

# アニーリングマシン体験学習型 Web アプリの開発 — 「ANCAR」の大規模アップデート —

## 1. 背景

アニーリングマシンは従来の古典コンピュータでは現実的な時間で最適解を求めるのが困難とされる組合せ最適化問題に対して効果的な計算技術として注目を集めている。組合せ最適化問題とは、膨大な選択肢の中から最適な選択肢を見つける問題であり、物流の配送計画や金融のポートフォリオ最適化、創薬の分子設計など産業界に多数存在している。アニーリングマシンで組合せ最適化問題を解く場合、対象の問題を数式として定式化し、さらにアニーリングマシン向けの専門的なモデルに変換する必要がある。これらの手順は複雑でミスも発生しやすいため、開発の敷居が高くなっているといえる。しかし、アニーリングマシンは登場してから歴史が浅く、ユーザーをサポートして利用を促進させるような周辺環境は発展途上である。その結果、アニーリングマシンの参入障壁が高く、ユーザーが少ないという課題が生じている。

この課題に対して提案した、「アニーリングマシン向け開発支援用 GUI アプリケーションの開発」というプロジェクトが 2020 年度の未踏ターゲット事業に採択され、アニーリングマシン体験学習型 Web アプリケーション「ANCAR」(図 1)を開発および公開した。



図 1. 2020 年度実施プロジェクトで開発した ANCAR の概要

「アニーリングマシンの参入障壁が高くユーザーが少ない」という課題に対する有効策として ANCAR を開発した。しかし、2020 年度終了時点で以下の課題が残っていた。

- デモアプリケーション・典型問題のチュートリアルがそれぞれ 2 個ずつと少なく、コンテンツ不足となっている。
- 運営側が提供するコンテンツのみの場合、質・量ともに継続的な運営には限界がある。
- GUI 操作でアニーリングマシンを体験可能としているが、研究や開発では自身でのプログラミングが必須であり、ソースコードやミドルウェアのレイヤーにユーザーを誘導することが必要不可欠である。

## 2. 目的

2020 年度実施プロジェクトで開発した ANCAR の課題を解決しなければ、成果は一時的なものになってしまい、中長期的には当初の目的を実現できない。そこで、本プロジェクトでは、アニーリングマシンのユーザー層の拡大とユーザーのレベルアップを実現するために、新しいシステムを開発して ANCAR を進化させることを目的とする。

## 3. ソフトウェア開発内容

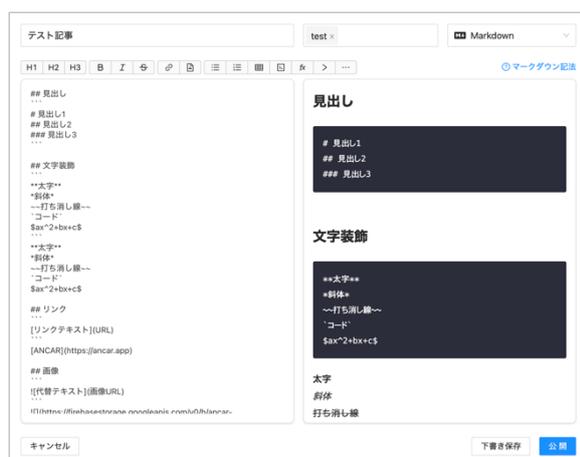
本プロジェクトでは、「アニーリングマシンの参入障壁が高くユーザーが少ない」という課題に主眼を置き、昨年度開発したアニーリングマシンの体験学習型 Web アプリケーション ANCAR の課題を解消して進化させるための新しいシステムの開発を行った。アニーリングマシンのユーザー層の拡大とユーザーのレベルアップを最終目的とし、以下の 3 つの軸で開発を進めた。

### (A) 運営側提供コンテンツの拡充

数式や理論的な説明は省き「アニーリングマシンを使うとどんなことができるのか」を直感的に体験できるデモアプリケーションと、代表的な組合せ最適化問題を体系的に学べるチュートリアルが不足していたため追加で実装した。

### (B) ユーザー投稿型システムの開発

従来は運営側が提供するコンテンツのみであったが、ユーザーも自由にコンテンツを投稿できる仕組みにすることで、質・量ともに充実したコンテンツを提供できる環境を整備した。将来的に様々な種類のコンテンツが集まることで、ターゲット層をさらに広げることができ、アニーリングマシン業界のコミュニティ活性化につながることを期待される。



(a) コンテンツ編集画面



(b) コンテンツ閲覧画面

図 2. ユーザー投稿型システム

### (C) GUI 実行環境におけるコード生成システムの開発

ユーザーがアドバンスモードで定義したモデルに対して、対応する一連の Python コードを自動で生成する機能を開発した。生成したコードは Python または Jupyter Notebook のファイルとしてダウンロード可能であり、問題の定式化など理論的なことを理解する段階にいたユーザーを、実際に手を動かさずプログラミングのレイヤーに誘導する環境となっている。

