

初心者向け体験実習教材を用いた品質工学の普及教育 (品質工学シミュレータの紹介)

Introduction and Spread of Quality Engineering using Training Kit for beginner

有限会社 増田技術事務所 代表取締役 増田 雪也

1. はじめに

品質工学を普及するための一般的な方法は、先ず最初に初心者セミナーを実施し、技術者に品質工学に関する基礎的な知識を習得してもらうことである。その後は、個別指導会を開催し、受講者の各自の事例について、指導者と共に開発に取り組む。この個別指導会の重要性については以前報告¹⁾した。

しかし、いくら個別指導会を開催しても、受講者のモチベーションが上がらなくては、事例の実施率を向上させることは難しい。受講者に対して、モチベーションが上がらない理由を聞くと、こんな答えが返ってくる。

『品質工学のメリットは、初心者セミナーを受講すれば理解できる。しかし、体験が伴わないのでそのメリットを実感しにくい。だからなんとなくやる気が起きず、知識の習得だけで終わってしまう』

つまり、やる気を起こさせるポイントは、「いかにして簡単に品質工学を体験させるか」である。一度体験すれば、品質工学のメリットを実感できるはずである。そこで今回は、簡単に品質工学を体験できる品質工学シミュレータの開発を行った。また、そのシミュレータを教材として用いたセミナーについても報告する。

2. 体験実習

2.1 ハードウェア教材

品質工学の教育では、図1に示すように、初心者セミナー後に体験実習セミナーを実施するケースが多い。この体験実習セミナーでは、カミコプター²⁾³⁾、スタタパルト⁴⁾やゼンマイ駆動玩具⁵⁾といったハードウェア教材が用いられている。これらの教材を用

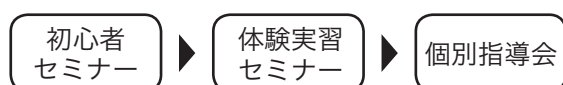


図1 体験実習の位置づけ

いた教育では、半日～2日間の座学の後に、半日～1日の体験実習セミナーを実施している。受講者の反応は上々で、「品質工学に対して興味を持った」、「実務に適用したい」といった前向きな感想が目立つ。

2.2 ハードウェア教材の問題点

筆者も1997年に、当時事務局を担当していた長野県品質工学研究会の活動として、「風車」を用いた体験実習を行った。しかし、このハードウェア教材を用いた教育には、以下に示すようないくつかの問題点があった。

- ・実験する場所として、ある程度の広さが必要
- ・実験に時間がかかる
- ・実験の準備に手間がかかる
- ・風車で実験することがメインになってしまい、パラメータ設計の流れを習得することが疎かになる

このような問題点を踏まえ、以下のような教材の開発が望まれる。

- ・机上で実験できる
- ・短時間で実験できる
- ・実験の準備が楽である
- ・楽しい実習だが教材自体にのめり込み過ぎない

2.3 体験実習用教材自体が抱える問題点

ハードウェア教材は、品質工学を体験させることを主眼に考案された教材であるがゆえに、以下のような問題点を抱えている。

- ・基本機能がよくわからない
- ・誤差因子がよくわからない(お客の立場にたった誤差因子の設定が難しい)

