

目次

目次	1
1. 要旨	2
2. 研究領域の概要	3
3. 研究領域の設定目的	3
4. 研究領域内の研究の年度毎の進展状況及びこれまでの主な研究成果	4
5. 研究領域の研究組織と各研究項目の連携状況	5
6. 研究費の使用状況	7
7. 研究成果公表の状況	8
8. 総括班評価者による評価の状況	14
9. 研究領域の研究を推進する上での問題点と対応策	15
10. 今後の研究領域の推進方策	16

1. 要旨

強磁場はスピンと電子の軌道運動に直結する超精密制御の可能な外場であり、あらゆる物性研究に必要不可欠な先導的研究基盤である。本領域では、超精密計測を軸として、未踏の 100 テスラ領域におけるスピン科学を推進することを目標にしている。

この目標を達成するために、領域前半の活動においては、その基盤となる斬新な強磁場研究手法の開発、具体的には、50 テスラ強磁場放射光 X 線分光、50 テスラ強磁場中性子散乱、80 テスラ級固体 NMR および ESR、強磁場走査プローブ顕微鏡、各種分光などの世界トップの先端計測実現を目標とした開発と研究に取り組んできた。

超強磁場X線実験においては、X線回折 40 T(テスラ)、X線吸収分光 50 T の世界記録を樹立し、スピンヤンテラー転移による構造相転移、マルチフェロイック物質 CuFeO_2 の磁場誘起多段階格子変形、希土類金属間化合物の価数転移における強磁場下の価数変化の直接決定に成功し、世界的にも最先端を走っている。さらに超強磁場X線 MCD を実現し、従来不可能であった”MCDによる反強磁性体の磁気状態決定”を可能にした。さらに、原子炉中性子を用いたパルス強磁場回折装置を世界で初めて実現し、世界最高磁場記録を更新した。

NMR においては、42 T において世界初のスピンエコーNMR を実現した。また強磁場 NMR により Bi2201 系高温超伝導体の絶対零度極限の正常状態を解明した。ESR に関しては、70 T 強磁場 ESR を実現し、磁壁ソリトンによる磁場誘起無秩序化転移を実証した。さらに異方性のために測定が困難であった整数スピン金属タンパク質 Mn-ミオグロビンにおいて、高周波 ESR の測定に初めて成功し、結晶場定数の定量的決定に成功した。

100 T 領域の強磁場発生に関しては、2段階パルス磁場により 85 T を実現し、90 T 以上への改良を行っている。精密な 70 T ロングパルスコイルを用いた精密・等温抵抗測定の実現により、近藤半導体 YbB_{12} の金属化に成功し、基底状態が近藤格子金属状態であることを解明した。

以上のように、領域の前半の活動では、超強磁場領域における先端計測手法に関して大きな進展があり、領域の設定した技術的目標を順調にクリアしつつある。さらに、空間分解手法特に STM 等において、完全非磁性・超小型・高剛性 STM ヘッドを独自開発し、18 T の強磁場中で原子像の観測に成功し、ハイブリッド磁石下の STM 実現の基礎を確立しつつある。

これらに加えて、超強磁場磁気光学測定による単層カーボンナノチューブの高次サブバンド励起子におけるアハロノフボーム効果を初めて見だし、ZnSe/BeTe 半導体超構造において、荷電励起子による超強磁場サイクロトロン共鳴および磁気光学スペクトルの振動現象の観測に成功するなどの成果をあげた。さらに、スピンヤンテラー系スピネル酸化物の磁気光学実験により、磁気相互作用と 100 テスラ以上での超強磁場中相図を決定した。

これらの到達点を踏まえて、特定領域の後半では、計測手法をさらに洗練するとともに、実際の物質研究へと展開を図る。例えば、マルチフェロイック物質を含むスピン-格子結合系の強磁場相制御、超伝導体の FFLO 状態の STM など空間分解手法による研究、スピנקロスオーバーなどソフトなスピン-格子結合系に関する強磁場スピン科学に関するX線、ESRなどを軸にした研究展開、金属タンパク質研究の ESR とマイクロ磁化計測による展開、パルス磁場 NMR などを駆使した高温超伝導体の正常状態の解明など、領域内での融合的研究の一層の展開を推進し、100 テスラ領域における強磁場スピン科学のフロンティアを切り開く。

2. 研究領域の概要

強磁場は、スピンと電子の軌道運動に直結する超精密制御の可能な外場であり、あらゆる物性研究に必要不可欠な先導的研究基盤である。本領域では、超精密計測を軸として、未踏の 100 テスラ領域におけるスピン科学を推進する。研究の柱として、(1)スピンによる電子状態の制御、(2)強磁場により誘起される様々な相の起源の解明と制御原理の確立、(3)電子状態のプロープとしてのスピンの利用、の3つを掲げる。具体的には、100 テスラ領域の強磁場下における超精密なマイクロ物性計測、50 テスラ強磁場放射光 X 線分光による電子状態の解明、50 テスラ強磁場中性子散乱による強磁場下磁気相関決定、80 テスラ級固体 NMR による機能材料および生体物質の機能研究、強磁場走査プローブ顕微鏡によるナノ空間スケールのスピン・電荷相関の解明、などの世界トップの先端計測を実現し、これにより物理、化学、生物にかかわる分野横断的なスピン科学の飛躍的發展を達成する。

3. 研究領域の設定目的

強磁場は、磁性、超伝導、半導体はもとよりあらゆる物性研究において今日必要不可欠なものとなっている。当領域では、アメリカ、ヨーロッパにおける近年の強磁場研究の強化に対抗し、これに打ち勝つ日本の強磁場研究の戦略として、未踏の強磁場領域において最先端の強磁場下計測技術を実現することを軸にして、学際的な強磁場スピン科学のフロンティアを開くことを目指している。

強磁場スピン科学の第1の柱は、スピンによる物質の電子状態の制御である。スピントロニクス of 基盤は電子構造のスピン依存性であり、その解明には、強磁場でスピン偏極を制御したとき電子構造がどのように変わるかを直接調べる必要がある。本領域では、強磁場放射光 X 線分光の実現をブレークスルーとして、この分野の新展開を実現する。100 テスラ領域では磁場のエネルギーは数 10 meV にも及び、物性を支配するフェルミ面近傍の状態を劇的に変える効果をもつ。本領域では、強磁場下の電子構造の直接観測により、スピンと伝導電子の相関を解明し、物質科学研究の飛躍を達成する。

