

戦略的創造研究推進事業 CREST

研究領域

「量子情報処理システムの実現を目指した新技術の創出」

研究課題

「光子を用いた量子演算処理新機能の開拓」

研究終了報告書

研究期間 平成15年10月～平成21年3月

研究代表者: 井元 信之

(大阪大学大学院基礎工学研究科 教授)

§ 1 研究実施の概要

本プロジェクトは5ヶ年を通じ光子を用いた量子演算処理として、4光子の範囲でできる光子間ゲート操作、それ以上の光子数がからむ処理、連続量の情報処理、これらの基礎となるトモグラフィ技術、これらを総合した multiparty quantum computing について理論および実験の両面から追究し、基礎的デモンストレーションを行うとともに、より高度な実現に向けての課題と方向性についての知見を得ることを目的として始まった。特に「光子 qubit」の得意な阪大グループと北大グループ、それに「連続量ホモダイン検波量子情報処理」の得意な学習院大グループの3グループが、それぞれトップレベルの研究を遂行するのはもちろん、将来の「光子 qubit と連続量のハイブリッド」を目指すグループ間相互作用を念頭に置いた企画であった。

3グループの大まかな棲み分けとしては、4光子の範囲でできる光子間ゲート操作・理論と実験の橋渡し・グループ間研究協力に関しては阪大グループが、4光子以上の多光子による量子演算および多光子量子回路の実現に向けた研究に関しては北大グループが、そして連続量ホモダイン検波量子情報処理を学習院大が受け持った。以下に3グループそれぞれとチームとしての活動について記す。

1) 井元グループ(大阪大学)

4光子の範囲でできる光子間ゲート操作、および理論研究としては「線形光学を用いた量子情報処理」「量子暗号の無条件安全性理論」「光子 qubit 系と連続量量子情報のハイブリッド」の研究を行った。実験研究としては線形光学を用いた「雑音のある量子チャンネルの雑音影響除去」および「多体エンタングルメント量子情報処理」が主な成果である。前者は DFS(Decoherence-Free Subspace)理論の物理的実現であり、まず理論提案を行い(Phys.Rev.A,2005)、その実証実験として単独(他とエンタングルしていない)光子の光ファイバー伝送実験(New J.Phys.2007)を行った。この論文は「IOP Select」に選ばれた。さらにエンタングルした光子で同様の実証実験を行った(Nature Photonics,2008)。この成果は国内新聞や IEEE の解説など国内外に広く報道され紹介された。一方多体エンタングルメント情報処理は真の「クラスター状態を用いた一方向量子計算」の実現が主な成果である。「真の」というのは、従来の実験がエンタングルメントを使ったと明言できないレベルであったのに対し、本成果は「クラスター状態と断言できる状態の発生」および「それを用いた一方向量子計算と断言できる」数値を出した初めての実験だからである(Phys.Rev.Lett.2008)。この成果は日本経済新聞・読売新聞をはじめとする数新聞、それに多くのウェブニュースで紹介された。この成果が可能となったのはクラスター状態の新しい発生法につながる理論提案を行い(Phys.Rev.A,2005)、「真の達成」を検証するための解析法を理論的に明確にできたからである(Phys.Rev.A,2006)。上記「雑音除去」の研究とともに、線形光学の実験研究においてはその理論的裏付けとなる成果を出せたことが本質的に寄与している。

一方理論研究としては、量子暗号の無条件安全性証明において新しい一般理論を構築し、B92 方式など未解決であった最新の個々の量子暗号方式の安全条件を明確化したことが主な成果である(Phys.Rev.A,2004 等)。さらに進展著しい「おとり(decoy)暗号」と疑似単一光子源を組み合わせた量子暗号の提案(Phys.Rev.Lett.2007)は、その大幅な性能向上の可能性が認められ、日本経済新聞に報道された。また量子情報理論の基礎理論として、量子状態の確率的複製に関する新しい理論(Phys.Rev.A,2005)や選択的エンタングルメント破壊チャンネルの理論(Phys.Rev.A2007)などがある。また多体エンタングルメントの発生には「拡張ゲート」が重要である。多体エンタングルメントの重要な状態の一つである「W 状態」にはこれまでアイデアがなかったが、本研究では初めて W 状態の拡張ゲートを発案した(Phys.Rev.A2008)。

2) 竹内グループ(北海道大学)

4光子以上の多光子による量子演算および多光子量子回路の実現に向けた研究を行った。その結果、2005 年度に光路干渉計をいっさい不要にした、コンパクトで安定なゲートの開発に成功[Phys. Rev. Lett]、光子量子回路の実現に道を開き、2007 年度に4光子もつれ合い状態を用いた、標準量子

限界をこえる位相感度の実現に成功した[Science(2007)].この成果は、国内外で広く報道され、また量子メトロロジーの分野を開拓するとして、米国 Scientific American 誌の選ぶ 2007 年度のベスト 50 研究にも採択された。さらに、2008 年度にはこの5年間につちかった技術の集大成として、4つの入力・アンシラ光子に対して、4つの経路干渉と4つの光子間量子干渉と、現在もっとも高度な光量子回路により、入力された2つの光子が特定の偏光相関を持つ場合だけを抜き出すことが可能な、「量子もつれ合いフィルター」の実現に成功した(論文投稿中)。これは、現時点もっとも高度な光量子回路である。また伝令付き単一光子源の実現および無条件安全性を満たした 40km の鍵配布 (Opt.Exp.(2007)、および当時世界最長(80km)の、伝令付き単一光子源による単一光子干渉に成功 (IEEE Opt. Lett. (2007))などの成果を上げた。

以上の他に、光子量子回路の重要な応用の一つである量子リソグラフィの実現にとって不可欠な、回折限界以下の2光子干渉縞の直接観測に成功(Opt. Exp. (2007))した。高安定干渉計や、特殊形状の NSOM プローブを利用した2光子検出器を開発によるものである。また、より基礎的な領域では、幾何学的位相の一種である Gouy 位相による、多次元量子状態の制御の実現(Phys. Rev. Lett. 2008)、および位相分散を利用した2光子干渉のバンチングアンチバンチング制御(Phys. Rev. A (R), 2006)、2光子偏光状態間の量子もつれ合いの実現(Phys. Rev. Lett. 2004)などの成果を得た。

3) 平野グループ(学習院大学)

光量子情報処理の多様な可能性を切り開くことを目標に、ホモダイン検出をもちいる光量子情報処理の研究開発を進めた。そのひとつは、ホモダイン検出を用いる量子暗号である。ホモダイン検出のあとにポストセレクションを行う量子暗号を提案し(PRA68,042331,2003)、理論と実験の両面から研究を行った。ホモダイン検出を用いた量子暗号では、現実的な環境の効果は、損失と過剰雑音という2つのパラメータであらわすことができる。理論面では、まず、過剰雑音がない場合のビーム分割攻撃に対して鍵生成率 G を評価し、損失がいくら大きくても、ポストセレクションのしきい値を高く設定することで安全な鍵を生成できることを明らかにした(PRA67, 022308, 2003)。過剰雑音がある場合の安全性の評価については、ガウシアン分布を保ったまま、その分散の増加を引き起こすような盗聴者の操作を幾つか見つけ、それぞれに対する安全性を議論した(PRL,92,117901,2004)。特に、エンタングルメントを用いない連続変数量子テレポーテーションを盗聴者が行う攻撃は、コヒーレント状態を送信してホモダイン検出を行う量子暗号に対して適用可能な攻撃であり、これにより、損失と過剰雑音を満たすべき一般的な条件が与えられることを示した。また、ポストセレクションが有効に機能しなくなる盗聴方法があることを指摘した(PRA, 72, 024301, 2005)。鍵の伝送効率を高める新しい符号化方式についての提案も行った(PRA, 74, 032302, 2006)。実験面では、ファイバー部品のみを用い、ファイバー中での偏光状態の乱れや位相差の揺らぎを自動的に補正する光学系の実装を行った。ランダムな位相変調を信号光に与え、連続変数プラグアンドプレイ量子暗号では初めてとなる鍵の生成実験を行ったほか、光ファイバー中で生じる後方散乱光が過剰雑音の原因になること、音響光学素子により過剰雑音を減少できることなどを見出した。この他量子暗号に関しては、空間伝送に適用できる新しい位相変調方式を考案し、特許出願を行った(特願 2005-46326)。

パルス光の連続変数エンタングルメントに関する研究においては、非線型結晶として、バルク型の周期分極反転した PPKTP を用いた実験により、従来よりも優れたスクイーミング(-3.2dB)が得られることを示した(OL, 30, 1722, 2005)。さらに、光導波路を用いた実験を行った実験では、最大で 4.1dB のスクイーミングを実現し、これは、通信波長帯における2次の非線型性を用いた実験、パルス一つ一つを区別する時間領域の測定、そして、光導波路の実験という3つの観点で、我々の知るかぎりにおいて、最も大きなスクイーミングである(JJAP, 45, L821, 2006; Opt. Express, 16, 1065, 2008)。また、安定にエンタングルメントを生成するための光学系を提案し(特願 2007-213205)、時間領域のエンタングルメント測定を実現した。この他、高速ホモダイン検出器を自作し、高繰り返しパルス光のエンタングルメントを実現し(PRA 76, 012314, 2007)、時間的に隣り合うパルスを独立に測定できることを確かめた(OL, 33, 1458, 2008)。

4) グループ間共同研究

阪大・北大・学習院大のグループ間の活動としては、チームミーティングのほかに共同研究および若手の相互派遣による共同実験を行った。その成果として、阪大と学習院大は共著論文 Phys.Rev.Lett. 一編、Phys.Rev.A 二編を出版した。これは「光子 qubit 系と連続 量子情報のハイブリッド」の研究およびその関連理論研究であり、今後の一つの研究方向を示唆するものとする。阪大と北大グループ間にも今後の研究協力の芽が出て来た(後述)。この芽を大事に育てて行くことが、CREST としての既発表成果を超えて本 CREST の意義をさらに大きくして行くことになると考えている。

§ 2 研究構想及び実施体制

(1) 研究構想

量子情報処理の基本となる「1 量子ビット演算ゲート」と「2 量子ビット演算ゲート」は光、原子、イオン、半導体、超伝導体、固体、液体など種々のハードで研究が行われている。光は「保存」が困難であるが相互作用 ON/OFF の制御性に優れているので read・write がしやすく、また良質のエンタングルメントが得られやすい等の利点があるため、量子情報処理の基本構成を研究する上で現在最も進んだ知見が得られる。光で「2 量子ビット演算」を行うためには少数光子でも位相反転を起こすほどの強い光非線形性が望まれるが、これはすぐには実現できない。代わって「線形素子を用いた量子演算」の研究が注目されており、研究代表者および主たる研究参加者はこの分野で実績がある。これを用いて量子情報処理のトップランナーとしての「光を用いた量子情報処理」の最前線を追究することは量子情報処理の可能性そのものの展望を得るのみならず、光以外のハードによる同研究への知見を得るためにも極めて重要と考えられる。

そこで光子を用いた量子情報処理を基本ゲートから機能的タスクまで実現することを目的とし、実験および理論の両面から追求することとした。当初の構想としては「現在可能な『線形光学素子による量子演算』の可能性を最大限引き出すために、量子トモグラフィ技術を確認し評価技術として駆使し、制御 NOT 演算、単一光子や多体エンタングルメントの制御性良い生成、それにエンタングルメント制御やリピーターを実現する。さらにこれらを組合せ、機能的タスクとしてマルチパーティコンピューテーションの基本的デモンストレーションを図る」という構想を練った。

研究を進めるにあたり着目する手法は3グループ自ら提案してきたアイデアそのものであり、また開拓してきた単一光子の発生・操作・検出技術である。また連続量のパラダイムにて single-event の制御や観測を行う技術も有用である。さらに光が通信に向いていることを活かすことを念頭に置いた。

プロジェクトの近未来的な展望としては、まずは世界のトップを目指すこととした。分野的展望としては、単一光子系と連続的量子波動としての光の双方の得失を補い合う量子情報処理、ひいては光と他の物質系の双方の得失を補い合う新しい量子情報処理への展開に資する。また実現が簡単でない大規模コンピューティングよりはマルチパーティコンピューテーションへ、新たな道を切り開く重要な一歩とすることを念頭に置いた。

本プロジェクトでは5ヶ年を通じ光子を用いた量子演算処理として、4光子の範囲でできる光子間ゲート操作、それ以上の光子の処理、連続量の情報処理、これらの基礎となるトモグラフィ技術、これらを総合した multiparty quantum computing について理論および実験の両面から追求する。使用するテクノロジーは、非線形光学効果はパラメトリック下方変換、線形光学としては各種偏光制御および変復調技術、測定は光子カウンティングまたはホモダイン検波を用いる。

4光子以下の光子間ゲート操作に関しては、エンタングルした状態の検出に必要な推定法の研究、トモグラフィを用いた評価法の理論的研究を行う。トモグラフィについては後述の連続量についても開発を行う。線形光学素子を用いて雑音のある量子チャンネルからの量子状態の保護、量子暗号及び量子テレポーテーションの研究を行う。特に光ファイバーの揺らぎから保護する手段として、信号光子に補助光子を付け加える事で雑音の影響を無効にする伝送方法の実験を進める。この方法は量子暗号通信において有効であると考えられるほか、エンタングルメントの応用にも適用できる。

4光子以上の多光子による量子演算については(a)多光子実験用の単一光子源の開発、(b)線形光学素子量子計算についての理論研究、(c)光子数検出器の開発、(d)多光子量子演算実験を予定している。線形光学素子量子計算についての理論研究については、最適な実現方法およびロスやモードミスマッチ等の影響を明らかにする。手始めに単一のビームスプリッターを量子位相ゲートとして用いる方法を用いた小規模(2量子ビット)量子アルゴリズムについて理論的検討を行う。

連続変数を用いる量子情報処理において鍵となるのは逐次的な処理が可能なエンタングルメントを実現する技術である。当時実現されていたエンタングルメントは光共振器を用いてスクイーズド光を発生させる方法であるが、CW光のため逐次的な処理はできていなかった。一方パルス光を用いる進行波型のパラメトリック増幅では、パルスの一つ一つを一つのモードとみなすことができるエンタングルメントを実現できると予想されるので、本プロジェクトではパルス光を用いて連続変数のエンタングルメントを生成する技術の実現にポイントをおいて研究を進めることとした。

グループ編成は阪大グループ、北大グループ、学習院大グループの3グループから成る。それぞれの得意な分野から、役割を、

阪大:4光子以下の量子情報処理、量子情報・量子暗号理論、ホモダイン検波、全体とりまとめ

北大:4光子以上の量子情報処理、量子回路、光子による鍵配送

学習院大:ホモダイン量子暗号、スクイジング、連続量エンタングルメント

と分担する。チームとしての活動は、チームミーティングを年1回以上開催することとした。また若手の相互派遣や滞在実験など、ノウハウの交換や理論考察の討論などを行うこととした。可能であれば共著論文を伴う共同研究を実現し、複数のグループが関与する実験の構想も練ることを視野に入れることとした。

(2)実施体制

グループ名	研究代表者又は主たる共同研究者氏名	所属機関・部署・役職名	研究題目
井元グループ	井元 信之	大阪大学大学院・基礎工学研究科・教授	多者間光子情報処理の研究
竹内グループ	竹内 繁樹	北海道大学・電子科学研究所・教授	多光子量子演算ゲートの研究
平野グループ	平野 琢也	学習院大学・理学部物理学科・教授	ホモダイン量子情報処理の研究

§ 3 研究実施内容及び成果

3.1 多者間光子情報処理の研究(大阪大学 井元グループ)

(1)研究実施内容及び成果

「線形光学を用いた量子情報処理」「量子暗号の無条件安全性理論」「光子 qubit 系と連続量量子情報のハイブリッド」の研究を行った。まず前二者について説明し、「光子 qubit 系と連続量量子情報のハイブリッド」については最後にまとめて「グループ間共同研究」として記述する。

線形光学を用いた量子情報処理として、「雑音のある量子チャンネルの雑音影響除去」および「多体エンタングルメント情報処理」の研究を行った。前者は量子エラー訂正と同様な効果を、現実には発生する雑音に限定することによりはるかに簡単に実現するものである。送りたい量子ビットに補助量子ビットを付け加えると、全体系の量子状態空間(ヒルベルト空間)の中に「量子雑音の影響を受けない部分空間”Decoherence-Free Subspace”(以下 DFS を呼ぶ)」が出現することが数学的に知られていたが、それを物理的に実現する方法を光子系で発案し、量子雑音の影響を受けない量子通信を可能とした。後者は「クラスター状態を用いた一方向量子計算」や多体エンタングルメント情報処理の基礎となる種々のエンタングルメントを光子系で発生する研究である。

なお線形光学量子演算の常として「演算に 100%成功するとは限らない」点を指摘されることがあるが、これは原理的な欠点ではないことを、阪大グループの成果に限らず一般論として、この場で述べておきたい。まず、多くの場合入れ子構造にすることで失敗確率を0に近づけることができることが知られている。またそれをしない場合でも「成功した場合はそれがわかり、その場合は演算にエラーはない」ので、そのような状況で使える量子情報処理には十分有用である。そもそも現時点で光子以外の系ではさらに成功確率は低いのが普通で、量子情報処理の知見を得る舞台としてはやはり光が他をリードしている。

「雑音のある量子チャンネルの雑音影響除去」では、まず DFS 利用雑音除去が線形光学量子演算の手法で実行可能であることを理論的に示し、光ファイバーと線形光学を用いる実験系を提案した(Phys.Rev.Lett.2005)。次いでこれを実験に移し、まずは他とエンタングルしていない任意偏光状態にある単独光子 qubit (以下信号 qubit と呼ぶ)を光ファイバーに通し、その際被る自然位相雑音により状態が不確定となることを観測した上で、次は決まった状態にある補助光子(以下補助 qubit)とともに光ファイバーに通し、雑音の影響を受けない DFS の量子情報を取り出すことにより信号 qubit の量子情報を回復する実験を行った(New J.Phys.2007)。この成果はヨーロッパ物理学会の権威ある”IOP Select”に選ばれた。ちなみに New Journal of Physics は新しい電子雑誌だが実は Phys.Rev.A よりインパクトファクターは大きい。続いて、「他の光子とエンタングルした光子」で同様の実験を行い、ファイバー伝搬後もエンタングルメントが維持されていることを示す実験を行った(Nature Photonics,2008)。この成果は JST でプレスリリースされ、日刊工業新聞等 4 紙に報道されたほか、英文の IEEE LEOS の NEWSLETTER(2006)をはじめ邦文誌にも多数記事執筆を依頼された。「子供の科学」の取材まで受け、巻頭の成果紹介コーナーで紹介された。

「多体エンタングルメント情報処理」では、まず「制御ノット」を4光子で実現する方法を提案した(Phys.Rev.A,2005)。2-qubit 演算である制御ノットの実現はどんな量子情報実験でも最初の目標である。線形光学の場合補助光子を使用するため、それまでは 2 つの信号光子と 4 つの補助光子を用いる 6-qubit 系が提案されていたが、それを 4-qubit 系とするアイデアである。この方法は、2001 年頃提案され最近とみに注目されている「クラスター状態を用いた一方向量子計算」へと自然に発展する方法であった。そこでそれを実現するため、4 光子クラスター状態を発生する方法で現在でも成功確率の最高記録を誇る方法を提案し、それを実験的に検証する方法の提案も行った(Phys.Rev.A,2006)。さらにこれを実験に移し、「忠実度(fidelity)」の最高記録を達成した(Phys.Rev.Lett.2008)。これは単なる最高記録ではなく、実は2005年ドイツからNature誌に発表されていた実験の忠実度は「クラスター状態どころかエンタングルメントを使ったとさえ明言できない」レベルの値であったのに対し、我々の忠実度はそれを超える初めての実験である。この成果は日本経済新聞、読売新聞をはじめ多紙および多くのウェブニュースで報道された。

このように多体エンタングルメント情報処理は有望であるが、将来は 4-qubit だけでなく n-qubit 多体エンタングルメントの発生が必要となる。このため「拡張ゲート」あるいは「融合ゲート」のアイデアがあった。これは n 体エンタングルメントがあったとしてそれを n 以上に拡張するものである。多体エンタングルメントはクラスター状態の他に GHZ 状態と W 状態が重要であり、前 2 者には拡張ゲートのアイデアがあったが、W 状態に対してはなかった。本研究では初めて W 状態の拡張ゲートを発案した(Phys.Rev.A2008)。

次に「量子暗号の無条件安全性の理論」であるが、これは、適用範囲の広い新しい一般理論の構築と、最新の個々の量子暗号方式の安全条件明確化の二つが主な成果である。そもそも量子暗号の安全性はあらゆる盗聴を実験することができないので理論で保証されるものなので、稚拙な安全性理論を

使うと本来量子暗号として本来合格の装置を不合格にしてしまう。それが安全性理論の進歩により、本来そうであるべき「合格」になったり、より高速遠距離通信で運転しても安全保証されるようになる。すなわち装置が同じでも理論の進歩により性能が上がるという、暗号理論独特の事情がある。本研究では従来の「エンタングルメント蒸留を使う理論」の限界を大幅に打ち破る「不確定性原理を使う理論」を開発し、B92 の安全条件を初めて明らかにした(Phys.Rev.A,2004 等)ほか、最近注目されている「おとり(decoy)暗号」と疑似単一光子源を組み合わせた量子暗号を提案した(Phys.Rev.Lett.2007)。特にこの最後の成果は、両者を組み合わせない場合に比べて通信速度にして1万倍または距離で数十キロ改善する方法となっており、かつハード的には何も変えず、今まで捨てていたデータを利用するだけで実現できる。この成果は日本経済新聞で報道された。

光子系のみならず連続量量子情報処理としてのホモダイン量子暗号の安全性やその関連研究についても成果がある(Phys.Rev.Lett.2008,3本のPhys.Rev.A)が、「3.4 グループ間共同研究」に回す。他に量子状態の確率的複製に関する新しい定理(Phys.Rev.A,2005)や選択的エンタングルメント破壊チャンネルの理論(Phys.Rev.A2007)等、関連成果がいくつかある。

(2)研究成果の今後期待される効果

まず「雑音性量子チャンネルにおける量子情報保護」については、どんな量子情報処理を行うにも基本中の基本である。その対処法として量子エラー訂正は非常に一般性のある方法であるが、よく知られているように一つの演算 qubit に対し最低5つの物理的 qubit を使う必要があり、その実装は複雑である。実装を幾分単純化する方法として物理 qubit を7つ(CSSコード)あるいは9つ(Shorコード)という手もあるが、要するに「実際より一桁多く qubit が必要な方法」である。これに対し本研究成果は「どんな雑音にも対処するのでなく、主たる雑音であるデコヒーレンスに限って除去」することで、一つの演算 qubit に対したった一つの補助 qubit を加えるだけで済ませる方法であるので、その実用性は高い。また実験は光ファイバー光子通信で行ったが、DFS利用雑音除去は原理的にはどのハードの「量子メモリーのデコヒーレンス」にも当てはまる。そちらの方向に進むには、量子光学における線形素子を量子メモリーの世界でどう実現するかを研究する必要があるが、それは今後の課題である。

「クラスターステートを用いた一方向量子計算」は、qubit 数を大幅に増やそうと思うと現在のパラメトリック下方変換(PDC)を超えるブレイクスルーが必要であろう。仮にそれがまだ見つからないとしても、コントローラビリティの良さを考えると今しばらくは光子の優位性が続くので、研究を進めるつもりである。クラスターステート以外のGHZやW状態などの多体エンタングルメントの研究も同様に光子でさらなる研究展開が見られるであろう。その際に本CRESTの実験および理論の成果が基礎となる。

量子暗号の安全条件については、B92の安全性の証明やハードの変更なくソフトの変更のみで可能なPDC+decoy法提案などの成果を出したが、その元になる新しい「不確定性原理に基づく一般論」の威力は強力で、今後種々の量子暗号方式の安全性証明に用いられるであろう。

以上のように本CRESTの成果は単に「光子を用いた小規模量子演算」にとどまらず、大規模化、他の系への応用、全ての基本となる理論的バックボーンの形成といった観点から、今後の積み重ねの土台となるものである。

3.2 多光子量子演算ゲートの研究(北海道大学 竹内グループ)

