

2018.1.31 @211

徳永研究室 卒研ガイダンス

光物性: 光と物質の相互作用の研究

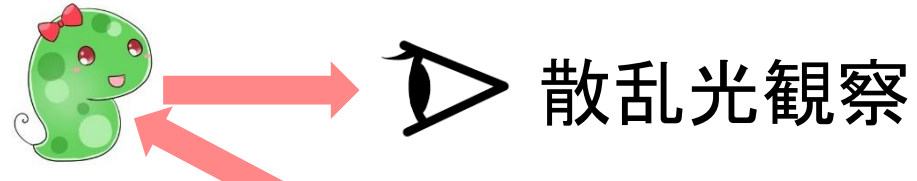
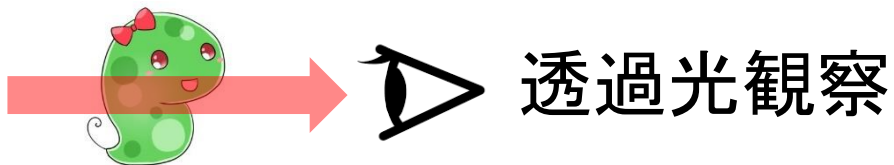
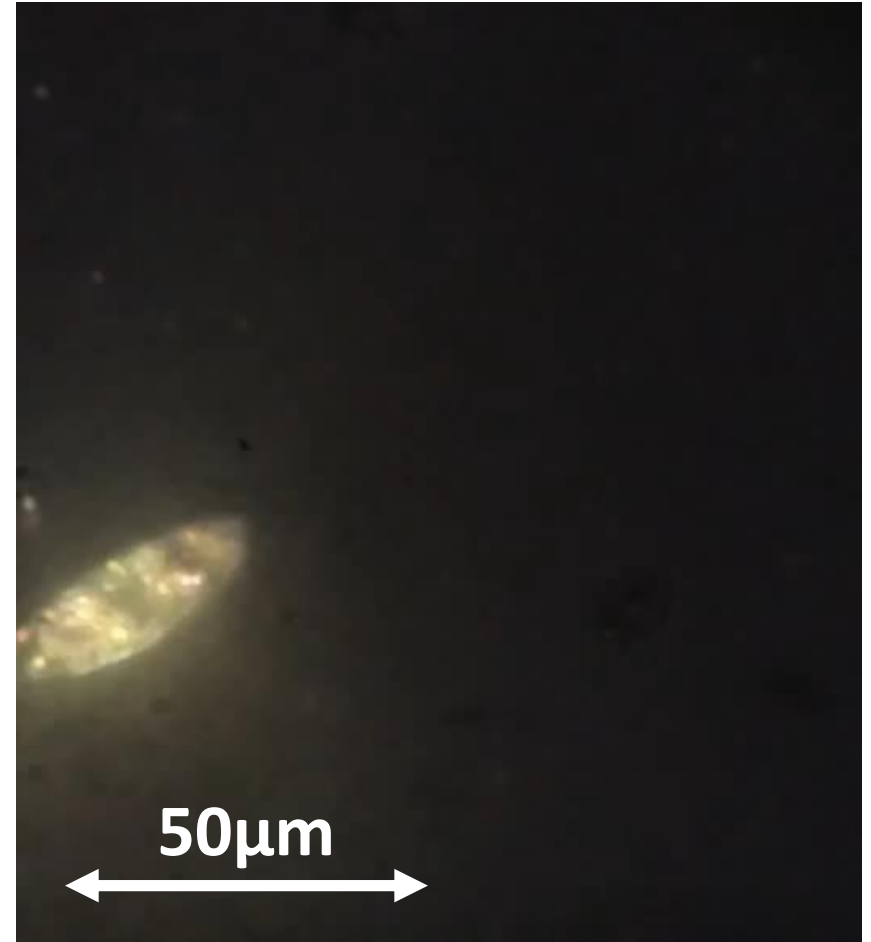
1. Introduction

2. 医学を物理学にするための多次元・時空間細胞診断
3. 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
4. 非線形光学
5. プラズモニクス

明視野觀察

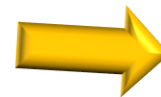


暗視野觀察



クラミドモナス大運動会 (走光性)

φ800μm



10μm

眼点は高度な光センサ

光の方向・強度・波長に応じて
最適な環境へと移動

二本の鞭毛はパワフルな バイオマシン

1秒で体長の10倍の距離を移動
(人間が1秒でビル5階まで登る距離)

競技1: シャトルラン

競技2: 周回マラソン (※)

※反則クラミドを見つけよう(個性)



クラミドモナスは目が回るのだろうか

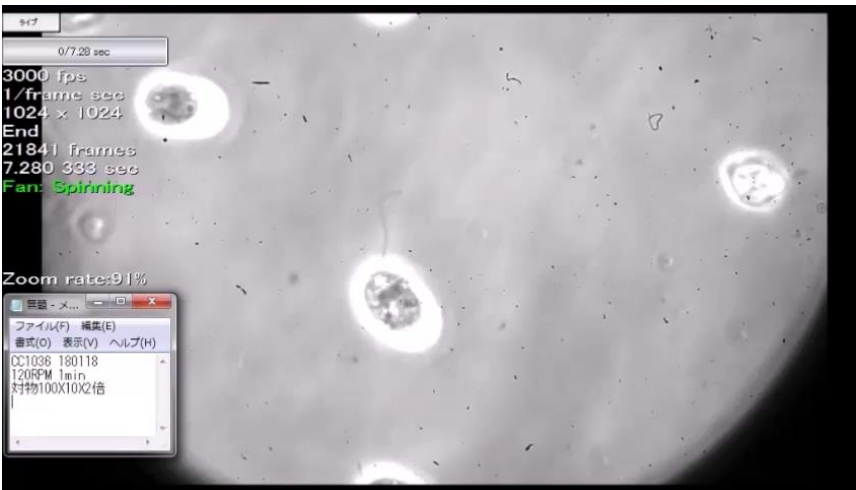
0.01秒=1秒のスロー再生 ハイスピードカメラ+位相差顕微鏡



高速で**べん毛**を動かすことで推進
粘性の高いところでもすいすい泳ぐパワフルなモーター

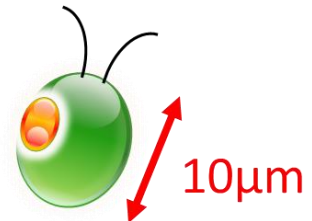
2本のべん毛を使って**平泳ぎのように泳ぐ**
1秒間に60～70回水をかく

→ 約0.2mm泳ぐ; **体長の約10倍以上を泳ぐ!!**
身長170cmの人間の場合20～30 m/sで
泳ぐことになる!



眼点は高感度の光受容体
細胞が自転することで光をスキャンする

べん毛が1本だけとれて
しまったクラミドは泳ごう
とするとその場で**くるくる**
と回ってしまう!!!



簡便に片方の鞭毛を取る方法を開発
クラミドモナスの運動力学解明へ

レイノルズ数

$$\text{Re} = \frac{\text{慣性力}}{\text{粘性力}} \approx 0.001$$

クラミドモナスにとって水は粘性の大きいどろどろの流体であり、わずかなエネルギーでこの運動性能を実現しているのは驚異的。現在のところ人工的に実現不可能。

参考：イルカのレイノルズ数～100000000

クラミドモナスは何匹？

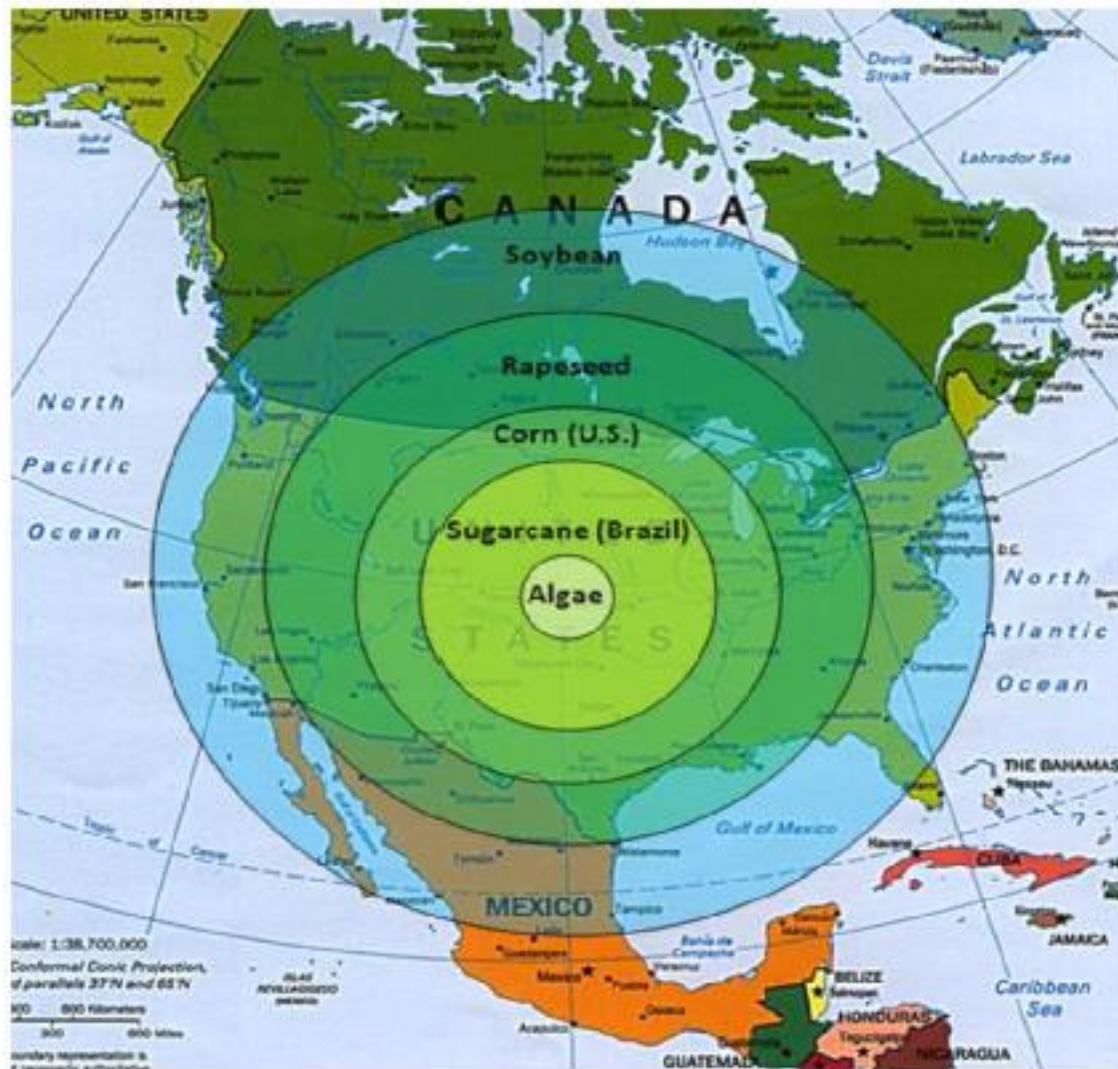


2 mL 培養液

クラミドモナス サイズ $\sim 8\mu\text{m}$

微細藻は、単純な細胞であり、
葉・茎・根などを必要としないため、
光合成により、太陽エネルギーを
糖分や油脂などのエネルギーに
変換する生産性において
とうもろこしや大豆に比べると
はるかに高い生産性を示す。
種類によっては、その生産性は
数百倍にも達する。

バイオ燃料：米国で使用の化石燃料をすべて代替するのに必要な面積



大豆
なたね
とうもろこし
さとうきび
藻類

こんなに沢山！！ ユーグレナ食品



最近の研究成果1: 食品としての利用

2017 山下 恭平

食品でミドリムシの培養に成功!

ミドリムシ∞カンパニー



株式会社ユーグレナと協同特許出願済(特願2017-170589)

『栄養強化食品の製造方法、ユーグレナ含有食品組成物及び食品の栄養強化方法』



ユーグレナ
(和名:ミドリムシ)

- 光合成生物 → CO₂固定クリーンな培養法
- 細胞壁がない → 消化吸収効率 高
- 59種の豊富な栄養素(ビタミン、ミネラル、アミノ酸等)
- パラミロンを有する唯一の生物

パラミロン…β-グルカン(海藻、キノコに含まれる高分子多糖類)の一種
抗がん作用、免疫力強化、コレステロール値上昇抑制効果

従来手法

大型プール
培養

回収
洗浄

乾燥

輸送

食品
加工

店舗
販売

熱で栄養素破損

工程(コスト)カット

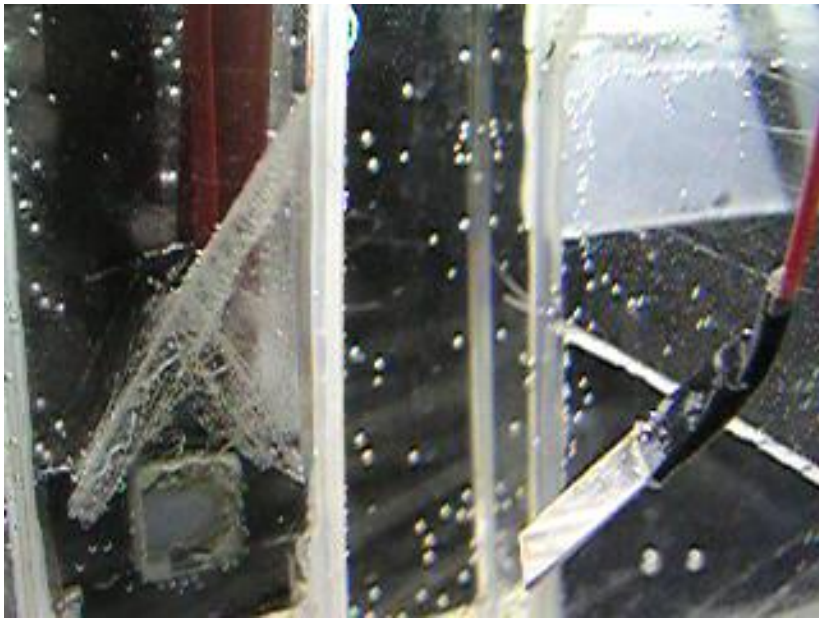
本手法

食品中で生育させながら販売、光合成は店舗の照明で

最近の研究成果2: クリーン燃料生産

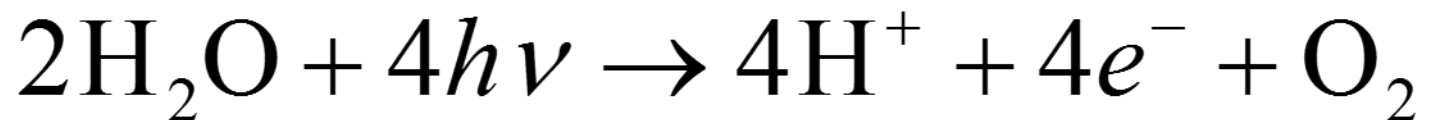
光をエネルギーに

2004卒研
酸化チタン－白金



光水素発生 (=人工光合成)