強磁場スピン科学の第2の柱は、強磁場により誘起される様々な相の起源を解明し、その制御原理を確立することにある。スピン密度波、軌道秩序、磁化の量子化など、強磁場により誘起されるエキゾチックな相の機構を、中性子散乱、X線散乱、走査プローブ顕微鏡、顕微分光など、超強磁場下のマイクロ計測の実現により解明し、スピンによる物質の相制御原理を確立する。

強磁場スピン科学の第3の柱は、電子状態のプロープとしてのスピン利用である。例えば、金属タンパク質の機能解明のためには、化学活性を担い素早く変化する電子を超高周波化した NMR や ESR などの共鳴型スピンプローブで捉える必要がある。NMR は現在 20 テスラ、1 GHz が限界であるが、パルス磁場では 80 テスラの NMR が可能になる。当領域ではスピンプローブの高磁場、高周波化により、化学や生体物質におけるスピン科学の格段の進展を達成する。

さらに、強磁場の特長として、強度や時間構造を超精密に制御可能なことは重要であり、時間変化する強磁場下でのフェムト秒時間分解分光などにより、スピンの時間的コヒーレンスによる量子効果を明らかにし、半導体分野、ナノ分子磁石、情報科学分野などに関わる学際的なスピン科学の推進を図る。上記のように、当領域では、強磁場下で未踏の先端計測環境の実現を基軸とし、学際的な強磁場スピン科学研究の推進を目的としている。

4. 研究領域内の研究の年度毎の進展状況及びこれまでの主な研究成果

当領域では以下のように先端計測を軸にした戦略が順調に進み、強磁場スピン科学分野において世界的にもユニークな研究の展開が行われている。

項目A01: 超強磁場X線分光・中性子散乱による局在遍歴電子相関係の研究

平成17年: X線回折40 T(テスラ)、X線吸収分光50 Tの世界記録を樹立し、スピンヤンテラー転移による格子変形、価数転移による価数変化を強磁場下で直接決定することに成功した。

平成18年: マルチフェロイック物質 CuFeO_2 の格子変形を40 TまでX線で決定、強誘電発現機構解明に貢献し、また理論班との連携で、磁場による電気分極制御原理を明らかにした。原子炉中性子を用いたパルス強磁場回折装置を世界で初めて実現し、世界最高磁場記録を更新した。

平成19年: 超強磁場X線 MCD を実現し、従来不可能であった MCD による反強磁性体の磁気状態決定を可能にした。この手法は、今後スピントロニクス物質への応用が期待される。強磁場X線分光に関する理論的モデルを構築し、価数転移における量子混成を解明した。

項目A02: 超強磁場下における機能性材料および生体物質のNMR/ESR法による研究

平成17年: ハイブリッド磁石 NMR により、磁性体のボーズ凝縮に関するランダム効果やスピン-格子結合効果を明らかにした。層状 Mn 酸化物における巨大磁気抵抗効果の発現機構を強磁場 NMR により解明した。

平成18年: 42 Tにおいて世界初のスピンエコーNMRを実現し、実用的パルス磁場 NMR 研究の扉を開いた。異方性のために測定が困難な、整数スピン Mn を含む金属タンパク質ミオグロビンにおいて、高周波 ESR の測定に初めて成功し、結晶場定数の定量的決定に成功した。Bi2201系高温超伝導体の絶対零度極限の正常状態および、La系高温超伝導体のインコヒーレント局所構造を強磁場 NMR で解明した。

平成19年: 70 T 強磁場 ESR を実現した。またこれを用いて、秩序化した異方性的1次元磁性体が、磁壁ソリトン励起により強磁場下で無秩序化するという長年の理論的予想を検証した。

項目A03 実空間手法を用いた強磁場ナノ領域電子相の解明

平成17年: STM-NMRと理論の連携で、超伝導体の FFLO 状態と常磁性効果の微視的理論を構築した。磁気不安定性を持つ強相関電子系 $\text{Sr}_3\text{Ru}_2\text{O}_7$ のメタマグ転移に伴う局所状態密度変化を捉えることに成功した。

平成18年: 独自開発の完全非磁性・超小型・高剛性STMヘッドで超低ドリフトを実現し、オキシクロライド系高温超伝導体の準粒子干渉を観測し、波数空間における電子状態の磁場依存性を初めて明らかにした。強磁場量子ホール状態の不均一電流のイメージング法を独自開発し、ブレークダウン機構を明らかにした。

平成19年: 完全非磁性除震機構の開発により、18 Tの強磁場中で原子像の観測に成功し、ハイブリッド磁石下のSTM実現の基礎を確立した。

項目A04 非破壊100テスラ領域の精密物性研究

平成17年: 領域の基盤となる40 T X線回折(A01班)、70 T ESR および60 T NMR(A02班)用パルス磁石を開発した。パイロクロア超伝導体の上部臨界磁場をマイクロ磁化測定により初めて決定した。

平成18年: 2段階パルス磁場により85 Tを実現した。70 Tでの精密・等温抵抗測定の実現により、近藤半導体 YbB_{12} の金属化に成功し、基底状態が近藤格子金属状態であることを解明した。

平成19年: 圧力誘起超伝導など異常物性を示すf電子115系において、超強磁場磁化測定により磁気状態、結晶場状態を系統的に明らかにした。100テスラ級のパルス磁石のための開発と改良を行った。

項目A05 強磁場中伝導電子スピニコヒーレンスの光学的研究

平成17年: 単層カーボンナノチューブの超強磁場磁気分光で、高次サブバンド励起子のアハロノフボーム効果を初めて見いだした。希土類ドープ GaAs において、磁気光学スペクトルの新たな磁場振動を見出した。

平成18年: ZnSe/BeTe 超構造の荷電励起子のサイクロトロン共鳴に成功した。スピンヤンテラー物質の磁気光学測定により、超強磁場中相図を決定した。量子ドット-2次元電子複合系において、電子スピンフリップ散乱による量子ホール効果異常を初めて観測した。磁場誘起超伝導体において FFLO 状態の存在を示した。

平成19年: 強磁場分光による解析と物質開発の連携により、ZnCrTe系における室温強磁性発現機構を解明した。強磁場テラヘルツ分光装置を開発した。

5. 研究領域の研究組織と各研究項目の連携状況

(1)当領域の研究組織は以下の通りである。(研究代表者を太字で示す)

