

## 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86回 東京大学 物性研究所 (2024.6.21)

12:05 – 12:10(5分) : 物性研究所の概要 所長 廣井善二

12:10 – 12:25(15分) :

「強力な磁場で探求する新しい物質世界」

附属国際超強磁場科学研究施設 教授 松田 康弘

「光ではたらくタンパク質の量子-古典生命インターフェース研究」

機能物性研究グループ 准教授 井上 圭一

12:25 – 12:45(20分) : 質疑応答

# 東京大学 物性研究所



物性犬

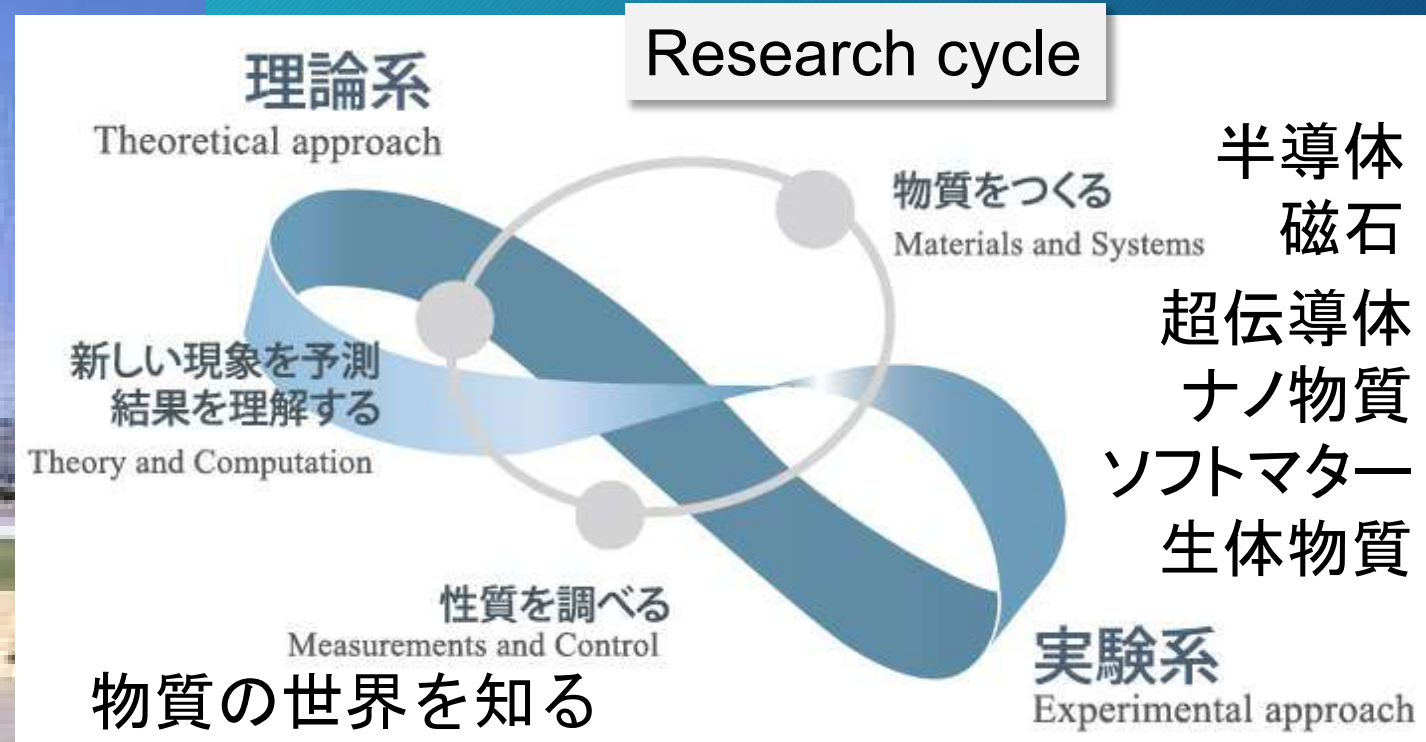
Institute for Solid State Physics (ISSP)



所長 廣井善二



柏キャンパスの物性研





# 物性研究所の歴史

東大附置  
全国共同利用研究所



Year	1960	1970	1980	1990	2000	2010
1957	電波分光 理論第2 結晶第1	神内 阿部(英) 武藤 山下 花村 福山 寺倉 三宅 細谷	1957 設立(仮・駒場) 1960 六本木物性研究所開所 1969 共同利用宿泊棟 1971 A棟増築完了	1969 L棟低溫竣工 1970 改組 1982 C棟レーザー増設竣工	1996 改組 2000 柏移転完了	2004 国立大学法人化
1958	誘電体 光物性 極低温 磁気第1	沢田 矢島 中村(輝) 牧島 塩谷 柳田 黒田 大島 田沼 永野 近角 石川(義) 三浦	第1期	第2期	第3期	
1959	半導体 分子 格子欠陥 塑性 放射線物性	川村 豊沢 森垣 長倉 宮川 伊藤(光) 木下(實) 神前 小林(浩) 鈴木(平) 井村 竹内 大野 小林(辰)	極限物性部門 極限レーザー 表面物性 超強磁場 超低温 超高压	先端分光研究部門 先端領域研究部門 極限環境物性研究部門	凝縮系研究部門 新物質開発部門 物性理論研究部門 軌道放射物性研究部門 軌道放射物性研究施設 中性子回折物性部門	先導分光研究部門 先導領域研究部門 極限環境物性研究部門 新物質科学研究部門 物質設計評価施設 物性理論研究部門 軌道放射物性研究施設 中性子散乱研究施設
1960	結晶第2 理論第1 固体核物性 界面物性	斎藤(喜) 星望 芳田 糟谷 吉森 高橋(實) 菅原 大塚 生嶋 菅野 井口 村田	極限物性部門 極限レーザー 表面物性 超強磁場 超低温 超高压	先端分光研究部門 先端領域研究部門 極限環境物性研究部門	凝縮系研究部門 新物質開発部門 物性理論研究部門 軌道放射物性研究部門 軌道放射物性研究施設 中性子回折物性部門	先導分光研究部門 先導領域研究部門 極限環境物性研究部門 新物質科学研究部門 物質設計評価施設 物性理論研究部門 軌道放射物性研究施設 中性子散乱研究施設
1961	磁気第2 非晶体 超高压 理論第3	伴野 守谷 安岡 本田 中田 秋本 箕村 中嶋 阿部(龍) 鈴木(増) 斯波	極限物性部門 極限レーザー 表面物性 超強磁場 超低温 超高压	先端分光研究部門 先端領域研究部門 極限環境物性研究部門	凝縮系研究部門 新物質開発部門 物性理論研究部門 軌道放射物性研究部門 軌道放射物性研究施設 中性子回折物性部門	先導分光研究部門 先導領域研究部門 極限環境物性研究部門 新物質科学研究部門 物質設計評価施設 物性理論研究部門 軌道放射物性研究施設 中性子散乱研究施設
1969	中性子回折	平川 伊藤(雄)	極限物性部門 極限レーザー 表面物性 超強磁場 超低温 超高压	先端分光研究部門 先端領域研究部門 極限環境物性研究部門	凝縮系研究部門 新物質開発部門 物性理論研究部門 軌道放射物性研究部門 軌道放射物性研究施設 中性子回折物性部門	先導分光研究部門 先導領域研究部門 極限環境物性研究部門 新物質科学研究部門 物質設計評価施設 物性理論研究部門 軌道放射物性研究施設 中性子散乱研究施設
1972	固体物性(客員)		極限物性部門 極限レーザー 表面物性 超強磁場 超低温 超高压	先端分光研究部門 先端領域研究部門 極限環境物性研究部門	凝縮系研究部門 新物質開発部門 物性理論研究部門 軌道放射物性研究部門 軌道放射物性研究施設 中性子回折物性部門	先導分光研究部門 先導領域研究部門 極限環境物性研究部門 新物質科学研究部門 物質設計評価施設 物性理論研究部門 軌道放射物性研究施設 中性子散乱研究施設
1975	軌道放射物性研究施設	菅	極限物性部門 極限レーザー 表面物性 超強磁場 超低温 超高压	先端分光研究部門 先端領域研究部門 極限環境物性研究部門	凝縮系研究部門 新物質開発部門 物性理論研究部門 軌道放射物性研究部門 軌道放射物性研究施設 中性子回折物性部門	先導分光研究部門 先導領域研究部門 極限環境物性研究部門 新物質科学研究部門 物質設計評価施設 物性理論研究部門 軌道放射物性研究施設 中性子散乱研究施設

