

ロバストデザイン教育教材の開発検討

－知能機械セミナー1 教育事例－

山口 信次

高知工科大学工学部

〒782-8502 高知県香美市土佐山田町宮ノ口185

E-mail: yamaguchi.shinji@kochi-tech.ac.jp

要約：高知工科大学工学部知能機械システム工学科1年後期のセミナー1（少人数教育）において、学生に品質工学を理解させ、普及させるために教材の検討などを実施してきた。その内容について紹介する。具体的にはチョコQ、紙ヘリコプター、竹とんぼなどを実施し、教育に適用した。さらに、新しいロバストテーマについて開発検討してゆく。

Abstract : In the Seminar-1 study (Small group education) of Kochi University of Technology, Robust Design (Taguchi Method) was applied for freshmen in 3,4 Q to understand the quality engineering (QE) by using Choro-Q (small toy model cars), paper-helicopter, bamboo-fly, etc. I'm developing new themes of QE. I report the content of this work.

1. はじめに

2003年から1年生の3, 4Qにセミナー1の一部を担当し、この中で、ロバストデザイン（品質工学）の教育を行っている。この教育では判りやすい教材を開発する必要があり、教材検討を進めてきた。

本来、品質工学は2～3年生くらいの方が適切と思われるが、1年生を担当しているので、1年生でも判るように判りやすい教材を開発するのが重要である。そこで世の中で実施されているテーマを実際に実施してみて、適用性について検討してきた。

2. ロバストデザインとは

ロバストデザインは自動車殿堂入りされた田口玄一先生が開発された手法であり、タグチメソッドとも呼ばれている汎用技術である。これはアメリカの自動車メーカーの復活にも役だった手法で、現在日本の多くのメーカー、トヨタ、日産、松下、日立、コニカミノルタなどがこの手法を活用し、新製品の最適化設計を実施し、機能性アップと品質アップによるコスト削減効果を上げている。ロバストデザインでは静特性、動特性、機能窓、MT（マハラノビス・タグチ）システムなどがあり、現在も進化している。多く使われるのが、動特性による機能性評価であり、2段階設計法である。考え方はまず基本機能を考え、信号因子、制御因子、誤差因子を設定し、

L18直交表に配置し実験を行う。まずSN比でバラツキを小さくする因子を選び、安定性を確保し、その上で感度の調整を行うことにより、最適化をおこなう手法である。これを使うことにより理論がわからなくても、製品の機能性の改善や生産技術の改善を行うことができる。また、損失関数を用いた改善手法も行われている。なお、参考までに動特性のSN比と感度は次式で表される。

$$\text{SN比 } \eta = 10 \log \left((S_{\beta} - V_e) / VN/R \right)$$

→バラツキを少なくする効果

$$\text{感度 } S = 10 \log \left((S_{\beta} - V_e) / R \right)$$

→ β 傾きの効果

$$\text{全2乗和 } St = y11^2 + y12^2 + y13^2 + y21^2 + y22^2 + y23^2$$

$$\text{有効除数 } R = 2 \times (M1^2 + M2^2 + M3^2)$$

$$\text{比例項の変動 } S_{\beta} = (M1y1 + M2y2 + M3y3)^2 / R$$

(ここで $y1 = y11 + y12$)

$$\text{直線のバラツキ } S_{N \times \beta} = (L1^2 + L2^2) / M - S_{\beta} \quad (\text{ここで } L1 = M1y11 + M2y12 + M3y13)$$

$$\text{誤差変動 } Se = St - S_{\beta} - S_{N \times \beta}$$

$$\text{誤差分散 } Ve = Se / (2 \times 3 - 1)$$

$$\text{総合誤差分散 } VN = (St - S_{\beta}) / (2 \times 3 - 1)$$

$$\text{基本機能 } y = \beta M \quad (y: \text{出力}, M: \text{信号})$$

3. 大学でのロバストデザイン教育

最近多くの大学でロバストデザイン教育が実施されている。東京電機大学などでは地震の予知や圧縮機的设计などユニークで実践的な多くのテーマについて行われている。また品質工学会では毎年、企業や大学から多くの実施事例が発表され、この中で導入教育用の教材が色々と工夫されている。

品質工学は若干わかりにくいという点が問題となり、導入教育の工夫がされてきている。教材として、紙ヘリコプターやチョロQ、スタタパルト、シミュレーションなどが使われている。

そこで、ロバストデザイン教育教材として、どのようなものが良いかをトライしてきた。

4. セミナー1における品質工学教育の実施内容について

(1) 2003年：チョロQの到達距離を伸ばす最適化実験

誤差因子として直線コースと曲線コースを選び、L18直交表で108回の走行実験を行った。この結果から最適組み合わせを選んでもらった。(図1参照)

この方法はセイコーエプソン社で考案されたものである。⁽¹⁾

問題点は①108回は測定時間がかかりすぎる。②誤差因子の最適化には因子が曲線と直線では違うこと。③計算をソフトで計算したことにより、学生が自ら計算して手順を理解させることができなかつたこと。④測定に追われ、考える時間が十分にとれていないこと。などがあつた。表1に各事例のまとめを示す。



図1. チョロQのロバスト実験

(2) 2004年：紙ヘリコプターによるロバストデザインの講義

授業時間回数の関係でセミナー1で大人数100名を担当することになった。そこで、ロバストの実験をさせるのは難しいと考え、紙ヘリコプターを用いたロバストデザインの解説による講義を行った。

問題点は座学中心であり、学生の印象が薄いことである。このときにプロジェクトXも見てもらつたが、それが一番学生の印象に残つたという結果であつた。またテーマが難しかったという意見もあつた。そこで、実際に実験させ

なければという感想を持った。

(3) 2005年：紙ヘリコプターの滞空時間を延ばす最適化実験

昨年の反省に基づき、100名を4人ずつに分けセミナー室を8室使って紙ヘリコプターの最適化の実験を行った。落下ヘリコプターは2枚羽根標準紙ヘリコプター、UFOタイプ、回転鳥タイプ、パラシュート型、花びら型、魚型などの形状は自由に選ばせた。回転鳥タイプを選ぶ学生が多かった。(図2参照) 実験はL9により行い因子の数を減らして実験させた。また計算も学生に実施させ、ソフトは使わせなかった。

学生の感想は「書く力が付いた。」「実験が楽しい。」「知識が増えた。」「将来役立つ。」「製品の改良の仕方が判った。」などの意見が出された。学生の自己能力アップの評価を図3に示す。



図2. 回転鳥タイプ・ヘリコプター

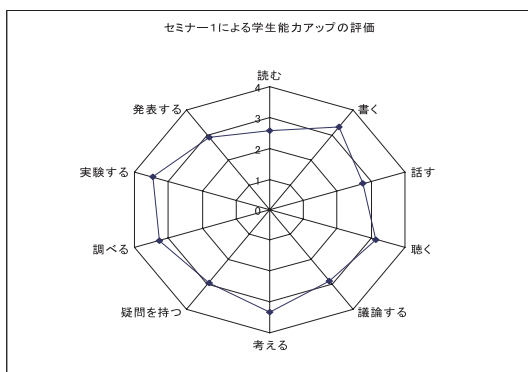


図3. 学生の自己能力アップの評価

問題点は落下速度の測定が安定化したところを測定してなかったため、過渡特性が入り、いまいち正確ではなかった。また、SN比、感度の選び方が十分に理解されていない例がみられた。また、確認再現実験をするところまではやれなかった。

(4) 2006年：竹とんぼの滞空時間を延ばす最適化実験

再度少人数教育に変更になり、近くの森林総合センターで堀田氏のご指導により竹とんぼ作成の実習を行った後に、L9直交表で9個の竹とんぼを作らせて、滞空時間を最大にする因子を選ばせた。(図4参照) 学生の自己評価は「実験する。考える。」の能力が増えたと評価している。図5に学生の自己能力アップの評価を示す。

学生の感じたことは「新しい理論を知ることができた。グループで課題を考える点良かった。」などが出ている。

問題点は竹とんぼを精度良く作るのが大変である。ナイフで削り薄くするのがかなり難しい。この中での実験であり、滞空時間が4秒を超えるのがやっとであり、竹とんぼ名人の18秒などのデータとはほど遠いものとなった。このため、1品料理で作るのに比べると因子の影響が異なり、作った物の精度に依存した結果になることが明らかになり、実験のためのものつくりを如何にするかが重要であることを認識した。