総括班:100 テスラ領域の強磁場スピン科学の総括

野尻浩之(東北大学)、木戸義勇(物質・材料研究機構)、小林典男(東北大学)、金道浩一(東京大学)、鄭国慶(岡山大学)、高増正(物質・材料研究機構)

項目 A01: 超強磁場X線分光・中性子散乱による局在遍歴電子相関係の研究

計画班:**野尻浩之**(東北大学)、稲見俊哉(原子力機構)、松田康弘(東北大学)、加倉井和久(原子力機構)、松田雅昌(原子力機構)、大山研司(東北大学)、廣田和馬(東京大学)、鳴海康雄(東京大学)

公募班

スピン-格子強結合系の強磁場制御とX線分光の理論 **石原純夫**(東北大学)

高温超伝導体の強磁場下の電子状態とスピンドYNAMICS **遠山貴巳**(京都大学)

X線分光による超強磁場下での極限電子磁気状態の同定と未知電子状態の探索 **原田勲**(岡山大学)

有機磁性体における磁場誘起量子相転移現象 **細越裕子**(大阪府立大学)

項目 A02: 超強磁場下における機能性材料および生体物質のNMR/ESR法による研究

計画班:**鄭国慶**(岡山大学)、萩原政幸(大阪大学)、後藤貴行(上智大学)、太田仁(神戸大学)、熊谷健一(北海道大学)

公募班

強磁場・多周波数EPRによる整数スピン系金属タンパク質研究の新たな展開 **堀洋**(大阪大学)

軌道整列酸化物結晶における超強磁場下での量子相制御 **桑原英樹**(上智大学)

項目 A03: 実空間手法を用いた強磁場ナノ領域電子相の解明

計画班:**小林典男**(東北大学)、為ヶ井強(東京大学)、花栗哲郎(理化学研究所)、音賢一(千葉大学)、町田一成(岡山大学)、西寄照和(東北大学)

公募班

高品質銅酸化物超伝導単結晶の育成と電荷・スピンスライプ相の強磁場コントロール **小池洋二**(東北大学)

項目 A04: 非破壊 100 テスラ領域の精密物性研究

計画班:**金道浩一**(東京大学)、長田俊人(東京大学)、大道英二(神戸大学)、網塚浩(北海道大学)、海老原孝雄(静岡大学)、北澤英明(物質・材料研究機構)、杉山清寛(大阪大学)、徳永将史(東京大学)

公募班

密度行列くりこみ群を用いた強磁場スピン物性の研究 **奥西巧一**(新潟大学)

近藤半導体イッテルビウム十二ホウ化物の強磁場誘起磁気秩序と金属非金属転移 **伊賀文俊**(広島大学)

項目 A05: 強磁場中伝導電子スピニコヒーレンスの光学的研究

計画班:**高増正**(物質・材料研究機構)、今中康貴(物質・材料研究機構)、宇治進也(物質・材料研究機構)、木戸義勇(物質・材料研究機構)、嶽山正二郎(東京大学)、小嶋映二(東京大学)、黒田眞司(筑波大学)、横井裕之(熊本大学)

公募班 なし

(2)各研究項目の連携状況

当領域では各研究項目は実験グループを中核として手法によって分けられており、これに公募を含めた物質開発や理論グループが連携して研究を行う体制となっている。班間の連携研究は極めて活発に行われており、実際に、論文や発表の約2割が異なる研究項目間の連携研究によって行われたものである。主なものを以下にあげる。

(1) 強磁場X線分光実験に関する連携(A01, A04, A05)

近藤半導体 YbB_{12} の磁場誘起金属-非金属転移、ウラン化合物 URu_2Si_2 の隠れた秩序相、Ce 金属間化合物の強磁場メタマグ転移などの研究においては、高精度の磁化や輸送特性などのマクロ物性、X線吸収分光やMCDなどによる電子状態のミクロな実験、さらに理論研究が連携することで、これまで未解明であった強磁場中の電子状態に関して明瞭な理解が可能になった。また、難易度の高い超強磁場実験の成功に欠かせない試料の最適化に関して、試料作成担当者との緊密な連携が極めて有効に機能している。

(2) スピン格子強結合系の強磁場物性(A01, A02, A04, A05)

CdCr_2O_4 系におけるスピンヤンテラー効果の理解は、フラストレーションの強いスピネル化合物の理解に重要な貢献が期待され、また CuFeO_2 などに代表されるマルチフェロイック物質の物性研究に強磁場は非常に有用である。これらに関して、格子系を見るX線回折、スピンを見る中性子散乱、磁気励起を見るESR、マクロ磁化測定さらには磁気光学効果による 100 T 以上における磁気相図の決定などの一連の研究が連携して行われ、スピン格子結合や軌道自由度の役割に関する総合的理解が可能になった。

(3) 超伝導体の FFLO 状態研究(A02, A03, A05)

超伝導体の上部臨界磁場付近で現れると期待される不均一な超伝導秩序状態 FFLO 状態は、最近の研究の焦点であり、超伝導の対称性や対破壊機構の理解の上でも重要な課題である。当領域における NMR、STM などの実験と理論の連携により FFLO 状態の微視的理解が進みつつある。さらに、 π -d 系におけるフェルミ面研究などから、磁場誘起超伝導相における FFLO 状態も見いだされ、異なる物質系による比較研究が可能になってきた。今後強磁場 STM などにより FFLO 状態に関する決定的知見が得られることが期待される。

(4) パルス強磁場 NMR 技術開発 (A02, A04)

パルス強磁場 NMR の実用化においては、これまででない 10^{-4} 程度の精度での磁場の絶対値制御が必用となる。このために、マグネットの最適化、電源制御の高精度化、NMR プローブの開発、ESR による Insitu 磁場校正などが、緊密な連携の元に推進されることで、世界で初めてのパルス磁場スピンエコーNMR が実現した。

(5) タンパク質の磁性と機能解明(A02, A04)

金属タンパク質の理解は生体機能の解明の基盤であるが、このような超希薄常磁性体の物性研究は技術的困難のためにこれまであまり進んで来なかった。今回、高感度の高周波ESRを用いることで大きな異方性をもつ金属タンパク質 Mn ミオグロビンの磁気パラメータを決定することに成功した。さらに、A04 班の強磁場マイクロ計測技術との連携でESRとトルク測定を組み合わせた手法の開発が進んでおり、超強磁場下を利用した金属タンパク質研究が進展している。

