

ま市・みやま市教育委員会、p.122-125、p.184-185、
2014年12月

3. 「今日のギャラリー 中村琢二『西伊豆の漁村』
について」『七隈の杜』第11号、p. 4-5、福岡大
学、2015年2月9日
4. 「九州ものしり学 鹿児島が生んだ日本近代洋
画の巨匠 藤島武二」、『Please 旅の情報誌ブリー
ズ』第337号、九州旅客鉄道株式会社、p.20-23、
2015年5月25日
5. 「今日のギャラリー 安永良徳『母子像』につ
いて」『七隈の杜』第12号、p. 4-5、福岡大学、
2016年1月19日
6. 「福岡市個人所蔵・中山森彦宛の美術家の書簡」
『九大百年 美術をめぐる物語（論集）』、九州
大学総合研究博物館、p.43-66、2016年10月8日
7. 「今日のギャラリー 松本英一郎『河川敷の風
景』について」『七隈の杜』第13号、p. 4-5、福
岡大学、2017年1月31日
8. 「青木繁《かるた》《漢詩かるた》について」『日
本習字教育財団 学術研究助成成果論文集』第
3号、公益財団法人日本習字教育財団、p. 177-
219、2017年3月31日

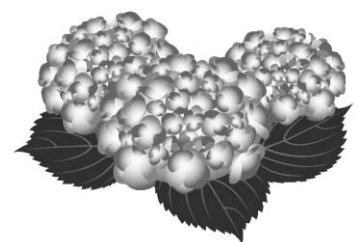
【発表】

1. 第34回アジア近代美術研究会研究発表、2014年
8月16日、於：九州大学 箱崎キャンパス貝塚
地区 21世紀交流プラザ、「福岡市某家所蔵・中
山森彦宛の美術家の書簡」
2. 平成26年度第2回柳川市史連絡会、平成26年
(2014) 8月30日、於：柳川古文書館、「龍駿介
に関する情報収集について」
3. 「ワークショップ：韓日美術交流の回顧と展望」
パネラー発表、2014年9月1日、於：Korean
Foundation, Seoul、「和田三造《旧朝鮮総督府庁
舎中央ホール壁画「羽衣」》、1926年、国立中央
博物館」
4. 美術史学会西支部例会研究発表、2015年1月24
日、於：九州大学箱崎キャンパス文系地区文学
部、「青木繁の再発見作品紹介—《かるた》《漢
詩かるた》—」
5. 第38回アジア近代美術研究会研究発表、2015年
12月27日、於：石橋美術館、「再考・青木繁の
生涯と芸術(1)」

6. 第39回アジア近代美術研究会研究発表、2016年
1月16日、於：福岡県立美術館、「再考・青木
繁の生涯と芸術(2)」

【講演、他】

1. 岡田三郎助特別展記念シンポジウム「和と洋の
調和—岡田スタイルの誕生—」パネラー発表、
2014年10月5日、於：佐賀県立美術館ホール、
「岡田三郎助の壁画制作について」
2. 第21回柳川市史歴史文化講演会、2014年11月29
日、於：柳川市立図書館AVホール、「龍駿介—柳
川ゆかりの富士山洋画家—」
3. 柳川古文書館「風景王国—柳川ゆかりの洋画家
龍駿介がみた山河—」展展示解説会、2014年12
月20日、於：柳川古文書館
4. 柳川古文書館「風景王国—柳川ゆかりの洋画家
龍駿介がみた山河—」展展示解説会、2015年1
月11日、於：柳川古文書館
5. うきは市文化財サポーター養成講座、2016年1
月25日、於：うきは市民センター、「河北倫明
と河北家住宅について」
6. 第1回福岡大学博物館フォーラム、2017年2月
15日、於：福岡大学文系センター棟15階 第6
会議室、「福岡大学所蔵の美術品について」



内積が定義された線形空間を内積空間といい、完備性を備えた内積空間をヒルベルト空間という。有限次元ベクトル空間 \mathbb{R}^r は r 次元の実ヒルベルト空間である。そして、変分原理のほとんどは実ヒルベルト空間上の最適化問題になっている。

いろいろな関数空間を定義した場合、それらはバナッハ空間やヒルベルト空間になることを確認できる。関数に演算を施すことは関数空間から関数空間への写像を定義することである。このときの写像を作用素という。作用素のなかで値域が \mathbb{R} のものを汎関数という。関数最適化問題の評価関数は関数空間から実数への写像として与えられる。 X をバナッハ空間とすると、 X 上の有界線形汎関数全体の集合を X の双対空間、あるいは、共役空間という。

2. 不平等測度間の関連

不平等度に関するローレンツ基準では優劣関係が判断できないケースがあるという不完備性を排除した測度が、ジニ係数である。ジニ係数は完備順序を形成する。ローレンツ曲線は1905年、ジニ係数は1914年に提起された。ジニがジニ係数を提案したとき、パレートが所得分布に関数を当てはめる研究をしており、その関数のパラメーター α を不平等測度として用いていた。ジニも当初はパレート分布のパラメーターを集中指数と呼んで用いていたが、関数関係として把握できない強度の所得分布の場合、集中比を用いるのが適切であることに気付いた。パレートとジニの間に位置する人物としてベニーニがいる。なお、所得分布の理論分布が有限な平均を持たない場合にはジニ係数を算出できないので、定義の修正が必要になる。

