

文部科学省と国立大学附置研究所・センター 個別定例ランチミーティング

第10回 京都大学 エネルギー理工学研究所 (2022.8.5)

12:05-12:10 (5分) : 研究所・センターの概要 : 所長 森井 孝


12:10 – 12:25 (15分) : 「炭素でふく射エネルギーのスペクトルを制御する」
宮内 雄平 教授

12:25 – 12:45 (20分) : 質疑応答

京都大学エネルギー理工学研究所

京都大学宇治キャンパス：4 研究所

 京都大学
化学研究所

 京都大学
エネルギー理工学研究所

  共同利用・共同研究拠点
京都大学
生存圏研究所

 京都大学防災研究所
Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

京都大学
KYOTO UNIVERSITY



京都大学 研究連携基盤

京都大学の18の研究所・センターの連携組織

(基幹経費、学長リーダーシップ特別枠) 平成27年(2015年)4月発足

京都大学の附置研究所の強み・特色をさらに伸ばすとともに、異なる視点をもつ研究者の知を結集させ、異分野融合・新分野創成の促進を図ることを目指し、設置



【新分野開拓】未踏科学研究ユニット (前人未到の科学分野に果敢に挑戦する野心的な研究)

持続可能社会創造ユニット、多階層ネットワーク研究ユニット、持続可能社会創造ユニット
データサイエンスで切り拓く総合地域研究ユニット

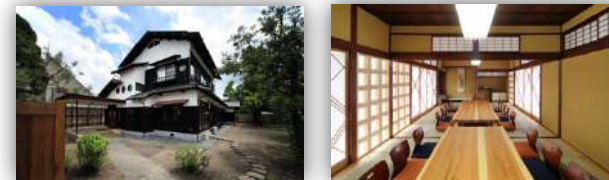
ユニット報告会 (年2回)、外国人研究者を雇用 (令和3年度: 短期8名、長期6名を雇用)

【人材育成】次世代研究者支援

外国人研究者の招聘、次世代研究者の派遣
論文出版助成・著書出版助成

【連携強化】

大型設備の情報共有により研究基盤を強化



吉田泉殿 (交流推進のための共有建物)

【アウトリーチ】

附置研・センターシンポジウム (読売新聞社後援: 例年400-600名規模)
丸の内セミナー (115回開催、2/25から再開)

京都大学エネルギー理工学研究所

京都大学宇治キャンパス：4研究所

ICRR 京都大学
化学研究所

京都大学
エネルギー理工学研究所

共同利用・共同研究拠点
京都大学
生存圏研究所

京都大学防災研究所
Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University



エネルギー理工学研究所：これまでの歩み

大正 3年 (1914) 中央実験所設立

昭和16年 (1941) 工学研究所設置 (5研究部門)

昭和41年 (1966) 超高温プラズマ研究施設

昭和46年 (1971) 原子エネルギー研究所に改称

昭和51年 (1976) ヘリオトロン核融合研究センター設立

平成 8年 (1996) **エネルギー理工学研究所に改組**

附属エネルギー複合機構研究センター設置
(エネルギー科学研究科設立・協力講座)

平成23年 (2011) **文部科学省認定共同利用・共同研究拠点 (2011-2015)**

「ゼロエミッションエネルギー研究拠点」活動開始

平成28年 (2016) 同 (2016-2021) 第2期活動開始

令和 4年 (2022) 同 (2022-2027) 第3期活動開始

令和 4年 (2022) **附属カーボンネガティブ・エネルギー研究センター設置**



エネルギー理工学研究所：組織

設置目的： 「エネルギーの生成、変換、利用の高度化」に関する研究を行うこと

エネルギー需要の増大とエネルギー資源の枯渇、および地球環境問題の深刻化に伴って生じているエネルギー問題の解決を目指した先導的研究



エネルギー生成研究部門

エネルギー機能変換研究部門

エネルギー利用過程研究部門

附属エネルギー複合機構研究センター

大型
設備

New

附属カーボンネガティブ・エネルギー研究センター



共同利用・共同研究拠点 ゼロエミッションエネルギー研究拠点

研究期間：第1期：2011年度～2015年度
第2期：2016年度～2021年度
第3期：2022年度～2027年度

- 物理学
- 原子力工学
- 材料科学
- 光科学
- 電気工学
- 化学
- 生物学
- 農学
-



学術基盤

2011 (第1期)

2016 (第2期)

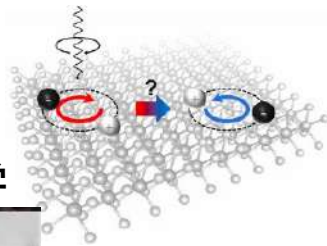


- 拠点活動整備
- 異分野融合研究
- 新規高性能材料開発・革新的要素技術創出
- ゼロエミッションエネルギー研究会・学会

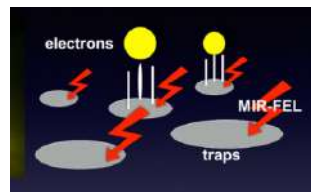
エネルギー理工学研究所

—カーボンニュートラルを実現する多角的な研究—

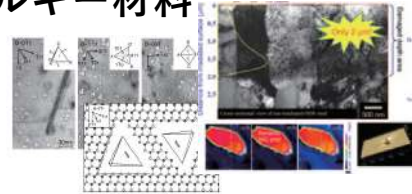
ナノ光科学



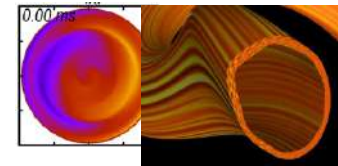
量子エネルギー科学



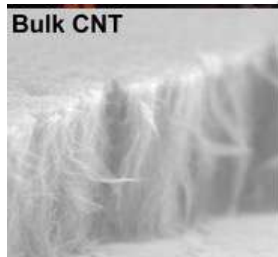
エネルギー材料



プラズマ・核融合科学



量子材料工学

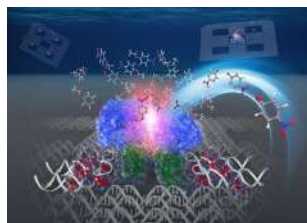


プラズマ・量子エネルギー

10⁻² 10⁻¹ 1 10¹ 10² 10³ 10⁴ 10⁵ 10⁶ 10⁷

ソフトエネルギー

(eV)



