

Development and Application of High Performance Lasers and Spectrometers 高性能レーザー・分光計測システムの 開発と展開

プロジェクトリーダー 加 藤 肇
神戸大学 理学部 教授

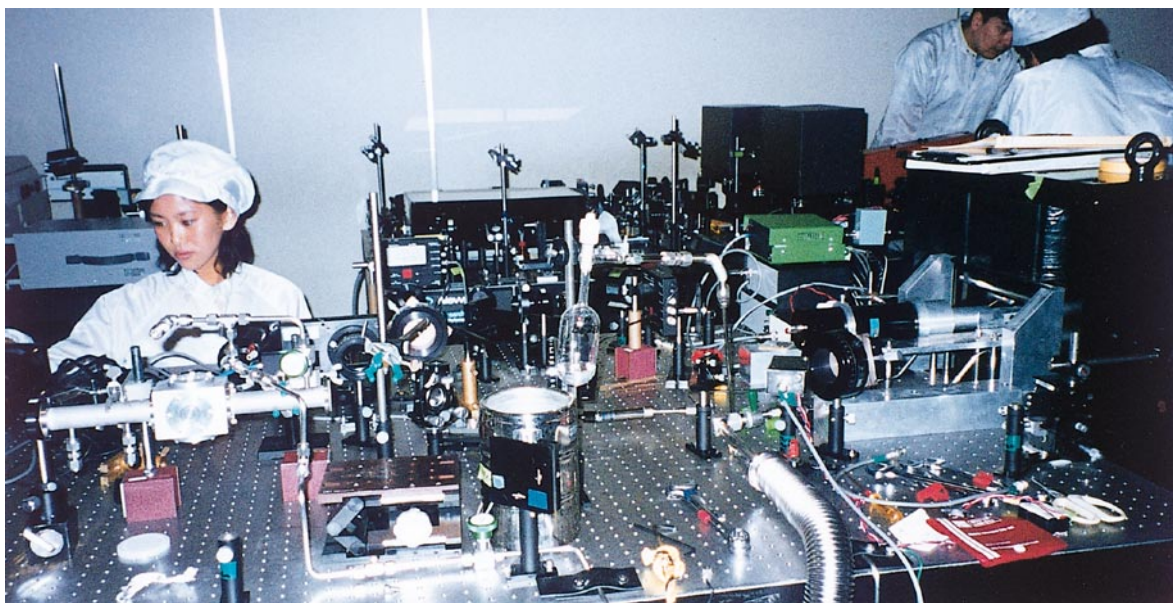


図1 超高分解能レーザー分光用レーザーシステム

1. 研究の目的

電磁波の増幅を誘導放出を利用して行おうとする基礎研究によりレーザーが発明された。レーザー光は、単色性が良い、極短パルス（フラッシュランプと比べて非常に短い時間だけ光る）を発生させることが出来る、コヒーレント性が良い（波形・位相が揃っていて、指向性が良い）、巨大な光強度が得られる等の特色がある。各種レーザーの発明・改良をへて、レーザーは光通信、音響機器、各種産業技術に活用されており、「光」は21世紀の先進科学技術にとって極めて重要である。

本研究では、世界で類を見ない超高分解能レーザー・分子分光計測システムを開発・製作する。これを用いて、分子の構造とダイナミクスに関する先端的研究を展開する。この過程で種々の問題点や必要性が発生すると期待され、これに基づいてさらなる改良・開発をおこない、基礎的で重要な新しい学問分野を開拓する。解明すべき学術的問題（分子の構造と動的挙動・性質、分子内および分子間エネルギー移動、化学反応基礎過程、高選択的化学反应等）に適した光源や分光計測システムの開発と展開をおこない、先駆的で優れた学術的成果と革新的で重要な知的資産の形成を目的とする。