タイル測度 T は1967年に提案された。人数を n とし、所得格差がない場合、 T は最小値 0 をとり、格差が最大の場合、最大値 $\log n$ の値をとる。シャノンが1948年に提案していた情報エントロピー H では、すべての確率が $1/n$ に近づくと最大値 $\log n$ に近づく。タイルの場合、所得格差がないときの値を 0 にしたかったので、最大値からそのエントロピーを差し引いたのである。すなわち、タイル測度の定義は $T = \log n - H$ である。そもそも、情報理論や統計力学で無秩序の尺度として使われるエントロピーは不平等測度と密接な関係がある。所得分布のばら

つきを一種の無秩序と見なすことで、エントロピーを用いて所得の不平等さを表すことが可能だからである。

アトキンソンは相対危険回避度一定の効用関数を想定し、社会成員全員の効用の和を社会厚生関数と定義する。均等分配等価所得 ξ の下では、現実の平均所得 \bar{x} 以下の所得で同じ水準の社会厚生を実現することができる。アトキンソン測度の定義はこれらを用いて $A = 1 - \xi / \bar{x}$ となる。不平等がなければ $A = 0$ である。アトキンソン測度は1970年に提案された。

不平等測度の構成と社会厚生関数の間には密接な関係がある。アトキンソン測度が示したのは、ある社会厚生関数によって二つの社会状態の優劣が判断されるとき、優れた状態が劣った状態より不平等度が小さくなるように不平等測度を構成することができるということであった。逆に、不平等測度が二つの所得分布の間で異なるとき、その測度に照らして不平等が大きい分布の下で社会厚生が低いと判断できるような社会厚生関数を構成することができる。任意の不平等測度 I と常に整合的な社会厚生関数は、平均値 μ に関して単調増加、 I に関して単調減少な関数であればよい。たとえば、 $W = \mu - G$ はジニ係数 G と整合的な社会厚生関数である。この関数の単調増加変換はすべてジニ係数と整合的である。

アトキンソンのように個人の効用関数を想定せずに、社会厚生関数を直接構成して均等分配等価所得を定義することができる。アトキンソン測度が功利主義を前提にしているのに対して、このアプローチは特定の社会厚生関数を想定していない点で一般的なのだが、結局社会厚生関数の選択をいかに行うかという問題を解決するものではない。

1980年頃に複数の研究者により考えられた一般化エントロピー測度は、タイル測度とアトキンソン測度をその特殊な場合として包含するものである。一般エントロピー測度のパラメーター α を 1 に漸近させたものがタイル測度である。また、 0 に漸近させると平均対数偏差 (MLD) となるが、これはタイルの第2指数とも呼ばれている。ちなみにジニ係数は、相対平均偏差 (RMD) を 2 分の 1 にしたものである。さらに、一般エントロピー測度を $\alpha \leq 1$ の範囲で単調変換するとアトキンソン測度になる。情報理

論の分野でレニーはシャノンのエントロピーを拡張していたが、これは一般化エントロピー測度に等しい。

1980年、カウエルは一般化エントロピー測度を用いて、所得分布の変化測度を提案した。これはカルバック＝ライブラー情報量と等しい。1951年に発表されたカルバック＝ライブラー情報量は2つの確率分布 p と q について定義され、 p から q への準距離とも呼ばれている。したがって、所得割合 p から q への変化測度は、 p と q を確率分布と見たときの p から q へのカルバック＝ライブラー情報量に等しいのである。レニーはカルバック＝ライブラー情報量を一般化した。このレニー情報量はパラメーター α のすべての範囲でカウエルの分布変化測度と等価である。

研究期間中に発表されたメンバーの業績としては、Aakil M. Caunhye, Mingzhe Li, Xiaofeng Nie, 'A location-allocation model for casualty response planning during catastrophic radiological incidents,' *Socio Economic Planning Sciences*, Vol. 50, pp.32-44, 2015 や Aakil M. Caunhye, Yidong Zhang, Mingzhe Li, Xiaofeng Nie, 'A location-routing model for prepositioning and distributing emergency supplies,' *Transportation Research Part E*, Vol. 90, pp.161-176, 2016 などがある。

(山崎好裕)



スピントロニクスデバイスにおける材料物性とスピン流制御

研究チーム名：スピントロニクス研究チーム（課題番号：145006）
研究期間：平成26年4月1日～平成29年3月31日
研究代表者：眞砂卓史 研究員：宮原 慎、田尻 恭之

研究背景

近年、物質中のスピンドイナミクスやスピン流の制御、および新たなスピン機能を持つ物質の開拓に関する研究が精力的に進められている。スピン角運動量の流れをスピン流とよび、特に純スピン流はジュール熱の発生がなく、エネルギー損失を抑制して情報の伝達が可能な技術として期待されている。スピン流の生成法としてスピンポンピング、スピン情報の伝達としてスピン波が注目されており、これらはスピンの動的な挙動の理解が不可欠となっている。また、マルチフェロイック物質は強磁性と強誘電性を合わせもつ特殊な物質である。このため、電場を用いて、磁性を変化させたり、スピン波の誘起が可能な新規スピン材料として注目されている。本研究では、スピン流やマルチフェロイック材料のスピン物性を実験と理論の両面から調査し、これらを用いたスピントロニクスデバイスへの応用可能性を検討した。

