

設計アイデアに及ぼすチームワークと機能本位思考の効果

The Effect of Teamwork and Function-Oriented Thinking on Ideas Generated for Product Design

牧野 公一 技術開発本部ものづくり推進部 主査

澤口 学 早稲田大学 理工学術院創造理工学研究科経営デザイン専攻 客員教授 博士(工学)

製品の開発や改善時には機能、コスト両面を考慮した最適な設計が求められる。そのために幅広くアイデアを発想し、そのなかから質の高いアイデアを選択、価値の高い設計とする手段が必要である。こうした要求に応える管理技術の一つであるバリューエンジニアリングはチームデザインと機能本位思考によって、多様性が高く、かつ数多くのアイデアが得られるとされている。本研究では、発想されたアイデアの多様性を、情報エントロピーを活用して定量的に取り扱うことによって、チームデザインと機能本位思考の効果について当社内研修の実験データに基づいて検証するものである。

Optimal designs in terms of function and cost are required for the product development and improvement design processes. A methodology that results in high-value design is needed by designers, because they have to generate many different ideas and select the good ideas. Value Engineering is one management technique that attempts to fill this need and is good for a wide variety of ideas developed through teamwork and function-oriented thinking. In this study, through the effect of teamwork and function-oriented thinking on generated ideas will be verified from the data of a company seminar through quantitative handling of the variety of ideas generated through practical use of information entropy.

1. 緒言

企業経営にとって製造原価を可能な限り低く抑えることは必須の課題である。製品の開発や改善を行う場合、詳細設計段階で製造原価の約80%が決定してしまうといわれており^{(1),(2)}、設計は企業経営にとって重要な役割を担っている。

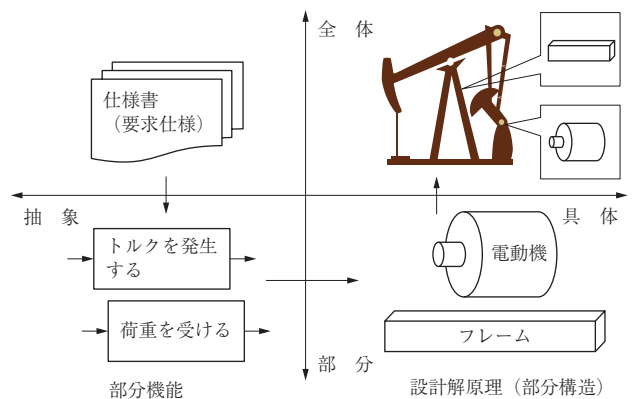
製品を設計する場合、市場からの要求や企業方針に則った要求機能概念から設計解を導きだす^{(3)~(5)}。その際、全体機能を構成する部分機能を達成する方法を複数探索し、最適な組合せを選択する⁽⁵⁾。その達成方法は多くのアイデアから作られ、アイデアを多く発想するにはチームワークや機能本位思考が有効とされている^{(6)~(8)}。バリューエンジニアリング (Value Engineering: 以降, VE) で用いられる機能本位思考はアイデアの創出に有効とされているが^{(6),(9)}、その効果は定量的には示されていない。一方、経営の視点では、人や時間などの経営資源の投資効率最大化を求められる。

以上の背景を受け、本研究は設計過程で設計解を広く検討する際に発想されるアイデアに対し、チームワークおよび機能本位思考が与える影響を定量的に明らかにし、アイデア発想などの創造的活動への人や時間の投資判断に役立つようとするものである。

2. 設計過程におけるアイデア発想と機能

2.1 設計方法論における機能

設計方法論の代表例として Pahl と Beitz の設計方法論⁽⁵⁾が有名であり、概念設計過程の構造を第1図に示す⁽³⁾。要求仕様から、要求を満たすために必要な部分機能を抽出し、次に部分機能を達成するための部分構造を検討し、この部分構造を統合して全体としての設計解を得る。言い換えれば、この概念設計の思考過程は、機能本位にアイデア発想することに他ならない。本研究でいう機能とは、このような設計方法論における機能を指すこととする。



