

# 新登場 RSMaker for Excel ver. 0.1

応答曲面法に興味があるがツールが高価で使いづらいと感じている方，市販ツールは使い方が難しいと感じている方に朗報です．東京工業大学 機械物理工学専攻の轟研の研究グループで開発した **RSMaker for Excel** は使いなれた表計算ソフトのマイクロソフトエクセルのマクロ機能として **応答曲面作成** と **D 最適基準実験計画** 機能を供給しています．このため，使いなれたエクセルだけで実験計画から応答曲面作成を行い，そしてエクセルのソルバー機能を使えばエクセルだけで最適設計がだれでもできるようになります．しかもインターネットを通じて **無料配布** です．自由に使って試してみてください．

## 1. インストール方法

ソフトをダウンロードしてください．アドレスは下記です．

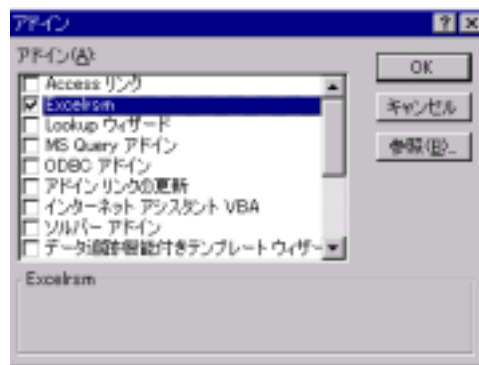
<http://florida.mes.titech.ac.jp/ssoft/>

この中の 9 番目が RSMaker for Excel です．

ダウンロード後はマウスでダウンロードしたファイルをダブルクリックしてください．インストーラーが起動します．

インストールするファイルのコピー場所を尋ねてきます．デフォルトでは C ドライブに RSMaker を作成します．デフォルト以外を指定する場合にはコピー場所を記録しておいてください．

Excel を起動します．ツールメニューのアドインをクリックしてアドインのメニューを表示させてください．下図のアドインのメニューで参照を選択し，先に RSMaker をインストールしたフォルダ（デフォルトでは C ドライブの Program Files の下の RSMaker フォルダ）の中の ExcelRsm を指定して OK ボタンをおしてください．下図のように Excelrsm にチェックがついたアドインリストが表示されます．これに OK のボタンを押してください．



Excel のボタン群の中に下図のボタンが表示されていればインストール終了です．

応答曲面 D最適

## 2. 使用例

使用例として 2 変数  $x_1, x_2$  の応答  $y$  の最大値を求める問題を取り扱います．作業の流れとしては，応答を近似する統計モデル（関数形）を決定し，未知係数の数から実験あるいは解析を実施する点数を決定します．その後，実験計画を実施して実験あるいは解析を実

施する座標  $(x_1, x_2)$  を選択後し、その応答値を使って応答曲面を作成します。作成後に Excel のソルバー機能を用いて最大値を求めます。

ここでは簡単な例として、 $x_1, x_2$  が  $-1 \sim 1$  の間の実数とし、 $x_1, x_2$  には実用上の問題から図 1 のような三角形領域に限定されているとします。

応答  $y$  として簡単のために、 $(-1,1)$  と  $(-1,-1)$  で  $0$ 、 $(0,1)$  で  $1$  となる平面と  $(1,1)$  と  $(-1,-1)$  で  $0$ 、 $(0,1)$  で  $1$  となる平面で囲まれた 4 面体を考えます (図 2 参照)。

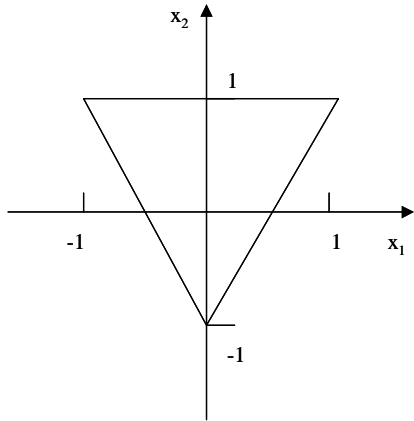


図 1 変数の存在領域

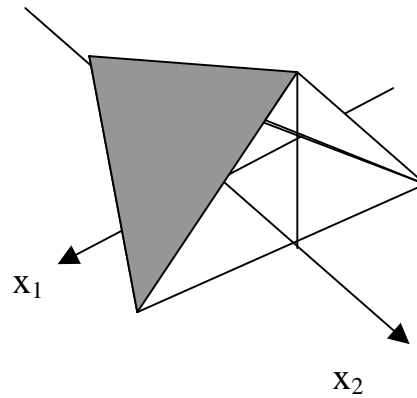


図 2 応答  $y$  の真の値

したがって、真の最大値は  $(x_1, x_2) = (0, 1)$  で  $y_{\max} = 1$  です。

まず D 最適で実験計画を行います。応答  $y$  は実験でも解析でも良いのですが、ここではコストのかかる解析によって得られるとします。まず統計モデルですが、2 次多項式を採用します。このモデル化が結構重要で、経験的なところがあります。

