

機関番号：82118  
 研究種目：基盤研究 (S)  
 研究期間：2006～2009  
 課題番号：18104006  
 研究課題名(和文) 南極周回飛翔超伝導スペクトロメータによる太陽活動極小期の宇宙起源反粒子探査  
 研究課題名(英文) Search for Primordial Antiparticle with a balloon-borne experiment using a superconducting spectrometer at a solar minimum period  
 研究代表者  
 山本 明 (YAMAMOTO AKIRA)  
 大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・超伝導低温工学センター・教授  
 研究者番号：30113418

研究成果の概要 (和文)：

南極周回飛翔超伝導スペクトロメータを用いた太陽活動極小期(2007-2008年)の宇宙線観測の成功により、宇宙線反粒子、反物質に関する研究が飛躍的に発展した。(1)宇宙線反陽子(<1GeV)二次粒子として整合性を持ち、(2) S. Hawking によって予言された原始ブラックホール (PBH) 及びその蒸発を起源とする宇宙線反陽子を示唆する観測はされず、偏差、7 シグマ以上の分離レベルで、その存在上限を下げ、(3) 宇宙における物質・反物質存在比の非対称性の検証を進め、反ヘリウム/ヘリウム存在上限比として、 $<7 \times 10^{-8}$  を得た。BESS 実験を通して、二桁以上探索感度を高める成果を得た。

研究成果の概要 (英文)：

The research program by using the Balloon-borne Experiment with a Superconducting Spectrometer (BESS) has much progressed with a long duration flight over Antarctica at solar minimum period in 2007 ~ 2008 (BESS-Polar II), as summarized as follows: (1) The antiproton spectrum measured shows good consistency with secondary antiproton model calculation. (2) Given this background of secondary antiprotons, cosmologically primary antiprotons have been searched for using the observed antiproton spectrum. The result shows no evidence of primary antiprotons that originated from the evaporation of Primordial Black Holes within the obtained statistics. (3) No anti-helium candidate was detected, and a resultant upper limit of  $7 \times 10^{-8}$  for the abundance ratio of anti-helium/helium in a rigidity range of 1 - 14 GV by combining all the BESS and BESS-Polar data. This is the most stringent limit obtained to date.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	33,600,000	10,080,000	43,680,000
2007年度	34,900,000	10,470,000	45,370,000
2008年度	6,800,000	2,040,000	8,840,000
2009年度	4,900,000	1,470,000	6,370,000
年度			
総計	80,200,000	24,060,000	104,260,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：宇宙起源、反粒子、反物質、超伝導、スペクトロメータ、南極周回、気球飛翔

## 1. 研究開始当初の背景

宇宙における物質／反物質の観測を通して非対称性は、素粒子物理学、宇宙物理学における永年に亘る課題であった。また、ホーキングにより提唱された宇宙起源・原始ブラックホールによる反粒子生成の可能性を実験的に検証することが求められ、地球大気圏外の宇宙空間のクリーンな環境において、これまでにない感度での観測が切望された。

## 2. 研究の目的

『宇宙線反陽子スペクトルの精密観測』および『宇宙線反粒子・反物質の探索』を通して、『初期宇宙における素粒子像を探る』ことを目的とし、特に低エネルギー領域での反陽子スペクトルの観測を通し、原始ブラックホール(PBH)の蒸発、宇宙暗黒物質の消滅等を起源とする1次起源反陽子(反粒子)の探査を目的とした。また、宇宙における物質・反物質存在の非対称性について、宇宙線観測を通しての直接的な検証を目的とした。

## 3. 研究の方法

永久電流化された超伝導磁石を基幹装置とした高精度観測装置(スペクトロメータ)を用い、太陽活動極小期(2007年)に、南極周回気球観測実験を実施し、20日間以上の連続観測を実現、『太陽活動極小期、地球磁力線が鉛直な極地長時間観測、大立体角』の3条件をあわせた究極的な高感度観測を実現した(図1)。

