

LNG の海上輸送における最適タンクの考察

村上知弘 *， 甲田拓己 **， 池田真吾 *， 佐藤圭司 ***

Study of the Most Suitable Tank for the LNG Carriers

Tomohiro MURAKAMI * ， Takumi KODA ** ， Shingo IKEDA *
And Keiji SATO ***

Abstract

Recently, the energy which demand expanded most is LNG (Liquefied Natural Gas). The transport vessel carrying the LNG has many kinds. As for the LNG carriers, economy, versatility, environmentally friendly are required. In addition, it is required to consider sloshing peculiar to marine transportation. Therefore, many makers constructed a variety of LNG carriers such as MOSS, Membrane and SPB. These tanks of the vessel are made according to the IGC code (International code for the Construction and Equipment of Ship Carrying Liquefied Gases in Bulk) which IMO (International Marine Organization) established, but there is big characteristic in each. We considered the most suitable tank tanks for the LNG carriers.

1. 緒言

近年大きく需要が拡大したエネルギーの一つが LNG (Liquefied Natural GAS)である。LNG 市場は、北米のシェールガス革命による生産増、米国・豪州における大型 LNG プロジェクトの稼働開始が進み、図 1 に示すように世界の LNG 供給は大幅な拡大局面にある。2018 年 1 月から 9 月までに、4 プロジェクト・1640 万トン相当のプロジェクトが稼働を開始し、また最終投資決定を経て建設段階にあるプロジェクトから、2022 年までに 9,010 万トンの稼働が見込まれている¹⁾。日本は石炭や石油・石炭・天然ガス等のエネルギー資源の殆どを船舶により輸入している。日本はエネルギー資源がほぼ皆無でありまた島国であるため、石炭や石油・石炭・天然ガス等のエネルギー資源の殆どを船舶により輸入している状況にあり、LNG の輸入量は世界 1 位である。また世界に目を向けてみても石油石炭に比べ超環境低負荷な点により環境対策として中国をはじめ多くの国で需要が増加しており、転換の動きは活発であ

る。海運界でも今後益々厳しくなる排ガス規制に対応する為 LNG を燃料とする船舶も出現しており今後さらに増加すると思われる。

供給面でもアメリカのシェールガスやロシアのヤマルや中南米で相次いで生産が開始しており、需要供給の大幅な増加により海上輸送量の大幅な増加も見込まれており、今後エネルギー資源の主役にとってかわると予想されている。

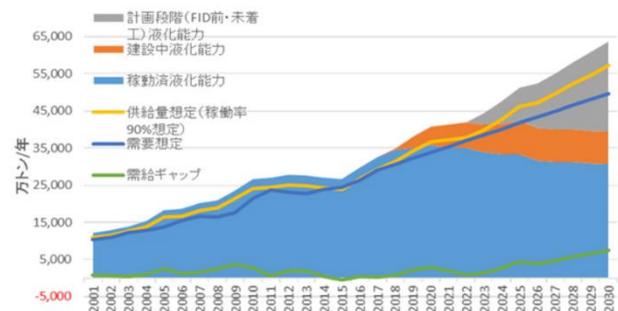


図 1 世界の LNG 需要の見通し¹⁾

LNG は -162°C の冷却により容積を約 1/600 にす
平成 30 年 11 月 30 日受理

* 商船学科
** 日本郵船株式会社 (当時商船学科 5 年)
*** 海技大学校

ることができ、輸送や貯蔵に大きく有利である。この LNG を海上輸送するための LNG 船は当然ながら高い安全性を要求されている。一方、海上輸送の問題点として、大きく気候が異なる地域を横断するため、LNG が気化する BOG (Boil Off Gas) 問題やタンク内の LNG が船体動揺と同調し、激動してタンクを損傷させるスロッシングなどの問題が存在している。これらの問題に対応するため多くの形状のタンクが開発されてきた。今後益々 LNG 需要が高まる中、LNG 船は世界各地で増える LNG 基地との汎用性や輸送効率や環境にも配慮した船舶が求めており、これまでの時代に合う LNG 船の最適タンクを考察した。

2. タンクの種類

これまで多くの形状のタンクが開発され、現在主流である MOSS 型やメンブレン型の他 SPB 型 (Serf-supporting Prismatic tank-IMO type B) が僅かに、円筒形の type C が少数存在している状況である。LNG 船は現状、独立タンク型の MOSS 型やメンブレン型の他 SPB 型など多くの種類が存在している。これらのタンクは IMO (International Maritime Organization) により定められていた IGC コード (International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk) に適合することが求められている。メンブレン型と独立タンク型の違いはタンクと船体の関係にある。メンブレン型は船体に断熱構造を直接施し、その内側に薄い金属膜 (メンブレン) を施した構造である。独立タンクタイプの構造はその逆で、船体とタンクがそれぞれ独立しており、タンクのみで貨物の耐圧・支持が可能な構造である。容積効率の観点ではメンブレン型が圧倒的に有利であるが、安全性は独立タンクタイプの方が確かである。MOSS 型は、1960 年代にノルウェーの MOSS 社が開発を行い、1970 に発表されたタンクである。最大の特徴は球形タンクである。これによって風船の様に LNG 荷重の応力集中が生じずに全体が均一の応力になるため、安全性が高まり、板厚も薄くすることが可能である。タンク容積あたりの表面積が各タンクタイプの中で最小で

あることも大きな特徴である。メンブレン型はフランスで開発され、ガストラנסポート社とテクニガス社が開発した方式が存在したが、現在両社は合併し GTT 社 (ガストラנסポート&テクニガス社) がそれぞれ型式を引き継いで改良された No.96 方式と MarkIII 方式がある⁴⁾。SPB 型は IHI (石川島播磨重工業) によって開発された日本生まれのタンクである。メンブレン型に対する疑問から開発された経緯があり安全性を第一に開発されたタンクである。タンクにはアルミニウム合金を使用しておりタンクと船体との間には強化合板性ブロックを使用している。縦横に多くの隔壁を設置することにより強靱な強度を持っている。その反面重量やコストの増加、内部構造が複雑、温度管理の難しさなどがある。それぞれのタンクに一長一短あり、統一されていないのが現状である。

これは LNG 船の特徴である BOG やスロッシングなど多岐に渡る問題をどう抑え込むかの多くの考え方が存在するためである。

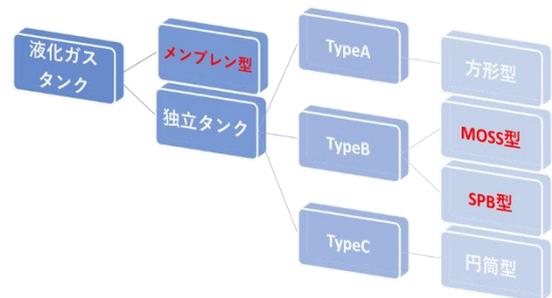


図2 LNG タンクの種別

これらのタンクタイプは IMO により定められた図 3-1 の様に分類されている。IGC コードは、LNG がタンクから液漏れを起こし、船体の構造部材に低温のこれが触れると損傷を起こし、最悪の場合に船体折損等が生じてしまい被害は計り知れない。よって不測の事態によって万が一タンクからの液漏れを起こしても緊急入港等の揚げ荷をおこなうために 15 日間の二次防壁での保管が可能な構造が要求される。しかし技術の進歩に伴う科学解析技術の向上によりクラック発生時に液漏れの

コンテナ輸送における吸水シートが及ぼす 2 次被害対策

影響がどの程度及ぶかを解析することによって二次防壁を必要な部分にのみ設置する部分二次防壁が許可される方式やタンクを圧力容器にし、板厚を大幅に厚くすることによって二次防壁の設置を免除する型式も存在する。

図 3 に示されたメンブレン型と独立タンク型の違いはタンクと船体の関係である。メンブレン型は船体に断熱構造を直接施し、その内側に薄い金属膜（メンブレン）を施した構造である。よってタンクの支持・耐圧を船体が行う構造になっている。この構造にはタンクに亀裂が入った場合や船体への外部影響などに対し安全性に不十分な点が指摘されており、完全二次防壁が要求されている。独立タンクタイプの構造はその逆で、船体とタンクがそれぞれ独立しており、タンクのみで貨物の耐圧・支持が可能な構造である。またタンクの熱伸縮も船体に直接伝わらない構造になっている。容積効率の観点ではメンブレン型が圧倒的に有利であるが、安全性は独立タンクタイプの方が確かであり、更に細分化される Type ごとによって亀裂発生時のクラック進展の解析を行うことで二次防壁の要求がタンク底のみまたは不要となる。

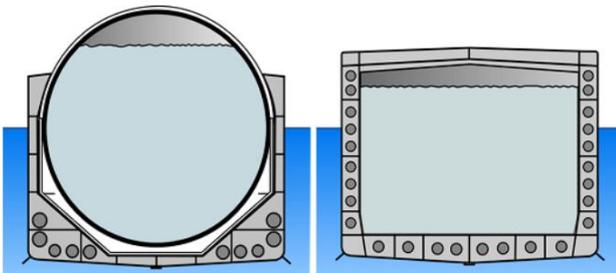


図 3 モス型 (左) とメンブレン型 (右) ²⁾



図 4 SPB 型 ³⁾

図 4 に示すメンブレン型であるが、フランスで開発され、ガストランスポート社の開発したガストランスポート方式とテクニガス社の開発したテクニガス方式とが存在したが、現在両社は合併し GTT 社 (ガストランスポート & テクニガス社) がそれぞれ型式を引き継いで改良された No. 96 方式と Mark III 方式のライセンスを所有している。1994 年にこの 2 方式を組み合わせた CS-1 という新方式が発表されたが、事故が多発し現在は建造されていない。よって 2 方式の詳細を記載する。図 4-3 は 2 方式の構造を比較したものである。2000 年の作成時のデータであるため、BOG が 1 に積載 LNG のどの位の割合で発生するかを表す BOR (Boil Off Rate) が現在より悪い値になっている。またそれぞれの現在使用されている GTT No. 96 と GTT Mark III の名称も旧名称が使用されている。

GTT No.96 (ガストランスポート) 方式は、1990 年代前半に発表された。構造はメンブレン材にインバー (35% ニッケル) を使用することによって LNG を積載するとタンクが伸縮する熱伸縮の対策をしなくてよく、防熱構造はパライトと呼ばれるガラス質火山岩を焼いたものを詰めた断熱箱をレンガ状に積み重ねた構造で、二次防壁として二次メンブレンを設置し、一次メンブレンと同じインバーを使用している。

GTT Mark III (テクニガス) 方式も、1900 年代に発表された。熱伸縮対策はメンブレンのステンレス鋼に縦横に波形のしわを設けて熱伸縮を吸収する様になっている。防熱材にはプラスチックフォームを使用しており、二次防壁にはトリプレックスと呼ばれるアルミシートをグラスクロスで補強したものが用いられている。これら断熱材と二次防壁によって、軽量・コンパクト化が可能になった。

Type A は、クラック解析を行わない代わりにメンブレン型と同様に完全二次防壁を要求されるタイプである。初期の LNG 船に採用されており、構造が比較的容易であることが利点であるが、特殊鋼材を多用しなければならぬことによる重量やコストの増加などの問題があり、近年は建造されていない。

Type B はクラック進展解析を行い、液漏れを万が一起こしても、15 日間の二次防壁内での保

管が可能な構造の基に部分二次防壁が認められている。現在はタンクの下部にドリップパン（受け皿の様なもの）を設ける部分二次防壁が用いられている。この部分二次防壁が認められた背景には MOSS 型の開発に伴い、規則が開発を阻害してはならないとの考え方があり、特例として Type B が設けられ認められた。MOSS 型や SPB 型はこの Type B にあてはまる。

MOSS 型は、ノルウェーの MOSS 社が開発を行い、1970 年に発表されたタンクタイプである。最大の特徴は球形タンクである。これによって風船の様に LNG 荷重の応力集中が生じずに全体が均一の応力になるため、安全性が高まり、板厚も薄くすることが可能である。更に直線の溶接長が長いので自動化や組み立て時間の削減が可能である。タンク容積あたりの表面積が各タンクタイプの中で最小であることも大きな特徴である。熱伸縮の対策法はタンク及びタンクの支持を行うスカートと呼ばれる部材が伸縮することによって対処されている。

SPB 型は IHI（石川島播磨重工業）によって 1980 年に発表されたタンクタイプで、その後 JMU (Japan Marine United) がライセンスを所有している日本生まれのタンクタイプである。メンブレン型に対する疑問から開発された経緯があり安全性を第一に開発されたタンクである。タンクにはアルミニウム合金を使用しておりタンクと船体との間には強化合板性ブロックを使用している。縦横に多くの隔壁を設置することにより強靱な強度を持っている。その反面大量に鋼材を使用することによる重量やコスト高となっている。内部構造が複雑であること。更には鋼材と LNG とが接する面積が広くなることによる温度管理の難しさなどがある。

