



THE UNIVERSITY OF TOKYO

最先端の光が拓く量子物性科学の新展開

島野 亮

物理学教室

物性物理学の魅力

身近な物質

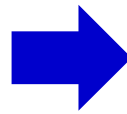
More is different
(多は異なり)

量子力学が支配する世界

多様性の中の普遍性

創発性(emergence)

超伝導、超流動、
量子ホール効果、
トポロジカル物性…



量子力学が顕わに物性に
現れる現象：**量子物性**



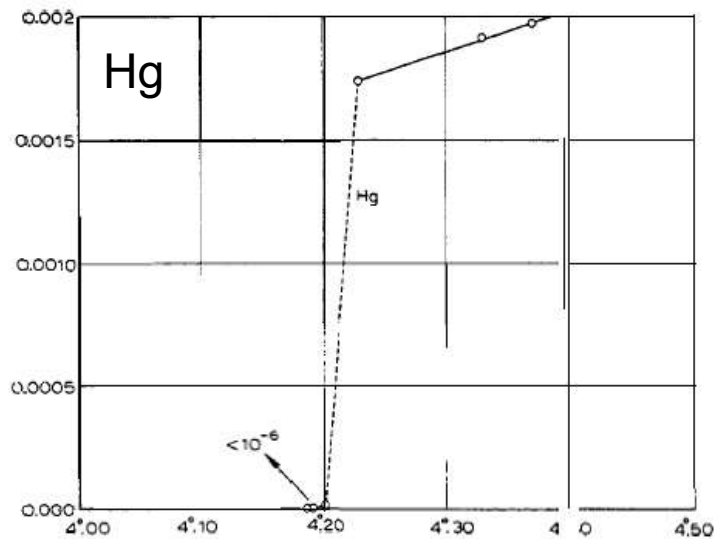
P. W. Anderson,
The Nobel Prize in Physics 1977

超伝導



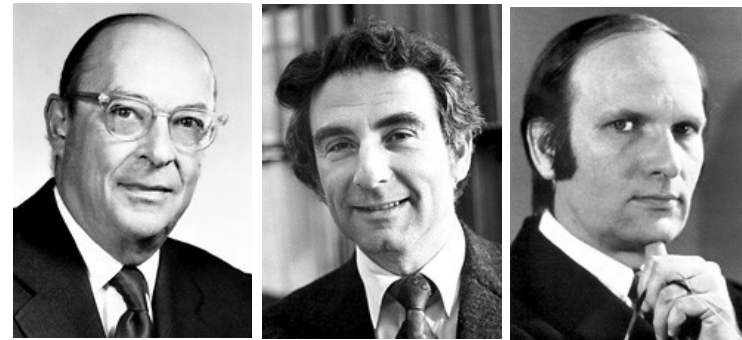
Heike Kamerlingh Onnes

1911年



1913 Nobel Prize

BCS理論 (1957)



Bardeen, Cooper, Schrieffer

1972



様々な応用

NMR (MRI)

