

株式会社Jij
プロダクト説明資料

$$H(\sigma) = AE_1 + D$$

$$E_1 = \sum_{i=1}^N \left(\sum_{j=1}^N \sigma_{ij} \right)$$

$$E_2 = \sum_{j=1}^N \left(\sum_{i=1}^N \sigma_{ij} \right)$$

$$E_3 = \sum_{i,j,k=1}^N J_{ik}$$

1. はじめに	- Jij会社概要
2. マーケット動向	- 国内外量子コンピュータ市場規模と社会実装展望 - 現状の課題
3. 数理最適化のユースケース	- 社会実装の例 - Jijでの取り組み
4. 必要とされるスキル	- 3つの壁(定式化・イジング最適化・マシン設定)を超えるために
5. プロダクト紹介	- プロダクト紹介

1. はじめに	- Jij会社概要
2. マーケット動向	- 国内外量子コンピュータ市場規模と社会実装展望 - 現状の課題
3. 数値最適化のユースケース	- 社会実装の例 - Jijでの取り組み
4. 必要とされるスキル	- 3つの壁(定式化・イジング最適化・マシン設定)を超えるために
5. プロダクト紹介	- プロダクト紹介

Jij会社概要

会社名 株式会社 Jij (ジェイアイジェイ)

事業内容

1. 量子技術を用いた数理最適化のアルゴリズム開発・コンサルティングサービス
2. 数理モデルの構築/変換用クラウドサービス”JijZept”の販売

設立 2018年11月

所在地 東京都文京区根津 1-4-6 SBビル7F

全スタッフ16名



CEO
山城悠

東京工業大学大学院
理学院物理学系西森
研究室所属



Ph.D./CTO
西村光嗣

東京工業大学大学院
理学院物理学系西森
研究室
博士課程卒業



事業開発責任者
中田宙志

09'年三井物産入社
プロジェクト本部にて中
南米・豪州のインフラ投
資事業開発案件を担
当



Advisor
大関 真之

東北大学
大学院情報科学研究
科
教授
兼東京工業大学
科学技術創成研究院
教授

取引実績

基礎研究

ファイナンス



東京工業大学
Tokyo Institute of Technology

西森秀稔教授



文部科学省



国立研究開発法人
科学技術振興機構



東北大学
TOHOKU UNIVERSITY



anri



東邦ガス



経済産業省
Ministry of Economy, Trade and Industry



国立研究開発法人
新エネルギー・産業技術総合開発機構

2021年度にNEDO助成金に採択



みらい創造機構
MIRAI SOUZOU

人生に、フィナンシャルパートナーを。



Broad-minded



Microsoft

Microsoft本国運営のAzure Quantum
Networkにパートナーとして参画

Jijの製品&サービス

コンサルティング・共同研究開発

数理最適化・量子技術の活用のための一貫したサポート

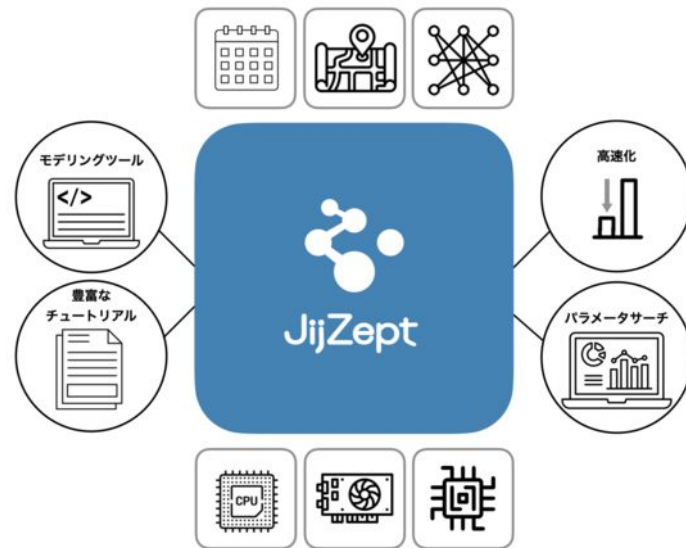


事例

- 東邦ガス : エネルギー供給の制御
- 豊田通商 × Microsoft : 信号機制御の最適化
- KDDI × 日立 : 周波数方向の最適化
- ブロードマインド : 保険商品の推薦最適化
- Sler 企業 : シフト最適化
- 他
MaaS, ネットワーク, ...

