

令和 4 年 10 月 11 日

若手研究者海外挑戦プログラム報告書

独立行政法人日本学術振興会 理事長 殿

受付番号 202080046

氏名 石井 智大

若手研究者海外挑戦プログラムによる派遣を終了しましたので、下記のとおり報告いたします。
なお、下記記載の内容については相違ありません。

記

1. 派遣先：都市名 モントリオール (国名 カナダ)
2. 研究課題名：有機マイクロ共振器中における低閾値なボーズ・アインシュタイン凝縮相の開発
3. 派遣期間：令和 3 年 12 月 21 日 ~ 令和 4 年 9 月 30 日 (284 日間)
4. 派遣先機関名・部局名：モントリオール理工科大学 物理工学部門
5. 派遣先機関で従事した研究内容と研究状況 (1/2 ページ程度を目安に記入すること)

本研究では、電流励起ポラリトン Bose-Einstein 凝縮(BEC)状態の実現に向けて最も重要な研究課題である(1)高速ポラリトン緩和による閾値の低減とそのポラリトン緩和のダイナミクスの解明、(2)スピン三重項からポラリトン状態へのスピン変換メカニズムの解明、(3)有機フォトニック結晶中における励起子ポラリトンの理論的解析の3点に関する研究を遂行した。

(1)の研究課題に関しては、BSBCz-EH を含んだ有機マイクロ共振器中における励起子ポラリトン状態の緩和速度(W_{ep})を実験的に見積もり、その緩和メカニズムを議論した。その結果、小さな detuning 領域ではポラリトンの緩和が放射ポンピング過程によって引き起こされていることを明らかにした。一方、大きなデチューニング領域では“Polariton disorder”が緩和速度を低減していることを明らかにした。

(2)の研究課題に関しては、熱活性遅延蛍光材料である ν -DABNA を含んだマイクロ共振器中における Lower ポラリトンの遅延成分の寿命を解析することによって、低温領域におけるスピン三重項から Lower polariton 状態へのスピン変換メカニズムを議論した。その結果、小さなデチューニング領域では燐光による放射線過程によって lower ポラリトンが形成されているのに対して、大きなデチューニング領域では既存の理論では説明できないメカニズムでポラリトンが緩和していることを明らかにした。

(3)の研究課題に関して、有機フォトニック結晶中における励起子ポラリトン状態を理論的に解析するために厳密結合波理論(RCWA)法を用いて 1 次元回折格子中におけるフォトニックバンド構造を反射スペクトルから解析した。その結果、 ν -DABNA のニート膜を仮定した場合、 $\Delta=0\text{meV}$ で $h\Omega=0.6\text{eV}$ の巨大な Rabi 分裂を示すことを理論的に実証した。本結果は DFB (Distributed feedback) レーザーがポラリトン BEC に有望なフォトニック構造であることを示唆している。

6. 研究成果発表等の見通し及び今後の研究計画の方向性 (1/2 ページ程度を目安に記入すること)

(1) の研究課題に関しては、現在“Polariton disorder”を含んだポラリトン緩和に関する理論モデルを Universidad de Santiago の Felipe Herrera 教授と共同で開発している。この理論を用いると実験することなしにポラリトンの緩和速度を理論的に見積もることができるため、今後の研究計画の方向性としては、機械学習を用いてポラリトン緩和速度を理論予測し、高速緩和を示す有機材料の分子骨格を開拓したいと考えている。本研究に関してはすでに論文投稿前であり、2022 年内をめどに投稿する予定である。また本研究成果は 11th International Conference on Spontaneous Coherence in Excitonic Systems (ICSCE-11)にて口頭発表した。

(2) の研究課題に関しては、 ν -DABNA を含んだマイクロ共振器中における lower ポラリトンが低温領域で示した緩和メカニズムを明らかにするために、 ν -DABNA のラマン振動のモードスペクトルを測定することを計画している。先行研究で J 会合体やカーボンナノチューブでは、特定のデチューニング領域で非放射過程に由来してポラリトンが緩和していることが明かにされており、 ν -DABNA の lower ポラリトンの遅延成分もこのメカニズムで緩和している可能性がある。実験的な検証が完了したら、その緩和プロセスを説明するための理論モデルの構築も行うことを計画している。本研究成果は、Molecular Polaritonics 2022: Theoretical and Numerical Approaches にてポスター発表した。本成果に関しても 2022 年度内に論文投稿する予定である。

(3) の研究課題に関しては、理論的に実証した 1D グレーティング中における励起子ポラリトン状態を実験的に実証するために、電子線リソグラフィ (EBL) を用いた微細加工技術を用いて DFB 構造のフォトニック結晶を作製する。また ν -DABNA を熱蒸着することによって有機フォトニック結晶を作製し、そのフォトニック分散関係を測定することによってラビ分裂を見積り、理論と実験の比較を行うことを計画している。本成果に関しては、2022 年内に強結合状態におけるフォトニックバンド構造の理論解析に関する論文を投稿し、2023 年内に実験的な検証に関する論文を投稿する。

7. 本プログラムに採用されたことで得られたこと (1/2 ページ程度を目安に記入すること)

本プログラムに採用されて海外での研究生活を通して、“国際舞台でリーダーとなりうる研究者となるためには既存の枠組みにとらわれない新しい研究領域の開拓”が必要不可欠であることを肌で感じた。本プログラム中に 11th International Conference on Spontaneous Coherence in Excitonic Systems (ICSCE-11)及び Molecular Polaritonics 2022 の会議に参加し、欧米諸国を中心とした世界中の研究者と議論し、国際舞台を経験することができた。流暢に英語を話せることは前提条件で、そのうえで研究者としてのオリジナリティが無いと国際的な評価は得られないことを理解した。更に、世界の研究動向を把握するとともに、異分野の研究者と交流することによって学問の融合を図ることが国際共同研究には必要不可欠であることを感じた。また研究者同士で交流する際に、研究の話だけではなく異文化などの雑談で、信頼関係がより一層深く構築されるため、そのためのコミュニケーションスキルも磨くことも国際舞台では重要であると感じた。祝日等にフットボールやバレーボールやテニスを共同研究者と行ったが、時には言語の壁を越えてスポーツで信頼関係が構築されることも理解した。

また、本プログラムを通して欧米諸国のトップランナー研究者や若手研究者と交流も持ち、国際的なネットワークを構築することができた。受け入れ研究者をはじめとする Stéphane Kéna-Cohen 教授をはじめとして Felipe Herrera 教授 (Universidad de Santiago)、Joel Yuen-Zhou 教授 (University of California San Diego)、Hui Deng 教授 (University of Michigan) らと交流を持つ機会があり、世界最先端のポラリトンの研究に関する議論を行うことができた。この経験は今後自身の研究を更に発展させるうえで、非常に重要な経験となった。

最後に、本留学において多くのサポートをしてくださった Stéphane Kéna-Cohen 教授及びグループメンバー、Polytechnique de Montreal の事務の方々、共同研究者である九州大学 安達千波矢先生、京都大学 畠山琢次先生にこの場を借りて心から御礼を申し上げます。