第1図 概念設計過程の構造⁽³⁾
Fig. 1 Structure of conceptual design process⁽³⁾

2.2 アイデア発想が必要な局面

Pahl と Beitz の設計方法論は、設計者が行っている設計の思考過程を説明している。すなわち、分析、統合、評価が繰り返し行われ設計の最終案をまとめていくのが実際の設計作業の流れである。思考を拡大させて複数個の概念的な構想を立案し、評価によって一つが選ばれ、最終段階で構想を具体化、洗練化させ設計過程が収束する⁽¹⁰⁾。したがって、思考を拡大させる局面ではアイデアを多く出すことが重要になる。

2.3 VE における機能

VE は機能に着目した管理技術の一つである。VE では製品やサービスの機能とコストを明らかにする。これは顧客や使用者の要求を機能面から明確にし、機能を起点として思考を広げ既存製品やサービスに対する代替案を作成するためのアイデアを多く得ようとするものである⁽⁶⁾。第2図に使用者の要求と機能の関係を示す。使用者の要求は「明るさを得る」であるが、その達成度合いが制約条件となり、ここでは健康維持性として400ルクスが指定されている。

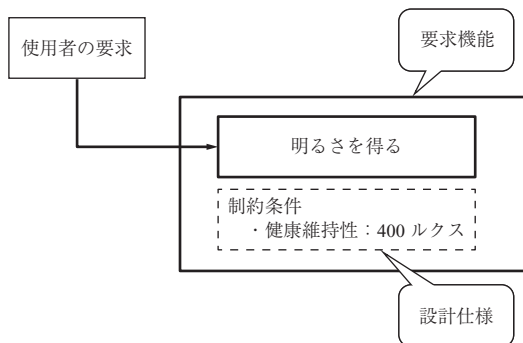
このようにVEでは使用者の必要とする機能を定義し、その機能を目的と手段の関係に整理した機能系統図を作成し、これをもとに「アイデア発想」と呼ばれる発散思考を行う。