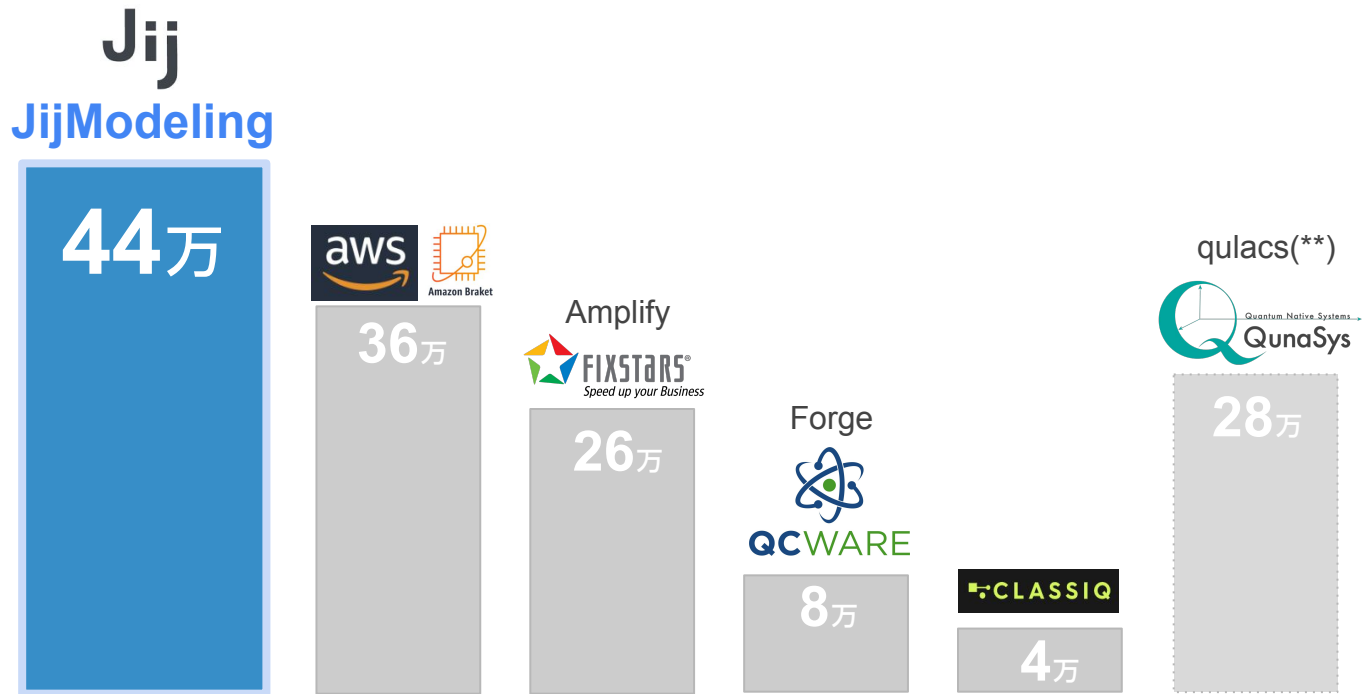
JijZept (ジェイアイジェイゼプト)

