

設計会話と操作ログおよび身体・生理情報を 統合した設計論理抽出手法の検討

Design Rationale Extraction by Integrating Design Conversations, Operation Logs, and Biophysical Signals

○大場 祐飛（東京電機大学システムデザイン工学部デザイン工学科）*¹ 大泉 和也（東京電機大学）*²

*¹ Yuhi Oba, Department of Design Engineering,
School of System Design and Technology,
Tokyo Denki University,
5 Senju-Asahi-cho, Adachi-ku, Tokyo 120-8551 Japan
E-mail: 22ad027@ms.dendai.ac.jp

*² Kazuya Oizumi, Department of Design Engineering,
School of System Design and Technology,
Tokyo Denki University,
5 Senju-Asahi-cho, Adachi-ku, Tokyo 120-8551 Japan
E-mail: oizumi@mail.dendai.ac.jp

キーワード: 設計論理抽出, 操作ログ, 発話解析, 感情分析

1. 緒 言

1.1. 研究背景

1.1.1. 設計段階の重要性と課題 製品の品質およびコストの約8割は設計段階で決定するといわれており、設計過程における意思決定の合理性や根拠を明確化することは、製造業の競争力強化に直結する⁽¹⁾。しかし、設計過程において生まれる思考過程や判断根拠は、個々の設計者の中に暗黙的に留まることが多く、形式知として共有されにくいという課題がある。また、製品開発が複雑化・分業化するなかで設計意図の伝達や意思決定の記録が途絶することが、設計品質の低下や情報共有の断絶を招く要因となっている。

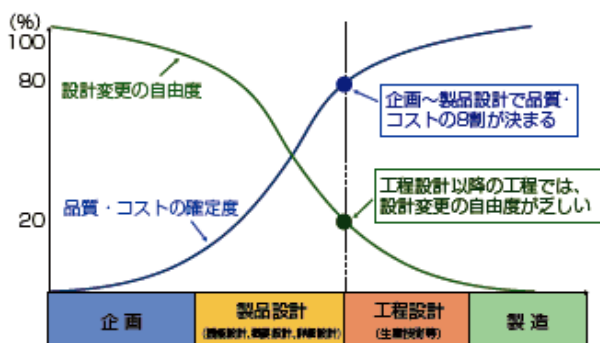


Figure 1. Design impact curve in early development phase.

図1に示すように、設計初期段階では仕様変更の自由度が高く、工程が進むにつれて品質・コストの確定度が上昇する⁽²⁾。この関係は、設計初期段階における意思決定の重

要性を示す代表的なモデルであり、設計意図や判断根拠を早期に可視化・共有することの重要性を示唆している⁽³⁾。

1.1.2. 設計論理抽出の必要性 設計活動では、発話・操作・姿勢など多様な情報の中に設計者の思考過程が反映される。これらを記録・解析することで、意思決定に至る設計論理 (Design Rationale) を抽出する試みが行われてきた。しかし、従来研究は発話⁽⁴⁾、操作⁽⁵⁾、身体情報⁽⁶⁾といった単一モーダル分析に留まり、複合的な関連性を扱うには不十分であった。

特に、発話内容と非言語的動作（姿勢変化や操作パターン）の時間的整合性を確保し、因果関係を抽出する仕組みは十分に整備されていない。

1.2. 本研究の目的

本研究は、設計会話・操作ログ・身体情報を統合したマルチモーダル時系列データ取得基盤を構築し、解析可能な形式で蓄積することを目的とする。本研究では、発話・姿勢・操作を同一時間軸上で記録し、後続の統合解析に必要なデータ取得手順および時刻整合方式を確立する。

現段階では、音声・操作・姿勢データを欠損なく取得できる環境を整備し、開始合図および UTC 基準時刻により手動同期を行うことで時間整合性を確保する。今後、データベース化と高精度同期機構を統合し、設計過程における思考転換や意思決定過程の因果可視化に発展させる。

1.3. 本論文の構成

本稿の構成は以下の通りである。第2章で関連研究を整理し、本研究の位置づけを明確にする。第3章で提案するデータ統合環境および記録方法を述べ、第4章で実験手法および動作確認結果を示す。第5章で結果および考察を行

