

学術変革領域研究 (B) 量子効果によるエネルギー生成/利用の革新的効率向上法の開拓と実現
Pioneering and realizing innovative methods to improve the efficiency of energy generation / utilization through quantum effects



NewsLetter

量子エネルギー革新

02 2026 Mar.



Contents

Annual Reports of Each Projects A01/A02/A03/A04

Conference Reports

Joint Symposium Session at the JPS 2025 Annual (80th) Meeting/
Kyoto Workshop on Quantum Thermodynamics and
Stochastic Thermodynamics 2025

Research Highlight

Fundamental limits of nonequilibrium sensing

List of publications/talks

A01/A02/A03/A04

目次 Contents

目次.....	02
巻頭言 領域代表より（田島 裕康）	03
2025年度 計画研究成果報告	
A01：量子優位班.....	04
A02：量子実現班.....	05
A03：古典再現班.....	06
A04：量子改善班.....	07
研究会報告.....	08
学術集会報告.....	09
最近の研究から.....	10
業績一覧.....	11
お知らせ.....	15
編集後記.....	16



領域代表

田島 裕康 Tajima Hiroyasu

九州大学 大学院システム情報科学研究所 情報学部門 准教授

本領域が発足してから二年目を迎えました。初年度は基礎理論と実験可能性についての交流を開始し、いくつかの基本的な成果を出す年でしたが、本年度は前年の積み重ねが本格的な成果となって結実し、本格的に領域全体の目標が達成されつつあることを実感できる一年だったといえると考えています。

まず、領域全体の目標である「実験室レベルでのエンジンの量子優位性の証明」について、本格的な進展がありました：A01班とA02班との共同研究により、量子効果を用いたパワーとカルノー効率の漸近達成の両立を、実験室レベルでも実現可能な形で設計することに成功しました。この研究はさらに、昨年度A01班が明らかにした、当初想定されていた線形的改善を超えた、スケールレベルで古典エンジンより優れたパワーを出しつつ、効率をカルノー効率に漸近させることすら実験室レベルで可能であることを数値計算レベルで示唆しています。

もう一つの大きな目標である「非マルコフの熱力学理論の構築」についても、大きな進展がありました：A03班は非マルコフ熱力学における熱力学的整合性のあるマルコフ埋め込みを明らかにし、非マルコフ熱力学の理論的基盤を整備しました。これは、熱力学における非マルコフ効果を統一的に解析することを可能にする、非常に大きなステップです。

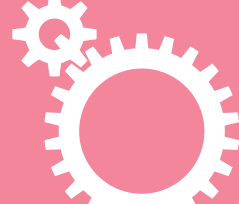
さらに、当初の予定を超えた進展もいくつか得られました。A04班では、反応拡散系のダイナミクスにおける最適輸送に基づいた熱力学の定式化や、最適輸送に基づいた熱力学に基づいた生成AI手法である拡散モデルに対する正確さと散逸のトレードオフ関係の研究、情報幾何に基づいた多体系

におけるエントロピー生成の推定手法の開発など、当初の適用範囲を超えた応用範囲を与える重要な成果を複数与えています。またA01班でも、幅広いリソース理論に対して、任意量子チャンネルのリソースコストを与える研究を通して、任意の量子チャンネルのエネルギーおよび自由エネルギーコストの普遍的下限を導出することに成功しています。

これらの理論・実験両面での進展と並行して、領域としての運営・交流活動も大きく展開されました。昨年9月には、沙川ERATO情報エネルギー変換プロジェクトとの合同シンポジウム「情報と量子の熱力学：最適輸送から量子多体系まで」を、一般社団法人日本物理学会第80回年次大会の場で共催いたしました。

また、12月、京都大学基礎物理学研究所で国際会議「Kyoto Workshop on Quantum Thermodynamics and Stochastic Thermodynamics 2025」を開催し、国内外から量子熱力学と確率熱力学の第一線の研究者が集い、幅広く議論を交わしました。海外からはEric Lutz、Kihwan Kim、Kay Brandner、Nelly Ngなどをはじめとする著名な研究者を招き、多くの共同研究がスタートするきっかけを得ることができました。

本領域は、理論的洞察、実験可能性、運営・交流の三位一体として、量子エネルギー変換に関する研究を深化させています。本誌では、各班の報告を通してそれぞれの成果と挑戦を詳細に伝えていますので、ぜひご覧ください。来年度は、得られた理論・設計原理をデバイス実現へとつなぎ、量子エネルギー革新が科学と技術の限界を書き換える段階へ進むことを目指します。引き続き皆様のご支援とご指導を賜りますようお願い申し上げます。



研究代表者

田島 裕康 Tajima Hiroyasu

九州大学 大学院システム情報科学研究所 情報学部門 准教授

研究分担者

布能 謙 Funo Ken

東京大学 講師



A01班の研究目標は、量子効果による熱力学デバイスの性能向上の原理的境界を解明し、さらに実現可能なモデルにおいて古典モデルを大幅に凌駕する性能強化を示すことにあります。そのために本班では、①量子資源の定量化、②量子効果による性能強化の原理的境界の決定、③熱力学プロセス実装の難易度評価、④実験室レベルで実現可能な量子強化モデルの構築、の四点を柱として研究を進めています。

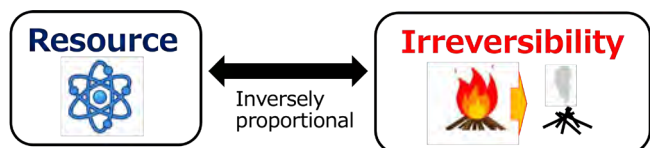
2025年度は、これら4つのすべてについて、大きな進展がありました。

最大の進展は、本研究領域の目標とも密接につながる④です。この目標について、④について、A02班との共同研究により、量子効果によって古典エンジンでは決して両立できないパワーと効率を同時に達成可能であり、かつ実験室レベルで構築可能な具体的エンジンモデルを設計することに成功しました（論文準備中）。この結果は、理論的優位性の存在を示すだけでなく、超伝導量子回路など現実的プラットフォームで実装可能な形に落とし込めたことは、量子優位性を「原理」から「設計原理」へと昇華させる重要な成果です。この研究はさらに、②について前年度に与