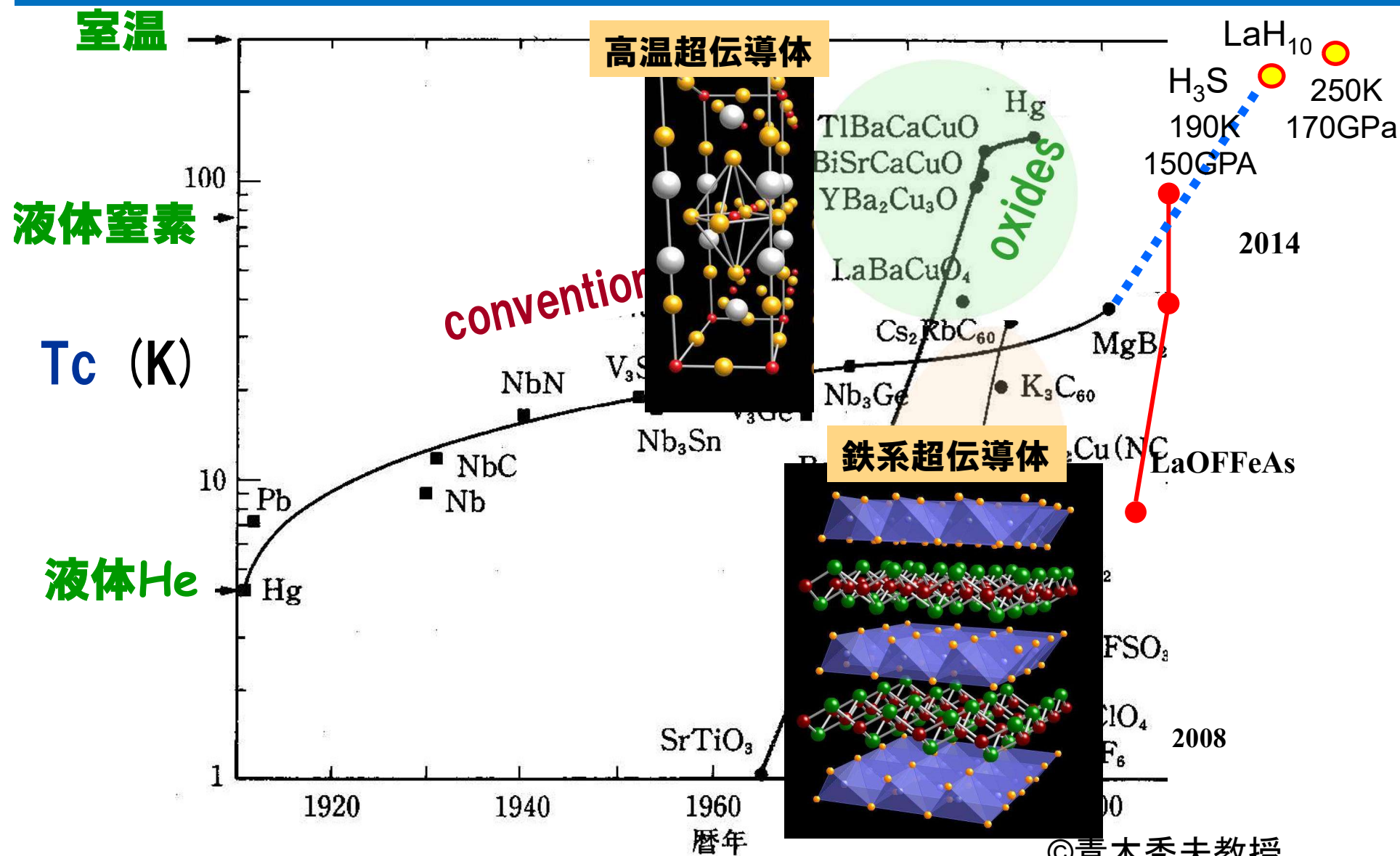
リニアモーターカー

量子計算 (超伝導量子ビット)

量子センサー

電送、蓄電

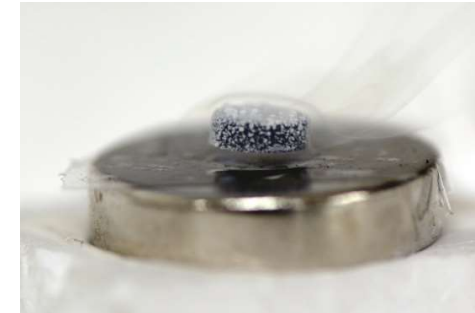
超伝導転移温度の変遷



対称性の自発的破れと相転移

相転移による物質の分類

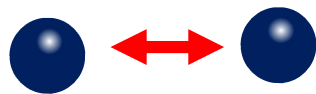
	構成粒子の配列	系の対称性
気体	無秩序	高い
	⇕ 相転移	
液体	短距離の秩序	
	⇕ 相転移	
固体	長距離秩序	低い



H. Aoki and H Hosono,
Physics World 2015

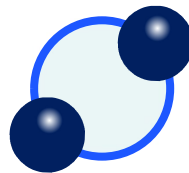
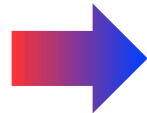
超伝導も相転移現象
の一つである。

通常の電子



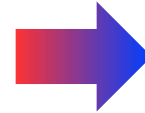
反発

クーパ対形成



電子対

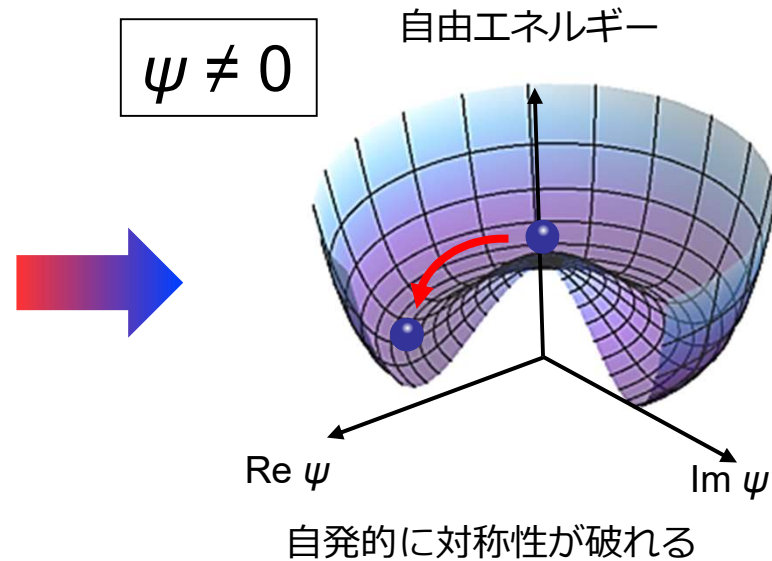
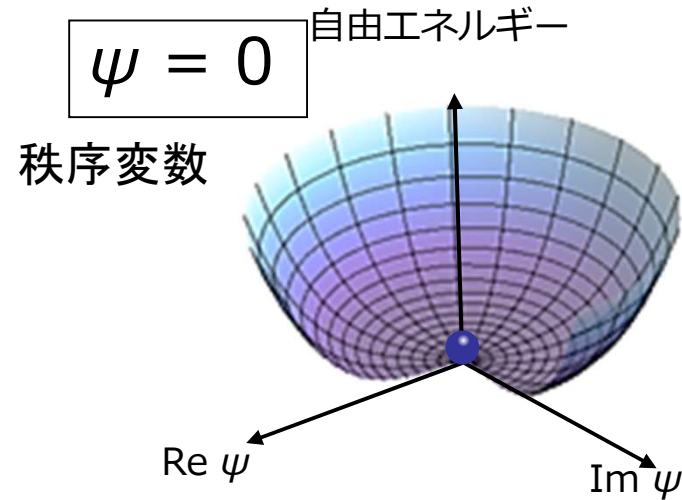
対凝縮（超伝導）