光合成



太陽光と水から高効率水素発生を目指す

低コスト: 植物は自ら増殖、光を無駄なく利用

安全、無負荷: 材料(C,H,O,N)は無限、無害

J Plant Res (2016) 129:771–779

DOI 10.1007/s10265-016-0825-0



CrossMark

REGULAR PAPER

2016 八木隆文

Hydrogen photoproduction in green algae *Chlamydomonas reinhardtii* sustainable over 2 weeks with the original cell culture without supply of fresh cells nor exchange of the whole culture medium

Takafumi Yagi¹ · Kyohei Yamashita¹ · Norihide Okada¹ · Takumi Isono¹ ·
Daisuke Momose¹ · Shigeru Mineki² · Eiji Tokunaga¹

単細胞緑藻クラミドモナスにより、新鮮な細胞の供給や培養液の全交換なしに2週間以上継続する光水素発生を実現

1. Introduction
2. 医学を物理学にするための多次元・時空間
細胞診断
3. 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
4. 非線形光学
5. プラズモニクス

医学を物理学にするための多次元・時空間細胞診断

現代医学：経験の学問

病気の原因を物理法則に還元し治療法を物理学から演繹できない。

iPS細胞、ゲノム編集 生物学的知識・経験により発見 物理学の貢献なし

理由：物理学が生命活動を解明できていないため。その前提となる生きている細胞内の活動を超解像で観測する技術が未熟

21世紀はマイクロ・ナノマシンの時代

実現している人工のマイクロ・ナノマシンの能力は限定的

体積わずか $1\text{ }\mu\text{m}^3$ の大腸菌が万能の化学工場

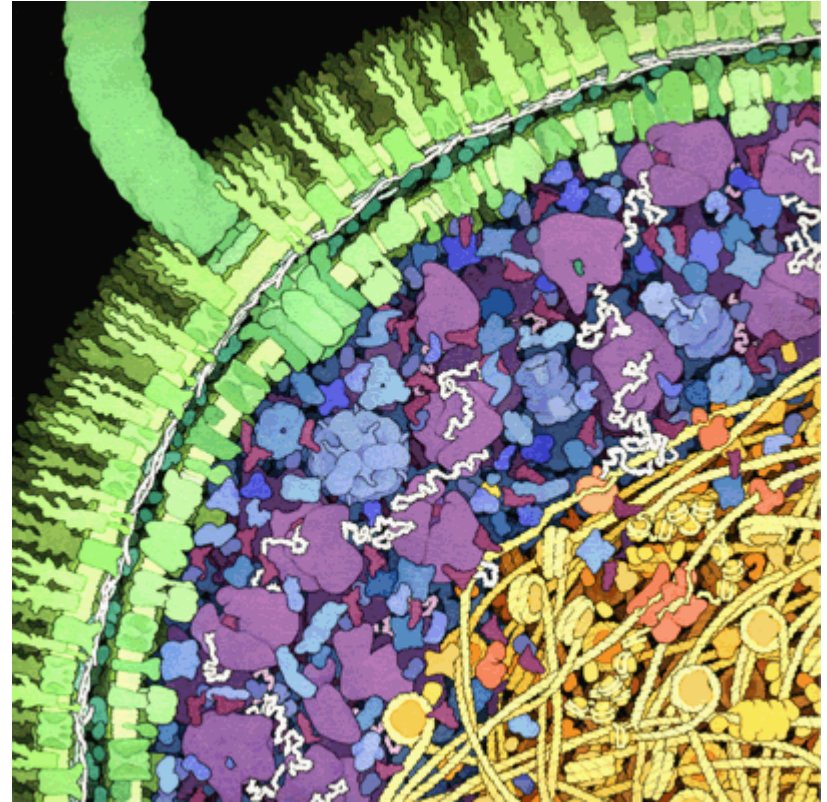
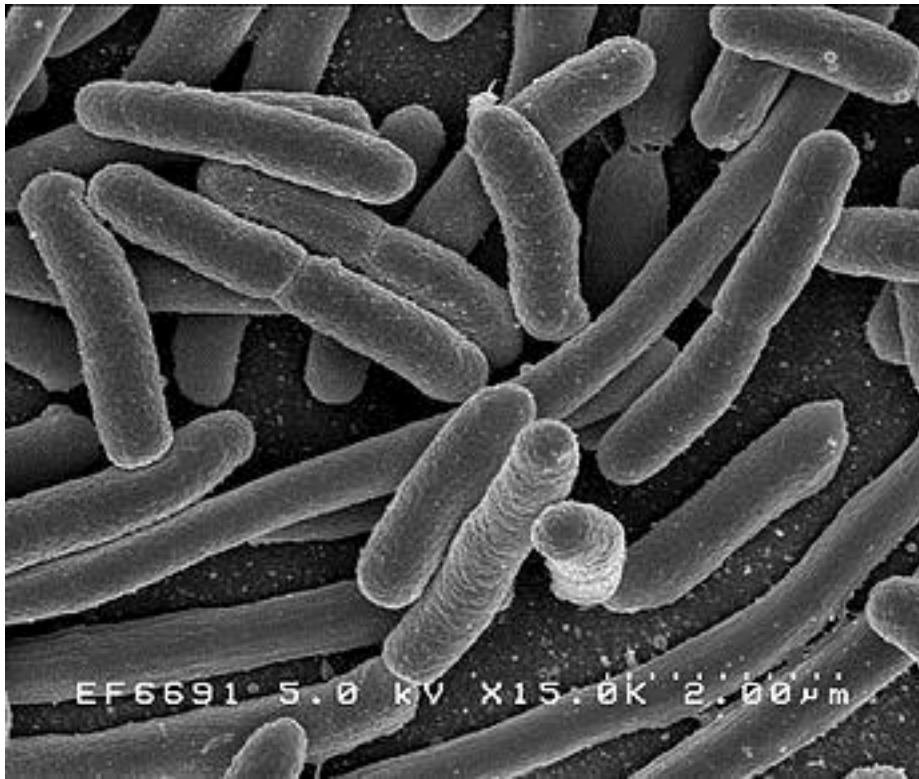
生命 ← 断崖絶壁が横たわる → 人工マシン

高機能のナノマシン製作には、太古の昔からそれを実現している生物に学ぶ必要＝生命活動の最小単位である細胞の物理学的な理解が不可欠。

光で細胞内の活動を手に取るように見たい (光の回折限界を超えて蛍光標識なしに可視光、遠視野で50nm以下の構造を見たい)

Escherichia coli (大腸菌)

大きさは通常短軸 $0.4\text{--}0.7\mu\text{m}$ 、長軸 $2.0\text{--}4.0\mu\text{m}$

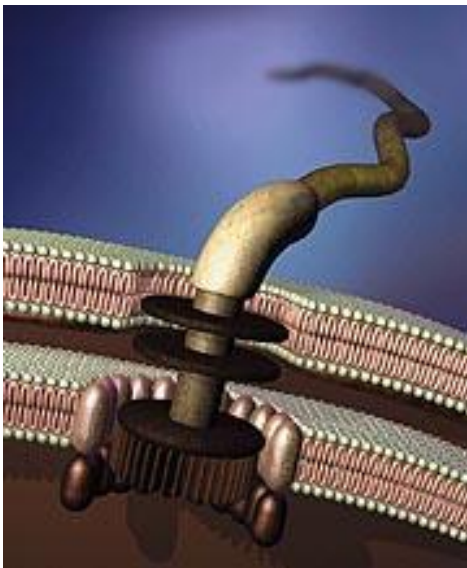


by Goodsell

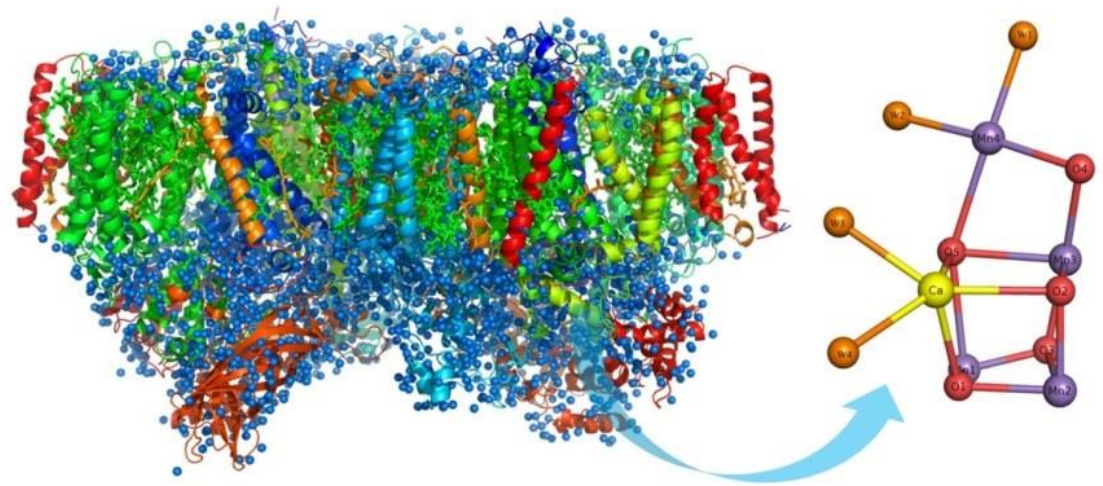
実現したときの未来

生きている細胞の物理的性質を十分な分解能で時間・空間分解して観測し、細胞のナノテクノロジー、細胞内分子間相互作用の物理学的理解が確立すれば、物理学が医学に貢献できるようになる。生物の力を借りないで人工細胞＝生物＝を作り出せるようになり、万能ナノマシンの時代を実現でき、iPS細胞・ゲノム編集に匹敵する技術革新を日々生み出せるようになる。

個別の蛋白質の構造・機能の物理学的研究(以下の構造はX線回折や電子顕微鏡で観測して解明)は前進しているが、生きたままの活動をこの分解能で観測できない



細菌鞭毛モーターのCG図
(米ディスカヴァリー研究所)

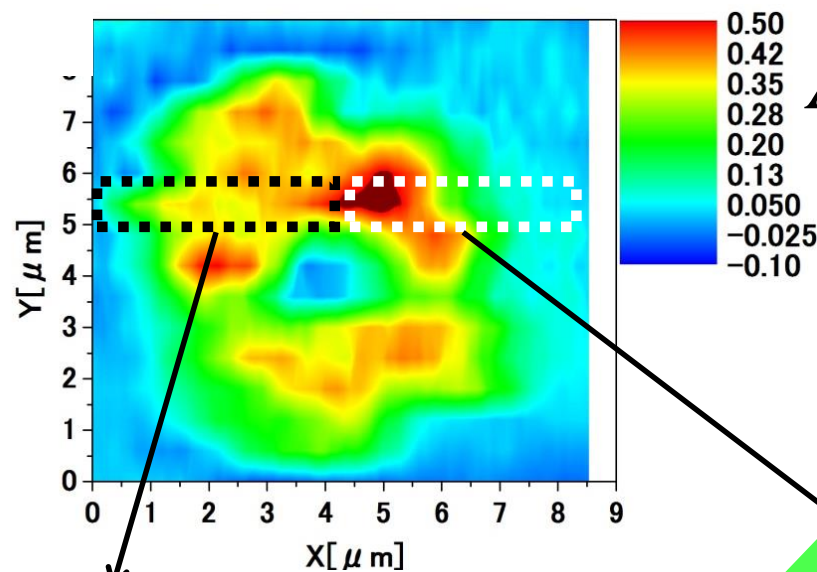


光化学系II複合体(PSII)の構造と
水分解触媒である Mn_4CaO_5 クラスターの構造

<http://www.riis.okayama-u.ac.jp/research/core2/>

最近の研究成果3:
細胞の空間分解吸収スペクトルの
高速測定法の開発

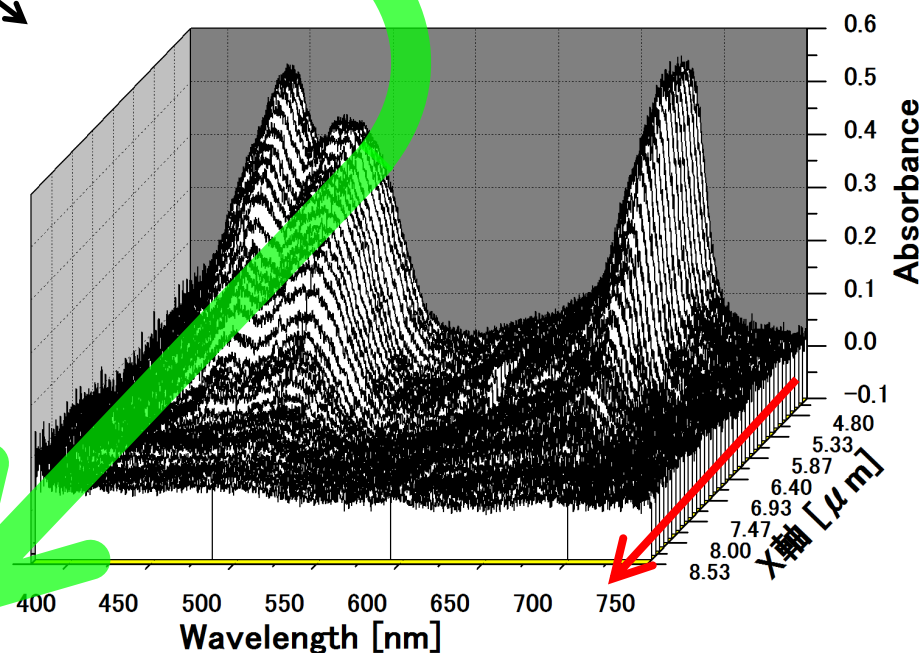
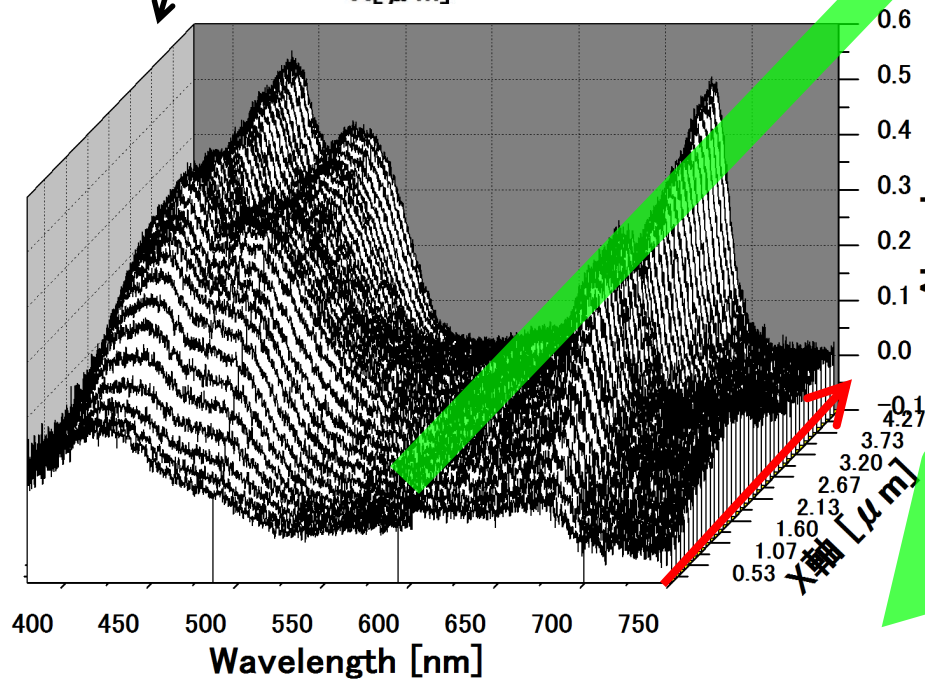
生細胞の無走査吸収分光イメージング法の開発 2015



$$A(x, y, \lambda = 680 \text{ nm})$$

全 $A(x, y, \lambda)$ の測定時間0.05秒
運動する細胞も測定できる

1 μm 空間分解能



$$A(x, y = 5.4 \mu\text{m}, \lambda)$$

将来のノーベル物理学賞？

物性論2C

超解像光学顕微鏡

(2014年 化学賞として実現)

