

原子力関係研究

NUCLEAR AND ATOMIC SCIENCE

原子力研究分野に新たな道を開く放射能の高度利用等に関する基礎的研究や、既存の原子力技術のブレークスルーを図る基盤技術の開発研究等の次の5課題について研究を実施している。

- 1) 重イオン科学基礎研究
- 2) 原子力基盤技術開発研究
- 3) RI ビームファクトリー研究
- 4) 重イオン科学総合研究
- 5) バイオストローク機能研究

重イオン科学基礎研究

Heavy Ion Basic Science

I. 高温・高密度原子核の研究

代表研究者 谷畑勇夫 (RI ビーム科学研)

1. リングサイクロトロンによる高温・高密度原子核の研究

研究担当者：延與秀人，市原 卓，渡邊 康，吉田 敦，岸田 隆，郷農靖之^{*1}，大沼 甫^{*1}，本林 透^{*1}，李 相茂^{*1}，笠木治郎太^{*1}，岡村弘之^{*1}，民井 淳^{*1}，新関 隆^{*1}，久保野 茂^{*1}，田中雅彦^{*1}，淵好 秀^{*1}，御手洗志郎^{*1}，小川雅生^{*1}，村上 健^{*1}，小田原厚子^{*1}，森川恒安^{*2}，菅原昌彦^{*2}，若狭智嗣^{*1}，大津秀暁^{*1}，佐藤義輝^{*2}，大島真澄^{*1}，草刈英栄^{*1}，井手口栄治^{*2}，本村信治^{*2}，土田英夫^{*2}，柴田雅隆^{*2}，堤 剛志^{*2}，渡辺 寛^{*2}，関口仁子^{*2}，矢向謙太郎^{*2}，迫田誠太郎^{*2}，加藤裕充^{*2}，波田野道夫^{*2}，前田幸重^{*2}，齋藤孝明^{*2}，内ヶ島暢之^{*2} (放射線研)；谷畑勇夫，酒井英行^{*1}，小林俊雄^{*1}，鈴木建^{*1}，吉田光一，熊谷秀和，藤巻正樹，藤原 守^{*1}，大西哲哉^{*3} (RI ビーム科学研)；久保敏行，山路修平，中川孝秀，坂本成彦，古高和禎^{*1}，青木由香^{*2}，佐藤武彦^{*2}，上坂友洋^{*1} (RI ビームファクトリー計画推進室)；旭 耕一郎 (応用原子核物理研)

従来の原子核の研究は，低温（絶対零度近傍），低密度の原子核に限られてきたが，高エネルギー重イオン反応により，高温または高密度の原子核状態の生成が可能になりつつある。本課題では，こうした極限の状態の性質を明らかにすることを目的とし，以下の諸テーマを研究している。

高分解能磁気分析器 (SMART) を用いた高励起状態の研究は当課題の重要なテーマである。SMART は分解能にすぐれるのみならず，高立体角であり，また反応放出粒子が複数同時分析できるという特徴を有している。また，荷電粒子と同時に中性子の分析も可能である。

偏極イオン源によって生成された偏極重陽子ビームを用いて以下の実験を行った。(1) $d + p$ 弾性散乱の重陽子か

ら陽子への偏極移行量測定による核子間三体力の研究，(2) 偏極 ${}^3\text{He}$ 標的を用いた ${}^3\text{He}(d,p){}^4\text{He}$ 反応の偏極相関計数測定，(3) $d + d \rightarrow {}^3\text{H} + p$ ， ${}^3\text{He} + n$ 反応の偏極分解能測定による ${}^3\text{H}$ ， ${}^3\text{He}$ 核のスピン構造の研究，(4) ${}^{12}\text{C}(d, \alpha)$ 反応測定による重陽子ビームテンソル偏極度の絶対値校正実験。

我々が測定した中間エネルギー領域における $p + d$ 散乱の実験データと，核子間三体力を取り入れたファデーエフ理論計算との比較から，三体力の発現が見られるという重大な結論が得られ，近年の大きな話題となっている。(1)の研究は，三体力のスピン依存部分に敏感な観測量に重点をおいて，さらに研究を進めるものである。この測定のため，重陽子偏極度計 DPOL を陽子偏極度計として用いるための較正実験を同時に行った。また，新たに開発した液体水素標的を使用した。(2)では，偏極相関計数の測定から，重陽子波動関数の高運動量成分の研究を，(3)では， ${}^3\text{H}$ と ${}^3\text{He}$ の核のスピン構造と荷電対称性の研究を目的とする。重陽子ビームとして 140, 200, 270 MeV のエネルギーを用いることにより，運動量領域を変えた測定を行った。