(1)研究実施内容及び成果

4光子以上の多光子による量子演算および多光子量子回路の実現に向けた研究を行った。その結果、2005年度に光路干渉計をいっさい不要にした、コンパクトで安定なゲートの開発に成功[Phys. Rev. Lett]、光子量子回路の実現に道を開き、2007年度に4光子もつれ合い状態を用いた、標準量子限界をこえる位相感度の実現に成功した[Science(2007)]。この成果は、国内外で広く報道され、また量子メトロロジーの分野を開拓するとして、米国 Scientific American 誌の選ぶ2007年度のベスト50研究にも採択された。さらに、2008年度にはこの5年間にたった技術の集大成として、4つの入力・アンシラ光子に対して、4つの経路干渉と4つの光子間量子干渉と、現在もっとも高度な光量子回路により、入力された2つの光子が特定の偏光相関を持つ場合だけを抜き出すことが可能な、「量子も

つれ合いフィルター」の実現に成功した(論文投稿中)。これは、現時点もっとも高度な光量子回路である。また伝令付き単一光子源の実現および無条件安全性を満たした 40km の鍵配布 (Opt.Exp.(2007)、および当時世界最長(80km)の、伝令付き単一光子源による単一光子干渉に成功 (IEEE Opt. Lett. (2007))などの成果を上げた。

以上の他に、光子量子回路の重要な応用の一つである量子リソグラフィの実現にとって不可欠な、回折限界以下の2光子干渉縞の直接観測に成功(Opt. Exp. (2007))した。高安定干渉計や、特殊形状の NSOM プローブを利用した2光子検出器を開発によるものである。また、より基礎的な領域では、幾何学的位相の一種である Gouy 位相による、多次元量子状態の制御の実現(Phys. Rev. Lett. 2008)、および位相分散を利用した2光子干渉のバンチングーアンチバンチング制御(Phys. Rev. A (R), 2006)、2光子偏光状態間の量子もつれ合いの実現 (Phys. Rev. Lett. 2004)などの成果を得た。

以下、とくに「干渉計不要の光量子制御ノット」「4光子もつれ合いによる標準量子限界の打破」「量子もつれ合いフィルターの実現」「通信波長帯伝令付き単一光子源の実現」について詳述する。

① 干渉計不要の光量子制御ノットゲートの実現

[Phys. Rev. Lett., 95, 21, pp.210506/1-4 (2005)]

光路干渉計をいっさい不要にした、コンパクトで安定な光子間量子制御ノットゲートゲートの開発に成功した。独自に考案した、部分偏光ビームスプリッター(Partially Polarizing Beam Splitter, PPBS)を利用することで、以前我々の考案したシンプルなゲートに含まれていた2つの結合光路干渉計を不要にしたものである。クィーンズランド大学、マックスプランク量子光学研究所のグループからも独立にかつ同時に同様の成果が発表された。また、一般紙等でも幅広く報道された。この実現により、今後、複数の量子ゲートを用いた量子回路の実現が完全に視野に入った。

② 4つのもつれ合い光子を用いた、標準量子限界を超える位相感度の実現

[Science, 316, 726-729 (2007)]

標準量子限界をこえる感度をもつ多光子干渉計の構築に、3光子以上ではじめて成功した。これまでも、3光子あるいは4光子 NOON 状態により、コヒーレント光の干渉にくらべて干渉縞間隔が短くなる(超解像)ことの観察は数例報告されていた。しかし最近、コヒーレント光(古典光)と光子検出によるポストセレクションを用いるだけでも、超解像が実現できることが示され、超解像は、多光子干渉における量子性の本質ではないことが示唆された。今回我々は、光子1個あたりに得られる測定精度(感度)に着目、標準量子限界を超える感度こそが多光子干渉における量子性の特徴であることを、同じく超解像を実現しながら、4光子 NOON 状態を用いた場合には標準量子限界を超える感度を持つが、複数の2光子 NOON 状態を用いた場合にはその感度を持ち得ないことを示す実験に成功した。この実験に当たって、我々は変型サニャック型の干渉計を採用、数時間にわたり経路長差が数ナノメートル以下でしか変化しない干渉計を実現した。また、光子対源の最適化や調整方法の工夫により、4光子干渉の明瞭度も91%と極めて高い値を得ることが出来た。

なおこの研究は日本の一般紙、欧米の科学雑誌(New Scientist など)で広く報道されると共に、量子メトロロジーの分野を開拓するとして、米国 Scientific American 誌の選ぶ2007年度のベスト50研究にも採択された。

③ 「量子もつれ合いフィルター」の実現

(論文投稿中、(2008))

偏光フィルターは、光子を用いた量子情報処理の中で、光量子ビット状態の準備、精製、ならびに測定で無くてはならない素子である。この概念を2量子ビットに拡張し、2つの光子が、双方とも水平あるいは垂直の偏光のときのみを、その状態間のコヒーレンスを維持したまま選択するのが「量子もつれ合いフィルター」である。このフィルターは、もつれ合い状態の準備、精製および測定に用いることが可能であり、基礎から応用まで広く活用可能である。我々は、2002年にこのような機能を実現する光量子回路を提案していた(Phys. Rev. Lett. 2002)。しかしその回路は、4つの入力・アンシラ光子に対して、4つの経路干渉と4つの光子間量子干渉を有し技術的にその実現が非常に困難な物であった。

我々は、「干渉計を不要の光量子ゲート」で発案した、部分偏光ビームスプリッタ(PPBS)、ならびに4

光子量子干渉計で用いた変型サニャック干渉計の2つの技術を融合することにより、この量子回路の実現に成功した。この回路は、これまでに実現されている光量子回路としてもっとも高度なものである。

④ 通信波長帯伝令付き単一光子源の実現と、量子鍵配布実験

(Opt. Exp.他)

通信波長帯での、伝令信号付き単一光子源の開発に初めて成功した(CLEO-Europe 発表)。これまで報告されてきた伝令付き単一光子源は、通信波長帯域であるが連続光励起のもの(ジュネーブ大学、Magi-Q)、もしくはパルス励起だが可視域のもの(ジョンホプキンス大学)であり、それぞれ前者は量子リピーターなどの複数光子間干渉を用いた研究には使用できない事、後者は長距離通信に用いられない事、といった欠点を持っていた。またその伝令信号付き単一光子源を用い、無条件安全性証明下での40km 鍵配布実験に成功した(三菱電機との共同研究、Soujaeff et. al., Opt.Exp(2007))。これは、パルス状伝令付き単一光子源を用いたはじめての鍵配布実験である。さらに距離を80km にのびした原理検証実験にも成功した。(IEEE Opt. Lett.)

(2)研究成果の今後期待される効果

一連の研究により実現した光量子回路の、量子情報通信処理や量子計測(メトロロジー)、および量子ナノ加工などへの応用が将来的に期待される。たとえば、強度の大きな光ビームを入力不可能なサンプル(細胞などの生体組織や、量子情報デバイスなど)に対して、その物理量変化を、光位相を通じてこれまでよりも高感度に検出する計測器や、これまで光の回折限界によって描画不可能であった微細構造を、非接触(ファーフィールド)光学系により、可視光の光子を用いて描画するナノ加工装置などである。さらに、これらの計測技術・加工技術も、位相などの「パラメータ推定」という視点から、量子情報の枠組みで理解が促進可能なことが研究により明らかに出来るなど、今後の量子情報の適用可能性の拡がりを強く示唆する結果を得た。

また、複数の量子ゲートを内蔵した光量子回路の実現により、いくつかの重要課題が現れてきた。その中の一つが、量子回路のエラー解析の問題である。量子情報処理は、小数の量子ビットにより莫大な情報空間(ヒルベルト空間)が実現できる点が特徴であるが、それは同時に、解析すべき状態数も爆発的に増大することを意味する。実際、現在の集積回路においても、エラー解析は、情報科学の一大分野を形成している。今回実現した光量子回路をテストベッドとして、量子回路のエラー解析・量子データマイニングという情報科学の新しい分野の創造も期待される。

3.3 ホモダイン量子情報処理の研究(学習院大学 平野グループ)

(1)研究実施内容及び成果

光を用いる光量子情報処理には、単一光子の偏光などを扱う離散変数のアプローチと直交位相振幅などを扱う連続変数のアプローチがあり、これらは互いに対立する、あるいは競合するアプローチのように見なされることもある。しかし、実際の研究を見ると、単純な2分法は成り立たないことはすぐに分かる。例えば、量子暗号でよく知られたB92プロトコルの最初の提案は、2つのコヒーレント状態の非直交性を用いたものであったし、4つのコヒーレント状態を用いる4+2プロトコルなども提案されている。このようなハイブリッド型のアプローチは、単純な2分法のアプローチよりも優れた光情報処理を実現できる可能性が高い。一方、微弱光の検出方法という実験手段の観点から光量子情報処理をみると、単一光子検出とホモダイン検出という2つの検出方法があり、単純な2分法では、前者は離散変数の、後者は連続変数のアプローチのための検出手段と見なされることもあるが、ハイブリッド型のアプローチではこれらを組み合わせる用いることが一般には有効である。以上のような光量子情報処理の持つ多様な可能性を切り開くことのために、ホモダイン量子情報処理の研究開発では、特にホモダイン検出をもちいる光量子情報処理の研究開発を行ってきた。

具体的な研究課題のひとつめは、ホモダイン検出を用いる量子暗号である。特に、4+2プロトコルとホモダイン検出を組み合わせた量子暗号について(PRA68,042331,2003)、理論と実験の両面から研究を行った。この量子暗号方式では、ポストセレクションの概念が非常に重要な役割を果たす。ホモダ

イン検出で得られる測定値は、連続的な分布をする実数値となるが、しきい値を設けることで、誤り率の小さくなる測定値のみにビットを割り当て、安全性を高めることができる。

理論面では、環境の影響を記述するモデルをつくり、鍵配送の安全性について議論した。環境の効果は、損失と過剰雑音という2つのパラメータであらわすことができる。我々は、雑音がすべて盗聴者によって引き起こされていると仮定して議論を進めた。基本的には分散と過剰雑音の増加にしたがって安全性が低下することが予想される。まず、過剰雑音がないとき、Beam splitting attack(以下 BSA)に対して鍵生成率 G を評価した。このとき、BSA に対しては post-selection のしきい値を高く設定することで、損失がいくら大きくても $G > 0$ とできることを示した。つまり、BSA では伝送距離は制限されないことを示している。また、BSA に対して、ある損失を与えたとき、鍵生成率を最大化するように、しきい値と光子数との最適化をおこなった。次に、過剰雑音がある場合の安全性の評価を行った。ガウシアン分布を保ったまま、その分散の増加を引き起こすような盗聴者の操作を幾つか見つけ、それぞれに対する安全性を議論した。1つめの操作は、古典テレポーテーション攻撃で、これはエンタングルメントを用いない連続変数量子テレポーテーションを盗聴者が行うものである。この攻撃は、コヒーレント状態を用いる量子暗号に対して一般に適用可能な攻撃であり、損失と過剰雑音が満たすべき条件を与える (PRL, 92, 117901, 2004)。2つめの操作は、増幅器と BSA を組み合わせる攻撃であり、特に、増幅器が BS の前にあると、ポストセレクションが機能しなくなる場合があることを指摘した (PRA, 72, 024301, 2005)。また、鍵の伝送効率を高める新しい符号化方式についての提案も行った (PRA, 74, 032302, 2006)。

量子暗号の実験面では、従来のバルク光学部品を用いた実験に替わり、ファイバー部品のみを用いた実験を行った。この新しい実験系は、いわゆる“Plug & play”と呼ばれる方式で、ファラデーミラーを使用することによりファイバー中での偏光状態の乱れや位相差の揺らぎを自動的に補正する光学系である。この実験では、長さ 10km の光ファイバーを用いて、単一光子レベルの信号光の直交位相振幅の測定を行い、音響光学素子による信号光の強度の制御及び位相変調が正しく行われていることを確認し、安定性などを検証した。また、ランダムな位相変調を信号光に与え、連続変数プラグアンドプレイ量子暗号では初めてとなる鍵の生成実験に成功した。この過程で、光ファイバー中で生じる後方散乱光が過剰雑音の原因になること、音響光学素子により過剰雑音を減少できることなどを見出した。伝送路長 10km の実装実験の過剰雑音の大きさは、コレクティブ攻撃に対して安全な鍵を生成できる領域であった。平成19年度には、過剰雑音のLO光強度依存性、AOM変調周波数依存性、パルス時間幅依存性を定量的に調べ、後方散乱光とLO光の干渉によって過剰雑音が発生することを明らかにすることができた。これらの解析で得られたパラメータを元に、後方散乱光とLO光のスペクトルを十分に離すことができた場合の過剰雑音を見積もったところ、10km の伝送路で 2%未満に、40km の伝送路であっても 4%未満に抑えることも可能であるという知見が得られた。さらに、半導体光増幅器を用いて、受信者側でLO光を増幅する実装も行い、良好な特性を得た。この他量子暗号に関しては、空間伝送に適用できる新しい位相変調方式を考案し、特許出願を行った。そして、伝送距離 5m および 10m の距離の実証実験を行い、実験装置が機械的に変動しても直交位相振幅の平均値は安定していること、コレクティブ攻撃に対して安全な鍵が生成できることを示した。これらの成果は、連続変数を用いた量子暗号の実用的な実装が可能であることを示すという点で重要であるほか、最近注目を集めているコヒーレント状態をバスとして用いる量子中継・計算の観点からも重要であると考えられる。

2つめの具体的な研究課題は、パルス光の連続変数エンタングルメントに関する研究である。パルス光を用いるメリットは、高いピークパワーを利用してシングルパスの増幅でも大きな非線型性が得られるので、連続変数エンタングルメントを生成するコンパクトなファイバー部品の実現も可能であること、隣り合う2つのパルスを独立と見なせるような場合には逐次的な情報処理が可能であること、パルス光を用いる単一光子の実験と親和性が高いことなどである。非線型結晶として、バルク型の周期分極反転した KTiOPO_4 (PPKTP) を用いた実験では、3.2dB のスキューニングを観測することができ、周期分極反転により従来よりも優れたスキューニングが得られることを示した (OL, 30, 1722, 2005)。さらに、光導波路を用いた実験を行った実験では、最大で 4.1dB のスキューニングを得ることができた。この実験は通信波長帯である波長 1535nm の光源を用いた実験であり、通信波長帯における2次の非線型性を用いた実験、パルス一つ一つを区別する時間領域の測定、そして、光導波路の実験という3つの観点で、我々の知るかぎりにおいて、最も大きなスキューニングである (JJAP, 45, L821, 2006; Optics

Express, Vol. 16, Issue 14, pp. 10650-10657 (2008).). 古典的なパラメトリック増幅を測定したところ、 -10.7dB の減衰、 12.7dB の増幅であった。この結果から推定されるプローブ光と励起光のマッチング効率は96%であり、周期分極反転した光導波路が非常に理想的なパラメトリック増幅器として動作することを示している。また、波長 1064nm の高繰り返し(76MHz)パルス光源を用いた実験では、2つの導波路を用いて発生したスクイーズ光をビームスプリッターで重ね合わせることでエンタングルメントを生成した。2つのエンタングルビームの直交位相振幅を2つのホモダイン検出器で測定し、両者の差が量子雑音レベルよりも小さくなることを確認することができた。これは、パルス光の連続変数エンタングルメントによる非分離性を直接と検証した初めての実験である。この実験では、新たに開発した 200MHz まで量子雑音の測定が可能な高速ホモダイン検出器を用いており、同じ光学系を用いて時間領域の測定も可能である。

平成19年度には、本研究の一つの大きな目標であった時間領域のエンタングルメント測定を実現することができた。時間領域の測定は、パルス一つ一つを区別した測定であり、異なる場所で測定したパルス光ペアの直交位相振幅値の間の相関を調べるものである。そのために、まず、高速低雑音オペアンプで製作したホモダイン検出器を使って、時間的に隣り合うパルスを独立に測定できることを確かめた。これは、従来のチャージアンプを使用する手法に比べて、2桁程度の高速化を実現したものである。この検出器を使って、エンタングルしたパルス光ペアの測定値の和および差の分散を測定したところ、量子雑音限界以下となった。すなわち、高速繰り返しパルス光がペア毎に独立にエンタングルしていることを初めて確かめることが出来た。さらに、通信波長帯の連続量エンタングルメントについては、特許出願を行ったコンパクトな光学系を用いることで、安定にエンタングルパルスを発生することができた。これにより、通信波長帯の連続量エンタングルメントの時間領域の測定を初めて実現した。

(2)研究成果の今後期待される効果

本研究では、ホモダイン検出を用いる量子暗号について、理論面においても実装面においても、今後の発展の基礎となるような重要な知見を得ることができた。しかしながら、単一光子検出を用いる量子暗号と比較すると、安全性についての理論的な研究、より実用に近い実装実験などで研究すべき事柄が残っている。安全性については、ガウス変調プロトコルだけでなく、2つのコヒーレント状態を送信するプロトコルについても、コレクティブ攻撃に対して安全な鍵を配送できることがごく最近示された。今後の展開の見込みとしては、コヒーレント攻撃についての安全性が証明されるだけでなく、より鍵生成率の高いタイトな見積りの証明が行われると期待される。実装についても、より安定性が高く、高いレートの実験が実現されると見込まれる。中長期的な展開見込みについては、光通信の研究動向に依存する面が強い。一つの有力な可能性は、現代の無線通信で行われているような多値の直交振幅変調を行う光通信が発展し、伝送電力を抑えつつ情報伝送の高速化が実現することである。この場合、電力を抑えるには、量子雑音限界で測定を行うことが求められる。そうすると、これらの装置はホモダイン検出を用いて量子暗号を行うための装置そのものであり、信号間の距離を小さくするだけで、安全に秘密鍵を伝送することができる。すなわち、超高速低消費電力の光通信装置の動作モードを切り替えるだけで、同じ装置を使って、高速の量子鍵配送が行えるようになると予想される。その際、送信者と受信者で位相の安定したLO光源を以下にして共有するかという技術的な課題があるが、光時計が実現されるとするならば、自然に解決されると予測される。このような超高速・低消費電力で安全な通信網では、本研究で得られた知見が重要な役割を果たすと思われる。

また、本研究で研究を進めた擬似位相整合非線形結晶と光導波路を用いるスクイーズ光とエンタングル光の発生方法は、コンパクトで安定にこれらの光源を実現する方法として今後の展開が期待される。本研究では、一つ一つのパルスに対して独立な測定を行うパルスモードのホモダイン検出により、 4.1dB のスクイージングを実現することができたが、この実験においてスクイージングを制限していたのは、光導波路中の光損失やフォトダイオードの1未満の量子効率などの損失であった。今後は、光損失の少ない光導波路や量子効率の高いフォトダイオードを用いることで、スクイージングが改善することが見込まれる。連続量エンタングルメントの生成についても、本研究で考案した光学系を用いることにより、エンタングルメントを生成する光ファイバー部品を実現できるものと予測される。良質のエンタングルメントを安定・簡便に得ることができるようになれば、量子暗号や量子中継だけでなく、量子光学

や量子通信の広い分野の新しい可能性を開くことになると思われる。

3.4 グループ間共同研究

(1)研究実施内容及び成果

チームとしての活動は、チームミーティングを年1回以上のペースで開催した。当初はリーダー達の企画からスタートしたが徐々に若手企画に移り、滞在実験を伴うなど、実験ノウハウの交換や理論考察の討論などを行った。また博士研究員のグループ間移動に伴う実質的な共同研究も行った。

特に光子 qubit 系と連続量量子情報のハイブリッドの研究はうまく行われた。実験的には学習院大グループの連続量量子情報技術すなわちホモダイン量子測定技術を阪大グループで学んだことで進展が早まった。光子 qubit 系では北大グループと阪大グループのノウハウ交換は目に見えないところで双方の実力アップにつながったことを、双方のグループリーダーとしても身近に感じている。

理論では異グループ共著論文を3編生んだ。連続量量子情報としてのホモダイン量子暗号の安全性証明およびその周辺理論研究が主な成果である。特にコヒーレント光を用いたホモダイン量子暗号において事後選択の効果を解析し(Phys.Rev.A,2005)、それに適した変復調法を提案したことにより、従来よりさらに安全を保証するための条件を明らかにすることができた(Phys.Rev.A, 2006)。また、量子暗号よりは一般理論になるが、あるチャンネルが量子であるか古典であるかを実験的に判定するにあたり、通常はゲイン1(損失があれば光増幅器を付け光強度が変わらないようにする)しか考察されなかったところ、任意のゲインのチャンネルを考察した。この判定法は単にゲイン/ロス性チャンネルだけでなく全てのガウスチャンネルに適用できる(Phys.Rev.Lett.2008)。

(2)研究成果の今後期待される効果

量子暗号は光子 qubit のパラダイムと平行して連続量量子情報のパラダイムで開発が行われるであろう。後者のパラダイムでも「最後に qubit として受信」する学習院大の方法は、両パラダイムのハイブリッド方式として有望である。量子計算の研究としても同様の方法が、現在十分研究が進められていると、言い難いニッチのパラダイムとして進展する可能性がある。本 CREST で可能となった阪大と学習院大のグループ間共同研究がこれを牽引することになると考えられる。

一方、本 CREST の成果をベースとして、阪大グループと北大グループの今後の共同研究の検討も開始した。たまたま北大グループが大学付置研究所アライアンスの一環として阪大吹田キャンパスに研究設備を持つこととなったため、阪大グループとの共同研究が進めやすい状況になった。阪大グループがある豊中キャンパスと吹田キャンパスを結ぶ光ファイバーケーブルがあるので、これを利用した実験の構想を開始した。まだ検討を始めたばかりであるが、内容については、本 CREST の成果をもとにした量子通信実験を念頭に置いている。

§4 研究参加者

①井元グループ(多者間光子情報処理の研究)

	氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
○	井元 信之	大阪大学大学院基礎工学研究科	教授	光子量子情報処理	H15.10~H21.3
	小芦 雅斗	大阪大学大学院基礎工学研究科	准教授	量子情報処理理論	H15.10~H21.3
	山本 俊	大阪大学大学院基礎工学研究科	助教	量子光学実験	H15.10~H21.3

	シヤヒンカヤオズデミル	SORST 平山チーム	グループリーダー	量子トモグラフィ 理論・実験	H15.10～H21.3
	並木 亮	大阪大学大学院基礎 工学研究科	CREST 研究員	連続量量子 暗号	H16.4～H20.3
	徳永 裕己	大阪大学大学院基礎 工学研究科	参加者	光子量子ゲート	H15.10～H21.3
	島村 淳一	大阪大学大学院基礎 工学研究科	D3(当時)	多者間情報 理論	H16.4～H17.3
	田寫 俊之	大阪大学大学院基礎 工学研究科	D3	量子トモグラフィ 実験	H16.4～H21.3
	足立 頼俊	大阪大学大学院基礎 工学研究科	D2	量子暗号応 用	H17.4～
	東 浩司	大阪大学大学院基礎 工学研究科	D2	量子操作理 論	H19.4～H21.3
	Fatih Ozaydin	大阪大学大学院基礎 工学研究科	D2	量子エンタング ルメント	H19.4～H21.3
	長瀬 竜嗣	大阪大学大学院基礎 工学研究科	M2(当時)	光子情報処 理実験	H16.4～18.3
	木下 祐馬	大阪大学大学院基礎 工学研究科	M2(当時)	量子演算応 用	H17.4～H19.3
	竹長 史貴	大阪大学大学院基礎 工学研究科	M2(当時)	量子状態識 別	H17.4～H19.3
	桑代 慎	大阪大学大学院基礎 工学研究科	M2(当時)	量子計算法	H18.4.～H20.3
	篠原 祥太	大阪大学大学院基礎 工学研究科	M2(当時)	量子トモグラフィ 実験	H18.4.～H20.3
	林 浩大	大阪大学大学院基礎 工学研究科	M2(当時)	量子ゲート実 験	H18.4.～H20.3
	松永 英士	大阪大学大学院基礎 工学研究科	M2	エンタングルメント 理論	H18.4.～H21.3
	三上 修吾	大阪大学大学院基礎 工学研究科	M2(当時)	量子情報量 解析	H18.4.～H20.3
	横田 一広	大阪大学大学院基礎 工学研究科	D1	量子測定実 験	H18.4.～H21.3
	宗田 尚也	大阪大学大学院基礎 工学研究科	M2	量子操作理 論	H19.4～H21.3
	畠田 智博	大阪大学大学院基礎 工学研究科	M2	量子暗号理 論	H19.4～H21.3
	三谷 理恵	大阪大学大学院基礎 工学研究科	M2	量子トモグラフィ 実験	H19.4～H21.3
	若月 哲郎	大阪大学大学院基礎 工学研究科	M2	光量子情報 処理実験	H19.4～H21.3
	岡本 覚	大阪大学大学院基礎 工学研究科	M1	光子量子ゲート 実験	H20.4～H21.3
	小林 祐也	大阪大学大学院基礎 工学研究科	M1	量子操作理 論	H20.4～H21.3
	関 忠聖	大阪大学大学院基礎 工学研究科	M1	量子情報テハ イス実験	H20.4～H21.3