えた「線形強化を上回るエンジンの量子強化」も実験的に実現できることを支持しており、量子エンジンの実際的な強化の限界を調べる研究において非常に重要な意味を持っています。

また①および③に関しても理論的深化が進みました。まず、リソースの定量化（①）について、強い対称性に対する非対称性のリソース理論を構築し、それに基づく対称性の破れの定量指標を系統的に与えることに成功しました（論文投稿中）。通常の弱い対称性についても、対称性の破れを表すリソース指標である量子 Fisher 情報量が物性物理においても重要な役割を果たすことを示すことに成功しました（論文投稿中）。さらに、③について幅広いリソース理論に対して、任意量子チャンネルのリソースコストを与える研究を通して、任意の量子チャンネルのエネルギーおよび自由エネルギーコストの普遍的下限を導出することに成功しました（論文投稿中）。この成果は特に、量子情報理論のトップカンファレンスである QIP 2026 に talk accept されました。

以上のように、2025年度は量子熱機関の性能限界に関する理論を質的に押し広げると同時に、実装可能な量子エンジン設計へと接続する段階へと研究が進展しました。今後は、エンジンについての量子強化の理論をさらに具体的モデルへと結実させるとともに、実験班との連携を深化させることで、量子エネルギー優位性の実証に向けた研究を加速していく予定です。





研究代表者

野口 篤史 Noguchi Atsushi

国立研究開発法人理化学研究所 量子コンピュータ研究センター チームディレクター

研究協力者

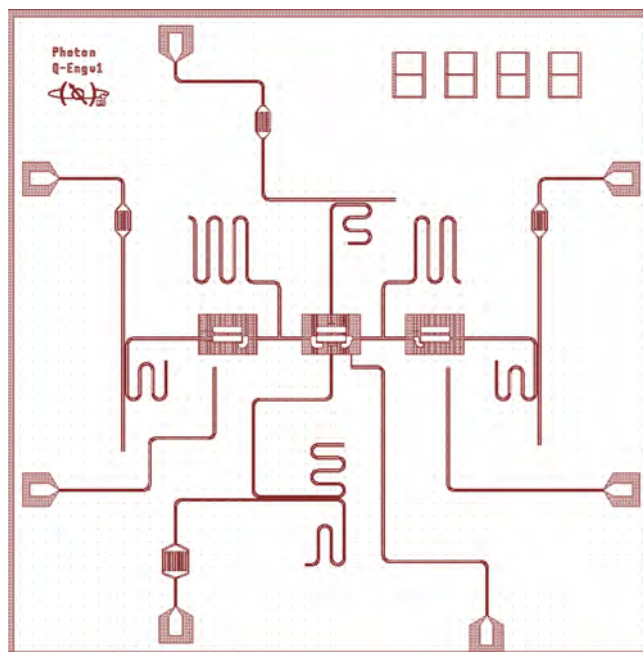
河野 信吾 Kono Shingo

コペンハーゲン大学 ニールス・ボーア研究所 助教



A02班の研究目標は、超伝導回路を用いた量子加速された熱機関を実現することです。本研究の元となった論文(H. Tajima and K. Funo, Phys. Rev. Lett. 127, 190604 (2021))では、多数の区別のできない量子ビットや原子における量子コヒーレンスによって生じる超放射と呼ばれる現象によって、熱機関が量子加速できることを示しました。またA01班により、対称性を利用することで熱機関の出力が指数関数的に増大可能なことが明らかになりました(K Funo and H. Tajima Phys. Rev. Lett. 134, 080401 (2025))。これらが示しているように、量子コヒーレンスを使うことで非常に強力な熱機関を構成可能であることがわかりました。しかしながら、量子加速された熱機関を実験で実現するには、技術的な課題が多く残っています。とくに、こうした超放射現象は、量子ビット同士が見分けられないことによって生じる量子コヒーレンスに起因しています。しかし実際の超伝導量子ビットでは、個々の量子ビットは作製時のパラメータばらつきによってその周波数がふらついてしまうために、見分けられない多数の量子ビットを集積することは非常に困難です。また、このような量子ビット集団を利用して対称性を利用したさらなる加速をするには、量子ビットのすべての組み合わせで量子もつれを作る操作が必要になり、非常に複雑な操作が要求されます。こうした困難を克服するため、今年度は量子ビット集団のかわりにマイクロ波光子を利用した熱機関についての研究を進めました。ある一つのマイクロ波共振器を量子化すると、その量子状態はマイクロ波光子数状態の重ね合わせで記述されます。このとき、例えば共振器が2光子状態にあるとき、これら

の光子は互いに本質的に見分けることができません。このため、量子ビットの時のように各種パラメータを人工的にそろえなくても、マイクロ波共振器の内部には見分けられないマイクロ波光子を好きなだけ用意することができます。こうした特徴のため、より複雑な対称性を持つ制御も可能になるため、より大きな量子加速を達成する熱機関が構成可能であることがわかりました。今年度はさらに、この熱機関を実験的に動作させるための予備的な実験もいくつか進めました。マイクロ波制御にともなう周波数混雑の問題など、実験上のいくつかの課題も明らかになり、来年度の実験的な実証を目指して研究を進めています。



量子加速熱機関の基礎評価用量子チップ



研究代表者

金澤 輝代士 Kanazawa Kiyoshi

京都大学 理学研究科 准教授

研究分担者

Andreas Dechant

京都大学 准教授



A03班は強い履歴依存性をもつ熱揺らぎ（非マルコフゆらぎ）を記述できる新たな確率熱力学の理論的枠組みを構築し、非マルコフ系の熱力学限界を解き明かすことを目指します。揺らぎの履歴依存性は自然科学のみならず、社会科学においても遍く観測される現象です。一方で、履歴依存性を数理的に記述することは非常に難しく、非マルコフ系の熱力学的な性質は非常に限られた側面しか理解されていません。そこで、非マルコフ系を記述する新たな数理的枠組みを構築することで、履歴依存性が強い微小熱力学系の理論体系を構築します。

