

量子・最適化技術の 産業振興方針について

量子技術の実用化推進WG第四回

2022年12月8日

株式会社 Jij

CEO 山城 悠

$$\hat{H}(\sigma) = A\hat{E}_1 + B\hat{E}_2$$
$$\hat{E}_1 = \sum_{i=1}^N \left(\sum_{j=1}^N \hat{\sigma}_{i,j} \right)$$
$$\hat{E}_2 = \sum_{i=1}^N \left(\sum_{j=1}^N \right)$$

1. Jij社取り組み概要
2. 本日の論点 & 説明対象
3. 3つの提言

1. Jij社取り組み概要
2. 本日の論点 & 説明対象
3. 3つの提言

最適化計算のためのクラウドサービス JijZept™

Jij



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

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



 JijZept

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

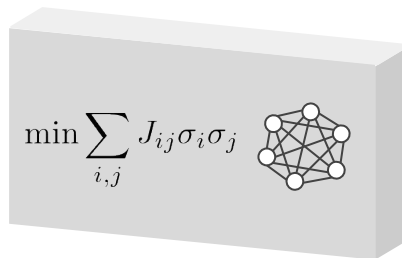


顧客課題・
目標設定、制約条件等

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

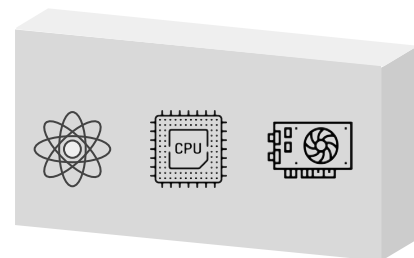
定式化の壁

課題を定式化するノウハウ・課題の知識が必要
定式化と最適化の繰り返し・試行錯誤に工数が必要



イジング定式化の壁

イジングモデルへの変換方法によって
性能が変わるため経験とノウハウが必須
モデルのパラメータチューニングの必要性もあり
量子イジングマシンだけでは解けない場合は
ハイブリッドアルゴリズムの設計も必要



ソルバーの設定の壁

問題によってソルバーの選定
ソルバーのパラメータの調整
ソルバーごとの前処理・後処理

3つの壁に対するソリューション JijZept

Jij

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

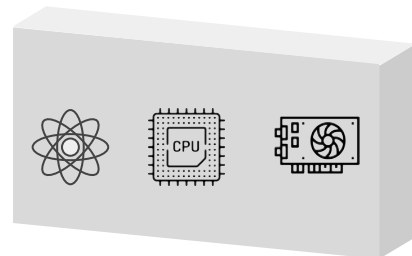
$$\min f(x), \text{ s.t. } g(x) \leq 0$$

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

数理モデルの定式化

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

定式化の壁

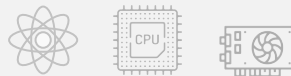
マシンへの変換
(イジング定式化)

