

巨大な構造転移を伴ったモット絶縁体の金属化に 乾電池1個に満たない電圧で成功

～様々な低電力動作のデバイス実現に期待～

広島大学 大学院 先端物質科学研究科

中村文彦, 鈴木孝至

京都大学 大学院 理学研究科

前野悦輝

成果のポイント

1. “巨大な構造変化”を伴うモット絶縁体の金属化
室温で“乾電池程度の電圧”で実現

低電力動作のデバイス実現

歪み・温度・圧力センサー, 抵抗変化メモリー, 振動子

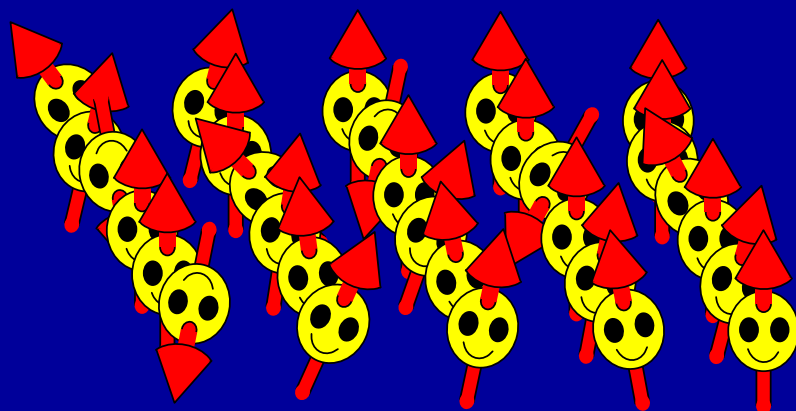
2. 電子が流れる系では電子は凍りにくい
電子の氷 = モット絶縁体
外気が0℃以下でも川の水は凍らない

Key word 1: 強相関電子系

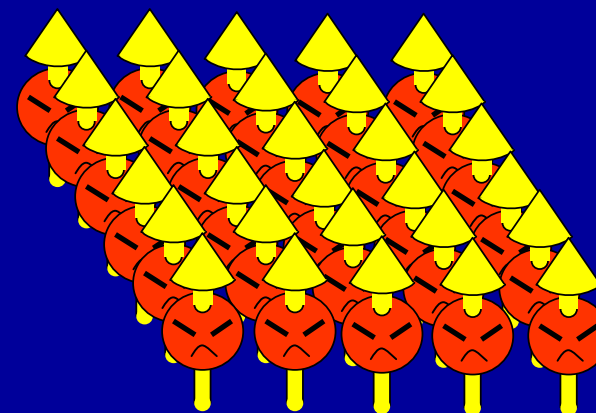
=お互いの意識が強い電子の集団運動=

<<出現する現象>>

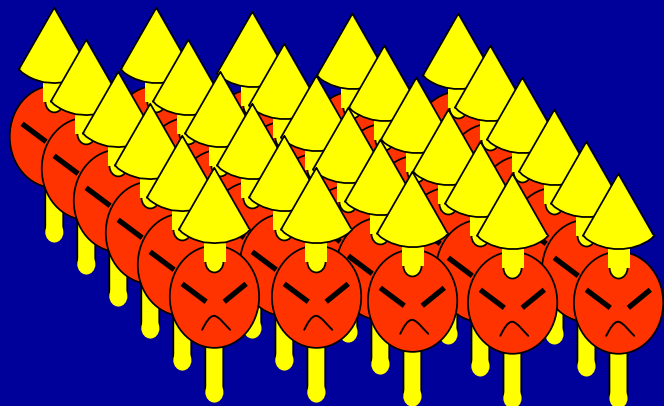
高温超伝導, スピン3重項超伝導, 巨大磁気抵抗効果,
遍歴電子磁性, モット絶縁体 (お互い意識して動けない)