昨年度取得した ${}^{12}\text{C}$ を標的とする重陽子非弾性散乱偏極移行量測定データから，高励起連続状態の荷電スカラースピンの研究と二重ガモフテラー状態の探索を目的とした解析を行った。この解析から ${}^{12}\text{C}$ 高励起状態での，重陽子非弾性散乱のスピン一重，二重反転確率のデータが初めて得られた。スピン二重反転確率のデータは，測定した 50 MeV までの励起エネルギー領域でほぼ 0 の値を示し，二重ガモフテラー状態励起の兆候は見られないという結果が得られた。

また重イオン荷電変換反応は，核子あたり 100 MeV を超えるリングサイクロトロンのエネルギーでは，これまでの ${}^{12}\text{C}({}^{12}\text{C}, {}^{12}\text{N}){}^{12}\text{B}$ 反応の実験と解析の結果，反応は 1 段階直接反応が主な寄与で，歪曲波ボルン近似で非常に良く記述できることが明らかとなっている。さらに，アイソスピン反転反応のなかでも，(${}^{12}\text{C}, {}^{12}\text{N}$) 反応はスピン反転の状態のみを励起し，(${}^{13}\text{C}, {}^{13}\text{N}$) 反応は主にスピン非反転の状態

を励起するので、この2つの反応を組み合わせることにより、特に高励起状態の巨大共鳴のモードを同定する研究が行われている。

高速で回転する原子核の研究は、超変形状態等の特殊な極限状態に置かれた原子核の構造を調べる上で非常に重要である。理研リングサイクロトロンでは高スピン核異性体ビームを使って、このような原子核の構造を研究している。特に、高スピン核異性体ビームを用いなければならないユニークな実験としては、高スピン核異性体のクーロン励起と、高スピン核異性体の二次融合反応による超高スピン状態の探索が挙げられる。現在は、このうち後者の二次融合反応を研究の中心に据えており、二次融合反応による高スピン状態の複合核の生成を検証するための最初の試みを行っている。本年度は高スピン核異性体ビームがほぼ理想的な形で実現した。高スピン核異性体の生成には、大強度の一次ビームでも破壊されない窓無しガス標的を用い、生成されたアイソマービームと一次ビームとの分離をよくするために、ガス標的後のビームを固体の薄膜に通し、荷電状態分布を再分配させた。さらに、薄膜を熱的破壊に至らせないよう、薄膜上でのビームサイズを意図的に大きくするビーム輸送を成功させた。それでもわずかに混入する一次ビームを遮断するために短冊スリットを開発して一次ビームの混入をほとんどなくした。これにより、1秒間に10万個から20万個の核異性体ビームを最高75%の純度で得ることができた。ただし一方で、このような理想的条件を長期間維持することの困難さにも遭遇し、現在、その困難を克服するため、標的系の改造を行っている。限られたビームタイムではあったが、高スピン核異性体の二次核融合実験を行い、二次融合反応からのものと思われるガンマ線を観測することに初めて成功した。

*1 共同研究員, *2 研修生, *3 協力研究員

2. 米国ブルックヘブン国立研究所との国際協力研究

(1) 「スピン物理」の研究

延與秀人, 市原 卓, 渡邊 康, 齋藤直人, 竹谷 篤, 村田次郎 *1, Mao Y. *2, 石井理修 *2, 内藤謙一 *2, 松井哲男 *2, 安井良彰 *2, 今井憲一 *4, 柴田利明 *4, 矢崎紘一 *4, 浜垣秀樹 *5, 澤田真也 *5, 林 直樹 *5, 志垣賢太 *5, 秋葉康之 *5, 中條達也 *5, 三宅康朗 *5, Burward-Hoy M. J. *5, 佐藤 進 *5, 本間謙輔 *5, 鳥井久行 *6, 東城順治 *6, 佐藤博紀 *6, 杉岡 誠 *6, 大山 健 *6, 神原信幸 *6, 小野雅也 *6, 清道明男 *6, 鈴木美和子 *6, 鶴岡裕士 *6, 中村知昭 *6 (放射線研); 石原正泰, 栗田和好 *3, 後藤雄二 *3, 小林秀幸 *1 (理研BNL研究センター); 谷畑勇夫 (RIビーム科学研); 片山武司, 岡村昌宏, 四日市 悟 *1 (ビーム理工学研)