Type C はタンクの亀裂や液漏れを絶対に生じさせない様にタンク側面の板厚を増して压力容器にすることで二次防壁の設置を免除したタンクタイプである。貯蔵法は常温で積載 LNG より自然発生する BOG による圧力を飽和させることによる圧力式とこれに温度管理を行う低温圧力式とが存在する。いずれも BOG の処理や圧力制御は必要ないのが特徴である。形状は円筒形であり、他に双胴円筒型のタンクも存在している。BOG の

処理をせずに良い点などの重大な利点を持つが板厚制限によってタンクの大きさ即ち積載量に制限されるため、外地から LNG を輸入して来る様な外航 LNG 船には搭載できない。よって小容量運送用に内航の LNG 船や LPG 船に採用されてだけである。

3 タンクの比較

BOG が 1 日でどの位の % で発生するかを表すのが BOR である。初期の LNG 船では BOR 0.45% の船も存在したが開発・改良競争により BOR 0.15% が現在の運送会社と荷主との契約の基準である。各タイプの BOR を示す。No.96 を除いて似通った数値であることが分かるが、BOR 15% を優に超えていることが分かる。

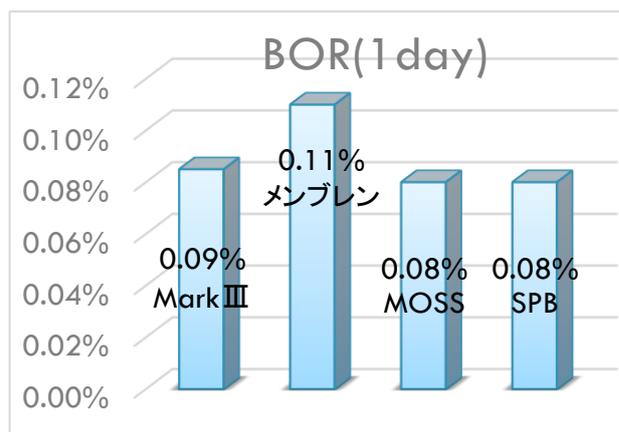


図 4 BOR 発生率

MOSS 型と SPB 型の BOR が低い。近年 BOR 10 % での契約や航海中に使用した BOG を運送会社が荷主に支払う契約もある。また BOG の再液化装置を搭載して従来の内燃ディーゼル機関を用いる LNG 船も増えている。現状では燃料タンクを新たに設ける煩わしさや環境低負荷な点から BOG を燃料とする方向が主流であるが、重油の価格が LNG よりも大幅に安価になった場合等に従来の重油が燃料となる可能性も存在する。以上のことから BOG 低減の重要性は変わっていない。

スロッシングに関して、SPB 型は縦横に張り巡らされた隔壁によって同調をさせない構造にな

コンテナ輸送における吸水シートが及ぼす 2 次被害対策

っており、スロッシングは発生しない。MOSS 型も同様に、球形であるため一点に負荷が掛かることは無いため板厚を十分に設ければこちらもスロッシングは生じない。一方、メンブレン型はスロッシングによって大きな負荷がタンクに掛かっていることが分かる。このことからメンブレン型は積載制限が存在し、一般にタンク高さの 70% 以上又は 10% 以下にし、その間の半載を禁止し、70%~95%の間では、横揺れ・縦揺れの角度を減らし周期を変えるために、船の進路・速力の調整が求められる。満載していた場合でも BOG による積載量の減少によってこの様な処置を取る必要性が出てくるため常に細心の注意が必要である。

LNG 船の建造費は一般に 200 億円と言われている。一般的な商船に比べ特殊鋼材や極低温の LNG を荷卸し・保管するために多くの特殊設備を要するためである。建造費に関する詳細なデータは公表されておらず、建造国やレート・セット販売によって大きく左右し、安易に推し量れない側面があるが、一般に安価な順からメンブレン型・MOSS 型・SPB 型とされている。メンブレン型は MOSS 型に比べて鋼材使用量を抑制できるため建造費は安価であるとされる。SPB 型は建造数の少なさと大型の SPB タンクの建造にブランクがあることから建造が確立されておらず、使用鋼材が大量であることや、溶接線長が長いことなどからこの 2 タイプに比べ数割の割高であるとされている。

クールダウンとは積荷役を行う時に、タンクと LNG と温度が乖離している状態で積載すると、タンクをはじめ様々な設備に損傷を与えるため、あらかじめタンクを冷却しておく事前準備のことである。MOSS 型は 1990 年以降に建造された船を一例にとると、タンクとスカートとの接合部であり最も板厚の厚く熱応力が最も大きい赤道部の温度が -110°C 以下でないと積み付けを行うことが出来ず、許容クールダウンレートと言われる一度にクールダウンできる温度も制限されており、このクールダウン作業にバラスト航海中の大半の日数を要する。また気象や航行海域によって外熱の影響が大きく異なり、積み荷の管理を行う船員には大きな負担が掛かってしまう。一方のメンブ

レン型は熱容量が小さいため、積地入港前の極短時間のクールダウンのみで積載可能となる。

安全運航に重要な操縦性であるが、メンブレン型と SPB 型はフラットな形状なのに対し、MOSS 型は球形のタンクのため甲板上に大きく突き出る形状をしており、見通しも悪く一般に船橋の高さを上げる処置がなされている。これにより更に風圧抵抗を増大させる結果となっている。しかしながら推進性能などを表す方形係数は、MOSS 型が水線下に LNG タンクが殆ど存在しないため、水線下の形状に自由度があるため良くなっている。

5. まとめ

近年これらのタンクもそれぞれに進化を続けている。MOSS 型はストレッチタンクを経てリング型タンクが開発された。タンク形状を球形から球殻部・円環部・円筒部という異なる 3 つの素材の組み合わせによって構成されており、容積効率を 15% も改善することが可能であり、連続タンクカバーの開発によって風圧 30 抵抗や船体重量が大幅改善されている。さやえんどう型からさらにサヤリング型と呼ばれる新しい MOSS 型が既に建造されている。メンブレン型も Mark III や No. 96 といった従来のモデルを改良させたモデルを発表しており、BOG の大幅な低減を目指している。SPB 型はシェアを巻き返すかと思われたが、建造トラブル等⁵⁾で後退気味であったが、元来技術力が高く、スロッシングが起きにくく、強固な構造と安全性からこのままシェアが減少していくとは思えない。今後再び需要があると思われる。さらに全体では MOSS 型の大幅な改良が評価されメンブレン型のシェアを分けると思われる。最後に益々 LNG の需要が高まる中、今後の LNG 船は世界各地に増える LNG 基地との汎用性が求められ、船陸整合性が大変重要となってくる。またこれまで以上に輸送効率・燃費性能も優れ、環境にも配慮した船舶が求められ、LNG 船及び LNG 運航船員の重要性が増してくると思われる。

参考文献

- [1] IEA, Natural Gas Information 2018.
- [2] https://www.iru-miru.com/article_detail.php.
- [3] IHI 技報 vol.52 No.3(2012).
- [4] 湯浅和昭,LNG 輸送技術の最新動向, 2008.
- [5] 日本経済新聞, 4 月 23 日, 2018.
- [6] 糸山直之:LNG 船がわかる本(新訂版);成山堂書店
- [7] 三菱重工技報,Vol.50,No.2(2013)
- [8] 古林義弘:LNG・LH2 のタンクシステム-物理モデルと CFD による熱流体解析-;成山堂書店
- [9] 三菱重工技報,Vol.52,No.1(2015)
- [10] 日本物流学会誌,第 14 号(2006.05)
- [11] 日本郵船 LNG 船運航研究会:LNG 船運行の ABC;成山堂書店

船舶ビルジ水処理に向けた液中プラズマ実験装置の開発

佐久間 一行*

Development of In-liquid plasma experimental device for bilge water treatment on vessel

Ikko Sakuma*

Abstract

To mix of surfactants to bilge could emulsify bilge water. The bilge treatment requires both regular and additional separation processes. I focus on in-liquid plasma process to the treatment for improvement of the work efficiency. The plasma forms a reaction field with oxidizability at bubbles in water by generating radicals. Therefore, I developed an in-liquid plasma experimental device for applying the treatment. In initial experiments, argon gas was used for plasma seed gas and distance between electrodes and gas flow rate were varied. Plasma emission was observed by using spectrometer. The spectroscopy revealed generation of OH radical spectrum.

1. 緒言

外国航路を運行する船舶においては、海上の労働に関する条約(MLC2006[1])によって、船内において限られた空間・労働力を効率よく割り当てて航行する必要から、船舶内作業の効率化が求められている。中でも、廃油の焼却処理には多くの労働力が割かれており、廃油の発生を抑制する技術開発が求められている[2]。ビルジは、船底に溜まる汚水であることから、水分中に油が混じる

ため、廃油のように焼却処理を行うためには油水分離処理を行う必要がある。しかしながら、ビルジ中に洗剤などによる界面活性剤が混入することでビルジ中の油水が乳化する可能性があり、この場合には、油水を分離するために別途フィルタ処理が必要となるが、現在の船舶における国際海事機関による取り決めにおいて、乳化したビルジについても油水分離処理が可能な設備が搭載されることが求められている[3]。

一方、近年バラスト水の殺菌処理へのプラズマの応用が広く研究されており、プラズマの船舶自機器への応用研究が進められている。中でも、真空機器を必要とせず低コストに生成できる大気圧プラズマを用いた応用研究と

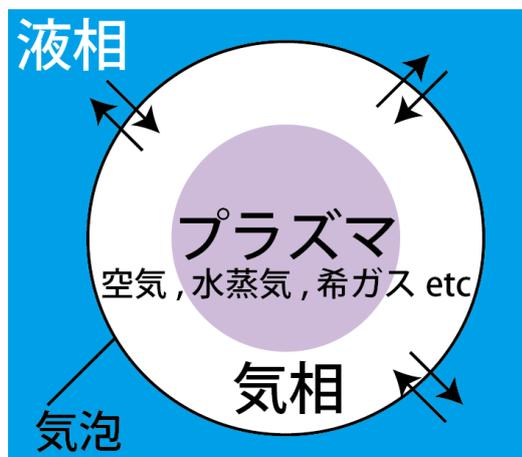


図 1 液中プラズマ発生時の気液界面の模式図



図 2 対向棒電極間に発生する液中プラズマ[6]

* (所属) 商船学科

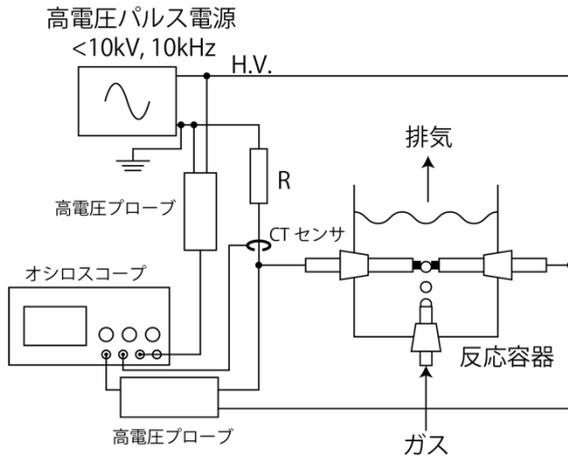


図3 液中プラズマ実験装置概略図

して、水中で生じた気泡内にプラズマを形成する液中プラズマ[4, 5]が近年注目されている。図1に液中プラズマの発生方法の一つとして棒電極における放電の様式図および先行研究[6]における放電の様子を示す。液中プラズマは、水を絶縁破壊させる水中放電とは異なり、水を始めとする液体中に発生させた気泡の中で放電を発生させてプラズマを生成する。このため、ガスの雰囲気は大気圧程度の圧力を持つため、大気圧放電と同程度の電極間電圧で放電させることが可能となる。また、プラズマのガス種についても気泡に使用するガスによって制御する事ができる利点を持つ。こうした液中プラズマは水質浄化研究などとして応用された例[7]があるが、複数種の油分が混入した油水または乳化した油水であるビルジの分解処理を試みた研究は行われていない。

本紀要は、液中プラズマを利用して練習船弓削丸を始めとした船舶から生じるビルジの油分分解処理を行うための液中プラズマ発生装置の開発を行い、その初期放電特性の評価を行った研究成果について報告を行う。

2. 実験装置

図3に実験装置の外観図を示す。

反応容器は、アクリル樹脂製の円筒管に左右の穴からシリコン栓で封じつつ電極が挿入されている。円筒管の下方からこちらにもシリコン栓によって封じられており、シリコン栓を貫通させたガラス管(内径 6 [mm])よりガスが挿入される構造を持つ。シリコン栓を通じて装置内に挿入される電極には、タングステン棒($\phi 1$ [mm], ニラコ社製)を使用しており、電極先端 0.5 [mm]を出して、それ以外の外側をセラミック管(ニラコ社製, 外径 2 [mm], 内径 1 [mm])で覆った。対向させたタングステン電極は、電極間距離が 1 [mm]および 1.5 [mm]で設置した。この装置では、電極下に設置したガラス管からガスを注入することで気泡を形成し、

