

生成AIを用いた有限要素解析ソフトウェアの 自然言語インターフェース構築

Construction of Natural Language Interface for Finite Element Analysis Software
Using Generative AI

三好昭生¹⁾, 荒川深映²⁾, 中村伸也³⁾

Akio Miyoshi, Shunei Arakawa and Shinya Nakamura

1) 博(工) 株式会社インサイト 代表取締役 (〒113-0033 東京都文京区本郷5-29-12-407, E-mail: amiyoshi@meshman.jp)

2) 株式会社インサイト テクニカルフェロー (〒113-0033 東京都文京区本郷5-29-12-407, E-mail: arakawa@meshman.jp)

3) 株式会社インサイト 技術開発部員 (〒113-0033 東京都文京区本郷5-29-12-407, E-mail: snakamura@meshman.jp)

Open source finite element analysis software often requires specialized knowledge for effective use, limiting its accessibility to a broader range of users. This paper describes the construction of a natural language interface based on generative AI chatbots on the Dify platform for ADVENTURE_Magnetic software. By implementing this interface, users without specialized knowledge can perform analysis from setting conditions to visualizing results through natural language input only. The system architecture connects Large Language Models (LLMs) with the computational engine through a backend server, enabling robust interpretation of user intentions and execution of complex analyses. This paper reports on the implementation methodology and presents practical examples that demonstrate significant reduction in barriers to using analysis software.

Key Words : Natural Language Interface, Finite Element Analysis, Generative AI, ADVENTURE_Magnetic, Dify

1. はじめに

オープンソース有限要素解析ソフトウェアは、専門的な知識がなければ利用が難しく、広範なユーザーへの普及に課題がある。「インターフェースエージェントによるCAEユーザ支援システム」[1]の発案から約28年が経過した。その間、技術は大きく進化した。2006年の深層学習(Deep Learning)の登場である。更に、大規模言語モデルの発展[5, 6]を経て、生成AI、その中でもLLM(Large Language Model)を利用したAIチャットがChatGPTとして2022年11月30日に登場した。

[1]においては、ユーザを支援する為の論理的な支援は、全てルールベースであった。当時は、ニューラルネットワーク技術は存在していたものの、[1]で必要とされる推論に耐えられるレベルには至っておらず、実用的な代替論理エンジンとして採用可能な技術としては認識されていなかった。

そこで、本研究では[1]をAIチャットインターフェース、即ち自然言語インターフェースで実装し直すことを考えた。特に、オープンソース有限要素解析ソフトウェアADVENTURE_Magneticの専門知識を持たないユーザーでも容易に解析を実行できるよう、Difyプラットフォーム[9]上に生成AIチャットボットを用いた自然言語インターフェースを構築した。

ADVENTURE_Magneticは電磁界解析に特化したソルバーで、非線形静磁界解析や時間調和渦電流解析などの機能を提供している。これらの解析では、磁気抵抗率、導電率、強制電流密度などの物性値設定や、磁気ベクトルポテンシャル・電気スカラーポテンシャルなどの境界条件設定など、電磁気学の専門知識が必要となる。本システムではこれらの専門的概念をLLMに理解させ、ユーザーの自然言語入力から適切なパラメータを抽出して解析を実行する。

これにより、自然言語入力のみで解析条件設定から結果可視化までが実行可能となり、磁石設計や電磁デバイス開発における解析ソフトウェアの利用障壁を大幅に低減した。

2. システム構成

(1) 全体アーキテクチャ

図-1に示すように、本システムはDifyプラットフォーム上に構築された生成AIチャットボットによるフロントエンドと、電磁場解析エンジンであるADVENTURE_Magneticを実行するバックエンドから構成される。ユーザーは自然言語でチャットボットに対話的に指示を出し、システムはそれをADVENTURE_Magneticの命令に変換して解析を実行す

