

令和 6 年 6 月 24 日現在

機関番号：50101

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K14081

研究課題名（和文）機械学習アーキテクチャによる潮海流発電機の最適設計

研究課題名（英文）Optimal Designing of Tidal/Ocean Power Generator by Machine Learning Architecture

研究代表者

藤原 亮（Fujiwara, Ryo）

函館工業高等専門学校・生産システム工学科・准教授

研究者番号：70791375

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題では、発電機設計における多変量解析を高速化し、かつ汎用的な結果を得るために、深層学習等の機械学習手法を組み合わせるアーキテクチャを構成し、ビッグデータを学習させ津軽海峡の潮流・海流を利用した発電機の最適設計値を推定することを目的としている。深層ニューラルネットワークと変分オートエンコーダにより設計値および境界条件から流速場を予測し、海洋発電機性能を予測するアーキテクチャの基礎を構築できた。このアーキテクチャを応用すれば他の流体機械の設計問題にも応用可能である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題で開発したアーキテクチャを応用すれば他の流体機械の設計問題にも応用可能である。機械学習アーキテクチャによる解法は同様の問題にも適用できることが他の問題解決手法と大きく異なる特徴である。

研究成果の概要（英文）：The objective of this research project is to estimate the optimal design values of a generator that utilizes the tidal currents and ocean currents of the Tsugaru Straits by learning big data with an architecture that combines machine learning methods such as deep learning in order to speed up multivariate analysis in generator design and to obtain general-purpose results. Using a deep neural network and a variational autoencoder, we were able to predict the current velocity field from the design values and boundary conditions and establish the basis for an architecture to predict the performance of marine generators. This architecture can be applied to other fluid machinery design problems.

研究分野：機械学習

キーワード：深層学習 変分オートエンコーダ 海洋発電機

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

身の周りの微小なエネルギーを回収・貯蔵して利用するエネルギーハーベスティングの流れから、1MW以下の小水力発電が近年注目されている。具体的には、開渠水路や農業用水路への設置を想定し、らせん水車[1]や二重反転型小型タービン[2]等の設計が行われている。流向が変わらず流速の変化が大きい津軽海峡においては、Fig.1に示す漸拡つば付き流速レンズを用いた発電手法が有効である[3]。

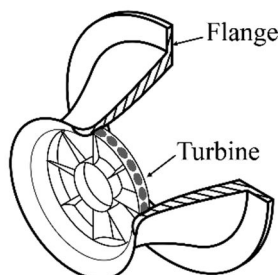


Fig.1: 漸拡つば付き流速レンズを用いた潮海流発電機。

より効率的にエネルギーを回収するためにも最適設計、つまり発電電力量など人間社会の利益となる物理量を最大化し、騒音などの不利益となる物理量を最小化する性能を実現する設計が求められている。しかし、最適設計値を求めるためには、流体・機械・電気要素等の幾多もの設計値間の多変量解析を行う必要がある。既存の解析手法では、計算時間が膨大となる、発電機の形状や流況により数値モデルが恣意的になる、他海域におけるエネルギー回収へ応用可能な知見が得られるとは限らない等の問題点がある。一方、機械学習（いわゆる AI）の分野では深層学習が注目されている。深層学習の原理は単純な線形写像の組み合わせであるため一度学習すれば即座に解を推定できる。更に、学習したアーキテクチャによる解法は同様の問題にも適用できることが他の問題解決手法と大きく異なる特徴である[4]。

#### 「1. 研究開始当初の背景」の参考文献

- [1] もったいないエネルギーによるピコ発電システムの開発（科研費基盤 C 研究成果報告書）（2024/06/19 閲覧）：<https://kaken.nii.ac.jp/ja/file/KAKENHI-PROJECT-15K01000/15K01000seika.pdf>
- [2] インライン式小型ハイドロタービンの最高効率の実現（若手研究 B 研究成果報告書）（2024/06/19 閲覧）：<https://kaken.nii.ac.jp/ja/file/KAKENHI-PROJECT-16K18017/16K18017seika.pdf>
- [3] 函館市海洋発電装置開発促進研究事業委託（2020/10/22 閲覧）：[http://www.hakodate-ct.ac.jp/~miyatake/mm2hp/H27\\_report\\_hakodate2.pdf](http://www.hakodate-ct.ac.jp/~miyatake/mm2hp/H27_report_hakodate2.pdf)
- [4] François Chollet, 株式会社クイープ, 巢籠悠輔:『Python と Keras によるディープラーニング』, マイナビ出版, (2018)。