そこに電圧を印加することによって放電してプラズマが生成される。プラズマ生成電源にはバイポーラパルス電源(玉置電子工業株式会社製, TE-HVP1010K300-NP(C), 最大印加電圧 V_{pp} : 10 [kV], パルス半値幅: ~ 5 [μs], 周波数: 10 [kHz])を用いた。

初期放電試験は、反応容器内に純水を注入し、放電ガスには安定した放電を得るため準安定順位[8]の低い希ガスであるアルゴン(Ar)ガスを使用して、電極間距離およびガス流量を変化させて行った。

放電試験回路は、放電電極と放電時の電流を制限する抵抗によって構成されている。電流制限用の抵抗には長時間の放電によっても焼損しないようにホーロー抵抗(OHMITE 社製, L100J10KE, 10000 [Ω], 100 [W])を用いた。回路全体に印加される電圧と電極間にかかる電圧はそれぞれ高電圧プローブ(Pintek 社製 DP-22Kpro, <7.8 [kVrms])および Instek 社製 GDP-050, <2.3 [kVrms])を使用して計測し、回路を流れる電流計測は電流センサ(URD 社製, CTL-6-P-Z, 検出抵抗 100 [Ω])を使用して、オシロスコープ(RIGOL 社製, DS1054)にて波形を取得した。放電中は、平面凸レンズ(シグマ光機社製, SLSQ-20-30P)と光ファイバを使用してプラズマからの発光を採光し、分光器(Avantes 社製, AvaSpec ULS3648-USB2, 計測波長: 200–1100 [nm], 波長分解能: 0.6–0.7 [nm])を用いた発光分光計測を行い、生成される液中プラズマの生成物の調査を行った。

放電前の実験回路への電圧印加時の電圧電流波形を図4に示す。波形は上から順に(a)電極間に印加されている電圧, (b)回路に流れる電流, (c)回路全体の電圧, (d)電極間の電圧および電流の積から求めた電力, (e)時間軸を広げた電極間に印加される電圧を示している。これらは電極間距離が 1.5 [mm]のときに計測した波形である。波形から半値幅 5 [μs]程度のバイポーラパルス電圧が印加されていることがわかる。電流は若干であるが流れているように見えるが、電力波形から電極間の抵抗成分によるエネルギーの消費が小さいことがわかる。

3. 実験結果

初期放電実験は、電極間距離を 1 [mm]および 1.5 [mm]としてガラス管より Ar ガスを 1.0–2.5 [L min^{-1}]の間で変化させてその放電開始電圧および放電時の発光スペクトルを調査した。

図5に放電時の放電波形、図6に放電時の電極付近の写真を示す。図4同様に、波形は上から順に(a)電極間に印加されている電圧, (b)回路に流れる電流, (c)回路全体の電圧, (d)電極間の電圧および電流の積から求めた電力を示している。放電時には火花放電による電

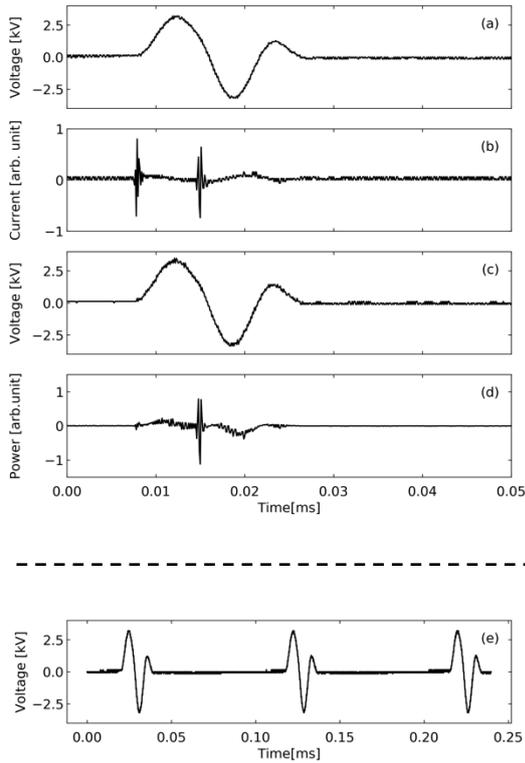


図 4 放電前の電圧電流波形

圧の急峻な落ち込みがみられ、その後振動している。これは Ar ガスが放電によって電離されることで電極間の抵抗が急激に低下したことによるものと考えられる。また、放電電流は、火花放電が生じた間のみ流れており、放電電圧の振動が収まったあとは電流がほぼ流れていないことがわかる。また、電極間の電力は放電直後に急峻に立ち上がるが、 $2\ [\mu\text{s}]$ 程度で0となっており、放電の瞬間のみエネルギーが消費されていると考えられる。

図 7 にガス流量と放電開始電圧の関係を示す。放電試験は、ガス流量を $0.5\text{--}2.0\ [\text{L min}^{-1}]$ 、電極間距離を $0.5\text{--}2.0\ [\text{mm}]$ の間で変化させ、放電時の電圧電流計測を 3 回ずつ行い、その平均値および振幅をプロットした。ただし、電極間距離 $1\ [\text{mm}]$ かつガス流量 $1\ [\text{L min}^{-1}]$ では放電が一回しか生じず、また、プロットの無い条件では放電が生じず、計測が行えなかった。これは、電極間距離が近すぎる場合、気泡の表面張力によって、電極が気泡に包まれず、気泡が電極を回避するため放電が生じないと考えられる。また、ガス流量が少ない場合も同様に気泡が電極間を避けて通過するため、放電に至らないと考えられる。図より、放電は $2\text{--}4\ [\text{kV}]$ の範囲で生じていることがわかる。ガス流量が $2.5\ [\text{L min}^{-1}]$ のときには、放電開始電圧において、電極間に振幅を超えた差が見られており、一般的に放電現象で考えられるように電極間距離が短いほど放電開

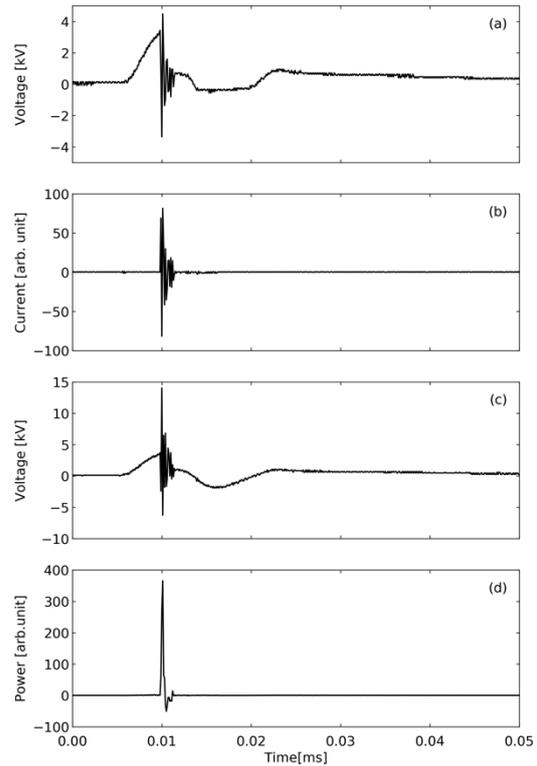


図 5 放電開始時の電圧電流波形

始電圧が低くなっている。一方で、それ以外のガス流量では、電極間距離によらず放電開始電圧が同程度であることがわかる。ガス流量は、電極が気泡に包まれているかに影響することから、安定した放電を得るためには、本装置では $2.5\ [\text{L min}^{-1}]$ 以上のガス流量が必要になる。

図 8 に発光分光計測の結果を示す。分光計測では、分光器の積分時間を $400\ [\text{ms}]$ 、平均回数を 3 回と設定し、実験装置は電極間距離を $1, 1.5\ [\text{mm}]$ とそれぞれ変化させて計測を行った。電極間距離にかかわらず発光するスペクトル種はほぼ一致することがわかる。しかしながら、実験ごとに光学系の位置条件が異なるため発光強度の比較は行えない。得られたスペクトルに

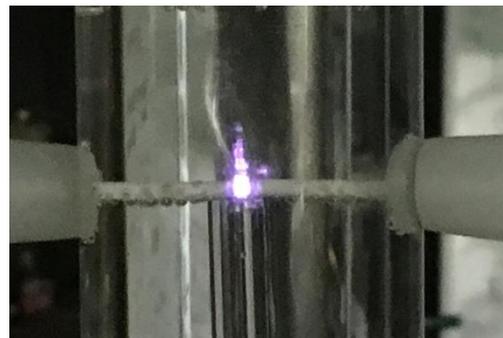


図 6 放電中の電極付近の写真

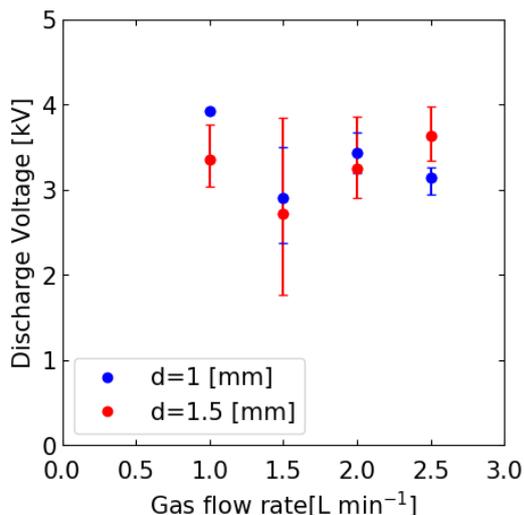


図 7 ガス流量-放電開始電圧特性

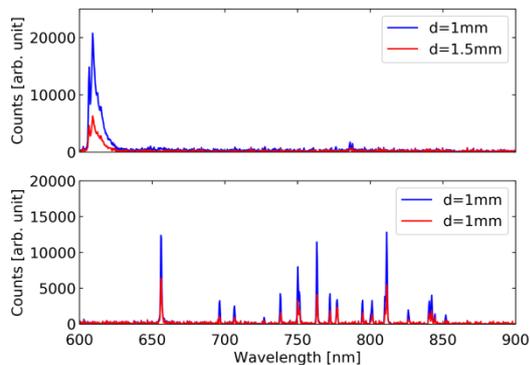


図 8 液中プラズマの発光分光計測結果

ついて、線スペクトルは NIST Atomic Spectra Database Lines Form[9]を参照することで、その多くが Ar I の原子線スペクトルであることを確認した。表 1 に観測された線スペクトルの一覧を示す。水素原子の線スペクトルのバルマー系列である H_{β} (486.13 [nm]), H_{α} (656.28 [nm]) および、酸素原子の線スペクトル (844.63 [nm]), OH ラジカル (309 [nm] 付近) が観測されていることから、容器内の水も放電によって電離されていることがわかる。また、電極間距離 1 [mm] においては、特に 1 価の Ar 陽イオンによる発光線スペクトル (487.98 nm) が観測されており、Ar プラズマが形成されていることが明らかとなった。

本実験装置では、放電によって酸化力の強い OH ラジカルを生成できることが分光計測を通じて明らかとなった。

4. 結言

本研究では、液中プラズマを用いて船舶内に発生す

表 1 観測された発光線スペクトル波長

測定波長 [nm]	参照波長 [7] [nm]	原子線スペクトル
486.16	486.13	H_{β}
487.84	487.98	Ar II
656.03	656.28	H_{α}
696.53	696.54	Ar I
706.71	706.72	Ar I
727.03	727.06	Ar I
738.15	738.39	Ar I
750.23	750.38	Ar I
751.21	751.46	Ar I
763.27	763.51	Ar I
772.39	*772.37	Ar I
777.27	777.19	O I
794.81	794.81	Ar I
801.3	801.47	Ar I
810.37	810.36	Ar I
811.34	811.53	Ar I
826.22	826.45	Ar I
840.76	840.82	Ar I
842.36	842.46	Ar I
844.62	844.63	O I
852.03	852.14	Ar I

*複数の近い線スペクトルが重なっている

る油水であるビルジを分解処理するために、液中プラズマ実験装置の開発を行った。初期放電実験は、棒電極を電極間距離 1–1.5 [mm] で対向させ、Ar ガスをガス流量 1.0–2.5 [L min⁻¹] で電極間に注入して電圧を印加することで実施した。バイポーラパルス電源による電圧を印加することで、2–4 [kV] 程度の範囲で放電が開始されることが明らかとなり、液中プラズマの生成が行える装置が開発できた。また、分光計測によって、放電時に種ガスの Ar が電離するだけでなく、水由来の水素原子、酸素原子そして OH ラジカルの発光スペクトルが観測された。OH ラジカル等が生成されている環境が形成されていることから、今後、アルカンなどの試薬による分解実験だけでなく、本校練習船弓削丸で発生するビルジを用いた分解実験などを実施する予定である。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP 17K14886 の助成ならびに NIFS 計測機器棟共同利用制度の支援を受けて実施された。

参考文献

- [1] Maritime Labour Convention, (2006).
- [2] 日本海運振興会, 平成 17 年度内航船の廃棄物の処理と受入施設に関する調査研究報告書, (2005).
- [3] Resolution MEPC.107(49), (2003).
- [4] S. Nomura *et al.*, Plasma Sources Sci. Technol. **20**, 034012, (2011).
- [5] S. Nomura, J. Plasma Fusion Res., **89**, 199–206, (2013).
- [6] O. Takai, Pure Appl. Chem., **80**, 2003 (2008).
- [7] K. Yasuoka, IEEJ Trans. FM, Vol. 129, No. 1, 2009.
- [8] O. Sakai *et al.*, J. Phys. : Conference Series **86**, 012015, (2007).
- [9] NIST Atomic Spectra Database Lines Form : https://physics.nist.gov/PhysRefData/ASD/lines_form.html

TEX と K_ET Cindy 2つの工夫

久保 康幸 *

Two suggestions on TEX and K_ET Cindy

Yasuyuki Kubo *

Abstract

First, I suggested how to use the mechanism to switch display of questions and answers that I prepared for TEX. Secondly, I proposed a syntax coloring idea to make it comfortable for editing text files to use when creating slides with K_ET Cindy.

