

形状設計を支援する生成系 CAD の研究

— 自然言語による、人間の感性を反映した形状生成方法の提案 —

○並木洋輔（工芸大）*1

曾根順治（工芸大）*2

*1 Yosuke Namiki, Tokyo Polytechnic University, 5-45-1 Iiyama minami Atsugi Kanagawa ,243-0297, m2361008@st.t-kougei.ac.jp
 Junji Sone, Tokyo Polytechnic University, 5-45-1 Iiyama minami Atsugi Kanagawa ,243-0297, sone@t-kougei.ac.jp

キーワード：形状設計、生成系 CAD、設計支援、GAN

1. はじめに

自動車や家電製品の外観には、人を魅了する形状を設計する必要があり、そのような形状を設計して、風景の映り込みや、ハイライト線の湾曲具合により、形状が評価されている。曲線や曲面の意匠性を考慮した設計方法は、曾根と千代倉は、4次ブレンド NURBS 境界 Gregory パッチを用いて、ハイライト曲線を評価指標として形状設計する方法を提案した⁽¹⁾。また、東らは、縮閉線を基に縮閉面を定義して曲率変化の滑らかな曲面を生成する方法を用いて、ハイライト線が滑らかな曲面設計方法を提案している⁽²⁾。このような方法においては、生成された曲線の形状は、後から評価するため、試行錯誤が多く、設計が難しくなっている。

最近の数学領域では、自然対数曲線 (Fine Tuned Clothoid: FTC)⁽³⁾ やそれを応用した“設計の新パラダイム”を拓く、新しい離散的な曲面の幾何学“CREST プロジェクト”が進められており、数理に基づく研究開発が進められている。本研究室では、そのメンバーである静岡大学三浦憲二郎教授とディスカッションも行いながら研究を進めている。

また、昨今の人工知能の進展により、学習データから擬似正解を導くことができる GAN⁽⁴⁾ が構築され、それを活用し、新しい画像の生成ができるようになってきた。MIT では、GAN を飛行機設計に応用している⁽⁵⁾。本研究では、FTC 曲線と GAN を用いて、人間の感性に近い曲線が描ける美的曲線設計システムの開発を目的とする。

2. 曲線生成における既存手法

2.1. FTC (Fine Tuned Clothoid) 曲線

FTC とは、三浦憲二郎氏によるクロソイド曲線を基にした曲線設計手法⁽⁶⁾である。曲線のデザインにおいて、曲率の対数分布が任意の傾きを持つことが望ましい。この課題を解決するために、クロソイド曲線を Fine Tuning 法で拡張する方法が提案された。FTC 曲線の式は式(1)で定義される。

$$FTC(t, C0, C1, C2, \alpha) = \frac{C0}{2(C1+i*\alpha)} * e^{i*C2} * e^{(C1+i*\alpha)*t^2} \quad (1)$$

ここで、t は時間や空間の軸を表す。C0 は曲線の振幅を制御するパラメータであり、C0 の値が大きいほど、曲線の振

幅も大きくなり、曲線が描かれる領域の大きさを調整する。C1：曲線の形状を制御するパラメータ。C1 の値によって曲線の湾曲具合が変化し、曲線が滑らかまたは急峻になる。正の値と負の値は曲線の形状を異なる方向に変更する。C2：曲線の位相を制御するパラメータ。C2 の値は曲線がどの方向にシフトするかを決定する。正の値と負の値は曲線を異なる方向にシフトする。 α ：曲線の湾曲の度合いを制御するパラメータ。 α の値が大きいほど、曲線の湾曲が急峻になる。湾曲具合を調整して、曲線の形状をカスタマイズできる。

2.2. DCGAN (Deep Convolutional GAN)

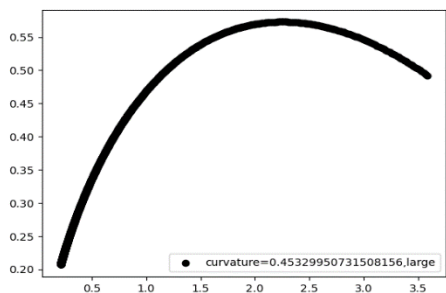
DCGAN (Deep Convolutional Generative Adversarial Networks) は、生成対抗ネットワーク (GAN) の一種であり、深層畳み込みネットワークを用いている。基本的な GAN と同様に、DCGAN も生成器 (Generator) と識別器 (Discriminator) という 2 つのネットワークから構成されているが、これらのネットワークに畳み込み層を使用している点の特徴である。生成器はランダムなノイズからデータを生成し、識別器はそのデータが本物(実際のデータ)か偽物(生成器が生成したデータ)かを判別する。