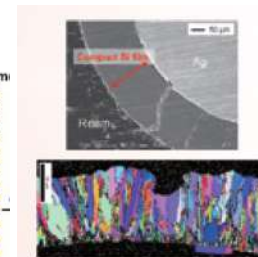
生物機能化学



構造生物学



分子ナノ工学



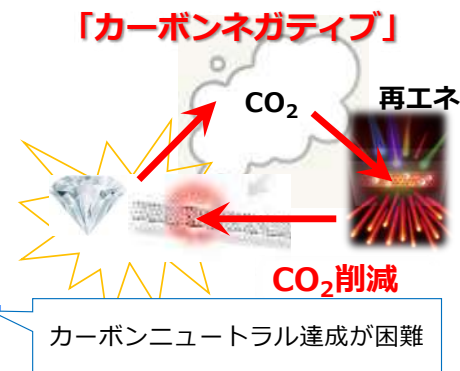
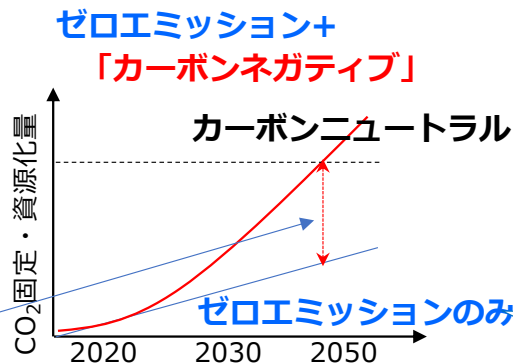
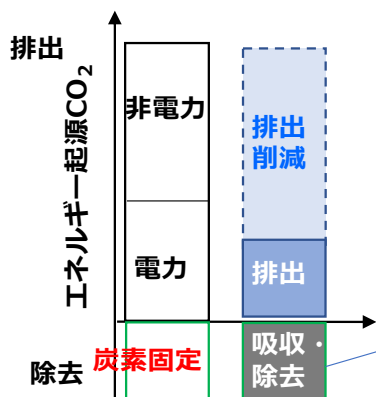
電気化学

附属カーボンネガティブ・エネルギー研究センター

エネルギー理工学研究所 + エネルギー科学研究科2専攻 + 工学研究科3専攻で設立 (2022. 8.1)



森林や海洋、
CCUS等によるCO₂吸収
だけでは限界



「カーボンネガティブ」技術の確立によるCO₂の固定化・資源化量の増大化が必須：「カーボンネガティブ」の学理・技術創出



1. CO ₂ 回収の太陽エネルギー利用	2. CO ₂ を資源に変換	3. 炭素由来の化成品・半導体開発
<p>広帯域太陽光</p> <p>in</p> <p>CNT波長選択・量子変換素子</p> <p>out</p> <p>高効率太陽熱発電 太陽熱化学合成 海水淡水化・汚染水浄化</p>	<p>原料</p> <p>CO₂</p> <p>H₂O</p> <p>in</p> <p>溶融塩電解</p> <p>out</p> <p>ダイヤモンド</p> <p>有用副生物</p> <p>H₂</p> <p>CH₄</p>	<p>原料</p> <p>in</p> <p>極限微生物</p> <p>極限微生物に新半導体を作らせる</p> <p>out</p> <p>新半導体</p>

京大の要素的カーボンネガティブ関連研究群 → 継続的な研究連携・融合、学術基盤の創出と人材育成

研究紹介

炭素でふく射エネルギーのスペクトルを制御する

京都大学エネルギー理工学研究所

Institute of Advanced Energy, Kyoto University

宮内雄平

Yuhei MIYAUCHI

自己紹介



宮内 雄平

京都大学 エネルギー理工学研究所

エネルギー機能変換研究部門 機能物性工学研究分野 教授 (2021.4.1~)

現在の専門：物性工学（物質科学とその応用）

略歴：東京大学工学部機械 ➡ 博士（工学）2006.9 ➡ 京都大学化学研究所
➡ コロンビア大学（物理） ➡ 京都大学エネルギー理工学研究所
➡ 名古屋大学 ➡ 京都大学エネルギー理工学研究所 准教授 ➡ 同 教授

研究テーマ

ナノスケール・量子物質の物性・機能の解明と
エネルギー工学への展開

CONTENTS

ふく射エネルギーのスペクトルとは？

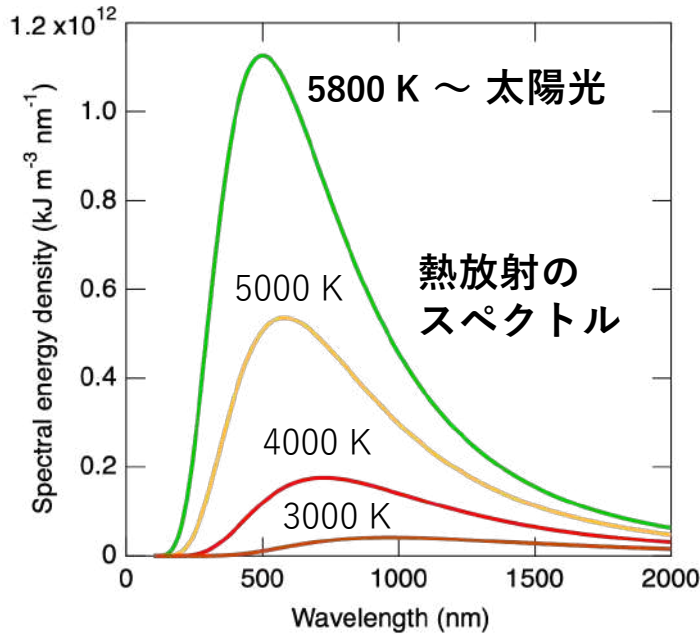
炭素でふく射エネルギーのスペクトルを制御する

なぜ炭素なのか

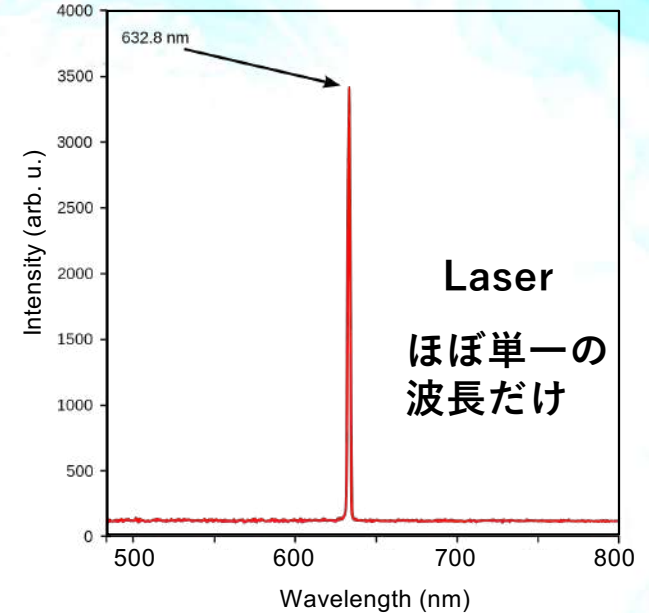
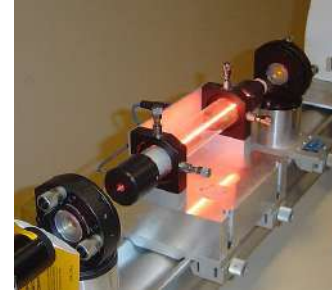
なぜ制御したいのか？