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



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

```

In [6]: import jijmodeling as jm
        d = jm.Placeholder("d", dims=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("test")
        problem += jm.Sum([i, j], d[i,j] * x[i, j] * x[j, (t+1)%n])
        problem += jm.Constraint("onecity", x[i, t] == 1, forall=t)
        problem += jm.Constraint("onetime", x[t, j] == 1, forall=j)
        problem

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

JijZept Lab

ハイブリッドアルゴリズムの構築を
支援するインターフェース

PoCに必要な自動ベンチマーク機能
実験結果の管理・可視化機能

パートナー企業との連携による技術開発と市場拡大

Jij



Azure Quantum Network: Azureの活用, Microsoft QIOのJijZeptでのサポート
<https://azure.microsoft.com/en-us/solutions/quantum-computing/network/>



Fujitsu CaaS での連携:
<https://www.fujitsu.com/jp/microsite/fujitsutransformationnews/2022-12-01/01/>

**量子ゲート
ハードウェア企業**

近日リリース予定: 量子最適化アルゴリズムの実装 (not QAOA)

1. Jij社取り組み概要
- 2. 本日の論点 & 説明対象**
3. 3つの提言

6つの論点 & 説明対象(1の2)

説明対象	論点一覧
—	<p>1ソフトウェア開発のための量子コンピュータ利用開発環境の整備 国産機テストベッド(理研) 国産量子コンピュータについては、今年度中に理研のテストベッド(超電導量子コンピュータ)がリリースされる予定。公的機関として、最先端の量子・古典ハイブリッド計算環境も含めて、最先端の利用環境をどのように提供していくか(民間実機との関係、官民の役割分担も含めて検討)。</p>
—	<p>産業利用テストベッド(産総研) 公的機関として、量子・古典ハイブリッド計算環境や有志国とのグローバル連携も含めて、産業利用に資する利用環境をどのように提供していくか(商用機との関係、官民の役割分担も含めて検討)。</p>
○	<p>国産実機(量子コンピュータ、量子アニーリングマシン等) 富士通の実機(超電導量子コンピュータ)、NECの実機(量子アニーリングマシン)が来年度にリリース予定(既にデジタルアニーリングは複数ベンダーが実用化・商用化)。これらの実機の利用を促進し、マーケットを確立・拡大していくための方策はどうあるべきか。</p>

6つの論点 & 説明対象(2の2)

説明対象	論点一覧
—	<p>海外量子コンピュータ 各国企業の量子コンピュータがクラウド等を通じて活用できる状況となっている。国産量子コンピュータは黎明期でもあることから、海外量子コンピュータの利用環境も重要である。(国内ハードベンダーの産業振興や民間ビジネスにも配慮しつつ)、最先端の量子コンピュータの利用環境を整備していくためにはどのような方策があり得るか。</p>
—	<p>2ソフトウェア産業の振興 アプリケーション提供/利用支援サービス提供事業者の育成・振興 量子コンピュータのアプリケーションを提供するベンダー企業、国内外の量子コンピュータの利用支援サービス(開発環境提供やコンサルティング含む)を提供する民間事業者も活発化している。これら民間事業者の育成・振興のためにはどのような取組が必要か。ソフトウェア拠点(本年に2拠点を追加)に対する産業界から期待される取組強化・役割分担・連携の在り方はどうか。</p>
○	<p>3ユーザ産業の振興 ユーザ産業の拡大・振興等 産総研などに設置する産業利用テストベッドの活用など、量子コンピュータを利用する様々な国内外のユーザ産業の発掘・拡大(参画促進、裾野拡大によるマーケット創造)、産業振興に向けた方策はどうあるべきか。新たなユーザを訴求するため魅力的なユースケースづくり(特にキラーアプリケーション)の在り方はどうか。ユーザ産業の量子コンピュータ利用をサポートする取組はどうあるべきか。さらに、市場開拓のためにも RoI や脱炭素などの視点から効果指標の設定や検証は必要ではないか。</p>

1. Jij社取り組み概要
2. 本日の論点 & 説明対象
- 3. 3つの提言**

3つの提言サマリー

提言1 **実態に合わせたベンチマークの作成**

提言2 **アジアへの産業輸出**

提言3 **12省庁横串での活用事例の整理**

提言1 | 実態に合わせたベンチマークの作成

提言

