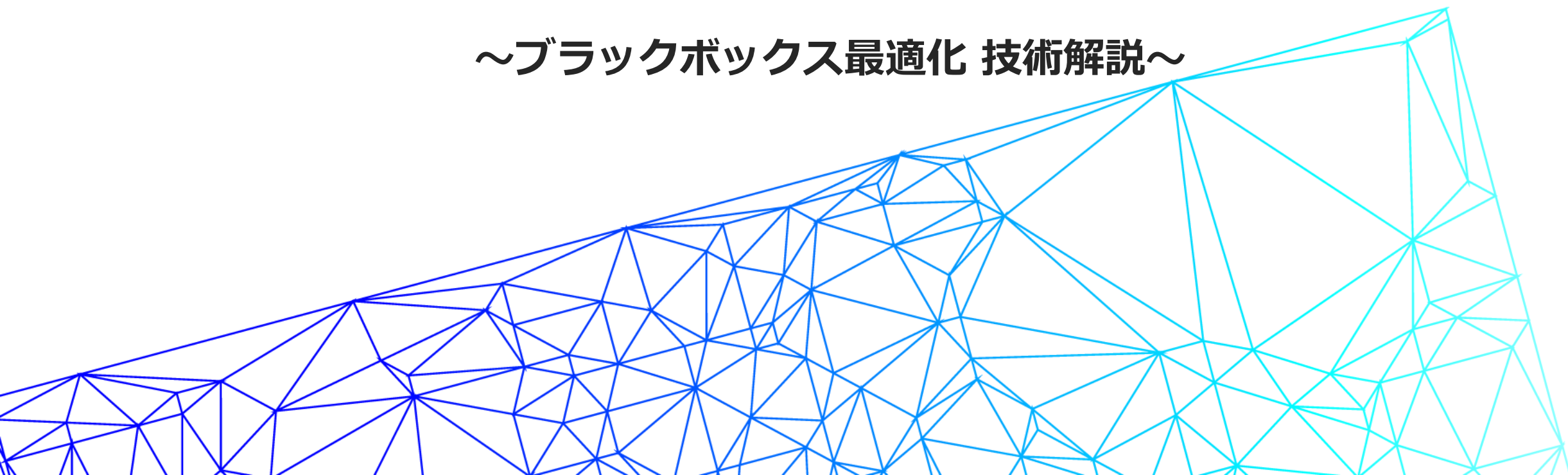


量子コンピュータ時代の最適化セミナー

～ブラックボックス最適化 技術解説～



本日の予定

- Fixstars Amplify の紹介
- ブラックボックス最適化とは
- QA-BBOの概要と活用例
- Amplify-BBOptによる活用方法
 - 実装方法
 - 今後の進め方
- まとめ

質問は随時、Zoomの
Q&Aへお願いします

株式会社 Fixstars Amplify (“Amplify”)

- 最適化のための量子コンピューティング基盤の提供 (無料・専門知識不要で利用スタートOK!)
- 開発環境：Amplify SDK (Python基礎知識のみでOK)
- 実行環境：Amplify AE や他社商用ソルバー (後述)

1,100+ ユーザー所属組織数 (企業、研究所、大学)

1億2,000万+ ユーザー実行回数 (Amplify AE)

- 2021年10月に設立
- 親会社：株式会社フィックスターズ
 - ソフトウェア高速化のプロフェッショナル集団
 - 日本で初めて D-Wave Systems 社と提携 (2017年)



量子・量子インスパイアード技術

1

量子コンピュータ

(量子ゲート方式)

- 古典汎用コンピュータの上位互換。量子ゲートを操作。エラー訂正機能の無いNISQ型実機がクラウド利用可能
- QAOAにより**組合せ最適化問題 (QUBO)** を取り扱うことが可能
- 演算規模：～数100ビット

1
量子
コンピュータ

IBM
Google
Rigetti
IonQ
Qulacs

2

量子
アニーリング

D-Wave*

2 量子アニーリング (量子焼きなまし法式のイジングマシン)

- イジングマシンの一種。量子イジングモデルを物理的に搭載したプロセッサで実現。量子効果を物理的に調整し、自然計算により低エネルギー状態が出力
- **組合せ最適化問題 (QUBO)** を扱う専用マシン
- 演算規模：～数1,000ビット

3

量子
インスパイアード
マシン

Fixstars Amplify*
TOSHIBA*
Fujitsu*
HITACHI

3

量子インスパイアードマシン

(半導体技術に基づくイジングマシン)

- 二次の多変数多項式で表される目的関数の**組合せ最適化問題 (QUBO)** 専用マシン
- 統計物理学におけるイジングモデルに由来。様々な実装により実現。
- 演算規模：
260,000+ビット (*Amplify AE*)

活用領域とユースケース（PoC・実稼働）

生産計画

- 多品種少量生産、保全計画、設備投資、在庫

従業員割り当て

- 食品、輸送、製造

エネマネ

- エネルギーミックス、装置の運転制御

経路

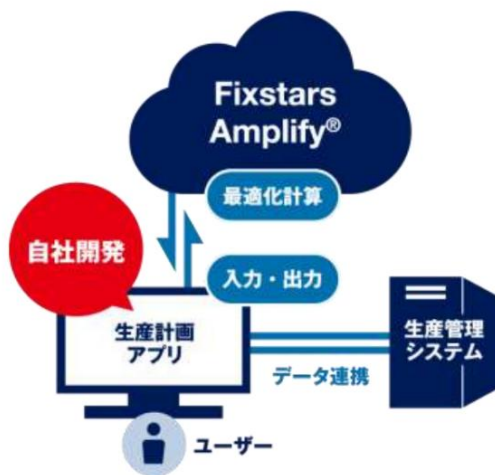
- 配送、船舶、無人搬送車 (AVG)

メディア

- 最適広告配信

研究開発、設計

- 材料設計
- 物理シミュレーション
- ブラックボックス最適化



Amplify インタビュー

検索

The screenshot shows the Fixstars Amplify website. The header includes the Fixstars Amplify logo, a language selector for Japanese, and a search icon. Below the header, there is a navigation bar with 'Home' and 'お客様事例' (Customer Examples). The main content area is titled 'お客様事例' (Customer Examples) and features a sub-header '組合せ最適化問題に取り組む、国内外で700以上の企業・学校が、アプリケーションの開発・実行基盤としてFixstars Amplifyを利用しています。' (Over 700 companies and schools worldwide are using Fixstars Amplify as a development and execution platform for solving combinatorial optimization problems). Below this, there is a grid of logos for various customers, including Mazda, Kawasaki, Keio University, Nippon TV, Toyota Tsusho, and Kioxia. At the bottom, there are two small images showing people in a meeting or presentation.

