JAIST Repository
https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	Sketch2AnimalToy：スケッチベース可動部付き動物玩具の生成インターフェース開発
Author(s)	白田, 陽彩人; 品田, 康平; 黄, 柏飛; 謝, 浩然
Citation	情報処理学会第217回ヒューマンコンピュータインタラクション研究発表会, 2026-HCI-217(29): 1-8
Issue Date	2026-03-02
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	https://hdl.handle.net/10119/20351
Rights	社団法人 情報処理学会, 白田陽彩人, 品田康平, 黄柏飛, 謝浩然, 情報処理学会第第217回ヒューマンコンピュータインタラクション研究発表会, Vol.2026-HCI-217, No.29, 2026, 1-8. ここに掲載した著作物の利用に関する注意: 本著作物の著作権は（社）情報処理学会に帰属します。本著作物は著作権者である情報処理学会の許可のもとに掲載するものです。ご利用に当たっては「著作権法」ならびに「情報処理学会倫理綱領」に従うことをお願いいたします。 Notice for the use of this material The copyright of this material is retained by the Information Processing Society of Japan (IPSJ). This material is published on this web site with the agreement of the author (s) and the IPSJ. Please be complied with Copyright Law of Japan and the Code of Ethics of the IPSJ if any users wish to reproduce, make derivative work, distribute or make available to the public any part or whole thereof. All Rights Reserved, Copyright (C) Information Processing Society of Japan.
Description	情報処理学会第217回ヒューマンコンピュータインタラクション研究発表会, 芝浦工業大学豊洲キャンパス, 東京, 2026年3月9日-11日

JAIST
JAPAN
ADVANCED INSTITUTE OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY

Japan Advanced Institute of Science and Technology

Vol.2026-HCI-217 No.29
2026/3/10

Sketch2AnimalToy：スケッチベース可動部付き動物玩具の生成インターフェース開発

白田 陽彩人[†1,a)]　品田 康平[†1,b)]　黄 柏飛[†1,c)]　謝 浩然[†1,†2,d)]

概要：専門的なスキルを要さずに直感的な手書きスケッチから 3D モデルを生成するスケッチベースモデリングは，創造支援の重要な技術として発展してきた．しかし，従来のスケッチベース手法の多くは，静的な形状の再現に主眼を置いており，可動機構を含む機能を持ったオブジェクトの設計支援は十分になされていない．本研究では，ユーザが描いた動物のスケッチを入力とする，可動オブジェクトの設計支援インターフェース，Sketch2AnimalToy を設計した．本システムは，スケッチの輪郭と構造を解析し，3D 形状への変換を行うと同時に，足が物理的に可動するための軸やジョイント構造を適切な位置に自動的に配置・生成する．評価実験の結果，本システムは多様な生物のスケッチからロバストに可動モデルを生成可能であることを確認した．また，ユーザスタディにおいて，非専門家が短時間で自身のアイデアを具現化し，高い創造的達成感と愛着を得られることを実証した．

1. はじめに

個人の創造性を支援する技術は，デジタルツールの進化とともに大きく発展してきた．特に近年では，生成 AI 技術とデジタルファブリケーションの融合により，専門的なスキルを持たない個人でもアイデアを物理的な形として具現化できる環境が整いつつある [1], [2]．テキストや画像から高品質な 3D モデルを生成する手法は実用段階にあるが，それらの多くは静的な単一メッシュの出力に留まっているのが現状である [3]．個人の製作物が物理的な実体を持つとき，実際に手にとって遊ぶことができる「可動性」は，作品への愛着や創造的達成感を高める重要な要素である．中でも，動物をモチーフとした玩具は，子どもから大人まで幅広い層に親しまれ，パーソナルファブリケーションの対象として高い需要がある．しかし，動物の形状は有機的な曲面と多様な体型（四肢の長さ・太さの違い等）を持つため，ロボットのような定型的な機構設計テンプレートの適用が困難である．個々の動物の形状に合わせて関節位置やパーツ分割を都度設計する必要があるため，外観の生成が容易になった現在でも，独自の「動く動物玩具」の制作は，工学的知識を持たない非専門家にとって極めて高い参入障壁となっている．この「外観イメージの具体化」と「機能設計の困難さ」の乖離は，個人の創造性をデジタル空間から物理世界へと真に拡張する上で解決すべき重要な課題である．

そこで本研究では，創造支援のアプローチとして，ユーザが描いた単一の側面スケッチから，3D プリンタで出力可能な可動フィギュアを設計・製造できる Sketch2AnimalToy を開発した (図 1)．本システムは，直感的な表現である「スケッチ」を入力とし，大規模視覚言語モデルによる画像変換・3D 生成と，幾何解析に基づく関節機構生成を統合することで，工学的知識なしにオリジナルな動物玩具の制作を可能にする．本稿では，生成 AI の推論能力とコンピュテーショナルデザインによる物理設計を融合させたパイプラインを提案し，多様な動物スケッチに対する生成のロバスト性と，ユーザが自身の描いた絵が物理的に動く実体となることで得られる体験価値について論じる．

