

戦略的創造研究推進事業 CREST
研究領域
「先端光源を駆使した光科学・光技術の融合展開」
研究課題
「超狭線幅光源を駆使した量子操作・計測技術の
開発」

研究終了報告書

研究期間 平成20年10月～平成26年3月

研究代表者：高橋 義朗
(京都大学大学院理学研究科、教授)

§1 研究実施の概要

(1) 実施概要

本研究では、先端光源として極めて線幅の狭い超安定なコヒーレント光源の可能性に着目し、まず、超狭線幅光源をチーム間の連携により開発し、それをレーザー冷却された中性原子を光格子に導入した系に適用することにより、究極的な量子操作・量子計測技術へ応用展開することを目指した。本研究では特に、原子として特に、2電子系原子のイッテルビウム(Yb)およびストロンチウム(Sr)を対象とする。本研究構想と密接に関係した最大の特徴は、ミリヘルツ台の自然幅を有するスピン禁制の異重項間遷移 $^1S_0\text{-}^3P$ の存在にある。本研究項目で新たに着目するスピン禁制異重項間遷移 $^1S_0\text{-}^3P_2$ では、さらに 3P_2 準位に $3\mu_B$ という大きな磁気モーメントが存在するため磁場に極めて敏感である。これを最大限利用した究極的な磁気共鳴イメージング法を開発して、新しい光格子点量子操作・検出に生かすとともに、新量子凝縮相の物性研究における新たなアプローチや究極の量子計測法を確立することをねらいとした。具体的に、5つの研究実施項目を設定し、それぞれに複数のグループが関与することによりチーム内の連携研究をスムーズに進めた。

まず、基本的にすべての研究項目において超狭線幅光源を使用するため、その技術的な基礎となる研究項目:2.「狭線幅光源の開発」については、京大グループ、NICTグループ、航空電子グループの連携により進めた。航空電子グループでは、低損失誘電体多層膜鏡の開発を実施した。吸収損失が損失の主要因となっていることを突き止め、その原因を探るために各種の分析とそれに基づく成膜プロセスの改善を行った。これにより、698nmにおいて反射率を99.9974%(フィネス120,800)から99.99941%(フィネス532,000)に向上することができた。また、波長1064nmでは反射率99.99975%(フィネス1,257,000)が得られている。低損失ミラーを備えた光共振器はすでにNICTおよび京都大学に納品した。また、NICTグループでは、狭線幅光源の開発を、Sr光格子時計の開発を通して推進し、それにより得られた様々な知見・技術を研究代表者の京大グループにフィードバックするというやり方でクレスト研究を進めた。Sr光格子時計として 5×10^{-16} の不確かさを得ることに成功し、さらに、航空電子グループとも協力して、光学的アクティブ除振方式の開発とクレストチーム内製光共振器のSr光格子時計への組み込みを進めた。また、Sr光格子時計を周波数基準としたCa⁺単一イオン時計の周波数測定を行い、この2つの間の周波数比を 2×10^{-15} の確度で決定したり、東大とNICTのSr光格子時計について、物理的に離れた拠点に所在する時計として初めて16乗台で一致することを確認するなど、光格子時計の先端的な開発を進めた。このような技術的なノウハウを京大グループに移転し、Yb原子の狭線幅光学遷移に共鳴する507nmの光源について、数Hz程度の線幅を安定に得ることに成功した。

これにより得られた狭線幅光源を用いて、まず、研究項目:1.「光格子点の個別量子操作・検出技術の開発」を京大グループが中心となって行った。3次元光格子中のYb原子に対して格子間隔の分解能を有する磁気共鳴イメージング法を開発するとともに、3次元光格子中のモット絶縁体状態について、格子中の原子数が異なるサイトを分離して観測・制御する手法の開発に成功し、サイト数ごとに個別にコヒーレントラビ振動を誘起することに成功した。また、高空間分解能イメージング法と組み合わせたスペクトラルイメージング法を量子気体に対して新たに開発することに成功した。

また、研究項目:4.「光格子中冷却原子の量子状態制御・シミュレーション」においても、狭線幅光源を用いて光格子中の原子に対して高分解能レーザー分光実験を行った。特に、超流動-モット絶縁体転移の精密測定に応用展開し、NTTグループと協力してコヒーレントな超流動成分に起因するブロードなスペクトル構造と、非超流動成分に起因する鋭いスペクトル線構造の和として、実験結果を非常によく再現することを突き止めた。また、Lieb型光格子を実現し、その可能性をNTTグループとの協力のもとに明らかにした。さらに、光フェッシュバッハ共鳴や、基底状態と準安定状態の間の原子間相互作用に関する磁場フェッシュバッハ共鳴など、狭線幅光学遷移を用いた量子気体中の原子間相互作用を制御する新たな手法の開発に成功した。このほかにも、高いスピン対称性SU(6)を有するフェルミ原子気体の実現、ボース・フェルミ混合モット絶縁体状態の生成およびスピン自由度に依拠する断熱冷却効果の解明、などの成果をあげることができた。

また、研究項目3:「光格子時計の革新的改良法の開拓」として取組んでいるスピンスクイジング

技術の開発において、スピン量子非破壊測定後に高速フィードバック制御することにより、スピンの量子フィードバック制御に世界で初めて成功した。

さらに、研究項目:5.「超低温極性分子の生成技術の開発」においても、YbLi 原子混合系の量子縮退に世界で初めて成功し、さらに混合系を光格子に導入し、超狭線幅光源を用いて Yb 原子の準安定状態への励起に成功した。また NTT グループと協力して、この系の不純物系の量子シミュレーターとしての可能性を明らかにした。

以上のように、チーム内での連携を重視して研究を進めることにより、当初の目標をほぼ達成することができた。

(2) 顕著な成果

<優れた基礎研究としての成果>

1. 量子シミュレーションの新技术の確立: 超高分解能レーザー分光・制御の実現 (論文執筆中)

強相関量子多体系の典型的な量子相である、モット絶縁体状態について、格子中の原子数が異なるサイトを分離して観測・制御する手法の開発に成功した。また、これを、超流動-モット絶縁体転移の精密測定に応用展開した。

2. 究極的次世代光格子時計に向けた開発: スピン集団の量子フィードバック制御の実現 被引用件数: 2 件(該当論文 KU-3)

原子スピンの集団に対して、量子非破壊測定を行い、かつその測定結果を原子スピン集団に高速フィードバック制御することにより、量子測定に伴う波束の収縮のランダムさを低減する技術の世界で初めて開発した。超狭線幅光源を用いた応用展開の一つである光格子時計の精度向上に貢献するだけでなく、量子情報・量子制御・量子計測・非平衡量子統計力学などの分野に波及効果が期待できる。

3. 高いスピン対称性SU(6)を有したフェルミ原子気体およびボース・フェルミ混合系の実現 被引用件数: 112 件(該当論文 KU-7, KU-12, KU-14)

核スピン由来のスピン自由度のみを有するために高いスピン対称性SU(6)を有するフェルミ原子気体の生成に成功し、さらにこれとボース気体との混合量子縮退をも実現し、これらを 3 次元光格子中に導入し、強相関のモット絶縁体状態を生成することに成功し、興味深い量子相が実現していることを明らかにした。また、スピン自由度に依拠する断熱冷却が有効に働いていることを突き止めた。

<科学技術イノベーションに大きく寄与する成果>

1. 光格子時計の市中光ファイバリンクによる遠距離周波数比較法の確立及び 16 桁の周波数一致の確認

被引用件数: 12 件(該当論文 NICT-4)

NICT 小金井本所と東京大学本郷キャンパスを結ぶ光ファイバ線において、17 桁の精度で光領域の標準周波数を伝送する技術の確立。NICT グループで開発したストロンチウム光格子時計の生成する信号を通信帯波長に変換後この精密伝送路を利用して東京大学へ伝送し、東京大学の光格子時計と周波数比較を行い、標高差 56m に基づく一般相対論効果を検出し、それを補正することによって両時計が 16 桁の不確かさで同一周波数を生成していることを実証した。

2. 連続波クロック光源の安定度転送法の確立

被引用件数: 10 件(該当論文 NICT-2)

光原子時計においては、一般にクロック遷移の波長域で発振する超安定光源を使用するが、他の波長域で安定な光源がある場合、光周波数コムを通して十分な安定化が施されていないク

ロックレーザーを同程度に安定化して原子時計を動作させられることを実証した。

3. 全光学的処理による複数の光周波数標準間の周波数比測定法の確立

被引用件数: 1件(該当論文NICT-1)

光周波数標準がマイクロ波標準より高性能となった今、光周波数標準を分母として被測定周波数を比率で評価することが原理的に不確かさの小さい周波数の測定法になる。我々は Ca 単一イオン時計の生成周波数を中性 Sr 光格子時計の周波数に対する比として光周波数コムを利用して全光学的に測定して報告した。尚、この論文が出版された 2013 年 9 月の BIPM 時間周波数諮問委員会では、以降異なる光周波数標準の間の周波数比を測定し委員会に報告することが推奨されることとなった。

§2. 研究構想

(1) 当初の研究構想

研究目標

本研究では、先端光源として、ヘルツおよびサブヘルツという極めて線幅の狭い超安定な光源の可能性に着目し、超狭線幅光源を開発し、それをレーザー冷却された中性原子を光格子に導入した系に適用することにより、量子計算・光周波数標準といった究極的な量子操作・量子計測技術へ応用展開することを目指した。

本研究では2電子系原子の Yb および Sr を対象としたが、本研究構想と密接に関係した最大の特徴は、スピン禁制の異重項間遷移 $1S_0-3P$ の存在にある。i) スピン禁制異重項間遷移 $1S_0-3P_0$ はミリヘルツ台の自然幅を有し、かつ磁場や光格子の偏光に鈍感なため、光周波数標準として世界中で注目されている。また、本研究構想で新たに着目する ii) スピン禁制異重項間遷移 $1S_0-3P_2$ では、同様にミリヘルツ台の自然幅を有するが、 $3P_2$ 準位に $3\mu_B$ という大きな磁気モーメントが存在するため磁場に極めて敏感である。本研究構想ではこれを最大限利用した究極的な磁気共鳴イメージング法を開発して新しい光格子点量子操作・検出に生かすことを着想した。さらに、iii) 超低温までのレーザー冷却を可能にする $1S_0-3P_1$ 遷移 や、iv) 単一原子検出を可能とするスピン1重項間遷移 $1S_0-1P_1$ があり極めてバラエティーに富んでいる。これら自然が与えてくれた魅力的な特徴を最大限に活用して、光技術の画期的な応用展開に繋げようというのが本研究構想の趣旨であった。

5年間の研究計画・進め方の概要

- 1) スピン禁制異重項間遷移 $1S_0-3P_2$ に共鳴する超狭線幅の光源を用いた究極的光磁気共鳴イメージング法を開発し、光格子中の原子に適用することにより、各格子点に導入された原子を一つ一つ個別に操作・検出する技術、および隣接する格子点上の原子間にオンデマンドで磁気双極子相互作用を誘起する技術や超狭線幅の光源により原子間相互作用を共鳴的に増大させる技術を確立し、それをもとに空間的な構造を高分解能で観測・制御するという新量子凝縮相の物性研究における新たなアプローチを確立するとともに、ゲート型またはクラスター状態を利用した 100 量子ビット以上の光格子量子コンピューターのプロトタイプを実現する。
- 2) 超狭線幅遷移励起用レーザーの光周波数を高フィネス光共振器に安定化する技術を、イオンビームスパッタリング (IBS) 低損失誘電体多層膜コーティングの技術改良およびその光共振器へのアッセンブルを含めて開発し、その超狭線幅光源を上述の光磁気共鳴イメージングのみならず、光格子時計にも適用してその性能を飛躍的に向上させる。特に、全光学的量子縮退原子生成技術、及び原子のスピンスクイジング技術、などの新しい究極的な量子制御技術を開発することにより、標準量子限界をも凌駕した新しい時計遷移計測技術を確立する。
- 3) 光格子中原子集団全体の量子状態について、実験と理論の両面から、量子のレベルで詳細に制御・理解し、量子状態の効果的な制御法や、さらには原子集団内に高度にエンタングル

した多量子ビット状態(クラスター状態)を生成させる方法を提案する。また、多量子ビット状態に計算機能を創出させるための、超狭線幅光源による量子力学的操作の設計指針を実験・理論両面から探る。

- 4) 光周波数コムにより安定化された 2 つの狭線幅光源を駆使した誘導ラマン遷移による超低温極性分子の生成技術の開発も見据えている。これにより、超低温に冷却された原子集団から、光のコヒーレンスを利用して、過熱することなく超低温の分子を生成することが可能である。特に、アルカリ原子と Yb 原子からなるラジカルな極性分子を対象とすることにより量子スピン系までも含めた量子凝縮相の基本的問題にアプローチすることが可能である。

(2) 新たに追加・修正など変更した研究構想

- ① 中間評価で受けた指摘や助言、それを踏まえて対応した結果について

今後の研究に向けて、幾つかの重要なご指摘を頂いた。

まず、「今後、イノベーターな研究成果を得るための一層の連携体制に努めるとともに、多彩で開拓的なサブテーマの一つ一つは着実に進展しているが、最終段階では、いくつかの重点テーマを選択し、集中的に研究を展開することも必要であろう。」とのご助言を受けた。

これに対応して、重要と考えるテーマを幾つか選択し、特に集中して研究を展開した。すなわち、高空間分解能イメージング技術の開発(研究項目1)、チーム内関係による最新デザインによる光周波数安定化システムの構築(研究項目2)、Lieb光格子の実現(研究項目3)、LiおよびYb原子混合系での Yb 原子の準安定励起状態への共鳴励起(研究項目5)、を中心に研究を進め、実際成果を挙げることができた。

また、「特許出願やプレス発表等を積極的に行っており、今後も継続的に実施されることを期待する。」とのご指摘を受け、§6 成果発表等にも記載した通り、その後も積極的に行った。

- ② 中間報告書§2. 当初の研究計画に対する進捗状況「(3) 今後の進め方、および研究成果の見通し」の記載事項に関し、研究を進めた結果について

中間報告書の(3) 今後の進め方では、幾つかの項目について記述した。その各々について進展があったので、以下に項目ごとに記述する。

- 1) 「今後の進め方1: これまでの期間において、準備を着実に進めてきた、超狭線幅光源開発では、航空電子グループの技術をNICTグループおよび京大グループに応用展開していく。一方、京大グループでのレーザー周波数安定化に関しては、これまで同様、必要に応じて、人的交流を含めて、NICTの技術の積極的な導入を推進する。」

これに対応して、現在、航空電子グループが作成した低損失ミラーを用いたULE共振器を京大に納品し、これをNICTグループの最新のデザインによるULE共振器用真空チャンバー中に設置し、NICTグループで光格子時計用にその性能が実証されている高速電気フィードバック回路や高速光検出器を用いて、光周波数安定化システムを立ち上げている最中であり、期間内に完成させる予定である。

- 2) 「今後の進め方 2: また、京大グループとNICTグループでそれぞれ開発を進めてきた、光格子時計の革新的改良については、できるだけ早い段階での融合を検討する。特に、京大グループでは、スピンスクイジング技術を、これまでのレーザー冷却されただけの原子系から、光トラップされた原子系への応用に展開し、より長寿命で、かつ実用上でも十分有益となりうるレベルのスキューミングを目指す。」

これに対応して、京大グループでは、その後に新たな真空チャンバーを立ち上げ、現在では、超寿命かつ高原子密度の光トラップを実現し、スピンスクイジングに必要なファラデー回転の観測に成功している。

- 3) 「今後の進め方 3: 超低温極性分子生成についても、必要に応じて光コムの技術移転をNICTグループから京大グループに行い、基底状態分子および大きい電気双極子モーメントを持つ

た準安定励起状態分子の生成を図る。」

これに対しては特に、大きい電気双極子モーメントを持った準安定励起状態分子の生成に関して研究を進め、Yb 原子と Li 原子の混合量子縮退系を 3 次元光格子に導入し、これまでに開発した狭線幅レーザー光源を用いて Yb 原子を準安定状態に励起することに成功している。これにより、今後、Li 原子の基底状態と Yb 原子の準安定状態との間の磁場フェッシュバツハ共鳴を探索する準備が整ったと言え、期間内に早急にこれを実施したい。

- 4) 「今後の進め方4: NTT理論グループは、引き続き京大グループの実験との緊密な協力関係の維持に努める。特に、最近京大グループが Yb 原子を用いて精力的に行っている超高分解能分光測定の実験を対象として、有限温度でのスペクトル関数の導出といった基礎的問題から、さらには実験結果の定量的解析まで精力的に理論研究を進めていく。超高分解能分光スペクトルを実験と理論の両面から詳細に調べることにより、これまで未解明であったモット絶縁体転移の臨界点近傍での振舞いについて重要な知見が得られるものと期待される。」

これに対して、複数回のチーム内ミーティングを実施し、理解を深めていき、ブロードなスペクトルを示す超流動成分と鋭いピークを示す常流動成分との和で記述することにより、実験で得られたスペクトルが統一的に説明できる、ということにたどり着くことができた。現在、論文を執筆中であり、期間内にまとめる予定である。有限温度の効果も実験・理論両面から研究を進め、実験データと理論計算が非常に良い一致を示しており、強相関領域でのボース・ハバード系の相図の理解を深めることに繋がると考えており、現在その点も研究を進めている。

- ③ 上記①②以外で生まれた新たな展開について

高いNAを持った対物レンズを用いて高感度かつ高空間分解能なイメージング法を開発してきたが、一方、超狭線幅遷移を利用した超高“周波数”分解能分光が可能なことも本研究の系の大きな特徴である。この両者を組み合わせることを新たに着想し、新たに、“スペクトラルイメージング法”を量子気体に対して開発することに成功した。

§3 研究実施体制

- (1) 研究チームの体制について

- ① 「京大」グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
高橋 義朗	京都大学理学研究科	教授	H20.10～
John Doyle	ハーバード大学 ジェファークソン物理研究所	教授	H22.3～23.5 H25.12～26.3
高須 洋介	京都大学理学研究科	助教	H20.10～
吉川 豊	同上	助教	H22.4～
植竹 智	同上	特定研究員	H21.4～H23.7
山崎 歴舟	同上	特定研究員	H21.4～H24.3
井上 遼太郎	同上	特定研究員	H22.4～H25.3
並木 亮	同上	特定研究員	H20.10～H25.3
高野 哲至	同上	D4	H20.10～H21.3
岡野 真之	同上	D4	H20.10～H22.3
福原 武	同上	D3	H20.10～H21.3
加藤 真也	同上	D4	H20.10～H24.3
素川 靖司	同上	特定研究員	H20.10～H24.6
原 秀明	同上	研究員	H20.10～

		(産官学連携)	H25.4～H26.1 CREST 専任 RA H26.2～H26.3 研究員(産官学 連携)
柴田 康介	同上	研究員 (産官学連携)	H21.4～ H25.4～H26.1 教務補佐員 H26,2～H26.3 研究員(産官学 連携)
杉本 昌仁	同上	M3	H20.10～21.3
和山 弘	同上	M2	H20.10～21.3
垣内 久	同上	M2	H20.10～21.3
辻本 拓也	同上	M2	H20.10～21.3
田家 慎太郎	同上	特定研究員	H20.10～ (H25.4～特定 研究員)
斉藤 悠	同上	M3	H20.10～H23.3
土井 弘大	同上	M2	H20.10～H22.3
村松 真臣	同上	M2	H20.10～H23.3
田中 慎一郎	同上	M2	H21.4～H23.3
村上 亮	同上	M2	H21.4～H23.3
濱口 直孝	同上	M2	H21.4～H23.3
今井 星	同上	M1	H22.4～H22.9
山田 裕貴	同上	M2	H22.4～H24.3
山本 隆太	同上	D2	H22.4～
高橋 功	同上	M4	H22.4～H24.3 H24.10～H25.9
菊地 悠	同上	M2	H23.4～H25.3
小西 秀樹	同上	D1	H23.4～
中村 悠介	同上	D1	H23.4～ (H25.4～H25.9 CREST RA)
Hadrien kurkjian	同上	M1	H21.2～H21.8
清水 秀世	同上	研究補助員	H21.4～H24.1
村井 真理子	同上	研究補助員	H24.1～H24.3
寺川 公美子	同上	教務補佐員	H24.4～
小沢 秀樹	同上	M1	H25.4～

研究項目

- ・ 超狭線幅光源を駆使した量子縮退気体に対する量子制御技術の応用展開

② 「NICT」グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
井戸 哲也	NICT 電磁波計測研究	研究マネージャー	H20.10～

	所 時空標準研究室		H24.10 NICT電 磁波計測研究所 時空標準研究 室・主任研究員 H24.11～ H25.10 NICT 経営企画部 企画戦略室・プラ ンニングマネー ジャー H25.11 ～H25.12 NICT 電磁波計測研究 所 時空標準研 究室・主任研究 員 H26.1～ H26.3 研究マネ ージャー
李 瑛	NICT 電磁波計測研究 所 時空標準研究室	主任研究員	H20.10～
山口 敦史	同上	有期研究員	H20.10～H23.5
志賀 信泰	同上	有期研究員	H20.10～H21.9
小出 美知	同上	有期研究員	H20.10～H23.3
石島 博	同上	有期技術員	H20.10～
伊藤 伸史	同上	派遣職員	H20.10～H21.3
野上 朝彦	同上	有期技術員	H21.10～H25.7
長野 重夫	同上	主任研究員	H23.4～
蜂須 英和	同上	有期研究員	H23.6～H25.9
同上	同上	研究員	H25.10～
松原 健祐	同上	主任研究員	H25.5～

研究項目

- ・ 冷却原子のコヒーレント操作実現に向けた光源開発と高安定光格子時計の開発

③ 「航空電子」グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
江藤 和幸	日本航空電子工業株式 会社 商品開発センター	UV 技術シニアエ キスパート	H20.10～
伊藤 和彦	日本航空電子工業株式会 社航機事業部第二技術部	シニアマネージャ ー	H20.10～
関根 啓一	日本航空電子工業株式 会社 商品開発センター	評価技術エキス パート	H20.10～
早藤 悟	日本航空電子工業株式 会社商品開発センター 商品開発部	主任	H21.4～H21.9
吉田 俊也	同上	主任	H20.10～H21.3

研究項目

- ・ 超狭線幅光源の実現を目指した低損失誘電体多層膜鏡の開発

④ 「NTT」グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
山下 眞	NTT物性科学基礎研究所	主任研究員	H20.10～
井桁 和浩	同上	主任研究員	H20.10～H25.3
徳永 裕己	NTT セキュアプラットフォーム研究所	主任研究員	H21.4～
稲葉 謙介	NTT 物性科学基礎研究所	研究主任	H21.4～
玉木 潔	同上	研究主任	H21.10～
野田 数人	同上	ポスドク研究員(N TT採用)	H25.4～

研究項目

- ・ 超狭線幅光源を用いた光格子中冷却原子の量子状態制御に関する新たな理論の構築
- ・ 光格子量子コンピュータ実現に向けた冷却原子の多量子ビット状態(クラスター状態)の生成方法ならびにその量子操作方法の提案
- ・ 光格子時計の超高精度化に向けた冷却原子のスピンスクイジング制御を利用した新たな測定方法の提案

(2) 国内外の研究者や産業界等との連携によるネットワーク形成の状況について

(研究チーム外での連携や協働についてご記入ください。ライフ分野では臨床医等を含みます。)

国内外の研究者との連携は、積極的に行っている。まず、国内については、量子エレクトロニクス、量子情報、原子・分子物理学、素粒子物理学、などの各分野で、光関係の極めて多くの研究者と、研究会等で情報交換を積極的に行っている。

国外においても、光関係の非常に多くの研究者と情報交換を行っている。より緊密な協働としては、凝縮系理論関係では、得能氏(フランス)、Cazalilla 氏(スペイン)、Demler 氏(ハーバード大)、Wang 氏(スイス)、Zhang 氏(中国)、分子関係では、Hutson 氏(イギリス)、Tiemann氏(ドイツ)、Ciulyolo氏(ポーランド)、Julienne 氏(米)、Sadgephor 氏(米)、およびドイル氏(米)などの研究者が挙げられる。

さらに、国内の量子情報の若手研究者とのネットワークづくりに積極的に関与し、特に関西学生フェロニクス・量子情報研究会(学生のみによる研究・情報交流会)を立ち上げることに貢献し、研究代表者のグループがその運営にも貢献している。

§4 研究実施内容及び成果

4. 1超狭線幅光源を駆使した量子縮退気体に対する量子制御技術の応用展開(京大グループ)

(1)研究実施内容及び成果

研究代表者が率いる京大グループは、本クレスト研究チームの中心グループとして、各グループと連携・協力を図りながら研究を実施した。具体的な研究テーマとして、5つの研究項目を設定して研究を進めたので、以下、その研究項目ごとに実施内容・成果を記述する。

研究項目:1.「光格子点の個別量子操作・検出技術の開発」

本研究では原子として、2電子系原子の Yb を対象とする。本研究構想と密接に関係したこの原子の最大の特徴は、ミリヘルツ台の自然幅を有するスピン禁制の異重項間遷移 $1S_0-3P$ の存在にある。したがって、先端光源として、極めて線幅の狭い安定な光源を開発することにより、高分解能なエネルギー測定が可能になる。さらに、本研究項目で新たに着目するスピン禁制異重項間遷移 $1S_0-3P_2$ では、 $3\mu_B$ という大きな磁気モーメントが存在するため磁場に極めて敏感である。これら二つの特徴を最大限に利用することにより、究極的な磁気共鳴イメージング法を開発して、新しい光格子点量子操作・検出に生かすことをねらいとした。

研究実施方法としては、まず、300nm 程度の格子間隔を持つ光格子の各格子点に導入された原子を一つ一つ個別に操作・検出する技術を確立するために、新規に、スピン禁制異重項間遷移 $1S_0-3P_2$ に共鳴する 507nm の超狭線幅の光源を開発するとともに、光格子の空間配置に対して相対的に安定な磁場勾配を構築する必要がある。こうした技術的問題点について、前者は、研究代表者のグループで、半導体レーザーをベースにした狭線幅光源を行い、それを共同研究者である NICT グループが有する高度な光周波数安定度の性能評価技術を活用して迅速に評価し、研究代表者グループの光源開発にフィードバックして効率的に開発を進めた。これについては、研究項目2に詳述した。また後者については、磁場勾配生成用コイルと光格子用ファーバー結合器が一体の構造になったモノリシック型構造のもので、機械的安定性、温度安定性、光アクセス、制御性を全て兼ね備えた装置を開発した。性能確認は、実際に光格子中の量子縮退した Yb 原子で1格子点に1原子が充填された絶縁体状態を用いて、スピン禁制異重項間遷移 $1S_0-3P_2$ の高分解能レーザー分光により行なった。単一原子検出には高感度な測定を可能とするスピン1重項間遷移 $1S_0-1P_1$ を用いた。

通常金属製真空チャンバーでは上記の実験を行うことはできない。そこで、図 4-1-1 に示すように、本研究に用いる特殊な真空チャンバーを作成し、その装置を用いて、Yb 原子のレーザー冷却、光トラップ、光ピンセットによる移動、薄型ガラスセル領域でのボース・アインシュタイン凝縮体(BEC)生成、BECの3次元光格子導入、磁場勾配を印加した状態で高分解能レーザー分光、などをすべて実施した。

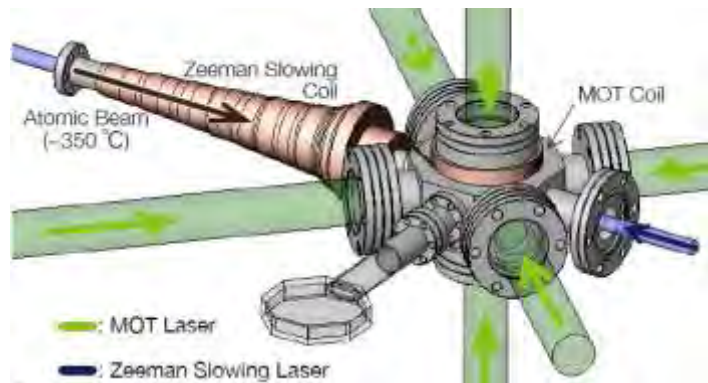


図 4-1-1 薄型ガラスセルを備えた特殊真空チャンバー

さらに、上記の光格子点量子操作・検出方法に加えて、新しい要素として、高い空間分解能と高感度を有する測定手法を、非常に高い集光効率のレンズ系を配置して構築することにより実現した。これにより、2次元面に配置したボース・アインシュタイン凝縮体中の原子の情報を一挙に得ることを可能とした。その配置図を図4-1-2に示す。

特筆すべき新たな展開として、今回、上記の、狭線幅光源による高周波数分解能を有する測定法(分光法)と、高NAのレンズ系による高空間分解能を有する測定法(イメージング法)を、融合させた、“スペクトラル・イメージング法”を、一層の2次元量子気体に対して新たに開発することに成功した。

上記の手法により、多くの成果が得られた。まず、3次元光格子中のボース凝縮体のモット絶縁体状態に対して、250G/cmの磁場勾配を印加したうえで、 $1S_0-3P_2$ 狭線幅光学遷移のレーザー分光を行い、格子間隔を分解した原子検出に成功した。それを図4-1-3に示す。これは光格子中原子に対する究極の磁気共鳴イメージングに相当する。

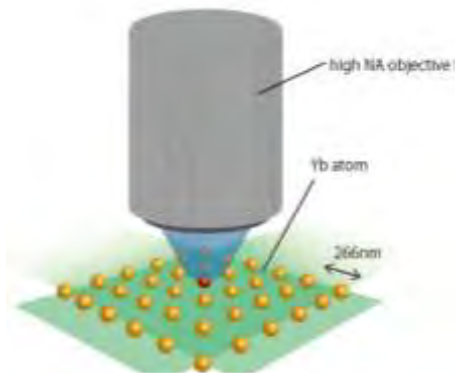


図4-1-2 高NAの対物レンズによる2次元光格子中のYb量子気体のイメージング

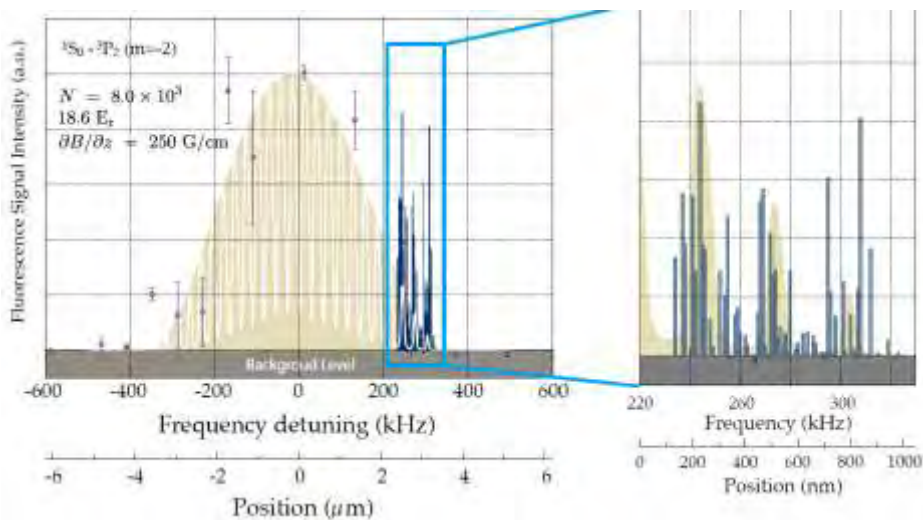


図4-1-3 3次元光格子中のYb原子の磁気共鳴イメージングの高分解能スペクトル

次に、NA=0.75という非常に高い集光効率のレンズ系を、ガラスセル直上に配置することにより高い空間分解能と高感度を有するイメージング法を、Yb原子の量子気体に対して実現した。図4-1-4にこれによって得られた画像を示す。このイメージング画像には、532nmの光格子と556nmの光モラセスの二つの定在波の間のいわゆるモアレパターンが形成されているのが明瞭にわかる。これから、空間分解能を見積もると約1.8ミクロン以下となる。また感度は、我々が開発した dual molasses 法では、1原子あたり1000カウントであり単一原子の感度を有する。



