

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

「量子ネットワークへ向けた量子エンタングルメント制御」

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: 古澤 明

(東京大学大学院工学系研究科 教授)

§ 1 研究実施の概要

本研究代表者は、カリフォルニア工科大学物理学科キンブル研究室において、量子エンタングルメントを用いた量子情報（波動関数）の伝送である量子テレポーテーションの研究に従事し、1998年連続量量子テレポーテーション実験に世界で初めて成功した。その後2000年より、東京大学大学院工学系研究科物理工学専攻に移り、継続して研究を行っている。

連続量量子情報実験の利点は、他の多くの実験に見られるような「条件付き」（コンディショナル）ではなく、「無条件」（アンコンディショナル）であることである。つまり、入力（された状態）に対する出力（状態）が常に存在し、後の測定により選別（ポストセレクション）する必要がないと

いう意味で高効率である。また、測定としてホモダイン測定を用いることができるため、量子効率を1に近づけることができ、測定においても非常に高効率である。

本研究では、これらの特徴を有する連続量量子情報に関して以下に示す①-⑥の課題について研究を行った。個々の課題の詳細な説明に移る前に、この研究提案全体をマルチパーティットエンタングルメントおよび量子エンタングルメントの度合いの観点から概観した図0を示す。マルチパーティットエンタングルメントについては何者間であるかと

いう尺度であり、量子エンタングルメントの度合いは必要とされるスクイーミングの度合い（ $r : e^{-2r}$ のスクイーミング、 $r=0.35 : -3\text{dB}$ のスクイーミング）となっている。課題番号が大きいほど、マルチパーティットエンタングルメントがより多者間であるか、あるいは量子エンタングルメントの度合いが高くなっており、より高度な量子プロトコルを行っていることがわかる。

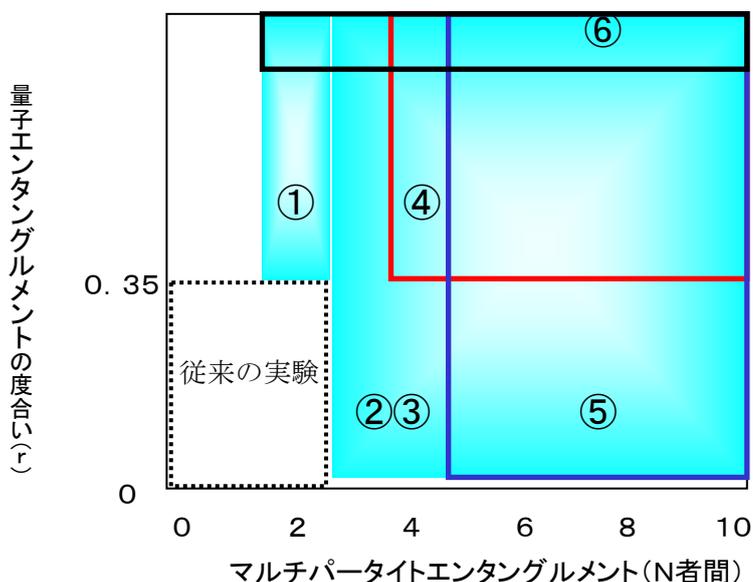


図0 研究提案概観図

- ① 量子テレポーテーションの高フィデリティ化
- ② マルチパーティットエンタングルメントの生成および検証
- ③ 量子テレポーテーションネットワーク
- ④ 量子エンタングルメントスワッピング
- ⑤ 量子エラーコレクション
- ⑥ 非ガウス型量子エンタングルメント制御への拡張

①量子テレポーテーションの高フィデリティ化

1998年の量子テレポーテーション実験は古典的限界フィデリティ（送られた状態の忠実度、大雑把に言って入力状態と出力状態の内積）0.5を破ったという意味では成功であったが、もう少し高度な量子プロトコル、例えば後述する量子エンタングルメントスワッピングを行うにはフィデリティが不足している。この境界はフィデリティ 0.67 (2/3) にあり、これを超えた量子テレポーテーションの達成が望まれていた。

本研究においては、高レベルスキューズの実現とテレポーテーション実験系における位相ロックの高性能化により、フィデリティ 0.67 達成を目指した。結果として-9 dB の高レベルスキューズを実現し、フィデリティ 0.83 を得ることができた。

②マルチパーティットエンタングルメント（多者間の量子エンタングルメント）生成および検証

量子情報を送信者（Alice）と受信者（Bob）の2者間でやり取りする量子テレポーテーション実験については上で述べたとおりであるが、本研究では、それを拡張して多者間での量子テレポーテーションのリソースや複雑な操作を可能とするマルチパーティットエンタングルメントについて研究を行った。その結果、9者間の量子エンタングルメントまで生成することができ、後述する量子エラーコレクションを行うことができた。また、新たなタイプのマルチパーティットエンタングルメントである量子クラスター状態の生成に成功した。

③量子テレポーテーションネットワーク

2者間の量子テレポーテーション実験は成功しており、理論的にもかなり確立している。それに対し、多者間量子テレポーテーションー量子テレポーテーションネットワークに関しては、理論的な提案があるだけで、実験の報告は存在していない。原理的には、2者間の量子テレポーテーションを多者中の任意の2者間で行えば良いので、方法としては確立しているようにも考えられる。しかし、実験的にはこの方式でN者間テレポーテーションネットワークを構成しようとする、 $N(N-1)$ 個のスキューズド光が必要となる。例えば、 $N=3$ つまり3者間のネットワークを構成するためだけでも6つのスキューズド光が必要となり、実験的には困難となる。それに対し、(2)で述べたマルチパーティットエンタングルメントを用いれば、必要なスキューズド光の数はN個で済み、実験的には大きな利点がある。

本研究では、マルチパーティットエンタングルメントを用いた量子テレポーテーションネットワーク実験を行い、その実験を成功させた。また、別の形の量子テレポーテーションネットワークである量子テレクロニング実験にも成功した。

④量子エンタングルメントスワッピング（量子エンタングルメントのテレポーテーション）

コヒーレント状態を、フィデリティ 0.5 を超えて伝送することが、量子テレポーテーション成功の必要十分条件となっているが、入力が送り手側（Alice側）で消滅してしまうため、受け手側（Bob側）での出力状態と比較することができず、量子コヒーレンス伝送を実

際に確認するには至っていない。そこで本研究では、入力状態として量子エンタングルド状態 (EPR ペア) の片方を用いて量子テレポーテーションを行い、出力と残ったもう片方 (いずれも Victor が持っている) との相関を測定することにより、入出力間の量子コヒーレンスの有無を確認すること (量子エンタングルメントスワッピングと呼ばれる) を目標に研究を行った。これにより量子テレポーテーションの物理の深い理解につながるだけでなく、量子エンタングルメントの伝送という量子通信上の意味もある。本研究の結果、この実験を成功させることができた。したがって、量子コヒーレンスの伝送の検証だけでなく、量子エンタングルメントを連続量の手法で伝送できることが示された。

⑤量子エラーコレクション

量子情報技術を真の意味で実用化するためには、量子エラーコレクションが不可欠である。これは、量子情報 (波動関数) がデコヒーレンスとよばれる環境との相互作用により破壊され易いからである。量子エラーコレクションに関しては理論的な提案はいくつかあるが、現時点では実現されているとは言い難い。そこで、連続量の量子エンタングルメントを用いた量子エラーコレクションに関して理論的実験的研究を行った。

その結果、Shor の 9 ビットエラーコレクションコードの連続量版 (S. L. Braunstein, Nature **394**, 47 (1998)) の実験に成功した。これは量子エラーコレクションが可能であることを示しただけでなく、9 者間の量子エンタングルメントを生成し、それを使って見せたという意味でも非常に大きな成果である。

⑥非ガウス型量子エンタングルメント制御への拡張

ここまで述べてきた①-⑥の課題は、全て直交振幅のスクイーズド状態とホモダイン測定からなるシステムに基づいて進められる。測定で得られる確率分布は常にガウス分布で、量子状態の変換も全てガウス状態の中でのみ行われる。このような操作は広範な量子情報処理のごく一部の可能性にしか過ぎないことは周知の事実である。そこで探索的課題として、スクイーズド光に光子検出を適用することによって可能となる非ガウス型の量子状態制御の手法を理論、実験両面から追求した。

具体的には、光子検出による非ガウス型量子状態生成と、その手法を用いた量子エンタングルメント増強の研究、さらに光子数識別器開発を行った。非ガウス型量子状態生成として、スクイーズド光から 1 個ないし 2 個の光子を引き去る (検出する) ことにより、それぞれ $|\alpha\rangle - |-\alpha\rangle$ (マイナス猫状態)、 $|\alpha\rangle + |-\alpha\rangle$ (プラス猫状態) の生成に成功した。量子エンタングルメント増強は、2 モードからプラス猫状態を生成するのと等価であるから、ほぼ達成したといえる。

§ 2 研究構想及び実施体制

(1) 研究構想

研究開始時に設定したのは以下の6テーマである。これを5年間掛けて掘り下げて研究を行うことが、本研究の基本姿勢であり、終了に至るまで一貫してそれを行った。

- ①量子テレポーテーションの高フィデリティ化
- ②マルチパーティットエンタングルメントの生成および検証
- ③量子テレポーテーションネットワーク
- ④量子エンタングルメントスワッピング
- ⑤量子エラーコレクション
- ⑥非ガウス型量子エンタングルメント制御への拡張

ここで、①-⑤のテーマは主に東大グループが担当し、⑥は NICT グループが担当した。お茶の水女子大グループは全体に跨る理論的研究を行った。

(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
東大グループ	古澤 明	東京大学大学院 工学系研究科物理工学専攻・教授	ガウス型量子エンタングルメント制御の研究
NICT グループ	佐々木 雅英	独立行政法人 情報通信研究機構 第一研究部門 新世代NW研究センター 量子 ICT グループ	非ガウス型量子エンタングルメント制御の研究
お茶の水女子大学グループ(旧:日立グループ)	番 雅司	お茶の水女子大学・大学院 人間文化創成科学研究科・教授(旧:日立製作所・基礎研究所・主任研究員)	量子情報の基礎物理に関する理論的研究

§ 3 研究実施内容及び成果

3.1 ガウス型量子エンタングルメント制御の研究(東京大学グループ)

(1) 研究実施内容及び成果

①量子テレポーテーションの高フィデリティ化

量子テレポーテーションのフィデリティ向上には2つの重要な要因がある。1つは量子テレポーテーション装置の機械的安定性であり、もう1つは量子エンタングルメントを生成するために用いるスクイーズされた真空場のスクイージングレベルである。仮に完全な機械的安定性が得られたとすると、 $F = 1/(1 + e^{-2r})$ という関係になっている (e^{-2r} はスクイージングレベルである)。

研究開始当初は、機械的安定性を高める努力をし、ほぼ完全な機械的安定性、つまりスクイーミングレベルとフィデリティがほぼ理論式の関係になるようにした。このとき安定して得られるスクイーミングレベルは約 4dB であり、それに相当するフィデリティ $F=0.70$ を得た（非線形光学結晶としては KNbO_3 を用いた）。これは当時の世界最高値であり、 $F=2/3$ というクローン禁止限界を超えていたため、非古典性の量子テレポーテーションが可能となった。また、連続した複数回の量子テレポーテーションが可能となった。

ただし、当時用いていた非線形光学結晶 KNbO_3 では、安定して得られるスクイーミングレベルの最高値は約 4dB 程度だったため、フィデリティとしては $F=0.7$ 程度が限界値であった。そこで、新しい非線形光学結晶の探索に着手した。その結果、疑似位相整合非線形光学結晶である PPKTP を用いれば、スクイーミングレベルをさらに上げられることを見出し、現時点で約 9dB のスクイーミングレベルを得ている（図 1 : S. Suzuki et al., Appl. Phys. Lett. **89**, 061116 (2006), Takeno et al., Opt. Exp. **15**, 4321 (2007)）。したがって、理論的にはフィデリティを $F=0.89$ まで上げることが可能となった。このように高レベルのスクイーズの場合、量子テレポーテーション装置に要求される機械的安定性はさらに高まり、現時点では要求される機械的安定性には到達していないが、それでも $F=0.83$ の高いフィデリティを得ている (M. Yukawa et al., Phys. Rev. A **77**, 022314 (2008))。この高フィデリティ量子テレポーターのデモンストレーションとして、スクイーズド状態の量子テレポーテーションを行い、世界で初めて成功した (H. Yonezawa et al., Phys. Rev. Lett. **99**, 110503 (2007))。これは、非古典状態の量子テレポーテーションの初めての例である。また、2 回連続の量子テレポーテーションに成功した (H. Yonezawa et al., Phys. Rev. A **76**, 032305 (2007))。

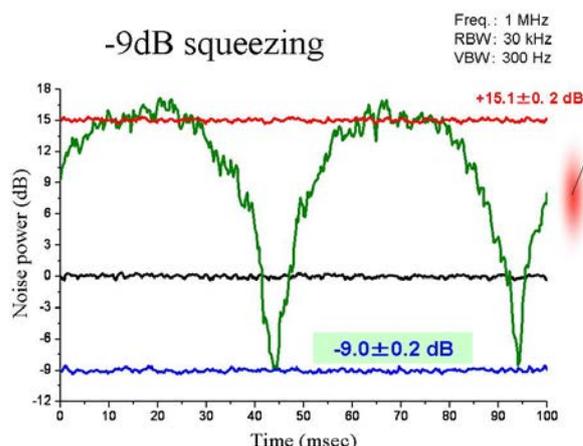


図 1 : 9dB スクイーミング

②マルチパーティトエンタングルメント（多者間の量子エンタングルメント）生成および検証

③量子テレポーテーションネットワーク

2 種類のマルチパーティトエンタングルメントを生成し、それらを用いた 2 種類の量子テレポーテーションネットワーク実験を行った。以下それぞれについて述べる。

1 つは連続量版グリーンバーガー・ホーン・ザイリンガー (GHZ) 型 3 者間量子エンタングルメントを 3 つのスクイーズされた真空場と 2 つのビームスプリッターを用いて生成した。GHZ 型量子エンタングルメントの特徴は、3 者間には量子エンタングルメントが存在するが、2 者間には存在しないことである。

生成した GHZ 型 3 者間量子エンタングルメントを用い、3 者間で量子テレポーテーションをしよう量子テレポーテーションネットワークを構築し、実験を行った。実験は成功し、大きな注目を集めた（図 2 : H. Yonezawa

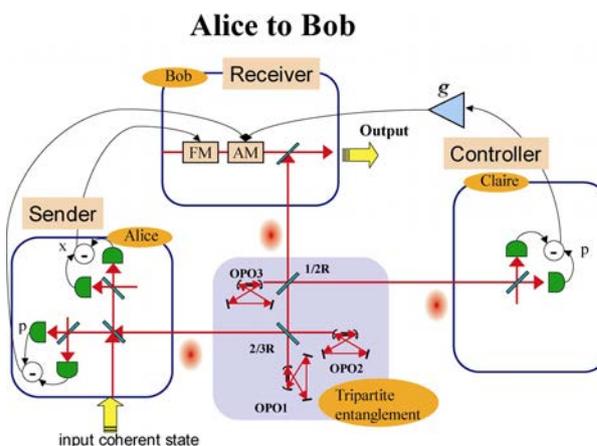


図 2 : 量子テレポーテーションネットワーク実験

et al., Nature **431**, 430 (2004)).

もう1つは、連続量版 W 型 3 者間量子エンタングルメントを 2 つのスクイーズされた真空場と 2 つのビームスプリッターを用いて生成した。この量子エンタングルメントの特徴は、3 者間量子エンタングルメントと 2 者間量子エンタングルメントが同時に存在することである。ただし、量子ビットの場合と異なり、量子エンタングルメントの度合いは理論上も最大とはならない。

生成した W 型 3 者間量子エンタングルメントを用い、1 つの入力を 2 人の受信者に送る量子テレクローニング実験を行った。これはある種の量子テレポーテーションネットワークと見なすことができる。また、量子エンタングルメントが最大の度合いとはならないことは、クローン禁止定理を破らない保証ともなっている。つまり、受信者に現れるクローンは、クローン禁止定理に反しない近似クローンである。実験は成功し、大きな注目を集めた (図 3 : S. Koike et al., Phys. Rev. Lett. **96**, 060504 (2006))。

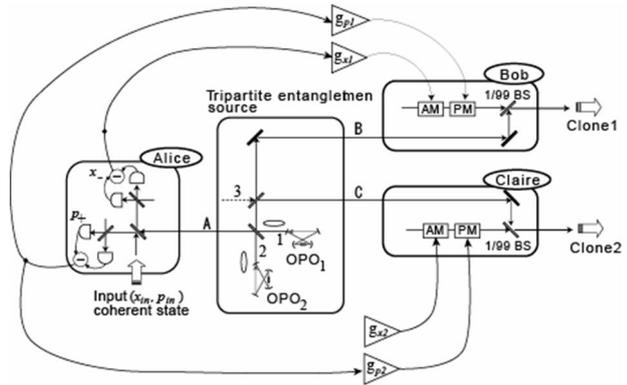


図 3 : 量子テレクローニング実験

新しい量子情報処理のパラダイムとして、量子クラスター状態を用いた one-way 量子コンピューティングが提案されている。ここで、量子クラスター状態とは、マルチパーティットエンタングルメントの一種であり、one-way 量子コンピューティングとは、量子テレポーテーションの一般系であり、補助系、エンタングルメント、測定およびフィードフォワードを含む処理となっていて、測定を伴うので、不可逆となることから名付けられた。我々は、4 つのスクイーズド光を 3 つのビームスプリッターで合波することにより、3 つのタイプの 4 モード量子クラスター状態を生成した。(図 4 : M. Yukawa, Phys. Rev. A **78**, 012301 (2008))

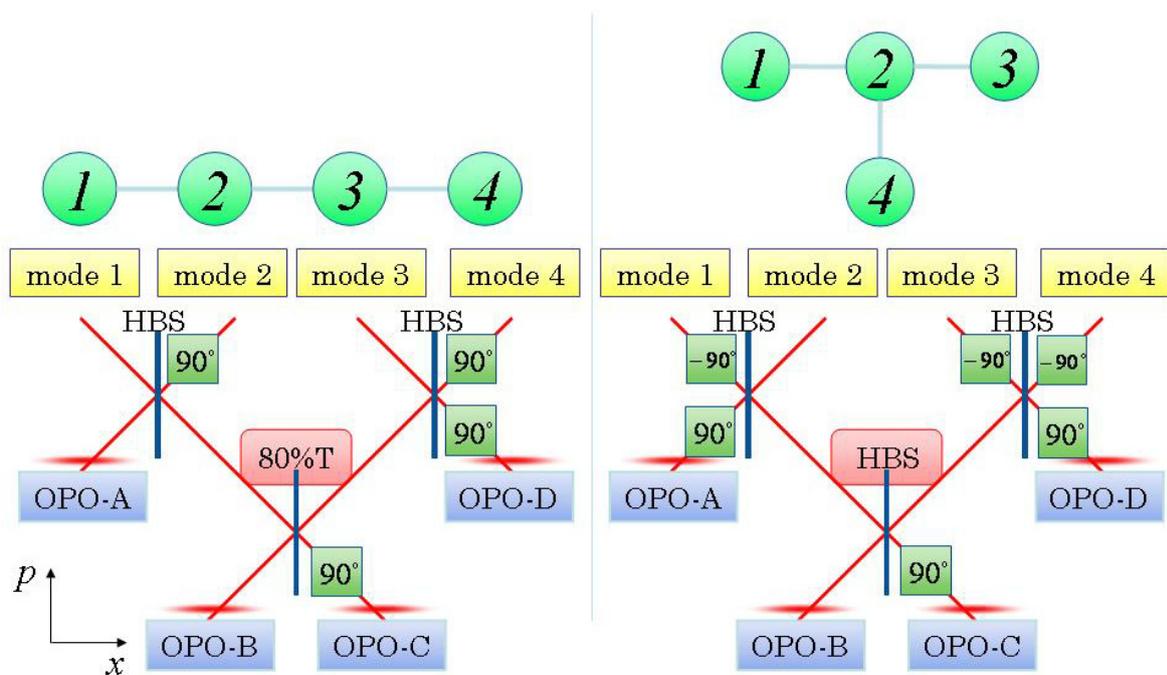


図 4 スクイーズド光による 4 モード量子クラスター状態生成。

④量子エンタングルメントスワッピング

量子エンタングルメントスワッピングとは、エンタングルした量子系対の片方をテレポートし、その出力と、最初にテレポートしなかった量子系対のもう片方との間に量子エンタングルメントが生じることである。別の言い方をすると、量子エンタングルメントのテレポーテーションである。我々は、4つのスクイズされた真空場を生成し、2つを用いて量子テレポーテーションリソースの2者間量子エンタングルメント (EPR ビーム) を生成し、残りの2つを用いて入力と参照の量子系対を生成した。実験は成功し、大きな注目を集めた (図5: N. Takei et al., Phys. Rev. Lett. **94**, 220502 (2005))。

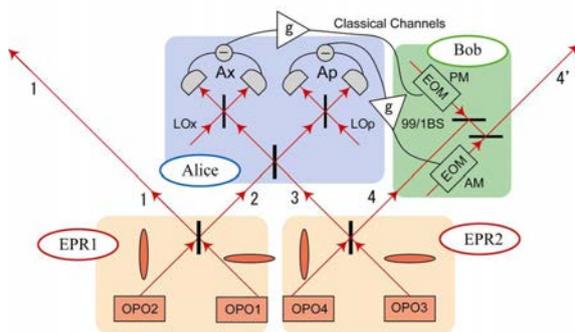


図5：量子エンタングルメントスワッピング実験

⑤量子エラーコレクション

この量子エラーコレクションはShoreの9量子ビットコードの連続量版であり、9モードの量子エンタングルメント、つまり現時点で実現可能な高いレベルでのマルチパーティットエンタングルメントの生成およびその応用といえる。我々は、4つの光パラメトリック発振器を作製し、それらをダブルポンプすることにより、8つのスクイズされた真空場を生成し、さらにそれらを8つのビームスプリッターを用いることにより入力光と合波し、9モードの量子エンタングルメント生成に成功した。さらに、それらをディスエンタングルすることにより、エラーシンドローム測定に成功した。最終的に、これらを組み合わせた量子エラーコレクション実験にも成功した (図6: 論文投稿中)。また、この論文投稿と前後し、この量子エラーコレクション法の有用性を見出し、併せて投稿中の実験の論文に記載した。

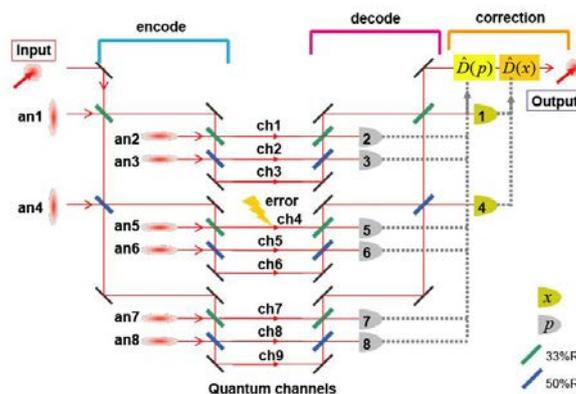


図6：量子エラーコレクション実験



量子エラーコレクション実験系写真

以上のように、提案時に本グループが掲げたテーマはすべて実現した。

(2)研究成果の今後期待される効果

今後は、NICT 主導で行った非ガウス型量子情報処理と合わせ、万能型量子情報処理を目指す。具体的には、偏光量子ビットの量子テレポーテーションを連続量の手法を用いて行う。それが可能となれば、離散量(量子ビット)と連続量を統合することができ、真の意味での万能型量子情報処理となる。

これらの成果は、単に量子情報技術の進歩のみならず、量子力学の深い理解へとつながっている。

3.2 非ガウス型量子エンタングルメント制御 (NICT グループ)