い、第6章で結言を記述し、第7章で今後の展望について述べる。

2. 関連研究

2.1. 設計論理の管理・記録手法

2.1.1. Dredによる設計根拠の構造化 設計論理を体系的に記録する代表的な研究として、Bracewellらによる Dred (Design Rationale Editor) がある。Dred は、設計過程における課題、解答、指示・反対意見 (Pro/Con) をノード構造として管理し、設計者の意思決定に至る思考過程をグラフ構造で可視化する手法である⁽⁷⁾。

これにより、設計の経緯や意図を後から追跡することが可能となり、設計支援システムや知識共有の基盤として実務的に利用されている。しかし、Dred は設計者が手動で情報を入力する必要がある、自動抽出による負担軽減やリアルタイム可視化には対応していないという課題がある⁽⁸⁾。本研究で扱う「自動抽出に向けた記録基盤整備」という観点において、Dred は重要な基礎概念を提供している。図2にDredにおける設計根拠管理の概念図を示す。

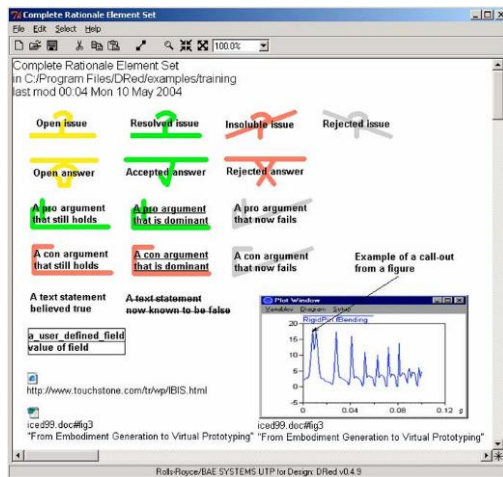


Figure 2. Conceptual structure of the DRed design rationale model.

2.1.2. DRIFT フレームワークによる設計知識の再利用

野間口らは、設計検証過程における設計者の意図・根拠を効率的に管理するための DRIFT フレームワークを提案している。DRIFT は、試行錯誤の過程で生成される複数案を同時に扱い、設計者が破棄した案や代替案を後から再検

討できるようにしたものである⁽⁹⁾。

このような知識管理フレームワークは、設計意図を形式知として保持する上で有効であるが、設計行為中に自動的に設計論理を獲得する仕組みは依然として不足としている⁽¹⁰⁾。したがって、設計者の行動や発話などの非言語情報を含めたリアルタイムな記録が求められている。図3にDRIFTの概念図を示す。

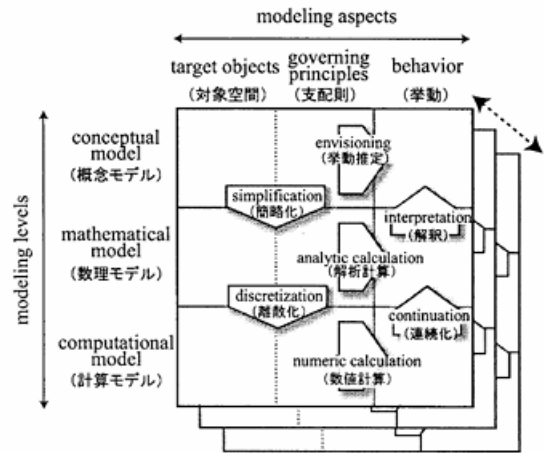


Figure 3. Overview of the DRIFT framework for design rationale reuse.

2.2. 非言語情報を用いた設計過程の解析手法

2.2.1. 姿勢・身体動作を用いた解析 Nishimura らは、着座者の身体動作から発話や思考状態を推定する椅子型センシングデバイス「Sense Chair」を開発し、発散的思考課題における「うなずき」動作とアイデア生成の関係を分析した⁽¹¹⁾。この研究では、重心移動や体圧変化をセンシングすることで、非言語的フィードバックが議論の活性度と対応することを示している。

また、姿勢推定技術として OpenPose が広く利用されており、人物の骨格情報を画像から抽出して姿勢変化を数値化できる⁽¹²⁾。軽部は、OpenPose を用いて設計行為中の設計者の身体動作を分類し、設計論理抽出における姿勢変化の有効性を示した⁽¹³⁾。

これらの研究は、カメラや椅子型センサを用いた非言語情報の取得が設計過程分析に有効であることを示唆しているが、発話や操作ログと時間整合による統合分析には至っていない。図4にSenseChairによる姿勢センシングの構成を示す。

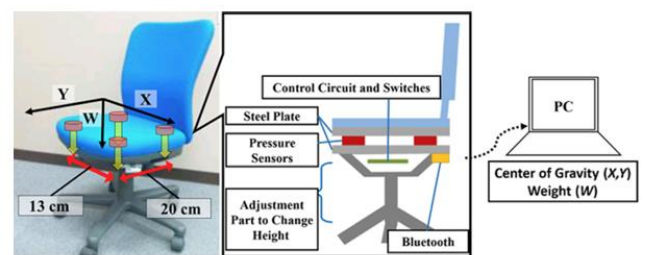


Figure 4. Sensor configuration of the Sense Chair for posture-based idea detection.

