

# 先端レーザー等による物質、材料科学の研究動向

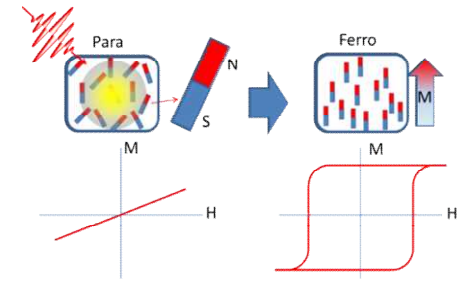
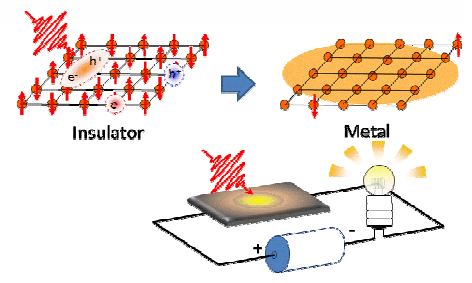
## 東北大理 岩井伸一郎

光で物質を変える, 創る.

Keyword: 光誘起相転移

現代物理のキーワード  
**Keyword**

岩井、現代物理のキーワード  
 日本物理学会誌2015



“ことのはじまり”

- 光磁性(金属錯体) Hauser et al. *CPL* 1984
- 色変化(共役ポリマー) Tokura et al. *PRL* 1992
- 中性-イオン性転移 Koshihara et al. *PRB* 1990

- ・光による物性(電気、磁気)の変化
- ・新規な物質相創成(過渡、永続)

Nasu, Springer 1996

「光誘起相転移」日本発(色中心、半導体、有機結晶、酸化物)  
 PIPT 2000~ (第6回 2017/6/4-9@仙台)  
 ゴードン会議 2008~



光誘起絶縁体-金属転移、強磁性転移  
 Miyano, Tokura et al., *PRL*1997, *Science*1998  
 Iwai, Okamoto et al., *PRL*2003 (光モット転移)

継続的な国際レビュー誌の出版  
 Gonokami, Koshihara eds. *JPSJ* 2006  
 Yonemitsu, Nasu, *Phys. Rep.* 2008  
 Bosov, Averitt, et al., *Rev. Mod. Phys* 2011  
 Aoki, Werner et al., *Rev. Mod. Phys.* 2014  
 Mihailovic et al., *Advances in Physics*, 2016  
 Cavalleri et al., *Adv. in Optics and Photonics* 2016

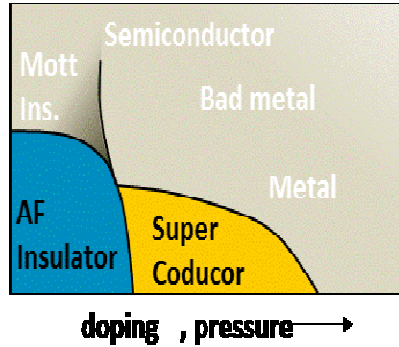
光誘起超伝導?  
 Fausti, Cavalleri et al. *Science* 2011  
 Hu, Kaiser, Cavalleri et al. *Nature Mat.* 2014

# 先端光源による物質・材料研究; 現状と課題

## 現状

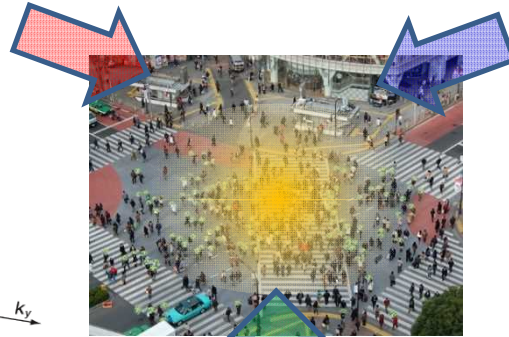
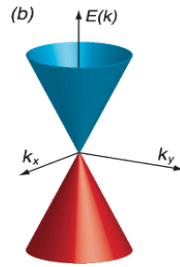
### 物質科学