図4. 9種類の竹とんぼ

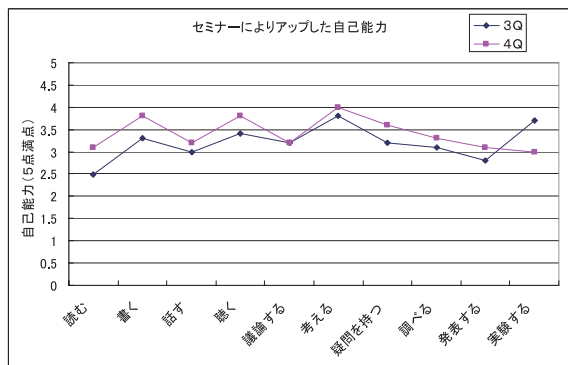


図5. 学生の自己能力アップの評価

4Qでは紙トンボで実験を行ったが、紙の強度、工作精度に問題が残った。また、信号因子が手の回転距離であるため、均一性の確保がむづかしい。また再現実験での確認が十分ではなかった。

5. その他の教育教材の検討内容について

(1) プロペラ・シュータの到達距離を最大化する実験

子供用のバネ駆動の4枚羽プロペラを遠くに飛ばすための最適化実験をおこなった。プロペラ・シュータはコイルばね駆動であり、プロペラ円板を発射機にセットし、1～3回転し、回転力がエネルギーとして、コイルばねに蓄えられ、それで、引き金を引くとラッチが外れ、プロペラ円板が飛行し、到達距離が決まる。図6に発射機とプロペラ・シュータを示す。

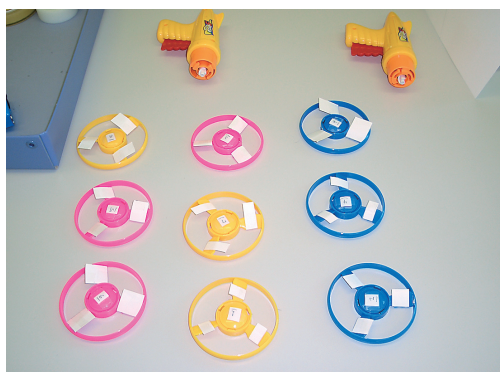


図6. プロペラ・シュータの外観

問題点は羽根の部分の細工が難しいので、羽根に紙で作った付属の羽根を付け、羽根の大き

さを変えた。プラスチックで加工が難しい点がある。また、シュータのバネが壊れやすいなどの難点がある。

(2) コマの回転時間を長くする最適化実験

回転コマはコイルばね駆動であり、コマを回転バネにセットし、4～8回転し、回転力がエネルギーとして、コイルばねに蓄えられ、それで、押しボタンを押すと、ラッチが外れ、コマが回転する。それにより、回転時間が決まる。図7にコマのセットを示す。



図7. 回転コマの外観

制御因子として、コマのサイズを変え、芯の高さを変え、付加質量を付けて、実験を行った。どの組み合わせが一番効くかを直交表に従って実験することにより、コマの回転時間の最長の組み合わせを選ぶことにより、最適化を計るものである。誤差因子は回転させる床の種類とした。

問題点としてはコマのバリエーションを自分で作るという楽しみが少ないが、可能性はある。高知県は森林資源が豊富であり、直接コマを削って作れば、学生の興味がわくであろうと思われる。今後、加工できる場所を探してみたい。

(3) デジカメの機能性評価実験

2006年に増田雪也氏が発表された内容で、佐賀県工業技術センターの田中久氏より、詳細の実施内容を伺い、検討を行った。デジカメで撮影条件を変えたときに、その色が現色を忠実に再現しているかを、すなわち転写性をチェックするものである。誤差因子を色々と考えて、どんな条件でも本来のRGBとの一致性を見るものである。

入力(基準色)→デジカメ(転写)→出力(デジカメの画像の色)。

基準色はKODAK社Q13グレースケールを用いる。(図8)20色の階調が印刷されており、これをデジカメで撮影してゆく。

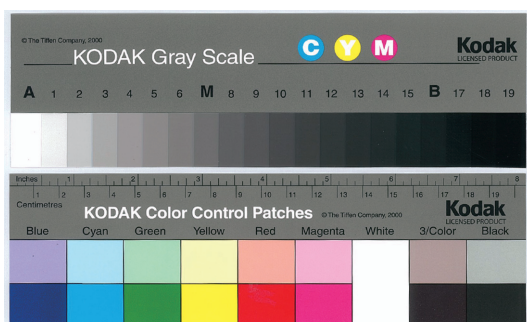


図8. コダック社 グレースケール

誤差因子の考え方をよく理解できるところが良い点である。問題点は動特性の考え方との結びつきが少ないので、他の実験と平行して行うことにより効果を上げられると考えている。

(4) 折り紙飛行機の到達距離を最大にする実験

A 4サイズのコピー用紙で折った紙飛行機をゴム輪で引っ張り水平に飛ばし、飛行距離を測定する。安定して、遠くに飛ぶ飛行機が良いと考える。この折り紙飛行機は阿知波計量士事務所の阿知波正之氏が中部ポリテクセンターで行っておられる内容を教えて頂き、教材として使えるかを検討してみた。(図9)

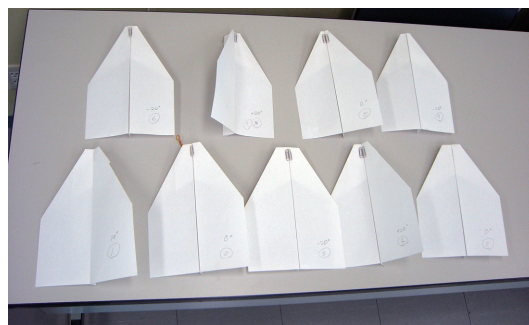


図9 製作した紙飛行機

問題点は折り紙飛行機の形が三角翼であり、主翼、尾翼の効果などを検討するのがわかりにくく、学生の興味を引くには一工夫が必要に思えた。通常の紙飛行機で自由度を与える方がよいのではないかとと思われる。

(5) 家屋の屋根形状の最適化実験

簡単な家屋の模型を作って、屋根形状の違いによる圧力損失すなわち通風抵抗の違いをロバストデザインで解釈してみる。元々は2006年9月に宮崎で台風と低気圧の合体で、竜巻が発生し、家の屋根瓦が飛んでしまうことにより、被害が出たことで考えたものである。家の形状は丸屋根、平板の屋根、5重の塔のように凹型の屋根などがある。これによる違いを簡易風洞で、風に対する抵抗の少ない屋根形状をロバストデザインで探す実験をした。屋根形状は風が速くても、遅くても通風抵抗が小さいもの(感度が低い)がよい。バラツキはばらつかない方がよいので、SN比が高い方がよい。図10、11に家屋形状を示す。



図10. 高平屋根、屋根の凹凸、上枠付

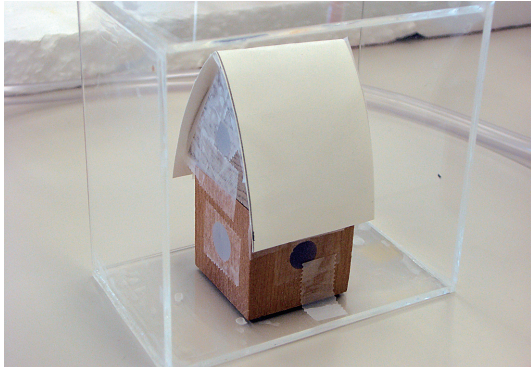


図11. 高凸屋根

通風抵抗、圧力損失は図12に示す簡易風洞で測定した。



図12. 簡易風洞 (左:ファン、右:微差圧計)

問題点は実験は簡単にできるがサンプルの家屋の形状精度と、風洞の大きさの影響をどのように考えるかである。装置は基礎実験で使っている物であり、セミナー1でやるには少し早いかも知れない。また、風洞では横風のみであり、実際の竜巻などと類似に考えてよいかの検討が必要であるが、それなりに面白いと思われる。