2 変数の 2 次多項式ですので定数項を含めて未知数は 6 個です。そこで、未知数の 2 倍程度の 12 個の実験点を選択することにします。2 つの変数には存在可能領域の拘束があるので、中央複合計画や直交表は使えません。D 最適を実施します。

D 最適では実現可能な選択候補点を多数与えてその中から D 値を最大化する最適な実験点を選択します。ここでは 12 個の点を選択するので、2 倍以上の 31 個の候補点を作成しましょう。候補点は変数の境界に多く作成し、2 倍～数倍程度作成します。このソフトでは GA で最適化するため、あまり候補点数が多すぎるとうまく最適化されません。

そこで、図 3 に示すように候補点をエクセル上で作成します。そして、A, B それぞれの列の数字部分をマウスでブロック選択した後に、本ソフトをインストールして新しくできた、D 最適のボタンをマウスで押します。

	A	B
1	x1	x2
2	1	1
3	0.75	1
4	0.5	1
5	0.25	1
6	0	1
7	-0.25	1
8	-0.5	1
9	-0.75	1
10	-1	1
11	-0.75	0.5
12	-0.5	0
13	-0.25	-0.5
14	0.25	-0.5
15	0.5	0
16	0.75	0.5
17	0	-0.75
18	0	-0.5
19	0	-0.25
20	0	0
21	0	0.25
22	0	0.5
23	0	0.75
24	0.5	0.5
25	-0.5	0.5
26	-0.25	0.25
27	-0.25	0.5
28	-0.25	0.75
29	0.25	0.25
30	0.25	0.5
31	0.25	0.75
32	0	-1

図 3 D 最適実験計画候補



図4 X\_DesignConfiguration 窓

正しく選択していれば（文字などをいっしょに選択しているとエラーとなる），

X\_DesignConfiguration のウィンドウが開きます．

この X\_DesignConfiguration ウィンドウは，D 最適実験計画を実施する GA プログラムに指令を送るデータ入力窓です．図4のように表示されます．ここで，次元は統計モデルの多項式の次数です．5 次以上の場合にはその他のボタンを選択して次元数を半角の数字で下のテキストボックスに入力してください．デフォルトでは2次元になっています．

右の D 最適の欄では，D 最適の選択のオプションを記入します．重複可能データ数では，個々の



図5 実験モデル設定窓

データを何回まで重複して選択することを許可するかを指定します．実験で誤差が大きいときには大きな数字（2以上）を入れると良いです．解析では誤差がないのでデフォルトでは1になっています．

選択データ点数は，D 最適実験計画で選択する実験数をタイプします．これはほぼ未知係数の2倍以上になるようにすれば OK です．

GA 繰り返し数は，D 最適実験計画が GA で実行されるため，常に最適とは限りませんので，複数回実行し，その中で最適な結果を最適実験計画とします．ここでは3がデフォルトですが，多数点を選択する場合には10程度まで増加したほうが良い場合もあります．

ここでは，12個選択するので，選択データ点数を12にして設定・実行ボタンを押します．すると，次に実験モデル設定窓が開きます（図5参照）．

ここでは，先に選択した多項式の次数の係数が表示された黒い窓と，下に4つのボタンがあります．多項式である特定の係数を削除したい場合（例えば高次の交互作用項を削除など）にはマウスで黒い窓の係数を選択して係数削除ボタンを押します．すると，その係数の右側に「未使用」の文字が現れます．また，一度削除した係数を復活させる場合には未使用の表示のある係数で復活させる係数を選択して係数復活ボタンを押してください．

単に D 最適の Deff 係数値だけを計算する場合には D-efficiency ボタンを押してください．D 最適の実験計画を実行する場合には実行ボタンを押してください．

