

研究課題名
スピン・メカニクス

研究代表者名
東北大学・金属材料研究所・Gerrit E.W. Bauer

1. はじめに

スピンメカニクスと呼ばれる分野は力学、すなわち格子構造の回転や振動などの時間空間的変動と、ナノ磁気構造におけるスピン自由度の結合に関する科学および工学である。第2回スピンメカニクス国際会議はこの分野をメイントピックとして、2014年に東北大学金属材料研究所において開催された。特に電流や熱流における電子のスピン役割、磁性物質における熱変換や新機能、および熱電技術の効率増加に関する新しい研究結果の報告と意見交換を目的とする。

スピンメカニクスとその背後にある物理学の理解を概観するこの国際会議は、2013年2月に茨城県東海村にある原子力研究開発機構にて第1回国際会議が行われた。今回は第2回目となる。ワークショップのトピックは金属ナノ構造およびトンネル接合系における熱的スピン注入、スピン依存ゼーベックおよびペルチェ効果、スピンゼーベック効果、スピンペルチェ効果、熱的磁気トルク、熱的異常およびスピンホール効果など、スピン・カロリトロニクスのすべての分野をカバーする。理論、計算、実験に関する講演が行われる。

協賛

- Kyodoriyo, IMR (共同利用研究)
- ICC-IMR
- WPI-AIMR
- DAAD (SpinNet)
- Reimei(黎明) Program of ASRC-JAEA
- STCB (Sendai Tourism Convention Bureau)

会議ホームページ

<http://www-lab.imr.tohoku.ac.jp/~spinmechanics2/>

組織委員会

- S. Gönnerwein (TU Munich)
- Y. Tserkovnyak (UCLA)
- M. Kläui (Mainz)
- Y. Blanter (Delft)
- S. Maekawa (JAEA)
- Y. Hirayama (Tohoku)
- M. Kotani (WPI-AIMR)
- H. Ohno (RIEC & WPI-AIMR)
- E. Saitoh (IMR & WPI-AIMR)
- K. Takanashi (IMR)
- K. Nomura (IMR)
- O. Tretiakov (IMR)
- M. Terada (IMR, secretary)
- G.E.W. Bauer (IMR & WPI-AIMR) [Chair]



2. 研究経過

ネーターの定理によれば回転対称な系では角運動量が保存する。固体凝縮系においては磁気モーメント、すなわち多体電子系の波動関数に固有の（スピン）角運動量の時間的あるいは空間的变化は系に含まれる固体結晶格子への力学的回転トルクをもたらす。このスピンと結晶格子の間の相互作用が **Spin Mechanics** の研究分野における中心的研究課題である。

ICC-IMR ワークショップとして行われた **Spin Mechanics** 国際会議はこの原理に関係するあらゆる話題を題材とする。特に重要なトピックスとしては、音響フォノンによって誘起されるスピンプンピング、磁気異方性の力学的制御、ナノ構造におけるアインシュタインードハース効果とサグナック効果、系の力学的回転によって生成されたスピン流などが挙げられる。**Spin mechanics** の応用としては磁気共鳴力マイクロスコーピーなどを用いた力学的なスピンの観測などがある。またスピン反転散逸によって誘起される力学的トルクの理論的予測と実験的観測もなされた。マグノンとフォノンの間の相互作用はスピnzeerバック効果と密接に関連している。超音波および表面音波によって誘起される磁化ダイナミクス、スピントルクによる力学的運動、ナノスケールポンプとモーター、磁気共鳴マイクロスコーピー、磁氣的活性な NEMS、スピン誘起流体ダイナミクス、スピントルクモーター、および磁気トンネル効果やマグノンボーズ凝縮などの量子効果など多くの関係した話題が網羅される。



招待講演者：全38名

Adachi Hiroto (ASRC),
Balestro Franck (Grenoble),
Back Christian (Regensburg),
Blanter Yaroslav (Delft),
Carman Greg (UCLA),
Chantrell Roy (York),
Chudnovsky Eugene (CUNY),
Freeman Mark (Alberta),
Gross Rudolf (Munich),
Goennenwein Sebastian (Munich),
Heremans Joseph (Ohio State),
Hickey Bryan (Leeds),
Hillebrands Burkhard (Kaiserslautern),
Ieda Jun (ASRC),
Jander Albrecht (Corvallis),
Kläui Mathias (Mainz),
Klein Olivier (CEA),
Kohno Hiroshi (Osaka, Nagoya),