量子イジング最適化の開発プラットフォーム



グローバル・業界随一のダウンロード数

- JijZeptを使うためのモデリングツールであるJijModeling(*)のダウンロード数が他を上回る44万を記録



(引用) PyPI, SDK (Software Development Kit), 2022/10/1時点でのダウンロード総数

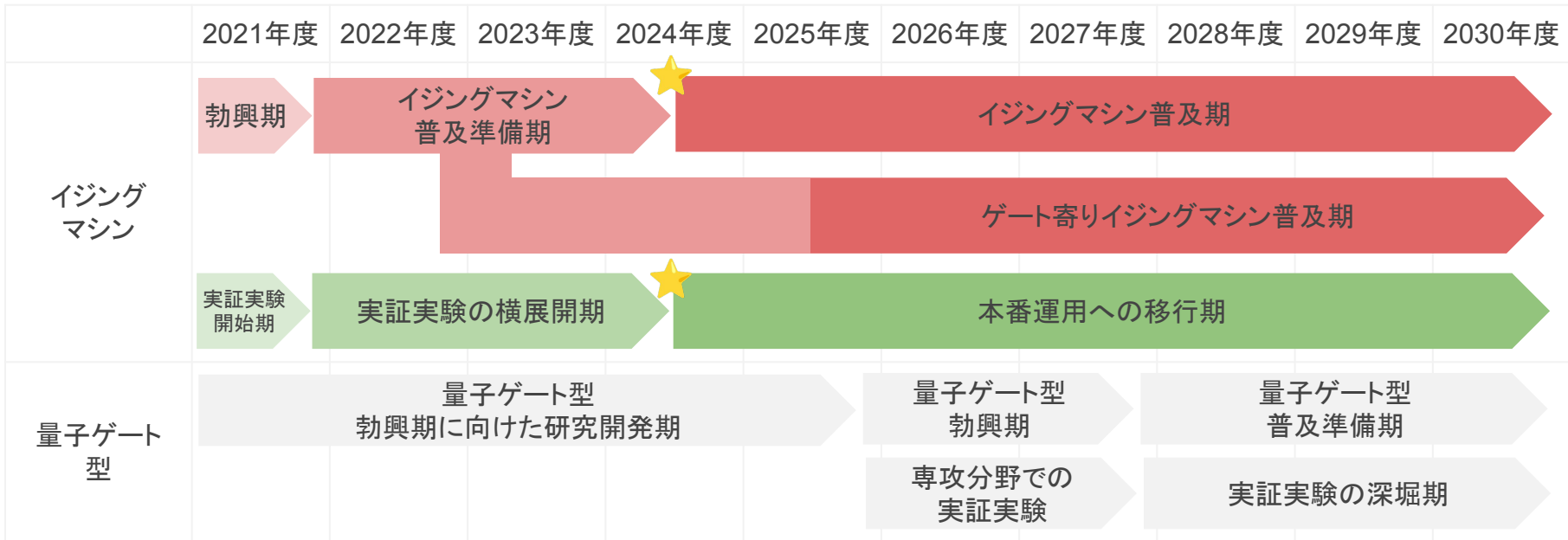
(*) 一部無償機能あり

(**) qulacsは量子回路シミュレータのため類似 SDKではないが参考として掲載

1. はじめに	- Jij会社概要
2. マーケット動向	- 国内外量子コンピュータ市場規模と社会実装展望 - 現状の課題
3. 数理最適化のユースケース	- 社会実装の例 - Jijでの取り組み
4. 必要とされるスキル	- 3つの壁(定式化・イジング最適化・マシン設定)を超えるために
5. プロダクト紹介	- プロダクト紹介