6. ロバスト研究課題の内容について

ここでは、ロバストデザインに関連して行った研究事例を紹介する。

(1) 紙ヘリコプターの落下シミュレーションによる滞空時間を伸ばす最適化⁽²⁾

紙ヘリコプターの落下計算シミュレーション(図13)をエクセルで行い、これを直交表で因

子を変えて、終端落下速度をできる限り遅くすることにより落下時間を長くできる。基本機能は終端落下速度の二乗すなわち落下エネルギーで考える。

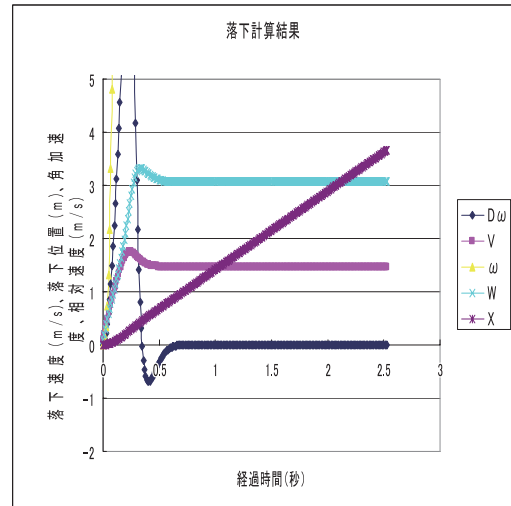


図13. 落下の位置、速度、回転のシミュレーション結果

問題点はシミュレーションが理論式からであり、変えられるパラメータが少なく、学生のロバスト理解用には余り適していない。

(2) 会社の経営計画立案のロバストデザインの適用⁽³⁾

企業の5年間の財務計画のあてはめを実施するものであり、標準SN比を用いておこなう。

新会社を設立する場合には、投資計画、販売計画、生産計画、原価計画を行い、経理計算すなわち損益計算、貸借対照表、資金繰り表の計算を1回のフィービティスタディ毎に行う。この計算条件を変えてL18直交表に割り付けて計算する。

問題点は標準SN比の再現性が十分には確保されておらず、この改善が今後の課題となっている。この研究を単純化して、標準SN比のシミュレーション学習教材として使うことの可能性はありそうである。

7. セミナー1を通してのロバスト教育 展開普及について

L9実験に変えてからは学生にSN比と感度の計算を数式から自ら計算してもらっている。学生に数学の実際の適用ができることは1年生にとっては効果があると考えている。

セミナー1のロバスト実験教育は将来学生が卒業研究する場合などにこの方法を用いて実験からよい研究結果を出してもらいたいと考えている。しかし、なかなかそこまでの適用には至っていない。卒業し、就職して問題に直面したときにこの方法を思い出してもらって、適用してくれることを期待している。

8. あとがき

L9では実験回数が少なくても良いのだが、実験回数の多いL18に比べて、相互作用がでやすいという問題がある。

最近では実験でやるのではなく、CAD, CAEが普及してきたことによりシミュレーションでロバスト実験をすることが広まってきている。

高学年向けのロバストにはこのような方法も良いと考えられる。しかし、実際に物を作って実験するのは学生にとって達成感があるようであり、現在の方法の展開を今後も考えてゆきたい。また、教育教材と教育方法の工夫を計り品質工学の普及に尽くしたい。

なお、これらの実験を検討実施するにあたり多くの方のご指導を頂いた。ここに謝意を表す。

文献

- (1) 寺石他, “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,” 2000年品質工学会、第8回品質工学研究発表大会、論文発表24, p95-97
- (2) 山口信次, “紙ヘリコプターの基本機能について” 品質工学会論文投稿中
- (3) 山口信次, “新規経営5カ年計画立案へのロバストデザインの適用” 品質工学会論文投稿中

