

平成30年度

“KOSEN（高専）4.0” イニシアティブ事業 成果報告書

地域に存在する重要課題を通して育成する
課題解決力の高い社会実装型技術者育成プログラムの開発

～防災を含む原子力教育をベースとして～



はじめに

独立行政法人国立高等専門学校機構
舞鶴工業高等専門学校長
内海 康雄

日本における地方創生と世界における国連のSDGs（Sustainable Development Goals）の達成への活動が広く行われる中、舞鶴高専ではCOC事業（2013～2017年度）とCOC+事業（2015～2019年度）などを推進しております。

このような流れを受けて高専機構本部では、KOSEN4.0イニシアティブを掲げて次期中期計画（2019～2023年度）への準備と位置づけています。舞鶴高専では2つのプロジェクトが採択されており、本報告書は「地域に存在する重要課題を通して育成する課題解決力の高い社会実装型技術者育成プログラムの開発～防災を含む原子力教育をベースとして～」の活動をまとめています。キャンパス全体の取り組みとして「地域エネルギー・防災教育研究センター」を設置し、高専が進める新産業を牽引する人材育成、地域への貢献、国際化の加速・推進に応じた活動を行い、ノウハウのパッケージ化により、他高専との協同を通じての波及を目指しています。

本報告書が、皆様の活動のご参考となるとともに、将来の協働につながることを期待しております。

全体を振り返って

独立行政法人国立高等専門学校機構
舞鶴工業高等専門学校 機械工学科 准教授
小林 洋平

本事業の基本的なアイディアは、これまでの技術者を育成する教育機関としての高専から一歩進んだ社会実装型の技術者を育成することにある。社会実装型技術者とは、これまでのものづくりができる技術者という意味から一歩進んだ社会から必要とされるものづくりができる高専生を意味する。究極の技術者とは、社会の病気を直す、あるいは社会の困りごとを解決する役割を担うことが求められる。つまり、技術者とは社会のお医者さんである。この社会実装型の技術者を育成する方法を考えた結果、社会の課題を通しての学生の育成に行きあたった。

これまでの単に実習するだけ問題を解くだけというスタンスの教育ではなく、このものづくりを行うことで社会のこのような課題を解決できる、と常に自分が行っているものづくりで解決できる課題を意識させることで高度な学生のやる気と社会実装力を引き出していく。この課題が重要であればあるほど学生には高い社会実装力が育まれるはずである。

国立高専は、全国に51校存在する。しかも、そのほとんどが各都道府県の最も人口の多い都市から外れた場所に存在する。高専の運営や学生獲得だけを考えたならば人口の多い場所に高専を設置したほうが良い。しかしながら、そうはなっていない。なぜであろうか。これは高専の存在理由とも関わる問題で、高専は地域貢献を担うべく設置された高等教育機関なのである。従って、高専は優秀な技術者を育成するだけでなく、地域に対する貢献が求められる。

二つの重要な高専の使命である「人材育成」と「地域貢献」を同時に果たすために考えられたのが、本校で2018年度に実施された高専4.0イニシアティブ事業「地域に存在する重要課題を通して育成する課題解決力の高い社会実装型技術者育成プログラムの開発～防災を含む原子力教育をベースとして～」である。

舞鶴高専は、全国でも松江高専と並んで原子力発電所に近い位置に立地し、その発電所の規模はとても大きい。関西電力の高浜原子力発電所まで車で15分、大飯原子力発電所まで30分、美浜原子力発電所まで60分、日本原子力研究開発機構の高速炉「もんじゅ」にも90分で行くことができる。

原子力には、さまざまな意見がある一方で、エネルギーが国の根幹に関わることであることから技術的にも政治的にも国際関係的にも複雑で重要な課題となる。この課題を教育に取り入れることで次世代に必要とされる課題解決力の高い社会実装型技術者の育成と地域への貢献を同時に実現させることが本プロジェクトの目的である。なお、各高専が立地している地域にはそれぞれ地域の課題を抱えており、その地域の重要な課題を適用することにより本校で行われた教育プログラム開発の成果は他校にも波及できると考えられる。また、日本で課題となっていることは、高専に留学に来ている学生の祖国にとっても重要な課題である場合が多く、課題解決型の技術者教育は留学生にとっても真の意味で重要である。

目次

| | |
|--------------------------------|----------|
| はじめに | 内海 康雄 |
| 全体を振り返って | 小林 洋平 |
| 従来からの取り組み | |
| 福島第1原子力発電所を目指したデブリ取り出しロボットの開発 | 小林 洋平 05 |
| WebカメラのCMOSセンサを用いた放射線の可視化教材 | 石川 一平 11 |
| 研究報告 | |
| 液体金属の濡れ性に関する基礎的研究 | 小林 洋平 15 |
| 福島第1原子力発電所偵察用UAVの開発 | 小林 洋平 21 |
| ドローン空撮画像による地表状況の把握に関する研究 | 加登 文学 27 |
| 薄膜型個体飛跡検出器の製造方法の開発 | 石川 一平 33 |
| 木造2階建て建築物の耐震性評価について | 西村 良平 38 |
| 災害時の移動機械 | 西山 等 44 |
| 電力変換器高効率化に向けた誤点弧解析 | 七森 公碩 50 |
| 停電時における情報機器利用手段の検討 | 能勢 嘉朗 56 |
| 教材開発 | |
| 原子力の基礎 | 小林 洋平 62 |
| 福島の現状について | 鈴木 茂和 65 |
| 放射線の基礎 | 久志野彰寛 71 |
| エネルギー施設近隣住民の意識調査における要点 | 本巢 芽美 79 |
| ドローン空撮画像を利用した3Dモデルの作成 | 加登 文学 82 |
| 毛細管型粘度計による流体の粘度測定 | 西山 等 85 |
| 防災を通じて学ぶGIS | 西村 良平 88 |
| 表面加工 | 植田 邦明 90 |
| 地域エネルギー・防災教育センターのデザイン | 今村友里子 92 |
| アンケート結果 | |
| 原子力・防災関連の講演・見学会の実施とアンケート結果について | 石井 貴弘 95 |

(所属及び職名は平成31年3月末現在)

福島第1原子力発電所を目指した デブリ取り出しロボットの開発

THE DEVELOPMENT OF DEBRIS REMOVAL ROBOT FOR THE FUKUSHIMA DAIICHI NUCLEAR POWER PLANT

森田健太¹・小林洋平¹

Kenta MORITA and Yohei KOBAYASHI

1. 緒言

2011年3月11日、東日本大震災が発生した。福島第1原子力発電所では、運転中であった1号機～3号機が地震による緊急停止後の津波により炉心の冷却に失敗し、炉心を損傷する事故に至った。

津波による全電源損失と非常用復水器の弁操作のトラブルで圧力容器への注水ができない状態となり、圧力容器内の水が枯渇した。原子炉内の炉心は温度が急上昇し、核燃料が溶融する事故となった。溶け落ちた燃料は溶融された核燃料と燃料ペレットや構造部材などが混ざり、原子炉圧力容器底に塊として存在し、現在も大量の放射線を放っている。このデブリ除去作業が福島廃炉において最も重要であり、これが完了すれば福島廃炉もゴールが見えてくると考えられる。

デブリ取り出しは強い放射線環境下での作業であることから、無線操縦を行うことのできるロボットと呼ばれる機器を活用して行う必要がある。進入経路も限定的な状況の中で、高い放射線環境に耐え、デブリを回収して帰還するロボットの開発は、多くの困難が予想され、現段階では本格的なデブリ取りだしロボットの開発には至っていない。さまざまな分野から多数のアイデアを出すことにより、この困難なロボット開発が活性化されることを期待するとともに、困難な課題に対する答えを学生に考えさせることにより高度な学生の課題解決力の育成をはかることを目的としてデブリロボットの設計・製作に取り組んだ。

2. デブリ取りだしロボットの仕様

デブリにアプローチする方法は何通りか考えられるが、本稿では次に示すような条件を想定してロボットの開発を行った。

2. 1 デブリとは

事故を起こした福島第1原子力発電所の圧力容器の下部にはデブリと呼ばれる溶け落ちた燃料が固まっている。デブリは、核燃料と原子炉の構造物が混合した状態で存在し、これを粉砕し石ころ程度の大きさにして回収する。図-1は、デブリを模式的に表した図である。

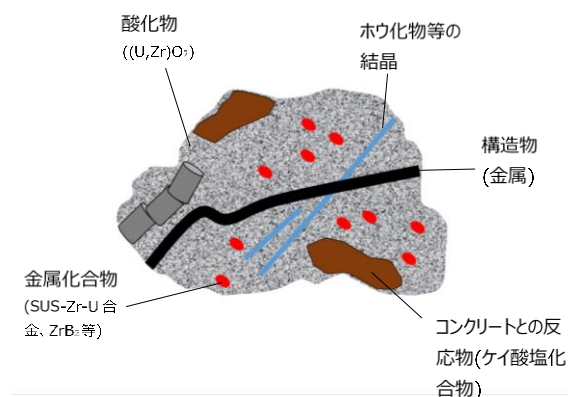


図-1 デブリのイメージ

2. 2 格納容器下部の構造

福島第1原子力発電所の原子炉格納容器の下部は圧力容器内に制御棒を出し入れする駆動部があり、その下はペDESTALと呼ばれる骨組み構造の床が存在する。そこからさらに3m程度低いところに格納容器の底がある。この場所にデブリが堆積していると考えられる。ペDESTAL付近には内部と外部を貫通する直径100mm程の穴が開けられ、現在はこの穴から偵察用のロボットが挿入され、内部の情報収集を行っている。将来的には、この穴が300mm程に拡大され、デブリ取り出しのロボットが内部に入れられると考えられる。従って、デブリ取りだしロボットに必要なとされる条件は以下の通りである。

1. 直径300mm程度のダクトを走行して内部に到達することができる。

¹舞鶴工業高等専門学校 機械工学科

2. 格納容器内部の瓦礫の散乱した状態を走破できる。
3. ペDESTALから3m下の底に堆積したデブリを回収できる。

図-2は原子炉格納容器とロボット進入経路を表したものである。

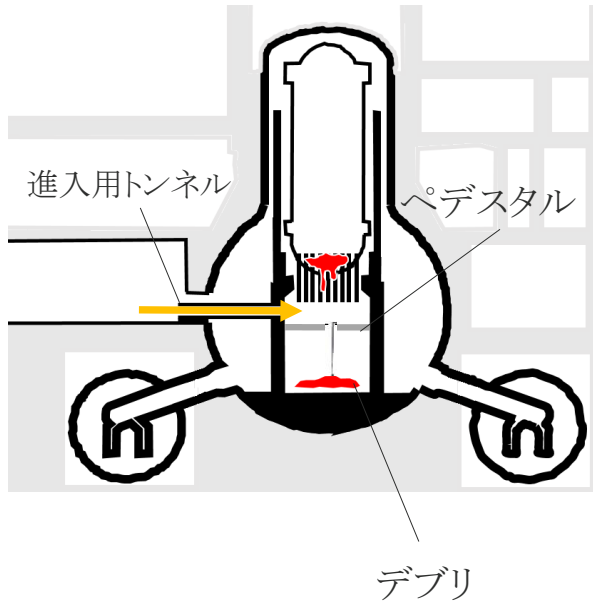


図-2 格納容器下部の構造とデブリ

3. デブリ取りだしロボット「スパイラルクレーン」

開発したデブリ取り出しロボット「スパイラルクレーン」の詳細を図-3に示す。ロボットは、クローラ、ギアボックス、アーム関節部、アーム伸縮部、スパイラルキャッチャにより構成される。

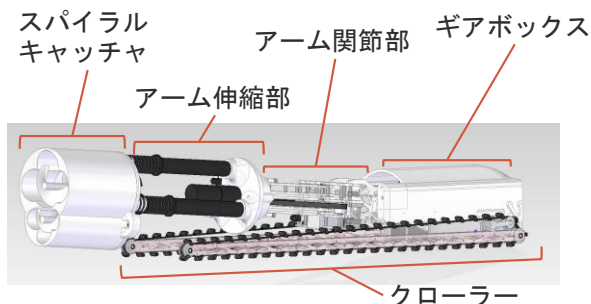


図-3 スパイラルクレーン

3. 1 クローラの構造

構内へ侵入する際、細い貫通穴を通り格納容器内部に侵入する。また、貫通穴を抜けた先の廃炉構内は瓦礫が散乱しているような不整地である。このことからロボットに必要とされる走行機構には、パイプ内、不整地の走行が同時に可能である

必要がある。このことから、開発したロボットではクローラ型走行機構を採用した。ロボットは遠隔操縦されるため、カメラの映像に遅延が発生しても大丈夫のようにロボットの移動速度は遅めに設定し、約130mm/sとした。駆動ユニットは図-4のようになっており、駆動には定格トルク0.72N・m、無負荷時回転数118rpmのギアードモータを2つ使用した。駆動用モータを2つ縦置きし、傘歯車を使用して軸の向きを変えている。平歯車は、スプロケットの位置を後方に移動させる役割を担う。これらの歯車は、いずれも速度を変えず動力を伝達する。この構造とした理由は、駆動用バッテリーや無線操縦用の受信機、モータドライバーといった電子機器を搭載する空間を確保する為であり、駆動系の省スペース化を実現している。

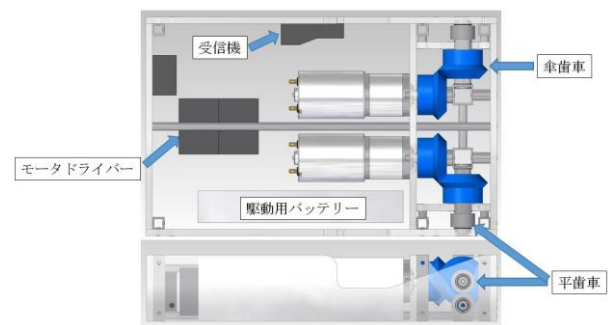


図-4 クローラ駆動機構

設計したクローラは、ペDESTALを跨ぐようにして開口部の上に乗る回収機を投入するため、長さ約1mと通常よりもかなり長いクローラとなっており、両端のスプロケットと途中のプーリを挟むように両側はポリカの板でクローラベルトの軌道をガイドして、ベルトをPOM板の上を滑らせる構造とした。クローラが長いので、軌道を外れることがないようにクローラ突起部とPOM板にネオジム磁石を取り付けることでガイドからクローラベルトがはずれることを防いでいる。図-5にクローラの側面図と平面図を示す。

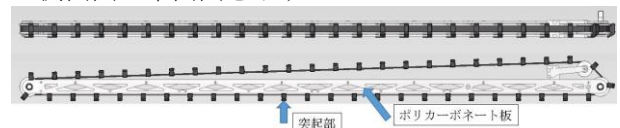


図-5 クローラ

クローラベルトにはパイプ内での走行と瓦礫の上での走行を同時に可能にする突起がつけられている。突起部の形状は図-6のようになっており、端にパイプの曲率と一致するR面をつけている。このような形状とすることで、パイプ内を走行する際にはR面がパイプと広い面積で設置するため、パイプ内を安定にして走行することが可能となっている。

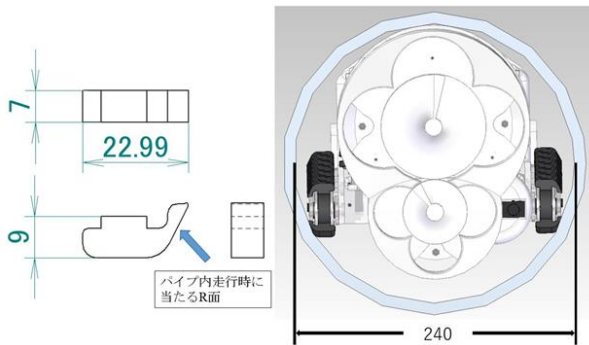


図-6 クローラベルトの突起

クローラユニットと駆動ユニットはねじ2本で結合されているため、交換、整備が容易に行える。クローラユニット全体設計を図-7に示す。アクリル板、ポリカーボネート板、アルミ角パイプ、アルミ軸を材料として使用している。傘歯車、平歯車、プーリは既製品を使用した。

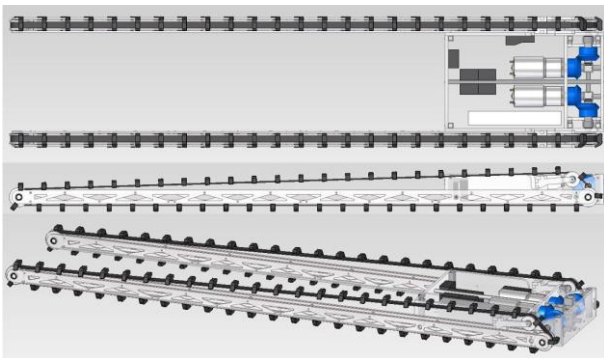
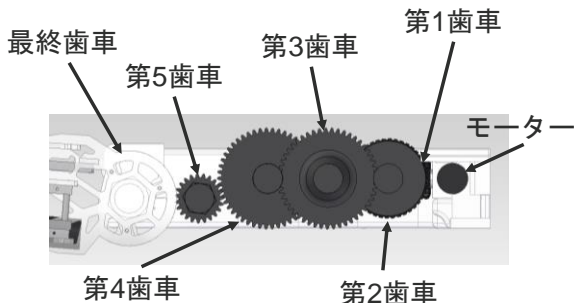


図-7 クローラ機構

3. 2 ギアボックスの構造

アーム第1関節の駆動は、モータと6段で減速されたギアボックスにより行われた。ギアボックスの構造を図-8に示す。減速比は、1:46である。駆動用には定格トルク6.9N・m、無負荷回転数16rpmのギアードモータものを使用した。



ギア比: 1 : 46

図-8 クローラ機構

3. 3 第2関節の構造

第2関節に必要な性能の検討を行う。デブリ回収を行う際は、ペDESTALの開口部からアームを下方方向に約3m伸ばし、デブリ回収を行う。そのため、第2関節は約3m伸ばした約4kgのアームを駆動する必要がある。伸ばしたアームの重心の位置とアーム全体の重量を考慮して、第2関節のトルクが77.68N必要であることが分かった。アームを3m伸ばした先端で約1m×1mの範囲を探索できる性能を開発目標としたため、関節は左右に約9°動く必要がある。また、短縮された状態の本ロボットのアームが長くなると、ペDESTALの開口部にアームを入れることができなくなる。この為、第2関節は大きな減速比を確保しつつも長さ300mm未満にする必要がある。

駆動用には定格トルク6.9N・m、無負荷回転数16rpmの第1関節と同じギアードモータを使用した。このモータでは第2関節を直接駆動することができない。このモータで第2関節を駆動するには減速比12程度の変速機構が必要である。この減速機構をギアボックスで組もうとすると所要のサイズに長さが収まらないため、開発した機体ではタイミングベルトを使用することとした。今回設計した第2関節の減速機構を図-9に示す。

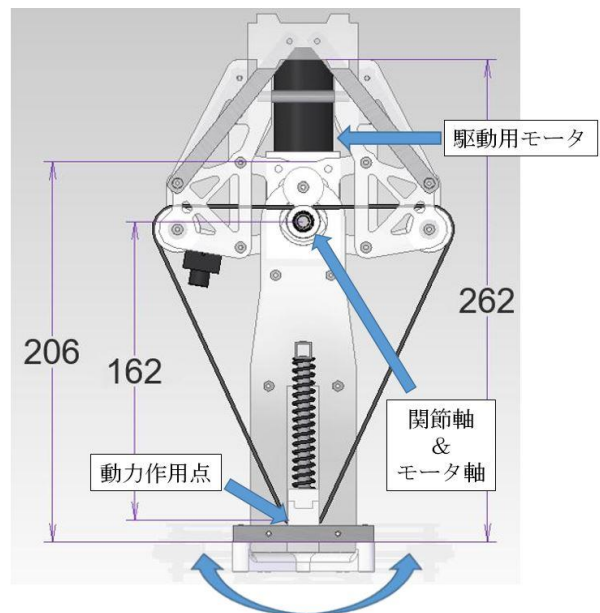


図-9 第2関節の構造と寸法

このようにタイミングベルトを介し、関節回転軸から離れた部分に駆動力を伝達することにより、減速比12相当のトルク増大を実現している。同時に関節回転軸と駆動用モータの出力軸を同一軸とすることで省スペース化を計り、第2関節の減速部分は寸法200mm未満に収めることができた。また、このことから部品点数の削減も実現できた。モータを含む寸法は262mmと300mm未満に収められている。また、関節の動作角はアームがしなること

を考え左右約 13° と 4° の余裕を持たせている。

アームの材質はアクリル板とした。アクリル板は軽量化の為に随所に肉抜きを行ったため、クローラベルトのガイドと同様に、Solid Worksを使用して、応力解析を行った。図-10に示すように中段両端のアルミ角パイプのトラスで支える2点を円筒固定とし、アクリル板にはめ込む上部2か所のスリット部を滑り固定とした。そして下部中央の穴にベアリング荷重20.75Nがかかっている状態の解析を行った。アクリルの許容応力は47MPa、解析の結果、板にかかる最大応力は0.72MPaとなっており、十分な余裕があるため問題のない強度である。

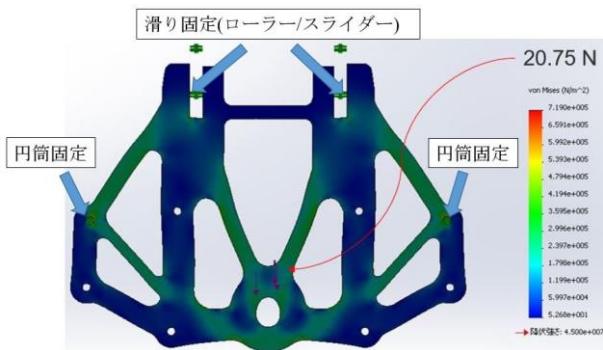


図-10 アクリル板の強度解析

第2関節の全体構造を図-11に示す。第1関節と接続される箇所のギア構造はアクリル板を重ねることによりギアを成形した、複数枚のアクリル板を重ねることで厚みを出し、軸3本を貫通して結合することで強度を確保した。第1関節と第2関節の接合部は、アクリル板2枚に彫られたスリットによりはめ込むことで軸を 90° 回転させた。アクリル板同士の接合には、アルミ角パイプ、中空のアルミ軸を材料として使用している。アクリル板をメイン材料として設計することで製作時間の短縮を実現した。タイミングベルトを駆動するプーリは既製品を使用した。

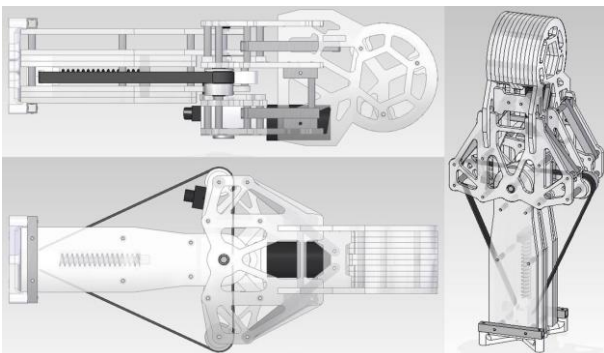


図-11 第2関節の全体構造

図-12、図-13に完成したクローラと第2関節部の写真を示す。

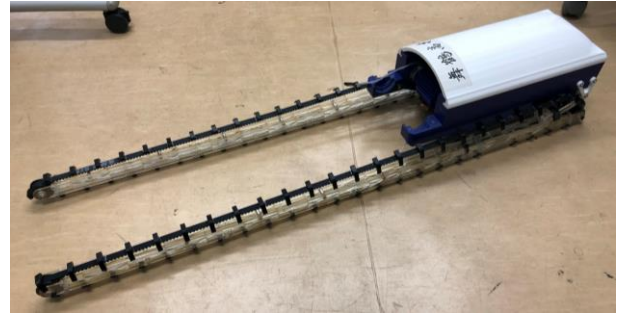


図-12 完成したクローラ

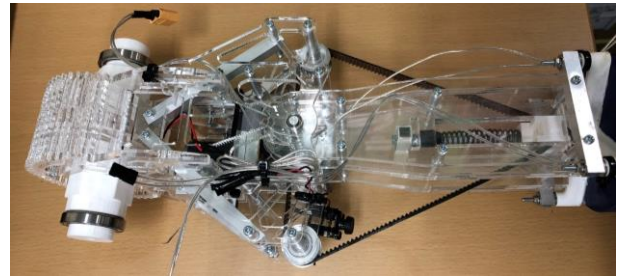


図-13 完成した第2関節

3. 4 アーム伸縮部の構造

原子炉圧力容器の下部に溜まったデブリの取り出しは、原子炉の上部の開口部から行う。この為、デブリ回収機とロボット本体の間には伸縮可能なアーム構造が必要となる。アームはロボットの移動時にはできるだけ邪魔になることが無いように、コンパクトである必要もある。開発されたロボットのアームはペDESTAL上部の開口部から入れられ、3.2m先の原子炉圧力容器の底まで伸ばすことができる。図-14は、ペDESTALの開口部からアームを伸ばすロボットの様子である。

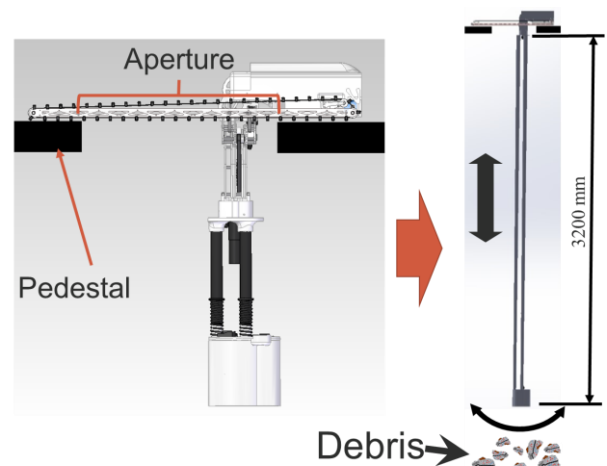


図-14 回収機を投入する様子

アームの伸縮にはテレスコピック構造を持つ円筒と糸を巻き上げるリールを用いる。図-14のようにアームを伸ばす際は重力を利用し、縮める際はリールとモータを用い、ワイヤを巻き上げる。円筒を3本とすることにより、回収機を安定化させる

ことができた。回収機とテレスコピック機構上部の板に一つずつカメラを搭載することでアームを伸ばした状態でも燃料デブリの位置を正確に知ることができ、確実な回収を可能とした。アーム部はたたみ寸法が300mmである。アーム上部にばねをつけることで収縮時ワイヤに一定の負荷がかかり、リールの糸が絡まりにくくした。中空のアーム円筒内部に糸を通す。糸の先端はリールと燃料デブリ回収部の蓋にそれぞれ固定する。図-15は、アーム伸縮機構の様子である。

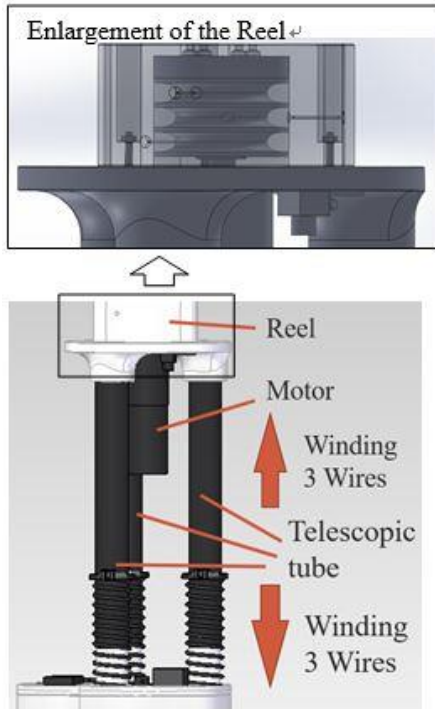


図-15 アーム伸縮機構

3. 5 回収機の構造

図-16は、本研究で考案された燃料デブリ回収機を表している。回収機はスパイラルキャッチャと名づけられた。キャッチャは円筒に螺旋が巻きつけられた構造をしており、容器につけられた案内羽との隙間を使いデブリを上部に移動させる。回収機の上部はデブリ収納部になっており、複数のデブリを収納することができる。キャッチャは、上部のモータに取り付けられた歯車により2本同時に駆動される。先端部は、2種類の大きさのデブリを同時に回収できる。コンテナ体型の構造とすることで別途回収タンクを搭載する必要もなく省スペース化が図ることができ、約6個のデブリを収納することができる。図-17は、スパイラルキャッチャの写真である。デブリに見立てたボールがガイドにはめてある。

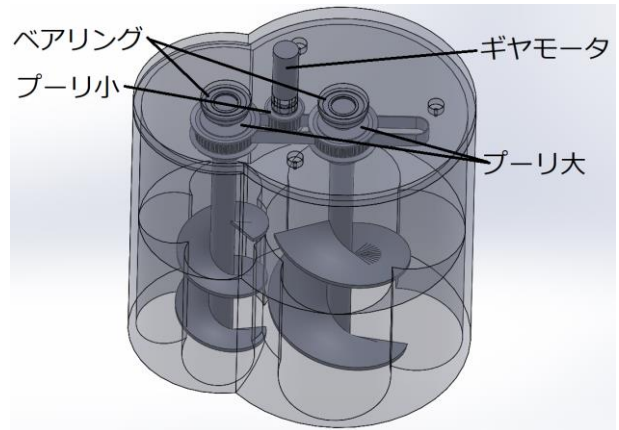


図-16 デブリ回収機



図-17 完成したデブリ回収機

4. 性能評価

以上のようにして設計され、製作されたデブリ取り出しロボットを図-18に図示する。



図-18 完成したデブリ取り出しロボット

クローラ型走行機構は内径240mm、長さ4mのパイプ内を走行することができた。また、廃材などを置き、不整地走行のテストを行った。不正地でも問題なく走行することが可能だった。走行と関係する機構の不具合もなかったため円筒内や瓦礫の上を走行する十分な性能の走行機構が開発できたといえる。クローラの駆動ユニットにはアクリル板を使用していたが、強度の問題から金属製のギアに変更した。実際のデブリ回収ロボットとしての使用では放射線対策や、強度の面から材料を再検討する必要があると考える。

本機は、第3回の廃炉創造ロボコンにも出場している。結果は残念ながら、ギアボックスの強度不足により、棄権している。図-19は廃炉創造ロボコンに出場した本機の様子である。

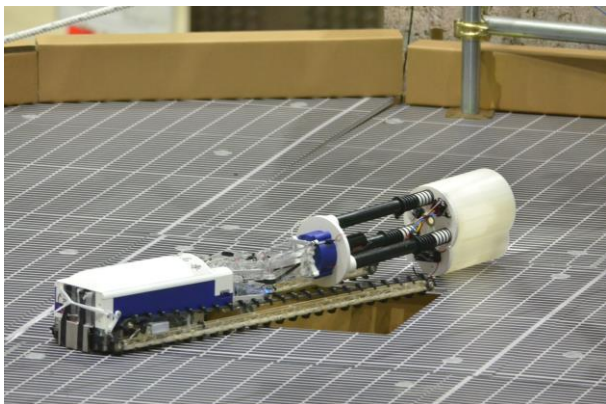


図-19 廃炉創造ロボコンでの様子

回収機構や第2関節の性能評価は、舞鶴高専敷地内に作られたロボットテストフィールドで行われた。テストフィールドの様子を図-20に示す。

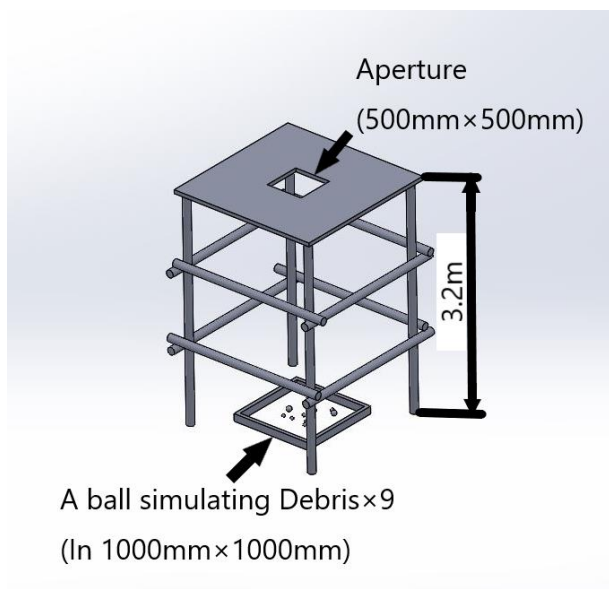


図-20 舞鶴高専内のロボットテストフィールド

第2関節は図-21に示す舞鶴高専ロボットテストフィールドにおいてアームを伸ばし、左右に振れるかどうかの確認と、設計トルクどおりの動作角が取れることの確認テストを行った。アームを3m伸ばした状態でも問題なく第2関節を駆動することができた。また、可動角も十分であった。しかし、ペダスタル上部の開口部が500mm以上なければ今回設計したアームは入れることができないため、さらにコンパクトな設計に改良したほうがさまざまな場合に使用できることになり良いといえる。また、材料選定は製作時間短縮と入手のしやすさからアクリル板を使用した。アクリル板は衝撃

に弱いため、材質をアルミなどに変更する必要があると考える。



図-21 デブリに見立てたボールの回収試験

5. 結言

本研究では、福島第一原子力発電所の廃炉作業を進める上で、最大の難関とされる燃料デブリの回収を目的としたロボットの開発を行った。不平地とパイプ内の走行を可能とする突起の開発、クローラの剛性を意図的に低くし、柔構造にすることで、単純な構造ながらサスペンションの機能を併せ持つクローラは不整地でも安定した走行を実現している。3m伸ばした4kgのアームを駆動することのできる300 mm未満の第2関節機構、約10倍の長さになるアーム伸縮機構、空気中でも効率的にデブリに見立てたボールを回収できる回収機構も実装している。

謝辞：本研究は、舞鶴高専の機械科5年の内藤健太君、杉本哲郎君の協力の下に行われた。協力してくれた以下の学生（卒業生）には厚く御礼申し上げ感謝する次第である。

参考文献

- 1) 森田健太：デブリ取り出しロボットの開発（クローラ部と第2関節の設計），平成30年度卒業研究，2019年3月。

WebカメラのCMOSセンサを用いた 放射線の可視化教材

石川一平¹

1. はじめに

放射線はそのままでは肉眼で見ることができないため、初学者にとって講義だけで放射線というものをイメージする事は難しい。今日の「理科離れ問題」の対応には実験による体験が重視されているように、この放射線に対する理解を深めるためには実験による体験が重要であると考えられる。

放射線検出器は放射線の種類や線量および使用環境や用途によって使い分けられており様々な種類が存在する。シンチレーション式やガイガーミュラー管式のサーベイメーターや、半導体式のポケット線量計は高精度に線量測定が可能であるため空間線量測定や個人被ばく線量測定用として広く利用されている。しかし、これらの検出器は放射線を検出した後、音や数値でその存在を知らせてくれるが、放射線によって生じる現象を直接目視することはできない。そのため、放射線を初めて学ぶ者の学習用教材としては体験的要素が薄いと思われる。現在の放射線教育に最も利用されている実験装置としては、霧箱（ドライアイスを用いて放射線を可視化する装置）がある。しかし霧箱は実験前にドライアイスの事前準備が必要である点や装置が不安定（容器内温度とエタノールの過飽和の管理が必要）である等の欠点もある。そのため、教育現場で利用するには測定原理が単純かつ安定的に放射線の可視化が可能であるような装置が望ましい。そこで、放射線の可視化教材を検討したところ、WebカメラのCMOSセンサを用いた教材¹⁻³⁾に注目した。Webカメラは比較的安価で入手もしやすく、またパソコンにUSBでそのままつなげるだけで放射線の観測ができることが教材として有用であると考えた。本稿では、WebカメラのCMOSセンサを用いた放射線の可視化教材の有用性について、特にCOMSセンサの放射線に対する耐久性（寿命）についても検証を行ったので報告する。

2. CMOSセンサを用いた放射線の可視化

本稿で使用したWebカメラは、Logicool社製の「C270 HD WEBCAM」である。Webカメラの外形を図1に示す。専用のソフトを必要とせず、Windows10に搭載されているカメラ機能で写真、動画を撮影することができる。このWebカメラの外枠やレンズを外して、CMOSセンサを露出させた状態が図2である。図2のCOMSセンサ上に放射線源を置き、放射線を測定する。このCOMSセンサに放射線を含めた光が入射すると、入射エネルギーに応じた電子正孔対が発生し、Webカメラは光の明暗を画素の色として表示することになる。よって、放射線測定時は、放射線以外の光が入射しないようにCOMSセンサを覆う必要があるため、図3に示すようにアルミホイルで遮光した。



図1 Webカメラ本体

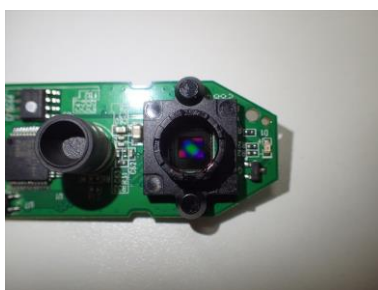


図2 CMOSセンサ



図3 放射線測定状況

¹舞鶴工業高等専門学校 電子制御工学科

放射線の可視化を行うために必要な放射線源を選別するため、数種類の線源の中から検討した。検討を行う放射線源は、 ^{60}Co 、 ^{241}Am 、マントル、モナザイト、ラジウムボールの5種類である。それぞれの放射線源の概形を図4に示す。Windows10に搭載されているカメラ機能により1分間の動画の撮影を行った。放射線がCOMSセンサに入射したときに白い点となって現れることを確認できた。 ^{241}Am を用いれば1秒に1個程度の検出点(白い点)を連続的に見ることができ、十分に可視化教材として利用できることがわかった。しかし、動画上では十分に見えるが静止画としたときは検出点が少なく、わかりにくい。よって、撮影した動画の中から、目視により静止画を5枚抜き取り、JTrimというフリーソフトを使用して、明るい画素を優先させ合成した画像をbitmap形式で保存した。さらに見やすいように2値化処理を行った。図5に各放射線源を使って得られた画像5枚の合成画像を例として示す。なおラジウムボールは殆ど放射線を検出することができなかった。

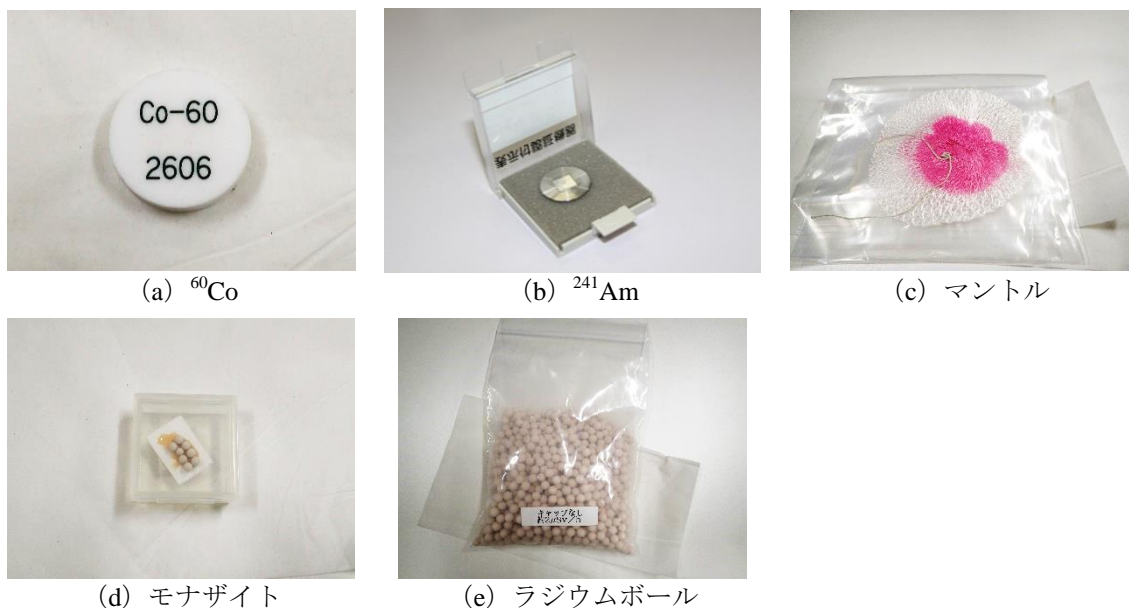


図4 使用した放射線源

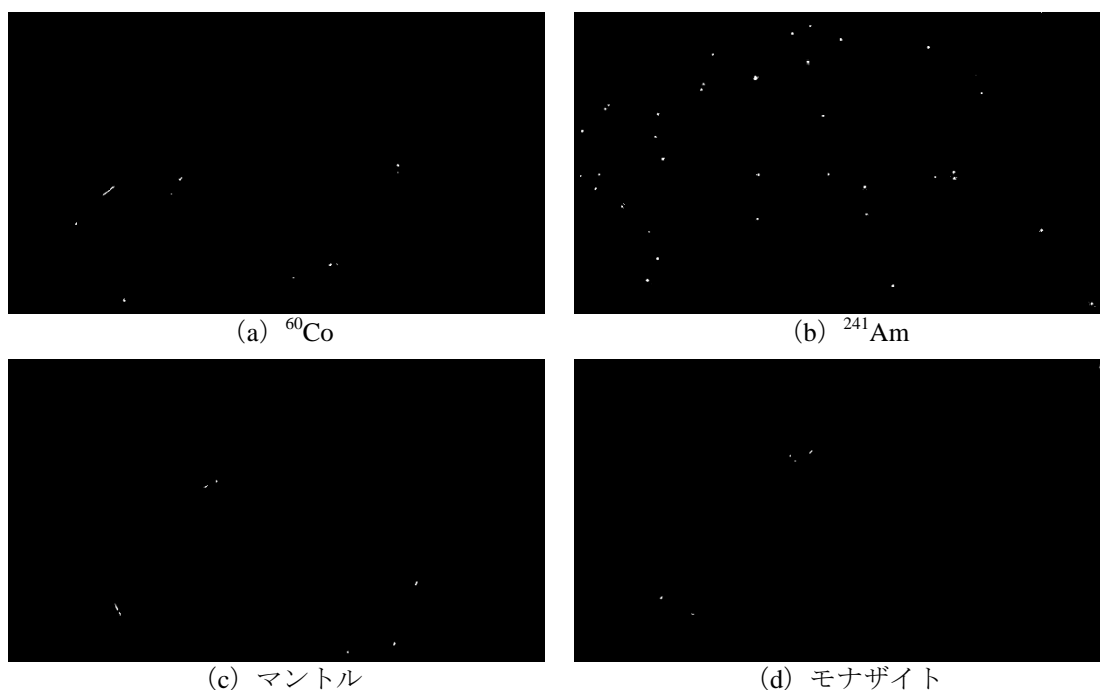


図5 各放射線源を使って得られた画像5枚の合成画像

3. 画像データからエネルギースペクトル測定

放射線の可視化教材としては、Webカメラから得られる映像で、放射線の検出点を可視化して見るだけでも十分ではあるが、より高度な放射線計測の教育を行うのであれば、エネルギースペクトル測定を行った方が望ましいと考えられる。そこで、先ほどの図5のように5枚の静止画像を合成して得られた画像をbmp2csvによりcsvファイルに変換後、Excelによってグラフ化して、エネルギースペクトルを得ることにした。

各放射線源から得られた画像で作成したグラフを図6に示す。グラフの縦軸は画素数、横軸はRGB値のB値を表している。R値、B値、G値のうちB値が最も検出数が多かったため、B値でグラフ化した。 ^{60}Co 、マントル、モナザイトが同じような波形であるのに対し、 ^{241}Am ではほか3種類に比べRGB値のB値の画素数が多いことがわかる。 ^{241}Am であれば、精度は低いですが、エネルギースペクトルのようなものが得られたと考えられる。

また、 ^{241}Am の20枚の静止画像をJTrimにより明るい画素を優先し合成を行い、1枚の静止画とし、さらに2値化処理をした画像を図7に示す。図中の白点が、放射線が入射した点を示している。

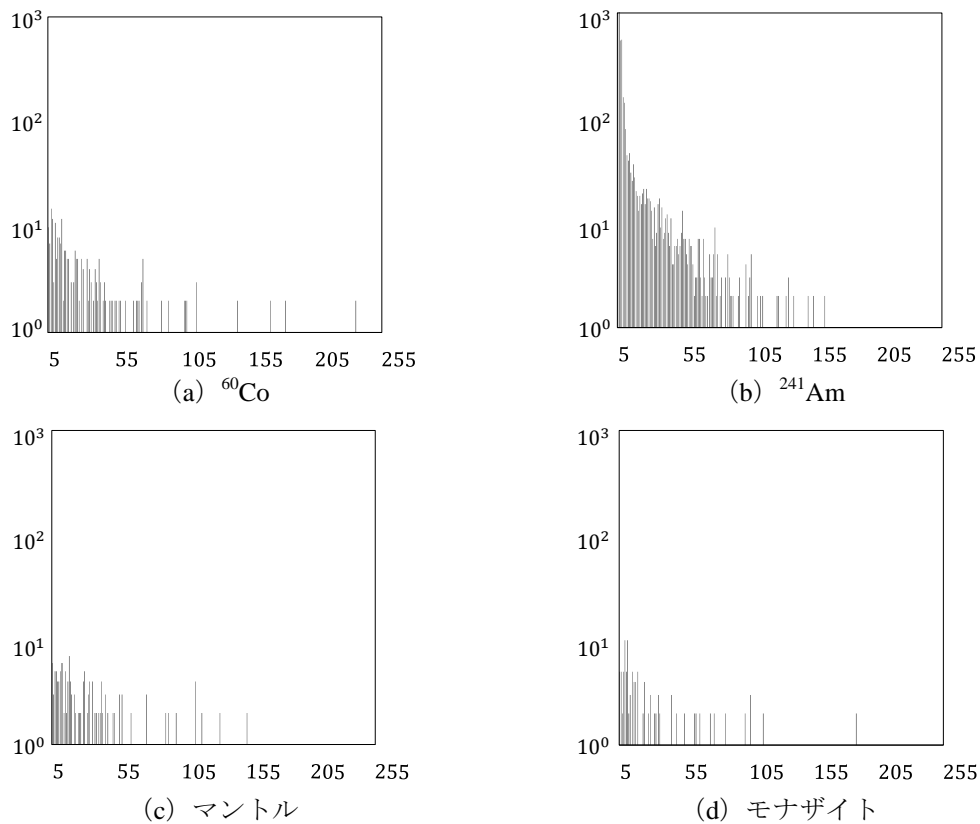


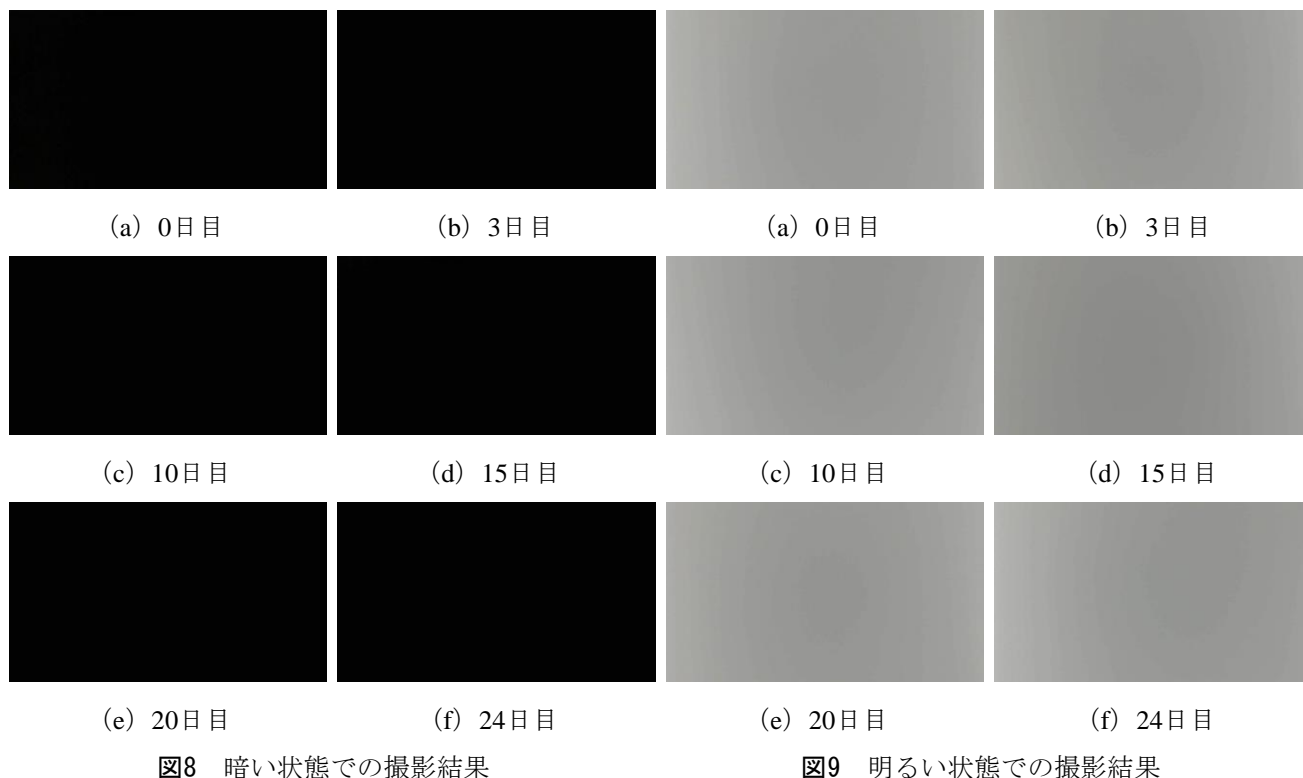
図6 各放射線源を使って得られたエネルギースペクトル



図7 ^{241}Am で得られた画像20枚を合成した画像

4. CMOSセンサの耐久性の検討

放射線の可視化にWebカメラのCMOSセンサを使用しているが、永久的にCMOSセンサが壊れないという保証はない。そのため、CMOSセンサがどれほどの放射線の照射で故障してしまうのかを検討するCMOSセンサの耐久性についての実験を行った。CMOSセンサに4 MBqの ^{241}Am 標準線源から放出される放射線に晒して、CMOSセンサのピクセルが故障していないか、Webカメラとして画像を撮影して検証した。撮影方法はセンサ周りをアルミホイルで包み暗い状態で撮影する方法、センサに一定量の光を当てた状態で撮影する方法の2種類で行った。図8に暗い状態で撮影した結果、図9に光を当てた状態で撮影した結果を示す。 ^{241}Am 標準線源に24日間晒したが、CMOSセンサに異常は見られなかった。通常の教材として利用する程度では十分に耐久性があると考えられる。



5. おわりに

本稿では、Webカメラを利用した放射線の可視化を行い、教材として利用可能性を検証した。安価なWebカメラで簡単に放射線の可視化を行うことができることがわかった。また、可視化した画像データからエネルギースペクトルの測定が可能であることも確認できた。ただし、鉱石などの入手しやすい放射線源では検出頻度が少なく、動画として見てすぐわかるような結果やエネルギースペクトルを得るには、4 MBqの ^{241}Am 標準線源などが望ましいこともわかった。CMOSセンサの放射線に対する耐久性については、4 MBqの ^{241}Am 標準線源を使って放射線に24日間晒したが、CMOSセンサに異常は見られなかった。通常の教材として利用する程度では十分に耐久性があると考えられる。

参考文献

- 1) 武田彩希：Webカメラを粒子検出器として利用した教材について，フォーラム理科教育，vol. 11，pp. 21-28，2010.
- 2) 大山博史，宮川晃輔：Webカメラを用いた放射線の可視化，広島商船高等専門学校紀要，vol. 37，pp. 1-3，2015.
- 3) 金政造，渡辺 幸信：CMOSイメージングセンサを用いた荷電粒子計測の検討，第61回応用物理学会春季学術講演会講演予稿集，p. 02-066，2014.

液体金属の濡れ性に関する基礎的研究

FUNDAMENTAL STUDY ON WETTABILITY BY THE LIQUID METAL

小林洋平¹
Yohei KOBAYASHI

1. 緒言

日本は資源に乏しくこのことが原因で辛酸を舐めた歴史を持つ。日本における原子力研究がスタートしたときには、この苦い経験を繰り返さないために資源の確保には細心の注意を払い政策が決定された。天然に存在するウランの99.3%は核分裂性でないウラン238が占める。このウランを有効に使うことが日本における原子力政策の基本的な骨格となった。そうした経緯で、ウラン238を核燃料であるプルトニウムに変換する能力の高い高速炉の研究開発が行われてきた。

いくつかの不幸な出来事が重なり2016年12月に廃止措置が決定した高速増殖炉もんじゅは、燃料の冷却の為に中性子を減速させる効果の小さい液体ナトリウムを使用している。現時点で行われている燃料の抜き取りが完了すると、段階的にすべての機器の解体が行われ、最終的な高速炉の廃止措置では、すべての配管内やポンプから内部に残った液体ナトリウムを抜き取る必要がでてくる。機器に液体ナトリウムが付着すると摺動面を中心に動きが悪くなり、機器の機能を著しく損なう結果となる。また、配管内に残る液体ナトリウムは配管の解体を難しくする。

液体ナトリウムが配管や機器に付着したまま存在する可能性は「濡れ性」と呼ばれる固体表面に対する液体の親和性を表す性質により評価される。液体ナトリウムと異なる材質の間の濡れ性の評価や表面の微細構造の違いによる濡れ性の評価は液体ナトリウムの取り扱いが難しいこともあり十分な研究がなされていない。

本研究では、液体金属と固体表面の間の動的な濡れ性まで含めた濡れ性評価の為に機器の開発状況を報告し、また、表面の微細構造により濡れ性を制御することを目的として基板表面に行う微細加工についてそのプロセスの検討結果の成果を報告する。

2. 静的な濡れ性の理論

固体と液体、液体と気体のように2つ以上の異なる状態の物質が接する境界を界面と呼び、とくに一方が気体の場合に表面と呼んでいる。その界面の面積 A を dA だけ増すのに必要な仕事 dW は次の式(1)で表される。

$$dw = \gamma dA \quad (1)$$

このとき、比例係数 γ のことを表面張力と定義することにする。つまり γ とは、界面を単位面積だけ増すのに必要な仕事として表される。この関係は、例えばシリンダ内での体積膨張による気体の仕事とよく似ている。しかしながら、気体の圧力の場合と異なり、表面張力は膨張ではなく収縮する方向に働く点が大きく異なる点である。

表面張力を意識する場合は、固体表面上に落ちた水滴が、図-1のような状況でコロコロと転がる時である。

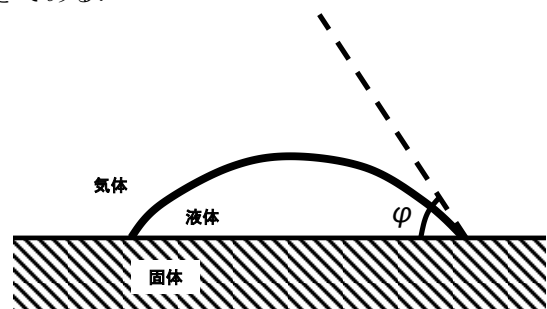


図-1 液滴と接触角の様子

この場合、水滴の周辺にそって3つの物質の状態（液体、気体、固体）がそれぞれ接している。この状態での系の全表面積が極小になる場合の条件、言い換えると、平衡状態における重力を無視した仮想的な場合の接触角を示す式は以下の式(2)で表される。

$$\cos \varphi = \frac{\gamma_{23} - \gamma_{12}}{\gamma_{13}} \quad (2)$$

ここで γ_{12} 、 γ_{13} 、および γ_{23} は、1が液体を表し、2が

¹舞鶴工業高等専門学校 機械工学科

固体, 3が気体を表す. 従って, それぞれ液-固, 液-気, 固-気界面における表面あるいは界面張力である. 接触角 ϕ が0に近いほど固体表面はぬれやすいことになる. 逆に接触角が 180° に近いほど固体表面はぬれにくいことになり, 材料表面の性質を決定する重要な性質となる.

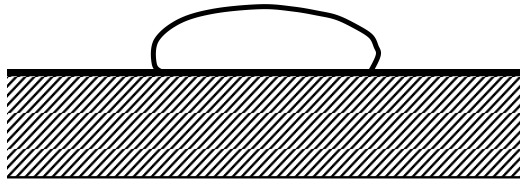


図-2 重力の影響と液滴

液滴の形は, 通常は重力の効果が無視できないために図-2に示されるように, より複雑な形を取る. 例えば同じ表面張力でも比重が大きい液体の場合, 重力の影響を受けて接触角が小さく測定される. そこで数%以内の高い精度で表面張力を測定するためには, 別に表面張力がよく知られた物質を用いて測定された補正值により補正を行うべきである.

表面張力の測定法には, 大きく分けて静止状態の液体を用いる方法と動いている状態の液体を用いて測定する方法があるが, それぞれの測定法は異なり, また, 測定している現象も異なると考えられるので使い分けが必要となる. たとえば静止状態での測定では, 吸着平衡が達成されているといえるのだが, 表面の汚れの影響を受けやすい. 一方, 動的な測定では吸着平衡に達していない条件での接触角であり, 動的な濡れ性は非平衡状態での現象であるという点において静的な濡れ性とは区別して取り扱われるべきである.

3. 回転円筒による濡れ性の評価

液中で回転する円筒は, 固体と液体の界面の状態に応じて, 回転を妨げる力を液体から受ける. 従って, 回転円筒が回転するのに必要な力を正確に測定することにより, 固体と液体の界面で発生している濡れ性の評価に利用できると考え, 実験装置の設計を行った.

3.1 回転円筒による濡れ性の評価の理論

図-3は流体中に入れられた円筒の固液界面の模式図である. 図-3中の ω [rad/s]は円筒が回転する角速度を表す. T [N·m]は, 液中で円筒が回転するのに必要なトルク, r_1 は回転円筒の半径, r_2 は外筒の半径である. このような場合には次に示す粘度の定義より, F [N]はせん断応力, μ [Pa·s]は粘度, u [m/s]は流速, y [m]は距離を表す.

$$F = \mu \frac{du}{dy} \quad (3)$$

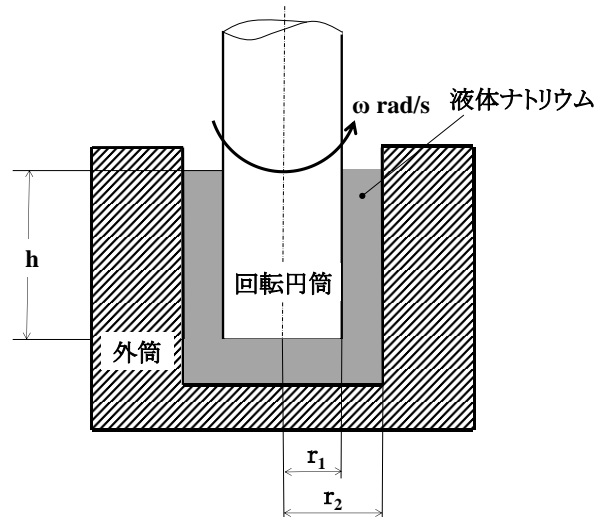


図-3 液中で回転する円筒

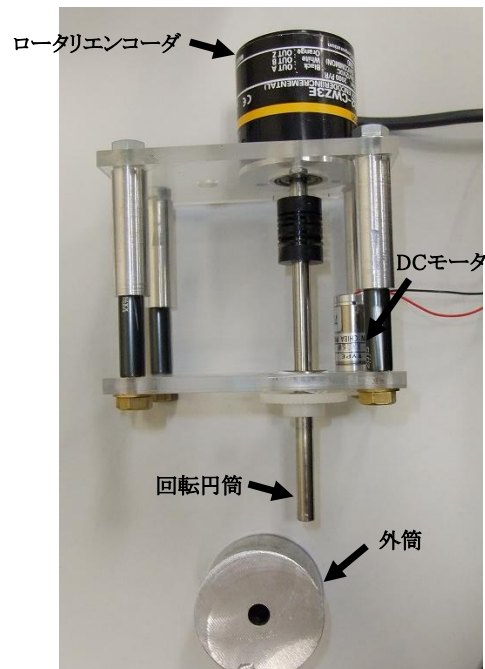


図-4 回転円筒による濡れ性試験装置の試作機

r_1 と r_2 の間にある任意半径を r とすると, 円筒が受けるトルク T は

$$T = 2\pi r \cdot h \cdot \mu \cdot r \frac{d\omega}{dr} = 2\pi h \mu r^3 \frac{d\omega}{dr} \quad (4)$$

となる. 両辺を積分すると, 次の(5)式が求められる.

$$2\pi h \mu \omega = -\frac{T}{r^2} + C \quad (5)$$

$r=r_1$ で $u=r_1 \omega$, $r=r_2$ で $u=0$ となるので境界条件を挿入して, 積分定数 C を求めるとトルクは

$$T = \mu \cdot \frac{4\pi h \omega r_1^2 r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} + T \quad (6)$$

となる. T_0 は装置の軸受の摩擦や, ロータリエンコーダの負荷トルクで一定値である.

