

「コマ大戦」を通じた品質工学への取り組み

九州職業能力開発大学校 八崎 透

1. はじめに

加工競技会やロボット競技会等のものづくりに関係した催しが、全国で盛大に開催されている。その中で、2011年度からコマによる対戦型の一風変わった競技会が始まった。その名も「全日本製造業コマ大戦」(以後、コマ大戦という。)という競技会である。著者が四国職業能力開発大学校(以後、四国能開大という。)と九州職業能力開発大学校(以後、九州能開大という。)在職中に、卒業生が多数就職している企業から参加の依頼を受け、企業や学校に交じり「コマ大戦」に学生と共に参加してきた。その過程で、「コマ大戦」用コマを設計する方法として品質工学を活用しようというアイデアに出合った。世の中にはいろいろなことを考える人がいる。長野県にある企業の技術者の発想である。「コマ実験セット」なるものを考案し、材質や外形の異なるコマのパーツを自由に組み合わせ、「コマ大戦」用コマを設計するというのである。ここで面白いのは、単にコマを作って競い合うだけではなく、コマの設計を通して品質工学(タグチメソッド)を学ぼうという考えである。

本稿では、この「コマ実験セット」なる教材を用い、どのように品質工学を学びながら「コマ大戦」に参加したかを紹介する。

2. 「コマ大戦」の概要¹⁾

「静止状態で回転軸に対し直径20mm以下」の二つの喧嘩コマを「直径250mm凹R700mmケミカル

ウッド製」の土俵で戦わせる競技会である。相手を土俵の外へはじき飛ばすか、土俵内で相手より長く回っていれば勝ち、一方が2連勝したら試合終了である。そして、勝者が敗者のコマをもらえ、最終的に優勝者が参加者全てのコマを総取りする。この競技会は全日本製造業コマ大戦協会が主催しており、全国の中小製造業従事者をはじめ、大学、高等専門学校、高等学校の学生や職員が自慢の自作コマを持ち寄り熱い戦いを展開している。図1に「世界コマ大戦2014西日本予選」に参加したコマを示す。図2にその状況を示す。



図1 「世界コマ大戦 2014 西日本予選」に参加したコマ



図2 「世界コマ大戦 2014 西日本予選」の状況

3. 「コマ実験セット」の概要²⁾

コマを作るパーツとして、軸と重りがそれぞれ9種類ずつあり、一つの軸に対して、重りを2～4枚取り付けることができる。パーツの組み合わせや、重りの取り付け位置を変えることで、作れるコマの組み合わせパターンは729通りある。図3に使用するコマの軸と重りを示す。この「コマ実験セット」を用いて、①制御因子の割り付けと水準設定、②L18直交表に基づいたコマの組み立て、③ノイズ（回転数のばらつき）を与えての、コマの回転時間の測定、④SN比と感度の要因図の作成および最適条件と比較条件の選定、⑤最適条件と比較条件でのコマの組み立て、⑥最適条件と比較条件での実験、⑦再現性の評価等の品質工学の基礎を学習できる。

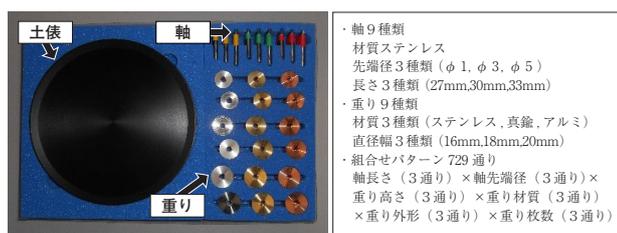


図3 使用するコマの軸と重り

4. 四国職業能力開発大学校での取り組み³⁾

まずは、「コマ実験セット」の考案者に四国能開大に来ていただき、「コマ実験セット」の取り扱い指導を受け品質工学へのアプローチの仕方を講義していただいた。その後、学生に対する「コマ実験セット」を用いた品質工学の授業や近隣の機構施設の若手職員に対する指導を展開した。

4.1 「コマ実験セット」考案者の指導

「コマ実験セット」考案者の方は品質工学会の会員で品質工学を世の中に広めるといふ使命の中、この「コマ実験セット」を販売するだけでなく使用方法の指導をボランティアで実施されていた。特に、大学教育において品質工学が定着していないという

ことから遠方の香川県丸亀市まで来ていただいた。内容については、前章の概要で示した7項目について事細かに説明を受けた。図4に品質工学講義風景、図5に品質工学実験風景を示す。