2.2.2. 会話解析・テキスト解析の応用 設計会話から設計論理を抽出する試みとして、TF-IDF (Term Frequency-Inverse Document Frequency) を用いた重要語抽出⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾や、感情分析手法を用いた設計意図推定⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾が行われている。これらの自然言語処理手法は、発話内容の特徴を定量化する点で有効であるが、非言語的行動との統合解析には課題が残る。

また、マルチモーダルデータを統合的に管理する基盤として、Carletta らの AMI Meeting Corpus が挙げられる。同研究では、発話・映像・ジェスチャ・操作ログを同時記録

し、それぞれのデータを共通タイムライン上で注釈する仕組みを構築している⁽¹⁸⁾。この考え方は、設計過程におけるマルチモーダル記録にも応用可能である。図 5 に OpenPose を用いた姿勢推定プロセスの例を示す。



Figure 5. Processing flow of posture estimation using OpenPose .

2. 3. 本研究の位置づけ

これまでの研究では、設計論理の形式的記録、非言語行動の検出、発話解析がそれぞれ独立に行われてきた。すなわち、発話（言語情報）のみ、操作ログ（操作行動）のみ、あるいは姿勢・身体情報（非言語行動）のみを対象とする研究が中心であり、複数の情報モードを統合して解析する枠組みは十分に整備されていない。

本研究では、発話・操作ログ・身体情報および映像データを時系列的に対応付けるため、各 PC が取得時に UTC (Coordinated Universal Time) を付与する方式を採用した。これにより、データ収集段階において時刻情報の統一形式を確保し、後続の統合解析に必要な時間情報の基盤を整備した。

一方で、本段階の実験では、実験時の内部クロック差は数百ミリ秒程度と推定されるが、本稿では定量評価は行わない。そのため、本稿ではマルチモーダル取得環境の動作確認とデータ収集体制の構築に重点を置く。今後は、データベース化とマスター PC による時刻配布、または NTP 同期精度の強化により、高精度な時刻同期と自動整合を実現し、マルチモーダル因果解析を行う計画である。

3. 手 法

3. 1. データ取得環境

本研究では、設計行為中における発話・操作・身体動作を同時取得するマルチモーダル計測環境を構築した。椅子型センサデバイス、PC 操作ログ取得スクリプト、および複数視点カメラを用い、設計中の認知的・身体的挙動を多角的に捉える基盤とした。

導入したセンサおよび取得対象は以下の通りである。

- ・FSR 圧力センサ (4 点) : センサ配置の実装例を図 6 に示す。着座時の体圧分布と重心変動を把握するため、座面 4 箇所 (前/後×左/右) に配置し、姿勢変化および前後左右方向の荷重遷移を取得した。

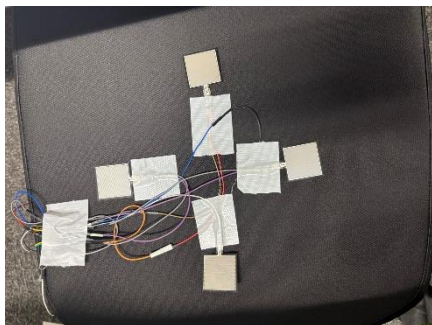


Figure 6. Placement of Four FSR Sensors on the Seat Surface.