ここでモータについて考える. モータのトルクは, トルク定数を K_T , 電流とトルクの関係は(7)式で表される.

$$T = K_T(I - I_0) \quad (7)$$

モータの回転数は、(8)式で表される。回転数は、モータの特性値やトルクが影響している。粘性の変化による回転数の変化を防ぐために、回転数を一定に保つ必要がある。その為、プログラムによる回転数制御が必要となる。

$$N = \frac{1}{K_E} \{v - R_a \cdot (\frac{T}{K_T} + I_0)\} \quad (8)$$

(6), (7) 式より、粘度を、(9)式で理論的に表すことができる。電流 I 以外は不変の値となるので定数として扱うことができる。電流を計測することで、粘度を算出することができる。

中心の円筒の材料を変化させることで、粘度の値が変化し、その変化量は材料と液体の濡れ性の違いに起因していると考えられる。

$$\mu = \frac{\{K_T(I - I_0) - T_0\}(r_2^2 - r_1^2)}{4\pi h \omega r_1^2 r_2^2} \quad (9)$$

3. 2 具体的な装置の検討

実験装置の試作機を製作した。試作機は2枚の亚克力板の上にロータリエンコーダを配置しモータの出力は歯車を介して軸棒に伝えられる。歯車はモータ側に歯数15、軸棒側に歯数60を用いた。減速比は4である。試作した装置の写真を図-4に示す。また、図-5に示す図は、液体ナトリウムを試験するための高温に耐えられるように金属を用いた設計中の試験装置である。

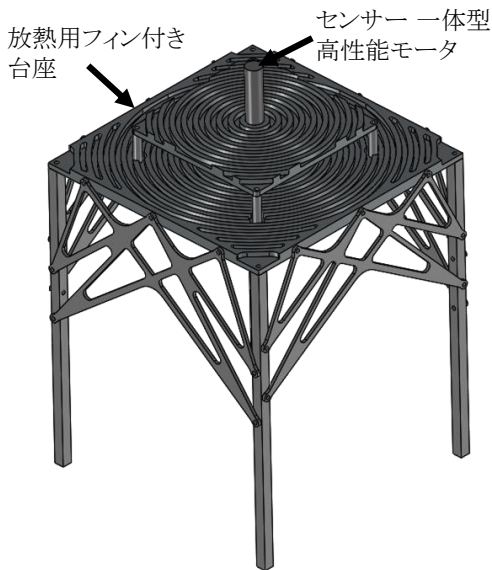


図-5 設計中の回転円筒による濡れ性試験装置

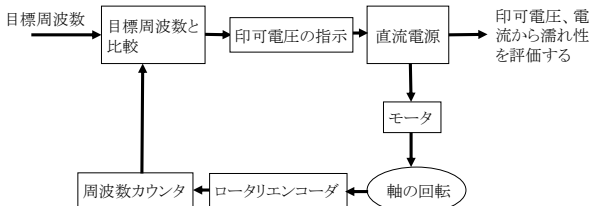


図-6 制御系の概要

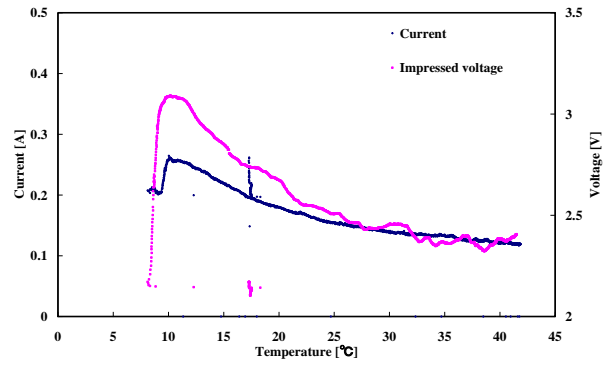


図-7 流体の温度変化に対する電流と電圧

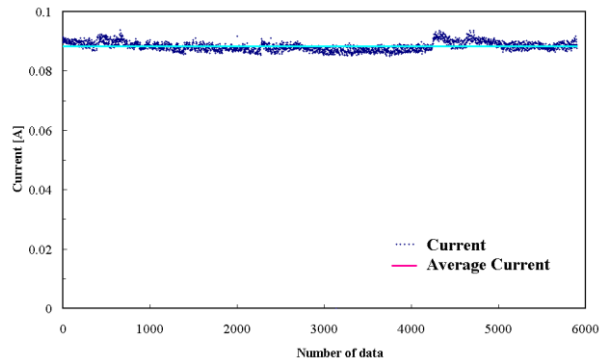


図-8 回転数を一定にした場合の電流の変化

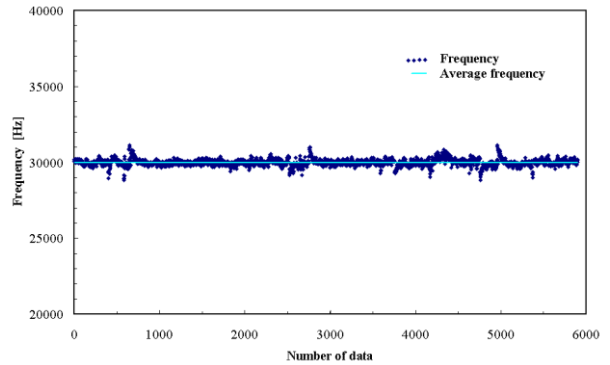


図-9 回転数を一定にした場合の周波数の変化

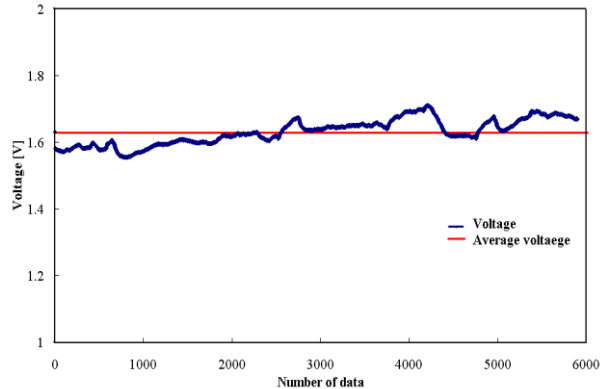


図-10 回転数を一定にした場合の電流の変化

この装置の制御系のブロック線図を図-6に示す。モータに取り付けた軸棒を計測対象の流体に浸し、

回転速度をロータリエンコーダにより検出する。電圧、電流の変化を計測する。計測制御用のプログラムからロータリエンコーダの周波数が一定になるように電圧、電流制御を行う。

直流モータを用いて、6mmのシャフトを、7mmの円筒の中に濡れぶち30mmの深さで浸した。供試流体としてヒマシ油をヒータで加熱しながら、温度に対する出力変化を計測した。図-7はモータの印可電圧と電流値を示す。

精度の検証の為、実験装置を無負荷状態に置き、周波数30000Hzになるように設定し、電流、電圧、周波数の変動を確認した。このデータから、各値の標準偏差を算出した。母数は5900である。図-8～図-10に示す。表-1に標準偏差の計算結果を示す。

表-1 電圧、電流、周波数の平均値と標準偏差

| | Average | Standard deviation |
|----------------|---------|--------------------|
| Voltage [V] | 1.629 | 0.06416 |
| Current [A] | 0.08832 | 0.00218 |
| Frequency [Hz] | 29988 | 227.1 |

4. 重量による濡れ性の評価装置の設計

液体金属中にサンプルとなる金属片を浸漬させ、引き抜いたときに目には見えない量の液体金属がサンプル表面に付着していると考えられる。この量が多いほど機械の摺動部に悪い影響を与える。この場合の付着量は、重量の変化として表れ、精密な秤を用意すればその秤の分解能を最大の精度とする重量の変化として測定可能である。また、サンプルが液中から引き抜く速度を変えることで、動的な濡れ性の評価にも使うことが可能である。

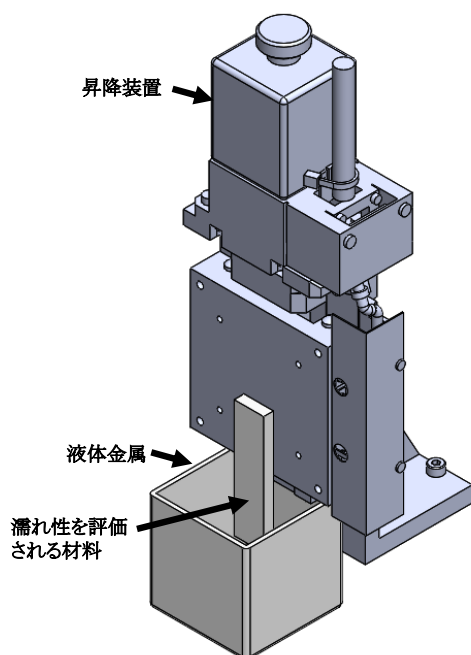


図-11 設計中の重量による濡れ性試験装置

本手法による濡れ性研究では、サンプルを昇降可能な機構に精密なロードセルを取り付け、液体金属に浸漬させたサンプルの重量変化をロードセルにより読み取る。図-11は、設計中の試験装置をあらわす。

5. 斜面による濡れ性の評価装置の設計

通常濡れ性の評価は、試料となる金属に液体を垂らし、形成される液滴の接触角を測定して行われる。一方、実際に問題となる濡れ性には動きのある場合が多い。例えば、液体ナトリウムの冷却材の中から燃料集合体を引き抜く場合には、燃料の表面をすべり落ちる液体ナトリウムの濡れ性が問題となる。このような液体金属に関する動的な濡れ性については研究が限られており、本研究では、動的な濡れ性の評価を行うため動きのある液体金属の観察を行える試験装置の開発も進めている。動きのある液体金属の固液界面で起きている濡れ性を評価するために加熱可能な斜面を製作し、この斜面を用いて動きのある液体金属の濡れ性を評価する。

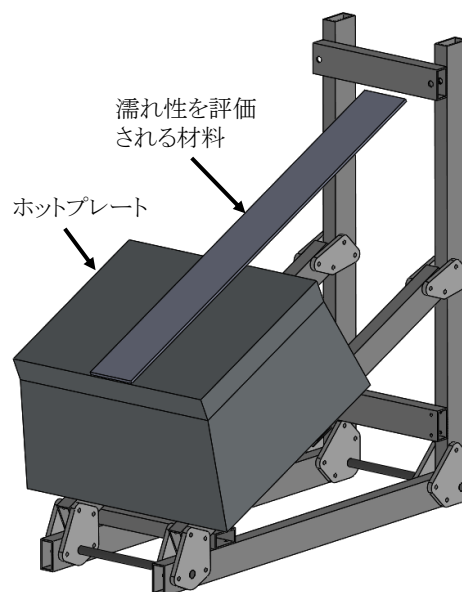


図-12 設計中の斜面による濡れ性試験装置

図-12は、設計中の斜面による濡れ性評価装置を表す。角度調整が可能な斜面にホットプレートが設置されている。ホットプレートの加熱面には濡れ性を評価される固体表面が置かれる。ホットプレートにより200℃程度に加熱された濡れ性を評価される金属斜面に滴下された液体金属は液体のまま斜面を滑落する。本試験装置では、この液体金属の流れ落ちる様子を観察することを通して、非平衡状態の固体と液体の界面で発生する濡れ性に起因する現象を解明する。

6. 濡れ性を制御する表面の作成

液体金属の濡れ性の評価手法の開発と平行して行っているのが、表面の物理的な微細構造により濡れ性を制御する手法の開発である。濡れ性は固体表面のエネルギー状態と関係があるとされており、このエネルギーは固体と液体の接触面積により変化する。固体表面の微細構造が実際の接触面積に影響を与え、その結果として濡れ性に影響を与えると考えられる。表面に特殊な微細構造を作製しない場合でも表面には必ずあらかさが存在し、濡れ性制御の取り組みが適切な表面あらかさの選択の指針となる。濡れ性に対する影響が明確な表面の微細構造が発見されたならば特に重要な機器でその成果を使うことも考えられるだろう。また、濡れ性制御の取り組みは液体金属の濡れ性についてそのメカニズムを解明するヒントにもなる。

6. 1 微細加工プロセス

一般的な微細加工プロセスは、図-13のようになる。微細構造を作りたい基板の上に、蒸着等により薄膜を作製する。その上にレジストを塗布し、電子線描画等で作製したい構造になるようにレジストを取り去る。最後にエッチング装置でレジストによりマスクされていない部分を削り取る。図-13は、一般的な微細加工プロセスを示す。

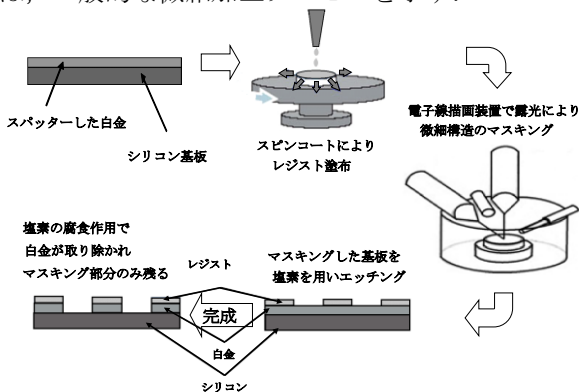


図-13 一般的な微細加工プロセス

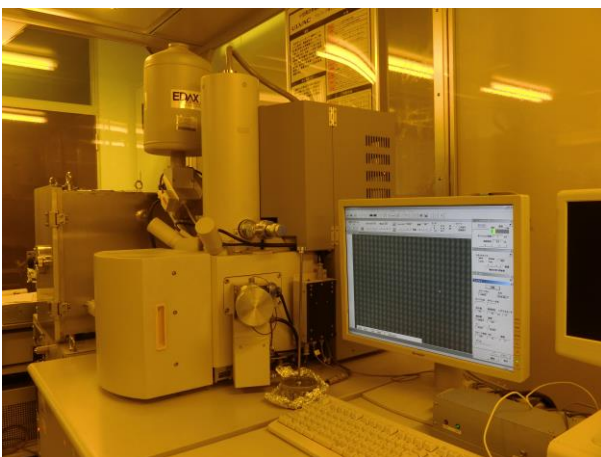


図-14 電子線描画装置

本報告では、最初の取り組みとして電子線描画のプロセスを完成させることを目指した。

6. 2 電子線描画装置

微細な構造を作成する手法として本研究では電子線描画という手法を用いた。図-14は微細構造の作成に使用した電子線描画装置である。舞鶴高専に導入されている電子線描画装置は、エリオニクス株式会社製ERA-8800FEを改良して電子線描画機能を後から取り付けたものである。電子ビームを遮るブランキングプレート機構を後から取り付けて、それをパソコンから制御できるようになっている。

電子線描画装置とは、シリコンなどの材料に電子線レジストの塗布を行い、電子線を用いてレジストに微細な図形などを描画し、構造を作製する装置である。本研究で使用した電子線描画装置は、電子顕微鏡、電子線描画を行うために電子顕微鏡を制御するコンピュータの二つからなる。実際に電子線による描画を行うのは電子顕微鏡部分であるが、通常の走査型電子顕微鏡の鏡筒にx, yそれぞれの方向を受け持つ偏向用電極のペアを設置し、そこに電圧を印加することで任意の位置にビームをスキャンし、パターンを描くことを可能にしている。

露光時間の調整はブランキングと呼ばれる電子線を遮る機構に高速で電圧を印加することで行い、描画開始前はビームを描画領域からはずし、描画中はビームのON・OFFで露光時間の調整を行っている。加速電圧は制御用のコンピュータから変更可能で、ベクトルスキャンによりCADデータを、シリコンに塗布された電子線レジスト上に描画することができる。電子ビームの電流値、フォーカス、スティグマなどの基本的な制御は、電子顕微鏡の制御用コンピュータから調整可能で、基本的には電子ビームをCADデータに合わせて制御することのできる走査型電子顕微鏡である。

CADデータは、Windowsのペイントソフトを使用し、必要な図形をデータで製作することができる。

電子線のスキャンだけなら最大で1フィールド $20\mu\text{m} \times 20\mu\text{m}$ の領域にパターンを描くことができるが、あまり大きな偏向はビームプロファイルと偏向位置の歪みを引き起こし、やはり図形の精度が下がってしまう。試料を置くステージは、 μm レベルの大きさでステップモーターによりサーボ制御されている。この精度の正確さを利用してステージを移動することにより、手動で行う必要があるが複数フィールドに描画することも可能である。

描画速度はレジストを露光させるために必要な電子線のドーズ量で決まる。通常1フィールドあたり数分で描画することができる。露光時間の最小

は10 μ 秒程度である。

6. 3 電子線描画による加工プロセス

加工前に作りたい微細構造のCADデータを作製する。CADデータの例を図-15に示す。CADデータは、図-15のような構造の元となるものを10000 \times 10000ピクセルの正方形の中に、一定ピッチを設けて白のピクセルと黒のピクセルのみで等間隔に描く。

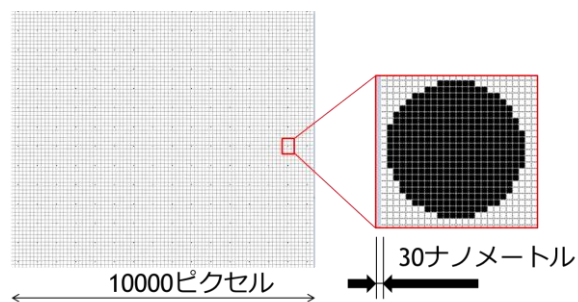


図-15 CADデータの例

次に4インチのシリコン基板を約10 \times 10 mmの正方形の大きさに切断し、基板の洗浄を行う。基板の汚れには、水性と油性の2種類がある。水性汚れは水、油性汚れはアセトンで洗浄しなければならないが、水とアセトンを直接混ぜると分離して洗浄はうまくいかない。水とアセトンの両方に混ざることが可能なアルコールを間に挟むことで洗浄は可能となる。従って、洗浄は水、2プロパノール、アセトンの順に行う。

洗浄終了後は、レジストを塗布する。電子線レジスト (ZEP-520A) を基板に薄く均一に塗布させる。スピコートを使い約4000 rpmで60秒間基板を回転させ、レジストの膜厚をおよそ300 nmになるように塗布する。塗布終了後、レジストを定着させるためホットプレートで基板を200 $^{\circ}$ C程度の温度で加熱し、約2分乾燥させる。

乾燥が完了すると、サンプルホルダーに基板をセットする。基板に目印となる傷をつけて電子線描画装置にセットし真空にする。傷は、基板の描画位置から基板の端までつける。傷をつける理由は描画を基板のほぼ真ん中に行うためである。描画位置に到達する際には、レジストが露光しないようにブランキングした状態で移動することが必要で傷の先端が中心位置の約1mm下になるようにする。真空引きが完了したら、電子ビームをオンにし、SEM観察が行える状態にする。低倍率で基板の端を捜す際の注意として、おおよその位置がわかるように、装置にセットする前にサンプルホルダーの写真撮影しておく。基板を発見したらレジストを露光させないように細心の注意を払い先ほどの傷の端を探す。傷を発見したら、倍率を上げて傷の先端まで移動する。倍率は800倍ぐ

らいまで上げておくとよい。傷の先端で小さな丸いゴミを探し、ピントを合わせる。小さな丸いゴミを探すことでスティグマも容易に合わせることができる。最後にブランキングをして電子ビームの照射を止め、倍率を300倍にした状態でステージを1 mm上部に移動し、基板のほぼ中心を得る。SEMの制御を電子線描画装置に写し、描画を開始する。

描画が完了したら、真空容器内を大気解放し、基板を取り出す。現像液 (ZED-N50) で基板を約2分洗い、現像を行う。最後にレジスト塗布後と同じ要領でホットプレートによる乾燥を行う。

6. 4 電子線描画で作製した構造

以上のプロセスにより作製した構造のSEM像を次に示す。作製した構造は、直径約500 nmの円筒形が無数に並んでいる。

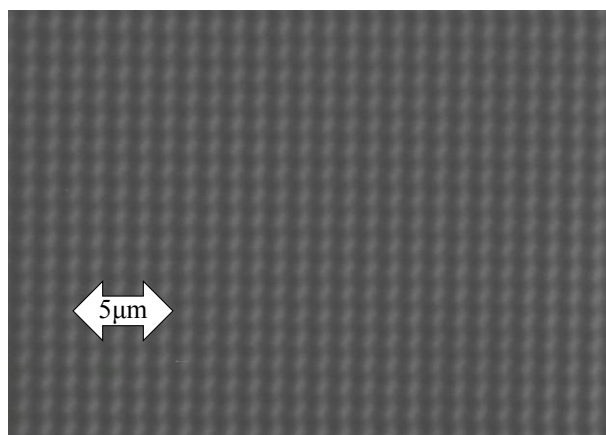


図-16 完成した微細構造

7. 結言

高速炉で使用される液体ナトリウムと固体の濡れ性を明らかにするために行われた本研究により、以下の知見を得た。

1. 液体ナトリウムの動的な濡れ性試験を実施するための試験装置を考案し、その設計に取り組んだ。
2. 液体ナトリウムの濡れ性を制御する目的で必要となる微細構造の作製で電子線描画により500 nm程度の大きさの周期的な構造のレジストによるマスクを作成することができた。

謝辞：本研究は、舞鶴高専の学生との協力の下に行われた。協力してくれた学生には厚く御礼申し上げ感謝する次第である。

福島第1原子力発電所偵察用UAVの開発

THE DEVELOPMENT OF UNMANNED ARIAL VEHICLE FOR INSPECTION OF THE FUKUSHIMA DAIICHI NUCLEAR POWER PLANT

小林洋平¹

Yohei KOBAYASHI

1. 緒言

2011年3月に発生した東日本大震災では地震と津波の影響により大きな被害をもたらした。福島県で稼働していた東京電力福島第一原子力発電所では、地震による緊急停止は着実に実行されたが、地震の影響で系統からの電力の供給が断たれ、その後の津波で非常用発電設備が浸水し停止するという全電源損失に陥り危機的な状況となった。崩壊熱を取り除くことができなくなった原子炉は発生したガスによる爆発で建屋や圧力容器を破損し、放射性物質を周囲に放出する惨事となった。現在は、福島は人が生活しても問題がないレベルまで放射性物質の除染が進み、事故を起こした原子力発電所の解体が進められている。

本報告では、この福島第1原子力発電所の廃炉作業でを使用することを想定した無人航空機について報告する。

2. UAVの開発

UAVとは、UNMANNED ARIAL VEHICLEの頭文字を取ったもので無人航空機を意味する。舞鶴高専では、事故を起こした福島第一原子力発電所の炉内の偵察に使用するUAVの開発を行っており、本報では、それらの無人偵察機について詳細を報告する。なお、1号機の「福鶴」と2号機の「甘々鶴」はそれぞれ第1回と第2回の廃炉創造ロボコンに出場した。

福島第一原子力発電所の内部は放射線量が高く、人が近づくことが困難であり、ロボットの活用が望まれる。また、水素爆発の影響で構内に瓦礫が散乱しており、この上を移動する必要がある。このことから偵察用のUAV開発を行う。

3. 偵察用ロボット「福鶴」の開発

本校で開発された最初の原子力発電所の偵察用UAVである福鶴は、次のコンセプトで開発された。

1. 電力を必要としない滞空により長時間の正確なマッピングが可能
2. 飛行することで瓦礫の散乱する地面を移動できる
3. 半導体機器を搭載しない
4. 簡単に製作することができる

図-1に瓦礫の散乱する構内での福鶴の役割の例を示す。この場合、地上移動型のロボットに走行不能な箇所があることを伝え、違うルートに案内する。

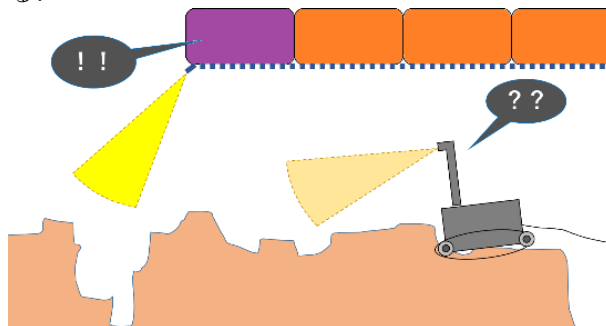


図-1 福鶴に想定される役割の例

3. 1 飛行船型UAV

飛行型のUAVの多くは、電力を多く消費する。特に最近話題の回転翼型のUAVであるドローンは電力消費が多く、通常飛行できる時間は15分程度に限られる。固定翼型の機体だと、消費電力については回転翼型より有利であるが、構内で飛ばすことは困難であり偵察用の情報収集型UAVには不向きである。そこで福鶴は、構内を飛行するために風の影響も考慮しなくてよいことから、ヘリウムを入れた風船により機体を浮かせる飛行船型の構造を採用した。これにより、ほとんど電力を消費することなく機体を浮かせることが可能で、また、一定の高度の維持にはアンカーケーブルの重さと浮力の釣り合う位置で高度が保たれる自己制

¹舞鶴工業高等専門学校 機械工学科 准教授

御方式を採用した。一つの気球で全体の浮力を得るのではなく、複数の気球を連結させる方式を採用したことから、狭い構内でも移動が可能である。図-2に福鶴の概観を示す。また、図-3にアンカーによる高度維持の模式図を示す。図-4に方向転換の様子を示す。



図-2 偵察UAV「福鶴」

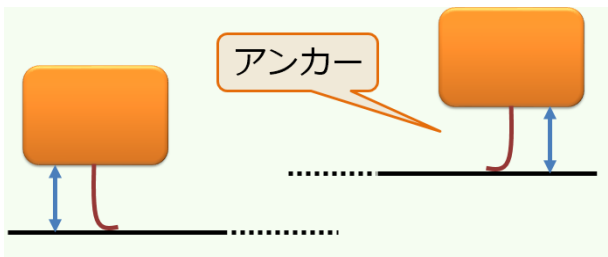


図-3 アンカーケーブルによる高度維持
(アンカーの重さと浮力が釣り合う位置で静止)

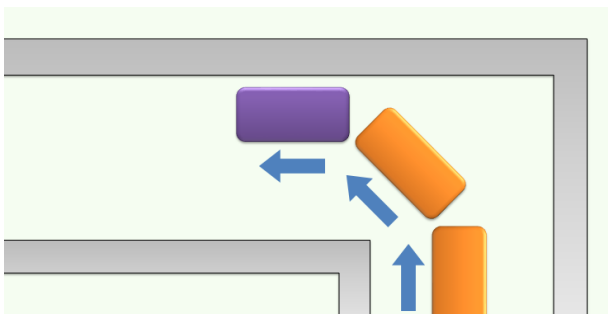


図-4 方向転換の様子

福鶴は、ヘリウムを気球に充填して連結した状態では10mを超える大きな機体であるが、ヘリウムを抜いた状態では非常にコンパクトであり、点検用のダクト等から中に入れて、チューブでヘリウムを充填して飛行可能な状態にするというような使い方にも対応できる。図-5は、長さ1310mm、直径158mmの筒の中に収納された機体の様子を表す。



図-5 収納された機体

3. 2 半導体機器を搭載しない設計

事故を起こした福島第一原子力発電所では、非常に放射線量が高い場所が存在する。放射線量が高い場所こそ情報収集の必要性が高く、このような場所では放射線の影響を避けるため、半導体機器は質量の大きな鉛のような物質で遮蔽する必要がある。このことは飛行時間や運搬可能な重量を減らす要因となり、UAVの性能に大きく影響する。このため、福鶴は半導体機器を用いないことを目指して設計・開発が行われた。高度維持には、センサを用いないアンカーケーブルによる自己制御性が使われ、推進用モータの制御にはオンオフ制御が用いられた。また、カメラは搭載せずに光ファイバーを用いてファイバーにより情報のみを伝送し、放射線区域外にカメラを配置することが考えられた。図-6は、3DCADで設計され、先頭の機体に取り付けられた推進用モータのモデルと実際の写真を表す。図-7は、先頭以外の気球に取り付けられた推進用モータのモデルと写真を表す。

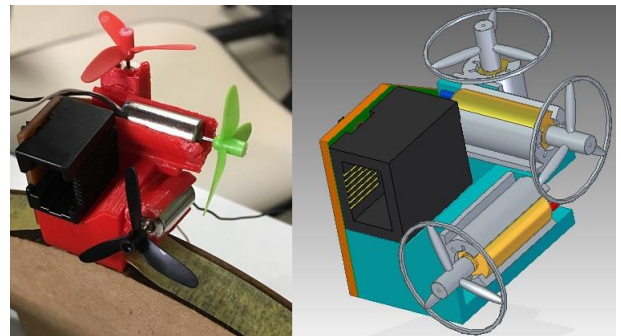


図-6 推進用モータ (先頭の機体)

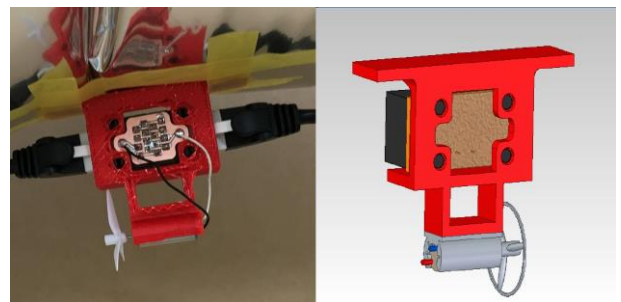


図-7 推進用モータ (その他の機体)

3. 3 製作が簡単な機体

機体は、極力シンプルな構造が採用され、機体同士は取り外し可能なLANケーブルにより接続され、各機体はモジュール化されている。大きな負荷を運搬する場合にはモジュールの個数を増やすことで対応が可能である。また、故障した場合の修理もモジュール単位で行うことが可能なため、容易に修理することができる。

4. 機体性能の評価

福鶴は、第一回の廃炉創造ロボコンに出場し、その年に出場した飛行型ロボットの中では優れたアイデアを持つ機体として高い評価を受けることができた。

4. 1 廃炉創造ロボコン

事故を起こした福島第一原子力発電所の解体には、今後40年程度の年月が必要とされる。廃炉作業には、多くの人材が必要となり、新たに開発が必要となる技術も多い。廃炉作業には現場志向の強い技術が必要とされ高専で養成される技術者像と合致する。このような状況の中で原発事故により大きな被害を受けた福島県の福島高専が中心となり、廃炉人材を育成することを目的として廃炉創造ロボコンが原子力研究開発機構の檜葉遠隔技術開発センターで開催されている。図-8と図-9は、第1回と第2回大会で競技が行われたモックアップ階段とステップフィールドの様子である。



図-8 モックアップ階段

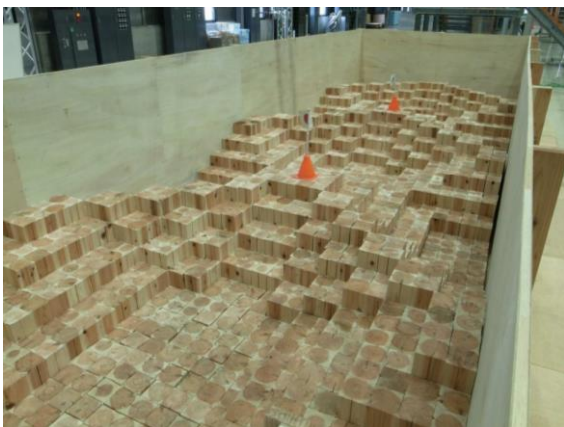


図-9 ステップフィールド

4. 2 廃炉ロボコンでの福鶴に対する評価

福鶴は、二つのフィールドの中から、ステップフィールドで競技を行った。機体からヘリウムガスが漏れいして競技を完遂することができなかったが、機体のコンセプト、アイデアが極めて優れているとしてアイデア賞を受賞することができた。

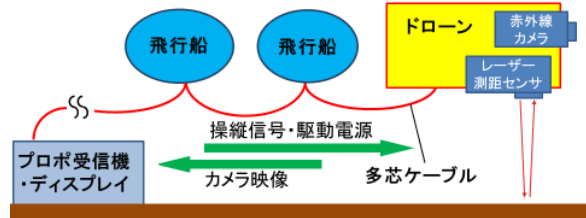


図-10 基本的なシステム構成

5. 偵察用UAV「甘甘鶴鶴」の開発

甘甘鶴鶴（かんかんがくがく）は、福鶴の欠点を補う目的で開発された。福鶴は、すでに述べたように廃炉作業において優れた点を多く持つUAVであるが、廃炉作業が進んでくると構内の放射線量が下がってくると回転翼を持つタイプの機体もそれほどの遮蔽をしなくても飛行が可能になってくると考えられる。そのような状況では、福鶴のように移動に時間がかかる機体では非効率的であり、回転翼機を使用して福鶴を牽引し、すばやく目的の場所に運ぶほうが効率的に作業を行うことができる。このような目的で開発されたのが、回転翼を4つ持ち、通常、ドローンと呼ばれるタイプのUAVである甘甘鶴鶴である。甘甘鶴鶴の基本的なシステム構想を図-10に示す。



図-11 十分に高度が保たれている場合



図-12 地面に接近しすぎた場合

5. 1 基本的なコンセプト

甘甘鶴は福鶴とは対照的に電子機器を満載した構成になっている。ドローン自体がフライトコントローラを中心にして電子機器の塊のようなUAVであるので、この点を最大限に生かしたシステム構成になっている。機体にはカメラが搭載され、高度の維持や障害物の回避用にレーザー測距センサが搭載されている。しかしながら、フライトコントローラとは別に操縦信号をマイコンにより上書き処理をして、プロペラの出力調整をしようとしたがこれが上手くいかず最終的には測距センサの情報により利用するカメラを切り替える機能が実装されている。図-11と図-12は、機体高度によりカメラが切り替わる様子を表す。

5. 2 機体の構造

機体は直方体のフレームに囲まれる構造とした。これは瓦礫の散乱した構内での機体の耐久性の確保を目的としたものである。フレームは、堅牢でありながら飛行に影響のない構造とした。図-13は、フレームに囲まれた機体の3DCADモデルの様子である。また、図-14は、完成した機体の写真である。

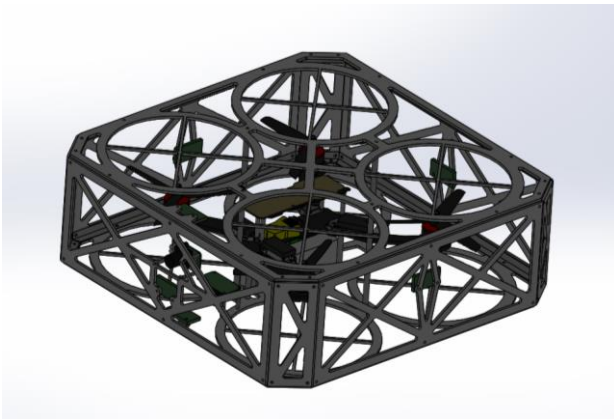


図-13 3DCADによる機体の概観



図-14 完成した機体の写真

機体は、有線で遠隔操作され、操縦用の信号用の多芯配線として軽量なLANケーブルを使用し、

カメラの映像伝送にはコンポジット映像信号・RCA端子を採用した。機体にバッテリーを搭載しながらも不足した電力の若干の供給も行えるようにした。

5. 3 機体の評価

機体は福鶴と同様に廃炉創造ロボコンの舞台において檜葉遠隔技術開発センターのステップフィールドで試験された。ステップフィールドでの飛行は、フィールドの凸凹が機体の気流を乱すことから難しいとされ、前年の大会においてもドローン型の機体は一機も離陸することのないままリタイヤしている。このような状況の中、甘甘鶴は福鶴を牽引した状態でステップフィールドの飛行に成功し、廃炉創造ロボコンで最初にステップフィールドの飛行に成功した機体となった。この成果が称えられ、大会では特別賞を受賞している。

6. 屋外で使用する偵察用UAVの開発

福鶴や甘甘鶴は、屋内での使用を前提として開発が行われた。その為、有線であったり、ガードがつけられていたりした。現在、開発中の機体は屋外での使用を目指し、次の点を目標に開発が行われている。

1. 可搬重量が大きい
 2. 悪天候に強い
 3. 高い精度での測位
 4. 長時間飛行可能
- の4点である。

6. 1 可搬重量が大きい機体

原子力発電所の外部をドローンにより偵察する場合、ドローンには長時間の飛行や悪天候への対応が求められる。特にドローンを外部で用いるために大きさによる制限は少なく、長時間飛行用のバッテリーや発電機を搭載可能で悪天候時にも影響を比較的受けにくい大型の機体を用いる。また、プロペラの数が少ない機体のほうがエネルギー効率は高いと考えられるが、プロペラ故障時に墜落するリスクを少しでも減らすためにプロペラ4つのクワッドコプターよりも2つプロペラの数が多いヘキサコプターを採用する予定である。

6. 2 悪天候への対応

ドローンは姿勢の制御を基本的には、プロペラの回転数のみで行う。例えば、上昇する場合にはプロペラの回転数を上げて、プロペラに大きな力を発生させて上昇する。このような条件では機体は比較的安定すると考えられる。一方、下降時にはプロペラの回転数を下げて、プロペラに作用する力を減らして自由落下に近い状態で下降を行う。

この場合の悪天候時には制御が効かない不安定な状態になりやすく、ドローンの運用を難しくする。この欠点を克服するため、回転数ではなくプロペラのブレードの角度を変化させて揚力の調整を行うピッチ制御機構の実装を検討する。ピッチ制御自体はヘリコプター等で実績のある技術であるが、ドローンに搭載する場合にはどのような方法が考えられるのか、どの程度の効果が期待できるのかを検討する。

6. 3 高い精度での測位

準天頂衛星のみちびきは、2010年の初号機の打ち上げ、2017年に2号機から4号機までが打ち上げられ、技術実証、利用実証等を踏まえて2018年11月に実際のサービスが開始された。みちびきは従来の緯度、経度、高度、時間の4つの情報に加えて、二つの補強信号を搭載し、L1S信号を用いることでこれまでの10m精度が1m精度になり、また、L6信号を用いることで数cm精度になる測位システムである。補強信号の受信機の価格も急激に低下しており、開発中の機体でも搭載を検討し、高い精度での測位と自律航行可能なシステムを目指す予定である。

6. 4 長時間の飛行

現状のドローンの飛行時間は、通常は15分程度であり、長くても30分ほどである。これが長時間になると緊急時のドローンの運用に大きな自由度を与えることになる。開発中の機体では、とりあえず複数台のバッテリーを搭載し、飛行時間を稼ぐとともに何かしらの発電システムを搭載し、飛行時間を稼ぐことを検討する。具体的には、小型のエンジン発電機を搭載し、発電を行いながら飛行するシステムやエンジンによりプロペラの回転力を得るシステムを検討する。

7. フライトコントローラの開発

ドローンタイプの回転翼機に特別な機能を持たせようとするとき、多くの場合、フライトコントローラが関係する改造が必要になってくる。今回のドローン開発で最初に行ったことが、オリジナルなフライトコントローラの開発である。最終的には本研究期間に完成するまでには至らなかったが、今後、開発を継続していく環境を整えることができた。

7. 1 フライトコントローラとは

フライトコントローラは、いわゆるドローンと呼ばれる回転翼を複数持つマルチコプターの機体制御の中心となる部品で、内蔵されたジャイロセンサと加速度センサの信号により機体の姿勢を検知し、目標となる姿勢とのずれを補正するため、

それぞれのモータに回転速度を決めるPWM信号を送る機能を持つ。従って、より高機能な機体を完成させようとする場合、この目標と合わせて制御パラメータを変更可能なフライトコントローラが有利である。

7. 2 センサとマイコンの選定

フライトコントローラの役割を担うマイコンとしてArduinoを利用した。Arduinoはいわゆるワンボードマイコンの一種であり、センサやアクチュエータを接続可能なI/Oポートを備え、スタンドアローン型として他のコンピュータを接続しないでプログラムを実行することができる。また、オープンソースハードウェアとして簡単な規定さえ守ればハードウェア設計情報はEAGLEファイルとしてネット上で公開されていることから、部品を購入して自分自身の手でArduinoを組み立てることもできる。

姿勢を検知するセンサには、インベンセンス社の9軸センサであるMPU-9250を用いた。このセンサは3軸の加速度、3軸のジャイロ、3軸の磁気コンパスの9種類のデータを測定できる。加速度の測定レンジは±2g、±4g、±8g、±16gで、分解能は16bitである。ジャイロは、測定レンジは±250、±500、±1000、±2000deg./sec.であり、分解能は16 bitである。コンパスは、測定レンジが±4800μTであり、分解能は16bitである。図-15は、システムの構成を模式的に表したものである。

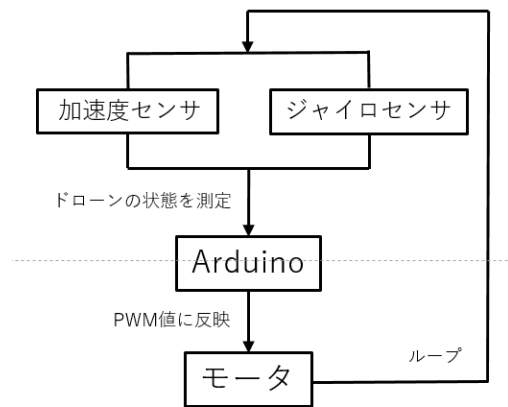


図-15 システムの構成

7. 3 供試ドローンの製作

フライトコントローラの開発にあたり、コントローラの性能を試験する評価用ドローンを製作した。市販のクワッドコプターの機体にアルディーノマイコンとモータ接続用のコネクタが実装された基盤を製作した。基盤はクワッドコプターに実装され、開発したフライトコントローラの性能を確認する目的で使用される。なお、主に机上で試験するため、製作した機体は安全に試験が行えるように、比較的小型のドローンが用いられている。

図-16は製作したドローンの写真である。

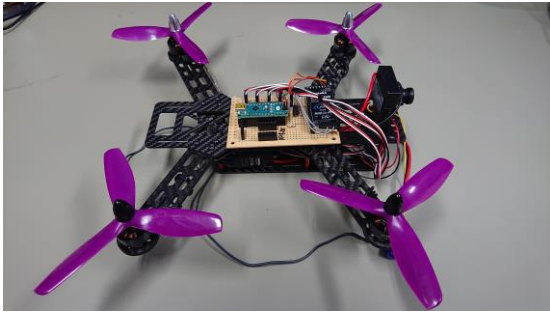


図-16 フライトコントローラを実装した機体

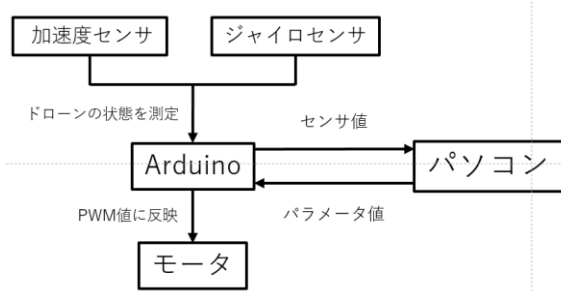


図-17 開発環境のシステム構成

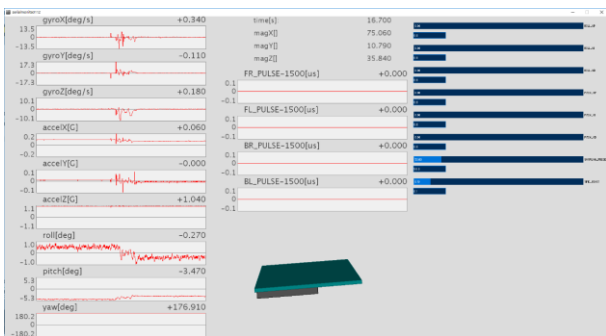


図-18 開発画面の様子

7. 4 開発環境の構築

Arduinoは、スタンドアロンで利用可能なワンボードマイコンであるが、コンピュータ上で動くソフトウェアに付属してコントロールされる使い方もできる。フライトコントローラの開発の初期のパラメータサーベいの段階では、Arduinoに修正したプログラムを書き込んでスタンドアロンで運用して試験をするよりはパソコン上でパラメータを直接変更できるようにした方が効率的に開発を行うことができる。その為、Processingを用いてArduinoのパラメータを直接書き換えできる開発環境の構築を行った。

画面上に現状のセンサ出力を数値で表記し、その履歴をグラフとして表示できる。また、リアルタイムに制御パラメータの変更が可能であり、効率的にプログラム開発を行うことができる。図-17は、開発環境のシステム構成を表し、図-18はその画面の様子である。

7. 5 充電システムの開発

今年度の開発期間では、バッテリーへの充電を可能とするシステムの開発にも着手した。フライトコントローラと同様にArduinoマイコンを用いて、バッテリー電圧を監視しながら、バッテリーに対して現状の電圧よりも少し高い電圧を印加し、バッテリーを充電していく。現状では、充電器の域をでないものであるが、少しずつ発展させて複数のバッテリーを搭載した場合のエネルギー分配システムや充電システムとしていく予定である。図-19はブレッドボード上に実装され、検討されている充電回路の様子である。

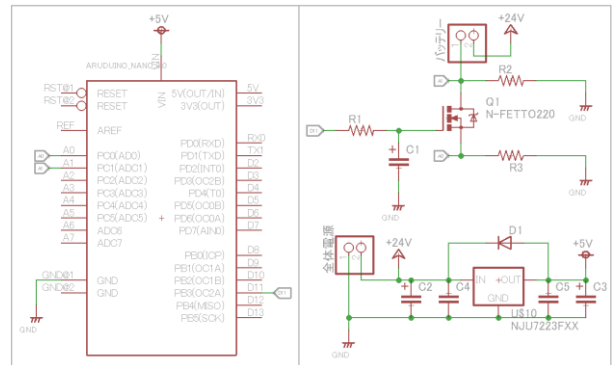


図-19 検討中の充電回路

8. 結言

本報では、舞鶴高専で行われている福島第1原子力発電所で使用することを想定したUAVの開発についての報告を行った。UAVの開発には大きな予算が必要で、高専にはそのような予算は存在しないが、学生と一緒に知恵を絞りながら開発を行ってきた。半導体機器が使えないことや予算をかけられないことを逆手に取り、斬新な発想で提案された福鶴は、幕末の時代から続く京都と福島の協力関係を象徴する機体として福島の早期復興への願いが込められている。次に開発された福鶴牽引用の甘ん鶴鶴(かんかんがくがく)は、綿密な作りこみで、剛率の高い強固なフレームで囲まれた機体ながら、乱気流の発生しやすいステップフィールドで福鶴を牽引しながらの飛行に成功し、舞鶴高専のものづくりの確かさを示すことができた。また、その経験から回転翼機の自由度の高い開発には頭脳にあたるフライトコントローラに足を踏み入れる必要性を感じ、現状はその研究と開発を実行している。まだ、機体が安定する状態には至っていないが、継続して開発し目標とする機体の完成を目指していきたい。

謝辞：本研究は、舞鶴高専の学生の協力の下に行われた。協力してくれた以下の学生(卒業生)には厚く御礼申し上げ感謝する次第である。金井峻輔君、菊本智寛君、森田健太君、岡那哉君、新宮朋史君

ドローン空撮画像による 地表状況の把握に関する研究

THE INVESTIGATION OF THE CONFIGURATION OF THE EARTH'S SURFACE USING THE DRONE AERIAL PHOTOGRAPHY IMAGE

加登文学¹
Yoshinori KATO

1. はじめに

近年、ドローンの活用が様々な分野で進められている、特に土木分野では従来の測量方法に代わるほどの勢いでドローンを用いた測量技術が急速に導入されている。国土交通省¹⁾ではICTの建設現場への活用 (i-Construction) を進めており、その中でもドローンやレーザースキャナーを用いた3次元測量は重要な役割を果たしている。特にドローンにレーザー測距装置を搭載することで、短時間で得られる面的な点群データから地形を把握することが可能となり、大規模な土工の現場などで活用されている。

一方で防災分野での活用としては発災時の状況確認での利用や、災害救助の現場での導入といった迅速性が求められるものが多い。このような場面ではドローンに搭載されたカメラからの情報が主に用いられることになるが、近年のカメラ性能の向上に伴って高精度の情報が容易に得られるとともに、比較的安価に導入できるというメリットもある。実際に全国の多くの自治体でドローンの導入が行われているが、多くはカメラのみを搭載したタイプのドローンである²⁾。

本研究では防災分野におけるドローンの活用について考察するものであり、特に災害からの早期復旧のための、迅速な被害状況の把握に焦点を当てる。土砂災害や氾濫被害においては現場に立ち入ることが難しく、従来の測量方法が使えないことが多い。そこで、災害時など早急に状況把握が求められる場面におけるドローンによる空撮画像を利用した地表状況の把握方法について提案し、従来の測量方法と比較しながら、その有効性について検証する。本研究では、具体的に2つのケースを想定した。一つ目は土砂崩れ状況の把握についてであり、特にドローン空撮画像から崩壊土砂量を簡易に計算する方法について検討した。二つ目は

氾濫被害など広域に被害範囲が及んでいる場合の地表状況の把握についてである。ここではドローン空撮画像から得られる位置情報と実際に行ったGPS測量の結果を比較して検証を行った。

2. 使用したドローン

本研究で使用したドローンはDJI Phantom4である。写真-1に本体とコントローラーを示す。コントローラーにはiPad mini4を装着し、モニタリングアプリDJI GO4.0により操作・撮影を行った。Phantom4の性能を表-1に示す。撮影される画像のサイズは4000×3000ピクセルであり、高画質の画像が得られ、JPEG形式で保存された画像にはGPS座標が記録される。本機体による撮影では、カメラを鉛直下向きに向けて撮影された画像の中央がGPS/GLONASSの座標と一致し、1つの点として記録される。画像は中央から離れるほどレンズの中心から対象物までの距離の違いに応じたひずみが生じる。より正確な解析のためには撮影画像を正射変換しオルソ画像を作成する必要があるが、本研究では出来るだけ簡易な手法による地表状況の把握を目的としているため、この作業は行っていない。4章で述べる砂州部の撮影では撮影対象をオーバーラップさせて撮影し、上記の影響を軽減している。



写真-1 ドローン (DJI Phantom4)

¹建設システム工学科 教授

表-1 DJI Phantom4 性能表

| | |
|---------|--------------------------------|
| 重量 | 1380g |
| 寸法 | 350mm(プロペラ含まず) |
| 飛行時間 | 28分 |
| 送信機接続範囲 | 3500mm |
| 衛星 | GPS+GLONASS |
| 速度 | 20m/s |
| 撮影 | 4K 30fps(動画) 4000×3000(静止画) |

3. ドローン空撮画像を用いた崩壊土砂量の簡易算出

土砂災害からの早期復旧のためには、崩壊規模や撤去すべき崩壊土砂の土量をできるだけ早く正確に求める必要がある。通常、簡易な測量を実施して土量を求めるが、二次災害の恐れもあり、現場に立ち入ることができない場合も多い。そこで、ドローン空撮画像を利用して簡易に崩壊土砂量を算出することを試みる。

3. 1 崩壊土砂量の簡易算出方法

土量の算出法として断面法や等高線法などがあるが、発災直後に必要な測量を実施することは難しい。そこでドローンによる空撮画像のみの情報から簡易的に土量を求める方法を提案する。

土砂量の簡易算出に必要な情報は崩壊斜面の真上からの画像と、崩壊斜面の高さであり、いずれもドローンによる現地調査によって迅速に得られるものである。これらの情報から、崩壊土砂を図1のような錘台とみなし、式(1)により土砂量 V を求める。

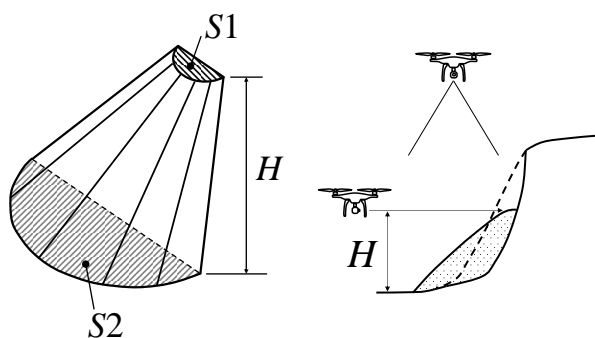


図-1 崩壊土砂量の簡易計算

$$V = \frac{H}{3}(S1 + \sqrt{S1 \cdot S2} + S2) \quad (1)$$

ここで、 H は崩壊土砂頂部までの高さ、 $S1$ は崩壊土砂頂部の平らな面の面積、 $S2$ は崩壊土砂が地表に接している面積である。

まず、真上からの画像にて、図-1の $S1$ 、 $S2$ に相当する面積を得る。このとき、画像中に寸法がわ

かるものを入れておくことで縮尺を決めることができる。また、高さ H についてはドローンのカメラを正面に向けて崩壊土砂頂部の高度に合わせることで得られる。

3. 2 簡易算出の精度検証

提案手法の有効性を検証するために実験室で斜面崩壊モデルを作成し、デジタルカメラで撮影した画像を用いて土砂量の算出を行った。

図-2、3は斜面モデルの一例である。真上からの画像から写真中に示すように面積を求めた。緑色のテープは道路幅を模擬しており、これの寸法から縮尺を決めた。

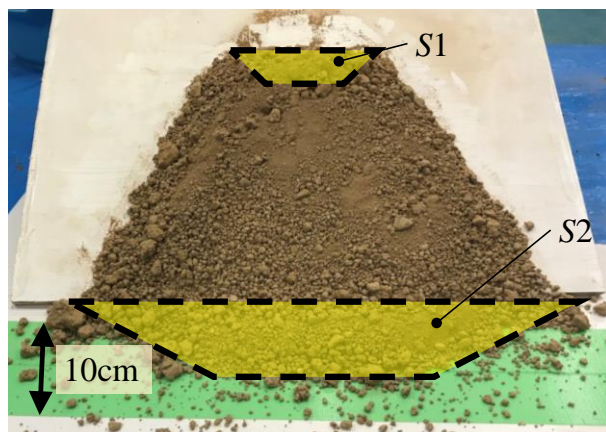


図-2 検証実験モデル⑦ (正面)

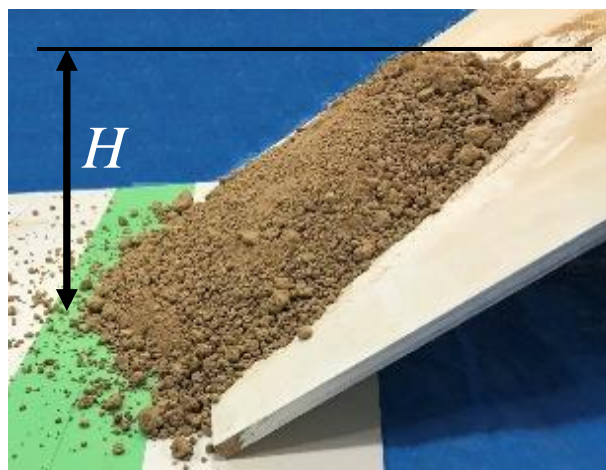


図-3 検証実験モデル⑦ (側面)

このようなモデルを土砂の含水比や斜面勾配を変えて10パターン作成して検討に用いた。それぞれの斜面崩壊モデルの形状は図-4に示す。

事前に量っておいた土砂量と提案手法による土砂量の算出結果の比較をまとめたものが表-2である。土砂量の算出は舞鶴高専の学生11名による結果の平均値である。個人誤差はおおよそ1割程度であった。

結果をみると、含水比が19%の土の粘性が高い状態での算出結果において誤差が大きく、乾いて

いる状態や含水比30%の泥流状のものでは誤差が小さい。全体的には簡易手法で得られる土量は実際の土量の±20%以内の誤差となっており、発災直後の状況把握という場面においてはある程度の精度が得られており、本手法の適用が可能であると考えられる。

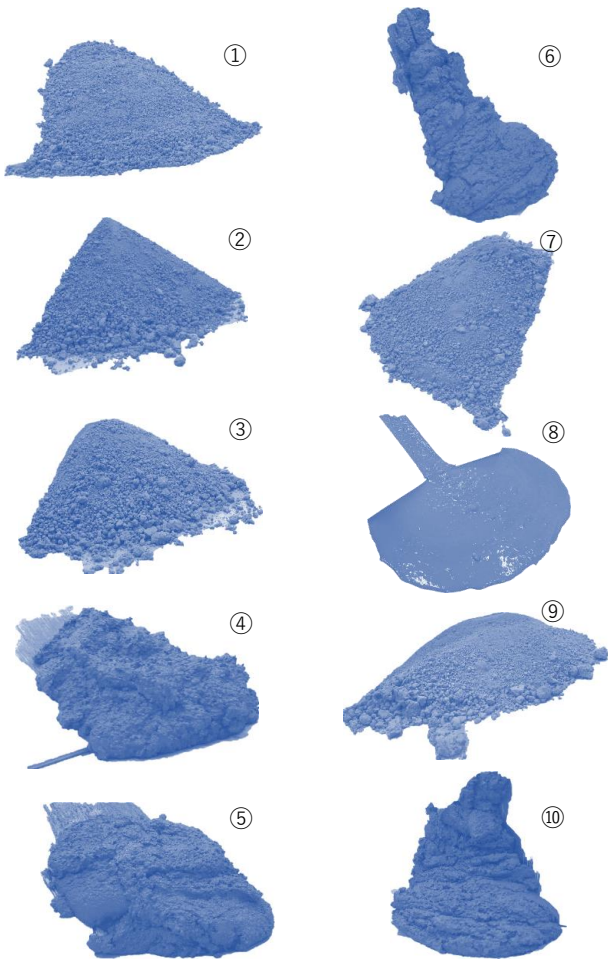


図-4 検証実験に用いた斜面崩壊モデル

表-2 検証実験結果一覧

| No. | 実際の体積V0 | 提案手法体積V | V/V0 | 斜面勾配 | すべり面 | 含水比 |
|-----|---------------------|---------------------|------|------|------|-----|
| 1 | 2320cm ³ | 2190cm ³ | 94% | 30° | 直線 | 0% |
| 2 | 2000cm ³ | 2044cm ³ | 102% | 45° | 直線 | 0% |
| 3 | 1600cm ³ | 1463cm ³ | 91% | 55° | 直線 | 0% |
| 4 | 2400cm ³ | 2051cm ³ | 85% | 30° | 直線 | 19% |
| 5 | 2150cm ³ | 2529cm ³ | 118% | 45° | 直線 | 19% |
| 6 | 2150cm ³ | 2360cm ³ | 110% | 55° | 直線 | 19% |
| 7 | 2400cm ³ | 2632cm ³ | 110% | 30° | 直線 | 0% |
| 8 | 2500cm ³ | 2419cm ³ | 97% | 15° | V字 | 30% |
| 9 | 2400cm ³ | 2530cm ³ | 105% | 90° | 直線 | 0% |
| 10 | 2150cm ³ | 2285cm ³ | 106% | 90° | 直線 | 19% |

3. 3 実際の斜面崩壊への適用

平成29年台風21号による斜面崩壊に対して提案手法を適用した例を示す。現場は図-5に示す舞鶴高専の南側市道から小規模河川を挟んだ位置にある斜面で、写真-2に示すように崩壊が生じ、崩壊

土砂が流路をふさいだため水があふれて道路や駐車場が冠水する被害が生じた。



図-5 崩壊場所



写真-2 被害の様子
崩壊土砂が流路をふさいで水があふれている様子

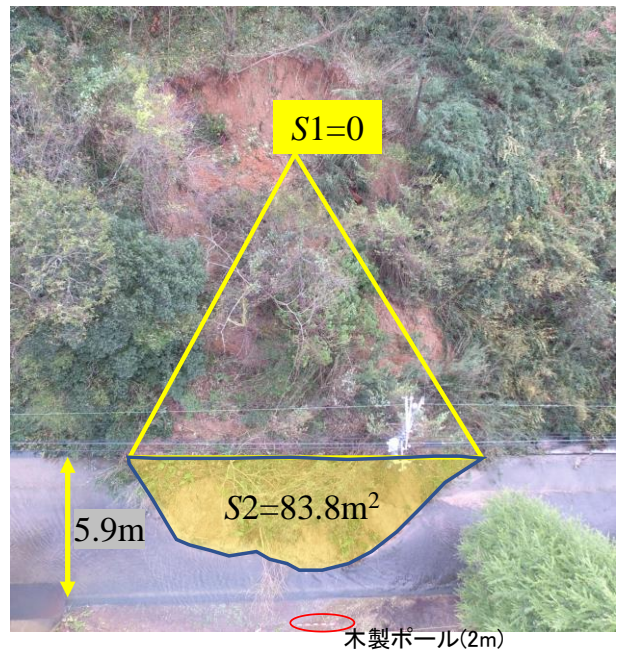


図-6 崩壊土砂を真上から撮影

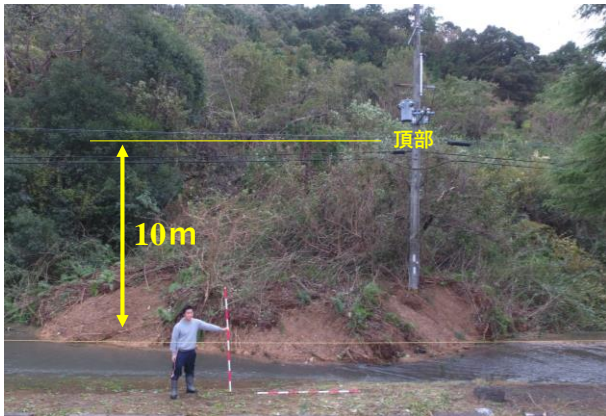


図-7 崩壊土砂を正面から撮影

簡易的な算出では、ドローンによる撮影と同時にタブレット上で縮尺を合わせ、寸法を求めて計算を行った。縮尺を合わせる際、現地に置いた測量用の木製ポール(2m)を用いて実際の寸法に直し計算を行った。算出に用いた画像を図-6および図-7に示す。崩壊土砂の形状を三角錐と仮定し、式(1)の $S1$ をゼロとした。また、高度 H はドローンのカメラを正面に向けて崩壊土砂頂部の高度に合わせて得られる数値を使用した。上空からの写真より木製のポールで寸法を合わせた結果、底面(三角形)の底辺(崩壊土砂の横幅)は18.90m、三角形の高さ(縦幅)は8.87mとなり、底面積は83.8 m^2 が得られた。高度 H は、ドローン操縦時の高度計によって10mを得た。これらの値を式(1)に代入すると、土砂量 V は、279.4 m^3 となった。

一方、本現場では復旧作業にあたった業者による測量も行われている。測量方法は簡易オフセット測量であり、土砂量の体積は平均断面法によって求められている。その結果は277 m^3 の土砂量と見積もられた。オフセット測量に4名ほどの作業員が必要であり、土砂体積を計算し詳細をまとめるまで半日ほど必要となる。また、測量する際、水のなかに入り木製ポールを立てるなど、二次災害の危険もある作業となる。

提案手法では発災翌日にドローン撮影と計算を実施し、実質15分程度の作業で土砂量を算出した。検証例が少ない段階ではあるが、初動調査としては十分な精度で土砂量の算出が可能であるといえる。以上の結果を表-3にまとめる。

表-3 オフセット測量と簡易算出結果の比較

| | 土砂体積 | 計測時間 | 作業人数 | 備考 |
|----------------------|-------------|------|------|----------------------|
| オフセット測量 | 277.0 m^3 | 半日 | 4人 | 二次災害の恐れあり |
| ドローンを 用いた簡 易算出 | 279.4 m^3 | 15分 | 2人 | 少人数で 安全に測 量が可能 |

4. ドローン測量による河口砂州の動態観測

ここでは、自然外力により形状が変化する河口砂州の動態観測に対してドローン測量を適用した結果について述べる。ここで得られた結果は、氾濫被害など広域に被害範囲が及んでいる場合などの地表状況の把握に対するドローン測量の有効性についての検証となる。なお、標高については差が無いものとし2次元での考察としている。

4. 1 由良川河口砂州について

京都府北部を流れる由良川の河口砂州は、かつては左岸側、右岸側の両岸に形成されていたが、2009年台風第23号の大規模な出水により一度消失し、それ以降は右岸側の砂州のみが発達している。これにより、開口部が左岸側に偏るため、河岸の浸食や付近の海岸施設への影響が懸念されている。写真-3は2018年4月に撮影された河口砂州の様子である。写真の奥が上流、手前が下流であり、右岸側に砂州が発達している様子がわかる。このような状況に対して河口砂州の動態観測が2010年度から継続して行われている³⁾。



写真-3 由良川河口砂州 (2018年4月撮影)

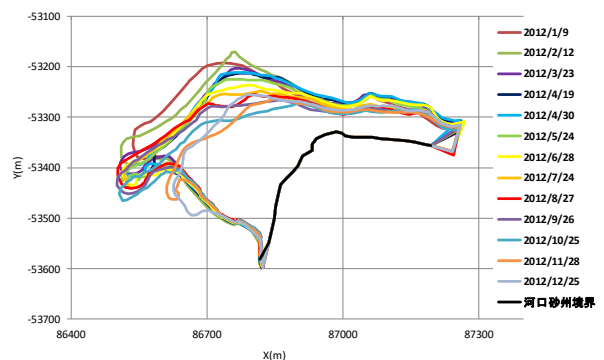


図-8 由良川河口砂州の形状変化 (2012年)

図-8は2012年度の砂州の動態を月ごとにまとめたものである。また、図-9には2010年からの砂州面積の変化を示す。図中には河川流量と有義波高も同時に示しているが、大きな出水があると砂州面積は減少し、冬季の波浪の影響で砂州が発達し

ている傾向がみられる。

これまでの河口砂州の測量ではGPS測量が行われているが、本研究ではGPS測量と同時にドローン測量を実施し、その精度について検証する。

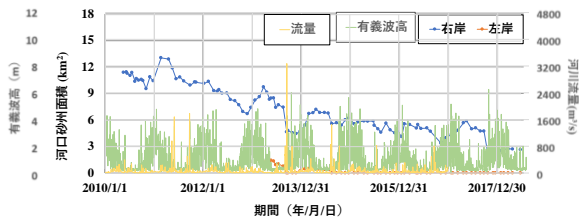


図-9 砂州面積と河川流量，有義波高

4. 2 GPS測量

GPS測量に使用したGPS受信機は、SOKKIAのデジタル無線搭載GNSS受信機SeriesGRX2である。この装置は固定局と移動局に設置したGNSS受信機で同時にGPS衛星からの信号を受信し、精度を高めるRTK測量が可能で、誤差は数センチメートルである。

現地での測量の様子を写真-4に示す。まず、あらかじめ決めておいた測量原点に基準局（固定局）を据え付け、GPS信号の受信を開始し、次いで、移動局とコントローラーを持ち、砂州の汀線にそって歩きながら約25歩ごとにその位置の座標を取得していく。汀線をとる基準は、川と低潮面の境とした。得られるデータは平面直角座標系である。また、1回の測量に要した作業時間は準備作業等を含めて4時間程度であった。



写真-4 GPS測量の様子

4. 3 ドローン空撮

砂州部のドローン撮影は、撮影範囲が広範囲のため汀線をなぞる様な飛行ルートで撮影を行った。高度140m一定でカメラを真下に向け、タイマー機能を用いて一定間隔で撮影した。ドローンの飛行距離は目視可能な範囲（400m程度）とし、離陸地点を数か所に分けた。現地での撮影作業は操縦者

と目視等を行う補助者の2人で行い、作業時間は20分程度である。

撮影終了後、研究室にて得られた写真を貼り合わせ、対象場所全体の合成画像を作成した。図-10は4月の撮影画像から作成した砂州全体の様子である。この合成画像から砂州汀線をトレースして座標値を求めていく。これらの作業にはAutoCADを用いた。



図-10 ドローン空撮合成画像

4. 4 座標変換

合成画像から求めた座標値は、尺度や方位などが実際と異なるため、平面直角座標系への変換が必要となる。本研究では、GPS座標が既知の固定点をドローン空撮画像中から複数認識し、これらの座標が同一となるようにアフィン変換係数を求めた。そして、得られた変換係数を用いて合成画像から求めた汀線の座標全体を平面直角座標系に変換した。

アフィン変換とは、ある図形を回転させたり引き伸ばしたりする変換で、平行移動と、線形変換を組み合わせたものである。ドローン画像中の固定点の座標 (U, V) を平面直角座標系 (X, Y) に変換するためのアフィン変換は次式のように表される。

$$\begin{cases} X = aU + bV + c \\ Y = dU + eV + f \end{cases} \quad (2)$$

ここで、 $a \sim f$ はアフィン変換係数であり、次式により得られる。

$$\begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix} = A^{-1} \begin{pmatrix} \sum XU \\ \sum XV \\ \sum X \end{pmatrix}, \quad \begin{pmatrix} d \\ e \\ f \end{pmatrix} = A^{-1} \begin{pmatrix} \sum YU \\ \sum YV \\ \sum Y \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$A = \begin{pmatrix} \sum U^2 & \sum UV & \sum U \\ \sum UV & \sum V^2 & \sum V \\ \sum U & \sum V & \sum 1 \end{pmatrix}$$

4. 5 考察

ドローン空撮画像からの汀線座標とGPS測量による結果を図-11にまとめる。両測量の結果はほぼ一致しており、破線を砂州境界とすると、砂州面積の誤差は1%程度であった。

以上の結果より、測量作業に必要な時間やコストも考慮すると、広域な地表状況の把握に対してドローン空撮画像のみを用いた方法は十分に適用可能であると考えられる。

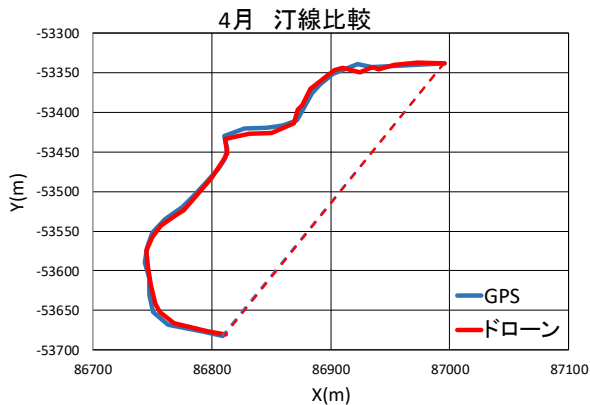


図-11 ドローン測量とGPS測量の結果比較

5. まとめ

本研究では災害時など早急に状況把握が求められる場面におけるドローンによる空撮画像を利用した地表状況の把握方法について提案し、従来の測量方法と比較しながら、その有効性について検証した。得られた結論を以下に示す。

1. 土砂崩れ状況の把握について、ドローン空撮画像から崩壊土砂量を簡易に計算する方法について提案し、実験室で行った崩壊モデルでの検証を行った。その結果、実際の土砂量と簡易手法による土砂量の誤差は±20%となった。さらに、実際の崩壊斜面に対して適用し、発災直後の状況把握という場面において、本提案手法が有効であることを示した。
2. 河口砂州の動態観測に対して、ドローン空撮画像から得られる位置情報と実際に行ったGPS測量の結果を比較して検証を行った。両測量からの砂州汀線を比較するとほぼ一致しており、砂州面積の誤差は1%程度となった。

以上より、発災直後の迅速な状況把握という目的に対しては本研究の提案手法の適用性は高いと考える。

参考文献

- 1) 国土交通省「i-Construction」HP, 2019. 3. 11閲覧, (<http://www.mlit.go.jp/tec/i-Construction/index.html>)
- 2) 例えば「磐田市がドローン導入 防災、広報活動に活用」, 静岡新聞Web版, 2018. 8. 28. 配信
- 3) 三輪浩, 出野幸一, 神田佳一: 由良川河口地形の変動特性と侵食規模の推定, 土木学会第67回年次学術講演会, II-009, 2012. 9.

