



図 1. すばる主焦点超広視野カメラ（ハイパー・シュプリーム・カム）

## （２）課題及び留意点等

本研究課題終了時までには、FIRST の支援で行う超広視野分光と超広視野イメージングにより、世界初のどのような科学的な観測成果が得られるのか、本研究課題で達成される具体的な成果を明確にする必要がある。

また、サブテーマ 1 の分光器のハードウェアは FIRST も含め、国際協力体制の下、複数の資金により設計・製作が行われており、どの部分が FIRST の支援により製作されているのか、また、その中で日本独自の技術等はどの部分にあるかを対外的に明確に説明していくことが求められる。

## 3. 研究の推進・支援体制の状況

### （１）全体の推進・支援状況

研究推進体制としては、FIRST を基盤とした国際パートナーシップの下で行われており、中心研究者が所属する東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構と共同研究機関である自然科学研究機構国立天文台を中心に、協力研究機関としてカリフォルニア工科大学、台湾中央研究院等が参画している。

プロジェクト全体の進捗状況の把握と推進のために、年 2 回開催される課題全体の運営会議（コラボレーションミーティング）、サブテーマごとの運営会議（ワークシ

ヨップ、技術協力会議等)及び月1回開催される国立天文台との会議が設置されている。また、研究推進等についての意見や助言を受けるために、国立天文台教授を委員長としたアドバイザリボードが設置されている。

研究支援体制として、研究支援担当機関である東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構に研究支援組織(専任6人、兼任6人)が設置され、また、東京大学本部に新たに支援組織(兼任7人)が設置され、支援活動が行われている。

アウトリーチ活動として、国際シンポジウムのプログラムの一部に、一般市民と対話を行う講演会を設け、中心研究者自らプロジェクトの意義をアピールした。

## (2) 課題及び留意点等

新規の装置の設計・製造を伴う本研究課題の性格からすれば、特許出願が2件に留まっているのは少ない。FIRSTの資金が原資となっている委託等で、委託先等が知的財産を得た場合、研究支援担当機関は、FIRSTの成果として、積極的にカウントしていく姿勢が求められる。

## 4. 総合判断

本研究課題は、同様の複数の国際競争プロジェクトが存在するものの、本プロジェクト終了時(2014年3月)の時点で、国際競争力の観点から、研究目標の国際的な優位性はあると判断される。

このような状況において、研究は国際連携体制の構築の遅れや主焦点超広視野カメラの取付けトラブルなどを原因として、全体として1年程度の遅れが見られる。しかしながら、研究目標を達成するべく、スケジュールを挽回するための努力が行われており、所期の研究目標の達成は可能と見込まれる。

中心研究者は、プロジェクト終了時までにはスケジュールの遅延を挽回し、FIRSTの支援により得ることが可能となる科学的な研究成果を出すことが求められる。そのためには、世界初のどのような科学的な観測成果が得られるのか、本研究課題で達成される具体的な成果を明確にした上で、研究を推進することが求められる。

以上を総合的に勘案して、本研究課題については以下の取扱いとする。  
プロジェクトを継続とする。

研究課題名	量子情報処理プロジェクト
中心研究者名	山本 喜久
研究支援担当機関名	情報・システム研究機構国立情報学研究所

## 1. 研究課題の概要

本研究課題は、情報、通信、半導体産業の活性化を図るとともに、量子情報処理技術で世界をリードする観点から、主に、世界に先駆けて誤り耐性のある量子コンピュータのアーキテクチャを明らかにするとともに、これを実現し得るハードウェア素子からなる小規模なシステムを実証することを目指している。

併せて、次世代の標準技術として光格子時計のシステムの実証、量子通信を支える多者間量子通信プロトコルの確立、単一光子、単一スピンの検出器、非古典光、非古典物質波の発振器を開発等としている。

本課題は、以下の8つのサブテーマから構成されている。

### [1] 量子情報システムの研究

- ・動的ボーズアインシュタイン凝縮現象を利用した量子シミュレーション及びアナログ計算、トポロジカル表面コードを利用したデジタル量子計算

### [2] 量子計測の研究

- ・光子検出/量子情報処理赤外光源開発、半導体量子ナノ構造による量子計測素子、光重ね合わせ状態を用いた高感度計測技術の開発

### [3] 量子標準の研究

- ・光格子時計、高精度周波数リンクによる次世代時間標準の応用

### [4] 量子通信の研究

- ・量子マルチパーティ通信、量子インターフェース

### [5] アナログ量子コンピュータ/量子シミュレーションの研究

- ・光格子中の冷却原子、固体電子系と光の結合系、イオントラップを対象とした量子シミュレーション

### [6] 理論の研究

- ・量子情報処理を実現するためのシステムとその基本素子に関する理論

### [7] 超伝導量子コンピュータの研究

- ・量子万能ゲートを基にした計算方式、量子ビットの回路方式、アルミ超伝導量子ビット集積回路技術

### [8] スピン量子コンピュータの研究

- ・半導体スピン又は分子スピンを基にした小規模量子システム、スピン量子ビットと超伝導、光量子ビットの結合制御

## 2. 研究課題の進捗状況

### (1) 全体の進捗状況

量子コンピュータのシステムアーキテクチャ（5階層からなる階層構造）を確立し、誤り耐性量子コンピュータの全体像を明らかにしたことから、研究は順調に進捗している。

これにより、ゲート誤りが0.1%以下、量子ビット数を $10^8 \sim 10^9$ と見積もり、高フィデリティ化と大規模集積化に研究の方向性を絞り込むことができたことは特筆すべき成果と言える。