## 1. 設立趣旨

物性研究所は、物性物理学の総合的かつ系統的な研究を行ない、それによってわが国の学問の水準を高め工業技術の発展に貢献することを目的とする。

- 1957 設立
- 2000 柏キャンパス移転
- 2010 共同利用・共同研究拠点
- 2024 第4期へ移行準備中



@ Roppongi in 1963

国立新美術館



# 研究組織



研究部門

附属研究施設

機能物性研究グループ

量子物質研究グループ

凝縮系物性研究部門

物性理論研究部門

ナノスケール物性研究部門

物質設計評価施設

中性子科学研究施設

国際超強磁場科学研究施設

計算物質科学研究センター

極限コヒーレント光科学研究センター

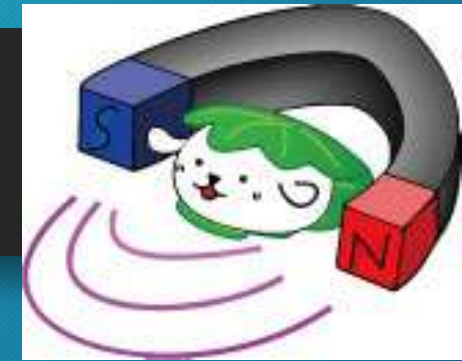
軌道放射物性研究施設

第3世代物性研 since 1996

- ◆ 人員：429名（6月1日現在）  
教授・准教授 44、助教 35、PD 45、  
技術・事務 120、学生 185
- ◆ 予算：46億円 (2022)
- ◆ 論文：400報（80% physics）
- ◆ 共同利用：1000件、1800人
- ◆ 国際連携・研究会：多数
- ◆ 産学連携：0.7億円、30件
- ◆ 社会貢献：ヘリウム液化事業

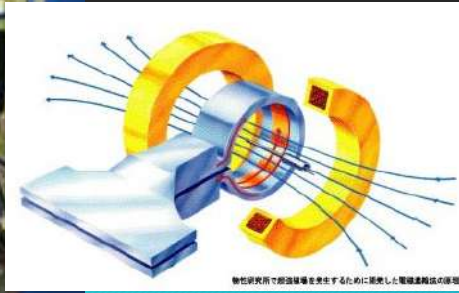


# 研究活動

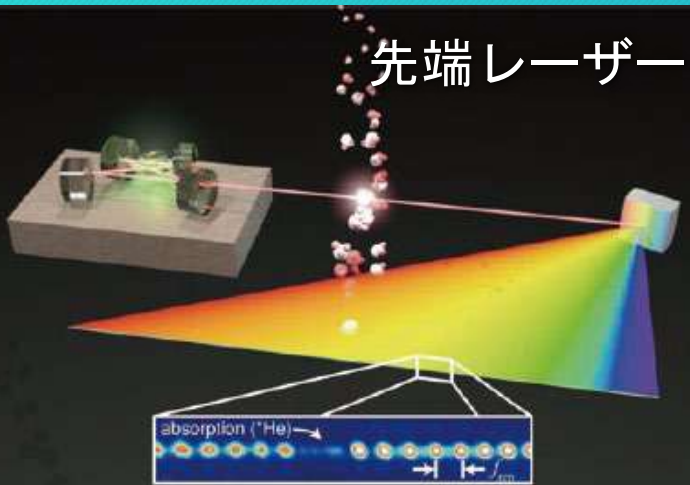


物質科学の様々な研究テーマ

強磁場

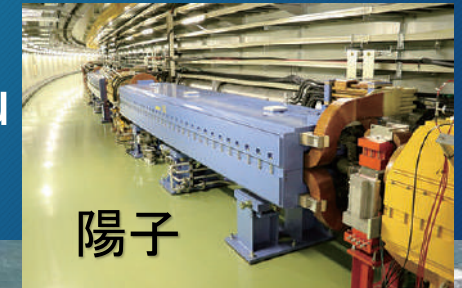


先端レーザー

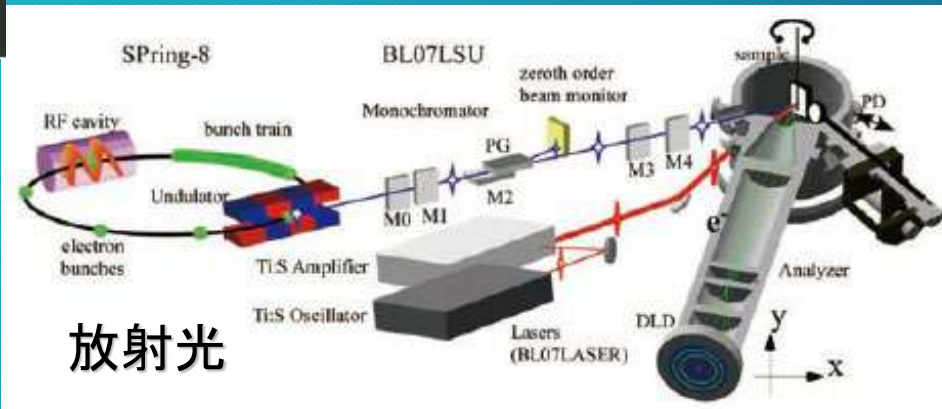


みんなが使える大規模実験施設:

- ◆ 強磁場: 100 T or ~1000 T!
- ◆ 先端レーザー @ LASOR
- ◆ スパコン
- ◆ 放射光X線実験施設 @ SP-8 & Nano Terasu
- ◆ 中性子実験施設 @ Tokai (JRR-3, J-PARC)



陽子



放射光

スパコンとソフトウェア



中性子@東海



# ダイバーシティの推進



## 女性人材育成の取り組み

### 若手研究者対象

「ISSP Women's Week」

R3 ~



### 大学生・院生対象

「やっぱり物理が好き」共同：カブリIPMU、宇宙線研

11/25 SAT  
やっぱり物理が好き!  
—物理に進んだ女性のキャリア—  
講師  
竹内 主編「いつまでかは、物理」  
清水 志真「素粒子の物理に就いて」  
加山 詠美子「思いlessな少子化社会に就いて」  
木村 敬典「素粒子物理の未来について」

### 女子中高生対象

「未来をのぞこう」共同：柏キャンパス部局

女子中高生のみならず  
理系に進学した未来を  
のぞいてみませんか?  
未来をのぞこう!