- ・MPU6050 加速度センサ : 上体の姿勢傾動を捉えるため、背もたれ上部に設置し、3 軸加速度および角速度を取得した。

- ・HC-SR04 距離センサ : 背もたれと身体との距離を取得し、前傾・後傾動作を補助的に把握した。

これら身体センサデータは約 20 Hz で連続取得し、Arduino からシリアル経由で PC に送信し、Python スクリプトにより逐次 CSV 形式で保存した。

また、PC 操作ログとして以下の情報を Windows 環境で取得した。

- (1) マウスクリック
- (2) カーソル座標
- (3) キー入力
- (4) アクティブウィンドウ (使用アプリケーション名)

映像は、被験者側 PC にて横方向の視点と音声を録画し、別 PC にて正面および上方視点を取得した。これにより、被験者動作とディスプレイ操作、および表情・上体動作を含む多視点映像データを収集した。

3. 2. 時刻管理および記録方式

本研究では、多モーダル統合解析を見据え、全てのログおよび映像開始点に対し、UTC (ISO 8601 形式) のタイムスタンプを付与した。例として

2025-10-29T14:30:05. 412Z

のようにミリ秒精度を含む形式とした。しかし、今回の本研究では、各 PC 内部クロック差の影響量については、本段階では定量評価を行っていない。

本段階では、各 PC が独立して UTC を取得しており、内部クロック差に起因する僅かな誤差が残存する。本実験では同期誤差の定量評価は実施していない。

今後は、基準 PC (マスター PC) が UTC 基準時刻を共有し、複数 PC が同一基準を参照してタイムスタンプを付与する方式へ拡張し、時刻の集中管理および正確なモダリティ結合を実現する計画である。

3. 3. データ処理および前処理

本研究で取得した各モード (操作ログ・身体センサ・音声・映像) について、後続の統合解析を見据えた形式統一処理を行った。まず、全ての CSV ログに対して列名と列順の統一を行い、時刻列は ISO 8601 形式 UTC に正規化した。

操作ログは、マウスクリック/カーソル座標/キー入力/アクティブウィンドウを 1 行 1 イベントとして保持し、時系列の連続性を確認した。身体センサについては、FSR4 点値および 3 軸加速度/角速度が約 20 Hz で連続取得され、欠損・重複行のないことを確認した。探索的品质点検として移動平均によるノイズ低減を試行し、外れ値の有無を確認したが、本稿では特徴量抽出や統計的検定は実施しない。

音声データについては Audacity により取得し、ファイル作成時刻に基づく UTC メタ情報の整合を確認したが、本段階では音声認識処理 (ASR) およびテキスト化は未実施である。

映像データについては、5 分ごとに分割されたファイルと、それに対応する index CSV (開始 UTC・セグメント番号) を照合し、取得整合性を確認した。

以上の処理により、欠損のない取得と、統一時刻付与が成立した状態で、各モードのデータを統合処理可能な前段階に整えた。本稿における目的は、解析結果の提示ではな

く、計測基盤構築および動作確認の妥当性検証にある。

3.4. 本章のまとめ

本研究で取得した各モダリティデータは、計測終了後の統合処理を可能とするため、種類ごとに独立した CSV ファイルとして保存した。身体センサについては、Arduino デバイス単位でファイルを生成し、各行に UTC タイムスタンプと生データ値を記録した。PC 操作ログについては、キー入力、マウスクリック、カーソル座標、およびアクティブウィンドウ情報をそれぞれ別ファイルに記録し、1 行 1 イベント形式で時系列順に蓄積した。

映像データは外部カメラにより取得し、5 分ごとのセグメントファイルとして保存した。各セグメントの開始時刻 (UTC)、カメラ ID、およびファイルパスを記録する index CSV を同時生成し、映像断片と時刻情報の対応関係を管理した。本段階では、音声データは Audacity により別途取得し、ファイル生成時刻を参照することで、他モダリティとの手動同期が可能な状態とした。

以上により、本研究のデータ群は、統合キーとしての UTC 時刻を付与した疎結合ストレージ構成として保存され、後続の解析処理で時系列結合を行う前段階の環境が整備された。本稿では、データ取得と保存系の信頼性検証を目的とし、特徴量抽出・自動同期・因果構造推定等の処理は次段階にて実施する計画である。

4. 実験検証

4.1. 実験の目的

本研究の最終目標は、設計過程における発話・操作・姿勢など複数モードの時系列を統合し、設計者の思考転換や設計意図の表出に伴う行動的徴候を定量的に捉えることである。そのためには、まず各モードを同一セッションで欠損なく取得し、後段の解析に耐える一貫した時間付与とファイル構造を確立する必要がある。本章では、台本に基づく模擬発話・模擬操作・姿勢変化を用いた動作確認実験を行い、

- (1)各取得系 (操作ログ・センサ・映像・音声) の安定動作
- (2)記録ファイルの整合性 (列構造・命令規則・保存先)
- (3)UTC による時刻付与の確認