Matsuo Mamoru (ASRC),
Mizuguchi Masaki (IMR),
Murakami Shuichi (TIT),
Nagaosa Naoto (Tokyo),
Nakamura Yasunobu (Tokyo),
Ono Teruo (Kyoto),
Otani Yoshichika (Tokyo),
Rasing Theo (Nijmegen),
Saitoh Eiji (IMR),
Sinova Jairo (Mainz),
Stiles Mark (NIST),
Takahashi Saburo (IMR),
Tatara Gen (RIKEN),
Tretiakov Oleg (IMR),
Tserkovnyak Yaroslav (UCLA),
Uchida Ken-ichi (IMR),
Wang XiangRong (Hong Kong),
Xia Ke (Beijing NU),
Yamaguchi Hiroshi (NTT),
Ziman Timothy (ILL)

3. 研究成果

本会議は初日のチュートリアル基調講演と招待講演、およびポスタセッションからなり、スピンメカニクスに関連するすべての学問分野で活発に議論がなされた。参加者は理論物理研究者、数値計算科学の専門家、および実験研究者からなり、分野は磁性、スピントロニクス、ナノメカニクス、熱電エレクトロニクス、低温量子物理学を含む。プログラムの詳細は以下のとおりである。またウェブサイト <http://www-lab.imr.tohoku.ac.jp/~spinmechanics2/> ではアブストラクトの冊子が入手できる。

会議初日（6月21日）は4つの基調講演が行われた。Heremans はマグノンの熱的性質とフォノンの磁氣的性質に関する最近の研究動向について概観した。近年、フォノンとマグノンは熱伝導において重要な役割を担う事が明らかになった。これらの熱伝導理論を解説し、その応用としてスピンゼーベック効果をマグノンの熱伝導現象およびフォノンマグノンドラッグ、フォノン電子ドラッグ現象に起因するスピン流の熱的発生として記述出来る事を紹介した。

続いて Gross はフォノンキャビティと超伝導、磁性、半導体、力学的ナノ構造現象などに関する量子電磁力学の基礎理論について講演を行った。これによって従来の Jaynes-Cummings 模型による解析を超えた定量的な理論の構築が行えるようになった。山口は電気力学共鳴系における非線形フォノンのダイナミクスに関する基礎理論と最近の実験的発展に関してレビューを行った。齊藤の講演はスピン流に関する初歩的な解説を行い、スピンとスピン流の関係、スピン流の実験的観測の方法、スピン流を実験的に発生する方法について紹介した。

二日目は4つのオーラルセッションが行われた。初めのセッションではフォノンを媒介とするマグノン凝縮の実験的観測、およびスピン自由度を有するナノメカニクスの現象、相関電子系におけるスキュー散乱に関する最新の研究成果が報告された。二つ目のセッションでは強磁性/常磁性ヘテロ構造におけるスピン流の生成、ストレイン効果によるナノスケールマルチフェロイクス現象の解析と実験、分子レベルでの磁性と力学の結合に関して議論がなされた。3つめのセッションでは超伝導量子ビットと強磁性体の混成系における量子マグノニクス、イットリウム鉄ガーネットとプラチナの接合系における力学的強磁性磁気共鳴に関する実験結果が紹介された。4つめのセッションでは走査型トンネル顕微鏡によるカイラル分子ダイマーの力学的回転、強いスピン軌道相互作用を有する超伝導ニオブに対する非局所スピン注入、強磁性金属薄膜における異常ネルンスト効果とその熱伝効果の応用に関する講演が行われた。

三日目はスピンメカニクスの理論に関する4つのセッションが開かれた。一つめのセッションではメゾスコピック磁性体におけるナノメカニカル AC スペクトロスコーピー、イットリウム鉄ガーネットにおける音響波モードとスピン波モードの相互作用、変形結晶におけるスピン伝導の理論が紹介された。二つめのセッションでは DC および AC スピンホール電圧によるスピン流、ストレインによるドメインウォールの制御、イットリウム鉄ガーネットとプラチナの接合系におけるスピンホール磁気抵抗の温度依存性について議論がなされた。3つめのセッションでは強磁性・反強磁性界面において増強されたスピンダンピング効果、熱磁気トルクによるスカーミオンのスピンゼーベック効果、時間変動するグラフェンにおける電磁力学現象の理論が紹介された。4つめのセッションではスカーミオンの熱的運動、スピン軌道相互作用を有する系での磁化テクスチャー、マグノン波束のベリー局率ダイナミクスの理論的解析に関する講演が行われた。