### 2. 研究の目的

本研究課題では、発電機設計における多変量解析を高速化し、かつ汎用的な結果を得るために、深層学習等の機械学習手法を組み合わせるアーキテクチャを構成し、ビッグデータを学習させ津軽海峡の潮流・海流を利用した発電機（以下、潮海流発電機）の最適設計値を推定する(Fig.2)。

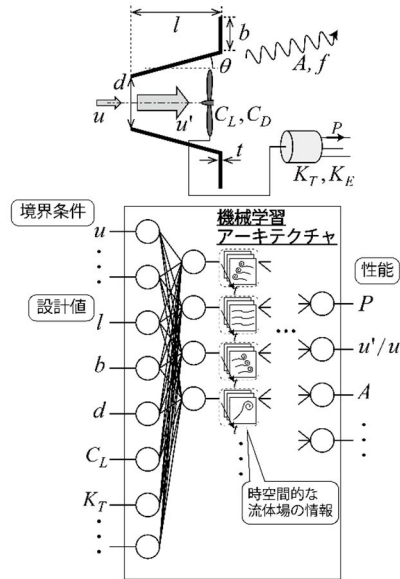


Fig.2: 設計最適化を行う機械学習アーキテクチャの模式図 .

「潮海流発電機の最適設計問題において、どのような機械学習アーキテクチャが汎用的な解を高速に導き出せるのか？」が学術的「問い」となる .

### 3 . 研究の方法

既に 2 次元スリット状水槽による実験で取得していた潮海流発電機まわりの流速場データを用い、全結合ディープニューラルネットワークにより設計値と流体場の関係を学習した . その学習結果を用い、設計値を変化させた際の流速場の変化を予測した . また、畳み込みニューラルネットワークによる流体場の解析も試みた .

実験用水槽を構築し、3 次元的にディフューザーまわりの流体場を観測した . 2 方向からレーザーを照射し、高速度カメラで撮影を行った . 水槽内の流速は相似則を用いて現地流速に対応するものとして設定した .

変分オートエンコーダによる設計値から流体場の生成ができた . 変分オートエンコーダは、エンコーダとデコーダから成り立っている . 例えば画像や音声などの高次元なテンソルデータを、エンコーダにより潜在空間という低次元の空間に圧縮し、デコーダにより復元する . この圧縮と復元の方法を、復元されたデータと元データとの誤差が最小になり、潜在空間上の符号化された点の分布が正規分布に近くなるように学習する . 概要図を Fig.3 に示す .

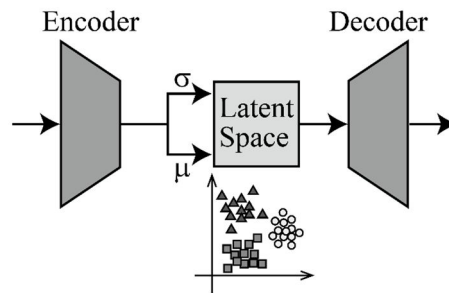


Fig.3: 変分オートエンコーダの概要図 .

エンコーダに入力するデータを、実験により計測した海洋発電機まわりの流速場データとし、圧縮と復元を行う . 上記の変分オートエンコーダの学習を通し、潜在空間という符号化された低次元な空間から、元データ (流速場データ) を生成する方法を学習できる . そして、設計値と潜在空間の関係を、深層学習アーキテクチャの一種である全結合ネットワークを用いて学習した . このように、設計値と潜在空間の関係、潜在空間と流速場の関係を学習することにより、設計値から流速場を予測するアーキテクチャを構築できた .

設計値および境界条件から流速場を予測し、海洋発電機性能を予測するアーキテクチャの基礎を構築できた . このアーキテクチャを応用すれば他の流体機械の設計問題にも応用可能である .

#### 4. 研究成果

全結合ニューラルネットワークにより、設計値と流速場の関係を学習した。学習した設計値と流速場の関係を用い、流速が変化した場合の設計値の変化を予測できた。Fig.5 に海洋発電機に付属しているディフューザーの図面を示す。Fig.6 に、流速が変化した場合のディフューザーの設計値の変化を示す。