1. 問と答の表示切替

私は、過去の紀要(久保・亀田 [1], [2])において、問と答の表示切替を TEX で実現する仕組み ctoi 環境と ckai 環境の組合せを提案している。

そのときは、tex ソースの修正部分と表示切替の対応を示す例を提示したが、今回は、実際に教材を作る際には、その仕組みを利用して、過去に紹介したのとは異なる出力を得ることができるということ紹介しようと思う。

1.1 他の表示切替の紹介

自分で問と答の表示切替の仕組みを作らなくとも、既にあるのではないか? というのが当然の疑問としてある。[1], [2] で紹介していないものがあつたので、ここで紹介しておく。

emath パッケージには、emathAe.sty が含まれていて、解答の扱いを色々変更したい場合には、別に用意するファイル内に、解答を kaitou 環境内に入力し、コンパイルする tex ソースで emathAe.sty を利用することで実現するようだ [3]。

1.2 自分の提案した表示切替の紹介

環境内に入力したものが切り替わる点では、emath パッケージの kaitou 環境と自分の提案した ckai 環境は同じように思われる。ただ、その環境内に入力した答をどのように処理するかは、kaitou 環境が emathAe.sty パッケージの読み込み時に、オプションで指定するのに対して、ctoi 環境、ckai 環境の場合は、本文中で変更できる。

この仕様を活用すれば、コンパイル用の tex ファイルと別に、本文を編集するファイルを用意することで、一つの pdf ファイルに、「問の答のスペース」、「問と答」、「問のみまとめた」、「答のみまとめた」といったページを入れることができる。

一つの tex ソースで、一部を書き換えることで表示を切り替えた複数の pdf ファイルを得るのではなく、一回のコンパイルで、2つ以上の切り替えた状態のものを、一つの pdf ファイルにまとめることを提案する。

- 修正時に、修正前と修正後の切り替え表示がセットになることで違う版のものが混ざらない。
- 一つの tex ソースの一部を修正して切り替える場合でも、切り替えパターンは2つ以上であり、手元に残るファイルは3つ以上になる。切り替えるパターンが増えるごとにファイル数が増える。これに対し、pdf を一つにすれば、コンパイル用のファイル、内容を入力するファイル、出力した pdf ファイルの3つで済む。

次の節では、私が授業で利用したプリントを例に、「問と答のスペース」、「問と答」の2ページからなる pdf ファイルの作成を示す。

1.3 pdf ファイル作成の実例

コンパイル用の tex ファイル () と、内容を入力した tex ファイル () を用意する。コンパイル用の tex ファイルのドキュメント部分には、次のようなコードを入力しておく。

```
%%% 下の3行で切り替える %%%
\renewenvironment{ctoi}[1][blue]{\color{#1}}
{\relax} % 問の部分の扱いを定義

%\renewenvironment{ckai}[1][magenta]{\color{#1}}
{\relax} % 答の部分の扱いを定義

\renewenvironment{ckai}[1][white]{\color{#1}}
{\relax} % 答の部分の扱いを定義

% 上の2行をともにコメントアウト(1行目を活か
```

す) なら, 問を詰める.

```
\input{2年181113漸化式_内容.tex}
```

下 の 3 行 で 切 り 替 え る

```
\renewenvironment{ctoi}[1][blue]{\color{#1}}{\relax} % 問の部分の扱いを定義
```

```
\renewenvironment{ckai}[1][magenta]{\color{#1}}{\relax} % 答の部分の扱いを定義
```

```
\renewenvironment{ckai}[1][white]{\color{#1}}{\relax} % 答の部分の扱いを定義
```

上 の 2 行 を と も に コ メ ン ト ア ウ ト (1 行 目 を 活 か す) なら, 問を詰める.

```
\input{2年181113漸化式_内容.tex}
```

このソースの中で\input で読み込まれた tex ファイル “2年181113 漸化式_内容.tex” に実際に問と答を入力する。

なお, このソースのプリアンブル部分には, 次の 2 行があり, 3 行のうち後ろの 2 行をコメントアウトすることにより, ckai 環境がコメントアウトのための環境になるようにしてある。

```
\excludeversion{ctoi}
\excludeversion{ckai}
```

これにより作成された pdf ファイルの 1 ページ目 (図 1) と 2 ページ目 (図 2) をそれぞれ示す。

2. K_εT Cindy でのスライド作成時

K_εT Cindy でスライドを作成するとき, 内容を入力するテキストファイル (拡張子 txt) を別に用意する。そのとき, 構文による色付けがされてないと, 文章の内容も命令部分も同じ色では不便を感じた。対処法としては, スライドの内容を tex ソースを編集するソフトで編集することと, テキストファイルを編集するエディタの設定を修正することである。私の場合は, tex ソースの編集に texworks を使用している。

スライド作成時の txt ファイルには, tex コマンドのほか K_εT Cindy 独自の命令も入力する。texworks の構文色付けに K_εT Cindy の命令も追加できれば良いが, できそうになかった。

txt ファイルの編集には, サクラエディタを使っており, 構文色付けの機能も用意されている。また, tex ソース編集向けの選択メニューまで用意されている。しかし, これは不十分だった。

(1) 登録された単語を色付けで強調する仕組みだったので, 色付けすべき命令の連続した入力に対応していなかった。例えば, 色付けされる単語に “\sin”, “\theta” の両方が登録されているのに, sin θ を表示するための “\sin\theta” が色付けされないことが確認された。

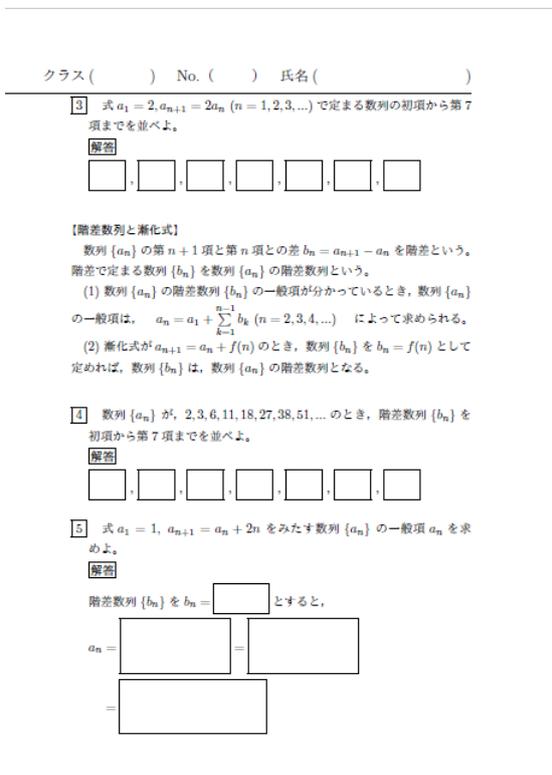


図 1 解答の非表示 (1 ページ目)

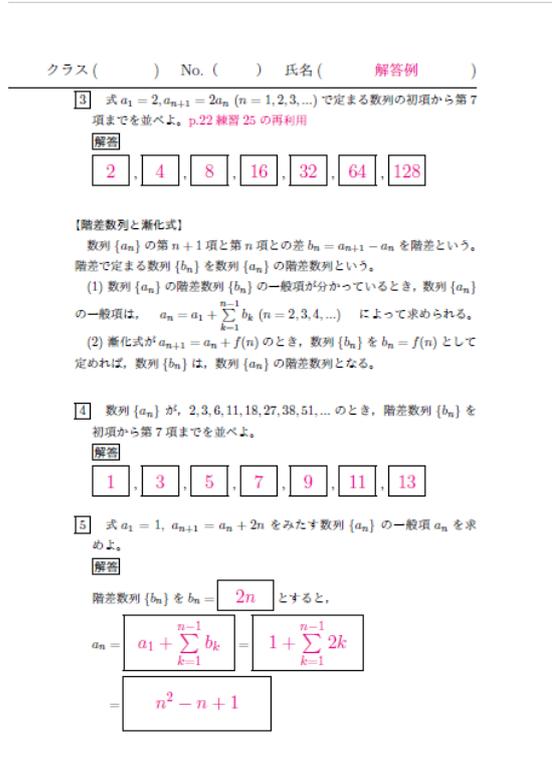


図 2 解答を表示 (2 ページ目)

(2) texworks と同様に K_FT_Cindy 独自の命令が色付けされない。

2.1 実際の対応

まず、一般の T_EX コマンド色付けのためには、サクラエディタに用意されたものを使用する。

次に、(1) の状況に単語の色付けで対応するには、コマンドの結合をした数多くの単語の登録が必要となる。サクラエディタのヘルプ (リンク先 [4]) によれば、最大で 15000 個までのキーワードを登録できるが、コマンドの結合を組み合わせて対応するのは現実的でない。そのため、サクラエディタに用意された、もう一つの方法である、正規表現による色付けを利用した。

正規表現は、次のようにした。

```
/(\)[A-Za-z]+/k
```

これにより、エスケープコード “\” で始まる単語に対応できる。

また、数式モードの切り替えに使う “\$” が色付けされてなかったため、これも正規表現

```
/[\$]/k
```

で対応した。なお、texworks に合わせて茶色を指定した。

T_EX における環境の始まりと終わりを示すコマンド \begin, \end は、後ろに必ず “{” に続ける環境名を伴うので、次のような正規表現にした。

```
/(\begin|begin|end)(?=[\{])/k
```

```
/(\end|begin|end)(?=[\{])/k
```

正規表現による色付けは、100 個までのキーワードにしかな対応していないため、登録単語による色付けで対応できないものに限った。

2.2 スライド作成のためのリスト

ここで、(2) の状況に対応するため、K_FT_Cindy によるスライド作成時の命令について、順に紹介する。

```
main::文字列//(章タイトルの指定)
```

強調キーワードへ “main:” を登録することで対応。

```
new::文字列//(節タイトルの指定)
```

強調キーワードへ “new:” を登録することで対応。

```
new::[数値]::文字列(節タイトルに行下げを指定)
```

上とは別に、/(new::|begin|end)(?=[\w\{])/k という正規表現で対応する必要があった。

```
%repeat=数値//(new 含むスライドの枚数)
```

強調キーワードへ “% repeat” を登録することで対応。

```
\slidepage//(スライドにページ番号を表示)
```

/(\slidepage|begin|end)(?=[\w\{])/k という正規表現で対応。

```
enumerate//(enumerate 環境の始まり)
```

/(enumerate|begin|end)(?=[\w\{])/k という正規表現で対応。

```
itemize//(itemize 環境の始まり)
```

正規表現/(itemize|begin|end)(?=[\w\{])/k で対応。

```
layer::[数値]{数値}//(layer 環境の始まり)
```

正規表現/(layer::|begin|end)(?=[\{])/k で対応。

```
end//(上の3環境の終わり)
```

強調キーワードへ “end/” を登録することで対応。

```
item::文//(item を追加)
```

正規表現/(item::|begin|end)(?=[\w\{])/k で対応。

```
putnote::方向と位置など//(layer 環境に図などを入れる)
```

強調キーワードへ “putnote:” を登録することで対応。

```
\setthin{濃さ}//(文字の濃さ)
```

T_EX コマンドと同じ扱いとし、特に何もしなかった。

他にも、Setslidebody, Setslidehyper, Setslide-main, Setslidepage などのスライドの設定に関するコマンドがあるが、これらは、後ろに “(” を伴うので、強調キーワードへの単語登録で対応できた。