本年度は非マルコフ系を記述する確率熱力学の枠組みの基礎を完成させました。具体的には、マルコフ埋め込み法を用いることによって、履歴情報をマルコフ場の確率過程に埋め込む手法を研究しました。フーリエ型の埋め込み法を用いると、時間反転対称性を保ったまま、任意の1次元非マルコフジャンプ過程をマルコフ場に埋め込むことができます。この手法を用いてマスター方程式を導出し、熱力学第1法則、第2法則を構成しました。また、具体的なモデルを複数作ることで数値計算を行い、その理論的予言を確かめました。本結果はプレプリントとして公開しており、今後の査読結果を待っている所です。また、一般化

Langevin方程式における埋め込み法の研究も行いました。一般化Langevin方程式においては、第2種揺動散逸関係式を満たす場合、埋め込みを具体的に構成することができます。また、一般に埋め込み手法は一意ではありませんが、埋め込み後の熱力学量（熱・仕事・エントロピー生成）は埋め込みに依存せず一意に定義できることを示しました。この手法で定義したエントロピー生成は時間に関して単調に増加することが示されます。この結果については現在論文として準備中です。

また、確率熱力学に関する一般的な基礎研究も行いました。具体的には、熱力学的不確定性関係（thermodynamic uncertainty relation, TUR）の亜種である逆熱力学的不確定性関係（inverse thermodynamic uncertainty relation, iTUR）を導出しました。TURは確率的な流れのゆらぎの下限を、平均値を散逸で割ることで特徴づけます。つまり、輸送精度を上げるためには大きな散逸が必要となります。しかし、系を非平衡系に駆動するとゆらぎが増大するため、散逸によって上限が生じることも考えられます。そこでゆらぎの上限を特徴づけるiTURを導出しました。この結果はある種のno-go定理であり、ただちに速い拡散などを永続的に維持することが困難であることがわかります。



研究代表者

伊藤 創祐 Ito Sosuke

東京大学 大学院理学系研究科 准教授

研究分担者

吉村 耕平 Yoshimura Kohei

理化学研究所 基礎科学特別研究員

研究協力者

Artemy Kolchinsky

スペイン ポンペウ・ファブラ大学

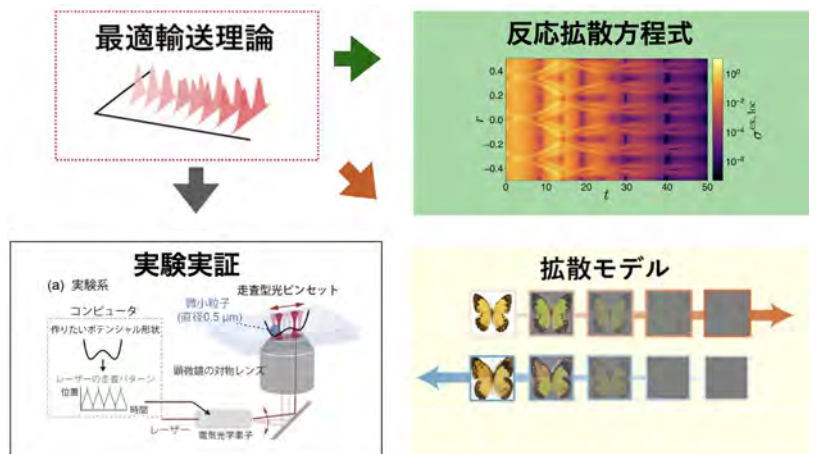


非平衡熱力学におけるダイナミクスと、最適輸送理論や情報幾何などの幾何学との関係が最適性の観点から注目を集めています。量子改善班 (A04) は、既存の古典系での熱力学の幾何学的手法を量子系に拡張することや、古典系の熱力学の理論を発展させ量子拡張性を考察することで、古典の非平衡熱力学と量子熱力学を発展させる研究を行います。

本年度は古典に特化した研究を主に行いました。具体的には反応拡散系のダイナミクスにおける最適輸送に基づいた熱力学の定式化 [Ryuna Nagayama, Kohei Yoshimura, Artemy Kolchinsky, Sosuke Ito, Physical Review Research 7, 033011 (2025).] や、最適輸送に基づいた熱力学に基づいた生成AI手法である拡散モデルに対する正確さと散逸のトレードオフ関係の研究 [Kotaro Ikeda, Tomoya Uda, Daisuke Okanohara, Sosuke Ito, Physical Review X 15, 031031 (2025).]、最適輸送に基づいた熱力学的な速度限界の実験的な実証の研究 [Shingo Oikawa, Yohei Nakayama, Sosuke Ito, Takahiro Sagawa, Shoichi Toyabe, Nature Communications 16, 10424 (2025).]、古典マスター方程式の遷移レート行列の固有値に関する熱力学的な制約の研究 [Guo-Hua Xu, Artemy Kolchinsky, Jean-Charles Delvenne, Sosuke Ito, Physical Review Letters 135, 257102 (2025).]、情報幾何に基づいた多体系におけるエントロピー生成の推定手法の研究 [Miguel Aguilera, Sosuke Ito, Artemy

Kolchinsky, to appear in Physical Review Letters (2026).] を主に行ったほか、グラフ理論に基づいた進化現象を表現する非線形マスター方程式における定常分布と応答関数の表現の研究 [Koya Katayama, Ryuna Nagayama, Sosuke Ito, to appear in Physical Review Research (2026).] などを行いました。特にこれらのいくつかの古典系での結果は量子拡張の出発点になったり、その応用可能性を広げるものとなると考えられます。

また他にも、相互相関関数を用いた散逸の表現に関する研究、リミットサイクル振動における普遍的な熱力学的制限の研究、情報熱力学における最適輸送の手法を用いた情報流の分解の研究などを古典系で行ったほか、半古典的な量子系の記述におけるフィードバック冷却の熱力学的な限界の研究を行いました。また分担研究者の吉村は量子系での詳細釣り合いの表現に関する研究や量子系における擬似確率の表現を用いた熱力学的な限界の研究も行っています。