る。

Difyはノーコードでチャットボット、RAG (Retrieval Augmented Generation)、エージェントなどのLLMアプリケーションを構築できるプラットフォームである[7,9]。Difyには、無料で利用できるコミュニティ版と、クラウド上でホスト可能なクラウドプランが提供されている。本稿の実装では、ADVENTURE_Magneticを実行する環境を整える必要があるため、カスタマイズ性に優れたコミュニティ版を採用し、ChatGPTを基礎としたユーザーインターフェースを実装した。

Difyの実装では、まず「テンプレートから作成」でアプリを作成し、システムプロンプトを設定した。電磁界解析固有の知識をプロンプトに組み込み、解析フローを適切に誘導できるようにした。また、変数を適切に設定することで、ユーザー入力の解析やADVENTURE_Magneticへのパラメータ受け渡しを効率化した。

Difyでは限られたPythonコードしか呼び出せず、自由度が制限されるという課題があるため、FastAPIを使用したWebサーバーとしてバックエンドを実装し、HTTP通信を用いて情報をやり取りする。バックエンドは以下の二つのサーバーから構成されている。

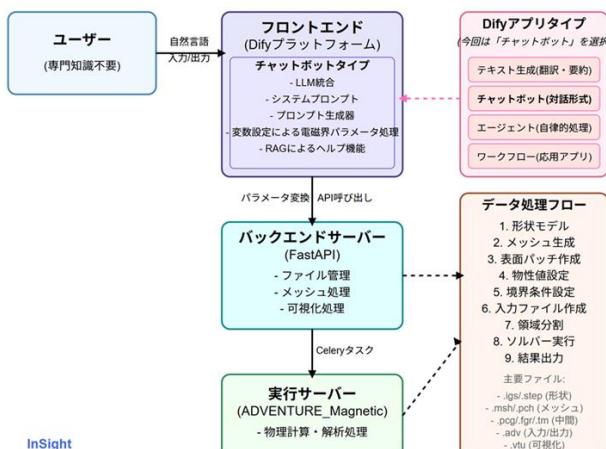


図-1 全体アーキテクチャ

a) メインWebサーバー

プロジェクト情報やファイル管理、メッシュの処理、Adventureのジョブ投入、結果の可視化処理などを担当

b) Adventureプログラムの実行サーバー

メインWebサーバーから送られてきたリクエストに応じて、Adventureの計算を実行する役割を持つ。メインWebサーバーとは独立し、タスクキューのライブラリであるCeleryを用いて実装しており、並列でジョブを投入することが可能

(2) データ処理フロー

図-2に本システムの内部データ処理フローを示す。ADVENTURE_Magneticの実行には複数のステップと中間ファイルの生成が必要だが、本システムではこれらを

AI主導のインターフェースの背後に隠蔽している。主要なデータ処理フローは以下の通りである。

a) 形状モデル処理

FreeCADやGmshなどのツールを用いて、STEPやIGESファイルから解析用のメッシュ (mshファイル) を生成

b) メッシュデータ変換

gmsh2AdvMsh.pyを用いてGmshのメッシュデータをADVENTURE形式 (Magnetic.msh, Magnetic.pch) に変換

c) メッシュ処理

msh2pcm, msh2pchにより表面パッチ情報を生成 (Magnetic_2.0.pcg, Magnetic_2.0.pch, Magnetic_2.0.fgr, Magnetic_2.0.tm)

d) 解析条件設定

節点密度情報 (Magnetic.ptn) や物性データ (mtrr.dat)、境界条件 (Magnetic_2.0.cnd) を作成

e) 入力ファイル生成

makefemにより各種設定を統合し入力ファイル (input.adv) を生成

f) 領域分割

ADV_Metisにより解析領域を分割 (adv_hddm_in_0.adv)

g) ソルバー実行

ADV_Magneticにより電磁場解析を実行 (adv_hddm_out_0.advを出力)

