18E-05
0.45	-0.000324	0.0004036	-0.00015	-4.53E-05
0.475	-0.000262	0.000609	-0.000178	1.095E-05
0.5	-0.000112	0.0009136	-0.000187	0.0001304

9素子

r	Y00 Real	Y00 Imag	Y01 Real	Y01 Imag	Y11 Real	Y11 Imag	Y12 Real	Y12 Imag
0.1	0.0004956	-0.023913	-0.000366	0.0035289	0.0009958	-0.022135	0.0006835	0.011826
0.125	0.0003981	-0.018522	-0.00033	0.0029021	0.0011437	-0.016902	0.0007378	0.0091671
0.15	0.0003416	-0.014955	-0.000304	0.0025121	0.0013036	-0.013521	0.0007903	0.0075178
0.175	0.0003105	-0.012363	-0.000282	0.0022543	0.001473	-0.011123	0.0008389	0.0063923
0.2	0.0002985	-0.010347	-0.000263	0.0020804	0.0016503	-0.009311	0.0008828	0.0055752
0.225	0.0003032	-0.008692	-0.000244	0.001965	0.0018352	-0.007875	0.0009214	0.0049571
0.25	0.0003243	-0.007269	-0.000225	0.0018942	0.0020277	-0.006693	0.000955	0.0044773
0.275	0.0003631	-0.005997	-0.000205	0.0018604	0.0022284	-0.00569	0.0009842	0.0040998
0.3	0.0004222	-0.004816	-0.000183	0.0018598	0.0024382	-0.004815	0.0010102	0.0038028
0.325	0.0005063	-0.003681	-0.000157	0.0018919	0.0026583	-0.004033	0.0010348	0.0035727
0.35	0.0006225	-0.002553	-0.000125	0.0019589	0.0028909	-0.003317	0.0010605	0.003402
0.375	0.0007823	-0.001391	-8.31E-05	0.0020662	0.003139	-0.002644	0.0010908	0.0032871
0.4	0.0010041	-0.000149	-2.66E-05	0.0022234	0.0034077	-0.001994	0.0011303	0.0032288
0.425	0.0013194	0.0012333	5.451E-05	0.0024468	0.0037055	-0.001345	0.0011865	0.0032323
0.45	0.0017857	0.0028426	0.0001782	0.0027634	0.0040465	-0.000674	0.0012717	0.0033091
0.475	0.0025176	0.004819	0.0003811	0.0032199	0.0044576	5.509E-05	0.0014079	0.0034808
0.5	0.0037707	0.0074039	0.0007463	0.0039012	0.004993	0.0008931	0.0016411	0.0037866

r	Y13 Real	Y13 Imag	Y14 Real	Y14 Imag	Y15 Real	Y15 Imag
0.1	0.0001469	-0.001186	-0.000114	-0.000527	-0.000151	-0.000417
0.125	9.882E-05	-0.000855	-0.000132	-0.000407	-0.000129	-0.000282
0.15	4.651E-05	-0.000684	-0.000144	-0.000318	-0.000101	-0.000199
0.175	-7.76E-06	-0.000577	-0.00015	-0.000247	-7.15E-05	-0.000149
0.2	-6.18E-05	-0.000499	-0.00015	-0.00019	-4.6E-05	-0.000122
0.225	-0.000114	-0.000433	-0.000146	-0.000142	-2.7E-05	-0.00011
0.25	-0.000163	-0.000371	-0.000139	-0.000103	-1.57E-05	-0.000109
0.275	-0.000207	-0.00031	-0.000128	-7.15E-05	-1.2E-05	-0.000113
0.3	-0.000247	-0.000246	-0.000117	-4.69E-05	-1.51E-05	-0.000119
0.325	-0.000282	-0.000179	-0.000105	-2.83E-05	-2.39E-05	-0.000125
0.35	-0.000311	-0.000105	-9.48E-05	-1.44E-05	-3.72E-05	-0.000129
0.375	-0.000334	-2.32E-05	-8.75E-05	-3.47E-06	-5.41E-05	-0.000132
0.4	-0.00035	7.031E-05	-8.41E-05	7.003E-06	-7.41E-05	-0.000131
0.425	-0.000357	0.0001811	-8.52E-05	2.059E-05	-9.75E-05	-0.000126
0.45	-0.000351	0.0003186	-9.06E-05	4.305E-05	-0.000125	-0.000114
0.475	-0.000322	0.0004993	-9.81E-05	8.467E-05	-0.000156	-8.96E-05
0.5	-0.000245	0.0007537	-9.76E-05	0.0001658	-0.000188	-3.71E-05

計算値結果のデータ

	記号	単位	値
素子長	L	λ_0	0.5
素子半径	a	λ_0	10^{-4}
分割数	N	—	15
素子間隔	r	λ_0	0.1~0.5
無給電素子数	M	本	1~8

素子半径: $10^{-4}[\lambda_0]$

2素子

r	Y00 Real	Y00 Imag	Y01 Real	Y01 Imag	Y11 Real	Y11 Imag
0.1	0.0049125	-0.013317	0.0009829	0.011509	0.0049125	-0.013317
0.125	0.0051549	-0.010854	0.0010829	0.0092217	0.0051549	-0.010854
0.15	0.0054029	-0.009175	0.0011892	0.0077196	0.0054029	-0.009175
0.175	0.0056587	-0.007944	0.0013045	0.006664	0.0056587	-0.007944
0.2	0.0059253	-0.006993	0.0014314	0.0058851	0.0059253	-0.006993
0.225	0.0062057	-0.006231	0.0015724	0.0052877	0.0062057	-0.006231
0.25	0.0065033	-0.005605	0.0017305	0.0048133	0.0065033	-0.005605
0.275	0.0068216	-0.005083	0.0019084	0.0044227	0.0068216	-0.005083
0.3	0.0071639	-0.004646	0.0021092	0.0040872	0.0071639	-0.004646
0.325	0.0075336	-0.004285	0.0023355	0.0037837	0.0075336	-0.004285
0.35	0.0079329	-0.003998	0.0025891	0.0034914	0.0079329	-0.003998
0.375	0.0083623	-0.003787	0.0028698	0.0031896	0.0083623	-0.003787
0.4	0.0088184	-0.003662	0.0031737	0.0028568	0.0088184	-0.003662
0.425	0.009292	-0.003635	0.0034908	0.0024706	0.009292	-0.003635
0.45	0.0097644	-0.003722	0.0038018	0.0020091	0.0097644	-0.003722
0.475	0.010205	-0.003932	0.0040759	0.0014562	0.010205	-0.003932
0.5	0.010574	-0.004264	0.0042705	0.0008083	0.010574	-0.004264

3素子

r	Y00 Real	Y00 Imag	Y01 Real	Y01 Imag	Y11 Real	Y11 Imag	Y12 Real	Y12 Imag
0.1	0.0004422	-0.021943	0.0007723	0.011951	0.0049411	-0.013317	0.0004472	-0.000439
0.125	0.0007072	-0.016917	0.0009688	0.009664	0.0051823	-0.010863	0.0004094	-0.000445
0.15	0.0010424	-0.013415	0.0011663	0.0081491	0.0054279	-0.009193	0.0003732	-0.000459
0.175	0.0014543	-0.010781	0.0013678	0.0070671	0.0056796	-0.007969	0.0003357	-0.00048
0.2	0.0019486	-0.008698	0.0015749	0.0062478	0.0059398	-0.007025	0.000295	-0.000506
0.225	0.002529	-0.007001	0.0017881	0.0055959	0.0062114	-0.006269	0.0002488	-0.000538
0.25	0.0031965	-0.0056	0.0020074	0.0050525	0.0064977	-0.005645	0.0001946	-0.000573
0.275	0.0039484	-0.004444	0.0022318	0.004579	0.0068025	-0.005123	0.0001295	-0.000611
0.3	0.0047775	-0.00351	0.0024598	0.0041484	0.0071302	-0.004681	4.991E-05	-0.00065
0.325	0.0056713	-0.002788	0.0026887	0.003741	0.0074856	-0.004308	-4.85E-05	-0.000687
0.35	0.0066115	-0.002273	0.0029152	0.0033417	0.0078738	-0.004001	-0.00017	-0.000715
0.375	0.0075742	-0.001967	0.0031348	0.002939	0.0082993	-0.003764	-0.00032	-0.000725
0.4	0.0085297	-0.001869	0.0033421	0.0025236	0.0087647	-0.003607	-0.0005	-0.000703
0.425	0.0094441	-0.001975	0.0035302	0.0020884	0.0092661	-0.003551	-0.000708	-0.000629
0.45	0.01028	-0.002275	0.0036913	0.0016283	0.009787	-0.003622	-0.000929	-0.000476
0.475	0.010998	-0.00275	0.0038155	0.0011401	0.010289	-0.003849	-0.001127	-0.000218
0.5	0.011561	-0.003374	0.0038919	0.0006234	0.010705	-0.004241	-0.001242	0.0001519

4素子

r	Y00 Real	Y00 Imag	Y01 Real	Y01 Imag	Y11 Real	Y11 Imag	Y12 Real	Y12 Imag
0.1	4.648E-05	-0.026775	-0.000191	0.0099173	0.004702	-0.013472	0.0003578	0.0012788
0.125	4.701E-05	-0.020997	-5.34E-05	0.0081711	0.0049634	-0.010929	0.0003775	0.0010179
0.15	7.836E-05	-0.016991	9.1E-05	0.0070544	0.0052316	-0.009194	0.0004038	0.0008477
0.175	0.0001453	-0.013961	0.0002494	0.0063007	0.0055093	-0.007918	0.0004368	0.0007279
0.2	0.0002579	-0.011508	0.000429	0.005777	0.0058001	-0.006931	0.0004773	0.0006373
0.225	0.0004319	-0.009408	0.0006384	0.0054086	0.0061086	-0.006138	0.000527	0.0005629
0.25	0.0006917	-0.007523	0.0008882	0.0051478	0.0064397	-0.005487	0.0005874	0.0004949
0.275	0.0010725	-0.005768	0.0011913	0.0049594	0.0067987	-0.004947	0.0006602	0.0004242
0.3	0.0016245	-0.004092	0.0015636	0.0048113	0.0071904	-0.004501	0.0007461	0.000341
0.325	0.0024152	-0.002483	0.0020215	0.0046665	0.0076181	-0.004147	0.0008438	0.0002328
0.35	0.0035268	-0.000976	0.0025772	0.0044762	0.0080802	-0.003892	0.0009462	8.415E-05
0.375	0.0050369	0.0003212	0.0032262	0.0041743	0.0085659	-0.003747	0.0010364	-0.000122
0.4	0.0069687	0.0012129	0.0039273	0.0036822	0.0090493	-0.003726	0.0010823	-0.000397
0.425	0.0092058	0.0014426	0.0045804	0.0029365	0.0094887	-0.00383	0.001036	-0.000732
0.45	0.011426	0.0008169	0.0050346	0.0019439	0.009841	-0.004028	0.0008503	-0.001084
0.475	0.013178	-0.000609	0.0051556	0.000822	0.010091	-0.004264	0.0005104	-0.001374
0.5	0.014129	-0.002479	0.0049173	-0.000241	0.010267	-0.004492	5.671E-05	-0.001524

