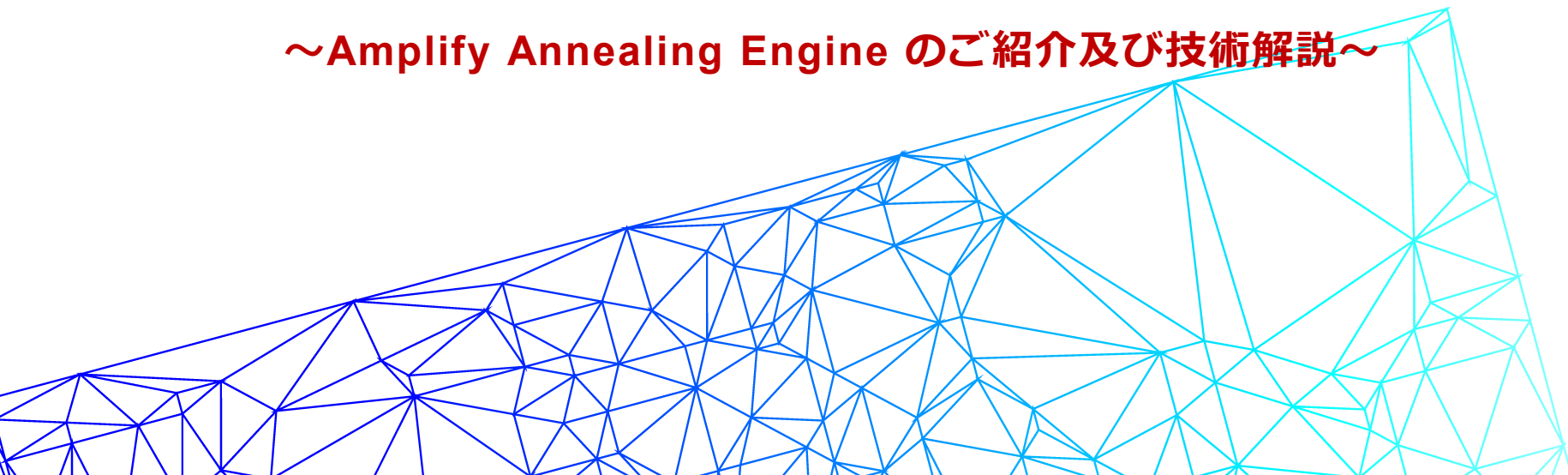


# 量子コンピュータ時代の最適化セミナー

～Amplify Annealing Engine のご紹介及び技術解説～



# 本日の予定

---

- Fixstars Amplify の紹介
- 量子アニーリング・イジングマシンのご紹介
- 最新版 **Amplify Annealing Engine** のご紹介および技術解説
  - 使い方
  - 自動調整機能
  - 高次式対応
  - 基本ベンチマーク指標
  - ご利用プラン・マルチGPUによる性能向上
- まとめ

質問は随時、ZoomのQ&Aへお願いします

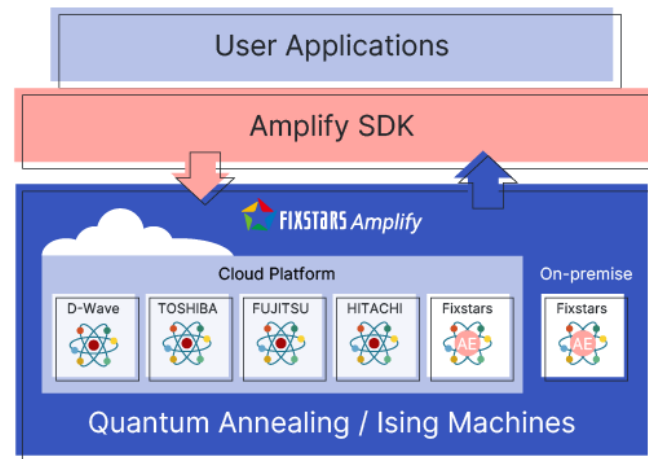
# 会社概要

## ● 株式会社 Fixstars Amplify

- 設立 2021年10月
- オフィス 東京都港区芝浦1-1-1 BLUE FRONT SHIBAURA TOWER S 31階
- 事業 最適化のための量子コンピューティング プラットフォーム事業

## ● 株主

- 株式会社 フィックスターズ(東証プライム市場)100%
  - ✓ ソリューション(受託)事業
  - ✓ ソフトウェア高速化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, ...

2

量子  
アニーリング

D-Wave

3

その他の  
イジングマシン

Fixstars Amplify  
TOSHIBA, Fujitsu  
HITACHI, ...