以上のようなアイデア発想に対し、チームワークによる作業や機能本位の思考が与える影響を定量的に得ることが本研究の対象である。

3. 研究方法

3.1 実験内容

本研究では、社内VE研修の受講生（被験者）が研修の過程において発想するコスト削減のアイデアをデータと

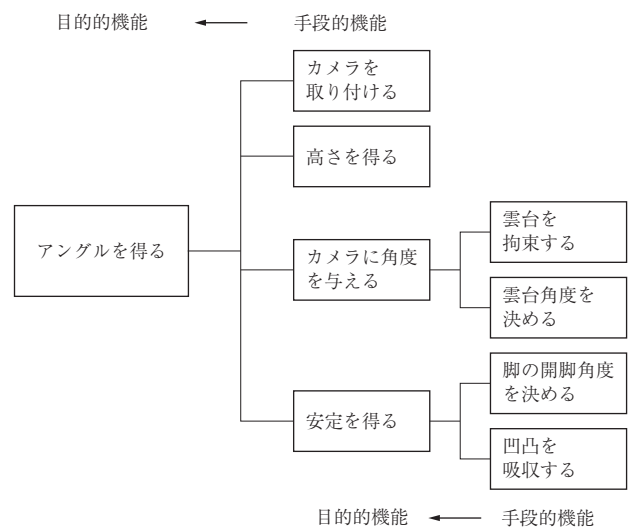


第2図 使用者の要求と機能の関係
Fig. 2 Relationship between users' requirements and functions

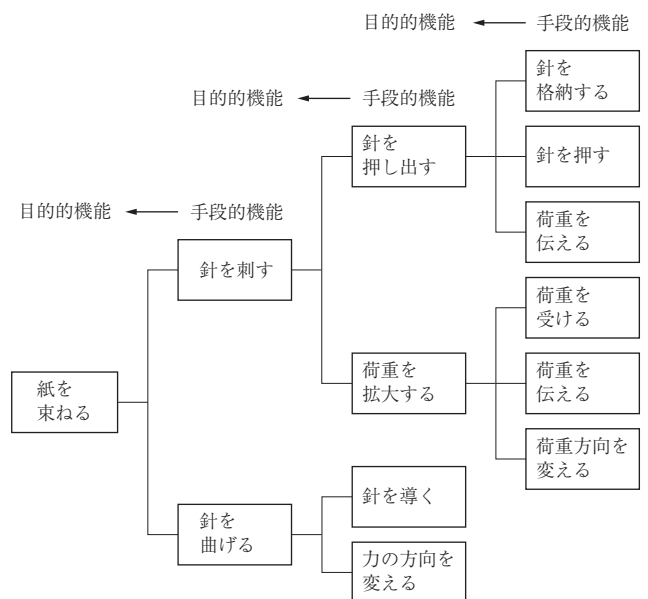
して収集した。被験者に三脚とステープラを対象としてコスト削減アイデアを発想してもらい、チームワークと機能本位思考が発想されたアイデアの多様性に与える影響を評価した。ここでチームワークとは、複数のメンバーが互いに協力しながら多くのアイデアを発想することを指す。アイデアの多様性とその評価方法については、3.4項で述べる。

3.2 アイデア出しの対象製品の複雑性

アイデア出しの対象製品とした三脚およびステープラの機能系統図例を第3図と第4図に示す。機能系統図とは製品全体の機能を達成するために構成されている部分機能を目的-手段の関係で整理した図表である。ただし、部品



第3図 三脚機能系統図例
Fig. 3 Example of functional diagram for a tripod



第4図 ステープラ機能系統図例
Fig. 4 Example of functional diagram for a stapler

のもつ機能の目的、手段は相対的なものである。目的手段の関係を整理した結果、機能系統図は最終的に左から右に向かって広がっていくツリー構造となる。VE ではこの機能系統図を用いて、製品を構成する部分機能の妥当性評価、価値の評価を行い、さらに発想の起点となる機能を明確にする。機能系統図は機能間の関係を記述するものであることから、今回は製品の複雑さを示すものとしてもこの機能系統図を応用する。

三脚とステープラを機能系統図で比較すると、三脚機能系統図は3階層となっている一方、ステープラの機能系統図は4階層となっている。機能の目的-手段の関係および機能の連動動作の観点から、ステープラは三脚よりも複雑である。

3.3 アイデア発想の実験ステップ

被験者は第1表に示す組合せによって、次のステップでアイデア発想を行った。なお、アイデアの発想時間はすべて3分間とした。

ステップ1：チーム分け

6～7名の被験者を3名もしくは4名のチームの二つに分ける。第1表はA～Fの6名、およびG～Lの6名の例である。実験1-1の場合、A～Fの6名をA～C、D～Fに分ける。

ステップ2：アイデア発想（実験1-1）

三脚およびステープラの最上位機能を提示せず、

個人とチームワークでアイデアを発想する。第1表に示す実験1-1の場合、A～Cは各自個人作業で三脚のコスト削減アイデアを発想する。D～Fは3名のチーム作業で相談しながらステープラのコスト削減アイデアを発想する。

ステップ3：アイデア発想（実験1-2）

ステープラの機能は「紙を束ねる」、三脚の機能は「アングルを得る」であることを提示し、対象製品と個人、チームワークを入れ替え、アイデアを発想する。第1表に示す実験1-2の場合、A～Cは3名のチーム作業で相談しながらステープラのコスト削減アイデアを発想する。D～Fは各自個人作業で三脚のコスト削減アイデアを発想する。実験1-1の場合と1-2の場合で対象製品を入れ替えるのは製品に対する学習効果が表れないようにするためである。

ステップ4：チーム分け（メンバの入替え）

ステップ5：アイデア発想（実験2-1）

ステップ6：アイデア発想（実験2-2）

ステップ4～6では、対象製品および被験者を入れ替えステップ1～3と同様の作業を行う。実験1-1、1-2と同様に実験2-1、2-2を行うが、対象製品と発想方法との関係が偏らないように対象製品を入れ替え、かつ、対象製品への学習効果が表れないように被験者もA～Fとは別のG～Lに入れ替える。