5素子

r	Y00 Real	Y00 Imag	Y01 Real	Y01 Imag	Y11 Real	Y11 Imag	Y12 Real	Y12 Imag
0.1	0.0002183	-0.028931	-0.000479	0.0080471	0.0036204	-0.015307	0.0010022	0.0045638
0.125	0.0001665	-0.022852	-0.000398	0.0066463	0.00392	-0.012195	0.0009882	0.0035324
0.15	0.0001383	-0.01868	-0.000318	0.0057534	0.0042307	-0.010069	0.0009725	0.0028571
0.175	0.0001306	-0.015568	-0.000235	0.005157	0.0045513	-0.008507	0.0009601	0.0023907
0.2	0.0001438	-0.013092	-0.000144	0.0047534	0.0048829	-0.007296	0.0009552	0.0020584
0.225	0.0001808	-0.011014	-4.08E-05	0.0044867	0.0052288	-0.006317	0.0009619	0.0018179
0.25	0.0002473	-0.009182	7.932E-05	0.0043253	0.0055946	-0.005499	0.000984	0.0016433
0.275	0.0003537	-0.007493	0.0002252	0.0042515	0.0059882	-0.004797	0.0010261	0.0015178
0.3	0.0005174	-0.005866	0.0004091	0.0042559	0.0064203	-0.004184	0.0010943	0.0014293
0.325	0.0007689	-0.004231	0.0006503	0.0043348	0.0069057	-0.003643	0.0011974	0.0013685
0.35	0.0011617	-0.002517	0.0009797	0.0044866	0.0074642	-0.00317	0.0013486	0.0013253
0.375	0.0017939	-0.000656	0.0014484	0.0047061	0.0081227	-0.002773	0.0015684	0.0012849
0.4	0.0028497	0.0014126	0.0021415	0.0049692	0.0089161	-0.002486	0.0018869	0.0012179
0.425	0.004673	0.0036689	0.0031951	0.005189	0.0098813	-0.002387	0.0023421	0.0010587
0.45	0.0078392	0.0057801	0.0047767	0.0051024	0.01102	-0.002643	0.0029481	0.0006626
0.475	0.01287	0.0065179	0.0068462	0.0040886	0.012152	-0.003525	0.0035584	-0.00022
0.5	0.018571	0.0036303	0.0084419	0.0014586	0.012675	-0.005125	0.0036307	-0.001677

r	Y13 Real	Y13 Imag
0.1	-0.000873	-0.002429
0.125	-0.000853	-0.001777
0.15	-0.000824	-0.001336
0.175	-0.000793	-0.001018
0.2	-0.000762	-0.000777
0.225	-0.000734	-0.000586
0.25	-0.000708	-0.000426
0.275	-0.000685	-0.000286
0.3	-0.00066	-0.000154
0.325	-0.000628	-2.19E-05
0.35	-0.00058	0.000117
0.375	-0.000497	0.0002662
0.4	-0.000349	0.000418
0.425	-9.27E-05	0.0005343
0.45	0.0003042	0.0005027
0.475	0.000736	0.0001053
0.5	0.0007287	-0.000732

6素子

r	Y00 Real	Y00 Imag	Y01 Real	Y01 Imag	Y11 Real	Y11 Imag	Y12 Real	Y12 Imag
0.1	0.0003764	-0.030031	-0.000536	0.006679	0.0027183	-0.018112	0.0011288	0.0072576
0.125	0.0003082	-0.023794	-0.000482	0.005516	0.0029996	-0.014326	0.0011179	0.0056706
0.15	0.0002641	-0.019531	-0.000431	0.0047722	0.0032944	-0.011745	0.0011004	0.0046272
0.175	0.0002395	-0.016371	-0.00038	0.0042731	0.0035987	-0.009853	0.0010816	0.0039011
0.2	0.0002329	-0.013879	-0.000327	0.0039331	0.0039108	-0.008389	0.0010663	0.0033791
0.225	0.0002443	-0.011812	-0.000271	0.0037061	0.0042312	-0.007207	0.0010586	0.002998
0.25	0.0002757	-0.010018	-0.000207	0.0035662	0.0045623	-0.006217	0.0010621	0.0027196
0.275	0.0003307	-0.008396	-0.000135	0.0034992	0.0049091	-0.005362	0.0010808	0.0025201
0.3	0.0004152	-0.006871	-4.77E-05	0.0034988	0.005279	-0.004599	0.0011189	0.0023842
0.325	0.0005394	-0.00538	6.091E-05	0.0035647	0.0056829	-0.003899	0.0011825	0.0023024
0.35	0.0007204	-0.003861	0.0002025	0.0037029	0.006137	-0.003239	0.0012804	0.0022696
0.375	0.0009884	-0.002247	0.0003961	0.003926	0.0066652	-0.002603	0.0014265	0.0022836
0.4	0.0014	-0.000447	0.0006757	0.0042557	0.0073052	-0.001977	0.0016438	0.0023446
0.425	0.0020695	0.0016634	0.0011057	0.0047258	0.0081179	-0.001359	0.0019731	0.0024523
0.45	0.0032493	0.0042709	0.0018202	0.005381	0.0092075	-0.000772	0.0024903	0.0025975
0.475	0.0055609	0.0076149	0.0031233	0.0062442	0.010759	-0.000311	0.0033464	0.0027272
0.5	0.010658	0.01162	0.0057372	0.0070689	0.013084	-0.000331	0.004836	0.0025907

r	Y13 Real	Y13 Imag
0.1	-0.000446	-0.001702
0.125	-0.000446	-0.001284
0.15	-0.000441	-0.001004
0.175	-0.000435	-0.000803
0.2	-0.000429	-0.000652
0.225	-0.000426	-0.000535
0.25	-0.000426	-0.00044
0.275	-0.00043	-0.000359
0.3	-0.000439	-0.000287
0.325	-0.000453	-0.000218
0.35	-0.000473	-0.000145
0.375	-0.000498	-5.88E-05
0.4	-0.000523	5.233E-05
0.425	-0.000537	0.0002086
0.45	-0.000503	0.0004406
0.475	-0.000321	0.0007806
0.5	0.0002824	0.0011555

7素子

r	Y00 Real	Y00 Imag	Y01 Real	Y01 Imag	Y11 Real	Y11 Imag	Y12 Real	Y12 Imag
0.1	0.0004876	-0.030659	-0.000522	0.0056783	0.0020666	-0.021389	0.0010811	0.0097041
0.125	0.0004126	-0.02433	-0.000482	0.0046878	0.0023094	-0.016895	0.0010985	0.0076481
0.15	0.0003629	-0.020013	-0.000447	0.0040522	0.0025655	-0.013842	0.001108	0.0062882
0.175	0.0003328	-0.016823	-0.000412	0.0036238	0.0028317	-0.011609	0.0011116	0.0053284
0.2	0.0003205	-0.014318	-0.000377	0.0033296	0.0031062	-0.009886	0.0011115	0.0046233
0.225	0.0003254	-0.012252	-0.000341	0.0031305	0.0033886	-0.0085	0.0011099	0.004093
0.25	0.0003487	-0.010473	-0.000302	0.0030039	0.0036795	-0.007345	0.0011094	0.0036906
0.275	0.0003925	-0.008881	-0.000259	0.0029375	0.0039809	-0.006354	0.0011128	0.0033874
0.3	0.0004604	-0.007405	-0.00021	0.0029252	0.0042956	-0.005478	0.0011236	0.0031651
0.325	0.0005587	-0.005985	-0.000151	0.0029657	0.0046287	-0.004682	0.0011463	0.0030128
0.35	0.0006968	-0.00457	-7.76E-05	0.0030627	0.0049876	-0.003937	0.0011866	0.0029244
0.375	0.0008903	-0.003107	1.817E-05	0.0032249	0.0053838	-0.003218	0.0012526	0.0028987
0.4	0.0011657	-0.001529	0.0001496	0.0034684	0.0058355	-0.002502	0.0013567	0.0029389
0.425	0.0015713	0.00025	0.0003402	0.0038207	0.0063728	-0.00176	0.0015191	0.0030542
0.45	0.0022015	0.0023658	0.0006355	0.0043281	0.0070478	-0.000963	0.001776	0.0032616
0.475	0.0032633	0.0050419	0.0011334	0.0050707	0.0079591	-7.42E-05	0.0021983	0.0035882
0.5	0.0052779	0.0086707	0.0020732	0.006185	0.0093115	0.0009401	0.0029412	0.0040694

r	Y13 Real	Y13 Imag	Y14 Real	Y14 Imag
0.1	-0.000144	-0.00145	-0.00041	-0.000976
0.125	-0.000198	-0.001169	-0.000349	-0.000668
0.15	-0.000252	-0.000972	-0.000283	-0.000472
0.175	-0.000301	-0.000818	-0.000219	-0.000349
0.2	-0.000344	-0.000688	-0.000163	-0.000275
0.225	-0.00038	-0.000573	-0.000118	-0.000234
0.25	-0.000408	-0.000469	-8.5E-05	-0.000217
0.275	-0.000429	-0.000374	-6.54E-05	-0.000215
0.3	-0.000445	-0.000284	-5.86E-05	-0.000224
0.325	-0.000456	-0.000199	-6.46E-05	-0.000238
0.35	-0.000465	-0.000115	-8.36E-05	-0.000256
0.375	-0.000473	-2.68E-05	-0.000117	-0.000275
0.4	-0.000478	7.03E-05	-0.000167	-0.00029
0.425	-0.00048	0.0001865	-0.000238	-0.000297
0.45	-0.000472	0.0003383	-0.000335	-0.000282
0.475	-0.000434	0.0005554	-0.000464	-0.000219
0.5	-0.000307	0.0008941	-0.000608	-4.58E-05

