

平成27年度 地域志向教育研究プロジェクト推進事業 事業報告書（全8ページ以内）

※番号（記入不要）	23		
①プロジェクト名称：	風と流れのプロジェクト ～3Dモデリング技術と流体解析技術の融合～		
②プロジェクトメンバー：			
学部学科・所属部署	氏名	役割	
工学部 航空システム工学科	岡本 正人	代表者（取りまとめ）	
工学部 航空システム工学科	佐々木 大輔	共同研究者	
工学部 機械工学科	杉本 康弘	共同研究者	
工学部 航空システム工学科	藤 秀実	共同研究者	
③プロジェクトへの参加者数（補助期間終了時）			
学部1～3年次生	研究室所属学生（大学院生含む）	外部参加者数	
約200名	10名	3名	
④関連した主要授業科目名			
授業科目名	対象学年	必修・選択	対象学科
流れ学Ⅱ	3	必修	機械工学科
	主な特徴：粘性を持つ実際の流体について、管内流れや流体抵抗、剥離渦、揚力などの事象について物理的に理解し、関連する分野の力学応用能力を身につける。		
授業科目名	対象学年	必修・選択	対象学科
流体力学	3	選択	機械工学科
	主な特徴：流体関連事象の理論的な解析についての基礎能力を身につける。CFDを用いた演習を通して、実際の流体解析能力を身につける。		
授業科目名	対象学年	必修・選択	対象学科
航空流体力学A	3	必修	航空システム工学科
	主な特徴：理想流体におけるポテンシャル理論を扱う。航空機の翼の空力特性について説明できる能力を身につける。		
授業科目名	対象学年	必修・選択	対象学科
航空流体力学B	3	選択	航空システム工学科
	主な特徴：圧縮性流体について衝撃波や超音速流れを扱う。また、粘性流体から境界層や流体抵抗などを学ぶことで、航空機の空力特性に応用できる能力を身につける。		
授業科目名	対象学年	必修・選択	対象学科
流れ学	2	必修	航空システム工学科
	主な特徴：空気や水などの流体の基本的な性質や法則を理解し、		

	その応用例を講義や演習を通して学ぶ。		
授業科目名	対象学年	必修・選択	対象学科
数値シミュレーション	3	選択	航空システム工学科
	主な特徴：汎用数値解析ソフトウェアを用いて構造および流体解析を実技や演習を通して学ぶことで実際の問題に対して数値シミュレーションを活用する能力を身につける。		
授業科目名	対象学年	必修・選択	対象学科
プロジェクトデザインⅢ	4	必修	航空システム工学科
	主な特徴：カリキュラムの最終段階における集大成の科目で、学科の教育目標実現のために、設計・解析能力を養う。		
授業科目名	対象学年	必修・選択	対象学科
航空機設計開発統合特論	M1	必修	機械工学専攻
	主な特徴：ジェットエンジン付き模型飛行機を設計・製作し、解析や飛行試験を通して、航空工学を総合的に学ぶ。		

⑤事業概要（800字以上1000字以内）

北陸特有の気候から金沢周辺地域は風が強く、空気の流れの影響を受けるものが沢山ある。風の中に置かれた物体にはどのような力が働くかを明らかにし、この力を小さくすることで軽減できる災害や環境対策があると思われる。

本プロジェクトは、地元の企業と連携し、小さな物体から地形までさまざまな形状を計測する技術を学ぶことで、機械工学科や航空システム工学科の流体力学関係の授業および関連科目において統合的に地域連携を行うことを目指すプロジェクトである。具体的には流体力学科目である「流れ学」、「流体力学」、「航空流体力学」と、その関連科目である「数値シミュレーション」、「3D-CAD」、「プロジェクトデザインⅢ」、及び機械工学専攻の「航空機設計開発統合特論」の授業に取り入れて実施される。本プロジェクトは、流れに関連する地域の防災・環境問題にも発展させることで地域に貢献できることを目指してスタートする。

