

# 論文審査の結果の要旨

氏名 田屋 英 俊

本論文は、6章と補遺A-Cからなり、第3、4、5章が中核部分である。

第1章は、全体のイントロダクションであり、研究の背景として、まず、シュウィンガー機構の基本事項と最近の展開を簡潔にまとめている。次に、超相対論的重イオン衝突を概観し、平衡に至るまでのダイナミクスをレビューしている。さらに、本学位論文の目標と概要を述べている。

第2章では、QED、第3章では、カラーSU(2)のグルオンの自由度だけを含むヤン-ミルズ理論、第4章では、カラーSU(3)のグルオンとクォークの自由度を含むQCDにおいて、空間的に一様な場合のシュウィンガー機構を考察している。第5章では、超相対論的重イオン衝突への応用として、QCDにおいて、ブースト普遍に膨張する場合のシュウィンガー機構を考察している。これらの各章では、まず、平均場近似による定式化を説明し、バックリアクションを考慮に入れない場合と考慮に入れた場合の結果を示し、議論している。

第2章のQEDにおいては、平均場近似による定式化のもとで、バックリアクションを考慮に入れない場合、まず、時間的に一定な電場に対してよく知られたシュウィンガーの表式を再現した。次に、電場の時間変化が粒子生成機構を大きく変えることを、ソーター型のパルス電場を用いて示した。また、バックリアクションを考慮に入れた場合、電子のスペクトルはシュウィンガーの表式から劇的に変わることを見出した。具体的には、古典的なプラズマ振動が生じること、電子間の量子的な干渉が電子のスペクトルを強く歪めること、パウリ原理が電子の生成を抑制すること、古典場から電子への遷移によるデコヒーレンスが系の強い非等方性を緩和することなどを示した。

第3章のカラーSU(2)のグルオンの自由度だけを含むヤン-ミルズ理論においては、まず、バックリアクションを考慮に入れない場合、長時間極限において生成されるグルオンの分布がシュウィンガーの表式と一致することを解析的に示した。次に、バックリアクションを考慮に入れた場合、第2章と同様な結果に加えて、古典的なプラズマ振動とグルオンの量子的な干渉が生じ、ボース統計によりグルオン生成が飛躍的に増大することを示した。また、現在の平均場近似と質量補正を無視する近似の範囲内では、時間発展につれて非等方性は小さくなるものの等方化には至らないという結果を得た。

第4章のカラーSU(3)におけるグルオンとクォークの自由度を含むQCDにおいては、第2、3章と同様な結果に加えて、バックリアクションを考慮に入れた場合、最終的には、系においてグルオンの寄与が支配的になることを示した。これは、クォークがフェルミ統計に従うのに対して、グルオンはボース統計に従うことによる。また、アップ-ダウンクォ

ークと比べて、ストレンジクォークは同じ程度生成されること、チャームクォークはごくわずかしか生成されないことも示した。

第5章の QCD においてブースト普遍に膨張する場合においては、第4章と同様な結果に加えて、バックリアクションを考慮に入れた場合、プラズマ振動によって引き起こされる量子的な干渉により、重心系におけるクォークとグルオンの運動量ラピディティ分布に特徴的な痕跡が存在すること、デコヒーレンスと縦方向の膨張により古典的電場は  $3 \text{ fm/c}$  程度の非常に短い時間で崩壊すること、単位ラピディティあたり 1000 個程度の大量のクォークが  $1 \text{ fm/c}$  程度の非常に短い時間で生成されること、質量補正や生成粒子間の散乱を考慮に入れていないにも関わらず、デコヒーレンスと縦方向の膨張により系の非等方性は縦方向と横方向の圧力比  $0.5$  程度まで減少することなどを示した。

第6章では、まとめと今後の展望を述べている。

補遺 A-C では、それぞれ、ボックス中のフェルミオンに対するモード関数、ボックス中のボソンに対するモード関数、膨張する電場のもとでのモード関数の解析的な表式を与えている。

なお、本論文の第2章は、板倉数記、藤井宏次との共同研究による結果を含むが、中核部分である第3、4、5章は、論文提出者が単独で分析及び検証を行ったものである。

本論文では、QCD におけるシュウィンガー機構を平均場近似の範囲内で定式化し、空間的に一様な場合及び縦方向にブースト普遍に膨張する場合に、バックリアクションも考慮して、クォーク・グルオン生成を初めて理論的に解析したものである。また、QCD においてブースト普遍に膨張する場合の結果は、超相対論的重イオン衝突における衝突初期の粒子生成に関して示唆的である。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。