図4-1-4 高NAの対物レンズによる2次元光格子中のYb原子の発光イメージング画像。約6ミクロンのモアレパターンが明瞭に観測されている

さらに、高周波数分解能かつ高空間分解能の“スペクトラル・イメージング法”を、一層の 2 次元量子気体に対して新たに開発することに成功した。一般に光格子中の原子は、光格子自身および光トラップによる不均一なエネルギーシフトが存在する。しかし、通常は数 10kHz 程度のシフトでしかなく、直接そのエネルギーシフトを観測することは非常に難しい。ましてや、空間分布としてそのエネルギーシフトを観測したことはこれまで例がない。本研究では、Yb 原子の特徴を活かし切ることでこれを実現した。それを図 4-1-5 に示す。

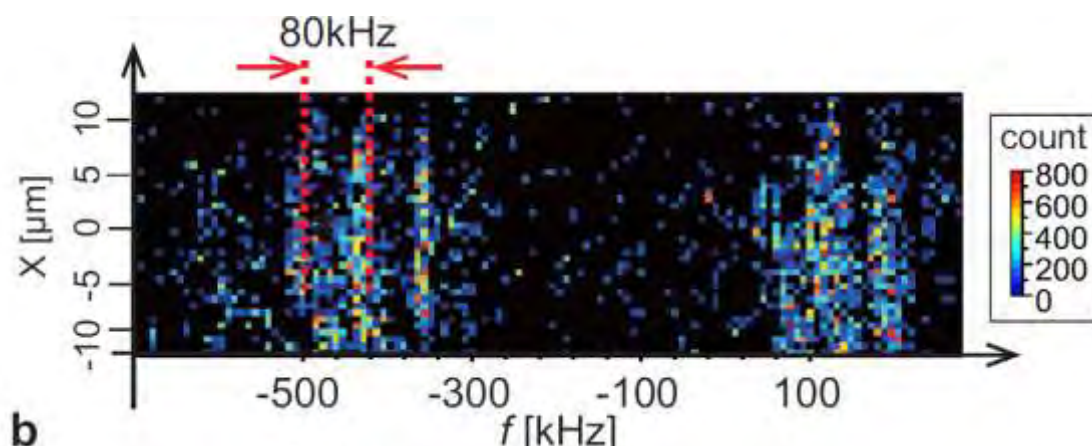


図 4-1-5 2次元光格子中の Yb 原子のスペクトルイメージングのデータ。40kHz以下の範囲で、スペクトルが空間変化していることをとらえることができる。

さらに、このスペクトラルイメージング法と磁気共鳴イメージング法を組み合わせることにも成功している。2次元の一層のボース・アインシュタイン凝縮に、磁場勾配を印加した状態で、得られたイメージング画像を図 4-1-6 に示す。共鳴する位置が線形にX方向で変化している様子が明瞭にわかる。なお、空間分解能は、1ミクロン以下であると見積られている。

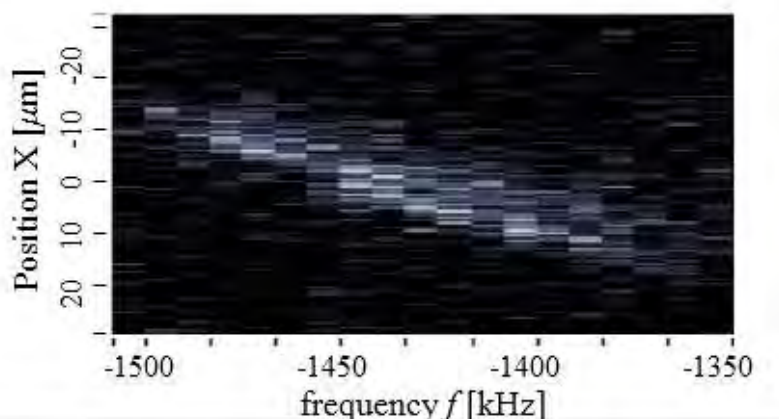


図 4-1-6 磁場勾配中でのスペクトルイメージングデータ。共鳴発光する位置が、励起周波数によって線形に変化している様子がわかる。

さらに、光格子点の個別量子操作という観点における大きな成果として、光格子中の占拠数ごとに、独立に原子の内部状態をコヒーレントに制御することに成功したことを挙げることができる。これは、原子間の相互作用が占拠数によってわずかに異なることを、高分解能なレーザー分光により峻別したことによって初めて可能となった。図 4-1-7 に占拠数によって異なる共鳴を示す高分解能スペクトルを、図 4-1-8 に占拠数ごとに独立にラビ振動をコヒーレントに誘起したデータを示す。

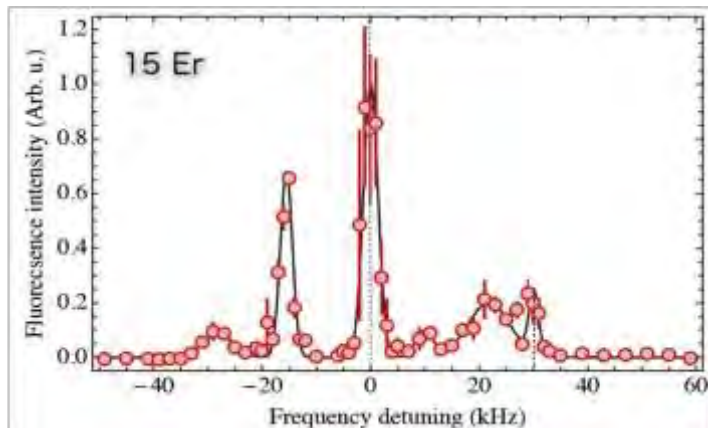


図 4-1-7 3次元光格子中のモット絶縁体状態での高分解能レーザー分光スペクトル。f=0の共鳴は光格子中の占拠数 n=1に対応し、f=-15kHzの共鳴はn=2に対応し、f=-28kHzの共鳴はn=3にそれぞれ対応している。

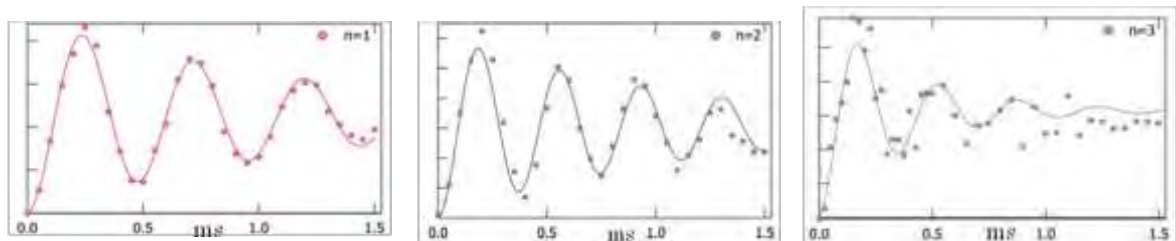


図 4-1-8 3次元光格子中の Yb 原子のラビ振動。左が光格子中の原子数が 1 の場合、中央が原子数2の場合、右が原子数 3 の場合にそれぞれ対応している。ボソン誘導効果により、原子数が増大するにつれて励起レートも増大していることも明瞭にわかる。

研究項目:2.「狭線幅光源の開発」

本研究では、Yb 原子の超狭線幅光学遷移 $1S_0-3P_2$ (507nm) を駆使した量子制御・検出技術の開発を推進することを計画した、したがって、 $1S_0-3P_2$ 遷移に共鳴する 507nm の狭線幅光源を開発することが非常に重要であり、NICTグループとの連携のもと、これを行った。光格子時計遷移に共鳴する超狭線幅光源の開発については、NICTグループおよび航空電子グループの研究実施内容および成果に詳述されている。

Yb 原子を用いた本研究では、まず、共鳴線幅の非常に狭い光学遷移の励起用の高安定な光源の準備として、1014 nm の波長の光源作成を行った。超高安定な光共振器を用意し、その温度安定度を改善した真空容器を新たに設計し、また、電気フィードバック系の大幅な改良も行なった。以上により、現有の光源とのビートを測定することによりレーザー線幅の信頼性の高い測定が可能になり、その結果、3Hz 程度の線幅の光源が用意できていることを確認した。これらは、京大-NICT 間の連携研究の成果であり、3Hz 程度の線幅は、本研究目的においては十分狭い線幅である。この光源をさらに半導体アンプにより光増幅し、高フィネスの共振器中に配置した非線形結晶を用いた第2高調波発生により最大 200mW 程度の 507nm の波長の光を得ることに成功した。これらは本研究の実験に十分な性能であった。

現在、より安定な光源の開発に向けて、本クレスト研究において航空電子グループの作成したミラーを用いた ULE 共振器と、NICTグループが開発した ULE用真空装置および広帯域電気フィードバックシステムを総合的に組み合わせたシステムを立ち上げており、残りの期間でこの有効性を実証する予定である。

研究項目 3: 「光格子時計の革新的改良法の開拓」

Yb 原子のもう一つの狭線幅遷移を用いる光格子時計は、多数個の原子を使用するため信号強度が強く、単一イオントラップ時計に比べると量子射影ノイズの影響が小さくなり、安定度は $1/\sqrt{N}$ に比例する (ここで、 N は原子数)。ここでスクイジングの方法を利用して量子射影ノイズを小さくして $1/\sqrt{N}$ よりも急速に安定度が改善する可能性を追求することを研究の狙いとした。

まず、Yb 原子のスピンスクイジングについて、大きな成果を挙げることができた。スピン集団の量子非破壊測定に相当するファラデー回転相互作用により、 ^{171}Yb 原子の核スピン集団をスクイーズすることに成功し、さらに、円偏光の光を照射することにより、その非古典的なスピン状態に対して、デコヒーレンスのないまま、回転操作を施すことに成功した。これは、実際、ラムゼー共鳴等により時計遷移を計測することを考えると、大変重要なステップである。

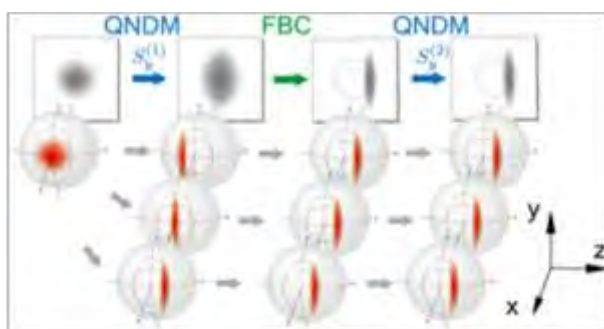


図 4-1-9 スピン量子フィードバック制御の概念図。スピンが x 方向に偏極している状態に、量子非破壊測定 (QNDM) を施すことによりスピンスクイズド状態が生成される。その測定結果をフィードバック制御 (FBC) することにより、測定結果によらず、常に同一のスピンスクイズド状態が得られる。

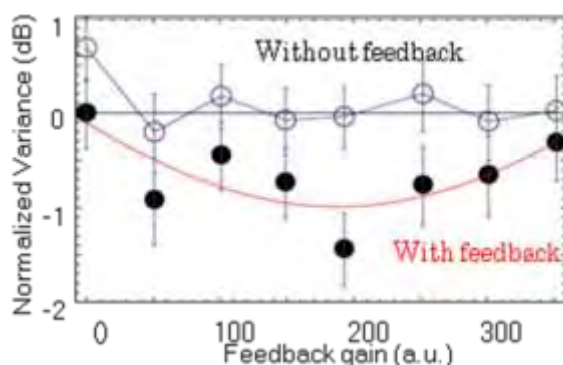


図 4-1-10 量子フィードバック制御。スピン測定の分散 (Variance) が、最適の大きさの量子フィードバック操作 (実際はスピン回転操作) を施すことにより、標準量子限界 (0dB) よりも低減していることが明瞭に見てとれる。

さらにこれを発展させて、高速での実時間量子フィードバック制御を実現し、これにより測定結果によらない決定論的スピンスクイズド状態を生成することに成功した。その実験の概念図を図 4-1-9 に示す。また、図 4-1-10 に示されているように、スピン測定の分散 (Variance) が、フィードバックを施すことにより、標準量子限界 (0dB) よりも低減していることが明瞭に見てとれる。従来の測定システムに、この量子フィードバック制御を組み込むことにより、常に同じ期待値のスクイズドスピン状態が得られる。これは、スピンの量子測定に伴う波束の収縮のランダムさを低減する技術の世界で初めて開発したことになり、光格子時計の革新的応用に一步近づいた、と言える。この業績をまとめて報告した論文は、*Physical Review Letters* 誌に出版され、*Editors Suggestion* として特別に取り上げられ、注目を集めている。

また、より長いコヒーレンス時間と高いスクイジングレベルを得るための光トラップ用真空装置を構築し、大きな光学密度と1秒以上の長い寿命をもった超低温原子スピン集団を生成することに成功し、実際これを用いてファラデー回転を観測することにも成功している。これにより、さらに大きなスクイジングレベルを得られる可能性がある。

本研究項目で実施した、量子フィードバック制御による決定論的スピンスクイジング生成は、フィードバック制御を内在した系の非平衡量子統計力学の問題としても大変重要であることが、最近の理論研究者との議論から明らかになってきた。特に、マックスウェルの悪魔として知られるパラドック

スに関しては、長く、理論面での議論が続いているが、本研究は、量子状態のエントロピーを低減させることのできる、量子版のマックスウェルの悪魔とみなすことが可能であり、その最初の実験例であるということができる。このような、より一般化された非平衡量子統計力学の問題に関しても、本研究項目の実験系は、重要な知見をもたらすことが可能であり、そういった分野でも、今後研究が展開され、重要な発展があると予想している。

研究項目:4.「光格子中冷却原子の量子状態制御・シミュレーション」

光格子中冷却原子気体の強相関量子多体系の本質に関する新たな実験および理論を構築することを研究のねらいとした。研究対象としては、豊富な同位体を有する Yb 原子の特徴を活かし、様々な量子多体系を準備して研究を行った。本研究項目においても、「超狭線幅光学遷移を駆使した光格子中強相関量子多体系の物理の解明」という観点を軸として研究を展開することにより、新たな技術や知見を得ることに成功した。

まず、ボソンとフェルミオンの Yb 原子混合系を 3 次元光格子に導入した系に着目した研究を行った。具体的には、光格子中原子の 2 重占有等を観測する手法として、スピン禁制遷移の光会合共鳴を用い、これまでにない強相関量子多体系として、ボース・フェルミ混合モット状態を実現し、NTTグループの理論と比較することにより、図 4-1-11 のような「混合 Mott 状態」、「相分離 Mott 絶縁体」「複合粒子生成」「モット相の融解」など、ボース・フェルミ混合モット状態の様々な量子相を同定すると同時に、光格子導入時における、斥力系での断熱冷却、引力系での断熱加熱、の効果を明らかにした。これは京大・NTT 間の連携研究の成果である。この業績をまとめて報告した論文は、Nature Physics 誌に出版され、News&Viewsとして特別に取り上げられて、世界的に大変注目を浴びた。

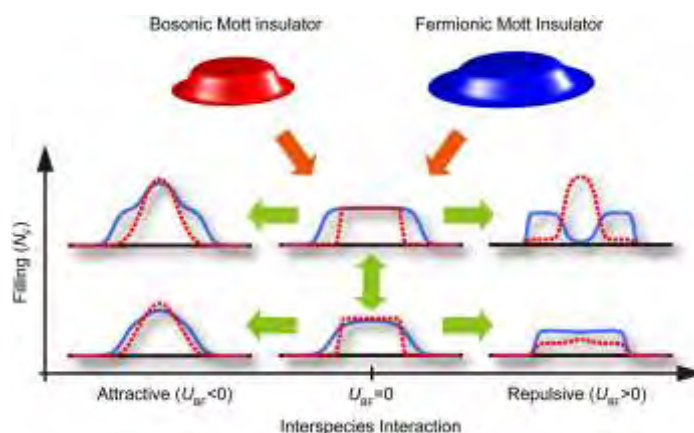


図 4-1-11 強く相互作用するボース・フェルミ混合モット絶縁体状態で発現する新奇な量子相。

さらに、新規な SU(6)および、SU(2)xSU(6)対称性をもつフェルミ気体を実現した。これも、世界的に非常に高く評価され、この業績をまとめて報告した論文は、Physical Review Letters 誌に出版され、Editors Suggestionとして特別に取り上げられ、PhysicsというPhysical Reviewの注目論文の紹介ページで、紹介されている。また、スピン自由度 SU(6)に由来する冷却法であるポメラニチュク冷却を原子系で初めて実証することに成功した。これはSU(N)量子磁性を研究する上での重要なステップであり、この業績をまとめて報告した論文も、Nature Physics 誌に出版され、News&Viewsとして特別に取り上げられて、世界的に大変注目を浴びた。

また、特にボース粒子を光格子に導入した系であるボース・ハバード系に対しては、この強相関量子多体系に対する新たなプローブ法として、本研究で開発した高分解能レーザー分光の手法が大変有力であることを示すことができた。図 4-1-12 に光格子の深さを変えたときの励起スペクトルの変化を捉えたデータを示す。光格子の深さを深くするにつれ、超流動領域からモット絶縁体領域に移行するわけであるが、それに伴って、励起スペクトルが大きく変化していることがわかる。特に、実験で得られたスペクトルの振る舞いをNTTグループの計算結果と比較して、コヒーレントな超流動成分に起因するブロードなスペクトル構造と、非超流動成分に起因する鋭いスペクトル線構造の和として理解できることを突き止めた。

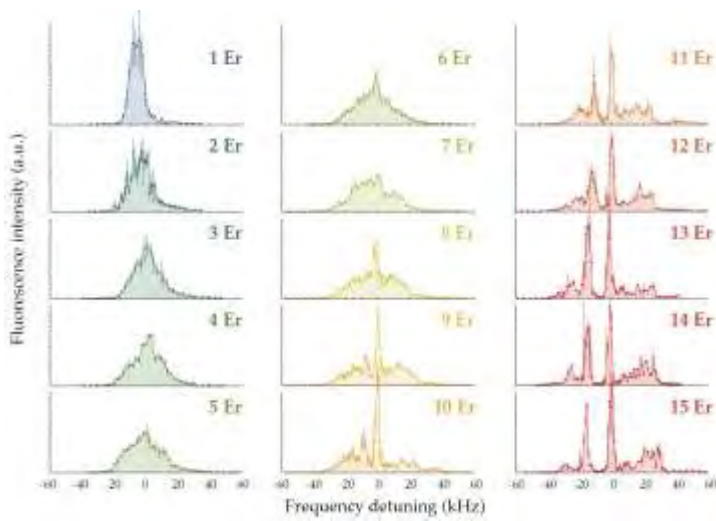


図 4-1-12 超狭線幅光学遷移を用いた 3 次元光格子中の超流動—モット絶縁体転移のプロブ。光格子の高さを、1Er (Erは反跳エネルギーで約 200nK)ごとに変化させて、弱く相互作用する領域から強相関の領域にわたってスペクトルの変化を測定した。

さらにこの手法を発展させて、強相関領域での、モット絶縁体相から常流動相、さらには“熱原子”相へと変化する様子をとらえることに成功した。それを、図 4-1-13 に示す。このレーザー分光の手法は、位相コヒーレンスに頼らない手法であるために、このような研究が可能になったわけであり、フェルミ粒子系等へも応用展開可能であることを示している。

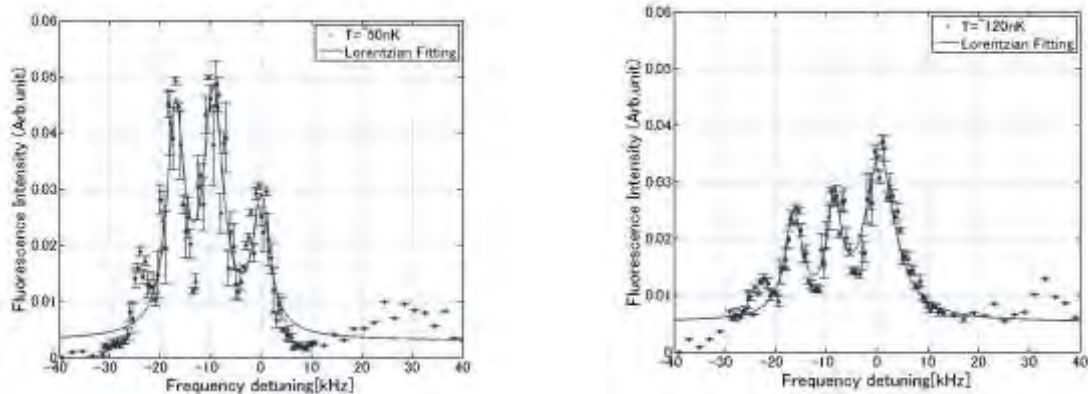
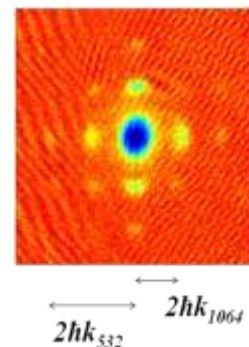


図 4-1-13 超狭線幅光学遷移を用いた 3 次元光格子中の強相関領域 (光格子高さ14 Er)のプロブ。左図は、光格子導入前の光トラップ中で $T/T_c=0.5$ に相当。右図は光格子導入前の光トラップ中で $T/T_c=0.8$ に相当。モット絶縁体相から“熱原子”相へと変化する様子をとらえることに成功した。

また、新たに Lieb 格子と言われる非標準型の光格子を実現した。これは、フェルミ原子気体の強磁性相やボース原子気体の超固体相の研究に非常に有用な格子モデルであり、強相関量子多体系の理解に大いに役立つことが期待されている。図 4-1-14 に Lieb 格子に導入された Yb 原子のボース凝縮体の物質波干渉を示す。この干渉パターンは Lieb 格子から期待されるものと一致している。

図 4-1-14 532nm と 1064nm の光超格子を用いた 3 次元 Lieb 型光格子中のボース凝縮体の物質波干渉パターン。



また、狭線幅光学遷移を用いた量子気体中の原子間相互作用を制御する新たな手法の開発を行った。まず、原子間相互作用の新しい制御技術として、光フェッシュバッハ共鳴の開発を行った。まず、BEC に対して、図 4-1-15 のような配置で、光フェッシュバッハ共鳴効果を適用し、波長以下のスケールで空間的に相互作用を変調することに成功した。これは、世界的に非常に高く評価され、この業績をまとめて報告した論文も、**Physical Review Letters**

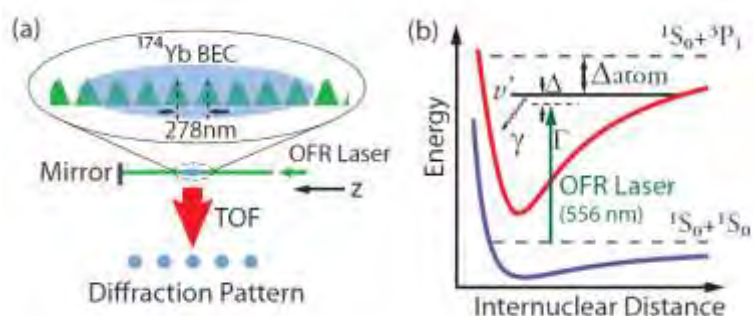


図 4-1-15 光フェッシュバッハ共鳴 (OFR) の観測。(a)実験配置図。BEC中に定在波のパルスを印加し、光強度の周期的変化により原子間相互作用を空間的に変調する。それを回折パターンにより測定する。(b)使用する光学遷移。光フェッシュバッハ共鳴 (OFR) には、狭線幅の光学遷移を用いることによりロスを減少させている。

誌に出版され、**Editors Suggestion** として特別に取り上げられ、**Physical Review** の注目論文の紹介ページで紹介されている。さらにフェルミ粒子に対しては、高次の散乱部分波である p-波散乱の制御にも成功した。これは、将来、p-波超流動の実現にもつながる成果である。

また、一方、基底状態と、そこから超狭線幅のレーザー励起によって生成された準安定状態間の原子間相互作用について、異方的な原子間相互作用に基づく磁場フェッシュバッハ共鳴を発見した。これは 3 次元光格子中のモット絶縁体領域の原子に対する高分解能レーザー分光スペクトルの磁場依存性により見出したものである。図 4-1-16 に散乱長が磁場によって分散的に変化する様子を示す。これはボース同位体である ^{174}Yb に関するフェッシュバッハ共鳴であるが、図 4-1-17 に示すように、フェルミ粒子に対しても同様のフェッシュバッハ共鳴を発見した。これは、異なる電子軌道間のクーパー対によるフェルミ超流動の実現に向けた大きな一歩である。

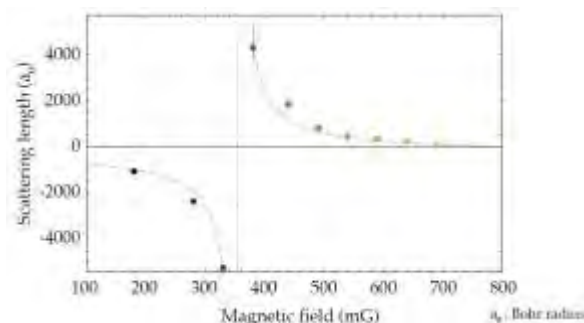


図 4-1-16 ボース同位体 ^{174}Yb の基底状態と準安定励起状態間の相互作用に関する磁場フェッシュバッハ共鳴の観測。

さらに、基底状態と準安定状態間に、狭線幅のレーザー励起によって、ラッシュバ型とドレッセルハウス型の組み合わせた実効的なスピン軌道相互作用を生成することにも成功した。これにより、これまで半導体等で観測されている多様な現象のシミュレーションが可能になるだけでなく、これを前述のフェッシュバッハ共鳴と組み合わせることにより、p-波トポロジカル超流動体の実現およびそのマヨラナエッジ状態の観測につながる可能性があり、その面においても大変重要な意義がある。

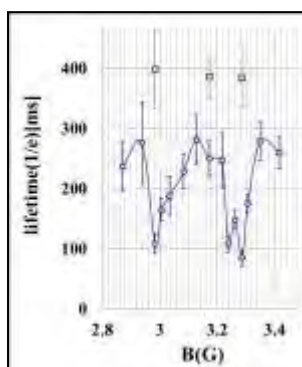


図 4-1-17 フェルミ同位体 ^{171}Yb の基底状態と準安定励起状態間の相互作用に関する磁場フェッシュバッハ共鳴の観測。赤点は準安定励起状態のみの時のデータ。

研究項目:5.「超低温極性分子の生成技術の開発」

低温の極性分子は、近年、基礎研究から応用にいたるまで幅広い分野で、興味を持たれている。特に、電子スピンをもつ極性分子に関しては、量子計算や量子スピンモデルの量子シミュレーションにとって非常に重要な役割を演じると世界的に注目されている。本クレスト研究では、特に、Yb原子とリチウム(Li)原子からなる分子YbLiに着目して研究を行った。Yb原子もLi原子も、単独では、ともに量子縮退状態までの冷却に成功している原子種であり、量子縮退した原子混合系を生成し、それをもとに極性分子を生成するという手法に適した原子種であるといえる。この、量子縮退領域の原子混合系及びそれをもとに極性分子を世界に先駆けて生成し、特にスピン自由度を活用した応用研究に展開させようというのが、本研究項目の狙いであった。

本研究の開始当初から、YbLi分子の理論面で、米国のジョンドイル教授および理論研究者であるホセインサジファー教授のグループと共同で研究を進めてきた。それによって、長寿命のYb原子の準安定状態 3P_2 に漸近する分子励起状態で期待される大きな電気双極子モーメントを利用する、という全く新しい可能性を見出し、この方向での研究を推進した。これは、超狭線幅レーザー光源を駆使した 3P_2 状態への励起によって初めて可能になるものである。

研究成果では、まず重要な第一歩として、図4-1-18(a)に示すように ^{174}Yb 原子と ^6Li 原子のボース・フェルミ混合量子系について、量子縮退領域までの冷却に達することができた。これは世界ではじめて、アルカリ原子とアルカリ土類的(2電子)原子の混合量子気体を生成したことになり、様々な応用が展開できる系でもある。また、 ^6Li 原子の温度はフェルミ温度の0.08倍程度と、非常に低温となっているが、これをYb原子の温度測定からも確認することができ、Yb原子が非常に低温のLi原子の温度計としても大変有効であることを示すことができた。

さらに、図4-1-18(b)に示すように、核スピン6成分を持つフェルミ粒子 ^{173}Yb 原子とハイパーファインスピン2成分を持つフェルミ粒子 ^6Li 原子のフェルミ・フェルミ混合量子系についても、量子縮退領域までの冷却に達することができた。また、 ^{174}Yb 原子と ^6Li 原子のボース・フェルミ混合量子系と同様に、 ^6Li 原子の温度はフェルミ温度の0.08倍程度と、非常に低温となっている。

この成果は、世界的に非常に高く評価され、この業績をまとめて報告した論文は、Physical Review Letters 誌に出版され、Editors Suggestionとして特別に取り上げられ、Physcis という Physical Review の注目論文の紹介ページで、紹介されている。

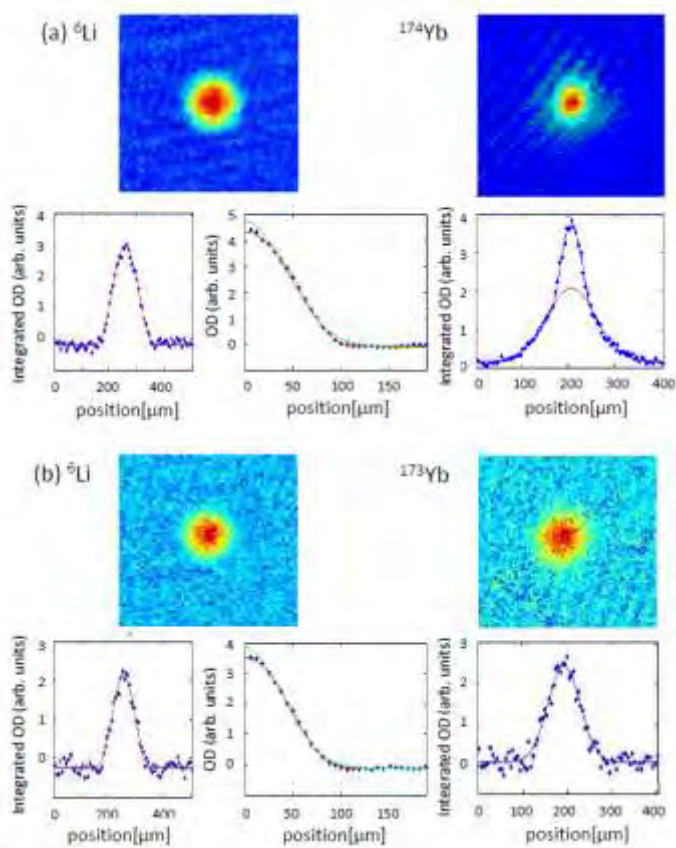


図4-1-18 Yb原子とLi原子の同時量子縮退の実現。(a) ^{174}Yb 原子と ^6Li 原子のボース・フェルミ混合量子縮退。(b) ^{173}Yb 原子と ^6Li 原子のフェルミ・フェルミ混合量子縮退。

