

平成 22 年 5 月 31 日現在

研究種目：特定領域研究

研究期間：2004～2009

課題番号：16081211

研究課題名（和文） 超対称模型の現象論的研究

研究課題名（英文） Phenomenological study of supersymmetric models

研究代表者

岡田 安弘 (OKADA YASUHIRO)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・教授

研究者番号：20212334

研究成果の概要（和文）：LHC 実験では素粒子の新しい物理法則に関する知見が得られると期待されている。その具体的な候補としてあげられている超対称模型、複合ヒッグス模型、余次元模型などについて理論的に検討し、これらの模型は将来のエネルギーフロンティア実験やフレーバー実験でどのように検証することができるか、暗黒物質や宇宙のバリオン数生成など宇宙物理の問題とどのように関連しているかについて明らかにした。

研究成果の概要（英文）：It is expected that hints on new physical laws of elementary particles will be obtained in LHC experiments. We studied theoretical models such as supersymmetric models, composite Higgs models, and models with extra-dimensions, and clarified how future energy frontier and flavor physics experiments could prove such models and how these theoretical ideas could be related to cosmological problems such as dark matter and the baryon number of the universe.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2004年度	2,000,000	0	2,000,000
2005年度	3,700,000	0	3,700,000
2006年度	3,500,000	0	3,500,000
2007年度	3,500,000	0	3,500,000
2008年度	3,100,000	0	3,100,000
2009年度	3,300,000	0	3,300,000
総計	19,100,000	0	19,100,000

研究分野：素粒子理論

科研費の分科・細目：物理学・素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：素粒子論・素粒子実験・宇宙物理

1. 研究開始当初の背景

20世紀を通じて素粒子物理学は強い力、弱い力、電磁力を以下に理解するかということを中心に進展してきた。その一つの到達点として1970年代にゲージ理論で三つの

力を統一的に記述する素粒子標準模型が提案された。それ以降様々な実験によってこの模型は検証されてきており、ゲージ理論の側面は確立したとあってよい。一方、現代の素粒子像を支えるもう一つの原理である、電弱

対称性の破れのダイナミクス、つまり素粒子の質量がどのように生じたかという問題は未解決である。LHC 実験の主な目的の一つはこのことを解明することである。理論的には、この問題と関連し、超対称模型をはじめとして様々な物理模型が提案されてきた。それらの模型で存在が予言される新粒子や新現象はまた、宇宙の暗黒物質やバリオン数生成、クォークやレプトンのフレーバーや CP の破れの問題と深くかかわりがあると考えられる。研究開始時は LHC 実験やミュー粒子崩壊におけるレプトンフレーバーの破れの探索を行う MEG 実験が準備中であり、素粒子標準模型を超える物理に関して、理論的な側面から宇宙物理や加速器実験に対するインパクトを検討することが緊急の課題であった。

2. 研究の目的

LHC 実験では、超対称性などの標準模型を超える物理のシグナルを探すことを大きな目標としている。この研究では、超対称模型やまたそれに代わるものとして提唱されている模型について、理論的研究によって次のような点を明らかにすることを目的とした。

(1) 超対称模型や超対称大統一理論などの標準模型を超える物理の模型の検証に LHC 実験やレプトンフレーバー保存の破れの測定がどのようなインパクトをあたえるか。

(2) LHC の成果を踏まえた上で、新しい物理の構造を探るためには、将来どのようなエネルギーフロンティア実験やフレーバー実験が必要か。

(3) 新しい物理の模型の解明が宇宙の理解にどのような役割を果たすか。

3. 研究の方法

超対称模型、リトルヒッグス模型、余次元模型等の素粒子標準模型を超える物理として提案されている物理模型に関して、研究代表者と分担者は科研費で雇用する研究員等と共同で、理論的に検討した。具体的な研究テーマとしては、新しい模型の構築、エネルギーフロンティア実験やフレーバー実験における特定の理論的な模型の検証可能性の検討、宇宙物理へのインパクトの指摘等があげられる。これらの成果について、学術論文として発表するとともに、様々な会議やワークショップで発表し、実験家との議論によって現在進行中の実験や高エネルギー実験の将来計画の検討に役立てた。