どうやって制御するのか？

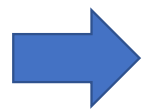
ふく射エネルギーの「スペクトル」とは？



Copyright © 2004 David Monniaux, CC BY-SA 3.0
<<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>>, via Wikimedia Commons



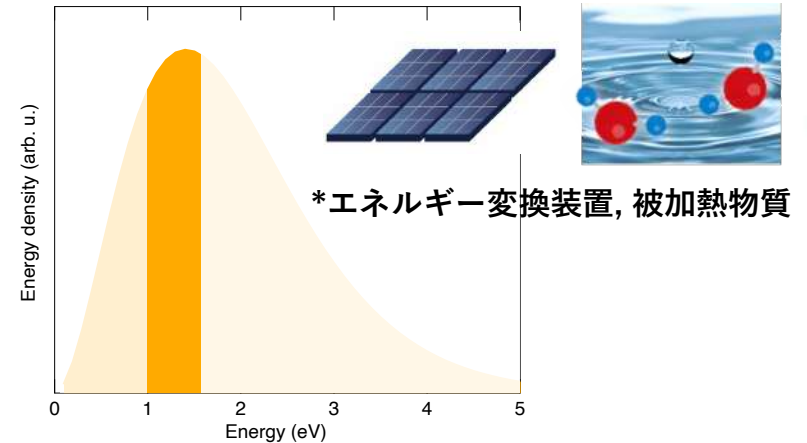
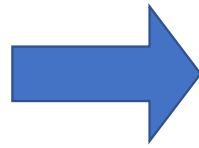
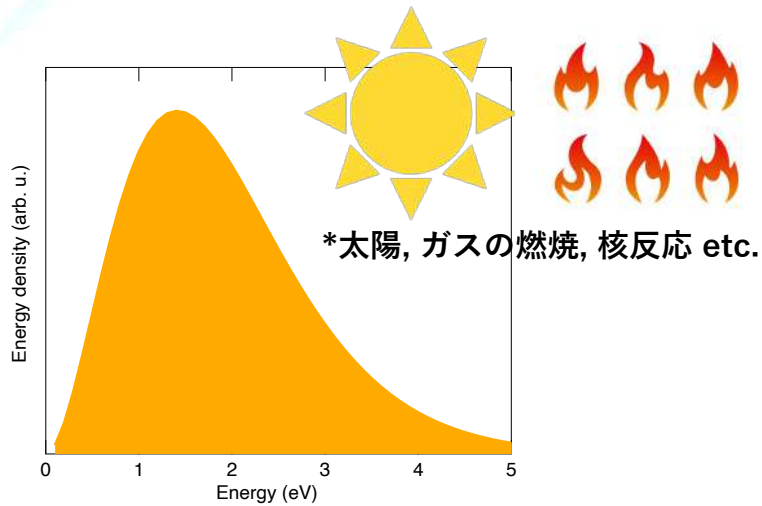
- 人類はエネルギーの大部分を熱源（太陽含む）から得る
- 熱源の放射する光（ふく射）の波長には広い分布
- 光の量子（光子）のエネルギー：波長の逆数に比例



様々な波長の光を含む = 広いエネルギー分布

なぜ制御したいのか？

目的：エネルギー変換におけるスペクトルミスマッチの解消



熱源*からのふく射
エネルギースペクトル

≠

受け手*が効率よく変換で
きるスペクトル領域

例1：太陽光発電の原理効率は大抵太陽光と光起電力セルのミスマッチで大幅に制限

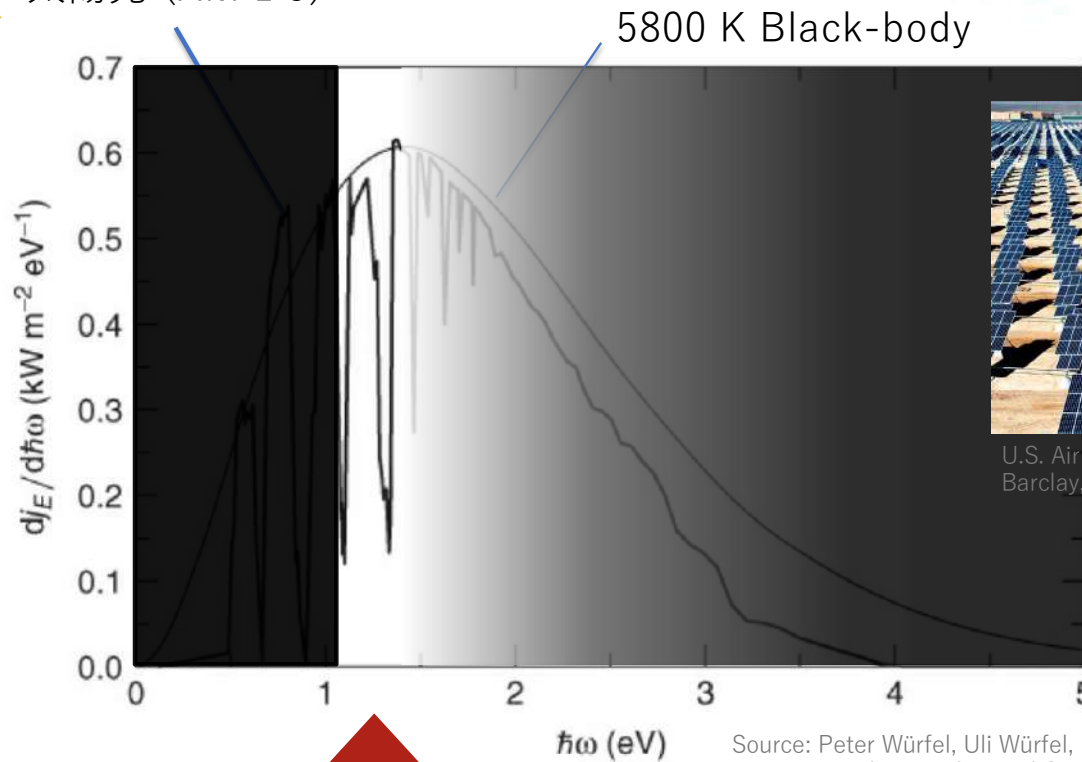
例2：太陽光では透明な水を直接効率よく加熱できない→太陽熱の利便性を制限

なぜ制御したいのか？



太陽光 (AM 1.5)

典型例：
太陽光発電



U.S. Air Force photo/Airman 1st Class Nadine Y. Barclay, Public domain, via Wikimedia Commons

