

マグネティクスに魅せられて

物理情報工学科

佐藤 徹哉

経歴

幼稚舎から慶應に入学

慶應義塾大学工学部に進学

計測工学科 物性系研究室に所属

計測工学専攻で学位

計測工学科助手で教員生活を開始

学科改組で物理情報工学科へ移動

現在まで60年弱の間慶應から出ることなく今日を迎えた。

研究・教育分野：マグネティクス

当時の慶應も研究室（指導教員：坂田亮先生）もマグネティクスの研究は盛んではなかった。磁性に関する実験設備も貧弱なものであった。

学部から金属材料技術研究所（現在のNIMS）金属物理研究部の能勢宏室長（当時）に磁性の手ほどきを受ける。

博士課程で大学で磁性研究を始める。当時応用化学科（その後物理情報工学科）所属の安西修一郎先生に磁性の基礎を教わる。

大学教員になって以降、多くの方々に指導・影響を受けながらマグネティクスの研究・教育に従事し、マグネティクスに魅了されてきた。

・ 研究・教育の揺籃期、成長期、成熟期

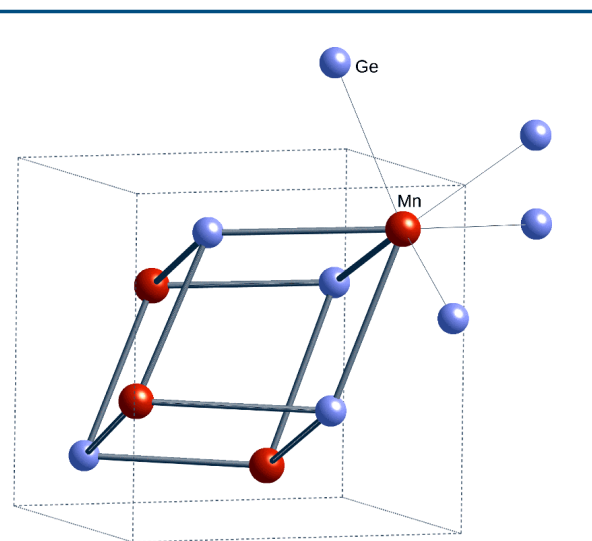
・ 揺籃期：**遍歴磁性体**への興味

博士論文の題目：「B20型CrGeの磁性に関する研究」

「スピンの揺らぎ」に起因する「**強磁性に近い常磁性金属**」の性質を持つ。

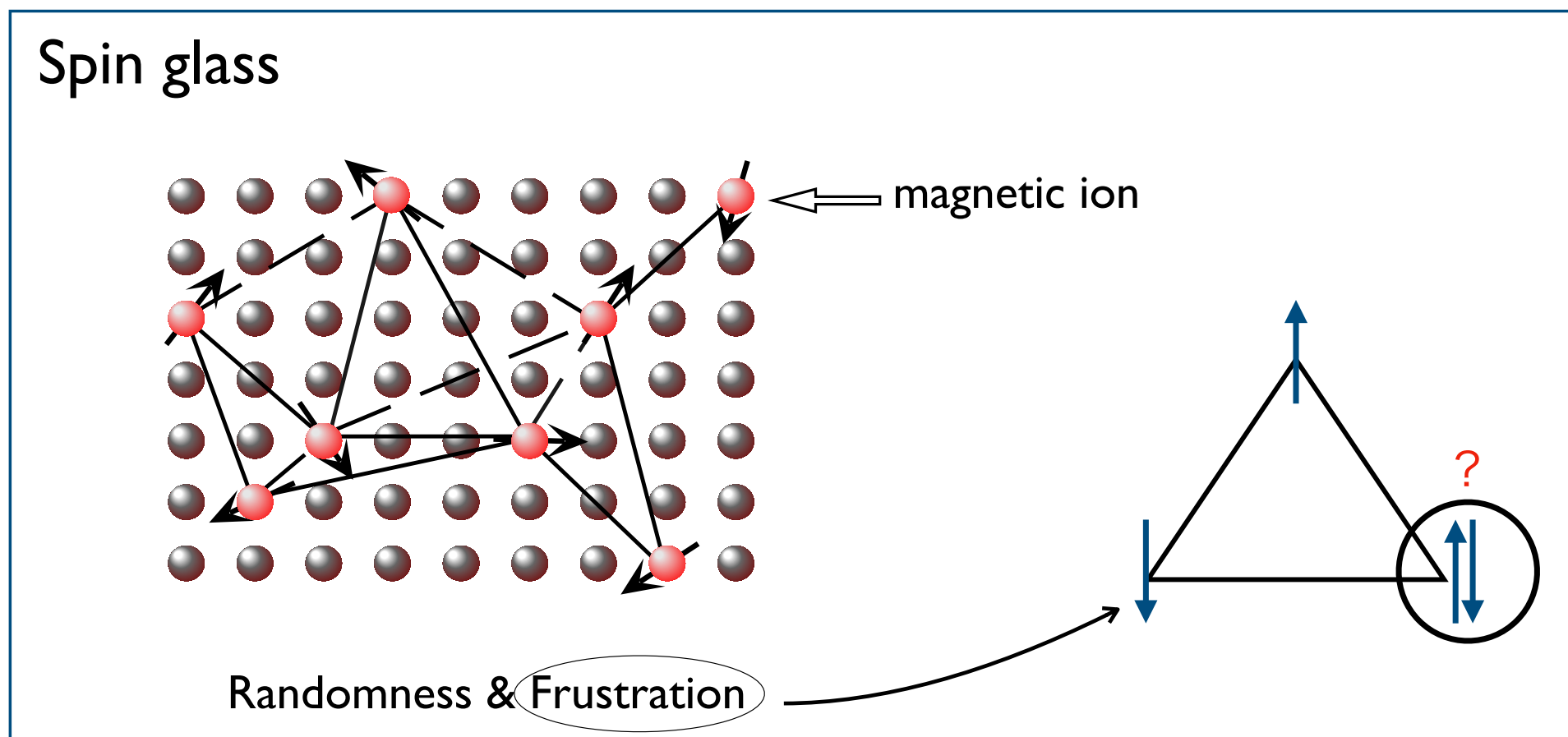
→ 全く注目されず。

B20型構造

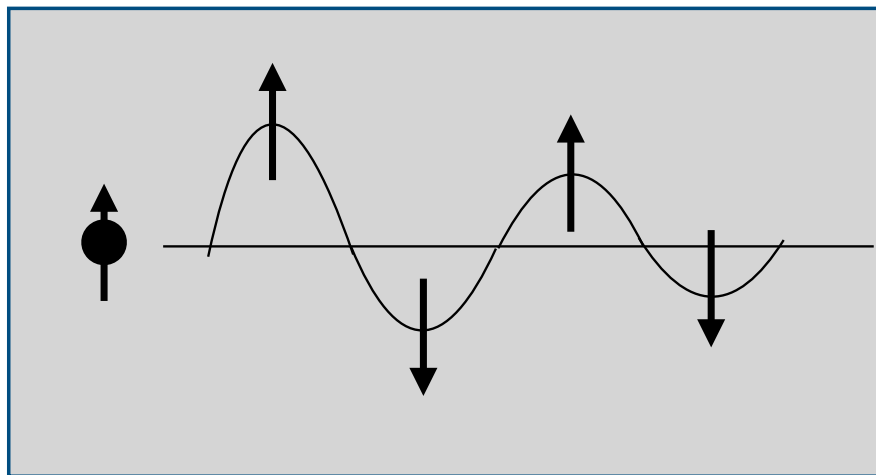


Crに他の元素を置換する安易な方策に走る。

CrにMnを置換した $\text{Cr}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Ge}$ の磁性研究でスピングラスという磁性に出会う。

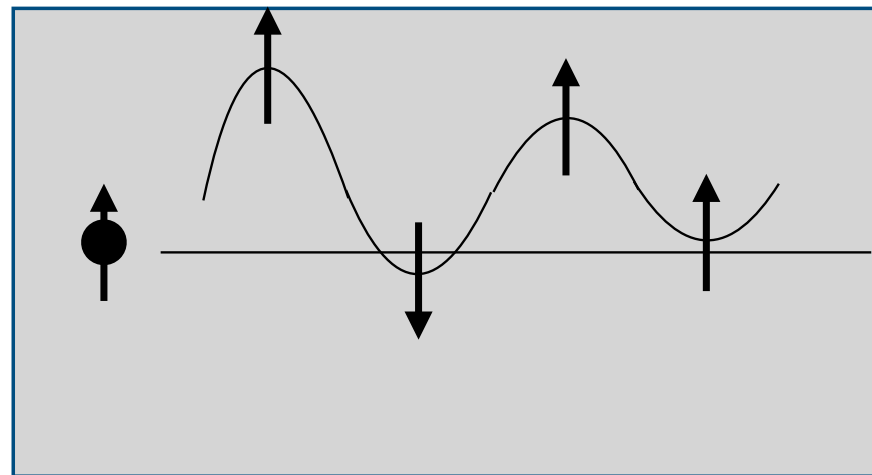


• $\text{Cr}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Ge}$ のスピングラス