表1 ロバストデザインの検討事例まとめ

テーマ	チョロQの到達距離の向上	紙ヘリコプタの滞空時間の向上	プロペラ・シュータの飛行距離の向上																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
目的機能	到達距離を長くする因子を見つける。	滞空時間を長くする因子を見つける。	到達距離を長くする因子を見つける。																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
基本機能																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
信号因子	<table border="1"> <tr><td></td><td>M1</td><td>M2</td><td>M3</td></tr> <tr><td>走行距離</td><td>1</td><td>9</td><td>25</td></tr> </table>		M1	M2	M3	走行距離	1	9	25	<table border="1"> <tr><td></td><td>M1</td><td>M2</td><td>M3</td></tr> <tr><td>重量</td><td>0.17</td><td>0.33</td><td>1.2</td></tr> </table>		M1	M2	M3	重量	0.17	0.33	1.2	<table border="1"> <tr><td>信号因子</td><td>M1</td><td>M2</td><td>M3</td></tr> <tr><td>初期巻き回転数の2乗</td><td>2.25</td><td>4</td><td>9</td></tr> </table>	信号因子	M1	M2	M3	初期巻き回転数の2乗	2.25	4	9																																																																																																																																																																																																																																																																										
	M1	M2	M3																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
走行距離	1	9	25																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
	M1	M2	M3																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
重量	0.17	0.33	1.2																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
信号因子	M1	M2	M3																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
初期巻き回転数の2乗	2.25	4	9																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
誤差因子	<table border="1"> <tr><td></td><td>N1</td><td>N2</td></tr> <tr><td>走行コースの形状</td><td>直線</td><td>曲線</td></tr> </table>		N1	N2	走行コースの形状	直線	曲線	<table border="1"> <tr><td></td><td>N1</td><td>N2</td></tr> <tr><td>エアコン風有り</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>		N1	N2	エアコン風有り	1	1	<table border="1"> <tr><td>誤差因子</td><td>N1</td><td>N2</td></tr> <tr><td>エアコンの風</td><td>無し</td><td>有り</td></tr> </table>	誤差因子	N1	N2	エアコンの風	無し	有り																																																																																																																																																																																																																																																																																
	N1	N2																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
走行コースの形状	直線	曲線																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	N1	N2																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
エアコン風有り	1	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
誤差因子	N1	N2																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
エアコンの風	無し	有り																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
制御因子	<table border="1"> <thead> <tr><th></th><th>制御因子</th><th>第1水準</th><th>第2水準</th><th>第3水準</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>A</td><td>シャーン</td><td>青</td><td>黒</td><td>-</td></tr> <tr><td>B</td><td>前輪</td><td>ゴム</td><td>ゴムデコ</td><td>ブラ</td></tr> <tr><td>C</td><td>バンパー前</td><td>リング2個</td><td>リング1個</td><td>なし</td></tr> <tr><td>D</td><td>バンパー後</td><td>青</td><td>黒</td><td>なし</td></tr> <tr><td>E</td><td>ボデー前</td><td>透明</td><td>紫</td><td>緑</td></tr> <tr><td>F</td><td>ボデー中</td><td>透明</td><td>紫</td><td>緑</td></tr> <tr><td>G</td><td>ボデー後</td><td>透明</td><td>紫</td><td>緑</td></tr> <tr><td>H</td><td>重り</td><td>なし</td><td>1円玉</td><td>10円玉</td></tr> </tbody> </table>		制御因子	第1水準	第2水準	第3水準	A	シャーン	青	黒	-	B	前輪	ゴム	ゴムデコ	ブラ	C	バンパー前	リング2個	リング1個	なし	D	バンパー後	青	黒	なし	E	ボデー前	透明	紫	緑	F	ボデー中	透明	紫	緑	G	ボデー後	透明	紫	緑	H	重り	なし	1円玉	10円玉	<table border="1"> <thead> <tr><th></th><th>制御因子</th><th>第1水準</th><th>第2水準</th><th>第3水準</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>A</td><td>羽幅</td><td>10</td><td>15</td><td>20</td></tr> <tr><td>B</td><td>羽長さ</td><td>35</td><td>45</td><td>55</td></tr> <tr><td>C</td><td>胴幅</td><td>10</td><td>15</td><td>20</td></tr> <tr><td>D</td><td>胴長さ</td><td>30</td><td>35</td><td>40</td></tr> </tbody> </table>		制御因子	第1水準	第2水準	第3水準	A	羽幅	10	15	20	B	羽長さ	35	45	55	C	胴幅	10	15	20	D	胴長さ	30	35	40	<table border="1"> <thead> <tr><th></th><th>制御因子</th><th>第1水準</th><th>第2水準</th><th>第3水準</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>A</td><td>羽幅 (mm)</td><td>15</td><td>20</td><td>25</td></tr> <tr><td>B</td><td>羽長さ (mm)</td><td>10</td><td>15</td><td>20</td></tr> <tr><td>C</td><td>投射角度 (度)</td><td>0</td><td>30</td><td>45</td></tr> <tr><td>D</td><td>羽根張出部の湾曲 (度)</td><td>0</td><td>10</td><td>30</td></tr> </tbody> </table>		制御因子	第1水準	第2水準	第3水準	A	羽幅 (mm)	15	20	25	B	羽長さ (mm)	10	15	20	C	投射角度 (度)	0	30	45	D	羽根張出部の湾曲 (度)	0	10	30																																																																																																																																																																																																			
	制御因子	第1水準	第2水準	第3水準																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
A	シャーン	青	黒	-																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
B	前輪	ゴム	ゴムデコ	ブラ																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
C	バンパー前	リング2個	リング1個	なし																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
D	バンパー後	青	黒	なし																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
E	ボデー前	透明	紫	緑																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
F	ボデー中	透明	紫	緑																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
G	ボデー後	透明	紫	緑																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
H	重り	なし	1円玉	10円玉																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	制御因子	第1水準	第2水準	第3水準																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
A	羽幅	10	15	20																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
B	羽長さ	35	45	55																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
C	胴幅	10	15	20																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
D	胴長さ	30	35	40																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	制御因子	第1水準	第2水準	第3水準																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
A	羽幅 (mm)	15	20	25																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
B	羽長さ (mm)	10	15	20																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
C	投射角度 (度)	0	30	45																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
D	羽根張出部の湾曲 (度)	0	10	30																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
直交表	<table border="1"> <thead> <tr><th></th><th>A</th><th>B</th><th>C</th><th>D</th><th>E</th><th>F</th><th>G</th><th>H</th></tr> <tr><th></th><th>シャーン</th><th>前輪</th><th>バンパー前</th><th>バンパー後</th><th>ボデー前</th><th>ボデー中</th><th>ボデー後</th><th>重り</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>青</td><td>ゴム</td><td>リング2個</td><td>青</td><td>透明</td><td>透明</td><td>透明</td><td>なし</td></tr> <tr><td>2</td><td>青</td><td>ゴム</td><td>リング1個</td><td>黒</td><td>紫</td><td>紫</td><td>紫</td><td>1円玉</td></tr> <tr><td>3</td><td>青</td><td>ゴム</td><td>なし</td><td>なし</td><td>緑</td><td>緑</td><td>緑</td><td>10円玉</td></tr> <tr><td>4</td><td>青</td><td>ゴムデコ</td><td>リング2個</td><td>青</td><td>紫</td><td>紫</td><td>緑</td><td>10円玉</td></tr> <tr><td>5</td><td>青</td><td>ゴムデコ</td><td>リング1個</td><td>黒</td><td>緑</td><td>緑</td><td>透明</td><td>なし</td></tr> <tr><td>6</td><td>青</td><td>ゴムデコ</td><td>なし</td><td>なし</td><td>透明</td><td>透明</td><td>紫</td><td>1円玉</td></tr> <tr><td>7</td><td>青</td><td>ブラ</td><td>リング2個</td><td>黒</td><td>透明</td><td>緑</td><td>紫</td><td>10円玉</td></tr> <tr><td>8</td><td>青</td><td>ブラ</td><td>リング1個</td><td>なし</td><td>紫</td><td>透明</td><td>緑</td><td>なし</td></tr> <tr><td>9</td><td>青</td><td>ブラ</td><td>なし</td><td>青</td><td>緑</td><td>紫</td><td>透明</td><td>1円玉</td></tr> <tr><td>10</td><td>黒</td><td>ゴム</td><td>リング2個</td><td>なし</td><td>緑</td><td>紫</td><td>紫</td><td>なし</td></tr> <tr><td>11</td><td>黒</td><td>ゴム</td><td>リング1個</td><td>青</td><td>透明</td><td>緑</td><td>緑</td><td>1円玉</td></tr> <tr><td>12</td><td>黒</td><td>ゴム</td><td>なし</td><td>黒</td><td>紫</td><td>透明</td><td>透明</td><td>10円玉</td></tr> <tr><td>13</td><td>黒</td><td>ゴムデコ</td><td>リング2個</td><td>黒</td><td>緑</td><td>透明</td><td>緑</td><td>1円玉</td></tr> <tr><td>14</td><td>黒</td><td>ゴムデコ</td><td>リング1個</td><td>なし</td><td>透明</td><td>紫</td><td>透明</td><td>10円玉</td></tr> <tr><td>15</td><td>黒</td><td>ゴムデコ</td><td>なし</td><td>青</td><td>紫</td><td>緑</td><td>紫</td><td>なし</td></tr> <tr><td>16</td><td>黒</td><td>ブラ</td><td>リング2個</td><td>なし</td><td>紫</td><td>緑</td><td>透明</td><td>1円玉</td></tr> <tr><td>17</td><td>黒</td><td>ブラ</td><td>リング1個</td><td>青</td><td>緑</td><td>透明</td><td>紫</td><td>10円玉</td></tr> <tr><td>18</td><td>黒</td><td>ブラ</td><td>なし</td><td>黒</td><td>透明</td><td>紫</td><td>緑</td><td>なし</td></tr> </tbody> </table>		A	B	C	D	E	F	G	H		シャーン	前輪	バンパー前	バンパー後	ボデー前	ボデー中	ボデー後	重り	1	青	ゴム	リング2個	青	透明	透明	透明	なし	2	青	ゴム	リング1個	黒	紫	紫	紫	1円玉	3	青	ゴム	なし	なし	緑	緑	緑	10円玉	4	青	ゴムデコ	リング2個	青	紫	紫	緑	10円玉	5	青	ゴムデコ	リング1個	黒	緑	緑	透明	なし	6	青	ゴムデコ	なし	なし	透明	透明	紫	1円玉	7	青	ブラ	リング2個	黒	透明	緑	紫	10円玉	8	青	ブラ	リング1個	なし	紫	透明	緑	なし	9	青	ブラ	なし	青	緑	紫	透明	1円玉	10	黒	ゴム	リング2個	なし	緑	紫	紫	なし	11	黒	ゴム	リング1個	青	透明	緑	緑	1円玉	12	黒	ゴム	なし	黒	紫	透明	透明	10円玉	13	黒	ゴムデコ	リング2個	黒	緑	透明	緑	1円玉	14	黒	ゴムデコ	リング1個	なし	透明	紫	透明	10円玉	15	黒	ゴムデコ	なし	青	紫	緑	紫	なし	16	黒	ブラ	リング2個	なし	紫	緑	透明	1円玉	17	黒	ブラ	リング1個	青	緑	透明	紫	10円玉	18	黒	ブラ	なし	黒	透明	紫	緑	なし	<table border="1"> <thead> <tr><th></th><th>A</th><th>B</th><th>C</th><th>D</th></tr> <tr><th></th><th>羽幅</th><th>羽長さ</th><th>胴幅</th><th>胴長さ</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>10</td><td>35</td><td>10</td><td>30</td></tr> <tr><td>2</td><td>10</td><td>45</td><td>15</td><td>35</td></tr> <tr><td>3</td><td>10</td><td>55</td><td>20</td><td>40</td></tr> <tr><td>4</td><td>15</td><td>35</td><td>15</td><td>40</td></tr> <tr><td>5</td><td>15</td><td>45</td><td>20</td><td>30</td></tr> <tr><td>6</td><td>15</td><td>55</td><td>10</td><td>35</td></tr> <tr><td>7</td><td>20</td><td>35</td><td>20</td><td>35</td></tr> <tr><td>8</td><td>20</td><td>45</td><td>10</td><td>40</td></tr> <tr><td>9</td><td>20</td><td>55</td><td>15</td><td>30</td></tr> </tbody> </table>		A	B	C	D		羽幅	羽長さ	胴幅	胴長さ	1	10	35	10	30	2	10	45	15	35	3	10	55	20	40	4	15	35	15	40	5	15	45	20	30	6	15	55	10	35	7	20	35	20	35	8	20	45	10	40	9	20	55	15	30	<table border="1"> <thead> <tr><th></th><th>A</th><th>B</th><th>C</th><th>D</th></tr> <tr><th></th><th>羽幅 (mm)</th><th>羽長さ (mm)</th><th>投射角度 (度)</th><th>羽根張出部の湾曲 (度)</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>15</td><td>10</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>2</td><td>15</td><td>15</td><td>30</td><td>10</td></tr> <tr><td>3</td><td>15</td><td>20</td><td>45</td><td>30</td></tr> <tr><td>4</td><td>20</td><td>10</td><td>30</td><td>30</td></tr> <tr><td>5</td><td>20</td><td>15</td><td>45</td><td>0</td></tr> <tr><td>6</td><td>20</td><td>20</td><td>0</td><td>10</td></tr> <tr><td>7</td><td>25</td><td>10</td><td>45</td><td>10</td></tr> <tr><td>8</td><td>25</td><td>15</td><td>0</td><td>30</td></tr> <tr><td>9</td><td>25</td><td>20</td><td>30</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>		A	B	C	D		羽幅 (mm)	羽長さ (mm)	投射角度 (度)	羽根張出部の湾曲 (度)	1	15	10	0	0	2	15	15	30	10	3	15	20	45	30	4	20	10	30	30	5	20	15	45	0	6	20	20	0	10	7	25	10	45	10	8	25	15	0	30	9	25	20	30	0