量子インスパイアード型 ブラックボックス最適化の 活用事例とAmplify-BBOpt

ブラックボックス最適化とは？

- ブラックボックス最適化 (BBO)

- 直接の定式化が困難な **目的関数**

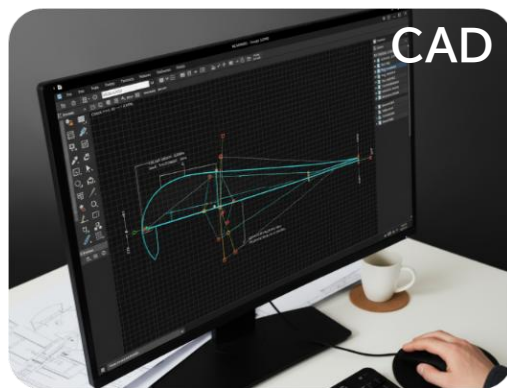
- 低 **損失** な流体デバイス形状？
- 高 **性能** な材料/構造トポロジー？

- 最適化の実施

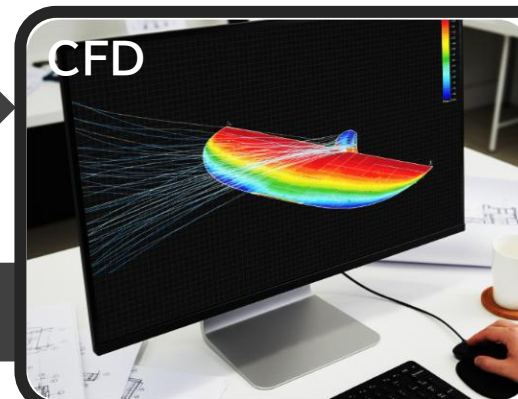
- 実験やシミュレーションの試行錯誤により、定式化不可な目的関数を最小化

従来手法

- ✓ 実験計画法
- ✓ ベイズ最適化
- ✓ 遺伝的アルゴリズム
- ✓ ...



評価結果



修正モデル

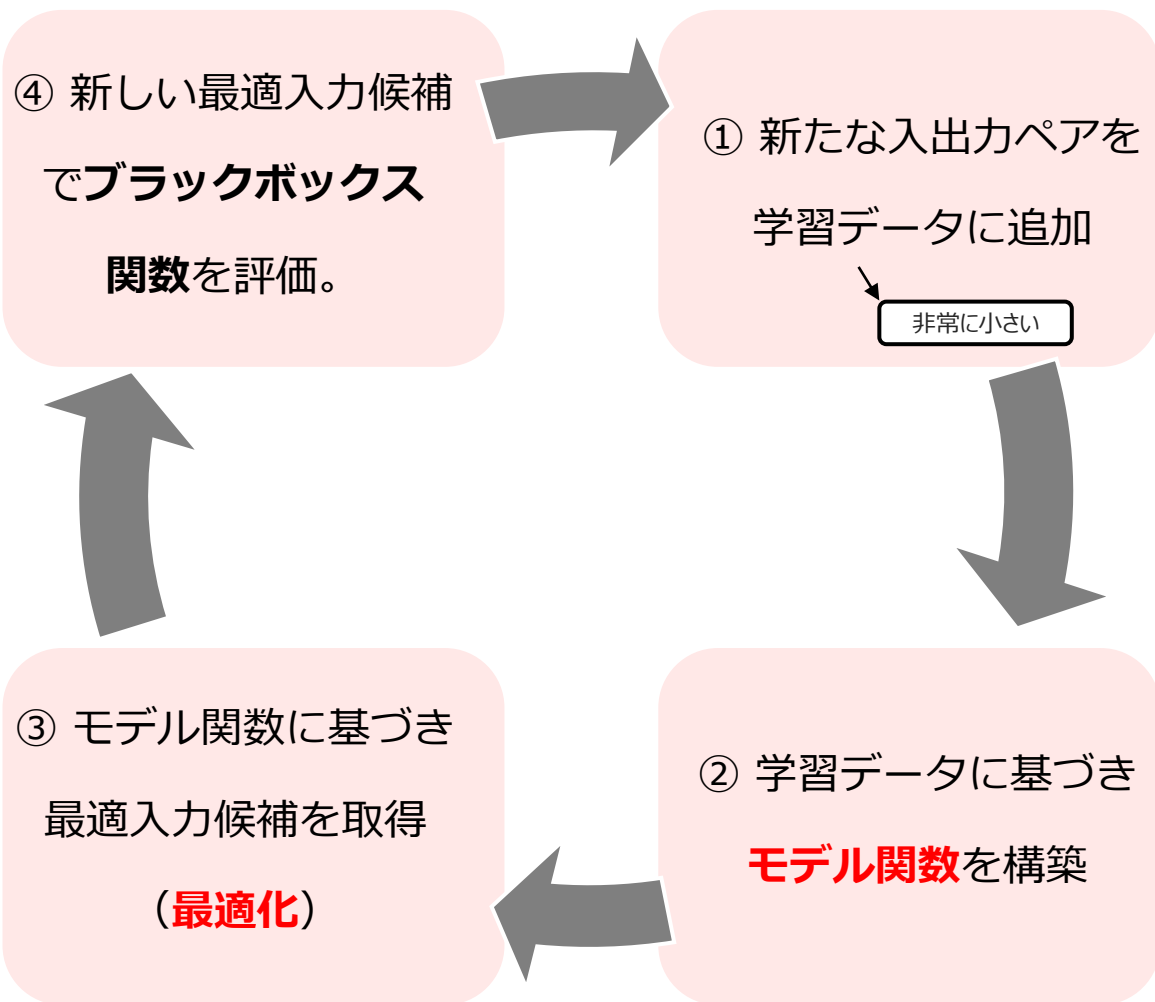
ブラックボックスな目的関数

入力: 設計した翼形状

↓
流体シミュレーション + 後処理

↓
出力: 抵抗

ブラックボックス最適化: 処理フロー



QA-BBO サロゲートモデルとQAを使うBBO手法

- **FMQA** [Kitai, et al., Phys. Rev. Res., 2020](#) (東大・津田先生)
 - モデル関数 → FM
 - 最適化 → QA
- **Kernel-QA** [Minamoto & Sakamoto, arXiv:2501.04225](#)
 - モデル関数 → Kernel model
 - 最適化 → QA