の三点を検証する。なお、本章の目的は取得環境の信頼性確認であり、設計論理の抽出や相関解析は行わない。

4.2. 実験方法

4.2.1. 被験者および実験環境 被験者は著者本人 1 名である。実験時間は約 15 分とし、事前に作成した台本 (秒単位の操作・発話・姿勢指示) に従って実運用前の動作検証フェーズとして、制御された単独セッションで評価した。計測は 3 台の PC で分担した。

・PC1 (被験者用) 設計ソフト Fusion360 を起動し、実操作に準じたマウス・キーボード操作を行う。同時に Python スクリプトで操作ログを取得する ((1) マウスクリック, (2) カーソル座標, (3) キー入力, (4) アクティブウィンドウ (使用アプリケーション名))。横方向からのカメラ映像と音声も PC1 側で記録する。

・PC2 (センサ取得) : Arduino Uno に FSR 圧力センサ×4, MPU6050 加速度センサ, HC-SR04 距離センサを接続し、20Hz で計測して CSV 保存する。

・PC3 (映像記録) : 外部カメラ 2 台を用い、被験者の上方

および正面からの映像を同時に記録する。映像断片と UTC を対応付ける index CSV を同時生成する。

3 台いずれも同一 LAN 上で動作させたが、本段階では時刻同期処理は行わず、各機器が付与する UTC タイムスタンプの記録可否のみを確認対象とした。

4.2.2. 実験手順 (1) 各 PC で操作ログ取得スクリプト・センサ取得スクリプト・録画ソフトウェアを起動し、記録待機状態とした。

(2) 口頭のカウントダウンに合わせ、同時開始し、台本に沿って Fusion360 によるスケッチ作成、押し出し、フィレット操作、寸法確認、保存操作などを順に実施した。発話は操作の報告や確認発話を中心とした短文とし、姿勢は通常姿勢/前傾入力姿勢/軽度の後傾/うなずき動作を含む自然な変化を示した。

(3) 記録は連続して約 15 分間継続し、途中停止・再開は行わなかった。

(4) 終了後、各 PC で生成された記録ファイル (操作ログ CSV, センサ CSV, 動画ファイル, 動画対応 index CSV, 音声ファイル) について、ファイル数・サイズ・更新時刻・保存ディレクトリの一貫性、および列定義の欠落がないことを確認した。

4.2.3. 時刻記録と整合方針 本段階では厳密な同期制御は実装せず、各ログ行および各ログ行および映像断片に UTC を付与する処理が正しく動作するかを確認した。

今後は、1 台をマスター PC とし、マスター PC が受信時刻 (UTC) を付与して共通 DB に格納する方式へ移行し、クライアント PC 側はイベント内容の送信のみとする方針である。本章では UTC の記録の欠落の有無を確認対処とし、PC 間の時刻差の定量評価は行わない。

4.2.4. 記録形式とファイル構造 ・操作ログ (4 種) マウスクリック、カーソル座標、キー入力、アクティブウィンドウをそれぞれ CSV 形式で記録。各行には UTC 時刻とイベント内容が含まれ、1 行 1 イベント形式で可逆的に保存されている。

・身体センサログ (2 種)

FSR4 点の圧力値、および 3 軸加速度値を CSV に保存。20Hz で連続取得され、値の欠損なく記録されている。

・映像データ (複数視点)

上方・正面・横方向カメラ映像を約 5 分単位で分割し、動画ファイルとして保存。

伏せて index CSV に書く動画断片の開始 UTC およびファイル名を記録し、後段で映像セグメントを共通時間軸に対応付け可能なメタ情報として利用する。

・音声データ

ファイルの作成時刻 (PC 時刻) を参照し、他モダリティと手動同期可能とした。

以上より、DB 取り込み (ETL) に必要な時間情報・列構造が欠損なく揃っていることを確認した。

4.3. データ取得および評価項目

本実験では、8 種類の CSV ファイルに加え、カメラ 3 台分

の録画映像、音声ファイルが生成された。これらのファイルは、各モードに対応するイベントを時刻順に記録しており、後続の解析で発話・操作・姿勢を統合する基礎となる。

各 CSV の先頭には列ラベルが定義され、記録地の意味を

明確に区分できる構造となっていた。また、各サンプリング間隔はほぼ一定であり、プログラムの安定動作が確認された。特に、FSR 圧力データは 4 点の独立値を、加速度データは 3 軸成分をそれぞれ記録しており、身体動作の傾向把握に十分解像度を有していた。