	A	B	C	D	E	F	G	H																																																																																																																																																																																																																																																																																													
	シャーン	前輪	バンパー前	バンパー後	ボデー前	ボデー中	ボデー後	重り																																																																																																																																																																																																																																																																																													
1	青	ゴム	リング2個	青	透明	透明	透明	なし																																																																																																																																																																																																																																																																																													
2	青	ゴム	リング1個	黒	紫	紫	紫	1円玉																																																																																																																																																																																																																																																																																													
3	青	ゴム	なし	なし	緑	緑	緑	10円玉																																																																																																																																																																																																																																																																																													
4	青	ゴムデコ	リング2個	青	紫	紫	緑	10円玉																																																																																																																																																																																																																																																																																													
5	青	ゴムデコ	リング1個	黒	緑	緑	透明	なし																																																																																																																																																																																																																																																																																													
6	青	ゴムデコ	なし	なし	透明	透明	紫	1円玉																																																																																																																																																																																																																																																																																													
7	青	ブラ	リング2個	黒	透明	緑	紫	10円玉																																																																																																																																																																																																																																																																																													
8	青	ブラ	リング1個	なし	紫	透明	緑	なし																																																																																																																																																																																																																																																																																													
9	青	ブラ	なし	青	緑	紫	透明	1円玉																																																																																																																																																																																																																																																																																													
10	黒	ゴム	リング2個	なし	緑	紫	紫	なし																																																																																																																																																																																																																																																																																													
11	黒	ゴム	リング1個	青	透明	緑	緑	1円玉																																																																																																																																																																																																																																																																																													
12	黒	ゴム	なし	黒	紫	透明	透明	10円玉																																																																																																																																																																																																																																																																																													
13	黒	ゴムデコ	リング2個	黒	緑	透明	緑	1円玉																																																																																																																																																																																																																																																																																													
14	黒	ゴムデコ	リング1個	なし	透明	紫	透明	10円玉																																																																																																																																																																																																																																																																																													
15	黒	ゴムデコ	なし	青	紫	緑	紫	なし																																																																																																																																																																																																																																																																																													
16	黒	ブラ	リング2個	なし	紫	緑	透明	1円玉																																																																																																																																																																																																																																																																																													
17	黒	ブラ	リング1個	青	緑	透明	紫	10円玉																																																																																																																																																																																																																																																																																													
18	黒	ブラ	なし	黒	透明	紫	緑	なし																																																																																																																																																																																																																																																																																													
	A	B	C	D																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	羽幅	羽長さ	胴幅	胴長さ																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
1	10	35	10	30																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
2	10	45	15	35																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
3	10	55	20	40																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
4	15	35	15	40																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
5	15	45	20	30																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
6	15	55	10	35																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
7	20	35	20	35																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
8	20	45	10	40																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
9	20	55	15	30																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	A	B	C	D																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	羽幅 (mm)	羽長さ (mm)	投射角度 (度)	羽根張出部の湾曲 (度)																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
1	15	10	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
2	15	15	30	10																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
3	15	20	45	30																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
4	20	10	30	30																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
5	20	15	45	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
6	20	20	0	10																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
7	25	10	45	10																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
8	25	15	0	30																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
9	25	20	30	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
SN比要因効果図																																																																																																																																																																																																																																																																																																					

