

Fabrication of environmentally friendly water absorbing material using clay

Tomohiro Murakami*, Shingo Ikeda *, Michitaka Nagamoto **
And Ahmad Rahimi Rais Bin Rejemat***

Abstract

An NC (Nanocomposites) gel was synthesized as an environment-friendly and reusable water absorbing sheet which is used commonly within the shipping industry. Clay that does not adversely affect the environment was used as a cross-linking agent to the NC gels. We prepared various kinds of NC gels. Samples were prepared using 10 types of concentrated SA aqueous solutions. Many samples did not gel, but a few samples did gel. They gelled only when the concentration of the SA aqueous solution was 1.20 and 1.25 [wt%].

From these results, it was found to be possible to use the NC gel as a countermeasure sheet.

1. Introduction

Recently a lot of ships using diesel engine as their power source which produces an exhaust gas that contained a hazardous substances such as NOx(nitrogen oxides) and SOx(sulfur oxides). All of these hazardous substances are the notable contributors to environmental pollutions such as acid rain and photochemical smog. Furthermore, these pollutions also generate adverse effect on the human body. Because of that IMO (International Maritime Organization) recently strengthen the regulation of hazardous substances [1]. Regulation on SOx and NOx by IMO as according to Annex VI “Regulations for the Prevention of Air Pollution from Ships”. Annex VI sets limits on NOx and SOx emissions from ship exhausts, and prohibits deliberate emissions of ozone depleting substances. Fig. 1 shows the graph of NOx emission limit [2].

MARPOL Annex VI of NOx emission limits is applied to any diesel engine that has the output power of more than 130 kW. Different levels (Tiers) of control applied is based on the ship construction date. Tier I standard was being applied to both vessels that were created on and after 1st January 2000 and vessels that are equipped with the diesel engine that created before 1st January 2011. The regulation value is dependent on the rated engine speed. Table 1 shows the allowable amount of NOx emission.

Similarly, Tier II standard is also being applied on vessels that are equipped with diesel engine that was created on and after 1st January 2011. The regulation value is also shown in Table 1. Tier II standard is expected to be met by combustion process optimization. The parameters examined by engine manufacturers include fuel injection timing, fuel injection pressure, fuel nozzle flow area, exhaust valve timing, and cylinder compression volume. Then, Tier III standard is applied on vessels that were created on or after 2016 that operating in the ECA (Emission Control Areas). The regulation value is also shown in Table 1.

Tier III standard is required to reduce 80% of NOx emission from the Tier I regulation. In Tier III, it is said that there are difficulties in reducing the NOx emission using the technology inside the diesel engine. For that reason, exhaust gas with purification technology also known as urea SCR (Selective

* Maritime Technology Department

* * Advanced Maritime Technology Course 2 grade (at that time)

* * * Maritime Technology Department 5 grade

Catalytic Reduction) method was used [3]. This technology is based on the fact that urea water is sprayed into the exhaust gas and the NOx that contained in the exhaust gas is decomposed to water and nitrogen by the ammonia in the urea water. In this urea SCR method, it is essential to treat the moisture that is produced.

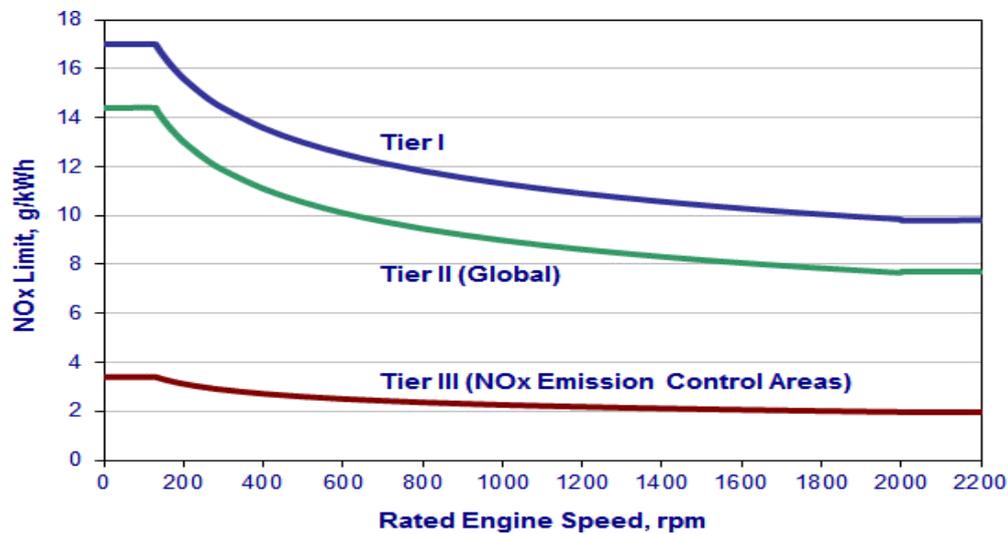


Fig.1 MARPOL Annex VI of NOx emission limits

So in our laboratory, we worked on the material of reusable water absorbing sheet in order to treat the moisture. Generally, water absorbing material is often referred to as SAP (Super Absorbent Polymers) that is used in disposable diapers [4]. However, SAP has a disadvantage in which it cannot be used once it adsorbs water. It appears to be suitable for disposable uses such as disposable diapers but not as a water absorbing sheet which is supposed to be used repeatedly.

Table 1 NOx emission limits by IMO

Tier I (2000)	
Rated engine speed [rpm]	NOx emission limit [g/kWh]
● n<130	17.0[g/kWh]
● $130 \leq n < 2000$	$45.0 \cdot n^{(-0.2)}$ [g/kWh]
● $n \geq 2000$	9.8[g/kWh]
Tier II (2011)	
Rated engine speed [rpm]	NOx emission limit [g/kWh]
● n<130	14.4[g/kWh]
● $130 \leq n < 2000$	$44.0 \cdot n^{(-0.23)}$ [g/kWh]
● $n \geq 2000$	7.7[g/kWh]
Tier III (2016)r	
Rated engine speed [rpm]	NOx emission limit [g/kWh]
● n<130	14.4[g/kWh]
● $130 \leq n < 2000$	$45.0 \cdot n^{(-0.2)}$ [g/kWh]
● $n \geq 2000$	9.8[g/kWh]
r: In NOx Emission Control Areas (Tier II standards apply outside ECAs)	

2. Polymer gel and Clay

Fabrication of environmentally friendly water absorbing material using clay

The PNIPA gel used in this experiment is a temperature-responsive polymer and it has been studied in various fields since it has excellent characteristics such as volume phase transition that correspond to the temperature. The Society of Polymer defined polymer gel as a polymer that is cross linked and has become a three dimensional network structure, produces swelling but does not dissolve and takes the state between solid and liquid.

The volume phase transition of polymer gel is the transition between swelling phase and contraction phase of the gel was discovered by Mr. Toyochi Tanaka [5,6]. Solvent composition, temperature, pressure, pH, electric field, and light are examples of factors that cause this volume phase transition to occur. All these external factors can change the volume of polymer gel by 10 to 1000 times.

Volume phase transition of PNIPA gel occurs due to the temperature change, which is swells at low temperature and shrinks at high temperature. This volume change is reversible and can be repeated many times. Because of that characteristic, it is possible to create a water absorbing sheet that can be used repeatedly [7].

Clay is a material that is made by removing and purifying impurities in the layered clay mineral [8]. There are various types of clay but in our research, we are using two types of clay which is Kunipia and Sumecton from Kunimine Industries. Kunipia is a purified type of clay called Bentonite. Bentonite is a layered silicate mineral containing montmorillonite as a main component and other minerals such as quartz, mica, feldspar, and zeolite. Kunipia is a natural clay, so it is difficult to completely control its properties. The solution to this problem is using synthetic clay called Sumecton. Sumecton is a clay formed by chemically synthesizing by removing impurities and treatment with hot water [9].

Recently, research on new soft materials combining this polymer gel and clay materials are being actively conducted. Professor Takuzo Aida from Tokyo University has succeeded in developing new soft materials that have a high strength and self-repairing performance which can contain more than 95% of moisture just by mixing clay and an organic polymer compound. It can be said to be environmentally friendly because it's mostly made from naturally derived materials such as water and clay.

From this, we can expect a high performance and high functionality of new organic/inorganic hybrid materials to be formed if inorganic structure such as clay combined well with organic structure such as polymer gel. Representative of this organic/inorganic hybrid material is FRP (Fiber Reinforced Plastic). Moreover, there are also others materials that have been researched and developed. Consequently, our laboratory has also made a new water absorbing materials that environmentally friendly by using PNIPA gel and clay.

3. Experiment

The composition of PNIPA gel which act as a water absorbing agent was prepared as follows. Distilled water and SA(Sodium Acrylate) which is act as an ionizing agent were used to make 10 concentration(0.5, 0.8, 1.0,1.1, 1.15, 1.2, 1.25, 1.3, 1.4, 1.5 [wt%]) of an aqueous solution.1 g of clay was gradually put into the aqueous solution, stirred and dissolved. Two types of clay were used which is Kunipia and Sumecton. Next, 3.88 g of NIPA(N-isopropylarylamide) is dissolved.

After that, 120 μ l of N-N,N',N'-tetramethylethylenediamine was used as a polymerization accelerator and 20 mg of Ammonium Peroxodisulfate as a polymerization initiator was added before being left in a thermostatic chamber at 20 °C for 24 hours for gelling to occur.

4. Results and discussion

Fig.2 and Fig.3 shows the state of gelling of the samples using all the composition mention above. The horizontal axis shows the concentration [wt%] of the SA aqueous solution used and the vertical axis

shows the mass ratio of the main chain NIPA when SA is 1. A sample which gelled was evaluated as O, a sample which is not gelled was evaluated as X, and a sample in a sol state was indicated by Δ in the table. The result of the experiment using Kunipia is shown in Fig.2 after being left in a thermostatic chamber at 20 °C for 24 hours, the samples using Kunipia did not gelled but remained in liquid state in all concentration of SA. The result of the experiment using Sumecton is shown in Fig.3. The sample using Sumecton only gelled in the SA aqueous solution which has the concentration of 1.15 and 1.2 [wt%] only. The remaining samples only remained in a liquid or sol state.

From the above result, we can conclude that clay also can cross-link NIPA which is the main chain in the specific condition. Originally, clay is in a state in which layers are piled up as shown in Fig. 8. In this state, it is not possible to crosslink the polymer. The SA aqueous solution can disperse the clay with the force of electric charge in the solution. In other words, SA can disperse the clay and crosslink the NIPA.

Based on the experimental results, it can be considered that sample using Sumecton could be gelled only when the concentration of SA aqueous solution was 1.15 and 1.2 [wt%] and clay could be dispersed by the force of the electric charge that working in the SA aqueous solution. During the refining process, Sumecton undergoes a hot water treatment after removing impurities while Kunipia does not undergo hot water treatment after the removal of impurities.

From that, we can conclude that Kunipia did not gel and cannot crosslink PNIPA as the clay did not disperse by the electric force that is working in SA aqueous solution due to the properties of the clay used. From above, we can distinctly see that gel can be formed only when the concentration of SA aqueous solution was 1.15 and 1.2 [wt%] by using Sumecton as a crosslinking agent.

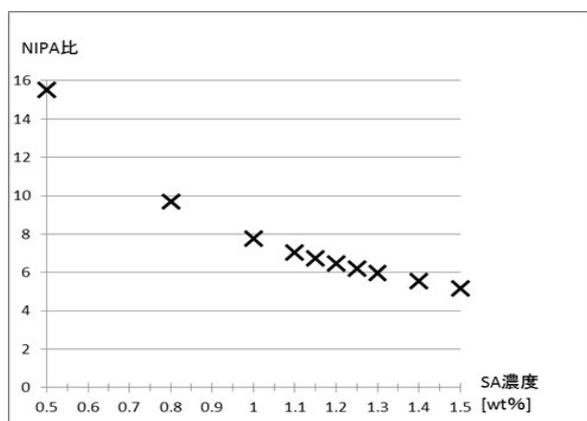


Fig.2 Gelation of sample using Kunipia

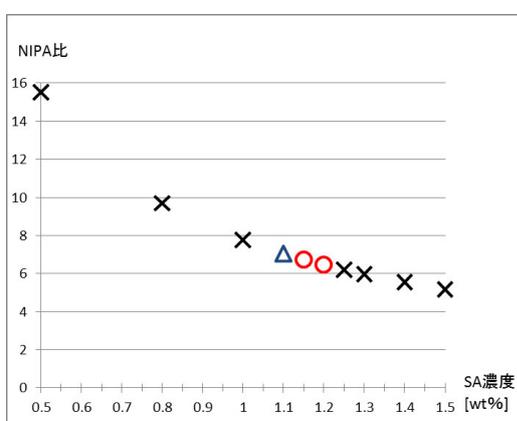


Fig.3 Gelation of sample using Sumecton

5. Conclusions

In this laboratory, we tried to use clay as a crosslinking agent for PNIPA gels in order to create an environment friendly water absorbing material. As a result, the following conclusion can be made:

1. All samples using Kunipia could not be gelled in this experiment.
2. Samples using Sumecton can gelled only at the concentration of SA aqueous solution is 1.15 and 1.2 [wt%] only.

From these conclusions, it can be said that SA can crosslink NIPA by dispersing clay in aqueous solution, but it is also found that there are specific conditions for cross-linking PNIPA in this experiment. In this experiment, it is possible for Sumecton to be gelled only when the concentration of SA aqueous solution is 1.15 and 1.2 [wt%] as the clay was dispersed by the electric charge that working in the SA aqueous solution then cross-linking PNIPA gels. In addition, Sumecton was treated with hot water during refining while Kunipia did not undergo hot water treatment after refining

Fabrication of environmentally friendly water absorbing material using clay

process [10]. This difference can be said to influence ion exchange between clay layers and the crosslinking of PNIPA.

From this experiment, by using clay as a crosslinking agent for PNIPA gel, we were able to create a new non-toxic and environmentally friendly water absorbing material.

References

- [1] Tomohiro Matsumoto : Journal of The Japan Institute of Marine Engineering, Vol.49, No.6, 2014.
- [2] NOx emission standard: <https://www.dieselnets.com/standards/inter/imo.php>, 2017.10.30.
- [3] Kouichi Hirata, Masahide Takagi, Nobuyuki Kishi, Youichi Niki, Satoshi Kawauchi, Yasuhisa Ichikawa, Tetsugo Fukuda, Toshiharu Inaba, Takeo Nagai, Izumi Iwamoto, Shota Ohashi, Kazuhiro Tabuchi, Junzou Kaneko, Eichi Muraoka : National Maritime Research Institute : NMRI, Vol.11, No.2, 2011.
- [4] KISHIDA CHEMICAL Co., Ltd., Safety data sheet, 4393, 2016.
- [5] T. Tanaka: Phys. Rev. Lett. , 40, 820, 1978.
- [6] T. Tanaka: Sci. Am. , 244, 110, 1981.
- [7] Tomohiro Murakami, Wataru Akase: Memories of National Institute of Technology, Yuge College, Vol.30, 2008.
- [8] Kazutoshi Haraguchi ; network polymer, Vol.33, No.6, 2012.
- [9] KUNIMINE INDUSTRIES CO., LTD., SUMECTON, P2, 2013.
- [10] Japan Science & Technology Agency (JST), Vol.707, 2010.

層状複水酸化物を用いた感温性ガスバリア膜の作製と特性評価

池田 真吾*・村上 知弘*・蔵岡 孝治**

Preparation and properties of Thermosensitive gas barrier membranes using Layered Double Hydroxide

Shingo IKEDA*・Tomohiro MURAKAMI*・Koji KURAOKA**

Abstract

The temperature sensitive nanocomposite film using Layered Double Hydroxide (LDH) and thermosensitive polymer were produced by in-situ polymerization by synthesized Co-Al large crystal LDH and poly (N- isopropylacrylamide) (PNIPA). The Co-Al large crystal LDH was made by urea method that diameter 3 - 5 μ m. Thermosensitive membranes was measured water vapor transmittance at 40°C and 20°C. The water vapor barrier property of nanocomposite membranes showed temperature response. Nanocomposite membrane observed SEM showed flat surface and uniform structure. In conclusion, LDH/PNIPA nanocomposite membrane has possibilities temperature responsive water vapor barrier membrane.

1. 緒言

包装材料は物品の輸送や陳列に深く関わる要素として、産業や工業の多くに関わっている。包装材料に求められる特性として、中身の保護性、易開封性、透明性などがあり、今日まで多くの材料研究がなされてきた。包装材料に求められる性能は多種多様であり、現在は複数の包装材料を組み合わせることでニーズに合わせた性能を低コストで実現している。このため、複数の機能を有する材料の研究よりも、ある機能に特化した材料を開発することが重要視されてきた¹⁾。しかし、複数の機能を高次元で発揮する包装材料が実現できれば未知のニーズを開発できる可能性がある。

例えば、海上輸送における包装材料を考える。海上輸送は一度に大量の荷物を目的地へ運ぶことができ、現在も広く行われている輸送形態である。特に日本は島国であり、原材料の輸入や製品の輸出に海上輸送は欠かせない²⁾。海上輸送には陸上で行われ

ている輸送と異なり、長期間にわたって様々な環境下で製品を運ぶ特徴がある。この際、特に水分によって積み荷が損傷し、甚大な被害を及ぼす場合がある^{3,4)}。特に電子機器の場合、パッケージ内の僅かな水分が周辺気温の変化によって液化し、製品を損傷する場合もある。このように特殊な環境下で性能を発揮する包装材料には検討の余地がある。例えば、温度変化に対応して包装内部の水蒸気を外部に放出し、結露を防ぐ包装材料などが考えられる。しかし、このような機能性を持った材料の包装分野への応用は報告されていない。

そこで、当研究室では機能性の一つとして、温度に応じて特性が変化する温度応答性に注目して研究を続けてきた。前説のとおり、汗濡れ損が周辺温度の変化によって発生することに着目し、外気温変化に対応して包装内部の水分を外部に放出し、包装内部の結露を抑えることができるのではないかと考えた。また、このような材料は包装材料として前例がなく、機能性を付与した後に膜構造等を解析するこ

*商船学科

**神戸大学大学院 海事科学研究科

とで、刺激応答性包装材料のモデルケースとなる可能性がある。このような観点から、温度応答性とガスバリア性を両立した包装材料の研究に取り組んできた。

前年の報告では、温度変化によって特性が変化する材料の一つとして、ポリ N-イソプロピルアクリルアミド (PNIPA) ゲル⁶⁾を用いてガスバリア材料を作製することで、温度応答性を持ったガスバリア材料を作製し、特性を評価した。その際、ガスバリア性を担保するため、優れたガスバリア特性と環境低負荷性を併せ持つ無機粘土鉱物 (クレイ) と名のコンポジット化してガスバリア材料を作製した。作製したガスバリア膜は温度によってバリア特性を変化させる温度応答性を示し、さらに低温時には現行のガスバリア材料に迫る水蒸気バリア性を見せた。また、TG/DTA による構造解析により、膜内で NIPA が重合してポリマーとなり、粘土層間に入り込んだ構造をとっている可能性が示唆された。⁷⁾

本報告ではこのテーマを発展させ、粘土鉱物として層状複水酸化物 (LDH) を用いて感温性ガスバリア膜を作製し、特性評価を行った。LDH の構造概略図を図1に示す。LDH は粘土鉱物の一種で、前年度の報告で用いたモンモリロナイトの一種であるラポナイトと比較して構造が薄く、薄膜で柔軟なガスバリア材料が作製できる可能性がある。

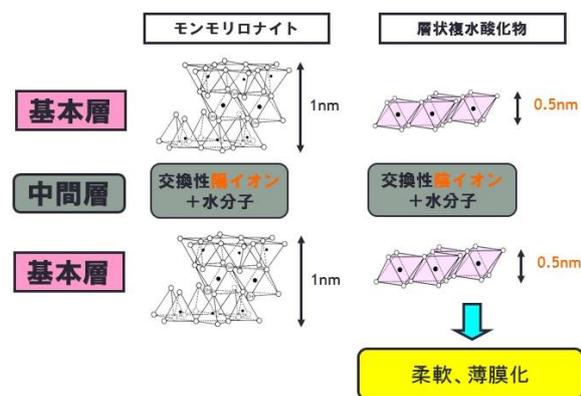
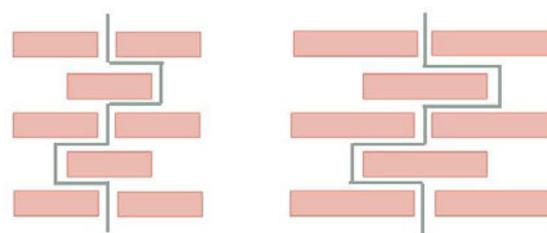


図1 LDH とモンモリロナイトの構造比較

加えて、大型の結晶を持つ LDH の合成を試み、それを用いて感温性ガスバリア膜を作製した。大型の結晶をもつ LDH を用いることで、膜内を透過する気体の透過経路が長くなり、より高いガスバリア特性が得られることが期待できる。ガス透過経路によるガスバリア性の概略図を図2に示す。



(a) 粒径が小 (b) 粒径が大

図2 気体の透過経路によるガスバリア性

本研究では、前述した大型結晶を持つ LDH の作成を試みた。また、作製した LDH を用いて PNIPA とのナノコンポジット膜を作製し、水蒸気バリア性を測定することで膜の温度応答特性を評価した。

1.1. 実験方法

LDH は尿素法を用いて合成した。塩化コバルト6水和物と塩化アルミニウム6水和物および尿素を二口フラスコに秤量し、蒸留水を 200ml になるように添加して温度 100 度で 48 時間還流を行った。還流後、得られた生成物をろ過によって取り出し、蒸留水とエタノールで数回洗浄した。その後再度ろ過して生成物を取り出し、大気中で十分に乾燥させて LDH 試料とした。

LDH / PNIPA ナノコンポジット膜は以下のとおり作製した。溶媒としてホルムアミドをスクリー管瓶に計量し、窒素ガスにより 10 分間バブリングして溶存酸素を除去した。そこにクレイとして作製した LDH 試料を 0.1wt% 添加し、48 時間攪拌して均一に分散させた。その後、NIPA 0.1wt% を秤量して加え、24 時間攪拌した。最後に、氷浴にて反応促進剤 N', N', N'-テトラメチルエチレンジアミン (TEMED、東京化成工業) 0.7 mol% を加えて 1 時間攪拌し、さらに反応開始剤としてペルオキシ二硫酸カリウム (KPS、関東化学) 0.4 mol% を加えて 30 分攪拌しコーティング溶液とした。なお、クレイおよび NIPA は溶媒に対する wt%、TEMED および KPS の添加量は NIPA に対する mol% である。

作製したコーティング溶液を、スピコータ (ACT-300A、アクティブ) を用いてポリエチレンテレフタレート (PET) 基材上へスピコートし、電子冷熱低温恒温器 (THS020DB、ADVANTEC 東洋) において 20°C で 24 時間保持し、ナノコンポジット膜の完成とした。

1.2. 物性評価

作製した材料の水蒸気バリア性を評価するため、防湿包装材料の透湿度試験方法(JIS Z0208)を参考に透湿度測定を行った。測定には恒温恒湿槽(AE-215, ADVANTEC 東洋)を用いた。ナノコンポジット膜の温度応答性を調査するため、測定条件は40℃、相対湿度90%および20℃、相対湿度100%の2条件とした。

膜の構造解析の一環として、高倍率光学顕微鏡による膜の表面観察を行った。

2. 結果と考察

2.1. 大型の結晶を持つ LDH の作製

尿素法によって合成した Co-Al LDH をホルムアミド中に分散、剥離させ、遠心分離によって見剥離の LDH を取り除いたのちに走査型電子顕微鏡(SEM, JSM-5900、日本電子(株))によって画像を撮影した。撮影した画像を図3に示す。作製した LDH は3~5 μm の直径を持つ六角形の結晶を有していた。現在、工業的に利用されている LDH は直径が200~300nm 程度のものであるため、十分に大型の LDH 結晶を作製することができた。

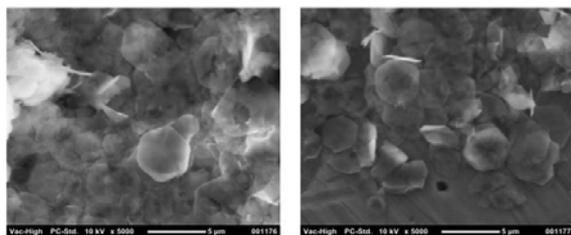


図3 作製した LDH の SEM 写真

2.2. LDH/PNIPA ナノコンポジット膜の特性評価

作製した LDH を用いて、ナノコンポジット膜(NC 膜)を作製し、水蒸気バリア性を評価した。計測した水蒸気バリア性のグラフを図4に示す。

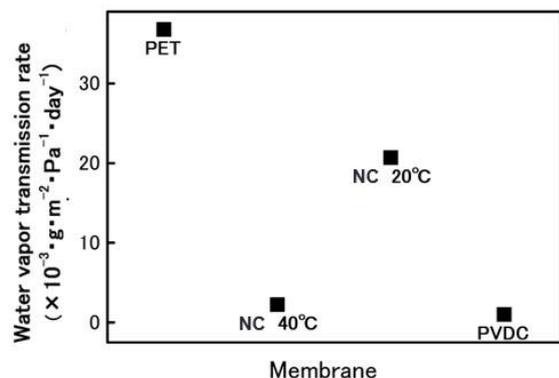
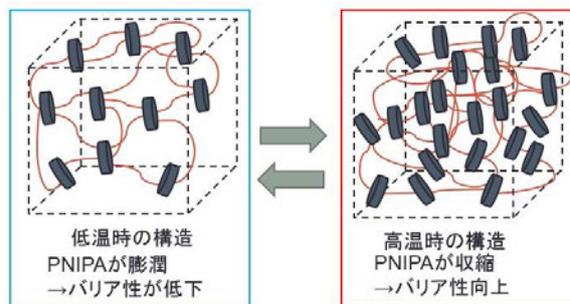


図4 ナノコンポジット膜の水蒸気バリア性

実験結果より、作製したナノコンポジット膜は高温時にはポリ塩化ビニリデン (PVDC) と近い水蒸気バリア性を示した。これは現在工業的に広く利用されている高ガスバリア材料であり、作製した NC 膜が高い水蒸気バリア性を持っていることがわかった。また、低温時の結果では水蒸気バリア性が低下しており、温度に応じて NC 膜のバリア特性が変化することがわかった。これは膜中の PNIPA が周辺の水分をとりこんで膨潤し、膜構造が変化することで透過率が上昇したものと考えられる。加えて、どちらのサンプルも基材である PET よりも水蒸気バリア性が優れていることがわかった。

これらの結果は前年度報告のラポナイト/PNIPA ナノコンポジット膜の結果と酷似している。すなわち、高温時には膜中の PNIPA 鎖が水分を排出して膜全体の構造が密となり、水蒸気バリア性が向上したと考えられる。また、低温時には PNIPA 鎖が周辺の水分を取り込み、膜中のクレイ層間が広がって構造が疎となったことで、水蒸気を透過しやすくなったと考えられる。高温時および低温時に予想される構造模式図を図5に示す。



低温時

高温時

図5 NC膜の温度応答性の模式図

図6に前年度報告したラポナイト/PNIPA ナノコンポジット膜の水蒸気バリア性を示す。⁷⁾ 前年度の結果と比較すると、今回の NC 膜は粘土鉱物と PNIPA を1:1で投入したにも関わらず、低温時のガスバリア性が基材の PET よりも悪化することがなかった。ラポナイトの結晶粒径は25nm と非常に小さく、このため低温時に気体の透過経路が非常に短くなってしまうことが予想される。一方で今回合成した LDH は粒径が非常に大きく、低温時にも気体の透過経路が長くなり、ガスバリア性が発揮されたと考えられる。

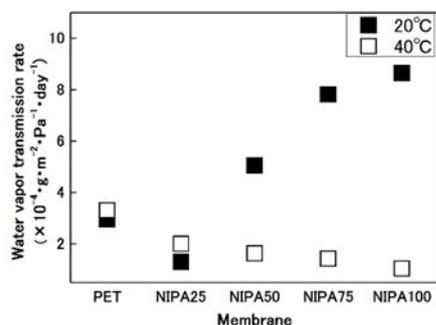


図6 前年度の実験結果 7

2.3. 高倍率光学顕微鏡による表面観察

作製したナノコンポジット膜の構造解析として、高倍率の光学顕微鏡を用いた表面観察を行った。撮影した膜表面の写真を図7に示す。画像では非常に平滑な表面が確認された。このことから、ナノコンポジット膜が平滑な表面構造を持っていることが分かった。また、全域にわたって成分の凝集が見られなかったことから、今回作製したナノコンポジット膜は全体にわたって均一な構造をとっていることが示唆された。



図7 NC膜の表面観察

3. 結論

温度応答性をもったガスバリア材料として、大型血漿を持つ LDH と PNIPA のナノコンポジット膜を作製した。LDH は尿素法を用いて作製し、現行品の 10 倍程度の大きさの結晶を持つ LDH の作製に成功した。作製した LDH を用いて PNIPA とのナノコンポジット膜を作製し、水蒸気バリア性を測定した。測定結果より、作製したナノコンポジット膜は 40°C と 20°C で水蒸気バリア性が変化する温度応答性を示した。また、高温時には PVDC と同等の高い水蒸気バリア性を持っていた。さらに、低温時に

も基材である PET の水蒸気バリア性よりも優れたバリア性を示した。これは LDH の結晶が大きく、気体の透過経路が長くなったためだと考えられた。加えて、膜の特性評価として SEM による表面観察を行った結果、ナノコンポジット膜は平滑で、全体にわたって均一な構造を持つことが示唆された。

参考文献

- 1) 21 世紀包装研究協会：機能性包装入門, p6, (2002)
- 2) 日本船主協会：日本海運の現状, p1, (2011)
- 3) 今枝, 木村：日本航海学会論文集, 62, p97, (1980)
- 4) 今枝, 木村：日本航海学会論文集, 64, p97, (1980)
- 5) 今枝, 木村, 久保：日本航海学会論文集, 67, p51 (1982)
- 6) K. Haraguchi, T. Takehisa : *Adv. Mater.*, 14, p1120 (2002)
- 7) 池田, 蔵岡：弓削商船高等専門学校紀要第 39 号, p6, (2016)

船内居住空間用商用電源を用いた大気圧プラズマ脱臭装置の開発

—プラズマ発生装置の開発—

佐久間 一行*

Development of atmospheric pressure plasma deodorizing equipment using commercial power supply for on-board ship living space

—Development of plasma generator device—

Ikko Sakuma*

Compounds such as Dimethylsulfide generated by marine micro-organisms cause stench in coastal zone or on-board ship. The stench is sensory nuisance to cause healthy damage depending on a degree of the concentration. In on-board ship, deodorizing devices maintained by ship crews are required simple mechanisms and principles. I've just started this research, which aims to develop a deodorizing device for the stench by using atmospheric pressure plasma. Firstly, I manufactured plasma generator using two-dimensional electrode and carried out argon(Ar) gas discharge experiment. I also investigated difference in the existence of a gas wash bottle which adds odorant to plasma source gas. Ar plasma spectrum due to dielectric barrier discharge was observed by a spectrometer regardless of whether the bottle was used.