強相関電子系  
トポロジカル絶縁体  
ディラック電子系



不純物(キャリアドーピング)  
圧力、電場、磁場

- ・絶縁体-金属転移
- ・高温超伝導
- ・強誘電、強磁性転移



### 理論

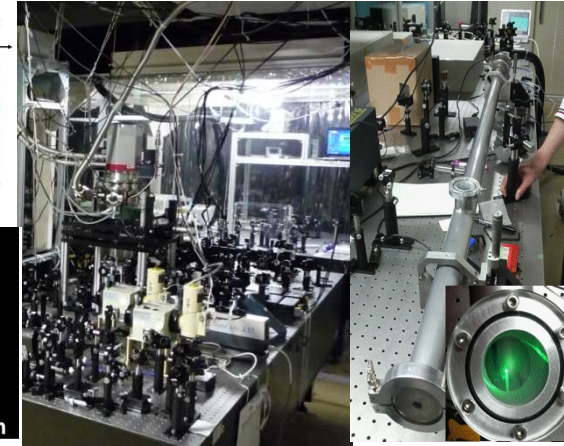
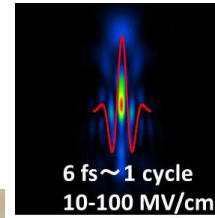
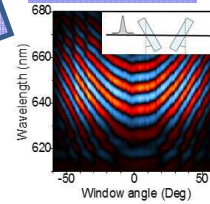
$$= \int dx^4 \partial_\mu \left[ \frac{\partial L}{\partial (\partial_\mu \psi)} \right]$$

$$= \int dx^4 \left[ \sum_i \partial_i J_i \right]$$



第一原理計算  
動的平均場(DMFT)  
iTEBD

### 光科学



- ・単一サイクル光、>100 MV/cm, 30 T
- ・CEP、波形制御
- ・高強度テラヘルツ光 (1 MV/cm)
- ・電子線回折、光電子分光/顕微鏡
- ・X線吸収、構造解析  
(放射光、XFEL、アト秒X線)

ドレスド電子、フロケ状態の利用  
(電子と振動電場、磁場の強結合)

## 課題

i) 秩序の融解や熱化 から秩序形成へ  
→ 秩序化や“冷却”(熱化の逆過程)は可能か?

ii) 超高速動作の物理限界は?  
→ ペタヘルツ動作?

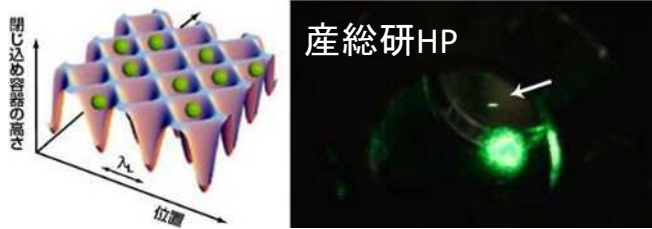
電子間 クーロン反発  
電子のホッピング  
スピン軌道相互作用

有機 0.5 eV (8 fs) ~ 無機 5 eV (0.8 fs)  
有機 0.2 eV (20 fs) ~ 無機 2 eV (2 fs)  
0.3 eV (4 fs) ~ 0.5 eV (5 fs)