## 女性限定人事の実施

R5 2名



林 久美子 教授



高木 里奈 准教授

女性教員：  
3/44 教授・准教授  
4/35 助教

前所長2017-2022  
森 初果 教授



# 強力な磁場で探求する 新しい物質世界

東京大学物性研究所  
松田康弘

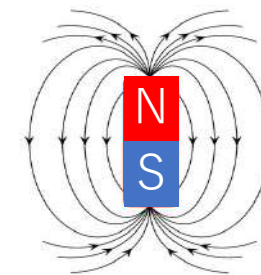


# 磁場：相対論的電気効果

T：テスラ 1 T = 10,000 ガウス

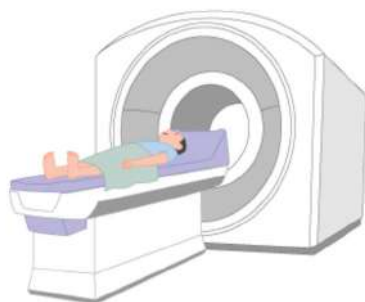
## 地球上では弱い磁場の世界が実現

磁石物質を除いて普段の生活で磁場を意識することは稀。



地磁気  
1/10000 T

MRI  
3 T



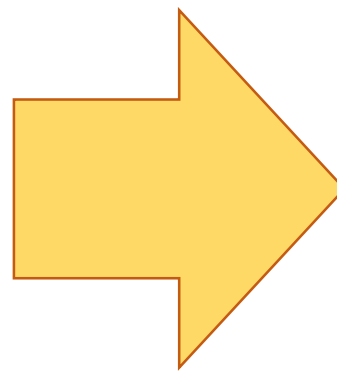
[https://ganjoho.jp/public/dia\\_tre/inspection/mri.html](https://ganjoho.jp/public/dia_tre/inspection/mri.html)