QA-BBO の特徴

- 高次元の最適化問題に強い！
(次元の呪い)
- 制約条件に強い！

QA-BBO: 実装例 (Amplify チュートリアル)

Amplify デモ

検索



チュートリアル応用編

ブラックボックス最適化 (2)

プログラミング難易度 ★★★★★

機械学習と量子アニーリング・イジングマシンを活用するブラックボックス最適化の適用例として、疑似的な高温超電導を実現する材料探索を取り扱います。

サンプルコード

材料最適化

FMQA

×

物理モデル



チュートリアル応用編

ブラックボックス最適化 (3)

プログラミング難易度 ★★★★★

化学プラントにおける生産量を最大化するための運転条件最適化を行います。最適化には、機械学習モデルに基づくブラックボックス最適化と化学反応に関する物理シミュレーションを用います。

サンプルコード

化学プラント
運転条件最適化

FMQA

×

化学シミュレーション



チュートリアル応用編

ブラックボックス最適化 (4)

プログラミング難易度 ★★★★★

流体機器設計に不可欠な翼型の最適化問題を取り上げます。最適化には、組み合わせ最適化及び機械学習に基づくブラックボックス最適化と流体シミュレーションを用い、翼の揚抗比を最大化するように翼型の探索を行います。

サンプルコード

翼形状最適化

FMQA

×

流体シミュレーション



チュートリアル応用編

ブラックボックス最適化 (5)

プログラミング難易度 ★★★★★

ブラックボックス最適化により、商業施設による交通集中が発生し得る都市における、交通渋滞を低減するような信号機群の最適制御を実施します。最適化の実施及び実証には、マルチ・エージェント・シミュレーションによる交通シミュレーションを用います。

サンプルコード

信号制御最適化

FMQA

×

マルチ・エージェント・シミュレーション



チュートリアル応用編

ブラックボックス最適化 (6)

プログラミング難易度 ★★★★★

ブラックボックス最適化により、攪拌性能に影響を与える設計パラメータに対して、混合効率が最大化されるような攪拌機の最適設計を実施します。最適化の実施および評価には、濃度分布に基づく簡易な攪拌シミュレーションを用います。

サンプルコード

機器設計最適化

FMQA

×

攪拌シミュレーション

QA-BBO: 活用例 (Amplify ユーザー)

活用領域

化学、創薬、食品、自動車、電機、通信、重工、エネルギー、ヘルスケア・・・

非線形現象の逆
問題

機械学習：
コスト↓精度↑

設計開発におけ
る部品選定

材料配合最適化

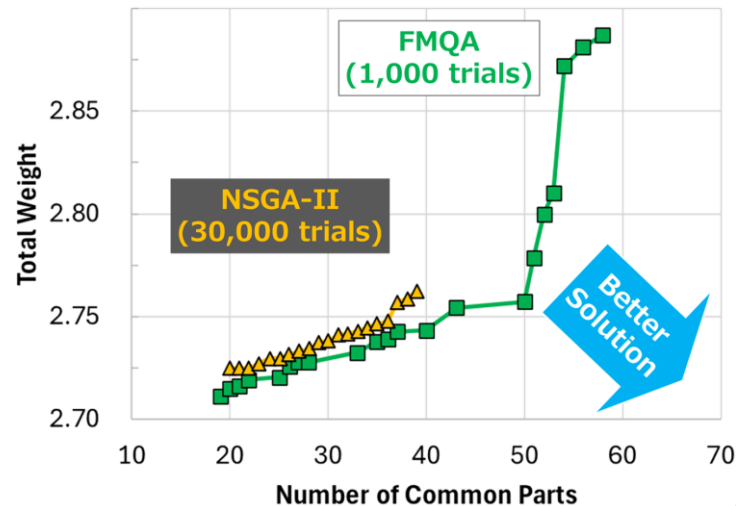
多目的最適化

物理モデルの
簡略化

QA-BBO: 活用事例 (設計最適化)

マツダ様

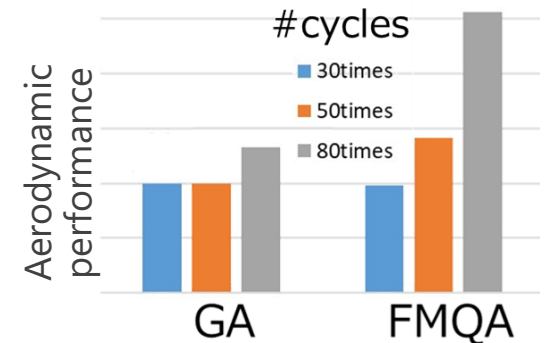
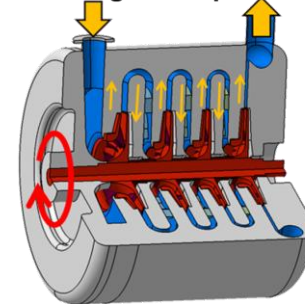
- 市販車両を対象した、複数車種同時設計最適化問題
実数変数 200 以上の大規模問題
- **多目的最適化**：車体の軽量化と共通部品点数の最大化
- **制約条件**：50 以上の制約条件
(衝突性能、製造制約、構造制約など)
- 従来手法 (GA/BO) と比較し、3%程度のシミュレーションコストでの最適化を実現。従来手法と同等以上の解を見つけることに成功 [近藤 ほか, 自動車技術会論文集, 56, 2 \(2025\)](#)



川崎重工業様

- **ターボ機械**の設計最適化問題
- 従来より商用最適化ソフトによる遺伝的アルゴリズム (GA) を使用
- **最適化規模が大きくなると最適解の求解までに時間がかかり、開発期間が長期化する**といった課題
- 従来ツールに比べ、**同じシミュレーション回数でもより優れた解**が得られた※

Centrifugal compressor



QA-BBO: 活用事例 (設計最適化)