h) 可視化用データ作成

makeUCDにより解析結果を可視化用形式 (res.vtu) に変換

これらの複雑な処理は自然言語インターフェースの背後で自動的に実行され、ユーザーはその詳細を意識することなく、電磁場解析を行うことが可能となる。

自然言語インターフェースシステムの内部データ処理フロー

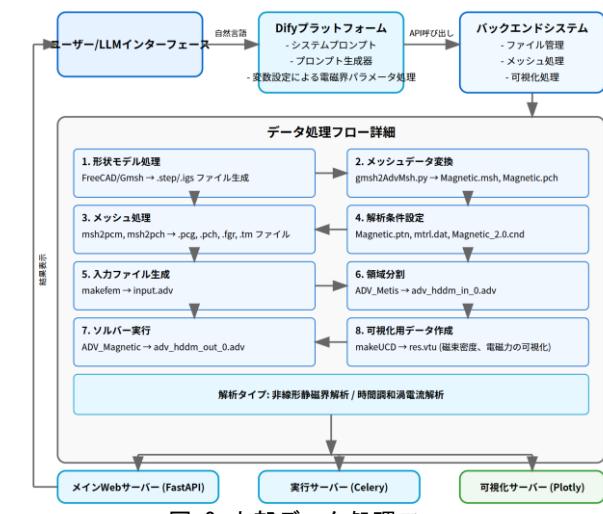


図-2 内部データ処理フロー

(3) LLMとの連携

生成AIチャットボットとADVENTURE_Magneticの連携は、以下のワークフローで実現している：

- a) ユーザーの自然言語入力をLLMが解釈し、解析に必要なパラメータを抽出
- b) 抽出されたパラメータをADVENTURE_Magneticの入力形式に変換
- c) バックエンドサーバーを介して解析を実行
- d) 解析結果を可視化し、ユーザーに提示
- e) 必要に応じてLLMが結果の説明や次のステップの提案を行う

LLMには解析ソフトウェアの知識をシステムプロンプトとして与え、ユーザーの意図を適切に汲み取れるようにしている。また、ユーザーがヘルプを必要とした場合には、ADVENTUREのマニュアルからRAG（Retrieval Augmented Generation）を用いて関連部分を参照し、ユーザーの疑問点を解決するようにLLMでヘルプメッセージを作成して表示する機能も実装した。

本システムではDifyの提供するアプリタイプとして「チャットボット」を選択した。Difyでは「テキスト生成」「チャットボット」「エージェント」「ワークフロー（応用アプリ）」の4種類のアプリタイプが提供されている。「テキスト生成」は与えられた条件や文章からテキストを自動生成するタイプで、翻訳や要約などに適している。「チャットボット」はユーザーとLLMがチャット形式で対話するタイプで、顧客サポートや秘書業務などに適している。「エージェント」は目的を与えると自律的に検討・実践を繰り返して回答するタイプで、1ステップでは到達できない指示でも逐次的に改良して目的を完遂できる。「ワークフロー」はテキスト生成とチャットボットから作成する高度なアプリで、丸ごとLLMに依頼せず他のツールと併用する時に有用である。

今回の電磁界解析インターフェースでは対話形式で専門知識のないユーザーを手順に沿って導くという目的に最適なチャットボット形式を採用した。エージェントタイプは自律的に検討・実践を繰り返して回答するため、より複雑な問題解決に適しているが、LLMの性能への依存性が高く運用コストが嵩むという課題がある。

本システムでは、ADVENTURE_Magneticの専門知識をLLMに理解させる手法として、特別な教師あり学習や微調整（ファインチューニング）は行っていない。代わりに、LLMが事前学習段階でインターネット上の技術文書やマニュアルから取得した電磁気学と有限要素法の基礎知識を活用している。

システムプロンプトにおいては、解析ステップごとの具体的な処理内容や必要なパラメータの形式を詳細に記述し、LLMがユーザーの自然言語入力から必要な情報を適切に抽出できるよう誘導している。特に物性値設定の部分では、物質ごとの特性をdatファイルで記述する必要があり、初心者にとっては困難な部分であるが、LLMがAdventureのマニュアルからフォーマットを参照し、ユーザーの対話から自動的にdatファイルを作成する。