$$|\psi| e^{i\theta}$$

試料全体で位相が揃い一つの波
(波動関数) で表される (マクロ量子現象)。
位相に関する 360 度の回転対称性が
破れている

対称性の自発的破れと相転移



2008

Yoichiro Nambu



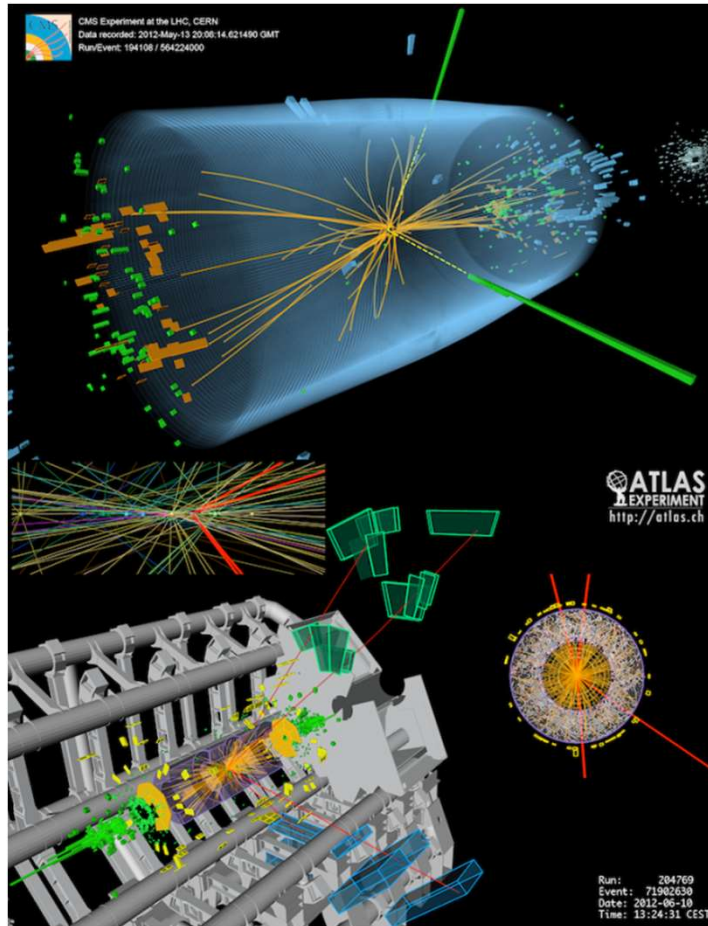
<http://www.nobelprize.org/>

南部理論：超伝導のBCS理論を
素粒子の理論（弱い相互作用）に
拡張

真空の相転移

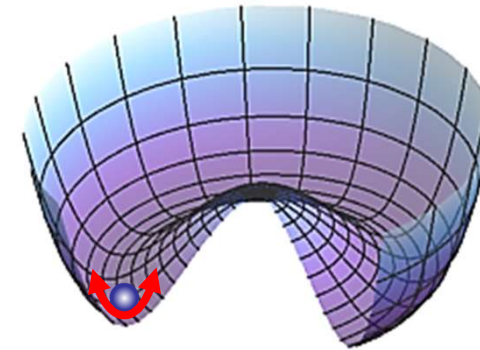
*“... It is a result of my experience in
both condensed matter and particle
physics. ...”*

