

強磁場施設の紹介と 強磁場科学

附属先端強磁場科学研究センター
萩原 政幸

アウトライン

1. イントロダクション
2. 強磁場施設の紹介
3. 強磁場科学

先端強磁場科学研究センター

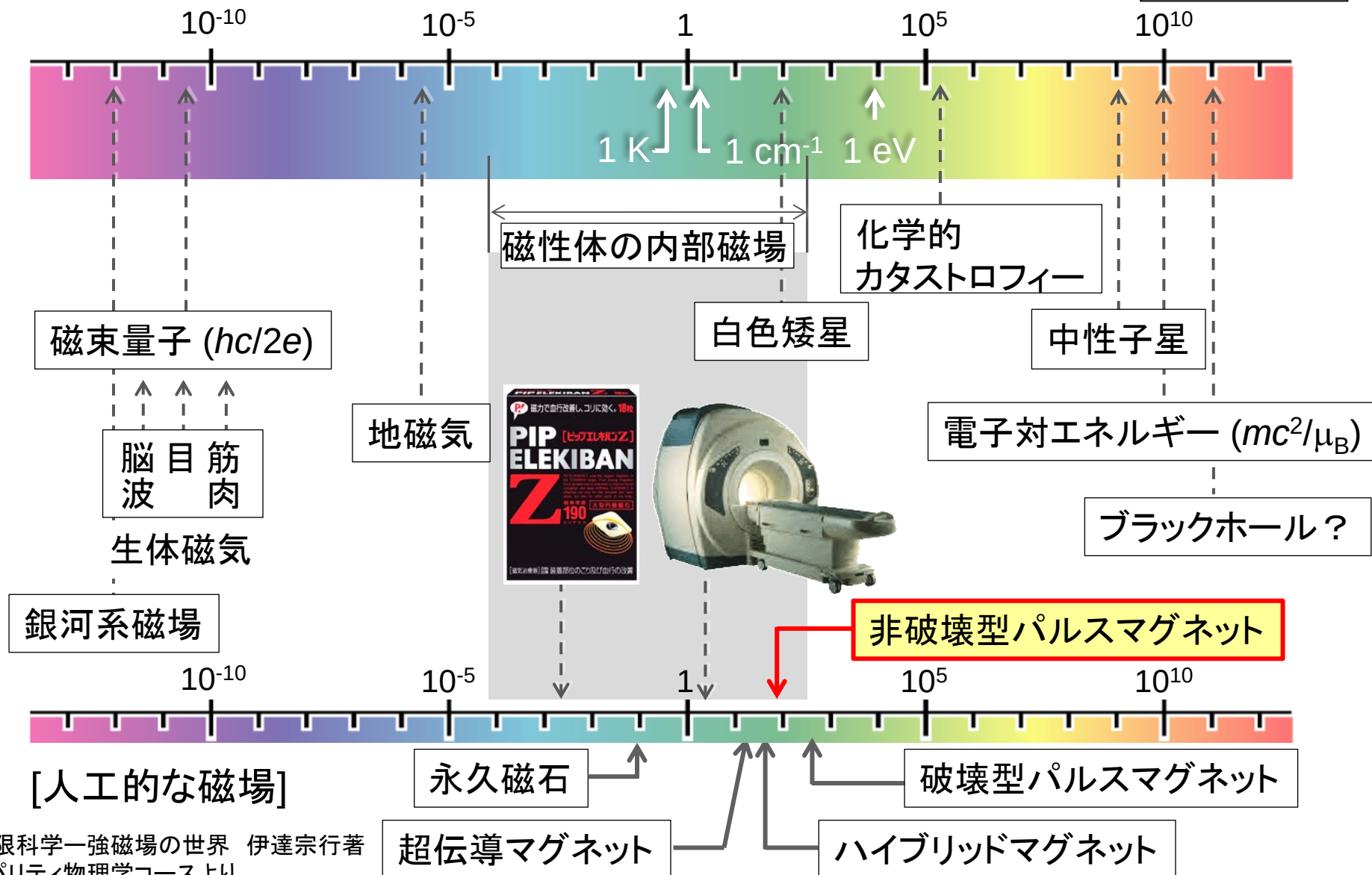


イントロダクション

磁場の強さと対応する物理量, 自然現象

磁場の強さ (テスラ = T)

磁場 (磁界)



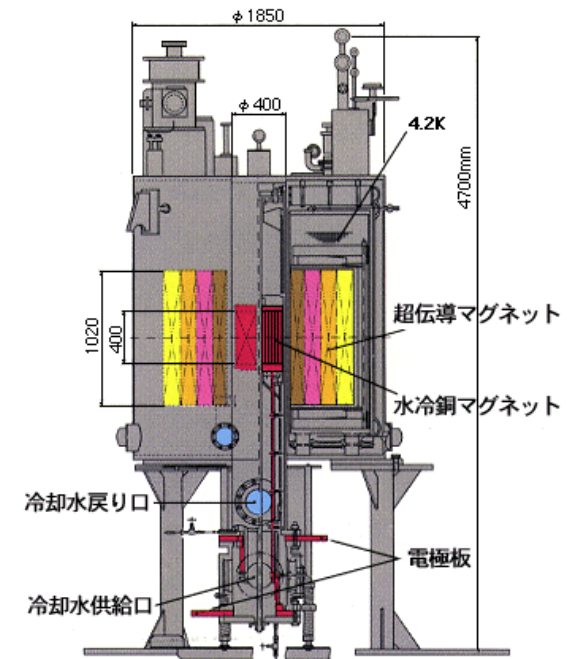
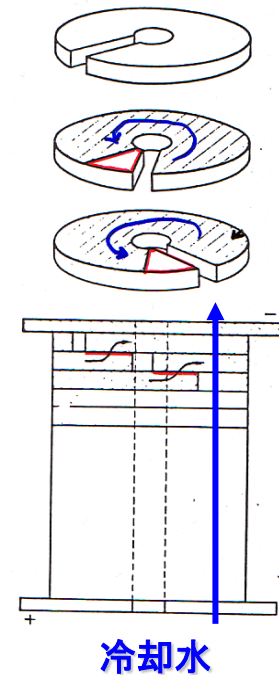
コイルを使った磁場発生方法

定常磁場

- 常伝導磁石
 - 鉄心を持つ電磁石 ($\leq 3 \text{ T}$)
 - 水冷ビッターコイル ($\leq 33 \text{ T}$)
- 超伝導磁石
 - ヘリウム利用 ($\leq 23 \text{ T}$)
 - ヘリウムフリー ($\leq 18 \text{ T}$)
- ハイブリッド磁石 ($\leq 45 \text{ T}$)