通常の金属 (例Cu)

スピングラス



CrGe (強磁性に近い常磁性)

スピングラス+強磁性
(リエントラントスピングラス)

・ $\text{Cr}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Ge}$ のスピングラス研究の評価

学会で質問なし、完全に無視。（当時は通常のスピングラスの磁性が中心であった）

この時に重要な体験をした。

この学会の座長であった 当時東北大学の故石川義和先生（厳しいことで有名）が、聴衆に向かってこの研究の意義を説明してもらおうという体験をし、励ましの言葉までもらった。感動！



学んだこと：優れた研究者の言葉は、研究者の気持ちを奮い立たせるような影響を与える！！

研究・教育者としての目指す方向の原点となった。



・ B20型結晶の磁性

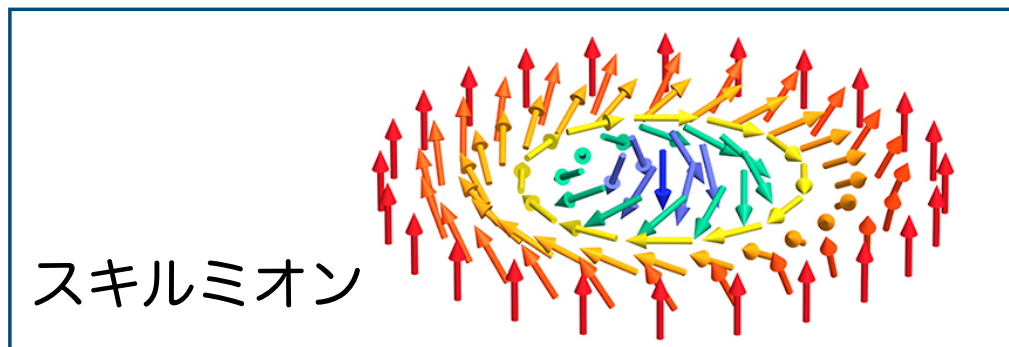
B20型結晶の磁性は博士論文の時代には見向きもされなかった。

この結晶には反転対称中心がない。

→ ジャロシンスキー・守谷相互作用

→ 回転するようなスピン配置 (例 ヘリカル磁性)

2009年頃 B20型結晶に、**スキルミオン**と呼ばれる磁性が見つかり、応用の可能性から爆発的に盛んな研究分野となる。



・研究の顛末

1994年 $\text{Cr}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Ge}$ がヘリカル磁性の性質とスピングラスの性質を持つことを国際会議で報告。

磁気スキルミオンの理論研究者としてその後有名になるBogdanov氏（いい人だった）と出会い、数年間交流を続ける。

$\text{Cr}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Ge}$ への興味が薄れ、スキルミオンであることを解明できずに終わる。