これらの連携研究を推進するために、毎年テーマを設定して班間連携のミニワークショップを行っており、今年度は「物理的手法による生体研究」、「超強磁場X線実験の強相関係への応用」をテーマにして開催し、領域内の連携研究の推進を誘導している。

6.研究費の使用状況(設備の有効活用、研究費の効果的使用を含む)

平成17-19年度の計画班の配分額は以下の通りになっている。(単位:万円)

	17年度	18年度	19年度
総括班	400	620	750
A01	1,930	2,830	2,830
A02	1,580	2,510	2,420
A03	2,260	2,660	1,990
A04	3,680	2,850	2,200
A05	1,800	2,420	2,250

総括班経費では、17-18年度における合計の使用内訳は、旅費60%、事務支援員雇用費30%であるが、成果の登録やホームページの公開などを支援員が集中して行うことで、研究者の事務負担軽減と費用節減を図っている。19年度は国際シンポジウムを予定しているのも通常より130万円余分になっている。各計画班の予算使用状況に関しては、物品費が90%程度を占め、領域の目標である先端計測の実現という目的にそったものになっている。旅費は5%程度、残りが謝金や投稿料などとなっている。特定領域としては旅費の割合が少ないが、これは領域主催の研究会において、出来る限り総括班から旅費を出せるように努力している事による。また公募班の班員は、実験等において計画班の装置を使用する物質開発や理論グループが主であり、限られた予算で活発な研究を行えるように工夫されている。研究費の使用に際しては、既存の設備等を活用するとともに、予算の有効活用を行っている。以下に幾つか例をあげる。

- (1) 総括班のホームページ、ニュースレター、報告書などの作成に関して、電子出版を活用するとともに、最大限内製化することで、必要経費の抜本的節減を図り、節減した費用を利用してミニワークショップなどを行うことで、予算の有効な活用と機動的な研究推進を行っている。
- (2) 技術開発に関しては、例えば強磁場用特殊STMユニットの開発に関して、個々の分担者が別々に開発するのではなく、連携し分担することで開発投資が2重にならないようにするなど、班長の調整の元での緊密な連携研究を行っている。
- (3) 領域内で共通に必用となるパルス磁場コイル用の高強度線材に関して、領域内で購入希望者を募って、まとめて発注することで、価格を低減させるとともに、通常では購入できないカスタムスペックの購入を実現している。
- (4) 実験上必用だが、まれにしか使用しない高価な物品に関しては、他班の分担者も含めて情報交換を緊密にし、互いに融通しあって使用するなど、予算の有効活用に努めている。
- (5) 中性子実験やX線実験などにおいては、既存の物品や古い物品を最大限活用することで、本領域の課題である強磁場実験の部分に投資を集中した予算運用を行っている。
- (6) 予算の計画的執行・早期執行を心がけることで、無駄のない予算利用を行っている。

7. 研究成果公表の状況(主な論文等一覧、ホームページ、公開発表等)

1. 領域の研究成果に関しては以下のように公開に努めている。

(1)論文および学会発表等

研究成果の公表に関しては、一括してデータベースに登録し、随時、成果リストとしてホームページで公開している。8月はじめ時点での成果公開の状況は以下の表の通りであり、2年目以降は、班員1名当たり2本程度の論文を発表している。国際会議、国内会議の発表も活発に行い、重要な国際会議の招待講演等で成果の発信も行っている。昨年度は国内で強磁場スピン科学関連の国際会議が複数開かれた事もあり、プロシーディング59報と併せて150件を超える論文が公表された。主な論文リストは次ページ以降に示す。

	論文	査読付プロシーディング	紀要・解説 図書他	国際会議 招待講演	国際会議 発表(一般)	国内会 議発表	新聞報 道等	受賞
2005	36	0	4	18	18	63	0	1
2006	86	59	2	19	125	140	3	2
2007	44	4	3	9	9	60	5	3

(2)ホームページによる成果公開

強磁場スピン科学のホームページ(<http://spin100.imr.tohoku.ac.jp/>)を立ち上げて成果発信を行っている。ホームページでは、論文等のリスト、各年度の研究報告書、ニュースレター等を掲載して自由にダウンロード出来るようにするとともに、研究者の所属や研究課題を公表している。

(3)強磁場スピン通信、SPINLetterの発行

研究成果をまとめた各年度の研究報告書および領域のシンポジウムのアブストラクト集として強磁場スピン通信をこれまで5号発行して、関係者に配布している。強磁場スピン通信は、主な成果が集約されたパワーポイントファイルを載せることで、成果のポイントが一目でわかるように工夫され好評である。また領域のお知らせやトピックスを発信するSPINLetterを18号発行してメーリングリストで配布するなど宣伝と公開に努めている。

(4)強磁場スピン科学シンポジウム開催

領域の研究交流と公開発表の場として、強磁場スピン科学シンポジウムをこれまで3回、班員中心のスタートアップ会議を1回開催して成果の発信に努めている。第4回は中間まとめの国際シンポジウムとして11月に海外からの招待者を含めて開催予定である。いずれの会議も公開形式で行い、関連分野の研究者の参加を推進して、領域の活動に興味をもっていただけるよう工夫している。

(5)強磁場若手道場の開催

領域の若手研究者等の研究および技術交流の場として、強磁場若手道場をこれまで2回開催し、実習を含むプログラムにより研究の活性化、技術交流と継承を行っている。

2. 主な論文リスト(年代順)は以下のとおりである。

項目 A01 を中心とするもの

*Y. H. Matsuda, T. Inami, K. Ohwada, Y. Murata, H. Nojiri, Y. Murakami, H. Ohta, W. Zhang and K. Yoshimura
High Field X-ray Diffraction Study on a Magnetic-Field-Induced Valence Transition in YbInCu₄
J. Phys. Soc. Jpn., Vol.75 (2006) 024710, 1-5

*N. Terada, Y. Narumi, K. Katsumata, T. Yamamoto, U. Staub, K. Kindo, M. Hagiwara, Y. Tanaka, A. Kikkawa, H. Toyokawa, T. Fukui, R. Kanmuri, T. Ishikawa, H. Kitamura
Field-Induced Lattice Staircase in a Frustrated Antiferromagnet CuFeO₂
Phys. Rev. B, Vol.74 (2006) 180404, 1-4