D設計効率		選択データ数	重複可能データ数	GA繰り返し数
1	35.014105	12	1	3
2				
3				
データ番号	変数1	変数2		
4	1	1	1	
5	4	0.25	1	
6	5	0	1	
7	6	-0.25	1	
8	9	-1	1	
9	10	-0.75	0.5	
10	11	-0.5	0	
11	12	-0.25	-0.5	
12	13	0.25	-0.5	
13	14	0.5	0	
14	15	0.75	0.5	
15	31	0	-1	
16				
17				
18				

図6 D 最適結果

実行ボタンを押すと、DOS 窓が開き、Optimizing...と表示されます。このドットが増大している場合には計算中です。何も動いていない場合には暴走している可能性があります。一般に、類似のデータが多すぎると計算ができなくなり（ゼロ割りの発生）、暴走する傾向にあります。D 最適の候補点は多すぎないことが重要です。

計算が終了すると、新しい Excel sheet が作成され、選択された結果が Excel 表形式で出力されます（図 6 参照）。D 設計効率 は Deff のことです。%表示されています。最大が 100 です。変数 1、変数 2 の組み合わせが 12 個選択されます。

この選択された点で実験あるは解析を実施します。実施した結果の応答 y は応答曲面作成時には変数の列の右側にある必要があるため、Excel の B 列をマウスで指定してメニューの挿入から列を選択します。すると、新しく B 列が作成され、従来の B,C,D 列は C,D,E 列に移動します。

それぞれの変数に対応する実験あるいは解析結果をこの新たに作成した B 列にタイプしていきます。図 2 の応答の場合、簡単な計算から、 $x_1$  が正およびゼロの場合には応答 y については  $y=0.5-x_1+0.5x_2$  となります。 $x_1$  が負の場合には応答 y は  $y=0.5+x_1+0.5x_2$  となります。ここで、通常はこの応答 y を実験や FEM 解析や CFD 解析で求めることになるわけです。ここでは簡単な例題としてこの多面体を扱います。応答 y を代入した結果を図 7 に示します。

図 7 の応答を入れた表が出来上がればあとは応答曲面の作成です。

左上の応答の数値（B5）から右下の変数 2 の数値（D16）までを選択して、応答曲面のボタンを押します。すると、RSConfiguration ウィンドウが開きます（図 8 参照）。

D 最適と同様に左は近似関数の統計モデルの多項式最高次数です。ここでは 2 を選択します。右は係数の T 検定機能です。T 検定を実施して回帰に寄与しない高次項を確認ダイアログ付で削除する機能と自動削除機能があります。この時の有為水準を設定することもできます。ここではデフォルトの 5 % 検定にします。

設定・実行ボタンを押すと係数係数の有為性を検定する窓が開きます（図 9 参照）。

ここでは、低次項は残しておいて、高次項だけを削除します。NearZero 表示されている項が不要と思われる項です。そこで、 $V1*V2$  の交互作用項を削除します。削除は先に述べた D 最適の場合と同じで、削除したい項をマウスで選択して係数削除ボタンを押すだけです。すると、NoUse という表示が係数の左側に表示されます。これを復活させたい場合にも同じように、復活させたい NoUse 表示の係数をマウスで選択して係数復活ボタンを押すだけです。

