

## 工系3学院学生国際交流基金プログラム

## 帰国報告書

派遣者氏名: 木村 直人	
所属・研究室・学年:工学院 機械系 岩附研究室 博士課程2年	
派遣先大学・専攻:RWTH Aachen University, Institute of Mechanism Theory, Machine Dynamics and Robotics (IGMR)	
受入研究室・教員名:Prof. Burkhard Corves, Prof. Mathias Hüsing	
派遣期間:	2019年 6月 3日 ~ 2019年 8月 31日
申請カテゴリー:	<input checked="" type="checkbox"/> (C1)SERP <input type="checkbox"/> (C2)AOTULE <input type="checkbox"/> (C3-a)部局間協定校 <input type="checkbox"/> (C3-b)全学協定校 <input type="checkbox"/> (C4)その他
研究(プロジェクト)題目:Structural synthesis of foldable spatial linkages with various types of kinematic pairs	

- A) 帰国後1か月以内に工系国際連携室宛 (ko.intl@jim.titech.ac.jp) にMS Wordファイルにて提出ください。
- B) SERP・AOTULEで派遣された場合は、受入教員の評価書も添付して下さい。
- C) この表紙を含まず、ページ数は2~4ページ、ファイルサイズは3MB以内としてください。
- D) 研究室や宿舍内の様子の写真、図表、イラスト、滞在中のその他の写真などは挿入可です。ただし、それらを掲載する際には簡単な説明を加えて下さい。
- E) 提出された報告書の2ページ目以降を工系のホームページに掲載いたします。また、別途、学内広報誌「東工大クロニクル」の執筆をお願いすることがあります。

## 報告書必須記載事項

1. 派遣大学の概要(所在地、創立、規模など)
2. 留学準備など(就職活動、修士・博士論文などとの兼ね合いを含め、修了までの計画をどう立てたか。留学先大学の指導教員/所属研究室の見つけ方、ビザ取得有無など)
3. 所属研究室での研究概要とその経過や成果、課題など
4. 所属研究室内外の活動・体験(日常生活・余暇に行った事など)
5. 留学先での住居(寮、ホームステイ等)、探し方、申し込み方法、ルームメイトなど)
6. 留学費用(渡航費、生活費、住居費、保険料)など
7. 今回の留学から得られたもの、後輩へのメッセージ、感想、意見、要望
8. その他 \*任意 (留学先で困ったこと/帰国後の進路(就職・進学・長期留学))

東京工業大学 工系3学院学生国際交流基金  
帰国報告書

派遣年月:2019年6月-8月

氏名:木村 直人

所属:工学院 機械系 機械コース

派遣先:アーヘン工科大学

(次ページ以降に記入してください。)

## 1. 派遣大学の概要

アーヘン工科大学(RWTH Aachen University) は、ドイツ西部のアーヘンを所在地とする理工系の公立大学である。学生数は2018/19冬学期の時点では約45,000人[1]であり、東工大の学生数を大きく上回る。そのうち、約10,000人が125か国から集まった留学生である。世界大学ランキングは現時点で87位であり[2]、世界でも高い研究力を有する大学の一つである。

[1] Fact and Figures - RWTH Aachen University, <http://www.rwth-aachen.de/cms/root/Die-RWTH/Profil/~enw/Daten-Fakten/?lidx=1>, アクセス日:2019/9/2.

[2] The world university ranking, <https://www.timeshighereducation.com/>, アクセス日:2019/9/2

## 2. 渡航準備など

### 派遣先の決め方

私の派遣先のPIであるCorves先生とHüsing先生は、昨年(2018年)に東京で行われたIFTtoMM Summer Schoolに講師として参加されており、機構学やロボティクスに関する講義をなさっていた。私もそのイベントに参加していたため、海外渡航を決める段階で先生方のことは知っていた。私は、自身の専門分野に近い海外の研究室で博士論文研究の課題と異なる研究をすることで自身の専門的知識と経験の幅を広げたいと考えていたため、自分と同分野で多くの業績を出しているCorves先生たちの研究所で研究を行いたいと考えた。そこで、指導教員の岩附先生に相談したところ、Corves先生とお知り合いとのことで、メールで一報入れて下さり、Corves先生から受け入れの許可を頂くこととなった。

### 渡航期間の決定

私は日本学術振興会(学振)の特別研究員であるため、学振に申請した研究プロジェクトを計画通りに遂行する必要がある。ゆえに、長期の海外渡航は困難であった。よって、年度の後半に研究スケジュールを調整できるよう、夏に短期間での海外渡航を行うことに決めた。また、ドイツの場合、3か月であればビザなしでの滞在が可能であるため、渡航期間がちょうど90日になるように調整を行った。

