

# 量子ハイブリッド最適化アルゴリズム基盤の 開発

## 研究開発とSociety 5.0との橋渡しプログラム (BRIDGE)

### 研究開発等計画書 (令和5年度様式)

令和6年4月  
文部科学省

○実施する重点課題に○を記載（複数選択可）

業務プロセス転換・政策転換に向けた取組	次期SIP/FSより抽出された取組	SIP成果の社会実装に向けた取組	スタートアップの事業創出に向けた取組	若手人材の育成に向けた取組	研究者や研究活動が不足解消の取組	国際標準戦略の促進に向けた取組
			○			—

○関連するSIP課題に○を記載（主となるもの）

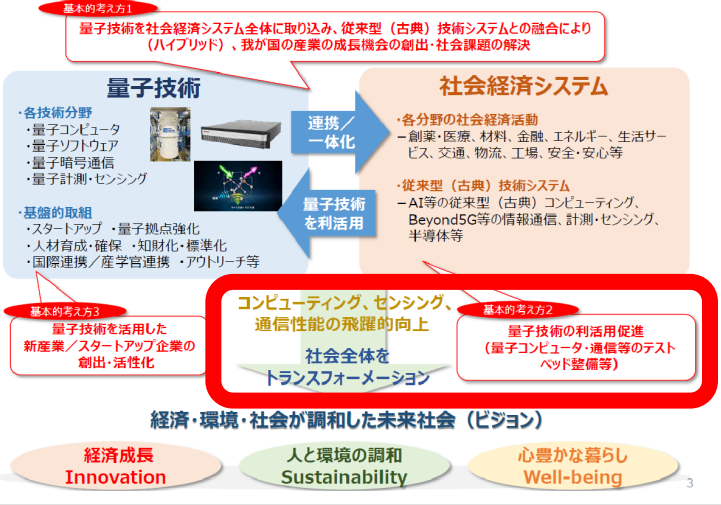
持続可能なフードチェーン	ヘルスケア	包括的コミュニティ	学び方・働き方	海洋安全保障	スマートエネルギー	サーキュラーエコノミー	防災ネットワーク	インフラマネジメント	モビリティプラットフォーム	人協調型ロボティクス	バーチャルエコノミー	先進的量子技術基盤	マテリアルの事業化・育成エコ
												○	

# 資料1 「量子ハイブリッド最適化アルゴリズム基盤の開発」の全体像（位置づけ）

現実の最適化計算課題は離散変数と連続変数を混合して含み、変数の数も非常に大きいため一つのソルバーだけで解ききることはできない。量子・イジング技術のユースケース開拓を促進するために、ハイブリッドアルゴリズムを開発・運用する基盤を開発・提供し実用的なアプリケーションを創出することを目指す。基盤開発とこれら取り組みによりスタートアップ事業創出を促進し、新たな市場開拓につなげていく。

## 量子未来社会ビジョン (R4.4)

### 本ビジョンの3つの基本的考え方



## SIP第3期における本施策の関係



## SIP/ PDの提案・意見

SIP第3期で推進するサブ課題の「量子コンピューティング」において、ユースケースを開拓することとしているが、想定する対象分野や創薬、材料、物流、エネルギーなど多岐にわたるため、分野に合わせたアルゴリズムの設定が必要になる。したがって、先んじてそれを整備することは多様なユーザ候補が集まり、ユースケース開拓を進める上で非常に重要であると考えている。本施策では、それを3年以内で達成することを目指しているため、本施策の成果によりユースケース開拓・実証の加速につながることを期待される。

## 資料2 「量子ハイブリッド最適化アルゴリズム基盤の開発」の概要

### 【背景・現状・課題】

現実の多くの問題は離散変数と連続変数を混合して含み、変数の数も非常に大きいため一つのソルバーだけで解くのは困難である。そのため量子・イジング最適化計算は最適化技術として有用な技術だがそれだけだと限定的な問題にしか適用できず、ハードウェアなどの技術開発を行っても実社会への実装が遅れるか影響が小さく留まってしまふことが懸念される。多くの企業や研究機関での取り組みにおいてこの課題が実用化・ユースケース開拓を阻んでいる。量子・イジング最適化計算の市場創出・スタートアップ事業創出を促すを目指すために、様々な数理最適化問題の種類に応じたハイブリッドアルゴリズムの開発とこれらのハイブリッドアルゴリズムを簡単に開発・運用できるインターフェース及びシステムを提供し、スタートアップを含めた多くの企業による量子・イジング最適化計算技術による事業創出を支援する必要がある。