学んだこと：世の流れと乖離していても。継続的に追求すれば大きな発見になるかもしれない。しかし、止めてしまえば自己満足で終わってしまう。

自分への戒めとして、研究は途中で諦めてはいけない。



・成長期：スピングラスへの愛着

連想記憶など興味深い記憶を示すスピングラスに興味に移る。

スウェーデン ウプサラ大学 オングストローム研究所に留学 Nordblad博士と共同研究

夏場にはこの辺に羊がいます。

オングストローム研究所



- ・スピングラス研究の方向性

スピングラス研究には2つの立場がある。

1 平均場描像

2 ドロップレット描像

当時は平均場描像が主流。しかし、留学先はドロップレット描像の中心的研究機関。

ドロップレット描像を基盤とした研究に専念する。



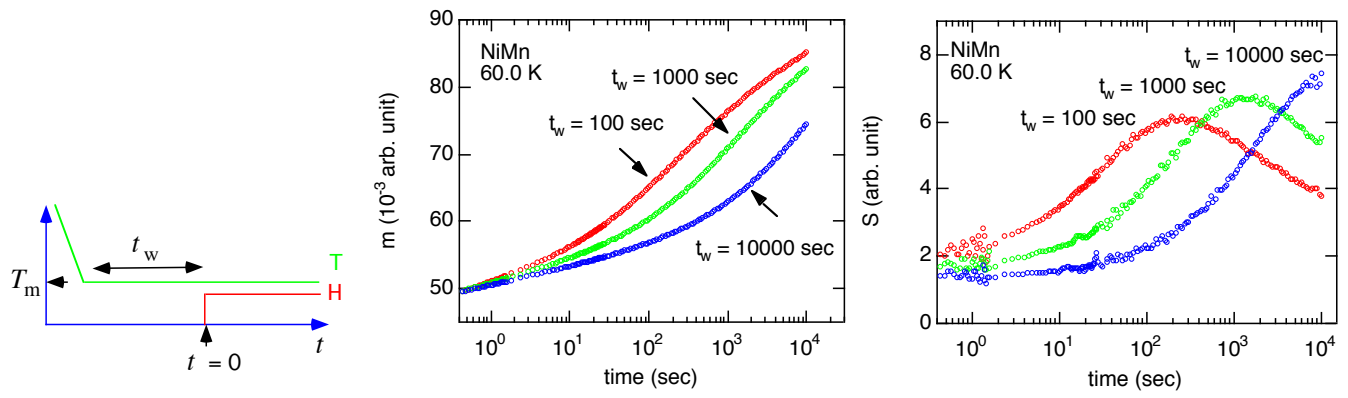
窓から羊を見ながら研究するうちに感じたこと：

ゆったりと余裕を持って研究することの意義を感じた。

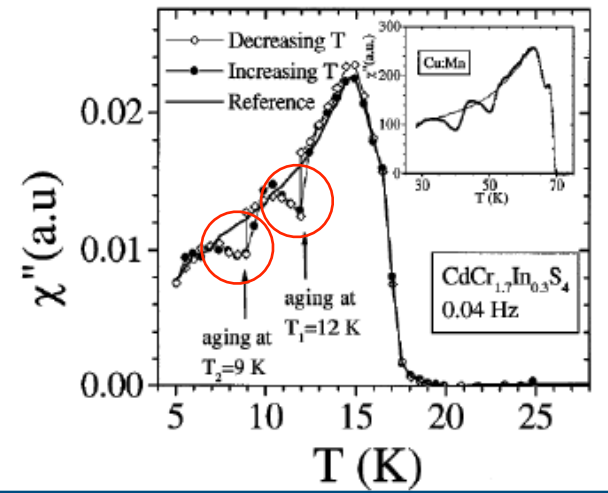
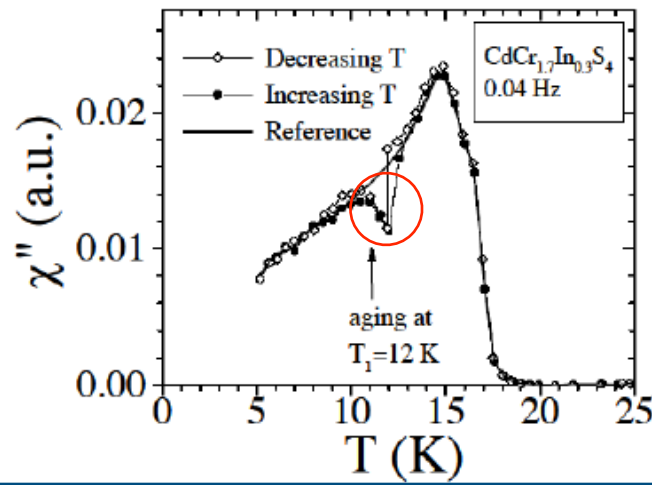