8素子

r	Y00 Real	Y00 Imag	Y01 Real	Y01 Imag	Y11 Real	Y11 Imag	Y12 Real	Y12 Imag
0.1	0.0005636	-0.031047	-0.000487	0.0049258	0.0016043	-0.024897	0.0009763	0.011981
0.125	0.0004856	-0.024662	-0.000457	0.0040649	0.0018086	-0.019676	0.0010172	0.0094934
0.15	0.0004336	-0.020311	-0.00043	0.0035113	0.002025	-0.016145	0.0010512	0.007847
0.175	0.0004016	-0.0171	-0.000405	0.0031367	0.0022509	-0.013572	0.0010782	0.0066783
0.2	0.0003875	-0.014586	-0.000379	0.0028781	0.002485	-0.011593	0.0010985	0.00581
0.225	0.0003907	-0.012518	-0.000354	0.0027011	0.002727	-0.010007	0.0011128	0.0051457
0.25	0.0004119	-0.010746	-0.000327	0.0025862	0.0029772	-0.008692	0.0011222	0.0046291
0.275	0.000453	-0.00917	-0.000299	0.0025222	0.0032363	-0.00757	0.0011285	0.004226
0.3	0.000517	-0.007718	-0.000267	0.0025034	0.0035056	-0.006588	0.0011341	0.0039144
0.325	0.0006089	-0.006336	-0.00023	0.0025278	0.0037871	-0.005706	0.0011423	0.0036808
0.35	0.0007361	-0.004975	-0.000185	0.0025976	0.0040839	-0.004894	0.0011568	0.0035173
0.375	0.0009104	-0.003589	-0.000128	0.0027183	0.0044011	-0.004126	0.0011828	0.0034204
0.4	0.0011507	-0.002127	-5.28E-05	0.0029011	0.0047471	-0.003377	0.0012273	0.0033912
0.425	0.0014888	-0.000519	5.315E-05	0.0031645	0.0051355	-0.00262	0.0013007	0.003436
0.45	0.0019824	0.0013276	0.0002109	0.0035396	0.0055897	-0.001825	0.0014202	0.003569
0.475	0.0027446	0.0035654	0.0004628	0.00408	0.006152	-0.00095	0.0016172	0.0038159
0.5	0.0040251	0.0064527	0.0009027	0.0048817	0.0069061	6.891E-05	0.0019557	0.0042228

r	Y13 Real	Y13 Imag	Y14 Real	Y14 Imag
0.1	4.186E-05	-0.00126	-0.000276	-0.000777
0.125	-2.98E-05	-0.00106	-0.000245	-0.00055
0.15	-0.000104	-0.00092	-0.00021	-0.000402
0.175	-0.000175	-0.000805	-0.000175	-0.000303
0.2	-0.00024	-0.000701	-0.000144	-0.000238
0.225	-0.000297	-0.000604	-0.000116	-0.000196
0.25	-0.000344	-0.00051	-9.44E-05	-0.00017
0.275	-0.000383	-0.000419	-7.86E-05	-0.000156
0.3	-0.000414	-0.000329	-6.89E-05	-0.00015
0.325	-0.000437	-0.000241	-6.53E-05	-0.000149
0.35	-0.000456	-0.000153	-6.79E-05	-0.000153
0.375	-0.000469	-6.08E-05	-7.74E-05	-0.00016
0.4	-0.000479	3.905E-05	-9.48E-05	-0.000167
0.425	-0.000484	0.0001535	-0.000122	-0.000173
0.45	-0.000481	0.0002937	-0.000162	-0.000175
0.475	-0.000461	0.0004781	-0.000218	-0.000163
0.5	-0.0004	0.0007411	-0.000295	-0.000118

9素子

r	Y00 Real	Y00 Imag	Y01 Real	Y01 Imag	Y11 Real	Y11 Imag	Y12 Real	Y12 Imag
0.1	0.000616	-0.031302	-0.000449	0.0043432	0.001272	-0.028527	0.0008596	0.014144
0.125	0.0005368	-0.02488	-0.000425	0.003583	0.0014433	-0.022565	0.0009141	0.011239
0.15	0.0004839	-0.020506	-0.000404	0.0030931	0.0016253	-0.018551	0.0009636	0.0093212
0.175	0.0004513	-0.017282	-0.000384	0.0027609	0.0018159	-0.015637	0.001007	0.0079587
0.2	0.0004368	-0.014761	-0.000364	0.0025306	0.0020141	-0.013405	0.0010437	0.0069426
0.225	0.0004397	-0.012692	-0.000345	0.0023718	0.0022196	-0.011622	0.0010735	0.0061594
0.25	0.0004607	-0.010923	-0.000325	0.0022672	0.0024327	-0.010152	0.0010967	0.0055428
0.275	0.0005015	-0.009356	-0.000305	0.0022067	0.0026537	-0.008904	0.0011142	0.0050517
0.3	0.000565	-0.007918	-0.000282	0.0021849	0.0028833	-0.007819	0.0011273	0.0046604
0.325	0.0006555	-0.006557	-0.000256	0.0021997	0.0031223	-0.006854	0.0011378	0.004352
0.35	0.00078	-0.005228	-0.000226	0.0022523	0.0033724	-0.005976	0.0011481	0.0041162
0.375	0.0009486	-0.003887	-0.000188	0.0023465	0.0036359	-0.005159	0.0011612	0.0039477
0.4	0.0011776	-0.002489	-0.000138	0.0024903	0.003917	-0.004378	0.0011814	0.0038452
0.425	0.0014931	-0.000978	-6.96E-05	0.0026972	0.0042223	-0.00361	0.0012148	0.0038121
0.45	0.0019402	0.0007224	3.087E-05	0.0029892	0.0045633	-0.002829	0.0012709	0.0038579
0.475	0.0026022	0.0027248	0.0001874	0.0034033	0.0049603	-0.001999	0.0013663	0.0040008
0.5	0.0036477	0.0052145	0.0004507	0.0040044	0.0054525	-0.001073	0.0015325	0.004274

r	Y13 Real	Y13 Imag	Y14 Real	Y14 Imag	Y15 Real	Y15 Imag
0.1	0.0001561	-0.001091	-0.000176	-0.000713	-0.000217	-0.000517
0.125	9.202E-05	-0.000937	-0.000185	-0.000539	-0.000169	-0.000345
0.15	2.26E-05	-0.000837	-0.00019	-0.000415	-0.000118	-0.000242
0.175	-4.81E-05	-0.000758	-0.000189	-0.00032	-7.33E-05	-0.000184
0.2	-0.000117	-0.000686	-0.000183	-0.000244	-3.72E-05	-0.000156
0.225	-0.000182	-0.000616	-0.000172	-0.000184	-1.19E-05	-0.000147
0.25	-0.000242	-0.000544	-0.000158	-0.000136	2.187E-06	-0.000149
0.275	-0.000296	-0.000471	-0.00014	-9.98E-05	6.099E-06	-0.000157
0.3	-0.000343	-0.000395	-0.000122	-7.31E-05	1.508E-06	-0.000167
0.325	-0.000385	-0.000314	-0.000105	-5.53E-05	-9.68E-06	-0.000177
0.35	-0.00042	-0.000229	-9.09E-05	-4.49E-05	-2.57E-05	-0.000185
0.375	-0.00045	-0.000137	-8.07E-05	-4E-05	-4.55E-05	-0.000192
0.4	-0.000473	-3.61E-05	-7.61E-05	-3.87E-05	-6.86E-05	-0.000198
0.425	-0.000489	0.000079	-7.85E-05	-3.81E-05	-9.55E-05	-0.000202
0.45	-0.000496	0.0002156	-8.9E-05	-3.45E-05	-0.000128	-0.000206
0.475	-0.00049	0.0003868	-0.000109	-2.15E-05	-0.00017	-0.000207
0.5	-0.000458	0.0006161	-0.000138	1.271E-05	-0.000225	-0.0002

計算値結果のデータ

	記号	単位	値
素子長	L	λ_0	0.5
素子半径	a	λ_0	10^{-6}
分割数	N	—	15
素子間隔	r	λ_0	0.1~0.5
無給電素子数	M	本	1~8

素子半径: $10^{-6}[\lambda_0]$

2素子

r	Y00 Real	Y00 Imag	Y01 Real	Y01 Imag	Y11 Real	Y11 Imag
0.1	0.0050509	-0.013812	0.0009963	0.011789	0.0050509	-0.013812
0.125	0.0052971	-0.011305	0.0010895	0.0094619	0.0052971	-0.011305
0.15	0.0055472	-0.009589	0.0011925	0.0079279	0.0055472	-0.009589
0.175	0.0058047	-0.008327	0.0013066	0.0068475	0.0058047	-0.008327
0.2	0.006073	-0.00735	0.0014336	0.0060494	0.006073	-0.00735
0.225	0.0063555	-0.006566	0.0015758	0.0054373	0.0063555	-0.006566
0.25	0.0066555	-0.00592	0.0017357	0.0049516	0.0066555	-0.00592
0.275	0.0069766	-0.005381	0.0019162	0.0045524	0.0069766	-0.005381
0.3	0.0073226	-0.004929	0.0021202	0.0042105	0.0073226	-0.004929
0.325	0.0076968	-0.004553	0.0023506	0.0039023	0.0076968	-0.004553
0.35	0.0081018	-0.004252	0.0026093	0.0036067	0.0081018	-0.004252
0.375	0.0085382	-0.004028	0.0028964	0.0033027	0.0085382	-0.004028
0.4	0.0090031	-0.003892	0.0032083	0.0029684	0.0090031	-0.003892
0.425	0.0094877	-0.003854	0.0035355	0.0025807	0.0094877	-0.003854
0.45	0.0099736	-0.003932	0.003859	0.0021168	0.0099736	-0.003932
0.475	0.010431	-0.004136	0.0041479	0.0015593	0.010431	-0.004136
0.5	0.010817	-0.004468	0.0043593	0.000903	0.010817	-0.004468

