

第5回アドバンス・シミュレーション・セミナー2025 開催報告

九州大学 工学研究院 航空宇宙工学部門

准教授 久谷 雄一 様

「量子技術を応用した次世代流体解析基盤の確立に向けて」

アドバンス・シミュレーション・ニュースは、アドバンスソフト株式会社が2021年度から、我が国における計算科学技術の振興を目的として、幅広い分野の最先端研究を対象として開催している「アドバンス・シミュレーション・セミナー」の開催報告と今後の開催予定をご案内するサービスです。

本セミナーで紹介される多種多様な最先端研究をきっかけに、企業の研究開発を担う技術者の方が新たな視点を持つこと、最先端研究を産業に応用する起点となること、長期的には計算科学シミュレーション分野の裾野が広がること等を期待しています。

開催概要

- 日時：2025年9月12日（金）14:00～15:30
- 開催方法：オンラインセミナー（Zoomにて開催）
- 主催：アドバンスソフト株式会社 出版事業部
- 講演概要

ムーアの法則の限界が指摘される中、量子力学の原理に基づき、特定の問題ではスーパーコンピュータを凌駕する可能性を持つ量子コンピュータが注目されており、世界中で開発競争も激化している。一般に量子コンピュータとは「ゲート型」のものを指すが、それとは全く異なる仕組みで動作する量子アニーリングマシンの開発も進んでいる。量子アルゴリズムは従来の古典コンピュータに対するアルゴリズムとは大きく異なるため、量子コンピューティングの流体理工学分野への応用に関してはまだ模索が始まったばかりである。本発表では、量子コンピューティングの基礎や当該分野の現状、そして我々の最近の取り組みを紹介したい。



本稿は、2025年9月12日に開催した「アドバンス・シミュレーション・セミナー2025」において、久谷 雄一 様にご講演いただいた内容をアドバンスソフトがまとめたものです。

ご講演内容

1. 講演内容

1.1. 研究の動機

本研究の主な動機は二つである。一つは次世代解析基盤の確立である。将来的にスーパーコンピュータの性能が物理的限界に達することは避けられない。特に演算による発熱の問題は深刻である。このため、従来のCFDとは異なるアプローチが必要とされる。流体理工学分野での研究例はまだまだ少ない一方で、情報科学や物理学の分野では量子コンピューティングの研究がすでに活発であり、この分野に先駆的に取り組むことには大きな意義がある。もう一つは、ソフトウェアがハードウェアを牽引するという考え方である。良質なソフトウェアがなければ企業はハードウェアに投資しない。量子コンピュータの開発が

活発な背景には、現在の暗号技術を破る可能性を秘めた量子暗号の存在がある。イノベーションを起こすソフトウェアが誕生すれば、それがハードウェア開発を加速させる原動力となる。本研究はまさにこの「ソフトウェアからハードウェアを牽引する」という思想に基づく取り組みである。現在の研究は、量子アニーリング、ゲート型量子コンピュータ、量子インスパイアード手法という三つの計算手法と、流体に関するソフトウェアアプリケーションを組み合わせ、その可能性を模索している。

1.2. 量子コンピューティングの種類と特徴

量子コンピュータは大きくゲート型とアニーリング型の二種類に分かれる。ゲート型は、従来のコンピュータと同様に論理演算を模した量子ゲートを用いて汎用的な計算を行う、いわば現在の計算機能をさらに上位へ引き上げる存在である。一方、アニーリング型は量子アニーリングマシン(量子アニーラ)と呼ばれ、組合せ最適化問題に特化している。コスト関数を最小化する組合せを見つけ出すことに限られるが、その処理能力は非常に高く、量子超越を示した研究成果もすでにある。D-Wave 社の最新機種はすでに 5000 量子ビットを扱える段階に達しており、実用化が進んでいるといえる。