図4 品質工学講義風景

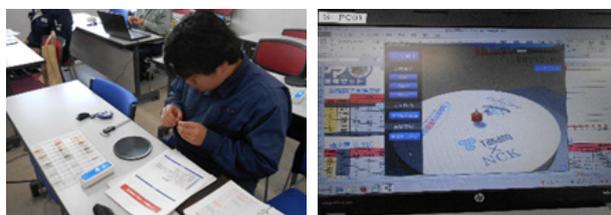


図5 品質工学実験風景

4.2 学生に対する品質工学の実践

今回の教材は、「シミュレーション」と「第3章に示したコマ実験セット」で構成されている。まず、「シミュレーション」で品質工学の基礎を学び、「コマ実験セット」で実際のコマをL18直交表に基づき組み付け、回転時間を評価するというものである。以下に、実際の取り組み状況を示す。

4.2.1 シミュレーションと品質工学の基礎

パソコン上でシミュレーションを実行する中、「パラメータ設計」「制御因子」「誤差因子」「水準設定」「L18直交表」「ノイズ」「SN比」「感度」「最適条件」「比較条件」「再現性の評価」といった品質工学特有の用語を理解させた。また、実際にシミュレーション上でパラメータ設計を行い品質工学の本質、すなわち「品質工学では現象の解明が目的でなく課題に対して最適な設計条件を早く見つけることが目的である」ということを体験させた。図6にシミュレーションを実施しているところの状況を示す。

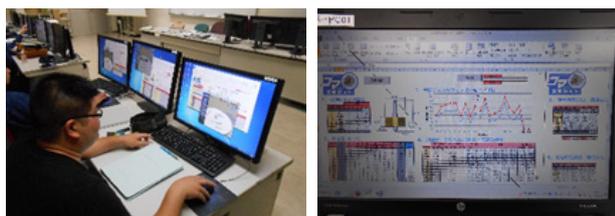


図6 シミュレーション実施の一コマ

4.2.2 「コマ実験セット」を用いた実験

シミュレーションでの経験を基に、制御因子水準設定から始め、L18直交表の割り付けを行った。次に、L18直交表に沿ったコマの組み付けを行い、誤差（回転数の違い）を与えコマの回転時間の測定を行った。そして、実験データの入力後SN比と感度の計算をした後、要因効果図を参考にして最適条件と比較条件を選定した。最後に、最適条件と比較条件のコマを組み立て回転時間の測定をした。

4.2.3 品質工学を用いたコマの製作と

「コマ大戦」への参加

今回の取り組みをしている時期に「世界コマ大戦2014 西日本予選G2北九州場所」が北九州イノベーションギャラリーで実施されることになった。そこで、今回コマの設計に取り入れた品質工学の実験から得たデータからコマの形状を決め、コマの製作を行った。併せて、コマと土俵の間に生じる摩擦による制動トルクを推測し、回転体の運動方程式から事前に予想する試みも積極的に行った。

競技の進行はまず八つのグループで総当たりのリーグ戦を行い、上位2チームが決勝トーナメントを戦った。四国能開大チームは、グループHを2位通過し決勝トーナメントに臨んだ。決勝トーナメントでは、1回戦を、企業チーム相手に、四国能開大の「投げ手」があっさり2連勝し勝ち抜けた。この時点で、九州工業大学等12チーム参加した学生チームの中でベスト8に残ったのは四国能開大だけであった。次の準々決勝は、超精密加工を生業にしている企業チームと対戦した。相手のコマは、超硬合金を本体に回転軸にセラミックスを使用した重心が低く芯ブレがない、われわれが追求した遠心力で回転力を得ることができる理想的なコマであった。無用なコン

タクトのない持久戦を呈した戦いになり、残念ながらここで敗退した。図7にコマ製作時の状況、図8に制動トルクからの回転時間の予想について、図9に今回製作し「コマ大戦」に参加したコマ、図10に開会式に臨む北九州市長と参加者を示す。

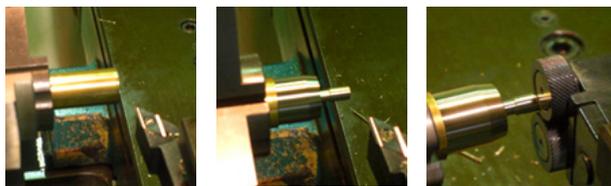
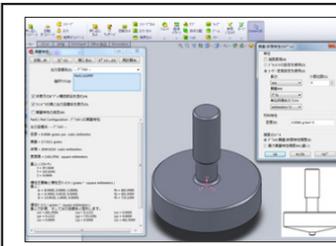


