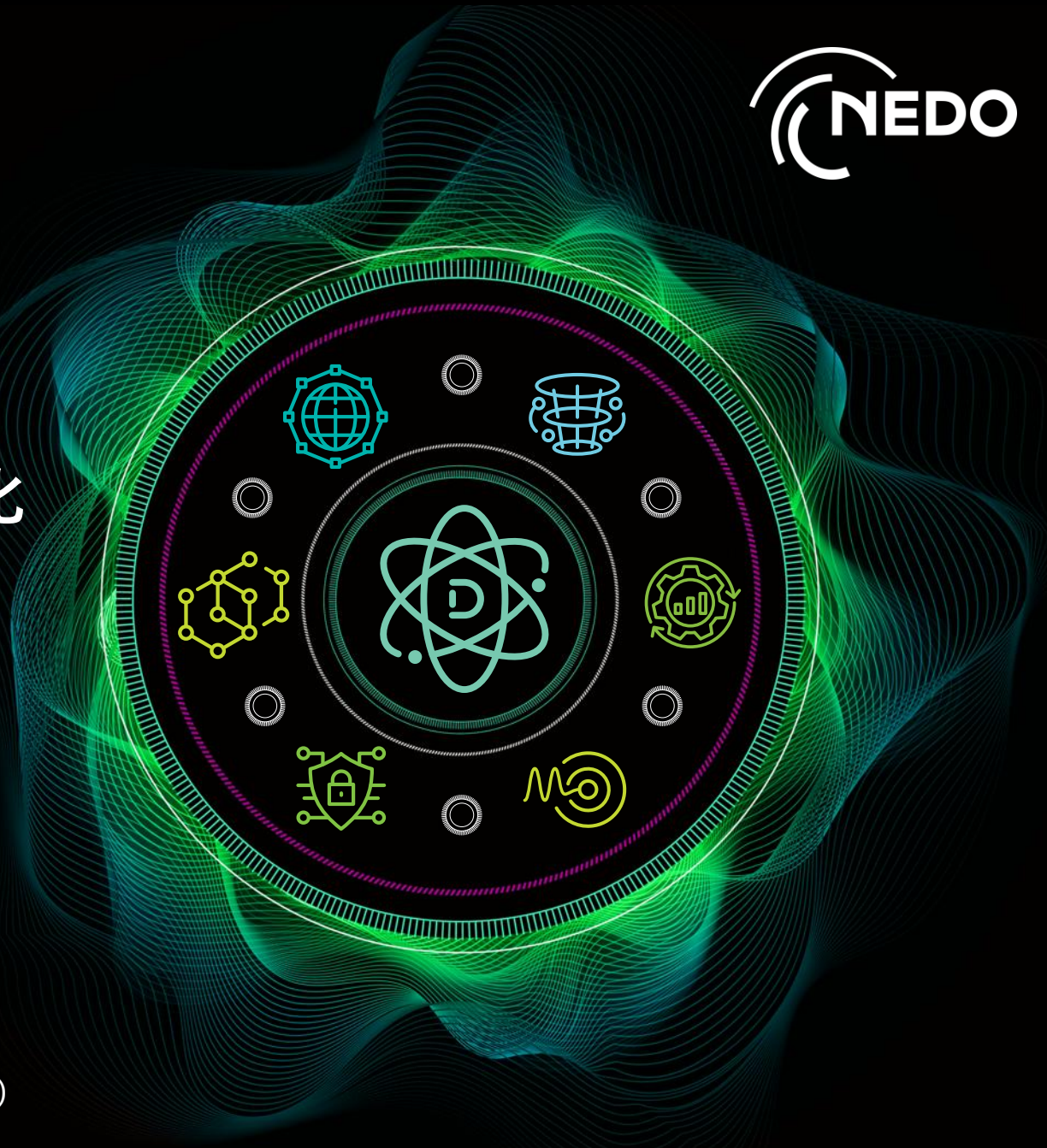
量子コンピューティング ユースケース集

航空機設計における空力特性の最適化

Airbus



国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）

Airbus：航空機設計における空力特性の最適化 【2020/11】 1／3

構想

産業領域	製造・組立
プロセス	研究開発・製品設計
手法	シミュレーション
技術分類	ゲート*

取組の背景

- 航空機の機体全体の形状・デザインはエネルギー効率性を左右するため機体設計において重要な要素である
- 現状、**効率性の高い機体形状を決定するためにCFD*1が活用**され、**機体周囲の空気の流れを解析し、機体に及ぼす力などを解明する空力特性評価**が実施されている
  - ✓ 航空機は大量の二酸化炭素を排出するため地球温暖化の要因と考えられている。従って、航空機業界では機体デザインや航空機運用を最適化することが求められている