(1)研究実施内容及び成果

直交位相振幅スクイーズド状態とホモダイン測定から得られる状態は、常にガウス状態であり、これらで可能な量子状態変換も全てガウス状態の中でのみ行われる。このような操作は広範な量子情報処理のごく一部であり、いくつかの重要な量子プロトコルは本質的に非ガウス型の量子状態や量子制御を必要とすることが知られている。本課題では、光子検出器を用いた非ガウス型量子制御法を確立した。光子検出や光子数識別は、入力を光子数状態へ射影するという典型的な非ガウス型の測定過程である。具体的には次の課題に取り組んだ。

- ① 1光子検出による奇パリティ・シュレーディンガーの猫状態の生成
- ② 2光子検出による偶パリティ・シュレーディンガーの猫状態の生成と重ね合わせサイズの制御
- ③ ガウス状態のエンタングルメント蒸留
- ④ 光子数識別器の開発

以下、課題ごとの成果を述べる。

① 1光子検出による奇パリティ・シュレーディンガーの猫状態の生成

スクイーズド光からの1光子検出事象を用いて、奇パリティ・シュレーディンガーの猫状態を生成した。また、本課題の遂行により、続く課題②、③を遂行する上で必要な基礎理論と技術を確立した。

<実施内容と成果>

巨視的な状態の量子的な重ね合わせ状態に関する議論は、1935年のシュレーディンガーの思考実験にちなみ、しばしば「シュレーディンガーの猫状態」と呼ばれている。そのような状態を生成・制御・観測することは、量子力学を検証する実験として基礎科学上重要であるのみならず、近年では様々な量子情報処理技術の実現にも不可欠な要素技術であることが指摘されている。特に光の進行波においてコヒーレント状態の重ね合わせを生成、制御することは、量子ネットワークを構成する基礎技術としても極めて重要である。進行波のシュレーディンガーの猫状態は、図3-2-1のようなスキームで生成できる。まずスクイーズド光の一部(数%)を高透過率のビームスプリッターで取り出して光子検出器へと導く。分割されたビームには量子エンタングルメントが形成されており、光子が検出されたときのみ透過モードに、 $|\alpha\rangle - |-\alpha\rangle$ のように2つのコヒーレント状態 $|\alpha\rangle, |-\alpha\rangle$ を負の符号で重ね合わせ

た奇パリティ・シュレーディンガーの猫状態が生成される。透過光にはホモダイン測定を行い、光子検出イベントをトリガーとしてそのときの測定データから量子トモグラフィーを実行することで、光子検出時に生成された量子状態のウィグナー関数が再構成される。

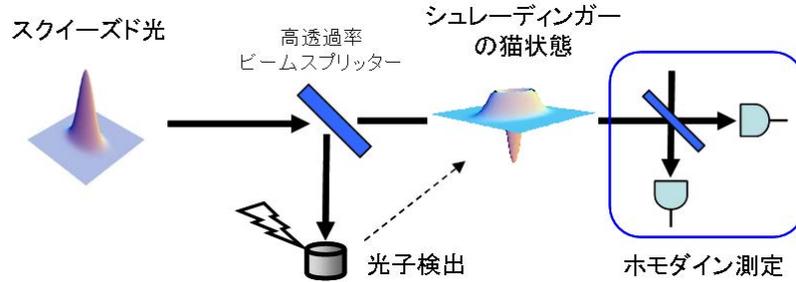


図 3-2-1 光子検出イベントによるシュレーディンガーの猫状態生成の概念図

シュレーディンガーの猫状態を生成し観測するためには、純度の高いスクイーズド光を生成し、さらに高い量子効率でホモダイン測定を行う必要がある。これらの条件を満たすには、パルスよりも連続波(CW)の方が都合がよい。一方、CW光源を用いた場合、光源と光子検出器のモード整合に関して注意を要する。すなわち、スクイーズド光は時間域において連続的であるのに対し、光子検出は時間軸においてほぼ瞬間的に起こる。従って光子検出があった場合、透過光ではシュレーディンガーの猫状態は時間的に局在して現れる。その波形は正確には、スクイーズド光のコヒーレンス時間で特徴付けられる指数関数で与えられる。そこで、ホモダイン検出器では時間領域で連続した光電流のデータにこの関数のフィルタリング処理を施すことで、生成された状態を適切に測定している。これらのモード整合に関する理論は、我々[1]とデンマークの Aarhus 大の理論グループが独立に確立した。

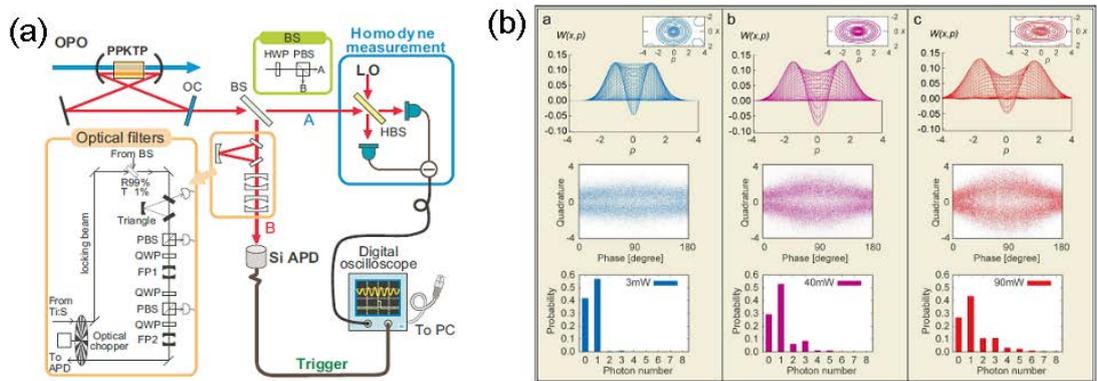


図 3-2-2 (a) 奇パリティ・シュレーディンガーの猫状態生成装置図。(b) 実験結果。

図 3-2-2(a)に実験系と結果を示す[2]。我々は周期分極反転 KTiOPO_4 (PPKTP) を用いた低損失・低雑音の OPO により、 -2.6dB のスクイージングにおいて純度 90%以上という高い純度の CW スクイーズド光を生成した。光子検出器には、市販のシリコンアバランシェフォトダイオード(Si-APD)を用いた。Si-APD の時間分解能は ns 以下であり、スクイーズド光のコヒーレンス時間 ($\sim 40\text{ns}$) に比べ十分短く前述の議論

が成り立っている。ところで OPO の位相整合は広く、スクイズド光は中心周波数付近の基本モード (FWHM \sim 10MHz) 以外にも数 100GHz の帯域に渡る多数のモードに生成され、これらのモードの光子は雑音となる。そこで、光子検出器前に 3 段階の共振器フィルターを置くことで、雑音光子を抑圧した。図 3-2-2(b) に実験結果を示す。OPO のポンプ強度を 3mW, 40mW, 90mW とした場合に観測されたシュレーディンガーの猫状態のウィグナー関数 (上段)、光子統計 (下段)、そしてホモダイン測定的时间データ (中段) である。ポンプ強度が 40mW のとき (真中上段)、ウィグナー関数が原点において $W(0, 0) = -0.083$ と極めて強い負の値を示していることがわかる。これは現在まで観測されている進行波シュレーディンガーの猫状態では最も大きな負値であり、生成された状態が最も強い非古典性を持つことを示している。

<成果の位置付け>

シュレーディンガーの猫状態の生成と観測は、実験物理の基本問題として様々な物理系で研究が進んでいる重要な課題である。光の進行波に関する実験は、2006 年にフランスの CNRS、デンマークの Niels-Bohr 研究所において成功していたが、我々は入力のスクイズド光の純度を高めることによりこれらよりも非古典性の強い状態の生成に成功した。原理の実証を超えて、種々の重ね合わせ状態を生成したり量子ネットワークへの応用を進める場合、このような高いクオリティの状態生成技術が不可欠であり、実際これにより課題②、③の遂行が可能となった。

一方で、これらの 3 実験に共通した原理的な問題として、重ね合わせられるコヒーレント状態 $|\alpha\rangle$ のサイズが $|\alpha|^2 \approx 1$ 程度と小さく、これをマクロな状態とみなせるかは疑問が残るところであった。このためこれはシュレーディンガーの「子猫」状態などとも呼ばれ、より大きなサイズの重ね合わせ状態の生成が待望された。我々は以下の課題②により、これを解決した。

<課題①の代表的な文献>

- [1] M. Sasaki and S. Suzuki, Phys. Rev. A 73, 043807 (2006).
- [2] K. Wakui, H. Takahashi, A. Furusawa, and M. Sasaki, Opt. Express 15, 3568 (2007).
- [3] S. Suzuki, K. Tsujino, F. Kannari, and M. Sasaki, Opt. Commun. 259, 758 (2006).

② 2 光子検出による偶パリティ・シュレーディンガーの猫状態の生成と重ね合わせサイズの制御

スクイズド光からの 2 光子検出事象を用いて、偶パリティ・シュレーディンガーの猫状態を生成した。その際、CW 光源において 2 つの光子の検出イベントに時間差をつけることにより、重ね合わせのサイズが増大するという新しい現象を発見し、その理論を確立するとともに、これを実験において世界で初めて実証した。その結果、進行波においては、現時点で世界最大のマクロな重ね合わせ状態の生成を実現した。

<実施内容と成果>

前述の実験では 1 光子検出のイベントをトリガーとすることで、奇パリティの重ね合わせ状態 $|\alpha\rangle - |-\alpha\rangle$ の生成に成功した。一方、検出光子が 2 光子の場合 (一般に偶数個の場合)、生成される状態は偶パリティの重ね合わせ状態 $|\alpha\rangle + |-\alpha\rangle$ になることが理論的に予想されていた。また後述のように、課題③のエンタングルメント蒸留のプロトコルにおいても 2 光子の検出が必要となる。これらの動機により、我々は課題①の CW スクイズド光の実験系の Si-APD を 2 つに増やし、2 光子検出による偶パリティ・シュレーディンガーの猫状態の生成に取り組んだ。

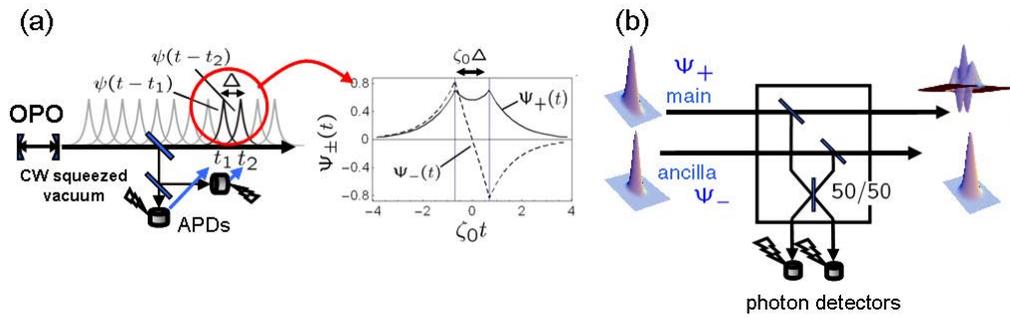


図 3-2-3 偶パリティ・シュレーディンガーの猫状態生成と補助状態によるサイズ制御。(a) CW スクイズド光と時間モード。(b) 等価的な 2 モードモデル。

CW 光源を用いた場合、2 つの光子が検出されるのは常に同時刻とは限らず、有限の差がありうる。当初、この時間差は状態のクオリティを下げるデコヒーレンス要因になると考えていた。ところが数値解析により、時間差の増大とともに重ね合わせサイズ α が増大するという意外な結果が得られた。この現象は現在では以下のように理解される [1-3]。2 光子検出がスクイズド光のコヒーレンス時間程度までの時間差で検出された場合、図 3-2-3 (a) のように透過光においてその影響が現れる 2 つの指数関数型の波束 $\psi(t-t_1)$ 、 $\psi(t-t_2)$ は互いにオーバーラップしたものとなる。これらの波束は 2 次元の時間モードを形成するが、ホモダイン測定で検出を行うのはそのうちの 1 モードのみである。そこで $\psi(t-t_1)$ と $\psi(t-t_2)$ を足し合わせたモード $\psi_+(t)$ を測定するメインモード、それに直交するモード $\psi_-(t)$ を最終的には測定しない補助モードとすると、これらの CW の時間モードは、図 3-2-3 (b) のような 50/50 ビームスプリッターを用いた空間モードのモデルで等価的に表すことができる。ここから、補助モードとビームスプリッターにより生じる量子干渉効果のため、2 光子検出のイベントは、メインモードの反射光にとって単なる 2 光子状態への射影ではなく、より複雑な偶数光子の重ね合わせへの射影となることがわかる。この新しい射影測定の過程は、実験では時間差 Δ によって制御可能であり、その結果 Δ を適切に選ぶことでよりサイズの大きなシュレーディンガーの猫状態の生成が可能になる (理論の詳細は [2, 3] 参照)。

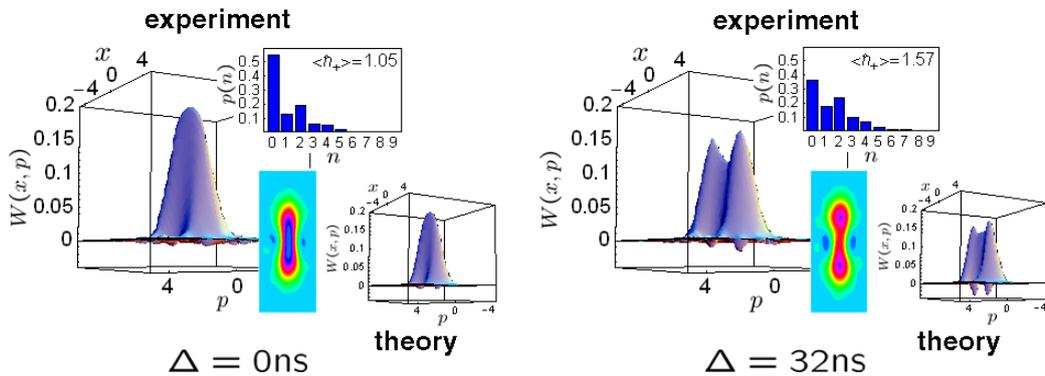


図 3-2-4 偶パリティ・シュレーディンガーの猫状態の生成とサイズ制御の実験結果

実験では、2光子が同時検出されるイベント数は1光子検出の確率の約2乗で極端に減少するため(数 count/sec)、光学系の位相ロックを長時間安定化させるための制御系の改良などを行った。実験結果を図3-2-4に示す[1]。系の不完全性を含めた数値解析ともよい一致が見られ、特に $\Delta=32\text{ns}$ では、 $|\alpha|^2=2.0$ というこれまでに世界最高のサイズの進行波のシュレーディンガーの猫状態において、負のウィグナー関数を観測することに成功した。今後実験精度が向上すれば、同じ方式で原理的には $|\alpha|^2=2.6$ 程度まで増大することが可能である。また、こうした補助状態の導入などの新しいアイデアを利用した重ね合わせ状態の純粋化[4]や制御法[5]の新しい理論提案も行っており、今後の新しい実験研究へ展開できるものと期待される。

<成果の位置付け>

本成果は、最大のサイズの重ね合わせ状態の生成に成功したことに加え、補助状態との量子干渉を導入した点、CW光の時間的なマルチモードの構造を初めて積極的に利用した点など、量子光学の物理としても新しい点が多く、世界の実験研究者、理論研究者の双方から注目を集めている。類似研究としては、フランス CNRS のグループにより行われた実験がある。彼らは2光子状態に条件付ホモダイン測定を行うことで、 $|\beta|^2 \approx 1.2$ 程度離れたスクイーズド状態の重ね合わせ状態の生成に成功している。これは、さらにアンチスクイージングを施すことで $|\alpha|^2=2.6$ まで増大できることがわかっている。ただし現実的には、光子数状態の生成、条件付ホモダイン測定、アンチスクイージングを同時に高い精度で行うことは現在の技術では困難だろう。しかし長期的に見れば、それぞれの手法にメリット、デメリットがあり、今後、より複雑な量子情報プロトコルへ応用していく際にどちらの方法が主流となるかは、これからの研究により明らかになっていくものと思われる。

<課題②の代表的な文献>

- [1] H. Takahashi, K. Wakui, S. Suzuki, M. Takeoka, K. Hayasaka, A. Furusawa, M. Sasaki, accepted for publication in Phys. Rev. Lett.
- [2] M. Takeoka, H. Takahashi, and M. Sasaki, Phys. Rev. A 77, 062315 (2008).
- [3] M. Sasaki, M. Takeoka, and H. Takahashi, Phys. Rev. A 77, 063840 (2008).
- [4] S. Suzuki, M. Takeoka, M. Sasaki, U. L. Andersen, and F. Kannari, Phys. Rev. A 73, 042304 (2006).
- [5] M. Takeoka and M. Sasaki, Phys. Rev. A 75, 064302 (2007).

③ ガウス状態のエンタングルメント蒸留 <実施内容と成果>

エンタングルメント蒸留は、非局所的な操作のみでエンタングルメントを増強するプロトコルであり、遠隔地でエンタングルメントを配信する量子中継を実現する上で必須となる技術である。偏光光子のエンタングルメントに対するエンタングルメント蒸留は既に様々な研究機関においてなされているが、連続量であるガウス状態に対するエンタングルメント蒸留に成功した実験は未だ報告されていない。ガウス状態は量子暗号などにおいても重要な役割を果たしており、その長距離化に必要な量子中継への第一歩として、エンタングルメント蒸留の実現が強く望まれている。ガウス状態のエンタ

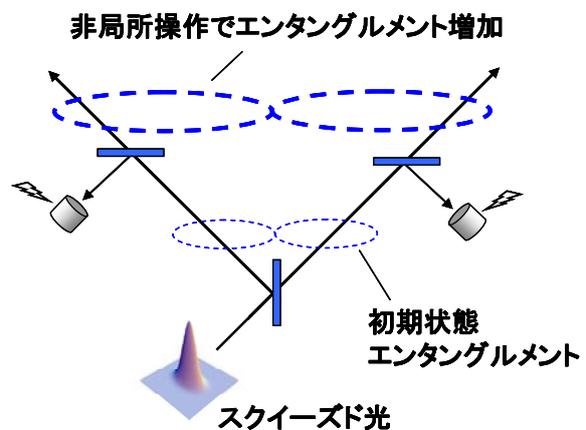


図3-2-5 光子検出器を用いたガウス状態のエンタングルメント蒸留

エンタングルメント蒸留は、非ガウス型の局所操作がなければ実行不可能であることが理論的に証明されている。非ガウス型操作である光子検出を使ったエンタングルメント蒸留は、エンタングルしたガウス状態の双方のモードから1つずつ光子を検出することで実現できる。

図 3-2-5 は、現在実験を進めている系の概念図である。入力エンタングルメント生成技術はすでに実現している[1]が、エンタングルメント蒸留プロトコルは、現在まさに進行中である。現在ではこの方法を我々の課題②で確立された技術に適用することが実現への最短距離であると考えている。

一方、我々は理論研究も進め、非ガウス状態のエンタングルメントを用いて quantum dense coding プロトコルを実行した場合の相互情報量について計算し、2モードスクイズド状態から理想的な光子検出過程で作られた非ガウス状態ではそのパフォーマンスが単調測度である logarithmic negativity と極めてよく一致することを見出している[2, 3]。このような理論を発展させることで、状態の密度行列を再構成すること無しに、部分的なデータでエンタングルメント量を見積もる手法が得られることが期待できる。

<課題③の代表的な文献>

- [1] J. Mizuno, K. Wakui, A. Furusawa, and M. Sasaki, Phys. Rev. A 71, 012304 (2005).
- [2] A. Kitagawa, M. Takeoka, K. Wakui, and M. Sasaki, Phys. Rev. A 72, 022334 (2005).
- [3] A. Kitagawa, M. Takeoka, M. Sasaki, and A. Chefles, Phys. Rev. A 73 (2006).

④ 光子数識別器の開発

<実施内容と成果>

低雑音の受光素子と電荷蓄積型読出回路を組み合わせた光子検出技術（CIPD：Charge Integration Photon Detector）の開発を進めた。

(1) 通信波長帯

InGaAs PIN フォトダイオードと GaAs JFET による電荷蓄積型読出回路を 4 K まで冷却して動作させる方式を採用した。また検出器内で発生した光電荷は漏れ電流のきわめて少ない FET のゲート電極に蓄積され、ソースフォロア接続された回路により信号増幅される（図 3-2-6）。

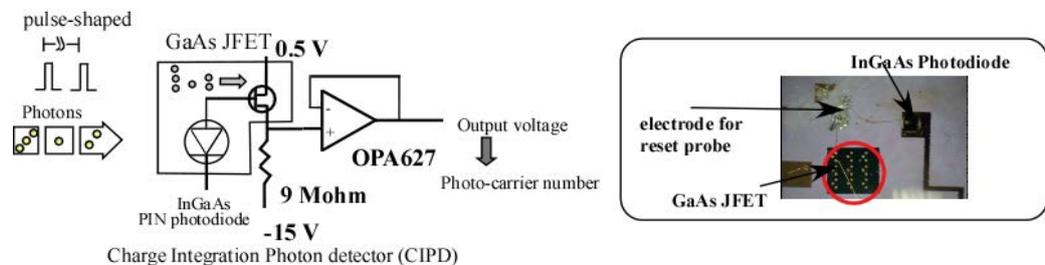


図 3-2-6 CIPD の概念図と検出器部分拡大写真

InGaAs PIN フォトダイオードの量子効率を 90% 以上に改良し、光子統計の測定を行った。図 3-2-7 にポアソン分布測定を行った結果をしめす。図中のラインは平均

光電荷数とシステムノイズを考慮しえられた理論曲線である。6-7 光子においてもピーク位置の一致がみられ、我々のシステムの動作レンジの大きさを証明している。ポアソン統計からのズレを χ^2 検定により評価した結果 0.03 程度であり、十分な精度で計測されていることが示された。

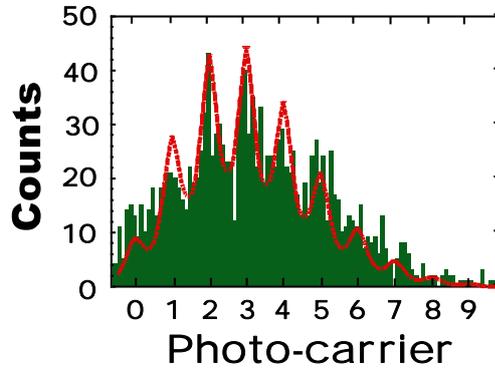


図 3-2-7 CIPD によるコヒーレント光の光子分布測定結果

さらに、強度の異なるコヒーレントパルス列が示す非ポアソン分布の直接測定を実証し CIPD の非ポアソン分布計測応用の可能性を示した (図 3-2-8)。

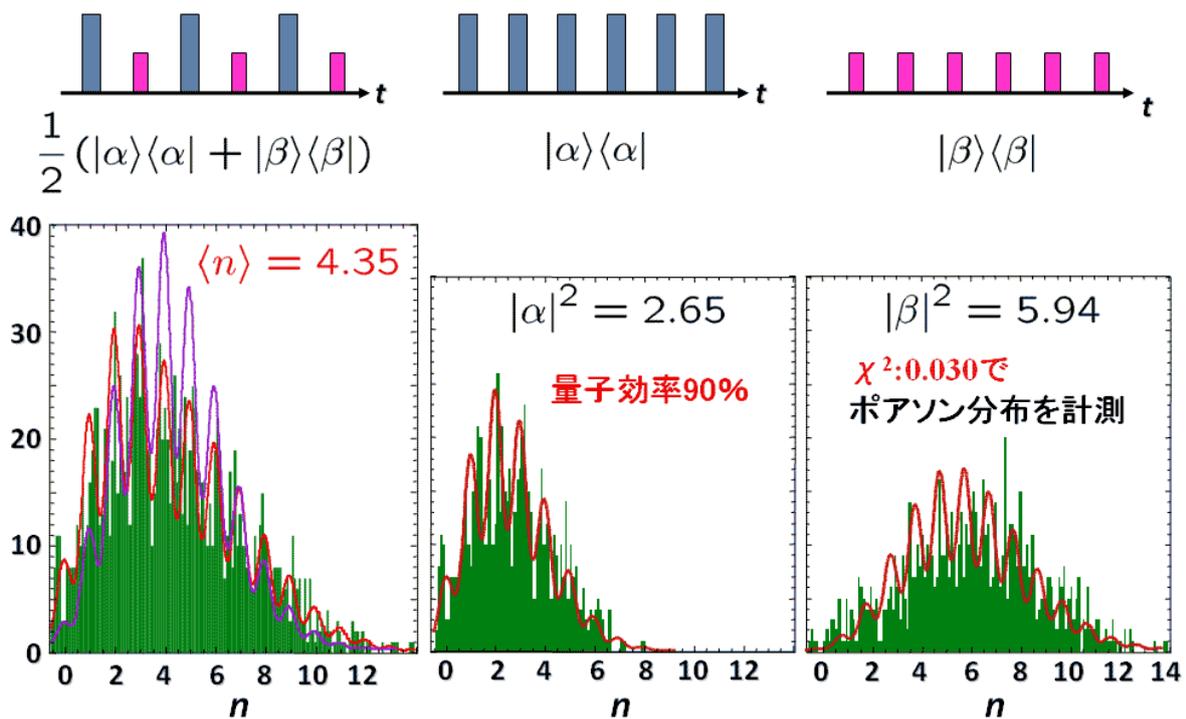


図 3-2-8 CIPD による非ポアソン統計の計測結果 (左端)。真ん中と右端は、信号分離後の弱パルスのみと強パルスのみポアソン光子分布の結果。

(2) 可視波長帯

サブガイガーモード Si APD (増倍率 10 程度) と Si JFET による電荷蓄積型読出回路を 77K で冷却動作させ、量子効率 81%、暗計数 1 c/s、動作速度 200Hz の検出

