

## 【基盤研究(S)】 大区分B



### 研究課題名 真空紫外高分解能レーザー分光学の基盤の構築と反水素レーザー冷却への展開

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・教授

かつらがわ まさゆき

桂川 眞幸

研究課題番号： 20H05642 研究者番号：10251711

キーワード： 真空紫外単一周波数波長可変レーザー、高分解能レーザー分光

#### 【研究の背景・目的】

光・量子科学はレーザーの極限化技術と共に互いに表裏一体をなし発展してきた。ほぼ全ての領域が開拓されてきたように見える一方で、レーザーの発明から60年近くを経た現代でも全く手つかずのまま残されたレーザー技術の領域がある。真空紫外域(波長 < 200 nm)における単一周波数・波長可変レーザー技術(図1の未踏)はまさにその一つである。

本研究課題はこの未踏領域に応用レベルで利用可能な真空紫外・単一周波数・波長可変レーザー技術を確認することを第一義的に目指す。また、実現される真空紫外レーザーを技術基盤として真空紫外域における高分解能レーザー分光学を開拓し、さらに、その知見をもとに反水素原子をレーザー冷却するための定量的なシナリオを構築することを目指す。

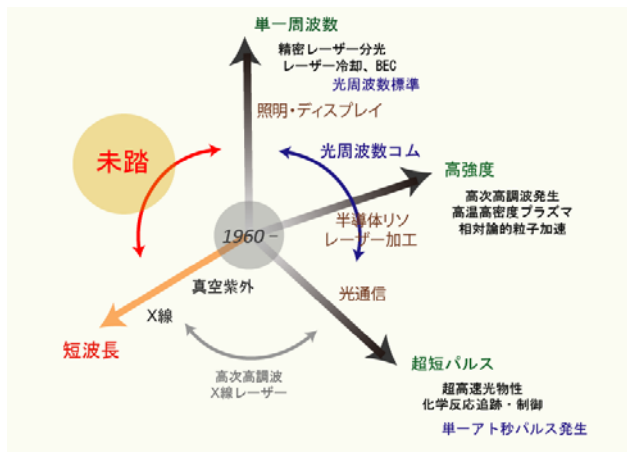


図1 レーザー技術の極限化と相補的に発展する光・量子科学の多様な研究領域

#### 【研究の方法】

非線形光学過程に人為的な位相制御を組込むと量子効率1の非線形波長変換が可能になるということを見出した。これまでに理論的な枠組みを構築し、原理実証実験をおこなった。この研究課題では、これらの成果を気体を媒質とする高次の非線形光学過程に適用することで、真空紫外域において応用レベルで利用可能な単一周波数・波長可変レーザーを実現する。また、実現されるレーザーを用いて、Lyman  $\alpha$  遷移を冷却遷移とする反水素のレーザー冷却のシナリオを、水素原子をテスト媒質とした実験をもとに構築する。

#### 【期待される成果と意義】

ボーズアインシュタイン凝縮に代表される量子凝縮系の物理は、現代物理学における最もホットな話題の一つであろう。周知のように、その前にはレーザー冷却の長期にわたる研究の蓄積があり、さらにそれは高分解能レーザー分光学の基盤の上に発展してきた。振り返るとこの大きな流れの中でいつも主たる物質として扱われてきたのはアルカリ原子であった。しかし改めて考えてみると、アルカリ原子を用いなければならない物理的理由は必ずしも大きく無いように思える。最大の理由は、近赤外～可視の波長域に成熟した(単一周波数波長可変)固体レーザー技術があり、それに最適な物質がアルカリ原子であったということでは無いだろうか。

真空紫外域は光と物質の相互作用が極めて強い波長域である。この研究プロジェクトで進める真空紫外単一周波数波長可変レーザーが実用技術として確立すれば、自ずと真空紫外域における高分解能分光学への道が拓かれ、さらにその先には水素・反水素のレーザー冷却(Lyman  $\alpha$ : 121.6 nm)とその精密レーザー分光を通じた基本的な対称性の検証、また核遷移を用いた次々世代の周波数標準(トリウム(Th)の核遷移: 149 nm)など、多様な学問的展開が期待される。

#### 【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ T. Suzuki, M. Hirai, and M. Katsuragawa, Octave-spanning Raman comb with carrier envelope offset control, **Phys. Rev. Lett.** **101**, 243602 (2008). **表紙**
- ・ J. Zheng and M. Katsuragawa, Freely designable optical frequency conversion in Raman-resonant four-wave-mixing process, **Scientific Reports** **5**, 8874 (2015).
- ・ M. Katsuragawa and K. Yoshii, Arbitrary manipulation of amplitude and phase of a set of highly discrete coherent spectra, **Phys. Rev. A**, **95**, 033846 (2017).
- ・ C. Ohae, J. Zheng, K. Ito, M. Suzuki, K. Minoshima, and M. Katsuragawa, Tailored Raman-resonant four-wave-mixing process, **Optics Express**, **26**, 1452 (2018).

#### 【研究期間と研究経費】

令和2年度～6年度 112,800千円

#### 【ホームページ等】

katsuragawa@uec.ac.jp