8つのサブテーマは研究目標を達成するために、相互に関係性をもって設定されており、スピン量子ビットを用いた量子メモリの開発、通信波長帯光子量子ビットの量子もつれ状態の発生や積算時間1600秒で $1 \times 10^{-17}$ の安定度の光格子時計の開発など、世界をリードする研究成果が得られていることから、サブテーマは概ね順調に進捗している。

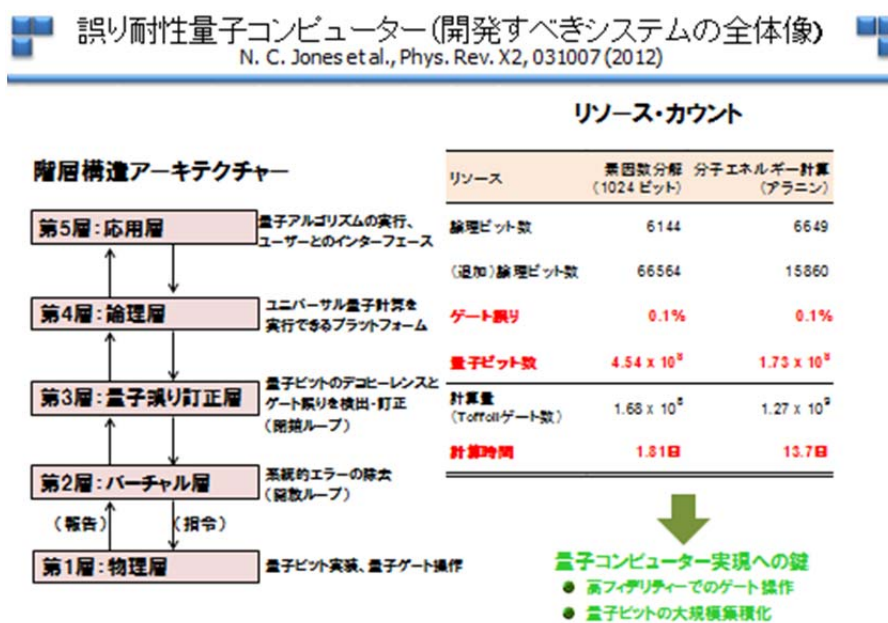


図1. 量子コンピュータのシステムアーキテクチャの全体像

### (2) 課題及び留意点等

量子コンピュータのシステムアーキテクチャの全体像を明らかにしたことは、FIRSTのこれまでの成果として大きな前進である。今後、研究を推進するにあたって、国際競争が激しい本分野の動向を注視した上で、世界水準の研究成果がでていいる部分を中心に資源配分の重点化を行うなど、プロジェクト終了時までには研究成果の最大化を図ることが必要である。

### 3. 研究の推進・支援体制の状況

#### (1) 全体の推進・支援状況

研究推進体制としては、中心研究者が所属する国立情報学研究所、共同研究機関である東京大学及び理化学研究所を中心に、委託研究機関として18機関（13大学、2独立行政法人、3企業等）が参画している。

プロジェクト全体の進捗状況の把握と推進のために、年1回開催される課題全体の運営会議やサブテーマ単位の会議が設置されている。

研究支援体制としては、研究支援機関である国立情報学研究所、共同研究機関である理化学研究所及び東京大学に新たに支援組織（国立情報学研究所：専任4人、兼任5人、理化学研究所：兼任2人、東京大学：専任2人、兼任1人）を設置し、支援活動を行っている。

なお、国立情報学研究所での支援組織は、平成24年度から抜本的に見直しを行い、研究支援統括者が所属する量子情報国際研究センターと社会連携推進室最先端研究開発支援チームの2元体制とし、支援強化を行った。

#### (2) 課題及び留意点等

これまでの累計の特許出願は8件に留まっている。中心研究者は、量子情報処理技術は現時点で本命が存在しておらず、いつどの分野でブレークスルーが起こるか予想がつかないと言及しており、そうであるならば、可能な限り知的財産活動を積極的に行い、本分野で主導権をとれる体制を確立しておくことが必要である。

### 4. 総合判断

本研究課題の研究目標は、誤り耐性のあるデジタル量子コンピュータのアーキテクチャを明らかにし、これを実現し得る超伝導やスピンを用いたハードウェアからなる小規模システムの実証等であり、国際的優位性を確保できる可能性は高い。

このような状況において、これまでの研究の成果として、量子コンピュータのシステムアーキテクチャの全体像を明らかにしたことから、研究は順調に進捗している。

一方、アーキテクチャのコンセプトが明らかになったことで、量子コンピュータの実現に向けて、残された技術的課題を具体的に明らかにしていく必要がある。また、中心研究者は、それを念頭に、プロジェクト終了時にFIRSTとして得られる研究成果はどこまでかを明確にする必要がある。

その過程で、研究目標を達成するために高い成果が創出されている部分への資源の集中化など、プロジェクト全体として効果的な推進が求められる。

以上を総合的に勘案して、本研究課題については以下の取扱いとする。

プロジェクトは継続とする。