3.4 アイデア発想の定量評価方法

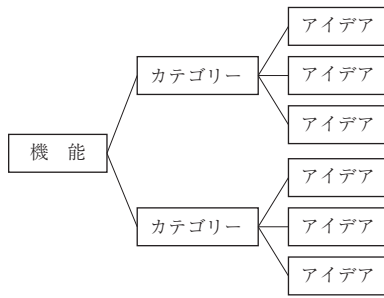
設計過程においては、最終的に機能とコストを両立させる代替案に収束させることになるが、途中の段階では多様性のある（広範囲にわたる）アイデアを数多く発想することが求められる。そこで本研究では得られたデータ（アイデア）の多様性と数を、次の要領で評価することにした。

第5図および第6図に発想されたアイデアの構造例を示す。発想されたアイデア数はそれぞれ6、そのアイデアを同様な性質と思われるカテゴリーに分類するとそれぞれのカテゴリー数は2であることを示している。アイデア数、カテゴリー数は同じであっても第5図と第6図では出されたアイデアの質が同一であるとはみなさないことにする。例えば瓶の「内容物を識別する」という機能を達成するためのアイデアを発想し、「瓶の色を変える」というカテゴリーで「赤」、「青」、「黄色」と三つのアイデアを得た場合と「色を変える」、「形状を変える」、「保

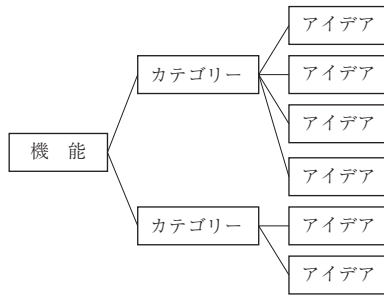
第1表 被験者に対する提示課題
Table 1 Cost reduction task for examinees

実験 1-1	個人作業 A B C 三脚 機能提示なし	チーム作業 D E F ステープラ 機能提示なし
実験 1-2	チーム作業 A B C ステープラ 機能提示あり	個人作業 D E F 三脚 機能提示あり
実験 2-1	個人作業 G H I ステープラ 機能提示なし	チーム作業 J K L 三脚 機能提示なし
実験 2-2	チーム作業 G H I 三脚 機能提示あり	個人作業 J K L ステープラ 機能提示あり

(注) 発想時間はすべて3分間



第 5 図 アイデアの構造例 1
Fig. 5 Example of generated idea structure 1



第 6 図 アイデアの構造例 2
Fig. 6 Example of generated idea structure 2

管場所を変える」の三つのアイデアを比較した場合、アイデア数は双方三つであるが、前者よりも後者の三つのアイデアの方の多様性が高いと判断できる。

したがって、多様性と数を同時に評価に含み入れる必要があるため、(1)式を作り、発想されたアイデアの評価に用いた。この式は情報エントロピー⁽¹¹⁾を応用してアイデアの多様性を表現するものであり、(Verhaegen ら)がアイデアの多様性評価に応用したものにアイデア数とカテゴリー数の評価を加味したものである⁽¹²⁾。(1)式ではカテゴリー内のアイデア数がカテゴリー間で同じ場合にエントロピーは最大となる。本研究ではカテゴリー内のアイデア数がカテゴリー間で異なる場合、アイデア数が少ないカテゴリーはさらに多くのアイデアを出せるものとみなし、エントロピーが最大でなくなり、アイデア数が均等な場合から割り引かれるため、多様性の高低を表現できる。

$$Q = -N_i N_c \sum_{j=1}^{N_i} p_j \log_{N_c} (p_j) \dots\dots\dots (1)$$

Q: アイデア量

N_i : 発想されたアイデア数

N_c : アイデアのカテゴリー数

p_j : N_i に対するカテゴリー内のアイデア数の割合

改善しようとする機能に対してアイデアを発想し N_i 個のアイデアを得る。そのアイデアは N_c 個のカテゴリーに

分類される。第 7 図に発想されたアイデアとカテゴリーを示す。機能₁に対しアイデアを 3 個発想、2 個にカテゴリー分類した例である。カテゴリーに含まれるアイデア数に差があるとエントロピーが小さくなる。したがって、発想したアイデアの数やカテゴリーが多くなっているか、そしてそのカテゴリー間にアイデア数の差があるか、つまり視点に偏りがあるかどうかを(1)式で表すことが可能になる。

