

機械設計の効率化に関する研究

(受注生産向け設計システムの開発)

機械システム科	主任研究員	小 楠 進 一
機械システム科	主任研究員	西 村 学
機械システム科	研 究 員	小笠原 耕太郎

形鋼や板金及び配管を用いた製品を受注生産する製造業の工期短縮と売上拡大を目的とし、この目的に特化した自動設計システムを開発している。本年度は、3次元CAD上で形鋼や板金及び配管の最適な寸法を自動的に決定するために、最大応力・最大変位・固有振動数を考慮して、体積が最小となる寸法を提案する最適化プログラムを開発した。「Solidworks2024の最適化デザインスタディ」と「開発した最適化プログラム」を比較した結果、3次元CADの一般的な最適化手法より、機械学習と逐次最小二次計画法を用いた最適化手法の方が良い性能を示すことがあることが分かった。

1. 緒言

県内中小企業は、①受注生産型製造業が多く、受注から納品までの期間が短い、②県内受注生産型製造業は、形鋼や板金及び配管を使った製品が多い。これらの理由から、形鋼や板金及び配管を用いた製品を受注生産する製造業の工期短縮と売上拡大を目的とし、この目的に特化した自動設計システムを開発する。

本年度は、3次元CAD上で形鋼や板金及び配管の最適な寸法を自動的に決定するために、最大応力・最大変位・固有振動数を考慮して、体積が最小となる寸法を提案する最適化プログラムを開発した。

2. 開発方法

3次元CAD上で、最大応力・最大変位・固有振動数を考慮して形鋼や板金及び配管の最適な寸法を自動的に決定するために、本年度は、Anacondaを用いてPythonプログラムの開発環境を構築し、ソフトウェアライブラリを用いて、以下の機能を有する最適化プログラムを開発した。

1) 機械学習による多層パーセプトロン回帰式の構築

3次元形状モデルの特徴的な寸法と最大応力・最大変位・固有振動数のリストから、機械学習により多層パーセプトロン(MLP)回帰式を構築する。

2) 逐次最小二次計画法による最適値の算出

MLP回帰式に、目的関数(体積や重量など)、制約条件(最大応力や最大変位量、固有振動数など)、設計変数(寸法など)を設定して、逐次最小二次計画法(SLSQP)により最適な寸法を算出する。

3. 評価方法

「開発した最適化プログラム」を評価するために、図1に示すブラケットモデルの体積を最小にする最適化問題において、「Solidworks2024の最適化デザインスタディ^[1]」と「開発した最適化プログラム」を比較した。なお、制約条件や寸法制約は、表1のとおりである。

また、「開発した最適化プログラム」は、図2のフローにより最適な寸法を算出した。なお、図2に示す寸法の水準は表2に示すとおり5.0mm刻みとし、機械学習データとして、 $4 \times 4 \times 7 = 112$ 通りの寸法の組み合わせと、CAEを用いて算出した最大変位・最大応力・固有振動数を使用した。

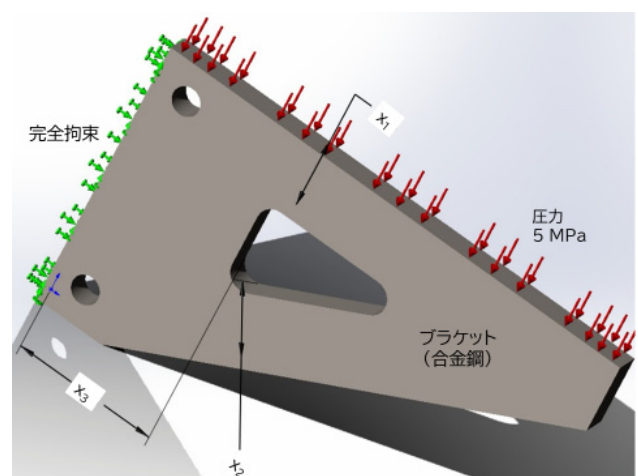


図1 対象とするブラケットモデル

表1 制約条件

目的関数	体積 y_3 [mm ³]	最小化
制約条件	最大変位 y_0 [mm]	$y_0 \leq 0.2$
	固有振動数 y_1 [Hz]	$260 \leq y_1 \leq 400$
	最大応力 y_2 [MPa]	$y_2 \leq 200$
設計変数	寸法 x_1 [mm]	$10 \leq x_1 \leq 25$
	寸法 x_2 [mm]	$10 \leq x_2 \leq 25$
	寸法 x_3 [mm]	$20 \leq x_3 \leq 50$