感度要因 効果図			
知見	L 1 8 は実験回数が多い。 直/曲線コースは別がよい。	安定落下速度の測定 L 9 交互作用要検討	バネ強度が弱い。

テーマ	回転コマの回転時間向上	紙ヘリコプタ・シミュレーションによる滞空時間向上	竹とんぼの滞空時間向上																																																																																																																																																																																
目的機能	コマの回転時間を長くする因子を見つける。	滞空時間を長くする因子を見つける。	滞空時間を長くする因子を見つける。																																																																																																																																																																																
基本機能																																																																																																																																																																																			
信号因子	<table border="1"> <tr><td></td><td>M1</td><td>M2</td><td>M3</td></tr> <tr><td>回転力</td><td>4</td><td>6</td><td>8</td></tr> </table>		M1	M2	M3	回転力	4	6	8	<table border="1"> <tr><td></td><td>M1</td><td>M2</td><td>M3</td></tr> <tr><td>重量</td><td>0.583</td><td>0.683</td><td>0.783</td></tr> </table>		M1	M2	M3	重量	0.583	0.683	0.783	<table border="1"> <tr><td></td><td>M1</td><td>M2</td><td>M3</td></tr> <tr><td>回転力</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr> </table>		M1	M2	M3	回転力	1	2	3																																																																																																																																																								
	M1	M2	M3																																																																																																																																																																																
回転力	4	6	8																																																																																																																																																																																
	M1	M2	M3																																																																																																																																																																																
重量	0.583	0.683	0.783																																																																																																																																																																																
	M1	M2	M3																																																																																																																																																																																
回転力	1	2	3																																																																																																																																																																																
誤差因子	<table border="1"> <tr><td></td><td>N1</td><td>N2</td></tr> <tr><td>床</td><td>茶ダンボール</td><td>白ダンボール</td></tr> </table>		N1	N2	床	茶ダンボール	白ダンボール	<table border="1"> <tr><td></td><td>N1</td><td>N2</td></tr> <tr><td>無し</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>		N1	N2	無し	1	1	<table border="1"> <tr><td></td><td>N1</td><td>N2</td></tr> <tr><td>2回トライ</td><td>1</td><td>2</td></tr> </table>		N1	N2	2回トライ	1	2																																																																																																																																																														
	N1	N2																																																																																																																																																																																	
床	茶ダンボール	白ダンボール																																																																																																																																																																																	
	N1	N2																																																																																																																																																																																	
無し	1	1																																																																																																																																																																																	
	N1	N2																																																																																																																																																																																	
2回トライ	1	2																																																																																																																																																																																	
制御因子	<table border="1"> <tr><td></td><td>制御因子</td><td>第1水準</td><td>第2水準</td><td>第3水準</td></tr> <tr><td>A</td><td>コマ外径</td><td>小</td><td>中</td><td>大</td></tr> <tr><td>B</td><td>上部重り</td><td>無し</td><td>1円*2</td><td>10c*2</td></tr> <tr><td>C</td><td>芯の長さ (mm)</td><td>5</td><td>11</td><td>15</td></tr> <tr><td>D</td><td>下部中央重り</td><td>無し</td><td>紙</td><td>コイン</td></tr> </table>		制御因子	第1水準	第2水準	第3水準	A	コマ外径	小	中	大	B	上部重り	無し	1円*2	10c*2	C	芯の長さ (mm)	5	11	15	D	下部中央重り	無し	紙	コイン	<table border="1"> <tr><td></td><td>制御因子</td><td>第1水準</td><td>第2水準</td><td>第3水準</td></tr> <tr><td>A</td><td>羽長さ</td><td>35</td><td>45</td><td>55</td></tr> <tr><td>B</td><td>羽幅</td><td>10</td><td>20</td><td>30</td></tr> <tr><td>C</td><td>上反角</td><td>30</td><td>45</td><td>60</td></tr> <tr><td>D</td><td>取り付け角</td><td>-8</td><td>0</td><td>8</td></tr> </table>		制御因子	第1水準	第2水準	第3水準	A	羽長さ	35	45	55	B	羽幅	10	20	30	C	上反角	30	45	60	D	取り付け角	-8	0	8	<table border="1"> <tr><td></td><td>制御因子</td><td>第1水準</td><td>第2水準</td><td>第3水準</td></tr> <tr><td>A</td><td>羽厚さ (mm)</td><td>1.5</td><td>2</td><td>2.5</td></tr> <tr><td>B</td><td>振り角</td><td>16</td><td>30</td><td>40</td></tr> <tr><td>C</td><td>軸中央の削り</td><td>無し</td><td>10w-25</td><td>10w-35</td></tr> <tr><td>D</td><td>羽長さ (cm)</td><td>14</td><td>12</td><td>10</td></tr> </table>		制御因子	第1水準	第2水準	第3水準	A	羽厚さ (mm)	1.5	2	2.5	B	振り角	16	30	40	C	軸中央の削り	無し	10w-25	10w-35	D	羽長さ (cm)	14	12	10																																																																																																					
	制御因子	第1水準	第2水準	第3水準																																																																																																																																																																															
A	コマ外径	小	中	大																																																																																																																																																																															
B	上部重り	無し	1円*2	10c*2																																																																																																																																																																															
C	芯の長さ (mm)	5	11	15																																																																																																																																																																															
D	下部中央重り	無し	紙	コイン																																																																																																																																																																															
	制御因子	第1水準	第2水準	第3水準																																																																																																																																																																															
A	羽長さ	35	45	55																																																																																																																																																																															
B	羽幅	10	20	30																																																																																																																																																																															
C	上反角	30	45	60																																																																																																																																																																															
D	取り付け角	-8	0	8																																																																																																																																																																															
	制御因子	第1水準	第2水準	第3水準																																																																																																																																																																															
A	羽厚さ (mm)	1.5	2	2.5																																																																																																																																																																															
B	振り角	16	30	40																																																																																																																																																																															
C	軸中央の削り	無し	10w-25	10w-35																																																																																																																																																																															
D	羽長さ (cm)	14	12	10																																																																																																																																																																															
直交表	<table border="1"> <tr><td></td><td>A</td><td>B</td><td>C</td><td>D</td></tr> <tr><td></td><td>コマ外径</td><td>上部重り</td><td>芯の長さ (mm)</td><td>下部中央重り</td></tr> <tr><td>1</td><td>小</td><td>無し</td><td>5</td><td>無し</td></tr> <tr><td>2</td><td>小</td><td>1円*2</td><td>11</td><td>紙</td></tr> <tr><td>3</td><td>小</td><td>10c*2</td><td>15</td><td>コイン</td></tr> <tr><td>4</td><td>中</td><td>無し</td><td>11</td><td>コイン</td></tr> <tr><td>5</td><td>中</td><td>1円*2</td><td>15</td><td>無し</td></tr> <tr><td>6</td><td>中</td><td>10c*2</td><td>5</td><td>紙</td></tr> <tr><td>7</td><td>大</td><td>無し</td><td>15</td><td>紙</td></tr> <tr><td>8</td><td>大</td><td>1円*2</td><td>5</td><td>コイン</td></tr> <tr><td>9</td><td>大</td><td>10c*2</td><td>11</td><td>無し</td></tr> </table>		A	B	C	D		コマ外径	上部重り	芯の長さ (mm)	下部中央重り	1	小	無し	5	無し	2	小	1円*2	11	紙	3	小	10c*2	15	コイン	4	中	無し	11	コイン	5	中	1円*2	15	無し	6	中	10c*2	5	紙	7	大	無し	15	紙	8	大	1円*2	5	コイン	9	大	10c*2	11	無し	<table border="1"> <tr><td></td><td>A</td><td>B</td><td>C</td><td>D</td></tr> <tr><td></td><td>羽長さ</td><td>羽幅</td><td>上反角</td><td>取り付け角</td></tr> <tr><td>1</td><td>35</td><td>10</td><td>30</td><td>-8</td></tr> <tr><td>2</td><td>35</td><td>20</td><td>45</td><td>0</td></tr> <tr><td>3</td><td>35</td><td>30</td><td>60</td><td>8</td></tr> <tr><td>4</td><td>45</td><td>10</td><td>45</td><td>8</td></tr> <tr><td>5</td><td>45</td><td>20</td><td>60</td><td>-8</td></tr> <tr><td>6</td><td>45</td><td>30</td><td>30</td><td>0</td></tr> <tr><td>7</td><td>55</td><td>10</td><td>60</td><td>0</td></tr> <tr><td>8</td><td>55</td><td>20</td><td>30</td><td>8</td></tr> <tr><td>9</td><td>55</td><td>30</td><td>45</td><td>-8</td></tr> </table>		A	B	C	D		羽長さ	羽幅	上反角	取り付け角	1	35	10	30	-8	2	35	20	45	0	3	35	30	60	8	4	45	10	45	8	5	45	20	60	-8	6	45	30	30	0	7	55	10	60	0	8	55	20	30	8	9	55	30	45	-8	<table border="1"> <tr><td></td><td>A</td><td>B</td><td>C</td><td>D</td><td></td></tr> <tr><td></td><td>羽厚さ (mm)</td><td>振り角</td><td>軸中央の削り</td><td>羽長さ (cm)</td><td>重量 (g)</td></tr> <tr><td>1</td><td>1.5</td><td>16</td><td>無し</td><td>14</td><td>5</td></tr> <tr><td>2</td><td>1.5</td><td>30</td><td>10w-25</td><td>12</td><td>4</td></tr> <tr><td>3</td><td>1.5</td><td>40</td><td>10w-35</td><td>10</td><td>4</td></tr> <tr><td>4</td><td>2</td><td>16</td><td>10w-25</td><td>10</td><td>4.2</td></tr> <tr><td>5</td><td>2</td><td>30</td><td>10w-35</td><td>14</td><td>4.5</td></tr> <tr><td>6</td><td>2</td><td>40</td><td>無し</td><td>12</td><td>5</td></tr> <tr><td>7</td><td>2.5</td><td>16</td><td>10w-35</td><td>12</td><td>5</td></tr> <tr><td>8</td><td>2.5</td><td>30</td><td>無し</td><td>10</td><td>4.5</td></tr> <tr><td>9</td><td>2.5</td><td>40</td><td>10w-25</td><td>14</td><td>5.5</td></tr> </table>		A	B	C	D			羽厚さ (mm)	振り角	軸中央の削り	羽長さ (cm)	重量 (g)	1	1.5	16	無し	14	5	2	1.5	30	10w-25	12	4	3	1.5	40	10w-35	10	4	4	2	16	10w-25	10	4.2	5	2	30	10w-35	14	4.5	6	2	40	無し	12	5	7	2.5	16	10w-35	12	5	8	2.5	30	無し	10	4.5	9	2.5	40	10w-25	14	5.5
	A	B	C	D																																																																																																																																																																															
	コマ外径	上部重り	芯の長さ (mm)	下部中央重り																																																																																																																																																																															
1	小	無し	5	無し																																																																																																																																																																															
2	小	1円*2	11	紙																																																																																																																																																																															
3	小	10c*2	15	コイン																																																																																																																																																																															
4	中	無し	11	コイン																																																																																																																																																																															
5	中	1円*2	15	無し																																																																																																																																																																															
6	中	10c*2	5	紙																																																																																																																																																																															
7	大	無し	15	紙																																																																																																																																																																															
8	大	1円*2	5	コイン																																																																																																																																																																															
9	大	10c*2	11	無し																																																																																																																																																																															
	A	B	C	D																																																																																																																																																																															
	羽長さ	羽幅	上反角	取り付け角																																																																																																																																																																															
1	35	10	30	-8																																																																																																																																																																															
2	35	20	45	0																																																																																																																																																																															
3	35	30	60	8																																																																																																																																																																															
4	45	10	45	8																																																																																																																																																																															
5	45	20	60	-8																																																																																																																																																																															
6	45	30	30	0																																																																																																																																																																															
7	55	10	60	0																																																																																																																																																																															
8	55	20	30	8																																																																																																																																																																															
9	55	30	45	-8																																																																																																																																																																															
	A	B	C	D																																																																																																																																																																															
	羽厚さ (mm)	振り角	軸中央の削り	羽長さ (cm)	重量 (g)																																																																																																																																																																														
1	1.5	16	無し	14	5																																																																																																																																																																														
2	1.5	30	10w-25	12	4																																																																																																																																																																														
3	1.5	40	10w-35	10	4																																																																																																																																																																														
4	2	16	10w-25	10	4.2																																																																																																																																																																														
5	2	30	10w-35	14	4.5																																																																																																																																																																														
6	2	40	無し	12	5																																																																																																																																																																														
7	2.5	16	10w-35	12	5																																																																																																																																																																														
8	2.5	30	無し	10	4.5																																																																																																																																																																														
9	2.5	40	10w-25	14	5.5																																																																																																																																																																														