今回の動作確認実験では、時間の整合性や相関解析は実施していないため、発話や姿勢変化との一致度などの定量評価指標は適用していない。ただし、これらの指標を適用可能な形式でデータが保存されていることを確認できた点は、後続の発話区間検出実験に向けての成果といえる。

4.4. 本章のまとめ

本章では、発話・操作ログ・身体情報および複数視点映像を同時取得するマルチモーダル計測環境の動作確認を行った。台本に基づく模擬設計操作を 15 分間実施し、操作ログ（マウス・キーボード・ウィンドウ遷移）、圧力・加速度データ、側面／正面／上面映像および音声データを欠損なく取得できた。さらに、操作ログおよびセンサログの各行、映像断片と index ファイルには、すべて UTC 形式のタイムスタンプが付与されており、ファイル命名規則・列構造が統一されていることを確認した。これにより、後続のデータ統合処理に必要な記録仕様が正しく機能することが示された。

一方、本段階では 3 台の PC が独立した内部時計で動作しており、PC 間の時刻誤差評価や時系列整合処理は実施していない。そのため、本実験は同期精度の検証ではなく、データ取得の安定性と記録フォーマットの妥当性を確認する段階である。今後は、複数 PC が共通の UTC 基準時刻を参照し、取得データを逐次データベースに格納する構成へ移行することで、単一時間軸上でのマルチモーダル統合解析を実現する。これにより、実際の設計作業における発話・姿勢・操作の関係抽出および設計論理推定に向けた基盤を確立する。

5. 考 察

5.1. 本章の目的

本章では、第 4 章で示した動作確認実験の結果を踏まえ、本研究で構築した多モーダル計測環境の有効性および現時点で明らかとなった課題を整理する。あわせて、今後予定するデータベース一元化と正確な時間同期機構の導入計画を述べ、設計論理抽出を実現するための具体的な展開方法を示す。

5.2. 動作確認の結果と得られた知識

本実験では、PC 操作ログ（キー入力・マウス操作・アクティブウィンドウ・カーソル座標）、座圧データ、加速データ、および音声データを同一セッション内で欠損なく取得できることを確認した。特に、センサデータと操作ログの連続取得が途切れず動作したことから、本研究で構築した記録スクリプト群およびマルチデバイス構成の基本動作が妥当であると判断できる。

一方で、本実験では三台の PC を独立に動作させたため、各デバイスの内部時計に依存したタイムスタンプの差異が生じることが確認された。本研究では同期誤差の量的評価までは実施していないものの、複数デバイスの時刻基準が統一されていない構成では、今後予定する「発話・姿勢・操作の時間的対応関係の解析」に支障を来す可能性がある。ここから、時刻同期機構を備えたデータ取得体系の必要性

が再確認された。

5.3. 時間統合およびデータベース化の構想

次段階では、各 PC が共通の時刻基準を参照する方式へ移行する。具体的には、1 台の PC をマスターとし、他 PC はネットワーク経由でマスターの時刻を取得して記録する方式を採用する予定である。これにより内部時計の個体差による時間ドリフトを低減し、単一時間軸上でのデータ整合を実現する。また、全データを共通のデータベースに保存し、セッション ID 等により統一的に紐づけることで、後段の解析処理を効率化する。これにより、ログファイル単位の手動照合を排し、解析プロセスの再現性と安全性を確保する。なお、今後は Python によるマスタークロック配信 + DB 書き込みの実装を行い、SQLite または PostgreSQL ベースの軽量な分散計測基盤を構築する予定である。

5.4. 設計論理抽出に向けた解析展開

動作確認を経て、本研究は次の段階として、取得データを用いた発話区間解析を実施する。音声データを自動文字起こしし、TF-IDF などによる重要語抽出を行い、発話内容の変化を定量化する予定である。また、姿勢変化量や操作頻度と発話タイミングの関連を統合的に分析し、設計論理表出前後の特徴を抽出する。

その際、以下の観点で特徴量設計を行う：

- ・発話前後の操作変化量（例：クリック頻度、カーソル移動量）
 - ・姿勢変化量（前傾画、圧力分布の中心移動）
 - ・ノイズ処理と外れ値処理（フィルタリング、閾値判別）
- これにより、従来研究と同様の多モード分析枠組みを踏襲しつつ、時間同期精度を高めた状態での比較解析を行う方針である。

