

平成18年度 学術創成研究費 研究進捗状況報告書 (中間評価用)

平成18年3月31日現在

ふりがな	はしもと おさむ		所属研究機関・ 部局・職	東北大学・大学院理学研究科・教授				
研究代表者 氏名	橋本 治							
研究課題名 (英訳名)	電子線ビームによるハイパー原子核分光研究の展開 (Exploring hypernuclear spectroscopy by electron beams)							
研究経費 (千円未満切捨) <small>平成16,17年度使用内訳は支出額、平成18年度以降の交付額は内約額、使用内訳は支出予定額を記入</small>	年度	研究経費 (千円)		使用内訳 (千円) <平成18年度以降は支出予定額>				
		交付額	支出額	設備備品費	消耗品費	旅費	謝金等	その他
	平成16年度	76,000	76,000	8,826	46,041	5,408	3,684	12,041
	平成17年度	83,700	83,700	4,373	62,506	8,277	6,639	1,902
	平成18年度	87,000	-	2,014	72,610	7,770	3,990	615
	平成19年度	90,000	-	5,200	68,400	8,680	6,400	1,320
	平成20年度	77,800	-	4,500	55,700	9,300	6,730	1,570
	総計	415,200						
研究組織 (研究代表者及び研究分担者)								
氏名	所属研究機関・部局・職	現在の専門	役割分担 (研究実施計画に対する分担事項)					
橋本 治	東北大学・大学院理学研究科・教授	原子核物理	全体計画立案、実施統括					
中村 哲	東北大学・大学院理学研究科・助教授	原子核物理	(e,e'K+)実験実施計画立案、散乱電子スペクトロメータ全体設計					
前田 和茂	東北大学・大学院理学研究科・助教授	原子核物理	中性 K 中間子実験立案、実施					
高橋 俊行	高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所物理第3系・助教授	原子核物理	中性 K 中間子データ収集、解析					
藤井 優	東北大学・大学院理学研究科・助手	原子核物理	(e,e'K+)ハイパー核データ収集、解析					
神田 浩樹	東北大学・大学院理学研究科・助手	原子核物理	重水素ターゲットの運転,中性K中間子データの解析					
加藤 静吾	山形大学・理学部・教授	原子核物理	スペクトロメータ光学系設計					
計 7 名								

当初の研究目的 (交付申請書に記載した研究目的を簡潔に記入してください。)

ハイパー原子核はストレンジ・クォークを含む多体系であり、強い相互作用によって束縛されたハドロン多体系の研究にとってユニークな役割を果たす。本研究は、ストレンジ・クォークをもつ重粒子としては最も安定なハイペロンが束縛されたハドロン多体系であるハイパー核を、(e,e⁻K⁺)反応によって最高質量分解能で測定し、(1)原子核深部に深く束縛されたハイペロンの性質、(2)ハイパー核の構造、(3)核子間相互作用を明らかにすることを主要な目的としている。このため、唯一電子線によるハイパー核分光実験が可能である米国バージニア州のジェファーソン国立研究所超伝導線型加速器施設における国際共同研究を推進する。第1段階では本グループが建設した高分解K中間子スペクトロメータによって、第2世代のハイパー核分光実験を実施し、第2段階では、新たに建設する散乱電子スペクトロメータを組み合わせることにより、21世紀のハイパー核分光研究を大きく展開することが本研究の第1目標である。一方、上記(e,e⁻K⁺)反応によるハイパー核研究と不可分な研究として、1GeV領域における電磁相互作用によるストレンジネス生成素過程の実験を実施することが本研究の第2の目標である。重陽子(中性子)をターゲットとして1GeV領域のストレンジネス生成素過程の実験的研究を、東北大学原子核理学研究施設の標識化光子ビームを用いて実施する。まず第1段階として、既設のスペクトロメータを活用して閾値領域における世界初の中性K中間子測定実験を行う。第2段階として中性K中間子測定に特化した高性能スペクトロメータを建設し世界でユニークな実験を通じて、ストレンジネス生成機構を究明する。