例えば、ユーザーが「コイル部分に3アンペアの電流を

流したい」と自然言語で指示した場合、LLMはこれを解釈して適切な強制電流密度に変換し、ADVENTURE_Magneticが要求するフォーマットでdatファイルを生成する。この過程では、単に情報を抽出するだけでなく、物理量の単位変換や妥当性チェックも同時に行われる。

これらの処理はRAG（Retrieval Augmented Generation）のような外部知識ベースとの連携なしに実現しており、LLMの汎用的な知識と推論能力に基づいている。このアプローチにより、専門知識を持たないユーザーでも、自然な対話を通じて複雑な電磁場解析を実行することが可能になった。

3. 解析フロー

（1）解析ステップの処理手順

ADVENTURE_Magneticにおける解析フローに従い、以下の手順でユーザーを導く：

a) IGESファイル読み込み

ユーザーに複数のIGESファイルを順番通りにアップロードさせる（例：コイル部分、磁性体部分、空気領域など）

b) 節点密度設定

以下のいずれかの方法で設定

- ・節点密度設定ファイル（拡張子:.ptn）のアップロード
- ・基本節点密度の直接指定（例：0.01m）
- ・点指定/線分指定/円筒指定による局所的な節点密度の指定

c) 表面パッチ・メッシュ生成

- ・表面パッチの作成：IGESから表面パッチを生成
- ・メッシュ生成：表面形状を補正しながら四面体要素メッシュを生成
- ・メッシュ情報表示：生成された総要素数と総節点数を表示

d) 物性値設定

- ・コイル：磁気抵抗率、強制電流密度（実部・虚部）または磁気ベクトルポテンシャル
- ・磁性体：磁気抵抗率、非線形B-H特性（静磁界解析の場合）
- ・導体：磁気抵抗率、導電率（渦電流解析の場合）
- ・空気領域：磁気抵抗率
- ・時間調和渦電流解析の場合は角周波数も設定

e) 境界条件設定

- ・面グループ分解能の設定：二面挟角による面グループの分割
- ・磁気ベクトルポテンシャル境界条件： $A \times n = 0$ などのディリクレ境界条件
- ・電気スカラーポテンシャル境界条件（時間調和渦電流解析の場合）

f) ソルバー入力ファイル作成・領域分割

- ・ソルバー入力ファイル作成：メッシュ・境界条件・物性値をまとめたファイルを生成

- 階層型領域分割 (HDDM) : 部分領域あたりの要素数または部分領域数を指定

g) ソルバー実行と可視化

- ソルバーオプション設定: HDDM前処理、定式化手法、非線形反復手法など

- 解析実行: 非線形静磁界解析または時間調和渦電流解析を実行

- 結果出力: 磁束密度、電磁力、渦電流密度などをVTK形式(vtu)で出力

- 3D可視化: カラーマップやベクトル表示による解析結果の可視化

(2) 各ステップの実行処理

各ステップでは、以下の処理を実行する：

a) 操作の説明:

ユーザーへそのステップで必要な操作をテキストで説明

b) ユーザーの入力の解析:

ユーザーの入力を解析し、必要情報が揃っているか判断

c) 入力情報の変換:

入力情報をADVENTURE_Magneticに適合するフォーマットに変換

d) 解析処理の実行

e) 処理結果をユーザーに提示

(3) 3D可視化機能

メッシュ生成後の形状確認や解析結果の表示には、Plotlyを用いた3D可視化機能を実装した。これにより、ユーザーはブラウザ上で直感的に形状や解析結果を確認することができる。特に境界条件設定時には面グループを色分け表示し、ユーザーが適切な面を選択できるよう支援している。

解析結果の可視化では、磁束密度や電磁力などの物理量を3D表示することが可能である。

4. 実装例

(1) 吸引磁石の非線形静磁界解析

本システムの実装検証として、ADVENTURE_Magnetic on Windowsのマニュアル内にある吸引磁石の非線形静磁界解析問題を実行した。この問題は上下の形状が異なる鉄心が対向する空隙部を持つ吸引磁石の解析であり、非線形B-H特性を持つSS41P材の磁性体を用いている。