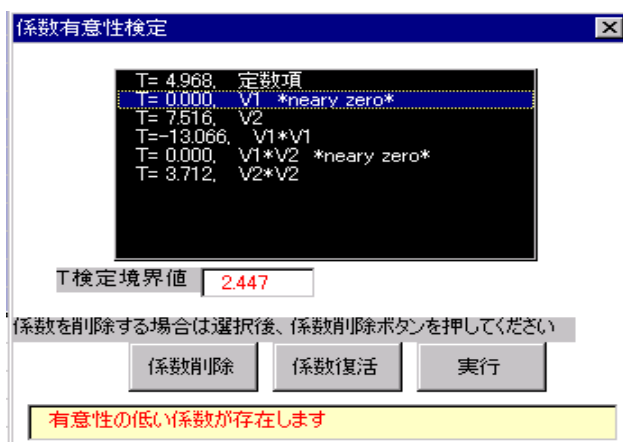


図 9 係数検定窓

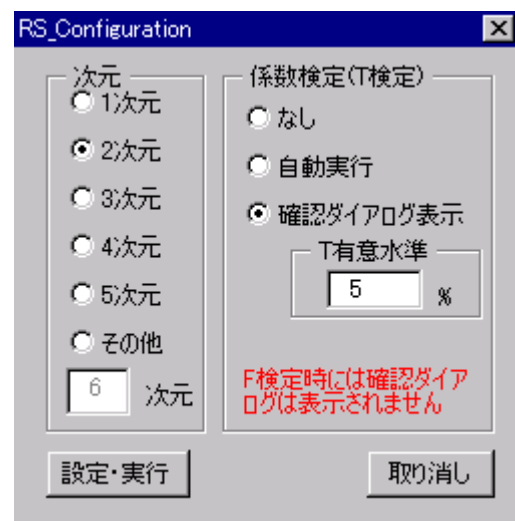


図 8 応答曲面作成窓



	A	B	C	D	E
1	0設計効率		選択? - 7が重複可能? 2が繰り返しの数		
2		35.014105	12	1	3
3					
4	データ番号	応答	変数1	変数2	
5		1	0	1	1
6		4	0.75	0.25	1
7		5	1	0	1
8		6	0.75	-0.25	1
9		9	0	-1	1
10		10	0	-0.75	0.5
11		11	0	-0.5	0
12		12	0	-0.25	-0.5
13		13	0	0.25	-0.5
14		14	0	0.5	0
15		15	0	0.75	0.5
16		31	0	0	-1

係数の削除が全て終了したら、実行ボタンを押してください。すると、応答曲面が作成されます。なお、高次多項式を近似モデルに選択して未知係数の数よりも実験点（解析点）の方が少ない場合には、警告が下の窓に表示され、係数を十分削除した後で実行ができるようになります。