図7 コマ製作時の状況



$$F = \mu \times mg$$

$$T = r \times F$$

$$\alpha = \frac{T}{J}$$

$$t = \frac{\omega - 0}{\alpha}$$

ここに、F：コマと土俵の摩擦力 N
 μ ：コマと土俵の摩擦係数
 m：コマの質量 kg
 J：コマの慣性モーメント kg・m²
 T：制動トルク N・m
 α ：角加速度 sec⁻²
 ω ：コマの初速角速度 sec⁻¹
 t：予想回転時間 sec

図8 制動トルクからの回転時間の予想

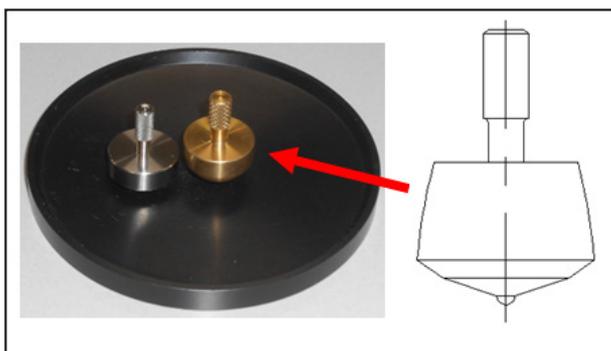


図9 コマ大戦に参加したコマ



図10 開会式に臨む北九州市長と参加者

4.2.4 機械系業務担当者会議での取り組み

四国ブロックでは、毎年各施設間の交流と技能伝承を兼ねて「業務担当者会議」を各系で実施している。機械系において、2014年度は四国能開大が当番校でいろいろな取り組みを行った。その中で、「コマ大戦」の紹介と実際の製作を体験していただいた。職業能力開発大学校に在籍していると学生の教育を絡めいろいろなイベントに参加しやすいのだが、職業能力開発促進センターにおいては業務の性格上イベントへの参加が難しいように聞く。そこで、今回の「コマ大戦」を通して、四国能開大での取り組みを紹介した。まずは、前章で記述した「コマ大戦」の概略について説明した。具体的には、①四国能開大での取り組み、②品質工学の「コマ大戦」への展開について述べた。参加者は皆さん若い職員の方たちで、著者の説明に興味を示してくれた。この概要説明では、特にイベントに参加することで学生のモチベーションを高揚できることとメディアにいかにかアピールできるかを述べた。説明終了後、参加者の方が使用したことのなかった半自動旋盤（滝澤TAC-460A）の操作練習を兼ねて「コマ大戦」用コマの製作を行った。また、製作したコマを用いて実際の「コマ大戦」の競技方法について説明した。参加者皆さんは真剣に取り組み、それぞれのコマを公式の土俵で回し、コマの出来具合確認した。図11に機械系職員担当者会議の一コマと図12にコマの製作と試投風景を示す。



図 11 機械系職員担当者会議の一コマ



図 12 コマの製作と試投風景

5. 九州職業能力開発大学校での取り組み

四国能開大での取り組みを受けて九州能開大では、より具体的に品質工学の手法を用いてコマの設計に取り組んだ。

5.1 品質工学の講義

学生全体に対する講義といった体制は組めなかったが、2016年度「コマ大戦」に参加を希望していた学生数名に対して「パラメータ設計」「パラメータ設計とL18直交表」「パラメータ設計の手順」「コマの設計への応用」等の項目について教えた。また、第3章で述べた「コマ実験セット」を用いてSN比や感度といったものの計算の仕方について講義した。図13に講義の状況を示す。



図 13 講義の状況

5.2 品質工学の実験

品質工学の実験では、「制御因子水準設定」「直交表L18の割り付け」「実験データのグラフ化」「実験データの入力とSN比・感度 (db) の計算」「望目特性SN比 (db) と要因効果図」「望目特性感度 (db) と要因効果図」「確認実験条件と推定 (db)」「再現性の判定 (db)」といった項目を学生が電卓を用いて全ての項目について計算した。図14～図23にそれぞれの結果例を、図24に実験の状況を示す。

制御因子	1	2	3
長さ	27	30	33
先端径	3	4	5
高さ	8	9.5	11
材質	SUS304	C2700	C1100
外径	16	18	20
枚数	2	3	4