### 研究プロジェクトの決定

学振に申請したプロジェクトに関する研究専念義務があるため、そのプロジェクトに知見を活かすことができ、なおかつ普段とは視点の異なる研究テーマを考案した。私が現在行っているプロジェクトは、新しい関節機構を開発することにより空間リンク機構の運動拘束を拡張することである。すなわち、具体的な機能を持つ空間リンク機構はその研究の応用となる。そこで、「具体的な機能を持つ空間リンク機構の設計論」をテーマにすることで、普段のテーマと渡航先のテーマの関連付けを行なった。特に、扉の開閉機構等に用いられる「折り畳み可能な空間リンク機構」に関して、以前に読んだ論文から興味を得ていたため、その設計論をテーマにすることにした。また、空間リンク機構の構造、すなわち、トポロジー、リンク数、関節の選び方と配置をいかにして最適に設計すべきかという点については以前から非常に興味を持っていたため、研究計画に組み込むことにした。

上記のようなテーマで研究計画を立て、派遣先に送付したところ、非常に興味深いとのコメントを頂き、そのテーマで研究を推進することになった。

### 大学の受け入れ手続きと保険

アーヘン工科大学の受け入れ手続きはWEBフォームを通して行うことができるため、非常に簡単であった。ただし、注意しなければならないのは保険への加入義務があることである。基本的にはドイツの法定健康保険に加入必要があるのだが、私のような短期留学の場合、法定健康保険に加入するのが難しい。そのため、他の保険会社の保険に加入し、ドイツの法定健康保険会社の1つに連絡して、法定健康保険に加入する必要がない旨の証明書を発行してもらう必要がある。このとき、保険選びで重要なのが、ドイツの法定健康保険で補償される項目(歯科治療等)をすべて満足している必要があることである。私が受け入れ手続き前に日本で加入した健康保険はこの項目の一部を満足していなかったため、最終的にドイツのプライベート健康保険に加入することとなった。

## 3. 所属研究室での研究概要とその経過や成果、課題など

「折り畳み可能なリンク機構」は、展開催された状態から折り畳みによりコンパクトな状態に遷移することができるため、省スペースが必要なさまざまなアプリケーションに用いることができる。本機構について、リ

リンクを空間的に配置して空間機構を構成すれば、機構の動作スペースをより有効に活用することが可能である。しかし、従来の折り畳み可能な空間機構は回転関節のみで構成されているため、創成可能な運動が制限される。そこで、本研究では、様々な種類の関節を持つ1自由度の空間リンク機構を設計する方法論を構築することを目的とした。特に、本研究では以下の点に着目し、研究を行った。

- (a) 折り畳み可能な機構の運動学的条件の定義と定式化
- (b) 空間1自由度機構の構造(リンク数, 関節の種類, 寸法)のシステムティックな設計論
- (c) 運動伝達性を考慮した機構設計

本研究で得られた成果は以下のとおりである。(未発表の成果につき、詳細は割愛する。)

- (1) 折り畳み可能な空間リンク機構が満たすべき条件を定義し、その条件を満たす空間リンク機構の寸法のパラメータ化を行った。
- (2) リンク機構の構造を最適化するために、リンク数, 関節数, 関節の種類(低次対偶に限る)によらない運動学モデルおよびその順・逆運動学解析手法を提案した。
- (3) 設計者が与えたいいくつかのパラメータに基づいてリンク数を決定する手法, および機構が目標の運動を創成するように関節の種類と最適な機構寸法を効率的に決定する手法を提案した。
- (4) 作業領域内で可動な機構が得られるように、入力運動伝達性を考慮した1自由度空間リンク機構の寸法最適化手法を提案した。
- (5) 折り畳み可能な空間リンク機構の例として、小型航空機の翼の折り畳みを行う1自由度のリンク機構を提案手法を用いて設計した。また、その運動伝達性を運動伝達指数を用いて評価するとともに、3D-CADで機構の動作シミュレーションを行い、目標の運動が創成可能であることを確認した。

本研究では、さらに、折り畳み可能な空間リンク機構のみならず、一般的な経路創成空間1自由度機構の設計が行えるように設計論を拡張した。また、例としてピック&プレース作業を行える空間1自由度機構の設計を行い、所望の運動が創成できることを上記(5)と同様の方法で確認した。

