

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: 角廣 泰生	
所属・研究室・学年: 環境・社会理工学院 融合理工学系 エネルギーコース クロス研究室 修士1年	
派遣先大学・専攻: University of Hawaii at Manoa, Department of Mechanical Engineering	
受入研究室・教員名: RED (Renewable Energy Design) Laboratory, Dr. Reza Ghorbani	
派遣期間: 2019年6月16日～2019年9月9日	
申請カテゴリー: <input 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 checked="" type="checkbox"/> (C4)その他	
研究(プロジェクト)題目: Computational fluid dynamics simulation on the venturi vacuum system in the power take-off system of wave energy converter to enhance the efficiency of power generation.	

- 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) 研究室や宿舎内の様子の写真、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~9月

氏 名:角廣 泰生

所 属:環境・社会理工学院 融合理工学系 エネルギーコース

派 遣 先:ハワイ大学

(次ページ以降に記入してください。)

1. 派遣大学の概要

ハワイ大学は、アメリカ合衆国ハワイ州ホノルルに本部をおく州立大学で、1907年に設立されました。ハワイ大学には全部で10キャンパスあり、3つの総合大学と7つのコミュニティカレッジで構成されています。私は今回その中でも、一番古く、一番大きい大学でもあるハワイ大学マノア校に留学しました。ハワイ大学マノア校はホノルルのマノア・バレーに位置し、ここには、学部、大学院、MBA、リサーチプログラムなど幅広い教育プログラムがあります。マノア校は研究調査機関としても有名で、大学は政府と企業から3.3億ドルもの費用を研究プロジェクトのために寄付されています。マノア校の学生の内、約70%が学部生で、残りが大学院生となっています。総学生数は約19000名です。マノア校には、92種類の学部専攻、84種の修士専攻、51種の博士専攻プログラムがあり、どの専攻もアジア太平洋地域に焦点を置いています。

2. 留学準備など

私は学士4年生の時に、海外の大学に3ヵ月ほど研究留学をしたいと考えていたため、留学を終えてから修士研究に集中できるように、学士の内に大学院(修士)の授業をいくつか履修していました。今回の私の留学期間が6月16日から9月9日であったため、第2Qの講究科目の評価をどうするかということについて、留学前に指導教員(Cross先生)としっかりと話し合いました。話し合いの結果、留学先での研究の進捗状況を、2週間ごとにレポートとして提出することで、第2Qの講究科目の評価を行うということになりました。

留学先大学の指導教員を見つけるにあたってまず私がしたことは、東工大の協定校である海外の大学をいろいろと調べることでした。私は、再生可能エネルギー(特に太陽熱、海洋を利用したもの)に興味を持っており、これらに関する研究を行っている大学の研究室をいろいろと調べていきました。私は東工大で太陽熱に関する研究を行っていたため、特に海洋エネルギーに関する研究を行っている大学の研究室を調べていきました。最初は、SERPの中に含まれているサウサンプトン大学が波力発電に関する研究を行っていたため、この大学に研究留学をしてみたいと考えていました。しかし、Cross先生にいろいろと話を聞いてみたところ、ハワイ大学で研究を行っていた東工大の教員(木村仁先生)がいるということを知ったため、その教員と直接会っていろいろと話を聞いてみることにしました。話を聞いていくと、ハワイ大学の知り合いの教員がもしかしたらそのような研究を行っているかもしれないとのことであったため、木村先生にお願いをしてコンタクトを取ってもらうことにしました。すると、現在ハワイ大学では、その教員の指導の下で波力発電に関するプロジェクトを行っているとのことで、また、私のプロジェクトへの参加を快諾してくれたため、最終的にハワイ大学へ研究留学をすることに決めました。

ビザに関しては、インターンとしてプロジェクトに参加したため、J-1ビザを取得しました。

3. 所属研究室での研究概要とその経過や成果、課題など

現在ハワイ大学では、図1に示されている波力エネルギー変換器が製作されています。既にほとんどの作業が完了しており、9月の半ばには海での実証実験が計画されています。この波力エネルギー変換器の原理としては、波が下図に示されている円筒型の容器に入っていくことにより、容器の中で水面が上下し、それによって空気の振動が起こるというものです。つまり、この変換器は波のエネルギーを空気の運動エネルギーに変換します。その空気の運動エネルギーは、変換器に取り付けられる予定の空気タービンによって、電気エネルギーへと変換されます。



