

創造的設計を支援する規範的思考プロセスの考察

東京都立大学 ○横井航太郎, 筒井優介, ©下村芳樹

要旨

我が国の製造業が持続的発展を果すためには、顧客価値を再定義と新たな提案を可能とする創造的設計の達成が必須であり、その実践戦略としてデザイン思考が注目されている。デザイン思考は設計者の創造性を高め、イノベーションの実現能力を涵養する一方、その思考過程の論理的詳細は明らかでなく、実践上の妨げとなっている。本稿では、関連する研究分野の文献調査に基づき、創造的設計を支援する規範的思考プロセスを提案する。

1 序論

近年の新興国の急激な技術成長や安価な労働力などに起因する、グローバル市場における製品のコモディティ化により、顧客は一定水準の品質を満たした製品を安価に入手可能になった。このような近年の市場環境において、日本の製造業が、かつてのような低価格化と高品質化のみによって競争優位性を獲得することはもはや困難である。すなわち、我が国の製造業を復興、持続化させるために、顧客価値を再定義と新たな提案を可能とする破壊的イノベーション^[1]の推進が求められている。破壊的イノベーションとは、従来の価値基準に対する再考を促し、新たな価値基準の提案を行うことと定義され、設計者によって駆動される。そのため、破壊的イノベーションの推進にあたっては設計者の創造性を如何に支援するかが重要な鍵となる。

設計者によるイノベーションの実践手法として、デザイン思考^[2]が広く知られている。デザイン思考は、設計者の経験知を理念や手法として広く共有することにより、設計者の創造性の向上と、イノベーションの社会普及を目指す取り組みである。しかし、デザイン思考を採用しても創造的な解を導出できず、破壊的イノベーションの成功に至らぬ事例が後を絶たない。その要因は、デザイン思考の適用により変容する設計者の思考プロセスの論理的詳細が明示されない点にあると考えられる。デザイン思考が、如何なる設計者の思考を促すのかの十分な理解がなされぬまま、手順を表層的になぞるだけでは、創造的な解の導出に至れない。以上を踏まえ本研究では、「創造的設計を支援する規範的思考プロセス」を提案することを目的とする。

2 文献調査

2.1 設計における創造性

設計における創造性は、ヒトの認知現象の理解を目指す認知科学領域において様々な観点から議論されてきた。Rhodes は「創造性 (creativity)」とは、製品、人、プロセス、環境に対して用いる用語であると述べている^[3]。一方、設計における創造性については、創造性を発揮する際に設計者が辿る思考プロセスの特徴を論じる先行研究が多数存在する。例えば Finke らは創造的思考プロセスは記憶の検索、関連付け、類推的転換を行う生成的段階と、属性の発見、解釈を行う検索的段階の 2 段階プロセスから成ると述べている^[4]。また Treffinger らは創造性を思考プロセスの特徴から論じており、創造的な問題解決は、問題の発見、アイデアの発見、解決策の発見、受諾の発見 (acceptance-finding) から成ると主張した^[5]。

2.2 設計プロセスモデル

工学領域においては、実践性を重視した設計プロセスモデルの研究が行われてきた。March らは生産、演繹、帰納の 3 段階の論理操作から構成される PDI モデル (Production-Deduction-Induction Model) ^[6]を提案しており、この 3 段階を循環させることで創造的な設計解を導出可能であると主張した。また Takeda らは、アブダクション、演繹、帰納の論理操作から構成される拡張 EDPM (extended EDPM) ^[7]を提案している。PDI モデルと拡張 EDPM は共に、設計者の思考過程を律する論理が明示されているという共通の特長を持つ。Gero らが提唱する FBS モデル (Function-Behavior-Structure Model) ^[8]は、設計プロセスを構築、シンセシス、アナリシス、評価、文書化、改善の 6 段階で表しており、各段階で設計者が思考上で扱う設計操作の対象が、記号表現され明確であるという特長を持つ。また Dubberly らは、設計プロセスを抽象化、提案、詳

細化の 3 段階でモデル化した ASB モデル (Analysis-Synthesis Bridge Model) ^[9]を提案している。本モデルは、多義的に用いられがちな「設計」という語を、「現在の状態 (What “is”)」を望ましい状態 (What “could be”) に変化させること」と単純に定義し、設計に係る議論を明確に展開した。