宇宙：とてつもない強磁場

$10^2 \sim 10^5$  T 白色矮星

$10^8 \sim 10^{11}$  T 中性子星

日常生活の基本となる物質世界は弱磁場の世界



### 強磁場世界 何が起る？



分子や結晶は崩壊  
原子やプラズマの状態

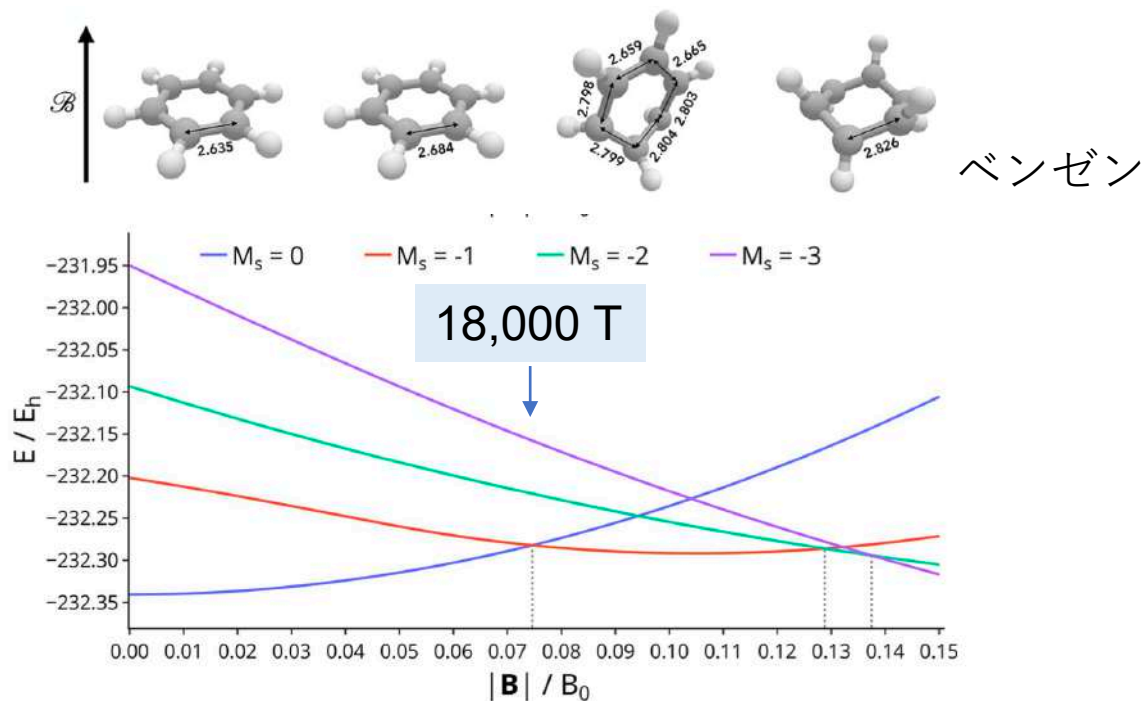


# 超強磁場

宇宙、深海、と比する  
研究フロンティア

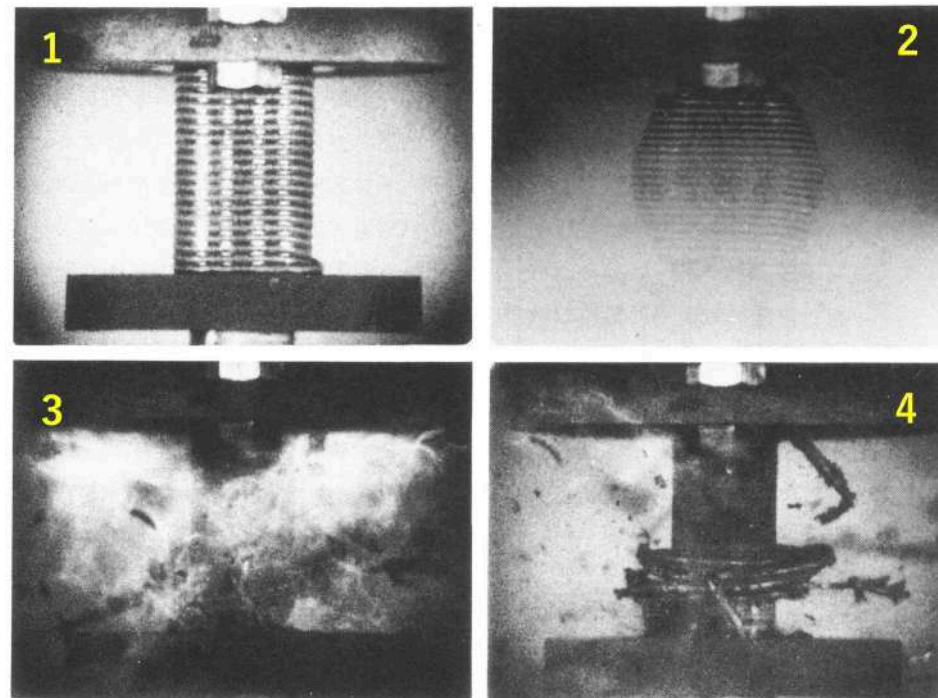
## 新現象、新原理の発見へ

一例：分子の変形など、劇的效果が期待



Tom J. P. Irons et al., J. Chem. Theory Comput., **17**, 2166, 2021

人工的強磁場  
強い電磁力で物質が壊れてしまう

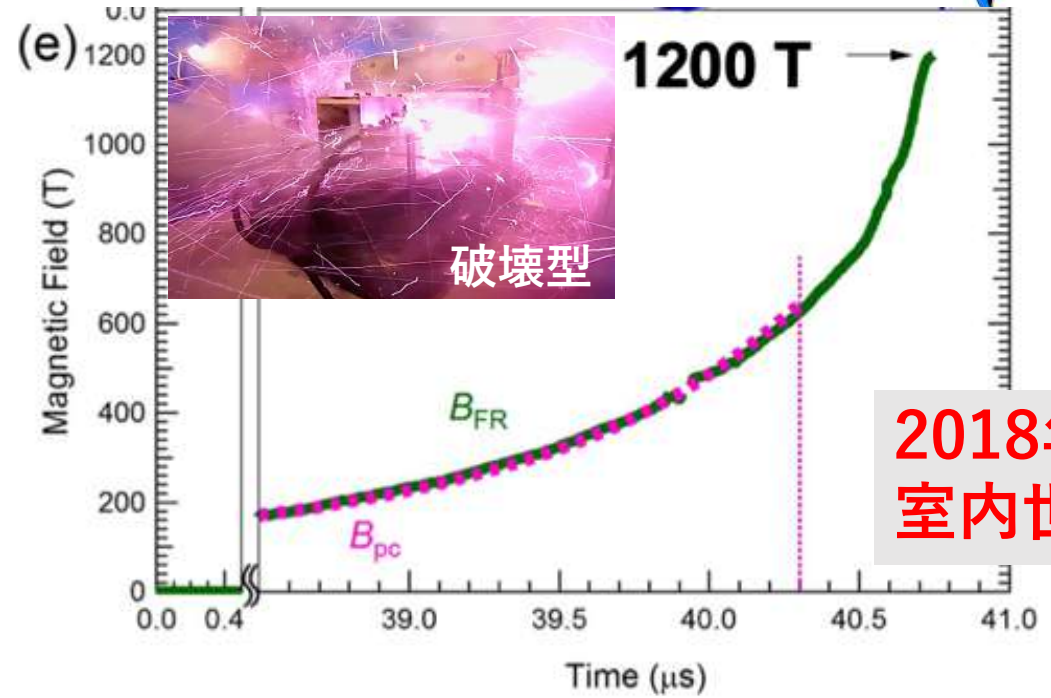
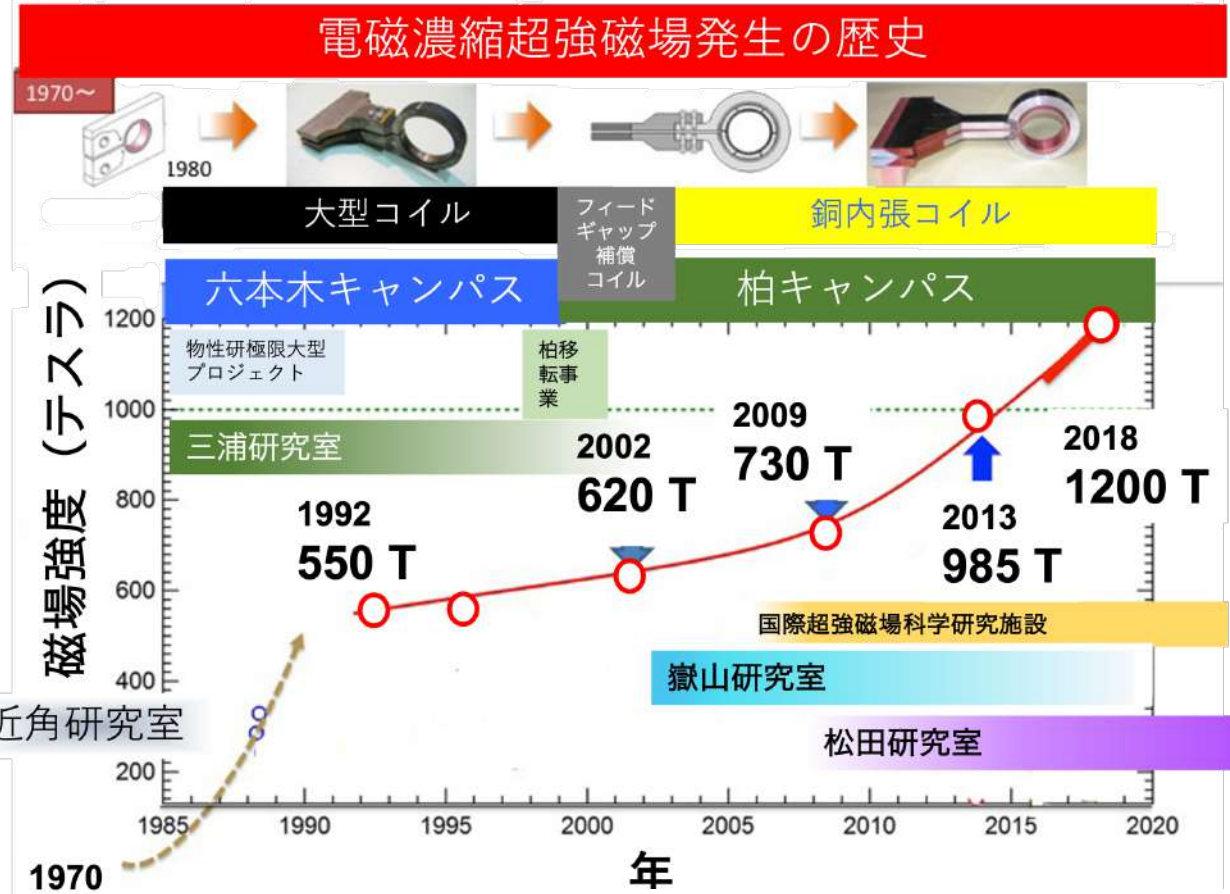
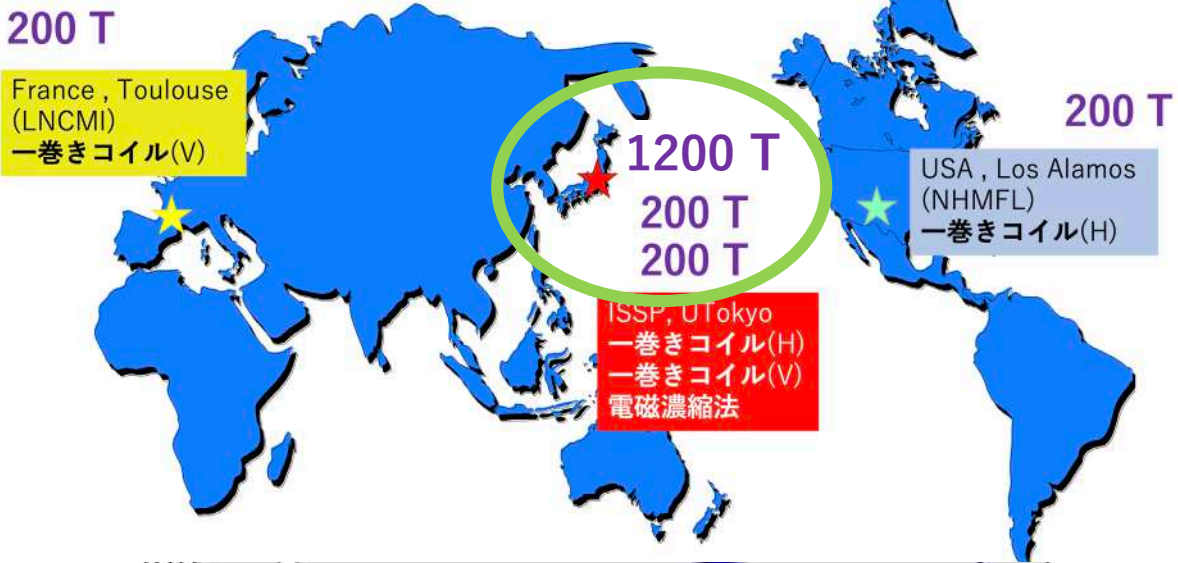