図 1: 波力エネルギー変換器。

今回私が行った研究は、この波力エネルギー変換器に取り付けられる予定のベンチュリ真空システムの最適なデザイン及びパラメータを、計算流体力学シミュレーションを用いて導き出すというものでした。ベンチュリ真空システムの役割としては、波力エネルギー変換器から送られてくる空気の流量を増やし、発電効率を高めることです。つまり、ベンチュリ真空システムの最適なデザイン及びパラメータというのは、空気の流量を増やし、発電効率を高められるようなデザイン及びパラメータのことを意味します。ただし、波力エネルギー変換器一機あたりの電力の目標値が100~300 Wであるため、これらの目標値を考慮した上で、最適なデザイン及びパラメータをシミュレーションによって決めていきました。このシステムは、波力エネルギー変換器と空気タービンの間に取り付けられる予定です。図2は、今回の研究で提案したベンチュリ真空システムの概略図を示しています。図ではシステムが水平方向に示されていますが、実際には、このシステムは垂直に波力エネルギー変換器に取り付けられます。

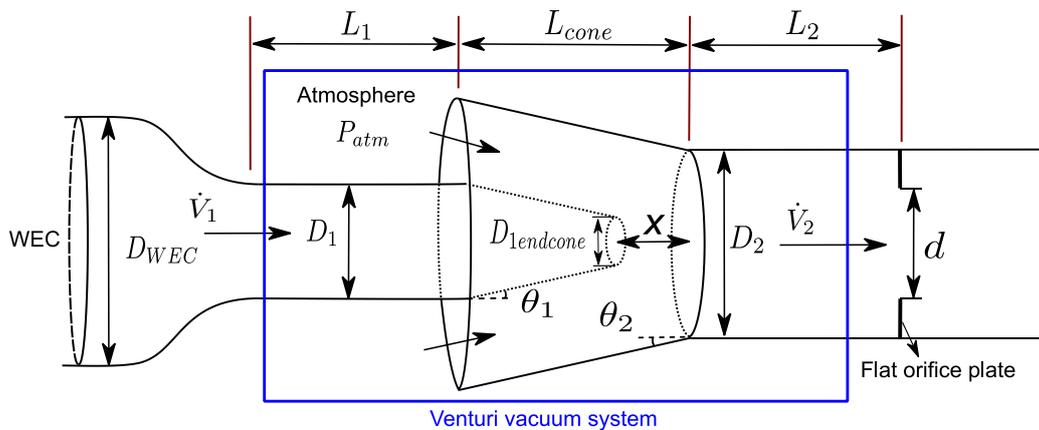


図 2: ベンチュリ真空システムの概略図。

ここで、WECとは波力エネルギー変換器のことを指します。また、ベンチュリ真空システムの先には、電力を計算するためにオリフィス板が取り付けられています。電力は、出口流量×オリフィス板での圧力降下($P = V_2 \times \Delta p$ [W])によって求めることができます。今回のシミュレーションでは、オリフィス板の径 $d = 0.75D_2$ [mm]と等価である空気タービンが想定されています。入口流量は、 $V_1 = 0.369 \sim 0.59$ [m^3/s]の範囲で設定されており、これらの値は波の周期5~8 [s]及び波高1.0 [m]から得ることができます。波の周期5~8 [s]は、ハワイのKilo Nalu Ocean Wave Siteで観測される波の周期で、波高1.0 [m]は一般的な波の高さです。波力エネルギー変換器の実証実験は、Kilo Nalu Ocean Wave Siteで予定されています。

今回私が行ったシミュレーションにより、ベンチュリ真空システムの最適なパラメータが決定されました。そのパラメータとは、 $D_1 = 267$ mm, $D_2 = 300$ mm, $D_{1endcone} = 106.8$ mm, $x = 30$ mm, $\beta = D_{1endcone}/D_1 = 0.4$, $\theta_1 = \theta_2 = 10^\circ$, $L_1 = 514$ mm, $L_2 = 3000$ mm, $L_{cone} = 484.27$ mmです。これらのパラメータを持つベンチュリ真空システムを用いることにより、波力発電装置は 124.12~507.80 W を発電することができます。ここで、波力エネルギー変換器の効率が約70%であるため、波力発電装置の実際の電力は 86.88~355.46 W となります。これは目標値である 100~300W をほとんど満たしているため、今回求めたベンチュリ真空システムのパラメータは最適であると言えます。