性能を実現した。これまで様々な構造をもつ APD を測定した結果、リバース構造 APD (浜松ホトニクス) で過剰雑音係数 ~ 1.3 (@増倍率 7.6 倍) と、従来理論の下限値 1.9 を下回り増倍雑音が低いことがわかったが、光子識別に必要な線形増倍にはまだ至っていない。APD の増倍雑音をさらに上げるか、読出回路の利得をさらに上げる必要がある。現在、Si JFET 電荷蓄積型読出回路の改善を進め、単一光子レベル入射での低増倍過程を詳細に測定することが可能となった段階である (図 3-2-9。To appear in IEEE Electron Device Letters)。新型 APD の増倍雑音特性の評価と試作条件へのフィードバックは今後の課題となる。

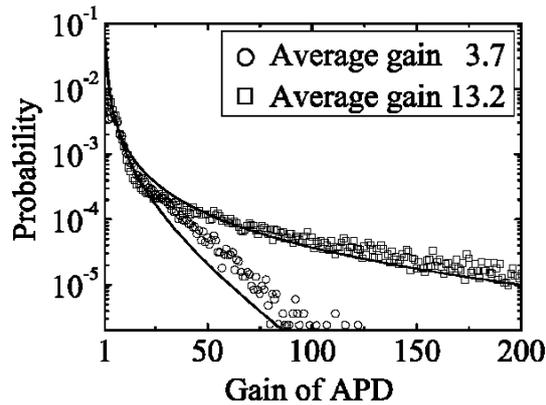


図 3-2-9 単一光子レベル入射での Si APD (浜松ホトニクス S8890-02) の低増倍特性。実線は McIntyre 理論。

一方、可視帯用検出器の高速化に対しては、単一素子の限界を超えるため、浜松ホトニクスの協力を得て、100 ピクセルアレイ型 Si APD の詳細評価を行った。暗計数が大きいというアレイ型検出器の欠点を解消するため、77K への冷却により量子効率を 31%程度に保ったまま、暗計数 1c/s 程度で 500MHz の検出速度が実現可能なことを確認した (図 3-2-10 左端)。ただし、アフターパルスが 4.5%程度と若干大きく、量子暗号などへの実使用においては時間フィルタリングによる処理が必要である。また、図 3-2-10 右端のようにアレイ化により光子数識別が可能になるが、量子情報技術への応用には量子効率をさらに改善する必要がある。

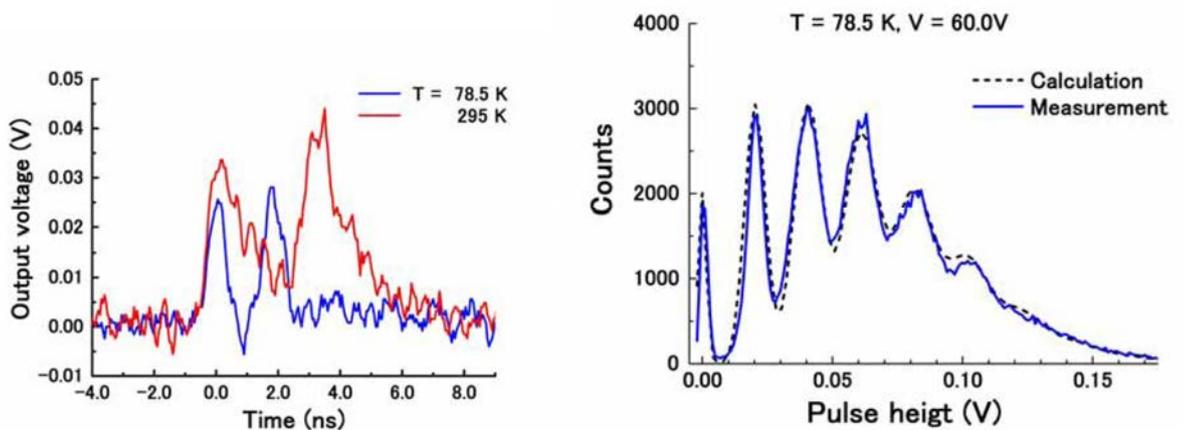


図 3-2-10 左端は 2 パルス入射時の出力波形。右端は光子統計分布の測定結果。

<課題④の主な文献>

- [1] M. Fujiwara and M. Sasaki, IEEE J. Selected Topics in Quantum Electron. 13, 952 (2007) (Invited paper).
- [2] M. Fujiwara and M. Sasaki, Appl. Opt. 46, 3069 (2007).
- [3] M. Fujiwara and M. Sasaki, Opt. Lett. 31, 1 (2006).
- [4] K. Tsujino, M. Akiba, and M. Sasaki, to appear in IEEE Electron Device Letters.

<成果の位置付け>

現在、光子数識別器としては超伝導体転移端光検出器などが有望視されている。一方、半導体を用いた光子数識別器の開発も盛んであり、米国 NIST においては光トランジスタのゲートに量子ドットを埋め込み、光子による励起子励起に伴う電荷の発生をトランジスタ電流の変調に応用し、光子数識別性能を持たせている。東芝ケンブリッジでは InGaAs-InP 系 APD を線形増倍領域で用いて光子数を識別する試みがなされている。

我々の CIPD も含め、それぞれ一長一短があり、今後も長期課題として取り組む必要がある。

(2)研究成果の今後期待される効果

光の非ガウス型制御には、光振幅に対する 3 次以上の非線形プロセスが必要で、これを実現できて初めて光の全てのポテンシャルを使い切る技術を確認できる。量子レベルで機能する巨大な非線形光学過程が未だ使える形で実現していない現在、光子検出器や光子数識別器はほとんど唯一といえる非ガウス型量子制御のツールである。このことは既に認識されており、光子検出器を使ったプロトコルに関する理論研究は進んでいたが、今回の我々の一連の成果は、実際の量子光学系における理論的・技術的な問題を克服し、残された非ガウス状態の生成・制御を実験で示した最初の一步となった。現在こうした実験研究が実現しているのは世界で数機関のみである。我々はさらに独自の成果として、光子検出器と CW 光源を用いた際に必要なモード整合の理論を確認し、さらに CW スクィーズド光源から生成される多モードのシュレーディンガー猫状態が、実は積極的に活用すべきバラエティに富んだリソースであることを初めて理論・実験的に明らかにした。今後の非ガウス領域において、よりバラエティに富んだ量子状態や量子プロトコルの探求が始まるものと予想されるが、その際には今回の研究で得られた理論・実験双方の知識が重要な礎になるものと期待される。

一方、基盤技術である光子数識別器の高感度化・低雑音化・高速化は当初計画どおりの進捗が得られず、依然として難題である。今後は、半導体のほか超伝導体やその他の新規材料まで含めて、抜本的に新しい検出機構や素子構造を探ってゆく必要がある。その際に、当プロジェクトで開発された電荷蓄積型読出し回路は、これまで測定が不可能だった低増倍領域での受光特性を詳細に調べることができるため、素子開発の強力なツールになる。高速化に向けては、素子のアレイ化によって単一素子の時定数限界を克服することが可能である。

このような技術を集積することによって、ネットワークのノードにおいてコヒーレント光に自在な量子操作を施す量子ノード技術の実現が期待される。これはコヒーレント状態にエンコードされた情報を最大限に取り出す、いわゆる量子符号化や量子最適受信機に関するものであり、我々の理論研究においても、信号受信過程においてスクィージングと光子検出器を適切に組み合わせることで、現在の光通

信技術の理論限界を超える受信感度、通信容量が得られることが強く示唆されている。また、長期的には、各種の非ガウス状態を保存しておく量子メモリも今後の重要課題である。この5年間では残念ながら量子ノードの理論と実験が融合するところまでは到達できなかったが、この方向の研究は、現在の光ネットワーク技術の自然な延長上にくる次世代の通信技術の有力な候補として、社会にも大きなインパクトを与える重要なものになると期待される。

3. 3 量子情報のデコヒーレンスに関する理論的研究(お茶の水女子大学グループ)

(1)研究実施内容及び成果

このグループでは、量子情報のデコヒーレンスの解明やその制御に関する理論的研究を担当した。具体的には、非平衡量子統計力学的手法を用いて、外部環境による量子情報のデコヒーレンスの性質を様々な観点から解析し、得られた結果を踏まえて量子情報処理を実現する上で重要となるデコヒーレンスを抑える方法を提案し、量子情報処理システムの実現を目指して研究を推進した。また、本研究においては、実験グループとの関連を考慮して、主に連続変数量子情報を研究の対象にしているが、理論的手法の多くは連続変数量子情報に限らず、離散変数量子情報にも適用可能である為に、離散変数量子情報のデコヒーレンスやその制御に関する問題も扱った。以下では、得られた研究成果を項目毎にその内容を報告する。

◎ 連続変数量子テレポーテーションの忠実度とエンタングルメント

この研究では、送信者と受信者が雑音や損失のある量子チャンネルを介して共有したエンタングルメントを利用し、標準プロトコル(送信者が位置・運動量の同時測定を行い、受信者が送信者から知らされた測定結果に基づいた並進変換を行うプロトコル)に従って連続変数量子テレポーテーションの量子チャンネルをととしての性質を解析した。その結果を用いて、送信者と受信者が共有したエンタングルメントの大きさと、量子テレポーテーションによって送信者から受信者に伝送可能な性質の間の関係を明らかにした。具体的には、これは次のようにして行われた。まず、送信者と受信者が量子チャンネルを介して任意の2モード状態 W を共有していると仮定し、送信者が送るべき量子状態を ρ_{in} 、受信者が受け取った量子状態を ρ_{out} とすると、送信者が標準プロトコルに従う連続変数量子テレポーテーションを実行するとき、量子状態 ρ_{in} と ρ_{out} の入出力関係は量子 thermalizing チャンネル

$$\rho_{out} = \int \frac{d^2z}{\pi} P(z) D(z) \rho_{in} D^\dagger(z)$$

によって与えられる。ここで、 $D(z)$ は並進演算子であり、 $P(z)$ は量子状態 W によって決定される正の関数である。 $P(z) = \pi \delta(z)$ の場合には、完全な量子テレポーテーションが行われることになる。このような表式で与えられる入出力関係は s -順序の疑似確率分布関数を用いて表現することができる。特に、送信者と受信者が共有した量子状態 W が2モード・ガウス状態(実験において重要な役割を果たす2モード・スクイーズド状態はガウス状態の特別な場合)の場合、受信者が受け取った量子状態 ρ_{out} を表す s -順序の疑似確率分布関数は送信者が送った量子状態 ρ_{in} の s -順序の疑似確率分布関数において、順序を表すパラメータを $s \rightarrow s + \delta$ と置換したものに等しくなる。即ち、

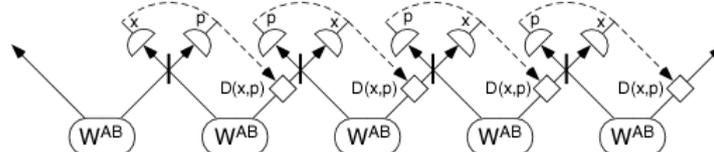
$$W_{out}^{(s)}(z) = W_{in}^{(s+\delta)}(z)$$

が成り立つ。ここで、 $W_{out}^{(s)}(z)$ と $W_{in}^{(s)}(z)$ はそれぞれ量子状態 ρ_{out} と ρ_{in} の s -順序の疑似確率分布関数である。 δ は送信者と受信者が共有する2モード・ガウス状態の性質によって決定されるパラメータであり、量子状態 W が完全なエンタングルメントを持つ極限では $\delta \rightarrow 0$ となり、忠実度が1の完全な量子テレポーテーションが可能となる。送信者の量子状態 ρ_{in} の s -順序の疑似確率分布関数と受信者が受け取る量子状態 ρ_{out} の s -順序の疑似確率分布関数の関係を用いることによって、連続変数量子テレポーテーションによって伝送可能

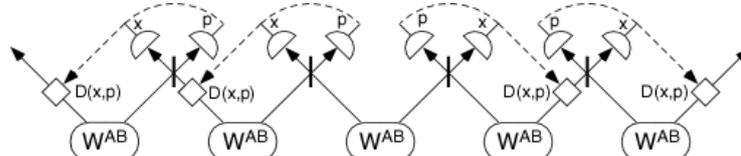
な量子状態の性質と、送信者と受信者が共有したエンタングルメントの大きさとの関係を明らかにすることが可能となる。実際に、Glauber のP関数が確率分布としての意味を持ち得ないことによって特徴付けられる量子状態の非古典的な性質や、量子干渉に関連したWigner 関数が負の値を取る領域を標準プロトコルに従う連続変数量子テレポーテーションによって伝送できる為の条件を明らかにした。

◎ 連続変数エンタングルメント・スワッピング

エンタングルメント・スワッピングは量子ネットワークを構築する為に欠くことのできない重要なプロセスである。量子ネットワークでは、ネットワークを構成する任意の2地点のユーザーをエンタングルメントで結ぶ為に、エンタングルメント・スワッピングを複数回繰り返す状況が起こり得る。そこで、2地点間をエンタングルメントで結ぶ為に、エンタングルメント・スワッピングをn回行う場合を考えた。このように複数回のエンタングルメント・スワッピングを行う場合、その仕方に任意性がある。例えば、1地点からもう一方の地点に向かってエンタングルメント・スワッピングを逐次行って行くことが考えられる。この場合には、エンタングルメント・スワッピングに必要な測定結果に関する古典情報は、開始地点から目的地点に向かって一方向に逐次送られて行く。次の図で示されるような逐次エンタングルメント・スワッピングを1方向エンタングルメント・スワッピングと呼ぶことにする。



一方、2地点の間のある一箇所(例えば中間地点)からエンタングルメント・スワッピングを開始する場合、測定結果に関する古典情報は、次の図のように開始地点から目的の2地点に向かって送られて行くので双方向エンタングルメント・スワッピングと呼ぶことにする。



そこで、エンタングルメントのリソースとして2モード・スクイーズド状態を用いる場合に、双方向エンタングルメント・スワッピングと1方向エンタングルメント・スワッピングの何れが2地点間でエンタングルメントを共有するのに有利であるかを調べた。その結果、エンタングルメントのリソース、量子測定の回数や測定精度が全く同じであるにも関わらず、2地点間でエンタングルメントを共有する為には、1方向エンタングルメント・スワッピングを行う方が有利であることが明らかになった。

◎ 離散変数量子デンスコーディングの通信路容量

送信者と受信者が任意の量子状態を共有し、雑音や損失のない理想的な量子チャンネルを用いて符号化された量子状態を送る場合の離散変数量子デンスコーディングの通信路容量 C' を与える表式は既に求められていたが、任意の量子チャンネル L の場合の通信路容量に関しては未解決であった。そこで、本研究では送信者と受信者が $N \times N$ 次元ヒルベルト空間の完全なエンタングルメントを持つ量子状態 $|\Psi\rangle$ を共有して、符号化された量子状態を任意の量子チャンネル L を用いて送る場合の量子デンスコーディングの通信路容量 C が次の式で与えられることを導いた。

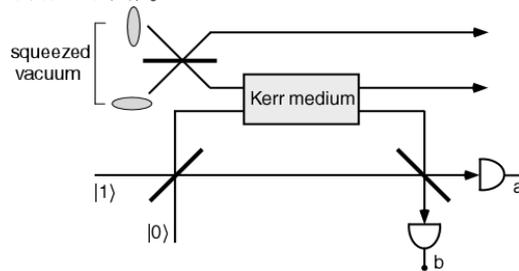
$$C = \log_2 N + S(\mathcal{L}(1/N)) - S((\mathcal{L} \otimes J)|\Psi\rangle\langle\Psi|)$$

このように問題を設定したのは、エンタングルメントのディスティレーションまで考えれば、量子チャンネルに雑音や損失があっても適当な条件を満足すれば、送信者と受信者が完全なエンタングルメントを共有することが原理的に可能な為である。離散変数量子デンスコーディングの通信路容量 C は、考えている量子通信システムのホレボーク関数の上限を与える

不等式を導き、その上限が実際に達成可能であることを具体的に示すことによって導いた。また、Horodecki らによって導かれた量子チャンネルと混合状態の関係を用いて、2つの通信路容量 C と C' の相賀の関係を明らかにした。

◎ 光子数の量子非破壊測定を用いた2モード・スクィーズド状態のエンタングルメントの増強

2モード・スクィーズド状態は連続変数量子情報処理を行う場合の最も重要なエンタングルメントのリソースである。そこで、2モード・スクィーズド状態から有限の成功確率でより大きなエンタングルメントを生成する方法を提案した。これは2モード・スクィーズド状態にある2つのモードのうちの1つに対する光子数の量子非破壊測定によって行うことができる。このような量子測定は、微小共振器や相互カー効果を用いることによって実現することができる(次の図は相互カー効果を用いる例)。



システムのパラメータを適当に設定することによって、光子数の量子非破壊測定によってそのモードの光子数がゼロでない結果が得られた場合に、測定後の非ガウス型の2モード状態のエンタングルメントは、測定前の2モード・スクィーズド状態のエンタングルメントよりも大きくなる。この量子操作は2モード・スクィーズド状態から真空成分を取り除くことに相当する。また、本研究で行った量子状態の操作は局所的に行われるので、エンタングルメントの増強率が高くなればなるほど成功確率は小さくなり、平均としてエンタングルメントが大きくなることはない。

◎ 現象論的な緩和時間を用いた量子情報のデコヒーレンスの研究

量子ビットは大きさ $1/2$ を持つスピンと等価であることから、外部環境の影響による量子情報のデコヒーレンスを、現象論的な縦緩和時間 T_1 と横緩和時間 T_2 によって表されるブロッホ方程式を用いて解析した。このような現象論的なアプローチのメリットは、量子状態の変化が完全正写像で表されるという条件 ($2T_1 \geq T_2$) の下で、縦緩和時間 T_1 と横緩和時間 T_2 を自由に変化させて、量子ビットのデコヒーレンスにおける縦緩和時間と横緩和時間の効果を調べることができる点にある。具体的には、2量子ビット状態のエンタングルメントの緩和と量子ビットを用いた量子デンスコーディングの通信路容量の縦緩和時間 T_1 と横緩和時間 T_2 への依存性を明らかにした。例えば、初期状態がベル状態の場合、エンタングルメントの大きさを表すパラメータの一つであるコンカレンスは次の式で与えられる。

$$C_I = \max \left[0, e^{-t/T_2} - \frac{1}{2} \sqrt{1 - \langle \hat{\sigma}_z \rangle_{eq}^2 (1 - e^{-t/T_1})} \right]$$

ここで、 $\langle \sigma_z \rangle_{eq}^2$ はパウリ行列のz成分の平衡状態での平均値である。近年、単一量子ビットのコヒーレンスが指数関数的にゼロに漸近するにも関わらず、2量子ビットのエンタングルメントが有限時間で完全に消失する現象(entanglement sudden death: ESDと呼ばれる)現象が注目されているが、ベル状態がESDを起こすか否かを縦緩和時間 T_1 と横緩和時間 T_2 に対する条件として明らかにした。また、量子デンスコーディングではホレボ通信路容量とベル測定を用いた場合の相互情報量を比較することによって、縦緩和時間 T_1 が十分に長い場合には、ベル測定が量子デンスコーディングにおいて情報を得る為の最適な量子測定であることを明らかにした。

◎ 古典的な外部環境による量子情報のデコヒーレンスの研究

外部環境が量子ビット系に及ぼす影響が定常ガウス・マルコフ過程、及び定常2状態遷移マルコフ過程に従うランダム周波数変調によって記述される場合の量子情報のデコヒーレンスの性質を明らかにした。外部環境の影響を確率過程として扱う為に古典的な外部環境しか扱えないが、量子状態の時間発展を摂動展開などの近似的な方法を用いることなしに解析することが可能であり、外部環境と量子ビットの間の相互作用が強い場合も扱うことができる。具体的には、2量子ビット状態のエンタングルメントの緩和、量子テレポーテーションの忠実度、量子デンスコーディングの通信路容量の調べた。更に、エンタングルメントの緩和を調べる際には、2個の量子ビットに作用するそれぞれのランダム周波数変調を独立な確率過程として扱うのではなく、互いに相関を持った確率過程の場合も扱った。その結果、2つのランダム周波数変調の間に相関の正か負かによって、エンタングルメントの緩和が促進されたり抑制されたりすることが明らかになった。相関の正・負によってエンタングルメントの緩和が促進されるか抑制されるかは、初期状態におけるエンタングルメントの性質に依存する。この結果から、外部環境の間の相関の正負に依存して2量子ビット状態を選択して用いれば、エンタングルメントのデコヒーレンスを低減できることが明らかになった。一方、ランダム周波数変調の影響下で、ベル状態を用いた量子デンスコーディングを行う場合、ベル測定が最適量子測定であることを明らかにした。また、本研究を進める中で、定常2状態遷移マルコフ過程と統計的に全く同じ性質を持つ量子力学的モデルを見出した。

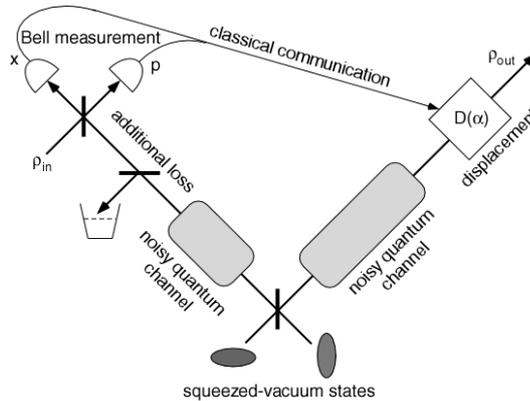
◎ 量子マスター方程式を用いた量子情報のデコヒーレンスの研究

射影演算子法に基づいた量子マスター方程式は非平衡量子統計力学において緩和現象を微視的動力学から解析する手法である。本研究では、量子マスター方程式を用いて連続変数量子情報と離散変数量子情報のデコヒーレンスを解析する微視的理論の定式化を行った。従来の研究では、量子マスター方程式を導く場合にマルコフ近似を用いることが多いが、本研究では非マルコフ近似の time-convolutionless 型の量子マスター方程式を用いて、量子情報のデコヒーレンスに及ぼす外部環境の非マルコフ効果(外部環境の記憶時間の影響)を明らかにした。連続系の2モード・ガウス状態のエンタングルメントと2量子ビット系エンタングルメントの緩和を調べ、外部環境の非マルコフ効果によってエンタングルメントの緩和が抑制されることが明らかになった。特に、ESD(entanglement sudden death)が起こるまでの時間が外部環境の記憶時間にどのように依存するかを見出した。更に、非マルコフ的な外部環境の影響下で行われる連続変数・離散変数量子テレポーテーション、量子デンスコーディングの情報伝送特性を調べ、外部環境の非マルコフ効果が及ぼす影響を明らかにした。