1. 緒言

船舶上や沿岸地域では、海水の成分由来ではない臭気が発生する。これは、海水中の微生物等の死がい分解されることで生じる硫化水素やジメチルスルフィド(DMS)[1]などの臭気を伴う化合物の影響である。臭気は、人間の感覚に作用するものであるため、その被害等には個人差があるものの、化合物の濃度によっては酸欠になるなどの人体への影響があり、感覚公害[2]として問題となる。また、ゴミ処理施設などでは、臭気を分解するために脱臭設備等が設置されているが、船舶においては限られた空間であることや洋上における故障対応は船員自らが実施する必要があることから、比較的簡便な構造である必要がある。

そこで、本研究では、こうした船舶上や沿岸地域での居住空間で取り込む空気の脱臭を目的とした大気圧プラズマを使用した脱臭装置の開発を行う。また、脱臭には、薬液洗浄、燃焼脱臭、吸着脱臭、オゾン脱臭などがあるが、本研究では、大気圧プラズマを利用することで、ガス、電極および電源と簡便

な装置で分解、脱臭できる装置を目指す。DMSの分解には、OHラジカル種が寄与する事が分かっており[3]、大気圧プラズマによるOHラジカルの発生は広く行われている[4, 5]。本研究では、大気圧プラズマ源の開発から臭気物質であるDMSの分解実験を行うことを目標に研究を行う。本論文では、実験装置およびプラズマ源の開発について述べる。

2. 実験装置

図1に大気圧プラズマ実験装置の概略図を示す。プラズマが生成される反応容器はパイレックスガラス製で両側をシリコン栓で封じており、ガスの流出入、電極の導入が出来る構造となっている。ガスは、洗気瓶を通すことで、実験装置に流入するガスに対して湿度などの液体の成分を含めることが可能である。臭気分解実験では、洗気瓶に水と臭気成分となるDMSなどを添加することで、プラズマの種ガスに臭気成分を含

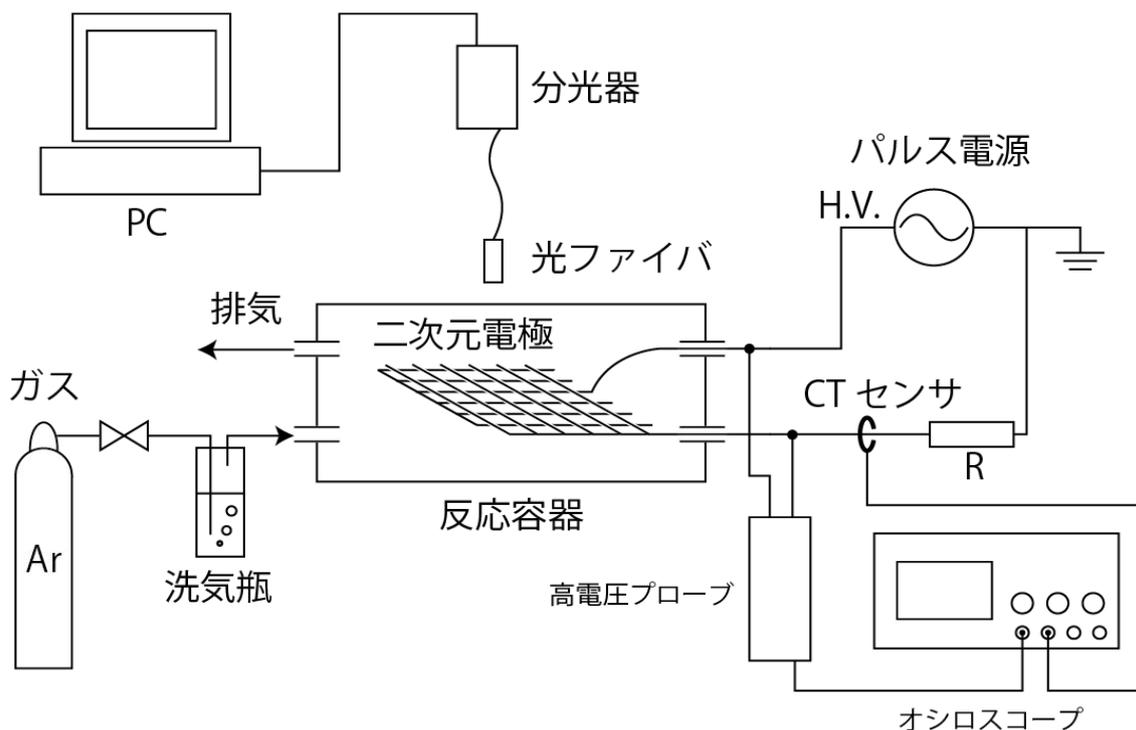
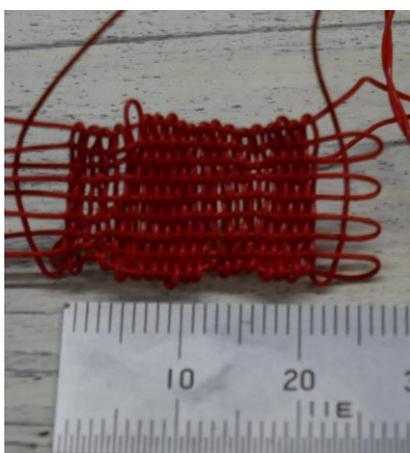
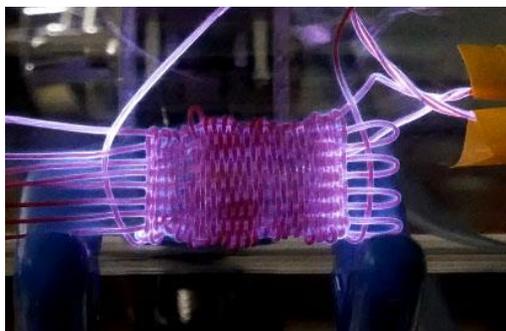


図1 実験装置概略図



(a) ファブリックシート電極

(b) Ar プラズマ放電時
図2 二次元電極写真

ませで行う。本実験では、安定した放電を得るため準安定順位[6]の低い希ガスである Ar ガスを利用した。電極は、誘電体バリア放電[7]をさせるため、耐電圧の高いテフロン被覆線(TELEDYNE/REYNOLDS 社, 178-5132, 外径: 0.48 [mm], 導体径: 0.33 [mm])を用いた。図2に電極の写真を示す。大面積かつ形状が安定した電極として二次元電極であるファブリックシート電極[8]を作成した。ここでは、電極は 21 [mm] × 16 [mm]の大きさを持ち、縦糸の間隔は 1.4 [mm]で手作業によって製作した。これに、横糸に高圧線、縦糸は保護抵抗を経てアースへと接続し、電圧を印加した。放電時には、電極全体が Ar プラズマで覆われることが写真(図2(b))より分かる。一方で、電界が集中しやすいと考えられる両端などで発光が強くなっていることも分かる。電源は、将来的には商用電源を昇圧した電源を利用する予定であるが、本実験では、高電圧パルス電源(玉置電子工業株式会社製, TE-HVP1010K300-NP)を使用した。電源電圧波形は図3に示してあるように、パルス幅 5 [μs], 周波数 10 [kHz]の両極性パルスを持ち、負極性の電圧が大きい。実験では電圧を 2~7 [kV]の範囲で変化させて印加した。電極間に印加される電圧および回路に流れる電流の計測には高電圧プローブ(Instek 社製, GDP-050)およびCTセンサ(URD 社製, CTL-6-P-Z, 検出抵抗 100[Ω])を使用し、それぞれオシロスコープ(RIGOL 社製, DS1054)で波形を取得した。生成したプラズマの計測は、光ファイバによってプラ

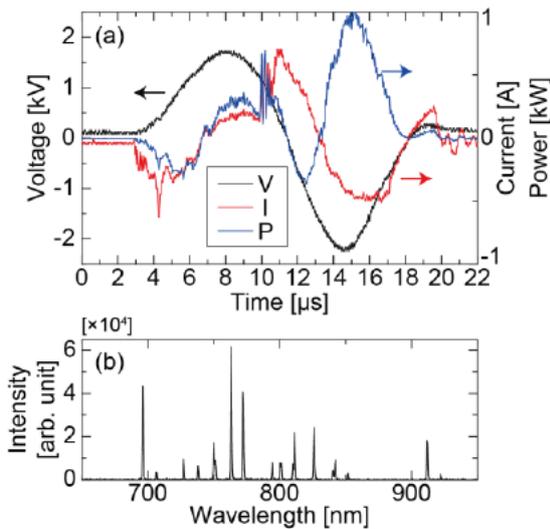


図4 Ar プラズマ放電波形：洗気瓶無し
(a)Ar 流量：2 l/min, 電源電圧：5 kV, (b)プラズマ放電時の発光分光計測結果

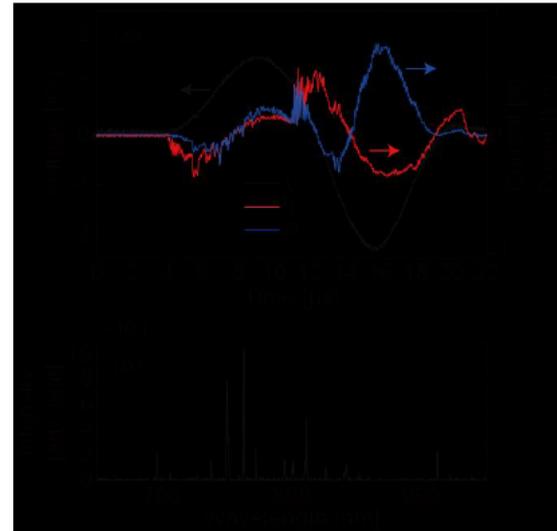


図5 Ar プラズマ放電波形：洗気瓶有り
(a)Ar 流量：2 l/min, 電源電圧：5 kV, (b)プラズマ放電時の発光分光計測結果

ズマからの発光を採光し、分光器(Avantes 社製, Avaspec-3648, 計測波長：200–1100 [nm])による発光分光計測を行った。

3. 実験装置

3. 1 パルス電圧放電実験

3. 1. 1 洗気瓶無し

洗気瓶を通さない流量 2 [l min⁻¹] の Ar ガスを用いて放電実験を行った。電源電圧は 2–5 [kV] で変化した。誘電体バリア放電時の電極間電圧 $v(t)$ 、電流 $i(t)$ および電力 $p(t)$ として、図 4(a) に電源電圧 5 [kV] の時の放電波形を示す。ここで、電力は、各時間における電圧と電流の積より求めた。放電波形では、放電に伴い電流が流れていることが確認できる。電流の位相が電圧に比べ 1 [μs] 程度ずれているが、これは電極の持つ誘導成分によるものと考えられる。また、電極間に印加される電圧は -2.2–1.7 [kV] であり、電流は、-0.62–0.70 [A] で変化しており、電力は最大 ~1 [kW] 程度であることがわかる。分光計測結果について、図 4(b) に電源電圧 5 [kV] の発光強度の波長分布を示す。得られたスペクトルは NIST Atomic Spectra Database Lines Form[9] を参照して Ar I の原子線スペクトルであることを確認した。例えば、特に発光強度の強い 763.51 [nm] のスペクトルは Ar I の原子線スペクトルである。

3. 1. 2 洗気瓶有り

次に、洗気瓶に通した流量 2 [l min⁻¹] の Ar ガスを用いた。湿気を帯びたことで、放電開始電圧が上昇しており、電源電圧は 4–7 [kV] の範囲で変化した。図 5(a) に電源電圧 5 kV の放電電圧、電流および電力波形を示

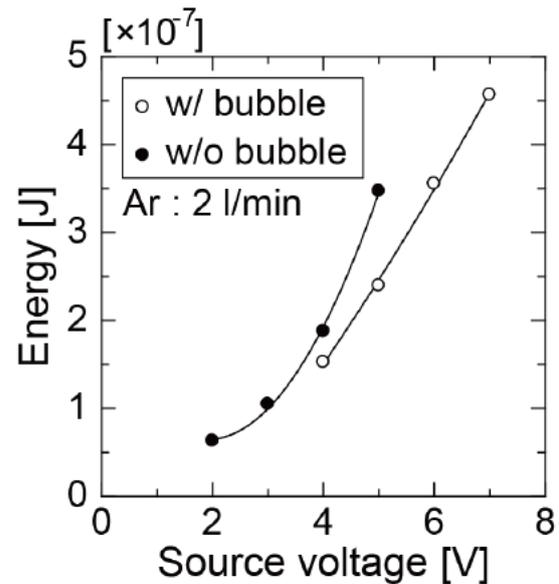


図6 電源電圧—消費エネルギー特性

す。電極間に印加される電圧は -2.3–1.5 [kV] であり、電流は、-0.31–0.44 [A] で変化しており、電力は最大 0.7 [kW] 程度であり、Ar ガスが湿度を持つことで、流れる電流が減少していることが分かる。図 5(b) に分光計測結果を示す。Ar ガスが湿気を帯びることで、電流と合わせて発光強度も低下していることがわかる。

3. 2 電源電圧—消費エネルギー依存性

放電実験によって得られた電力波形に対してサンプリング時間から、各時間における消費エネルギーを求めることが出来る。そこからさらに、その和を

計算することで放電による消費エネルギーが得られる。

$$E_c = \sum p(t) \times s$$

ここで、 s [sec] はサンプリング時間、 E_c [J] は 1 パルスにおける消費エネルギーを表す。

図 6 に電源電圧 e と消費エネルギー E_c との依存性を示す。湿気の有無によって、電源電圧が異なるが、電力は Ohm の法則より、電圧の二乗に比例するため、図 6 のグラフについても 2 次多項式による近似曲線を描くと、一致することがわかる。ここから、電源電圧を上げることでより高温なプラズマを得られることが見込まれる。

4. 結言

本研究では、大気圧プラズマによる臭気分解装置のプラズマ源の開発を行い、プラズマの生成に成功した。今後は、商用電源でのプラズマ発生を目指すと共に、実際に物質を分解する上で必要となる OH⁻などのイオンやラジカル種などの発生させるように放電条件やプラズマの種ガスの最適化を行う予定である。

参考文献

- [1] 永尾 一平：低温科学 (72), 1-14, (2014).
- [2] 環境省環境管理局大気生活環境室：臭気対策行政ガイドブック, (2002).
- [3] 田中 茂：エアロゾル研究 (9 巻, 2 号), 120-126, (2014).
- [4] 飯島 崇文 他：東芝レビュー (61 巻, 8 号), 40-43, (2006).
- [5] 金澤 誠司 他：静電気学会誌 (34 巻, 1 号), 14-18, (2010).
- [6] O. Sakai *et al* : J. Phys. : Conference Series (86), 012015, (2007).
- [7] 佐藤照幸：プラズマ・核融合学会誌 (69 巻, 2 号), 102-110, (1992).
- [8] U. Kogelschatz : Plasma Chemistry and Plasma Processing (23, 1), 1-46, (2003).
- [9] NIST Atomic Spectra Database Lines Form : https://physics.nist.gov/PhysRefData/ASD/lines_form.html

船舶探査用レスキューロボットの研究開発

—第2報：センサユニットを用いた波浪データの取得方法—

前田 弘文*・伊藤 嘉基**

Development of a rescue robot for exploration in ship

—Report 2: Method of obtaining wave data using sensor unit —

Hirofumi Maeda*

Abstract

This paper describes method of obtaining wave data for wave-generator using sensor unit. Sensor unit can measure acceleration, degree and angular velocity. After sensor coordinate of measured acceleration data has been transformed into world coordinate, gravitational acceleration is removed from the value. Subsequently, displacement of wave is estimated from measured acceleration data by multiple integral.

1. 緒 言

東日本大震災や阪神大震災、アメリカ合衆国で起きた同時多発テロなど大規模な災害や事件などを我々は目の当たりにしている。このような現場において、救助活動を行っている隊員は常に2次災害の危険にさらされている。これらの2次災害を軽減させるためには、被災者の正確な位置や倒壊状況を安全かつ迅速に把握し、詳細な救助計画を立てる必要がある。そこで現在、災害現場において2次災害を伴わず情報を迅速に得る方法として、レスキュー機器やレスキューロボットの研究が盛んに行われている^{[1]~[4]}。特に災害探査用レスキューロボットの開発が盛んで、国内においては、Quince, UMRS, KOHGAなど日本を代表するロボットが開発されている^{[5]~[7]}。また、米国では軍事兵器であるTalon, PackBot, Matildaなどの開発が行われている。我々もNEDOによる"戦略的要素技術開発プロジェクト"において、UMRSの開発に参画し、現在も研究を継続中である^{[8]~[12]}。

一方、海上に目を向けてみると海上を活動現場とするレスキューロボットの研究開発は鳴りを潜めている。平成27年7月31日に発生した北海道苫小牧市の商船三井フェリー「さんふらわあ だいせつ」の火災事故は記憶に新しい。このような事故が頻繁に発生しているにもかかわらず、研究が活発化しない大きな原因の1つとして、レスキューロボットの研究開発の多くが教育機関によって行われていることが挙げられる。これは教育機関で海上実験を行うた

めにはそれなりの施設が必要となり、実験可能な機関に限られるからである。また、もう1つの原因として波による影響が挙げられる。これまで陸上を想定してきたレスキューロボットの多くは、ロボット内部に搭載された加速度センサによって、自身の自己姿勢を検知している。しかし、波の影響を受ける船舶では波の揺れが加速度センサのデータに加算されるため、これらのデータがまったく意味をなさない。さらに船舶で火災が発生した場合は、狭隘空間に煙が充満することでカメラの視界が遮られ、探査活動の難易度が大幅に高くなる。

そこで本研究では、これらの問題を解決するために小型・軽量で船内も探索が可能なレスキューロボットの開発を目指す。しかし、実際に開発を行っていく上で、再々に渡って船上で実験を行うことは、コスト的にもスケジュール的にも容易ではない。そこで、波浪を再現するための疑似波浪発生ジンバルの開発を試みる。本論文では、このジンバルへの入力データとして、小型センサユニットを用いた波浪データの取得方法について述べる。

2. 波浪データ取得における課題

波浪データの取得は、地面が固定された陸地から計測する場合においては、位置の差分データが得られることから容易である。しかし、実際には沖に出た際の波浪データが必要であり、この方法を用いることはできない。そこで、位置情報以外の加速度や

*情報工学科

**技術支援センター

角速度などから波浪データを推測するほかない。そのため今回は、加速度、角速度、角度のそれぞれ 3 軸、計 9 軸を有する小型センサユニットを想定して理論を確立する。

今回、推定するにあたって以下の 4 つの問題を解決しなければならない。

①波浪による小型センサユニットの姿勢変化

常に小型センサユニットは、波によって揺れるため、その時々をの姿勢を考慮しなければならない。

②重力加速度の影響

小型センサユニットの加速度成分には、重力加速度が含まれる（影響される）ため、重力加速度成分を除去しなければならない。

③直接的な位置情報の取得が行えない

先で述べたように、位置情報以外の情報から波浪データを推定しなければならない。

④離散値しか得られない

センサから得られるデータが離散値であるため、連続データとしての補完処理が必要である。

3. 加速度における座標変換

小型センサユニットから得られた角度から、加速度をセンサ座標系から絶対座標系に変換すると式 (1) が得られる。これにより、常に加速度を絶対座標系で捉えることができるため、疑似波浪発生ジンの波浪データとして用いることができる。

\mathbf{g} : 重力加速度 (絶対座標系)

${}^s P_x$: \mathbf{g} を含むセンサの x 座標 (センサ座標系)

${}^s P_y$: \mathbf{g} を含むセンサの y 座標 (センサ座標系)

${}^s P_z$: \mathbf{g} を含むセンサの z 座標 (センサ座標系)

${}^s P_\alpha$: センサの x 軸の回転角度 (センサ座標系)

${}^s P_\beta$: センサの y 軸の回転角度 (センサ座標系)

${}^s P_\gamma$: センサの z 軸の回転角度 (センサ座標系)

${}^o P_x$: \mathbf{g} を含むセンサの x 座標 (絶対座標系)

${}^o P_y$: \mathbf{g} を含むセンサの y 座標 (絶対座標系)

${}^o P_z$: \mathbf{g} を含むセンサの z 座標 (絶対座標系)

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} {}^o P_x \\ {}^o P_y \\ {}^o P_z \end{bmatrix} &= R_\gamma R_\beta R_\alpha \begin{bmatrix} {}^s P_x \\ {}^s P_y \\ {}^s P_z \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \cos {}^s P_\gamma & -\sin {}^s P_\gamma & 0 \\ \sin {}^s P_\gamma & \cos {}^s P_\gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos {}^s P_\beta & 0 & \sin {}^s P_\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin {}^s P_\beta & 0 & \cos {}^s P_\beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos {}^s P_\alpha & -\sin {}^s P_\alpha \\ 0 & \sin {}^s P_\alpha & \cos {}^s P_\alpha \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (1)$$

4. 重力加速度の除去

絶対座標系における加速度 (式 (1)) より、重力加速度を除去することで、純粋な波の影響を得ることができる (式 (2))。

${}^o P'_x$: センサの x 座標 (絶対座標系)

${}^o P'_y$: センサの y 座標 (絶対座標系)

${}^o P'_z$: センサの z 座標 (絶対座標系)

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} {}^o \ddot{P}'_x \\ {}^o \ddot{P}'_y \\ {}^o \ddot{P}'_z \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} {}^o \ddot{P}_x \\ {}^o \ddot{P}_y \\ {}^o \ddot{P}_z \end{bmatrix} - \mathbf{g} \\ &= \begin{bmatrix} {}^o \ddot{P}_x \\ {}^o \ddot{P}_y \\ {}^o \ddot{P}_z + \mathbf{g} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (2)$$

5. 離散データを考慮した積分近似

式 (2) で得られた波の加速度を積分することで、式 (3) の速度を得ることができる。しかし、実際に

得られるセンサ値が離散データであることを考慮し、近似式を用いて式 (4) とする。また、二重積分により位置は式 (5) とする。

${}^o\hat{P}'_x$: センサの x 座標の近似 (絶対座標系)

${}^o\hat{P}'_y$: センサの y 座標の近似 (絶対座標系)

${}^o\hat{P}'_z$: センサの z 座標の近似 (絶対座標系)

$$\begin{aligned} {}^o\dot{P}'_x = & \int \left\{ {}^s\ddot{P}_x \cos {}^sP_\gamma \cos {}^sP_\beta \right. \\ & + {}^s\ddot{P}_y \left(-\sin {}^sP_\gamma \cos {}^sP_\alpha \right. \\ & \left. \left. + \cos {}^sP_\gamma \sin {}^sP_\beta \sin {}^sP_\alpha \right) \right. \\ & \left. + {}^s\ddot{P}_z \left(\sin {}^sP_\gamma \sin {}^sP_\alpha \right. \right. \\ & \left. \left. + \cos {}^sP_\gamma \sin {}^sP_\beta \cos {}^sP_\alpha \right) \right\} dt \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}^o\dot{P}'_y = & \int \left\{ {}^s\ddot{P}_x \sin {}^sP_\gamma \cos {}^sP_\beta \right. \\ & + {}^s\ddot{P}_y \left(\cos {}^sP_\gamma \cos {}^sP_\alpha \right. \\ & \left. + \sin {}^sP_\gamma \sin {}^sP_\beta \sin {}^sP_\alpha \right) \\ & + {}^s\ddot{P}_z \left(-\cos {}^sP_\gamma \sin {}^sP_\alpha \right. \\ & \left. \left. + \sin {}^sP_\gamma \sin {}^sP_\beta \cos {}^sP_\alpha \right) \right\} dt \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}^o\dot{P}'_z = & \int \left(-{}^s\ddot{P}_x \sin {}^sP_\beta \right. \\ & + {}^s\ddot{P}_y \cos {}^sP_\beta \sin {}^sP_\alpha \\ & \left. + {}^s\ddot{P}_z \cos {}^sP_\beta \cos {}^sP_\alpha + g \right) dt \end{aligned}$$

${}^sP_{xn}$: n 番目の \mathbf{g} を含むセンサの x 座標
(センサ座標系)

${}^sP_{yn}$: n 番目の \mathbf{g} を含むセンサの y 座標
(センサ座標系)

${}^sP_{zn}$: n 番目の \mathbf{g} を含むセンサの z 座標
(センサ座標系)

${}^sP_{\alpha n}$: n 番目のセンサの x 軸の回転角度
(センサ座標系)

${}^sP_{\beta n}$: n 番目のセンサの y 軸の回転角度
(センサ座標系)

${}^sP_{\gamma n}$: n 番目のセンサの z 軸の回転角度
(センサ座標系)

$$\begin{aligned} {}^o\hat{P}'_x = & \sum_{n=0}^{\infty} \left({}^sP_{xn} \cos {}^sP_{\gamma n} \cos {}^sP_{\beta n} \right) \\ & - \sum_{n=0}^{\infty} \left({}^sP_{yn} \cos {}^sP_{\gamma n} \cos {}^sP_{\alpha n} \right) \\ & + \sum_{n=0}^{\infty} \left({}^sP_{zn} \cos {}^sP_{\gamma n} \sin {}^sP_{\beta n} \sin {}^sP_{\alpha n} \right) \\ & + \sum_{n=0}^{\infty} \left({}^sP_{zn} \sin {}^sP_{\gamma n} \sin {}^sP_{\alpha n} \right) \\ & + \sum_{n=0}^{\infty} \left({}^sP_{zn} \cos {}^sP_{\gamma n} \sin {}^sP_{\beta n} \cos {}^sP_{\alpha n} \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}^o\hat{P}'_y = & \sum_{n=0}^{\infty} \left({}^s\ddot{P}_{xn} \sin {}^sP_{\gamma n} \cos {}^sP_{\beta n} \right) \\ & + \sum_{n=0}^{\infty} \left({}^s\ddot{P}_{yn} \cos {}^sP_{\gamma n} \cos {}^sP_{\alpha n} \right) \\ & + \sum_{n=0}^{\infty} \left({}^s\ddot{P}_{yn} \sin {}^sP_{\gamma n} \sin {}^sP_{\beta n} \sin {}^sP_{\alpha n} \right) \\ & - \sum_{n=0}^{\infty} \left({}^s\ddot{P}_{zn} \cos {}^sP_{\gamma n} \sin {}^sP_{\alpha n} \right) \\ & + \sum_{n=0}^{\infty} \left({}^s\ddot{P}_{zn} \sin {}^sP_{\gamma n} \sin {}^sP_{\beta n} \cos {}^sP_{\alpha n} \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}^o\hat{P}'_z = & - \sum_{n=0}^{\infty} \left({}^s\ddot{P}_{xn} \sin {}^sP_{\beta n} \right) \\ & + \sum_{n=0}^{\infty} \left({}^s\ddot{P}_{yn} \cos {}^sP_{\beta n} \sin {}^sP_{\alpha n} \right) \\ & + \sum_{n=0}^{\infty} \left({}^s\ddot{P}_{zn} \cos {}^sP_{\beta n} \cos {}^sP_{\alpha n} \right) \\ & + ng \end{aligned} \tag{4}$$

(3)

(4)

$$\begin{bmatrix} \hat{P}'_x \\ \hat{P}'_y \\ \hat{P}'_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{n=0}^{\infty} \hat{P}'_{xn} \\ \sum_{n=0}^{\infty} \hat{P}'_{yn} \\ \sum_{n=0}^{\infty} \hat{P}'_{zn} \end{bmatrix}$$

6. 連続データの補完

小型センサユニットのサンプリング周期では、十分な連続性を確保できないため、式 (5) の離散データから連続データへと補完が必要となる。そこで補完方法として、波の波形が未知でも補間可能な区分的多項式曲線補間とニュートン補間、ラグランジュ補間の 3 つが挙げられる。その中でも、プログラム上の処理において、蓄積誤差が最も小さくなるラグランジュ補間 (式 (6)) を用いることが望ましい。

v_n : n 番目のサンプルデータ

t_n : n 番目のサンプリング周期

$$f(x) = \frac{v_n(t-t_{n-1})(t-t_{n-2})}{(t_n-t_{n-1})(t_n-t_{n-2})} + \frac{v_{n-1}(t-t_n)(t-t_{n-2})}{(t_{n-1}-t_n)(t_{n-1}-t_{n-2})} + \frac{v_{n-2}(t-t_n)(t-t_{n-1})}{(t_{n-2}-t_n)(t_{n-2}-t_{n-1})} \quad (6)$$

7. 結 言

今回我々は、ジンバルへの入力データとして、小型センサユニットを用いた波浪データの取得方法について述べた。今後は、実際に小型センサユニットを用いて、実機による検証を行い、実用化に向けて開発を進めていく予定である。

参考文献

- [1] 田所 諭：文部科学省大都市大震災軽減化特別プロジェクト：ロボット等次世代防災基盤技術の開発，日本ロボット学会誌，Vol.23，No.5，pp.541～543，(2005)
- [2] 国際レスキューシステム研究機構：レスキューロボット等次世代防災基盤技術の開発 H14～17 報告書，大都市大震災軽減化特別プロジェクト，(2003-2006)
- [3] 文部科学省大都市大震災軽減化特別プロジェクト：レスキューロボット等次世代防災基盤技術の開発，総括成果報告書，(2007)
- [4] 横小路 泰義：レスキューロボットの操縦インタフェース - 大大特「ヒューマンインタフェースグループ」の研究紹介-，日本ロボット学会誌，Vol.22，No.5，pp.566-569，(2004)
- [5] 田所 諭：閉鎖空間内高速走行探査群ロボット，日本ロボット学会誌，Vol.27，No.10，pp.1107-1110，(2009)
- [6] 佐藤 徳孝，松野 文俊：レスキューロボット遠隔操縦インタフェース技術，日本ロボット学会誌，Vol.28，No.2，pp.156-159，(2010)
- [7] 大野 和則，城間 直司：レスキューロボットの遠隔操縦支援技術，日本ロボット学会誌，Vol.28，No.2，pp.160-163，(2010)
- [8] 前田 弘文，藤田 和友，伊藤 嘉基，小林 滋，高森 年：遠隔協調作業を目的とした共通マニピュレータの研究開発，第 14 回システムインテグレーション部門学術講演会 (SI2013)，pp.1133-1136，(2013)
- [9] 竹本 怜央，藤田 和友，伊藤 嘉基，前田 弘文：小型制御基板を用いたマニピュレータ制御，日本機械学会中国四国学生会第 44 回学生員卒業研究発表講演会講演前刷集，613，(2014)
- [10] 前田 弘文，伊藤 嘉基，小林 滋，高森 年：遠隔協調作業を目的とした共通マニピュレータの改良，第 15 回システムインテグレーション部門学術講演会 (SI2014)，pp.238-243，(2014)
- [1] 田所 諭：文部科学省大都市大震災軽減化特別プロジェクト：ロボット等次世代防災基盤

- [11] 前田 弘文, 伊藤 嘉基, 黒住 亮太, 小林 滋 :
災害探査活動支援用マニピュレータの研究開
発 ー第1報：マニピュレータの開発ー, 弓削
商船高等専門学校紀要, Vol.37, pp.80-84,
(2015)
- [12] 前田 弘文, 伊藤 嘉基, 黒住 亮太, 小林 滋 :
災害探査活動支援用マニピュレータの研究開
発 ー第2報：ROS を用いたプログラムのモ
ジュール化ー, 弓削商船高等専門学校紀要,
Vol.38, pp.35-38, (2016)

配管検査ロボットに関する研究開発

—第4報：自己位置推定に関する提案—

前田 弘文*・伊藤 嘉基**

Research and development about a piping inspection robot

—Report 4: Proposal of localization—

Hirofumi Maeda*

Abstract

This paper describes study and development of a piping inspection robot. Maintenance of drainpipes is essential and has to be performed regularly. Accordingly, we have been developing a small robot which is convenient to carry. To enable the robot to run in several types of pipes, self-localization is required to prevent itself from tumbling. A basic summary of the robot and the methods of self-localization are described in this paper.

1. 緒 言

我国では昭和40年代以降、下水道事業の実施都市が急増し、各地で下水道整備の普及が促進されてきた。これまでに全国の下水道施設は、管路総延長約460,000 [km]、下水処理場数約2,200ヶ所となっている。そのため、管理施設の増加とともに、長期使用施設の老朽化が顕在化している。下水管渠の標準的耐用年数は50年とされており、すでにこの年数を超える下水管渠の延長は約10,000 [km]以上となっている。また、管渠布設後30年が経過すると道路が陥没する箇所が急増する傾向もある。このような背景から、排水管・下水管の維持管理は重要であり、継続的に行っていかなければならない。しかし、実際に管内を検査する作業は、人が行うには過酷であり、検査範囲も広大である。そこで、近年ではロボットを用いた検査が活発に行われている。ところが、これらのロボット検査にも問題があり、有線による外部制御・外部電源が主流であることから、ロボットシステム全体が大掛かりなものとなっている。そのため、メンテナンス性が悪く、高価なシステムとなっている。

そこで、本研究ではこれまで研究してきたレスキューロボットのノウハウを活かし^{[1][2]}、自律で持ち運びが容易な小型配管検査ロボットの開発を行ってきた^{[3]~[7]}。小型配管検査ロボットは、安価で軽く、持ち運びが容易である。また、自律制御で検査を行うために、複数の配管を同時に検査できるという大き

な特徴を有している。しかし、ロボットが小型であることから、転倒を防止するためにタイヤ交換を行い、複数の管径に対応しなければならない。このことは、タイヤ交換によるタイムロスだけでなく、交換時の部品の紛失、タイヤ・交換工具の運搬、コストなど数多くの問題を抱えることに繋がった。そこで我々は、直進制御によってロボットの転倒を防止することで、1種類のタイヤで複数の管径に対応する方法を提案した。本論文では、直進制御を行うために必要となる自己位置推定について述べる。

2. 小型配管検査ロボット

小型配管検査ロボットを図2-1に示す。



図2-1 小型配管検査ロボット

*情報工学科

**技術支援センター

この小型配管検査ロボットは直径 150 [mm]もしくは 200 [mm]の配管内を撮影しながら異常箇所を検査する。また、マンホールの真下を検知し、検査開始地点に戻ってくる。さらに、障害物を検知した場合は、その障害物を押し除けることができるか判断し、不可能な場合は検査を中断し帰還する。以下に、動作手順の詳細を示す (図 2-2)。

①発進

まず、ロボットの電源は予め地上にて入れておく。次にロボットを発進させるが、その方法には 2 つある。1 つ目は、地上にいる作業者がワイヤーによってロボットを配水管に下ろし、地上に設けた PC から無線 LAN によってスタート信号を送信する方法である。2 つ目は、作業者がロボットを持った状態で直接階段を降り、ロボットを設置した後にロボット上部に設置されたスタートスイッチを押す方法である。また、1 つ目の方法については、カメラ映像を PC 画面に映し出す機能も搭載している。これは、地上から設置する際のサポートとして用意しているものである。なお、スクリーニング検査中の画像表示については、家庭用無線 LAN の通信距離が最大 40 [m]であることから行うことができない、またスタンドアローンで処理を行うため、その必要もない。

②前進および管内撮影

ロボットは前進しつつ、管内を撮影する。その際、検査終了地点を検知するために、前方上部に取り付けられた上方向への距離センサを作動し、壁面との距離を随時計測している。なお前進動作には、継ぎ目の段差や陥没・へどろによるスリップなどでロボットが転倒しないための直進制御を組み込んでいる。制御方法については、後で詳細に述べる。また、進行途中で障害物がある場合、一定力で一定時間、障害物を押し付けることで、それ以上の前進が可能であるかの判断を行う (前方接触センサを使用)。前進が不可能な場合においては、管内撮影を中止し動画を保存した後、後進動作に入る (④へ移行)。

③終端検知

②の距離センサによって検査終了地点を検知した場合、管内撮影を中止し、動画を保存した後、後進動作に入る。

④後進

後進時は、直進時同様、直進制御を行いながら後方上部の距離センサによって、検査開始地点の検知を

行う。

⑤始点検知

後方上部の距離センサによって検査開始地点を検知した場合、ロボットの動作を停止し、無線 LAN によって地上に設けた PC (作業者) に停止したことを通知した後、待機する。

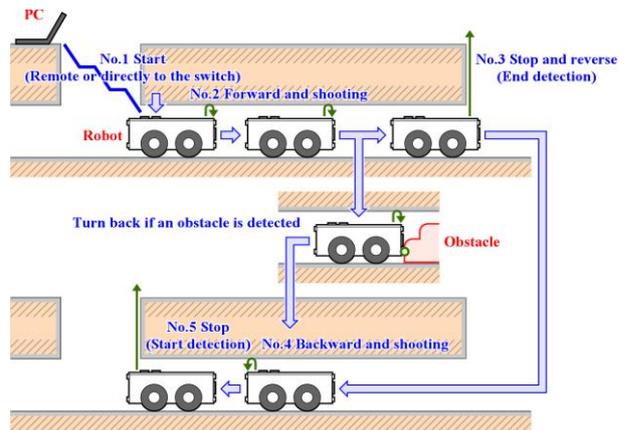


図 2-2 動作手順

3. 小型配管検査ロボットの自己位置推定

小型配管検査ロボットの検査対象は、硬質ポリ塩化ビニル管などで、壁面にタイヤが乗り上げ、転倒する恐れがある。そのため、従来の配管検査ロボットでは配管の管径に合わせたおわん型のタイヤに変更することで転倒を抑制し、人がモニタ越しに遠隔操作することで転倒を防止してきた。そこで、我々は小型配管検査ロボットに直進制御を組み込むことで、これまで人がモニタ越しで行ってきた遠隔操作を自動化することで、完全なスタンドアロンを実現した。しかし、現在実装されている直進制御では、従来のロボットと同じく、配管の管径に対応するタイヤに交換しなければ転倒を防止することはできない。そこで本論文では、直進制御の精度向上に必要な小型配管検査ロボットの自己位置推定について示す。

3.1 重力加速度に関する条件式

小型配管検査ロボットには、加速度センサを搭載しており、そのセンサ値より重力加速度方向を算出することができる。この重力加速度方向から配管内におけるロボットの姿勢 (ロール, ピッチ) は、式(1)の条件式を満たす。なお、それぞれの変

数は以下と定義する.