相互作用弱: 自由に動ける
ストレス小

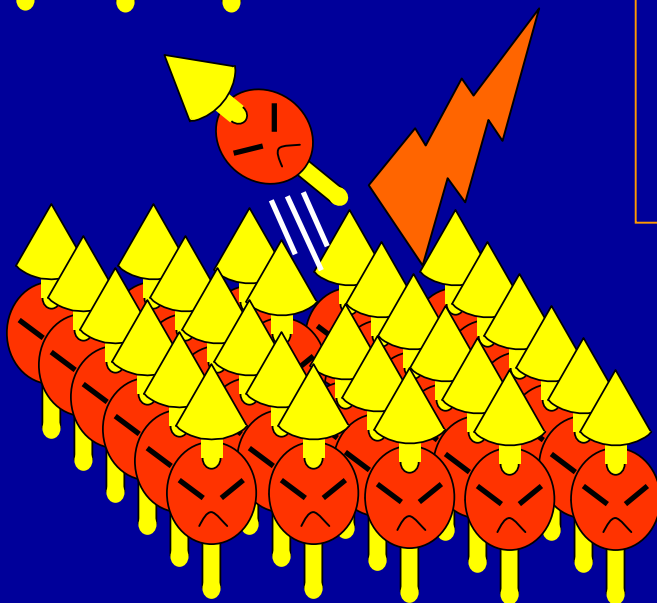


相互作用強: にらみ合い
一触即発, ストレス大



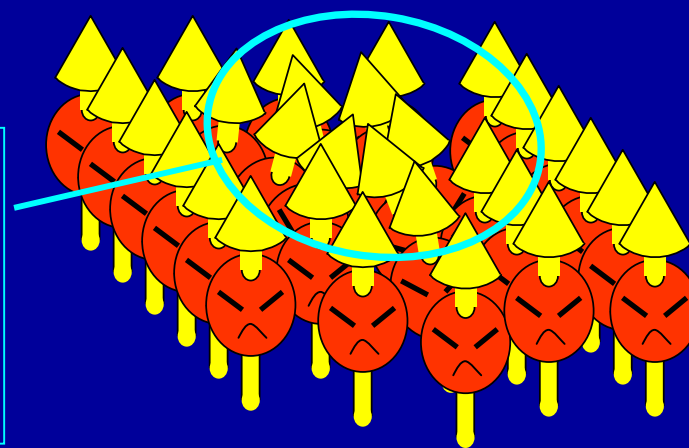
絶縁体
互いに意識して
動けず

金属化の
イメージ



電場で部分的に
電子がとばされる

バランスがくずれて
電子が動きだす
動きが継続



強相関電子デバイスの実現

低電力で動作する, 多彩な現象を利用
スイッチング素子 (トランジスター, 抵抗変化RAM)