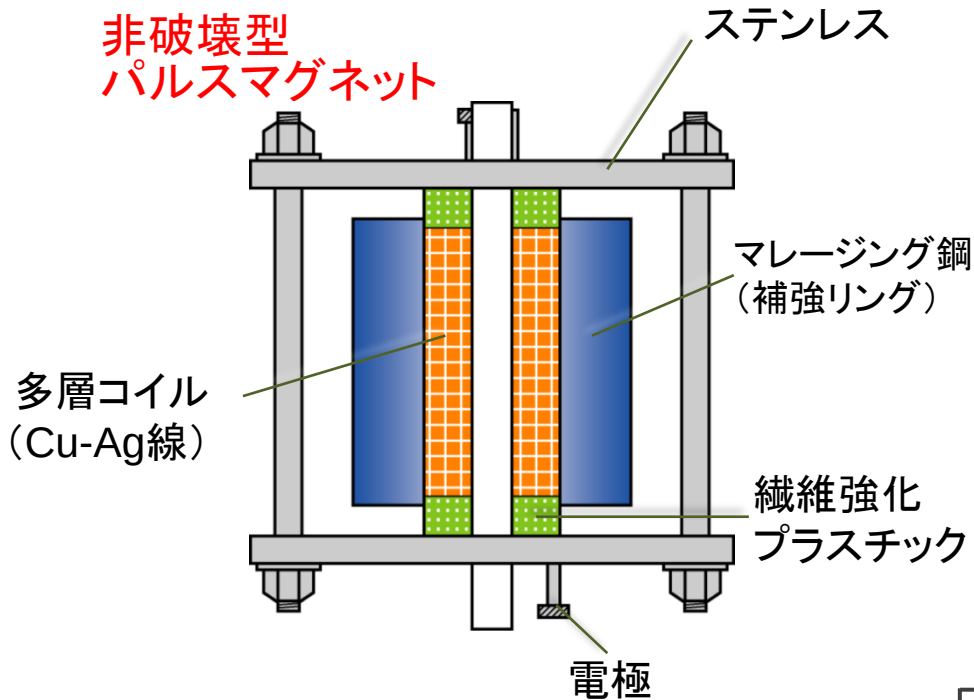
パルス磁場

- 非破壊型パルス磁石 ($\leq 100 \text{ T}$)
- 破壊型パルス磁石
 - 一巻きコイル法 ($\leq 270 \text{ T}$)
 - 磁場濃縮法
 - 爆縮法 ($> 2000 \text{ T}$)
 - 電磁濃縮法 ($\leq 720 \text{ T}$)



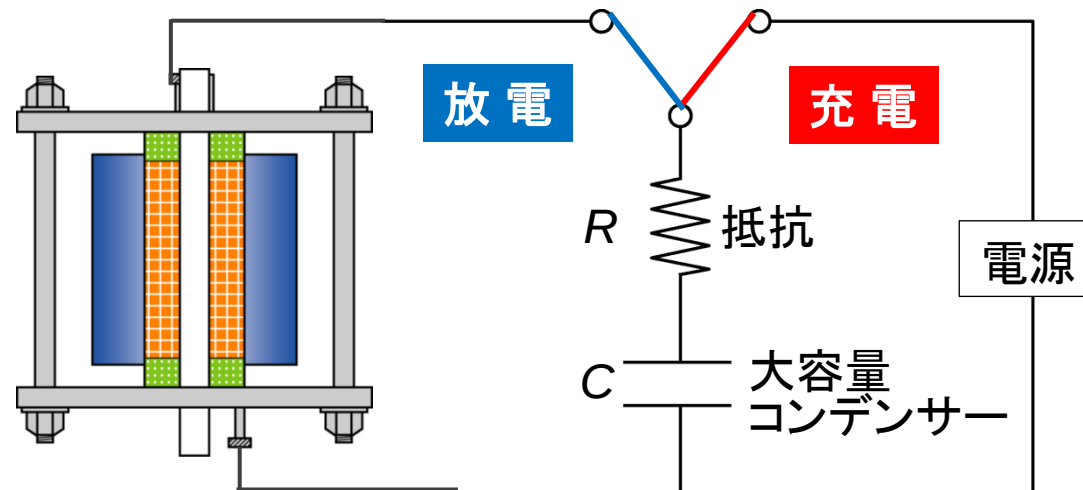
パルス強磁場の発生

非破壊型
パルスマグネット



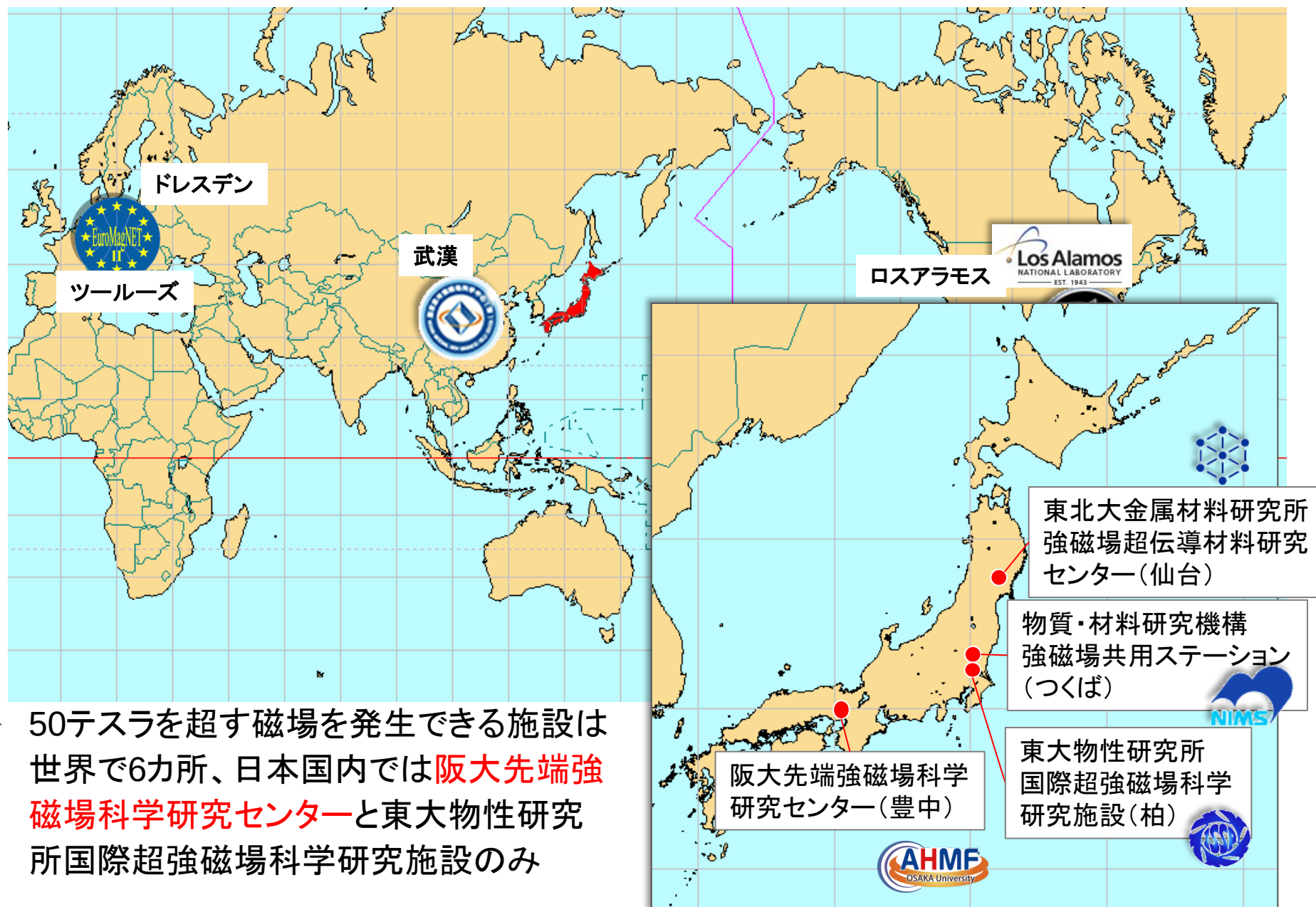
- ◆ コイル: Cu-Ag線 (断面: 2 mm × 3 mm)
- ◆ マレージング鋼で外側を補強
- ◆ コイルが破壊されることなく、繰り返して磁場発生が可能 (非破壊, 100~600 回)
- ◆ パルス幅: 数ミリ秒~数百ミリ秒
- ◆ 最大磁場: 80.3 テスラ ('03年当時世界最高)