日本物理学会第80回年次大会（2025年） 共催シンポジウム

（共催：ERATO 沙川情報エネルギー変換プロジェクト）
情報と量子の熱力学：
最適輸送から量子多体系まで

2025年9月17日（水）
広島大学東広島キャンパス

2025年9月に開催された日本物理学会第80回年次大会では、沙川ERATO情報エネルギー変換プロジェクトとの共催シンポジウム「情報と量子の熱力学：最適輸送から量子多体系まで」が実施されました。本シンポジウムは、最適輸送理論や熱的系の熱力学的一般化といったテーマを核に、実験・理論両面から議論が行われたものです。イントロダクション講演として沙川貴大氏（東京大学工学系研究科）による領域の基調が示され、その後、熱的系における最適輸送実験（鳥谷部祥一氏）、最適輸送に基づく熱力学の一般化（A04:伊藤創祐）、有限時間熱力学的コストの限界（A01:布能謙）など、最先端の研究発表が続きました。また、閉じた量子系の仕事取り出し（濱崎立資氏）や量子コヒーレンスの熱力学への影響（A01:田島裕康）、超伝導量子回路を用いた量子エンジン（A02:野口篤史）、非マルコフ過程における確率熱力学（A03:金澤輝代士）といった講演も行われ、非常に活発な議論が行われました。

若手国際ワークショップ Kyoto Workshop on Quantum Thermodynamics and Stochastic Thermodynamics 2025

（共催：京都大学基礎物理学研究所）

2025年12月8日（月）～12月12日（金）
京都大学基礎物理学研究所

2025年12月8日～12日に、基礎物理学研究所（YITP）において国際会議「Kyoto Workshop on Quantum Thermodynamics and Stochastic Thermodynamics 2025」を開催しました。本会議には、量子熱力学および確率熱力学の第一線で活躍する研究者が国内外から参加しました。海外からの招待講演者としてEric Lutz、Kihwan Kim、Kay Brandner、Nelly Ngらが登壇し、量子コヒーレンスや相関が熱機関の性能限界に与える影響、熱力学的速度限界、揺らぎ定理、最適輸送に基づく非平衡熱力学の幾何学的構造、さらには量子エンジンの実験的実現など、多岐にわたる最先端の話題について講演が行われました。ポスター発表および討論も活発に行われ、若手研究者とシニア研究者の間で密度の高い議論が展開されました。本会議は、本領域の研究成果を国際的に発信するとともに、量子エネルギー研究の今後の方向性を共有する重要な機会となりました。





学術集会 学変B「量子エネルギー革新」セミナーシリーズ

分野横断的な知見を得るため、また外部との交流のために、定期的に外部からの研究者を招いてセミナーシリーズを開催しております。1~2時間のセミナーの後、ディスカッション、そして共同研究のための議論を行うスタイルで、実際にここから多くの共同研究が始まっております。2025年度に開催されたセミナーシリーズの一覧は以下の通りです。

講演者：上村俊介（日本電気, NEC）

開催日：2025年9月12日

タイトル：Information arbitrage in molecular machines

講演者：Seok Hyung Lie（蔚山科学技術院）

開催日：2025年10月14日

タイトル：Thermal operations from informational equilibrium

講演者：Andrea Auconi（ヴェネツィア・カフオスカリ大学）

開催日：2025年11月10日

タイトル：Nonequilibrium relaxation inequality on short timescales

講演者：Christian Flindt（アールト大学）

開催日：2025年12月8日

タイトル：Dynamic quantum transport in mesoscopic conductors





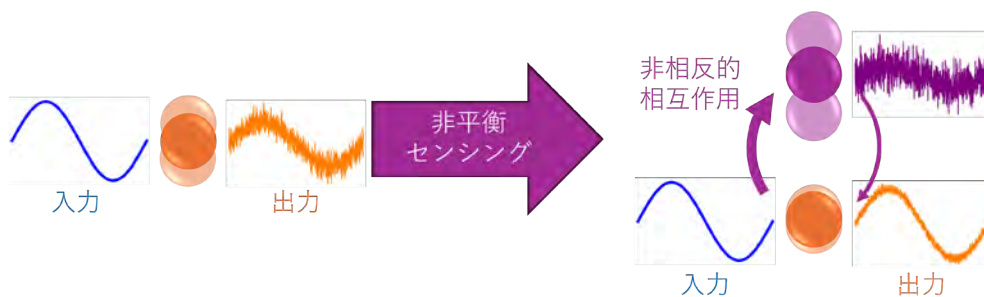
非平衡センシングの根本的限界

多くの技術的・科学的応用において、正確なセンシングは極めて重要である。より小さな物理系を設計・制御しようとするほど、それらを検出できるだけの高い感度をもつ測定装置が必要となる。しかし、感度が高まるほど、センサーは環境からのノイズの影響を受けやすくなる。したがって有用なセンサーとは、入力信号に対して高い感受性を示しつつ、付加するノイズを最小限に抑えるものであり、その性能は信号対雑音比 (SNR) によって評価される。実際の応用では、センサーの冷却や出力信号のフィルタリングなど、SNR を改善するためのさまざまな手法が用いられている。

私たちの研究は、細菌が周囲の栄養素を感知する際に用いる生物学的センサーに着想を得た、別のアプローチに焦点を当てている。生物学的センシングを担う非平衡な生化学プロセスは「自律フィードバック」と呼ばれる仕組みを実装しており、センサー応答を精密に制御し、ゆらぎを抑制する。この高い精度は、非平衡状態を維持するために継続的なエネルギー消費を必要とするという代償を伴う。

この現象を技術的応用へと翻訳することで、新たな可能性が開かれる。生物細胞とは異なり、人工的な実装ではパラメータを自由に最適化できるからである。私たちの研究では、非平衡センサーの最小モデルを設計し (図参照)、SNR を最大化するパラメータを明示的に決定した。驚くべきことに、非平衡状態における SNR の向上には根本的な限界が存在しないことが分かった。すなわち、低周波信号のセンシングは、与えられたエネルギーコストのもとで原理的にはいくらでも高い精度で実現可能であり、制限要因は最適なパラメータ値をもつ非相対的相互作用を実現できるかどうかのみ依存する。

このアプローチを用いることで、センサーが環境ノイズにさらされている状況でも SNR を向上させることができる。一方では、冷却など他の手法が利用できない場合に新たな応用を可能にし、他方では、非平衡センシングを従来の方法と組み合わせることで、現在達成されている水準を超えて SNR をさらに向上させる潜在性もある。現在私たちは、非平衡センシングをオプトメカニカルシステムに実装する研究を進めており、このアプローチの実用的な実現可能性を示すとともに、具体的な応用へと発展させている。