5.5. 本章のまとめ

本章では、動作確認実験を通じて得られた基礎的検証結果を整理した。本研究の現段階の成果は、多モーダル設計行動データの安定取得が可能であることを確認した点である。一方で、正確な時間整合の実現が次の課題であり、今後はマスター時刻同期機構とデータベース一元管理の実装に取り組む。これらを踏まえ、次年度は実際の設計課題を対象としたデータ取得および設計論理抽出の精度検証を進める。

6. 結 言

6.1. 本研究の総括

本研究では、設計過程における思考や意図を多面的に捉えることを目的として、発話・操作・姿勢といった異なるモードを統合的に記録するマルチモーダル計測システムを構築し、その動作確認を行った。システムは三台の PC を用いて構成され、それぞれが音声・映像・センサ・操作ログを独立に取得する設計とした。動作確認の結果、いずれのモードでもデータ欠損なく記録が行われ、提案した計測構成が有効に機能することを確認した。

一方で、三台の PC 間での時間整合が十分に補償されていないことが明らかとなり、マルチモーダルデータを正確に解析するためには共通時刻基準の統一データベース化が必要であることが確認された。本研究の段階では動作確認を主目的としていたため、設計論理発話区間の検出や相関解析には至っていないが、次段階に向けたデータ取得基盤の整備として有用な知見を得たと言える。

6.2. 本研究の意義

本研究の意義は、設計過程を単一モードの観察に留めず、発話・操作・身体情報を時間的に対応付けて記録する計測環境の実現可能性を示した点にある。また、このマルチモーダル記録を将来的にデータベース化し、全てのデバイスが統一された UTC 基準時刻を共有する構造を導入することで、時系列解析における精度向上および再現性の確保を両立できる見通しを得た。さらに、本研究で取得したデータ形式は、自然言語処理や信号解析との接続性を持ち、設計過程の定量分析に資する凡用的な枠組みとして発展可能である。

6.3. 今後の課題

今後の課題として、第一、複数デバイス間の時刻同期精度の向上と、UTC 基準時刻を用いた共通データベースへの統合実装が挙げられる。これにより、異なる PC で取得した発話・操作・身体データを同一時間軸上で整合させ、解析の信頼性を高めることができる。

第二に、音声データに対する TF-IDF および感情分析の適用と、それらを基にした設計論理発話区間の自動検出を進める必要がある。第三に、各モード間の関係性を明確化し、設計論理がどのような操作・姿勢変化と対応して表出するかを定量的に検証することが求められる。

これらの課題を段階的に解決することで、マルチモーダルデータを用いた設計行為の理解を深化させ、設計研究における新たな解析基盤の確立につながることが期待される。

7. 今後の展望

7.1. 本年度の実施計画

本研究では、これまでの動作確認実験により、各モード（操作ログ・身体動作・発話）の取得が可能であることを確認した。今後は、この環境を基盤としてデータベース統合とマスター時刻配信機構の実装を行う予定である。複数の PC がマスター PC の UTC 基準時刻を参照し、同一の時間軸上でデータを記録する仕組みを整備することで、デバイス間の時間ずれを抑制し、解析に必要な高精度な時間同期を実現する。また、時刻取得時の遅延量や補正値を同時に記録し、時間誤差の再現性・検証可能性を確保する。

これらの改良を施した後、構築したシステムを用いて実際の設計課題を対象とした実験を実施する予定である。被験者が協働的に設計を進める状況下で発話・操作・姿勢を同時計測し、解析に必要なすべてのデータを取得する。この実験を通じて、時間統合後の解析手法の有効性を確認し、設計論理抽出に向けた精度検証を行う。

7.2. 検出精度向上に向けた課題

今後の主要課題は、設計論理発話区間の検出精度の向上である。本研究では発話・操作・身体情報の3種類の観測データを取得しており、それぞれをどのように解析に活用するかを検討する必要がある。

具体的には、

- 各モードにおける発話直前・直後の変化傾向（例：クリック頻度や姿勢変化速度の上昇）を明確化すること、
- 各データの変化量・変化率を指標化し、設計論理の発生タイミングの対応を分析すること、
- ノイズや外れ値を適切に処理するための前処理手法（移動平均・ロバスト補完・閾値設定）を導入すること、