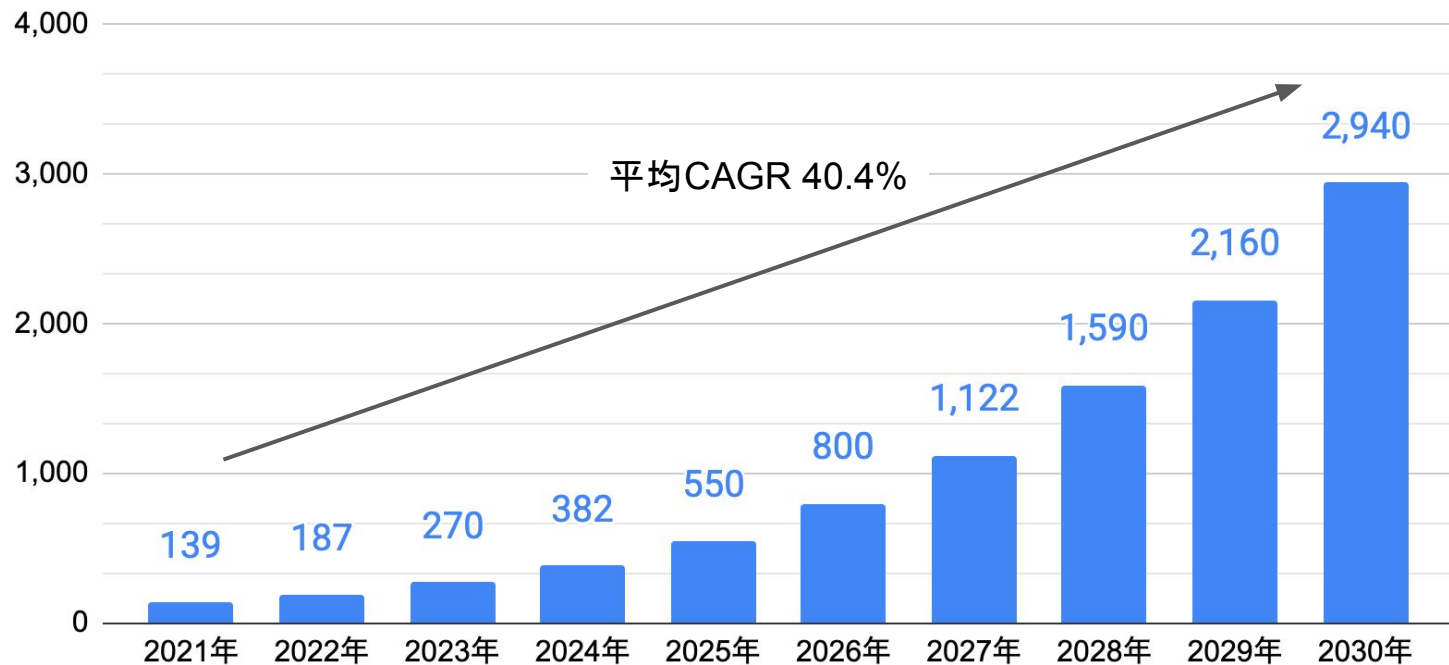
市場環境 | 量子コンピューティング市場展望

- イジングマシンは現在「普及準備期」にあり、2024年度中期から「普及期」に入る見通し
- 各産業での適用につき、現在「実証実験の横展開期」にあり、2024年度中期から「本番運用への移行期」に入る見通し



市場環境 | 量子コンピューティング市場規模(国内・2030年)

- 矢野経済研究所によると、量子コンピューティング市場規模(国内・取引高ベース)は2030年に2,940億円になる見通し



量子イジング最適化での課題

量子イジング最適化では実際の最適化計算が行われる手前で3つの課題(壁)が存在する

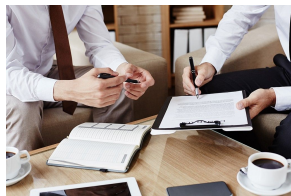
数理最適化の流れ

実課題の整理

数理モデルの定式化

マシンへの変換
(イジング定式化)


イジングマシン
での最適化



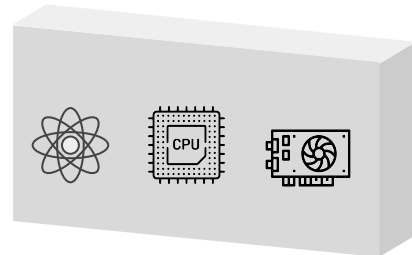
顧客課題・
目標設定、制約条件等

$$\min f(x), \text{ s.t. } g(x) \leq 0$$

定式化の壁

$$\min \sum_{i,j} J_{ij} \sigma_i \sigma_j$$


イジング定式化の壁



ソルバーの設定の壁

1. はじめに	<ul style="list-style-type: none">- サマリー- Jij会社概要
2. マーケット動向	<ul style="list-style-type: none">- 国内外量子コンピュータ市場規模と社会実装展望- 現状の課題
3. 数理最適化のユースケース	<ul style="list-style-type: none">- 社会実装の例- Jijでの取り組み
4. 必要とされるスキル	<ul style="list-style-type: none">- 3つの壁(定式化・イジング最適化・マシン設定)を超えるために
5. プロダクト紹介	<ul style="list-style-type: none">- プロダクト紹介