今回のプロジェクトでは、シミュレーション結果を検証するための実験も行われました。実際のベンチュリ真空システムは大きいため、システムをスケールダウンして実験を行いました。図3は、実験の概略図を示しています。実験ではオリフィス板は使用されておらず、出口流量を測定することによって、流量を増やすことができているのかどうかを確認しました。実際には、ピトー管を用いることによって出口速度を測定し、その出口速度から出口流量を算出しました。ピトー管は入口速度の測定にも用いられました。ここで、図3に示されているように、線香を用いて空気が吸い込まれているかどうかということも実験で確認しました。空気の供給は掃除機(Wet and Dry Vacuum)によって行い、その空気の供給速度の調節は可変変圧器(Vari AC)によって行いました。

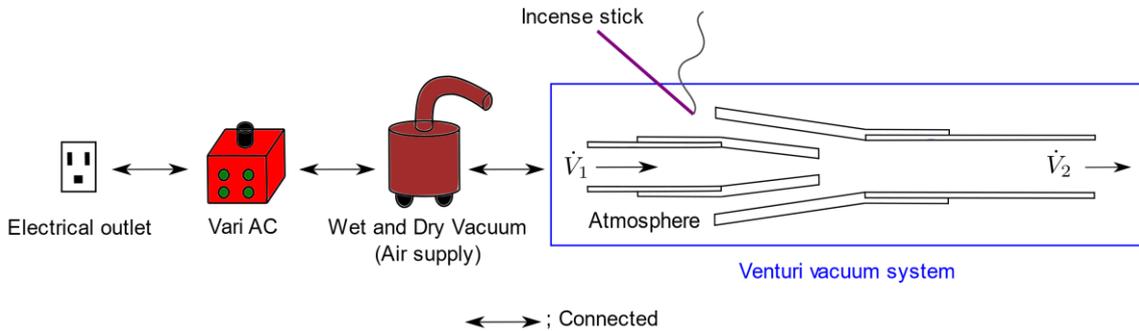


図 3: 実験の概略図。

実験により、線香の煙がベンチュリ真空システムによって吸い込まれていくのが確認できました。つまり、今回のプロジェクトで考案したベンチュリ真空システムは、周囲空気を吸い込むことができるということが証明されました。次に、ピトー管の測定結果を表 1 に示します。ここで、入口流量は $V_1 = 0.01528, 0.01975, 0.02622$ [m^3/s] の 3 通りに設定されました。

表 1: 実験結果。

	入口流量 V_1 (m^3/s)		
	0.01528	0.01975	0.02622
v_2 (m/s)	19.593	21.399	27.437
V_2 (m^3/s)	0.04306	0.04703	0.0603
V_2/V_1	2.818	2.381	2.300

表1より、ベンチュリ真空システムを用いることによって、入口流量を2倍以上に増加させることが可能であるということが分かります。次に、シミュレーション (CFD) 結果 (スケールダウンを考慮) と実験結果の比較を表2に示します。

表 2: シミュレーション (CFD) 結果と実験結果の比較。

	入口流量 V_1 (m^3/s)					
	0.01528		0.01975		0.02622	
	CFD	実験	CFD	実験	CFD	実験
v_2 (m/s)	24.95	19.59	32.33	21.40	48.41	27.44
V_2 (m^3/s)	0.05484	0.04306	0.07106	0.04703	0.1064	0.06030
V_2/V_1	3.589	2.818	3.598	2.381	4.058	2.300

表2より、実験結果とシミュレーション結果の間に違いがあることが分かります。この原因の一つとして考えられるのが、掃除機のホースと直径D1の管の不十分な接続です。D1管の直径はホースの直径よりも小さいため、接続部分において流れの断面積が急激に小さくなります。これによりエネルギーの損失が起こり、実験結果に影響を与えたのではないかと考えられます。しかし、そのエネルギー損失を考慮したとしても、依然として結果の差異は大きいので、実験での測定誤差がもう一つの大きな要因ではないかと考えられます。なぜなら、実験では入口速度と出口速度を同時に測定しなかったからです。また、ピトー管は固定されておらず、自分たちの手にもって測定を行ったため、これも大きな測定誤差を引き起こしたのではないかと考えられます。