### 【施策内容】

量子技術を用いたハイブリッドアルゴリズムの開発基盤には、各ハードウェア・ソルバーへの入出力の統一化とハイブリッドアルゴリズム特有のハードウェア・ソルバーがやり取りする際のスキーマ・規格の開発を行う必要がある。本施策ではこれらのハイブリッドアルゴリズムのための基盤を構築し、同時に最適化計算のアプリケーションとして有用なハイブリッドアルゴリズムをデザインし実証実験まで繋げる。本施策により構築した開発基盤を用いたコンテストを実施し、技術人材の教育を通し新規事業・スタートアップ創出へつなげる。機械学習の分野において多くのスタートアップが創出されたのは機械学習基盤を構築するためのサービスが整備されたことが大きい。量子技術を実用化するためのスキーマ・基盤の構築によって技術的に困難な点を解消し、ユースケース開拓による市場拡大によって量子最適化基盤事業の創出を目指す。

### 【研究開発等の目標】

- ・ 多くの現実問題に対応できる、分割・ハイブリッドアルゴリズムの開発・改良
- ・ ハイブリッドアルゴリズム基盤を支えるスキーマ・規格の開発
- ・ 量子イジング最適化計算の実用化を支援するインターフェースと基盤機能の開発
- ・ 実問題に対するハイブリッドアルゴリズムの適用事例の収集・技術実証
- ・ 開発アルゴリズムが持続的かつ効果的に活用できるようにするための運用基盤の開発

通常のコンピュータと量子・イジング最適化基盤の密な結合を簡単に実装できるアルゴリズム開発機能を構築、その開発機能による実社会問題での技術検証を行う。本事業により、NEDO-STsで開発された基盤を研究開発用途ではなく、実社会問題へのソリューションとしての提供を目指す。

### 【社会実装の目標】

- ・ 開発されたハイブリッドアルゴリズム開発基盤を各業界・分野へ展開し（特に最適化問題が多く影響力が大きいエネルギー産業等）、現実の問題解決に貢献する。
- ・ 本基盤を量子・イジング最適化技術基盤のグローバルスタンダードとして確立させる。
- ・ 本基盤を教育・研究機関に広めることで、量子イジング最適化技術の次世代の育成を支援する。
- ・ 本施策成果の社会実装・事業展開により上場を目指す。

### 【対象施策の出口戦略】

本施策の最適化計算技術は幅広く多くの産業に展開可能である。各省庁への展開案については株式会社Jijの量子技術の実用化推進WG第四回での提案資料 ([https://www8.cao.go.jp/cstp/ryoshigi\\_jutsu/jitsuyo\\_wg/4kai/siryu2-3.pdf](https://www8.cao.go.jp/cstp/ryoshigi_jutsu/jitsuyo_wg/4kai/siryu2-3.pdf)) の15, 16ページを参照。エネルギー産業では本施策の技術の応用先として各エネルギー国営公社へのユースケースの輸出による産業展開を検討。農林水産省と、品種改良のための最適化計算などの応用への展開可能性や生産者から消費者への配送最適化などの課題に関する検討を開始。

## ○統合イノベーション戦略や各種戦略等との整合性

本施策で開発するハイブリッドアルゴリズムの基盤により国内の多くの開発者が量子技術の社会実装に取り組むことが可能。統合イノベーション戦略の中の「量子イノベーション戦略」の量子技術の利用促進と新産業創出にはこのような開発基盤が必要不可欠。しかしながら最適化計算において量子技術単体では有用なアプリケーションの開発は難しく、通常のコンピュータとのハイブリッドアルゴリズム構築が必要。またそのハイブリッドアルゴリズムでは量子だけでなく、数理最適化の専門的な知識も必要。本施策で開発するハイブリッドアルゴリズム基盤・インターフェースはこれらを容易することから、「量子イノベーション戦略」の量子技術の利用促進と新産業創出に貢献できる。

## ○重点課題要件との整合性

本施策はNEDO STSで開発された成果を元に構成され、量子スタートアップ株式会社Jijによって事業化を目指す。また量子技術を用いた最適化計算は注目を浴びているが社会実装まで至っていない。それにも関わらず最適化計算の需要は近年伸び続け、ヨーロッパでは量子×最適化に特化したスタートアップ(Quantagoniaなど)も誕生し、最適化をスコープに入れていなかった量子スタートアップも最適化に取り組み始めている。本施策は社会からのニーズが大きい社会実装に向けた開発がより一層必要というギャップを埋めることができる。本施策はSIP第3期で整備する「イノベーション創出基盤」におけるスタートアップ支援メニューを提供することで事業化支援を行う。