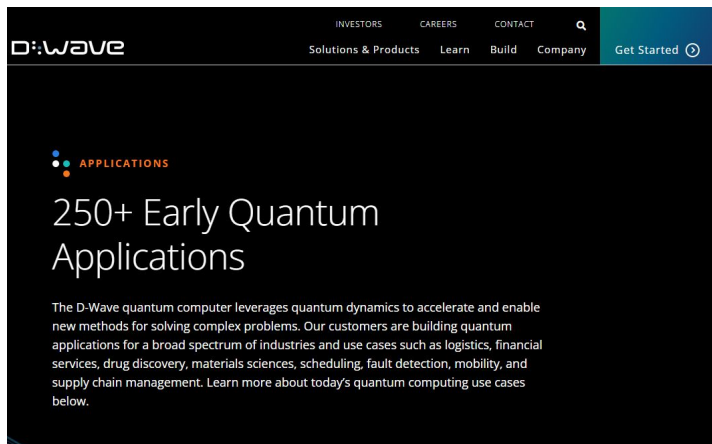
数理最適化の活用先 | 産業別

数理最適化は様々な産業で活用可能

数理最適化の代表的な応用産業

- | | |
|----------|------------|
| 1. エネルギー | 8. 通信 |
| 2. 船舶 | 9. 物流 |
| 3. 交通 | 10. 保険商品 |
| 4. 業務改善 | 11. 創薬 |
| 5. 自動車 | 12. 金融サービス |
| 6. 製造 | 13. メディア広告 |
| 7. 建設 | |

D-Waveでのアプリケーションリスト(*)



数理最適化の適用先 | 事例


分野	事例
エネルギー	<ul style="list-style-type: none">- 石油資源の開発・販売事業に伴う高速計算- 電気・ガスのエネルギー供給の制御(東邦ガス&Jij)- 電力網のコミュニティ検出 (E.ON/ドイツ)
船舶	<ul style="list-style-type: none">- LNG船経路最適化- 運搬船の最適化(ExxonMobil& IBM)
交通	<ul style="list-style-type: none">- 渋滞緩和を目的とした信号制御- リアルタイム三次元交通制御システム- コロナ患者の搬送計画業務- 信号機制御(豊田通商 &Microsoft &Jij)- リスボン市バス路線最適化(Volkswagen)
業務改善	<ul style="list-style-type: none">- 月別や日別のシフト最適化モデル- 注文量の予測モデルの構築・改善
建設	<ul style="list-style-type: none">- トラックが運搬する残土の最適な運搬経路
通信	<ul style="list-style-type: none">- 実時間リソースの最適化- 周波数方向の最適化(KDDI × 日立 & Jij)
自動車	<ul style="list-style-type: none">- 生産前の車両構成- 車両センサーの配置- EVの充放電最適化

数理最適化の適用先 | 事例

分野	事例
製造	<ul style="list-style-type: none">- 生産中のマテリアル変形- 自動品質評価のための機械学習- 工場設備の稼働スケジュール- 無人搬送車の最適化(DENSO)- 鉄鋼製造における中間工程の管理
物流	<ul style="list-style-type: none">- 勤務シフト編成- 売上最大化に向けた棚割り構築- 配送トラックの商品積み込み作業- 廃棄物収集・運搬業務の効率化
保険商品	<ul style="list-style-type: none">- 保険商品の推薦- 保険商品の推薦最適化(ブロードマインド & Jij)
創薬	<ul style="list-style-type: none">- リード化合物創製の最適化- がん治療薬のマルチ遺伝子バイオマーカー探索- 有機EL素材研究における分子シミュレーション
金融サービス	<ul style="list-style-type: none">- ポートフォリオの最適化・リスク低減
メディア広告	<ul style="list-style-type: none">- ターゲット広告の最適化- 記事推薦システム