2012年 CERN LHC ヒッグス粒子発見！



From CERN

<https://home.cern/science/physics/higgs-boson>



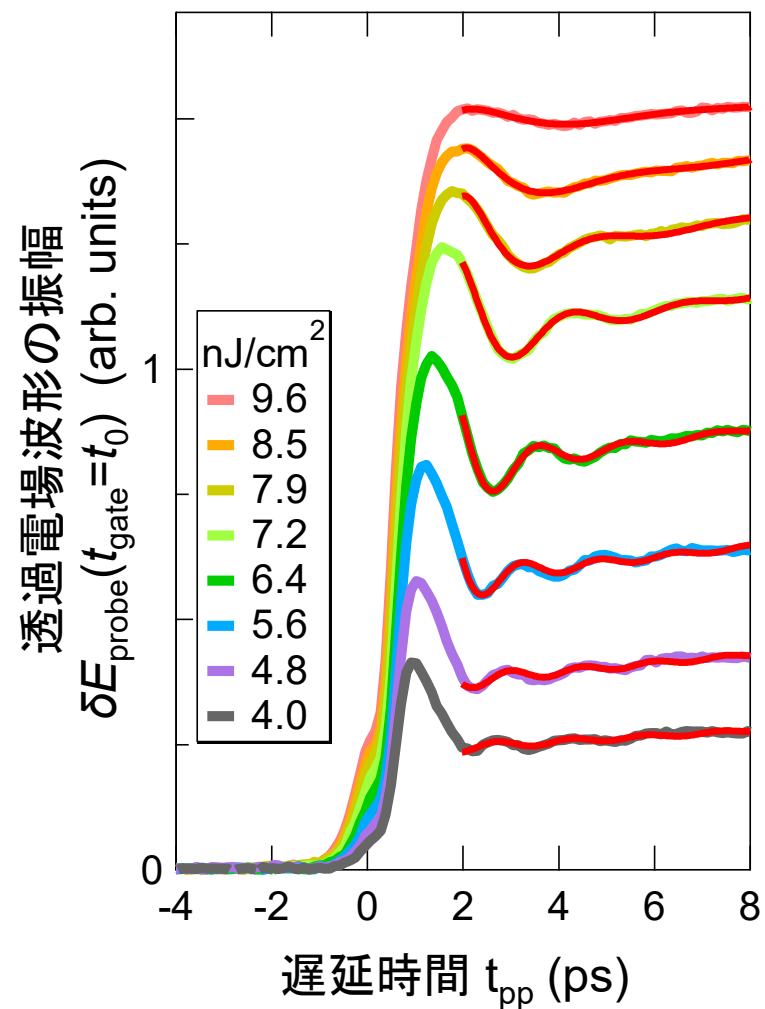
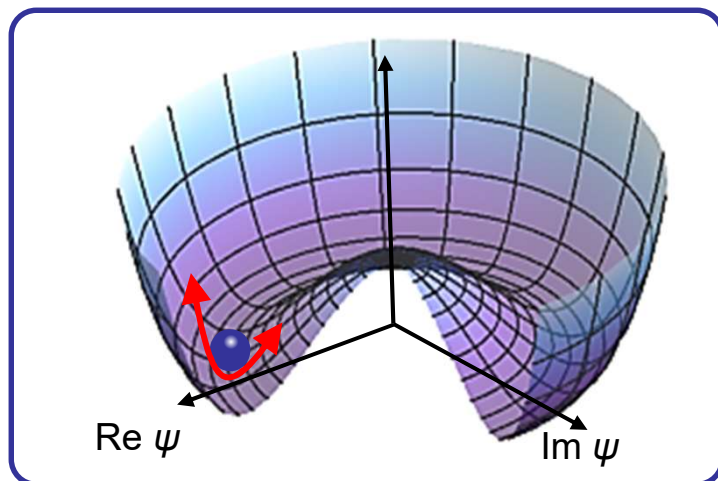
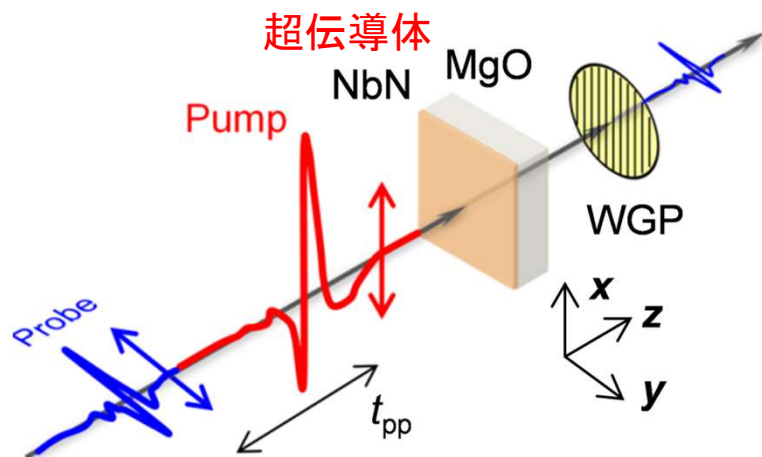
Peter W. Higgs

François Englert

2013

理論の発端となった超伝導体でも同様の“粒子”（振動）があるはず！
（60年前に理論的に予言されていたけど実験で観測されていなかった。）

超伝導体の”ヒッグス”モード



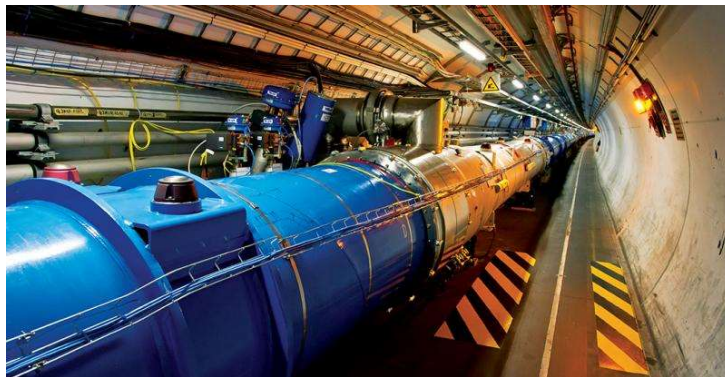
2013年 テラヘルツ光という特殊な光の技術を開発して観測に成功
(島野Gr)： 超伝導の光制御に新たな可能性