材質、枚数以外の単位：mm

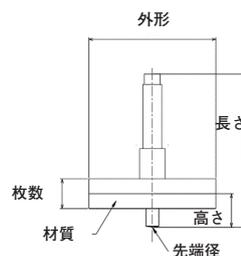


図 14 制御因子水準設定

制御因子	長さ	先端径	高さ	材質	外形	枚数
1	27	3	8	SUS304	16	2
2	27	4	9.5	C2700	18	3
3	27	5	11	C1100	20	4
4	30	3	8	C2700	18	4
5	30	4	9.5	C1100	20	2
6	30	5	11	SUS304	16	3
7	33	3	9.5	SUS304	20	3
8	33	4	11	C2700	16	4
9	33	5	8	C1100	18	2
10	27	3	11	C1100	18	3
11	27	4	8	SUS304	20	4
12	27	5	9.5	C2700	16	2
13	30	3	9.5	C1100	16	4
14	30	4	11	SUS304	18	2
15	30	5	8	C2700	20	3
16	33	3	11	C2700	20	2
17	33	4	8	C1100	16	3
18	33	5	9.5	SUS304	18	4

材質、枚数以外の単位：mm

図 15 直交表 L18 の割り付け

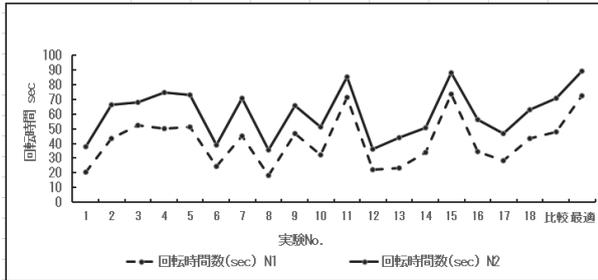


図 16 実験データのグラフ化

実験No.	ノイズ1		ノイズ2		平均値		計算				望目特性	
	1回目	2回目	1回目	2回目	N1	N2	ST	Sm	Se	Ve	SN比	感度
1	21.1	20.1	38.2	37.1	20.60	37.65	1841.88	1696.53	145.35	145.35	7.27	28.90
2	44.1	43.1	64.9	67.9	43.60	66.40	6309.92	6050.00	259.92	259.92	10.47	34.62
3	53.3	50.9	68.9	67.2	52.10	68.05	7345.21	7218.01	127.20	127.20	14.45	35.50
4	50.2	49.6	75.9	73.9	49.90	74.90	8100.02	7787.52	312.50	312.50	10.78	35.73
5	52.5	50.1	73.6	72.7	51.30	73.15	7982.61	7743.90	238.71	238.71	11.96	35.74
6	22.3	26.3	38.1	39.6	24.30	38.85	2099.81	1993.96	105.85	105.85	9.50	29.75
7	46.9	42.9	71.9	70.1	44.90	71.00	7057.01	6716.41	340.61	340.61	9.71	35.04
8	18.4	17.9	34.7	36.9	18.15	35.80	1611.06	1455.30	155.76	155.76	6.20	28.13
9	45.5	48.3	65.7	66.9	46.90	66.30	6595.30	6407.12	188.18	188.18	12.18	34.93
10	32.6	31.9	51.9	50.5	32.25	51.20	3661.50	3481.95	179.55	179.55	9.64	32.18
11	70.5	72.3	84.2	85.9	71.40	85.05	12331.48	12288.30	93.16	93.16	18.14	37.83
12	22.6	21.9	36.9	35.4	22.25	36.15	1801.89	1705.28	96.61	96.61	9.20	29.05
13	23.3	22.9	43.2	44.4	23.10	43.80	2452.05	2237.81	214.24	214.24	6.74	30.05
14	33.1	34.2	50.9	50.2	33.65	50.55	3687.63	3544.82	142.81	142.81	10.76	32.31
15	74.3	72.9	88.9	86.9	73.60	87.90	13143.37	13041.13	102.24	102.24	18.01	38.11
16	34.5	33.9	57.9	54.9	34.20	56.40	4350.60	4104.18	246.42	246.42	8.94	32.85
17	28.6	27.9	45.9	47.6	28.25	46.75	2983.63	2812.50	171.13	171.13	8.87	31.21
18	44.3	42.9	64.7	62.9	43.60	63.80	5971.40	5767.38	204.02	204.02	11.35	34.44
比較	48.2	47.5	71.1	70.5	47.85	70.8	7302.26	7038.91	263.35	263.35	11.09	35.30
総算	72.9	71.5	88.7	89.9	72.20	89.30	13187.33	13041.13	146.21	146.21	16.44	38.09