## 4. 研究成果

### 低エネルギー反陽子流束の精密観測

質量同定による明解な解析結果として、総数7886個の反陽子検出に成功し、2007-2008年太陽活動極小期における流束(図2)が得られた。BESS-Polar II反陽子流束は、1GeV以下の領域において、前回太陽活動極小期のデータ(BESS'95+'97)の約14倍の統計量に匹敵する。BESS-Polar II反陽子流束の観測結果をもとに、二次起源、一次起源反陽子について考察を深めた。二次起源反陽子のモデル計算は、一次宇宙線である陽子が、銀河磁場による拡散、対流、星間ガスによる加速を受けながら、衝突反応により反陽子生成をする過程(宇宙線伝播モデル)と、太陽圏内における太陽磁場の擾乱による変調(太陽変調モデル)の効果をかけ合わせたものとなる。図2から、BESS-Polar II反陽子流束観測結果が、二次起源反陽子流束の様々なモデル計算と全体として良く整合する事が分かる。更に、二次起源反陽子モデル計算の比較において、流束形状の違いに着目し、宇宙線伝播モデル

の違いについて考察を進めた。太陽活動極小期の宇宙線反陽子に対する太陽磁場の擾乱の効果が非常に小さい事を確認したうえでの考察において、二次起源反陽子モデルの中でも、低エネルギー反陽子の副次的な過剰成分を含まないモデルが観測結果とさらに良い整合性を有する事を示した。その具体例として、非弾性散乱によるエネルギー損失により、二次起源反陽子の低エネルギー成分を増

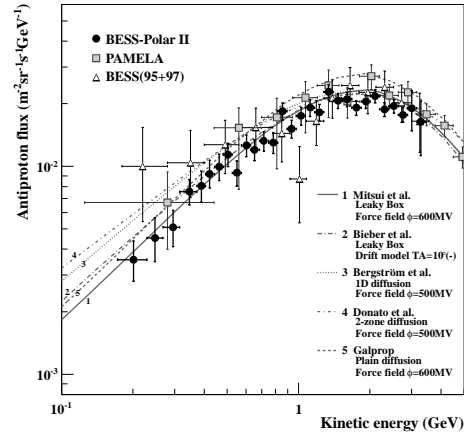


図1. 本研究(BESS-Polar II)での反陽子スペクトル観測結果と他の実験、モデル計算との比較

加させる反応(Tertiary 反応)を抑制しているモデルがBESS-Polar II実験結果とより良い整合性を持つ事を明らかにした。

宇宙起源反粒子探索のバックグラウンドとなる二次起源は反陽子流束評価を基に、低エネルギー領域においてその寄与が顕著に現れる可能性があるPBH起源の反陽子流束の評価を行った。BESS-Polar II反陽子流束観測結果から、二次起源反陽子モデル計算を引いた差分を説明できるPBH起源反陽子流束の絶対量を見積もり、PBHの蒸発率Rの上限値を計算した。二次起源反陽子モデル不定性の影響を考慮する為に、数種の二次起源反陽子モデルについて計算を行い、PBHの蒸発率Rの上限値を求めた。その一例を、図3に示す。蒸発率Rの確率密度関数を確認する事で、以下の結論に到達した。BESS'95+'97の低エネルギー反陽子流束の過剰を説明できるレベル、即ち、蒸発率 $R \sim 3.6 \times 10^{-3} \text{pc}^{-3} \text{yr}^{-1}$ で蒸発するPBHを起源とする一次起源反陽子は観測されず、この結果、統計精度を一桁以上高めたBESS-Polar II実験から精度を高めた結果として、 $R \sim 1.0 \times 10^{-3} \text{pc}^{-3} \text{yr}^{-1}$  (90% C.L.)を上限値とする結果を得た。

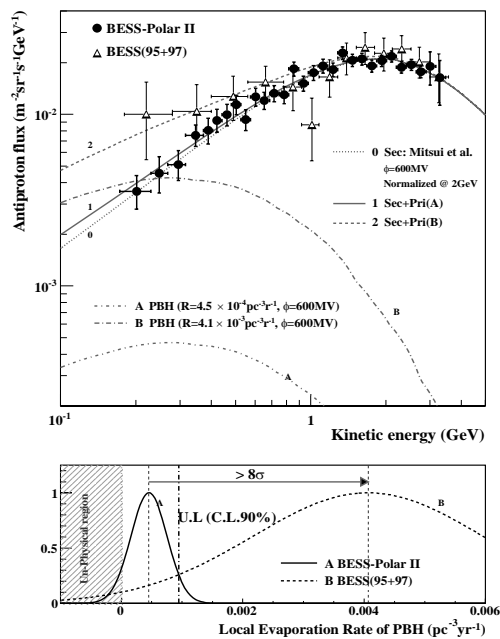


図 2. 本観測における反陽子スペクトルを基に考察した原始ブラックホールの蒸発を起源とする反陽子の存在上限値が蒸発率  $R=1 \times 10^{-3} \text{pc}^{-3} \text{yr}^{-1}$  を示す結果。

