

## 量子もつれプロジェクト 事後評価報告書

### <評価委員>

神谷 武志	委員長	(大学評価・学位授与機構 教授)
清水 富士夫	委員	(東京大学 名誉教授)
Lu J. Sham	委員	(カリフォルニア大学サンディエゴ校 教授)

平成 15 年 12 月 17 日、評価のための会合を米国スタンフォード大学において開催した。山本及びアローシュ代表研究者が評価会においてプロジェクトの報告をおこない、評価会当日の午前中(12月15~17日)まで開催されていた終了シンポジウムでの聴講、終了報告書ならびに研究実施場所の調査結果をもとに、各評価委員が報告書を作成した。最終的に評価委員長が本評価報告書をまとめた。

### <事後評価報告書>

#### 1. 研究の内容

通常物質も量子力学に支配されるマイクロ粒子の集合であるが、その物性は多数粒子の平均として発現するため、ある種の量子力学的効果は失われる。少数個のマイクロ粒子を取り出すことができれば、粒子間の量子位相の相関(量子もつれ)が顕わに発現し、それによって全く新しい物性や応用の道が開ける可能性がある。本プロジェクトは人間が制御しうる量子もつれ物質系を探索し、それをを用いた量子情報システム構築のための基礎概念を開拓することを目的としている。

#### 2. 研究成果の状況

研究期間内に極めて多くの強い影響力をもつ科学論文を発表しているが、主要な 3 つの成果を取り上げて評価する。

(2-1)半導体ナノ構造と微小光共振器による制御された単一光子発生と量子情報への応用:

2001 年の Physical Review Letters 論文、2002 年の Nature 論文によって本方法により 90%以上の同一度をもつ単一光子のペア発生の成功を報じ、本手法の世界的潮流形成に貢献した。これを用いた量子暗号伝送の新方式を提案し、基本システム実験によって有望性を提示した。従来の単一光子量子暗号実験で避けられなかった統計揺らぎをほとんど抑圧できる。

(2-2) 固体中に規則配列された核スピンを用いた量子コンピュータの基礎形成:

これまで、少数粒子の量子相関を用いた量子演算の実証実験は有機分子を含む液体の NMR によるもののみであったが、より発展性が期待される固体の核スピンを用いる新方式を提案し、その基礎固めを行った。核スピンの集団を勾配のある磁場中に置き、パルス磁場

を制御してスピンを整列させ、大きな磁気共鳴信号を得る方法を考案し、基礎実験によって有効性を確認している。またこれらに適合する量子演算の理論構築を行った。

(2-3) ポラリトン凝縮によるコヒーレント発光：

微小光共振器に閉じ込められた量子閉じ込め状態の電子系を光励起すると高密度のポラリトンの集合が形成され、コヒーレントなフォトンが発生すること、それが一種の相変態の振る舞いをするを見出した。その理論解釈にはのこされた課題も多いが、従来のレーザーより容易に非古典的な光子を発生できる可能性をもっており、量子情報応用への手掛かりを提供するものである。

### 3. 研究成果の科学技術への貢献

上記の顕著な業績群は単なる偶然で得られたものではなく、それに至る系統的な理論的、実験的検討を経てたどり着いた到達点といえる。ことに微小光共振器の一連の理論およびブラッグ反射器、マイクロピラー、フォトニック結晶の技法による実現の一連の成果や、非古典的な光の統計的性質を詳しく測定する方法の開発、コヒーレントポラリトンに関する物性物理的検討、核スピン格子による量子計算の概念設計などは影響力のある基礎研究といえる。

### 4. 相手機関との研究交流状況

半導体ナノ構造と量子光学の専門家である代表者山本喜久氏がパートナーとして気体原子系の量子光学の第一人者である Haroche 氏を選んだことは適切であったと判断する。量子もつれ、量子情報システムの物理的実現のような発展途上の分野では種々の物質、種々の物理現象、種々の理論形式を比較しつつ検討することが重要であり、物理的手法が相補的なグループの交流は極めて生産的であると考えられ、実際終了シンポジウムでの両者の発表からその効果が見て取れた。同一分野で類似の手法を得意とする 2 つのグループのほうが共同研究論文の発表や人的交流の量は多くなったかもしれないが、ここで行われた協力の効果はより内面的な性格が強く、長期的に判断するべきものと考えられる。

### 5. 総括評価

量子情報処理を半導体ナノ構造の物性に基づいて構築しようとする研究課題について、新概念の提示および実験手法の開拓の両面とも山本グループが世界的にみて圧倒的に強い指導性を発揮していることは明らかである。また同グループから輩出した若手、中堅研究者が世界中において本分野で活発な研究を展開していることは本グループが人材の育成という観点からも卓越した業績を挙げたといえることができる。