## ○SIP型マネジメント体制の構築

本施策においては、省内PDのもと、進捗確認と連携を推進する運営委員会(仮)を設置し、ピアレビューおよび自己点検により、レビュー結果を推進方針に反映する体制とする。

## ○民間研究開発投資誘発効果、財政支出の効率化

本施策は、エネルギー産業での活用が期待されており、同産業における民間企業が数理最適化を通じた実オペレーションの業務効率化を促す場合、国内全体における経済効果は年間約3,500億円と推定される(計算根拠:国内名目GDP17.6兆円×民間消費の割合56%×一企業における総支出に対する売上原価率89%×全ポートフォリオにおける数理最適化を適用できると見込まれるプロジェクトの割合40%×これまで実施してきたプロジェクトにおける業務改善の割合の平均(概算)10%)。

開発するアルゴリズムにより、これまで扱うことができなかったスケールの問題や混合整数計画問題などを扱い活用の幅が広がる。それによりこれまで参入していなかった産業から量子技術への投資が期待される。特にエネルギー産業の最適化計算の課題は離散変数だけでなく連続変数を含む混合整数計画問題であることが多いため、本施策の成果により活用の幅が広がることが期待される。また本施策の成果物と理研の量子コンピューティングクラウドサービスを接続することで多くの業種の企業が研究開発へと参入することが可能となる。本施策は基盤としてNEDO STSで開発したクラウド計算基盤を利用しており、そのインターフェースであるJijModelingは量子のみならず通常の数理最適化技術もサポートしていることもあってこれまでの総ダウンロード数は67万ダウンロードである。これらの量子以外の専門分野の開発者や産業ユーザーの参入を加速することが期待できる。

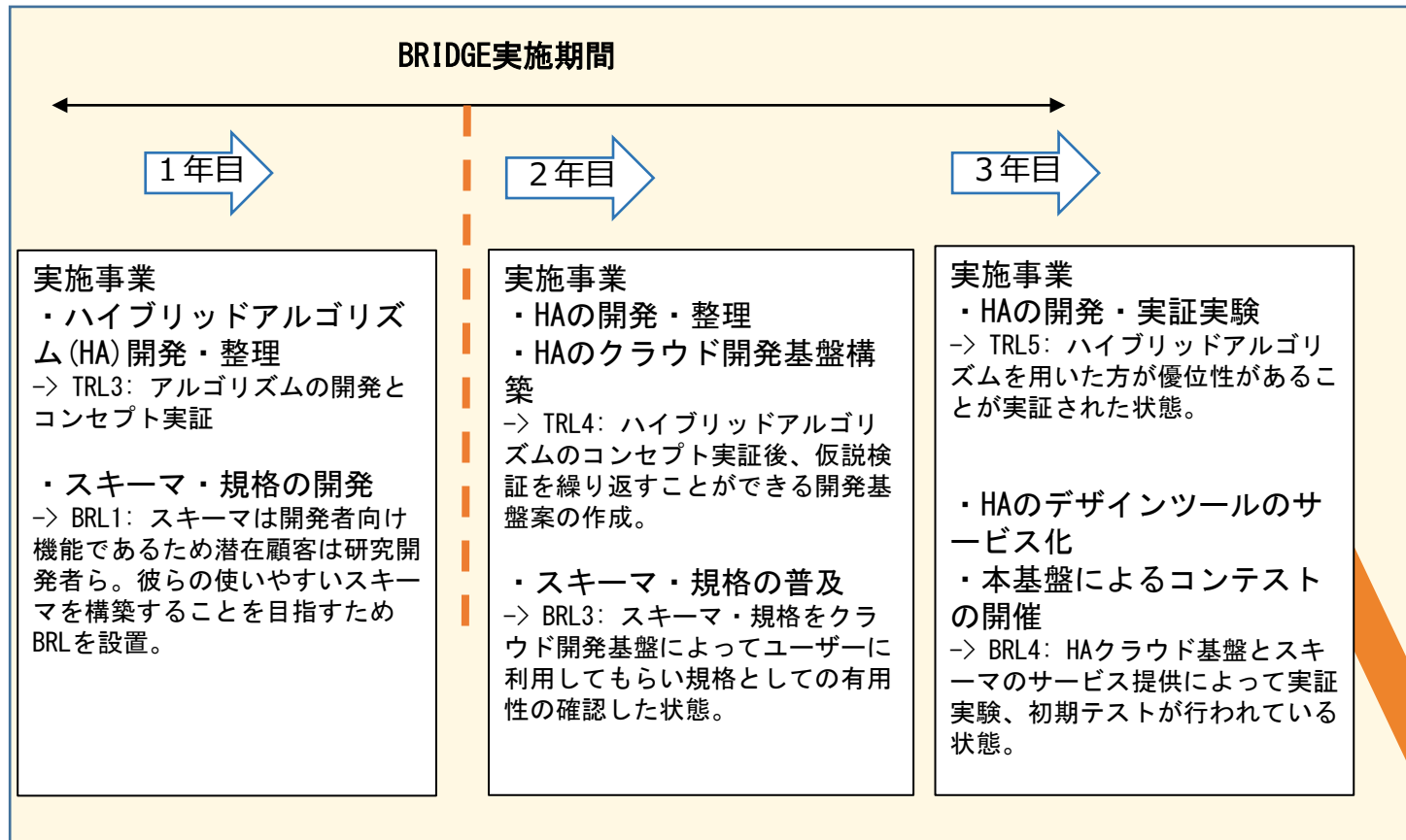
## ○民間からの貢献額(マッチングファンド)