3素子

r	Y00 Real	Y00 Imag	Y01 Real	Y01 Imag	Y11 Real	Y11 Imag	Y12 Real	Y12 Imag
0.1	0.0004564	-0.022665	0.0007936	0.012223	0.0050762	-0.013814	0.0004368	-0.000415
0.125	0.0007229	-0.017559	0.0009854	0.0099097	0.0053226	-0.011316	0.0004028	-0.000445
0.15	0.0010617	-0.013979	0.0011811	0.0083666	0.0055709	-0.009609	0.0003685	-0.00047
0.175	0.0014792	-0.011277	0.0013825	0.0072599	0.0058243	-0.008354	0.0003318	-0.000495
0.2	0.0019807	-0.009138	0.0015903	0.0064201	0.006086	-0.007383	0.0002912	-0.000524
0.225	0.0025696	-0.007393	0.0018048	0.0057512	0.0063593	-0.006604	0.0002447	-0.000555
0.25	0.0032469	-0.00595	0.0020257	0.0051942	0.0066478	-0.005961	0.00019	-0.000591
0.275	0.0040096	-0.004759	0.0022522	0.0047098	0.0069554	-0.005421	0.0001242	-0.000629
0.3	0.0048508	-0.003794	0.0024827	0.0042706	0.0072867	-0.004963	4.364E-05	-0.000667
0.325	0.0057581	-0.003043	0.0027148	0.0038565	0.0076466	-0.004575	-5.58E-05	-0.000704
0.35	0.0067137	-0.002503	0.0029453	0.003452	0.0080405	-0.004254	-0.000179	-0.000731
0.375	0.0076938	-0.002175	0.0031699	0.0030451	0.0084735	-0.004004	-0.00033	-0.000742
0.4	0.0086695	-0.002057	0.0033834	0.0026262	0.0089482	-0.003834	-0.000513	-0.00072
0.425	0.0096069	-0.002147	0.0035793	0.0021876	0.0094614	-0.003767	-0.000724	-0.000646
0.45	0.010469	-0.002435	0.0037495	0.0017235	0.0099971	-0.003829	-0.00095	-0.000492
0.475	0.011216	-0.002904	0.0038842	0.0012302	0.010517	-0.00405	-0.001154	-0.000231
0.5	0.011808	-0.003528	0.0039722	0.0007063	0.010953	-0.004443	-0.001275	0.0001455

4素子

r	Y00 Real	Y00 Imag	Y01 Real	Y01 Imag	Y11 Real	Y11 Imag	Y12 Real	Y12 Imag
0.1	4.527E-05	-0.027604	-0.000187	0.01013	0.0048357	-0.013984	0.0003477	0.001336
0.125	4.795E-05	-0.021748	-5.67E-05	0.0083693	0.0051033	-0.011389	0.0003712	0.0010535
0.15	7.939E-05	-0.01766	8.402E-05	0.007235	0.0053749	-0.009612	0.0004	0.0008713
0.175	0.0001458	-0.014558	0.0002411	0.0064651	0.0056547	-0.008304	0.0004345	0.0007445
0.2	0.0002578	-0.012041	0.0004208	0.005928	0.0059474	-0.00729	0.0004761	0.0006497
0.225	0.0004317	-0.009885	0.0006311	0.0055487	0.0062578	-0.006475	0.0005265	0.0005727
0.25	0.0006917	-0.007952	0.0008823	0.0052795	0.006591	-0.005804	0.0005874	0.0005031
0.275	0.0010733	-0.006151	0.0011874	0.0050849	0.0069524	-0.005246	0.0006605	0.0004317
0.3	0.0016266	-0.004434	0.0015619	0.0049327	0.0073471	-0.004785	0.0007468	0.0003485
0.325	0.0024193	-0.002784	0.0020225	0.0047863	0.0077785	-0.004416	0.0008449	0.0002409
0.35	0.003534	-0.001234	0.0025819	0.0045972	0.0082458	-0.004145	0.0009484	9.367E-05
0.375	0.0050505	0.0001093	0.0032372	0.0042997	0.0087388	-0.003985	0.001041	-0.00011
0.4	0.0069974	0.0010545	0.0039496	0.0038147	0.0092328	-0.003951	0.0010914	-0.000383
0.425	0.0092675	0.0013427	0.0046224	0.0030761	0.0096869	-0.004043	0.0010524	-0.000719
0.45	0.011548	0.0007688	0.0051056	0.0020836	0.010057	-0.004234	0.0008754	-0.001076
0.475	0.013385	-0.000633	0.0052595	0.0009479	0.010325	-0.004471	0.0005422	-0.001376
0.5	0.014424	-0.002521	0.0050475	-0.000143	0.010517	-0.004705	8.889E-05	-0.00154

5素子

r	Y00 Real	Y00 Imag	Y01 Real	Y01 Imag	Y11 Real	Y11 Imag	Y12 Real	Y12 Imag
0.1	0.0002149	-0.029807	-0.00048	0.0082151	0.0037251	-0.015876	0.0010208	0.0046987
0.125	0.0001698	-0.023647	-0.000407	0.0068036	0.0040315	-0.012698	0.0010063	0.003637
0.15	0.000144	-0.019392	-0.000331	0.0058971	0.0043474	-0.010519	0.0009893	0.0029396
0.175	0.0001369	-0.016206	-0.00025	0.0052881	0.0046722	-0.008916	0.0009753	0.0024573
0.2	0.0001498	-0.013667	-0.00016	0.0048739	0.0050076	-0.007671	0.0009689	0.0021135
0.225	0.000186	-0.011533	-5.77E-05	0.0045985	0.0053571	-0.006665	0.0009742	0.0018648
0.25	0.0002517	-0.009654	6.234E-05	0.0044302	0.0057264	-0.005823	0.0009951	0.0016842
0.275	0.000357	-0.007923	0.0002082	0.0043512	0.0061235	-0.005102	0.0010361	0.0015544
0.3	0.0005192	-0.006258	0.0003919	0.004352	0.0065593	-0.00447	0.0011033	0.0014631
0.325	0.0007683	-0.004589	0.0006325	0.0044288	0.0070487	-0.003912	0.0012053	0.0014007
0.35	0.0011569	-0.002843	0.0009604	0.0045803	0.0076115	-0.003422	0.0013553	0.0013572
0.375	0.001781	-0.00095	0.0014257	0.004802	0.0082748	-0.003008	0.0015735	0.0013182
0.4	0.0028208	0.0011529	0.0021126	0.0050721	0.0090738	-0.002703	0.0018901	0.0012555
0.425	0.0046133	0.0034564	0.0031564	0.0053094	0.010047	-0.002581	0.002344	0.0011064
0.45	0.007732	0.0056587	0.0047301	0.005265	0.011201	-0.002805	0.0029547	0.000731
0.475	0.012749	0.0065932	0.0068292	0.0043338	0.012377	-0.003649	0.0035947	-0.000121
0.5	0.01866	0.0039691	0.0085656	0.0017711	0.01299	-0.005244	0.003742	-0.001577

r	Y13 Real	Y13 Imag
0.1	-0.000914	-0.002477
0.125	-0.000888	-0.001826
0.15	-0.000855	-0.001381
0.175	-0.00082	-0.001057
0.2	-0.000787	-0.000811
0.225	-0.000757	-0.000616
0.25	-0.000731	-0.000453
0.275	-0.000708	-0.000309
0.3	-0.000684	-0.000175
0.325	-0.000654	-4.07E-05
0.35	-0.000608	0.0001008
0.375	-0.000529	0.0002536
0.4	-0.000387	0.0004117
0.425	-0.000139	0.00054
0.45	0.0002547	0.0005321
0.475	0.0007059	0.0001709
0.5	0.0007618	-0.000656

6素子

r	Y00 Real	Y00 Imag	Y01 Real	Y01 Imag	Y11 Real	Y11 Imag	Y12 Real	Y12 Imag
0.1	0.000373	-0.030933	-0.000539	0.0068177	0.0028	-0.018748	0.0011574	0.0074425
0.125	0.0003139	-0.024612	-0.000492	0.0056456	0.0030874	-0.014888	0.0011442	0.0058259
0.15	0.0002738	-0.020264	-0.000445	0.0048904	0.0033873	-0.012247	0.0011237	0.0047565
0.175	0.0002507	-0.017028	-0.000396	0.0043807	0.0036962	-0.010305	0.0011018	0.0040098
0.2	0.0002445	-0.014471	-0.000345	0.0040317	0.0040125	-0.008801	0.0010837	0.0034719
0.225	0.0002559	-0.012348	-0.000288	0.0037972	0.0043367	-0.007586	0.0010736	0.0030786
0.25	0.0002871	-0.010507	-0.000226	0.0036512	0.0046714	-0.006569	0.0010751	0.002791
0.275	0.0003418	-0.008843	-0.000153	0.0035795	0.0050215	-0.00569	0.0010919	0.0025845
0.3	0.000426	-0.007282	-6.64E-05	0.0035753	0.0053945	-0.004906	0.0011285	0.0024435
0.325	0.0005496	-0.005758	4.156E-05	0.0036385	0.0058014	-0.004187	0.0011907	0.0023581
0.35	0.0007294	-0.00421	0.0001819	0.0037747	0.0062582	-0.003509	0.0012871	0.0023229
0.375	0.0009947	-0.002569	0.0003732	0.0039964	0.0067891	-0.002855	0.0014314	0.0023359
0.4	0.0014002	-0.000746	0.0006482	0.0043254	0.0074313	-0.00221	0.0016462	0.0023972
0.425	0.0020555	0.0013828	0.0010693	0.0047955	0.0082453	-0.001573	0.0019714	0.0025071
0.45	0.0032016	0.0040048	0.0017648	0.0054533	0.0093341	-0.000962	0.0024809	0.0026581
0.475	0.0054271	0.0073678	0.0030254	0.0063303	0.01088	-0.000466	0.0033216	0.0028037
0.5	0.010302	0.011477	0.0055463	0.0072288	0.013195	-0.000414	0.0047843	0.0027187

r	Y13 Real	Y13 Imag
0.1	-0.000469	-0.001727
0.125	-0.000465	-0.001315
0.15	-0.000458	-0.001034
0.175	-0.00045	-0.000831
0.2	-0.000443	-0.000678
0.225	-0.000438	-0.000558
0.25	-0.000438	-0.000461
0.275	-0.000441	-0.00038
0.3	-0.000451	-0.000307
0.325	-0.000466	-0.000237
0.35	-0.000487	-0.000164
0.375	-0.000515	-7.88E-05
0.4	-0.000544	3.12E-05
0.425	-0.000565	0.000186
0.45	-0.000545	0.0004175
0.475	-0.000389	0.0007632
0.5	0.0001649	0.0011766