薄膜型固体飛跡検出器の製造方法の開発

DEVELOPMENT OF MANUFACTURING METHOD OF THIN FILM TYPE SOLID STATE NUCLEAR TRACK DETECTOR

石川一平¹

Ipppei ISHIKAWA

1. はじめに

プラスチック等の絶縁固体に α 線のような電離放射線が当たると、表面に放射線損傷（潜在飛跡）が生じる。この損傷は極めて小さいが、化学薬品でエッチングすることで、**図-1**に示すように損傷を拡大することができる。放射線損傷部のエッチング速度 V_T の方が損傷を受けていない部分の速度 V_B よりも速いため、損傷が拡大される。**図-2**に示すように、拡大された損傷（穴）はエッチピットと呼ばれ、光学顕微鏡等で観測が可能となる。本研究で使用したプラスチックはPADC（ポリ・アリル・ジグリコール・カーボネート）で、通称CR-39と呼ばれ、固体飛跡検出器として利用されている。PADC固体飛跡検出器は線エネルギー付与の高い α 線や中性子を測定することができるが、 β 線や γ 線は測定することができない。PADCは個人被ばく線量計測や、イオンビーム測定¹⁾などに利用されている。

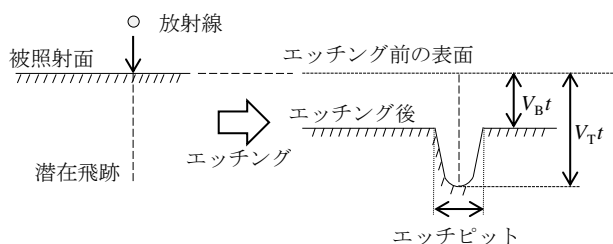
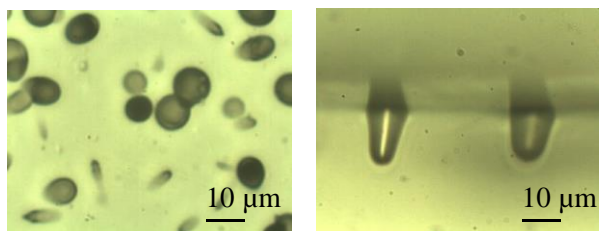


図-1 飛跡生成理論の概略図（ t は時間を示す）



(a) 表面写真 (b) 断面写真
図-2 エッチピットの光学顕微鏡写真の例

細胞への放射線照射実験や、固体飛跡検出器の特性解明²⁾などでは、薄膜状の固体飛跡検出器が望まれているが、従来の作製方法では、薄膜状のPADCを作ることは困難である。

一方、著者は、これまでにPADC固体飛跡検出器を学生実験等の教育で利用すること目的に従来品よりも溶けやすい放射線教育向けのPADCの開発を行ってきた³⁾。本研究では、これまでのPADC開発の知識を活かして、従来の製造工程と異なる方法を考案し、薄膜型の固体飛跡検出器の製造を試みた。

2. 実験方法と使用器具

PADCはADCモノマーに重合開始剤となるIPP（ビスペルオキシド）を混合し、加熱することで形成する熱硬化性樹脂である。よって、その基本的な製造工程は、大きく分けると材料混合と熱硬化に分けられる。**図-3**にPADCの基本的な作製方法を示す。本研究では、**図-3(c)**の工程となる注型する際の充填量の制御および加圧保持させることを検討した。従来の作製方法と大きく異なるのは、2枚のモールドの片方に混合溶液を微量滴下し、もう一方のモールドで挟み、加圧する。その後は、従来の作製方法と同様に加熱・離型を行うことで作製する。開発した薄膜型固体飛跡検出器の製造工程を**図-4**に示す。また、加圧に使用したDCコアレスモータ駆動型コンパクトインプリントシステムを**図-5**に示す。DCコアレスモータ駆動型コンパ

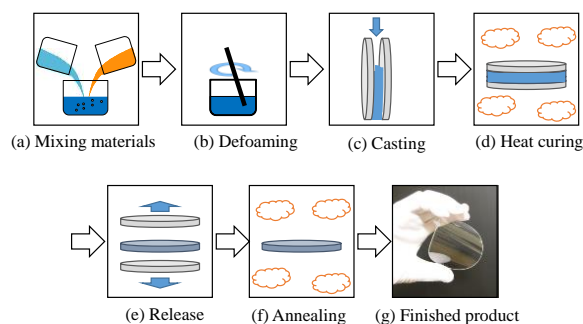


図-3 PADCの基本的な製造工程

¹舞鶴工業高等専門学校 電子制御工学科

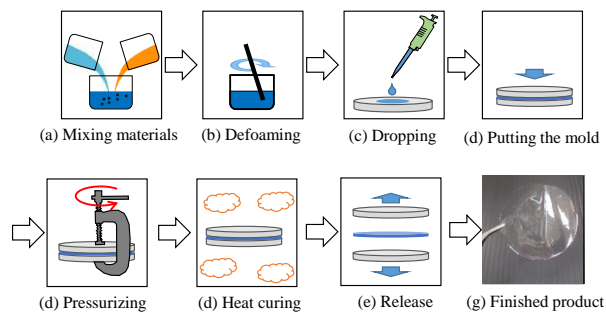


図-4 開発した薄膜型固体飛跡検出器の製造工程

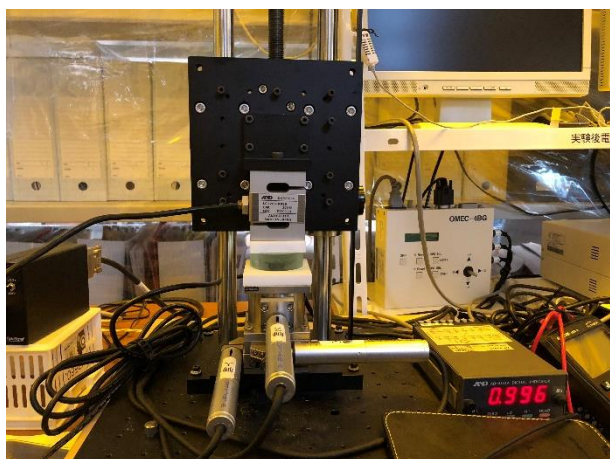


図-5 使用した加圧装置

クトインプリントシステム（以下、加圧装置）は、圧力を手動にて調整でき、本研究では1 MPaで加圧を行うこととした。また、本研究で使用しているモールドは東京硝子器械株式会社の直径50 mm、厚さ8 mm ガラス（型番：000-16-30-07）である。図-6にガラスモールドの写真を示す。溶液を滴下する際にはマイクロピペット（Eppendorf, Multipette M4）を用いる。このマイクロピペットは先端に取り付けるチップ次第で滴下量を変化させることが可能である。本研究では、50 μ l のチップを使用しているため、50 μ l 単位での滴下が可能である。図-7に使用したマイクロピペットを示す。本研究では、マイクロメータ（株式会社ミットヨ、293-661-10）を用いて作製したPADCの厚さの測定を行った。図-8にマイクロメータの写真を示

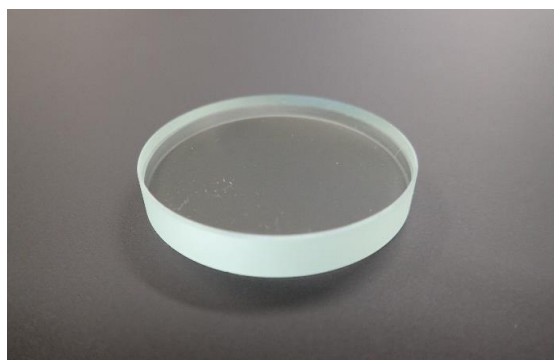


図-6 ガラスモールドの写真



図-7 マイクロピペットの写真



図-8 マイクロメータの写真

す。マイクロメータの分解能は1 μ m である。本研究室では、PADCを焼き固める炉として、オールステンレス窓付き定温乾燥器（アズワン株式会社、OFW-300S）を使用している。以下、定温乾燥器と呼ぶ。この定温乾燥器は最大16ステップのプログラムを8パターン記憶し、必要なパターンを選択しプログラム運転できる。図-9に使用した定温乾燥器の写真を、図-10に使用した熱履歴のグラフを示す。



図-9 定温乾燥器の写真

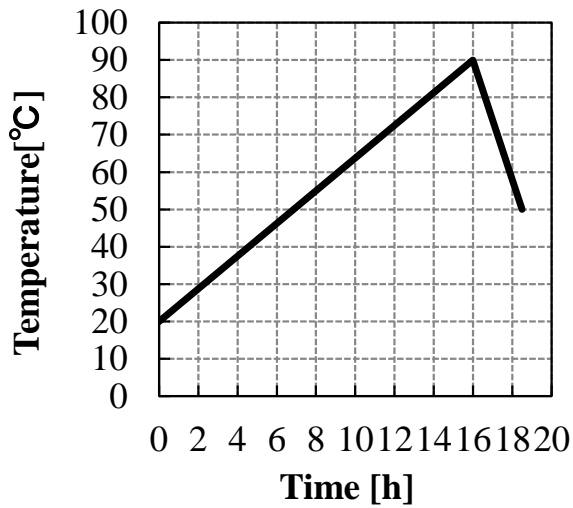


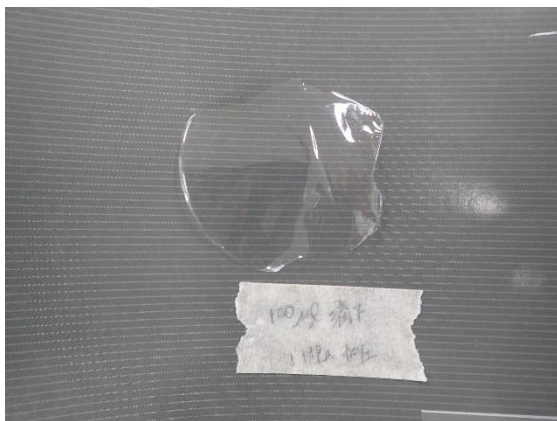
図-10 定温乾燥器の熱履歴

3. 薄膜型固体飛跡検出器の製造

本研究で考案した製造方法では、マイクロピペットで滴下量を制御している。100 μ l滴下して試作した2枚の薄膜型固体飛跡検出器を図-11に示す。また、同様に、150 μ l滴下して試作した2枚の薄膜型固体飛跡検出器を図-12に示す。



(a) 試料1



(b) 試料2

図-11 100 μ l滴下して作製したPADC



(a) 試料3



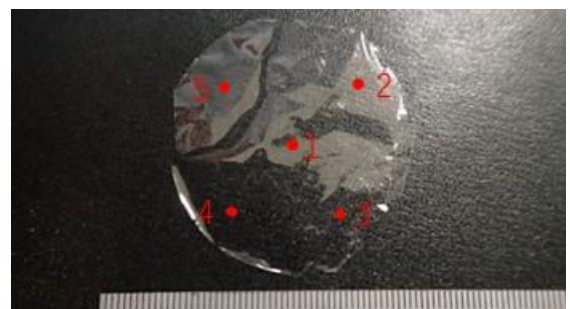
(b) 試料4

図-12 150 μ l滴下して作製したPADC

また、作製したPADCそれぞれで5点の厚さの測定を行った。図-12に試料1と試料3の測定箇所を示す。厚さ測定の結果を表-1、表-2に示す。これら



(a) 試料1



(b) 試料3

図-12 厚さを測定した箇所例

表-1 100 μ l滴下PADCの5点厚さ (単位 μ m)

| | 点1 | 点2 | 点3 | 点4 | 点5 | 平均 |
|-----|----|----|----|----|----|------|
| 試料1 | 13 | 10 | 16 | 15 | 11 | 13 |
| 試料2 | 11 | 8 | 12 | 14 | 9 | 10.8 |

表-2 150 μ l滴下PADCの5点厚さ (単位 μ m)

| | 点1 | 点2 | 点3 | 点4 | 点5 | 平均 |
|-----|----|----|----|----|----|-----|
| 試料3 | 7 | 9 | 8 | 5 | 4 | 6.6 |
| 試料4 | 5 | 4 | 6 | 4 | 4 | 4.6 |

の結果から、厚さにばらつきがあるものの、薄膜型の固体飛跡検出器を作製することに成功したといえる。厚さのばらつきが生じているのは使用したガラスモールドによるものと考え、厚さの測定を行った。新品未使用のガラスモールド3枚の厚さをマイクロメータで測定した結果を表-3に示す。これにより、ソーダガラスに3~6 μ mの凹凸があることが確認できた。2枚のソーダガラスの凹凸の組み合わせにより、厚い部分や薄い部分ができるため、薄膜型固体飛跡検出器にも厚さのばらつきが生じたと考えられる。

表-3 ガラスモールドの厚さ測定結果

| モールド番号 | 最小厚さ (mm) | 最大厚さ (mm) |
|--------|-----------|-----------|
| 1 | 7.646 | 7.649 |
| 2 | 7.776 | 7.782 |
| 3 | 7.662 | 7.626 |

4. 薄膜型固体飛跡検出器の性能評価

本研究で作製した薄膜型固体飛跡検出器が通常のPADC通りの放射線検出能力があるのかを評価した。

今回、エッチング実験のために用いた放射線源は ^{241}Am である。まず、作製した薄膜型のPADCを10 mm角程度に切断し、切った10 mm角のPADCに垂直に放射線が当たるようにコリメータを設置し、真空状態のなかでPADCに放射線を照射する。真空状態は真空ポンプ（最大到達真空度： 1.3×10^{-1} Pa）を用いることで発生でき、真空状態で3分間放射線を照射することで、PADC表面に数nmサイズの損傷が入る。なお、本研究の実験体系の場合、3分間放射線を照射すると、1 mm角中に300個程度のエッチピットが観測できるようになる。その損傷をKOH（水酸化カリウム）水溶液でエッチングすることにより、数 μ m サイズの損傷に拡大できる。このサイズになると光学顕微鏡での観察が可能である。なお、エッチピットは、溶液濃度、溶液温度、エッチング時間に依存するが、本研究では一般的に利用されているKOH 30 wt%、70 $^{\circ}\text{C}$ で行い、スターラーを使用すると薄膜が潰れ

てしまう可能性があるため、攪拌はしないこととした。実際に用いた溶液や実験装置の一覧を図-13に示す。

100 μ l滴下 1 MPa加圧して作製したPADCを用いて実験を行った。なお、エッチングの前と、エッチング30 min後およびエッチング60min後に一度取り出し、5点の厚さを測定した。表-4に5点の厚さ測定の結果を示す。図-14にエッチング前のPADCを、図-15にエッチング後のPADCを、図-16に60minエッチングしたPADC表面を光学顕微鏡にて観測したエッチピット写真を示す。薄膜型固体飛跡検出器をエッチングすることにより、さらに2 μ m程度の薄膜状にすることができた。また、図-16に示したように、固体飛跡検出器として放射線の飛跡を確認することができた。



(a) デシケーター



(b) 真空ポンプ



(c) ^{241}Am



(d) マグネットヒーター



(e) 水酸化カリウム



(f) 光学顕微鏡

図-13 放射線検出実験に使用した器具

表-4 厚さ測定結果 (単位 μ m)

| | 点1 | 点2 | 点3 | 点4 | 点5 | 平均 |
|--------|----|----|----|----|----|------|
| 0 min | 13 | 15 | 13 | 12 | 14 | 13.4 |
| 30 min | 6 | 8 | 6 | 5 | 6 | 6.6 |
| 60 min | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1.6 |



図-14 エッチング前のPADCの写真

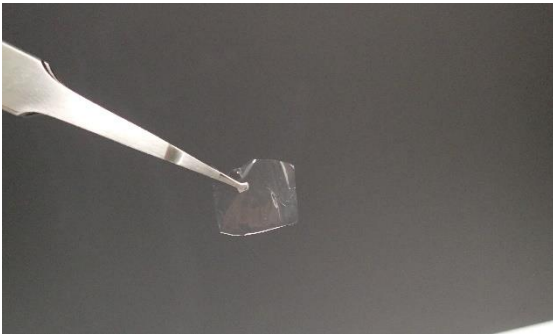
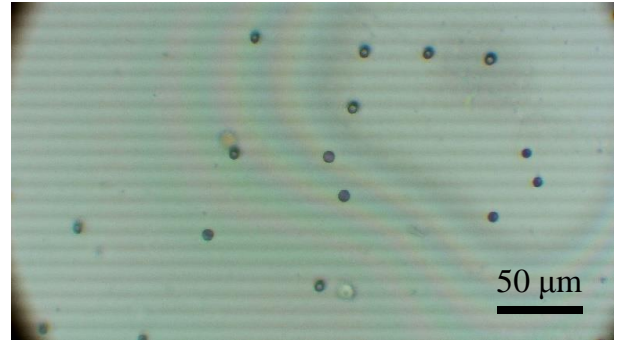
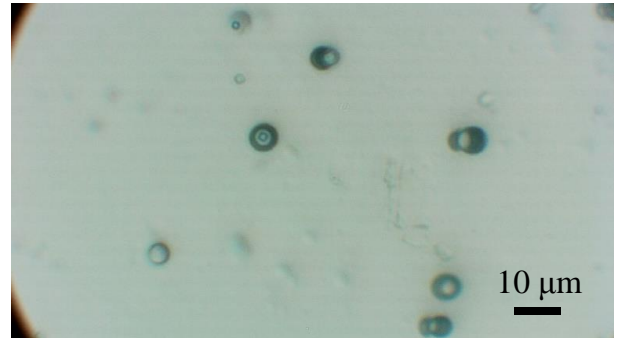


図-15 エッチング後のPADCの写真



(a) 対物レンズ倍率40倍



(b) 対物レンズ倍率100倍

図-16 PADC表面の光学顕微鏡写真

5. おわりに

本研究では、従来の製造工程と異なる方法を考案し、薄膜型の固体飛跡検出器の製造を試みた。実験の結果、 $10\ \mu\text{m}$ 前後の厚さの固体飛跡検出器の作製は可能であることがわかった。ただし、ガラスモールド自体の凹凸が影響するため、均一な厚さのPADCの作製は難しいこともわかった。エッチング前の厚さにもよるが、 $70\ ^\circ\text{C}$ のKOH 30 wt%で60 minエッチングすれば $2\ \mu\text{m}$ 程度の超薄膜とすることができた。また、薄膜状のPADCであっても放射線検出能力があることが確かめられた。

参考文献

- 1) Ippei Ishikawa, Atsuya Kishi, Wataru Kada et al.: Response of CR-39 track detector to low-energy heavy ion beams”, *Radiation Measurements*, Vol.43, pp.S79-S81, 2008.
- 2) 小平 聡, 山内知也: 固体飛跡検出器 CR-39 における重イオン飛跡生成メカニズム研究の現状, *放射線化学*, 94, pp.27-40, 2012.
- 3) 石川一平, 清原修二: 放射線飛跡を可視化するプラスチック教材を用いた教育方法の実践, *応用物理教育*, Vol.40, No.2, pp.101-106, 2016.

木造2階建て建築物の耐震性評価について -舞鶴市浮島集会所における起振器実験-

EVALUATION OF SEISMIC PERFORMANCE OF UKISHIMA MEETING HOUSE BY VIVRATION OSCILLATION SYSTEM

西村良平¹・高谷富也²・高本優也³

Ryohei NISHIMURA, Tomiya TAKATANI and Yuya KOMOTO

1. はじめに

近年、耐震改修促進法および改正耐震改修促進法の施行により、1981年以前に建てられた耐震性に問題があるとされる伝統的構法で建てられた木造建築物および在来軸組構法による古民家や木造住宅の耐震診断や補強改修等が行われてきている。本研究では、昭和60年（1985年）に建てられ、現在も使用されている木造2階建て建築物である浮島集会所を対象として、起振器を用いて木造建築物の固有振動数や減衰定数を求めるとともに、常時微動計測による固有振動数の推定を行ったものである。特に、起振器実験と常時微動計測から得られる固有振動数の比較検討を通じて、木造建築物の微動計測による耐震性評価の妥当性を調べたものである^{1), 2), 3)}。

2. 対象とした浮島集会所について

写真1は、今回対象とした浮島集会所の写真を示したものである。浮島集会所は、昭和60年（1985年）に竣工されており、平成7年（1995年）に増改築が行われている。1階床面積が80.33m²、2階床面積が59.21m²の地上2階建て木造建築物である。

3. 微動計測について

平成30年（2018年）11月26日（月）に、浮島集会所の実測調査を行い、平成30年（2018年）12月3日（月）に、浮島集会所の微動計測を行った。図1、図2に示す浮島集会所の平面図には、CH1～CH3の加速度計の設置場所を明示している。CH1とCH2は2階に、またCH3は1階に設置している。



写真1 浮島集会所

なお、微動計測においては、写真2に見られるサーボ型加速度計（ミツトヨ社製、V405-BR、測定範囲：±30m/s²、振動数範囲：DC～400Hz）によって微動波形を記録した。1階に設置されたCH3と2階に設置されたCH1～CH2の加速度計で得られた波形から求めたスペクトルの比（伝達関数）から木造建築物の共振振動数を求める。また、写真3は微動計測および振動実験風景を撮ったものである。

図3、図4は、微動計測結果である伝達関数（1階に対する2階の振幅比）を示したものである。図3、図4より得られた長辺および短辺方向における第1次固有振動数を表1、表2に示す。短辺方向の伝達関数を示した図4からも明らかのように、CH1とCH2の固有振動数のピーク値が異なっており、またスペクトル比も大きく異なっている。表1より、長辺方向については、CH1が2.42Hz、CH2が2.38Hzとなった。一方、短辺方向についても、表2からも明らかのように、CH1が3.71Hz、CH2が4.84Hzという結果となった。

¹舞鶴工業高等専門学校 教育研究支援センター

²舞鶴工業高等専門学校 建設システム工学科 教授

³舞鶴工業高等専門学校 教育研究支援センター

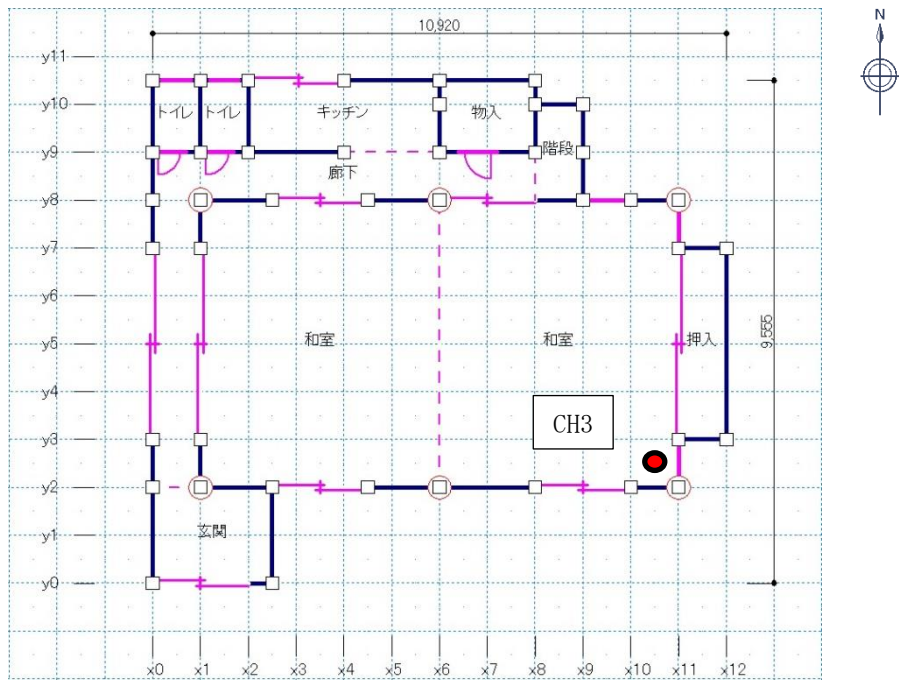


図1 浮島集会所1階平面図（微動計測に伴う加速度計の配置）

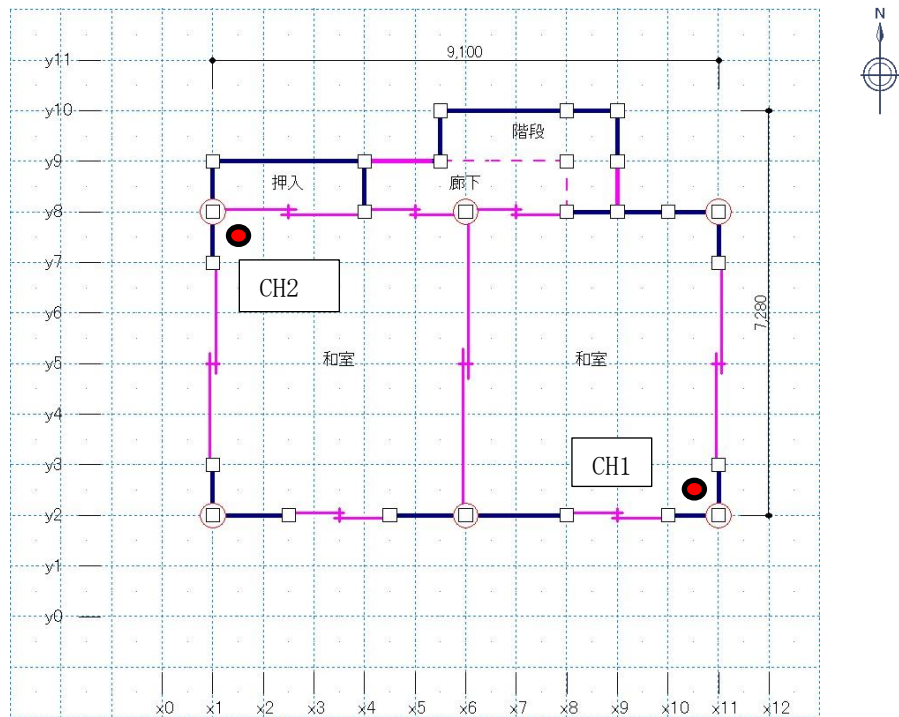


図2 浮島集会所2階平面図（微動計測に伴う加速度計の配置）

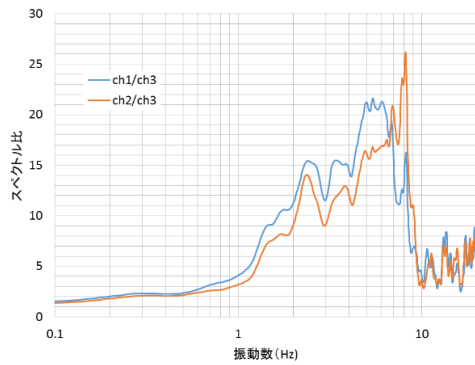


図3 長辺伝達関数

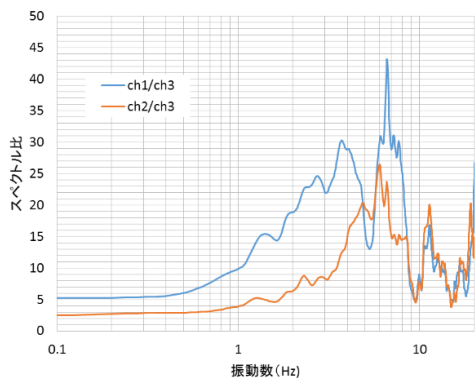


図4 短辺伝達関数



写真2 サーボ型加速度



写真3 微動計測および振動実験風景

表1 長辺伝達関数 (単位: Hz)

| | 第1次 | 第2次 | 第3次 |
|-----|------|------|------|
| CH1 | 2.42 | 3.40 | 5.39 |
| CH2 | 2.38 | 3.83 | 6.95 |

表2 短辺伝達関数 (単位: Hz)

| | 第1次 | 第2次 | 第3次 |
|-----|------|------|-----|
| CH1 | 3.71 | 6.60 | - |
| CH2 | 4.84 | 6.02 | - |

4. 起振器による振動実験について

平成30年(2018年)11月26日(月)に行った浮島集会所の実測調査に基づいた耐震診断を実施するとともに、平成30年(2018年)12月3日(月)には、浮島集会所の起振器による振動実験を行った。

図5、図6に、起振器および加速度計の設置位置を示す。

振動実験の測定システムは計測部、起振部および解析部などから成っている。測定は、起振器(サンエス社製、永久磁石起振器 SSV-125, 最大加振力: 490N, 振動数範囲0.1~100Hz)によって固有振動数1~10Hzのスイープ波加振を360秒間実施するとともに、微動計測に用いたサーボ型加速度計によって振動波形を記録する。起振器と加速度計で得られた波形から求めたスペクトルの比(伝達関数)から木造建築物の共振振動数を求める。続いて、求めた第1次固有振動数の正弦波加振によって木造建築物を振動させ、定常時に起振器を急停止させて得られた減衰自由振動波形から木造住宅の減衰定数を評価する。

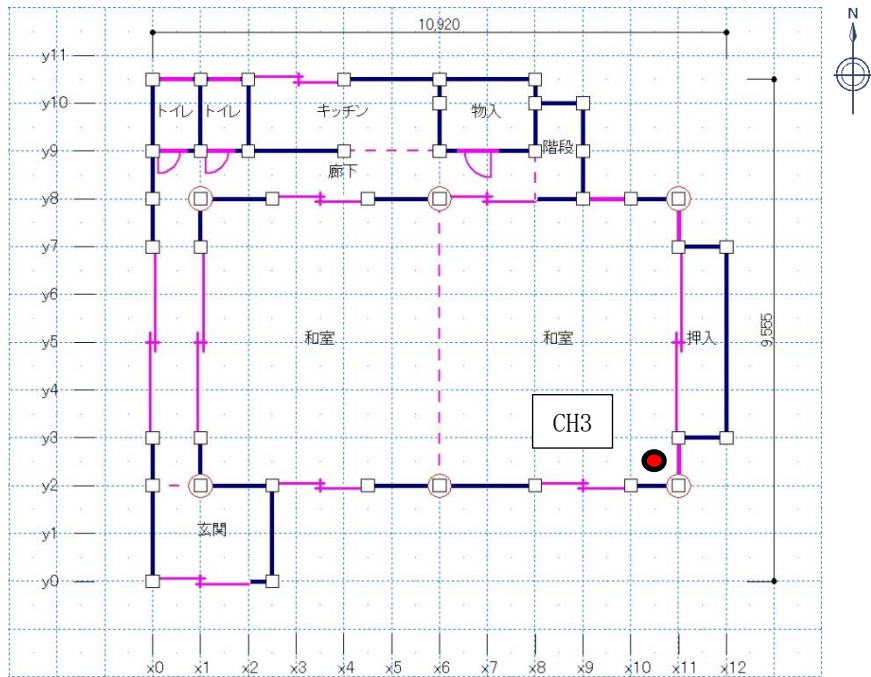


図5 浮島集会所1階平面図（振動計測に伴う起振器と加速度計の配置）

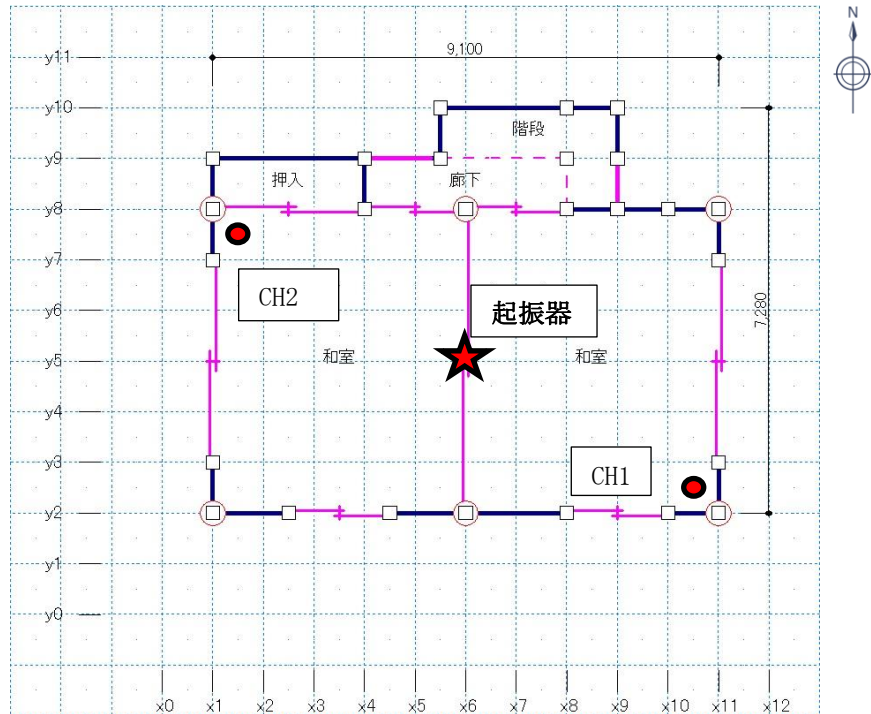


図6 浮島集会所2階平面図（振動計測に伴う起振器と加速度計の配置）

図7および図8は、それぞれ長辺方向および短辺方向の伝達関数を示したものである。表3と表4は、それぞれ図7および図8に示す長辺方向および短辺方向の伝達関数から読み取ったCH1 とCH2の固有振動数を占めたものである。

表5は、長辺および短辺方向の第1次固有振動数で振動させた場合（長辺方向5.39Hz、短辺方向3.98Hz）における減衰定数を算定したものである。この減衰定数が大きな値になれば、早く地震動の揺れが収まることを意味するもので、耐震性の高い建物と言える。同表に示されている値は通常の木造住宅の減衰定数に比べて大きな値となっているため、耐震性が良いと言えることが分かる。

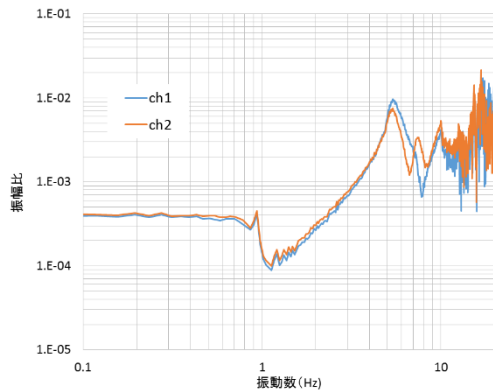


図7 長辺固有振動数

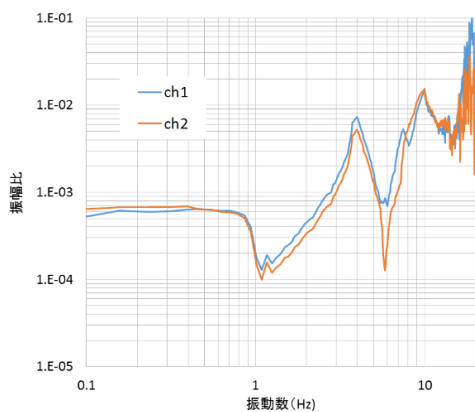


図8 短辺固有振動数

表3 長辺固有振動数 (単位: Hz)

| | 第1次 | 第2次 | 第3次 |
|-----|------|-------|-------|
| CH1 | 5.39 | 10.00 | - |
| CH2 | 5.39 | 7.50 | 10.00 |

表4 短辺固有振動数 (単位: Hz)

| | 第1次 | 第2次 | 第3次 |
|-----|------|-------|-----|
| CH1 | 3.98 | 10.00 | - |
| CH2 | 3.98 | 10.00 | - |

表5 減衰定数

| | 長辺 | 短辺 |
|-----|-------|-------|
| CH1 | 7.74% | 5.67% |
| CH2 | 6.76% | 6.53% |

5. 浮島集会所の耐震診断について

平成30年(2018年)11月26日(月)に行った浮島集会所の実測調査に基づいた一般診断法に基づく耐震診断結果を図9および図10に示しておく。なお、本研究では、ホームズ君「耐震診断 Pro」4)を用いて耐震診断を行った。図9に見られるX方向およびY方向はそれぞれ長辺方向および短辺方向を意味する。この表より、現状の浮島集会所の上部構造評点は1.06(1階Y方向)となっており、「震度6強」または「震度7」の地震動に対して「一応倒壊しない」と判定された(図10)。

起振器実験結果より算定された固有振動数を示した表3と表4からも明らかなように、浮島集会所のX方向(長辺方向)の第1次固有振動数5.39HzはY方向(短辺方向)の3.98Hzに比べて大きな値となっている。これより、X方向(長辺方向)の耐震性がY方向(短辺方向)のそれより高いことを明示しており、図9および図10に示す上部構造評点の妥当性を証明するものとなっている。

$$\text{上部構造評点} = \text{保有耐力 (edQu)} / \text{必要耐力 (Qr)}$$

| 階 | 方向 | 壁の耐力 Qu (kN) | 配置 低減係数 eKfl | 劣化度 低減係数 dK | 保有耐力 edQu ※ (kN) | 必要耐力 Qr (kN) | 評点 edQu/Qr |
|---|----|-----------------|--------------------|-------------------|------------------------|--------------------|---------------|
| 2 | X | 47.40 | 0.937 | 1.00 | 44.41 | 23.69 | 1.87 |
| | Y | 27.25 | 1.000 | | 27.25 | | 1.15 |
| 1 | X | 65.97 | 0.968 | | 63.85 | 49.01 | 1.30 |
| | Y | 73.20 | 0.714 | | 52.26 | | 1.06 |

$$\text{※ edQu} = \text{Qu} * \text{eKfl} * \text{dK}$$

図9 耐震診断結果1

| 上部構造評点 のうち最小の値 | 評点 | 判定 |
|-------------------|-------------|-------------|
| 1.06 | 1.5以上 | ◎倒壊しない |
| | 1.0以上～1.5未満 | ○一応倒壊しない |
| | 0.7以上～1.0未満 | △倒壊する可能性がある |
| | 0.7未満 | ×倒壊する可能性が高い |

図10 耐震診断結果2

6. まとめ

微動計測及び起振器実験から得られた伝達関数より、長辺方向と短辺方向で異なる結果となった。これは微動計測において1階に設置したCH3の配置場所や、集会所前の道路において車の往来が多かったことでピークが明確に表れなかったことが原因として考えられる。

また、一般診断法による上部構造評点（充足率）を踏まえた結果、X方向（長辺方向）およびY方向（短辺方向）ともに「震度6強」または「震度7」の地震動に対して、上部構造評点が1.0以上の値となっており「一応倒壊しない」ことが判明しており、これは起振器実験より得られた第1次固有振動数の値を裏付けるものとなっている。

謝辞：最後に、浮島集会場において計測を行うにあたり、浮島町内会の皆様にはお忙しい時期にご協力を頂き、紙面を借りて感謝の意を表します。

参考文献

- 1)高谷富也,西川隼人,西村良平,平野竜一朗：起振器を用いた木造古民家住宅の耐震性評価について -小浜西組における町並み資料保存館を対象として-, 舞鶴工業高等専門学校紀要, 第52号, pp.29-38, 2017.
- 2)高谷富也,西川隼人,西村良平,清水嵩史：木造2階建て建築物の耐震性評価について -綾部市志賀郷公民館の起振器実験-, 舞鶴工業高等専門学校紀要, 第53号, pp.33-40, 2018.
- 3)高谷富也,西村良平,西川隼人,清水嵩史：木造2階建て建築物の耐震性評価について -福知山市大江町の大雲記念館の微動計測・起振器実験-, 舞鶴工業高等専門学校紀要, 第54号, pp.19-32, 2019.
- 4)住宅性能診断士 ホームズ君「耐震診断 Pro」Ver.4.2 ユーザズマニュアル 2016.

災害時の移動機械

MOVEMENT MACHINE FOR THE TIME OF AN ACCIDENT

西山 等¹

Hitoshi NISHIYAMA

1. まえがき

未曾有の被害をもたらした東日本大震災、毎年のように各地で生じる甚大な水害の経験のもと、災害に対する防災・減災の意識・行動は国民全体にとって必須のものとなってきている。

近畿地区7高専では、大規模自然災害が発生した際に能動的に活動できる災害対応力を身に付けた技術者を育成することを目的に、平成24年度文部科学省大学間連携共同教育推進事業「近畿地区7高専連携による防災技能を有した技術者教育の構築」¹⁾を実施した。

舞鶴高専では全学科共通の1年生の科目として「防災リテラシー」（1単位）が設定され、社会の様々な場で減災と社会の防災力向上のための活動ができるように、自然災害について理解し、防災・減災に対する意識・知識・技能を習得させている。また、この科目は日本防災士機構の防災士資格試験の事前研修として認められ、試験に合格した多くの学生が防災士として認証されている。

舞鶴高専機械工学科2年前期の専門科目「創造演習」（1単位）では、平成25年度から「防災」の観点を取り込み、少人数のグループ活動により、限られた材料や限られた時間などの制約条件のもと、創造的なものづくりを行う課題解決型のPBLによるアクティブ・ラーニング型授業を実施している。以下にその詳細を示す。

2. 科目「創造演習」の目的と概要

「創造演習」は創造力の育成を目的としている。ここでいう創造力は、新しい「モノ」を作るという概念だけでなく、探究する姿勢や創造するための思考や活動を含む広い意味でとらえている。表-1に本科目の基本的な授業の流れを示す。受講学生は2年生であり、演習・実践型の能動的授業による学習経験はあまりないことから、学習期間の前半は創造力育成のための入門的なスキルの演習と2名単位（ペア）による課題作品の製作を行った。後半はその発展型として、現実の問題として防災

¹⁾舞鶴工業高等専門学校 機械工学科

を意識させ、防災に関連したものづくりの課題について、4～5名単位のグループ活動を行なった。

表-1 授業の流れ

| 週 | 内容（平成27年度） |
|--------|--|
| 前 半 | 1 シラバス内容の説明、「創造」とは、 プレーストリーミング演習(1) |
| | 2 プレーストリーミング演習(2)、思考関連図 |
| | 3 「製作課題1(滞空時間の長い飛行物体)」の実施計画、 プレーストリーミング |
| | 4 思考関連図、思考展開図、構想図 |
| | 5 作品製作、計測 |
| | 6 競技会、レポート作成 |
| | 7 発表会 |
| 後 半 | 8 ファシリテーションスキルを用いたチームによる合意形成の演習 |
| | 9 DVD教材「釜石の奇跡」の鑑賞、舞鶴市近隣の災害と防災 |
| | 10 クロスロードゲーム、「製作課題2(災害時の乗り物模型)」の実施計画 |
| | 11 グループ活動(アイデア出し→機能設計→機構設計→構造設計→製作) |
| | 12 " |
| | 13 " |
| | 14 競技会・観察による競技の記録 |
| | 15 合意形成による優秀作品の選定、KPTIによる活動の振り返り、 災害時に役立つものとの心のデザイン |

3. 防災意識とコミュニケーション能力の向上

様々な災害に対して適切に対応する能力は、災害を生き抜くために極めて重要である。そのためには普段からの心構えにより防災意識や防災力を高める努力が必要である。災害発生時には、避難所等の設置・運営において、地域住民等による円滑なコミュニティとコミュニケーションが必要不可欠であり、意見を引き出し、異なる意見を統合する合意形成が防災の重要な一側面となる。

災害時において、高専学生が能動的に活動できる能力を育成することは、防災教育の観点から極めて重要である。少人数による協働学習は、相互に協力しながら、共通の目標達成をめざす学習であり、コミュニケーション能力の向上がはかられ、社会適応力が高められる。このようなことから、ものづくり教育の中に「防災」の観点を取り込むことは十分に意義があると考えられる。

4. 具体的な授業展開

防災の観点を取り込んだものづくり教育の実施は表-1の授業の流れに示す後半期間の全8週である。その主要な授業展開を具体的に説明する。

4. 1 ファシリテーションスキルを用いた合意形成

防災に関連したものづくりに先立ち、ファシリテーションスキルを知るための合意形成の演習を行った。テーマは「行きたい旅行先」であり、シールアンケート法、意思決定マトリクス法、メリット・デメリット法、ペイオフ・マトリクス法によって順次行きたい旅行先の絞り込みを行った。各方法の概要をつぎに示す。図-1 はこれらの方法を用いて合意形成を行った一例である。

(1)シールアンケート法

一つひとつの候補に対して、グループの構成メンバーがどれほど必要性を感じているかについて、シールを用いて視覚化して測る方法である。

(2)意思決定マトリクス法

複数の意見を比較するために多面的な角度から分析し◎・○・△・×等によって視覚化する方法であり、優先度の高い候補がいくつか浮かび上がってくる。

(3)メリット・デメリット法

候補に対するメリット、デメリットを構成メンバーで書き出し、より支持できるのはどれかを客観的に眺めてみる方法である。

(4)ペイオフ・マトリクス法

候補を選ぶための評価基準を2つ決めて、4つの枠のあるマトリクスをつくる。構成メンバー全員で話し合って候補を書き出した付箋を動かし、貼る位置を決める。これにより、理想のゾーンに入る候補を最終的に決定する。



図-1 行きたい旅行先の合意形成

4. 2 防災リテラシーの深化

1年生で学んだ防災リテラシーの知識を深化させるために、DVD教材「釜石の奇跡」の鑑賞により、「想定にとらわれるな、最善をつくせ、率先者たれ」の意味を教授した。また、舞鶴の災害の歴史とその傾向、台風による由良川の河川氾濫、ハザードマップ、舞鶴高専周辺の土砂災害予測、史上初めて特別警報が発令されたときの駐車場の状況などの説明を行った。

4. 3 災害時に役立つ乗り物模型の製作

災害時に役立つ乗り物模型の製作に関して本授業独自の競技規則を設定し、各グループによるものづくり活動を実施した。

大雨や洪水等による災害時において、命を守るために、避難所への早めの避難が重要であるが、切迫した状況においては2階以上への避難が必要となる。そこで、本ものづくり活動では、肢体不自由者や寝たきり高齢者などの災害時要援護者の2階以上への避難を想定し、階段を安心・安全な速度で移動できる乗り物開発を念頭において、模型階段を一定の時間で昇る乗り物模型を製作課題とした。

災害時には活動に対する色々な制限が発生することを意識し、ものづくり活動の制約条件として、支給材料は、戸車、発泡トレイ、竹箸、単三乾電池、ゴム紐のみとした。それらの概要をつぎに示す(図-2~図-6参照)。

(1)戸車

ヨコヅナ LPM-0241 : 6個

質量:16 g, ローラー呼び寸法D:24(mm)



図-2 戸車

(2)発泡ポリスチレントレー

V-10-26 : 5枚

寸法 : 210×140×26mm, 重量 : 6 g



図-3 発泡ポリスチレントレー

(3)竹箸

20本

長さ:195mm, 直径:5 mm, 1本あたり重量 :

2.9g



図-4 竹箸

(4) 単三乾電池

10個

直径：13.5～14.5mm

長さ：49.0～50.5mm

1個あたり重量：25g



図-5 単三乾電池

(5) ヘア用ゴム紐

太100cm



図-6 ヘア用ゴム紐

その他、A4サイズPPC用紙は必要に応じ、また、部品の接続・固定のための材料（折径5cmゴムバンド、PP製荷造りひも、たこ糸20/5×3、セロハンテープは申告により適当量支給する。ホッチキス針、スティックのり、テープ類、裁縫糸等の持ち込み使用は可とした。

4. 4 製作条件

災害時に役立つ乗り物模型の製作条件はつぎのとおりである。

(1) 重量：製作物の合計で500g以内

(2) サイズ：製作物が幅18cm×長さ30cm×高さ25cmのボックスファイル（LION BF-632-Dを2個連結）に収納できること（図-7参照）



図-7 ボックスファイル

(3) 収納時から非収納時、非収納時から収納時の

変形は可とする

(4) 支給材料以外の部品等の追加は認めない

(5) 部品の切断・加工等の道具、寸法測定の道具は各自持参すること

4. 5 乗り物模型に搭載する動物模型

災害時要援護者を想定した模型は図-8に示すくまのぬいぐるみ1体であり、重量57g、高さ190mm×幅130mm×奥行き100mmである。



図-8 くまのぬいぐるみ

4. 6 競技フィールド

競技フィールドを図-9に示す。競技フィールドとしての模型階段は再生ゴムレンガを積み上げることで構成され、通常の階段と同等の約30°の勾配とした。

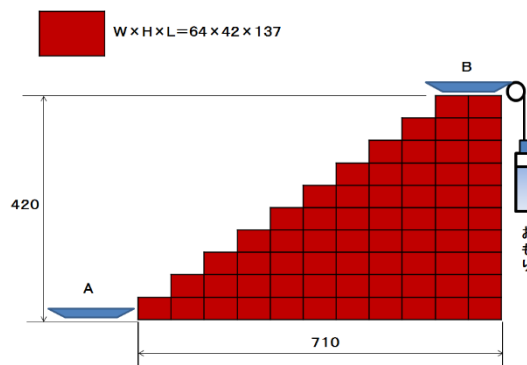


図-9 競技フィールド（模型階段）

4. 7 競技内容

図-9に示す競技フィールドにおいて、乗り物模型のA地点からB地点までの移動の所要時間について、10秒に限りなく近いほど時間的な観点での優秀な乗り物模型とする。

乗り物模型の移動のための動力源はおもりの位置エネルギーによる重力方向の移動によるものとする。おもりは50、100、150、200、250、300、350、400、450、500gのうちから一つ選ぶこととした。ロープの両端にはおもり接続用と乗り物模型接続用のバックルがそれぞれ取り付けてある。

4. 8 ものづくり活動における留意事項

乗り物模型のアイデア創出、設計、および製作の各段階においてクリエイティブシンキングや

ファシリテーションのスキルを活用し、そのエビデンスは必ず残すこととした。

4. 9 ものづくり活動の様子

図-10は、グループによるものづくり活動の様子、図-11は、設計・製作過程でのメモの一例、図-12製作した乗り物模型の一例である。



図-10 グループによるものづくり活動の様子

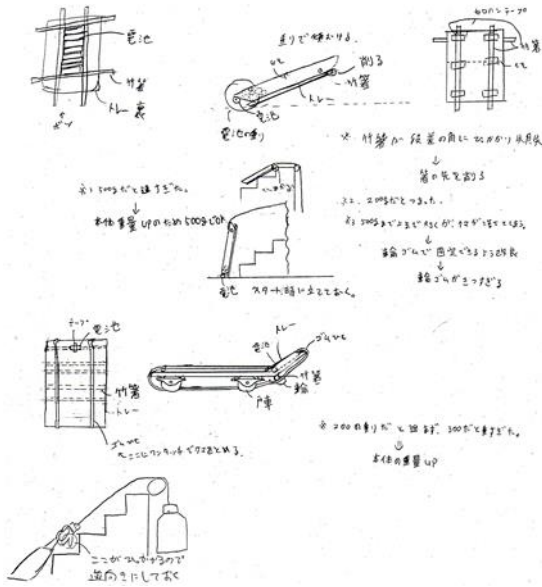


図-11 設計・製作過程でのメモの一例



図-12 製作した乗り物模型の一例

4.10 観察による競技の記録と優秀作品の選定

グループ対抗で競技を行うが、その際には各自で各グループの作品についてアイデア、デザイン、完成度、安全・安心度の4つの観点から観察・記録を行った。その一例を図-13に示す。

災害時に役立つ乗り物模型コンテスト2015 競技記録紙

| 競技順 | 班名 | 時間 開始 | 時間 終了 | 時間 差 | 合計 得点 Point | 競技観察メモ(アイデア、デザイン、完成度、安全・安心度の観点から) | 得点の多い順 に並べる 勝ち班の順 |
|-----|----|----------|----------|---------|-------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| 1 | B | 秒 | 秒 | 秒 | 9 | アイデア、デザイン、完成度、安全・安心度の観点から | |
| 2 | E | 秒 | 秒 | 秒 | 0 | アイデア、デザイン、完成度、安全・安心度の観点から | |
| 3 | I | 秒 | 秒 | 秒 | 8 | アイデア、デザイン、完成度、安全・安心度の観点から | ◎ |
| 4 | F | 秒 | 秒 | 秒 | 0 | アイデア、デザイン、完成度、安全・安心度の観点から | |
| 5 | H | 秒 | 秒 | 秒 | 6 | アイデア、デザイン、完成度、安全・安心度の観点から | ○ |
| 6 | A | 秒 | 秒 | 秒 | 4 | アイデア、デザイン、完成度、安全・安心度の観点から | |
| 7 | C | 秒 | 秒 | 秒 | 9 | アイデア、デザイン、完成度、安全・安心度の観点から | △ |
| 8 | J | 秒 | 秒 | 秒 | 5 | アイデア、デザイン、完成度、安全・安心度の観点から | |
| 9 | D | 秒 | 秒 | 秒 | 8 | アイデア、デザイン、完成度、安全・安心度の観点から | |
| 10 | G | 秒 | 秒 | 秒 | 4 | アイデア、デザイン、完成度、安全・安心度の観点から | |

◎ 得点が高い
 ○ 得点が高い
 △ 得点が高い

図-13 競技・観察記録

総合的な優秀作品の選定は、各グループにおいて、競技順位および各自の競技観察結果に基づき、合意形成ファシリテーション手法であるシールアンケート法と競技得点、アイデア、デザイン、完成度、安全・安心度の観点からの意思決定マトリクス法を用いてグループとしての優秀作品を選定した。最も得票が多かったグループが最優秀となる。図-14は、ファシリテーション手法を用いた優秀作品選定の様子である。

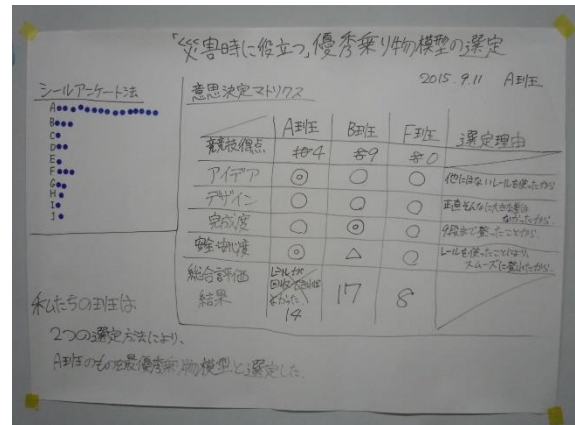


図-14 優秀作品選定の様子

4.11 グループ活動の振り返り

グループとして、また個人として活動を振り返ることは今後の成長に向けて重要である。本活動では振り返りにKPT(けぷと)を用いた。図-15にKPTの様子を示す。ここで、KPTとは、

- Keep : 振り返ってみて、良かったことや今後
も続けると効果があるなどと思うこと
- Problem : 振り返ってみて、改善すべき点がある
などと思うこと
- Try : このようにすれば良くなるとか、今後
試してみたいこと、やってみたいこと

である。

KPTには、活動への積極的参加，ファシリテーションスキルの活用，時間配分の反省，目標設定の重要性など多くの記述が見られた。



図-15 KPTによるグループ活動の振り返り

4.11 災害時に役立つものとおころのデザイン

グループ活動によって得られた成果は個人の学びの成果に帰着する。この個人の学びの成果を「災害時に役立つものとおころのデザイン」という表題で最終回の授業の最後に自由記述してもらった。つぎの文章はある学生の記述である。

災害時に役立つ「もの」を創るには、人を助けたいと思う「おころ」と自ら率先して行動する「行動力」、さらにその「おころ」をもつ人たちとの協力が必要だと思う。皆でファシリテーションをし、合意のもと形を創り、実践して良いところや悪いところを見つけ、また皆で協力し創り直していくことで助けられるものが増える。役立つ「もの」に頼れない場合、人の足で逃げられる安全だと思われるハザードマップの作成、さらにそのシミュレーションからの改善。

この「もの」を創る人も創れない人も同じ「おころ」でやっていけるチームワーク、協力が必要になってくると考える。

5. 今後の展開

防災の観点を取り込んだものづくり教育を今後継続して発展的に展開する一方策として、レゴブロックを用いた乗り物模型の製作を計画している。

レゴブロックはデンマーク発祥のプラスチック玩具であり、特徴的な突起(スタッド)を有する。レゴブロックの最大の特長はパーツを付け外しできることと形にしやすいことであり、制約された支給材料での加工や組み立て等の製作は、充分構想を練ったうえで作業に取り組まなければならない。失敗した場合はやり直しがきかなくなる。一方、レゴブロックであれば何の問題もなくやり直すことができる。この利点を利用することで、いわゆるPDCAサイクル(Plan計画→Do行動→Check評価→Act改善)を速く行うことが可能となる。

用いるレゴブロックはレゴ社のサイエンス&テクノロジーモーター付基本セットである。図-16にこのセットの内容物の模式図を示す。このセットには、モーターを含む396のパーツが含まれ、18種のメインモデルおよび37種の原理解習用基本モデルを組み立て説明書が含まれている。

創造的発想を具現化するために、「結びつける」の段階は重要である。自らの体験で既に知っていることとこれからやろうとすることを結びつけることができたとき、学生は、自分の知識として身につけることができる。「組み立てる」段階においては、手と頭の両方を駆使して概念を具体化し、構想が意図されたとおりに機能するかを確認する。この結果について評価し、「よく考え」、グループで「話し合い」、様々なアイデアのもとに、更なる工夫する。このプロセスは、適度に難しいほうが学生にとって楽しく創造的となる。こうした挑戦と達成の喜びを維持することによって、自然とさらに高い目標へと継続的に前進していくことができる。一つの問題に一つの答えではないオープンエンド方式が学びをアクティブにする。

図-17は、レゴブロックを用いた乗り物模型の一例であり、今後、レゴブロックの長所を活かした授業を展開していく。



図-16 レゴ サイエンス&テクノロジーモーター付基本セット



図-17 レゴブロックを用いた乗り物模型の一例

6. まとめ

防災意識とファシリテーションを取り込んだ演習形式のアクティブ・ラーニング型授業を展開することで、学生の主体性・協調性・積極性などを育むことができた。さらには、今後の「創造演習」の授業の展開において、レゴブロックの長所を活かす方向性を示した。

参考文献

- 1) 明石高専：平成 24 年度大学間連携共同教育推進事業 近畿地区 7 高専連携による防災技能を有した技術者教育の構築 近畿地区 7 高専連携シンポジウム報告書，2014.
- 2) 大石加奈子：エンジニアリングデザインに活かすファシリテーション合意形成のトレーニング，工学教育，pp. 53-56，2009.

電力変換器高効率化に向けた誤点呼解析

A Study on Self Turn-on Phenomenon for High Efficiency Power Converter

鳥居なぎさ¹・七森公碩¹
Nagisa TORII and Kimihiro NANAMORI

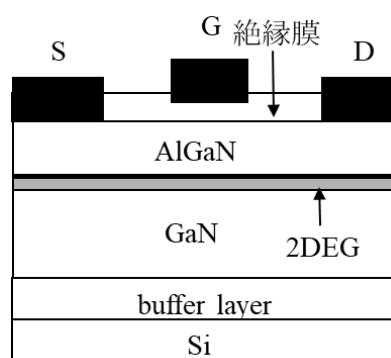
1. 研究目的

災害時に最も重要であるのは情報を得ることであるため、携帯電話等の情報端末の充電が非常に重要である。さらに、限られた電力でより多くの電子機器を高速に充電するためには電力変換器の高効率化・高電力密度化が必要不可欠である。そこで新素材半導体であるGaN（窒化ガリウム）が注目を集めている。GaNデバイスは従来まで使用されてきたSiデバイスに比べ高効率で高速駆動を実現可能なデバイスである。高速駆動可能なため、高効率化だけでなく小型・高電力密度化にも期待が寄せられている。一方で誤点弧と呼ばれるGaNデバイスの誤動作が問題となっており、実用化に向けた課題となっている。本研究ではこの誤点弧発生の一要因をシミュレーションにて特定し、実機検証を行った。

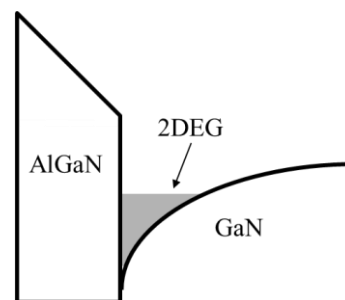
2. GaNデバイスの特性

高周波スイッチングデバイスとして使用されているGaNデバイスは、GaN HEMT (GaN High Electron Mobility Transistor) と呼ばれる電圧駆動型デバイスである。GaN HEMTは図-1 (a) のようにGaNとAlGaNをヘテロ接合した横型デバイスである。GaNとAlGaNは格子定数が異なるため、接合すると結晶が歪み、歪分極が発生する。このため、GaNのバンドが大きく湾曲し、図-1 (b) のように溝が形成される。溝には濃度の高い電子が存在し、これを二次元電子ガス (two Dimensional Electron Gas: 2DEG) と呼ぶ。この二次元電子ガスによって電子の高速移動が可能となり、SiやSiCよりも高速なスイッチングをすることができる¹⁾。

GaN HEMTはその構造上、電圧が印加されていない場合でも電子が移動可能である。つまりノーマリーオン型のデバイスである。しかしパワーデバイスはフェイルセーフが求められるため、ノーマリ



(a) GaN HEMTの構造



(b) 二次元電子ガス (2DEG) のイメージ

図-1 GaN HEMTの構造 ²⁾

ーオフ型である必要がある。そのため現在ノーマリーオフ型のGaN HEMTが開発、製造されている。

また、GaN HEMTはドレイン・ソース間にボディダイオードを持たないがゲート・ソース間にボディダイオードを持つことが特徴として挙げられる²⁾。また、Si MOSFETはボディダイオードを持つため、リカバリ時にソースからドレイン方向へ一定の逆方向電圧が印加されるのに対し、ボディダイオードを持たないGaN HEMTは、逆方向に電流が流れる逆導通特性が存在する。逆導通特性とは、 V_{gs} に閾値電圧が印加され、スイッチがオンするとドレインからソースに電流が流れるが、 V_{gs} に閾値電圧が印加されない場合において、逆電圧が印加されるとソースからドレインに電流が流れる特性である。

¹⁾舞鶴工業高等専門学校 電気情報工学科

3. 誤点弧

誤点弧とは本来オフ状態である期間にスイッチがオンになる現象である。ハーフブリッジ回路など2つのスイッチを直列に接続した構造の場合、片方のスイッチで誤点弧が起こると、上下のスイッチが短絡し大電流が流れる。その結果、熱暴走によるスイッチの破壊を引き起こす。誤点弧の発生は回路内の寄生インダクタと寄生容量による電圧振動によって引き起こされる。主に、スイッチング遷移期間後に発生しやすく、スイッチング時の高 dv/dt により、回路内寄生成分の電圧が誘起され電圧振動が発生する。また、スイッチの寄生容量のうちスイッチのオン・オフに関わるゲート・ソース間容量 C_{gs} である³⁾。そのため、 C_{gs} に電圧が印加されることで誤点呼が発生する。

続いて、スイッチング遷移による誤点弧の発生プロセスを示す。ターンオフ時の遷移時間が短い場合つまり高 dv/dt の場合、**図-2**のように① V_{ds} の急峻な変化が発生。②オフする直前まで流れていたドレイン電流が C_{ds} 、 C_{dg} へ転流し、各容量を充電する。③ゲート抵抗 R へ電流が流れるため、電圧 V_r が発生する。キルヒホッフの法則により、 V_r はゲート抵抗に並列接続される C_{gs} にも同様に印加されるため、 V_r が閾値電圧を超えるとスイッチがオンとなり誤点弧となる⁴⁾。

また、回路内には回路パターン配線等に寄生インダクタが存在し、それらの寄生インダクタの起電力は次の(2)式で表される。

$$V_L = L \frac{di}{dt} \quad (2)$$

(2)式から、回路内寄生インダクタンスが微小であっても、スイッチング速度が早い場合、オン・オフの遷移時間が短くなるため、 dt 部分が小さくなる。すなわち、大きな起電力が発生する。よってスイッチング遷移時間 dt が小さいほど寄生インダクタに発生する起電力が無視できなくなるため、GaNデバイス等で高速スイッチングを行う際は寄生インダクタを含めたスイッチング動作を考える必要がある⁴⁾。

4. シミュレーション

4. 1 シミュレーション方法

シミュレーションにて誤点弧の発生を検証した。今回使用したGaNデバイスは誤点弧発生の要因特定のため、低電圧で実験可能なGaNSystem社のGS61008Pである。**表-1**に各デバイスのドレイン・ソース電圧、寄生容量、閾値電圧、オン抵抗を示す。デバイスは簡易的なモデルであるLv1で行い、シミュレーションソフトにはアナログ・デバイス(旧：リニアテクノロジー)社製LTspiceXVIIを用いた。**図-3**にシミュレーションで用いたハーフブリッジ回路を示す。ハーフブリッジ回路とは、2

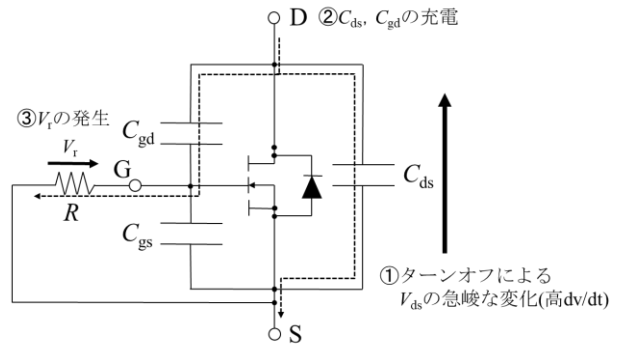


図-2 高 dv/dt による誤点弧

表-1 GaNデバイス特性

| 使用素子型番 | GS61008P | |
|-------------|-----------|----------|
| ドレイン・ソース間電圧 | V_{ds} | 100[V] |
| 入力容量 | C_{iss} | 590[pF] |
| 出力容量 | C_{oss} | 280[pF] |
| 帰還容量 | C_{rss} | 12.4[pF] |
| 閾値電圧 | V_{th} | 1.3[V] |
| オン抵抗 | R_{on} | 7[mΩ] |

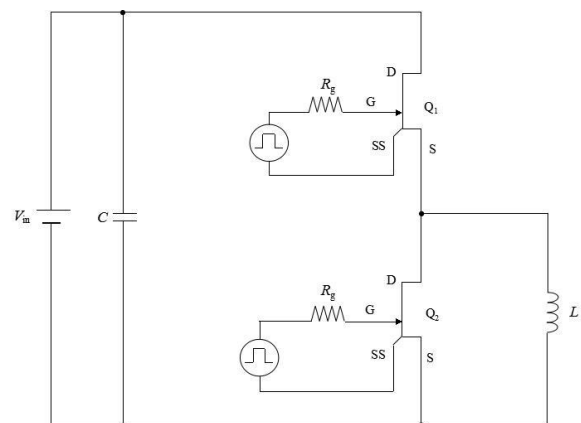


図-3 ハーフブリッジ回路

つのパワーデバイスを直列に接続した回路である。この回路はハイサイドスイッチ Q_1 、ローサイドスイッチ Q_2 の一方がオンのとき、もう一方はオフになる。代表回路に同期整流回路があり、同期整流回路は、ボディーダイオードの導通時間を減らせるため、非同期の回路よりも効率が良い。GaN HEMTは構造上ボディーダイオードが存在しないため、逆方向電流を流す際はGaNの逆導通特性を利用する場合がある。しかし、GaNの逆導通は高い電圧降下が発生するため大きな損失が発生する。そのため、逆導通を用いたハーフブリッジ回路を構成する際には同期整流回路適応による効率改善効果は大きい。また、 Q_1 、 Q_2 が過渡時に同時にオンになることを防ぐため、デッドタイムを設ける必要がある⁵⁾。

ここでハーフブリッジ回路の動作を図-4に示す。まず①では Q_1 がオン、 Q_2 がオフである。このとき電流は Q_1 とインダクタの経路を通る。②ではデッドタイムのため Q_1 、 Q_2 共にオフとなる。このときインダクタに蓄積された電流はGaNの逆導通特性が表れ、 Q_2 に逆方向電流が流れる。③では Q_1 がオフ、 Q_2 がオンとなる。このときも電流経路は②と同様である。また、④も②と同様にデッドタイムとなり、電流経路も②と同様である。④まで経過すると①へ戻る。これがハーフブリッジ回路の動作である。

次にシミュレーションで用いた回路を図-5に示す。GaNデバイスを用いて高速スイッチングを行うため、パターン配線内に発生する寄生インダクタと配線抵抗も考慮した。

今回は電源としてEMI規格が厳しい車両搭載用の電力変換器を検証対象とした。EMI規格等が厳しい車両での適応を想定することで、情報端末等のアプリケーションへの応用が容易となるためである。そこで、本シミュレーションでは48[V]から12[V]へ降圧するDC/DCコンバータを想定し、その規格に沿うように回路定数を設定した。回路定数を表-2に示す。電気自動車に搭載されるGaNを用いたDC/DCコンバータの周波数は200[kHz]以上が可能⁶⁾であることをふまえ、本研究では300[kHz]に焦点を当て、スイッチング周波数は300[kHz]とした。出力を500[W]とし、スイッチに流れる電流値 I_d を(3)式で求めた。

$$I = \frac{P}{V} [\text{A}] \quad (3)$$

また通流率 α を(4)式から求め(5)式に代入することでオン時間 t_{on} を導出し、 L を(6)の式から算出した。

$$\alpha = \frac{V_{out}}{V_{in}} \quad (4)$$

$$t_{on} = \alpha t [\text{ns}] \quad (5)$$

$$L = \frac{V_{in}}{\Delta i} t_{on} [\mu\text{H}] \quad (6)$$

また、ゲートループ内の寄生インダクタ L_g が誤点弧に作用するか検証するため、ソースとドレインの寄生インダクタ L_d 、 L_s が無視できる程度の値とした。

シミュレーションにはダブルパルス試験を採用した。ダブルパルス試験とはゲート信号を2パルス入力することでスイッチのターンオン・ターンオフ特性を模擬することが出来る試験でデバイスメーカー等が多く採用している試験方法である⁶⁾。ダブルパルス試験にて、ハイサイドおよびローサイド駆動電圧 V_1 、 V_2 とハイサイドおよびローサイドゲート・ソース間電圧 V_{gs1} 、 V_{gs2} を測定する。また、誤点弧が発生しているか確認するためドレイン電流 I_d を同時に測定する。

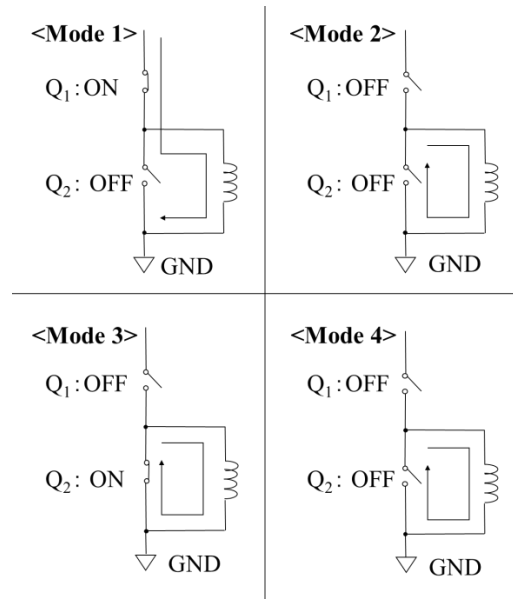


図-4 ハーフブリッジ回路の動作

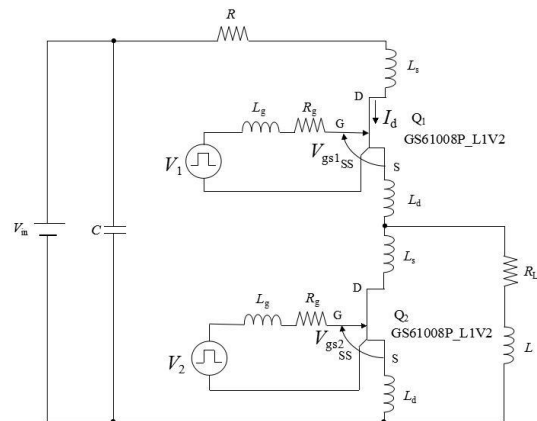


図-5 シミュレーション回路

表-2 回路定数

| 入力電圧 V_{in} | 48[V] | 入力電流 | 10.4[A] |
|------------------|------------------|-------------------|-----------------|
| スイッチング周波数 f | 300[kHz] | ハイサイド駆動電圧 V_1 | 6[V] |
| 通流率 α | 0.25 | ローサイド駆動電圧 V_2 | 6[V] |
| 入力キャパシタ C | 3300[μ F] | ゲート抵抗 R_g | 0.6[Ω] |
| 配線抵抗 R | 0.01[Ω] | 配線抵抗 R_l | 0.1[Ω] |
| ゲート寄生インダクタ L_g | 20[nH] | ドレイン寄生インダクタ L_d | 0.1[nH] |
| ソース寄生インダクタ L_s | 0.1[nH] | 負荷インダクタ L | 3.96[μ H] |

4. 2 シミュレーション結果

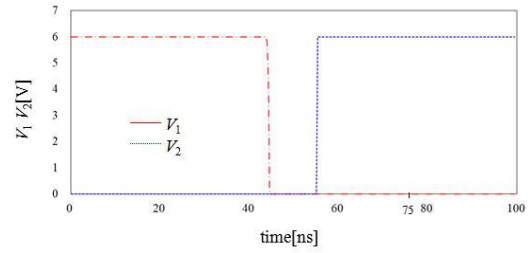
図-6に L_g が20[nH]時のシミュレーション結果を示す。図-6(a)の75[ns]時に注目すると V_1 はオフ状態、 V_2 はオン状態である。このとき、図-6(b)の同時刻の波形は、 V_{gs1} が急激に上昇し、GS61008Pの閾値電圧 V_{th} である1.3[V]を超えている。また I_d も V_{gs1} が V_{th} を超えた後、約17[A]の大電流が流れていることが分かる。オフ状態のハイサイドスイッチ Q_1 に電流が流れていることから、ハイサイドのスイッチ Q_1 が誤点弧を引き起こしていると言える。