非平衡センシングの概念図：左：環境ゆらぎのため、どのようなセンサー（オレンジ）も入力信号にノイズを付加してしまう。右：非平衡センシングでは、センサーと補助系（紫）の間に非相対的相互作用が働き、ゆらぎの非対称な分布が生じる。これにより、入力信号に対する感度を保ったまま、センサーが付加するノイズを低減できる。

執筆者紹介

Andreas Dechant 京都大学 理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻物性基礎論講座 准教授

A01班

【査読付き論文】

- A. Yamauchi, R. Nagase, K. Li, T. Sagawa and K. Funo, Thermodynamic speed limit for non-adiabatic work and its classical–quantum decomposition, *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical* 58 205001 (2025).
- T. Kamijima, A. Takatsu, K. Funo, T. Sagawa, Optimal Finite-time Maxwell’s Demons in Langevin Systems, *Physical Review Research* 7, 023159 (2025).
- K. Kumasaki, T. Yada, K. Funo, and T. Sagawa, Thermodynamic approach to quantum cooling limit of continuous Gaussian feedback, *Physical Review Research* 7, 043147 (2025).
- K. Kumasaki, K. Tojo, T. Sagawa, K. Funo, “Thermodynamic uncertainty relation for feedback cooling”, *Phys. Rev. E* 113, 024134 (2026).

【プレプリント】

- H. Tajima, K. Yamaguchi, R. Takagi, Y. Kuramochi, “Universal tradeoff relations between resource cost and irreversibility of channels: General-resource Wigner-Araki-Yanase theorems and beyond”, arXiv:2507.23760
- S. Yamashika, S. Endo, H. Tajima, “Quantum Fisher information as a measure of symmetry breaking in quantum many-body systems”, arXiv:2509.07468
- K. Tojo, R. Nagase, K. Funo, T. Sagawa, “Optimizing optimal transport: Role of final distributions in finite-time thermodynamics”, arXiv:2509.11314
- H. Emori, H. Tajima, “Measuring out-of-time-order correlators on a quantum computer based on an irreversibility-susceptibility method”, arXiv:2512.22643
- Y. Kusuki, S. Pal, H. Tajima, “Resource-Theoretic Quantifiers of Weak and Strong Symmetry Breaking: Strong Entanglement Asymmetry and Beyond”, arXiv:2601.20924

【国際会議（招待講演）】

- Hiroyasu Tajima “A Unified Framework for Symmetry-Induced Limitations in Quantum Information Processing” Czech-Japan Workshop on Quantum Technologies, May 2025.
- Ken Funo “Modeling quantum dissipative dynamics using auxiliary modes”, Mini Workshop on open quantum systems and related topics, Shibaura Institute of Technology, Japan, September 2025.

- Ken Funo “Symmetry induced enhancement in quantum heat engines”, The 16th Asia Pacific Physics Conference (APPC16), Haikou, China, October 2025.

【国際会議（一般講演）】

- Ken Funo, “Symmetry induced enhancement in finite-time thermodynamic trade-off relations”, *Quantum Thermodynamics Conference 2025 (QTD2025)*, Singapore, July, 2025.
- Ken Funo and Akihito Ishizaki, “Quantum systems interacting with non-Gaussian baths: Poisson noise master equation”, *The 29th International Conference on Statistical Physics, Statphys29*, Florence, Italy, July, 2025.
- Ken Funo, “Thermodynamic approach to quantum cooling limit of continuous Gaussian feedback”, *Workshop on Stochastic Thermodynamics and Control Theory*, Kyoto University, Kyoto, Japan, November, 2025.
- Hiroyasu Tajima, “Universal tradeoff relations between resource cost and irreversibility of channels: General-resource Wigner-Araki-Yanase theorems and beyond”, *Kyoto Workshop on Quantum Thermodynamics and Stochastic Thermodynamics 2025*, Dec 2025.
- Ken Funo, “Thermodynamic approach to cooling limit of Gaussian feedback”, *Kyoto Workshop on Quantum Thermodynamics and Stochastic Thermodynamics 2025*, YITP, Kyoto, Japan, December, 2025.
- Hiroyasu Tajima, “Universal tradeoff relations between resource cost and irreversibility of channels: General-resource Wigner-Araki-Yanase theorems and beyond”, *29th Annual Quantum Information Processing Conference 2026 (QIP2026)* Jan 2026.

【国内会議（招待講演）】

- 田島裕康, “対称性の下での量子コヒーレンスの定量化と、熱力学への影響”, *日本物理学会第80回年次大会（共催シンポジウム講演）*, 17pSK209-6, 広島大学 2025年9月
- 布能謙, “量子系の熱力学と情報・コヒーレンス”, *量子力学100周年研究会：量子基礎・量子情報のこれまでとこれから*, 京都大学基礎物理学研究所 2025年9月
- 布能謙, “有限時間における熱力学的コストの原理的な限界”, *日本物理学会第80回年次大会（共催シンポジウム講演）*, 17pSK209-4, 広島大学 2025年9月

【集中講義】

- 田島裕康 「非対称性のリソース理論の最近の発展：基礎と応用」 第70回物性若手夏の学校講義



A02班

【査読付き論文】

- Yusuke Tominaga, Shotaro Shirai, Yuji Hishida, Hiroataka Terai, Atsushi Noguchi, Enhancing Intrinsic Quality Factors Approaching 10 Million in Superconducting Planar Resonators via Spiral Geometry, EPJ Quantum Technology 12, 60 (2025).
- Yuki Matsuyama, Shotaro Shirai, Ippei Nakamura, Masao Tokunari, Hiroataka Terai, Yuji Hishida, Ryo Sasaki, Yusuke Tominaga, Atsushi Noguchi, High-Q membrane resonators using ultra-high-stress crystalline TiN films, Appl. Phys. Lett. 127, 222202 (2025).