これらの問題点を解決するには、実際の企業の開発現場でありそうなテーマを教材とすることが重要である。

3. ソフトウェア教材の開発

3.1 品質工学シミュレータ

ハードウェア教材の問題点を克服する教材として、図2に示すようなバーチャルな電動ポンプの開発を行うソフトウェア教材(品質工学シミュレータ)を考

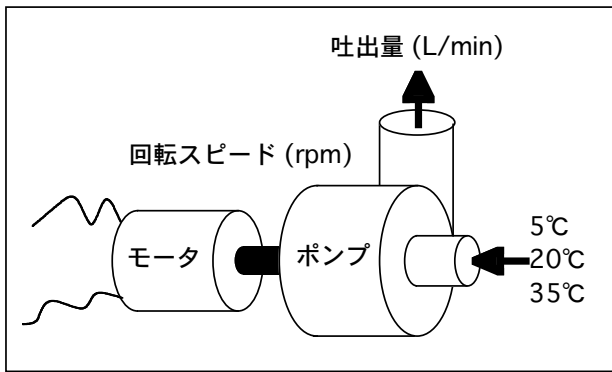


図2 バーチャルな電動ポンプの開発

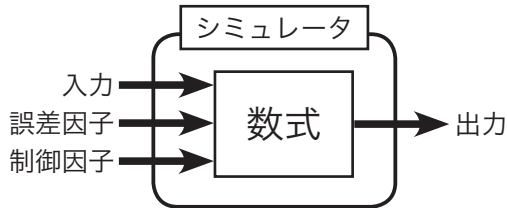


図3 品質工学シミュレータの概念

案した。「机上で短時間に楽に実験できる教材」ということであれば、パソコン上で動くシミュレータは最適な教材である。また、『電動ポンプの開発』というテーマは、実際の開発現場にありそうなテーマであり、基本機能や誤差因子についても理解しやすい。

この品質工学シミュレータの概念を図3に示す。ポンプの開発とは要するに「どういう設計にしたら、どういう性能が得られるか」である。よって、シミュレータの概念は、設計条件である制御因子と、入出力および誤差因子を数式で関係づけるものになる。

3.2 数式の作成

品質工学シミュレータの数式は、(1) 式のような関数になる。

$$y=f(M,N,A,B,C,D,E,F,G,H) \quad (1)$$

この関係を図4に示す。入力Mと出力yの関係は、誤差因子Nおよび制御因子A-H(設計条件)から影響を受ける。

品質工学は、誤差因子に対して強いシステムを作

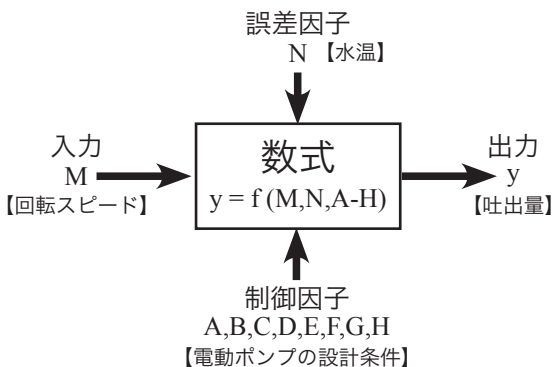


図4 品質工学シミュレータの数式

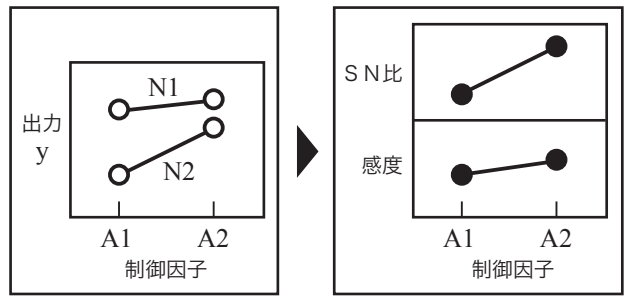


図5 制御因子と誤差因子間の交互作用

ることを目的としている。この誤差因子に対する強さは、SN比という尺度で表現される。このSN比を改善することができるのは、「制御因子と誤差因子の間に交互作用が存在する」からである。よって、この交互作用が出現するような数式を作る必要がある。図5の左側にこの交互作用の概念を示す。制御因子A1は誤差因子(N1,N2)の影響を受けやすく、制御因子A2は誤差因子の影響を受けにくいことを表している。この交互作用を持つ数式を、品質工学シミュレータに組み込めば、図5の右側に示すような要因効果が得られる。制御因子A1とA2のSN比には差があり、SN比の改善が可能となる。このSN比の改善を体験してもらうことが、品質工学シミュレータのねらいのひとつである。

今回開発する数式には、この交互作用が強く表れる因子と弱く現れる因子を織り交ぜることにした。制御因子として設定する8つの因子は、この交互作用の強弱が全て異なっている。図6に今回設定した要因効果図を示す。この要因効果が得られるような数式を考案し、品質工学シミュレータに組み込んだ。