4. 3 寄生インダクタンスの影響

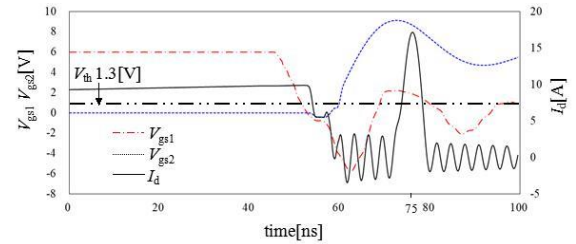
前項の結果より、20[nH]の低ゲートインダクタンスでも誤点呼が発生することが確認された。そのため、 L_g を増加させることで、誤点弧が発生する閾値を検証した。図-7は L_g のみを変化させたときのターンオフ時における V_{gs1} と I_d のピーク値の関係を示したグラフである。図より V_{gs1} は約7[nH]で V_{th} に到達している。しかし I_d は値がほぼ変化しておらず、さらに L_g を増加させると約15[nH]で I_d の傾きが増加していることが分かる。すなわち、ハイサイドスイッチ Q_1 が、 $L_g=15$ [nH]で誤点弧を引き起こしていると考えられる。 L_g が5[nH]の際に、 V_{gs1} が V_{th} を超えていても、 I_d が変化しない原因として電圧測定ポイントとスイッチ内部のゲート・ソース容量 C_{gs} 両端電圧との差が考えられる。本シミュレーションで使用したスイッチのスパイスモデル内の簡易回路図を図-8に示す。スパイスモデル内にはゲート抵抗 R_g が含まれている。 R_g はオームの法則により、電流が流れると電圧 V_r が発生する。本研究で測定した V_{gs1} は、スパイスモデル外のゲートおよびソース端子間部分である。そのため、 V_r と V_{gs} が直列になることで、電圧が分圧され、測定した V_{gs1} が閾値電圧に達していても、スイッチングに影響を及ぼす C_{gs} の両端電圧は閾値電圧に到達していないことが考えられる。

4. 4 シミュレーションLv3

4.1のシミュレーションではGaN Systemsの提供するデバイスモデルのLv1のデバイスを用いた。しかしLv1のデバイスは簡易的なシミュレーションに用いられるもので、内部の寄生インダクタ及びパッケージの熱モデルが考慮されていない。よって4.4節では寄生インダクタ及びパッケージ内の熱を考慮しているLv3のデバイスを用いて誤点弧が発生するか検証する。回路定数はLv1と同等である。図-9にLv3でのシミュレーション結果を示す。誤点弧が発生した時間や V_{gs1} が急激に上昇する現象はLv1と同様である。異なる点は I_d や V_{gs1} 、 V_{gs2} が誤点弧後に振動している部分である。これはLv3デバイスモデル内に含まれる寄生インダクタ成分とスイッチの寄生容量による共振現象から発生した電圧振動である。



(a) V_1 および V_2 波形



(b) V_{gs1} 、 V_{gs2} および I_d 波形

図-6 $L_g=20$ nH時のシミュレーション結果

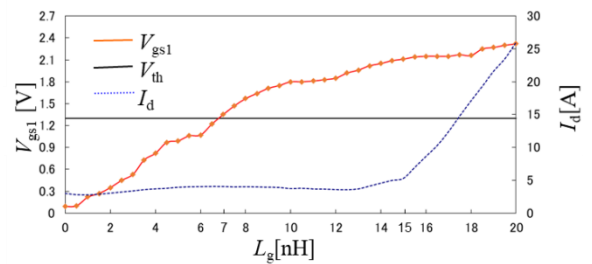


図-7 L_g と V_{gs1} の遷移

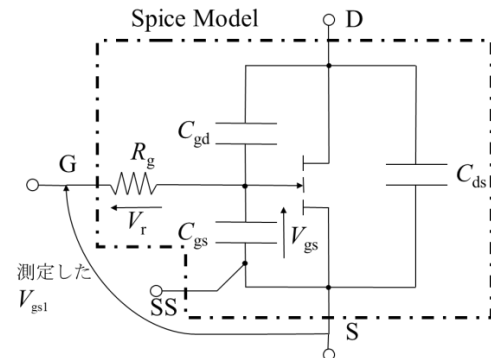


図-8 測定点 V_{gs1} とスパイスモデル内 V_{gs} の関係

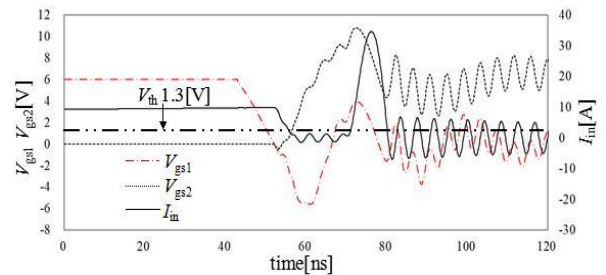


図-9 GS61008P (Lv3) シミュレーション結果

5. 実機検証

5. 1 実験方法

シミュレーションで誤点弧を確認できたため実機での誤点弧発生を確認する。図-10に製作した実験回路を示す。等価回路は図-5のシミュレーション回路と同一である。実験に使用した回路定数を表-3に示す。デバイスはGaN Systems社製GS61008P, ゲートドライバはTEXAS INSTRUMENTS社製LM5113を用いた。ダブルパルス測定を行い、測定箇所はハイサイドのゲート・ソース間電圧 V_{gs1} とローサイドのドレイン・ソース間電圧 V_{ds2} , 入力電流 I_{in} を測定した。

また、回路の配線による寄生インダクタは、算出することが困難であるため、共振波形の共振周波数より概算する。寄生インダクタンスは次式により導出する。

$$L = \frac{1}{C \times (2\pi \times f_0)^2} [\text{H}] \quad (7)$$

ここで、式(7)における C は共振ループ全体の寄生容量を示しており、スイッチ内部の寄生容量に相当する。共振ループごとにスイッチの寄生容量の組み合わせが異なるため、共振ループ毎の計算が必要である。なお、式(7)で用いる寄生容量は印加電圧によって変化するため、GS61008Pのデータシートを参照し、 C_{ds} , C_{gs} は表-4のように算出する。

5. 2 実験結果

V_{in} に48[V]印加した時の波形を図-11に示す。 V_{gs1} および V_{ds2} の波形より、スイッチングには成功しているが、波形立ち上がり時にリングングが生じている。 V_{ds2} のリングングは C_{ds2} と C_{ds2} の充電ループ内に生じる寄生インダクタ L_{sc} の共振によって生じる現象である。 V_{ds2} のリングングの振動周波数は、約116.3[MHz]であった。このときの C_{ds2} 充電ループ内に生じる寄生インダクタ L_{sc} を(7)式から算出した結果、 C_{ds2} 充電ループ内に生じる寄生インダクタ L_{sc} は、約6.7[nH]であった。また、この V_{ds2} のリングングは、ハイサイドの V_{gs1} にも影響を及ぼしていると考えられる。図-12に示すように、 C_{ds} から見ると、 C_{gd} , C_{gs} は並列に接続されており、 V_{gs} はオンまたはオフの電圧でクランプされている。そのため、スイッチがオフ状態のときは V_{gs} が0Vとなるため、 V_{gd} は V_{ds} と等しくなる。したがって V_{ds} が振動などによって変化すると V_{gd} にも影響を及ぼす。この V_{gd} の変動によって電流がゲート部へ流入する。この電流がゲート部の寄生インダクタやゲート抵抗を流れることで電圧降下が発生する。よって一定にクランプされていた V_{gs} の電圧が振動すると考える。図-11の場合、オフ状態のローサイドの V_{ds2} が揺れたことによって、オン状態であるハイサイドの V_{ds1} も揺れるため、 V_{gs1} も影響を受けたと考えられる。

表-3 実機における回路定数

| | | | |
|----------|----------------|----------|----------------|
| V_{in} | 48[V] | I_d | 10.4[A] |
| L | 40[μ H] | t_{on} | 8.68[μ s] |
| C | 1300[μ F] | R_g | 1[Ω] |

表-4 寄生容量 C_{ds} , C_{gs}

| |
|-----------------------------------|
| $C_{ds} = C_{oss} - C_{rss}$ [pF] |
| $C_{gs} = C_{iss} - C_{rss}$ [pF] |

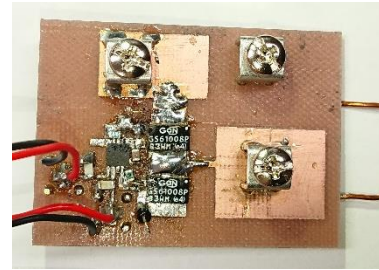


図-10 実機写真

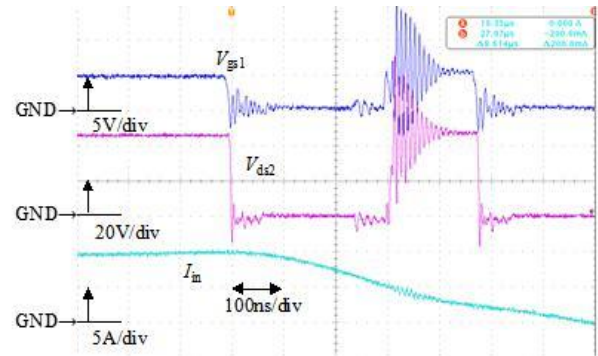


図-11 48V印加波形

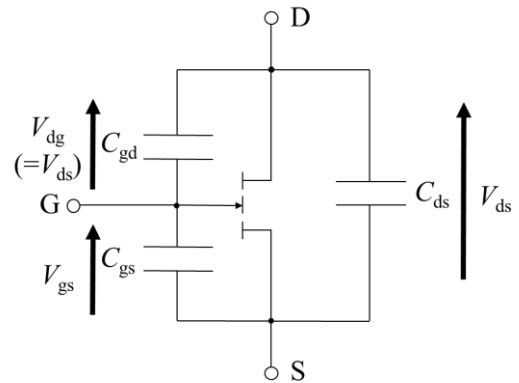


図-12 スwitchの寄生容量と各電圧の関係

続いて、ローサイドゲートループにインダクタンスを付加した際の実機波形を図-13に示す。このときサージ電圧が非常に大きくなったため、 V_{in} は15[V]としている。このとき V_{ds2} の波形が振動していたため、ローサイドゲート電圧 V_{gs2} も同時に測定した。 V_{gs2} は Q_2 のターンオフ後に負電圧が発生し振動している。閾値電圧が1.3[V]に対し、ターンオフ時の振動によって V_{gs2} は約3[V]が印加され、振動

が持続していることから誤点弧が発生していると考えられる。ローサイドが誤点弧した原因として、ローサイドのゲートループに付加したインダクタによるインダクタンス増加が考えられる。このときの V_{ds2} の共振周波数は83.3[MHz]であり、寄生インダクタンスを(7)式から算出した結果、 C_{ds2} 充電ループ内に生じる寄生インダクタンス L_{sc} は6.8[nH]であった。この値は V_{in} に48[V]印加時の同ループ内に生じる寄生インダクタ L_{sc} の約6.7[nH]と非常に近い値となっており、その差は0.1[nH]程度である。 L_{sc} 値が変化していないことから、誤点弧が発生した要因はゲートインダクタンスの増加であると考えられる。また、誤点弧発生時のローサイドゲートインダクタンスをデッドタイム部分より計算したところ、 V_{gs2} の振動周波数は71.4[MHz]、ゲートインダクタンスは約9.3[nH]であった。今回の回路においては約9nHの微小なゲートインダクタンスでも誤点呼が発生した。

5. 3 誤点弧をトリガとした発振現象

誤点弧発生による追現象として、オフ時に一定のピーク電圧を保ったまま発振する場合がある。発振時の波形を図-14に示す。このとき V_{in} は10Vである。ワンパルス目のオン時に発振し、それが収束・発散せずに続いている。この場合もゲート電圧がオフ時の電圧で安定しないため、オン状態が続くことから誤点弧と呼ぶことができる。

この発振現象は、ステップ応答における2次遅れ系の過渡特性(8)式における減衰係数 ζ が0、つまり安定限界であるのではないかと考えられる⁷⁾。

$$P(s) = \frac{K\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (8)$$

これは単位ステップ応答時における回路方程式を解くことによって、発振条件を特定することができる。と考える。

6. 結論

GaNデバイスを用いた誤点弧の解析としてシミュレーションおよび実機検証を行った。この検証によって、誤点弧はゲート配線に生じる寄生インダクタンスが原因の一つであることを示した。また、今回の条件下においてはゲートの寄生インダクタが数nHの増加で誤点弧発生を確認した。

この結果から、GaNデバイスを用いる場合には数nH単位での配線長を十分に考慮することが求められる。

本研究結果をさらに解析し、誤点呼抑制のための条件式を特定することにより、GaNデバイス適応の電力変換器の実用化が促進する。GaN電力変換器の実用化により、災害時の情報端末充電器等の高性能化を実現することが可能となる。よってより多くの被災者に情報提供を行うことができると考える。

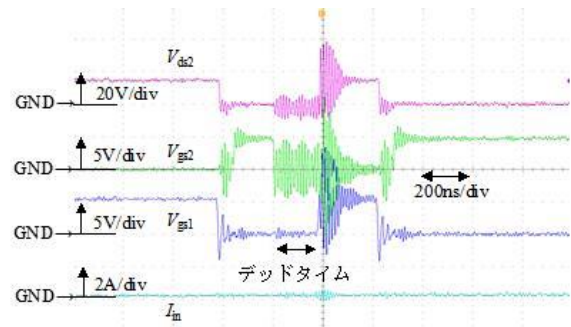


図-13 ローサイド誤点弧

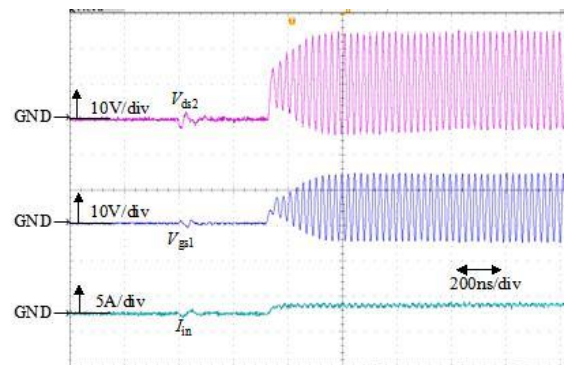


図-14 発振現象

参考文献

- 1) D. Reusch, J. Strydom, and A. Lidow, "A new family of GaN transistors for highly efficient high frequency DC-DC converters," in 2015 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), pp. 1979-1985, 2015
- 2) ROHM 特集：電源&パワーデバイス技術 窒化ガリウム (GaN) パワーデバイス技術 2019. 1. 20参照
https://www.rohm.co.jp/news-detail?newstitle=2012-08-23_2_article&defaultGroupId=
- 3) 李昊烈：図で見てわかる パワーMOSFET<技術と回路>
- 4) 梅上 大勝：半導体デバイスの誤点弧メカニズムに関する解析 2019. 2. 4参照
<https://doi.org/10.1541/ieejeiss.135.769>
- 5) Tech Web 同期整流型と非同期整流型の違い 2019. 1. 25参照
<https://micro.rohm.com/jp/techweb/knowledge/dcdc/s-dcdc/02-s-dcdc/92>
- 6) ダブルパルス試験を用いたPrestoMOSTMのデバイス特性の優位性実証 2019. 3. 27参照
http://rohmf.s.rohm.com/jp/products/databook/applinote/discrete/transistor/mosfet/prestomos_doublepulse_an-j.pdf
- 7) 井上和夫 監修, 川田昌克, 西岡勝博 共著：MATLAB/Simulinkによるわかりやすい制御工学

停電時における情報機器利用手段の検討

THE CONSIDERATION OF COMMUNICATION TOOLS IN CASE AN OUTAGE OF POWER IN THE MAIZURU COLLEGE

能勢嘉朗¹
Yoshiro NOSE

1. はじめに

従来より、災害は身近なものとなっており、最近では地震や台風、豪雨といった災害により大きな被害をもたらされたことは記憶に新しい。

災害発生時、どのようにして被災者に正確な情報を届けるか、また、被災地の情報を公的機関や国民にどのようにして正確に届けるか、情報収集や情報伝達の手段が重要であることはよく話題になっている。

本稿では、本校の情報基盤の変遷と災害対策についての報告と、学内において停電等の災害が発生した場合に情報機器をどのように利用するか、また、その手段についての考察を記す。

2. 災害と通信手段

災害には、気象災害や地震、噴火などの自然災害と、交通事故や火災、原子力事故などの人為的災害があることが知られている。これらの自然災害や人為的災害に関わらず、大規模災害の場合は通信手段が途絶えてしまうことが考えられる。しかしながら、基地局や設備の倒壊、水没、ケーブル断線などを伴わない災害の場合は、携帯電話による通信は可能である（ただし、携帯電話による通信のうち通話は輻輳により困難なことが多く、一方でインターネットは比較的使用が可能であるといわれている）。

では、身近な災害の一つである、地区や建物内で停電が発生した場合、通信環境において起こり得る事象には何があるか。インターネットの利用という観点から考えると、自宅ではONUやルータの停止、PCの停止、地域においてもネットワーク機器の停止やフリーWi-Fi機器の停止、企業・公的機関では構内ネットワーク機器の停止、などが発生し、当然のことながらインターネットを利用することができないといった影響が考えられる。携帯電話等のキャリア回線については、仮に基地局や

交換局の機器が停止することになると影響は広範囲におよび、われわれ一般ユーザーへの影響は非常に大きいと考えられる。

3. 対策の例

Wi-Fiに関する大規模な災害対策例として、00000JAPAN（ファイブゼロジャパン）がある。これは、大規模災害時に通信事業者などが無料で開放する公衆無線LANアクセスポイントやそのサービス名である。災害時には有効活用されることが期待されるが、「誰でも簡単に使用できる」ことから通信が暗号化されておらず、これを悪用した偽アクセスポイントによる盗聴などが可能なため、漏洩して困る情報のやりとりはしないよう、内閣府から注意喚起されている一面もある。

00000JAPANのガイドラインによると、「一方で、携帯電話事業者は災害に強いネットワークとして、携帯電話ネットワークの改善にも取り組んでおり、例えば複数の基地局が停止しても広範囲にカバーする大ゾーン型基地局の設置により、なるべく通信を途絶させない措置を講じている」とあり、3G、4G、LTEなどのキャリア回線は停電に強くなってきていることが伺える。

また、一般利用者の立場としては、バッテリーを有するスマートフォンやノートPCといった情報機器があれば、一定時間利用することができる、というのは容易に想像できる。

これらをふまえ、停電時にインターネットを利用するための、現実的な対策として何があるか考えてみたい。キャリア回線が無事であるという前提であれば、自宅においてはモバイルバッテリーや手回し発電機等の非常用電源を確保しておく、地域においては同様に非常用電源の確保に加え避難所で利用できるモバイルルータがあるとよいだろう。企業・公的機関においても同様に非常用電源の確保、あるいは発電設備の構築が有効であると考えられる。

¹舞鶴工業高等専門学校 教育研究支援センター

4. 本校の現状と対策

4.1 本校の情報基盤の変遷と障害対策

本校では、情報科学センターを中心として校内の情報基盤の整備、構築、運用がなされてきた。平成2年に導入されたCOSMOSシステムにより、センターと各学科、研究室、実験室等が相互に接続され、UUCP接続により学外インターネットに接続されていた¹⁾。平成8年にはATMによる光ファイバ網が導入され、専用回線による京都大学大型計算機センターへの接続がなされ、インターネットサービスが利用されてきた²⁾。サーバについても古くからメールサーバ、webサーバ、DHCPサーバ、ニュースサーバ、NFSサーバ、DNSサーバ、NISサーバなどが構築、運用されてきた。

平成14年には通称「ギガビットネットワークシステム」が導入され（図-1）、画像や動画などのマルチメディアに対応した情報端末の利用、教育、研究を進めるにあたり、データ転送速度が問題となり、校内の基幹LANはギガビットネットワークに増強された³⁾。旧来のATM回線は二重化やバックアップ回線として残され、障害や災害への対策もなされている。ネットワーク構成は、情報科学センターを中心として各建屋まで接続されるいわゆるスター型で、ネットワークスイッチはセンタースイッチ、フロントスイッチ、エッジスイッチにより構成される。現在もこの構成は大きく変わらず、現在も運用中であるギガビットネットワークの原型が確立されたといってもよい。センタースイッチにはルーティング等の処理が集中するため、また、故障により建屋間の通信が不可となってしまうため、センタースイッチには高機能な機器が導入されている。

その後、8年間使用したネットワークスイッチ類の更新を経て、後述する高専統一ネットワークの導入へと進んでいく。この間、メールサーバやDNSサーバ、webサーバ、proxyサーバなどのサーバ群も幾度となく更新されている。平成19年には仮想サーバを導入し、物理サーバを増やさずにサーバを増やすことにより、省スペース省エネを実現している（図-2）。仮想サーバの導入はその後も続き、平成25年と平成31年の更新においても導入され、サーバを停止することなく物理サーバ間を仮想サーバが移動する機能により、冗長性と耐障害性を高めている（図-3）。一方で、近年の仮想化技術の発達やクラウドサービスの充実に伴い、高専機構においてもクラウド化の機運が高まり、学内のサーバを削減する方向で進んでいる。このため、平成31年の更新では、物理サーバを大きく減らすこととなった（図-4）。

旧来よりUPSを導入しており、停電時にはシステムが正常にシャットダウンされるが、サービスは停止することとなる。

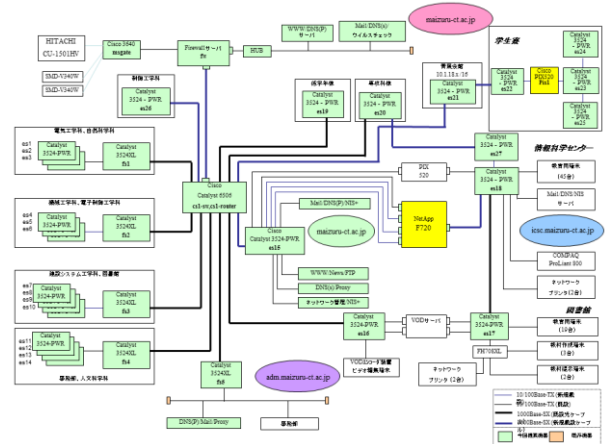


図-1 平成14年ネットワーク更新

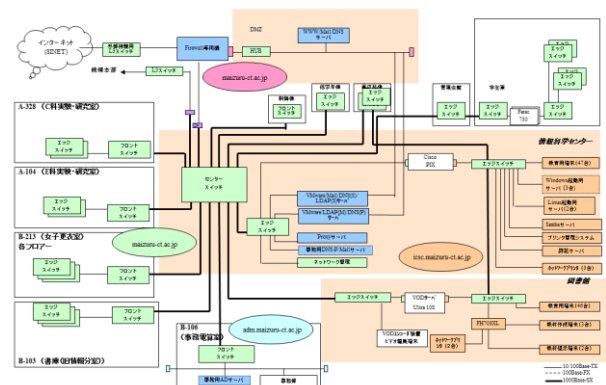


図-2 平成19年サーバ更新

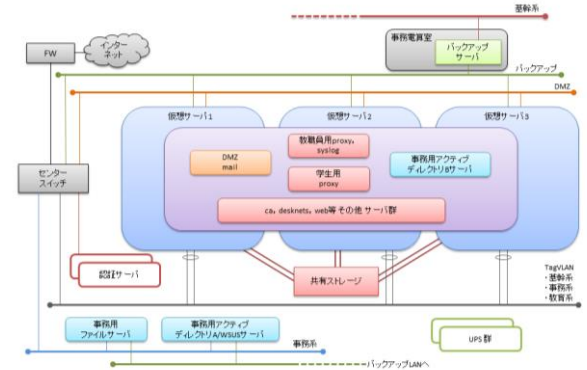


図-3 平成25年サーバ更新

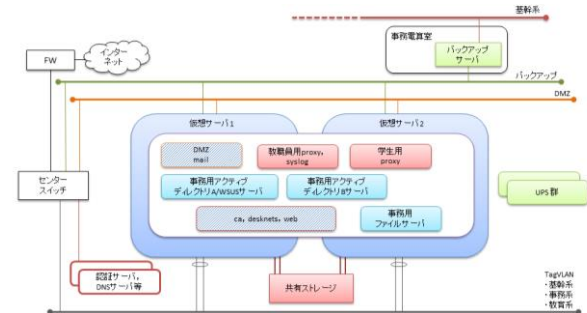


図-4 平成31年サーバ更新

4. 2 高専統一ネットワークについて

前述の本校独自調達のシステムとは別に、平成29年8月、高専統一ネットワークシステムが導入され、新しいサーバの設置やネットワークの切り替えが実施された。従来、国立高専における情報基盤は、各高専が独自に予算を確保するか、あるいは補正予算等の不定期な措置にて個別で調達し、構築を行ってきた。高専ごとに異なる個性あるシステムになる一方で、1法人として見たときの経費の重複、管理者の属人化、技術や情報を共有できない、情報セキュリティレベルのばらつき、などの課題があった。これらの課題を解決するため、国立高専機構では平成21年から校内LANシステム更新計画を策定し、情報基盤に関する整備方針が打ち出された。これは、全国の国立高専が同一レベルの、ある程度統一されたネットワークシステムを導入できるよう、また、スケールメリットを生かし導入コスト・運用コストを削減するため、システムを一括で調達しようとするものである。これに先立ち、まずはLDAPとID管理を中心とした高専統一認証基盤とファイアウォールが平成23年度に一括調達され、全高専に設置された⁴⁾。その後、さらに規模を大きくし統一性のある情報基盤を整備するべく、国立高専の多くのサーバとほぼ全てのネットワークを機構として一括調達し、平成30年度から運用を開始することとなった。これは「高専統一ネットワークシステム」と呼ばれ、数年間の準備期間を経て導入されたシステムである。なお、本校で言うところの教育用電子計算機システム、いわゆるPC演習室のシステムは、本システムでは調達範囲外となった。

高専統一システムの全体概要図を図-5に示す。図の網掛け部分が導入された機器を示す。

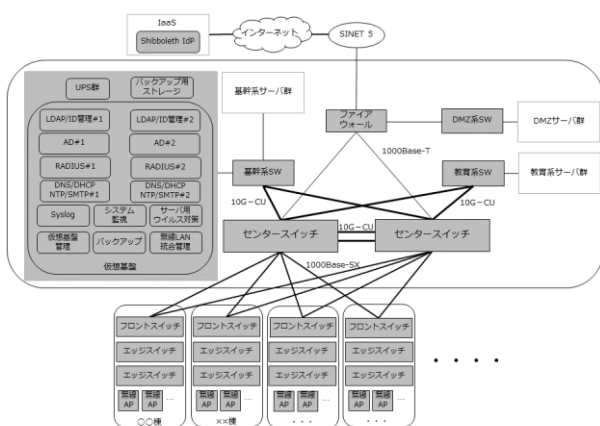


図-5 導入された高専統一ネットワーク

本システムの整備に関する基本方針のうちネットワーク整備に関する基本方針は、ネットワーク構成の標準化、外部アクセス回線の最適化、ネッ

トワークスイッチの標準化、通信ケーブル敷設の改善、無線LAN導入の標準化、の5つである。「通信ケーブル敷設の改善」については、平成11年度～14年度に敷設され老朽化した光ケーブルを改善するために、平成27年度に再敷設を行い、耐障害性を向上させている。また、「無線LAN導入の標準化」に関わり、アクセスポイント設置予定箇所までのUTPケーブル敷設も、まとめて実施した。「外部アクセス回線の最適化」に関しては、平成27年度に近畿地区で共同調達し、同年度末に切り替えを行い、SINET 5京都DCへの回線が、それまでの京都デジタル疎水経由ではなく専用回線となっている。

本システム導入により、全国立高専でネットワーク構成が標準化されている。本校における旧構成との主な違いは、センタースイッチが2台（Active-Activeの冗長構成）になったこと、センタースイッチから各建屋間すべてが1Gbpsの二重化で2Gbpsを確保されたことなどである。センタースイッチ、フロントスイッチ、エッジスイッチの3階層モデルである点は、旧構成とほぼ同じである。なお、標準化に伴って大規模工事が必要となった高専もあると聞いているが、本校の旧構成は今回の標準構成に近いものであったため、比較的安価に小規模工事で済んだ経緯がある。学内の部屋の有効活用の観点から、フロントスイッチの設置場所を一部統合している。空いたラックを撤去することにより、今まで設置されていた部屋をフルで活用できるようになった。

他の大きな変更点として、自学自習環境の整備およびアクティブ・ラーニングの推進支援を目的に、無線LAN環境も導入され、各高専にアクセスポイント40台とコントローラが設置された。本校では、全クラスルームと一部の特別教室を中心に配置されており、教職員向けネットワーク、学生向けネットワークをそれぞれ異なる認証方式により提供中で、将来的にはゲストネットワークも提供したいと考えている。

サーバおよびサービスの共通化、集約化に関する基本方針は、サーバの一括調達、サービスの本部集約化、サービスのクラウド化、の3点である。この基本方針に基づき、導入されたサーバおよびサービスは、仮想サーバ（LDAP、ID管理、Active Directory、RADIUS、内部DNS、DHCP、NTP、SMTP、Syslog、システム監視、サーバ用ウイルス対策、仮想基盤管理、バックアップ、無線LAN統合管理）、バックアップ用ストレージ、UPS、およびクラウド上のIaaSを利用したShibboleth IdPである。メール、ウェブ、プロキシ、事務系サーバ等、本校の基幹となるサーバ群は調達外であった。

本校担当の作業としては、旧システムのユーザーデータ調整と移行、LDAPを参照する本校全サーバの設定変更、メールサーバIPアドレス変更

に伴う設定変更，DNS切り替えに伴う設定変更，教育用電子計算機システムActive Directory連携の設定変更等があった。時間はかかったが、致命的な不具合や障害もなく、無事に終えることができた。フロントスイッチ設置場所統合に伴い50本近く成端し直したネットワークに関しても、利用者から不具合の報告はなかった。

直近の障害で大きなものとして、各種仮想マシンのイメージやログ、バックアップを保存するストレージサーバがダウンするという障害が発生した。幸い、業務に支障をきたすサーバ類はなく、後日機器交換により復旧した。その他には、仮想マシンを束ねるメインのサーバがダウンする障害が3回発生している。冗長構成のため致命的ではなかったものの、セカンダリDNSに切り替わった後インターネット接続等の応答が遅く、利用者には若干の影響があった。本件については機器固有の障害であり全国で発生している。その後対応策が提示され、早急に対応を済ませた。本格運用に向けた課題は、無線LAN環境の調整であった。テスト運用を経て、教職員向け無線LANと学生向け無線LANの運用を4月から開始することができた。平成31年度末にはさらにアクセスポイントを別途調達し、ほぼ本館棟全域で利用できるようエリアを拡張した。

この大規模なネットワークシステムの更新作業において、利用者にとっては更新前後で特に変化は感じられないかもしれない。学内の通信速度向上も体感するのは困難かと思われる。強いて言うなら、広範囲に安定した無線LAN環境を便利に使用することができるようになった点が、大きな変化かもしれない。また、目に見えない部分で言うと、センタースイッチの冗長化等、ネットワーク構成は確実に障害に強い構成になっている。

4.3 メールシステムの見直しと更新

SNS等のさまざまなコミュニケーションツールが生まれ、利活用されている中で、メールによるコミュニケーションも未だに重要なツールとして利用されている。本校においても例外ではなく、メールが停止すると教育研究活動や業務に著しく支障をきたす。これまで、災害時の停電だけでなく電気設備点検のための計画的停電においても、メールを停止する必要がある、機構本部経由の他高専への周知やホームページにより停電の時間帯を避けるようアナウンスしていた。一般的なメールサーバであれば、送信先メールサーバが停止していた場合はある程度再送が試みられ、復電後接続可能になったタイミングでメールサーバに届けられる仕様のものがほとんどであるが、中にはこのような仕様でないものも考えられ、メールの取りこぼしが無かったとは言えない状況であった。また、学外からメールを利用するにあたっては、以前は転送設定での利用が大半であったが、あら

ゆるメールが一瞬で外部組織にコピーされることと、意図しない転送が発生するという事故があったため、転送を禁止としwebメールサーバを用意して運用していた。しかしながら、webメールサーバの使い勝手、メインのメールサーバとは別のインターネットに公開されたwebメールサーバの管理、依然として残る転送設定、などの問題があった。

そこで、本校ではこれまでオンプレミスで運用してきたメールサーバを、災害対策とセキュリティ向上のため、外部サービスへの移行を計画した。たくさんの外部サービスがある中、国内データセンター使用が保証されていること、他高専での利用実績があること、教育機関向けは無償であること、大手であること、切り替えがスムーズであること、などの理由から、Microsoft Office 365 A1を導入することとなった。

移行に際しては、以下の点を重点的に検討しながら計画とテストを行った。テストのため予めOffice 365 A1を契約し、maizuru-ct.ac.jpドメインの追加までを行っておいた。

(1) シームレスな切り替え

本校では大半の教職員が手元のPCからPOPアクセスにてメールを利用しているため、利用者の環境変化が少なく済むよう、POP利用を主軸に学内へ展開することとした。学内からのメーラーによる送受信の際はSSLやTLSといった通信が必須であるため、ファイアウォール等学内ネットワーク機器の設定を変更し、ThunderbirdやOutlook、Apple Mailなどの著名なメーラーでのテストを行った。この段階では、特定の環境下でWindowsの更新プログラムが必要である場合や、SSL/TLSに非対応のマイナーなメーラーがあることが判明した。いずれも少数であると思われたため、パッチ適用やメーラーの乗り換え依頼等、個別対応することとした。

また、メールシステムの切り替え時には、スムーズに進むよう、かつメールの取りこぼしが起きないようにする必要があった。基本的には学外へ公開しているMXレコードを書き換えるだけで数時間～数日後にはメールの流入先が変更され、取りこぼしはおきないのだが、オンプレの旧メールサーバの撤去日から逆算し、旧サーバからPOP取得できる期間を設けながら各自メーラーに新サーバ用設定をする必要がある、手順書やアナウンス文の作成に苦労した。切り替え時期の3月は出張等で不在の教職員が多く、移行期間が短かったこともあり若干の混乱があった。夏休みあるいは年末年始から長めの移行期間を設け、余裕のある計画にすれば良かったと反省している。

(2) 乗っ取りや不正アクセスへの対策

大学等教育機関において、Office 365のアカウント乗っ取りや不正アクセスによるインシデントが発生していることを耳にしている。ニュースにもなっており、いくつかの事例はネットの検索で

もヒットする。スパムメールの大量送信に利用されたり、知らぬ間に転送設定され外部に情報が漏洩していた、というパターンが多い。これらの原因として、他サービスで同じユーザー名・パスワードを使いまわしておりそれが漏洩したケース、そもそもパスワードが単純すぎたケース、などが考えられる。このようなインシデントを防ぐため、多要素認証を必須化することとした。利用者はユーザー名とパスワードに加え、スマホや携帯電話の専用アプリやSMSにてコードを取得し認証を完了させる。これだけでも若干煩雑になるのだが、メーラーでの設定がさらに煩雑であることに気づくこととなった。他要素認証非対応のメーラーの場合、サインインパスワードとは別途「アプリパスワード」と呼ばれるパスワードを取得し、メーラーに設定しなければならない。以上のように、利用者の利便性を損ねることになるので悩ましい選択であったが、本校ドメインを用いる重要な基幹サービスの一つであることから、また、一般向けサービスでも多要素認証が進められていることなどから、導入に踏み切った。

(3) 事務職員メールアドレスの見直し

本校事務部では、係名の付与されたユニークなアドレスを事務職員個人が使用してきた。人事異動の際に前任者のメールアドレスを簡単に引き継げるといったメリットがある一方で、係内で情報が共有されにくい、係名アドレスのアカウント管理が煩雑である、などのデメリットがあった。そこで、他高专でも取り入れられていることの多い、個人名アドレス+係共通アドレスでの運用に切り替えた。係共通アドレスは転送設定ではなく、共有メールボックスという機能を用いて発行し、事務職員各個人のメーラーに設定してもらった。係内での情報共有は進んだものの、以前より増加した受信メールを効率よく取捨選択する必要があり、運用方法を検討してもらっている。

(4) 現行メーリングリストの移植

利用者に変化を感じさせないシームレスな移行を実現するにあたり、メーリングリストやエイリアスも移植する必要があった。オンプレの旧メールサーバでは、メーリングリストをfmlにて、エイリアスをPostfixのaliasesファイルにて運用してきた。それぞれの機能を、Office 365の配布リストやルール、エイリアスといった機能を利用することにより移植した。

(5) メール転送の禁止と学外からの利用

個人の設定によるメールの学外転送を禁止とし、学外からの利用についてはブラウザ上で動作するOutlook on the webや、スマホ用アプリケーションを利用してもらうようにした。従来のwebメールと比べ、使い勝手や安定性、安全性は格段に向上している。

移行後は、サーバ管理のためのアラートメールの不着等があったものの、大きなトラブルはなくシームレスに移行することができた。

一方で、簡単かと思われた移行作業は以上のように苦勞する点も多く、利用者の方にも負担をかけるものとなってしまった。しかしながら、学外サービスへと移行したことにより、学内停電時においても情報端末の電源を確保することができればメールを使用することができるようになり、災害に強いサービスとなった。ただし、外部向けDNSがオンプレミスであるため、まだ完全にクラウドで完結しているとは言えない。現在、今年度中に外部向けDNSも外部サービスへ移行すべく準備を進めているところである。

4. 4 ホームページの見直し

本校の公式情報公開の場として、ホームページが公開、運用されている。現在4代目となる本校ホームページは、初代からオンプレミスで運用されてきた。現在稼働中のwebサーバも更新の時期を迎え、設置場所やデザイン、コンテンツを含めそのあり方が議論されている。

静的なhtmlファイルで構成される本校ホームページは、自由度の高さと読み込みの速さといったメリットがある一方、レスポンスデザインでないこと、編集や更新作業が煩雑であるため更新担当者がごく一部に限られていること、電気点検を含めた停電時には情報を発信できないなどのデメリットも抱えている。今後、CMSでの運用や外部サーバの利用などが検討され、学内の災害時にも適切に情報が発信できる仕組みが確立されるであろう。

4. 5 停電時の状況と考えられる対策

現時点で、学内において「停電」という災害が発生した場合について、起こり得る状況と比較的簡易な対策を考察したい。

学内全域が停電すると、サーバ類とセンタースイッチ、各建屋のフロントスイッチ・エッジスイッチなどのネットワーク機器が停止し、各所に設置された無線アクセスポイントや学内ネットワークを利用した外部との通信は不可能となる。当然、バッテリーを持たないデスクトップパソコンも起動させることはできない。

平常どおり利用するには、各建屋や情報科学センターのサーバおよびネットワーク機器を動作させる大規模な電源が必要となる。これには大規模な発電設備が必要であり、導入には大きなコストと時間がかかる。仮にそのような発電設備が導入できたとしても、その電力をまずは学生、教職員、避難者の衣食住に充てるべきであろう。生命の安全が確保されれば、次の段階として例えば情報科学センターの一室のみネットワークを利用できる

よう電力を確保し、ネットワークが利用できる場所として部分的に開放するとよいだろう。

学内の発電設備がない場合、低コストで最低限の環境を整えるのに必要なことは、モバイルルータとプリペイドSIM、廉価な発電機をそれぞれ複数確保しておくことではないだろうか(図-6)。プリペイドSIMには面倒な手続きが不要なものがほとんどであり、これとモバイルルータを組み合わせることにより、すぐに複数人が使用することができる。また、ガソリンやソーラーによる発電が可能な廉価な発電機を確保しておくことにより、スマホやタブレット、モバイルルータの充電に備えることができる。



図-6 ポータブル電源とモバイルルータ

本校は、学生や教職員、または地域の方の避難所として利用されることも想定されている。前述の発電機に加え、Raspberry Piに代表されるシングルボードコンピュータと汎用液晶ディスプレイを組み合わせることにより、省電力の情報掲示板を構築することができる。Raspberry PiではLinux等のOSを動作させることができ、一般的なPCの操作によりディスプレイに種々の情報を表示させることが可能である。また、簡易サーバとしても利用できることから、グローバルIPアドレス付きSIMとRaspberry Pi用のLTEモジュール(図-7)を使用することにより、全国や世界へ情報発信できるサーバにすることも可能である。



図-7 Raspberry PiとLTEモジュール

5. おわりに

本稿では、本校の情報基盤の変遷と災害対策についての報告と、学内において災害時に情報機器をどのように利用するかについて考察した。引き続き、ポータブル電源やモバイルルータ、Raspberry Piなどの機器について、有用性を検証していきたい。

参考文献

- 1) 森 和義, 山根 敏, 戸田尚宏: 学内LAN-学外インターネット接続と利用環境, 舞鶴工業高等専門学校情報科学センター年報, 第22号, pp.110-123, 1994.
- 2) 池野英利: 校内LAN整備の方針と機器構成, 舞鶴工業高等専門学校情報科学センター年報, 第24号, pp.83-95, 1996.
- 3) 片山英昭: ギガビットネットワークシステムの導入と機器構成, 舞鶴工業高等専門学校情報科学センター年報, 第30号, pp.169-174, 2002.
- 4) 伊藤 稔, 能勢嘉朗: 機器運用・セキュリティ部門報告, 舞鶴工業高等専門学校情報科学センター年報, 第41号, pp.47, 2013.

原子力の基礎

小林洋平¹

1. 核燃料

天然に存在する核分裂性物質は、 U^{235} のみである。天然ウランの中に0.71%含まれている。残りは、 U^{238} でありこれはほとんど核分裂しない。

核分裂性の原子炉で用いるウラン燃料は、 U^{235} を3~4%程度になるまで濃縮して燃料として用いる。直径10mm程度の円筒状のペレットとしてセラミック状態に焼き固められたウランは、中性子吸収断面積が小さいジルコニウム合金製の管に入れられて燃料棒となる。

2. 原子炉の構造

核分裂型原子炉の構造を図-1に示す。圧力容器の中に並べられた燃料棒は減速材と冷却材の役割を担う軽水の中に入れられている。燃料棒の間には出し入れ可能な制御棒が入れられ、核分裂反応をコントロールする役割を担う。

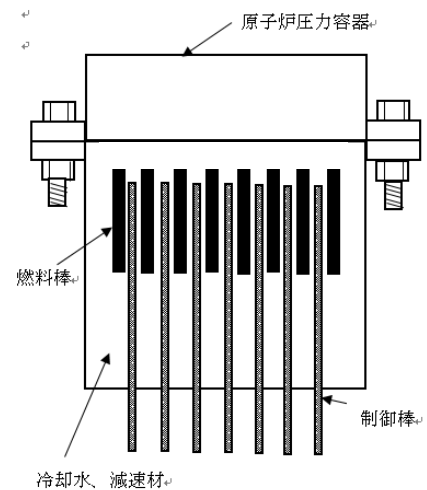


図-1 原子炉の構造

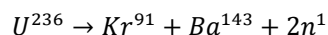
3. 減速材の役割

減速材は中性子の速度を落とすために用いる。あまり中性子が高速であるとウランが中性子をキャッチできないからである。核分裂を起こさせるのに効果のある中性子は、0.025eV程度の非常に低い運動エネルギーを持つ中性子で、これを熱中性子 (thermal neutron) とよぶ。核分裂反応で発生した高速中性子 (fast neutron) が2MeV程度のエネルギーを持つので、核分裂反応を効率よく行わせるためには、8桁もエネルギーを落とさなければならない。効率的に中性子の速度を落とすにはそれになるべく質量の近い軽いほかの原子に衝突させて、エネルギーを失わせてやればよく、多くの場合、水を減速材として用いる。

逆に減速材が無いと反応は止んでしまう。原子炉の炉心が多量の熱を発すると水が水蒸気になり、なくなってしまうので反応は止む。これを自己制御性という。

4. 核反応

U^{235} の原子核に中性子が衝突して捕獲されると原子核反応によって U^{236} が生成される。生成された U^{236} の一部はそのまま U^{236} として存在し、他は核分裂を起こして質量数の小さい二つの原子核となり、また、いくつかの中性子を放出する。



この放出された中性子が次の U^{235} 原子核に衝突吸収されて次の核分裂を起こし、連続的に核分裂が起こる。この原子核分裂に伴って質量の一部がエネルギーに転換される。このエネルギーは主として分裂によって生成された粒子の運動エネルギーになるが、この粒子が水と衝突して運動エネルギーを失う代わりに水が加熱される。

4. 1 反応断面積

原子核ごとに異なる中性子を捕獲する確率を表すのに断面積 (cross section) という概念を導入し、 σ

¹舞鶴工業高等専門学校 機械工学科

で表す。これは原子核を標的に見立てて、標的が大きいほど捕獲する確率が高いとする場合の実効的な中性子に対する原子核の大きさを表す。原子核の直径の大きさが 10^{-12} cm程度であることから、それを直径に対する幾何学的断面積の大きさも 10^{-24} cm²程度であり、これをバーン[barns]という単位で表す。

実際の断面積（確率）には、中性子に吸収される確率と散乱される確率があり、それぞれ吸収断面積 σ_a (absorption cross section)と散乱断面積 σ_s (scattering cross section)で表す。従って、全断面積を σ_t (total cross section)とすると σ_t は σ_a と σ_s の和であらわされる。

$$\sigma_t = \sigma_a + \sigma_s$$

また、中性子が原子核に捕獲されても反応を起こす場合と起こさない場合があり、それぞれの確率を捕獲断面積 σ_c (capture cross section)と分裂断面積 σ_f (fission cross section)とすれば σ_a は σ_c と σ_f の和であらわされることになる。

$$\sigma_a = \sigma_c + \sigma_f$$

表-1 熱中性子に対する断面積（バーン）¹⁾

| 名称 | | 吸収断面積 | 散乱断面積 | |
|-----|-------------------|-----------------------|-------|--------|
| 減速材 | H | 0.33 | 38 | |
| | D | 0.46×10^{-3} | 7 | |
| | C | - | 4.8 | |
| 構造材 | F _e | 2.6 | 11 | |
| | Z _r | 0.1 | 8 | |
| 吸収剤 | B | 3.813 | 4 | |
| | C _d | 2×10^4 | 7 | |
| | X _e | 2.7×10^4 | 4.3 | |
| | S _m | 4.1×10^4 | - | |
| | | | 捕獲断面積 | 分裂断面積 |
| 燃料 | U ²³⁵ | 694 | 10 | 582 |
| | U ²³⁸ | 2.7 | - | 0.0005 |
| | Pu ²³⁹ | 1026 | 9.6 | 746 |

4. 2 中性子の増減

最初の核分裂反応により発生した高速中性子の個数を100として、中性子の増減を考えていくことにする。核分裂により発生した高速中性子が、燃料中で約97%を占めるU²³⁸に吸収されて核分裂を生じる確率を ϵ とすると $\epsilon=1.03$ であり、100であった中性子は103に増える。次にU²³⁸に共鳴吸収されてPu²³⁹を生じる確率を p で表すと $p=0.9$ となり、10個の中性子が減少することになる。その後、熱中性子としてウランに吸収される確率を f とすると $f=0.9$ であり、9個の中性子が減少することになる。ウランに吸収された中性子の一部は捕獲されて一部は核分裂し再び中性子が増殖する。中性子が増殖する割合を η で表すと $\eta=1.32$ となる。以上の4つの因子の積を増倍率(multiplication factor)とよび、 k で表すが、特に無限に大きい炉心について考えたとき k を k_∞ と書き

$$k_\infty = \epsilon p f \eta$$

となる。これを4因子公式とよんでいる。実際の炉心は無限に大きいわけではなく有限の大きさであるから、高速中性子と熱中性子が炉外に漏れ出る可能性が存在し、高速中性子が炉外に漏れ出ない確率を F で表し、熱中性子が炉外に漏れ出ない確率を L_{th} で表すと $F=0.96$ 、 $L_{th}=0.97$ となる。この二つの確率を加味した増倍率を k_{eff} とおき実効増倍率(effective multiplication factor)とよぶ。

$$k_{eff} = k_\infty F L_{th}$$

k の値が1以下であると連鎖反応は急激に衰微し、1以上であると指数関数的に増大する。有限の炉心の中性子の増減を図-2に示す。通常は $k_{eff} > 1$ となるように燃料を余分に炉心に入れておき、制御棒を挿入して余分な中性子を吸収して $k_{eff}=1$ 、すなわち臨界状態に保っておく。燃料が消費され反応度が低下するに伴い徐々に制御棒を引き抜いて常時臨界を保つ。 $k_{eff} > 1$ のとき

$$k_{eff} - 1 = \Delta k$$

と書いて、 Δk を超過増倍率(excess multiplication factor)という。また

$$\rho = \frac{k_{eff} - 1}{k_{eff}} = \frac{\Delta k}{k_{eff}}$$

と書いて、これを超過反応度(excess reactivity)という。図-3は、制御棒のある場合の核分裂の様子と制御棒がない場合の核分裂の様子を模式的に表したものである。

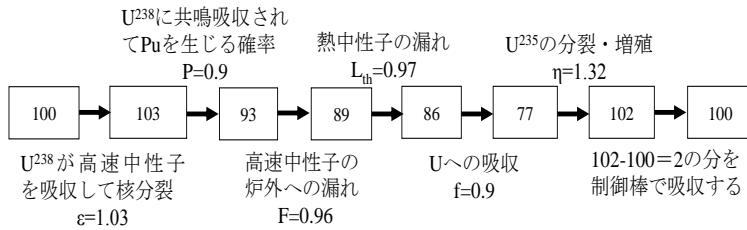


図-2 中性子の増減

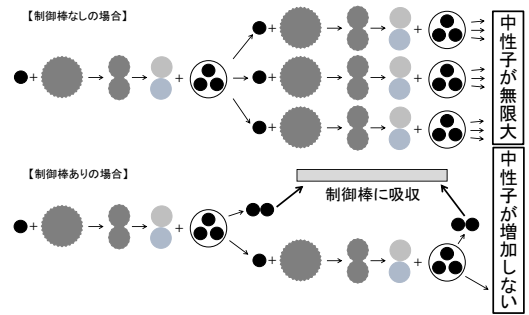


図-3 制御棒の役割

5. 原子炉の冷却

原子炉内で発生した大量の熱量を炉外に運び出すには液体や気体である流体が用いられる。これを冷却材(coolant)という。冷却材は無駄に中性子を吸収しないもので、中性子線、β線、γ線などの各種放射線の照射を受けて性質が変質したり、強い誘導放射能を帯びたりしないような安定したものでなければならない。さらにステンレスなどの構造材や、黒鉛などの減速材を腐食したり、あるいはそれらと反応するようなものであってはならない。このような理由から、減速材の役割を果たすことができる冷却材として軽水が最も多く用いられる。

冷却材を原子炉の中に送りこんで、燃料体から発生した熱量を取り去る。冷却材自体は加熱されて原子炉から出てくるが、この高温になった冷却材を図-4のように熱交換器に導き、ここで蒸気を発生させて、その蒸気で蒸気タービンをまわす間接サイクル方式と図-5のように、原子炉の中で蒸気を作り、直接タービンをまわす直接サイクル方式がある。

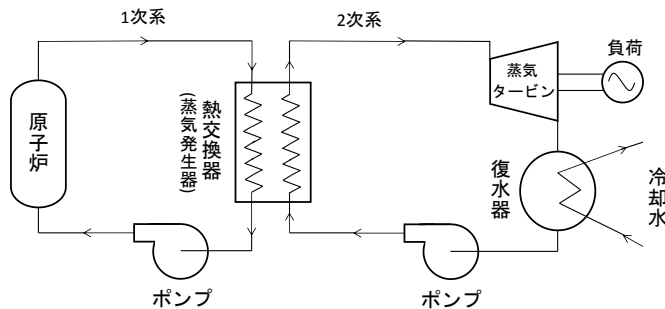


図-4 間接サイクル原子炉系

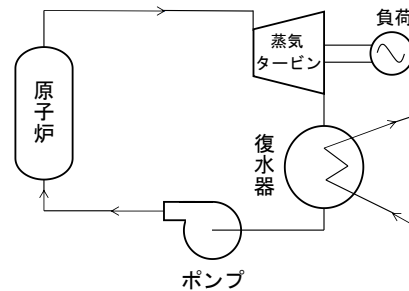


図-5 直接サイクル原子炉系

初期の原子炉では、冷却材と減速材を兼ねる軽水が沸騰すると原子炉が不安定になる危険性が指摘され、図-4のような構造の間接サイクルを採用し、軽水を140 kg/cm²程度まで加圧して用いた。このようなタイプの原子炉を加圧水型原子炉(pressurized water reactor, PWR)という。その後、炉内で沸騰が起こり気泡が発生しても安全に原子炉を制御できることがわかり、冷却水の圧力を70 kg/cm²程度まで下げて炉内で沸騰を許す設計が行われるようになった。これが沸騰水型原子炉(boiling water reactor, BWR)であり、図-5に示すような直接サイクル原子炉系を採用できるようになった。

6. まとめ

核分裂型原子炉の基本的な原理を定性的にまとめた。実際の運用では原子炉の大きさから中性子の数を定量的に把握し、制御系の設計や熱設計を行う必要がある。

参考文献

- 1) 西脇仁一 編著：熱機関工学，朝倉書店，1994。

福島の実況について

鈴木茂和¹

1. はじめに

2011年3月11日（金曜日）、福島高専では午後から管理棟3階の大会議室で教員会議が開催されていた。私は当時5年生の担任をしており初めての卒業生を送り出す会議で少し緊張していた。無事に5年生の卒業認定が終了し、1年生の進級判定に入った14時45分頃、一台の携帯電話の音が鳴った。会議中なのに・・・と思った。しかし、その後、数多くの携帯電話の音が鳴り始めたと思ったら、地鳴りのような音と共に大きな揺れが大会議室を襲った。隣に座っていた中越地震と中越沖地震を学生時代に経験したことがある先生の「これはやばいですよ」という一言を鮮明に覚えている。

当然のことながら、教員会議はその場で終了となり、家族や学生の安否確認をすることとなった。研究室に戻りながら、その日の夕方に予定されていた謝恩会について、実施できるのかな、キャンセルの連絡を入れないとダメかな、と呑気なことを考えていた。

2. 福島第一原子力発電所事故について¹⁾

当時、運転中であった福島第一原子力発電所1号機～3号機は巨大地震による揺れを受けて全て緊急停止するとともに非常用ディーゼル発電機が起動し炉心の冷却が始まった。地震発生から約50分後に大きな津波の直撃を受けた。海側に設置された、原子炉の熱を海に逃がすためのポンプなどの屋外設備が破損するとともに、原子炉が設置されている敷地のほぼ全域が津波によって水浸しになった。また、タービン建屋などの内部に浸水し、電源設備が使えなくなったため、原子炉への注水や状態監視などの安全上重要な機能を失った。また、津波によって押し流された瓦礫が散乱し通行の妨げとなるなど、様々な被害を受けた。¹⁾

津波の襲来により、非常用ディーゼル発電機やバッテリー等の全ての電源を失い、原子炉の冷却ができなくなった。また、監視・計測機能も失われたため、原子炉や機器の状況を確認することができなくなり、結果として、1号機では約4時間後に燃料が水面から露出し、炉心損傷が始まった。露出した燃料棒の表面温度が崩壊熱により上昇したため、燃料棒の表面が圧力容器内の水蒸気と反応して、大量の水蒸気が発生した。



津波による被害を受けた後(全体)の福島第一原子力発電所 2011年3月19日撮影



水没した電源室
(福島第一原子力発電所2号機)

図1 福島第一原子力発電所の津波による浸水の状況

¹福島工業高等専門学校 機械システム工学科

福島第一原子力発電所の敷地高さと津波イメージ

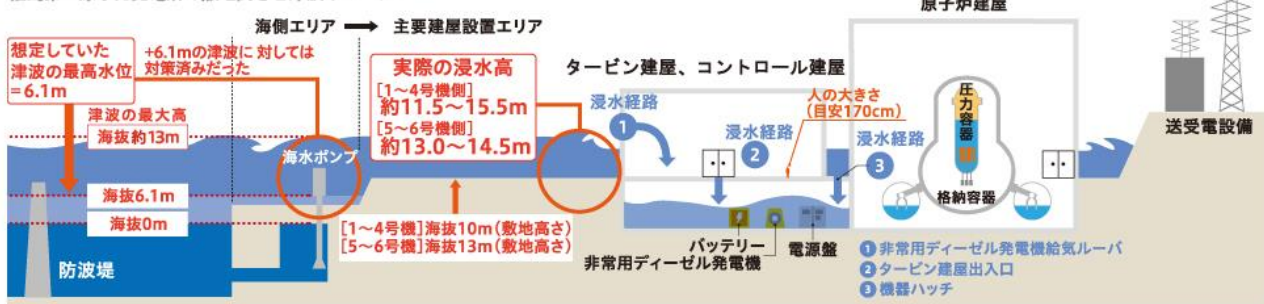


図2 福島第一原子力発電所の敷地高さと津波イメージ

格納容器から漏れ出た水素は、原子炉建屋上部に溜まり、何らかの原因により引火し、津波襲来から約24時間後の3月12日午後3時36分に爆発が発生した。

2号機も全電源喪失に至るまではほぼ同じ経過を辿ったものの、2号機では原子炉隔離時冷却系が津波襲来前から動作しており、全電源を失った後もこれが動き続けたことから、約3日間注水を続けることができた。この間、他の冷却系統での注水を行うために、水没を免れた電源盤に電源車をつないで電源確保の作業を進めていたが、12日午後3時36分の1号機の水素爆発によりケーブルが損傷し、電源車が使用不能となった。また、14日午前11時1分には3号機で水素爆発が発生し、準備が完了していた消防車及びホースが損傷し、使用不能となった。14日午後1時25分に原子炉隔離時冷却系の停止が確認された後、減圧に時間がかかり、水位が低下、炉心損傷に至り、これと同時に水素が発生した。炉心損傷の後の圧力容器及び格納容器の損傷に伴い、水素が原子炉建屋に漏洩したと推定されているが、2号機では原子炉建屋上部側面のパネルが1号機の水素爆発の衝撃で開いていた。このため、水素が外部へ排出され、原子炉建屋の爆発が回避されたと推定されている。

一方で、2号機からは1～3号機の中で最も多くの放射性物質が放出されたと推定されている。これは、1、3号機では、圧力抑制プールの水によってある程度放射性物質を取り除いてから格納容器の外へ気体を放出する「ベント」という操作が成功したことに対し、2号機ではベントのラインを開放することができず、ベントに失敗し、格納容器から直接放射性物質を含む気体が漏洩したためと推定されている。

3号機も地震発生により、直ちに制御棒が挿入され、設計通り自動で原子炉が停止した。地震により外部電源をすべて失い、復水器などは使用できない状況だったが、非常用ディーゼル発電機が自動起動し、原子炉隔離時冷却系も運転することができた。その後津波の襲来とこれに伴う浸水によって交流電源を全て失ったものの、直流電源設備は1号機、2号機と異なり、少し高い位置にあったことから浸水を免れた。このため、原子炉隔離時冷却系や高圧注水系の運転・制御を継続できただけでなく、計器類による原子炉の状態監視も続けることができた。1日半程度注水を続けた後、低圧(ディーゼル駆動消火ポンプ)での注水に切り替えるために高圧注水系を停止したが、この後の減圧に時間がかかり、水位が低下、水素が発生するとともに炉心損傷に至った。減圧を確認した後、消防車による注水を開始したが、格納容器から漏れ出した水素によって、3月14日午前11時1分に水素爆発が発生した。



図3 津波で機能を喪失した海水系ポンプ



図4 水素爆発後の3号機原子炉建屋

4号機は地震発生時、定期検査中で運転を停止しており、原子炉の燃料は全て使用済み燃料プールに取り出されていた。津波による全電源喪失で、使用済燃料プールの除熱機能も注水機能も失われ、蒸発による使用済燃料プールの水位低下が懸念されていた。また、3月14日午前4時8分の段階で、使用済燃料プールの水温は84度であることを確認し、燃料上端まで水位が低下するのは3月下旬と予想していた。このため、対応にはある程度の時間的余裕があると確認してしたが、3月15日午前6時14分頃、4号機の原子炉建屋で水素爆発が起きた。この原因は3号機の格納容器ベントに伴い、水素を含むベントガスが排気管を通じて4号機に流入したためと推定している。

3. 福島第二原子力発電所について

福島第一原子力発電所から直線で約12km南に位置する福島第二原子力発電所も巨大な津波の襲来を受けた。その大きな要因としては、地震・津波の後も外部電源や交流電源設備が使用可能であり、原子炉を冷やすことができたためである。一方で海水ポンプが津波によって損傷したため、原子炉からの除熱を行うことができなくなった。このため、原子炉隔離時冷却系や復水補給水系といった海水ポンプのサポートを必要としないシステムを活用するなど、臨機応変に压力容器や格納容器内の冷却を進めた。その間に損傷していた海水ポンプのモーター交換や仮設ケーブルの敷設を行い、海水ポンプを復旧したことで除熱が可能になり、全号機を冷温停止とすることができた²⁾。

また、福島第二原子力発電所が過酷事故に至らなかったのは、意外と知られていないが、東電社員の努力、そして第二原子力発電所の所長であった増田尚宏氏のリーダーシップと指揮にあると考えている。詳細については参考文献の3)、4)を参照して頂きたいが、組織の人々に現状を示し、誠意を持って語りかけることで、自分の行動の意味を知ってもらい自発的な行動を促す行動を自然と取ることで、冷温停止状態を達成した。福島第一原子力発電所の事故により、福島第二原子力発電所での東京電力社員や関連企業社員の命を懸けた闘いはあまり表に出ては来ないが、彼らの努力により福島第二原子力発電所が事故に至らなかったことをしっかりと理解し、讃えるべきであると考えている。

4. 福島の現状について

東日本大震災及び福島第一原子力発電所事故から8年が経過し、福島の状況も落ち着いてきてはいるものの、依然として風評や誤解が大きいと感じている。

平成23年3月12日18時25分に内閣総理大臣から福島県知事、大熊町長、双葉町長、富岡町長、浪江町長に対して、図5に示すような避難指示が出された。その後、4月21日に原子力災害対策本部から、避難指示区域を警戒区域に設定することが指示され、4月22日午前0時に警戒区域が設定された。

公 示

平成23年3月12日18時25分

指 示

平成23年3月12日18時25分

福島県知事 殿
大熊町長 殿
双葉町長 殿
富岡町長 殿
浪江町長 殿

内閣総理大臣

東京電力(株)福島第一原子力発電所で発生した事故に関し、原子力災害対策特別措置法第15条第3項の規定に基づき下記のとおり指示する。

記

東京電力(株)福島第一原子力発電所から半径20キロメートル圏内の住民は、避難すること。
今後、現地対策本部長から新たな指示が出された場合にはその指示に従うこと。
区域内の居住者等に対して、その旨周知されたい。

| | |
|-----------------------------|--|
| 1. 緊急事態応急対策を実施すべき区域 | 東京電力(株)福島第一原子力発電所から半径20km圏内の圏域 |
| 2. 原子力緊急事態の概要 | 緊急事態発令発生日時 平成23年3月12日 16時48分 |
| | 発生場所 東京電力(株)福島第一原子力発電所 |
| | 放射線等の状況 排気筒モニタの値：不明 発電所敷地周辺のモニタリングポストの値：不明 |
| | 被害状況： 数名の負傷者がいる模様であるが詳細は調査中。 |
| | その他の特記事項 ・敷地境界において500μSv/hを超える放射線量を計測。 |
| 3. 1. の区域内の居住者等に対し周知させるべき事項 | 東京電力(株)福島第一原子力発電所から半径20キロメートル圏内の住民は、避難してください。 今後、現地対策本部長から新たな指示が出された場合にはその指示に従ってください。 |

図5 避難指示(経産省HPより)

2011年4月22日に設定された警戒区域を図6に示す。この時、福島第一原子力発電所から20 km圏内は例外をのぞき立ち入り禁止となる「警戒区域」に、20～30 km圏内を「緊急時避難準備区域」、1年間の被ばく積算線量が20 mSvになりそうな福島第一原子力発電所から20 km圏外の区域を「計画的避難区域」に設定した。

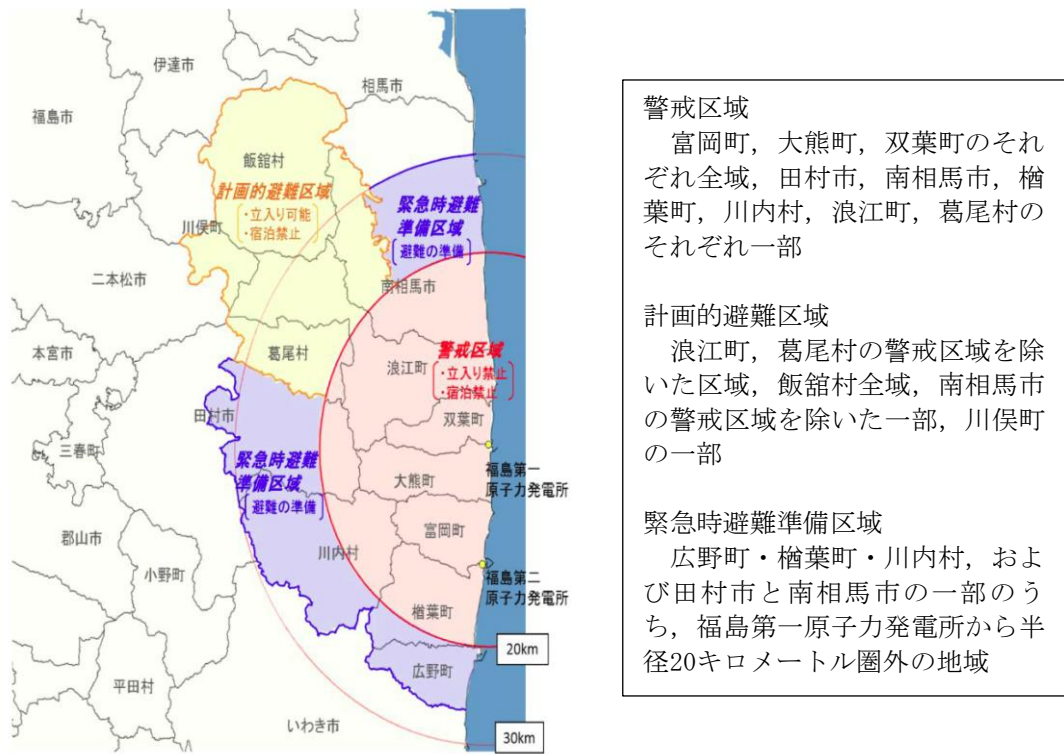


図6 避難指示区域の概念図

その後、生活環境の除染や放射能の減衰による空間線量の低下、ライフラインの復旧や自治体機能の回復等により、平成23年9月30日に緊急時避難準備区域が解除され、平成24年4月1日に「警戒区域」と「計画的避難区域」の一部を年間被ばく積算線量の状況に応じて、年間被ばく積算線量が20 mSv以下が確実とされた区域を住民が帰れる準備をするための「避難指示解除準備区域」に、年間被ばく積算線量が20 mSvを超える可能性があり、引き続き避難継続が求められる地域を「居住制限区域」に、年間被ばく積算線量が50 mSvを超え、事故後6年経過しても20mSvを下回らない可能性がある区域を「帰還困難区域」に見直した。

避難指示区域の見直しにより、以下のように避難指示区域の解除が行われた。

- 平成26年4月 1日 田村市
- 平成27年9月 5日 楡葉町
- 平成28年6月12日 葛尾村（帰還困難区域除く）
- 平成28年6月14日 川内村（平成26年10月1日に一部解除）
- 平成28年7月12日 南相馬市（帰還困難区域除く）
- 平成29年3月31日 飯館村（帰還困難区域除く），川俣町，浪江町（帰還困難区域除く）
- 平成29年4月 1日 富岡町
- 平成31年4月10日 大熊町（予定，帰還困難区域除く）

各自治体では、生活インフラ等の再整備を行い、住民の帰還を促進している。

平成23年9月30日に緊急時避難準備区域が解除された広野町の平成31年3月末現在の住民帰還率は86.9%（4,117人/4,735人）となっている。また、廃炉・復興関連事業従事者及び他市町村からの避難者（滞在者）を含めたみなし居住率【（町民居住者+滞在者）/住基人口】は139.6%【（4,117人+2,492人）/4,735人】となっており⁶⁾、震災前の状況に戻りつつ、廃炉や復興作業に携わる方々の拠点となりつつある。

平成30年7月時点での福島県内の空間放射線量率を図7に示す。ごく一部の地域を除いて0.1μSv/hとなっており、ほぼ震災前と同じレベルとなってきた。これは、福島第一原子力発電所事故から8年が経過し、環境汚染の原因となった¹³⁴Csの自然減衰と国または市町村による除染の効果であるが、除染によって生じた除去物が大量に発生し、それらは各市町村で農地を中心に仮置き保管されている。その量は平成31年1月の

約1400万^m³であり、東京ドームの体積（124万^m³）の約10倍と膨大である。国は平成23年10月に、中間貯蔵施設の基本的な考え方を策定・公表し、県内市町村長に説明を行った。その際の主な内容は以下の通りである。

