

最先端・次世代研究開発支援プログラム  
事後評価書

研究課題名	走査型磁気共鳴顕微鏡を用いた単原子の元素同定法の開発
研究機関・部局・職名	大阪大学・工学研究科・准教授
氏名	杉本 宜昭

## 【研究目的】

表面の個々の原子を画像化することができる走査型プローブ顕微鏡（SPM）は、単原子レベルでの物性測定、単原子操作など、ナノテクノロジーの中心的役割を担ってきた。SPMの発明当初から期待されている重要な応用の一つとして、例えば、表面触媒反応場での化学反応による生成物の同定など、様々な分野と関連する重要な技術として単一原子の元素同定が挙げられる。これまでに、走査型トンネル顕微鏡（STM）を用いた非弾性トンネル分光法（IETS）による、分子内振動の励起を利用した分子同定法や原子間力顕微鏡（AFM）を用いた化学結合力測定に基づく元素同定法も提案されているが、分子を構成する原子も含めた、様々な原子の元素同定する手法の開発が今も非常にチャレンジングな課題として残されている。

本研究は、表面の様々な原子・分子を観察し同定する、単一原子の元素同定法を確立することを目的としている。特に、触媒のモデル系となる表面に吸着した様々な金属原子や分子を同定し、高性能な触媒の開発に貢献することを通してグリーン・イノベーションに資することが目標である。

## 【総合評価】

	特に優れた成果が得られている
	優れた成果が得られている
○	一定の成果が得られている
	十分な成果が得られていない

## 【所見】

## ① 総合所見

当初計画では、探針近くで変調磁場が印加できる強磁場・極低温・超高真空走査型プローブ顕微鏡を開発し、磁気共鳴を利用して元素の同定を行うことを目指す研究計画であったが、この手法の成果に関しては、世界的ヘリウム供給の逼迫等の影響を受けて、研究の中断を余儀なくされたことで、残念ながら成果に結び付いていない。

一方、これに代わる手法として、当初研究計画にはなかったが、本研究で得られたいくつかの研究成果を通して原子間力顕微鏡を用いて化学結合力の精密測定を行

い共有結合力とイオン結合力とを分離することにより元素同定を行う新しい手法を提案し、汎用性に関しては、十分な検証がされていないが、特定のケースに関する実証を行っていることは評価できる。

関連する多くの成果はあげられているものの、研究環境による制約により「単原子の核スピンの検出」という極限技術の開発という本来の研究目的の推進が中断されたことは、極めて残念である。

## ② 目的の達成状況

・所期の目的が

(全て達成された ・ 一部達成された ・ 達成されなかった)

当初の研究計画では「常磁性原子を先端にとりつけた探針を用いた強磁場・極低温・超高真空 AFM/STM を開発し、単原子の核スピンを検出して単原子の元素同定を行う」であった。しかし、作製した「走査型磁気共鳴顕微鏡」は開発できたのか、その分解能・感度はどのようなものであるか、「スピン反転に伴う信号」は検出できたか、単一原子のゼーマンエネルギーの計測はできたか、などについての明確な記述は読み取れない。ヘリウム供給の問題はあったものの、得られた実験結果の詳細な分析、「単原子の核スピンとは何か」についての考察が不足しているように思われる。

液体ヘリウムの供給が困難になったことから「単原子の元素同定法の開発」については、原子間力顕微鏡を用いて化学結合力の精密測定を行い共有結合力とイオン結合力とを分離することにより元素同定を行う新しい手法に変更し、特定の元素を対象として実証を行っているが、この手法の有用性・汎用性に関しては十分な検討が行われているとはいえない。元素同定の有効な手法と主張するためには、どのような元素の同定が可能であるか原理的検証が必要である。

## ③ 研究の成果

・これまでの研究成果により判明した事実や開発した技術等に先進性・優位性が  
(ある ・ ない)

・ブレークスルーと呼べるような特筆すべき研究成果が  
(創出された ・ 創出されなかった)

・当初の目的の他に得られた成果が (ある ・ ない)

当初は、磁気共鳴を用いた新規な単原子の元素同定法を開発する計画であった。しかし液体ヘリウム供給の問題により、複数探針による化学結合力測定法へと変更された。研究代表者はすでに共著にて、「フォースカーブによる元素識別とフォース・マッピング」の題で、表面科学 (29 巻 4 号 214-220 ページ、2008 年) に研究紹介を執筆している。したがって、開発した技術の先進性が高いとは言えない。また、複数探針で得られ化学結合力の実験結果の解析から、元素同定を行う提案に意義はあるものの、ブレークスルーと言えるほどの新規性があるとは言えない。

このような観点から、従来の元素同定法を改良して、より多くの元素を室温で同定可能な方法を提案し、酸素の同定に成功していることは評価されるが、その汎用性に

関しては明らかでは無く、また従来の元素同定法の延長線上の研究であり、特記すべき成果とは言いにくい。

#### ④ 研究成果の効果

・研究成果は、関連する研究分野への波及効果が

( 見込まれる ・ 見込まれない)

・社会的・経済的な課題の解決への波及効果が (見込まれる ・ 見込まれない)

本研究課題の走査型磁気共鳴顕微鏡の完成とこれを用いた同位体も含めた種々の原子の元素同定に関しては、成果が得られていない。しかしながら、固体表面において、どこでどのようなプロセスを経て化学反応が起こっているかを探索することは極めて重要である。本課題において、室温にて様々な原子の元素同定が行うことが可能となれば、表面科学の分野の進展には寄与する。

しかしながら、本研究課題で提案された化学結合力測定法では、共有結合とイオン性結合の分離のために必要なだけ多くの探針を用いて、化学結合力のデータを取得している。そのためには、それだけの回数の探針の交換・測定が必要と考えられる。したがって、1つの原子の元素同定にかなりの手間がかかると推察され、広く普及し、それによってグリーン・イノベーションに寄与する方法になるとは言い難い。

#### ⑤ 研究実施マネジメントの状況

・適切なマネジメントが (行われた ・ 行われなかった)

本来の研究計画である走査型磁気共鳴顕微鏡の完成とこれを用いた同位体も含めた単一原子の元素同定に関する研究に関しては、液体ヘリウムの利用が不可能であったため、研究の遂行を中断している。このため、研究目的のために導入した物品のうち、近磁界プローブセットや高周波磁場変調装置などは有効に利用されているとは考えにくい。これらの装置は高額であり、そのような物品は当初の計画において購入か否かを盛り込むべきと思われる。液体ヘリウムの利用が可能となれば、研究目的を達成するための研究を行う予定であることが記載されているが、見通しは不透明であり、このような点に関して少なくとも現時点では助成金が有効に活用されているとは考えにくく、マネジメントがあまり適切ではなかったと判断せざるを得ない。単一原子の核スピンの読み出しに関しての理論家との議論の結果については、理解を深めているとの表現のみであり、単一原子の核スピンの読み出しが現在の装置で理論的に可能かどうかは明確になっていない。

総括として、論文発表 16 件、会議発表 70 件等は、研究成果の発信が適切に行われていることを示すと考えられるが、発表された内容は本来の研究目的である「走査型磁気共鳴顕微鏡の完成とこれを用いた同位体も含めた単一原子の元素同定」に直接関係するものは少ない。また、知的財産権の出願が無いという点には、問題もある。

研究室公開、TV、一般誌等を通じて国民との科学・技術対話は効果的に実施しているが、いうまでもなく内容は本研究課題の成果に直接関係しているものは少ない。