${}^o\alpha_r$: x 軸の回転角度 (絶対座標系)

${}^o\beta_r$: y 軸の回転角度 (絶対座標系)

${}^o\gamma_r$: z 軸の回転角度 (絶対座標系)

${}^o x_r$: ロボットの x 座標 (絶対座標系)

${}^o y_r$: ロボットの y 座標 (絶対座標系)

${}^o z_r$: ロボットの z 座標 (絶対座標系)

f_l : ロボットの左前輪

f_r : ロボットの右前輪

b_l : ロボットの左後輪

b_r : ロボットの右後輪

${}^o x_i$: ロボットのタイヤの x 座標 (絶対座標系)

${}^o y_i$: ロボットのタイヤの y 座標 (絶対座標系)

${}^o z_i$: ロボットのタイヤの z 座標 (絶対座標系)

${}^r x_i$: ロボットの x 座標 (ロボット座標系)

${}^r y_i$: ロボットの y 座標 (ロボット座標系)

${}^r z_i$: ロボットの z 座標 (ロボット座標系)

${}^r a_x$: 加速度センサの x 成分 (ロボット座標系)

${}^r a_y$: 加速度センサの y 成分 (ロボット座標系)

${}^r a_z$: 加速度センサの z 成分 (ロボット座標系)

$${}^o\alpha_r = -\tan^{-1} \frac{{}^r a_y}{{}^r a_z}$$

$${}^o\beta_r = -\tan^{-1} \frac{{}^r a_x}{{}^r a_z}$$

$$\begin{aligned} {}^o p_i &= \begin{bmatrix} {}^o x_i \\ {}^o y_i \\ {}^o z_i \end{bmatrix} (i = f_l, f_r, b_l, b_r) \\ &= \begin{bmatrix} \cos {}^o\gamma_r & -\sin {}^o\gamma_r & 0 \\ \sin {}^o\gamma_r & \cos {}^o\gamma_r & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ &\quad \begin{bmatrix} \cos {}^o\beta_r & 0 & \sin {}^o\beta_r \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin {}^o\beta_r & 0 & \cos {}^o\beta_r \end{bmatrix} \\ &\quad \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos {}^o\alpha_r & -\sin {}^o\alpha_r \\ 0 & \sin {}^o\alpha_r & \cos {}^o\alpha_r \end{bmatrix} \\ &\quad \begin{bmatrix} {}^r x_i \\ {}^r y_i \\ {}^r z_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} {}^o x_r \\ {}^o y_r \\ {}^o z_r \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (1)$$

3. 2 タイヤの接地点に関する条件式

小型配管検査ロボットは、配管検査中にタイヤが管の壁面に接触する。しかし、配管が円柱であるため、全ての4つのタイヤが接地することはなく、通常は3点、ロボット本体が振動している際は2点のみが接地する。なお今回は、振動時は考慮しないため、接地は3点とし、円の公式より式(2)の条件式を満たすものとする。なお、それぞれの変数は以下と定義する。

${}^s y_i$: ロボットのタイヤの y 座標 (パイプ座標系)

${}^s z_i$: ロボットのタイヤの z 座標 (パイプ座標系)

r_s : パイプの半径

θ_s : 地面に対するパイプの傾き

$$\begin{aligned} {}^s y_i &= \left({}^r x_i \cos {}^o\beta_r + {}^r y_i \right. \\ &\quad \left. + {}^r z_i \cos {}^o\alpha_r \sin {}^o\beta_r \right) \sin {}^o\gamma_r \\ &\quad + \left({}^r y_i \cos {}^o\alpha_r - {}^r z_i \sin {}^o\alpha_r \right) \cos {}^o\gamma_r \\ &\quad + {}^o y_r \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
{}^s z_i = & \left({}^r y_i \cos {}^\circ \alpha_r \sin \theta_s \right. \\
& \left. - {}^r z_i \sin {}^\circ \alpha_r \sin \theta_s \right) \sin {}^\circ \gamma_r \\
& + \left(- {}^r x_i \cos {}^\circ \beta_r \sin \theta_s \right. \\
& \left. - {}^r y_i \sin {}^\circ \alpha_r \sin {}^\circ \beta_r \sin \theta_s \right. \\
& \left. - {}^r z_i \cos {}^\circ \alpha_r \sin {}^\circ \beta_r \sin \theta_s \right) \cos {}^\circ \gamma_r \\
& + \left({}^r x_i \sin {}^\circ \beta_r \cos \theta_s \right. \\
& \left. + {}^r y_i \sin {}^\circ \alpha_r \cos {}^\circ \beta_r \cos \theta_s \right. \\
& \left. + {}^r z_i \cos {}^\circ \alpha_r \cos {}^\circ \beta_r \cos \theta_s \right) + {}^\circ z_r \cos \theta_s
\end{aligned}$$

$$r_s^2 = {}^s y_i^2 + {}^s z_i^2 \quad (2)$$

3.3 x成分の取り扱い

3.1, 3.2より, 未知変数6つに対し, 条件式が5つ導出できた. そこで, 未知変数の1つである, 小型配管検査ロボットのx成分(x軸は配管内におけるロボットの進行方向)について考える. x成分は検査時に小型配管検査ロボットが実際に進んだ距離を意味する. そのため, x成分は小型配管検査ロボットに搭載されたエンコーダによって, オドメトリから別途算出することができる. そこで, x成分を原点座標に常に重ねる(x成分を無視する)ことで未知変数を5つに減らすことができ, その結果5つの条件式より自己位置推定が可能となる.

しかし実際には, 式(2)の円の公式の中に三角関数が含まれることから, 解を求めることができない. そこで, 数値解析によって γ_r を求めた(図3-1).

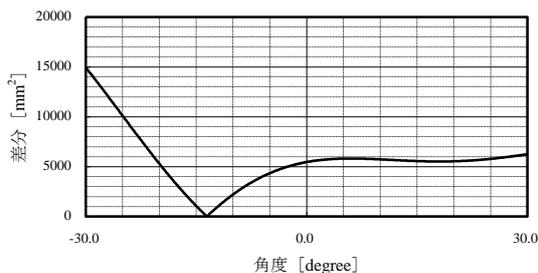


図3-1 数値解析

4. 結 言

本論文では, 小型配管検査ロボットの自己位置推定について述べた. また, 自己位置推定を実現する上で必要となる条件式についても述べた.

今後は, 小型配管検査ロボットに実装の上, 直進制御の精度向上を行っていく予定である.

参考文献

- [1] 前田 弘文, 五百井 清, 大坪 義一, 小林 滋, 高森 年: レスキューロボットにおけるデバイス管理を容易にするためのミドルウェア開発, 日本機械学会講演論文集 No.115-1, p.123~124, (2011)
- [2] 前田 弘文, 小林 滋, 高森 年: レスキューロボットにおけるデバイス管理を容易にするためのシステム開発, 弓削商船高等専門学校紀要 第34号, pp.48~53, (2012)
- [3] 二宮 綾香, 藤田 和友, 佐々木 俊一, 後藤 幹雄, 前田 弘文: 配管検査ロボットのための試作機設計, 日本機械学会第43回学生員卒業研究発表講演会講演前刷集, 716, (2013)
- [4] 藤田 和友, 伊藤 嘉基, 前田 弘文: 配管検査ロボットのためのモジュール化, 第14回システムインテグレーション部門講演会(SI2013), pp.1297~1300, (2013)
- [5] 藤田 和友, 佐々木 俊一, 後藤 幹雄, 伊藤 嘉基, 前田 弘文: モジュール化による配管検査ロボットの小型化, 日本機械学会第44回学生員卒業研究発表講演会講演前刷集, 613, (2014)
- [6] 前田 弘文, 河村 拓弥, 藤田 和友, 伊藤 嘉基, 佐々木 俊一, 後藤 幹雄: 配管検査ロボットに関する研究開発 -第1報: 小型化のための試作機設計-, 弓削商船高等専門学校紀要 第36号, pp.79~82, (2014)
- [7] 前田 弘文, 伊藤 嘉基, 佐々木 俊一, 後藤 幹

雄：配管検査ロボットに関する研究開発－第
2 報：メンテナンス向上のための試作機設計－,
弓削商船高等専門学校紀要第 37 号, pp.75～
79, (2015)

Cindyscript での整列演算

久保 康幸 *

On sort operator of Cinsyscript

Yasuyuki Kubo *

Abstract

I compared how to arrange by multiple conditions with the sort operator of Cindyscript.

1. はじめに

KeTCindy で成績処理のページ [1] では、得点は高い順（降順）、同じ得点の学生は学籍番号を昇順に並べるため reverse を使ったり、100 から引いた得点でソートしたりしている。ここで、疑問は、なぜ一度に複数の条件で並べ替えなかったのかということである。

用意した cdy ファイルにデータを入力して、動作を確認すると、CindyScript のソート演算子は、指定された条件以外については、元の順序を維持していると言うことである。用意した3つの条件を順に使ってソートすることにより、それが確認できた。

この性質を利用して、[1] の例では、用意したデータが始めに学籍番号の若い順（昇順）に並んでいるから、ソートを1つの条件で行なっていると考えられる。これは、「学籍番号の若い順に並んでいる」という暗黙の条件を利用している。今回は、暗黙の条件を仮定しないで、複数の条件をすべて明示した命令でのソートを目指す。つまり、初めのデータが学籍番号の若い順番になってなくとも、得点と学籍番号という2つの条件でソートしたいなら、もし、学籍番号の若い順番にソートされている可能性が高いデータであっても、学籍番号によるソートをしてから、得点による並び替えをするということで、目的の順番に並び替えることが出来る。

この論文では、複数条件を明示的に利用したソートの方法を比較した。なお、動作を確認したのは、Cinderella (version 2.9 build 1898) に付属の CindyScript であり、マニュアルは、その Cinderella のメニューから呼び出される Cinderella マニュアルのリンク先にあるローカルファイルとして

の CindyScript のマニュアル (Page last modified on Wednesday 17 of August, 2016.) である。日本語に翻訳する前のマニュアル (英語版) は、ローカルファイルとしてのマニュアル (Page last modified on Monday 14 of July, 2014.) を参照した。最新版を確認するためサイトの接続を試みたが、以前は接続できたサイトが、現在は接続できない。

表 1 Orgdata

学籍番号	受検者	第 1 回	第 2 回	第 3 回
160101	氏名 01	60	75	63
160102	氏名 02	60	85	60
160103	氏名 03	60	65	33
160104	氏名 04	40	75	42
160105	氏名 05	40	85	45
160106	氏名 06	40	65	37
160107	氏名 07	50	75	41
160108	氏名 08	50	85	43
160109	氏名 09	50	65	69
160110	氏名 10	60	75	63
160111	氏名 11	60	85	60
160112	氏名 12	60	65	33
160113	氏名 13	40	75	42
160114	氏名 14	40	85	45
160115	氏名 15	40	65	37
160116	氏名 16	50	75	41
160117	氏名 17	50	85	43
160118	氏名 18	50	65	69

";

2. 並び替えデータの準備

上のようなデータ (表1) を用意した.

このデータは, 第1回の得点が3人ずつ60点, 40点, 50点として得点が高い順でも低い順でもないようにした. それぞれの3人は, 75点, 85点, 65点ずつとして3人の中でも, 得点が高い順でも低い順でもないようにした. 最初の9人をコピーして, 3回の得点と同じ受験者が複数いるようにした. それらは学籍番号か氏名によってのみ区別される.

用意した表1のデータを CindyScript が扱う型に直すため, `KFTCindy` の命令で,

```
datalist=Tab2list(Orgdata);
data=datalist_(2..length(datalist));
```

を実行したものが表2の `data` である.

CindyScript の演算子 `sort` をデータ `data` に対して実行する. なお, 2行目の命令は, 項目の行を除外して並び替えるため `datalist` の2行目以降を `data` とするという内容である.

表2 data (項目行を除外)

```
data="
160101 氏名 01 60 75 63
160102 氏名 02 60 85 60
160103 氏名 03 60 65 33
160104 氏名 04 40 75 42
160105 氏名 05 40 85 45
160106 氏名 06 40 65 37
160107 氏名 07 50 75 41
160108 氏名 08 50 85 43
160109 氏名 09 50 65 69
160110 氏名 10 60 75 63
160111 氏名 11 60 85 60
160112 氏名 12 60 65 33
160113 氏名 13 40 75 42
160114 氏名 14 40 85 45
160115 氏名 15 40 65 37
160116 氏名 16 50 75 41
160117 氏名 17 50 85 43
160118 氏名 18 50 65 69
";
```

3. 複数の条件による並び替え

用意した `data` を第1回の得点 (第3番目の値) で昇順に並び, それと同じなら, 第2回の得点 (第4番目の値) で昇順に並べる. そして, それらが同じ受験者を学籍番号 (第1番目の値) の逆順 (降順) に並べることで, ソート演算子 `sort` の動作を確認した. その方法を下に紹介する.

3.1 ソートを繰り返す

[1] の例から確認できるように, CindyScript のソート演算子は, 指定された条件以外については, 元の順番を維持しているから, 複数の条件を逆の順番に適用してソートを繰り返せば良い.

目的とする順番のため, まず, 次の命令で学籍番号の逆順に並べる. 学籍番号をそのまま比較して並び替えると, 番号の若い順になり変化しないので,

```
dt=sort(data,-1*(#_1));
```

これによって, 得られるデータ `dt` は, 次のようになる (表3).

表3 dt (学籍番号を降順)

```
dt="
160118 氏名 18 50 65 69
160117 氏名 17 50 85 43
160116 氏名 16 50 75 41
160115 氏名 15 40 65 37
160114 氏名 14 40 85 45
160113 氏名 13 40 75 42
160112 氏名 12 60 65 33
160111 氏名 11 60 85 60
160110 氏名 10 60 75 63
160109 氏名 09 50 65 69
160108 氏名 08 50 85 43
160107 氏名 07 50 75 41
160106 氏名 06 40 65 37
160105 氏名 05 40 85 45
160104 氏名 04 40 75 42
160103 氏名 03 60 65 33
160102 氏名 02 60 85 60
160101 氏名 01 60 75 63
";
```

次に, 第4番目の値で昇順に並び替える.

```
dt=sort(dt,#_4);
```

という命令により、次のように `dt` が変化する (表 4)。

`dt` は、4 番目の値で昇順に並び、4 番目の値が同じものは 1 番目の値で降順に並んでいる。

最後に最も優先度の高い 3 番目の値で昇順に並べる。今の `dt` に対して、さらに次の命令

```
dt=sort(dt,#_3);
```

を実行する。これで、次のように目的の順番になっている (表 5)。

表 4 dt (表 3 の dt を加工)

```
dt="
160118 氏名 18 50 65 69
160115 氏名 15 40 65 37
160112 氏名 12 60 65 33
160109 氏名 09 50 65 69
160106 氏名 06 40 65 37
160103 氏名 03 60 65 33
160116 氏名 16 50 75 41
160113 氏名 13 40 75 42
160110 氏名 10 60 75 63
160107 氏名 07 50 75 41
160104 氏名 04 40 75 42
160101 氏名 01 60 75 63
160117 氏名 17 50 85 43
160114 氏名 14 40 85 45
160111 氏名 11 60 85 60
160108 氏名 08 50 85 43
160105 氏名 05 40 85 45
160102 氏名 02 60 85 60
";
```

このように、ソートの条件を重ねるだけで、複数条件によるソートができる。おそらく、これが最も単純な考え方であるが、命令を繰り返すのでプログラムの評価は低いと思う。なお、マニュアルを見ても、元の順番をなるべく活かすとは明示していないが不安である。

3.2 数値を加える (1)

例えば、2 つの科目 A, B の得点が、それぞれ 100 点以下と決まっているなら、それぞれの数値は 3 桁以下である。科目 A の得点で並び替えたとき、同じ点数なら、さらに科目 B の得点を見て並び替えたいとするなら、A の得点に 0 を 3 つ続けて (つまり、得点を 100 倍して)、B の得点を足す。その数値を

比較すれば、まず A の得点で比較して、それが同じなら B の得点を見て並べることが出来る。これの欠点は、どんどん数値が大きくなることである。

それを回避する方法として、プログラムの確認における視認性の問題を考えなければ、A の得点を 1000 倍する代わりに B の得点の最大値より大きい数値 (例えば 100) をかけて、B と加えることも出来る。この考え方でプログラムを書いた例を紹介することはやめて、代わりに、次のような例で済ます。

A, B どちらのリストにある値も、すべて 5 より小さな自然数とする。5 は、B のリストの最大値より大きく、5 進数で考えたとき、A からの値を前の桁、B からの値を後ろの桁という 2 桁の数として考えれば、A による値でソートした後、それらが等しい場合に B の値でソートすることになる。

表 5 dt (表 4 の dt を加工)

```
dt="
160115 氏名 15 40 65 37
160106 氏名 06 40 65 37
160113 氏名 13 40 75 42
160104 氏名 04 40 75 42
160114 氏名 14 40 85 45
160105 氏名 05 40 85 45
160118 氏名 18 50 65 69
160109 氏名 09 50 65 69
160116 氏名 16 50 75 41
160107 氏名 07 50 75 41
160117 氏名 17 50 85 43
160108 氏名 08 50 85 43
160112 氏名 12 60 65 33
160103 氏名 03 60 65 33
160110 氏名 10 60 75 63
160101 氏名 01 60 75 63
160111 氏名 11 60 85 60
160102 氏名 02 60 85 60
";
```

3.3 数値を加える (2)

前の方法は、並び替えの条件が数値の場合に限られる。次のように修正することで、並び替えの条件が数値でない場合にも複数の条件によるソートができる。なお、もともとのソート演算子は、マニュアルによると「慣例として次の順序があります。プール値 < 数 < 文字列 < リスト」となっており、数値以外も並び替えが出来る。数値でないものを複数

の条件で並び替えるとき、先の節の方法は、すぐには使えない。そこで、数値でないものの条件については、順位をつけて数値化すれば良い。なお、[1]では並び替えを利用して順位をつけている。並び替えをせずに順位をつけるのに、CindyScript に関数が用意されていないから、少し準備が必要だが、それについては、別の機会に紹介する。

3.4 文字列として扱う

並び替えの条件に文字列のリストを含む場合に、順位付けをして数値化するのは、煩雑である。もし、数値のリストがけた数が揃っているなら、逆に、数値の方を文字列化すれば良い。複数の条件によるソートをしたければ、それらの文字列を繋げれば良い。ただし、文字列のリストも文字列の長さが揃っていることが条件になる。

値を文字列に直す演算子 `text` と文字列の結合 `+` を組合せて、例えば、次のような命令を実行する。

```
dt=sort(data,text(#_3)+text(#_4)
+text(170000-(#_1)));
```

ここでの注意点は、学籍番号（第1番目の値）を降順にするため、170000 から引いていることである。学籍番号の最大値が170000 より小さいことを利用して、逆の順番にした。

3.5 条件をリストにする

これまでに紹介した方法の不満を一気に解決する方法として、条件をリストにして比較する方法が考えられる。

まず、マニュアルの説明を引用する。

CindyScript においては、すべての要素はどんな2つの要素でも比較できるような自然な順序を有します。2つの要素は等しいか、どちらかが大きくなります。実数では通常の数の順序です。文字列では辞書順です。複素数はまず実部の順序で並べ、実部が同じなら虚部の順序になります。リストは、最初の要素を比較します。さらに、慣例として次の順序があります。

ブール値 < 数 < 文字列 < リスト

なお、CindyScript での複素数は、 $a+ib$ というように表したものを指す。演算子 `complex` により、ユークリッド座標系はガウスの複素数平面と同一視され、点 $[a,b]$ は複素数 $a+ib$ に変換される。

これらを組み合わせて考えれば、ソートに使いたい2つの条件に使う項目の値が数値なら、いったん

それらをペアにして、複素数にしてから、並び替えをすれば良いことが分かる。

つまり、2つの条件をペアにして、複素数にして比較すれば、まず実部の順序で並べて、実部が同じなら虚部の順序になるのと同様に、まず最初の要素を比較して、最初の要素が同じなら、第2の要素の順序にするということ、目的とする順序になる。

しかし、この方法は、今回のような3つの条件を見て並び替えるのには使えない。

そこで、複素数に変換することなく、リストそのものを比較してみてもどうだろうか。ただし、マニュアルの説明のリストの部分を読む限り、条件をリストにすると、リストにした条件の第1の要素だけを見てソートすると考えられる。マニュアルには、条件をリストにした例はない。

念のため、英語版のマニュアルから、この部分を引用する。

Two lists are compared by the first entry in which they differ.

英語版を読んでも、日本語版と異なる内容には受け取れない。

今回のデータで、リストを比較する方法を確認するため、次のような命令を実行した。

```
dt=sort(data,[_#_3,#_4,-1*(#_1)]);
```

なお、3つ組みリストの3番目だけ $-1*(#_1)$ というようにしたのは、第1番目の値を降順にするためである。文字列の結合の場合と違って、第1番目の値の最大値を気にすることなく、負の数にするだけで良い。

この命令の実行により、目的とする並び替え（表5と同じもの）を得た。

4. まとめ

今回、確認したなかでは、最後の方法が最も良いと考える。その次は、プログラムの行数が多くなるが、最初に紹介した命令を重ねる方法である。ただし、与えられたデータがある順番で並んでいることを期待せず、並び替えに使う条件は、すべて命令として明示しておくことにする。

また、どちらの方法も、マニュアル（ローカルファイル）に示されていない性質を用いている。Cinderella Japan 代表の入谷昭先生に会ったときに確認することにする。

今回、このように演算子の動作を確認するためにスクリプトを書くには、`KEJCindy` によるデータ処

理に関する [2] および, その経験が役に立った. また, このような複数条件によるソートは, 入谷先生のサイト [1] だけでなく, CDC を用いた実験授業 [3] でのデータ整理における要請もあった.

今回の動作確認は, K_FT_Cindy の上で行なった. 最近の K_FT_Cindy については, [4] に紹介されているように R 対応が進められているが, 演算子 `sort` は CindyScript 上のものなので, その影響はない.

参考文献および参考 URL

- [1] 入谷昭 : 成績処理 (<https://sites.google.com/site/ketcindy/home/cdv/shi-yan>)
- [2] Y. Kubo : Data processing with K_FT_Cindy, LNCS, vol.10407 IV, pp.240-250(2017).
- [3] 西浦孝治ほか : 共同研究成果報告書, 豊橋技科大高専連携教育プロジェクト 2016, (2017).
- [4] 「Ketpic.com」 (<http://ketpic.com/>)
- [5] 「Cinderella」 (<http://www.cinderella.de/tiki-index.php>)
- [6] 「CinderellaJapan」 (<https://sites.google.com/site/cinderellajapan/>)

学生による展開の視覚化について

南郷 毅*

Visualization of Expansion by Students

Tsuyoshi Nango*

Abstract

In this study, the author considers the visualization of expansion by students. The author analyzes the relationship between students' drawing of expansion and exam scores. The author found that students taking low scores in the exam tend to draw pictures expressing relationships of learning matters.

1. はじめに

筆者は南郷[1]において、情報工学科1年生の学生による因数分解の視覚化と試験における因数分解問題の正答状況を検討し、次を主張した。

- (1) 因数分解問題の正答数が多い学生（7問中6問以上）は、手順記載型の図を作成する傾向があること。
- (2) 因数分解問題の正答数が少ない学生（7問中3問以下）は、関連記載型の図を作成する傾向があること。
- (3) 関連記載型の図をしっかりと作成できている、即ち、学習事項の構造が理解できているとしても、問題が解けるとは限らないこと。
- (4) 学習事項の視覚化を伴う指導には、手順記載型のような動作を表す図と関連記載型のような構造を静的に表す図の双方が必要であること。

筆者は、主張(1)(2)(3)について、因数分解だけでなく、他の分野でも同様の主張ができるのかということに興味を持った。

本研究の目的は、商船学科1年生の学生が展開分野の視覚化として作成した図の特徴と展開分野の理解度との関連を調べ、視覚化を伴う指導の改善を図るための知見を得ることである。

本研究では、学生が展開の視覚化として作成した図の特徴を、1年生前期中間試験の展開分野の正答数とともに分析する。また、主張(1)(2)(3)が、展開においても同様に主張できるかについて検討する。

本研究の位置付けは、南郷[1]の主張の補完である。

2. 学生による展開の視覚化

2.1 実践の状況

実践を実施したクラスは、本校の商船学科1年生（45名（男子37名、女子8名））である。入学時の学力が例年に比して著しく低く（過去5年で最低）、基礎的な学力が不足した学生が多いクラスである。

展開単元として90分×2回の授業を実施後、展開のまとめ演習の授業90分×1回を設定し、その時間内で学生による展開の図を作成させる視覚化を実施した。視覚化を開始する前に、展開の単元で学んだこととして

- ・分配法則を利用する
- ・乗法公式を使う
- ・置き換えを使う
- ・-1でくくる
- ・順番を変える

を列挙し、展開をするにあたって、これらをどの順番で使うとよいのか、また、これらの5つの学習事項の関連はどうなっているのかを考え、展開を視覚化してみるよう指示した。視覚化にあたっては、図に拘らず、表や文字も用いてよいとした。また、南郷[1]と同様に、図の描き方、文字の書き込み方、表の作成方法などの表現方法は指導していない。正解がある課題ではないので、自由に表現するように指示した。学生に展開を視覚化させたのちに、4名の学生に展開の視覚化として作成した図を説明させ、それぞれの図の意味するところをクラス全体で共有した。また、それらを題材に手順記載型、関連記載型の分類について説明を行った。共有の様子を図1に示す。

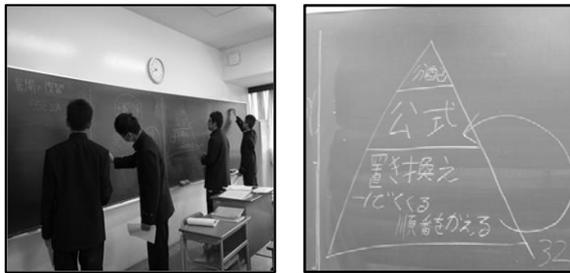


図1 共有の様子

図2は乗法公式で展開できないのであれば置き換え等の手法の適用を試みる, それでも展開できないなら分配法則で展開する, という手順が明確にわかる. 展開するという動作を表す図である.

関連記載型は, 関連があると考えられる展開の手法を線や矢印で結んだ図とする. 展開をする手順ではなく, 手法間の繋がりが重視されていると考えられる図である. コンセプトマップと呼ばれる図の一つである. 関連記載型の例を図3に示す.

2.2 学生の作成した展開の図

学生の作成した展開の図は, 展開の手順を記載した図, 展開の手法の関連を記載した図, 展開手法の利用のしやすさを記載した図の3タイプに分類できる. 南郷[1]と同様の用語を用いることとし, 展開の手順を記載した図を手順記載型, 展開の手法の関連を記載した図を関連記載型と呼ぶ. また, 南郷[1]にはなかった, 展開手法の利用のしやすさを記載した図を, 便利度記載型と呼ぶ. 以下に, 分類した各図の詳細を述べるとともに具体例をあげる.

手順記載型は, 展開の手順について矢印等を用いて記載されている図である. 展開の手法間の関連ではなく, どのような手順を取れば展開ができるかが明確にわかる図である. 手順記載型の例を図2に示す.

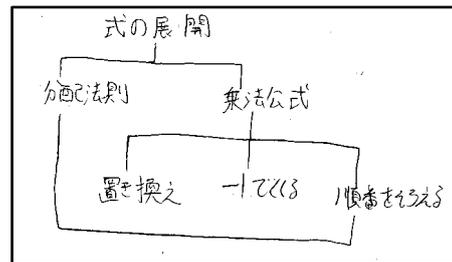


図3 関連記載型

図3は, 展開を2系列に分けて, それぞれの関連する事項を線で結ぶことで表現している. 展開の構造を表す図である.

便利度記載型は, 5つの手法の使いやすさを表した図である. 使いやすい, 簡単, 解ける問題が多いなどの記述がある図である. 便利度記載型の例を図4に示す.

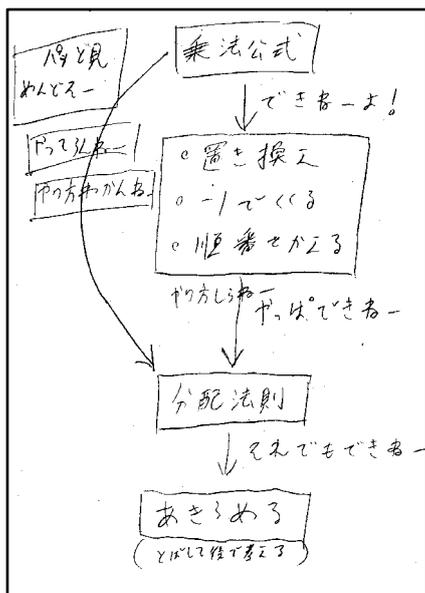


図2 手順記載型

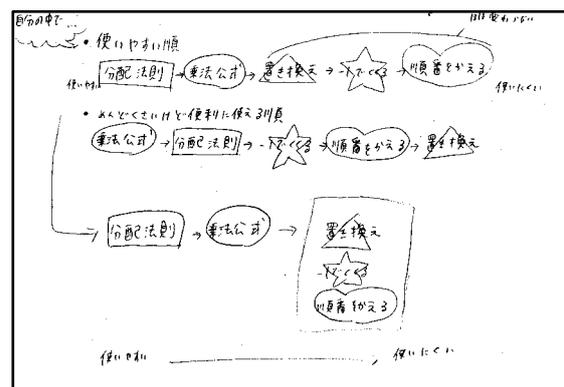


図4 便利度記載型

図4は学生にとって使いやすい順に展開の手法を並べている. 便利度記載型は, 南郷[1]においては登場しない図である.

それぞれの図を単独で作成した学生もいれば, 複数

の図を作成した学生もいる。学生による図の作成状況を表1にまとめる。

表1 学生による図の作成状況

項番	図の種類	人数
I	手順記載型	2人
II	関連記載型	21人
III	便利度記載型	6人
IV	IとII	3人
V	IとIII	1人
VI	IとIIとIII	2人
VII	IIとIII	6人
VIII	その他	4人

3. 分析と考察

学生が展開の視覚化として作成した図を、前期中間試験の展開分野の正答数とともに分析する。

3.1 前期中間試験の展開分野の問題

前期中間試験では8問を出題した。各問題で問うている事項は次のとおりである。

- (1) $+$ と $-$ が異なる式の展開ができるか
- (2) 乗法公式が適用できるか
- (3) 3乗の展開公式を適用できるか
- (4) 2項 \times 3項に、公式または分配法則を適用できるか
- (5) 3項の2乗に、公式または分配法則を適用できるか
- (6) -1 でくくって置き換えを適用できるか、または、分配法則が適用できるか
- (7) 順番を変える工夫ができるか、または、分配法則が適用できるか
- (8) 順番を変える工夫と置き換えが適用できるか、または、分配法則が適用できるか

3.2 前期中間試験の正答数別の図の特徴

前期中間試験における正答数別の図の作成状況を表2にまとめる。

正答数と図の作成状況の関係を分析し、南郷[1]で主張した(1)(2)(3)が展開において主張できるか検討する。

手順記載型を含む図(IIVVVI)を作成した学生8名のうち、正答数が少ない学生(8問中4問以下)は1名(12.5%)である。関連記載型を含む図(IIIVV VII)、便利度記載型を含む図(III V VI VII)を作成した学

生について正答数が少ない学生は、それぞれ、32名中11名(34.3%)、15名中6名(40.0%)である。手順記載型の図を作成できる学生は、他の図を作成した学生よりも正答数が少ない割合が低い傾向がある。

表2 正答数別の学生による図の作成状況

正答数	作成した図の種類							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
8問	0	1	1	1	0	0	0	1
7問	0	3	2	0	0	0	0	0
6問	1	4	0	1	1	1	2	1
5問	0	6	1	1	0	1	0	0
4問	0	4	2	0	0	0	4	0
3問	0	2	0	0	0	0	0	1
2問	1	1	0	0	0	0	0	1

(注) 表中のI～VIIIは表1の項番I～VIIIに対応

正答数1問0問の学生は0名のため記載していない

この点は、南郷[1]の結果と合致する。

一方で、展開の正答数が多い学生には、手順記載型の図を作成した学生だけではなく、関連記載型や便利度記載型の図を作成した学生も多数いる。展開においては、主張(1)を主張できない。

正答数が少ない学生16名の内11名が関連記載型の図を作成している。手順記載型の図を作成した学生は1名である。このことは、南郷[1]で指摘した、因数分解問題の正答数が少ない学生が、関連記載型の図を作成する傾向があることと合致する。展開においても主張(2)は主張できる。

また、正答数が少ない学生の作成した関連記載型の図を検証すると、関連する事項が概ね適切に結びれている。または、包含関係などを使って適切に表現されている。図5、図6に例を挙げる。

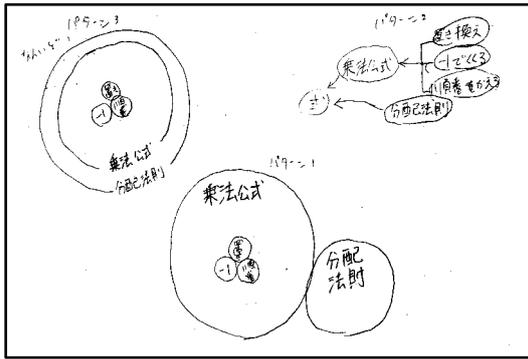


図5 正答数4問の学生の図



図6 正答数3問の学生の図

図5は正答数4問の学生が作成した図である。包含関係や手法間に線を結ぶことで、展開の手法の関係を適切に表現している。図6は、正答数3問の学生が作成した図である。包含関係によって展開の手法の関連を表現している。

このように、展開の手法の関連を概ね適切に表現できていたとしても、必ずしも展開の問題が解けるわけではない。展開においても主張(3)は主張できる。

5. まとめ

本研究では、学生による展開の視覚化を分類し、試験における展開の正答数とともに分析した。また、分析結果から、因数分解に対して実施した分析結果と同様の主張を展開できるかを検討した。

その結果、展開についても、正答数が少ない学生(8問中4問以下)は、関連記載型の図を作成する傾向があること、関連記載型として適切な図を作成できていたとしても必ずしも問題を解けるわけではないということが明らかになった。

本研究の結果と南郷[1]の結果を合わせて考えると、視覚化を行うにあたっては、関連を表す図だけではな

く、手順を表す図が必要であることが強く示唆される。今後の課題は、動作を表す図の記述方法とその指導方法を開発し、実践によって効果を確認することである。

引用・参考文献

- [1] 南郷毅：学生による因数分解の視覚化について、
(弓削商船高等専門学校紀要，第39号)，
pp. 45-50, (2017)

ゲーミフィケーションについて

雙知 延行*

About gamification

Nobuyuki Sochi*

Abstract

I give some examples of gamification on mathematics lessons including trivial cases.