*1：CFDとは、偏微分方程式の数値解法等を駆使して流体の運動に関する方程式（オイラー方程式、ナビエ-ストークス方程式、またはその派生式）をコンピューターで解くことによって流れを観察する数値解析・シミュレーション手法

解決したい課題・モチベーション

- 機体回りの空気の流れをモデル化し空力特性評価を実施するために**スパコンが活用されているが、処理時間がかかり精度向上が困難**
- 大規模・高速計算が可能な量子コンピューターの航空機設計への活用を目指し、**Airbusは2019年、Quantum Computing Challenge*2を実施しNISQを活用した機体設計の効率化のタスクに関する競技を実施した**
- 上記Challengeにおいて、中国の量子コンピューターHWベンダー、Origin Quantum（本源量子計算科技）は量子コンピューターを活用した空力特性評価のファイナリストに選定
- **Origin Quantumは量子コンピューターで空力評価モデルを実行し高速計算の可能性を検証した**

*2： Quantum Computing Challengeは空力特性評価以外に、航空機貨物の配置最適化、主翼構造の最適化など5つのタスクを設定しファイナリストを選定しAirbusとの共同研究を実施

参考：Airbus「Meet the Airbus Quantum Computing Challenge's five finalist teams」（https://www.airbus.com/en/newsroom/news/2020-10-meet-the-airbus-quantum-computing-challenges-five-finalist-teams）

*ゲート（gate-based） = 量子ビットに対して順に演算を適用することで計算を行う方式。通常のコンピュータにおける論理回路に近い考え方で、幅広い問題に対応可能。

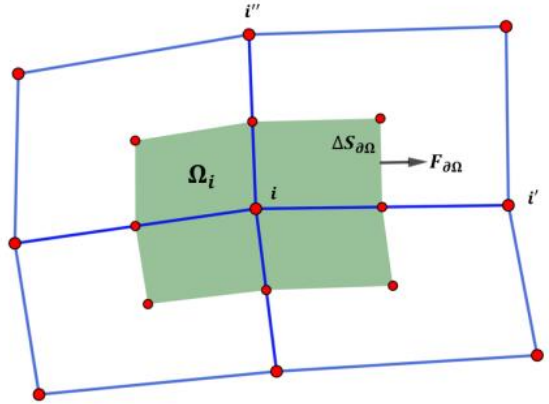
Airbus：航空機設計における空力特性の最適化 【2020/11】 2／3

構想

産業領域	製造・組立
プロセス	研究開発・製品設計
手法	シミュレーション
技術分類	ゲート*

量子コンピューターとしての問題設定

- 機体の空力特性評価などの数学的に**厳密に解くことが困難な工学的問題を近似的に解くために有限体積法**が使用される
  - ✓ 有限体積法は**解析領域を有限個のコントロールボリュームに分割**し、連続した偏微分方程式を**非連続な線形代数方程式に置換**する
  - ✓ ただし、**コントロールボリュームを細かくすると必要な計算機リソースも増大し古典コンピューター（スパコン）での計算が困難**になる
- **量子ランダムアクセスメモリー（QRAM*1）を活用し古典コンピューターの入出力データを迅速に処理可能な量子CFDソルバーを開発**
  - ✓ 有限体積法と量子コンピューターに基づくこの方法は、航空機設計におけるCFDの時間積分プロセスを最適化し、計算時間の指数加速が可能
- AirbusのコンペティションはNISQ量子コンピューターをによる開発技法の探求が目的であるため、**ゲート型量子コンピューターを活用していると考えられる**