Jijでの実例

Jij



電気・ガス



交通・物流



通信



材料開発

Jijでの実例

Jij

東邦ガス

Cogeneration
system
Optimization

豊田通商
・Microsoft

Traffic signal
Optimization

KDDI

Optimization
related
Telecommunication

非公開

Blackbox
Optimization
for Material Science

信号機制御最適化

Collaborate with Toyota Tsusho・Microsoft

Problem: 信号機の点灯パターンを制御して渋滞を緩和する

Result

従来手法にくらべて

~20%

車の待機時間を削減

量子イジング最適化での課題

量子イジング最適化では実際の最適化計算が行われる手前で3つの課題(壁)が存在する

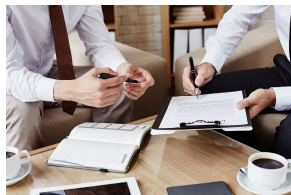
数理最適化の流れ

実課題の整理

数理モデルの定式化

マシンへの変換
(イジング定式化)

イジングマシン
での最適化



顧客課題・
目標設定、制約条件等

社会実装 | ケーススタディ

項目	内容
クライアント	国内物流商社
中長期 経営ビジョン	2027年までの全社でのDX推進及び人件費の削減
プロジェクトゴール 設定	保有する倉庫を拠点とした物流配送の最適化
プロジェクト 個別ゴール設定	<ul style="list-style-type: none">- 海外からの輸入品を船舶・コンテナから国内倉庫数カ所へ配送する配送量を最適化したい- 数千品ある輸入品をどの国内倉庫からエンドユーザーに配送するか最適化したい- 各国内倉庫から各国内倉庫への横持ち輸送する際の輸送量を最適化したい

社会実装 | ケーススタディ

項目	内容
最適化項目	<ul style="list-style-type: none">- 各国内倉庫における棚卸し資産の最小化- 船舶・コンテナの配送料の最小化- 各国内倉庫から配送先、かつ、横持ち輸送で発生する運賃料の最小化
主要な制約条件	<ul style="list-style-type: none">- 各国内倉庫のキャパシティ- 各国内倉庫で取り扱うSKUの数- 品数- 運賃タリフ: 倉庫から配送先、横持ち輸送- 各営業部毎の所有数量- 輸入品発注～国内入庫までのリードタイム
その他	<ul style="list-style-type: none">- 問題サイズ- 使用するソルバー- 業務内容の定義- 参照する論文・文献- 利用するデータ

1. はじめに	- Jij会社概要
2. マーケット動向	- 国内外量子コンピュータ市場規模と社会実装展望 - 現状の課題
3. 数理最適化のユースケース	- 社会実装の例 - Jijでの取り組み
4. 必要とされるスキル	- 3つの壁(定式化・イジング最適化・マシン設定)を超えるために
5. プロダクト紹介	- プロダクト紹介

3つの壁に対するソリューション JijZept

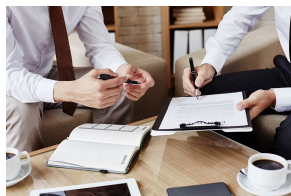
数理最適化の流れ

実課題の整理

数理モデルの定式化

マシンへの変換
(イジング定式化)

イジングマシン
での最適化



顧客課題・
目標設定、制約条件等

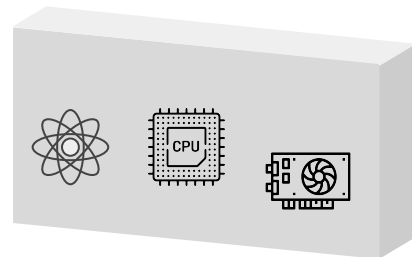
$$\min f(x), \text{ s.t. } g(x) \leq 0$$