なお、これらの研究において、JSTから支援いただいた国際強化プログラムでのジョンドイル教授との共同研究が非常に有効に機能した。

また、 ^{174}Yb 原子と ^6Li 原子の間の散乱長の絶対値および、 ^{173}Yb 原子と ^6Li 原子の間の散乱長の絶対値を、それぞれ 1.0nm および 0.9 nm と決定することができた。さらに、それらの値がほぼ同じである理由を、散乱長の質量スケールルールから説明することに成功した。

さらに、Yb 原子の準安定状態 $^3\text{P}_2$ に漸近する YbLi 励起状態分子生成に向けた重要な成果として、Yb 原子とLi原子の量子縮退混合を 3 次元光格子に導入し、超狭線幅遷移を用いて $^3\text{P}_2$ 状態へ励起することに成功したことをあげることが出来る。得られた励起スペクトルを図 4-1-19 に示す。最近の理論計算により、基底状態のLi原子と $^3\text{P}_2$ 状態の Yb 原子との間に磁場フェシュバハ共鳴が存在することが示されており、これを探索することにより、3 次元光格子中の YbLi 励起状態分子を用いた量子スピンモデルの実現にせまることができる。

一方、本研究で実現した、Li 原子とYb 原子の量子混合系は、その大きな質量比から、Li原子を遍歴する電子、Yb 原子を局在する“不純物”とみなした、“制御された”不純物系の物理の恰好の実験系としても大変注目されている。これらは、大変重要な方向性であり、アンダーソン局在、アンダーソンの直交定理、近藤効果、混合次元、など様々な物理・現象を研究できる可能性がある。残りの JST クレスト研究期間でもこれらの可能性を大いに追求していきたいと考えている。

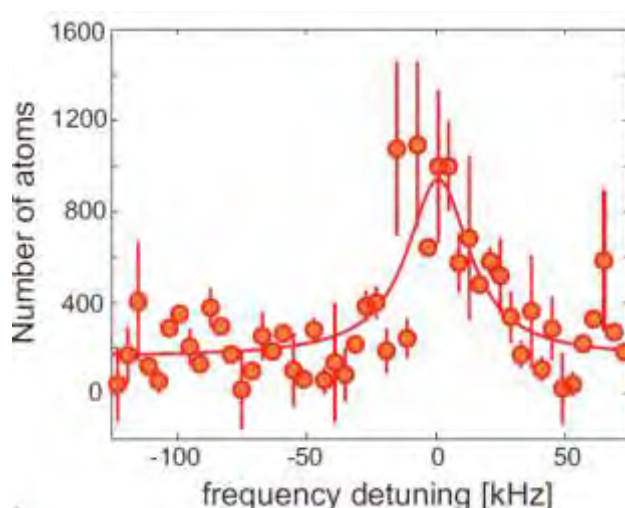


図 4-1-19 ^6Li 原子のフェルミ縮退中での 3 次元光格子の閉じ込められた ^{174}Yb 原子の準安定状態 $^3\text{P}_2$ への励起スペクトルの観測。

4.2 冷却原子のコヒーレント操作実現に向けた光源開発と高安定光格子時計の開発 (NICT グループ)

(1) 研究実施内容及び成果

1. Sr 光格子時計の開発

NICTグループにおける本CREST研究ではまずSr光格子時計の開発を推進した。本CREST研究が採択された2008年当時、Sr光格子時計は東大・JILA(米)・SYRTE(仏)の3拠点で動作しており、国際度量衡委員会時間周波数諮問委員会(CCTF)では 1.5×10^{-14} の不確かさを与えていた。一方、単一イオン時計方式では他に3つの遷移が秒の二次表現となっており、それらは全てストロンチウム光格子時計方式より小さい不確かさが与えられていた。しかしながら光格子時計の高精度化の余地は十分あり、将来これら単一イオン時計を凌駕して秒を再定義する可能性があること、また光格子時計の開発において必要となる連続波狭線幅レーザーの開発と長い原子系のコヒーレンス時間はそのまま京大グループのイッテルビウム系の精密分光実験へのツールとなることから、その開発を精力的に推進した。

Sr光格子時計は2010年秋にクロックレーザーの周波数が原子線にロックされる、いわゆる「原子時計動作」を開始した。クロックレーザーに使用する光共振器については当初CRESTグループで内製の光共振器は未だ無く、汎用的な10cm円柱型の米国製光共振器を利用していたが、横振動感度が大きく、短期安定度(1s)が 10^{-15} 台に入らなかった。そのため、振動感度がその半分程度に収まり、当初開発が進んでいたCa⁺イオン時計の光共振器を実質的な光共振器として利用した。Ca⁺時計のクロック遷移の波長は729nmであり、

光周波数コムをこの729nm連続光に安定化し、この光周波数コムにSr光格子時計の698nmクロックレーザーを安定化することによって(図4-2-1)、より安定度の優れる729nmの光共振器の短期安定度を698nm光源に転写することが出来、15乗台の短期安定度で光格子時計を動作させることが出来た(図4-2-2)。この手法が確立されたことによって、原子遷移の波長で光共振器を用意する必要がなくなる。そのため今後複数の光周波数標準を開発する国立標準研究所等においては、研究所内で最も性能の良い光共振器を利用して光周波数コムでその安定度を所望の原子遷移波長に転写することになると予測される。この成果についてはNature PhotonicsにおいてResearch Highlightとして取り上げられた。

また、系統誤差の評価を行い、原子系の不確かさとして 5×10^{-16} の結果を得た。国際原子時を利用して絶対周波数の評価も行い、429 228 004 229 873.9 (1.4)Hzと、他の4機関の測定と一致した結果を得ている。尚、ここでの不確かさ1.4Hz (3.3×10^{-15})については、国際原子時及びその周波数リンクによる不確かさが支配的である。

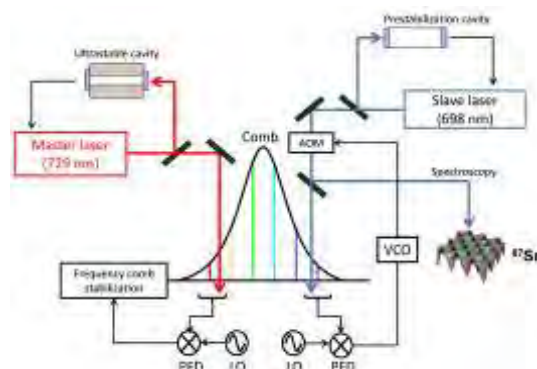


図 4-2-1 光周波数コムによる安定度転送を利用した光時計

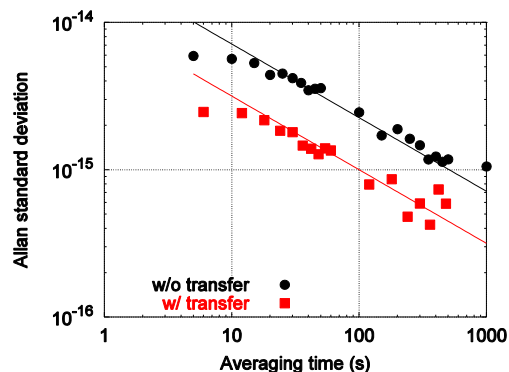


図 4-2-2 安定度転送技術による安定度の改善。

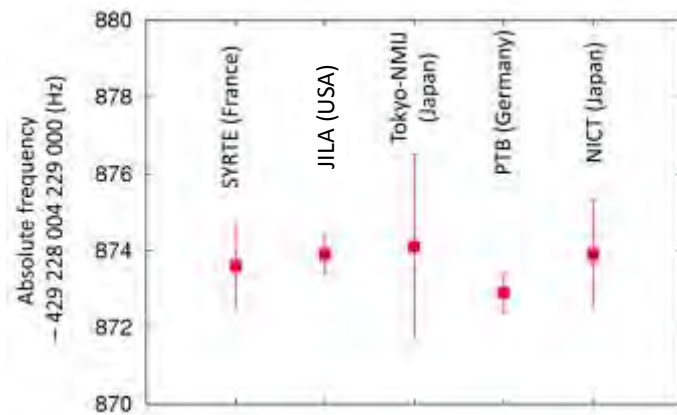


図 4-2-3 各拠点の絶対周波数. $\pm 0.5\text{Hz}$ (1.2×10^{-15}) 内で 5 拠点の中心周波数が一致しているが、絶対周波数による表現をする限り 16 乗台にある Sr 光格子時計の不確かさに基づく一致は確認出来ない

光周波数標準による秒の再定義を実現するためには、物理的に離れた地点において同一の標準周波数が得られていることが実験的、かつ定常的に確認出来るような環境を構築する必要がある。現在セシウム標準で定義されている国際原子時については GPS 並びに衛星双方向通信によって 15 乗台前半での周波数比較が定常的になされている。この現行方式による遠距離周波数比較法に頼る限り、世界中での周波数同一性は 15 桁でしか担保されず、秒を再定義するには至らない。つまり、光周波数標準そのものの不確かさは、上述のように光格子時計において 16 乗台にあり、これ以上のレベルで異なる拠点間で周波数一致を確認する手法を確立する必要がある。そこでファイバリンクによる光周波数比較の可能性を探るために、まず NICT グループは当時 NICT が推進していた JGN2Plus のネットワークの一部(小金井-大手町間)を利用して、小金井-大手町間で光周波数リンクを確立し、17 桁まで問題無く伝送出来ることを確認した。その後さらに大手町から光格子時計の開発で先行する東京大学(本郷キャンパス)まで商用線を賃借してリンクを延伸した。また、通常の通信帯シングルモードファイバによる伝送で問題になる、時間的な偏光面のふらつきにも対応してそれを補償して光ファイバノイズをキャンセルする手法を確立した。

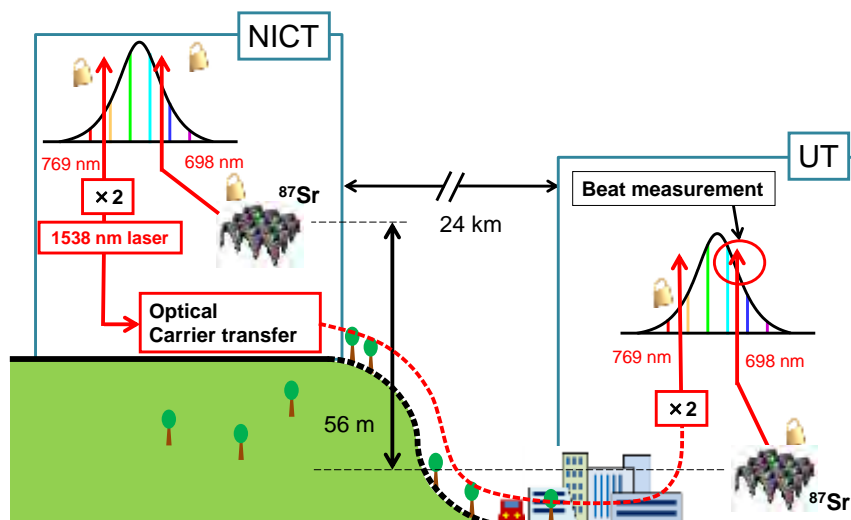


図 4-2-4 NICT-東大リンク実験の模式図

開発した光周波数リンクを利用して東京大学の Sr 光格子時計との間で周波数比較の実験を行った。NICT の光格子時計の信号光を周波数コムでコヒーレントに通信帯波長に変

換・伝送し、東大側で光格子時計の波長に戻し、周波数比較を行った。結果両拠点の標高差 65m に起因する一般相対論的周波数シフト(2.6Hz@430THz)を僅か 20 秒程度の信号積算で明瞭に確認、それを校正した結果両者の時計が物理的に離れた拠点に所在する時計として初めて 16 乗台で一致することを確認した。

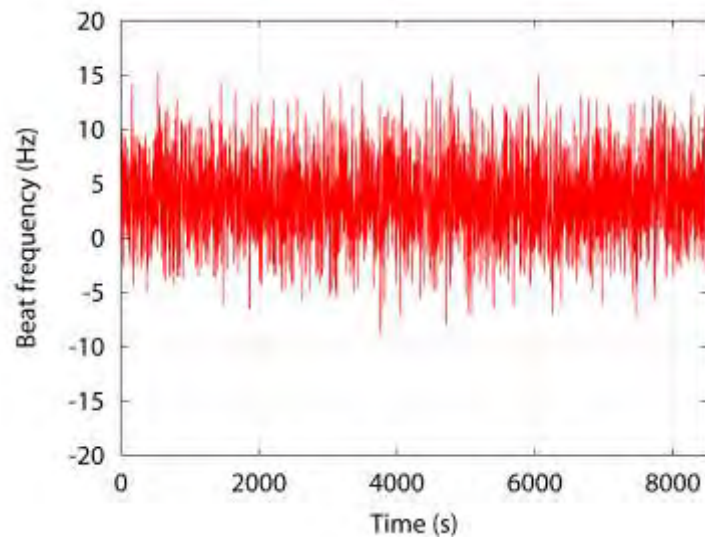


図 4-2-5 NICT の光格子時計が生成する光周波数と東大の光格子時計が生成する周波数の差。各点の信号積算時間は 1 秒。主に標高差に起因する重力ポテンシャル差による一般相対論効果によって周波数差が出ている。

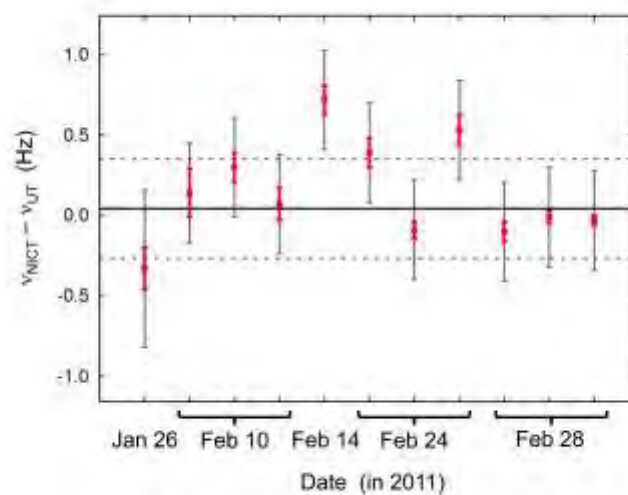


図 4-2-6 重力シフト等既知のシフト成分を校正した後の周波数差。最終結果は 0.04 ± 0.3 Hz となり遠距離離れた光時計間で初めて 16 乗台の周波数一致が確認された。

2. 光学的アクティブ除振方式の開発と内製光共振器の Sr 光格子時計への組み込み
 超狭線幅光源を実現する光共振器についてはそれを設置する除振台にも注意を払う必要がある。一般に除振台は空気バネ等によるパッシブ除振台と、振動を加速度センサで感知して台に逆向きに打ち消す振動を与えてキャンセルするアクティブ除振台がある。これらは床面の地面振動を吸収して台上に伝えないように設計されているが、低周波での除振性能については限界がある。現在市販されているフットプリントの面積が 1mX1m 程度の除振台ではパッシブ、アクティブ共に 1Hz 以下の除振性能は得られない。これに対して我々は台上の加速度センサから得られる加速度信号に呼応して光周波数をシフトさせる、フィードフォワード法によって光周波数において実効的に除振する方式「光学的アクティブ除振」を考案した。ここでは加速度計として DC 域から感度を持つサーボ加速度計を利用し、サブヘルツ域でも除振性能が出ることが大きな強みである。特にパッシブ除振台上の振動においてはサブヘルツ域に除振台の共振から来るピークがある。この方式はこのピークを打ち消すことが出来る。

考案した光学的アクティブ除振方式について、後述する航空電子グループの成膜技術の改良を受け、CREST グループ内で内製した光共振器を利用して実証実験を行った。この光共振器は、それ以前に使用していた米国製と同一形状であったが、鏡基板のスペーサーに貼り付ける位置精度や曲面鏡の研磨の精度のためか、水平方向の振動感度が $2 \times 10^{-11} / \text{ms}^{-2}$ 以下に抑えられた。残る鉛直方向の振動感度について、振動感度をアクティブ除振方式で抑制してその性能を評価した。結果図に示すように、10cm 共振器の熱雑音限界にほぼ到達することが出来た。

これまで熱雑音限界に到達するためには、振動感度を抑えるために特殊形状の共振器を用いる必要があったが、この技術によって汎用形状の円柱型光共振器と市販パッシブ除振台でこれまで到達出来なかった熱雑音限界に到達した。NICT グループではこのチーム内で内製した光共振器と開発したアクティブ光学除振方式を利用した狭線幅光源を Sr 光格子時計に組み込んで光格子時計を運用している。

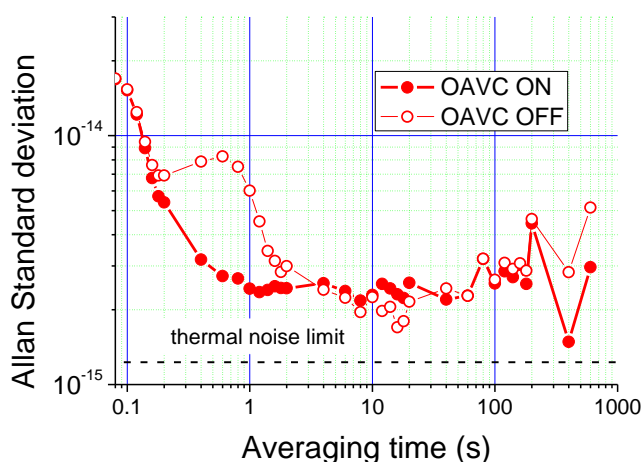


図 4-2-7 光学的アクティブ除振(OAVC)の効果。パッシブ共振器の共振周波数(0.7Hz)での共振周波数の揺らぎが抑制されていることが分かる

3. 光格子時計を周波数基準とした Ca⁺単一イオン時計の周波数測定の実験

従来の光周波数標準の研究開発はもっぱらその周波数確度や安定度を改善する方向に進んできたが、そろそろ光周波数標準を利用して実際に光周波数の測定を行うフェーズになりつつある。NICTには確度 5×10^{-16} のSr光格子時計の他に単一カルシウムイオン時計(確度 2×10^{-15})であり、今回我々はこの2つの時計の間の周波数比を $f(\text{Ca}^+) / f(\text{Sr}) = 0.957\ 631\ 202\ 358\ 049\ 9$ と 2×10^{-15} の確度で決定し、また周波数比の時間的なふらつき(安定度)も測定した。ここでは従来のマイクロ波基準に頼ることなく、周波数比を決定しており、この比率測定はSrの光学遷移を周波数基準とした測定そのものである。またここで得られた周波数比とNICTを含む世界5機関で測定されているSr光格子時計の絶対周波数の重み付き平均値との積によって得られるCa⁺遷移周波数は、国際原子時を基準として直接測定したCa⁺の絶対周波数と良い一致を示し、今回利用した全光学的手法による周波数比の測定が問題無く機能していることが確認された。そして昨年度測定したSr光格子時計の絶対周波数、今年度測定したCa⁺単一イオン時計の絶対周波数、そして周波数比測定の論文は2012年9月に開催された国際度量衡委員会(BIPM)の時間周波数諮問委員会(CCTF)に報告され、両遷移の現在のBIPMの推奨周波数においては我々の測定値が寄与している。また今後CCTFはCs基準ベースの絶対周波数のみならず、異なる光学域にある時計遷移間の周波数比についても報告を求めることになり、今回の我々の周波数比測定ははからずもそのさきがけとなった。

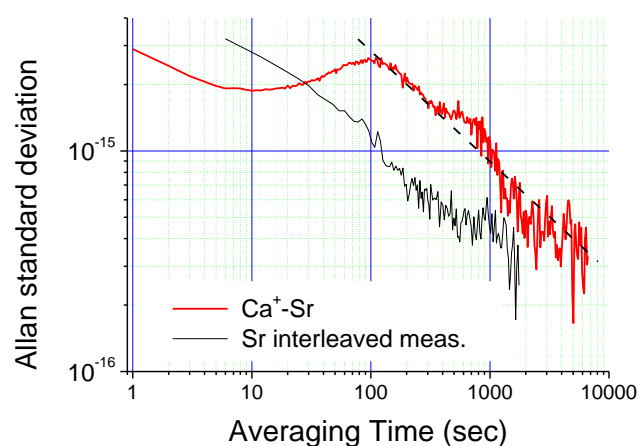


図 4-2-8 Sr 光格子時計と Ca⁺光時計の相対安定度。

4.3 超狭線幅光源の実現を目指した低損失誘電体多層膜鏡の開発 (航空電子グループ)

(1) 研究実施内容及び成果

研究を開始するにあたり、まず、それまでの条件 (図4-3-1 の条件 A) で波長 698nm 用の多層膜ミラーを作製し、反射率を測定した。結果は 99.9974% (全損失 26ppm) であった。次に成膜条件をパラメータとした実験を行った。イオンビームスパッタ法で酸化物誘電体を成膜する場合、膜のストイキオメトリーを得るために成膜中に真空チャンパー中に酸素ガスを流している。その酸素の流量とスパッタ用のイオンビームの電流の条件を変えた実験 (B~F) を行った結果、反射率を 99.999% (全損失 10ppm) まで向上させることができた。なお反射率は、NICT で光子寿命を計測し、そこから求めたものである。この条件 F で作製したミラーの散乱損失を積分球を使い測定すると 1~2ppm であり、また透過率は 1ppm 以下であった。したがって吸収損失が 7~8ppm あることになり損失の主要因となっていることがわかった。

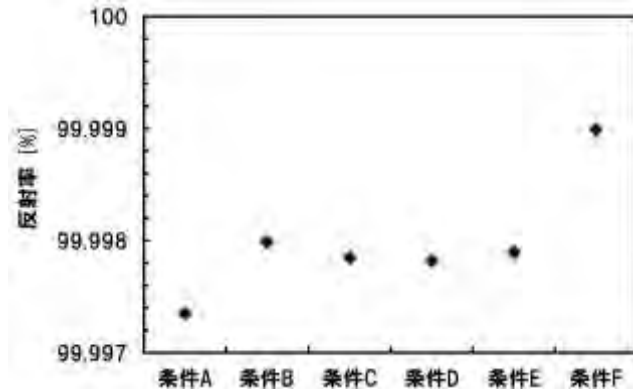


図 4-3-1 成膜条件を変えたミラーの反射率 (計測は NICT で行った)

そこで吸収損失の原因を探るために膜の分析を行った。航空電子における過去の研究により Ta_2O_5 膜は電子スピン共鳴 (ESR) で測定しても信号が得られないことがわかっている。このことは Ta_2O_5 膜中に酸素欠損 (Ta^{4+}) が存在していたとしても不対スピンを持っていないことを示している。そこで今回は不対スピンを計測するのではなく、膜中の酸素を測定するためにラマン分析を行った。 SiO_2 膜および Ta_2O_5 膜に対する結果をそれぞれ図 4-3-2(a) および図 4-3-2(b) に示す。まず、成膜直後の SiO_2 膜には O_2 からのピーク (1550 cm^{-1} 付近) がみられ O_2 が溶存していることがわかる。一方 Ta_2O_5 膜の場合は分析感度以下で O_2 のピークは検出できなかった。また後処理により SiO_2 膜中の O_2 濃度が低下することがわかった。次に図 4-3-3(a) に SiO_2 膜の後処理前後の吸収係数を示すが、成膜直後には 250nm 付近に吸収帯 (酸素欠陥やラジカルによるものであることがわかっている) が存在するが、後処理により減少していることがわかる。このことと考え合わせると、 SiO_2 膜は後処理により O_2 が膜中を拡散し酸素欠陥をつぶしているのに対し Ta_2O_5 膜は、成膜中に酸素を流しても酸素欠陥を後処理でつぶせるほど十分な量の O_2 を膜中に取り込みにくいのではないかと推察される。

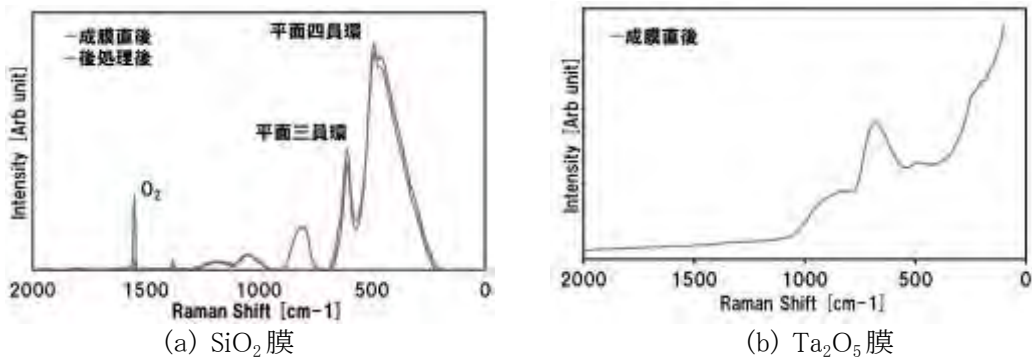


図 4-3-2 ラマン計測

以上の考察を踏まえ、さらに成膜プロセスの改善を進めた。図 4-3-3 にプロセス改善後の吸収係数をあわせて示すが、 SiO_2 膜、 Ta_2O_5 膜ともに吸収端近傍で改善されていることがわかる。この吸収係数は分光透過率の測定値から求めたため Ta_2O_5 膜については薄膜であるが故の干渉の影響を受けプリンジが 290nm より長波長側にみられる。また、平成 21 年度に導入した分光エリプソメータで屈折率を測定すると SiO_2 膜は従来のプロセスでは 1.472 だったものが 1.465、 Ta_2O_5 膜は 2.111 から 2.095 となりともに小さくなっている。

前述のように Ta_2O_5 膜の欠陥は ESR で検出することができないが、 SiO_2 膜の場合欠陥のうち何種類かについては ESR により検出することができる。そこで新旧プロセスによる差をみるために SiO_2 膜の ESR 計測を行った。我々の SiO_2 膜の場合、ESR では過酸化ラジカル ($\equiv\text{Si}-\text{O}-\text{O}\cdot$) のみが検出され E' ($\equiv\text{Si}\cdot$) や NBOHC ($\equiv\text{Si}-\text{O}\cdot$) は検出されなかった。図 4-3-4 に過酸化ラジカルの密度の変化を示す。旧プロセスで作製した SiO_2 膜は、成膜後の処理では、過酸化ラジカルを $2.8 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ までにしか低下させることができな

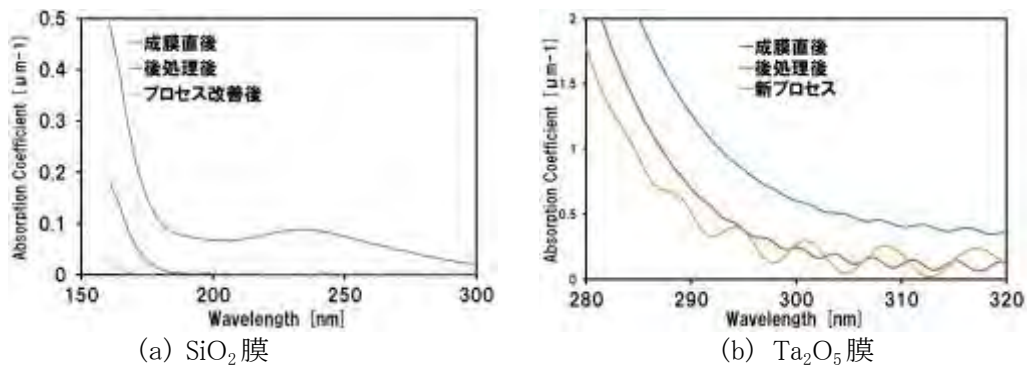


図 4-3-3 吸収係数

ったが、新プロセスで作製した SiO_2 膜は後処理により検出感度以下まで低下させることができていたことがわかった。

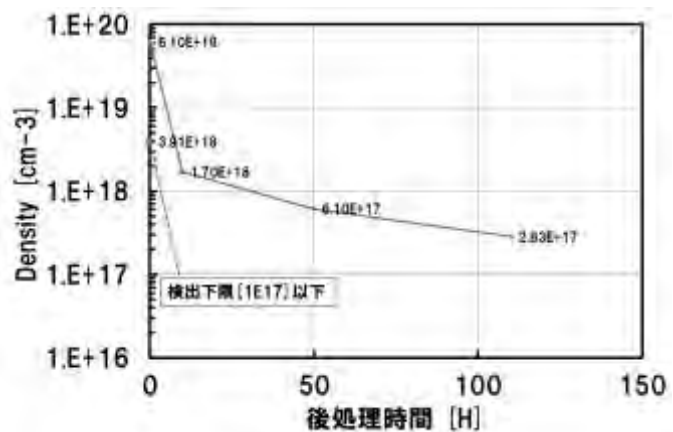
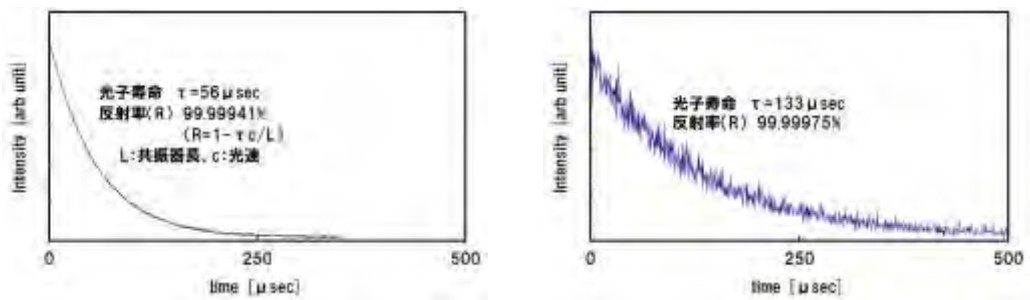


図 4-3-4 ESR 計測



(a) 波長 698nm

(b) 波長 1064nm

図 4-3-5 プロセス改善後作製した
光キャビティの光子寿命

その後波長 698nm 用の多層膜ミラーを作製し、光子寿命の測定から反射率を求めた。結果を図 4-2-5(a)に示すが、99.99941% (損失 5.9ppm) が得られている。またさらに波長 1064nm では反射率 99.99975% (損失 2.5ppm) となり目標値を達成することができた。これはフィネスにすると 1,256,000 となる。

以上の成果をふまえ、NICT 向け (波長 698nm) および京都大学向け (波長 1014nm) にミラーを作製した。そのミラーを NICT より提供されたスペーサにオプティカルコンタクトにより接合した。作製したキャビティの写真をそれぞれ図 4-2-6 (a) と (b) に示す。また NICT 向けに作製したミラーの光子寿命を測定した結果を図 4-2-7 に示す。図 4-2-5 と同等の結果が得られ、再現性があることが確認できた。