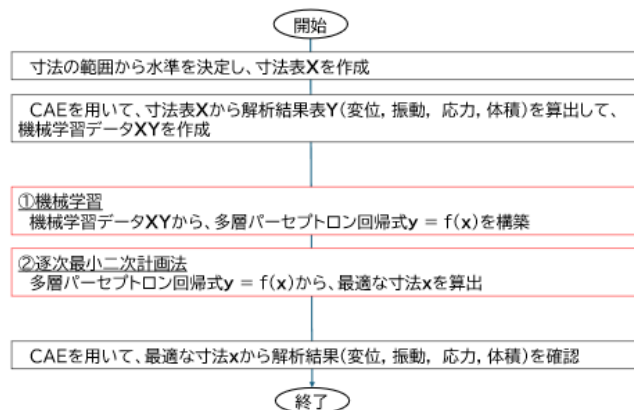


図2 最適化のフロー

表2 寸法の水準

寸法	水準(5 mm 刻み)
寸法 x_1 [mm]	10, 15, 20, 25
寸法 x_2 [mm]	10, 15, 20, 25
寸法 x_3 [mm]	20, 25, 30, 35, 40, 45, 50

4. 評価結果

「Solidworks2024 の最適化デザインスタディ」を使用した結果を表3に示し、「開発した最適化プログラム」を使用した結果を表4に示す。なお、表4では、実用を考慮して、最適化プログラムによって算出した寸法的小数点第2位を切り上げ、体積、最大変位、固有振動数、最大応力を算出している。

表3 SW の最適化デザインスタディを使用した結果

体積 y_3 [mm ³]	83,918
最大変位 y_0 [mm]	0.130
固有振動数 y_1 [Hz]	317
最大応力 y_2 [MPa]	190
寸法 x_1 [mm]	10.0
寸法 x_2 [mm]	25.0
寸法 x_3 [mm]	35.0

表4 開発した最適化プログラムを使用した結果

体積 y_3 [mm ³]	80,437
最大変位 y_0 [mm]	0.135
固有振動数 y_1 [Hz]	296
最大応力 y_2 [MPa]	197
寸法 x_1 [mm]	11.8
寸法 x_2 [mm]	25.0
寸法 x_3 [mm]	25.2

5. 考察

「Solidworks2024 の最適化デザインスタディ」を使用した場合、体積を 83,918 mm³ まで小さくすることができたが、「開発した最適化プログラム」を使用した場合、80,437 mm³ まで体積を小さくすることができた。また、別の3次元形状モデル・解析条件に対しても、比較実験を実施してみたが、同様に「開発した最適化プログラム」の方が小さい形状を提案した。これらの結果から、3次元CADの一般的な最適化手法より、機械学習とSLSQPを用いた最適化手法の方が良い性能を示すことがあることが分かった。

さらに、MLP 回帰式の性能を評価するため、機械学習に使用した 112 通りのうちランダムに7割を教師データとし、残り3割をテストデータとして、真値と予測値の比較図と二乗平均平方根（以後、RMS と呼ぶ）を算出した。図3、図4、図5、図6に真値と予測値の比較図を示し、表5にRMSを示す。この結果から、機械学習データを3割減らしても、予測精度は十分であり、最適な寸法を提案できると推測できた。