なお、2018 年 11 月 12 日現在の K_FT_Cindy には、2018 年 7 月 29 日版の houtouseslidej.txt が含まれており、それを参考に必要なコマンドと使用方法を確認した。また、スライドの内容を入力するテキストファイルの全ての行の最後には、“//” をつけることになっている。これがサクラエディタの単語の区切りの認識に影響を与える。また、後ろに “{” に続ける可能性のあるものも正規表現で対応しなければならなかった。K_FT_Cindy の開発が進み、スライダの内容を入力するテキストファイルの行末に “//” をつけてもつけなくてもよくなったことが、2018 年 11 月 27 日にメーリングリスト KeTpic.com で知らされた。ここで紹介した正規表現キーワードによる対応のいくつかは、次第に不要になると思われる。

2.3 コメントアウトについて

K_FT_Cindy によるスライド作成で、%repeat により繰り返し枚数を指定したページでは、“%[:]:文章” により文章を表示したいページを指定する。(ページ指定の構文は HoutouseslideJ.txt を参照。)

そのため、スライドの内容を編集するテキストファ

イルは、先頭に % をつける行が多く、texworks のような、% によるコメントアウト行への色付けでは、構文の色付けが意味をなさない。

スライドの内容を編集するテキストファイルでは、コメントアウトは、2つ以上の % で指定することになっており、サクラエディタでは、コメントスタイルの設定画面で、コメントアウトの色付けは“%%”を指定した。

この事情からも、スライド作成時のテキストファイルは、texworks よりも、今回のように設定したサクラエディタで編集することにした。なお、 $\text{K}_{\text{E}}\text{T}_{\text{C}}\text{Cindy}$ が配布されている Dropbox からは、関連ソフトとして Terapad というエディタが入手できるが、Terapad には、構文による色付けの機能はないようである。[6]

2.4 他の PC との共有

ここで紹介したサクラエディタの色付け設定（強調キーワード、正規表現キーワード）は、インポート、エクスポートにより他の PC にインストールしたサクラエディタに反映できる。

参考文献および参考 URL

- [1] 久保康幸・亀田真澄： $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ による問と答の表示切替, 弓削商船高等専門学校紀要, 第 38 号, pp.87–89, (2016).
- [2] 久保康幸・亀田真澄： $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ による問と答の表示切替 2, 弓削商船高等専門学校紀要, 第 39 号, pp.29–33, (2017).
- [3] sampleae.pdf(emathAe.sty ver.0.36):
ダウンロードサイト (2018/11/28 確認):
<http://emath.s40.xrea.com/allinone.htm>.
- [4] サクラエディタ ヘルプ最終更新日 2013/03/31
: <http://sakura-editor.sourceforge.net/htmlhelp/HLP000086.html>.
- [5] 「Ketpic.com」(<http://ketpic.com/>)
- [6] TeraPad で指定した箇所の文字色を変更したい:
(サイト確認 2018/11/28):
<https://bzizi.exblog.jp/17444266/>.

白砂寮における学生指導事例の検証

南郷 毅*

A Case Study on Student Guidance at Shirasuna Dormitory

Tsuyoshi Nango*

Abstract

This paper discusses the student guidance at Shirasuna Dormitory. Several years ago, the student became missing from Shirasuna dormitory. Teachers looked for him. As a result, he was found safely the next day. The purpose of this study is to consider how to deal with student disappearance. The author analyzes teachers' behavior on this case and clarifies the improvement points.

1. はじめに

筆者は、本稿執筆の現在も含め、直近5年間、継続して寮務主事補に任命され、学生を指導している。寮内では、日々、学生指導上の様々な問題が発生する。寮内で問題が発生すれば、寮務主事が指揮をとり、寮務主事、寮務主事補、寮務係が中心になり対応する。夜間の急病人への対応など、寮務主事、寮務主事補ではなく、宿直教員が対応する案件もある。夜間の急病人への対応は、一定の頻度で発生する。そのため、学生の救急車で搬送経験、学生を夜間外来に連れていった経験、学生を静養室に隔離した経験を有する教員も増え、対応のノウハウが蓄積している。このように、特別な事案ではなく、日常的に寮で発生する事案については、寮務主事、寮務主事補、宿直教員、寮務係がそれぞれの状況で対応し、どのように対応するかは、ある程度の方向性が見えている。

一方で、数年に一度程度であるが、外泊許可願の申請漏れ以外で、しかもなんらかの意図を持って、学生が所在不明となることがある。筆者は、宿直教員として、このような事案に複数回対応した経験がある。このような事案の対応は、宿直教員と弓削島内に居住する寮務主事、寮務主事補に依存しており、どのように対応すべきかについて、明確な指針はない。また、結果的には学生の所在が把握され、それぞれ無事に解決しているが、その時の対応がどのようなものであったかは記録されておらず、また、対応の検証も行われていない。

学生の寮からの意図を持った所在不明は、本来、

学生の自殺や重大な非行の可能性のある極めて重大な危機である。昨今の高専を取り巻く環境の変化からも、実際に発生した危機への対応を分析し、どの対応が適切であり、どの対応に改善の必要があるかを明らかにすることは、今後の高専の寮における危機管理に重要と筆者は考える。

本研究の目的は、実際の学生所在不明事案の対応を危機管理の観点から分析し、所在不明事案への対応についての知見を導出することである。

本稿では、寮で発生した所在不明事案（翌日、無事に見つかった）を取り上げ、検証した。その結果、4つの改善点を導出し、5つの教訓を得た。

なお、筆者は、この事案が発生した当日の宿直教員であり、寮務主事補であり、現場において保護者対応等で中心となった教員である。

2. 本校の地理的特性と宿直業務の概要

2.1 本校の地理的特性

事案を分析するにあたり、事案発生当時の本校の地理的特性を述べる。なお、公共交通機関の時間は、廃止となった航路などがあり、現在とは異なっている。

本校は、愛媛県と広島県の県境の弓削島にある。橋によって佐島、生名島へ行くことはできるが、四国、本州へ行くには、フェリー又は高速船に乗る必要がある。

学生が普段利用する港は、下弓削港（白砂寮から1.6キロ）、生名島の立石港（白砂寮から5.7キロ）である。学生は、船の時間が終了すると四国方面（愛

媛県), 本州方面 (広島県) に出ることはできない。各港の最終便を表1にまとめる。

表1 各港の最終便 (事案発生当時)

行先 港	広島県側		
	愛媛県側 今治	土生	三原
下弓削	18:45	19:45	-
立石	-	23:00	20:29

立石港の最終便が23:00であることから、一見すると深夜まで広島県側に出られるように見える。しかし、広島県のJR尾道駅行きのバスの最終出発時刻は、因島の土生港20:35発であり、学生が公共交通機関を利用して広島県側に行くには、事実上、立石港20:29発の三原行が最終便となる。図1に本校、寮、港の位置関係を示す。

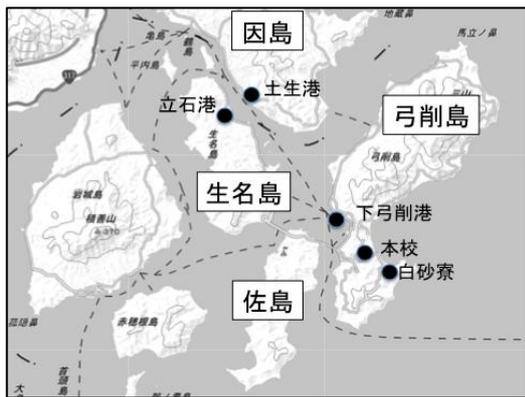


図1 本校・寮・港の位置関係 (国土地理院の電子地形図[1]に地名を追加し作成)

図2に弓削島と近隣の都市の位置関係を示す。

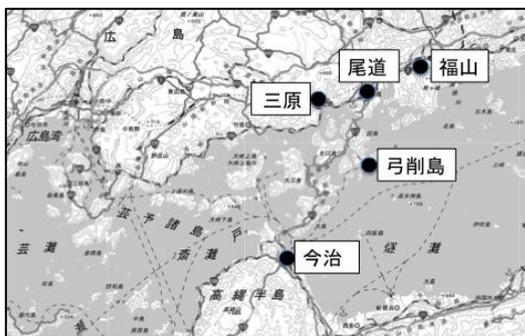


図2 本校・寮・港の位置関係 (国土地理院の電子地形図[2]に地名を追加し作成)

三原, 尾道, 福山には山陽新幹線の駅, 高速バスの夜行便の乗り場がある。また, 今治には高速バスの夜行便の乗り場がある。弓削島から公共交通機関

を用いてこれらの駅や乗り場へ行くには, 1時間から1時間30分程度の時間がかかる。本校の地理的特性は, 次のとおりである。

- ・本校及び本校の寮は離島に存在し, 島から出るにはフェリーまたは高速船に乗る必要がある。
- ・公共交通機関により近隣の幹線, 高速バス乗り場へ行くには, 20:29 立石港発の船が最終便である。

従って, 学生が所在不明となった場合も, 時間により移動できる範囲に大きな制約がある。

2.2 本校の宿直業務

事案を分析するにあたり, 事案発生当時の本校の宿直業務や居室状況について述べる。

本校では, 3名体制で宿直業務を行っている。本校の平日夜間の指導体制を表2にまとめる。

表2 平日夜間の指導体制 (事案発生当時)

棟	女子棟	男子棟	
		低学年	高学年
曜日	A棟 3, 4階	B棟 A棟2階	C棟 A棟1階
月水金	寮母	教員	教員
火木	教員	教員	教員

教員は17:00~翌日8:30まで寮内で宿直に当たる。寮母は23:30に帰宅し翌日7:00に出勤するため, 月・水・金曜の女子棟の寮母の在寮時間は, 17:00~23:30および7:00~8:15である。

本校の平日夜間の宿直業務を表3にまとめる。表中の自習時間は金・土・日曜日および休日はない。

宿直業務中に教員, 寮母が学生の所在を確認するタイミングは, 1, 2年生の自習確認, 巡検, 朝点呼の3回である。外泊許可願が提出されておらず, 学生が巡検時に不在の場合, 宿直教員・寮母は保護者へ連絡をとり, 学生の所在を確認する。

寮では, 原則として男子1年生は3人部屋, 男子2年生は2人部屋, 男子3年生以上と女子は個室となっている。

表3 平日の宿直教員の業務（事案発生当時）

棟 時間	女子棟 A棟 3, 4階	男子棟	
		低学年 B棟 A棟2階	高学年 C棟 A棟1階
17:00	入	直	
	巡	回	
19:15		食堂掃除監督	
20:00	名札確認 放送「自習時間」		
20:30		放送「自習時間」	
	1, 2年生の自習在室確認		
21:25	日誌確認		
21:30	巡 検		
21:45	清掃監督	放送「掃除にかかれ」	
21:55		放送「巡検5分前」	
		閉 門	
22:00		巡 検	
22:30		当直交代指導	
23:00	風 呂 掃 除 監 督		
23:25		放送「消灯5分前」	
23:30		放送「消灯」	
		補食室シャワー室施錠	
07:00		開 門 放送「起床」	
07:10	朝 点 呼		
		補食室シャワー室解錠	
08:15		放送「登校」	
08:30	出	直	

3. 学生の所在不明事案

本章では、低学年のA学生（男子）の所在不明事案とその際の宿直教員の対応について述べる。

本章では、A学生やX教員などの表現で人物を表すが、これらのアルファベットは学生や教員のイニシャルとは無関係であることを注意しておく。

なお、事案に至る個別の詳細な状況は議論の対象としない。教員の対応に焦点を当てる。

3.1 前提

事案についての関係者を表4にまとめる。

所在不明事案日の宿直は、すべての棟が教員であり、A棟はX教員、B棟はY教員、C棟はZ教員であった。また、事案発生時、寮務主事は島外にいたため、現場での指揮ができない状況であった。

表4 事案関係者一覧

関係者	備 考
A学生	所在不明学生
B学生	港でA学生を目撃、会話した
X教員	A棟宿直教員
Y教員	B棟宿直教員、A学生担任
Z教員	C棟宿直教員
L教員	事案への対応を支援するために
M教員	駆けつけた教員
N教員	

3.2 所在不明事案の詳細と対応

所在不明事案の発生から学生の発見までの状況を、時系列に沿って表5に示す。

表5 所在不明事案の発生から学生の発見まで

時間	状 況
20:45 ごろ	Y教員が自習在室確認においてA学生の不在を確認。 ・携帯電話は机の上に置いたまま ・同室の学生もA学生を見かけていないと証言 ・低学年全室を確認するも所在不明
21:00 ごろ	A学生のこれまでの状況から最悪の事態も想定されたため、Y教員は緊急の対応が必要と判断し、寮務主事に電話で報告し次の点の了承を得た。 ・保護者に連絡すること ・X教員とZ教員とともに初動対応にあたること
21:10 ごろ	Y教員は、X教員、Z教員に事態の概要を説明し、対応を協議した。 22:00の巡検までの帰寮を想定し初動捜索を行うことにした。 ・Y教員は下弓削港周辺と公園を捜索 ・Z教員は寮の屋上、敷地内を捜索 ・X教員は電話連絡対応、帰寮確認のため事務室待機
21:15 ごろ	Y教員はA学生保護者に第一報。 ・携帯電話を部屋の机においたまま所在不明となっている ・寮務主事へ報告し対応にあたっている ・22:00までの対応（体制、範囲） ・保護者との連絡手段について