可視光の光を使って、光の回折限界を
超える空間分解能



局在化顕微鏡

構造化照明顕微鏡

誘導放出制御顕微鏡、飽和励起顕微鏡

全員 物理系

すべて発光を利用 蛍光ラベル

次の開発課題

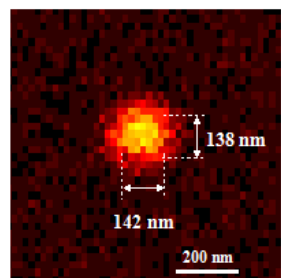
蛍光ラベルなし、散乱や吸収での実現

最近の研究成果4: 超解像光熱顕微鏡の開発

蛍光によらない超解像光熱顕微鏡の開発

熱顕微鏡の開発

超解像光熱イメージング

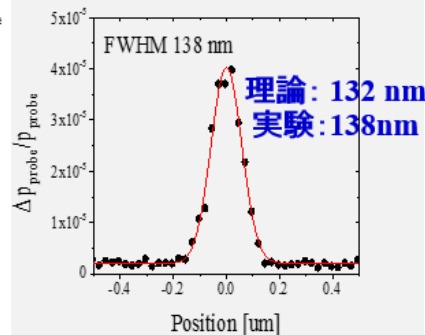


20nm金ナノ粒子

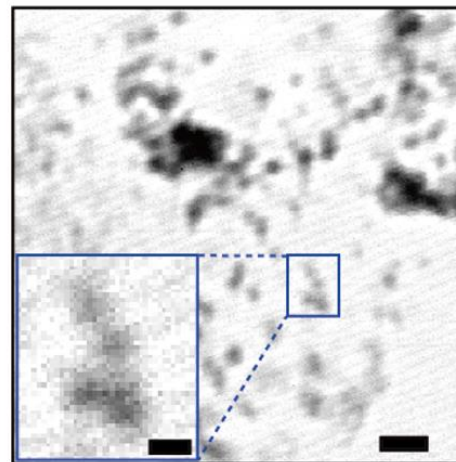
Pump 488nm Probe 532nm NA=1.4

このときの従来法の回折限界194nm

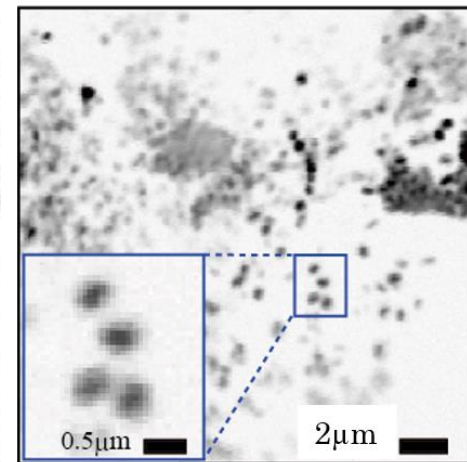
$0.51 \times 532 / 1.4 = 194$



電通大(小林研) 中田和明 瀬戸啓介
との共同研究 高橋周吾 櫻内衛
マウス悪性黒色腫瘍(メラニン色素)



左: 従来の光学顕微鏡



右: 光熱顕微鏡

JST 科学技術振興機構

【先端計測分析技術・機器開発プログラム】



平成28年度採択開発課題(要素技術タイプ): 9件



無標識・同時多色・3次元・超解像を実現する光熱変換顕微鏡のための調査研究

調査研究

チームリーダー

徳永 英司 東京理科大学 理学部第一部 教授

開発概要

細胞小器官を生きたまま測定することができ、また、集積回路やマイクロ・ナノマシンの熱拡散過程をイメージング可能な、広く生物や工業用に用いられる光学顕微鏡が求められている。本調査研究では、1分子レベルで高感度に検出可能な世界初の無標識・同時多色・3次元・超解像顕微鏡技術について検討する。

蛍光標識不要: 吸収を利用

超解像の原理: 非線形光学効果

1. Introduction
2. 医学を物理学にするための多次元・時空間
細胞診断
3. 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
4. 非線形光学
5. プラズモニクス

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

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・散逸の過程の時空間計測法の開発

太陽エネルギーは地球のすべての生命活動の母
(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る
しかし 植物の太陽エネルギーの利用効率は高くない。

その電子構造に由来する吸収スペクトルは、青色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光とのエネルギー差分を熱散逸で失う。

半導体太陽電池も、バンドギャップエネルギー(E_g)よりも大きいエネルギーの光子を利用できるが E_g との差は熱エネルギーとして失う。
地球規模の膨大なエネルギー損失

制御して最小化 発生する熱エネルギーを再利用

マイクロ・ナノマシンの高効率・高速動作のために、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必要

光合成、太陽電池、発光素子のエネルギー効率の改善により、
エネルギー問題・地球温暖化問題の解決

最近の研究成果5:

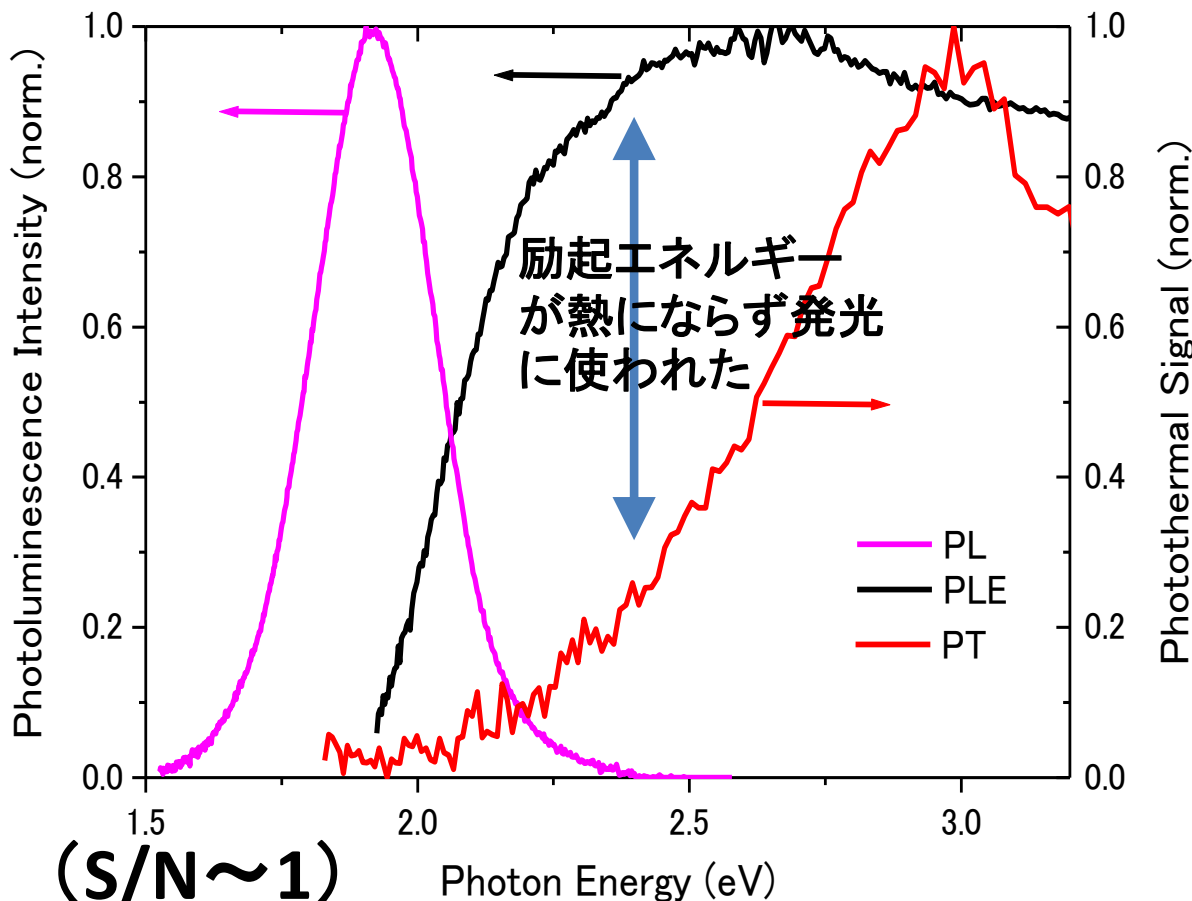
熱緩和スペクトルの超高感度測定法の開発

Sagnac干渉計光熱偏向分光法の開発と熱緩和スペクトル

2016 塩川直幸

- 発光スペクトル
- 吸収スペクトル
- 光熱スペクトル (熱緩和スペクトル)

白色LED用の高発光量子効率の
赤色蛍光体粉末CaAlSiN₃:Eu²⁺



検出感度 3.0×10^{-5} K (S/N~1)

世界最高感度の光熱偏向分光法を開発

重力波検出のLIGOに刺激をうけて

空气中試料、
白色ランプの分光微弱光励起

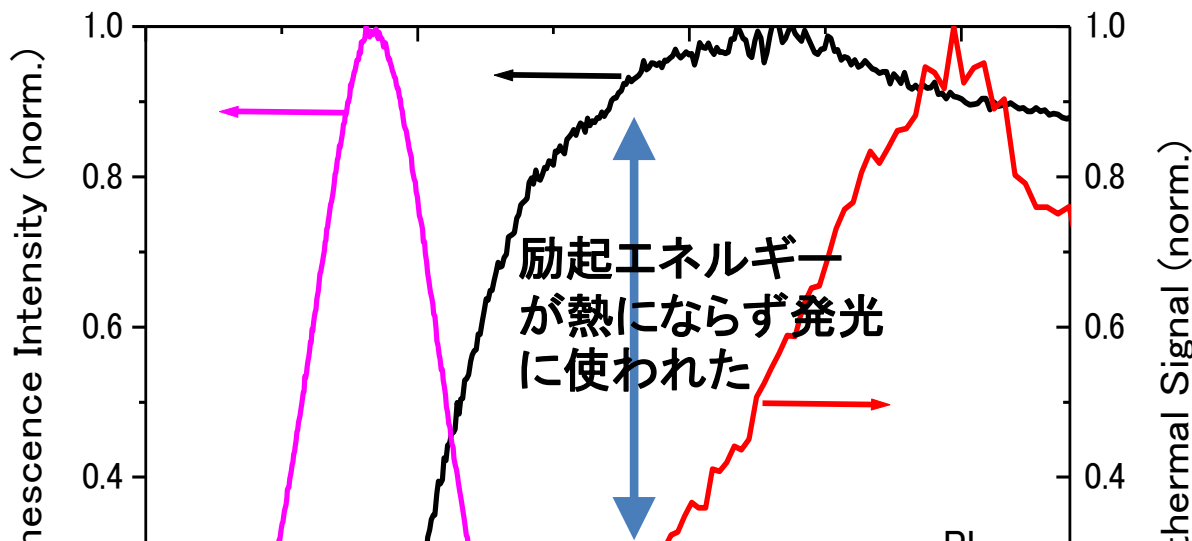
現在 さらに桁違いに高感度の光熱法を開発中

2017卒研 千万大道

Sagnac干渉計光熱偏向分光法の開発と熱緩和スペクトル

2016 塩川直幸

- 発光スペクトル
- 吸収スペクトル
- 光熱スペクトル (熱緩和スペクトル)



白赤

発光材料、光合成生物、マイクロマシンの効率の高感度計測へ

検査

革新的超解像顕微鏡への展開

重力波検出のLIGOに刺激をうけて

空気中試料、白色ランプの分光微弱光励起

現在 さらに桁違いに高感度の光熱法を開発中

2017卒研 千万大道

1. Introduction
2. 医学を物理学にするための多次元・時空間細胞診断
3. 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
4. 非線形光学
5. プラズモニクス

非線形光学効果

分極 $P = \varepsilon_0 (\chi^{(1)} E + \chi^{(2)} E^2 + \chi^{(3)} E^3 + \dots)$

$$= \varepsilon_0 (\chi^{(1)} + \boxed{\chi^{(2)} E + \chi^{(3)} E^2} + \dots) E_{\text{光電場}}$$

内が外部電場するとき Pockels効果 Kerr効果
電気光学効果

近似式

$$n + i\kappa = \sqrt{1 + \chi} \approx 1 + \frac{1}{2} \chi = 1 + \frac{1}{2} \chi_r + i \frac{1}{2} \chi_i$$

$$\begin{aligned} n = 1 + \frac{1}{2} \chi_r &= 1 + \frac{1}{2} \chi_r^{(1)} + \frac{1}{2} \chi_r^{(2)} E + \frac{1}{2} \chi_r^{(3)} E^2 \\ &= n_0 + n_1 E + n_2 E^2 \end{aligned}$$

非線形光学効果

$$\begin{aligned} \text{分極 } P &= \varepsilon_0 (\chi^{(1)} E + \chi^{(2)} E^2 + \chi^{(3)} E^3 + \dots) \\ &= \varepsilon_0 (\chi^{(1)} + \boxed{\chi^{(2)} E + \chi^{(3)} E^2} + \dots) E \end{aligned}$$