- ・施設の確保及び維持管理は国が行う
- ・仮置場の本格搬入開始から3年程度（2015年1月）を目途として施設の供用を開始するよう政府として最大限の努力を行う
- ・福島県内の土壌・廃棄物のみを貯蔵対象とする
- ・中間貯蔵開始後30年以内に、福島県外で最終処分を完了する

中間貯蔵開始後30年以内に福島県外で最終処分を完了する、となっているが、最終処分を受け入れる自治体が出てくる可能性はかなり低いだろうと個人的には考えている。減容化しつつ資源化・再利用して廃棄物の総量を減らしつつ、放射性廃棄物処分に関する国民の正しい理解を広める必要がある。

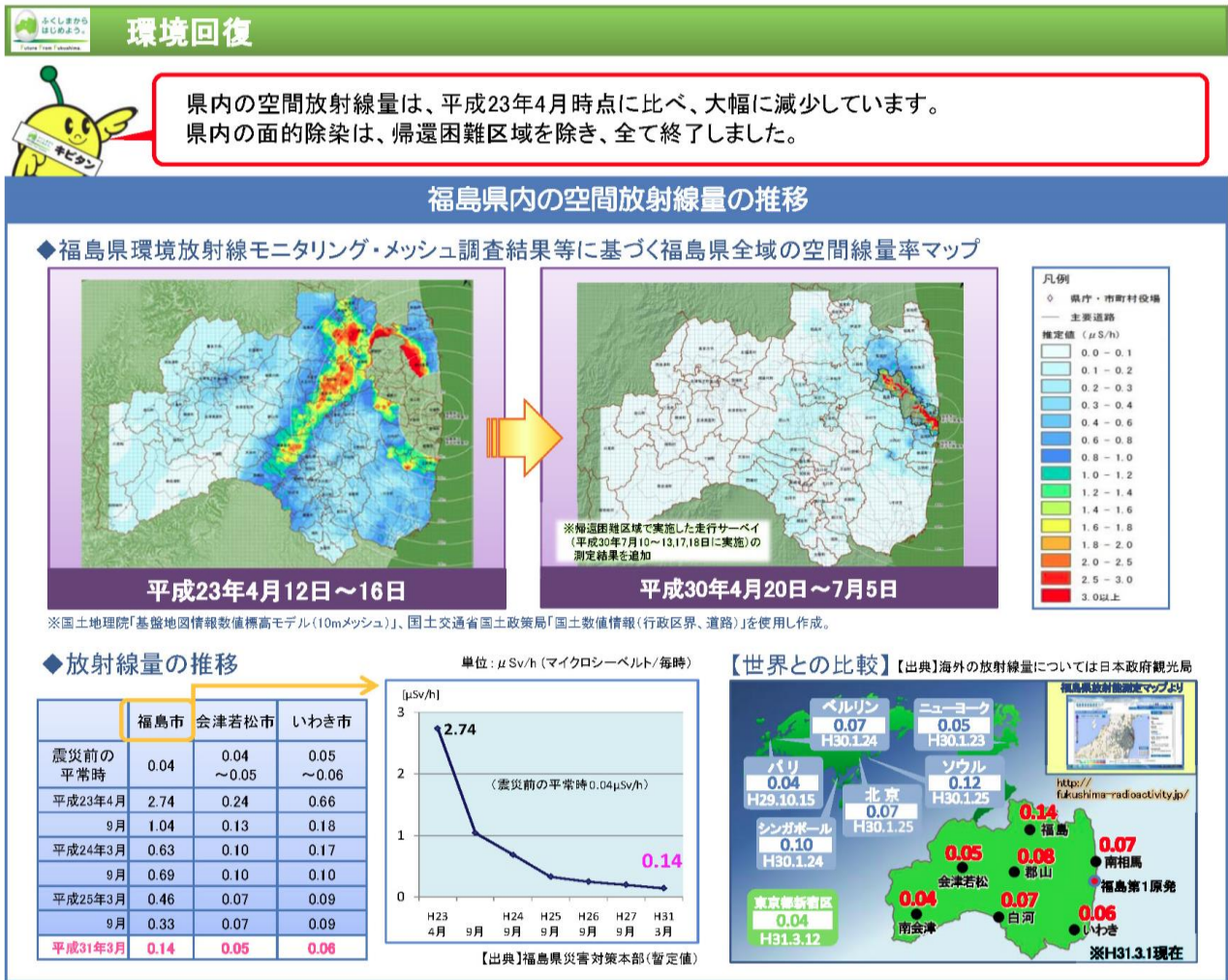


図7 福島県の環境回復について⁷⁾

4. 福島農業について

福島県はかつて東北有数のコメどころであった。しかしながら震災後、コメの生産量は震災前の75%程度まで減少している。農林水産省でコメの消費者にアンケート調査をした結果⁵⁾、イメージについて「安全性に不安がある」とする消費者が18.3%、購入意向について「福島県産のみしか取扱いがなければ購入しない」とする消費者が13.1%存在するとの報告がある。

福島県では2012年から「世界一厳しい基準と検査」と言われる、「コメの全量全復路検査」と「牛の全頭検査」を継続して実施している。これらの検査により、放射性物質に関する「食品としての基準値」を超過する恐れのあるコメや肉については一切流通させないことを徹底している。また、農産物や水産物についてもモニタリング検査を実施しており、野菜、果実、原乳、鶏卵、水産物（海産、河川・湖沼）、山菜、きの

こ（野生，栽培）などを検査している．この検査では，2017年度に基準値を超えた食品は，果実の625件中1件，水産物（河川・湖沼）の677件中8件，山菜（野生）の619件中1件と，2018年2月28日現在ごくわずかにとどまっており，基準値を超えたものは，市場に出回ることはない．

一方，福島県産食品の輸入を規制している国や地域は図7の通りである．震災直後の諸外国・地域において講じられた輸入規制は，政府一体となった働きかけの結果，規制が緩和・撤廃される動きになっているが，未だに輸入規制を講じている国・地域があるのは残念である．

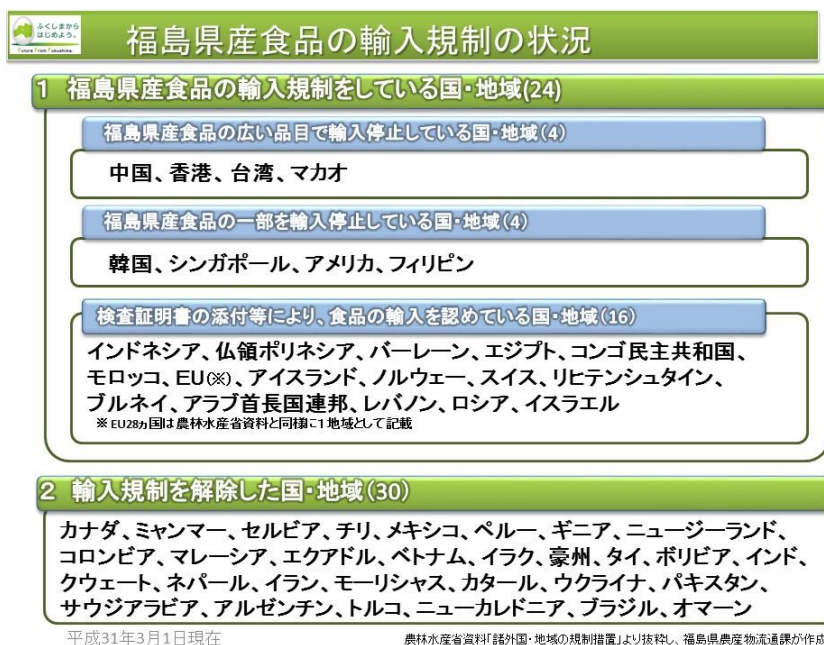


図6 福島県産食品の輸入規制の状況（福島県HPより）

5. 福島イノベーション・コースト構想

福島イノベーション・コースト構想は，アメリカ・ハンフォード地域の取り組みを参考に，東日本大震災及び原子力災害によって失われた浜通り地域等の産業を回復するため，当該地域の新たな産業基盤の構築を目指すものである．廃炉，ロボット，エネルギー，農林水産等の分野におけるプロジェクトの具体化を進めるとともに，産業集積や人材育成，交流人口の拡大等に取り組んでいる．

6. まとめ

福島第一原子力発電所事故により大きな被害を受けた福島県であるが，一部地域を除き震災前の状況に戻りつつある．一方で廃炉や除染除去物の処理処分などの大きな課題も残されている．これらの課題解決に貢献できる人材育成を継続していきたい．

参考文献

- 1) 東京電力HP：福島第一原子力発電所事故の経過と教訓，<http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/outline/index-j.html>
- 2) 東京電力HP：福島第二原子力発電所はなぜ過酷事故を免れたのか，
http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/outline/2_12-j.html
- 3) 日本エネルギー会議：コラム なぜ福島第二原発は津波から守られたのか，
<http://www.enercon.jp/topics/14485/?list=contribution>
- 4) Harvard Business Review：そのとき，福島第二原発で何があったか，<http://www.dhbr.net/articles/-/2870>
- 5) 農林水産省HP：<http://www.maff.go.jp/j/shokusan/ryutu/attach/pdf/180328-5.pdf>
- 6) 広野町HP：<https://www.town.hirono.fukushima.jp/>
- 7) 福島県HP：<http://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/318932.pdf>

放射線の基礎

久志野 彰寛¹

1. はじめに

レントゲンのエックス線の発見により幕が開けた，放射線に関する研究およびその成果利用ともに，放射線被ばくの歴史も始まった．医療分野における放射線管理者の立場から，放射線の基礎および放射線の利用形態について解説する．トレーサーとしての放射性同位元素は生体中の微量成分の定量を可能とし，PET検査に代表される放射線診断，密封小線源や放射線発生装置を用いた内・外照射による放射線治療は現代の医療分野には欠かせない．

放射線施設やそこに携わる人々，それに対し行われている安全管理上の様々な取決めや取組，実際に起こっているトラブル，放射線発生装置の運転に付随して意図せずに生じる放射化物等の課題も紹介する．

2. 教材資料

次ページ以降に教材スライドを示す．

¹久留米大学 医学部

- ◆ 原子の構造
- ◆ 放射性同位体
- ◆ 放射線の種類・性質
- ◆ 人体に及ぼす影響と放射線の測定
- ◆ さまざまな放射線源とその利用

久慈米大学理学部 放射線同位体元素施設
久志野 勲 長 (放射線取扱主任者)



原子の大きさや量

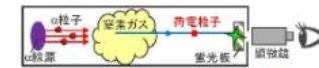


| | 陽子 | 中性子 | 電子 |
|---------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| 質量 | 1.6726×10^{-27} kg | 0 | -1.602×10^{-31} kg |
| 電荷 | $+1.602 \times 10^{-19}$ C | 0 | -1.602×10^{-19} C |
| 半径 | 1.673×10^{-17} m | 1.675×10^{-17} m | 2.326×10^{-18} m |
| 原子質量 | 1.0073 u | 1.0093 u | 0.0005 u |
| 静止エネルギー | 938.3 MeV | 939.6 MeV | 0.511 MeV |

原子核の半径 $r[\text{fm}] \approx 1.4 \times 10^{-14} \times \sqrt{A}$
A: 原子核中の陽子数 + 中性子数

質量mとエネルギーEは本質的には同じ
 $E = mc^2$
 $1 \text{ u} = 1.6606 \times 10^{-27} \text{ kg} = 931.49 \text{ MeV}/c^2$
 $1 \text{ MeV} = 1.602 \times 10^{-13} \text{ J}$

陽子の発見 ラザフォード (1919年)

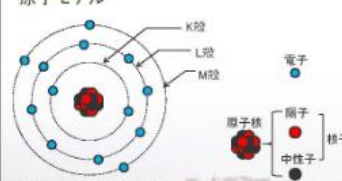


α粒子が衝突した窒素原子から飛程の長い荷電粒子が放出
磁場中での振る舞いなどから水素の原子核(陽子)と判明

${}^4\text{He} + {}^14\text{N} \rightarrow {}^1\text{O} + {}^1\text{H}$

P.M.S. Blackford, D.L.Sc.,
Proc. of Royal Soc. London (1922)

原子モデル



アルミニウム(Al)原子の模式図

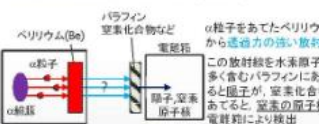
電子の発見 J.J. トムソン (1897年)



放電管内の真空度を上げていくと
 ・陰極側のガラス管壁が光る
 ・陰極側に帯電した物体の影
 ・磁石や電圧により曲げられる
 ・羽根車をまわす

↓
 陰極から出る、質量・負電荷をもった1種類の粒子(電子)

中性子の発見 チャドウィック (1932年)



α粒子をあてたベリリウムから透過力の強い放射線
この放射線を水素原子を多く含むパラフィンにあてると陽子が、窒素化合物にあてると、窒素の原子核が電離箱により検出

この放射線をγ線とすると50MeV程度のエネルギーとなり、エネルギー保存則、運動量保存則が成立しない。
 *陽子と同程度の質量をもた、電荷をもたない粒子であると考えるとすべての現象に適合 → 中性子

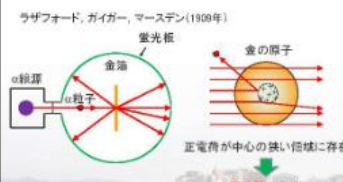
元素と周期表



原子数とともに左上から右下へ
原子数の違い = 元素の違い

原子核の発見

ラザフォード、ガイガー、マースデン(1909年)



正電荷が中心の狭い領域に存在
↓
原子核の発見

元素の表し方

$\begin{matrix} A \\ Z \\ E \\ N \end{matrix}$

E: 元素記号
Z: 原子番号=陽子数
N: 中性子数
A: 質量数 (=Z+N)

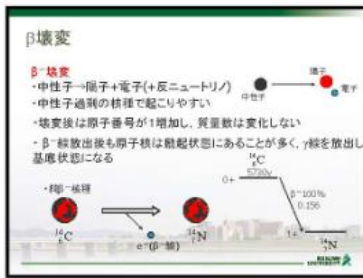
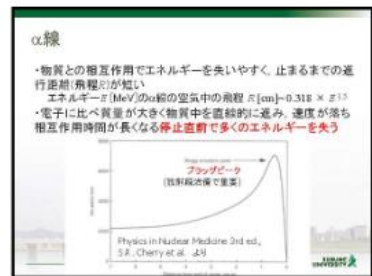
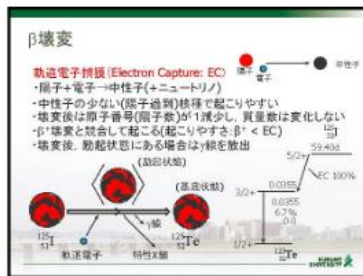
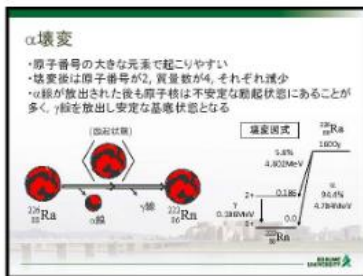
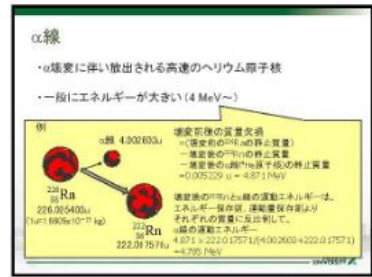
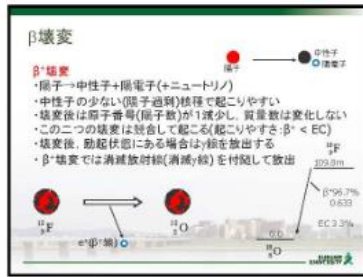
例 水素(元素記号H) 炭素(元素記号C)

${}^1_1\text{H}_0$ 陽子1, 中性子0 ${}^{11}_6\text{C}_5$ 陽子6, 中性子5
 ${}^2_1\text{H}_1$ 陽子1, 中性子1 ${}^{13}_6\text{C}_7$ 陽子6, 中性子7

同じ元素(E, Zが同じ)でA, Nが異なる原子: 同位体・同位元素
Isotope

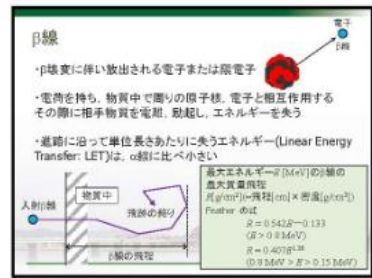
安定同位体と放射性同位体 (Radio Isotope: RI)

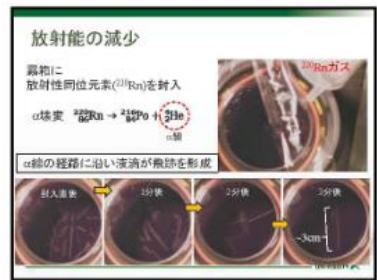
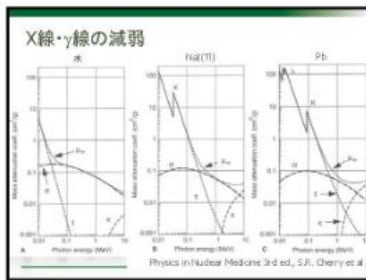
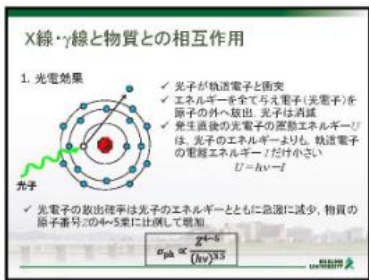
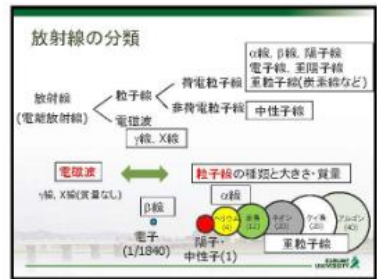
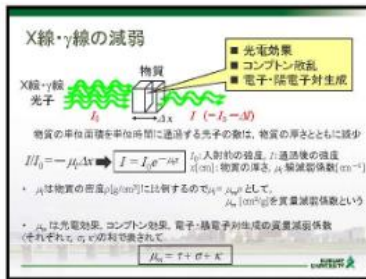
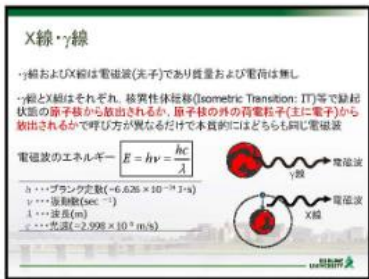
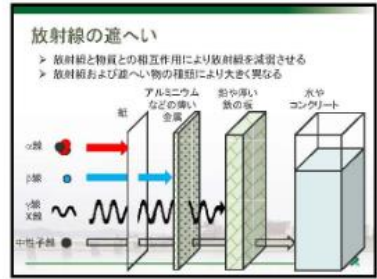
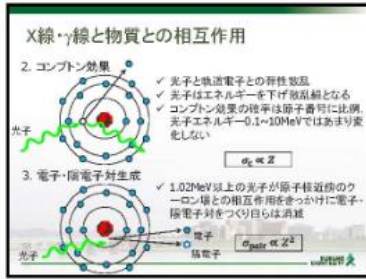
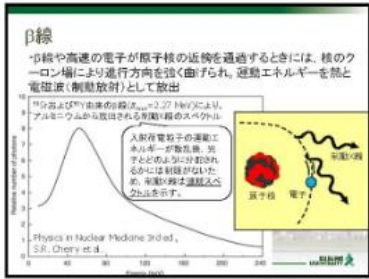
| 放射線の種類 | 中間子数 | 陽子数 | 原子核の安定性 | 原子核の移動 |
|-----------------------------|------|-----|---------|---|
| $^{11}_6\text{C}$ 放射性同位体 | 5 | 6 | 不安定 | β ⁻ 崩壊 → $^{11}_7\text{N}$ (安定同位体) |
| $^{12}_6\text{C}$ 安定同位体 | 6 | 6 | 安定 | |
| $^{13}_6\text{C}$ 安定同位体 | 7 | 6 | 安定 | |
| $^{14}_6\text{C}$ 放射性同位体 | 8 | 6 | 不安定 | β ⁻ 崩壊 → $^{14}_7\text{N}$ (安定同位体) |



医療・生命分野における放射性同位体元素

| 核種 | 薬学形式 | 核種 | 薬学形式 | 核種 | 薬学形式 |
|------------------|---------------------|------------------|---------------------|-------------------|----------------|
| ^3H | β ⁻ | ^{14}C | EC | ^{59}Fe | β ⁻ |
| ^{11}C | β ⁺ , EC | ^{57}Fe | β ⁻ | ^{111}In | EC |
| ^{13}C | β ⁻ | ^{60}Co | EC | ^{125}I | EC |
| ^{14}N | β ⁻ , EC | ^{67}Cu | β ⁻ , EC | ^{125}I | EC |
| ^{15}O | β ⁺ , EC | ^{68}Ga | β ⁻ | ^{125}I | β ⁻ |
| ^{18}F | β ⁺ , EC | ^{69}Ga | EC | ^{131}I | β ⁻ |
| ^{19}F | β ⁻ , EC | ^{74}Ge | β ⁻ | ^{131}I | β ⁻ |
| ^{21}Ne | β ⁻ | ^{76}Ge | β ⁻ | ^{131}I | β ⁻ |
| ^{22}Na | β ⁺ , EC | ^{76}Ge | β ⁻ | ^{131}I | β ⁻ |
| ^{23}Na | β ⁻ | ^{77}Ge | β ⁻ | ^{131}I | β ⁻ |
| ^{24}Na | β ⁻ | ^{77}Ge | β ⁻ | ^{131}I | β ⁻ |
| ^{26}Al | β ⁻ | ^{77}Ge | β ⁻ | ^{131}I | β ⁻ |
| ^{32}P | β ⁻ | ^{77}Ge | β ⁻ | ^{131}I | β ⁻ |
| ^{33}P | β ⁻ | ^{77}Ge | β ⁻ | ^{131}I | β ⁻ |
| ^{35}S | β ⁻ | ^{77}Ge | β ⁻ | ^{131}I | β ⁻ |
| ^{36}S | β ⁻ | ^{77}Ge | β ⁻ | ^{131}I | β ⁻ |
| ^{37}S | β ⁻ | ^{77}Ge | β ⁻ | ^{131}I | β ⁻ |
| ^{40}Ca | EC | ^{77}Ge | β ⁻ | ^{131}I | β ⁻ |





壊変の法則と半減期

放射能 A (単位は $\text{Bq} = 1/\text{秒}$)
 単位時間に壊変する原子核の数
 放射性同位元素の原子核数 N とすると
 $-dN/dt = \lambda N$
 放射能は壊変せず残っている原子核数に比例するので、壊変定数 λ を用いて
 $-dA/dt = -\lambda A$
 時刻 $t=0$ での原子核の数を N_0 とし、微分方程式を解くと
 $N = N_0 e^{-\lambda t}$
 原子核の数が半分になる時間 (半減期) を用いて表すと
 $N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{t/T_{1/2}}$
 時刻 $t=0$ での放射能を A_0 とすると
 $A = A_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{t/T_{1/2}}$

確率の影響と確定的影響

1) 確定的影響
 しきい値のある障害
 → 組織障害の影響
 例: 白内障, 脱毛, 皮膚, 骨髄細胞の障害など (ほとんどの身体的影響)

2) 確率的影響
 しきい値のない障害
 → 突然変異細胞の影響
 例: 発がん, 遺伝的影響

実用量の単位としての Sv

防護量 (等価線量, 実効線量) を直接決定することはできない。必要な線種や組織別の平均線量を求めることができないためである。
 代わりに用いられるのが「実用量」であり、線量を評価する際では、測定あるいは計算された実用量が防護量より低ければ、防護として法令を指している、あるいは線量の目安や目標をクリアしている、と判断ができる。

防護量の単位としての Sv

放射線防護の目的は、がんや遺伝的影響の発生を避けることはいずれも低く、かつ、確定的影響を防止することにある。そのためひとつの手段として、法令等により、放射線業務従事者に対し被ばく線量に関する管理上の上限値 (線量限度) が定められている。このときに使用されるのが「防護量」である等価線量や実効線量である。

$$E = \sum W_T H_T = \sum W_T \sum W_R D_{TR}$$

E : 実効線量, W_T : 組織加重係数, H_T : 等価線量, W_R : 放射線加重係数, D_{TR} : 組織-臓器 T について平均された放射線 R に起因する吸収線量

距離による放射線の減少

放射線源からの距離 r が大きくなるほど、幾何学的に減少される放射線の数が減る

$$I \propto \frac{1}{r^2}$$

→ 距離の2乗に反比例して外部被ばく線量が減る

放射線の量

【線量計測量 (物理量)】

- 放射能 A ... 単位時間あたりの放射性壊変の数
 $1 \text{ Bq} = 1 \text{ disintegration/s (s}^{-1}\text{)}$
- 吸収線量 D ... 電離放射線によって単位質量あたりの物質に与えられるエネルギー
 $D = [kg] \text{ の物質に付与されるエネルギー } - e [J] \text{ とすると吸収線量 } [Gy] = dE / dm$
- 線量当量 H ... X線あるいは α 線によって単位質量の空気中で電離した電子が、その空気中で止まるまでに生じる正負イオン対の数の総和 [C/kg]
- カーマ (kerma: kinetic energy released in matter) ... 光子や中性子などの間接電離放射線によって単位質量あたりに与えられる、すべての荷電粒子の運動エネルギーの総和 [Gy]

管理区域

管理区域を設けることにより、
 > 放射線施設関係者以外の方の無用な放射線被ばくを防止
 > 施設内で作業する人に対する被ばく管理

以下の値を超えるおそれのある場所を管理区域として扱う

- 外部放射線量: 実効線量で3ヶ月あたり 3 mSv
- 空気中の放射性物質の3ヶ月平均濃度: 空気中濃度限度の1/10
- 放射性物質で汚染された物の表面濃度: 表面汚染限度の1/10

※ これらは1ヶ月を超える期間ごとに1回の測定を行う

放射線業務従事者

- 放射性同位元素等又は放射線発生装置の取扱い、管理又はこれに付随する業務に従事する者であって、管理区域に立ち入る者
- 作業レベル/シフト/水かけ/線量計等の放射線測定装置を用いて管理区域に立ち入っている場合、継続して被ばく量を測定する

放射線損傷

高LET放射線 (α線, 重イオン線, 中性子線) → 直接作用
 一本照射断二本照射断 (二本照射断は二本照射断) (二本照射断は二本照射断)
 65LET放射線 (γ線, β線) → 間接作用
 反応性が低い (OHラジカルなど)
 一本照射断 (一本照射断) (一本照射断は一本照射断)
 二本照射断 (二本照射断) (二本照射断は二本照射断)

線量計測と実用量, 防護量

【実用量】
 実際に起こった(計測可能な)被ばく線量を個別に評価するためのもの
 ⇒ 実効線量, 個人線量当量など

【防護量】
 線量限度や参考レベルなど、放射線防護を目的として、線量の数値基準, 目標値などを示すためのもの
 ⇒ 管理線量, 実効線量

物理量 → 実用量 (放射線-吸収線量-照射線量) → 防護量 (線種-組織の等価線量) → 実効線量

身体における線量の測定・管理のための計測量 身体において定義されている線量
 外部被ばくにおいて
 ・エリアモニタリングのための線量
 ・個人モニタリングのための線量
 内部被ばくにおいて
 ・線量率を推定するために用いる空気中濃度, 身体中濃度, 食品中濃度等の測定

平成24年3月13日閣議決定 (一部省略)


放射線業務従事者の線量限度

| | 実効線量限度 | 等価線量限度 |
|------------|--------------------------|---------------------------------|
| 下記以外のもの | 100 mSv/5年 かつ30 mSv/年 | 眼の水晶体 150 mSv/年 皮膚 300 mSv/年 |
| | 5 mSv/3か月 | |
| 妊娠を希望しない女子 | 内部被ばくについて 1 mSv/妊娠5ヶ月 | 腹部表面について 2 mSv/妊娠5ヶ月 |
| 妊娠を希望する女子 | 100 mSv | 眼の水晶体 300 mSv 皮膚 1000 mSv |

※ 本人の申し出等により放射線業務従事者が妊娠を望むようになったときから胎児までの期間

一般公衆の被ばく 1 mSv/年

場所の線量測定 ~表面汚染~



スミヤ技研

NaI(Tl)シンチレーションカウンター(1機)

ワルデンシンチレーション検出器(複数機)

GM計数管 ~汚染の有無の確認など~

サーベイメーター(可搬型GM計数管) ハンドフックロスモニタ (人体表面の汚染検査)



放射線

電子なだれ

二次電子

一次電子

ガス (ペンタムシロキタン)

特徴
・人が放射線1時間におし、傷傷に到達する二次電子の数が一定 (エネルギーは変動ない)
・電圧値は一定

密封線源の例



- 密封小容器
- 前立管が4本の容器
- ・45度(半角型)
- ・1個13MBq(0.1-100本)
- ・予備は2~3時間程度
- ・入浴は2~3日程度
- ・退院から歩行可能

場所の線量測定 ~空間線量~



NaI(Tl)シンチレーションサーベイメーター

距離測定器

放射線源

密封線源
容器などに密封されている放射性同位元素で、正常な状態において開封できないようになっており、容器から漏洩、散逸するおそれのないもの

非密封線源
密封されていない放射性同位元素で、研究用試薬、核医学検査に用いる放射性医薬品等が該当 (密封線源以外の放射性同位元素)

放射線発生装置
装置内で荷電粒子を加速するなど人工的に放射線を発生させる装置

密封線源の例

- ・線源装置 (ガンマセル 3000 Elm)
- ・¹³⁷Cs(密封線源 半減期30年) 46.2Tbq(2個) (病室内では最も高い密封線源)
- ・輸血用の血液に3分間程度 約175μGy(0.175)の線を照射し、白血球を死滅させる (放射線の増殖阻害を利用)

※急性骨髄性白血病の治療のため、監視カメラ・侵入検知線の設置および堅牢な壁に放射線を遮断中



久米大学病院 臨検検査室

個人被ばく線量の測定

ガラスシンチ



ポケット線量計

均等被ばくの基本部位
男性は胸部
女性は腹部

不均等被ばくの場合
基本部位
+ 腕部 or 末梢部

密封線源の例

- ・PET検査前および定期的なメンテナンス時にPETカメラの動作チェックに使用
- ・検出記録をつくり、運搬は専用保管箱に保管

密封線源

⁶⁸Ge 0.7MBq 5個

⁶⁸Ge 55MBq 1個 半減期 271日、β⁺性

PETカメラ

GE Healthcare HPより

密封線源の取り扱い

- ▶ 外部被ばく(人体の外からの放射線による被ばく)に注意
正常な状態においては容器から漏洩する恐れがないため、通常は内部被ばく(人体内部の放射性物質による被ばく)は考慮しなくてよい
- ▶ 外部被ばくの高減速
放射線の大きな透過を期待することもありますが、特に被ばくの高減速をほかに(外部被ばく防護の三原則:距離・遮蔽・時間)
- ▶ 破損・紛失に注意
破損・紛失等があると、知らないところで被ばくしている恐れが生じるため、搬送の破損・紛失等のチェックを行う
- ▶ 汚染があった時には
搬送の保管場所及び使用場所周辺について直ちに汚染の有無を確認しなければならない。汚染箇所は除染作業が必要である

密封線源に関連したトラブルの例

密封線源を搭載した計測器(レベルメータ)の盗取
平成29年4月、株式会社D、埼玉県

盗取直前の強化ガラス保護蓋計測器
為、密封線源(¹³⁷Cs, 3.7MBq)を用いた
計測器を強化ガラスから取り、メータ計の
動かからガラス蓋を取り出す(物質による
線の透過率の違いを利用した計測器)

発生: 中に計測器を置いていた車の鍵が
壊され、他の作業器具とともにアルミケース
ごと盗まれていた(車止りなし)
2か月後に発見され、持ち主に返された

原因と対策: 盗取は車検済車体していたものも長年の使用により壊れがはじけて重要
性の部材が低下していた。今後、使用管理を徹底、目付や所出地用、盗取
検出、作業記録等を記録し、使用・保管状況を記録し、車内保管は行わない



非密封線源の利用例

Radioimmunoassayの原理

検体試料 (濃度既知) + 抗体 → 抗原抗体 結合体 → 抗原抗体 分離操作 → 非結合体

試料 A: 濃度既知 (濃度既知) + 抗体 → 結合体 → 分離操作 → 非結合体

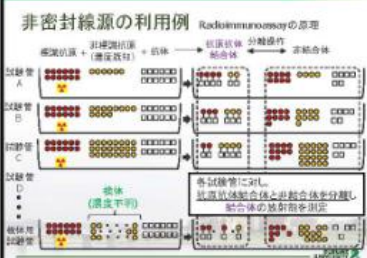
試料 B: 濃度既知 (濃度既知) + 抗体 → 結合体 → 分離操作 → 非結合体

試料 C: 濃度既知 (濃度既知) + 抗体 → 結合体 → 分離操作 → 非結合体

試料 D: 濃度既知 (濃度既知) + 抗体 → 結合体 → 分離操作 → 非結合体

検体試料 (濃度不明)

各試管に抗体を
添加し、抗原抗体結合体と非結合体を分離し
結合体の放射能を測定



核医学診断 ~SPECT、シンチグラフィ~

- 半減期が短く(数時間~3日程度)、γ線放射核種が用いられる
- 臓器毎に集積する放射性医薬品があり、それぞれの疾患の診断に用いられる
 - 骨、心臓、甲状腺、肝臓、膵 etc.

SPECTで用いられる主な核種と半減期

| | |
|-------------------|--------|
| ^{99m} Tc | 6.01 h |
| ¹¹¹ In | 33.3 h |
| ¹²⁵ I | 3.25 d |

シンチレータ(ルンカマ)の動作原理



非密封線源

液体状(高濃度)、固体系、気体状のものがある

ろ紙を敷いたトレイ

サーベイメータ

マイクローベント

手袋・実験帽

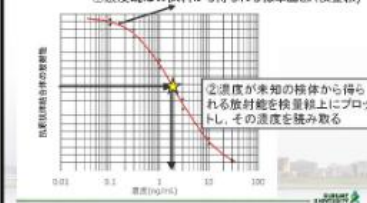
専用スリッパ



非密封線源の利用例

Radioimmunoassayの原理 (つづき)

①濃度既知の試料から得られる標準曲線(検量線)



②濃度が未知の検体から得られる放射能を検量線上にプロットし、その濃度を読み取る

核医学診断 ~PET、陽電子断層撮影診断~


- 陽電子放出核種(β⁺核種)を用いる
- 半減期が非常に短い(分)ため、放射性薬剤(18F)-FDG
 - (2-Fluoro-2-deoxy-D-glucose)を院内製造する
 - ブドウ糖の誘導体で体内ではブドウ糖と同様にエネルギー源とするため糖代謝の盛んな心臓、脳、腫瘍細胞などに集積

陽電子 陽電子

陽電子断層撮影

$^{18}\text{O} + p \rightarrow ^{18}\text{F} + n$

陽子と中性子の衝突



非密封線源の利用例

放射免疫測定法: Radioimmunoassay (RIA)

1950年代にR.S. YalowとA. Bersonによって開発された手法で、ngといった微量のホルモンが定量できるようになった。Yalowはインスリンに対するRIA法の開発により、1977年ノーベル生理学・医学賞を受賞

精製抗体が一定量の抗体と反応するとときに標識抗原(非密封線源)と非標識抗体とが競合する競合的抗原抗体反応を利用

試料中の抗原(非標識抗体)が多ければ、生成される標識抗原抗体複合体の量は少なくなり、逆に試料中の抗原(非標識抗体)が少なければ生成される標識抗原抗体複合体の量は多くなる



非密封線源の利用例 核医学診断

- 放射性同位元素で標識された放射性医薬品を患者に投与する
- 投与された放射性医薬品はその代謝などに従って特定の臓器に集積する
 - 放射性同位元素の種類: ^{99m}Tc (腫瘍診断)、¹²⁵I (甲状腺) など
 - 結合している化合物の特性: 抗体、受容体、生体構成物質の誘導体など
- 集積した放射性同位元素から放出される放射能を検出器で体外計測する

SPECT (Single Photon Emission Computed Tomography, 単一光子放射線断层撮影)

PET (Positron Emission Tomography, 陽電子断層撮影)

- どちらの検査も放射性医薬品を投与し(who)その集積を体外から検出し画像化、使いは利用する放射性核種の種類
 - SPECT: γ線放出核種
 - PET: β⁺線放出核種



核医学診断 ~PET、陽電子断層撮影診断~

陽電子放出核種(β⁺核種)を用いる

半減期が非常に短い(分)ため、放射性薬剤(18F)-FDG

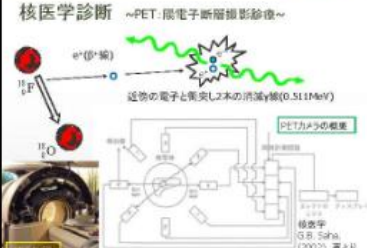
(2-Fluoro-2-deoxy-D-glucose)を院内製造する

ブドウ糖の誘導体で体内ではブドウ糖と同様にエネルギー源とするため糖代謝の盛んな心臓、脳、腫瘍細胞などに集積

陽電子断層撮影

陽電子と電子と衝突し2本の消滅γ線(0.511MeV)

PETカメラの構成



非密封線源の利用例 ~内用療法~

- 放射線同位元素を結合した放射性医薬品を投与
 - ^{131}I NaI: 甲状腺がん(セブツ病)や甲状腺がんなど
 - ^{223}Ra Cl₂: 骨がん、骨転移した癌による疼痛の緩和
- 投与された放射性医薬品は特定の臓器に集積
 - 放射性同位元素の種類: Sr(骨)、Ra(骨)、I(甲状腺)など
 - 化合物の特性: 脂溶性、水溶性、生体構成物質の誘導体など
- 放出される放射線(α線、β線)により腫瘍細胞を攻撃

【例】 ^{223}Ra の例

放射性崩壊系列 (α内は半減期)

| | | | | | | |
|-------------------------------|---|------------------------------|---|------------------------------|---|-------------------------------|
| ^{226}Ra (1,600年) | α | ^{222}Rn (3.82日) | α | ^{218}Po (3.10分) | α | ^{214}Pb (26.8分) |
| | | | | | | β |
| | | | | | | ^{214}Bi (20.4分) |
| | | | | | | β |
| | | | | | | ^{214}Po (0.14分) |
| | | | | | | α |
| | | | | | | ^{210}Pb (22.3年) |
| | | | | | | β |
| | | | | | | ^{210}Bi (5.01分) |
| | | | | | | α |
| | | | | | | ^{210}Po (138.4日) |
| | | | | | | α |
| | | | | | | ^{206}Pb (安定) |

α: α線放出、β: β線放出

α粒子は物質を透過しにくい。β粒子は物質を透過しやすい。

放射線発生装置

装置内で荷電粒子を加速するなどして人工的に放射線を発生させる。放射性同位元素の製造、放射線治療などに利用されている。



サイクロトロン
(久慈医科大学放射線医学研究センター)

- Hを高エネルギーの荷電粒子でCarbon-12を照射すると ^{11}C が生成される
- ^{11}C + p → ^{11}B + n

ライノック
(久慈医科大学放射線治療センター)

- 電子線照射機、電子線を用いた皮膚がんなどの存在治療の装置
- 電子線照射機(ラングスタンターゲット)において発生するX線による放射線治療


非密封放射性同位元素の取扱い

- 放射性医薬品の入ったバイアルの運搬は逆へい容器に入れて行い、準備が済むまで取り出さない
- 患者への投与には防護へい付きのシリンジを用いる
- 放射性医薬品は経口投与、点滴投与、注射投与などで行う。経口投与は放射性医薬品を投与した患者からではできない
- 予め必要な器具および防護手袋を確認し、放射性医薬品の投与を迅速に行う



放射線発生装置の取扱

- 電力の供給を断つことで放射線の発生を止めることができる。高電圧機器や機械類としての危険性がある
- 高エネルギーの放射線を発生することもあるので、その取扱いには十分な注意が必要である
- 放射線源(放射性同位元素)は存在しないため、内部被曝の可能性がある(考えなくてよい)
- 副次的に発生する中性子線の防護には十分注意する。その中性子線によって発生する放射化物質にも注意する



サイクロトロン出入口は入口1.5m以内、出口1.5m以内は放射線発生装置である。この範囲は必ず確保する。

非密封放射性同位元素の取扱い

- 放射性医薬品で汚染した物品は、所定の容器に収納し、十分な放射線遮蔽による汚染の拡大防止を図る
- 汚染は軽減するため、投与後の不要な接触は避ける
- 放射性医薬品投与後の周囲の汚染は放射線検出器による汚染の拡大防止を図る



放射化物質

- 確認せずして放射線をもつにいたったもの
- 荷電粒子を加速し、撞撃し照射する際、加速粒子や中性子などの2次粒子が周辺に放射化物質が発生



サイクロトロン、ライノック、ターゲットフィルム

電子加速器、放射線のレベルは低い
電子加速器・高エネルギー中性子が発生、放射線レベルが高い
放射線を発生した放射性同位元素と同様に管理

エネルギー施設近隣住民の 意識調査における要点

本巢芽美¹

2011年3月の東日本大震災による原子力発電所事故により、再生可能エネルギーの利用に対する一般市民の意見は肯定的であるといえよう。しかし、一般的な支持が高いからといって、再生可能エネルギー開発が容易に進むわけではない。再生可能エネルギー施設の立地地域にはさまざまな環境影響が起りうるため、地域住民から反発される例もある。例えば、風力発電では騒音や低周波音による健康影響が懸念され反対されるケースや¹⁾、太陽光発電では施設立地のための森林伐採や景観破壊による反対事例などがある²⁾。すなわち、再生可能エネルギーの普及促進に対する社会的機運を高めるためには、一般市民からの賛成は重要であるが、実際の施設立地においては、地域住民からの受け入れが不可欠となる。そのため、開発事業者は地域住民からの賛同を得られるよう、住民説明会を開催したり、地域に便益をもたらす事業の仕組みを思案したり、さまざまな工夫を行っている。

こうした際、地域住民の「賛成」とは何かに注意することが、再生エネルギー施設の近隣住民の心理を理解する上で重要である。なぜなら、反対がないことは必ずしも賛成を意味するわけではなく、また、賛成は永続的ではなく一時的なものである場合もあるからである。このような人々の賛否の意見や受け入れの態度のことを「社会的受容」という³⁾。社会的受容では次の3点が地域住民の受容性を理解する上でキーとなる。

第1に、社会的受容は評価と行動の2軸で分類される4つの類型がある点である。具体的には、「反対 (active opposition)」「拒否 (passive rejection)」「積極的支援 (active support)」「許容 (passive approval)」である(図-1)。「反対」とは、反対署名や発電事業者への意見書の提出など、反対の行動を伴うものをさす。「拒否」とは、反対のような行動はないが、再生可能エネルギーに対して抱く否定的な感情をさす。「積極的支援」とは、自治体自らが再生可能エネルギー施設を導入することや、地域住民が出資金を出し合い再生可能エネルギー施設を立地することなど、自らが再生可能エネルギーの利用に対し行動を起こすことをさす。「許容」とは、積極的支援のような行動はないが、再生可能エネルギー施設の立地を肯定的に捉えていることをさす。一般的には、反対運動がなければ住民は賛成していると捉えられがちであるが、実際には住民が行動を起こさないものの否定的な感情を抱いている場合もある。また、多くの住民は冷ややかな目で静観しているが、地域の有力者など一部の住民が賛成の意志を表明しているような場合も、実際には「許容」と捉えられる傾向がある。明確な反対の行動がない限り住民の意志が分からず、しかし、再生可能エネルギー施設は滞りなく建設されるため、受容されていると認識されやすくなる。こうした表面化されない地域住民の受容性に焦点を当てると、地域住民の心理を精緻に把握することができるようになる。

第2に、賛成の意見が一時的であるか、継続的であるかという点である。筆者が風力発電所の近隣住民に行った質問紙調査において、居住

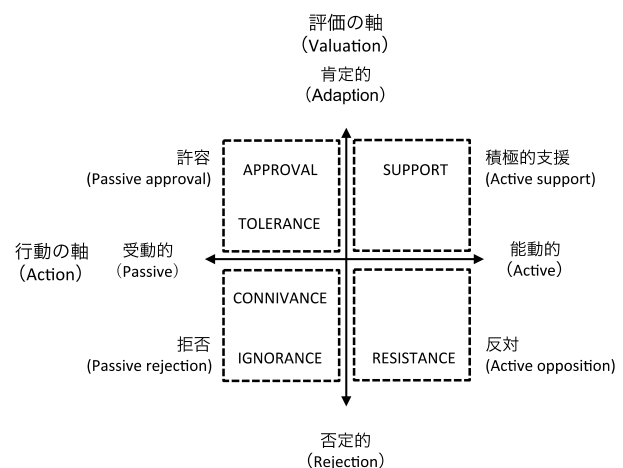


図-1 社会的受容の類型

(Schweizer-Ries 2008, IEA Wind Task 28 2010をもとに筆者作成)

¹名古屋大学大学院環境学研究科 特任講師

地近くの既存の風力発電所に対する賛否と、居住地近くに今後新たな風力発電所が建設されることに対する賛否を調査した。分析の結果、調査を行った2つの地域において、既存の風力発電所に対する賛成は8割以上と高いものの、新たな風力発電所の建設に対する賛成は5割弱に減少し、大幅に反対が増えることが明らかとなった（図-2）。これはすなわち、調査地域における持続的な風力開発を支持するものではないことを意味する。さらに、賛成だった人が反対へと意見が変わることを考慮すると、既存の風力発電所に対する賛成の意味も問う必要があるだろう。もしかすると、既存の風力発電所を喜んで受け入れているという意味での賛成ではなく、すでに建設されたため、風力発電設備の寿命に至るまでの稼働をしぶしぶ受け入れているに過ぎないことも考えうる。今後のさらなる再生可能エネルギー開発においては、既存の施設に対する賛成の意見を、今後の新規開発の施設に対しても高いまま維持することが重要となる。

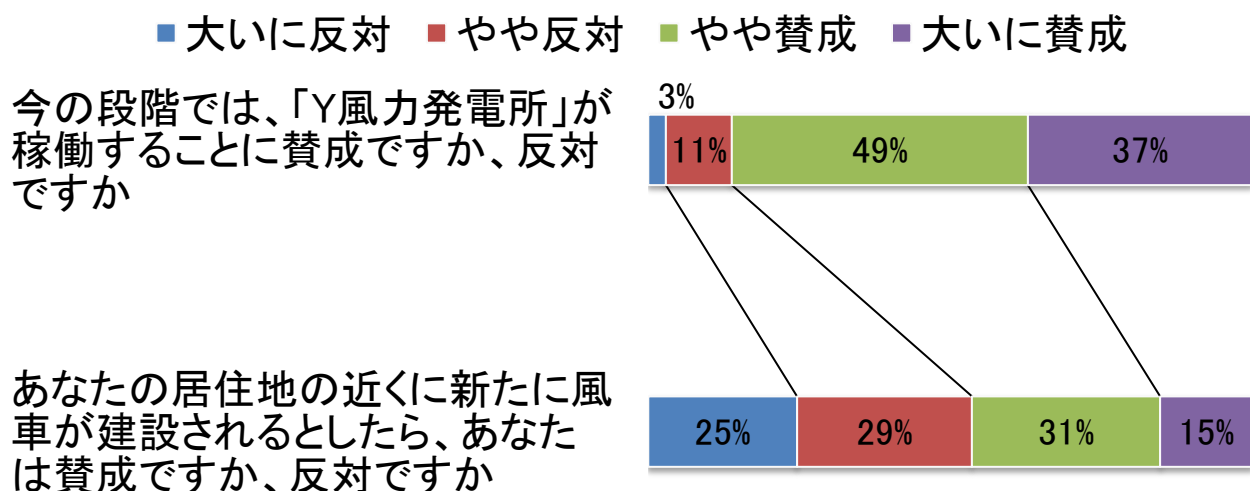


図-2 近隣の風力発電所の賛否と新たな風力発電所建設の賛否

本調査は、本県らによって1001人を対象に2012年8月に実施された質問紙調査である。

調査対象者は風車から3km内に居住する住民とし、選挙人名簿より等間隔サンプリングした（回答率32%）。

第3に、再生可能エネルギー施設には可視化できない価値があるという点である。図-3と図-4は、民家のすぐ近くに風車が立っている点において違いはないが、受容性においては大きな違いがある。図-3の風車は民家の住民から喜んで受け入れられている。他方、図-4の風車は近隣住民が反対運動を行っている。このような受容性の違いが生じる理由の一つは、風車の所有形態およびそれによる地域住民への便益の還元の相違である。図-3の風車は住民が所有するため、風車が発電すればするほど住民が売電収益を得られる。しかし、図-4の風車は民間企業が所有する風車であるため、発電しても住民には特にメリットがない。こうした可視化できない部分が受容性に影響を与える場合もあるため、単に風車と民家の近さといった見た目だけでは、住民の風力発電施設に対する受容性は把握できない。

本稿は社会的受容の考え方から、再生可能エネルギー施設の近隣住民の意識調査における要点を紹介したものである。しかし、エネルギー施設には再生可能エネルギーの他、火力発電所や原子力発電所もある。こうした発電所周辺の住民の意識調査においても、本稿と同様の考え方を適用できると考えられるが、立地地域における経済的な関わりにおいては違いがあるため、最後に1点補足したい。特に原子力発電所においては、立地地域には交付金や補助金などの経済的利益や地域住民の雇用などが生じる。そのため原子力発電所が稼働している間は、地域経済は原子力発電所に依存する傾向があり、原子力発電所が撤退すると、地域経済は維持することが困難となる場合がある。したがって、こうした経済的な依存の観点からも、なぜ地域住民は賛成であるのかを把握することが重要になるだろう。



図-3 賛成されている風車



図-4 反対されている風車

*本稿の大部分は、本巢芽美・西城戸誠（2015）「再生可能エネルギーの社会的受容性」丸山康司・西城戸誠・本巢芽美編著『再生可能エネルギーのリスクとガバナンス—社会を持続していくための実践』ミネルヴァ書房に基づいている。

参考文献

- 1) 本巢芽美（2016）『風力発電の社会的受容』。
- 2) 環境エネルギー政策研究所（2016）「別表1．トラブル事例調査結果一覧」、『研究報告 メガソーラー開発に伴うトラブル事例と制度的対応策について』。
<https://www.isep.or.jp/archives/library/9165> (2019.2.22 access)
- 3) IEA Wind Task 28 (2010), *Technical Report*.
http://www.socialacceptance.ch/images/IEA_Wind_Task_28_technical_report_final_20110421.pdf (Feb. 22. 2019 access)
- 4) Schweizer-Ries, P. 2008. “Energy sustainable communities: Environmental psychological investigations”, *Energy Policy*. 36(11), 4126-4135.

ドローン空撮画像を利用した3Dモデルの作成

加登文学¹

1. はじめに

防災を考えるうえで対象とする地域の地形や建物の状況を正確に把握しておくことは重要であり、通常、2次元の地形図を用いてこれらのことは実施される。一方、3次元で地域全体をモデリングし、鳥瞰的にその地域を見つつ、画面上で詳細部分も確認することができれば、危険箇所の発見や避難経路の検討など、事前の防災対応がさらに有効に実行できると考えられる。これに対して、ドローン空撮画像を用いた3Dモデリングは非常に有効な手段であり、この技術について知識を持っていることは防災に携わる技術者として重要なことといえる。そこで、3Dモデリングソフト「PhotoScan」を利用したドローン画像からの3Dモデル作成方法について実際の舞鶴市内のある集落を対象に実施した例を教材としてまとめた。

2. ドローン空撮

ドローン空撮では対象地区全体を高度、方向を考慮して多方向から複数枚撮影する。撮影枚数は多いほど詳細なモデルが作成できるが、処理時間が長時間に及ぶ。撮影方法のイメージを図-1に示す。「UAVを用いた公共測量マニュアル」¹⁾では同一コース内の隣接空中写真との重複度は60%、隣接コースの空中写真との重複度が30%を標準とするものと規定されている。また、対空標識(図-2)を設置し、その座標をGPS測量などで取得しておくことで、より高精度の3Dモデルの作成が可能となる。

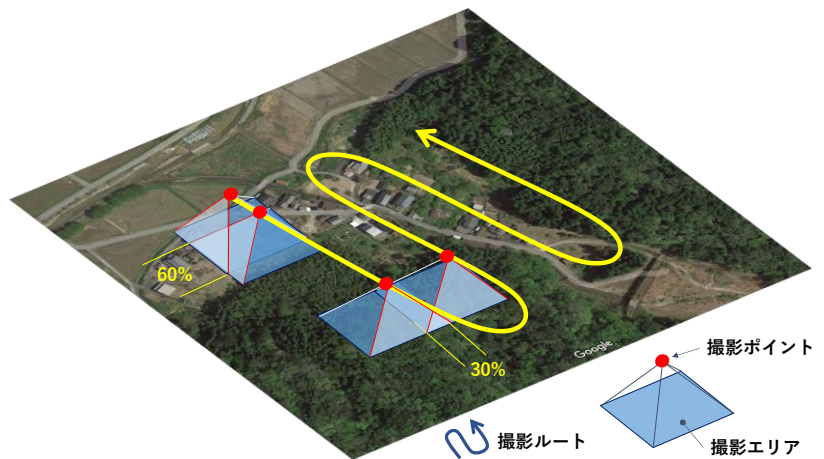


図-1 ドローン撮影方法のイメージ

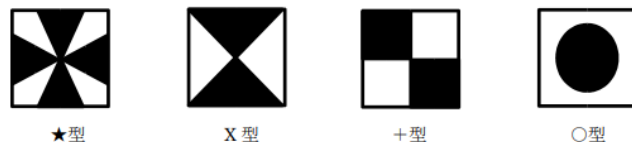


図-2 対空標識¹⁾

3. PhotoScanによる3Dモデリング

3DモデリングソフトAgisoft PhotoScan Ver. 1.4 (Ver1.5からは名称変更し「Agisoft Metashape」となっている)はタイポイントを設定する必要が無く簡単な操作で3Dモデリングができるといった特徴があり、実務での使用実績も多い。ここでは舞鶴市内のある集落を対象に行った事例に沿って3Dモデル作成の手順を説明する。

PhotoScanによる基本的な3Dモデリングは図-3のように「ワークフロー」の①写真の取り込み、②アラインメント、③高密度クラウド構築、④メッシュ構築、⑤テクスチャー構築、の順で行われる。

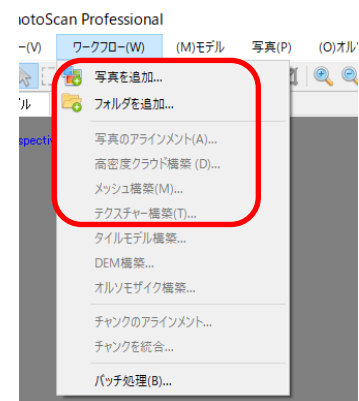


図-3 3Dモデル作成手順

¹建設システム工学科 教授

①写真の取り込み

「メニュー」→「ワークフロー」→「写真を追加」をクリックしてファイル選択画面から写真を選択する。または、エクスプローラーから複数ファイルを選択してPhotoScanの画面上にドロップすることで取り込むこともできる。取り込まれた画像ファイルは操作画面左のワークスペースにファイル名が一覧表示され、ダブルクリックで画像を表示することができる。

②写真のアラインメント

アラインメントとは整列するという意味で、PhotoScan pro版ではドローン空撮画像など写真に位置情報が含まれている場合はその情報と写真のオーバーラップなどから撮影地点を自動的に解析する。図-4は「写真のアラインメント」の設定画面とアラインメントの実行により、点群が生成されている様子である。水色の四角はカメラ撮影位置を示している。

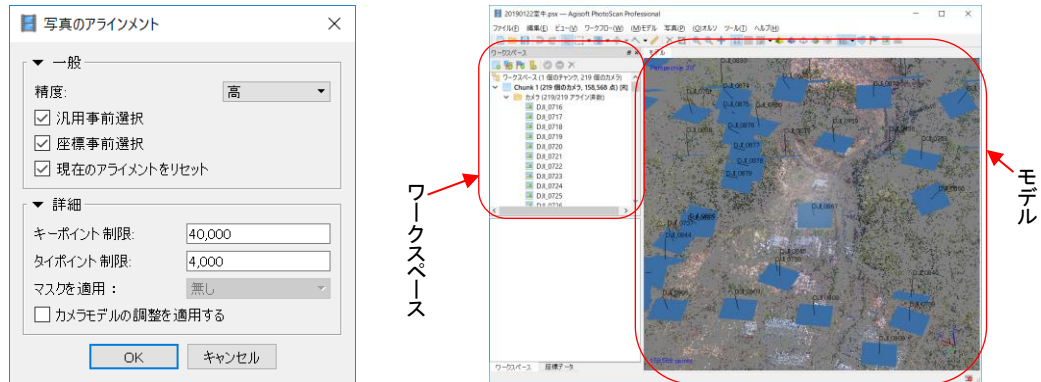


図-4 アラインメントの設定 (左) と実行後の点群生成の様子 (右)

③高密度クラウド構築

アラインメントで生成された点群データは密度が低く粗いメッシュ構築しかできない。そこで、「高密度クラウド構築」を行う。操作の実行後、ワークスペースの「高密度クラウド」に点群の数や品質が表示される。なお、生成された点群データはエクスポート機能により、様々な形式で保存でき、他のGISソフトなどでの活用も可能である。図-5に高密度クラウド構築後の点群を示す。拡大するとまだ点の集まりであることがわかる。

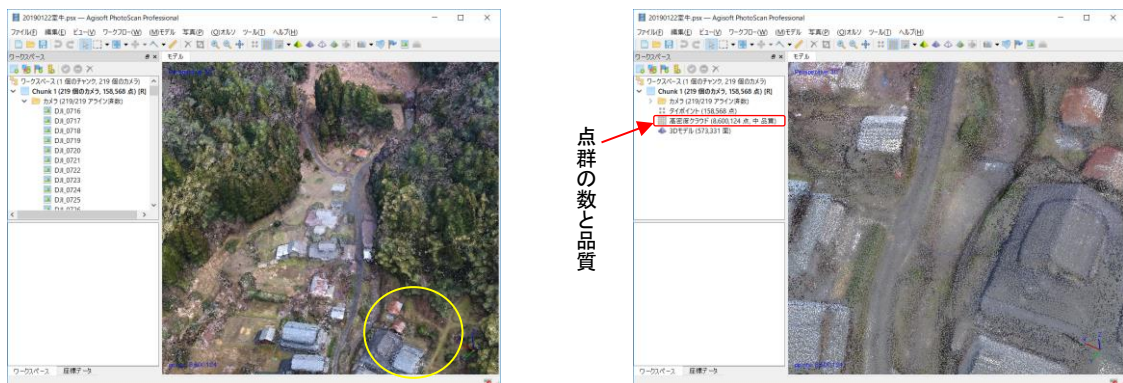


図-5 高密度クラウド実行後の点群 (左) と黄色丸部分の拡大 (右)

④メッシュ構築

高密度の点群データが生成された後、メッシュ構築を行う。「ワークフロー」→「メッシュ構築」を選び、パラメータを設定して実行する。メッシュ構築が完了するとシェードコマンドが選択できるようになり、選択するとモデルがポリゴンメッシュ表示される。

⑤テクスチャー構築

モデル作成の最後はテクスチャー構築となる。「ワークフロー」→「テクスチャー構築」を実行すると自動でテクスチャーが生成される。設定において穴埋めを有効にしておくことで、より自然な地形モデルが作成できる。以上の作業フローのすべての工程が完了するにはPCの性能にもよるが数時間以上かかることもあ

るが、バッチ処理を設定することで自動実行ができる。図-6にテクスチャー構築後のモデルを示す。

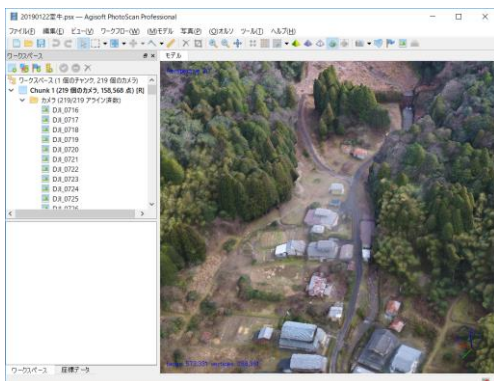


図-6 テクスチャー構築を実行して完成した3Dモデル

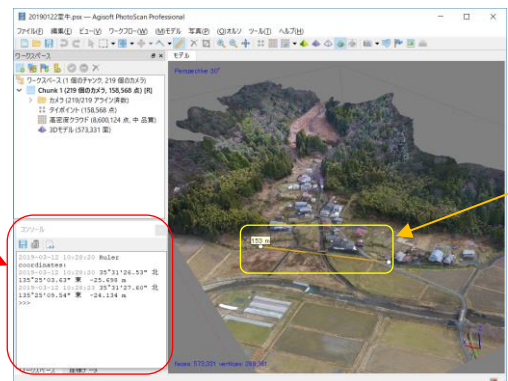


図-7 距離計測ツール実行の様子

3Dモデルが作成されると、座標や距離の読み取りが可能となる。図-7には距離計測ツールを実行した様子を示している。左下画面のコンソールにクリックした場所の座標が表示され、モデル画面には2点間の距離が表示されている。

4. 3Dモデルの精度について

上記の手順で作成した3Dモデルの精度をGPS測量の結果と比較する。図-8はGPS測量を実施したポイントであり、3Dモデルから同一点の座標を求めた。図-9に測点1からの距離とそれぞれの測点における誤差をまとめた。緯度、経度、および標高の誤差はそれぞれ1m程度以下となっており、防災の観点から対象地区の地形を把握するという目的に対しては十分な精度といえる。



図-8 GPS測量測点

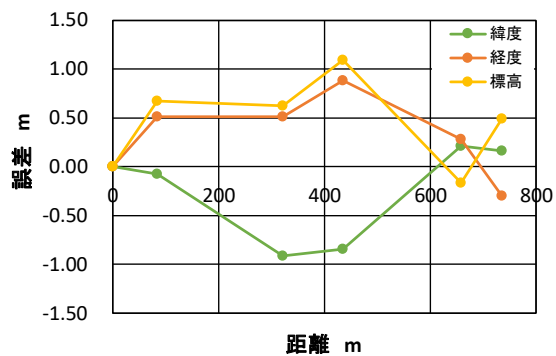


図-9 GPS測量との比較

5. まとめ

本報告ではドローン空撮画像と一般的なソフトを用いた3Dモデル作成手順について解説した。ドローン技術は急速に進歩し、実務においても導入が進んでいる。土木、測量や防災といった分野においてもドローン測量や3Dモデル作成といったことは当たり前の技術となりつつある。高専における教育においてもこれらの最新技術を学ぶ機会を設けることが必要と考える。ここでは基本的な操作方法について説明したが、より詳しいチュートリアル(例え(ば))も公開されているので参考にされたい。

参考文献

- 1) 国土交通省国土地理院：UAVを用いた公共測量マニュアル(案)，平成29年3月。
- 2) 株式会社オーク：PhotoScan Tutorial(<https://oakcorp.net/agisoft/try/>),2019.3.8閲覧

毛細管型粘度計による流体の粘度測定

西山 等¹

1. まえがき

電気エネルギーは我々の生活に必要な不可欠であり、これを維持・発展させるために地球温暖化や環境に配慮しながらエネルギー利用の高度化社会を実現する必要がある。水力・火力・原子力等の各発電所は流体を用いて位置エネルギー、熱エネルギー、核エネルギーのそれぞれを電気エネルギーに変換している。これらの施設には水車、タービン、ポンプ、ボイラなどの流体機械が組み込まれ、これらをつなぐ配管や圧力容器・貯蔵タンクなど機械・構造物と流体は非常に密接な関係がある。これら設備の設計・運転・保守・管理等また種々な見地からの基礎・応用・専門的な研究を行うためには、その前提として、流体物性の基礎知識やその把握法を知る必要がある。

そこで、教材開発として機械工学科4年生の流れ学Ⅱの流体計測の単元で、流体物性で極めて重要な動粘度について、毛細管型粘度計を実際に用いてその測定原理を説明し、流体として水を用い、その動粘度の測定の演習実験を行った。

2. 粘性・粘度・動粘度とは

流体には、空気、水、油、塗料など様々な種類があり、その粘り気のことを「さらさら」や「どろどろ」といった抽象的表現でいうことがある。粘り気の性質のことを粘性といい、これらを定量的に表したものが粘度および動粘度である。ここで、流体の粘度とは、流体のせん断変形に対する抵抗の尺度であり、式(1)のように、せん断応力 τ と速度勾配 du/dy の関係で与えられる。

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (1)$$

ここで、比例定数を粘度という。粘度は流体の種類、温度、圧力によって決定することができる物性値であり、式(1)は、ニュートンの粘性則と呼ばれている。

粘性は流れに対してブレーキの役割を果たすが、ブレーキの利き具合は流体の密度によって異なる。これは、同じ速度で走る自転車とトラックが全く同じ強さのブレーキをかけたとしても、質量が異なるので止まり方が違うということと同じである。したがって、流れに対する粘性の影響を考える際には、密度の影響を考慮する必要がある。これを定量的に表したものが式(2)に示す動粘度 ν である。動粘度 ν は流体そのものの動かしにくさを表し、同じ粘度 μ であっても密度 ρ が異なると、動きにくさは異なる。

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2)$$

3. 毛細管型粘度計による粘度の測定

粘度計は、JIS Z 8803「液体の粘度－測定方法」¹⁾により、「毛細管型粘度計」、「落球粘度計」、「共軸二重円筒形回転粘度計」、「単一円筒形回転粘度計」、「円錐平板形回転粘度計」、「振動式粘度計」の6つに分類される。ここでは、毛細管粘度計の詳細について説明する。

毛細管粘度計による粘度測定は、つぎの特徴がある。a) 試料の密度を測定せずに直接動粘度が求められる。b) 比較的よい精度で動粘度を測定することができる。c) 試料が比較的少量でよい。毛細管粘度計は、内径均一な毛細管中に層流状態で試料を流し、一定体積の試料が流れるために要する時間を測定してその試料の動粘度を求めるもので、動粘度 ν はHagen-Poiseuilleの式を修正して、式(3)によって求められる。

¹⁾舞鶴工業高等専門学校 機械工学科

$$v = \frac{\mu}{\rho} = \frac{100\pi r^4 g h t}{8(l+n r)} - \frac{100mV}{8\pi(l+n r)t} \quad (3)$$

ここで、 μ ：試料の粘度 (mPa・s)、 v ：動粘度 (mm²/s)、 ρ ：試料の密度 (g/cm³)、 π ：円周率、 r ：細管の半径 (cm)、 g ：重力加速度 (cm/s²)、 h ：平均有効液柱高さ (cm)、 t ：体積 V の試料が流れるために要する時間 (s)、 l ：細管の長さ (cm)、 V ：時間 t に流れる試料の体積 (測時球の体積) (cm³)、 m 、 n ：定数である。式(3)は、本来の原理式と異なり、右辺の第1項および第2項にそれぞれ係数100の値が掛けられている。式(3)の右辺の第2項を運動エネルギーの補正項、 nr を管端の補正という。平均有効液柱高さ h は、体積 V の試料の平均流量 V/t と細管中の流量とが等しくなったときの液面の高さの差をいう。

毛細管粘度計の構造および寸法が決まれば、式(3)は式(4)のように書き換えられる。

$$v = C_1 t - \frac{C_2}{t} \quad (4)$$

ここで、 C_1 ：粘度計定数 (mm²/s²)、 C_2 ：粘度計係数 (mm²) である。したがって、あらかじめ粘度の分かっている標準液を用いて実験的に C_1 、 C_2 を求めておけば、任意の試料の粘度は、一定体積の試料が流れる時間を測定することによって求められる。なお、運動エネルギーの補正が小さくて式(4)の右辺第2項が無視できる場合(流出時間 t が200~1000秒の場合)は、式(5)を用いてよい。

$$v = C_1 t \quad (5)$$

動粘度 (mm²/s) [cSt]=粘度計定数×流出時間(秒)

4. ガラス製毛細管型粘度計の種類と特徴

ガラス製毛細管型粘度計として、一般にキャノン・フェンスケ、キャノン・フェンスケ逆流形、ウベローデが広く用いられている。キャノン・フェンスケは少量の試料の動粘度測定、キャノン・フェンスケ逆流形は不透明な試料の動粘度測定、ウベローデは精度が高い動粘度測定ができる特徴をそれぞれもっている。

5. ウベローデ粘度計による動粘度の測定方法

ここでは、教材として用いたウベローデ粘度計による動粘度の測定方法²⁾について説明する。温度条件は常温である。図-1にウベローデ粘度計の模式図およびウベローデ粘度計と標準粘度液の写真を示す。

試料を管端Lから静かに入れ、粘度計を垂直に静置したとき試料の液面が試料だめ球Aの標線 m_3 と m_4 の間にくるようにする。管端Mを指でふさぎ、管端Nから弱く吸引して試料の上方液面が m_1 を越えるまで引き上げる。吸引を止め、管端Mを開いて直ちに管端Nをふさぎ、毛細管の最下端の試料が流出したら指をはなして試料を自然流出させる。液面が球Cの上の標線 m_1 から下の標線 m_2 まで流下するのに要する時間(流出時間)(秒)を測定する。式(5)に示すように流出時間に粘度計定数を乗じて動粘度を求める。粘度計定数は、製品に添付されているカードに記載されている。

測定に用いる補助器具は、つぎによる。a)測時時計：あらかじめ必要精度に応じて校正された0.1秒の単位まで読み取ることができる秒時計を使用する。b)温度計：あらかじめ必要精度に応じて校正された0.1℃以下の目盛をもつ温度計を使用する。c)恒温槽：粘度計内の試料面が、恒温槽内の液面から20mm以下に没するような深さを持ち、粘度計測時球の上下標線が、外部から透して見ることができるものでなければならない。試料の粘度を精度1%で測定しようとする場合は、温度変化は通常0.1℃以内、精度0.1%で測定しようとする場合は、温度変化は通常0.01℃以内である。また、適切なかき混ぜ機によって恒温槽内の温度分布を均一に保つことを必要とする。試料によっては、温度によって粘度が大きく変わるからため、そのようなおそれのある試料の場合は、粘度の測定精度に応じてあらかじめその変化を調べ、適切な恒温に保ち、適切な精度で温度測定を行わなければならない。なお、授業では、普通教室での演示実験のため、恒温槽は用いず簡易的に図-1に示す装置で水の常温(約20℃)における動粘度を測定し、一般的な流体の物性値表の値と比較し、動粘度測定が良好に行えたことを確認した。

6. 粘度測定に用いられる標準液

粘度計校正のための標準液は、つぎによる³⁾。a)比較測定方法によって粘度を測定する場合は、粘度また

は動粘度が分かっている標準液を用いて粘度計を校正しなければならない。b)粘度の標準液として、各温度における蒸留水および JIS Z 8809 に規定する粘度計校正用標準液を用いる。c)その他の粘度の標準液として、絶対測定方法によって粘度もしくは動粘度の値が求められている液体、または蒸留水を用いて比較測定方法によって粘度の値が求められている液体を用いることができる。図-1には、市販の粘度校正用標準液が示されている。



図-1 ウベローデ粘度計と粘度校正用標準液

参考文献

- 1) 日本工業規格, JIS Z 8803-2011, 流体の粘度測定方法.
- 2) 日本工業規格, JIS K 2283-2000, 原油及び石油製品一動粘度試験方法及び粘度指数算出方法.
- 3) 日本工業規格, JIS Z 8809-2011, 粘度計校正用標準液.