- ◆ 大規模電源を用いて大容量コンデンサーに蓄えた電荷を瞬間的にコイルを流す。



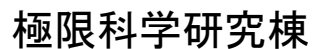
強磁場施設の紹介

強い磁場を発生できる世界の施設



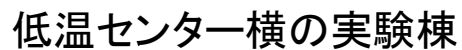
◆ 50テスラを超す磁場を発生できる施設は世界で6カ所、日本国内では**阪大先端強磁場科学研究センター**と東大物性研究所国際超強磁場科学研究施設のみ

赤丸 超強磁場第一実験施設
強磁場共同利用棟



10メガジュール大型コンデンサー

青丸 超強磁場第二実験施設



1.5メガジュールコンデンサー



黒丸 低温センター

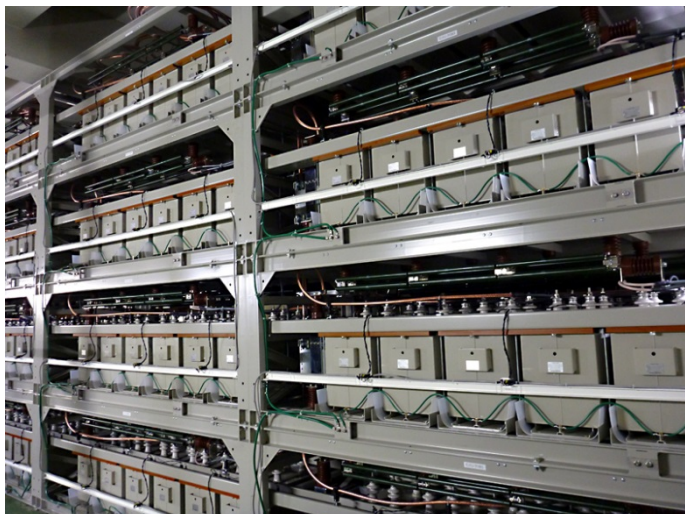
16 T超伝導マグネット

12 T超伝導マグネット

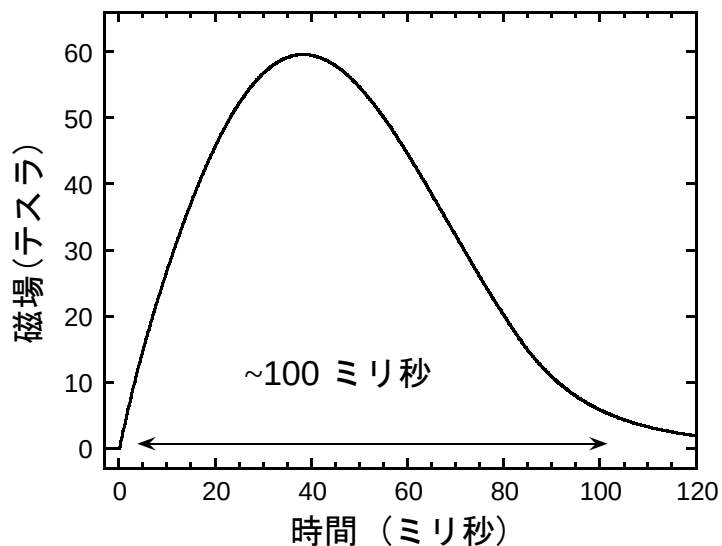
6 Tヘリウムフリー超伝導マグネット

各実験施設のコンデンサーバンクと磁場波形

超強磁場第一実験施設(10 MJ)



静電容量: 26 mF



主に金属
試料

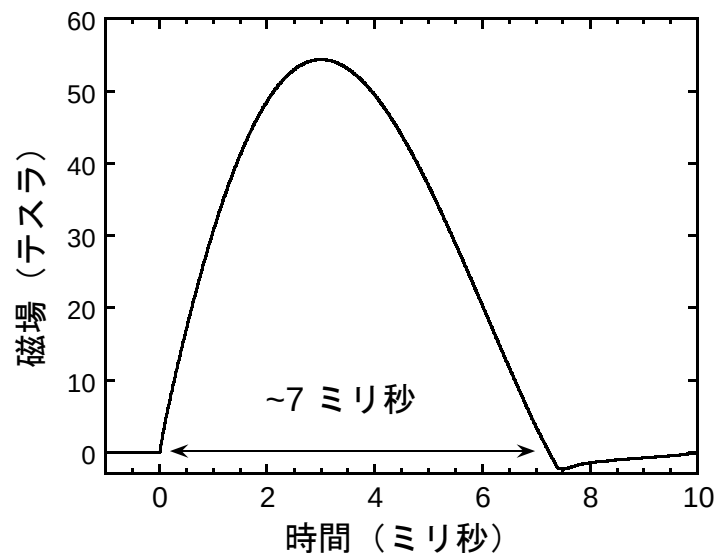
磁化、電気
抵抗等

大口径
パルス磁石
の使用

超強磁場第二実験施設 (1.5 MJ)



静電容量: 7.5 mF



主に
絶縁体
試料

磁化
電子スピン
共鳴等

強磁場科学

様々な研究対象

高温超伝導体

田島研究室(木田)

フラストレーション系

花咲研究室、川村研究室(萩原)

量子スピン系

重い電子系

旧大貫研究室(杉山)