本研究の貢献 は以下の 3 点である．(1) スケッチから可動フィギュアまでの一貫した生成パイプラインの構築，(2) 幾何解析に基づく自動関節機構生成アルゴリズムの提案，(3) 非専門家が自身のスケッチを物理的に動く実体として手にすることで得られる創造的達成感の実証．

2. 関連研究

2.1 スケッチベースモデリング

スケッチベースモデリングは，ユーザの直感的な 2 次元ストロークから 3 次元形状を生成し，専門的な CAD 操作

†1 現在，北陸先端科学技術大学院大学
†2 現在，早稲田大学
a) s2410085@jaist.ac.jp
b) s2410225@jaist.ac.jp
c) s2520016@jaist.ac.jp
d) xie@jaist.ac.jp

ⓒ2026 Information Processing Society of Japan

図 1: Sketch2AnimalToy の概要図

を要さずに設計を可能にする技術である．Igarashi らによる Teddy [4] は，手書きの閉曲線から滑らかな曲面を生成する手法を確立し，この分野の端緒を開いた．その後，幾何学的ルールに基づく曲面制御 [5], [6] や，近年の深層学習を用いたデータ駆動型アプローチ [7], [8], [9] により，曖昧な入力に対する形状復元能力や表現力は飛躍的に向上した． しかし，これら既存手法の多くは，静的な形状生成や外観の再現を主目的としており，出力は単一の閉じたメッシュに留まることが多い．そのため，物理的な可動を前提としたパーツ分割や関節機構の配置といった，現実世界で機能させるための工学的要件は十分に扱われてこなかった．本研究は，スケッチという直感的な入力インタフェースの利点を活かしつつ，従来の形状生成に欠けていた物理的な可動機構の設計までを一気通貫で支援する点に独自性がある．

2.2 生成 AI による画像・3D コンテンツ生成

Diffusion モデルの発展により，テキストやラフな入力から高品質な画像を生成・編集する技術が確立されつつある．SDEdit[10] はノイズ付加と除去過程を通じてスケッチの構造を維持したまま写実的な変換を可能にし，ControlNet[11] はエッジ情報等を条件として構図を制御する枠組みを提示した．これらは，ユーザの曖昧な入力意図を補完する上で重要である． さらに近年では，大規模視覚言語モデル（LVLM）の推論能力を画像編集に応用した手法が登場している．特に Qwen-Image-Edit[12] のような指示駆動型のモデルは，入力画像の構造を厳密に保持しつつ，テキストプロンプトによる詳細な質感やスタイルの制御を可能にする．一方，3D 生成分野では，DreamFusion[13] に代表される最適化ベースの手法から，近年では TRELLIS[14] のようなフィードフォワード型の高速生成手法へと進化している．特に TRELLIS は，構造化された潜在表現を用いることで，単一画像からでも幾何学的整合性の高いメッシュを生成可能である．しかし，これらのモデルが出力する形状は，視覚的な鑑賞を主目的とした単一のソリッドであることが多く，物理的な可動機構を含まないため，そのままでは機能的な実体として扱うことができない点が課題である．

本研究は，入力スケッチを画像編集 AI を経て写実的な画像へ変換してから 3D 生成を行う段階的なアプローチを採用することで，直接的な生成で生じがちな形状破綻を抑制し，高品質な 3D モデル生成を実現している．

2.3 コンピュテーショナル・ファブリケーション

3D プリンタの普及に伴い，CG モデルを物理的な製造制約に適応させるコンピュテーショナルデザインの研究が盛んに行われている．Bächer ら [15] は，リギングされた 3D キャラクターに対し，関節位置を 3D プリント可能なボールジョイント等に自動置換し，摩擦や可動域を考慮したフィギュアを生成する手法を提案した．また，Cali ら [16] は，積層造形の特性を利用して組み立て不要な可動モデルを生成するためのクリアランス解析手法を示している．Coros ら [17] による機械的キャラクターの自動設計など，非専門家による機構設計を支援する試みは多い． しかし，これら既存手法の多くは，入力として「破綻のない高品質な 3D メッシュ」や「正確に設定された骨格情報」が既に存在することを前提としている．

本研究は，ラフなスケッチから形状生成・骨格推定・物理的な機構設計までを一気通貫で自動化することで，完全な 3D データを前提とする既存手法の制約を解消し，非専門家が描いた絵から可動フィギュアを直接生成可能なインターフェースを実現している．

3. 提案手法

本研究では，ユーザの直感的な 2 次元スケッチから，物理的に可動するフィギュアの 3D データを自動生成する一連のパイプラインを提案する (図 2)．提案システムは，生成 AI による「形状・構造の推論」と，コンピュテーショナルデザインによる「物理設計」を統合しており，画像変換，3D 生成，骨格推定，機構生成の 4 段階で構成される．

