

ロボットコンテストのための 3D プリントプリプロセッサの開発

— 応力解析に基づく 3D プリントインフィルの最適化 —

1. 背景

ロボットコンテストでは、厳格な重量制限を守りつつ、負荷に耐えうる高強度な部品を作ることが重要である。その開発において、3D プリントは複雑形状の実現や短納期化のために不可欠な技術となっているが、製造プロセスにおける課題も多い。

従来の 3D プリントワークフローでは、スライスソフトという変換ソフトを用いて、3D の形状データを加工プログラムに変換する。そのスライスソフトを用いて部品内部の「インフィル（充填構造）」を設定する際、パーツ全体に対して一律の密度が適用される。しかし、実際の機械部品にかかる応力分布は均一ではない。そのため、強度が不要な部位に過剰な材料が使用されて重量が増大するか、逆に必要な部位の強度が不足して破損リスクを招くという、非効率なトレードオフが発生していた。

2. 目的

本プロジェクトの目的は、設計（CAD）と製造（スライサー）の間に「スライシング・プリプロセッサ」という新たな層を介在させ、力学的根拠に基づいた内部構造の最適化を実現するソフトウェア「Strecs3D」を開発することである。

力がかからない部分は疎にし、力がかかる部分のみを局所的に高密度化することで、3D プリントパーツの「軽量化」と「高強度化」の両立を目指す。また、既存のスライスソフトやワークフローを破壊することなく、高度な構造最適化をシームレスに導入可能なプリプロセッサというワークフローを提案する。

3. 開発の内容

開発したソフトウェア「Strecs3D」は、スライスソフトで加工プログラムを作成する前に、前処理を行うソフトウェアである（図 1）。C++を用いて実装され、直感的な GUI を備えたデスクトップアプリケーションとして構築されている。本システムは以下の 3 つの主要ステップによって最適化処理を実行する。

1. 応力解析機能の統合：内部に有限要素法（FEA）ソルバー「CalculiX」を組み込み、専門知識がなくても 3D モデル（STEP 形式）に対して荷重・拘束条件を直接設定し、応力分布を算出できる。
2. 領域分割と密度計算：Gibson-Ashby モデルを基にした独自のアルゴリズムを用い、解析結果の応力値に応じてモデルを複数の領域に分割し、各領域に最適なインフィル密度を自動的に割り当てる。

3. 3MF メタデータ生成 :形状情報と製造パラメータを統合し、主要なスライスソフト (Ultimaker Cura, Bambu Studio, Prusa Slicer) が解釈可能な 3MF 形式でデータを出力する。

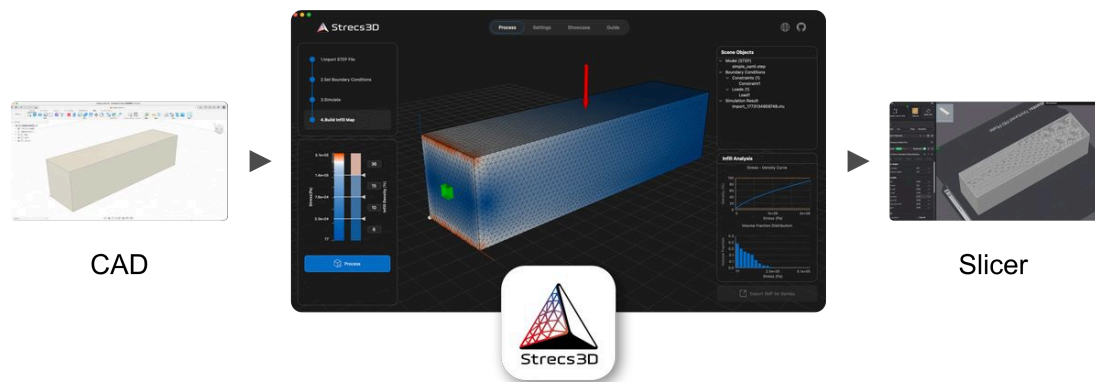


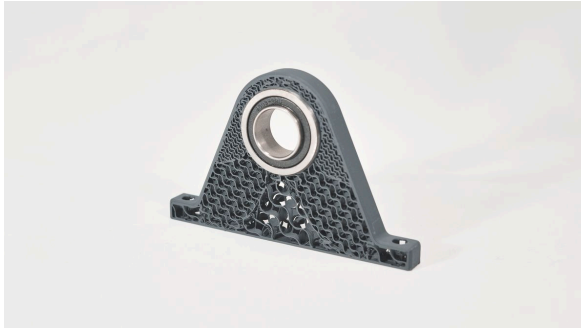
図 1: Strecs3D を用いたワークフロー

Strecs3D によって最適化されたパーツの作例を 図 2 に示す。

4. 従来の技術（または機能）との相違

Strecs3D は以下の点で新規性と優位性を持つ。

- ・ プリプロセッサ・アプローチ：スライサーそのものを代替するのではなく、スライサーへの入力を最適化する 3MF メタデータを生成するため、ユーザーは使い慣れた印刷設定をそのまま活用できる。
- ・ 3D プリント特性の考慮：積層造形特有の「層間剥離」に対する脆弱性を評価に加味した、独自の剥離リスク係数による応力算出アルゴリズムを実装している。
- ・ マルチスライサー対応：各社スライスソフト (Ultimaker Cura, Bambu Studio, Prusa Slicer) の 3MF 仕様をリバースエンジニアリングにより解析し、ベンダーを問わない最適化データの流し込みを実現している。