SN比 要因 効果図	<p>SN比効果図: SN比 (db) vs 因子 (A, B, C, D). 各因子は3水準あり。SN比はA: 0.0, 1.0, 2.0; B: 1.0, 0.0, 0.0; C: 2.0, 0.0, -1.0; D: 2.0, 1.0, -2.0。</p>	<p>1/総合誤差分散効果図: 1/VN (db) vs 因子 (A, B, C, D). 各因子は3水準あり。1/VNはA: 5.0, 10.0, 15.0; B: 5.0, 10.0, 15.0; C: 10.0, 10.0, 5.0; D: 10.0, 10.0, 5.0。</p>	<p>SN比効果図: SN比 (db) vs 因子 (A, B, C, D). 各因子は3水準あり。SN比はA: 3.0, 3.0, 3.0; B: 3.0, 2.0, 2.0; C: 3.0, 2.0, 2.0; D: 3.0, 3.0, 3.0。</p>
感度要因 効果図	<p>感度効果図: 感度 (db) vs 因子 (A, B, C, D). 各因子は3水準あり。感度はA: 14.0, 16.0, 17.0; B: 15.0, 15.0, 17.0; C: 15.0, 16.0, 17.0; D: 14.0, 16.0, 17.0。</p>	<p>感度効果図: 感度 (db) vs 因子 (A, B, C, D). 各因子は3水準あり。感度はA: 15.0, 10.0, 5.0; B: 15.0, 10.0, 5.0; C: 10.0, 5.0, 0.0; D: 10.0, 5.0, 0.0。</p>	<p>感度効果図: 感度 (db) vs 因子 (A, B, C, D). 各因子は3水準あり。感度はA: 0.0, 2.0, 2.0; B: 1.0, 1.0, 1.0; C: 1.0, 1.0, 1.0; D: 1.0, 1.0, 1.0。</p>
知見	コマの特性の理解によい。 理論との対比が可能。	バラツキ設定に恣意性。	工作精度に依存。

テーマ	折り紙飛行機の飛行距離向上	デジタルカメラの機能性評価	模型家屋の屋根形状による耐風性評価																																																		
目的機能	到達距離を大きくする因子を見つける。	デジカメのグレースケールRGBの転写性評価をする。	風に対する通風抵抗の少ない屋根構造を評価する。																																																		
基本機能	<p>飛行距離</p> <p>ゴムの引っ張り距離</p>	<p>出力デジカメ画像のRGB</p> <p>入力(基準色)</p>	<p>通風抵抗y</p> <p>送風速度(M)</p>																																																		
信号因子	<table border="1"> <tr> <td></td> <td>M1</td> <td>M2</td> <td>M3</td> </tr> <tr> <td>ゴムの引っ張り距離mm</td> <td>6</td> <td>8</td> <td>10</td> </tr> </table>		M1	M2	M3	ゴムの引っ張り距離mm	6	8	10		<table border="1"> <tr> <td></td> <td>M1</td> <td>M2</td> <td>M3</td> </tr> <tr> <td>風速</td> <td>8</td> <td>5.5</td> <td>2.3</td> </tr> </table>		M1	M2	M3	風速	8	5.5	2.3																																		
	M1	M2	M3																																																		
ゴムの引っ張り距離mm	6	8	10																																																		
	M1	M2	M3																																																		
風速	8	5.5	2.3																																																		
誤差因子	<table border="1"> <tr> <td></td> <td>N1</td> <td>N2</td> </tr> <tr> <td>2回トライ</td> <td>1</td> <td>2</td> </tr> </table>		N1	N2	2回トライ	1	2	<table border="1"> <tr> <td>誤差</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>光源</td> <td>蛍光灯</td> <td>日向</td> <td>日陰</td> </tr> <tr> <td>距離</td> <td>30cm</td> <td>60cm</td> <td>1m</td> </tr> <tr> <td>被写体角度</td> <td>真っ直ぐ</td> <td>左45度</td> <td>右45度</td> </tr> <tr> <td>画面内位置</td> <td>中心</td> <td>左上</td> <td>右下</td> </tr> </table>	誤差	1	2	3	光源	蛍光灯	日向	日陰	距離	30cm	60cm	1m	被写体角度	真っ直ぐ	左45度	右45度	画面内位置	中心	左上	右下	<table border="1"> <tr> <td></td> <td>N1</td> <td>N2</td> </tr> <tr> <td>無し</td> <td>1</td> <td>2</td> </tr> </table>		N1	N2	無し	1	2																		
	N1	N2																																																			
2回トライ	1	2																																																			
誤差	1	2	3																																																		
光源	蛍光灯	日向	日陰																																																		
距離	30cm	60cm	1m																																																		
被写体角度	真っ直ぐ	左45度	右45度																																																		
画面内位置	中心	左上	右下																																																		
	N1	N2																																																			
無し	1	2																																																			
制御因子	<table border="1"> <tr> <td></td> <td>制御因子</td> <td>第1水準</td> <td>第2水準</td> <td>第3水準</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>胴の高さ(mm)</td> <td>15</td> <td>20</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>上反角(度)</td> <td>20</td> <td>0</td> <td>-20</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>先端の折りしろ(mm)</td> <td>-10</td> <td>0</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>重り(クリップ数)</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>2</td> </tr> </table>		制御因子	第1水準	第2水準	第3水準	A	胴の高さ(mm)	15	20	25	B	上反角(度)	20	0	-20	C	先端の折りしろ(mm)	-10	0	10	D	重り(クリップ数)	0	1	2		<table border="1"> <tr> <td></td> <td>制御因子</td> <td>第1水準</td> <td>第2水準</td> <td>第3水準</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>屋根高さ(mm)</td> <td>35</td> <td>20</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>屋根形状</td> <td>フラット</td> <td>凹</td> <td>凸</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>頂上の枠</td> <td>有り</td> <td>無し</td> <td>無し</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>屋根表面の横筋</td> <td>有り</td> <td>無し</td> <td>無し</td> </tr> </table>		制御因子	第1水準	第2水準	第3水準	A	屋根高さ(mm)	35	20	10	B	屋根形状	フラット	凹	凸	C	頂上の枠	有り	無し	無し	D	屋根表面の横筋	有り	無し	無し
	制御因子	第1水準	第2水準	第3水準																																																	
A	胴の高さ(mm)	15	20	25																																																	
B	上反角(度)	20	0	-20																																																	
C	先端の折りしろ(mm)	-10	0	10																																																	
D	重り(クリップ数)	0	1	2																																																	
	制御因子	第1水準	第2水準	第3水準																																																	
A	屋根高さ(mm)	35	20	10																																																	
B	屋根形状	フラット	凹	凸																																																	
C	頂上の枠	有り	無し	無し																																																	
D	屋根表面の横筋	有り	無し	無し																																																	