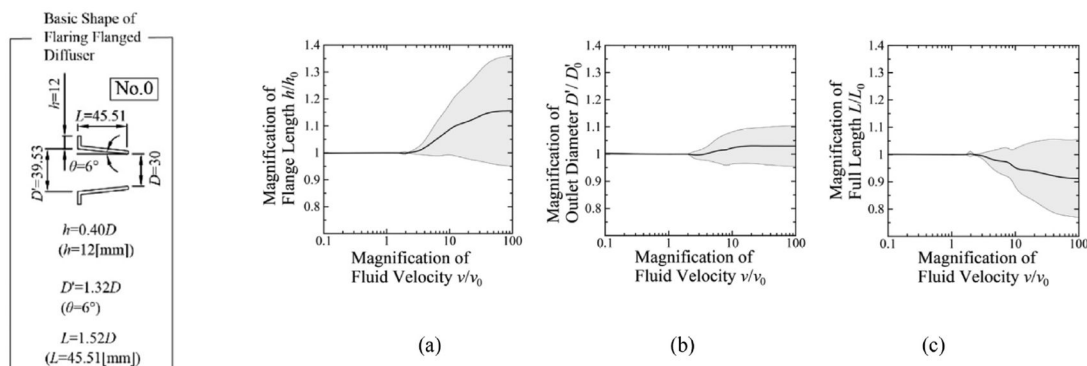


Fig.5: ディフューザーの図面[1] . Fig.6: 流速が変化した場合のディフューザーの設計値変化[1] .

また、畳み込みニューラルネットワークによる流速場の解析を試みた。ネットワーク中のフィルタの活性化マップに物体認識アルゴリズムにより解析することによる、特徴点の抽出を試みた。

そして、実験用水槽を構築し、ミニチュアモデルによる3次元的な流速場の再現実験が可能となった。Froude 相似則により現地流速に相当する流れを作り出すことができる。Fig.7 に実験用水槽の写真を示す。

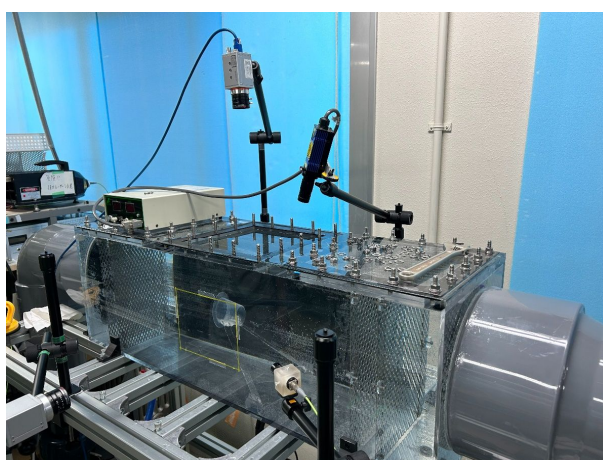


Fig.7: 3次元的に流速場を再現できる実験用水槽 .

変分オートエンコーダにより、設計値から流速場を生成できた。潜在空間と呼ばれる、生成データより次元数の低いデータを用いることにより、設計値データや流速場データのマッピングを行える。設計値から潜在空間への変換、および潜在空間から流速場への変換方法を学習した。設計値データや流速場データのマッピングがされている潜在空間を用いることにより、実験で使用しなかった未知の設計値に対する流速場データの予測が可能となる。Fig.8 に潜在空間上のマッピングを示す。Fig.9 に生成された流速場を示す。

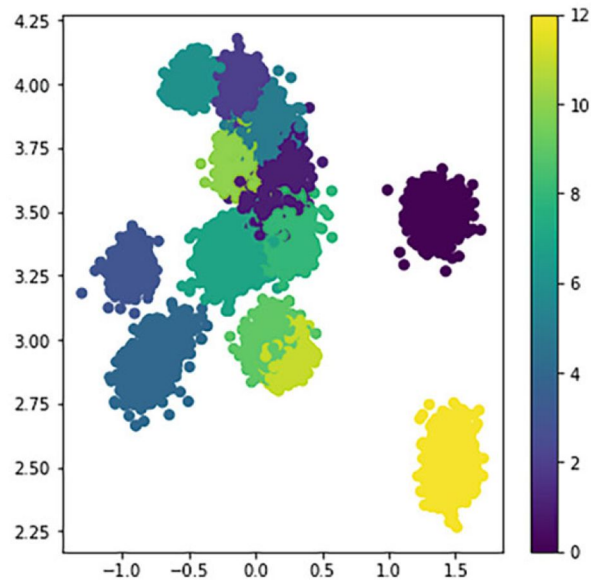


Fig.8: 潜在空間上のマッピング[2] . 色の違いは , 設計値の違いを示している .