7素子

r	Y00 Real	Y00 Imag	Y01 Real	Y01 Imag	Y11 Real	Y11 Imag	Y12 Real	Y12 Imag
0.1	0.0004851	-0.031578	-0.000527	0.0057967	0.0021322	-0.022082	0.0011129	0.0099172
0.125	0.0004205	-0.025163	-0.000494	0.004798	0.0023795	-0.017518	0.0011284	0.0078419
0.15	0.0003754	-0.020758	-0.000461	0.0041525	0.0026399	-0.014401	0.0011352	0.0064574
0.175	0.0003473	-0.017491	-0.000428	0.0037149	0.0029101	-0.012113	0.001136	0.0054751
0.2	0.0003358	-0.01492	-0.000394	0.003413	0.0031885	-0.010345	0.0011332	0.0047508
0.225	0.0003411	-0.012797	-0.000358	0.0032073	0.0034747	-0.00892	0.0011291	0.0042047
0.25	0.0003645	-0.01097	-0.000319	0.0030754	0.0037692	-0.007734	0.001126	0.0037896
0.275	0.0004085	-0.009336	-0.000277	0.0030047	0.0040739	-0.006715	0.0011271	0.0034761
0.3	0.0004768	-0.007823	-0.000227	0.0029889	0.0043919	-0.005815	0.0011357	0.0032458
0.325	0.0005754	-0.00637	-0.000169	0.0030267	0.0047278	-0.004998	0.0011561	0.0030872
0.35	0.0007138	-0.004926	-9.61E-05	0.0031215	0.0050893	-0.004234	0.0011942	0.0029942
0.375	0.0009072	-0.003436	-1.44E-06	0.0032819	0.0054876	-0.003497	0.0012578	0.0029652
0.4	0.0011814	-0.001836	0.0001278	0.0035236	0.0059408	-0.002763	0.0013591	0.0030033
0.425	0.001583	-3.82E-05	0.0003142	0.0038738	0.0064785	-0.002004	0.0015178	0.0031178
0.45	0.0022022	0.0020896	0.0006015	0.004378	0.0071519	-0.00119	0.0017691	0.0033254
0.475	0.0032353	0.0047662	0.001082	0.005115	0.0080571	-0.000281	0.0021814	0.0036539
0.5	0.0051689	0.0083767	0.0019796	0.0062207	0.0093925	0.0007584	0.0029032	0.0041409

r	Y13 Real	Y13 Imag	Y14 Real	Y14 Imag
0.1	-0.000154	-0.00145	-0.000431	-0.001002
0.125	-0.000209	-0.001188	-0.000363	-0.000685
0.15	-0.000264	-0.000998	-0.000291	-0.000485
0.175	-0.000314	-0.000845	-0.000223	-0.000359
0.2	-0.000357	-0.000714	-0.000164	-0.000283
0.225	-0.000393	-0.000597	-0.000117	-0.000242
0.25	-0.000422	-0.000491	-8.25E-05	-0.000225
0.275	-0.000443	-0.000393	-6.2E-05	-0.000225
0.3	-0.000459	-0.000302	-5.48E-05	-0.000234
0.325	-0.000471	-0.000215	-6.07E-05	-0.00025
0.35	-0.00048	-0.00013	-8E-05	-0.00027
0.375	-0.000488	-4.16E-05	-0.000114	-0.000291
0.4	-0.000495	5.541E-05	-0.000165	-0.000309
0.425	-0.000499	0.0001707	-0.000239	-0.00032
0.45	-0.000495	0.0003203	-0.00034	-0.000311
0.475	-0.000467	0.0005336	-0.000478	-0.000257
0.5	-0.00036	0.0008664	-0.000641	-9.72E-05

8素子

r	Y00 Real	Y00 Imag	Y01 Real	Y01 Imag	Y11 Real	Y11 Imag	Y12 Real	Y12 Imag
0.1	0.0005626	-0.031979	-0.000493	0.0050294	0.0016585	-0.025627	0.001008	0.0122
0.125	0.0004955	-0.025505	-0.000468	0.0041611	0.0018662	-0.020353	0.0010476	0.0097119
0.15	0.0004484	-0.021064	-0.000444	0.0035986	0.0020858	-0.016759	0.0010798	0.0080473
0.175	0.0004186	-0.017775	-0.00042	0.003216	0.0023149	-0.014129	0.0011049	0.0068572
0.2	0.0004054	-0.015194	-0.000395	0.0029504	0.0025523	-0.012101	0.0011231	0.0059688
0.225	0.000409	-0.013069	-0.00037	0.0027677	0.0027976	-0.010473	0.0011351	0.0052867
0.25	0.0004306	-0.011249	-0.000343	0.0026481	0.003051	-0.009122	0.0011423	0.004755
0.275	0.0004721	-0.00963	-0.000315	0.0025802	0.0033134	-0.007969	0.0011462	0.004339
0.3	0.0005367	-0.008141	-0.000283	0.0025582	0.0035859	-0.00696	0.0011495	0.0040168
0.325	0.0006294	-0.006725	-0.000246	0.0025802	0.0038703	-0.006054	0.0011553	0.0037746
0.35	0.0007576	-0.005335	-0.000201	0.0026479	0.0041697	-0.005221	0.0011673	0.0036041
0.375	0.0009328	-0.003922	-0.000145	0.002767	0.0044893	-0.004434	0.0011908	0.0035017
0.4	0.0011737	-0.002435	-7.09E-05	0.0029481	0.0048371	-0.003667	0.0012325	0.0034682
0.425	0.0015113	-0.000808	3.299E-05	0.0032095	0.0052266	-0.002893	0.0013025	0.0035099
0.45	0.0020013	0.0010542	0.0001868	0.0035817	0.0056805	-0.002082	0.0014177	0.0036406
0.475	0.0027522	0.0032987	0.0004308	0.004117	0.0062401	-0.00119	0.0016084	0.0038858
0.5	0.0040001	0.0061766	0.0008532	0.0049087	0.0069863	-0.000157	0.0019358	0.0042912

r	Y13 Real	Y13 Imag	Y14 Real	Y14 Imag
0.1	3.935E-05	-0.001231	-0.000291	-0.000798
0.125	-3.45E-05	-0.001063	-0.000256	-0.000565
0.15	-0.000111	-0.000937	-0.000218	-0.000413
0.175	-0.000184	-0.000827	-0.00018	-0.000312
0.2	-0.000251	-0.000726	-0.000146	-0.000245
0.225	-0.000309	-0.000627	-0.000117	-0.000202
0.25	-0.000358	-0.000532	-9.4E-05	-0.000176
0.275	-0.000397	-0.000439	-7.74E-05	-0.000162
0.3	-0.000428	-0.000348	-6.71E-05	-0.000156
0.325	-0.000452	-0.000259	-6.32E-05	-0.000157
0.35	-0.000471	-0.000168	-6.57E-05	-0.000161
0.375	-0.000485	-7.53E-05	-7.53E-05	-0.000169
0.4	-0.000496	2.523E-05	-9.29E-05	-0.000178
0.425	-0.000502	0.0001398	-0.000121	-0.000187
0.45	-0.000501	0.0002793	-0.000161	-0.000192
0.475	-0.000485	0.0004618	-0.00022	-0.000185
0.5	-0.000433	0.0007204	-0.000302	-0.000148

9素子

r	Y00 Real	Y00 Imag	Y01 Real	Y01 Imag	Y11 Real	Y11 Imag	Y12 Real	Y12 Imag
0.1	0.0006169	-0.032245	-0.000456	0.0044355	0.0013178	-0.029273	0.00089	0.014349
0.125	0.0005487	-0.025731	-0.000436	0.0036684	0.0014917	-0.023282	0.0009437	0.011469
0.15	0.0005007	-0.021266	-0.000417	0.0031706	0.0016762	-0.019213	0.000992	0.009543
0.175	0.0004703	-0.017963	-0.000398	0.0028312	0.0018693	-0.016244	0.0010341	0.0081634
0.2	0.0004567	-0.015373	-0.000379	0.0025947	0.0020701	-0.013961	0.0010693	0.0071284
0.225	0.00046	-0.013247	-0.00036	0.0024308	0.0022784	-0.012134	0.0010974	0.0063271
0.25	0.0004814	-0.011429	-0.00034	0.0023219	0.0024942	-0.010624	0.0011189	0.0056941
0.275	0.0005226	-0.009818	-0.000319	0.0022579	0.0027181	-0.009343	0.0011345	0.0051887
0.3	0.0005868	-0.008343	-0.000297	0.0022333	0.0029505	-0.008228	0.0011456	0.0047849
0.325	0.0006784	-0.006949	-0.000271	0.0022459	0.0031923	-0.007237	0.0011539	0.0044659
0.35	0.0008041	-0.005589	-0.000241	0.0022965	0.003445	-0.006336	0.0011619	0.0042212
0.375	0.0009743	-0.004221	-0.000203	0.0023892	0.0037109	-0.005497	0.0011727	0.0040451
0.4	0.0012047	-0.002799	-0.000154	0.0025316	0.0039941	-0.004697	0.0011903	0.0039365
0.425	0.0015212	-0.001266	-8.63E-05	0.0027369	0.004301	-0.003912	0.0012207	0.0038984
0.45	0.0019676	0.0004516	1.191E-05	0.0030266	0.0046427	-0.003113	0.0012733	0.0039401
0.475	0.0026245	0.0024652	0.0001641	0.003437	0.0050392	-0.002268	0.001364	0.0040795
0.5	0.0036532	0.0049547	0.0004182	0.0040309	0.0055282	-0.001328	0.0015232	0.0043493

r	Y13 Real	Y13 Imag	Y14 Real	Y14 Imag	Y15 Real	Y15 Imag
0.1	0.0001592	-0.001025	-0.000187	-0.000734	-0.00023	-0.000529
0.125	9.245E-05	-0.000918	-0.000194	-0.000556	-0.000176	-0.000352
0.15	2.011E-05	-0.000841	-0.000197	-0.000428	-0.000122	-0.000247
0.175	-5.33E-05	-0.000773	-0.000195	-0.00033	-7.43E-05	-0.000189
0.2	-0.000124	-0.000706	-0.000188	-0.000252	-3.63E-05	-0.00016
0.225	-0.000191	-0.000638	-0.000176	-0.00019	-9.89E-06	-0.000152
0.25	-0.000253	-0.000567	-0.00016	-0.000141	4.735E-06	-0.000154
0.275	-0.000308	-0.000493	-0.000142	-0.000104	8.746E-06	-0.000163
0.3	-0.000357	-0.000415	-0.000123	-7.67E-05	3.981E-06	-0.000174
0.325	-0.0004	-0.000333	-0.000105	-5.89E-05	-7.53E-06	-0.000184
0.35	-0.000436	-0.000247	-9E-05	-4.88E-05	-2.4E-05	-0.000193
0.375	-0.000466	-0.000153	-7.93E-05	-4.47E-05	-4.41E-05	-0.0002
0.4	-0.00049	-5.1E-05	-7.45E-05	-4.45E-05	-6.75E-05	-0.000207
0.425	-0.000507	6.495E-05	-7.68E-05	-4.55E-05	-9.48E-05	-0.000212
0.45	-0.000516	0.0002019	-8.77E-05	-4.42E-05	-0.000128	-0.000218
0.475	-0.000512	0.0003726	-0.000109	-3.45E-05	-0.00017	-0.000222
0.5	-0.000484	0.0005997	-0.00014	-5.42E-06	-0.000228	-0.000219