3.3 ソフトウェアへの組み込み

今回考案した数式は、専用ソフトウェアによりプログラミングを行い、シミュレータを製作した。図7にシミュレータが起動している画面を示す。画面の構成は非常にシンプルである。マウスを用いて各種条件を設定し、結果を表示するだけのプログラムである。使い方の習得には1分もかからず、直感的

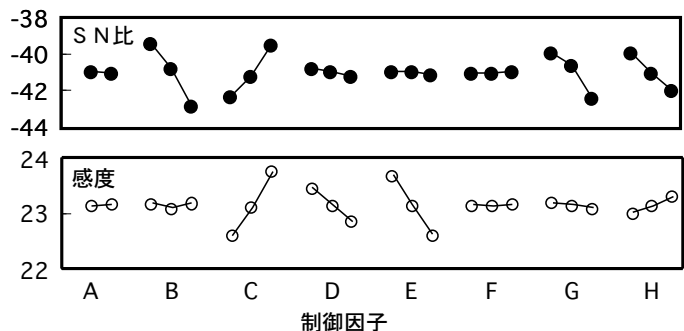


図6 要因効果図

品質工学シミュレータ【電動ポンプの最適設計】

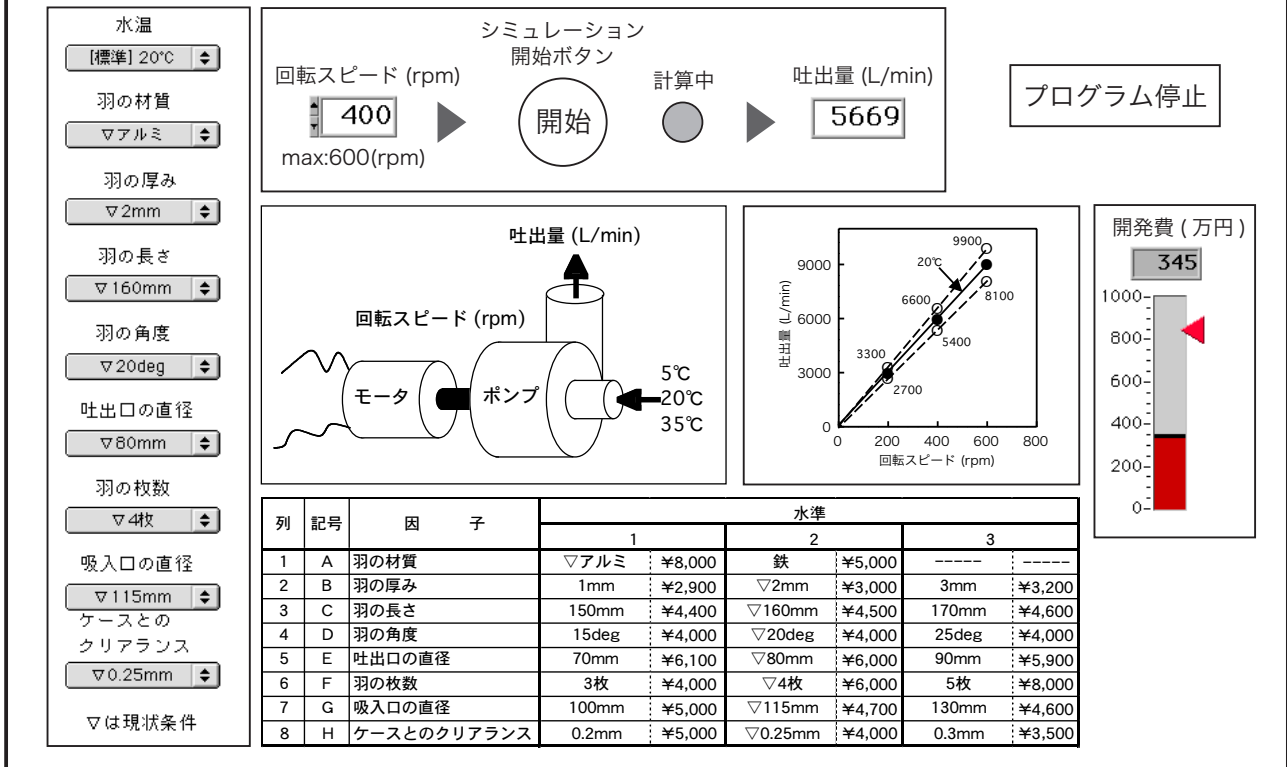


図7 品質工学シミュレータの画面

な操作が可能である。

この品質工学シミュレータは、Windows 用実行形式ファイルとしてセミナー受講者に提供される。非常に軽いプログラムなので、遅い CPU のパソコンでもシミュレーション実習に支障はない。

