

共振器 QED 系における超蛍光-レーザークロスオーバーの理論 II

Theory of Superfluorescence-Laser Crossover in a Cavity QED System II

○瀬崎 陸¹、石川 陽^{1*}、宮島 顕祐²、小林 潔^{1**}(1. 山梨大院工、2. 東理大院理)○Riku Sezaki¹, Akira Ishikawa^{1*}, Kensuke Miyajima², Kiyoshi Kobayashi^{1**}

(1.University of Yamanashi, 2. Tokyo University of Science.)

*E-mail: aishikawa@yamanashi.ac.jp **E-mail: kkoba@yamanashi.ac.jp

超蛍光とは、複数の 2 準位系が光を介してコヒーレントな相関を持つことで、集団的に自然放出をする現象である [1]。近年ではレーザーに代わる超短パルスコヒーレント光源への応用を念頭に固体における超蛍光の研究が盛んに行われている [2]。しかし、超蛍光とレーザーの包括的な理解は未だにされておらず、これは両者の起源である自然放出と誘導放出が競合する系の複雑さによるものである。

前回の講演 [3] では、共振器 QED 系 (図 1) のモデルから超蛍光の起源である自然放出とレーザーの起源である誘導放出の両者を扱える全量子論を構築できたことを示した。さらにそれを用い、初期条件として完全反転分布を与え 2 準位系と共振器光子系の結合係数 g と共振器光子系と外部光子系の結合係数 κ の比をパラメータとして変えたときの発光ダイナミクスを考察し、その違いから両者のクロスオーバーの存在を示した。本講演では、超蛍光が定常状態におけるレーザーとは異なるメカニズムを持つコヒーレント光源になり得ることを示すために、定常励起 P を 2 準位系に与え、さらに 2 準位系からの共振器モード以外への光放出 Γ を考慮した場合の発光ダイナミクスについて報告する。まず定常状態において、2 準位系のダンピングする割合 β とポンピング P を変えることで、レーザーと超蛍光で同様の発光しきい値特性が見られた。次に、しきい値以上の定常励起を与えた状態で結合係数の比 g/κ を変えた時の発光ダイナミクスを調べた。レーザー領域 ($g > \kappa$) (図 2 左) では発光時間波形は単調に増加した後、定常状態に達する。一方で超蛍光領域 ($g < \kappa$) (図 2 右) では超蛍光的なパルス状発光の後、振動しながら徐々に定常状態に達する。これは共振器 QED 系においては、レーザーとは異なる超蛍光を起源とするメカニズムによるコヒーレント光放射の可能性を示唆している。本発表では、レーザーと超蛍光のコヒーレンス形成過程の詳細を説明し、両者のメカニズムの違いを議論する。

[1] R.H.Dicke, Phys. Rev. vol. 93, no. 1, 99 (1954).

[2] K Miyajima et al., J.Phys. Condens. Matter vol. 21, 195802 (2009).

[3] 瀬崎 陸, 石川 陽, 宮島 顕祐, 小林 潔, 第 78 回応用物理学会秋季学術講演会, 7a-A405-8 (2017).

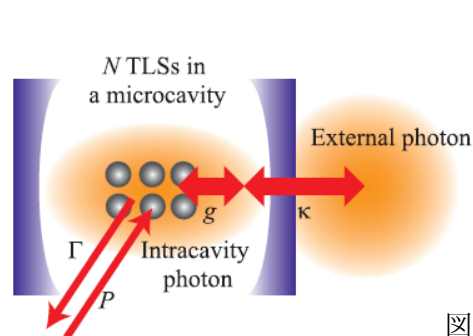


図 1 共振器 QED 系の模式図

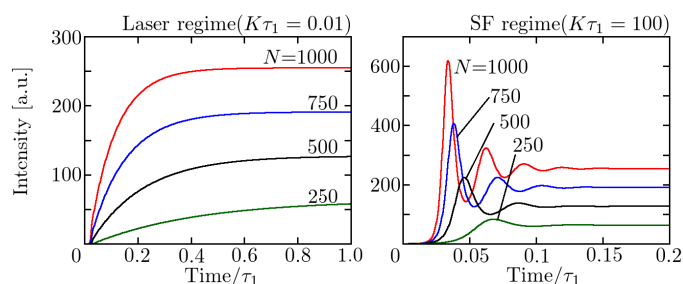


図 2 2 準位系の数 N 、結合係数の比 $K\tau_1 \propto g/\kappa$ を変えた時の発光の時間波形 ($P = 0.75, \beta = 0.01, \tau_1$ は 2 準位系の輻射寿命, K は共振器内光子の損失レート)