## 4. 所属研究室内外の活動・体験

### 研究室生活

アーヘン工科大学において、日本における研究室にあたるものは、Institute(研究所)と呼ばれ、その規模は日本の研究室よりもずっと大きい。私の派遣先のIGMRでは、建物1つがその研究所のものであり、そこで多くの学生が機構学、機構のダイナミクス、ロボティクス(動作計画やセンシング等)といった幅広いテーマで研究を行っている。また、日本とは異なり、研究の主体は数十人の博士課程の学生である。博士課程の学生は研究所に雇用される形で給料を得ており、その分学生の指導や産学連携プロジェクト等、博士論文研究と異なる仕事もこなしている。修士課程の学生は、リサーチアシスタントとして雇用され、博士課程の学生の研究の手伝いをしている。このようなシステムであるがゆえ、彼らにとっての研究のモチベーションは「学び」というよりかはむしろ「仕事」である。そのため、彼らはまるで会社で働くがごとく、朝早く研究室に来て、定時には帰宅する。私も日本にいた頃とは異なり、彼らに合わせてこのような規則正しい研究室生活を送ることになった。また、研究を行うオフィスは2~3人に1部屋が与えられるため、研究に集中できる非常に良い環境であった。そのため、たとえ1日に研究する時間が決まっていたとしても、短期間でそれなりに成果を出すことができた。

私が日本で在籍している研究室では、博士課程の学生も研究室のミーティングでプレゼンを行い、研究に関するフィードバックを教授から直接受けることができる。しかし、渡航先の研究所では、博士課程の学生は教授から直接そのような指導を受けることは少ないらしい。そのため、学生間で研究のディスカッションがよく行われている。私も、研究がうまくいかなくなった時は同じ専門分野の博士課程の学生とディスカッションを行っていた。私の在籍する日本の研究室では同分野の博士課程の学生がいないため、専門分野に関して互いにディスカッションする仲間がいる環境は非常に心地よく、また羨ましく感じた。

個々の部屋で自身の仕事に集中している学生たちにとって、ランチタイムは仕事以外のコミュニケーションをとれる時間のひとつである。皆、毎日決まった時間になると仕事を中断し、一緒に学食へと向かう。ドイツ語を理解できないがゆえに会話の内容は聞き取れなかったが、皆とても楽しそうに話しながら昼食をとっていた。私もこのランチタイムを通して、皆と仲良くなることができた。

IGMRでは、時々世界の著名な研究者を招聘し、講義をしてもらったり、自分たちの研究に関してプレゼンを行ったりして情報交換し、共同研究の可能性についてディスカッションを行う機会を設けている。私が在籍している間には、同分野で著名なJorge Angeles先生が招聘され、実際にその講義を聴くことができた。空間機構の設計に関する講義は、今回の私の研究テーマにも深く関連していたため非常に参考になり、見識を深められた。また、IGMRのメンバーによるプレゼンを聴いて、他のメンバーがどのような研究をしているのかも知ることができたのもとても良い機会であった。

## 国際会議

私の留学期間中に、クラクフ(ポーランド)にて国際会議IFTToMM World Congressが開催され、私もそこで口頭発表を行った。国際会議に留学期間を被せたのは、移動時間と旅費の節約のためである。クラクフへはデュッセルドルフから航空機で移動したのだが、その行きの便が偶然にもCorves先生たちと一緒にであった。ドイツの教員も日本の教員同様に忙しいため、普段なかなか先生方と話す機会に恵まれなかったが、そのときは話す機会を多く設けることができた。また、クラクフに到着した日の晩に、先生方がディナーに誘ってくださり、Corves先生、Hüsing先生だけでなく、世界の研究者の方々と食事を一緒にできたのは非常に良い機会であった。また、そこで知り合った研究者の方々、IGMRのメンバー、以前IGMRに留学していた他国の博士課程の学生らと学会中に話すことができ、研究者としての国際的なコネクションが広がったように感じた。

## 日常生活・余暇

平日は朝早く起き、朝食、シャワーを済ませた後、英語のスピーキングとリスニングの訓練を30分ほどしてから研究室に行っていた。海外では英語でのコミュニケーションが必須であるため、日々の訓練のモチベーションが高まったのは非常に良かった。研究室では、17時(定時)になると皆が帰宅し始めるので私もその時間に帰宅した。定時に帰ると、自由に使える時間がたくさんあるのは非常に良かった。その時間で、買い物したり、家事をしたり、同居している友人たちと会話を楽しんだりしていた。