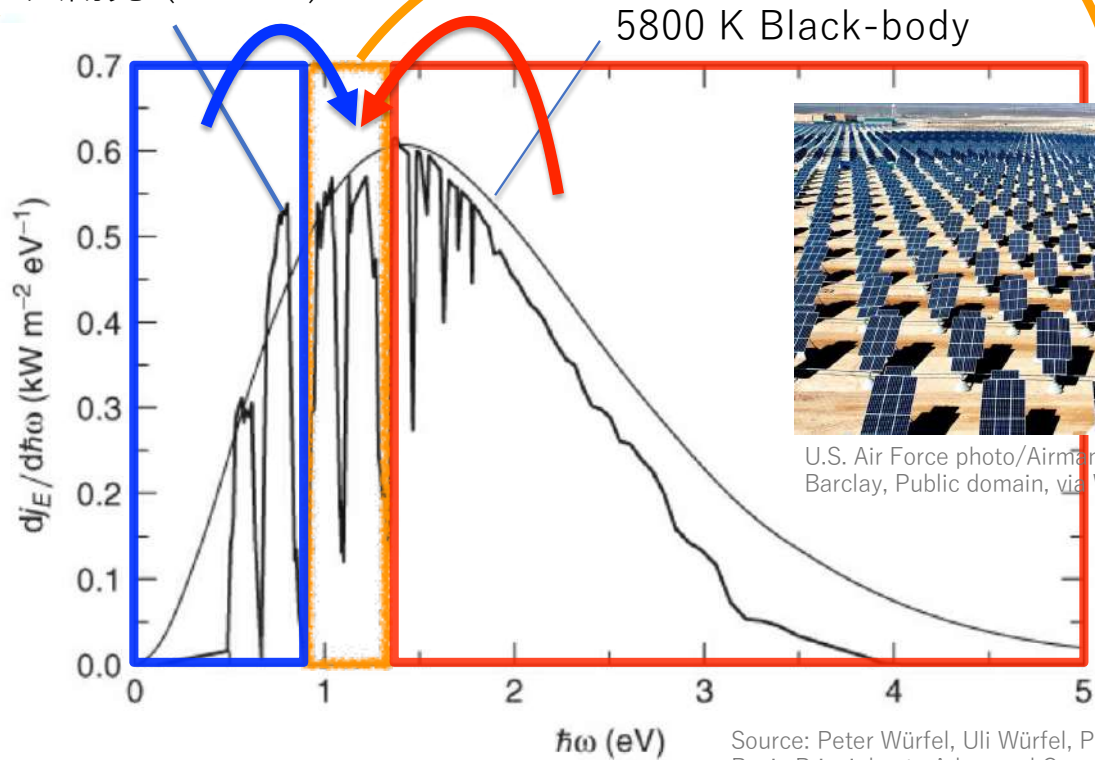
最も効率よく光電変換できる領域

単セル太陽電池の変換効率を制限する大きな要因
($< \sim 30\%$) [Shockley and Queisser (1961)]

なぜ制御したいのか？

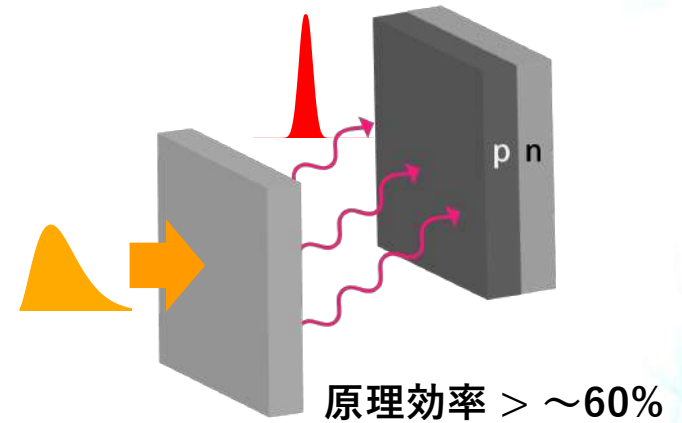


太陽光 (AM 1.5)



U.S. Air Force photo/Airman 1st Class Nadine Y. Barclay, Public domain, via Wikimedia Commons

スペクトル制御した上での
光電変換 (熱光起電力発電)

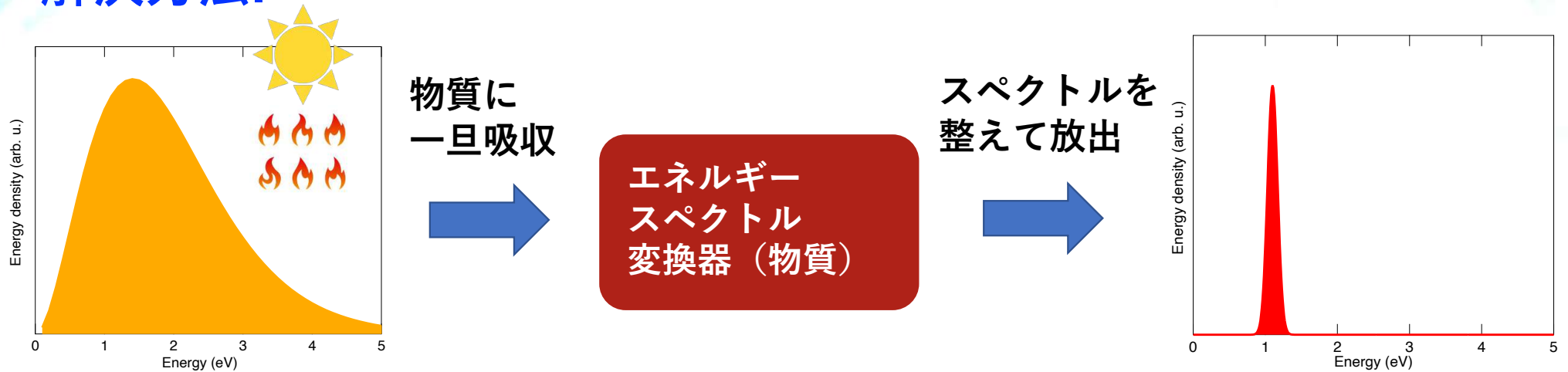


太陽光をはじめとする高温熱源のふく射エネルギースペクトルの制御技術
→ 熱源からのエネルギー変換効率を高める鍵

どうやって制御するのか？

問題点：光子は互いに直接エネルギーを交換できない

解決方法:



