

【基盤研究（S）】

理工系（総合理工）



研究課題名 巨視的量子系を用いた量子物理

国立情報学研究所・量子情報国際研究センター・特任教授

せんば こういち
仙場 浩一

研究分野： 総合理工

キーワード： 原子・分子、超伝導、スピン物性、量子エレクトロニクス、量子情報

【研究の背景・目的】

物質と光の基本的な相互作用を光子1個のレベルで取り扱う共振器量子電磁力学（いわゆる cavity-QED）は、従来 Q 値の大きなシングルモード空洞共振器中の光子およびその光子とエネルギー的に共鳴条件にある一対の準位を有する原子という組み合わせを用いて行なわれてきた。この原子を巨視的量子系である超伝導人工原子に、空洞共振器を超伝導共振回路にそれぞれ置き換えて同様な実験が可能であると理論的には予想されていた。それが近年、実験で実証された。私達は、超伝導人工原子とマイクロ波光子の相互作用(g)は、従来知られていた大きな双極子モーメントをもつリュードベリ原子とマイクロ波光子の場合に比べて更に3桁以上も巨大であることを実証した。

また、超伝導人工原子と LC プラズモン調和振動子系間の単一光子の交換（量子もつれ）振動である真空ラビ振動を時間領域で観測することに初めて成功した。さらに、ダイヤモンド結晶中に高濃度に生成させた窒素空孔欠陥の電子スピン集団に、超伝導人工原子の任意の重ね合わせ状態を Dicke の1励起集団スピン状態として、一定時間保存した後に読み出す操作「量子メモリの原理実験」にも世界に先駆けて成功している。このように、原子を巨視的人工原子で置き換えて実験することにより、未踏領域での量子物理の実験が可能になっているのである。

これらの技術を発展させ、例えば、他の量子系との相互作用(g)を必要な時間だけ、必要な大きさに変える手法の獲得等を目指す。さらに、巨視的量子系だからこそ可能な強結合条件下での相互作用の大きさの自在な制御や、量子多体系基底状態に関する量子相転移の制御技術への発展などが考えられる。

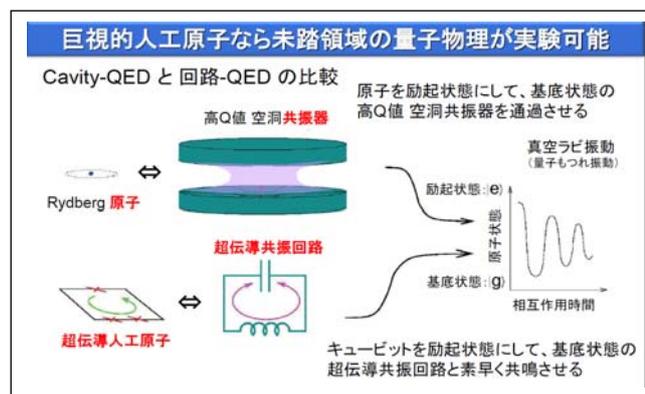


図1 原子と空洞共振器を使った共振器量子電磁力学（上段）

巨視的人工原子を使った回路量子電磁力学（下段）

【研究の方法】

超伝導人工原子をマイクロ波超伝導共振器、集団電子スピン、あるいはプラズモン等の調和振動子系と組み合わせ、相互作用の弱結合～超強結合までの自在な制御を目指して以下の項目の研究を行う。

- ・相互作用制御分光法を実現可能な測定系の構築。
- ・超伝導人工原子を マイクロ波、スピン波、LC プラズモン等と強結合させ、非古典的状态を形成する。
- ・ジョセフソン接合を含む超電流可変型超伝導回路、アンサンブル増強 等で超強結合の実現を目指す。
- ・基底状態相転移の観測と制御の試み。

【期待される成果と意義】

量子シミュレーションや量子計算等の革新的な情報処理応用への可能性をもつ超伝導素子には大きな期待が集まっている。しかし、量子情報素子はその真価を発揮する領域へと到達するためには、系全体の量子状態制御に関するブレークスルーが必要だと考えられ初めている。中でも量子系の結合エネルギーの制御による基底状態の量子相転移の制御は、量子情報処理を更に進化させる上で大きなポテンシャルをもつテーマであり、本研究から得られる知見や研究成果はこのテーマの有用な一歩を提供する。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・仙場、齋藤、角柳、中ノ:「超伝導回路で共振器量子電磁力学実験が可能に！- ジョセフソン cavity-QED -」日本物理学会誌 **64**, (2009), 37-41.
- ・S. Ashhab, F. Nori, “Qubit-oscillator systems in the ultrastrong-coupling regime and their potential for preparing non-classical states”, Phys. Rev. **A81**, 042311(2010).
- ・X. Zhu, S. Saito, A. Kemp, K. Kakuyanagi, S. Karimoto, H. Nakano, W. J. Munro, Y. Tokura, M. S. Everitt, K. Nemoto, M. Kasu, N. Mizuochi & K. Semba, “Coherent coupling of a superconducting flux-qubit to an electron spin ensemble in diamond”, Nature **478**, 221-224 (2011).

【研究期間と研究経費】

平成 25 年度～29 年度
170,600 千円

【ホームページ等】

<http://www.ryosi.com/qis/201207/01/>

<http://kaken.nii.ac.jp/d/r/50393773.ja.html>