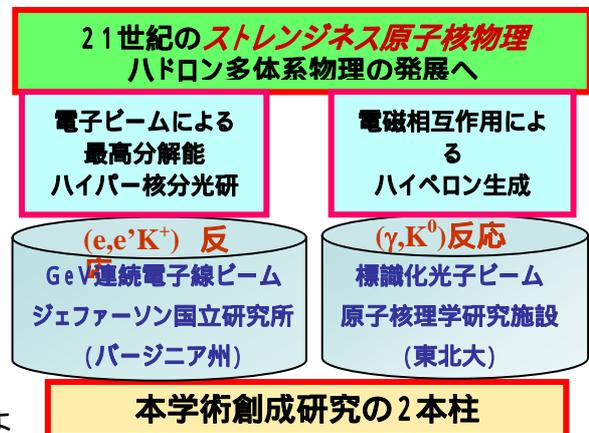
これまでの研究経過

1. 本研究は、学術創成研究費の趣旨の3つの観点のうち、どの観点到に主眼を置いて研究を行っているかについてお書きください。
2. 研究の進捗状況について、必要に応じて図表等を用いながら、研究組織内の連携状況を含め、具体的に記入してください。

研究目的に述べた図1に示すように、本研究は電磁相互作用によるストレンジネス原子核物理分野を創成・展開するため、ストレンジネスを生成することが可能な2つの加速器施設である、(1)米国ジェファーソン研究所と(2)東北大学原子核理学研究施設における実験的研究を2本柱としている。本学術創成研究期間においては、それぞれの柱に対して2段階の研究計画を設定している。2年間を経過した平成18年4月時点で、以下に詳述するように、第1段階を終了しつつあり、現在第2段階に向けての研究活動を進めている。(e,e⁻K⁺)反応によるハイパー核分光実験については第一段階の実験を国際共同研究のもとに完了しデータ解析を進めている。また、(γ,K⁰)反応によるストレンジネス生成素過程の研究も、第1段階のデータ収集、データ解析を終了し、結果の公表に向けての準備をおこなっている。同時に、それぞれ第2段階の実験に向けて、本研究グループの独創に基づき新しい検出器群を設計製作中である。これらの新測定装置を駆使して18年度以降順次データ収集を実施する予定である。

本研究は、電磁相互作用によるストレンジネス原子核物理を開拓展開することを主要な目的としている。そのためには特に、米国ジェファーソン国立研究所のGeV電子線加速器をもちいた国際共同研究を推進することが必須である。学術創成研究により、本グループのリーダーシップのもとに、同研究所からの支援も受け研究計画を推進してきた。米国エネルギー省原子核物理部門責任者であるDennis Kovar氏からもジェファーソン研究所における本研究グループの学術創成研究に対するサポートレターを受け取っているが、2005年11月に同氏が我が国の原子核物理関係者との会談のため来日した際にも、本研究計画の意義と進捗状況について説明と意見交換を行い、本プログラムに強い支持を得ている。また、密接な関連のある現在東海村に建設中のJ-PARCハドロン実験室におけるストレンジネス核物理研究、ハドロン物理研究における国際共同研究との連携もあって全体計画を推進している。

図1 本学術創成研究計画の2本柱



本学術創成研究の2本柱

これまでの研究経過 つづき

1. 第1の柱 (e, e K+)反応によるハイパー核分光

平成16, 17年度の2年間は第1段階としてのJLabにおけるE01-011実験の準備とデータ収集が実施された。本研究計画以前の準備をへて、高分解能K中間子スペクトロメータ(HKS)をジェファーソン研究所Hall C実験室に搬入設置し、17年度夏前から10月はじめにかけて、1.8 GeVの連続電子線ビームを用いてCH₂, ¹²C, ²⁸Si等をターゲットとするハイパー核分光実験を本学術創成のもとに行った。図1に、CH₂ターゲットによるラムダとシグマ粒子の質量スペクトルを示す。これまで予備的に行われている実験に比べ格段にバックグラウンドの低いスペクトルが測定されている。現在、原子核をターゲットとするデータの解析が進行中であるが、図2に示すように、¹²C(e, e' K+) ¹²_ΛB反応で¹²_ΛBの基底状態に対してこれまで最高のハイパー核収量率が得られている。分解能については、慎重な解析を進めている。