	武田 仁	大阪大学大学院基礎工学研究科	M1	量子エンタングルメント理論	H20.4～H21.3
	山縣 俊幸	大阪大学大学院基礎工学研究科	M1	量子演算理論	H20.4～H21.3
*	坊農 文	大阪大学大学院基礎工学研究科	CREST 研究補助員		H18.11～ H19.3,H20.5～9
*	有本 幸子	大阪大学大学院基礎工学研究科	チーム事務員		H16.12～H21.3

②竹内グループ(多光子量子演算ゲートの研究)

	氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
○	竹内繁樹	北海道大学電子科学研究所	教授	多光子量子演算ゲート	H15.10～ H21.3
	ホフマン・ホルガ	広島大学大学院先端物質研究所	准教授	量子演算ゲートの理論解析	H16.5～H21.3
	オブライアン・ジェレミー	英国ブリストル大学	准教授	線形光学素子量子回路の実験	H19.4～H21.3
	ソージャエフ・アレクサンドレ	北海道大学・電子科学研究所	CREST 研究員	量子ゲートの実験	H16.10～ H19.9.30
	岡本 亮	北海道大学電子科学研究所	助教 (H19.7 まで CREST 研究員)	線形光学素子量子回路の実験	H15.10～ H21.3
	高島 秀聡	北海道大学電子科学研究所	非常勤研究員	量子ゲート素子の実験	H16.4～H21.3
	小島 邦裕	北海道大学知識メディアラボ	非常勤研究員(当時)	線形光学量子計算の理論	H16.4～ H16.11
	千葉 明人	北海道大学大学院工学研究科	D4(当時)	量子ゲート素子の実験	H16.4～H17.9
	岡 寿樹	北海道大学大学院工学研究科	D4(当時)	量子ゲートの理論解析	H16.4～H17.9
	千葉 孝志	北海道大学大学院工学研究科	D4(当時)	量子ゲート素子の実験	H16.4～H19.3
	川瀬 大輔	北海道大学大学院情報科学研究科	D4(当時)	光子の量子状態の理論解析と実験	H15.10～ H20.3
	川辺 喜雄	北海道大学大学院情報科学研究科	D3(当時)	光子の量子状態解析	H17.4～H19.3

	由水 哲也	北海道大学大学院情報科学研究科	M2(当時)	光子の量子状態解析	H16.4～H18.3
	田村 祥	北海道大学大学院情報科学研究科	M3(当時)	量子ゲート素子の実験	H17.4～H19.3
	永田 智久	北海道大学大学院情報科学研究科	D2	線形光学量子回路実験	H17.4～H21.3
	小西 秀典	北海道大学大学院情報科学研究科	M2(当時)	量子ゲート素子の実験	H17.4～H19.3
	浅井 健志	北海道大学大学院情報科学研究科	M2	量子情報実験	H19.4～H21.3
	上田 哲也	北海道大学大学院情報科学研究科	M2	量子情報実験	同上
	谷田 真人	北海道大学大学院情報科学研究科	M2	量子情報実験	同上
	中村 真一郎	北海道大学大学院情報科学研究科	M2	量子情報実験	同上
*	山下 裕美子	北海道大学電子科学研究所	CREST 研究補助員		H16.4～H16.10
*	山田 美和	北海道大学電子科学研究所	CREST 研究補助員		H16.10～H20.3

③ 平野グループ(ホモダイン量子情報処理の研究)

	氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
○	平野 琢也	学習院大学理学部	教授	量子情報処理実験	H15.10～
	桑本剛	日本大学量子科学研究所	講師	量子光学実験	H15.10～H19.3
	東條 賢	学習院大学理学部	助教	量子光学実験	H18.4～H21.3
*	Yun Zhang	電気通信大学電気通信学部	助教(H19.3まで CREST 研究員)	量子情報実験	H18.3～H21.3
	並木 亮	学習院大学大学院自然科学研究科	D3(当時)	量子暗号実験	H15.10～H16.3
	足利 政紀	学習院大学大学院自然科学研究科	M2(当時)	量子暗号実験	H15.10～H17.3

	石橋 隆久	学習院大学大学院自然科学研究科	M2(当時)	導波路実験	H15.10～H17.3
	西田 仁保	学習院大学大学院自然科学研究科	M2(当時)	微弱光検出	H15.10～H17.3
	江野 高弘	学習院大学大学院自然科学研究科	M2(当時)	量子光学実験	H15.10～H17.3
	衛藤雄二郎	学習院大学大学院自然科学研究科	D3	通信波長導波路実験	H16.4～
	下口 敦	学習院大学大学院自然科学研究科	M2(当時)	量子暗号実験	H16.4～H18.3
	古田 達也	学習院大学大学院自然科学研究科	M2(当時)	ピコ秒導波路実験	H16.4～H19.3
	田島 崇史	学習院大学大学院自然科学研究科	M2(当時)	通信波長導波路実験	H17.4～H19.3
	白崎 和也	学習院大学大学院自然科学研究科	M2(当時)	量子暗号実験	H17.4～H19.3
	石原 和憲	学習院大学大学院自然科学研究科	M2(当時)	高速ホモダイン実験	H17.4～H19.3
	得永 真吾	学習院大学大学院自然科学研究科	M2(当時)	量子暗号実験	H17.4～H20.3
	古木 敦	学習院大学大学院自然科学研究科	M2(当時)	量子暗号実験	H18.4～H20.3
	大久保 竜飛	学習院大学大学院自然科学研究科	M2	ピコ秒導波路実験	H19.4～H21.3
	野中 章裕	学習院大学大学院自然科学研究科	M1	通信波長導波路実験	H20.4～H21.3
	平野 真弓	学習院大学大学院自然科学研究科	M1	ピコ秒導波路実験	H20.4～H21.3
	宮野 哲史	学習院大学大学院自然科学研究科	M1	量子暗号実験	H20.4～H21.3

§ 5 招聘した研究者等

① 井元グループ

氏名	所属・役職	滞在先	滞在期間	招聘の目的
Adam Miranowicz	Adam Mickiewicz University, Poland/professor	大阪大学大学院基礎工学研究科	2008.8.28	グローバル COE セミナー
Mark Simon TAME	Queen's University Belfast/researcher	大阪大学大学院基礎工学研究科	2007.11.28	セミナー・研究打ち合わせ
Yu-xi Liu	理化学研究所・特別研究員	大阪大学大学院基礎工学研究科	2007.10.1	固体物理セミナー・研究打ち合わせ
光永 正治	熊本大学・教授	大阪大学大学院基礎工学研究科	2007.6.18	固体物理セミナー
Michal Horodecki	Univ.of Gdansk,adjunct	大阪大学大学院基礎工学研究科	2006.12.4-6	セミナー・研究打ち合わせ
Onur Hosten	イリノイ大学・助教授	大阪大学大学院基礎工学研究科	2006.12.6-9	研究打ち合わせ
Christian Schmid	Max Planck Institute fur Quantum Optics, DC Student	大阪大学大学院基礎工学研究科	2005.8.25	研究打ち合わせ
Elham Kashefi	Institute for Quantum Computing (University of Waterloo) Postdoctoral Fellow, / Christ church College (University of Oxford)(II, III) Junior Research Fellow,	大阪大学大学院基礎工学研究科	2005.8.25	研究打ち合わせ
Adam Miranowicz	Adam Mickiewicz University, Poznan, Poland	大阪大学大学院基礎工学研究科	2005.2.17	研究打ち合わせ

②竹内グループ:

氏名	所属・役職	滞在先	滞在期間	招聘の目的
Jeremy Lloyd O'brien	Bristol University Department of Physics & Department of Electrical Engineering	北海道大学・電子科学研究所	2007.7.23-27	共同研究

	Research Fellow			
Jeremy Lloyd O'brien	Bristol University Department of Physics & Department of Electrical Engineering · Research Fellow	北海道大学・電子科学研究所	2007.4.19-29	共同研究
Jeremy Lloyd O'brien	Bristol University Department of Physics & Department of Electrical Engineering · Research Fellow	北海道大学・電子科学研究所	2007.1.17-23	共同研究
Alan D. Bross	Fermi National Accelerator laboratory · Staff Scientist	北海道大学・電子科学研究所	2006.8.8-10	共同研究
Jeremy Lloyd O'brien	Bristol University Department of Physics & Department of Electrical Engineering · Research Fellow	北海道大学・電子科学研究所	2006.6.18-26	共同研究

3) 平野グループ:なし

§ 6 成果発表等

(1)原著論文発表 (国内(和文)誌 1 件、国際(欧文)誌 83 件)

1) 井元グループ:国内 0 件、国際 39 件

平成 20 年度: (国内誌 0 件 国際誌 10 件):

1. T. Tashima, T. Wakatsuki, S. K. Ozdemir, T. Yamamoto, M. Koashi, and N. Imoto: "Local transformation of two EPR photon pairs into a three-photon W state," Phys. Rev. Lett., in press.
2. K. Yokota, T. Yamamoto, M. Koashi, and N. Imoto: "Direct observation of Hardy's paradox by joint weak measurement with an entangled photon pair," New Journal of Physics 11, 033011 (2009).
3. T. Tashima, S. K. Ozdemir, T. Yamamoto, M. Koashi, N. Imoto: "Local expansion of photonic W state using a polarization dependent beamsplitter," New J. Phys. 11, 023024 (2009).

4. M. S. Tame, S. K. Ozdemir, M. Koashi, N. Imoto, M. S. Kim: “Compact Toffoli gate using weighted graph states,” Phys. Rev. A 79, 020302 (2009).
5. Y. Xiao, Sahin Kaya Ozdemir, V. Gaddam, C. Dong, N. Imoto, and L. Yang: “Quantum nondemolition measurement of photon number via optical Kerr effect in an ultra-high-Q microtoroid cavity,” Opt. Express 16, 21462–21475 (2008).
6. T. Tashima, S. K. Ozdemir, T. Yamamoto, M. Koashi and N. Imoto: “An elementary optical gate for expanding symmetrically shared entanglement,” Theory of Quantum Computation, Communication, and Cryptography, 70–82 (Proceedings of 3rd Workshop on Theory of Quantum Computation, Communication, and Cryptography, TQC 2008 Tokyo, Japan, January 30 – February 1, 2008 Revised Selected Papers).
7. R. Namiki, M. Koashi, and N. Imoto: “Fidelity Criterion for Quantum-Domain Transmission and Storage of Coherent States Beyond the Unit-Gain Constraint,” Phys. Rev. Lett. 101, 100502(2008).
8. T. Takano, M. Fuyama, R. Namiki, and Y. Takahashi: “Continuous-variable quantum swapping gate between light and atoms,” Phys. Rev. A 78, 010307(R) (2008).
9. T. Yamamoto, K. Hayashi, S. K. Ozdemir, M. Koashi and N. Imoto: “Robust photonic entanglement distribution by state-independent encoding onto decoherence-free subspace,” Nature Photonics 2, 488 – 491 (2008). JST・阪大プレスリリース.
10. Y. Tokunaga, S. Kuwashiro, T. Yamamoto, M. Koashi, and N. Imoto: “Generation of High-Fidelity Four-Photon Cluster State and Quantum-Domain Demonstration of One-Way Quantum Computing,” Phys. Rev. Lett. 100, 210501 (2008).

平成19年度:(国内誌 0 件 国際誌 4 件):

1. T. Tashima, S. K. Ozdemir, T. Yamamoto, M. Koashi, and N. Imoto: “Elementary optical gate for expanding an entanglement web,” Phys. Rev. A 77, 030302(R) (2008).
2. S. K. Ozdemir, K. Barkiewicz, Y. Liu, and A. Miranowicz: “Teleportation of qubit states through dissipative channels: Conditions for surpassing the no-cloning limit,” Phys. Rev. A, 76, 042325 (2007).
3. Y. Adachi, T. Yamamoto, M. Koashi, and N. Imoto: “Simple and Efficient Quantum Key Distribution with Parametric Down-Conversion,” Phys. Rev. Lett. 99, 180503 (2007).
4. T. Yamamoto, R. Nagase, J. Shimamura, S. K. Ozdemir, M. Koashi, and N. Imoto: “Experimental ancilla-assisted qubit transmission against correlated noise using quantum parity checking,” New J. Phys. 9 191(2007) chosen in IOP Select.

平成18年度:(国内誌 0 件 国際誌 6 件):

1. Y. Kinoshita, R. Namiki, T. Yamamoto, M. Koashi, and N. Imoto: “Selective entanglement breaking,” Phys. Rev. A 75, 032307(2007).

2. S. K. Ozdemir, J. Shimamura, and N. Imoto: "A necessary and sufficient condition to play games in quantum mechanical settings," *New Journal of Physics*, 9,43(2007).
3. A. Miranowicz, S. K. Ozdemir, Yu-xi Liu, G. Chimeczak, M. Koashi and N. Imoto: "Quantum Entanglement and Teleportation of Quantum-Dot States in Microcavities," *e-J. Surf. Sci. Nanotech.* Vol. 5, p.51 (2007).
4. A. Miranowicz, S. K. Ozdemir, Jiri Bajer Masato Koashi, and Nobuyuki Imoto: "Selective truncations of an optical state using projection synthesis," *JOSA B*, vol. 24, Issue 2, pp. 379-383 (2007).
5. S. K. Ozdemir, A. Miranowicz, T. Ota, G. Yusa, N. Imoto and Y. Hirayama: "Nuclear Spins in a Nanoscale Device for Quantum Information Processing," *e-J. Surf. Sci. Nanotech.* Vol. 4, p.669 (2006).
6. Yuuki Tokunaga, Takashi Yamamoto, Masato Koashi, and Nobuyuki Imoto: "Fidelity estimation and entanglement verification for experimentally produced four-qubit cluster states," *Phys. Rev. A* 74, 020301(R) (2006).

平成17年度:(国内誌 0 件 国際誌 6 件):

1. Y. Hirayama, A. Miranowicz, T. Ota, G. Yusa, K. Muraki, S. K. Ozdemir, and N. Imoto: "Nanometre-scale nuclear-spin device for quantum information processing," *J. Phys.: Condens. Matter* vol.18, S885 (2006).
2. R. Namiki, Masato Koashi, and Nobuyuki Imoto: "Cloning and optimal Gaussian individual attacks for a continuous-variable quantum key distribution using coherent states and reverse reconciliation," *Phys. Rev. A* 73, 032302 (2 March 2006).
3. M. Koashi: "Security Of Quantum Key Distribution With Strong Phase-Reference Pulse," *International Journal of Quantum Information* Vol. 3, No. Supplement 01 75-85 (November2005)(Proceedings of the 1st Asia-Pacific Conference on Quantum Information Science Tainan, Taiwan, December 10-13, 2004).
4. Koji Azuma, Junichi Shimamura, Masato Koashi, and Nobuyuki Imoto: "Probabilistic Cloning with supplementary information," *Phys. Rev. A* 72, 032335 (28 September 2005).
5. R. Namiki and T. Hirano "Security of Continuous-variable quantum cryptography using coherent states," "Decline of postselection advantage " *Phys. Rev. A* 72, 024301 (5 August 2005).
6. T. Yamamoto, J. Shimamura, S. K. Ozdemir, M. Koashi, and N. Imoto: "Faithful Qubit Distribution Assisted by One Additional Qubit against Collective Noise," *Phys. Rev. Lett.* 95, 040503 (22 July 2005).

平成16年度:(国内誌 0 件 国際誌 6 件):

1. Y. Tokunaga, Takashi Yamamoto, Masato Koashi, and Nobuyuki Imoto: "Simple experimental scheme of preparing a four-photon entangled state for the teleportation-based realization of a linear optical controlled-NOT gate," *Phys. Rev. A* 71, 030301(R) (25 March 2005).

2. Y. Tokunaga, T. Okamoto, and N. Imoto: "Threshold quantum cryptography," Phys. Rev. A71, 012314 (10 January 2005).
3. S. K. Ozdemir, J. Shimamura, F. Morikoshi, and N. Imoto: "Dynamics of a discoordination game with classical and quantum correlations," Physics Letters A, vol.333, p.218, (25 October 2004).
4. Yu-xi Liu, S. K. Ozdemir, A. Miranowicz, and N. Imoto: "Kraus representation of a damped harmonic oscillator and its application," Phys. Rev. A70, 042308 (12 October 2004).
5. M. Koashi: "Unconditional security of coherent-state quantum key distribution with a strong phase-reference pulse," Phys. Rev. Lett. 93, 120501 (15 September 2004).
6. J. Shimamura, S. K. Ozdemir, F. Morikoshi and N. Imoto: "Entangled states that cannot reproduce original classical games in their quantum version," Physics Letters A, vol.328, p.20, (1 June 2004).

平成15年度:(国内誌 0 件 国際誌 7 件):

1. Yu-xi Liu, S. K. Ozdemir, A. Miranowicz, M. Koashi, and N. Imoto: "Exciton entanglement in two coupled semiconductor microcrystallites," Journal of Physics A: Mathematical and General, (29 March 2004).
2. K. Tamaki and N. Lutkenhaus: "Unconditional Security of the Bennett 1992 quantum key-distribution protocol over a lossy and noisy channel," Phys. Rev. A69, 032316 (22 March 2004).
3. S. K. Ozdemir, J. Shimamura, and N. Imoto: "Quantum advantage does not survive in the presence of a corrupt source: Optimal strategies in simultaneous move games," Physics Letters A, vol.325, p.104, (19 March 2004).
4. M. Koashi and A. Winter: "Monogamy of quantum entanglement and other correlations," Phys. Rev. A69, 022309 (18 February 2004).
5. J. Shimamura, S. K. Ozdemir, F. Morikoshi, and N. Imoto: "Quantum and classical correlations between players in game theory," International Journal of Quantum Information, vol.2, p.79, (January 2004).
6. S. K. Ozdemir, T. Yamamoto, M. Koashi, and N. Imoto: "Quantum state generation and entanglement manipulation using linear optics," Turkish Journal of Physics, 27, pp.459-479 (8 September 2003).
7. K. Tamaki, M. Koashi, and N. Imoto: "Unconditionally secure key distribution based on two nonorthogonal states," Physical Review Letters, 90, 167904 (24 April 2003).

2) 竹内グループ 国内 0 件、国際 35 件

平成 20 年度(国内 0 件、国際 5 件):

1. R. Okamoto, H.F.Hofmann, T.Nagata, J.L.O'Brien, K.Sasaki and S.Takeuchi: "An Entanglement Filter," *Science*, 323, 483-485 (23 January, 2009).
2. T. Nishioka, A. Soujaeff, T. Hasegawa, T. Tsurumaru, J. Abe, and S. Takeuchi: "Single-Photon Interference Experiment Over 80 km with a Pulse-Driven Heralded Single-Photon Source", *IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS*, 20, NO. 5, 354-456, (2008).
3. T. Tsurumaru, A. Soujaeff, and S. Takeuchi: "Exact minimum and maximum of yield with a finite number of decoy light intensities", *Phys. Rev. A*, **77**, 022319 (2008).
4. R.Okamoto, H.F.Hofmann, T.Nagata, J.L.O'Brien, K.Sasaki and S.Takeuchi : "Beating the standard quantum limit: phase super-sensitivity of N-photon interferometers," *New Journal of Physics* 10. 73033 1-9(2008).
5. D.Kawase, Y.Miyamoto, M.Takeda, K.Sasaki and S.Takeuchi: "Observing Quantum Correlation of Photons in Laguerre-Gauss Modes Using the Gouy Phase," *Phys.Rev.Lett.*101 050501-1-4(2008).

平成 19 年度(国内 0 件、国際 7 件):

1. T. Nagata, R. Okamoto, J. L. O'Brien, K. Sasaki and S. Takeuchi: "Beating the Standard Quantum Limit with Four Entangled Photons," *Science*, 316, 726-729 (2007).
2. H.F. Hofmann, T. Kosako, and Y. Kadoya: "Design parameters for a nano-optical Yagi-Uda antenna," *New Journal of Physics*, 9, 217/1-217/12 (2007).
3. T. Ide and H.F. Hofmann: "Accidental cloning of a single-photon qubit in two-channel continuous-variable quantum teleportation," *Phys. Rev. A*, 75, 062311/1-062311/7 (2007).
4. Y. Kawabe, H. Fujiwara, S. Takeuchi and K. Sasaki: "Investigation of the Spatial Propagation Properties of Type-I Parametric Fluorescence by Use of Tuning Curve Filtering Method," *Jpn. J. Appl. Phys.* ,46, 9A, 5802-5808 (2007).
5. H.F. Hofmann and T. Ono: "High photon-number path entanglement in the interference of spontaneously down-converted photon pairs with coherent laser light," *Phys. Rev. A* ,76, 031806/1-031806/4 (2007).
6. Y. Kawabe, H. Fujiwara, R. Okamoto, K. Sasaki and S. Takeuchi: "Quantum interference fringes beating the diffraction limit," *Opt.Exp.* ,15, 21, 14244-14250 (2007).
7. H. Takashima, H. Fujiwara, S. Takeuchi, K. Sasaki and M. Takahashi "Control of spontaneous emission coupling factor β in fiber-coupled microsphere resonators," *Applied Physics Letters* 92.7 071115/1-071115/3(2007).

平成 18 年度(国内 0 件、 国際 10 件):

1. H. Takashima, H. Fujiwara, S. Takeuchi, K. Sasaki and M. Takahashi: “Fiber-microsphere laser with a sub-micrometer sol-gel silica glass layer co-doped with erbium, aluminum and phosphorus,” *Appl. Phys. Lett.*, vol. 90, 101103 (2007).
2. H. Fujiwara, Y. Kawabe, S. Takeuchi and K. Sasaki: “Numerical analysis of spatial propagation of parametric fluorescence photon-pairs using the tuning curve filtering method,” *Phys. Rev. A*, vol. 75, 023802 (2007).
3. A. Soujaeff, T. Nishioka, T. Hasegawa, S. Takeuchi, T. Tsurumaru, K. Sasaki and M. Matsui: “Quantum key distribution at 1550 nm using a pulse heralded single photon source,” *OPT. EXP.*, 15, 2, pp. 726-734 (2007).
4. A. Soujaeff, S. Takeuchi, K. Sasaki, T. Hasegawa and M. Matsui: “Heralded single photon source at 1550 nm from pulsed parametric down conversion,” *J. Mod. Opt.*, 54/2-3, pp. 467-475 (2007).
5. Konishi, H. Fujiwara, S. Takeuchi and K. Sasaki: “Polarization-discriminated spectra of a fiber-microsphere system,” *Appl. Phys. Lett.*, 89, 12, 121107/1-3 (2006).
6. R. Okamoto, S. Takeuchi and K. Sasaki: “Tailoring two-photon interference with phase dispersion,” *Phys. Rev. A (R)*, 74, pp. 011801/1-4 (2006).
7. H. F. Hofmann, R. Okamoto and S. Takeuchi: “Analysis of an experimental quantum logic gate by complementary classical operations,” *Mod. Phys. Lett. A.*, 21, pp. 1837-1850 (2006).
8. H.F. Hofmann: “Generation of a highly phase sensitive polarization squeezed N-photon state by collinear parametric downconversion and coherent photon subtraction,” *Phys. Rev. A* 74, 013808 (2006).
9. H.F. Hofmann and T. Ide: “Optimal cloning of single photon polarization by coherent feedback of beam splitter losses,” *New Journal of Physics* 8, 130 (2006).
10. H. Takashima, H. Fujiwara, J. Hotta, S. Takeuchi, K. Sasaki, S. Murakami, T. Torimoto and B. Ohtani: “Analysis of quantum dot fluorescence coupled with a microsphere resonator” *Japanese Journal of Applied Physics* 45.9A 6917-6921(2006).