◎ 量子チャンネルの非対称と連続量子テレポーテーションの忠実度の研究

連続変数量子テレポーテーションなどを行う為に、送信者と受信者が2モードスクィーズド状態を損失や雑音が存在する量子チャンネルを介して共有する場合を考える。この際、2モード・スクィーズド状態に2つのモードを伝送する量子チャンネルが非対称な場合、即ち各モードで損失量や雑音量が異なる場合に、この量子チャンネル非対称性が送信者と受信者が共有するエンタングルメントの大きさや、その後に行う量子テレポーテーションの忠実度に与える影響を詳しく調べた。送信者と受信者が共有するエンタングルメントに関しては、量子チャンネルが対称・非対称に関わらず、その大きさはスクィージング・パラメータの単調増加関数であり、スクィージングが強いほど送受信者が共有できるエンタングルメントは大きくなる。これは当然予想される結果である。しかし、量子チャンネルが非対称な場合には、送信者と受信者が非対称なガウス状態を共有することになるので、量子テレポーテーションを実行すると量子チャンネルが対称な場合と非対称な場合とで結果が異なってくる。量子チャンネルが対称な場合には、量子テレポーテーションの忠実度はスクィージング・パラメータの単調増加関数になるが、量子チャンネルが非対称な場合には量子テレポ

一テーシヨンの忠実度はスクイーピング・パラメータの単調増加関数ならない。これは量子チャンネルの非対称性によって忠実度にアンチ・スクイーピング成分が現れる為である。従って、量子チャンネルが非対称な場合には、非対称性の度合いに依存したスクイーピング・パラメータに最適値が存在する。忠実度に現れるアンチ・スクイーピング成分は量子チャンネルの透過率の差に比例する。そこで、忠実度からアンチ・スクイーピング成分の影響を小さくする消去する為、次の図で示したように、透過率の大きい量子チャンネルに付加的な損失を導入して、2つのモードに対する量子チャンネルの透過率の非対称性が小さくなるように調整した。

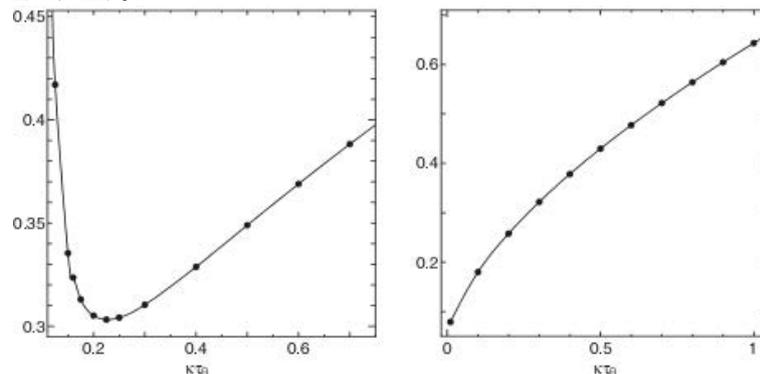


このような付加的損失を導入すると、量子チャンネルの全体では損失が増加するので、送信者と受信者が共有できるエンタングルメントは小さくなる。しかし、リソースとして用いる2モード・スクィーズド状態のエンタングルメントの大きさと量子チャンネルの非対称性の大きさの程度に依存して、付加的な損失を導入して共有できるエンタングルメントを犠牲にしても量子チャンネルの非対称性を抑えた方が量子テレポーテーションの忠実度が大きくなり得ることを見出した。この結果は、量子チャンネルの非対称性が量子テレポーテーションの性能に大きな影響を与えることを示している。

◎ 時間的に変動する外部環境の下での量子情報のディコヒーレンス

量子情報処理を担うシステムを取り巻く外部環境が定常状態(熱平衡状態)にはなく、時間的に状態が変化する場合を考え、外部環境の時間的変動が量子情報のディコヒーレンスにどのような影響を与えるかを射影演算子法に基づく量子マスター方程式を用いて調べた。外部環境の状態の時間的変化を扱う場合にはマルコフ近似は成り立たず、必然的に非マルコフ近似でのシステムの時間発展を考えなければならない。本研究では、外部環境が与えられた初期温度のカノニカル状態から絶対ゼロ度の真空状態に変化していく場合と、絶対ゼロ度の真空状態から出発して有限温度の熱平衡状態に到達する場合を扱い、連続変数量子情報と離散変数量子情報のディコヒーレンスの性質を調べた。外部環境が平衡状態に向かって変化していく緩和時間がゼロの極限がマルコフ近似に対応する。外部環境が有限温度の平衡状態に向かって変化していく場合には、外部環境の温度が高いほど量子情報のディコヒーレンスが大きいことから明らかなように、外部環境が緩やかに変動する方が量子情報のディコヒーレンスは小さくなる。一方、外部環境が有限温度の初期状態から絶対ゼロ度の基底状態に向かう場合には状況が異なる。外部環境の温度が低い方が熱雑音が小さいので、量子情報のディコヒーレンスも小さくなる。このことは外部環境が早く変化して温度が下がった方が量子情報のディコヒーレンスが小さくなることを意味する。ところが、既に示したように外部環境の非マルコフ効果は量子情報のディコヒーレンスを抑える方向に働くので、外部環境が緩やかに変化した方が量子情報のディコヒーレンスが小さくなる。従って、外部環境が有限温度の初期状態から絶対ゼロ度の平衡状態に向かって変化する場合には、外部環境の熱雑音の効果と非マルコフ効果のトレード・オフによって、外部環境の緩和時間がある閾値のときに量子情報のディコヒーレンスが最も大きくなり、それよりも緩和時間が短い場合には熱雑音の効果が小さくなってディコヒーレンスが小さくなり、

また緩和時間が閾値よりも長い場合には非マルコフ効果によってディコヒーレンスが抑えられることが明らかになった。外部環境の真空状態から有限温度の平衡状態に向かって変化する場合には、外部環境の緩和時間が長い方が熱雑音の効果は小さくなり、且つ非マルコフ効果も大きくなるので、緩和時間が長くなると量子情報のディコヒーレンスは単調に減少する。例えば、適当なパラメータ値の下で、エンタングルメントが消失するまでの時間の外部環境の緩和時間依存性をプロットすると次の図のようになる(外部環境が真空状態に向かって緩和する場合:左図、外部環境の温度が上昇して有限温度の熱平衡状態に緩和する場合:右図)。



この結果は連続変数量子情報と離散変数量子情報の両方に対して成り立つ。また、本研究で用いた方法を応用して、注目するシステムが光子系の場合に、外部環境が時間の経過と共に減衰器から増幅器に変化する場合と、逆に増幅器から減衰器に変化する場合の光子系の非古典的性質(スクイーミング、サブポアソン光子統計、エンタングルメントなど)の緩和を明らかにした。

◎ 量子情報ディコヒーレンスのパルス制御の研究

外部環境との相互作用による量子情報のディコヒーレンスを抑えることは、量子情報通信・処理システムを実現する為に必要不可欠である。量子情報のディコヒーレンスを抑える方法は、量子誤り訂正と呼ばれるソフトウェア的な方法とパルス制御を代表とするハードウェア的な方法が存在する。本研究では、量子ビットの位相緩和のパルス制御と、量子ビットと光子系のエネルギー緩和を伴うディコヒーレンスのパルス制御の理論を定式化した。これら2つの結果を以下で説明する。(1)量子ビットの位相緩和のパルス制御: 外部環境の微視的モデルに基づいた位相緩和のパルス制御の理論は10年以上前に定式化した。本研究は外部環境による位相緩和過程が定常ガウス・マルコフ過程に従う確率過程によって記述される場合のパルス制御の理論の定式化を行った。その結果、確率過程の相関時間の間に数回程度の π パルスを照射することができれば、量子情報のディコヒーレンスを抑えられることが明らかになった。これらのことから外部環境が量子力学的な場合でも古典的な場合でも、パルス照射によるディコヒーレンス制御が有効に機能することが示された。更に、一般化されたコールマン・ヘップ模型(或いは、ボゾン検出器模型)と呼ばれる数学的に厳密に解くことができる外部環境のモデルを用いて、パルス照射によるディコヒーレンス制御の有効性を示した。(2)量子情報のエネルギー緩和を伴うディコヒーレンスのパルス制御: ディコヒーレンスのパルス制御に関するこれまでの理論の多くは位相緩和を抑えることを目的とするものであった。そこで、本研究では外部環境によるディコヒーレンスがエネルギー緩和を伴う場合でもパルス制御が可能であるかを調べ、その有効性を明らかにした。具体的には、外部環境と相互作用しているシステムに対して位相変調型のパルスを照射し、その状況下で外部環境を消去して非マルコフ近似の量子マスター方程式を導いた。ここでは、パルス照射の下で外部環境を消去することが本質的である。これによってシステムの不可逆過程を記述する減衰演算子にパルスの効果が現れる。これは非平衡統計力学において、部分系相互作用の減衰演算子への影響と呼ばれているものである。外部環境を消去した後からパルスを照射する近似的な取り扱いにおいては、減衰演算子はパルスの影響を受け

ない。このようにして導かれたパルス照射の効果を含んだ非マルコフ近似での量子マスター方程式を解くことによってシステムの時間発展を調べ、パルス照射によって量子情報デコヒーレンスが制御可能であることを示した。この方法は、離散変数量子情報に対しても連続変数量子情報に対しても有効である。例えば、注目するシステムと結合する外部環境の変数の相関時間を τ とするとき、この時間 τ の間にシステムに対して位相変調型の π パルスを数回程度照射することができれば、システムのデコヒーレンスを殆ど抑えることができる。更に、パルス面積が π からずれた場合のデコヒーレンス制御への影響を調べる為に、任意のパルス面積を持つ位相変調型のパルスの照射下でのシステムの時間発展を考えた。その結果、パルス面積の π からのずれがそれほど大きくなければ、システムのデコヒーレンスを抑える効果が十分に得られることが明らかになった。本研究では、パルス照射というハードウェア的な手法による量子情報のデコヒーレンス制御を考えたが、量子誤り訂正というソフトウェア的な手法を組み合わせたハイブリッドな制御方法も検討する必要があると考える。

(2)研究成果の今後期待される効果

本研究で得られた成果の今後期待される効果は、量子情報理論と非平衡量子統計力学の両分野において考えることができる。まず、量子情報理論の立場から波及効果と今後の展開を考えると次のようになる。本研究で行った非平衡量子統計力学的な手法を用いたデコヒーレンス解析は、本研究で扱ったシステム以外の様々な量子情報システムに応用可能である。この為、量子情報のデコヒーレンス解析を行う為の基本ツールになり得ると考えられる。また、量子情報のデコヒーレンスのパルス制御に関する理論は、量子誤り訂正理論と共に量子情報処理システムを実現するための必要不可欠な技術であり、今後より一層発展させていく必要がある。更に、パルス制御理論を定式化する場合に、注目するシステムとパルスとの間の相互作用が、システムのデコヒーレンスに及ぼす影響が重要であることを明らかにした。しかし、このような相互作用の影響はデコヒーレンスを制御する為のパルスだけでなく、様々な量子ゲート演算を行うために必要なシステム間の相互作用もシステムのデコヒーレンスに影響を与える。従って、本研究で定式化したデコヒーレンスのパルス制御理論の基本的な考え方は、デコヒーレンス制御だけでなく、外部環境の影響下で行われる量子演算などの性質を解明する場合にも重要になり、本研究で展開した理論が有益なと考えられる。一方、非平衡量子統計力学においては、部分系間の相互作用がシステムの減衰演算子に及ぼす影響の重要性は幾つかの過去の研究で指摘されていたが、殆ど注目されることはなかった。しかし、本研究によってこの影響が本質的な重要性を持つことが明らかになった。従って、今後は様々な緩和現象における部分系間の相互作用の減衰演算子への影響を再検討しなければならないと考えられる。また、従来の非平衡量子統計力学では、緩和現象の性質を調べる場合には主に物理量の平均値や相関関数が計算されたが、量子情報理論で生まれた様々な概念を非平衡量子統計力学に導入し、不可逆過程の本質を理解する為に量子情報の観点から様々な緩和現象の性質を調べるのが重要である。本研究では、非平衡量子統計力学を量子情報理論に応用したが、本研究の成果を踏まえて量子情報理論から非平衡量子統計力学に向けた研究も重要で興味深いものである。

§ 4 研究参加者

①東京大学グループ(ガウス型量子エンタングルメント制御の研究)

	氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
○	古澤 明	東京大学	教授	研究代表者	H15.10～H21.3
*	米澤英宏	東京大学	助教	量子光学実験	H16.04～H21.3
*	和久井健太郎	東京大学	D3	量子光学実験	H16.10～19.09
*	高橋優樹	東京大学	D3	量子光学実験	H17.04～H21.3
*	竹野唯志	東京大学	D3	量子光学実験	H18.04～H21.3
*	吉川純一	東京大学	D2	量子光学実験	H17.04～H21.3
*	湯川光彬	東京大学	M2	量子光学実験	H18.04～20.03
*	李 憲之	東京大学	D1	量子光学実験	H18.04～H21.3
*	三輪 佳史	東京大学	M2	量子光学実験	H19.4.1～H21.3
*	荒生 肇	東京大学	M2	量子光学実験	H19.4.1～H21.3
*	鵜飼 竜志	東京大学	M1	量子光学実験	H19.11～H21.3
*	永島 航洋	東京大学	M1	量子光学実験	H20.01～H21.3
*	良川由美子	JST	チーム事務員	チーム事務員	H16.11～H21.3
	政田 元太	玉川大学	東京大学客員研究員	量子光学実験	H19.4～H21.3
*	武井 宣幸	JST	博士研究員	量子光学実験	H16.4～18.3
*	高橋 剛	東京大学	M2	量子光学実験	H17.4～18.3
	青木 隆朗	東京大学	助手	量子光学実験	H15.10～18.9
*	梶谷 忠志	東京大学	M2	量子光学実験	H17.4～19.3

②NICTグループ(非ガウス型量子エンタングルメント制御の研究)

	氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
○	佐々木雅英	NICT	グループリーダー	グループ統括	H15.10～H21.3
	藤原幹生	NICT	主任研究員	光子数識別器開発	H15.10～H21.3
	秋葉 誠	NICT	主任研究員	光子数識別器開発	H16.4～H21.3
	武岡正裕	NICT	主任研究員	量子情報・量子光学理論	H15.10 H21.3～

	辻野賢治	NICT	専攻研究員	光子数識別器開発	H16.4～H21.3
	鈴木重成	NICT	専攻研究員	量子光学実験	H19.4～H20.9
	大舘暁	NICT	専攻研究員	量子光学実験	H19.9～H20.3
	和久井健太郎	NICT	専攻研究員	量子光学実験	H19.9～H20.3
	北川 晃	NICT	専攻研究員	量子情報・量子光学理論	H16.4～H19.3
	長田宏二	NICT	専攻研究員	量子情報・量子光学理論	H16.4～H19.1
	水野 潤	NICT	専攻研究員	量子光学実験	H15.10～H17.3

③お茶の水女子大学グループ(量子情報のディコヒーレンスに関する理論的研究)

	氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
○	番 雅司	お茶の水女子大学	教授	量子情報の基礎物理に関する理論的研究	H15.10～H21.3

§ 5 招聘した研究者等

無し

§ 6 成果発表等

【東京大学グループ】

(1)原著論文発表 (国内(和文)誌 0 件、国際(欧文)誌 21 件)

21. M. Yukawa, R. Ukai, P. van Loock, and A. Furusawa
 "Experimental generation of four-mode continuous-variable cluster states"
 Phys. Rev. A 78, 012301-1-6 (2008).
20. M. Yukawa, H. Benichi and A. Furusawa
 "High-fidelity continuous-variable quantum teleportation toward multi-step quantum operations"
 Phys. Rev. A 77, 022314-1-5 (2008).
19. K. Honda, D. Akamatsu, M. Arikawa, Y. Yokoi, K. Akiba, S. Nagatsuka, T. Tanimura, A. Furusawa, and M. Kozuma
 "Storage and retrieval of a squeezed vacuum"
 Phys. Rev. Lett. 100, 093601-1-4 (2008).
18. M. Arikawa, K. Honda, D. Akamatsu, Y. Yokoi, K. Akiba, S. Nagatsuka, A. Furusawa, and M. Kozuma
 "Observation of electromagnetically induced transparency for a squeezed vacuum with the time domain method"
 Optics Express 15, 11849-11854 (2007).
17. H. Yonezawa, S. L. Braunstein, and A. Furusawa
 "Experimental demonstration of quantum teleportation of broadband squeezing"

- Phys. Rev. Lett. 99, 110503-1-4 (2007).
16. H. Yonezawa, A. Furusawa, and P. van Loock
"Sequential quantum teleportation of optical coherent states"
Phys. Rev. A 76, 032305-1-5 (2007).
 15. C. Marquardt, U. L. Andersen, G. Leuchs, Y. Takeno, M. Yukawa, H. Yonezawa, and A. Furusawa
"Experimental demonstration of macroscopic quantum coherence in Gaussian states"
Phys. Rev. A 76, 030101(R)-1-4 (2007).
 14. Y. Takeno, M. Yukawa, H. Yonezawa, and A. Furusawa
"Observation of -9 dB quadrature squeezing with improvement of phase stability in homodyne measurement"
Optics Express 15, 4321-4327 (2007).
 13. J. Yoshikawa, T. Hayashi, T. Akiyama, N. Takei, A. Huck, U. L. Andersen, and A. Furusawa
"Demonstration of deterministic and high fidelity squeezing of quantum information"
Phys. Rev. A 76, 060301(R)-1-4 (2007).
 12. D. Akamatsu, Y. Yokoi, M. Arikawa, S. Nagatsuka, T. Tanimura, A. Furusawa, and M. Kozuma
"Ultraslow propagation of squeezed vacuum pulses with electromagnetically induced transparency"
Phys. Rev. Lett. 99, 153602-1-4 (Oct. 2007).
 11. K. Yoshino, T. Aoki, and A. Furusawa
"Generation of continuous-wave broadband entangled beams using periodically-poled lithium niobate waveguides"
Appl. Phys. Lett. 90, 041111-1-3 (Jan. 2007).
 10. N. Takei, N. Lee, D. Moriyama, J. S. Neergaard-Nielsen, and A. Furusawa
"Time-gated Einstein-Podolsky-Rosen correlation"
Phys. Rev. A 74, 060101 (R)-1-4 (2006).
 9. T. Tanimura, D. Akamatsu, Y. Yokoi, A. Furusawa, and M. Kozuma
"Generation of a squeezed vacuum resonant on Rubidium D₁ line with periodically-poled KTiOPO₄"
Opt. Lett. 31, 2344-2346 (2006).
 8. T. Aoki, G. Takahashi, and A. Furusawa
"Squeezing at 946nm with periodically-poled KTiOPO₄"
Optics Express 14, 6930-6935 (Jul. 2006).
 7. S. Koike, H. Takahashi, H. Yonezawa, N. Takei, S. L. Braunstein, T. Aoki, and A. Furusawa
"Demonstration of quantum telecloning of optical coherent states"
Phys. Rev. Lett. 96, 060504-1-4 (Feb. 2006)
 6. N. Takei, H. Yonezawa, T. Aoki, and A. Furusawa
"High-fidelity teleportation beyond the no-cloning limit and entanglement swapping for continuous variables"
Phys. Rev. Lett. 94, 220502-1-4 (2005)
 5. N. Takei, T. Aoki, S. Koike, K. Yoshino, K. Wakui, H. Yonezawa, T. Hiraoka, J. Mizuno, M. Takeoka, M. Ban, and A. Furusawa
"Experimental demonstration of quantum teleportation of a squeezed state"
Phys. Rev. A 72, 042304-1-7 (2005)
 4. A. Furusawa
"Quantum teleportation and its applications"
Proceedings of SPIE 5631, 36-41 (2004)
 3. H. Yonezawa, T. Aoki, and A. Furusawa

- “Demonstration of a quantum teleportation network for continuous variables”
Nature 431, 430–433 (2004)
2. T. Aoki, N. Takei, H. Yonezawa, K. Wakui, T. Hiraoka, A. Furusawa, and P. van Loock
“Experimental creation of a fully inseparable tripartite continuous-variable state”
Phys. Rev. Lett. 91, 080404-1-4 (2003)
1. P. van Loock and A. Furusawa
“Detecting genuine multipartite continuous-variable entanglement”
Phys. Rev. A 67, 052315-1-13 (2003)

【NICT グループ】

(1)原著論文発表 (国内(和文)誌 11 件、国際(欧文)誌 62 件)

(国内論文)

11. 藤原 幹生, 佐々木 雅英, 三木 茂人, 王 鎮,
「光子数検出器(Photon number detector)」
レーザー学会「レーザー研究」, 36(7), pp 410–414, (2008).
10. 和久井健太郎
「非ガウス型量子状態の生成について」
レーザー学会「レーザー研究」, 36(7), pp 415–420, (2008).
9. 鈴木重成
「高レベル・高純粋度のスクイズド光生成について」
レーザー学会「レーザー研究」, 36(7), pp 399–403, (2008).
8. 鈴木 重成, 武岡 正裕, 佐々木 雅英, Ulrik Lund Andersen, 神成 文彦,
「ホモダイン検波によるコヒーレント重ね合わせ状態の純粋化 --量子もつれと測定を利用した量子状態制御の一例--」
日本物理学会「日本物理学会誌」, 62 (11), pp 846–850, (2007).
7. 佐々木 雅英
「量子情報技術とエネルギー」
電子情報通信学会誌, 90 (3), pp 220–225, (2007).
6. 藤原 幹生
「光子数分布測定技術:サブポアソン分布光源の光電子計測」
OPTRONICS 300 号, pp 230–240, (2006).
5. M. Sasaki, and S. Suzuki,
「擬位相整合 KTiOPO₄ 素子を用いた -7dB 直交位相スクイーディング -7dB quadrature squeezing with pp-KTiOPO₄」
TELECOM FRONTIER, No.52, pp 21–26, (2006).
4. 藤原幹生
「高感度遠赤外検出器アレイ」
J. Jpn. Soc. Infrared Science & Technology, Vol.15(1+2), pp 44–48 (2005).
3. 佐々木 雅英, 藤原 幹生, 武岡 正裕,
「量子限界における情報通信」(招待論文)
情報処理学会論文誌 特集「量子計算と量子情報」(10 月号), Vol46(10), pp 2417–2428, (2005).
2. 佐々木 雅英
「量子情報通信「光子を操る究極の通信の姿」」
学術月報, Vol58(4), pp 280–285, (2005).
1. 佐々木 雅英
「量子情報通信」
ITU ジャーナル, 34(1), pp 31–35, (2004).