磁気・温度などのセンサー, 超音波発信素子

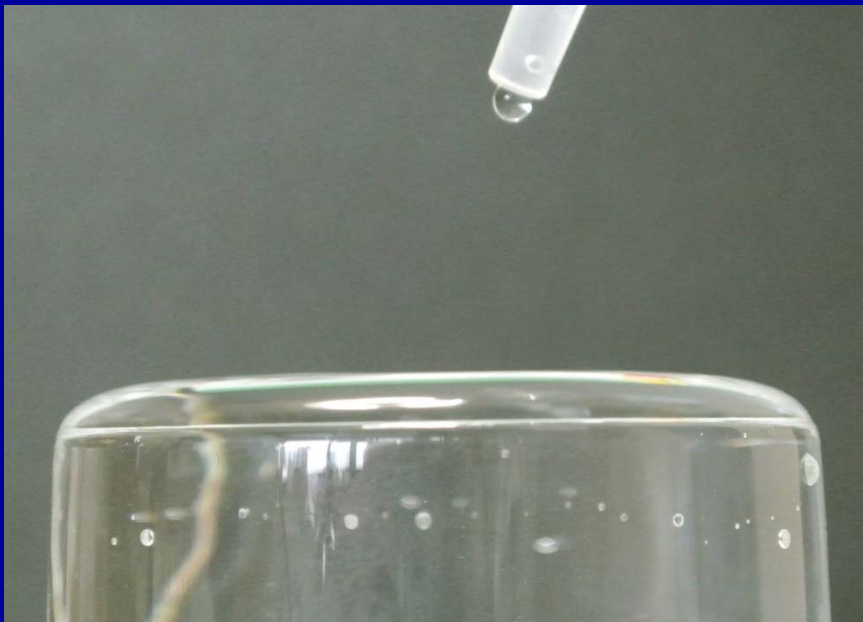
集団運動を制御するには, “外場”が必要

圧力, 温度 $\Rightarrow$ デバイス実現困難

電場 $\Rightarrow$ デバイス実現容易

Key word 2: 強相関電子系での非平衡現象

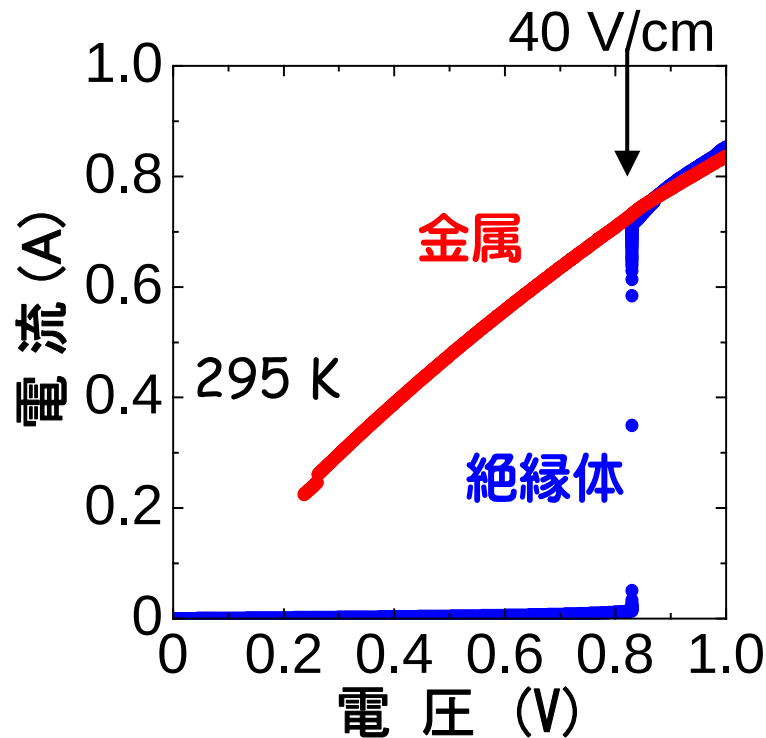
1. わずかな電圧で絶縁体から金属へスイッチ
パーコレーションのように
わずかなエネルギーで相転移を誘起