理想的なエネルギー・スペクトル変換器に必要な二大要素

✓ 光の場の制御：フォトニック結晶, メタ表面

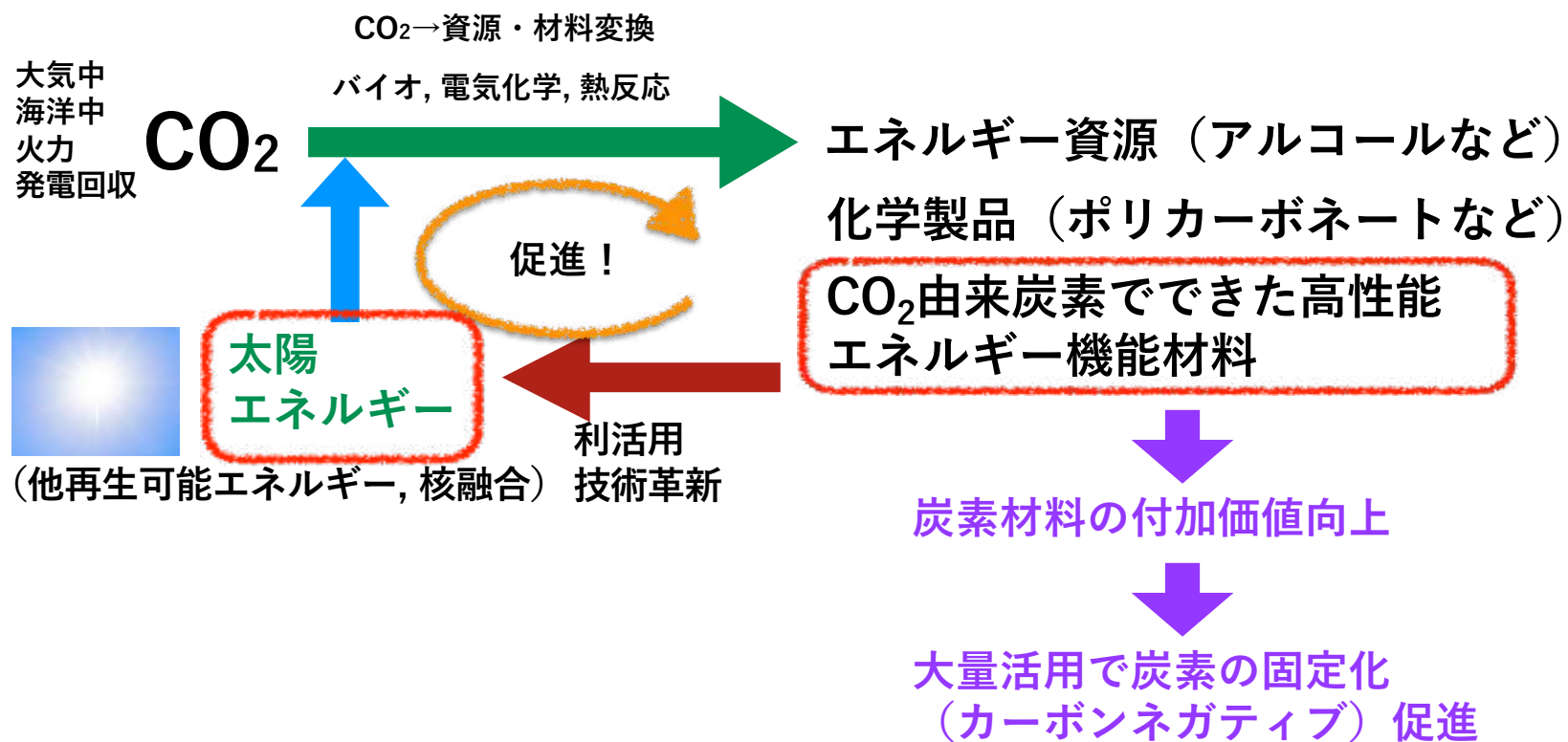
未解決

材料物質の各内部量子自由度のエネルギー・スペクトル制御

これを炭素で実現したい

なぜ炭素なのか

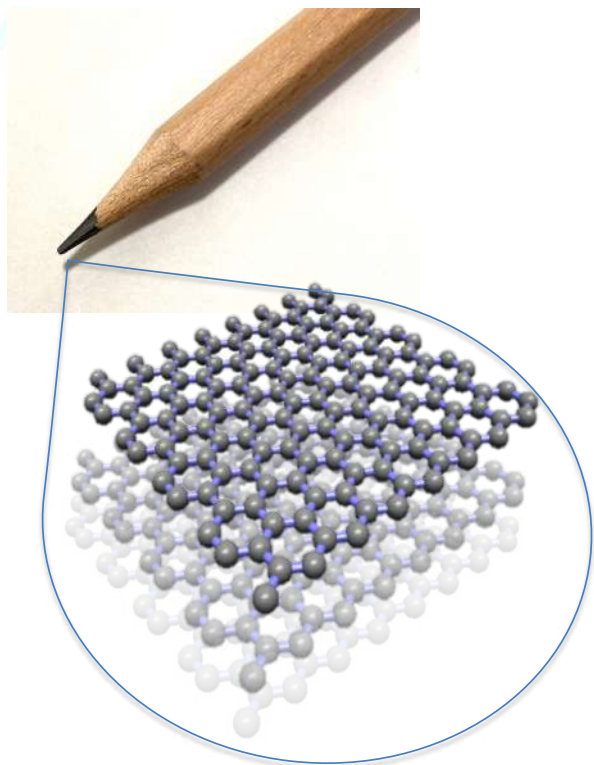
➤ 社会科学的観点から



炭素で出来ることが増えること自体, 大きな現代的意義

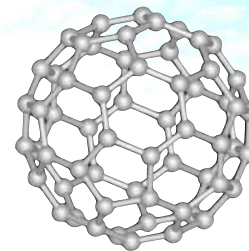
なぜ炭素なのか

- これまでのナノ炭素科学の成果を利用可能

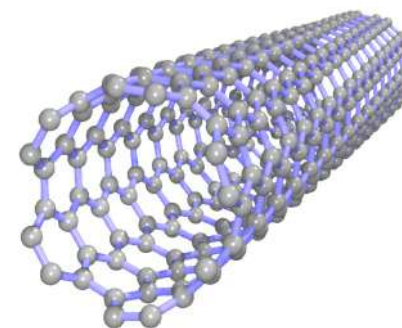


グラファイト

グラフェン
One atom layer
nanomaterial



フラーレン Soccer
ball shaped molecule

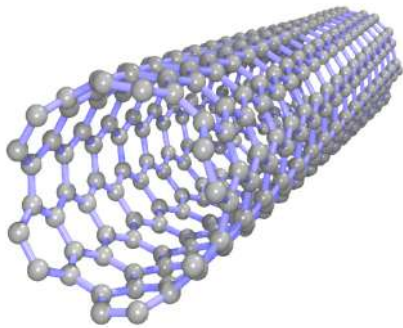


カーボンナノチューブ
Cylinder-shaped
nanomaterial

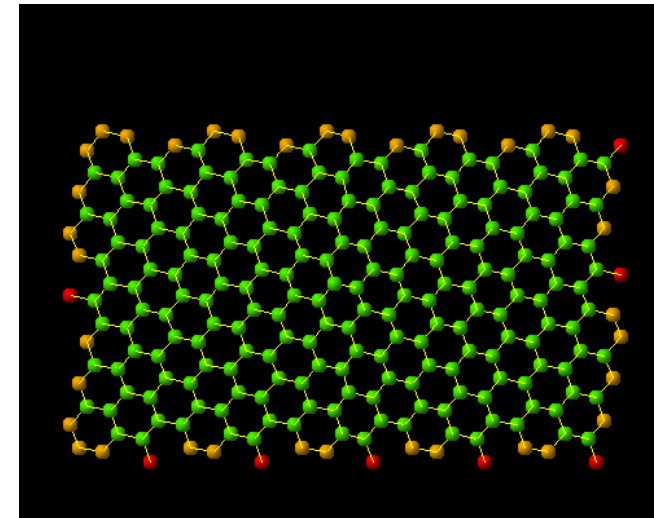
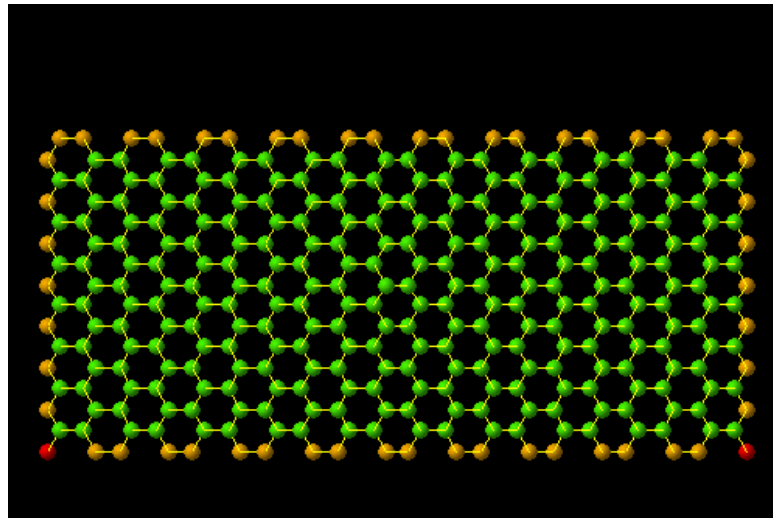
様々なナノ炭素物質を作ることによって所望の物性や機能を引き出せる