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

## その他のイジングマシン

(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**)

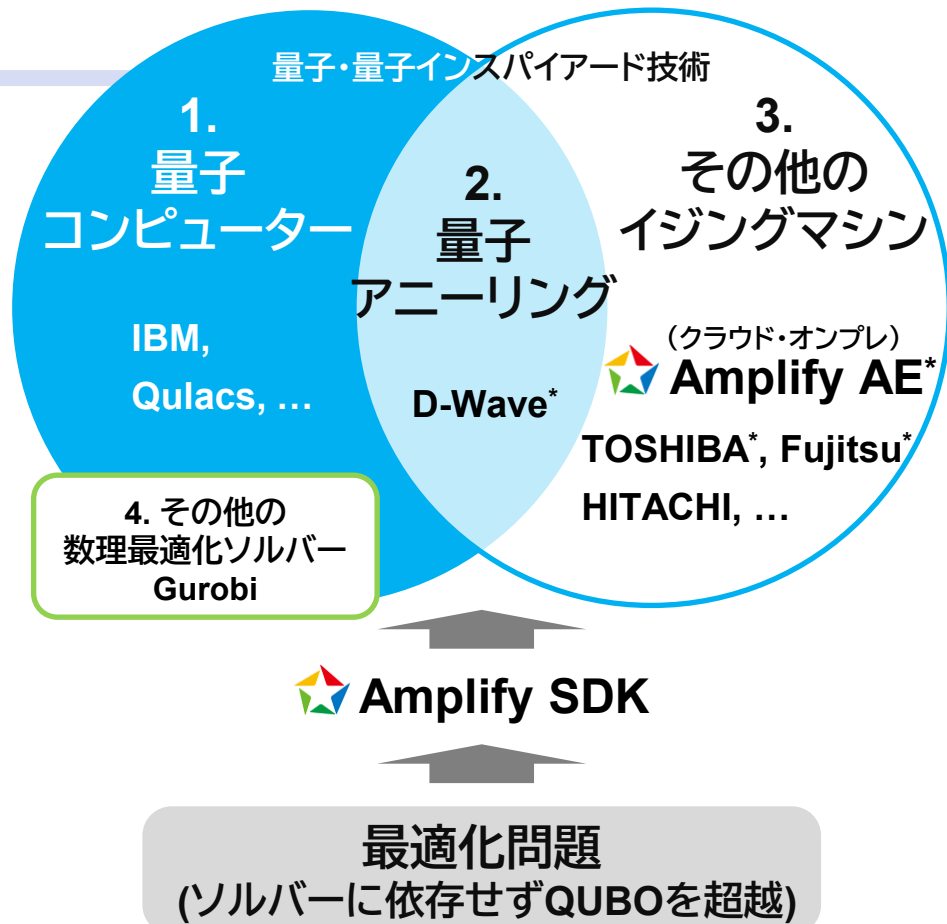
# Fixstars Amplify の役割

- **開発環境 Amplify SDK** 簡単・最速な  
組合せ最適化アプリ実装 (Python)
- **実行環境 Amplify AE** GPUクラウド  
上で実行されるイジングマシン  
(リファレンスマシン)

全結合問題: 131,072 ビット

疎結合問題: 262,144 ビット

➔ 短期～長期を見据えた組合せ最適化の社会実装の実現 (無料で利用スタート可能)



# Fixstars Amplify とは

- いつでも **開発環境** と **実行環境** がセット  
すぐにアプリ開発と実行が出来る
- 誰でも ハードウェアや専門的な知識が不要  
無料で開発がスタート可能  
多くの解説、サンプルコード
- 高速に 26万ビットクラスの大規模問題の  
高速処理と高速実行が可能
- あらゆる 一般に公開されている全てのイジング  
マシンを利用可能

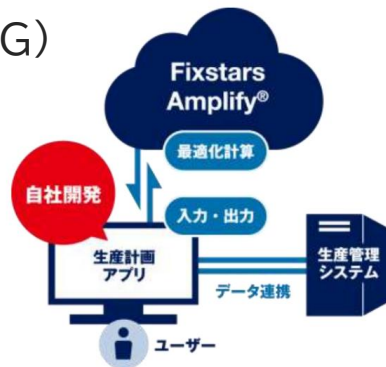


# 活用領域とユースケース（PoC→実稼働）

Amplify インタビュー

検索

- 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



# Fixstars Amplify がカバーする最適化問題の種類

## 通常のコマンド最適化

- 課題に対し、数理モデルを構築
  - 数の分割
$$f = [\Sigma(2q_i - 1)a_i]^2$$
  - 生産計画最適化
$$f = \Sigma\Sigma(\Sigma a_i p_i q_{m,i,t} + \Sigma\Sigma b_i s_i q_{m,i,t} q_{m,i-1,f}) \dots$$
  - TSP問題(お遍路巡り最短経路探索)
$$f = \Sigma\Sigma\Sigma d_{i,j} q_{n,i} q_{n+1,j} \dots$$
- 数理モデルに対し、直接アニーリングを行う(量子アニーリング・イジングマシン)