[計算例：実験 No.1 N1=20.6 N2=37.65]

$$ST = N1^2 + N2^2 = 20.60^2 + 37.65^2 = 1841.88$$

$$SM = (N1 + N2)^2 / 2 = (20.6 + 37.65)^2 / 2 = 1696.53$$

$$SE = ST - SM = 145.35$$

$$VE = SE / (n - 1) = 145.35 / (2 - 1) = 145.35$$

SN比：

$$\eta = 10 \log \frac{1}{r} \frac{SM - VE}{VE} = 7.27 \text{ db}$$

感度：

$$S = 10 \log \frac{1}{r} (SM - VE) = 28.90 \text{ db}$$

図 17 実験データの入力と SN 比・感度 (db) の計算

要因名	水準1	水準2	水準3
長さ	11.53	11.31	9.54
先端径	8.85	11.44	12.03
高さ	12.54	9.91	9.92
材質	11.12	10.6	10.23
外形	8.95	11.7	13.61
枚数	10.05	11.03	11.28
最大値	13.61	最小値	8.85

図 18 望目特性 SN 比 (db)

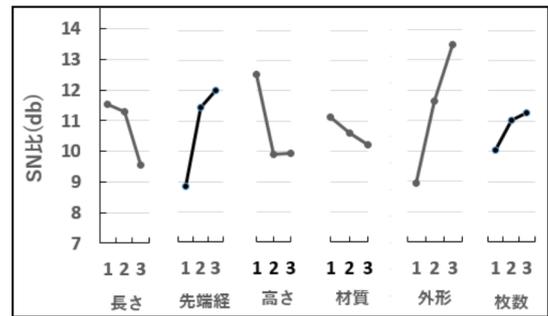


図 19 望目特性 SN 比 (db) と要因効果図

要因名	水準1	水準2	水準3
長さ	33.01	34.08	32.77
先端径	32.46	33.31	33.66
高さ	34.45	33.16	33.63
材質	33.05	33.08	33.27
外形	29.52	34.55	35.76
枚数	32.3	33.49	33.61
最大値	35.76	最小値	32.3

図 20 望目特性感度 (db)

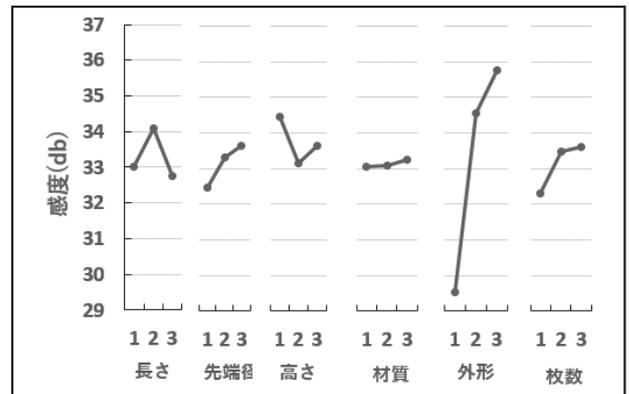


図 21 望目特性感度 (db) と要因効果図

推定と再現実験		比較	最適
長さ		30mm	27mm
先端径		5mm	3mm
高さ		8mm	9.5mm
材質		C2700	SUS304
外径		18mm	20mm
枚数		3枚	4枚
推定	SN比	12.66	18.81
	感度	35.12	38.88
確認実験	SN比	11.09	16.44
	感度	35.3	38.09

図 22 確認実験条件と推定 (db)

<参考文献>

- 1) 全日本製造業コマ大戦 <http://www.komataisen.com/>
- 2) タカノ株式会社 <http://zenmono.jp/projects/45>
- 3) 八崎透ほか, 「コマ大戦」への取組み, 四国職業能力開発
 大学校紀要, No.27, PP.5-10, 2015,3
 著者E-mail yatsuzaki@kyushu-pc.ac.jp

利得		最適一比較	判定
SN比	推定	6.15	○
	実験	5.35	
感度	推定	3.76	○
	実験	2.79	

判定基準
 推定値と実験値の利得の誤差が
 30%未満 ○
 60%未満 △
 60%以上 ×

図 23 再現性の判定 (db)



図 24 実験の状況

6. おわりに

6年間にわたり取り組んできた「コマ大戦」について、述べた。この取り組みを通して学生に自分たちを表現する機会を与えることができたと思う。また、すでに四国能開大でセミナーや学生の実習で積極的に展開されている品質工学についても、「コマ大戦」を通して九州能開大でさらに展開できればと考えている。