

## 論文審査結果の要旨

論文提出者氏名 榎本 嘉範

ビッグバンによる宇宙創成時には物質と反物質が等量作られたはずであるのに、現在の宇宙においては反物質はほとんど存在しない。この理由を解き明かすことは現代物理学の最重要課題の一つであり、この解明のために反物質を大量に生成し、物質と反物質との間に違いがあるか否かを調べようという努力が続けられてきた。本研究において論文提出者は、最も単純な反物質からなるシステムの一つである反水素をカusp状磁場中において大量合成することに成功し、反水素ビームを用いた高分解能マイクロ波分光の実現に向けての展望を大きく開いた。

具体的には本論文は、第1章 Introduction、第2章 Our strategy-Cusp trap scheme、第3章 Apparatus、第4章 Confinement of antiprotons in the cusp trap、第5章 Confinement of positrons in the cusp trap、第6章 Antihydrogen production and detection、第7章 Conclusion、及び、付録からなっている。本論文の学位請求は、第一に、カuspトラップ法という反物質研究に大変重要な貢献をする手法を独自に開発したこと、第二にこの手法を用いて反水素の大量生成に成功したことに基づいている。カuspトラップ法については、その基本的考え方が第2章に、これを実現するため開発した反陽子蓄積装置、陽電子蓄積装置、輸送ビームライン、カuspトラップ、検出器、及び、それらのコントロール系等の実験装置の詳細が第3章に記されている。反水素の大量合成を実現するために必要な、各種技術的開発項目、カuspトラップ中への反陽子と陽電子の輸送、及び、蓄積は、それぞれ第4章と第5章にまとめられている。第6章においては反水素の大量生成の実現のための具体的手続きとその結果が詳述されており、第7章で全体のまとめをしている。

反水素は2002年に一様磁場中での大量合成が報告され、それ以来、磁気瓶への捕捉とその中でのレーザー分光を目指した研究が活発に展開されてきた。しかし、磁気瓶は非常に強い磁場勾配をもっており、そのため遷移準位は強い摂動を受ける。つまり、磁気瓶を用いた手法はレーザー分光の分解能を原理的に制限するという大きな問題を抱えていることになる。また、現在実現できる磁気瓶（磁場差1T程度）では1K以下の極低温にある反水素しか捕捉することができず、捕捉効率も強く制限されてしまう。一方、本論文では、むしろ適切な磁場分布を持ったトラップ中で反水素を生成することで、反水素ビームを磁場のない領域へ効率的に引き出し、高分解能マイクロ波分光を実現するという、全く新しい視

点から研究を展開している（第2章）。この手法においては合成される反水素の温度が極低温である必要はなく、従って、磁気瓶に捕捉する場合に比して利用可能な反水素が何桁も多くなり、大変効率的であるといえる。このような特長を持つカスプトラップであるが、実際に反水素を生成できるか、どの程度の効率が実現できるかは未知のままであった。本論文提出者は、複雑に相関を持っているカスプトラップの多数のコンポーネントを信頼性高く構築し、極高真空（有効真空度 $10^{-13}$ Torr）を実現して反陽子の蓄積寿命を数千秒と飛躍的に延ばし、また、反水素生成に決定的役割を果たす陽電子の冷却と動径方向圧縮を実現した（第3章～第5章）。こうした多方面に亘る開発研究によって反水素合成の実現に向けての課題を一つ一つ解決していったことは評価できる。第6章では反水素の合成のために反陽子と陽電子を閉じ込めている場所から離れた場所に強い電場を作り、その電場によって再解離された反陽子を検出することで反水素が合成されていることを明確に示し、反陽子から反水素への変換効率は最大で7%にも及ぶことを明らかにした。これはカスプ状不均一磁場中での反水素の生成を世界で初めて実現したものであり、その効率の高さと相まって高く評価できる。さらに、生成された反水素の主量子数分布や反水素生成率の時間変化を測定するなど、本研究は反水素を用いた分光実験にむけて大きく展望を開くものであると評価できる。

以上のように、本研究は、反水素ビームを生成するためのカスプトラップを開発し、カスプトラップ中における反水素の大量合成を世界で初めて実現したものである。この成功は、反水素ビームによる高分解能マイクロ波分光と言うこれまでにない研究手法に道を拓くものであり、高く評価できる。本研究は10数名の共同研究者と共に進められた中規模のグループによる共同研究であるが、実験装置の立ち上げ、実験の遂行、その後のデータ解析等、学位請求論文に記載された研究内容については論文提出者が主体的に進めたものと認められる。

したがって、本審査委員会は博士（学術）の学位を授与するにふさわしいものと認定する。