

## 研究課題別中間評価結果

1. 研究課題名：先端超短パルス光源による光誘起相転移現象の素過程の解明
2. 研究代表者：岩井伸一郎（国立大学法人 東北大学大学院理学研究科 教授）
3. 研究概要

本研究の目的は、「複雑系における光と物質の相互作用」の典型例である光誘起相転移の素過程を、1～3 サイクル極超短パルス光を用いた時間分解分光によって明らかにすることである。そのために、赤外光領域の極超短パルス(パルス幅 4-12 fs)光源の開発を自ら行い、さらに、物質開拓、外場による相転移と臨界現象の探索、理論との有機的な連携によって、強相関電子系における非平衡ダイナミクスの研究を新たなフェーズへと移行させることを目標とした。

これまでに、赤外光領域の 2～3 サイクルパルス(中心波長  $1.5 \mu\text{m}$ (電場振動周期 $\sim 5$  fs)、パルス幅 12 fs)を用いたポンププローブ測定により、典型的な強相関系の有機物質における光誘起絶縁体-金属転移の初期過程を明らかにした。光励起状態の性質の解明や電子ラマン散乱のスペクトルとの比較から、光励起直後の 10-50 fs 以内に、多体電子のコヒーレント振動や、分子内の原子振動と相互作用を始める様子などを世界で初めて捉えることに成功した。さらに、本研究期間中に発見された有機電子誘電体において、グループ間の密接な連携により、「電子的秩序の光による形成」という光誘起相転移の新しい可能性を見出した。

今後は、先端的なパルス(CEP 安定化した、1～2 サイクルパルス)を導入し、多電子振動の位相ダイナミクスを明らかにするとともに、光誘起相転移における電子位相のダイナミクスの制御を目指す。同時に、光誘起相転移の研究分野を新しい方向へ導く観点でスピンプラストレーション系における特異な電荷ダイナミクスの研究も実施する。

### 4. 中間評価結果

#### 4-1. 研究の進捗状況及び研究成果の現状

赤外領域の極超短数サイクルパルスを予定よりも早く実現したこと、そして、これを用いたポンププローブ法で有機強相関電子系の光誘起絶縁体-金属相転移を調べ、光励起直後の 10-50fs 以内に、多体電子コヒーレント振動や、分子内の原子振動との相互作用を始める様子などを世界で初めて捉えることに成功している。これは非常に興味深く、かつ従来の予測と異なるインパクトのある結果として、高く評価され、今後の新たな展開が期待できる。その成果はこの分野で権威ある *Phys. Rev. Lett.* 誌などに掲載されている。

本研究で取り上げている強相関系は、バンド端はほとんどの材料では赤外領域にあり、可視光を用いなくても励起できることから、当初の研究計画にある可視光領域のパルス光源の開発を中断し、代わりに CEP 安定化数サイクル赤外パルスの新規導入等、研究の進展状況に応じた計画の適切な変更がなされており、好ましい進捗状況である。

さらに、光誘起相転移では通常、試料の秩序相(絶縁体相)が破壊されて、無秩序相(金属相)となるが、光励起により秩序相が破壊されるのではなく、新たな電荷秩序相(強誘電相)が形成されると解釈される例を発見した。この解釈の確証は今後の研究に待たねばならないが、興味深い実験結果である。研究代表者 G は東日本大震災の影響を受けたが、いち早く研究体制の再構築を成し遂げており、その努力は評価される。

光誘起相転移の分野をリードする研究成果が挙がっており、論文等の成果発表も多数に行われていることは、装置開発・解析のプロと物質開発のプロとの共同研究が功を奏した結果と判断される。一方、臨界制御、理論チームは類似の系での相補的研究成果は得ているが、まだ明確な共同研究の成果が見えていないのは惜しい。

#### 4-2. 今後の研究に向けて

有機の強相関系が中心になっているために、見出した現象が一般的な現象か、有機系に特有なものかという疑問に答えるために、理論グループ、臨界制御グループとの連携をより強固にして、強相関系の構造相転移の素過程の解明に向かうことが期待される。これらの新しい知見を物質開拓グループにフィードバックして、遷移金属酸化物などの光誘起相転移の無機物質候補を含む新規高機能物質の積極的な探索と合成に結びつけてほしい。

一方、エネルギー緩和の観測のみ現象の正確な解釈が出来ない場合に、位相緩和の観測に発展させるのは自然の流れであり、CEP 安定化パルス光の導入は、妥当な判断と考えられる。成功すれば、当初目標にある「強相関電子系における非平衡ダイナミクスの研究を新たなフェーズへと移行させる」ことの達成につながり、光

誘起相転移分野に大きな貢献を与え、光材料・光産業の分野に広く波及する成果になると期待される。

#### 4-3. 総合的評価

赤外領域で、2～3 サイクルの極超短パルス光源を開発し、ポンプ-プローブ法によって有機強相関係の光誘起相転移の素過程を解明したことは、中間評価の段階としては順調に進捗していると考えられる。光源開発と物質計測という観点が調和した開拓的な研究展開を行っている点については、高く評価できる。今後、物質系を適切に選んでいくことにより、光誘起相転移の研究推進に、着実に貢献できると考えられる。

これからの課題は、電子的秩序をどう光で制御するかであり、そのためにこれらの共同研究チームがどのように連携し研究を発展させていくかを見守りたい。研究が順調に進めば、誘起相転移における電子位相のダイナミクスの理解と制御という、現代の光物性物理学における究極の課題達成が、ここ数年のうちに視野に入ると予想されるので、その社会的インパクトの大きさは測りしれない。研究の質の高さ・量の多さは申し分ないので、単なる共同研究でなく、成果の的を絞って、研究代表者のリーダーシップによる濃いチーム研究の益々の発展を期待したい。