



## 2024 年度 未踏 IT 人材発掘・育成事業 採択案件評価書

### 1. 担当 PM

岡 瑞起（筑波大学 システム情報系 准教授）

### 2. クリエータ氏名

三輪 敬太（Turing 株式会社／東京大学）

高橋 直希（株式会社 CoeFont／早稲田大学）

### 3. 委託金支払額

2,880,000 円

### 4. テーマ名

ニューラル言語モデルによる個人最適な日本語入力システムの開発

### 5. 関連 Web サイト

- azooKey on macOS のリポジトリ：  
<https://github.com/azooKey/azooKey-Desktop>
- Tuner のリポジトリ：  
<https://github.com/azooKey/Tuner>
- Zenzai のレポジトリ：  
<https://github.com/azooKey/AzooKeyKanaKanjiConverter>
- Zenzai について執筆した記事：  
<https://zenn.dev/azookey/articles/ea15bacf81521e>
- アクセシビリティ API の利用方法について執筆した記事：  
<https://zenn.dev/azookey/articles/8835f5ebd7dcd9>
- zenz-v2.5 と学習用データセット：  
<https://huggingface.co/collections/Miwa-Keita/zenz-v25-6784cd5d57147f61bc4c3031>
- 評価用ベンチマーク：  
<https://github.com/azooKey/AJIMEE-Bench>
- iOS で利用できるソフトウェアキーボード azooKey：  
<https://azookey.netlify.app/>

## 6. テーマ概要

本プロジェクトでは、ニューラル言語モデルを活用した革新的なかな漢字変換手法を提案し、個人最適化されたオープンソースの日本語入力システムを開発した。「Zenzai」と名付けられたこのニューラルかな漢字変換システムは、「zenz」という GPT-2 アーキテクチャに基づく言語モデルを中核とし、高度な文脈理解や変換プロンプト機能を備えている。また、個人最適化を担う「Tuner」モジュールと、これらを統合した macOS 向け日本語入力メソッド「azooKey on macOS」も開発され、ユーザ環境に最適化された高精度な日本語入力を実現した。従来の統計的かな漢字変換と異なり、End-to-End での変換を実現しつつ、投機的デコーディング手法の導入による高速化や、画面情報を活用した個人最適化など、多くの技術的革新を含む実用的なシステムとなっている。

## 7. 採択理由

本提案は、ニューラル言語モデルを活用して、個人に最適化された日本語入力システムの開発を目指すものである。提案者らは、既に AzooKeyKanaKanjiConverter の開発実績を有しており、本システムの実装を着実に進めることが期待できる。

提案されたアルゴリズムは、ユーザの活動データを収集しファインチューニングを行うことで、個人に最適化されたモデルを構築するものであるが、読み制約や投機的デコーディングを用いることで変換の高速化と精度向上も同時に目指すものであり、技術的な新規性が認められる。

ユーザテストについては、事前にデータを収集する必要があるため、実施には工夫が求められるが、提案者らの計画では十分に対応可能であると判断される。また、本システムの応用範囲は広く、通訳などへの活用も期待される。

二次審査のプレゼンテーションでは、システムの利用価値や利便性が明確に示され、納得感のある説明がなされた。今後は、クロスプラットフォームでの展開や音声入力への対応など、さらなる発展の可能性も示唆されている。

以上の理由から、本提案は採択するに相応しいと判断する。究極の日本語入力システムの実現に向けて、提案者らの挑戦に期待したい。

## 8. 開発目標

本プロジェクトの主な開発目標は以下の 4 点である。

- ニューラル言語モデルによるかな漢字変換システムの開発：  
GPT-2 アーキテクチャに基づくニューラル言語モデル「zenz」を開発し、これを用いて高精度なかな漢字変換を実現するシステムを構築する。
- 実用的な処理速度を実現するための高速化手法の実装：  
投機的デコーディング手法を用いて大規模言語モデルの推論回数を最小限

に抑え、実用的な応答速度を実現する仕組みを開発する。

- 個人環境に最適化された日本語入力の実現：  
画面情報の収集や文脈理解、ユーザの入力履歴などに基づいて、個人のスタイルや用語に適応した変換を提供する機能を開発する。
- オープンソースでの提供と多機能な日本語入力システムの構築：  
開発したシステムをオープンソースとして公開し、従来のかな漢字変換システムの機能を引き継ぎつつ、ニューラル言語モデルの特性を活かした新機能を備えたシステムを実現する。

これらの目標を達成することで、日本語入力の精度向上と個人最適化を実現し、日本語ユーザの生産性向上に寄与することを目指した。

## 9. 進捗概要

本プロジェクトでは、まずかな漢字変換に最適化されたニューラル言語モデル「zenz」の開発に取り組んだ。GPT-2 アーキテクチャを基盤とし、日本語で事前学習済みのモデルに対してかな漢字変換のための追加学習を行うことで、変換精度の高いモデルを構築した。

次に、このモデルを用いた「Zenzai」システムの開発を進め、投機的デコーディング手法を導入して処理速度の大幅な向上を実現した。この手法では、従来の統計的かな漢字変換システムをドラフトモデルとして活用し、zenz の推論回数を最小限に抑えることで実用的な応答速度を達成した。