本グループは、このような実績と学術創成研究の予算的裏付けをもとに、2005年8月に本研究計画の中心部分をなす新しい散乱電子スペクトロメータ(HES)を用いた第3世代(e, e K+)ハイパー核分光実験をジェファーソン研究所国際実験審査会に提案し、高い評価を得てE05-115実験として採択された。

平行して、第1段階での経験を検討し、同実験で使用する次世代高分解能散乱電子スペクトロメータの設計を行い、順次電磁石等の製作を進めている。また、各種検出器、回路システムについても設計・製作を進めた。さらに、ジェファーソン研究所の加速器グループ、実験室グループ、Hall C実験室研究者とも緊密な連絡を取りながら実験準備を行っている。

2. 第2の柱 東北大学原子核理学研究施設エネルギー標識化光子を用いた閾値領域における中性K中間子の生成過程の研究

一方、上記(e, e K+)反応によるハイパー核研究と不可分な研究として、1 GeV領域における電磁相互作用によるストレンジネス生成素過程の実験を実施することが本研究の第2の目標である。初年度は、重水素ターゲットによる中性K中間子生成過程実験を、東北大学原子核理学研究施設に設置した中性K中間子スペクトロメータ(NKS)によって実施し、はじめて閾値領域における中性K中間子の観測に成功した。先に実施した¹²Cをターゲットとする準自由中性K中間子生成過程実験と共にそのデータ解析を進め、公表論文にまとめている。同時にNKSの性能を大幅に向上させたNKS2の設計を16年度から開始し、磁石および検出器の建設を進めた。平成17年度夏には東北大学サイクロトロン磁石を活用した約130トンのNKS2用大型磁石(図参照)を原子核理学研究施設へ設置した。また、直径180cmの中央軌跡検出器、飛行時間測定シンチレータ検出器等の建設、液体重水素ターゲットシステムの改良も進め、17年度末から予定を早めてNKS2の調整実験を開始した。18年度中頃にデータ収集を開始する予定である。

上記の2実験プログラムを実施すると共に、関連する理論研究者とも共同研究を進めた。特に、電磁相互作用によるストレンジネス生成過程は理論的にも未開拓であり、本計画の実験に先立ち、我が国はもちろん、米国、チェコ、ドイツ、インドネシア等の理論研究者と協働で国際共同研究のもとに、理論モデルの検討と構築を進めている。

