

氏 名：北村 優太

専攻・学年：機械理工学専攻・博士 3 年

派遣国：アメリカ合衆国

派遣先(研究機関名)：University of Cincinnati

受入研究者(職・氏名)：Professor Gui-Rong Liu

派遣期間：2011 年 9 月 24 日 ～ 2012 年 1 月 23 日(122 日間)

派遣先での研究テーマ：Edge-Based Smoothed FEM による 3 次元き裂進展解析

(3-Dimentional Crack Growth Analysis by Using Edge-Based Smoothed FEM)

【研究実施概要】

私の研究では、半導体リソグラフィに必要な光学素子として使用される単結晶材料に関して、結晶育成時の熱応力から素子使用時の光学特性までを一貫して解析できるシステムの構築を研究目的としている。この単結晶内の応力を求める手法としては、有限要素法を用いている。現在問題となっているのは、単結晶の切り出し工程や加工時に生じる塑性変形である。この応力を求める際には、時々刻々と変化する形状に対して、自動メッシュ生成により四面体要素モデルを作成することが有効となる。しかし、四面体要素は解析精度が大きく低下してしまう。応力集中を正しく評価するために 2 次要素を使用すると、節点数の増大により解析が困難となる。そこで、節点数を増大させずに解析の精度を向上させる手法である Smoothed FEM が有効となる。

派遣先として選択した G. R. Liu 教授は、Smoothed FEM の第一人者である。まず G. R. Liu 教授の下で、Smoothed FEM の知識の習得を行った。従来の FEM では要素を基準として、その要素に含まれる節点を用いて ひずみ-変位マトリクスを作成する。四面体 1 次要素の場合には、1 つの要素に対してひずみ-変位マトリクスを作成する時に、4 つの節点の情報をを用いる。これに対して Smoothed FEM では、1 要素よりも小さい領域で複数の要素にまたがる Smoothing Domain を基準として考える。そして Smoothing Domain に対するひずみ-変位マトリクスを作成する際には、その Smoothing Domain がまたがっている要素の全ての節点を参照する。これにより、節点数や全体剛性マトリクスのサイズを増やすことなく、その精度を上げることができる。

Smoothed FEM には複数種類の方法が存在するが、今回はその中で最も数学的に精度の良い Edge-Based Smoothed FEM を選択した。これは Smoothing Domain を作成する際に、辺(Edge)を基準とする手法である。そして、2 次元の Edge-Based Smoothed FEM のプログラムを読み、実際に行われている計算の詳細を学んだ。また、私の研究のように加工の解析を行う場合には応力集中を考慮する必要があるが、この特異性応力場を取り扱うための Singular Smoothed FEM の理論も学習した。

これらの知識を習得した後、Matlab を用いて自作の 3-Dimentional Singular Edge-Based Smoothed FEM の計算コードを組んだ。そして、作成したプログラムの妥当性を確かめるために、3 次元円孔平板のき裂進展解析を行った。この解析では、四面体要素の自動メッシュ生成を行い、き裂の進展を逐次的に解析した。

【研究成果概要】

まず、派遣前の研究計画からの変更点を記す。当初の計画では、時々刻々と外形を変える単結晶の加工時の応力解析において、メッシュフリー法を使用することを考えた。しかしながら、派遣後に G. R. Liu 教授と相談した結果、有限要素法との互換性が高く、その資産を転用することも用意であり、かつ精度がより高い手法である Edge-Based Smoothed FEM を使用することにした。

今回の派遣において、上記の Edge-Based Smoothed FEM ならびに特異応力場を取り扱う場合の Singular Edge-Based Smoothed FEM の理論を習得した。そして、G. R. Liu 教授の研究室で過去に作成された 2 次元プログラムを読むことで、Edge-Based Smoothed FEM の知識を深めると同時に、コーディングのテクニックを学んだ。その後、Edge-Based Smoothed FEM による 3 次元解析用の計算コードを作成した。この一連の作業により、Edge-Based Smoothed FEM が有限要素法と非常に近いこと、そして市販の有限要素解析ソフトと連携させることによる有用性を確

認できた。さらに、き裂進展解析プログラムの作成も行い、このために必要な破壊力学の理論も習得した。また、破壊力学を実際に数値計算に落とし込む方法も学ぶことができた。