## ブラックボックス最適化

- 直接の定式化が困難な問題
  - 例: 低損失な流体デバイス形状の同定(シミュレーション・実験)
  - 例: 空間計測誤差を最小とする複数の計測装置の最適配置
  - 例: ターゲットのシミュレーション結果に近い出力を実現するシミュレーション条件
- 最適化の実施
  - 繰り返しの実験シミュレーションによる試行錯誤



# Fixstars Amplify がカバーする最適化問題の種類

## 通常の組合せ最適化

## ブラックボックス最適化

- 課題に対して  
■ 数の最適化  
 $f = [2(x_1 - 1)x_2]$   
■ 生産計画最適化
- 例: 空間計測誤差を最小とする複数の計測装置の最適配置

**1,000** を超える企業、研究所、大学

**1.1億** を超える実行回数 (Amplify AE)

- 数理モデルに対し、直接アニーリングを行う  
(量子アニーリング・イジングマシン)
- 繰り返しの実験シミュレーションによる試行錯誤

# Fixstars Amplify Annealing Engine の Changelog

[https://amplify.fixstars.com/ja/docs/amplify/v1/amplify\\_ae/changelog.html](https://amplify.fixstars.com/ja/docs/amplify/v1/amplify_ae/changelog.html)

- **v0.1.0 (Dec. 25, 2019)**
  - ✓ Initial release 🎄
- **v0.2.3 (July 16, 2020)**
  - ✓ Improve performance.
  - ✓ Increase maximum problem size.
- **v0.3.5 (Sep. 9, 2020)**
  - ✓ Improve performance.
- **v0.4.5 (Nov. 17, 2020)**
  - ✓ Improve performance for problems with variables that do not contain interactions.
- **v0.5.7 (May 9, 2021)**
  - ✓ Improve performance.
  - ✓ Improve precision.
  - ✓ Add support for penalty function inputs.
  - ✓ Auto-calibrate penalty multipliers.
  - ✓ Add feasibilities in result.
- **v0.6.4 (Apr. 28, 2022)**
  - ✓ Greatly improve performance.
  - ✓ Support NVIDIA A100 GPU.
  - ✓ Support multi-GPU computation with num\_gpus.
- **v0.7.4 (Oct. 7, 2022)**
  - ✓ Improve performance.
- **v0.8.0 (Sep. 7, 2023)**
  - ✓ Improve response time.
- **v0.9.0 (Sep. 01, 2025)**
  - ✓ Final version of v0 API series.
  - ✓ Support asynchronous API calls.
- **v1.0.0 (Oct. 16, 2025)**
  - ✓ Release the v1 API series.
  - ✓ Major API specification update.
- **v1.0.2 (Oct. 31, 2025)**
  - ✓ Enhance performance for problems without an objective function.

# FixstarsClient() から AmplifyAECClient() へ

```
from amplify import * v0

# ソルバーの設定
client = FixstarsClient()
client.parameters.timeout = 1000 #ms
client.token = "AE/XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX"

# 決定変数を生成
g = VariableGenerator()
q = g.array("Binary", 2)

# 目的関数を構築
f = 2 * q[0] * q[1] + q[0] - q[1] + 1

# Amplify モデルを構築
model = Model(f)

# 求解の実行
result = solve(model, client)
```

## 1. ソルバークライアントの選択

- ソルバークライアントオブジェクトの構築
- ほぼ全てのパラメータの設定が可能

## 2. 定式化

- 決定変数：スカラーあるいは配列型
- 目的関数：決定変数による数式処理
- 制約条件：制約条件の構築及び管理

## 3. ソルバーを実行

- 論理モデルをハードウェアのスペック等に合わせたモデルに変換
- 適切なモデル変換・定式化手法を選択

## 4. 解の取得

- マシンの出力解を逆変換し決定変数の形式で出力

# FixstarsClient() から AmplifyAECClient() へ

```
from amplify import *
```

v0

```
# ソルバーの設定
```

```
client = FixstarsClient()
```

```
client.parameters.timeout = 1000 #ms
```

```
client.token = "AE/XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX"
```

```
# 決定変数を生成
```

```
g = VariableGenerator()
```

```
q = g.array("Binary", 2)
```

```
# 目的関数を構築
```

```
f = 2 * q[0] * q[1] + q[0] - q[1] + 1
```

```
# Amplify モデルを構築
```

```
model = Model(f)
```

```
# 求解の実行
```

```
result = solve(model, client)
```

```
from amplify import *
```