図2 CH₂をターゲットとしたラムダおよびシグマ粒子のスペクトル

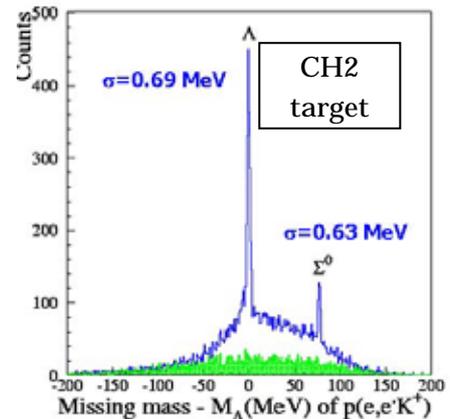


図3 ¹²C(e, e' K+)による¹²_ΛBハイパー核スペクトル

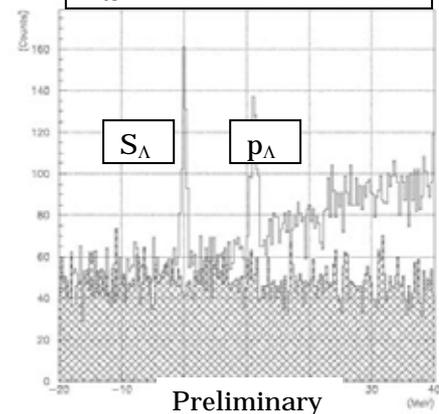
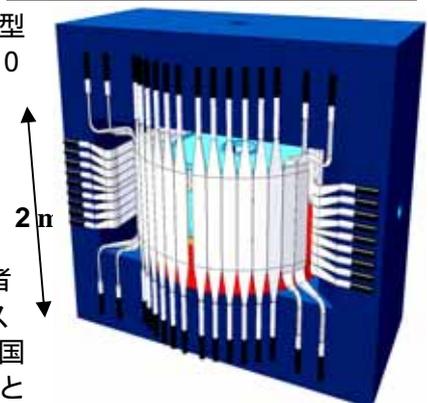


図4 建設中の中性K中間子スペクトロメータ概念図



特記事項

これまでの研究において得られた、独創性・新規性を格段に発展させる結果あるいは可能性、新たな知見、学問的・学術的なインパクト等特記すべき事項があれば記入するとともに、推薦者の期待がどの程度達成されつつあるかについて記入してください。

本研究は、これまで行われてきたハドロンビーム特に、K中間子ビームによるストレンジネス生成反応とは異なり、電磁相互作用による反応であるため、その生成断面積は小さい。しかしながら、反応によって生成される2次ビームではなく、エミッタンスが小さくエネルギー巾も 10^{-4} 以下の一次電子ビームを利用するため、実験が可能となればハイパー核分光の実験研究は新しい時代を迎える。これまでの、1.5 MeVに対して500 keV以下のハイパー核スペクトルが期待できるからである。また、これまで生成することが難しかった中性子過剰ハイパー核の生成も可能となる。電磁相互作用を通じたハイパー核生成はストレンジネス科学の研究のため多くのユニークな長所を備えている。本研究を進める所以である。2本柱の特記事項は以下の通りである。

1. 第一段階では、電子線ビームによってはじめて ^{28}Si をターゲットとして ^{28}Al ラムダハイパー核を生成し、その質量スペクトルを観測することに成功した。電子ビームによる実験は、電磁相互作用によるバックグラウンドが急激に大きくなるため重い原子核をターゲットした実験は難しい。今回初中重ハイパー核観測に成功したことは、本研究計画が目指す、中重ラムダハイパー核に束縛されたラムダハイペロンの束縛エネルギーやその構造を実験的に明らかにすること、の実現性を示したと考えている。

電子線ハイパー核分光をストレンジネス核物理の実験手段として展開するためには、(1)ハイパー核生成率、(2)ハイパー核質量分解能、(3)シグナル/バックグラウンド比、の改善が必要である。本研究第1段階においては、ハイパー核生成率は ^{12}B ハイパー核の基底状態に対して約8個/時という最高の値をえており、今後さらに収量を増大させ中重ラムダハイパー核に対してもより定量的な実験研究を実現する。また、軽いラムダハイパー核についても濃縮ターゲットを用いた中性子過剰ラムダハイパー核の高分解能実験を可能とする道が開けた。質量分解能については、現在慎重な解析を行っているが、既にSub-MeVの分解能が得られており、さらに目標分解能に到達するべく解析を進めている。一方、シグナル/バックグラウンド比は、実験条件に大きく左右される。第1段階で期待されていたバックグラウンドレベル約20nb/srを、HESスペクトロメータを用いる第2段階実験ではseveral nb/srまで抑制するための実験条件の最適化を進めている。第1段階の成果があってはじめてこのような検討が高い信頼度を持って行えるようになってきている。

これらの第1段階での研究成果に基づき第2段階の具体的研究実施計画立案がE05-115実験として進められている。以下に、生成率、分解能がどのように改善され、ハイパー核分光研究が発展するかを表として示した。