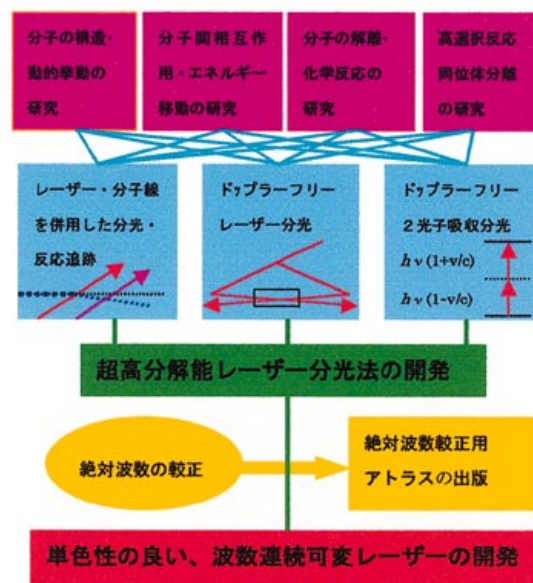


図2 本計画の実施チャート

2. 研究の内容

単色性の良い・波長連続可変なレーザーの発明により、従来の分光器を用いた方法では達成できない超高分解能スペクトルの測定が可能となった。分子の高分解能分光を行うのに実用的なレーザーは、線幅が狭く、数 cm^{-1} 連続波長掃引が出来、出力が安定していることが必要である。さらに分光計測システムとしては、波長読み取り精度が良くなければならない。このような条件を満足する超高分解能レーザー・分光計測システムを開発・製作し、分子の構造と動的挙動・性質、分子内および分子間エネルギー移動、化学反応基礎過程、高選択的化学反应等に関する研究を展開する。

(1) 高分解能分光用波長連続可変レーザーシステムの開発・製作

分解能 0.00001cm^{-1} のスペクトルを得るためには、 0.000001cm^{-1} 毎にスペクトル強度を測定する必要がある。通常、その測定に0.1秒要する。この場合、 1cm^{-1} の領域の測定に100000秒(28時間)要する。分子の電子励起状態を研究するには、 $100 \sim 1000\text{cm}^{-1}$ 程度の領域のスペクトル測定が必要である。従って、分子の電子励起状態を研究するのに実用的な、究極の分解能としては 0.00001cm^{-1} であろう。よって、線幅 0.00001cm^{-1} 程度で波長連続可変なレーザーシステムを開発・製作する。

(2) 超高精度絶対波数自動較正システムの開発・製作

分解能 0.00001cm^{-1} で分子のスペクトルが測定できたら、その絶対波数を決定する必要がある。このために、半導体レーザー励起の単一周波数レーザー(線幅:10kHz)の波長を、ヨウ素分子の特定の超微細構造線(波数:18786.655426 cm^{-1})に固定する。この波長固定したレーザー光を熱的・圧力的に安定化(温度変化 0.01K、圧力変化 0.01Torr)した共焦点エタロンに導入し、エタロンのミラー間の間隔を、波長固定したレーザー光の半波長の整数倍に固定する。分光用波長連続可変レーザーの光を強制安定化基準エタロンに導入し、その相対波数を 0.00001cm^{-1} の精度で測定可能にする。波数15000~19000 cm^{-1} 領域の沃素分子のドップラーフリー吸収スペクトルを超高精度エタロンマークと共に測定し、絶対波数を 0.0001cm^{-1} 以上の精度で較正可能にする。これを絶対波数較正用「ドップラーフリー沃素分子アトラス」としての出版する。

