

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 光技術が先導する臨界的非平衡物質開拓

2. 研究代表者名及び主たる研究参加者名(研究機関名・職名は研究参加期間終了時点):

研究代表者

腰原 伸也(東京工業大学大学院理工学研究科 教授)

主たる共同研究者

石原 純夫(東北大学大学院理学研究科 教授)

米満 賢治(中央大学理工学部物理学科 教授)

R. Schoenlein(ローレンスバークレー国立研究所 ALS副所長・研究員)(平成22年4月～)

3. 事後評価結果

○評点:

A+ 期待を超える十分な成果が得られている

○総合評価コメント:

「光励起臨界的非平衡電子構造物性科学」と呼べる新材料設計指針を創成することを目的としたものであり、フェムト秒レーザーと放射光を組み合わせた時間分解 X 線構造解析技術、さらには有機結晶用フェムト秒パルス電子線回折技術、などの超高速動的観測技術を開発し、さまざまな新しい非平衡電子構造に関する研究を展開した。さらに、空間分解能 100 nm、時間分解能 100 fs の光電子顕微鏡の開発に成功した。

物質構造の相転移研究に関しては、時間分解振動分光法、時間分解電子線回折法、ps-X 線回折法、時間分解光電子顕微鏡などのさまざまな手法を用いて、同じ試料条件で現象を観測することにより、光誘起相転移の際に重要な役割を果たす過渡的な物質相である「隠れた物質相」の実証を行った。特に、平衡状態では実現できず、光励起による非平衡状態で初めて実現する「隠れた物質秩序と物質相」を動的 X 線観測装置により構造的に世界に先駆けて捉えることに成功した。さらに、この「隠れた物質秩序」が、従来の分光データに頼った推定とは異なり、光誘起相転移現象など広範な巨大光応答効果の背後に幅広く広がっていることも示した。これは、「光誘起相転移は概ね光電荷注入によって物質秩序を乱した状態(高温相類似な状態)への変化である」という従来の常識的推定を根底から覆す臨界的非平衡物質科学の新概念(「隠れた物質相」)であり、極めて意義深い成果である。予想外の展開利用として、有機光エネルギー利用材料(有機光触媒)におけるエネルギー変換に伴う構造変化観測にも初めて成功している。

一方、時間分解光電子顕微分光装置の開発では、励起レーザーの繰り返し周波数を広い領域で可変とする事により、金属のみならず半導体の観測も可能とし、半導体表面での光励起電子(正孔)の密度と位置の時間変化が実測可能となった。これは、世界初の成果であり、基礎科学のみならず、半導体素子の動作解析などの電子デバイスの研究にも大きな威力を発揮する技術的インパクトの高い成果である。

実験・理論・海外研究拠点との連携等の広範囲な共同研究にリーダーシップを発揮した。研究成果を世界的権威のある学術雑誌に多数発表したことで、本プロジェクト研究の重要性が世界的にも認知され、Humboldt 賞の受賞につながった。CREST 期間内に 24 件のプレスリリースは驚異的である。知財関係への取り組みも現在進行中である。

超高速時間分解赤外分光装置、さらには X 線構造解析装置を用いて、実際の発光過程における発光中心金属周辺の配位原子構造の動的変形を観測することにも成功するなど、その波及効果も大きい。従来は推測であった光触媒と非平衡構造変化の関連が実際に解明され、新化学構造設計への道が切り拓かれる事が予見される。また、半導体ナノ構造のキャリアの振る舞いを時間・空間双方で高分解能測定する方法の確立は、デバイス物理へも多大な貢献がある。光エネルギー変換材料開発への応用も始まっており、新しい産業のイノベーションに繋がる事が期待される。