The screenshot shows the ANCAR web interface. On the left, there are tabs for '変数' (Variables), '定数' (Constants), '目的関数' (Objective Function), '制約条件' (Constraints), and 'ソルバー' (Solver). The '変数' tab is active, showing a variable  $q_i$  for  $0 \leq i \leq 3$ . Below this, there are sections for 'CPU (SA)', 'D-Wave', and 'Amplify Annealing Engine'. The 'Amplify Annealing Engine' section has sub-sections for 'デジタルアニーラ' (Digital Annealer) and 'CMOSアニーリングマシン' (CMOS Annealing Machine). The 'デジタルアニーラ' section has input fields for 'Unit steps' (10), 'Timeout [ms]' (1000), and 'Outputs' (1). The 'CMOSアニーリングマシン' section has checkboxes for 'Spins', 'Energies', 'Sort', and 'Duplicate'. Below these is a '計算結果' (Calculation Results) table and a 'モデル係数行列' (Model Coefficient Matrix) heatmap.

計算結果	結果1
エネルギー	-1
状態	$q_0 = 0, q_1 = 1, q_2 = 1, q_3 = 0$
制約条件	OK
計算時間 [ms]	382

The heatmap shows a 4x4 matrix with a color scale from -1 to 2. The matrix is mostly blue (0), with a yellow square at (1,2) and (2,1), and a green square at (3,3).

```
Python
1 from amplify import BinarySymbolGenerator,
2
3 binary_gen = BinarySymbolGenerator()
4 q = binary_gen.array(4)
5
6 objective1 = q[0] - q[1] * q[3] - q[1] * q[
7
8 h = objective1
9 model = BinaryQuadraticModel(h)
10
11 client = FixstarsClient()
12 client.token = "xxxxxxxxxxxx"
13 client.num_unit_steps = 10
14 client.timeout = 1000
15 client.energies = True
16 client.spins = True
17 client.num_outputs = 1
18 client.sort = True
19 client.duplicate = False
20
21 solver = Solver(client)
22 result = solver.solve(model)
```

図 3. GUI 実行環境におけるコード生成システム

## 4. 新規性・優位性

アニーリングマシンの周辺環境が発展途上であると述べたが、現時点でも以下に示すようなユーザーをサポートする環境が登場している。

- Annealing Cloud Web (<https://annealing-cloud.com/ja/index.html>)

日立製作所の最新 CMOS アニーリングマシンを今すぐ体験可能な Web サイト。アニーリングマシンを利用したデモアプリケーションやイジングモデルを Web ブラウザで直感的に構築できるイジングエディタが提供されている。

- Amplify 技術リソース (<https://amplify.fixstars.com/ja/techresources/>)

フィックスターズ社がこれまでの取り組みから得た量子コンピューティングに関する知見を、学習に役立つ技術リソースとして公開している Web サイト。他にも Fixstars Amplify を使用したプログラミングのデモやチュートリアルも公開している。

- T-Wave (<https://qard.is.tohoku.ac.jp/T-Wave/>)

東北大学量子アニーリング研究開発センターT-QARD が運営する D-Wave マシンに関するナレッジベースサイト。公開されている応用成果や先行研究論文の紹介がメインコンテンツとして公開している。

いずれも初中級者をターゲットとして、アニーリングマシンおよび関連技術に関する知見を公開している。ANCAR では同様のコンテンツ提供に加えて、ユーザーもコンテンツを投稿できるシステムになっており、アニーリングマシンに関する様々な知見が共有される環境として新規性がある。ユーザーによる知見共有が可能な Web サイトとしては、一般的な技術全般を対象とした Qiita や Zenn が挙げられるが、ANCAR ではアニーリングマシンに関する技術に限定することで Jupyter Notebook での投稿や Google Colaboratory との連携を可能にすることで差別化を図っている。

また、ユーザーがブラウザ上で数式を入力してイジングモデル/QUBO モデルを構築し、アニーリングマシンでの実行や対応するコードの生成といった機能は ANCAR 独自の機能であり、ユーザーをレベルアップさせる点で画期的なシステムだといえる。

## 5. 期待されるユーザー価値と社会へのインパクト

ANCAR は「誰でも、手軽に、アニーリングマシンを。」をコンセプトに掲げ、ユーザーの参入障壁を下げることを目的とした体験学習型 Web アプリケーションとして昨年度の段階でも意図した成果を残すことができた。

本プロジェクトで、「ユーザー投稿型システム」を新たに開発したことで、誰もがアニーリングマシンに関する情報を自由に発信および入手できる環境を提供できるようになった。これによりアニーリングマシン業界のエコシステムの形成やコミュニティの活性化に貢献できると考えられる。また、「コード生成システム」も新たに開発したことで、問題の定式化など理論的なことを理解する段階にいたユーザーを、実際に手を動かすプログラミングのレイヤーに誘導する機会を提供できるようになったため、ユーザーのレベルアップを実現できると考えられる。

以上より、本プロジェクトの成果は、発展途上であるアニーリングマシンの知名度向上や、量子コンピューティングに関する人材育成という根本的な課題の解決に貢献することが期待される。

## 6. 氏名(所属)

武笠 陽介 (早稲田大学 大学院基幹理工学研究科)

## (参考)関連 URL

アニーリングマシン体験学習型 Web アプリケーション「ANCAR」

<https://ancar.app>