

東京理科大学赤外自由電子レーザーの分光学・分子科学への応用

築山 光一

東京理科大学理学部第一部・総合研究機構赤外自由電子レーザー研究センター

東京理科大学野田キャンパスに設置されている赤外自由電子レーザー (FEL-TUS: Free Electron Laser at Tokyo University of Science) は、科研費・学術創成研究費による研究プロジェクト「赤外自由電子レーザーの高性能化とそれを用いた光科学」(1999-2003 年度、研究代表者: 黒田晴雄) の拠点として、1999 年に設立された施設であり、加速器の開発というよりは利用研究を推進する施設として 20 年以上にわたり活動を継続してきた。しかしながらハードウェアの老朽化は避けるべくもなく、またコストの面からも適正な維持・管理を継続することが困難であると判断されたことから、2021 年 3 月末をもって活動を停止することとなった。

FEL-TUS は $5 \sim 10 \mu\text{m}$ ($1,000 \sim 2,000 \text{ cm}^{-1}$) において周波数可変であり、この波長領域は分子内の結合様式の差異によって吸収スペクトルが顕著に異なる「指紋領域」と呼ばれる領域を含んでいる。エネルギー分解能は約 1% (2000 cm^{-1} において $\sim 20 \text{ cm}^{-1}$) である。また FEL-TUS はピコ秒パルスを発振する高輝度・高出力パルス光源である。FEL のように先端出力が高い場合には、特定の分子のある特定の振動モードに選択的に励起エネルギーを注入することができ、一度に複数の光子を吸収する励起過程が誘起される (赤外多光子吸収(IRMPA))。分子科学においてはほとんどの場合 IRMPA が化学・物理現象を駆動する際の key process である。

ほとんどすべての分子は中赤外領域に振動励起に基づく吸収帯を有するため、ほとんどすべての物質を照射対象として設定することができる。振動励起に後続する現象を様々な分析法を通じて追跡することにより、FEL-TUS の応用範囲は生命科学 (当研究会において川崎平康博士が詳細を発表)、分光学・分子科学、材料科学[1,2]まで極めて多岐にわたるが、本稿では特に小職が中心

となって 2004~2016 年に実施した分子科学および分光学への応用を中心に概観したい。予定している内容は、(1) 赤外多光子励起による光化学反応、(2) 赤外多光子励起による同位体分離、(3) 気相における分子集合体 (クラスターイオン) の構造決定、(4) ポンプ・プローブ実験による励起中間状態の計測である。自由電子レーザーそのものの自体の開発研究が重要であることは言うまでもないが、今後自由電子レーザー施設の隆盛は、適正な数の利用者がいて多彩な研究分野で優れた研究成果を発信できるか否かにかかっているように思われる。本発表が様々なバックグラウンドをお持ちの研究者の方々の今後の研究提案の一助となれば幸いである。

[1] M. Araki, T. Chiba, T. Oyama, T. Imai, and K.

Tsukiyama, *Nucl. Instr. Meth. in Phys. Res. B*, 405, 11-14 (2017).

[2] M. Toriumi, T. Kawasaki, M. Araki, T. Imai and K.

Tsukiyama, *J. Photopol. Sci. Tech.*, 32, 189-193 (2019).