100 T  
の壁

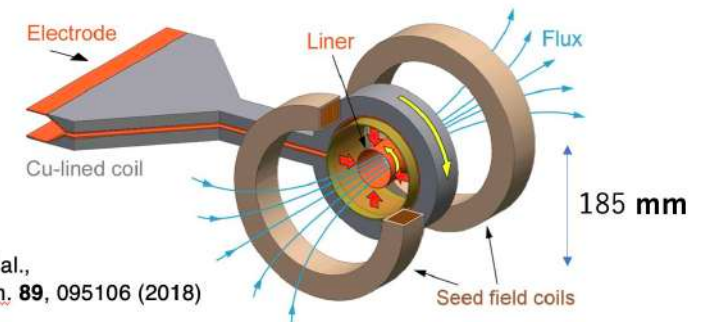
磁気と物質 (産業図書) 三浦登

地球上では100 T より  
強い磁場は出せない？

# 物性研究所 破壊型超強磁場 世界拠点 半世紀にわたる開発



**2018年 電磁濃縮法 室内世界最高記録を達成**



D. Nakamura et al., Rev. Sci. Instrum. **89**, 095106 (2018)







2018/01/26 14:01:58

**GOM ENCODER**  
www.gomplayer.jp







文部科学省 科学研究費助成事業 学術変革領域研究(A)

# 1000テスラ超強磁場による 化学的カタストロフィー

## 非摂動磁場による化学結合の科学

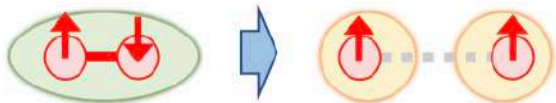
23A201

学術変革領域研究 (A)

令和5年4月～令和10年3月

領域代表  
松田康弘  
東大物性研 教授

### 化学的カタストロフィー



磁場による化学結合の破壊



世界最高磁場  
1200 テスラ  
発生に成功



1000 T — 未開拓領域  
非摂動磁場

未踏の様々な研究対象へ

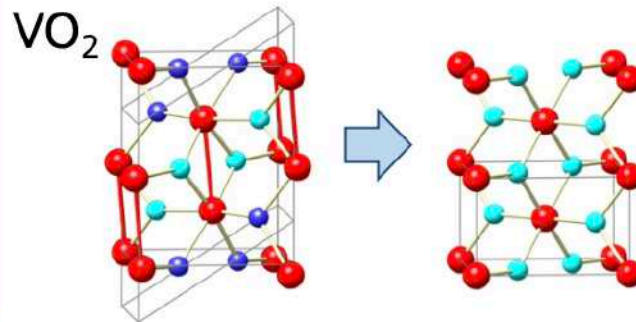
100 T — マグネットの  
破壊限界

10 T — 従来の磁場

電子状態  
の解明

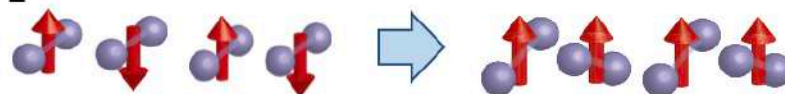
1 T —

“絶縁体（～瀬戸物）が金属に” (2020)



Y. H. Matsuda et al.,  
Nat. Commun. **11**,  
3591 (2020)

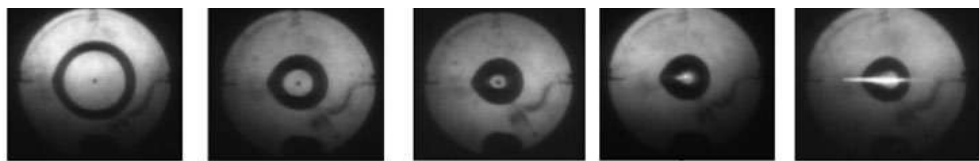
O<sub>2</sub> “酸素が磁石に” (2014)