DCGAN の設計は、画像生成タスクに特に効果的であるとされている。バッチ正規化、ReLU 活性化関数、Strided Convolution などのニューラルネットワークのテクニックを採用しているため、学習が安定し、高品質な画像を生成することができる。一般的な GAN よりも訓練が安定しやすく、かつ高解像度な画像も生成可能である。

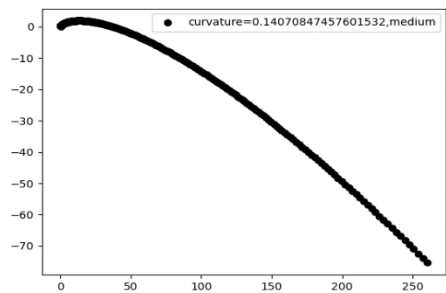
3. 研究方法

3.1 FTC 曲線生成システム

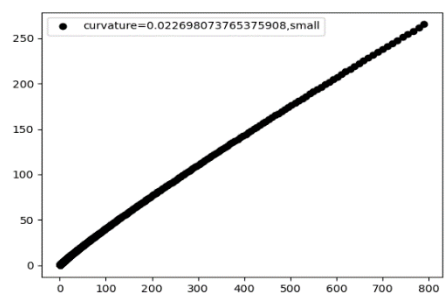
本研究では、三浦憲二郎氏による FTC 曲線の式 (1) を用いて、FTC 曲線を生成する。まずは、生成された曲線は一つのセグメントと考える。セグメントにおいて、2 次微分を用いて曲率を計算する。曲線の曲率を主観的に評価する場合、個々によって評価できるようにする。そこで、計算された曲率を「large」、「medium」、「small」という三つのカテゴリに分類する。このカテゴリ分けにより、曲線の特徴をより明確に捉えることが可能となる。実際に生成した FTC 曲線を Fig.1 に示す。(a) が Large, (b) が Medium, (c) が Small。



(a). Large



(b). Medium



(c). Small

Fig.1 Classification using FTC curve.

3.2 人間の感性と言語の関係性

人間の視覚から得られる感性と、その感性に伴う言語表現をまとめる。特に、曲率が大きい、中くらい、小さいといった感性に対する具体的な言い回しを考察する。例として、曲率が大きい場合には「丸い」と言い表されることが多く、曲率が中くらいの場合には「滑らか」と表現される傾向があり、曲率が小さい場合には「平ら」と言われることが一般的である。このような各カテゴリに紐づく言語表現を明らかにすることで、感性と言語の関係性について深く理解を得ることを目指す。

3.3 美的曲線設計システム

人間の感性と言語の関係性から対応する形状データセットを用意し、用意したデータセットに言語の関連付けを行う。そして、DCGANを用いて学習を行う。次に、FTC曲線の学習済みモデルを用いて、設計の意図を入力し、その意図を反映する形状をCADシステムで生成する。ここでは、設計において人間の感性を表現する言語も重要である。感性と言語の関係を整理して、人間の感性に近い表現方法を検討中である。美的曲線設計システムの設計方法を Fig. 2

に示す。まずは、デザイナーが設計指針を決め、その指針に適する言語の語彙を選択する。システムは、その語彙に基づき、複数の形状案を作成し、DCGANにより、設計者の意図に一番近い、設計結果を選定する。