光電場

内が光電場のとき 二倍波発生 pump-probe分光
パラメトリック効果 四光波混合

研究室を支えるオリジナル技術

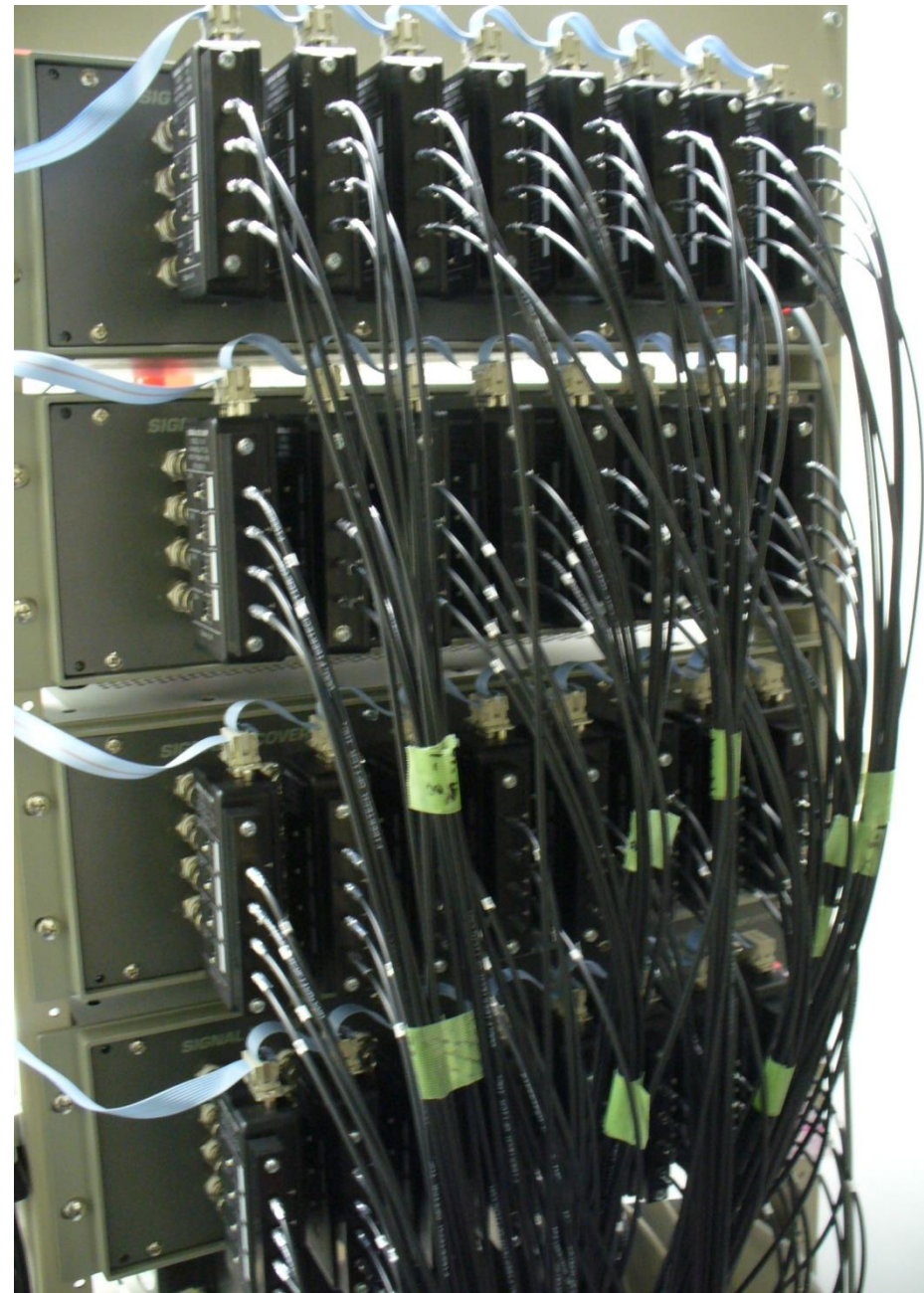
特許第3568847号 (2004.6.25登録)

世界初の多チャンネルロック インアンプを開発

外部刺激(光励起・電場印加)
による透過光強度の微小変化
(10^{-6})を測定

128台のロックインが並列稼動

透過率変化スペクトル
シングルロックインで2時間
の測定が1分で終了



電極界面の水のPockels効果を発見

2002年卒研

$$r_{33} = (2.5 \pm 0.6) \times 100 \text{ pm/V}$$

$$r_{13} = (2.0 \pm 0.3) \times 100 \text{ pm/V}$$

$$r_{13} \doteq n_1$$

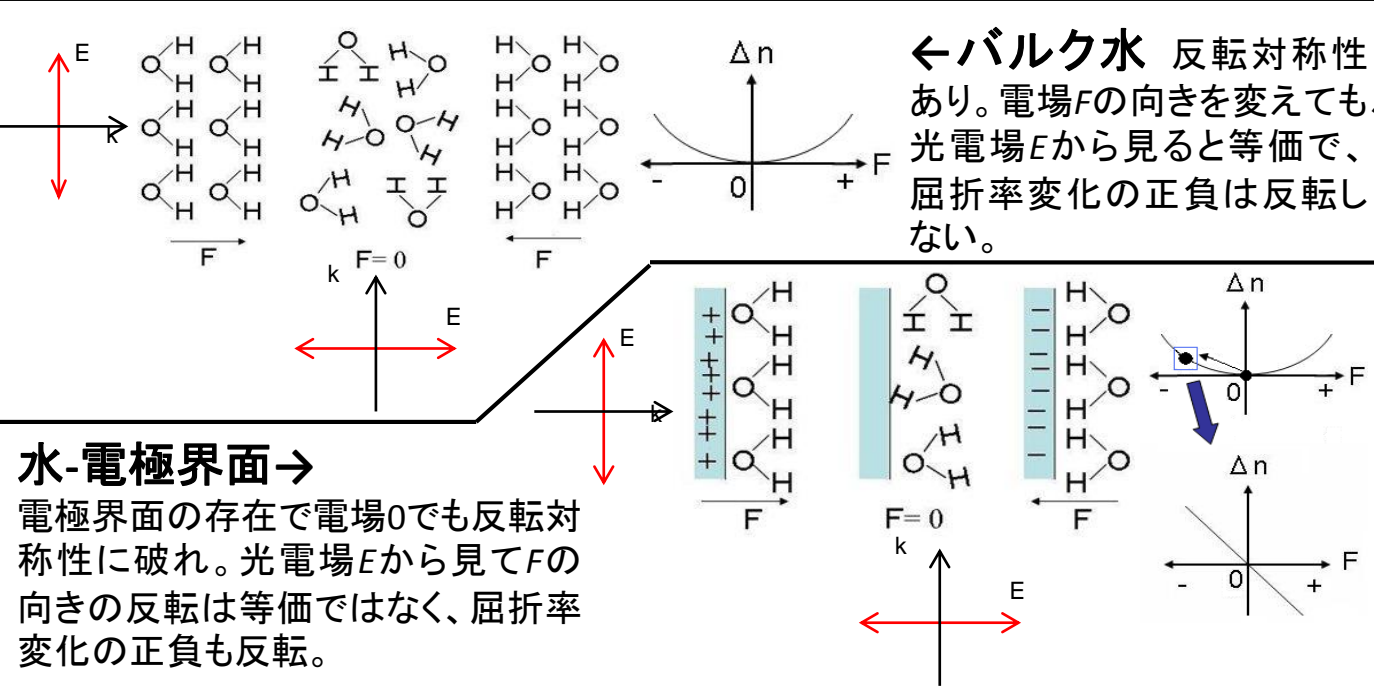
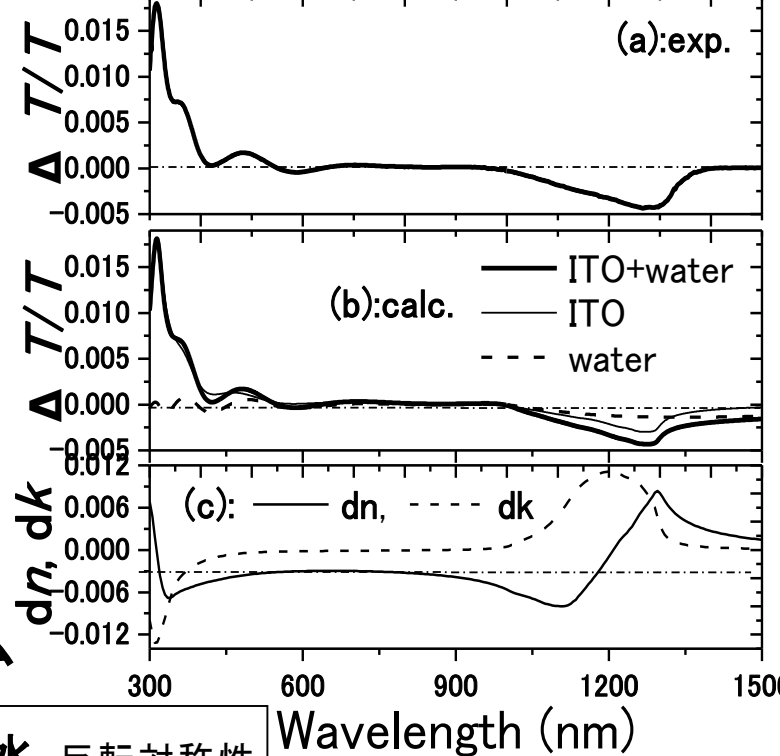
実用化 電気光学結晶 LiNbO_3 の係数と比べ

$$r_{33} = 30.9 \text{ pm/V}$$

$$r_{13} = 9.6 \text{ pm/V}$$

10~20倍大きい巨大な電気光学効果！

水のポッケルス効果(電場に比例)のメカニズム



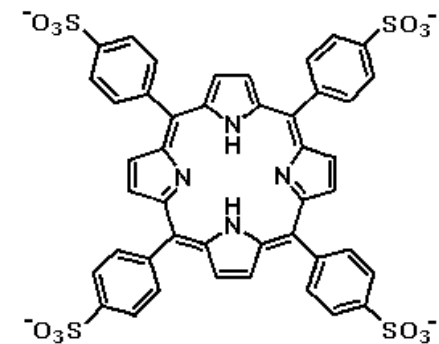
Wavelength (nm)

電解水(0.1M NaCl)中のITO電極に1Hz, 2Vの交流電圧を印加したときの透過率変 $\Delta T/T$ スペクトル(a)と計算結果(b)。 (c)で仮定したITOの複素屈折率変化だけでは実験結果を説明できず水の屈折率変化を実証。