平成7年度より、米国ブルックヘブン国立研究所 (BNL) の相対論的重イオン加速装置 (RHIC) を用いて、偏極核子同士の超高エネルギー衝突実験を行う研究を開始している。本研究は核子のスピンの起源をさぐることを目的としており、日米科学技術協定および日本国STA-米国DOE間の包括的実施取り決めの下で、理研-BNLの研究協力として実施している。特に理研はミュオン電磁石およびミュオン識別装置、飛跡検出装置等を含む「素粒子対検出装置」

の製作および、偏極陽子加速のための「スピン偏極制御装置」の製作を行った。これらの装置の大部分は既に完成している。

実験は偏極した陽子同士を重心系で500 GeVまで、あるいは原子核同士を核子あたり200 GeVまでのエネルギーで衝突させ、その際生成される種々の素粒子 (光子, ミュオン対, クォークジェット等) を測定し、それらから核子および核内でのクォークおよびグルオンの偏極状態を測定することにより、核子のスピンの起源を理解する。実際の測定には核子内のクォークと反クォークが衝突し、仮想光子をへてミュオン対を生成するDrell-Yan過程, W^+ , W^- , Z 粒子の生成, グルオンとクォークの衝突時にコンプトンのようなプロセスを経て発生する高エネルギーガンマ線, グルオン同士の融合による重いクォーク対の生成等を検出する。

2000年6月15日には、RHICのPHENIX検出装置で金の原子核同士の衝突が初めて観測され、さらに同年9月13日にRHICでのスピン偏極陽子の入射に成功し、続いて加速にも成功した。世界初の偏極ビーム衝突に向けての大きな一歩を踏み出した。今回の偏極加速試験では新たに開発したCNI偏極度計を実際の環境で使い、ビーム偏極度を測定できることを確認した。加速器関連では高強度の新偏極イオン源とサイバリアンスネーク電磁石が新たに導入され、30 GeVまで偏極を維持しつつ加速できることを実証した。2001年夏に予定されている次回のRUNでは50%の偏極度で100 GeVまで加速することを予定している。

本年度のビームタイムでは重要測定器の立ち上げが順調に行われた。電磁カロリメータは予定通りに動作し、エネルギー測定の絶対精度は2%の精度で得られ、時間変動も3%以内で安定していることが確認された。ミュオン識別装置では、ガス系、高圧、読み出しエレクトロニクスを接続し、総合的な運転を行った。PHENIX南ミュオン飛跡検出装置は2000年夏にチェンバー本体が完成し、2001年1月には読み出し回路を含めてハードウェアのインストールがほぼ終了し、実験エリアへの移動が完了した。チェンバー本体は多層式カソードストリップ型チェンバーで、高電圧テストも終了した。また、電磁カロリメータとリング・イメージ・チェレンコフカウンタを組み合わせた高機能トリガーの開発、製作を行っている。さらに、実験データから陽子の偏極構造関数を導くための解析法を開発している。深非弾性散乱実験で得られたデータに基づく偏極パートン分布関数を再現するFORTRANのプログラムライブラリを作成し、<http://spin.riken.bnl.gov/aac/>で公開した。このライブラリは今後行われる実験結果の予測に有用である。

スピン物理の解析、シミュレーション等を目的とする、スピン物理CCJ (Computing Center in Japan) の建設を1999年度より3年計画で理研和光キャンパスにおいて行っている。CCJの運用はPHENIXの実験開始と同時期の2000年6月に開始された。現在の規模は、Linuxを用いた演算部分として700 MHz~1 GHzのPentium III CPU 192台で、データ用のRaid Diskの容量が約9 TB、さらに100 TBのテープロボット装置を含む高性能階層型ストレージシステム (HPSS) を備えている。日米間の国際接続にはアジア太平洋先進ネットワーク (APAN, 70 Mbps) を利用している。運用開始以来、実験Dataからの飛跡再構

成, 事象シミュレーション, 測定装置の較正, 物理解析等が CCJ で精力的に行われている。CCJ のホームページは <http://ccjsun.riken.go.jp/ccj/> である。

2001 年は 6 月から金イオン同士の衝突, 8 月中旬から偏極陽子同士の衝突が予定されており, いよいよ RHIC でのスピン物理が本格的に始動する。

*¹ 基礎科学特別研究員, *² 協力研究員, *³ 理研 BNL 研究センターフェロー, *⁴ 客員主管研究員, *⁵ 共同研究員, *⁶ 研修生

(2) 理研 BNL 研究センター

当研究センターは, 1999 年に完成したブルックヘブン国立研究所 (BNL) の超大型衝突型加速器 (RHIC) を用いて, 理研が推進する「スピン物理」研究の 1 つの研究基盤を BNL に確立するために設置された。平成 9 年 10 月に理論研究グループが, 平成 10 年 10 月に実験研究グループが発足した。センター長はノーベル賞受賞の T.D. Lee である。