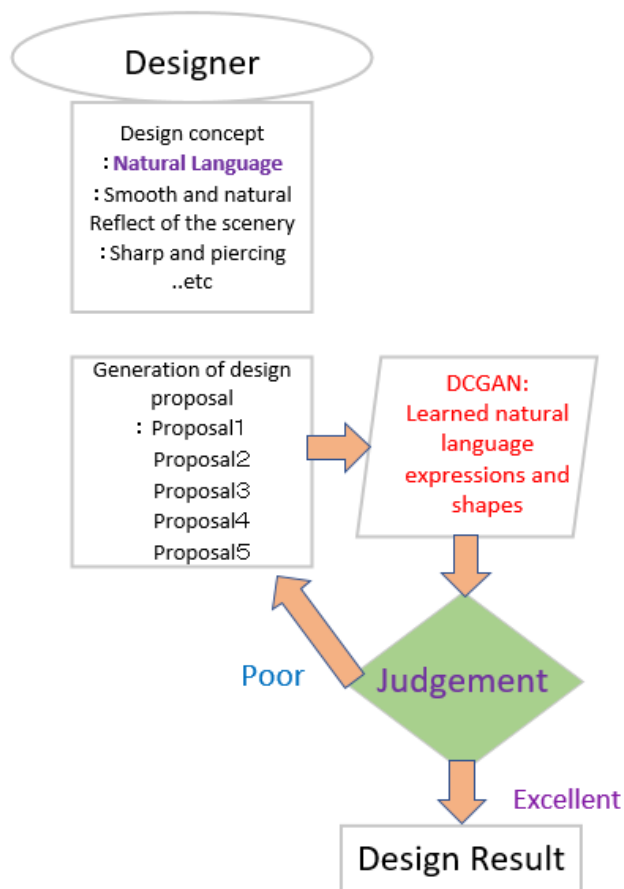


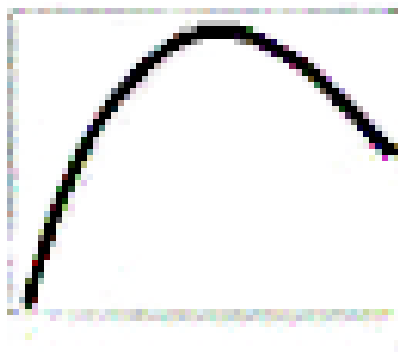
Fig.2 Shape design method.

3.4 開発環境について

使用言語: Python3.9
 プラットフォーム: PyCharm 2021
 使用した GAN : OSGAN⁽⁷⁾
 パッケージ:
 Numpy==1.24.3
 Pillow==9.4.0
 Ruamel.yaml==0.17.21
 Torch==1.13.1
 Torchvision==0.14.1
 Tensorboard==2.10.0

3.5 設計曲線結果

「大きい」、「中くらい」、および「小さい」という三つのカテゴリに分類した FTC 曲線を基にして、各 FTC 曲線に対して DCGAN を用いた学習を行った。次に、各カテゴリの名称を自然言語との紐付けを行った。学習が完了したモデルを用いて生成した曲線の画像を Fig. 3 に示す。語彙に適した形状が設計できている。



(a). Input Large



(b). Input Medium



(c3). Input Small

Fig 3. Design result using DCGAN.

5. おわりに

本研究では、三浦憲二郎氏の FTC 曲線式(1)をもとに生成した曲線を、曲率から三つのカテゴリに分類し、DCGAN で学習を行い、学習済みモデルと、カテゴリと紐づけをした自然言語を用いて、美的曲線の設計の初期段階のシステムを開発した。

今後、FTC 曲線で生成した曲線の自由度を増すために、3 セグメント程度の曲線で形状設計できるように、設計機能を増す予定である。さらに、設計者の設計意図の語彙を調査して、設計者の設計指針に沿った形状設計ができるように機能向上を進めていく。

文 献

- (1) 曾根順治, 千代倉弘明:4 次ブレンド NURBS 境界 Gregory パッチを用いた曲面のハイライト制御, 情報処理学会論文誌, 37, 12, (1996) pp. 2212-2222.
- (2) 東正毅, 山根道敏, 縮閉線に基づく曲率変化の滑らかな曲線, 曲面の生成(第 5 報)—滑らかなハイライト線を持つ曲面の生成—, 精密工学会誌 63(12) 1690-1694 1997.
- (3) 内田 和宏, 上利 真一, 川田 洋平, 藤澤 誠, 三浦 憲二郎, “任意曲線の対数型美的曲線による近似”, 2008.
- (4) J. Gui, Z. Sun, Y. Wen, D. Tao and J. Ye, A Review on Generative Adversarial Networks: Algorithms, Theory, and Applications, in IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, vol. 35, no. 4, pp. 3313-3332, 2023.
- (5) Dule Shu et.al. 3D Design Using Generative Adversarial Networks and Physics-Based Validation, Journal of Mechanical Design, 142, pp. 071701-1-15, 2020.
- (6) 三浦 憲二郎, 美しい曲線の一般式, 画像電子学会年次大会予稿集, 2005, 33vc 巻, Visual Computing グラフィクスと CAD 合同シンポジウム 2005, セッション ID 05-39, p. 227-232
- (7) S. Chengchao, et al., Training Generative Adversarial Networks in One Stage, Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2021}, pp. 3350-3360. <https://github.com/zju-vipa/OSGAN/tree/main>