機械系学科の流体力学関係の研究室では流れを計測するために、数値解析や風洞実験等が行われる。その対象物は小さな生物から地形などの地球規模のものまで想定されるが、これらの解析には対象物の形状を正確に測定する必要がある。金沢市にある日本海航測株式会社はこのような形状の計測に取り組んでいる企業である。この企業は、航空写真による地形の3D形状計測から文化財の形状計測まで、あらゆる距離に対応した三次元形状の計測を手掛けている。一方、金沢工大の機械系学科の学生たちは、流体力学関連科目を通して空気や水の流れについて学んでおり、PDⅢや修士研究においても流体力学的なテーマが多数ある。すなわち、流れの中に置かれた身近な物体の形状を測定できればその流体力学的特性を得ることができる。本プロジェクトでは、この形状計測技術を研究だけに限定せず、流体力学関連科目の中に関連付けて授業の中に取り入れることで、より教育効果の高いアクティブラーニングを実施できると考えている。

さらに地形計測技術は、機械工学専攻の「航空機設計開発統合特論」で開発中の無人ジェット飛行機の設計課題に取り入れ、飛行試験において結果を確かめることができる。その成果は地形を題材にした流体力学課題に応用できる。

以上のように、本プロジェクトは、企業の持つ広範囲の形状計測技術を本学の授業や研究の中に取り入れることで、より充実した教育を実践するものである。

⑥地域志向教育研究プロジェクトの活動実績

1. プロジェクトの活動の流れ

本プロジェクトを進めるにあたり、計画した事業のフローチャートを図1に示す。具体的には、前期の流体力学関連科目においてプロジェクトの趣旨を説明し、流体解析を行ってみたい対象物を学生から募る。これを日本海航測株式会社にモデリングを依頼し、そのモデリング結果を基に「PDⅢ（プロジェクトデザインⅢ）」の研究や、「流体力学」「数値シミュレーション」の授業の中で流体解析を実施し、再び後学期の関連科目の中に還元しアクティブラーニングを行うという過程で本事業は進められた。

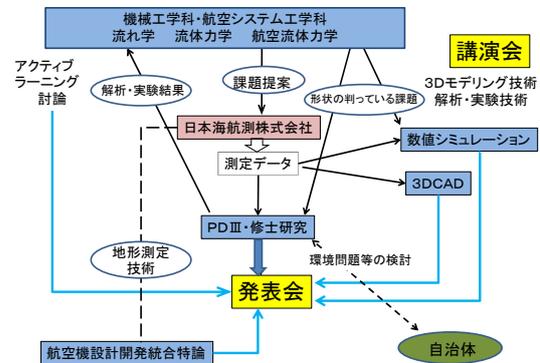


図1. プロジェクトの流れ

以下、プロジェクトの進行に合わせた取り組みについて報告する。

2. 解析対象（第1課題）の選定

5月初頭に授業の中でCOC事業とプロジェクトの説明を行い、課題についての提案を募った。提案を募った授業は、機械工学科「流れ学Ⅱ」、航空システム工学科「航空流体力学A」で、パワーポイントにより事業の紹介を行った。具体的に環境と結びつけると意見が出にくいので流れに関連していればよいと範囲を広げて提案してもらった。いくつかのアイデアが出されたが、地域連携による3Dモデリングの必要性や流体解析に適しているかなどを考え、第1の課題として花粉症の原因となるスギの花の周りの流れを調べてみることに決定した。スギの花はすでに花粉の時期が殆ど終了しており、研究室の学生によって採取された。

3 第1回講演会の開催

5月29日（金）、連携企業である日本海航測株式会社技術部 向友一氏を招いて3Dモデリング技術についての講演会を実施した。演題は「測量分野における3次元計測とモデリング技術について～3Dスキャナーを利用した計測事例～」で、近くにある小さな物体の計測から地形の測量に至るまで幅広いモデリング技術が紹介された。この講演会について、上記の授業の学生に紹介すると共に、機械工学専攻の「航空機設計開発統合特論」の学生にも参加を促した。「航空機設計開発統合特論」では、