JLab 実験番号	E89-009	E94-107*	E01-011	E05-115
実験年	2000	2004,2005	2005	(2008)**
実験条件・使用スペクトロメータ	SOS+ENGE +Splitter	HRS+HRS +Septum	HKS+ENGE +Splitter	HKS+HES +New splitter
ビーム強度	0.66	100	24	30
^{12}C ターゲット厚(mg/cm ²)	22	100	100	100
ハイパー核生成率 (^{12}Bgr : /hr)	0.9	2-3	8~(16)	(~40)
ハイパー核質量分解能 (keV:FWHM)	750-900	~ 800	(3-400)	(3-400)

* 別グループによる Hall A 実験室における実験

** 括弧内は、目標値または予定

2. 一方、第1段階ではじめて測定された閾値エネルギー領域での中性K中間子生成過程のデータは、これまで観測されたことのない初めてのデータであり、既に理論研究者が解析を進めている。第2段階では、NKS2スペクトロメータを採用することにより、統計、分解能が格段に改善される質の高いデータ収集が可能となる。これまでの電磁相互作用によるストレンジネス生成過程に関する理論モデルの再構築を迫ると共に、電子線によるラムダハイパー核生成過程の理論研究にも基礎となるデータを与えると期待している。

研究成果の発表状況

この研究費による成果の発表に限り、学術誌等に発表した論文（投稿中の論文を記入する場合は、掲載が決定しているものに限ります。）の全著者名、論文名、学協会誌名、巻（号）、最初と最後のページ、発表年（西暦）及び国際会議、学会等における発表状況について、2頁以内に記入してください。

1 . M.Carl, J. Reinhold, Y. Fujii, J. Haggblad, O. Hashimoto, M. Iijima, A. Matsumura, S.N. Nakamura, H. Nomura, Y. Okayasu, A. Ohtani, M. Oyamada, Y. Sato and L. Tang, Beam test of a dual radiator Cherenkov detector with aerogel and wavelength-shifting acrylic plastic, **Nucl.Instrum.Meth. A 527}, (2004) 301.**

2 . S. Kato, An improved description of magnetic fringing field, **Nucl. Instr. and Meth. A540(2005)1-13**

3 . O. Hashimoto, Where do we go from here? Summary of HYP2003, **Nucl.Phys. A754, (2005) 455.**

4 . S.N. Nakamura, O. Hashimoto, Y. Fujii, H. Tamura, T. Takahashi, K. Maeda, H. Kanda, Y. Okayasu, H. Nomura, A. Matsumura, M. Oyamada, D. Honda, A. Ohtani, F. Kato, T. Watanabe, K. Tsukada, M. Ukai, Y. Miura, H. Yamauchi, S. Kato, Y. Sato, H. Noumi, T. Motoba, L. Tang, O.K. Baker, M. Christy, L. Cole, P. Gueye, C. Keppel, A. Uzzle, L. Yuan, J. Reinhold, P. Markowitz, B. Beckford, M. Carl, S. Gullon, C. Vega, E.V. Hungerford, T. Miyoshi, K. Lan, N. Elhayari, N. Klantrains, Y. Li, M. Buhkari, S. Radeniya, R. Carlini, R. Ent, H. Fenker, D. Mack, G. Smith, W. Vulcan, S. Wood, C. Yan, N. Simicevic, S. Wells, L. Gan, A. Ahmidouch, S. Danagulian, A. Gasparian, D. Dehnhard, M. Elaasar, R. Asaturian, H. Mkrtchian, A. Margarian, S. Stepanian, V. Tadevosian, D. Androic, T. Petkovic, M. Planinic, M. Furic, T. Angelescu, V.P. Likhachev, M. Ahmed, Future hypernuclear program at JLab Hall C, **Nucl. Phys. A754 (2005) 421.**

5 . T. Watanabe, S. Endo, Y. Fujii, O. Hashimoto, K. Hirose, T. Ishikawa, K. Ito, H. Kanda, M. Katoh, T. Kinoshita, O. Konno, K. Maeda, A. Matsumura, Y. Miura, F. Miyahara, H. Miyase, K. Mizunuma, T. Nakabayashi, S.N. Nakamura, H. Nomura, Y. Okayasu, T. Osaka, A. Otani, M. Oyamada, A. Sasaki, T. Sato, H. Shimizu, T. Takahashi, T. Tamae, H. Tamura, T. Terasawa, H. Tsubota, K. Tsukada, M. Ukai, M. Utoyama, M. Wakamatsu, H. Yamauchi, Y. Yamaguchi, Y. Yamamoto, H. Yamazaki, K0 photoproduction on ^{12}C in the threshold region, **Nucl.Phys. A 754 (2005) 327.**