作成したプログラムによる3次元き裂進展解析は、実験結果と程度良い一致を示した。しかしながら、き裂周りのメッシュの精度をより上げる必要性も確認された。今後は自動メッシュ生成の精度を向上させるとともに、Singular Edge-Based Smoothed FEM と市販の有限要素解析ソフトとを組み合わせることを考える。

【外国語のスキルアップ・コミュニケーション能力の向上、海外におけるネットワークづくり】

今回の海外派遣を通して、滞在先の研究室の方々だけでなく、その他非常に多くの方々と知り合うことができた。研究室では、G. R. Liu 教授だけでなく、研究を共にする学生の方々とも数多くのディスカッションを行った。また、彼ら学生達とは、研究以外の日常的な会話も、日々数多く交わした。学外においては、毎週行われるパーティーに積極的に参加し、異なる学部、そして様々な国籍の数多くの方々と知り合うことができた。また、博士課程の学生の方と、2ヶ月の間ルームシェアを行い、共同生活を行った。これら滞在先で知り合った方達との交流を通じて、語学力の向上だけでなく、お互いの文化や考え方、価値観の違いなどを知ることができた。これらのアメリカでの出会いは、私にとってかけがえのない財産となった。

今回の派遣期間は英語を習得するためには短い期間であると感じた。特にネイティブスピーカーが速めに話した場合には、現在でも聞き取りが困難である。しかしながら、リスニング能力・スピーキング能力共に、派遣前と比較して向上したことが実感できた。スピーキングに関しては、現地で良く使用される言い回しや便利なフレーズを覚えることで、表現の幅を広げることができた。ヒアリングにおいては、ネイティブの発音だけでなく、様々な国の方々の訛りの入った英語を聴き取る能力も向上した。これからの国際化社会において、ネイティブイングリッシュスピーカーではない人と会話する機会はますます増えるはずであり、各国の訛りの混ざった英語を聴けることは重要である。

今回の派遣でのこれらの出会いを大切に、そしてそこから得られたことを今後に活かして、これからの研究生生活を送りたいと考える。

【派遣の感想】

最初に、今回このような貴重な体験をさせていただいたことに、感謝の意を表す。

この派遣を通して、私の今後の研究に必要な知識とスキルを取得することができた。今回私が学んだのは有限要素法を発展させた手法であり、このような有限要素法の拡張は、多くの分野から今後の期待をされている。それ故に、今回このような手法を学べたことは、現在の私の研究に対してだけでなく、将来の私の研究生生活に対しても非常に有意義なことであった。そのような研究の第一人者である G. R. Liu 教授の下で学べたこと、そしてその研究室の人達と議論をできたことは、とても良い経験となった。また、他の研究室で学ぶことで、これまでとは違う刺激を受け、知識的な物だけではなくモチベーションの上昇にもなった。私の訪問を快く受け入れて下さった G. R. Liu 教授に、この場を借りて厚くお礼を申し上げたい。

また、実際に英語圏で生活することで、英語能力を向上させることができた。日本国内でどれだけ練習をするよりも、実際に現地で生活をする方が、それにより得られる物が多いことを実感した。特に、研究に関連していない日常の会話能力は、現地の人達との交流により大きく改善された。さらに、英語圏の人、また他の多くの国の人達とプライベートで付き合うことにより、その人達の考え方や文化を肌で学び取ることができた。これは、学会や旅行等で短期的に国外へ行っただけでは中々得られないものである。異なる国の人とコミュニケーションを取るためには、言語により意思疎通ができるだけでなく、その人の価値観などを尊重して正しく接する必要がある。今回の派遣はそのような意味でも非常に有意義なものであった。

派遣先の大学では留学生も多かったのだが、それでも日本人留学生は他国と比較して非常に少なかった。他国の学生からも日本人留学生が少ないことは認識されているが、彼らから見たら、「日本は海外に出なくても自国だけでやっていけるから」と映っているようだ。これまではそうだったのかもしれないが、私はこれからの国際化社会において、日

本人も積極的に海外と関わっていく必要があると感じている。今後も、この海外派遣プログラムのように学生が海外で学ぶ機会が増えることを願わずにはいられない。

最後に、このような機会を与えて下さった独立行政法人日本学術振興会「組織的な若手研究者等海外派遣プログラム」に携わる全ての方々、私をサポートして下さいました宮崎則幸教授、そして私の派遣を快諾して下さいました G. R. Liu 教授に深く謝意を表す。