### 反ヘリウムの探索

BESS-Polar 実験では、25 日間におよぶ南極周回長時間フライトの特色を活かし、宇宙反物質探索を飛躍的に進展させた。全フライトを通じた物質としてのヘリウム原子核流束の統計は Rigidity 0.6 - 14 GV の範囲で  $4 \times 10^7$  イベントに達する統計量を得たのに対して、反ヘリウム核は 1 例も観測されなかった。1993 年以來の BESS 実験の全フライト (12 回) の全観測量も積算すると、1 - 14 GV の領域で、反ヘリウム/ヘリウム存在比上限値として、 $6.9 \times 10^{-8}$  (90% CL) を達成した (図 4)。これによって、BESS 実験開始 (1993 年) 以前のデータに対して、探索感度を二桁以上高める成果を達成した。

『超伝導スペクトロメータを用いた宇宙起源反粒子探索実験』は、1980 年代より様々なカテゴリーで科学研究費、宇宙科学技術開発研究基金等の支援を受け発展した。その集大成として『太陽活動極小期における南極での長時間観測実験』が科学研究費特別推進研究から科学研究費・基盤研究 S に継承されて実現し、飛躍的な研究成果へと発展した。BESS 実験開始以来 20 年以上におよぶ積み重ねによって、上記の結論を導くことができた。

また、この研究を通して培われた『超伝導スペクトロメータ技術』、『先進的アルミ安定

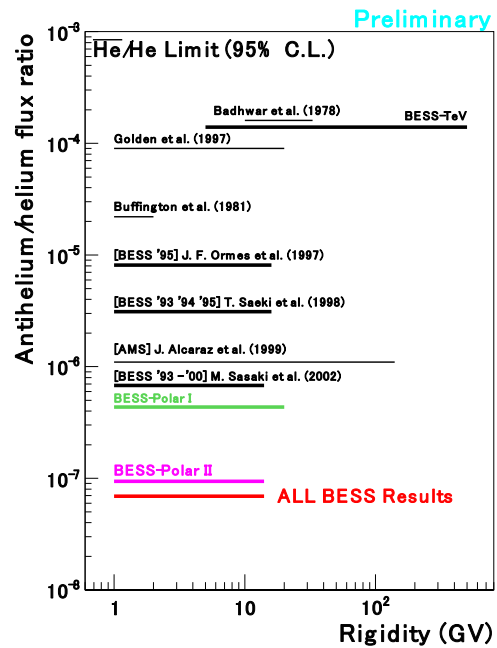


図 3. 宇宙反物質の探索結果。本研究により、反ヘリウム/ヘリウム存在比上限値として、 $6.9 \times 10^{-8}$  (90% CL) を達成した

化超伝導磁石技術』は、エネルギーフロンティアを担う高エネルギー物理実験、宇宙科学実験における究極的な、『透明な磁場環境技術』として評価され、今後宇宙空間利用における活用の道を切り開く礎となった。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、分担者、連携研究者には下線) [雑誌論文] (計 9 件)

- 1) Y.Makida, A.Yamamoto, and T.Yoshida et al., "Ballooning of an ultra-thin superconducting solenoid for particle astrophysics", □IEEE Trans. Applied Supercond., 16 (2006) 477-480.
- 2) A.Yamamoto, Y.Makida, K.Yoshimura et al., "The BESS Program", □Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.) 166 (2007) 62-67.
- 3) Y.Makida, A.Yamamoto et al., "Cryogenic performance of ultra-thin superconducting solenoids for cosmic-ray observation with ballooning", □IEEE Trans. Applied Supercond., 17 (2007) 1205-1208.
- 4) A.Yamamoto, K.Yoshimura et al., "Search for primordial antiparticles with BESS", □Adv. Space Res. 42 (2008) (3)442-(3)449.
- 5) M.Sasaki, A.Yamamoto, K.Yoshimura et al., "Search for antihelium: Progress with BESS", Adv. Space Res. 42 (2008) (3)450-(3)454.
- 6) K.Yoshimura, A.Yamamoto, et al., "BESS-Polar experiment: Progress and future prospects", Adv. Space Res. 42 (2008) (10)1664-(10)1669.
- 7) K.Abe, M.Nozaki, A.Yamamoto, K.Yoshimura

et al., "Measurement of the cosmic-ray low energy antiproton spectrum with the first BESS-Polar antarctic flight", Phys. Lett. B 670 (2008) 103–108.