3.1 スケッチに基づく写実画像の生成

手書きスケッチは奥行きや陰影情報が欠落しており，直接的な 3D 化は形状破綻を招きやすい．そこで本システムでは，指示駆動型の画像編集モデルである，Qwen-Image-Edit モデル [18] を採用した．本モデルは GPU メモリ効率を最適化しつつ，入力線の構造を維持したまま写実的なフィギュア画像へ変換可能である．プロンプトにて「プラスチック素材」等のドメイン制約を与えることで，3D プリントに適した滑らかな曲面を持つ画像を生成し，後段の 3D 復元の安定化を図っている．図 3 に本システムによる画像生成の様子を示す．

3.2 単眼画像からの 3D 形状生成

生成された単眼画像から，視点に依存しない 3 次元形状を復元するために，フィードフォワード型の 3D 生成モデ

ⓒ2026 Information Processing Society of Japan

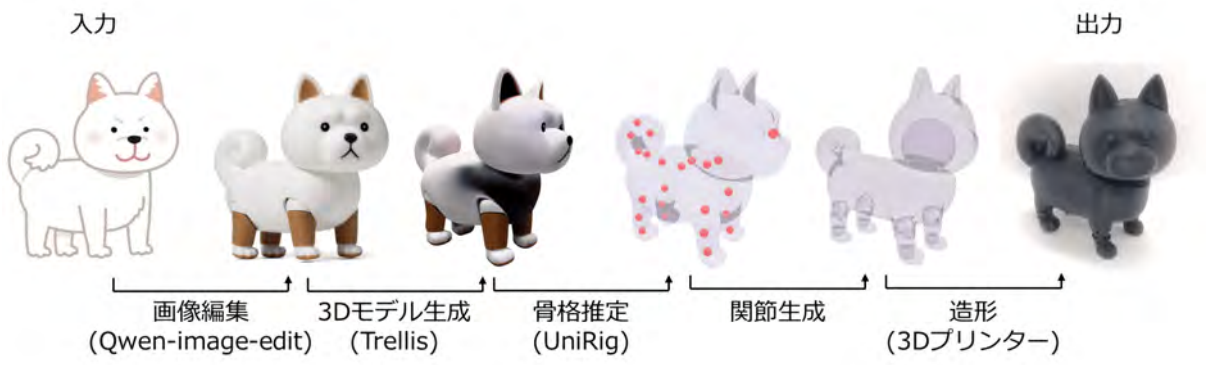

図 2: 提案システム全体処理フロー

図 3: 本システムにおける画像生成

ル TRELLIS[14] を採用した．TRELLIS は構造化された 3D 潜在表現を用いることで，有機的な形状に対しても幾何学的な整合性を保ちやすく，背面などの遮蔽領域も自然に補完可能である．本システムでは，TRELLIS のパイプラインを用いて高速に GLB 形式のメッシュを抽出し，後段の幾何処理へと接続する．図 4 に本システムによる 3D モデル生成の様子を示す．

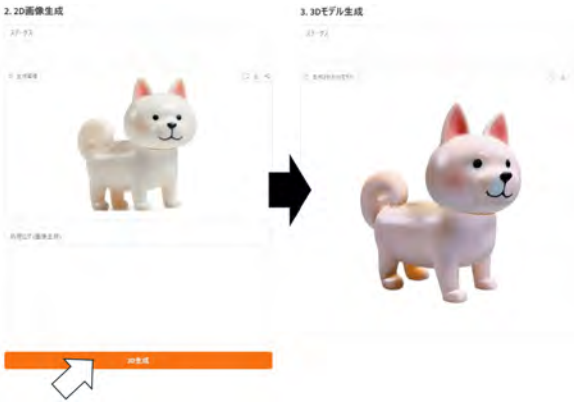

図 4: 本システムにおける 3D モデル生成

3.3 骨格推定とスキニング

生成されたメッシュに可動構造を付与するため，カテゴリ非依存の学習ベース自動リギング手法 UniRig[19] を用いて骨格推定を行う．UniRig は入力された未知の生物形状に対しても，点群ベースの解析により生物学的に妥当な関節位置とスキニングウェイトを推定できる．本研究では，推定されたボーン情報を単なる変形用ではなく，物理的なパーツ分割とジョイント配置の基準 (切断面および回転中心) として再解釈して利用する．図 5 に本システムによるリギングの様子を示す．

図 5: 本システムにおけるリギング

3.4 パーツ分割と可動機構の生成

リギング済みモデルに対し，(1) モデル解析，(2) 関節パラメータ最適化，(3) カッター生成，(4) CSG(Constructive Solid Geometry) 演算 の 4 フェーズ (図 6) を経て製造用データを生成する．CSG とは，基本形状の集合演算 (和・差・積) を組み合わせることで複雑な形状を定義するモデリング手法である．まずモデルサイズを正規化し，各関節位置においてレイキャストを用いてメッシュ表面までの最短距離を計算する．次に，Nelder-Mead 法 [20] を用いた最適化により，メッシュ内部に収まる最大の関節半径を算出する．これに基づき，クリアランスを含んだパラメトリックなカッター形状 (ボールジョイント/ヒンジ) を動的に生成し，ブーリアン演算によってボディから減算することで，一体造形可能な可動モデルを構築する (図 7)．