個人最適化のための「Tuner」モジュールでは、macOS のアクセシビリティ API を活用した画面情報の取得機能を実装し、ユーザ環境のテキストデータを収集。これをもとに 5-gram 言語モデルを構築し、代理チューニングの手法を応用した個人最適化を実現した。さらに、変換プロンプト、履歴学習、ユーザ辞書など、多角的な個人最適化アプローチを開発した。

macOS 向け日本語入力メソッド「azooKey on macOS」の開発では、これらの技術を統合したシステムを構築。さらに、「いい感じ変換」と呼ばれる大規模言語モデル API 連携機能も追加し、絵文字推薦や翻訳、テキスト生成など多機能な入力支援を実現した。

また、開発したシステムの評価のために「AJIMEE-Bench」というベンチマークも構築し、既存の日本語入力システムと比較検証を行った。その結果、Zenzai は既存システムを大きく上回る変換精度を示し、特に文脈を考慮した変換において顕著な優位性が確認された。

プロジェクト期間中にはアルファ版を GitHub で公開し、コミュニティからのフィードバックを取り入れながら継続的に改良を進めた。その結果、有志による他プラットフォーム向けの移植（Linux 向けの fcitx5-hazkey、Windows 向けの azooKey-Windows）も始まり、コミュニティの形成も進んだ。

## 10. プロジェクト評価

本プロジェクトは、かな漢字変換という長年研究されてきた自然言語処理の応用分野に、ニューラル言語モデルという新たなパラダイムを導入した画期的なプロジェクトとして高く評価できる。特に、実用可能なオープンソースのニューラルかな漢字変換システムとして世界初の取り組みである点は特筆に値する。

技術的な成果としては、GPT-2 アーキテクチャをベースとした「zenz」モデルの開発、投機的デコーディングによる高速化、Marisa-Trie を用いた効率的な個人最適化、文脈付き変換や変換プロンプトの実装など、多岐にわたる革新的な要素が含まれている。特に、投機的デコーディングの手法を用いて大規模言語モデルの推論回数を制約しつつ高精度な変換を実現した点は、理論と実装の両面で優れた工夫といえる。

また、「AJIMEE-Bench」という評価ベンチマークを構築・公開した点も、今後の研究開発の基盤を整えるという観点から重要な貢献である。ベンチマークの結果から、Zenzai が既存の日本語入力システムを大きく上回る変換精度を示したことは、アプローチの有効性を実証する重要な成果である。

開発プロセスにおいては、オープンソースとして公開し、コミュニティからのフィードバックを積極的に取り入れながら改良を重ねた点が評価できる。その結果、有志による他プラットフォーム向けの移植が始まり、コミュニティの形成も進んでいる。このようなオープンな開発アプローチは、技術の普及と発展に大きく貢献することが期待される。

実用面では、文脈付き変換や個人最適化、「いい感じ変換」など、ユーザの利便性を高める多様な機能を実装している点も高く評価できる。特に、macOS のアクセシビリティ API を活用した画面情報の取得と、それを基にした個人最適化は、ユーザ環境に自然に適応する日本語入力の新たな可能性を示している。

一方で、現状では GPU 環境や高スペックな端末での利用を前提としている点など、より広範な普及に向けた課題も残されている。しかし、こうした制約は計算機性能の向上と共に自然に解消されていくことが見込まれる。

総じて、このプロジェクトは日本語入力という日々の作業に直結する基盤技術において、ニューラル言語モデルの可能性を広く示した先導的な取り組みであり、今後の発展が大いに期待される価値ある成果といえる。

## 11. 今後の課題

本プロジェクトの今後の課題としては、以下の点が挙げられる。

まず、学術的な貢献としての論文発表が重要である。Zenzai の技術的革新性は高く、既に言語処理学会での発表が行われているが、今後は英語論文として国際学会への投稿も進めることで、知見を広くアカデミアコミュニティに還元することが求められる。特に、投機的デコーディングの応用や個人最適化手法など、

独自の技術的貢献について詳細な分析と報告を行うことが重要である。

次に、ユーザ層の拡大に向けた取り組みが必要である。現状では GitHub からのインストーラダウンロードが必要であり、一般ユーザには敷居が高い。より簡易なインストール手順の実現や、「いい感じ変換」機能利用のための API 設定の簡略化など、導入障壁を下げる工夫が求められる。

また、すでに始まっている Linux や Windows 向けの移植プロジェクトとの連携を強化し、クロスプラットフォーム対応を進めることで、より広範なユーザ層へのリーチを拡大することが期待される。

技術面では、さらなる高速化とモデルの最適化が課題となる。現状では特定の高スペック環境での動作を前提としているが、より一般的なハードウェア構成でも実用的な速度を実現するための最適化が求められる。特に、モデルの量子化やプルーニングなどの手法を用いて、メモリ使用量や計算コストを削減しつつ、変換精度を維持する取り組みが重要となる。

また、長期的な開発の持続性を確保することも重要な課題である。開発者が専業で取り組めない中で、コミュニティの協力を得ながら継続的な改善を行うための体制構築が必要である。オープンソースプロジェクトとして、コントリビューション・ガイドラインの整備や、積極的なコミュニティ・エンゲージメントを通じて、開発の活性化を図ることが求められる。

さらに、現在の成果を様々な分野に応用・展開する可能性も検討すべきである。例えば、特定の専門分野や業界に特化した変換モデルの構築や、企業や組織向けのカスタマイズ・サービスの提供など、ニューラルかな漢字変換の特性を活かした新たな価値創出の可能性を探索することが期待される。

長期的には、他の言語への応用や、より高度な言語理解・生成を統合した次世代の入力システムへの発展など、将来を見据えた研究開発のビジョンを描くことも重要である。日本語入力という日常的に使用されるツールの革新を通じて、自然言語処理技術の社会実装における新たな地平を切り拓くことが期待される。