(国際論文)

62. H. Takahashi, K. Wakui, S. Suzuki, M. Takeoka, K. Hayasaka, A. Furusawa, and M. Sasaki
"Generation of large-amplitude coherent-state superposition via ancilla-assisted photon-subtraction"
arXiv:0806.2965[quant-ph], Phys. Rev. Lett. accepted.
61. M. Fujiwara, H. Nagata, H. Matsuo, and M. Sasaki
"Optical reduction of low frequency noise in cryogenic GaAs junction field effect transistor"
Appl. Phys. Lett. 93 043503/1--3 (2008).
60. H. Nagata, J. Kobayashi, H. Matsuo, M. Nakahashi, K. Kobayashi, H. Ikeda, M. Fujiwara
"Fabrication of cryogenic readout circuits with n-type GaAs-JFETs for low temperature detectors"
J Low Temp Phys, 1--6 (2008).
59. A. Tanaka, M. Fujiwara, S. W. Nam, Y. Nambu, S. Takahashi, W. Maeda, K. Yoshino, S. Miki, B. Baek, Z. Wang, A. Tajima, M. Sasaki, and A. Tomita
"Ultra fast quantum key distribution over a 97 km installed telecom fiber with wavelength division multiplexing clock synchronization"
Opt. Exp. 16 (15), 11354--11360 (2008).
58. M. Takeoka, and M. Sasaki
"Discrimination of the binary coherent signal: Gaussian-operation limit and simple non-Gaussian near-optimal receivers"
Phys. Rev. A 78, 022320/1--7 (2008).
57. M. Sasaki, M. Takeoka, H. Takahashi
"Temporally multiplexed superposition states of continuous variables"
Physical Review A 77, 063840/1--11 (2008).
56. M. Takeoka, H. Takahashi, and M. Sasaki
"Large-amplitude coherent-state superposition generated by a time-separated two-photon subtraction from a continuous-wave squeezed vacuum"
Phys. Rev. A 77, 062315/1--9 (2008).
55. M. Fujiwara, and M. Sasaki
"Direct measurement of photon number statistics at telecom wavelengths using a charge integration photon detector"
Appl. Opt. 46 (16), 3069--3074 (2007).
54. M. Fujiwara, and M. Sasaki
"Photon Number Resolving Detector at Telecom Wavelengths: Charge Integration Photon Detector (CIPD)" (Invited paper)
IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics (JSTQE) 13 (4), 952--958 (2007).
53. A. Tada, K. Hirose, F. Kannari, M. Takeoka, and M. Sasaki
"Photon-number squeezing in a soliton-like Raman Stokes component during propagation of ultrashort pulses in a microstructure fiber"
J. Opt. Soc. Am. B 24 (3), 691-698 (2007).
52. A. Chefles, A. Kitagawa, M. Takeoka, M. Sasaki, and J. Twamley
"Unambiguous discrimination among oracle operators"
J. Phys. A: Math. & Theor. 40, 10183--10213 (2007).
51. K. Wakui, H. Takahashi, A. Furusawa, and M. Sasaki
"Photon subtracted squeezed states generated with periodically poled KTiOPO4"
Opt. Express 15 (6), 3568--3578 (2007).
50. M. Takeoka
"Projective measurements via linear optics and photon detectors"

- Opt. Spectrosc. 103 (1), 98--106 (2007).
49. K. Tsujino, M. Akiba, and M. Sasaki
 "A charge-integration readout circuit with a linear-mode silicon avalanche photodiode for a photon-number resolving detector"
 Opt. Spectrosc. 103 (1), 86--89 (2007).
48. K. Hirose, F. Kannari, M. Takeoka and M. Sasaki
 "Quantum correlated pulse-pair generation during pulse-trapping propagation in optical fibers"
 Phys. Rev. A 76 (4), 043817 /1--5 (2007).
47. M. Takeoka and M. Sasaki
 "Conditional generation of an arbitrary superposition of coherent states"
 Phys. Rev. A 75 (6), 064302 /1--4 (2007).
46. K. Tsujino, M. Akiba, and M. Sasaki
 "Charge-Integration Photon Detector with Silicon APD in The Linear Mode"
 Proc. of The 8th International Conference on Quantum Communication, Measurement and Computing (QCMC2006) Japan, 549--552 (2007).
45. A. Kitagawa, M. Takeoka, M. Sasaki, and A. Chefles
 "Entanglement evaluation of non-Gaussian states generated by photon subtraction from squeezed states"
 Proc. of The 8th International Conference on Quantum Communication, Measurement and Computing (QCMC2006), 509--512 (2007).
44. M. Sasaki, K. Wakui, H. Takahashi, A. Furusawa, M. Fujiwara, K. Tsujino, M. Akiba and S. Suzuki
 "Control of optical continuous variable systems using photon counting and feedforward"
 Proc. of The 8th International Conference on Quantum Communication, Measurement and Computing (QCMC2006) Japan, 469--474 (2007).
43. M. Takeoka, M. Sasaki, and N. Luetkenhaus
 "Implementing projective measurements with linear optics"
 Proc. of The 8th International Conference on Quantum Communication, Measurement and Computing (QCMC2006), 413--416 (2007).
42. M. Fujiwara, and M. Sasaki
 "Direct measurement of non-Poissonian distribution by charge integration photon detector: CIPD"
 Proc. of The 8th International Conference on Quantum Communication, Measurement and Computing (QCMC2006), 389--392 (2007).
41. K. Tsujino, M. Akiba, and M. Sasaki
 "Ultralow-noise readout circuit with an avalanche photodiode: Toward a photon-number-resolving detector"
 Appl. Opt. 46 (7), 1009--1014 (2007).
40. S. Suzuki, H. Yonezawa, F. Kannari, M. Sasaki, and A. Furusawa
 "7 dB quadrature squeezing at 860 nm with periodically poled KTiOPO4"
 Appl. Phys. Lett. 89, 061116/1--3 (2006).
39. H. Nagata, J. Kobayashi, H. Matsuo, M. Akiba, and M. Fujiwara
 "Cryogenic readout integrated circuits for submillimeter-wave camera"
 Nuclear instruments & methods in physics research A559, 823--825 (2006).
38. S. Suzuki, K. Tsujino, F. Kannari, and M. Sasaki
 "Analysis on generation schemes of Schrödinger cat-like states under experimental imperfections"
 Optics Communications Vol.259, Issue 2, 758-764 (2006).
37. M. Fujiwara and M. Sasaki

- "Photon-number-resolving detection at a telecommunications wavelength with a charge-integration photon detector"
Optics Letters Vol. 31, No. 6, 1-3 (2006).
36. K. Nagata, W. Laskowski, and T. Paterek
"Bell inequality with an arbitrary number of settings and its applications"
Phys. Rev. A 74, 062109 /1--8 (2006).
35. K. Nagata
"Comment on "All quantum observables in a hidden-variable model must commute Simultaneously"
Phys. Rev. A 73, pp 066101/1--3 (2006).
34. M. Sasaki, and S. Suzuki
"Multimode theory of measurement-induced non-Gaussian operation on wideband squeezed light"
Phys. Rev. A 73, 043807/1--18 (2006).
33. A. Kitagawa, M. Takeoka, M. Sasaki, A. Chefles
"Entanglement evaluation of non-Gaussian states generated by photon subtraction from squeezed states"
Phys. Rev. A 73(4), 042310/1--12 (2006).
32. S. Suzuki, M. Takeoka, M. Sasaki, U. L. Andersen, and F. Kannari
"Practical purification scheme for decohered coherent-state superpositions via partial homodyne detection"
Phys. Rev. A 73(4), 042304/1-7 (2006).
31. M. Takeoka, M. Sasaki, and N. Luetkenhaus
"Binary projective measurement via linear optics and photon counting"
Phys. Rev. Lett. 97(4), 040502/1--4 (2006).
30. K. Nagata
"Inequalities for experimental tests of the Kochen-Specker theorem"
Journal of Math. Phys. 46, 102101/1-20 (2005).
29. M. Takeoka
"Discrimination of quantum states with linear optics and continuous photon counting"
Optics and Spectroscopy, 99 (3), 418-424 (2005).
28. M. Akiba, M. Fujiwara, and M. Sasaki
"Ultrahigh-sensitivity high-linearity photodetection system using a low-gain avalanche photodiode with an ultralow-noise readout circuit"
Opt. Lett. 30(2), 123 (2005).
27. A. Kitagawa, M. Takeoka, K. Wakui, and M. Sasaki
"Effective squeezing enhancement via measurement-induced non-Gaussian operation and its application to the dense coding scheme"
Phys. Rev. A 72, 022334/1-13 (2005).
26. K. Nagata
"Kochen-Specker theorem as a precondition for secure quantum key distribution"
Phys. Rev. A 72, 012325/1-4 (2005).
25. M. Takeoka, M. Sasaki, P. van Loock, and N. Luetkenhaus
"Implementation of projective measurements with linear optics and continuous photon counting"
Phys. Rev. A 71, 022318 (2005).
24. J. Mizuno, K. Wakui, A. Furusawa, and M. Sasaki
"Experimental demonstration of entanglement-assisted coding using a two mode squeezed vacuum state"
Phys. Rev. A 71, 012301 (2005).

23. K. Hirosawa, H. Furumochi, A. Tada, F. Kannari, M. Takeoka, and M. Sasaki
 "Photon Number Squeezing of Ultrabroadband Laser Pulses Generated by Microstructure Fibers"
 Phys. Rev. Lett. 94, 203601 (2005).
22. M. Fujiwara, and M Sasaki
 "Performance of GaAs JFET at a Cryogenic Temperature for Application to Readout Circuit of High-Impedance Detectors"
 IEEE Transactions on Electron Devuces, 51(12), 2042 (2004).
21. A. Kitagawa, and K. Yamamoto
 "Analysis for practical realization of number-state manipulation by number-sum Bell measurement with linear optics"
 Phys. Rev. A 70, 052311 (2004).
20. M. Takeoka, M. Fujiwara, J. Mizuno, and M. Sasaki
 "Implementation of generalized quantum measurements: Superadditive quantum coding, accessible information extraction, and classical capacity limit"
 Phys. Rev. A 69, 052329 (2004).
19. K. Nagata, W. Laskowski, M. Wiesniak, and M. Zukowski
 "Rotational Invariance as an Additional Constraint on Local Realism"
 Phys. Rev. Lett. 93, 230403 (2004).
18. M. Takeoka, M. Sasaki, P. van Loock, and N. Nuetkenhaus
 "Quantum State Discrimination with Linear Optics and Continuous Measurement"
 Quantum Communication, Measurement and Computing, pp67–70 (American Institute of Physics 2004).
17. M. Sasaki, K. Wakui, J. Mizuno, M. Fujiwara, and M. Akiba
 "EPR Beams and Photon Number Detector: Toward Synthesizing Optical Nonlinearity"
 Quantum Communication, Measurement and Computing, pp44–47 (American Institute of Physics 2004).
16. M. Fujiwara and M. Sasaki
 "Photon Number Resolving Detector At Telecommunication Wavelength"
 Quantum Communication, Measurement and Computing, 40–43 (American Institute of Physics 2004).
15. M. Fujiwara, T. Hirao, M. Kawada, H. Shibai, S. Matsuura, H. Kaneda, M. Patrashin, and T. Nakagawa
 "Development of Ge:Ga far-infrared photoconductor direct hybrid 2D array"
 Appl. Opt. 42 (12), 2166–2173 (2003).
14. A. Oiwa, R. Moriya, Y. Mitsumori, T. Slupinski, and H. Munekata
 "Manifestation of Local Magnetic Domain Reversal by Spin-Polarized Carrier Injection in (Ga,Mn)As Thin Films"
 J. Superconductivity: Incorporating Novel Magnetism, 16 (2), pp 439–442 (2003).
13. H. Munekata, A. Oiwa, Y. Mitsumori, R. Moriya, and T. Slupinski
 "Rotation of Ferromagnetically Coupled Mn Spins in (Ga,Mn)As by Hole Spins"
 J. Superconductivity: Incorporating Novel Magnetism, 16 (2), 411–414 (2003).
12. J.A.Vaccaro, Y. Mitsumori, S.M.Barnett, E.Andersson, A.Hasegawa, M. Takeoka, and M.Sasaki
 "Quantum data compression"
 Lecture Notes In Computer Science, 2827, 98–107 (2003).
11. M. Akiba, and M. Fujiwara
 "Ultra low-noise near-infrared detection system with a Si p-i-n photodiode"
 Optic. Lett. 28 (12), 1010–1012 (2003).

10. M. Takeoka, M. Sasaki, and M. Ban
"Continuous variable teleportation as a quantum channel"
Opt. Spectrosc. 94 (5), 675--683 (2003).
9. M. Takeoka M. Ban, and M. Sasaki
"Practical scheme for the optimal measurement in quantum interferometric devices"
Phys. Lett. A 313 (1-2), 16--20 (2003).
8. A. Carlini and M. Sasaki
"Geometrical conditions for completely positive trace-preserving maps and their application to a quantum repeater and a state-dependent quantum cloning machine"
Phys. Rev. A 68, 042327/1--10 (2003).
7. M. Takeoka M. Ban, and M. Sasaki
"Unambiguous quantum-state filtering"
Phys. Rev. A 68, 012307/1--7 (2003).
6. Y. Mitsuomi, J. Vaccaro, S. M. Barnett, E. Andersson, A. Hasegawa, M. Takeoka, and M. Sasaki
"Experimental Demonstration of Quantum Source Coding"
Phys. Rev. Lett. 91, 217902/1--4 (2003).
5. M. Fujiwara, M. Takeoka, J. Mizuno and M. Sasaki
"Exceeding classical capacity limit in quantum optical channel"
Phys. Rev. Lett. 90, 167906/1--4 (2003).
4. C.A. Fuchs, and M. Sasaki
"The quantumness of a set of quantum states"
Quantum Communication, Measurement and Computing, 475--480, ed. J.H. Shapiro and O. Hirota (Rinton Press, New Jersey, 2003).
3. M. Sasaki, and A. Carlini
"Quantum learning and universal quantum matching"
Quantum Communication, Measurement and Computing, 315--318, ed. J.H. Shapiro and O. Hirota (Rinton Press, New Jersey, 2003).
2. M. Sasaki, M. Fujiwara, M. Takeoka, and J. Mizuno
"Quantum decoder for single photon communication"
Quantum Communication, Measurement and Computing, 185--188, ed. J.H. Shapiro and O. Hirota (Rinton Press, New Jersey, 2003).
1. C.A. Fuchs, and M. Sasaki
"Squeezing quantum information through a classical channel: measuring the "Quantumness" of a set of quantum states"
Quantum Information and Computation, 3 (5), 377--404 (2003).

【お茶の水女子大学グループ】

(1)原著論文発表 (国内(和文)誌 0件、国際(欧文)誌 32件)

32. M. Ban
"Decoherence Caused by Transient Linear Amplifiers"
The European Physical Journal D 49, 147 (2008).
31. M. Ban
"Entanglement, Phase Correlation and Dephasing of Two-qubit States"
Optics Communications. 281, 3943 (2008).
30. M. Ban, S. Kitajima, K. Maruyama and F. Shibata
"Quantum Mechanical Model for Two-state Jump Markovian Process"
Physics Letters A 372, 351 (2008).

29. S. Kitajima, M. Ban and F. Shibata
"Exactly Solvable Model of Suppression of Quantum Decoherence"
Physics Letters A 370, 228 (2007).
28. M. Ban, S. Kitajima and F. Shibata
"Dynamical Suppression for Decoherence of Continuous Variable Quantum Information"
Physics Letters A 370, 222 (2007).
27. M. Ban, S. Kitajima and F. Shibata
"Dynamical Suppression of Decoherence by Phase Kicks: Master Equation Approach"
Physical Review A 76, 022307 (2007).
26. M. Ban, S. Kitajima and F. Shibata
"Quantum Master Equation Approach to Dynamical Suppression of Decoherence"
Journal of Physics B 40, 2641 (2007).
25. S. Kitajima, M. Ban, T. Arimitsu and F. Shibata
"Rigorous Quantum Treatment of Dynamical Coherence Recovery"
Journal of Physics B 40, S239 (2007).
24. M. Ban, F. Shibata and S. Kitajima
"Dynamical Suppression of Stochastic Dephasing of Qubit"
Journal of Physics B 40, S229 (2007).
23. M. Ban, F. Shibata and S. Kitajima
"On Phase Relaxation Processes"
Journal of Modern Optics 54, 555 (2007).
22. M. Ban
"Quantum Retrodiction in Non-equilibrium Thermo Field Dynamics"
International Journal of Theoretical Physics 46, 189 (2007).
21. M. Ban
"Decoherence of Qubit Entanglement Caused by Transient Environments"
Journal of Physics B 40, 689 (2007).
20. M. Ban
"Decoherence of Nonclassicality and Entanglement in Transient Environments"
Physics Letters A 361, 48 (2006).
19. M. Ban
"Decoherence in Phase-preserving Linear Dissipative Processes"
Physics Letters A 359, 402 (2006).
18. T. Tomaru and M. Ban
"Secure Optical Communication Using Antisqueezing"
Physical Review A 74, 032312 (2006)
17. M. Ban and F. Shibata
"Correlated and Collective Stochastic Dephasing of Qubit Entanglement"
Physics Letters A 354, 35 (2006).
16. H. Azuma and M. Ban
"Another Convex Combination of Product States for the Separable Werner State"
Physical Review A 73, 032315 (2006).
15. M. Ban
"Asymmetry and Decoherence of Quantum Channel in Quantum Communication System of Continuous Variables"
Journal of Physics B 39, 1125 (2006).
14. M. Ban
"Decoherence of Continuous Variable Quantum Information in non-Markovian Channel"
Journal of Physics A 39, 1927 (2006).

13. M. Ban, S. Kitajima and F. Shibata
"Decoherence of Quantum Information of Qubits by Stochastic Dephasing"
Physics Letters A 349, 415 (2006).
12. M. Ban, S. Kitajima and F. Shibata
"Decoherence of Quantum Information in Non-Markovian Qubit Channel"
Journal of Physics A 38, 7161 (2005).
11. S. Kitajima, M. Ban and F. Shibata
"Model of Quantum Mechanical Communication Channel with Quantum and Thermal Noises"
Journal of the Physical Society of Japan 74, 1436 (2005).
10. M. Ban, S. Kitajima and F. Shibata
"Decoherence of Entanglement in Bloch Channel"
Journal of Physics A 38, 4235 (2005).
9. M. Ban
"Symmetric and Asymmetric Quantum Channels in Quantum Communication Systems"
Journal of Physics A 38, 3595 (2005).
8. M. Ban
"Measurement-induced Enhancement of Entanglement of Two-mode Squeezed-vacuum State"
Journal of Optics B 7, L4 (2005).
7. M. Ban, S. Kitajima and F. Shibata
"Von Neumann Mutual Information in Nonequilibrium Quantum Dynamics"
Journal of the Physical Society of Japan 73, 2908 (2004).
6. M. Ban, S. Kitajima and F. Shibata
"Classical capacity of quantum dense coding system"
Journal of Physics A 37, L429 (2004).
5. M. Ban
"Continuous variable entanglement swapping"
Journal of Physics A 37, L358 (2004).
4. M. Ban
"Correlation and information in quantum channels"
International Journal of Theoretical Physics 43, 323 (2004).
3. M. Ban
"Discrimination among quantum states"
International Journal of Theoretical Physics 43, 27 (2004).
2. M. Ban
"Phase-space approach to continuous variable quantum teleportation"
Physical Review A 69, 054304 (2004).
1. M. Ban
"Properties of continuous variable quantum teleportation"
Journal of Optics B 6, 224 (2004).

(2)学会発表(国際学会発表及び主要な国内学会発表)

【東京大学グループ】

① 招待講演 (国内会議 23 件、国際会議 22 件)

(国内)

23. 古澤明

“コヒーレントな光を用いた量子情報処理“

物質・材料研究機構ナノ計測センター&東京工業大学応用セラミックス

研究所合同シンポジウム「凝縮系の超高速現象とコヒーレント制御」、東京工業大学 大岡山キャンパス(2008年2月21日)

22. 古澤明
“量子テレポーテーションとその応用”
ナノ量子情報エレクトロニクスシンポジウム、東京大学駒場Iキャンパス(2007年10月24日)
21. 古澤明
“高レベルスクイーズド光生成とその応用”
分子研オープンセミナー、分子科学研究所(岡崎市)、(2007年9月11日)
20. 古澤明
“量子テレポーテーションとその応用”
第35回可視化情報シンポジウム、工学院大学(新宿)、(2007年7月24日)
19. 古澤明
“量子テレポーテーションの実現とその応用”
東京大学 大学院理学系研究科・理学部 物理学教室コロキウム、東京大学 小柴ホール(本郷)、(2007年7月6日)
18. 古澤明
“量子情報ネットワークその2”
分子研オープンセミナー(英語での講演)、分子科学研究所(岡崎市)、(2007年3月7日)
17. 古澤明
“量子情報ネットワーク”
ナノ量子情報エレクトロニクスセミナー、生産技術研究所、(2006年12月21日)
16. 古澤明
“量子情報ネットワーク”
光先端テクノロジー展、パシフィコ横浜(横浜市)、(2006年12月6日)
15. 古澤明
“量子情報ネットワーク”
分子研コロキウム、分子科学研究所(岡崎市)、(2006年11月15日)
14. 古澤明
“量子テレポーテーションネットワーク”
Optics & Photonics Japan 2006、学術総合センター 一ツ橋記念講堂(一ツ橋)、(2006年11月8日)
13. 古澤明
“量子情報ネットワーク”
ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構発足記念講演会、東京大学生産技術研究所、(2006年10月30日)
12. 古澤明
“量子テレポーテーション、シュレーディンガーの猫、アインシュタイン・ポドルスキー・ローゼン状態実現とその応用”
第11回 久保記念シンポジウム、理窓会館(神楽坂)、(2006年10月7日)
11. 古澤明
“量子力学最前線”
日本物理学会 2006 年度科学セミナー—朝永振一郎と 21 世紀の物理学、東京大学(本郷)、(2006年8月11日)
10. 古澤明
“量子情報ネットワーク”
光エレクトロニクス第130委員会、東京理科大学 森戸記念館(神楽坂)、(2006年7月14日)
9. 古澤明
“量子情報技術の現状と展望”
原子・分子・光科学(AMO)第3回討論会、東京大学駒場キャンパス(駒場)、(2006年6月16日)
8. 古澤 明

- “量子テレポーテーション実験”
場の量子論の基礎的諸問題と応用、京都大学基礎物理学研究所(京都)、(2005年12月19日)
7. 古澤 明
“我々の目指す量子情報ネットワーク”
CREST量子情報ワークショップ、リゾーピア箱根(箱根)、(2005年12月16日)
6. 古澤 明
“光を用いた量子情報処理—偏光と直交位相成分—”
第96回微小光学研究会 偏光と微小光学 2005年、東京大学 山上会館(本郷)、(2005年5月19日)
5. 古澤 明
“量子テレポーテーションとその応用”
量子情報処理シンポジウム、東京、(2004年12月20日)
4. 古澤 明
“連続量を用いた量子情報処理”
量子情報未来テーマ開拓研究会、沖縄、(2004年8月10日、11日)
3. 古澤 明
“連続量を中心にした量子情報処理”
第49回物性夏の学校、岩手網張温泉、(2004年8月1日)
2. 古澤 明
“量子テレポーテーションとその応用”
第7回 原子分子光科学(AMOS)懇談会、東京大学(本郷)、(2004年3月13日)
1. 古澤 明
“量子テレポーテーションとその応用”
東大物工—NTT物性基礎研究所合同シンポジウム「量子情報技術のための基盤研究」、NTT基礎研(厚木)、(2004年1月16日)

(国際)

22. A. Furusawa
“Continuous-variable quantum information processing with squeezed states of light”
COAST/CORAL Autumn School on Advanced Laser Science, Shiodome, (Nov. 21, 2008)
21. H. Yonezawa
“Continuous variable quantum information processing with squeezed states of light”
The XII International Conference on Quantum Optics and Quantum Information, Lithuania, (Sep. 20, 2008)
20. A. Furusawa
“Quantum information processing with squeezed states of light”
The Ninth International Conference on Quantum Communication, Measurement and Computing (QCMC), Calgary, (Aug. 21, 2008)
19. A. Furusawa
“Quantum Information Processing with Squeezed States of Light”
International Nano-Optoelectronic Workshop, Shonan Village, (Aug. 14, 2008)
18. A. Furusawa
“Continuous-variable quantum information processing with squeezed states of light”
Solvay Workshop on “Bits, Quanta and Complex Systems: modern approaches to photonic information processing”, Brussels, (May. 2, 2008)
17. A. Furusawa
“Quantum teleportation and related quantum information processing”
The Principles and Applications of Control in Quantum Systems 2007 (PRACQSYS 2007),