3.5 発想されたアイデア量の評価

実験で得たアイデアから(1)式によってアイデア量 Q を算出し、このアイデア量 Q の大きさを評価対象とした。アイデア量 Q の算出は以下の手順で行った。

手順 1: 得られたアイデアをカテゴリー分類する。第 8 図に発想されたアイデアとカテゴリーの分類例(三脚)を示す。

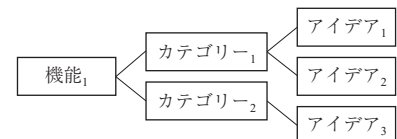
手順 2: カテゴリー数とアイデア数を(1)式に代入する。

4. 実験結果

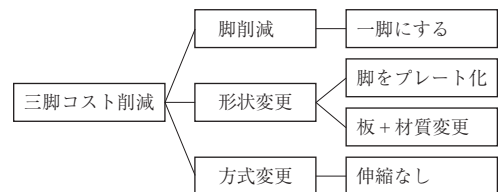
得られたデータを数量化 1 類(ダミー変数を用いた回帰分析)で解析した結果、以下のアイデア量 Q の回帰式を得た。なお、(2)式、(3)式ともにダミー変数は第 2 表に示すとおりである。

ステーブラのアイデア量の回帰式(寄与率 0.64)

$$Q_s = 23.97 + 3.45x_1 - 18.98x_2 \dots\dots\dots (2)$$



第 7 図 発想されたアイデアとカテゴリー
Fig. 7 Example of categories for generated ideas



第 8 図 発想されたアイデアとカテゴリーの分類例(三脚)
Fig. 8 Example of categories for generated idea (tripod)

第 2 表 ダミー変数

Table 2 Dummy variables

x_1 : 機能提示有無	x_2 : チームワーク
有 = 1	Yes = 0
無 = 0	No = 1

三脚のアイデア量の回帰式（寄与率 0.27）

$$Q_i = 26.38 - 6.14x_1 - 13.77x_2 \dots\dots\dots (3)$$

寄与率は、ステープラの回帰式モデルで 0.64、三脚で 0.27 であり、特に三脚では精度が悪かった。したがって、三脚のアイデア推定量モデルは採用しないことにする。なお、このことについては次項で考察する。寄与率が三脚と比べて高かったステープラのアイデア量推定回帰式モデルから、機能提示の有無やチーム作業か個人作業の違いによるアイデア量を算出し、その結果を第 3 表に示す。これはチームワークで作業を行い、機能分析を行うことがアイデア量を多く得ることにつながることを示している。

5. 考 察

本研究では、二つのアイデア量推定モデルを得たが、寄与率はシステム構成が単純な三脚よりも複雑なステープラの方が高くなっている。

三脚は第 3 図の機能系統図例で示すように 3 階層であり、最上位機能の「アングルを得る」目的のために、手段機能として「カメラを取り付ける」、「高さを得る」、「カメラに角度を与える」、「安定を得る」があるが、さらにこれらの機能を達成するにはもう 1 階層下の階層の機能があるだけで、それぞれの機能が独立した動作をしても上位機能を達成できる。つまり、製品としての機能と部品が直接受けもつ機能が階層的に近いので、実際の製品や部品を見れば、機能を提示されるまでもなく、「アングルを得る」を思いつく、もしくは無意識に機能を考えてアイデアを出すことができたと考えられる。一方、ステープラは第 4 図の機能系統図例で示すように 4 階層であり、最上位機能の「紙を束ねる」を得るためには、「針を刺す」、「針を曲げる」機能が必要であり、「針を刺す」ためにはさらに 2 階層が必要となり、さらに一部の機能では、機能同士が協調して動作が求められる部品点数も多い。このことは三脚の場合と異なり、部品がもつ機能と製品全体としての機能は階層に隔たりがあり、目の前にある部品の改善に目が行ってしまうなど、システム全体の機能を示されないとシステム全体を抜本的に見直す視点につながり