平成 17 年度(国内 0 件、 国際 7 件)

1. R. Okamoto, H. F. Hofmann, S. Takeuchi and K. Sasaki: “Demonstration of an optical quantum controlled-NOT gate without path interference”, *Phys. Rev. Lett.*, 95, 21, pp. 210506/1-4 (2005).
2. R. Okamoto, S. Takeuchi and K. Sasaki: “Detailed analysis of a single-photon source using gated spontaneous parametric downconversion”, *J. Opt. Soc. Am. B*, pp.22, 11, pp.2393-2401 (2005).
3. H. Oka, S. Takeuchi and K. Sasaki: “Optical response of two-level atoms with reflection geometry as a model of a quantum phase gate”, *Phys. Rev. A*, 72, pp.013816/1-7 (2005).

4. K. Kojima, H. F. Hofmann, S. Takeuchi and K. Sasaki: "A study on the shape of two-photon wavefunctions after the nonlinear interaction with a one-dimensional atom," *Nonlinear Optics, Quantum Optics*, 32, 4, 221-245 (2005).
5. H. F. Hofmann: "Complementary classical fidelities as an efficient criterion for the evaluation of experimentally realized quantum operations" *Physical Review Letters* 94 160504/1-160504/4 (2005).
6. H. F. Hofmann: "Quantum parallelism of the controlled-NOT operation: An experimental criterion for the evaluation of device performance" *Physical Review A* 72 022329/1-022329/5(2005).
7. H. F. Hofmann: "Simulation of interaction Hamiltonians by quantum feedback: a comment on the dynamics of information exchange between coupled systems" *Journal of Optics B: Quantum and Semiclassical Optics (special issue)* 7.10 S208-S214(2005).

平成 16 年度(国内 0 件、 国際 6 件)

1. S. Takeuchi, R. Okamoto and K. Sasaki: "High-yield single-photon source using gated spontaneous parametric downconversion," *Applied Optics*, 43, 30, 5708-5711 (2004).
2. H. Oka, H. F. Hofmann, S. Takeuchi and K. Sasaki: "Effects of decoherence on the nonlinear optical phase shift obtained from a one-dimensional atom," *Japanese Journal of Applied Physics*, 43, 11A, 7495-7500 (2004).
3. H. F. Hofmann: "Generation of highly nonclassical n-photon polarization states by superbunching at a photon bottleneck," *Physical Review A*, 70, 023812/1-7 (2004).
4. K. Kojima, H. F. Hofmann, S. Takeuchi and K. Sasaki: "Efficiencies for the single-mode operation of a quantum optical nonlinear shift gate," *Physical Review A*, 70, 013810/1-6 (2004).
5. H. F. Hofmann and S. Takeuchi: "Quantum-state tomography for spin-1 systems," *Physical Review A*, 69, 042108/1-8 (2004).
6. K. Tsujino, H. F. Hofmann, S. Takeuchi and K. Sasaki: "Distinguishing genuine entangled two-photon-polarization states from independently generated pairs of entangled photons," *Physical Review Letters*, 92, 15, 153602/1-4 (2004).

平成 15 年度(国内 0 件、 国際 0 件)

なし

3)平野グループ 国内 1 件 国際 16 件

平成 20 年度(国内 0 件 国際 2 件):

1. Yujiro Eto, Takashi Tajima, Yun Zhang, and Takuya Hirano: "Observation of quadrature squeezing in a $\chi^{(2)}$ nonlinear waveguide using a temporally shaped local oscillator pulse," *Optics Express*, Vol. 16, Issue 14, pp. 10650-10657 (2008).

2. Ryuhi Okubo, Mayumi Hirano, Yun Zhang, and Takuya Hirano: "Pulse-resolved measurement of quadrature phase amplitudes of squeezed pulse trains at a repetition rate of 76 MHz," *Optics Letters*, Vol. 33, Issue 13, pp. 1458-1460 (2008).

平成 19 年度(国内 0 件、国際 3 件)

1. Yun Zhang, Tatsuya Furuta, Ryuhi Okubo, Kosuke Takahashi, and Takuya Hirano: "Experimental generation of broadband quadrature entanglement using laser pulses," *Phys. Rev. A* 76, 012314 (2007).
2. Yujiro Eto, Takashi Tajima, Yun Zhang, and Takuya Hirano: "Observation of squeezed light at $1.535 \mu\text{m}$ using a pulsed homodyne detector," *Optics Letters*, Vol. 32, Issue 12, pp. 1698-1700 (2007).
3. Yun Zhang, Kazuhiro Hayasaka, and Katsuyuki Kasai: "Efficient suppression of an amplified diode-laser noise by optical filter and resonant optical feedback," *Applied Physics B* 86, 643 (2007).

平成 18 年度(国内 0 件、国際 6 件)

1. R. Namiki and T. Hirano: "Efficient-phase-encoding protocols for continuous-variable quantum key distribution using coherent states and postselection," *Phys. Rev. A* 74, 032302 (2006).
2. Y. Eto, T. Tajima, Y. Zhang and T. Hirano: "Pulsed Homodyne Detection of Squeezed Light at Telecommunication Wavelength," *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol. 45, No. 31, 2006, pp. L821-L823 (2006).
3. Yun Zhang, Kazuhiro Hayasaka, and Katsuyuki Kasai, "Efficient suppression of an amplified diode-laser noise by optical filter and resonant optical feedback," *Applied Physics B*, vol. 86, pp.643-646 (2007).
4. Yun Zhang, Kazuhiro Hayasaka, and Katsuyuki Kasai, "Generation of two-mode bright squeezed light using a noise-suppressed amplified diode laser," *Optics Express* 16 13083 (2006).
5. Yun Zhang, Katsuyuki Kasai, and Kazuhiro Hayasaka "Experimental realization of quantum correlation transfer," *Optics communications* 266, 598 (2006).
6. Yun Zhang, Katsuyuki Kasai, and Kazuhiro Hayasaka, "Conditional generation of twin sub-Poissonian states," *International Journal of Modern Physics B* 20, 1564-1569 (2006).

平成 17 年度(国内 0 件、国際 2 件)

1. Ryo Namiki and Takuya Hirano: "Security of continuous-variable quantum cryptography using coherent states": Decline of postselection advantage", *Physical Review A*, vol. 72, No. 2, 024301 (Aug. 2005).
2. T. Hirano, K. Kotani, T. Ishibashi, S. Okude, T. Kuwamoto: "3 dB squeezing by single-pass parametric amplification in a periodically poled KTiOPO4 crystal", *Optics Letters*, vol. 30, Issue

13, (July, 2005).

平成 16 年度(国内 1 件、国際 2 件)

1. 並木亮、平野琢也:「光学から見た量子通信・鍵配布」光学, 2004年8月号
2. T. Kuwamoto, K. Araki, T. Eno, T. Hirano: “Magnetic field dependence of the dynamics of 87Rb spin-2 Bose-Einstein condensates,” Phys. Rev. A 69, 063604, (2004).
3. R. Namiki and T. Hirano: “Practical limitation for continuous-variable quantum cryptography using coherent states,” Phys. Rev. Lett. 92, 117901, (2004).

平成 15 年度(国内 0 件、国際 1 件)

1. T. Hirano, H. Yamanaka, M. Ashikaga, T. Konishi, and R. Namiki: “Quantum cryptography using pulsed homodyne detection,” Phys. Rev. A 68, 042331-1-7 (29 October 2003).

(2)学会発表(国際学会発表及び主要な国内学会発表)

1)井元グループ:

平成 20 年度:

① 招待講演 (国内 0 件 国際 3 件):

1. N. Imoto, M. Koashi, T. Yamamoto, S. K. Ozdemir, and Y. Tokunaga: “Photonic quantum information processing,” The First Japanese-Polish Workshop on Quantum Entanglement and Quantum Computing Adam Mickiewicz University, Poland 2008/9/26.
2. N. Imoto, M. Koashi, T. Yamamoto, S. K. Ozdemir, and Y. Tokunaga: “Manipulating multipartite entanglement in photonic quantum information processing,” (invited) XII International Conference on Quantum Optics and Quantum Information (ICQIO’2008) Reval Hotel Lietuva, Vilnius, Lithuania 2008/9/20.
3. N. Imoto, S. K. Ozdemir, M. Koashi, T. Yamamoto, and Y. Tokunaga: “Photonic implementation of quantum information processing,” Colloquium at Washington University St. Louis, USA 2008/9/16.

② 口頭発表 (国内 10 件 国際 1 件)

1. 宗田尚也、東浩司、並木亮、S. K. Ozdemir、山本俊、小芦雅斗、井元信之: “コヒーレント光を用いた量子メモリー間でのエンタングルメント生成方式の提案” 物理学会 2008 年秋季大会 岩手大学上田キャンパス 2008/9/20-9/23.
2. 田嶋俊之、若月哲郎、山本俊、S. K. Ozdemir、小芦雅斗、井元信之: “局所操作による二組のEPR光子対からの三光子W状態変換実験Ⅱ” 物理学会 2008 年秋季大会 22aZA-10 岩手大学上田キャンパス 2008/9/20-9/23.

3. 井元信之: “量子情報処理と量子通信”特定領域“新時代光通信へのイノベーション”第2回量子情報ミニ研究会 瑞宝園(兵庫県) 2008/7/7.
4. 小芦雅斗: “量子暗号に現れる量子力学の諸性質” 科学基礎論学会2008年度講演会シンポジウム東京電機大学 2008/6/21.
5. 井元信之: “量子力学の基本的問題について” Symposium on Atomic, Molecular, and Optical Sciences 5 首都大学東京(八王子) 2008/6/14.
6. 井元信之: “量子情報処理研究” さきがけ「量子と情報」領域会議千里阪急ホテル(大阪) 2008/5/30.
7. 井元信之: “光子を用いた量子情報処理新機能の開拓” CREST12 シンポジウム東京国際フォーラム(東京) 2008/5/27.
8. 東浩司、小芦雅斗、井元信之: “Quantum catalysis of information” 第18回量子情報技術研究会(QIT18)東京大学小柴ホール 2008/5/22-23.
9. 足立頼俊、山本俊、小芦雅斗、井元信之: “Improvement of quantum cryptography utilizing pseudo-single-photon sources” 第18回量子情報技術研究会(QIT18)東京大学小柴ホール 2008/5/22-23.
10. 小芦雅斗、山本俊、足立頼俊、井元信之: “Security of entanglement-based QKD with practical detectors” 第18回量子情報技術研究会(QIT18)東京大学小柴ホール 2008/5/22-23.
11. Y. Tokunaga, S. Kuwashiro, T. Yamamoto, M. Koashi, N. Imoto: “Process Characterization of Experimental Photonic One-Way Quantum Computing,” Conference on Lasers and Electro-Optics/Quantum Electronics and Laser Science Conference (CLEO/QELS 2008) San Jose McEnergy Convention Center, San Jose 2008/5/4-5/9.

③ ポスター発表 (国内 1 件 国際 9 件)

1. 田嶋俊之、S. K. Ozdemir、山本俊、小芦雅斗、井元信之: “局所的操作によるW状態の拡張:N光子W状態 \rightarrow (N+1)光子W状態”(ポスター) 第18回量子情報技術研究会(QIT18) 東京大学小柴ホール 2008/5/22-23.
2. R. Mitani, S. K. Ozdemir, T. Yamamoto, M. Koashi, and N. Imoto: “Preparation of Squeezed Superposition States by Conditioning with Homodyne Detection,” 4th Handai Nanoscience and Nanotechnology International Symposium, Osaka University, Japan, 2008/9/29-10/1.
3. T. Tashima, S. K. Ozdemir, T. Yamamoto, M. Koashi and N. Imoto: “Local expansion of photonic W state using a polarization dependent beamsplitter,” 4th Handai Nanoscience and Nanotechnology International Symposium Osaka University, Japan, 2008/9/29-10/1.
4. T. Tashima, T. Wakatsuki, S. K. Ozdemir, T. Yamamoto, M. Koashi, and N. Imoto: “Local transformation of two EPR photon pairs into a three-photon W state,” QCMC 2008 University of Calgary, Canada 2008/8/19-24.
5. R. Namiki, M. Koashi, N. Imoto: “Fidelity criterion for quantum-domain transmission and storage

of coherent states beyond unit-gain constraint,” QCMC University of Calgary, Canada 2008/8/19-24.

6. K. Azuma, M. Koashi, N. Imoto: “Quantum catalysis of information,” (poster) QCMC 2008 University of Calgary, Canada 2008/8/19-24.
7. M. Koashi, Y. Adachi, T. Yamamoto, N. Imoto: “Security of entanglement-based quantum key distribution with practical detectors,” (poster) QCMC 2008 University of Calgary, Canada 2008/8/19-24.
8. T. Yamamoto, K. Hayashi, S. K. Ozdemir, M. Koashi, N. Imoto: “Robust entanglement distribution via decoherence-free subspace,” QCMC 2008 University of Calgary, Canada 2008/8/19-24.
9. S. K. Ozdemir, T. Yamamoto, T. Tashima, M. Koashi, and N. Imoto: “Simple optical gates for the preparation and fusion of W-states,” QCMC 2008 University of Calgary, Canada 2008/8/19-24.
10. Y. Tokunaga, S. Kuwashiro, T. Yamamoto, M. Koashi, N. Imoto: “Process characterization of optical cluster state quantum computing” QCMC 2008 University of Calgary, Canada 2008/8/19-24.

平成 19 年度:

① 招待講演 (国内 7 件 国際 11 件)

1. 小芦雅斗:「量子と古典の境界の複雑さ-情報の取り出しに関する2つの例-」 KEK 研究会「量子論の諸問題と今後の発展」高エネルギー加速器研究機構(KEK) (2008/3/21).
2. 井元信之:「量子情報処理研究の黎明から最先端まで」第 113 回物理学会九州支部例会 大分大学 (2007/12/1).
3. 井元信之:「量子情報処理と量子通信」平成 19 年度基礎工学研究科談話会 大阪大学基礎工学研究科国際交流棟 (2007/11/28).
4. 井元信之、小芦雅斗、山本俊、S. K. Ozdemir、並木亮、徳永裕己:「Decoherence-free subspace を用いた耐環境雑音量子情報処理」東京大学物性科学研究所短期研究会 東京大学物性科学研究所 (2007/11/26).
5. 井元信之:「ベル不等式に始まる量子テクノロジー革命」甲南大学量子ナノテクノロジー研究所 第 2 回シンポジウム 甲南大学西校舎地区 13 号館 103 教室 (2007/8/10).
6. 井元信之:「量子通信・量子暗号とその研究動向」学振「未踏・ナノデバイステクノロジー」第 151 委員会研究会 東大本郷3号館 111 号室 (2007/7/13).
7. 井元信之:「量子測定にまつわる基本的問題」第 4 回 AMO 討論会 電気通信大学 (2007/6/8).
8. N. Imoto, M. Koashi, T. Yamamoto, S. K. Ozdemir, R. Namiki and Y. Tokunaga: “Implementation of basic quantum information processing,” CQT Colloquium, National University of Singapore,

Singapore (2008/2/28).

9. R. Namiki: “Inseparability of quantum channel,” GSIS & DEX-SMI Workshop on Quantum statistical inference and entanglement, Tohoku University, Sendai, Japan (2008/2/11-2/12).
10. Masato Koashi: “Quantum nonlocality without entanglement’ in a pair of qubits,” Workshop on Entanglement and Quantum Decoherence (EQD), Nara-Ken New Public Hall, Nara, Japan (2008/1/28-30).
11. S. K. Ozdemir, T. Yamamoto, M. Koashi, and N. Imoto: “Ancilla assisted decoherence suppression for photonic qubits,” Workshop on Entanglement and Quantum Decoherence (EQD) at 2008 OSA Winter Optics and Photonics Congress, Nara, Japan (2008/1/28-30).
12. N. Imoto, M. Koashi, T. Yamamoto, S. K. Ozdemir, R. Namiki and Y. Tokunaga: “Photonic Quantum Information Processing,” 2nd Int. Workshop on Materials Science and Nano-Engineering, Awaji Yumebutai Int. Conf. Center, Japan (2007/12/1-5).
13. Sahin Kaya Ozdemir: “Photonic qubits: present status and challenges,” Handai Nano Symposium, Osaka University, Osaka, Japan (2007/9/26-28).
14. Masato Koashi: “Quantum cryptography and quantification of quantum correlations,” International Workshop on Statistical Mechanical Informatics 2007 (IW-SMI2007), Paruru Plaza Kyoto, Kyoto, Japan (2007/9/16-19).
15. Masato Koashi: “Complementarity, distillable key, and distillable entanglement,” Asian Conference on Quantum Information Science (AQIS 2007), Shiran Kaikan, Kyoto, Japan (2007/9/3-6).
16. S. K. Ozdemir: “Playing games in quantum mechanical settings: Features of quantum games,” Summer School on Mathematical Aspects of Quant. Comp, Kinki University, Osaka, Japan (2007/8/27-29).
17. N. Imoto, M. Koashi, T. Yamamoto, S. K. Ozdemir, R. Namiki, and Y. Tokunaga: “Quantum Information Processing using Photons,” CLEO/Pacific Rim 2007, COEX, Seoul, Korea (2007/8/26-31).
18. Masato Koashi: “Security of QKD and complementarity,” Theory and Realisation of Practical Quantum Key Distribution, University of Waterloo, Canada (2007/6/11-14).

② 口頭発表 (国内 13 件、国際 10 件)

1. 田嶋俊之、S. K. Ozdemir、山本俊、小芦雅斗、井元信之: “An elementary optical gate for expanding entangled web,” 第 63 回日本物理学会春季大会 近畿大学本部キャンパス (2008/3/25).
2. 田嶋俊之、S. K. Ozdemir、山本俊、小芦雅斗、井元信之: “An elementary optical gate for expanding entanglement web,” 第 17 回量子情報技術研究会 (QIT17) 山陽新聞社さん太ホール(2007/11/21).

3. 並木亮、小芦雅斗、井元信之:「非直交 2 状態入力による物理過程の量子性保存の検証」第 17 回量子情報技術研究会(QIT17) 山陽新聞社さん太ホール(2007/11/22).
4. 小芦雅斗、竹長史貴、山本俊、井元信之:“Quantum nonlocality without entanglement in a pair of qubits,” 第 17 回量子情報技術研究会(QIT17) 山陽新聞社さん太ホール 2007/11/22.
5. 小芦雅斗、竹長史貴、山本俊、井元信之:“Quantum nonlocality without entanglement in a pair of qubits,” 第 62 回日本物理学会秋季大会 北海道大学札幌キャンパス (2007/9/21-24).
6. 並木亮、小芦雅斗、井元信之:「非直交 2 状態入力による物理過程の量子性保存の検証」第 62 回日本物理学会秋季大会 北海道大学 札幌キャンパス(2007/9/21-24).
7. 徳永裕己、桑代慎、山本俊、小芦雅斗、井元信之:「光子を用いた one-way 量子計算の実装実験 II」 第 62 回日本物理学会秋季大会 北海道大学札幌キャンパス (2007/9/21-24).
8. 東浩司、小芦雅斗、井元信之:“Catalytic impartment and absorption of quantum Information,” 第 62 回日本物理学会秋季大会 北海道大学札幌キャンパス (2007/9/21-24).
9. 足立頼俊、山本俊、小芦雅斗、井元信之:「擬似単一光子源を用いた位相変調量子暗号の効率改善」 第 62 回日本物理学会秋季大会 北海道大学札幌キャンパス(2007/9/21-24).
10. 桑代慎、徳永裕己、山本俊、小芦雅斗、井元信之:「光子を用いた one-way 量子計算の実装実験 I」 第 62 回日本物理学会秋季大会 北海道大学札幌キャンパス (2007/9/21-24).
11. 林浩大、山本俊、Sahin Kaya Ozdemir、小芦雅斗、井元信之:「Decoherence free subspace を用いたエンタングルメント送信実験」 第 62 回日本物理学会秋季大会 北海道大学札幌キャンパス (2007/9/21-24).
12. 小芦雅斗:”Complementarity, distillable key, and distillable entanglement,” 第 16 回量子情報技術研究会 (QIT16) NTT 厚木研究開発センター (2007/5/17-18).
13. 並木亮、小芦雅斗、井元信之:「コヒーレント状態の伝送・保存成功の判定基準の拡張」第 16 回量子情報技術研究会 (QIT16) NTT 厚木研究開発センター (2007/5/17-18).
14. Fatih Ozaydin: “On Landauer’s Principle,” School of Computer Science, McGill University, Montreal, Canada (2008/3/13).
15. K. Azuma, M. Koashi, and N. Imoto: “Quantum catalysis of information,” 2008 APS March Meeting, Morial Convention Center, New Orleans, Louisiana, USA (2008/3/10-3/14).
16. Yoritoshi Adachi: “Efficient quantum key distribution with parametric down-conversion source,” 3rd Floor Library, Fields Institute, 222 College Street, Toronto(2008/2/15).
17. T. Tashima, S. K. Ozdemir, T. Yamamoto, M. Kashi and N. Imoto: “An elementary optical gate for expanding symmetrically shared entanglement,” TQC 2008 Koshiba-hall, The University of Tokyo, Japan (2008/1/30-2/1).
18. Y. Tokunaga, S. Kuwashiro, T. Yamamoto, M. Koashi, and N. Imoto: “Experimental photonic cluster state quantum computation over classical bounds,” The QIPC 2007 International

Conference on Quantum Information Processing and Communication Barcelona, Spain (2007/10/15-19).

19. S. K. Ozdemir : “Photonic qubits: present status and challenges,” Handai Nano Symposium Osaka University, Osaka, Japan (2007/9/26-28).
20. Y. Tokunaga, S. Kuwashiro, T. Yamamoto, M. Koashi, and N. Imoto: “Generation of high-fidelity four-photon cluster state and quantum-domain demonstration of one-way quantum computing,” Asian Conference on Quantum Information Science (AQIS2007) Shiran Kaikan, Kyoto, Japan (2007/9/3-6).
21. Koji Azuma, Masato Koashi, Hosho Katsura, and Nobuyuki Imoto: “Quantum cloning with nonlocal assistance: Complement of Jozsa’s stronger no-cloning theorem,” Asian Conference on Quantum Information Science (AQIS 2007) Shiran Kaikan, Kyoto, Japan (2007/9/3-6).
22. N. Imoto, M. Koashi, T. Yamamoto, S. K. Ozdemir, R. Namiki, and Y. Tokunaga: “Entanglement manipulation,” PAQ07 Royal Society, London (2007/9/2-5).
23. Y. Tokunaga, S. Kuwashiro, T. Yamamoto, M. Koashi, and N. Imoto: “Simple Experimental Generation of a Four-Photon Cluster State and Distinguishing Classes of Genuine Four-Qubit Entanglement Using Witness Operators,” Conference on Lasers and Electro-Optics/Quantum Electronics and Laser Science Conference (CLEO/QELS ’07) Baltimore Convention Center, USA (2007/5/6-11).

③ ポスター発表 (国内 0 件 国際 1 件)

1. 横田一広、山本俊、小芦雅斗、井元信之: 「Weak measurement with entangled photons」2nd International Workshop on Materials Science and Nano-Engineering (21st Century COE Program) Awaji Yumebutai International Conference Center 2007/12/4-5.

平成 18 年度:

① 招待講演(国内 2 件 国際 0 件)

1. 山本俊: 「量子もつれ光子対の蒸留」日本光学会年次学術講演会・日本分光学会秋季講演会 Optics & Photonics Japan 2006 学術総合センター (一橋記念講堂) 2006/11/08.
2. 小芦雅斗: 「量子暗号の無条件安全性」(チュートリアル講演) QIT14 東京工業大学大岡山キャンパス 2006/5/29.

② 口頭発表 (国内 15 件 国際 6 件)

1. 徳永裕己、桑代慎、山本俊、小芦雅斗、井元信之: 「4 光子クラスタ状態の生成実験」物理学会 2007 年春季大会 2007/3/19.
2. 足立頼俊、山本俊、小芦雅斗、井元信之: 「パラメトリック下方変換による高効率量子鍵配送」物理学会 2007 年春季大会 2007/3/19.
3. 山本俊、林浩大、S.K.Ozdemir、小芦雅斗、井元信之: 「補助光子を使った量子情報通信実験」

物理学会 2007 年春季大会 2007/3/19.