研究成果

1. スピン波の制御

本研究では、強磁性体である NiFe 合金を導波路とし、コプレナーウエーブガイドによってスピン波を励起する試料を作製し、強磁性金属中のスピン波伝搬について研究を行った。

まず、導波路となる強磁性薄膜の膜厚を増加させることにより伝搬速度を飛躍的に増大させ、伝搬距離を長くすることができること、アンテナ形状の検討から、これまで主に使用してきたショート型の形状が最も効率よくスピン波を励起できることなどが明らかとなった。一方で、膜厚増加に伴って減衰係数が増大する問題が発見された。この原因については、内部スピンポンピングなどの可能性などを考え

ているが、まだ解明されていない。原因を明らかにするために、引き続き試料構造や実験方法などの検討が必要である。

次に、スピン波（静磁表面波）伝搬の角度依存性について検討した。印加磁場角度の増加に伴い、共鳴周波数が低周波側にシフトするとともに、強度が小さくなることが分かった。この変化は静磁表面波のモードが静磁後進体積波に変化していく過程を示しており、スピン波の分散関係をすべての角度について一般化して定式化することにより、理論から予想される共鳴周波数によく一致していることが分かった。

さらに、励起アンテナの左右に伝搬するスピン波の強度が異なる非相反性の制御について検討を進めた。アンテナと導波路の間の絶縁層膜厚を増加させることにより、非相反性の非対称性を大きくできる（NR 比は減少する）ことが分かり（図1）、この理

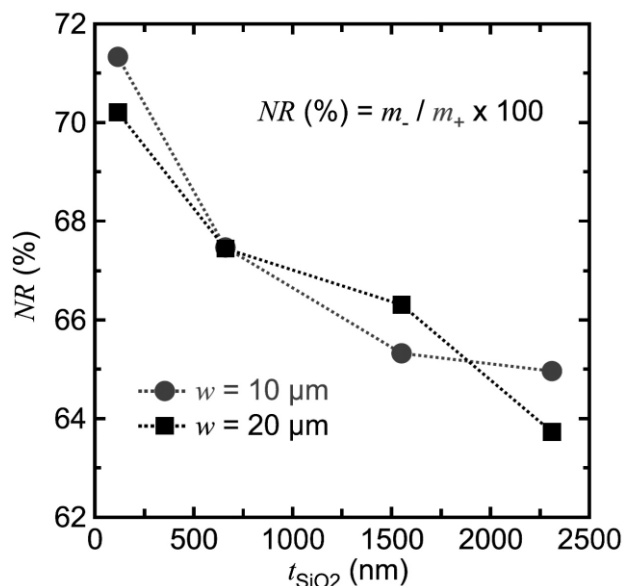


図1 アンテナ間隔が10, 20 μm の時のNR比の絶縁層膜厚依存性

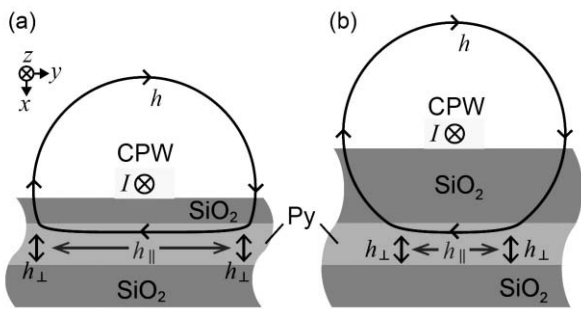


図2 非相反性制御の概念図

由として、スピン波励起において面直成分に比べて面内成分の寄与が減っているためであると、定性的に理解することができた(図2)。一方で、アンテナ幅を増加させることによっても、非相反性を変化させることができた。こちらに関しては、予想に反する結果が得られているため、今後マイクロマグネティックシミュレーションなどの解析を行い、その原因を解明する予定である。

2. スピン波励起とマルチフェロイクスの起源の理論的検討

マルチフェロイック物質中における電気分極と磁化の結合に関する微視的理論と原理の構築を行った。特に、室温でマルチフェロイクスの性質を示す物質であるBiFeO₃に着目し、スピンと電気分極の結合に関する微視的理論を構築し、対称性の低い系固有の電気分極と反対称スピン積との結合機構が存在することを示した。その結果、らせん秩序に伴うらせん面に垂直な電気分極が出現することが分かった[図3(a)]。また、新たにキャントした反強磁性秩序に伴う電気分極の出現が予見されているなど[図3(b)]、今後の新規マルチフェロイック物質発見につながることを期待される。

更に、マルチフェロイック分野の研究で得られた知見を生かし、マルチフェロイック物質におけるスピン波スピン流の伝搬に関する研究を進めている。スピンと電気分極との結合機構を利用することで、強磁性体や反強磁性体におけるスピン波スピン流とは異なる特異な伝搬性質を示すスピン流の発見につながることを期待される。

