

## 製品サービスシステム設計を支援する設計過程可視化手法

首都大学東京 ○能登裕一, 田中寛起, 根本裕太郎, ◎下村芳樹,

設計解の質向上のためには、高い設計品質を有する解を導出できるように、適切な設計の進め方に設計者を導くことが有効である。この実現には、設計解に表れる特徴群と、それら特徴を有する設計解を生む設計過程の関係を特定する必要がある。本研究は、製品サービスシステムの設計解に表れる特徴を整理するとともに、IDEFOに基づく設計過程の可視化手法を提案し、設計解と設計過程の関係を分析することを可能とする。

### 1 序論

近年、製造業においては、単に製品を販売する売切り型ビジネスから、製品とサービスを統合し効果かつ継続的な価値提供を実現する製品サービスシステム（PSS: Product-Service Systems）[1]と呼ばれるサービス指向型ビジネスへの転換が注目されている。PSSの設計の範囲は従来の製品設計に比べ著しく広範であり、設計者にかかる負担も大きいため、PSSの設計支援に対する期待が高まっている。求められる設計支援の一つとして、良質な設計解を導出可能な設計の進め方（以降、設計過程）へと設計者を誘導することがある。ここで言う良質な設計解とは、設計者の望む特徴を有する設計解のことを指す。このような設計支援の実現には、PSS設計解を説明する特徴群を整理するとともに、各特徴を実現するに至る設計過程の傾向を分析する必要がある。

本研究では、上記の分析を可能とするために、設計実験の手法を適用する。設計実験とは、被験者に対して模擬設計を実施させ、そこから得られた設計解と発話データを基に設計過程を分析する手法であり、設計研究において一定の評価を得ている。本手法により得られる発話データは、設計過程に関する豊富な情報を含む一方で、それらを構造的に整理しなければ、詳細な分析を行うことは困難である。そこで本研究では、上記の分析を可能にするために、発話データをもとにPSSの設計過程を構造的に可視化する手法を提案する。

### 2 設計実験を用いた設計過程分析の切り口

設計実験を基に設計過程を分析する研究は、既に複数行われている。既存研究における設計過程の分析の切り口は、以下に示す3つに大別することができる。

#### ● 設計者の視点の推移

設計者が設計中のどの時点でどの要素に注目しているかといった視点の推移を分析するものが、これに該当する。既存研究では、設計において決定されるべき要素（設計要素）の種類を発話データにタグ付けし、横軸を時間、縦軸を設計要素として、チャート形式で設計過程を可視化し分析している[2]。

#### ● 知識の利用方法

設計者がどのような知識を利用しているかを分析するものが、これに該当する。既存研究では、設計に用いられる知識（設計知識）を「ある設計概念から別の設計概念を導出する関係」と定義し、発話データに関連する設計概念の種類をタグ付けすることで、利用された設計知識を整理している[3]。

#### ● 設計者間のインタラクション

設計チームにおける各設計者の振る舞いを分析するものが、これに該当する。既存研究では、発話データを、Balesらの提案する設計者間におけるインタラクション活動の分類[4]によってタグ付けし、横軸を時間、縦軸をインタラクション活動の分類として、設計過程を可視化し分析している[5]。

### 3 本研究のアプローチ

#### 3.1 本研究の目的

従来の設計過程分析は、上記3つのいずれかの切り口を選択的に適用することにより、それぞれ異なる設計過程の特徴を抽出することに成功している。しかし、本研究の分析対象であるPSS設計解の特徴を生み出すと考えられる設計過程の傾向は、上記3つの切り口のいずれにより分析可能となるかは定かでない。そこで本研究では、上記3つの切り口を包括的に適用し、PSS設計過程を分析可能とする構造化手法を提案する。

#### 3.2 PSS設計過程の包括的構造化手法

本研究では、上記3つの切り口のもと包括的に設計過程を分析可能とするために、設計操作の概念[6]を導入する。本研究では、設計操作を「設計者が知識を用いて設計対象モデルを変化させる行為」と定義し、この連鎖として設計過程を構造化する。ここで言う設計対象モデルとは、例えば、PSSの基本構造を表すビューモデルや、提供プロセスを表すサービスブループリントが挙げられる[1]。

上記の構造化を行うためには、設計操作の連鎖と、各操作に影響を与える設計知識などの要素を併せて記述可能な表現方法を用いる必要がある。これに対して本研究では、ビジネスプロセスモデリング手法の一つであるIDEFO[7]を基にした構造化手法を提案する。IDEFOでは、プロセスを構成する作業を表す「アクティビティ」を中心に、作業の「インプット」を左からの入力、作業の「アウトプット」を右への出力として記述する。さらに、作業を制御する「コントロール」、作業を実行するためのリソースである「メカニズム」を上下の入力として付加する。そして、アクティビティの連鎖として全体プロセスを構造化する。提案手法では、一つの設計操作をIDEFOにおけるアクティビティとして捉えるとともに、Tab.1に示す情報を各要素に対応付ける。更に複数の設計操作の入出力情報を確認し、対応する情報を結合することにより、設計過程全体を設計操作の連鎖として構造化する（Fig.1）。