21:20 ごろ	Y教員は寮務主事に電話で報告. ・保護者へ報告した事項 ・対応支援のために寮務主事補の依頼		Y教員L教員が防犯カメラ映像の確認を続けたところ, 17:00 よりも少し前に, 大きなカバンをもち, 他の学生と話しながら寮の部屋を出ていくA学生が映っていた.
22:00 ごろ	Y教員, Z教員はそれぞれ捜索するもA学生は発見できず, 寮事務室へ戻る. L教員, M教員, N教員が支援に駆けつける.		Y教員は, 防犯カメラの映像とB学生の証言が一致することから, A学生は, A学生の地元に向けて移動中と推測され, 弓削島内にはいないと判断.
22:05 ごろ	Y教員は状況を説明. 教員間で対応を協議し, 寮を出た時間と服装の確認が必要と判断. Y教員は寮務主事に電話で報告. ・初動捜索ではA学生は発見できず ・行動確認のため防犯カメラ閲覧の許可を求める(非常事態ということで許可された)	23:45 ごろ	Y教員は寮務主事へ電話で報告. ・防犯カメラの映像とB学生の証言 ・A学生は地元に向かって移動中と推測されること ・船に乗ったかどうかまでは確認できていないこと ・弓削島内の捜索は打ち切りたいこと ・保護者への報告する事項
22:10 ごろ	教員間で役割分担し, 行動を再開. ・X教員Y教員L教員は防犯カメラ閲覧 ・M教員は, 立石港付近を捜索 ・Z教員N教員は連絡対応, 巡検などの宿直業務の代行	23:50 ごろ	Y教員はA学生の保護者へ第三報. ・防犯カメラの状況とB学生の証言から, A学生は地元に向かってしていると推測される ・今治, 因島どちらにも行ける時間帯であったが, 船に乗ったかどうかまではわからない ・A学生が帰ってきた場合は速やかに連絡を頂きたい ・帰ってこない場合, 警察への捜索願提出を検討頂きたい ・本日の捜索を打ち切ること
22:30 ごろ	Y教員はA学生保護者に第二報. ・初動捜索では発見できなかったこと ・現在の対応(所在不明時間と服装特定のため防犯カメラ閲覧, 生名島捜索)の説明 ・A学生保護者からの質問に回答	24:00 ごろ	保護者の同意, 寮務主事の許可により捜索を終了, 解散
23:00 ごろ	B学生が目撃情報を寮の事務室へ報告. ・X教員がB学生から事情聴取開始	07:10 ごろ	A学生保護者からY教員へ連絡 ・某都市の高速バス下り場にてA学生保護者がA学生を保護 ・A学生に怪我などはない
23:30 ごろ	寮務主事からY教員へ問い合わせ ・現在の対応状況を報告		
23:40 ごろ	防犯カメラ閲覧中のY教員L教員に, X教員からB学生の事情聴取結果の連絡. ・B学生は17:00 ごろ下弓削港で大きなカバンを持つA学生を見かけた ・B学生は, 普段, A学生とはあまり会話することもない間柄だが, 声をかけてみた ・A学生から, 多分帰ってこないと思うという発言があった ・A学生は港務所の人へA学生の地元にとどのくらいで着くかと問い合わせをしていた		

本事案は, 結果的には, A学生による無断帰省であった. A学生はA学生保護者により, 無事保護された.

しかし, 捜索に当たっていた我々は, 携帯電話が机の上に残され, あえて連絡が取れないようにされていたことや, これまでのA学生の状況から, 最悪の事態までも想定していた. B学生の証言と防犯カメラの状況が一致することを確認できた23:40までは, まさに, 危機への対応であった.

4. 事案の分析

4. 1 分析の観点

突発事故の危機管理（日航機墜落事故救出の教訓）[3]によると、状況不明の場合の対応の教訓として、次の事項の重要性が述べられている。

- ・状況不明を解明するためにあらゆる手段を通じて情報を収集すること
- ・目的を持った情報収集と行動
- ・関係機関の役割分担と責任者の明確化
- ・現場と指揮所の通信連絡、情報収集と情報伝達

これらを本事案に則した形に再検討し、次の観点を設定し分析した。

- (1) 情報の収集方法は適切であったか
- (2) 目的を持った行動をとれていたか
- (3) 役割分担と責任者の明確化はできていたか
- (4) 報告の内容タイミングは適切であったか

4. 2 分析

4. 2. 1 情報の収集方法は適切であったか

本事案の対応に用いた情報を表6にまとめる。

表6 本事案の対応に用いた情報

	内容	収集方法
1	A学生の指導経過等	Y教員（担任）
2	寮内不在, 下弓削港, 公園不在	教員の搜索活動
3	B学生による目撃情報	B学生の事情聴取
4	A学生の所在不明となる 時間, 状況	防犯カメラの映像

本事案の解決には、1、3、4番の情報が重要な役割を果たした。

1番の情報は、A学生の所在不明を早期に認識するために役立った。また、早期の体制確立と保護者への報告につながり、保護者との信頼関係の維持にも役立つ結果となった。しかし、この情報は、宿直のY教員がA学生の担任であったために、偶然に得られたものである。宿直教員がいつでも担任教員とは限らない。従って、注意すべき学生の情報は、宿直に入った教員が共有できる仕組みが必要である。申し送り事項の中に、特に注意してみてほしい学生と言った様な形で記載することが考えられる。

3番の情報を得るまでには、次の経緯があった。巡検時にA学生が不在であったことが、大多数の学

生が使っているコミュニケーションアプリ上で噂になった。B学生は、軽い気持ちでコミュニケーションアプリにA学生を見かけた旨を書き込んだ所、他の学生から寮の事務室に報告に行った方がよいと促され、目撃情報を報告に来たとのことであった。対応に当たっていた教員は、A学生の個人的な問題でもあるため、寮内の学生全体に呼びかけて情報収集することを避けていた。しかし、そもそも巡検時の不在は学生の間で噂になる大きな事態であり、その噂はコミュニケーションアプリを通じて瞬間に広がっていた。教員による配慮はまったく意味のないものであった。早期に寮内の学生全体に情報提供を呼びかけることで、情報を収集できる可能性が大きく広がる。対応に当たっていた教員は、早期に寮内の学生全体に情報提供を求めるべきであった。

4番の情報は、A学生の所在不明状況の確認、学生の証言の整合性を判断するための根拠になった。防犯カメラ映像の利用は適切であった。

以上から、本事案における情報収集の方法は、改善の余地があった。

（教訓1）防犯カメラの映像は状況を情報収集や情報の整合性確認のために活用できる。

（改善点1）注意すべき状態の学生について、宿直教員間の申し送り簿に記載して共有を図る。

（改善点2）寮内の学生全体に情報提供を呼びかける。

4. 2. 2 目的を持った行動が取れていたか

初動の搜索（21:15）では、帰寮時刻遅延か所在不明かを明確にすることを目的とし、時間と場所を限定して搜索した。搜索場所は、本校の地理的特性を考慮し、最悪の事態を想定した場合（寮の屋上、敷地内、弓削大橋そばの公園）と帰寮時刻遅延を想定した場合（下弓削港界限）を選んだ。初動搜索の時間を22:00の巡検までと区切ることにより、所在不明が明確となり次の行動を冷静に検討することができた。

防犯カメラの閲覧（22:10）は、所在不明の状況（時間、服装など）を明確にすることを目的として、実施した。

最悪の事態も想定される中、目的を持った行動は、現場の人間の冷静さの維持に一定の効果があるように感じた。また、保護者への説明の際に、対応として実施した事項の目的を述べることは、対応の妥当性を保護者に伝える効果があり、信頼関係の維持に役立ったと考えられる。

以上から、本事案におけるそれぞれの対応は、明確な目的を持って実施できていた。

(教訓2) 目的を持った行動は、教員の士気維持につながる。また、判断や行動の妥当性の根拠となりうる。

4. 2. 3 役割分担と責任者の明確化はできていたか

本事案の対応においては、表5の状況欄にあるように、対応ごとに役割分担を明確にして行動した。一方で、誰が現場の責任者かは明確に規定しなかった。A学生の担任でもあり情報に一番通じているY教員が現場責任者のような形になり、判断を下し、他の教員に役割を振り分け、寮務主事や保護者への報告にあたった。現場責任者がいたことで、教員間の協議(21:10と22:05)は、いずれも5分以内で結論を出すことができ、迅速に次の行動に取りかかることができた。一方で、Y教員は宿直教員、支援に駆けつけた教員の中で本校での勤務歴が最も短く、年齢も低かった。判断を下すことや教員に役割を振り分けることについて、心理的な負担があったことも事実である。指揮命令系統が存在しない集団の中で現場責任者を明確化することは、現場責任者の心理的な負担を減らすことにつながると考える。暗黙の了解で現場責任者が決まったが、本来ならば明確に現場責任者を定めるべきであった。

現場責任者の存在により、迅速な決断と行動、役割の振り分けや報告といった組織的な対応が可能となる。危機への対応にあたっては、最初に現場責任者を明確に決めておく必要がある。

以上から、本事案における役割分担と責任者の明確化のうち、現場責任者の明確化については不十分であった。

(教訓3) 役割分担を明確化することで組織的な対応が可能となる。

(改善点3) 対応の最初に現場責任者を明確に決める。

4. 2. 4 報告の内容、タイミングは適切であったか

本事案における現場からの報告の時間を表7にまとめる。

Y教員から寮務主事への電話報告は、1, 3, 4, 6の4回行われた。いずれも、物事の結節による報告で、報告のタイミングは適切であった。また、報告内容は、

表7 報告時間一覧

	時間	相手	備考
1	21:00 ごろ	寮務主事	所在不明発覚直後
2	21:15 ごろ	保護者	
3	21:20 ごろ	寮務主事	初動捜索開始直後
4	22:05 ごろ	寮務主事	次行動の確定直後
5	22:30 ごろ	保護者	防犯カメラ閲覧中
6	23:45 ごろ	寮務主事	解決の目途がついた直後
7	23:50 ごろ	保護者	

1：所在不明が発生したこと、初動捜索について保護者へ通報する事項

3：保護者連絡の結果報告と支援依頼

4：初動捜索の結果と次の行動

6：解決の目途と保護者へ通報する事項

であった。

1と6では、保護者に連絡する内容について、事前に寮務主事の了解を得ている。このことは、組織としての対応となるとともに、報告の際の現場責任者の精神的な負担軽減となる。また、いずれの報告も、これまでとった行動、これからとる行動を含んでおり、報告内容として適切と考えられる。寮務主事への報告のタイミングと内容は適切であった。

Y教員から保護者への電話報告は、2, 5, 7の3回行われた。2, 7は結節による報告であり、タイミングは適切である。一方、5の報告は防犯カメラ閲覧等の行動が開始されてから25分後である。2の保護者への報告で22:00までの捜索について説明していることを考えると、報告のタイミングが遅いと考えられる。4で寮務主事に報告した直後に保護者へ報告すべきであった。また、報告の内容は

2：所在不明の発生、寮務主事に報告、初動捜索の内容、連絡先電話番号

5：初動捜索の結果と次の行動の内容

7：解決の目途

である。2, 5とも捜索の体制、目的、範囲を説明し、組織として対応していることを伝えた。7ではA学生の状況の見通しについて、根拠を示しながら説明した。行動の目的や根拠を示しながらの説明は保護者との信頼関係の維持につながったと考えられる。

保護者への報告のタイミングには一部遅れがあったが、報告内容は適切であった。

(教訓4) 寮務主事への報告は、結節ごとに実施し、行動の結果とこれからとる行動、

保護者への連絡事項を含める。

（教訓5）保護者への報告内容に行動の目的と根拠を含めることで、信頼関係の維持につながる。

（改善点4）保護者への報告は、主事への報告と同様、結節ごとに行う。

5. まとめ

本稿では、学生の所在不明事案に対する対応を分析し、4つの改善点を導出し、5つの教訓を得た。

1番目の改善点については、既に改善が図られている。今後は、2、3、4番の改善点について、まずは、寮務関係教職員へ周知することが必要である。また、本稿で取り上げた事案は、解決の目途が立ったことから捜索を打ち切ることができた事案である。解決の目途が立たない場合はどのように対応するかについての教訓は、なんら得られていない。

今後の課題は、このような状況における組織的な対応を検討することである。

引用・参考文献

- [1] 国土地理院
<http://maps.gsi.go.jp/#14/34.260054/133.202877>
- [2] 国土地理院
<http://maps.gsi.go.jp/#10/34.228835/133.128204>
- [3] 日本安全保障・危機管理学会編：究極の危機管理-実務者のための理論とマニュアル-，pp. 349-357，内外出版（2014）

GIS を用いたフィールドワークの集約に関する 基礎研究

前田 弘文*

Basic research on GIS for collecting data of field work

Hirofumi Maeda*

Abstract

In Japan called earthquake-prone country, we have experienced many earthquakes so far. In Shikoku region, the interest in the Nankai megathrust earthquakes is increasing. And we are constantly watching it because our school is located in Kamijima-cho Ochi-gun, Ehime. On the other hand, many natural disasters other than earthquakes occurred. On the basis of this background, at our school, we are conducting the program adopted as the "KOSEN 4.0" initiative, "IoT engineer training program that is familiar with disaster prevention and disaster reduction based on isolated island engineering". In this paper, we describe the production of the model around the school of 1/2500 scale using GIS data.