v1

```
# ソルバーの設定
```

```
client = AmplifyAECClient()
```

```
client.parameters.time_limit_ms = 1000 #ms
```

```
client.token = "AE/XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX"
```

```
# 決定変数を生成
```

```
g = VariableGenerator()
```

```
q = g.array("Binary", 2)
```

```
# 目的関数を構築
```

```
f = 2 * q[0] * q[1] + q[0] - q[1] + 1
```

```
# Amplify モデルを構築
```

```
model = Model(f)
```

```
# 求解の実行
```

```
result = solve(model, client)
```

# 重み・ペナルティ生成法の自動調整機能

- QUBOソルバー (v0)

- Amplify モデル = 目的関数

- + 重み① \* 制約条件①

- + 重み② \* 制約条件②

- + ...

- 新ソルバー AmplifyAECClient (v1)

- Amplify モデル = 目的関数

- + 制約条件①

- + 制約条件②

- + ...

最新版の Amplify AE では、

- 複数の制約条件式間の重み、
- 目的関数と制約条件の間の重み

のどちらについても自動で調整します。

不等式制約もより得意に！

# 高次対応

## • QUBOソルバー (v0)

- ソルバーネイティブ対応の最大次数:2次
- Amplify モデル  
$$= q[0]*q[2]*q[3] - q[1]*q[2]*q[3]$$
- 中間モデル(SDKにより内部的に論理変換(次数下げ))  
$$\begin{aligned} &= q[0]*q[2] + q[0]*q[3] - q[0]*q'[0] - \\ &\quad q[1]*q'[1] + q[2]*q[3] - q[2]*q'[0] - \\ &\quad q[2]*q'[1] - q[3]*q'[0] - q[3]*q'[1] + \\ &\quad q'[0] + 2q'[1] \end{aligned}$$

## • 新ソルバー AmplifyAECClient (v1)

- ソルバーネイティブ対応の最大次数:4次
- Amplify モデル  
$$= q[0]*q[2]*q[3] - q[1]*q[2]*q[3]$$
- 中間モデル  
$$= q[0]*q[2]*q[3] - q[1]*q[2]*q[3]$$

## 最新版の Amplify AE は、QUBOを超越！

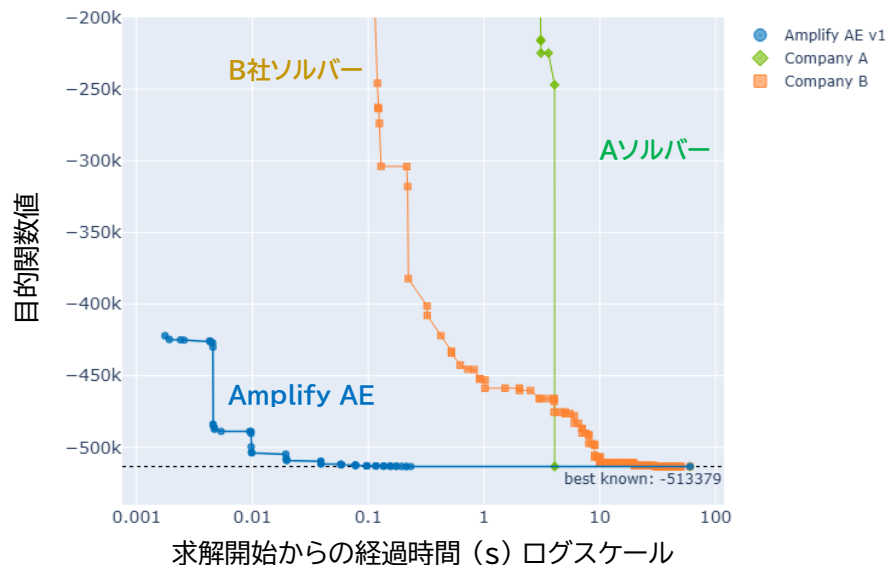
※ 新ソルバー(v1)では、学術研究等で要望の強い、理想的な量子アニーリングマシンとして振る舞う「QUBO ソルバーモード」もご用意しております。そのため、Amplify AE は実務・研究の両方で有効にご活用可能です。