マニュアルの手順では、まずIGESファイルを取り込み、節点密度設定ファイル(shaft.ptn)を読み込んで基本節点間隔を0.01mに設定し、表面パッチ作成を行う。次にメッシュを生成し、物性値として、コイルの磁気抵抗率795774.7 m/H、電流密度 3×10^7 A/m²、磁性体の磁気抵抗率757.1 m/H、SS41Pの非線形B-H特性、空気の磁気抵抗率795774.7 m/Hを設定する。その後、全境界面に磁気ベクトルポテンシャルの法線方向成分 $A \times n=0$ の境界条件を設定し、ソルバー入力ファイルを作成、領域分割、ソルバー実行を行う。

最後に磁束密度と電磁力をVTK形式で出力して、ParaViewなどの可視化ソフトウェアで結果を確認する。

これらの手順をすべて自然言語インターフェース上で実行できることを確認した。ユーザーは専門的なコマンドや設定ファイルの知識なしに、自然言語での対話だけで電磁場解析を実行することができる。実行結果を表示した例を図-3に示す。

このように、ユーザーは専門的なコマンドや設定ファイルの知識なしに、自然言語での対話だけで電磁場解析を実行することができる。

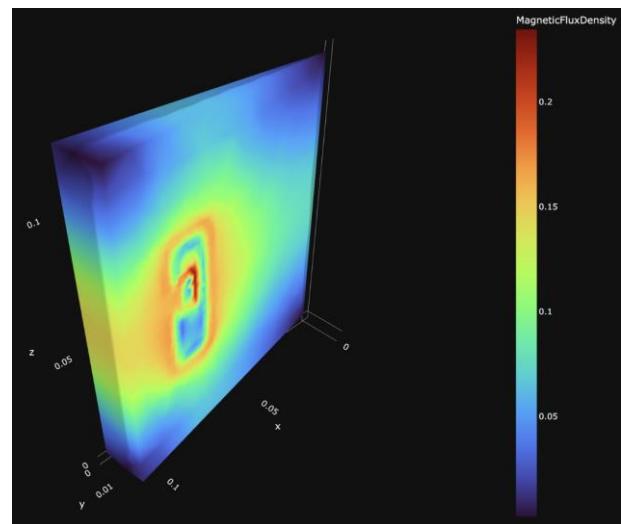


図-3 吸引磁石の非線形静磁界解析による磁束密度分布

(2) 頑健性確保の取り組み

実際のユーザー入力は不完全または曖昧であることが多いため、以下の対策を実装している：

a) 入力の妥当性判断

各ステップでユーザー入力から必要情報が十分に得られているか、LLMを用いて判断。不足情報がある場合は追加質問で補完

b) 物性値の常識チェック

設定された物性値（磁気抵抗率や導電率など）が電磁気学的に妥当な範囲内かをLLMで判断し、異常値があれば警告

c) 段階的な処理

前のステップが正常に完了しないと次に進めない設計で、解析フローの整合性を確保。例えば、メッシュ生成が完了しなければ物性値設定に進めないなど

d) エラー処理

解析実行中にエラーが発生した場合、エラー内容を分析してユーザーに説明し、対処方法を提案

e) 中間ファイル管理

図-2のデータフローで示されるように、多数の中間ファイル (.pch, .pcg, .fgr, .tmなど) が生成されるが、これらの管理を自動化し、ユーザーに意識させない

しかし、現状では以下の課題も残されている：

- 1) ADVENTUREの実行エラーが一部検出できない場合がある
- 2) 解析結果の物理的妥当性の判断はユーザーに委ねられている
- 3) LLMに解析結果を直接提示していないため、結果の解釈支援が限定的
- 4) 複雑なメッシュ生成処理でのトラブルシューティング能力の向上が必要