*Y. Narumi, K. Kindo, K. Katsumata, M. Kawauchi, Ch. Broennimann, U. Staub, H. Toyokawa, Y. Tanaka, A. Kikkawa, T. Yamamoto, M. Hagiwara, T. Ishikawa and H. Kitamura
Journal of Synchrotron Radiation, Vol.13 (2006) 271-274
X-ray Diffractometer Combining Synchrotron Radiation and Pulsed Magnetic Field up to 40 T

*J. Schnack, M. Bruger, M. Luban, P. Kogerler, E. Morosan, R. Fuchs, R. Modler, H. Nojiri, R. C. Rai, J. Cao, J. L. Musfeldt, X. Wei
Observation of Field-dependent Magnetic Parameters in the Magnetic Molecule{Ni₄Mo₁₂}
Phys. Rev. B, Vol.73 (2006) 094401, 1-9

*A. Zheludev, V. O. Garlea, S. Nishihara, Y. Hosokoshi, A. Cousson, A. Gukasov, K. Inoue
Spin-Density Distribution in the Partially Magnetized Organic Quantum Magnet F₂PNNNO
Phys. Rev. B., Vol.75 (2007) 104427, 1-4

*M. Matsuda, H. Ueda, A. Kikkawa, Y. Tanaka, K. Katsumata, Y. Narumi, T. Inami, Y. Ueda, S.-H.Lee
Nature physics, Vol.3 (2007) 397-400
Spin Lattice Instability to a Fractional Magnetization State in the Spinel HgCr₂O₄

*Y. H. Matsuda, T. Inami, K. Ohwada, Y. Murata, H. Nojiri, Y. Murakami, H. Ohta, W. Zhang and K. Yoshimura
J. Phys. Soc. Jpn., Vol.76 (2007) 034702, 1-6
High-Magnetic-Field X-ray Absorption Spectroscopy of Field-Induced Valence Transition in YbInCu₄

*K. Ohoyama, N. Katoh, H. Nojiri, Y. H. Matsuda, H. Hiraka, K. Ikeda, H. M. Shimizu
Neutron Diffraction under 30 T Pulsed Magnetic Fields
J. Magn. Magn. Mat., Vol.310 (2007) 974-976

*N. Terada, Y. Narumi, Y. Sawai, K. Katsumata, U. Staub, Y. Tanaka, A. Kikkawa, T. Fukui, K. Kindo, T. Yamamoto, R. Kammuri, M. Hagiwara, H. Toyokawa, T. Ishikawa, and H. Kitamura,
Correlation Between Crystal Structure and Magnetism in the Frustrated Antiferromagnet CuFeO₂ under High Magnetic Fields
Phys. Rev. B, Vol. 75 (2007) 224411, 1-8

Y. Tanaka, Y. Narumi, N. Terada, K. Katsumata, H. Ueda, U. Staub, K. Kindo, T. Fukui, T. Yamamoto, R. Kammuri, M. Hagiwara, A. Kikkawa, Y. Ueda, H. Toyokawa, T. Ishikawa, and H. Kitamura
Lattice Deformations Induced by an Applied Magnetic Field in the Frustrated Antiferromagnet HgCr₂O₄
J. Phys. Soc. Jpn. , Vol.76 (2007) 043708, 1- 4

*K. Okunishi
Filling Dependence of the Zigzag Hubbard Ladder for the Quasi-One-Dimensional Superconductor Pr₂Ba₄Cu₇O_{15-delta}
Phys. Rev. B 75, (2007) 174514, 1-5

項目 A02 を中心とするもの

S. Tani, H. Inoue, *T. Suzuki, S. Hosoya, K. Inokuchi, T. Fujiwara, T. Goto, H. Tanaka, T. Sasaki, S. Awaji, K. Watanabe and N. Kobayashi

Cu-NMR Study on Field-Induced Phase Transitions in Quantum Spin Magnet NH_4CuCl_3
Prog. Theor. Phys. Suppl., Vol. **159** (2005) 235-240

Y. Shiotani, J. L. Sarrao and *Guo-qing Zheng,

Field-Induced Ferromagnetic Order and Colossal Magnetoresistance in $\text{La}_{1.2}\text{Sr}_{1.8}\text{Mn}_2\text{O}_7$: A ^{139}La NMR Study
Phys. Rev. Lett., Vol. **96** (2006) 057203, 1-4

*K. Kumagai, M. Saitoh, T. Oyaizu, Y. Furukawa, S. Takashima, M. Nohara, H. Takagi, and Y. Matsuda
Fulde-Ferrell-Larkin-Ovchinnikov State in a Perpendicular Field of Quasi-Two- Dimensional CeCoIn_5
Phys. Rev. Lett. Vol. **97** (2006) 227002, 1-4

E. Micotti, *Y. Furukawa, K. Kumagai, S. Caretta, A. Lascialfari, F. Borsa, G. A. Timco, R. E. P. Winpenny
Local Spin Moment Distribution in Antiferromagnetic Molecular Rings Probed by NMR
Phys. Rev. Lett., Vol. **97** (2006) 267204, 1-4

*S. Kimura, H. Ishikawa, Y. Inagaki, M. Yoshida, S. Okubo, H. Ohta, H. Nojiri, A.B. Belik, M. Azuma, M. Takano, ESR Measurements on One-dimensional Quantum Ferrimagnets $\text{A}_3\text{Cu}_3(\text{PO}_4)_4$ with A=Sr and Ca in Submillimeter-wave Region
J. Phys. Soc. Jpn., Vol. **75** (2006) 094718, 1-7

*M. Yoshida, T. Hirano, Y. Inagaki, S. Okubo, H. Ohta, H. Kikuchi, I. Kagomiya, M. Toki, K. Kohn,
High Field ESR Study of Three Dimensional Spin Frustrated System MgCr_2O_4
J. Phys. Soc. Jpn., Vol. **75** (2006) 044709, 1-4

*Y. Nakagawa, T. Kashiwagi, H. Yamaguchi, S. Kimura, Z. Honda, K. Yamada, K. Kindo, M. Hagiwara,
High Field ESR and Magnetization in $\text{Na}_2\text{Co}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3(\text{H}_2\text{O})_2$
J. Phys. Soc. Jpn., Vol. **75** (2006) 124708, 1-5