3.5 実装

本システムは Linux OS 上で構築し，NVIDIA GeForce RTX 4090 を使用した．Anaconda を用いて独立した仮想環境を構築し，Python の subprocess モジュールを通じて

ⓒ2026 Information Processing Society of Japan

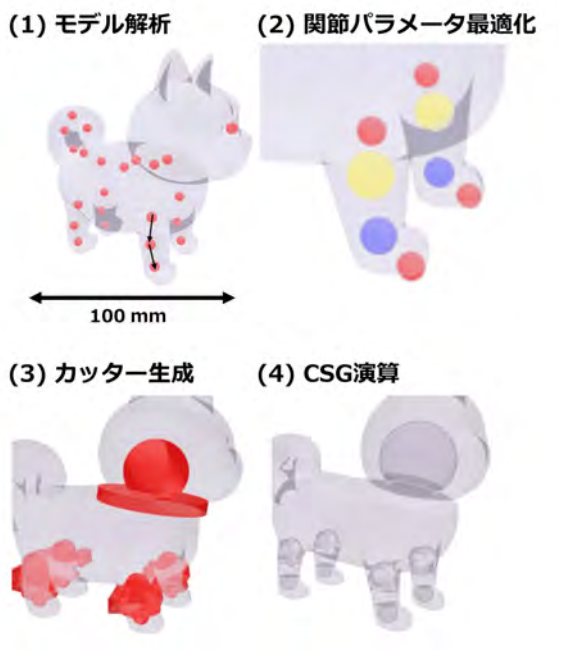

図 6: 4 つの処理フェーズ

図 7: 関節生成の流れ

連携させるアーキテクチャを採用した．また，Gradio を用いて，一連のプロセスを Web ブラウザ上で操作可能なインターフェースを実装した．ユーザはスケッチの入力から，中間生成物の確認，関節タイプの選択 (ボール/ヒンジ)，パラメータの微調整を行い，最終的に STL データをダウンロードし 3D プリンターで造形できる (図 8)．

図 8: 本システムによって作成したフィギュア

4. 評価実験

評価実験では，提案する創造支援インターフェースが，多様な動物形状に対して実用的な可動フィギュアを生成できるかを検証する．具体的には，(1) 体型の異なる様々な動物スケッチに対する生成のロバスト性，(2) ユーザの画力に依存しない安定性，(3) 造形物としての物理的な可動性と強度，の 3 点を評価する．

4.1 多様性実験

ユーザが描く対象として想定される多様な動物形状に対するシステムのロバスト性を検証するため，関節生成の技術的難易度に基づき以下の 4 カテゴリを設定した：

- カテゴリ 1 (標準的な四足生物): ネコ，トラ，オオカミ
- カテゴリ 2 (四肢が長い生物): ウマ，キリン，ダチョウ
- カテゴリ 3 (四肢が短い/太い生物): カバ，コーギー，オオサンショウウオ
- カテゴリ 4 (架空/非存在生物): トリケラトプス，唐笠小僧，モンスター

実験の結果，入力した 12 枚のスケッチのうち，11 例において最終的な STL データの生成に成功した．標準的な四足生物や四肢が太い生物では各プロセスが平均 1〜2 回で成功し安定して動作した．一方，カテゴリ 2 の「キリン」は角などの形状推論が難しく，3D 復元に 19 回の試行を要した．カテゴリ 4 の「モンスター」は形状が複雑すぎたため，メッシュの自己交差を修復できず，最終的なブーリアン演算でエラーとなり生成に失敗した．生成に成功した 11 体を 3D プリンタで出力した結果，ネコやカバなどのモデルでは関節がスムーズに可動し，自立も可能であった．図 9〜12 に各カテゴリの成功した例を示す．

4.2 入力品質実験

ユーザの画力が生成結果に与える影響を検証するため，同一の「クマ」というモチーフに対し，画力レベルの異なる 3 段階 (High: 精緻な線画, Mid: 歪みあり, Low: 子供のような線画) のスケッチを用意した (図 13)．

High および Mid レベルでは全工程が 1 回の試行で成功した．Low レベルにおいては，入力情報が少ないため画像生成段階で 3 回の試行を要したが，適切な中間画像生成後は後段の 3D 復元・骨格推定ともに 1 回で成功した．これは，画像生成モジュールがスケッチの曖昧さを効果的に補完していることを示している．出力された 3 体すべてのデータを 3D プリントした結果，Low レベル由来のデータであっても，High レベルと比較して遜色のない品質で造形された．3 体とも形状の破綻はなく，関節はスムーズに可動し，自立が可能であり，本システムが画力に依存せず安定した可動フィギュアを製造可能であることが実証された．図 14 に 3D プリントした結果を示す．