4. 清水薫, 井元信之:「四直交状態量子二者間プロトコルにおける不正な POVM 測定とその検知」物理学会 2007 年春季大会 2007/3/19.
5. 並木亮, 小芦雅斗, 井元信之:「コヒーレント状態の伝送・保存成功の判定基準の拡張」物理学会 2007 年春季大会 2007/3/19.
6. 小芦雅斗, 山本俊, 井元信之:「EPR 相関」とエンタングルメント」物理学会 2007 年春季大会 2007/3/19.
7. 並木亮、小芦雅斗、井元 信之: “Optimal Gaussian cloning and Gaussian cloning of known-phase coherent states,” 第 15 回量子情報技術研究会 (QIT15) キャンパスプラザ京都 2006/11/22.
8. 小芦雅斗: “Unconditional security of an efficient QKD system composed of practical devices,” 第 15 回量子情報技術研究会 (QIT15) キャンパスプラザ京都 2006/11/21.
9. 足立頼俊、山本俊、小芦雅斗、井元信之: “Efficient quantum key distribution with parametric down-conversion,” 第 15 回量子情報技術研究会 (QIT15) キャンパスプラザ京都 2006/11/21.
10. 井元信之:「量子力学の基本的問題と光の実験」理化学研究所主催 第4回エクストリーム・フォトニクス研究会「コヒーレント光科学」蒲郡市ホテル竹島 2006/11/9-10.
11. 並木亮、小芦雅斗、井元信之: “線形光学素子を用いたコヒーレント状態のガウス型最適クローニング” 物理学会 2006 年秋季大会 千葉大学(2006/9/26).
12. 小芦雅斗: “普及型光子検出器を用いる量子鍵配送の安全性” 物理学会 2006 年秋季大会 千葉大学 (2006/9/25).
13. 清水薫, 井元信之: “共役符号化によるチートセンシティブな量子紛失通信プロトコル” 物理学会 2006 年秋季大会 千葉大学(2006/9/25).
14. 井元信之:「量子暗号・量子通信」文部科学省主催ナノテクノロジーサマースクール「量子効果素子の物理」経団連富士研修所 2006/8/18-20.
15. 井元信之:「量子情報処理の最先端」甲南大学量子ナノテクノロジー研究所第 3 回公開講座「『孤独なアインシュタイン』から先端技術、量子情報への道を辿る」2006/5/27.
16. S. K. Oezdemir, T. Yamamoto, M. Koashi, N. Imoto: “Embedding classical watermark on qubit-strings using error correction coding: adversary detection and tamper assessment,” The 8th International Conference on Quantum Communication, Measurement and Computing (QCMC 2006) Tsukuba International Congress Center, Tsukuba, Japan. 2006/11/28-12/3.
17. R. Namiki, S. K. Oezdemir, N. Imoto “Entanglement distillation and continuous-variable quantum key distribution using postselection,” The 8th International Conference on Quantum Communication, Measurement and Computing (QCMC 2006) Tsukuba International Congress Center, Tsukuba, Japan. 2006/11/28-12/3

18. Y Tokunaga, T. Yamamoto, M. Koashi, N. Imoto “Witness operators for discriminating classes of genuine multipartite entanglement,” The 8th International Conference on Quantum Communication, Measurement and Computing (QCMC 2006) Tsukuba International Congress Center, Tsukuba, Japan. 2006/11/28-12/3.
19. T. Yamamoto, R. Nagase, J. Shimamura, S. K. Ozdemir, M. Koashi, N. Imoto “Faithful transmission scheme for unknown photonic qubit against correlated noise,” Conference on Quantum Information and Quantum Control II (CQIQC) The Fields Institute, Toronto, Canada 2006/8/9.
20. S. K. Ozdemir, A. Miranowicz, M. Koashi, and N. Imoto “Projection synthesis in multiport interferometer for selective manipulation of an optical field in the Fock-state space,” Conference on Quantum Information and Quantum Control II (CQIQC) The Fields Institute, Toronto, Canada 2006/8/9.
21. Miranowicz, S .K.Ozdemir, M.Koashi, N.Imoto: “Multiport interferometry for optical-state truncation and teleportation,” the 13th CentralEuropean Workshop on Quantum Optics (CEWQ2006)(2006/5/25).

③ ポスター発表(国内 3 件 国際 1 件)

1. 木下祐馬、並木亮、山本俊、小芦雅斗、井元信之 “Selective entanglement breaking,”第 15 回量子情報技術研究会(QIT15)キャンパスプラザ京都 2006/11/21-22.
2. 竹長史貴、山本俊、小芦雅斗、井元信之 「3直積状態のゼロ誤り識別問題にあらわれる非局性」第 15 回量子情報技術研究会(QIT15)キャンパスプラザ京都 2006/11/21-22.
3. 東浩司、小芦雅斗、桂法称、井元信之: “Quantum cloning with nonlocal assistance,” QIT14 東京工業大学 (2006/5/29).
4. 横田一広、山本俊、小芦雅斗、井元信之: ”Weak measurement with entangled photons,” 2nd International Workshop on Materials Science and Nano-Engineering(21st Century COE Program) (2007/12/4-5).

平成 17 年度:

① 招待講演(国内 5 件 国際 2 件)

1. 小芦雅斗, J. Shimamura, N. Imoto: 「量子暗号の安全性と量子系の基本的性質」KEK 研究会「量子論の諸問題と今後の発展」高エネルギー加速器研究機構 2006/3/11.
2. 井元信之, S.K.Ozdemir, 並木亮, 山本俊, 小芦雅斗: 「量子情報処理の原理と可能性」甲南大学ナノテクノロジーセンター第 1 回シンポジウム, 甲南大学ナノテクノロジーセンター, 2005/10/1.
3. 井元信之: 「量子情報の神秘に迫る今日の光学技術」光波シンセシス研究会第10回研究会「量子情報のための光波シンセシス」東京大学生産技術研究所, 2005/6/24.
4. 井元信之: 「ボーアとの論争に見る量子情報通信技術の原点」サイエンティフィックライブ・サピエンス, 日経ホール, 2005/5/14.

5. 井元信之:「量子情報通信の展望」第 25 回研究プロジェクト研究推進会議研究討論会, 東京大学 2005/4/18.
6. M. Koashi, T. Yamamoto, N. Imoto:”Unconditional security of QKD and uncertainty Principle,” Workshop on Quantum Information Theory and Quantum Statistical Inference 東京大学 2005/11/17.
7. N. Imoto: “Entanglement Manipulation with Linear Optics,” CLEO/QELS 2005 Baltimore Convention Center 2005/5/23.

② 口頭発表(国内 14 件 国際 10 件)

1. 小芦雅斗:「量子暗号プロトコルの無条件安全性」物理学会第 61 回年次大会, 2006/3/30, 愛媛大学・松山大学.
2. 山本俊、長瀬竜嗣、島村淳一、S. K. Ozdemir、小芦雅斗、井元信之:「相関のある雑音下での忠実な光子 qubit の送信実験」物理学会第 61 回年次大会, 2006/3/30, 愛媛大学・松山大学.
3. 並木亮、小芦雅斗、井元信之:「連続変数量子鍵配送のガウス型個別粒子攻撃に対する安全性」物理学会第 61 回年次大会, 2006/3/30, 愛媛大学・松山大学.
4. K. Azuma, J. Shimamura, M. Koashi, N. Imoto: “Probabilistic cloning with supplementary information,” 物理学会第 61 回年次大会, 2006/3/30, 愛媛大学・松山大学.
5. S. K. Ozdemir, J. Shimamura, and N. Imoto: “Reproducibility of classical games in quantum mechanical settings,” 物理学会第 61 回年次大会, 2006/3/29, 愛媛大学・松山大学.
6. 小芦雅斗:「量子暗号の安全性と量子系の基本的性質」KEK 研究会「量子論の諸問題と今後の発展」2006/3/11, 高エネルギー加速器研究機構
7. M. Koashi: “Unconditional security of the SARG04 protocols,” QIT13, 2005/11/25, 東北大学電気通信研究所.
8. R. Namiki, M. Koashi, N.Imoto: “Gaussian individual attacks for continuous-variable quantum key distribution,” QIT13, 2005/11/24-25, 東北大学電気通信研究所.
9. 徳永裕己、山本俊、小芦雅斗、井元信之:「4 量子ビットクラスタ状態に対する局所測定を用いたエンタングルメント検出」日本物理学会 2005 年秋季大会, 2005/9/22, 同志社大学京田辺キャンパス.
10. 小芦雅斗:「不確定性関係による量子暗号の無条件安全性の証明」日本物理学会 2005 年秋季大会, 2005/9/21, 同志社大学京田辺キャンパス.
11. 長瀬竜嗣、山本俊、島村淳一、S. K. Ozdemir、小芦雅斗、井元信之:「相関のある雑音下での光子 qubit の送信実験」日本物理学会 2005 年秋季大会, 2005/9/21, 同志社大学京田辺キャンパス.
12. K. Azuma, J. Shimamura, M. Koashi, and N. Imoto: “Probabilistic cloning with supplementary information,” QIT12, 2005/5/13, NTT 厚木研究開発センター.

13. 小芦雅斗:「量子鍵配送の無条件安全性と不確定性原理」QIT12, 2005/5/13, NTT 厚木研究開発センター.
14. S. K. Ozdemir, A. Miranowicz, M.Koashi, and N. Imoto: “Selective truncations of coherent state using projection synthesis,” QIT12, 2005/5/13, NTT 厚木研究開発センター.
15. K. Azuma, M. Koashi, and N. Imoto: “Probabilistic cloning with supplementary information,” Workshop on Quantum Information Theory and Quantum Statistical Inference,” Workshop on Quantum Information Theory and Quantum Statistical Inference, 東京大学 2005/11/17.
16. Y. Tokunaga, J. Shimamura, M. Koashi, and N. Imoto: “Entanglement detection of four-qubit cluster states with local measurements,” Workshop on Quantum Information Theory and Quantum Statistical Inference, 東京大学 2005/11/17.
17. 井元信之: “Quantum Information Processing in view of Optics and Material Physics,” Osaka Univ. Asia Pacific-Vietnam National University, Hanoi ForumInternational Convention Center, Hanoi, Vietnam2005/9/28.
18. Y. Tokunaga, T. Yamamoto, M. Koashi, and N. Imoto: “Entanglement witnesses of four-qubit cluster states with local measurements,” EQIS 2005 日本科学未来館 2005/8/29.
19. R. Namiki, Y. Kawamoto, and T. Hirano: “Phase-Encoding Schemes for Quantum Cryptography Using Balanced Homodyne Detection and PostselectionI,” QEC and CLEO-PR2005 日本都市センターホテル 2005/7/15.
20. M. Koashi:” Recent Progress on the Unconditional Security Proof for Quantum Key Distribution ProtocolsI,” QEC and CLEO-PR2005 日本都市センターホテル 2005/7/15.
21. T. Yamamoto: “A Distribution Scheme for Qubit Over Collective-Noise Channel,” IQEC and CLEO-PR2005 日本都市センターホテル 2005/7/14.
22. S. K. Ozdemir: “Embedding Watermark in Qubit Strings Using Error Correction Coding,” IQEC and CLEO-PR2005 日本都市センターホテル 2005/7/14.
23. S. K. Ozdemir: “Tamper assesment in qubit-string watermarking based on quantum error correction coding Central European Workshop on Quantum Optics 2005 Bilkent Univ. Ankara,Turkey 2005/6/6.
24. M. Koashi: “Unconditional security of quantum key distribution and the uncertainty principle,”Central European Workshop on Quantum Optics 2005 Bilkent Univ. Ankara, Turkey 2005/6/6.

③ ポスター発表(国内 3 件 国際 2 件)

1. 田嶋俊之、S. K. Ozdemir、並木亮、山本俊、小芦雅斗、井元信之:「量子状態トモグラフィのためのパルスホモダイン検出器の開発」QIT13, 2005/11/24-25, 東北大学電気通信研究所.
2. 田嶋俊之、S.K.Ozdemir、並木亮、山本俊、小芦雅斗、井元信之:「光の量子状態トモグラフィ」

第一回大阪大学Σ・NICT 基礎先端部門連携公開シンポジウム, 2005/10/21, 大阪大学中ノ島センター.

3. K. Azuma, J. Shimamura, M. Koashi, and N. Imoto: "Probabilistic cloning with supplementary information," QIT12, 2005/5/13, NTT 厚木研究開発センター.
4. K. Azuma, J. Shimamura, M. Koashi, N. Imoto: "Probabilistic cloning with supplementary Information," EQIS 2005 日本科学未来館 2005/8/29.
5. K. Azuma, J. Shimamura, M. Koashi, N. Imoto: "Probabilistic cloning with supplementary Information," IQEC and CLEO-PR2005 日本都市センターホテル 2005/7/15.

平成 16 年度:

① 招待講演(国内 7 件 国際 5 件)

1. 山本俊:「光子を使った集団的雑音に耐性のある量子情報通信」, 量子情報処理シンポジウム, 一橋記念講堂、東京, 2004/12/20-21.
2. 井元信之:「線形光学を用いた量子情報処理」, 量子情報処理シンポジウム, 一橋記念講堂, 東京, 2004/12/20.
3. 井元信之:「光による量子通信の実現性」, 電子情報通信学会シンポジウム, 徳島大学, AT-4-1 「量子通信・量子計算の可能性と情報セキュリティへのインパクト」, 2004 年 9 月 23 日.
4. 井元信之:「量子情報通信研究の現状」, 電子情報通信学会チュートリアルシンポジウム, 徳島大学, CS-1-1 「量子暗号通信の最新状況とそれを支える光デバイス」 2004 年 9 月 23 日.
5. 山本俊:「線形光学素子を用いたエンタングルメント抽出」, 第 29 回原子衝突研究協会研究会, 2004 年 8 月.
6. 井元信之:「光子を用いた量子情報処理」第 42 回茅コンファレンス, 宮城蔵王ロイヤルホテル, 2004/8/23.
7. 井元信之:「量子情報処理入門」, 第 42 回茅コンファレンス, 宮城蔵王ロイヤルホテル, 2004/8/22.
8. N. Imoto: "Sending entangled photons: noisy-channel experiments and beyond QKD," 1st Asia-Pacific Conference on Quantum Information Science 2004/12/9-14, National Cheng Kung University, Tainan, Taiwan.
9. N. Imoto: "Useful linear and nonlinear optics in quantum information processing," Photonics ASIA 2004, 2004/11/10, Beijing, China.
10. M. Koashi: "Unconditional security of phase-coded quantum key distribution with strong reference pulse," Photonics ASIA 2004, 2004/11/10, Beijing, China.

11. N.Imoto: “Quantum information processing with realistic linear and nonlinear optics,” Nonlinear Optics : OSA Tropical Meeting on Nonlinear Optics: “Materials, Fundamentals and Applications” (NLO 2004), 2004/8/2, Waikoloa, Hawaii.
12. N.Imoto: “Mirrors in time domain,” The Seventh International Conference on Quantum Communication, Measurement and Computing, 2004/7/28, Glasgow, UK.

② 口頭発表 (国内 3 件 国際 4 件)

1. 小芦雅斗 : 「コヒーレント光による量子鍵配送の無条件安全性」 日本物理学会 2004 年秋季大会, 青森大学, 2004/9/15.
2. 並木亮, 平野琢也 : 「ポストセレクションをおこなう連続変数の量子暗号の現実環境下の安全性」 日本物理学会 2004 年秋季大会, 青森大学, 15aTF-12, 2004/9/15.
3. 山本俊, 島村淳一, Sahin Kaya Ozdemir, 小芦雅斗, 井元信之 : 「信号光子と補助光子を用いた雑音に耐性のある量子情報通信」 日本物理学会 2004 年秋季大会, 青森大学, 14pTF-11, 2004/9/14.
4. J. Shimamura, S.K. Ozdemir, F. Morikoshi, and N.Imoto: “Entanglement and reproducibility of classical games in quantum settings,” ERATO conference on Quantum Information Science(EQIS’04), 2004/9/1-5, Tokyo, Japan
5. M.Koashi: “Unconditionally secure QKD with strong phase-reference pulse,” EQIS2004, 2004/9/3, Tokyo, Japan.
6. Y.Tokunaga, T.Yamamoto, M.Koashi, and N.Imoto: “A four-photon entanglement for linear optical quantum information processing,” The Seventh International Conference on Quantum Communication, Measurement and Computing, Glasgow, UK,.AIP conference proceedings series, Vol.734, pp.350-353, 2004/7/26
7. Y.Tokunaga, T.Yamamoto, M.Koashi, and N.Imoto: “A scheme of teleportation-based CNOT with linear optics,” Quantum Information and Quantum Control Conference, 2004/7/19, Toronto, Canada.

③ ポスター発表 (国内 1 件 国際 1 件)

1. 島村淳一, S. K. Ozdemir, 森越文明, 井元信之 : “Original classical games cannot be reproduced in their quantum version with W state,” 第 10 回量子情報技術研究会 (QIT10) , 学習院大学, 151, 2004/5/24.
2. 島村淳一, S. K. Ozdemir, 森越文明, 井元信之 : “The role of entanglement in quantum versions of classical games,” NNCI2005, Atsugi Royal-Park Hotel, 2005/1/31.

平成 15 年度:

① 招待講演(国内 5 件 国際 4 件)

1. 井元信之 : 「量子情報処理と光学素子」 オプトメカトロニクス講演会(2004 年月日)東京工

業大学.

2. 井元信之：量子情報科学—物理と情報のエンタングルメント— 大阪大学基礎工学研究科先端科学技術セミナー
3. 井元信之：「エンタングルメントのデコヒーレンスと再構成」物性研短期研究会『短波長光などのコヒーレンスの生成・消滅に関する新しい知見と構想』（2003年11月14日～15日）東京大学物性研究所.
4. 井元信之：「量子情報処理と光子を用いた基礎実験」JST-CREST シンポジウム『光・電子等の機能制御』（2003年10月31日）東京.
5. 井元信之：「光を用いた量子情報処理」第一回 COE コヒーレント光科学セミナー（2003年10月28日）電気通信大学.
6. N. Imoto: “Entanglement manipulation with realizable linear and nonlinear optics,” International Symposium on Quantum Info-Communications and Related Quantum Nanodevices, March 11-12, 2004, Mita Kyodo Kaigisho, Mita, Minato-ku, Tokyo, Japan.
7. N. Imoto: “Quantum information processing with photons,” International Symposium on Mesoscopic Superconductivity and Spintronics 2004 (MS+S2004) March 1-4, 2004, NTT R&D Center, Atsugi, Kanagawa, Japan.
8. N. Imoto: “Entanglement manipulation with realizable linear and nonlinear optics,” Budmerice Focus Meeting on Few Qubit Quantum Information Processing, December 11-14, Budmerice, Slovakia.
9. N. Imoto: “Entanglement manipulation by photonic quantum-information processing,” International Conference on Quantum Information, November 1-3, 2003, Morito Memorial Hall, Tokyo University of Science.

② 口頭発表（国内 8 件 国際 0 件）

1. 徳永裕己、山本俊、小芦雅斗、井元信之：「A scheme for teleported controlled-NOT gate with linear optics」日本物理学会第 59 回年次大会（2004年3月29日九州大学）29pXG-11.
2. 山本俊、島村淳一、玉木潔、S. K. Ozdemir、小芦雅斗、井元信之：「パラメトリック変換を利用した W 状態発生」日本物理学会第 59 回年次大会（2004年3月29日九州大学）29pXG-5.
3. J. Soderholm and N. Imoto: 「Superpositions of coherent states for phase-shift detection and new bases in quantum computation」日本物理学会第 59 回年次大会（2004年3月28日九州大学）28pXG-10.
4. 小芦雅斗、Andreas Winter: 「Monogamy of entanglement and other correlations」日本物理学会第 59 回年次大会（2004年3月28日九州大学）28pXG-6.
5. 川口晃、清水薫、都倉康弘、井元信之：「波動関数のテンソル積分解を用いた量子計算機シミュレータ」日本物理学会第 59 回年次大会（2004年3月28日九州大学）28pXG-5.

6. 島村淳一、S. K. Ozdemir、森越文明、井元信之：「量子版ゲーム理論における多体間エンタングルメントの性質」日本物理学会第59回年次大会(2004年3月28日九州大学)28pXG-4.
7. S. K. Ozdemir, Yu-xi Liu, A. Miranowicz, M. Koashi, and N. Imoto: “Entanglement and size dependent decoherence of excitonic states in coupled quantum dots,” JST-CREST シンポジウム『光・電子等の機能制御』(2003年10月31日)東京.
8. T. Yamamoto, M. Koashi, S. K. Ozdemir, and Imoto: “Experimental extraction of an entangled pair from decohered photon pairs,” JST-CREST シンポジウム『光・電子等の機能制御』(2003年10月31日)東京.

③ ポスター発表(国内 0 件 国際 0 件)

なし

2) 竹内グループ:

平成 20 年度

① 招待講演(国内 0 件、国際 5 件)

1. S.Takeuchi: “Photon juggling for quantum information processing and quantum metrology” International Workshop on Fundamentals of Light-Matter Interaction, Recife, Brasil, (2008/10/20-2008/10/22).
2. S.Takeuchi: “Quantum information processing using photons,” 4th Handai Nanoscience and Nanotechnology International Symposium, Japan(2008/9/29-10/1).
3. S. Takeuchi: “Controlling photonic qubits using geometrical phase”, SPIE Optics & Photonics 2008, SanDiego, USA (2008/8/12-14).
4. S.Takeuchi: “Photon juggling for quantum information processing and quantum metrology” International Nano-Optoelectronic Workshop 2008, Japan(2008/8/2-2008/8/15).
5. S.Takeuchi : “Observing quantum correlation of photons in Laguerre-Gauss modes using the Gouy phase”, 17th International Laser Physics Workshop 2008, Norway(2008/6/30-7/4).

② 口頭発表(国内 2 件、国際 1 件)

1. 岡本亮, 笹木敬司, 竹内繁樹: 「非局所量子フィルタの検証実験」アライアンス G2 分科会東京工業大学すずかけ台キャンパス 2008/10/9
2. 上田哲也, 石川綾子, 高島英聡, 藤原英樹, 松尾保孝, 居城邦治, 笹木敬司, 竹内繁樹: 「単一オリゴヌクレオチド/銀ハイブリッドナノ粒子の発光特性解析」2008 秋季 第 69 回応用物理学会学術講演会中部大学春日井キャンパス 2008/9/3-2008/9/5.
3. K.Sasaki, Yoshio Kawabe, Hideki Fujiwara, Ryo Okamoto, and Shigeki Takeuchi: “SPATIAL INTERFERENCE FRINGE OF ENTANGLED TWO-PHOTON PROCESS BEATING THE

DIFFRACTION LIMIT,”XXII IUPAC SYMPOSIUM ON PHOTOCHEMISTRY, Sweden(2008/7/28 -8/1).

③ ポスター発表(国内 0件、国際 6件)

1. H. Takashima, H. Fujiwara, S. Takeuchi, K. Sasaki, and M. Takahashi: “Analysis of input-output characteristic of fiber-coupled microsphere laser using rate equations,” EOS Annual Meeting 2008 Paris, France 2008/9/28-10/2.
2. T. Nagata, R. Okamoto, H. F. Hofmann, K. Sasaki, and S. Takeuchi: “Analysis of errors in an optical Controlled-NOT gate,” The Ninth International Conference on QCMC2009 University of Calgary, Canada 2008/9/29-10/1.
3. T. Asai, H. Takashima, H. Fujiwara, K. Sasaki, and S. Takeuchi: “Optical Phase Shift Observed in a Resonance Mode of a Tapered-Fiber Coupled with a Microsphere Resonator,” 4th Handai Nanoscience and Nanotechnology International Symposium, Osaka, Japan, 2008/9/29-10/1.
4. M.Tanida, T.Nagata, R.Okamoto,K.Sasaki, and S.Takeuchi: “Hong-Ou-Mandel Dip with Independence Heralding Single Photon Sources,” 4th Handai Nanoscience and Nanotechnology International Symposium, Osaka, Japan, 2008/9/29-10/1.
5. R. Okamoto, J. L. O’Brien, H. F. Hofmann, T. Nagata, K. Sasaki, and S. Takeuchi: “Demonstration of a non-local quantum filter,” The Ninth International Conference on QCMC2008 University of Calgary, Canada 2008/8/19-8/24.
6. Hideki Fujiwara, Takashi Chiba, Jun-ichi Hotta, Shigeki Takeuchi, and Keiji Sasaki: “DYNAMICAL ANALYSIS OF TRIPLET LIFETIME OF SINGLE MOLECULES USING PHOTON INTER-DETECTION TIME RECORDING” XXII IUPAC SYMPOSIUM ON PHOTOCHEMISTRY Gothenburg Convention Centre Gothenburg , Sweden 2008/7/29-8/2.