結果は新しいワークシートに出力されます。これを図10に示します。

図7 応答yと変数1, 2の表の作成

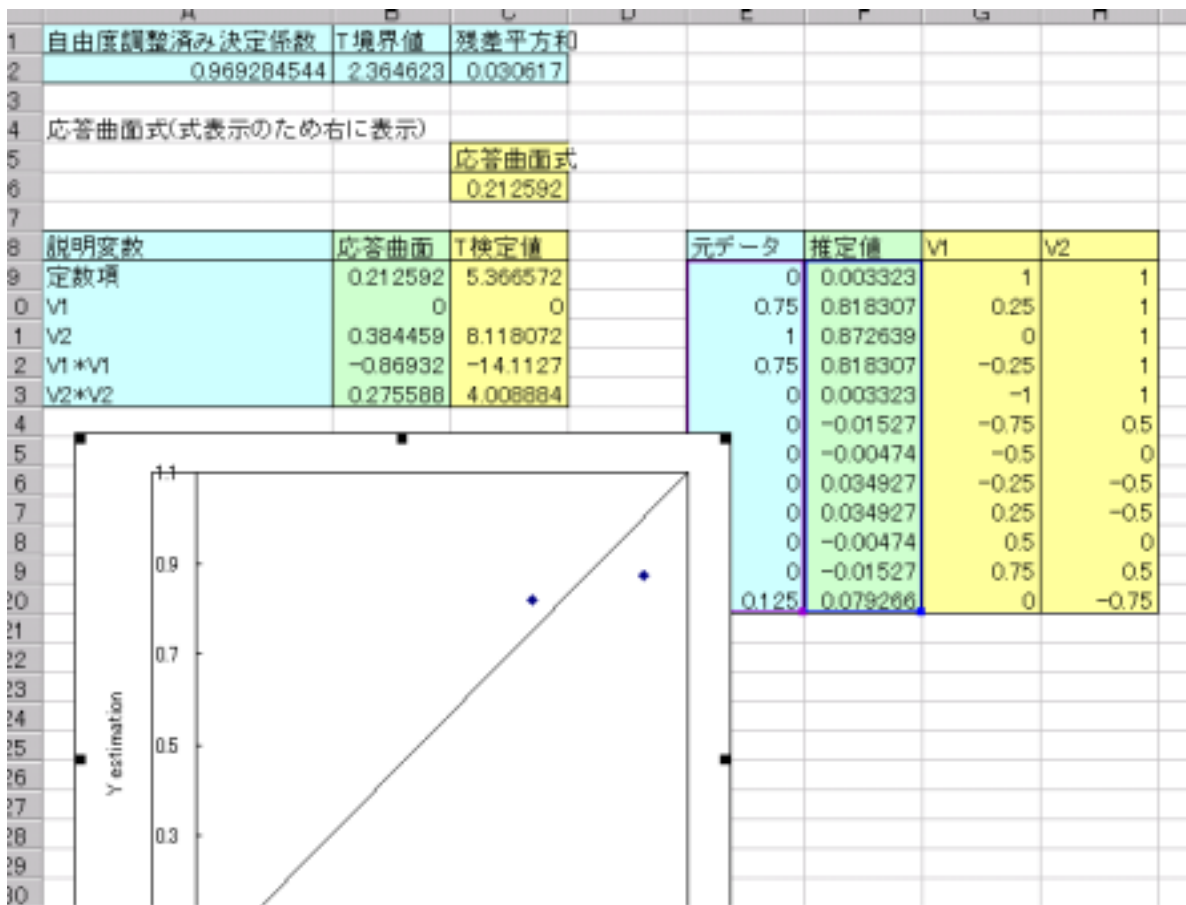


図10 応答曲面出力結果

結果の左上には自由度調整済み決定係数が出力されます。これは1に近いほど良い近似を与えています。実験誤差を含む場合には経験的に、0.9以上でとても良い近似、0.8~0.9で良い近似、0.7~0.8でまずまずの近似、0.6~0.7が許容ぎりぎりの近似でそれ以下はだめと考えたほうが良いです。解析結果を近似する場合には0.8以上ないと許容できません。ここでは0.96ですのでOKです。

各係数その下に表示されています。また回帰した点での近似式の値と実際の値も表に示されています。図は横軸が実際の応答で縦軸が近似曲面の応答です。したがって、対角線上にプロットされると良い近似を与えていることになります。

左上の応答曲面式のセルには、応答曲面のエクセル上の式が既に入っています。ここで、左のセルに値を代入すれば知りたい点の近似式の結果を求めることができます。この部分はコピー機能を使うことで別のセルにコピーして応答曲面の図を作成する場合などに使ってください。

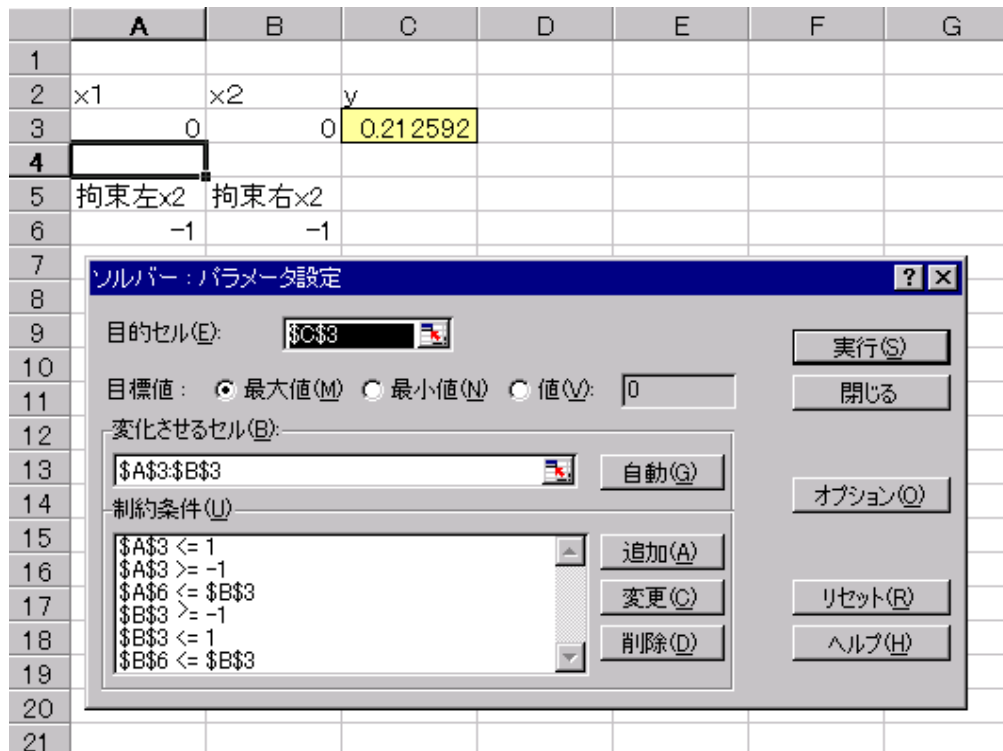


図 1 1 ソルバー使用画面

ここでは、このセルを別のワークシートにコピーして最適化まで実施します。Excelのソルバー機能を使いますので、ツールメニューにソルバーがあることを確認してください。エクセルをデフォルトでインストールするとソルバーがインストールされません。この場合にはツールメニューのアドインでソルバーを選択してOKとボタンを押してインストールしてください。