- Sydney, (Jul. 9, 2007)
16. A. Furusawa
 "Applications of squeezed states of light-Quantum teleportation and related quantum information processing"
 The Ninth Rochester Conference on Coherence and Quantum Optics (CQO9), New York, (Jun. 13, 2007)
 15. A. Furusawa,
 "Quantum information networks"
 International Conference on Quantum Communication, Measurement and Computing (QCMC), Tsukuba, (Dec. 1, 2006)
 14. A. Furusawa
 "Quantum information networks"
 US-Japan Workshop on Quantum Information Science, Hawaii, (Oct. 18, 2006)
 13. A. Furusawa
 "Schroedinger cat and EPR state with quantum optics"
 Japan and US Joint Symposium -Fundamental Issues and Applications of Ultracold Atoms and Molecules-, Colorado, (Aug. 24, 2006)
 12. A. Furusawa
 "Quantum information networks"
 European-Australian Workshop on Quantum-Atom Optics, Australian National University, Canberra & Kioloa, (Feb. 10, 2006)
 11. A. Furusawa
 "Quantum information networks: Present and Future"
 Quantum Optics Seminar, California, (Oct. 21, 2005)
 10. A. Furusawa
 "Quantum information networks: present and future"
 Frontiers in Optics / Laser Science (The 89th OSA annual meeting), Tucson, (Oct. 19, 2005)
 9. A. Furusawa
 "Quantum teleportation and its applications"
 ERATO conference on Quantum Information Science 2005 (EQIS '05), Tokyo, (Aug. 28, 2005)
 8. A. Furusawa
 "Quantum teleportation network and telecloning for continuous variables"
 International Conference on Quantum Electronics / The Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics 2005 (IQEC and CLEO-PR 2005), QThD1-3-INV, Tokyo, (July 14, 2005)
 7. A. Furusawa
 "Quantum teleportation and its applications"
 Seminar at Niels Bohr Institute, Copenhagen, (May 9, 2005)
 6. A. Furusawa
 "Quantum teleportation and its applications"
 9th International Conference on Squeezed States and Uncertainty Relations (ICSSUR'05), Besancon, (May 4, 2005)
 5. A. Furusawa
 "Quantum teleportation and its applications"
 ESF-JSPS Frontier Science Conference, Hayama, (March 15, 2005)
 4. A. Furusawa
 "Quantum teleportation and its applications"
 Photonics Asia 2004 (SPIE), Beijing, (Nov 11, 2004)
 3. A. Furusawa

“Quantum teleportation and its applications”

COE International Symposium “Applied Physics on Strong Correlation”, Hongo, (Oct 7, 2004)

2. A. Furusawa

“Quantum teleportation and its applications”

IQI seminar, Caltech, (May 21, 2004)

1. A. Furusawa

“Quantum teleportation and multipartite entanglement”

International Conference on Quantum Information, Kyoto, (Nov 5, 2003)

② 口頭発表 (国内会議 50 件、国際会議 20 件)

(国内)

50. 永島航洋、政田元太、竹野唯志、米澤英宏、古澤明

“PPKTP 結晶による波長 860nm スクイズド光の生成“

日本物理学会第 63 回秋季大会、22pZA-1、p139、岩手大学(盛岡市) (2008 年 9 月 22 日)

49. 三輪佳史、吉川純一、Peter van Loock、古澤明

“QND ゲートを用いた one-way 量子コンピューテーションの研究“

日本物理学会第 63 回秋季大会、22pZA-3、p140、岩手大学(盛岡市) (2008 年 9 月 22 日)

48. アームストロング聖士、鶴飼竜志、吉川純一、米澤英宏、Peter Van Loock、古澤明

“クラスター状態を用いた 1 モードガウシアン操作の実現 II“

日本物理学会第 63 回秋季大会、22pZA-5、p140、岩手大学(盛岡市) (2008 年 9 月 22 日)

47. 鶴飼竜志、アームストロング聖士、吉川純一、米澤英宏、Peter van Loock、古澤明

“クラスター状態を用いた 1 モードガウシアン操作の実現 I“

日本物理学会第 63 回秋季大会、22pZA-4、p140、岩手大学(盛岡市) (2008 年 9 月 22 日)

46. 荒生肇、米澤英宏、Trevor Wheatley、Elanor Huntington、古澤明

“アダプティブホモダイン測定によるスクイズド光の位相推定の研究“

日本物理学会第 63 回秋季大会、22pZA-2、p139、岩手大学(盛岡市) (2008 年 9 月 22 日)

45. 本多和仁、有川学、永塚哲史、秋葉圭一郎、古澤明、上妻幹旺

“電磁誘起透明化を用いた真空スクイズド光の保存・再生 II“

日本物理学会第 63 回年次大会、26aQD-5、p196、近畿大学(大阪市) (2008 年 3 月 26 日)

44. 吉川純一、三輪佳史、Alexander Huck、Ulrik L. Andersen、Peter van Loock、古澤明

“測定およびフィードフォワードを用いた量子非破壊相互作用の研究 III “

日本物理学会第 63 回年次大会、23pQD-5、近畿大学(大阪市) (2008 年 3 月 23 日)

43. 政田元太、永島航洋、岡野悠、荒生肇、竹野唯志、米澤英宏、古澤明

“PPKTP 結晶による波長 860nm スクイズド光の生成 III“

日本物理学会第 63 回年次大会、23pQD-6、近畿大学(大阪市) (2008 年 3 月 23 日)

42. 竹野唯志、李憲之、米澤英宏、古澤明

“光子検出により非ガウス化したスクイズド光の量子テレポーテーションの研究“

日本物理学会第 63 回年次大会、24pQD-9、近畿大学(大阪市) (2008 年 3 月 24 日)

41. 湯川光彬、鶴飼竜志、米澤英宏、古澤明

“連続量 4 モードクラスター状態の生成“

日本物理学会第 63 回年次大会、24pQD-7、近畿大学(大阪市) (2008 年 3 月 24 日)

40. 李憲之、竹野唯志、米澤英宏、古澤明

“広帯域量子テレポーテーションの研究“

日本物理学会第 63 回年次大会、24pQD-8、近畿大学(大阪市) (2008 年 3 月 24 日)

39. 森岡友子、阪田紫帆里、宮川治、Volker Leonhardt、川村静児、佐藤修一、沼田健司、西澤篤志、山崎利孝、福嶋美津広、古澤明、三代木伸二、黒田和明

“レーザー干渉計重力波検出器のための量子非破壊計測の研究 VIII“

日本物理学会第 63 回年次大会、24pZW-11、近畿大学(大阪市) (2008 年 3 月 24 日)

38. 阪田紫帆里、森岡友子、Volker Leonhardt、川村静児、佐藤修一、沼田健司、西澤篤志、山

- 崎利孝、福嶋美津広、古澤明、菅本晶夫
 “レーザー干渉計重力波検出器のための量子非破壊計測の研究VII”
 日本物理学会第 63 回年次大会、24pZW-10、近畿大学(大阪市) (2008 年 3 月 24 日)
37. 吉川純一、三輪佳史、Alexander Huck、Ulrik L. Andersen、古澤明
 “測定およびフィードフォワードを用いた量子非破壊相互作用の研究2”
 日本物理学会第 62 回秋季大会、23pRH-10、北海道大学(札幌市) (2007 年 9 月 23 日)
36. 李憲之、竹野唯志、James Webb、Elanor Huntington、古澤明
 “広帯域量子テレポーテーション実現に向けた古典チャンネルの作製”
 日本物理学会第 62 回秋季大会、23pRH-13、北海道大学(札幌市) (2007 年 9 月 23 日)
35. 湯川光彬、Hugo Benichi、古澤明
 “量子テレポーテーションの高フィデリティー化 2”
 日本物理学会第 62 回秋季大会、23pRH-12、北海道大学(札幌市) (2007 年 9 月 23 日)
34. 阪田紫帆里、Volker Leonhardt、佐藤修一、川村静児、沼田健司、宮川治、山崎利孝
 福嶋美津広、西澤篤志、古澤明、菅本晶夫
 “レーザー干渉計重力波検出器のための量子非破壊計測の研究VI”
 日本物理学会第 62 回秋季大会、22aZH-10、北海道大学(札幌市) (2007 年 9 月 22 日)
33. 阪田紫帆里、Volker Leonhardt、佐藤修一、川村静児、沼田健司、山崎利孝、福嶋美津広、
 西澤篤志、古澤明、菅本晶夫
 “レーザー干渉計重力波検出器のための量子非破壊計測の研究 V”
 日本物理学会第 62 回年次大会、28aSG-7、鹿児島大学(鹿児島)、(2007 年 3 月 28 日)
32. 湯川光彬、内垣内洋、三輪佳史、米澤英宏、古澤明
 “量子テレポーテーションの高フィデリティー化”
 日本物理学会第 62 回年次大会、21pXK-12、鹿児島大学(鹿児島)、(2007 年 3 月 21 日)
31. 米澤英宏、古澤明
 “直交位相スクイーズド状態の量子テレポーテーション”
 日本物理学会第 62 回年次大会、21pXK-11、鹿児島大学(鹿児島)、(2007 年 3 月 21 日)
30. 梶谷忠志、青木隆朗、Samuel L. Braunstein、古澤明
 “9 モード量子エラーコレクションの研究 III”
 日本物理学会第 62 回年次大会、21pXK-10、鹿児島大学(鹿児島)、(2007 年 3 月 21 日)
29. 赤松大輔、横井芳彦、古澤明、上妻幹旺
 “電磁誘起透明化を利用した真空スクイーズド状態の保存と再生”
 日本物理学会第 62 回年次大会、21aXK-8、鹿児島大学(鹿児島)、(2007 年 3 月 21 日)
28. 横井芳彦、赤松大輔、秋葉圭一郎、谷村崇仁、古澤明、上妻幹旺
 “ルビジウム原子に共鳴する高レベルスクイーズド光の生成”
 日本物理学会第 62 回年次大会、21aXK-7、鹿児島大学(鹿児島)、(2007 年 3 月 21 日)
27. 吉川純一、Alexander Huck、Ulrik L. Andersen、古澤明
 “測定およびフィードフォワードを用いた量子非破壊相互作用の研究”
 日本物理学会第 62 回年次大会、19aXG-2、鹿児島大学(鹿児島)、(2007 年 3 月 19 日)
26. 李憲之、J. S. Neergaard-Nielsen、武井宣幸、古澤明
 “時間領域における EPR ビーム生成 2”
 日本物理学会第 61 回秋季大会、千葉大学(千葉)、(2006 年 9 月 26 日)
25. 竹野唯志、鈴木重成、米澤英宏、古澤明
 “PPKTP による波長 860nm スクイーズド光の生成 II”
 日本物理学会第 61 回秋季大会、千葉大学(千葉)、(2006 年 9 月 26 日)
24. 阪田紫帆里、沼田健司、Volker Leonhardt、川村静児、佐藤修一、西澤篤志、古澤明、福嶋
 美津広、山崎利考、菅本晶夫
 “レーザー干渉計重力波検出器のための量子非破壊計測の研究IV”
 日本物理学会第 61 回秋季大会、千葉大学(千葉)、(2006 年 9 月 26 日)
23. 赤松大輔、横井芳彦、谷村崇仁、秋葉圭一郎、古澤明、上妻幹旺

- “周波数縮退真空スクイーズド状態による電磁誘起透明化の観察Ⅱ”
日本物理学会第 61 回年次大会、30aSA4、愛媛大学(愛媛)、(2006 年 3 月)
22. 谷村崇仁、赤松大輔、横井芳彦、古澤明、上妻幹旺
“PPKTP を用いた Rb 原子共鳴周波数での真空スクイーズド状態の生成”
日本物理学会第 61 回年次大会、30aSA-5、愛媛大学(愛媛)、(2006 年 3 月)
21. 荒井創、古澤明
“スクイーズド光生成過程におけるロスの時間変化の影響”
日本物理学会第 61 回年次大会、30pSA-10、愛媛大学(愛媛)、(2006 年 3 月)
20. 梶谷忠志、高橋剛、吉川純一、青木隆朗、古澤明
“9 モード量子エラーコレクションの研究Ⅱ”
日本物理学会第 61 回年次大会、30pSA-14、愛媛大学(愛媛)、(2006 年 3 月)
19. 吉川純一、林俊樹、秋山高行、武井宣幸、古澤明
“測定・フィードフォワード法によるユニバーサルスクイーズー2”
日本物理学会第 61 回年次大会、30pSA-13、愛媛大学(愛媛)、(2006 年 3 月)
18. 武井宣幸、李憲之、森山大器、古澤明
“時間領域における EPR ビーム生成”
日本物理学会第 61 回年次大会、30pSA-9、愛媛大学(愛媛)、(2006 年 3 月)
17. 武井宣幸
“9 モード量子エラーコレクションの研究”
CREST 量子情報ワークショップ、リゾーピア箱根(箱根)、(2005 年 12 月 15 日)
16. 赤松大輔、横井芳彦、谷村崇仁、秋葉圭一郎、古澤 明、上妻幹旺
“周波数縮退真空スクイーズド状態による電磁誘起透明化の観察”
日本物理学会第 60 回秋季大会、同志社大学(京田辺)、(2005 年 9 月 20 日)
15. 谷村崇仁、赤松大輔、横井芳彦、古澤 明、上妻幹旺
“電磁誘起透明化と MOT を用いた、2 モードスクイーズド状態の量子メモリ機構の提案”
日本物理学会第 60 回秋季大会、同志社大学(京田辺)、(2005 年 9 月 20 日)
14. 高橋剛、梶谷忠志、吉川純一、青木隆朗、古澤明
“9モード量子エラーコレクションの研究”
日本物理学会第 60 回秋季大会、同志社大学(京田辺)、(2005 年 9 月 21 日)
13. 米澤英宏、武井宣幸、古澤明
“高フィデリティ量子テレポーテーションとそのカスケード化”
日本物理学会第 60 回秋季大会、同志社大学(京田辺)、(2005 年 9 月 21 日)
12. 吉川純一、武井宣幸、古澤明
“測定・フィードフォワード法によるユニバーサルスクイーズーの実現”
日本物理学会第 60 回秋季大会、同志社大学(京田辺)、(2005 年 9 月 21 日)
11. 高橋優樹、小池郷、青木隆朗、古澤明
“量子テレクローニング実験”
日本物理学会第 60 回年次大会、27pYE-15、東京理科大学(野田)、(2005 年 3 月 27 日)
10. 吉野健一郎、青木隆朗、古澤明
“広帯域 EPR ビームの生成”
日本物理学会第 60 回年次大会、27pYE-14、東京理科大学(野田)、(2005 年 3 月 27 日)
9. 高橋剛、青木隆朗、古澤明
“擬似位相整合素子を用いた直交位相成分スクイーズド光の生成”
日本物理学会第 60 回年次大会、27pYE-13、東京理科大学(野田)、(2005 年 3 月 27 日)
8. 米澤英宏、青木隆朗、古澤明
“量子テレポーテーションネットワーク”
量子情報処理シンポジウム、東京、(2004 年 12 月 20 日)
7. 武井宣幸、古澤明

- “量子テレポーテーションとその応用“
日本光学会年次学術講演会 Optics Japan 2004、大阪大学(吹田)、4pAS7、(2004年11月4日)
6. 武井宣幸, 米澤英宏, 青木隆朗, 古澤明
“Continuous-variable entanglement swapping”
21世紀COEプログラム「強相関物理光学」国際シンポジウム “Applied Physics on Strong Correlation”、東京大学(本郷)、(2004年10月7、8日)
 5. 武井宣幸, 米澤英宏, 青木隆朗, 古澤明
“連続量エンタングルメントスワッピング”
日本物理学会第59回秋季大会、青森大学(青森)、14pTF-6、(2004年9月14日)
 4. 武井宣幸, 米澤英宏, 青木隆朗, 古澤明
“Continuous-variable entanglement swapping”
量子情報未来テーマ開拓研究会、沖縄、(2004年8月11日)
 3. 米澤英宏
“Quantum teleportation network”
量子情報未来テーマ開拓研究会、沖縄、(2004年8月9日)
 2. 青木隆朗, 古澤明
“連続量多者間エンタングルメントと量子テレポーテーション”
第10回量子情報技術研究会(QIT10)、学習院大学(目白)、(2004年5月25日)
 1. 米澤英宏, 武井宣幸, 小池郷, 平岡卓爾, 吉野健一郎, 青木隆朗, 古澤明
“量子テレポーテーションネットワークII”
日本物理学会第59回年次大会、29pXG-9、学習院大学(目白)、(2004年3月29日)

(国際)

20. N. Lee, Y. Takeno, H. Yonezawa, J. Webb, E. Huntington and A. Furusawa
“Broadband Quantum Teleportation”
The 4th Asia Pacific Conference in Quantum Information Science, Cairns, (Jul. 3, 2008)
19. J. Yoshikawa, Y. Miwa, A. Huck, U. L. Andersen, P. van Loock and A. Furusawa
“Demonstration of a measurement-based quantum nondemolition interaction”
CLEO/QELS2008, QThK6, San Jose, (May. 8, 2008)
18. C. Marquardt, U. L. Andersen G. Leuchs, Y. Takeno, M. Yukawa, H. Yonezawa, and A. Furusawa
“Experimental demonstration of macroscopic quantum coherence in Gaussian states”
CLEO/QELS2008, QMB1, San Jose, (May. 5, 2008)
17. Y. Takeno, M. Yukawa, H. Yonezawa, and A. Furusawa
“Creation of 9dB squeezing with periodically poled KTiOPO₄” (Poster)
8th International Conference on Physics of Light-Matter Coupling in Nano Structures, WeP-6, The University of Tokyo, (Apr. 9, 2008)
16. H. Yonezawa and A. Furusawa
“Teleportation of squeezed states”
8th International Conference on Physics of Light-Matter Coupling in Nano Structures, ThC-4, The University of Tokyo, (Apr. 10, 2008)
15. S. Sakata, V. Leonhardt, S. Kawamura, K. Numata, O. Miyakawa, S. Sato, A. Nishizawa, T. Yamazaki, M. Fukushima, A. Furusawa, and A. Sugamoto
“A study for suppression of radiation pressure noise using ponderomotive squeezing in gravitational wave detectors”
7th Edoardo Amaldi Conference on Gravitational Waves, Sydney, (Jul. 8-14, 2007)
14. H. Yonezawa, S. L. Braunstein, and A. Furusawa
“Teleporting Below the Vacuum-Noise Level: Non-Local Transfer of Squeezing and

- Entanglement”
CLEO/QELS 2007, QTu11, Baltimore, (May 8, 2007)
13. Y Takeno, M Yukawa, H Yonezawa, and A Furusawa
“9 dB Quadrature Squeezing at 860 nm with Periodically-Poled KTiOPO4”
CLEO/QELS 2007, QTu12, Baltimore, (May 8, 2007)
 12. H. Yonezawa and A. Furusawa
“Quantum teleportation and related quantum information processing”
Continuous Variable Quantum Information Processing workshop 2007, St. Andrews, (Apr. 13, 2007)
 11. J. Yoshikawa, T. Hayashi, T. Akiyama, N. Takei, U. L. Andersen, and A. Furusawa
“Universal Squeezer via the Measurement-and-Feedforward Approach”
CLEO/QELS 2006, QFD2, Long Beach, (May 26, 2006)
 10. H. Yonezawa and A. Furusawa
“Sequential Quantum Teleportation for Continuous Variables and Quantum State Reconstruction by Optical Homodyne Tomography”
CLEO/QELS 2006, QFD5, Long Beach, (May 26, 2006)
 9. N. Takei and A. Furusawa
“High-fidelity quantum teleportation and a quantum teleportation network for continuous variables”
ISQM-TOKYO '05, Tokyo, (August, 2005)
 8. H. Yonezawa, N. Takei and A. Furusawa
“Cascaded quantum teleportation for continuous variables”
International Conference on Quantum Electronics / The Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics 2005 (IQEC and CLEO-PR 2005), QThD1-4, Tokyo, (July 14, 2005)
 7. N. Takei, H. Yonezawa, T. Aoki, and A. Furusawa
“Demonstration of High-Fidelity Teleportation and Entanglement Swapping for Continuous Variables”
International Conference on Quantum Electronics / The Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics 2005 (IQEC and CLEO-PR 2005), QThD1-5, Tokyo, (July 14, 2005)
 6. H. Takahashi, S. Koike, T. Aoki and A. Furusawa
“Experimental demonstration of quantum telecloning”
9th International Conference on Squeezed States and Uncertainty Relations (ICSSUR'05), Besancon, (May 4, 2005)
 5. G. Takahashi, T. Aoki and A. Furusawa
“Generation of squeezed vacuum states at 946nm”
9th International Conference on Squeezed States and Uncertainty Relations (ICSSUR'05), Besancon, (May 3, 2005)
 4. T. Aoki and A. Furusawa
“Continuous variable tripartite entanglement and a teleportation network”
The 7th International Conference on Quantum Communication, Measurement, and computing (QCMC), Glasgow, (Jul 26, 2004)
 3. N. Takei, H. Yonezawa, T. Aoki, and A. Furusawa
“Continuous-variable entanglement swapping”
CLEO/IQEC 2004, IPDA6, San Francisco, (May 20, 2004)
 2. H. Yonezawa, T. Aoki, and A. Furusawa
“Experimental realization of quantum teleportation network”
CLEO/IQEC (2004), ITuJ2, San Francisco, (May 18, 2004)
 1. N. Takei, H. Yonezawa, T. Aoki, and A. Furusawa,
“Quantum teleportation and its applications”

The International Symposium on Quantum Info-Communications and Related Quantum Nanodevices, Tokyo, (Mar 11, 2004)

③ ポスター発表 (国内会議 0、国際会議 6)
(国内)

(国際)

6. K. Nagashima, G. Masada, H. Arao, Y. Takeno, H. Yonezawa and A. Furusawa
"Generation of highly squeezed light at 860 nm"
International Nano-Optoelectronic Workshop, Shonan Village, (Aug. 3, 2008)
5. S. Armstrong, M. Yukawa, R. Ukai, J. Yoshikawa, H. Yonezawa, P. van Loock and A. Furusawa
"Experimental generation of four-mode continuous-variable cluster states"
International Nano-Optoelectronic Workshop, Shonan Village, (Aug. 5, 2008)
4. R. Ukai, M. Yukawa, S. C. Armstrong, J. Yoshikawa, P. van Loock and A. Furusawa
"Generation of four-mode continuous-variable cluster states"
The Ninth International Conference on Quantum Communication, Measurement and Computing (QCMC), Calgary, (Aug. 20 2008)
3. Y. Miwa, J. Yoshikawa, A. Huck, U. L. Andersen, P. van Loock, and A. Furusawa
"Demonstration of unit-gain quantum nondemolition interaction"
The Ninth International Conference on Quantum Communication, Measurement and Computing (QCMC), Calgary, (Aug. 21 2008)
2. K. Honda, D. Akamatsu, M. Arikawa, Y. Yokoi, K. Akiba, S. Nagatsuka, A. Furusawa, and M. Kozuma
"Propagation of squeezed vacuum pulses inside a cold atomic ensemble with electromagnetically induced transparency"
Quantum-Atom Optics Downunder, Wollongong, (Dec.5, 2007)
- 1 N. Lee, N. Takei, J. S. Neergaard-Nielsen, and A. Furusawa,
"Time domain Einstein-Podolsky-Rosen correlation"
International Conference on Quantum Communication, Measurement and Computing (QCMC) , Tsukuba, (Nov. 30, 2006)

【NICTグループ】

(2)学会発表(国際学会発表及び主要な国内学会発表)

- ① 招待講演 (国内会議 7 件、国際会議 15 件)
- ② 口頭発表 (国内会議 44 件、国際会議 34 件)
- ③ ポスター発表 (国内会議 20 件、国際会議 23 件)

(招待講演:国内)

7. 佐々木雅英
"連続量量子情報" (招待講演)
第四回量子情報未来テーマ開拓研究会、ホテルサンライズ知念、南城市 (沖縄) (2008 年 9 月 11 日)
6. 豊嶋 守生、シェーファー クリスチャン、荘司 洋三、高山 佳久、國森 裕生、武岡 正裕、藤原 幹生、佐々木 雅英
"衛星を用いた量子暗号通信の動向" (招待講演)
電子情報通信学会 量子情報技術研究会、東京大学理学系研究科小柴ホール (東京) (2008 年 5 月 22 日)
5. 佐々木 雅英
"量子情報通信のための光子検出技術" (招待講演)