本田技研 (四輪研究開発センター) 様

LS-DYNA (非線形動的構造解析ソフトウェア) によるシミュレーションを目的関数とするブラックボックス最適化

- 設計最適化のためのQA-BBOとシミュレーションとの連携の確認用トイモデル
- リブの板厚の最適化 (離散変数: 敷居板12枚の板厚)

```

from amplify_bbopt import *

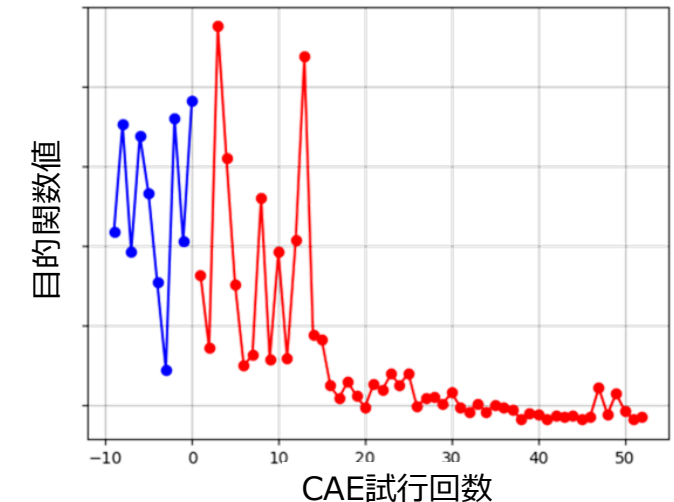
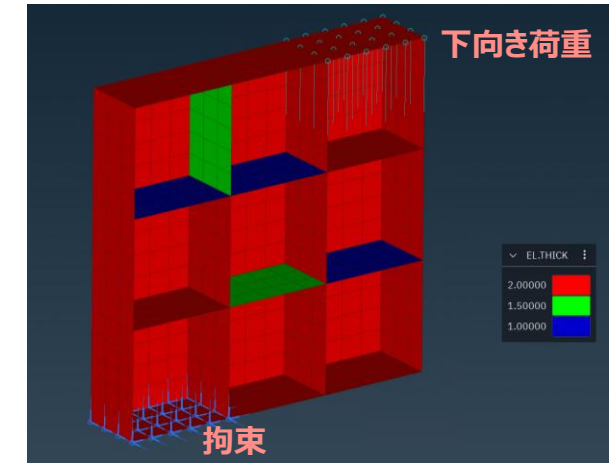
# シミュレータのインスタンスを作成
simulator = LS_DYNA(...)

# 最適化対象のパラメータ数
num_params = 12

# ブラックボックスな目的関数を定義 (変位を返却)
@blackbox
def dyna_sim(inp: list[int] = [IntegerVariable(0, 2) for _ in range(num_params)],
) -> float:
    simulator.update_parameter(inp)
    solutions = simulator.execute()
    return solutions.displacement

```

連携を実現するための
ブラックボックス関数の実装例



QA-BBO: 活用事例 (AI)

株式会社フィックスターズ (AIBooster チーム)

物体検出 DETR (DEtection Transformer) における混合精度量子化自動精度決定

■ 混合精度量子化とは

- モデル重み精度を fp32 (32bit) から int8 (8bit) へ → 軽量・高速化 (低遅延)
※特にエッジデバイスやニューラルネットの専用デバイスなどでは量子化が必須のものもある

■ 精度↑ & 遅延時間↓ → レイヤー毎の量子化有無を最適化

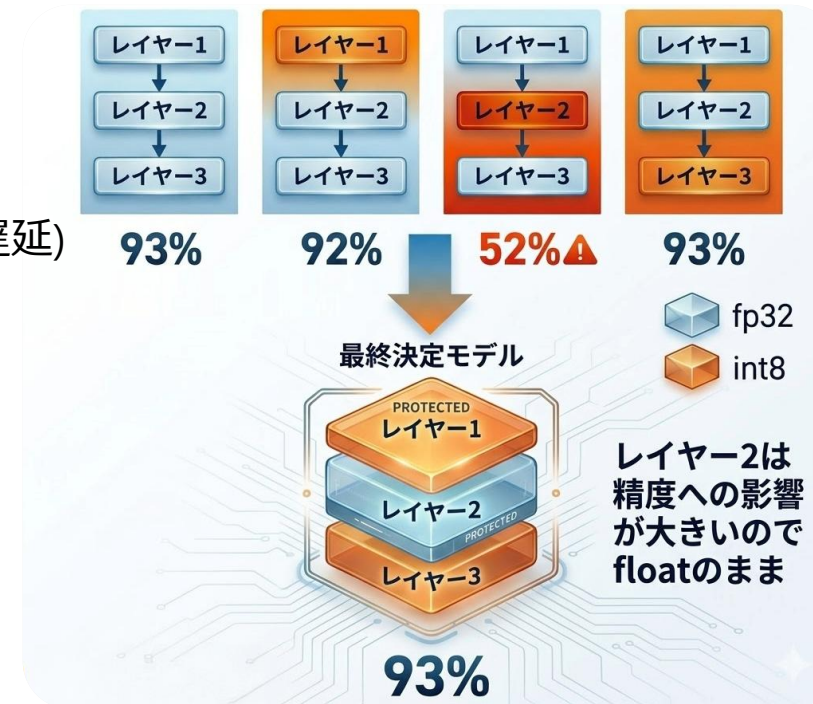
■ 量子化の切り替わりでオーバーヘッド

- int8 と fp32 レイヤーを交互にするより、量子化無しの方が高速

■ 1レイヤーずつ見ても分からない → 全体最適が必要

■ ブラックボックス最適化ツールとして有名な OSS は Optuna

- 中～大規模な最適化には比較的弱い (次元の呪い)
- そもそも組合せ最適化問題は難しい



レイヤー精度	精度スコア*	遅延時間
全 fp32	42.5 %	87.59 ms
全 int8	34.7 %	47.04 ms

* mAP (mean Average Precision)