3.4 シミュレータの操作手順

シミュレータの操作手順は、以下の通りである。

1. 誤差因子の設定
2. 制御因子の設定
3. 信号因子の設定
4. シミュレーションの実行
5. 出力の読み取り

図8に、画面上で制御因子を設定する様子を示す。誤差因子および制御因子の設定は、このようなプルダウンメニューにより行う。信号因子の設定は、数値の直接入力または▲▼キーにより行う。シミュレーションの計算開始は、ボタンを押すだけである。計算は即座に終了し、出力値が表示される。



図8 制御因子の設定

4. シミュレータを用いた体験実習セミナー

4.1 教育カリキュラム

弊社の品質工学教育カリキュラムを表1に示す。初心者セミナーから始まり、体験実習セミナー、個別指導会へと続く流れで、初心者への教育・普及を行っている。メインとなるのは、初心者セミナーおよび個別指導会であるが、技術者のモチベーションを高めるという意味においては、今回のシミュレータを用いた体験実習セミナーも、非常に重要な位置づけになっている。

4.2 体験実習セミナーの目的

品質工学シミュレータの用いた体験実習セミナーの目的は、3つある。

1つ目は、『L18 直交表を使った開発の流れを簡単に体験する』である。よくいわれる言葉に「品質工

表1 体験実習の位置づけ

	初心者セミナー	体験実習セミナー	個別指導会
目的	基礎的知識の習得	メリットを実感する (モチベーションを高める)	事例の実践
内容	<ul style="list-style-type: none"> 品質工学の概念を学習 基本機能を考える練習 パラメータ設計の流れを学習 	<ul style="list-style-type: none"> パラメータ設計の流れを体験 感度とコストの調整を体験 要因効果図を得る喜びを実感 	<ul style="list-style-type: none"> (自分の事例で) 基本機能を考える パラメータ設計をする

学は、とにかく1回やってみればわかる」というものがある。しかし実際には「とにかく1回やる」ことが高い壁になっており、知識の習得で終わってしまい、実践に至る例は少ない。よって、この体験実習セミナーを通じて品質工学を気軽に体験できれば、非常に効果的であると考えた。

2つ目は、『要因効果図を得る喜びを体験する』である。これには筆者が初めて品質工学を適用し、要因効果図を得た時の喜びを、これから品質工学を学ぶ技術者にも味わって欲しいというねらいがある。

3つ目は、『性能(Q) コスト(C) 開発期間(D) のメリットを実感する』である。とにかく品質工学の体験実習では、最適条件を求め、性能を向上させることが注目されがちである。そこで、コストの削減と開発期間の短縮にも目を向けてもらいたいという意図がある。

4.3 セミナーの内容

体験実習セミナーは、以下の内容および時間配分で進められる。トータルで半日のセミナーである。

1. 品質工学の復習 (10min)
2. 最適条件を求める手順 (10min)
3. シミュレータの使い方説明 (10min)
4. 解析用表計算シートの使い方説明 (10min)
5. パラメータ設計の実習 (120min)
6. まとめ (20min)

メインとなるパラメータ設計の実習には120minを要する。その内半分の60minは、L18直交表実験(108回のシミュレーション実験)にあてられる。パラメータ設計の実習の詳細は以下のようになる。