- 8) Y.Makida, A.Yamamoto, K.Yoshimura et al., "The BESS-Polar ultra-thin superconducting solenoid magnet and its operational characteristics during long-duration scientific ballooning over antarctica", IEEE Trans. Applied Supercond. 19 (2009) 1315-1319.
- 9) A. Yamamoto, Y. Makida, Y. Yoshimura et al., "Search for cosmic-ray antiproton origins and for cosmological antimatter with BESS", to be published in Adv. Space Res. (2011).

[国際学会招待講演] (計 10 件)

- 1) A.Yamamoto: Search for primordial antiparticle with BESS□36th COSPAR Scientific Assembly (July 2006) Beijing.
- 2) A.Yamamoto: Balloon-borne Experiment with Superconducting Spectrometer (BESS)□Intl. Workshop on Cosmic-rays and High Energy Universe (Mar 2007) Aoyama Gakuin Univ.
- 3) J.W.Mitchell, A. Yamamoto et al.,: Solar Modulation of Low-Energy Antiproton and Proton Spectra Measured by BESS□30th Intl. Cosmic Ray Conf. (July 2007) Merida.
- 4) K. Yoshimura, A. Yamamoto et al.,: Progress of BESS-Polar Experiment□Intl. Workshop on Advances in Cosmic Ray Science (Mar. 2008) Waseda Univ.
- 5) J.W.Mitchell and A. Yamamoto: The BESS investigation of the origin of cosmic-ray antiprotons and search for cosmological antimatter□37th COSPAR Scientific Assembly (July 2008) Montreal
- 6) J.W.Mitchell, and A. Yamamoto: The BESS Search for Cosmic-ray Antiproton Origins and for Cosmological Antimatter (Highlight Talk)□31th Intl. Cosmic Ray Conf., (July 2009) Łódź
- 7) A.Yamamoto: Search for primordial antiparticle in cosmic rays with the BESS,□The 7th RESCEU International Symposium on Astroparticle Physics and Cosmology (Nov. 2009) Univ. of Tokyo
- 8) K.Yoshimura, A. Yamamoto, and J.W. Mitchell: Search for Cosmic-ray Antiproton Origins and for Cosmological Antimatter with BESS□38th COSPAR Scientific Assembly (July 2010) Bremen
- 9) K.Yoshimura, A. Yamamoto et al.: Precision Measurement of Cosmic-ray Antiproton Spectrum and Search for Antimatter with BESS, 10th international conference on Low Energy Antiproton Physics (April, 2011) Canada.
- 10) A. Yamamoto: Search for Cosmic-Ray Antiproton Origins and for Cosmological Antimatter with BESS, The 20th European Space Agency

Symposium (May 2011) Hyeres.

[学会一般講演/名前は本研究 BESS 実験代表発表者] (計 77 件)