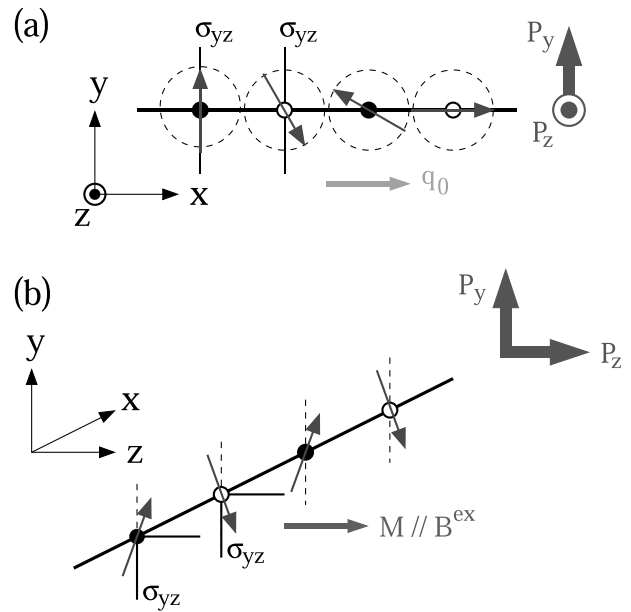


図3 スピン構造と電気分極の結合

- (a)らせん秩序の誘起する電気分極
(b)弱強磁性反強磁性秩序の誘起する電気分極

3. マルチフェロイックナノ粒子薄膜の作製および構造と物性

本研究では、マルチフェロイック物質DyMnO₃ナノ粒子薄膜の作製手法の確立と、その構造と物性の研究を行った。基板上に粒子サイズ分布の小さなナノ粒子薄膜を作製するために、ナノメートルサイズの均一な細孔が規則的に配列したメソ多孔体の細孔中でナノ粒子を合成する手法を用いた。まず、Si基板上にナノ粒子の鋳型となるメソ多孔体SBA-15薄膜を作製した。そのSBA-15薄膜の細孔サイズは合成条件を変化させることで、直径約2~20nmの範囲で制御することを可能にしており、SBA-15薄膜にDyMnO₃前駆体溶液を担持し細孔中にDyMnO₃ナノ粒子を合成することで、DyMnO₃ナノ粒子内包薄膜を作製した。

X線反射率スペクトルのSBA-15薄膜の全反射臨界角より膜密度を算出した。ナノ粒子合成プロセス後の膜密度は増加しており、SBA-15薄膜の細孔中にナノ粒子が合成されていることが示唆された。膜密度の増加分から細孔の全体積の約10%にDyMnO₃ナノ粒子が存在すると見積もられた。細孔中のナノ粒子の充填率を上げるために、前駆体溶液濃度等の合成条件を再検討する必要がある。

室温におけるSBA-15薄膜およびDyMnO₃ナノ粒

子内包薄膜の誘電率測定を行った(図4)。SBA-15薄膜の誘電率は周波数の増加に対して単調減少の振る舞いを示した。一方、 DyMnO_3 ナノ粒子薄膜はSBA-15薄膜と異なり、誘電率の周波数依存性はピークを示し、 DyMnO_3 ナノ粒子によるデバイ型分散の誘電緩和現象が観測された。また、Cole-Cole plot(図4挿入図)は半円ではないことから、 DyMnO_3 ナノ粒子薄膜の誘電緩和は単緩和ではないことが分かった。紫外可視赤外分光測定において、約290 nm以下の紫外線域で DyMnO_3 ナノ粒子による光吸収に起因すると考えられる反射スペクトルが観測された。

以上のように、SBA-15薄膜を用いた DyMnO_3 ナノ粒子内包薄膜の作製プロセスの確立に成功した。今後は、細孔サイズを変化させ異なる粒子サイズのナノ粒子薄膜を作製し、サイズ依存性について明らか