T. Nomura et al.,  
Phys. Rev. Lett. **112**,  
247201 (2014)

# マイクロ秒破壊型磁場 (> 100 T) での **精密計測** が近年急速に発展

← 10万分の1秒 →



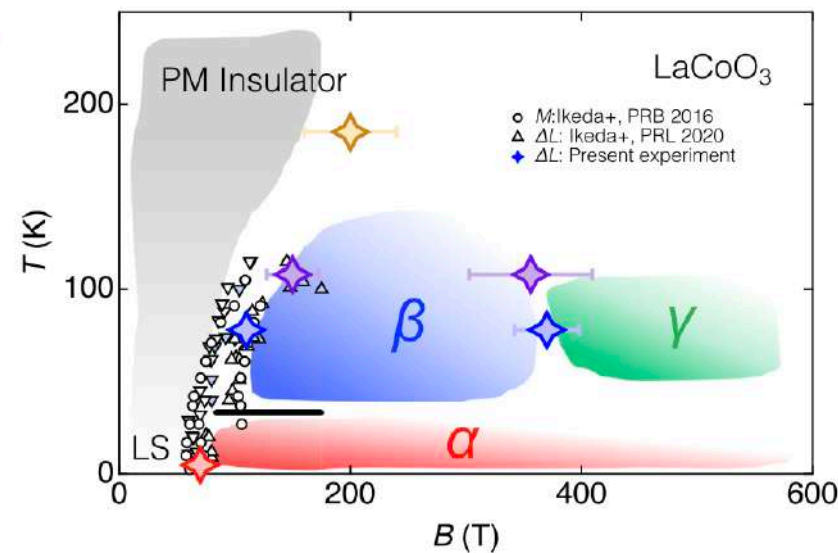
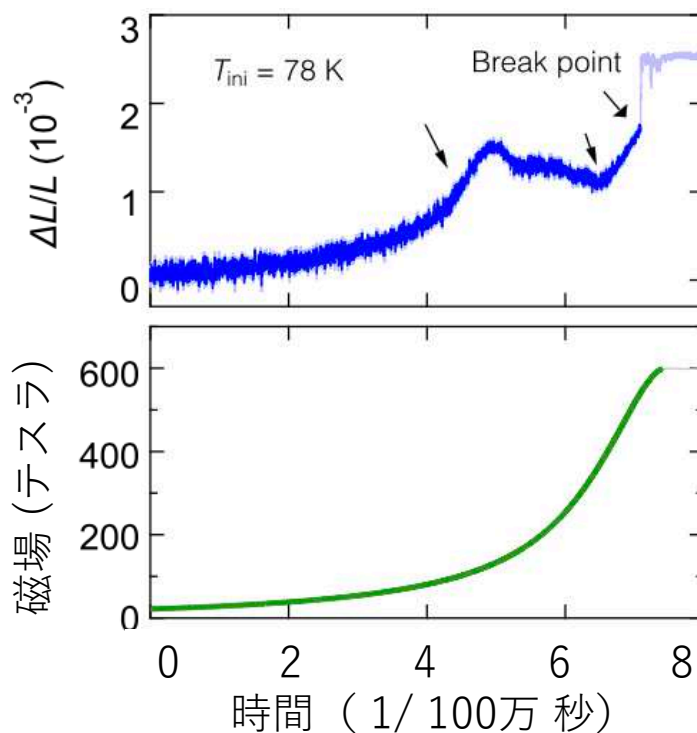
磁束濃縮過程 (金属円筒の内側面積の収縮)

マッハ10のスピード →

例) コバルト酸化物

**0.1% 程度の結晶の伸縮**  
精密に観測

超伝導状態と似た性質の  
**新しい相  $\beta$ ,  $\gamma$**  を発見



Nat. Commun. **14**, 1744 (2023)

**今後、1000 T磁場領域で多彩な対象物 (磁性体、超伝導体、誘電体、半導体、タンパク質、プラズマ、素粒子...) で新発見が期待 !!**



2024年6月21日

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86回 東京大学 物性研究所

# 光ではたらくタンパク質の 量子-古典生命インターフェース研究

井上 圭一



東京大学物性研究所  
機能物性研究グループ

## 動的・非平衡 機能物性科学

動的で複雑な階層構造を持つ物質系への挑戦

機能発現メカニズムの解明

知の集積・学理構築

先端理論

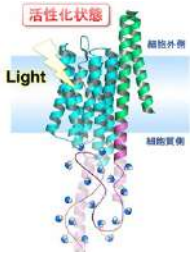
データ・計算科学

非平衡の科学

非平衡、励起状態、  
ダイナミクス

物質・生命系

計測・制御



これまでの物性研究と異なる  
幅広い分野への研究展開のため2016年に  
機能物性研究グループを設立

機能物性研究グループ  
所属研究室

秋山グループ  
半導体、レーザー  
生物発光



杉野グループ  
*Ab initio* 計算、  
密度汎関数理論

林グループ  
モータータンパク質  
一分子観察、非平衡理論



岡グループ  
非平衡多体系  
Floquet工学

井上グループ  
光受容タンパク質、  
オプトジェネティクス



分野横断的な連携により、  
初めての本格的な  
生命科学研究を推進



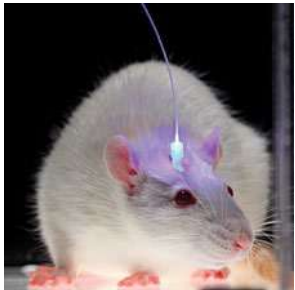
## 光ではたらくタンパク質を調べ、役立てる



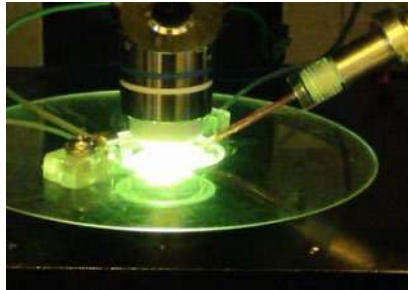
複雑なタンパク質を生物・化学・物理学の観点から理解する



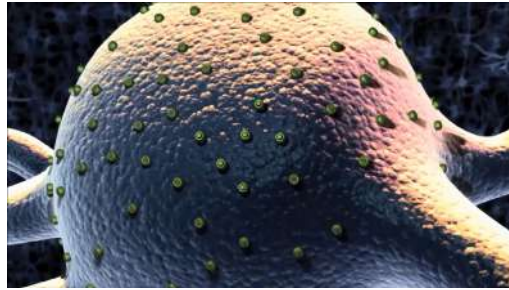
生命活動を光で操作し、動作原理を解明する



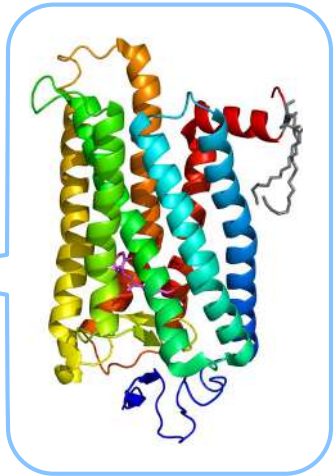
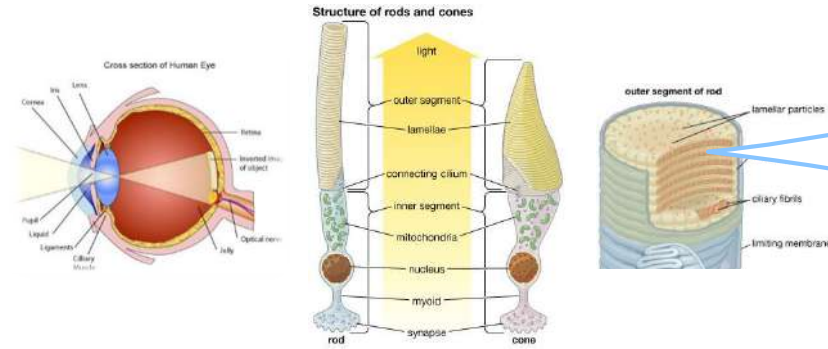
Wikimedia