2.3 本研究の位置づけ

本研究では規範的思考プロセスモデルの要件を以下のように定義し、これらを充足するモデルを提案する。

・要件1 創造的な思考プロセスを踏むこと

2.1節にてその一部を紹介した、認知科学領域における議論を踏まえると、創造的な思考プロセスは、問題の発見、知識・記憶の探索、それらの関連付け、発想・アイデアの発見、検証の思考操作を有するプロセスであると解釈できる。本研究では、これら一連の思考操作を網羅することを要件1とする。

・要件2 既存の設計プロセスモデルの持つ特長を有すること

2.2節にて概説した工学領域における各設計プロセスモデルの特長を整理すると、各設計段階において設計者が従うべき論理が明示されていること、思考上で扱う設計操作の対象が記号表現され明確であること、「設計」を明確に定義していることと要約できる。本研究では、これら3つの特長を有することを要件2とする。

3 提案内容

本研究では Dubberly らの研究を参照し、「設計」を「現在の状態 (What “is”) から望ましい状態 (What “could be”) に変化させること」と定義する。そして本研究が提案する規範的思考プロセスは、問題の発見、解の発見、適合性検証 (Verification)、妥当性確認 (Validation)、実装の 5 つのステップでモデル化される (図 1 左側)。また、「実装」以外の 4 つのステップは、さらにサブステップを有する。詳細を以下で説明する。

なお本研究では、提案モデルの表記法は組織、個人などの意思決定やプロセスの標準的な記述言語である IDEF0^[10]を用いる。IDEF0 ではボックス内に機能、左から挿さる矢印に入力、上から挿さる矢印に制約条件、右から出る矢印に出力、下から挿さる矢印に資源を記述する。例えば、図 1 における「問題の発見」という思考操作は、What “is” と What “could be” (入力) を、知識・記憶、動機づけ (資源) を用いて、連想・アブダクションという論理 (制約条件) に従い、設計要件 R に変換し、出力する操作として図解される。また IDEF0 を用いることにより、各ステップとサブステップの関係を階層構造として表現し、この機能により異なる粒度の情報を階層分離して記述することができる。

Step1: 問題の発見

本ステップは、設計者が自身の構想する望ましい状態 (What “could be”) と現在の状態 (What “is”) への認識を基に設計要件 R を発見するステップであり、(i)知識・記憶の探索、(ii)関連付け、(iii)発想・アイデアの発見の 3 つのサブステップから成る (図 2 青字)。(i)において、設計者は現在の状態 (What “is”) を起点に、他分野の知識を含む知識・記憶を探索し、それらを(ii)にて関連付けし、知識・記憶の新たな組み合わせ Ka_1 を連想する。そして(iii)では Ka_1 と理想的な状態 (What “could be”) (図 2 青字) から $Ka_1 \cup R$ What “could be” を満たす R をアブダクションにより発見する。なお、(i)、(ii)、(iii)は、設計者固有の好奇心や探求心、貢献意欲などの要因に基づく (内発的) 動機付けにより、誘起される。

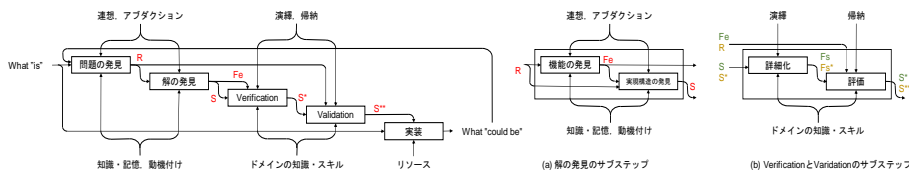


図 1 規範的思考プロセスモデル

Step2: 解の発見

本ステップは、設計要件 R を満たす機能（設計者が期待する機能）Fe を発見する「機能の発見」と、Fe からその実現構造 S を発見する「実現構造の発見」から構成される（図 1(a)）。さらに「機能の発見」及び「実現構造の発見」は、それぞれ (i) 知識・記憶の探索、(ii) 関連付け、(iii) 発想・アイデアの発見の 3 つのサブステップから成る（図 2）。

•機能の発見

「機能の発見」（図 2 緑字）のサブステップ(i)では、R に類似する他分野・他領域の設計における知識・記憶を探索し、続く(ii)にてそれらの関連付けを行い、新たな知識・記憶の組み合わせ Ka_2 を連想する。(iii)では、 Ka_2 と R から $Ka_2 \cup R$ を満たす機能 Fe をアブダクションにより発見する。