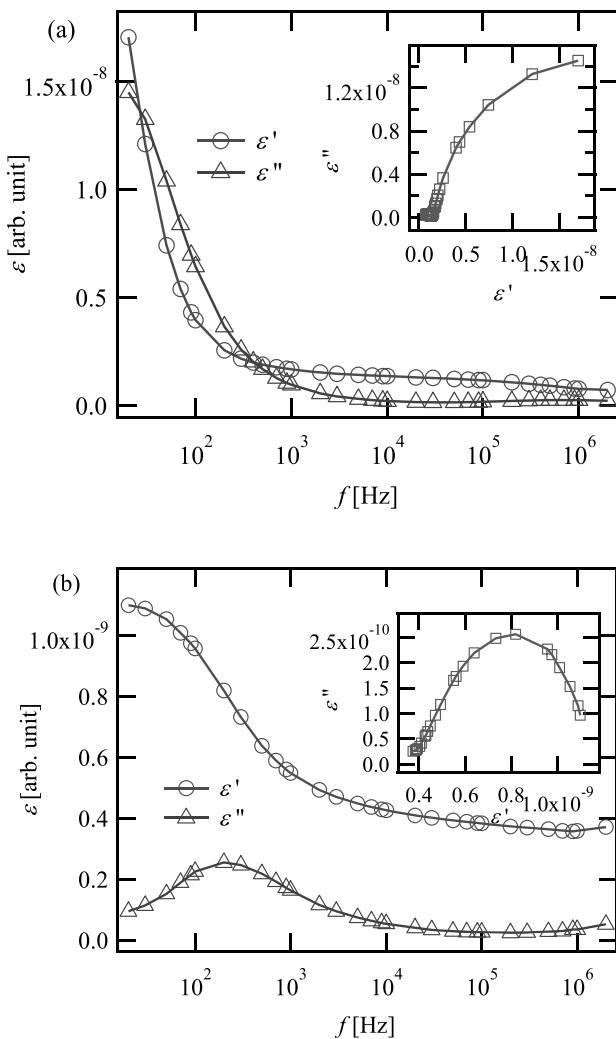


図4 SBA-15薄膜(a)と DyMnO_3 ナノ粒子内包薄膜(b)の誘電率の周波数依存性。挿入図はCole-Cole plot。

かにして行く予定である。また、低温下で磁場・電場中での物性測定を行い、ナノ粒子薄膜の電気磁気効果について明らかにしていく予定である。

研究業績

【学術論文】

- 1) K. Kasahara, M. Nakayama, X. Ya, K. Matsuyama, and T. Manago: Effect of distance between a magnet layer and an excitation antenna on the nonreciprocity of magnetostatic surface wave, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 56, 010309(4 pages) (2017).
- 2) K. Kasahara, M. Nakayama, M. Tashima, S. Kasai, S. Mitani, T. Manago: Spin wave propagation in a permalloy film under tangentially fields, *Fukuoka University Science Reports*, 46(2), 65-68 (2016).
- 3) M. Ota, K. Yamanoi, S. Kasai, S. Mitani, T. Manago: Saturation of attenuation length of spin waves in thick permalloy films, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 54, 113001(5 pages) (2015).
- 4) M. Nakayama, K. Yamanoi, S. Kasai, S. Mitani, T. Manago: Thickness dependence of spin wave nonreciprocity in permalloy film, *Jpn. J. Appl. Phys.* 54, 083002(5 pages) (2015).
- 5) T. Manago, K. Yamanoi, S. Kasai, S. Mitani: Damping Factor Estimation using Spin Waves Attenuation in Permalloy Film, *J. Appl. Phys.* 117, 17D121(3 pages) (2015).
- 6) S. Miyahara, N. Furukawa : Theory of antisymmetric spin-pair-dependent electric polarization in multiferroics, *Phys. Rev. B* 93, 014445(6 pages) (2016).
- 7) M. Tokunaga, M. Akaki, T. Ito, S. Miyahara, A. Miyake, H. Kuwahara, N. Furukawa: Magnetic control of transverse electric polarization in BiFeO_3 , *Nature Communications* 6, 5878(6 pages) (2015).
- 8) T. Tajiri, S. Saisho, M. Mito, H. Deguchi, K. Konishi, A. Kohno: Size Dependence of Crystal Structure and Magnetic Properties of NiO Nanoparticles in Mesoporous Silica, *J. Phys. Chem. C* 119, 1194-1200 (2015).
- 9) M. Mito, T. Tajiri, K. Tsuruta, H. Deguchi, J. Kishine, K. Inoue, Y. Kousaka, Y. Nakao, J. Akimitsu: Investigation of structural changes in chiral

magnet $\text{Cr}_{1/3}\text{NbS}_2$ under application of pressure, J. Appl. Phys. 117, 183904(6 pages) (2015).

- 10) T. Tajiri, Y. Ando, H. Deguchi, M. Mito, A. Kohno: Magnetic Properties and Crystal Structure of DyMn_2O_5 Nanoparticles Embedded in Mesoporous Silica, Physics Procedia, 75, 1181-1186 (2015).
- 11) M. Mito, H. Goto, K. Nagai, K. Tsuruta, H. Deguchi, T. Tajiri, K. Konishi: High pressure effects on isotropic $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ magnet accompanying change in coercive field, J. Appl. Phys., 118, 145901 (6 pages) (2015).

【その他業績：招待講演等】

- 1) 眞砂 卓史：スピントロニクス基礎と最近の研究動向、平成27年度応用物理学会九州支部学術講演会、琉球大学（沖縄）、2015/12/5（5-6）
- 2) T. Manago: Spin wave characteristics in permalloy films, Energy Material Nanotechnology (EMN) Bangkok meeting, Bangkok, Thailand, 2015/11/11（9~13）
- 3) T. Manago: Characterization of spin waves propagating in permalloy film, International Workshop “Nano-Spin Sciences”, Saga, Yobuko, 2015/2/18（18~19）



高性能エネルギー変換システムの開発

研究チーム名：高性能エネルギー変換システム（課題番号：145009）

研究期間：平成26年4月1日～平成29年3月31日

研究代表者：根葉保彦 研究員：松本洋和、麻原寛之（平成27年3月31日まで）

研究成果

本研究は、エネルギー変換装置の電気回路構成や構造、制御方式を検討して、低電磁障害を有する電気エネルギー変換装置や高効率な電気機器を開発し、また、エネルギー変換装置の安定性向上を目的としたものである。新しい電力変換回路を提案した「電気エネルギー変換装置の開発」、非接触給電システムとチャージポンプ回路を用いた昇圧形モータ駆動装置を研究した「高効率電気機器の開発」、スイッチングを有する電力変換回路の汎用的安定性解析手法を提案した「電力変換回路の安定動作パラメータ設計」について、以下の成果を得たので報告する。

「電気エネルギー変換装置の開発」では、新しい電流形コンバータの回路構成を提案し、その制御方法の検討と実機動作確認、理論解析によって長短を明らかにした。具体的には、単相交流から直流を得る4素子2レグ電流形コンバータに複合パルス幅変調（PWM）法の採用を提案し、実験と理論から入出力特性を明らかにした。複合PWM法を6素子2レグ電流形コンバータへ適用し、直流電流の平滑化および入力電流の正弦波化を図る制御法を確立した。単相交流から可変単相交流に変換を行う単一ブリッジY接続電流形コンバータおよび交流チョッパ付加方式コンバータを提案し、正弦波形を得る最適化条件の導出を行った。また、単相交流から固定周波数の単相可変電圧交流を得る8素子2レグ複合PWM電流形コンバータを提案し、実験と理論から正弦波入出力波形の実現と特性を明らかにした。