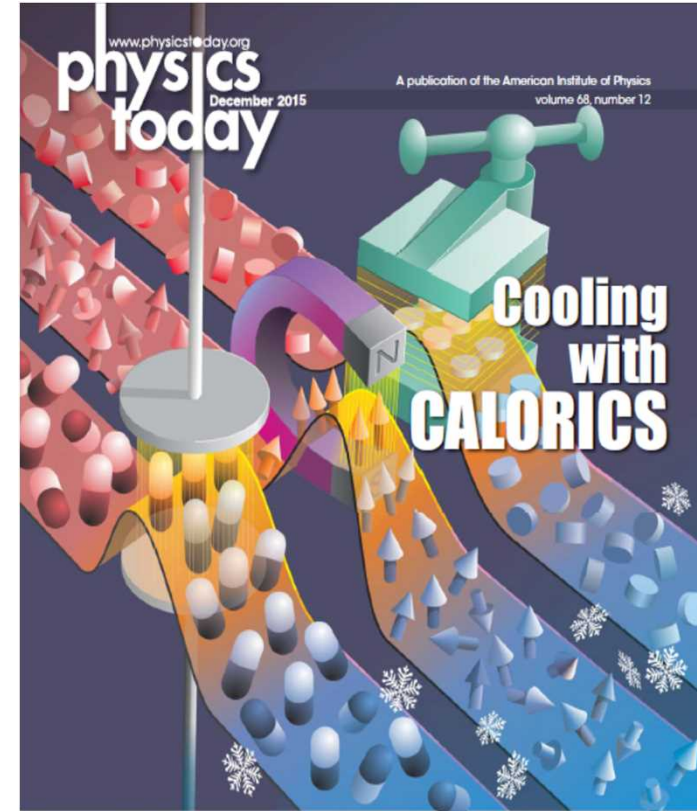
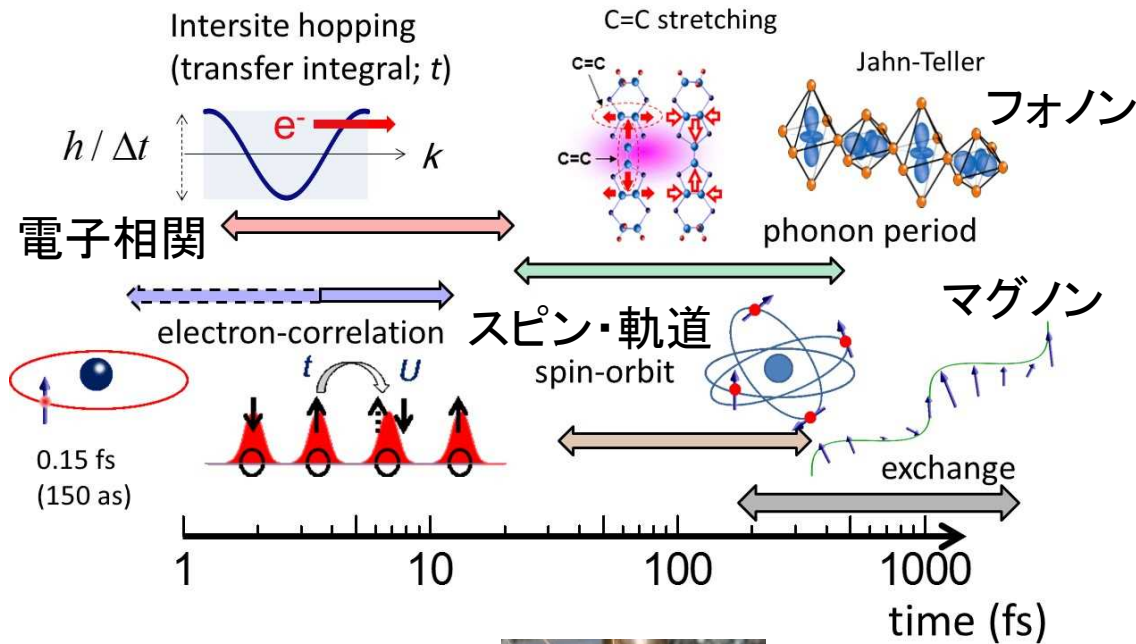
# 固体における問題点；熱化、散逸

## 冷却原子

Sensarma et al.,  
PRL (2010)