•実現構造の発見

「実現構造の発見」（図 2 橙字）のサブステップ(i)では、Fe に類似する他分野・他領域の設計における知識・記憶を探索し、続く(ii)にてそれらの関連付けを行い、新たな知識・記憶の組み合わせ Ka_3 を連想する。(iii)では、 Ka_3 と Fe から $Ka_3 \cup S \cup Fe$ を満たす実現構造 S をアブダクションにより発見する。

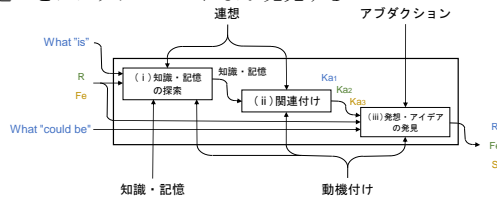


図 2 問題の発見、機能の発見、実現構造の発見のサブステップ

Step3: 適合性検証 (Verification)

Step2 にて導いた実現構造 S が期待される機能 Fe を有するか検証する（図 1(b)緑字）。まず S が実際に有する機能 Fs を、その設計対象に関するドメインの知識・スキルを用いて演繹的に導く「詳細化」を行う。次に Fs が Fe を満たすかを帰納的に検証する。ここで、検証を終えた実現構造を S^* とし、検証方法もまた、その設計対象に係るドメインの知識・スキルを基に策定される。

Step4: 妥当性確認 (Validation)

S^* が要件 R を充足するか確認する（図 1(b)橙字）。まず S^* から、 S^* が実際に持つ機能 Fs^* を演繹的に導く「詳細化」を行う。次に Fs^* が R に対して妥当であるか帰納的に確認する。ここで、妥当性確認を終えた実現構造を S^{**} とする。

Step5: 実装

人的資源、金銭的資源、物的資源などのリソースを用いて S^{**} を社会に実装し、これにより現在の状態 (What “is”) を理想的な状態 (What “could be”) に変化させる。

4 事例適用

4.1 事例適用の概要

提案手法を、創造的 design の具体事例である競技用自転車 LotusSport の設計事例^[11]に適用した。設計者 Mike Burrows はエアロモデル（競技用模型航空機）の設計で得た知見から、フレームの材力特性の改良（軽量化、強度の上昇など）に基づく設計問題から脱却し、空力特性を改善するアプローチを取った。Burrows は従来の Diamond frame と全く形状は異なるが、走行時に高い空力特性を発揮するフレーム「single unit closed-wall frame」（空洞がない単一部品として構成されたフレーム）を採用した。本事例適用では提案モデルが本事例における実際の設計者の思考プロセスに関するプロトコルデータに対してどれほど説明能力を有するかを検証した。但し、文献には検証、妥当性確認、実装に関する詳細な記述がないため、これらステップは本事例適用の対象外とした。

4.2 事例適用結果

Step1: 問題の発見

本事例の設計者は、「自転車の空力特性を改善すること」を設計要件 R として導出しており、これをどのような思考過程を経て発見したかの説明を試みた。(i)設計者は現状 (What “is”) 「<自転車>は<重量>を改善すれば性能を向上可能」を起点として、他分野における設計知識「<エアロモデル>は<空力特性>を改善すれば性能を向上可能」を自身の知識・記憶から呼び出し、(ii)これらを関連付け、新たな知識 Ka_1 「<自転車>は<空力特性>を改善すれば性能を向上可能」を連想した。(iii)最後に Ka_1 と望ましい状況 (What “could be”) 「自転車の性能が向上する」から $Ka_1 \cup R \cup$ What “could

be”を満たす設計要件 R 「自転車の空力特性を改善すること」をアブダクションにより発見した。

Step2: 解の発見

•機能の発見

(i)設計者は R 「自転車の空力特性を改善すること」を「<自転車>を<何らかの方法>で空力特性を改善すること」と読み替え、これに類似する他分野の設計知識「<エアロモデル>は<個々の部品の空力特性を最大化すること>で空力特性を改善可能」を自身の知識・記憶から呼び出した。(ii)次にこれらの関連付けを行い、新たな知識 Ka_2 「<自転車>は<個々の部品の空力特性を最大化すること>で空力特性を改善可能」を連想した。(iii)最後に Ka_2 と R から $Ka_2 \cup R$ を満たす Fe 「自転車の個々の部品の空力特性を最大化する」をアブダクションにより発見した。以上の思考過程として、機能の発見過程が解釈された。