「高効率電気機器の開発」では、「チャージポンプ（CP）回路を用いたモータドライバの改善」と「非接触給電システムにおける電力変換機器の開発」の2つのテーマについて行った。「チャージポンプ（CP）回路を用いたモータドライバの改善」では、まず研

究員らが提案している同ドライバについて、サイズやコストの低減を目的としてCP回路内のコンデンサの種類を変更するための研究を行った。これまで使用していた電気二重層キャパシタ（EDLC）の代わりに安価でコンパクトな電解コンデンサを適用し、またそのための制御アルゴリズムの開発を行った。研究より、モータ加減速時のコンデンサの充放電をエネルギー残量に応じて変化させることで、モータ運転を滞りなく行えることや運転効率を向上できることを確認した。さらに弱め界磁制御を適用することで、モータ回転速度の上限を向上できることを確認した。また、本ドライバのために、可変パルス幅変調制御方式の電力変換アルゴリズムを提案した。このアルゴリズムは、制御演算を効率化して制御性能の改善を図ることができる。また、実験から本アルゴリズムの採用により運転効率を向上できることも確認した。さらに、従来のドライバに比べて効率を3%以上の改善できることを確認した。「非接触給電システムにおける電力変換機器の開発」では、まず二層構造三相非接触給電システムの提案を行った。過去に提案した一層構造三相非接触給電システムでは回転方向に位置ずれが生じた場合、送電電力が変動していたが、適切に配置された二層構造のコイルをもつ本システムでは回転位置に依らず送電電力を一定化させることができる。実験により本特長を改めて確認した上で、水平方向に位置ずれした場合についても特性を確認し、良好な送電性能が得られることを確認した。また、従来の直/並列補償器を切換えられる回路構造を有する非接触給電用の力率補償器を提案した。力率補償器の切換えのタイミングは導出した回路モデルを用いて推定でき、実験により、本提案補償器は幅広い送電電力領域において高い送電効率を有することを確認した。

「電力変換回路の安定動作パラメータ設計」では、主に電力変換器におけるミススイッチングの影響を検討した。電流制御 DC/DC コンバータの回路実験において、スイッチング動作に伴う高周波リプルやスイッチング信号の伝達時間遅れなどのミススイッチングが、回路動作の定性的性質に影響を及ぼすとの研究成果が報告されている。したがって、ミススイッチングが電力変換回路の定性的性質に及ぼす影響を解明し、またミススイッチングを有する電力変換回路の回路パラメータ設計を行うことを念頭におき、ミススイッチングを有する電力変換回路に適用可能な安定性解析手法に関わる基礎要素技術の構築について以下の取り組みを行った。「ミススイッチングを有する断続回路の回路実験」については、ミススイッチングの一種であるスイッチング遅れが生じる断続回路を実装し、ミススイッチングを有する電力変換回路に適用可能な安定性解析手法の正当性を実験から検証した。「高次元で記述される合成力学系に適用可能な安定性解析手法の構築」については、方程式が高次元で記述され、かつミススイッチングを有する電力変換回路に適用可能な安定性解析手法の先駆けの位置づけである分岐理論に基づく高次元合成力学系の安定性解析手法の構築を行った。また、「ミススイッチングが発生し得る断続回路の基礎解析」については、PWM-1 制御 DC/DC コンバータについて基礎的な検討を行った。

研究業績

- 根葉保彦, 他: 単相入力 PWM 電流形コンバータの三相出力平衡化, 電気学会論文誌, 134-D(9), 833-839, 2014.
- 根葉保彦, 他: 単相 AC-AC 電流形コンバータの改良回路, 電気学会論文誌, 135-D(12), 1237-1238, 2015.
- Matsumoto, H. et al.: A Boost Driver with an Improved Charge-Pump Circuit, IEEE Trans. on Industrial Electronics, 61(7), 3178-3191, 2014.
- 松本, 他: 二層構造三相非接触トランスの提案と検討, 電気学会論文誌, 135-D(5), 539-547, 2015.
- Matsumoto, H. et al.: Variable-Form Carrier-Based PWM for Boost-Voltage Motor Driver with a Charge-Pump Circuit, IEEE Trans. on Industrial Electronics, 62(8),

4728-4738, 2015.

- Matsumoto, H. et al.: Switched Compensator for Contactless Power Transfer Systems, IEEE Trans. on Power Electronics, 30(11), 6120-6129, 2015.
- Matsumoto, H. et al.: A PV Inverter with Charge-Pump Circuit Topology, Proc. of the 19th International Conference on Electrical Machines and Systems 2016, DS1G-2-3, 2016.
- Asahara, H. et al.: Effect of Time Lag in Response to Switching Signal in Interrupted Electric Circuit, Circuits, Systems and Signal Processing, 33(9), 2695-2707, 2014.
- Asahara, H. et al.: Theoretical and Experimental Analysis of a Simple PWM-1 Controlled Interrupted Electric Circuit, Inter. Journal of Circuit Theory and Applications, 42(1), 53-64, 2014.
- 麻原寛之, 他: 区分非線形離散時間力学系における局所的分岐点の計算法, 電気学会論文誌, 134-C(5), 729-736, 2014.