ⓒ2026 Information Processing Society of Japan

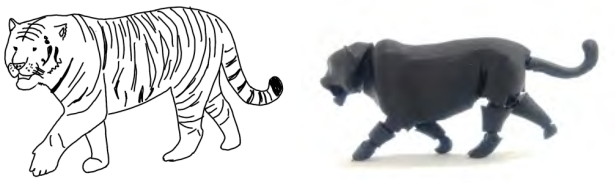

図 9: カテゴリ 1(トラ) の入力スケッチと造形物

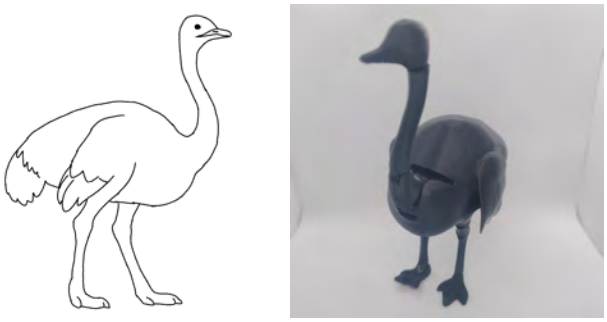

図 10: カテゴリ 2(ダチョウ) の入力スケッチと造形物

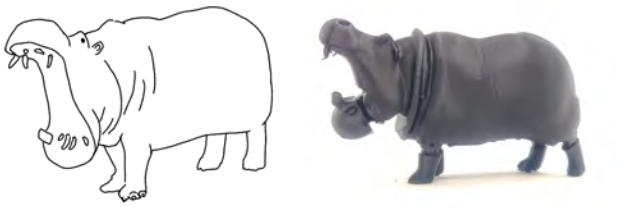

図 11: カテゴリ 3(カバ) の入力スケッチと造形物

図 12: カテゴリ 4(唐笠小僧) の入力スケッチと造形物

(a) クマのスケッチ画像 (High) (b) クマのスケッチ画像 (Mid) (c) クマのスケッチ画像 (Low)

図 13: 画力レベルの異なる 3 段階のクマのスケッチ

(a) クマの造形 (High) (b) クマの造形 (Mid) (c) クマの造形 (Low)

図 14: 3 段階のクマのスケッチ造形結果

5. ユーザスタディ

「工学的知識を持たない非専門家」にとって，実際に有用かつ使いやすいものであるかを検証するためのユーザスタディを実施する．被験者は，大学に所属する学生 9 名 (男性 8 名，女性 1 名) である．本実験では，多様なスキルレベルにおけるシステムの有効性を確認するため，3D モデリング (3DCAD および 3DCG) の経験の有無を問わず被験者を募った．アンケートにおいて「3DCAD・3DCG の使用経験がありますか」という項目を設け，被験者の属性を記録した．その結果，被験者の内訳は一年以上の経験者が 2 名，未経験者 3 名であった．また，残りの 4 名は経験はあるが一年未満の属性である．

5.1 実験環境

実験は以下のハードウェアおよびソフトウェア環境を用いて行われた．

- **スケッチ作成**：タブレット端末 (Apple iPad) およびスタイラスペン (Apple Pencil) を使用し，ペイントアプリ (ibisPaint) 上で描画を行った．
- **システム操作**：PC 上の Web ブラウザ (Google Chrome) にて提案システムの Web UI を表示し，生成およびパラメータ調整を行った．

5.2 実験手順

まず，実験者は参加者に対して本システムの概要と操作方法 (スケッチ入力，画像生成，3D 化，関節設定) を約 10 分間で説明した．その後，自身が可動させたい動物や架空の生物，モノをスケッチし，本システムを用いて 3D プリンタで出力可能な可動フィギュアのデータを作成すること」というタスクを提示し，参加者は自身の納得がいくまでシステムを使用して作品制作を行った．タスク完了後，システムの使用感や体験に関するアンケートに回答し，実験を終了した．

5.2.1 評価指標

本システムの有用性を多角的に検証するため，客観的なログデータと主観的なアンケートに基づき，複数の指標を採用した．まず，タスクパフォーマンスとして，設計プロ

ⓒ2026 Information Processing Society of Japan

セスの効率性を測る「タスク所要時間」(スケッチ開始から STL 出力までの時間) と，システムの意図解釈の正確性を反映する「生成試行回数」を記録した．主観評価においては，システムの総合的なユーザビリティを System Usability Scale(SUS) を用いて客観的に測定するとともに，タスク遂行時の精神的・身体的な作業負荷を NASA-TLX(Task Load Index) により定量化した．また，創造支援および効率性に関する独自指標を設定し，「表現力」「没入感」「所有欲」「自己効力感」「時間効率」「学習コスト」の各項目について 7 段階リカート尺度で評価を行った．さらに，実体化後の追跡調査として，3D プリントされた実物を提示した上で追加アンケートを実施した．具体的には，デジタル設計と物理出力のギャップ，および実体化に伴う心理的変容を多角的に評価するため，以下の計 11 項目を設定した．まず，7 段階リカート尺度による評価項目として，「デジタルとの一致」「スケッチの再現性」「造形品質」「可動のスムーズさ」「ポーズ保持力」「耐久性の安心感」「驚き」「愛着」「創造的達成感」の 9 項目を設けた．加えて，自由記述形式により「画面上での印象と違った点」および「次はどのようなものを作ってみたいか」の 2 項目を聴取し，数値化できない定性的なフィードバックを収集した．