(a) NICT 向けキャビティ



(b) 京大向けキャビティ

図 4-3-6 これまでに作製したキャビティの例

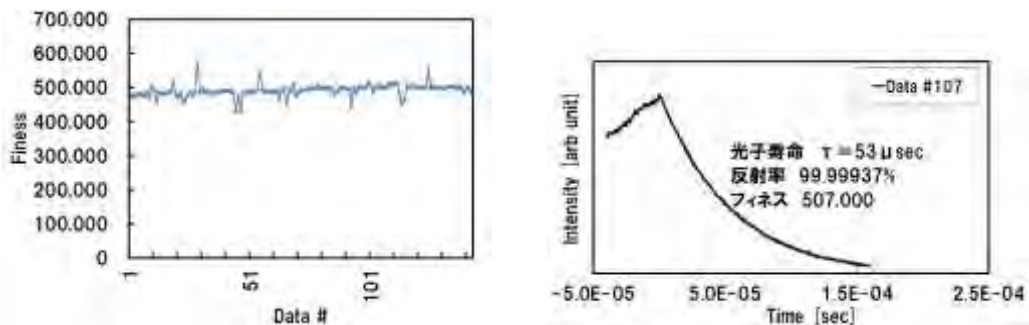


図 4-3-7 NICT 向けに作製したミラーの評価結果

さらに損失を低減するためには、活性酸素を用いることが有効な手段として考えられる。そこで現在イオンビームスパッタ装置に取り付けてあるイオンガンの動作条件を変えることで、運動エネルギーを持ったイオンを引き出すのではなく、プラズマ室に生成されているであろう活性酸素を取り出すことを試みている。

ある条件でイオンガンを動作させ、発生したビームを銀のプレートに照射した結果を図4-3-8に示す。またXMAを用いて元素分析を行った結果を表4-3-1に示す。ビームが照射されている部分は変色しており、その部分から酸素が検出されている。このことからビーム中に銀を酸化させることができる状態の酸素が含まれていることが分かる。

今後、さらにイオンガンの動作条件を最適化することを進めていく。

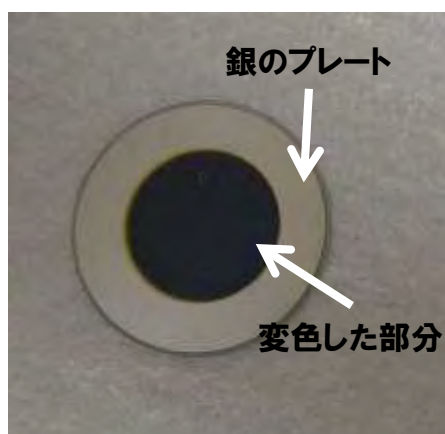


図 4-3-8 活性酸素を照射した銀プレート

元素分析結果 [at%]					
元素	C	O	Si	Ag	Total
周辺部	3.81	0	4.59	91.6	100
中心部	2.25	21.04	2.2	74.5	99.99

表 4-3-1 活性酸素を照射した銀プレートの XMA 分析結果

機械的な Q 値については、膜中の欠陥やボイド等により低下すると考えている。したがって、密度揺らぎの少ない一様な膜を作製することが求められる。これまでの改善で膜中の欠陥が減少していることから、機械的 Q 値についても改善されていることが期待できる。

4. 4 光格子中冷却原子の量子状態制御理論 (NTT グループ)

(1) 研究実施内容及び成果

NTT グループでは光格子に閉じ込められた冷却原子に対する量子状態制御理論の一環として、京大グループの光格子実験を対象とした解析に従事してきた。京大グループとは頻りにミーティングを行い、緊密な情報交換を通じて、実験と理論の強固な協力関係が構築できた。これまでに得られた顕著な成果として、京大グループのボース・フェルミ混合気体の実験、さらにはボース気体の超高分解能分光実験を定量的に説明することに成功した。

ボース・フェルミ混合気体の実験に対しては、NTT グループが独自に開発したグッツヴィラー近似に基づく計算手法を有限温度に拡張し、原子間の相互作用、閉じ込めポテンシャルの異方性、さらには重力によるポテンシャルのシフトなどの詳細な実験条件を取り込んだ数値解析を実行した。京大グループの実験データと NTT グループの理論解析とを定量的に比較することにより、この系がボソンとフェルミオン間の相互作用に強く依存して、多様な量子状態を示すことを解明した。具体的には、図 4-4-1 のように、ボソンとフェルミオン間に引力的な相互作用が働く場合、複数のボソン

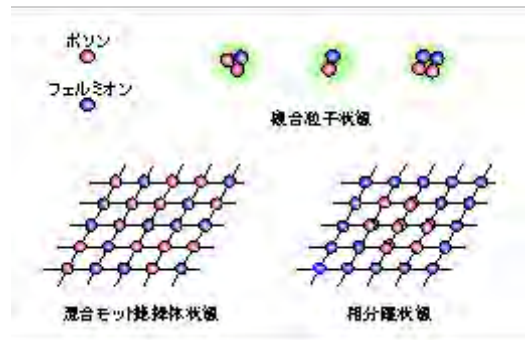


図4-4-1 ボース・フェルミ混合気体が示す多様な量子状態

とフェルミオンが合わさって一つの粒子のようになった複合粒子状態が光格子上で形成される。一方、斥力的な相互作用の場合は、ボソンとフェルミオンは避け合いながら、格子点上でそれぞれ 1 個ずつランダムに入り混じった混合モット絶縁体状態や、ボソンとフェルミオンが空間的に分離した相分離状態が実現することが明らかになった。中でも、混合モット絶縁体状態は、ボソンとフェルミオンの質量がほぼ等しい Yb 原子の混合気体を用いることで、世界で初めて確認された全く新しい量子状態である。この成果は、京大グループ、NTT グループの共著論文として、2011 年に Nature Physics に掲載され、同時に報道発表も京大と NTT の共同で実施した。

ボース気体の超高分解能分光実験に対する理論解析は、本プロジェクトの開始当初から取り組んでいた研究課題であり、初期の 1 次元光格子中の Yb ボース凝縮体の数スクイーズド状態の解明から、最近の 3 次元光格子中の Yb ボース原子気体の超流動-モット絶縁体転移の解明へと、課題自体も大いに進展している。但し、京大グループの超高分解能分光スペクトルを解析するためには、既存のスペクトル解析理論を超えた取り扱いが不可欠であった。NTT グループでは分光スペクトルが満足する総和則に着目し、絶対零度から有限温度まで、スペクトル形状を精密に解析できる一般理論の構築に成功した。特に、これまで解析が難しかった超流動-モット絶縁体転移近傍での分光スペクトルが、コヒーレンスのある超流動成分と格子点上に局在したモット絶縁体成分とで構成される二成分モデルで説明できることを初めて見出した。この理論とボース・フェルミ混合気体で成功した上述の有限温度のグッツヴィラー近似法を併用することで、京大グループの分光実験を定量的に解析することが可能となった。分光実験では、Time-of-flight 法などの従来の実験技術が適用困難な強相関・有限温度の領域が研究可能であり、分光スペクトルの解析は光格子中の冷却原子気体が示す量子相転移現象を調べる上での強力な道具立てとなっている。現在、ボース原子気体の有限温度での相図解明に向けて、京大グループと協力して研究を進めている。

これら実験の定量的解析に加え、実験に先駆けた光格子の理論として、冷却原子気体が示す量子磁性に関する一連の成果を得た。先ず、原子間相互作用や有限温度の効果を正確に取り扱うことができる強力な解析手法である自己エネルギー汎関数法を用いて、三

成分冷却フェルミ原子系が極低温で示す量子相の解析を行った。その結果、三成分に起因した新奇なモット絶縁体転移や、斥力相互作用で生じる新奇なカラー超流動相の存在を理論的に明らかにした。さらに、この計算方法を閉じ込めポテンシャルのある二成分フェルミ原子気体の解析に応用し、反強磁性転移の臨界温度を精密に導出することに成功した。これと並行して、反強磁性磁気秩序の観測法が実験的にまだ確立していない点に注目し、標準的な実験技術である **Time-of-flight** 法とフェッシュバツハ共鳴を組み合わせ、磁気秩序を簡便に観測する方法を理論提案した。我々の方法は、磁気秩序の発現によって生じた系の並進対称性の破れを原子のダイナミクスを通して測定するものであり、これまでにない全く新しい観測法となっている。一方で、ボース系に対する量子磁性の研究として、変分モンテカルロ法を2次元光格子中のスピン-1の内部自由度を持ったボース原子気体に適用し、量子揺らぎが顕著なスピン・ネマティック相の磁気特性を従来の平均場近似を超えた理論的取り扱いにより明らかにした。我々が得た量子磁性に関する一連の理論結果は将来実験的に検証されるものと期待されている。また、量子磁性以外にも、密度行列繰り込み群法を用いた“光超格子”中の冷却フェルミ原子気体の量子相転移や非断熱的ダイナミクスの解析、さらに三体ロスに抗して巨大なボース凝縮体を生成させるための蒸発冷却の最適化などの成果を得た。

NTT グループでは、光格子量子コンピュータ実現に向けた基礎理論の構築も一貫して行ってきた。実際の物理系に近い理論として、光超格子にトラップされた冷却フェルミ原子のスピン状態を利用して、量子計算に有用な量子もつれクラスター状態を高効率に生成させる方法の提案を行った。具体的には光格子の高次のワニエ軌道を利用し、フェルミ原子のスピン間に有効的にイジング相互作用を生じさせる。これにフェッシュバツハ共鳴、ペアワイズ・スキームなどの実験技術を導入し、さらに、ポスト・セレクションで操作エラーを実効的に除去することで、高いフィデリティを持ったクラスター状態がミリ秒程度の短時間で生成可能であることを明らかにした。現実的な実験パラメータを用いた詳細な数値解析からは、この方法がスケーラビリティに優れ、十分実現可能であることが示された。これは、今後の量子計算への応用が期待できる優れた成果であり、特許申請も完了している。また、量子計算以外にも、この方法が、量子シミュレーションとして光格子中の冷却原子を用いた磁性研究に応用可能であることも明らかになった。

これとは別に、量子計算に関する純粋基礎理論も進展し、これまでにいくつかの重要な成果が得られた。量子計算を実行するに際しては量子ビットの状態を非常に高い精度で制御することが必須となるが、光を用いて制御する場合、光の持つ量子力学的特性に起因して原理的な制御限界が存在することを明らかにした。また、一方で、近年注目されているトポロジカル量子計算において、誤り耐性のある量子計算方式を新たに見出し、誤り確率が非常に高い量子ゲートを用いても量子計算が可能であることを初めて示した。これは、トポロジカル量子計算では誤り確率の低い量子ゲートが不可欠であるとしてきた従来からの考えに大幅な修正をもたらす成果である。加えて、一般的な格子形状に基づくトポロジカル表面コードがエラーやロスに対してどのような耐性を示すかを詳細に調べ、理論的に解明した。

§5 成果発表等

(1)原著論文発表(国内(和文)誌 件、国際(欧文)誌 56 件)

[KU-1] Hideaki Hara, Hideki Konishi, Shuta Nakajima, Yosuke Takasu, and Yoshiro Takahashi, "A Three-Dimensional Optical Lattice of Ytterbium and Lithium Atomic Gas Mixture", *Journal of the Physical Society of Japan*, Vol.83, 014003-1-8(2013,12,12)
DOI: <http://dx.doi.org/10.7566/JPSJ.83.014003>

[KU-2] Kosuke Shibata, Ryuta Yamamoto, and Yoshiro Takahashi, "High-sensitivity in situ fluorescence imaging of ytterbium atoms in a 2D optical lattice with dual optical molasses", *Journal of the Physical Society of Japan*, Vol.83, 014301-1-8(2013,12,10)
DOI: <http://dx.doi.org/10.7566/JPSJ.83.014301>

[KU-3] Makoto Yamashita, Shinya Kato, Atsushi Yamaguchi, Seiji Sugawa, Takeshi Fukuhara, Satoshi Uetake, and Yoshiro Takahashi, "Strongly interacting array of Bose-Einstein condensates trapped in a one-dimensional optical lattice", *Phys. Rev. A* 87, 4, (2013.4.29) ([NTT-3 計上])
(DOI:10.1103/PhysRevA.87.041604)

[KU-4] Shinya Kato, Seiji Sugawa, Kosuke Shibata, Ryuta Yamamoto, and Yoshiro Takahashi, "Control of Resonant Interaction between Electronic Ground and Excited States", *Phys. Rev. Lett.* 110, 17, (2013.4.23)
(DOI:10.1103/PhysRevLett.110.173201)

[KU-5] Ryotaro Inoue, Shin-Ichi-Ro Tanaka, Ryo Namiki, Takahiro Sagawa, and Yoshiro Takahashi, "Unconditional Quantum-Noise Suppression via Measurement-Based Quantum Feedback", *Phys. Rev. Lett.* 110, 16 (2013.4.15)
(DOI:10.1103/PhysRevLett.110.163602)

[KU-6] Rekishu Yamazaki, Shintaro Taie, Seiji Sugawa, Katsunari Enomoto, and Yoshiro Takahashi, "Observation of a p-wave Optical Feshbach Resonance", *Phys. Rev. A* 87, 1, (2013.1.22)
(DOI:10.1103/PhysRevA.87.010704)

[KU-7] Shinya Kato, Rekishu Yamazaki, Kosuke Shibata, Ryuta Yamamoto, Hirotaka Yamada, and Yoshiro Takahashi, "Observation of long-lived van der Waals molecules in an optical lattice", *Phys. Rev. A* 86, 4, (2012.10.8)
(DOI:10.1103/PhysRevA.86.043411)

[KU-8] S. Uetake, R. Murakami, J. M. Doyle, Y. Takahashi, "Spin-dependent collision of ultracold metastable atoms", *Phys. Rev. A* 86, 3, (2012.9.25)
(DOI 10.1103/PhysRevA.86.032712)

[KU-9] S. Taie, S. Sugawa, R. Yamazaki, and Y. Takahashi, "An SU(6) Mott insulator of an atomic Fermi gas realized by large-spin Pomeranchuk cooling", *Nature Physics*.8, (2012.9.23)
(DOI:10.1038/nphys2430)

[KU-10] Y. Takasu, Y. Saito, Y. Takahashi, M. Borkowski, R. Ciurylo, and P. Julienne "Controlled Production of Subradiant States of a Diatomic Molecule in an Optical Lattice", *Phys. Rev. Lett.* 108, 17, (2012.4.23)

(DOI:10.1103/PhysRevLett.108.173002)

[KU-11] S. Kato, K. Shibata, R. Yamamoto, Y. Yoshikawa, and Y. Takahashi, "Optical magnetic resonance imaging with an ultra-narrow optical transition", *Appl. Phys. B* 108,1, (2012.2.7)

(DOI:10.1007/s00340-012-4893-0)

[KU-12] Mateusz Borkowski, Roman Ciurylo, Paul S. Julienne, Rekishu Yamazaki, Hideaki Hara, Katsunari Enomoto, Shintaro Taie, Seiji Sugawa, Yosuke Takasu, and Yoshiro Takahashi, "Photoassociative production of ultracold heteronuclear ytterbium molecules", *Phys. Rev. A* 84, 3, (2011.9.14)

(DOI:10.1103/PhysRevA.84.030702)

[KU-13] Seiji Sugawa, Rekishu Yamazaki, Shintaro Taie, and Yoshiro Takahashi, "Bose-Einstein condensate in gases of rare atomic species", *Phys. Rev. A* 84, 1, (2011.7.27)

(DOI:10.1103/PhysRevA.84.011610)

[KU-14] S. Sugawa, K. Inaba, S. Taie, R. Yamazaki, M. Yamashita, and Y. Takahashi, "Interaction and fling-induced quantum phases of dual Mott insulators of bosons and fermions", *Nature Physics*.7, (2011.6.26)

(DOI:10.1038/nphys2028)

[KU-15] H. Hara, Y. Takasu, Y. Yamaoka, J. Doyle, and Y. Takahashi, "Quantum Degenerate Mixtures of Alkali and Alkali-earth-like Atoms", *Phys. Rev. Lett.* 106, 20, (2011.5.19)

(DOI:10.1103/PhysRevLett.106.205304)

[KU-16] S. Taie, Y. Takasu, S. Sugawa, R. Yamazaki, T. Tsujimoto, R. Murakami, and Y. Takahashi, "Realization of a $SU(2) \times SU(6)$ System of Fermions in a Cold Atomic Gas", *Phys. Rev. Lett* 105, 19, (2010.11.1)

(DOI:10.1103/PhysRevLett.105.190401)

[KU-17] Masatoshi Sato, Yoshiro Takahashi, and Satoshi Fujimoto, "Non-Abelian topological orders and Majorana fermions in spin-singlet superconductors", *Phys. Rev. B* 82, 13(2010.10.18)

(DOI:10.1103/PhysRevB.82.134521)

[KU-18] A. Yamaguchi, S. Uetake, S. Kato, H. Ito, and Y. Takahashi, "High-resolution laser spectroscopy of a Bose-Einstein condensate using the ultranarrow magnetic quadrupole transition", *New J. Phys.* 12, 10, (2010.10.5)

(DOI:10.1088/1367-2630/12/10/103001)

[KU-19] R. Yamazaki, S. Taie, S. Sugawa, and Y. Takahashi, "Submicron Spatial Modulation of an Interatomic Interaction in a Bose-Einstein Condensate", *Phys. Rev. Lett* 105, 5, (2010.7.30)

(DOI:10.1103/PhysRevLett.105.050405)

[KU-20] T. Takano, S. Tanaka, R. Namiki, and Y. Takahashi, "Manipulation of Nonclassical Atomic Spin States", *Phys. Rev. Lett* 104, 1, (2010.1.5).

(DOI:10.1103/PhysRevLett.104.013602)

[KU-21] K. Shibata, S. Kato, A. Yamaguchi, S. Uetake, and Y. Takahashi, "A scalable quantum computer with ultranarrow optical transition of ultracold neutral atoms in an

optical lattice", Appl. Phys. B 97, 4, (2009.9.12)
(DOI:10.1007/s00340-009-3696-4)

[KU-22] M. Okano, H. Hara, M. Muramatsu, K. Doi, S. Uetake, Y. Takasu, and Y. Takahashi, "Simultaneous magneto-optical trapping of lithium and ytterbium atoms towards production of ultracold polar molecules", Applied Physics B, 98, 4, (2009,9,11)
(DOI:10.1007/s00340-009-3728-0)

[KU-23] M. Borkowski, R. Ciurylo, P. S. Julienne, S. Tojo, K. Enomoto, and Y. Takahashi "Line shapes of optical Feshbach resonances near the intercombination transition of bosonic ytterbium", Phys. Rev. A 80, 1, (2009.7.29)
(DOI:10.1103/PhysRevA.80.012715)

[KU-24] M. Sato, Y. Takahashi, and S. Fujimoto, "Non-Abelian Topological Order in s-Wave Superfluids of Ultracold Fermionic Atoms", Phys. Rev. Lett 103, 2, (2009.7.6)
(DOI:10.1103/PhysRevLett.103.020401)

[KU-25] T. Fukuhara, S. Sugawa, M. Sugimoto, S. Taie, and Y. Takahashi, "Mott insulator of ultracold alkaline-earth-metal-like atoms", Phys. Rev. A 79, 4, (2009.4.20)
(DOI:10.1103/PhysRevA.79.041604)

[KU-26] T. Fukuhara, T. Tsujimoto and Y. Takahashi, "Quadrupole oscillations in a quantum degenerate Bose Fermi mixture", Appl. Phys. B 96, 2-3, (2009.2.13)
DOI 10.1007/s00340-009-3375-5

[KU-27] T. Fukuhara, S. Sugawa, Y. Takasu, and Y. Takahashi, "All-Optical Formation of Quantum Degenerate Mixtures", Phys. Rev. A 79, 2, (2009.2.3)
(DOI:10.1103/PhysRevA.79.021601)

[KU-28] T. Takano, M. Fuyama, R. Namiki, and Y. Takahashi, "Spin squeezing of a cold atomic ensemble with the nuclear spin of one-half", Phys. Rev. Lett 102, 3, (2009.1.22)
(DOI: 10.1103/PhysRevLett.102.033601)

[NICT-1] Kensuke Matsubara, Hidekazu Hachisu, Ying Li, Shigeo Nagano, Clayton Locke, Asahiko Nogami, Masatoshi Kajita, Kazuhiro Hayasaka, Tetsuya Ido and Mizuhiko Hosokawa, "Direct comparison of a Ca⁺ single-ion clock against a Sr lattice clock to verify the absolute frequency measurement", Optics Express, vol. 20, No. 20, 1, 2012
(DOI: 10.1364/OE. 20. 022034)

[NICT-2] A.Yamaguchi, N. Shiga, S. Nagano, Y. Li, H. Ishijima, H. Hachisu, M. Kumagai, and T. Ido: "Stability transfer between two clock lasers operating at different wavelengths for absolute frequency measurement of clock transition in ⁸⁷Sr" Applied Physics Express, 5, 022701 (2012).
<http://dx.doi.org/10.1143/APEX.5.022701>

[NICT-3] Miho Fujieda, Motohiro Kumagai, Shigeo Nagano, Atsushi Yamaguchi, Hidekazu Hachisu, and Tetsuya Ido: "All-optical link for direct comparison of distant optical clocks", Opt. Express, 19, 16498 (2011).
<http://dx.doi.org/10.1364/OE.19.016498>

[NICT-4] Atsushi Yamaguchi, Miho Fujieda, Motohiro Kumagai, Hidekazu Hachisu, Shigeo Nagano, Ying Li, Tetsuya Ido, Tetsushi Takano, Masao Takamoto, and Hidetoshi

Katori: “Direct Comparison of Distant Optical Lattice Clocks at the 10^{-16} Uncertainty”
Appl. Phys. Express, 4, 082203 (2011).
DOI: 10.1143/APEX.4.082203

[NTT-1] Hiromitsu Imai, Kensuke Inaba, Haruko Tanji-Suzuki, Makoto Yamashita, and Tetsuya Mukai, “Bose-Einstein condensate on a persistent-supercurrent atom chip”, published online in Applied Physics B: Laser and Optics, 2014.2.14 Published online
(DOI: 10.1007/s00340-014-5768-3)

[NTT-2] Kensuke Inaba, Yuuki Tokunaga, Kiyoshi Tamaki, Kazuhiro Igeta, and Makoto Yamashita, “High-Fidelity Cluster State Generation for Ultracold Atoms in an Optical Lattice”, Physical Review Letters, vol. 112, pp. 110501-1-5, 2014
(DOI: 10.1103/PhysRevLett.112.110501)

[NTT-3] Makoto Yamashita, Shinya Kato, Atsushi Yamaguchi, Seiji Sugawa, Takeshi Fukuhara, Satoshi Uetake, and Yoshiro Takahashi, “Strongly interacting array of Bose-Einstein condensates trapped in a one-dimensional optical lattice”, Physical Review A, vol. 87, pp. 041604(R)-1-5, 2013, ([KU-3]計上済)
(DOI: 10.1103/PhysRevA.87.041604)

[NTT-4] Kensuke Inaba and Sei-ichiro Suga, “SUPERFLUID, STAGGERED STATE, AND MOTT INSULATOR OF REPULSIVELY INTERACTING THREE-COMPONENT FERMIONIC ATOMS IN OPTICAL LATTICES”, Modern Physics Letters B, vol. 27, pp. 1330008-1-24, 2013
(DOI: 10.1142/S0217984913300081)

[NTT-5] Kazuhiro Igeta, Masato Koashi, and Nobuyuki Imoto, “Fundamental limit to qubit control with coherent field”, Physical Review A, vol. 87, pp. 022321-1-8, 2013
(DOI: 10.1103/PhysRevA.87.022321)

[NTT-6] Sei-ichiro Suga and Kensuke Inaba, “Perturbative approach to three-component fermionic atoms in optical lattices”, Journal of Physics: Conference Series, vol. 391, 012166-1-4, 2012
(DOI: 10.1088/1742-6596/391/1/012166)

[NTT-7] Keisuke Fujii and Yuuki Tokunaga, “Error and loss tolerances of surface codes with general lattice structures”, Physical Review A, vol. 86, pp. 020303(R)-1-5, 2012
(DOI: 10.1103/PhysRevA.86.020303)

[NTT-8] Kensuke Inaba and Sei-ichiro Suga, “Superfluid state of repulsively interacting three-component fermionic atoms in optical lattices”, Physical Review Letters, vol. 108, pp. 255301-1-5, 2012
(DOI: 10.1103/PhysRevLett.108.255301)

[NTT-9] Yuta Toga, Hiroki Tsuchiura, Makoto Yamashita, Kensuke Inaba, and Hisatoshi Yokoyama, “Mott Transition and Spin Structures of Spin-1 Bosons in Two-Dimensional Optical Lattice at Unit Filling”, Journal of the Physical Society of Japan, vol. 81, pp. 063001-1-4, 2012
(DOI: 10.1143/JPSJ.81.063001)

[NTT-10] Takahiko Shobu, Hironobu Yamaoka, Hiromitsu Imai, Atsuo Morinaga, and Makoto Yamashita, “Optimized evaporative cooling for sodium Bose-Einstein condensation against three-body loss”, Physical Review A, vol. 84, pp. 033626-1-9, 2011

(DOI: 10.1103/PhysRevA.84.033626)

[NTT-11] Shinya Miyatake, Kensuke Inaba and Sei-ichiro Suga, “Color superfluidity and trionic state of three-component lattice fermionic atoms”, *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 273, pp. 012008-1-4, 2011
(DOI:10.1088/1742-6596/273/1/012008)

[NTT-12] Sei-ichiro Suga and Kensuke Inaba, “Three-component Repulsive Fermionic Atoms in Optical Lattices at Finite Temperatures”, *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 273, pp. 012016-1-4, 2011
(DOI: 10.1088/1742-6596/273/1/012016)

[NTT-13] Hitoshi Yoshizumi, Kensuke Inaba, Tomoko Kita and Sei-ichiro Suga, “Two-orbital Kondo effect in a quantum dot coupled to ferromagnetic leads”, *Physical Review B*, vol.83, pp. 155310-1-8, 2011
(DOI: 10.1103/PhysRevB.83.155310)

[NTT-14] Kensuke Inaba and Sei-ichiro Suga, “Color Superfluid and Trionic State of Attractive Three-Component Fermionic Atoms at Finite Temperatures”, *Modern Physics Letters B*, vol. 25, pp. 987-994, 2011
(DOI: 10.1142/S021798491102670X)

[NTT-15] Keisuke Fujii and Yuuki Tokunaga, “Fault-Tolerant Topological One-Way Quantum Computation with Probabilistic Two-Qubit Gates”, *Physical Review Letters*, vol. 105, pp. 250503-1-4, 2010
(DOI: 10.1103/PhysRevLett.105.250503)

[NTT-16] Shinya Miyatake, Kensuke Inaba, and Sei-ichiro Suga, “Three-component fermionic atoms with repulsive interaction in optical lattices”, *Physical Review A*, vol. 81, pp. 021603 (R)-1-4, 2010
(DOI: 10.1103/PhysRevA.81.021603)

[NTT-17] Shinya Miyatake, Kensuke Inaba, and Sei-ichiro Suga, “Color-selective Mott transition and color superfluid of three-component fermionic atoms with repulsive interaction in optical lattices”, *Physica C*, vol. 470, S916–S918, 2010
(DOI: 10.1016/j.physc.2009.11.162)

[NTT-18] Kensuke Inaba, Shinya Miyatake, and Sei-ichiro Suga, “Mott transitions of three-component fermionic atoms with repulsive interaction in optical lattices”, *Physical Review A*, vol. 82, No. 5, pp.051602(R)-1-4, 2010
(DOI: 10.1103/PhysRevA.82.051602)

[NTT-19] Kensuke Inaba and Makoto Yamashita, “Time-of-Flight Imaging Method to Observe Signatures of Antiferromagnetically Ordered States of Fermionic Atoms in an Optical Lattice”, *Physical Review Letters*, vol. 105, No. 17, pp. 173002-1-4, 2010
(DOI: 10.1103/PhysRevLett.105.173002)

[NTT-20] Kensuke Inaba and Makoto Yamashita, “Thermodynamic properties of two-component fermionic atoms trapped in a two-dimensional optical lattice”, *Physical Review A*, vol. 81, No. 6, pp. 063615-1-8, 2010
(DOI: 10.1103/PhysRevA.81.063615)

[NTT-21] Atsushi Yamamoto, Makoto Yamashita, and Norio Kawakami, “Nonadiabatic

dynamics of ultracold fermions in optical superlattices”, Journal of the Physical Society of Japan, vol. 78, pp. 123002-1-4, 2009
(DOI: 10.1143/JPSJ.78.123002)

[NTT-22] Atsushi Yamamoto, Makoto Yamashita, and Norio Kawakami, “Trapped ultracold fermions in double-well optical lattices”, Journal of the Physical Society of Japan, vol. 78, pp. 124001-1-7, 2009 (DOI: 10.1143/JPSJ.78.124001)

[NTT-23] Kensuke Inaba and Sei-ichiro Suga, “Finite-temperature properties of attractive three-component fermionic atoms in optical lattices”, Physical Review A, vol. 80, pp. 041602(R)-1-4, 2009 (DOI: 10.1103/PhysRevA.80.041602)

[NTT-24] Makoto Yamashita and Michael W. Jack, “Mott-insulator shells in the three-dimensional Bose-Hubbard model with harmonic confinement”, Physical Review A, vol. 79, pp. 023609-1-9, 2009 (DOI: 10.1103/PhysRevA.79.023609)

(2)その他の著作物(原著論文以外の総説、解説、単行本など書籍)

[KU-1]中島秀太・高橋義朗, 冷却原子を用いた量子シミュレーション, 固体物理<量子コンピューターへの道>特集号 Vol.48, No.11, 2013, p155-163(2013)

[KU-2] S. Sugawa, Y. Takasu, K. Enomoto and Y. Takahashi, Chapter1 “Ultracold Ytterbium: Generation, Many-body Physics, and Molecules”, in *Annual Review of Cold Atoms and Molecules: Volume 1*.(edited by K. W. Madison, Y. Wang, Ana Maria Rey, and K. Bongs, World Scientific, 2013)

[KU-3] 田家慎太郎,素川靖司,山崎歴舟,高橋義朗, 光格子を用いた量子シミュレーション, 固体物理(動的光物性の新展開)特集号, Vol.46, No.11, 2011年11月号

[KU-4] 植竹智,高橋義朗, “超狭線幅遷移を用いた量子気体の高分解能レーザー分光”, レーザー研究, 第38巻, 7号, P487(2010)

[KU-5] 素川靖司, 高橋義朗, “光格子を用いた量子シミュレーション”, 応用物理, 第79巻, 2号, 0140-0144(2010)

[NICT-1] Tetsuya Ido, Frequency Standards Transferring from Microwave to Optical—Status of next-generation optical atomic clocks toward redefining the second—, New Breeze, 2013 Summer

[NICT-2] 井戸哲也, マイクロ波から光へ舞台を移す周波数標準～秒の再定義を見据えて加速する次世代光原子時計開発の現状, ITU ジャーナル 2013年8月号