コップいっぱいの水
一滴の水をきっかけに
大量の水がこぼれたす。

わずかな電圧でモット絶縁体を金属化

従来の物質の多くは, 金属化に
高い電場や低温が必要



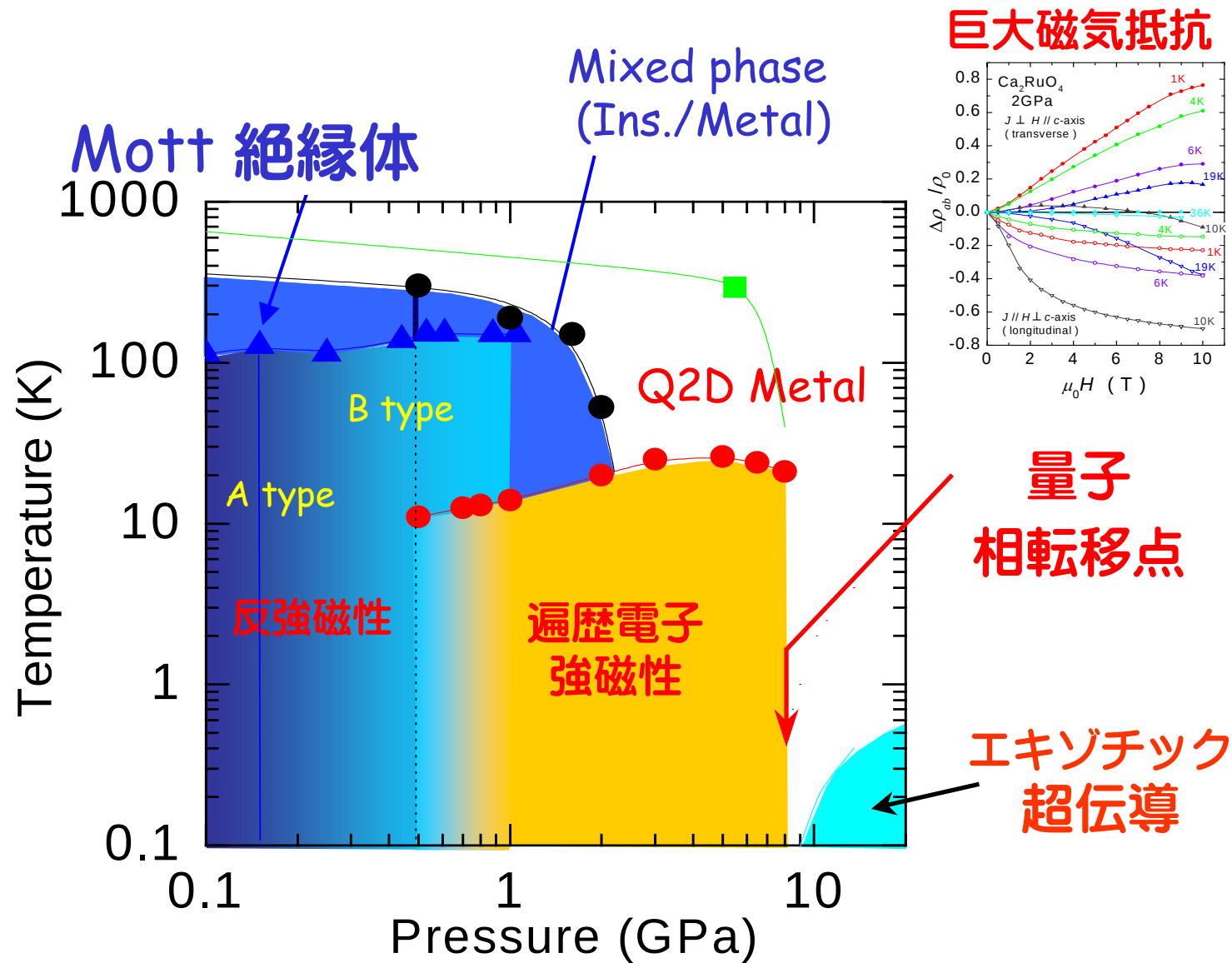
	しきい電場 (kV/cm)
$\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{NiO}_4$ ¹⁾	1~10
Sr_2CuO_3 ²⁾	1~3
SrCuO_2 ²⁾	0.3~1
(TTeC1TTF)-TCNQ ³⁾	0.3~1.2
Ca_2RuO_4	0.04

1) M.Imada, Rev.Mod.Phys. **70** 4 (1998).

2) Y.Taguchi., PRB. **62** 11 (1999).

3) Y. Iwasa ., APL. **39**, 10441 (1989).

多彩な量子相転移が観測される圧力下の Ca_2RuO_4

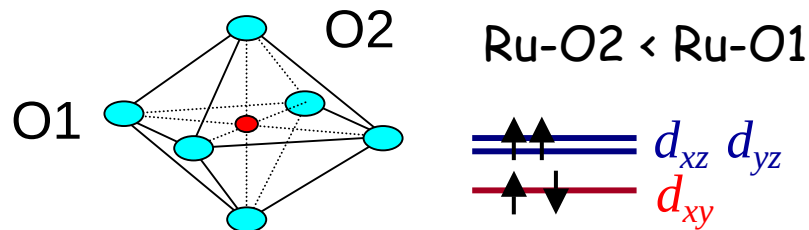


F.Nakamura, JPSJ (2006).