5.3 ユーザスタディの結果

5.3.1 制作結果

本システムを用いて被験者 8 名がタスクを完遂し，3D プリンタで出力可能な可動フィギュアのデータを生成することに成功した．1 名は 3D 生成したメッシュの修復ができず，関節生成のブーリアン演算を実行できなかった．生成結果は，標準的な四足歩行動物から，特徴的なプロポーションを持つ架空の生物，架空のキャラクターまで多岐にわたる．被験者の画力や描画タッチによらず，システムはいずれの入力に対してもその構造的特徴を捉え，破綻のない立体物を生成している．特に，実体化された造形物は設計された関節によってポーズを変更できることが確認された．これらの視覚的・物理的な結果は，本システムが多様なユーザの意図を汲み取り，機能する実体へと変換する能力を有していることを強く示している．図 15 に，被験者による入力スケッチと，それに基づいて 3D プリントされた造形物の実物写真を示す．足や口が可動できていることが確認できる．

5.3.2 タスクパフォーマンス

実験における平均タスク所要時間は 41.9 分 ($SD = 11.7$) であり，最短で 20 分，最長でも 59 分 (中央値 42 分) で全工程が完了した．従来の手作業によるモデリングや機構設計が，熟練度に関わらず数時間から数日を要するのに対し，本システムは劇的な時間短縮と効率化を実現している．また，納得のいく結果を得るまでの生成試行回数は，画像・3D 生成フェーズ共に平均 1.6 回 (中央値 1 回) と低く抑えられた．半数以上の被験者が初回の生成で意図通りの結果を得ており，最大でも 3 回以内で収束したことから，本システムは高い意図解釈能力を有し，ユーザに過度な試行錯誤を強いることなく円滑な設計支援が可能であることが確認された．

(a) 入力されたスケッチ　(b) 造形されたフィギュア　(c) 造形されたフィギュア (可動)

図 15: スケッチおよび造形されたフィギュア

5.3.3 ユーザビリティ評価

SUS スコアの平均は 59.7 点 (SD=14.5) で，一般製品平均の 68 点を下回る「許容範囲の境界」となった．これは機能検証主体の初期プロトタイプであり UI の洗練度が不足していたためと考えられる．全員が関節生成のブーリアン演算の実行まで達成した事実も踏まえると，現状のスコアは UI 上の摩擦はあるものの，目的達成を阻害する致命的な欠陥はない状態であると解釈できる．

5.3.4 主観評価

創造性支援および効率性に関する独自アンケート (7 段階リカート尺度) の集計結果について述べる．創造支援および効率性に関する独自指標の具体的なアンケート項目は以下である．図 16 に独自アンケートの結果を示す．

(1) 頭の中にあったイメージを，形として表現することができた
(2) システムの操作や技術的な問題に煩わされず，デザインにすること自体に集中できた
(3) 作成したデータを実際に 3D プリントして手元に置きたいと思った
(4) 専門的な 3D モデリングスキルがなくても，自分には価値あるものが作れると感じた
(5) もしこのモデルを一から手作業 (既存の CAD ソフト等) で作ろうとしたら，今回より遥かに時間がかかったと思う
(6) このシステムを使うために必要な学習は，一般的な CAD ソフトを習得するより簡単だと思う

創造性支援評価では，自己効力感 ($M = 5.8$) や所有欲 ($M = 5.4$) が高く，非専門家でも制作物に強い愛着と創造的満足感を得られた．一方で，表現力 ($M = 5.0$) や没入感 ($M = 4.4$) は比較的低調で，ばらつきも見られた．これは AI 生成の乖離や UI 操作の習熟コストに起因し，低い SUS スコアとも整合する．インターフェースの改善は今後の課題であるが，操作性の壁を超えてユーザが高い愛着形成に