電子情報通信学会総合大会、名城大学 天白キャンパス (名古屋) (2007年3月23日)

4. 佐々木 雅英
“スクィーズド光と光子数測定に基づく量子情報処理” (招待講演)
第10回光波シンセシス研究会「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 (東京) (2005年6月24日).
3. 武岡 正裕、和久井 健太郎、佐々木 雅英
“量子符号化:原理実証から非ガウス制御の実現に向けて” (招待講演)
第11回量子情報技術研究会、京都大学 (2004年11月11日)
2. 佐々木 雅英
“光ガウス状態の非ガウスの制御と量子符号化” (招待講演).
第42回茅コンファレンス、宮城蔵王ロイヤルホテル (2004年8月23日)
1. 武岡 正裕、佐々木 雅英
“量子情報通信の基本問題と最近の発展” (招待講演)
日本学術振興会 未踏・ナノデバイステクノロジー第151委員会、伊東(静岡県) (2004年1月30日)

(招待講演:国際)

15. M. Sasaki
“Toward New Generation Quantum Cryptography –Japanese strategy–”
SECOQC, SIEMENS-Forum, Vienna, Austria (Oct. 8, 2008)
14. M. Sasaki
“Temporally multiplexed Shroedinger kitten states”
The Ninth International Conference on Quantum Communication, Measurement and Computing (QCMC2008), The University of Calgary, Canada (Aug. 21, 2008)
13. M. Sasaki
“Control of Superposition States of Continuous Variables by Photon Counting and Filtering with cw Squeezed Light”
3rd International Conference on Quantum Information (ICQI), Boston Marriott Copley Place, Boston, Massachusetts, USA (Jul. 14, 2008)
12. M. Sasaki, K. Wakui, H. Takahashi, M. Takeoka, S. Suzuki
“Generation and control of flying Schroedinger kitten states”
The Fourth Asia Pacific Conference in Quantum Information Science (APCQIS), Cairns, Queensland, Australia (Jul. 4, 2008)
11. M. Sasaki
“Toward network applications of quantum cryptography”
Updating Quantum Cryptography 2007, Akihabara Convention Hall, Akihabara, Japan (Oct. 1, 2007)
10. M. Sasaki, K. Wakui, H. Takahashi, M. Takeoka, and S. Suzuki
“Non-Gaussian control of continuous variables with photon counting and filtering”
SPIE Optics East, Seaport World Trade Center, Boston, Massachusetts, USA (Sep. 10, 2007)
9. M. Takeoka
“Discrimination of binary optical states”
Identifying quantum states and operations: theory and applications, Budmerice, Slovakia (Jun. 21, 2007)
8. M. Sasaki
“Control of optical continuous variable systems using photon counting and feedforward”
The 8th International Conference on Quantum Communication, Measurement and Computing (QCMC2006), Tsukuba International Congress Center, Tsukuba, Japan (Nov. 29, 2006)
7. M. Sasaki

- “R & D of Q. Signal Detection & its Network Application in NICT”
2006 US-Japan Workshop on Quantum Information Science, The Wailea Beach Marriott Resort and Spa, Maui, Hawaii, USA (Oct. 16, 2006)
6. M. Takeoka
“Projective measurements via linear optics and photon detectors”
International Conference on Quantum Optics 2006, Minsk, the Republic of Belarus (May 27, 2006)
5. M. Takeoka
“Discrimination of quantum states with linear optics and continuous photon counting”
Xth International Conference on Quantum Optics, Minsk, Belarus (Jun. 1-3, 2004)
4. M. Sasaki
“Coding Technologies for Quantum Communications”
International Symposium on Quantum Info-Communications and Related Quantum Nanodevices, Mita Kaigisho Auditorium, Tokyo, Japan (Mar. 12, 2004)
3. M. Sasaki,
“Small Scale Quantum Computing for Quantum Communications—From theory to experiment—”
Japan German Colloquium 2004 on Quantum Optics, organized by JSPS and MPG Wildbad Krueuth, Germany (Feb. 10, 2004)
2. J.A.Vaccaro, Y. Mitsumori, S.M.Barnett, E. Andersson, A.Hasegawa, M.Takeoka, and M.Sasaki
“Quantum data compression”
2nd Synposium on Stochastic Alorithms: Foundations and Applications, Hatfield, UK (Sep. 1, 2003)
1. Y. Mitsumori, H. Maruki, A. Hasegawa, F. Minami, M. Sasaki
“Exciton Rabi Oscillation in Semiconductor Quantum Dots”
The 10th International Workshop on Femtosecond Technology FST 2003 TB-3, Chiba, Japan (Jul. 17, 2003)

(口頭発表:国内)

44. 北川 晃、武岡 正裕、佐々木 雅英、Anthony Chefles
“連続量ベル相関測定による量子もつれの推定”
電子情報通信学会 量子情報技術研究会、東京大学理学系研究科小柴ホール、東京 (2008年5月23日)
43. 中込久幸、藤原悠二、廣澤賢一、百瀬嘉則、神成文彦、武岡正裕、佐々木雅英
“超高速ファイバ非線形光学効果を用いたスクイーズドパルス光”
2008年春季 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(千葉)
(2008年3月27日)
42. 辻野 賢治、武岡 正裕、佐々木 雅英
“コヒーレント信号識別における準量子最適受信機の原理実証”
2008年 日本物理学会第63回年次大会、近畿大学(大阪) (2008年3月24日)
41. 佐々木 雅英
“非ガウス型量子エンタングルメント制御”
CREST量子情報ワークショップ、リゾーピア熱海(静岡県) (2007年12月14日)
40. 日比 康詞、松尾 宏、永田 洋久、藤原 幹生
“n型GaAs J-FETを用いた極低温電子回路開発の現状”
平成19年度(2007年)日本赤外線学会研究発表会、東京工業大学すずかけ台キャンパス(神奈川) (2007年11月18日)
39. 武岡 正裕、佐々木 雅英
“コヒーレント信号識別のガウス測定限界と準最適量子測定について”
日本物理学会 2007年秋季大会、北海道大学(北海道) (2007年9月24日)

38. 高橋 優樹、和久井 健太郎、古澤明、佐々木 雅英
 “二光子同時検出によるスクイーズド光の非ガウス化”
 日本物理学会 2007 年秋季大会、北海道大学(北海道) (2007 年 9 月 21--24 日)
37. 秋葉 誠、辻野 賢治、佐々木 雅英
 “リニアモード Si APD を用いた高光電子検出効率単光子検出器”
 2007 年秋季 第 68 回応用物理学会学術講演会、北海道工業大学 (北海道) (2007 年 9 月 6 日)
36. 辻野 賢治、秋葉 誠、佐々木 雅英
 “アバランシェフォトダイオードの単一光電子増倍率分布測定システムの開発”
 2007 年秋季 第 68 回応用物理学会学術講演会、北海道工業大学 (北海道) (2007 年 9 月 6 日)
35. 藤原 幹生、佐々木 雅英
 “通信波長帯光子数識別器の開発”
 電子情報通信学会総合大会、名城大学 天白キャンパス(名古屋) (2007 年 3 月 23 日)
34. 辻野 賢治、秋葉 誠、佐々木 雅英
 “Si APD を用いた光子検出器—光子計数から光子数識別へ—”
 電子情報通信学会総合大会、名城大学 天白キャンパス(名古屋) (2007 年 3 月 23 日)
33. 北川 晃、武岡 正裕、佐々木 雅英、Anthony Chefles
 “フィッシャー情報量を用いた量子もつれ評価”
 日本物理学会 2007 年春季大会、鹿児島大学 (鹿児島) (2007 年 3 月 21 日)
32. 佐々木 雅英
 “非ガウス型量子エンタングルメント制御”
 CREST 量子情報ワークショップ、リゾーピア箱根/シンプロン(箱根) (2006 年 12 月 15 日)
31. 秋葉 誠
 “超低雑音光検出回路”
 全日本科学機器展 in 東京 2006、東京ビックサイト(東京) (2006 年 12 月 1 日)
30. 北川 晃、武岡 正裕、佐々木 雅英
 “量子もつれ支援符号化通信路を用いた量子もつれ評価”
 第 15 回量子情報技術研究会(QIT15)、キャンパスプラザ京都 (京都) (2006 年 11 月 22 日)
29. 和久井 健太郎、高橋 優樹、古澤 明、佐々木 雅英
 “CW スクイーズド光を用いた非ガウス型量子状態の生成について II”
 日本物理学会 2006 年秋季大会、千葉大学西千葉キャンパス(千葉) (2006 年 9 月 26 日)
28. 廣澤 賢一、神成 文彦、武岡 正裕、佐々木 雅英
 “光ファイバ中のソリトトラップによる相関パルス対生成に関する数値解析”
 レーザー学会学術講演会第 26 回年次大会/大宮ソニックシティ(大宮) (2006 年 2 月 10 日)
27. 田口 修平、廣澤 賢一、百瀬 嘉則、神成 文彦、武岡 正裕
 “ファイバ干渉計を用いた 1.5 μ m 帯真空スクイーズドパルス光の発生”
 レーザー学会学術講演会第 26 回年次大会/大宮ソニックシティ(大宮) (2006 年 2 月 10 日)
26. 鈴木 重成、武岡 正裕、佐々木 雅英、Ulrik L. Andersen、神成 文彦
 “ホモダイン測定によるコヒーレント重ね合わせ状態の純粋化”
 レーザー学会学術講演会第 26 回年次大会/大宮ソニックシティ(大宮) (2006 年 2 月 10 日)
25. 佐々木 雅英
 “非ガウス型量子エンタングルメント制御”
 CREST 量子情報ワークショップ、リゾーピア箱根/シンプロン(箱根) (2005 年 12 月 15 日)
24. 北川 晃、武岡 正裕、佐々木 雅英、Anthony Chefles
 “測定誘起型非ガウス状態のもつれ合い評価”
 第 13 回量子情報技術研究会(QIT13)、東北大学電気通信研究所ナノ・スピン総合研究棟(仙台) (2005 年 11 月 25 日)
23. 武岡 正裕、佐々木 雅英、Norbert Luetkenhaus

- “Implementation of binary projection measurement with linear optics and photon counting”
JST CREST「電子・光子等の機能制御」シンポジウム、品川 コクヨホール(東京) (2005年10月19日)
22. 藤原 幹生、佐々木 雅英
“Development of a photon number resolving detector for telecom-band”
電子・光子等の機能制御 平成12年度チーム終了シンポジウム、コクヨホール(東京) (2005年10月18日)
21. 佐々木 雅英
“量子符号化と光子数識別技術”
電子・光子等の機能制御 平成12年度チーム終了シンポジウム、コクヨホール(東京) (2005年10月18日)
20. 辻野 賢治、秋葉 誠、佐々木 雅英
“光子数識別器の実現に向けた超低雑音読出回路の開発”
第66回応用物理学会、徳島大学(徳島) (2005年9月7日)
19. 武岡 正裕、佐々木 雅英
“線形光学素子と光学測定による直行2量子状態の識別”
第12回量子情報技術研究会、NTT厚木研究開発センタ(神奈川) (2005年5月13日)
18. 北川 晃、武岡 正裕、和久井 健太郎、佐々木 雅英
“デンスコーディングにおける相互情報量による測定誘起型非ガウス操作の評価”
第12回量子情報技術研究会、NTT厚木研究開発センタ(神奈川) (2005年5月13日)
17. 藤原 幹生、佐々木 雅英
“通信波長帯 charge integration、photon detector(CIPD)の性能”
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年3月27日)
16. 鈴木 重成、辻野 賢治、神成 文彦、佐々木 雅英
“光源のパルス化が及ぼす単一光子スキューズド状態測定への影響”
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年3月27日)
15. 北川 晃、和久井 健太郎、武岡 正裕、佐々木 雅英
“非ガウス型測定を用いたスキューズド状態の操作とデンスコーディングへの応用”
第11回量子情報技術研究会、京都大学 (2004年12月7日)
14. 武岡 正裕、佐々木 雅英、Peter van Loock、Norbert Luetkenhaus
“線形光学素子と連続測定を用いた量子状態の識別”
第10回量子情報技術研究会、学習院大学 (2004年5月24日)
13. 岸本 直、長谷川 敦司、三森 康義、佐々木 雅英、南 不二雄
“半導体中の励起子のデコヒーレンス制御”
日本物理学会第59回年次大会、九州大学(福岡) (2004年3月29日)
12. 廣澤 賢一、多田 睦、古用 博人、神成 文彦、武岡 正裕
“フォトニッククリスタルファイバーを用いたフェムト秒パルス光子数スキューズド”
応用物理学会春季講演会、東京工科大学(東京) (2004年3月28日)
11. 三森 康義
“III-V族強磁性半導体の光スピン注入磁化反転”
第11回化合物新磁性専門研究会、早稲田大学研究開発センター (2003年12月12日)
10. 水野 潤、和久井 健太郎、古澤 明、佐々木 雅英
“2モードスキューズド状態を用いた通信路に関する性能評価”
電子通信情報学会 電子情報技術時限研究専門委員会 第9回量子情報技術研究会、NTT厚木研究開発センター講堂(神奈川) (2003年12月12日)
9. 佐々木 雅英、中村 和夫
“量子情報通信 ー限りなく早く、そして絶対安全にー”
第105回 通信総合研究所研究発表会、丸の内ビルディング(東京) (2003年11月19日)
8. 武岡 正裕、番 雅司、佐々木 雅英

- “量子状態フィルタリングのための最適量子測定”
日本物理学会 2003 年秋季大会 23pTF-3、岡山大学(岡山) (2003 年 9 月 23 日)
7. 岸本 直、長谷川 敦司、三森 康義、佐々木 雅英、南 不二雄
“2次元半導体における多光波混合2”
日本物理学会 2003 年秋季大会、岡山大学(岡山) (2003 年 9 月 22 日)
6. 和久井 健太郎、水野 潤、古澤 明、佐々木 雅英
“2 モードスクイーズド状態を用いた通信路に関する性能評価”
日本物理学会 2003 年秋季大会 21pTF-1、岡山大学(岡山) (2003 年 9 月 21 日)
5. 大岩 顕、守谷 頼、遠藤 誉幸、三森 康義、宗片 比呂夫
“(Ga, Mn)As 薄膜とその量子構造における光誘起スピンドYNAMIX”
日本物理学会 2003 年秋季大会、岡山大学(岡山) (2003 年 9 月 21 日)
4. 藤原 幹生、佐々木 雅英
“通信波長帯光子数識別器のための積分型読み出し回路の信頼性評価実験”
日本物理学会 2003 年秋季大会 21pTF-6、岡山大学(岡山) (2003 年 9 月 21 日)
3. 中川 淳、山際 正和、三森 康義、南 不二雄、小口 信行
“SHG-FROG 法を用いた GaAs 中の透過パルス位相測定”
日本物理学会 2003 年秋季大会、岡山大学(岡山) (2003 年 9 月 21 日)
2. 三森 康義、長谷川 敦司、南 不二雄、佐々木 雅英
“半導体量子アイランド中の励起子四光波混合 II”
日本物理学会秋の分科会、岡山大学(岡山) (2003 年 9 月 20 日)
1. 三森 康義、長谷川 敦司、南 不二雄、佐々木 雅英
“量子ドットの光学的ラビ振動”
物質材料機構ナノマテリアル研究所、つくば市(茨城) (2003 年 8 月 18 日)

(口頭発表:国際)

34. B. Baek, S.W. Nam, D. Rosenberg, J. E. Nordholt, H. Takesue, Y. Yamamoto, M. Sasaki, A. Tomita
“Application of superconducting single photon detector technology to practical quantum key distribution systems”
2008 Applied Superconductivity Conference (ASC2008), Chicago, Illinois, USA (Aug. 19, 2008)
33. T. Honjo, S. W. Nam, H. Takesue, Q. Zhang, H. Kamada, Y. Nishida, O. Tadanaga, M. Asobe, B. Baek, R. Hadfield, S. Miki, M. Fujiwara, M. Sasaki, Z. Wang, K. Inoue, and Y. Yamamoto
“Entanglement-based BBM92 QKD experiment using superconducting single photon detectors”
The seventeenth annual International Laser Physics Workshop (LPHYS'08), Trondheim, Norway (Jul. 3, 2008)
32. H. Matsuo, Y. Hibi, H. Nagata, M. Nakahashi, Y. Murakoshi, H. Arai, S. Ariyoshi, C. Otani, H. Ikeda, M. Fujiwara
“System design of submillimeter wave imaging array SISCAM”
SPIE Astronomical Telescopes and Instrumentation 2008, Marseille, France (Jun. 23, 2008)
31. H. Nagata, J. Kobayashi, H. Matsuo, Y. Hibi, M. Nakahashi, H. Ikeda, M. Fujiwara
“Development of a cryogenic GaAs AC-coupled-CTIA readout for far-infrared and submillimeter detectors”
SPIE Astronomical Telescopes and Instrumentation 2008, Marseille, France (Jun. 23, 2008)
30. H. Nagata, H. Matsuo, Y. Hibi, J. Kobayashi, M. Nakahashi, H. Ikeda, M. Fujiwara
“GaAs cryogenic readout integrated circuits for high impedance detector arrays in far-infrared and submillimeter-wave regions”
8th International Workshop on Low Temperature Electronics (WOLTE-8), IPHT, Jena, Germany (Jun. 22, 2008)
29. Y. Hibi, H. Matsuo, H. Arai, H. Nagata, H. Ikeda, M. Fujiwara

- “The Cryogenic Multiplexor and Shift Register for Sub-millimeter Digital Camera”
8th International Workshop on Low Temperature Electronics (WOLTE-8), IPHT, Jena, Germany (Jun. 22, 2008)
28. M. Toyoshima, Y. Shoji, C. Schaefer, Y. Takayama, H. Kunimori, M. Takeoka, M. Fujiwara, and M. Sasaki
“Comparison of free-space and fiber-based transmission systems in quantum cryptography”
International Symposium on Space Technology and Science, Hamamatsu, Aichi, Japan (Jun. 1, 2008)
27. C. Wittmann, M. Takeoka, K. N. Cassemiro, M. Sasaki, G. Leuchs, U. L. Andersen
“Near-optimal quantum state discrimination of optical coherent states”
CLEO/QELS2008, San Jose McEnery Convention Center, USA (May 8, 2008)
26. T. Honjo, S. W. Nam, H. Takesue, Q. Zhang, H. Kamada, Y. Nishida, O. Tadanaga, M. Asobe, B. Baek, R. Hadfield, S. Miki, M. Fujiwara, M. Sasaki, Z. Wang, K. Inoue, and Y. Yamamoto,
“Entanglement-based BBM92 QKD experiment using superconducting single photon detectors”
CLEO/QELS2008, San Jose McEnery Convention Center, USA (May 7, 2008).
25. H. Takahashi, K. Wakui, M. Takeoka, K. Hayasaka, A. Furusawa, and M. Sasaki
“Demonstration of 2-photon subtraction from a squeezed vacuum”
SPIE Optics East, Seaport World Trade Center, Boston, Massachusetts, USA (Sep. 12, 2007)
24. M. Takeoka and M. Sasaki
“Near-optimal quantum receivers for the BPSK coherent signals”
SPIE Optics East, Seaport World Trade Center, Boston, Massachusetts, USA (Sep. 12, 2007)
23. K. Tsujino, M. Akiba, and M. Sasaki
“Measurement system for acquiring gain distributions of avalanche photodiodes at low gains”
SPIE Optics East, Seaport World Trade Center, Boston, Massachusetts, USA (Sep. 11, 2007)
22. H. Nagata, J. Kobayashi, H. Matsuo, M. Nakahashi, K. Kobayashi, H. Ikeda, and M. Fujiwara
“Fabrication of cryogenic readout circuits with n-type GaAs-JFETs for low temperature detectors”
The 12th International Workshop on Low Temperature Detectors (LTD-12), Paris, France (Jul. 22, 2007)
21. M. Takeoka, M. Sasaki, and N. Luetkenhaus
“Implementing projective measurements with linear optics”
The 8th International Conference on Quantum Communication, Measurement and Computing (QCMC2006), Tsukuba International Congress Center, Tsukuba, Japan (Nov. 29, 2006)
20. K. Wakui, H. Takahashi, A. Furusawa, and M. Sasaki
“Generation of non-Gaussian optical quantum states from continuous-wave squeezed vacua”
Conference on quantum information & quantum control II, Field Institute, Toronto, Canada (Aug. 11, 2006)
19. M. Fujiwara, and M. Sasaki
“Developing of a photon-number resolving detector at a telecommunications wavelength”
Conference on quantum information & quantum control II, Field Institute, Toronto, Canada (Aug. 11, 2006)
18. K. Tsujino, M. Akiba, and M. Sasaki
“Charge-integration readout circuit with linear-mode silicon avalanche photodiode toward a photon-number resolving detector”
International Conference on Quantum Optics 2006, Minsk, the Republic of Belarus (May 26, 2006)
17. S. Suzuki, H. Yonezawa, F. Kannari, and M. Sasaki
“7.2dB Quadrature Squeezing at 860 nm with Periodically-Poled KTiOPO4”

- Conference on Lasers and Electro-Optics/ Quantum Electronics and Laser Science Conference, Long Beach, California, USA (May 26, 2006)
16. M. Takeoka, M. Sasaki, and N. Luetkenhaus
 “Implementation of binary projection measurement with linear optics and photon counting”
 Workshop on Quantum Information Theory and Quantum Statistical Inference, The University of Tokyo, Tokyo, Japan (Nov. 17, 2005)
15. H. Nagata, J. Kobayashi, H. Matsuo, M. Akiba, and M. Fujiwara
 “Cryogenic GaAs readout circuits for Low temperature detectors”
 XXVIIth General assembly of international union of radio science, New Delhi, India (Oct. 29, 2005)
14. H. Nagata, J. Kobayashi, H. Matsuo, M. Akiba, and M. Fujiwara
 “Cryogenic Readout Integrated Circuits for Submillimeter-wave Camera”
 The Joint 30th International Conference on Infrared and Millimeter Waves and 13th International Conference on Terahertz Electronics, Crowne Plaza Williamsburg at Fort Magruder Hotel, VA, USA (Sep. 22, 2005)
13. M. Takeoka, M. Sasaki, and N. Luetkenhaus
 “Implementation of binary projection measurement with linear optics and photon counting”
 EQIS2005, National Museum of Emerging Science and Innovation, Tokyo, Japan (Aug. 28, 2005)
12. M. Fujiwara, and M. Sasaki
 “Development of a Charge Integration Photon Detector for telecom-band”
 EQIS2005, National Museum of Emerging Science and Innovation, Tokyo, Japan (Aug. 27, 2005)
11. M. Takeoka, and M. Sasaki
 “Discrimination of binary orthogonal states with linear optics and continuous photon counting”
 IQEC and CLEO-PR, Nihon Toshi Kaikan, Tokyo, Japan (Jul. 15, 2005)
10. A. Kitagawa, M. Takeoka, K. Wakui, and M. Sasaki:
 “Effective squeezing enhancement via measurement-induced non-Gaussian operation and its application to dense coding scheme”
 IQEC and CLEO-PR, Nihon Toshi Kaikan, Tokyo, Japan (Jul. 14, 2005)
9. S. Suzuki, K. Tsujino, F. Kannari, and M. Sasaki:
 “Photon subtraction and single photon squeezing schemes for generation of Schrodinger cat-like states under experimental imperfections”
 IQEC and CLEO-PR, Nihon Toshi Kaikan, Tokyo, Japan (Jul. 14, 2005)
8. M. Fujiwara, and M. Sasaki
 “Performance of a Charge Integration Photon Detector for telecom-band”
 IQEC and CLEO-PR, Nihon Toshi Kaikan, Tokyo, Japan, (Jul. 14, 2005)
7. A. Tada, K. Hirose, F. Kannari, M. Takeoka, and M. Sasaki
 “Photon-number squeezing in a soliton-like Stokes Raman component split during fiber propagation”
 IQEC and CLEO-PR, Nihon Toshi Kaikan, Tokyo, Japan (Jul. 13, 2005)
6. K. Hirose, H. Furumochi, A. Tada, F. Kannari, and M. Takeoka
 “Generation of quantum correlation for intra- and inter-shortpulses propagating in optical fibers”
 IQEC and CLEO-PR, Nihon Toshi Kaikan, Tokyo, Japan (Jul. 13, 2005)
5. M. Takeoka, M. Sasaki, P. van Loock, and N. Luetkenhaus
 “Quantum state discrimination via linear optics and photon counting”
 European Quantum Electronics Conference (EQEC2005), Munich, Germany (Jun. 15, 2005)
4. K. Hirose, H. Furumochi, A. Tada, S. Taguchi, F. Kannari, M. Takeoka, and M. Sasaki
 “Generation of quantum correlation between co-propagating pulses in optical fibers”
 European Quantum Electronics Conference (EQEC2005), Munich, Germany (Jun. 15, 2005)
3. M. Takeoka, M. Sasaki, and P. van Loock