4. 研究成果

(1) ヒッグス粒子の物理

宇宙のバリオン数生成を説明することは素粒子と宇宙物理にまたがる大きな問題で

ある。とくに電弱相転移におけるバリオン数生成のシナリオは標準模型を超えるヒッグスセクターが必要なため、将来のコライダー物理の観点からも興味深い。ここでは超対称模型やヒッグス二重項を二つ含む模型で電弱相転移が十分強い一次相転移になってバリオン数生成が可能になる条件を調べた。そして、そのような場合にはヒッグスの自己相互作用に対する量子補正が大きくなり将来の加速器実験で検証可能なことを示した。

また、ヒッグス粒子の自己相互作用決めることはヒッグスポテンシャルから電弱対称性の破れの機構を探るために重要である。2 ヒッグスダブレット模型や余分なクォークを含む模型について、2つのヒッグス粒子の同時生成過程による自己作用の測定の可能性を、LHC、ILC、光子コライダーについて比較検討した。

(2) 超対称模型におけるフレーバー物理

現実的なニュートリノの質量行列を与えるような超対称大統一理論で、レプトンフレーバーの破れの過程やクォークフレーバー物理に関する観測量を理論的に計算し、将来の B ファクトリーやレプトンフレーバーの破れの探索実験で期待される実験結果の物理的意義を明らかにした。

荷電ヒッグス粒子の相互作用を探る上で大切な B 中間子のタウ粒子セミレプトニック崩壊およびレプトニック崩壊に対する超対称粒子の量子補正を計算した。また、この過程と LHC 実験における荷電ヒッグス粒子の直接生成過程とを組み合わせることによって、荷電ヒッグス粒子とクォークとの結合の性質を決めることができることを示した。

(3) ニュートリノ質量生成機構と低エネルギー実験

ニュートリノ振動は自然界ではレプトンのフレーバーの保存が破れていることを示しているが、ミュー粒子やタウ粒子の荷電レプトン崩壊過程におけるレプトンフレーバーの破れが観測可能なほどに大きくなるかどうかはニュートリノ質量生成機構に依る。逆にレプトンフレーバーの過程の探索によりニュートリノ質量生成の模型を区別することができる可能性があり興味深い。ここでは、超対称シーソー模型と左巻き・右巻き対称な模型で荷電レプトンフレーバーを破る様々な過程の計算を行い、ニュートリノ質量生成機構との関係を明らかにした。

また、タイプ II 超対称シーソー模型でレプトンの電気双極子モーメント (EDM) を計算し電子とミュー粒子の EDM の大きさの関係を明らかにした。

(4) 超対称大統一理論の構築

大統一理論については、ニュートリノ質量を自然な形で説明することが可能である $SU(10)$ 群に基づく理論の構築を行った。ここ

では、観測されている標準模型のフェルミオン質量や世代間混合を再現できることや陽子崩壊実験結果に矛盾のないことなどを考慮し、現実的な模型構築を行った。

(5) 高次元時空に基づく模型の研究

高次元時空に基づく模型でも余次元がワーブタイプの模型は平坦な余次元理論とは違う特徴を持ち、新しいタイプの模型の構築の可能性を広げてくれる。ここでは、低いスケールの重力による超対称の破れの媒介機構を持つ模型の構築、ワーブタイプの余次元に基づく大統一理論の提唱、Randall-Sundrum 模型におけるトップ粒子生成等、この考え方を応用した模型の構築と現象論を展開した。特に余次元理論でダークマター粒子を含む新模型の構築を行い、直接観測実験やダークマター由来（対消滅や崩壊）の宇宙線による間接観測実験についての影響を議論した。

また、ブレイン宇宙論では初期宇宙のスケールファクターの膨張の振る舞いが4次元宇宙とは異なるため、宇宙初期における素粒子過程の関連する物理に変更が生じる。熱的なレプトン数生成や超対称模型の暗黒物質の残存量の計算にどのような影響が現れるかを明らかにした。

(6) リトルヒッグス模型の現象論的研究

最近提唱されたリトルヒッグス模型では、特にTパリティと呼ばれる離散的対称性を課した場合には暗黒物質の候補粒子を含む可能性が指摘されており注目を集めている。ここでは、この模型において予言される暗黒物質の候補粒子の初期宇宙での残存量を計算し、現在の観測から決められた暗黒物質質量と合致するためのパラメーター領域を明らかにした。次に、この暗黒物質が我々の銀河のハロー内で対消滅して生成する陽電子のフラックスを計算し、宇宙線観測実験(PAMELA, AMS-02)でこの模型の暗黒物質粒子をどのように探ることができるかを示した。さらにこの模型で電弱精密測定 of 制限を再考慮し今までの計算の不十分な点を指摘した。