第 3 表 回帰式から得たステープラのアイデア量推定
Table 3 Statistical inference of idea quantity Q by regression model

機能提示	作業者構成	アイデア量	順 位
有	チームワーク	27.42	1
無	チームワーク	23.97	2
有	個 人	8.44	3
無	個 人	4.99	4

にくいと考えられる。つまり、複雑な構造をもつ製品の改善のアイデア発想には、チーム作業によって多様性が高くなり、機能本位思考によってさらに多様性が高まるということの意味している。

6. 今後の課題

本研究ではどのように機能を定義すべきか、どのようにアイデアを発想するかについては言及していない。特に機能を定義する作業は熟練を要するため、不慣れな場合には作業が停滞するという問題が生じる。今後は、設計作業において価値の高い製品を創出するための機能の定義方法や、アイデア発想の具体的手順について開発する予定である。

7. 結 言

三脚とステープラを対象にしたコスト削減アイデア出し実験によって、発想されるアイデアの多様性と数をアイデア量として定義し、定量的に分析評価する方法を考案した。その結果、アイデア量 Q の推定回帰式モデルを得るとともに、その値を高めるためには、以前から経験的には知られていたチームワークおよび機能本位思考の優位性を定量的に示した。

また、構造もしくは機能が複雑なシステムの設計におけるアイデア発想作業にはチーム作業に加えて機能定義（機能本位思考）を行うことが有効である。

参 考 文 献

- (1) 田中雅康, 田中 清, 大槻晴海, 井上善博: 日本の主要企業における原価企画の現状と課題 (第 7 回) 日本経営システム協会 2010 年
- (2) Fabrycky, W. J and Blanchard, B. S. : Life-Cycle Cost and Economic Analysis Prentice Hall International Series in Industrial and Systems Engineering (1991.1)
- (3) 日本機械学会編: 機械工学便覧デザイン編 β1 設計工学 日本機械学会 2007 年 6 月
- (4) 吉川弘之: 一般設計学序説 精密機械 45 巻 1979 年 8 月 pp. 20 - 26
- (5) Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J and Grote, K. H. : Engineering Design A Systematic Approach Third Edition Springer (2006.12)
- (6) 上野一郎 (監修), 土屋 裕 (編集), 中神芳夫

- (編集), 田中雅康(編集): VEハンドブック
日本バリューエンジニアリング協会 2008年1月
- (7) 澤口 学: 日本企業が抱えるモノづくりに関する
課題と今後の MOT 教育のあり方 日本 MOT 学会に
よる査読論文(2009-5) 技術と経済 No. 512
2009年5月 pp. 48 - 57
- (8) 藤田喜久雄, 松尾崇宏: 製品開発における手法や
ツールの活用状況の調査と分析 日本機械学会論文
集(C編) 72巻 713号 2006年1月 pp. 290
- 297
- (9) 牧野公一, 澤口 学: 機能の定義の適切用語選択
によるアイデア数向上に関する研究 VE 研究論文
集 Vol. 42 2011年10月 pp. 109 - 121
- (10) 工業デザイン全集編集委員: 設計方法 工業デザ
イン全集第3巻 日本出版サービス 1983年1
月
- (11) Shannon CE: A mathematical theory of
communication The Bell System Technical Journal
Vol.27 (1948.10) pp. 379 - 423 & 623 - 656
- (12) Paul-Armand Verhaegen, Dennis Vandevenne, Jef
Peeters and Joost R. Duflo: A variety metric
accounting for unbalanced idea space distributions
Proceedings of the TRIZ Future Conference
(2011.11) pp. 205 - 214