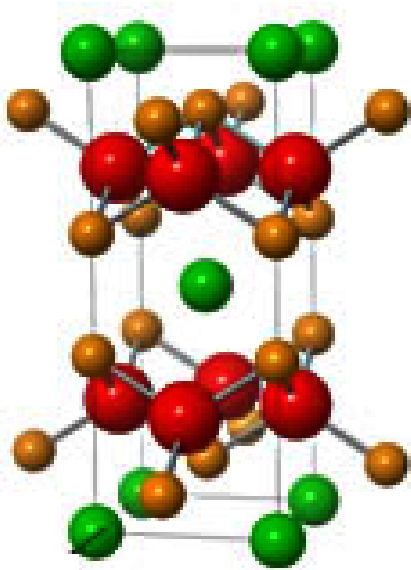
マルチフェロイック系

基礎工 木村研究室(赤木)

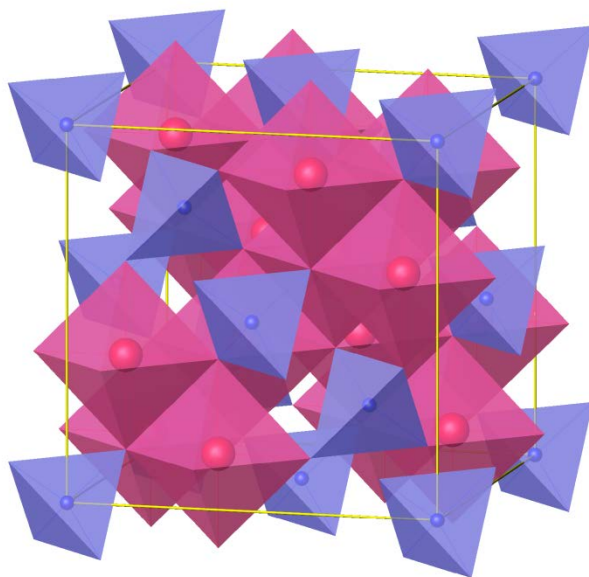
配列ナノ空間物質

野末研究室(萩原)

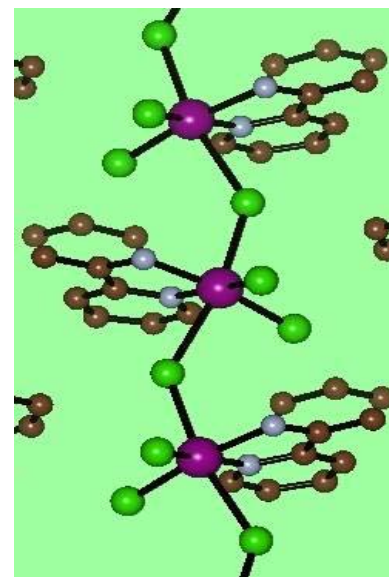
鉄ニクタイド系超伝導体



クロムスピネル酸化物



擬一次元反強磁性体



パルス強磁場中での物性測定

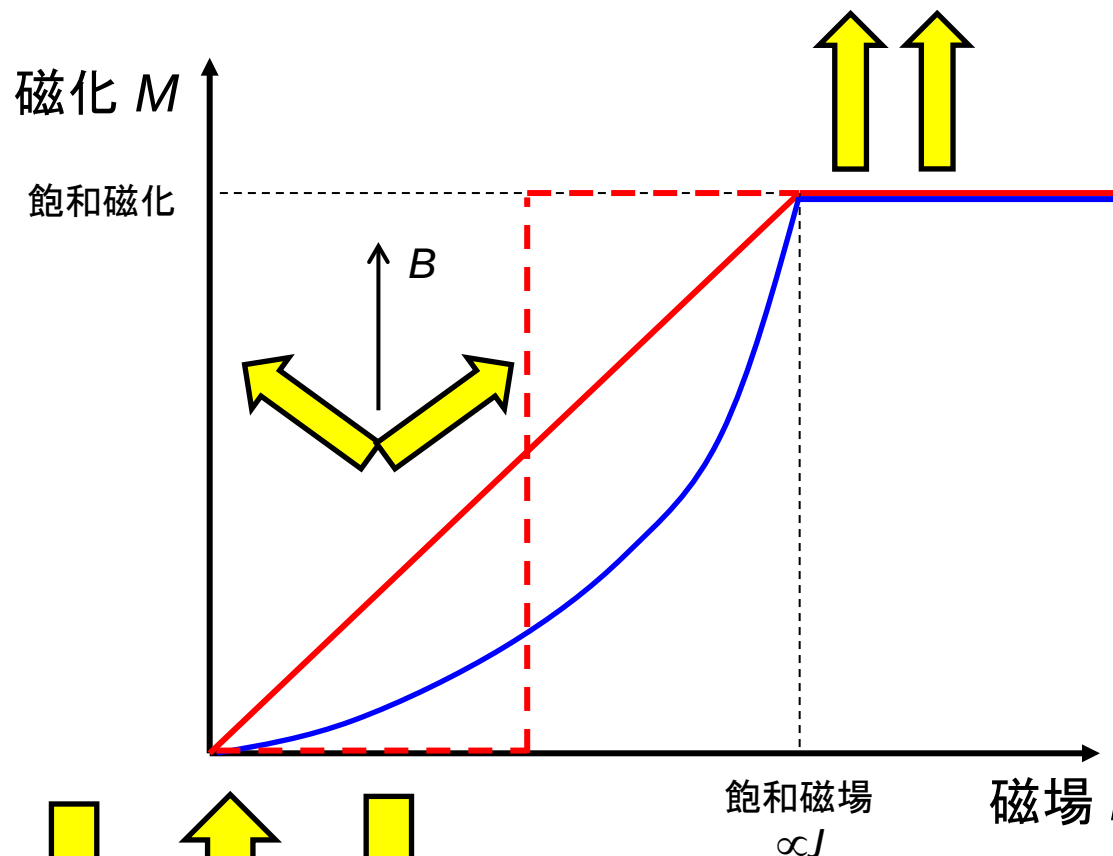
バルクな測定

- 磁化測定
- 電気抵抗測定
- 磁歪測定
- 電気分極、誘電率測定
- 比熱測定
- 超音波測定

ミクロな測定

- 電子スピン共鳴(ESR)測定
- サイクロトロン共鳴測定
- 核磁気共鳴(NMR)測定
- 磁気光学スペクトル測定
- ドハースファンアルフェン測定
- X線回折、吸収測定
- 中性子散乱測定
- などなど