Tab.1 提案手法におけるモデルに記述する情報

記述情報 (IDEFOの要素)	記述情報の説明
設計操作タイプ (アクティビティ)	● 設計操作のタイプ Ex. 「アクタの追加」
参照情報 (インプット)	● 設計操作を行う際に参照された設計対象の情報 Ex. 「ネットを使って英会話をさせる」
追加情報 (アウトプット)	● 設計操作により追加された設計対象の情報 Ex. 「英語圏の学生を講師にする」
制約情報 (コントロール)	● 設計操作を行う際に追加情報の決定において制約となったと考えられる既定事項 Ex. 「顧客はお金をかけたくない」
明示的設計知識 (メカニズム)	● 参照情報から追加情報を導出するメカニズム Ex. 「英語圏の学生を講師にすれば、プロを雇う場合に比べて経費を削減できる」
設計者名 (メカニズム)	● 設計操作を行った行為者の名前 Ex. 「設計者A」、「設計者B」

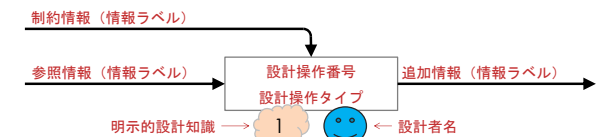


Fig.1 設計操作の表現

以下では、本手法の構造化内容と前述の3つの切り口による設計過程の分析の対応関係について述べる。

#### ● 設計者の視点の推移

本手法では、各設計操作の入出力となった設計対象の情報を参照、追加、制約情報として記述するだけでなく、各情報にラベルを付記する（Fig.1）。このラベルとは、PSSの設計対象モデルに記述される要素の種類を整理したものである。本研究では、計18種の情報ラベルを整理した。例えば、ビューモデル[1]に

記述される要素には、顧客要求、機能、実体等があり、これらが情報ラベルの一部として用いられる。設計過程において、どの情報ラベルがどのように現れるかを定性的・定量的に観察することで、個別の設計課題に依らない設計者の視点の推移に関する特徴を分析することを可能とする。

#### ● 知識の利用方法

本研究では、「設計操作において入力情報から出力情報を導出するメカニズム」を設計知識と考える。提案手法では設計操作の参照、追加、制約情報の入出力関係のパターンにより設計知識の分析や分類を行うことを可能とする。加えて、発話内容に明示化された知識を明示的設計知識として記述可能とする。これにより、明示化された知識に関しては、より詳細な分析が可能となる。

#### ● 設計者間のインタラクション

設計操作を行った設計者名をメカニズムとして記述する。これにより、各設計者が設計中に担う役割を分析可能となる。

### 3.3 提案手法を用いた PSS 設計過程の分析

本手法を用いて PSS 設計過程を分析するにあたって、まず複数の設計実験により得られた設計解の特徴を評価する。そして評価に差が生じた原因を、設計過程の構造をもとに推定することで、PSS 設計解の特徴を生み出す設計過程の傾向を分析する。ここで、評価に用いる特徴群としては、例えば Verhaegen らが類別した設計解の評価観点[8]が考えられる。当該研究では、新規性や有効性など一般的な設計解の特徴を表す語彙ならびにその評価法を体系化している。

## 4 発話データに対する本手法の適用

### 4.1 設定

本研究では、実際に設計実験を実施し PSS の設計過程を分析した。本実験では、工学系の学生 2 人 1 組を被験者とし、「日常的な英会話能力を修得したいという顧客要求を満たす PSS を設計せよ」という課題のもと実験を実施した。上記課題に加え、対象顧客の情報事前に被験者に与えた。更に、PSS の提供・受給を担う企業や個人間の関係と、PSS の提供プロセスの記述をアウトプットとして設定した。本適用では、以上の設定のもと、被験者の異なる 3 回の設計実験 (実験 A, B, C) を実施し、設計解と発話データを収集した。

### 4.2 設計解の評価

PSS 設計における要点の一つは、製品とサービスを統合的に提供することで顧客の抱える問題を解決することである。そこで本適用では、3.3 に述べた評価観点[8]の一つである「有効性」を評価対象とした。「有効性」とは設計解により問題を解決できる度合いを表す観点であり、本研究ではこれを「当該 PSS 設計解が顧客要求を充足させると考えられる度合い」と読み替えた。そして、設計者に与えた顧客要求を基に 5 つの評価項目を定め、それぞれの項目に関して実験 A-C の設計解を一対比較することにより評価を行った。