物理学の階層性と普遍性

TeV scale physics



meV scale physics



エネルギースケールは15桁も異なる。

超伝導体の秩序を光で操作する。

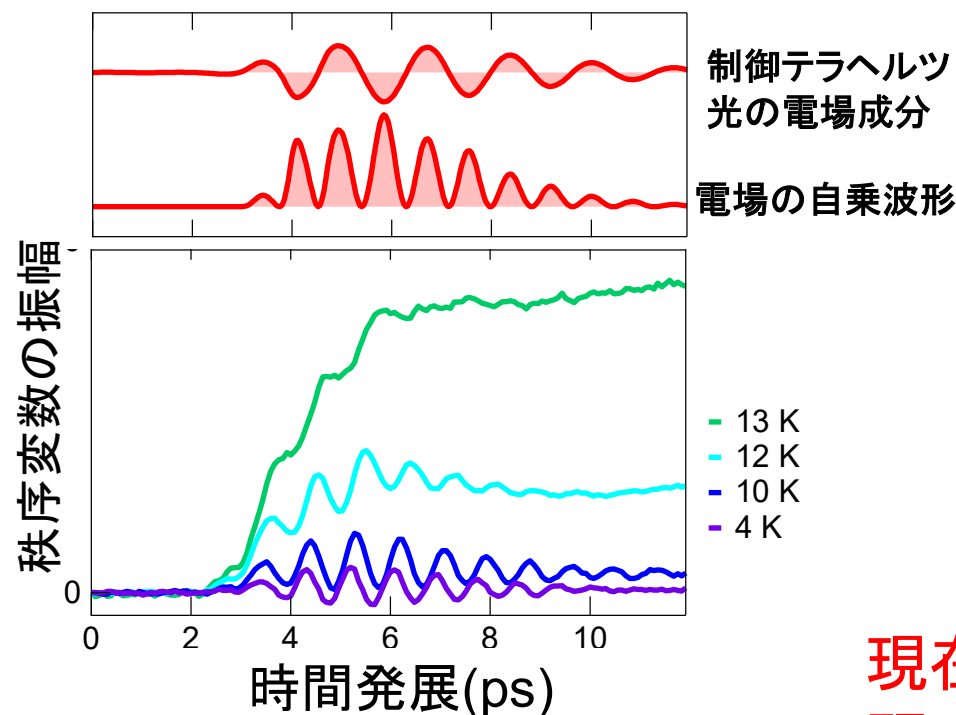
REPORTS

Science 345, 1145 (2014)

SUPERCONDUCTIVITY

Light-induced collective pseudospin precession resonating with Higgs mode in a superconductor

Ryusuke Matsunaga,^{1*} Naoto Tsuji,¹ Hiroyuki Fujita,¹ Arata Sugioka,¹ Kazumasa Makise,² Yoshinori Uzawa,^{3†} Hirofuka Terao,² Zhen Wang,^{2‡} Hideo Aoki,^{1,4} Ryo Shimano^{1,5*}