# ベンチマーク用の典型問題

[amplify.fixstars.com/ja/engine#performance](https://amplify.fixstars.com/ja/engine#performance)

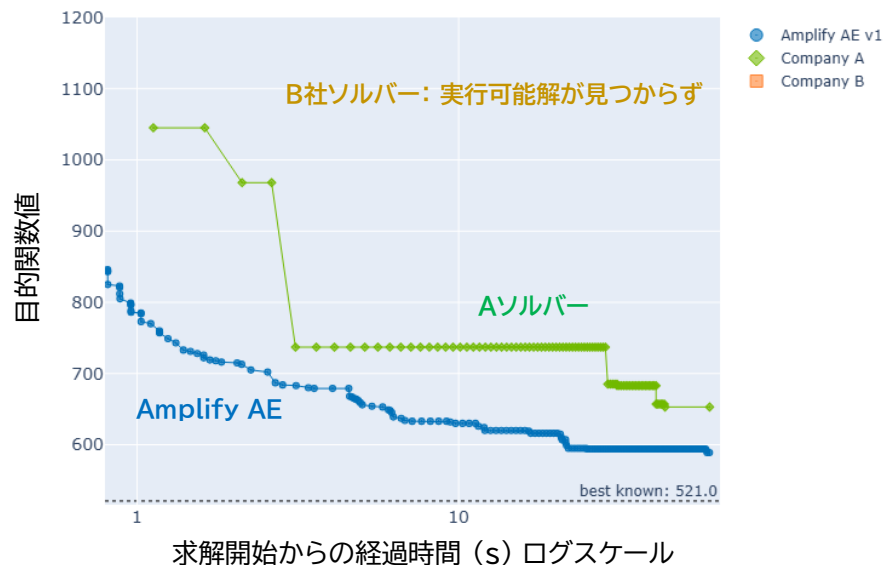
## ● 2次ナップサック問題 (QKP, jeu\_300\_50\_1)

荷物の価値と重さが与えられて、重さが一定の値に収まるような荷物の選び方のうち価値の総和が最大になる選び方を求める問題。QKP では荷物のペアで追加の価値が生じるため、より難しい問題。



## ● 容量制約付き運搬経路問題 (CVRP, E-n51-k5)

車両の積載容量に制限のある k 台の車を使って n 個の配送先に荷物を届けるルートのうち、距離や輸送コストが最小となるルートを求める問題。

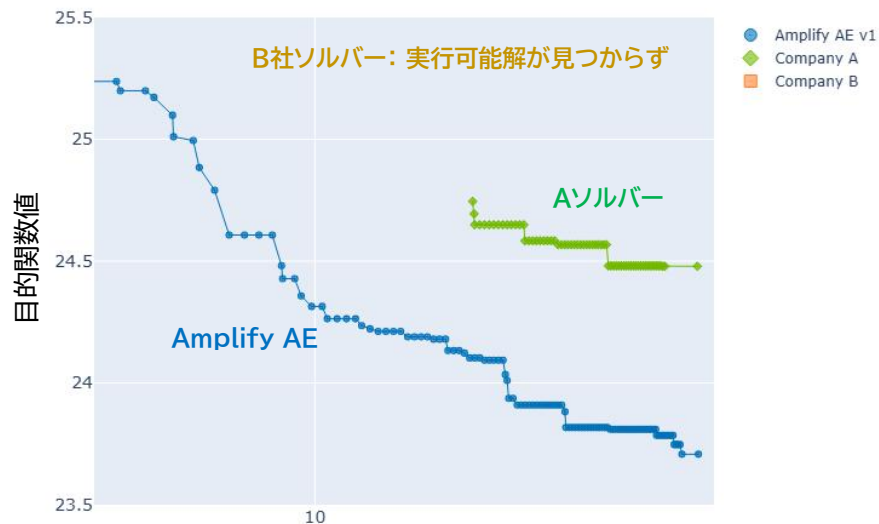


# 実問題(実際の企業の業務課題)

[amplify.fixstars.com/ja/engine#performance](https://amplify.fixstars.com/ja/engine#performance)

- 人員シフト問題(自動車 Tier1)