まとめると、今回のプロジェクトによって、提案したベンチュリ真空システムが周囲空気を吸い込み、流量を2倍以上増加させることができるということが証明されました。つまり、今回提案したベンチュリ真空システムは、波力発電装置の発電効率を高くすることができるということです。しかし、実験結果とシミュレーション結果の間には、大きな違いがありました。この違いの大きな要因の一つとしては、測定誤差が

考えられるので、今後さらなる測定(実験)が必要であると考えられます。今後の測定により、実験結果とシミュレーション結果の差異が小さくなれば、今回私が解析した実用的なベンチュリ真空システムのシミュレーション結果(86.88~355.46 Wの発電)の正当性をさらに高めることができます。

4. 所属研究室内外の活動・体験

ハワイは自然がとても豊かなので、休みの日にはハイキングに行ったり、海に泳ぎに行ったりしました。ハワイにはハイキングをする場所がたくさんあり、それぞれの場所によって広大な山や海、森の中の滝など、様々な景色を見ることができたので、非常に良かったです。海に関しても、ただ泳ぐだけではなく、ハナウマ・ベイ自然保護区のように、様々な種類の魚をシュノーケリングによって観察できたので、非常に良い経験となりました。オアフ島の北の海岸(ラニアケア・ビーチ)では、野生のウミガメが日光浴しているところを近くで見られたので、これも非常に良い経験となりました。オアフ島は大きくはないので、市バスを使って島のいろいろな場所に行くことができました。山や海だけではなく、ハワイには自然豊かな公園があるので、休みの日にはそこへ行き、ただのんびりと過ごすこともありました。普段は自炊をしていましたが、たまに研究室の友達とバーベキューをしたり、ワイキキビーチ近くのバーに飲みに行ったりもしました。ハワイの気候は非常に快適で、日常的に豊かな自然を見ることができるので、留学期間中も非常にリフレッシュすることができました。

5. 留学先での住居、探し方、申し込み方法、ルームメイトなど

今回私は、ワイキキにあるキッチン付きのコンドミニアムに3か月間滞在しました。ハワイには知り合いがいなかったため、インターネットで現地の不動産会社をいろいろと調べていきました。見積もりのお願いや申し込みは、現地の不動産会社の人と直接メールをやり取りして行いました。

6. 留学費用

渡航費は、往復で約20万円でした。生活費は、1か月でおよそ5~6万円でした。ハワイでは、物価(おそらく果物以外)が日本と比べると高かったです。また、大学の学食も、日本と比べると非常に高かったです。住居費は、1か月でおよそ20万円でした。住居を決めるのが非常に遅かったため、値段が非常に高くなってしまいました。保険料は約4万円でした。大学の推奨する保険が、ハワイ大学の求める補償基準を満たしていたため、現地の保険に加入する必要はありませんでした。J-1ビザの費用は、約8万円でした。ここで、J-1ビザの費用の中には、大使館での面接及びビザ発行のための費用、SEVIS費用、留学先大学が行う書類作成及び書類郵送にかかる費用が含まれています。

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

今回の留学で私は、自身が興味を持つ波力発電(海洋エネルギー)に関していろいろと学ぶことができました。波力発電装置の問題点、波の観測データの重要性、波を予測することの難しさ、実証実験の重要性及び実施の難しさ等々、非常に多くのことを学べたと思います。また、今回のプロジェクトでは、主に数値流体力学シミュレーションを行いました。東工大の自身の研究ではそのような解析を行っていないので、非常に良い経験となりました。さらに、今回の留学で、積極的に動くことの重要性を改めて強く感じることができました。もしも積極的に動いていなかったら、ハワイ大学留学の話もおそらく無かったらと思いますし、留学の話があったとしても、プロジェクトの進捗があまり無かったのではないかと思います。

<後輩へのメッセージ>

留学をする上で非常に重要なことの1つは、積極性ではないかと思います。自分で積極的にいろいろな大学を調べたり、いろいろな人に話を聞くことによって、自分のやりたい研究を行っている大学への留学という道が見えてくるとと思います。また、自分で積極的にいろいろなことを調べるので、留学先での自身の目標を具体的に立てやすくなると思います。さらに、自分が積極的になることによって、留学先の人ともすぐに仲良くなり、自身の英語力(もしくはその国の言語力)を向上させることができると思います。うまくいかないことももちろんあると思いますが、積極性を忘れずに行動し続けることが大事だと思います。