強磁場と磁化過程



実線: ハイゼンベルグ
スピン
破線: イジングスピン

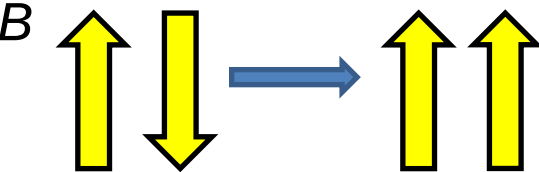
赤線: 古典スピンの磁化
 $S=\infty$

青線: 量子スピンの磁化
 $S=1/2$

J : 交換相互作用定数

$$J \mathbf{S}_i \cdot \mathbf{S}_j$$

ハイゼンベルグスピン



$$J S_i^z S_j^z$$

イジングスピン

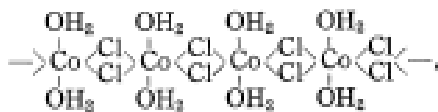
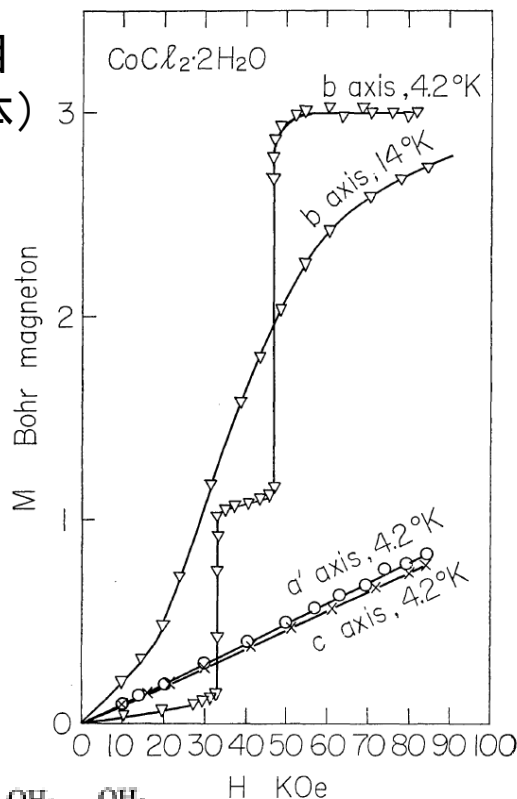
反強磁性体

阪大における強磁場研究(擬一次元系)

1950 1960 1970 1980 1990 2000 2010

磁気秩序相
(スピン固体)

理論
Kanamori
1966

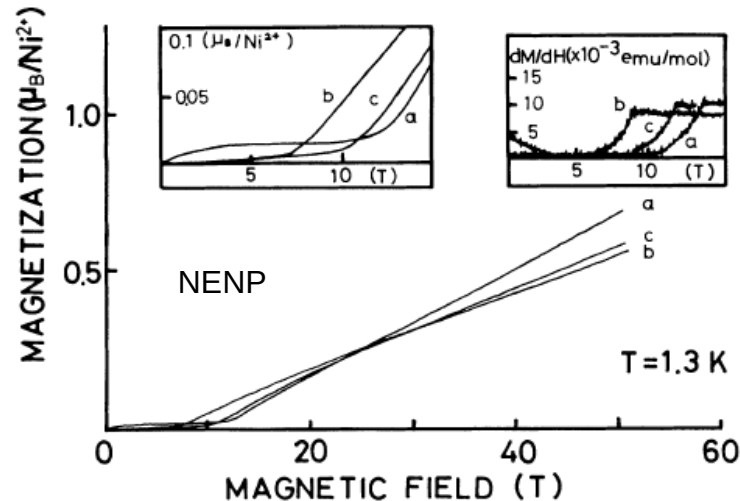


イジング型反強磁性体

Kobayashi & Haseda 1964

スピクラスタ共鳴(磁気ソリトン) Date & Motokawa 1966

磁気無秩序相
(スピン液体)



S=1 一次元ハイゼンベルグ型反強磁性体

Katsumata et al. 1989

ハルデン予想

F. D. M. Haldane 1983

磁気無秩序相
(スピン液晶)

スピネマチック秩序

S=1/2 一次元
近接強磁性-
次近接反強磁性体

Svistov, Hagiwara
et al., 2011

High Magnetic Field
Science and Its
Application in the United
States: Current Status
and Future Directions

The National Academies
Press (2013)
P. 40-41

Haldane予想

F. D. M. Haldane 1983

nonlinear sigma model

◆ 整数スピン

1. 基底状態と第一励起状態間にエネルギーギャップが存在する。
2. スピン相関関数が指数関数的に落ちる。

◆ 半整数スピン

1. 基底状態と励起状態間に波数0と π でエネルギーギャップが存在しない。
2. スピン相関関数がべき級数的に落ちる。

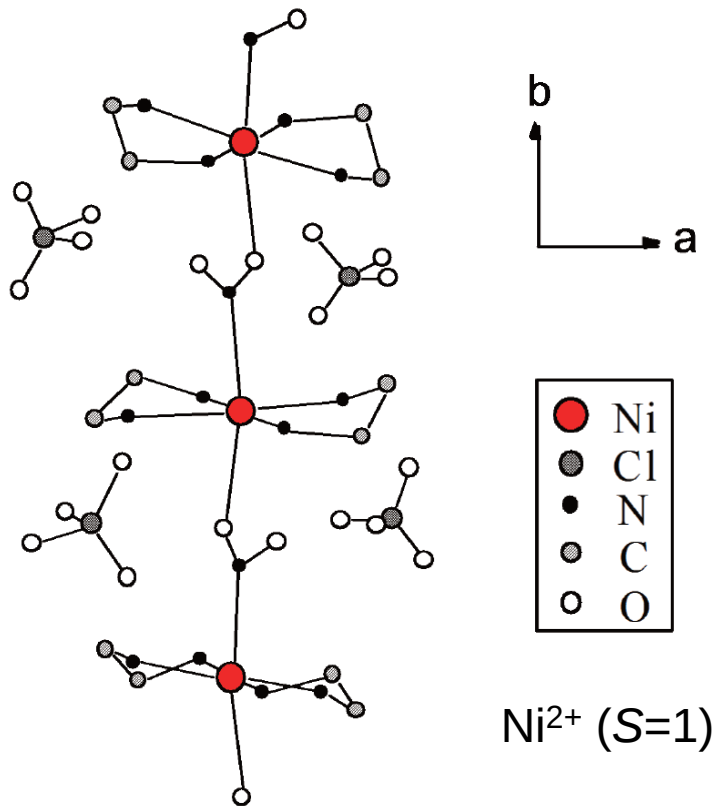
S=1の一次元ハイゼンベルグ反強磁性体の研究

様々な数値計算やモデル化合物を用いた実験によって上記予想によるエネルギーギャップの存在や相関関数の振る舞いが検証された。

実験による検証

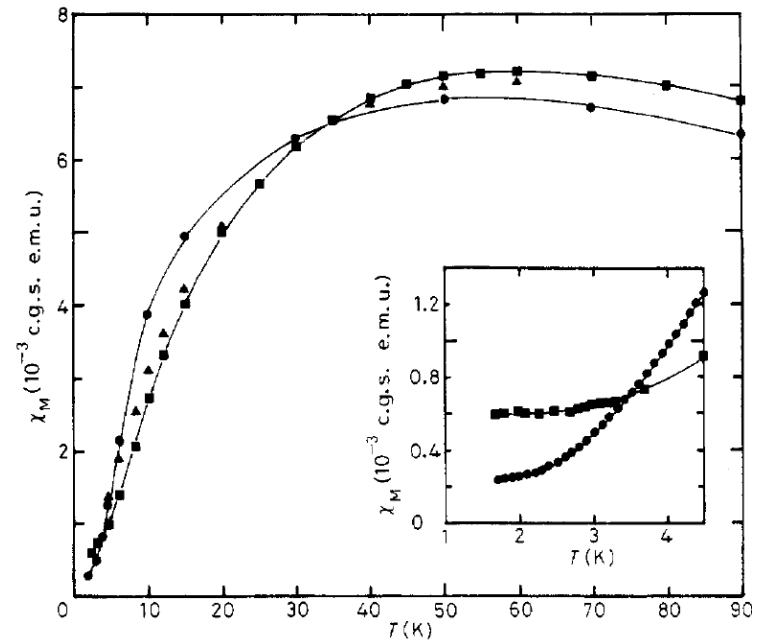
$$E_g \sim S(S+1)e^{-\pi\sqrt{S(S+1)}}$$