が重要であること。これらの検討を通じて、各観測データが設計論理抽出手法に寄付する具体的な要素を特定し、検出アルゴリズムの精度向上を図る。

7.3. 本章のまとめ

本年度は、マスター時刻による完全同期化とデータベース統合を実現し、その環境下で実際の設計タスクを対象とした実験を行う予定である。これにより、時間整合性を担保したマルチモーダルデータ解析の基盤を確立する。さらに、各モードの特徴量抽出・変化量解析・ノイズ処理を体系的に進めることで、設計論理検出の正答率を向上させることを最優先課題とする。将来的には、この基盤を活用して設計者の思考過程をより正確に再構築し、設計研究の定量的発展に貢献することを目指す。

文 献

- (1) 経済産業省 製造産業局 ものづくり政策審議室、『令和2年版 ものづくり白書 第1章第3節 製造業の企業変革力を強化するデジタルトランスフォーメーション (DX) の推進』, 2020.

URL:

https://www.meti.go.jp/report/whitepaper/mono/2020/honbun_html/honbun/101031_2.html (最終アクセス: 2025-10-22).

- (2) 日野 三十四,『実践 エンジニアリング・チェーン・マネジメント: IoT で設計開発革新』, 日刊工業新聞社, 2017.
- (3) 三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング株式会社,『我が国ものづくり産業の課題と対応の方向性に関する調査』, 2019.

URL:

https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/H30FY/000691.pdf (最終アクセス: 2025-10-22).

- (4) 中澤 亮,「デザイン過程における設計論理抽出手法の検討」, 東京電機大学 システムデザイン工学部デザイン工学科 卒業論文, 2021.
- (5) 小此木 紀馬,「デザイン過程における PC 操作からの設計論理抽出手法の検討」, 東京電機大学 システムデザイン工学部デザイン工学科 卒業論文, 2024.
- (6) 坂口 敬音,「デザイン過程におけるスマート椅子を用いた設計論理抽出手法の検討」, 東京電機大学 システムデザイン工学部デザイン工学科 卒業論文, 2024.
- (7) Bracewell, R. H., Wallace, K. M., and Ahmed, S., “DRed and Design Folders: A Way of Capturing, Storing and Passing On Knowledge,” Proceedings of the ASME Design Engineering Technical Conferences (DETC), 2004.
- (8) Bracewell, R. H. and Wallace, K. M., “A Tool for Capturing Design Rationale,” Proceedings of the International Conference on Engineering Design (ICED), 2003.
- (9) 野間口 大, 藤田 喜久雄, 中島 幸祐,「設計検証のための工学解析におけるモデリング知識の管理フレームワークの構想」, 日本機械学会 第19回設計工学・システム部門講演会 論文集, 2009.
- (10) 野間口 大, 藤田 喜久雄,「設計プロセスにおける仮説生成検証の動的展開に着目した設計支援フレーム

- ワーク」, 人工知能学会論文誌, 25 卷, 3 号, pp. 432–442, 2010.
- (11) Nishimura, K., Ito, K., Fujiwara, K., and Itoh, Y., “Detection of Nodding of Interlocutors Using a Chair-Shaped Device and Investigating Relationship Between a Divergent Thinking Task and Amount of Nodding,” *Quality and User Experience*, vol. 8, article 10, 2023.
- (12) Cao, Z., Simon, T., Wei, S.-E., and Sheikh, Y., “Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation Using Part Affinity Fields,” *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, pp. 7291–7299, 2017.
- (13) 軽部 裕真, 「OpenPose による設計行為中の設計者の行動推定に基づく設計論理抽出」, 東京電機大学 システムデザイン工学部デザイン工学科 卒業論文, 2023.
- (14) Manning, C. D., Raghavan, P., and Schütze, H., *Introduction to Information Retrieval*, Cambridge University Press, 2008.
- (15) Salton, G. and Buckley, C., “Term-Weighting Approaches in Automatic Text Retrieval,” *Information Processing & Management*, vol. 24, no. 5, pp. 513–523, 1988.
- (16) Hutto, C. and Gilbert, E., “VADER: A Parsimonious Rule-Based Model for Sentiment Analysis of Social Media Text,” *Proceedings of ICWSM*, 2014.
- (17) Liu, B., *Sentiment Analysis and Opinion Mining*, Morgan & Claypool, 2012.
- (18) Carletta, J., “Announcing the AMI Meeting Corpus,” *Machine Learning for Multimodal Interaction (MLMI 2005)*, Lecture Notes in Computer Science, vol. 3869, pp. 28–39, Springer, 2006.