1. 緒 言

地震大国と呼ばれる日本において、我々はこれまで多くの地震を体験してきた。特に 1995 年 1 月 17 日に発生した阪神・淡路大震災（平成 7 年兵庫県南部地震）と 2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災（平成 23 年東北地方太平洋沖地震）は、人々に多くの教訓を残し、防災意識を高める大きなきっかけとなった。

四国地方においては、南海トラフ巨大地震に対する関心が高まっており、本校も愛媛県の上島町に位置することから、常に注視している。南海トラフの地震は、約 90～150 年の間隔で発生するといわれており、最後に発生した地震は紀伊水道から土佐湾沖にかけての昭和南海地震（1946 年 12 月 21 日）で、震源地は潮岬南方沖 78 km の深さ 24 km 地点、規模 M8.0 であった。2019 年現在、既に 70 年が経過しており、今後 30 年以内に地震が発生する確率は 70～80% で、規模は M8～9 クラスと想定されている。

また一方で、地震以外の自然災害も多く発生している。2018 年 9 月 4 日に上陸した台風第 21 号は記憶に新しく、特に関西空港への被害として、高潮による滑走路の浸水やタンカーの衝突による連絡橋の中破は、国民の記憶に深く刻まれている。さらに、同年の 2018 年 6 月 28 日から 7 月 8 日にかけて発生した西日本豪雨（平成 30 年 7 月豪雨）は、我々の予期しない自然災害となり、多くの被害を出した。上

島町においても、豪雨による三原市本郷南の本郷取水場の水没により、7 月 7 日から 7 月 18 日の 12 日間にも及ぶ断水に見舞われた。このことから、我々は再度自然災害について見直す必要が出てきた。

このような背景の基、本校では事業計画に基づき、「KOSEN4.0」イニシアティブ採択事業として、「離島工学に基づく防災・減災に精通した IoT 技術者育成プログラム」（以下、KOSEN4.0）を行っている。その中でも、人・地域への波及効果の向上を目的とした「防災関連教育」と「小中学校防災・減災教育」は、プログラムの重要な役割を担っている。KOSEN4.0 以前においても、本校では多くのフィールドワークに基づく研究が成されてきたが、各研究室独自のもので、情報開示方法についても専門家を対象としていたため、一般大衆向けには程遠いものであった^{[1]~[2]}。そこで、KOSEN4.0 において、1 つの試みとして GIS による情報の共有化を行っている。また、一般大衆向けの情報開示方法には、大勢の人が複数同時に討論を行うための地図情報として、1/2500 の学校周辺モデルを作成した。

本論文では、GIS を用いたフィールドワークの集約に関する基礎研究として、GIS データを用いた 1/2500 学校周辺モデルの製作について述べる。

2. 1/2500 学校周辺モデル

1/2500 学校周辺モデルの製作手順は、大きく分けて

「GIS データの作成」と「学校周辺模型の作成」の 2 つに分かれる (図 2-1). 以下に, それぞれの詳細を示す.

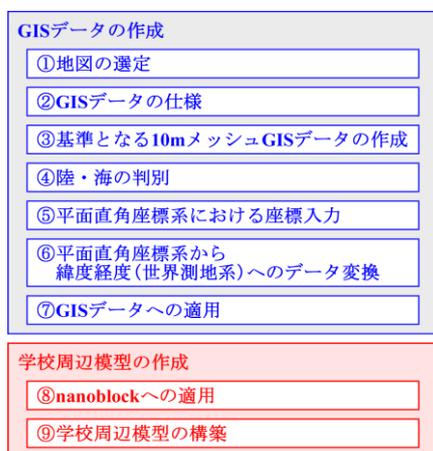


図 2-1 1/2500 学校周辺模型の製作手順

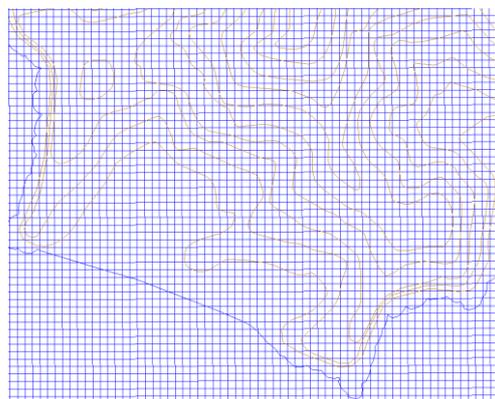


図 2-2 10m メッシュ GIS データ^{注1)}

④陸・海の判別

③で作成した地図を印刷し, 目視による二重チェックの下, 各メッシュにおける 2 値化を行った (図 2-3).

2. 1 GIS データの作成

ここでは, 学校周辺模型の設計図にあたる GIS データについて, 作成手順を以下に示す.

①地図の選定

学校周辺模型を製作するにあたり, 基となる地図データとして, 上島町弓削島の GIS 地図データを選択した^{注1)}.

②GIS データの仕様

①で選択した GIS 地図データにおいて, 今後の互換性を維持するために, 基盤地図情報ダウンロードデータファイル仕様書および JMP2.0 仕様書に準拠する形で GIS データを作成することとした.

③基準となる 10m メッシュ GIS データの作成

nanoblock に対応するためには, 海拔線や等高線の境界線を 2 値化する必要がある (④). そのために, ここでは前処理として, 面積を区分した (図 2-2). 区分にあたっては, nanoblock の最小サイズを考慮し, 10 [m]とした (2.2 参照). また, m 単位で処理するために, 平面直角座標系でメッシュを切り, その座標値を世界測地系に変換することで②の仕様に準拠するとともに, GIS データとして地図データに登録した (⑥⑦参照).

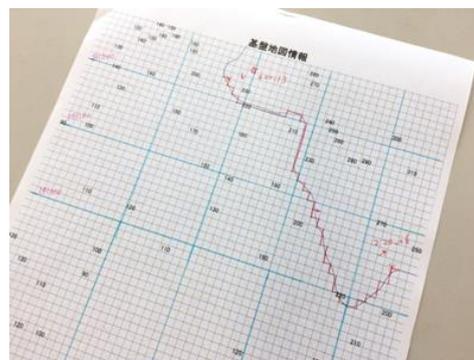


図 2-3 地図データの 2 値化^{注1)}

⑤平面直角座標系における座標入力

④で作成した地図情報 (2 値化情報) を基に, 平面直角座標系における座標 (メッシュの交点) をテキストファイルとして保存した. なお, 座標入力は GIS のレイヤー分けのために, 各標高に仕分けした上でやっている.

⑥平面直角座標系から緯度経度 (世界測地系) へのデータ変換

⑤のテキストファイルを平面直角座標系から世界測地系へ座標変換 (データ変換) することで, ②の仕様に準拠した.

⑦GIS データへの適用

⑥で作成した 2 値化情報（世界測地系）から GIS データ（②の仕様に準拠）を作成した。

2. 2 学校周辺模型の作成

模型の製作には、株式会社カワダの nanoblock を使用した。nanoblock は、最小ブロックが $4 \times 4 \times 5$ [mm]（土台部分は 3 [mm]）で構成されたホビーブロックである（図 2-4）。そのため、1/2500 の縮尺で地図を作成した際、1 ブロックが $10 \times 10 \times 7.5$ [m] となり、直感的にスケールが分かりやすい模型が製作できる。以下に学校周辺模型の製作手順を示す。

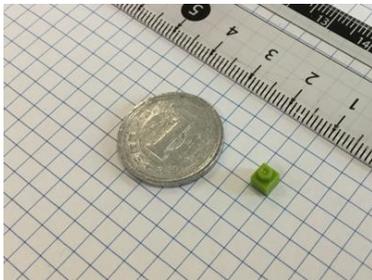


図 2-4 最小 nanoblock

⑧nanoblock への適用

GIS で作成した 2 値化情報を標高ごとに実寸大（グリッドあり）で印刷し、その上に nanoblock の配置図をプロットした（図 2-5）。ただし、GIS における標高が 10 [m] 刻みであるのに対し、nanoblock の高さが 7.5 [m] 刻みであることから、今回は高さの 1 の位を四捨五入することで、標高に対応させた。そのため、20 [m] から 30 [m] 置きに同じ高さの標高が存在する。

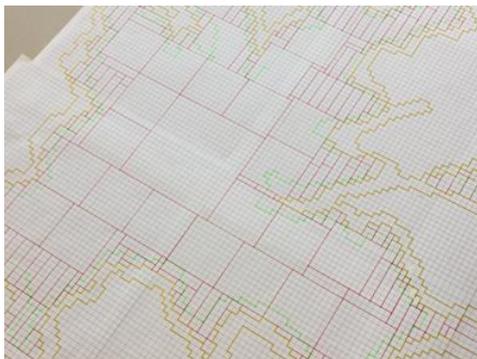


図 2-5 nanoblock の配置図^{注1)}

⑨学校周辺模型の構築

⑧の nanoblock に適用させた配置図を用いて、海拔 0 [m] から順にブロックを配置することで、学校周辺の模型を構築した（図 2-6、図 2-7）。また、⑧で述べた高さの四捨五入の関係で図 2-8 に示すように、ブロックの二段重ねの場所が存在する。



図 2-6 標高 30 [m] まで完成した際の学校周辺模型



図 2-7 完成時の学校周辺模型



図2-8 学校周辺模型の二段重ね

4. 結 言

本論文では、研究情報の共有化の手段として、GISを提示するとともに、GISデータを用いた1/2500学校周辺模型の製作について述べた。

今後は、製作した模型を南海トラフ巨大地震や西日本豪雨についての防災教育に役立てたいと考えている。

謝辞

本研究は"KOSEN4.0"イニシアティブ「離島工学に基づく防災・減災に精通したIoT技術者育成プログラム」の助成を受けて実施しており、謝意を表する。

注

注1) この地図は、国土地理院発行の基盤地図情報基本項目であり、研究のために随時加工を施している^[13]。

参考文献

- [1] 松永 直也：地形図弓削島を読む，弓削商船高等専門学校紀要第24号，pp.23～28，(2002)
- [2] 稲岡 紀子生，友田 進：弓削島に降った雨水のpH測定Ⅱ，弓削商船高等専門学校紀要第26号，pp.13～18，(2004)
- [3] 小川 量也，藤岡 義隆，脇山 功：弓削島の浅海性生物，弓削商船高等専門学校紀要第26号，pp.25～30，(2004)
- [4] 岡野 健，宮地 莉果：弓削を起点とする最適経路探索システムの作成，弓削商船高等専門学校平成25年度情報工学科卒業研究発表会プログラムおよび概要集，pp.4，(2013)
- [5] 越智 大貴，中津 諒：弓削島内におけるPM2.5の濃度の予測，弓削商船高等専門学校平成27年度情報工学科卒業研究発表会プログラムおよび概要集，pp.12，(2015)
- [6] 中西 優花：Minecraftを用いた仮想弓削島環境の構築と直感的マインドマップの作成，弓削商船高等専門学校平成27年度情報工学科卒業研究発表会プログラムおよび概要集，pp.17，(2015)
- [7] 田内 耀介，中浦 明美：地域の利便性の数値化，弓削商船高等専門学校平成28年度情報工学科卒業研究発表会プログラムおよび概要集，pp.16，(2016)
- [8] 作 彩歌，田頭 若奈：地図による地域の利便性の表示，弓削商船高等専門学校平成28年度情報工学科卒業研究発表会プログラムおよび概要集，pp.17，(2016)
- [9] 西山 政明：弓削島内におけるPM2.5の濃度予測のためのウェブクローラの作成，弓削商船高等専門学校平成28年度情報工学科卒業研究発表会プログラムおよび概要集，pp.19，(2016)
- [10] 稲本 麗華，片山 潤奈：GPSを使用したバスの運行状況を表示するシステムの開発，弓削商船高等専門学校平成28年度情報工学科卒業研究発表会プログラムおよび概要集，pp.20，(2016)
- [11] 池田 勇人：道路状況の安全性マップ作成，弓削商船高等専門学校平成29年度情報工学科卒業研究発表会プログラムおよび概要集，pp.16，(2017)
- [12] 原田 準：道路幾何条件による太陽光の走行阻害に関する研究，弓削商船高等専門学校平成29年度情報工学科卒業研究発表会プログラムおよび概要集，pp.19，(2017)
- [13] 国土交通省：国土地理院，<http://www.gsi.go.jp/>，(2018/11/19 アクセス)

レーザー加工機を用いたフォトフレームの試作

—上島町×弓削商船高専共同開発企画—

木下 つる代*

Trial manufacture of the picture frame using the laser cutting machine

—Cooperative Development Plan of Kamijima Town and National Institute of Technology, Yuge College—

Tsuruyo Kinoshita *

Abstract

National Institute of Technology, Yuge College usually tries for the improvement of local development and education study in cooperation with Kamijima town. I produced two kinds of works in experiment training until now. This time I will change a work. I report the examination of the work to produce from the next fiscal year and a trial manufacture.