6 . T. Petkovic, Y. Fujii, O. Hashimoto, H. Kanda, K. Maeda, S.N. Nakamura, Y. Okayasu, T. Takahashi, H. Tamura, K. Tsukada, H. Yamaguchi, S. Kato, H. Noumi, Y. Sato, T. Motoba, O.K. Baker, M. Christy, L. Cole, P. Gueye, C. Keppel, L. Tang, A. Uzzle, L. Yuan, P. Baturin, P. Markowitz, J. Reinhold, A. Daniel, E. Hungerford, K. Lan, T. Miyoshi, V.M. Rodriguez, G.H. Xu, R. Carlini, R. Ent, H. Fenker, D. Mack, G. Smith, W. Vulcan, S. Wood, C. Yan, A. Ahmidouch, S. Danagulian, L. Gan, A. Gasparian, D. Dehnhard, Henry G. Juengst, N. Simicevic, S. Wells, R. Asaturian, A. Margarian, H. Mkrtchian, S. Stepanian, V. Tadevosian, D. Androic, I. Bertovic, M. Furic, M. Planinic, T. Seva, T. Angelescu, V.P. Likhachev, High-resolution kaon spectrometer (HKS) for medium-heavy mass Lambda hypernuclear structure studies at the JLab (E01-011 Collaboration), **AIP Conf. Proc.768, 305 (2005).**

7 . F. Dohrmann, D. Abbott, A. Ahmidouch, P. Ambrozewicz, C. S. Armstrong, J. Arrington, R. Asaturyan, K. Assamagan, S. Avery, K. Bailey, S. Beedoe, H. Bitao, H. Breuer, D. S. Brown, R. Carlini, J. Cha, N. Chant, E. Christy, A. Cochran, L. Cole, G. Collins, C. Cothran, J. Crowder, W. J. Cummings, S. Danagoulian, F. Duncan, J. Dunne, D. Dutta, T. Eden, M. Elaasar, R. Ent, L. Ewell, H. Fenker, H. T. Fortune, Y. Fujii, L. Gan, H. Gao, K. Garrow, D. F. Geesaman, P. Gueye, K. Gustafsson, K. Hafidi, J. O. Hansen, W. Hinton, H. E. Jackson, H. Juengst, C. Keppel, A. Klein, D. Koltenuk, Y. Liang, J. H. Liu, A. Lung, D. Mack, R. Madey, P. Markowitz, J. Martoff, D. Meekins, J. Mitchell, T. Miyoshi, H. Mkrtchyan, R. Mohring, S. K. Mtingwa, B. Mueller, T. G. O'Neill, G. Niculescu, I. Niculescu, D. Potterveld, J. W. Price, B. A. Raue, P. E. Reimer, J. Reinhold, J. Roche, P. Roos, M. Sarsour, Y. Sato, G. Savage, R. Sawafra, R. Segel, A. Yu. Semenov, S. Stepanyan, V. Tadevosian, S. Tajima, L.Tang, B.Terburg, A.Uzzle, S.Wood, H.Yamaguchi, C. Yan, C. Yan, L. Yuan, M. Zeier, B. Zeidman, and B. Zihlmann **AIP Conf.Proc.768:294-2966,(2005)**