## 固体: 熱化との競合 (電子間、電子-格子散乱)



Cover page, Physics today, Dec. 2015



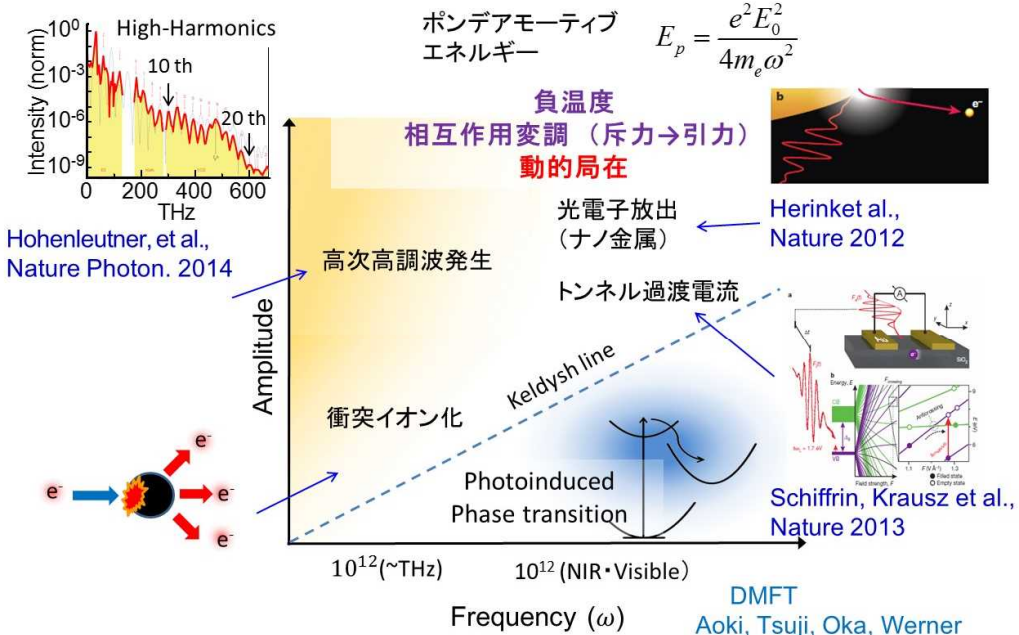
フロケ状態、ドレスド電子を利用できる条件；

< 10 fs

- ・熱化が起きる以前
- ・コヒーレンス



# 固体の光強電場効果（フロケ状態, ドレスド電子）



ポンドアモーティブ  
エネルギー  $E_p = \frac{e^2 E_0^2}{4m_e \omega^2}$

負温度  
相互作用変調 (斥力→引力)  
動的局在

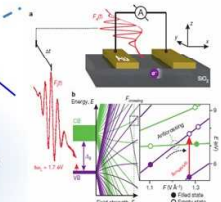
光電子放出 (ナノ金属) ← Herink et al., Nature 2012

Hohenleutner, et al., Nature Photon. 2014

高次高調波発生

衝突イオン化

Photoinduced Phase transition



Schiffrin, Krausz et al., Nature 2013

$10^{12}$  (~THz)  $10^{12}$  (NIR·Visible)

Frequency ( $\omega$ )

DMFT  
Aoki, Tsuji, Oka, Werner et al., Rev. Mod. Phys. 2014

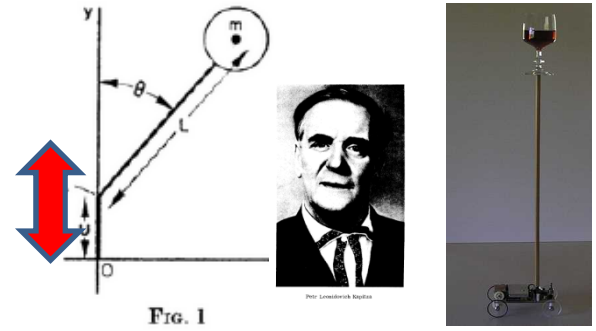


Fig. 1

倒立振り子 (カピッツアの振り子)  
→ 動的安定化

Kapitza, Soviet Phys. JETP 1951

振動電場下における電子の局在  
→ 動的局在

Dunlap, Kenkre, PRB(1986)

Grossmann, Hanggi, PRL(1991)

Ishikawa, Iwai et al., Nature commun. 2014

Naitoh, Iwai, et al., PRB 2016

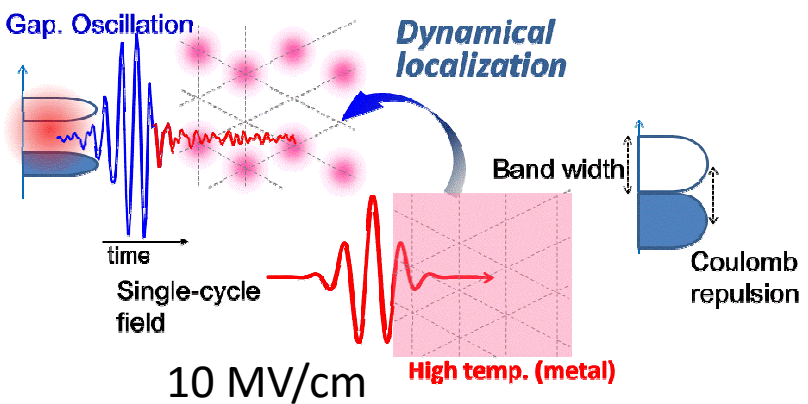
Kawakami, Iwai et al., submitted PRL

状態密度の制御

→ 磁性 (ストーナ基準)、超伝導 (BCS理論)

## 動的局在による電子の“凍結”

Low temp. (Charge Order)

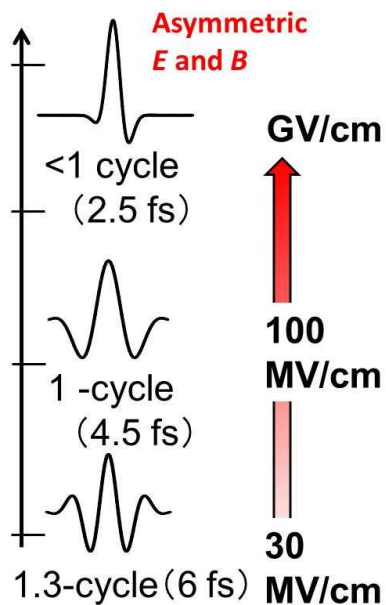


10 MV/cm

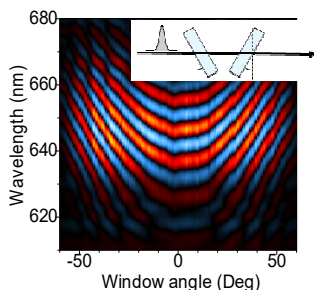
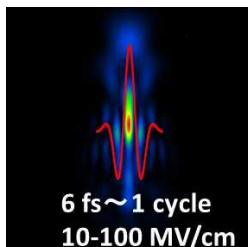
High temp. (metal)