休日には、NRW州の公共交通機関が乗り放題になるセメスターチケットを手にケルンやデュッセルドルフなどの他の都市の観光を楽しんだ。また、アーヘンはオランダとベルギーへのアクセスが非常に良いため、ブリュッセル、マーストリヒトなどの都市を日帰りで観光することができた。ヨーロッパは陸続きでさまざまな国を有しているので、さまざまな文化の違いを短期間に楽しめたのは非常に有意義であった。

## 5. 渡航先での住居

### 住居の探し方

住居の探し方にはいくつかの方法があるので紹介する。

- (1) Studierendenwerk Aachenの申し込みフォーム(<https://bewerberportal.stw.rwth-aachen.de/app.php/en/>)から、学生寮を申し込む。
- (2) 研究室にお願いし、ゲストハウスを手配してもらう。
- (3) 大学の学生サービスにメールで連絡し、住居を探してもらう。
- (4) 民間の住居検索サービスを用いて自力で探す。

上記、(1)に関して、博士課程の学生には学生寮が提供されないので注意する必要がある。私の場合、(2)を試した結果、ゲストハウスの空きがないとのことだったので、(4)を行うことにした。このとき、私はWG-GESUCHT(<https://www.wg-gesucht.de/en/>)なるWEBページを利用した。このWEBサイトでは、主にシェアフラット(アパートのシェア)をしている人々がルームメイトの募集を出し、部屋を探している人がそこに応募できる。アーヘンの場合、アーヘン工科大学の学生同士でアパートをシェアしていることが多い。また、短期間の場合、帰省やインターンシップ等で外に出る間に部屋を貸し出しているパターンがあり、募集が多い。サイトの使い方は簡単であり、サイトに登録後、気になった部屋を探し、その部屋の主にサイト上からメールを送り、やりとりをして直接契約する。部屋の説明がドイツ語で書かれていることが多いが、募集している人が学生であることが多いので、英語でメールを送っても返信が来るが多かった。私の場合、10件ぐらいの募集に対し英語でメールを送り、そのうち半分程度から返信を受け取った。その後のやりとりは家主によるが、私の場合はSkypeで家主と面接を行なうことになった。最終的にはここで家賃、立地ともに良い条件の部屋を借りることができた。

### シェアフラットでの生活

私の住んでいた住居は、アーヘンの中心街に位置し、スーパーマーケット等も近く、駅から徒歩15分程度の良い立地のアパートであった。このアパートは私を含む4人でシェアしており、トイレ、シャワー、洗濯機、キッチンが共用であった。ただし、個々の部屋はあるため、プライベートは十分に確保できた。住人は私を含む全員がアーヘン工科大に通う大学院生であり、年齢が近いので、皆とすぐに仲良くなれた。部屋には、ベッド、デスク等、生活するのに必要な家具が用意されていたほか、キッチンには共用の食器や調理器具、調味料があり、快適に生活を始めることができた。

## 6. 渡航費用など

今回の海外渡航にかかった費用を大まかに以下に示す。

### 1. 渡航費 15万円程度

JALとフィンランド航空のコードシェア便を利用し、ヘルシンキ経由成田—デュッセルドルフ国際空港間を移動した。直行便も存在するが、直行便は価格が高いため、こちらを選択した。

### 2. 受け入れ手続き時に支払う費用 3万円程度

アーヘン工科大学では学費が無料であるものの、各セメスターごとにセメスター費を支払う必要がある。この費用を支払わなければならない代わりに、セメスターチケットが手に入る。

### 3. 家賃 約4万円/月

### 4. 保険料 3000円程度/月

### 5. 生活費 10万円以下/月(食費、娯楽費等)

アーヘンは食料品が非常に安く、自炊中心の生活をすれば生活費を節約できる。

## 7. 日本とドイツの大学の比較

日本の大学のシステムと全く異なるドイツの大学に在籍し、研究を行うことで、両者の採用する研究・教育システムの良い点や悪い点を客観視することができた。以下に、考えたことをまとめる。

### 研究・教育システムの違い

研究室(所)の運営システムに関しては、日本の大学よりもドイツの大学の方が効率的で優れているように思う。まず、両者の研究室(所)の大きな違いの一つは、学生が研究室(所)に雇用されているかどうかである。ドイツの研究所では、学生が雇用されて給料を得ている分、働く義務や責任が発生する。そのため、学生は日々集中して研究に取り組んでいる。また、研究室の運営の観点からしても、研究室の運営にかかわる仕事や教育に関する仕事等をPIに集中させず、メンバーに分散させることができる分、研究所の規模が大きくても効率的な運営が可能である。一方で、日本の研究室では、多くの場合、学生が研究室に雇用されることはない。そのため、研究のモチベーションは、興味のある分野に関して「学ぶ」ことであり、研究が進むかどうかは学生のモチベーションに左右される。また、学生が研究室に雇用されていないため、PIが研究室の運営に必要な仕事を学生に強要することができない。その結果、多くのタスクがPIに集中することになり、研究室の仕事をそれほど大きく展開できなくなる。