定式化の壁

$$\min \sum_{i,j} J_{ij} \sigma_i \sigma_j$$



イジング定式化の壁



ソルバーの設定の壁

1. コーディング・プログラミング

1. 機械学習のモデル生成経験がある
2. データ生成・抽出の経験がある
3. 普段からPythonを使っている
4. Pythonのコーディングに関して特に問題なく行うことができる
5. そのほかのプログラミング言語でコーディングを行うことができる
6. 普段からPython以外の言語を使ったコーディングを行っている

2. イジング定式化

1. QUBOが何の略かわかる
2. OpenJijチュートリアルまたはそれに類する教材を実行したことがある
3. 制約付き最適化問題からペナルティ法などを使ってQUBOに変換した経験がある
4. 問題設定のみで定式化が無いところからQUBOを定式化したことがある
5. QUBOのペナルティの重みパラメータを手動でチューニングしたことがある
6. QUBOのペナルティの重みパラメータをチューニングを自動化したことがある
7. イジングマシンを活用したプロジェクト経験がある
8. イジングマシンを活用した複数のプロジェクト経験がある
9. D-Waveの量子アニーラーをハードウェアグラフのまま利用したことがある
10. D-Waveの量子アニーラーをグラフ埋め込みを気にせず利用したことがある
11. デジタルアニーラなどD-Wave以外のイジングマシンを利用したことがある

3. 数理最適化ソルバー

1. CBCソルバー, PuLP, Groubi など最適化計算ツールのうちどれがソルバーでどれがモデラーなのかの区別がつく
2. 定式化(目的関数・制約条件の設定)の経験がある
3. PuLPまたはPython-MIPなどPythonを使って数理モデルを実装した経験がある
4. MIPソルバーを使って最適化問題を解いたことがある
5. MIPソルバーを活用したプロジェクト経験がある
6. MIPソルバーを活用した複数のプロジェクト経験がある
7. MIPソルバーを利用する際に途中で打ち切ってヒューリスティクスとして利用したことがある
8. MIPソルバーを他アルゴリズムの中で使ったことがある(列生成法など)

4. 量子アニーリング・量子コンピュータ

1. 量子回路の基礎知識がある
2. Qiskitチュートリアルまたはそれに類する教材を実行したことがある
3. QAOAの量子回路を実装できる
4. 簡単な問題(グラフ彩色)のGroverのオラクルの作成ができる
5. 量子コンピュータを活用したプロジェクト経験がある
6. 量子コンピュータを活用した複数のプロジェクト経験がある

1. はじめに	- Jij会社概要
2. マーケット動向	- 国内外量子コンピュータ市場規模と社会実装展望 - 現状の課題
3. 数値最適化のユースケース	- 社会実装の例 - Jijでの取り組み
4. 必要とされるスキル	- 3つの壁(定式化・イジング最適化・マシン設定)を超えるために
5. プロダクト紹介	- プロダクト紹介

3つの壁に対するソリューション JijZept

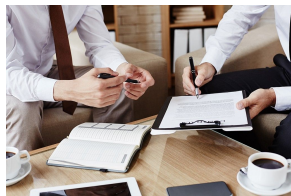
数理最適化の流れ

実課題の整理

数理モデルの定式化

マシンへの変換
(イジング定式化)


イジングマシン
での最適化



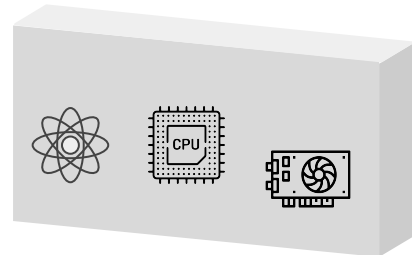
顧客課題・
目標設定、制約条件等

$$\min f(x), \text{ s.t. } g(x) \leq 0$$

定式化の壁

$$\min \sum_{i,j} J_{ij} \sigma_i \sigma_j$$


イジング定式化の壁



ソルバーの設定の壁



3つの壁に対するソリューション JijZept



対応ソルバー 商用イジングマシンを**最も網羅的にサポート**さまざまなハードウェアのソルバーを**統一インターフェース**で利用可能

イジングマシン

- OpenJij (SA, SQA)
- D-Wave Advantage (Quantum Annealing)
- Microsoft QIO
- D-Wave Leap Hybrid
- Digital Annealer
- Fixstars Amplify