ⓒ2026 Information Processing Society of Japan

至った事実は，本システムが提供する「描いた絵が物理的に動く」という体験そのものが持つ強力な訴求力と，創造的パートナーとしての本質的な有用性を裏付けている．

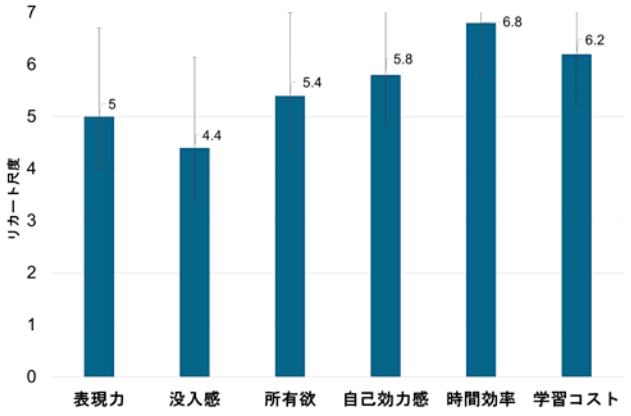

図 16: 独自指標のアンケート結果

5.3.5 作業負荷

NASA-TLX による総合的作業負荷は平均 48.4(中程度)であった．創造的思考を要するため「知的・知覚的欲求」が最も高かった一方，「タイムプレッシャー」は最も低く，被験者は焦燥感なく自分のペースで作業できたことが示された．しかし，「フラストレーション」は平均 42.8 と無視できない値となり，意図しない生成結果となったことが推測される．一方で「作業成績」は平均 38.3 であり，課題を感じつつも最終的には一定の品質の成果物を作成できたという自己評価が得られた．図 17 に各尺度の平均値を示す．

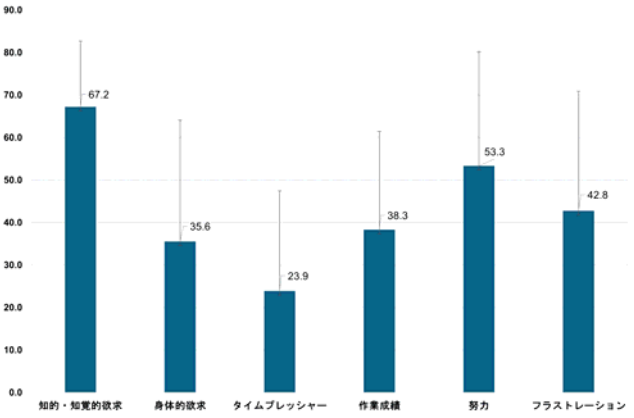

図 17: NASA-TLX の結果

5.3.6 実体化後の評価

生成された 3D データを実際に 3D プリンタで出力し，その実物を被験者にフィードバックできた 6 名を対象に，実体験に関する事後アンケート (7 段階リカート尺度) を実施した．

本評価で最も特筆すべきは，自分の絵が実体化したことへの「驚き」と「特別な愛着」が共に平均 6.7 と極めて高く評価された点である．外観品質も平均 6.3 と好評で，スケッチの特徴反映も概ね肯定されたと共に，今回の研究目的である「工学的知識を持たない非専門家」でも生成可能な手法を達成と言える．一方で，機能面では評価が割れた．関節のスムーズさは平均 5.8 と安定していたが，ポーズ維持や耐久性は標準偏差が大きく，形状によって物理強度に差が出ることが明らかとなった．細いパーツを持つモデルでは破損への不安が指摘され，形状に応じた構造解析や警告機能の必要性が浮き彫りとなった．

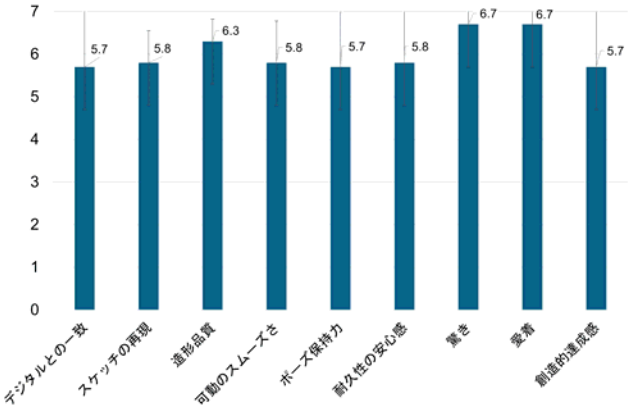

図 18: 事後アンケート結果

6. おわりに

本研究では，専門的な知識を持たないユーザであっても，自ら描いた動物のスケッチから物理的に可動するフィギュアを作成できる創造支援インターフェース Sketch2AnimalToy を提案・実装した．ユーザスタディの結果，初心者が平均約 40 分で可動フィギュアを完成させ，自身の絵が動く実体となったことへの驚きや特別な愛着を報告しており，本システムが非専門家の創造的達成感を高める有効な手段であることが示された．

実験の結果，多様な入力に対する高いロバスト性を確認したが，キリンのような細長い生物における一律縮小に起因する強度不足や，複雑な形状での幾何演算の不安定性が課題として残された．今後は，最小厚みを保証する適応的スケーリングやボクセル再構築による多様体性の確保，およびインタラクティブな修正機能の実装を進め，より広範な形状に対応可能なシステムの構築を目指す．

謝辞

本研究は，JST，BOOST，JPMJBY24D6 の支援を受けたものです．また，本研究の評価実験において，貴重な時間を割いてご協力いただきましたユーザスタディ被験者の皆様に厚く御礼申し上げます．

ⓒ2026 Information Processing Society of Japan

参考文献

[1] Chris Anderson. *Makers: The New Industrial Revolution*. Crown Business, 2012.

[2] Ian Gibson, David Rosen, and Brent Stucker. *Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing*. Springer, 2 edition, 2015.