(i) 理論研究グループ

研究担当者: Lee T. D., Pisarski R., Baltz A., 青木保道, Blum T., Boer D., Gyulassy M., 板倉一紀, Jaffe R. L., Kharzeev D., Kusenko A., Mawhinney R., 太田滋生, Orginos K., Rischke D., 奈良 寧, 佐々木勝一, Schaefer T., Schaffner-Bielich J., Shuryak E., Son D. T., Stephanov M., Wettig T., VAN Kolck U., Venugopalan R., Vogelsang W., Wingate M., 安井良彰 (理研 BNL 研究センター)

理論研究グループはスピン物理を包含する素粒子の強い相互作用の基礎理論である量子色力学 (Quantum Chromodynamics, QCD) を共通の研究対象とし, 実験に現われる様々なエネルギースケールに応じて様々な理論的手法を用いて研究を推進している。BNL, コロンビア大学, MIT, ニューヨーク州立大学 Stony Brook 校, イエール大学, イリノイ州立大学 Urbana-Champaign 校, カリフォルニア大学 Los Angeles 校, アリゾナ大学, デューク大学等の高エネルギーおよび原子核理論研究グループとの多くの共同研究も進行中である。

(a) 格子 QCD に関する研究

1998 年度ゴードンベル賞を受賞した QCDSF スーパーコンピュータを用いる格子 QCD の研究はその後順調に推移している。1999 年度に世界に先駆けて実用化した五次元格子上のドメインウォールフェルミオン法による研究は, 当初のクォークゼロモードやグルーオントポロジーの研究からさらに発展し, 特にハドロンに現われる CP 対称性の破れに関する研究は重要である。従来は不可能だった核子の負パリティ励起状態に関する研究も大いに進展した。これらによって格子 QCD によるスピン物理の精密研究への道が開かれつつある。また最高性能 1TFlops 級の QCDSF の後継としての最高性能 20TFlops 級の QCDOC スーパーコンピュータの開発をコロンビア大学と共同で開始し, これも順調に進行している。特に合衆国および連合王国の格子 QCD コミュニティからの公式の支持を得たことは重要である。

(b) 摂動 QCD に関する研究

スピン物理実験に現われるハドロン散乱における摂動

QCD と格子 QCD とのスケールの分離についての研究, 同じく単一偏極非対称性の研究, および陽子ビームの偏極度測定に必要な摂動 QED 計算において多くの画期的進展があった。

(c) 現象論的 QCD に関する研究

RHIC 重イオン実験の開始を受けて, 関連するさまざまな現象論的分析に多くの貢献をし, BNL およびニューヨーク州立大学 Stony Brook 校で開催された「Quark Matter 2001」国際会議において多くの招待講演を行った。2001 年度以降の本格実験に向けて, 理論面での世界的リーダーとしての RBRC の役割がますます重要になっている。

(ii) 実験グループ

研究担当者: 石原正泰, Bunce G., 延與秀人, 市原卓, 渡邊 康, 齊藤直人, 後藤雄二, 栗田和好, Grosse-Perdekamp M., Basilevsky A., Deshpande A., Fox B., 今井憲一*, 柴田利明* (理研 BNL 研究センター)

本研究グループは平成 10 年度から発足し, 3 年目を迎えた。米国ブルックヘブン国立研究所 (BNL) で稼動を始めた相対論的重イオン衝突型加速器 (RHIC) に設置した「素粒子対検出器」および「スピン偏極制御装置」を用いたスピン物理研究を進める現地拠点として, 活動を進めている。

本年度は昨年度までに開発した偏極度計を用いて, 偏極陽子ビームの RHIC への入射および加速に初めて成功した。偏極陽子ビームの加速としては世界最高エネルギーの約 30 GeV に達した。AGS でのテスト実験のデータと合わせて陽子炭素原子核の弾性散乱におけるハドロンスピン反転散乱振幅の抽出を進めている。

また金イオンビームの衝突にも成功し, PHENIX 検出器システムで最初の物理データを採集した。先に開発した大規模データ処理システムが和光本所で本格的に稼動し始め, これを最大限に活用しデータ解析を行った。すでに論文 1 本の「Physical Review Letters」への掲載が決まり, 他にも 3 本の論文準備が進行中である。