防災を通じて学ぶGIS

西村良平¹

1. はじめに

地理情報システムとは、地理情報および付加情報をコンピュータ上で作成・保存・利用・管理・表示・検索するシステムを言い、人工衛星、現地踏査などから得られたデータを、空間、時間の面から分析・編集することができ、科学的調査、土地、施設や道路などの地理情報の管理、都市計画など様々な分野で利用されている。現在はカーナビやハザードマップ、スマートフォンなどでも表示することができ、私たちにとって身近なものとなりつつある。また、阪神淡路大震災以降、災害を対象とした調査研究がGISによっても行われてきている。本研究では、防災をテーマにGISでのマッピングやシミュレーション技術などを会得するための教材開発を行う。

2. GISについて

GISとはGeographic Information Systemの略であり、実世界をモデル化し、意思決定や効率化を支援する情報システムである。特徴としては空間データと非空間データを併せ持ち、情報の動的な表示や編集、検索、分析が可能となる。主な機能としては、情報の可視化や管理、編集、解析、共有等が挙げられる。様々な形式のデータをGISに変換し地図上での活用が可能となり、それらの情報を地理的なアプローチから解析し、複雑な問題の解決を行うことができる。主な活用事例としては、自治体や災害対策、インフラ整備、エリアマーケティング等がある。

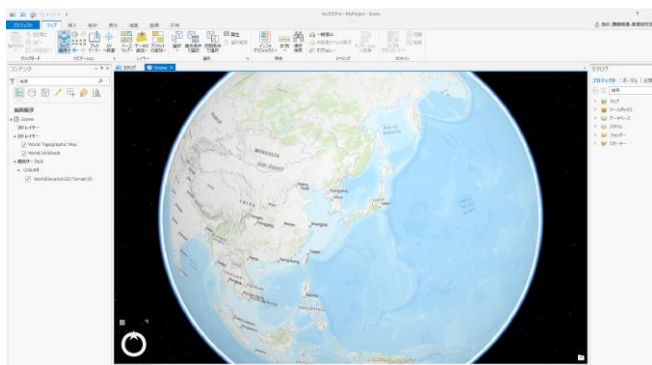


図1 地球モデル

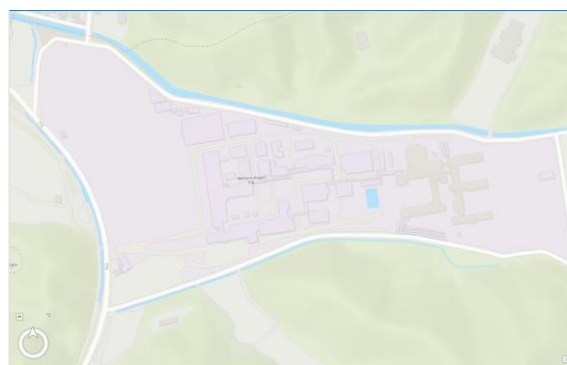


図2 舞鶴高専モデル

¹ 舞鶴工業高等専門学校 教育研究支援センター

3. GIS の基本操作

GIS では、フィーチャと呼ばれる実世界の地物をシンプルな図形でマップ上に表現し、それを同じ主題で表示したものを 1 つのレイヤーとする。そして、複数のレイヤーを何層にも重ね合わせて 1 つのマップを作成する。また、各フィーチャは属性と呼ばれる人や物に関する情報を持っている。例えば人であれば出身や、職業等がそれにあたるが、GIS ではこの属性を利用したフィーチャの検索や、シンボルやラベルの表示を行うことができる。また、この属性などのパラメータを利用し、人口が一定の割合存在する市区町村の検索や、洪水被害地域内の建物などの検索なども可能としている。このような機能を利用することで、都市計画や災害対策への検討を行うことができる。

マップ上では、異なった投影法で描かれた面積や距離を計測することができる。しかし、投影法は地球の大部分を正確に近似させることができるが、地球を 100%正確に表現することはできないことを理解しなければならない。

GIS データの素材は、位置情報を持つものであればどのようなものでもよいとされる。例えば紙地図や衛星画像、位置情報のついた写真も GIS データとなり得る。これらのデータは個人で作成する他にもインターネットを使用し、提供サイトからダウンロードすることが可能である。これらのデータは、データの形式、座標系、利用規約に注意を払う必要があるが、非常に多くのデータが提供されており、オリジナルの地図データを容易に作成することができる。

4. 教材利用

先にも述べたように GIS は様々な分野で多く利用され、その技術は社会に出ても必要なものとなってくる。舞鶴市は河川の氾濫や土砂災害などの自然災害も多く発生しており、また福井県高浜町にある原子力発電所にも近い位置にある（図 3）。そこに着目し、防災という観点から GIS の操作方法を学び、さらには GIS による情報提供なども行えるような教育を行う教材を開発する。

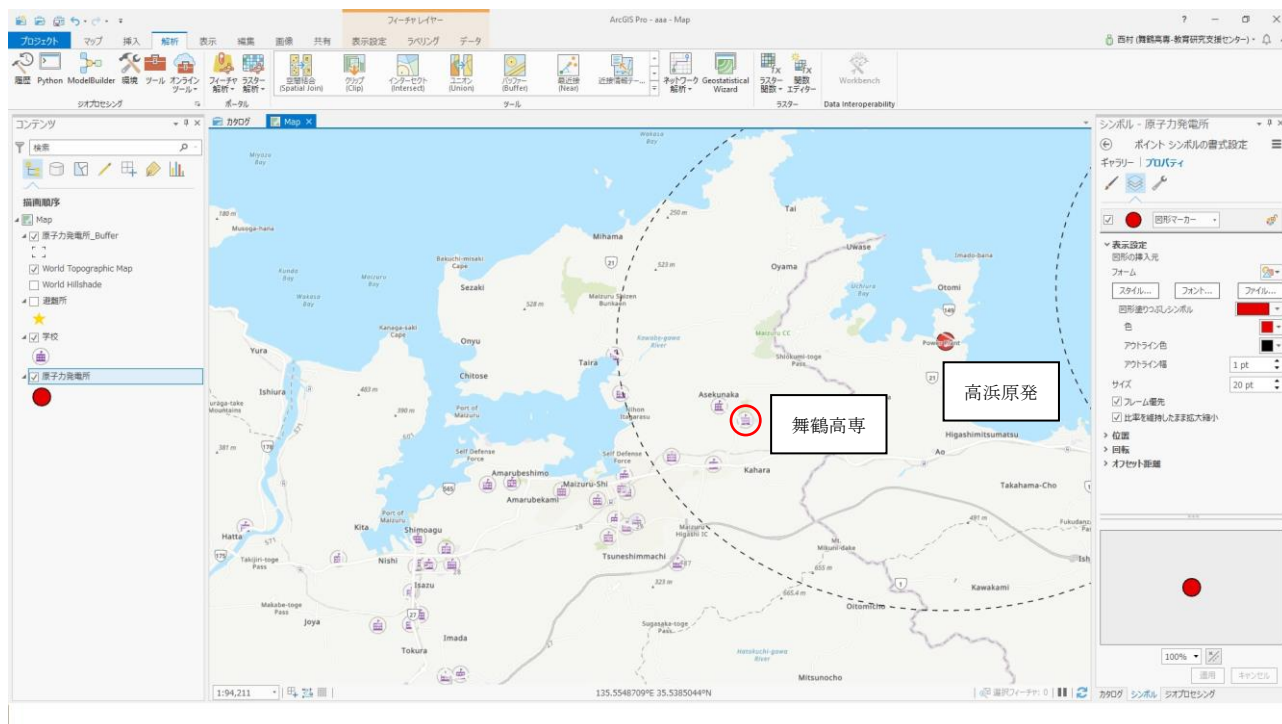


図 3 高浜原子力発電所から 10 km の範囲

表面加工

植田邦明¹

1. 概要

ものづくりの機械設計では、軸、穴のはめあいが重要な技術である。ここでは、穴加工に着目し、加工後の内面状態を観察し確認する。一つ目の教材は、切削加工機にNCフライス盤、内径寸法測定にホールテスト（3点マイクロメータ）を使用し、寸法チェック、補正加工と繰り返し行い公差域に仕上げる加工手順を実習し習得する。二つ目は、ワークの材質、固定方法、切削工具、工作機械等が、加工精度に何らかの要因になっていることを体験し実習する。三つ目は、精度に、加工面の表面性状、幾何公差等の3次元的な追及も必要であることを実習する。これらは、はめあい技術を習得するだけでなく、ものづくりにおいて、難問に直面したときに、いろんな角度から観察できる技術者センスを養えることになる。

2. 内径測定器とハウジングへの組込用部品



写真1：ホールテストとリングゲージ



写真2：軸受部品各種

写真1は、ホールテスト（3点マイクロメータ）とリングゲージを示す。当校は、 $\Phi 16 \sim \Phi 40$ を準備した。写真2は、各種の軸受部品を示す。どれもが、ハウジングにはめあい公差が必要である。

3. 加工・測定・部品のはめあい確認工程

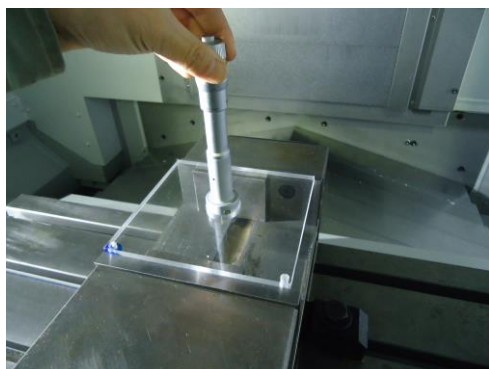


写真3：内径測定（アクリル板）

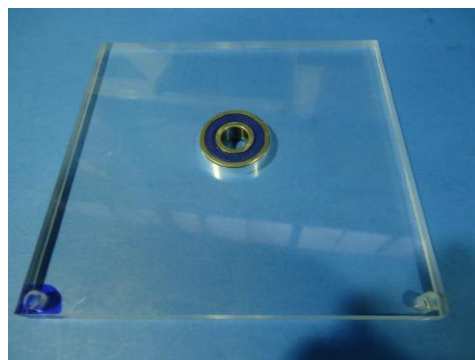


写真4：ボールベアリング組立

¹舞鶴工業高等専門学校 教育研究支援センター

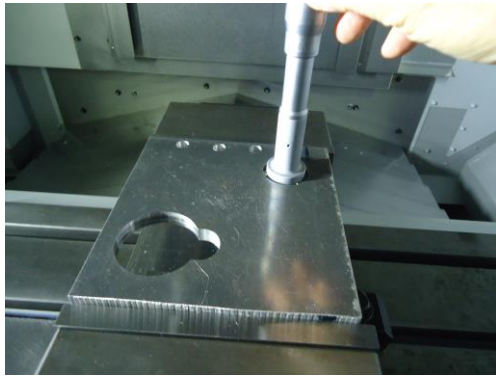


写真5：内径測定（アルミ板）

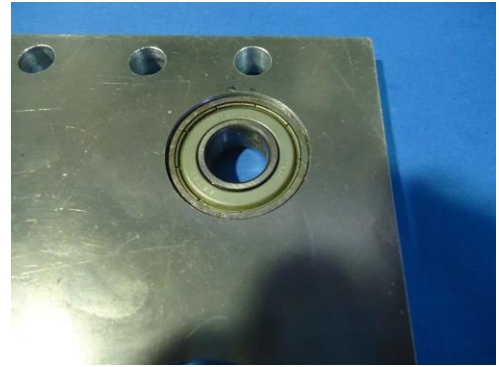


写真6：ボールベアリング組立

写真3は、材質アクリル板、板厚10mmにベアリングシートを加工し測定チェックして公差域に仕上げる様子を示す。写真4は、写真3の後に、ボールベアリング（外径 $\Phi 26\text{mm}$ ）を組立して確認する様子を示す。

写真5は、材質アルミ板（A5052）、板厚10mmにベアリングシートを加工し測定チェックして公差域に仕上げる様子を示す。写真6は、写真5の後に、ボールベアリング（外径 $\Phi 34\text{mm}$ ）を組立し確認する様子を示す。

4. はめあいを考慮した組立完成品例

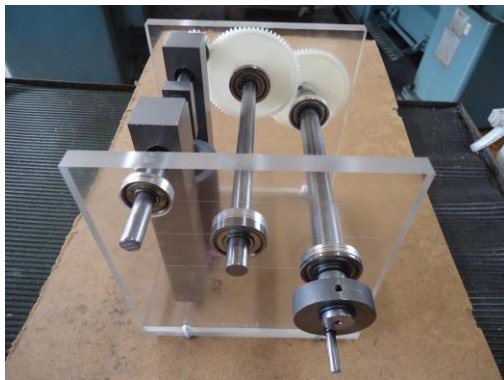


写真7：軸継手完成品1



写真8：軸継手完成品2



写真9：軸継手完成品3



写真10：自動車のハンドル軸受圧入部

写真7、写真8、写真9は、本校、機械工学科3年生の工作実習Ⅱの軸継手設計の製作品を示す。

写真10は、本校、機械工学科4年生の創造設計製作の自動車のハンドル部分を示す。ハウジング部は、材質SS400、内径 $\Phi 22\text{mm}$ 、深さ60mmであり、ロールブッシュ（滑り軸受）が圧入されている。

本校では、機械工学科3年生、4年生の実習をとおして実践し、将来、社会技術に貢献してくれる技術センスある学生の育成を進めている。

地域エネルギー・ 防災研究センターのデザイン

今村友里子¹

1. はじめに

平成30年6月から2月にかけて、地域エネルギー・防災研究センターのデザインを行なった。これまで舞鶴工業高等専門学校（以下舞鶴高専と表記）には、外部・内部に自由に開かれ、かつ多目的に利用が可能な空間が存在していなかったが、内装材の劣化等から倉庫として放置されていた図書館棟一階を、課題教育に取り組み拠点として、自由に開かれ、かつ多目的に利用できる空間として改修した。

改修の終了後は、「ラーニング・コモンズ」と通称し、学内のみではなく、地域・企業にも開かれたオープン・コモンズとしての使用も可能となっている。

2. 設計概要

この改修計画は、著者の設計計画に基づく建設施工業者による工事と、舞鶴高専有志による施主施工でのものづくりとの2つの工程で成り立っている。

まず、建設施工業者による工事であるが、図書館棟一階の元々の内装が劣化していたために、既存床材を撤去し下地コンクリート研磨仕上げとした。また、照明器具の劣化と自然光が余り入らないことによる薄暗いイメージを解消するため、天井仕上げ材の撤去と外壁側建具の刷新を行った。床・天井を撤去して構造体を現すことで、開放的かつ、ものづくりに適した現代的な空間を形成している。また壁面の二面を巨大なホワイトボード兼スクリーンとすることで、アクティブ・ラーニングや講演会でも使用が可能なフレキシブルな空間としている。

次に、舞鶴高専有志によるものづくり工程では、①照明器具(70個)・②家具(椅子50脚、机17台)・③個人学習スペース(6セット)・④壁色パネル(300枚)全ての設計・制作を行った。ラーニング・コモンズ全体の雰囲気を決定づけているのは、これら学生達の手による作品である。以下、それぞれについて概要を述べる。

①：建築環境学に基づく計算を行い、室内の必要照度を満足し、安全かつ既製品以下の価格での施工を実現している。材料としてアルミパンチングメタルと、LED電球を用いている。

②椅子：背もたれ無しと背もたれ付きの2タイプ存在し、どちらもスタッキングが可能である。背もたれ付きについては座面と背もたれの間に溝を作ることでパネルを立てかけることが可能となっており、ラーニング・コモンズでの展示やポスター発表の際に使用が可能である。構造用合板を用いている。

机：教室的使用、会議的使用、グループワーク的使用等を見据えて、大きさ・形の異なる3タイプを制作した。構造用合板及び、京都府産木材を使用している。

③：角材とボルトのみの組み立てである。移動、増設が容易なため、将来的な変更にも対応可能である。

④：新たな空間のシンボルである。1枚9ミリ厚、300ミリ角の構造用合板を、1枚ずつ研磨・染色・保護剤の塗布を行い、配色を考慮した上で壁面に貼りつけている。

以上、学生の力により、座学・実習・課外活動・講演会その他多様な用途への対応が可能な、新たな学問を生み出す空間としてデザインしている。

3. 今後の展開

ラーニング・コモンズは2019年3月より運用されており、主に授業での使用や、放課後の学生の自主学習の場として機能している。2019年夏季には舞鶴高専のオープン・キャンパスが行われるが、その場での使用を通じて学外への認知度を高め、ゆくゆくは地域全体のエネルギー・防災センターとして定着して行くことを期待したい。

¹舞鶴工業高等専門学校 建設システム工学科

Learning Commons

Library Renovation Planning

H31/Feb.
Complete

Design Yuriko Imamura Ryoosuke Onoe Yuya Komoto
+
Staff of the Department of civil engineering and architecture,
And Volunteer Students



図-1 計画の内容①

Learning Commons

Library Renovation Planning

H31/Feb.
Complete

Design Yuriko Imamura Ryosuke Onoe Yuya Komoto
+
Staff of the Department of civil engineering and architecture,
And Volunteer Students

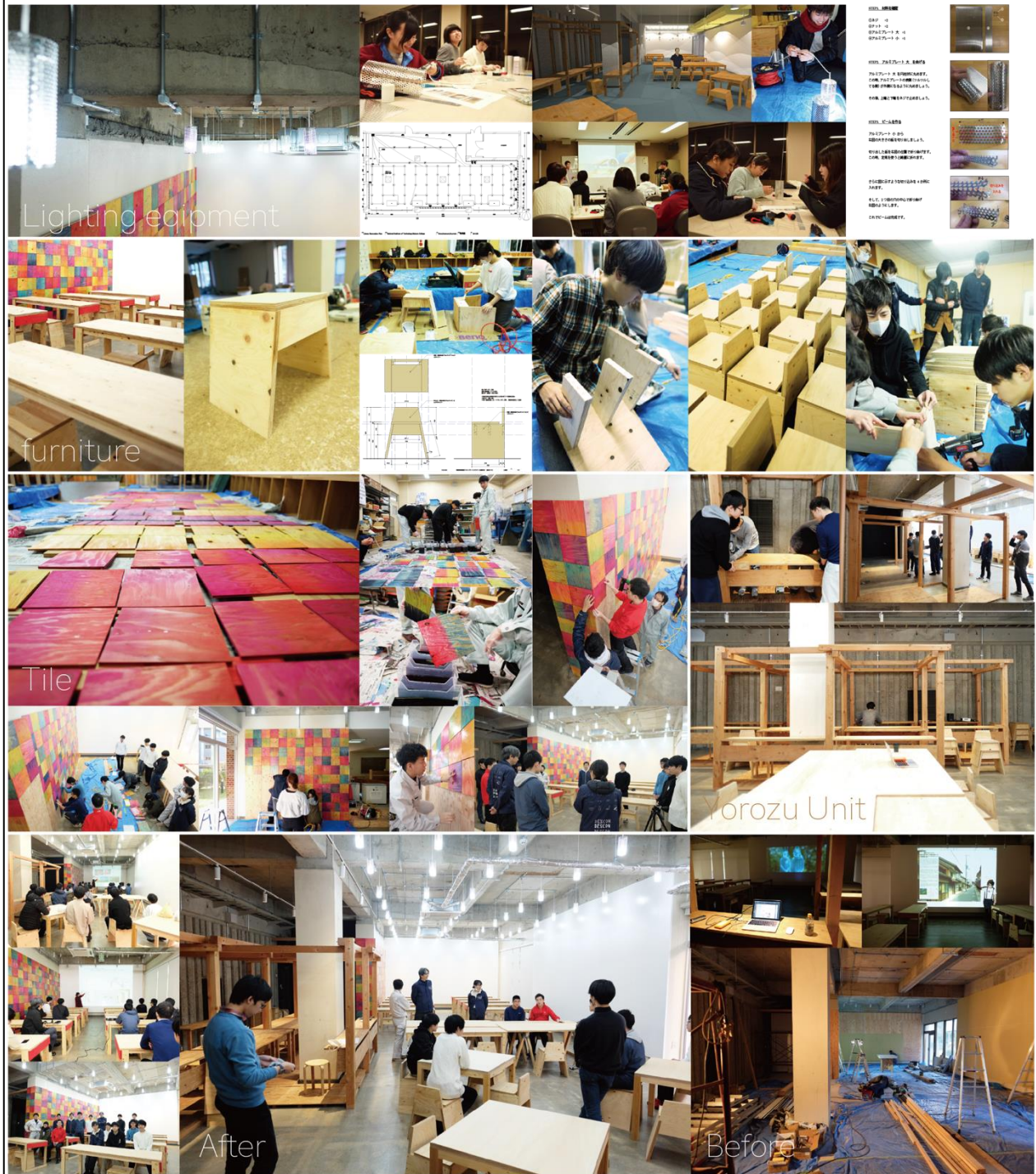


図-2 計画の内容①

原子力・防災関連の講演・見学会の実施とアンケート結果について

石井貴弘¹・三浦幸代²・小林洋平³

1. 講演会・見学会について

イニシアティブ事業の一環として、原子力および防災をテーマとした5回の講演会、13回の施設見学を実施しました。

開催した講演会の一覧を表1に示します。講演会については全て本校で実施し、原子力や防災についての演題で様々な分野の専門家の方に講演いただきました。

表1 講演会一覧

| | 演題 | 講師 |
|-----------------------|--|--|
| 第1回 (2018. 10. 19) | 「明石高専における防災技能を有した技術者教育 -これまでの活動とプロジェクトの目指すもの-」 | 明石工業高等専門学校 教授 鍋島康之 氏 |
| 第2回 (2018. 11. 28) | 「舞鶴市の防災について～原子力防災を考える～」 | 舞鶴市 危機管理・防災課 主査 千原弘也 氏 |
| 第3回 (2018. 12. 11) | 「原子力機構やふげんの取組み、卒業生としての高専への思いなど」 | 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 敦賀廃止措置実証部門 新型転換炉ふげん所長 森下喜嗣 氏 |
| 第4回 (2019. 01. 24) | 「舞鶴市における地域防災システムの社会実装にむけて」 | 衛星測位利用推進センター 松岡 氏 芳和システムデザイン 鈴木 氏 伊藤忠テクノソリューションズ株式会社 佐野木 氏 |
| 第5回 (2019. 03. 18) | 「この地域における原子力の過去、現在、未来等」 | 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 敦賀事業本部副本部長 森 将臣 氏 |
| | 「平成30年度“KOSEN(高専)4.0”イニシアティブ事業成果報告会講演」 | 舞鶴工業高等専門学校 准教授 小林洋平 |

開催した見学会の一覧を表2に示します。原子力発電所や原子力研修センター、港の防災施設などの施設見学を行いました。本校の近隣の施設を見学先としたことから、通常の授業カリキュラムを変更することなく、放課後や講義の合間に実施することができました。

表2 見学会一覧

| | 施設名 | 見学学生等 |
|-------------------|-----------|--------------|
| 第1回(2018. 10. 02) | ふげん・もんじゅ | 教職員 |
| 第2回(2018. 11. 07) | 原子力研修センター | 電子制御工学科5年生 |
| 第3回(2018. 11. 07) | 原子力研修センター | 電子制御工学科4年生 |
| 第4回(2018. 11. 12) | 原子力研修センター | 建設システム工学科3年生 |

¹ 舞鶴工業高等専門学校 教育研究支援センター

² 舞鶴工業高等専門学校 総務課

³ 舞鶴工業高等専門学校 機械工学科

| | | |
|-----------------------|------------|--|
| 第 5 回 (2018. 11. 15) | 原子力研修センター | 機械工学科 1 年生 機械工学科 5 年生 |
| 第 6 回 (2018. 11. 19) | 原子力研修センター | 機械工学科 3 年生 |
| 第 7 回 (2018. 12. 14) | 原子力研修センター等 | 電気情報工学科 2 年生 |
| 第 8 回 (2018. 12. 20) | 原子力研修センター | 電気情報工学科 1 年生 電子制御工学科 1 年生 電気情報工学科 5 年生 |
| 第 9 回 (2019. 01. 08) | 大飯原発 | 機械工学科 5 年生 建設システム工学科 5 年生 専攻科生 |
| 第 10 回 (2019. 01. 11) | 西舞鶴港防災施設 | 建設システム工学科(都市環境 コース)4 年生 |
| 第 11 回 (2019. 01. 16) | 西舞鶴港防災施設 | 建設システム工学科(都市環境 コース)5 年生 |
| 第 12 回 (2019. 01. 17) | 原子力研修センター | 建設システム工学科 1 年生 |
| 第 13 回 (2019. 03. 18) | もんじゅ | 教職員等 |

2. アンケートの実施と方法について

講演会・施設見学後には、アンケートによる教育効果の検討を行いました。アンケートは Microsoft Office365 のクラウドサービスのひとつ、Microsoft Forms を用いて Web アンケート方式で実施しました。Microsoft Forms は選択肢を選ぶ設問や自由記述の設問が簡単に設定でき、回答後の集計も自動的に行われます。回答用の URL を知っていれば誰でも回答が可能で、スマートフォン等からも回答できる利便性があります。学生には回答用 URL の QR コードが印刷された紙を配布し、回答してもらいました。教職員には事後に URL をメールで送付し、回答を依頼しました。

3. アンケート結果について

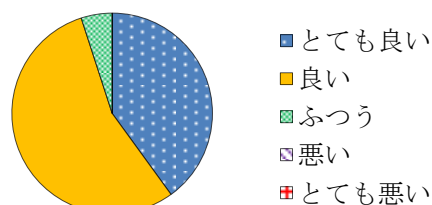
講演会では、のべ 190 名の参加者から 128 件(約 63%)、見学会ではのべ 348 名の参加者から 330 件(約 95%、1 年生 67 名、2 年生 41 名、3 年生 56 名、4 年生 51 名、5 年生 83 名、専攻科生 2 名、教職員等 22 名)の回答を得ることができました。以下にアンケート結果の詳細を示します。なお、アンケートは全て記名式で実施しました。

3. 1 講演会のアンケート結果

(1) 第 1 回講演(「明石高専における防災技能を有した技術者教育-これまでの活動とプロジェクトの目指すもの-」)

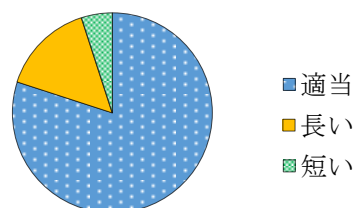
問 1. 講演会の内容はいかがでしたか。

| | | |
|-------|----|-------|
| とても良い | 8 | (40%) |
| 良い | 11 | (55%) |
| ふつう | 1 | (5%) |
| 悪い | 0 | (0%) |
| とても悪い | 0 | (0%) |



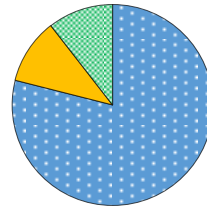
問 2. 講演の時間はいかがでしたか。

| | | |
|----|----|-------|
| 適当 | 16 | (80%) |
| 長い | 3 | (15%) |
| 短い | 1 | (5%) |



問3. 質問の時間はいかがでしたか。

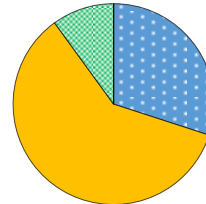
| | | |
|----|----|-------|
| 適当 | 15 | (79%) |
| 長い | 2 | (11%) |
| 短い | 2 | (11%) |



- 適当
- 長い
- 短い

問4. 防災に興味はありますか。

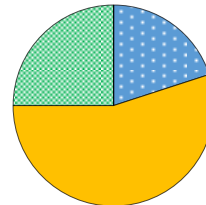
| | | |
|-----------|----|-------|
| とてもある | 6 | (30%) |
| すこしある | 12 | (60%) |
| どちらともいえない | 2 | (10%) |
| あまりない | 0 | (0%) |
| 全くない | 0 | (0%) |



- とてもある
- すこしある
- どちらともいえない
- あまりない
- 全くない

問5. 防災教育に興味はありますか。

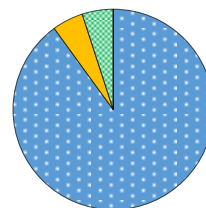
| | | |
|-----------|----|-------|
| とてもある | 4 | (20%) |
| すこしある | 11 | (55%) |
| どちらともいえない | 5 | (25%) |
| あまりない | 0 | (0%) |
| 全くない | 0 | (0%) |



- とてもある
- すこしある
- どちらともいえない
- あまりない
- 全くない

問6. 防災をテーマに解決策を考えることが課題解決力の育成に役立つと考えますか。

| | | |
|-----------|----|-------|
| とても役立つ | 18 | (90%) |
| すこし役立つ | 1 | (5%) |
| どちらともいえない | 1 | (5%) |
| あまり役立たない | 0 | (0%) |
| 全く役立たない | 0 | (0%) |



- とても役立つ
- すこし役立つ
- どちらともいえない
- あまり役立たない
- 全く役立たない

問7. 今回の講演会について、ご意見・ご感想等があればお願いします。

貴重なお話を頂きありがとうございました。
建設などの分野だけでなく電気や機械など分野を超えた防災でのつながりがさらに災害対策を良くしていくというお話が非常に印象に残りました。今後舞鶴高専も分野を超えたグループで防災に取り組んでいけるよウナ環境づくりに生かしていければと思います。ありがとうございました。

明石高専の Co+Work 報告書を詳しく読んだことがあります。全学あげてのプロジェクトで大変そうだなと思っておりました。他にも様々なプロジェクトが行われていることが分かりました。防災をキーワードにした明石高専の長年の取り組みがよく分かる講演でした。

研究推進・産学連携本部と連携して、防災に関する研究・教育を促進していくことになると思います。

何でも早ければ早いほどその後に繋がるなと思いました。

導入とまとめとしてお話しいただいた外部資金獲得についての考え方、既存の取り組みを積み上げる、現在の取り組みの成果を次の取り組みへつなげるなどは、外部資金だけに限らず様々なプロジェクト実施の参考になると感じました。鍋島先生は、現在は防災をテーマに教育・研究活動をされておられますが、時代の要請などに応じて変わる可能性があるもだとも感じました。

防災教育の充実が、現場における防災にどのように繋がっていくか、もう少し詳細に知りたかった。また、防災に限ったことではないが、日本中で技術者の不足が顕著であることをあらためて感じた。

| |
|---|
| これまでの明石高専の取組の流れがとてもよくわかりました。また、防災を学ぶことにより、そのあとの専門分野の研究の中で、防災をテーマにした研究が発生したというのは面白いなと思いました。 |
| 鍋島先生の説明がわかりやすくよかったです。 |
| <p>研究開発の際、高専はお金がないところなので、資本の少ない中小企業との相性が良くて、うまく連携して行けば良いという着眼点を知ることができました。また、災害時に電気がなくても使えるセンサーの開発という発想は良いと思いました。</p> <p>大阪府北部地震の際、震災発生直後に出勤しようとし、公共交通機関の運転取止めにより帰宅難民化した事例が見受けられます。また、台風や大雪の際にも無理に出勤して大渋滞を引き起こす現象が見受けられます。その解消法として、会社からの指示がなくても自発的に自宅に留まりテレワークを行うことが挙げられます。その実現のためには、教育機関として学生の内からテレワークの仕方を教える必要があります。そこで台風などで休校の際に、学生のワークである勉強が在宅してできるように、e-learningなどのインターネット媒体を利用した在宅学習を行える環境の促進を目指そうと思いました。</p> |
| とても分かりやすくお話しいただきました。 |
| 鍋島先生の専門からして自然災害に関する講演なのかと思ったが、防災を一般化してリスク管理ととらえているところが印象に残った。様々な補助事業を獲得できる教員に共通する事項として、何が本質なのかを見抜き、決して自分の専門にとらわれない発想をできる点にあることを再認識した。テーマは防災であったが、内容はとても広く普遍的な重要なものを気づかせてくれる内容であった。 |
| 明石で取り組まれたプロジェクトの全体が把握できて良かった。遠隔地講義システムや防災リテラシーのお手伝いに携わったが、部分的にしか内容が分かっていたので。 |
| 明石高専の防災教育への取組のようすを知れてとても勉強になった。とくに、防災教育というキーワードに対してどのような具体的な取組があるのか知れてよかった。 |

教員と技術職員の方にお聞きします。

今回の講演会をご自身の教育・研究活動にどのように活かしていきたいと考えますか。

問8. 教育について

| |
|---|
| 防災リテラシーのルーツが分かったこともあり、防災に関する授業の大切さを伝えようと思います。災害時には電源が無くなり、スマホなどの情報源から情報を収集できにくくなるときにハザードマップなどの日ごろからの確認が重要であることは伝えようと思います。 |
| 様々な分野の人材が協力・参画することにより新しい発想の防災・減災を実現できるという考え方のもと、ものづくりやリテラシー教育で協力できる部分を考えていきたいと思います。 |
| 教育、研究のテーマになるのであれば、協力したい。 |
| 学生の主体的な取り組みを増やしたいと感じた。 |
| 教育プログラムについて参考になるところがあったので、今後の教育で活かしていきたいと思いました。 |
| 可能な範囲で、授業や公開講座に「防災」という視点を組み込んでいきたい。 |
| 今のところ防災教育の科目を担当していないので直接役立つことはありませんが、例えば災害時に役立つ乗り物コンテストの部品を加工する際の加工技術を教えるという面で間接的には役立てそうです。 |
| 学生に対する防災教育やプロジェクトへの取組み方などを活かせればと考えます。 |
| 鍋島先生が補助事業に申請して、補助を受ける背景には「教育の改善」という視点が常にある。社会から必要とされる情報や技術、人材に常に目を光らせて、社会から必要とされる人材を育ててこそ教育であることを再認識した。 |

問9. 研究について

| |
|---|
| 原発事故が起こった際の避難や必要なものと言う部分に焦点を当てて今後の研究のアウトプットにしたいと考えます。 |
| 研究、教育の助成申請などに役立てたい。 |

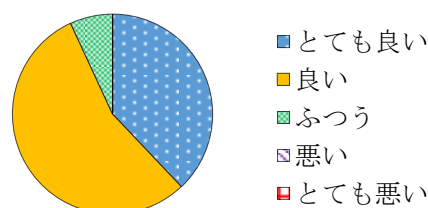
| |
|---|
| 他分野との連携した取り組みが必要と感じた。 |
| 「防災・減災」に関する研究は、いろいろな分野が融合されてできると感じました。今後もますます必要とされるような研究ができればよいと思いました。 |
| 防災は土木系だけでなく様々な専門分野と関わりや繋がりがあり、研究につながる種がたくさんありそうなので、普段から「防災」を意識しておきたい。 |
| 災害時の休校の際の在宅学習に使える動画教材の作成に活かしていきたいと思います。機械加工の様子を撮影して動画教材としてweb上に登録しておけば、災害時のみならず平常時にも予習の教材として役立つと思います。 |
| イニシアチブ 4.0 の研究テーマが避難計画となっており、防災マップなど参考になる部分が多くありました。 |
| 自身の専門にとらわれることなく広い視点で物事の本質を見抜くことがいかに重要であるか再認識した。研究者が昇る山は、スタートこそ違えど、山頂に行けば一点になる。そんなことを思わせる広い内容の話であったように思う。本講演により思い起こさせてもらったことは、今後の研究で大いに役立つと思う。 |

(2) 第2回講演（「舞鶴市の防災について～原子力防災を考える～」）

第2回講演会の直後に、災害時用の備蓄食料である備蓄用アルファ米の試食会を行いました。アルファ米とは、火を使わず、炊飯を行わずに食べられるご飯です。試食会ではお湯で作ったものと水で作ったもの、また注いでからの時間を数パターン用意して食べ比べてもらいました。そのアンケート結果も併せて示します。

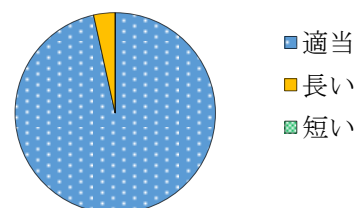
問1. 講演会の内容はいかがでしたか。

| | | |
|-------|----|-------|
| とても良い | 11 | (38%) |
| 良い | 16 | (55%) |
| ふつう | 2 | (7%) |
| 悪い | 0 | (0%) |
| とても悪い | 0 | (0%) |



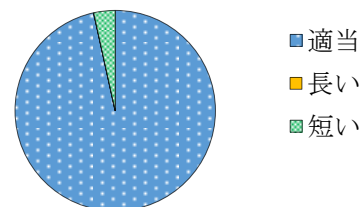
問2. 講演の時間はいかがでしたか。

| | | |
|----|----|-------|
| 適当 | 28 | (97%) |
| 長い | 1 | (3%) |
| 短い | 0 | (0%) |



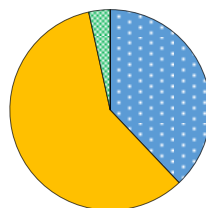
問3. 質問の時間はいかがでしたか。

| | | |
|----|----|-------|
| 適当 | 28 | (97%) |
| 長い | 0 | (0%) |
| 短い | 1 | (3%) |



問4. 防災に興味はありますか。

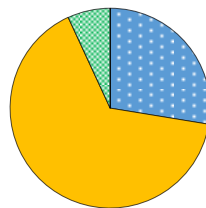
| | | |
|-----------|----|-------|
| とてもある | 11 | (38%) |
| すこしある | 17 | (59%) |
| どちらともいえない | 1 | (3%) |
| あまりない | 0 | (0%) |
| 全くない | 0 | (0%) |



- とてもある
- すこしある
- どちらともいえない
- あまりない
- 全くない

問5. 防災教育に興味はありますか。

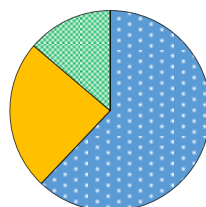
| | | |
|-----------|----|-------|
| とてもある | 8 | (28%) |
| すこしある | 19 | (66%) |
| どちらともいえない | 2 | (7%) |
| あまりない | 0 | (0%) |
| 全くない | 0 | (0%) |



- とてもある
- すこしある
- どちらともいえない
- あまりない
- 全くない

問6. 防災をテーマに解決策を考えることが課題解決力の育成に役立つと考えますか。

| | | |
|-----------|----|-------|
| とても役立つ | 18 | (62%) |
| すこし役立つ | 7 | (24%) |
| どちらともいえない | 4 | (14%) |
| あまり役立たない | 0 | (0%) |
| 全く役立たない | 0 | (0%) |



- とても役立つ
- すこし役立つ
- どちらともいえない
- あまり役立たない
- 全く役立たない

問7. 今回の講演会について、ご意見・ご感想等があればお願いします。

| |
|--|
| 舞鶴市の被害の写真などは、当時を思い出して拝見しました。原子力災害時の避難計画などは、説明を受けること自体が今回初めてだったので、非常に重要なお話と受け止めております。 |
| PAZ やUPZ を計算する際に、天気や風向きを考慮して半径を決めている点や、避難の際、PAZ を通る避難経路しかないことを考慮して区域を決めている点など、実際の事故を想定して規定を定めていることがよくわかった。 |
| 舞鶴市民として防災に対して様々な策を講じておられることがよくわかった。それでも自然災害は計り知れないものであるので、考えすぎなくらいでないかと実際起こった時に対応が出来ないものであることも痛感した。 |
| 今回は行政面からの講演内容でした。災害時には行政に頼ってばかりではいられません。行政と住民が連携を取りながら日々防災意識を高めることが大事であると思います。 |
| 原子力防災計画は概ね理解しているつもりだったが、「避難経路に準じてPAZ やゾーンを設定している」ことなど細かな考え方について知らないこともあったので勉強になりました。 |
| 原発に近い舞鶴市としての、事故の際の避難計画がよく分かる講演でした。いざというときの対応を住民が知っておくことも大事だと思います。 |
| 舞鶴市がどのように防災に取り組んでいるのか、様子がわかった。まだまだ課題はあるようなので、これからどのように課題を解決していくのか興味深い。 |
| 舞鶴高専の周辺環境の実例を踏まえた講演内容になっていたので実務的にも役立つ内容だったと思います。 |
| 学生の参加が増えるように工夫すべき |
| 途中参加・途中退席であったため、ご講演の一部を聞いたのみでのアンケート回答になります。 |
| 原子力防災の具体的な対処を知る事が出来て良かった。 一方で、自治会に入っていないアパート入居者では知る機会がなかったので、市内全世帯に郵送をするといった周知の徹底も必要かと思う。 |
| 本講演会の趣旨からすれば、授業の一環として、学生対象に開催すべきかと存じます。(ほとんど学生は居なかったように感じました。) |

| |
|--|
| タオルをかけて避難完了を示すとか初耳でした。もっと市民全体に伝えるべき内容に思いました。 |
| もう少し工学的な観点で課題などのお話があればよかったですと思います。 |
| 山地が多い舞鶴市では、土砂崩れによる道路寸断を早急に回復できるかどうか、遠方に避難する際に重要な懸念事項であると思いました。 |
| 地元の原子力防災については、目に見えない、難しい、非難が大変、実際にどう動いてよいか分からない、などのイメージがたくさんあり、敬遠してきましたが、今回、市の方から割と具体的な話を直接聞くことができ、自分の中の敷居が少し低くなった気がします。 |

問8. 今回のアルファ米の試食会について、ご意見・ご感想等があればお願いします。

| |
|--|
| 晩ご飯に黙ってだされても、今日は買い物いく暇がなかったんだね、で済みそう。 |
| 水やお湯など、条件により味が変わって感じるというのは面白く、あまりない体験だったと思います。 |
| 熱湯で作ったアルファ米はご飯があたたかく、「食事をしている」という感じはしたが、味が濃く、飲み物がないと食べ進められなかった。実際に被災した時には、飲み水は貴重であることから、熱湯で戻すよりも、味付きのアルファ米は水で戻した方が良いのかもしれないと考えた。 |
| 初めて食したが想像していたよりとてもおいしかった。非常食あのレベルなら何の問題もないものと思われる。 |
| アルファ米を初めていただきましたが、大変美味しかったです。災害時に水を食用に使う場合、衛生面に特に気をつける必要があるので、ペットボトルの水が災害時には有効になるのかなと思いました。 |
| 次の会議があったので試食できませんでしたが、試食会の試みは良いと思いますので、また機会があってもいいかと思います。 |
| 水とお湯、時間を変えて、など食べ比べがあったのは良かったです。1つ当たりの試食の量はもう少し少なくてもよかったです。非常用の塩分補給の狙いもあるのか、味が濃い印象でした。 |
| 調理方法を変えて試食してみたが、どちらも十分食用に耐えられるものでした。調理方法もよく分かったので非常時にも活用できそうです。 |
| ただ食べるだけでなく、水やお湯や時間等の条件の異なるアルファ米が準備され、食べ比べることができた。とてもよいアイデアだと思う。確かに、災害時にはお湯で作れるとは限らない。 |
| やはり炊きたてのご飯とは違ったが、美味しく頂けた。 |
| 水で戻したものは塩気を強く感じた。被災時に確保が大変な水とトイレに関係するので、塩分を抑えた方が良く思う。味は良かった。 |
| 希望者自身が、最初から（水から）作ってみた方が、より効果的（意義深い）と感じました。 |
| 条件を変えて数種類作ったのは、先生達の理系的興味を刺激して良かったのではないのでしょうか。 |
| お湯で温めたほうが美味しかったです。 |
| 他にも食べたことがあります。どれもそこそこおいしいと感じました。緊急時には十分かと思えます。また、賞味期限切れ間近のものをこのような形で有効利用されるのは良いことだと感じました。 |
| 非常食を口にすることがなかったので、今回試食できてとても良かった。万が一災害が発生しても衣食住の「食」に関しては安心できると思う。 |

教員と技術職員の方にお聞きします。

問9. 今回の講演会をご自身の教育にどのように活かしていきたいと考えますか。

| |
|---|
| 自分のみを自分で守るために地域のハザードマップ等を見るように促したい。質問させていただいた件も踏まえて、災害時こそ情報こそが大事であることを伝えたい。 |
| 防災リテラシーおよび2年機械工学科創造演習の担当者として防災教育を行っているが、常に自らが防災意識を持たないと学生には良い教育は施せない。その意味において、今回の講演会は私の防災意識をゆさぶる良い機会であった。 |
| 防災に関連する講義や出前授業で、質問されたりすることもあるので、今回の講演会で聞いた防災に関する細かな考え方について正しい回答をできるようにしていきたいと思えます。 |

| |
|---|
| 実際に起こったことから対策を練るのはもちろん、起こりうる事態を想定して対策を考えておくことは大切だと感じました。 |
| 教育に生かすとしたら、学生の安全確保であろう。舞鶴市内の学校の非難計画はほぼすべてそれぞれの地域に戻ることを前提としており、高専だけが例外である。舞鶴市に高専独自の計画の立案を依頼し、学生の安全確保に努めるべきである。 |
| 現時点では、うまく結びつけることができておりません。 |
| 実習実験に防災を織り込む要素は機械系ではないが、危険予知や危機回避は指導し続けたい。 |
| 工学的な課題を具体的に考える機会があれば教育、研究に活かせるかもしれない。 |
| 今回の内容を直接活かすことは難しいが、災害時に役立つロボット（例えば土砂崩れが起きた際に早急に道路を復旧するためのロボット）を作るための機械加工に関する基礎知識を教えるといった面で間接的には活かせそうです。 |
| 現在担当している創造演習という科目で防災をテーマにしたものづくりをしていければとおもう。 |
| 教育に活かすのは難しいですが、実際に原子力災害が発生した時に少しでも学生を守る方向に動けるような知識を得られたと思います。 |

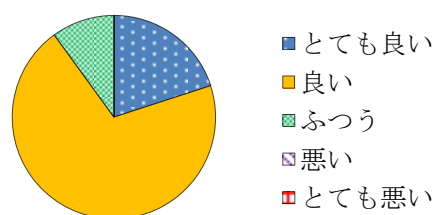
問10. 今回の講演会をご自身の研究にどのように活かしていきたいと考えますか。

| |
|---|
| 実際に災害が起こった時のことを想定して何が現場に必要なのかという観点から研究テーマを模索できる可能性があると感じました。 |
| 原子力災害時は、放射性物質の飛散には風が大きく関係する。風の状況を正確に把握することが、適切な非難に重要であり、学生に取り組みせるテーマとしてよいのではないかと思った。 |
| 現時点では、直接には結びつきそうにありません。 |
| 工学的な課題を具体的に考える機会があれば教育、研究に活かせるかもしれない。 |
| 直接活かせることはありません。 (原子力災害に関わらず、) 救援のバスが来るまでの間の屋内退避中の際に、非電源方式による水を温めて飲料水を確保する方法を開発できないかと思いました。 |
| 防災に役立つようなものづくりができればと思う。 |

(3) 第3回講演（「原子力機構やふげんの取組み、卒業生としての高専への思いなど」）

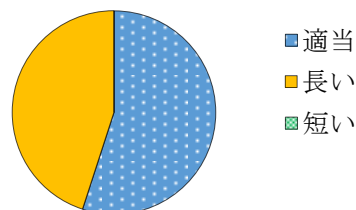
問1. 講演会の内容はいかがでしたか。

| | | |
|-------|----|-------|
| とても良い | 4 | (20%) |
| 良い | 14 | (70%) |
| ふつう | 2 | (10%) |
| 悪い | 0 | (0%) |
| とても悪い | 0 | (0%) |



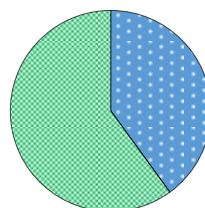
問2. 講演の時間はいかがでしたか。

| | | |
|----|----|-------|
| 適当 | 11 | (55%) |
| 長い | 9 | (45%) |
| 短い | 0 | (0%) |



問3. 質問の時間はいかがでしたか。

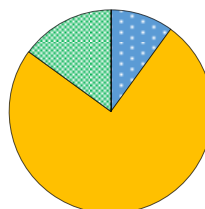
| | | |
|----|----|-------|
| 適当 | 8 | (40%) |
| 長い | 0 | (0%) |
| 短い | 12 | (60%) |



- 適当
- 長い
- 短い

問4. 原子力に興味がありますか。

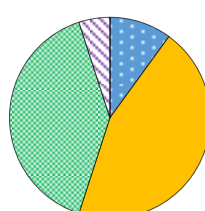
| | | |
|-----------|----|-------|
| とてもある | 2 | (10%) |
| すこしある | 15 | (75%) |
| どちらともいえない | 3 | (15%) |
| あまりない | 0 | (0%) |
| 全くない | 0 | (0%) |



- とてもある
- すこしある
- どちらともいえない
- あまりない
- 全くない

問5. 原子力について、詳しく学習してみたいですか。

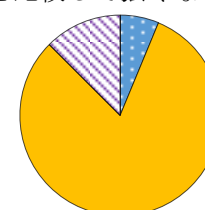
| | | |
|-----------|---|-------|
| してみたい | 2 | (10%) |
| すこししてみたい | 9 | (45%) |
| どちらともいえない | 8 | (40%) |
| あまりしたくない | 1 | (5%) |
| 全くしたくない | 0 | (0%) |



- してみたい
- すこししてみたい
- どちらともいえない
- あまりしたくない
- 全くしたくない

問6. 講演の後では原子力に関する興味・関心は講演前と比較して強くなりましたか。

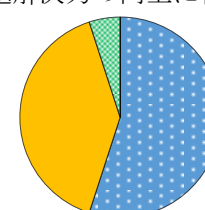
| | | |
|----------------|----|-------|
| とても興味・関心が強くなった | 1 | (6%) |
| すこし興味・関心が強くなった | 13 | (81%) |
| どちらともいえない | 0 | (0%) |
| あまり変わらない | 2 | (13%) |
| 全く変わらない | 0 | (0%) |



- とても興味・関心が強くなった
- すこし興味・関心が強くなった
- どちらともいえない
- あまり変わらない
- 全く変わらない

問7. 原子力や防災をテーマに解決策を考えることは課題解決力の向上に役立つと考えますか。

| | | |
|-----------|----|-------|
| とても役立つ | 11 | (69%) |
| すこし役立つ | 8 | (50%) |
| どちらともいえない | 1 | (6%) |
| あまり役立たない | 0 | (0%) |
| 全く役立たない | 0 | (0%) |



- とても役立つ
- すこし役立つ
- どちらともいえない
- あまり役立たない
- 全く役立たない

問8. 今回の講演会について、ご意見・ご感想等があればお願いします。

| |
|--|
| 今回の講演会について、ご意見・ご感想等があればお願いします。 |
| 昔もあったと思いますが、福島第一原発のことがあってから、原子力を廃止する運動がさらに強くなっていると思います。そうした中で廃炉になる原発も多くあると思います。廃炉にするにも多くの手間がかかることを今日の講演で知りました。手間がかかってもそのまま排出するわけにはいかないので、出来るだけ時間のかからない廃炉の方法を考えていくことは未来のためにも、とても大事なことだと感じました。 |
| 講演内容が少し専門的で学生には難しかったと思います。キャリア教育の位置付けでもう少し高専の学生時代のお話があればと思いました。 |
| 全世界の廃炉作業の状況が詳しくわかりやすく説明して下さいととても参考になりました。 |
| 公演ありがとうございました。 |

| |
|--|
| 原子力発電は問題があるものだが、それでも生活する上では必要ではないかと思った |
| 学生が多く、話す側もやりがいを感じられたと思う。やはり、1クラスか2クラスぐらい強制的に参加させるとよい。学年によっても、知識レベルが全然違うので、学生を参加させる場合には講演者に学年を伝えておくとうい。 |
| 今回の講演会で距離的にも近く自分の安全にも関わって来る原子炉の廃炉の話を詳しく現場の人から聞くことができ嬉しく思いました。 |
| もんじゅについては、ニュースで名前を聞いたことがあったがふげんについてはあることさえ知らなかったため、廃炉や原子力について少し知ることができてよかったです。 |

学生の方にお聞きします。

問9. 今回の講演会をご自身の学習にどのように活かしていきたいと考えますか。

| |
|---|
| 調べ学習をする際の参考にする。 |
| 実習、製図や材料学、材料力学など、高専で学ぶことが仕事に生きているということを知ったので、残り少ない勉強によりいっそう一生懸命取り組んでいきたい。 |
| 今学習している事が意外なところで役に立つかもしれないという意識を持ち、しっかり学習したいと思う。 |
| 舞鶴に住んでおり、原子力に加え、火力発電などを知る機会も多いです。身近にあるので、少しでも考えてみたいと思います。 |
| 廃炉ロボコンに出場するので、アイデアの一つとして活かしていきたいと思いました。 |
| 原子力の知識を得ることができた。どのようにしたら所長になれるかなど学べたので、それを活かしたいと思った。 |
| 高専での勉強が仕事や人生に大きな影響を与えたと言ってもらったので専門の勉強などを特に頑張る学習していきたいと思いました。 |
| 原子力発電所は舞鶴の近くにもあるので対策の取り方を知ること、防災に役立てていきたいと思った。 |
| 原発について知らない人がいれば、教えてあげられるようにしたい |
| 原子力の問題を考える機会があれば、講演会で教えていただいたことを思い出し、より良い考えが出せるようにしたいです。 |

教員と技術職員の方にお聞きします。

問10. 今回の講演会をご自身の教育にどのように活かしていきたいと考えますか。

| |
|---|
| 原子力防災も含めた防災教育 |
| 担当しているマリンエンジニアリングやプラント工学で原子力の内容を扱うのでその際に役立てていきたい。 |

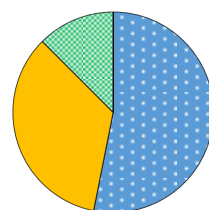
問11. 今回の講演会をご自身の研究にどのように活かしていきたいと考えますか。

| |
|---|
| リスクを減らし安全に十分に配慮する観点を持った工学技術の考え方を少しでも入れていきたい。 |
| 廃棄物が少量であるが出るそうなので、これをどのように安全に地中保管する方法やその移送方法について検討の余地がある。 |

(4) 第4回講演（「舞鶴市における地域防災システムの社会実装にむけて」）

問1. 講演の内容はいかがでしたか。

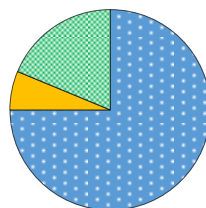
| | | |
|-------|----|-------|
| とても良い | 17 | (53%) |
| 良い | 11 | (34%) |
| ふつう | 4 | (13%) |
| 悪い | 0 | (0%) |
| とても悪い | 0 | (0%) |



- とても良い
- 良い
- ふつう
- 悪い
- とても悪い

問2. 講演の時間はいかがでしたか。

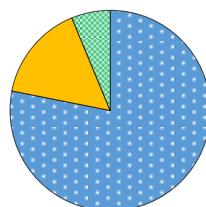
| | | |
|----|----|-------|
| 適当 | 24 | (75%) |
| 長い | 2 | (6%) |
| 短い | 6 | (19%) |



- 適当
- 長い
- 短い

問3. 質問の時間はいかがでしたか。

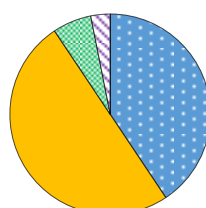
| | | |
|----|----|-------|
| 適当 | 25 | (78%) |
| 長い | 5 | (16%) |
| 短い | 2 | (6%) |



- 適当
- 長い
- 短い

問4. 防災に興味がありますか。

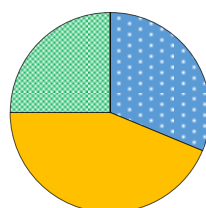
| | | |
|-----------|----|-------|
| とてもある | 13 | (41%) |
| すこしある | 16 | (50%) |
| どちらともいえない | 2 | (6%) |
| あまりない | 1 | (3%) |
| 全くない | 0 | (0%) |



- とてもある
- すこしある
- どちらともいえない
- あまりない
- 全くない

問5. 防災教育に興味がありますか。

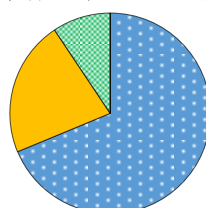
| | | |
|-----------|----|-------|
| とてもある | 10 | (31%) |
| すこしある | 14 | (44%) |
| どちらともいえない | 8 | (25%) |
| あまりない | 0 | (0%) |
| 全くない | 0 | (0%) |



- とてもある
- すこしある
- どちらともいえない
- あまりない
- 全くない

問6. 防災をテーマに解決策を考えることが課題解決力の育成に役立つと考えますか。

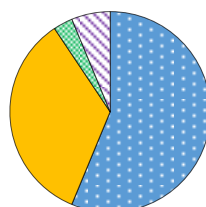
| | | |
|-----------|----|-------|
| とても役立つ | 22 | (69%) |
| すこし役立つ | 7 | (22%) |
| どちらともいえない | 3 | (9%) |
| あまり役立たない | 0 | (0%) |
| 全く役立たない | 0 | (0%) |



- とても役立つ
- すこし役立つ
- どちらともいえない
- あまり役立たない
- 全く役立たない

問7. 今回の講演会において、衛星とIoTとクラウドのどれに最も興味を持ちましたか。

| | | |
|------|----|-------|
| 衛星 | 18 | (56%) |
| IoT | 11 | (34%) |
| クラウド | 1 | (3%) |
| それ以外 | 2 | (6%) |



- 衛星
- IoT
- クラウド
- それ以外

問8. 今回の講演会について、ご意見・ご感想等があればお願いします。

| |
|--------------------------------|
| 防災についての話が少なかったように感じた |
| 衛星について詳しく知ることができてよかった |
| 僕は機械系に興味があるので近い道に進めたらいいなと思います。 |

| |
|--|
| 貴重なご講演ありがとうございました。 |
| 受信チップの値段が必要と価格競争で下がることにこれからの時代を感じるがあった。 |
| 衛星が思ったより多くの分野で活かされることがわかった。 |
| 衛星と IoT とクラウドの現状について知ることができよかったです。 |
| GPS とそれを使った IoT などの最先端のお話を聞くことができ、大変興味深かったです。某ドラマを思い出しました。 |
| とても有意義な講演でした |
| 時間が短い。 |
| 日頃、「ビジネス化」という視点で物事を考えることがほとんどないので、そういった視点から話が聞けたことがよかった。とくに、ビジネス化という視点がお金儲けということ以外に、技術が実用化する、あるいは技術が日常の一部として利用されるようになる過程で重要だという話が印象に残っている。 |
| いろいろと御協力いただき、ありがとうございました。 舞鶴市との連携なども含めていきたいと思います。 |
| 防災サービスを行う機器を開発する際には、平時でも別の用途に使えるものにしておくことが大事であることを実感しました。また、衛星測位は技術的に可能かの段階から、どう使うのかが大事な段階にきていることが分かりました。センチメートル級の L6 信号を受信できるアンテナを家庭用に購入できる状況にもうじき到達することを知りました。 |

教員と技術職員の方にお聞きします。

問 9. 今回の講演会をご自身の教育にどのように活かしていきたいと考えますか。

| |
|--|
| 電気情報全体の方針として IoT のアウトプットの参考にさせていただきます。 |
| どのように活かせるか検討したいと思います。 |
| 位置測定の通信技術等が発展してきて、それを活用するアイデアが重要になるとのことだったので、発想力を大事にするようにしていきたい。 |
| 最新の衛星技術など測量にも活用しているので学び、学生に伝えていければと思います。 |
| 新しい情報と通信のサービスを学生に伝えていきたい |
| 今のところ衛星測位に関する科目を担当していないので直接役立つことはありません。ただし、講演会での話にもありましたが、衛星測位をどう使うのかをテーマにして、学生にアイデアを発表させる授業を、今後機会がある時に提案したいと思いました。。 |

問 10. 今回の講演会をご自身の研究にどのように活かしていきたいと考えますか。

| |
|--|
| 衛星通信を持ってして、より便利なシステムを考えることに刺激を受けました。今後の発想のタネにさせていただきます。 |
| どのように活かせるか検討したいと思います。 |
| 衛星と受信機の精度を考える上での参考になりました。 |
| みちびきを使ったシステムの開発 |
| 無人走行で農耕用自動車を動かす話が講演会にありましたが、それを参考にして、衛星通信などを利用して遠隔操作する小型ロボット（ラジコン模型自動車くらいの大きさ）をつくり、地震などで登校できない日にそれを遠隔操作して実習授業（IoT 機器を利用した実習の一環の位置づけの授業）とするような教材開発をしたいと思いました。 |

学生の方にお聞きします。

問 11. 今回の講演会をご自身の学習にどのように活かしていきたいと考えますか。

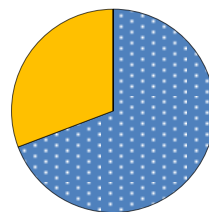
| |
|----------------------------------|
| 今後の IOT の波に乗り遅れないように最新の情報を手に入れたい |
| これからの産業の展開を考えることが大切だと思う。 |

| |
|---|
| 今の時間の流れについていけるように最低限の知識を持つようにしたい |
| 衛生が思っていたよりも非常に身近なものだと気付かされました。自分が就職した際にも、カーナビ等と関わる機会はあるかと思うので、その時には今日のことを思い出せたらと思います。 |
| IoT や衛星情報は生活に役立つだけでなく社会のインフラなどにも活用されることが分かったので自分が行う仕事にも関係していくことを知識として持っておきたい。 |
| 現在どのようなものを必要とされているかとわかったうえで、さまざまなシミュレーションを通しての開発を考えていきたい。 |
| これからますます IoT の分野が発展していくと思うので、自分の知見を広げるためにも IoT などについての知識を深めたい。 |
| GPS 関係は新しい技術なので、自分で勉強して研究などに役に立てたいと思います。 |
| 分からないことが沢山あったが、きっと今後の社会に出てとても有意義な知識になると思う |
| これからの研究の参考にさせていただきます。 |

(5) 第 5 回講演（基調講演「この地域における原子力の過去、現在、未来等」・「平成 30 年度 “KOSEN(高専)4.0” イニシアティブ事業成果報告会講演」）

問 1. 基調講演はいかがでしたか。

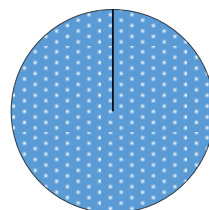
| | | |
|-------|---|-------|
| とても良い | 9 | (69%) |
| 良い | 4 | (31%) |
| ふつう | 0 | (0%) |
| 悪い | 0 | (0%) |
| とても悪い | 0 | (0%) |



- とても良い
- 良い
- ふつう
- 悪い
- とても悪い

問 2. 基調講演の時間はいかがでしたか。

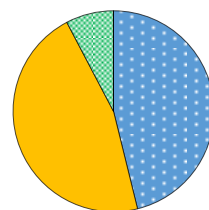
| | | |
|----|----|--------|
| 適当 | 13 | (100%) |
| 長い | 0 | (0%) |
| 短い | 0 | (0%) |



- 適当
- 長い
- 短い

問 3. 成果報告はいかがでしたか。

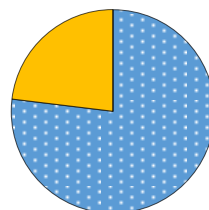
| | | |
|-------|---|-------|
| とても良い | 6 | (46%) |
| 良い | 6 | (46%) |
| ふつう | 1 | (8%) |
| 悪い | 0 | (0%) |
| とても悪い | 0 | (0%) |



- とても良い
- 良い
- ふつう
- 悪い
- とても悪い

問 4. 成果報告の時間はいかがでしたか。

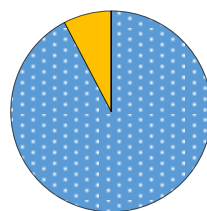
| | | |
|----|----|-------|
| 適当 | 10 | (77%) |
| 長い | 3 | (23%) |
| 短い | 0 | (0%) |



- 適当
- 長い
- 短い

問5. 本校が実施した教育プログラム開発が魅力ある高専教育の実現に有益であると考えますか。

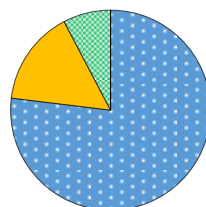
| | | |
|-----------|----|-------|
| とても有益である | 12 | (92%) |
| すこし有益である | 1 | (8%) |
| どちらともいえない | 0 | (0%) |
| あまり有益ではない | 0 | (0%) |
| 全く有益ではない | 0 | (0%) |



- とても有益である
- すこし有益である
- どちらともいえない
- あまり有益ではない
- 全く有益ではない

問6. 本校が実施した教育プログラム開発が学生の課題解決力の育成に役立つと考えますか。

| | | |
|-----------|----|-------|
| とても役立つ | 10 | (77%) |
| すこし役立つ | 2 | (15%) |
| どちらともいえない | 1 | (8%) |
| あまり役立たない | 0 | (0%) |
| 全く役立たない | 0 | (0%) |



- とても役立つ
- すこし役立つ
- どちらともいえない
- あまり役立たない
- 全く役立たない

問7. 成果報告会について、ご意見・ご感想等があればお願いします。

| |
|---|
| 大きな視点で KOSEN4.0 イニシアティブ事業が運営されており様々な活動を通して学生の育成が図られたことが分かりました。今後ともこのような事業を通して高専の価値を高めていければと感じました。 |
| JAEA の方のご講演は、長年現場におられたご経験から非常に臨場感がありました。資料を再度、読みたいと思います。あと、個人的には会場が寒かったです。 |
| 良かったかと存じます。 |
| 事業の具体的な内容が載っている報告書(冊子)を紹介したのが良かった。 |
| 多くの方に成果報告することができてよかったですと思います。成果報告書の内容について、地域の方等にも報告できる場が今後あればよいのではと思いました(少しでもよいので)。 |
| 時期がもう少し早い方が良かったかと思えます。 |
| 大変勉強になりました。ありがとうございました。 すいません、少し会場が寒かったです。 |
| 舞鶴高専の役割について話が聞け参考になった。 |