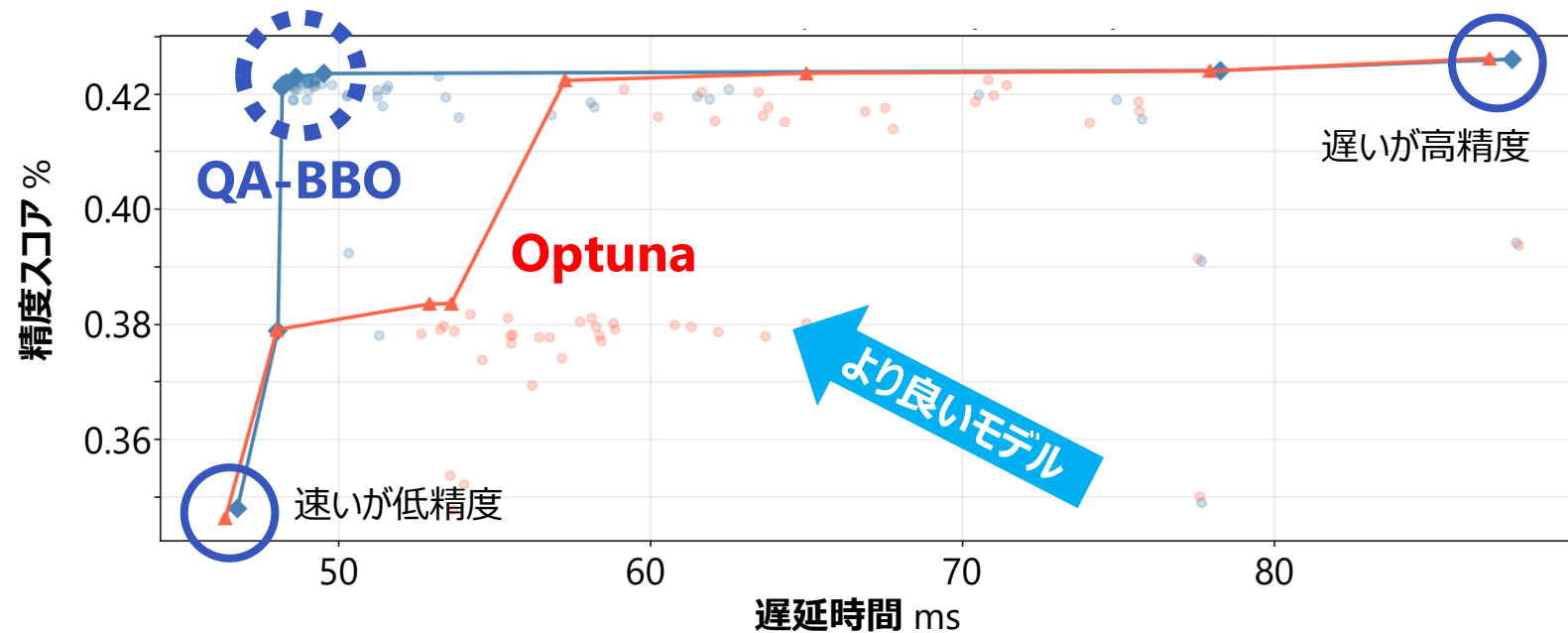
QA-BBO: 活用事例 (AI)

株式会社フィックスターズ (AIBooster チーム)

物体検出 DETR (DEtection Transformer) における混合精度量子化最適決定

- Model : DETR (TensorRTエンジン化済みモデル)
- 量子化対象レイヤー数 : 1097
- Calibrator, Quantizer, Compiler & Runtime : TensorRT 10.14.1.48.post1
- Device : RTX3060
- 試行回数 (評価回数) : 50 回
(+初期データの9サンプル)
- Accuracy評価データセット :
MS COCO dataset
(サブセット1000枚)

レイヤー精度	精度スコア	遅延時間
全 fp32	42.5 %	87.59 ms
全 int8	34.7 %	47.04 ms
QA-BBO解	42.0 %	48.18 ms



QA-BBO: 活用の3方針

- **Amplify SDK + PyTorch** ([デモ・チュートリアル](#))
 - 実装コスト：大
 - 柔軟性：大
- **Amplify-BBOpt** (Amplify SDKの拡張機能, [ドキュメントページ](#))
 - 実装コスト：小～中
 - 柔軟性：中
- **Amplify-BBOpt Studio**
 - 実装コスト：なし
 - 柔軟性：－ (カスタム開発)

The screenshot displays the Amplify-BBOpt Studio interface. At the top, there is a red button labeled "新しい問題を開始" (Start new problem). Below this, the "変数の設定" (Variable settings) section allows adding new variables with a table for minimum, maximum, and randomization steps. The "最適化設定" (Optimization settings) section includes fields for initial random samples, optimization cycles, solver timeout, and model type, along with a "設定をダウンロード" (Download settings) button. A red button at the bottom is labeled "最適化を開始" (Start optimization).

Amplify-BBOpt Studio

新しい問題を開始

変数の設定

新しい変数を追加

変数名	最小値	最大値	離散化ステップ数
	-5.00	5.00	11

最適化設定

初期ランダムサンプル数	10	Amplify API トークン
最適化サイクル数	20	ソルバータイムアウト (秒)
モデル関数	KM (Kernel Model)	設定をダウンロード

最適化を開始

Amplify-BBOpt: 問題設定

- 攪拌機 設計パラメータのブラックボックス最適化

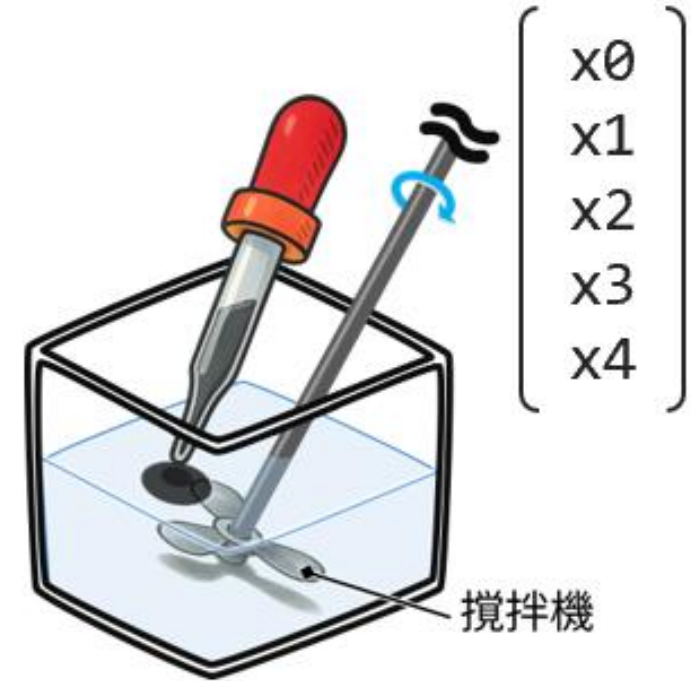
https://amplify.fixstars.com/ja/demo/fmqa_5_mixing