- “Design of POVMs with linear optics and continuous measurement”
Photonics Asia 2004, Beijing, China (Nov. 11, 2004)
2. A. Kitagawa, K. Yamamoto, K. Nagata, M. Takeoka, and M. Sasaki
“Quantum state engineering with entangled squeezed states and photon number detector”
Photonics Asia 2004, Beijing, China (Nov. 11, 2004)
1. M. Sasaki
“EPR beams and photon number detector for non-Gaussian operations with continuous variables”
ESF-JSPS Frontier Science Conference Series for Young Researchers, Kanagawa, Japan (Mar. 15, 2004)

(ポスター発表:国内)

20. 秋葉 誠、辻野 賢治、佐々木雅英
“APDを用いた光子検出器の高速化・高検出効率化への取り組み”
CREST量子情報ワークショップ、リゾーピア熱海(静岡県)(2007年12月13日)
19. 守 裕子、小林 純、岡庭 高志、中橋 弥里、川瀬 徳一、鳥居 和史、有吉 誠一郎、大谷 知行、永田 洋久、江澤 元、松尾 宏、藤原 幹生
“SIS フォトン検出器を用いたサブミリ波カメラ(SISCAM-9)の開発”
第7回 宇宙科学シンポジウム、宇宙科学研究所(神奈川)(2006年12月21日)
18. 北川 晃、武岡 正裕、佐々木 雅、Anthony Chefles
“フィッシャー情報量を用いた量子もつれの評価”
CREST 量子情報ワークショップ、リゾーピア箱根/シンプロン(箱根)(2006年12月14日)
17. 辻野 賢治
“線形動作 Si APD を用いた光子数識別器の開発状況”
CREST 量子情報ワークショップ、リゾーピア箱根/シンプロン(箱根)(2006年12月14日)
16. 武岡 正裕
“2光子検出による非ガウス型量子制御とモード整合の最適化”
CREST 量子情報ワークショップ、リゾーピア箱根/シンプロン(箱根)(2006年12月14日)
15. 藤原 幹生
“通信波長帯における光子数識別器の開発”
CREST 量子情報ワークショップ、リゾーピア箱根/シンプロン(箱根)(2006年12月14日)
14. 三森 康義、小阪 英男、枝松 圭一、赤羽 浩一、山本 直克、佐々木 雅英、大谷 直毅
“Four wave mixing from excitons in self-assembled InAs quantum dots”
CREST 量子情報ワークショップ、リゾーピア箱根/シンプロン(箱根)(2006年12月14日)
13. 辻野 賢治、秋葉 誠、佐々木 雅英
“光子数識別器の実現のために望まれる Silicon Avalanche Photodiode の性能”
第15回量子情報技術研究会(QIT15)、キャンパスプラザ京都(京都)(2006年11月21日)
12. 秋葉 誠、辻野 賢治、佐々木 雅英
“Silicon Avalanche Photodiode を使用した高量子効率フォトンカウンターの開発”
第15回量子情報技術研究会(QIT15)、キャンパスプラザ京都(京都)(2006年11月21日)
11. 三森 康義、小阪 英男、枝松 圭一、赤羽 浩一、山本 直克、佐々木 雅英、大谷 直毅
“InAs 系自己形成量子ドット中の励起子四光波混合 III”
日本物理学会 2006 年秋季大会、千葉大学西千葉キャンパス(千葉)(2006年9月25日)
10. 北川 晃、武岡 正裕、辻野 賢治、藤原 幹生、佐々木 雅英
“光子数統計の非古典性解析による光子数識別器の評価法”
第14回量子情報技術研究会/東京工業大学大岡山キャンパス(東京)(2006年5月30日)
9. 辻野 賢治、秋葉 誠、佐々木 雅英
“光子数識別器の実現に向けた電荷蓄積型信号読み出し回路の開発”
第14回量子情報技術研究会/東京工業大学大岡山キャンパス(東京)(2006年5月29日)

8. 藤原 幹生、佐々木 雅英
“通信波長帯光子数識別器の現状”
第14回量子情報技術研究会／東京工業大学大岡山キャンパス(東京) (2006年5月29日)
7. 辻野 賢治、秋葉 誠、佐々木 雅英
“電荷蓄積型信号読み出し回路の開発状況”
量子制御光源及び光子検出技術に関するセミナー／情報通信研究機構・本館(東京) (2006年4月21日)
6. 藤原 幹生、佐々木 雅英
“通信波長帯光子数識別器の高速化の検討”
CREST 量子情報ワークショップ、リゾーピア箱根／シンプロン(箱根) (2005年12月15日)
5. 武岡 正裕、佐々木 雅英、Norbert Luetkenhaus
“線形光学素子と光子測定による2量子状態の識別”
CREST 量子情報ワークショップ、リゾーピア箱根／シンプロン(箱根) (2005年12月15日)
4. 北川 晃、武岡 正裕、佐々木 雅英、Anthony Chefles
“測定誘起型非ガウス状態のエンタングルメント評価”
CREST 量子情報ワークショップ、リゾーピア箱根／シンプロン(箱根) (2005年12月12日)
3. 辻野 賢治、秋葉 誠、佐々木 雅英
“可視・近赤外帯光子数検出器に向けた超低雑音読み出し回路の開発”
CREST 量子情報ワークショップ、リゾーピア箱根／シンプロン(箱根) (2005年12月12日)
2. 三森 康義、長谷川 敦司、佐々木 雅英、南 不二雄
“半導体量子ドットの励起子ラビ振動”
量子情報通信と量子ナノデバイスに関する国際シンポジウム三田共用会議所(東京) (2004年3月11日)
1. 佐々木 雅英、長谷川 敦司、三森 康義、岸本 直、番 雅司、内山 智香子、南 不二雄
“Non-linear optical Spectroscopy for Decoherence in Quantum Dot Array”
QIT8 北海道大学 学術交流会館 (2003年6月30日)

(ポスター発表:国際)

23. H. Matsuo, Y. Hibi, H. Nagata, S. Ariyoshi, T. Otani, H. Ikeda, M. Fujiwara
“Design of superconducting Terahertz digicam”
33rd International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves, California Institute of Technology Pasadena, California, USA (Sep. 17, 2008)
22. S Miki, M, Fujiwara, M Sasaki, Z Wang
“Development of SSPD system with Gifford McMahon cryocooler”
2008 Applied Superconductivity Conference (ASC2008), Chicago, Illinois, USA (Aug. 19, 2008)
21. M. Fujiwara, S. Miki, M. Sasaki, Z. Wang
“Multi-channelled NbN superconducting single photon detectors (SSPDs) system with large area NbN meander nanowires”
Quantum Communication, Measurement and Computing 2008, The University of Calgary, Canada (Aug. 19, 2008)
20. S. Miki, M. Fujiwara, M. Sasaki, Z. Wang
“Development of SSPD System using Gifford McMahon cryocooler”
Applied Superconductivity Conference (ASC), Chicago, USA (Aug. 19, 2008)
19. M. Fujiwara, H. Nagata, H. Matsuo, M. Sasaki
“Optical control of low frequency noise behavior in cryogenic GaAs junction field effect transistor”
8th International Workshop on Low Temperature Electronics (WOLTE-8), IPHT, Jena, Germany (Jun 22, 2008)
18. H. Matsuo, Y. Hibi, H. Nagata, S. Ariyoshi, C. Otani, M. Fujiwara, H. Ikeda

- “Design of Superconducting Terahertz Digicam”
19th International Symposium on Space Terahertz Technology, Netherlands Institute for Space Research (SRON), Groningen, Netherlands (Apr. 28, 2008)
17. A. Kitagawa, M. Takeoka, M. Sasaki, and A. Chefles
“Entanglement evaluation of non-Gaussian states generated by photon subtraction from squeezed states”
The 8th International Conference on Quantum Communication, Measurement and Computing (QCMC2006), Tsukuba International Congress Center, Tsukuba, Japan (Dec. 3, 2006)
16. K. Tsujino, M. Akiba, G. Masada, and M. Sasaki
“Charge-integration photon detector with Si APD in the linear mode”
The 8th International Conference on Quantum Communication, Measurement and Computing (QCMC2006), Tsukuba International Congress Center, Tsukuba, Japan (Dec. 2, 2006)
15. M. Fujiwara, and M. Sasaki
“Photon statistics of intensity-modulated signals by a charge integration photon detector at telecom wavelength”
The 8th International Conference on Quantum Communication, Measurement and Computing (QCMC2006), Tsukuba International Congress Center, Tsukuba, Japan (Dec. 2, 2006)
14. K. Wakui, H. Takahashi, A. Furusawa, and M. Sasaki
“Highly nonclassical photon-subtracted squeezed states generated from nearly pure squeezed states”
The 8th International Conference on Quantum Communication, Measurement and Computing (QCMC2006), Tsukuba International Congress Center, Tsukuba, Japan (Nov. 30, 2006)
13. A. Chefles, A. Kitagawa, M. Takeoka, M. Sasaki, and J. Twamley
“Unambiguous discrimination among oracle operators”
The 8th International Conference on Quantum Communication, Measurement and Computing (QCMC2006), Tsukuba International Congress Center, Tsukuba, Japan (Nov. 3, 2006)
12. A. Kitagawa, M. Takeoka, M. Sasaki, and A. Chefles
“Entanglement evaluation of non-Gaussian states generated by photon subtraction from squeezed states”
Conference on quantum information & quantum control II, Field Institute, Toronto, Canada (Aug. 9, 2006)
11. H. Nagata, J. Kobayashi, H. Matsuo, and M. Fujiwara
“Progress on GaAs cryogenic readout circuits for SISCAM”
SPIE Astronomical Telescopes and Instrumentation 2006, Orlando World Center Marriott Resort & Convention Center, Orlando, Florida, USA (May 1, 2006)
10. M. Fujiwara, and M. Sasaki
“Photon number resolving detectors at telecommunication wavelengths”
QCMC 2004, Glasgow, UK (Jul. 25, 2004)
9. M. Fujiwara, M. Sasaki, and M. Akiba
“Performance of a GaAs JFET at cryogenic temperature for faint light detection system”
SPIE 2004 (Jun. 22, 2004)
8. J. Mizuno, M. Sasaki, K. Wakui, and A. Furusawa
“Quantum Dense Coding Using 2-Mode Squeezed States”
International Symposium on Quantum Info-Communications and Related Quantum Nanodevices, Mita Kaigisho Auditorium, Tokyo, Japan (Mar. 11, 2004)
7. M. Fujiwara, and M. Sasaki
“Development of a Photon Number Resolving Detector in Telecommunication Wave Band”

- International Symposium on Quantum Info-Communications and Related Quantum Nanodevices,
Mita Kaigisho Auditorium, Tokyo, Japan (Mar. 11, 2004)
6. Y. Mitsumori, J.A. Vaccaro, S. M. Barnett, E. Andersson, A. Hasegawa, M. Takeoka, and M. Sasaki
“Implementing quantum noiseless coding using linear optics”
EQIS’03, Kyoto, Japan (Sep. 5, 2003)
 5. M. Sasaki, A. Hasegawa, Y. Mitsumori, and F. Minami
“Theory of active dephasing control in qubit array”
The International Conference on Dynamical Processes in Excited States of Solids (DPC ’03),
Christchurch, New Zealand (Aug. 4, 2003)
 4. Y. Mitsumori, Y. Okubo, A. Hasegawa, M. Sasaki, and F. Minami
“Optical selection rule of hyper Rayleigh scattering in resonance with excitonic wave function in ZnSe”
The International Conference on Dynamical Processes in Excited States of Solids (DPC ’03),
Christchurch, New Zealand (Aug. 4, 2003)
 3. H. Sekiguchi, K. Ikeda, F. Minami, J. Yosino, Y. Mitsumori, H. Amanai, T. Nagao, and H. Sakaki
“Phonon Bottleneck effects in InAs/GaN P Quantum dots”
The International Conference on Dynamical Processes in Excited States of Solids (DPC ’03),
Christchurch, New Zealand (Aug. 4, 2003)
 2. A. Hasegawa, T. Kishimoto, Y. Mitsumori, M. Sasaki, and F. Minami
“Multi-wave-mixing of two dimensional excitons in semiconductors”
International Conference on Dynamical Processes in Excited States of Solids, Christchurch, New
Zealand (Aug. 4, 2003)
 1. M. Takeoka and M. Sasaki, M. Ban
“Design of an optimal quantum receiver for interferometric sensing device”
European Quantum Electronics Conference 2003 (EQEC 2003), Munich, Germany (Jun. 22–27,
2003)

【お茶の水女子大学グループ】

- ①招待講演 (国内会議 0 件、国際会議 0 件)
 - ②口頭発表 (国内会議 12 件、国際会議 0 件)
12. 宇野政子, 北島佐知子, 番雅司, 柴田文明
“古典雑音による量子情報のデコヒーレンスとその制御”
日本物理学会第 63 回年次大会、近畿大学 (2008 年 3 月 26 日)
 11. 柴田文明, 番雅司, 北島佐知子
“デコヒーレンスとその制御”
日本物理学会第 62 回年次大会、北海道大学、(2007 年 9 月 24 日)
 10. 北島佐知子, 番雅司, 有光敏彦, 柴田文明
“コヒーレンス消失と回復の理論的扱い”
日本物理学会 2006 年秋季大会 千葉大学 (2006 年 9 月 25 日)
 9. 北島佐知子, 番雅司, 有光敏彦, 柴田文明
厳密に解ける量子模型による量子通信ダイナミクス
日本物理学会 第 61 回年次大会 愛媛大学 (2006 年 3 月 28 日)
 8. 宇野政子, 柴田文明, 番雅司
“ランダム周波数変調によるエンタングルメントの緩和と量子通信への応用”
日本物理学会 第 61 回年次大会 愛媛大学 (2006 年 3 月 28 日)
 7. 今川真由美, 柴田文明, 番雅司
“量子論理素子のデコヒーレンス解析”

- 日本物理学会 第 61 回年次大会 愛媛大学 (2006 年 3 月 28 日)
6. 柴田文明, 番雅司, 北島佐知子
 “多状態遷移確率過程と等価なマイクロ過程”
 日本物理学会 第 61 回年次大会 愛媛大学 (2006 年 3 月 28 日)
5. 北島佐知子, 番雅司, 柴田文明
 “量子コヒーレンスの減衰と回復 – 厳密な理論模型による扱い –”
 日本物理学会 2005 年秋季大会 同志社大学 (2005 年 9 月 22 日)
4. 黒川百香, 番雅司, 北島佐知子, 柴田文明
 “ブロッホ方程式による量子通信路の扱い”
 日本物理学会 2005 年秋季大会 同志社大学 (2005 年 9 月 22 日)
3. 柴田文明, 北島佐知子, 番雅司
 “ダイナミカルな量子情報理論 – 入出力定式化との対比 –”
 日本物理学会 第 60 回年次大会 東京理科大学 (2005 年 3 月 27 日)
2. 番 雅 司
 “対称、非対称ガウスチャンネルを有する量子通信システム”
 第 13 回凝縮系物理(非平衡系の統計物理)シンポジウム 筑波大学 2005 年 1 月 20 日)
1. 北島佐知子, 番雅司, 柴田文明
 “量子チャンネルにおける量子揺らぎと熱揺らぎ”
 日本物理学会 2004 年秋季大会 青森大学 (2004 年 9 月 15 日)

③ポスター発表 (国内会議 0 件、国際会議 1 件)

1. M. Osaki, K. Yamazaki and M. Ban
 “Influence of the Correlation by Beam Splitting in YK Protocol QKD System”
 Conference on Quantum Communication, Measurement and Computing, Glasgow (Jul. 27, 2004)

(3)特許出願

①国内出願 (0 件)

1. 無し

②海外出願 (0 件)

1. 無し
 その他 無し

(4)受賞等

【東京大学グループ】

- ① 受賞
5. 古澤明
 International Quantum Communication Award、平成 20 年 8 月
4. 古澤明
 日本学士院学術奨励賞、平成 19 年 3 月
3. 古澤明
 平成 18 年度日本学術振興会賞、平成 19 年 3 月
2. 古澤 明
 平成 17 年度東京テクノフォーラムゴールドメダル賞
1. 古澤 明
 平成 17 年度久保亮五記念賞

② 新聞報道

9. “3者間量子もつれ制御成功”の記事, 科学新聞、平成18年11月
8. 量子テレクローニングに関する記事, The Japan Journal, 平成18年9月
7. 研究室の紹介, Nature, 平成18年7月
6. 広島国泰寺高校 スーパーサイエンスセミナー, 中国新聞, 平成18年5月
5. “量子テレクローニング実験成功“, 朝日新聞, 平成18年3月31日
4. NHK 教育 “サイエンス ZERO“ 出演, 平成18年3月25日
3. 古澤 明、東京テクノフォーラムゴールドメダル受賞記事
読売新聞(平成17年4月15日)
2. 古澤 明、東京テクノフォーラムゴールドメダル受賞内容記事
読売新聞(平成17年4月28日)
1. 古澤 明、量子もつれ成功に関する記事
朝日新聞(平成17年6月12日)

③その他

5. 古澤 明
フジテレビ:ニュース JAPAN 出演(平成18年1月6日放映)
4. 東大チーム
NHK:プロフェッショナル 仕事の流儀出演(平成18年2月14日放映)
3. S. Koike, H. Takahashi, H. Yonezawa, N. Takei, S. L. Braunstein,
T. Aoki, and A. Furusawa
“Demonstration of quantum telecloning of optical coherent states”に関する記事の掲載
Physics News Update(平成18年2月)
2. 3.と同内容
New Scientist(平成18年2月)
1. 3.と同内容
Physics Web(平成18年2月)

(5)その他特記事項

【NICTグループ】

① 受賞

レーザー学会学術講演会優秀論文発表賞: 武岡正裕
(鈴木 重成、武岡 正裕、佐々木 雅英、U. L. Andersen、神成 文彦)
「ホモダイン測定によるコヒーレント重ね合わせ状態の純粋化」
2006年5月31日、レーザー学会総会

②新聞報道

「レーザー光のゆらぎ・抑制する新結晶／情通機構と東大など」
日経産業新聞 平成18年6月2日掲載

「スクイーズド光の世界記録塗り替え／NICTと共同チーム」
電波タイムズ 平成18年6月9日掲載

「NICTがスクイーズド光の世界新記録を更新」
Laser Focus World JAPAN 誌7月号掲載

「これまでのITビジネスを根底から覆す『量子情報通信』最前線①」
週間ポスト「メタルカラーの時代」平成18年7月21日号掲載

「これまでのITビジネスを根底から覆す『量子情報通信』最前線②」
週間ポスト「メタルカラーの時代」平成18年7月28日号掲載

「量子力学の基本現象・20個の光子で観測 東大など情報処理へ応用」
日経産業新聞 平成18年8月21日掲載

③その他 無し

(5)その他特記事項

21. 大舘 暁、吉澤 明男
「2007年光学界の進展:量子光学、非線形光学」
日本光学会誌, 37(4), 227-228, (2008).
20. 佐々木雅英
「単一光子を用いた量子情報技術の現状と将来」解説小特集号によせて
レーザー学会「レーザー研究」, 36(8), 462-463, (2008).
19. 武岡 正裕
「量子信号のデータ圧縮と誤り訂正の古典限界克服を目指して:その実装例」
月刊オプトロニクス(10月号)、310、170-178, (2007).
18. 佐々木 雅英
「量子情報通信とその展望」
月刊オプトロニクス(7月号), No.307, 211-220, (Jul. 2007).
17. 佐々木 雅英
「量子情報通信を支える基礎理論」
月刊オプトロニクス(6月号), No.306, 161-169, (Jun. 2007).
16. 佐々木 雅英、松岡 正浩 監修、分担執筆: 佐々木 雅英、藤原 幹生、武岡 正裕、笠井 克幸、早坂 和弘
「量子情報通信 基礎から最前線まで」
株式会社オプトロニクス社 (Nov, 2006)
15. 北川 晃、武岡 正裕、佐々木 雅英、アンソニー シェプレス、ノーバート リュートケンハウス、
「非ガウス型量子操作による信号制御と測定」
情報通信研究機構季報, 52(3), 77-86, (2006).
14. 藤原 幹生、辻野 賢、秋葉 誠、佐々木 雅英、
「光子数識別器の開発と現状」
情報通信研究機構季報, 52(3), 69-76, (2006).
13. 佐々木 雅英
「量子情報通信の概要とNICT における取組」
情報通信研究機構季報, 52(3), 47-53, (2006).
12. 佐々木 雅英、川西 哲也、
「NICT における光・量子通信の研究」
情報通信研究機構季報, 52(3), 1-1, (2006).
11. 藤原 幹生
「光ファイバ通信波長帯における光子数識別器」
月刊オプトロニクス(9月号), No.285, 162-166, (2005).
10. 佐々木 雅英
「量子情報通信の最前線へようこそ」
月刊オプトロニクス(9月号), No.285, 104-109, (2005).

9. 武岡 正裕, 佐々木 雅英,
「光量子情報処理入門 第6回:光量子情報処理の実現に向けて」
レーザー研究, Vol33(7), 484-490, (2005).
8. 武岡 正裕, 佐々木 雅英,
“光量子情報処理入門 第5回:光の量子状態-Introduction to Optical Quantum Information Processing 5. Quantum States of Light”
レーザー研究, Vol33(5), 333-338, (2005).
7. 武岡 正裕, 佐々木 雅英
“光量子情報処理入門 第4回:量子情報処理プロトコル II「量子暗号」”
レーザー研究, Vol33(3), 194-200, (Mar. 2005).
6. 武岡 正裕, 佐々木 雅英
“光量子情報処理入門 第3回:種々の量子情報処理プロトコルと量子計算”
レーザー研究, Vol33(1), 57-61, (Jan. 2005).
5. 武岡 正裕, 佐々木 雅英
“光量子情報処理入門 第2回:量子テレポーテーション”
レーザー研究, Vol32(11), 722-726, (Nov. 2004)
4. 武岡 正裕, 佐々木 雅英
“光量子情報処理入門 第1回:光子対の量子エンタングルメント”
レーザー研究, Vol.32(9), 600-603, (Sep. 2004).
3. M. Sasaki
“Toward Implementation of Coding for Quantum Sources and Channels”
Quantum Information, Statistics, Probability, 130-143, (Rinton Press 2004).
2. 佐々木 雅英
「量子限界における符号化技術」
数理科学, 11月号, No.485, 23-29, (2003).
1. M. Takeoka, M. Fujiwara, J. Mizuno, and M. Sasaki
“Experimental demonstration of superadditive quantum coding gain”
JST CREST Project, FEMD Newsletter, 5(2), (2003).

§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 無し

§8 結び

以上のように、2003年提案時に提案させていただいた課題はすべて達成できたと思います。これもひとえに研究総括の山本喜久先生をはじめとする領域アドバイザーの先生方、JSTの方々のお陰だと大変感謝しております。5年間の長きに亘り本当にありがとうございました。

連続量量子テレポーテーション実験の最初の論文(A. Furusawa et al., Science 282, 706 (1998))の被引用件数が、平成20年10月22日現在1061件(ISI Web of Science)に達しました。このことから、本提案の成果が世界的に評価されていると感じています。