株式会社Jijからの貢献額は人件費の一部、今回開発するためのクラウド計算基盤の開発環境の費用、数理最適化をクラウド計算で利用するための表現スキーマとそのクラウドシステムのIP、そして本施策で開発したスキーマの標準化にかかる人件費など、合計額の25%以上。

## ○想定するユーザー

最適化ハイブリッドアルゴリズムは多くの産業で利用可能で、特に最適化計算の多いエネルギー産業、インフラ産業が想定される主なユーザーであり、さらに植物工場を含む農業生産法人での利活用も期待される。

# 資料4 イノベーション化に向けた工程表



出口戦略

## 各省庁の施策

実施後、Jijでの事業化を前提として、SIP第3期でのテストベッド構築の加速につなげる。他省庁とも連携し展開先の探索を推進  
(例: 農林水産省「みどりの品種育成方針」のスマート育種基盤を強化するための技術連携を検討)

## 実施体制

各省PD：  
寒川哲臣  
SIP第3期PD



国立研究開発法人  
量子科学技術  
研究開発機構  
(QST)



株式会社Jij

SIP第3期「先進的量子技術基盤の社会課題への応用促進」と連携する。SIP型のマネジメント体制とし、研究推進法人であるQSTが施策の円滑な推進や進捗管理を担当し、各省PDによるマネジメントが適切に行われるように整備する。SIP推進のために、得られた知見・成果の円滑な展開を行う。

離散変数と連続変数を混合して含み、かつ変数の数も非常に大きいことが困難である実問題に取り組むために、様々な分割・ハイブリッドアルゴリズムを開発してきた実績を有する機関によって推進する。

## ○施策全体の目標

実用的な社会課題、特にエネルギー産業におけるバリューチェーンの中に含まれる最適化問題を解決できるハイブリッドアルゴリズム設計ツールの開発・リリースを行い、スタートアップを含めた新規事業の創出を実現する。具体的な目標としては以下の通り。

1. 量子・イジング最適化基盤のグローバルスタンダードとなるために本基盤のスキーマにおいて200万ダウンロード（2023年4月現在、量子スタートアップのグローバルな標準ツールとなっているIBM社のQiskitのダウンロード数が230万であることから、スタートアップ創出を促すスタンダードツールの目標として同等の数値を目指す）。
2. 本基盤を利用した新規スタートアップ創出や新規事業部によるユースケース開拓の目標として5社以上の本基盤のユーザーがアプリケーション開発・運用を行っている状態。