ハルデン物質NENPの 磁気測定結果

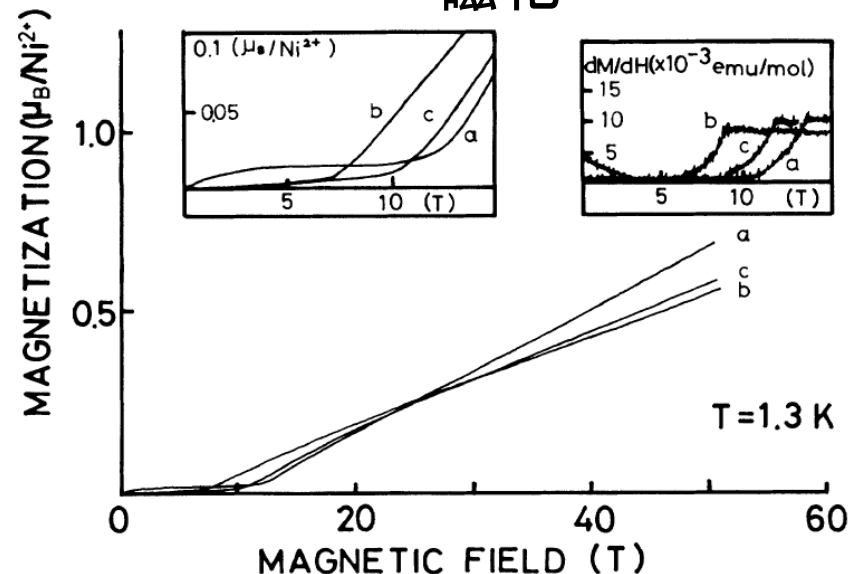


帯磁率が低温になるに従って零に向うことと磁化過程において全ての主軸方向で10 Tあたりまで磁化が出ないことは、基底状態が非磁性状態である事とエネルギーギャップを有する事を意味する。