固体中の電子の運動を“冷却” → 光電場、磁場で創る強誘電、強磁性、超伝導

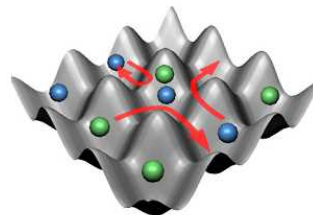
# サブサイクルパルスによる電子状態の偏極へ



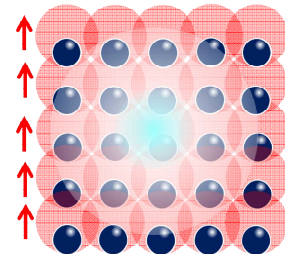
現状: 6 fs (1.3 cycle)  
100 MV/cm



- ・電荷
- ・電子間相互作用 (斥力-引力変換)

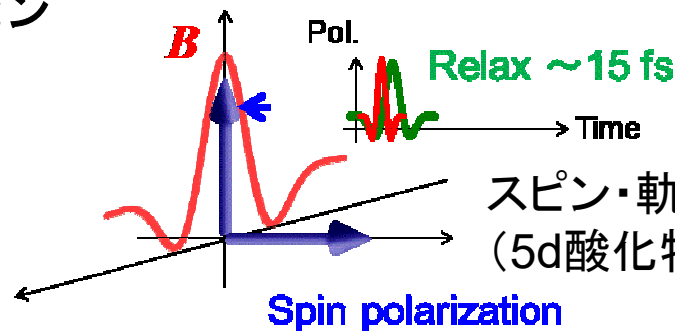


Sensarma et al.,  
PRL (2010)



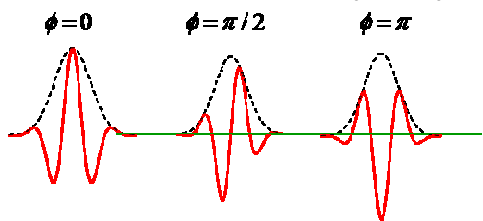
強誘電のPHz駆動  
(反転対称性の破れ)

- ・スピン



光磁場 (> 30 T) による偏極

キャリアエンベロープ位相(CEP)



- ・キャリアエンベロープ位相(CEP)の制御による電子、スピンの偏極、PHz操作

→ 極限時空間計測  
の必要性

- ・光電子分光、電子線、X線による物性測定 (分光、構造解析)
- ・顕微測定 (PEEM, AFM, STM)
- ・アト秒X線による実時間トレース



# PIPT6



## Photoinduced Phase Transitions

4-9 June 2017  
Sendai, Japan

<http://www.pipt6.com/>

### Scope (tentative);

- PIPT in strongly correlated systems.
- Ultrafast manipulation of FE, FM, and spin textures.
- Collective dynamics in CDW/SDW/SC.
- Photoinduced spin state transitions.
- Photoinduced inhomogeneity and phase separations
- Ultrafast structural dynamics.
- Nonequilibrium electron-hole gas in semiconductors (BEC-BCS)
- Coherent control of cooperative systems
- Strong electric & magnetic field effects (Floquet, HHG, etc..).
- Photoinduced effects and hot carriers in topological insulators
- New light source for PIPT (attosecond, XFEL.....)
- New measurement techniques, XRD, ERD, PE and 2D imaging (fs-STM, fs-PEEM, fs-elastic scattering etc..).
- Theories on photoinduced effects and related phenomena

**Chair; Shinichiro Iwai (Tohoku)**

**Co-chair ; Sumio Ishihara (Tohoku), Chong-Yu Ruan (Michigan State)**

超短パルスレーザーによる物性  
研究の注目すべき技術キーワード

フロケ、高次高調波発生  
トポロジカル絶縁体、表面、界面  
XFEL、アト秒X線

動的構造解析、光電子分光  
動的ナノ測定