問8. 今回の成果報告会をご自身の活動にどのように活かしていきたいと考えますか。

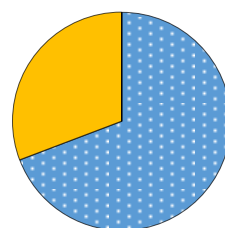
| |
|--|
| 能動的に物事を考え行動に移す能力を伸ばす教育 |
| ものづくりを通して課題解決力の高い学生の育成を目指すという目標に貢献できればと思います。 |
| 放射線教育や、自らの新たな研究に役立てたいと思います。貴重な機会をありがとうございました。 |
| 御校の目指される教育に増々お役立ちできる様に考えております。 |
| 関連する活動の持続性を確保したい。 |
| 防災教育で活かすことができればよいなと思いました。また、「ものづくり教育」では、「課題解決できる」技術者の育成も重要でありますので、そのことについても大変勉強になりました。 |
| 高専全体の原子力人材育成事業の参考とし、高度化していきたいと考えております。 |
| 更なる専門技術の指導に力を入れたい。 |

3. 2 見学会のアンケート結果

(1) 第1回(ふげん・もんじゅ[教職員対象])

問1. ふげんの見学会はいかがでしたか。

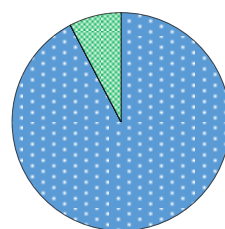
| | | |
|-------|---|-------|
| とても良い | 9 | (69%) |
| 良い | 4 | (31%) |
| ふつう | 0 | (0%) |
| 悪い | 0 | (0%) |
| とても悪い | 0 | (0%) |



■ とても良い
■ 良い
■ ふつう
■ 悪い
■ とても悪い

問2. 見学会の時間はいかがでしたか。

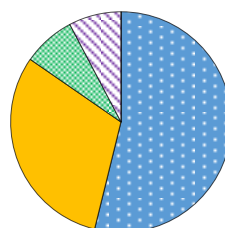
| | | |
|----|----|-------|
| 適当 | 12 | (92%) |
| 長い | 0 | (0%) |
| 短い | 1 | (8%) |



■ 適当
■ 長い
■ 短い

問3. ふげんの見学が学生の教育になると考えますか。

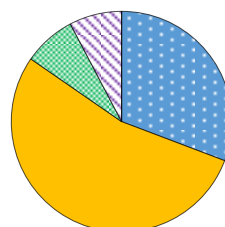
| | | |
|-----------|---|-------|
| とてもなる | 7 | (54%) |
| すこしなる | 4 | (31%) |
| どちらともいえない | 1 | (8%) |
| あまりならない | 1 | (8%) |
| 全くならない | 0 | (0%) |



■ とてもなる
■ すこしなる
■ どちらともいえない
■ あまりならない
■ 全くならない

問4. ふげんの見学が学生の課題解決力の育成に役立つと考えますか。

| | | |
|-----------|---|-------|
| とても役立つ | 4 | (31%) |
| すこし役立つ | 7 | (54%) |
| どちらともいえない | 1 | (8%) |
| あまり役立たない | 1 | (8%) |
| 全く役立たない | 0 | (0%) |



■ とても役立つ
■ すこし役立つ
■ どちらともいえない
■ あまり役立たない
■ 全く役立たない

問5. ふげんの見学について、ご意見・ご感想等があればお願いします。

| |
|---|
| 親身になって対応していただけており、とても良かった。本校の卒業生が活躍する姿を見ることができてよかった。 |
| 国内初の廃炉に向けた取り組みを間近で見学することが出来、廃炉に向けた計画やそのために必要な処理などを知る良い機会となりました。 |
| 原子炉へ見学に行く前の説明のときに、質問をしながら話が聞けるとよかったです。前提知識がない場合に、あの時間で内容を理解できるのか気になるところです。今回で言えば、非専門の方々が原子炉のしくみについて理解できたのか知りたいです。 |
| 実際に現場を見学することができてよかった。見学する際に、予め知識を入れておくことは大切であると感じた。 |
| 放射線がどのように人体に影響するかという説明が一切なかったのが気になったところです。最初の説明が長いような気はしましたが、廃炉作業とそこから得られる知見を活かしていくという方針はよく分かりました。 |

本校卒業生の方が活躍されていることに驚きと感動を覚えました。案内の方の声が小さく聞き取りにくかったのが残念です。厳格な個人確認や各種入館手続き、着替えなども含め良い経験をさせていただきました。

ふげんの設立意義、また役割を終えた理由、これからの役割など分かり易くお話しいただき、よく理解できました。セキュリティの在り方など参考になる点もありました。

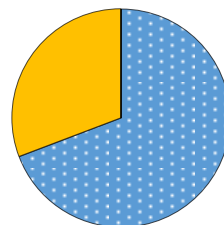
技術広報の方から事前説明をいただいたうえで、実際の現場を見学させていただいたので、専門知識が無くても理解が深まったと思います。日本のエネルギー政策についての歴史を勉強する意味でも有意義ではないかと感じました。

前提の知識がないと難しい説明もありましたが、非常に丁寧に解説していただいたと思います。セキュリティの管理などは原発ならではの点も感じました。

正直、見学に行くまで「ふげん」の存在を知りませんでしたし、原発=危険というイメージのみを持っていました。しかし安全に25年間も運転され、期間を終え、綿密なスケジュールのもとに廃止措置がとられている事や、問題視されている廃棄物も全体の2%しか無い事を初めて知りました。作業員達が常に安全に配慮し作業を進めている姿を学生に見学させ、原発に対する知識を深めてもらうのは大変意味のあるものだと思います。玄関先に飾られていた普賢菩薩の掛け軸？布の絵が印象的でした。個人的な感想としては、森副所長のお話が大変面白かったので、ぜひまた機会があれば聞きたいと思います。

問6. もんじゅの見学会はいかがでしたか。

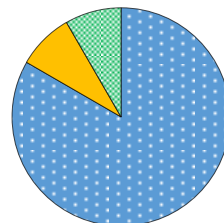
| | | |
|-------|---|-------|
| とても良い | 9 | (69%) |
| 良い | 4 | (31%) |
| ふつう | 0 | (0%) |
| 悪い | 0 | (0%) |
| とても悪い | 0 | (0%) |



- とても良い
- 良い
- ふつう
- 悪い
- とても悪い

問7. 見学の時間はいかがでしたか。

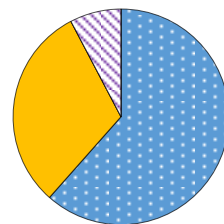
| | | |
|----|----|-------|
| 適当 | 10 | (83%) |
| 長い | 1 | (8%) |
| 短い | 1 | (8%) |



- 適当
- 長い
- 短い

問8. もんじゅの見学が学生の教育になると考えますか。

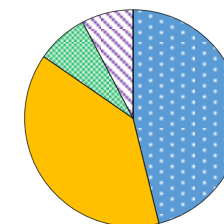
| | | |
|-----------|---|-------|
| とてもなる | 8 | (62%) |
| すこしなる | 4 | (31%) |
| どちらともいえない | 0 | (0%) |
| あまりならない | 1 | (8%) |
| 全くならない | 0 | (0%) |



- とてもなる
- すこしなる
- どちらともいえない
- あまりならない
- 全くならない

問9. もんじゅの見学が学生の課題解決力の育成に役立つと考えますか。

| | | |
|-----------|---|-------|
| とても役立つ | 6 | (46%) |
| すこし役立つ | 5 | (38%) |
| どちらともいえない | 1 | (8%) |
| あまり役立たない | 1 | (8%) |
| 全く役立たない | 0 | (0%) |



- とても役立つ
- すこし役立つ
- どちらともいえない
- あまり役立たない
- 全く役立たない

問10. もんじゅの見学について、ご意見・ご感想等があればお願いします。

見学前の説明がとても分かりやすく良かった。民主党政権次代に見学施設が閉鎖された話を聞き、なぜそのようなことをしたのかと思った。多くの人に見てもらい、国民的な理解の下に運営されるべき施設である。見学施設が維持されれば、国民の理解を得られ、廃炉という決断にならなかったのではないかと思った。

原子炉自体の中に入って実際に目で見るという体験も非常に貴重ですが、研修センター等にある原子力発電についてや核分裂についての展示が非常に教育に役に立ちそうだと感じました。

1階に展示されていた教材がとても工夫されていて、素晴らしいと思いました。ナトリウムの教育・実験施設も充実していて驚きました。原子炉のすぐそばまで行き、その大きさや技術の高さを実感することができ、貴重な経験でした。ありがとうございました。

現場を見学する前に、簡単な体験学習をすることは、興味を持たせるためにも大切であると感じた。

展示や説明は分かりやすかった。ナトリウム研究所なども体験型で興味深く見せていただきました。原子炉建屋内部に入れるのは貴重な機会でしたが、セキュリティが厳重で、学生が行くとなると大人数では厳しいように思いました。

あまり知識がありませんでしたが、丁寧に分かりやすく解説していただけたのが良かったです。ふげん同様、至近距離で現場を見学できたことや非常にインパクトがありました。

随行してくださった方が技術者で、技術者の視点で分かり易くお話しされており、知識が無くても理解できました。また、技術者としても考え方や在り方などお話しされたりし、学生にとっても良い勉強になるのではと思いました。

説明していただいた技術者の方から特に熱い思いを感じました。もし学生向けに見学会を行ったら、技術者を目指す学生にとって強く印象に残るものになると思います。

ふげんの見学の後ということもあると思いますが、非常に解説が分かりやすかったです。また、内部の壁面に掲示がしてあったこともあり、今どこにいるのか、何を見ているのかということも感覚的に分かりやすかったと思います。

巨額の前算を投じて建設された建物や、当時トップクラスであつたらう技術力を集結させて出来ている原子炉と施設は、一目見るだけでも技術屋さんにとって素晴らしく価値があるのではないかと思います。制御室はまさに圧巻！宇宙戦艦ヤマトの司令室だ！と勝手に興奮していました！（古い？そして私だけ??）ナトリウムの施設としてだけ活用するには大変もったいなく、何か別の活用があれば良いのにと感じます。見学時は、何の知識も無い私にも分かるように丁寧に説明くださり、大変ありがたかったです。ナトリウム漏れ事故や福島事故についても詳しく解説してくださり、技術屋のあるべき姿や、熱い思いが伝わってきました。本当はまだまだ伝え足りないのだろうなと感じました。ぜひ学生達にあの講話をたっぷり時間をとって聞かせてあげたら良いと思います。

教員と技術職員の方に全体を通してお聞きします。

今回の見学会をご自身の教育・研究活動にどのように活かしていきたいと考えますか。

問11. 教育について

あれだけの施設を廃炉にする指示を受け、現場でたくさんの方が奮闘していることが見学により良く分かる。学生が見学することで高度な技術に対峙することが技術者として求められ、その為高専で習う知識が重要であることが良く分かると思う。「勉強しろ」と頭ごなしに言うよりも、どれだけ良い効果を学生にもたらすか分からない。近くにあるのだから積極的に活用すべきだ。

リスク管理の具体的な話など、担当している防災にかんする科目に役立つ情報が得られた。

エネルギー工学Iでは発電と送電を勉強します。発電にはもちろん原子力発電所についても触れますので、原子力発電所の内部がどのようになっているか学校の近くの原子力発電所の状況や特性などを理解することができたため、学生にはより詳細に正確な講義を行うことができると考えています。

現在取り組んでいる「放射線の基礎」を内容としたe-learning教材の開発において、原子力発電のしくみについて取り上げたいと思っています。また、物理の授業、とくに、電磁気学や熱力学の授業で、今回の原子炉見学で得た知識を学生に還元したいと思っています。

本校の卒業生の方が、幹部でご活躍されている状況についてお話しをすることができる。

| |
|--|
| <p>教育について・・・になるか分かりませんが、事務職員として、感じた事を記入します。バスで最初に小林先生から原子力の基礎知識を教えてもらい、非常に役立ちました。ウランからプルトニウムが出来る事も、臨界という言葉の意味も初めて知りました。正直、もんじゅに関しては「税金の無駄遣い施設」としか思っていないのですが、宇宙開発に匹敵するぐらい夢と希望にあふれた施設だったのだと感じました。廃炉=暗いイメージも持っていました。(すみません。。。)しかし、職員さん達がプライドを持って働いている姿が印象的でしたし、推測ですが、様々な悔しい気持ちを乗り越えて前向きに廃炉に取り組んでいらっしゃる感じ取れました。学生さんもぜひ見学に連れて行くと良いと思います。原子炉は見学するだけでも一見の価値がありますし、物理や電気等(よく分かりませんが)の授業の一環として活かそうですし、将来働きたいと考える子もいるかもしれませんし、柔軟な発想力で廃炉施設の有効活用案等を生み出せるかもしれません。見学時は、事前にある程度の予習をさせ、(日本・世界のエネルギー事情や、ふげん・もんじゅの概況、発電のしくみ等)行きも帰りもバスの中で発表をさせたり、グループトーク等をしたら良いと思います。セキュリティが厳しいので、一度に大人数で訪れるのは大変かもしれません。20名程度がほどよいのでは?両施設の職員さん共、大変親切でしたので、質問・交流の時間を多めに設定したら良いと思われます。今回は必要ありませんでしたが、移動時に1回は休憩をはさんだ方が良さそうです。最後に今後の日本を支える若者に、原発の現状を見せ、どうあるべきかを考えさせる事は大変重要だと考えます。</p> |
| <p>一般のプラントよりもより厳しい安全管理とセキュリティが求められる原子力発電所を見学でき、そういう分野があるということや学生に伝えることができると思います。原子炉の解体にも工作機械が使われていて、知っていることが大切とのことだったので、基本の大切さを教えていきたい。展示や説明の仕方など、参考にすべき部分があると思いました。</p> |
| <p>まずは知らなかったことを多く知れたことが大きいと思います。実験炉、原型炉、実証炉、実用炉などがあること、ふげんが廃止措置中であること、福島の実験炉とは全く別物であること、廃止措置には多くの技術が結集されており、またその作業や技術が今後に活かされること、フェールセーフの重要性などです。直接学生指導する機会は少ないですが、機会があれば見聞きしたことを伝えてやりたいと思いました。</p> |
| <p>何事も様々な分野、知識から成り立っており無駄なことはない。ありとあらゆるものに興味を持ち、学ぶことが大切であることを学生に伝えたい。</p> |

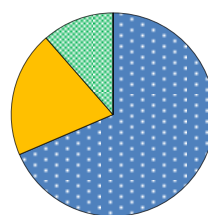
問12. 研究について

| |
|---|
| <p>私はすでに廃炉ロボットの開発を通して、原子力には関わっている。廃炉という後ろ向きな技術開発に思えるかもしれないが、誰かがやらなくてはならないことである。また、液体金属の物性研究にもかかわり、見学を通して改めてこの分野には未踏の研究テーマの宝庫であることを認識した。</p> |
| <p>原子力技術とは直接関係ないが、防災の観点から考えていきたい。</p> |
| <p>私の専門分野はパワーエレクトロニクスと呼ばれる電力変換に関わる研究であるため、原子力によって賄っていた電力をその他の電力で供給するためには、やはり自然エネルギーの利用が必須だと感じました。そのため、本校にある太陽光発電システムを利用した研究に取り組みたいと考えております。また、停電時の非常用電源システムに関しても災害時には必須項目であると再認識いたしました。</p> |
| <p>ふげん、もんじゅ、その他の原子力関連施設の設置によって、敦賀半島の景観は大きく変化しているのではないかと思います。大きなプラントという存在が、地域の文化的景観に与える影響については少し興味があります。</p> |
| <p>ある一つのことを突き詰めるのも良いが、少し離れたところから全体を俯瞰し他分野の技術を結集するのも面白いということと、フェールセーフを意識したものづくりが重要であると感じています。</p> |
| <p>単に原子力といってもその施設などには建設の分野も多く存在している。また、防災面においても同じことが言える。今回の見学会では断層などの話も聞くことができ、そういった観点からの防災についての取り組みに活かせると思う。</p> |

(2)第2回(原子力研修センター[電子制御工学科5年生対象])

問1. 見学会の内容はいかがでしたか。

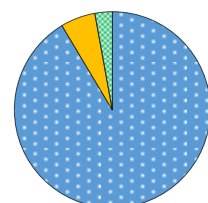
| | | |
|-------|----|-------|
| とても良い | 24 | (69%) |
| 良い | 7 | (20%) |
| ふつう | 4 | (11%) |
| 悪い | 0 | (0%) |
| とても悪い | 0 | (0%) |



- とても良い
- 良い
- ふつう
- 悪い
- とても悪い

問2. 見学会の時間はいかがでしたか。

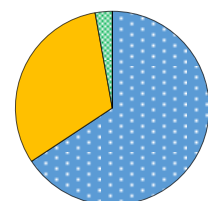
| | | |
|----|----|-------|
| 適当 | 32 | (91%) |
| 長い | 2 | (6%) |
| 短い | 1 | (3%) |



- 適当
- 長い
- 短い

問3. 見学会の内容は分かりやすかったですか。

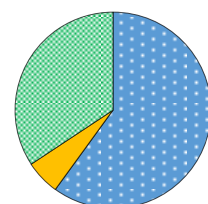
| | | |
|--------------|----|-------|
| とても分かりやすかった | 23 | (66%) |
| まあまあ分かりやすかった | 11 | (31%) |
| どちらとも言えない | 1 | (3%) |
| 少し分かりにくかった | 0 | (0%) |
| とても分かりにくかった | 0 | (0%) |



- とても分かりやすかった
- まあまあ分かりやすかった
- どちらとも言えない
- 少し分かりにくかった
- とても分かりにくかった

問4. 質問しやすい雰囲気でしたか。

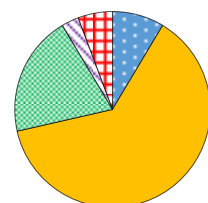
| | | |
|---------|----|-------|
| 質問しやすい | 21 | (60%) |
| 質問しにくい | 2 | (6%) |
| よく分からない | 12 | (34%) |



- 質問しやすい
- 質問しにくい
- よく分からない

問5. 原子力に興味がありますか。

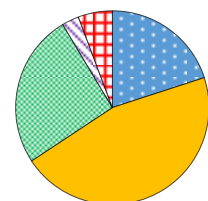
| | | |
|-----------|----|-------|
| とてもある | 3 | (9%) |
| 少しある | 22 | (63%) |
| どちらとも言えない | 7 | (20%) |
| あまりない | 1 | (3%) |
| 全くない | 2 | (6%) |



- とてもある
- 少しある
- どちらとも言えない
- あまりない
- 全くない

問6. 原子力について、詳しく学習してみたいですか。

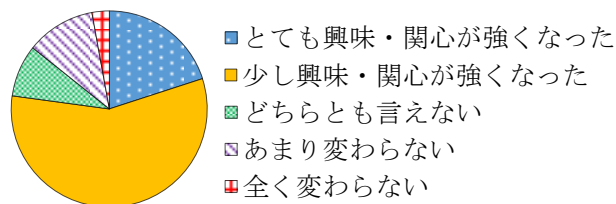
| | | |
|-----------|----|-------|
| してみたい | 7 | (20%) |
| 少ししてみたい | 16 | (46%) |
| どちらとも言えない | 9 | (26%) |
| あまりしたくない | 1 | (3%) |
| 全くしたくない | 2 | (6%) |



- してみたい
- 少ししてみたい
- どちらとも言えない
- あまりしたくない
- 全くしたくない

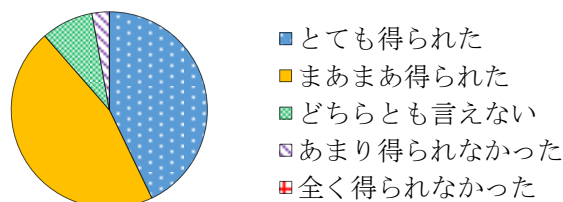
問7. 見学の後では原子力に関する興味・関心は見学前と比較して強くなりましたか。

| | | |
|----------------|----|-------|
| とても興味・関心が強くなった | 7 | (20%) |
| 少し興味・関心が強くなった | 20 | (57%) |
| どちらとも言えない | 3 | (9%) |
| あまり変わらない | 4 | (11%) |
| 全く変わらない | 1 | (3%) |



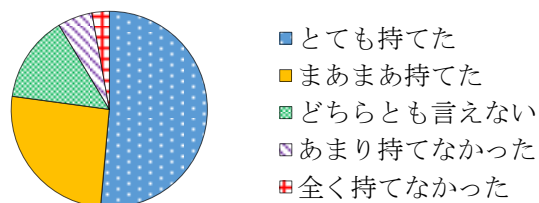
問8. 将来に役立つと思われる知識は得られましたか。

| | | |
|------------|----|-------|
| とても得られた | 15 | (43%) |
| まあまあ得られた | 16 | (46%) |
| どちらとも言えない | 3 | (9%) |
| あまり得られなかった | 1 | (3%) |
| 全く得られなかった | 0 | (0%) |



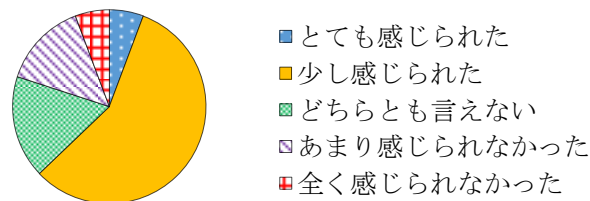
問9. 原子力について、地域に存在する課題であるという意識は持てましたか

| | | |
|-----------|----|-------|
| とても持てた | 18 | (51%) |
| まあまあ持てた | 9 | (26%) |
| どちらとも言えない | 5 | (14%) |
| あまり持てなかった | 2 | (6%) |
| 全く持てなかった | 1 | (3%) |



問10. 原子力の課題について、自分の専攻分野との関連性を感じられましたか。

| | | |
|-------------|----|-------|
| とても感じられた | 2 | (6%) |
| 少し感じられた | 20 | (57%) |
| どちらとも言えない | 6 | (17%) |
| あまり感じられなかった | 5 | (14%) |
| 全く感じられなかった | 2 | (6%) |



問11. 見学会を通して気づいた原子力の課題を思いっただけ教えてください。

| |
|---|
| 汚染 事故 点検 |
| 地域の理解 |
| 安全対策 |
| 人的ミスがある程度あるとのことだったので、そこを補う策が必要だと思った。 |
| 地域の方々の納得を得る。 未だに、反対運動をしてる人を見かけるので。 |
| 大きな事故が起きた場合などに甚大な被害となる場合があるため、管理が重要である |
| 1日停止するだけで1億の損失が出るということで、我々の暮らしを支える大きなものであると感じた。 そのため、誤作動1つで暮らしに影響が出てしまうこと。 |
| 災害対策 |
| 市民との信頼関係 |
| 想定外の事態への対応能力 |
| 原子力発電の安全性の認識 |
| メンテナンス性 安全性 |
| 安全性 |

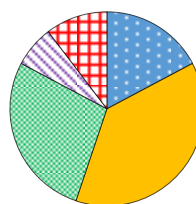
| |
|---|
| 危険な作業が多いのに人がやってる部分が案外多いこと |
| 安全管理 |
| 一般市民の原子力発電所(の安全対策)についての知識不足。 |
| 事故が人の命に関わること分かりました。 |
| 原発の機械をメンテナンスするための機械の開発が必要だと思いつきました |
| 過去に起こした事故から、原子力は現地の人に認められにくい状況であるので、それが大きな課題だと感じる |
| 世論との意見の食い違い |
| 安全性について |
| 危険性 |
| 現在、福島原発事故後から原子力から火力発電主体の発電に切り替わり火力発電で間に合っている現状があり、原子力の需要がそれほど必要であると思われていないという課題があると考えました。 |

問12. 自分ならばその思いついた課題をどのように解決しようと考えますか。

| |
|--|
| 浄化装置 点検の強化 研修の強化 |
| 補助金 |
| 各自が気をつける |
| 全ての作業を機械が行うまでは行かなくても、機械化を進めます。 |
| 地道な地域への呼びかけ。 |
| 安全工学など、危機管理と過去の事故のフィードバックが重要である |
| 今回のお話にあったように、教育体制を整えることで解決していく。 |
| より深く原子力の事を理解してもらおう。講演会などを開く。 |
| 特に解決策を思いつかない |
| 積極的な広報活動と学校などによる教育が必要だと感じた |
| 検討中 |
| 人も必要だが、もう少し機械を使っても良いと思う |
| 何かしら管理のできるシステムをつくる |
| 講演会、コマーシャルなどメディア活動を積極的に行う。 |
| 複数人でチェックするなど、運転・保守の体制を見直すことが大事だと思います。 |
| 出来るだけロボット化 電波などを利用し、一気に機械の問題を検査できるように開発する |
| 急には地域の人からは信頼を得られない。時間をかけて、今までの失敗を教訓とし、これから先の失敗を減らすことが少しずつ信頼に近づくと考える。 |
| 原子力の必要性を更にPRする |
| 考えるトラブルは事前に点検等で対処して、それ以外のトラブルは今回の見学会で説明を受けたように問題が発生してから対処する。 |
| たくさんの方と協力し、検討する |
| しかし、実際のところ発電に原子力発電も必要であり、原子力=怖い、危ないといったイメージを変えないといけないと思います。このような見学会に参加する事でそのイメージを変える事も出来ますし、メディアを通して原子力の需要をアピールするのも案だと思いました。 |

問13. 自分の時間（放課後等）を使って、世のため、人のためにその課題を解決してみたいと考えますか。

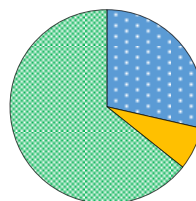
| | | |
|-----------|----|-------|
| とても考える | 5 | (14%) |
| 少し考える | 11 | (31%) |
| どちらとも言えない | 8 | (23%) |
| あまり考えない | 2 | (6%) |
| 全く考えない | 3 | (9%) |



- とても考える
- 少し考える
- どちらとも言えない
- あまり考えない
- 全く考えない

問14. 見学会を実施しなかったら課題の発見はあったでしょうか。

| | | |
|-------|----|-------|
| なかった | 8 | (23%) |
| あった | 2 | (6%) |
| 分からない | 18 | (51%) |



- なかった
- あった
- 分からない

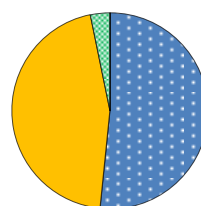
問15. 今回の見学会について、ご意見・ご感想等があればお願いします。

| |
|---|
| とても親しみやすい空気で説明してくださったので、とても良かったと感じました。 |
| とても面白かった。工学系の学校ならでわの体験だったので楽しかった |
| 原子力の問題は日本でも取り上げられておりその事について理解を深められたため有意義な時間であったと感じる。 |
| とてもわかりやすく、実際に模擬施設を見ることで理解が深まった。また、過去の事故を紹介してもらって原子力は非常に有力な発電方法であるとともに、危険であることを改めて考えさせられました。 |
| 様々な設備を実際に目にすることでとてもわかりやすく理解できた。楽しかったです。 |
| 原子力発電の仕組みや、安全に対する取り組みを理解できました。ありがとうございました。 |
| 今回の見学会が原子力の課題を考える見学会ではなかったと思う。 |
| 写真撮りたかったです |
| 今回はありがとうございました。 失敗を繰り返さないことは、何事においても大切なことですが、繰り返さないために、過去の失敗を1つの施設に残すということにとっても意識の高さを感じました。 失敗や事故が起きて、大抵のことは時間がたつほど忘れられますが、それらを風化させないように努力している現場を拝見し、人々の暮らしに貢献したい、世のため人のためになることをしたいという意志の強さを感じました。 この考え方や意志は他のことにでも役に立つと思うので、これからの人生の教訓にしたいと思います。 本日はありがとうございました。 |
| 東日本大震災でも問題となった原子力発電所について発電方法や問題の対処の仕方について詳しく知ることができて楽しかったです。 |
| こういった施設を見学できる機会は早々なく、来年から社会人となるとゼロに等しくなってしまうため、卒業前にこのような体験ができて非常に有難く思います。ありがとうございました。 |

(3) 第3回(原子力研修センター[電子制御工学科4年生対象])

問1. 見学会の内容はいかがでしたか。

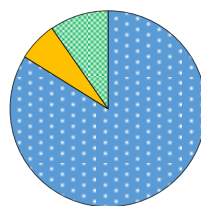
| | | |
|-------|----|-------|
| とても良い | 16 | (52%) |
| 良い | 14 | (45%) |
| ふつう | 1 | (3%) |
| 悪い | 0 | (0%) |
| とても悪い | 0 | (0%) |



- とても良い
- 良い
- ふつう
- 悪い
- とても悪い

問2. 見学会の時間はいかがでしたか。

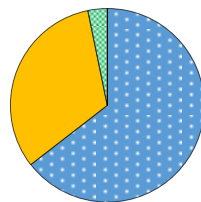
| | | |
|----|----|-------|
| 適当 | 26 | (84%) |
| 長い | 2 | (6%) |
| 短い | 3 | (10%) |



- 適当
- 長い
- 短い

問3. 見学会の内容は分かりやすかったですか。

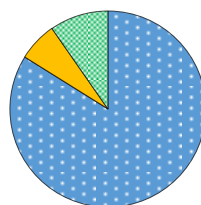
| | | |
|--------------|----|-------|
| とても分かりやすかった | 20 | (65%) |
| まあまあ分かりやすかった | 10 | (32%) |
| どちらとも言えない | 1 | (3%) |
| 少し分かりにくかった | 0 | (0%) |
| とても分かりにくかった | 0 | (0%) |



- とても分かりやすかった
- まあまあ分かりやすかった
- どちらとも言えない
- 少し分かりにくかった
- とても分かりにくかった

問4. 質問しやすい雰囲気でしたか。

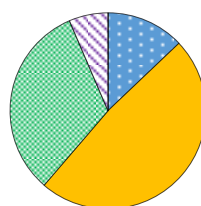
| | | |
|---------|----|-------|
| 質問しやすい | 26 | (84%) |
| 質問しにくい | 2 | (6%) |
| よく分からない | 3 | (10%) |



- 質問しやすい
- 質問しにくい
- よく分からない

問5. 原子力に興味がありますか。

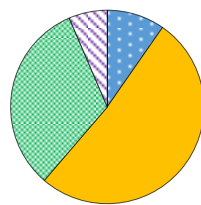
| | | |
|-----------|----|-------|
| とてもある | 4 | (13%) |
| 少しある | 15 | (48%) |
| どちらとも言えない | 10 | (32%) |
| あまりない | 2 | (6%) |
| 全くない | 0 | (0%) |



- とてもある
- 少しある
- どちらとも言えない
- あまりない
- 全くない

問6. 原子力について、詳しく学習してみたいですか。

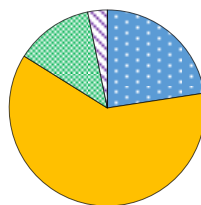
| | | |
|-----------|----|-------|
| してみたい | 3 | (10%) |
| 少ししてみたい | 16 | (52%) |
| どちらとも言えない | 10 | (32%) |
| あまりしたくない | 2 | (6%) |
| 全くしたくない | 0 | (0%) |



- してみたい
- 少ししてみたい
- どちらとも言えない
- あまりしたくない
- 全くしたくない

問7. 見学の後では原子力に関する興味・関心は見学前と比較して強くなりましたか。

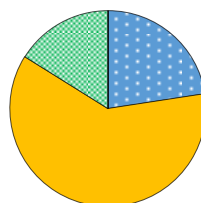
| | | |
|----------------|----|-------|
| とても興味・関心が強くなった | 7 | (23%) |
| 少し興味・関心が強くなった | 19 | (61%) |
| どちらとも言えない | 4 | (13%) |
| あまり変わらない | 1 | (3%) |
| 全く変わらない | 0 | (0%) |



- とても興味・関心が強くなった
- 少し興味・関心が強くなった
- どちらとも言えない
- あまり変わらない
- 全く変わらない

問 8. 将来に役立つと思われる知識は得られましたか。

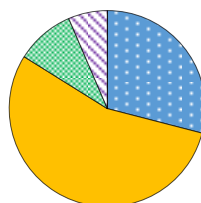
| | | |
|------------|----|-------|
| とても得られた | 7 | (23%) |
| まあまあ得られた | 19 | (61%) |
| どちらとも言えない | 5 | (16%) |
| あまり得られなかった | 0 | (0%) |
| 全く得られなかった | 0 | (0%) |



- とても得られた
- まあまあ得られた
- どちらとも言えない
- あまり得られなかった
- 全く得られなかった

問 9. 原子力について、地域に存在する課題であるという意識は持てましたか

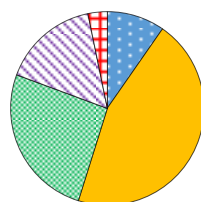
| | | |
|-----------|----|-------|
| とても持てた | 9 | (29%) |
| まあまあ持てた | 17 | (55%) |
| どちらとも言えない | 3 | (10%) |
| あまり持てなかった | 2 | (6%) |
| 全く持てなかった | 0 | (0%) |



- とても持てた
- まあまあ持てた
- どちらとも言えない
- あまり持てなかった
- 全く持てなかった

問 10. 原子力の課題について、自分の専攻分野との関連性を感じられましたか。

| | | |
|-------------|----|-------|
| とても感じられた | 3 | (10%) |
| 少し感じられた | 14 | (45%) |
| どちらとも言えない | 8 | (26%) |
| あまり感じられなかった | 5 | (16%) |
| 全く感じられなかった | 1 | (3%) |



- とても感じられた
- 少し感じられた
- どちらとも言えない
- あまり感じられなかった
- 全く感じられなかった

問 11. 見学会を通して気づいた原子力の課題を思いっただけ教えてください。

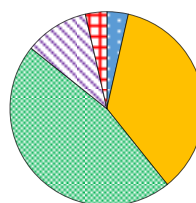
| |
|--|
| 国有化すべきだ |
| 放射線の処理の方法 |
| 原子力への人々の抵抗感 |
| 放射性廃棄物の処理 |
| 一般の方の原子力に対する誤解 |
| 放射線の管理 |
| 燃料棒の処理 |
| 安全性については十分考えてあるのに、それが世間にあまり知られていない。 |
| 使用済み核燃料の処理の問題 |
| 安全性、必要性についてもっと広く知ってもらうこと |
| 燃料棒の最終処分のできない部分についての回答を避けたことから、やはりその部分は課題であると再認識した。 |
| 事故が起きたときの全国でのフィードバック |
| 国民の原子力に対する安全性の理解が足りないと感じた |
| どうしても原子力発電所は怖い、危険というイメージがある |
| 燃料棒の出し入れが細かいわりに人の手が多いのが気になる |
| 手作業で行わなければならない作業のために、従業員が被ばくしてしまう。 手作業で行うことにより、ミスが起こることが考えられるが、その被害が大きい。 |
| いくら安全に設計していても、想定外のことが起こった時のリスクは非常に大きい。 |
| これから確実に起こるとされている巨大地震に対して、100%とは言えなくても他の発電施設程度の安全性を確保したと自信を持って言えるだけのものが欲しいと思った。 |

問12. 自分ならばその思いついた課題をどのように解決しようと考えますか。

| |
|--|
| セミナー |
| 思いつかない |
| メディアやこのような見学などを通じて正しい知識を広めていく。 |
| 放射線汚染物の廃棄に気を付ける |
| 外交的手段 |
| 伝える |
| 補助金を関係自治体に交付する |
| 原子力発電はみんなが思ってるよりも安全であるということを伝える |
| 日本に最終処分場を建設するにはあまりに国土が狭いように感ぜられる。コストの問題を無視するならば離島などを沖ノ鳥島のように拡張してそこに保存したり、あるいは地震の可能性の薄い無人島の山中などに埋設したサイトに保存するなどの方法を取れるかと考える。 |
| 2つの種類がある原発をひとつに規格化して統一する |
| SNS を使い疑問や安全性を広める |
| 今回みたいに施設内の見学などをして危険ではないことを知っていききたい 私は今回の見学で以前よりも原子力発電所のイメージは変わったので |
| おそらく既に行っているであろうがソフト面でサポートをする |
| 手作業で行う作業を機械による遠隔操作等に変える。 |
| 様々なケースを想定して、装置の緊急停止などの安全対策を何重にも掛けて被害をせめて最小限に抑える。 |
| 施設の大幅な建て替え |

問13. 自分の時間（放課後等）を使って、世のため、人のためにその課題を解決してみたいと考えますか。

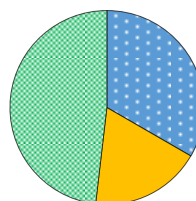
| | | |
|-----------|----|-------|
| とても考える | 1 | (3%) |
| 少し考える | 10 | (32%) |
| どちらとも言えない | 13 | (42%) |
| あまり考えない | 3 | (10%) |
| 全く考えない | 1 | (3%) |



- とても考える
- 少し考える
- どちらとも言えない
- あまり考えない
- 全く考えない

問14. 見学会を実施しなかったら課題の発見はあったでしょうか。

| | | |
|-------|----|-------|
| なかった | 9 | (29%) |
| あった | 5 | (16%) |
| 分からない | 13 | (42%) |



- なかった
- あった
- 分からない

問15. 今回の見学会について、ご意見・ご感想等があればお願いします。

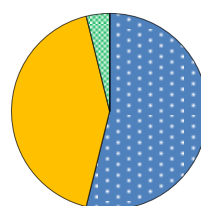
| |
|--|
| インタラクティブで楽しかったです！ |
| 14:35分に集合だったが13時集合でも良いと思った |
| 自分もインターンシップや見学会に行く以前は「原発は危険である」というイメージがあったのでこういった原子力発電について学ぶ機会をもっと増やして欲しいと思った。 |
| こういった体験はあまり無いので、とても良い経験になりました |
| とても面白いものであった。事前に収集した情報だけでは得られない知見が得られたように思う。またこのような催しがあれば是非参加したい。 |

| |
|--|
| 原子力について深く知れて見方が少し変わった |
| ありがとうございました。とても楽しく見学できて理解も深まりました。 |
| 普通見ることの出来ない原子力発電所の中が見学できて興味深かった。 |
| 原発という、どうしても福島第一原発事故などのマイナスのイメージが付きまわってしまいます。自分も放射能などについてよく勉強していなかったのですが、実際に装置を見学し、説明を受けたことで正しい知識が得られました。自分が思っていたより原発は安全なものになっているのだということがよく分かり、とても安心しました。 |
| 説明が聞き取りにくかった。（話がまとまっていないため） |

(4) 第4回(原子力研修センター[電建設システム工学科3年生対象])

問1. 見学会の内容はいかがでしたか。

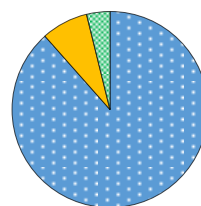
| | | |
|-------|----|-------|
| とても良い | 14 | (54%) |
| 良い | 11 | (42%) |
| ふつう | 1 | (4%) |
| 悪い | 0 | (0%) |
| とても悪い | 0 | (0%) |



- とても良い
- 良い
- ふつう
- 悪い
- とても悪い

問2. 見学会の時間はいかがでしたか。

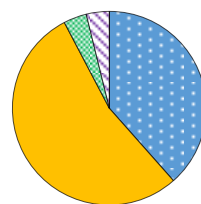
| | | |
|----|----|-------|
| 適当 | 23 | (88%) |
| 長い | 2 | (8%) |
| 短い | 1 | (4%) |



- 適当
- 長い
- 短い

問3. 見学会の内容は分かりやすかったですか。

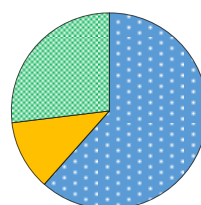
| | | |
|--------------|----|-------|
| とても分かりやすかった | 10 | (38%) |
| まあまあ分かりやすかった | 14 | (54%) |
| どちらとも言えない | 1 | (4%) |
| 少し分かりにくかった | 1 | (4%) |
| とても分かりにくかった | 0 | (0%) |



- とても分かりやすかった
- まあまあ分かりやすかった
- どちらとも言えない
- 少し分かりにくかった
- とても分かりにくかった

問4. 質問しやすい雰囲気でしたか。

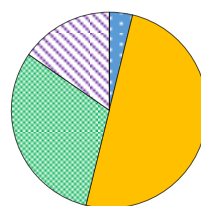
| | | |
|---------|----|-------|
| 質問しやすい | 16 | (62%) |
| 質問しにくい | 3 | (12%) |
| よく分からない | 7 | (27%) |



- 質問しやすい
- 質問しにくい
- よく分からない

問5. 原子力に興味がありますか。

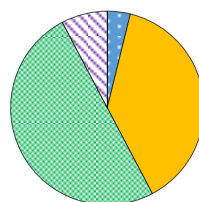
| | | |
|-----------|----|-------|
| とてもある | 1 | (4%) |
| 少しある | 13 | (50%) |
| どちらとも言えない | 8 | (31%) |
| あまりない | 4 | (15%) |
| 全くない | 0 | (0%) |



- とてもある
- 少しある
- どちらとも言えない
- あまりない
- 全くない

問6. 原子力について、詳しく学習してみたいですか。

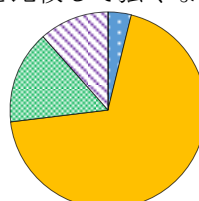
| | | |
|-----------|----|-------|
| してみたい | 1 | (4%) |
| 少ししてみたい | 10 | (38%) |
| どちらとも言えない | 13 | (50%) |
| あまりしたくない | 2 | (8%) |
| 全くしたくない | 0 | (0%) |



- してみたい
- 少ししてみたい
- どちらとも言えない
- あまりしたくない
- 全くしたくない

問7. 見学の後では原子力に関する興味・関心は見学前と比較して強くなりましたか。

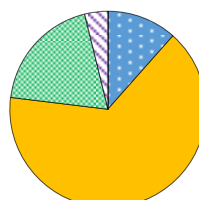
| | | |
|----------------|----|-------|
| とても興味・関心が強くなった | 1 | (4%) |
| 少し興味・関心が強くなった | 18 | (69%) |
| どちらとも言えない | 4 | (15%) |
| あまり変わらない | 3 | (12%) |
| 全く変わらない | 0 | (0%) |



- とても興味・関心が強くなった
- 少し興味・関心が強くなった
- どちらとも言えない
- あまり変わらない
- 全く変わらない

問8. 将来に役立つと思われる知識は得られましたか。

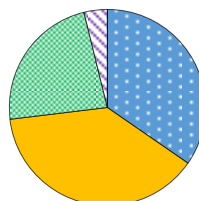
| | | |
|------------|----|-------|
| とても得られた | 3 | (12%) |
| まあまあ得られた | 17 | (65%) |
| どちらとも言えない | 5 | (19%) |
| あまり得られなかった | 1 | (4%) |
| 全く得られなかった | 0 | (0%) |



- とても得られた
- まあまあ得られた
- どちらとも言えない
- あまり得られなかった
- 全く得られなかった

問9. 原子力について、地域に存在する課題であるという意識は持てましたか

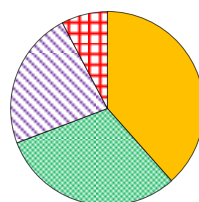
| | | |
|-----------|----|-------|
| とても持てた | 9 | (35%) |
| まあまあ持てた | 10 | (38%) |
| どちらとも言えない | 6 | (23%) |
| あまり持てなかった | 1 | (4%) |
| 全く持てなかった | 0 | (0%) |



- とても持てた
- まあまあ持てた
- どちらとも言えない
- あまり持てなかった
- 全く持てなかった

問10. 原子力の課題について、自分の専攻分野との関連性を感じられましたか。

| | | |
|-------------|----|-------|
| とても感じられた | 0 | (0%) |
| 少し感じられた | 10 | (38%) |
| どちらとも言えない | 8 | (31%) |
| あまり感じられなかった | 6 | (23%) |
| 全く感じられなかった | 2 | (8%) |



- とても感じられた
- 少し感じられた
- どちらとも言えない
- あまり感じられなかった
- 全く感じられなかった

問11. 見学会を通して気づいた原子力の課題を思いつくだけ教えてください。

| |
|----------------------|
| もっとみんなに知ってもらいたいとおもった |
| 人材の快適さ? |
| 原子力に対する間違った認識の問題 |
| 細かい検査が必要 |
| 安全性 |
| 燃料ウランの資源が有限であること |
| 点検不備での事故が多い |

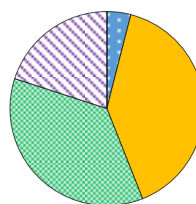
| |
|--|
| 原子力についてよく知っている人が多くはないことが課題だと思いました。 私も全然知らなかったなので、そういう人が多くいるのではないかと思います。 |
| 被爆する量が一般の人より多い。 少しでもミスがあると死亡事故が起こる。 |
| 点検に伴う危険と費用により回数が限られてしまう事 放射線のマイナスイメージにより消費者に明確に使用している事を伝えられない機関や製品(商品)がある こと |
| マシンの不備がよくある |

問12. 自分ならばその思いついた課題をどのように解決しようと考えますか。

| |
|--|
| このような機会を増やす |
| 女の子を入れる |
| 講演会などを開く、テレビ番組で取り上げる |
| 今より検査の回数を増やす |
| 火力の方がいい |
| 違う燃料を発明する 今よりもっと効率の良い発電方法を考える |
| 点検項目を増やしたり、点検回数を増やす |
| 見学にきませんかと学校などに呼びかける、パンフレットなどをつくって配るなどでより多くの人に知ってもらえるようにする。 |
| 被爆する量を減らせるものを作る。 被爆の量が少なくなる発電方法。 点検を怠らない。 |
| 放射線の危険性に釣り合う必要性を知ってもらう機会を作る |
| マシンをよく確認する |

問13. 自分の時間(放課後等)を使って、世のため、人のためにその課題を解決してみたいと考えますか。

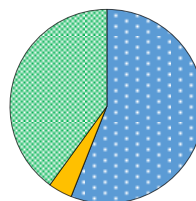
| | | |
|-----------|----|-------|
| とても考える | 1 | (4%) |
| 少し考える | 10 | (38%) |
| どちらとも言えない | 9 | (35%) |
| あまり考えない | 5 | (19%) |
| 全く考えない | 0 | (0%) |



- とても考える
- 少し考える
- どちらとも言えない
- あまり考えない
- 全く考えない

問14. 見学会を実施しなかったら課題の発見はあったでしょうか。

| | | |
|-------|----|-------|
| なかった | 14 | (54%) |
| あった | 1 | (4%) |
| 分からない | 10 | (38%) |



- なかった
- あった
- 分からない

問15. 今回の見学会について、ご意見・ご感想等があればお願いします。

| |
|---|
| おもしろかったですー |
| 普段関わることがないため今まで考えたことなかったことについても考えることができました。 |
| 実物を動かしているところも見てみたかった |

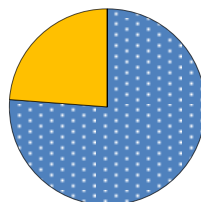
普段学ぶ機会がない原子力のことを知ることが出来て良かったです。
ありがとうございました。

原子力の構造を知るいい機会でした。
事故があるのは知っていたがどのようにして起きたのか知ることができて良かった。

(5) 第5回(原子力研修センター[機械工学科1年生・5年生対象])

問1. 見学会の内容はいかがでしたか。

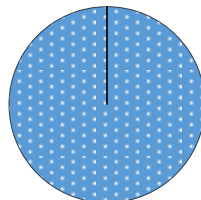
| | | |
|-------|----|-------|
| とても良い | 16 | (76%) |
| 良い | 5 | (24%) |
| ふつう | 0 | (0%) |
| 悪い | 0 | (0%) |
| とても悪い | 0 | (0%) |



- とても良い
- 良い
- ふつう
- 悪い
- とても悪い

問2. 見学会の時間はいかがでしたか。

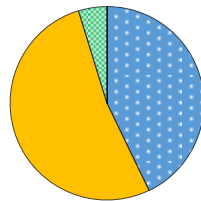
| | | |
|----|----|--------|
| 適当 | 21 | (100%) |
| 長い | 0 | (0%) |
| 短い | 0 | (0%) |



- 適当
- 長い
- 短い

問3. 見学会の内容は分かりやすかったですか。

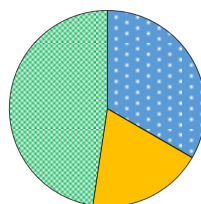
| | | |
|--------------|----|-------|
| とても分かりやすかった | 9 | (43%) |
| まあまあ分かりやすかった | 11 | (52%) |
| どちらとも言えない | 1 | (5%) |
| 少し分かりにくかった | 0 | (0%) |
| とても分かりにくかった | 0 | (0%) |



- とても分かりやすかった
- まあまあ分かりやすかった
- どちらとも言えない
- 少し分かりにくかった
- とても分かりにくかった

問4. 質問しやすい雰囲気でしたか。

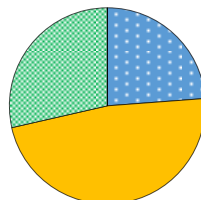
| | | |
|---------|----|-------|
| 質問しやすい | 7 | (33%) |
| 質問しにくい | 4 | (19%) |
| よく分からない | 10 | (48%) |



- 質問しやすい
- 質問しにくい
- よく分からない

問5. 原子力に興味がありますか。

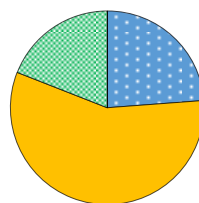
| | | |
|-----------|----|-------|
| とてもある | 5 | (24%) |
| 少しある | 10 | (48%) |
| どちらとも言えない | 6 | (29%) |
| あまりない | 0 | (0%) |
| 全くない | 0 | (0%) |



- とてもある
- 少しある
- どちらとも言えない
- あまりない
- 全くない

問6. 原子力について、詳しく学習してみたいですか。

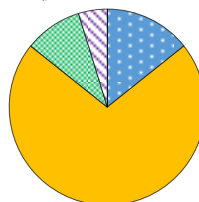
| | | |
|-----------|----|-------|
| してみたい | 5 | (24%) |
| 少ししてみたい | 12 | (57%) |
| どちらとも言えない | 4 | (19%) |
| あまりしたくない | 0 | (0%) |
| 全くしたくない | 0 | (0%) |



- してみたい
- 少ししてみたい
- どちらとも言えない
- あまりしたくない
- 全くしたくない

問7. 見学の後では原子力に関する興味・関心は見学前と比較して強くなりましたか。

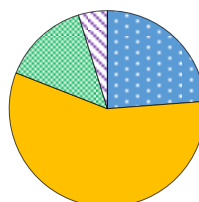
| | | |
|----------------|----|-------|
| とても興味・関心が強くなった | 3 | (14%) |
| 少し興味・関心が強くなった | 15 | (71%) |
| どちらとも言えない | 2 | (10%) |
| あまり変わらない | 1 | (5%) |
| 全く変わらない | 0 | (0%) |



- とても興味・関心が強くなった
- 少し興味・関心が強くなった
- どちらとも言えない
- あまり変わらない
- 全く変わらない

問8. 将来に役立つと思われる知識は得られましたか。

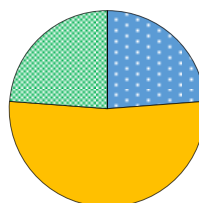
| | | |
|------------|----|-------|
| とても得られた | 5 | (24%) |
| まあまあ得られた | 12 | (57%) |
| どちらとも言えない | 3 | (14%) |
| あまり得られなかった | 1 | (5%) |
| 全く得られなかった | 0 | (0%) |



- とても得られた
- まあまあ得られた
- どちらとも言えない
- あまり得られなかった
- 全く得られなかった

問9. 原子力について、地域に存在する課題であるという意識は持てましたか

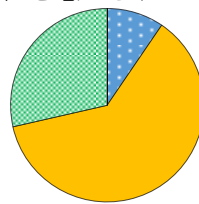
| | | |
|-----------|----|-------|
| とても持てた | 5 | (24%) |
| まあまあ持てた | 11 | (52%) |
| どちらとも言えない | 5 | (24%) |
| あまり持てなかった | 0 | (0%) |
| 全く持てなかった | 0 | (0%) |



- とても持てた
- まあまあ持てた
- どちらとも言えない
- あまり持てなかった
- 全く持てなかった

問10. 原子力の課題について、自分の専攻分野との関連性を感じられましたか。

| | | |
|-------------|----|-------|
| とても感じられた | 2 | (10%) |
| 少し感じられた | 13 | (62%) |
| どちらとも言えない | 6 | (29%) |
| あまり感じられなかった | 0 | (0%) |
| 全く感じられなかった | 0 | (0%) |



- とても感じられた
- 少し感じられた
- どちらとも言えない
- あまり感じられなかった
- 全く感じられなかった

問11. 見学会を通して気づいた原子力の課題を思いつくだけ教えてください。

| |
|---|
| 原料となるウランの埋蔵量は世界的にも減っていて将来ウランに変わる原料を考えなければいけない。 |
| 場所を取りすぎている。 |
| やはり、手間だと思います。理解が追いつかない程仕組みが複雑でした。 |
| 放射線被曝の可能性がある場所の検査、調査にはまだまだ人の手が必要だという部分が課題だと考える。 |
| ユーチューブの材料の選定 |
| 実は発電所から放射線がほぼ出ていないことを、常識にしていくこと |
| 天然資源をたくさん使うこと |

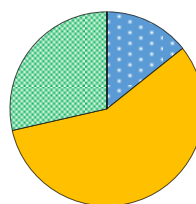
| |
|---|
| 原子力発電所を数カ所増やす |
| もっと原子力を世の中に広めないといけない。 |
| みんなが思っているほどそんなに原子力発電の放射線量が高くなかったし、安全面もしっかり対処されているので、それを世に広めていかなければならないと思った。 |
| 今回のような機会がないとメディアによる報道のみしか情報源がないので誤解が生じる場合がある |
| 放射線があんまり危険ではないと分かったので、もっと一般の方々に知らせること |
| これだけ安全を考えられているのに、もっと安全性を世に広めて行かないといけない。 |
| 出来るだけ危険ではないのを国民に知ってもらわなければならない |
| 国民の原子力はダメだという先入観が入りすぎているので、そこを何とかしないといけない |
| 実際のUチューブの寿命が、設計段階で想定していたものよりも短い点。 |
| 安全であると知ってもらうこと |
| 世間の原発に対するマイナスイメージが多いこと |
| もっと人に知ってもらえること |
| 点検等を行う場合に放射線汚染等になる可能性があるところ |

問12. 自分ならばその思いついた課題をどのように解決しようと考えますか。

| |
|--|
| ウランに変わる原料を考える。 |
| 海中に沈める |
| 自動化などを進めることが出来れば人件費も削減出来、事故減少に繋がると思います。 |
| Uチューブの検査用ロボットなどは、人が設置するのではなく、ロボット自身でその場まで行って検査できるようにすると良いと考える。 |
| 試験により、熱伝達と強度の高さを両立した材料を発見する |
| イベントなどで身近なものだと感じさせる |
| 解決できない |
| 寄付を集う |
| 見学会をもっと聞いたりして、原子力自体に興味を持ってみる。 |
| 見学会などをもっと開いたり、新聞やCMなどメディアを使ってもっと広めていく |
| 無闇に不安を煽らず、原子力について正しい認識を得られるように機会を増やす。(メディアへの露出を増やすなど) |
| もっともっとアピールすること |
| TVやSNSを使って安全性を広めて行く。 または、学校に訪問し楽しい講座を開く。 |
| 講演会などを開く |
| 無人島を買ってそれを、原子力発電専用の島にしたらい |
| 熱の伝えやすさはそのままに、さらに強い素材を作る。 |
| 安全面の取り組みを知ってもらう |
| 自分のように原子力発電所の研修所に見学に来てもらう。 |
| 見学会をたくさんする |
| 点検をしやすい形状、見た目に変更する ロボットなどが入っていきやすい形状に変更または入り口を作る |

問13. 自分の時間（放課後等）を使って、世のため、人のためにその課題を解決してみたいと考えますか。

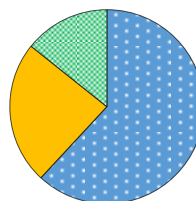
| | | |
|-----------|----|-------|
| とても考える | 3 | (14%) |
| 少し考える | 12 | (57%) |
| どちらとも言えない | 6 | (29%) |
| あまり考えない | 0 | (0%) |
| 全く考えない | 0 | (0%) |



- とても考える
- 少し考える
- どちらとも言えない
- あまり考えない
- 全く考えない

問14. 見学会を実施しなかったら課題の発見はあったでしょうか。

| | | |
|-------|----|-------|
| なかった | 13 | (62%) |
| あった | 5 | (24%) |
| 分からない | 3 | (14%) |



- なかった
- あった
- 分からない

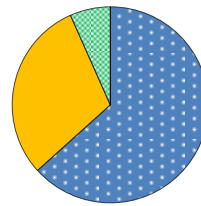
問15. 今回の見学会について、ご意見・ご感想等があればお願いします。

| |
|---|
| おもしろかったです。 |
| 福島原発の見学にも行ったが、そこでは分からなかった事、気づかなかった事に気づけた。このような見学会を増やせば世間の原発に対する考えも変わる気がする。 |
| 今回の見学会で福島の原子力発電所とのちがいははっきり理解することができました。 |
| 普段入ることのできないところに入ることができて、原発について誤解していたところの理解が深まってとても良かった |
| 舞鶴高専から就職した人がいたのかを知りたかった |
| とても充実した時間だったと思います ありがとうございました |
| 説明が分かりやすかったのでとてもイメージしやすかった。 |
| 模型が沢山用意されていて、実物の一部と縮小版の2つが用意されていて、実際どんなものか凄くイメージしやすかったです。 |
| 良いものになりました |
| 安全性を再確認出来た。 |
| 丁寧な、ご指導ありがとうございました |
| 原発のまわりの地域は常に放射線などで危ないものだと思っていたが、何か問題が起きない限り原発の無い地域と比べても放射線をあびる量は変わらないということを知って、安心した。 むしろ原発の有無よりも宇宙に近いかどうかで放射線量が変わることを知って、驚いた。 恐らく自分と同じような勘違いを起こしてる人はたくさんいると思うので、今回学んだことを身近な人から伝えていければいいなと思った。 |
| 原子力の仕組みについて知ることができてよかった。 |
| 思っていた以上に面白かった。社員さんもフレンドリーで良かった。 |
| とても良かった いい経験になりました 原子力の見方が変わった |

(6) 第 6 回(原子力研修センター[機械工学科 3 年生対象])

問 1. 見学会の内容はいかがでしたか。

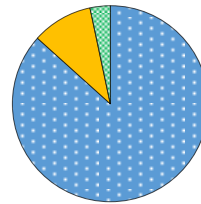
| | | |
|-------|----|-------|
| とても良い | 19 | (63%) |
| 良い | 9 | (30%) |
| ふつう | 2 | (7%) |
| 悪い | 0 | (0%) |
| とても悪い | 0 | (0%) |



- とても良い
- 良い
- ふつう
- 悪い
- とても悪い

問 2. 見学会の時間はいかがでしたか。

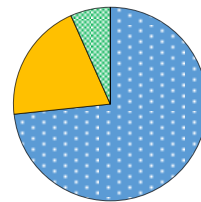
| | | |
|----|----|-------|
| 適当 | 26 | (87%) |
| 長い | 3 | (10%) |
| 短い | 1 | (3%) |



- 適当
- 長い
- 短い

問 3. 見学会の内容は分かりやすかったですか。

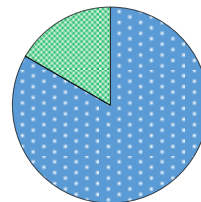
| | | |
|--------------|----|-------|
| とても分かりやすかった | 22 | (73%) |
| まあまあ分かりやすかった | 6 | (20%) |
| どちらとも言えない | 2 | (7%) |
| 少し分かりにくかった | 0 | (0%) |
| とても分かりにくかった | 0 | (0%) |



- とても分かりやすかった
- まあまあ分かりやすかった
- どちらとも言えない
- 少し分かりにくかった
- とても分かりにくかった

問 4. 質問しやすい雰囲気でしたか。

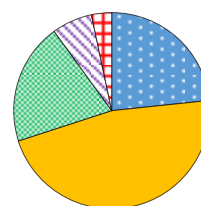
| | | |
|---------|----|-------|
| 質問しやすい | 25 | (83%) |
| 質問しにくい | 0 | (0%) |
| よく分からない | 5 | (17%) |



- 質問しやすい
- 質問しにくい
- よく分からない

問 5. 原子力に興味がありますか。

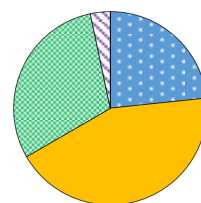
| | | |
|-----------|----|-------|
| とてもある | 7 | (23%) |
| 少しある | 14 | (47%) |
| どちらとも言えない | 6 | (20%) |
| あまりない | 2 | (7%) |
| 全くない | 1 | (3%) |



- とてもある
- 少しある
- どちらとも言えない
- あまりない
- 全くない

問 6. 原子力について、詳しく学習してみたいですか。

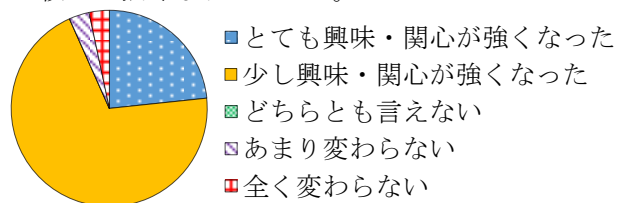
| | | |
|-----------|----|-------|
| してみたい | 7 | (23%) |
| 少ししてみたい | 13 | (43%) |
| どちらとも言えない | 9 | (30%) |
| あまりしたくない | 1 | (3%) |
| 全くしたくない | 0 | (0%) |



- してみたい
- 少ししてみたい
- どちらとも言えない
- あまりしたくない
- 全くしたくない

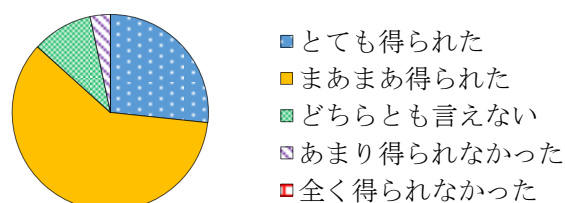
問7. 見学の後では原子力に関する興味・関心は見学前と比較して強くなりましたか。

| | | |
|----------------|----|-------|
| とても興味・関心が強くなった | 7 | (23%) |
| 少し興味・関心が強くなった | 21 | (70%) |
| どちらとも言えない | 0 | (0%) |
| あまり変わらない | 1 | (3%) |
| 全く変わらない | 1 | (3%) |



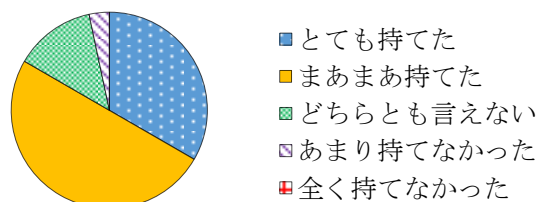
問8. 将来に役立つと思われる知識は得られましたか。

| | | |
|------------|----|-------|
| とても得られた | 8 | (27%) |
| まあまあ得られた | 18 | (60%) |
| どちらとも言えない | 3 | (10%) |
| あまり得られなかった | 1 | (3%) |
| 全く得られなかった | 0 | (0%) |



問9. 原子力について、地域に存在する課題であるという意識は持っていましたか

| | | |
|-----------|----|-------|
| とても持てた | 10 | (33%) |
| まあまあ持てた | 15 | (50%) |
| どちらとも言えない | 4 | (13%) |
| あまり持てなかった | 1 | (3%) |
| 全く持てなかった | 0 | (0%) |



問10. 原子力の課題について、自分の専攻分野との関連性を感じられましたか。

| | | |
|-------------|----|-------|
| とても感じられた | 5 | (17%) |
| 少し感じられた | 10 | (33%) |
| どちらとも言えない | 13 | (43%) |
| あまり感じられなかった | 1 | (3%) |
| 全く感じられなかった | 1 | (3%) |



問11. 見学会を通して気づいた原子力の課題を思いっただけ教えてください。

| |
|--|
| 人的ミスもあること |
| 地球に二酸化炭素が増えるけど、電気は必要なので両立できるようにする |
| 発見された問題の対処はできていたが、発見されてない問題に対しては処理が出来ていない。 |
| もっと世間の人に安全性や取り組みを理解してもらう |
| 風評被害を少なくすること |
| 風評被害 |
| 危険 |
| プールが深かったです |
| 生物との共存 |
| 製作コストをもう少し下げる |
| 事故発生時の放射線汚染の対策 |
| 原子力について知識を持っていない方の原子力に対するイメージはなぜかよく思われない傾向にあると感じるのでその誤解を解く機会を設けることは必要だと思う。 |
| 特にありませんでした |

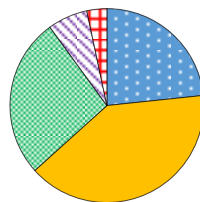
| |
|--|
| 自然災害発生時にどうしてもすぐに停止することがしにくい。 |
| 機械で行わない、作業員が行う仕事におけるミス |
| 被ばくについて、間違った知識を持っている方がまだまだいるので正しい知識を広げていくべきだと思います。 |
| 現場での作業は少なからず被曝してしまうということ。 |
| チューブの交換がしやすい蒸気発生装置の開発。また破損しにくいチューブの開発。 |
| 原子力発電が危険とみなされていること。 |

問12. 自分ならばその思いついた課題をどのように解決しようと考えますか。

| |
|--------------------------------------|
| 意識してミスしないようにする |
| 点検を怠らない。 |
| 広報活動 |
| 正しい知識を教える |
| 広告で説明 |
| 防護服の強化 室温管理 照明の変更 |
| 離島に作る |
| コンパクトにして効率を上げる |
| 自治体と協力し、避難訓練を定期的実施する。 |
| 固いイメージがあるので、誰でも理解できる難易度のイベントを設ける。 |
| 冷却の仕方を色々と工夫する必要がある |
| 作業員のミスを徹底的に無くし、非常事態の訓練を数多く行う。 |
| 一般の方々に身近な存在になるように広報に力を入れていけば良いと思います。 |
| 作業をロボットが行う |
| 思いつかない |
| 作業員の確認を重要視する。 |
| 勉強する |

問13. 自分の時間（放課後等）を使って、世のため、人のためにその課題を解決してみたいと考えますか。

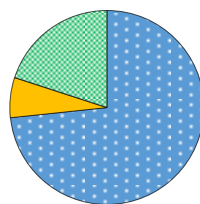
| | | |
|-----------|----|-------|
| とても考える | 7 | (23%) |
| 少し考える | 12 | (40%) |
| どちらとも言えない | 8 | (27%) |
| あまり考えない | 2 | (7%) |
| 全く考えない | 1 | (3%) |



- とても考える
- 少し考える
- どちらとも言えない
- あまり考えない
- 全く考えない

問14. 見学会を実施しなかったら課題の発見はあったでしょうか。

| | | |
|-------|----|-------|
| なかった | 22 | (73%) |
| あった | 2 | (7%) |
| 分からない | 6 | (20%) |



- なかった
- あった
- 分からない

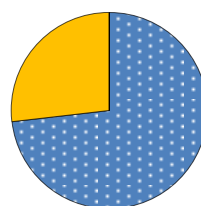
問15. 今回の見学会について、ご意見・ご感想等があればお願いします。

| |
|---|
| 人がすごく魅力的でおもしろかった |
| とてもわかりやすい説明だった。 |
| 原子力について無知な人でも分かるような丁寧な説明でとてもわかりやすかった。 |
| 分かりやすくてよかったですと思いました |
| とても良かったです。ありがとうございました |
| 模型など使って、大変わかりやすい説明でした。 |
| 原子力のことを少し知れてよかったです |
| 説明してくださる方がとてもフレンドリーな雰囲気だったので、話が耳に入りやすかった。 |
| 実際の大きさで原子力発電所の構造を見ることができたのが良かった。 |
| 短い時間でしたが、原子力について少しでも学ぶことができました。 |
| 廃炉する原子力発電所についてなぜ廃炉するのかやどのようにして廃炉するのかも聞きたかった |
| 原子力発電は危険なイメージではあったが、この工場見学を通じて機械のメンテナンスを行い、作業員が一つ一つ確認を行っていることで安全であることが分かりました。 |

(7) 第7回(原子力研修センター等[電気情報工学科2年生対象])

問1. 見学会の内容はいかがでしたか。

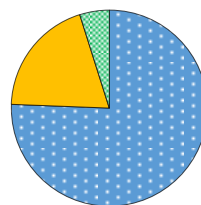
| | | |
|-------|----|-------|
| とても良い | 30 | (73%) |
| 良い | 11 | (27%) |
| ふつう | 0 | (0%) |
| 悪い | 0 | (0%) |
| とても悪い | 0 | (0%) |



- とても良い
- 良い
- ふつう
- 悪い
- とても悪い

問2. 見学会の時間はいかがでしたか。

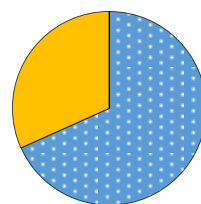
| | | |
|----|----|-------|
| 適当 | 31 | (76%) |
| 長い | 8 | (20%) |
| 短い | 2 | (5%) |