【国際会議（招待講演）】

- Atsushi Noguchi “Hybrid technologies with high-performance superconducting circuits”, Workshop on Material, Photonics, and Quantum Technology (WMPQT2025), Asahikawa Civic Cultural Hall and Biei Town Community Center, Hokkaido, Japan June 2025.
- Atsushi Noguchi “High performance superconducting resonators and hybrid technologies”, Join international workshop on quantum computing @NCKU, Tainan, Taiwan, June 2025.
- Atsushi Noguchi “Quantum hybrid technologies with high performance superconducting circuits”, HQI-FQSP 2nd Annual workshop, Harvard university, Boston, USA, Oct 2025.
- Atsushi Noguchi “Quantum Manipulation of Resonators by Parity Violated Josephson Circuits”, Byron Bay Quantum Workshop 2025 (BBQ2025), Byron Bay, Australia Nov 2025.
- Atsushi Noguchi “Toward quantum engines with high-performance superconducting circuits”, Kyoto workshop on quantum thermodynamics and stochastic thermodynamics 2025, YITP, Kyoto, Japan Dec 2025.
- Shingo Kono “Scalable superconducting circuit optomechanics with millisecond quantum coherence”, Kyoto workshop on quantum thermodynamics and stochastic thermodynamics 2025, YITP, Kyoto, Japan Dec 2025.

【国内会議（招待講演）】

- 野口篤史 “超伝導量子回路を用いた量子エンジン”, 日本物理学会第80回年次大会共催シンポジウム「情報と量子の熱力学：最適輸送から量子多体系まで」, 広島大学, 2025年9月17日

【プレスリリース】

- 富永 雄介, 白井 菫太郎, 菱田 有二, 寺井 弘高, 野口 篤史 「世界最高水準の長寿命超伝導共振器を開発—量子メモリや誤り訂正の基盤技術として期待—」 2025年6月13日
https://www.riken.jp/press/2025/20250613_1/index.html
- 松山 勇喜, 中村 一平, 野口 篤史, 白井 菫太郎, 佐々木 遼, 富永 雄介, 徳成正雄, 菱田 有二, 寺井 弘高 「800万回以上振動が続く超伝導の「太鼓」の作製に成功——量子センシングや量子メモリへの応用に期待——」 2025年12月09日
<https://www.c.u-tokyo.ac.jp/info/news/topics/20251209143000.html>

【報道】

- 日経電子版 「理研など、長寿命性の指標である内部Q値が世界最高水準の平面型超伝導共振器を開発」 2025年6月13日
- NIKKEI tech foresight 「理研など、寿命2倍以上の超電導共振器 量子メモリーに」 2025年6月25日
- マイナビニュース 「振動数800万回以上！ 東大と理研が量子技術向け超高性能振動子を開発」 2025年12月11日
- Optronics online 「東大と理研、量子センシングの応用に期待される薄膜振動子の作製に成功」 2025年12月17日
- NIKKEI tech foresight 「東京大学など、長寿命のTiN薄膜振動子 量子メモリーに」 2025年12月22日

A03班

【査読付き論文】

- A.M. Maier, U. Seifert, J. van den Meer, “From observed transitions to hidden paths in Markov networks”, Phys. Rev. Research 7, 033067 (2025).
- J. van den Meer, K. Saito, “Thermodynamic bounds and error correction for faulty coarse graining”, Phys. Rev. Research 7, 043260 (2025).
- K. Matsumoto, S. Sasa, A. Dechant, “Learning rate matrix and information-thermodynamic trade-off relation”, Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment, 093202 (2025).
- VT Vo, A. Dechant, K. Saito, “Inverse thermodynamic uncertainty relation and entropy production”, Physical Review Letters 135, 237104 (2025).
- A. Dechant, E. Lutz, “Fundamental limits on nonequilibrium sensing”, Nature Communications 16, 10227 (2025).



【プレプリント】

- K. Kanazawa, A. Dechant, “Stochastic thermodynamics for classical non-Markov jump processes”, arXiv:2506.04726
- A. Dechant, J. Huefpl, S. Kobayashi, S. Ito, S Rotter, “Precision and cost of feedback cooling”, arXiv:2508.12875
- A. Dechant, “Finite-frequency fluctuation-response inequality”, arXiv:2510.15228
- M.A. Ciampini, J. Rieser, N. Kiesel, A. Dechant, “Entropy production and non-Gaussianity of fast processes at weak damping”, arXiv:2511.22079

【国際会議（招待講演）】

- A. Dechant, “Stochastic Thermodynamics (Tutorial)”, Stochastic Thermodynamics and Computer Science Theory II, Santa Fe (USA), June 16-20, 2025.

【国際会議（一般講演）】

- J. van der Meer, “Stochastic thermodynamics in coarse-grained networks: Thermodynamic inference beyond averages”, STATPHYS29 International Conference on Statistical Physics, Florence (Italy), 2025年7月17日
- A. Dechant, “Precision and cost of feedback cooling”, Stochastic Thermodynamics and Control Theory, Kyoto University, 11月10日～12日
- J. van der Meer, “Thermodynamic inference from Markovian events”, Workshop on Stochastic Thermodynamics and Control Theory, Kyoto University, 2025年11月12日
- K. Kanazawa, A. Dechant, “Stochastic thermodynamics for classical non-Markov processes”, Workshop on Stochastic Thermodynamics and Control Theory, Kyoto University, 2025年11月11日
- A. Dechant, “Thermodynamics and embedding of non-Markovian Langevin dynamics”, Kyoto Workshop on Quantum Thermodynamics and Stochastic Thermodynamics, YITP, 2025年12月8日～12日
- K. Kanazawa, A. Dechant, “Stochastic thermodynamics for classical non-Markov processes”, Kyoto Workshop on Quantum Thermodynamics and Stochastic Thermodynamics 2025, YITP, 2025年12月11日

【国内会議（招待講演）】

- 金澤輝代士, Andreas Dechant, “非マルコフジャンプ過程の確率熱力学”, 日本物理学会第80回年次大会 (2025年), 広島大学, 2025年9月17日

【国内会議（一般講演）】

- A. Dechant, “Finite-frequency fluctuation-response inequality and conservation law for response”, JPS 2025 Annual Meeting, 広島大学, 2025年9月16日～19日
- J. van der Meer, K. Saito, “Thermodynamic bounds and error correction for faulty coarse graining”, JPS (Physical Society of Japan) Annual Meeting, Hiroshima University, 2025年9月16日