平成 19 年度

① 招待講演(国内 7 件、国際 3 件)

1. 竹内 繁樹: 「量子情報技術のための光源」、シンポジウム「半導体の新しい光機能の探索」第 55 回応用物理学関係連合講演会 (日本大学理工学部 船橋キャンパス、2008/3/29).
2. 竹内 繁樹: 「光子の不思議と量子情報通信処理」、平成 19 年度、北海道高等学校教育研究会 札幌南高校 (2008/1/10).
3. 竹内 繁樹: 「光子の不思議と量子コンピュータ」、量子エレクトロニクス研究会公開講演会「量子が支配する世界: 光と原子の物理学」、明治大学リバティホール (2007/12/23).
4. 竹内 繁樹: 「単一光子を自在に操るー量子通信、量子計測への応用」、フォトニクスイノベーション・シンポジウム、京都大学桂キャンパス (2007/11/30).

5. 笹木 敬司、藤原 英樹、高島 秀聡、竹内 繁樹：「テーパファイバ結合微小球共振器における分子発光プロセス」, 日本光学会年次学術講演会 Optics & Photonics Japan 2007, 大阪大学コンベンションセンター (2007/11/27).
6. 竹内 繁樹：「光量子技術のユメ」, 日本光学会年次学術講演会 Optics & Photonics Japan 2007, 大阪大学コンベンションセンター (2007/11/26).
7. 竹内 繁樹：「標準量子限界と位相超感度」, 第4回原子・分子・光科学(AMO)討論会, 電気通信大学 (2007/6/8).
8. H. Fujiwara, T. Chiba, S. Tamura, S. Takeuchi and K. Sasaki: "Analysis of single-molecule emission dynamics using photon interarrival time recording", SPIE Optics & Photonics 2007, SanDiego convention center, USA (2007/8/27).
9. S. Takeuchi: "Small scale quantum circuits using linear optics", SPIE Optics & Photonics 2007, SanDiego convention center, USA (2007/8/28).
10. S. Takeuchi: "Optical phase measurement using quantum entanglement", Topology and Singularity in Optical Physics, Hokkaido University (2007/7/24).

② 口頭発表(国内 11 件、国際 1 件)

1. 高島秀聡、浅井健志、上田哲也、藤原英樹、竹内繁樹、笹木 敬司: “低温での微小球共振器とテーパファイバーとのカップリング” 2008 年春季第 55 回応用物理学関係連合講演会(千葉県) (2008/3/28)
2. 永田智久、岡本亮, Holger F. Hofmann, 竹内繁樹, 笹木敬司: “高精度評価系による、光制御ノットゲートのエラー解析 II” 日本物理学会第 63 回年次大会 (大阪府) (2008/3/23)
3. 浅井健志、小西秀典、高島秀聡、藤原英樹、竹内繁樹、笹木敬司: “テーパファイバ結合微小球共振器の共鳴モードにおける光位相シフト” 日本物理学会第 63 回年次大会 (大阪府) (2008/3/23)
4. 谷田真人、岡本亮、永田智久、竹内繁樹、笹木敬司: “独立した伝令付き単一光子源による Hong-Ou-Mandel ディップ” 日本物理学会第 63 回年次大会 (大阪府) (2008/3/23)
5. 千葉孝志、藤原英樹、堀田純一、竹内繁樹、笹木敬司: “ポリマーフィルム中単一分子の三重項状態寿命の時間応答解析” 日本光学会年次学術講演会 Optics Photonics Japan 2007(大阪府) (2007/11/28)
6. 高島秀聡、藤原英樹、竹内繁樹、笹木敬司、高橋雅英: “テーパファイバー結合微小球における自然放出結合係数の制御” 日本光学会年次学術講演会 Optics Photonics Japan 2007 (大阪府) (2007/11/28)
7. 岡本亮、永田智久、Jeremy O'Brien、竹内繁樹、笹木敬司: “4光子干渉による古典限界を超えた位相測定” 日本光学会年次学術講演会 Optics Photonics Japan 2007 (大阪府) (2007/11/28)
8. 岡本亮、J.O'Brien, H.F.Hofmann, 永田智久、竹内繁樹、笹木敬司: “非局所量子フィルタの検

証実験”日本物理学会第 62 回年次大会(北海道)(2007/9/24)

9. 川瀬大輔、竹内繁樹、宮本洋子、笹木敬司、武田光夫: “軌道角運動量重ね合わせ状態検出における余分な方位角成分の影響” 日本物理学会第 62 回年次大会(北海道)(2007/9/23)
10. 永田智久、岡本亮、Holger.F.Hofmann、竹内繁樹、笹木敬司: “高精度評価系による、光制御ノットゲートのエラー解析” 日本物理学会第 62 回年次大会(北海道)(2007/9/23)
11. 高島秀聡、藤原英樹、竹内繁樹、笹木敬司、高橋雅英: “ファイバー結合微小球共振器における自然放出結合係数の制御” 日本物理学会第 62 回年次大会(北海道)(2007/9/21)
12. Soujaeff,S.Takeuchi,K.Sasaki,T.Nishioka,T.Tsurumaru,T.Hasegawa,and M.Matsui :“Secure quantum key distribution over 40km of fiber with a pulsed heralded single photon source” The European Conference on Lasers and Electro-Optics and the International Quantum Electronics Conference (CLEO@/Europe-IQEC) (Germany)(2007/6/21)

③ ポスター発表(国内 2 件、国際 6 件)

1. 浅井健志、小西秀典、高島秀聡、藤原英樹、竹内繁樹、笹木敬司: “テーパファイバ結合微小球共振器の共鳴モードにおける光位相シフト” 第 17 回量子情報技術研究会(QIT17)(岡山県)(2007/11/21)
2. 岡本亮、永田智久、Jeremy O’Brien、笹木敬司、竹内繁樹: “4光子干渉による古典限界を超えた位相測定” ナノ量子情報エレクトロニクスシンポジウム(東京都)(2007/10/25).
3. R. Okamoto, T. Nagata, J.L.O’Brien, S. Takeuchi and K. Sasaki: “Beating the classical limit with 4-photon interference” The 9th RIES-Hokudai International Symposium (北海道)(2008/1/28).
4. H. Takashima, H. Fujiwara, S. Takeuchi, K. Sasaki and M. Takahashi: “Control of spontaneous emission coupling factor in tapered-fiber-coupled microspheres” The 9th RIES-Hokudai International Symposium (北海道)(2008/1/28).
5. H. Takashima, H. Fujiwara, S. Takeuchi, K. Sasaki and M. Takahashi: “Control of spontaneous emission coupling factor in fiber-coupled microsphere resonators” SPIE Photonics West 2007 (USA)(2008/1/22).
6. T. Nagata, R. Okamoto, J.L.O’Brien, S. Takeuchi and K. Sasaki “Four Photon NOON State Interferometer” 2008 International Symposium on Global COE Program of Center for Next-Generation Information Technology based on Knowledge Discovery and Knowledge Federation (北海道)(2008/1/22).
7. H.F. Hofmann: “Interference between coherent light and downconverted photons:a tunable source of multi-photon coherences,” Conference on Photons, Atoms and Qubits PAQ 07, London, UK(2007/9/3).
8. T.Nagata, R.Okamoto, H.Hofmann, S.Takeuchi, and K.Sasaki: “Analysis of errors in an optical Controlled-NOT gate with a high-precision testing bed” The European Conference on Lasers and Electro-Optics and the International Quantum Electronics Conference

(CLEO®/Europe-IQEC)(Germany)(2007/6/19).

平成 18 年度

① 招待講演(国内 4 件、国際 7 件)

1. 竹内 繁樹:「光量子回路の現状と展望」、CREST「光電場のナノ空間構造による新機能デバイスの創製」シンポジウム、(兵庫県淡路市)、(2007/3/2)
2. A. Soujaeff, T. Nishioka, S. Takeuchi, T. Hasegawa, K. Sasaki and M. Matsui “Single photon source for quantum key distribution at 1550nm” Journée Scientifique Francophone 2006(JSF2006)(東京都) (2006/12/1)
3. 竹内 繁樹:「光量子回路の現状と展望」、日本光学会年次学術講演会・日本分光学会秋季講演会 (Optics & Photonics Japan 2006)、(東京都)、(2006/11/8)
4. 竹内繁樹:「光子量子回路用量子ゲート」、日本学術振興会 光エレクトロニクス第 130 委員会第 247 回研究会、(東京都)、(2006/5/12)
5. S. Takeuchi: “The Status and Prospects of Optical Quantum Circuits,” The 7th International Conference on Nano-Molecular Electronics(ICNME2006), (Japan), (2006/12/13)
6. S. Takeuchi: “Quantum Optics,” 2006 US-Japan Workshop on Quantum Information Science, (USA), (2006/10/17)
7. H. F. Hofmann “How to identify errors in quantum operations: a peak into the “black box” of process tomography,” Focus Meeting: Quantum Process Estimation, (Slovakia), (2006/9/28)
8. H.F. Hofmann “Characterization of errors in quantum processes using finite sets of test measurements,” SPIE Optics & Photonics, (USA), (2006/8/13)
9. S. Takeuchi, R. Okamoto and K. Sasaki: “Tailoring two photon interference with phase dispersion,” 15th International Laser Physics Workshop (LPHYS 06), (Switzerland), (2006/7/27)
10. R. Okamoto, S. Takeuchi and K. Sasaki: “Tailoring two-photon interference with phase dispersion,” Quantum2006, (Italy), (2006/5/5)
11. S. Takeuchi: “Toward the realization of optical quantum circuits,” The 1st International Workshop on Linear Optical Quantum Information Processing (LOQuIP 2006), (USA), (2006/4/11)

② 口頭発表(国内 19 件、国際 2 件)

1. 小西秀典, 高島秀聡, 藤原英樹, 竹内繁樹, 笹木敬司 “テーパファイバ結合微小球共振器における偏光分離された共鳴スペクトルの観測(II)” 2007 年春季第 54 回応用物理学関係連合講演会 (神奈川県) (2007/3/29) (口頭)
2. 岡本亮, 永田智久, Jeremy O’Brien, 竹内繁樹, 笹木敬司 “多光子干渉を用いた位相測定と

標準量子限界” 日本物理学会 2007 年春季大会 (鹿児島県) (2007/3/21) (口頭)

3. 永田智久、岡本亮、Jeremy O'Brien、竹内繁樹、笹木敬司 “Hong-Ou-Mandel 型干渉による 2 光子状態のモード同一度測定” 日本物理学会 2007 年春季大会 (鹿児島県) (2007/3/21) (口頭)
4. 川辺喜雄、岡本亮、藤原英樹、竹内繁樹、笹木敬司 “回折限界を超えた量子リソグラフィの実証実験 II 日本物理学会 2007 年春季大会 (鹿児島県) (2007/3/21) (口頭)
5. 高島秀聡、藤原英樹、竹内繁樹、笹木敬司、高橋雅英 “Er, Al, P 含有ゾルゲルガラスでコートしたテーパファイバー結合微小球レーザーの発振特性” 日本物理学会 2007 年春季大会 (鹿児島県) (2007/3/20) (口頭)
6. 田村祥、竹内繁樹、笹木敬司、鳥本司 “単一 CdSe/ZnS 量子ドットの消光状態からの回復レートと還元剤の効果” 日本物理学会 2007 年春季大会 (鹿児島県) (2007/3/19) (口頭)
7. 高島秀聡、藤原英樹、竹内繁樹、笹木敬司 “ファイバ結合微小球における発光体の自然放出の制御” 分光学会北海道支部学生シンポジウム (北海道) (2007/2/23) (口頭)
8. ホフマンホルガ、岡本亮、竹内繁樹 “相補的な古典操作によるノイズのある量子チャンネルの評価” 第 15 回量子情報技術研究会 (QIT-15) (京都府) (2006/11/22) (口頭)
9. H.F. Hofmann, R. Okamoto, S. Takeuchi “Characterization of a noisy quantum process by complementary classical operations,” 第 15 回量子情報技術研究会, (2006/11/21)
10. ソージャエフアレクサンドレ、西岡毅、長谷川俊夫、鶴丸豊広、竹内繁樹、笹木敬司、松井充 “パルス状伝令付き単一光子源を用いた量子鍵配布の実現” 第 67 回応用物理学会学術講演会 (2006/9/29)
11. 川辺喜雄、藤原英樹、竹内繁樹、笹木敬司 “回折限界を超えた量子リソグラフィの実証実験” 日本物理学会 2006 年秋季大会 (千葉県) (2006/9/26) (口頭)
12. 永田智久、岡本亮、竹内繁樹、笹木敬司、Jeremy O'Brien “4 光子を用いた超解像度位相測定” 日本物理学会 2006 年秋季大会 (千葉県) (2006/9/26) (口頭)
13. 岡本亮、竹内繁樹、笹木敬司 “周波数もつれ合いの Hong-Ou-Mandel 干渉への影響” 日本物理学会 2006 年秋季大会 (千葉県) (2006/9/26) (口頭)
14. 川瀬大輔、竹内繁樹、笹木敬司、和田篤、宮本洋子、武田光夫 “経路干渉計を用いた LG モード量子もつれ合いの検証実験” 日本物理学会 2006 年秋季大会 (千葉県) (2006/9/26) (口頭)
15. 宮本洋子、川瀬大輔、竹内繁樹、和田篤、武田光夫、笹木敬司 “光子の軌道角運動量重ね合わせ状態の検出” 日本物理学会 2006 年秋季大会 (千葉県) (2006/9/26) (口頭)
16. 竹内繁樹 “光子数状態の生成と制御: その後の展開” 第 10 回「光と制御」領域会議 (北海道) (2006/9/8) (口頭)
17. 千葉孝志、藤原英樹、堀田純一、竹内繁樹、笹木敬司 “ポリマーフィルム中単一分子の発光ダ

イナミクスの時間応答解析”第 67 回応用物理学会学術講演会(滋賀県)(2006/8/29)(口頭)

18. 岡本亮, Holger F. Hofmann, 竹内繁樹, 笹木敬司 “光路干渉を必要としない、光子量子制御ノットゲート” 第 14 回量子情報技術研究会(QIT-14)(東京都)(2006/5/29)(口頭)
19. 川瀬大輔, 竹内繁樹, 笹木敬司, 和田篤, 宮本洋子, 武田光夫 “位相ホログラムおよび経路干渉計を用いた光子対の軌道角運動量もつれ合いの検証実験” 第 14 回量子情報技術研究会(QIT-14)(2006/5/29)
20. S. Takeuchi, T. Nagata, R. Okamoto, K. Sasaki and J. O’Brien “Four photon NOON state interferometer” The 8th International Conference on Quantum Communication, Measurement and Computing(The 8th QCMC)(茨城県)(2006/12/2)(口頭)
21. H.F. Hofmann, T. Ono “At the quantum limit of classical interference:photon statistics of extremely phase squeezed two mode N-photon states,” Quantum Information Processes Workshop QIP 07, (Australia), (2007/1/30)

③ ポスター発表(国内 3 件、国際 8 件)

1. 高島秀聡, 藤原英樹, 堀田純一, 竹内繁樹, 笹木敬司, 村上伸也, 鳥本司, 大谷文章 “微小球共振器に結合した CdSe/ZnS 量子ドットの蛍光解析” 日本物理学会 2006 年秋季大会(千葉県)(2006/9/25)(ポスター)
2. 田村祥, 竹内繁樹, 笹木敬司, 鳥本司 “2-Merchптоethanol が単一 CdSe/ZnS 量子ドットの蛍光特性に与える影響” 日本物理学会 2006 年秋季大会(千葉県)(2006/9/25)(ポスター)
3. 永田智久, 岡本亮, 竹内繁樹, 笹木敬司, Jeremy O’Brien “4 光子を用いた超解像度位相測定” 第 14 回量子情報技術研究会(QIT-14)(東京都)(2006/5/29)(ポスター)
4. S. Takeuchi, H. Konishi, H. Takashima, H. Fujiwara and K. Sasaki “Polarization-discrimating spectra of a fiber-microsphere system” SPIE Photonics West 2007 (USA)(2007/1/22)(ポスター)
5. T. Chiba, H. Fujiwara, J. Hotta, S. Takeuchi and K. Sasaki “Triplet Lifetime Analysis of Single Molecules for Sensing Local Oxygen Concentration” The 1st European Topical Meeting on Nanophotonics and Metamaterials (NANOMETA 2007)(Austria)(2007/1/10)(ポスター)
6. T. Nagata, R. Okamoto, S. Takeuchi, K. Sasaki and J. O’Brien “Four photon NOON state interferometer” The 8th RIES-Hokudai International Symposium(RIES 国際シンポ)(北海道)(2006/12/11)(ポスター)
7. T. Chiba, H. Fujiwara, J. Hotta, S. Takeuchi and K. Sasaki “Triplet Lifetime Analysis of Single Molecules for Sensing Local Oxygen Concentration” The 8th RIES-Hokudai International Symposium(RIES 国際シンポ)(北海道)(2006/12/11)(ポスター)
8. A. Soujaeff, T. Nishioka, S. Takeuchi, T. Tsurumaru, T. Hasegawa, K. Sasaki and M. Matsui “Quantum cryptography with a heralded single photon source” The 8th RIES-Hokudai International Symposium(RIES 国際シンポ)(北海道)(2006/12/11)(ポスター)

9. R. Okamoto, S. Takeuchi and K. Sasaki “The effect of phase dispersion for two photon interference” “The 8th International Conference on Quantum Communication, Measurement and Computing (The 8th QCMC) (茨城県) (2006/11/30) (ポスター)
10. H. F. Hofmann: “Characterization of errors in quantum processes using finite sets of test measurements,” Optics & Photonics 2006 (co-located with SPIE’s 51st Annual Meeting) (2006/8/13)
11. A. Soujaeff, S. Takeuchi, K. Sasaki, T. Hasegawa and M. Matsui “Characterization of 1550nm heralded single photon source” 15th International Laser Physics Workshop (LPHYS 06) (Switzerland) (2006/7/27) (ポスター)

平成 17 年度

① 招待講演(国内 4 件、国際 4 件)

1. 竹内 繁樹、“パラメトリック蛍光対の動的制御による単一光子源の実現”、第 53 回応用物理学関係連合講演会; 光学論文賞受賞記念講演(東京都) (2006 年 3 月 23 日) (口頭)
2. 竹内 繁樹、“光子数検出器と線形光学量子回路”、第 53 回応用物理学関係連合講演会; 合同 G 分科内総合講演(東京都) (2006 年 3 月 22 日) (口頭)
3. 竹内 繁樹、“光子どうしの相関を操る”、京大物理 21 世紀 COE「物理学の多様性と普遍性の探求拠点」シンポジウム「光と物理学」(京都市) (2006 年 2 月 14 日) (口頭)
4. 竹内 繁樹、“光子を操る-複数光子の量子状態制御と計測”、第 7 回 分子ダイナミック分光ワークショップ「生物における光情報伝達と光・量子ドットの情報物理」(浜松市) (2005 年 7 月 7 日) (口頭)
5. S. Takeuchi, “Realization of quantum gates for photonic qubits”, 357. Wilhelm und Else Heraeus-Seminar The Photon: Generation, Detection, and Application (Germany) (2005/11/7) (Oral)
6. S. Takeuchi, “Quantum phase gate using single-atom nonlinearity”, SPIE 50th Annual Meeting Optics & Photonics 2005 (California) (2005/8/3) (Oral)
7. S. Takeuchi, “Single photon / Twin photon sources using parametric fluorescence and its application to quantum information processing”, International Conference on Quantum Electronics 2005 and the Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics 2005 (IQEC/CLEO-PR 2005) (Tokyo) (2005/7/12) (Oral)
8. S. Takeuchi, “Single photon sources using parametric fluorescence for quantum info-communication”, 14th International Laser Physics Workshop (Kyoto) (2005/7/5) (Oral)

② 口頭発表(国内 4 件、国際 0 件)

1. H. F. Hofmann, “Generation of a $(2n-1)$ -photon phase state by photon subtraction from

downconverted light”、日本物理学会第 61 回年次大会(松山市)(2006 年 3 月 30 日)

2. A. Soujaeff, 竹内繁樹、笹木敬司、長谷川俊夫、松井充、“1550nm 帯伝令付き単一光子源の光子数分布”、第 53 回応用物理学関係連合講演会(東京都)(2006 年 3 月 24 日)
3. A. Soujaeff, S. Takeuchi, K. Sasaki, T. Hasegawa and M. Matsui、“Heralded single photon source at 1550 nm from pulsed parametric down conversion”、第 13 回量子情報技術研究会(QIT13)(仙台市)(2005 年 11 月 25 日)
4. T. Ide and H. F. Hofmann、“Transfer of single photon polarization states by two-channel continuous variable teleportation”、第 13 回量子情報技術研究会(QIT13)(仙台市)(2005 年 11 月 25 日)

③ ポスター発表(国内 3 件、国際 10 件)

1. A. Soujaeff, 竹内繁樹、笹木敬司、長谷川俊夫、松井充、“1550nm 帯伝令付き単一光子源の光子数分布”、第 53 回応用物理学関係連合講演会(東京都)(2006 年 3 月 24 日)
2. 岡 寿樹、竹内 繁樹、笹木 敬司、“反射構造を持つ原子-共振器系の非線形光学応答の理論解析”、第 16 回光物性研究会(大阪市)(2005 年 12 月 10 日)
3. 川辺 喜雄、藤原 英樹、竹内 繁樹、笹木 敬司、“チューニングカーブフィルタリング法を用いたビーム状パラメトリック蛍光対の空間伝播特性の解析”、第 13 回量子情報技術研究会(QIT13)(仙台市)(2005 年 11 月 25 日)
4. R. Okamoto, H. F. Hofmann, S. Takeuchi and K. Sasaki、“Demonstration of an optical quantum controlled-NOT gate without path interference”、357. Wilhelm und Else Heraeus-Seminar The Photon: Generation, Detection, and Application(Germany)(2005/11/8)
5. H. F. Hofmann, R. Okamoto and S. Takeuchi、“Necessary and sufficient conditions for the successful implementation of multi-qubit quantum gates”、The 8th International Symposium on Foundations of Quantum Mechanics in the Light of New Technology (ISQM-Tokyo 05)(Saitama)(2005/8/22)
6. R. Okamoto, H. F. Hofmann, S. Takeuchi and K. Sasaki、“Demonstration of controlled-NOT gate using linear optics”、International Conference on Quantum Electronics 2005 and the Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics 2005 (IQEC/CLEO-PR 2005)(Tokyo)(2005/7/14)
7. D. Kawase, S. Takeuchi, K. Sasaki, A. Wada, Y. Miyamoto and M. Takeda、“Verification of hologram position in experiment of entanglement in orbital angular momentum of photons”、International Conference on Quantum Electronics 2005 and the Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics 2005 (IQEC/CLEO-PR 2005)(Tokyo)(2005/7/14)
8. Y. Kawabe, H. Fujiwara, S. Takeuchi and K. Sasaki、“Experimental analysis of spatial propagation properties of beam-like parametric fluorescence by use of a tuning curve filtering method”、International Conference on Quantum Electronics 2005 and the Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics 2005 (IQEC/CLEO-PR 2005)(Tokyo)(2005/7/14)

9. H. Fujiwara, Y. Kawabe, S. Takeuchi and K. Sasaki, “Numerical analysis of propagation properties of parametric fluorescence photon-pairs by use of a tuning curve filtering method”, International Conference on Quantum Electronics 2005 and the Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics 2005 (IQEC/CLEO-PR 2005) (Tokyo) (2005/7/14)
10. H. F. Hofmann, R. Okamoto and S. Takeuchi, “Efficient characterization of an experimental two photon quantum gate”, 17th International Conference on Laser Spectroscopy (Scotland) (2005/6/20)
11. D. Kawase, S. Takeuchi, K. Sasaki, A. Wada, Y. Miyamoto and M. Takeda, “Verification of measurement basis in experiment of entanglement in orbital angular momentum of photons”, 17th International Conference on Laser Spectroscopy (Scotland) (2005/6/20)
12. S. Takeuchi, H. F. Hofmann, K. Kojima, H. Oka, A. Chiba, H. Takashima, J. Hotta and K. Sasaki “Quantum phase gate using single atom nonlinearity”, 17th International Conference on Laser Spectroscopy (Scotland) (2005/6/20)
13. A. Soujaeff, S. Takeuchi, K. Sasaki, T. Hasegawa and M. Matsui, “Heralded single photon source for quantum cryptography at 1550 nm”, CLEO-Europe/EQEC2005 (Munich) (2005/6/15)

平成 16 年度

① 招待講演(国内 6 件、国際 2 件)