四日目は理論研究に関する3つのセッションが行われた。一つめのセッションでは強磁性体および反強磁性体におけるスピン軌道トルク、スピン・回転結合とバーネット場の繰り込み、非線形磁化を有する3層系におけるスピンホール磁気抵抗が議論された。二つめのセッションでは磁化と結晶格子の相互作用、第1原理計算による酸化マンガンを用いた金属・今日磁性絶縁体界面におけるトンネル結合とスピン波励起、温度勾配によって誘起されたドメインウォール伝播のエントロピー力に関する理論的研究が紹介された。3つめのセッションでは拡散領域におけるスピンカイラリティ誘起異常ホール効果の理論、転移温度近傍においてスピン揺らぎによって増強されたスピンポンピング効果、強磁性・反強磁性構造におけるスピンテクスチャーのダイナミクス、スピンゼーベック効果の実験的進展に関して最近の研究成果が紹介された。

ポスターは、全日掲示をし、セッションをコーヒーブレイクの時間に集中的に行った為、ポスターに関する議論は効率よく活発なものとなった。中でもナノピラースピンバルブにおけるスピン依存ゼーベック効果、熱的スピン蓄積によるスピンゼーベックトンネル効果、逆スピンホール効果を用いたマグノンスピン輸送の直接観測、コヒーレントマグノンと熱励起マグノンの間の相互作用、スピンホール効果とラッシュバトルクの競合、加速系におけるスピン依存伝導、スピンゼーベック効果の温度依存性を測定する実験的セットアップ、マグノンによる熱スピンポンプの理論、熱的に誘起されるトポロジカル状態の力学的回転、磁気補償のあるフェリ磁性体におけるスピンゼーベック効果、強磁性接合系におけるスピン波の反射と透過、トポロジカル逆ファラデー効果による高速磁気渦スイッチ、ラッシュバ強磁性体における電流誘起トルク、磁性絶縁体におけるスピン波を媒介とする熱輸送現象、高い磁性項と低い抵抗を有するスピントロニクス薄膜系のポスターが注目を集めていた。

今回、参加者数が多数であったことから、この研究分野への関心が年々高まっていることが示された。参加者はヨーロッパ、アジア、アメリカの各国からであり国際的な会合となった。実験研究者と理論研究者もバランスよく集まり、有意義な議論がなされた。また、企業研究者も多数参加し、本研究分野がグローバルな対称であることが印象付けられた。



参加者数 : 126 名 (13 カ国)

Canada	1
China	2
France	3
Germany	14
Hong Kong	3
Japan	81
Korea	2
Netherlands	3
U.S.A.	11
Sweden	1
U.K.	3
India	1
Norway	1

プログラム

start	21 st June (Sat)	22 nd June (Sun)	23 rd June (Mon)	24 th June (Tue)	25 th June (Wed)
8:30	Registration 1	Posters up all time			
9:00	Opening (Takanashi)	Hillebrands	Freeman	Sinova	
9:30	Tutorial 1 (Heremans)	Chudnovsky	Jander	Ieda	
10:00		Ziman	Matsuo	Takahashi	
10:30	Coffee break				
11:00	Coffee break	Gönnenwein	Back	Stiles	
11:30	Tutorial 2 (Gross)	Carman	Kläui	Xia	
12:00		Balestro	Hickey	Wang	Hot Spring arr. at IMR
12:30					
13:00	Registration 2	Lunch break			IMR to RIEC
13:30	Lunch break				RIEC Workshop
14:00					
14:30	Tutorial 3 (Yamaguchi)	Nakamura	Chantrell	Adachi	
15:00		Blanter	Kovalev	Tretiakov	
15:30		Klein	Tserkovnyak	Uchida	
16:00	Coffee break				
16:30	Tutorial 4 (Saitoh)	Uchihashi	Nagaosa		
17:00		Otani	Tatara	Hot Spring dep.	
17:30		Mizuguchi	Murakami		
18:00	Posters up all time				
18:30	Dinner dep.				
19:00	Conference Dinner				

4. まとめ

本会議のオーガナイザーおよびローカルコミッティーの献身、ご尽力、および活発な議論と興味深い話題を提供していただいた会議の全参加者に感謝します。本ワークショップが今後の国際的な共同研究の発端となり、また分野に新たな活性化をもたらす事を願います。東海村で始まった第1回のスピンメカニクス会議から、本研究分野の豊富な研究課題および成果によって本会議へと、そしてさらには第3回 **Spin Mechanics** 会議がミュンヘン工科大学にて行われる事となった（セバスチャン グーネンバイ博士主催）。また2016年、2017年にはマーク フリーマン教授主催で第4回 **Spin Mechanics** 会議がカナダのアルバータ大学において行われる事となった。