1. はじめに

弓削商船高等専門学校（以下、本校）は所在地である上島町と連携し日頃から地域の発展や教育研究の充実に努めている。筆者は双方の発展を目指し実験・実習テーマとして平成24年度より「上島町×弓削商船高専共同開発企画」（以下、本企画）を遂行中である¹⁾。

本企画は上島町の協力の下、実験・実習において本校の学生が考案したものを製作している。これまでコースターを3年間とペーパークリップを4年間製作してきたが、来年度は新たな作品を製作することになった。

そこで、来年度から製作する作品の検討および試作課程について報告する。

で学生が行っている。実験・実習時間内に製作できない量産分については筆者が担当している。

作品は筆者が担当する実験・実習で製作が可能もの、島の特色を生かしているもの、日常生活で使用できるものとしている。平成24年から3年間はステンレス製の「上島コースター」、平成27年から4年間はポリスチレン製の「上島クリップ」を製作している。

この実験・実習では、企画から製造までのづくりの一連の流れを経験できるため、技術力の育成や技術の重要性に対する理解が深まる。また、自分で考えながら実験・実習に挑むことで創造性も育成される。上島町としてもPR材料として活用できるため、本企画の継続を望んでいる。

2. 企画の概要

2.1 平成30年度までの実績

本企画は学生の創造性を育む実験・実習づくりを目標とし、上島町と連携して作品の製作を行っている。上島町はパッケージデザインの考案および製作費の補助を担当しており、実験・実習と量産にかかる材料費および消耗品費用を負担している。本校は作品のデザイン考案および製作を担当し、実験・実習の課題とし

2.2 実験・実習内容

現状の実験・実習内容を表1に示す。対象学生は電子機械工学科および情報工学科3年生の約90名で、計9班に分かれて実験・実習を行っている。

次に、作品の実験・実習の流れと作品の製作過程を以下に示す。

- ① CAD : JW-CAD を用いた製図方法の習得
- ② 企 画 : 上島町というテーマでデザインの考案
- ③ 設 計 : 要件を織り込んだCAD図面およびCAMによる加工データ作成

*技術支援センター

- ④ 投票：投票により優秀作品の決定
 ⑤ 製造：レーザー加工機による機械加工
 ⑥ 納品：上島町に納品し、パッケージングを行って完成

表 1 実験・実習の概要

テーマ	CAD/CAM 加工実験
対象	電子機械工学科 3 年生 情報工学科 3 年生 (約 90 名)
1 班当りの時間	電子機械工学科：7 時間 30 分 情報工学科：6 時間 45 分
使用ソフト	jw_software_club JW-CAD
使用ソフト 使用機器	コーレル株式会社 Corel DRAW Graphics Suite X7 オーレーザー株式会社 オペレーションソフト HARUKA オーレーザー株式会社 Co ₂ レーザー加工機 HAJIME

2. 3 作品の変更

平成 30 年度における「上島クリップ」の製作枚数は量産分 1000 枚 (2 個 1 セット) と学生分 180 枚 (1 人 2 枚) に予備 20 枚を合わせた 1200 枚である。また、上島町からの補助金は 12 万円で材料費と消耗品の全額を賄っている。この度、上島町からの要望を受け平成 31 年度より作品を変更することになった。

作品変更の要望として、単価を上げて製作個数を少なくし、長い間飾っておけるものにして欲しいということであった。実験・実習終了後の学生へのアンケート

でも他の作品も作ってみたいという意見があるため、作品変更は実験・実習内容の改善にも繋がると考えた。

2. 4 作品変更の条件

作品を変更するに当り、本校としては実験・実習の目的を損なわないこと、上島町としては予算内で町の PR 効果を出すことが必要となる。

実験・実習における作品変更の条件を以下に示す。

- ① 学生にものづくりの一連の流れを経験させること。
- ② 自分で考える力を身に付けさせること。
- ③ JW-CAD を用いて製図方法を習得すること。
- ④ 表 1 に示すソフトと機器を使用すること。

次に、上島町における作品変更の条件を示す。

- ① 予算額は平成 30 年度と同等額にすること。
- ② 作品は長い間飾れるものであること。
- ③ 老若男女が日常で使用できるもの。

これらの条件に合うような作品にするため、学生のアンケート結果や上島町職員の意見を列挙した上で、現実的に製作可能な作品としてフォトフレームを試作することになった。

3. フォトフレームの試作

3. 1 試作

フォトフレームの大きさは L 判サイズの写真 (127mm×89mm) とデザインを彫刻するスペースを確保するため 200mm×150mm とした。使用する Co₂ レーザー加工機 (表 1 参照) で加工できフォトフレームの材料になるものとして 2 種類のアクリル板 (押出し材とキャスト材) と MDF 板を取り上げ、4 種類のフォトフレームを試作 (図 1 および図 2 参照) した。表 2 に試作品の材料および評価項目を示す。予算額も製作時間も前年度と同等以内にするのが目標である。

表 2 試作品の材料と評価項目

No.	1	2	3	4
前面	押出し材	押出し材	押出し材	MDF 板に彫刻
後面	MDF 材に彫刻	キャスト材に彫刻	MDF 板に彫刻	MDF 板
留具	フォトフレームパーツ 2 種計 4 個	フォトフレームパーツ 2 種計 4 個	フォトフレームパーツ 2 種計 4 個	プラスチックトンボ、平ワッシャー各 4 個
脚	MDF 板の余った部分	フォトフレームパーツ 2 種計 4 個	フォトフレームパーツ 2 種計 4 個	MDF 板の余った部分
その他				PET 板透明シート
部品点数	10	10	10	20
価格	基準 (1.0)	2.3 倍	1.6 倍	0.6 倍
加工時間	約 30 分	約 40 分	約 25 分	約 30 分

レーザー加工機を用いたフォトフレームの試作
—上島町×弓削商船高専共同開発企画—

No.1 (図1左) は前面にアクリル板押し材、後面に MDF 板を使用し、MDF 板にレーザー彫刻を施した。留具はフォトフレームを使用し、脚は後面に使用した MDF 板を用いた。

No.2 (図1右) は前面にアクリル押し材、後面にアクリル板キャスト材を使用し、キャスト材にレーザー彫刻を施した。アクリル板には押し材とキャスト材の2種類があり特性が異なる²⁾。押し材は安価で加工がしやすい。キャスト材は高価であるがレーザーで彫刻すると彫刻面が白くきれいに仕上がる。そこで、彫刻を施す後面のみキャスト材を使用し、彫刻を施さない前面は安価な押し材を使用した。No.2 は4種類の試作品の中で一番高額となった。よって No.2 は作品候補から除外した。

No.3 (図2左) は前面にアクリル板押し材、後面に MDF 板を使用し、MDF 板にレーザー彫刻を施した。No.2 との違いは後面のアクリル板キャスト材を MDF 板に変えたことである。MDF 板は木材の繊維を接着剤などを配合して板状に成形した繊維板で、加工が容易で安価なことから家具木工を中心に使用されている³⁾。MDF 板の価格はアクリル板よりも安価なため、MDF 板に変更することで価格が約3割も抑えられた。また、レーザー彫刻の所要時間も MDF 板はアクリル板に比べて約2/3で済むことから製作時間の短縮にもなった。それでも市販品のフォトフレームパーツが単価を引き上げてしまうため、市販品をなるべく少なくする工夫が必要と考えた。

No.4 (図2右) はアクリル板を使用せず安価な MDF 板を主材料としたフォトフレームにした。MDF 板の価格は押し材の半額以下であるため、MDF 板を使用することで4種類の中で一番安価になった。しかし、プラスチックトンボや PET 板透明シートといった部品が必要となり部品点数と工数が増加し、製作時間が長くなってしまった。工数および製作時間の増加は量産に適さないため No.4 は作品候補から除外した。

No.3 の単価を更に抑えるための工夫として脚の変更を試みた。No.3 では留具および脚の両方とも市販のフォトフレームパーツを使用した。No.1 では留具のみを市販品とし、脚の部分は後面に使用した MDF 板の端材で自作した。自作することで価格が抑えられると同時に、脚のデザインを自由にできることから個性を出せるという利点も出てきた。

以上の結果から価格、製作時間、工数などを総合的に評価し、No.1 を来年度の作品候補として決定した。No.1 の部品写真を図3に示す。前面に厚さ2.0mmのアクリル板押し材、後面に厚さ2.5mmのMDF板を使用し、MDF板にレーザー彫刻を施した。前面および

後面の上部には同じ位置に直径5.0mmの穴を開け、フォトフレームパーツを取り付けるようにした。留具は市販品の2種計4個を用いることにした。脚は2枚の板を挟むために4.5mm幅の溝を付け、形状は自由とした。

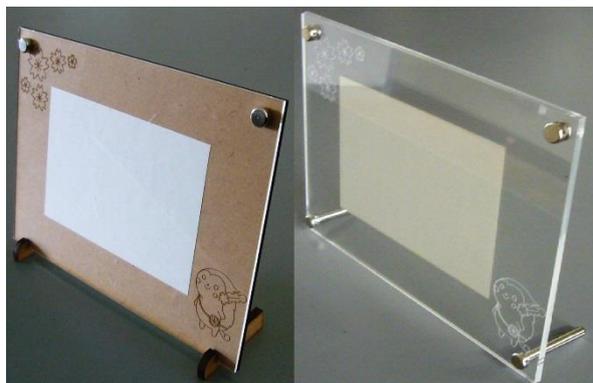


図1 試作品 No.1 と No.2



図2 試作品 No.3 と No.4



図3 試作品 No.1 の部品

3. 2 来年度に向けて

試作品 No.1 を製作するに当たり、量産するフォトフレームの個数を検討した。上島町からの補助金 12 万円で材料費と消耗品が賄えること、量産品の製作にかかる時間が「上島クリップ」を製作する合計時間と同等になることを考慮した。その結果、製作枚数は量産分 100 個と学生分 90 個に予備 20 枚を合わせた 210 個に決まった。

フォトフレームはできる限り学生の個性が引き出せるものにしたい。

現段階で与える予定の条件を以下に示す。

- ① 彫刻するデザインは学生上島町がイメージできるもの
- ② 「KAMIJIMATOWN」「YUGESHOKEN」もしくは「上島町」「弓削商船」の文字を入れること
- ③ L 判の写真が収まる大きさとし、250mm × 190mm 以内に収めること。枠の形は四角形に限らなくて良い
- ④ 脚は MDF 板の余った部分を使って自由にデザインすること。ただし、フォトフレームが安定して立つことが必要。

以上のような最低限の条件を与えた上で自由なデザインを期待している。CAD を使った作図やレーザー加工機による加工の都合で思い通りに行かないことも出てくると思うが、自ら考えてものづくりの難しさと楽しさを実感して欲しい。

4. さいごに

平成 24 年度に立ち上げた「上島町×弓削商船高専共同開発企画」の実績と新たな作品の試作について報告した。本企画は学生の創造性を育む実験・実習づくりを目標とし、上島町と連携して作品の製作を行っている。これまでのコースターとペーパークリップを製作してきたが、来年度は新たな作品としてフォトフレームを製作することになった。

4 種類のフォトフレームを試作し、それぞれの条件と利点・欠点を比較した。その中から実験・実習で製作でき、予算内で量産が可能となるものを 1 つ選出した。材料はアクリル板押出し材、MDF 板、フォトフレームパーツを使用する。

学生の個性を引き出せるように最低限の条件を与え、自ら考える力を身に付けられるように工夫した。来年度の実験・実習で製作を開始できるように準備を進めていく。本企画を通して実験・実習の内容を充実させ、学校と上島町のさらなる PR に繋がることを期待している。

参考文献

- [1] 木下 つる代：創造性を育む実験・実習の実績報告—上島町×弓削商船共同開発企画—，弓削商船高等専門学校 紀要 第 39 号，pp101-105，(2017)
- [2] 佐藤 功：プラスチック，pp154-161，(2008)
- [3] 日本規格協会：非金属材料データブック，p620，(1985)