[NICT-3] 井戸哲也 藤枝美穂, 時刻・周波数標準の遠距離比較伝送技術の現状と将来 日本物理学会誌 2013年4月号

[NICT-4] ニュース解説 6500万年に僅か1秒の誤差・光格子時計の精度を世界で初めて光ファイバで結び実証 電子情報通信学会誌 2011年12月号

[NICT-5] 井戸哲也, 光ファイバーリンクによる光格子時計の遠距離周波数比較, OplusE 2011年11月号

[航空電子-1] 江藤 和幸、極低損失誘電体多層膜鏡の開発、航空電子技報 No.36、2014

[NTT-1] 山下眞, 稲葉謙介, “光格子中のボース・フェルミ混合原子気体が示す多様な量子相”, 日本物理学会誌, vol. 67, no. 10, pp.690-695, 2012

[NTT-2] Makoto Yamashita and Kensuke Inaba, “Quantum Simulation with Ultracold Atomic Gases in an Optical Lattice”, NTT Technical Review, vol. 10, no. 9, 2012

[NTT-3] 山下眞, 稲葉謙介, “光格子中の冷却原子気体を用いた量子シミュレーション”, NTT 技術ジャーナル, vol. 24, no. 6, pp.27-30, 2012

[NTT-4] Yuuki Tokunaga, “Measurement-based Quantum Computation and the Fault-tolerant System”, NTT Technical Review, vol. 9, no. 7, 2011

(3)国際学会発表及び主要な国内学会発表

① 招待講演 (国内会議 39 件、国際会議 57 件)

[KU-1] Y. Takahashi(Kyoto Univ.), “Quantum Simulator of Strongly Interacting Quantum Many-Body Systems Using Atoms”, International Molecule-type Workshop on New correlations in exotic nuclei and advances of theoretical models, Yukawa Institute, Kyoto University, Kyoto, 2014.3.18

[KU-2] Y. Takahashi(Kyoto Univ.), “Quantum Simulation Using Ultracold Ytterbium”, FIRST International Symposium on “Topological Quantum Technology”, Hongo Campus, Univ. of Tokyo, Tokyo, 2014.1.29

[KU-3] Y. Takahashi(Kyoto Univ.), “Possible Topological Superfluid using Ultracold Ytterbium Atoms”, Topological Quantum Phenomena in Condensed Matter with Broken Symmetries The Fourth Annual Meeting, Nagoya University, Nagoya, 2013.12.20

[KU-4] 高橋義朗(京大), 光格子中の冷却原子実験, 日本物理学会 2013 年秋季大会, 徳島大学常三島キャンパス, 徳島市, 2013/9/27

[KU-5] Takahashi Yoshiro(Kyoto Univ.), “Quantum Magnetism of Cold Atoms in an Optical Lattice”, QFS2013(International Symposium on Quantum Fluids and Solids), P2.2, くにびきめっせ, 松江市, 2013.8.2

[KU-6] Takahashi Yoshiro(Kyoto Univ.), “Quantum Simulation Using Ultracold Ytterbium Atoms in an Optical Lattice”, APPC12(第 12 回アジア太平洋物理会議), B3-2-I4, 幕張メッセ、千葉市, 2013.7.17

[KU-7] Yoshiro Takahashi(Kyoto Univ.), “Ultracold Ytterbium atoms in an optical lattice”, SFB/ZOQ Colloquia SoSe 2013, Center for Optical Quantum Technologies Seminar room, The Institute of Laser Physics, University of Hamburg, Germany, 2013.6.12

[KU-8] Yoshiro Takahashi(Kyoto Univ.), “Ultracold Ytterbium Atoms in an Optical Lattice”, Coherent Control of Complex Quantum Systems(C3QS 2014), OIST Seaside House, Okinawa, Japan 2013.5.11

[KU-9] Yoshiro Takahashi(Kyoto Univ.), “Quantum simulation with ultracold ytterbium atoms”, The 11th US-Japan Joint Seminar on Quantum Electronics and Laser

Spectroscopy “Ultimate Quantum Systems of Light and Matter- Control and Applications”, Nara Prefectural New Public Hall, Nara, 2013.4.10

[KU-10] 高橋義朗(京大), “光格子を用いた凝縮系の量子シミュレーション”, 第5回超高速時間分解光計測研究会, ホテルクラウンパレス浜松3階松の間, 浜松, 2013年2月21日

[KU-11] Yoshiro Takahashi(Kyoto Univ.), “Quantum simulation using ultracold ytterbium atoms in an optical lattice”, The 72nd Okazaki Conference on "Ultimate Control of Coherence", Okazaki Conference Center, Okazaki, Japan, 2013年1月8日

[KU-12] Yoshiro Takahashi(Kyoto Univ.), “Ultracold Ytterbium atoms in an optical lattice”, Workshop on Orbital Physics in Cold Atom Systems, Institute of Physics, Chinese Academy of Science, Beijing, China, 2013年1月5日

[KU-13] 高橋義朗(京大), “ボース凝縮体の超高分解能光会合分光によるナノスケールでの重力補正項の検証”, 中性子物理研究会, 名古屋大学東山キャンパス理学南館セミナー室, 愛知, 2012年11月21日

[KU-14] Shintaro Taie(Kyoto Univ.), “Exploring many-body physics using ytterbium atoms in optical lattices”, The 5th International workshop on ultracold group II atoms, p28, NICT, Koganei, Tokyo, JAPAN, 2012年10月11日

[KU-15] 井上遼太郎(京大), “量子測定とフィードバックによる有用な量子状態の生成および制御”, 日本物理学会2012年秋季大会, 横浜国立大学, 横浜市, 2012年9月19日

[KU-16] 高橋義朗(京大), “超低温原子気体の精密量子制御: 強相関量子多体系の量子シミュレーションと基礎物理学への応用”, 益川塾セミナー, 京都産業大学, 京都市, 2012年7月14日

[KU-17] 素川靖司(京大), “Strongly Correlated Quantum Phases in Ultracold Mixtures of Bosons and Fermions in Optical Lattices”, Supersolidity in Nature セッション 2: Cold Atoms in Optical Lattice, abstract page4, 理化学研究所大河内記念ホール(埼玉), 2012年6月11日

[KU-18] Yoshiro Takahashi(Kyoto Univ.), “冷却極性分子を用いた 原子核起源 EDM 探索の可能性”, 立命館大学 EDM workshop, Kinugasa Campus, Ritsumeikan University(Kyoto), 2012年6月1日

[KU-19] Yoshiro Takahashi(Kyoto Univ.), “Prospects for nuclear EDM search with ultracold molecules”, Workshop on eEDM with Molecules 「分子を用いた電子の双極子モーメント測定に関する研究会」, 東京大学駒場キャンパス(東京), 2012年5月20日

[KU-20] Yoshiro Takahashi(Kyoto Univ.), “Ultracold Ytterbium Atoms in an Optical Lattice”, CUA seminar talk, MIT, Cambridge, MA, USA, 2012年5月1日

[KU-21] Yoshiro Takahashi(Kyoto Univ.), “Quantum Simulation using Ultracold Ytterbium in an Optical Lattice”, Yale University Seminar, Yale University, New Heaven, USA, 2012年4月30日

[KU-22] Yoshiro Takahashi(Kyoto Univ.), “Quantum Degenerate Mixtures of Alkali and Alkaline-Earth-Like Atoms”, Research Frontiers in Ultra-Cold Atoms and Molecules: Unequal Mass Mixtures and Dipolar Molecules, Session II – Ultra-cold Mixtures; Chair:

Hanns-Christoph Naegerl, abstract page25, HARVARD-SMITHSONIAN CENTER, CAMBRIDGE, MA,USA, 2012 年 4 月 23 日

[KU-23] 吉川豊(京大), “超放射ラマン散乱を用いた物質波のコヒーレント制御”, 岡山大学極限量子研究コアセミナー, 2012 年 4 月 5 日

[KU-24] 吉川豊(京大), “超放射ラマン散乱を用いた物質波のコヒーレント制御”, 日本物理学会 2012 年春季大会, 関西学院大学, 2012.3.25

[KU-25] 山崎歴舟, 中村悠介, 田家慎太郎, 素川靖司, 高橋義朗(京大), “Prospects of the Ultra-Narrow Optical Feshbach Resonances in Yb Quantum Simulator”, Ultracold Gases: Superfluidity and Strong Correlations (USS-2012)、東京理科大学神楽坂キャンパス森戸記念会館、2012.1.13

[KU-26] Shintaro Taie, Rekishu Yamazaki, Seiji Sugawa, Yoshiro Takahashi(Kyoto Univ.), “Experimental Realization of the SU(N) Hubbard Model with Ultracold Atomic Fermi Gases”, Ultracold Gases: Superfluidity and Strong Correlations (USS-2012), 東京理科大学神楽坂キャンパス森戸記念会館, 2012.1.11

[KU-27] 高橋義朗(京大), “超低温イッテルビウム原子:量子シミュレーションと精密測定への応用”, 理研セミナー, 理研, 和光市, 2011.12.20

[KU-28] Y. Takahashi(Kyoto Univ.), ”High-Resolution Spectroscopy of Ultracold Quantum Gas”, Workshop of Cold Antimatter and High Precision Physics, Matsue, 2011.11.29

[KU-29] 素川靖司(京大), “Quantum Simulation using Ultracold atoms in Optical Lattices”, Symposium on Interface between Quantum Information and Statistical Physics, 近畿大学, 2011.11.10

[KU-30] Y.Yoshikawa(Kyoto Univ.), ”Exploring condensed matter physics with ultracold ytterbium atoms in an optical lattice”, International Workshop for Young Researchers on Topological Quantum Phenomena in Condensed Matter with Broken Symmetries, Biwako, 2011.11.4

[KU-31]高橋義朗(京大), “Few-body and Many-Body Problems in an Optical Lattice”, Todai/Riken Meeting on Cold Atoms and Nucleons, 理研, 和光市, 2011.10.28

[KU-32] Ryotaro Inoue(Kyoto Univ.), “Quantum Feedback Control of Collective Spin State”, Quantum Science Symposium-2011, Courtyard by Marriott Boston Cambridge (Cambridge, Massachusetts USA), 2011.9.26-27

[KU-33] 素川靖司(京大), “光格子中冷却原子を用いた量子シミュレーション”, 日本物理学会 2011 年秋季大会, 富山大学, 2011.9.22

[KU-34] 高須洋介(京大), “イッテルビウム原子ボーズ・アインシュタイン凝縮の実現”, 日本物理学会 2011 年秋季大会, 富山大学, 2011.9.22

[KU-35] Y.Takahashi(Kyoto Univ.), “Quantum Simulation Using Two-Electron Atoms”, Bose-Einstein Condensation 2011 Frontiers in Quantum Gases, Costa Brava, Spain, 2011.9.13

[KU-36] 山崎歴舟(京大), “コヒーレント・コントロールから量子シミュレーションに至るまで”, 第72回応用物理学学会学術講演会 応用物理学学会シンポジウム「光科学のフロンティア-若手研究者による分野横断・融合と新展開-」, 山形大学, 2011.8.29

[KU-37] Y.Takahashi(Kyoto Univ.), “Quantum Gas with SU(N) Symmetry”, ULT2011, Daejeon, Korea, 2011.8.21

[KU-38] 井上遼太郎、田中慎一郎、並木亮、沙川貴大、高橋義朗(京大), “冷却原子スピン系における量子雑音の動的制御”, 非平衡系の物理 -マイクロとマクロの架け橋-, 京都大学基礎物理学研究所湯川記念館, 2011.8.18

[KU-39] Y.Takahashi(Kyoto Univ.), “Quantum Simulation Using Two-Electron Atoms”, 26th International Conference on Low Temperature Physics (LT26), Beijing, China, 2011.8.12

[KU-40] Y.Takahashi(Kyoto Univ), “Novel Quantum Phases of Ytterbium Atoms in an Optical Lattice”, Gordon Research Conferences (Atomic Physics), West Dover, VT, USA, 2011.6.29

[KU-41] Y.Takahashi(Kyoto Univ.), “Realization of an enlarged spin Symmetry of fermions in an atomic gas”, 20th International Conference on Laser Spectroscopy ICOLS 2011, Aerzen Germany, 2011.5.30

[KU-42] Y.Takahashi(Kyoto Univ.), “SU(6) Fermi system in an optical lattice”, Quantum Magnetism in Ultracold Atoms, Haifa, Israel, 2011.5.17

[KU-43] Y.Takahashi(Kyoto Univ.), “Realization of an SU(6) invariant Fermi system”, APS March Meeting, Dallas, USA, 2011.3.24

[KU-44] 山崎歴舟(京大), “Product State Control and Coherent Control in Other Perspectives –Cold atom and Ion trap”, 第58回応用物理学関係連合講演会シンポジウム, 神奈川工科大学, 2011.3.24

[KU-45] 高橋義朗(京大), “Quantum Simulation With Ultracold Two-Electron Atoms in an Optical Lattice”, UCAM2011 ERATO Macroscopic Quantum Control Conference on Ultracold Atoms and Molecules, Tokyo, 2011.1.26

[KU-46] Rekishu Yamazaki(京大), “Quantum Simulation with Alkaline Earth-like atoms in an Optical Lattice”, Conference on Research Frontiers in Ultra-Cold Atomic and Molecular Gases, Goa India, 2011.1.10-14

[KU-47] 高橋義朗(京大), “先端光源を用いた冷却原子気体の精密計測と量子制御.”, レーザー学会学術講演会第31回年次大会, 電気通信大学, 2011.1.10

[KU-48] 高橋義朗(京大), “光格子中イッテルビウム原子で探究する新しい物理”, 応用物理学学会量子エレクトロニクス研究会, 上智大学軽井沢セミナーハウス, 2010.12.16

[KU-49] 高橋義朗(京大), “光格子量子シミュレーターの開発”, FIRST 量子情報処理プロジェクト全体会議 2010, 熱海, 2010.12.11

[KU-50] Y.Takahashi(Kyoto Univ.), “Fundamental Physics using Cold Ytterbium Atoms”,

9th Asian International Seminar on Atomic and Molecular Physics, Seoul, Korea, 2010.10.7

[KU-51] 井上遼太郎(京大), “光-原子集団間における軌道角運動量交換とエンタングルメント”, 日本物理学会 2010 年秋季大会, 大阪府立大学, 2010.9.24

[KU-52] S. Uetake, Y. Takahashi(Kyoto Univ), “High-resolution laser spectroscopy of quantum gases using an ultra-narrow linewidth transition”, 2010 Asia-Pacific Radio Science Conference, A3b-4, Toyama, Japan, 2010.9.22-26

[KU-53] 高橋義朗(京大), “Quantum Simulation of Hubbard Model Using Ultracold Atoms in an Optical Lattice”, 量子情報処理プロジェクト夏季研修会, 沖縄, 2010.8.25

[KU-54] Y.Takahashi(Kyoto Univ.), “Quantum Simulator Using Ultracold Two-Electron Atoms In an Optical Lattice”, Advanced Photons and Science Evolution 2010, Osaka, 2010.6.14

[KU-55] Y.Takahashi(Kyoto Univ.), “Ultracold ytterbium atoms in an optical lattice”, 41st Annual Meeting of the Division of Atomic Molecular and Optical Physics, Houston, USA, 2010.5.26

[KU-56] Y.Takahashi(Kyoto Univ.), “Ultracold Fermi Gas of Ytterbium in an Optical Lattice”, Ultracold Fermi Gas: Superfluidity and Strong-Correlation (USS-2010), Japan Atomic Energy Agency, Tokyo, 2010.5.15

[KU-57] Y.Takasu(Kyoto Univ.), “Ultracold Diatomic Molecules” Ultracold Fermi Gas: Superfluidity and Strong-Correlation (USS-2010), Japan Atomic Energy Agency, Tokyo, 2010.5.13

[KU-58] Y.Takahashi(Kyoto Univ.), “Ultracold ytterbium in an optical lattice”, Physics and Chemistry of Coherently Controlled Quantum Systems, Inuyama Hotel, 2010.3.19

[KU-59] Y. Takahashi(Kyoto Univ.), “Quantum simulator Using ytterbium”, International Conference on Cold Ions and Atoms 2010 (ICCIA10), Kolkata, India, 2010.1.18

[KU-60] 高橋義朗(京大), “冷却原子を用いた凝縮系の量子シミュレーション”, 量子エレクトロニクス研究会, 軽井沢, 2010.1.8

[KU-61] Y. Takahashi(京大), “Neutral Atom Quantum Simulator and Quantum Computer”, Symposium on Physical Realizations of Quantum Information Processing and Quantum Computation, 近畿大学, 東大阪, 2009.12.21

[KU-62] 高橋義朗(京大), “光格子中冷却原子を用いた量子シミュレーション”, 久保記念シンポジウム, 東京お茶ノ水, 2009.10.17

[KU-63] Y. Takahashi(Kyoto Univ.), “Quantum Simulation Using Ytterbium Atoms”, International Workshop on Dynamics and Manipulation of Quantum Systems 2009, Univ. of Tokyo, 2009.10.16

[KU-64] 高橋義朗(京大), “量子スピン集団の量子ノイズ制御”, 量子ICT会議, 東京・四谷, 2009.10.02

[KU-65] Y. Takahashi(Kyoto Univ.), “Quantum Simulator Using Ytterbium”, International Workshop on Ultracold Group II Atoms :Theory and Applications, Maryland, USA, 2009.9.18

[KU-66] Y. Takahashi(Kyoto Univ.), “Quantum Degenerate Mixtures of Ytterbium Atoms”, LENS-Tokyo Joint Workshop, Firenze, Italy, 2009.9.14

[KU-67] Y. Takahashi(Kyoto Univ.), “Ultracold Ytterbium Atoms in an Optical Lattice”, International Conference on Bose-Einstein Condensation(BEC2009), San Feliu, Spain, 2009.9.9

[KU-68] Y. Takahashi(Kyoto Univ.), “Ultracold Ytterbium Atoms in an Optical Lattice”, International Conference on Laser Spectroscopy(ICOLS2009), Hokkaido, 2009.6.11

[KU-69] Y. Takahashi(Kyoto Univ.), “Quantum simulation and quantum interface using ultracold ytterbium”, UK-Japan Workshop on Quantum Information, the British Embassy, Tokyo, 2009.1.22

[KU-70] 高橋義朗(京大), “光格子を用いた量子情報研究”, GCOEオープニングシンポジウム, 京都大学百周年時計台記念館, 2009年2月18日

[NICT-1] Tetsuya Ido (NICT), Optical lattice clock, The 11th US-Japan Joint Seminar on Quantum Electronics and Laser Spectroscopy, Nara Public Hall, Apr. 6 2013

[NICT-2] 井戸哲也(NICT), 「秒の再定義を見据えた光格子時計の開発とその比較伝送技術の開発」、プラズマの素過程研究と分光診断の展望、核融合科学研究所、2013年1月25日

[NICT-3] 井戸哲也(NICT), 「秒の再定義を見据えた光周波数標準の生成・伝送技術の開発」、東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究会「超高速コヒーレント光制御による極限通信・計測システムに関する研究」、2012年11月16日

[NICT-4] T. Ido (NICT), Optical Comparison of a Sr lattice clock against a remote Sr clock and a local Ca⁺ ion clock, The 5th International workshop on ultracold group II atoms, Koganei, Tokyo, October 10-12, 2012.

[NICT-5] Tetsuya Ido (NICT), Frequency comb and lattice clock: essential to the transition to the optical definition of time and frequency, Workshop on Optical Comb, Clock and Related Devices, AIST-Japan, 10月3日 2012年.

[NICT-6] Tetsuya Ido (NICT), Generation of high-repetition rate VUV pulses toward precision atomic spectroscopy, 5th Asian Workshop on Generation and Application of Coherent XUV and X-ray Radiation, Kashiwa, 6月27-29日 2012年

[NICT-7] Tetsuya Ido (NICT), Optical lattice clocks: Hz-level spectral width with sub-Hz reproducibility, International Conference on Spectral Line Shapes, St. Petersburg, 6月4-8日 2012年.

[NICT-8] 井戸哲也 (NICT), 時間計測技術の最前線-光格子時計及び高精度周波数標準伝送技術の最近の進展-, 平成23年度光科学技術フォーラム, 東北大学, 2011年11月16日

[NICT-9] Tetsuya Ido (NICT), 10⁻¹⁶ agreement of two distant ⁸⁷Sr lattice clocks confirmed by 60km fiber link, Fundamental Physics Using Atoms, Okayama University,

2011年10月9日

[NICT-10] 井戸哲也, 藤枝美穂, 山口敦史, 熊谷基弘, 蜂須英和, 長野重夫, 李瑛 (NICT), 高野哲至, 高本将男, 香取秀俊 (東大), NICT-東大間光ファイバリンクによる ^{87}Sr 光格子時計の遠距離周波数比較, 応用物理学会秋の講演会, 2011年8月26日.

[NICT-11] 井戸哲也 (NICT), 周波数標準技術の現状と将来, 応用物理学関係連合講演会シンポジウム, 神奈川大学, 2011/03/24

[NICT-12] 井戸哲也 (NICT), 光周波数標準を支える極限技術の開発, 量子エレクトロニクス研究会, 上智大学軽井沢セミナーハウス, 2010/12/17

[NICT-13] Tetsuya Ido (NICT), Remote transfer of stable optical frequency toward direct comparison of two optical clocks, Tokyo, UQCC2010, 2010/10/20

[NICT-14] A. Yamaguchi, N. Shiga, S. Nagano, H. Ishijima, M. Hosokawa, and T. Ido (NICT), Spectroscopy of the ^{87}Sr Clock Transition toward an Optical Lattice Clock, Asia-Pacific Radio Science Conference, Toyama, 2010/09/22-26

[NICT-15] Tetsuya Ido (NICT), “Back ground gas collision shift for $^{88}\text{Sr } ^1\text{S}_0 - ^3\text{P}_1$ spin - forbidden transition”, The 8th Asian International Seminar on Atomic and Molecular Physics, Perth Australia, Nov 24-28, 2008

[NTT-1] 稲葉謙介(NTT), “光格子中のイッテリビウム原子を用いた量子シミュレーション”, 基礎物理学研究所 研究会「量子情報の新展開 ～複雑性の極限における普遍的物理の探究～」, 京都大学, 2014.3.23-25.

[NTT-2] Makoto Yamashita, Kensuke Inaba (NTT), and Hiroki Tsuchiura (Tohoku University), “Collapse and revival dynamics of spin-1 bosons in optical lattices”, 22nd International Laser Physics Workshop (LPHYS'13), Prague, Czech Republic, July 15-19, 2013

[NTT-3] Kensuke Inaba (NTT), “Ultracold atoms trapped in optical lattices”, US-Japan Joint Seminar 2013, Nara, Japan, April 5, 2013

[NTT-4] Yuuki Tokunaga (NTT), “Error- and Loss-Tolerances of Surface Codes with General Lattice Structures”, Quantum Information via Statistical Mechanics, Kyoto University, Japan, January 13, 2013

[NTT-5] Kensuke Inaba (NTT), “Three-component fermionic atoms in an optical lattice”, Few-body calculation of cold-atomic physics, RIKEN, Wakou, Saitama, Japan, August 30, 2012

[NTT-6] Makoto Yamashita and Kensuke Inaba (NTT), “Diverse quantum phases of Bose-Fermi mixtures trapped in an optical lattice”, 21st International Laser Physics Workshop (LPHYS'12), Calgary, Canada, July 23-27, 2012

[NTT-7] 稲葉謙介, 山下眞(NTT), “光格子に閉じ込められた冷却フェルミ原子の反強磁性秩序:熱力学的性質と観測手法”, Ultracold Gases: Superfluidity and Strong Correlations 2012, 東京理科大学, 東京, 2012.1.11

[NTT-8] 山下眞(NTT)、“光格子中の冷却原子による量子シミュレーション”、日本物理学会 2011 年秋季大会、富山大学、2011.9. 22

[NTT-9] Yuuki Tokunaga(NTT), “Photonic Cluster-State Quantum Computing”, International Conference on Core Research and Engineering Science of Advanced Materials (Global COE Program) & Third International Conference on Nanospintronics Design and Realization, 3rd-ICNDR, Osaka, Japan, May 30-June 5, 2010

[NTT-10] Makoto Yamashita (NTT), Atsushi Yamamoto (Osaka University), and Norio Kawakami (Kyoto University), “DMRG study of ultracold fermionic atoms in optical lattices”, Workshop on Matrix Product State Formulation and Density Matrix Renormalization Group Simulations (MPS&DMRG), Kobe, Japan, August 12-13, 2009

[NTT-11] Makoto Yamashita (NTT), Michael W. Jack (New Zealand Forest Research Ltd.) , Kensuke Inaba (NTT), Kazuhiro Igeta (NTT), and Yasuhiro Tokura (NTT), “Gutzwiller study of Bose-Fermi mixtures trapped in three-dimensional optical lattices”, 18th International Laser Physics Workshop (LPHYS'09), Barcelona, Spain, July 14-17, 2009

② 口頭発表 (国内会議 111 件、国際会議 20 件)

[KU-1] 小西秀樹, 原秀明, Florian Schaefer, 足立景亮, 中島秀太, 高須洋介, 高橋義朗(京大), “光格子に導入された冷却 Yb-Li 原子混合系のふるまい”, 日本物理学会第 69 回年次大会, 東海大学湘南キャンパス, 平塚市, 2013 年 3 月 28 日

[KU-2] 田家慎太郎, 渡邊俊介, 中村悠介, 高須洋介, 高橋義朗(京大), “Yb フェルミ原子における磁気フェッシュバツハ共鳴 II”, 日本物理学会第 69 回年次大会, 東海大学湘南キャンパス, 平塚市, 2013 年 3 月 28 日

[KU-3] 山本隆太, 柴田康介, 関友宇, 久野拓馬, 山田琢允, 高橋義朗(京大), “低次元 ^{171}Yb - ^{174}Yb 混合気体の高感度観測”, 日本物理学会第 69 回年次大会, 東海大学湘南キャンパス, 平塚市, 2013 年 3 月 28 日

[KU-4] 中村悠介, 高須洋介, 田家慎太郎, 渡邊俊介(京大), 稲葉謙介, 山下眞(NTT), 高橋義朗(京大), “超高分解能レーザー分光による有限温度ボース・ハバード系の研究”, 日本物理学会 2013 年秋季大会, 徳島大学常三島キャンパス, 徳島市, 2013 年 9 月 26 日

[KU-5] 西尾卓衛, 中島秀太, 田家慎太郎, 小沢秀樹, 高橋義朗(京大), “Lieb 型光格子の実現”, 日本物理学会 2013 年秋季大会, 徳島大学常三島キャンパス, 徳島市, 2013 年 9 月 26 日

[KU-6] 山本隆太, 柴田康介, 関友宇, 高橋義朗(京大), “イッテルビウム原子の量子気体顕微鏡の開発 3”, 日本物理学会 2013 年秋季大会, 徳島大学常三島キャンパス, 徳島市, 2013 年 9 月 26 日

[KU-7] 渡邊俊介, 田家慎太郎, 中村悠介, 高須洋介, 高橋義朗(京大), “Yb フェルミ原子における磁気フェッシュバツハ共鳴”, 日本物理学会第 68 回年次大会プログラム, 広島大学 東広島キャンパス, 広島, 2013 年 3 月 27 日

[KU-8] 関友宇, 井上遼太郎, 並木亮, 北尾太市, 高橋義朗(京大), “光トラップした冷却原子スピン集団の QND 測定”, 日本物理学会第 68 回年次大会プログラム, 広島大学 東広島キャンパス, 広島, 2013 年 3 月 27 日

[KU-9] 小西秀樹, 原秀明, 中島秀太, 高須洋介, 高橋義朗(京大), “冷却 Yb-Li 原子混合系の光格子の開発”, 日本物理学会第 68 回年次大会プログラム, 広島大学 東広島キャンパス, 広島, 2013 年 3 月 27 日

[KU-10] 高橋義朗(京大), “Ultracold atoms in an optical lattice -an ideal simulator of strongly-correlated quantum many-body system-“, GCOE シンポジウム「創発性豊かな分野の開拓」, 京都大学百周年時計台記念館 国際交流ホール, 京都, 2013 年 2 月 14 日

[KU-11] 並木亮(京大), “Role of complementarity on entanglement detection”, GCOE シンポジウム「創発性豊かな分野の開拓」, 京都大学百周年時計台記念館 国際交流ホール, 京都, 2013 年 2 月 12 日

[KU-12] 井上遼太郎(京大), QICTF12-17「Quantum Information Processing with Atoms -Measurement-based Quantum Feedback」, 「量子 ICT フォーラム・第 1 回会合」<原子系による量子情報処理>情報通信研究機構 小金井本部, 東京, 2012 年 10 月 18 日

[KU-13] 柴田康介, 山本隆太, 加藤真也, 高橋義朗(京大), “イッテルビウム原子の量子気体顕微鏡の開発 1”, 日本物理学会 2012 年秋季大会, 横浜国立大学, 横浜市, 2012 年 9 月 21 日

[KU-14] 山本隆太, 柴田康介, 加藤真也, 高橋義朗(京大), “イッテルビウム原子の量子気体顕微鏡の開発 2”, 日本物理学会 2012 年秋季大会, 横浜国立大学, 横浜市, 2012 年 9 月 21 日

[KU-15] 田家慎太郎, 西尾卓衛, 高橋義朗(京大), “2次元光超格子に導入された縮退イッテルビウム気体”, 日本物理学会 2012 年秋季大会, 横浜国立大学, 横浜市, 2012 年 9 月 21 日

[KU-16] 加藤真也, 素川靖司, 柴田康介, 山本隆太, 高橋義朗(京大), “異方的相互作用に起因したイッテルビウム原子の散乱長制御”, 日本物理学会 2012 年秋季大会, 横浜国立大学, 横浜市, 2012 年 9 月 21 日

[KU-17] 中村悠介, 田家慎太郎, 山崎歴舟, 高橋義朗(京大), “量子気体 Yb 原子の超狭線幅光学遷移を用いた人工ゲージ場の生成”, 日本物理学会 2012 年秋季大会, 横浜国立大学, 横浜市, 2012 年 9 月 19 日

[KU-18] 加藤真也(京大), 山下眞(NTT), 柴田康介, 山本隆太, 吉川豊, 高橋義朗(京大), “超流動-Mott 絶縁体相転移の超高分解能レーザー分光”, 日本物理学会 2011 年秋季大会, 富山大学, 2011.9.24

[KU-19] 田家慎太郎, 山崎歴舟, 素川靖司, 中村悠介, 高橋義朗(京大), “光格子中のフェルミ原子 SU(6)モット絶縁体におけるスピン自由度と断熱冷却”, 日本物理学会 2011 年秋季大会, 富山大学, 2011.9.24

[KU-20] 山田裕貴(京大), 高橋走(京大・東大), 菊地悠, 高須洋介, 榎本勝成, 安東正樹, 高橋義朗(京大), “極低温イッテルビウム原子の超精密光会合分光とその重力逆二乗則の検証への応用”, 日本物理学会 2011 年秋季大会, 富山大学, 2011.9.24

[KU-21] 井上遼太郎, 田中慎一郎, 並木亮(京大), 沙川貴大(東大), 高橋義朗(京大), “量子フィードバック制御による量子ノイズの圧搾”, 日本物理学会 2011 年秋季大会, 富山大学, 2011.9.24