分子会合体の自己形成



ポルフィリン分子 単量体(モノマー)溶液

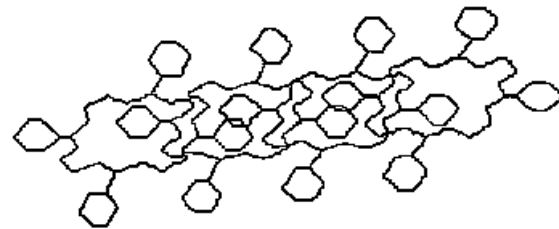


TPPS

分子会合体の自己形成

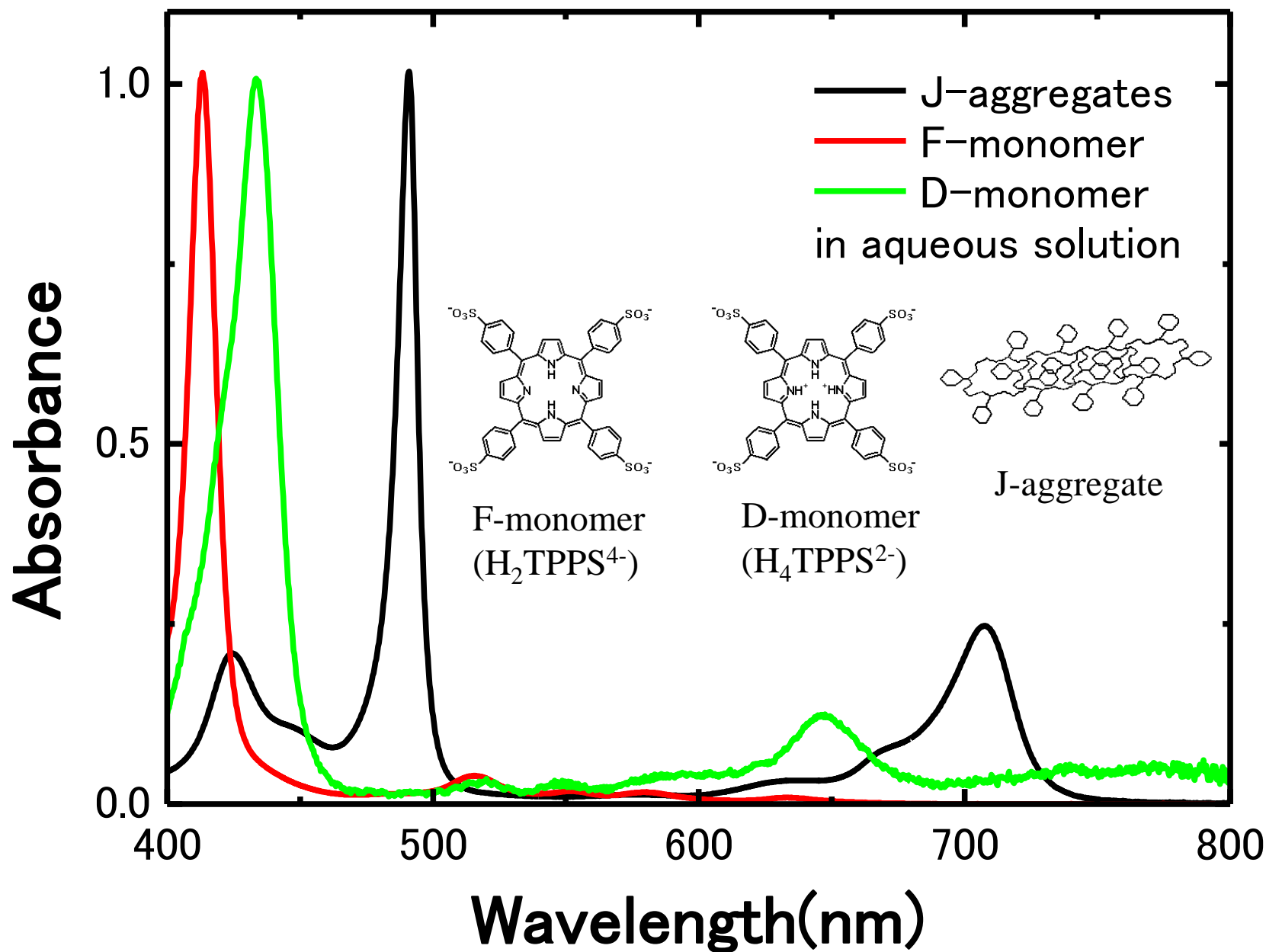


ポルフィリン分子 会合体溶液

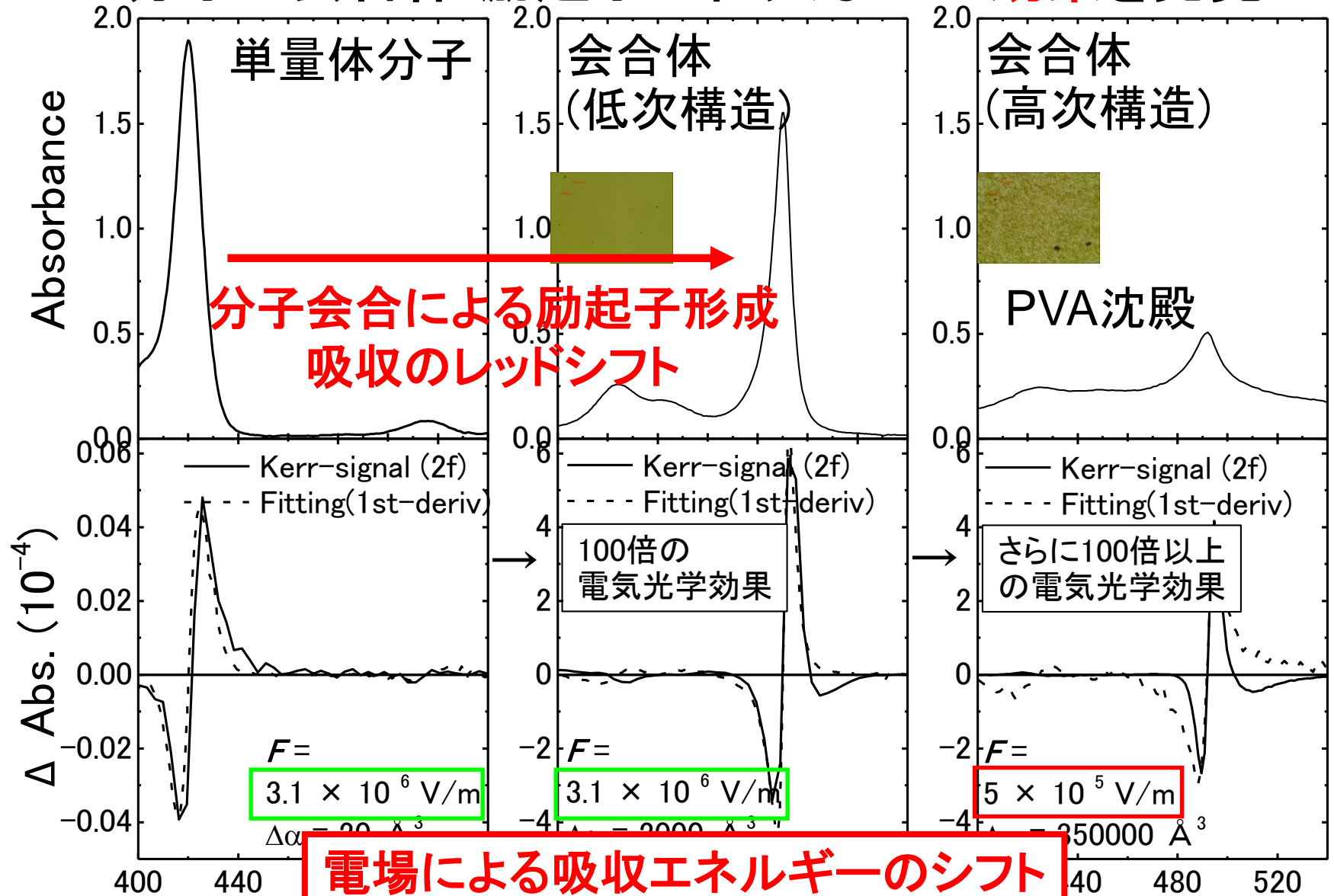


TPPS

分子会合体(結晶)の励起状態＝励起子

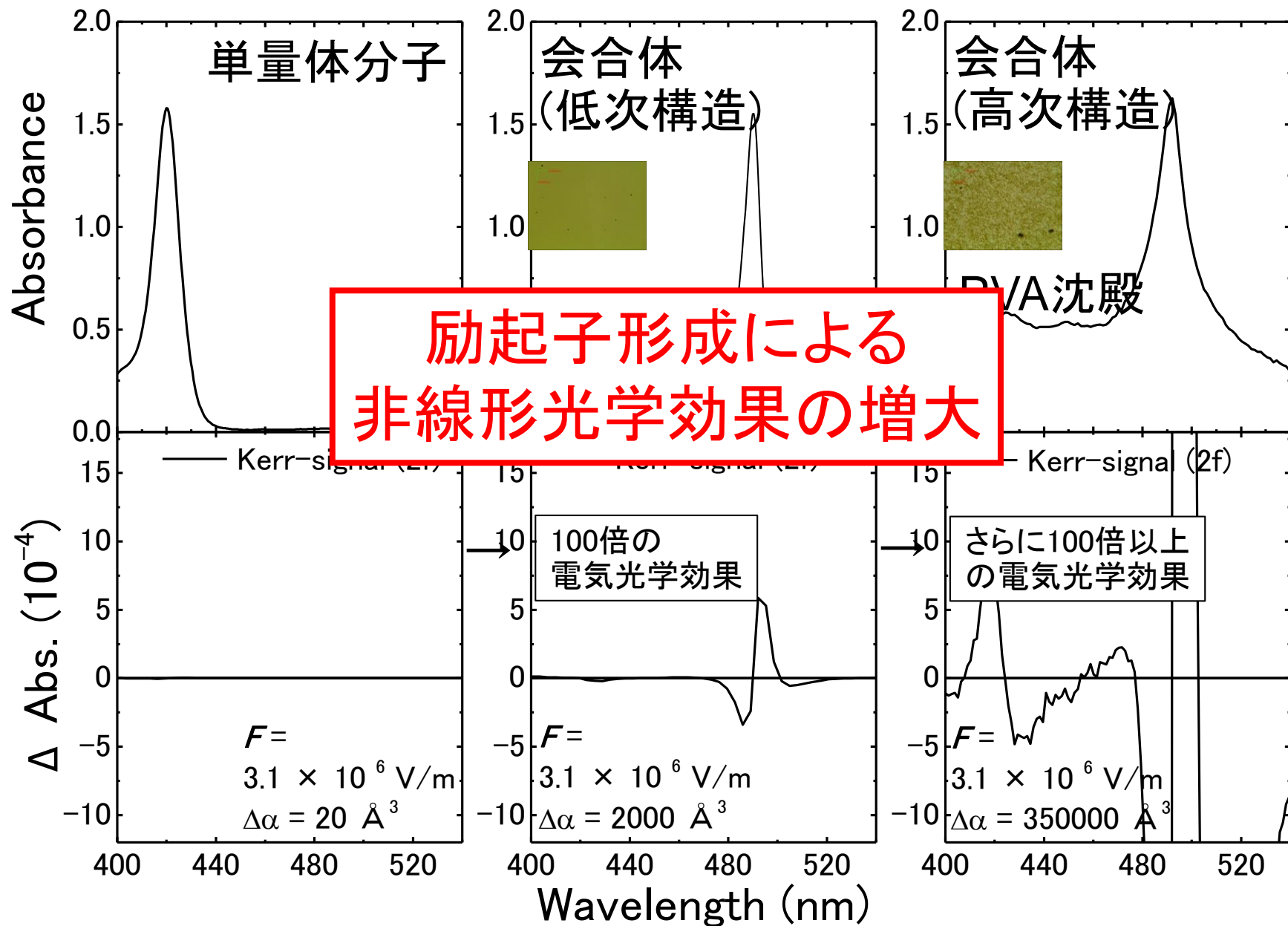


TPPS分子 J会合体 励起子の巨大なKerr効果を発見



電場による吸収エネルギーのシフト
量子力学 2次の摂動論
Stark効果

吸収、印加電場が同じだとして、同じスケールで比較



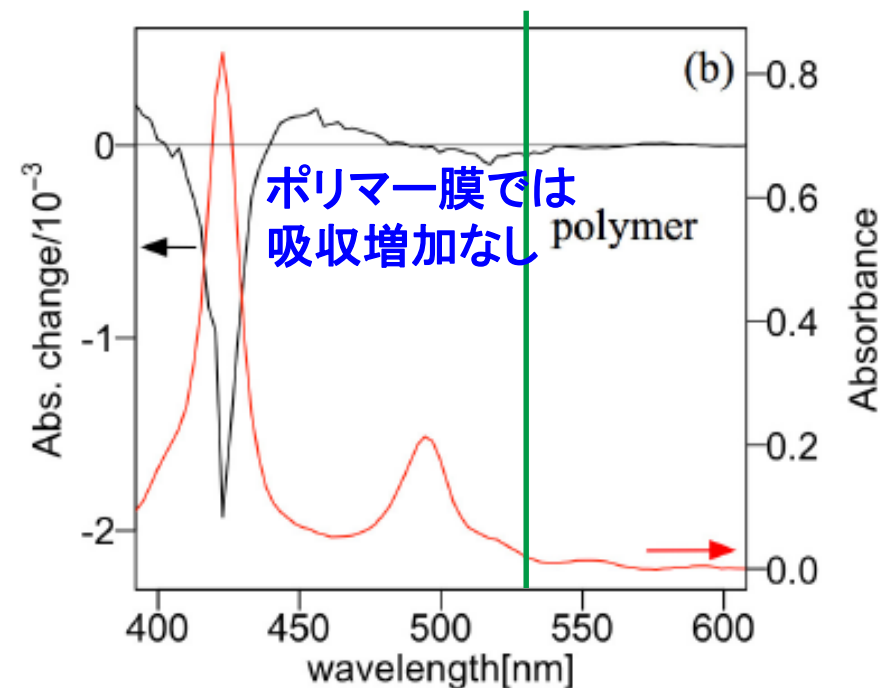
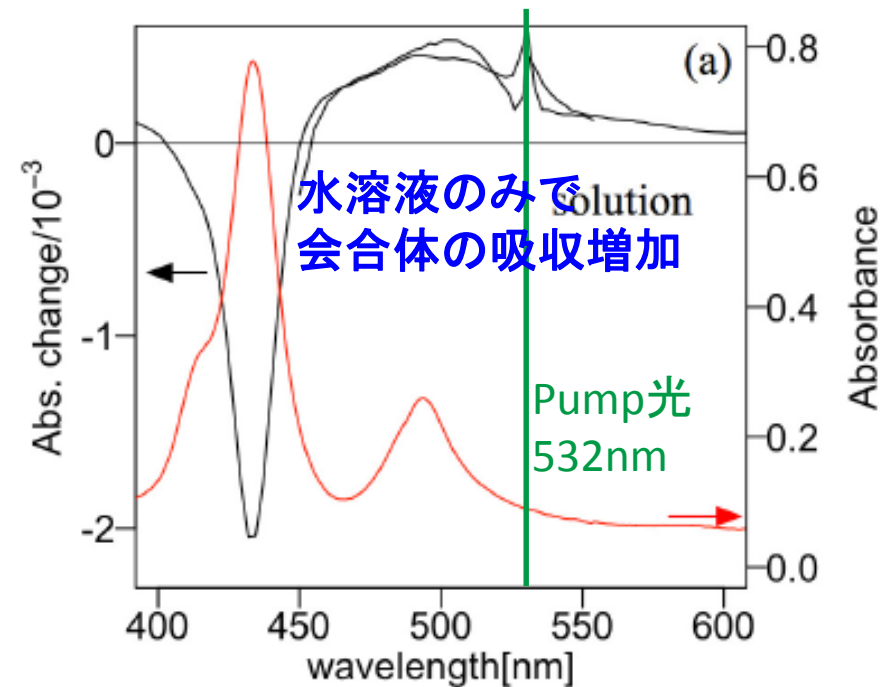
最近の研究成果6:

光誘起力による高効率分子会合の発見

光照射下でのみ、
熱平衡状態で生成しない結晶が生成

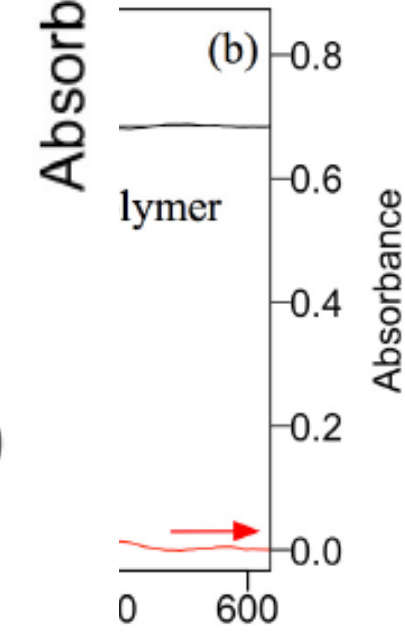
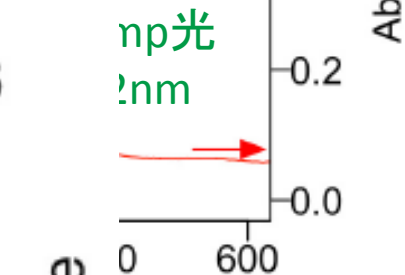
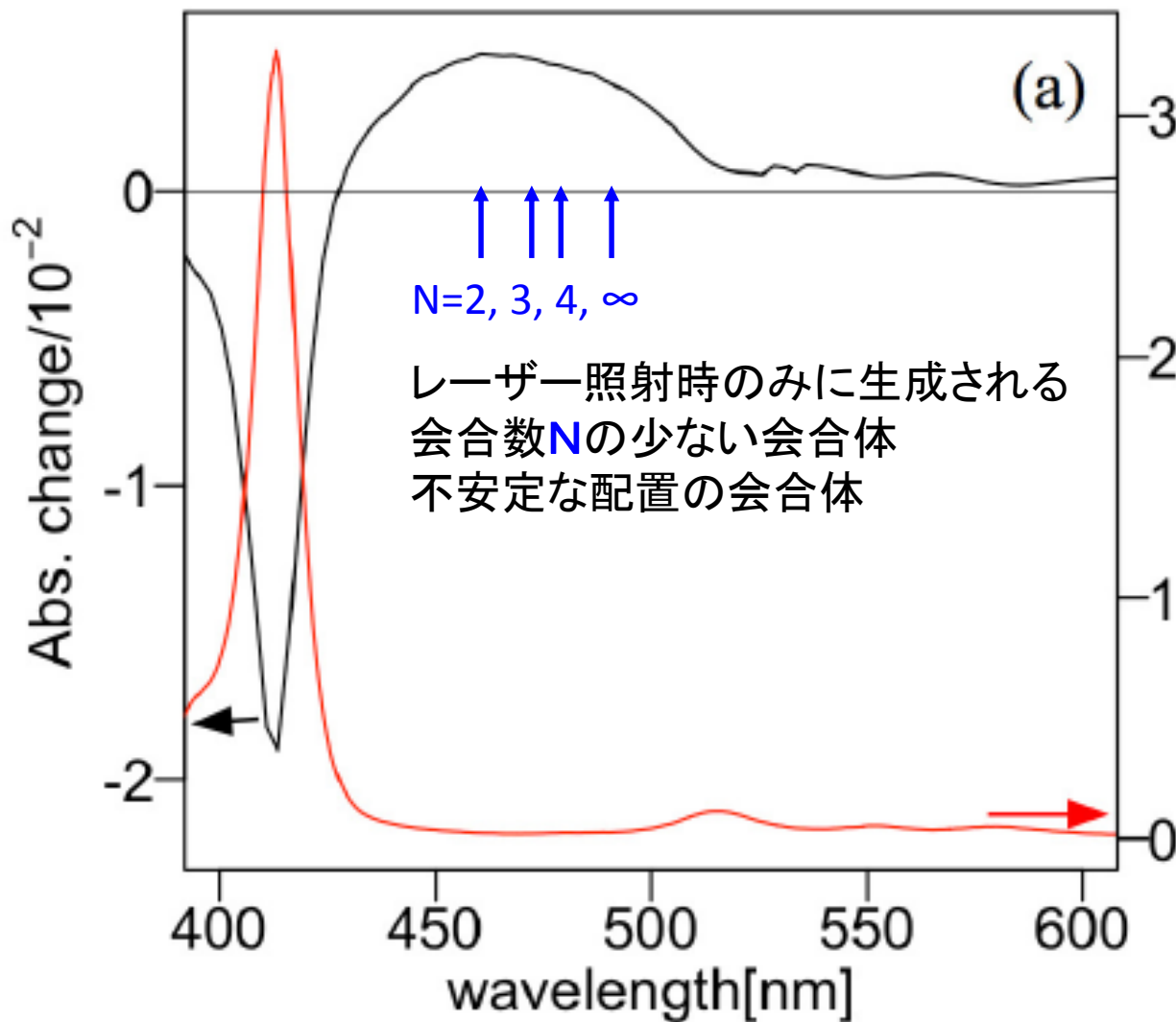
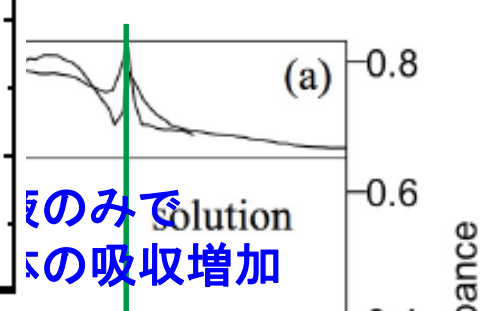
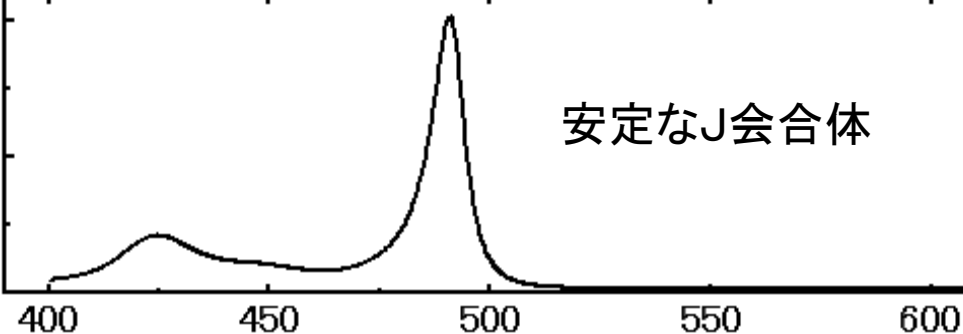
Pump-Probe分光 2014卒研

