

## 「発展的研究計画スタート支援」(2022年度支援分) 最終報告書

- 氏名 : 後藤勇樹  
所属ユニット : プラズマ・複相間輸送ユニット  
研究テーマ : 電子サイクロtron運動とその放射場の解の探求

### 1. 研究の目的・意義

本研究の目的は、減衰過程を含む電子サイクロtron運動と電子サイクロtron放射に着目し、場と粒子の相互作用を減衰も含めた全系の力学として理論的に論じ、時間対称性を破る古典的減衰現象を解析することである。

### 2. これまでの研究成果および今後の研究計画

Maxwell 方程式に基づく放射減衰解の古典的な記述は、物理学の基本原理に抵触する解の出現により、長年の未完結問題とされてきた。これは1800年代後半から1900年代初頭にかけて、主に Abraham と Lorentz によって演繹された、加速度運動する荷電粒子と粒子自体が放射する場との相互作用による反作用または自己力を記述するもので、現在では Abraham-Lorentz 方程式(AL 方程式)と呼ばれている。この AL 方程式に関する最大の問題は、粒子が時間と共に指数関数的に成長する暴走解を導くことにある。一方、Dirac はこの暴走解を排除する初期条件を提案したが、残念ながら、これには未来の情報が必要であり因果律を破る結果となってしまう。

これまでに、我々はこの AL 方程式に内在する問題を完全に回避する方法を見出した。具体的には、粒子と外部電磁場間の相互作用を記述する古典的ハミルトニアンが双線形型のハミルトニアンに近似できる場合(つまり古典的 Friedrichs モデル)、量子力学の場合と同様に双線形ハミルトニアンに対する Friedrichs の厳密解との類推によってこのモデルを厳密に解くことが可能ということを示した。古典的 Friedrichs モデルとは古典的 Bogoliubov 変換で対角化可能な双線形型をしたハミルトニアンであり、量子系で励起準位の崩壊による光の自然放出の力学的根拠を明らかにした Friedrichs モデルの古典版である。この取り扱いでは AL 方程式に基づき古典的放射減衰を記述する際の暴走解等が現れない、物理的に有意義な解を与えることを明らかにした。

今後の展望として、AL 方程式の本質に迫る研究を行おうと考えている。現状、放射を伴う荷電粒子の減衰を計算するには、AL 方程式から近似的に導かれる Landau-Lifshitz(LL)方程式等、暴走解が現れない方程式で議論が行われている。しかしながら AL 方程式が本質的に暴走解を含んでいる以上、この近似で古典的放射減衰の問題を解決したと言うことは出来ない。したがって、なぜ AL 方程式は暴走解を導くのか、という原点に立ち返り、この問題に取り組む予定である。

### 3. 支援を受けた金額及び主な用途

本研究を米国で遂行するための出張旅費として700万円程度の支援を受けた。これらは往復の航空券代、現地滞在費(アパート代)、APS旅費、保険、VISA申請費用に使用した。

### 4. これまでの客観的成果

#### 4.1 共著を含む投稿論文、著書

(著者名、論文名、出版社、accepted date)

[1] Y. Goto, S. Garmon, T. Petorsky “Enhanced *Classical Radiation Damping of Electronic Cyclotron Motion in the Vicinity of the Van Hove Singularity in a Waveguide*,” *Progress of Theoretical and Experimental Physics*, **2024**, 033A02 (2024).  
他、査読中一本あり

#### 4.2 国際・国内学会等での発表

(発表者、タイトル、会議名、招待講演・口頭・ポスターの区分)

[1] Y. Goto et al., “Optical Vortex emitted by Classical Radiation Dumping due to Classical Van Hove Singularity near Cut-off Frequency of a Waveguide,” APS March Meeting 2023, March 5-10, 2023, Las Vegas, USA, Poster.

[2] 後藤勇樹 他、「円柱導波管内の古典的 Van Hove 特異点近傍での電子サイクロトロン運動から放射される光渦」、日本物理学会年次大会、2023年9月22日～25日、東北大学、口頭。

[3] Y. Goto *et al.*, “Theoretical issue of the electron cyclotron emission with decay process in a waveguide,” Global Plasma Forum, Oct. 15-18, 2023, Aomori, JAPAN, Poster.

[4] Y. Goto *et al.*, “A Study of Classical Radiation Damping and Classical Fano Interference in Cyclotron Motion based on Complex Eigenvalue Problem of Liouvillian,” APS March Meeting 2024, March 4-8, 2024, Minneapolis, USA, Poster.

#### 4.3 科研費や他の外部資金への応募・獲得結果(直接経費の配分額)及び応募予定

[1] 日本学術振興会・科学研究助成事業・若手研究(2023-2028), 「ヘリカル波面を持つ電子サイクロトロン放射の発生とその応用」、直接経費 3,500 千円

※今年度以降、他の外部資金にも積極的に応募を行う。

以上