計算値結果のデータ

	記号	単位	値
素子長	L	λ_0	0.5
素子半径	a	λ_0	10^{-8}
分割数	N	—	15
素子間隔	r	λ_0	0.1~0.5
無給電素子数	M	本	1~8

素子半径: $10^{-8}[\lambda_0]$

2素子

r	Y00 Real	Y00 Imag	Y01 Real	Y01 Imag	Y11 Real	Y11 Imag
0.1	0.0050524	-0.013866	0.0010428	0.011743	0.0050524	-0.013866
0.125	0.0053072	-0.011394	0.0011262	0.0094508	0.0053072	-0.011394
0.15	0.0055632	-0.009694	0.0012231	0.0079321	0.0055632	-0.009694
0.175	0.0058251	-0.008438	0.0013333	0.0068588	0.0058251	-0.008438
0.2	0.0060971	-0.007465	0.0014579	0.0060639	0.0060971	-0.007465
0.225	0.0063827	-0.006682	0.0015986	0.005453	0.0063827	-0.006682
0.25	0.0066856	-0.006037	0.0017578	0.0049674	0.0066856	-0.006037
0.275	0.0070097	-0.005498	0.0019381	0.0045677	0.0070097	-0.005498
0.3	0.0073584	-0.005046	0.0021424	0.0042248	0.0073584	-0.005046
0.325	0.0077354	-0.004671	0.0023734	0.0039152	0.0077354	-0.004671
0.35	0.0081432	-0.00437	0.0026329	0.0036179	0.0081432	-0.00437
0.375	0.0085824	-0.004147	0.0029209	0.0033117	0.0085824	-0.004147
0.4	0.00905	-0.004012	0.0032338	0.0029747	0.00905	-0.004012
0.425	0.0095369	-0.003977	0.0035617	0.0025837	0.0095369	-0.003977
0.45	0.010025	-0.004057	0.0038856	0.002116	0.010025	-0.004057
0.475	0.010483	-0.004265	0.004174	0.0015542	0.010483	-0.004265
0.5	0.010869	-0.004599	0.0043839	0.0008936	0.010869	-0.004599

3素子

r	Y00 Real	Y00 Imag	Y01 Real	Y01 Imag	Y11 Real	Y11 Imag	Y12 Real	Y12 Imag
0.1	0.0004704	-0.022579	0.0008216	0.012122	0.0050739	-0.013865	0.0004347	-0.000336
0.125	0.0007354	-0.01758	0.0010076	0.009869	0.005331	-0.011403	0.0004031	-0.000398
0.15	0.0010738	-0.014047	0.0012004	0.0083547	0.0055863	-0.009711	0.0003702	-0.00044
0.175	0.0014919	-0.011368	0.0014005	0.0072625	0.0058447	-0.008464	0.0003344	-0.000476
0.2	0.0019951	-0.009238	0.001608	0.0064302	0.0061104	-0.007497	0.0002942	-0.000511
0.225	0.0025867	-0.007497	0.0018229	0.0057652	0.0063871	-0.00672	0.0002479	-0.000547
0.25	0.0032675	-0.006055	0.0020447	0.0052097	0.0066786	-0.006078	0.0001932	-0.000585
0.275	0.0040347	-0.004863	0.0022723	0.0047255	0.006989	-0.005538	0.0001272	-0.000625
0.3	0.004881	-0.003898	0.002504	0.0042855	0.007323	-0.00508	4.624E-05	-0.000666
0.325	0.0057939	-0.003147	0.0027374	0.0038697	0.0076856	-0.004693	-5.38E-05	-0.000704
0.35	0.0067552	-0.002608	0.0029691	0.0034631	0.0080822	-0.004372	-0.000178	-0.000732
0.375	0.007741	-0.002282	0.0031947	0.0030535	0.0085178	-0.004123	-0.00033	-0.000743
0.4	0.0087218	-0.002167	0.0034089	0.0026315	0.008995	-0.003955	-0.000514	-0.000722
0.425	0.0096635	-0.002261	0.003605	0.0021896	0.0095106	-0.003889	-0.000726	-0.000647
0.45	0.010528	-0.002554	0.0037748	0.0017219	0.010048	-0.003954	-0.000953	-0.000492
0.475	0.011277	-0.003029	0.0039087	0.001225	0.010569	-0.004178	-0.001158	-0.00023
0.5	0.011869	-0.003659	0.0039951	0.0006975	0.011005	-0.004575	-0.001279	0.000148

4素子

r	Y00 Real	Y00 Imag	Y01 Real	Y01 Imag	Y11 Real	Y11 Imag	Y12 Real	Y12 Imag
0.1	3.906E-05	-0.027446	-0.000156	0.010033	0.0048257	-0.014057	0.0003445	0.0013862
0.125	4.632E-05	-0.02173	-3.49E-05	0.0083275	0.005105	-0.011488	0.00037	0.0010866
0.15	8.03E-05	-0.017708	0.0001008	0.0072199	0.0053844	-0.009722	0.0004002	0.0008948
0.175	0.0001484	-0.014636	0.000255	0.0064646	0.0056701	-0.008418	0.0004359	0.0007622
0.2	0.0002618	-0.012135	0.0004333	0.0059359	0.0059675	-0.007406	0.0004786	0.0006635
0.225	0.0004372	-0.009986	0.0006432	0.0055618	0.0062819	-0.006591	0.0005299	0.0005839
0.25	0.0006993	-0.008053	0.000895	0.0052959	0.0066189	-0.00592	0.0005917	0.0005123
0.275	0.0010839	-0.006251	0.0012014	0.0051035	0.0069839	-0.005362	0.0006659	0.0004393
0.3	0.0016416	-0.00453	0.0015782	0.0049526	0.0073823	-0.0049	0.0007533	0.0003545
0.325	0.0024407	-0.002875	0.0020421	0.0048066	0.0078175	-0.004531	0.0008525	0.0002452
0.35	0.0035645	-0.001322	0.0026056	0.0046165	0.0082886	-0.004261	0.0009571	9.597E-05
0.375	0.0050932	2.45E-05	0.0032657	0.0043163	0.0087851	-0.004103	0.0010505	-0.000111
0.4	0.0070547	0.0009676	0.0039826	0.0038261	0.0092821	-0.004072	0.0011008	-0.000387
0.425	0.0093392	0.0012473	0.0046581	0.0030797	0.009738	-0.004167	0.0010604	-0.000726
0.45	0.011629	0.0006584	0.0051407	0.0020782	0.010109	-0.004362	0.0008804	-0.001086
0.475	0.013468	-0.000761	0.0052902	0.0009346	0.010376	-0.004602	0.0005431	-0.001388
0.5	0.0145	-0.002662	0.0050715	-0.000162	0.010566	-0.004837	8.55E-05	-0.001551

5素子

r	Y00 Real	Y00 Imag	Y01 Real	Y01 Imag	Y11 Real	Y11 Imag	Y12 Real	Y12 Imag
0.1	0.0001941	-0.029627	-0.000454	0.0081365	0.0037195	-0.015937	0.0010197	0.0047
0.125	0.0001576	-0.02362	-0.000389	0.0067692	0.0040339	-0.012793	0.0010081	0.0036472
0.15	0.0001367	-0.019435	-0.000318	0.0058847	0.0043555	-0.010629	0.0009927	0.0029521
0.175	0.0001326	-0.016284	-0.000239	0.0052878	0.0046849	-0.009031	0.0009797	0.0024699
0.2	0.0001475	-0.013762	-0.000151	0.0048806	0.0050242	-0.007787	0.000974	0.0021255
0.225	0.0001852	-0.011636	-4.99E-05	0.0046098	0.0053773	-0.006781	0.0009799	0.0018759
0.25	0.0002522	-0.00976	6.985E-05	0.0044448	0.0057501	-0.005939	0.0010014	0.0016947
0.275	0.000359	-0.008028	0.000216	0.0043683	0.0061507	-0.005216	0.0010432	0.0015643
0.3	0.0005232	-0.00636	0.0004007	0.0043714	0.0065903	-0.004583	0.0011113	0.0014725
0.325	0.000775	-0.004684	0.000643	0.0044503	0.0070837	-0.004024	0.0012145	0.0014096
0.35	0.0011679	-0.002931	0.0009737	0.004604	0.0076511	-0.003533	0.0013662	0.0013657
0.375	0.0017992	-0.001028	0.0014435	0.0048279	0.0083197	-0.003119	0.0015868	0.001326
0.4	0.0028511	0.0010857	0.0021376	0.0050995	0.009125	-0.002814	0.0019067	0.0012619
0.425	0.0046651	0.0034	0.0031923	0.0053361	0.010106	-0.002696	0.0023651	0.0011097
0.45	0.0078196	0.0056045	0.0047813	0.0052841	0.011268	-0.002928	0.0029806	0.0007272
0.475	0.012883	0.0065117	0.0068938	0.0043303	0.012446	-0.003786	0.0036214	-0.000138
0.5	0.018808	0.0038182	0.0086211	0.0017333	0.013049	-0.005396	0.0037572	-0.001607

r	Y13 Real	Y13 Imag
0.1	-0.00092	-0.002408
0.125	-0.000894	-0.001789
0.15	-0.000861	-0.001359
0.175	-0.000825	-0.001043
0.2	-0.000792	-0.000801
0.225	-0.000762	-0.000608
0.25	-0.000735	-0.000446
0.275	-0.000711	-0.000303
0.3	-0.000686	-0.000169
0.325	-0.000656	-3.46E-05
0.35	-0.000609	0.0001074
0.375	-0.000528	0.0002607
0.4	-0.000384	0.0004189
0.425	-0.000131	0.0005461
0.45	0.0002666	0.0005339
0.475	0.0007189	0.0001628
0.5	0.0007649	-0.000674