5. パラメータ設計の実習 (Total:120min)
 - 5.1 仕様書(開発目標)の提示 (5min)
 - 5.2 基本機能とノイズの検討 (5min)
 - 5.3 予備実験 (5min) 【シミュレータ】
 - 5.4 L18直交表への割り付け (2min)
 - 5.5 L18直交表実験 (60min) 【シミュレータ】
 - 5.6 要因効果図の作成 (4min)
 - 5.7 最適条件と比較条件の決定 (4min)
 - 5.8 確認実験 (5min) 【シミュレータ】
 - 5.9 利得の再現性の確認 (5min)
 - 5.10 感度とコストの調整 (20min)
 - 5.11 最終選択条件で実験 (5min) 【シミュレータ】

4.4 開発目標

この品質工学シミュレータを用いて電動ポンプの設計を行うわけであるが、受講者には最初に、電動ポンプの開発目標が提示される。この開発目標には、性能(Q)、コスト(C)、開発期間(D)を意識させるた

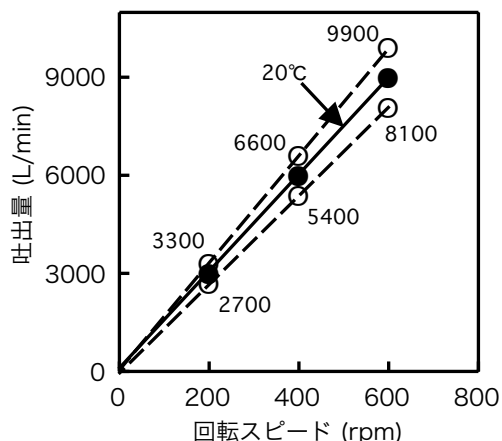


図9 回転速度 - 吐出量線図

めに、『現状よりも高性能で低コストなポンプを短期間で開発せよ』と指示されている。より詳細な内容を以下に示す。

-----開発目標-----

●性能

図9の回転速度 - 吐出量線図の性能を満たすこと

- ・回転速度は、0～600 (rpm) の範囲内
- ・水温の変化 ($20^{\circ}\text{C} \pm 15^{\circ}\text{C}$) に伴う吐出量の変化を10%以内に抑える

- ・繰り返し誤差があるので目標値 ± 5 (L/min)とする
- ・具体的な目標値を以下に示す

【水温 20°C の時の吐出量】

- ・回転速度 200 (rpm) の時、3000 (L/min)
- ・回転速度 400 (rpm) の時、6000 (L/min)
- ・回転速度 600 (rpm) の時、9000 (L/min)

●コスト (製品)

製品のコストは36,500円以下とすること

- (現状の40,200円より3,700円のコストダウン)
- ・表2に各設計条件のコストを示す。

●コスト (開発費)

開発費は850万円以下とすること

- ・シミュレーション1回に5万円の費用を要する

●開発期間

開発期間は延べ17日間以内とすること

- ・シミュレーション1回に1時間を要する
- ・1日のシミュレーション回数は最多で10回

●設計条件

表2の設計条件の中から、最適な設計値を選ぶこと

- ・現状条件は「▽」(コストは40,200円)である
-

4.5 シミュレータの活用場面

セミナーでシミュレータを活用する場面は4回ある。

- ・予備実験・・・【シミュレータ】(5min)
- ・L18直交表実験・・・【シミュレータ】(60min)
- ・確認実験・・・【シミュレータ】(5min)
- ・最終選択条件で実験・・・【シミュレータ】(5min)

次に各活用場面での実験とその結果を述べる。

表 2 制御因子およびコスト (▽は現状条件)

列	記号	因子	水準					
			1		2		3	
1	A	羽の材質	▽アルミ	¥8,000	鉄	¥5,000	-----	-----
2	B	羽の厚み	1mm	¥2,900	▽2mm	¥3,000	3mm	¥3,200
3	C	羽の長さ	150mm	¥4,400	▽160mm	¥4,500	170mm	¥4,600
4	D	羽の角度	15deg	¥4,000	▽20deg	¥4,000	25deg	¥4,000
5	E	吐出口の直径	70mm	¥6,100	▽80mm	¥6,000	90mm	¥5,900
6	F	羽の枚数	3枚	¥4,000	▽4枚	¥6,000	5枚	¥8,000
7	G	吸入口の直径	100mm	¥5,000	▽115mm	¥4,700	130mm	¥4,600
8	H	ケースとのクリアランス	0.2mm	¥5,000	▽0.25mm	¥4,000	0.3mm	¥3,500

