

1. 重点公募テーマ提案【必須】

作成日：平成 29 年 3 月 5 日

領域：超スマート社会 持続可能社会 安全・安心社会 低炭素社会 ※複数選択可

テーマ名：エネルギーの熱緩和・散逸過程の計測と制御による高度エネルギー利用

社会・産業が望む新たな価値：

太陽エネルギーは地球での人類を含めたすべての生命活動の母であり、(化石燃料を含め)植物の光合成がほとんどすべての生命を支えているといつてよいが、植物の太陽エネルギーの利用効率は高くない。つまり、その電子構造に由来する吸収スペクトルは、青色の光を吸収できるがそのエネルギーのまま利用できず、無輻射緩和により赤色の光に対応するエネルギーまでエネルギーを熱散逸して失ってしまう。半導体を利用する太陽電池も同様で、バンドギャップエネルギー(Eg)よりも大きい光子のエネルギーを利用できるが Eg との差は熱エネルギーとして失われる。もしも、この地球規模で膨大なエネルギー損失を制御して最小化したり、発生する熱エネルギーを再利用したりできれば、エネルギー革命が起こせる。21 世紀の新産業として、ナノテクノロジーを基盤とするマイクロマシン、ナノマシンの利用が始まろうとしている。マイクロ・ナノマシンの高効率・高速動作には、クローズアップされているナノスケールの配線の集積回路での発熱の問題と同様、摩擦と熱散逸過程のメカニズムを物理的に解明し制御することがキーポイントとなる。これにより振動エネルギー(無輻射緩和)を熱に拡散させずに(情報やエネルギーとして)回収して再利用するナノマシンが実現される。

新たな価値の創出により期待される経済・社会的なインパクト：

光合成や太陽電池の標準理論限界とされる太陽光のエネルギー利用効率(光合成において 680nm の光で 34%、太陽電池において太陽光に対して 34%)を超えることができ、発光素子や発電機・モーター・エンジンなどの動力機械においてもエネルギー効率を改善でき、エネルギー問題・地球温暖化問題が解決する。ますます高集積化するナノ集積回路の発熱問題の解決、発熱を制御した高効率・インテリジェントなナノマシンの集積化により、人工知能を組み込んだ人間を支援するコンパクトな機械や装置が実現し人類の生活の質が根本的に向上する。

新たな価値を創出するための方法：

- (1) 光合成(光-化学)、太陽電池(光-電気)、発光素子(電気-光)、動力機械(力学-電気・化学)、電子回路を含むナノ構造体の熱発生・散逸の過程・経路の時空間計測法の開発 [() 内は主要なエネルギー変換過程]
- (2) 無輻射緩和を低減したり回避したりする分子・結晶構造設計、摩擦を制御する界面構造の設計、THz の格子振動を clock として動作したり、振動モード間の結合や非線形振動(非調和振動)を利用するマシンの開発、既存技術の延長としては熱電変換素子の革新と利用、太陽電池や光合成におけるキャリア増幅(多励起子発生)メカニズムの実装

テーマ提案の取り扱い

 外部有識者※への開示を認めません

※外部有識者とは JST が調査の一環で実施するヒアリング対象者およびワークショップの参加者等います。外部有識者は当該調査への協力で得た情報について守秘義務を負います。

 一般公開を認めません

……ここまでに 1 ページを超えないこと……

2. 提案主体情報【必須】

氏名/団体名	徳永 英司
代表者名/共同提案者名	
所属機関・部署	東京理科大学 理学部第一部 物理学科
連絡先	
現住所	〒 162-8601 東京都新宿区神楽坂 1-3
電話番号	03-5228-8214
メールアドレス	eiji@rs.kagu.tus.ac.jp

提案主体情報(連絡先を除く)の取り扱い

<input type="checkbox"/>	外部有識者への開示を認めません
<input type="checkbox"/>	一般公開を認めません

3. 補足情報【任意】

重点公募テーマの実現のために解決すべき科学的な課題、技術的な課題:

光合成では過剰な光エネルギーは光毒として生体を害するため、その耐性機構として発熱によって散逸させる働きがあり(非光化学消光)、活発に研究されている分野の一つである。光合成のエネルギー効率はこの機構が働かない弱光励起の極限で最大になると予想されていて、吸収光エネルギーから発生熱量を差し引けば高精度に求まるはずだが、弱励起極限では熱発生の測定が困難であり測定は実現していない。発光や発生酸素量、最終同化産物の収量の測定に比べて発熱の測定は光合成研究ではあまり行われていない。また、一般に分子内での電子励起状態の無輻射緩和は電子格子相互作用と非断熱遷移により起こるため、理論的扱いが難しく完全に記述できる理論はない(近似なしには解けない)。さらに、無輻射緩和から最終的に熱放出にいたる過程は、高エネルギー格子振動から低エネルギー格子振動へのエネルギー移動によって起こり、その物理的メカニズムは複雑な異なる振動モード間の非線形相互作用によるもので、未解明の分野といってよい。つまり、無輻射緩和から発熱に至る過程の計測技術も理論も克服すべき課題が山積している。摩擦を制御するためにはそのメカニズムを解明しなければならないが、トライボロジーという大きな学問分野があることからわかるように、界面のナノ構造と物理法則に基づいた完全な解明はされていない(高校物理で学ぶ摩擦の法則は経験則であり例外もある)。

重点公募テーマの実現のために取り組むべき研究開発課題の事例:

現状よりも桁違いに高感度な光熱変換計測法の研究開発。高感度化による発熱(温度変化)の空間分解イメージング法の視野の拡大と高速化の実現。太陽光エネルギーを利用している光合成や太陽光発電の標準理論的限界を超えた効率でエネルギーを利用する高集積インテリジェントマシンの研究開発。例えば、すべての時間スケールで振動モードの変換過程を追跡可能な分光法の開発や、様々な物質で現象としては観測されているキャリア増幅を光合成や太陽電池に実装して実際に効率を上げるための研究開発を行う。これらナノエネルギー変換技術をインテリジェントナノマシンに組み込むため、摩擦制御、熱電変換等の研究と連携してシステ

ム開発研究を行う。

重点公募テーマに関する研究開発動向(国内外):

発熱の高感度測定法として光熱変換法が知られ、古くから研究され応用もされてきたが、弱励起極限での計測を可能にするためにはさらなる高感度化が望まれる。発熱(温度変化)のイメージング法としては黒体輻射を測定するものもあるが感度は低い。物質の電子励起状態からの電子格子相互作用を介した無輻射緩和過程の追跡は、初期ダイナミクスはフェムト秒パルス励起後の格子振動を実時間で追跡する分光計測が行われているが、すべての時間スケールで振動モードの変換過程を追跡できてはいない。振動モードの実空間での観測・可視化は結晶表面で発生しやすいモードでのみ行われている。分子の実空間の振動イメージの観測はフェムト秒のX線レーザーや電子線で簡単な分子での観測が始まったところである。熱電変換材料の研究は盛んに行われ、近年有望な性能指数ZTを持つ新材料の発見が相次いでいるが、実用化には更に優れた材料が望まれる。キャリア増幅も様々な物質で現象としては観測されているが、太陽電池に実装する研究はなされていない。

その他補足情報 :

補足情報の取り扱い

外部有識者への開示を認めません

……全体で5ページを超えないこと……