・スピングラスの特異な記憶

・Aging phenomena

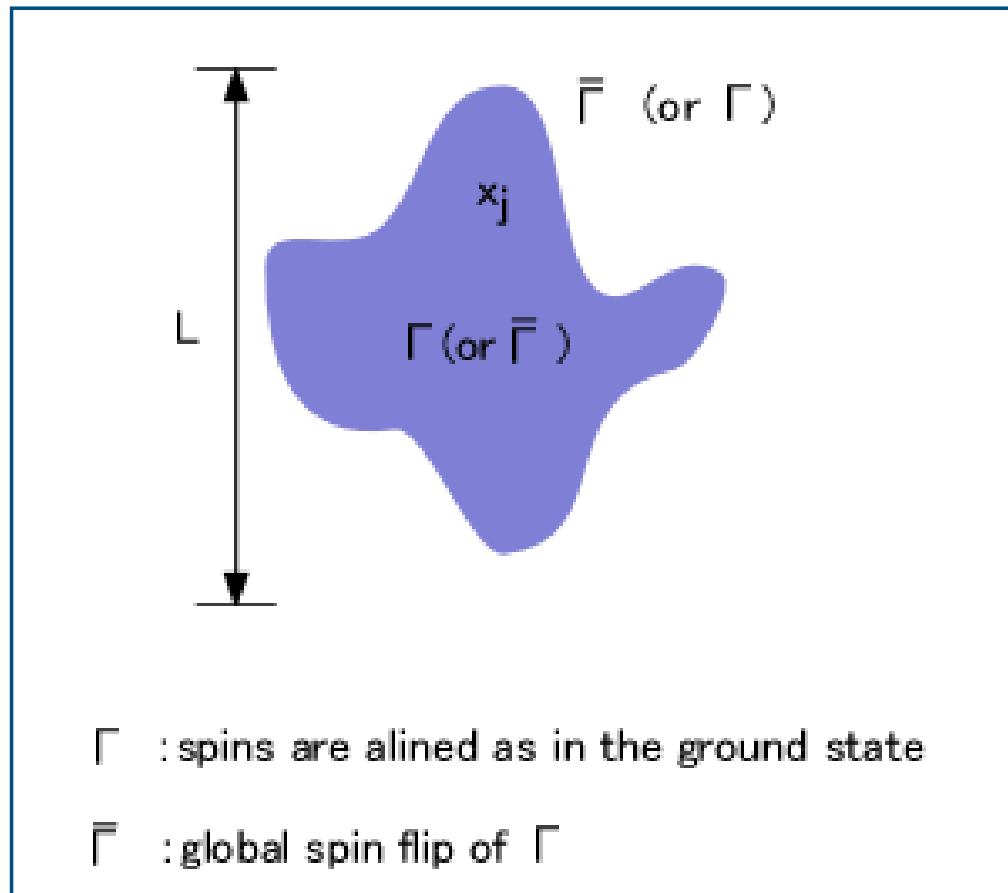


・Double memory effects

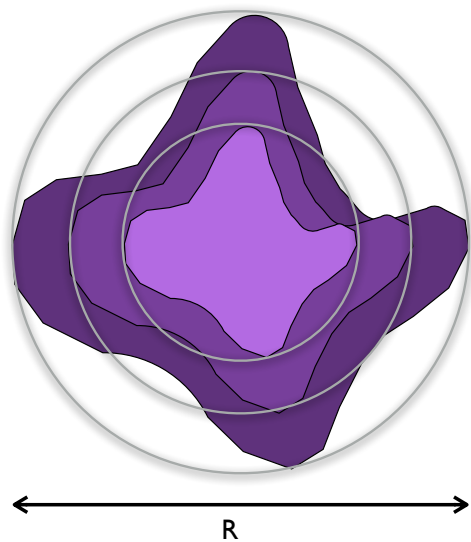


ドロップレット理論

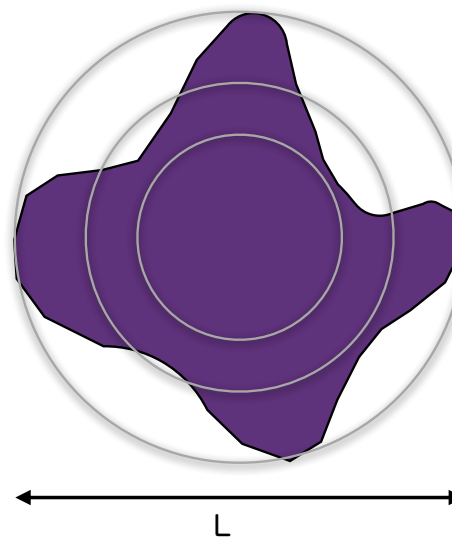
ドロップレット描像では、スピングラスの磁氣的挙動はドロップレットと呼ばれるスピン集合の反転に対応するドロップレット励起で支配されると考える。