1. ゲーミフィケーション

1.1 ゲーミフィケーションとは

ゲーミフィケーションとは、ゲーム以外のところでゲームの要素を取り入れて効果を上げることを行う。ここで、ゲームとは、勝負や遊戯のことを言い、勝敗等を決める際のルールを定めて、他人との相互作用で行われるものを言う。例えば、ポイントやスタンプを集めたり、シールを貯めたり、くじ引きで、割り引きや景品が当たったりなど購買意欲を刺激することがゲーミフィケーションであり、購買に限らず多くの分野でゲーミフィケーションは利用されている。

少し古いですが、ロベルト・ベニーニ主演の映画「ライフ イズ ビューティフル」はユダヤ人収容所に送られた親子の話だが、父親は幼い息子に「これはゲームだ」、「うまく隠れていたらポイントをゲット」できて、ポイントを稼いで、「優勝すれば戦車をもらえる」と説明して、息子が生き延びる手立てを講じた命がけのゲーミフィケーションのお話である。ゲーミフィケーションのおかげで、悲壮感と笑みが同居する珠玉のストーリー展開となった。

教育におけるゲーミフィケーションは近年注目されている。そこで、今年度の授業において、教育に取り入れたゲーミフィケーションを些細なものも含めてここに挙げる。

1.2 グループ学習において

初年次教育をグループ学習でやっている。9人ずつ5グループに分けて、そのグループにはリーダーと数学の不得手な学生も含まれる。

手順

- a. 問題を出題し、
- b. 全員が分かれば（人に説明ができるようになれば）
- c. 私のところに来て解答を受け取り、
- d. 間違い直しをしたら、
- e. 任意の1人に当てて、
- f. 問題を1問解いてもらって、
- g. 解ければそのグループはお終いとす。
- h. 解く人は毎回変えるが、
- i. 同じ人を再び当ててることもある。
- j. 任意の1人に当てて、できなければ、グループ内で考えたり教えてもらって再び解く。

このようにルールを定めて、「任意の1人に当てて」、「その1人が解ければグループが合格」というゲームの要素を持たせることで、緊張感を高め、学生の学習意欲を活性化させる。チームを組むことで、チーム内の結束や他チームとの競争も意識させることができる。ここで、学生に過度のストレスがかからないようにグループ選びは担任と相談して慎重に決めた。目標は、学習スタイルを確立すること、教えてもらうことで理解し、教えることでより深く理解すること、積極的に、お互いに声掛けをして、グループ内で全員ができるようにすることである。まずは自分で考えて、分からなければ教科書等で調べて、周りの学生や教員にも積極的に質問できるように自学自習の学習スタイルを学んでもらう。

定期試験の結果は例年よりも安定している。実力テストの出来もよい。ゲーミフィケーションを用いたグループ学習の効果を詳しく調べるつもりだ。

1. 3 演習において

授業中演習をする際、学生に白板(黒板)に解いてもらって、その答案を添削して答案の書き方などもチェックする。クラスにも依るが、解きたい学生が多い場合はジャンケンをして解答者を決める。1回につき、プラス1点のポイントを与える。あるクラスは毎回半分近くの学生が前に出て解きたがるので、普通のジャンケンでは、あいこが重なって時間がかかり、すぐには勝者が決まらない。そこで、些細なことではあるが、ジャンケンを簡略化して、グーパージャンケンをすることにした。グーパーかどのどちらかを出し、全体の中で出した人数が少ない方を勝ちとするので、早く少人数に絞ることができる。勝敗がシンプルになったため、演習に参加する学生も増えて演習に対する意欲が活性化した。

「じゃあこの問題解く人？」

「はい」と手を上げる学生がたくさんの場合に、

「グーパーで決めよう」となり、

「ポイ」で、

「勝った」、「負けた」となる。

グーパージャンケンで誤ってチョキを出してしまうと負けとする。あるクラスでは、ジャンケンの勝ち負けに一喜一憂があり、何度も勝てない学生には、「数学よりもジャンケンを勉強した方が良いのでは?」、「数学をやっている場合じゃないかも」とヤジが飛ぶ。実際にジャンケンの勝ち負けを統計的に考えている学生もいる。また、解けていないのにジャンケンに参加してしばしば勝ってしまう学生もいて、これもヤジが飛ぶ。ときどき、グーパーからチョキパーやグーチョキジャンケンに変えたりもする。

1. 4 授業態度において

授業中余計なおしゃべりがあり、寝てしまう学生も多いクラスに対しては、ルールを定めておく。

ルール

- 1度目は注意だけして減点はせず、
- 2度目はペナルティとして減点する。
- さらに、中には何度も繰り返す学生もいるので、奇数回目は注意、偶数回目は減点と決めておく。
- 注意の回数は次の授業に持ち越さないこととする。
- 1回目は、間違えて注意することもあるが、減点しないので文句を言わないこと。
- 2回目以降は、誤解をされないように工夫すること。

1コマの授業で3回注意されたら1回分の減点で、4回注意されたら2回分の減点となる。減点にもゲーム性を持たせて学生と(語弊があるかもし

れないが)楽しむのがゲーミフィケーションである。ただし、なぜ減点するかについては事前にきちんと説明をしておく。例えば、「無駄なおしゃべりは授業の妨げになる。その結果として、有限の授業時間においては、他の学生の損失につながる。疲れているときは授業中寝てしまうのはしょうがない、試験の前にしっかり取り戻せば大丈夫と思う人もいるが、寝ていて理解していない学生がいる場合に、学生の理解度を窺いながら(多くの?)数学教員は授業をするので、授業の進め方にも影響して、これも学生の損失につながる。だから、面倒ではあるが逐一注意することにする。損得勘定はつまらないが、このやり方にする」

大概の学生は、1回注意されると、その後は背筋を伸ばして、目と目が合うと笑みを返す。

以前に、例外的にはあるが、減点が100点を超えた学生もいたが、個別に対応し、指導することになった。

楽をして得ることを既に十分知ってしまっている学生の多いクラスはこのルールに馴染めない傾向が強く、教員に対する評価も厳しいものになる。

1. 5 歌を詠む

授業の合間に、ときどき歌を詠む。学生が集中できていない時を選ぶ。

手順

- 10人を任意に選んで、
- 5人対5人で歌詠みで対戦する。
- テーマを1つ決めて、
- 5, 7, 5, 7, 7にそれぞれ1人当てて、
- 言葉をつなげて歌を詠む。
- テーマに沿って前後の人がどういった言葉を選ぶか想像して、言葉がつながるように、自分の担当する言葉を選ぶ。
- 最後の人はオチも考えることにする。

即興で言葉をつなげて連帯感を模索するゲームである。他の学生が2チームのどちらが良いかを選んで勝者を決める。

例えば、三角関数をやっているときは「三角」、因数分解だったら「分解」などテーマは何でも良い。

4月に、担任の「〇〇先生」というテーマでやった場合は以下の様になった。

Aチーム

- 担任の
- 階段下りる
- リスペクト
- だれかに似てる

5. まじ まんじ??

削商船高等専門学校 紀要 第35号, pp. 83
- 86, 平成25年

Bチーム

1. やさしくて
2. 我らの担任
3. 関西弁
4. 大好きだよね
5. ○○先生

[2] 雙知延行, 水面上の鏡像について, 弓削商船
高等専門学校 紀要 第36号, pp. 104-1
07, 平成26年

このときは, Bチームの勝ちとなった。

1. 6 絵画の謎解き

2つの絵を比較して, 数学的謎解きをした。最初に, 画家の生まれた時代や背景と, これから段階を踏んで謎解きをすることを説明した。以下の a から d の順番で進めて, 気づいた内容に応じてレベルアップさせた謎解きで真に迫った。良い意見やユニークな発想には, ゲームとして, 段階的にポイントを与えた。

手順

- a. 2つの絵を観た最初の印象, 感想をきいた。
- b. 次に, 絵を見て気づいたところをきいた。ここで, 絵の説明をした。遠近法など数学的な説明を加えた。
- c. 2つの絵で何か違和感がないかをきいた。ここで, 画家の画風を説明した。
- d. 最後に, 何故その違和感が生じたかを数学的に考えた。

終了後, 無記名でアンケートを取ったが, 「数学をもっと勉強しようと思った」とチェックした学生が8割近くいた。

2. まとめ

近年ゲーミフィケーションの研究が進んでいる。そのうちの1つとして, 発達障害を持つ学生や社会人に対する学びの支援や就労支援においてもゲーミフィケーションが利用されている。自立や問題解決や表現において, 興味や関心, 認知の特性に合わせた選択可能な多様な教材が開発されている。また, 世界規模での大規模公開オンライン講座も学習ツールとしてゲーム化され近年開発, 利用されている。

参考文献

[1] 雙知延行, Henri Le Sidaner の3つの作品について—水面上の鏡像のずれと隠しサイン—, 弓

一刀切りについて 3

—設計図の作り方—

雙知 延行*・藤原 優伍**・安藤 来夢**・山下 正道**

About folding and one straight cut suffice 3

—How to make a design drawing—

Nobuyuki Sochi*, Yugo Fujiwara**, Raimu Ando**,
Masamichi Yamashita**

Abstract

By folding shape drawn by line segments on a sheet of paper and cutting the paper straight, it is possible to cut it out. We studied to make a design drawing about folding and one straight cut suffice.

1. 一刀切り

1. 1 一刀切り定理

一刀切り定理とは、1枚の紙の上に線分のみによって描かれた任意の描画において、紙を平坦に適切に折って、線分に沿ってただ1回のみハサミを入れることによって、描画の線分部分だけを切ることができる、というものである。

1. 2 一刀切り定理の証明について

Eric Demaine 等により一刀切り定理が証明された。1999年、直線骨格法による「ほとんど全ての場合」の証明が発表された。その後、ディスクパッキング法による「すべての場合」の証明が発表された。

1. 3 歴史と先行研究について

① 1721年に、日本の環中仙による著書の和国智恵較に一刀切りが紹介された。図形を一刀切りする技が紹介された。

② 1873年には、アメリカのHaper's New Monthly Magazineにおいて、一刀切りできるという理由で星形を国旗に使うことを、Betsy Rossがワシントンに説得したという話が紹介された。

③ 1922年、手品師のHarry Houdiniの著書のPaper magicで手品のタネとして星形の一刀切りが紹介された。

④ 1955年、手品師のGerald LoeのPaper Capersで複数の一刀切りが紹介された。

⑤ 1960年、パズル作家のMartin Gardnerによって、数学ゲームの1つとして一刀切りが紹介された。

折り紙はアジアに起源をもち1000年を超える古い歴史があり、数学的な研究の歴史は浅く、現在も研究されている。

ここでは、折り紙を平面に平行に紙の層が積み重なった状態にする（平坦に折る）ことに関しての先行研究の結果を挙げておく。図1、図2は三角形、四角形の一刀切りの設計図である。内部の赤の実線が山折りで、赤の点線が谷折りを表す。

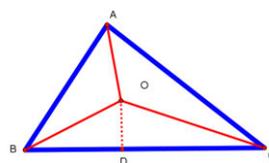


図1 三角形の一刀切りの設計図

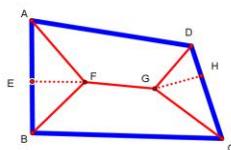


図2 四角形の一刀切りの設計図

まず、折り紙の設計図において、2本あるいはそれ以上の折り線が紙の境界以外の部分で交差しているところを頂点と呼ぶ。また、頂点から伸びる折り線の数を次数と呼ぶ。

① 偶数次数定理

平坦に折られた状態における頂点の次数は偶数である。

図1の三角形の内部にある頂点OからOA, OB, OC, ODの4本折り線が伸びており、この頂点における次数は4であり偶数である。図2の内部の2点F, Gにおいては、頂点FにFA, FB, FE, FGと、頂点GにGC, GD, GH, GFの4本の折り線が集まっているので、2点ともに次数は4であり偶数である。

② 前川=ジェスタン定理

平坦に折られた紙で、M本の山折り線とN本の谷折り線が一つの頂点から伸びているとする。

このとき、MとNの差は2となる。つまり、 $|M-N|=2$ となる。

図1の三角形内の頂点Oから伸びている折り線において、山折線がOA, OB, OCの3本で谷折り線がODの1本なので、 $|3-1|=2$ である。図2の内部の頂点Fにおいては、山

折線がFA, FB, FGの3本で谷折り線がFEの1本なので、 $|3-1|=2$ である。頂点Gにおいては、山折線がGC, GD, GFの3本で谷折り線がGHの1本なので、

$|3-1|=2$ である。 $|M-N|=2$ となり、前川=ジェスタン定理を満たしている。

2 一刀切りの設計図の描き方

2.1 設計図について

一刀切りの設計図作成の最初の段階は、三角形から始めて、多角形やアルファベットを線分のみで1枚の紙に描き、その紙を折って思案し、折り線を記入して設計図を考えた。凹四角形など複雑な図形も扱い、角の2等分線等の直線骨格を確認して作図する。設計図作成は、弓削商船高等専門学校数学同好会の研究テーマにした。数学同好会の活動において、

Y, U, G, Eをはじめとしたアルファベット一文字の一刀切りの設計図を上記のような方法で作成した。

前回の紀要に引き続き、描画ソフトのシンデレラを利用して設計図を作図した。シンデレラは角の2等分線や垂線等を簡単に正確に描くことができ、直線骨格等を描くのに適している。

2.2 作成方法

図形において角ができる場合に角の2等分線と、2等分線同士が交わる点同士を結んだ線分の集まりを直線骨格と呼ぶ。

図1において、内部の折り線OA, OB, OCが山折りで、角の2等分線である(Oは内心である)。点線ODが谷折りで、辺BCの垂線となる。垂線はABやCAに下したもので構わない。垂線を除いて、線分OA, OB, OCが、この三角形における直線骨格である。図2の四角形においては、角の2等分線AF, BFの交点FとCG, DGの交点Gを結んだ線分も含めて、角の2等分線AF, BF, CG, DGと線分FGが、この四角形における直線骨格である。

平坦に折って一刀切りするためには、角の2等分線などの直線骨格や垂線などが折り線となる。このとき、紙が平坦に折られていなければいけないので、頂点は偶数次数定理と前川=ジェスタン定理を満たしている。また、頂点に集まる角において、平坦に折られているときは、任意の角とその隣の隣りにある角の和が 180° になることも分かっている。図3, 図4のように、実際に角をなしていなくても、AB, CDを延長した交点Oのなす角AOCを想定して2等分線を折り線と考えて設計図を作図する。2つの図形の同時一刀切りの際は、2つの図形の線分を図3のABとCDに先にそれぞれ重ねておいて、最後に2等分線でABとCDを一直線上に重ねると、全ての図形の線分を一直線上に重ね合わせることができる。特別な場合として、ABとCDが平行の場合は、ABとCDに平行でその中間を通る直線で折れば図形の線分を一直線上に重ね合わせることができる(図5)。

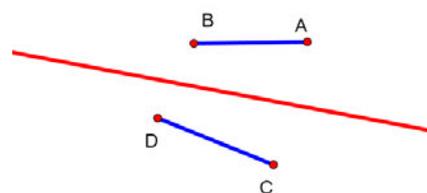


図3 2線分の折り線

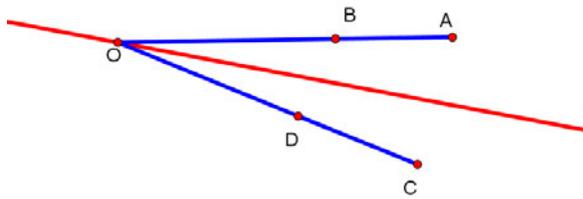


図4 2線分のなす角を想定した折り線

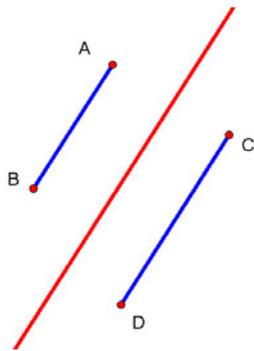


図5 平行線の折り線

2. 3 同時一刀切りの設計図の具体例

同一紙面内に、2つ以上の図形が別々にあったとしても、あるいは、図形の中に図形があったとしても、適切に折りたたんで、たった1回だけハサミを入れることによって、同時に図形のみを切ることができる。ここでは、三角形の中の三角形と、同一紙面内の三角形と四角形の同時一刀切りの設計図を示す。

角の2等分線(平行でない2線分の場合は角を想定した2等分線、平行線の場合は中間の平行線)と2等分線の交点を結んだ線分を引き直線骨格を作図し、垂線を引く。

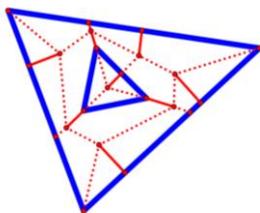


図6 三角形の中の三角形

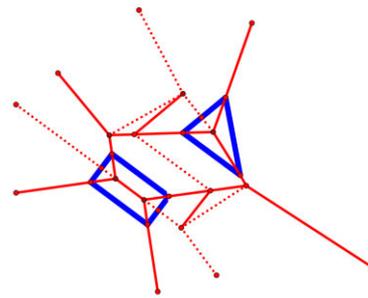


図7 三角形と四角形

図8において、イニシャルAKの設計図を示す。

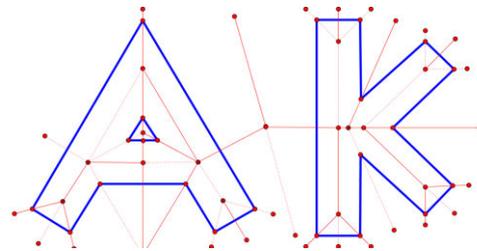


図8 AK

3. まとめ

今年度も、前年度に引き続いて、1枚の紙に書かれたアルファベット2文字(イニシャル)の同時一刀切りの設計図作成に挑戦し、作成方法についても考察した。角の2等分線などからなる直線骨格や垂線を引いてその線分を一直線上に集めることに数理があることを理解した。

2つの図形の同時一刀切りにおいて、図7のように2本の平行線上にそれぞれの図形の線分を集められる場合の作図は易しいが、図6や図8のように2本の線分を延長して角を想定して折る場合の作図は複雑になることもある。PC上のソフトウェアを用いて、2等分線と2等分線同士の交点を結ぶ線分を引く作業を自動化して、さらに、平坦に折るための条件を考慮して自動描画ソフトを開発するつもりだ。

YUGE 4文字の同時一刀切りの設計図も完成したので、シンデレラで作図する予定である。

参考文献

- [1] ジョセフ・オルーク：折り紙のすうり，pp. 91-105, 2012

- [2] Erik D. Demaine and Joseph O' Rourke :
Geometric Folding Algorithms, Linkages,
Origami, Polyhedra. Cambridge University
Press, July , 2007.
- [3] 雙知延行, 吾籐秀亮他 : 一刀切りについて—三
角形からアルファベットまで—, 弓削商船高等
専門学校紀要 第 38 号, pp. 39-44, 2016
- [4] 雙知延行, 藤原優伍他 : 一刀切りについて 2,
弓削商船高等専門学校紀要 第 39 号, pp. 34-40,
2017
- [5] 雙知延行 : 一刀切りについて—2 つ以上の同時
切り—, 日本数学教育学会高専・大学部会論文
誌 第 23 号, pp. 67-76, 2017
- [6] 秋山仁 松永清子 : 数学に恋したくなる話,
pp. 218-220, 2010

高専ロボコンにおけるBチームの活動報告

—2016 と 2017 年について—

大澤 茂治*

Activity Report of B Team in the KOSEN ROBOCON

—About 2016 and 2017—

Shigeji Osawa *

Abstract

This paper reports about robots and contest results of B team of Yuge college in the KOSEN ROBOCON 2016 and 2017. B team has few members. And they are beginner of robot making.

1. はじめに

高専ロボコンとは、正式名称「アイデア対決・全国高等専門学校ロボットコンテスト」であり、勝負に勝つことよりも創造的アイデアを大切にする全国規模の大会である。また、「安全」を最優先としており、ロボット製作を通じて、安全のための正しい知識を学ぶ、教育イベントでもある[1][2]。

全国の高等専門学校 57 校 62 キャンパス、各校 2 チーム計 124 チームが全国 8 地区で実施される大会に出場し、そこで選抜された 25 チームが全国大会へ進み、優勝、または、最高の賞である「ロボコン大賞」を目指す。「ロボコン大賞」は、「アイデア・技術・デザイン全てにおいて優れたロボットを製作したチームに対して贈られる最も名誉ある賞」と定義されている。この他にも賞として、「アイデア賞」、「技術賞」、「デザイン賞」、各協賛企業名が入った「特別賞」が設けられているが、勝利したチームへ贈られるとは限らない。また、大会は、各地区大会、全国大会ともに、トーナメント対戦方式で勝敗を決めるが、全国大会へ進めるチームは、優勝チームと審査員が推薦したチーム（複数チームが推薦される地区もある）である。競技課題の趣旨を反映したアイデアを実現できているチームや、素晴らしいパフォーマンスを見せたチームが推薦される。このように高専ロボコンは、勝敗のみを評価する大会ではなく、製作したロボットを専門家がアイデアや完成度を含めて評価してくれる大会である。なお、2017 年で 30 年目を迎える。

現在の弓削商船高専Bチームは、大澤研究室の卒研生（電子機械工学科 5 年生）で構成され、2014 年から参加している。メンバーの数は、2014 年が 4 名、2015 年が 3

名、2016 年が 6 名、2017 年が 5 名と非常に少ない。また、高専ロボコンに参加しているチームの多くが部活動として活動しているため、物作りやロボット作りを経験しているが、本チームのメンバーは、多くが運動部に所属しており、ロボット作りは素人と言ってよい。さらに、放課後はそれぞれの部活で活動を行っており、ロボット製作にかける時間は、主に卒業研究の時間（週 8 時間程度）と夏休みの期間であり、他のチームと比べ少ない。したがって、大会では良い結果が残せているとは言えない。しかし、学生たちが意欲的にロボットのアイデアを考え、ロボットを製作し、大会に望む姿から、学生たちが大きく成長したことがわかる。

本稿では、少人数の物作り初心者チームにおけるコンテスト指導事例として、2016 と 2017 年度の高専ロボコンの弓削商船高専 B チームの活動報告を行う。

2. 2016年について

2.1 課題

2016 年の課題名は、「ロボット・ニューフロンティア」であり、簡単に言えばロボットによるブロック積みである。フィールドのサイズは、11500[mm]×5000[mm]である。フィールドは、「港町」、「海」、「新大陸」と呼ばれるエリアに分かれている。「港町」で 4 個のブロックを積み上げ、「新大陸」で多くのブロックを積み上げ、その上に地元を象徴する「シンボル」と呼ばれるものを置く競技となっている。「海」は、ロボットが接地してはいけないエリアであり、「海」と「港町」及び「新大陸」との境には、高さ 150[mm]、幅 150[mm]の角材が障害物として置かれてい

* 電子機械工学科

る。また、「海」の中央には、「島」と呼ばれる2000[mm]×2000[mm]×150[mm]のロボットが接地してよいエリアが存在する。さらに、「海」には、「船」と呼ばれる500[mm]×500[mm]×150[mm]の物体が5台置かれており、ロボットはこれを自由に使うことができる。そして、勝敗は、「新大陸」にブロック及び「シンボル」を積み上げた高さで決まる。ロボットの台数は自由であるが、総重量は40[kg]と決められている[1]。

2.2 方針

目標は、賞を取ることであった。2015年大会で本チームは、「デザイン賞」を受賞しており、2年連続での受賞となれば、本校では9年ぶりの快挙となる。賞を取るためには、他のチームが行わないアイデアを実現することだと考えた。高専ロボコンの正式名称には、アイデア対決とあり、独自のアイデアを実現したロボットが高く評価されるのではないかと推測した。したがって、ロボットの各機能などのアイデアを出す際は、複数のアイデアを出し、検討することとした。

メンバーは、6名である。2015年が3名のみであり、各機能を1つずつ製作するという効率の悪い状況と1人当たりの負荷を改善するため、人数を増やした。

まず、例年と同様に画用紙で1/10サイズの大会フィールドを製作した(図1)。これにより、明確にフィールドが理解できるため、ロボットのサイズやどのような機能が必要かを考えやすくなる。また、大雑把なロボット、機能を画像紙で製作することも容易に行える。

製作体制は、2名で1班として、移動機構を製作する班、ブロックを持つ機構を製作する班、「海」を渡るための機構を製作する班の3班体制とした。そして、ロボットは、2台製作することとした。詳細は、第2.3節、第2.4節で述べる。

ロボット製作に用いるフレームなどの機械部品は、例年通り株式会社ミスミ[3]のものを積極的に使用することとした。理由を以下にまとめる。

- ① 企業で良く使用されており、就職後も使用する。
 - ② 図2のアルミフレームを用いることにより、多くの穴あけ加工を不要とすることができ(ナットをフレームの溝に入れられる)、製作時間の短縮化が行える。
 - ③ 図2のキャップをフレーム両端に使用することで、安全対策が容易に行える。
 - ④ 頑丈である。
- ただし、欠点として、ロボットが重くなること、また、重くなることにより多くの機能を実装することができないことが挙げられる。

設計などで使用する3D CADソフトウェアは、全員が使用できるように、無料のAutodesk 123D Design [4] を

用いた。2016年では、日本語版も配布されている。

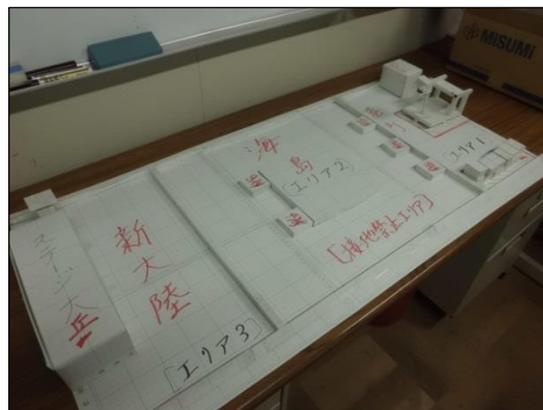


図1 2016年フィールド模型



図2 アルミフレーム

2.3 製作したロボット「鷹」

製作したロボット「鷹」について述べる。呼び方は、「ほーく」である。弓削島に鷹のような鳥(おそらく鳶)が多く生息しており、強いロボットになることを願い「鷹(ほーく)」と名付けた。外観を図3に示す。サイズは、縦1500[mm]、横720[mm]、高さ1500[mm]であり、質量は33[kg]である。

移動機構は、二輪駆動を採用しており、車輪径は260[mm]である[5]。車輪は軽量化のため、木材を丸く切り抜き(直径250[mm])、それに5[mm]の厚さのゴムを巻き、製作した。

ブロックを把持する機構は、ブロックを両側から挟むように把持するものとした。以降、この機構を「把持機構」と呼ぶ。把持機構は、大きさ200[mm]×300[mm]×400[mm]のブロックを挟めるように最大で400[mm]開く2本の腕が付いている。さらにブロックを2個同時に把持できるようにフォーク型とした。そして、把持したブロックを積み上げるため、腕を高さ1150[mm]まで上げることができる[6]。

ロボット接地禁止エリアである「海」を渡る方法として、ロボットが「船」に乗り、角材を押しして船を動

苦い経験から、2016年では、全て同じモータを使用することとした。



図3 2016年製作ロボット「鷹」

かし「島」及び「新大陸」に移動することを考えた。橋を架ける方法も検討したが、他の多くのチームが採用することが予測できたことと、本校が弓削商船高専という船に関する高専であることから、船を積極的に使用する方法を採用することとした。以降、採用した方法を実現する機構を「押し出し機構」と呼ぶ。押し出し機構は、図3の(c)背面のようにロボットの下部に取り付けている。ロボットが「船」に乗った後、押し出し機構を下げ、船に接地させる。そして、図4のように角材を押し出す部分が伸び、角材を押し、船が動くようになっている。角材を押し出す部分は、最大で1.3[m]伸ばせ、「港町」から「島」、 「島」から「新大陸」に移動できる[7]。

用いたモータは、全てツカサ電工株式会社製の DC モータ TG-85R-KU-216-KA, 12V である。移動機構に 2 台、把持機構に 3 台、押し出し機構に 3 台使用している。全て同じモータを用いている理由は、予備モータを確保するためである。また、各機能でモータの交換を可能とするためである。例えば、3 種類のモータを使用した場合、1 種につき最低でも 1 台のモータを予備とすると 3 台の予備モータが必要となる。しかし、1 種類であれば、1 台で良くなる。2014 年度、2015 年度と数種類のモータを使用していたが、予算が十分でないため、予備を確保することができていなかった。2015 年の大会では、試合前の練習でモータが故障してしまい、古いモータをやむなく使用し、練習通りの結果が得られなかったという経験があった。このような

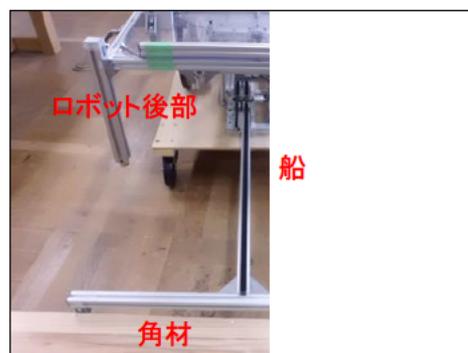


図4 押し出し機構



図5 2016年製作ロボット「鷹2」

各モータの制御は、Arduino MEGA ADK を用いて行っている。また、ロボットの操作は、無線コントローラで行う。本ロボットでは、ヴィストン株式会社製の VS-C3 を 2 台用いた。「鷹」は 1 台のロボットであるが、把持機構の操作で 1 台、それ以外の機構で 1 台のコントローラを使用し、2 名で操作する。また、バッテリーは、SHORAI 社製のリチウムイオンバッテリー-LFX07L2-BS12 を用いた。これは、出力電圧が 12 [V] であり、425g と非常に軽い。

なお、「鷹」は当初、ブロックを積む荷台を装備していたが、重量制限により外した。

2. 4 製作したロボット「鷹2」

製作したロボット「鷹2」について述べる。呼び方は、「ほーくに」である。外観を図5に示す。サイズは、縦700[mm]、横450[mm]、高さ170[mm]であり、質量は7[kg]である。二輪駆動であり、二枚の板を上部に搭載したロボットである。役割は、「鷹」が高さ150[mm]の角材を乗り越えるためのサポートを行うことである。角材まで移動し、前側を角材に付けると、「鷹」が角材を乗り越えるスロープとなる[5]。

2. 5 シンボル

図6に製作したシンボルを示す。シンボルは、弓削商船高専がしまなみ海道の中にあり、サイクリングが盛んなため、自転車とした。サイズは台を含め、縦430[mm]、横230[mm]、高さ330[mm]であり、質量は0.8[kg]である。木材、アクリルパイプ、ポリプロピレン厚板シート、発砲ポリスチレンパネル、ビニルテープなどで製作した。



図6 シンボル

2. 4 大会結果

2016年10月30日、新居浜高等専門学校の体育館にて、四国地区大会が開催された。本チームは、初戦で新居浜高専Bチーム「しまなみ海銅」と対戦し、敗退した。賞も受賞することができなかった。

積んだブロック数は、練習と比べ少なく、試合前の練習では、「港町」に4個ブロックを積むことができていたが、試合では2個のみであった。これは、「鷹2」が動かず、「鷹」の進路を塞いでしまったためである。

「鷹2」が動かなかった原因は、バッテリーと配線を結ぶボルトが緩んでいたことによる接触不良であった。ボルトを締めた後、別の人間が確認するようにしており、さらに試合直前の動作確認では動いていたため、運が悪かったという他ない。待機場所から大会会場までの運搬時に振動が多く発生し、ボルトが緩んだ可能性もある。丁寧に振動をあまり発生させないような運搬方法の検討、指導が必要である。また、突発的な事態に対応できるような十分な練習が行えていなかったことも原因として挙げられる。夏休み期間中に作業場のエアコン交換工事があり、1ヶ月ほど製作が行えず、ロボット完成が大会直前になってしまった。

試合中にロボットの全機能を見せることができなかったため、学生達は、エキシビションというロボットを自由に動かせる競技に参加した。本チームでは3年目で初めての参加であった。エキシビションでは、押し出し機構を使った「船」による「海」の移動を見せ、製作したロボットをアピールした。

大会結果は悪いものであったが、試合後及びエキシビション後、学生達には笑顔が多く見られた。製作したロボットの機能を全てアピールできた満足感から出た笑顔ではないかと思われる。

3. 2017年について

3. 1 課題

2017年の課題名は、「大江戸ロボット忍法帳」であり、12.6[m]×12.6[m]のフィールドでのロボットによる風船割りを行う課題である。2チーム、計4台のロボットが妨害を行いながら、風船を割り合う。フィールドには、陣と呼ばれるX型の台が2台、置かれている。ここに各チーム10個の風船を取り付け、先に10個割ったチームの勝利となる。また、ロボットには各5個の風船が取り付けられており、相手のロボット全ての風船を割っても勝利となる。風船を割る道具は、①「刀」と呼ばれる指定されたおもちゃの刀にやすりを巻いたもの、②「秘密道具」と呼ばれる各チームで自作するオリジナルな道具、の2種類である。なお、陣には、宝物と呼ばれるチームを象徴するものを掲げなければならない[2]。

3. 2 方針

目標は、例年通り賞を取ることであった。また、大会が例年よりも1カ月早いと、2台のロボットをなるべく早く製作すること（最低限の動作が行える状態にすること）を目標とした。ロボットは大会規定により3台まで製作できるため、1台をメインロボットと位置づけ、秘密道具を搭載させ、時間をかけ製作し、2台は秘密道具なしで似た構造で素早く製作することとした。素早く製作するため、昨年度までのロボットで使用している部品を積極的に再利用することや、構造を似せて製作することとした。

メンバーは5名であり昨年と同様に、まず、画用紙で1/20

サイズの大会フィールドを製作した。製作体制は、2 班とし、3 名がメインロボットを担当し、2 名が秘密道具なしのロボット 2 台を担当することとした。また、ロボットで共通する部分（例えば緊急停止ボタンなど）はメインロボット担当の 3 名がなるべく製作するようにした。

技術挑戦として、全方位移動が行えるオムニホイールの使用を行うこととした。早くロボットを製作しなければならぬ状況であったが、全方位移動を実現したいと学生が強く希望したため、オムニホイールの導入を決定した。

ロボットは、生き物を模すことが課せられており、本チームでは、「牛」をモチーフとすることとした。

3. 3 製作したロボット「ミノタウロス」

製作したロボット「ミノタウロス」を図 7 の (a) に示す[8]。サイズは、縦 550[mm]、横 550[mm]、高さ 950[mm]であり、質量は、10.9[kg]である。

二輪駆動を採用しており、車輪径は 260[mm]である。基本構造は、2015 年ロボコンのロボット「くま」を参考にした。風船を割る道具は、「刀」のみである。「刀」は上下に振ることができ、2 つの歯車により実現している。また、本ロボットは、牛をモチーフとしているため、「刀」を尻尾と見立てたデザインとしている。牛の顔及び外装は、プラスチック段ボールで製作した。外装の他に、相手チームロボットとの接触の可能性が高いため、バンパーの装着が必須となっている。バンパーは、軽量化を考え、桐板の上にクッション材を張り製作した。

用いたモータは、ツカサ電工株式会社製の DC モータ TG-85R-KU-216-KA, 12V を移動機構で 2 台、「刀」を振る機構で 1 台の計 3 台である。モータ制御は、Arduino MEGA ADK を用いて行っている。また、ロボットの操作は、ヴィストン株式会社製の無線コントローラ VS-C3 を用いた。バッテリーは、SHORAI 社製のリチウムイオンバッテリー LFX07L2-BS12 を用いた。

本ロボットは、7 月中旬で移動機構と「刀」を振る機構を実装しており、素早い製作を行うことができた。また、7 月下旬に開催された本校のオープンキャンパスで操縦体験ありのデモを行うこともできた。学生も積極的に協力してくれた。

3. 4 製作したロボット「件」

製作したロボット「件」を図 7 の (b) に示す[8]。読み方は、「くだん」である。サイズは、縦 600[mm]、横 600[mm]、高さ 1000[mm]であり、質量は、14.6[kg]である。

第 3.3 節で述べたロボット「ミノタウロス」とほぼ

同じロボットである。違いは、全方位の移動ができることである。学生の強い希望によりオムニホイールを採用し、全方位移動を実現させた。小回りが良く、風船を割るときの微調整が行い易いことが利点であるが、車輪径が 100[mm]と小さいことから、移動速度が遅いことが欠点である。また、ロボット前面の牛の顔は、プラスチック段ボールで製作してあるが、それ以外の

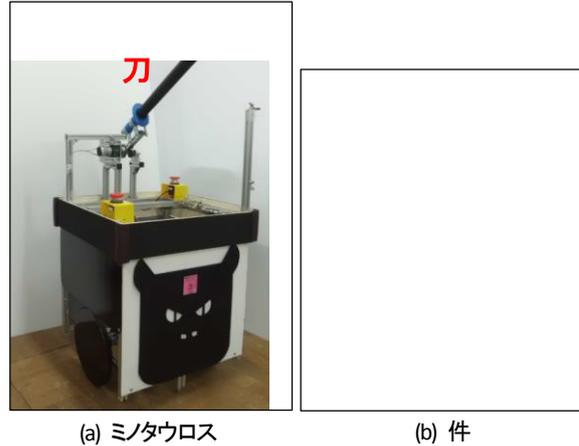


図 7 2017 年製作ロボット「ミノタウロス」と「件」

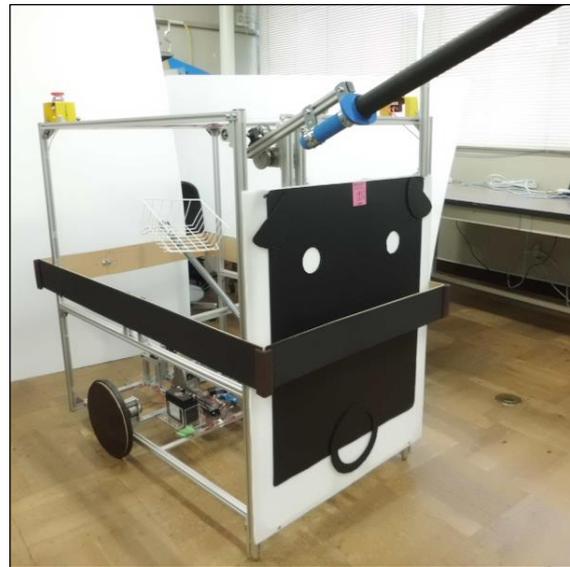


図 8 2017 年製作ロボット「牛鬼」

面は、網で製作してある。網にすることで、内部を常に観察でき、異常を素早く発見することができる。

用いたモータは、種類は、「ミノタウロス」と同じであり、移動機構に 4 台、「刀」を振る機構で 1 台の計 5 台である。制御用のマイコン及びコントローラ、バッテリーも「ミノタウロス」と同様である。