4.5.1 予備実験

L18 直交表実験に先立ち、以下の 3 点を検討するために、シミュレータによる予備実験を行う。

- ・ 設定した入出力の妥当性
- ・ 設定した誤差因子の妥当性
- ・ 繰り返し誤差の大きさの把握

実際の予備実験の結果を、図 10 に示す。検討した 3 点の内、「入出力の妥当性」および「誤差因子の妥当性」は良好であることがわかる。また、「繰り返し誤差の大きさ」についても、誤差因子の影響に比べて十分に小さいことがわかる。なお、このシミュレータでは、意図的に±0.05%の繰り返し誤差が出現するようにプログラミングされている。

4.5.2 L18 直交表実験

L18 直交表実験は、18 通りの設計条件の組み合わせでシミュレーションが行われる。信号因子 3 水準、誤差因子 2 水準であるので、合計で 108 個のデータになる。このシミュレーションに要する時間は、約 60min である。シミュレーションの結果を表 3 に示す。なお、SN 比および感度は、セミナー時に別途配布される解析用表計算シートへ入力することにより自動的に計算される。

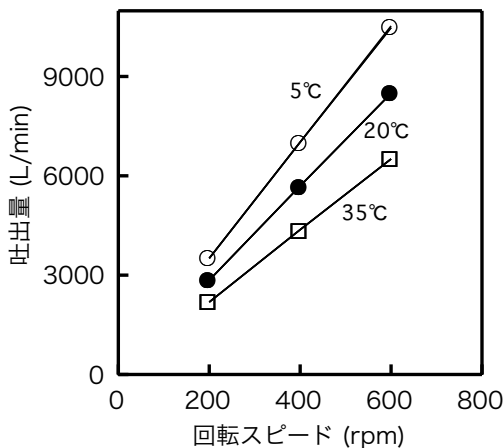


図 10 予備実験結果

4.5.3 確認実験

確認実験では、最適条件および比較条件でシミュレーションを行う。利得の再現性の結果を表 4 に示す。本シミュレータでの SN 比の利得は、推定値 11.42db に対して、確認値 12.17db となり、利得の再現性は良好である。最適条件および比較条件をグラフにプロットしたものを図 11 に示す。これらのグラフは、セミナー時に配布させる解析用表計算シートで自動的に作成されるものである。

4.5.4 最終選択条件での実験

利得の再現性を確認した後、感度およびコストの調整の検討を行う。感度の合わせ込みおよびコストの削減について学習させることがねらいである。そして、それが終了した後の最終選択条件の組み合わせで、再度シミュレーションを行い、性能の確認をする。表 5 にその結果を示す。最終選択条件では、最初に提示された開発目標をクリアしていることがわかる。この時点で受講者は、品質工学の威力を実感することになる。

表 3 L18 直交表実験の結果

	回転スピード (rpm)						SN比	感度
	M 1 200 rpm		M 2 400 rpm		M 3 600 rpm			
	水温		水温		水温			
	5°C	35°C	5°C	35°C	5°C	35°C		
No.1	3465	2430	6924	4858	10386	7286	-38.38	23.36
No.2	3422	2297	6838	4595	10262	6893	-39.36	23.10
No.3	3499	2198	6997	4396	10491	6590	-40.67	23.07
No.4	3751	1850	7505	3698	11254	5548	-44.12	22.92
No.5	3129	2158	6259	4314	9384	6475	-38.78	22.42
No.6	3736	2534	7468	5073	11210	7608	-39.14	23.91
No.7	3973	1885	7948	3772	11920	5655	-44.54	23.31
No.8	3561	1854	7122	3708	10679	5562	-43.47	22.63
No.9	3663	2366	7327	4732	10990	7099	-40.16	23.56
No.10	2905	1918	5810	3835	8717	5755	-39.72	21.63
No.11	3857	2420	7713	4842	11576	7261	-40.70	23.92
No.12	3677	2643	7355	5285	11035	7932	-37.78	23.98
No.13	3318	1698	6638	3395	9956	5092	-43.69	21.97
No.14	3712	2269	7425	4535	11140	6809	-41.16	23.50
No.15	3645	2636	7286	5268	10931	7902	-37.63	23.91
No.16	3451	1826	6897	3654	10346	5483	-43.25	22.41
No.17	3766	1951	7532	3902	11290	5851	-43.53	23.10
No.18	4044	2385	8086	4771	12122	7161	-41.72	24.12