どうやって制御するのか

- 「カーボンナノチューブ」の物性を利用



カーボンナノチューブ
Cylinder-shaped
nanomaterial



Source: <http://www.photon.t.u-tokyo.ac.jp/index-j.html>

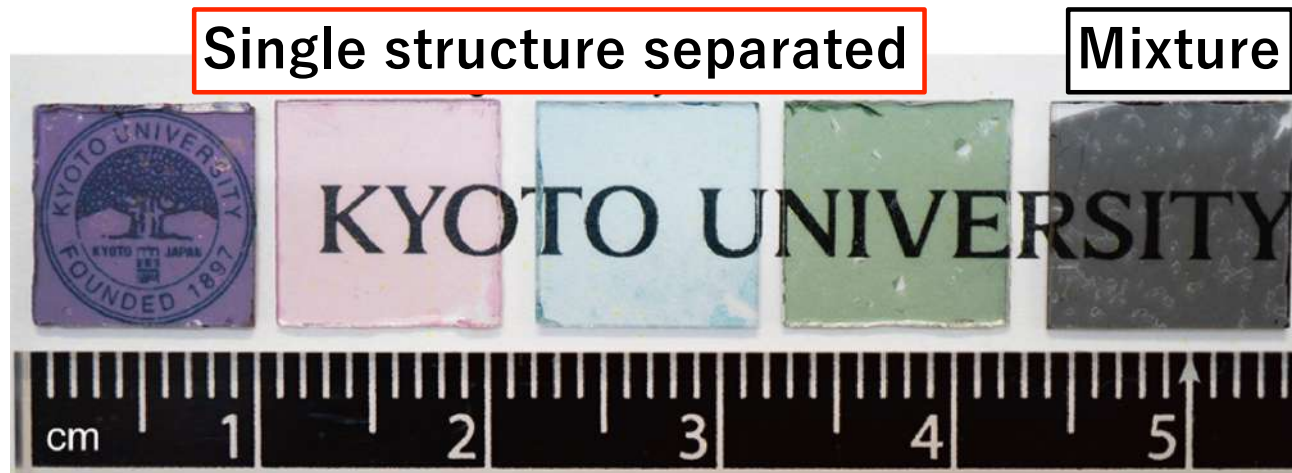
グラフェンの巻き方による物性制御が可能

光との相互作用, 電子輸送特性, 機械的特性 etc.

どうやって制御するのか

様々な巻き方のカーボンナノチューブで作ったフィルム

Purple Pink Blue Green Black



T. Nishihara, A. Takakura, M. Shimasaki, K. Matsuda, T. Tanaka, H. Kataura, and Y. Miyauchi, *Nanophotonics* 11, 1011 (2022).

異なる巻き方を持つカーボンナノチューブはそれぞれ特有の色を示す

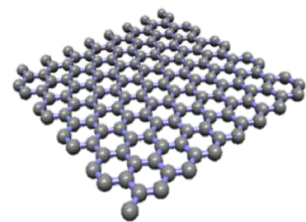


エネルギースペクトル制御の鍵

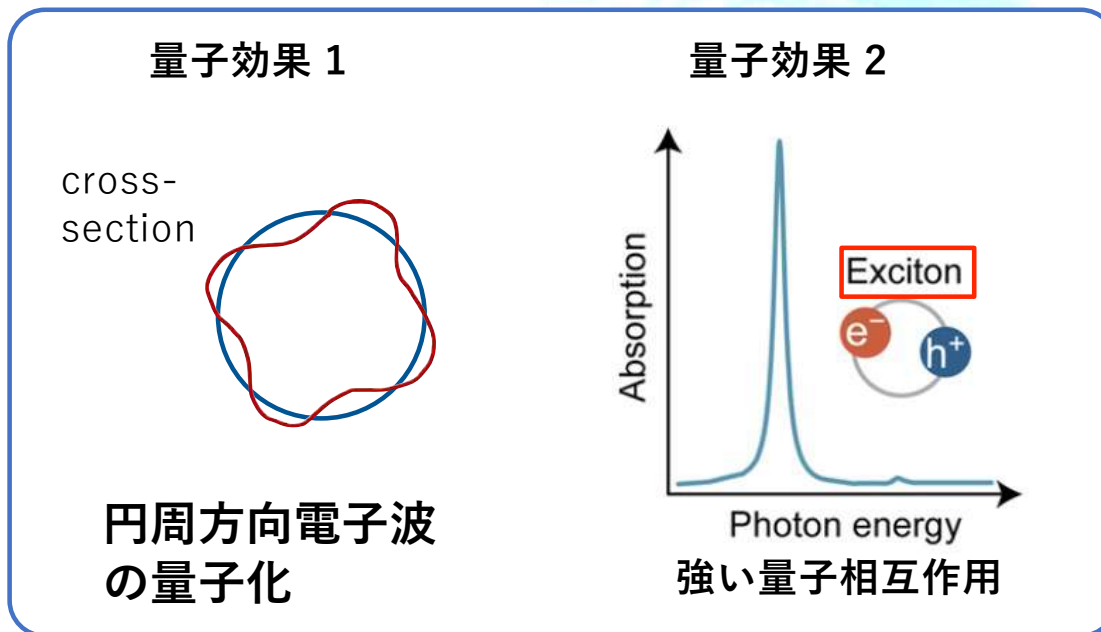
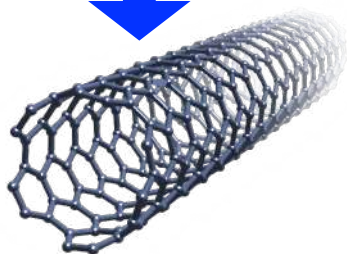
どうやって制御するのか