6素子

r	Y00 Real	Y00 Imag	Y01 Real	Y01 Imag	Y11 Real	Y11 Imag	Y12 Real	Y12 Imag
0.1	0.000345	-0.03075	-0.000517	0.0067536	0.0027982	-0.018766	0.0011604	0.0073952
0.125	0.0002967	-0.024585	-0.000477	0.0056179	0.0030905	-0.014965	0.0011496	0.005812
0.15	0.0002627	-0.020308	-0.000435	0.0048807	0.0033941	-0.012347	0.0011303	0.0047569
0.175	0.0002434	-0.017108	-0.000389	0.0043809	0.0037063	-0.010416	0.001109	0.0040165
0.2	0.0002395	-0.01457	-0.000339	0.0040378	0.0040256	-0.008916	0.0010913	0.0034815
0.225	0.0002526	-0.012455	-0.000283	0.0038071	0.0043528	-0.007702	0.0010814	0.0030895
0.25	0.0002851	-0.010616	-0.000221	0.0036638	0.0046904	-0.006685	0.0010832	0.0028024
0.275	0.0003409	-0.008953	-0.000149	0.0035941	0.0050434	-0.005804	0.0011004	0.0025962
0.3	0.0004263	-0.007389	-6.19E-05	0.0035918	0.0054196	-0.005018	0.0011375	0.0024553
0.325	0.0005514	-0.00586	4.675E-05	0.003657	0.0058298	-0.004297	0.0012004	0.0023701
0.35	0.0007332	-0.004306	0.0001883	0.0037954	0.0062905	-0.003617	0.0012979	0.0023351
0.375	0.0010015	-0.002656	0.0003815	0.0040198	0.0068259	-0.002961	0.0014439	0.0023485
0.4	0.0014119	-0.000823	0.0006597	0.0043522	0.0074737	-0.002314	0.0016611	0.0024103
0.425	0.0020759	0.0013207	0.0010861	0.0048267	0.008295	-0.001675	0.00199	0.0025208
0.45	0.0032386	0.0039622	0.0017912	0.0054899	0.0093938	-0.001063	0.0025055	0.002672
0.475	0.0054994	0.00735	0.0030706	0.0063719	0.010954	-0.00057	0.0033563	0.0028158
0.5	0.010455	0.011474	0.0056297	0.0072646	0.013291	-0.000531	0.0048364	0.0027207

r	Y13 Real	Y13 Imag
0.1	-0.000475	-0.001672
0.125	-0.00047	-0.001285
0.15	-0.000462	-0.001016
0.175	-0.000454	-0.000819
0.2	-0.000446	-0.00067
0.225	-0.000442	-0.000552
0.25	-0.000441	-0.000457
0.275	-0.000445	-0.000376
0.3	-0.000454	-0.000303
0.325	-0.000469	-0.000234
0.35	-0.00049	-0.00016
0.375	-0.000517	-7.4E-05
0.4	-0.000546	3.706E-05
0.425	-0.000565	0.0001935
0.45	-0.000543	0.0004272
0.475	-0.00038	0.000775
0.5	0.0001876	0.0011853

7素子

r	Y00 Real	Y00 Imag	Y01 Real	Y01 Imag	Y11 Real	Y11 Imag	Y12 Real	Y12 Imag
0.1	0.000454	-0.031397	-0.000509	0.0057436	0.0021334	-0.022028	0.0011175	0.0098032
0.125	0.0004012	-0.025138	-0.000482	0.0047753	0.0023837	-0.017557	0.0011347	0.0077922
0.15	0.0003628	-0.020806	-0.000453	0.004145	0.0026465	-0.014481	0.0011425	0.0064377
0.175	0.0003389	-0.017574	-0.000422	0.0037156	0.0029189	-0.012213	0.0011439	0.0054706
0.2	0.0003299	-0.015021	-0.00039	0.0034185	0.0031994	-0.010454	0.0011414	0.0047543
0.225	0.000337	-0.012907	-0.000355	0.003216	0.0034876	-0.009034	0.0011375	0.0042127
0.25	0.0003617	-0.011083	-0.000317	0.0030863	0.0037844	-0.007848	0.0011347	0.0038001
0.275	0.0004067	-0.00945	-0.000274	0.0030173	0.0040914	-0.006829	0.001136	0.0034881
0.3	0.000476	-0.007934	-0.000225	0.003003	0.0044118	-0.005928	0.0011449	0.0032587
0.325	0.0005757	-0.006477	-0.000166	0.0030424	0.0047504	-0.005109	0.0011658	0.0031008
0.35	0.0007155	-0.005028	-9.3E-05	0.0031389	0.0051148	-0.004342	0.0012045	0.0030084
0.375	0.0009108	-0.003531	2.555E-06	0.0033014	0.0055164	-0.003603	0.0012691	0.0029166
0.4	0.0011879	-0.001922	0.0001332	0.003546	0.0059736	-0.002866	0.0013718	0.0030193
0.425	0.0015939	-0.000112	0.0003221	0.0038998	0.0065162	-0.002104	0.0015326	0.0031351
0.45	0.002221	0.0020317	0.0006135	0.0044092	0.0071962	-0.001286	0.0017872	0.0033446
0.475	0.0032687	0.0047309	0.0011015	0.0051536	0.0081109	-0.000373	0.0022051	0.0036756
0.5	0.0052344	0.0083745	0.0020148	0.0062702	0.0094615	0.0006704	0.0029373	0.0041655

r	Y13 Real	Y13 Imag	Y14 Real	Y14 Imag
0.1	-0.000155	-0.001371	-0.00044	-0.000999
0.125	-0.00021	-0.001143	-0.000372	-0.000685
0.15	-0.000264	-0.00097	-0.000299	-0.000485
0.175	-0.000314	-0.000827	-0.00023	-0.000359
0.2	-0.000358	-0.000702	-0.000169	-0.000283
0.225	-0.000395	-0.000589	-0.000121	-0.000242
0.25	-0.000423	-0.000485	-8.64E-05	-0.000225
0.275	-0.000445	-0.000389	-6.53E-05	-0.000224
0.3	-0.000461	-0.000298	-5.78E-05	-0.000234
0.325	-0.000473	-0.000212	-6.34E-05	-0.00025
0.35	-0.000482	-0.000126	-8.27E-05	-0.000269
0.375	-0.00049	-3.74E-05	-0.000117	-0.00029
0.4	-0.000496	6.024E-05	-0.000168	-0.000308
0.425	-0.0005	0.0001766	-0.000241	-0.000318
0.45	-0.000496	0.0003278	-0.000343	-0.000308
0.475	-0.000465	0.0005436	-0.00048	-0.000252
0.5	-0.000354	0.0008803	-0.000642	-8.76E-05

8素子

r	Y00 Real	Y00 Imag	Y01 Real	Y01 Imag	Y11 Real	Y11 Imag	Y12 Real	Y12 Imag
0.1	0.0005303	-0.031802	-0.000479	0.0049845	0.0016619	-0.025472	0.0010132	0.012002
0.125	0.0004755	-0.025484	-0.000459	0.0041422	0.0018714	-0.020336	0.0010541	0.0096148
0.15	0.0004354	-0.021115	-0.000438	0.0035927	0.0020925	-0.016808	0.001087	0.0079993
0.175	0.0004099	-0.017861	-0.000415	0.003217	0.002323	-0.01421	0.0011125	0.0068355
0.2	0.0003994	-0.015298	-0.000392	0.0029556	0.0025618	-0.012199	0.001131	0.0059618
0.225	0.0004048	-0.013182	-0.000368	0.0027755	0.0028085	-0.010579	0.0011434	0.0052884
0.25	0.0004277	-0.011364	-0.000342	0.0026577	0.0030636	-0.009233	0.0011508	0.0047619
0.275	0.0004702	-0.009746	-0.000313	0.0025912	0.0033276	-0.008081	0.001155	0.0043491
0.3	0.0005358	-0.008254	-0.000282	0.0025705	0.0036019	-0.007072	0.0011586	0.0040291
0.325	0.0006294	-0.006835	-0.000245	0.0025937	0.0038883	-0.006166	0.0011647	0.0037883
0.35	0.0007588	-0.00544	-0.0002	0.0026628	0.00419	-0.005331	0.0011772	0.0036189
0.375	0.0009356	-0.004021	-0.000143	0.0027836	0.004512	-0.004541	0.0012012	0.0035175
0.4	0.0011786	-0.002527	-6.82E-05	0.0029668	0.0048627	-0.003771	0.0012437	0.0034851
0.425	0.0015195	-0.000889	3.7E-05	0.0032311	0.0052556	-0.002995	0.001315	0.0035283
0.45	0.0020147	0.0009859	0.0001929	0.0036072	0.0057139	-0.00218	0.001432	0.0036608
0.475	0.0027745	0.0032481	0.0004406	0.0041482	0.0062792	-0.001283	0.0016256	0.0039088
0.5	0.0040396	0.0061517	0.0008701	0.0049484	0.0070338	-0.000243	0.0019581	0.0043181

r	Y13 Real	Y13 Imag	Y14 Real	Y14 Imag
0.1	4.111E-05	-0.001124	-0.000298	-0.000795
0.125	-3.25E-05	-0.001	-0.000262	-0.000565
0.15	-0.000109	-0.000897	-0.000223	-0.000414
0.175	-0.000183	-0.000802	-0.000184	-0.000313
0.2	-0.00025	-0.000708	-0.00015	-0.000246
0.225	-0.000309	-0.000615	-0.00012	-0.000202
0.25	-0.000358	-0.000523	-9.68E-05	-0.000176
0.275	-0.000398	-0.000432	-7.99E-05	-0.000162
0.3	-0.000429	-0.000343	-6.93E-05	-0.000156
0.325	-0.000454	-0.000254	-6.52E-05	-0.000156
0.35	-0.000472	-0.000164	-6.76E-05	-0.000161
0.375	-0.000487	-7.08E-05	-7.71E-05	-0.000168
0.4	-0.000497	3.012E-05	-9.47E-05	-0.000177
0.425	-0.000503	0.0001454	-0.000122	-0.000186
0.45	-0.000502	0.000286	-0.000163	-0.00019
0.475	-0.000485	0.0004703	-0.000222	-0.000182
0.5	-0.000431	0.0007318	-0.000304	-0.000144