またこの模型では新たなフェルミオンを導入することに伴って、CKM 行列以外のフレーバーの転換の原因が導入される。この原因によるフレーバーチェンジングニュートラルカレント過程の計算を行い、正確な表式を与えた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計72件)
すべて査読あり。

1. T. Goto, T. Kubo and Y. Okada, ``Lepton

electric dipole moments in supersymmetric type II seesaw model,’’ Phys. Lett. B687, 349 (2010).

2. A. S. Cornell, A. Deandrea, N. Gaur, H. Itoh, M. Klasen and Y. Okada, ``Universality test of the charged Higgs boson couplings at the LHC and at B factories,’’ to be published in Phys. Rev. D. (2010).
3. V. Cirigliano, R. Kitano, Y. Okada and P. Tuzon, ``On the model discriminating power of $\mu \rightarrow e$ conversion in nuclei,’’ Phys. Rev. D80, 013002 (2009).
4. S. Iso, N. Okada and Y. Orikasa, ``The minimal B-L model naturally realized at TeV scale,’’ Phys. Rev. D80, 115007 (2009).
5. N. Okada and T. Yamada, ``The PAMELA and Fermi signals from long-lived Kaluza-Klein dark matter,’’ Phys. Rev. D80, 075010 (2009).
6. I. Gogoladze, N. Okada and Q. Shafi, ``Type II Seesaw and the PAMELA/ATIC Signals,’’ Phys. Lett. B679, 237 (2009).
7. N. Okada and S. Okada, ``Gauss-Bonnet braneworld cosmological effect on relic density of dark matter,’’ Phys. Rev. D 79, 103528 (2009).
8. S. Iso, N. Okada and Y. Orikasa, ``Classically conformal B-L extended Standard Model,’’ Phys. Lett. B676, 81 (2009).
9. M. Arai, N. Okada and K. Smolek, ``Effects of unparticle on top spin correlation at the Large Hadron Collider,’’ Phys. Rev. D79, 074019 (2009).
10. T. Goto, Y. Okada and Y. Yamamoto, ``Ultraviolet divergences of flavor changing amplitudes in the littlest Higgs model with T-parity,’’ Phys. Lett. B 670, 378 (2009).
11. E. Asakawa, D. Harada, S. Kanemura, Y. Okada and K. Tsumura, ``Higgs boson pair production at a photon-photon collision in the two Higgs doublet model,’’ Phys. Lett. B 672, 354 (2009).
12. I. Gogoladze, R. Khalid, N. Okada and Q. Shafi, ``Soft Probes of SU(5) Unification,’’ Phys. Rev. D79, 095022 (2009).
13. I. Gogoladze, N. Okada and Q. Shafi, ``NMSSM and Seesaw Physics at LHC,’’ Phys. Lett. B672, 235 (2009).