- 攪拌機的设计に関わる **5つの設計パラメータ**を最適決定。

☆実際の設計や制御と同様に、「最適な条件はあるが、各設計パラメータがどういう効果があるかは必ずしも明確ではない」状態から探索スタート。

- ある設計パラメータに対する攪拌機の性能評価値は、攪拌シミュレータで評価。

☆シミュレーターは最適パラメータを読み込み、シミュレーションを実施、結果を後処理し、**混ざり具合（濃度の分散 = 低い方が良い）**が出力。



【後処理結果】
混ざり具合（濃度分布の分散）
= 目的関数値

Amplify-BBOpt: ブラックボックス最適化の実装

```
from amplify_bbopt import Optimizer, FMTrainer

optimizer = Optimizer(
    blackbox=bbfunc,
    trainer=FMTrainer(),
    client=client,
)

# 初期学習データを生成（既存のデータを使う場合は不要）
optimizer.add_random_training_data(num_data=10)

# 最適化を実行
optimizer.optimize(num_iterations=20)
```

Optimizerクラスをインスタンス化

- **bbfunc**
ブラックボックスな目的関数を評価する仕組み
- **FMTrainer()**
モデル関数クラスのインスタンス
- **client**
Amplifyソルバークライアント

最適化サイクルを実行

- **Optimizer.optimize()**

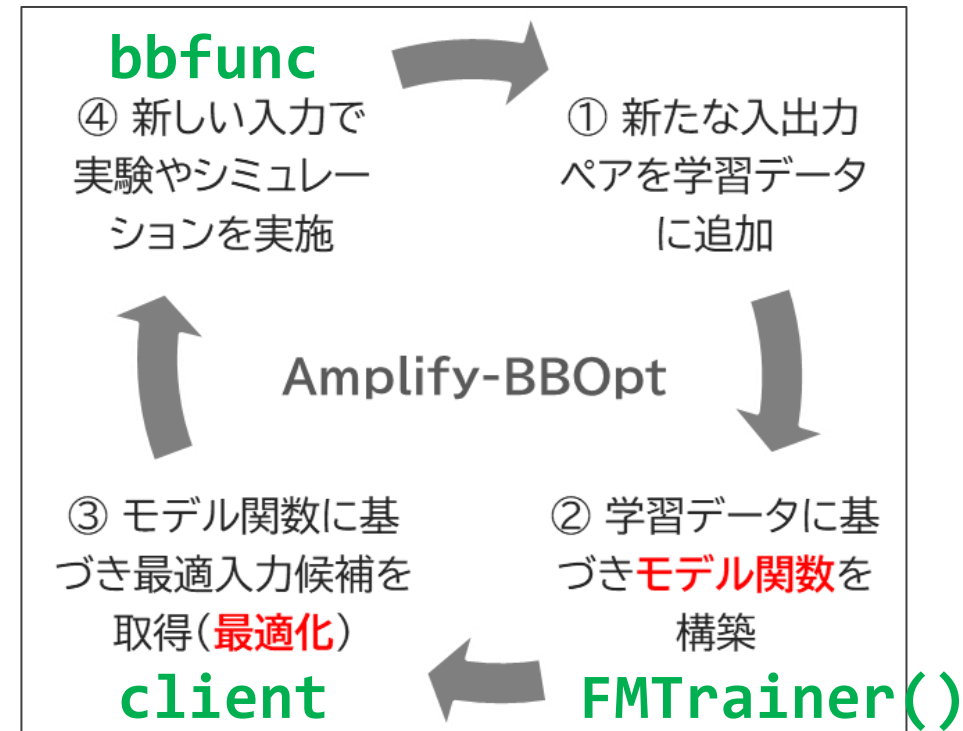
Amplify-BBOpt: ブラックボックス最適化の実装

```
from amplify_bbopt import Optimizer, FMTrainer

optimizer = Optimizer(
    blackbox=bbfunc,
    trainer=FMTrainer(),
    client=client,
)

# 初期学習データを生成（既存のデータを使う場合は不要）
optimizer.add_random_training_data(num_data=10)

# 最適化を実行
optimizer.optimize(num_iterations=20)
```



Amplify-BBOpt: 目的関数を評価する仕組みの実装

```
from amplify_bbopt import blackbox, IntegerVariable
```

おまじない

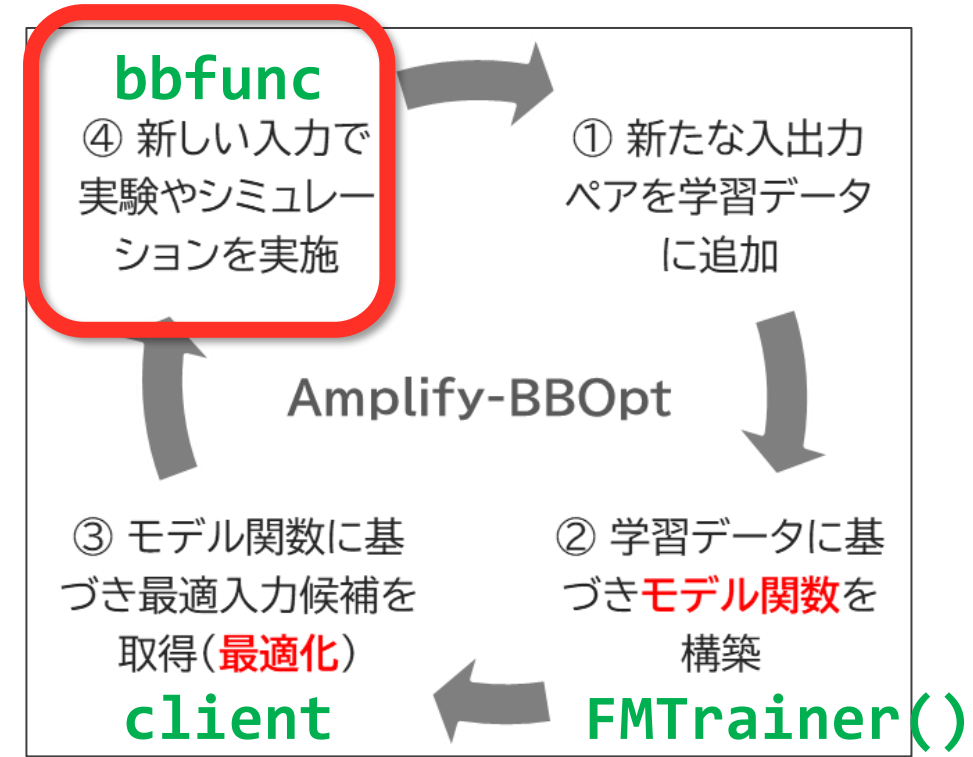
→ @blackbox

決定変数の種類

Amplify-BBOpt が提案した最適入力候補が引数として **bbfunc** に渡される

```
def bbfunc(  
    x0: int = IntegerVariable((2, 10)),  
    x1: int = IntegerVariable((5, 20)),  
    x2: int = IntegerVariable((0, 45)),  
    x3: int = IntegerVariable((1, 5)),  
    x4: int = IntegerVariable((1, 4)),  
) -> float:  
    s = MixingSimulator(x0, x1, x2, x3, x4)  
    c_std = s.simulate(duration=500)  
    print(f"{c_std:~.3f}")  
    return c_std
```