(3) 超高分解能レーザー分光法の開発と展開

高分解能分光をおこなうには分子間の相互作用による線幅の広がりを除く為に対象は気体分子となる。気体分子は並進運動をしている。振動数 ν なる光の進行方向に速度 v で動いている分子は、その振動数を $\nu(1-v/c)$ と感ずる。ここで c は光の速度。気体は通常いろんな方向に並進運動している分子の集まりなので、吸収スペクトルは線幅をもつ。これはドップラー効果による線幅の広がりとして知られている。この線幅の広がりが生じないような分光法はドップラーフリー分光法と言われ、分子の構造・動的挙動等に関する詳細で精度の高い情報が得られ研究の飛躍的な進展が期待できる。超高分解能レーザー分光法して、レーザー・分子線を併用した分光法、ドップラーフリーレーザー分光法、ドップラーフリー2光子吸収分光法等の測定装置・方法を開発する。

これらを活用して「分子の構造・動的挙動と化学反応の基礎過程」に関する学術研究を展開し、従来の手法では観測出来なかった分子の量子化状態・準位間相互作用・化学反応ダイナミクス等に関する正確で詳細な知見を収集し、その機構・基本原理を解明するとともに、基礎的で重要な新しい学問分野を開拓する。

3. 研究の体制

期 間: 1998年8月~2003年3月

構 成: プロジェクトリーダー: 加藤 肇(神戸大学・理学部・教授)

コアメンバー: 3名、研究協力者: 10名(内ポストドク3名)

実施場所: 神戸大学理学部 神戸市灘区六甲台町1-1

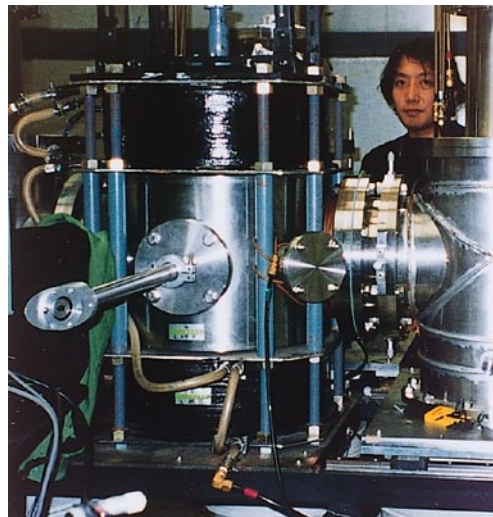


図3 レーザー・分子線・磁場を併用した分光・化学反応追跡装置: 小さな穴から噴出された気体分子の進行方向に直角にレーザー光を照射すると高選択光励起が可能となる。本装置では、磁場の影響や化学反応過程を研究することが出来る。

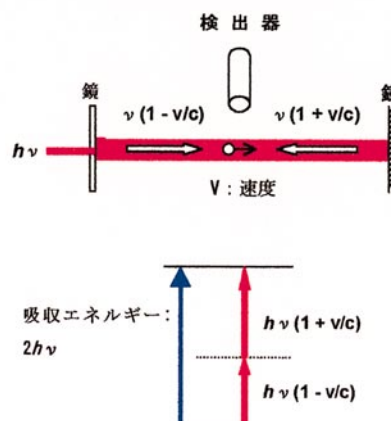


図4 ドップラーフリー2光子吸収分光の原理: 鏡で反射される前後の光子を1個ずつ吸収する分子のスペクトルは、ドップラーフリーとなる。

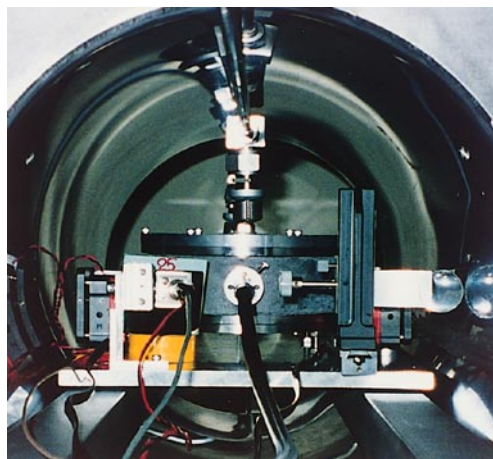


図5 超電導磁石中に組み立てたドップラーフリー2光子吸収スペクトル測定装置