- 1) A.Yamamoto: The BESS program□3rd Intl. Conf. on Particle and Fundamental Physics in Space (SpacePart) (Apr. 2006) Beijing.
- 2) K.Yoshimura: The first BESS-Polar flight over Antarctica□25th Intl. Symposium Space Tech. and Sci. (Jun. 2006) Kanazawa
- 3) K.Yoshimura: BESS-Polar Experiment - progress and future prospect□36th COSPAR Scientific Assembly (July 2006) Beijing
- 4) A.Yamamoto: Search for primordial antiparticle with BESS□36th COSPAR Scientific Assembly (July 2006) Beijing
- 5) M.Sasaki: Search for Antihelium progressed with BESS□36th COSPAR Scientific Assembly (July 2006) Beijing
- 6) H.Fuke: Search for fractionally charged particles in cosmic rays with the BESS Spectrometer□36th COSPAR Scientific Assembly (July 2006) Beijing
- 7) T.Sanuki: Cosmic ray data and their interpretation: about BESS experiment□14th International Symposium on Very High Energy Cosmic Ray Interactions (Aug., 2006) Weihai
- 8) 折戸 玲子: BESS-Polar 実験による宇宙線陽子流束の精密測定□日本物理学会 (2006年9月) 奈良女子大学
- 9) 松田 晋弥: BESS-Polar 実験における低エネルギー宇宙線反陽子流束測定□日本物理学会 (2006年9月) 奈良女子大学
- 10) 長谷川 雅也: BESS-Polar II -実験計画と準備状況-□大気球シンポジウム (2007年1月) 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部
- 11) 松川 陽介: BESS-Polar II TOF 用 PMT 気密容器の開発 -低温低圧動作試験結果-□大気球シンポジウム (2007年1月) 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部
- 12) 篠田 遼子: BESS-Polar II 用マグネットの開発□大気球シンポジウム (2007年1月) 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部
- 13) A.Yamamoto: Balloon-borne Experiment with Superconducting Spectrometer (BESS)□Intl. Workshop on Cosmic-rays and High Energy Universe (Mar 2007) Aoyama Gakuin Univ.
- 14) 山本 明: BESS-Polar II: 太陽活動極小期における南極周回気球での宇宙線長時間観測□日本物理学会 (2007年3月) 首都大学東京
- 15) T.Hams: BESS-Polar II experiment□30th Intl. Cosmic Ray Conf. (July 2007) Merida.
- 16) E.S.Seo: Energy Spectra of Cosmic-Ray Hydrogen and Helium Isotopes during the 2000 Solar Maximum□30th Intl. Cosmic Ray Conf. (July 2007) Merida.
- 17) T.Hams: Results from BESS-Polar I 2004 Antarctica Flight□30th Intl. Cosmic Ray Conf.