直交表	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>D</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>胴の高さ (mm)</td> <td>上反角 (度)</td> <td>先端の折りしろ (mm)</td> <td>重り (クリップ数)</td> <td>重量 (g)</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>15</td> <td>20</td> <td>-10</td> <td>0</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>15</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>4.2</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>15</td> <td>-20</td> <td>10</td> <td>2</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>20</td> <td>20</td> <td>0</td> <td>2</td> <td>4.6</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>20</td> <td>0</td> <td>10</td> <td>0</td> <td>4.1</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>20</td> <td>-20</td> <td>-10</td> <td>1</td> <td>4.2</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>25</td> <td>20</td> <td>10</td> <td>1</td> <td>4.5</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>25</td> <td>0</td> <td>-10</td> <td>2</td> <td>4.5</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>25</td> <td>-20</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>4.2</td> </tr> </tbody> </table>		A	B	C	D			胴の高さ (mm)	上反角 (度)	先端の折りしろ (mm)	重り (クリップ数)	重量 (g)	1	15	20	-10	0	4	2	15	0	0	1	4.2	3	15	-20	10	2	5	4	20	20	0	2	4.6	5	20	0	10	0	4.1	6	20	-20	-10	1	4.2	7	25	20	10	1	4.5	8	25	0	-10	2	4.5	9	25	-20	0	0	4.2	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>L1</th> <th>L2</th> <th>L3</th> <th>L4</th> <th>L5</th> <th>L6</th> <th>L7</th> <th>L8</th> <th>L9</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>M1</td> <td>33</td> <td>27</td> <td>13</td> <td>32</td> <td>100</td> <td>35</td> <td>31</td> <td>14</td> <td>29</td> <td>59</td> </tr> <tr> <td>33</td> <td>33</td> <td>18</td> <td>10</td> <td>35</td> <td>120</td> <td>36</td> <td>33</td> <td>14</td> <td>28</td> <td>47</td> </tr> <tr> <td></td> <td>116</td> <td>170</td> <td>59</td> <td>168</td> <td>196</td> <td>160</td> <td>187</td> <td>85</td> <td>94</td> <td>128</td> </tr> <tr> <td>M2</td> <td>116</td> <td>171</td> <td>66</td> <td>173</td> <td>200</td> <td>158</td> <td>188</td> <td>85</td> <td>98</td> <td>125</td> </tr> <tr> <td>116</td> <td>116</td> <td>166</td> <td>53</td> <td>175</td> <td>199</td> <td>159</td> <td>193</td> <td>81</td> <td>97</td> <td>118</td> </tr> <tr> <td></td> <td>242</td> <td>240</td> <td>156</td> <td>255</td> <td>255</td> <td>255</td> <td>255</td> <td>198</td> <td>206</td> <td>237</td> </tr> <tr> <td>M3</td> <td>242</td> <td>236</td> <td>160</td> <td>255</td> <td>255</td> <td>255</td> <td>255</td> <td>197</td> <td>210</td> <td>236</td> </tr> <tr> <td>242</td> <td>242</td> <td>224</td> <td>153</td> <td>255</td> <td>255</td> <td>255</td> <td>255</td> <td>189</td> <td>211</td> <td>231</td> </tr> </tbody> </table> <p>デジカメ A の RGB データ</p>		L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	M1	33	27	13	32	100	35	31	14	29	59	33	33	18	10	35	120	36	33	14	28	47		116	170	59	168	196	160	187	85	94	128	M2	116	171	66	173	200	158	188	85	98	125	116	116	166	53	175	199	159	193	81	97	118		242	240	156	255	255	255	255	198	206	237	M3	242	236	160	255	255	255	255	197	210	236	242	242	224	153	255	255	255	255	189	211	231	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>D</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>屋根高さ (mm)</td> <td>屋根形状</td> <td>頂上の枠</td> <td>屋根表面の横筋</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>35</td> <td>フラット</td> <td>有り</td> <td>有り</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>35</td> <td>凹</td> <td>無し</td> <td>無し</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>35</td> <td>凸</td> <td>無し</td> <td>無し</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>20</td> <td>フラット</td> <td>無し</td> <td>無し</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>20</td> <td>凹</td> <td>無し</td> <td>有り</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>20</td> <td>凸</td> <td>有り</td> <td>無し</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>10</td> <td>フラット</td> <td>無し</td> <td>無し</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>10</td> <td>凹</td> <td>有り</td> <td>無し</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>10</td> <td>凸</td> <td>無し</td> <td>有り</td> </tr> </tbody> </table>		A	B	C	D		屋根高さ (mm)	屋根形状	頂上の枠	屋根表面の横筋	1	35	フラット	有り	有り	2	35	凹	無し	無し	3	35	凸	無し	無し	4	20	フラット	無し	無し	5	20	凹	無し	有り	6	20	凸	有り	無し	7	10	フラット	無し	無し	8	10	凹	有り	無し	9	10	凸	無し	有り
		A	B	C	D																																																																																																																																																																																																																									
	胴の高さ (mm)	上反角 (度)	先端の折りしろ (mm)	重り (クリップ数)	重量 (g)																																																																																																																																																																																																																									
1	15	20	-10	0	4																																																																																																																																																																																																																									
2	15	0	0	1	4.2																																																																																																																																																																																																																									
3	15	-20	10	2	5																																																																																																																																																																																																																									
4	20	20	0	2	4.6																																																																																																																																																																																																																									
5	20	0	10	0	4.1																																																																																																																																																																																																																									
6	20	-20	-10	1	4.2																																																																																																																																																																																																																									
7	25	20	10	1	4.5																																																																																																																																																																																																																									
8	25	0	-10	2	4.5																																																																																																																																																																																																																									
9	25	-20	0	0	4.2																																																																																																																																																																																																																									
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9																																																																																																																																																																																																																					
M1	33	27	13	32	100	35	31	14	29	59																																																																																																																																																																																																																				
33	33	18	10	35	120	36	33	14	28	47																																																																																																																																																																																																																				
	116	170	59	168	196	160	187	85	94	128																																																																																																																																																																																																																				
M2	116	171	66	173	200	158	188	85	98	125																																																																																																																																																																																																																				
116	116	166	53	175	199	159	193	81	97	118																																																																																																																																																																																																																				
	242	240	156	255	255	255	255	198	206	237																																																																																																																																																																																																																				
M3	242	236	160	255	255	255	255	197	210	236																																																																																																																																																																																																																				
242	242	224	153	255	255	255	255	189	211	231																																																																																																																																																																																																																				
	A	B	C	D																																																																																																																																																																																																																										
	屋根高さ (mm)	屋根形状	頂上の枠	屋根表面の横筋																																																																																																																																																																																																																										
1	35	フラット	有り	有り																																																																																																																																																																																																																										
2	35	凹	無し	無し																																																																																																																																																																																																																										
3	35	凸	無し	無し																																																																																																																																																																																																																										
4	20	フラット	無し	無し																																																																																																																																																																																																																										
5	20	凹	無し	有り																																																																																																																																																																																																																										
6	20	凸	有り	無し																																																																																																																																																																																																																										
7	10	フラット	無し	無し																																																																																																																																																																																																																										
8	10	凹	有り	無し																																																																																																																																																																																																																										
9	10	凸	無し	有り																																																																																																																																																																																																																										
SN比要因効果図		<p>デジカメ A の機能性</p>																																																																																																																																																																																																																												
感度要因効果図		<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>η</td> <td>-32.217</td> <td>-32.9</td> <td>-35.8</td> </tr> <tr> <td>S</td> <td>-0.082</td> <td>-0.08</td> <td>0.925</td> </tr> <tr> <td>β</td> <td>0.991</td> <td>0.991</td> <td>1.114</td> </tr> </tbody> </table> <p>デジカメの SN比、感度比較</p>		A	B	C	η	-32.217	-32.9	-35.8	S	-0.082	-0.08	0.925	β	0.991	0.991	1.114																																																																																																																																																																																																												
	A	B	C																																																																																																																																																																																																																											
η	-32.217	-32.9	-35.8																																																																																																																																																																																																																											
S	-0.082	-0.08	0.925																																																																																																																																																																																																																											
β	0.991	0.991	1.114																																																																																																																																																																																																																											
知見	<p>折り紙の形状に工夫が必要。 通常の尾翼のある紙飛行機の方がよいか。</p>	<p>誤差因子の理解に適している。</p>	<p>模型を精度良く作成必要。</p>																																																																																																																																																																																																																											
参考			<p>風洞の適正サイズ検討要。</p>																																																																																																																																																																																																																											