- スピングラスドメイン
サイズ R の成長

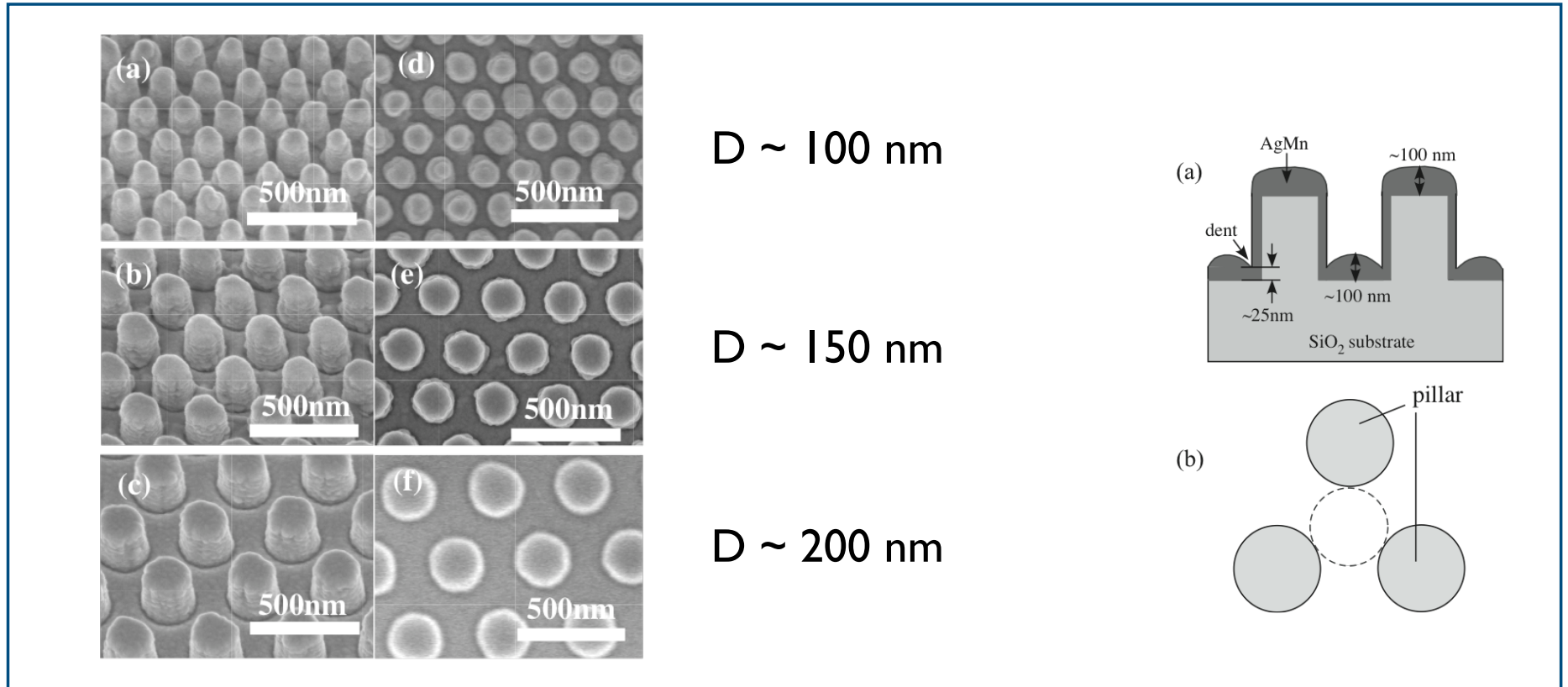


- 観測領域サイズ L
の成長



$R \sim L$ で準平衡状態から非平衡状態で遷移すると考えられる。これがエイジング現象を説明する。

微細加工でナノスケールスピングラスを作成



スピングラスドメインサイズがピラーサイズと同じになるとドメインの成長が変化せず。→ スピングラスドメインの直接観察 → 理論家の興味

主流の研究と異なる立場の研究ながら理論家に関心を持たれる。



学んだこと：主流の研究の中で溺れているより少しはみ出して見ることも必要



しかし、この研究が世の中の何の役に立つのですか？の学生の質問

どう答えよう？？ 研究断念

道半ばでスプリングラス研究からほぼ足を洗ってしまった。

しかし、近年スピングラスの理論研究が「量子計算機」の発展につながり、再度脚光を浴びている。挫折が早すぎた。。。

スピングラス研究を最後まで追求することができず、またまた自己満足の世界に終わる。



再度の教訓：研究はやめてしまえば、自己満足で終わる。



・成熟期：磁性を変えること。。。。

学生時代に学んだこと：

磁性体の磁性はかなり強固なもので外的影響で容易に変化しない。

その時に考えたこと：

磁石にくっつかないものが、なんかの拍子に磁石にくっつくようになるかもしれない。

しかし、どうすれば？

室温で安定な強磁性元素はFe, Co, Niの3つだけである。

2003年以前の強磁性体			
Fe	Co	Ni	Cu
Ru	Rh	Pd	Ag
Os	Ir	Pt	Au

素朴な疑問：4番目の強磁性金属を作れないのか。

金属強磁性が発現する条件

① スピンが平行に揃うと得する交換エネルギー

∨

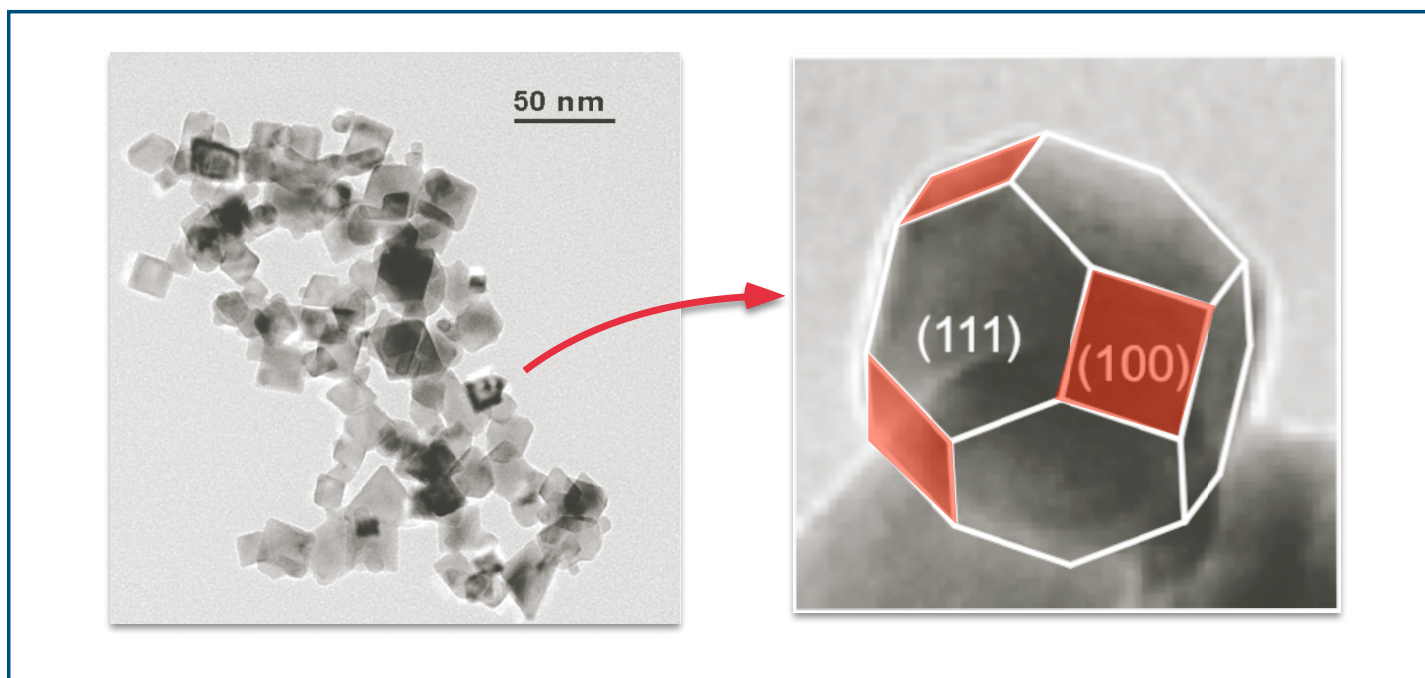
② スピンが平行に揃うと損する運動エネルギー

②を小さくする方針：電子を動きにくくする。

①が大きな金属の狭い空間に電子を閉じ込めれば強磁性発生条件を満たす。

①が大きな金属としてパラジウムが知られていたため、Pdナノ粒子を作製した。

2003年にPdナノ粒子において、(100)面に強磁性が発現することを見出した。**4番目の強磁性金属!**



この研究のために数千個のナノ粒子について面の現れ方を1つ1つ調べた。
(博士学生の努力の結晶)