最適入力候補に対する評価結果が Amplify-BBOpt に返却される



Amplify-BBOpt: ソルバークライアントの設定

```
from amplify import AmplifyAECClient  
  
# Amplify Annealing Engine を使う場合  
client = AmplifyAECClient()  
client.parameters.time_limit_ms = 1000 # ms
```

Amplify AE 以外にも様々なソルバーを選択可能！

標準マシン

標準マシンとは、Fixstars Amplifyからご利用申し込みが可能なマシンです。詳しくは各マシンのご利用方法をご覧ください。



標準マシン

D-Wave Systems

D-Wave The Leap™ Quantum Cloud Service

量子アニーリングマシンおよび量子アニーリングマシンと古典アルゴリズムで動作するハイブリッドソルバーを提供するクラウドサービスです。

[製品サイト](#)

Bring Your Own License対応

[ご利用方法](#)



標準マシン

東芝デジタルソリューションズ

SQBM+

東芝が開発した技術「シミュレーテッド分岐アルゴリズム」を用いた組合せ最適化ソルバー「シミュレーテッド分岐マシン」を核とした量子インスパイアード最適化ソリューションです。

[製品サイト](#)

[ご利用方法](#)



標準マシン

富士通

デジタルアニーラ

量子現象に着想を得たコンピューティング技術です。現在の汎用コンピュータでは解くことが難しい「組合せ最適化問題」を高速で解くことができます。

[製品サイト](#)

[ご利用方法](#)

BYOLマシン

BYOLマシンとは、ご自身でそのマシンを使える環境をご用意いただく必要があるマシンです。詳しくは[ドキュメント](#)をご覧ください。

日立製作所

CMOSアニーリングマシン

[製品サイト](#)

Gurobi

Gurobi Optimizer

[製品サイト](#)

IBM

IBM Quantum

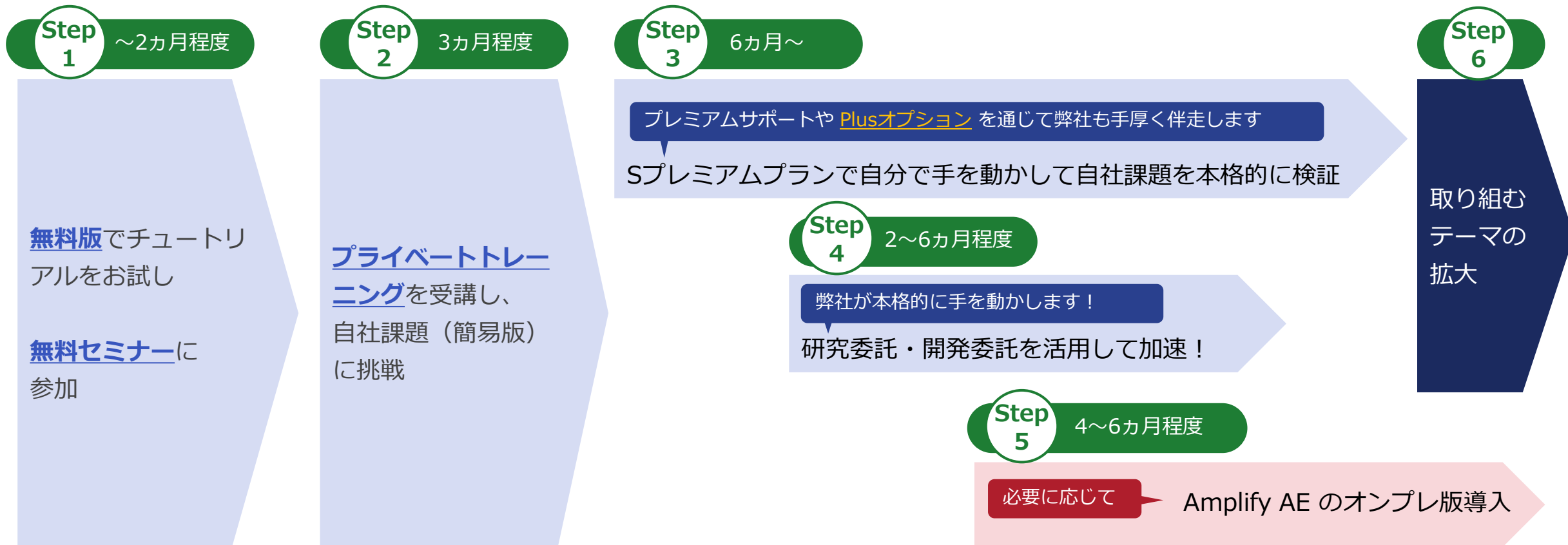
[製品サイト](#)

サンプルプログラム：攪拌機 設計パラメータの最適化

- Amplify SDK と PyTorchによる FMQA 生実装チュートリアル
(そのまま実行可能)
 - https://amplify.fixstars.com/ja/demo/fmqa_5_mixing
- Amplify-BBOpt による Kernel-QA 実装チュートリアル
(そのまま実行可能)
 - https://colab.research.google.com/drive/1a8XP0-wsDbrWa8Lp3PGDhonbuAX_hIrx
- Amplify-BBOpt ドキュメント
 - <https://amplify.fixstars.com/ja/docs/amplify-bbopt/v1/>