➤ 量子効果が鍵

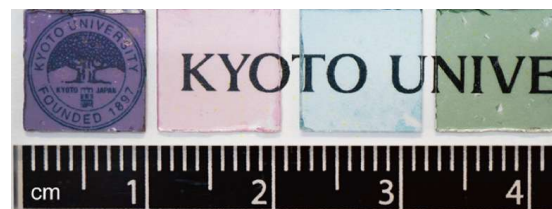
グラファイト/グラフェン
(黒・グレー)



ナノスケール
円筒化

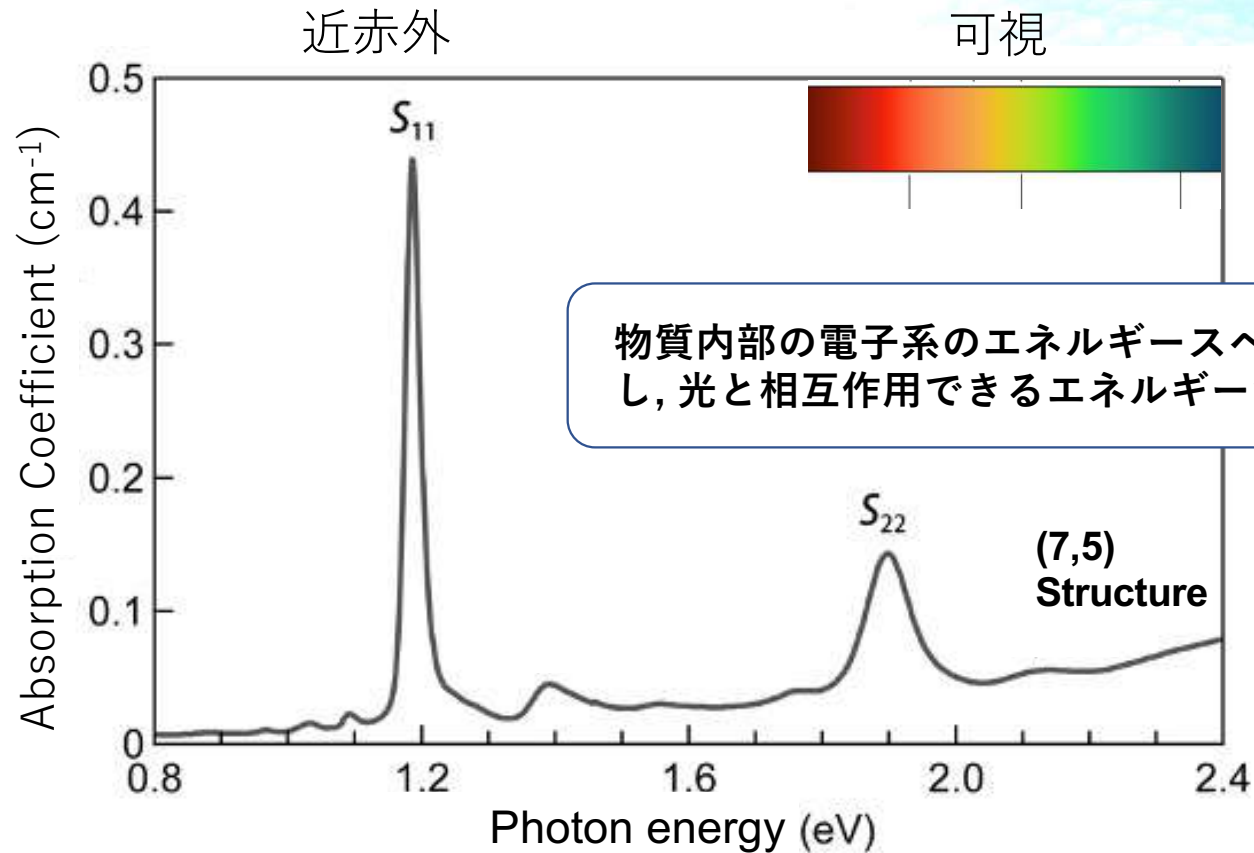


構造ごとに決まる明確な光共鳴エネルギー



量子効果が炭素を色付ける：従来の炭素材料とは全く異なる機能性

どうやって制御するのか

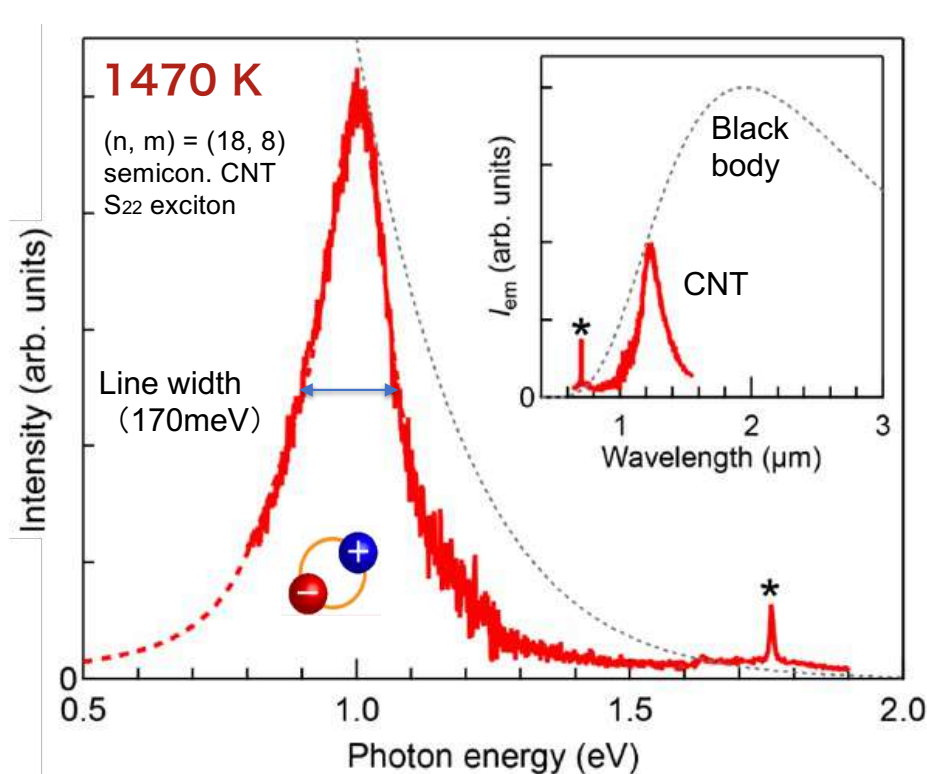


カーボンナノチューブ光吸収スペクトル（室温）の鋭いピーク構造

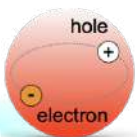
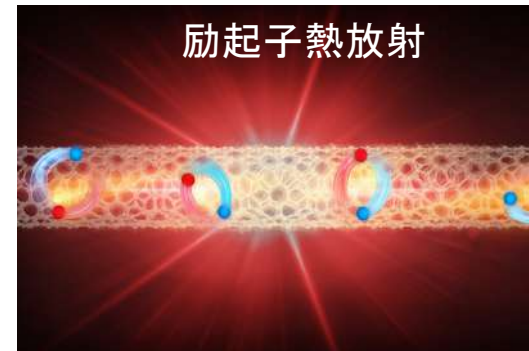
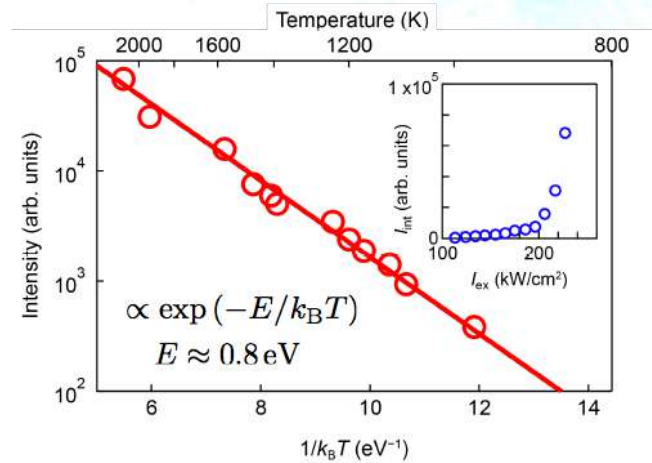
Q. 1000 Kを超えるような高温でも、量子状態は保たれるのか？

どうやって制御するのか

➤ 高温カーボンナノチューブにおける狭帯域熱放射



実験：T. Nishihara, Y. Miyauchi *et al.*, *Nat. Commun.*, 9, 3144 (2018)
理論：S. Konabe, T. Nishihara, Y. Miyauchi, *Opt. Lett.*, 46, 3021 (2021)