M. Nishiyama, Y. Inada, *G.-q. Zheng

Spin Triplet Superconducting State due to Broken Inversion Symmetry in $\text{Li}_2\text{Pt}_3\text{B}$
Phys. Rev. Lett., Vol. **98** (2007) 047002, 1-4

*S. Kimura, H. Yashiro, K. Okunishi, M. Hagiwara, Z. He, K. Kindo, T. Taniyama, and M. Itoh
Field Induced Order to Disorder Transition Driven by a Softening of Spinon Excitation
Phys. Rev. Lett., Vol. **99** (2007) in print

項目 A03 を中心とするもの

T. Mizushima, *K. Machida and M. Ichioka

Topological Structure of a Vortex in the Fulde-Ferrell-Larkin-Ovchinnikov State
Phys. Rev. Lett, Vol. **95** (2005) 117003, 1-4

H. Adachi, M. Ichioka and *K. Machida

Mixed-State Thermodynamics of a Superconductors with Moderately Large Paramagnetic Effects
J. Phys. Soc. Jpn, Vol. **74** (2005) 2181-2184

M. Terao, Y. Tokunaga, M. Tokunaga, *T. Tamegai

Observation of Single Vortices by Magneto-Optical Imaging
Physica C, **426-431** (2005) 94 - 98

STM/STS Studies on Vortex and Electronic State in $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$

*T. Nishizaki, K. Shibata, M. Maki, N. Kobayashi

Physica C, **437-438** (2006) 220-225

Two Kinds of Pseudogaps in $\text{Bi}_{1.79}\text{Pb}_{0.37}\text{Sr}_{1.86}\text{CuO}_{6+\delta}$ Studied by the Out-of Plane Resistivity in Magnetic Fields

*K. Kudo, K. Miyoshi, T. Sasaki and N. Kobayashi

J. Phys. Soc. Jpn. **76** (2006) 124710, 1-5

Improvement of Vortex Imaging in Magnet-Optical Technique and Bitter Decoration

*M. Tokunaga, T. Tamegai, and T. H. Johansen

Physica C, **437-438**, (2006) 331-335

Specific Heat and Low-lying Excitations in the Mixed State for a Type-II Superconductor

N. Nakai, P. Miranovic, M. Ichioka, *K. Machida

Phys. Rev. B, Vol.**73** (2006) 172501, 1-4

Ubiquitous V-Shape Density of States in a Mixed State of Clean Limit Type II Superconductors

N. Nakai, P. Miranovic, M. Ichioka, H. F. Hess, K. Uchiyama, H. Nishimori, S. Kaneko, N. Nishida, *K. Machida

Machida

Phys. Rev. Lett., **97** (2006) 147001, 1-4

Electric- and Magnetic-Field Effects on Radiative Recombination in Modulation n-doped ZnSe/BeTe type-II Quantum Wells

Z. Ji, H. Mino, *K. Oto, R. Akimoto, K. Ono, S. Takeyama

Semiconductor Science and Technology, **21** (2006) 87-90

Potential Imaging in Quantum Hall Devices by Optical Fiber Based Pokels Measurement

M. Dohi, R. Yonamine, *K. Oto, K. Muro

J. Modern Phys. B, **21** (2007) 1414-1418

Local Tunneling Spectroscopy Across a Metamagnetic Critical Point in the Bilayer Ruthenate $\text{Sr}_3\text{Ru}_2\text{O}_7$

K. Iwaya, S. Satow, *T. Hanaguri, N. Shannon, Y. Yoshida, S. I. Ikeda, J. P. He, Y. Kaneko, Y. Tokura, T. Yamada, and H. Takagi

Phys. Rev. Lett., **99**, (2007) 057208, 1-4

項目 A04 を中心とするもの

*A. Thamizhavel, H. Nakashima, Y. Obiraki, M. Nakashima, T. D. Matsuda, Y. Haga, K. Sugiyama, T.

Takeuchi, R. Settai, M. Hagiwara, K. Kindo, and Y. Onuki

Anisotropic Magnetic Properties of a Pressure-induced Superconductor $\text{Ce}_2\text{Ni}_3\text{Ge}_5$

J. Phys. Soc. Jpn, Vol.**74** (2005), 2843-2848

*H. Kageyama, J. Yasuda, T. Kitano, K. Totsuka, Y. Narumi, M. Hagiwara, K. Kindo, Y. Baba, N. Oba, Y.

Ajjiro and K. Yoshimura

Anomalous Magnetization of Two-dimensional $S=1/2$ Frustrated Square-lattice Antiferromagnet $(\text{CuCl})\text{LaNb}_2\text{O}_7$

J. Phys. Soc. Jpn, Vol.**74** (2005), 3155-3158

J. Strecka, A. Jascur, *M. Hagiwara, Y. Narumi, J. Kuchar, S. Kimura and K. Kindo

Magnetic Behavior of a Spin-1 Dimer: Model System for Homodinuclear Nickel(II) Complexes

J. Phys. Chem. Sol., Vol.**66** (2005), 1828-1837

N. Oba, *H. Kageyama, T. Kitano, J. Yasuda, Y. Baba, M. Nishi, K. Hirota, Y. Narumi, M. Hagiwara, K. Kindo, T. Saito, Y. Ajiro
Collinear Order in Frustrated Quantum Antiferromagnet on Square Lattice (CuCl)LaNb₂O₇
K.Yoshimura, J. Phys. Soc. Jpn., Vol.75 (2006)113601, 1-5

*Y. Narumi, K. Katsumata, U. Staub, K. Kindo, M. Kawauchi, C. Broennimann, H. Toyokawa, Y. Tanaka, A. Kikkawa, T. Yamamoto, M. Hagiwara, T. Ishikawa and H. Kitamura
Lattice Distortion in Antiferromagnetic CoO under High Magnetic Fields
J. Phys. Soc. Jpn., Vol.75 (2006) 075001, 1-2

*E. I. Tolis, L. P. Engelhardt, P. V. Mason, G. Rajaraman, K. Kindo, M. Luban, A. Matsuo, H. Nojiri, J. Raftery, C. Schroder, G. A. Timco, F. Tuna, W. Wernsdorfer, R. E. P. Winpenny
Studies of an Fe-9 Tridimensional Icosahedron
Chemistry-A European Journal, Vol.12 (2006) , 8961-8968