- 適当
- 長い
- 短い

問3. 見学会の内容は分かりやすかったですか。

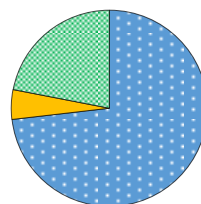
| | | |
|--------------|----|-------|
| とても分かりやすかった | 28 | (68%) |
| まあまあ分かりやすかった | 13 | (32%) |
| どちらとも言えない | 0 | (0%) |
| 少し分かりにくかった | 0 | (0%) |
| とても分かりにくかった | 0 | (0%) |



- とても分かりやすかった
- まあまあ分かりやすかった
- どちらとも言えない
- 少し分かりにくかった
- とても分かりにくかった

問4. 質問しやすい雰囲気でしたか。

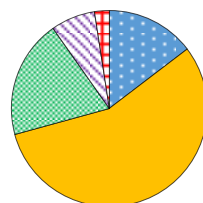
| | | |
|---------|----|-------|
| 質問しやすい | 30 | (73%) |
| 質問しにくい | 2 | (5%) |
| よく分からない | 9 | (22%) |



- 質問しやすい
- 質問しにくい
- よく分からない

問5. 原子力に興味がありますか。

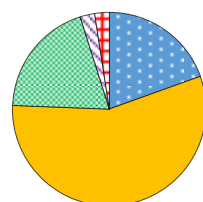
| | | |
|-----------|----|-------|
| とてもある | 6 | (15%) |
| 少しある | 23 | (56%) |
| どちらとも言えない | 8 | (20%) |
| あまりない | 3 | (7%) |
| 全くない | 1 | (2%) |



- とてもある
- 少しある
- どちらとも言えない
- あまりない
- 全くない

問6. 原子力について、詳しく学習してみたいですか。

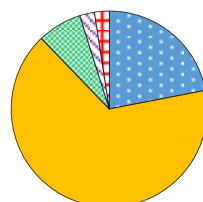
| | | |
|-----------|----|-------|
| してみたい | 8 | (20%) |
| 少ししてみたい | 23 | (56%) |
| どちらとも言えない | 8 | (20%) |
| あまりしたくない | 1 | (2%) |
| 全くしたくない | 1 | (2%) |



- してみたい
- 少ししてみたい
- どちらとも言えない
- あまりしたくない
- 全くしたくない

問7. 見学の後では原子力に関する興味・関心は見学前と比較して強くなりましたか。

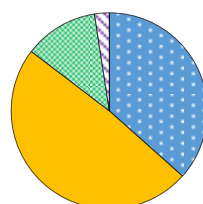
| | | |
|----------------|----|-------|
| とても興味・関心が強くなった | 9 | (22%) |
| 少し興味・関心が強くなった | 27 | (66%) |
| どちらとも言えない | 3 | (7%) |
| あまり変わらない | 1 | (2%) |
| 全く変わらない | 1 | (2%) |



- とても興味・関心が強くなった
- 少し興味・関心が強くなった
- どちらとも言えない
- あまり変わらない
- 全く変わらない

問8. 将来に役立つと思われる知識は得られましたか。

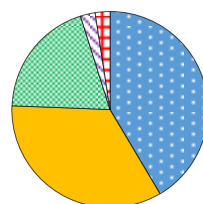
| | | |
|------------|----|-------|
| とても得られた | 15 | (37%) |
| まあまあ得られた | 20 | (49%) |
| どちらとも言えない | 5 | (12%) |
| あまり得られなかった | 1 | (2%) |
| 全く得られなかった | 0 | (0%) |



- とても得られた
- まあまあ得られた
- どちらとも言えない
- あまり得られなかった
- 全く得られなかった

問9. 原子力について、地域に存在する課題であるという意識は持てましたか

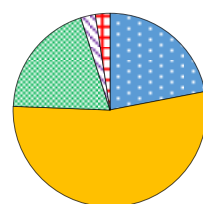
| | | |
|-----------|----|-------|
| とても持てた | 17 | (41%) |
| まあまあ持てた | 14 | (34%) |
| どちらとも言えない | 8 | (20%) |
| あまり持てなかった | 1 | (2%) |
| 全く持てなかった | 1 | (2%) |



- とても持てた
- まあまあ持てた
- どちらとも言えない
- あまり持てなかった
- 全く持てなかった

問10. 原子力の課題について、自分の専攻分野との関連性を感じられましたか。

| | | |
|-------------|----|-------|
| とても感じられた | 9 | (22%) |
| 少し感じられた | 22 | (54%) |
| どちらとも言えない | 8 | (20%) |
| あまり感じられなかった | 1 | (2%) |
| 全く感じられなかった | 1 | (2%) |



- とても感じられた
- 少し感じられた
- どちらとも言えない
- あまり感じられなかった
- 全く感じられなかった

問11. 見学会を通して気づいた原子力の課題を思いつくだけ教えてください。

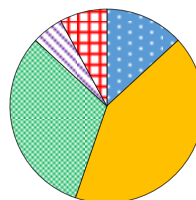
| |
|--|
| 分かりません |
| 便利な技術ではあるが、やはり安全性に欠ける部分があると思う。 |
| 全く周りに被害はないと言っていたけど、もしもの時は危ない |
| 非常によい技術ではあるが安全性がほかの発電と比べ低いこと |
| 安全性の確保 地域の信頼 |
| 国民の理解（安全性等）をより深める また、学ぶ機会をふやす |
| 核燃料の再利用 |
| 取り扱いが難しい |
| 一般的に原子力発電は危険なものと思われている（危険がない訳では無い）。 |
| 作業灯が暗い |
| 放射線を絶対外に漏らさないこと |
| 今日本で原発反対と言われているなか、原発でのメリットを考えて見ようと思った。 |
| 沸騰水型では管理する幅が広くなると思われるから別の方法がないのかなと考えた |
| 安全性 点検ミス コスト |
| 整備項目の多さ リスクが大きい |
| 各廃棄物をプールに入れっぱなしなのはどうかと思う |
| 核燃料の管理 |
| 使用済みの放射性物質の処理方法がないこと。 |
| どのようにして、今よりも放射線を出せるだけ防ぐことができるか。 |
| 点検ミス 電灯の明るさ |
| 過去の失敗を元にと言っていたが、その失敗がないと対策できないところ、福島原発の件も次からは対策できるかもしれないけど一回目は無理だったと考えるとこれからまた予期できない大変なことがあったら被害を受けてしまうということ |
| これからも徹底した点検や訓練を継続すること。 |
| 管理が難しく、安全の確保が難しいため あまり多くの原子力発電所を動かすことができない点 |
| 使用済みの燃料をどう処理するのか |
| 自然災害による事故 複雑な施設の整備不良による事故 使用済み燃料の処理 |
| いくら安全といえど、事故が起きた場合に周辺地域に与える影響が大きい事。 |
| 原子力発電が海辺に多いので対策はされているものの、津波に弱いのではないかと それ以外にも過去に無い事故、想定されていない異常が発生した際、大惨事に陥る可能性があるのではないかと |
| 地震と津波による、ウラン燃料の漏洩が放射能汚染に繋がり、広範囲の地域が生活不可能な土地化したこと。 |

問12. 自分ならばその思いついた課題をどのように解決しようと考えますか。

| |
|---|
| より安全性を高める技術の開発 |
| もしもを無くせるように何度も確認して失敗をしないようにする |
| 技術力の向上 |
| 諦める。 |
| メディアでの紹介等 |
| もんじゅ的なのもう一度研究する |
| 管理を怠らない |
| 安全装置や、対策を市民に知ってもらう。 |
| 明るくする |
| 厳重に周囲を固める |
| ネットなどで、調べていこうと思う。 |
| 加圧水型にするなど、管理をもっと徹底するなど |
| 安全性や点検ミスは自分の心がけで解決できるのではないかと考える |
| 改良を加える |
| 宇宙にとばす |
| 徹底した点検、安全への気持ちを緩めない |
| 放射性物質について研究する。 |
| 原子炉の壁の強化 |
| 何度も人の目で点検する |
| 賢くなる |
| 日々の徹底した点検、訓練を心がける。 |
| 災害は防げないので、災害にも適応した構造を考える 整備の徹底 人体に影響しないような保存の仕方考える |
| 定期的に点検をして、常に安全についての意識を高め、フェイルセーフを意識する。 |
| センサーなどを強化することで、異常をより正確に感知し、人の手によらない正確な対処とまでは行かなくとも、どこがどう破損しているのかなどを瞬時に認識できるようにできないかと考えた |
| 津波発生時にウラン燃料の詰まった核燃料を津波到着時まで地下の核シェルターにしまうことで、放射能汚染の被害を最小限にする |

問13. 自分の時間（放課後等）を使って、世のため、人のためにその課題を解決してみたいと考えますか。

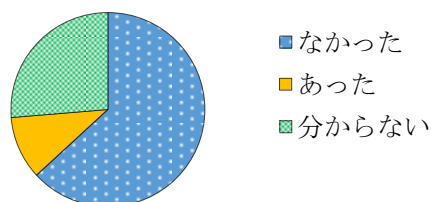
| | | |
|-----------|----|-------|
| とても考える | 5 | (12%) |
| 少し考える | 16 | (39%) |
| どちらとも言えない | 12 | (29%) |
| あまり考えない | 2 | (5%) |
| 全く考えない | 3 | (7%) |



- とても考える
- 少し考える
- どちらとも言えない
- あまり考えない
- 全く考えない

問14. 見学会を実施しなかったら課題の発見はあったでしょうか。

| | | |
|-------|----|-------|
| なかった | 24 | (59%) |
| あった | 4 | (10%) |
| 分からない | 10 | (24%) |



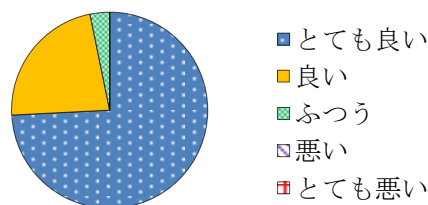
問15. 今回の見学会について、ご意見・ご感想等があればお願いします。

| |
|---|
| 新しい知識が増えてとても勉強になりました |
| 少し長かったように思います |
| とても楽しかったです。全てが分かったわけではないけど、質問しやすかったりリアルなものをたくさん見れていい経験になりました。 |
| もっとゆっくり見学したかったです |
| とても興味深く新たなことを多く発見出来た。 |
| 知らないことが知れてよかった |
| 原子力発電の仕組みはテレビで見たことがあったが、その時に理解出来なかったことが出来たので勉強になった。 |
| もっと遠い工場に泊まりでいきたいです。 |
| 分かりやすく説明してくださってとても理解を深めることが出来ました。 |
| 班のわけかた 井上先生が面白い！ |
| 原子力の細かな原理や様々な課題が見つかってよかった |
| 一つ一つ丁寧に説明して頂き、原理や構造から理解することができた。 |
| エルガイアおおいでの見学時間がもう少し欲しかったです。 内容はとても楽しくて勉強になりました。 ありがとうございました。 |
| 原子力についての知識を深めることができた。原子力発電所でもフェイルセーフを意識しているそうだが、私も私生活からフェイルセーフを意識していきたい。 |
| 今回の見学会で得られた知識により、原子力発電の長所や短所、またこの知識から発電の改善点や効率化を考えることが出来たので、とても良い見学会になったと思います |

(8)第8回(原子力研修センター[電気情報工学科1年生・5年生、電子制御工学科1年生対象])

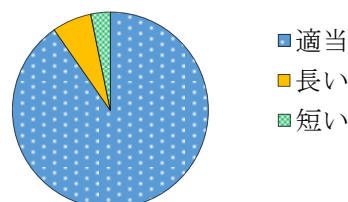
問1. 見学会の内容はいかがでしたか。

| | | |
|-------|----|-------|
| とても良い | 23 | (74%) |
| 良い | 7 | (23%) |
| ふつう | 1 | (3%) |
| 悪い | 0 | (0%) |
| とても悪い | 0 | (0%) |



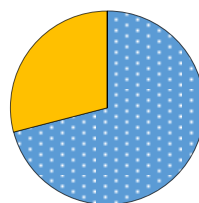
問2. 見学会の時間はいかがでしたか。

| | | |
|----|----|-------|
| 適当 | 28 | (90%) |
| 長い | 2 | (6%) |
| 短い | 1 | (3%) |



問3. 見学会の内容は分かりやすかったですか。

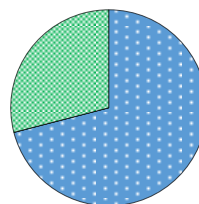
| | | |
|--------------|----|-------|
| とても分かりやすかった | 22 | (71%) |
| まあまあ分かりやすかった | 9 | (29%) |
| どちらとも言えない | 0 | (0%) |
| 少し分かりにくかった | 0 | (0%) |
| とても分かりにくかった | 0 | (0%) |



- とても分かりやすかった
- まあまあ分かりやすかった
- どちらとも言えない
- 少し分かりにくかった
- とても分かりにくかった

問4. 質問しやすい雰囲気でしたか。

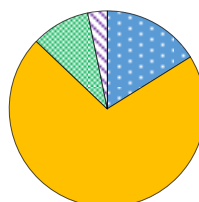
| | | |
|---------|----|-------|
| 質問しやすい | 22 | (71%) |
| 質問しにくい | 0 | (0%) |
| よく分からない | 9 | (29%) |



- 質問しやすい
- 質問しにくい
- よく分からない

問5. 原子力に興味がありますか。

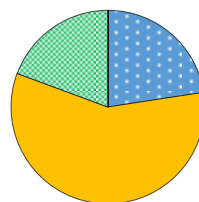
| | | |
|-----------|----|-------|
| とてもある | 5 | (16%) |
| 少しある | 22 | (71%) |
| どちらとも言えない | 3 | (10%) |
| あまりない | 1 | (3%) |
| 全くない | 0 | (0%) |



- とてもある
- 少しある
- どちらとも言えない
- あまりない
- 全くない

問6. 原子力について、詳しく学習してみたいですか。

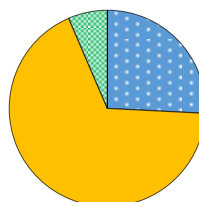
| | | |
|-----------|----|-------|
| してみたい | 7 | (23%) |
| 少ししてみたい | 18 | (58%) |
| どちらとも言えない | 6 | (19%) |
| あまりしたくない | 0 | (0%) |
| 全くしたくない | 0 | (0%) |



- してみたい
- 少ししてみたい
- どちらとも言えない
- あまりしたくない
- 全くしたくない

問7. 見学の後では原子力に関する興味・関心は見学前と比較して強くなりましたか。

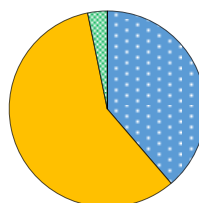
| | | |
|----------------|----|-------|
| とても興味・関心が強くなった | 8 | (26%) |
| 少し興味・関心が強くなった | 21 | (68%) |
| どちらとも言えない | 2 | (6%) |
| あまり変わらない | 0 | (0%) |
| 全く変わらない | 0 | (0%) |



- とても興味・関心が強くなった
- 少し興味・関心が強くなった
- どちらとも言えない
- あまり変わらない
- 全く変わらない

問8. 将来に役立つと思われる知識は得られましたか。

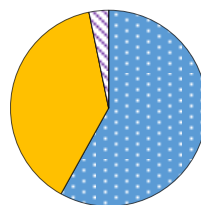
| | | |
|------------|----|-------|
| とても得られた | 12 | (39%) |
| まあまあ得られた | 18 | (58%) |
| どちらとも言えない | 1 | (3%) |
| あまり得られなかった | 0 | (0%) |
| 全く得られなかった | 0 | (0%) |



- とても得られた
- まあまあ得られた
- どちらとも言えない
- あまり得られなかった
- 全く得られなかった

問9. 原子力について、地域に存在する課題であるという意識は持てましたか

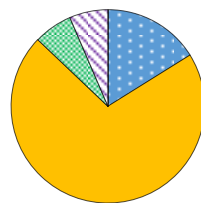
| | | |
|-----------|----|-------|
| とても持てた | 18 | (58%) |
| まあまあ持てた | 12 | (39%) |
| どちらとも言えない | 0 | (0%) |
| あまり持てなかった | 1 | (3%) |
| 全く持てなかった | 0 | (0%) |



- とても持てた
- まあまあ持てた
- どちらとも言えない
- あまり持てなかった
- 全く持てなかった

問10. 原子力の課題について、自分の専攻分野との関連性を感じられましたか。

| | | |
|-------------|----|-------|
| とても感じられた | 5 | (16%) |
| 少し感じられた | 22 | (71%) |
| どちらとも言えない | 2 | (6%) |
| あまり感じられなかった | 2 | (6%) |
| 全く感じられなかった | 0 | (0%) |



- とても感じられた
- 少し感じられた
- どちらとも言えない
- あまり感じられなかった
- 全く感じられなかった

問11. 見学会を通して気づいた原子力の課題を思いっただけ教えてください。

| |
|--|
| 作業員の被爆 |
| 安全性、信頼性の維持・向上 |
| 偏見や間違った知識などが多いと思った |
| 特に思いつかない |
| 人員による制御ではミスが生まれる可能性があること |
| 検査用の機械が壊れていた際に気付けるのか。 |
| どうしても確認作業などにおいて被ばくの危険性などがある。 |
| 地震による事故 |
| 事故の多発について 災害時に対処しきれなかった時 |
| 事故等によるリスクが大きい 莫大なコストがかかる |
| 人が入らなければならない点検箇所がある。 一般社会への一部知識の行き届いていない箇所がある。 |
| 作業効率の向上。 地域の人 に理解してもらうこと。 |
| 特にありません |
| 汚染 災害 燃料不足 |
| 災害にあった時の復帰に時間がかかる、汚染、コストが高い、 |
| 安全性が低い 使用済み燃料の処理 老朽化 |
| 使用済み核燃料の処理方法 事故や災害に対する脆弱性・危険性 将来可能性のある核燃料の枯渇 |
| 被爆の可能性はある 危険性がある |
| 放射線などの正しい知識を持っている人が少ない |

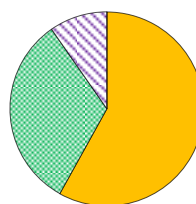
| |
|--|
| 災害に対してどのように対策をしていくか。 原子力に対して否定的な人たちの抑制 |
| 被曝恐れがあり防護服を着ないと作業することができない箇所が東京の発電所などに比べると少ないとおっしゃっておられたが、関西電力にも少なからずそのような箇所があるということは危険と隣り合わせであるということなので人の手でしか作業できないというところをもっと少なくしていくことが課題であると思いました。 |
| 事故が起きた時周りに大きな影響を与えること |
| 災害に対してどのように対策をしていくか。 原子力に対して否定的な人たちの抑制 |
| 地域に支持されない 事故の被害が大きい |
| 原子力発電所の数を増やしてもっとたくさんの電気エネルギーを取り出せるようにすること。 |

問12. 自分ならばその思いついた課題をどのように解決しようと考えますか。

| |
|--|
| さらに被曝対策を徹底する |
| 教育設備の充実、より専門性の高い人材の確保 |
| 義務教育の段階で正しい知識を持てるようにする |
| 仲間と協力する |
| 機械的にすべて制御する |
| 機械の検査をする。 |
| 少しでも正確に確認でき、自動化できるようにする。 |
| 部品等の変更と一人一人の意識を高める もう一段階対処できるようにする |
| なるべく突き詰めた形が今のものだと思うので、コストに関しては現時点ではどうにもならない。 リスクに関しては、日本である上では災害はどうしようもないことであるので、なるべく減災に努め、人為的なミスを減らすことが重要と考える。 |
| Bot の使用箇所の増加と対応する技術発展 一般への宣伝の増加 |
| 説明会などを通して地域の人に知ってもらう |
| 新しい発電方法を自力で考える |
| さらに効率的に安全にできる方法や機械を考える |
| 地下深くに作る |
| 出来るだけ危険性を低く出来るように対策を立てる |
| 見学会などに積極的に参加することを呼びかける |
| 出来るだけ機械に作業をさせることで人への被害が少なくなると思います。 |
| 事故が起きた時の避難訓練をする |
| 確固とした安全性を世の中の人たちに認めさせる。 |
| 人のいない所に作る 対策をより厳重にする 理解を深める |
| 適切にしたら安全といていたので原子力がどのようなものなのかの講習をみんなに受けてもらうようにする。 |

問13. 自分の時間（放課後等）を使って、世のため、人のためにその課題を解決してみたいと考えますか。

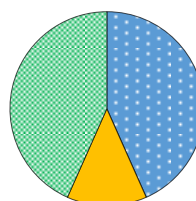
| | | |
|-----------|----|-------|
| とても考える | 0 | (0%) |
| 少し考える | 18 | (58%) |
| どちらとも言えない | 10 | (32%) |
| あまり考えない | 3 | (10%) |
| 全く考えない | 0 | (0%) |



- とても考える
- 少し考える
- どちらとも言えない
- あまり考えない
- 全く考えない

問14. 見学会を実施しなかったら課題の発見はあったでしょうか。

| | | |
|-------|----|-------|
| なかった | 13 | (42%) |
| あった | 4 | (13%) |
| 分からない | 13 | (42%) |



- なかった
- あった
- 分からない

問15. 今回の見学会について、ご意見・ご感想等があればお願いします。

| |
|--|
| 分かりやすく面白かったです。 |
| 難しい内容だった |
| 新しい発見や知らなかった知識があったのでとても楽しかったです。 ありがとうございました。 |
| 非常に貴重な体験だった。感電体験等、普通の学校生活では出来ない体験をした気がする。 |
| 少し休憩が欲しかった |
| 原子力発電についてとても分かりやすく、良い経験になったと思う。 |
| 立っているのが結構キツかった |
| これまで深く知ることのなかった「原子力」というワードについて深く知る良い機会になった。 |
| 見学場所が狭くて見にくい所があった。 (放射線の確認の装置の場所) |
| 今回の見学会により、原子力発電の安全性を知れ見方が変わった。 |
| 今回原子力研修センターを見学させて頂いて原発で働くにはいくつもの訓練をする必要があるということ を初めて知りました。 これは他のことでも同じことが言えると思うのでこれからの生活に活用していきたいと思いました。 ありがとうございました。 |
| 原発は、比較的近くにあるものだけど詳しくはあまり知らなかったので今回知れてよかったです。 |
| 原子力発電の仕組みについて少し分かりました。舞鶴に住んでいるので、近くにある危険と隣り合わせの モノを知れて良かったです。 |
| 施設を見ても大分老朽化が進んでいることがわかり、今後のエネルギーを確保する上で必要であるものの 見ていて不安になった。 制御棒の模型を触らせてもらえて嬉しかった。 |
| とてもわかりやすい説明だった。原子力について多くの事を学べたので良かった。 |
| 原子力については何の知識もありませんでしたが、見学会を通して原子力発電所の近くに住んでいる自分 達にどのような危険があり、それを発電所の方たちはどのようにして安全を提供しようとしているのかが 分かり、勉強になりました。 |
| 今回の見学会で普段見ることのできない装置を見ることができてよかったです。発電の仕組みや他の発電 所との発電方法の違いなどを知ることができてとても勉強になりました。ありがとうございました。 |

施設内を案内してくれた人が丁寧に説明してくれたので分かりやすかった。他にも冗談なども混じえて雰囲気良くしてくれたので質問がしやすかった。

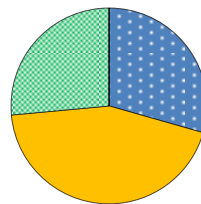
より理解を深めることが出来てとてもいい体験になった

難しい内容ではあったけど分かりやすく教えてもらえて良かったです。見学をして知らなかったことが多いなと思いました。

(9) 第9回(大飯原発[機械工学科5年、建設システム工学科5年生、専攻科生対象])

問1. 見学会の内容はいかがでしたか。

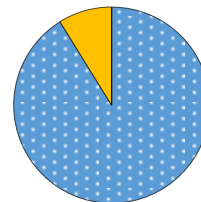
| | | |
|-------|----|-------|
| とても良い | 10 | (29%) |
| 良い | 15 | (44%) |
| ふつう | 9 | (26%) |
| 悪い | 0 | (0%) |
| とても悪い | 0 | (0%) |



- とても良い
- 良い
- ふつう
- 悪い
- とても悪い

問2. 見学会の時間はいかがでしたか。

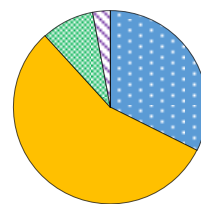
| | | |
|----|----|-------|
| 適当 | 31 | (91%) |
| 長い | 3 | (9%) |
| 短い | 0 | (0%) |



- 適当
- 長い
- 短い

問3. 見学会の内容は分かりやすかったですか。

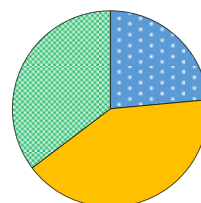
| | | |
|--------------|----|-------|
| とても分かりやすかった | 11 | (32%) |
| まあまあ分かりやすかった | 19 | (56%) |
| どちらとも言えない | 3 | (9%) |
| 少し分かりにくかった | 1 | (3%) |
| とても分かりにくかった | 0 | (0%) |



- とても分かりやすかった
- まあまあ分かりやすかった
- どちらとも言えない
- 少し分かりにくかった
- とても分かりにくかった

問4. 質問しやすい雰囲気でしたか。

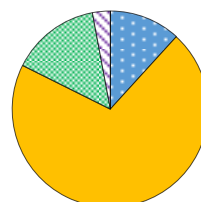
| | | |
|---------|----|-------|
| 質問しやすい | 8 | (24%) |
| 質問しにくい | 14 | (41%) |
| よく分からない | 12 | (35%) |



- 質問しやすい
- 質問しにくい
- よく分からない

問5. 原子力に興味がありますか。

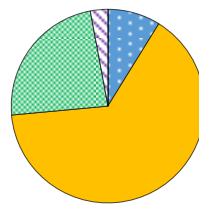
| | | |
|-----------|----|-------|
| とてもある | 4 | (12%) |
| 少しある | 24 | (71%) |
| どちらとも言えない | 5 | (15%) |
| あまりない | 1 | (3%) |
| 全くない | 0 | (0%) |



- とてもある
- 少しある
- どちらとも言えない
- あまりない
- 全くない

問6. 原子力について、詳しく学習してみたいですか。

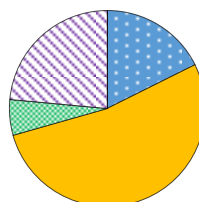
| | | |
|-----------|----|-------|
| してみたい | 3 | (9%) |
| 少ししてみたい | 22 | (65%) |
| どちらとも言えない | 8 | (24%) |
| あまりしたくない | 1 | (3%) |
| 全くしたくない | 0 | (0%) |



- してみたい
- 少ししてみたい
- どちらとも言えない
- あまりしたくない
- 全くしたくない

問7. 見学の後では原子力に関する興味・関心は見学前と比較して強くなりましたか。

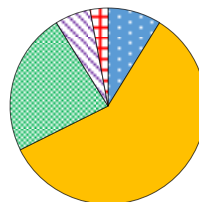
| | | |
|----------------|----|-------|
| とても興味・関心が強くなった | 6 | (18%) |
| 少し興味・関心が強くなった | 18 | (53%) |
| どちらとも言えない | 2 | (6%) |
| あまり変わらない | 8 | (24%) |
| 全く変わらない | 0 | (0%) |



- とても興味・関心が強くなった
- 少し興味・関心が強くなった
- どちらとも言えない
- あまり変わらない
- 全く変わらない

問8. 将来に役立つと思われる知識は得られましたか。

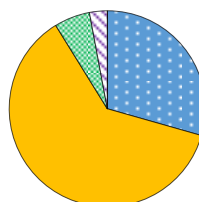
| | | |
|------------|----|-------|
| とても得られた | 3 | (9%) |
| まあまあ得られた | 20 | (59%) |
| どちらとも言えない | 8 | (24%) |
| あまり得られなかった | 2 | (6%) |
| 全く得られなかった | 1 | (3%) |



- とても得られた
- まあまあ得られた
- どちらとも言えない
- あまり得られなかった
- 全く得られなかった

問9. 原子力について、地域に存在する課題であるという意識は持てましたか

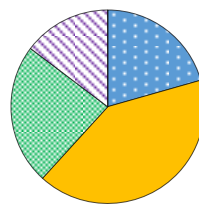
| | | |
|-----------|----|-------|
| とても持てた | 10 | (29%) |
| まあまあ持てた | 21 | (62%) |
| どちらとも言えない | 2 | (6%) |
| あまり持てなかった | 1 | (3%) |
| 全く持てなかった | 0 | (0%) |



- とても持てた
- まあまあ持てた
- どちらとも言えない
- あまり持てなかった
- 全く持てなかった

問10. 原子力の課題について、自分の専攻分野との関連性を感じられましたか。

| | | |
|-------------|----|-------|
| とても感じられた | 7 | (21%) |
| 少し感じられた | 14 | (41%) |
| どちらとも言えない | 8 | (24%) |
| あまり感じられなかった | 5 | (15%) |
| 全く感じられなかった | 0 | (0%) |



- とても感じられた
- 少し感じられた
- どちらとも言えない
- あまり感じられなかった
- 全く感じられなかった

問11. 見学会を通して気づいた原子力の課題を思いつくだけ教えてください。

| |
|--------------|
| 核燃料の処理方法 |
| 核廃棄物 |
| 余地できないレベルの災害 |
| 予知できないレベルの災害 |
| 想定外の津波の高さ |
| 取水のゴミが汚い |
| 海水温の上昇 |
| 核廃棄物の処理 |

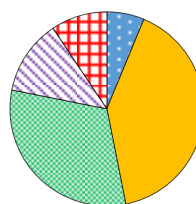
| |
|---|
| 廃炉を如何に進めるか。 |
| 安全性の確保を図ったと公言しようと放射能が目に見えない存在であるため、安全性の確保のため行った措置が効果的なのか理解し辛い点。 |
| 安全対策。テロ対策。地域の理解 |
| 非常に生活には重要で、なくてはならないものであるが、危険性もあること。 |
| 海がとても近いところにあることです。 施設が海沿いにあることは知っていましたが、思っていたより近くにありました。 |
| 東日本事故後、世論への安全対策周知。 原子力発電に代わる電力供給施策がないこと。 |
| 維持管理に莫大な費用や技術力が必要となること |
| ・原子力発電の安全性 ・原子力発電所が立地する地域社会のあり方（廃炉を含めて） |
| 核廃棄物の処理 |
| 海の水を汲むところでゴミが浮いていた ゴミが海水を組むときに詰まる可能性がある |

問12. 自分ならばその思いついた課題をどのように解決しようと考えますか。

| |
|--|
| 新技術の導入 |
| そもそも発生させない |
| 常に訓練と危機管理を行う |
| 今以上、大幅に予想して対応する。 |
| さらに防波堤を高くする |
| 定期的な掃除 |
| 六ヶ所村以外にも廃棄処理地域を作る |
| 出来るだけ早く廃炉を進める方法を考える。 |
| 放射能に対する正しい知識を一般市民に浸透させていくことが重要と考える。 |
| とにかく、全電源損失を防ぐ方法を考える。 |
| 福島原発の経験を生かし改良して安全なものになっていることを地域の人を始め多くの人に理解してもらうこと。 そして、原発は今の生活において非常に重要であり、なくすことによるデメリットが大きくなるべきでないことを理解してもらうこと。 |
| 分かりません。 海水が必要とされているけれど、津波などの際に危険となるのが、見学して納得できました。 |
| 代替案がなければ、国費で可能な限りの安全性能を担保して活用し続けるべき。 |
| 再生可能エネルギーなど原子力発電以外の方法を活用する |
| 防災能力を向上させるまでして原子力発電所の稼働を続ける意義があるのか判断つきかねているので、まずは、原子力の利用についてその歴史を学ぶところから始めたい。 |
| 宇宙に捨てる |
| 少し離れたところに網を張る |

問13. 自分の時間（放課後等）を使って、世のため、人のためにその課題を解決してみたいと考えますか。

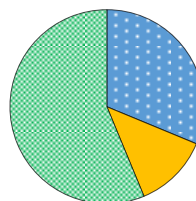
| | | |
|-----------|----|-------|
| とても考える | 2 | (6%) |
| 少し考える | 13 | (38%) |
| どちらとも言えない | 10 | (29%) |
| あまり考えない | 4 | (12%) |
| 全く考えない | 3 | (9%) |



- とても考える
- 少し考える
- どちらとも言えない
- あまり考えない
- 全く考えない

問14. 見学会を実施しなかったら課題の発見はあったでしょうか。

| | | |
|-------|----|-------|
| なかった | 10 | (29%) |
| あった | 4 | (12%) |
| 分からない | 18 | (53%) |



- なかった
- あった
- 分からない

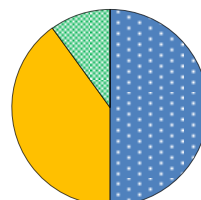
問15. 今回の見学会について、ご意見・ご感想等があればお願いします。

| |
|---|
| とても良い経験になりました。 ありがとうございました。 |
| 普段では見れないようなところやその説明をして頂いてよく理解出来たし、学ぶことが出来たと感じました。 |
| 今回の見学会で普段生活していて関われない施設などを見学できたので良かった。 |
| VRもよかったが実物を交えての説明が聞きたかった |
| VRにさせていただくことで実際の雰囲気を知れて良かったです。 |
| 貴重な体験が出来て良かった |
| 教員が答えにくい設問がある。 |
| 見学会が無ければ、個人的に行く機会は無かったと思います。 貴重なものをたくさん見ることができました。 ありがとうございました。 |
| 実際の施設を見学できることを期待していたが、建物を見ただけで、ほとんどがVRであった。実物を見学できる内容が望ましい。また、説明が一般向けで内容がほとんどなかった。高専生は技術者としての基礎知識は身につけているため、技術者に専門的な内容を説明してもらいたい。 |
| 普段テレビなどでしか見れない物を自分の目で見れて良かった |
| 質問をしにくい雰囲気のように感じたので、最後に質問があるか聞いた方が良いかもしれない |

(10) 第10回(西舞鶴港防災施設[建設システム工学科(都市環境コース)4年生対象])

問1. 見学会の内容はいかがでしたか。

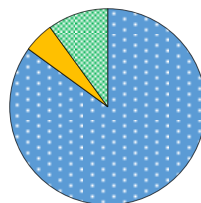
| | | |
|-------|----|-------|
| とても良い | 10 | (50%) |
| 良い | 8 | (40%) |
| ふつう | 2 | (10%) |
| 悪い | 0 | (0%) |
| とても悪い | 0 | (0%) |



- とても良い
- 良い
- ふつう
- 悪い
- とても悪い

問2. 見学会の時間はいかがでしたか。

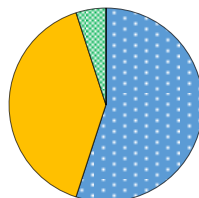
| | | |
|----|----|-------|
| 適当 | 17 | (85%) |
| 長い | 1 | (5%) |
| 短い | 2 | (10%) |



- 適当
- 長い
- 短い

問3. 見学会の内容は分かりやすかったですか。

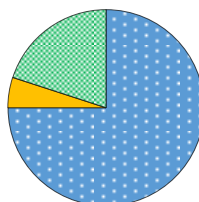
| | | |
|--------------|----|-------|
| とても分かりやすかった | 11 | (55%) |
| まあまあ分かりやすかった | 8 | (40%) |
| どちらとも言えない | 1 | (5%) |
| 少し分かりにくかった | 0 | (0%) |
| とても分かりにくかった | 0 | (0%) |



- とても分かりやすかった
- まあまあ分かりやすかった
- どちらとも言えない
- 少し分かりにくかった
- とても分かりにくかった

問4. 質問しやすい雰囲気でしたか。

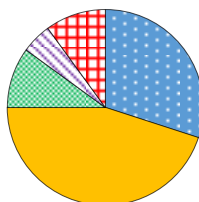
| | | |
|---------|----|-------|
| 質問しやすい | 15 | (75%) |
| 質問しにくい | 1 | (5%) |
| よく分からない | 4 | (20%) |



- 質問しやすい
- 質問しにくい
- よく分からない

問5. 港湾設備や防災に興味がありますか。

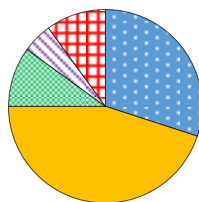
| | | |
|-----------|---|-------|
| とてもある | 6 | (30%) |
| 少しある | 9 | (45%) |
| どちらとも言えない | 2 | (10%) |
| あまりない | 1 | (5%) |
| 全くない | 2 | (10%) |



- とてもある
- 少しある
- どちらとも言えない
- あまりない
- 全くない

問6. 港湾設備や防災について、詳しく学習してみたいですか。

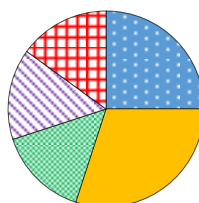
| | | |
|-----------|---|-------|
| してみたい | 6 | (30%) |
| 少ししてみたい | 9 | (45%) |
| どちらとも言えない | 2 | (10%) |
| あまりしたくない | 1 | (5%) |
| 全くしたくない | 2 | (10%) |



- してみたい
- 少ししてみたい
- どちらとも言えない
- あまりしたくない
- 全くしたくない

問7. 見学の後では港湾設備や防災に関する興味・関心は見学前と比較して強くなりましたか。

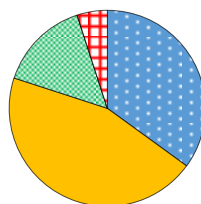
| | | |
|----------------|---|-------|
| とても興味・関心が強くなった | 5 | (25%) |
| 少し興味・関心が強くなった | 6 | (30%) |
| どちらとも言えない | 3 | (15%) |
| あまり変わらない | 3 | (15%) |
| 全く変わらない | 3 | (15%) |



- とても興味・関心が強くなった
- 少し興味・関心が強くなった
- どちらとも言えない
- あまり変わらない
- 全く変わらない

問8. 将来に役立つと思われる知識は得られましたか。

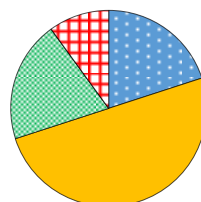
| | | |
|------------|---|-------|
| とても得られた | 7 | (35%) |
| まあまあ得られた | 9 | (45%) |
| どちらとも言えない | 3 | (15%) |
| あまり得られなかった | 0 | (0%) |
| 全く得られなかった | 1 | (5%) |



- とても得られた
- まあまあ得られた
- どちらとも言えない
- あまり得られなかった
- 全く得られなかった

問9. 港湾設備や防災について、地域に存在する課題であるという意識は持てましたか

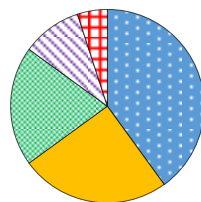
| | | |
|-----------|----|-------|
| とても持てた | 4 | (20%) |
| まあまあ持てた | 10 | (50%) |
| どちらとも言えない | 4 | (20%) |
| あまり持てなかった | 0 | (0%) |
| 全く持てなかった | 2 | (10%) |



- とても持てた
- まあまあ持てた
- どちらとも言えない
- あまり持てなかった
- 全く持てなかった

問10. 港湾施設や防災の課題について、自分の専攻分野との関連性を感じられましたか。

| | | |
|-------------|---|-------|
| とても感じられた | 8 | (40%) |
| 少し感じられた | 5 | (25%) |
| どちらとも言えない | 4 | (20%) |
| あまり感じられなかった | 2 | (10%) |
| 全く感じられなかった | 1 | (5%) |



- とても感じられた
- 少し感じられた
- どちらとも言えない
- あまり感じられなかった
- 全く感じられなかった

問11. 見学会を通して気づいた港湾設備や防災の課題を思いっただけ教えてください。

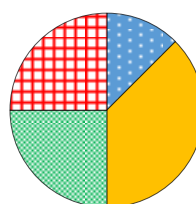
| |
|--|
| 鉄筋の長寿命化への対策 |
| 港の耐久性維持 |
| 舞鶴湾は入口が狭いため、津波が発生した時に強い波が押し寄せそうだった。 |
| 岸壁に船に衝撃を吸収するものがあった |
| 舞鶴湾を埋め立てた方が面白いと思う |
| 一部を耐震岸壁にしていたが、岸壁につける前のルートが遮断されたりはしないのかなと思った。 |
| 地震に耐えられるようにもっと整備を進めなければならない。 物販施設で働く人が必要。 |
| 潮差があまりないにしろ、地震等により波が陸まで押し寄せたときの対策 |
| 事故とか、あったことあるか、聞いたかったですが事故を0%までに減らすためどうしたらいいでしょうか |
| クルーズ船で訪れた観光客のための設備や交通整備が整っていないと感じた。 |
| ハード面の整備も大切だが地域住民の防災意識も必要である。後者はハード面を整備するにつれ住民が安心感を持つので難しいと思う。 |
| 舞鶴湾は静的水域なので波が低く、それに伴って舞鶴湾岸の漁村にはあまり防波堤などが見られなかった。また、岸にそって民家などが並んでいるので、地震によって津波や地盤沈下が生じたりすると、民家に浸水する可能性が考えられた。 |
| 船酔いして寝てました |
| 修繕工事をする際、仮設の港をつくらなければならない。 |
| 老朽化が激しく、さらに数が多い |

問12. 自分ならばその思いついた課題をどのように解決しようと考えますか。

| |
|--|
| 研究機関を増やす |
| 新しい港を構成する材料や物を開発する |
| わかんない 消波ブロックを置くとかですか？ |
| みんなで協力する |
| 埋め立てる |
| どのような状況でも確実に通れるルートをつくる。 |
| 強化する。 |
| もう少し岸壁を嵩上げする |
| 考えている中です |
| 観光客がくつろげる施設や飲食スペースを設ける必要があると考える。 |
| 定期的に防災について説明する機会を設ける。 |
| 堤防をつくる。または湾の入口に二重円筒ケーソンなどを置き、波の流入を防ぐ。 |
| 船酔いして寝てました |
| なるべく修繕工数の回数を減らすため、耐久性のあるつくりにする。 港の活用回数を増加させることも可能になるため、仮設から常設する方向で計画をする。 1部分を切り取って修繕していったので、船を停めるところによっては問題ないように工事をする。 出来るだけ早い施工を目指して工法の開発や効率化を目指す。 |

問13. 自分の時間（放課後等）を使って、世のため、人のためにその課題を解決してみたいと考えますか。

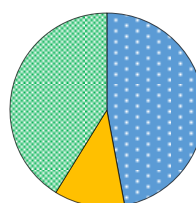
| | | |
|-----------|---|-------|
| とても考える | 2 | (10%) |
| 少し考える | 6 | (30%) |
| どちらとも言えない | 4 | (20%) |
| あまり考えない | 0 | (0%) |
| 全く考えない | 4 | (20%) |



- とても考える
- 少し考える
- どちらとも言えない
- あまり考えない
- 全く考えない

問14. 見学会を実施しなかったら課題の発見はあったでしょうか。

| | | |
|-------|---|-------|
| なかった | 8 | (40%) |
| あった | 2 | (10%) |
| 分からない | 7 | (35%) |



- なかった
- あった
- 分からない

問15. 今回の見学会について、ご意見・ご感想等があればお願いします。

| |
|---|
| 大変分かりやすく、とても貴重な体験をする事が出来ました。 ありがとうございました。 |
| 睡眠不足と船酔いで終始気分が優れませんでした。 また機会があればゆっくりと職員さんとお話したいです。 |
| 明日も船に乗りたくなって思いました |
| インターンシップに加えて、また港湾に関する知識が増えたと思うのでよかったです。 |
| 施工管理により興味を持てた。 海から舞鶴の町をみれてよかった。 |
| 意見ないけど、とても感謝しました |

海から舞鶴を眺めることはなかったので貴重な体験ができたと思いました。また、海からの眺めで気づくことが数多くあり、充実した時間を過ごせました。

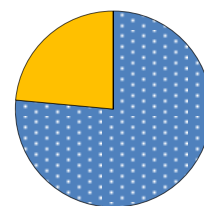
舞鶴湾が自然の良港といわれる理由がわかった
 今回説明して下さった方は元々海に関わる仕事を目指して形にしていた
 自分にはそれがないが地域の人々に喜ばれる仕事がしたい

3Dのデータを使って作業中のことも考えていることが印象に残りました。

(11) 第 11 回 (西舞鶴港防災施設 [建設システム工学科 (都市環境コース) 5 年生対象])

問 1. 見学会の内容はいかがでしたか。

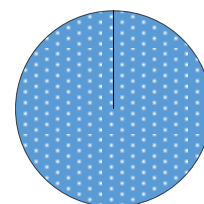
| | | |
|-------|----|-------|
| とても良い | 13 | (76%) |
| 良い | 4 | (24%) |
| ふつう | 0 | (0%) |
| 悪い | 0 | (0%) |
| とても悪い | 0 | (0%) |



- とても良い
- 良い
- ふつう
- 悪い
- とても悪い

問 2. 見学会の時間はいかがでしたか。

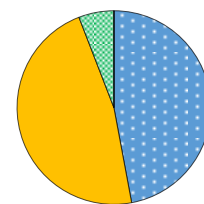
| | | |
|----|----|--------|
| 適当 | 17 | (100%) |
| 長い | 0 | (0%) |
| 短い | 0 | (0%) |



- 適当
- 長い
- 短い

問 3. 見学会の内容は分かりやすかったですか。

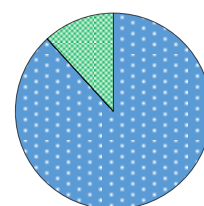
| | | |
|--------------|---|-------|
| とても分かりやすかった | 8 | (47%) |
| まあまあ分かりやすかった | 8 | (47%) |
| どちらとも言えない | 1 | (6%) |
| 少し分かりにくかった | 0 | (0%) |
| とても分かりにくかった | 0 | (0%) |



- とても分かりやすかった
- まあまあ分かりやすかった
- どちらとも言えない
- 少し分かりにくかった
- とても分かりにくかった

問 4. 質問しやすい雰囲気でしたか。

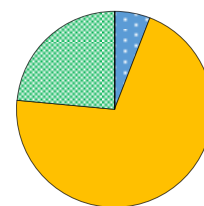
| | | |
|---------|----|-------|
| 質問しやすい | 15 | (88%) |
| 質問しにくい | 0 | (0%) |
| よく分からない | 2 | (12%) |



- 質問しやすい
- 質問しにくい
- よく分からない

問 5. 港湾設備や防災に興味がありますか。

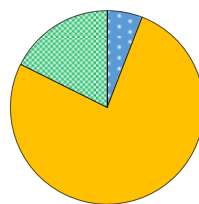
| | | |
|-----------|----|-------|
| とてもある | 1 | (6%) |
| 少しある | 12 | (71%) |
| どちらとも言えない | 4 | (24%) |
| あまりない | 0 | (0%) |
| 全くない | 0 | (0%) |



- とてもある
- 少しある
- どちらとも言えない
- あまりない
- 全くない

問6. 港湾設備や防災について、詳しく学習してみたいですか。

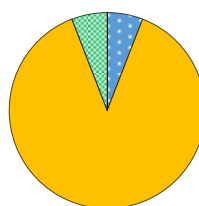
| | | |
|-----------|----|-------|
| してみたい | 1 | (6%) |
| 少ししてみたい | 13 | (76%) |
| どちらとも言えない | 3 | (18%) |
| あまりしたくない | 0 | (0%) |
| 全くしたくない | 0 | (0%) |



- してみたい
- 少ししてみたい
- どちらとも言えない
- あまりしたくない
- 全くしたくない

問7. 見学の後では港湾設備や防災に関する興味・関心は見学前と比較して強くなりましたか。

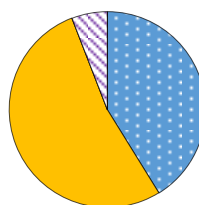
| | | |
|----------------|----|-------|
| とても興味・関心が強くなった | 1 | (6%) |
| 少し興味・関心が強くなった | 15 | (88%) |
| どちらとも言えない | 1 | (6%) |
| あまり変わらない | 0 | (0%) |
| 全く変わらない | 0 | (0%) |



- とても興味・関心が強くなった
- 少し興味・関心が強くなった
- どちらとも言えない
- あまり変わらない
- 全く変わらない

問8. 将来に役立つと思われる知識は得られましたか。

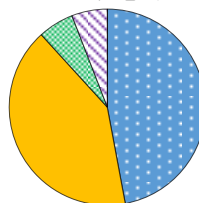
| | | |
|------------|---|-------|
| とても得られた | 7 | (41%) |
| まあまあ得られた | 9 | (53%) |
| どちらとも言えない | 0 | (0%) |
| あまり得られなかった | 1 | (6%) |
| 全く得られなかった | 0 | (0%) |



- とても得られた
- まあまあ得られた
- どちらとも言えない
- あまり得られなかった
- 全く得られなかった

問9. 港湾設備や防災について、地域に存在する課題であるという意識は持てましたか。

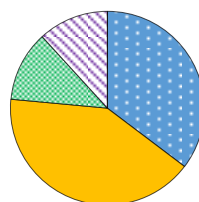
| | | |
|-----------|---|-------|
| とても持てた | 8 | (47%) |
| まあまあ持てた | 7 | (41%) |
| どちらとも言えない | 1 | (6%) |
| あまり持てなかった | 1 | (6%) |
| 全く持てなかった | 0 | (0%) |



- とても持てた
- まあまあ持てた
- どちらとも言えない
- あまり持てなかった
- 全く持てなかった

問10. 港湾設備や防災の課題について、自分の専攻分野との関連性を感じられましたか。

| | | |
|-------------|---|-------|
| とても感じられた | 6 | (35%) |
| 少し感じられた | 7 | (41%) |
| どちらとも言えない | 2 | (12%) |
| あまり感じられなかった | 2 | (12%) |
| 全く感じられなかった | 0 | (0%) |



- とても感じられた
- 少し感じられた
- どちらとも言えない
- あまり感じられなかった
- 全く感じられなかった

問11. 見学会を通して気づいた港湾設備や防災の課題を思いつくだけ教えてください。

| |
|-----------------------------------|
| 設備の維持管理 |
| 維持管理 |
| 本当に50年後にあのデータに価値があるのか |
| タブレットが必ずしも便利なのかといった点 |
| 海辺なので、海水に強くしなければならない。 |
| 1年を通して港が使えるように、波・風なども考慮しなければならない。 |

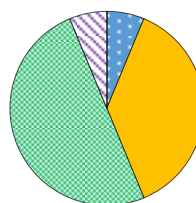
| |
|---|
| 山に囲まれているため、土砂崩れなどが発生した際、港湾に影響がでるのではないかと考えた。 |
| それぞれの地域ごとの特性を理解する必要がある |
| 設備更新の手間とお金が多い |
| 普段は見ることの出来ない鋼管杭や、施行中の様子などを見ることが出来た。 |

問1 2. 自分ならばその思いついた課題をどのように解決しようと考えますか。

| |
|--|
| 定期的点検を行う |
| CIMの活用 |
| 紙媒体の記録も用意しておく |
| 前例を調べる。 |
| 土砂崩れを防ぐために、斜面にアンカーを打ち込む、擁壁を設置するなどをして対策をとる。 |
| その地域の自治体の方に話を聞く |
| 規格化し、部品ごとに更新することが出来れば良いと思った |
| まだ分からない |

問1 3. 自分の時間（放課後等）を使って、世のため、人のためにその課題を解決してみたいと考えますか。

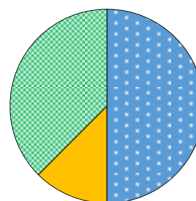
| | | |
|-----------|---|-------|
| とても考える | 1 | (6%) |
| 少し考える | 6 | (35%) |
| どちらとも言えない | 8 | (47%) |
| あまり考えない | 1 | (6%) |
| 全く考えない | 0 | (0%) |



- とても考える
- 少し考える
- どちらとも言えない
- あまり考えない
- 全く考えない

問1 4. 見学会を実施しなかったら課題の発見はあったでしょうか。

| | | |
|-------|---|-------|
| なかった | 8 | (47%) |
| あった | 2 | (12%) |
| 分からない | 6 | (35%) |



- なかった
- あった
- 分からない

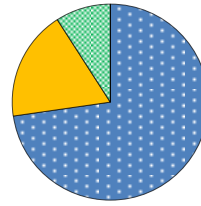
問1 5. 今回の見学会について、ご意見・ご感想等があればお願いします。

| |
|---|
| ありがとうございました |
| 初めて見るものばかりで面白いなと思いました。 |
| 船酔いしやすい人は、乗船を最後にした方がいいと思いました。 |
| 舞鶴湾を一望することができ、港として最適な土地であることが分かった。 |
| 貴重な時間をさいて説明していただきありがとうございました |
| 貴重な体験、ありがとうございました。 舞鶴港について見学により深く知識を深めることができました。 |
| 現場の様子が近くで見れてよかった |
| 舞鶴湾は天然の良港であるが、他のほとんど港はそうでは無いため、一般的に港湾事業でどのような事がなされているのかも知っておきたいと思った |

(12) 第 12 回 (原子力研修センター [建設システム工学科 1 年生対象])

問 1. 見学会の内容はいかがでしたか。

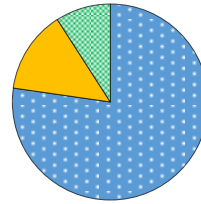
| | | |
|-------|----|-------|
| とても良い | 16 | (73%) |
| 良い | 4 | (18%) |
| ふつう | 2 | (9%) |
| 悪い | 0 | (0%) |
| とても悪い | 0 | (0%) |



- とても良い
- 良い
- ふつう
- 悪い
- とても悪い

問 2. 見学会の時間はいかがでしたか。

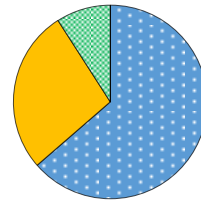
| | | |
|----|----|-------|
| 適当 | 17 | (77%) |
| 長い | 3 | (14%) |
| 短い | 2 | (9%) |



- 適当
- 長い
- 短い

問 3. 見学会の内容は分かりやすかったですか。

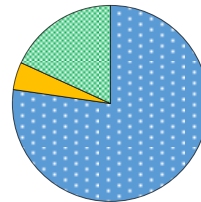
| | | |
|--------------|----|-------|
| とても分かりやすかった | 14 | (64%) |
| まあまあ分かりやすかった | 6 | (27%) |
| どちらとも言えない | 2 | (9%) |
| 少し分かりにくかった | 0 | (0%) |
| とても分かりにくかった | 0 | (0%) |



- とても分かりやすかった
- まあまあ分かりやすかった
- どちらとも言えない
- 少し分かりにくかった
- とても分かりにくかった

問 4. 質問しやすい雰囲気でしたか。

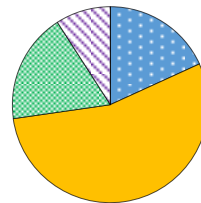
| | | |
|---------|----|-------|
| 質問しやすい | 17 | (77%) |
| 質問しにくい | 1 | (5%) |
| よく分からない | 4 | (18%) |



- 質問しやすい
- 質問しにくい
- よく分からない

問 5. 原子力に興味がありますか。

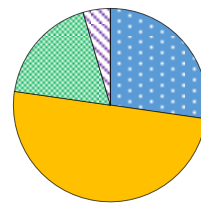
| | | |
|-----------|----|-------|
| とてもある | 4 | (18%) |
| 少しある | 12 | (55%) |
| どちらとも言えない | 4 | (18%) |
| あまりない | 2 | (9%) |
| 全くない | 0 | (0%) |



- とてもある
- 少しある
- どちらとも言えない
- あまりない
- 全くない

問 6. 原子力について、詳しく学習してみたいですか。

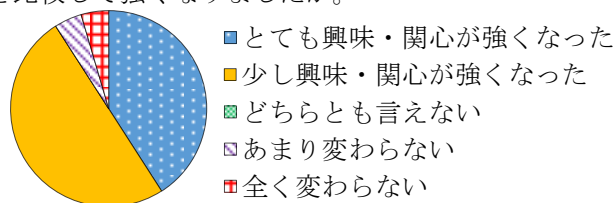
| | | |
|-----------|----|-------|
| してみたい | 6 | (27%) |
| 少ししてみたい | 11 | (50%) |
| どちらとも言えない | 4 | (18%) |
| あまりしたくない | 1 | (5%) |
| 全くしたくない | 0 | (0%) |



- してみたい
- 少ししてみたい
- どちらとも言えない
- あまりしたくない
- 全くしたくない

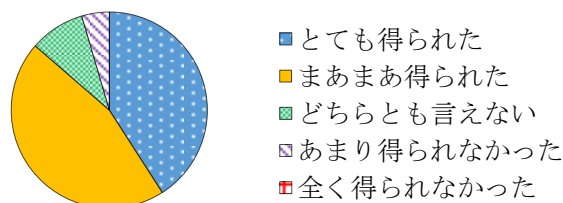
問7. 見学の後では原子力に関する興味・関心は見学前と比較して強くなりましたか。

| | | |
|----------------|----|-------|
| とても興味・関心が強くなった | 9 | (41%) |
| 少し興味・関心が強くなった | 11 | (50%) |
| どちらとも言えない | 0 | (0%) |
| あまり変わらない | 1 | (5%) |
| 全く変わらない | 1 | (5%) |



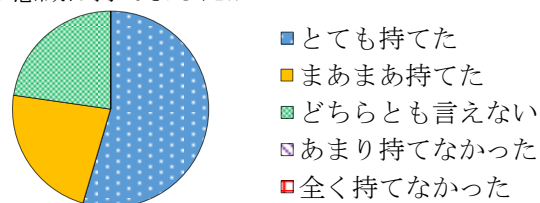
問8. 将来に役立つと思われる知識は得られましたか。

| | | |
|------------|----|-------|
| とても得られた | 9 | (41%) |
| まあまあ得られた | 10 | (45%) |
| どちらとも言えない | 2 | (9%) |
| あまり得られなかった | 1 | (5%) |
| 全く得られなかった | 0 | (0%) |



問9. 原子力について、地域に存在する課題であるという意識は持てましたか

| | | |
|-----------|----|-------|
| とても持てた | 12 | (55%) |
| まあまあ持てた | 5 | (23%) |
| どちらとも言えない | 5 | (23%) |
| あまり持てなかった | 0 | (0%) |
| 全く持てなかった | 0 | (0%) |



問10. 原子力の課題について、自分の専攻分野との関連性を感じられましたか。

| | | |
|-------------|----|-------|
| とても感じられた | 2 | (9%) |
| 少し感じられた | 10 | (45%) |
| どちらとも言えない | 8 | (36%) |
| あまり感じられなかった | 2 | (9%) |
| 全く感じられなかった | 0 | (0%) |



問11. 見学会を通して気づいた原子力の課題を思いつくだけ教えてください。

| |
|---|
| 排出される放射線が思っていたより少なかったことに、1番びっくりしました。 |
| 市民の支持 |
| 周辺住民の理解 廃棄物の処理 |
| 地域の人々が、もっと詳しく知るべきである |
| 作業員に危険性がある |
| 原子力発電所の世間からのイメージ |
| やっぱり、ずっと安全ではないからメンテナンスが必要だと言うこと。 何重にも、危険に対してのセーフティが必要だと言うこと。 |
| 点検に時間と人手がたくさんかかる。 |
| もっと信頼性を広める |
| 地震などで放射能が散乱した時の安全性 |

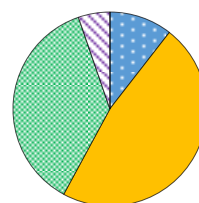
| |
|--|
| 発電機器をもう少しコンパクトにする方がいい |
| 福島の事故でどうしても印象が悪くなってしまっていること。 放射性廃棄物の処理場を早く見つけて処理できるようにすること。 |
| どの原子力発電所も海沿いにあり、津波対策は万全にされているように思うが、津波による被害の想定は尽きないことが課題だ。 |
| 発電所の設置、設備の整備にとっても費用がかかるということ。 |
| <ul style="list-style-type: none"> ・原子力の特徴と危険性安全性の認知度 ・ある1部の地域に偏って建設されている ・依存資源に頼らざるを得ない状況 |
| 点検に時間がかかったり少しでも間違えたら重大な事故に繋がる |
| <ul style="list-style-type: none"> ・原子力について私もだったけれど、よく知らないけれどただ危ないから止めた方が良いと言う人が多い ・60年間しか使えないが、原子力に代わる効率の良い発電方法がない ・廃棄物の処理場がない |

問12. 自分ならばその思いついた課題をどのように解決しようと考えますか。

| |
|--|
| 市民にわかるように有能性を示す |
| 説明会の実施 廃棄物埋立地の整備 |
| 関心を持ってもらう公演 |
| なるべく作業の時間を短縮 |
| 地方紙などに広告 |
| やはり、最悪のことを考えてセーフティを何重もかけていかないといけないと思った。 |
| X線とか透視できるならそのほうが楽かなーって思った。 |
| より多くの人に理解してもらうために、講演会を開く時にもっと宣伝する |
| 全く必要のないところを埋めていく |
| 印象が悪くなっていることについては、地道な努力で頑張る |
| 内陸に移設したい！ |
| ほかの発電方法との共通点を見つけ、費用が軽くなるなら取りいければいいと思います。 |
| <ul style="list-style-type: none"> ・このような場をもっと設ける →中学生や小学生などの工場見学に最適ではないか？ 逆に大人にも企業として参加してはどうか？ ・原子力発電に放射線の危険性がある限り、解決しないのではないだろうか。 →本気で解決したいなら、原子力発電所を無くすべきでは？ ・日本が発展し続ける限り解決しようがない。 |
| 演習や訓練をする必要がある |
| <ul style="list-style-type: none"> ・もっとSNSやテレビなどを利用して、もっと原子力についての情報を発信するべき ・60年の間に原子力に代わる発電方法を見つけるべき |

問13. 自分の時間（放課後等）を使って、世のため、人のためにその課題を解決してみたいと考えますか。

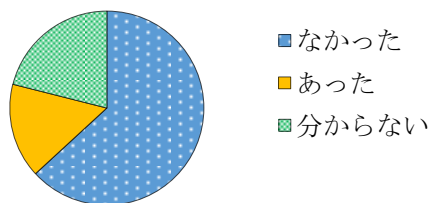
| | | |
|-----------|---|-------|
| とても考える | 2 | (9%) |
| 少し考える | 9 | (41%) |
| どちらとも言えない | 7 | (32%) |
| あまり考えない | 1 | (5%) |
| 全く考えない | 0 | (0%) |



- とても考える
- 少し考える
- どちらとも言えない
- あまり考えない
- 全く考えない

問14. 見学会を実施しなかったら課題の発見はあったでしょうか。

| | | |
|-------|----|-------|
| なかった | 12 | (55%) |
| あった | 3 | (14%) |
| 分からない | 4 | (18%) |



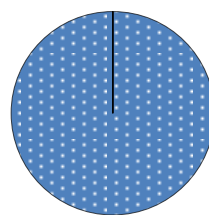
問15. 今回の見学会について、ご意見・ご感想等があればお願いします。

| |
|--|
| 原子力発電について知らないことばかりで、これまでの原子力発電所での事故に強く興味を持ったので、調べたいと思った。 |
| とても有意義で勉強できたと思います |
| とてもいい経験になりました。ご説明ありがとうございました。 |
| 今まで曖昧な知識で原子力のことを思っていたが、今日の見学会で普通では、分からなかったような事を知れてとても良かった。 |
| この見学に来るまでは、原子力発電所と聞いて放射線の事が心配だったけど、実際は放射線の問題は全くと初めて知りました。ありがとうございました。 |
| とても原子力発電について詳しく教えてくださったので、賢くなれた。 非常に濃い時間だったのであつという間でした。 |
| 新しい知識をたくさん知れたし見て面白かった。 |
| 自分が思っているより過去の経験を考慮して沢山の対策が練られていたのに驚きました。 |
| とても良かったです。 小さい頃あつとほうむによく行っていたのですが、その時にクイズででたこととか、聞いた言葉が出てきて、小さい頃は分からなかった仕組みやあまり見れないところまで知ることが出来てとてもいい経験だったと思います。 ありがとうございました。 |
| 原子力発電所は震災があつても何重もの防御があるということが知れて良かったです |
| 福島で、原発の印象が悪くなっていたので、今回の話を聞いて安心できるようになった。 |
| 原子力発電についての再確認ができ、新たなことを知れたのでとても良かったです。 |
| 原子力発電所と言えはすごく危険なイメージがありましたが、自分が思っていたよりもとても安全で、小さな問題点があった時の対処法と言うものがすごくしっかりしていたと思いました。今回の見学がなければ危険だという偏見をもったまま生活していくことになっていたと思います。この見学で原子力の安全性や他の発電方法との違いがよくわかったのでとても嬉しく思います。ありがとうございました。 |
| 私は普段、原子力発電所を身近に感じる事が無かったので考えた事はありませんでした。ですが、今回見学という場を設けていただき、初めて知るような事を多く学びました。その事から、私自身世間一般的なイメージでしか原子力発電所を見てなかった事が分かりました。燃料の冷却方法に少し興味が湧いたので、自分で調べて見たいと思います。 |
| 原子力発電所は効率的であるがその分、丁寧に取り扱う必要があるとわかりました |
| 私の家庭では原子力に反対派の母と賛成派の父がおり、よく会議をしていました。ですが私自身が原子力について詳しく情報を知らず自分の意見を持っていませんでしたが、沢山質問をしても何度も答えて頂けたのでやっと自分の意見を持って会議に参加できるようになりました。 ありがとうございました。 |

(13) 第 13 回(もんじゅ[教職員等対象])

問 1. もんじゅの見学会はいかがでしたか。

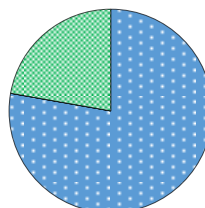
| | | |
|-------|---|--------|
| とても良い | 9 | (100%) |
| 良い | 0 | (0%) |
| ふつう | 0 | (0%) |
| 悪い | 0 | (0%) |
| とても悪い | 0 | (0%) |



- とても良い
- 良い
- ふつう
- 悪い
- とても悪い

問 2. 見学の時間はいかがでしたか。

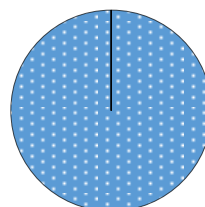
| | | |
|----|---|-------|
| 適当 | 7 | (78%) |
| 長い | 0 | (0%) |
| 短い | 2 | (22%) |



- 適当
- 長い
- 短い

問 3. もんじゅの見学が学生の教育になると考えまうか。

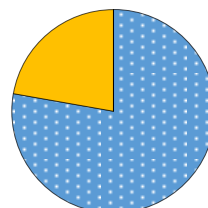
| | | |
|-----------|---|--------|
| とてもなる | 9 | (100%) |
| すこしなる | 0 | (0%) |
| どちらともいえない | 0 | (0%) |
| あまりならない | 0 | (0%) |
| 全くならない | 0 | (0%) |



- とてもなる
- すこしなる
- どちらともいえない
- あまりならない
- 全くならない

問 4. もんじゅの見学が学生の課題解決力の育成に役立つと考えますか。

| | | |
|-----------|---|-------|
| とても役立つ | 7 | (78%) |
| すこし役立つ | 2 | (22%) |
| どちらともいえない | 0 | (0%) |
| あまり役立たない | 0 | (0%) |
| 全く役立たない | 0 | (0%) |



- とても役立つ
- すこし役立つ
- どちらともいえない
- あまり役立たない
- 全く役立たない

問 5. もんじゅの見学会について、ご意見・ご感想等があればお願いします。

| |
|--|
| 解説の方が、廃炉作業だけでなく、これからの原発のことなどいろいろ考えておられる姿勢はとても素晴らしいとおもいました。 |
| 大変勉強になりました。もっと予習してから行けば良かったです。貴重な体験をさせていただきありがとうございました。 |
| もう少し、細部まで |
| 日本の核燃料サイクルが、温度計の破損（設計の配慮不足）で止まったかと思うと、残念でならない。 |

問 6. 今回の見学会をご自身の活動にどのように活かしていきたいと考えますか。

| |
|-------------------------------------|
| 原子力利用の有効性と安全管理の教育 |
| 放射線教育に取り入れる等、自施設でも活かしたいと思います。 |
| 現状を学生に知らせたい |
| ちょっとした工夫や配慮が重要であることを、学生に伝えていく必要がある。 |
| 研究に生かしていきたい |



発行元



独立行政法人 国立高等専門学校機構

舞鶴工業高等専門学校
National Institute of Technology, Maizuru College

625-8511 京都府舞鶴市字白屋234番地

TEL : 0773-62-5600 FAX : 0773-62-5558