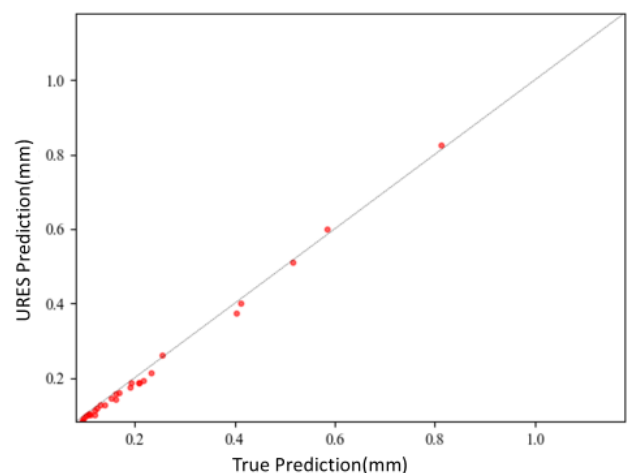


図3 真値と予測値の比較図（最大変位）

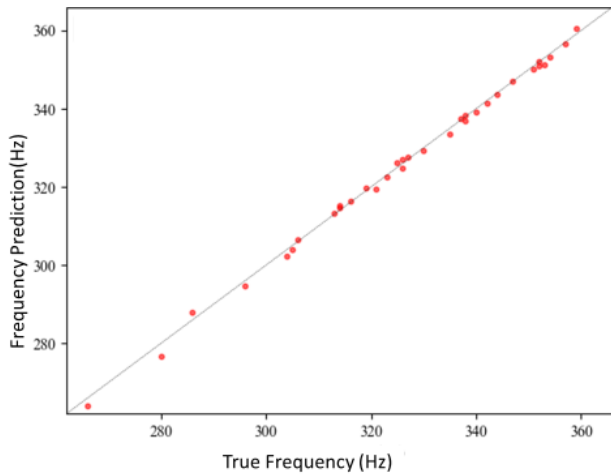


図4 真値と予測値の比較図（固有振動数）

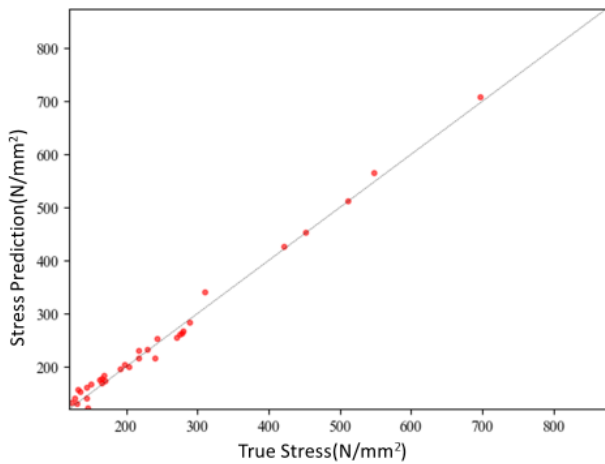


図5 真値と予測値の比較図（最大応力）

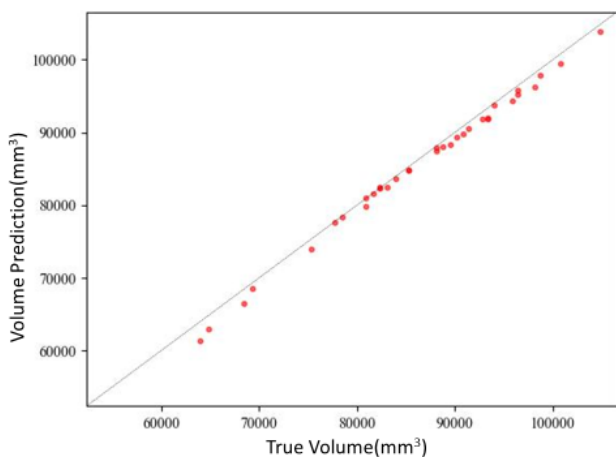


図6 真値と予測値の比較図（体積）

表5 RMS

	教師データ	テストデータ
最大変位 y_0 [mm]	0.0197	0.0172
固有振動数 y_1 [Hz]	0.0134	0.0112
最大応力 y_2 [MPa]	0.0170	0.0180
体積 y_3 [mm ³]	0.0186	0.0201

6. 結言

「Solidworks2024 の最適化デザインスタディ」と「開発した最適化プログラム」を比較した結果、3次元 CAD の一般的な最適化手法より、機械学習と SLSQP を用いた最適化手法の方が良い性能を示すことが分かった。

今後は、MLP 回帰式に必要なデータ数を削減する方法、及び、形鋼や板金及び配管を含む製品形状モデルにおいて機械学習に使用すべき設計変数（寸法等）を削減する方法を検討する予定である。

参考文献

- [1] https://help.solidworks.com/2021/japanese/SolidWorks/cworks/c_Design_Optimization.htm, Accessed 2025.