2001 年度から始まる重イオン衝突が更に高輝度・高エネルギーとなる。さらに初の偏極陽子衝突を用いた実験が行われる。これらに向けて, 昨年度に引き続き有為な事象を抽出するためのトリガーの準備を続けている。また, 将来の高精度スピン物理に向けて輝度や偏極度モニター用の検出器の開発に着手した。

毎週行っている理論実験共同セミナーに加え, 毎年恒例となったスピン物理のためのワークショップおよび, 加速器や他の実験グループにまたがり研究を組織するためのスピンコラボレーションミーティングを開催し, スピン物理 1 年目の準備を進めている。

* 共同研究員

誌 上 発 表 Publications

(原著論文) *印は査読制度がある論文誌

Boer D., Jakob R., and Mulders P. J.: “Angular dependences in electroweak semi-inclusive lepton production”, Nucl. Phys. B **564**, 471–485 (2000). *

Boer D. and Mulders P. J.: “Color gauge invariance in the Drell-Yan process”, Nucl. Phys. B **569**, 505–526 (2000).

*

Blum T. and RBC collaboration: “ $K \rightarrow \pi\pi$ decays with domain wall fermions: Lattice matrix elements”, Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.) **94**, 291–294 (2001).

Blum T., Ohta S., and Sasaki S.: “Domain wall fermion calculation of nucleon g_A/g_V ”, Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.) **94**, 295–298 (2001).

Jalilian-Marian J., Orginos K., and Sarcevic I.: “Prompt photons from relativistic heavy ion collisions”, Phys. Rev. C **63**, 041901-1–041901-4 (2001). *

Shuryak E. V. and Stephanov M. A.: “Long-range charge fluctuations and search for a quark-gluon plasma signal”, Phys. Rev. C **63**, 064903-1–064903-7 (2001). *

Itakura K. and Maedan S.: “Dynamical chiral symmetry breaking on the light front: DLCQ approach”, Phys. Rev. D **61**, 045009-1–045009-18 (2000). *

Son D. T. and Stephanov M. A.: “Inverse meson mass ordering in the color-flavor-locking phase of high-density QCD”, Phys. Rev. D **61**, 074012-1–074012-8 (2000). *

Itakura K. and Maedan S.: “Dynamical chiral symmetry breaking on the light front II: The Nambu-Jona-Lasinio model”, Phys. Rev. D **62**, 15016-1–15016-19 (2000). *

Suzuki K., Hayashigaki A., Itakura K., Alam J., and Hatsuda T.: “Validity of the color dipole approximation for diffractive production of heavy quarkonium”, Phys. Rev. D **62**, 031501-1–031501-4 (2000). *

Son D. T. and Stephanov M. A.: “Inverse meson mass ordering in color-flavor-locking phase of high-density QCD: Erratum”, Phys. Rev. D **62**, 059902-1 (2000). *

Boer D.: “Double transverse spin asymmetries in vector boson production”, Phys. Rev. D **62**, 094029-1–094029-9 (2000). *

Venugopalan R. and Wirstam J.: “Hard thermal loops and beyond in the finite temperature world-line formulation of QED”, Phys. Rev. D **63**, 125022-1–125022-15 (2001). *

Son D. T.: “Hydrodynamics of nuclear matter in the chiral limit”, Phys. Rev. Lett. **84**, 3771–3774 (2000). *

Laenen E., Sterman G., and Vogelsang W.: “Higher-order QCD corrections in prompt photon production”, Phys. Rev. Lett. **84**, 4296–4299 (2000). *

Son D. T. and Stephanov M. A.: “QCD at finite isospin density: From pion to quark-anti-quark condensation”, Phys. Rev. Lett. **86**, 592–595 (2001). *

Son D. T. and Stephanov M. A.: “QCD at finite isospin density”, Phys. Rev. Lett. **86**, 592–595 (2000). *

Kusenko A. and Postma M.: “Neutrinos produced by ultrahigh-energy photons at high redshift”, Phys. Rev. Lett. **86**, 1430–1433 (2001). *

Son D. T., Stephanov M. A., and Zhitnitsky A. R.: “Domain walls of high-density QCD”, Phys. Rev. Lett. **86**, 3955–3958 (2001). *

(総説)

Bunce G., Saito N., Soffer J., and Vogelsang W.: “Prospects for spin physics at RHIC”, Ann. Rev. Nucl. Part. Sci. **50**, 525–575 (2000).

(その他)

Itakura K. and Maedan S.: “Effects of topology on the light front”, Nucl. Phys. A **670**, 76c–79c (2000).

Boer D.: “Transverse polarization distribution and fragmentation functions”, RIKEN Rev., No. 28, pp. 26–30 (2000).