図2. 第1回講演会の様子

ジェットエンジン付き模型飛行機を開発しており、その開発目的にもつながる測量技術についてこの講演から学んだ。図2はその講演会の様子で約50名の学生が出席した。

4 流体解析の技術的検討とモデリングの依頼

流体解析では、風洞や水槽を使った実験と、CFD（数値流体解析 Computational fluid dynamics）による解析を行うことにした。実験については風洞や水槽装置を設置している岡本研

研究室が、CFD については佐々木研究室が主として担当した。さらに CFD については後学期に開催される「流体力学」「数値シミュレーション」の授業の中でも希望学生に取り組んでもらうことにした。

流体実験については流れの可視化を主に取り組みこととし、PIV (Particle Image Velocimetry)計測ソフトを導入した。導入の目的は、流れの可視化実験結果を流速ベクトルによって表すことで CFD との比較が容易になるためである。今回のように比較的小さな物体の場合、粘性の大きな低レイノルズ数流れとなるため、CFD 解析結果は実験との比較が不可欠である。流れの可視化はすでにスモークワイヤ法や水槽による流脈線の観察等は研究室で行うことが可能であったため、この技術に加えて PIV 計測を試みた。導入当初は流速ベクトルをうまく描くことが出来なかったが、PDⅢの学生が中心となって熱心に計測方法を試み、数か月後にはある程度結果が得られるようになった。

CFD解析を行う佐々木研究室では、直交格子法を用いた流体解析ソルバーBCM (Building Cube Method)を開発しており、モデリングが出来れば流体解析に応用することが可能である。さらに、「流体力学」や「数値シミュレーション」の授業では、Cradle社の流体解析ソフト「SCRYU/Tetra」を使用して流体解析の演習を行っており、ここでもモデリング結果を使って流体解析が可能である。以上の実験と CFD は、互いに結果を比較することで信ぴょう性の高い流体解析が実施できると考えられた。

6月に日本海航測楸と打ち合わせを実施し、採取したスギの花のモデリングを依頼した。この物体のモデリングでは3D デジタイザが使われたが、スギの花の内部に空間があるため外から見えない部分をどのように再現するかが問題であった。日本海航測楸ではこの点をうまく解決し、図3に示すようなモデリングに成功した。モデリングの結果はスギの花の細部まで再現されており、流体解析を行うのに十分な状態にあった。また、流れの可視化実験を行うためにモデリング結果から大学に設置している3Dプリンタを使用して図4のような2倍の大きさの模型を製作した。

5. 第2回講演会の開催

事業がスタートして数か月が経過したが、取組課題が一つであったこと、授業で紹介しても学生の反応は鈍いことがプロジェクトを推進するための課題であった。そこで特に航空システム工学科の学生は航空機への関心が高いこと、大学院の「航空機設計開発統合特論」で実際に模型飛行機的设计開発を行っていることから、これと結びつけることで新たな提案の引出しを図ることにした。さらに、後学期にも複数の流体関連科目があったことからこれを視野に入れて第2回目の講演会を計画し、関連する学生たちに伝えた。



図3. 日本海航測楸によるスギの花のモデリング結果



図4. 製作した実験用模型

7月13日(月)、東京大学の李家賢一教授を招いて講演会を開催した。演題は「航空機設計法～機体一般配置の決定～と翼型上に生じる層流剥離泡について」で二種類のテーマについて講演が行われた。第1テーマの航空機設計法は航空機を専攻する学生への興味を促すため、第2のテーマは今回のプロジェクトで行っている流体解析にかかわるもので、物体表面(翼面)に現れる層流剥離泡と計測技術についての紹介をしていただいた。李家教授は航空工学の専門家として、層流剥離泡の研究が有名でPIV計測技術の専門家でもある。図5はその講演会の様子である。出席した学生は約200名の学生が受講し、講演会終了後も多くの学生が李家先生への質問で列を作った。