- (July 2007) Merida.
- 18) J.W.Mitchell: Solar Modulation of Low-Energy Antiproton and Proton Spectra Measured by BESS□30th Intl. Cosmic Ray Conf. (July 2007) Merida.
  - 19) 松川 陽介: BESS-Polar II PMT 用気密容器の開発～低温低圧動作試験～□日本物理学会 (2007年9月) 北海道大学
  - 20) 坂井 賢一: BESS-Polar II 実験 - エアロジェルチェレンコフカウンターの開発と性能評価□日本物理学会 (2007年9月) 北海道大学
  - 21) 堀越 篤: BESS-Polar II 実験 - Middle TOF カウンターの開発と性能評価□日本物理学会 (2007年9月) 北海道大学
  - 22) 灰野 禎一: BESS-Polar I 実験における反陽子流束解析の進展□日本物理学会 (2007年9月) 北海道大
  - 23) 長谷川 雅也: BESS Polar-II 実験 - 概要と準備状況 - □日本物理学会 (2007年9月) 北海道大学
  - 24) 篠田 遼子: BESS-PolarII 実験 - 南極二周回飛行にむけた超伝導マグネットの開発と性能評価□日本物理学会 (2007年9月) 北海道大学
  - 25) 福家 英之: BESS-Polar II 実験進捗報告□大気球シンポジウム (2007年12月) 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部
  - 26) K. Yoshimura: Progress of BESS-Polar Experiment□Intl. Workshop on Advances in Cosmic Ray Science (Mar. 2008) Waseda Univ.
  - 27) 長谷川 雅也: BESS Polar-II 実験 —実験実施報告—□日本物理学会 (2008年3月) 近畿大学
  - 28) 折戸 玲子: BESS Polar-II 実験 —宇宙線流束解析経過報告—□日本物理学会 (2008年3月) 近畿大
  - 29) M.Hasegawa: The 2007 BESS-Polar Scientific Flight in Antarctica□26th Intl. Symposium Space Tech. and Sci. (Jun. 2008) Hamamatsu
  - 30) R.Orito: Data acquisition system for the BESS-Polar experiment□37th COSPAR Scientific Assembly (July 2008) Montreal
  - 31) M.Sasaki: The BESS-Polar II Long Duration Flight above Antarctica□37th COSPAR Scientific Assembly (July 2008) Montreal
  - 32) J.Mitchell: The BESS investigation of the origin of cosmic-ray antiprotons and search for cosmological antimatter□37th COSPAR Scientific Assembly (July 2008) Montreal
  - 33) T.Hams: Performance of the BESS-Polar II Time-of-Flight Counter□37th COSPAR Scientific Assembly (July 2008) Montreal
  - 34) A.Horikoshi: Development of a Thin Scintillator-Array Time-of-Flight Hodoscope with Fiber Bundle Readout onboard BESS-Polar II□37th COSPAR Scientific Assembly (July 2008) Montreal
  - 35) K.Sakai: Flight performance of BESS Polar II Aerogel Cherenkov Counter□37th COSPAR Scientific Assembly (July 2008) Montreal
  - 36) K.C.Kim: The cosmic ray H-2/H-1 and He-3/He-4 ratios measured from bess in 2000 solar maximum□37th COSPAR Scientific Assembly (July 2008) Montreal
  - 37) M.Hasegawa: Solar-cell power system for the BESS Polar Experiment□37th COSPAR Scientific Assembly (July 2008) Montreal
  - 38) 佐々木 誠: BESS-Polar II フライト報告□大気球シンポジウム (2008年9月) 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部
  - 39) 坂井 賢一: BESS-Polar II 測定器□大気球シンポジウム (2008年9月) 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部
  - 40) 槇田 康博: BESS-Polar II マグネット性能□大気球シンポジウム (2008年9月) 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部
  - 41) 楠本 彬: BESS-Polar II データ収集システム□大気球シンポジウム (2008年9月) 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部
  - 42) 楠本 彬: GEANT4 による BESS-PolarII 測定器のシミュレーション(1)□日本物理学会 (2008年9月) 山形大学
  - 43) 坂井 賢一: BESS Polar-II 実験 反陽子流束解析報告(1)□日本物理学会 (2008年9月) 山形大学
  - 44) A.Yamamoto: Search for primordial antiparticle in cosmic rays with the BESS□The 7th RESCEU International Symposium on Astroparticle Physics and Cosmology (Nov. 2009) U. Tokyo
  - 45) K.Sakai: Anti-proton observation by the BESS-Polar□Workshop of Electron Observation 2008 (Dec. 2008) Waseda University
  - 46) 坂井 賢一: BESS Polar-II 実験 反陽子流束解析報告(2)□日本物理学会 (2009年3月) 立教大学
  - 47) K.Sakai: Progress in BESS-Polar II Experiment and the Data analysis□27th Intl. Symposium Space Tech. and Sci. (July 2009) Tsukuba
  - 48) J.W.Mitchell: The BESS Search for Cosmic-ray Antiproton Origins and for Cosmological Antimatter (Highlight Talk)□31th Intl. Cosmic Ray Conf., (July 2009) Łódź
  - 49) M.Sasaki: Search for Antihelium with the BESS-Polar Spectrometer□31th Intl. Cosmic Ray Conf., (July 2009) Łódź
  - 50) K.Yoshimura: The second Antarctic Flight of BESS-Polar Experiment: Flight Summary and Detector Performance□31th Intl. Cosmic Ray Conf., (July 2009) Łódź
  - 51) A.Horikoshi: BESS-Polar II: Fiber readout Time of Flight system□31th Intl. Cosmic Ray Conf., (July 2009) Łódź
  - 52) N.Thakur: The Time of Flight System for BESS-Polar II□31th Intl. Cosmic Ray Conf., (July 2009) Łódź
  - 53) T.Hams: Short-term and diurnal proton flux variation during the BESS-Polar I balloon flight□31th Intl. Cosmic Ray Conf., (July 2009) Łódź
  - 54) K.Sakai: Antiproton identification with BESS-Polar II Aerogel Cherenkov Counter□31th