9素子

r	Y00 Real	Y00 Imag	Y01 Real	Y01 Imag	Y11 Real	Y11 Imag	Y12 Real	Y12 Imag
0.1	0.0005844	-0.032073	-0.000444	0.0043969	0.0013226	-0.02899	0.0008955	0.014051
0.125	0.0005288	-0.025713	-0.000429	0.0036525	0.0014977	-0.023193	0.0009501	0.011313
0.15	0.0004879	-0.02132	-0.000412	0.0031659	0.0016831	-0.019218	0.0009989	0.0094585
0.175	0.0004618	-0.018051	-0.000395	0.0028326	0.0018771	-0.016298	0.0010413	0.0081182
0.2	0.0004509	-0.01548	-0.000377	0.0025996	0.0020788	-0.014041	0.0010768	0.007106
0.225	0.000456	-0.013361	-0.000359	0.0024379	0.0022881	-0.01223	0.0011053	0.0063187
0.25	0.0004787	-0.011547	-0.000339	0.0023306	0.002505	-0.010729	0.001127	0.0056944
0.275	0.0005209	-0.009936	-0.000319	0.0022678	0.0027301	-0.009451	0.0011429	0.0051946
0.3	0.000586	-0.008459	-0.000296	0.0022441	0.0029638	-0.008339	0.0011542	0.0047945
0.325	0.0006785	-0.007062	-0.000271	0.0022577	0.0032072	-0.007348	0.0011629	0.0044781
0.35	0.0008053	-0.005697	-0.00024	0.0023096	0.0034615	-0.006446	0.0011712	0.0042352
0.375	0.0009768	-0.004324	-0.000202	0.0024036	0.0037293	-0.005606	0.0011824	0.0040607
0.4	0.0012092	-0.002894	-0.000153	0.0025477	0.0040146	-0.004804	0.0012005	0.0039534
0.425	0.0015284	-0.001352	-8.42E-05	0.0027552	0.004324	-0.004015	0.0012317	0.0039169
0.45	0.001979	0.0003767	1.533E-05	0.003048	0.0046687	-0.003214	0.0012853	0.0039603
0.475	0.0026429	0.0024052	0.0001697	0.0034627	0.0050689	-0.002365	0.0013777	0.0041021
0.5	0.0036839	0.0049154	0.0004279	0.004063	0.0055631	-0.001419	0.0015397	0.0043752

r	Y13 Real	Y13 Imag	Y14 Real	Y14 Imag	Y15 Real	Y15 Imag
0.1	0.0001623	-0.000886	-0.000191	-0.00073	-0.000238	-0.000527
0.125	9.567E-05	-0.000834	-0.000198	-0.000556	-0.000183	-0.000352
0.15	2.309E-05	-0.000786	-0.0002	-0.000429	-0.000127	-0.000247
0.175	-5.07E-05	-0.000736	-0.000198	-0.000332	-7.84E-05	-0.000188
0.2	-0.000122	-0.000681	-0.000191	-0.000254	-3.94E-05	-0.000159
0.225	-0.00019	-0.00062	-0.000179	-0.000192	-1.23E-05	-0.000151
0.25	-0.000252	-0.000554	-0.000163	-0.000142	2.951E-06	-0.000154
0.275	-0.000308	-0.000483	-0.000144	-0.000104	7.388E-06	-0.000162
0.3	-0.000357	-0.000407	-0.000125	-7.7E-05	2.906E-06	-0.000173
0.325	-0.0004	-0.000327	-0.000107	-5.89E-05	-8.44E-06	-0.000184
0.35	-0.000437	-0.000241	-9.2E-05	-4.86E-05	-2.48E-05	-0.000193
0.375	-0.000467	-0.000148	-8.11E-05	-4.42E-05	-4.5E-05	-0.0002
0.4	-0.000491	-4.56E-05	-7.62E-05	-4.37E-05	-6.85E-05	-0.000206
0.425	-0.000508	7.067E-05	-7.85E-05	-4.44E-05	-9.59E-05	-0.000212
0.45	-0.000517	0.0002084	-8.93E-05	-4.26E-05	-0.000129	-0.000218
0.475	-0.000513	0.0003804	-0.00011	-3.22E-05	-0.000172	-0.000221
0.5	-0.000483	0.0006098	-0.000141	-1.94E-06	-0.00023	-0.000218

参考、アドミタンスの計算（モーメント法）

・モーメント法について

電磁波のアンテナからの放射、あるいは散乱物体に関する問題は、マクスウェルの電磁方程式を満足するベクトル磁場の境界値問題を解くことに帰着する。

近年、電子計算機を使用する数値計算法では、このような問題は数値的に厳密な解が得られるようになり、現在ではこの数値計算法は電磁波散乱問題などの解放として重要な位置を占めている。

一般に、計算機を使用する計算法では、特定の問題を解析する手法を求めることだけでなく、汎用性のある演算法を得ることに重点がおかれている。

1960年代前半までには、アンテナの諸問題を解析的にとこうとしていたが1960年代後半になって大型電子計算機の発達に伴い、アンテナの諸問題は線形方程式に置き換え、行列計算による数値解法が広く用いられ、特に1967年にハリントン（R.F.Harrington）氏によって提唱されたモーメント法により、より厳密な解が得られるようになった。このモーメント法は細い線状導体で構成された任意形状のアンテナの電流分布を求めるのに有効であり、導かれた微分・積分方程式を行列方程式に変換し、この行列方程式を数値計算し電流分布の近似解を求める方法である。

・積分法と未知電流

図1は、誘電率 ϵ 、透磁率 μ の媒質中におかれている細線状アンテナとする（完全導体でできていると仮定）とき、このアンテナに流れる電流分布は以下に示す積分方程式の解として求まる。

図1のアンテナの表面上に流れている電流を $I_z(z')$ 、これによる電界を E_z とする。

ベクトルポテンシャル A_z は次の式で与えられる。

$$A_z = \frac{\mu}{4\pi} \int_{-h}^h I_z(z') G(z, z') dz' \quad (1)$$

$$\left(G(z, z') \cong \frac{e^{-jkR(z, z')}}{R(z, z')}, \quad R(z, z') = \sqrt{(z, z')^2 + a^2} \right)$$

A_z が定義されると、電界 E_z は

$$E_z = j\omega \left(A_z + \frac{1}{k^2} \frac{d^2 A_z}{dz^2} \right) \quad (2)$$

ここで k は伝播定数である。式(1)に式(2)を代入すると

$$\int_{-h}^h I_z(z') \left[\frac{\partial^2}{\partial z^2} + k^2 \right] G(z, z') dz' = j\omega \epsilon E \quad (3)$$

式(3)の E_z は $I_z(z')$ による電界だから、入射電界（または印加電界）を E_{zi} とすると、このアンテナの表面では、 $E_z + E_{zi} = 0$ の境界条件が成り立つ。

これにより、式(3)は

$$\frac{1}{j\omega \epsilon} \int_{-h}^h I_z(z') \left[\frac{\partial^2}{\partial z^2} + k^2 \right] G(z, z') dz' + E_{zi}(z) = 0 \quad (4)$$

これをポクリントン形積分方程式と呼んでいる。ここで $G(z, z')$ 、 $E_{zi}(z)$ は既知であるから、結局この積分方程式の解として、電流 $I_z(z')$ が求まることになる。

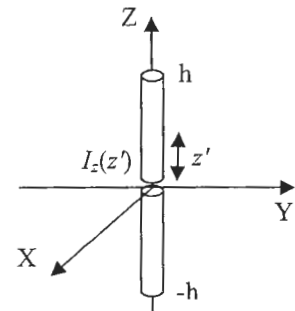


図1 細線状アンテナ

・コンピュータによるモーメント法

コンピュータでは、数値解析の手法を使って、式(4)の積分方程式を解きやすい形に近似して計算する。
いま積分の形を線形演算子と呼ばれている L を使って

$$L(I_z) = E_z^{-1}(z)$$

と表す。

線形方程式のままでは解を求めるのが難しいので、未知の関数 $I_z(z')$ を

$$I_z(z') = \sum_{n=1}^N I_n f_n(z') \quad (5)$$

と表す。

$$f_n(z') = \begin{cases} f_n(z') \cdots \text{小区間 } z' \text{ 内} \\ 0 \quad \cdots \text{それ以外} \end{cases} \quad (6)$$

$f_n(z')$ は展開関数、 I_n は展開係数と呼ばれている。式(6)を、式(5)に代入すると

$$\sum_{n=1}^N I_n L(f_n(z')) = E_z^{-1}(z) \quad (7)$$

二つの空間ベクトルがあるとき、これらが等しくなるためには座標軸へ投影（ベクトルの内積）した値を等しくすればよい。いま、関数 u と v の内積を

$$(u, v) = \int u(z)v(z)dz \quad (8)$$

と定義する。

これに新たな関数 $W_m(z)$ を用いて、式(7)の両辺の $W_m(z)$ への投影量が等しくなるように、近似的に次のように表す。

$$\sum_{n=1}^N I_n \langle W_m, L(f_n) \rangle = \langle W_m, E_z^{-1} \rangle \quad (9)$$

これは I_n に対する N 元連立方程式を与える。

式(9)は次のような行列で表される。

$$\begin{cases} [Z_{mn}] [I_n] = [V_m] \\ Z_{mn} = \int_{\Delta z_m} W_m(z) \int_{\Delta z_{mn}} f_n(z') \prod(z, z') dz' dz \\ V_m = - \int_{\Delta z_m} W_m(z) E_z^{-1}(z) dz \end{cases} \quad (10)$$

$$\text{ただし、} \prod(z, z') = \frac{1}{j\omega\epsilon} \left[\frac{\partial^2}{\partial z^2} + k^2 \right] V(z, z')$$

未知の展開係数 I_n は、

$$[I_n] = [Z_{mn}]^{-1} [V_m] \quad (11)$$

の逆行列より求まる。

重み関数と展開関数に同じ関数を使う場合

$$W_n(z) = f_n(z) \quad (n=1, 2, \dots, N) \quad (12)$$

としたときをガラーキン (Galerkin) 法と呼ぶ。重み係数の選び方などによっては、逆行列を持たない場合もある。そのため、モーメント法では、項数 N を増やしたとき、解が求まらないこともありうる。