図5. 第2回講演会の様子

6. 第2課題の選定とモデリングの実施

学生の多くが航空機に対する興味関心が高いことが分かったため、自然環境からは目的が離れるが、来年度以降にも地域連携について授業で取り上げることを考え、課題の設定について航空機を題材として扱うことを検討した。その結果人力飛行機プロジェクトに所属する学生から、人力飛行機の翼上面のしわが与える空力的な影響について調べられないかとの提案があった。この提案では、しわの状態をモデリングする必要があるため、今回のプロジェクトの課題としても適当と判断した。

人力飛行機プロジェクトに人力飛行機の主翼桁とリブの一部を再現した模型の製作を依頼した。本来人力飛行機の主桁はカーボンパイプを使用しているが、桁に力を加えたときに模型が変形し、モデリングの間この状態を維持できるように市販のアルミジャバラパイプを挿入した。部分的な模型であったためすぐに製作は完了した。7月にその模型のモデリングが可能かを日本海航測(株)と打ち合わせを実施し、模型のモデリングを日本海航測(株)に依頼した。翼面は薄い透明シートで被覆されているため、この部分を塗装することでモデリングが可能となり、翼のしわ(上面のみ)のモデリングに成功した。この結果は、大きさの点から実験が難しいためCFD解析によって行うことにした。

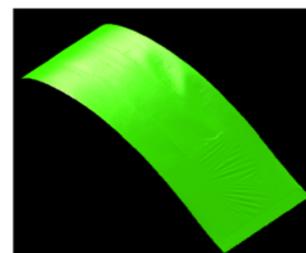


図6. 学生の製作した翼模型と翼の皺のモデリング結果(日本海航測(株))

7. 流体解析の実施

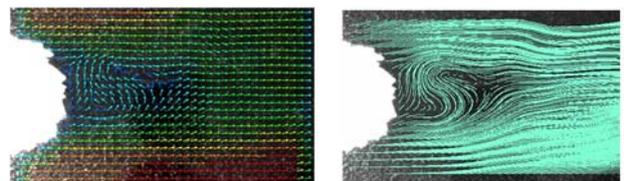
スギの花の流体解析については、3Dプリンタで製作した模型を使って流れの可視化実験が行われた。主に担当した学生はPDⅢに取り組んでいる岡本研究室の4年生で、PIV計測技術を確立するため流れの可視化方法を工夫すると共にPIVソフトの使用の習得を行った。問題となったのは可視化用流体粒子の選定で、PIVソフトが速度ベクトルを描くことができるかは粒子によるところが大きい。これまで研究室が行ってきたスモークワイヤ法等のオイルミストによる煙は流体粒子が小さすぎてPIV計測はうまくいかなかった。そのため、計測技術を調査すると共に李家

教授にもアドバイスを頂き、研究室ではシーディング装置の試作を行った。同時に、今回のプロジェクトでは研究が主目的でなかったため、研究室に所属しない低学年の学生でも気軽に扱うことの出来る方法を模索した。

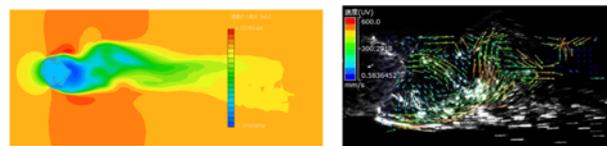
水槽実験装置は、岡本研究室に設置している流水水槽で、これも数年前に研究室の学生によって製作されたユニークな水槽実験装置である。流れの可視化は水面の流れを見るのが最も簡単で二次元流れの観察が可能である。流体粒子は、市販の胡椒（エスビー食品株式会社テーブルコショ）を使ってみたところうまくいき、研究室ではコショ可視化法と名付けられた。この方法は適当な大きさの粒子が水に浮いて均一に拡散することと、粒子が残っていてもそのまま下水に廃棄できるという長所がある。実験した学生は胡椒の成分を調べ、胡椒に含まれる僅かな油分が粒子同士が互いに集合することを妨げており、PIVの粒子として優れていると考察した。胡椒の粒子の動きが流れを完全に模擬できているかはより詳細な研究が必要であるが、流水の上流に僅かな胡椒を撒くだけという簡単な方法である。これをハイスピードカメラで撮影してPIVソフトで解析すると簡単に速度ベクトルや流線を描けるようになった。現在は、胡椒を流水下流で回収する装置も学生たちの手で製作されており、実用化に向けた研究が続いている。また、上述のシーディング装置の製作と風洞実験が行われ、ベビーパウダーを流体粒子としたPIV計測等も試みられた。ただし、風洞実験はレーザーシートを使うため安全対策を行った研究室で行う必要がある。