14. T. Fukuyama and N. Okada, ``A simple 5D SO(10) GUT and sparticle masses,’’ Phys. Rev. D78, 115011 (2008).
15. S. L. Chen and N. Okada, ``Flavorful Z’ signatures at LHC and ILC,’’ Phys. Lett. B669, 34 (2008).
16. R. N. Mohapatra, N. Okada and H. B. Yu, `` ν -GMSB with Type III Seesaw and Phenomenology,’’ Phys. Rev. D78, 075011 (2008).
17. T. Fukuyama, N. Okada and T. Osaka, ``Realistic Hybrid Inflation in 5D Orbifold SO(10) GUT,’’ JCAP 0809, 024 (2008).
18. Gogoladze, N. Okada and Q. Shafi, ``Higgs Boson Mass Bounds in the Standard Model with Type III and Type I Seesaw,’’ Phys. Lett. B668, 121 (2008).
19. M. Arai, N. Okada, K. Smolek and V. Simak, ``Influence of Z’ boson on top quark spin correlations at the LHC,’’ Acta Phys. Polon. B40, 93 (2009).
20. T. Fukuyama and N. Okada, ``A simple SO(10) GUT in five dimensions,’’ Phys. Rev. D78, 015005 (2008).
21. N. Haba, S. Matsumoto, N. Okada and T. Yamashita, ``Effective Potential of Higgs Field in Warped Gauge-Higgs Unification,’’ Prog. Theor. Phys. 120, 77 (2008).
22. K. Fujii, H. Hano, H. Itoh, N. Okada and T. Yoshioka, ``Hidden particle production at the ILC,’’ Phys. Rev. D78, 015008 (2008).
23. I. Gogoladze, N. Okada and Q. Shafi, ``Higgs boson mass bounds in a type II seesaw model with triplet scalars,’’ Phys. Rev. D 78, 085005 (2008).
24. T. Kikuchi, N. Okada and M. Takeuchi, ``Unparticle physics at the photon collider,’’ Phys. Rev. D77, 094012 (2008).
25. T. Goto, Y. Okada, T. Shindou and M. Tanaka, ``Patterns of flavor signals in supersymmetric models,’’ Phys. Rev. D77, 095010 (2008).
26. T. Browder, M. Ciuchini, T. Gershon, M. Hazumi, T. Hurth, Y. Okada and A. Stocchi, ``On the Physics Case of a Super Flavour Factory,’’ JHEP 0802, 110 (2008).
27. Y. Okada, ``Higgs Particle: The Origin of Mass,’’ J. Phys. Soc. Jap. 76, 111011 (2007).
28. M. Arai, C. Montonen, N. Okada and S. Sasaki, ``Dynamical Supersymmetry Breaking from Meta-stable Vacua in an N=1 Supersymmetric Gauge Theory,’’ JHEP0803, 004 (2008).
29. N. Maru and N. Okada, ``Gauge-Higgs Unification at LHC,’’ Phys. Rev. D77, 055010 (2008).
30. T. Kikuchi and N. Okada, ``Unparticle Dark Matter,’’ Phys. Lett. B665, 186 (2008).
31. R. N. Mohapatra, N. Okada and H. B. Yu, ``Supersymmetry Breaking by Type II Seesaw Assisted Anomaly Mediation,’’ Phys. Rev. D 77, 115017 (2008).
32. N. Okada and O. Seto, ``Gravitino dark matter from increased thermal relic particles,’’ Phys. Rev. D77, 123505 (2008).
33. R. N. Mohapatra, N. Okada and H. B. Yu, ``Diquark Higgs at LHC,’’ Phys. Rev. D77, 011701 (2008).
34. I. Gogoladze, N. Okada and Q. Shafi, ``Unparticle Physics And Gauge Coupling Unification,’’ Phys. Lett. B659, 357 (2008).
35. I. Gogoladze, N. Okada and Q. Shafi, ``Window For Higgs Boson Mass From Gauge-Higgs Unification,’’ Phys. Lett. B659, 316 (2008).
36. M. Arai, C. Montonen, N. Okada and S. Sasaki, ``Meta-stable Vacuum in Spontaneously Broken N=2 Supersymmetric Gauge Theory,’’ Phys. Rev. D76, 125009 (2007).
37. T. Kikuchi and N. Okada, ``Unparticle physics and Higgs phenomenology,’’ Phys. Lett. B 661, 360 (2008).
38. I. Gogoladze, N. Okada and Q. Shafi, ``Higgs Boson Mass From Gauge-Higgs Unification,’’ Phys. Lett. B655, 257 (2007).
39. S. P. Ng and N. Okada, ``Dark Matter in Gauge Mediation from Emergent Supersymmetry,’’ JHEP0709, 040 (2007).
40. R. N. Mohapatra, N. Okada and H. B. Yu, ``Natural Realizations of Seesaw in Mini-Warped Minimal SO(10),’’ Phys. Rev. D 76, 015013 (2007).
41. T. Fukuyama, T. Kikuchi and N. Okada, ``The current problems of the minimal SO(10) GUT and their solutions,’’ Int. J. Mod. Phys. E 16, 1489 (2007).
42. T. Fukuyama, T. Kikuchi and N. Okada, ``Solving problems of 4D minimal SO(10) model in a warped extra dimension,’’ Phys. Rev. D 75, 075020 (2007).
43. M. Arai, N. Okada, K. Smolek and V. Simak,