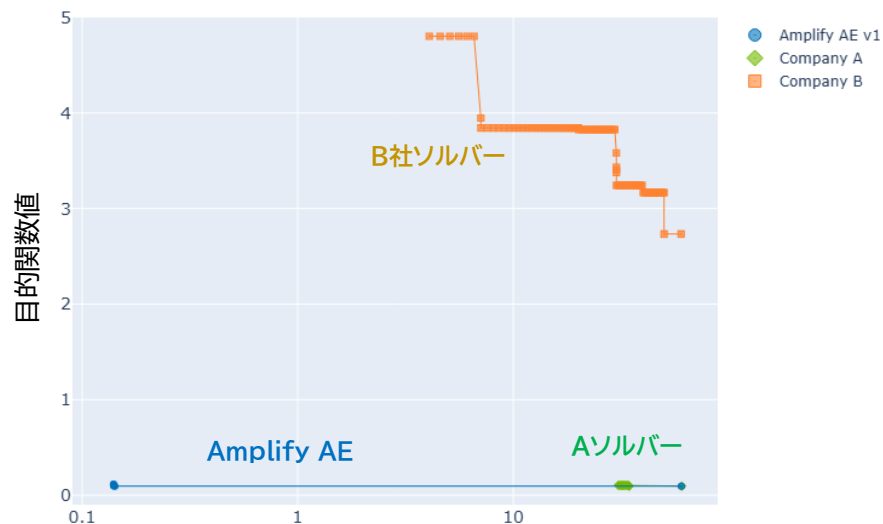
様々な制約がある中で、最も効率の良い作業員シフトを組む業務課題



求解開始からの経過時間 (s) ログスケール

- 生産計画問題(自動車 OEM)

工場の生産スケジュールにおける生産コストを最小化する業務課題



求解開始からの経過時間 (s) ログスケール



# 性能比較結果

- ベンチマーク用の典型問題
  - 2次ナップサック問題

ソルバー名	実行可能解の取得時間 <sup>[1]</sup>	最適解の取得時間
Amplify AE	0.00176 s 🏆	0.233 s 🏆
A 社ソルバー	3.09 s	4.08 s
B 社ソルバー	0.12 s	60.2 s

- 容量制約付き運搬経路問題

ソルバー名	実行可能解の取得時間	最良解の目的関数値 <sup>[2]</sup>
Amplify AE	0.0780 s 🏆	589 🏆
A 社ソルバー	1.12 s	653
B 社ソルバー	(実行可能解を得られず)	(実行可能解を得られず)

- 実問題(実際の企業の業務課題)
  - 人員シフト問題

ソルバー名	実行可能解の取得時間	最良解の目的関数値 <sup>[2]</sup>
Amplify AE	0.026 s 🏆	23.7 🏆
A 社ソルバー	21.0 s	24.5
B 社ソルバー	(実行可能解を得られず)	(実行可能解を得られず)

- 生産計画問題

ソルバー名	実行可能解の取得時間 <sup>[1]</sup>	最適解の取得時間 <sup>[2]</sup>
Amplify AE	0.140 s 🏆	0.142 s 🏆
A 社ソルバー	30.7 s	34.5 s
B 社ソルバー	4.08 s	(最適解を得られず)