Science,
Perspective in Physics

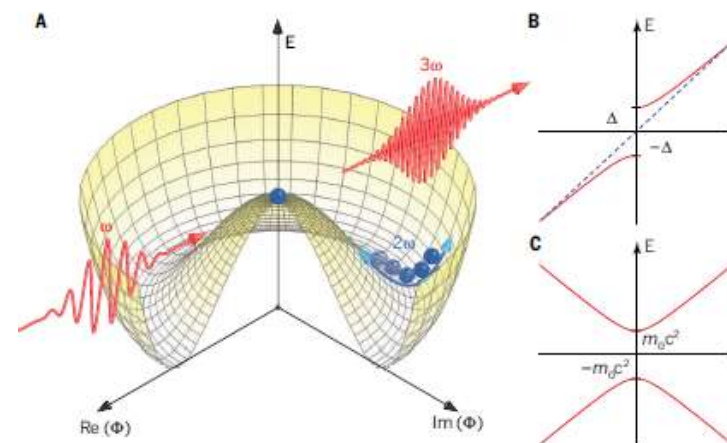
PHYSICS

Particle physics in a superconductor

A superconducting condensate can display analogous behavior to the Higgs field

By Alexej Pashkin and Alfred Leitenstorfer

Nambu (3). The existence of superconduct-

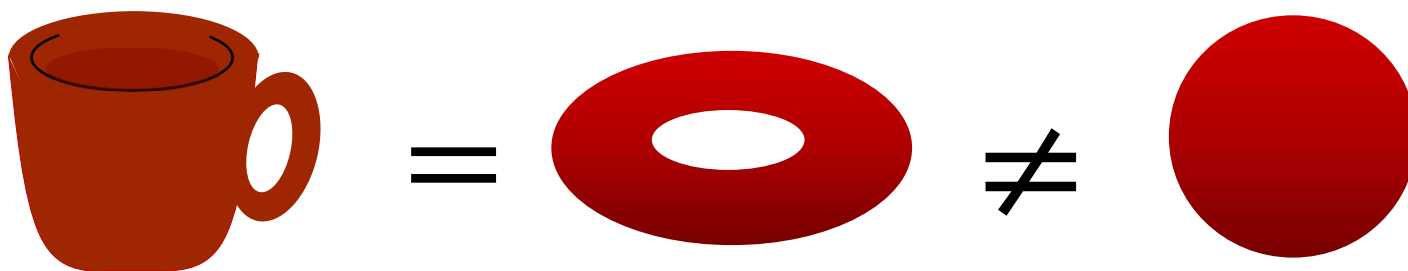


現在、高温超伝導体の光操作の研究に展開中。

トポロジカル絶縁体

相転移、対称性の破れとは異なる物質群の分類概念の登場

トポロジー(連続変形に対して不変か否か) で分類



背景：量子ホール効果

整数量子ホール効果



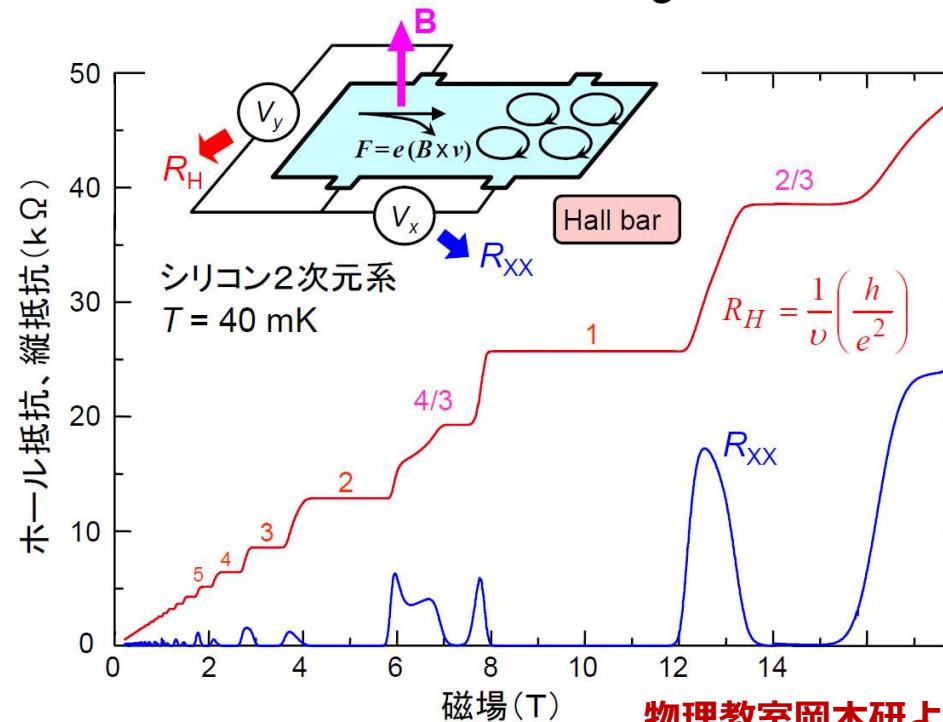
K. von Klitzing,
1985 Nobel Prize



分数量子ホール効果



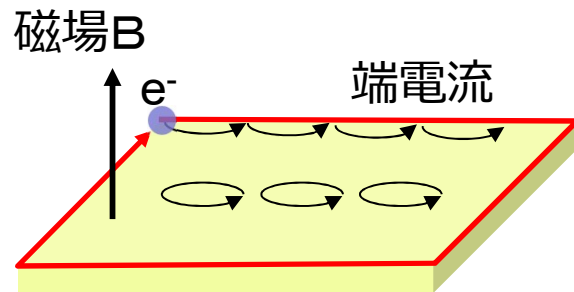
Laughlin, Störmer, Tsui, 1998 Nobel Prize



物理教室岡本研より

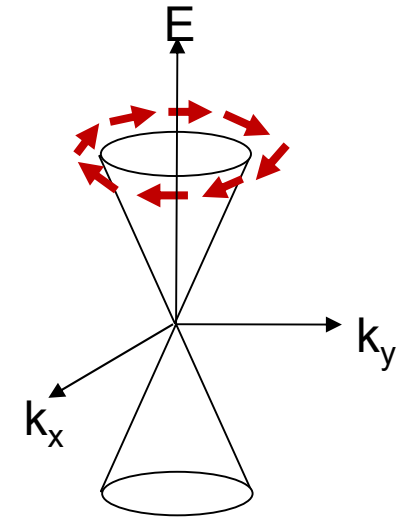
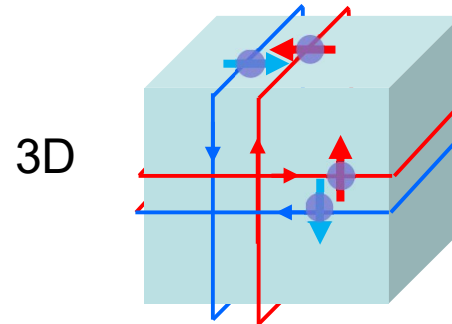
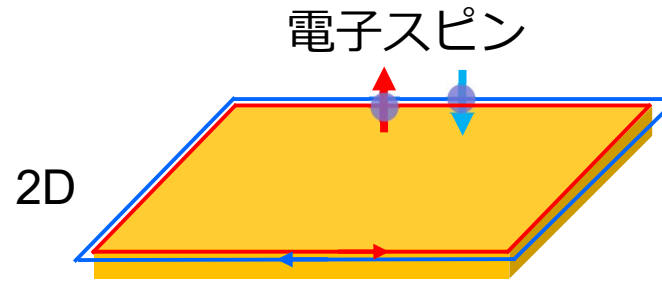
トポロジカル絶縁体

