

量子状態の高度な制御に基づく革新的量子技術基盤の創出
平成 29 年度採択研究代表者

2018 年度
実績報告書

仙場浩一

情報通信研究機構未来 ICT 研究所
上席研究員

超伝導量子メタマテリアルの創成と制御

§ 1. 研究成果の概要

(1) NICT グループ (研究機関別)

研究代表者: 仙場浩一 (国立研究開発法人情報通信研究機構・未来 ICT 研究所・上席研究員/
大阪大学大学院・基礎工学研究科・招へい教授, 大阪大学先導的学際研究機構・量子情報・量
子生命研究部門・招へい教授兼任), 共同研究者: 寺井弘高 (国立研究開発法人情報通信研究
機構・未来 ICT 研究所・上席研究員, ②③), 山下太郎 (名古屋大学大学院・工学研究科・准教
授, ②③), 吉原文樹 (国立研究開発法人情報通信研究機構・未来 ICT 研究所・主任研究員, ①
④), 布施智子 (国立研究開発法人情報通信研究機構・未来 ICT 研究所・主任研究員, ①②④),
金 鮮美 (国立研究開発法人情報通信研究機構・未来 ICT 研究所・研究員, ②③), 丘偉 (国立研
究開発法人情報通信研究機構・未来 ICT 研究所・主任研究員, ②③), アオ ズチャオ (国立研究
開発法人情報通信研究機構・未来 ICT 研究所・協力研究員, ④), Sahel Ashhab (Senior Scientist,
Qatar Environment and Energy Research Institute, Hamad Bin Khalifa University, Qatar
Foundation, ①④⑤), William D. Oliver (Professor, Massachusetts Institute of Technology
Physics Department, MIT Lincoln Laboratory, ①④)

研究項目: 本研究計画は, 「深強結合」等の未踏領域の物理現象や新種のハイブリッド量子系
を積極的に使い, 新奇な量子的機能を有する 超伝導量子メタマテリアル (一般化された分子
および量子デバイス複合体) の創成とその制御を目指すものである。

今年度 NICT グループでは, 超伝導量子メタマテリアルの創成とそのコヒーレント制御を目指し
以下の 4 項目の研究を進め成果を得た:

- ① 量子極限増幅変調技術の研究: 超伝導量子ビット・共振回路 系の結合強度変調による
非古典的マイクロ波状態の 増幅とリフェーjing に関する新プロトコルを開発した[2].

- ② 高コヒーレンス窒化物超伝導薄膜技術の開発（Si 基板上 窒化物超伝導体マイクロ波共振器－超伝導人工原子 量子融合素子の開発）：今年度はシリコン基板上に 極薄 TiN バッファ層を介して NbN 接合をベースとしたトランズモン型量子ビットを作製し、そのコヒーレンス特性を測定することに成功した。Rabi 振動, Ramsey 干渉から得られたコヒーレンス時間は $1.2 \mu\text{s}$ 程度で MgO 基板上に作製した場合に比べて 2～3 倍の改善を確認した。
- ③ π 接合を含む超伝導量子素子の開発： π 接合を含む磁束量子ビット作製プロセスの諸条件を引き続き広範囲に精査し、I-V 特性や抵抗値等の基礎データを収集した。
- ④ 深強結合回路 QED 技術の研究：深強結合領域での真空場や少数光子による巨大光シフトの観測と制御に成功した[1]。報道発表 <https://www.nict.go.jp/press/2018/05/08-1.html>
今回観測された 真空場や少数光子 という 量子領域 での巨大光シフトの制御性を高めることにより、マイクロ波領域での光子数識別素子等への応用など、量子分野全般で重要な技術になると考えられる。

(2) 東京医科歯科大グループ(研究機関別)

主たる共同研究者: 越野和樹 (国立大学法人東京医科歯科大学・教養部・准教授, ①④⑤)

共同研究者: 設楽智洋 (国立大学法人東京医科歯科大学・教養部・研究員, ⑤)

研究項目:

⑤超伝導量子メタマテリアルの量子光学応答理論の研究: 東京医科歯科大学グループでは、深強結合領域にある量子ビット－共振器系の、環境との結合に対する安定性を解析した。特に、深強結合系に特徴的な、(1) 基底状態がマクロに異なる状態の重ね合わせである「シュレディンガーの猫」に似た状態である、(2) 基底状態においても共振器内に有限個の「仮想光子」が存在する、という2つの性質が、環境との相互作用によりどの程度影響されるかを解析した。本解析では、環境自由度として共振器に結合する導波路を考え、量子ビット－共振器－導波路から成る拡大量子系の基底状態を、量子ビットに依存したコヒーレント状態に基づく変分法及び摂動論の2通りの方法で求めた。導波路との相互作用により、量子的重ね合わせの一部が壊れ古典的な混合になること、仮想光子が増加することを見出した。これらの影響は、典型的な実験パラメータにおいては光子のロスレートが 100 MHz 程度以上になると無視できないようになると考えられる。

【代表的な原著論文】

[1] ‘Inversion of qubit energy levels in qubit-oscillator circuits in the deep-strong-coupling regime’, Fumiki Yoshihara, Tomoko Fuse, Ziqiao Ao, Sahel Ashhab, Kosuke Kakuyanagi, Shiro Saito, Takao Aoki, Kazuki Koshino, Kouichi Semba
Phys. Rev. Lett. 120, 183601 (2018).

[2] ‘Fast amplification and rephasing of entangled cat states in a qubit-oscillator system’, Z. Xiao, T. Fuse, S. Ashhab, F. Yoshihara, K. Semba, M. Sasaki, M. Takeoka, and J. P. Dowling
Phys. Rev. A 99, 013827 (2019).

§ 2. 研究実施体制

(1) NICT グループ (研究機関別)

研究代表者: 仙場浩一 (国立研究開発法人情報通信研究機構・未来 ICT 研究所・

上席研究員/ 大阪大学大学院 基礎工学研究科 招へい教授, 大阪大学先導的学際研究
機構 量子情報・量子生命研究部門 招へい教授兼任)

研究項目 : 超伝導量子メタマテリアルの創成とそのコヒーレント制御を目的とした

- ① 量子極限増幅変調技術の研究
- ② 高コヒーレンス窒化物超伝導薄膜技術の開発
- ③ π 接合を含む超伝導量子融合素子の開発
- ④ 深強結合回路 QED 技術の研究

(2) 東京医科歯科大グループ (研究機関別)

主たる共同研究者: 越野和樹 (国立大学法人東京医科歯科大学・教養部・准教授)

研究項目

- ⑤ 超伝導量子メタマテリアルの量子光学応答理論