で挟み、ネオマイシン耐性遺伝子 (*neo*) を挟んだ配列を挿入した相同組換え用ベクターを作製した。ES細胞で相同組換えを行い、相同組換え確認した後、遺伝子欠損マウスを得た (下図・下段)。NCLX ホモ欠損マウスにおいて NCLX 遺伝子発現が抑制されていることを確認するため、NCLX ホモ欠損マウスおよび野生型マウスより心臓、血管および腎臓を摘出してリアルタイム PCR を行い、NCLX ホモ欠損マウスのこれら臓器において NCLX 遺伝子発現がほぼ完全に抑制されていることを確認した。

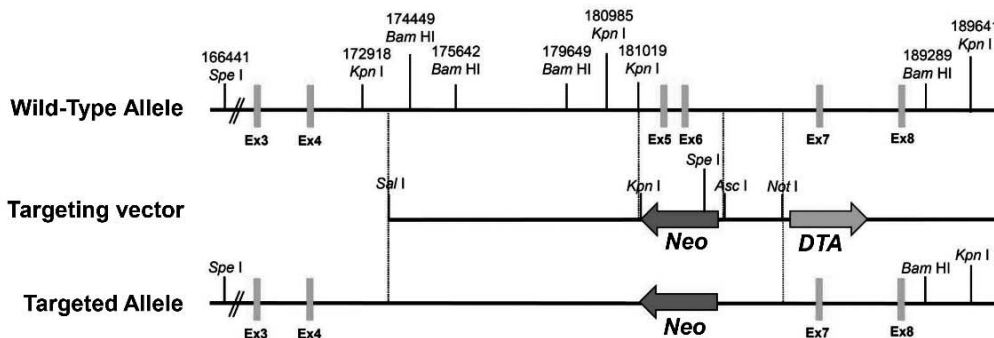
現在、MCU 欠損マウス、NCLX 欠損マウスおよび野生型マウスから調製した骨髄由来 MΦ、NK 細胞を用いて、real-time PCR、western blot、免疫染色により各イオン輸送体の発現・局在を解析している。さらに、免疫細胞のイオン輸送機能について $^{45}\text{Ca}^{2+}$ フラックスおよびイオン電流により評価している。また、免疫細胞の貪食能、遊走能、ケモカイン・サイトカイン産生能、活性酸素産生能、アポトーシス誘導能について検討し、各種イオン輸送体阻害薬の影響を調べる予定である。さらに、MCU 欠損マウ

ス、NCLX 欠損マウスおよび野生型マウス間での各種免疫機能の比較実験も実施している。

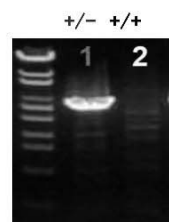
次に、炎症性大腸炎・大腸癌モデル動物の病態形成におけるイオン輸送体の役割を検討するため、MCU 欠損マウス、NCLX 欠損マウスおよび野生型マウスを用いて、DSS 誘導性大腸炎モデルを作製し (Okayasu et al. *Gastroenterology*. 98:694-702, 1990)、各種病態解析 (体重減少・生存率、組織傷害、MΦ 集積、ケモカイン・サイトカイン産生) を実施する予定である。また、DSS 処置した MCU 欠損マウス、NCLX 欠損マウスに野生型マウスから調製した骨髄由来 MΦ を尾静脈から注入する移植実験も実施したいと考えている。また、大腸癌モデル実験によりイオン輸送体の免疫学的役割を解明するとともに、各種イオン輸送体阻害薬の大腸癌予防効果・治療効果について検証実験を実施する。