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議等)

Asahi K., Sakai K., Ogawa H., Miyoshi H., Yogo K., Goto A., Suga T., Ueno H., Kobayashi Y., Yoshida A., Kubo T., Watanabe Y., Imai N., Yoneda K., Fukuda N., Aoi N., Ishihara M., Schmidt-Ott W. D., Neyens G., and Teughels S.: “Electromagnetic moments of neutron-rich nuclei measured with polarized radioactive ion beams”, Int. RIKEN Symp. on Shell Model 2000, Wako, Mar. (2000).

Vogelsang W.: “Current issues in prompt photon production”, 8th Int. Workshop on Deep-Inelastic Scattering (DIS 2000), Liverpool, UK, Apr. (2000).

Vogelsang W.: “Prompt photon production in polarized hadron collisions”, 8th Int. Workshop on Deep-Inelastic Scattering (DIS 2000), Liverpool, UK, Apr. (2000).

Nara Y.: “Parton cascade prediction of baryon distribution in ultra-relativistic heavy ion collisions”, 3rd Catania Relativistic Ion Studies (CRIS 2000), (Italian National Institute of Nuclear Physics (INFN) and the University of Catania), Acicastello, Italy, May (2000).

Vogelsang W.: “Spin asymmetries in polarized hadron collisions and the polarized gluon density”, 7th Conf. on Intersections of Particle and Nuclear Physics (CIPANP2000), Québec, Canada, May (2000).

Boer D.: “Transversely polarized Λ production”, 7th Conf. on Intersections of Particle and Nuclear Physics (CIPANP2000), Québec, Canada, May (2000).

Nara Y.: “Hadron observables from hadronic transport model with jet production at RHIC”, Structure of Nucleus at the Dawn of the Century (Bologna 2000), (Italian National Institute of Nuclear Physics (INFN) and The University of Bologna), Bologna, Italy, May (2000).

Bazilevsky A.: “Proton spin structure study with PHENIX detector at RHIC”, New Trends in High-Energy Physics, (Bogolyubov Institute for Theoretical Physics and National Academy of Sciences of Ukraine), Yalta, Ukraine, May-June (2000).

Laenen E., Sterman G., and Vogelsang W.: “Combined recoil and threshold resummation for hard scattering cross sections”, 30th Int. Conf. on High Energy Physics (ICHEP 2000), Osaka, July-Aug. (2000).

Laenen E., Sterman G., and Vogelsang W.: “Power corrections in eikonal cross sections”, 30th Int. Conf. on High Energy Physics (ICHEP 2000), Osaka, July-Aug. (2000).

Aoki Y., Ali Khan A., Aoki S., Burkhalter R., Ejiri S., Fukugita M., Hashimoto S., Ishizuka N., Iwasaki Y.,

Izubuchi T., Kanaya K., Kaneko T., Kuramashi Y., Manke T., Nagai K., Noaki J., Okawa M., Shanahan H., Taniguchi Y., Ukawa A., and Yoshie T.: “Chiral properties of domain-wall quarks in quenched QCD”, Int. School of Subnuclear Physics: 38th Course, Theory and Experiment Heading for New Physics, (EMFCSC), Erice, Italy, Aug.-Sept. (2000).

Suzuki K. and Itakura K.: “Constraints on color dipole-nuclear cross section from diffractive heavy quarkonium production”, Int. Workshop on Diffraction in High-Energy Physic (Diffraction 2000), (Universit  della Calabria Universit  di Torino), Centraro, Italy, Sept. (2000).

Asahi K., Sakai K., Ogawa H., Ueno H., Kobayashi Y., Yoshimi A., Miyoshi H., Yogo K., Goto A., Suga T., Imai N., Watanabe Y., Yoneda K., Fukuda N., Aoi N., Schmidt-Ott W. D., Neyens G., Teughels S., Yoshida A., Kubo T., and Ishihara M.: “Nuclear moment studies with polarized radioactive nuclear beams”, 14th Int. Spin Physics Symp. (SPIN2000), (RCNP, Osaka University), Suita, Oct. (2000).

Vogelsang W.: “Nucleon spin structure functions”, 14th Int. Spin Physics Symp. (SPIN2000), (RCNP, Osaka University), Suita, Oct. (2000).

Kobayashi H.: “Polarized parton distributions with estimate of uncertainties”, Int. Workshop on Polarized Partons at High Q^2 Region, Kyoto, Oct. (2000).

Vogelsang W.: “Soft-gluon effects in prompt-photon production”, RSC Meet., Kyoto, Oct. (2000).