本ロボットも 7 月中旬で移動機構と「刀」を振る機構を実装でき、オープンキャンパスでのデモも実施し

ている。

3.5 製作したロボット「牛鬼」

製作したロボット「牛鬼」を図8に示す[9]。読み方は、「ぎゅうき」である。サイズは、縦1200[mm]、横900[mm]、高さ1200[mm]であり、質量は、18.7[kg]である。

二輪駆動を採用しており、車輪径は260[mm]である。風船を割る「刀」を振る機構は、第3.3節、第3.4節で述べた「ミノタウロス」と「件」と同じである。

秘密道具は、図9の表面にやすりを付けたボールである。さらに、ボールの中にスーパーボールを入れることで、このボールを投げたとき、中のスーパーボールが動くことでボールの重心が変化し、揺れる。揺れることにより、複数の風船に当たる確率が増え、かつ、風船に当たったときに接触面が増えることが期待できる。サイズは直径90[mm]、質量は0.1[kg]である。

秘密道具(ボール)を使い風船を割る機構は、投石器のような機構とした。製作した機構を図10に示す。ボールを載せる籠に塩ビ管を取り付け、塩ビ管をしならせることにより、その反発力でボールを投げる仕組みである。塩ビ管のしなりは、塩ビ管先端に付けられたワイヤーを引金に引っかけることにより生じる。引金は、半円のアルミ板により固定されており、アルミ板が回転することにより、引金が外れ、ボールが飛ぶ。ボールの飛距離は、約5[m]である。この引金の仕組みは、2015年に製作した輪投げロボットの輪を飛ばす機構[10]を参考にしている。

外装は、前面に牛の顔をプラスチック段ボールで作した。牛をモチーフにしているため、「刀」を角と見立てたデザインとしている。当初は左右両側に「刀」を付ける予定だったが、軽量化のため片側のみとした。また、外装も全面を製作する予定であったが、重量制限から前面のみの製作となった。

用いたモータは、種類は「ミノタウロス」と同じであり、移動機構に2台、「刀」を振る機構に1台、「秘密道具用」に1台の計4台である。制御用のマイコン及びコントローラ、バッテリーも「ミノタウロス」と同様である。

3.6 宝物

図11に製作した宝物を示す。宝物は、弓削商船高専がある「弓削島」とした。サイズは台を含め、縦450[mm]、横320[mm]、高さ240[mm]であり、質量は0.99[kg]である。弓削島の形は、3Dプリンタ(XYZプリンティング社製ダヴィンチ1.0A)で5つに分け、製作した。弓削島のデータは、国土地理院が公開して

いるもの[11]を使用(高さ3倍)した。空いている海の部分は、紙粘土で埋め、台は、木材、ポリプロピレン厚板シート、ビニルテープで製作した。

3.7 大会結果

2017年10月8日、高知県の阿南市立スポーツセンターのメインアリーナにて、四国地区大会が開催された。本チームは、初戦で香川高専高松キャンパスAチーム「Sundogs」と対戦し、敗退した。相手チームは



図9 秘密道具

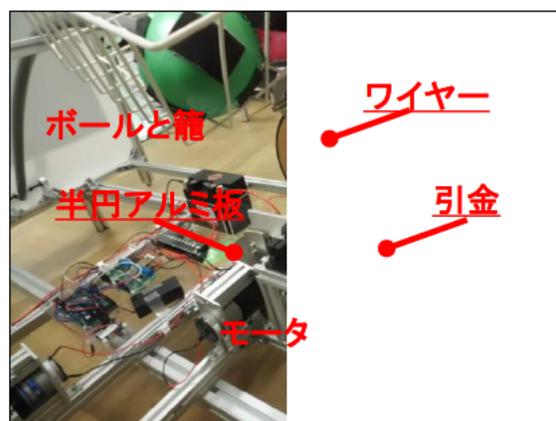


図10 秘密道具用の腕



図11 宝物「弓削島」

昨年の全国大会の優勝チームであり、また、本大会の優勝チームであり、強豪チームであった。

試合は、開始20秒程度で陣の風船10個を割られた

ことによる敗戦であった。香川高専高松キャンパス A チームのロボットは、3 秒程度で陣までの距離約 10[m] を移動する機動力を備え、20 秒弱で 10 個の風船を割れる秘密道具を備えていた。この秘密道具は、風船を吸引する装置と風船に接触する部分にやすりを付け、さらに振動するようになっていた。非常に素晴らしいアイデアだと感じた。機動力は、本チームでも時間をかければさらに良くすることは可能だと考えられるが、このような素晴らしいアイデアは、本チームではおそらく出ないだろう。本チームでも良いアイデアが生まれるような工夫が必要だと感じた。アイデアを出す際のミーティングの仕方や、調査方法のアドバイスの仕方などを来年度に向け考えなければならぬ。強豪チームとの対戦で一瞬のうちに敗退してしまったが、強豪チームのすばらしさを実感することができ、また、色々考えさせられることが多く、良かったと思っている。

本チームのロボットは、動作ではあまり活躍できなかったが、アナウンサーの方や企業の方から、かわいいデザインが良いという話を頂いた。このため「デザイン賞」を期待したが、受賞できなかった。「デザイン賞」を受賞したのは、高知高専 B チーム「土佐忍者ジンナー」であった。秘密道具として手裏剣を実現させたことが受賞理由であった。この手裏剣は、実物のように回転しながら飛ぶ。形と飛んでいる姿は非常に素晴らしく、「デザイン賞」に相応しいものであった。本チームのロボットも良いデザインであったが、大会の課題名が「大江戸ロボット忍法帳」であり、忍者やその道具に関連するものではなかった。また、「デザイン賞」は、「機能的な美しさや装飾に秀でたロボットを作ったチームに贈られる賞」と定義[1][2]されており、機能的な美しさも本チームのロボットにはなかった。これらの点を改善していくことでより良いロボットが製作できるのではないかと考えている。

4. おわりに

本稿では、2016 年と 2017 年の高専ロボコンにおける弓削商船高専 B チームの取り組みと製作したロボット、そして大会結果について報告した。

本チームは、卒研生で構成され、毎年少人数で参加しなければならない。2014 年と 2015 年はロボット 1 台のみの製作であったが、2016 年、2017 年と複数台のロボットを製作することが求められた。製作に要する 1 人当たりの負荷軽減も今後の検討事項であるが、練習時や大会時のロボット運搬も大きい肉体的負荷を

要する。大会時では、人手が足りず、A チームのロボット研究部の学生達に運搬を手伝ってもらった。今後は、運搬時の負荷を軽減するような工夫も必要である。具体的には、運搬用の台車の製作である。平らな場所では 1 人で運搬できることが望ましく、また、目立つような装飾も必要であると考えている。自由に製作できる点では、ロボット製作と同じくらい楽しいことになるのではと感じている。

2016 年、2017 年ともに目標である「受賞」は達成できなかったが、改善点を多く見つけることができた。今後は、これらの改善点を実現して行き、学生の成長のため、より良いロボット、より面白いロボットを製作できるよう指導していきたいと思っている。

参考文献

- [1] 全国高等専門学校ロボットコンテスト実行委員会競技委員会, 第 29 回アイデア対決・全国高等専門学校ロボットコンテスト 2016 ルールブック
- [2] 全国高等専門学校ロボットコンテスト実行委員会競技委員会, 第 30 回アイデア対決・全国高等専門学校ロボットコンテスト 2017 ルールブック
- [3] 株式会社ミスミ HP : <http://www.misumi.co.jp/>
- [4] AUTODESK 123D HP : <http://www.123dapp.com/design>
- [5] 井手庸賀, 仙田直幸 : 高専ロボコン 2016 のためのロボット開発 ~移動機構の開発~, 平成 28 年度電子機械工学科卒業論文, 2016.
- [6] 岡崎偲紋, 上谷有司 : 高専ロボコン 2016 のためのロボット開発 ~ブロック把持機構の開発~, 平成 28 年度電子機械工学科卒業論文, 2016.
- [7] 濱本泰暉, 村上智也 : 高専ロボコン 2016 のためのロボット開発 ~接地禁止領域通過用の押出し機構開発~, 平成 28 年度電子機械工学科卒業論文, 2016.
- [8] 大本克成, 永山大夢 : 高専ロボコン 2017 のためのロボット製作 ~ロボット「件」及び「ミノタウロス」の製作~, 平成 29 年度電子機械工学科卒業論文, 2017.

- [9] 太平尚, 高垣克成, 正木宗馬 : 高専ロボコン 2017
のためのロボット製作 ~ロボット「牛鬼」の製作~,
平成 29 年度電子機械工学科卒業論文, 2017.

- [10] 大澤茂治 : 高専ロボコンにおける B チームの活
動報告 —2014 年と 2015 年について—, 弓削商船
高等専門学校紀要 第 39 号, pp75~79, 2017.

- [11] 国土交通省国土地理院 HP :
<http://cyberjapandata.gsi.go.jp/3d/index.html>

国際交流プログラムによる実践的専門技術教育

ダワァ ガンバット*¹, 葛目 幸一*², 大澤 茂治*¹, 福田 英次*¹, 筒井 壽博*³,
 ジャンバル オダゲレル*¹, ハヤンヒリワー サランゲレル**¹, 秋葉 貞弘*³,
 アムガランバートル バットエレデネ**¹, ダライ ボルドバートル**², バダラチ
 バヤルスレン**², パライネトル スパチャイ***¹

Technical Training and Specialized Experiences Engaged by an International Exchange Program

Ganbat Davaa*¹, Koichi Kuzume*², Shigeji Osawa*¹, Hidetugi Fukuda*¹,
 Toshihiro Tsutsui*³, Odgerel Jambal*¹, Sarangerel Khayankhyarvaa**¹,
 Sadahiro Akiba*³, Bat-Erdene Amgalanbaatar**¹, Boldbaatar Dalai**²,
 Bayarsuren Badarch**², Supachai Prainetr***¹

Abstract

We carried out a technical skills training project as a part of international exchange activities. The purpose of this short term training was to help the exchange students to utilize their experiences at our college as an opportunity to actively engage in earning technical skills and to give each one of them their individual learning outcome. The exchange students were engaged in their technical skills training designated for each student with their coaching professors, adding to their intercultural and multinational session such as Japanese culture learning and homestay programs. This paper presents 4 projects that were carried out in 2016. 1) Construction of temperature based motor controller 2) Fabricating school badges using different processing techniques 3) An internal combustion engine performance modifying experience by altering the cooling system efficiency 4) Phase changes ranging from pool boiling to refrigeration cycles.

1. まえがき

高専教育目標は「深く専門の学芸を教授し、職業に必要な能力を育成すること」[1]と記載されており、高等専門学校は「工学・技術系の専門教育を施すことによって、実践的技術者を養成することを目的にした教育機関」[2]である。技術者という職業は、他の職業に比べて明らかに専門性が求められる[3]。技術者の専門知識には理論以外に実務的専門技術、専門訓練が重要で

あり、専門技術を充実させるためには理論や研究と共に行えるだけ実物を多く利用する実験や実習を中心とした教育が不可欠である。

高等教育機関では、急速に進む社会や産業界のグローバル化の中で、グローバル社会の中で活躍する人材の育成が推進されている[4]。独立行政法人国立高等専門学校機構の第2期中期計画においても、第3期中期計画においても、留学生の受け入れの増強や、教員と学生の国際交流への積極的な取組みを推進している。

*¹ 弓削商船高等専門学校電子機械工学科, (Electronic Mechanical Engineering Department, National Institute of Technology, Yuge College)

平成 29 年 11 月 30 日受理

*² 弓削商船高等専門学校情報工学科, (Information Science and Technology Department, National Institute of Technology, Yuge College)

*³ 弓削商船高等専門学校商船学科, (Maritime Technology Department, National Institute of Technology, Yuge College)

**¹ モンゴル科学技術大学動力工学科, (School of Power Engineering, Mongolian University of Science and Technology)

**² モンゴル科学技術大学交通機械工学科, (School of Mechanical Engineering and Transportation, Mongolian University of Science and Technology)

***¹ ナコンパノム大学, (Nakhon Phanom University)

各高専では、グローバルに活躍する人材を育成するために、短期留学やインターンシップおよび技術協力など海外の機関と国際交流締結などの取り組みが行われている。

各高専では、様々な国際交流に関する活動を行い、それらについて報告が沢山されている。国際交流活動は、学生の語学能力や満足度を向上させられるように長期的な語学研修や異文化交流を行う事 [5]-[6]、総合学科系の教員が中心となって実施する日本語・日本文化ワークショップに受け入れ研修生たちが参加する機会を滞在中に持ち、オリエンテーションタスクや交流授業を通して日本人学生と交流したり協働したりする機会を設け続けていること [7]-[8]、又、国際科学オリンピック挑戦 [9] や国際インターンシップや学会発表 [10]、国際共同教育の実践 [11]、技術者総合キャリア教育の実践 [12]、工学実験用複合教材の開発 [13]、専門分野での国際交流・共同研究 [14]-[15] など色々な形で進んでいる。

弓削商船高等専門学校においては、平成 22 年 3 月、タイ王国ナコンパノム大学 (Nakhon Phanom University)、平成 26 年 9 月、モンゴル科学技術大学・動力工学校 (School of Power Engineering, Mongolian University of Science and Technology)、平成 27 年 8 月、モンゴル科学技術大学・交通機械工学校 (School of Mechanical Engineering and Transportation, Mongolian University of Science and Technology) と国際交流協定を締結した。本協定では、両校の教員・研究者および職員の相互交流訪問、学生の相互交流派遣・受け入れ、共同研究と共同開発の推進などについて交流を促進することを目的としている。

今まで、国際交流を通してプロジェクトで得た成果を国際会議 [16]、高専教育論文 [4] や弓削商船高等専門学校の紀要 [17] に報告している。

共同研究プロジェクトには、希望者から成績が 2.3 以上の学生を選び参加させている。本専門技術教育を受けた学生の人数や実施した年度を表 1 と表 2 に示す。

表 1 教員・学生の派遣情報

年	学生数	教員数	訪問先教育機関
2012	7	3	ナコンパノム大学
2014	8	3	ナコンパノム大学
2015	8	2	モンゴル科学技術大学
2016	3	1	モンゴル科学技術大学
2016	4	1	ナコンパノム大学
2017	5	1	モンゴル科学技術大学

表 2 教員・学生の受入れ情報

年	学生数	教員数	受入元教育機関
2011	2	2	ナコンパノム大学
2012	4	1	ナコンパノム大学
2014	4	1	ナコンパノム大学
2015	5	2	モンゴル科学技術大学
2016	4	2	モンゴル科学技術大学

一回の国際交流を通す共同研究プロジェクトでは、授業および理論に約 32 時間、専門技術に約 48 時間、合計約 80 時間を使用し、インターンシップを実施している。

共同研究プロジェクトに参加する学生により良い専門教育を提供するために、2015 年に本校を短期留学で訪問したモンゴル科学技術大学の学生らと本校の学生らに対して初めて、共同研究プロジェクトプログラム内で、小プロジェクトを設置する試みを行った。この小プロジェクトとは、一般的な技術教育に留まり、一般的なテーマについて参加学生全員が 1 つのテーマで共同研究を行うのではなく、学生の各々の専門分野に準じて小プロジェクトを立ち上げ、それぞれの学生が異文化の中でより深い次元で共同研究が出来るようにしたものである。この小プロジェクトに対しては授業および理論に約 8 時間、専門技術に約 16 時間、合計約 24 時間を利用して実施するように定めた。本小プロジェクトについては、行われた専門教育が非常に良かった、効果的だったのと評価を参加した短期留学生、引率教員や MUST 動力工学校長や MUST 交通機械工学校長らから得た。共同研究プロジェクトの中に小プロジェクトを設置するのは、学生らに専門教育を提供するのに適した方法だと判断されたので 2016 年に本校を訪問したモンゴル科学技術大学の学生の共同研究プロジェクトの中に小プロジェクトを再度設置し、実施した。

本校の学生が MUST を訪問した際の本校学生の学習成果・研究結果については [17] に記載してある。本稿では、今日までに取り組んで来た共同研究プロジェクトを通して行った専門教育について報告する。

2. 目的

本校学生そして本校を訪問した学生に専門技術を体験できる機会を与え、学生が実物を活用して理論の適用について学ぶ事ができる専門教育を行う。具体的には：学生の派遣あるいは、受入れ前に小プロジェクト

の計画を立て準備する。学生は様々な分野を専門に持つ学生が参加しているため、出来る限り同じ分野で研究を行っている研究室に配属する。学生の専門・希望を参考にして指導教員がテーマを決める。そのテーマで実際に実験を行い、ものづくりの体験する。その準備として、まず理論を学びその後、設計について、専門の教育する必要がある。そのためテーマを明らかにし、どのような実験を行うか、あるいはものづくりに当たって設計して行くかを考え、必要な部品などを揃える。これらの準備が終わった時点で小プロジェクトを実施することが可能になる。

この「小プロジェクト」を通して学生が自分の手で実験やものづくりを行うことが出来る専門知識を習得することを目的とする。本稿では2016年11月、モンゴル科学技術大学から短期留学で本校を訪問した短期留学生に小プロジェクトを通して実施した専門教育について報告する。

3. 専門教育の内容

3.1 温度によるモータ制御を行う装置の作製

大学3年生の一人の短期留学生は「温度によりモータ制御を行う装置」の製作をテーマとして共同研究を実施した。装置は、温度センサ、測距センサ、DCモータ（ファン付）、モータドライバ、マイコンから構成されている。マイコンは、Arduino UNOを使用する。モータは温度が高いとき、速く回るように制御する。また、測距センサにより、人を検知する。そして、人が装置に近い場合、モータが回るようになっている。

本装置は、2つのセンサによりモータを制御するため、やや複雑である。そこで、3つの部位に分け、以下の順番により大澤 茂治先生の指導のもと、製作させた。

- ① Arduinoの勉強
- ② 温度計の製作
- ③ 測距センサによる距離計測
- ④ モータドライバを用いたDCモータの制御
- ⑤ 本装置の製作

まず、留学生のArduinoによるプログラミングを習得のために、LEDを点灯、点滅させる装置を製作させた。次に上記②、③にて、温度センサと測距センサから送られてくる信号を、変換式を使い、温度や距離に変換する機構を作成してもらった。そして、モータドライバを用い、モータの速度やON/OFF、回転方向を変えることを体験してもらった。最後に、製作した3つの部位を合わせ、温度によりモータ制御を行う装置を製作した。装置の製作に要した時間は、2日間で約8時間であった。留学生は8時間と言う短時間で装置の原理の理解・デザイン・作製・試運転まで完了させた事に

対して密度の濃い学習ができた満足していた。図1にその装置を示す。

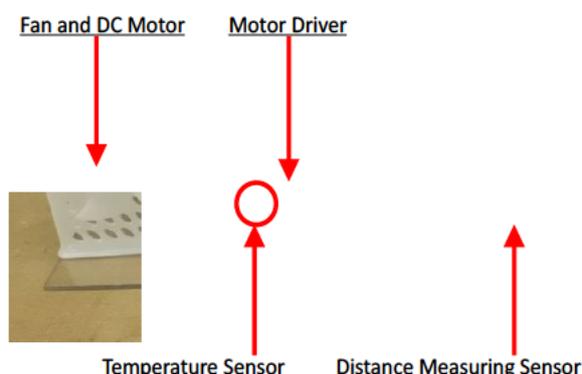


図1 温度によりモータ制御を行う装置

3.2 校章づくりを通した種々の加工技術の会得

大学3年生のもう一人の短期留学生は様々な加工方法を知ること、経験することを主目的として、「モンゴル科学技術大学の校章づくり」を実施した。

まず、留学生に校章のイメージ図をスケッチしてもらい、次に、素材と加工方法を福田 英次先生の指導のもと、弓削商船の教員および技術職員と協議した。その結果、レーザー加工機、NCフライス盤、放電加工機、3Dプリンタおよびサンドブラストを使用して作製することになった。留学生がスケッチしたイメージ図を図2に示す。

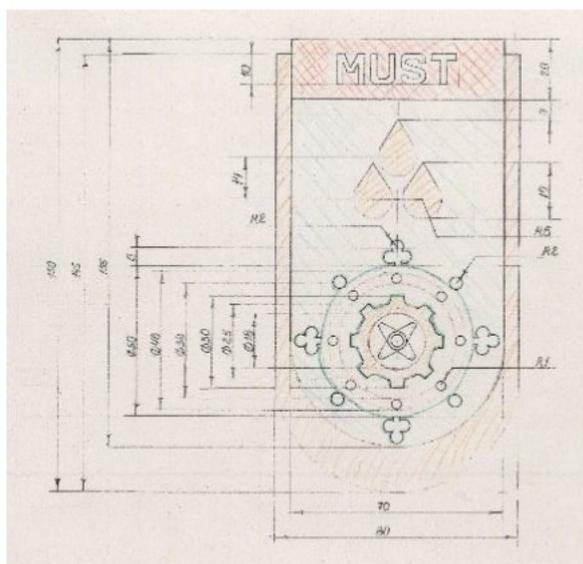


図2 校章のイメージ図

以下の順番により校章を製作した。

- ① CADの復習
- ② レーザー加工機の勉強

- ③ NCフライス盤の復習
- ④ 電加工機の復習
- ⑤ 3Dプリンタの勉強
- ⑥ サンドブラストの勉強

作製した校章を図3に示す。8時間と言う短期間の実習であったが、種々の加工方法を会得する良い学習機会だと話していた。

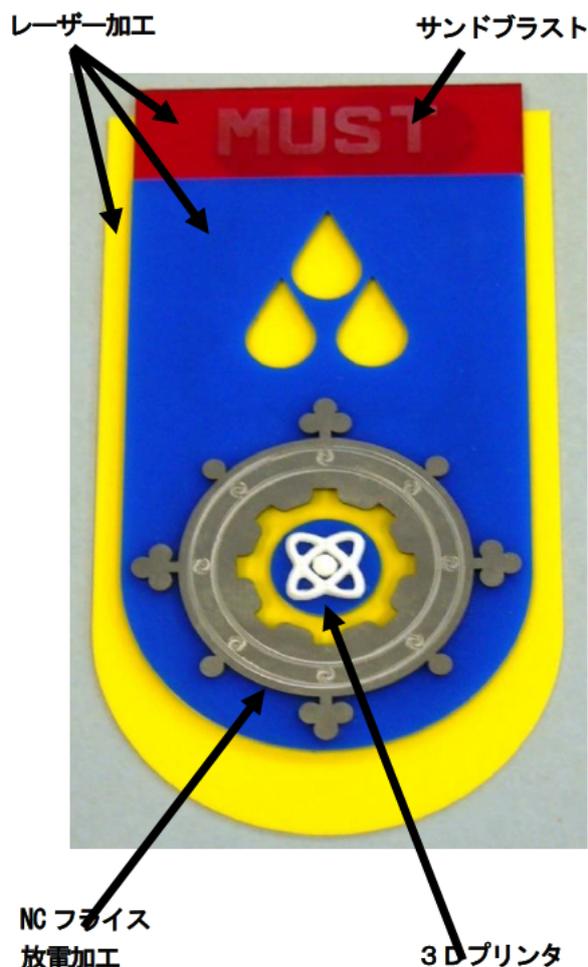


図3 完成したモンゴル科学技術大学の章

3.3 冷却システムの効率化による内燃機関の機能向上

4年生の短期留学生はエンジン機構を専門としており、専門知識を高める目的で、エンジンの冷却システム、特に自動車エンジンの効率をあげる方法について筒井 壽博先生の指導のもと、冷却システムの試作・実験を行った。

- ① 自動車エンジンに関する知識の確認
- ② カルノーサイクル、オットーサイクルに関する復習および勉強
- ③ エンジンの冷却システムについて授業・勉強
- ④ 実験用のエンジンを見てもらって研究の概要を

知らせる

- ⑤ 第一段階として1次元モデルを作っているところを説明する
- ⑥ 実験用のエンジンで実際に実験を行う

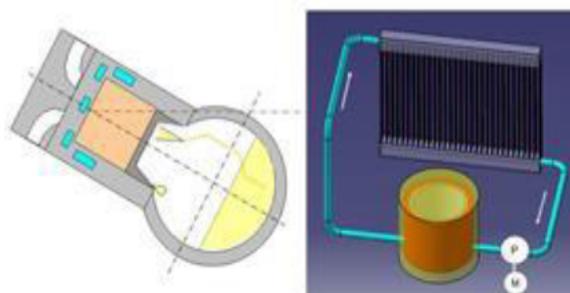


図4 エンジンの冷却システムのイメージ図



図5 実験用自動車エンジン

ガソリンの蒸発特性、供給燃料圧力の関係から、インジェクタの計量精度は大きな影響を受けることを説明した。インジェクタの計量精度の向上のための基礎研究段階のトピックスを披露したところ、①②③の事前学習の成果があったため、理解し、研究の達成したいターゲット・研究におけるバリアについて議論が出来るまでに内容の理解が進んだ。

3.4 プール沸騰からの冷凍サイクルの理解

4年生の短期留学生に専門知識を高める目的として、冷凍サイクル、特にプール沸騰から冷凍が出来る技術について、筒井 壽博先生の指導のもと、インターンシップを行った。

- ① 熱力学、熱機関のモデル化に関する知識を確認
- ② 冷凍サイクルについて授業および実習
- ③ 冷凍庫の運転状態を見てもらい、膨張弁の役割を覚えてもらった。

- ④ 減圧状態でプール沸騰を観察する実験を行った。実験に用途機械として冷凍庫を使った。作動媒体は R134a, 低温源は -10°C である。
- ⑤ 汎用エンジンのキャブレターを組替え, 作業を体験させた。
- ⑥ エンジンを実際に回して, 冷却フィンの温度上昇を測定した。
- ⑦ フィンの根本が 95°C , 先端が 91°C 程度になっていることを確認した。



図6 減圧状態でプール沸騰を観察する実験

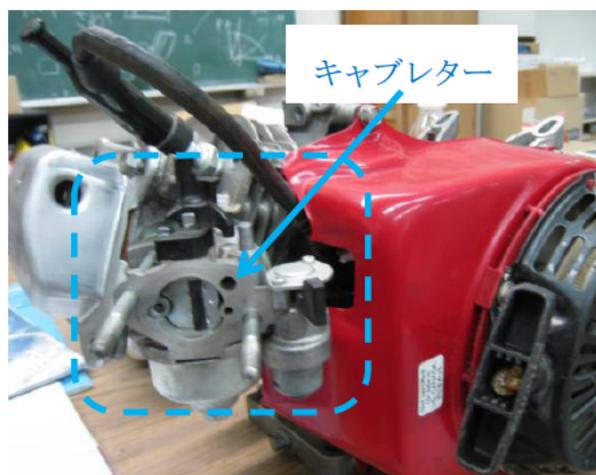


図7 汎用エンジンのキャブレター

指導教員が Honda R&D センターにて行ってきた汎用エンジンの FI 化の開発事例を話題に検討を行った。また, 本研究成果は Honda から特許として登録されていることを説明した。

4. 結果

国際交流活動における共同研究の中で小プログラムを通して本校を訪問する短期留学生あるいは本校学生

が専門技術を学び, 体験する事ができた。具体的な学習項目を挙げると, モータ制御, 自動車エンジンの仕組み, 部品それぞれの役割, 化学エネルギーから熱エネルギーになるまでのエネルギー変換, エンジン冷却システムの原理, 冷却システム理論, 計算方法, それらの解析, プログラミングや CAD の演習などとなる。

本プログラム実施により以下の教育効果が見られた。実物を多く使う事で分かりやすい授業やインターンシップになり, 現場に近い環境で専門技術教育を提供することができた。この実践型専門技術教育は学生の希望者が多かったことから, 学生は実践的に専門教育を受けてノウハウを習得してから就職したい気持ちが非常に強いことが分かった。

5. 謝辞

MUST との国際交流の実施に伴う経費は, 独立行政法人日本学生支援機構の「平成 27 年度, 平成 28 年度留学生交流支援制度」, 弓削商船高等専門学校技術振興会「しまなみテクノパートナーズ」の国際交流の支援, MUST・動力工学校と MUST・交通機械工学校の国際交流の支援によるものである。

国際交流活動における共同研究の中で小プログラムの指導において指導にあたって下さった, 大澤 茂治先生, 福田 英次先生, 筒井 壽博先生にこの場を借りて厚くお礼を申し上げます。

参考文献

- [1] 学校教育法, 第 10 章, 高等専門学校 (第 115 条 1 項)
- [2] 高等専門学校, 概要
<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E9%AB%98%E7%AD%89%E5%B0%82%E9%96%80%E5%AD%A6%E6%A0%A1> (2015.6.1)
- [3] 舘野 安夫: 高専教育における「学科横断的教育」の必要性, 八戸工業高等専門学校紀要, 第 44 号, pp.67-71 (2009)
- [4] 田房友典, 向井利夫, 葛目幸一, スパチャイ・ブライネット, ダオサクン・コンヨン: メコン川における水深三次元地形自動計測艇の共同開発—国際交流協定による文化交流・共同研究の実践—, 論文集「高専教育」第 37 号, pp.647-652 (2014)
- [5] 青柳成俊, 土田泰子, 衛藤優彦, 山崎誠, 涌田和芳: 学生の海外研修と国際交流の推進, 論文集「高専教育」第 33 号, pp.631-635 (2010)
- [6] 久保田佳克, 矢澤睦, 小松京嗣, 千葉慎二, 海野啓明, 高橋薫: 国際交流を中心とした海外研修旅

- [7] 行が学生にもたらす効果, 論文集「高専教育」第35号, pp.389-394 (2012)
- [8] 矢澤睦, 伊勢英明, 久保田佳克: タイ研修生受け入れ事業における日本語・日本文化ワークショップへの取り組み, 論文集「高専教育」第32号, pp.927-932 (2009)
- [9] 矢澤睦, 久保田佳克, 伊勢英明: タイ研修生受け入れ事業における日本語・日本文化ワークショップへの取り組みII, 論文集「高専教育」第35号, pp.695-700 (2012)
- [10] 三木功次郎, 直江一光, 北村誠, 岡田佳栄, 宇田亮子, 名倉誠, 長瀬潤, 榊原和彦, 新野康彦, 山口賢一, 松尾賢一: 国際科学オリンピック挑戦へのサポートとその教育的効果, 論文集「高専教育」第33号, pp.667-672 (2010)
- [11] 久保川晴美, 藪木場, 杉山明, 曾利仁: 津山高専一大連東軟息学院交流活動における研究発表の学生への効果, 論文集「高専教育」第36号, pp.679-684 (2013)
- [12] 松田奏保, 石川希美: 学術交流協定校との国際共同教育の実践, 論文集「高専教育」第33号, pp.733-738 (2010)
- [13] 青木明子, 福永圭悟, 田中孝典, 本田久平, 岩本光弘, 中道つかさ: 異文化体験を通じた国際技術者総合キャリア教育—東南アジアからの卒業留学生を核とした実践的総合キャリア教育, 論文集「高専教育」第33号, pp.905-910 (2010)
- [14] 大庭勝久, 長谷川輔: 国際技術協力を通じた工学実験用複合教材の開発, 論文集「高専教育」第35号, pp.395-400 (2012)
- [15] 田中孝典, 亀野辰三, 高見徹, 東野誠: シンガポール・ポリテクニク校との専門学科間相互交流の取組について, 論文集「高専教育」第35号, pp.691-694 (2012)
- [16] 亀野辰三, 田中孝典, 東野誠: グローバル人材育成のための専門学科間国際交流の試み, 論文集「高専教育」第34号, pp.871-875 (2011)
- [17] Supachai Prainetr, Daosakul Konyoung, Tomonori Tabusa, Toshio Mukai and Koichi Kuzume : Development of Environmental Survey Robot for the Mekong River , 4th International Conference on Informatics, Environment, Energy and Applications, pp. 63-67, Volume 82 of IPCBEE, (2015)
- [18] Ganbat Davaa, 葛目幸一, 藤本隆士, Sarangerel Khayankhyarvaa, Boldbaatar Dalai and Odonkhishig Burenjargal : ウランバートル市の大気汚染物質の測定 (—国際交流協定による文化交流・共同研究の実践—), 弓削商船高等専門学校紀要, 第39号, pp.63-69 (2017)

弓削島の大気汚染物質の測定

—国際交流協定による文化交流・共同研究の実践—

ダワァ ガンバット*¹, 葛目 幸一*², 高木 洋*², ジャンバル オダゲレル*³,
若松 純子*³, ハヤンヒリワー サランゲレル**¹, ダライ ボルドバートル**²,
アムガランバートル バットエレデネ**¹, バダラチ バヤルスレン**²

Measurement of the Air Pollutants in Yuge Village

—International Exchange Program Between National Institute of Technology, Yuge College and Mongolian University of Science and Technology—

Ganbat Davaa*¹, Koichi Kuzume*², Hiroshi Takagi*², Odgerel Jambal*³
Junko Wakamatsu*³, Sarangerel Khayankhyarvaa**¹, Boldbaatar
Dalai**², Bat-Erdene Amgalanbaatar**¹, Bayarsuren Badarch**²

Abstract

An International Exchange Agreement between the National Institute of Technology, Yuge College (NITYC) and the Mongolian University of Science and Technology (MUST) had been established in September 2014. This agreement is to promote undertaking activities for the educational exchange and cooperation in research and other related fields between the two institutions. Based on the agreement, we planned to execute a co-project, "Measurement of the air-pollution substances on Yuge island". The purpose of this project was to utilize the brief visits of international students as an opportunity to motivate them to become more aware of environmental problems faced at diverse locations around the world. In this paper we report an international education program held for cultural understanding between the students from Mongolia and Japan. We also present some of the measurement results of PM_{2.5}, PM₁₀ and OBC concentrations on Yuge island.