研究・開発者向けおすすめの進め方

二次・非線形を上手に使いこなせるように、**弊社と一緒に**取り組みを進めていきましょう！



セミナー・トレーニングのご紹介

<https://amplify.fixstars.com/ja/news/seminar>

お客様の実際の課題解決をご支援するために、**無料セミナー**や**有償トレーニング**を提供しています。

無料セミナー・ワークショップ

ビジネス向け、エンジニア向けに分けて開催しています！

ビジネス向け

製造業向け量子コンピュータ時代のDXセミナー 見える化、予測・分析、その先の最適化へ

組合せ最適化問題や量子アニーリング・イジングマシンの概要をご紹介したのち、製造業における組合せ最適化を活用したDX推進の一例として、生産計画最適化や生産ラインのシフト最適化などの事例とデモをご紹介します。「Fixstars Amplify」を通じて量子アニーリング・イジングマシンを活用することで、どのようなビジネス上の効果が期待できるのかを感じていただきたいと思います。

エンジニア向け

製造業向け量子コンピュータ時代のDXセミナー 最適化の中身を覗いてみよう

製造業における組合せ最適化を活用したDX推進の一例として、生産計画最適化、勤務シフト最適化などの事例を用いて、問題設定の考え方、目的関数や制約条件の定式化、実装のポイントなどを実際のコードを見ながら解説します。また、サンプルコードを用いて、ご自身の環境で実際に量子アニーリング・イジングマシンを動かす体験をしていただけます。

企業向けプライベートトレーニング

お客様が抱える実際の課題やデータを使った**カスタムメイド**のトレーニングです！

全4回のレクチャーとお客様に実施いただく「課題」を含む約1.5か月のコースです。コースの前半では、量子アニーリング・イジングマシン専用の開発／実行環境であるFixstars Amplifyを用いてPython言語による組合せ最適化アプリケーション開発方法を学びます。後半では、お客様が抱える実際の課題やデータを使ったトレーニングを実施します。量子アニーリング・イジングマシンを使って実課題の解決に取り組んでみたい方に最適なコースです。

第1回
3時間

…
1週間

第2回
3時間

課題
2週間

第3回
1.5時間

…
2週間

第4回
1.5時間

クラウド利用料

個人単位のプラン ～ 主に研究者・開発者向け ～

組織単位のビジネスプラン ～ 社内システムの利用向け ～

(金額は税抜)

月額利用料

計算環境

利用GPU
(マルチGPUオプションあり)

1ジョブの実行時間
(実行時間延長オプションあり)

月間実行回数上限
(実行回数追加オプションあり)

東芝 SQBM+オプション

富士通 DAオプション

D-Wave の利用

サポート

Plus オプション

	ベーシック	スタンダード	プレミアム	Sプレミアム
月額利用料	無料	10万円 (1名) 30万円 (最大5名)	20万円 (1名) 60万円 (最大5名)	30万円 (1名) 90万円 (最大5名)
計算環境	スモール	ミディアム	ラージ	スーパーラージ
利用GPU (マルチGPUオプションあり)	NVIDIA V100	NVIDIA V100	NVIDIA A100	NVIDIA H100
1ジョブの実行時間 (実行時間延長オプションあり)	10秒	1分	10分	15分
月間実行回数上限 (実行回数追加オプションあり)	制限の可能性あり	無制限		
東芝 SQBM+オプション	無料	30万円 (1名)、90万円 (最大5名)		
富士通 DAオプション	無料	50万円 (1名)、150万円 (最大5名)		
D-Wave の利用	無料プログラム (3分/月)			
サポート	ベーシック	スタンダード	プレミアム	プレミアム
Plus オプション	-	-	月額50万/人	

	ビジネス スタンダード	ビジネス プレミアム	ビジネス Sプレミアム
月額利用料	20万円 (1アプリ)	40万円 (1アプリ)	60万円 (1アプリ)
	(同一組織内であれば同一アプリのユーザー数は無制限)		
計算環境	ミディアム	ラージ	スーパーラージ
利用GPU	NVIDIA V100	NVIDIA A100	NVIDIA H100
1ジョブの実行時間	1分	10分	15分
月間実行回数上限	- (制限をかける可能性あり)		
東芝 SQBM+オプション	-		
富士通 DAオプション	-		
D-Wave の利用	-		
サポート	スタンダード	スタンダード	スタンダード
Plus オプション	-		

今後のセミナー予定・情報発信

定期的に無料セミナーを開催しています！

2026/5/14 (受付中) 「ブラックボックス最適化技術解説」

量子・量子インスパイアード技術による、ブラックボックス最適化成功のヒントを解説

2026/5/21 (受付中) 「設計パラメータのブラックボックス最適化」

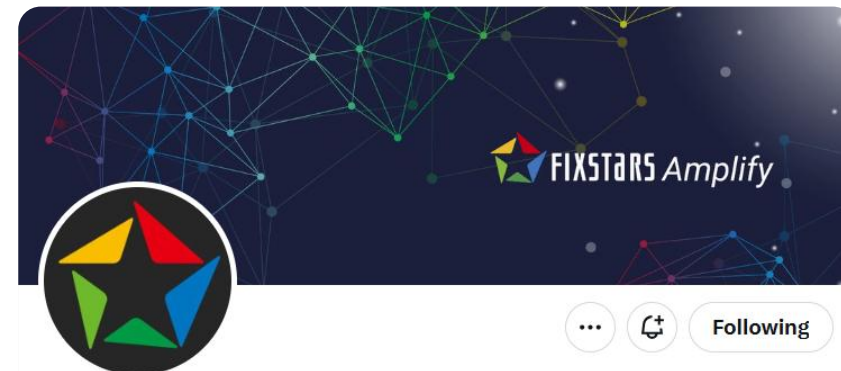
量子・量子インスパイアード技術による、設計パラメータ最適化をハンズオンで体験！

2026/6/11 (予定) 「AIとの違いと意思決定プロジェクトの進め方」

経営層・マネジメント層のための最適化入門セミナー。AIによる予測を、意思決定に落とし込むために。

2026/6/25 (予定) 「エネルギーマネジメント最適化ハンズオン」

エネルギーマネジメント最適化をハンズオンで実施。



Fixstars Amplify ✓

@FixstarsAmplify

Fixstars Amplify 公式アカウントです。「最先端技術で、最適な答えを。社会をもっと賢く。」を目指し、量子・AI・GPUなどの最先端技術を活用して複雑な社会課題に挑む「最適化クラウドサービス」を提供しています。親会社 @Fixstars_JP

📍 東京都 港区 🌐 amplify.fixstars.com 📅 Joined December 2025 >

[@FixstarsAmplify](https://amplify.fixstars.com/ja/contact)

ご質問・ご不明点がありましたら、お問い合わせフォームでご連絡下さい

<https://amplify.fixstars.com/ja/contact>