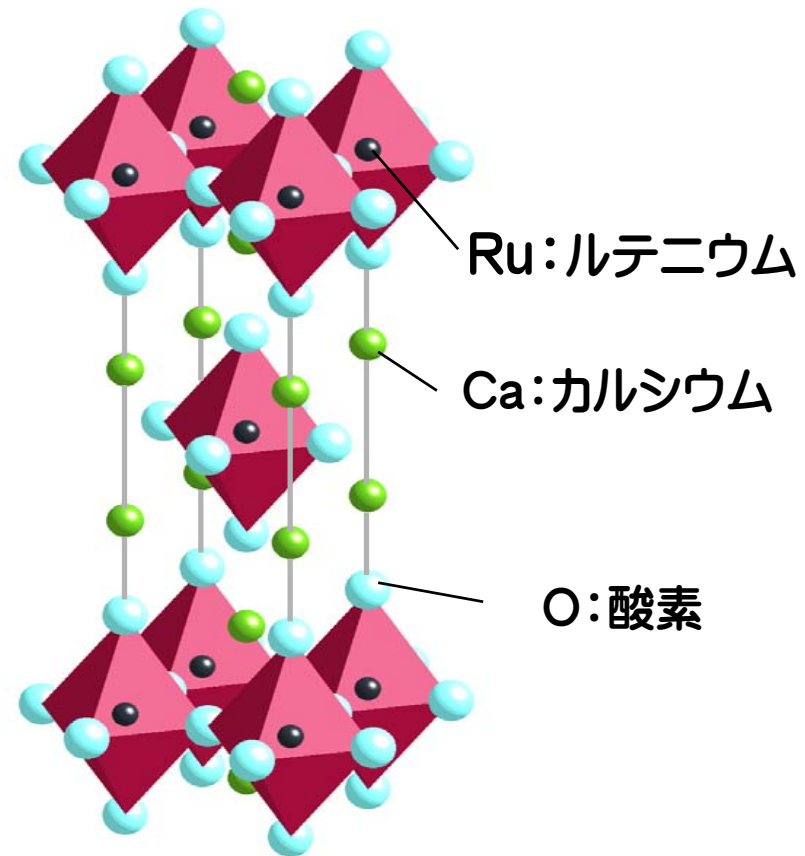
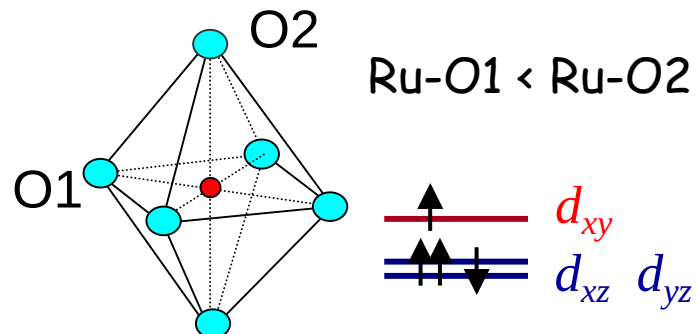
モット絶縁体 Ca_2RuO_4 を金属化するには

1. 元素置換
2. 温度
3. 圧力
4. “電場”

絶縁体（縦につぶれている）



金属（縦に長い）



モット絶縁体 Ca_2RuO_4
の結晶構造

高温超伝導体 La_2CuO_4 に同じ



乾電池 1 個で起こる 目に見えるほどの構造変化（約 2 %）



ここで、結晶の伸縮実験をお見せします



発信器

約10 V_{pp}の交流

周波数は0.1 ~ 10 Hz

(動きが目で見える速さ)