表 4 確認実験結果

	SN比 η (db)		感度 S (db)	
	推定	確認	推定	確認
最適条件	-35.47	-34.01	24.00	23.96
比較条件	-46.89	-46.19	21.90	21.87
利得	11.42	12.17	2.10	2.09

表 5 最終選択条件の結果

誤差因子	吐出量 (L/min)		
	200rpm	400rpm	600rpm
5°C	3299	6598	9899
20°C	3000	6000	9003
35°C	2701	5401	8099

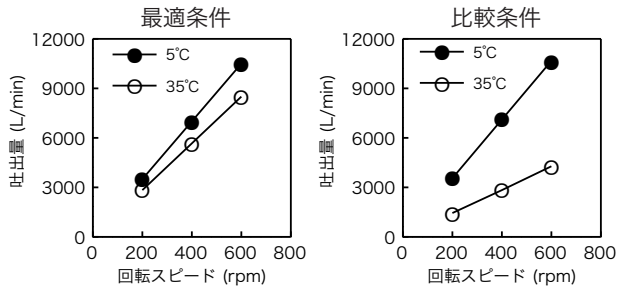


図 11 確認実験結果

■参考文献

- 1) 増田雪也：品質工学の導入教育と普及に関する検討, QES2004 論文集, p168-171(2004)
- 2) 五十嵐二伯ほか：紙コプターの基本機能について, 品質工学, Vol.3, No.4, p49-56(1995)
- 3) 藤本良一：パラメータ設計によるカミコプター最適化, 品質工学, Vol.12, No.6, p24-30(2004)
- 4) 宇井友成ほか：スタパルトによる体験セミナーを主体とした品質工学の社内展開, QES2000 論文集, p82-85(2000)
- 5) 寺石克弘ほか：ゼンマイ駆動玩具を用いた社内動特性研修用教材の開発, QES2000 論文集, p94-97(2000)

4.6 従来法との違い

セミナーではこの後、品質工学的開発方法と従来型のKKD（勘、経験、度胸）での開発方法の違いを検討する。もしKKDで開発したならば、短期間に開発仕様を満足できるような電動ポンプの開発を終えることができたかどうかを受講者自身に考えてもらう。

5. まとめ

今回、体験実習用のソフトウェア教材の開発を行った。その結果、以下のようなメリットを得ることができた。

- ・机上で短時間で実験できる
- ・実習の手間を大幅に省くことができる
- ・実際の企業の開発現場でありそうな実験教材なので、基本機能や誤差因子がわかりやすい
- ・パラメータ設計を簡単に体験することができる

今後は、この品質工学シミュレータを活用し、品質工学ファンを増やしたいと考えている。

今回のシミュレータは、プログラミングソフトを使って製作したが、一般的な表計算ソフトを用いても、同様なシミュレータを製作することは十分に可能である。企業内で品質工学を推進している担当者の方々にも、自身の手で数式を考案し、独自のシミュレータを作り社内での普及に役立てていただきたい。

Q & A

Q1 制御因子の水準を設定する際、あらかじめ設定してある3水準以外の値を入力することは可能でしょうか？

A1 不可能です。プルダウンメニューで選択する3水準のみ入力可能です。

Q2 図6の要因効果図は、意図的にこのような効果になるように、数式を考えたのですか？

A2 はい、意図的にこのような効果になるようにしました。理由は、SN比と感度の組合せを4種類作り出したかったからです。例えば、「SN比に変化がなく、感度に变化のある組合せ」では、感度の調整をすることができます。また、「SN比に変化がなく、感度にも変化のない組合せ」では、コストの調整をすることができます。セミナー受講者に、これらの体験をしてもらうために、意図的にこのような要因効果図になるような数式を作り出しました。