スウェーデン王立工科大学での研究
-メタマテリアルと逆散乱に関する研究-

工学部　電気電子工学科　助教　森山敏文
（派遣期間：平成２２年　３月３１日～平成２２年　９月３０日）

前文

組織的な若手研究者等海外派遣プログラムを利用して，スウェーデンの王立工科大学に約六ヶ月間滞在した．スウェーデンでは，研究・生活などに関して，いろいろと日本との違いや刺激を受けた．また，研究に関しては，現地のゆったりとした流れの中で勉強することができた．以下では，滞在した研究機関の紹介と研究内容などを述べ，最後に今後の展望と感想を述べる．

１．滞在研究機関の紹介

王立工科大学は，スウェーデン語 Kungliga Tekniska hogskölan の略称からＫＴＨと呼ばれ，スウェーデンでトップクラスの理工系大学である．175 年以上の歴史を有し，ノーベル賞のお久座元でもあり，その受賞者（ハンス・アルヴェーン：物理学賞）も輩出している．学生数は, 学部生 1,3000 人（30％が女性）, 博士後期課程の大学院生は 1500 人(29％が女性), 職員数は 3000 人である．卒業者の中には，ロッキー4 でロッキーの敵役を演じた映画俳優ドルフ・ラングレン（大学のパンフレットに掲載）もいて，多彩な卒業生を輩出している．お世話になった School of Electric engineering では 12 の研究室があり，その中の Electromagnetic Engineering 研究室に滞在した．研究室での博士課程の学生の出身国は様々で，中国，マレーシア，イラン，タンザニアなどのスウェーデン以外の海外からの学生が多数を占めており，非常に国際交流が盛んであった．図 1 に，大学と学生との交流の様子を示した写真を示す．

（a）王立工科大学

(b) お茶の時間

図 1

２．研究内容と成果

・滞在中に行った研究内容は，逆散乱解析により近年注目されているメタマテリアルの媒質定数（比誘電率，比透磁率）を推定することである．メタマテリアルは，対象とする電磁波の波長よりも小さな周期性を持つ微細な構造を利用して，誘電率や透磁率を制御して作成される。その結果，負の屈折率や，隠れ蓑のような非常に変わった応用まで考えられている。しかし，これらの現象を解析するためには，微細な構造によるミクロ的な電気的応答や時期的応答をマクロ的な誘電率や透磁率に置き換えて考える必要がある。様々な構造を持つメタマテリアルを作成することは，現在の加工技術から十分に行うことができる。特にマイクロ波領域では波長が長いため，周期性を持つ微細な構造の作成は容易となっている。しかし，その構造の誘電率や透磁率は Drude/Lorentz 型分散性を有しており，その誘電率や透磁率パラメータを正確に推定することは困難である。そこで，複素反射率や複素透過率から実効的誘電率や，実効的透磁率を推定することが行われている。しかし，逆散乱解析法を利用すれば, 正確に Drude や Lorentz 分散性を考慮した誘電率や透磁率を推定することができ，その３次元分布も知ることができ，メタマテリアルの振る舞いを正確に把握することができるはずである。そこで，本研究目的は逆散乱解析法を利用して，メタマテリアルの誘電率と透磁率を推定し，その分布を調べることとした。これにより，より詳細なメタマテリアルの特性と構造を把握することができるようになり，メタマテリアルの実装などに役立つと期待されるからである。実際には，メタマテリアルの基礎的なことを勉強して，解析のもととなる簡単な逆散乱のプログラムなどの開発を行った．図 2 に作成したプログラムで誘電率分布を推定した結果を示す.

・During stay in Sweden, I researched a method to retrieve the material parameters (relative permittivity and permeability) of Metamaterial by using the inverse scattering technique. Metamaterial is a kind of innovative artificial material which has a periodical structure. Its periodical structure is smaller than a wave length of operated electromagnetic wave and the electromagnetic properties can be controlled by its composition. Metamaterial is used for the negative refraction, perfect lens, tunable electric or magnetic device, cloaking structure and so on. In order to use Metamaterial, it is necessary to know its material properties, such as permittivity, permeability and refractive index, from the measured data as S-parameter obtained by Network Analyzer. There are some retrieve methods of material parameters. However, they regard Metamaterial as a homogeneous material and retrieve the effective parameter only which does not depend on position of the material. However, Metamaterial is not homogeneous material. If an inverse scattering is used for estimation of its parameters, the permittivity and permeability which are a function of position can be obtained. This information is very useful for a fabrication of Metamaterial. Then I decided my research object during stay in Sweden. At first, I studied the basic theory and Metamaterial devices. Next, I read some papers dealing the retrieval method. Finally, I made a program to retrieve the material parameters from S parameters. The calculation result is

shown in Fig.2.

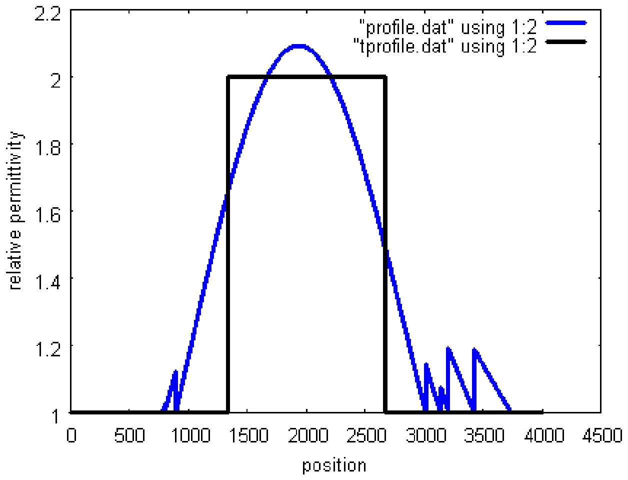

図 2　数値計算の例（青線：計算結果，黒線：理論値）

３．今後の展望と感想

スウェーデンの滞在期間は 6 ヶ月ほどだったが，研究や文化の違い，新たな人脈形成など非常に有意義な物であった．この経験を大事にして行きたい．研究面では，2 章で述べた研究を最後まで行うには，この滞在期間は時間が短かった．しかし，研究の足がかりを作ることができた．そこで，引き続き研究を続けていく予定である．また，スウェーデンの受け入れ先と現地で知り合った若手の研究者達との交流も継続して行っていく予定である．