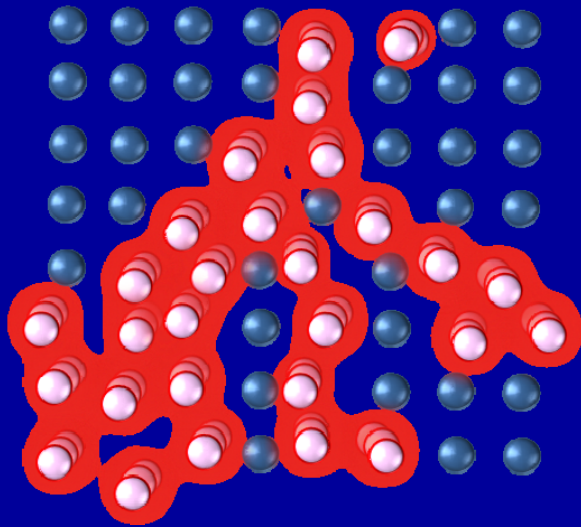
CCDカメラ

Key word 2: 強相関電子系の非平衡定常状態

2. 電子が流れる系では電子は凍りにくい

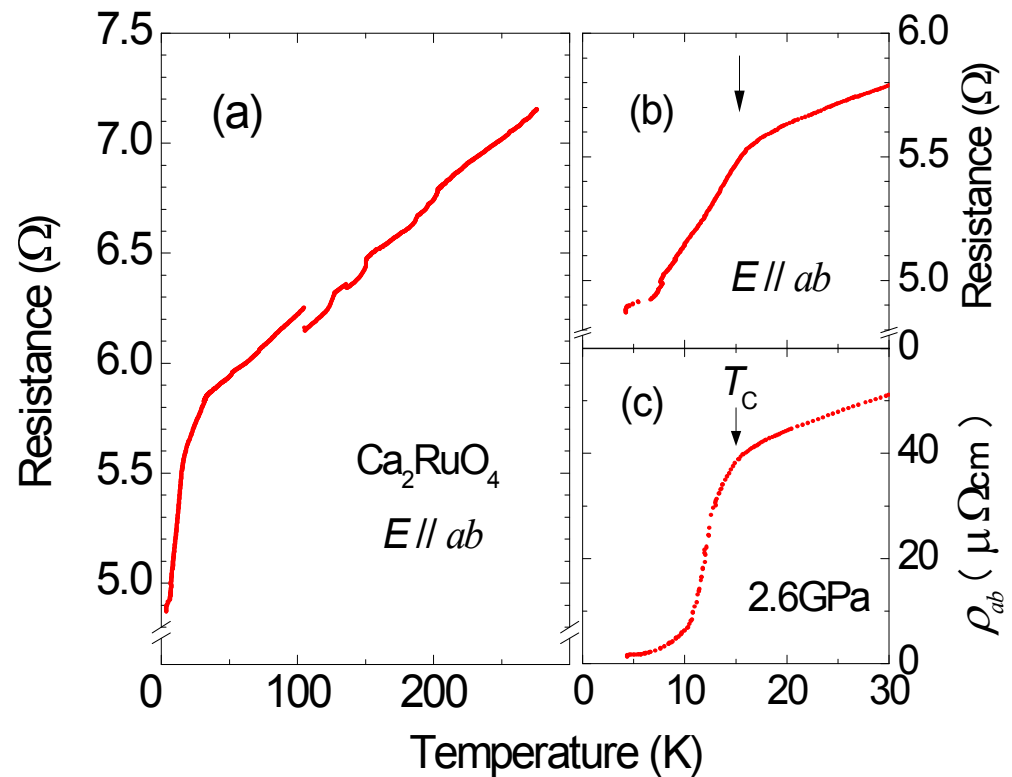
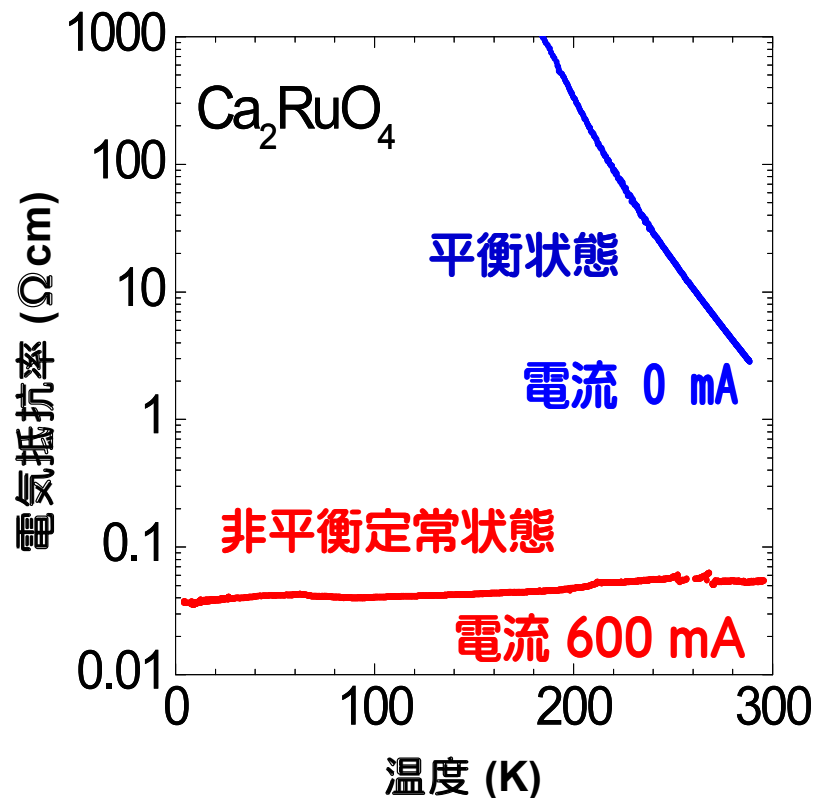
非平衡定常状態