5. 今後の発展性

本システムの今後の発展方向として、以下を検討している：

- 1) 解析結果のLLMによる自動評価：物理的妥当性の判断や特徴的な現象の抽出をLLMが支援

2) 解析結果の効率的な表現：3次元結果から重要な特徴量を抽出し、LLMが解釈しやすい形式に変換。全データではなく、物理的に重要な要素（最大値・最小値位置、勾配が大きい領域など）を選択的に提示

3) Difyプラグイン機能の活用：最近リリースされたDify v1.0.0のプラグイン機能を利用した拡張。プラグインはさまざまな処理やロジックを実装し、Difyの機能を拡張することが可能な仕組みである

4) マルチモーダルAIの活用：図面や画像からの形状認識や、結果の視覚的理を強化

また、LLMアプリケーションの種類を広げることも検討している。現在のチャットボット形式に加えて、以下のような展開も可能である：

1) ワークフロー形式への拡張：テキスト生成とチャットボットを組み合わせた高度なワークフローを設計し、丸ごとLLMに依頼せず他のツールと併用することで速度と安定性を向上。エージェントタイプとの組み合わせは現在のDifyでは制限があるが、将来的な統合も視野に入れる

2) 解析意図の効率的な伝達：解析目的や条件をより少ないやり取りで正確に認識するための対話設計の最適化

3) 既存CAEソフトウェアへの応用：他のADVENTUREモジュールや商用CAEソフトウェアへの自然言語インターフェースの拡張

4) 自動プロンプト生成の高度化：現在のDifyでも利用可能な「プロンプト生成器」を活用し、より精度の高い専門プロンプトの自動生成を実現集

6. おわりに

本研究では、生成AIを活用して有限要素解析ソフトウェアADVENTURE_Magneticの自然言語インターフェースを構築した。これにより、専門知識を持たないユーザーでも容易に電磁場解析を実行できるようになり、解析ソフトウェアの利用障壁を大幅に低減することができた。

今後は、解析結果の自動評価機能の追加や、マルチモーダルAIの活用による形状認識機能の強化など、さらに使

いやすいシステムへと発展させる予定である。また、熱伝導解析や高度な構造解析など、他の物理現象を扱うADVENTUREモジュールへの応用も検討している。

講演の場では、実際の操作インターフェースのスクリーンショットも紹介する。

参考文献

- [1] 三好昭生, 矢川元基: インタフェースエージェントによる初心者用 CAE システム, 第 7 回設計工学・システム部門講演会講演論文集, pp.364-367, 1997.
- [2] 三好昭生, 矢川元基, 佐々木彰司: インタフェースエージェントによる初心者用 CAE システム（続報）, 第 8 回設計工学・システム部門講演会講演論文集, 1998.
- [3] Miyoshi, A., Yagawa, G., Sasaki, S.: An interface agent that actively supports CAE beginner users in performing analyses, Advances in Engineering Software, Vol.30, pp.575-579, 1999.
- [4] Miyoshi, A., Yagawa, G., Shimizu, R., Tamura, T., Sasaki, S.: An Interface Agent System for CAE, JSME International Journal Series A (Solid Mechanics and Material Engineering), Vol.44, No.4, pp.623-630, 2001.
- [5] Brown, T., et al.: Language Models are Few-Shot Learners, Advances in Neural Information Processing Systems, Vol.33, pp.1877-1901, 2020.
- [6] Ouyang, L., et al.: Training language models to follow instructions with human feedback, Advances in Neural Information Processing Systems, Vol.35, pp.27730-27744, 2022.
- [7] 入門Dify:1時間で学ぶ基礎+エージェント・RAG作成, と一みん, 2024/7/15.
- [8] <https://adventure.sys.tu-tokyo.ac.jp/download/Magnetic.html>
- [9] Dify.AI: Dify - LLMアプリケーション開発プラットフォーム, <https://dify.ai/jp>, 2024. (参照 2025.2.15)