*K. Sugiyama, H. Nakashima, D. Aoki, Y. Haga, E. Yamamoto, A. Nakamura, Y. Homma, Y. Shiokawa, K. Kindo, M. Hagiwara and Y. Onuki
Characteristic High-Field Magnetization in a Transuranium Antiferromagnet NpRhGa₅
J. Phys. Soc. Jpn. , Vol.75 (2006) 094707, 1-6

*A. V. Silhanek, T. Ebihara, N. Harrison, M. Jaime, K. Tezuka, V. Fanelli, and C. D. Batista
Nonlocal Magnetic Field-Tuned Quantum Criticality in Cubic Ce In_{3-x}Sn_x(x=0.25)
Phys. Rev. Lett., Vol.96 (2006)206401, 1-4

*Y. Narumi, K. Suga, K. Kindo, T. Yamasaki, M. Shiga, H. Nakamura
Metamagnetic Transition to Poor Conductor in BaVS₃
J. Phys. Soc. Jpn., Vol.76 (2007) 013706, 1-4

Magnetization Process in GdB₄

*A. Kikkawa, K. Katsumata, Y. Narumi, K. Suga, T. Fukui, T. Sugaya, K. Kindo, F. Iga, S. Michimura, J. Phys. Soc. Jpn., Vol.76 (2007)024711, 1 - 4

N. V. Hieu, *T. Takeuchi, H. Shishido, C. Tonohiro, T. Yamada, H. Nakashima, K. Sugiyama, R. Settai, T. D. Matsuda, Y. Haga, M. Hagiwara, K. Kindo, S. Araki, Y. Nozue, and Y. Onuki
Magnetic Properties and Crystalline Electric Field Scheme in RRhIn₅ (R: Rare Earth)
J. Phys. Soc. Jpn. , Vol.76 (2007) 064702, 1-16

項目 A05 を中心とするもの

N. Ozaki, I. Okabayashi, T. Kumekawa, N. Nishizawa, S. Marcet, *S. Kuroda, and K. Takita
Suppression of Ferromagnetism due to Hole Doping in Zn_{1-x}Cr_xTe Grown by Molecular-Beam Epitaxy
Appl. Phys. Lett., Vol.87 (2005) 192116, 1-3

*S. Uji, S. Yasuzuka, M. Tokumoto, H. Tanaka, A. Kobayashi, B. Zhang, H. Kobayashi, E. S. Choi, D. Graf, and J. S. Brooks
Magnetic-Field-Induced Superconductivity and Phase Diagrams of λ -(BETS)₂FeCl_{4-x}Br_x
Phys. Rev. B, Vol.72 (2005) 184505, 1-5

*H. Momose, H. Okai, H. Deguchi, N. Mori, S. Takeyama
Impurity Cyclotron Resonance in InGaAs/GaAs Superlattice and InGaAs/AlAs Superlattice Grown in GaAs Substrates
Physica E, Vol.32 (2006)309 - 312

Y. J. Jo, H. Kang, W. Kang, *S. Uji, T. Terashima, T. Tanaka, M. Tokumoto, A. Kobayashi, H. Kobayashi
Field- and Angular-dependent Resistance of λ -(BETS)₂FeCl₄ under Pressure.
Phys. Rev. B, Vol. **73** (2006) 214532, 1-7

Thomas Strutz, *T. Takamasu, H. Sakaki, N. Miura,
Magnetophonon Resonance of Tunneling Hot Electrons at High Magnetic Fields
Phys. Rev. B, Vol. **75** (2006) 075208, 1-5

K. Takehana, *T. Takamasu,
Modification of the Quantum Hall Effect by the Charge State of a Nearby Quantum Dots Layer
J. Phys. Soc. Jpn., Vol. **75** (2006) 114713, 1-6

*N. Nishizawa, S. Marcet, N. Ozaki, S. Kuroda, K. Takita
Magneto-Optical Study of Ferromagnetic Semiconductor (Zn,Cr)Te
Phys. Stat. Sol. (c), Vol. **3** (2006) 4102-4105

E. Kojima, S. Miyabe, H. Mitamura, H. Ueda, Y. Ueda, H. A. Katori, H. Takagi, S. Takeyama
Faraday Rotation of Spinel Oxide under Ultrahigh Magnetic Field
J. Phys. Conference Series **51** (2006) 51-54

*S. Kuroda, N. Nishizawa, K. Takita, M. Mitome, Y. Bando, K. Osuch, T. Dietl
Origin and Control of High-Temperature Ferromagnetism in Semiconductors
Nature Materials, Vol. **6** (2007) 440-446

8. 総括班評価者による評価の状況

当領域では助言評価担当として、以下の4名の経験と見識のある研究者に評価と助言をお願いしている。

本河光博(東北大学金属材料研究所・名誉教授)

福山秀敏(東京理科大学・教授)

小谷章雄(東京大学物性研究所・名誉教授)

上田和夫(東京大学物性研究所・所長)

評価者の方々には、これまで開かれた4回のシンポジウム・スタートアップ会議に参加いただき、班員の発表を通して領域の研究の現状を見ていただくとともに、総括班会議を開催して評価・助言をいただいていた。また、領域の強磁場スピン通信・SPINLetterも配布して、研究の現状を報告している。これまでの助言のなかでは、全般的な運営等に関して以下のような意見をいただき、それを考慮して改善を図っている。

- (1) 特定領域を開始するにあたり、これまでの研究の単なる継続でなく、この領域で新たに生まれた成果を明確にする事が評価に繋がるのでその点を留意して斬新な研究を行ってほしい。
- (2) 若手の発表や発言が多くなると領域としても活気が出るので、発表の機会に関しても若手に十分配慮した運営を心がけて欲しい。
- (3) 強磁場発生に関して一部の人の技術に依存していると、負担も重くなり、研究遂行に支障が出る事にもなりかねないので、技術の継承と普及を工夫する事が必用である。
- (4) この特定の装置開発においては、最近の企業を巡る社会環境の変化で素材や部品の入手が困難になっている事もあると聞いているが、そのような事に支障はないのか。
- (5) 強磁場X線などは独自の工夫で進められており、大変良いが、現状に満足せず、軟X線の実験などでさらに大きな展開を図ってほしい。
- (6) 生物系等の研究のプログラムや計画があるのは面白いと思うので、それをさらに推進するように領域としての運営を進める事を期待する。

