

氏 名 松本 悠

学位（専攻分野） 博士（理学）

学位記番号 総研大甲第 1197 号

学位授与の日付 平成 20 年 9 月 30 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 Precise measurement of the Higgs-boson electroweak
couplings at linear collider and its physics impacts

論文審査委員 主 査 教授 岡田 安弘
教授 萩原 薫
教授 野尻 美保子
教授 熊野 俊三
准教授 森松 治
准教授 兼村 晋哉（富山大学）

論文内容の要旨

The Standard Model (SM) of the elementary particles based on the $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$ gauge symmetry has proved to be a successful theory to interpret all the precision data available to date. SM predicts a light Higgs boson whose discovery is one of the prime tasks of the upcoming future colliders. Despite the success, SM presents the naturalness problem due to the quadratic sensitivity of the Higgs boson mass to the new physics at high energy scale. This may suggest an existence of a new physics scale Λ not far above the TeV scale. The key to probe the new physics beyond SM theory is to clarify the Higgs mechanism. Therefore it is necessary to measure the precise Higgs boson's properties, especially the HVV couplings, because these couplings contain the contributions from all the higher dimension operators.

We study the sensitivity of the future collider experiments on new physics beyond the SM. New physics effects in the Higgs sector should appear as non-renormalizable interactions of the Higgs boson, which can be parametrized by the dimension six operators. In this report, we concentrate on studying the sensitivity of measuring the Higgs and two weak boson (HVV) couplings at a future linear e^+e^- collider (ILC). We compare the expected sensitivity of the ILC measurements with the present constraints from the electroweak precision measurements (the S, T, U parameters).

In the ILC experiment, we perform the analysis by using the optimal observable method and separate that analysis mode into five different processes, WW fusion process in the t -channel ($e^+e^- \rightarrow \nu\nu H$), ZH pair production process in the s -channel, the t -channel $ZZ, Z\gamma, \gamma\gamma$ fusion process ($e^+e^- \rightarrow e^+e^- H$), the untagged $e^+e^- H$ events and the single tagged $e^+e^- H$ events. Here, we take into account the only CP-even dimension six operators. We perform the analysis with 80% e^- beam polarization, and combine the results from the four different processes with $\mathcal{L}=100\text{fb}^{-1}$ at $\sqrt{s}=250$ GeV and 350 GeV, and with $\mathcal{L}=500\text{fb}^{-1}$ at $\sqrt{s}=500$ GeV and 1 TeV. Then we obtain the results that the HZZ and HWW couplings can be measured with 0.4% and 0.7% accuracy respectively. The convolution of the luminosity uncertainty in the analysis shows that the tolerable error in the measurement of the luminosity is 0.1% for the luminosities upto 1 ab^{-1} . EW precision measurement gives more strong constraint on dimension six operators by factor 2 than our results for ILC. But we find that the correlation between S and T parameters is opposite sign of the present EW precision measurement.

論文の審査結果の要旨

松本悠君の博士論文の内容は、LHCで軽いヒッグスボソンが発見された場合に、将来の電子陽電子リニアコライダーでその特性の精密測定がどの程度まで可能であるかを、ヒッグスボソンと電弱ゲージボソンとの結合について系統的に考察したものである。

素粒子の標準模型を越える新しい物理を探る鍵は、電弱ゲージ対称性の自発的破れ（ヒッグス機構）の起源を明らかにすることであり、そのためにはまずヒッグスボソンの特性を調べる必要がある。現在までの電弱精密実験の結果から、ヒッグスボソンの質量が 200GeV 以下の場合には、その特性が標準模型の予言と酷似する可能性もあり、その測定精度の評価は、将来計画立案の重要な指針となる。

松本君の博士論文では、衝突エネルギー 1TeV までの電子陽電子衝突で期待される全てのヒッグスボソン生成過程に於て、ヒッグスボソンと弱ゲージボソンとの様々な結合因子の大きさと形状とがどれだけの精度で計測可能であるかを、系統的、且つ定量的に評価した。この論文の独創的な点は、次の通りである。

この論文では、質量の起源に関わる新しい物理を模型に依らずに探索する手段として、標準模型を低エネルギー極限とする高次オペレータを含む有効理論を採用する。これにより、弱ボソンの質量生成に関わる全ての模型が実8次元のパラメータ空間の1点として表される。実際その2次元部分空間が電弱精密実験の解析で有名なS、Tパラメータである。まず、この8個のオペレータの内7個までが、電子陽電子コライダーでのヒッグスボソン・弱ボソン結合の測定によって測定可能であることを明らかにされる。次に、HZ生成、Hニュートリノ対生成、H電子陽電子生成の各ヒッグスボソン（H）生成過程について、観測可能な全ての断面積、角度相関、電子ビームの偏極とエネルギー依存性の情報を総合することによって、7個のオペレータ全てが制限されること、特に、その線形結合の幾つかは、電弱精密実験によるS、Tパラメータよりも強く制限されうることを明らかにした。

全ての過程を検討したこと、全ての観測量を考慮したこと、全ての結合定数の任意の線形結合に対する制限を求めたこと、ルミノシティの測定精度の影響を評価して、観測可能な7個の高次元オペレータの内唯1個を除く他の全てのオペレータの測定はその影響を殆んど受けないことを明らかにしたこと、等が本研究による新しい知見であり、リニアコライダー計画に対して重要な基礎データを提供するものである。H電子陽電子生成過程で、電子・陽電子のどちらかまたは両方がビームパイプ内に逃れて観測されない場合の断面積を正確に計算し、そのビーム偏極依存性を明らかにしたことも、新しい知見である。

研究成果は、昨年12月12日～14日にKEKで開催された「KEK理論研究会」と、本年3月3日～6日に東北大学で開催された「リニアコライダーの物理国際会議」に於て英語講演として発表され、参加者から高い評価を受けた。この研究を基幹とする80頁超の英語論文は、指導教官の萩原薫と印度デリー大学のSukanta Dutta 准教授との共著論文として、専門誌Physical Review D誌に投稿された。この投稿論文の全ての結果と図表とは松本君が一人で計算したものであり、論文の草稿も松本君の書き下しである。共著者の寄与は論文の校正といくつかの計算結果のチェックとにとどまる。

以上の所見から、本論文は、高エネルギー加速器科学研究科、素粒子原子核専攻の博士学位論文として十分な内容を持つと判断される。