CFDは、後学期に開講される「流体力学」や「数値シミュレーション」では、企業や研究で使われている熱流体解析ソフト「SCRYU/Tetra」を使った授業が行われている。その中の自由課題として、スギの花の解析と人力飛行機翼面の皺の効果が生徒たちによって解析された。さらに、佐々木研究室ではBCMソルバーによるスギの花の流体解析が専門ゼミの学生によって試みられた。BCMソルバーは格子生成が容易で、高次精度化や並列計算が容易であることが特徴で、今回の解析においてもスギの花の周りの流れの解析に成功した。

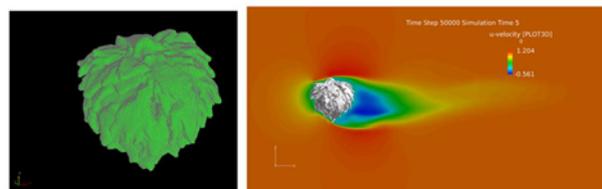
これらの結果を図7に示す。いずれも学生が発表に使った資料より抜粋したものである。スギの花の流体解析は、実験とCFDは共にスギの花の後方の流れがうまく表現されており、スギの花の後方で渦が発生すると共にその渦が移動せずに固定された状態にあることが分かった。



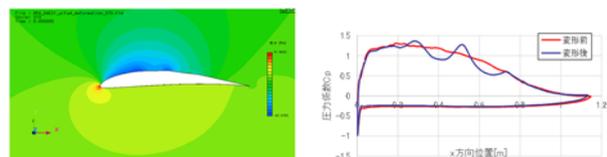
(a) 水槽実験により得られたスギの花後方の流れ PIV計測 (佐々木発表)



(b) SCRYU/TetraによるCFD解析結果と風洞実験結果の比較 (栗田発表)



(c) BCMソルバーによるスギの花の流体解析結果 格子生成と解析 (小島発表)



(d) SCRYU/Tetraによる翼面の変形効果の流体解析 (片山発表)

図7. 流体解析結果
(後述の学生発表資料より抜粋)

8 風に関係する地域防災の調査

プロジェクトの目的の一つである地域防災と結びつけることを目指し、研究室の学生が野々市市役所を訪問し市の防災関連についての現状を調査した。野々市市役所では総務部環境安全課の山下悠佑様と、産業建築部建設課の渡辺晶洋様に対応していただいた。その結果として、以下のことが分かった。

- 1) 建物については強風より地震を重視しており、冬は強風よりも雪を重視している。
- 2) 野々市市は海に面していないので防風林は存在しない。
- 3) 強風による倒木被害が1件あり、木の腐食が原因であった。新しい木に植え替えるための伐採を行っているが、伐採までに木を支えるなどの対策が必要である。
- 4) 警報や注意報は市のホームページで常時案内、花粉の流れも案内することが可能である。

さらに、野々市市には約 5000 本の木が存在し、街路樹の手入れは業者に委託しているが、倒木への対策は、強風による木が倒れた場合に対応できる十分な地面の面積を確保できないことや木はそれぞれの大きさや太さ、腐食の度合いによって強度が異なるため、限られた予算の中で倒木の対策や原因を調査するのは難しいことが問題点として挙げられた。

以上のように、流体力学を防災に結び付ける場合は、木の形状と作用する流体力の検証と強度の点からは構造解析が必要であり、将来の研究課題としては取り組める可能性があるが短期間の流体解析は難しいことが分かった。