[3] Ismail Khalid Kazmi, Lihua You, and Jian Jun Zhang. A survey of sketch based modeling systems. In *Proceedings of the 2014 11th International Conference on Computer Graphics, Imaging and Visualization*, CGIV '14, p. 27–36, USA, 2014. IEEE Computer Society.

[4] Takeo Igarashi, Satoshi Matsuoka, and Hidehiko Tanaka. Teddy: a sketching interface for 3d freeform design. In *Proceedings of the 26th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, SIGGRAPH '99, p. 409–416, USA, 1999. ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co.

[5] Olga A. Karpenko and John F. Hughes. Smoothsketch: 3d free-form shapes from complex sketches. *ACM Trans. Graph.*, Vol. 25, No. 3, p. 589–598, July 2006.

[6] Andrew Nealen, Takeo Igarashi, Olga Sorkine, and Marc Alexa. Fibermesh: designing freeform surfaces with 3d curves. *ACM Trans. Graph.*, Vol. 26, No. 3, p. 41–es, July 2007.

[7] Song-Hai Zhang, Yuan-Chen Guo, and Qing-Wen Gu. Sketch2model: View-aware 3d modeling from single free-hand sketches, 2021.

[8] Yi He, Haoran Xie, and Kazunori Miyata. Sketch2cloth: Sketch-based 3d garment generation with unsigned distance fields, 2023.

[9] Xusheng Du, Tianyu Zhang, and Haoran Xie. Dualshape: Sketch-based 3d shape design with part generation and retrieval. *IEEE Access*, Vol. 12, pp. 18888–18900, 2024.

[10] Chenlin Meng, Yutong He, Yang Song, Jiaming Song, Jiajun Wu, Jun-Yan Zhu, and Stefano Ermon. Sdedit: Guided image synthesis and editing with stochastic differential equations, 2022.

[11] Lvmin Zhang, Anyi Rao, and Maneesh Agrawala. Adding conditional control to text-to-image diffusion models. In *2023 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV)*, pp. 3813–3824, 2023.

[12] Chenfei Wu, Jiahao Li, Jingren Zhou, Junyang Lin, Kaiyuan Gao, Kun Yan, Sheng ming Yin, Shuai Bai, Xiao Xu, Yilei Chen, Yuxiang Chen, Zecheng Tang, Zekai Zhang, Zhengyi Wang, An Yang, Bowen Yu, Chen Cheng, Dayiheng Liu, Deqing Li, Hang Zhang, Hao Meng, Hu Wei, Jingyuan Ni, Kai Chen, Kuan Cao, Liang Peng, Lin Qu, Minggang Wu, Peng Wang, Shuting Yu, Tingkun Wen, Wensen Feng, Xiaoxiao Xu, Yi Wang, Yichang Zhang, Yongqiang Zhu, Yujia Wu, Yuxuan Cai, and Zenan Liu. Qwen-image technical report, 2025.

[13] Ben Poole, Ajay Jain, Jonathan T. Barron, and Ben Mildenhall. Dreamfusion: Text-to-3d using 2d diffusion. In *The Eleventh International Conference on Learning Representations*, 2023.

[14] Jianfeng Xiang, Zelong Lv, Sicheng Xu, Yu Deng, Ruicheng Wang, Bowen Zhang, Dong Chen, Xin Tong, and Jiaolong Yang. Structured 3d latents for scalable and versatile 3d generation, 2025.

[15] Moritz Bächer, Bernd Bickel, Doug L. James, and Hanspeter Pfister. Fabricating articulated characters from skinned meshes. *ACM Trans. Graph.*, Vol. 31, No. 4, July 2012.

[16] Jacques Calì, Dan A. Calian, Cristina Amati, Rebecca Kleinberger, Anthony Steed, Jan Kautz, and Tim Weyrich. 3d-printing of non-assembly, articulated models. *ACM Trans. Graph.*, Vol. 31, No. 6, November 2012.

[17] Stelian Coros, Bernhard Thomaszewski, Gioacchino Noris, Shinjiro Sueda, Moira Forberg, Robert W. Sumner, Wojciech Matusik, and Bernd Bickel. *Computational Design of Mechanical Characters*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 1 edition, 2023.

[18] Muyang Li, Yujun Lin, Zhekai Zhang, Tianle Cai, Xiuyu Li, Junxian Guo, Enze Xie, Chenlin Meng, Jun-Yan Zhu, and Song Han. Svdquant: Absorbing outliers by low-rank components for 4-bit diffusion models. https://huggingface.co/nunchaku-ai/nunchaku-qwen-image-edit-2509, 2025. Accessed: 2026-01-12.

[19] Jia-Peng Zhang, Cheng-Feng Pu, Meng-Hao Guo, Yan-Pei Cao, and Shi-Min Hu. One model to rig them all: Diverse skeleton rigging with unirig, 2025.

[20] J. A. Nelder and R. Mead. A simplex method for function minimization. *The Computer Journal*, Vol. 7, No. 4, pp. 308–313, 1965.

ⓒ2026 Information Processing Society of Japan