1. まえがき

高等教育機関では、急速に進む社会や産業界のグローバル化の中で、活躍する人材の育成が推進されている [1]。独立行政法人国立高等専門学校機構の第2期中期計画においても、第3期中期計画においても、留学生の受け入れの増強や、教員と学生の国際交流への積極的な取組みが推進されている。各高専では、グローバルに活躍する人材を育成するために、短期留学や

インターンシップおよび技術協力など海外の機関と国際交流締結などの取り組みが行われている。独立行政法人国立高等専門学校機構の報告によると、各高専が個別に海外の教育機関と締結している交流協定は、平成23年度時点で24件が新たに締結されて45校147件 [2]、平成24年度時点で19件が新たに締結され46校155件 [3]、平成25年度時点で26件が新たに締結され47校183件 [4]、平成28年度時点では合計228件 [5]まで増加しており、年間平均16~23件ずつ交流協定が

*1 弓削商船高等専門学校電子機械工学科, (Department of Electronic Mechanical Engineering, National Institute of Technology, Yuge College)

平成29年11月30日受理

*2 弓削商船高等専門学校情報工学科, (Department of Information Science and Technology, National Institute of Technology, Yuge College)

*3 弓削商船高等専門学校, (National Institute of Technology, Yuge College)

**1 モンゴル科学技術大学動力工学科, (School of Power Engineering, Mongolian University of Science and Technology)

**2 モンゴル科学技術大学交通機械工学科, (School of Mechanical Engineering and Transportation, Mongolian University of Science and Technology)

増加している。

各高专では、様々な国際交流に関する活動が行われており、それらについて報告が多くなされている。国際交流活動は、学生の語学能力や満足度が向上するように長期的に語学研修や異文化交流に取り込むこと [6]-[7]、受け入れ研修生たちの滞在中、総合学科系の教員を中心に実施する日本語・日本文化ワークショップに参加する機会を持ち、オリエンテーションタスクや交流授業を通して日本人学生と交流したり協働したりする機会を作り続けていること [8]-[9]、又は国際科学オリンピックへの挑戦や [10]、国際インターンシップや学会発表[11]、国際共同教育の実践 [12]、技術者総合キャリア教育の実践 [13]、工学実験用複合教材の開発 [14]、専門分野での国際交流・共同研究 [15]-[16] など様々な形で進んでいる。

弓削商船高等専門学校においては、平成26年9月、モンゴル科学技術大学・動力工学校 (School of Power Engineering, Mongolian University of Science and Technology)、平成27年8月、モンゴル科学技術大学・交通機械工学校 (School of Mechanical Engineering and Transportation, Mongolian University of Science and Technology) と国際交流協定を締結した。本協定では、両校の教員・研究者および職員の相互交流訪問、学生の相互交流派遣・受け入れ、共同研究と共同開発の推進などについて交流を促進することを目的としている。協定締結後、本校の教員・学生が平成27年8月、平成28年8月にモンゴル科学技術大学を訪問し、モンゴル科学技術大学の教員・学生を平成27年11月、平成28年11月に本校に受け入れて国際交流・共同研究を行った。

本稿では、国際交流協定の目的とする文化交流、国際コミュニケーション能力の育成を目的とする取り組みと、両校の学生たちで行った共同研究プロジェクトについて報告する。

2. モンゴル科学技術大学との国際交流の概要

平成26年9月17日、本校の副校長(校長代理)葛目幸一と国際交流推進室長ダワア・ガンバットが訪問し、モンゴル科学技術大学・動力工学校 (School of Power Engineering, MUST・SPE) と弓削商船高等専門学校 (NITYC) との教育・学術交流に関する国際交流協定調印式を行った [17]。

平成27年8月21日、本校の電子機械工学科長(校長代理)藤本隆士と国際交流推進室長ダワア・ガンバットが訪問し、モンゴル科学技術大学・交通機械工学校 (School of Mechanical Engineering and Transportation, MUST・SMET) と弓削商船高等専門

学校 (NITYC) との教育・学術交流に関する国際交流協定調印式を行った(図1)。国際交流協定調印式にモンゴル科学技術大学・交通機械工学校側から学校長ダンジフウ・ツロモンバートル (Tsolmonbaatar Danjkhuu)、副学校長ジャンバ・ハシバット (Khashbat Jamba) と各学科長が参加した。その後、両学校の教育・研究・国際交流について情報交換した(図2)。

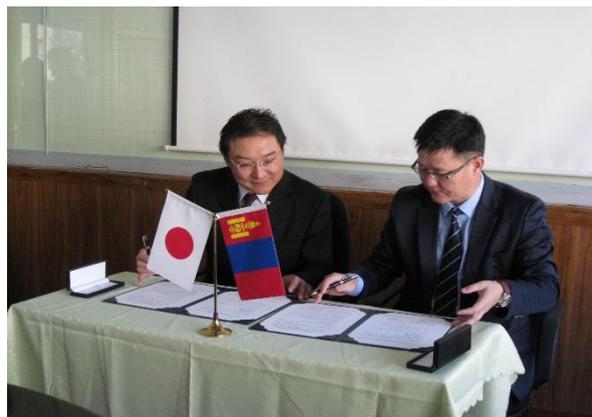


図1 国際交流協定調印式



図2 両学校の国際交流について情報交換

2.1 モンゴル科学技術大学・交通機械工学校 (MUST・SMET) について

1969年モンゴル国立大学 (National University of Mongolia) に Polytechnic が創立され、その中で機械工学部が設置された。1992年、モンゴル国立大学 Polytechnic 機械工学部を前身としたモンゴル工科大学 (Mongolian Technical University) が発足され、モンゴル国立大学から独立運営される事となった。同年に交通工学校を設置された。1994年、交通工学校から交通機械工学校 (SMET) になり、現在、学部生約2000人、大学院博士前期課程に約150人、大学院博士後期課程に約50人の学生が所属している。またおよそ100人の教職員が教育・研究活動にあたっている。

2. 2 今日までの国際交流について

国際交流事業の目的は、文化交流と共同研究プロジェクトを定期的に続けることである。本校の学生にとって日本国内では体験しえない「大草原での生活体験」を通して「モンゴルの遊牧文化」について理解し、他国での生活形態・産業状態・環境保全の取り組みの度合いを理解すること、MUSTの学生にとっては大草原では体験しえない「海原のそばでの生活体験」を通して「日本文化」の理解すること、また両校の学生にとって異文化に対する相互理解を深め、さらに各国文化の再発見をすることで、真の「国際人、地球人」となるための動機付けとすることを目指している。

今日までに、本校からMUSTへ教員・学生を2回派遣(表1)、MUSTから本校に教員・学生を2回受入れている(表2)。全ての国際交流は、本校とMUSTとの国際交流協定に基づき、学生支援機構(JASSO)の支援により実現した。

表1 教員・学生の派遣情報

年	学生数	教員数	期間
2015	8	2	8月18日～8月31日
2016	3	1	8月18日～8月31日

表2 教員・学生の受入れ情報

年	学生数	教員数	期間
2015	5	2	11月2日～11月13日
2016	4	1	11月2日～11月11日

2. 3 国際交流事業

本校の学生がMUSTを訪問した際の本校学生の学習成果・研究結果については[16]に記載してある。本稿では、MUSTからモンゴルの学生が本校を訪問した際の詳細を記載する。

MUSTからの教員と短期留学生を受入れた2016年

の国際交流活動の内容を表3に示す。11月4日には、歓迎会が実施され(図3)、互いの学校紹介(図4)や自己紹介を通じて、和やかな国際交流のひとつが持たれた。短期留学生たちは滞在中に、本校電子機械工学科、情報工学科の研究室において、共同研究プロジェクトに取り組むほか、商船祭でのお国料理紹介(図5)、日本家庭におけるホームステイ体験(図6)、書道体験(図7)、尾道、福山、広島方面への研修旅行(図8)を通じて、本校の教員、学生と交流を深めた。

本校を訪問したMUSTの教員・学生は、初めて見た広い海に感動していた。また、本校の練習船「弓削丸」に乗船体験し、「弓削丸」を見学した(図9)。初めて船

表3 国際交流実施内容

日付	実施内容
11/2(月)	広島空港着、弓削島へ移動、案内
11/3(火)	福山市、尾道市内観光
11/4(水)	弓削島の大气中の粒子状物質の濃度の測定、歓迎会
11/5(木)	弓削島の大气中の粒子状物質の濃度の測定、電子機械工学科紹介
11/6(金)	弓削島の大气中の粒子状物質の濃度の測定、情報工学科紹介
11/7(土)	商船祭、モンゴルの伝統料理を紹介、ホームステイ
11/8(日)	商船祭、モンゴルの伝統料理を紹介、ホームステイ
11/9(月)	弓削島の大气中の粒子状物質の濃度の測定、商船工学科紹介
11/10(火)	弓削島の大气中の粒子状物質の濃度の測定、書道体験
11/11(水)	帰国



図3 歓迎会における多田教務主事(左)の挨拶



図4 モンゴル科学技術大学学生による大学紹介



図5 商船祭でのモンゴルの文化・お国料理紹介



図9 本校の練習船「弓削丸」乗船体験



図6 ホームステイ体験



図7 書道体験



図8 広島平和記念資料館の前

の中を見学するのはとても面白かったと話し、興奮気味に「弓削丸」の乗組みのメンバーに沢山の質問をしていた。

3. 共同研究プロジェクト

3.1 共同研究プロジェクトの背景

近年、国境を越えた大気汚染は、地球規模の問題に発展し、環境に関する教育や研究は益々重要となっている。モンゴルの首都ウランバートルでは、冬になると石炭燃料による暖房や車の排気ガスによる大気汚染の問題が深刻化している。一方、日本においても、大気中の粒子状物質の健康への影響が懸念されている。東アジア地域で発生した大気汚染物質は、長距離輸送により日本列島に流れ込むことが報告されており[18]、越境汚染が深刻な問題となっている。また、大気汚染物質は日本国内でも工場や自動車排出ガスなどの人為発生源や、土壌・火山などの自然発生源があり、様々な粒子状物質が浮遊している。大気汚染物質の中でも粒径 $2.5\ [\mu\text{m}]$ 以下の微小粒子状物質($\text{PM}_{2.5}$)は吸入すると気道に炎症反応を生じるなど、呼吸器系に悪影響を及ぼすことが知られている[19]。このような背景のもと、本共同研究プロジェクトでは、「大気中の粒子状物質の濃度測定」を両校の教員と学生が共同で実施することにした。

3.2 大気中の粒子状物質の濃度測定結果

本共同研究プロジェクトに使用されている大気中の粒子状物質測定装置(SPM-613D, KIMOTO社製, 大阪)は本校の屋上に設置されている(図10)。図11～図13には粒子状物質測定装置を細かく示した。本装置では $\text{PM}_{2.5}$ (Particulate Matter), PM_{10} , OBC(Optical Black Carbon), O_3 , NO_2 , NO , NO_x , SO_2 , 密度をそれぞれ24時間測定することができる。単位は $\text{PM}_{2.5}$, PM_{10} とOBCは $[\mu\text{g}/\text{m}^3]$ で O_3 , NO_2 , NO , NO_x と



図10 質量濃度測定



図14 粒子状物質測定器について先生が説明した



図11 質量濃度測定器のインパクト



図15 粒子状物質測定について先生が説明した



図12 粒子状物質測定装置のシリンダー



図16 粒子状物質測定中



図13 粒子状物質測定装置のモニター



図17 粒子状物質測定が出来るようになった

SO₂は [ppb] (parts per billion), 密度は [%] である。図14～図17にはプロジェクトに参加する MUST の学生たちの測定要素を示した。

瀬戸内海のほぼ中央に位置する弓削島(本校)において、国際交流を通して2年連続(2015年と2016年)で11月3日～11月13日までの11日間、大気汚染物質濃度測定を行った。

なお、弓削島は大きな工場はなく、交通量もわずかであり、主要な大気汚染物質発生源が少ない離島である[19]。これからは、その2回の測定データや結果について語る。

2015年のプロジェクトで測定したPM_{2.5}, PM₁₀ およびOBCの推移を図18に示す。日平均値の平均±標準偏差はそれぞれ15.34±3.47 [μg/m³], 26.63±5.93 [μg/m³], 0.53±0.15 [μg/m³] であり、最大値はそれぞれ25.81 [μg/m³], 40.42 [μg/m³], 1.14 [μg/m³] であった(図18, 表4)。NO₂の日平均値の平均±標準偏差は10.58

±2.63 [ppb] であり、最大値は16.77 [ppb] であった。

PM_{2.5}については、プロジェクト中に環境基準で定められている1日平均値35 [μg/m³]を超える日がなかったがPM₁₀の場合2日あった。PM_{2.5}の時間ごと変化を図19に示す。

2016年のプロジェクトで測定したPM_{2.5}, PM₁₀ およびOBCの推移を図20に示す。日平均値の平均±標準偏差はそれぞれ19.37±4.53 [μg/m³], 32.09±6.59 [μg/m³], 0.33±0.00 [μg/m³] であり、最大値はそれぞれ32.98 [μg/m³], 54.80 [μg/m³], 0.82 [μg/m³] であった(図20, 表5)。NO₂の日平均値の平均±標準偏差は6.72±1.56 [ppb] であり、最大値は11.68 [ppb] であった。

PM_{2.5}については、プロジェクト中に環境基準で定められている1日平均値35 [μg/m³]を超える日がなかったがPM₁₀の場合1日あった。PM_{2.5}の時間ごと変化を図21に示す。

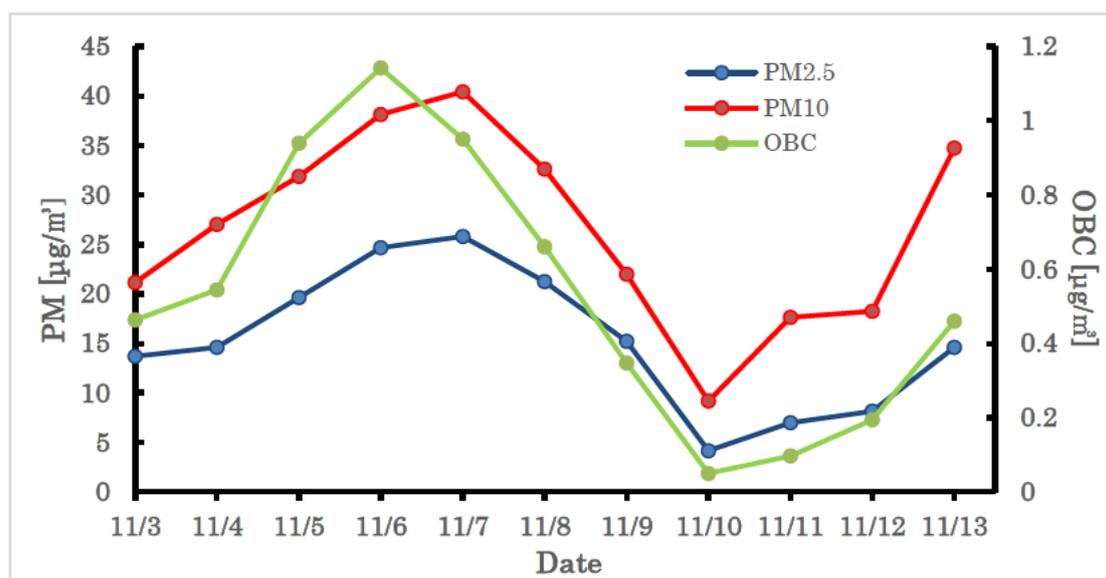


図18 プロジェクトの間のPM_{2.5}, PM₁₀ およびOBCの24時間の平均濃度(2015年)

表4 プロジェクトの間の大気汚染物質と湿度(2015年)

	Mean	SD	Minimum	Median	Maximum
PM _{2.5} [μg/m ³]	15.34	3.47	4.16	21.23	25.81
PM ₁₀ [μg/m ³]	26.63	5.93	9.17	32.59	40.42
OBC [μg/m ³]	0.53	0.15	0.05	0.66	1.41
O ₃ [ppb]	28.01	5.86	18.17	20.41	39.03
NO ₂ [ppb]	10.58	2.63	2.93	12.30	16.77
NO [ppb]	0.92	0.24	0.38	1.16	1.86
NO _x [ppb]	11.50	2.85	3.31	13.48	18.24
SO ₂ [ppb]	0.47	0.16	0.00	0.08	1.54
Humidity [%]	54.99	8.94	39.25	65.35	65.35

弓削島の大気汚染物質の測定
 ー国際交流協定による文化交流・共同研究の実践ー

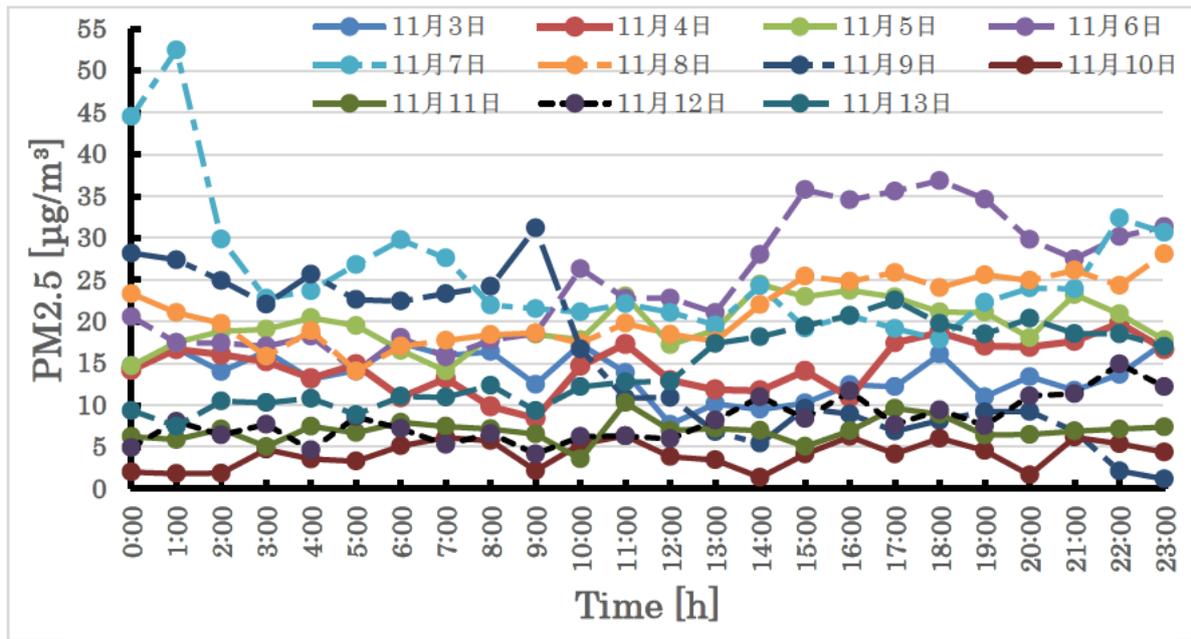


図19 プロジェクトの間のPM_{2.5}の24時間の平均濃度 (2015年)

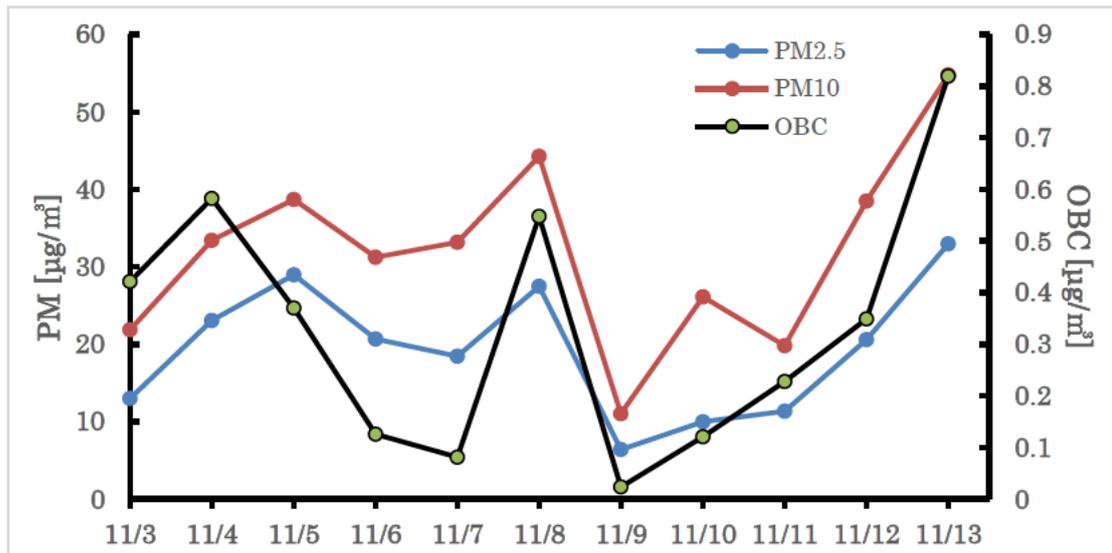


図20 プロジェクトの間のPM_{2.5}, PM₁₀ およびOBCの24時間の平均濃度 (2016)

表5 プロジェクトの間の大気汚染物質と湿度 (2016年)

	Mean	SD	Minimum	Median	Maximum
PM _{2.5} [µg/m ³]	19.37	4.53	6.40	27.50	32.98
PM ₁₀ [µg/m ³]	32.09	6.59	11.05	44.26	54.80
OBC [µg/m ³]	0.33	0.00	0.02	0.55	0.82
O ₃ [ppb]	34.63	5.26	22.38	22.38	43.60
NO ₂ [ppb]	6.72	1.56	2.13	11.68	11.69
NO [ppb]	0.57	0.17	0.17	1.27	1.27
NO _x [ppb]	7.28	1.70	2.3	12.95	12.95
SO ₂ [ppb]	1.37	0.44	0.01	1.22	3.68
Humidity [%]	54.30	6.83	43.60	50.26	63.43

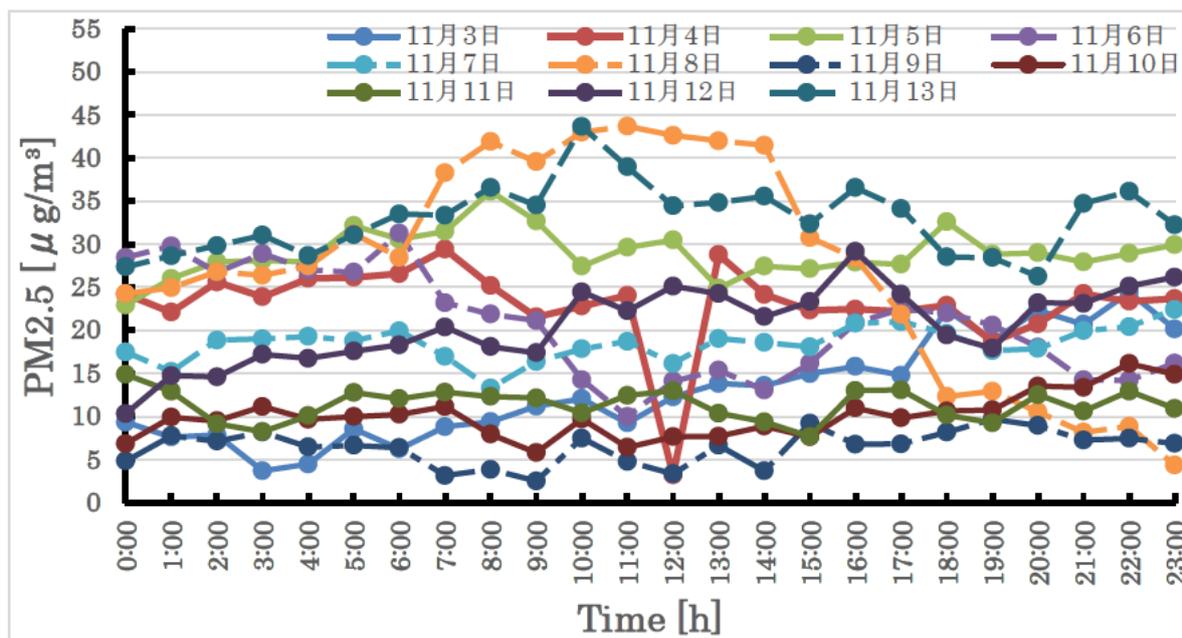


図21 プロジェクトの間のPM_{2.5}の24時間の平均濃度 (2016年)
を明らかにすることを期待している。

4. あとがき

これまでの研究で、交通量の多い道路沿道の大気汚染による一酸化窒素濃度が増加することが報告されているが交通量の少ない島、特に離島の大気汚染による報告はほとんどない。

周辺に人為的な大気汚染発生源がない地域であっても、越境大気汚染は避けることができず、その影響の有無を考慮することは重要である。しかし、大気清浄地域において大気汚染物質の呼吸器系への影響を評価した報告はこれまでにほとんどない [20]。

本プロジェクトでは、周辺に主要な大気汚染原がない離島において大気汚染物質の測定を行った。これからは大気汚染物質に関する研究をさらに続け、大気汚染物質が島の人々、特に学生達の健康にどんな影響を与えているかを検討する必要がある。

また、MUSTとの国際交流を通して両校が行っている共同研究プロジェクトは、長期において学生の語学力、研究意欲や研究の納期、コミュニケーション能力などを向上させている。実際に共同研究プロジェクトに携わった学生は、現地でMUSTとの環境、技術レベル、言語、資金の違いなど文化交流だけでは得ることができない国際的な感覚を体験することができ、指導を行った我々も学生の大きな成長を感じることができた。

将来的には、大気中の粒子状物質の濃度の継続的なデータ取得による研究成果を報告すると共に、上島町民、弓削島の人々の健康に及ぼす大気汚染物質の影響

5. 謝辞

MUSTとの国際交流の実施に伴う経費は、独立行政法人日本学生支援機構の「平成27年度、平成28年度留学生交流支援制度」、弓削商船高等専門学校技術振興会「しまなみテクノパートナーズ」の国際交流の支援、MUST・動力工学校とMUST・交通機械工学校の国際交流の支援によるものである。

参考文献

- [1] 田房友典, 向井利夫, 葛目幸一, スパチャイ・ブライネット, ダオサクン・コンヨン: メコン川における水深三次元地形自動計測艇の共同開発—国際交流協定による文化交流・共同研究の実践—, 論文集「高専教育」第37号, pp.647-652 (2014)
- [2] 独立行政法人国立高等専門学校機構: 平成23年度事業報告 (2011)
- [3] 独立行政法人国立高等専門学校機構: 平成24年度事業報告 (2012)
- [4] 独立行政法人国立高等専門学校機構: 平成25年度事業報告 (2013)
- [5] 独立行政法人国立高等専門学校機構: 平成28年度事業報告 (2016)
- [6] 青柳成俊, 土田泰子, 衛藤優彦, 山崎誠, 涌田和

- 芳：学生の海外研修と国際交流の推進，論文集「高専教育」第33号，pp.631-635 (2010)
- [7] 久保田佳克，矢澤睦，小松京嗣，千葉慎二，海野啓明，高橋薫：国際交流を中心とした海外研修旅行が学生にもたらす効果，論文集「高専教育」第35号，pp.389-394 (2012)
- [8] 矢澤睦，伊勢英明，久保田佳克：タイ研修生受け入れ事業における日本語・日本文化ワークショップへの取り組み，論文集「高専教育」第32号，pp.927-932 (2009)
- [9] 矢澤睦，久保田佳克，伊勢英明：タイ研修生受け入れ事業における日本語・日本文化ワークショップへの取り組みII，論文集「高専教育」第35号，pp.695-700 (2012)
- [10] 三木功次郎，直江一光，北村誠，岡田佳栄，宇田亮子，名倉誠，長瀬潤，榊原和彦，新野康彦，山口賢一，松尾賢一：国際科学オリンピック挑戦へのサポートとその教育的効果，論文集「高専教育」第33号，pp.667-672 (2010)
- [11] 久保川晴美，藪木場，杉山明，曾利仁：津山高専一大連東軟息学院交流活動における研究発表の学生への効果，論文集「高専教育」第36号，pp.679-684 (2013)
- [12] 松田奏保，石川希美：学術交流協定校との国際共同教育の実践，論文集「高専教育」第33号，pp.733-738 (2010)
- [13] 青木明子，福永圭悟，田中孝典，本田久平，岩本光弘，中道つかさ：異文化体験を通じた国際技術者総合キャリア教育—東南アジアからの卒業留学生を核とした実践的総合キャリア教育，論文集「高専教育」第33号，pp.905-910 (2010)
- [14] 大庭勝久，長谷川輔：国際技術協力を通じた工学実験用複合教材の開発，論文集「高専教育」第35号，pp.395-400 (2012)
- [15] 田中孝典，亀野辰三，高見徹，東野誠：シンガポール・ポリテクニク校との専門学科間相互交流の取組について，論文集「高専教育」第35号，pp.691-694 (2012)
- [16] 亀野辰三，田中孝典，東野誠：グローバル人材育成のための専門学科間国際交流の試み，論文集「高専教育」第34号，pp.871-875 (2011)
- [17] Ganbat Davaa, 葛目幸一, 藤本隆士, Sarangerel Khayankhyarvaa, Boldbaatar Dalai and Odonkhishig Burenjargal : ウランバートル市の大气汚染物質の測定 (ー国際交流協定による文化交流・共同研究の実践ー), 弓削商船高等専門学校紀要, 第39号, pp.63-69 (2017)
- [18] 茶谷聡, 森川多津子, 中塚誠次, 松永壮 : 3次元大気シミュレーションによる2005年度日本三大都市圏PM_{2.5}濃度に対する国内発生源・越境輸送の感度解析, 大気環境学会誌, 第46号, pp.101-110 (2011)
- [19] 島正芝 : 呼吸器系に対する微小粒子状物質(PM_{2.5})の影響, 医学のあゆみ, 第247号, pp.667-672 (2013)
- [20] 余田佳子, 高木洋, 若松純子, 大谷成人, 島正芝 : 大気汚染物質が喘息およびアレルギー症状を有する者の肺機能に与える急性影響, アレルギー, 64 (2), pp.128-135 (2015)

材料押出法で作製した ポリエーテルエーテルケトン造形体の機械的性質

福田 英次*

Mechanical Property of Polyether ether ketone Products Fabricated by Material Extrusion

Hidetsugu Fukuda*

Abstract

The Polyether ether ketone (PEEK) is a kind of super engineering plastics, and has good mechanical properties and high heat resistance. In this study, the mechanical properties of PEEK products fabricated by material extrusion were examined. Tensile tests were carried out by the mechanical testing machine. Tensile strength of PEEK products fabricated by material extrusion process was about 72 MPa, less than the typical value of molded PEEK.

1. 緒言

付加製造 (Additive manufacturing) は、3次元モデルデータを2次元のスライスデータに変換して、そのデータに基づいて断面形状を作製し、それを積み重ねていくことで3次元構造物を作製する技術である。付加製造は、従来の加工方法では困難であった複雑な3次元構造体や多孔質体、傾斜構造体を3次元モデルデータから直接作製できることから次世代の製造技術として自動車分野、航空宇宙分野、医療分野などで期待されている^{[1]-[5]}。

現在、ASTM (American Society for Testing and Materials) International では、付加製造の方法を、1) 材料押出法、2) 液槽光重合法、3) 材料噴射法、4) 結合剤噴射法、5) 粉末床熔融結合法、6) シート積層法、7) 指向性エネルギー堆積法の7つに分類している^[6]。その1つである材料押出法は、フィラメント状の熱可塑性樹脂を高温に熱したノズルに通して熔融し、ノズルあるいは造形テーブルを制御しながら、造形テーブルの上に積層造形することで3次元構造物を作製する (図1)^[7]。材料押出法の基本特許が2009年に切れたこともあり、低価格化が進み、広く普及した。材料押出法では、アクリロニトリル・ブタジエン・スチレン (ABS: Acrylonitrile butadiene styrene) やポリ乳酸 (PLA: Polylactic Acid) が主流であるが、近年、ゴム

のように柔らかい樹脂や透明性の高い樹脂、金属粉末や炭素繊維を混ぜた樹脂などその種類は年々増加している。

熱可塑性樹脂の1つにポリエーテルエーテルケトン (Polyether ether ketone) (以降、PEEKと記述する) がある。PEEKは、スーパーエンジニアリングプラスチックの1つで、フェニルケトンとフェニルエーテルの組み合わせた構造からなる結晶性高分子で、耐熱性、機械的性質、耐摩耗性、耐疲労特性に優れており、金属材料と比較して軽量であることから、自動車分野、航空宇宙分野、医療用分野において金属代替材料として有望視されている^{[8]-[12]}。したがって、材料押出法で、一般的な成形方法で作製されるPEEK成形体と同等以上の特性をもつPEEK造形体を作製することができれば自動車分野、航空宇宙分野、医療用分野において、これまでの加工方法では作製困難であった形状の実用製品が作製可能となる。しかし、PEEKの融点^[13]が、材料押出法で使用される主流の樹脂のそれと比較して高いことなどの理由から、材料押出法で作製したPEEK造形体に関する研究報告は極めて少ない^[13]。

そこで、本研究では、材料押出法でPEEK造形体の作製を試みるとともにその機械的性質を引張強度試験にて評価した。

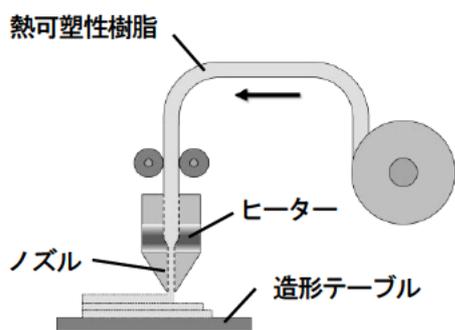


図1 材料押出法の原理

2. 実験方法

出発材料には、直径 1.75 mm のフィラメント状の PEEK を使用した。付加製造装置には、材料押出法の NF-700D (ニッポー株式会社) を使用した。作製する造形体は、JIS K 7139 「プラスチック 試験片」に従って、図2に示すようなダンベル型の引張試験片とした。引張試験片は、3次元 CAD (Fusion 360, Autodesk) で設計した。

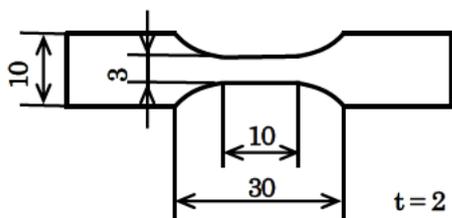


図2 引張試験片の形状

フィラメント状の PEEK をヒーターで 360 °C に熱したノズルを通して熔融させた後、直径 0.4 mm のノズルから押し出し、それを3次元モデルデータから作製した2次元の断面形状のデータを基に、断面形状の輪郭をなぞるように造形し、その後、その中を塗りつぶすように造形した。塗りつぶす方向を1層ごと交互に繰り返しながら造形した (図3)。断面形状を作製するための水平方向 (x,y 方向) の造形は、直線的な動きをするノズル (x 方向) と造形テーブル (y 方向) を制御し、造形する層を変える垂直方向 (z 方向) はノズルを直線的に制御して造形した。その他の造形条件は、

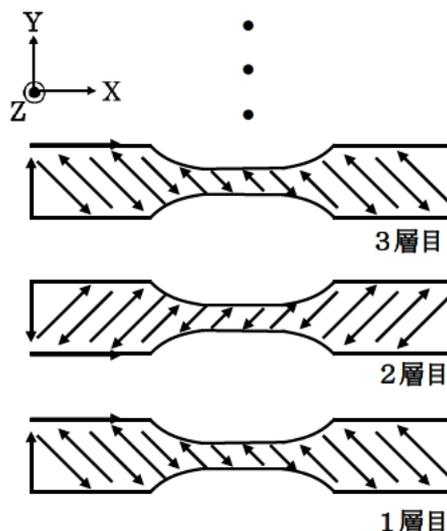


図3 水平方向の造形パターン

積層ピッチ: 0.2 mm, 送り速度: 5 mm/s とした。

引張試験は、容量 50 kN の万能材料試験機 (Model-3369, INSTRON) を用いて、室温大気中で、クロスヘッド速度 1.67×10^{-5} m/s にて行った。試験機のロードセルから最大荷重を測定して最大引張強さを求めた。

3. 実験結果

図4に、材料押出法で作製した PEEK 造形体の外観写真を示す。3次元モデルに近い形状の造形体を作製することに成功した。得られた PEEK 造形体の最上面には、図3に示したような水平方向の造形パターンがみられた。PEEK 造形体の表面の色は、出発材料であるフィラメント状の PEEK のそれとは異なり、不均一で、部分的に透明であった。

材料押出法で作製した
ポリアーテルエーテルケトン造形体の機械的性質

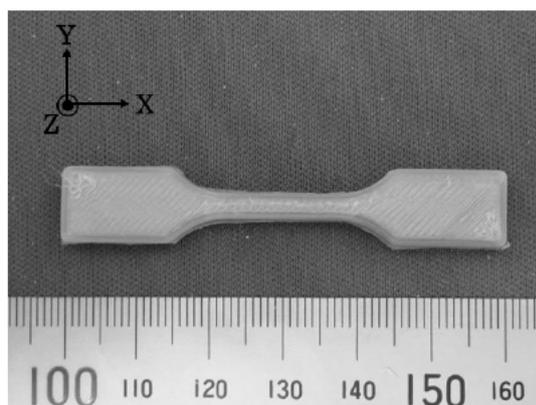


図4 PEEK造形体(引張試験片)

