

2008 年度研究プロジェクト「高度科学技術に伴う広域・学際的諸課題」  
作業グループ「メタマテリアルの物理と応用」  
Study Group: Physics and application of metamaterial

実施期間: 2007～2008 年度 (第 2 年次)

Term of the Project: 2007～2008 fiscal years (2<sup>nd</sup> year)

研究代表者: 石原 照也 東北大学大学院理学研究科教授

Group Leader: Dr. Teruya ISHIHARA, Professor, Department of Physics, Graduate School of Science, Tohoku University

研究目的:

メタマテリアルとは、電磁波の波長よりも十分に小さな構造によって異常な電磁応答を示す構造体であって、たとえば誘電率と透磁率が同時に負になり、その結果負の屈折率を持つ人工物質などがその代表例である。2001 年には米国の Smith らがマイクロ波領域での負屈折物質の実現に成功して以来急速な発展を遂げ、最近では可視領域に達したとの報告もある。メタマテリアルを用いることにより波長分解能を超えたイメージング、電磁波迂回による透明化、光領域の磁性などが実現される。

我が国では、メタマテリアルの研究は欧米に比べて出遅れた感があり、組織だった研究がなされていない。本研究会では、マイクロ波から、テラヘルツ波、可視領域までの広い研究者が、それぞれ固有のバックグラウンドを超えて交流し、新しいメタマテリアル分野を確立することを目指す。

Objectives:

Metamaterial is an effective medium which exhibits extraordinary electromagnetic response due to the fine structure much smaller than the wavelength of interest. One good example is the negative index material (NIM) which results from simultaneous negative permittivity and permeability. In 2001 Smith (USA) succeeded to realize it in the microwave frequency range. Afterwards this research which drastically changes conventional principle of optics grows rapidly and the operating frequency increases up to the visible range of the spectrum recently. With metamaterial it is possible to make imaging without wavelength-limited resolution, invisibility due to electromagnetic wave detouring and magnetism in optics to name a few.

In Japan, the research activity in this field develops less intensively with unorganized research activity. The objective of this study group is to achieve fruitful interaction of various researchers with backgrounds in microwaves, THz and visible in order to establish the new field of metamaterial of our own.

前年度までの研究の概要:

2007 年 1 月 7,8 日に研究会を行った。メタマテリアルに関する各自の研究の現状と今後の研究戦略、研究協力について議論した。物理的な観点からは、金属人工構造体における光誘起磁性、インピーダンス整合された系における波動伝播、フォトニック結晶における Berry 曲率について議論を行った。メタマテリアルの構成法に関しては、分子のアプローチで精度の高い数値計算を行う方法、伝送線路アプローチによる左手系構成法、強磁性体を含んだナノコンポジット、光増幅による損失補償、磁性体および高誘電率の誘電体の利用、効率のよい数値計算法である境界要素法の紹介があった。応用としては光領

域におけるセンシング、非線形メタマテリアル、テラヘルツ領域における偏光制御や光源デバイス、コンパクトな高周波デバイス、指向性を制御できるアンテナについて報告があった。4月に公募が行われる新学術領域研究への取り組みについて話し合った。この研究会での議論が契機となって、メタマテリアルの創始者であるロシア一般物理学研究所のベセラゴ教授を日本に招くことになり、3/3-3/7にわたって、京大電子、物質材料機構、東大先端研で講演会を開いて、メタマテリアル概念の普及に努めた。

#### Achievement:

We had a workshop with 16 members listed above on January 7-8. Present status of research on metamaterials, future research strategy and collaboration were discussed. Physics on photo-induced magnetism, wave-propagation in impedance-matched system, Berry's phase in photonic crystals were discussed. As for metamaterial construction, meta-molecular and transmission line approaches, nano-composites with ferromagnetic elements, loss compensation due to optical amplification, utilization of magnetic and high-dielectric permittivity materials, effective numerical calculation based on the boundary element method were introduced. Application for sensing at optical frequency, nonlinear metamaterials, polarization control and sources in THz region, compact high-frequency devices, controllable directional antenna were reported. The discussion at the workshop resulted in an invitation of the forerunner of metamaterials, Professor Veselago of General Physics Institute, Russia to Japan. He gave lectures on metamaterials during March 3-7 at Electronics Department of Kyoto University, National Institute of Materials Science, Research Center for Advanced Science and Technology of University of Tokyo.