- Intl. Cosmic Ray Conf., (July 2009) Łódź
- 55) R.Orito: Precise measurement of the cosmic-ray proton spectrum and the time variation with BESS-Polar I□31th Intl. Cosmic Ray Conf., (July 2009) Łódź
- 56) K.C.Kim: Measurements of Cosmic-Ray Hydrogen and Helium Isotopes with BESS-Polar I in 2004□31th Intl. Cosmic Ray Conf., (July 2009) Łódź
- 57) M.Sasaki: The Electronics and Data Acquisition Systems for the BESS-Polar Program□31th Intl. Cosmic Ray Conf., (July 2009) Łódź
- 58) 山本 明: BESS-Polar 実験と観測結果解析の現状 □RESCEU サマースクール (2009年8月) 沖縄県宜野湾市 健康文化村
- 59) 吉村 浩司: BESS 実験による宇宙線反粒子観測とダークマター □日本物理学会 (2009年9月) 甲南大
- 60) 坂井 賢一: BESS Polar-II 実験 反陽子流束解析報告(3) □日本物理学会 (2009年9月) 甲南大学
- 61) 吉村 浩司: BESS-Polar II フライトと測定器性能 □大気球シンポジウム (2009年10月) 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部
- 62) 長谷川 雅也: BESS-Polar II 太陽電池システムでのフライトにおける性能評価 □大気球シンポジウム (2009年10月) 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部
- 63) 堀越 篤: BESS-Polar II ファイバー読み出し型 TOF の性能評価 □大気球シンポジウム (2009年10月) 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部
- 64) 坂井 賢一: BESS-Polar II 粒子識別性能と反陽子の同定 □大気球シンポジウム (2009年10月) 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部
- 65) 坂井 賢一: BESS Polar-II 実験 反陽子流束解析報告(4) -太陽活動極小期における宇宙線反陽子流束- □日本物理学会 (2010年3月) 岡山大学
- 66) 堀越 篤: BESS-Polar II 実験: 低エネルギー宇宙線反陽子捕捉のためのファイバーライトガイド薄型 TOF カウンターの性能評価 □日本物理学会 (2010年3月) 岡山大学
- 67) K.Yoshimura: Search for Cosmic-ray Antiproton Origins and for Cosmological Antimatter with BESS□38th COSPAR Scientific Assembly (July 2010) Bremen
- 68) M.Sasaki: Search for Antihelium with BESS-Polar II□38th COSPAR Scientific Assembly (July 2010) Bremen
- 69) K.Sakai: Measurement of cosmic-ray antiproton spectrum at solar minimum with the BESS-Polar II flight in Antarctica□38th COSPAR Scientific Assembly (July 2010) Bremen
- 70) K.C.Kim: Measurements of Cosmic-Ray Hydrogen and Helium Isotopes with BESS-Polar I□38th COSPAR Scientific Assembly (July 2010) Bremen
- 71) T.Hams: The BESS-Polar Proton & Helium flux measurements□38th COSPAR Scientific Assembly (July 2010) Bremen

- 72) T.Hams: The balloon-borne experiment with a superconducting spectrometer (BESS) program□38th COSPAR Scientific Assembly (July 2010) Bremen
- 73) K.Sakai: Detector performances of the BESS-Polar II instrument during the second long-duration balloon flight over Antarctica□38th COSPAR Scientific Assembly (July 2010) Bremen
- 74) 坂井 賢一: BESS Polar-II 実験 反陽子流束解析報告(5) □日本物理学会 (2010年9月) 九州工業大学
- 75) 吉村 浩司: BESS-Polar II 測定器回収ミッション報告 □大気球シンポジウム (2010年10月) 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所
- 76) 坂井 賢一: BESS-Polar II 成果報告 反陽子流束測定と反ヘリウム探索 □大気球シンポジウム (2010年10月) 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所
- 77) 坂井 賢一: BESS Polar-II 実験 反陽子流束解析報告(6) □日本物理学会 (2011年3月) 新潟大学 (東日本大震災の為、概要報告集のみ。)

〔図書〕 (計1件)

素粒子物理学ハンドブック、編集: 山田作衛他、共著分担者として: 山本 明  
朝倉書店 2010年  
ISBN 978-4-254-13100-0 C 3402.

〔産業財産権〕

○特許取得状況 (計1件)

名称: 「超伝導コイル」

発明者: 山本 明、槇田康博

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特許 4117372 号

登録年月日: 2008年5月2日

国内外の別: 国内

〔その他〕

ホームページ等

<http://bess.kek.jp>

<http://bess.hep.sci.osaka-u.ac.jp/>

(東日本大震災の被災対策の仮アドレス)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

山本 明 (Yamamoto Akira)

高エネルギー加速器研究機構・超伝導低温工学センター・教授

研究者番号: 30113418

### (2) 研究分担者

吉村 浩司 (Yoshimura Koji)

高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・准教授

研究者番号: 50272464

### (3) 研究分担者

槇田 康博 (Makita Yasuhiro)

高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・准教授

研究者番号: 30199658