光の輻射圧(勾配力)
で分子を集ませ、
会合体を作る



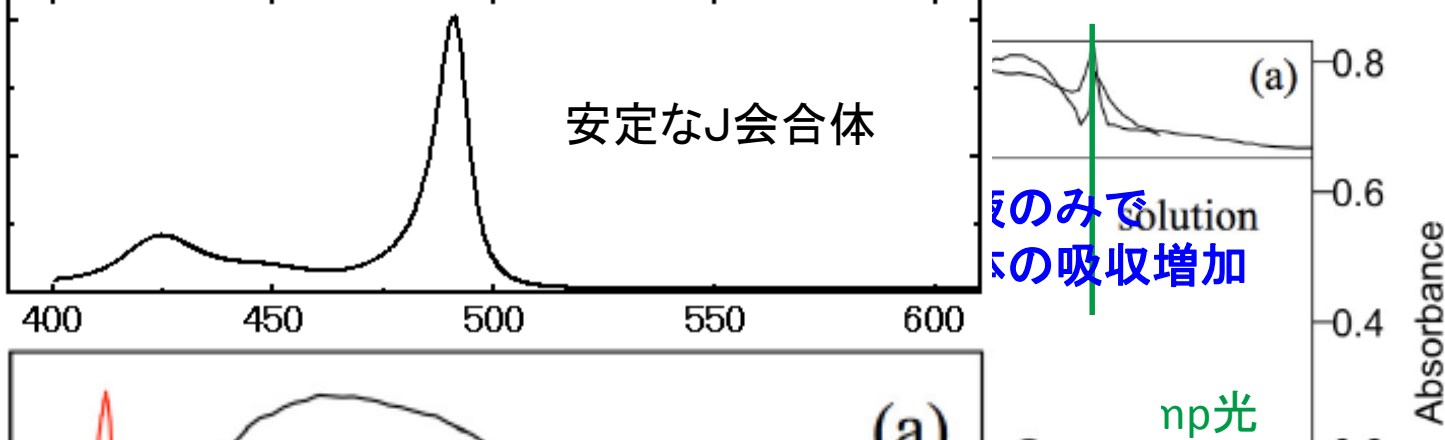
Pump-Probe:

光の輻射
で分子を
会合



Pump-Probe:

光の輻射
で分子を
会合



$$\frac{1}{2}\alpha E^2 \ll k_B T \quad \alpha: \text{分極率}$$

(勾配力ポテンシャル) \ll (分子の熱運動エネルギー)

予想される吸収変化は 10^{-7}

観測した吸収変化は $> 10^{-3}$

熱平衡状態では存在しない会合体を高効率に生成
10000倍

wavelength[nm]

0 600

wavelength[nm]

FBI

大学発 日本 人と技術

日本を支える研究活動と技術開発

■光誘起力による高効率分子 会合体生成とその測定法開発

東京理科大

光誘起力によって室温の水中の1ナノメートルサイズの分子を集合させ、平衡状態では存在しない会合数や分子配置の分子会合体を生成、観測することに理学部第一部物理学科の徳永英司教授と電気通信大学・東京理科大学の小林孝嘉客員教授の研究グループが成功した。しかもこの応答が、室温の激しい分子の熱運動の大きさに対して、知られている公式に従って計算できる光の圧力による効果から予

想されるよりも4けたも大きな生成効率で起きていることも突き止めた。この観測は、分子の

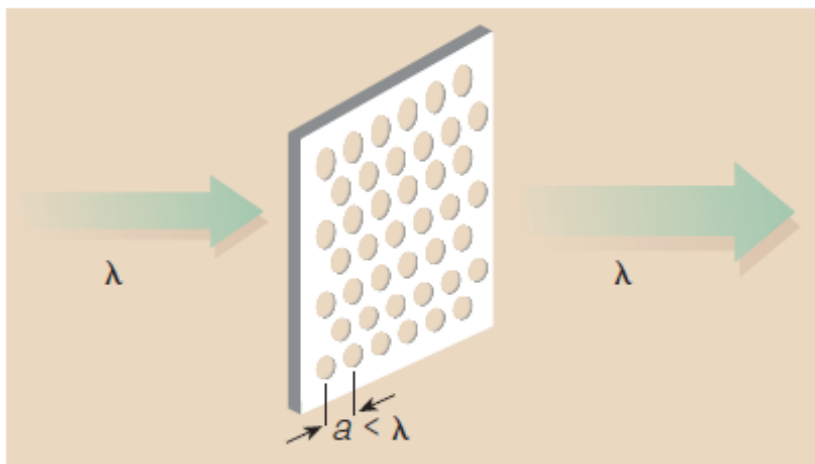
会合状態の変化を吸収スペクトルの変化で追跡する方法で初めて可能になったという。

この研究成果は、世界で初めて光誘起力が平衡状態に向けて結晶化を加速するだけの役割でなく、平衡状態で存在できない結晶状態を作成することに使えることを実証。この観測方法を使えば、室温の溶媒中で未知の分子やイオンの集合状態を観測することにより、結晶化のメカニズムの解明や新しい分子会合状態の作成に貢献できると考えられている。

高効率分子会合体を生成
理科大が測定法開発

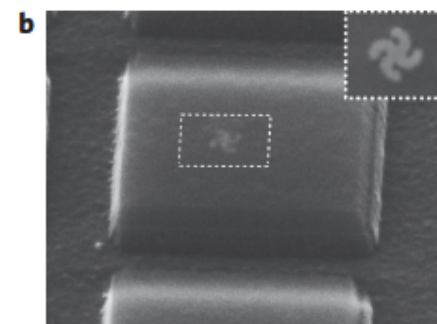
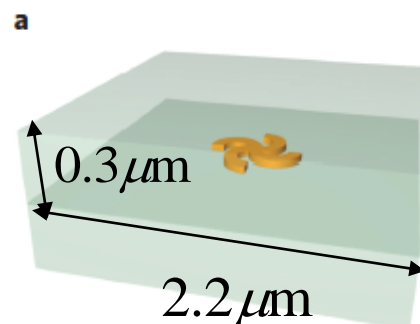
1. Introduction
2. 医学を物理学にするための多次元・時空間
細胞診断
3. エネルギーの熱緩和・散逸過程の計測と制御による高度エネルギー利用
4. 非線形光学
5. プラズモニクス

光の異常透過

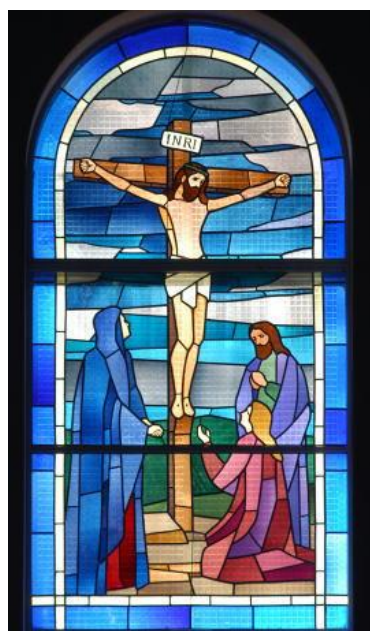


gold 卍 (かぎ十字)

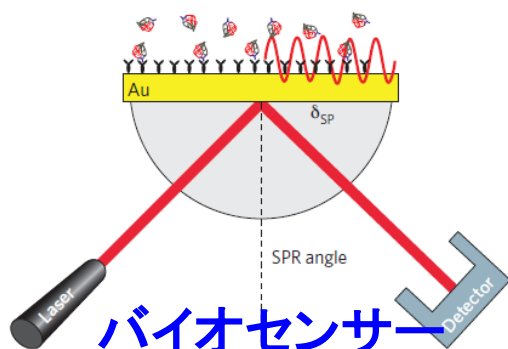
200 nm



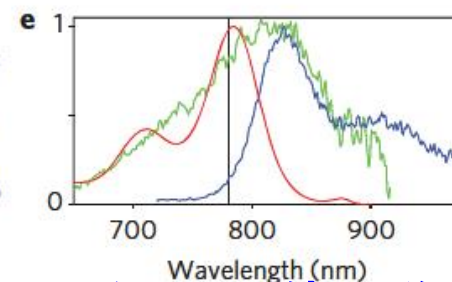
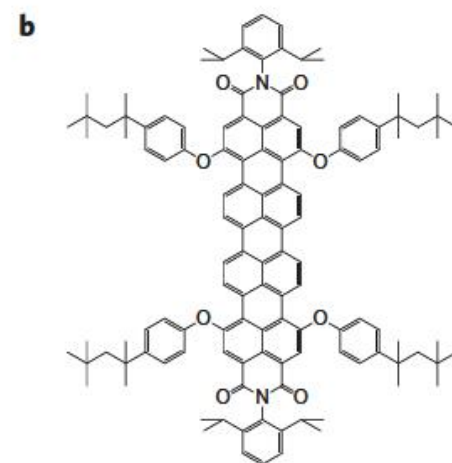
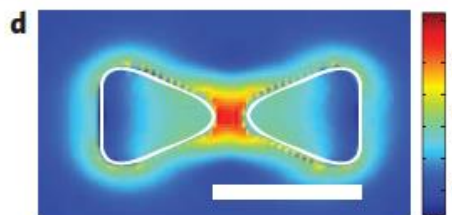
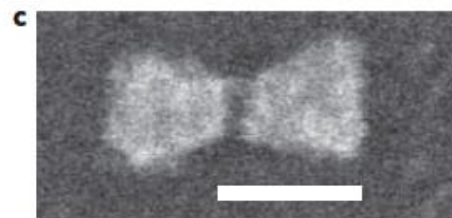
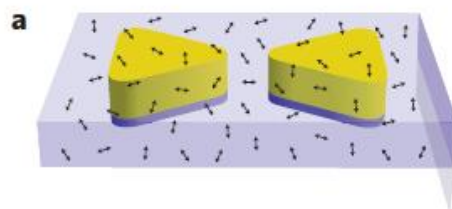
プラズモニックモーター
直線偏光の光の照射で回転



ステンドグラス



プラズモンレーザー
メタマテリアル
ナノリソグラフィ
....

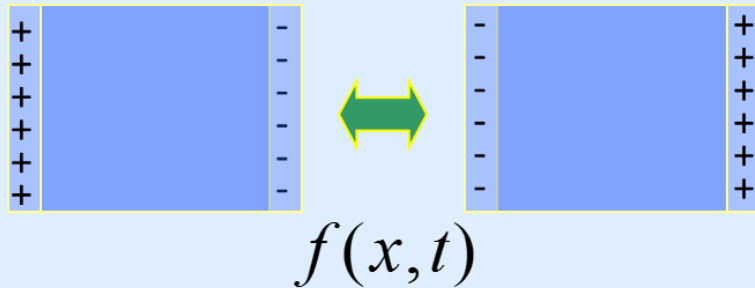


光学ナノアンテナ 単一分子の発光を>1000倍に増強

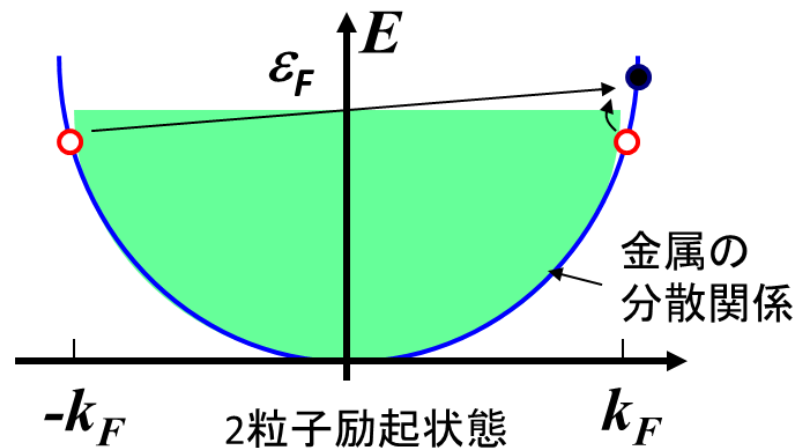
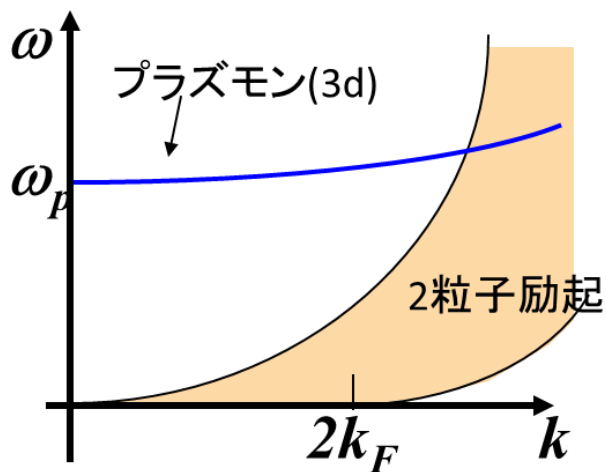
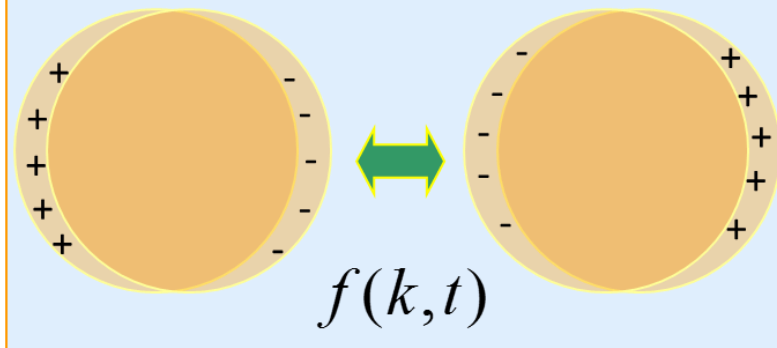
金属: 自由電子数 $\sim 10^{23}$ 個

→ 金属中や表面では超高密度の自由電子によるプラズマ振動が生じる(プラズモン)

• 実空間でのプラズマ振動



• 波数空間ではこれをどう表現する??