研究成果の発表状況

- 8 . L. Yuan, M. Sarsour, T. Miyoshi, Z. Zhu, A. Ahmindouch, D. Androic, T. Angelescu, R. Asaturyan, S. Avery, O. K. Baker, I. Betovic, H. Breuer, R. Carlini, J. Cha, R. Chrien M. Christy, L. Cole, S. Danagoulian, D. Dehnhard, M. Elaasar, A. Empl, R. Ent, H. Fenker, Y. Fujii, M. Furic, L. Gan, K. Garrow, A. Gasparian, P. Gueye, M. harvey, O. Hashimoto, W. Hinton, B. Hu, E. Hungerford, C. Jackson, K. Johnston, H. Juengst, C. Keppel, K. Lan, Y. Liang, V. P. Likhachev, J. H. Liu, D. Mack, A. Margaryan, P. markowitz, H. Mkrtchyan, S. N. Nakamura, T. Petkovic, J. Reinhold, J. Roche, Y. Sato, R. Sawafta, N. Simicevic, G. Smith, S. Stepanyan, V. Tadevosyan, T. Takahashi, K. Tanida, L. Tang, M. Ukai, A. Uzzle, W. Vulcan, S. Wells, S. Wood, G. Xu, H. Yamaguchi, C. Yan
Phys. Rev. C73 (2006) 044607
- 9 . O. Hashimoto and H. Tamura, Spectroscopy of Lambda hypernuclei,
Progress Part. and Nucl. Phys. in print (2006)
- 10 . 加藤文章 Jlab ハイパー核実験用水チェレンコフ検出器の 1.2GeV/c ビームを用いた K⁺/p 分離性能テスト, 日本物理学会 2004 年秋季大会 (高知大学朝倉キャンパス) 2004/9/27-9/30
- 11 . 松村彰彦 連続電子線を用いた高分解能ラムダハイパー核分光 - Jlab E01-011 実験の準備状況 日本物理学会 2004 年秋季大会 (高知大学朝倉キャンパス) 2004/9/27-9/30
- 12 . 野中健一 大強度電子線を用いた ハイパー核分光実験におけるターゲットの熱的耐性 日本物理学会第 60 回年次大会 (東京理科大野田キャンパス) 2005/3/24-3/27
- 13 . ニツ川健太 Upgrading Plan of Neutral Kaon Spectorometer at LNS , Tohoku 日本物理学会第 60 回年次大会 (東京理科大野田キャンパス) 2005/3/24-3/27
- 14 . 野村洋 FPGA を用いた汎用トリガーモジュールの開発 日本物理学会第 60 回年次大会 (東京理科大野田キャンパス) 2005/3/24-3/27
- 15 . 岡安雄一 Spectroscopic study of hypernuclei via (e,e'K⁺) reaction 日米物理学会合同核物理分科会 (Kapalua, Hawaii) 2005/9/18-9/22
- 16 . 塚田暁 Photoproduction of neutral kaons on deuterons in the threshold region 日米物理学会合同核物理分科会 (Kapalua, Hawaii) 2005/9/18-9/22
- 17 . 中村 哲 Hypernuclear Spectroscopy at JLab 日米物理学会合同核物理分科会 (Kapalua, Hawaii) 2005/9/18-9/22
- 18 . 野中健一 1.8GeV/c 電子線による陽子・ Λ 中間子生成反応 日本物理学会第 61 回年次大会 (愛媛大学・松山大学) 2006/3/27-3/30
- 19 . 川間大介 (e, e'k)反応を用いた軽量核 - 中重核領域の ハイパー核のスペクトロスコピーにおける散乱電子側新スペクトロメータ(HES)の設計 日本物理学会第 61 回年次大会 (愛媛大学・松山大学) 2006/3/27-3/30
- 20 . ニツ川健太 閾値領域での n(, K0) 反応測定用新スペクトロメータの建設と現状 日本物理学会第 61 回年次大会 (愛媛大学・松山大学) 2006/3/27-3/30
- 21 . 松村彰彦 連続電子線を用いた高分解能・高統計ハイパー核分光 (JLAB E01-011 実験) 日本物理学会 第 61 回年次大会プログラム (愛媛大学・松山大学) 2006/3/30
- 22 . 橋本治 電子ビームを用いた ハイパー核反応分光の開拓と今後の展開(招待講演) 日本物理学会第 61 回年次大会 (愛媛大学・松山大学) 2006/3/27-3/30