- アプリケーションに寄せたベンチマークソフトウェア開発基盤の構築

現状

- 量子・イジング最適化でのベンチマークの多くは Max Cutをベースとしたベンチマーク研究が多い
- イジングマシンと呼ばれる括りでも (QAOA含む)、アルゴリズムやハードウェアによっても得意な問題が大きく異なる

課題

- 実用的な視点でのベンチマークがないと応用範囲の狭いハードウェア・アルゴリズムになってしまう
- 周辺アルゴリズム開発を含めた適切な開発指針を得ることが難しい

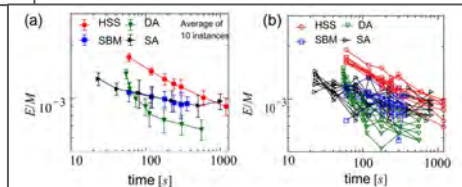
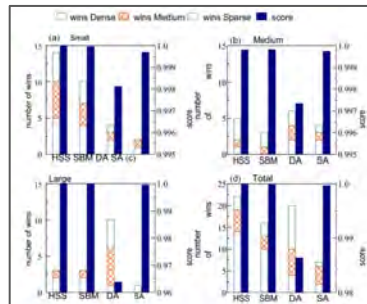


Figure 3. Value of the cost function per clause as a function of the execution time, obtained for NAE-1-SAT with a number of variables $N=1072$ and a number of clauses $M=1205$, i.e. $EN=1.11$. Each data point was obtained from an independent run. See the main text for the time series of each solver. (a) Average of ten instances. The error bars denote standard deviation. For DA and SA, the execution time was also averaged. (b) Results for ten different instances.

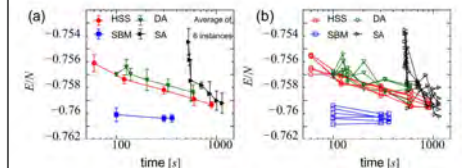


Figure 4. Value of cost function per variable as a function of the execution time, obtained for the 3K model with a number of variables $N=1072$ and $\tau=1$. Each data point was obtained from an independent run. See the main text for the time series of each solver. (a) Average of ten instances. The error bars denote standard deviation. For DA and SA, the execution time was also averaged. (b) Results for ten different instances.

提言2 | アジアへの産業輸出

提言

- アジア各国のエネルギー国営公社や省庁をユーザーとした産業輸出
- 関係省庁・企業・アカデミアの横断的な取り組み

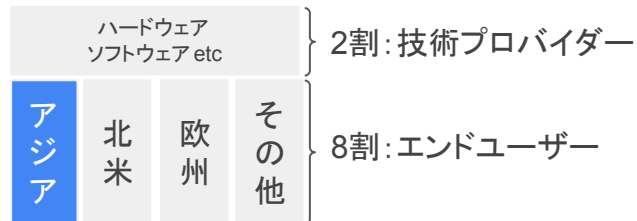
現状

- Jijでは、アジアにおける複数のガス石油公社・政府省庁と、カーボンニュートラル社会の実現に向けたエネルギー供給、交通制御等について協議中
ガス会社等との共同研究開発の経験を活用
- 量子産業全体の想定マーケット規模 70兆円の内、8割がエンドユーザーによる創出と想定されている (*). 潜在マーケット規模の大きいアジア圏での先行したユーザー産業の開拓が重要

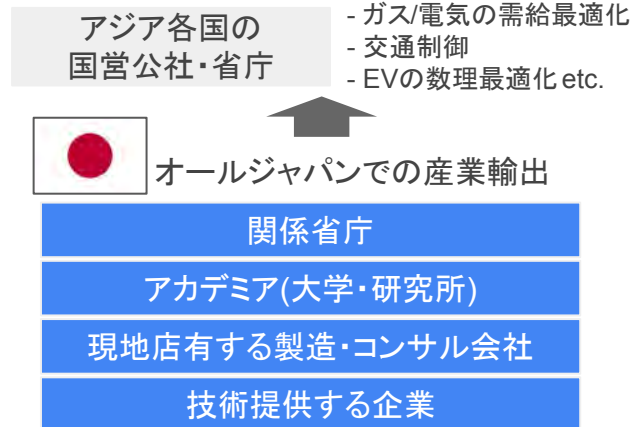
課題

- ペトロナス(馬)・プルタミナ(尼)・韓国ガス・PNOC(比)といったエネルギー国営公社や各国省庁に対し、日本はインフラ分野での産業輸出を官民一体で実施しているが、量子技術分野では行われていない

70兆円市場の構造(*)



座組みイメージ



(*) What Happens When 'If' Turns to 'When' in Quantum Computing? (Boston Consulting Group, 2021年7月)
市場規模 \$450-\$850Bの平均値を使用、為替は 136円/USD(2022年12月6日時点)

提言3 | 12省庁横串での活用事例の整理

提言

- 12省庁省庁横串での数理最適化の活用事例の整理
- 省庁を跨ぐ活用事例の整理
- 活用事例の内、費用対効果が期待される事例に対する官民共同での研究開発の実施

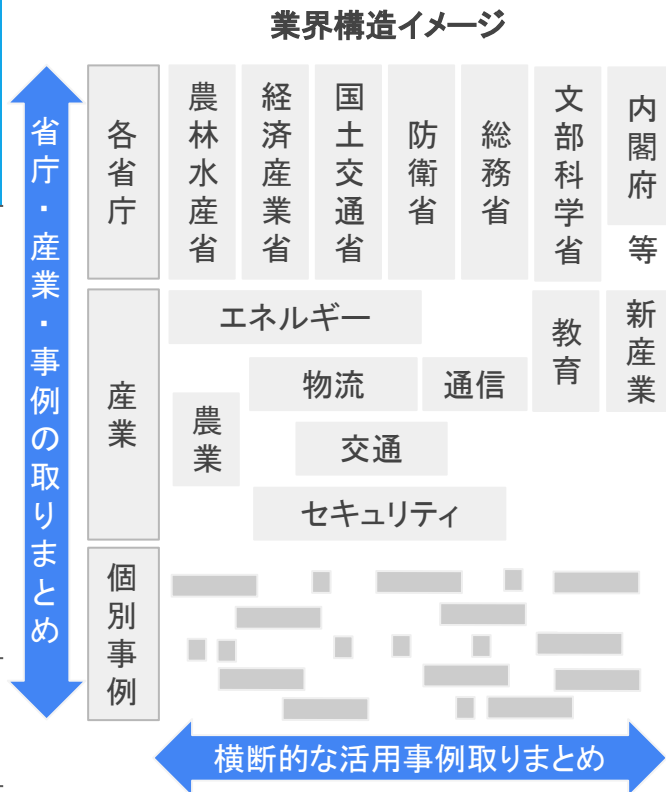
現状

- エネルギーの供給、電力受給、交通制御等、数理最適化は政府が管轄する案件に大きく関係する
- その内、船・陸路におけるガスの輸入・供給に関する数理最適化等の様に、省庁を跨ぐ案件が多く存在

エネルギー	石油・ガスの船・陸路における配送計画、エネルギー供給制御
農業	産地から消費者までのルート最適化、品種勾配の最適化
交通・自動車	渋滞緩和を目的とした信号機制御、EVの充電最適化

課題

- 各省庁において、数理最適化ソリューションがどのような課題に対して活用されているか整理・共有されていない。



Jij

info@j-ij.com