身近な例：川の水



平衡状態の水は外気温 0°C で凍るが流れがあると...

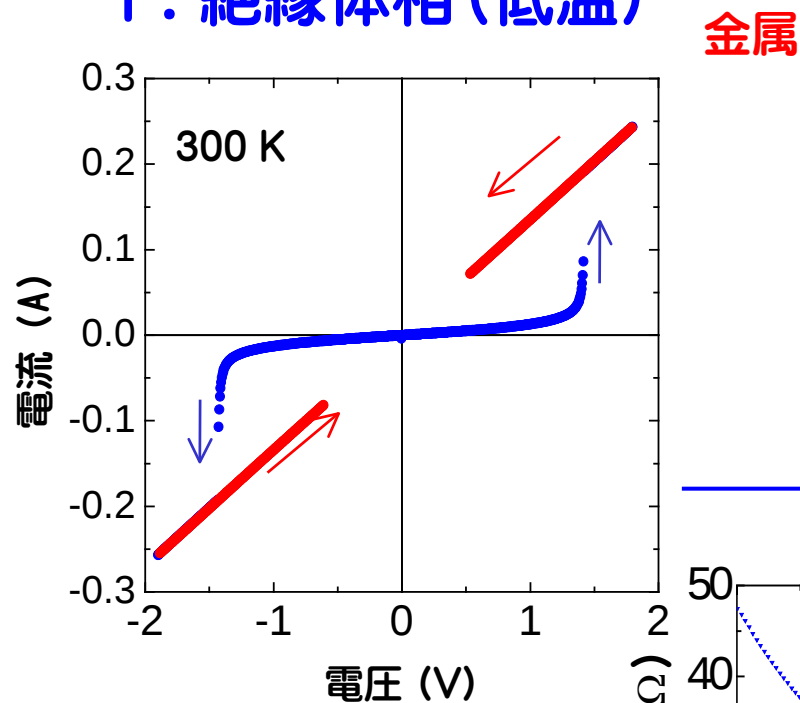
電子の流れで維持される金属状態



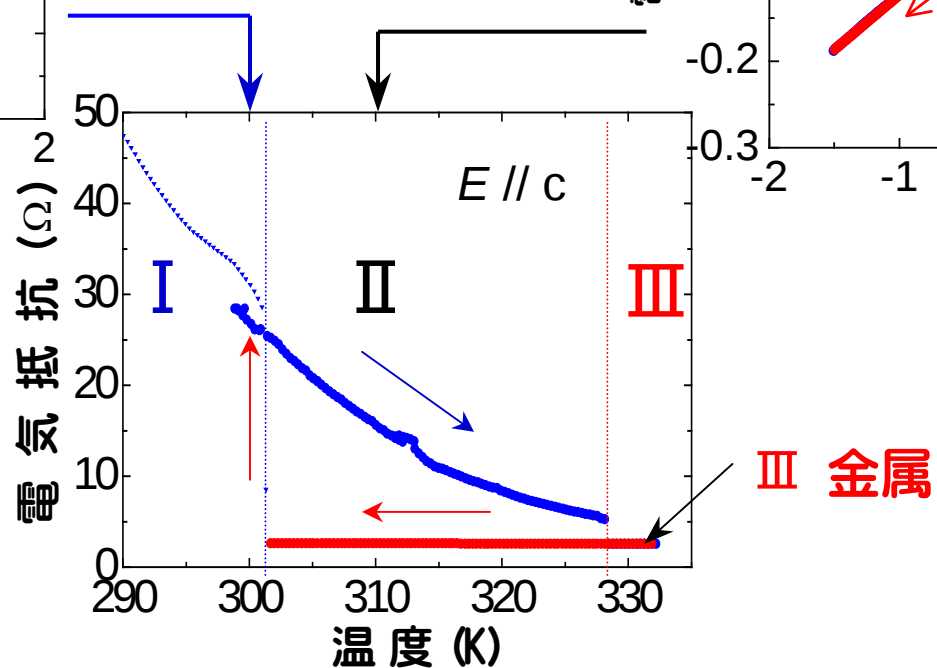
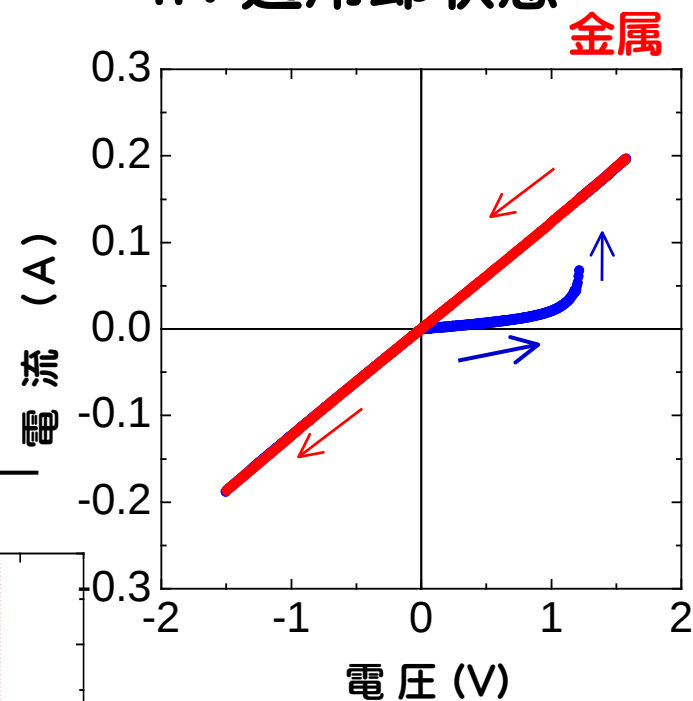
基底状態は強磁性か？

絶縁体相と過冷却状態での電流 - 電圧特性

I. 絶縁体相 (低温)



II. 過冷却状態



論文情報

題名: Electric-field-induced metal maintained
by current of the Mott insulator Ca_2RuO_4

著者: 中村文彦,

坂木麻里子, 山中悠也, 田丸昇, 鈴木孝至, 前野悦輝

発行日時: 8月29日 (GMT10時) (予定)

英国 Nature Publishing Group

Scientific Reports 3, 2536;

DOI:10.1038/srep02536 (2013).

特許情報

出願日：平成21年12月14日

特願2009-283474

発明の名称：

ペロブスカイト型酸化物の相転移誘起方法、電子機能素子材料として用いられるペロブスカイト型酸化物及びペロブスカイト型酸化物を用いた電子機能素子