[KU-22] 原秀明, 高須洋介, 中島秀太, 小西秀樹(京大), John M.Doyle(Harvard Univ.), 高

橋義朗(京大), ”アルカリ原子とアルカリ土類様原子の同時量子縮退の実現”, 日本物理学会 2011 年秋季大会, 富山大学, 2011.9.24

[KU-23] 山田裕貴(京大), 高橋走(京大・東大), 菊地悠, 高須洋介, 榎本勝成, 安東正樹, 高橋義朗(京大), ”極低温イッテルビウム原子の超精密光会合分光とその重力逆二乗則の検証への応用”, *Chemistry and Fundamental Science*, 東京大学駒場キャンパス, 2011.5.7

[KU-24] 山崎歴舟, 田家慎太郎, 高橋功, 素川靖司, 高橋義朗(京大), “Purely Long Range 分子を用いた p-波光フェッシュバツハ共鳴”, 日本物理学会第 66 回年次大会, 新潟大学五十嵐キャンパス, 2011.3.28

[KU-25] 原秀明, 高須洋介, 山岡義史(京大), John Doyle(Harvard Univ.), 高橋義朗(京大), “Li 及び Yb 原子の同時光トラップ II”, 日本物理学会第 66 回年次大会, 新潟大学五十嵐キャンパス, 2011.3.28

[KU-26] 山田裕貴(京大), 高橋走(京大・東大), 菊地悠, 高須洋介, 榎本勝成, 安東正樹, 高橋義朗(京大), “光格子中極低温イッテルビウム原子の超精密光会合分光とその重力逆二乗則の検証への応用”, 日本物理学会第 66 回年次大会, 新潟大学五十嵐キャンパス, 2011.3.28

[KU-27] 井上遼太郎, 田中慎一郎, 並木亮, 高橋義朗(京大), “集団的スピン状態に対する量子フィードバック制御”, 日本物理学会第 66 回年次大会, 新潟大学五十嵐キャンパス, 2011.3.27

[KU-28] 加藤真也, 柴田康介, 山本隆太, 植竹智, 吉川豊, 高橋義朗(京大), “光格子中の単一サイトアドレッシングに向けた高分解能分光実験2”, 日本物理学会第 66 回年次大会, 新潟大学五十嵐キャンパス, 2011.3.27

[KU-29] Ryotaro Inoue, Shin-Ichi-Ro Tanaka, Ryo Namiki and Yoshiro Takahashi(Kyoto Univ.), “Unconditional Spin Squeezing via Quantum Measurement and Control”, 領域融合ワークショップ「多様な物理系の量子光学: '原子'-光子強結合系」, 京都ハイアットリージェンシーホテル, 2011.3.22-23

[KU-30] 素川靖司(京大), “Interaction and Filling-Induced Phases of Dual Mott Insulator of Bosons and Fermions in an Optical Lattice”, GCOE シンポジウム「フロンティア開拓」, 京都大学, 2011.2.22

[KU-31] 高橋走(京大・東大), 安東正樹(京大), “Gravity and Gravitational wave Physics”, GCOE シンポジウム「フロンティア開拓」, 京都大学, 2011.2.21

[KU-32] Ryotaro Inoue, Shin-Ichi-Ro Tanaka, Ryo Namiki and Yoshiro Takahashi(Kyoto Univ.), “Deterministic Spin Squeezing via Quantum Measurement and Control”, GCOE & CK Project Joint International Symposium on Atomic and Fundamental Physics and Its Applications 2011, Katsura-Hall, Katsura Campus, Kyoto University, Kyoto, Japan, 2011.1.29

[KU-33] 並木亮(京大), “検証可能な量子限界”, 第 23 回量子情報技術研究会 (QIT23), 東京大学, 2010.11.16

[KU-34] 山崎歴舟(京大), “Fine Optical Control without Hyper-fine -For the Application in Quantum Simulation”, 理化学研究所 柚木研究室セミナー, 理化学研究所, 埼玉, 2010.11.11

[KU-35] 山崎歴舟(京大), “Fine Optical Control without Hyper-fine -For the Application in Quantum Simulation-”, 72th Qulink Seminar, 国立情報学研究所, 東京, 2010.11.10

[KU-36] 山崎歴舟(京大), “量子的世界 -粒子と波の二重性”, JST 未来の科学者養成講座 科学先取り岡山コース, 岡山, 2010.11.6

[KU-37] 山崎歴舟(京大), “Interaction of Cold Atoms (for Dummies!!) & Optical Feshbach Resonances”, 第9回量子情報関西 Student Chapter, 大阪大学, 2010.10.22

[KU-38] Yuuki Tokunaga (NTT), Satoshi Okamoto (Osaka Univ.), Rikizou Ikuta (Osaka Univ.), Ryo Namiki (Kyoto Univ.), Takashi Yamamoto (Osaka Univ.), Masato Koashi (Osaka Univ.), and Nobuyuki Imoto (Osaka Univ.), "Experimental verification of quantum process in one-way quantum computing", International Conference on Quantum Information and Computation (ICQIC), Stockholm, Sweden, 2010.10.4-8, ([NTT-34] 計上済)

[KU-39] 並木亮(京大)、徳永裕己(NTT), “離散フーリエ変換の不確定性関係に基づいたエンタングルメント検証”, 日本物理学会 2010年秋季大会, 大阪府立大学, 2010.9.23

[KU-40] 原秀明, 高須洋介(京大), John Doyle(Harverd Univ.), 高橋義朗(京大), “Li 及び Yb 原子の同時光トラップ”, 日本物理学会 2010年秋季大会, 大阪府立大学, 2010.9.23

[KU-41] 加藤真也, 柴田康介, 濱口直孝, 山本隆太, 植竹智, 吉川豊, 高橋義朗(京大), “光格子中の単一サイトアドレスングに向けた高分解能分光実験”, 日本物理学会 2010年秋季大会, 大阪府立大学, 2010.9.23

[KU-42] 山田裕貴(京大), 高橋 走(京大・東大), 高須洋介, 榎本勝成, 安東正樹(京大), 清水裕彦(名古屋大学), 高橋義朗(京大), “超高分解能光会合分光をもちいた重力補正項の探索”, Fundamental Physics Using Atoms 2010, 大阪大学 豊中, 2010.8.9

[KU-43] 田家慎太郎(京大), “光格子中の多成分フェルミ原子による量子シミュレーション”, 第8回関西若手量子情報セミナー, 大阪市立大学, 2010.6.8

[KU-44] 並木亮(京大), “位相共役な状態対とエンタングルメント検証”, 日本物理学会第65回年次大会, 岡山大学, 2010年3月23日

[KU-45] 高須洋介, 斉藤悠, 高橋義朗(京大), “Sub-Radiant 状態分子の観測”, 日本物理学会第65回年次大会, 岡山大学, 2010年3月22日

[KU-46] 山崎歴舟, 田家慎太郎, 素川靖司, 高橋義朗(京大), “光フェッシュバッハ共鳴の Yb 原子凝縮体への応用”, 日本物理学会第65回年次大会, 岡山大学, 2010年3月22日

[KU-47] 素川靖司, 田家慎太郎, 山崎歴舟(京大), 山下眞, 稲葉謙介(NTT), 高橋義朗(京大), “3次元光格子中の Yb ボース・フェルミ混合系の振る舞い”, 日本物理学会第65回年次大会, 岡山大学, 2010年3月22日

[KU-48] 村上亮, 植竹智, 高橋義朗(京大), “準安定 Yb 原子の超低温における非弾性衝突特性”, 日本物理学会第65回年次大会, 岡山大学, 2010年3月22日

[KU-49] 田家慎太郎, 素川靖司, 山崎歴舟, 高橋義朗(京大), “多成分 Yb フェルミ原子気体に

関する実験”, 日本物理学会第 65 回年次大会, 岡山大学, 2010 年 3 月 22 日

[KU-50] 植竹智, 垣内久, 高橋義朗(京大), “1 次元 Yb Bose Gas の高分解能レーザー分光”, 日本物理学会 2009 年秋季大会, 熊本大学, 2009 年 9 月 27 日

[KU-51] 加藤真也, 柴田康介, 濱口直孝, Hadrien Kurkjian, 高須洋介, 高橋義朗(京大), “超低温原子の光ピンセットによる移動”日本物理学会 2009 年秋季大会、熊本大学、2009 年 9 月 27 日

[KU-52] 並木亮(京大), “非ガウスエンタングル状態”, 日本物理学会 2009 年秋季大会, 熊本大学, 2009 年 9 月 26 日

[KU-53] 岡野真之, 原秀明, 村松真臣, 植竹智, 高須洋介, 高橋義朗(京大), “超低温極性分子 LiYb 生成に向けた Li 及び Yb 原子のレーザー冷却” 日本物理学会 2009 年秋季大会, 熊本大学 2009 年 9 月 26 日

[KU-54] 田中慎一郎, 並木亮, 植竹智, 高橋義朗(京大), “集団スピンの実時間量子制御”, 日本物理学会 2009 年秋季大会, 熊本大学, 2009 年 9 月 25 日

[KU-55] 高野哲至, 村松真臣, 田中慎一郎, 並木亮, 高橋義朗(京大), “仮想磁場効果を用いた集団スピンの量子トモグラフィ”, 日本物理学会第 64 回年次大会, 立教大学, 2009 年 3 月 30 日

[NICT-1] 松原健祐, 蜂須英和, 長野重夫, 李瑛, Clayton Locke, 野上朝彦, 早坂和弘, 井戸哲也, 細川瑞彦 (NICT), “ ^{87}Sr 光格子時計との直接比較による $^{40}\text{Ca}^+$ 光時計の評価”, 日本物理学会 第 68 回年次大会, 2013/3/26-29.

[NICT-2] Tetsuya Ido (NICT), “Various research activities in NICT toward the era of optical frequency standards”, NICT workshop on the Optical Frequency Standards, NICT, 2013 年 2 月 7-8 日

[NICT-3] K. Matsubara, H. Hachisu, S. Nagano, Y. Li, A. Nogami, C. Locke, K. Hayasaka, and T. Ido (NICT), “Evaluation of a single Ca^+ clock by an optical comparison against a Sr lattice clock”, OSA-JSAP joint symposium, Matsuyama, September 11-14, 2012.

[NICT-4] T. Ido, M. Fujieda, H. Hachisu, M. Kumagai, Y. Li, S. Nagano, A. Yamaguchi (NICT), T. Takano, M. Takamoto, and H. Katori (University of Tokyo), “Frequency comparison of two distant ^{87}Sr lattice clocks in Tokyo area”, The 8th Asia Pacific Laser Symposium (APLS 2012), 黄州(中国), 2012 年 5 月 28 日

[NICT-5] 蜂須英和, 山口敦史, 藤枝美穂, 熊谷基弘, 長野重夫, 李瑛, 井戸哲也 (NICT), 高野哲至, 高本将男, 香取秀俊 (東大), “遠隔地にある 2 台の Sr 光格子時計の周波数比較”, 物理学会, 富山大学, 2011 年 9 月 23 日

[NICT-6] 野上朝彦, 蜂須英和, 山口敦史, 李瑛, 長野重夫, 井戸哲也 (NICT), “光共振器におけるアクティブ光学除振方式の特性評価”, 物理学会, 富山大学, 2011 年 9 月 23 日

[NICT-7] 蜂須英和, 藤枝美穂, 熊谷基弘, 山口敦史, 長野重夫, 李瑛, 井戸哲也 (NICT), 高野哲至, 高本将男, 香取秀俊 (東大), “NICT-東大間における Sr 光格子時計の周波数比較”, 電気学会, 工学院大学, 2011 年 9 月 5 日

[NICT-8] 野上朝彦, 蜂須英和, 山口敦史, 井戸哲也 (NICT), “光学的手法による光共振器の実効的アクティブ除振法の開発”, 応用物理学会秋の講演会, 山形大学, 2011 年 8 月 31 日

[NICT-9] Tetsuya Ido (NICT), “Atomic frequency standards at NICT” SPIE Optics+ Photonics, San Diego, 2011 年 8 月 25 日

[NICT-10] Hidekazu Hachisu, Atsushi Yamaguchi, Miho Fujieda, Motohiro Kumagai, Shigeo Nagano, Tetsuya Ido (NICT), Tetsushi Takano, Masao Takamoto, and Hidetoshi Katori (University of Tokyo), “Optical direct comparison of ^{87}Sr optical lattice clocks using a >50 km telecommunication fiber link”, SPIE Optics+Photonics, San Diego, 2011 年 8 月 24 日

[NICT-11] T. Ido, M. Fujieda, A. Yamaguchi, M. Kumagai, H. Hachisu, and S. Nagano (NICT), T. Takano, M. Takamoto, and H. Katori (University of Tokyo), “Optical direct comparison of two ^{87}Sr lattice clocks using a >50 km fiber link, CLEO”, Baltimore convention center, 2011 年 5 月 6 日

[NICT-12] M. Fujieda, A. Yamaguchi, M. Kumagai, S. Nagano, C.R. Locke, H. Hachisu, and T. Ido (NICT), T. Takano, M. Takamoto, and H. Katori (University of Tokyo), “Direct comparison of optical clocks using a telecommunication fiber link in Tokyo”, IFCS-EFTF Joint conference, 2011 年 5 月 2 日

[NICT-13] M. Koide, M. Hosokawa, and T. Ido (NICT), “A Long Monolithic Cavity for Optical Frequency Standards”, Asia-Pacific Radio Science Conference, Toyama, 2010/09/22-26

[NICT-14] 野上朝彦, 蜂須英和, 山口敦史, 井戸哲也 (NICT), “光共振器におけるアクティブ光学除振方式の有効性評価”, 日本物理学会, 新潟大学, 2010/03/28

[NICT-15] 野上朝彦, 蜂須英和, 山口敦史, 井戸哲也 (NICT), “光周波数標準用光共振器におけるアクティブ光学除振方式の開発”, 応用物理学連合講演会, 神奈川大学, 2010/03/24-27

[NICT-16] 山口敦史, 志賀信泰, 石島博, 長野重夫, 李 瑛, 細川瑞彦, 井戸哲也 (NICT), “光格子時計実現に向けたストロンチウム原子の時計遷移分光”, 日本物理学会年会, 岡山大学, 2010 年 3 月 21 日

[NICT-17] 井戸哲也, 志賀信泰 (NICT), K. Bielska, R. Ciurylo (Nicholas Copernicus University), “ $^{88}\text{Sr } ^1\text{S}_0 - ^3\text{P}_1$ 遷移のバックグラウンドガス衝突シフト II”, 日本物理学会年会 岡山大学, 2010 年 3 月 21 日

[NICT-18] 小出美知, 長野重夫, 李 瑛, 志賀信泰, 山口敦史, 梶田雅稔, 細川瑞彦, 井戸哲也 (NICT), “光周波数標準のための超低振動感度光共振器の開発”, 日本物理学会秋の分科会, 熊本大学, 2009 年 9 月 28 日

[NICT-19] T. Ido, N. Shiga, Y. Li, H. Ito, S. Nagano, A. Yamaguchi, M. Koide, H. Ishijima, M. Hosokawa (NICT), and R. Ciurylo (Nicholas Copernicus University), “Background Gas Induced Collision Shift for a Sr spin-forbidden transition” SPIE Optics+Photonics, San Diego, USA, Aug 05 (2009).

[NICT-20] 小出美知 長野重夫 李瑛 梶田雅稔 細川瑞彦 井戸哲也 (以上全て NICT) “光周波数標準器のためのクロックレーザ安定化用共振器の設計”, 第 56 回応用物理学関係連合講演

会, 筑波大学, 2009 年 3 月 30 日

[NICT-21] 志賀信泰, 李瑛, 長野重夫, 伊東宏之(以上 NICT), R. Ciurylo (Nicholas Copernicus University), 井戸哲也(NICT), “ $^{88}\text{Sr } ^1\text{S}_0\text{-}^3\text{P}_1$ 遷移のバックグラウンドガスによる衝突シフト”, 第 64 回日本物理学会年次大会, 立教大学, 2009 年 3 月 29 日

[NTT-1] 野田数人, 稲葉謙介, 山下眞(NTT), “多層 Lieb 格子における冷却フェルミ原子の磁気的性質”, 日本物理学会 2014 年春季大会, 東海大学, 神奈川, 2014.3.28

[NTT-2] 稲葉謙介(NTT), 菅誠一郎(兵庫県立大工), “2 次元光格子中の 3 成分フェルミ原子系における斥力誘起超流動状態のペア対称性”, 日本物理学会 2014 年春季大会, 東海大学, 神奈川, 2014.3.28

[NTT-3] 今井弘光, 稲葉謙介, 山下眞, 向井哲哉(NTT), “超伝導永久電流アトムチップにおけるボース凝縮体のスピン状態制御”, 日本物理学会 2014 年春季大会, 東海大学, 神奈川, 2014.3.28

[NTT-4] Yuuki Tokunaga, Kensuke Inaba, Kiyoshi Tamaki, Kazuhiro Igeta, and Makoto Yamashita(NTT), “Generation of high-fidelity spin entanglement by controlling Wannier orbitals of ultracold atoms in an optical lattice”, American Physical Society March Meeting 2014, Denver, Colorado, USA, March 6, 2014

[NTT-5] Kazuto Noda, Kensuke Inaba, and Makoto Yamashita(NTT), “Magnetic properties of ultracold fermions in multilayered Lieb lattices”, American Physical Society March Meeting 2014, Denver, Colorado, USA, March 3, 2014

[NTT-6] 浅岡類(東北大工), 土浦宏紀(東北大工), 山下眞(NTT), 梅裕太(東北大工), “内部自由度を持つ BEC の動的不安定性に現れる粒子数密度依存性”, 日本物理学会 2013 年秋季大会, 徳島大学, 徳島, 2013.9.26

[NTT-7] 梅裕太(東北大工), 土浦宏紀(東北大工), 山下眞(NTT), 横山寿敏(東北大理), “ $S=1$ 強相関ボース原子の磁場中スピン・ネマティック状態”, 日本物理学会 2013 年秋季大会, 徳島大学, 徳島, 2013.9.25

[NTT-8] 山下眞, 井桁和浩, 清水薫(NTT), 都倉康弘(筑波大数理物質), 井元信之(阪大基礎工), “不均一広がりをもつ量子ビット系に対する量子 Bang-Bang 制御”, 日本物理学会 2013 年秋季大会, 徳島大学, 徳島, 2013.9.25

[NTT-9] Sei-ichiro Suga (University of Hyogo) and Kensuke Inaba (NTT), “Pairing Symmetry of Superfluid State in Repulsively Interacting Three-Component Fermionic Atoms in Optical Lattices”, International Conference on Strongly Correlated Electron Systems (SCES'13), Tokyo, Japan, August 7, 2013

[NTT-10] Kensuke Inaba (NTT) and Sei-ichiro Suga (University of Hyogo), “Superfluidity and Mott transitions of repulsively interacting three-component fermionic atoms in an optical lattice”, 44th Annual Meeting of the Division of Atomic Molecular and Optical Physics (DAMOP 2013), Quebec, Canada, June 5, 2013

[NTT-11] 梅裕太, 土浦宏紀(東北大工), 山下眞(NTT), 横山寿敏(東北大理), “ $S=1$ 強相関ボース原子の磁場中スピン・ネマティック状態”, 日本物理学会 2013 年春季大会, 広島大学, 広島, 2013.3.28

[NTT-12] 井桁和浩 (NTT), 小芦雅斗 (東大工), 井元信之 (阪大基礎工), “量子 Bang-Bang 制御によるデコヒーレンス抑制の限界”, 日本物理学会 2013 年春季大会, 広島大学, 広島, 2013.3.28

[NTT-13] 今井弘光, 稲葉謙介, 山下眞, 向井哲哉 (NTT), “超伝導永久電流アトムチップにおけるボース凝縮体の飛行時間測定法”, 日本物理学会 2013 年春季大会, 広島大学, 広島, 2013.3.22

[NTT-14] 稲葉謙介, 今井弘光, 山下眞, 向井哲哉 (NTT), “超伝導永久電流アトムチップ上のボース凝縮体に対する数値シミュレーション”, 日本物理学会 2013 年春季大会, 広島大学, 広島, 2013.3.22

[NTT-15] 井桁和浩 (NTT), 小芦雅斗 (東大工), 井元信之 (阪大基礎工), “量子 Bang-Bang 制御によるデコヒーレンス抑制の基本限界”, 第 27 回量子情報技術研究会(QIT27), 慶應義塾大学, 神奈川, 2012.11.28

[NTT-16] 浅岡類, 榎裕太, 土浦宏紀 (東北大工), 山下眞 (NTT), “内部自由度をもつ BEC の動的不安定性”, 日本物理学会 2012 年秋季大会, 横浜国立大学, 神奈川, 2012.9.19

[NTT-17] 山下眞, 稲葉謙介 (NTT), 土浦宏紀 (東北大工), “光格子中スピン-1 ボース原子気体における物質波の崩壊と復活”, 日本物理学会 2012 年秋季大会, 横浜国立大学, 神奈川, 2012.9.19

[NTT-18] 今井弘光(NTT), 丹治はるか(東大工), 稲葉謙介, 山下眞, 向井哲哉(NTT), “超伝導永久電流アトムチップによる ^{87}Rb ボース・アインシュタイン凝縮の生成”, 日本物理学会 2012 年秋季大会, 横浜国立大学, 神奈川, 2012.9.19

[NTT-19] 稲葉謙介, 山下眞 (NTT), 加藤真也(京大理), 柴田康介(京大理), 山本隆太(京大理), 吉川豊(京大理), 高橋義朗(京大理), “光格子に閉じ込められた Yb 原子の分光スペクトルにおける少数多体効果”, 日本物理学会 2012 年秋季大会, 横浜国立大学, 神奈川, 2012.9.18

[NTT-20] 稲葉謙介(NTT)、山下眞(NTT)、加藤真也(京大理)、柴田康介(京大理)、山本隆太(京大理)、吉川豊(京大理)、高橋義朗(京大理)、“3 次元光格子に閉じ込められた Yb 原子の分光スペクトル”、日本物理学会 2012 年春季大会、関西学院大学、2012.3.25

[NTT-21] 山下眞、稲葉謙介 (NTT)、“光格子中ボース原子の位相コヒーレンスに対する三体ロスの影響”、日本物理学会 2012 年 春季大会、関西学院大学、2012.3.25

[NTT-22] 浅岡類(東北大工)、榎裕太(東北大工)、土浦宏紀(東北大工)、山下眞(NTT)、“光格子上における $S=1$ 超流動相の不安定性と崩壊のダイナミクス”、日本物理学会 2012 年 春季大会、関西学院大学、2012.3.25

[NTT-23] 榎裕太(東北大工)、土浦宏紀(東北大工)、山下眞(NTT)、横山寿敏(東北大理)、“光格子中 $S=1$ ボース気体の非整数 filling におけるスピン状態”、日本物理学会 2012 年 春季大会、関西学院大学、2012.3.25

[NTT-24] 井桁和浩 (NTT)、井元信之(阪大基礎工)、小芦雅斗(東大工)、“量子 Bang-Bang 制御によるデコヒーレンス制御の限界”、日本物理学会 2012 年 春季大会、関西学院大学、2012.3.24

[NTT-25] 菅誠一郎(兵庫県立大工)、稲葉謙介(NTT)、“光格子中の冷却フェルミ原子における軌道選択型 BCS-BEC クロスオーバー”、日本物理学会 2012 年春季大会、関西学院大学、2012.3.24

[NTT-26] Kazuhiro Igeta(NTT), Nobuyuki Imoto(Osaka University), Masato Koashi (U.Tokyo), “Fundamental Limit to Qubit Control with Coherent Field”, OSA Research in Optical Sciences Congress, QUANTUM INFORMATION AND MEASUREMENT(QIM), QT1B.6, Messe Berlin, Berlin, Germany, March 19-21, 2012

[NTT-27] 梶裕太(東北大工)、土浦宏紀(東北大工)、山下眞(NTT)、横山寿敏(東北大理)、“2 次元S=1ボース・ハバードモデルの多重占有モット絶縁相隣傍における量子相転移”、日本物理学会 2011 年 秋季大会、富山大学、2011.9.22

[NTT-28] 菅誠一郎(兵庫県立大工)、稲葉謙介(NTT)、“異方的斥力相互作用をする光格子中の3成分フェルミ原子気体のモット相隣傍における性質”、日本物理学会 2011 年 秋季大会、富山大学、2011.9.22

[NTT-29] 井桁和浩(NTT)、井元信之(阪大基礎工)、小芦雅斗(東大工)、“パルス面積定理の量子古典対応”、日本物理学会 2011 年 秋季大会、富山大学、2011.9.21

[NTT-30] 稲葉謙介、徳永裕己、玉木潔、井桁和浩、山下眞 (NTT)、“光格子中の冷却フェルミ原子気体を用いたクラスター状態の生成 ”、日本物理学会 2011 年秋季大会、富山大学、2011.9.21

[NTT-31] Kensuke Inaba, Yuuki Tokunaga, Kiyoshi Tamaki, Kazuhiro Igeta, and Makoto Yamashita (NTT), “Quantum entanglement generation using ultracold fermionic atoms in an optical lattice”, The international conference on Quantum Information Processing and Communication (QIPC), Zurich, Swiss, September 5-9, 2011

[NTT-32] Kensuke Inaba and Makoto Yamashita (NTT), “Time-of-flight imaging method to observe signatures of antiferromagnetically ordered states of ultracold fermionic atoms in an optical lattice”, 42nd Annual Meeting of the Division of Atomic Molecular and Optical Physics 2011, Atlanta, USA, June 13-17, 2011

[NTT-33] 藤井啓祐(阪大基礎工)、徳永裕己(NTT)、“確率的量子ゲートを用いたトポロジカルフォールトトレラント一方向量子計算”、第 24 回量子情報技術研究会 (QIT24)、東京工業大学、2011.5.12

[NTT-34] 稲葉謙介(NTT)、徳永裕己(NTT)、玉木潔(NTT)、井桁和浩(NTT)、山下眞(NTT)、光格子中の冷却フェルミ原子気体を用いた量子もつれ生成、日本物理学会 2011 年秋春季大会、新潟大学、2011.3.27

[NTT-35] 井桁和浩(NTT)、井元信之(阪大基礎工)、小芦雅斗(阪大基礎工)、コヒーレント場による量子ビット制御の限界、日本物理学会 2011 年秋春季大会、新潟大学、2011.3.26

[NTT-36] 藤井啓祐(京大工)、徳永裕己(NTT)、確率的量子ゲートを用いたトポロジカルフォールトトレラント一方向量子計算、日本物理学会 2011 年秋春季大会、新潟大学、2011.3.26

[NTT-37] 梶裕太(東北大工)、土浦宏紀(東北大工)、山下眞(NTT)、横山寿敏(東北大理)、2 次元S=1ボース・ハバードモデルの多重占有モット絶縁体相隣傍における量子相転移、日本物理学会 2011 年秋春季大会、新潟大学、2011.3.25

[NTT-38] 菅誠一郎(兵庫県立大工)、稲葉謙介(NTT)、光格子中の3成分フェルミ原子気体のモット相近傍における性質、日本物理学会 2011 年秋春季大会、新潟大学、2011.3.25

[NTT-39] Yuuki Tokunaga (NTT), Satoshi Okamoto (Osaka University), Rikizou Ikuta (Osaka University), Ryo Namiki (Kyoto University), Takashi Yamamoto (Osaka University), Masato Koashi (Osaka University), and Nobuyuki Imoto (Osaka University), "Experimental verification of quantum process in one-way quantum computing", International Conference on Quantum Information and Computation (ICQIC), Stockholm, Sweden, October 4-8, 2010, ([KU-35]計上済)

[NTT-40] 梅裕太(東北大工)、土浦宏紀(東北大工)、山下眞(NTT)、横山寿敏(東北大理)、スピンの2次元ボース・ハバードモデルにおけるモット転移とスピン相関、日本物理学会 2010 年秋季大会、大阪府立大学、2010.9.26

[NTT-41] 稲葉謙介(NTT)、山下眞(NTT)、素川靖司(京大理)、田家慎太郎(京大理)、山崎歴舟(京大理)、高橋義朗(京大理)、グッツヴィラー近似を用いた3次元光格子中のボース・フェルミ混合気体の解析、日本物理学会 2010 年秋季大会、大阪府立大学、2010.9.26

[NTT-42] 山本篤史(日本原子力研究開発機構)、山下眞(NTT)、菅誠一郎(兵庫県立大工)、川上則雄(京大理)、一次元光格子中のヘテロ接合界面における冷却フェルミ原子のダイナミクス、日本物理学会 2010 年秋季大会、大阪府立大学、2010.9.24

[NTT-43] 大橋琢磨(阪大理)、稲葉謙介(NTT)、浅野建一(阪大理)、小川哲生(阪大理)、菅誠一郎(兵庫県立大工)、3成分ハバード模型の動的平均場理論による解析、日本物理学会 2010 年秋季大会、大阪府立大学、2010.9.24

[NTT-44] 菅誠一郎(兵庫県立大工)、稲葉謙介(NTT)、光格子中の3成分斥力フェルミ原子系の有限温度での性質、日本物理学会 2010 年秋季大会、大阪府立大学、2010.9.24

[NTT-45] 稲葉謙介(NTT)、山下眞(NTT)、田家慎太郎(京大理)、素川靖司(京大理)、山崎歴舟(京大理)、高橋義朗(京大理)、3次元光格子中のフェルミ原子気体のブロッホ振動、日本物理学会 2010 年秋季大会、大阪府立大学、2010.9.24

[NTT-46] 菖蒲鷹彦(東京理科大理)、山下眞(NTT)、今井弘光(東京理科大理)、盛永篤郎(東京理科大理)、Na ボース・アインシュタイン凝縮体生成実験と蒸発冷却運動論との比較、日本物理学会 2010 年秋季大会、大阪府立大学、2010.9.23

[NTT-47] 山下 眞(NTT)、稲葉謙介(NTT)、Michael W. Jack (New Zealand Forest Research Ltd.)、井桁和浩(NTT)、都倉康弘(NTT)、三次元光格子にトラップされた Bose-Fermi 混合原子気体の量子相転移、日本物理学会 2010 年春季大会、岡山大学、2010.3.20

[NTT-48] 稲葉健介(NTT)、山下眞(NTT)、菅誠一郎(兵庫県立大学工)、光格子中にトラップされたフェルミ原子気体の磁気秩序の解析、日本物理学会 2010 年春季大会、岡山大学、2010.3.20

[NTT-49] 山本篤史(阪大工)、山下眞(NTT)、菅誠一郎(兵庫県立大学工)、川上則雄(京大理)、光格子にトラップされた冷却フェルミ原子の非断熱ダイナミクス、日本物理学会 2010 年春季大会、岡山大学、2010.3.20

[NTT-50] 岡本覚(阪大基礎工)、徳永裕己(NTT)、生田力三(阪大基礎工)、山本俊(阪大基礎工)、小芦雅斗(阪大基礎工)、井元信之(阪大基礎工)、4光子クラスター状態を用いた一方向量子計算の量子プロセストモグラフィー測定、日本物理学会 2009 年秋季大会、熊本大学、2009.9.26

[NTT-51] 山下眞(NTT)、M. W. Jack(New Zealand Forest Research Ltd.)、稲葉謙介(NTT)、井桁和浩(NTT)、都倉康弘(NTT)、三次元光格子中 Bose-Fermi 混合原子気体の self-trapping 効果、日本物理学会 2009 年秋季大会、熊本大学、2009.9.26

[NTT-52] 稲葉謙介(NTT)、山下眞(NTT)、高橋義朗(京大理)、光格子中にトラップされたフェルミ原子気体の有限温度の性質、日本物理学会 2009 年秋季大会、熊本大学、2009.9.26