複数人の PSS 研究者が評価した結果、例えば「日常的な英会話能力が修得可能か」という評価項目に関しては、実験 B の設計解が他の設計解に比べて優れていると評価された。

### 4.3 構造化に基づく設計過程の分析

Fig.2 に実験 B の設計過程を構造化した結果の一部を示す。実験 A-C の設計過程の構造を見比べることで、例えば「実験 B で

は、他に比べて機能を追加する設計操作数が多い (設計者の視点が機能に向けられることが多い)」、「実験 B の設計過程だけが、日常的な英会話能力を修得したいという顧客要求を制約として機能の案を評価し取り止めるための知識を用いている

(Fig.2 の赤色部)」、「上記の取り止めは当該案を出していない設計者により行われた (Fig.2 の緑色部)」などの傾向を読み取ることができた。これに基づき、「有効性の高い設計解を導出するためには、機能の案出しに時間を掛け、顧客要求を基に機能候補の絞り込みを行うことが有効である。その際、提案者とは別の人物が評価する等、客観的な方法で絞り込みを行うべきである。」といった設計方略の仮説を立てることができた。本適用では、3 つの設計過程の比較から、上記を含め計 4 つの仮説が形成された。

## 5 考察

本手法を用いることで、設計解の「有効性」を生み出す設計過程の傾向を 3 つの切り口から包括的に分析可能であった。これにより、3 つの切り口から個別に分析を行ったのでは得られない仮説を立案することができた。以上により、設計過程の構造化に関して、本手法の有用性を確認することができた。今後は、良質な設計解を導出可能な設計過程へ設計者を誘導する手法としての本手法の有用性を確認するため、更なる検証を行う。

## 6 結論

本研究では、PSS 設計解の特徴を生み出す設計過程の分析を可能とする PSS 設計過程の包括的な構造化手法を提案した。そして、実際に設計実験から得られた発話データに、本手法を適用することで、その有用性を示した。

### 謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 26280114 の助成を受けたものである。

### 参考文献

- [1] Shimomura et al: A unified representation scheme for effective PSS development, CIRP Annals -Manufacturing Technology, Vol.5, Iss.1, pp.379-382, 2009
- [2] Sakao et al: Inside a PSS Design Process: Insights through protocol analysis, Proc. of International Conference on Engineering Design, pp.365-376, 2011
- [3] 武田他：実験的手法に基づく設計知識とその利用に関する分析, 精密工学会誌, Vol.60, No.3, pp.422-426, 1992
- [4] Bales et al: Interaction process analysis; a method for the study of small groups, Cambridge, MA: Addison-Wesley Press, 1950
- [5] Lee et al: Design activity and team interaction characteristics: A case study of protocol analysis on team-based product-service systems design processes, DS 75-4: Proc. of the 19th International Conference on Engineering Design, Vol.4, 2013
- [6] 野間口他：設計根拠の獲得と行為・モデル・議論の階層的統合についての考察, Design Symposium, pp.83-90, 2004.
- [7] Marca et al: IDEF0/SADT business process and enterprise modeling, Eclectic Solutions Corporation, 1993
- [8] Verhaegen et al: Refinements to the variety metric for idea evaluation, Design Studies, Vol.34, Iss.2, pp.243-263, 2013

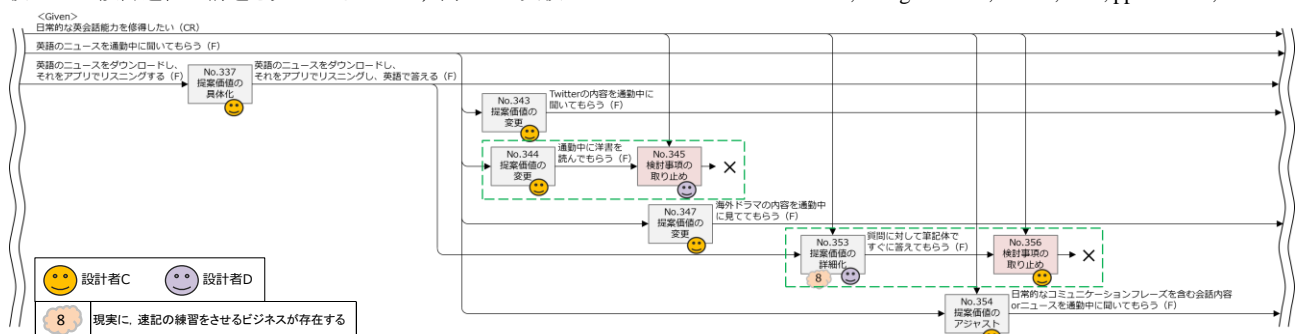


Fig.2 実験 B の設計過程の構造化結果 (一部)