1. 竹内繁樹、岡本亮、ソージャエフ・アレクサンドレ、大橋弘明、堀田純一、笹木敬司 : 「単一光子源の研究現状-パラメトリック蛍光対利用を中心に」、第 52 回応用物理学関係連合講演会、埼玉大学、2005/3/29
2. 竹内繁樹: 「光子を用いた量子情報実験」、ナノエレクトロニクス連携研究センター (NCRC) 第 24 回プロジェクト研究推進会議、東京大学生産技術研究所、2005/2/18
3. 竹内繁樹: 「光子を用いた量子情報実験」、科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業 (CREST) 量子情報処理シンポジウム、一橋記念講堂、2004/12/21
4. 竹内繁樹: 「光子を用いた量子情報通信・処理」、国立大学附置研究所・センターシンポジウム 研究所・センターが開く未来の世界-宇宙環境から量子技術まで-、北海道大学学術交流会館、2004/11/17
5. 竹内繁樹: 「光子を用いた量子計算」、電子情報通信学会 2004 ソサイエティ大会、徳島大学、2004/9/23
6. 竹内繁樹: 「光量子ビット」、第 42 回茅コンファレンス「量子情報処理の物理と技術」、宮城蔵王ロイヤルホテル、2004/8/23
7. S. Takeuchi: “Quantum information technologies using photons,” KIAS-KAIST 2004 Workshop on Quantum Information Science, KIAS International Conference Hall, Seoul, Korea, 2004/8/30
8. S. Takeuchi, K. Tsujino, H. F. Hofmann and K. Sasaki: “Distinguishing genuine entangled

two-photon-polarization states from independently generated pairs of entangled photons,” SPIE Annual Meeting 2004 Optical Science and Technology, Colorado Convention Center, Denver, Colorado, USA, 2004/8/5

② 口頭発表(国内 6 件、国際 1 件)

1. 岡本亮、竹内繁樹、笹木敬司:「パラメトリック蛍光対による2光子干渉を用いた新しい位相分散測定法の提案」、日本物理学会第 60 回年次大会、東京理科大学、2005/3/25
2. 岡寿樹、竹内繁樹、笹木敬司:「FDTD を用いた一次元原子の非線形光学応答の解析」、日本物理学会第 60 回年次大会、東京理科大学、2005/3/25
3. ホフマン・ホルガ:「Efficient tests for experimental quantum gates」、第 11 回量子情報技術研究会(QIT-11)、京都大学百周年時計台記念館、2004/12/7
4. 川瀬大輔、辻野賢治、竹内繁樹、笹木敬司、和田篤、大湊寛之、宮本洋子、武田光夫:「光子の軌道角運動量もつれ合い実験における測定基底の検証」、日本物理学会 2004 年秋季大会、青森大学、2004/9/15
5. 岡本亮、竹内繁樹、笹木敬司:「マンデルディップに見られた異常形状に関する考察」、日本物理学会 2004 年秋季大会、青森大学、2004/9/14
6. 小島邦裕、ホルガ F. ホフマン、竹内繁樹、笹木敬司:「一次元原子との非線形相互作用による 2 光子波束形状変化についての理論解析」、日本物理学会 2004 年秋季大会、青森大学、2004/9/13
7. S. Takeuchi: “Entanglement of the Optical Angular Momentum of Photons,” The International Conference on “Topology in Orderd Phases” (TOP2005), Sapporo, Japan, 2005/3/9

③ ポスター発表(国内 2 件、国際 2 件)

1. 川瀬大輔、辻野賢治、竹内繁樹、笹木敬司、和田篤、大湊寛之、宮本洋子、武田光夫:「光子の軌道角運動量もつれ合い実験における測定基底の検証」、第 42 回茅コンファレンス「量子情報処理の物理と技術」、宮城蔵王ロイヤルホテル、2004/8/23-24
2. 川瀬大輔、辻野賢治、竹内繁樹、笹木敬司、和田篤、大湊寛之、西原昇、宮本洋子:「光子対における軌道角運動量もつれ合いのホログラム位置スキャンによる確認実験」、第 10 回量子情報技術研究会(QIT10)、学習院大学百周年記念会館、2004/5/2
3. D. Kawase, S. Takeuchi, K. Sasaki, A. Wada, Y. Miyamoto and M. Takeda: “Verification of measurement basis in experiment of entanglement in orbital angular momentum of photons,” The International Conference on “Topology in Orderd Phases” (TOP2005), Sapporo, Japan, 2005/3/8
4. R. Okamoto, S. Takeuchi and K. Sasaki: “Quantum Computing using Linear Optics,” The International Conference on “Topology in Orderd Phases” (TOP2005), Sapporo, Japan, 2005/3/8

平成 15 年度

① 招待講演(国内 2 件、国際 2 件)

1. 竹内繁樹 “光子を用いた量子計算” レーザー学会創立 30 周年記念学術講演会 第 24 回
年次大会 (仙台国際センター) (2004.1.30)
2. 竹内繁樹 “Quantum information processing using photons” The 6th Japanese-American
Frontiers of Science Symposium (第 6 回日米先端科学技術 (JAFoS) シンポジウム)
(Shonan Village Center(湘南国際村センター)) (2003.12.10)
3. S.Takeuchi “Distinguishing entangled two-photon states and a highly efficient single photon
source” (The International Symposium on Quantum Info-Communications and Related
Quantum Nanodevices) Mita Kaigisho (Conference Hall) (日本) (2004.3.12)
4. S.Takeuchi “Distinguishing genuine entangled two-photon-polarization states” Japan-
Germany Colloquium 2004 on Quantum Optics (organised by JSPS and MPG) (Germany)
(2004.2.10)

② 口頭発表(国内 2 件、国際 0 件)

1. 千葉明人 藤原英樹 堀田純一 竹内繁樹 笹木敬司 “微小球共振器近接時のテーパファイ
バの透過率特性” (2004 年春季) 第 51 回応用物理学関係連合講演会 (東京工科大学)
(2004.3.29)
2. 川辺嘉雄 藤原英樹 竹内繁樹 笹木敬司 “Type-I パラメトリック蛍光対の空間伝播特性” 日
本物理学会第 59 回年次大会 (九州大学箱崎キャンパス) (2004.3.29)

③ ポスター発表(国内 0 件、国際 5 件)

1. A.Chiba, H.Takashima, H.Fujiwara, S.Takeuchi, and K.Sasaki: “A microspherical cavity coupled
with a tapered fiber-nano-optical device for quantum phase gate-” (The International
Symposium on Quantum Info-Communications and Related Quantum Nanodevices) Mita
Kaigisho (Conference Hall) (日本) (2004.3.11)
2. S.Takeuchi, J.Hotta, and K.Sasaki: “A quantum phase gate for photonic qubit using
micro-sphere resonator” (The International Symposium on Quantum Info-Communications
and Related Quantum Nanodevices) Mita Kaigisho (Conference Hall) (日本) (2004.3.11)
3. K.Kojima, H.F.Hofmann, S.Takeuchi, and K.Sasaki: “Fully quantum analysis of nonlinear
response of an atom-cavity system to two photon pulses” (The International Symposium on
Quantum Info-Communications and Related Quantum Nanodevices) Mita Kaigisho (Conference
Hall) (日本) (2004.3.11)
4. H.Oka, H.F.Hofmann, S.Takeuchi, and K.Sasaki: “Nonlinear phase shift obtained from a single
atom embedded in a one-sided solid-state microcavity” The 5th RIES-Hokkaido Symposium
on Advanced Nanoscience shoku [織] (Hokkaido University Conference Hall(北海道大学学術
交流会館)) (2003.12.1)

5. H.Ohashi, J.Hotta, S.Takeuchi, S.Murakami, T.Torimoto, and B.Ohtani: “Photoluminescence measurement of single CdSe nanoparticles” The 5th RIES-Hokkaido Symposium on Advanced Nanoscience shoku [織] (2003.12.1)

3)平野グループ:

平成 20 年度

① 招待講演 (国内 1 件、国際 0 件)

1. Takuya Hirano: “Present status of continuous-variable quantum key distribution,” The third Quantum ICT symposium, 2008/10/1, メルパルク東京.

② 口頭発表 (国内 2 件、国際 0 件)

1. 平野真弓, 大久保竜飛, 張贇, 平野琢也: “CW モード同期レーザーと光導波路を用いたスクイーズド光の生成”, 日本物理学会 2008 年秋季大会, 22aZA-11 (岩手大学, 2008 年 9 月 20 日～23 日).
2. 宮野哲史, 井戸堯子, 平野琢也: “単一光路干渉計を用いた連続変数量子鍵配送における過剰雑音,” 日本物理学会 2008 年秋季大会, 22aZA-12 (岩手大学, 2008 年 9 月 20 日～23 日).

③ ポスター発表 (国内会議 1 件、国際会議 3 件)

1. 大久保竜飛, 平野真弓, 張贇, 平野琢也: “高速ホモダイン検出器を用いたパルス光連続変数エンタングルメントの時間領域測定,” 第 18 回量子情報技術研究会 (QIT18)(東京大学, 2008 年 5 月 22 日～23 日)
2. Ryuhi Okubo, Mayumi Hirano, Yun Zhang, and Takuya Hirano: “Pulse-resolved measurement of quadrature phase amplitudes of squeezed pulse train at 76 MHz repetition rate,” The 9th International Conference on Quantum Communication, Measurement and Computing (QCMC 2008)(Calgary, Canada, 2008/8/19-24).
3. Yujiro Eto, Akihiro Nonaka, Yun Zhang, and Takuya Hirano : “Stable generation of continuous-variable entanglement using a ring interferometer,” The 9th International Conference on Quantum Communication, Measurement and Computing (QCMC 2008)(Calgary, Canada, 2008/8/19-24).
4. Yun Zhang, Ryuhi Okubo, Mayumi Hirano, and Takuya Hirano : “Measurement of entanglement in the time docontents and Einstein-Podolsky-Rosen paradox with continuous variable using laser pulses,” The 9th International Conference on Quantum Communication, Measurement and Computing (QCMC 2008)(Calgary, Canada, 2008/8/19-24).

平成 19 年度

① 招待講演 (国内 3 件、国際 1 件)

1. 平野琢也, “分極反転波長変換デバイスの量子光学への展開”, シンポジウム:横展開を始めた

分極反転光デバイス, 第55回応用物理学関係連合講演会 (日本大学理工学部 船橋キャンパス, 2008年3月27日).

2. 平野琢也, “レーザーでつくる極低温”, 第7回エレクトロニクスフォーラム ー極限環境実験のフロンティアー, 2008年3月11日, 産業技術総合研究所.
3. 平野琢也, 量子限界を超えるースクイーズ光ー, Optics & Photonics Japan 2007, シンポジウム「量子光学とOPJの接点を求めて」, 26pBS2 (大阪大学吹田キャンパス, 2007年11月26日).
4. Takuya Hirano: “Practical implementation of continuous-variable quantum key distribution,” The second Quantum ICT symposium, 2007/10/4, SCAT, Sinjuku-Gyoen, 東京.

② 口頭発表 (国内 7件、国際 1件)

1. 林太郎, 東條賢, 田邊達良, 平野琢也, “2成分 ^{87}Rb BECのダイナミクス”, 日本物理学会第63回年次大会, 25pQD-3 (近畿大学, 2008年3月25日).
2. 東條賢, 林太郎, 田邊達良, 平野琢也, “ ^{87}Rb spin-2 BECの衝突ダイナミクス”, 日本物理学会第63回年次大会, 25pQD-4 (近畿大学, 2008年3月25日).
3. 衛藤雄二郎, 野中章裕, 張贇, 平野琢也, “通信波長帯パルス光源による連続変数エンタングル状態の生成2”, 日本物理学会第63回年次大会, 24pQD-4 (近畿大学, 2008年3月24日).
4. 張贇, 大久保竜飛, 平野真弓, 平野琢也, “Measurement of entanglement in time domain and Einstein-Podolsky-Rosen paradox”, 24pQD-5 (近畿大学, 2008年3月24日).
5. 得永真吾, 宮野哲史, 平野琢也, “連続変数を用いた空間伝送量子暗号III”, 日本物理学会第63回年次大会, 24pQD-6 (近畿大学, 2008年3月24日).
6. 衛藤雄二郎, 野中章裕, 張贇, 平野琢也: “通信波長帯パルス光源による連続変数エンタングル状態の生成,” 日本物理学会第63回年次大会, 23aRH-8 (北海道大学, 2007年9月21日~24日).
7. 大久保竜飛, 平野真弓, 張贇, 平野琢也: “パルス光を用いた連続変数エンタングルメントの時間領域における測定,” 日本物理学会第63回年次大会, 23aRH-7 (北海道大学, 2007年9月21日~24日).
8. Yun Zhang, Ryuhi Okubo, Tatsuya Fututa, Takuya Hirano: “Experimental Generation of Broadband Quadrature Entanglement Using Laser Pulses,” The International Conference on Quantum Information, IFF4 (University of Rochester Campus, Rochester, New York, USA, June 13-15, 2007).

③ ポスター発表 (国内 0件、国際 4件)

1. S. Tokunaga, K. Shirasaki, T. Hirano: “Free-space continuous-variable Quantum

- Cryptography,” CLEO/Europe-IQEC 2007, (Munich, Germany, 2007年6月17日～22日).
2. Y. Kawamoto, R. Namiki, A. Furuki, T. Hirano: “Controlling excess noise using acousto-optic modulator for quantum cryptography with continuous variables,” CLEO/Europe-IQEC 2007, (Munich, Germany, 2007年6月17日～22日).
 3. S. Tojo, A. Tomiyama, M. Iwata, T. Kuwamoto, and T. Hirano: “Dynamics of Bose-Einstein Condensates in Optical Trap with Internal Degrees of Freedom,” CLEO/Europe-IQEC 2007, (Munich, Germany, 2007年6月17日～22日).
 4. Y. Eto, T. Tajima, Y. Zhang, T. Hirano: “Pulsed Homodyne Detection of Squeezed Light at Telecommunication Wavelength,” The International Conference on Quantum Information, JWC36 (University of Rochester Campus, Rochester, New York, USA, 2007/6/13-15).

平成 18 年度

① 招待講演 (国内 0 件、国際 2 件)

1. Takuya Hirano: “Continuous-variable quantum information processing using pulsed light,” The first Quantum ICT symposium, 2007/3/12, SCAT, Sinjuku-Gyoen, 東京
2. Takuya Hirano: “Experimental study of atomic Bose-Einstein condensates with internal degrees of freedom,” The 10th US-Japan Joint Seminar “Fundamental Issues and Applications of Ultracold Atoms and Molecules,” 2006/8/25, Beaver Run Hotel and Conference Center, Breckenridge, CO, USA

② 口頭発表 (国内 8 件、国際 1 件)

1. 古田達也, 大久保竜飛, 張贇, 平野琢也, “高速ホモダインを用いたスクイーズド光の時間領域測定,” 日本物理学会, 2007年春季大会, 21aXK-3, 2007/3/21.
2. 衛藤雄二郎, 田島崇史, 張贇, 平野琢也, “パルス光スクイージングの時間波形の最適化,” 日本物理学会, 2007年春季大会, 21aXK-4, 2007/3/21.
3. 大久保竜飛, 古田達也, 張贇, 平野琢也, “高速ホモダイン検出器によるスクイーズド状態の測定,” 日本物理学会, 2007年春季大会, 21aXK-5, 2007/3/21.
4. 張贇, 古田達也, 大久保竜飛, 平野琢也, “Generation of quadrature entanglement state using laser pulse”, 日本物理学会, 2007年春季大会, 21aXK-6, 2007/3/21.
5. 岩田正文, 富山彰夫, 桑本剛, 東條賢, 平野琢也, “光トラップ中における $F=1$, $F=2$ ^{87}Rb ボーズ凝縮体のダイナミクス,” 日本物理学会, 2007年春季大会, 20aXK-5, 2007/3/20.
6. 富山彰夫, 岩田正文, 桑本剛, 東條賢, 平野琢也, “ ^{87}Rb Spin-2 Bose凝縮体のダイナミクス”, 日本物理学会, 2007年春季大会, 20aXK-6, 2007/3/20.

7. 白崎和也, 得永真吾, 平野琢也, “連続変数を用いた空間伝送量子暗号II,” 日本物理学会, 2007年春季大会, 19aXG-7, 2007/3/19.
8. 田島崇史, 衛藤雄二郎, 張贇, 平野琢也, “通信波長帯スクイーズド光のパルスドホモダイン検出II,” 日本物理学会, 2006年秋季大会, 千葉大学, 26pRB-5, 2006/9/26.
9. Takuya Hirano, Atsushi Shimoguchi, Kazuya Shirasaki, Shingo Tokunaga, Atsushi Furuki, Yohei Kawamoto, Ryo Namiki: “Practical implementation of continuous-variable quantum key distribution,” Defense and Security Symposium 2006 SPIE, Orlando, USA, 2006/4/20.

③ポスター発表(国内 4件、国際 5件)

1. 衛藤雄二郎, 田島崇史, 張贇, 平野琢也, “通信波長スクイーズド光のパルスドホモダイン検出,” 第14回量子情報技術研究会(QIT14)(東京工業大学), 2006/5/29.
2. 張贇, 古田達也, 高橋 宏輔, 平野琢也, “パルス光による量子エンタングルメント生成実験,” 第14回量子情報技術研究会(QIT14)(東京工業大学), 2006/5/29.
3. 得永真吾, 白崎和也, 平野琢也, “連続変数を用いた空間伝送量子暗号,” 第14回量子情報技術研究会(QIT14)(東京工業大学), 2006/5/29.
4. 古木敦, 川元洋平, 下口敦, 平野琢也, “Plug&Play方式連続変数量子暗号における長距離化実験,” 第14回量子情報技術研究会(QIT14)(東京工業大学), 2006/5/29.
5. Yun Zhang, Tatsuya Furuta, Takuya Hirano, “Experimental generation of quadrature entanglement using laser pulses,” The 8th International Conference on Quantum Communication, Measurement and Computing (QCMC 2006), In Tsukuba, Japan, Nov. 2006.
6. Y. Eto, T. Tajima, Yun Zhang and T. Hirano, “Measurement of 3dB squeezing at telecommunication wavelength using pulsed homodyne detector,” The 8th International Conference on Quantum Communication, Measurement and Computing (QCMC 2006), In Tsukuba, Japan, Nov. 2006.
7. Shingo Tokunaga, Kazuya Shirasaki, and Takuya Hirano, “Free-space continuous-variable quantum cryptography,” The 8th International Conference on Quantum Communication, Measurement and Computing (QCMC 2006), In Tsukuba, Japan, Nov. 2006.
8. Yun Zhang, T. Furuta, and T. Hirano, “Experiment demonstration of quadrature entanglement using laser pulse,” Asian conference on quantum information science 2006, In Beijing, Sep. 2006.
9. T. Tajima, Y. Eto, Yun Zhang, and T. Hirano, “3dB squeezing at telecommunications wavelength using pulsed homodyne detector,” Asian conference on quantum information science 2006, In Beijing, Sep. 2006.

平成 17 年度

① 招待講演 (国内 1 件、国際 0 件)

1. 平野琢也:「連続変数系の光学的リソース生成法と応用」光波シンセシス研究会第 10 回研究会「量子情報のための光波シンセシス」, 東京大学生産技術研究所, 2005/6/24.

② 口頭発表 (国内 7 件、国際 3 件)

1. 衛藤雄二郎(学習院大学), “パルスモードホモダイン検出器による通信波長帯スクイーズド光の検出”、日本物理学会第 61 回年次大会、愛媛大学・松山大学、2006/3/30.
2. 得永真吾(学習院大学), “連続変数を用いた空間伝送量子暗号”、日本物理学会第 61 回年次大会、愛媛大学・松山大学、2006/3/30.
3. 濱崎康平(学習院大学), “光トラップ中における ^{87}Rb 2 成分ボーズ・アインシュタイン凝縮体のダイナミクス”、日本物理学会第 61 回年次大会、愛媛大学・松山大学、2006/3/29.
4. 薄田隼人(学習院大学), “位相幾何学的方法による Bose-Einstein 凝縮中での量子渦形成”日本物理学会第 61 回年次大会、愛媛大学・松山大学、2006/3/29.
5. 古田達也(学習院大学), “パルス光を用いた連続変数エンタングルメントの生成”、日本物理学会 2005 年秋季大会、同志社大、2005/9/21.
6. 白崎和也(学習院大学), “単一経路干渉計による連続変数を用いた空間伝送量子暗号”、日本物理学会 2005 年秋季大会、同志社大、2005/9/21.
7. 桑本剛(学習院大学), “蒸発冷却によるボーズ・アインシュタイン凝縮体の集団励起”、日本物理学会 2005 年秋季大会、同志社大、2005/9/19.
8. T. Kuwamoto (学 習 院 大 学) 、 “Optical Confinement of Two-Component Bose-Einstein Condensates of ^{87}Rb ”、IQEC and CLEO-PR 2005、2005/7/15.
9. Y. Kawamoto(ソ ニ ー) 、 “Plug and Play Systems for Quantum Cryptography with Continuous Variables”、IQEC and CLEO-PR 2005、東京、2005/7/15.
10. 桑本剛(学習院大学)、 “Dynamical properties of ^{87}Rb spin-2 Bose-Einstein condensates” 14th INTERNATIONAL LASER PHYSICS WORKSHOP (LPHYS'05)、京都、2005/7/4.

③ ポスター発表 (国内 0 件、国際 2 件)

1. T. Furuta(学 習 院 大 学) 、 “Generation of Squeezed States Using a Periodically Poled LiNbO_3 Waveguide”、IQEC and CLEO-PR2005、東京、2005/7/14.
2. T. Tajima(学習院大学), “Parametric Amplification in a Periodically Poled Lithium Niobate waveguide at Telecommunication Wavelength” IQEC and CLEO-PR2005, Tokyo, 2005/7/14.

平成 16 年度

① 招待講演 (国内 1 件、国際 0 件)

1. 平野琢也:ホモダイン検出量子暗号通信, 第52回応用物理学関係連合講演会, H17年3月29～4月1日

② 口頭発表 (国内 5 件、国際 0 件)

1. 下口 敦(学習院大理):Plug&Play 方式による連続変数を用いた量子暗号の実証実験, 日本物理学会第60回年次大会, 東京理科大学野田キャンパス, 2005/3/25-27
2. 衛藤 雄二郎(学習院大理): 通信波長帯におけるスクイーズド光の発生, 日本物理学会第60回年次大会, 東京理科大学野田キャンパス, 2005/3/25-27
3. 桑本 剛(学習院大理):スピン2を持つスピノール凝縮体のダイナミクスにおける磁場依存性, 日本物理学会2004年秋季大会, 青森大学, 2004/9/12-15
4. 古田 達也(学習院大理): 周期分極反転した非線形結晶を用いたスクイーズド光の発生, 日本物理学会2004年秋季大会, 青森大学, 2004/9/12-15
5. 川元 洋平(ソニー): 連続変数を用いた"Plug & Play"方式量子暗号の実験第10回量子情報技術研究会, 学習院大学, 2004/5/24-25

③ポスター発表(国内 0 件、国際 0 件)

平成 15 年度

① 招待講演 (国内 0 件、国際 0 件)

② 口頭発表 (国内 0 件、国際 0 件)

③ ポスター発表(国内 1 件、国際 0 件)

1. 石橋 隆久、鈴木 一弘、桑本 剛、平野琢也, 周期分極反転 LiNbO₃ 光導波路を用いたスクイーズド光の発生, 第 9 回量子情報技術研究会, NTT 厚木研究開発センタ, QIT2003-94, 2003/12/11/.