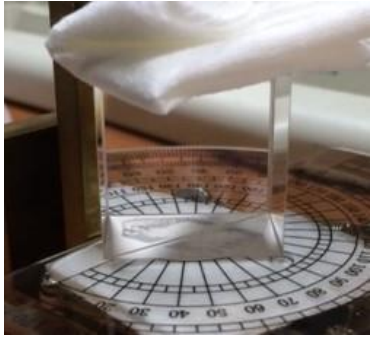
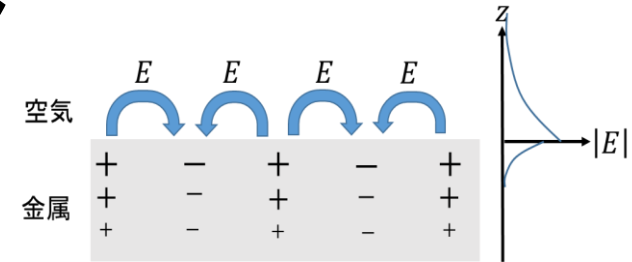


- 2粒子励起状態 → すぐに減衰
- プラズモン励起状態 → 減衰はより緩やか。また、励起に必要なエネルギー大。

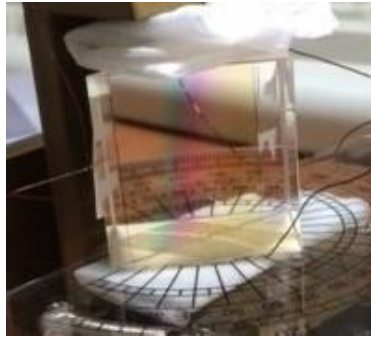
プラズモン波動関数は金属の分散曲線上(k空間)の電子・正孔でどのように構成されているか

表面プラズモン

縦波(疎密波)であるバルクプラズモンは光励起できないが、表面プラズモンは横波成分を持つため光励起が可能



石英プリズム



銀薄膜+石英プリズム

石英プリズムに金属を50nm程度で蒸着すると表面プラズモンによる光の吸収が起きる

表面プラズモンは入射角によって共鳴波長がシフトするため、全反射光が虹のように色づいて見える

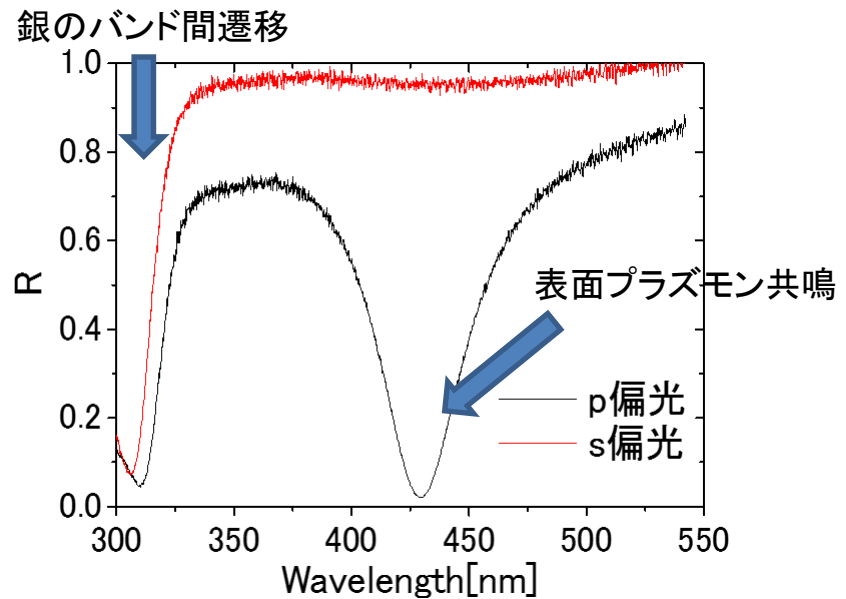
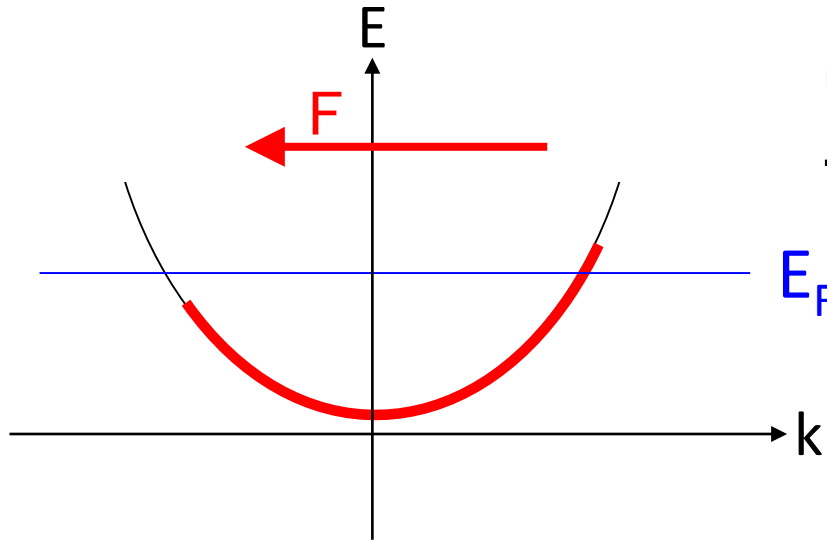


図. 反射率

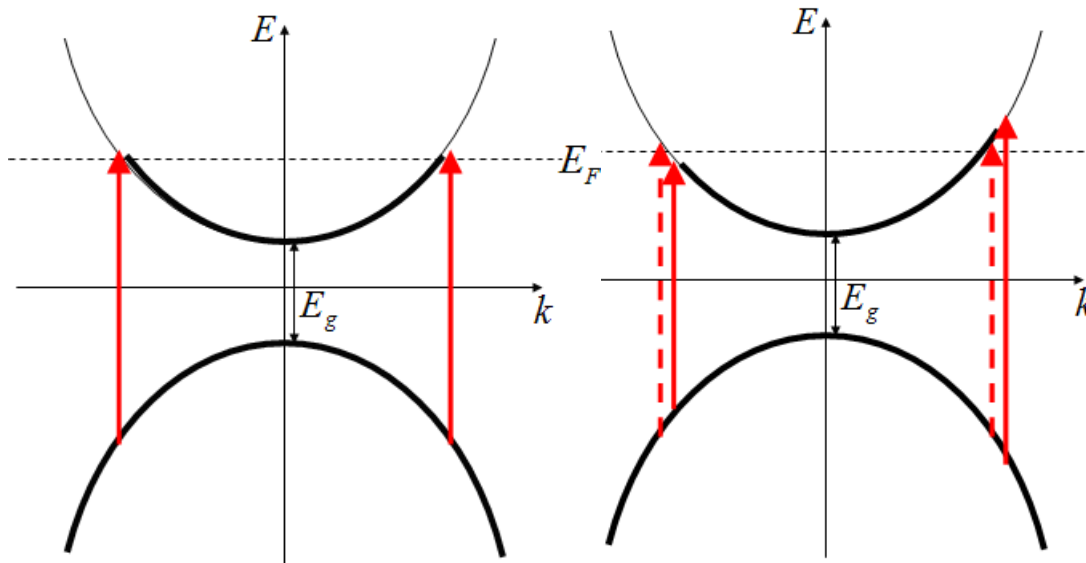
$$R = \frac{\text{銀コート石英プリズムの反射スペクトル}}{\text{石英プリズムの反射スペクトル}}$$

電気伝導

フェルミ面近傍の電子が担う

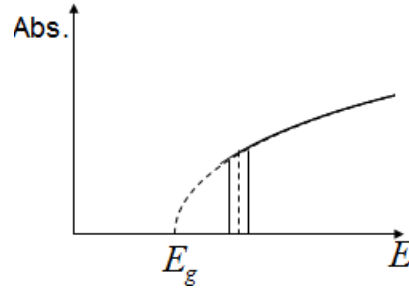
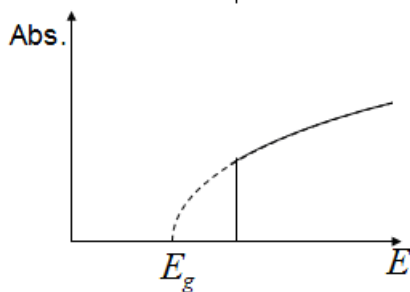


金属に電流を流すと
フェルミ面がシフト→
バンド間遷移が変化



表面プラズモンによる
フェルミ面変調 10^{15}Hz

周波数の低いフェルミ
面変調(電流変調) 100 Hz



最近の研究成果7:

プラズモン波動関数解明への実験的挑戦

Plasmon Modulation Spectroscopy of Noble Metals to Reveal the Distribution of the Fermi Surface Electrons in the Conduction Band

2017

Kentaro Takagi¹, Selvakumar V. Nair², Jumpei Si Ryosuke Watanabe³, Takayoshi Kobayashi⁴ and

実験データは
高木健太郎
2014卒研

プラズモン変調
と
電流変調
温度差分
に明確な違い

現在のところ
これを説明できる
理論なし

電子間の相関？

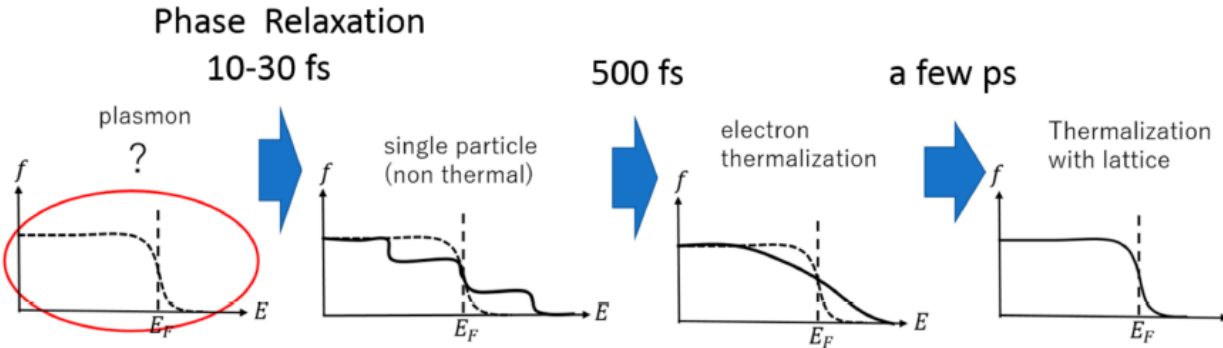
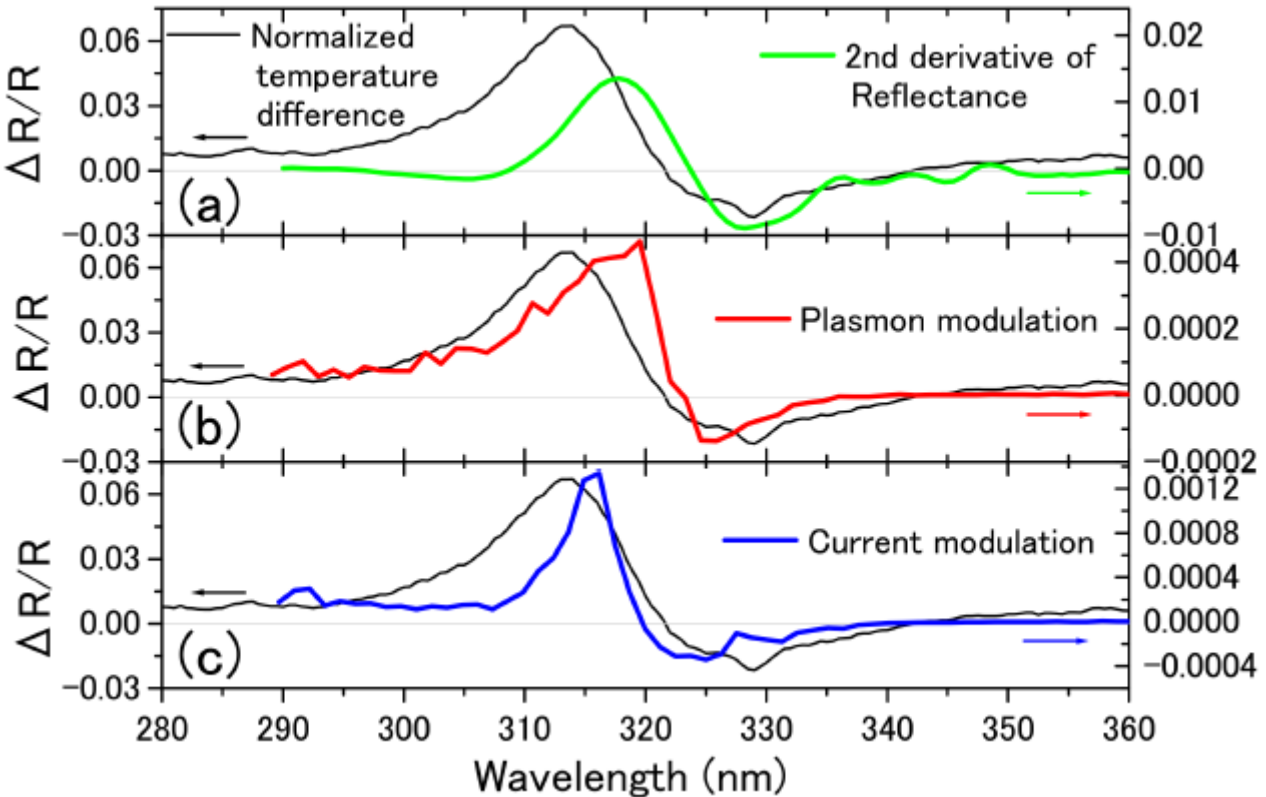


Figure 1. Change in the electronic distribution expected after plasmon excitation (dashed lines: Fermi distribution function).