[1] 自明な実行解 (全てゼロ) を除く [2] 実行時間を 60 秒とする

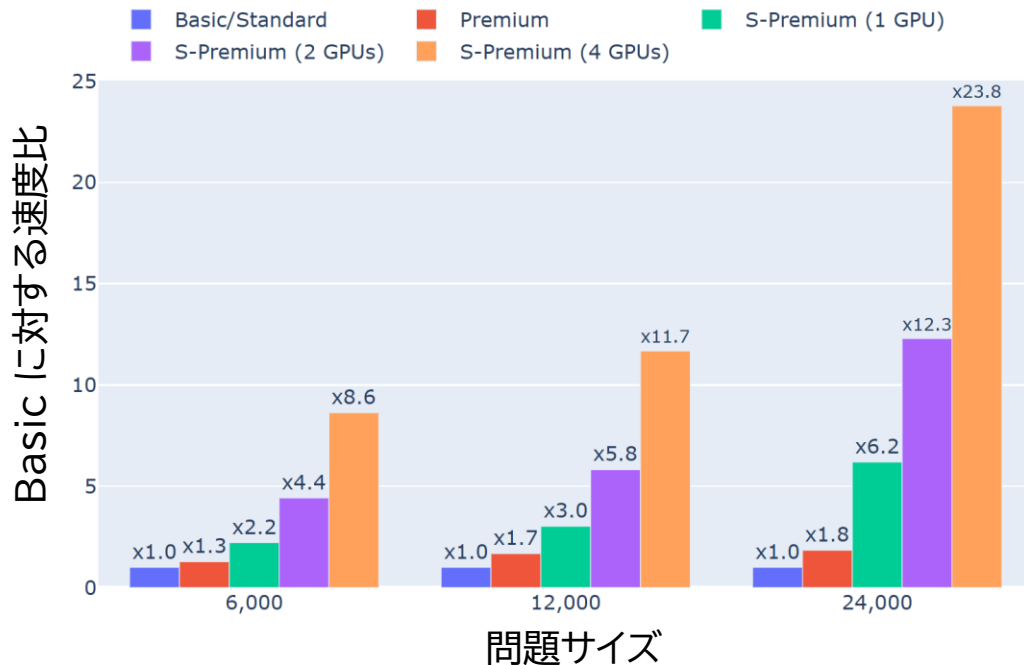
# ハード別・並列数別の性能

[amplify.fixstars.com/ja/engine#plan](https://amplify.fixstars.com/ja/engine#plan)

異なる3つの問題サイズで、各プランにおけるGPUとアニーリング速度\*の関係

- Basic/Standard: **V100**
- Premium: **A100**
- S Premium: **H100**

\* Amplify AE内部で1回のモンテカルロサンプリングに要する時間の逆数を測定。



# SDK / AE ドキュメント

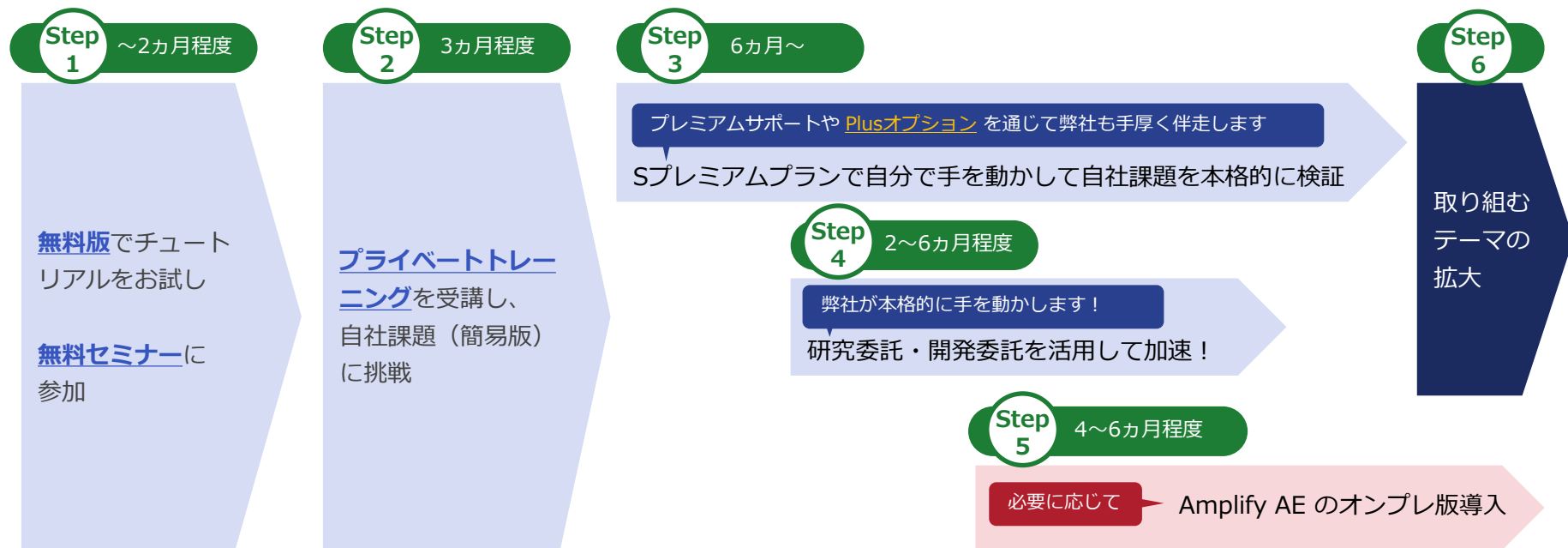
---

- 本で紹介の Amplify AE 要素技術の詳細情報は、
  - [https://amplify.fixstars.com/ja/docs/amplify/v1/amplify ae/summary.html](https://amplify.fixstars.com/ja/docs/amplify/v1/amplify%20ae/summary.html)
- 開発環境 Amplify SDK の一般的な使い方は、
  - <https://amplify.fixstars.com/ja/docs/amplify/v1/>
- 技術的・非技術的な質問は、
  - <https://amplify.fixstars.com/ja/contact>（お気軽に！）