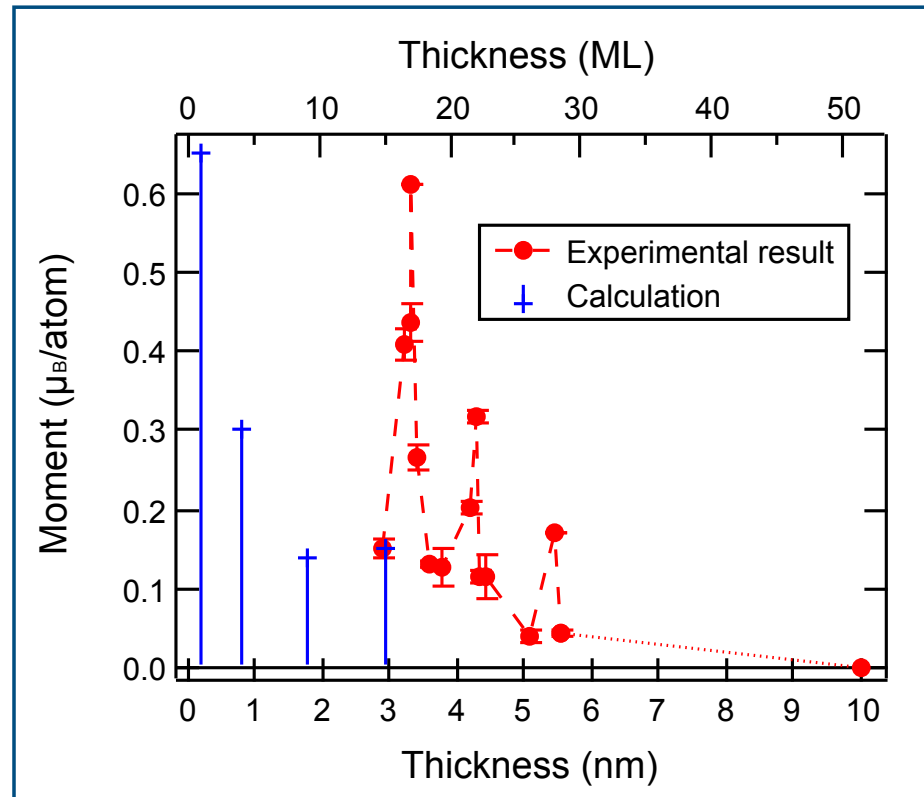
2003年以降に色々な金属に強磁性が発現することが見つかった。

2003年以降の強磁性体			
Fe	Co	Ni	Cu
Ru	Rh	Pd	Ag
Os	Ir	Pt	Au

非磁性の金属も状況によっては強磁性を示すことが少なくない。

次の興味：(100)面のみから成るPdはどうなるのか？

(100)Pd超薄膜の研究



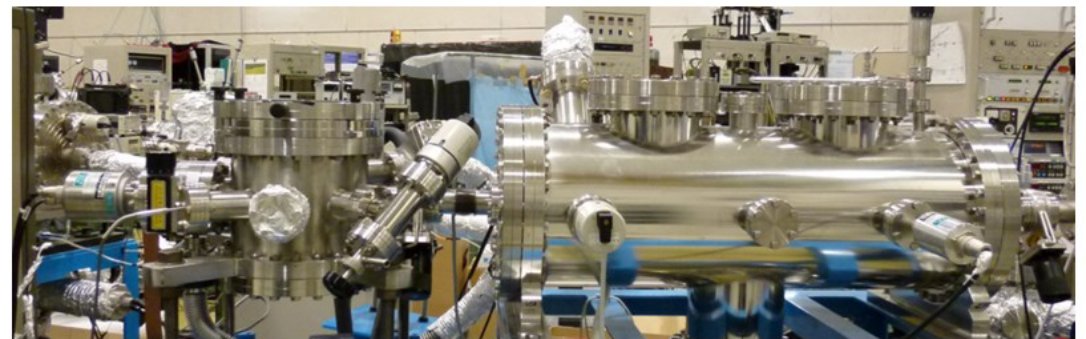
膜厚に対して振動的に室温以上でも安定な強磁性が発現する。

多くの外部の研究者、研究室の学生諸君の協力により
放射光実験 (@SPring-8, HiSOR)
電子構造計算

Pdの強磁性が本質であること、強磁性発現の起源が明確になる。



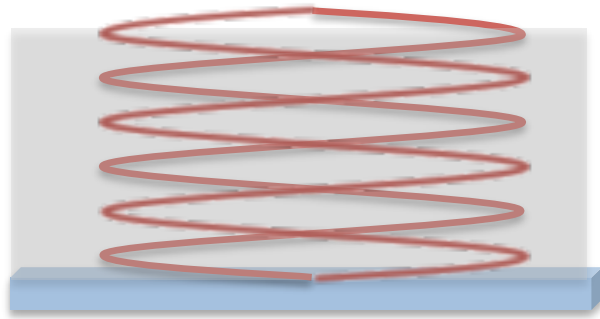
SPring-8



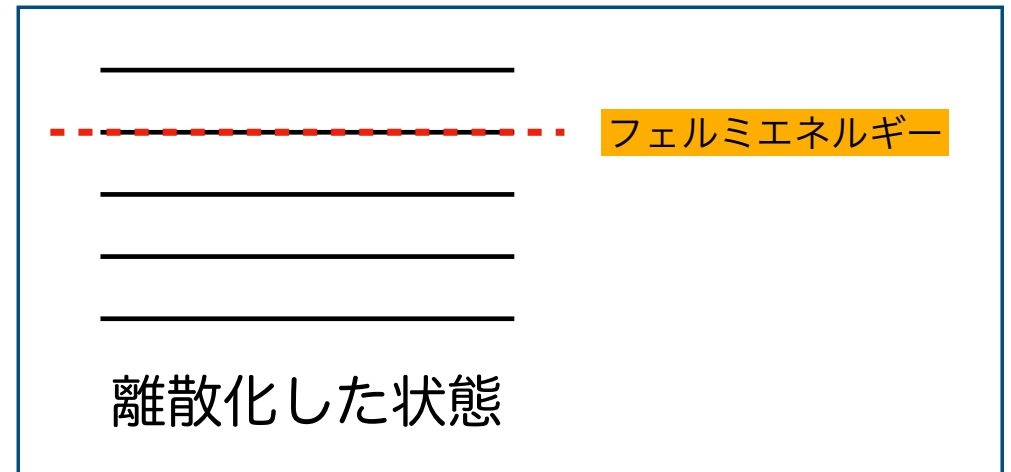
HiSOR

Pdの強磁性発現の起源：