Asahi K., Ogawa H., Ueno H., Miyoshi H., Kameda D., Kobayashi Y., Yoshimi A., Yogo K., Goto A., Suga T., Sakai K., Imai N., Watanabe Y., Yoneda K., Fukuda N., Aoi N., Yoshida A., Kubo T., Ishihara M., Schmidt-Ott W. D., Neyens G., and Teughels S.: “Quadrupole moments and magnetic moments in exotic nuclei”, RIKEN Symp. on Physics at Drip Lines, Wako, Feb. (2001).

(国内会議)

奈良寧: “Parton cascade description of nuclear collisions at RHIC”, 日本原子力研究所研究会第2回極限条件におけるハドロン科学, 東海村, 1月(2000).

亀田大輔, 旭耕一郎, 小川博嗣, 上野秀樹, 三好永哲, 米田健一郎, 渡邊寛, 今井伸明, 須賀敏孝, 大野賢一, 佐藤渉, 吉見彰洋, 余語克紀, 酒井健二, 小林義男, 吉田敦, 久保敏幸, 石原正泰: “断熱磁場回転による入射核破砕片の偏極度測定法の開発”, 日本物理学会第56回年次大会, 八王子, 3月(2001).

Members

Dr. Yasumichi AOKI
 Dr. Anthony J. BALTZ
 Dr. Steffen A. BASS
 Dr. Alexander BAZILEVSKY
 Dr. Thomas BLUM
 Dr. Dietrich BODEKER
 Dr. Daniel BOER
 Dr. Gerry BUNCE
 Dr. Abhay DESHPANDE
 Dr. Brendan FOX
 Dr. Yuji GOTO
 Dr. Matthias GROSSE-PERDEKAMP
 Dr. Miklos GYULASSY
 Dr. Masayasu ISHIHARA
 Dr. Kazunori ITAKURA
 Dr. Barbara V. JACAK
 Dr. Robert L. JAFFE
 Dr. Sangyong JEON
 Dr. Dmitri E. KHARZEEV
 Dr. Hideyuki KOBAYASHI
 Dr. Kazuyoshi KURITA
 Dr. Alexander KUSENKO
 Dr. Robert MAWHINNEY
 Dr. Yasushi NARA
 Dr. Shigemi OHTA
 Dr. Konstantinos ORGINOS
 Dr. Robert PISARSKI
 Dr. Dirk RISCHKE
 Dr. Shoichi SASAKI
 Dr. Thomas SCHAEFER
 Dr. Jorgen SCHAFFNER-BEILICH
 Dr. Edward SHURYAK
 Dr. Dam Thanh SON
 Dr. Mikhail A. STEPHANOV
 Dr. Ubirajara VAN KOLCK
 Dr. Rajagopal VENUGOPALAN
 Dr. Werner VOGELSANG
 Dr. Tilo WETTING
 Dr. Matthew WINGATE
 Dr. Yoshiaki YASUI

in collaboration with

Dr. Takashi ICHIHARA (Radiation Lab.)
 Dr. Naohito SAITO (Radiation Lab.)
 Dr. Yasushi WATANABE (Radiation Lab.)

II. 中間子・ミュオン粒子, 中性子の発生と応用

1. ミュオン科学研究

代表研究者 永嶺謙忠 (ミュオン科学研)
 研究担当者: 松崎禎市郎, 石田勝彦, 渡邊功雄, 中村 哲, 松田恭幸, 河村成肇^{*1}, Strasser P.^{*2}, Pratt F.^{*3}, Bacule P.^{*3} (ミュオン科学研)