図5に、典型的な公称応力-公称ひずみ曲線図を示す。低ひずみ領域において弾性変形により直線的に応力が上昇した後、変形にともない応力は緩やかに上昇し、最大応力に到達後は、緩やかに応力が減少し破壊したことを示している。引張試験によって得られたPEEK造形体の最大引張強さは 72 ± 2 MPa であった。

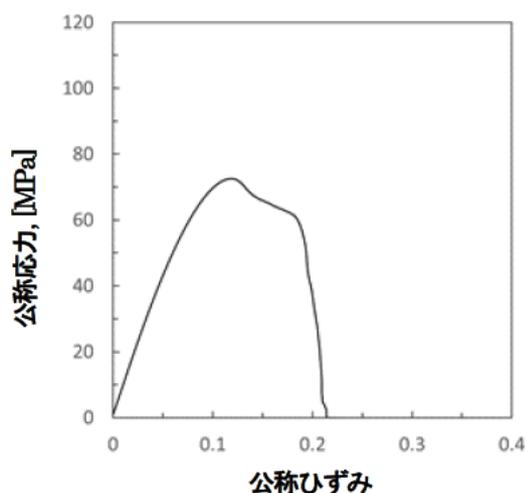


図5 PEEK造形体の応力-ひずみ曲線

4. 考察

材料押出法で作製したPEEK造形体の引張強さ (72 ± 2 MPa) は、一般的な成形方法で作製されたPEEK成形体のそれ (100 MPa) ^[4]と比較して30%程度低い値であった。また、材料押出法で作製したPEEK造形体の色は均一ではなく、部分的に透明の部分が見られ

た。一般的にPEEKの成形加工では、金型の温度が低い場合、成形品表面層が急冷されるために結晶化度が低くなり、透明となる現象が見られると言われている^[4]。材料押出法は、室温環境下で造形しているため、ノズルから熔融されたPEEKは比較的急速に冷却される。したがって、材料押出法で作製したPEEK造形体の結晶化度は、一般的な成形方法で作製されたそれと比較して低いと考えられる。結晶性樹脂のもつ多様な特性は、結晶構造に大きく起因するといわれており、結晶性樹脂の結晶化度が各種性質に及ぼす影響は大きい^[4]。結晶性樹脂の結晶化度を高める方法のひとつにアニール処理がある。そこで、材料押出法で作製したPEEK造形体に対して、電気炉を用いて図6に示すような条件下でアニール処理を施した後、引張試験を行い、機械的性質を評価した。

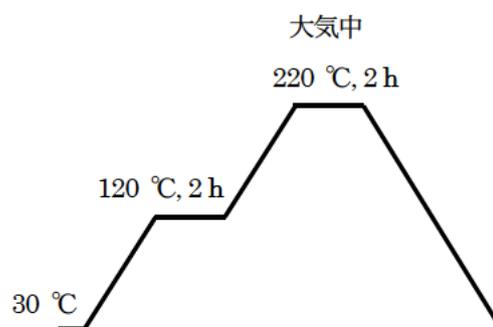


図6 アニール処理の条件

アニール処理後のPEEK造形体の色には、透明な部分は認められず、出発材料であるフィラメント状のPEEKに近い色合いであった。したがって、アニール処理による結晶化度の増加が期待できる。

図7に、材料押出法で作製したPEEK造形体、材料押出法で作製後、アニール処理を施したPEEK造形体および一般的な成形方法で作製されたPEEK成形体の最大引張強さ^[4]を示す。材料押出法で作製後、アニール処理を施したPEEK造形体の最大引張強度は 92 ± 3 MPa であった。このところより、材料押出法で作製したPEEK造形体は、その後アニール処理を施すことで、一般的な成形方法で作製したPEEK成形体の引張強さに近い値まで増加することが明らかになった。アニール処理により引張強さが増加した要因としては、アニール処理によりPEEK造形体の結晶化度が増加したためと推測される。

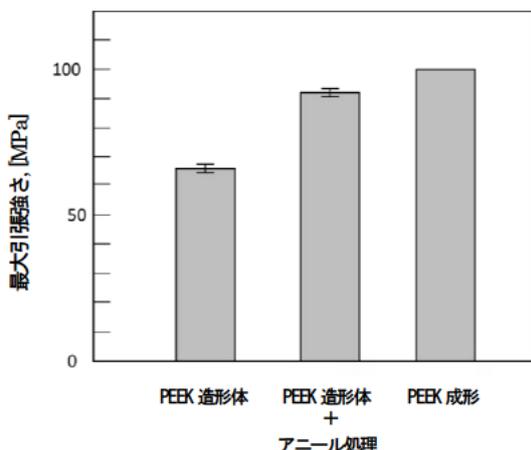


図7 最大引張強さの比較

4. 結 言

本研究では、材料押出法でのPEEK造形体の作製を試みるとともにその機械的性質について評価した。本研究で得られた知見をまとめると以下の通りである。

材料押出法にて本造形条件下で作製したPEEK造形体の引張強度は一般的な成形方法で作製されたPEEK成形体と比較して30%程度低い値であった。

材料押出法にて作製したPEEK造形体に対してアニール処理を施すことで、一般的な成形方法で作製されたPEEK成形体の引張強さに近い値まで増加することがわかった。

以上より本研究では、材料押出法で作製したPEEK造形体は、その後のアニール処理を施すことで、一般的なPEEK成形体に近い引張強さが得られることを明らかにした。このことは、材料押出法で作製したPEEK造形体を自動車分野、航空宇宙分野、医療用分野において実用製品として使用できる可能性が高いことを示唆している。

参考文献

- [1] D. Bak : Rapid prototyping or rapid production? 3D printing processes move industry towards the latter, *Assem. Autom.* 23, 340-345, (2003)
- [2] C.K. Chua, K.F. Leong, C.S. Lim, *Rapid Prototyping : Principles and Applications*, second ed., World Scientific, (2002)
- [3] J. Manyika, M. Chui, J. Bughin, R. Dobbs, P. Bisson, A. Marrs, *Disruptive Technologies : Advances That Will Transform Life, Business, and the Global Economy*, McKinsey & Co., New York, (2013)
- [4] Y. Zhai, D.A. Lados, J.L. LaGoy, *Additive manufacturing : making imagination the major limitation*, *JOM* 66, 808-816 (2014)
- [5] L.E. Murr, S.A. Quinones, S.M. Gaytan, M.I. Lopez, A. Rodela, E.Y. Martinez, D.H. Hernandez, E. Martinez, F. Medina and R.B. Wicker: *Microstructure and mechanical behavior of Ti-6Al-4V produced by rapid-layer manufacturing, for biomedical applications*. *J. Mech. Behav. Biomed. Mater.*, 2 (2009) 20-32.
- [6] ASTM International : *ASTM F2792 Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies*, (2012)
- [7] M. Too, K. Leong, C. Chua, Z. Du, S.F. Yang, C.M. Cheah, S.L. Ho : *Investigation of 3D non-random porous structures by fused deposition modelling*, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 19, 217-223, (2002)
- [8] G. Menges and T.A. Oswald : *Material Science of Polymers for Engineers*, Hanzer, 3-13, (1997)
- [9] J. Brandrup, E.H. Immergut and E.A. Grulke : *Polymer Handbook 4th Edition A* Wiley-Interscience Publication VI, 385, (1999)
- [10] D.A. Ivanov, R. Legras and A. M. J onas : *Interdependencies between the Evolution of Amorphous and Crystalline Regions during Isothermal Cold Crystallization of Poly (ether-ether-ketone)*, *Macromolecules* 32-5, 1582-1592 (1999)
- [11] J.R. Atkinson, J.N. Hay and M.J. Jenkins : *Enthalpic Relaxation in Semi-crystalline PEEK*, *Polymer*, 43 -3, 731-735, (2002)
- [12] T. Liu, Z. Mo, H. Zhang, H. Na and Z. Wu :

材料押出法で作製した
ポリエーテルエーテルケトン造形体の機械的性質

Variation of Crystallographic Parameters in PEEK with Heat Treatment Temperature, *European Polymer Journal*, 33-6, 913-918, (1997)

- [13] C. Yang, X. Tian, D. Li, Y. Gao, F. Zhao, C. Shi : Influence of thermal processing conditions in 3D printing on the crystallinity and mechanical properties of PEEK material, *Journal of Materials Processing Tech.*, 248, 1-7, (2017)
- [14] 前田 光男 : 図解プラスチック成形材料 4-5 ポリエーテルエーテルケトン, 149-152, (2011)
- [15] C.L. Wei, M. Chen, F.E. Yu : Temperature Modulated DSC and DSC Studies on the Origin of Double Melting Peaks in Poly (ether ether ketone), *Polymer* 44-26, 8185-8193 (2003)

2017年のマルク・アンボン情勢に関する覚書

河野 佳春*

Memorandum about Political Situation of Maluku in 2017

Yoshiharu Kawano *

Abstract

As of 2017 Political Situation of Maluku is relatively peaceful. But sporadically many type of incidents have happened. (1) Some Violence incident have been between neighboring villages. In most cases those incidents have happened between same religion villages. (2) Still now many people secretly have many weapons, for example guns, bombs and Sharp weapons. And perhaps it is important thing that Indonesian Army (Tentara Nasional Indonesia) has executed the project of Green and Blue Gold (Emas hijau dan Emas Biru), this is program for regional peace through agricultural and fishery development.

Pada 2017 Situasi Politik Maluku relatif damai. Tapi secara sporadis banyak tipe incidents telah terjadi. (1) Beberapa insiden kekerasan terjadi di antara desa-desa tetangga. Dalam kebanyakan kasus, insiden tersebut terjadi di antara desa agama yang sama. (2) Masih sekarang banyak orang diam-diam memiliki banyak senjata, misalnya senjata api, bom dan senjata tajam. Dan mungkin penting bahwa Tentara Nasional Indonesia telah melaksanakan proyek Green and Blue Gold (Emas Hijau dan Emas Biru), ini adalah program perdamaian regional melalui pengembangan pertanian dan perikanan.

1. はじめに

1. 1 アンボン地域

本稿が対象とするアンボン地域は、インドネシア共和国マルク州の州都アンボン市を中心とする地域で、アンボン島とルアシ諸島およびセラム島南西部（行政区分で言えばアンボン市と中マルク県）である。

当該地域はマルク諸島の中中部で、本来のスパイス生産地ではないが当初はスパイスの集散地あるいは貿易船の寄港地として、のちにはオランダの貿易独占の中核的栽培地域かつ行政中心として繁栄した。

植民地時代末期には植民地軍兵士や植民地官吏を多数供給したため、インドネシア国内で親オランダ的なキリスト教徒多数地域と誤認されている。しかし、実際にはキリスト教徒とイスラム教徒の人口比はおおよそ6：4で両者の勢力は拮抗している。

独立前後に元植民地軍兵士を中心にインドネシア共和国からの分離をもとめる南マルク共和国運動が起こり、いまだに分離主義が根強いとも誤解されているが、実際にはイスラム教徒はもちろんキリスト教徒におきても、親オランダ意識や分離主義は支配的ではない。

1999年以来多大の犠牲を出し、周辺地域からの義勇兵が殺到した地域紛争に、上述のような誤解が大きく影響した。

1. 2 2017年11月の現況

本稿執筆中の2017年11月現在、地域政治・治安情勢は安定している。2011年9月11日暴動以降は大規模な事件も発生していない。

しかし、紛争が完全に過去の出来事になったかというところも言えない。2002年のマリノII合意以降アンボン地域紛争はおおむね終息にむかったが、爆弾事件や大規模暴動が散発的間歇的に発生し、宗教対立

を扇動する例も継続的に散見する。

地域紛争との継続性はあいまいだが、主としてキリスト教徒同士、イスラム教徒同士による村落紛争は2002年以降絶え間なく続いており、地域内のどこかではその種の紛争が発生している。

おそらくそのような情勢ゆえに、地域住民の多くは現在まで銃・刀剣・爆弾など武器を隠し持っており、しばしば当局が押収したり、当局に自発的に提出されたりしている。

このような地域情勢を受けて、行政当局や軍・警察、宗教指導者、地域指導層が紛争防止、和解・融和促進の試みを、現在も続けている。なかでも特筆すべきなのは、「緑の黄金・青の黄金」計画である。

同計画は軍が主導する村落紛争和解計画で、農業漁業の開発をすすめることで、地域経済を豊かにして紛争の再発を防ぎ、和解融和をすすめようとするものである。軍が主体であることと、開発による紛争抑止計画である点で、従来の和解融和の試みと大きく異なっている。

1. 3 本稿の目的

本稿はこのような地域の現状を、最近約1年間の出来事を時系列にしたがって詳述し、現状の問題点を指摘しようとするものである。

2. 最近1年の出来事

2. 1 2016年12月

(1) 19日朝、アンボン市内マルディカの銀行前で偽爆弾。中に「最初の脅し(警告?)」の紙片あり。[1]

(2) 25日アンボン市バグアラ郡ナニア地区で、銀行爆破脅迫容疑者を逮捕。容疑者はウィラスマン・ルクア(別名シャラフディン・アリンドウニシ)31歳、中マルク県土地課職員。ISISを自称し複数の銀行に脅迫状。逮捕時に(偽?)爆弾材料や脅迫状押収。[2]

(3) 27日マルク州アンボン市のマルク・シティ・モールで爆弾らしき不審物発見。当局爆弾処理班が処理分析中。[3]

2. 2 2017年1月

(1) 13日アンボン市内バトゥ・メラ、ゲドゥン・プティで銃撃、一人が死亡一人が太ももに銃創。

きっかけは若者の強盗暴行被害で、バトゥ・メラの二人の住民銃撃から、3時ごろバトゥ・メラに群衆、警察の威嚇発砲の流れ弾で住民二人負傷。GMBI事務所焼き討ち20人逮捕。

背景については、バトゥ・メラの若者とアンボン市内在住のカイロロ村若者の抗争説あり、カイロロの若者らの携帯電話強盗団が背景か?

14日警察はマルディカ市場ゲドゥン・プティを捜索、カイロロ住民の店舗・倉庫複数を開鎖。武器なども押収。今後ゲドゥン・プティに10名ほどの警察官・兵士常駐。[4]

(2) 11日コンパス報道、マルク州ブル県ボタッ金山で再び違法採掘。すでに2千人以上。軍撤退後すぐに再開。深刻な環境被害懸念、軍再駐留が必要。[5]

(3) 15日午後10時マルク州アンボン市バトゥ・メラ住民らが北東から市内中心に向かう幹線道路を封鎖。地域の高校生一人が死亡した13日住民衝突についての早急な捜査求めて。封鎖は地域有力者の説得で朝には解除。[6]

(4) 27日早朝マルク州アンボン市ヌサニウエ郡クダマティ地区カヤドゥ博士通りの小学校校庭旗竿に、RMS(南マルク共和国)旗掲揚。類似事件は前にもあり、住民は警備員が必要と語る。[7]

2. 3 2017年2月

24日マルク州サイド・アッサガティ知事が中央政府警察長官に、ブル島ボタッ金山閉鎖を要求。[8]

2. 4 2017年3月

(1) 中マルク県レイ・ヒトゥ郡テラガ・コドック村住民が、銃など武器を軍に提出。[9]

(2) 東南スラウェシ州で、マルク紛争難民数百人が断食月前の援助金支給要求。現在同州には約53,839世帯の難民。[10]

(3) 17日マルク州アッサガフ知事はブル県ボタッ金山の閉鎖：採掘施設採掘者排除を決定。同地では過去20回以上排除が繰り返されている。[11]

(4) 28日マルク州アンボン市下シリマウ郡バトゥ・メラ村クブン・チェンケの鶏小屋で鉄パイプ爆弾17本発見、警察が処理。隣保組長によると、小屋の持ち主の建設作業員は2015年以前から不在。土地は共有地。[12]

2.5 2017年4月

(1) 元ジェマ・イスラミヤの国際紛争犯アリ・ファウジの平和貢献。東ジャワに元テロ犯罪者とその子供のための教育・再教育施設設立。[13]

(2) 5日アンボン市バトゥ・メラ村でのプサントレン設立に際し、グス・ショラ(KH Sholahudin Wahid)は、2017年選挙に向けて宗教的融和の維持を希望。イスラム寄宿塾はテロリズムを推進するのではなくテロリズムを如何にいけないかを教える。[14]

(3) 11日マルク州アンボン市テルック・アンボン郡バトゥコネン地区の土地争いで一人死亡3人負傷。中マルク県レイ・ヒトゥ郡ヒトゥ村の青年グループが、係争地での建設禁止の幟を持って来訪、対立相手がこれを遮り、激しい口論から暴力沙汰に発展。現在軍警察多数が現地をコントロール。[15]

(4) 17日中マルク県サパルア郡ポルトーハリア村境で1件、18日西セラム県西セラム郡ワエサム村で二件の爆発。住民は一時道路封鎖。警察の説得に応じ1週間以内の犯人検挙を条件に封鎖解除。犯人がバイクに乗っていた以外は不明。[16]

(5) オランダ25日ミッデルブルフ25日マルク人共同体が南マルク共和国(RMS)独立記念日行事。[17]

(6) 30日マルク州中マルク県ハルク郡アボル村長「マルク州住民はインドネシア共和国統一防衛の最前線に立つ用意がある。」アボル村は紛争末期から終息期に、毎年さかんに南マルク共和国旗掲揚を行った。10年経過してなおこのように言わなければならない。[18]

2.6 2017年5月

(1) 2日マルク州中マルク県レイ・ヒトゥ郡ラリケ村ワイブティ集落で、郡警察が辰砂(赤色硫化水銀)17tを押収。州外に違法移出。恐らく多くは違法金採掘の選鉱用か。[19]

(2) 7日マルク州アンボン島ヒトゥ南部バトゥ・コネンで青年グループ紛争、二人負傷。きっかけはミニバス運転手が刺された事件。(ヒトゥ村とカイロロ村の青年) [20]

(3) 13日マルク州アンボン市ムルデカ広場で約千人の蠟燭集会。ジャカルタ知事アホックへの支援を表明し、法の公正を求めて。当局の制止にもかかわらず集会は平静に盛大に。[21]

(4) アンボン市ポカ村バトゥ・コネン集落事件その後。カイロロ村指導者や最初の被害者家族は警察の捜査に不信と不満。最初の事件目撃者が二度目の事件前に覆面の四人組に殴打脅迫される事件あり。警察による保護を求めている。捜査能力にも不信感。背後の黒幕逮捕希望。[22]

2.7 2017年6月

(1) インドネシア10日マルク警察発表、HTIの活動については監視を続けている。フィリピン南部のISISやMAUTEとの連携を警戒。[23]

(2) 4日マルク州知事サイド・アッサガフが、南ブル県知事からは住民のISIS加入情報無しと言明。先月30日会議で警察幹部より一部住民を捜査中との情報有り。[24]

(3) 22日インドネシアウラマ協議会マルク支部がムスリム若者等に、ラマダン中の夜間集団走行を行わないよう呼びかけ。[25]

(4) 25日マルク州中マルク県レイ・ヒトゥ郡ワカルヒトゥ村民闘争事件について、サイド・アッサガフ州知事は法的収拾を要望。同事件は交通事故きっかけに3人が殺害。[26]

(5) 25日マルク州西セラム県カイラトゥ郡カイラトゥ村でハトゥレナ集落とクラパ・ドゥア集落住民が乱闘。きっかけはハトゥレナ青年がクラパ・ドゥアで袋たたきにあったこと。(従来より酒の上の乱闘しばしば) [27]

(6) 26日マルク州中マルク県レイ・ヒトゥ郡のヒトゥワカル村境に陸軍と警察合同部隊が装甲車二台を配備。25日紛争の再発防止に注力。[28]

2. 8 2017年7月

(1) 1日マルク州アサガフ知事、中マルク県レイ・ヒトゥ郡ワカル村住民ヒトゥメシ村で4人死亡の衝突について、住民に平静呼びかけ。[29]

(2) 2日マルク州アサガフ知事「箒合戦」(中マルク県レイ・ヒトゥ郡ママラーモレラ2か村共同儀礼)席上で発言。地域融和進展を協調。ハルク島カリウ村(同県ハルク郡)教会再建にも言及。(ガンドン・ボーイと全島社会の協力を協調) [30]

2. 9 2017年8月

(1) 4パティムラ軍管区司令官は、村落和解のための「緑の黄金・青の黄金」開発計画の成果を強調。栽培漁業と有用樹植林で成果。[31]

(2) 5日マルク州アンボン島ルアシ諸島警察が、6月のヒトゥ・メシ村とワカル村紛争を煽動した煽動者3人の最後の一人を西パプア州ファクファクで逮捕。[32]

2. 10 2017年9月

署名記事「アンボンから宗教的寛容を学ぶ」
キングファウド大学教授 スマント
紛争後の宗教分離社会からの回復途上にある。ピースプロヴォケイタグループのほか、宗教指導者も活躍。教会の清掃や犠牲祭の家畜寄付など協力も始まっている。[33]

2. 11 2017年10月

(1) 5日パティムラ軍管区司令部はマルク州北マルク州住民供出の銃器725を破壊処分。緑の黄金・青の黄金計画での物資供与と引き換え。[34]

3. むすび

時系列に沿って過去一年間を振り返って、一般的に言って紛争事件が多く消して平穏とは評価できない状況であるにもかかわらず、長年地域情勢を観察してきた筆者の感覚としては、改めてアンボン地域情勢が平穏に推移したことを確認できた。

しかし、一般常識に照らしたとき情勢は平穏ではないし、発生する事象の構成要素は紛争後変わらない。そういう点でアンボン紛争が完全解決したとは言い難い。

この一年間で特筆すべき点はやはり前述の通り「緑の黄金・青の黄金」計画であろう。同計画は長期化していたママラーモレラ紛争とハリアーポルト紛争の調停にあたった軍が発案したもので、現状ではマルク州の領域を一部ではみ出すところまで発展している。地域の社会資本の乏しさを勘案すれば、開発によるインセンティブは有効であろう。

ただし、腐敗が深刻なインドネシア軍の事業であるがゆえに、本計画も軍人利権として腐敗しとん挫あるいは、いっそうの紛争の火種となる危険も懸念される。引き続き注視したい。

注

[1]Teror Bom di Bank BPDM Mardika, Ambon
Senin, 19 Desember 2016 23:02,
<http://lintasterkini.com/19/12/2016/teror-bom-di-bank-bpdm-mardika-ambon.html>

[2]Sebut ISIS, PNS Ini Memeras dan Mengancam akan Mengebom Bank
SELASA, 27 DESEMBER 2016 | 01:07 WIB
TEMPO

[3]Temuan Benda Diduga Bom Bikin Panik Pengunjung Mal di Ambon
[regional.liputan6.com](http://regional.liputan6.com/HomeRegionalMaluku-Papua)
HomeRegionalMaluku-Papua
Temuan Benda Diduga Bom Bikin Panik Pengunjung Mal di Ambon
Abdul Karim Abdul Karim 27 Des 2016, 19:45 WIB
Liputan6.com, Ambon - Penemuan benda

[4]Bentrok Antarwarga di Ambon, Satu Tewas Tertembak
<http://www.viva.co.id/berita/nasional/870083-bentrok-antarwarga-di-ambon-satu-tewas-tertembak>

Bentrok Warga Pecah di Ambon, Satu Orang Tewas Tertembak Oleh: Tempo.co Jumat, 13 Januari 2017 16:38 WIB
<https://nasional.tempo.co/read/835725/bentrok->

- warga-pecah-di-ambon-satu-orang-tewas-tertembak
- Tewaskan Satu Siswa, Bentrok Warga di Ambon Dipicu Perampasan Ponsel
KONTRIBUTOR AMBON, RAHMAT RAHMAN PATTY
<http://regional.kompas.com/read/2017/01/13/14295141/tewaskan.satu.siswa.bentrok.warga.di.ambon.dipicu.perampasan.ponsel>
- Ambon ekspres 14 Jan 2017.
- AMBON Ekspres
<http://ambonekspres.fajar.co.id/2017/01/14/lapak-pedagang-dibongkar-polisi/>
- [5]Ribuan Penambang Emas Ilegal Kembali Masuk ke Gunung Botak
KONTRIBUTOR AMBON, RAHMAT RAHMAN PATTY
<http://regional.kompas.com/read/2017/01/12/15155471/ribuan.penambang.emas.ilegal.kembali.masuk.ke.gunung.botak>
- [6]Tuntut Pelaku Bentrok Ditangkap, Warga Batu Merah Blokade Jalan
KONTRIBUTOR AMBON, RAHMAT RAHMAN PATTY
<http://regional.kompas.com/read/2017/01/15/23405651/tuntut.pelaku.bentrok.ditangkap.warga.batu.merah.blokade.jalan>
- [7]Bendera RMS Berkibar di Tiang Bendera Sebuah SD di Ambon
KONTRIBUTOR AMBON, RAHMAT RAHMAN PATTY
<http://regional.kompas.com/read/2017/01/27/09010251/bendera.rms.berkibar.di.tiang.bendera.sebuah.sd.di.ambon>
- [8]Gubernur Maluku Minta Kapolri Tutup Tambang di Gunung Botak Jumat, 24 Februari 2017 | 12:07 WIB
<http://www.netralnews.com/news/nusantara/read/57856/gubernur.maluku.minta.kapolri.tutup.tambang.di.gunung.botak>
- [9]Sabtu , 04 March 2017, 19:27 WIB
Warga Telaga Kodok Serahkan Senjata Sisa Konflik Horisontal
Red: Hazliansyah
<http://www.republika.co.id/berita/nasional/daerah/17/03/04/omailg280-warga-telaga-kodok-serahkan-senjata-sisa-konflik-horisontal>
- [10]Beras dan Jagung Tersedia, Mendag Bilang Tak Ada Izin Impor
Sufiyanto | Rabu, 19/04/2017 02:14 WIB
<http://www.jurnas.com/artikel/14932/Kasihannya-Eks-Pengungsi-Ambon-di-Sultra-Tuntut-Bantuan/>
- [11]Penambangan Emas Gunung Botak Tutup Mulai Hari Ini
Liputan6Liputan6 17 Mar 2017, 06:30 WIB
http://regional.liputan6.com/read/2888990/penambangan-emas-gunung-botak-tutup-mulai-hari-ini?utm_source=Desktop&utm_medium=twitter&utm_campaign=Share_Hanging
- [12]Gegana amankan 17 bom rakitan di Ambon Selasa, 28 Maret 2017 / 23:24 WIB
<http://regional.kontan.co.id/news/gegana-amankan-17-bom-rakitan-di-ambon>
- [13]Ex-terrorist gives land for peace
<https://www.thestar.com.my/news/regional/2017/04/03/exterrorist-gives-land-for-peace-plot-will-be-used-to-build-education-centre/>
- [14]Gus Sholah Berharap Masyarakat Menjaga Kerukunan Beragama Noer Ardiansjah Apr 06 2017, 08:46
<https://merahputih.com/post/read/gus-sholah-berharap-masyarakat-menjaga-kerukunan-beragama>
- AMBOINA Gus Solah: Pondok Pesantren Bukan Ladang Terorisme
ByRedaksiPosted on 6 April 2017 @02:13
<http://ambonekspres.fajar.co.id/2017/04/06/gus-solah-pondok-pesantren-bukan-ladang-terorisme/>

- [15] Sekelompok Pemuda Serang Warga di Ambon, 1 Tewas dan 3 Luka-Luka
ant, Jurnalis · Selasa 11 April 2017, 15:09 WIB
<https://news.okezone.com/read/2017/04/11/340/1664475/sekelompok-pemuda-serang-warga-di-ambon-1-tewas-dan-3-luka-luka>
- [16] Polisi Selidiki Ledakan 2 Bom Rakitan di Seram Bagian Barat Oleh: Tempo.co
Selasa, 18 April 2017 23:01 WIB
<https://nasional.tempo.co/read/867290/polisi-selidiki-ledakan-2-bom-rakitan-di-seram-bagian-barat>
- Teror Bom Usik Ketentraman Warga di Saparua dan SBB
KAMIS, 20 APR 2017 16:50 | EDITOR : MUHAMMAD SYADRI
<https://www.jawapos.com/read/2017/04/20/124807/teror-bom-usik-ketentraman-warga-di-saparua-dan-sbb#.Wpm5NXyHF-g.twitter>
- Teror Bom di Waesamu
Byambon ekspress Posted on 18 April 2017 @19:17
<http://ambonekspres.fajar.co.id/2017/04/18/teror-bom-di-waesamu/>
- Teror Bom di Dua Lokasi
ByRedaksi Posted on 19 April 2017 @00:31
<http://ambonekspres.fajar.co.id/2017/04/19/teror-bom-di-dua-lokasi/>
- LINTAS PULAU Pelaku Peledakan Bom Misterius
ByRedaksi Posted on 20 April 2017 @13:06
<http://ambonekspres.fajar.co.id/2017/04/20/pelaku-peledakan-bom-misterius/>
- [17] Molukkers in Middelburg herdenken uitroepen republiek RMS
VIDEOMIDDELBURG - De Molukse gemeenschap in Middelburg heeft dinsdagochtend herdacht dat op 25 april 1950 op Ambon de Republiek der Zuid-Molukken (RMS) is uitgeroepen.
Maurits Sep 25-04-17, 08:29 Laatste update: 11:04
https://www.pzc.nl/zeeuws-nieuws/molukkers-in-middelburg-herdenken-uitroepen-republiek-rms~a0910dbc/?utm_source=twitter&utm_medium=social&utm_campaign=socialsharing_web
- [18] 30 April 2017, 18:46 WIB
Raja Aboru: Hanya Orang Frustrasi yang Mengibarkan Bendera RMS
Rep: Dea Alvi Soraya/ Red: Bayu Hermawan
<http://www.republika.co.id/berita/nasional/umum/17/04/30/op803t354-raja-aboru-hanya-orang-frustrasi-yang-mengibarkan-bendera-rms>
- [19] Polres Ambon Amankan 17 Ton Batu Bahan Pembuat Merkuri Ilegal
Abdul Karim Abdul Karim
04 Mei 2017, 03:04 WIB
http://regional.liputan6.com/read/2940047/polres-ambon-amankan-17-ton-batu-bahan-pembuat-merkuri-ilegal?utm_source=Desktop&utm_medium=twitter&utm_campaign=Share_Hanging
- [20] 2 Kelompok Pemuda tawuran di Ambon, 2 Orang Alami Luka Bacok
Minggu, 7 Mei 2017 11:57 WIB
<http://www.tribunnews.com/regional/2017/05/07/2-kelompok-pemuda-tawuran-di-ambon-2-orang-alami-luka-bacok>
- Bentrok Antar Kampung Pecah, Ratusan Warga Mengungsi ke Markas TNI AL
SELASA, 09 MAY 2017 10:15 | EDITOR : MUHAMMAD SYADRI
<https://www.jawapos.com/read/2017/05/09/128752/bentrok-antar-kampung-pecah-ratusan-warga-mengungsi-ke-markas-tni-al>
- [21] Meski Dilarang, Aksi 1,000 Lilin di Ambon Berjalan Damai
Oleh: Tempo.co
Minggu, 14 Mei 2017 06:18 WIB
<https://nasional.tempo.co/read/875082/meski-dilarang-aksi-1000-lilin-di-ambon-berjalan-damai>
- [22] Polisi Lemah Tangani Kasus Batu Koneng -
<http://ambonekspres.fajar.co.id/2017/05/10/polisi-lemah-tangani-kasus-batu-koneng/>
- [23] Polda Maluku Pantau Aktivitas HTI

- Ilustrasi massa Hizbut Tahrir Indonesia. (Antara)
Oleh: / PCN | Sabtu, 10 Juni 2017 | 14:50 WIB
<http://www.beritasatu.com/nasional/435750-polda-maluku-pantau-aktivitas-hti.html#.WUIxpmj8STE.twitter>
- [24] Gubernur Maluku Klaim Wilayahnya Aman dari ISIS
Liputan6.comLiputan6.com
04 Jun 2017, 13:33 WIB
http://news.liputan6.com/read/2977099/gubernur-maluku-klaim-wilayahnya-aman-dari-isis?utm_source=Desktop&utm_medium=twitter&utm_campaign=Share_Top
- [25] Kamis , 22 Juni 2017, 11:31 WIB
MUI: Jangan Nodai Malam Takbiran dengan Konvoi
Red: Nidia Zuraya
<http://www.republika.co.id/berita/ramadhan/kabar-ramadhan/17/06/22/orxlcymui-jangan-nodai-malam-takbiran-dengan-konvoi>
- [26]kompas 25 JUNE 2017
- [27]Akibat Bentrok Dua Rumah Dibakar
in News 28/06/2017
<http://www.sisidunia.com/2017/06/28/akibat-bentrok-dua-rumah-dibakar/121784>
- [28]Tank Anoa dan Barracuda Disiagakan di Perbatasan Dua Desa Pasca Bentrok
in Nasional, Ragam Berita 27/06/2017
<http://www.harianindo.com/2017/06/27/209582/tank-anoa-dan-barracuda-disiagakan-di-perbatasan-dua-desa-pasca-bentrok/>
- [29]Sabtu , 01 Juli 2017, 17:28 WIB
Empat Tewas, Gubernur Minta Warga Hentikan 'Perang Tarkam'
Red: Agus Yulianto
<http://www.republika.co.id/berita/nasional/umum/17/07/01/osepsj-empat-tewas-gubernur-minta-warga-hentikan-perang-tarkam>
- [30]FEATURES Assagaff Tebar Pesan Kedamaian
Byambon ekspressPosted on 3 July 2017 @09:30
<http://ambonekspres.fajar.co.id/2017/07/03/assagaff-tebar-pesan-kedamaian/>
- [31]Jumat , 04 August 2017, 20:08 WIB
'Emas Maluku' Awalnya untuk Desa Konflik, Kini Menuai Hasil
Rep: Rahma Sulistya/ Red: Budi Raharjo
<http://www.republika.co.id/berita/nasional/daerah/17/08/05/ou5whj415-emas-maluku-awalnya-untuk-desa-konflik-kini-menuai-hasil>
- [32]Polisi Ringkus Satu Pelaku Pembunuh Warga Laha
Sabtu, 5 Agustus 2017 | 22:18 WIB
<http://skalanews.com/detail/hukum/kriminal/293337-Polisi-Ringkus-Satu-Pelaku-Pembunuh-Warga-Laha>
- [33]Belajar Toleransi Agama dari Ambon
Liputan6.comLiputan6.com
20 Sep 2017, 18:52 WIB
http://news.liputan6.com/read/3100627/belajar-toleransi-agama-dari-ambon?utm_source=Desktop&utm_medium=twitter&utm_campaign=Share_Top
- [34]Kodam Pattimura Musnahkan 725 Senpi Hasil Penyerahan Warga
BY REDAKSI - 6 OCTOBER 2017 | 10:49 PM
<http://detak.co/kodam-pattimura-musnahkan-725-senpi-hasil-penyerahan-warga/>

材料強度数値シミュレーション教育の実践

木下 つる代*・政家 利彦**・鶴 秀登***

Practice on the simulation by a numerical analysis of strength of materials

Tsuruyo Kinoshita* , Toshihiko Masaie** and Hideto Tsuru***

Abstract

Simulations by some numerical analyses have come to be used in various industrial fields with the development of computer and software. Therefore, it is important for students in advanced course to educate simulating technique. This paper presents an education of the simulation on strength of materials by a numerical analysis in the production system engineering course. Analyses are done on basic problems to understand the Finite Element Method and to examine the accuracy of the results. Moreover, some numerical calculations on one problem are carried out under different boundary conditions. This paper is useful for students and engineers in beginning to learn the simulation on strength of materials by means of Finite Element Method.