量子ホール絶縁体

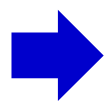


試料内部では電子は閉じた軌道を回っていて試料の端からは端まで動けない（電流を運べない）。

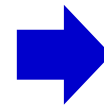
トポロジカル絶縁体



ヘリカルスピン偏極したディラック電子が表面（端）に現れる：
非散逸スピン流、
スピントロニクスへの応用



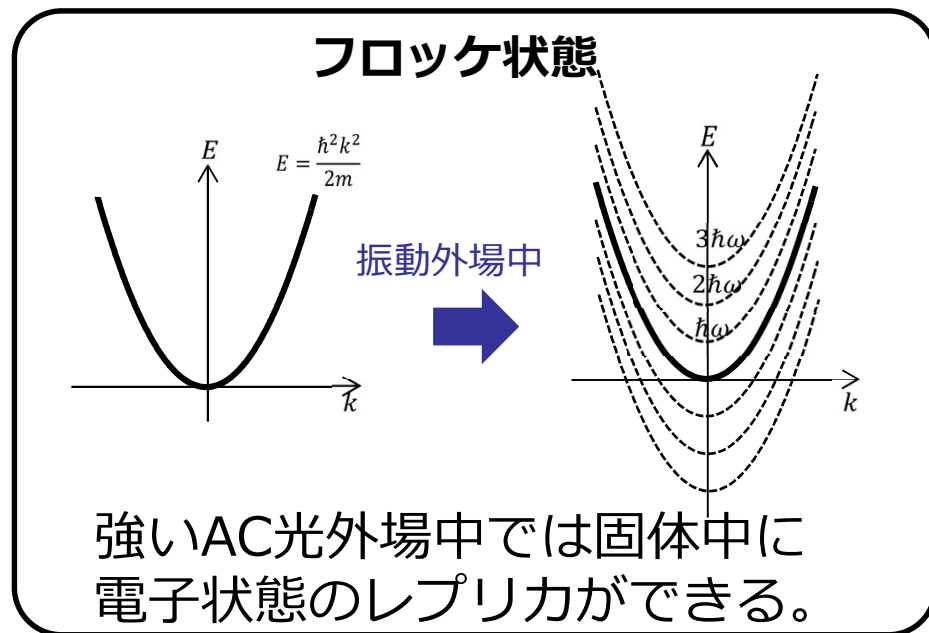
超伝導体でも同様の議論が
成り立つ場合がある。
(トポロジカル超伝導体)



頑強な量子計算の舞台と
して注目されている。

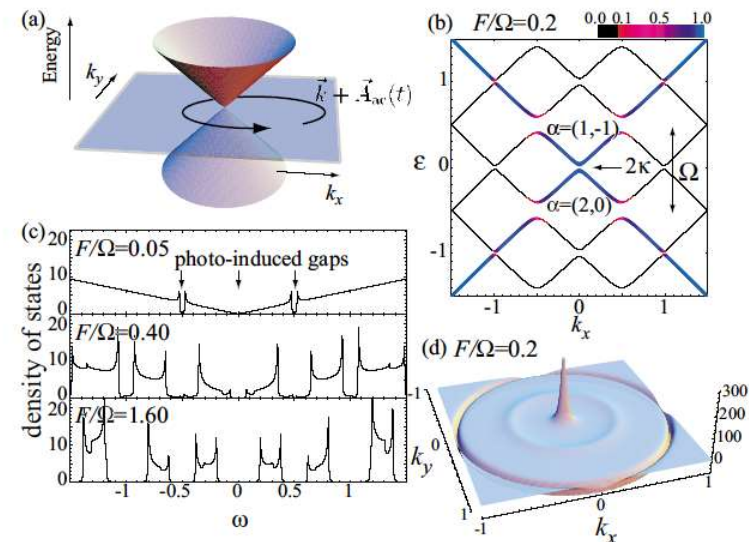
光の場によるトポロジカル物質の制御

レーザー光などの周期外場を用いると
電子系のトポロジを制御できる



例：

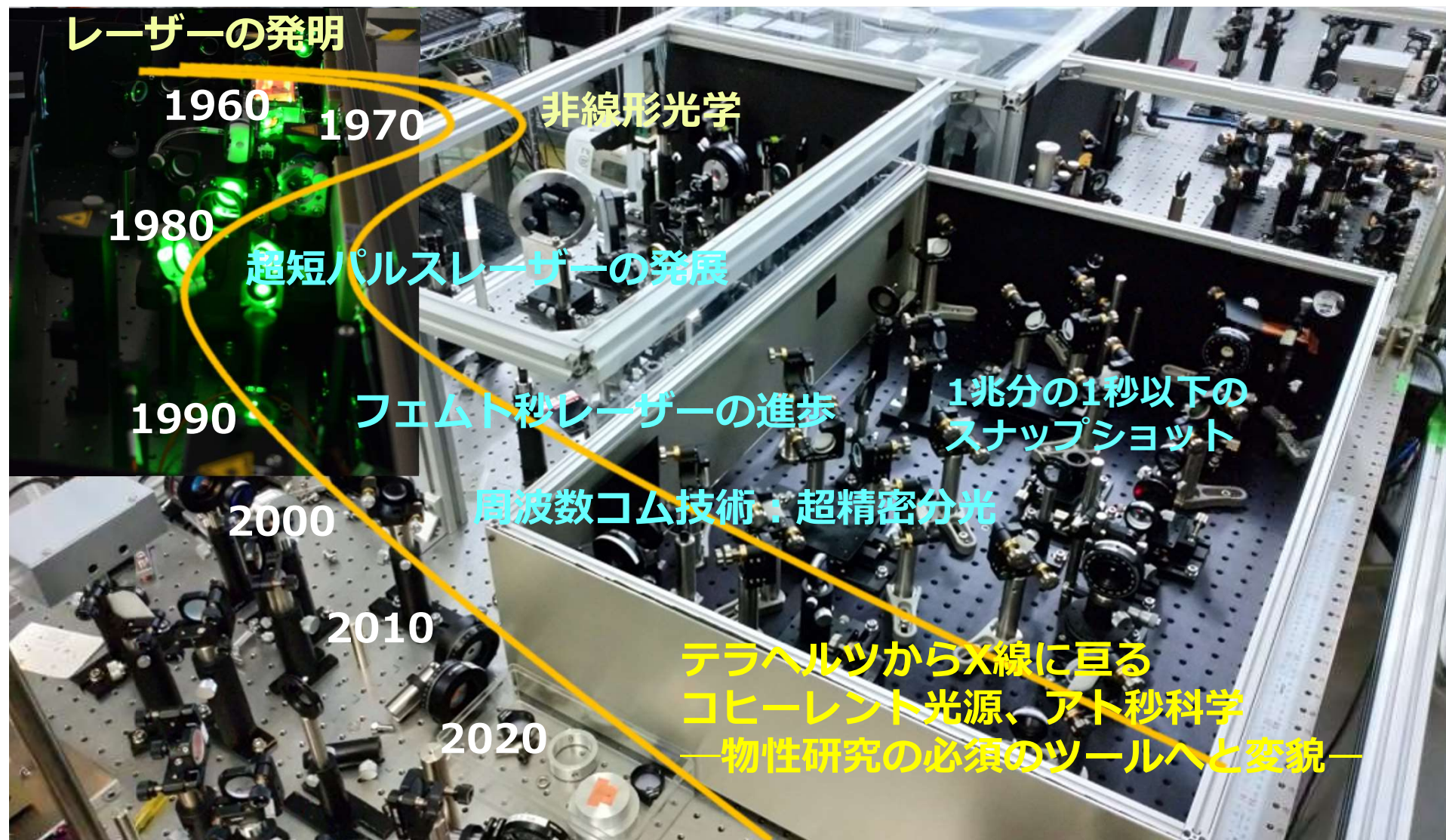
炭素原子 1 層からなる物質グラフェン
+ 円偏光レーザー (理論提案)