量子コンピュータは依然として完全に制御できておらず「紙飛行機」に例えられる。紙飛行機は「飛行機の原型」ではあるが、実際の航空機とは構造も仕組みも違う。同様に、現在の量子コンピューティングデバイスは、本格的な量子計算機の姿とは異なる過渡的段階にある。しかし、研究者や企業による投資の増加により、実用化までの期間は当初の予測より短縮される見込みである。最大の強みは量子力学特有の現象を利用する点にある。量子重ね合わせは量子ビットが同時に 0 と 1 の両方の状態をとることを可能にし、量子もつれは離れた量子ビットが互いに状態を共有する現象である。これらの性質を活用することで、膨大な組合せの中から最適解を効率的に見つけることができる。また、量子コンピュータは熱効率に優れる。従来のコンピュータが電子の移動によって熱を放出するのに対し、量子コンピュータはエネルギー消費を抑えて計算を行うため、たとえ計算速度が同等であっても価値は非常に高いといえる。一方で課題も多く、演算時のエラーが生じやすい。したがって、エラー訂正を含めた論理量子ビットの数は物理量子ビットの数より大幅に少なく、実用的な計算にはなお多くの論理量子ビットが必要とされる。

1.3. 量子アニーリングによる流体計算への応用

久谷先生の研究グループは、量子アニーリングを流体計算に応用できるかを検討している。量子アニーリングが解くのは QUBO (Quadratic Unconstrained Binary Optimization) もしくは Ising と呼ばれる特定形式の最適化問題であるため、流体の支配方程式をこの形式へ変換する必要がある。ここで着目したの

が、流体計算手法の一つである格子気体法 (LGA) である。LGA は格子上の粒子状態を「存在する (1)」か「存在しない (0)」かで表現でき、量子アニーリングとの相性が良いと考えられる。

この手法では、粒子衝突に伴う質量保存則と運動量保存則をコスト関数として表現する。具体的には、それぞれの保存則の式を二乗し、最小値がゼロとなるように設定する。これにより量子アニーリングは、物理法則を満たす衝突後の粒子状態を導き出すことができる。この方式を一次元のチャンネル流れに適用した結果、量子アニーリングのソルバー上で流体計算が可能であることが示された。さらに、従来の計算のように時間積分を必要とせず、一度の量子計算で物理的に正しい解を抽出する手法も開発している。量子アニーリングの最大の利点は、問題規模にかかわらず実行時間が一定になる可能性である。十分な量子ビットが用意されれば、大規模問題であってもわずか 20 マイクロ秒で解を得ることが期待される。

1.4. 量子アニーリングによるブラックボックス最適化

流体工学分野で現実的な応用が見込まれるのがブラックボックス最適化である。これはシミュレーションや実験から得られたデータに基づき、最適なパラメータの組合せを探索する手法である。この手法は、次のサイクルで実行される。

● データセットの作成：

CFD や実験により、パラメータと結果のデータセットを作成する。

● QUBO 行列の推定：

作成したデータセットから、量子アニーリングに必要な QUBO 行列を機械学習的に推定する。

● 量子アニーリングの実行：

推定された QUBO 行列を用いて量子アニーリングを実行し、最適なパラメータの組合せを導出する。

● フィードバック：

得られた最適解候補を新たな実験やシミュレーションのパラメータとして追加し、サイクルを反復する。

適用例として、高速鉄道車両の「微気圧波」低減に関する研究データを用いた。鉄道車両がトンネルに突入する際に発生する音を、車両側面の開口部の開閉パターン (2048 通り) によって低減する問題である。先行研究では CFD により 42 パターンが解析されていたが、この 42 パターンのデータを用いてブラックボックス最適化を試したところ、解析済みのパターンよりも優れた低減効果を示唆する結果が得られた。さらに、QUBO 行列を分析することで「どの窓とどの窓を同時に開けるべきか」といった物理的意味合いを読み取れる可能性も示された。

この手法は航空機の翼の空力形状最適化にも適用可能であり、CFD でさまざまな翼形状と空力性能を計算し、ブラックボックス最適化を行うことで、従来データよりも優れた空力性能を持つ形状を導出できる可能性がある。