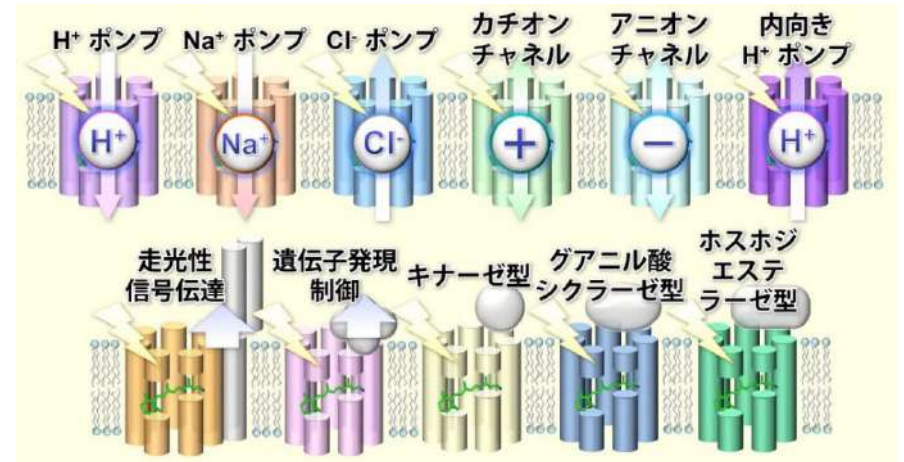
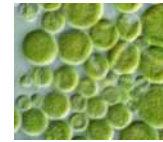
<https://www.youtube.com/watch?v=Nb07TLkJ3Ww>



## 動物ロドプシン： 動物の視覚などを司る光受容体



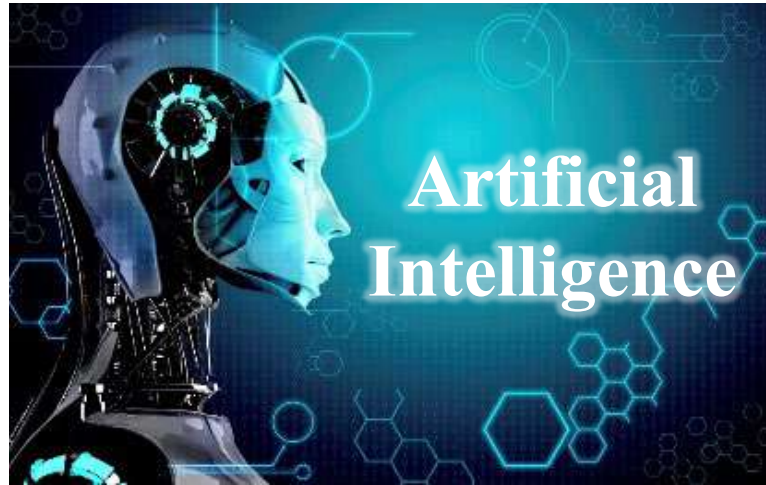
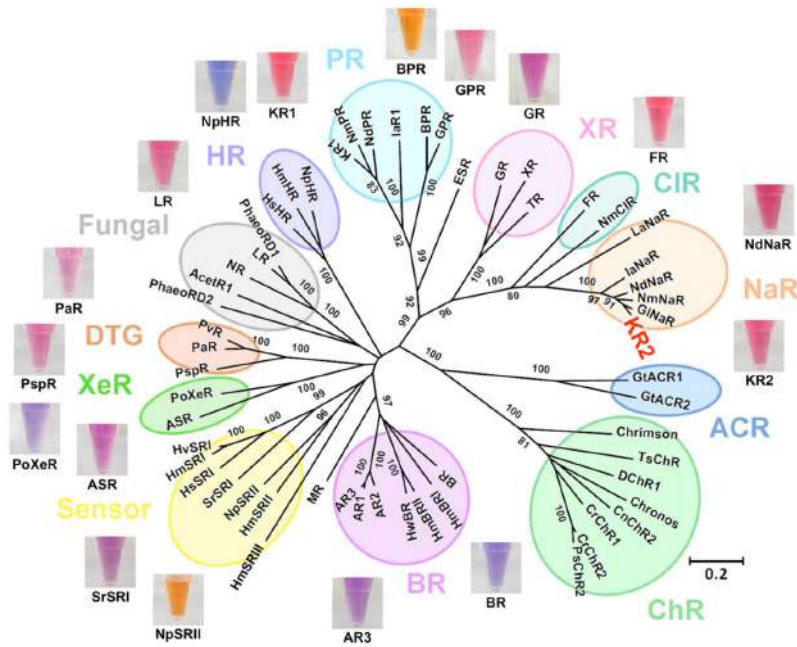
## 微生物ロドプシン： 微生物が持つ光受容型膜タンパク質



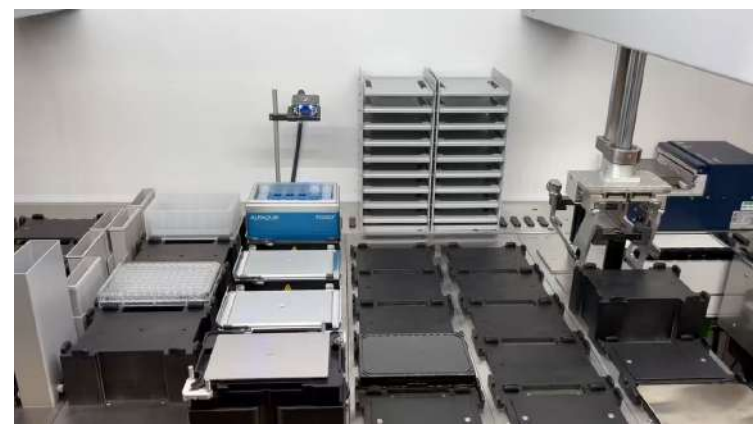
## タンパク質の機能を高度化する人工知能・ロボティクス技術開発

CREST バイオDX領域

共同研究: 名大/理研・竹内一郎教授



Inoue et al., *Commun. Biol.* (2021)



人工知能とロボティクス技術を活用して、ロドプシンをはじめとするあらゆるタンパク質の機能の向上と社会実装に挑戦



共同利用・共同研究システム形成事業・学際領域展開ハブ形成プログラム  
「マルチスケール量子—古典生命インターフェース研究コンソーシアム」



【ハブ機関】  
東京大学・物性研究所  
(ISSP)



名古屋大・  
トランスフォーマティブ  
生命分子研究所  
(ITbM)