これに対して、領域として以下のような運営に努めている。

- (1) 強磁場の新しいフロンティアを開拓する先端計測を軸にする事を意識した運営に努める。
- (2) 若手道場などを開催し、公開発表においても十分配慮したプログラムを組む。また講習などを通して、磁場発生などの基盤技術の標準化と技術継承に努める。
- (3) 領域としての共同の部品購入などで、経費の有効活用と必用な特殊部品の確保に努め、研究に支障が出ないよう工夫する。
- (4) 強磁場X線を推進するために、領域内の連携研究をさらにするため、放射光関連研究者との連携を図る。
- (5) 生物・化学など学際領域の研究展開を領域内で促進するため、関連するテーマに関するミニ研究会などを組織する。

9. 研究領域の研究を推進する上での問題点と対応策

当領域では、未踏の 100 テスラ領域における先端計測法の開発を軸とする強磁場スピン科学の推進をその目的としており、前半においては、目標として設定した計測手法の開発が柱となってきた。これに関して言えば、放射光 X 線分光、ESR、NMR に関しては技術的には当初の設定目標を概ねクリアしており、強磁場中性子散乱、強磁場走査プローブ顕微鏡、テラヘルツ分光も予定にそって着実に進展が図られている。予算に関しては、大枠において変更の必要性はないと考えるが、後半はこれまで開発した手法を実際の物質研究に応用して、強磁場スピン科学としての学際的なフロンティアを開いてゆくような研究展開を図るための工夫が必要である。このために研究費の効率化を一層図るとともに、当初の年次計画にも既に盛り込まれてはいるが、装置開発から実際の応用研究への資金のシフトも心がけて行う予定である。また、個別の物質等に関する研究課題を推進する立場からは、現在公募班で展開されている研究の一部を分担者あるいは研究協力者として、計画班に取り込んでゆくような人員の再配置も求められる。これらに関しては、中間評価を踏まえながら総括班で議論して、実施してゆきたいと考えている。

もう一つのポイントとしては、ハードルの高い開発課題に関して、人員の補強を行い、これまで以上に研究の推進を加速する事があげられる。例えば強磁場中性子散乱に関しては、今後 J-Parc での研究の展開を図るために、J-Parc 施設の研究者の中に分担者あるいは研究協力者を確保して、装置の調整などがスムーズに進められるように研究体制の補強を図る必用がある。この点に関しては、領域発足時には J-Parc 施設の運営体制が確立していなかったため、予め確保しておくことは困難であったので、妥当な補強と考える。強磁場走査プローブ顕微鏡に関しては、既に採択時のコメントを受けて分担者を追加し、開発体制の強化を図っているところである。また領域の中核となっている A04 班(金道班長)に関しても、19 年度から、物性研究所の徳永准教授を分担者として追加して、体制の強化を図っている。今後、A05 班のテラヘルツ分光等に関しても必用に応じて体制強化を図る必用がある。また、当初の予定以上に発展が望めそうな X 線分光等においては、A01 班内で資金配分を総合的に見直して、軟 X 線分光などさらに革新的な課題に対応できる体制を強化する事も必用である。

最後に採択時に指摘されたコメント「なお100テスラとはほど遠い低磁場条件での課題(SPMなど)も含まれていることを領域名とのミスマッチとして問題視する意見があった。今後、成果の公開の仕方や組織の見直しにおいてはその部分への考慮が必要である。」に関して、これまでの運営を踏まえて回答したい。確かにSPMなどはパルス磁場中で実施できる訳ではなく厳密には100 Tでは出来ないが、アメリカ等では45テスラがハイブリッド磁石で可能である事を考えれば(東北大では30 Tである)、定常磁場50 Tはある意味時間の問題である。我々が目指している小型・高剛性のSPMなどが20-30 Tの定常磁場で実現できれば、国内ですぐに出来るかどうかは別にして、50 TまでSPMの適応領域が広がる事になり、たかだか数テスラ程度の磁場で行われている現状とは全く異なるフロンティアを開くことが期待される。SPMのプローブとしてのすばらしさを考えれば、これは行うべき価値のある課題であり、当領域において、現在様々な超伝導体で焦点となっているFFLO状態の研究を実施できれば、非常に大きな成果として期待される。従って、領域としてはこの課題を割愛するのではなく、さらに強化して掛け値なく実現する立場から人員も補強して、査定された予算の中でも全力で取り組んでおり、開発は順調に推移している事を報告する。

10. 今後の研究領域の推進方策

今後領域をさらに発展させるために以下の方策を推進したい。

(1) スピン科学を生物や化学分野など融合領域まで広げる

これまで当領域では、主に物理分野の研究者が中心になって先端計測を軸にした研究を進めてきたが、後半では先端計測を応用した学術的課題の推進を図り、特にスピン科学を生物や化学分野にまで視野を広げるた研究を展開する事が望まれる。これらの分野の研究者に公募班等で参加してもらえよう、今後一層宣伝等に努めるとともに、積極的な共同研究を展開したい。

(2) 領域として柱となる研究を総合的かつ集中的に推進する

これまでの研究の中で、まとまってきて、今後の展開が期待される研究として以下の項目を重点的に推進してゆく。

- (a) マルチフェロイック物質を含むスピン-格子結合系の強磁場相制御研究を、X線・中性子やESRなどを用いて展開するとともに光学手法を組み合わせた研究展開を図る。
- (b) 超伝導体におけるFFLO状態の研究を総合的に推進するべく、NMRに加えて強磁場STMなど空間分解手法の研究展開を急ぐ。
- (c) スピントロスオーバー物質や磁場誘起低スピン-高スピン転移などを、ソフトなスピン-格子結合系の物理化学として捉えて、X線、ESRなどを軸に研究の展開を図る。
- (d) タンパク質研究を進めるためにESRとマイクロ磁化計測が連携した研究を展開し、金属タンパク質研究の標準的手法として確立する。
- (e) パルス磁場NMRなどを駆使し、超強磁場下で出現する高温超伝導体の正常状態の微視的理解に関する実験を推進する。
- (f) 2段階パルス磁場により未踏の100テスラを領域での磁化、ESRなどの測定を実現する。

(3) 国際的な成果発信の強化

本年度11月に国際シンポジウムを開催するのを契機に、ホームページ等の英語化を推進し、当領域の成果の国際的発信をさらに強化する。シンポジウムの成果集である強磁場スピン通信を英語版として発行し、その普及と宣伝等に努める。