テーマ等（※個別に目標を設定している場合）	当年度目標	目標の達成状況（年度末報告）
<ul style="list-style-type: none"> <li>量子技術を用いた最適化ハイブリッドアルゴリズムの開発と整理。</li> <li>ハイブリッドアルゴリズムの出力結果や中間表現のスキーマの開発・SDK開発。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>初年度において特に時系列を伴う最適化問題の分割をメインとしたハイブリッドアルゴリズムを複数開発・整理し、それらを包括的に扱えるスキーマを構築する（TRL3）。</li> <li>ハイブリッドアルゴリズム向けの各ソルバーのやり取りのためのスキーマ・規格の初版を開発し、公開。それらを取り扱うSDKも公開する（BRL1）。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>令和5年度末に最適化計算に向けた量子・古典ハイブリッドアルゴリズムのコンセプト実装を行った。本施策によるアルゴリズムはこれまで量子・イジング最適化が離散変数しか扱えないことや複雑な制約条件を扱うことが難しかった点を問題の分割手法とLPソルバーとのハイブリッドを用いて扱うようにした点と双対ギャップを定義できる枠組みを提供したことで最適解までの距離を推定できるようにした点がこれまでの手法と大きく異なる。</li> <li>数理モデルを表現するスキーマのProtocol Buffersによる規定と実装が、令和5年度末に初版を開発した。</li> </ul>

## ○施策全体の目標

実用的な社会課題、特にエネルギー産業におけるバリューチェーンの中に含まれる最適化問題を解決できるハイブリッドアルゴリズム設計ツールの開発・リリースを行い、スタートアップを含めた新規事業の創出を実現する。具体的な目標としては以下の通り。

1. 量子・イジング最適化基盤のグローバルスタンダードとなるために本基盤のスキーマにおいて200万ダウンロード（2023年4月現在、量子スタートアップのグローバルな標準ツールとなっているIBM社のQiskitのダウンロード数が230万であることから、スタートアップ創出を促すスタンダードツールの目標として同等の数値を目指す）。
2. 本基盤を利用した新規スタートアップ創出や新規事業部によるユースケース開拓の目標として5社以上の本基盤のユーザーがアプリケーション開発・運用を行っている状態。

テーマ等（※個別に目標を設定している場合）	当年度目標	目標の達成状況（年度末報告）
①量子技術を用いた最適化ハイブリッドアルゴリズムの開発と整理	・時系列データに関するハイブリッドアルゴリズムだけでなく、離散変数と連続変数に対するハイブリッドアルゴリズム、大規模な問題に対するアルゴリズムについても開発・整理する（TRL4）	
②ハイブリッドアルゴリズムのクラウド開発基盤の構築。	・初年度に構築したソルバー間のスキーマ・規格を用いたクラウド開発基盤を構築。同様に初年度に開発・整理したハイブリッドアルゴリズムをクラウド開発基盤を用いて開発でき、ベンチマークを実施（TRL4）。	
③ソルバー間のスキーマ・規格の普及	・初年度に開発したスキーマ・規格を開発したSDKを用いて既存の複数のツールに対応させることで広く開発者・ユーザーに普及させる。これらのスキーマを用いたクラウド開発基盤のβユーザーを獲得する（BRL3）。	



## ○施策全体の目標

実用的な社会課題、特にエネルギー産業におけるバリューチェーンの中に含まれる最適化問題を解決できるハイブリッドアルゴリズム設計ツールの開発・リリースを行い、スタートアップを含めた新規事業の創出を実現する。具体的な目標としては以下の通り。

1. 量子・イジング最適化基盤のグローバルスタンダードとなるために本基盤のスキーマにおいて200万ダウンロード（2023年4月現在、量子スタートアップのグローバルな標準ツールとなっているIBM社のQiskitのダウンロード数が230万であることから、スタートアップ創出を促すスタンダードツールの目標として同等の数値を目指す）。
2. 本基盤を利用した新規スタートアップ創出や新規事業部によるユースケース開拓の目標として5社以上の本基盤のユーザーがアプリケーション開発・運用を行っている状態。

テーマ等（※個別に目標を設定している場合）	当年度目標	目標の達成状況（年度末報告）
①量子技術を用いた最適化ハイブリッドアルゴリズムの開発と整理	・開発したハイブリッドアルゴリズム・クラウド計算基盤を用いて、産業課題での実証実験を行い、ハイブリッドアルゴリズムがハイブリッドを用いない手法よりも優位性があることを示す（TRL5）。	
②ハイブリッドアルゴリズムデザインツールのサービス化	・ハイブリッドアルゴリズム開発基盤をβ公開し、ユーザーからのフィードバックを得る。ユーザー自身が本開発基盤を用いて実証実験を行う（BRL4）。	
③本基盤によるコンテストの開催	・本開発基盤によるユースケース開拓コンテストを開催し、ユースケース促進・スタートアップ事業創出に向けた技術人材教育・普及活動を行う（BRL4）。	