帯磁率



磁化

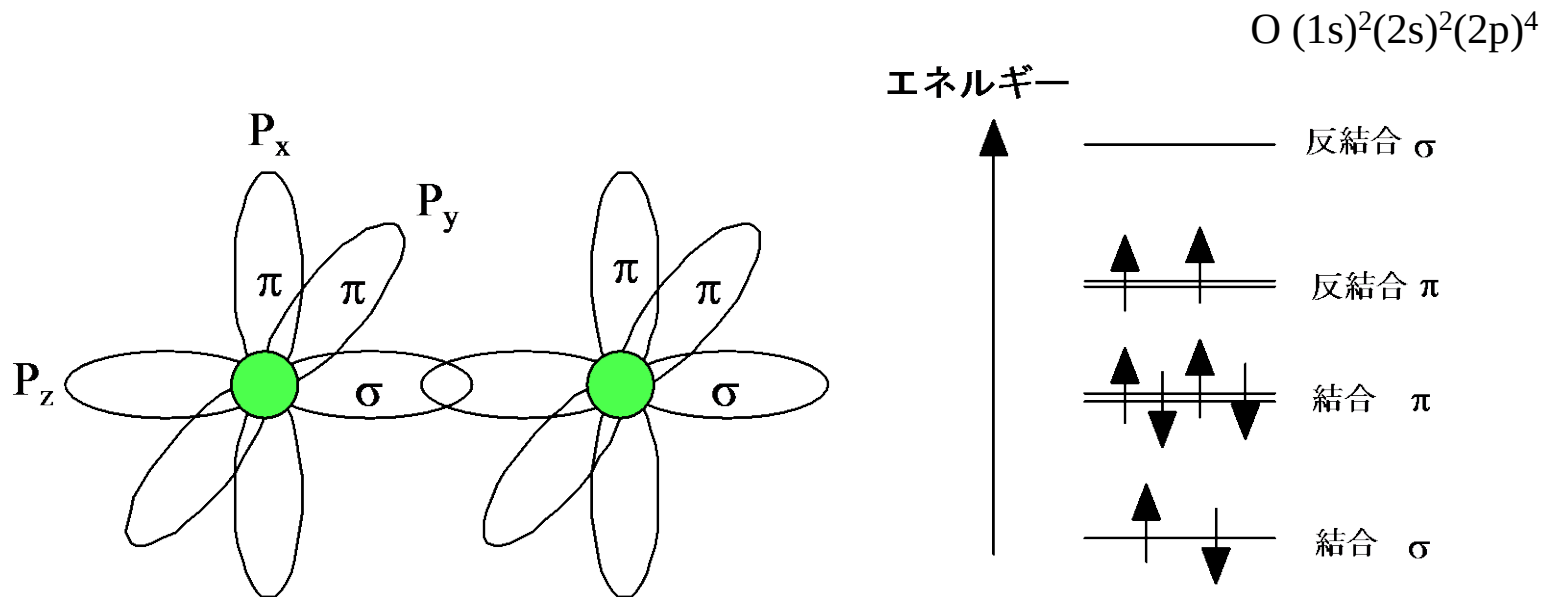


磁気モーメントを持つ酸素分子

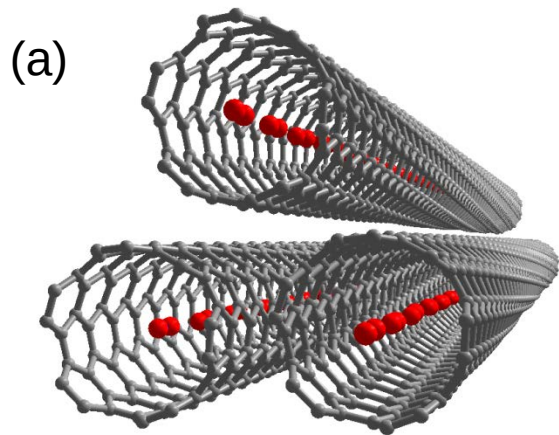
スピン量子数(1)を持つ唯一の等核二原子分子

酸素原子は内側から1s軌道に二つ、2s軌道に二つ、そして、2p軌道に四つの電子を入れている。

酸素分子の場合は全電子数が16で偶数になっているが、分子軌道の縮退のために全スピンは1になっている。



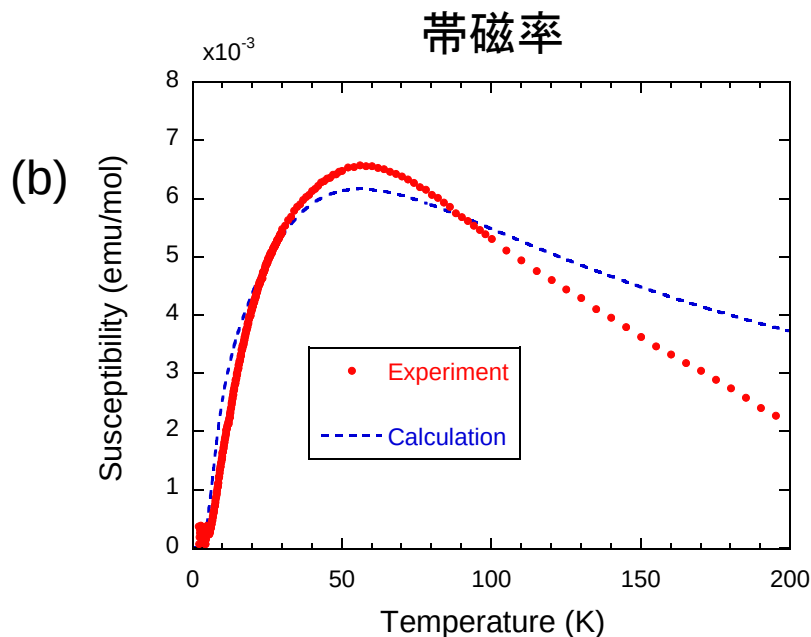
単層カーボンナノチューブ中の酸素分子による ハルデン状態



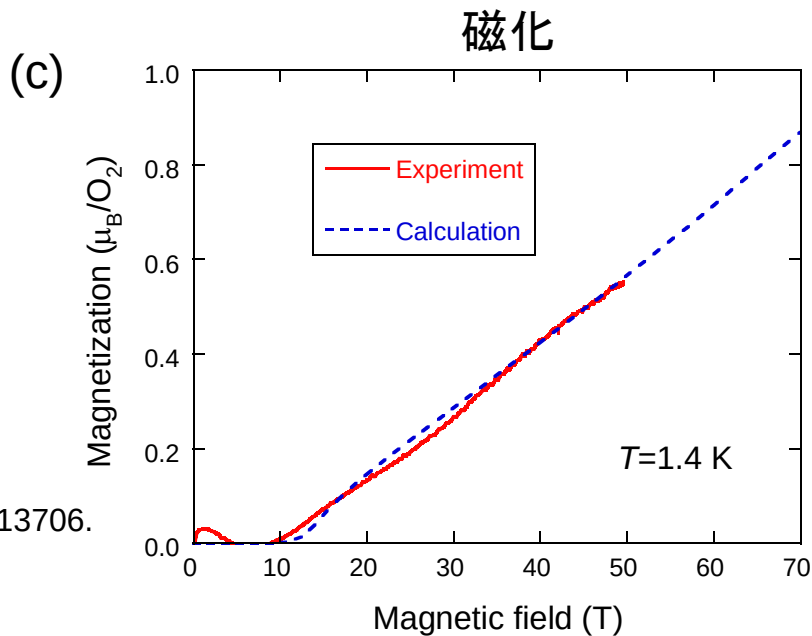
赤丸が酸素分子で単層カーボンチューブ中に
配列している様子を示した図

単層のカーボンナノチューブに
酸素分子(スピン量子数1)を導入した試料(a)の帯磁率(b)と強
磁場磁化(c)測定を行い、酸素
分子の鎖によるハルデン状態を
観測した。

M. Hagiwara et al., J. Phys. Soc. Jpn. 83 (2014) 113706.
“Papers of Editors’ Choice”



赤丸が実験結果で
実線と破線はそれぞ
れスピン量子数1の
一次元反強磁性体と
反強磁性ダイマーで
計算した帯磁率、挿
入図は最大値で規格
化して示したもの。

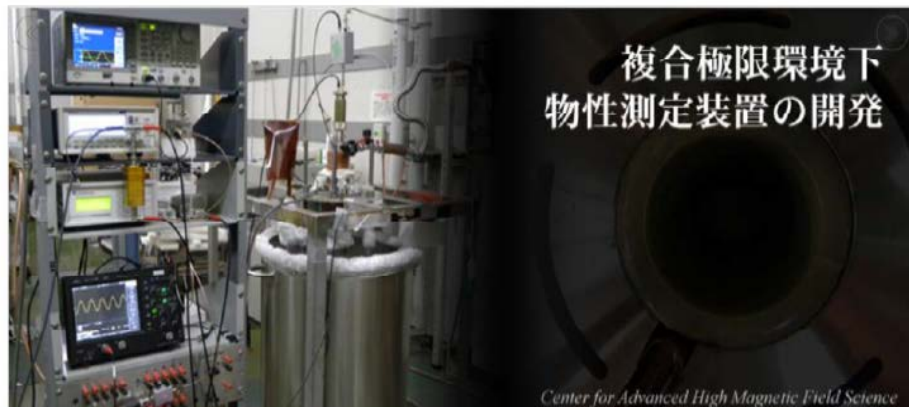


赤い実線が実験結果
で破線がスピン量子
数1の一次元反強磁
性体で計算した磁化
曲線。



大阪大学大学院理学研究科附属
先端強磁場科学研究センター
Center for Advanced High Magnetic Field Science

■ アクセス ■ サイトマップ ■ English



複合極限環境下 物性測定装置の開発

Center for Advanced High Magnetic Field Science

センターについて

研究分野

萩原研究室

Topics

2014/04/01 **イベント** 以下の日程で当センターの設立記念式典・記念講演会を開催いたします。

日時:平成26年5月20日(火)
場所:大阪大会館(豊中キャンパス)
[記念式典] 午後2時30分～午後3時
[記念講演会] 午後3時～午後5時

2014/03/31 **ニュース** 強磁場共同利用棟が竣工しました。

2014/03/31 **ニュース** 当センター設立に伴いホームページを開設しました。

Information

大阪大学大学院
理学研究科附属
先端強磁場科学研究センター
(萩原研究室)

