

氏 名 原田 大輔

学位 (専攻分野) 博士 (理学)

学位記番号 総研大甲第 1331 号

学位授与の日付 平成 22 年 3 月 24 日

学位授与の要件 高エネルギー加速器科学研究科 素粒子原子核専攻
学位規則第 6 条第 1 項該当

学位論文題目 Exploring new physics through the Higgs
and the top sectors

論文審査委員 主 査 教授 萩原 薫
教授 野尻 美保子
教授 北澤 良久
准教授 藤井 恵介
准教授 戸部 和弘 (名古屋大学)

論文内容の要旨

The Higgs sector is the last unknown part of the standard model (SM). In the SM, the tree level Higgs self-couplings are uniquely determined by the Higgs boson mass. The effective Higgs self couplings are given by precision measurement of hhh and $hhhh$ couplings. If the deviation from the SM tree level Higgs self-coupling is found, it can be regarded as an evidence of new physics beyond the SM. The origin of the spontaneous electroweak symmetry breaking (EWSB) would be experimentally tested after the discovery of a new scalar particle by measuring its mass and self-couplings. The Higgs self-coupling measurement is one of main purposes at the International Linear Collider (ILC). The structure of the Higgs potential depends on the scenario of new physics beyond the SM, so that precision measurement of the hhh coupling can be a probe of each new physics scenario.

It is known that the measurement of the triple Higgs boson coupling is rather challenging at the CERN Large Hadron Collider (LHC). At the SLHC with luminosity of 3000 fb^{-1} , the hhh coupling can be determined with an accuracy of 20-30 %. At the ILC, the main processes for the hhh measurement are double Higgs boson production mechanisms via the Higgs-strahlung and W-boson fusion. At the ILC with a center of mass energy of 500 GeV, the double Higgs strahlung process is dominant. On the other hand, W-boson fusion process becomes dominant due its t-channel nature at 1 TeV or higher energies. The photon Linear Collider (PLC) is an optional experiment of the ILC. The possibility of measuring the hhh coupling at the PLC has been discussed. We study the statistical sensitivity to the hhh coupling constant for wide regions of the Higgs boson masses and the collider energies at the PLC. This process is one-loop induced process. There are two types of diagrams, which are the pole diagrams and the box diagrams. The amplitude of pole diagram is suppressed by $1/s$ at the high energy region, so that the statistical sensitivity to the hhh coupling becomes rapidly worse for this region. On the other hand, the box diagrams do not depend on the hhh coupling. We assume that the efficiency of the particle tagging is 100% with an integrated luminosity of $1/3 \text{ ab}^{-1}$. It is found that when the collision energy is limited to be lower than 500-600 GeV the statistical sensitivity to the hhh coupling can be better for the process in the photon-photon collision than that in the electron-positron collision for the Higgs boson with the mass of 160 GeV.

On the other hand, the top sector relates to new physics in many models beyond the SM, like extra dimensions and Little Higgs models. In such models, there are heavy vector-like fermions that decay to SM fermions plus W and/or Z bosons. The decays are

induced by a new Yukawa coupling that generates the mixing between the new heavy fermion and the SM ones. Determination of the new Yukawa coupling would be important after the discovery of heavy vector-like fermion. However, in many cases, measuring the main decay modes is insufficient to determine the value of such Yukawa coupling. We propose to measure the loop induced decay in photon plus SM fermion. Measuring this channel allows also to discriminate between weakly coupled models and models where such new states are excited states of the SM fermions.

In this thesis, we study the impacts of new physics effects on the Higgs and the top sectors. In Chapter 2, we focus on the following models: two Higgs doublet model, the fourth generation fermions model, and the scalar leptoquark model. These models largely shift the hhh coupling value from the SM in non-decoupling limit. We discuss the impact of these effects on Single-Higgs and Double-Higgs production processes at the LHC and the PLC. In Chapter 3, we study the radiative decay of a heavy fermion to a photon plus a light fermion in the SM with heavy vector-like fermion model. In terms of types of heavy fermions, such models are classified into 4 cases. They consist of Singlet, SM doublet, Non SM doublet and Triplet cases. We discuss the feature of this flavor changing neutral current (FCNC) process in each case.

博士論文の審査結果の要旨

原田大輔君の博士論文の内容は、ヒッグス粒子やトップ粒子に係わる過程を通じてどのように素粒子標準模型を超える物理を探ることができるかについての理論研究である。LHC実験や計画中の電子・陽電子リニアコライダー（ILC）では電弱対称性の破れの原因や素粒子の質量生成の機構を探ることが大きな目的である。この場合、ヒッグス粒子や重いフェルミオンに関する過程の研究が重要であり、そのことを通じて標準模型を超える物理を探る可能性が拓かれる。原田君は、そのために二つの側面から研究を行った。

第一の研究は、LHC実験、ILC、ILCのオプションとして検討されている光子コライダーにおけるヒッグス粒子が二つ生成される過程の研究である。これらの過程はヒッグス粒子の3点結合に依存するため、ヒッグスポテンシャルの形を実験的に探る上で重要であり、電弱対称性の破れの機構を解明するために必要な基本的な測定である。特に、ヒッグス場と強く結合する新粒子が存在するモデルでは、新粒子のループ補正によりヒッグスポテンシャルが変形し、これらの過程の生成断面積が標準模型の予言から大きくずれることがあることがある。原田君は、その例として、ヒッグス場の構成を拡張したモデル、新たなスカラー場を導入したモデル、第4世代のクォークを導入したモデルについて、LHC、ILC、光子コライダーにおける2ヒッグス粒子生成過程の断面積を計算し、標準模型の予言値からどの程度ずれが生じるかを解析した。その結果、これらのモデルでは数10%から数倍の大きなずれが生じること、モデルにより3つの生成過程のずれのパターンが違うことを指摘した。ヒッグス粒子が二つ生成される過程の測定は、いずれのコライダー実験でも非常に大きなルミノシティを必要とする。この研究成果は、LHC実験でヒッグス粒子が発見されたのち、LHCアップグレード、ILCや光子コライダーをどのように進めるべきかを比較検討する際に重要な材料となる。

もうひとつは、第四世代のアップタイプクォークを含む一連のモデルで、重い新粒子がトップクォークと光子に崩壊する分岐比を系統的に調べた研究である。それぞれのモデルに関する現象論的な制約のなかで分岐比は 10^{-5} 程度になること、LHCアップグレードでは測定できる可能性があることを示した。

最初の研究のうち光子コライダー実験に関する部分は英文の学術雑誌に出版済みであり、また原田君自身によって2008年11月のシカゴのリニアコライダーに関する国際会議で報告されている。残りの研究は現在投稿論文としてまとめられつつある。以上の研究は、高エネルギー加速器研究科、素粒子原子核専攻の博士論文として高い水準にあり、博士学位論文として十分な内容を持つと判断される。