- Top quark spin correlations in the Randall-Sundrum model at the CERN Large Hadron Collider,' Phys. Rev. D75, 095008 (2007).
44. B. Brahmachari and N. Okada, 'A 3×2 texture for neutrino oscillations and leptogenesis,' Phys. Lett. B660, 508 (2008).
 45. A. G. Akeroyd, M. Aoki and Y. Okada, 'Lepton Flavour Violating tau Decays in the Left-Right Symmetric Model,' Phys. Rev. D76, 013004 (2007).
 46. H. Itoh, N. Okada and T. Yamashita, 'Low scale gravity mediation with warped extra dimension and collider phenomenology on the hidden sector,' Phys. Rev. D74, 055005 (2006).
 47. T. Fukuyama, T. Kikuchi and N. Okada, 'D-term contributions to the mixed modulus-anomaly mediated supersymmetry breaking,' Phys. Lett. B 641, 310 (2006).
 48. M. Asano, S. Matsumoto, N. Okada and Y. Okada, 'Cosmic positron signature from dark matter in the lightest Higgs model with T-parity,' Phys. Rev. D75, 063506 (2007).
 49. N. Haba and N. Okada, 'Split-SUSY versus SUSY GUTs,' Prog. Theor. Phys. 116, 757 (2007).
 50. N. Haba and N. Okada, 'New contribution to dimension five operators on proton decay in anomaly mediation scenario,' Europhys. Lett. 82, 61001 (2008).
 51. M. Arai and N. Okada, 'Color superconductivity in $N = 2$ supersymmetric gauge theories,' Phys. Rev. D 74, 045004 (2006).
 52. H. S. Goh, S. P. Ng and N. Okada, 'Gauge mediation from emergent supersymmetry,' JHEP 0601, 147 (2006).
 53. N. Haba, S. Matsumoto, N. Okada and T. Yamashita, 'Effective theoretical approach of gauge-Higgs unification model and its phenomenological applications,' JHEP0602, 073 (2006).
 54. T. Nihei, N. Okada and O. Seto, 'Light wino dark matter in brane world cosmology,' Phys. Rev. D73, 063518 (2006).
 55. N. Okada and O. Seto, 'Thermal leptogenesis in brane world cosmology,' Phys. Rev. D73, 063505 (2006).
 56. N. Haba, N. Kitazawa and N. Okada, 'Invisible technicolor,' Acta Phys. Polon. B 40, 67 (2009).
 57. N. Haba and N. Okada, 'Structure of split supersymmetry and simple models,' Prog. Theor. Phys. 114, 1057 (2006).
 58. T. Fukuyama, A. Ilakovac, T. Kikuchi, S. Meljanac and N. Okada, 'Higgs masses in the minimal SUSY $SO(10)$ GUT,' Phys. Rev. D 72, 051701 (2005).
 59. D. Chang, T. Fukuyama, Y. Y. Keum, T. Kikuchi and N. Okada, 'Perturbative $SO(10)$ grand unification,' Phys. Rev. D71, 095002 (2005).
 60. S. Kanemura, Y. Okada and E. Senaha, 'Electroweak baryogenesis and quantum corrections to the triple Higgs boson coupling,' Phys. Lett. B 606, 361 (2005).
 61. M. Arai, N. Okada, K. Smolek and V. Simak, 'Top spin correlations in theories with large extra-dimensions at the Large Hadron Collider,' Phys. Rev. D 70, 115015 (2004).
 62. H. Itoh, S. Komine and Y. Okada, 'Tauonic B decays in the minimal supersymmetric standard model,' Prog. Theor. Phys. 114, 179 (2005).
 63. T. Nihei, N. Okada and O. Seto, 'Neutralino dark matter in brane world cosmology,' Phys. Rev. D71, 063535 (2005).
 64. N. Haba and N. Okada, 'Decoupling supersymmetry / Higgs without fine-tuning,' Acta Phys. Polon. B39, 2921 (2008).
 65. S. Kanemura, Y. Okada, E. Senaha and C. P. Yuan, 'Higgs coupling constants as a probe of new physics,' Phys. Rev. D 70, 115002 (2004).
 66. N. Okada and O. Seto, 'A brane world cosmological solution to the gravitino problem,' Phys. Rev. D71, 023517 (2005).
 67. N. Okada and O. Seto, 'Relic density of dark matter in brane world cosmology,' Phys. Rev. D70, 083531 (2004).
 68. N. Kitazawa, T. Kobayashi, N. Maru and N. Okada, 'Yukawa coupling structure in intersecting D-brane models,' Eur. Phys. J. C 40, 579 (2005).
 69. T. Fukuyama, A. Ilakovac, T. Kikuchi, S. Meljanac and N. Okada, 'Detailed analysis of proton decay rate in the minimal supersymmetric $SO(10)$ model,' JHEP 0409, 052 (2004).