1.5. 量子インスパイアード手法と研究の展望

未だ実用的な量子コンピュータ実機は開発されていないため、量子アルゴリズムの検証には量子シミュレーションが使われるが、そこから着想を得た量子インスパイアード手法が存在する。これはテンソルネットワークを用いて従来コンピュータ上での流体計算の高速化・効率化を狙ったものである。この手法では、流体の物理量を行列積状態（MPS）という特殊な形にエンコードし、特異値分解を用いて不要な情報を捨ててデータを圧縮する。圧縮した状態のまま計算を行い、最後にデコードすることで、計算時間を大幅に短縮できる。

久谷先生の研究グループはこの手法を様々な流体計算手法に応用する研究を進めている。圧縮を行わない場合には従来の計算手法より時間がかかる局面もあったが、適切にデータを圧縮すると計算時間を大幅に短縮できることが分かった。一方、過度の圧縮は重要な情報の喪失を招き、計算結果が大きく乖離することも明らかになった。

本講演では、量子技術を応用した次世代流体解析基盤の確立に向けた取り組みを概説した。量子コンピュータの実機は依然発展途上であるが、完成後に準備を始めるのでは遅い。ソフトウェア側から何ができるかを示すことが今後の開発には不可欠である。当該分野は世界的に注目され、研究者も増加している。流体計算のような厳密な計算には課題が多いものの、創薬や材料開発、ブラックボックス最適化のように最適な組合せを見つける問題には大きな可能性が秘められている。久谷先生の研究グループは今後も量子技術の可能性を最大限に引き出すべく、研究を継続する方針である。

1.6. 聴講における感想（アドバンスソフト）

一般には量子コンピューティングは計算速度の可能性ばかりが強調され、具体的な応用事例の公表が依然として限られている。久谷先生の講演は、現行機が抱えるエラー率を含む性能水準を前提に、流体解析や組み合わせ最適化への適用可能性を具体的に論じた点に特色があり、実務的示唆に富む内容であった。量子コンピュータの本格的実用化が数十年先と見なされる現状においても、アプリケーションの進化がハードウェアの進化を牽引するという視点は、日々のソフトウェア開発に携わる技術者の姿勢にも通底する重要な示唆である。

【ご経歴・ご研究内容】

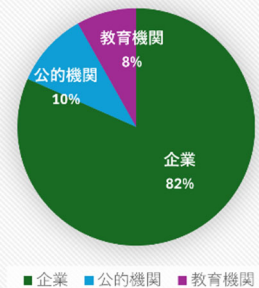
2010 年 University of Southampton, School of Engineering Sciences, Postgraduate Research programme 修了 (PhD). 2011 年 University of Southampton, Airbus Noise Technology Centre, Research fellow. 2012 年より Mercedes-AMG Petronas Formula One Team, CFD aerodynamicist. 2016 年 10 月より東北大学 大学院工学研究科 航空宇宙工学専攻 助教, 2022 年 4

月より同准教授. 2025 年 1 月より九州大学 大学院工学研究院 航空宇宙工学部門 准教授.

参加者のご意見

申込者は 140 名、当日の参加者（視聴者）（社外）は 98 名でした。参加者（視聴者）の内訳は、企業が 80 名、公的機関が 10 名、教育機関が 8 名でした。主な業種は、「自動車/自動車部品」、「材料/素材」、「ソフトウェア/システム」、でした。主な職種は、「研究/開発」でした。

参加者の所属機関



セミナー後のアンケートは、64 名からご回答いただきました。満足度の平均値は 10 点満点中 7.9 と高評価をいただいております。「量子コンピューティングの基礎から流体への応用にかけて理解を深めることができた」「先進的な内容かつ工学的な接点も感じられる内容で、とても興味深く聴講しました」「量子コンピュータの基礎的な知識、それを用いた流体計算の現在の状況を知ることができ、有意義だった。」など、量子コンピューティングの基礎知識・流体計算の応用などに関する理解が深まり、実務にも直結する学びが多かったとのお声を多数いただきました。