まず図 1 1 に示すように C 3 のセルに応答曲面の式のセルをペーストします。すると、A 3 と B 3 のセルが変数のセルになります。ここでは X1, X2 にゼロを入れます。

拘束条件として三角形内部を導入するために、三角形の左下の辺と右下の辺をあらわす直線の方程式を A 6 セルと B 6 セルにタイプします。これらは当然ですが A 3 セル ( x 1 ) を参照して x 2 を計算します。B 6 セルには”=-1+2\*B3”となります。

ツールメニューからソルバーを選択します。すると図 1 1 のソルバー窓が開きます。目的セルに C 3 を指定し、目標値を最大値にします。変化させるセルに A 3 と B 3 を指定します。制約条件として、A 3 , B 3 が - 1 以上 1 以下となること、三角形の内部のために、 $x_2 - 1 + 2 * x_1$  と  $x_2 - 1 - 2 * x_1$  となるように制約条件を入れます。制約条件は追加ボタンを押して、セルを選択して制約の種類を選択して追加してください。

後は実行ボタンを押すだけです。すると最適解が自動的にえられます。問題によってはメモリ不足になったり、最適解が得られない場合があります。初期値を変えて実行してみると最適解が得られる場合もあります。また、オプションで最適化の手法を変えてみるとメモリ不足が解消される場合もあります。ほとんどの問題では単なる多項式の最適化ですので問題なく最適化がなされるはずです。

得られた解を図 1 2 に示します．ここでは正確に  $x_1=0$  ,  $x_2=-1$  で最大値となることが示されています．最大値は残念ながら 0.87 であり，正解とは差があります．しかし，実際には得られた点で実験や解析を実施して確認をすればこの誤差は無いものと同じです．実際の場合にも応答曲面の値には頼らないで，必ず得られた最適解の周囲で再度解析なり実験を実施して確認してください．

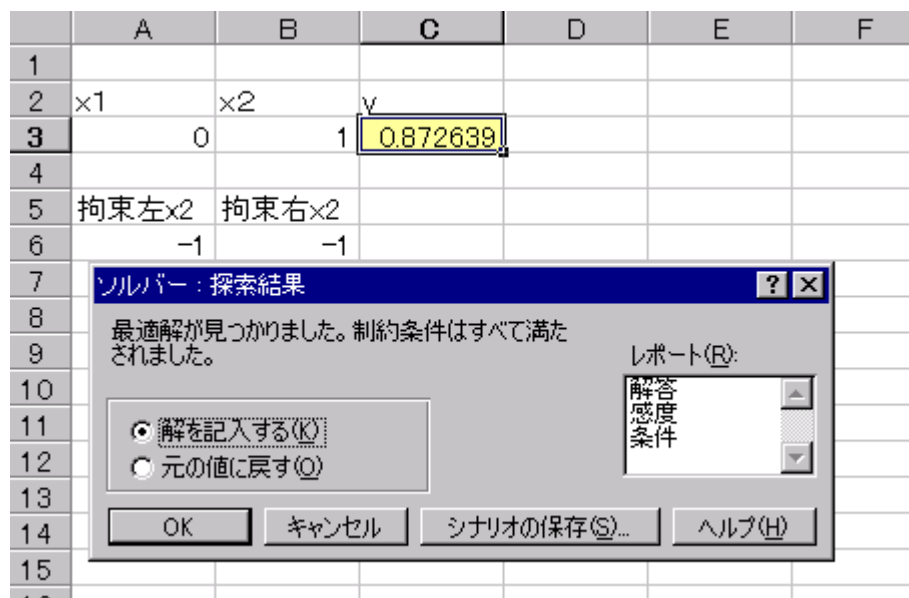


図 1 2 応答曲面とソルバーによる最適解

### 3. 質問など

本システムのプログラム部分については下記メールアドレスまでお願いします．  
 岩崎篤 aiwasaki@ginza.mes.titech.ac.jp

なお，応答曲面など内容に関する質問と社会人博士課程などにご興味があるお方は下記メールアドレスまでご連絡ください．

東京工業大学 大学院 理工学研究科 機械物理工学専攻  
 助教授 轟 章  
 atodorok@ginza.mes.titech.ac.jp

RSMaker for Excel は Free ソフトです．このソフトを使用して作成した製品などの責任は一切負いません．また，論文を投稿する際には，謝辞かまたは参考文献欄に本 WEB アドレスを明記していただきますようお願いいたします．