1. 緒言

コンピュータ技術の発展とともに数値シミュレーションは航空宇宙、自動車、建築、医療などさまざまな産業分野において広く利用されるようになった。そのため、専門的知識と技術を要求される高等専門学校生への数値シミュレーション教育は、実験解析の教育とともに重要である。本論文は、本校専攻科生産システム工学専攻の生産システム工学演習（週1コマ、15週）で行っている材料強度評価のための数値シミュレーション教育についてまとめたものである。

まず材料力学や強度設計で学んだ理論を数値解析で検証する。一例として一様な板の引張りによって生じる応力と伸びを求めると、二次元弾性問題の解析におけるソフトの使用法、境界条件の与え方および結果の考察方法などを学ぶ。また中実丸棒の引張りや内外圧を受ける円筒問題などは軸対称問題であり、軸対称要素を選択して二次元問題と同様に扱い解析する。そして、軸対称問題の応用例として丸棒が円周切欠きをもつ問題を取扱う。その際、応力集中問題の弾性解析における要素分割と数値結果の関係について学ぶ。

次に、弾塑性解析として、切欠きをもつ板の切欠き底からの塑性降伏現象について解析をする。これらの数

値解析には、市販の有限要素法を用いた汎用プログラムソフト Marc を用いる。

本演習は、材料挙動の可視化を通して強度評価の理解を深めてもらうことと、数値結果の精度を吟味するという手順を経験させることが主目的であり、そのために適宜各種問題を用意して数値解析を実行できるように配慮している。なお、学生の演習時間は限られているためソフトの基本的使用方法については「Marc Mentat 2011 (classic)簡易マニュアル」を用意する^{[1][2]}。

2. 有限板の一様引張り

2.1 有限板の一様引張り

有限板の二次元弾性解析を行う。解析対象は図1に示す幅 $2W=100[\text{mm}]$ 、長さ $h=200[\text{mm}]$ および板厚 $t=1[\text{mm}]$ の軟鋼製（ヤング率 $E=206 \times 10^3[\text{N/mm}^2]$ 、ポアソン比 $\nu=0.3$ ）の有限板で、 y 方向に一様引張り σ_0 を与える問題である。垂直応力を σ 、せん断応力を τ 、ひずみを ϵ とすると、この問題の解は式(1)で与えられる。添字は定義に従った x, y 成分である。

このように x 軸と y 軸に対称な問題の場合、図2に示す 1/4 形状の解析モデルを用いる。その際、境界条件として x 軸、 y 軸上が軸と垂直方向に変位しないこ

*技術支援センター

**電子機械工学科

***非常勤講師

とを与えれば良い。理論的には全体モデルの中央 1 点 (座標の原点) を 0 で固定して解析することと同じであるが、数値解析では理論と差異が生じる。そのことを経験し、そして 1/4 モデルを用いることの妥当性を確認する。

$$\begin{aligned} \text{応力} \quad & \begin{cases} \sigma_x = 0 \\ \sigma_y = \sigma_0 \\ \tau_{xy} = 0 \end{cases} \\ \text{伸び (y方向)} \quad & \varepsilon_y h = \frac{\sigma_0}{E} h \quad (1) \\ \text{縮み (x方向)} \quad & \varepsilon_x \cdot 2W = \nu \varepsilon_y \cdot 2W = \nu \frac{\sigma_0}{E} \cdot 2W \end{aligned}$$

まず、解析モデルの要素分割を行う。Marc Mentat を用いて解析モデルを自動で四角形要素に分割する場合、①QUADRILATERALS (OVERLAY) と②QUADRILATERALS(ADV FRNT)の 2 種類の平面要素(2D PLANAR)がある。長方形モデルの形状を分割すると、図 3 に示すように直角の隅が①では要素形状がいびつになる。そこで、ここでは要素分割には②を使用することにする。そして解析を表 1 に示す 2 つのパターンの境界条件で行う。ここで w は x , y 軸に垂直な軸 (z 軸) まわりの回転(ROTATION)である。

パターン 1 では全体モデルの中央 1 点 (原点) のみ x 軸方向変位(DISPLACEMENT) u および y 軸方向変位 v を 0 で固定する。また y 軸方向の等分布引張荷重として単位長さ当り $10[\text{N/mm}]$ を端辺 (エッジ) に負荷する。解析モデルの板厚が $1[\text{mm}]$ であるので、この等分布荷重は $10[\text{N/mm}^2]$ の作用応力に相当する。入力 は圧力(PRESSURE)で与えるようになっているのでマイナスの値を入力する。解析の結果、パターン 1 の条件では変位などに回転したようなコンター図が得られる。そこで次に回転固定も必要と考え、パターン 2 の変位固定と回転固定の両方の拘束条件で解析を行う。結果は回転を 0 で固定したにもかかわらず、パターン 1 と同様に正しい解が得られない。全体で要素分割する場合、対称である点が要素分割後に対称節点とは必ずしもならず、対称性による似た係数をもつ連立方程式となり、解の安定性を欠いたためと考えられる。図 4 は 1/4 モデルで解析した場合の y 軸方向変位のコンター図で、式(1)と一致する。これらの結果から、対称性をもつ問題ではその片側のみを解析領域として解析する必要があることを確認できる。

表 1 境界条件 (図 1 の問題)

	パターン 1	パターン 2
原点の x 方向変位 u	0	0
原点の y 方向変位 v	0	0
z 軸まわりの回転 w		0
端辺の圧力 $[\text{N/mm}^2]$	-10	-10

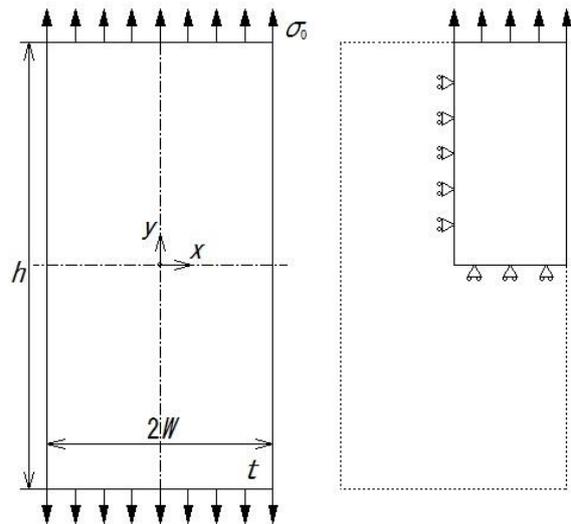


図 1 解析対象 (長方形板)

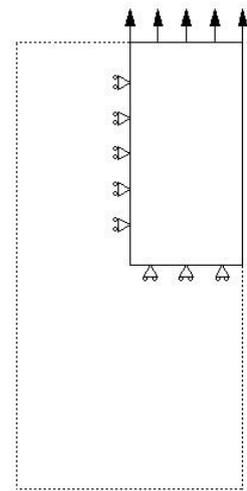
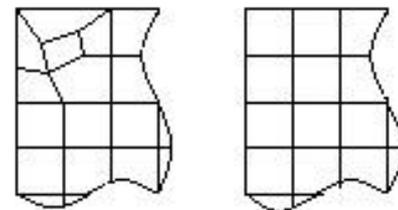


図 2 解析モデル



① OVERLAY ② ADV FRNT

図 3 要素の自動分割 (直角近傍の要素)

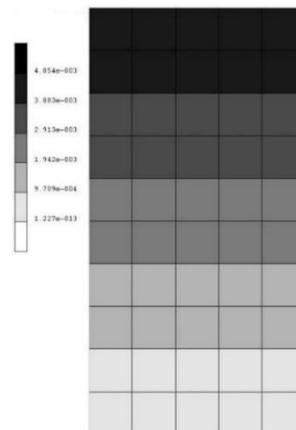


図 4 y 軸方向変位 v のコンター図 (1/4 領域)

2.2 中央に円孔を有する板の引張り

図5に示す直径 $(2a)=20[\text{mm}]$ の円孔を中央に有する幅 $2W=100[\text{mm}]$ 、長さ $h=200[\text{mm}]$ および板厚 $t=1[\text{mm}]$ の有限板の一樣引張り問題を取扱う。荷重条件および形状の対称性を考慮して、解析は図6に示す全体領域の1/4で行う。その際、境界条件として図6に示すように y 軸上の x 方向変位 u と x 軸上の y 方向変位 v を0で固定する。また、 y 軸方向の一樣引張応力 $\sigma_0 = 100[\text{N/mm}^2]$ を端辺に負荷する。

円孔などの切欠きを有する板が引張りなどの負荷を受けている場合、切欠き近傍には応力集中現象が生じる。図5の問題では切欠き底の点Aで最大応力が発生し、その近傍での応力変化が大きいので点A付近の要素分割は細かくする必要がある。また、要素形状は高アスペクト比や鋭角・鈍角をもつ四角形では精度に悪い影響を与えるので、正方形に近い形状が望まれる。これらのことを考慮に入れて円孔縁の1/4の分割数 n を10, 20, 30と変化させて解析を行う。なお、その他の辺の分割数は要素形状が正方形に近づくようにそれぞれ設定する。最大応力を σ_{\max} 、公称応力を σ_0 とすると応力集中係数 $\alpha = \sigma_{\max} / \sigma_0$ で定義され、この問題の厳密解は式(2)³⁾に本解析の $a=10$ 、 $W=50$ を代入して $\alpha=3.15$ が得られる。図7に分割数 n による応力集中係数 α の収束状況を示す。

$$\alpha = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_0} = 3 + 3.5469 \left(\frac{a}{W}\right)^2 + 6.5859 \left(\frac{a}{W}\right)^4 + 2.4298 \left(\frac{a}{W}\right)^6 - 0.5339 \left(\frac{a}{W}\right)^8 \quad (2)$$

孔縁の分割数を増やして解析するにつれて数値結果が厳密解に近づくことが確認できる。分割数30では、厳密解とほぼ一致し、十分な精度で解が得られることがわかる。この項では、切欠きの大きさを種々変化させて応力集中への影響を調べる場合、切欠き縁の分割数と結果の関係を良く検証しなければならないことがわかる。

3. 丸棒や円筒の問題

3.1 一樣引張り

丸棒や円筒の一樣引張り問題は、軸対称要素を用いることで二次元問題と同じように取扱える。軸対称要素を使用する場合には、全体座標系の xy 平面($0 \leq y, z = 0$)でモデルを作成し、軸対称軸を x 軸にする必要がある。図8に長さ $L=40[\text{mm}]$ 、直径 $d=10[\text{mm}]$ の軟鋼製丸棒の引張り問題を示す。端辺に軸方向の引張応力 σ_0 を圧力 $100[\text{N/mm}^2]$ で負荷する。荷重条件および形状

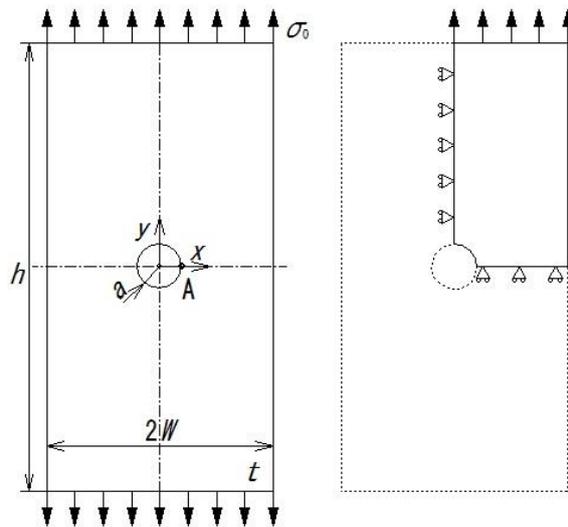


図5 解析対象

図6 解析モデル

(切欠きをもつ長方形板)

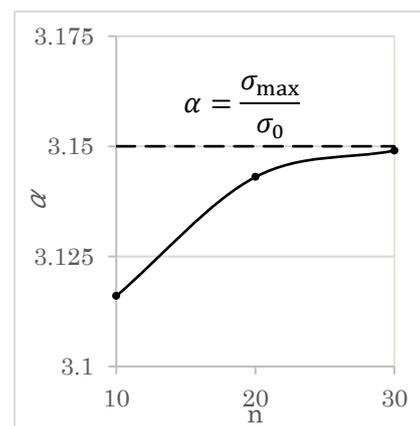


図7 孔縁の分割数 n と応力集中係数 α

の対称性を考慮して、図9に示す丸棒材の1/4部分を解析領域とし、その部分を軸対称要素で分割する。弾性解析の場合、解析に必要な材料定数はヤング率 $E = 206 \times 10^3[\text{N/mm}^2]$ およびポアソン比 $\nu=0.3$ の2つである。この問題の変位は次式で与えられる。

$$u = \varepsilon_{xx} L \quad \left(\varepsilon_{xx} = \frac{\sigma_{xx}}{E} \right) \quad (3)$$

$$v = \varepsilon_{yy} d \quad \left(\varepsilon_{yy} = -\nu \varepsilon_{xx} \right) \quad (4)$$

数値解析は表2に示す2つのパターンで行う。パターン1の境界条件は、図9に示すように丸棒中心軸である x 軸上の y 軸方向の変位 v および y 軸上の x 軸方向の変位 u を0で固定する。そして x 軸方向の一樣引張応力 $\sigma_0=100[\text{N/mm}^2]$ を端辺に負荷する。端面における x 軸方向の変位 u および y 軸方向の変位 v は式(3)お

よび(4)に本解析のデータを代入して $u=0.0194$, $v=-0.00146$ が得られる。数値結果は、分割数に関係なくこれらの値と一致する。なお、解析モデルを考えると得られる数値はそれぞれ 1/2 の値となる。

次に、パターン 2 の条件として x 軸上の y 方向変位 v を拘束しない場合で解析する。数値結果 u, v はパターン 2 でも理論値と一致する。また応力のコンター図にもパターン 1 との差が見られないことから、軸対称問題の弾性解析では対称軸である x 軸上の拘束は必要ないということが確認できる。なお図 10, 11 にこの問題の変位 u および v のコンター図を示す。

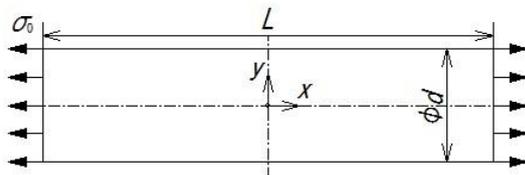


図 8 解析対象 (中実丸棒)

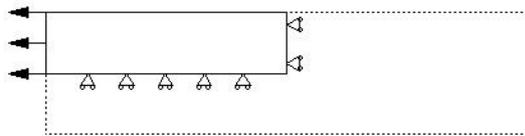


図 9 解析モデル

表 2 境界条件 (図 9 の解析モデル)

	パターン 1	パターン 2
y 軸上の x 方向変位 u	0	0
x 軸上の y 方向変位 v	0	
端辺の圧力 $[N/mm^2]$	-100	-100

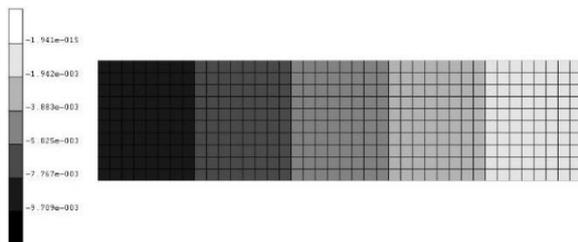


図 10 中実丸棒の x 方向変位 u のコンター図

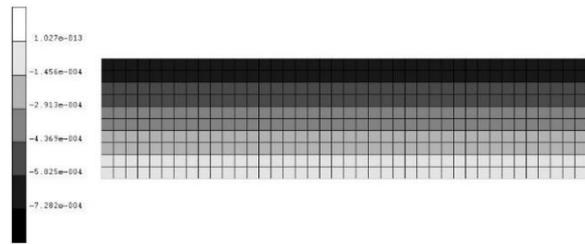


図 11 中実丸棒の y 方向変位 v のコンター図

3. 2 半円環状切欠きをもつ丸棒の引張り

図 12 に示す長さ $L=20[mm]$, 直径 $d=10[mm]$ の丸棒に、切欠き半径 $r=1[mm]$ の半円環状切欠きを有する問題を取扱う。端辺に軸方向の一律引張応力 $\sigma_0 = 100[N/mm^2]$ を負荷する。この問題も軸対称問題であり、軸対称要素を用い、荷重および形状の対称性を考慮して図 13 に示す丸棒縦断面の 1/4 領域で解析できる。境界条件は y 軸上の x 軸方向変位 $u = 0$ と端辺の x 軸方向引張応力 $100[N/mm^2]$ の負荷である。

図 14 に切欠き縁を 5 等分するような自動分割で数値計算して得られた x 軸方向の垂直応力 σ_{xx} (Comp 11 of Stress) のコンター図を示す。切欠きで最大応力 $\sigma_{max} = 332.3 [N/mm^2]$ が得られる。式(2)で示す定義では応力集中係数 $\alpha = 3.32$ となるが、応力集中係数 α' を次式(5)を用いて定義すると $\alpha' = \sigma_{max} / \sigma_n = 2.13$ となる。ここで、式(5)の公称応力 σ_n は、切欠き底最小断面積が全体の荷重を一律に受けもつと考えた場合の応力である。

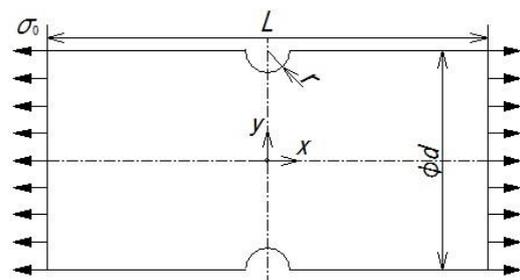


図 12 解析対象 (環状切欠きをもつ丸棒)

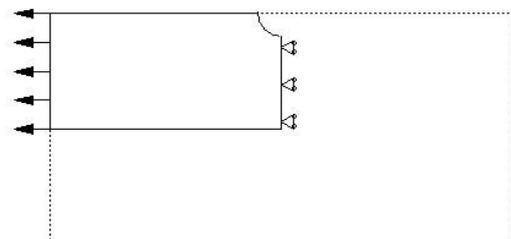


図 13 解析モデル

$$\sigma_n = \frac{d^2}{(d-2r)^2} \sigma_0 = \frac{1}{\left(1 - \frac{2r}{d}\right)^2} \sigma_0 \quad (5)$$

環状切欠き材の応力集中係数の厳密解は $\alpha' = 2.196^{[4]}$ であり、本計算結果は誤差 3.0% と良い結果を得ている。

なおこの応力集中係数の定義を 2.2 項の円孔問題に用いると $\alpha' = 2.52$ となる。このように応力集中係数は定義によって数値が異なり、どの定義を用いるかは現象を説明しやすくするように選択すれば良い。

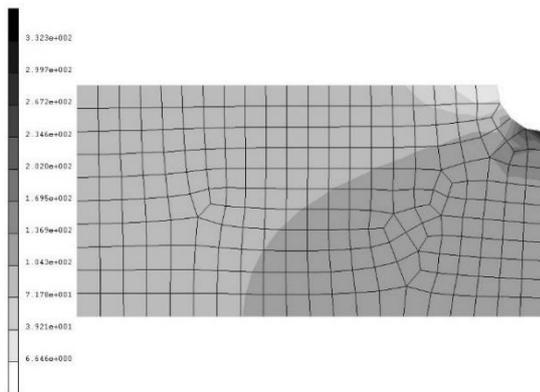


図 14 半円環状切欠きの方向の垂直応力 σ_{xx} のコンター図

3.3 中空円筒の内外圧問題

3.3.1 外圧問題

図 15 に示す長さ $L=20$ [mm]、内径 $2a=8$ [mm]、外径 $2b=10$ [mm] で肉厚 1[mm] の中空円筒に、外圧 $p_o = 10$ [N/mm²]、内圧 $p_i = 0$ を負荷した場合を解析する。荷重および形状の対称性を考慮して、軸対称要素を用い図 16 に示す中空円筒縦断面の 1/4 領域で解析する。境界条件として y 軸上の x 軸方向の変位 u を 0 で固定し、外周端面に外圧 $p_o = 10$ [N/mm²] を負荷する。

まず数値結果が内周と外周における境界条件を満たしているかどうかを検討する。 y 軸方向の垂直応力 σ_{yy} はそれぞれ 0 [N/mm²] と -10 [N/mm²] であるが、肉厚の分割数 $n=8$ での数値結果は 1.410 と -9.924 となり、境界条件を十分に満たしていない。原因は肉厚方向の応力変化に対して分割が粗いことが考えられる。そこで要素分割の粗密が解析精度に与える影響を調べるため、肉厚の分割数 n を 10 と 20 で同様の解析を行い、図 17 に分割数 n での内外円周上の σ_{yy} を示す。分割数が大きくなるにつれて精度の向上が見られる。数値結果は分割数 20 で外周の応力誤差が 3.0% であり、精度の良い解析が実行できている。今後は肉厚の分割数 20 を目安に解析を行うことにする。図 18 に分割数 8 および

20 による肉厚内部の垂直応力 σ_{yy} のコンター図を比較して示す。

この項では、境界条件の充足度から結果の精度が推定できることを示している。

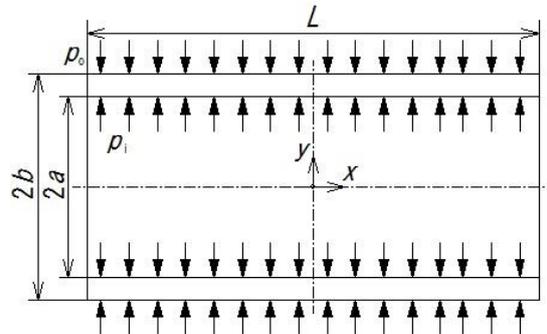


図 15 解析対象 (中空円筒)

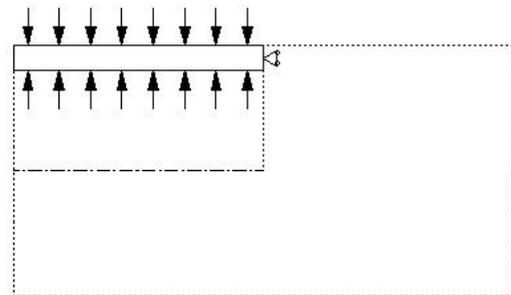


図 16 解析モデル

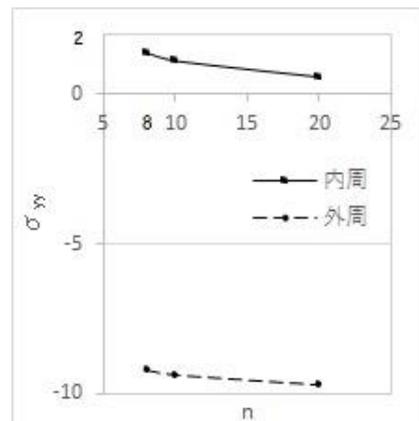


図 17 肉厚分割数 n での境界の垂直応力 σ_{yy}
($p_i = 0$, $p_o = 10$ [N/mm²])

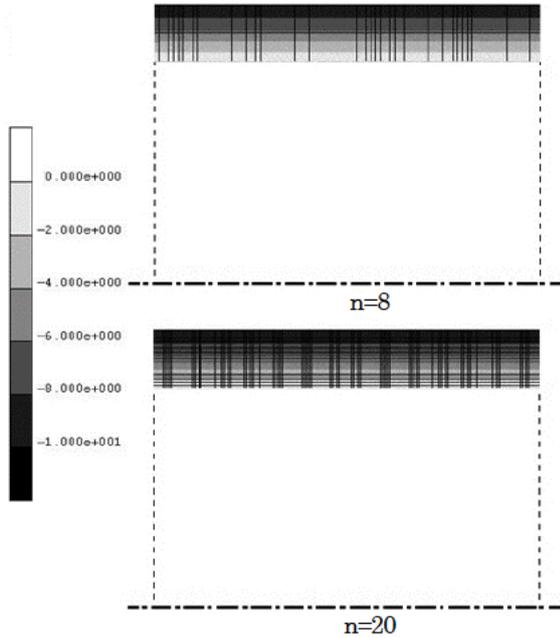


図 18 肉厚に生じる垂直応力 σ_{yy} のコンター図 ($p_i=0, p_o=10[\text{N/mm}^2]$)

3.3.2 肉厚に生じる応力の分布

肉厚分割数 $n=20$ での肉厚内部の y 軸方向垂直応力 σ_{yy} および z 軸方向垂直応力 σ_{zz} (Comp 33 of Stress) の数値結果を用いて、解の精度を理論式(6)および(7)と比較して図 19 に示す。数値結果が理論値とほぼ一致することがわかる。なお、外圧のみでは内周上 ($y=4$) の σ_{zz} (周方向垂直応力) の絶対値が最も大きくなり、外圧の 5.6 倍 ($a=4, b=5$ の場合) となることがわかる。

$$\sigma_{yy} = \frac{a^2 b^2 (p_o - p_i)}{b^2 - a^2} \cdot \frac{1}{y^2} + \frac{p_i a^2 - p_o b^2}{b^2 - a^2} \quad (6)$$

$$\sigma_{zz} = \frac{-a^2 b^2 (p_o - p_i)}{b^2 - a^2} \cdot \frac{1}{y^2} + \frac{p_i a^2 - p_o b^2}{b^2 - a^2} \quad (7)$$

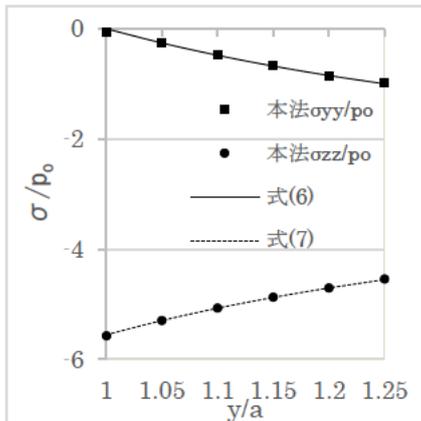


図 19 数値結果と理論の比較 ($p_i=0, p_o=10[\text{N/mm}^2]$)

3.3.3 半径方向の変位

肉厚分割数 $n=20$ による円筒の内周と外周上の y 軸方向 (半径方向) 変位 v を、式(8)で与えられる理論と比較して表 3 に示す。また、図 20 に解析モデル領域における y 軸方向の変位 v のコンター図を示す。数値結果は理論値と一致している。このように前項の応力の精度より、変位の精度が高いことがわかる。

$$v = \frac{1}{E} \left[-\frac{a^2 b^2 (p_o - p_i)}{b^2 - a^2} \cdot \frac{(1 + \nu)}{r} + \frac{p_i a^2 - p_o b^2}{b^2 - a^2} (1 + \nu) r \right] \quad (8)$$

表 3 半径方向変位 v の数値結果 ($n=20$) と理論式(8)との比較

v	内周上 ($y=4$)	外周上 ($y=5$)
数値解 ($\times 10^{-3}$)	-1.08	-1.03
式(8) ($\times 10^{-3}$)	-1.08	-1.03

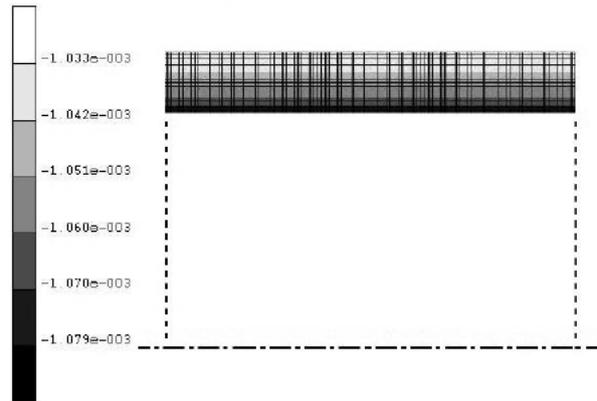


図 20 変位 v のコンター図 ($p_i=0, p_o=10[\text{N/mm}^2], n=20$)

3.3.4 内外圧問題

図 15 に示す問題において前述の寸法を用い、外圧 $p_o = 10 [\text{N/mm}^2]$ 、同じく内圧 $p_i=10[\text{N/mm}^2]$ を負荷して数値計算を行う。図 21 に y 軸方向の垂直応力 σ_{yy} のコンター図を示す。結果は分割に無関係に一樣応力場が得られて一色になり、そのことは式(6)から確認できる。

応用として特殊な場合を計算したが、興味のある寸法形状と負荷応力で色々な現象を学ぶことができる。

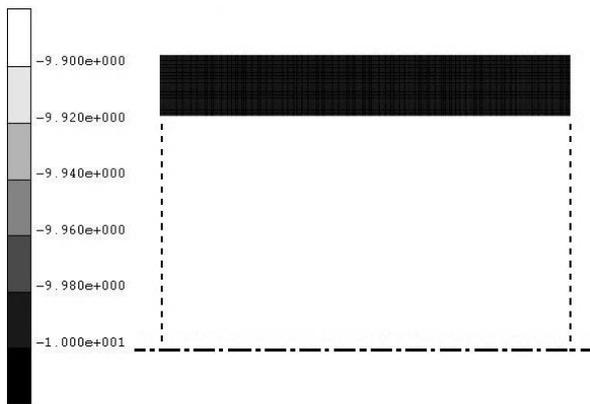


図21 垂直応力 σ_{yy} のコンター図 ($p_i = p_o = 10 \text{ [N/mm}^2\text{]}$)

4. 弾塑性解析

2.2 項で弾性解析を行った中央に円孔を有する板の一樣引張り問題を、材料の塑性降伏を考慮して弾塑性解析をする。弾塑性解析では材料定数としてヤング率 E 、ポアソン比 ν 、降伏応力 σ_Y および応力 σ とひずみ ε の関係が必要となる。ここでは式(9)の加工硬化則⁶⁾を用いる。なお使用する解析ソフトでは、入力する真応力 σ と真ひずみ ε の関係には弾性ひずみ成分 ε_e を除いた塑性ひずみ ε_p の値を用いなければならない。

$$\sigma = \sigma_Y + K\varepsilon^n \quad (9)$$

ここで K は塑性係数、 n は加工硬化指数 (n 値) である。また、降伏応力 σ_Y に達するまでは当然弾性ひずみ ε_e のみで塑性ひずみ ε_p は 0 である。

数値計算はアルミニウム(A1050)と軟鋼(S35C)を想定して行い、加工硬化則の違いが降伏挙動に与える影響を比較する。表4に材料の機械的性質を示す。

表4 アルミニウムと軟鋼の機械的性質⁶⁾⁷⁾⁸⁾

	E	ν	σ_Y	K	n
単位	N/mm ²		N/mm ²	N/mm ²	
A1050	72×10^3	0.3	30	160	0.3
S35C	206×10^3	0.3	305	1000	0.2

数値解析における解析モデルと境界条件は前項の弾性計算と同じであるが、負荷応力は降伏応力 σ_Y の 1.2 倍までを 12 ステップで行う。2 つの材料挙動が絶対値では大きく異なるため、降伏応力 σ_Y を基準に比率を合わせて降伏挙動を比較する。図22に負荷応力 1.0 σ_Y における切欠き近傍の塑性相当応力 σ_{von} (Equivalent

Von Mises Stress)のコンター図を示す。両方とも切欠き底に高い応力が生じているが、応力分布は大差ないことがわかる。なお、この時の相当ひずみ ε_Y (Comp 22 of Total Strain)のコンター図を図23に示す。A1050 アルミニウム材では、ひずみの集中域が小さく孔の影響が局所的であるが、S35C 軟鋼材では孔近傍に大きいひずみ集中域が生じていることが確認できる。

この項で弾塑性解析の基本を学び、弾性解析における応力とひずみ関係とは異なる材料挙動を知ることができる。

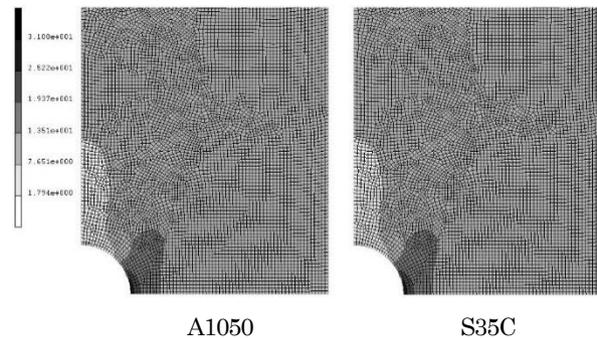


図22 切欠き近傍の塑性相当応力分布 (負荷応力 1.0 σ_Y)

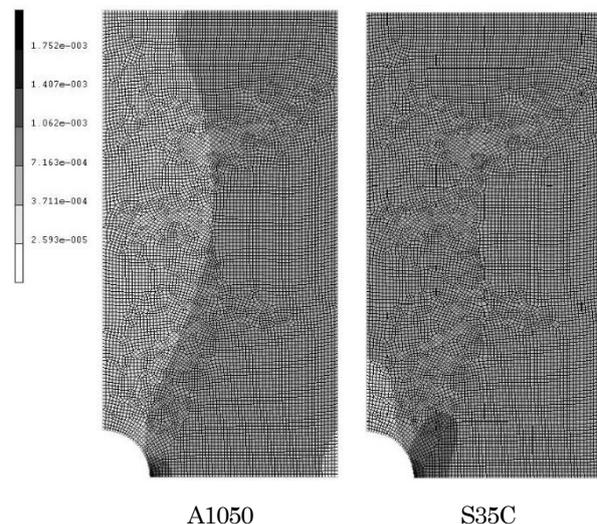


図23 相当ひずみ分布 (負荷応力 1.0 σ_Y)

5. 結言

さまざまな産業分野において広く使用されるようになった数値シミュレーション技術を学び、身につけておくことは大切なことである。本論文では、学生が材料強度に関する知識を数値シミュレーションを通して習得できるように配慮した。試行錯誤しながら問題を

解く中で解析ソフトの使用法を学び、与える境界条件の重要性を知り、可視化された現象で材料挙動の理解を深めることができたと考える。疑問を持つ形状と材料についての応力と変形を知るために、解析モデルを作成し、数値実験を行う基本的なことはできるようになったと思う。またその結果の見方、精度評価法を学習でき、例えば分割数による結果の変動を知ることによって評価したり、似た問題の厳密解との比較によって推定したりする方法などを学んできた。本論文で取扱ったこれらの問題は材料強度の初歩的な内容であるが、数値解析の初心者が Marc を用いて強度解析を行う上で大変参考になると考えている。

参考文献

- [1] 坂根 政男：例題で学ぶ Marc 有限要素法解析入門，〈平成 23 年〉
- [2] 木下 つる代：Marc Mentat2011(classic)簡易マニュアル（実習用テキスト），〈平成 26 年〉
- [3] 石田 誠：日本機械学会論文集，第 21 巻，第 107 号，だ円孔を有する帯板の引張り（第 1 報），pp507-513，〈昭和 30 年〉
- [4] 西谷・他 2 名：機論，49-441，A，pp602-610，〈昭和 58 年〉
- [5] 益田 森治・室田 忠雄：工業塑性力学（改訂），〈平成 6 年〉
- [6] 大西 清：JIS にもとづく機械設計製図便覧（第 10 版），p4-4，〈平成 13 年〉
- [7] JIS 規格：アルミニウム及びアルミニウム合金の板及び条 JIS H 4000，〈平成 26 年〉
- [8] JIS 規格：機械構造用炭素鋼鋼材 JIS G 4051，〈昭和 54 年〉