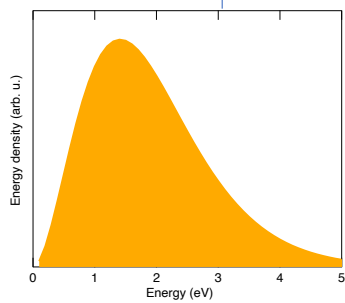
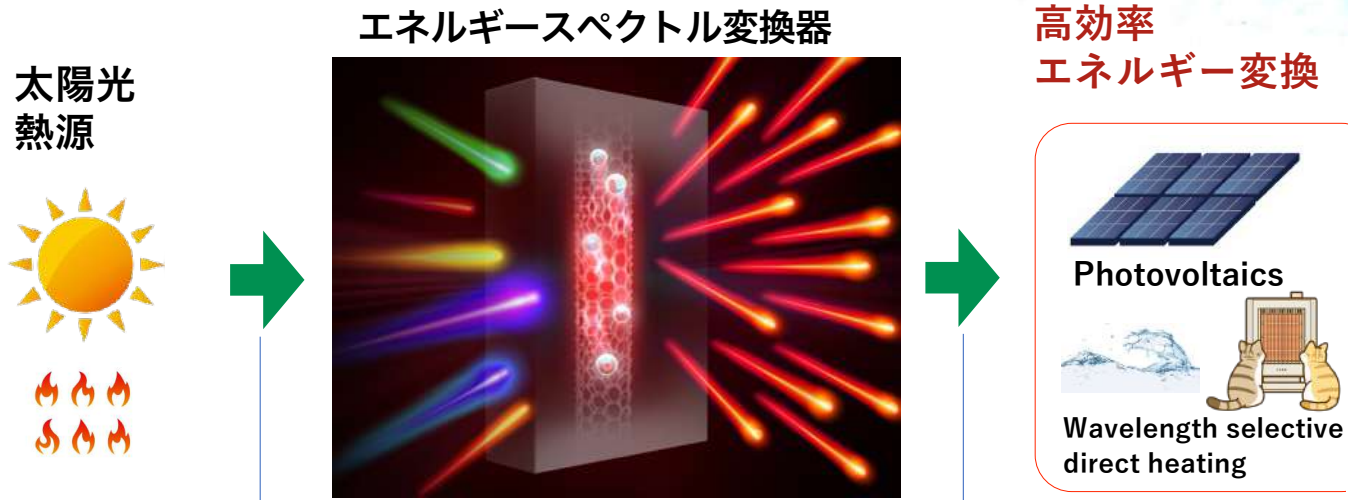
狭帯域熱放射



内部エネルギーの一定エネルギー帯域への集中 (スペクトル制御)

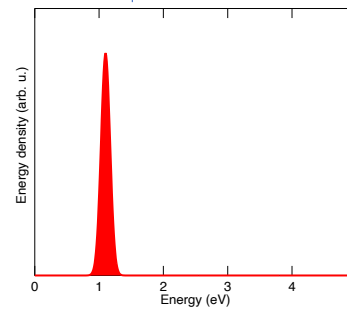
どうやって制御するのか

➤ カーボンナノチューブを使ったエネルギースペクトル変換の学理開拓

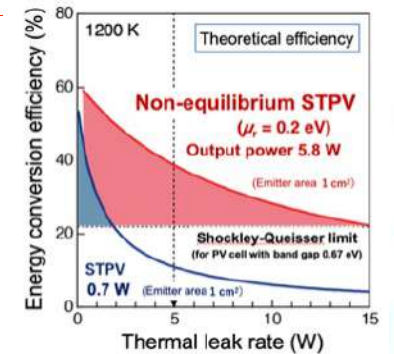


広帯域エネルギー

エネルギー
スペクトル
変換器 (物質)



狭帯域エネルギー



Patent Application Number 2021-096124

基礎学理と要素技術を研究中 (JST CREST (JPMJCR18I)等)

まとめ

広帯域から狭帯域へのふく射エネルギースペクトル変換：

- 太陽光や熱エネルギーなど広帯域エネルギーの効率的な利用の鍵

ナノ炭素材料 カーボンナノチューブ

- 理想的なふく射エネルギースペクトル変換器実現の有力候補材料



ナノ炭素科学をベースとした太陽光・熱エネルギー
の高効率利用, 新しい発電技術等の実現へ