公開資料

今回のご講演の YouTube 動画は非公開です。

ご講演の資料は、右の QR コードの「資料をダウンロードする」からログイン後、ダウンロードすることができます。ログインアカウントをお持ちでない方は、「資料をダウンロードする」から新規メンバー登録後、ログインしてダウンロードすることができます。



右の QR コードから過去のアドバンス・シミュレーション・セミナーの YouTube 動画をご覧ください。



2024 年度に開催したセミナーの各記事の一つにまとめて、24 ページの冊子として発行いたしました。全 10 回分の記事を一度にご覧いただけますので、ぜひお手元にてご覧いただけますと幸いです。



2025 年度の開催日程

アドバンス・シミュレーション・セミナー

2025 の開催要領

<https://www.advancesoft.jp/seminar/33224/>

No.	日程 受付状況	内容	テーマ
第 1 回	5 月 30 日 (金) 終了	「太陽内部の磁気乱流シミュレーション」 名古屋大学 宇宙地球環境研究所 教授 堀田 英之 様	磁気流体力学 ・ HPC
第 2 回	6 月 13 日 (金) 終了	「流体乱流における同期現象とデータ駆動型手法」 東京理科大学 理学部 第一部 応用数学科 准教授 犬伏 正信 様	データ同化、 機械学習
第 3 回	7 月 18 日 (金) 終了	「火災・爆発災害のリスク低減への燃焼研究の応用」 東京理科大学 創域理工学研究科 国際火災科学専攻 教授 土橋 律 様	火災・爆発 災害現象
第 4 回	8 月 1 日 (金) 終了	「AI 新時代を切り拓く政府の次世代 HPC 戦略の展望」 文部科学省 研究振興局 参事官 (情報担当) 付 計算科学技術推進室 室長 栗原 潔 様	政府の 科学技術政策
第 5 回	9 月 12 日 (金) 終了	「量子技術を応用した次世代流体解析基盤の確立に向けて」 九州大学 工学研究院 航空宇宙工学部門 准教授 久谷 雄一 様	流体理工学, 量子演算
第 6 回	10 月 17 日 (金) 終了	「火災・爆発現象のモデリングおよび早期異常検知」 東京理科大学 創域理工学研究科 国際火災科学専攻 教授 桑名 一徳 様	火災科学, 燃焼理論
第 7 回	11 月 7 日 (金) 受付中 お申込みはこちら 	「AI とシミュレーションが駆動する創薬分子設計」 東京科学大学 情報理工学院 情報工学系 准教授 大上 雅史 様	AI 創薬
第 8 回	11 月 28 日 (金) 受付中 お申込みはこちら 	「原子力から考える汎用解析コードの役割と可能性」 早稲田大学 理工学術院 先進理工学研究科 共同原子力専攻 教授 山路 哲史 様	総合理工学
第 9 回	12 月 19 日 (金) 受付中 お申込みはこちら 	「『計算・データ・学習』融合と富岳 NEXT,その先にあるもの」 東京大学 情報基盤センター スーパーコンピューティング部門 教授 中島 研吾 様	計算科学・ 計算機科学
第 10 回	2026 年 1 月 23 日 (金) 受付準備中	「地層処分の安全評価におけるシミュレーションの活用と展望」 原子力発電環境整備機構 技術部 性能評価技術グループ グループマネージャー 石田 圭輔 様	地層処分

【お問い合わせ先】

アドバンスソフト株式会社 出版事業部

〒101-0062 東京都千代田区神田駿河台四丁目 3 番地 新お茶の水ビルディング 17 階西

TEL : 03-6826-3971 FAX : 03-5283-6580 E-mail : office@advancesoft.jp

<https://www.advancesoft.jp/>

当社では随時人材の募集も行っております。

<https://www.advancesoft.jp/recruit/>

Copyright © 2025 AdvanceSoft Corporation. All right reserved.