キーワード: メタマテリアル、負の屈折率、マイクロ波、テラヘルツ波、可視光

Key Word: Metamaterial, negative index material, microwave, THz wave, light wave

#### 研究計画・方法:

研究会を2回程度開催予定

#### 研究会開催予定:

- 第1回: 2008年 5月 (於 高等研)
- 第2回: 2008年 9 or 11月 (於 高等研)

#### 参加研究者リスト: 39名 (◎研究代表者)

氏名	職名等
◎石原 照也	東北大学大学院理学研究科教授
浅川 潔	独立行政法人物質・材料研究機構監事
岩長 祐伸	東北大学大学院理学研究科助教
上田 哲也	京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科助教
宇野 亨	東京農工大学大学院共生科学技術研究院教授
岡本 隆之	独立行政法人理化学研究所河田ナノフォトニクス研究室前任研究員
岡本 敏弘	徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部助教
尾辻 泰一	東北大学電気通信研究所教授
小野田 勝	秋田大学工学資源学部准教授
梶川 浩太郎	東京工業大学大学院総合理工学研究科教授
北野 正雄	京都大学大学院工学研究科電子工学専攻教授

酒井 道	京都大学大学院工学研究科准教授
榊原 久仁男	名古屋工業大学大学院工学研究科情報工学専攻准教授
迫田 和彰	独立行政法人物質・材料研究機構量子ドットセンター長
佐藤 和夫	株式会社豊田中央研究所走行安全研究センター安全・情報システム研究部 電磁波応用研究室長
真田 篤志	山口大学大学院理工学研究科准教授
澤田 桂	独立行政法人理化学研究所播磨研究所石川 X 線干渉光学研究室 基礎科学特別研究員
下条 雅幸	埼玉工業大学先端科学研究所准教授
杉本 喜正	独立行政法人物質・材料研究機構ナノテクノロジー融合支援センター主席研究員
田中 拓男	独立行政法人理化学研究所准主任研究員
田丸 博晴	東京大学先端科学技術研究センターフォトンクス材料分野宮野研究室助教
張 紀久夫	財団法人豊田理化学研究所フェロー
富田 知志	奈良先端科学技術大学院大学物質創成科学研究科助教
永井 正也	京都大学大学院理学研究科物理学第一教室助教
西村 直志	京都大学大学院情報学研究科教授
萩行 正憲	大阪大学レーザーエネルギー学研究センター教授
古屋 一夫	独立行政法人物質・材料研究機構超高压顕微鏡ステーション長
堀井 康史	関西大学総合情報学部教授
宮寄 博司	東北大学大学院工学研究科准教授
宮丸 文章	信州大学大学院工学系研究科助教
大谷 佳広	京都大学大学院情報学研究科講師
倉見 洋輔	京都大学大学院情報学研究科大学院生
黒澤 裕之	東北大学大学院理学研究科大学院生
畑野 敬史	東北大学大学院理学研究科大学院生
箕輪 陽介	京都大学大学院理学研究科大学院生
足立 雅和	パナソニック 電工株式会社
笹部 孝司	パナソニック 電工株式会社
諏訪 敦	パナソニック 電工株式会社
納富 雅也	日本電信電話株式会社 NTT 物性科学基礎研究所 量子光物性研究部 フォトリソグラフィナノ構造研究グループ グループリーダー・特別研究員(主幹研究員)

#### 研究会開催実績：

- 第1回 2008年7月18日～19日 (於：高等研)
- 第2回 2009年1月23日～24日 (於：高等研)

#### 研究実績の概要：

2008年7月18-19日に日本におけるメタマテリアル研究を活性化させるために、大学・研究機関でどのような連携研究が可能であるかということテーマにワークショップを行った。現在日本で行われているメタマテリアルの研究領域を周期構造と共鳴構造、電磁波領域と光領域の2つの軸で分類した4つの領域および理論研究の計5領域を想定し、真田(山口大)、萩行(阪大)、梶川(東工大)、石原(東北大)、迫田(物材機構)が提案を行い、参加者がコメント、議論を行った。

2009年1月23-24日にはメンバーの研究状況を概観するために14人の話題提供者がそれぞれの成果

を報告し、議論を行った。

周期多重極法を用いた数値計算法、金属による THz 領域の人工誘電体の構成、プラズモンナノ共振器、旋光性媒質における円偏光の完全無反射現象などの新しい話題が注目された。

これらの活動に基づき、さらに産官学の連携を図るために日本学術振興会の先導的研究開発委員会として「メタマテリアルの開発と応用」を申請した結果、認められ、2009 年度から 3 年間にわたって実施されることとなった。この委員会は同名の高等研プロジェクトと連携して活動を行う予定である。

#### Achievement:

On July 18-19, a workshop on activation of metamaterials research in Japan was held. The main subject was how we can collaborate among universities and research institutes. The present research activities in Japan can be categorized into four groups in terms of structure (periodic or resonant) and frequency (electromagnetic wave or light). Adding a theoretical group, Sanada (Yamaguchi Univ.), Hangyo (Osaka Univ.), Kajikawa (Tokyo Inst. Tech.), Ishihara (Tohoku Univ.) and Sakoda (NIMS) proposed collaboration schemes and they were intensively discussed.

On January 23-24, a second workshop was held, where fourteen speakers reported their recent research activities on metamaterials. Novel results such as periodic multipole method for numerical calculation of electromagnetic field in metamaterials, artificial dielectric metamaterials in THz region based on metallic structure, plasmon nanoresonator for sensing, null-reflection, completely invisible medium for circularly polarized electromagnetic waves were intensively discussed.

Following these achievement, we proposed a new Frontier Research and Development committee in JSPS in order to promote cooperation among industry and academia, which was accepted. Starting from FY2009, it will run for three years in cooperation with an IAS project under the same name.

担当：金森所長