T. Oka and H. Aoki, Phys.Rev.B 2009

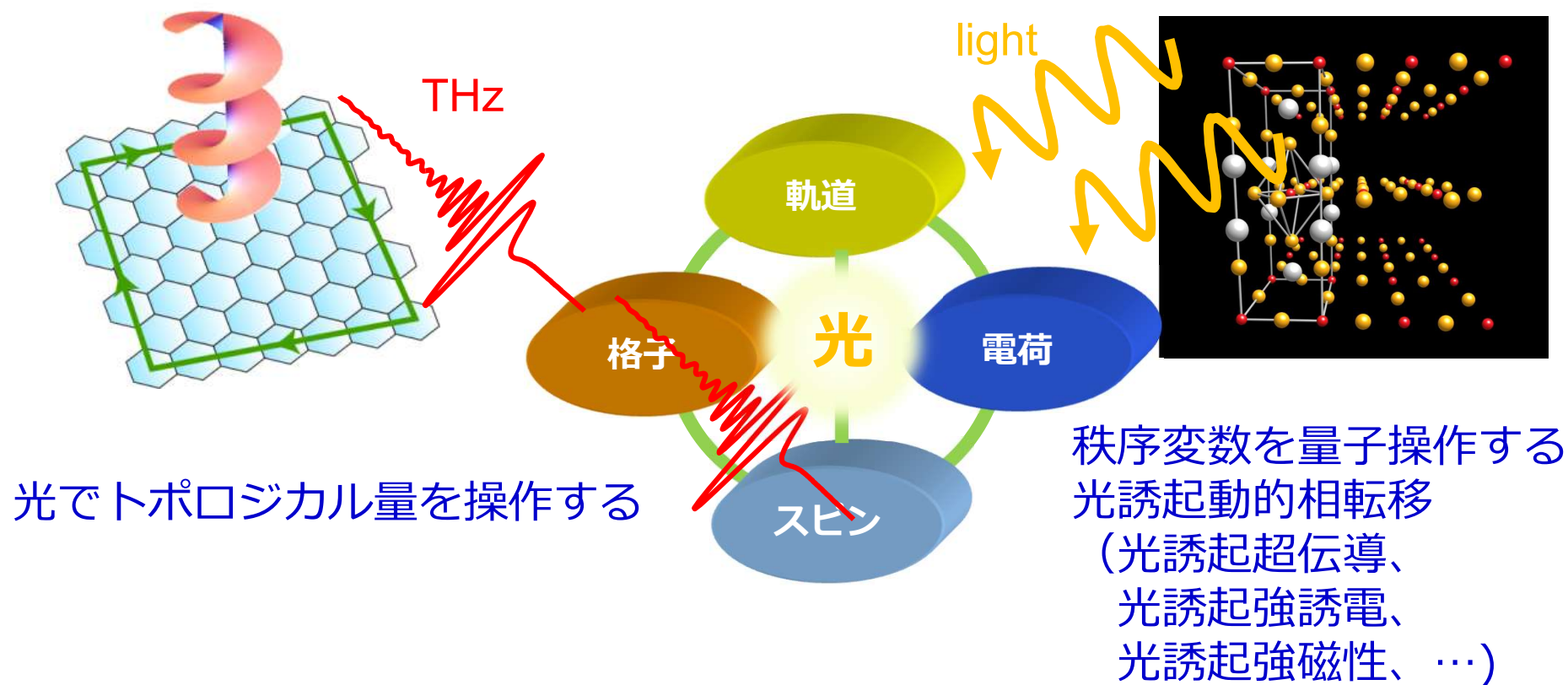
現在実験が進行中。

レーザー光、光科学の発展



展望

量子物質を光で操作することが可能になりつつある。



光を用いた未知の量子相、物質中の“新粒子”（ヒッグス、ワイル、マヨラナ、アクシオン、...）の探索。

量子物理から量子技術へ