面方向の電子状態の離散化（量子井戸の形成） → 基礎的な量子力学で理解可能



量子井戸



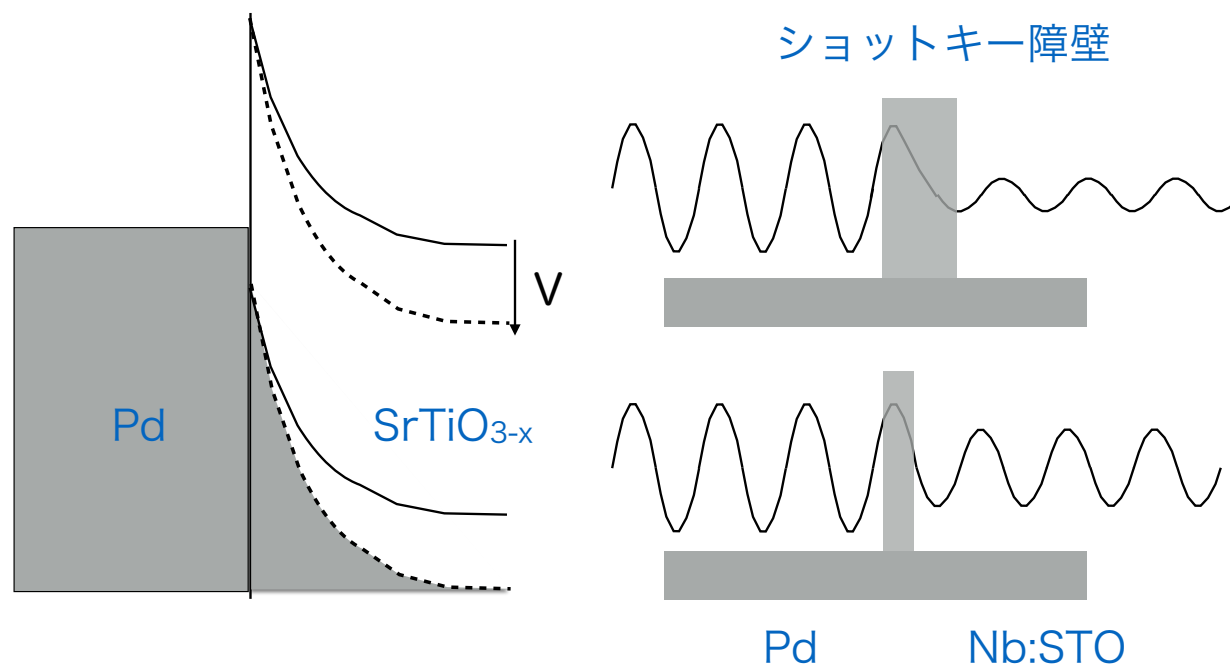
強磁性が発生する条件を満足する

電子状態のエネルギーを変えると磁性が変わることになる。

外的に磁性を操作できるかも。。。

この研究が世の中の何の役に立つのですか？に対する一つの解答になるか：

電場でPdの磁性を変えてみる。

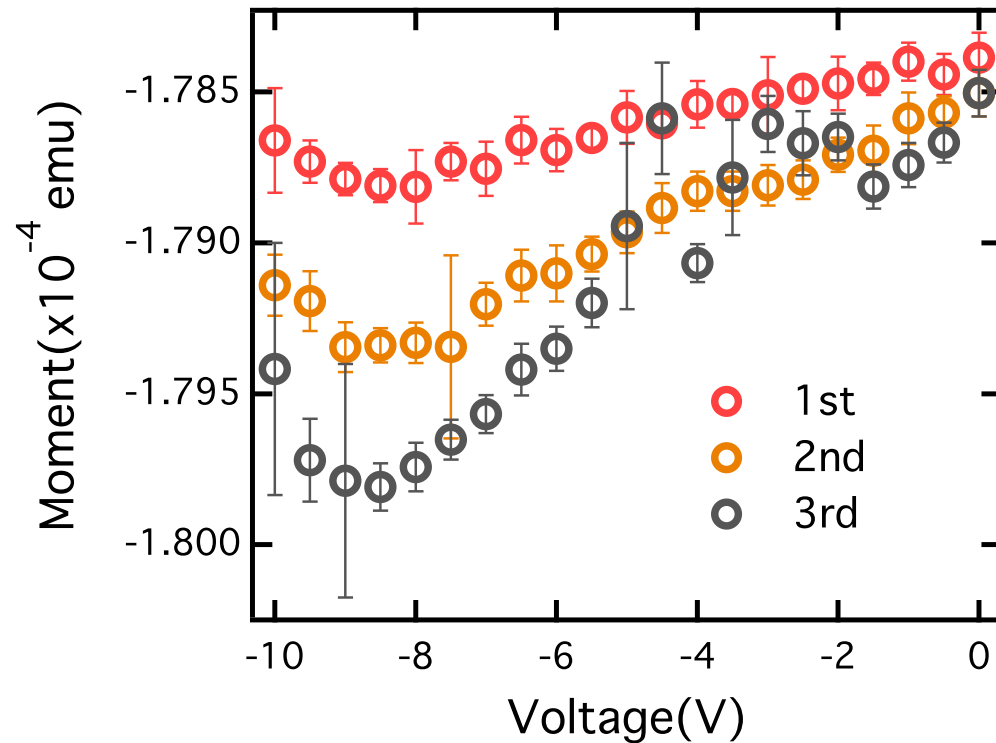
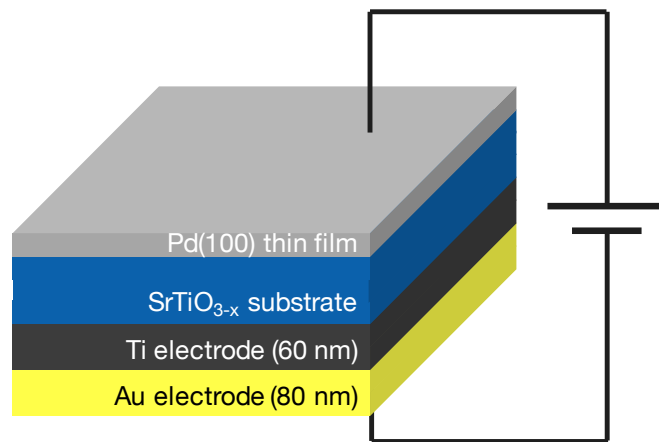


電場でショットキー障壁を変化させると磁性が変わる。

酸素欠陥を含む SrTiO_{3-x} を基板に用いるとPdとショットキー接合が形成。

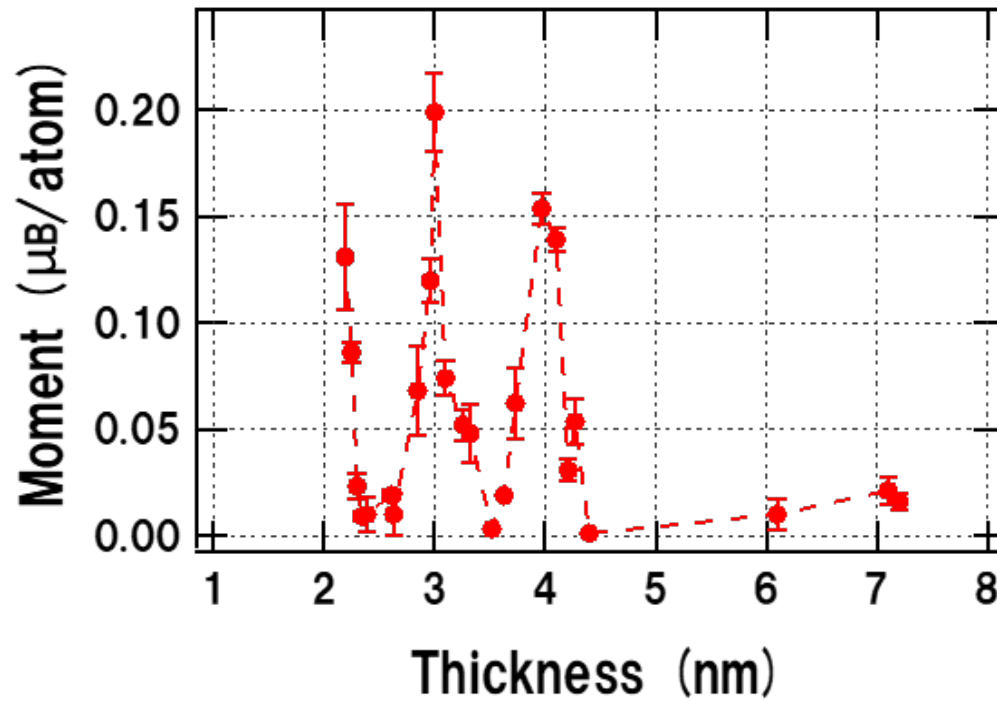
電圧を印加して磁気測定を行うと右図のように磁化が変化。その特徴が再現。

→ 磁化の電場操作（応用につながる可能性？）



量子井戸に起因する磁性変調はPdだけに特有なのか？

同様の挙動はPtにも見られる。→ Ptは磁気応用分野に重要



量子井戸構造を利用した磁性操作法の確立。

小学生なみの素朴な疑問（磁石にくっつかないものが、なんかの拍子に磁石にくっつくようになるかもしれない）が40年近くかかって実現し、現在注目されている研究（外的に磁性を制御する研究）に一石を投じることができたのかも知れない。



素朴な疑問をそのままにせず、断念することなく追求の手を休めなければ
深みのある研究になるかも知れない。



応用に役立つ研究ができない “**使えない研究者**” がマグネティクスの研究を通して色々と学んでいるうちに40年近い時間が経ってしまった。

この間、興味を持った題材を自分のペースで研究することができた。このような時間を過ごしたことで研究を通して学んだことが多くあった。これが、教育者・研究者として必要なことであった。

研究を通してこのような経験ができたことは、理工学部の良い環境と、一緒に研究を進めてくれた研究室の学生諸君のお陰であり、皆様に深く感謝します。