•実現構造の発見

(i)設計者は Fe 「自転車の個々の部品の空力特性を最大化する」を「<自転車の個々の部品>を<何らかの構造>にすることで、空力特性を最大化する」と読み替え、これに類似する他分野の設計知識「<エアロモデルの個々の部品>は<single unit closed-wall frame>にすることで、空力特性を最大化可能」を自身の知識・記憶から呼び出した。(ii)次にこれらの関連付けを行い、知識・記憶の組み合わせ Ka_3 「<自転車の個々の部品>は<single unit closed-wall frame>にすることで、空力特性を最大化可能」を連想した。(iii)最後に Ka_3 と Fe から $Ka_3 \cup S \cup Fe$ を満たす設計解の構造 S 「自転車の個々の部品を single unit closed-wall frame にする」をアブダクションにより発見した。以上の思考過程より、実現構造を発見したと説明された。

5 考察・結論

提案内容は、2.3 節にて述べた創造的な思考プロセスを網羅しており、要件 1 を満たした。また、アブダクションなど設計者が行使すべき規範的な論理を明示し、思考で扱うべき設計操作の対象を記号表現し、明確化した。さらに本モデルは、「設計」を「現在の状態 (What “is”) から望ましい状態 (What “could be”) に変化させること」という明確な定義の下で構築しつつ設計プロセスの既知の特長を網羅しており、これより要件 2 を満たした。

さらに本稿では、事例適用により、実際の創造的 design の問題の発見、解の発見に係る一連の設計操作を、提案モデルを用いて論理的に説明できることを示した。また、破壊的イノベーションは顧客に新たな価値基準を提案するものであるが、これは提案モデルにおける要件 R の再定義を意味する。従って「問題の発見」における連想・アブダクションを促進し、新たな R を導くことで破壊的イノベーションのための創造的思考を促進することが期待される。この具体的方法として、例えば本ステップで参照される知識の拡張や動機づけの強化が考えられる。著者らは知識の拡張と動機づけを支援するための重要概念として「共感」に着目し、共感形成のステップをモデル化しており^[12]、本稿の提案内容と同モデルを統合することにより、本案の実践が可能である。

今後は、本稿では検証の対象外とした Verification, Validation, 実装ステップに対する事例検証を継続する。

参考文献

- [1] Bower, J. and Christensen, C. (1995) Disruptive technologies: Catching the wave. *Long Range Planning*. Vol.73, No.1, pp.43-53.
- [2] Brown, T. (2008) Design thinking. *Harvard Business Review*. Vol.86, No.6.
- [3] Rhodes, M. (1961) An analysis of creativity. *Phi Delta Kappan*. Vol.30, No.4, pp.255-280.
- [4] Finke, R.A., Ward, T.B., and Smith, S.M. (1992) Creative cognition: Theory.
- [5] Treffinger, D.J. (1995) Creative problem solving: Overview and educational implications. *Educational Psychology Review*. Vol.7, No.3, pp.301-312.
- [6] March, L. (1976) The logic of design and the question of value.
- [7] Takeda, H., Veerkamp, P., Tomiyama, T., and Yoshikawa, H. (1990) Modeling design processes. *AI Magazine*. Vol.11, No.4, pp.37-48.
- [8] Gero, J. and Kannengiesser, U. (2004) The situated function-behavior-structure framework. *Design Studies*. Vol.25, No.4, pp.373-391.
- [9] Dubberly, H., Evenson, S., and Robinson, R. (2008) The analysis-synthesis bridge model. *Interactions*. Vol.15, No.2, pp.57-61.
- [10] Presley, A. and Liles, D.H. (1995) Use of IDEFO for the design and specification of methodologies. *Industrial Engineering Research - Conference Proceedings*. pp.442-448.
- [11] Candy, L. and Edmonds, E. (1996) Creative design of the Lotus bicycle: Implications for knowledge support systems research. *Design Studies*. Vol.17, No.1, pp.71-90.
- [12] 筒井優介, 小林拓矢, 横井航太郎, 三竹祐夫, 下村芳樹 (2020) イノベーション設計のための共感形成モデルの提案. 日本機械学会第30回設計工学・システム部門講演会講演論文集, No.20-24.