A04班

【査読付き論文】

- Ryuna Nagayama, Kohei Yoshimura, Artemy Kolchinsky, Sosuke Ito, Geometric thermodynamics of reaction-diffusion systems: Thermodynamic trade-off relations and optimal transport for pattern formation, Physical Review Research 7, 033011 (2025).
- Kotaro Ikeda, Tomoya Uda, Daisuke Okanohara, Sosuke Ito, Speed-Accuracy Relations for Diffusion Models: Wisdom from Nonequilibrium Thermodynamics and Optimal Transport, Physical Review X 15, 031031 (2025).
- Shingo Oikawa, Yohei Nakayama, Sosuke Ito, Takahiro Sagawa, Shoichi Toyabe, Experimentally achieving minimal dissipation via thermodynamically optimal transport, Nature Communications 16, 10424 (2025).
- Guo-Hua Xu, Artemy Kolchinsky, Jean-Charles Delvenne, Sosuke Ito, Thermodynamic Geometric Constraint on the Spectrum of Markov Rate Matrices, Physical Review Letters 135, 257102 (2025).
- Miguel Aguilera, Sosuke Ito, Artemy Kolchinsky, Inferring entropy production in many-body systems using nonequilibrium maximum entropy, to appear in Physical Review Letters (2026).
- Koya Katayama, Ryuna Nagayama, Sosuke Ito, Diagrammatic expressions for steady-state distribution and static responses in population dynamics, to appear in Physical Review Research (2026).

【プレプリント】

- Ruicheng Bao, Naruo Ohga, Sosuke Ito ”Measuring irreversibility by counting: a random coarse-graining framework” arXiv:2508.11586
- Andreas Dechant, Jakob Hüpfel, Shuta Kobayashi, Sosuke Ito, Stefan Rotter ”Precision and cost of feedback cooling” arXiv:2508.12875



- Ryuna Nagayama, Sosuke Ito "Duality between dissipation-coherence trade-off and thermodynamic speed limit based on thermodynamic uncertainty relation for stochastic limit cycles" arXiv:2509.06421
- Yoh Maekawa, Ryuna Nagayama, Kohei Yoshimura, Sosuke Ito "Geometric decomposition of information flow: New insights into information thermodynamics" arXiv:2509.21985
- Daiki Sekizawa, Sosuke Ito, Masafumi Oizumi "Koopman Mode Decomposition of Thermodynamic Dissipation in Nonlinear Langevin Dynamics" arXiv:2510.21340
- Sosuke Ito, Yoh Maekawa, Ryuna Nagayama, Andreas Dechant, Kohei Yoshimura "Geometric decomposition of information flow for overdamped Langevin systems and optimal transport in subsystems" arXiv:2512.22890
- Xin-Hai Tong, Kohei Yoshimura, Tan Van Vu and Naruo Ohga, "Interplay between Standard Quantum Detailed Balance and Thermodynamically Consistent Entropy Production" arXiv:2512.06707

【国際会議（招待講演）】

- Sosuke Ito "Thermodynamic bounds for generative diffusion models" Evolution of complexity and Statistical physics, Yerevan (online), Armenia, May. 12-25, 2025.
- Sosuke Ito "Introduction to stochastic thermodynamics for computer science theorists II: Trade-offs in stochastic thermodynamics" Stochastic Thermodynamics and Computer Science theory II, Santa Fe, United States, June. 16-20, 2025.

【国際会議（一般講演）】

- Kotaro Ikeda, Tomoya Uda, Daisuke Okanohara, Sosuke Ito "Stochastic thermodynamics for diffusion generative models" Statphys 29, Florence, Italy, Jul. 13-18, 2025.
- Sosuke Ito, "Thermodynamics based on optimal transport" Kyoto Workshop on Quantum Thermodynamics and Stochastic Thermodynamics 2025, Kyoto, Japan, Dec. 8-12, 2025.
- Kohei Yoshimura, "Quasiprobability thermodynamic uncertainty relation," Kyoto Workshop on Quantum Thermodynamics and Stochastic Thermodynamics 2025, YITP, Kyoto University, Japan, December 8th-12th, 2025.

【国内会議（一般講演）】

- 伊藤 創祐 "最適輸送に基づく熱力学の一般化", 日本物理学会第80回年次大会 共催シンポジウム「情報と量子の熱力学：最適輸送から量子多体系まで」, 広島大学, 2025年9月16-19日.

【集中講義】

- 伊藤創祐「物理学第二分野特別講義3「非平衡統計力学と最適輸送」」, 京都大学, 2025年11月25-27日.

【プレスリリース】

- 池田滉太郎, 宇田智哉, 岡野原大輔, 伊藤創祐「非平衡熱力学の知見から拡散モデルの最適手法を提案——熱力学的散逸と生成誤差をつなぐ関係式を導出——」2025年8月1日 <https://www.s.u-tokyo.ac.jp/ja/press/10887/>
- 及川晋悟, 中山洋平, 伊藤創祐, 沙川貴大, 鳥谷部祥一「「最適輸送」でエネルギーコストの原理的境界を達成 — 省エネ情報処理の新たな設計につながる成果 —」2025年12月1日 <https://www.s.u-tokyo.ac.jp/ja/press/11006/>

【報道】

- 日本経済新聞電子版「東大、熱力学的散逸と生成誤差をつなぐ関係式を導出」2025年8月1日



若手国際ワークショップ

Kyoto workshop on Stochastic Thermodynamics and Quantum Information 2027

日程：2027年2月15日（月）～19日（金）

場所：京都大学 北部総合教育研究棟 益川ホール

概要：近年、確率熱力学は目覚ましいペースで発展しています。その理論的基盤はもともと古典系で確立されましたが、この枠組みは現在、急速に量子領域へと拡張されています。資源理論的アプローチによる熱力学の拡張など、量子情報と熱力学を結びつける他の取り組みと相まって、この動向は非平衡現象の研究に量子情報の視点を導入する強い動機を与え、非平衡統計物理学と量子情報理論の間に強力なインターフェースを生み出しています。