# Fixstars Amplify ご利用プラン

# 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きます。

## 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

# 料金のご紹介

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

	ベーシック 評価・検証用の無料プラン	スタンダード 実用レベルの計算環境	プレミアム 高性能な計算環境	Sプレミアム 最高性能の計算環境
	<a href="#">使い始める</a>	<a href="#">見積りを依頼</a>	<a href="#">見積りを依頼</a>	<a href="#">見積りを依頼</a>
利用料金	無料	月額10万円（1名） （税込11万円） 月額20万円（最大5名） （税込22万円）	月額20万円（1名） （税込22万円） 月額60万円（最大5名） （税込66万円）	月額30万円（1名） （税込33万円） 月額90万円（最大5名） （税込99万円）
計算環境 <a href="#">+</a>	スモール	ミディアム	ラージ	スーパーラージ
D-Waveマシンの無料実行	3分/月	3分/月 ⓘ	3分/月 ⓘ	3分/月 ⓘ
SQBM+オプション ⓘ	無料	月額30万円（1名） （税込33万円） 月額90万円（最大5名） （税込99万円）	月額30万円（1名） （税込33万円） 月額90万円（最大5名） （税込99万円）	月額30万円（1名） （税込33万円） 月額90万円（最大5名） （税込99万円）
サポート <a href="#">+</a>	ベーシック	スタンダード	プレミアム	プレミアム
評価・検証フェーズでの利用	✓	✓	✓	✓
実運用フェーズでの利用		✓	✓	✓

## 開発支援サービス(個別見積り)

コンサル・システム開発等  
数百万円～数千万円



月額利用料  
百万円～

定式化や実装を **手厚く** 支援します！

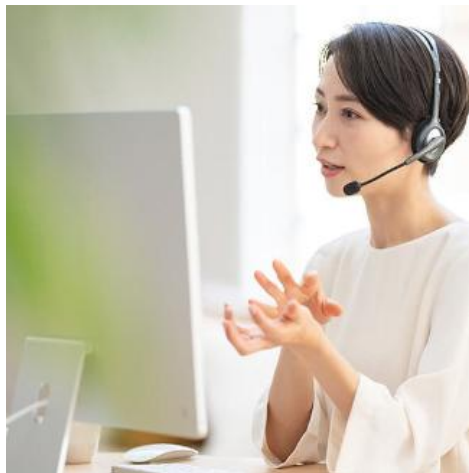
# Plusオプション (プレミアムプラン/Sプレミアムプランで追加可能なオプション)

## Plusオプション

料金：月額50万円（税込55万円）/ユーザー

- 問い合わせ回数は無制限
- ご質問には翌営業日までに回答（目安）
- 定式化・実装等のご相談
- 特別対応窓口や定例会の設置
- 特別技術支援※

※特別技術支援の内容に応じて期間等は個別にご相談



## 特別技術支援の例

### □ 開発支援

- ユーザー様の実装にお困りの部分に関して、弊社エンジニアがサンプルコードを作って提供します
- 開発支援にかかる期間については個別相談となります

### □ コード最適化レビュー

- 弊社エンジニアがユーザー様が実装したコードを確認し、よりよい実装などがあればサンプルコードを作って提供します

### □ 評価支援

- ユーザー様にご提供いただく問題設定で、弊社のエンジニアが様々な計算環境で実験・評価して結果をレポートします
- 複雑な問題になると限られた計算環境では十分な精度の解が得られない可能性があります。本支援では、異なる GPU (V100/A100/H100) や、GPU 数 (1機~4機)、実行時間 (~1時間) で実験・評価し、最適な計算環境の評価・検討のご支援をします
- 問題設定については、ユーザー様にプログラムやデータを送付してもらう、もしくは、問題の概要をテンプレートで回答いただく形になります
- 評価支援にかかる期間については個別相談となります



# 今後のセミナー予定・情報発信

## 2026/1/15 (受付) 「AE (v1) 技術解説」

メジャーアップデートされたAmplify  
独自開発イジングマシンである  
Annealing Engineについて解説。

## 2026/1/29 (受付中) 「ブラックボックス最適化 (攪拌機器の最適設計)」

機器の設計パラメータ最適化をハンズ  
オンで実施。

## 2026/2/12 (受付中) 「多目的最適化 技術解説」

定式化ベースの多目的最適化に関する  
定式化やスケーリングに関するTipsを  
紹介。

## 2026/2/19 (予定) 「エネルギーマネジメント最 適化」

エネルギーマネジメント最適化をハンズ  
オンで実施。



...   Following

### 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](https://amplify.fixstars.com) 📅 Joined December 2025 >

[@FixstarsAmplify](#)

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>

# Q&A