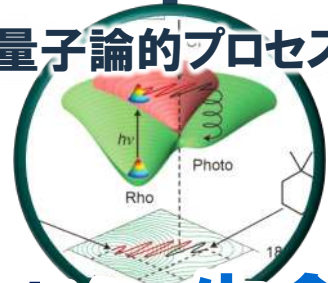


名工大・オプトバイオ  
テクノロジー研究センター  
(OBtRC)

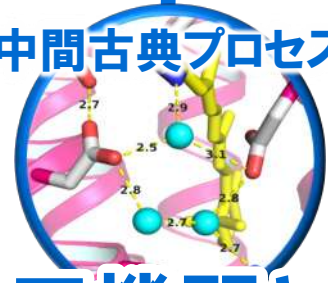


自然科学研究機構・  
生命創成探究センター  
(ExCELLS)

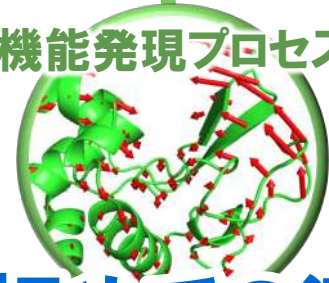
量子論的プロセス



中間古典プロセス



機能発現プロセス



所内の生命科学研究を、**生命系三機関との初めての連携**へと大きく拡大

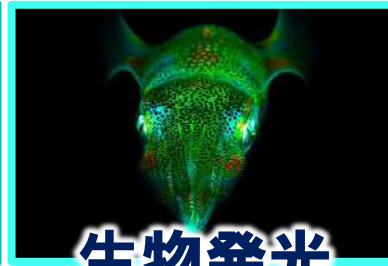
## 光が関わる生命現象



視覚

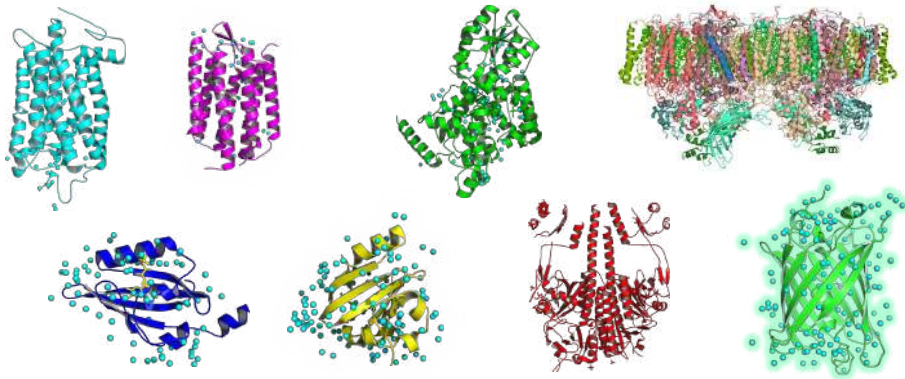


光合成



生物発光

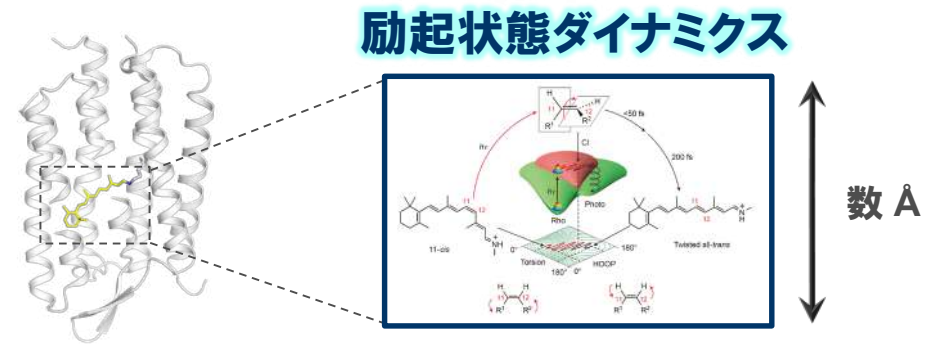
## 光受容タンパク質・蛍光/発光タンパク質



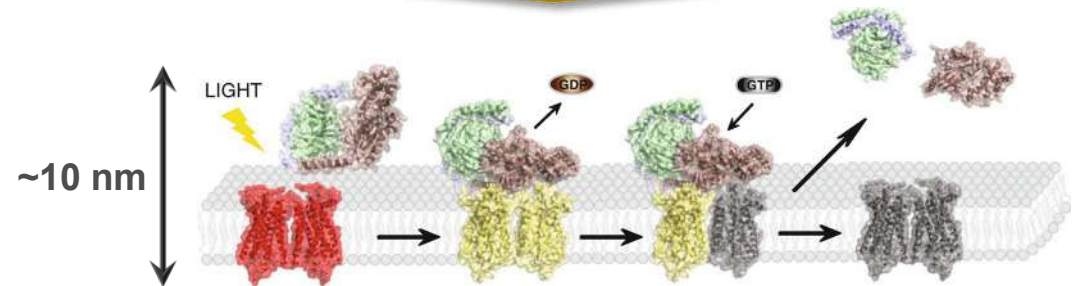
光で多様な機能を発現、もしくは多様な光を放出

- イオン輸送
- 分子間相互作用
- 遺伝子発現制御
- 細胞内シグナル伝達
- エネルギー生産
- 蛍光/発光

## 色素分子による光吸収 (量子)



## 量子—古典生命インターフェース



## 生命機能発現 (古典)





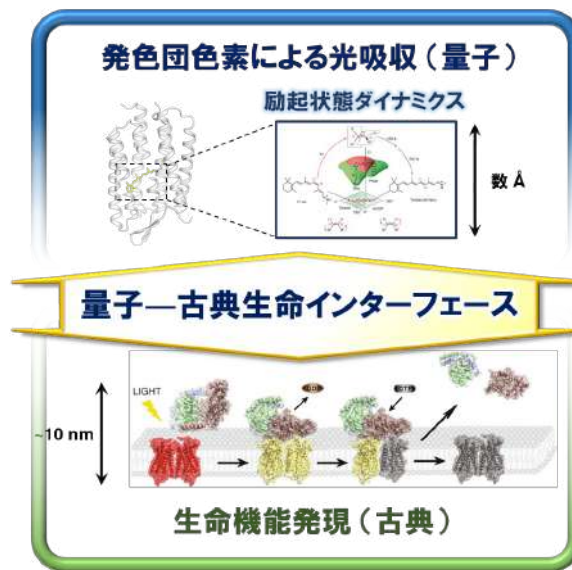
視覚再生



バイオ燃料生産

## 社会応用に求められる分子ツールの要件

- 高い光感度
- 高い反応性
- 多様な機能性
- 幅広い応答/放出波長
- 高い生産性
- 安定性
- …



量子-古典生命インターフェースの実態を解明し、  
その知見に基づいた高機能分子を設計・開発する  
ことで社会実装への壁を打ち破る