解析領域をグリッド化したコントロールボリューム
（Fは離散化方程式で使用する境界面における流束値、Sは面積、Ωは体積）

*1：QRAMとは、古典コンピューターにおけるRAMに相当しメモリアドレスを与えられたとき、対応する量子ビット列より量子状態を出力する装置

参考： Airbus「Meet the Airbus Quantum Computing Challenge's five finalist teams」（https://www.airbus.com/en/newsroom/news/2020-10-meet-the-airbus-quantum-computing-challenges-five-finalist-teams）、arXiv「Quantum Finite Volume Method for Computational Fluid Dynamics with Classical Input and Output」（https://show.originqc.com.cn/prod/website/ResumeDelivery/2102.03557.pdf）、CYBERNET「有限体積法(ゆうげんたいせきほう)」（https://www.cybernet.co.jp/ansys/learning/glossary/yuugentaisekihou/）
*ゲート（gate-based）= 量子ビットに対して順に演算を適用することで計算を行う方式。通常のコンピュータにおける論理回路に近い考え方で、幅広い問題に対応可能。

Airbus：航空機設計における空力特性の最適化 【2020/11】 3／3

構想

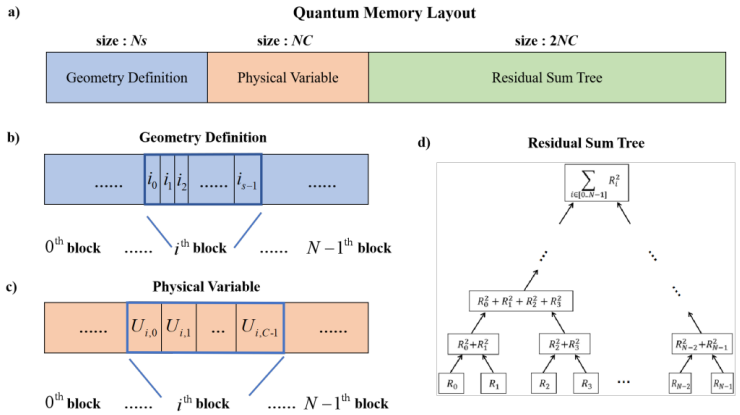
産業領域	製造・組立
プロセス	研究開発・製品設計
手法	シミュレーション
技術分類	ゲート*

期待されるビジネス効果

- **積分計算における各反復ステップが古典コンピューターのO(N)から O(LogN)に短縮され、QCFD （量子コンピューターを用いたCFD）による全計算時間は古典コンピューターに比して、指数関数的に加速**される
- **QCFDによる量子加速は問題規模（N）が十分大きな場合に限定される**
  - ✓ QCFDアルゴリズムの高速パフォーマンスが保証される条件はNと計算精度（ε）に依存し、量子加速が満たされる条件はN>>1/ ε2のため
- 古典コンピューターでは困難な、機体形状に関する空力特性評価の大規模な数値流体力学モデルを生成し、**量子コンピューターでエネルギー効率の高い機体設計のシミュレーションの実現可能性が高まった**
  - ✓ ただし、上記アルゴリズムの残論点である計算精度と計算の収束を明確化する必要がある



Airbusの機体デザイン



QRAMの構造（3ブロックで構成）
Geometry Definition:問題の入力情報を保持
Physical Variable: 離散化方程式の物理変数を保持
Residual Sum Tree: Residual vectorのツリー構造

参考： Emerging Technology Review「エアバスは量子コンピューターで航空機をデザイン、NISQで量子アルゴリズム開発が始まる」
（https://etechnologyreview.com/2019/11/08/%E3%82%A8%E3%82%A2%E3%83%90%E3%82%B9%E3%81%AF%E9%87%8F%E5%AD%90%E3%82%B3%E3%83%B3%E3%83%94%E3%83%A5%E3%83%BC%E3%82%BF%E3%81%A7%E8%88%AA%E7%A9%BA%E6%A9%9F%E3%82%92%E3%83%87%E3%82%B6%E3%82%A4%E3%83%B3/）
*ゲート（gate-based） = 量子ビットに対して順に演算を適用することで計算を行う方式。通常のコンピュータにおける論理回路に近い考え方で、幅広い問題に対応可能。

WEBサイトにて、その他の事例も公開しています。ぜひご覧ください。
https://www.quantum-computing-use-cases.nedo.go.jp

他の事例を見る

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）
AI・ロボット部（e-mail：quantum_ai@ml.nedo.go.jp）

本ユースケース集は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術開発機構（NEDO）の委託業務「量子・古典ハイブリッド技術のサイバー・フィジカル開発事業／量子技術に関するユースケース事例調査」および「ポスト５Ｇ情報通信システム基盤強化研究開発事業（量子産業化）／量子コンピュータの産業化促進に向けた包括的調査」の成果として、得られたものです。