また、ドイツでは、研究所の主軸メンバーが博士課程の学生たちである点も大きく異なる。彼らは、高い専門性を有する選りすぐりのメンバーであり、仕事のパフォーマンスが高い。そのため、学生たちだけでも研究室の運営において十分な戦力となっている。一方、日本では博士課程に進学する学生が少なく、研究室の主軸は修士課程の学生である。日本では学部4年生から研究を始めるということもあり、修士課程の学生でも研究室の戦力になっている。しかし、修士課程の学生は専門分野を深く学び始めたばかりであり、博士課程の学生と比較すれば、やはり知識と経験に劣る。ゆえに、博士課程の学生を主軸に据えるドイツの研究所の方が研究において高いパフォーマンスを有するといえる。

一方で、教育に関していえば日本の大学の方が優れているように思う。ドイツの大学における修士課程の教育では、修士課程の学生は主に講義を受け、最後の半年程度で博士課程の学生の指導を受けながら修士論文を書くシステムになっている。その他、彼らはリサーチアシスタントとして、博士課程の学生のプロジェクトを手伝っている。一方で、日本では、修士課程の学生は講義を受けながらも研究室で2年間自主的に研究を行う。そのため、日本の教育システムでは修士課程修了までの段階でドイツの学生よりも高い研究能力を身につけられると考えられる。また、日本の大学の場合、博士課程の学生は「学費を払って教育を受けている」という立場上、教員からの研究のフィードバックを積極的に受けることができ、研究能力を大きく向上させることができる。このことから、日本のほうが学生を成長させやすい教育システムになっているといえる。

### なぜドイツは博士課程の学生が多いのか？

上記において、ドイツでは博士課程に進学する学生が多いという点を述べたが、その理由の一つは博士の学位を有する人材の社会的需要の高さにある。IGMRの友人になぜ多くの学生が博士課程に進学するのかを問うたところ、「企業が博士の人材を欲しており、給料も高い。」とのことであった。そういうこともあり、博士課程を終えた多くの学生は企業に就職するのだという。これは、日本とは真逆である。多くの場合、日本の企業は博士の人材をそれほど必要とせず、修士の人材獲得が主となっている。その理由として、日本の教育システムにより修士でも最低限の研究能力を有していること、企業内の教育システ

ムが充実していることが考えられる。

また、もう一つの理由として挙げられるのは、長期間学生でいることに対する金銭的不安がないことである。ドイツの場合、博士課程修了までに5年程度かかるらしいが、博士課程が職として認められ、給与も得ている分、生活に対する不安はない。一方で、日本は多くの場合給料を獲得できないどころか学費を払う必要があるため、学生ローンやアルバイト等で生活費と学費を稼ぐ必要がある。この不安により、進学を断念する学生も多い。

### 産学連携と基礎研究

ドイツの研究機関は産学連携を積極的に行っていた。多くの研究費を獲得できるという点では良いが、すぐにお金になる応用研究への比重が非常に高くなる。この点に関し、IGMRの同僚が「日本は基礎的な研究をたくさんできて羨ましい」と言っていた。日本はこれまでに産学連携に積極的ではなかった分、基礎研究の成果をしっかりと出していたのは世界に誇るべきなのかもしれない。近年では欧米にならって産学連携を推進しようという動きが強まっているが、日本が科学の発展に対して大きく貢献するには、こうした今の日本の研究環境の良い部分を伸ばしていくのもよいのではないかと思った。一方で、運営費交付金のみでは質の高い研究をするのが難しく、科研費を獲得できなければ産学連携を推進せざるを得ない場合もあるので、難しい問題ではある。

## 8. 今回の海外渡航から得られたもの

自分で研究テーマを提案し、海外の研究機関で他の学生と英語でディスカッションしながら短期間で成果を出す経験を積めたのは、自分にとって良い訓練になったと同時に、自分の能力に対する自信につながった。また、海外の博士課程の学生を含む多くの研究者とのコネクションが築けたのはとても良かった。これは、今後の自分の研究者としてのキャリアにプラスに作用するのではないかと考えている。また、海外の研究機関で実際に研究を行うことで、日本の研究・教育環境の良い点・悪い点を客観的に見れるようになったのも良かった点である。これも自身の今後のキャリアの参考になるのではないかと考えている。