70. T. Fukuyama, A. Ilakovac, T. Kikuchi, S. Meljanac and N. Okada, "SO(10) group theory for the unified model building," J. Math. Phys. 46, 033505 (2005).
71. N. Delerue, K. Fujii and N. Okada, "Higgs pair production at a linear e^+e^- collider in models with large extra dimensions," Phys. Rev. D70, 091701 (2004).
72. T. Fukuyama, A. Ilakovac, T. Kikuchi, S. Meljanac and N. Okada, "General formulation for proton decay rate in minimal supersymmetric SO(10) GUT," Eur. Phys. J. C 42, 191 (2005).

[学会発表] (計41件)

1. Yasuhiro Okada, "Theoretical Status of LFV and rare tau decays," BEAUTY 2009, 2009.9.8, Heidelberg.
2. Yasuhiro Okada, "Search for new physics beyond the SM," KAON 09, 2009.6.12, Tsukuba.
3. 岡田 安弘, "電弱対称性の破れと新物理モデルの発展," 日本物理学会, 2009.3.26, 立教大学、東京.
4. Yasuhiro Okada, "Exploring SUSY models through quark and lepton flavor physics," SUSY 2008, 2008.6.18, Seoul.
5. Yasuhiro Okada, "Overview of RDR and the next step," Joint ACFA Physics and Detector Workshop and GDE meeting on International Linear Collider, 2008.3.3, Sendai.
6. Yasuhiro Okada, "A window to the TeV scale and beyond from quark and lepton flavor physics," Korean Physical Society meeting, 2007.10.18, Jeju, Korea.
7. Yasuhiro Okada, "Flavor phenomenology in SUSY models," The 4th International Conference on Flavor Physics, 2007.9.26, Beijing.
8. Yasuhiro Okada, "Physics at LHC and ILC," The 10th Asia Pacific Physics Conference, 2007.8.22, Pohang, Korea.
9. Yasuhiro Okada, "CP violation and CKM (Theory)," The 33th International Conference on High Energy Physics, 2006.7.31, Moscow.
10. 岡田 安弘, "まとめ," 日本物理学会シンポジウム 2010年代のフレーバー物理, 2006.3.29, 愛媛大学、松山
11. Yasuhiro Okada, "Physics Overview," Linear Collider Workshop (LCWS06), 2006.3.9, Bangalore.
12. Yasuhiro Okada, "Lepton Flavor

- Violation," The 3rd International Conference on Flavor Physics, 2005.10.7, Chung-li, Taiwan.
13. Nobuchika Okada, "Summary on Physics Session," The 8th ACFA LC Workshop, 2005.7.14, Daegu, Korea.
14. Nobuchika Okada, "Summary on Cosmology Connection Session," International Linear Collider Workshop (LCWS05), 2005.3.22, Stanford, California.
15. Yasuhiro Okada, "Summary talk for ILC Physics," The 7th ACFA LC Workshop, 2004.11.12, Taipei.
16. Yasuhiro Okada, "New Physics in B Decays," FPCP 2004, 2004.10.7, Daegu, Korea.
17. Yasuhiro Okada, "Physics at a Linear Collider," 2004 Phenomenology Symposium (Pheno04), 2004.4.28, Madison, Wisconsin.

[図書] (計1件)

1. Yasuhiro Okada, "Lepton Dipole Moments", World Scientific, (2010), 683-700.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岡田 安弘 (OKADA YASUHIRO)
 大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・教授
 研究者番号：20212334

(2) 研究分担者

岡田 宣親 (OKADA NOBUCHIKA)
 大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・助教
 研究者番号：40360333