MIPソルバー

- CBC (Coin-OR)
 - CPLEX (IBM)
 - Groubi
- Python・MIPで対応しているソルバーに対応

量子ゲート (Coming Soon)

- Qiskit (IBM Quantum)
- tket
- Qulacs

3つの壁に対するソリューション JijZept

数理モデルの定式化

$$\min f(x), \text{ s.t. } g(x) \leq 0$$

定式化の壁

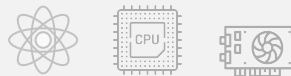
マシンへの変換
(イジング定式化)

$$\min \sum_{i,j} J_{ij} \sigma_i \sigma_j$$



イジング定式化の壁

イジングマシン
での最適化



ソルバーの設定の壁

JijModeling

数式の形そのまま実装が可能なモデリングツール
代数木の自動チェックとJupyterでのLaTeX表示による
数式の可視化による実装ミスの軽減。

イジングマシンを使う場合でも
制約付き最適化のままモデリングすることが可能。
JijZept側で自動的に適切なイジングモデルへ変換される。

```
In [6]: import jijmodeling as jm
d = jm.Placeholder("d", dim=2)
n = d.shape[0].set_latex("n")
x = jm.Binary("x", shape=(n, n))
i, j = jm.Element("i", n), jm.Element("j", n)
t = jm.Element("t", n)

problem = jm.Problem("tsp")
problem += jm.Sum([i, j], d[i,j] * x[i,t] * x[j,(t+1)%n])
problem += jm.Constraint("onecity", x[i, t] == 1, forall=t)
problem += jm.Constraint("onetime", x[i, :] == 1, forall=i)
problem

Out[6]: Problem: tsp
min \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} d_{i,j} \cdot x_{i,t} \cdot x_{j,(t+1) \bmod n}
s.t.
onecity:
\sum_{i=0}^{n-1} x_{i,t} = 1, \forall t \in \{0, \dots, n-1\}
onetime:
\sum_{i=0}^{n-1} x_{i,t} = 1, \forall i \in \{0, \dots, n-1\}
x_{i,t} \in \{0, 1\}
```


3つの壁に対してのソリューション JijZept

数理モデルの定式化

$$\min f(x), \text{ s.t. } g(x) \leq 0$$

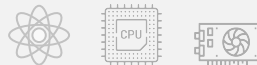
定式化の壁

マシンへの変換
(イジング定式化)

$$\min \sum_{i,j} J_{ij} \sigma_i \sigma_j$$


イジング定式化の壁

イジングマシン
での最適化



ソルバーの設定の壁

JijModeling

技術的特徴:

データの送受信の効率向上 & メタ情報を使った性能向上のための
代数木による数理モデル表現方法

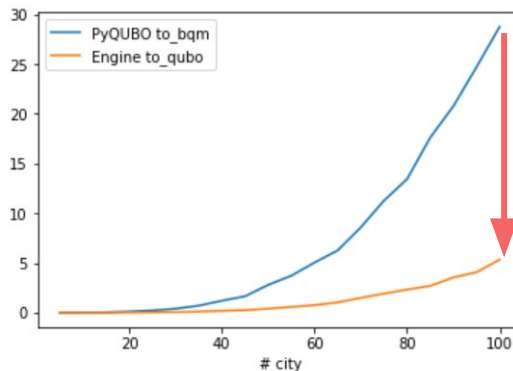
(特許申請中)

効果:

- ・代数木による表現でクラウド送信のデータ量圧縮
- ・高速なQUBO生成
- ・パターンマッチによる

効率的なイジングモデル表現への変換

各ソルバーのインターフェースへの自動変換



5倍高速化

現在最も使われている QUBOコンパイラの OSS, PyQUBO に比べて 5倍高速化