

## 博士學位論文審査要旨

学位申請者氏名	D146101 國府田優作
論文題目	次世代電子陽電子および電子陽子型加速器における 1-loop 効果を用いた超対称性粒子の検証可能性
審査委員 (職名・氏名・印)	
主査	教授 近 匡
審査委員	教授 青柳 里果
	教授 富谷 光良
	教授 進藤 哲央
論文審査結果 (合 否)	合 格
論文審査の要旨	<p>スイス・フランス国境の欧州原子核研究機構で稼働する陽子陽子衝突型加速器 (Large Hadron Collider : LHC) において、素粒子の標準模型 (Standard Model : SM) で存在が予言されていたヒッグス粒子が 2012 年に発見された。これにより、ゲージ対称性の自発的破れによって基本素粒子の質量を説明する SM の正しさが改めて確認された。しかしすでに、暗黒物質の存在やミュオン粒子の異常磁気能率における SM 予測と測定値との差異など、いくつかの観測・実験において SM の範疇では説明できない現象が報告されていることに注意する。本論文では、それらを説明するモデルとして最小超対称性標準模型 (Minimal Supersymmetric Standard Model : MSSM) を考え、このモデルで予言される超対称性粒子が、現在建設計画中の次世代加速器である電子陽電子型国際リニアコライダー (ILC) と大型電子陽子型加速器 (LHeC) において確実に観測される基本反応過程の精密測定を通して検証される可能性を解析した。</p> <p>以下に各章の要約を記述する。</p> <p>第 1 章は序章であり、本論文における研究背景が述べられている。</p> <p>第 2 章では、上述の SM および MSSM の説明と、2 つの特徴的な次世代加速器である ILC と LHeC の基本的なスペックと特徴、さらにどのような成果が期待されるかがまとめられている。なお、付録 A~C にはさらに基本的な SM と MSSM の理論的背景が記載されている。</p> <p>第 3 章は、実験で測定される事象数から求められる断面積という物理量が、SM や MSSM の枠組みでどのように計算されるかが記述されている。ここではその計算に使用された、高エネルギー加速器機構 (KEK) の理論グループと共同で開発中の自動計算プログラム GRACE の説明がなされ、Tree レベルと 1-loop レベルの断面積計算法の詳細が述べられている。</p>

## 論文審査の要旨 (続)

第4章は、第5章の計算・解析に用いる MSSM の数値パラメータをどのように決定したかの説明である。具体的には、LHC における超対称性粒子探索、ミュオン粒子の異常磁気能率の測定、B 中間子の希少崩壊の観測、そして宇宙の観測から見積もられる暗黒物質密度、を考慮に入れ、これらの実験・観測からの制限と矛盾しない MSSM パラメータのセットを探索し設定している。特に、SM で最も質量が大きいトップクォークの超対称性パートナー粒子であるスカラートップクォーク (ストップ) に着目し、この粒子が 500GeV 以下の軽い場合と、1TeV 以上の重い場合を両方考え、それぞれのケースに関する特徴的な MSSM パラメータセットを6つ設定している。なお、MSSM の暗黒物質密度の計算法と SM パラメータの値はそれぞれ付録 D と E に与えられている。

第5章で、本論文における最も重要な結果である超対称性粒子検証の可能性の有無が、定量的に議論される。なお、5.1, 5.2, 5.3, 5.4 節の内容が、2本の論文誌掲載論文の主な内容となっている。

5.1 節ではまず、ここで取り上げる ILC における反応過程で期待される事象数がまとめられている。いずれの過程も1年間で数万～数百万の事象数が見込めるものなので、精密測定は十分可能であることがわかる。5.2 節では、ILC における第3世代フェルミオン対生成過程に対する計算結果が述べられる。ここで特に重要な結果は、250GeV の衝突エネルギーにおいてボトムクォーク対生成の精密測定された角度分布 (断面積) が、MSSM の 1-loop 効果により SM の予測値より最大で約 5% 小さくなることを示したことである。5.3 節は、Z 粒子を伴ったヒッグス粒子生成過程の結果の記述に当てられている。この節の図 18 に示されている Z 粒子の角度分布は、本論文において最も重要な結果と考えられる。まず、MSSM と SM の違いは約 1% であることが示されるとともに、もし 0.1% の精度の測定が可能であれば、ストップが 500GeV 以下の軽い場合と 1TeV 以上の重い場合が判別できる可能性を明らかにしている。5.4 節では、ILC で 500GeV の衝突エネルギーを想定した時のヒッグス粒子の単独生成過程の計算結果が報告されている。ここでは、主に W ボゾン融合過程でヒッグス粒子が生成されることに着目して、有効 W ボゾン近似 (EWA) の公式をプログラムに組み込み拡張した GRACE を用いて計算を行っている。また近似精度を向上させるために、角度積分に二重指数関数型積分 (DEI) を用いる工夫もなされている。結果として、ヒッグス粒子のエネルギー分布において、MSSM と SM の違いは約 2% 期待できることが示されている。

5.5 節は LHeC で期待される単独ヒッグス粒子生成の解析結果が報告されている。ここでは 5.4 節で組み込まれた EWA や DEI に加え、陽子の構造関数の組み込みが行われており、計算の難易度は最も高いものである。本審査でもここで得られた数値結果は今後精査が必要であるとの見解が示されていたが、数% の MSSM と SM の違いは期待できるが、統計誤差が大きいためその検証は容易ではないという知見に変更はないものと考えられる。

第6章ではまとめと結論が述べられている。

超対称性粒子の存在に起因する 1-loop 効果によって、複数の反応過程においてどのような SM 予測値との差異が生じるのかを系統的に明らかにした本論文は、改めて ILC の重要性を示したものであり、博士 (理工学) の学位論文に充分値するものである

(以上)