Members of RIKEN BNL Research Center

Director

Dr. Tsung-Dao LEE

Deputy Director

Dr. Nicholas SAMIOS

英国ラザフォード・アップルトン研究所の大強度陽子加速器に理研 RAL ミュオン施設を建設し、世界最高強度のパルス状ミュオンを発生させ、ミュオンスピンを用いた物性研究やミュオン触媒核融合研究に利用する計画の第 1 期が平成 12 年 9 月に期間満了した。第 2 期の新たな 1 年目として、新実験ポートの建設を進めるとともに、先端的ミュオン科学研究を展開した。ミュオン物性実験においては、酸化物高温超伝導体、重い電子系、低次元磁性体などの強相関系物質の電子状態の研究等に成果が上がった。特に酸化物高温超伝導体におけるスピンと電荷のストライプ相関がいくつかの新しい系に見られることを示した。更に、有機超伝導物質、有機磁性体などの電子状態の動的および静的性質の解明にも成果が上がった。特に、生体分子中の電子伝達に関する研究をタンパク質だけでなく、DNA にも拡張し、大きな進展がみられた。ミュオン触媒核融合実験においては、オンラインでトリチウムを純化分析する機能をもつ最先端 DT 標的系を用いて、高純度 DT のミュオン核融合の実験が行われ、アルファ粒子に付着したミュオンの電離現象における異常性や、低温 DT 水素固体での大きな温度効果、 $dt\mu$ ミュオン分子生成における分子組成効果など、エネルギー生産性向上に向けた展望を得ることができた。また純粋 D_2 標的系においても $dd\mu$ ミュオン分子生成速度に関して顕著な D_2 分子オルソパラ状態依存性が初めて測定された。さらには不安定原子核のミュオン原子を作るための第 1 段階として、 H_2/D_2 固体薄膜を利用して、イオン打ち込みされたヘリウムからのミュオン原子 X 線を測定する実験を開始し、ミュオンが水素からヘリウムに移行するさいに生成される $d^4He\mu$ 分子に特有の 6.8 keV の X 線の観測に成功した。また、基礎物理研究である正ミュオンの寿命の超精密測定のためのデータ取得を終了し、フェルミ結合定数の精度更新に向けて現在データを解析中である。さらには、物質表面解析などに有用となる超低速ミュオンビームの平成 13 年夏ごろの実現をめざしてビームラインの建設

をすすめており、イオン化のためのレーザー装置に関してはライマン α 線 (122 nm) の発生を確認した。

*1 基礎科学特別研究員, *2 協力研究員, *3 共同研究員

Members of RIKEN Facility Office at RAL

Head

Dr. Kanetada NAGAMINE

Members

Dr. Teiichiro MATSUZAKI

Dr. Katsuhiko ISHIDA

Dr. Isao WATANABE

Dr. Satoshi NAKAMURA

Dr. Yasuyuki MATSUDA

2. 中性子科学研究

研究代表者 勝又紘一 (磁性研)

研究担当者: 永嶺謙忠 (ミュオン科学研); 土肥義治 (高分子化学研); 城 宜嗣 (生体物理化学研)

英国ラザフォード・アップルトン研究所中性子散乱実験施設 (ISIS) に、理研・RAL 共同で建設した新しい中性子散乱測定装置 GEM を用いて、酸化物磁性体 $La_5Ca_9Cu_{24}O_{41}$ についての散乱実験を行った。ISIS に既設の HET スペクトロメーターを用いて得た $La_6Ca_8Cu_{24}O_{41}$ スピン梯子部分の励起スペクトルの理論的解析を行い、4 体のスピン相互作用が重要であることを指摘した。

米国標準技術研究所 (NIST) の原子炉からの中性子ビームを用いて、ハルゲン物質 $Ni(C_5H_{14}N_2)_2N_3(PF_6)$ 単結晶について磁場中での散乱実験を行い、磁場誘起磁気長距離秩序に伴うブラッグ散乱の観測に成功した。

原子力基盤技術開発研究

Basic and Fundamental Studies for Development of Nuclear Technology

1. 原子力用レーザー技術の開発研究

(1) 極短波長光源による機能性微小構造体の開発研究

代表研究者 緑川克美 (レーザー物理工学研)

研究担当者: 杉岡幸次, 緑川克美 (レーザー物理工学研)

本研究では、過酷環境下での使用にも耐えうる微小センサーや微小アクチュエータなどの機能性微小構造体を創成するための、極短波長光源を用いた新しい加工技術の開発を行っている。

その 1 つとして真空紫外-紫外多重波長励起プロセスを開発した。本年度は F_2 レーザー (157 nm) と KrF エキシマレーザー光 (248 nm) を、同軸上から試料に照射する装置を開発した。本装置を用いて石英ガラスや GaN といった高

機能材料のアブレーション加工を行った。石英ガラスに対しては、2 つのレーザー光照射の遅延時間、 F_2 レーザーフルエンス、KrF エキシマレーザーフルエンス等照射条件の最適化を行い、高品質な加工を実現した。また GaN エピ基板に対しては、エッチング速度約 40 nm/pulse の高速エッチングを達成した。深いエッチングを行うには多パルス照射が必要になるが、パルス数増加による GaN 加工表面の顕著な粗れは観察されなかった。さらにパルス数を増加すると GaN エピ層を完全に除去することができ、非常に急峻で平坦な加工側壁を形成できた。この側壁は、光マイクロセンサーの光源として利用できる短波長半導体レーザーの共振器面としての応用を検討している。