(3)特許出願

1)井元グループ:なし

2)竹内グループ:国内 2 件、海外 1 件

①国内出願 (2 件)

平成 18 年度 1 件

発明の名称	量子通信装置および量子通信システムおよび量子通信方法
発明者	西岡毅, 竹内繁樹, ソージャエフ アレクサンドル, 長谷川俊夫, 阿部淳一
出願人	三菱電機株式会社, 国立大学法人北海道大学
出願日	2006/8/4
出願番号	2006-315490

平成 16 年度 1 件

発明の名称	光学特性測定装置、光学特性測定方法、並びに、それに用いるプログラムおよび記録媒体
発明者	竹内繁樹、岡本亮
出願人	国立大学法人 北海道大学
出願日	2005/3/3
出願番号	特願 2005-059503

②海外出願 (1件)

平成 18 年度 1 件

発明の名称	量子通信装置および量子通信システムおよび量子通信方法
発明者	西岡 毅,竹内繁樹,ソージャエフ アレクサンドル,長谷川俊夫,阿部淳一
出願人	三菱電機株式会社, 国立大学法人北海道大学
出願日	2006/8/4
出願番号	PCT/JP2006/315490

3)平野グループ:国内 2 件 海外 1 件

①国内出願 (2 件)

平成 16 年度: 1 件

発明の名称	量子暗号通信方法及び量子暗号通信装置
発明者	平野 琢也
出願人	学校法人学習院
出願日	2005/2/22
出願番号	2005-059503

平成 19 年度: 1 件

発明の名称	量子エンタングルメント生成方法、および量子エンタングルメント生成装置
発明者	平野 琢也 衛藤雄二郎
出願人	学校法人学習院 独立行政法人科学技術振興機構
出願日	:2007/8/18
出願番号	2007-213205

②海外出願（1件）

平成19年度:1件

発明の名称	量子エンタングルメント生成方法、および量子エンタングルメント生成装置
発明者	平野 琢也 衛藤雄二郎
出願人	学校法人学習院 独立行政法人科学技術振興機構
出願日	:2007/8/18
出願番号	PCT/特願 2007-213205

(4)受賞等

1)井元グループ:

平成20年度:

① 受賞 :2件

1. 山本 俊, 日本物理学会若手奨励賞, 平成21年3月
2. 徳永 裕己, 井上研究奨励賞, 平成21年2月

② 新聞報道 国内8件

1. 2008年9月10日 読売新聞:量子コンピューター 極微世界の「不思議」利用 大量情報瞬時に処理
2. 2008年7月21日 日本情報産業新聞:量子通信の実現へ新技術の実験成功 JST
3. 2008年7月18日 科学新聞:「量子もつれ」光子対伝送 自然雑音環境で成功 量子通信・メモリ応用へ 阪大
4. 2008年7月14日 化学工業新聞:量子計算実現へ ノイズ除去手法 JST・阪大が開発
5. 2008年7月12日 日刊工業新聞:光ファイバーの自然雑音下 量子もつれ光子対を伝送 阪大が量子暗号通信向け技術
6. 2008年7月6日 日本経済新聞:量子技術を使った未来の入札
7. 2008年6月6日 科学新聞:テレポーテーション型量子計算 世界初 NTT と阪大が実証
8. 2008年5月27日 日経産業新聞:計算結果、遠隔地に 量子コンピューターに道 NTT など実験に成功。関連して以下10件のウェブニュースを2008年5月27日に確認した。

① 日経BP Tech-On <http://techon.nikkeibp.co.jp/article/NEWS/20080526/152399/>

② MSNデジタル
<http://digitallife.jp.msn.com/article/article.aspx/genreid=104/articleid=299698/date=0/page=1>

- ③ Impress Watch <http://pc.watch.impress.co.jp/docs/2008/0526/ntt.htm>
- ④ RBB ToDay <http://www.rbbtoday.com/news/20080526/51409.html>
- ⑤ NIKKEI NEプレスリリース <http://release.nikkei.co.jp/detail.cfm?relID=189878&lindID=1>
- ⑥ 日刊工業新聞 Business Line <http://www.nikkan.co.jp/news/nkx0620080527179eaaj.html>
- ⑦ YAHOO JAPAN ニュース <http://headlines.yahoo.co.jp/hl?a=20080526-00000030-rbb-sci>
- ⑧ 2ちゃんねる <http://news24.2ch.net/test/read.cgi/scienceplus/1211807016/-100>
- ⑨ ニュース表@ふたば <http://zip.2chan.net/6/res/82720.htm>
- ⑩ livedoor ニュース <http://news.livedoor.com/article/detail/2584493/>

③その他

1. 2008年「子供の科学」10月号 p.8:量子もつれ情報配送実験に成功!
2. S. K. Ozdemir, J. Shimamura, and N. Imoto: "Playing games in quantum mechanical settings: Features of quantum games," Mathematical Aspects of Quantum Computing 2007, p.139-180, World Scientific Publishing Co., (2008)

平成19年度:

① 受賞 なし

② 新聞報道 国内1件

1. 2007年11月26日日本経済新聞朝刊 p19、科学面:盗聴できない「量子暗号」通信速度1万倍 阪大が開発

③ その他

1. 井元信之:「量子情報処理」imidas 2007, pp.787-791 (2007).
2. Bouwmeester, Ekert, Zwillinger/西野・井元監訳、井元・小芦他共訳:「量子情報の物理」共立出版(2007).
3. 井元信之:「量子情報処理と光による研究」情報処理, 第46巻12号 pp.1317-1322(2007).
4. 井元信之:「量子物理が突破する情報処理の地平線」生産と技術, 第59巻1号 pp.75-77(2007)

平成18年度:

① 受賞: なし

② 新聞報道: なし

③ その他:

1. 小芦雅斗:「量子暗号の基礎理論」量子情報通信 オプトロニクス社 p115-131 (2006).
2. 山本俊、小芦雅斗、Sahin Kaya Ozdemir、井元信之:「量子もつれ光子対の蒸留」量子情報通信 オプトロニクス社 p268-279 (2006).
3. 山本俊、小芦雅斗、Sahin Kaya Ozdemir、井元信之:「量子もつれ光子対の蒸留と雑音下での量子情報通信」応用物理 第 75 巻, 第 11 号, 1359-1363 (2006).
4. 井元信之:「量子力学の解釈問題」別冊・数理科学 2006 年 4 月号 「量子の新世紀」 pp.46-pp.55(2006).
5. 井元信之:「量子工学」imidas'06, pp.865-869 (2006). 日経 BP ムック「変革する大学シリーズ」2006 年 12 月 7 日発行, p.24「物性物理科学コース」
6. Takashi Yamamoto, Sahin Kaya Ozdemir, Masato Koashi, and Nobuyuki Imoto "Faithful Quantum Communication Over Noisy Environment" IEEE LEOS NEWSLETTER Vol 20, Number 6, 4-10 Dec. 2006

平成 17 年度:

① 受賞: なし

② 新聞報道: 1件

1. 井元 2005 年 10 月 19 日 読売新聞朝刊科学面ノーベル物理学賞受賞者紹介記事

③ その他:

1. 井元信之:「光科学研究の最前線」同編集委員会編(2005)p.14「量子測定」、p.274「量子情報」
2. 山本俊:量子もつれの蒸留:量子ネットワークへ向けてオプトロニクス 285 号 150-153 (2005) No. 9 2005/9/1
3. 井元信之:「量子工学」imidas'05, pp.863-867 (2005).

平成 16 年度:

① 受賞: なし

② 新聞報道: なし

③ その他:

1. 小芦雅斗:「量子情報に現れる多体系」数理科学第 42 巻 10 号, pp.50-55(2004).

2. 並木亮、平野琢也:「光学から見た量子通信・鍵配布」光学 33 巻 8 号,pp.448-453(2004).
3. 山本俊:「エンタングルメントの抽出」光学 33 巻 5 号,pp.294-296(2004).

平成 15 年度:

- ① 受賞: なし
- ② 新聞報道: なし
- ③ その他:
 1. 井元信之:「量子情報理論の新展開」数理科学第 41 巻第 11 号,pp.5-10, (2003).
 2. 小芦雅斗:「量子情報の圧縮・解凍」数理科学第 41 巻第 11 号,pp.38-45, (2003).
 3. 山本俊, 小芦雅斗, Sahin Kaya Ozdemir, 井元信之:「雑音に埋もれたエンタングルメントの抽出」日本物理学会誌 Vol.58, No.11, 10 月号, pp.761-765 (2003).
 4. 井元信之:「量子と情報」別冊・数理科学「量子情報科学とその展開」pp.24-31(2003).
 5. 小芦雅斗:「量子暗号とその背後にある原理」別冊・数理科学「量子情報科学とその展開」pp.130-138(2003).
 6. 井元信之:「量子暗号・量子プロトコル」別冊・数理科学「量子情報科学とその展開」pp.147-153(2003).
 7. 井元信之:「量子光学」神谷武編・光情報通信技術ハンドブック(コロナ社)I 編 5 章, pp.100-115(2003).

2) 竹内グループ:

平成 20 年度:

- ① 受賞 0 件
- ② 新聞報道 2 件
 1. 竹内繁樹、日経産業新聞 2009 年 1 月 23 日「特定の「双子」光子通過」
 2. 竹内繁樹、日刊工業新聞 2009 年 1 月 23 日「「もつれ合い」光子対抽出」

平成 19 年度:

- ① 受賞 2 件

2007 年 Scientific American 50 受賞、対象: Quantum metrology に関する研究、Scientific American

誌, 2007年12月 2007年の科学・技術の全分野から選ばれた、50の innovative な研究に対して与えらる賞。

1. 岡本 亮 井上研究奨励賞 平成19年2月

2. 岡本 亮 松本・羽鳥奨学賞 平成19年3月

② 新聞報道 5件

1. 竹内繁樹、読売新聞 2007年5月4日「量子もつれ」応用 超精密の計測」

2. 竹内繁樹、日刊工業新聞 2007年5月5日「光位相測定 限界値突破に成功」

3. 竹内繁樹、日経産業新聞 2007年5月6日 「限界値超え精密に/特別な光で距離など測定」

4. 竹内繁樹、科学新聞 2007年5月18日「従来の限界を超える光位相測定に成功 量子もつれ合い状態の4個の光子用いる」

5. 竹内繁樹、朝日新聞 2007年5月25日「光子で距離・密度を測定」

③ その他

1. 竹内繁樹: 光子を自在に操り光量子コンピュータの実現を目指す 62巻 pp39-42,2007/5/1 化学同人

2. 竹内繁樹: 線形工学素子を用いた量子計算-その仕組みと最新状況- 26巻12号 pp218-224,2007/12/10 オプトロニクス社

3. 竹内繁樹: 単一光子を自在に操る-量子情報、量子計測への応用- 77巻2号 pp129-135,2008/2/10

4. 竹内繁樹: 光子どうしの相関を操る「光と物理学」第3章 pp45-62, 2007/10/10 京都大学学術出版

5. 竹内繁樹: (D.Bouwmeester,A.Ekert,A.Zeilinger 編, 監訳:西野哲朗、井元信之):量子計算の実現に向けた最先端の実験量子情報の物理「~量子暗号、量子テレポーテーション、量子計算~」第5章 pp165-232, 2007/5/25 共立出版

平成18年度:

① 受賞 なし

② 新聞報道 10件

1. 夢の通信「量子暗号」2007年2月6日、東京新聞他

2. 「三菱電機と北大 単一光子源量子暗号システムで80km 原理検証実験に成功」レーザーフォーカスワールド2月号ニュース覧 (p10)

3. 「80 km の原理検証に成功 北大と三菱電 単一光子源で安全強化」2007年1月16日、日刊工

業新聞

4. 「量子暗号の発信器 室温で安定動作 長距離通信に道」2007年1月16日、日経産業新聞
5. 「未来のコンピューターへ一歩 「光量子ゲート」開発に成功」線形光学量子ゲートに関する記事 2006年10月26日、毎日新聞他
6. 「光量子回路実現へ前進 コンパクトで安定実現 竹内北大助教授らゲート素子を開発」線形光学量子ゲートに関する記事(一面トップ)2006年10月21日、科学新聞
7. 「Computers yet to make quantum leap / Progress so far calculated by downsizing process but next frontier unknown, 」2006年5月17日、Japan Times
8. 「夢見たものは今 団塊世代のアイコン /進化に無限の可能性 スパコンを超える怪物も」, 光量子計算の研究紹介、2006年5月6日~7月2日、京都新聞他
9. 「情報通信研究2件に助成」2006年4月26日、北海道新聞
10. 「Making the switch to quantum computing」線形光学量子ゲートに関する記事2006年4月10日、The Japan Journal (1頁)

③ その他

1. 光子を用いた量子回路へ向けてー量子ゲート素子、単一光子源、光子数検出器ー量子情報通信第3部 第1章 pp219-237 オプトロニクス社
2. 竹内 繁樹: 2005年光学界の進展 「6. 量子光学・非線形光学」 35巻4号 pp187-188,2006/4/10(社)応用物理学会分科会日本光学会
3. 岡本亮:経路干渉を不用とした光量子制御ノットゲート 75巻11号 pp1340-1344,2006/11/10(社)応用物理学会
4. 竹内繁樹:量子コンピューターその本質と、最近の研究展開 47巻12号 pp1311-1316(社)情報処理学会

平成17年度:

① 受賞 2件

1. 竹内 繁樹;文部科学省 平成17年度科学技術分野の文部科学大臣表彰 若手科学者賞、「応用物理学分野における光子を用いた量子情報通信処理の研究」(2005.4.20)
2. 竹内 繁樹;応用物理学会(日本光学会)光学論文賞、「パラメトリック蛍光対の動的制御による単一光子源の実現」(2006.3.23)

② 新聞報道 10件

1. S. Takeuchi;“Making the switch to quantum computing”, The Japan Journal, Vol.2, No.12, pp.25 (2006).

2. 竹内 繁樹;「問題 3「次の 200 桁の数字を素因数分解するとどうなるか、□内を 0.1 秒以内で埋めなさい。」」、MeSci Magazine (ミーサイマガジン) /計算のロマン! おはじきから量子コンピュータまで Vol.10、pp.34-41、日本科学未来館:企画・編集・発行、毛利 衛:発行人 (2005).
 3. 竹内 繁樹;「量子コンピューター 夢の計算機へ接近」、東京新聞 (2005.11.1)
 4. 竹内 繁樹;「量子コンピューター 夢の計算機へ接近」、中日新聞 (2005.11.1)
 5. 竹内 繁樹;「未来のコンピューターへ一歩 「光量子ゲート」開発に成功」、毎日新聞 (2005.10.26)
 6. 竹内 繁樹;「光量子回路実現へ前進 コンパクトで安定実現 竹内北大助教授らゲート素子を発見」、科学新聞 (2005.10.21)
 7. 竹内 繁樹;「光量子ゲート素子開発 北大グループ回路形成が可能に」、化学工業新 (2005.10.17)
 8. 竹内 繁樹;「小型光量子ゲート素子 北大など動作検証 量子計算機実現に前進」、日刊工業新聞 (2005.10.13)
 9. 竹内 繁樹;「JST がコンパクトな光量子ゲート素子を考案」、Laser Focus World JAPAN (2005.10.13)
 10. 竹内 繁樹;「量子コンピューター実現へ一歩」、読売新聞 (2005.10.13)
- ③ その他
1. 竹内 繁樹: IV 3-5「光子の発生・検出と光子量子回路への応用」 (IV. 情報・通信の未来を拓く光技術 3)量子情報通信) 光科学研究の最前線 (Frontiers in Optical Science) 強光子場科学研究懇談会 pp278-279
 2. 竹内繁樹:実用的な量子コンピューター実現への道程 -横たわるボトルネックと、光子を用いる方法の現状- 74巻8号 pp1069-1074, 2005/8/10 社)応用物理学会
 3. 竹内繁樹:光子量子回路の実現に向けて:量子ゲート素子と光子数検出器 24巻285号 pp154-157,2005/9/10

平成 16 年度:

- ① 受賞 なし
- ② 新聞報道 なし
- ③ その他
 1. 竹内 繁樹:「量子理論を実証! 量子コンピュータの実現に向けて」『科学者になる方法 -第一戦の研究者が語る』pp.24-30, 2005/1/31
 2. 竹内 繁樹:「光子を使った量子計算」日経バイト 2004/5/22

3. 竹内 繁樹:「夢を語る研究者たち」(3)竹内繁樹 JST サイエンスチャンネル (放送)2004/4/1
4. 竹内 繁樹:量子コンピュータ 超並列計算のからくり(講談社)2005/2/20
5. 竹内 繁樹:線形光学素子を用いた量子コンピューティング 33巻5号 pp284(22)-290(28),2004/5/10 社)応用物理学会分科会日本光学会

平成 15 年度:

- ① 受賞 なし
- ② 新聞報道 なし
- ③ その他
 1. 「世界一明るい、単一光子源を開発」JNNB (Japan Nano Net Bulletin) 2003/11/1
 2. 「量子暗号通信、光素子の開発盛ん」日経先端技術 37, 2003/5/12
 3. 竹内 繁樹:4.15 量子コンピュータナノテクノロジー大辞典 2003/12/23 工業調査会 505-513
 4. 竹内 繁樹:II 量子計算と量子情報理論 量子計算の実験 pp57-63,2003 年 4 月発行サイエンス社
 5. 竹内 繁樹:V 量子情報通信 量子計算・量子情報通信の未来と展望 pp191-198,2003 年 4 月発行 サイエンス社
 6. 竹内 繁樹:特集:光技術の極限をめざして 量子コンピューター -光の量子的な性質の究極の応用- 26巻1号 pp53-57,2003 新技術コミュニケーションズ

3)平野グループ:

平成 20 年度:

- ① 受賞 なし
- ② 新聞報道 なし
- ③ その他:2 件
 1. 量子力学「粒子と波動」、平野琢也、数理科学2008年11月号
 2. ブックレビュー「対称性:レーダーマンが語る量子から宇宙まで」、平野琢也、日経サイエンス、2008年8月号、p.134 (2008).

平成 19 年度:

- ① 受賞 なし

② 新聞報道 なし

③ その他:1件

1. ブックレビュー「そして世界に不確定性がもたらされた」、平野琢也、日経サイエンス、2008年1月号(2008).

平成18年度:

① 受賞 なし

② 新聞報道 なし

③ その他:3件

1. 「コヒーレント光とホモダイン検波による量子鍵配送」,平野琢也, 川元洋平, 並木亮, 「量子情報通信」, 分担, オプトロニクス社, p.179-204 (2006).
2. 「真空雑音を制御する:直交スクイーズド光の発生と検出」,平野琢也, 月刊オプトロニクス, 2006年10月号:連載「基礎からの量子光学」第10回, vol. 25, No. 298, p.168-175 (2006).
3. 「量子限界の克服:光のスクイーズド状態」,平野琢也, 月刊オプトロニクス, 2006年9月号:連載「基礎からの量子光学」第9回, vol. 25, No. 297, p.165-170 (2006).

平成17年度:

① 受賞 なし

② 新聞報道 なし

③ その他:3件

1. 「量子光学」,平野琢也, 「物理学大事典」分担, 朝倉書店, p.547-561 (2005).
2. 「非古典的光」,平野琢也, 光科学研究の最前線(Frontiers in Optical Science), 分担, 「光科学研究の最前線」編集委員会 編集, pp.12-13 (2005).
3. ブックレビュー特集「量子科学を読む」,平野琢也、日経サイエンス、2005年12月号, p.126-127 (2005).

平成16年度:

① 受賞 なし

② 新聞報道 なし

③ その他:3件

1. 「光学から見た量子通信・鍵配布」, 並木亮・平野琢也、光学、vol. 33, no.8, p.448-453

- (2004).
2. ブックレビュー「量子のからみあう宇宙」、平野琢也、日経サイエンス、2004年12月号、p.118 (2004).
 3. 「2003年光学界の進展:6. 量子光学・非線形光学」、平野琢也、光学、vol. 33, no.4, p.213-214 (2004).

平成15年度:

- ① 受賞 なし
- ② 新聞報道 なし
- ③ その他:1件

1. 「パルス光を用いた量子通信実験」、平野琢也、応用物理学会誌、vol. 72, no.2, p.163-168 (2003).

(5)その他特記事項

§7 研究期間中の主な活動

ワークショップ・シンポジウム等

1)井元グループ:

年月日	名称	場所	参加人数	概要
07/11/28	井元研究室セミナー	基礎工学研究科 D404-408	23	講演者:Mark Simon Tame 講演者所属:QTeQ Quantum Technology at Queen's Dept. of Applied Mathematics and Theoretical Physics Queen's University Belfast 題目:Measurement-based QIP with minimal resource graph states
07/9/25-26	CREST 洞爺湖井元チームミーティング	洞爺湖	50	
06/12/5	CREST 講演会	基礎工学研究科 G 棟 G508 室	25	講演者:Michal Horodecki 講演者所属:Institute of Theoretical Physics and Astrophysics, University of Gdansk, Poland 題名:Negative Information

2) 竹内グループ:

年月日	名称	場所	参加人数	概要
2007/7/2	電子研学術講演会	北海道大学 電子科学研究 所 講堂	30	講演者: Jungsang Kim 教授 講演者所属: Duke University 題目: Integrated optical approach to quantum information processing
2004/10/20, 22	チームミー ティング	北大電子科 学研究所 (20日)、北 大理学部 (22日)	電子研 (50名) 理学部 (150名)	趣旨: 北大グループの研究実施場所 で開催する井元チームミーティング に、量子光学研究の権威である霜田 光一先生(東大名誉教授)をお招き し、研究に関してのアドバイス・知識提 供を頂く。 内容: 量子光学研究の歴史的展開に ついて。最近の量子光学に関する考 察について。

3) 平野グループ:

年月日	名称	場所	参加人数	概要
2007/12/3	Peter D. Drummond & Margaret Reid 講演会	学習院大学 理学部会議 室	約 20 名	“Universal thermodynamics of strongly interacting Fermi gases” & “The Einstein-Podolsky-Rosen paradox and other aspects of nonlocality”

§ 8 結び

【結び】

本プロジェクトの研究成果は主要新聞各紙から「子供の科学」まで、海外では Scientific American、IOP、IEEE まで、報道と紹介記事に事欠かなかった。研究目標であった(1)4光子以下の量子情報処理、(2)4光子以上の量子演算、(3)連続量と光子 qubit のハイブリッド量子情報処理についてそれぞれ最新成果を記す。

- (1)DFS 利用雑音除去(Nature Photonics2008)、クラスター ステート一方向量子計算(PRL2008)、新量子暗号(PRL2007)
- (2)NOON ステートによる標準量子限界の打破(Science2007)、量子もつれフィルター(投稿中)、多次元量子状態制御 (PRL2008)
- (3)ホモダイン量子暗号(PRL2008,PRA2006)、連続量エンタングルメント発生実験(投稿中)

これら最新成果に至る本 CREST の研究成果は他にも PRL,PRA,NJP,OptExp,OptLett,APL 等多数あることは言うまでもない。良い成果が出ることを予想していたとはいえ、上述の結果は報告者の予想期待値より上であった。グループごとの成果のみならず、グループ間共同研究活動としては阪大・学習院間で PRL,2PRA の共著論文を公表できた。

これらの成果を統合して多者間量子情報処理を行うことは本プロジェクトの夢である。その方向で実

現できることについても検討していたが、簡単なものとしてはたとえば3者があらかじめエンタングル種をいくつか共有しておけば後は古典通信だけでそれを GHZ にするか W にするか制御できることがわかった(実験結果投稿中)。実際に離れた3グループ間での実験を行うのは困難なので、離れたサイト間の実験は2者間でできることから考えるのが妥当であろう。そこで本チーム解散後も今後可能な研究協力として、豊中の阪大グループと阪大吹田キャンパスの北大グループ間の量子通信実験も検討することになった。

本 CREST のスキームにより3グループの研究がそれぞれ飛躍的に進展したことは言うまでもない。また当然のことながら将来に向けての人脈が学生・若手からリーダーまで形成できた。グループ間での研究上の意見交換やノウハウ交換も活発に行われた。参考までにチームミーティングとして最大イベントであった洞爺湖でのミーティング(いわば光量子情報の洞爺湖サミット)の写真を添付する。

チームミーティングや意見交換は或る程度予想されたことであるが、このプロジェクトで非常に有意義だったのは、共著論文を含めた実質的な共同研究が行われたこと、また上述した通り今後の共同企画の芽が生まれたことである。これらのことは本 CREST のスキームがなければ実現しなかったことである。

本 CREST プロジェクトの企画・遂行にあたり、山本喜久統括に多大なるご指導をいただき便宜を図っていただいたことに大いなる感謝の念を表したい。ご多忙なところをサイトヴィジットされ、有益な助言をいただいた。同じことは領域ミーティングにおけるアドバイザーの方々にも言える。また統括におかれては通常時も何かと研究者の研究が進むようにという方向で取りはからっていただいた。JST 本部もそうであったし、統括の方針が領域の両参事をはじめチーム事務員を含めた事務スタッフにも伝わったためと考えられるが、スタッフの方々には日々遂行される仕事に加えて並々ならぬご理解・助力をいただいた。これが研究遂行上大変助けになったことは強調してもし過ぎることはない。これは JST 以外の研究基金スキームにはなかなか見られない現象ではないかと思われる。グループリーダー達を含めたチームの研究者を代表して、関係する全ての方々に感謝の意を表したい。