卒研で特許、論文

最近の研究成果8:

金属コート半球ヤヌス粒子の開発

相沢創 2015卒研成果

特許願2016-071706 2016.3.31 原田（積水化成品工業） 徳永 相沢（卒研生） 瀬戸

1年の始めのJanuaryは、ローマ神話で「事の始まりと終わり」を司る神Janus(ヤヌス)から

LANGMUIR

Cite This: *Langmuir* 2017, 33, 14684–14690

pubs.acs.org

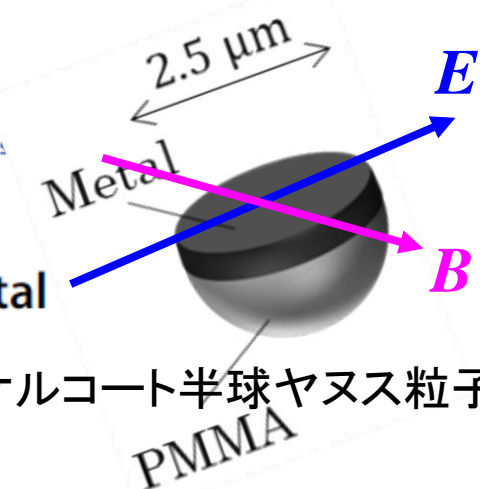
2017

Orientation Control of Hemispherical Janus Particles and Metal Coating on the Selective Surface To Excite Surface Plasmon Polaritons in the Micro-Kretschmann Geometry

ニッケルコート半球ヤヌス粒子

電場と磁場で半球の方位を自在にコントロール

世界初の形状と材質両方に異方性のあるヤヌス粒子

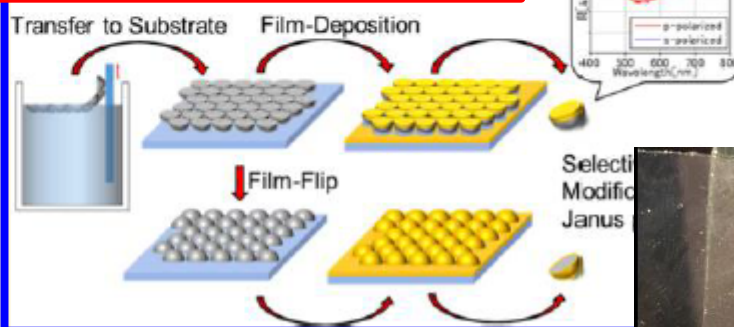


162-8601, Japan

ABSTRACT

(article)

solid substrate. This difficulty prevents further modification of the selective surface of the particles for fabrication of the Janus particles with anisotropy of the shape and surface. We successfully arranged hemispherical particles in a uniform orientation at the air–water interface. The particles were arranged on the solid substrate in a uniform orientation by transferring the particle film onto the substrate. This arrangement enabled the fabrication of the Janus particles with anisotropy of the shape and surface by selective deposition of a film on either the equatorial plane or the spherical surface. Additionally, we demonstrated the function of the microscopic Kretschmann geometry for excitation of the surface plasmon polaritons of a thin metal film on the plane of a single hemispherical particle.

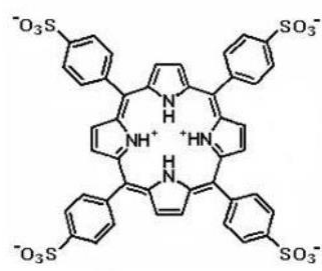


銀コート半球ヤヌス粒子

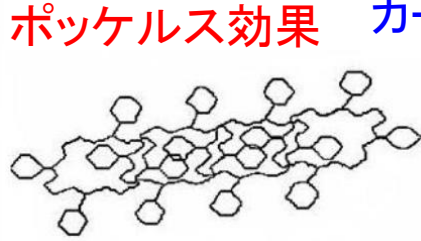
実時間非線形応答復元ロックインアンプの発明

$$P = \varepsilon_0 \left(\chi^{(1)} + \chi^{(2)} E_{elec} + \chi^{(3)} E_{elec}^2 + \dots \right) E_{light}$$

特許願 2016-38306
2016.2.29 瀬戸、徳永
庭瀬(卒研生)

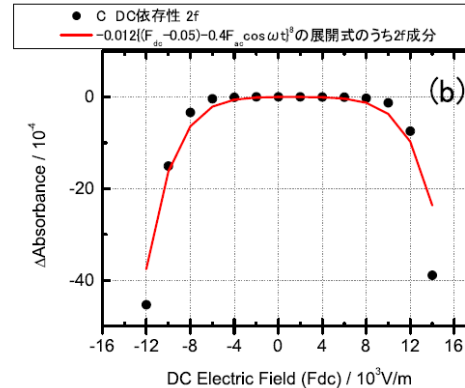
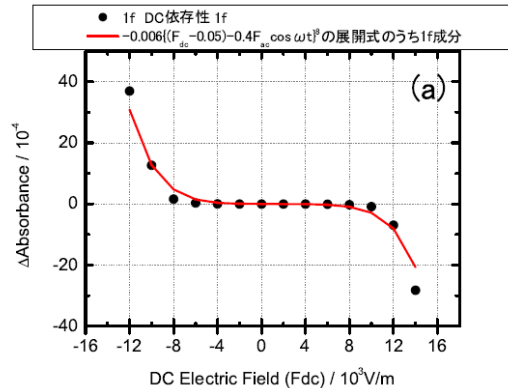


D単量体

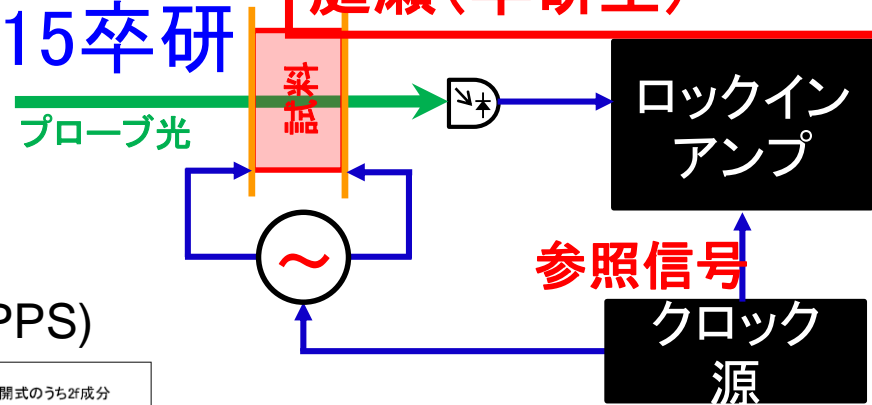


J会合体

Tetraphenylporphyrin tetrasulfonic acid (TPPS)



2015卒研

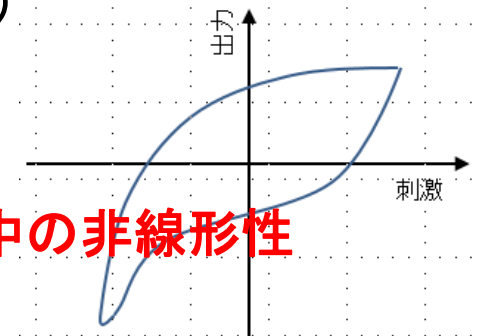


$$P^{(n)}(n\omega) = \chi^{(n)}(n\omega) E^n(\omega)$$

$$P^{(3)}(3\omega) = \chi^{(3)}(3\omega) E^3(\omega) \text{ 3次の非線形分極}$$

$$= \chi^{(3)}(3\omega) E_0^3 \left[\frac{1}{4} \cos(3\omega t) + \frac{3}{4} \cos(\omega t) \right]$$

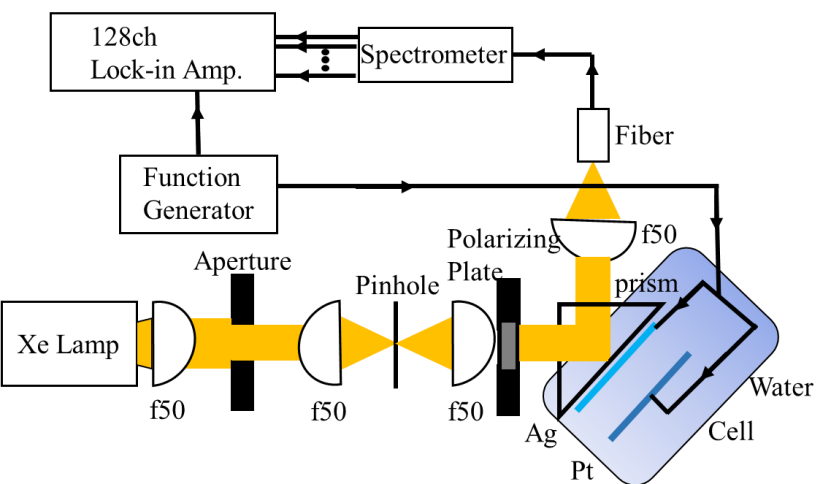
3倍波発生 吸収飽和



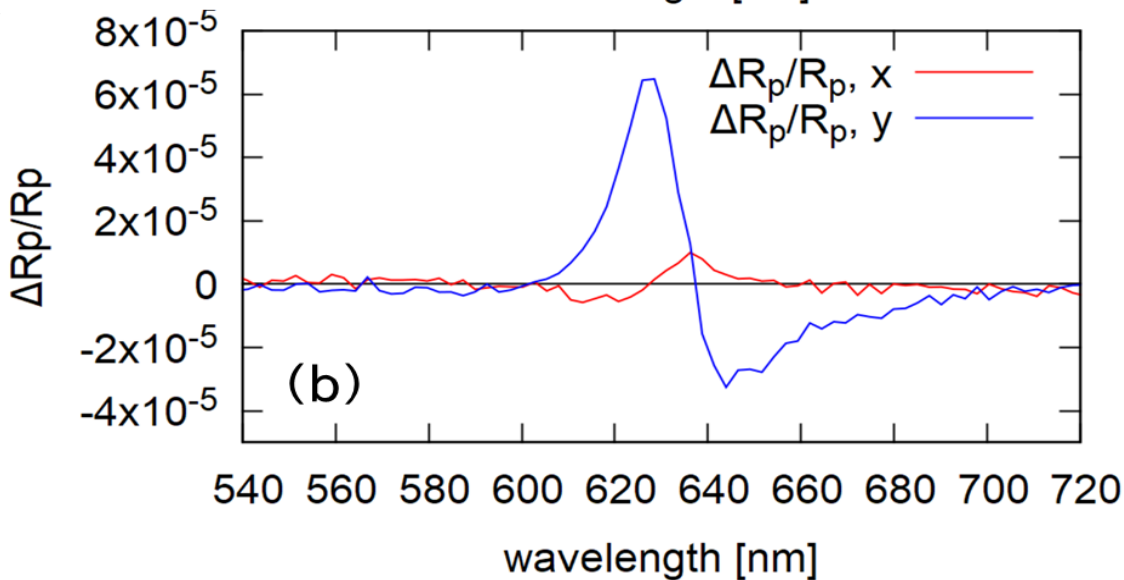
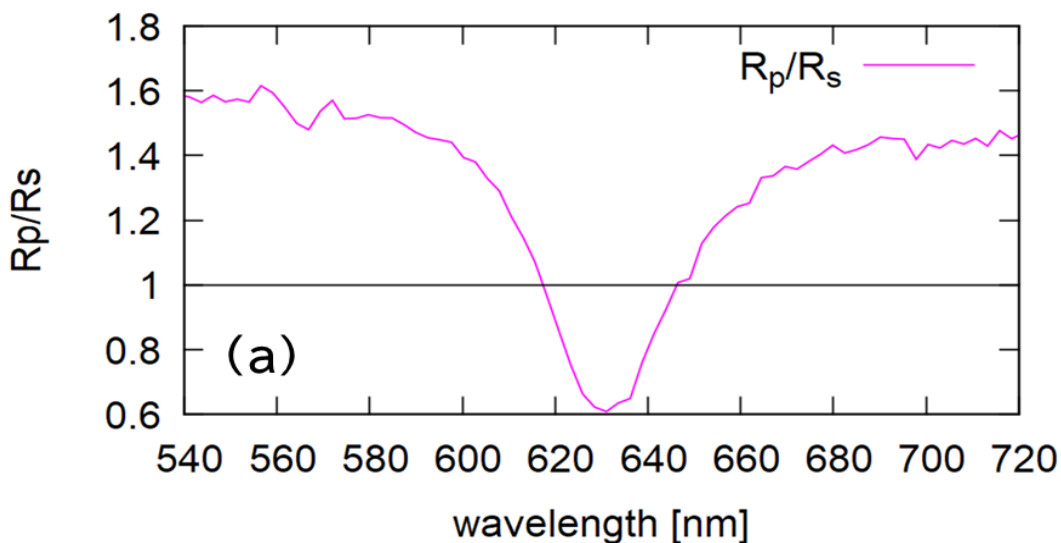
- 透過率の1f, 2f信号のDC電圧依存性がべき乗(少なくとも8乗)
- 従来ロックインアンプでは個別のnfの周波数の振幅と位相がわかるのみ 複雑な非線形を評価できない
- 透過率変化測定: 高ノイズ・高バックグラウンド繰り返し信号中の非線形性(ヒステリシスを含む)を評価したい

プラズモン共鳴による水のポッケルス効果の検出

2017卒研
佐々木 昂



銀電極界面の**水**の
屈折率変化による
プラズモン共鳴のエネルギーシフトの証拠

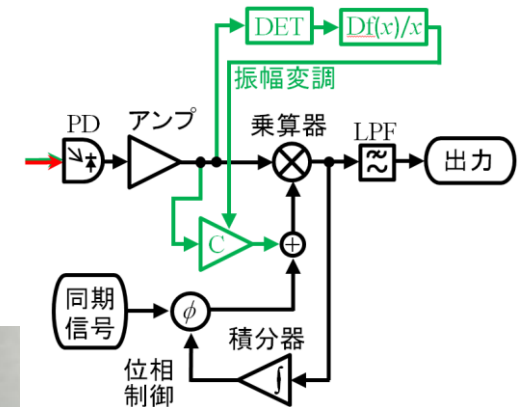


助教 瀬戸先生

感度を飛躍的に高めた
画期的な光計測技術開発(中)



特許、論文 多数
電子回路技術の精華



2016卒研究生

垂水崇との共著論文

現在審査中、改訂版を
投稿予定

卒研究生に望むこと

- 自主性を持って積極的に実験
- 提案を歓迎
- 考えて何もしないより、考える前にやってみよう
- 挑戦しての失敗はOK

募集人数 ～10名

説明会 2月20日(火) 15:00-16:00 132教室

変更があり得るので直前にホームページで確認を
研究室見学はいつでもOKです（予約なしでも対応
できるときはします、人数が多いほど助かります）
説明会後の研究室見学も歓迎

卒研生に望むこと

- 自主性を持って積極的に実験
 - 提案を歓迎
 - 考えて何も
 - 挑戦しての
- 卒研は全員、
新しいことに挑戦して
論文、特許を目指します
- ってみよう

募集人数 ～10名

説明会 2月20日(火) 15:00-16:00 132教室

変更があり得るので直前にホームページで確認を
研究室見学はいつでもOKです（予約なしでも対応
できるときはします、人数が多いほど助かります）
説明会後の研究室見学も歓迎