9 解析結果の発表と流体授業への還元

研究室や授業を通して得られた結果は、後学期の終わりに流体関係授業「流れ学」「航空流体力学」の中で発表会を行った。発表者は、佐々木航星君（4年生）「PIV解析法とスギの花の周りの流れ」、栗田章寛君（4年生）「SCRYU/Tetraによるスギの花まわりの流れの流体解析」、小島貴哉君（3年生）「BCM非圧縮性ソルバーを用いたスギ花粉周りの流れ場の解析」、片山裕貴君（3年生）「SCRYU/Tetraによる人力飛行機における翼型変形の影響」の4人である。

それぞれの授業における発表時間は質疑応答を含めて約1時間行った。図8はその発表の様子で、発表が先輩や同級生ということで熱心に聞いていた。また、どちらの授業においてもいくつかの質問が学生から出され流体解析手法について紹介することができた。



図8. 研究結果の発表の様子

⑦地域志向教育研究プロジェクトの具体的な成果

プロジェクトは上記のような経過で取り組んできたが、最も大きな成果は複数の授業科目の中で同一課題について検討できたことで、流体力学に関係する授業間に関連性を持たせることができた点にある。以下に、本プロジェクトで取り組んだ各項目について成果を述べる。

1. 第1回目講演会

モデリング計測や測量について多くの実際例が示されたため、学生は興味を持って聴講するこ

とができたと思われるが、機械系の授業ではあまり扱われていない内容であったため、質疑応答は殆どなかった。しかし、大学院の「航空機設計開発統合特論」では、ジェットエンジン付き模型飛行機を開発していることからその飛行目的としての実例を認識できた。これらは小型無人飛行機の利用としてレポートの中にも反映された。

2. 第2回目講演会

プロジェクトに関連する授業の学生たちの多くが聴講に訪れた。航空システム工学科の3年生には聴講ノート（用紙配布）を書くように指示していたが、ほとんどの学生は用紙一杯に記録されていた。受講した学生からは、「航空機の話は知識を再確認できたことと、新たに理解できたことの両方があったためになった」「計測や層流剥離バブルの話は、3年生以下には少々難しかったが、実験の面白さがよく分かった」との感想が聞かれた。

3. 流体解析作業

授業の自由課題の中で取り組む学生が現れてくれたことが本プロジェクトの推進につながった。研究室の解析結果でも興味ある結果が得られ、SCRYU/Tetra や BCM ソルバーが本解析に有効であることが分かった。実験は、「プロジェクトデザインⅢ」に取り組んでいる4年生が中心になって行われたが、導入した PIV ソフトの習熟だけではなく、流れの計測を簡単に行う方法を積極的に研究し、安全に誰でも簡単に行うことが出来る方法を見つけられたことが大きな収穫であった。そのため、研究室を見学に来た1年生や2年生にもその場で実験解析して見せることが出来るようになり、流体力学を身近に紹介できるツールとして使用できるようになった。

4. 授業における発表

本来、このような実験や解析結果を授業で紹介すると、一方的な紹介に終わってしまうことが多いが、同級生や先輩が直接取り組んだ内容であったため質疑応答も積極的に行われた。

プロジェクトを通して分かった問題点と今後の課題

プロジェクトは学生たちに流体力学の面白さを伝える目的を持っていたが、解析対象の提案では学生から提案を引き出すのは極めて難しかった。また、当初は考えていた地域防災との関連性については今後の課題となった。

⑧次年度以降の活動予定

流体解析結果は流れをうまく再現できており、平成28年7月に行われる日本航空宇宙学会主催第48回流体力学講演会／第34回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム（開催地金沢）において、取り組んだ学生が成果を発表する予定である。

流体解析に取り組んだ学生は大学院生や4年生として来年度も残っており、来年度の授業においてもアクティブラーニングとして続けていきたいと考えており、今回発表できなかった他の授業においても発表会を行うことを計画している。

日本海航測㈱の3Dモデリング技術は、流体関連の研究にも結び付けることが可能であることが分かったため、今後も企業との連携を図りその技術の利用方法を考えていきたい。特に低レイノルズ数におけるCFDと実験結果との整合性は流体においても重要なテーマであり、この解決に向けて3Dモデリング技術が役立つと考えている。