これらの結果より、免疫細胞活性化におけるイオン輸送体 (特に、ミトコンドリア Ca^{2+} 制御機構) の役割を明らかにする予定である。

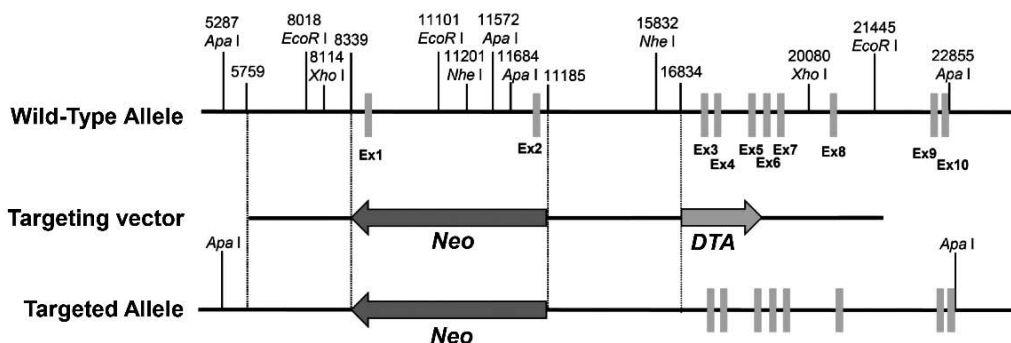
<MCU KO マウス>



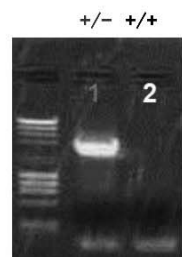
ヘテロマウスの genotyping



<NCLX KO マウス>



ヘテロマウスの genotyping



研究業績

- Nishiyama K, Tanioka K, Azuma YT, Hayashi S, Fujimoto Y, Yoshida N, Kita S, Suzuki S, Nakajima H, Iwamoto T, Takeuchi T. $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ exchanger contributes to stool transport in mice with experimental diarrhea. *J Vet Med Sci.* 79:403-411, 2017.
- Tashiro M, Watanabe Y, Yamakawa T, Yamashita K, Kita S, Iwamoto T, Kimura J. Suppressive effect of carvedilol on $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ exchange current in isolated guinea-pig cardiac ventricular myocytes. *Pharmacology.* 99:40-47, 2017.
- Fujimoto Y, Hayashi S, Azuma YT, Mukai K, Nishiyama K, Kita S, Morioka A, Nakajima H, Iwamoto T, Takeuchi T. Overexpression of $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ exchanger 1 display enhanced relaxation in the gastric fundus. *J Pharmacol Sci.* 132:181-186, 2016.
- Yamashita K, Watanabe Y, Kita S, Iwamoto T, Kimura J. Inhibitory effect of YM-244769, a novel $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ exchanger inhibitor on $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ exchange current in guinea pig cardiac ventricular myocytes. *Naunyn Schmiedebergs Arch Pharmacol.* 389:1205-1214, 2016.
- Nishiyama K, Azuma YT, Morioka A, Yoshida N, Teramoto M, Tanioka K, Kita S, Hayashi S, Nakajima H, Iwamoto T, Takeuchi T. Roles of $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ exchanger isoforms NCX1 and NCX2 in motility in mouse ileum. *Naunyn Schmiedebergs Arch Pharmacol.* 389:1081-1090, 2016.
- Azuma YT, Hayashi S, Nishiyama K, Kita S, Mukai K, Nakajima H, Iwamoto T, Takeuchi T. $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ exchanger-heterozygote knockout mice display increased relaxation in gastric fundus and accelerated gastric transit in vivo. *Neurogastroenterol Motil.* 28:827-836, 2016.
- Wei J, Watanabe Y, Takeuchi K, Yamashita K, Tashiro M, Kita S, Iwamoto T, Watanabe H, Kimura J. Nicorandil stimulates a $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ exchanger by activating guanylate cyclase in guinea pig cardiac myocytes. *Pflugers Arch.* 468:693-703, 2016.
- Shinoda Y, Tagashira H, Bhuiyan MS, Hasegawa H, Kanai H, Zhang C, Han F, Fukunaga K. Corticosteroids mediate heart failure-induced depression through reduced $\sigma 1$ -receptor expression. *PLoS One* 11:e0163992, 2016.
- Shinoda Y, Tagashira H, Bhuiyan MS, Hasegawa H, Kanai H, Fukunaga K. Haloperidol aggravates transverse aortic constriction-induced heart failure via mitochondrial dysfunction. *J Pharmacol Sci.* 131:172-183, 2016.
- Gotoh Y, Kita S, Fujii M, Tagashira H, Horie I, Arai Y, Uchida S, Iwamoto T. Genetic knockout and pharmacologic inhibition of NCX2 cause natriuresis and hypercalciuria. *Biochem Biophys Res Commun.* 456:670-675, 2015.
- Kita S, Tagashira H, Gotoh Y, Fujii M, Iwamoto T. Phosphoinositide analysis using the HPLC system equipped with a fraction collector and the TSKgel SAX column. *Med Bull Fukuoka Univ.* 42:175-181, 2015.
- Wang Y, Chen L, Li M, Cha H, Iwamoto T, Zhang J. Conditional knockout of smooth muscle sodium calcium exchanger type-1 lowers blood pressure and attenuates angiotensin II-salt hypertension. *Physiol Rep.* 3:e12273, 2015.
- Fukunaga K, Shinoda Y, Tagashira H. The role of SIGMAR1 gene mutation and mitochondrial dysfunction in amyotrophic lateral sclerosis. *J Pharmacol Sci.* 127:36-41, 2015.
- Nishiyama K, Morioka A, Kita S, Nakajima H, Iwamoto T, Azuma YT, Takeuchi T. $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ exchanger 1 transgenic mice display increased relaxation in the distal colon. *Pharmacology.* 94:230-238, 2014.
- Sakai Y, Hashimoto M, Enkhjargal B, Mitsuishi H, Nobe H, Horie I, Iwamoto T, Yanagimoto K. Effects of Krill-derived phospholipid-enriched n-3 fatty acids on Ca^{2+} regulation system in cerebral arteries from ovariectomized rats. *Life Sci.* 100:18-24, 2014.
- Tagashira H, Bhuiyan MS, Shioda N, Fukunaga K. Fluvoxamine rescues mitochondrial Ca^{2+} transport and ATP production through $\sigma 1$ -receptor in hypertrophic cardiomyocytes. *Life Sci.* 95:89-100, 2014.
- Moriguchi S, Tagashira H, Sasaki Y, Yeh JZ, Sakagami H, Narahashi T, Fukunaga K. CaMKII activity is essential for improvement of memory-related

behaviors by chronic rivastigmine treatment. *J Neurochem.* 128:927-937, 2014.

Islam MR, Moriguchi S, Tagashira H, Fukunaga K. Rivastigmine improves hippocampal neurogenesis and depression-like behaviors via 5-HT1A receptor stimulation in olfactory bulbectomized mice. *Neuroscience* 272:116-130, 2014.