この新しい分野はまだ萌芽期にありますが、すでに大きな関心を集めています。量子情報に基づくアイデアが非平衡物理に取り入れられることで、通信や計算といった文脈で最初に定式化された量子優位性の理解が、エンジンや冷蔵機などの熱力学的デバイスの性能限界を含むエネルギー関連の応用へと急速に広がり始めています。逆に、確率熱力学における最先端の発展、例えば熱力学的進化の最適輸送に基づく定式化や非マルコフ効果が支配する確率過程の解析などは、量子情報の理論的・実験的研究に強力な新しいツールを提供すると期待されています。

本ワークショップは、量子情報と確率熱力学の分野の第一線の研究者を集め、理論と実験の相互作用を促進し、この新しい学際的分野の進展を加速することを目的としています。活発な交流を深めるため、直接会場にお越しいただく対面形式での開催を予定しております。

Acknowledgement (謝辞) について

本領域の研究費によって得られた成果を出版される際には、以下の例文にありますような謝辞をお願いいたします。

ただし末尾の■は各計画研究の課題番号で変わります。

【課題番号】 [総括班] 24H00830

[研究計画] A01班：24H00831、A02班：24H00832、A03班：24H00833、A04班：24H00834

【英文】：This work was supported by JSPS KAKENHI Grant Number 24H0083■.

【和文】：本研究は JSPS 科研費24H0083■の助成を受けたものです。

複数の計画研究にまたがる成果については、以下の方針で謝辞をご記載ください。

- ・ 関連するすべての計画研究と、総括班（課題番号：24H00830）に謝辞を記載してください。
- ・ 会議の共催費用やメンバーの旅費支援を総括班が行った場合は、その支援についても総括班（24H00830）に謝辞を記載してください。

下記HPの謝辞の項目もご参照ください。

<https://tajima-qi.lab.kyushu-u.ac.jp/qe-innovation/research/>

編集後記

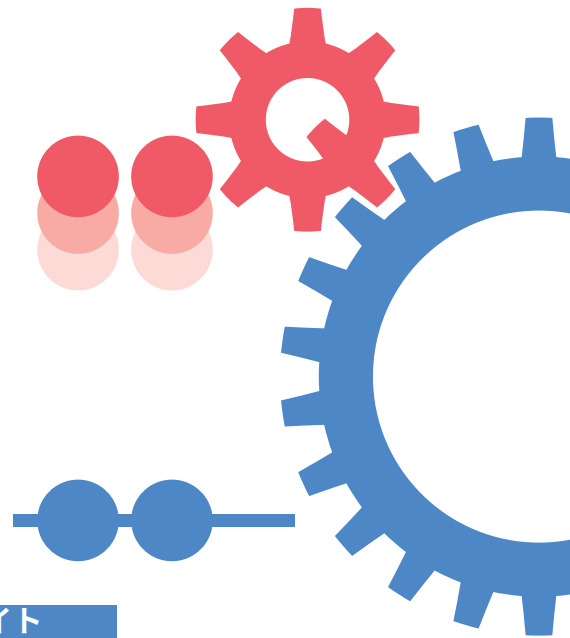
本年度も、多くの皆様のご協力のもと、領域内外で活発な研究交流が進み、量子効果によるエネルギー生成・利用の革新的効率向上に向けた取り組みが着実に前進した一年となりました。計画研究各班の成果報告に見られるように、理論・実験の双方において新たな知見が蓄積され、学際的連携の広がりを実感しております。

また、研究会や国際ワークショップの開催を通じて、多様な分野の研究者との議論が促進され、領域全体としての一体感がさらに高まりました。運営面においても、昨年度に引き続き多くの行事を円滑に進めるなかで、会議運営に関する実務的な知見を深める貴重な機会となりました。

さらに、2027年2月には若手研究者を対象とした国際ワークショップの開催を予定しており、これまで培ってきたネットワークと経験を活かし、次世代を担う研究者の活発な交流の場となることを期待しております。

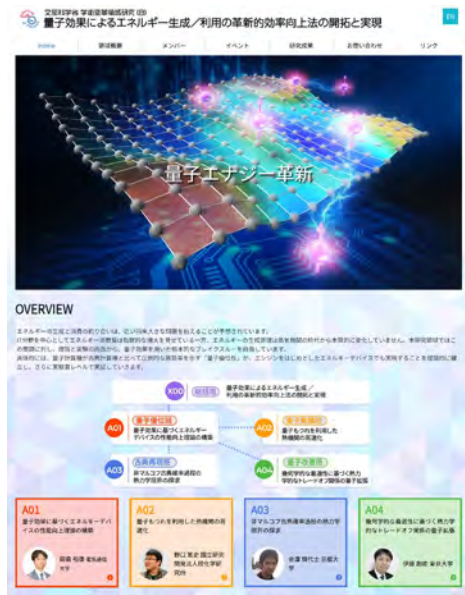
なお、本領域のWebサイトURLが変更となりました。最新の研究成果やイベント情報については、新URLよりご確認いただければ幸いです。Xアカウントは従来どおりご利用いただけます。

今後、本領域が革新的研究の発信拠点として発展していくことを期待するとともに、引き続き皆様のお力添えを賜りますようお願い申し上げます。(文責：田島)



領域 web サイト

<https://tajima-qi.lab.kyushu-u.ac.jp/qe-innovation/>
(領域WebサイトのURLが変更になりました)



領域 X アカウント

 @QEInnovation

発行日 ■ 令和8年3月25日 発行 ■ 「量子エネルギー革新」総括班 編集 ■ 田島裕康 協力 ■ 朝永美佳、秋本祐希
領域事務局 ■ 九州大学大学院システム情報科学研究院 情報学部 田島研究室 〒819-0395 福岡市西区元岡744番地
Email ■ hiroyasu.tajima@inf.kyushu-u.ac.jp

本研究は JSPS 科研費24H00830の助成を受けたものです。

NewsLetter 02

量子エネルギー革新

2026 Mar.

学術変革領域研究 (B) 量子効果によるエネルギー生成/利用の革新的効率向上法の開拓と実現
Pioneering and realizing innovative methods to improve the efficiency of energy generation / utilization through quantum effects