[NTT-53] 宮武慎也(阪大工)、稲葉謙介(NTT)、菅誠一郎(兵庫県立大工)、光格子中の3成分斥力フェルミ原子系の量子相転移、日本物理学会 2009 年秋季大会、熊本大学、2009.9.26

[NTT-54] Yuuki Tokunaga (NTT), Satoshi Okamoto (Osaka University), Rikizou Ikuta (Osaka University), Takashi Yamamoto (Osaka University), Masato Koashi (Osaka University), and Nobuyuki Imoto (Osaka University), “Complete process tomography of experimental one-way quantum computation”, Conference on Quantum Information and Quantum Control-III (CQIQC III), Toronto, Canada, August 24-27, 2009

[NTT-55] 山本篤史(阪大工)、山下眞(NTT)、川上則雄(京大理)、擬一次元光格子中における冷却フェルミ原子気体の相転移の解析、日本物理学会第 64 回年次大会、立教大学、2009.3.28

[NTT-56] 山下眞(NTT)、山口敦史(NICT)、素川靖司(京大理)、福原武(京大理)、植竹智(京大理)、高橋義朗(京大理)、一次元光格子にトラップされた ^{174}Yb ボース凝縮体アレイの数値解析、日本物理学会第 64 回年次大会、立教大学、2009.3.28

③ ポスター発表 (国内会議 68 件、国際会議 94 件)
発表者(所属)、タイトル、学会名、場所、月日

[KU-1] Takahashi Yoshiro(Kyoto Univ.), “quantum simulation using ultracold ytterbium atoms in an optical lattice”, Bose-Einstein Condensation 2013 - Frontiers in Quantum Gases, Hotel Eden Roc, Sant Feliu de Guixols, Spain, 2013.9.12

[KU-2] Shuta Nakajima, Takuei Nishio, Shintaro Taie, Yoshiro Takahashi(Kyoto Univ.), “Towards construction of an optical Lieb lattice”, The 11th US-Japan Joint Seminar on Quantum Electronics and Laser Spectroscopy “Ultimate Quantum Systems of Light and Matter- Control and Applications”, Nara Prefectural New Public Hall, Nara, 2013.4.5, 2013.4.9

[KU-3] Yusuke Nakamura(Kyoto Univ.), “Spin-orbit coupling using ultranarrow optical transition of quantum gas of Ytterbium atoms”, The 11th US-Japan Joint Seminar on Quantum Electronics and Laser Spectroscopy “Ultimate Quantum Systems of Light and Matter- Control and Applications”, Nara Prefectural New Public Hall, Nara, 2013.4.5, 2013.4.9

[KU-4] Ryuta Yamamoto, Kosuke Shibata, Yoshiro Takahashi(Kyoto Univ.), “Towards a Next-Generation Quantum Simulator : Quantum Gas Microscope of Ytterbium atoms in an Optical Lattice”, The 11th US-Japan Joint Seminar on Quantum Electronics and Laser Spectroscopy “Ultimate Quantum Systems of Light and Matter- Control and Applications”, Nara Prefectural New Public Hall, Nara, 2013.4.5, 2013.4.9

[KU-5] Hideki Konishi, Hideaki Hara, Shuta Nakajima, Yosuke Takasu, Yoshiro Takahashi(Kyoto Univ), “Towards Anderson-Hubbard Quantum Simulation Using Ultracold Yb-Li Mixture in an Optical Lattice”, The 11th US-Japan Joint Seminar on Quantum Electronics and Laser Spectroscopy “Ultimate Quantum Systems of Light and Matter- Control and Applications”, Nara Prefectural New Public Hall, Nara, 2013.4.9

[KU-6] Shintaro Taie, Shunsuke Watanabe, Rekishu Yamazaki, Seiji Sugawa and Yoshiro Takahashi(Kyoto Univ.), “Ultracold Fermi Gases of Ytterbium in a 3D Optical Lattice”, The 11th US-Japan Joint Seminar on Quantum Electronics and Laser Spectroscopy “Ultimate Quantum Systems of Light and Matter- Control and Applications”, Nara Prefectural New Public Hall, Nara, 2013.4.9

[KU-7] Yosuke Takasu, Yuu Kikuchi, Hirotaka Yamada, Masaki Ando, Yoshiro Takahashi(Kyoto Univ.), Mateusz Borkowski, Roman Ciuryło, Paul S. Julienne, “High resolution photoassociation spectroscopy of ultra-cold Yb atoms for testing the square inverse law of the gravity”, The 11th US-Japan Joint Seminar on Quantum Electronics and Laser Spectroscopy “Ultimate Quantum Systems of Light and Matter- Control and Applications”, Nara Prefectural New Public Hall, Nara, 2013.4.9

[KU-8] 原秀明、小西秀樹、中島秀太、高須洋介、高橋義朗(京大), “Towards Quantum Simulation using Ultracold Yb-Li Mixture in an Optical Lattice”, GCOE シンポジウム「創発性豊かな分野の開拓」,京都大学百周年時計台記念館 国際交流ホール,京都, 2013年2月13日

[KU-9] 中村 悠介(京大), “Spin-orbit coupling using the ultranarrow optical transition of a quantum gas of Ytterbium atoms”, GCOE シンポジウム「創発性豊かな分野の開拓」,京都大学百周年時計台記念館 国際交流ホール,京都, 2013年2月13日

[KU-10] 関 友宇(京大), “Optical Trap System for QND Measurement of Collective Spin”, GCOE シンポジウム「創発性豊かな分野の開拓」,京都大学百周年時計台記念館 国際交流ホール,京都, 2013年2月13日

[KU-11] 高須 洋介(京大), “High resolution photoassociation spectroscopy of ultra-cold Yb atoms for testing the square inverse law of the gravity”, GCOE シンポジウム「創発性豊かな分野の開拓」,京都大学百周年時計台記念館 国際交流ホール,京都, 2013年2月13日

[KU-12] 西尾 卓衛(京大), “Towards the construction of optical Lieb lattice”, GCOE シンポジウム「創発性豊かな分野の開拓」,京都大学百周年時計台記念館 国際交流ホール,京都, 2013年2月12日

[KU-13] 渡邊 俊介(京大), “Search of magnetic Feshbach resonance between 1S0 and 3P2 state in ultracold fermions 171Yb”, GCOE シンポジウム「創発性豊かな分野の開拓」,京都大学百周年時計台記念館 国際交流ホール,京都, 2013年2月12日

[KU-14] 山本 隆太(京大), “Towards a Next-Generation Quantum Simulator : Quantum Gas Microscope of Ytterbium atoms in an Optical Lattice”, GCOE シンポジウム「創発性豊かな分野の開拓」,京都大学百周年時計台記念館 国際交流ホール,京都, 2013年2月12日

[KU-15] Shintaro Taie, Rekishu Yamazaki, Seiji Sugawa, and Yoshiro Takahashi(Kyoto Univ.), “An SU(N) Mott insulator of an atomic Fermi Gas realized by large-spin Pomeranchuk cooling”, The 5th International workshop on ultracold group II atoms,

p51, NICT, Koganei, Tokyo, JAPAN, 2012年10月11日

[KU-16] Y. Kikuchi, H. Yamada, K. Takahashi, Y. Takasu, and Y. Takahashi(Kyoto Univ.), “High resolution photoassociation spectroscopy of Yb dimmers”, The 5th International workshop on ultracold group II atoms, p44, NICT, Koganei, Tokyo, JAPAN, 2012年10月11日

[KU-17]Ryotaro Inoue(Kyoto Univ.), “Measurement-based feedback control of collective spin system”, PRACQSYS (The Principles and Applications of Control in Quantum Systems) 2012, Koshiha memorial hall, University of Tokyo, Tokyo, JAPAN, 2012年9月12日

[KU-18]Y. Yoshikawa(Kyoto Univ.), “Creation of Artificial Gauge Fields in Ultracold Ytterbium Atoms”, TQP2012(International conference on topological quantum phenomena), 名古屋大学東山キャンパス ES ホール(愛知),2012年5月17日

[KU-19] 山崎歴舟(京大), “Cold Molecule Detection and its Application”, 2011年度 GCOE シンポジウム「階層の連結」, 京都大学百周年時計台記念館 国際交流ホール,2012.2.13-15

[KU-20] 田家慎太郎(京大), “Strongly correlated SU(N) Fermi gases of ytterbium in optical lattices”, 2011年度 GCOE シンポジウム「階層の連結」, 京都大学百周年時計台記念館 国際交流ホール, 2012.2.13-15

[KU-21] 素川靖司(京大), “Probing and Manipulating Strongly Correlated Phases in an Optical Lattice”, 2011年度 GCOE シンポジウム「階層の連結」, 京都大学百周年時計台記念館 国際交流ホール, 2012.2.13-15

[KU-22] 柴田康介(京大), “Towards Quantum Gas Microscope of Ytterbium atoms in an Optical Lattice”, 2011年度 GCOE シンポジウム「階層の連結」, 京都大学百周年時計台記念館 国際交流ホール, 2012.2.13-15

[KU-23] 小西秀樹(京大), ”Ultracold Yb-Li Atomic Mixtures in an Optical Lattice: Towards Realization of a Quantum Simulator for Impurity Problems”, 2011年度 GCOE シンポジウム「階層の連結」, 京都大学百周年時計台記念館 国際交流ホール, 2012.2.13-15

[KU-24] 菊地悠(京大), “Atomic test of the gravity law at nanometer scale using high resolution photoassociation of Yb atoms”, 2011年度 GCOE シンポジウム「階層の連結」, 京都大学百周年時計台記念館 国際交流ホール, 2012.2.13-15

[KU-25] 加藤真也(京大), “Spectroscopic study of the Mott-insulator transition with an atomic clock transition” 2011年度 GCOE シンポジウム「階層の連結」, 京都大学百周年時計台記念館 国際交流ホール, 2012.2.13-15

[KU-26] 井上遼太郎(京大), “Measurement-based quantum feedback control of atomic collective spin state”, 2011年度 GCOE シンポジウム「階層の連結」, 京都大学百周年時計台記念館 国際交流ホール,2012.2.13-15

[KU-27] 原秀明(京大),” Quantum Degenerate Mixtures of Alkali and Alkaline-Earth-Like Atoms”, 2011年度 GCOE シンポジウム「階層の連結」, 京都大学百周年時計台記念館 国際交流ホール, 2012.2.13-15

[KU-28] 吉川豊(京大), “Creation of artificial gauge field in ultracold ytterbium atoms”, 「対称性の破れた凝縮系におけるトポロジカル量子現象」第2回領域研究会, 岡山大学, 2011.12.17-19

[KU-29] 中島秀太(京大), “不純物問題量子シミュレーションにむけた Yb-Li 原子混合気体の散乱長評価”, 第4回基礎物理セミナー合宿・量子現象に関する若手ワークショップ, 箱根・強羅, 2011.12.3-5

[KU-30] Shinya Kato(Kyoto Univ.), Makoto Yamashita(NTT), Kosuke Shibata, Ryuta Yamamoto, Yutaka Yoshikawa, and Yoshiro Takahashi(Kyoto Univ.), ”Spectroscopic study of the Mott-insulator transition with an atomic clock transition”, Quantum Information Processing and Communication (QIPC) 2011, ETH Zurich, 2011.9.5-9

[KU-31] Satosh Uetake, Ryo Murakami(Kyoto Univ.), John M. Doyle(Harverd Univ.), Yoshiro Takahashi(Kyoto Univ.), “Spin Dependent Collisions of Ultracold Metastable Atoms” Gordon Research Conferences (Atomic Physics), West Dover, VT, USA, 2011.6.29-30

[KU-32] 田家慎太郎, 素川靖司, 山崎歴舟, 高橋義朗(京都大学), “Mott Insulator of Multi-Component Fermi Gases of Ytterbium in Optical Lattices”, 20th International Conference on Laser Spectroscopy ICOLS 2011, Aerzen Germany, 2011.5.31

[KU-33] 原秀明, 高須洋介, 山岡義史(Kyoto Univ.), John M. Doyle(Harverd Univ.), 高橋義朗(Kyoto Univ.), “Quantum degenerate mixtures of alkali and alkaline-earth-like atoms”, 20th International Conference on Laser Spectroscopy ICOLS 2011, Aerzen Germany, 2011.5.30

[KU-34] 井上遼太郎, 田中慎一郎, 並木亮, 高橋義朗(京大), “Quantum Control of Atomic Collective Spin State”, GCOE シンポジウム「フロンティア開拓」, 京都大学, 2011.2.21-23

[KU-35] 植竹智(京大), “Collisional properties of metastable ytterbium atoms”, GCOE シンポジウム「フロンティア開拓」, 京都大学, 2011.2.21-23

[KU-36] Shinya Kato, Kosuke Shibata, Ryuta Yamamoto, Yutaka Yoshikawa, Yoshiro Takahashi(京大), “High-resolution spectroscopy of an atomic Mott insulator”, GCOE シンポジウム「フロンティア開拓」, 京都大学, 2011.2.21-23

[KU-37] 柴田康介(京大), “Single Site Addressing in an Optical Lattice with Optical Magnetic Resonance Imaging using an Ultra-Narrow Optical Transition”, GCOE シンポジウム「フロンティア開拓」, 京都大学, 2011.2.21-23

[KU-38] 素川靖司(京大), 稲葉謙介(NTT), 田家慎太郎(京大), 山崎歴舟(京大), 山下眞(NTT), 高橋義朗(京大), “Interaction and Filling-Induced Phases of Dual Mott Insulator of Bosons and Fermions in an Optical Lattice”, GCOE シンポジウム「フロンティア開拓」, 京都大学, 2011.2.21-23

[KU-39] 高須洋介(京大), “Observation of subradiant molecules”, GCOE シンポジウム「フロンティア開拓」, 京都大学, 2011.2.21-23

[KU-40] 並木亮(京大), “Quantum limit of the phase-insensitive linear amplification in a practical framework”, GCOE シンポジウム「フロンティア開拓」, 京都大学, 2011.2.21-23

[KU-41] 原秀明, 高須洋介, 山岡義史(京大), John M. Doyle(Harverd Univ.), 高橋義朗(京大), “Realization of quantum degenerate mixture of Li-Yb atoms”, GCOE シンポジウム「フロンティア開拓」, 京都大学, 2011.2.21-23

[KU-42] 山崎歴舟(京大), “Optical Control of Interatomic Interaction in the Cold Atom Quantum Simulator”, GCOE シンポジウム「フロンティア開拓」, 京都大学, 2011.2.21-23

[KU-43] 山田裕貴(京大), “High resolution photoassociation spectroscopy of ultra-cold Yb atoms for testing the square inverse law of the gravity”, GCOE シンポジウム「フロンティア開拓」, 京都大学, 2011.2.21-23

[KU-44] 山本隆太(京大), “Towards constructing a 2D atom system with single-site addressability”, GCOE シンポジウム「フロンティア開拓」, 京都大学, 2011.2.21-23

[KU-45] 山岡義史(京大), “Toward realization of Fermi degenerate mixture of ^{173}Yb and ^6Li atoms”, GCOE シンポジウム「フロンティア開拓」, 京都大学, 2011.2.21-23

[KU-46] 高須洋介, 斉藤悠, 高橋義朗(京大), “Observation of Yb₂ molecules in metastable subradiant states”, UCAM2011 ERATO Macroscopic Quantum Control Conference on Ultracold Atoms and Molecules, Tokyo, 2011.1.24

[KU-47] S. Uetake, R. Murakami(Kyoto Univ.), J. M. Doyle(Harverd Univ.), and Y. Takahashi(Kyoto Univ.), “Collisional properties of metastable ytterbium atoms”, UCAM2011 ERATO Macroscopic Quantum Control Conference on Ultracold Atoms and Molecules, Tokyo, 2011.1.24

[KU-48] 素川靖司(Kyoto Univ.), 稲葉謙介(NTT), 田家慎太郎(Kyoto Univ.), 山崎歴舟(Kyoto Univ.), 山下眞(NTT), 高橋義朗(Kyoto Univ.), “Interaction and Filling-Induced Phases of Dual Mott Insulator of Bosons and Fermions in an Optical Lattice” UCAM2011 ERATO Macroscopic Quantum Control Conference on Ultracold Atoms and Molecules, Tokyo, 2011.1.24

[KU-49] 原秀明, 高須洋介, 山岡義史(Kyoto Univ.), John M. Doyle(Harverd Univ.), 高橋義朗(Kyoto Univ.), “Towards quantum degenerate mixture of Li-Yb atoms” UCAM2011 ERATO Macroscopic Quantum Control Conference on Ultracold Atoms and Molecules, Tokyo, 2011.1.24

[KU-50] 高須洋介, 原秀明, 山岡義史(京大), John M. Dolye(Harverd Univ.), 高橋義朗(京大), “スピン自由度を持つフェルミ縮退混合気体を用いたクロスオーバー領域の研究”、新学術領域研究「半導体における動的相関電子系の光科学」シンポジウム, 京都, 2011.1.7

[KU-51] Yutaka Yoshikawa and Yoshiro Takahashi(Kyoto Univ), “Creation of gauge fields for ultracold ytterbium atoms in a two-dimensional optical lattice” 「トポロジカル量子現象」領域研究会、京都大学、2010.12.18-20

[KU-52] 井上遼太郎, 田中慎一郎, 並木亮, 高橋義朗(京大), “Quantum Control of Atomic Collective Spin State”, 量子情報処理プロジェクト全体会議 2010, 熱海, 2010.12.10

[KU-53] Yutaka Yoshikawa, Shinya Kato, Kosuke Shibata, Ryuta Yamamoto, and Yoshiro Takahashi(Kyoto Univ.), “Single-site manipulation in an optical lattice for quantum simulation”, 量子情報処理プロジェクト全体会議 2010, 熱海, 2010.12.10

[KU-54] 山崎歴舟(京大), “Optical Control of Interatomic Interaction in the cold atom Quantum Simulator”, 量子情報処理プロジェクト全体会議 2010, 熱海, 2010.12.10

[KU-55] 原秀明, 高須洋介, 山岡義史(京大), John M. Doyle(Harverd Univ.), 高橋義朗(京大), “Towards quantum simulation using ultracold polar molecules of Li-Yb”, 量子情報処理プロジェクト全体会議 2010, 熱海, 2010.12.10

[KU-56] R. Namiki(Kyoto Univ.) and Y. Tokunaga(NTT), “Benchmark for the Genuine Quantum Memory and Gate,” Updating Quantum Cryptography and Communications 2010 (UQCC2010), Tokyo, 2010.10.18-20

[KU-57] Ryo Namiki (Kyoto Univ.) and Yuuki Tokunaga (NTT), “Entanglement criteria from discrete Fourier-based uncertainty relations”, 10th Asian Conference on Quantum Information Science (AQIS 2010), Tokyo, Japan, 2010.8.27-31

[KU-58] 山崎歴舟(京大), “光フェッシュュバツハ共鳴の Yb 原子凝縮体への応用”, 量子情報処理プロジェクト夏季研修会, 沖縄, 2010.8.18-28

[KU-59] 柴田康介(京大), “Toward atom addressing and imaging with submicrometer resolution”, 量子情報処理プロジェクト夏季研修会, 沖縄, 2010.8.18-28

[KU-60] 田家慎太郎(京大), “光格子中の Yb フェルミ原子気体”, 量子情報処理プロジェクト夏季研修会, 沖縄, 2010.8.18-28

[KU-61] R. Yamazaki, S. Taie, S. Sugawa, Y. Takahashi(Kyoto Univ.), “Nanometer-scale Modulation of an Inter-atomic Interaction in a Bose-Einstein Condensate”, The 22nd International Conference on Atomic Physics (ICAP 2010), Cairns Australia, 2010.7.25-30

[KU-62] S. Uetake, R. Murakami(Kyoto Univ.), J. M. Doyle(Harverd Univ.), Y. Takahashi(Kyoto Univ.): “Collisional properties of metastable ytterbium atoms”, The 22nd International Conference on Atomic Physics (ICAP 2010), Cairns Australia, 2010.7.25-30

[KU-63] Seiji Sugawa(Kyoto Univ.), “Competition and coexistence of strongly-correlated phases of ytterbium Bose-Fermi mixtures in optical lattices”, Les Houches School of Physics session XCIV, Les Houches France, 2010.7.2

[KU-64] 高須洋介, 原秀明, 村松真臣(京大), John. M. Dolye(Harverd Univ.), 高橋義朗(京大), “スピン自由度を持つフェルミ縮退混合気体実現に向けた超低温 Yb-Li 混合体の生成”, 特定領域研究「光-分子強結合反応場の創成」および新学術領域研究「半導体における動的相関電子系の光科学」合同シンポジウム, 東京, 2010.5.27-28

[KU-65] 並木亮(京大), “Phase-conjugate-state pairs in entangled states”, 第 22 回量子情報技術研究会 (QIT22), 大阪大学, 2010.5.10-11

[KU-66] 植竹智(京大), “超低温原子気体を用いた量子多体系の研究:超狭線幅レーザー分光によるアプローチ”, 日本学術会議主催公開シンポジウム「先端フォトニクスの展望」, 日本学術会議講堂 東京, 2010.4.9

[KU-67] Shinya Kato, Kosuke Shibata, Naotaka Hamaguchi, Yoshiro Takahashi(Kyoto

Univ.), “Toward Single Site Addressing in an Optical lattice with Optical Magnetic Resonance Imaging using Ultra-Narrow Optical Transition” 2010 International Symposium on Physics of Quantum Technology, Tokyo,2010.4.8

[KU-68] Ryo Namiki(Kyoto Univ.), “Phase-conjugate state pairs in entangled states”, 2010 International Symposium on Physics of Quantum Technology, Tokyo,2010.4.7

[KU-69] Hideaki Hara, Masatomi Muramatu, Yosuke Takasu, Yoshiro Takahashi(Kyoto Univ.), “Towards quantum simulation using ultracold polar molecules of lithium-ytterbium”, 2010 International Symposium on Physics of Quantum Technology, Tokyo,2010.4.7

[KU-70] Seiji Sugawa(Kyoto Univ.), “Behavior of ytterbium Bose-Fermi mixtures in 3D Optical Lattices”, 2010 International Symposium on Physics of Quantum Technology, Tokyo, 2010.4.7

[KU-71] R. Yamazaki, S. Taie, S. Sugawa, Y. Takahashi(Kyoto Univ.), “Manipulation of Bose-Einstein Condensate with Optical Feshbach Resonance”, 2010 International Symposium on Physics of Quantum Technology, Tokyo ,2010.4.7

[KU-72] S. Uetake, R. Murakami, Y. Takahashi(Kyoto Univ.), “Collisional properties of metastable ytterbium atoms”, 2010 International Symposium on Physics of Quantum Technology, Tokyo ,2010.4.7

[KU-72] 加藤真也(京大), “Bose-Einstein condensation of Ytterbium atoms in a thin glass cell”, GCOE シンポジウム「対称性の破れと量子現象」, 京都大学, 2010年2月15日～17日

[KU-74] 柴田康介(京大), “Toward addressing and imaging of neutral atoms with wavelength resolution”, GCOE シンポジウム「対称性の破れと量子現象」, 京都大学, 2010年2月15日～17日

[KU-75] 素川靖司(京大), “Behavior of ytterbium Bose-Fermi mixtures in 3D optical lattices”, GCOE シンポジウム「対称性の破れと量子現象」, 京都大学, 2010年2月15日～17日

[KU-76] 田中慎一郎(京大), “Real Time Control of Collective Spin Ensemble”, GCOE シンポジウム「対称性の破れと量子現象」, 京都大学, 2010年2月15日～17日

[KU-77] 並木亮(京大), “Phase-conjugate-state pairs in entangled states”, GCOE シンポジウム「対称性の破れと量子現象」, 京都大学, 2010年2月15日～17日

[KU-78] 原秀明(京大), “Toward production of ultracold polar molecules of LiYb”, GCOE シンポジウム「対称性の破れと量子現象」, 京都大学, 2010年2月15日～17日

[KU-79] 村上亮(京大), “Metastable Triplet States of Ultracold Ytterbium”, GCOE シンポジウム「対称性の破れと量子現象」, 京都大学, 2010年2月15日～17日

[KU-80] Yosuke Takasu(Kyoto Univ.), “Photoassociation of Quantum Degenerate Yb atoms”, Cold Atoms and Molecules : Collisions, Field-Effects, and Applications, Kyoto, Japan, June 23-26, 2009

[KU-81] Satoshi Uetake(Kyoto Univ.), “High-resolution laser spectroscopy of 1D Bose Gases”, Cold Atoms and Molecules : Collisions, Field-Effects, and Applications, Kyoto, Japan, June 23-26, 2009

[KU-82] Ryo Namiki(Kyoto Univ.), “Measurement schemes for the spin quadratures on an ensemble of atoms” Cold Atoms and Molecules : Collisions, Field-Effects, and Applications, Kyoto, Japan, June 23-26, 2009

[KU-83] Masayuki Okano(Kyoto Univ.), “Towards production of ultracold polar molecules of lithium-ytterbium”, Cold Atoms and Molecules : Collisions, Field-Effects, and Applications, Kyoto, Japan, June 23-26, 2009

[KU-84] Shintaro Taie(Kyoto Univ.), “Mott insulator of ytterbium atoms in 3D optical lattices”, Cold Atoms and Molecules : Collisions, Field-Effects, and Applications, Kyoto, Japan, June 23-26, 2009.

[KU-85] S.Sugawa, S. Taie, T. Fukuhara, S. Uetake, R. Yamazaki, Y. Takahashi(Kyoto Univ.), “Quantum Degenerate Gases of Ytterbium Atoms in 3D Optical Lattice”, The 19th International Conference on Laser Spectroscopy (ICOLS 2009)(Kussharo-Prince Hotel, Hokkaido, 2009.6.8-9)

[KU-86] S. Uetake, H. Kakiuchi, Y. Takahashi(Kyoto Univ.) , “High-Resolution Laser Spectroscopy of 1D Bose Gases”, The 19th International Conference on Laser Spectroscopy (ICOLS 2009), Kussharo-Prince Hotel, Hokkaido, 2009.6.8-9

[KU-87] 加藤真也(京大), “光格子中の冷却原子を用いた磁気共鳴イメージングへ向けて”, GC OEオープニングシンポジウム, 京都大学百周年時計台記念館, 2009年2月16日～18日

[KU-88] 素川靖司(京大), “Mixtures of quantum degenerate gases in 3D optical lattices”, GCOEオープニングシンポジウム, 京都大学百周年時計台記念館, 2009年2月16日～18日

[KU-89] 田家慎太郎(京大), “Ultracold ytterbium gases in optical lattices”, GCOEオープニングシンポジウム, 京都大学百周年時計台記念館, 2009年2月16日～18日

[KU-90] 田中慎一郎(京大), “光格子中のイッテルビウム原子に対するスピンの量子非破壊測定とスピンノイズの圧搾”, GCOEオープニングシンポジウム, 京都大学百周年時計台記念館, 2009年2月16日～18日

[NICT-1] T. Ido, M. Fujieda, M. Kumagai, H. Hachisu, A. Yamaguchi, S. Nagano, Y. Li (NICT), T. Takano, M. Takamoto, and H. Katori (University of Tokyo), “Optical direct comparison of two ^{87}Sr lattice clocks using a >50km fiber link”, AIST Optical frequency comb symposium, 産業技術総合研究所, 2011年9月26日

[NICT-2] T. Ido, M. Fujieda, H. Hachisu, M. Kumagai, Y. Li, S. Nagano, N. Shiga, and A. Yamaguchi (NICT), T. Takano, M. Takamoto, and H. Katori(University of Tokyo), “Optical direct comparison of two ^{87}Sr lattice clocks using a fiber-link of 60km”, ICOLS 2011, Hameln, 2011年5月31日

[NICT-3] T. Ido, A. Yamaguchi, N. Shiga, H. Ishijima, S. Nagano, Y. Li, and M. Hosokawa (NICT), “An ^{87}Sr Lattice Clock, Conference on Lasers and Electro Optics”, San Jose, 2010/05/09-14

[NICT-4] Michi Koide, Mizuhiko Hosokawa and Tetsuya Ido (NICT), “A Design of a Long Monolithic Cavity without Unequal Restoring Forces”, San Jose, 2010/05/09-14

[NICT-5] A. Yamaguchi, N. Shiga, S. Nagano, H. Ishijima, M. Hosokawa, and T. Ido (NICT), “Spectroscopy of the ^{87}Sr Clock Transition toward an Optical lattice clock”, International Conference on Atomic Physics, Cairns, 2010/07/26-31

[NICT-6] A. Yamaguchi, N. Shiga, S. Nagano, M. Hosokawa, T. Ido (NICT), “AN ^{87}Sr Optical lattice clock at NICT”, UQCC2010, Tokyo, 2010/10/19

[NICT-7] A. Yamaguchi, M. Kumagai, M. Fujieda, N. Shiga, S. Nagano, H. Hachisu, T. Ido, M. Hosokawa (NICT), T. Takano, M. Takamoto, and H. Katori (University of Tokyo), “Optical direct comparison of two ^{87}Sr lattice clocks using a > 50 km fiber link”, ERATO Macroscopic Quantum Control Conference on Ultracold Atoms and Molecules, Tokyo, 2011/01/24-26

[NICT-8] T. Ido, N. Shiga, Y. Li, H. Ito, S. Nagano, and M. Hosokawa (NICT), “Background gas induced collision shift for ^{88}Sr $^1\text{S}_0$ - $^3\text{P}_1$ spin-forbidden transition” European Frequency and Time Forum (EFTF) 2009, Besancon, France, Apr 20-24, 2009

[NICT-9] M. Koide, S. Nagano, Y. Li, N. Shiga, A. Yamaguchi, M. Kajita, M. Hosokawa, and T. Ido (NICT), “A Design of vibration insensitive cavity of 30 cm length”, 19th International Conference on Laser Spectroscopy, Hokkaido, Japan Jun 7-13, 2009

[NICT-10] N. Shiga, A. Yamaguchi, H. Ishijima, Y. Li, H. Ito, S. Nagano, M. Koide, M. Hosokawa, T. Ido (NICT), K. Bielska, R. Trawinski, and R. Ciurylo (Nicholas Copernicus University), “Heated Cell Measurement of Background Gas induced Collision Shifts of ^{88}Sr $5s^2$ $^1\text{S}_0 \rightarrow 5s5p$ $^3\text{P}_1$ Transition” 19th International Conference on Laser Spectroscopy, Hokkaido, Japan Jun 7-13, 2009

[NICT-11] T. Ido, N. Shiga, A. Yamaguchi, Y. Li, S. Nagano, H. Ito, M. Koide, H. Ishijima (NICT), K. Bielska, R. Trawinski, and R. Ciurylo (Nicholas Copernicus University), “Vapor-cell measurement of foreign gas induced collision shifts for the ^{88}Sr $^1\text{S}_0$ - $^3\text{P}_1$ transition”, Ultracold GroupII Atoms: Quantum Metrology and Information, Univ. of Maryland, USA, Sep 17-19, 2009.

[NTT-1] 菅誠一郎 (兵庫県立大工)、稲葉謙介、“光格子中の強相関フェルミ原子混合系における局所揺らぎに起因した超伝道のペア対称性”、日本物理学会 2014 年春季大会、東海大学、神奈川、2014.3.30

[NTT-2] 野田数人、稲葉謙介、山下眞、“多層 Lieb 光格子を用いた冷却原子フェルミ気体の磁気秩序の理論的研究”、基礎物理学研究所 研究会 「量子情報の新展開 ～複雑性の極限における普遍的物理の探究～」、京都大学、2014.3.23-25.