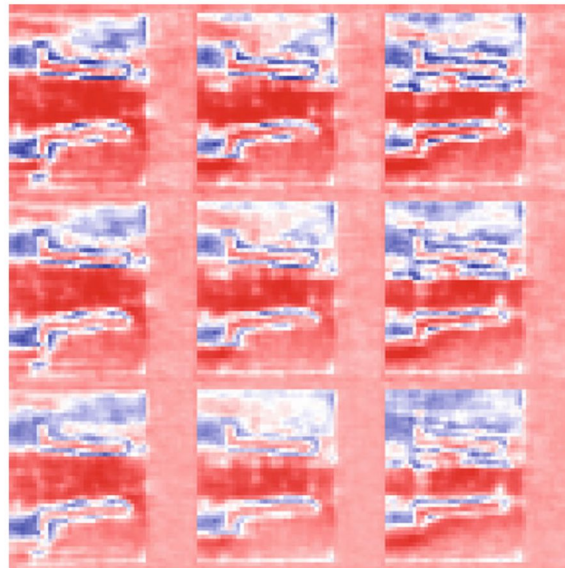


Fig.9: 生成された流速場[2] .

以上の通り , 設計値と潜在空間の関係 , 潜在空間と流速場の関係を学習することにより , 設計値から流速場を予測するアーキテクチャを構築できた .

設計値および境界条件から流速場を予測し , 海洋発電機性能を予測するアーキテクチャの基礎を構築できた . このアーキテクチャを応用すれば他の流体機械の設計問題にも応用可能である .

他に , 市民向けに海洋発電と深層学習に関する講演を行った .

#### 「 4 . 研究成果 」 の参考文献

[1] Ryo Fujiwara, Ryoma Fukuhara, Tsubasa Ebiko, Makoto Miyatake; Forecasting design values of tidal/ocean power generator in the strait with unidirectional flow by deep learning; Intelligent Systems with Applications 14 200067-200067 (2022). ( 査読有 )

[2] Zhijun Peng (Editor); Trends and Technological Challenges in Green Energy - Selected Papers from ICGET 2023, Springer Nature Switzerland (2024).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Fujiwara Ryo, Fukuhara Ryoma, Ebiko Tsubasa, Miyatake Makoto	4. 巻 14
2. 論文標題 Forecasting design values of tidal/ocean power generator in the strait with unidirectional flow by deep learning	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Intelligent Systems with Applications	6. 最初と最後の頁 200067 ~ 200067
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.iswa.2022.200067	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 B. Enkhmanlai, R. Fujiwara
2. 発表標題 Attempt to Detect Feature Regions of Current Velocity Field around Tidal Ocean Current Generator Using Activation Map of Convolutional Neural Network and Object Detection Model
3. 学会等名 Chitose International Forum on Science & Technology 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 ブレントゥムル エンフマンライ, 藤原 亮
2. 発表標題 潮海流発電機まわりの流速場を分析する畳み込み層の活性化マップの解析
3. 学会等名 精密工学会北海道支部大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤原 亮
2. 発表標題 AIと実機モデルのシナジーによる海洋発電機の最適設計～津軽海峡からエネルギーを取り出す～
3. 学会等名 超異分野学会 北海道フォーラム2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ryo Fujiwara, Hiroki Nakagawa, Tsubasa Ebiko, Makoto Miyatake
2. 発表標題 Generation of Fluid Field around Tidal/Ocean Power Generator with Unidirectional Flow Exploiting Variable Auto Encoder
3. 学会等名 2023 8th International Conference on Green Energy Technologies
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中川 浩貴, 菅野 秀斗, 蛸子 翼, 宮武 誠, 藤原 亮
2. 発表標題 変分オートエンコーダによる潮海流発電機まわりの二次元的および三次元的な流速場の生成
3. 学会等名 精密工学会北海道支部大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中川 浩貴, 菅野 秀人, 蛸子 翼, 宮武 誠, 藤原 亮
2. 発表標題 潮海流発電装置まわりの三次元的な流速場を用いた変分オートエンコーダによる流速場の生成
3. 学会等名 精密工学会大会学術講演会
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Zhijun Peng (Editor)	4. 発行年 2024年
2. 出版社 Springer Nature Switzerland	5. 総ページ数 142
3. 書名 Trends and Technological Challenges in Green Energy - Selected Papers from ICGET 2023	

〔産業財産権〕

〔その他〕

本研究課題に関連して、下記講演を行いました。

藤原 亮，津軽海峡の深層からエネルギーを取り出すディープラーニング，キャンパスコンソーシアム函館 合同公開講座 函館学2022 2022年8月27日。（招待有り）

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------