ベアリングホルダー



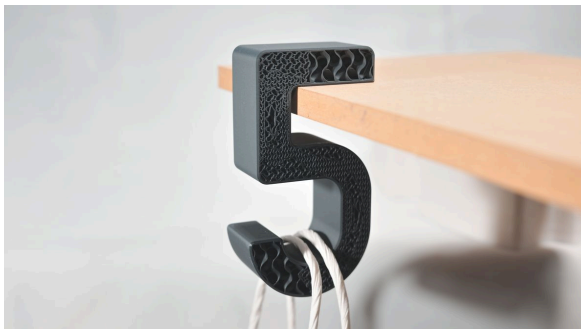
ドローンパーツ



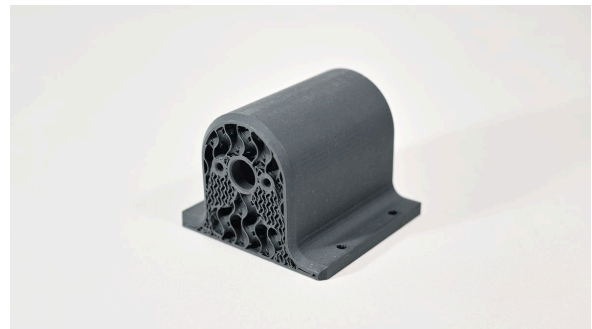
フレームコネクタ



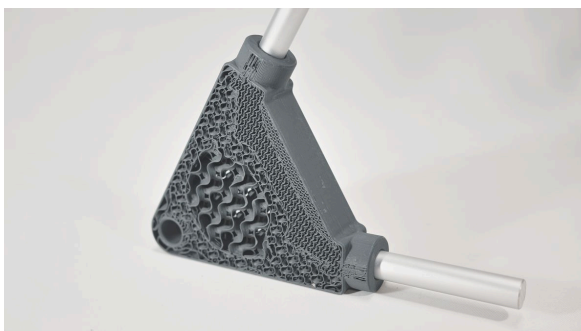
ハンドルパーツ



フックパーツ



モーターマウント



ロッド接続パーツ



タブレットスタンド

図 2: Strecs3D を用いた造形事例

5. 期待される効果

本プロジェクトで実施した三点曲げ試験による定量的評価において、同一の材料使用量（質量）でありながら、Strecs3D を適用した造形物は従来の均一密度モデルと比較して以下の性能向上を達成した（図 3）。

- ・ 最大耐荷重（強度）：約 1.97 倍の向上。
- ・ 等価曲げ剛性：約 1.65 倍の向上。

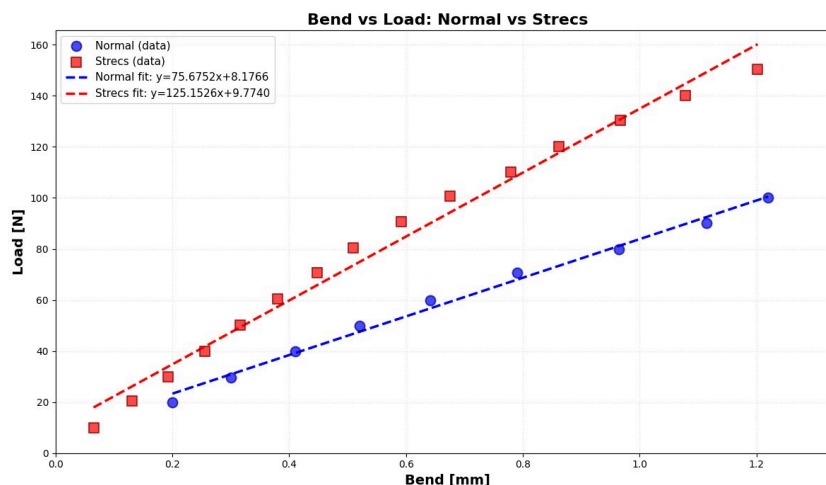


図 3: 三点曲げ試験における荷重-たわみ曲線のグラフ

この結果は、応力集中部を的確に補強することで、材料密度を強度を高めながら必要な部分に効率的に配置できることを示している。この技術はロボコンに留まらず、ドローンフレームや人工衛星パーツといった「極限の軽量化」が求められる航空宇宙産業、あるいは個々の身体特性に合わせた「パーソナライズ製品」の製造など、広範なものづくり分野における効率化と高性能化を促進する効果が期待される（図 4）。



図 4: Strecs3D の活用先

6. 普及（または活用）の見通し

ユーザビリティ評価実験において、Strecs3DはSUS（System Usability Scale）スコアで「69.29点」という良好な評価を得た。これは比較対象とした手動での設定手法（30.00点）を圧倒しており、専門知識を持たないユーザーでも高度な最適化を容易に行えることが実証されている。

今後の普及見通しとして、まずは国内の大学・高専等のロボコンチーム（約数百チーム）を主要なターゲットユーザー層として想定している。また、オープンソースを通じたコミュニティ展開や、3MFフォーマットを活用した製造エコシステムへの統合により、個人の3Dプリンターユーザーから中小規模の製造現場まで、数千人規模の利用者が本手法の恩恵を受けられるパイプラインの構築を目指す。

7. クリエータ名（所属）

谷口 朝洋（慶應義塾大学 大学院政策・メディア研究科）

関連 URL

- ・ 公式サイト：<https://strecs3d.xyz>
- ・ GitHub：<https://github.com/tomohiron907/Strecs3D>