〒560-0043
大阪府豊中市待兼山町1-1
Tel: 06-6850-6685
Fax: 06-6845-6612



大阪大学 大学院理学研究科

西日本ハルズ強磁場研究拠点
KOFUC ネットワーク
神戸大学・大阪大学・岡山大学



大阪大学大学院理学研究科附属
先端強磁場科学研究センター
Center for Advanced High Magnetic Field Science

■ アクセス ■ サイトマップ ■ English

萩原研究室

研究室トップページ

研究内容

測定装置

メンバー

研究業績

年間行事

リンク

アクセス

先端強磁場科学研究
センター・HOME

最近の研究トピックス

成果1

成果2

学生向け情報

大学院入試情報

メッセージ

西日本ハルズ強磁場研究拠点
KOFUC ネットワーク
神戸大学・大阪大学・岡山大学

大阪大学博士課程教育イノベーションプログラム
インタラクティブ教育推進
カデットプログラム

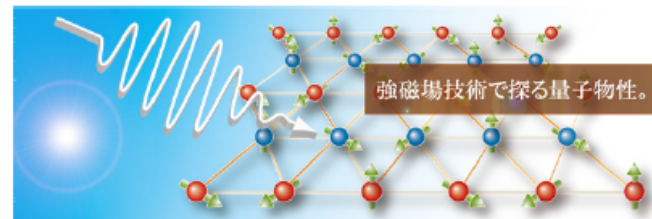
招聘教授 佐々木祥介先生の
One-point Physics

研究室限定

マシンタイム

萩原政幸教授と木村尚次郎
准教授(東北大学)の共著書

Chapter 5 "Chromium
Spinel Oxides in High
Magnetic Fields"



ごあいさつ

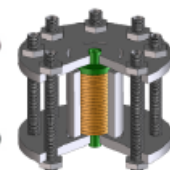
萩原研究室では世界でも数少ない60テスラを超える磁場発生が可能な世界最高水準の非破壊型パルスマグネットとマグネット電源を有しています。このパルスマグネットや最高16テスラの磁場発生が可能な超伝導マグネットを用いた様々な高精度物性測定装置の開発を行っています。国内外の多くの研究者との共同研究を通じて、物質科学の基礎研究、さらには機能性材料などの応用まで幅広い分野をカバーし、強磁場が誘起する新しい物理現象の発見と機構解明を目指しています。

強相関電子系の
強磁場物性研究

磁場誘起量子相および
相転移の研究

機能性材料の
強磁場物性研究

多重極環境での
物性測定装置開発と物性研究



最新情報 & 更新情報

2014/04/01 **Research** 研究室メンバーを更新しました。

2014/04/01 **Research** 理学研究科附属先端強磁場科学研究センター(萩原研究室)に所属名称が変わりました。

2014/03/25 **Research** 理学研究科博士前期課程2年の4名(大橋、奥谷、金澤、吉澤)が修士号(理学)を取得しました。おめでとうございます!!

2014/02/18 Yibo Han 博士(Wuhan National High Magnetic Field Center)が外国人客員研究員として来日しました。※3/19まで滞在します。

2014/02/14 研究業績のページを更新しました。

2013/11/20 M2の奥谷顕君が強磁場フォーラム・物性研短期研究会で優秀ポスター賞を受賞しました。おめでとうございます!!

>>> Link

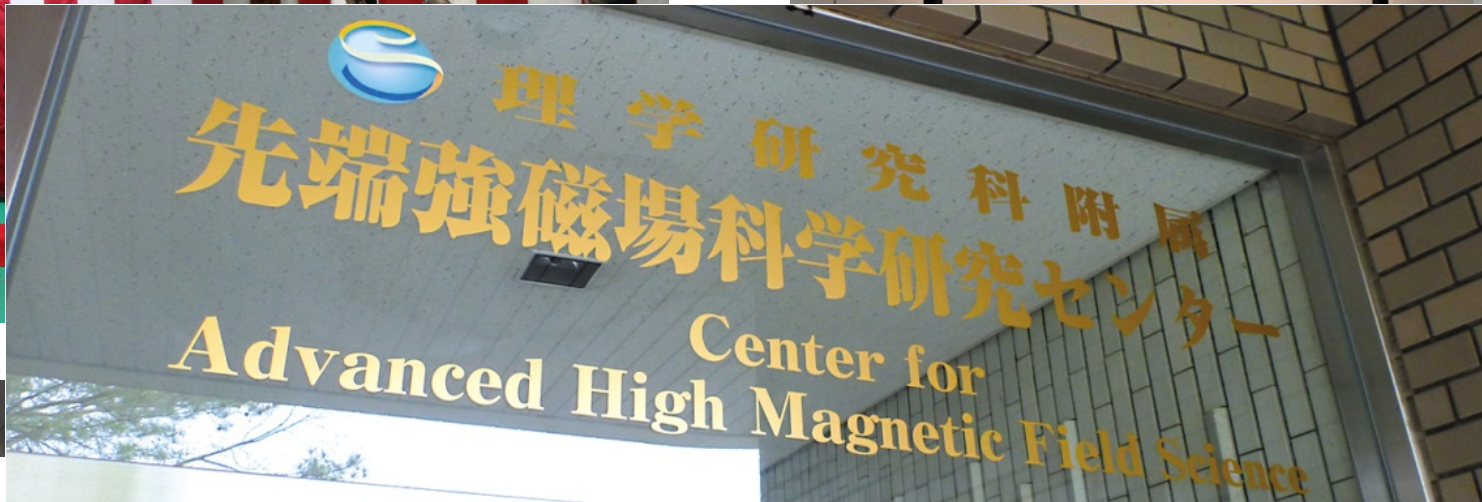
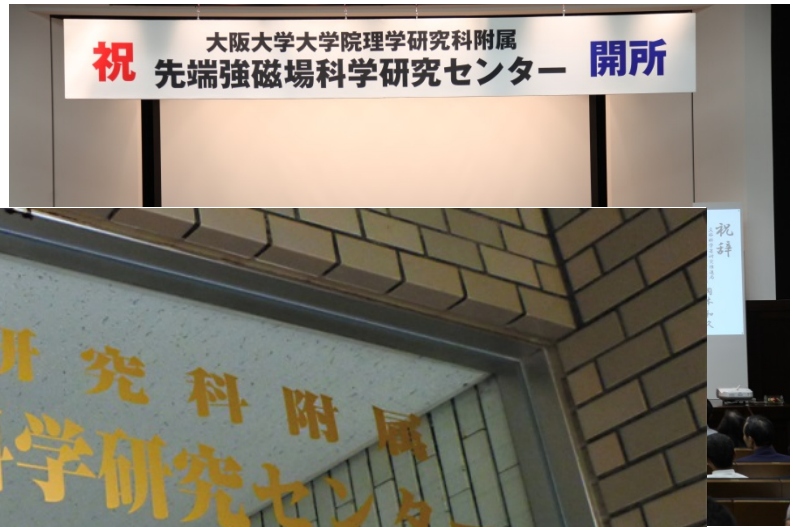
先端強磁場科学研究センター開所式

平成26年5月20日に本年度に発足した先端強磁場科学研究センターの開所式を挙行了しました。記念式典、講演会参加者約200名、祝賀会参加者約100名という盛大な物になりました。

除幕式の様子



記念式典の様子



ご静聴ありがとうございました