[NTT-3] Sei-ichiro Suga (University of Hyogo) and Kensuke Inaba (NTT), “Mott states and superfluid state of repulsively interacting three-component fermionic atoms in optical lattices”, International Conference on Recent Progress in Many body theories, Rostock, Germany, September 10, 2013

[NTT-4] Yuuki Tokunaga (NTT), “High-Fidelity Atom-Photon Quantum Gates Using a \square System”, Conference on Resonator QED, Munich, Germany, September 9-13, 2013

[NTT-5] Rui Asaoka (Tohoku University), Yuta Toga (Tohoku University), Hiroki Tsuchiura (Tohoku University), and Makoto Yamashita (NTT), “Dynamical instability in $S=1$ bosonic systems in an optical lattice”, International Conference on Strongly Correlated Electron Systems (SCES’13), Tokyo, Japan, August 7, 2013

[NTT-6] Yuta Toga (Tohoku University), Hiroki Tsuchiura (Tohoku University), Makoto Yamashita (NTT), and Hisatoshi Yokoyama (Tohoku University), “Spin-Nematic and -Singlet States of Strongly Correlated Spin-1 Bosons in Magnetic Field”, International Conference on Strongly Correlated Electron Systems (SCES’13), Tokyo, Japan, August 7, 2013

[NTT-7] Sei-ichiro Suga (University of Hyogo) and Kensuke Inaba (NTT), “Three-Body Losses of Repulsively Interacting Three-Component Fermions in Optical Lattices”, International Conference on Statistical Physics, Seoul, Korea, July 25, 2013

[NTT-8] Yuuki Tokunaga (NTT), “High-Fidelity Atom Entanglement Generation Using a \square System”, Quantum information processing and communication international conference, Florence, Italy, June 30 - July 5, 2013

[NTT-9] Yuuki Tokunaga (NTT), “High-Fidelity Atom-Photon Entangling Operation Using a \square System”, International Conference on Coherent and Nonlinear Optics (ICONO), Moscow, Russia, June 18-22, 2013

[NTT-10] 土田健太郎(東北大工), 土浦宏紀(東北大工), 山下眞(NTT), 浅岡類(東北大工), 梅裕太(東北大工), “強磁性スピノール BEC の安定性解析”, 日本物理学会 2013 年春季大会, 広島大学, 広島, 2013.3.27

[NTT-11] 菅誠一郎(兵庫県立大工), 稲葉謙介(NTT), “斥力相互作用をする光格子中の 3 成分フェルミ原子系におけるクーパーペアの対称性”, 日本物理学会 2013 年春季大会, 広島大学, 広島, 2013.3.27

[NTT-12] 梅裕太(東北大工), 土浦宏紀(東北大工), 山下眞(NTT), 横山寿敏(東北大理), “2 次元光格子中 $S=1$ ボース原子気体のスピン相関がもたらすモット転移の多様性”, ナノ・ライフ公開シンポジウム, 神戸, 2012.3.5-6

[NTT-13] Sei-ichiro Suga (University of Hyogo) and Kensuke Inaba (NTT), “Superfluid state of repulsively interacting three-component fermionic atoms in optical lattices”, APS March Meeting 2013, Baltimore, USA, March 3, 2013

[NTT-14] Sei-ichiro Suga (University of Hyogo) and Kensuke Inaba (NTT), “Mott states and superfluid state of repulsively interacting three-component fermionic atoms in optical lattices”, International Symposium on Strongly Correlated Quantum Science, Tokyo, Japan, January 27, 2013

[NTT-15] Makoto Yamashita (NTT), Shinya Kato (Kyoto University), Atsushi Yamaguchi (Kyoto University), Seiji Sugawa (Kyoto University), Takeshi Fukuhara (Kyoto University), Satoshi Uetake (Kyoto University), and Yoshiro Takahashi (Kyoto University), “Number squeezing and spectroscopic line shape of ytterbium condensates in a 1D optical lattice”, International workshop on ultracold group II atom, Tokyo, Japan, October 11, 2012

[NTT-16] Kensuke Inaba (NTT), Makoto Yamashita (NTT), Shinya Kato (Kyoto

University), Kousuke Shibata (Kyoto University), Ryuta Yamamoto (Kyoto University), Yutaka Yoshikawa (Kyoto University) and Yoshiro Takahashi (Kyoto University), “High-resolution laser spectra of bosonic ytterbium atoms in an optical lattice: Comparison between numerical calculations and experiments”, International workshop on ultracold group II atom, Tokyo, Japan, October 11, 2012

[NTT-17] Keisuke Fujii (Osaka University) and Yuuki Tokunaga (NTT), “Error- and Loss-Tolerances of Surface Codes with General Lattice Structures”, The 11th International Conference on Quantum Communication, Measurement and Computing (QCMC), Vienna, Austria, August 2, 2012

[NTT-18] Kensuke Inaba, Yuuki Tokunaga, Kiyoshi Tamaki, Kazuhiro Igeta and Makoto Yamashita (NTT), “Control of Wannier orbitals for generating tunable Ising interactions of ultracold atoms in an optical lattice”, The 11th International Conference on Quantum Communication, Measurement and Computing (QCMC), Vienna, Austria, July 31, 2012

[NTT-19] Kensuke Inaba, Yuuki Tokunaga, Kiyoshi Tamaki, Kazuhiro Igeta and Makoto Yamashita (NTT), “Control of Wannier orbitals for generating entanglement of ultracold atoms in an optical lattice”, The 23rd International conference on atomic physics 2012 ICAP2012), Palaiseau, France, July 26, 2012

[NTT-20] Kensuke Inaba (NTT), Makoto Yamashita (NTT), Shinya Kato (Kyoto University), Kousuke Shibata (Kyoto University), Ryuta Yamamoto (Kyoto University), Yutaka Yoshikawa (Kyoto University) and Yoshiro Takahashi (Kyoto University), “High-resolution laser spectra of bosonic ytterbium atoms in an optical lattice: Comparison between numerical calculations and experiments”, The 23rd International conference on atomic physics 2012 (ICAP2012), Palaiseau, France, July 23, 2012

[NTT-21] Rui Asaoka (Tohoku University), Yuta Toga (Tohoku University), Hiroki Tsuchiura (Tohoku University), and Makoto Yamashita (NTT), “Dynamical instability in two-component bosonic systems in an optical lattice”, The 19th International Conference on Magnetism (ICM 2012), Busan, Korea, July 12, 2012

[NTT-22] Yuta Toga (Tohoku University), Hiroki Tsuchiura (Tohoku University), Makoto Yamashita (NTT), and Hisatoshi Yokoyama (Tohoku University), “Spin-nematic and -singlet states in the Mott insulator phase of the $S=1$ two-dimensional Bose-Hubbard model”, The 19th International Conference on Magnetism (ICM 2012), Busan, Korea, July 12, 2012

[NTT-23] Sei-ichiro Suga (University of Hyogo) and Kensuke Inaba (NTT), “Superfluid state of repulsively interacting three-component fermionic atoms in optical lattices”, International Conference on Magnetism 2012, Busan, Korea, July 9, 2012

[NTT-24] Keisuke Fujii (Osaka University) and Yuuki Tokunaga (NTT), “Error Correction Property of the Surface Codes with General Lattices”, 15th Workshop on Quantum Information Processing (QIP 2012), Montreal, Canada, December 12-16, 2011

[NTT-25] Keisuke Fujii (Osaka University) and Yuuki Tokunaga (NTT), “Fault-Tolerant Topological One-Way Quantum Computation with Probabilistic Two-Qubit Gates”, Second International Conference on Quantum Error Correction, LA, USA, December 5-9, 2011

[NTT-26] 浅岡類(東北大工)、梅裕太(東北大工)、土浦宏紀(東北大工)、山下眞(NTT)、“ $S=1$

Bose-Hubbard model における BEC の動的不安定性”、日本物理学会 2011 年 秋季大会、富山大学、2011.9.22

[NTT-27] Keisuke Fujii (Osaka University) and Yuuki Tokunaga (NTT), “Fault-tolerant topological quantum computation with probabilistic gates”, The international conference on Quantum Information Processing and Communication (QIPC), Zurich, Swiss, September 5-9, 2011

[NTT-28] Sei-ichiro Suga (University of Hyogo) and Kensuke Inaba (NTT), “Color Superfluid of Repulsively Interacting Three-Component Fermionic Atoms in Optical Lattices”, International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2011, Cambridge, UK, July 3, 2011

[NTT-29] Sei-ichiro Suga (University of Hyogo) and Kensuke Inaba (NTT), “Ordered states and Mott states of three-component fermionic atoms in optical lattices at finite temperatures”, Annual Meeting of the Division of Atomic Molecular and Optical Physics 2011, Atlanta, USA, 2011.6.13-17

[NTT-30] Keisuke Fujii (Osaka University) and Yuuki Tokunaga (NTT), “Resource-Efficient Fault-Tolerant Topological One-Way Quantum Computation with Probabilistic Two-Qubit Gates”, The sixth Conference on the Theory of Quantum Computation, Communication and Cryptography (TQC2011), Madrid, Spain, May 24-26, 2011

[NTT-31] Makoto Yamashita (NTT) and Michael W. Jack (Scion), “Coherent population oscillations of spin-1 bosonic atoms induced by linear loss”, ERATO Macroscopic Quantum Control Conference on Ultracold Atoms and Molecules (UCAM2011), Tokyo, Japan, January 24-26, 2011

[NTT-32] Yuta Toga (Tohoku University), Hiroki Tsuchiura (Tohoku University), Makoto Yamashita (NTT), Hisatoshi Yokoyama (Tohoku University), and Kensuke Inaba (NTT), “Variational study on the Mott and spin correlations in the two-dimensional S=1 Bose-Hubbard model”, ERATO Macroscopic Quantum Control Conference on Ultracold Atoms and Molecules (UCAM2011), Tokyo, Japan, January 24-26, 2011

[NTT-33] Kensuke Inaba and Makoto Yamashita (NTT), “Time-of-flight imaging method to observe signatures of antiferromagnetically ordered states”, ERATO Macroscopic Quantum Control Conference on Ultracold Atoms and Molecules (UCAM2011), Tokyo, January 24-26, 2011

[NTT-34] 梅裕太(東北大工)、土浦宏紀(東北大工)、山下眞(NTT)、横山寿敏(東北大理)、“スピン1の2次元ボース・ハバードモデルにおけるモット転移とスピン相関”、物性研・CMSI・次世代ナノ情報合同研究会「計算物質科学の課題と展望」、東京大学、物性研究所、2011.1.5-7

[NTT-35] 梅裕太(東北大工)、土浦宏紀(東北大工)、山下眞(NTT)、横山寿敏(東北大理)、“Variational study on Mott transition and spin correlations in the two-dimensional S=1 Bose-Hubbard model”、「対称性の破れた凝縮系におけるトポロジカル量子現象」領域研究会、京都大学、2010.12.18

[NTT-36] 井桁和浩(NTT)、井元信之(阪大基礎工)、小芦雅斗(阪大基礎工)、“コヒーレント場による量子ビットの制御限”、第23回量子情報技術研究会(QIT23)、東京大学、2010.11.16

[NTT-37] 井桁和浩 (NTT)、井元信之 (阪大基礎工)、小芦雅斗 (阪大基礎工)、“量子ビットのコヒーレント制御におけるミクロ・マクロ双対性”、基研研究会「量子科学における双対性とスケール」京都大学 基礎物理学研究所、2010.11.4

[NTT-38] Makoto Yamashita (NTT), Atsushi Yamamoto (Japan Atomic Energy Agency), and Norio Kawakami (Kyoto University), “Quantum dynamics of ultracold fermionic atoms in one-dimensional optical superlattices”, The third International Conference on Updating Quantum Cryptography and Communications (UQCC 2010), Tokyo, Japan, October 18-20, 2010

[NTT-39] Kensuke Inaba (NTT), Makoto Yamashita (NTT), Seiji Sugawa (Kyoto University), Shintaro Taie (Kyoto University), Rekishu Yamazaki (Kyoto University), and Yoshiro Takahashi (Kyoto University), “Quantum Simulation of the Mott Transition in Bose-Fermi Mixtures in a Three Dimensional Optical Lattice: Quantitative Comparison between Theory and Experiments”, The third International Conference on Updating Quantum Cryptography and Communications (UQCC 2010), Tokyo, Japan, October 18-20, 2010

[NTT-40] Kazuhiro Igeta (NTT), Nobuyuki Imoto (Osaka University), and Masato Koashi (Osaka University), “Fundamental Error in Coherent Control of a Qubit”, The third International Conference on Updating Quantum Cryptography and Communications (UQCC 2010), Tokyo, Japan, October 18-20, 2010

[NTT-41] Yuta Toga (Tohoku University), Hiroki Tsuchiura (Tohoku University), Makoto Yamashita (NTT), and Hisatoshi Yokoyama (Tohoku University), “Variational study on Mott-transition in the $S=1$ two-dimensional Bose-Hubbard model”, 22nd International Conference on Atomic Physics (ICAP 2010), Cairns, Australia, July 25-30, 2010

[NTT-42] Sei-ichiro Suga (University of Hyogo) and Kensuke Inaba (NTT), “Ordered States and Mott Transition States of Three-Component Repulsive Fermionic Atoms in Optical Lattices”, 22nd International Conference on Atomic Physics (ICAP 2010), Cairns, Australia, July 25-30, 2010

[NTT-43] Makoto Yamashita (NTT), Atsushi Yamaguchi (Kyoto University), Seiji Sugawa (Kyoto University), Takeshi Fukuhara (Kyoto University), Satoshi Uetake (Kyoto University), and Yoshiro Takahashi (Kyoto University), “Number squeezing and spectroscopic line shape of an array of ytterbium condensates trapped in a one-dimensional optical lattice”, 22nd International Conference on Atomic Physics (ICAP 2010), Cairns, Australia, July 25-30, 2010

[NTT-44] Kensuke Inaba (NTT), Makoto Yamashita (NTT), Seiji Sugawa (Kyoto University), Shintaro Taie (Kyoto University), Rekishu Yamazaki (Kyoto University), and Yoshiro Takahashi (Kyoto University), “Gutzwiller Analysis on Bose-Fermi Mixtures of Ytterbium isotopes in an Optical Lattice”, 22nd International Conference on Atomic Physics (ICAP 2010), Cairns, Australia, July 25-30, 2010

[NTT-45] Yuuki Tokunaga (NTT), Satoshi Okamoto (Osaka University), Rikizou Ikuta (Osaka University), Takashi Yamamoto (Osaka University), Masato Koashi (Osaka University), and Nobuyuki Imoto (Osaka University), “Process tomography of elementary gates in optical one-way quantum computing”, The Tenth International Conference on Quantum Communication, Measurement and Computation (QCMC 2010), Brisbane, Queensland, Australia, July 19-23, 2010

[NTT-46] Sei-ichiro Suga (University of Hyogo) and Kensuke Inaba (NTT), “Ordered States and Mott Transition States of Three-Component Fermionic Atoms in Optical Lattices”, The International Conference on Frustrated Spin Systems, Cold Atoms, Nanomaterials, Hanoi, Vietnam, July 4-16, 2010

[NTT-47] Sei-ichiro Suga (University of Hyogo) and Kensuke Inaba (NTT), “Three-Component Repulsive Fermionic Atoms in Optical Lattices”, International Conference on Strongly Correlated Electron System (SCES 2010), Santa Fe, USA, June 27-July 2, 2010

[NTT-48] Shinya Miyatake (Osaka University), Kensuke Inaba (NTT), and Sei-ichiro Suga (Hyogo University), “Color superfluidity and trionic state of three-component lattice fermionic atoms”, International Conference on Strongly Correlated Electron System (SCES 2010), Santa Fe, USA, June 27-July 2, 2010

[NTT-49] Kensuke Inaba (NTT) and Makoto Yamashita (NTT), “Antiferromagnetic transition of trapped fermions in a two-dimensional optical lattice”, The 41st Annual Meeting of the Division of Atomic Molecular and Optical Physics (DAMOP 2010), Houston, USA, May 25-29, 2010

[NTT-50] Yuuki Tokunaga (NTT), Satoshi Okamoto (Osaka University), Rikizou Ikuta (Osaka University), Takashi Yamamoto (Osaka University), Masato Koashi (Osaka University), and Nobuyuki Imoto (Osaka University), “Complete Process Tomography of Photonic One-Way Quantum Computing”, 2010 International Symposium on Physics of Quantum Technology (ISPQT), Tokyo, Japan, April 6-9, 2010

[NTT-51] 梅裕太(東北大工)、土浦宏紀(東北大工)、山下眞(NTT)、横山寿敏(東北大理)、佐久間昭正(東北大工)、スピン1の2次元ボース・ハバードモデルにおけるモット転移の解析、日本物理学会2010年春季大会、岡山大学、2010.3.21

[NTT-52] S. Suga (University of Hyogo) and K. Inaba (NTT), “Three-component Fermionic Atoms in Optical Lattices”, International Symposium on Physics of New Phases in Superclean Materials (PSM2010), Yokohama, Japan, March 9-12, 2010.

[NTT-53] Norio Kawakami (Kyoto University), Atsushi Yamamoto (Osaka University), and Makoto Yamashita (NTT), “Quantum-Quench Dynamics of Ultracold Fermions in Optical Superlattices”, International Symposium on Physics of New Phases in Superclean Materials (PSM2010), Yokohama, Japan, March 9-12, 2010.

[NTT-54] Shinya Miyatake (Osaka University), Kensuke Inaba (NTT), and Sei-ichiro Suga (University of Hyogo), “Color-selective Mott transition and repulsion-induced color superfluid of three-component fermionic atoms with repulsive interaction in optical lattices”, 9th International Conference on Materials and Mechanisms of Superconductivity (M2S-IX), Tokyo, Japan, September 7-12, 2009

[NTT-55] Yuuki Tokunaga (NTT), Satoshi Okamoto (Osaka University), Rikizou Ikuta (Osaka University), Takashi Yamamoto (Osaka University), Masato Koashi (Osaka University), and Nobuyuki Imoto (Osaka University), “Full process characterization of experimental one-way quantum computing”, QIPC2009 International Conference on Quantum Information Processing and Communication, Rome, Italy, September 21-25, 2009

[NTT-56] Shinya Miyatake (Osaka University), Kensuke Inaba (NTT), and Sei-ichiro Suga (University of Hyogo), “Color superfluidity and trionic state of three-component lattice fermionic atoms”, International Conference on Magnetism (ICM 09), Karlsruhe, Germany, July 26-31, 2009

[NTT-57] Makoto Yamashita (NTT) and Michael W. Jack (New Zealand Forest Research Ltd.), “Mott-insulator shells in the three-dimensional Bose-Hubbard model”, 19th International Conference on Laser Spectroscopy (ICOLS2009) I-23, Hokkaido, Japan, June 8-12, 2009

[NTT-58] Kensuke Inaba (NTT), Makoto Yamashita (NTT), and Sei-ichiro Suga (University of Hyogo), “Finite temperature properties of the three component fermionic atoms in optical lattices”, 19th International Conference on Laser Spectroscopy (ICOLS2009) IV-5, Hokkaido, Japan, June 8-12, 2009

[NTT-59] 宮武慎也(阪大工)、稲葉謙介(NTT)、菅誠一郎(兵庫県立大工)、“Quantum phase transitions of three-components fermionic atoms with repulsive interaction in optical lattices”、物性科学領域横断研究会、東京都、2009.11.30

[NTT-60] 山本篤史(阪大工)、山下眞(NTT)、川上則雄(京大理)、“擬一次元光格子中における冷却フェルミ原子気体の相転移の解析 II”、日本物理学会 2009 年秋季大会、熊本大学、2009.9.28

[NTT-61] 山本篤史(阪大工)、山下眞(NTT)、稲葉謙介(阪大工)、菅誠一郎(阪大工)、川上則雄(京大理)、“一次元光格子中における SU(3)対称性の破れた冷却フェルミ原子気体の解析”、日本物理学会第 64 回年次大会、立教大学、2009.3.30

(4)知財出願

- ①国内出願 (3件)
- ②海外出願 (0件)

(5)受賞・報道等

①受賞

[KU-1] 第 2 回(2013 年秋季大会)領域1学生プレゼンテーション賞、山本 隆太(京大)、イッテルビウム原子の量子気体顕微鏡の開発 3, 2014.3.28

[KU-2] 2013 年度仁科記念賞、高橋 義朗(京大)、イッテルビウム超低温量子系の創出, 2013.12.6

[KU-3] 第1回(2012 年秋季大会)領域1学生プレゼンテーション賞、柴田 康介(京大)、イッテルビウム原子の量子気体顕微鏡の開発1, 2013.3.27

[KU-4] 第 16 回(平成 24 年度)松尾財団宅間宏記念学術賞、高橋 義朗(京大)、“光格子にトラップされた冷却原子を用いた量子多体系のシミュレーション”, 2012.10.29

[KU-5] Fellowship in the American Physical Society, Yoshiro Takahashi(京大)2011.11.14

[KU-6]第 6 回(2012 年)日本物理学会若手奨励賞(領域 1) 吉川豊(京大)2011.11.8

[KU-7]第 5 回(2011 年)日本物理学会若手奨励賞 高須洋介(京大)2010.10.22

[NICT-1]応用物理学論文賞、山口敦史・藤枝美穂・熊谷基弘・蜂須英和・長野重夫・李瑛・井戸哲也(NICT)・高野哲至・高本将男・香取秀俊(東大)、2012.9.11

②マスコミ(新聞・TV等)報道

プレス発表:

[KU1].京都大学・NTTの共同発表 2011年7月28日

「極低温の原子気体を用いて物質の新しい量子状態を作り出すことに成功

～量子シミュレーター実現への道をひらく～」

概要:

国立大学法人京都大学と日本電信電話株式会社は、レーザー光を用いて作成した人工の結晶の中に極低温の原子気体をとどめる事で、これまで存在していなかった物質の新しい量子状態を作り出すことに世界で初めて成功しました。本研究成果は、極低温にまで冷却された原子の状態を非常に高い精度で制御、観測することを可能とするだけでなく、物質の性質を決める原理の解明に向けた量子シミュレーターの実現に大きな役割を担うことが期待されます。なお、本研究成果は、英国科学雑誌 *Nature Physics* (ネイチャー・フィジックス)に8月1日(英国時間)に掲載されました。

[NICT-1]

「6500万年にわずか1秒の誤差!

光格子時計の精度を世界で初めて光ファイバで結び実証

～ 標高差 56m による相対論的な時計の“ずれ”もリアルタイムに検出 ～, 2011.8.4.

[NTT-1]

世界最大、100万ビット規模の量子コンピュータ実現に向けた新手法を確立

～光格子中の原子すべてをもつれ合わせ計算リソースに～

2014年3月17日 NTTグループ単独によるプレス・リリース

概要:

光格子中に束縛された約100万個の原子に対して量子コンピュータのリソースとなる大規模な量子もつれ状態を高精度かつ高速に生成する手法を世界で初めて確立しました。本成果により、量子コンピュータ実現に向けて重要な課題となっている、量子ビットのサイズ拡張性やエラーの低減を図ることが可能となることから、100万ビット規模の量子計算が実現できる可能性が大きく広がったといえます。

掲載紙:

2014年3月18日 日本経済新聞 16面

「大量原子の配列 高速計算可能に」

2014年3月18日 日経産業新聞 9面

「大量の原子に磁性物質 NTTなど模擬実験 超高速計算に道」

2014年3月18日 日刊工業新聞 21面

「NTT 量子もつれを制御 量子計算機実現へ一歩」

新聞記事掲載

[KU-1] 科学新聞第3469号、イッテルビウム原子その場イメージング 京大理学研究科 高感度で成功, 2014.1.10

[KU-2] 日本経済新聞, 「ヒッグス」貢献3氏らに仁科賞, 2013.11.8

- [KU-3]読売新聞、「光格子時計」発明の香取教授らに仁科記念賞、2013.11.8
- [KU-4] 朝日新聞、仁科記念賞に東大教授ら5氏、2013.11.8
- [KU-5] 時事通信社、ヒッグス発見の近藤氏ら＝仁科賞、計5氏に授与、2013.11.7
- [KU-6]科学新聞、松尾財団宅間宏記念学術賞 京大高橋義朗教授受賞 量子多体系をシミュレーション、2012.11.9
- [KU-7]マイナビニュース、“高いスピン対称性を持った新しい量子状態を極低温の原子気体を用いて作り出すことに成功”、2012.9.26
- [KU-8]日経電子版、京大、“極低温の原子気体を用いて高いスピン対称性を持った新しい量子状態を作り出す事に成功”、2012.9.24
- [NICT-1]産経新聞、論説委員「日曜に書く」、2013.5.12
- [NICT-2]朝日新聞、1秒の精度を極める日本の光格子時計世界標準狙う、2012.11.5
- [NICT-3]朝日新聞、【窓 論説委員室から】セシウムの別の顔、2011.9.24
- [NICT-4]科学新聞、光格子時計 世界初、16桁の高精度実証 NICTと東大 光ファイバで結ぶ、2011.8.12
- [NICT-5]電波タイムズ、NICT/東大 6500 万年にわずか 1 秒の誤差 光格子時計の制度を世界で初めて光ファイバで結び実証、2011.8.8
- [NICT-6]朝日新聞、狂い「6500 万年に 1 秒」 東大など開発の時計、2011.8.6
- [NICT-7]日本経済新聞、6500 万年に 1 秒 誤差世界最小に、2011.8.5
- [NICT-8]日刊工業新聞、二つの光格子時計誤差 6500 万年に 1 秒 情通機構と東大、2011.8.5
- TV 放映:
- [NICT-1]BS フジ、ガリレオ X「究極の 1 キログラム 究極の 1 秒 超精密が拓く新たな世界」、2013.7.25
- [NICT-2]テレビ東京、たけしのニッポンのミカタ「基準を見ればニッポンがわかる」、2012.11.23
- [NICT-3]BS ジャパン、地球アステク「正確な時間をつくる先端技術」、2012.6.21

(6)成果展開事例

①実用化に向けての展開

現在のところは未だ実用化に向けた展開はないが、航空電子グループの成果は、今後の製品化等に向けた展開が考えられる。

②社会還元的な展開活動

・第 19 回国際度量衡委員会時間周波数諮問委員会報告書(2012 年 9 月 13・14 日)及び第 101 回国際度量衡委員会報告(2012 年 10 月):⁸⁷Sr 光格子時計及び ⁴⁰Ca+単一イオン時計の絶対周波数測定値の更新[NICT-1][NICT-2]

§6 研究期間中の活動

6.1 主なワークショップ、シンポジウム、アウトリーチ等の活動

年月日	名称	場所	参加人数	概要
2014 年 3 月 6 日	チーム内ミーティング(非公開)	京都大学	8 名	リープ型光格子および光格子中原子のレーザー分光に関する研究打ち合わせ。
2013 年 10 月 19 日	ELCAS 最先端科学の体験型学習講座(物理)	京大 理学研究科	9 名	各自で簡易分光器を作成し、それを用いて太陽光、蛍光灯、LED など様々な光のスペクトルを観測した。その後、原子の構造と光の吸収・放出についての講義を行い、ルビジウム原子のレーザー分光のデモンストレーションを行った。
2013 年 8 月 13 日-14 日	チーム内ミーティング(非公開)	京都大学	8 名	光子中原子のレーザー分光に関する研究およびリープ型光格子の理論に関する研究打ち合わせ。
2013 年 7 月 23 日	チーム内ミーティング(非公開)	京大東京オフィス	3 名	光格子中のボースハバード系のレーザー分光に関する理論の研究打ち合わせ。
2013 年 7 月 22 日	チーム内ミーティング(非公開)	NICT	5 名	レーザー周波数安定化に関する研究打ち合わせ。
2013 年 4 月 4 日-12 日	The 11th US-Japan Joint Seminar on Quantum Electronics and Laser Spectroscopy “Ultimate Quantum Systems of Light and Matter- Control and Applications”	Nara Prefecture 1 New Public Hall	100 名	量子エレクトロニクスに関する日本とアメリカの最先端の研究についての研究発表と若手向けのスクール(英語)。高橋が日本側オーガナイザーを務めた。
2013 年 1 月 19 日	滝学園土曜講座	滝学園(愛知県)	20 人	中高生向け特別授業
2012 年 10 月 8-10 日	第 5 回 極低温グループ II 原子 国際会議	NICT 小金井本部	80 人	3 年に一度開催される極低温のグループ II 原子を利用した光格子時計・量子縮退原子・冷却分子に関する国

				際会議。高橋と井戸がオーガナイザーを務めた。
2012年6月10日	地域教育講演会	岐阜県八百津東部中	100人	中学校生徒及び地域住民に対して講演会
2012年3月8-9日	情報・システム研究機構 国立情報学研究所	品川区立小 中一貫校伊藤学園	120人	小学6年生を対象に研究者と言う職業を紹介する授業(通称:キャリア教育)
2011年8月24日	チーム内ミーティング(非公開)	京都大学	15人	研究進捗報告のためのミーティング
2011年8月22日	チーム内ミーティング(非公開)	京都大学	15人	研究進捗報告のためのミーティング
2011年8月6日	飛騨アカデミー夏セミナー	岐阜県飛騨市神岡町	40人	旧神岡町が神岡施設見学を兼ねて行う高校生向け宿泊セミナーで講演
2011年8月5日	チーム内ミーティング(非公開)	京都大学	15人	研究進捗報告のためのミーティング
2011年7月27日~8月30日	チーム内集中ミーティング(非公開)	京都大学	15人	NTT2名(共同研究者・研究参加者)が期間中、京都大学に滞在し研究を進めた
2011年4月11日~12日	チーム内ミーティング(非公開)	京都大学	15人	研究進捗報告のためのミーティング
2011年1月18日	チーム内ミーティング(非公開)	京都大学	15人	研究進捗報告のためのミーティング
2010年10月2日	滝学園土曜講座	滝学園(愛知県)	20人	中高生向け特別授業
2010年9月13日	チーム内ミーティング(非公開)	京都大学	15人	研究進捗報告のためのミーティング
2010年7月23日	NICT 一般公開 研究者講演	NICT 本部	200人	一般公開にて日本標準時や光原子時計について講演
2010年6月7日	チーム内ミーティング(非公開)	京都大学	15人	研究進捗報告のためのミーティング
2010年4月26日	チーム内ミーティング(非公開)	京都大学	15人	研究進捗報告のためのミーティング
2009年6月23日~26日	Cold Atoms and Molecules :Collisions, Field-Effects,and Applications	京都大学基礎物理学研究所 パナソニック国際交流ホール	82人	低温分子、低温原子の物理の最新のトピックスについての講演とポスター発表。

§7 最後に

チームが当初掲げた目標に向けて、各グループにおいて非常に努力した結果、それぞれの目標にむけて大きく前進できたとはいっているのではないかと考えている。この結果を土台にして、今後の新たな展開も望めると考えている。

また、各グループ間の協力関係によって、順調にかつ柔軟に研究を遂行できたと感じている。

各グループの関連の研究者の間での人事交流がチーム内で盛んにあったことは特筆すべき事柄といえる。また、本チームの若手研究者間で強いネットワークが築かれつつあるのは、将来に向けて大変明るい材料である。

京都大学高橋研究室のメンバーの集合写真

